第六屆
海峽兩岸土木與防災跨領域整合研討會

2018 10.26 | 格致樓 101演講廳

研討會手冊暨論文集

指導單位　教育部

主辦單位
- 中國科技大學
- 西南交通大學
- 國立宜蘭大學
- 中鐵第一勘察設計院集團有限公司
- 中華基礎設施研究發展協會

協辦單位
- 中華坡地防災及資源再生利用技術協會
- 中華工程仲裁協會
- 中華民國道路協會道路工程委員會
- 中原大學環控防災科技中心
- 台灣省土木技師公會
- 社團法人臺北市自行都市更新發展協會
- 臺北市土木技師公會(依名稱筆畫排序)

序

由中國科技大學(臺灣)與西南交通大學(大陸)，共同發起的「海峽兩岸土木與防災跨領域整合研討會」，自 2013 年 9 月在成都順利召開第一屆會議以來，已先後在臺北(2014 第二屆)、宜蘭(2015 第三屆)、西安(2016 第四屆)、成都(2017 第五屆)等城市順利舉辦。參會單位與人數逐年遞增，會議影響力不斷擴大，並獲得各界一致好評。

本屆(2018 第六屆)會議，除原旨在加強土木與防災跨領域整合的發展外，特增選土木領域的典範移轉與蛻變，作為綜合性的探討主題之一。另為擴大本屆研討會活動範疇，亦誠摯邀請共同管道之各國學者專家(台灣、大陸、日本、新加坡)作專題演講，並協助舉辦「第一屆亞太地區共同管道技術研討會」。誠摯地邀請您參與本屆盛會！

中國科技大學
結構物安全與防災中心
土木與防災設計系

第六屆海峽兩岸土木與防災跨領域整合研討會議程表

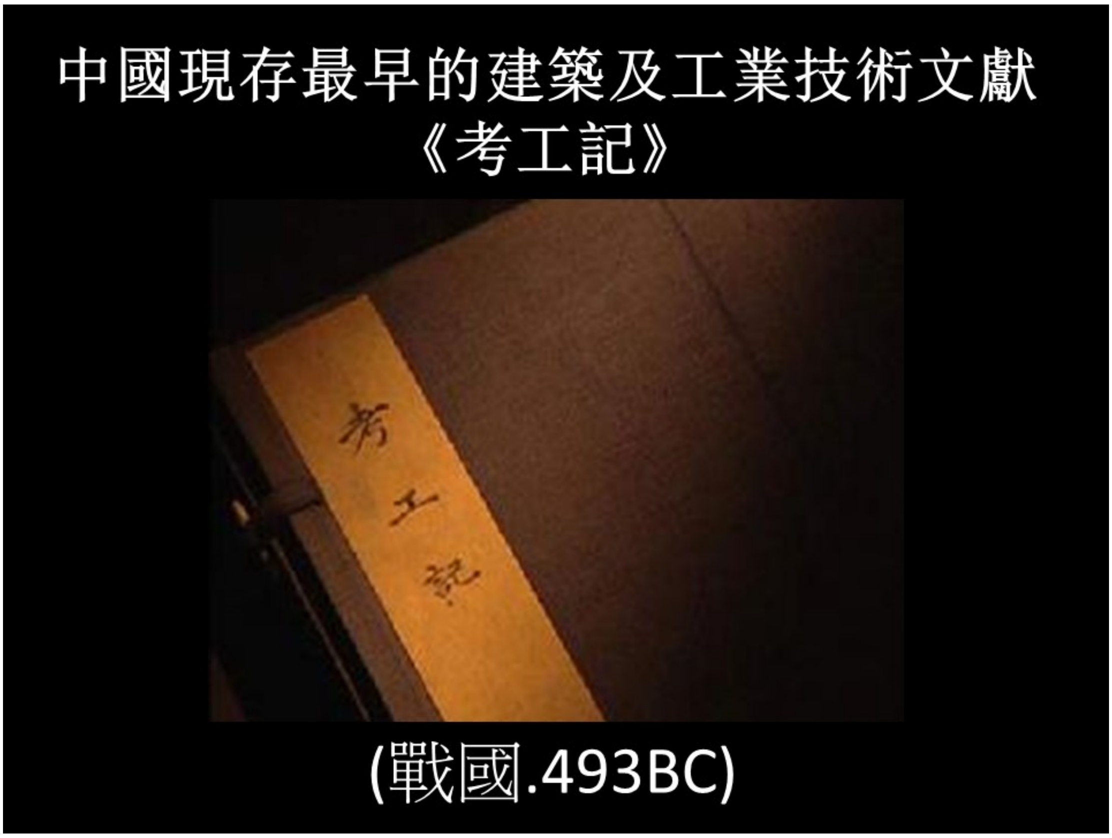
報到時間：107年10月26日上午8:30至9:00
報到地點：本校格致樓1樓大廳
開幕典禮：107年10月26日上午9:00
中國科技大學俞明德校長致詞

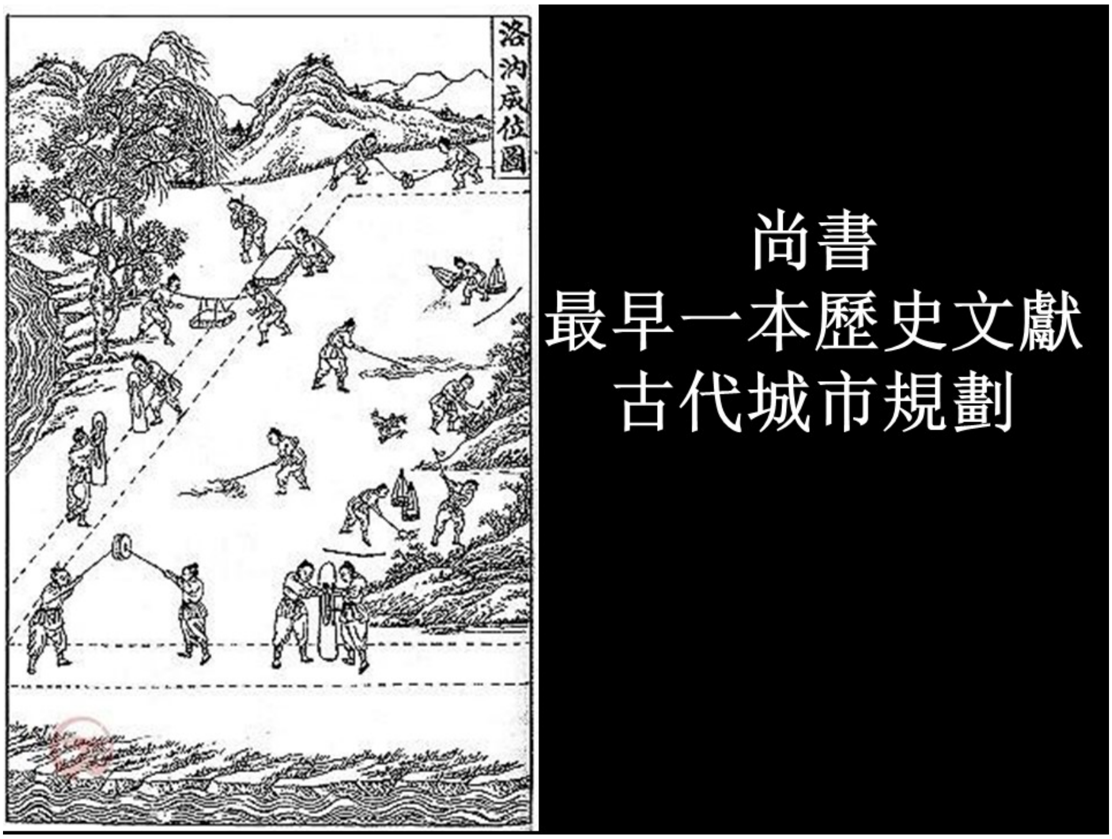
時間	專題演講	演講者	主持人
09:05 - 09:45	自永續發展觀點談土木工程師的傳承	看見·齊柏林基金會 歐晉德董事長	中國科技大學規劃與設計學院 蕭興臺院長
09:45 - 10:15	柔性防護結構設計原理	西南交通大學建築設計研究院 趙世春院長	
10:15 - 10:45	營建4.0--『4D智慧城市』	中國科技大學規劃與設計學院 蕭興臺院長	
10:45 - 11:00	中場休息(茶歇)		
時間	**論文研討**	**報告人**	**主持人**
11:00 - 11:20	新型自恢復柔性緩衝層結構	余志祥(西南交大)	西南交通大學建築設計研究院 趙世春院長
11:20 - 11:40	Dynamic modeling and analysis of coupling between rock debris and flexible barrier based on explosive simulation	許　澔(西南交大)	
11:40 - 12:00	建築火災成因分析與消防搶救探討	紀茂傑(吳鳳科大)	
12:00 - 13:30	午餐(備有餐盒)		
時間	**共同管道技術交流**	**報告人**	**主持人**
13:30 - 13:55	日本地區共同管道建設現況	中野 雅弘教授 (日本)	營建署公共工程組 黃敏捷組長
13:55 - 14:20	新加坡濱海灣共同管道建設	呂成安署長 (新加坡)	
14:20 - 14:45	台灣共同管道30年回顧與展望	彭保華技師 (台灣)	
14:45 - 15:10	新形勢下綜合管廊焦點問題及建設運營模式探討	王寶泉副院長 (大陸)	中華基礎設施研究發展協會理事 林文欽教授
15:10 - 15:35	裝配式鋼制綜綜合管廊新材料新技術研發及應用探討	李躍飛副院長 (大陸)	
15:35 - 15:50	中場休息(茶歇)		
時間	**共同管道技術交流**	**報告人**	**主持人**
15:50 - 16:15	BIM技術在共同管道建設應用	林鶴斯博士 (台灣)	林文欽教授
時間	**論文研討**	**報告人**	**主持人**
16:15 - 16:35	台灣橋梁災害管理平台開發與應用	林曜滄(台灣世曦)	厚昇工程顧問公司 張清雲董事長
16:35 - 16:55	BIM於城市建設管理趨勢與應用	謝博全(宗陞智能)	
16:55 - 17:15	峰峰相連到雲端-坡地生命周期防災監測資訊整合及視覺化雲端平臺	王淳讙 (德克皇公司)	中華工程仲裁協會 蘇錦江理事長
17:15 - 17:35	低層鋼結構裝配式建築的體系組成及應用	韋韜(西南交大)	
17:35 - 18:00	綜合座談		

目錄

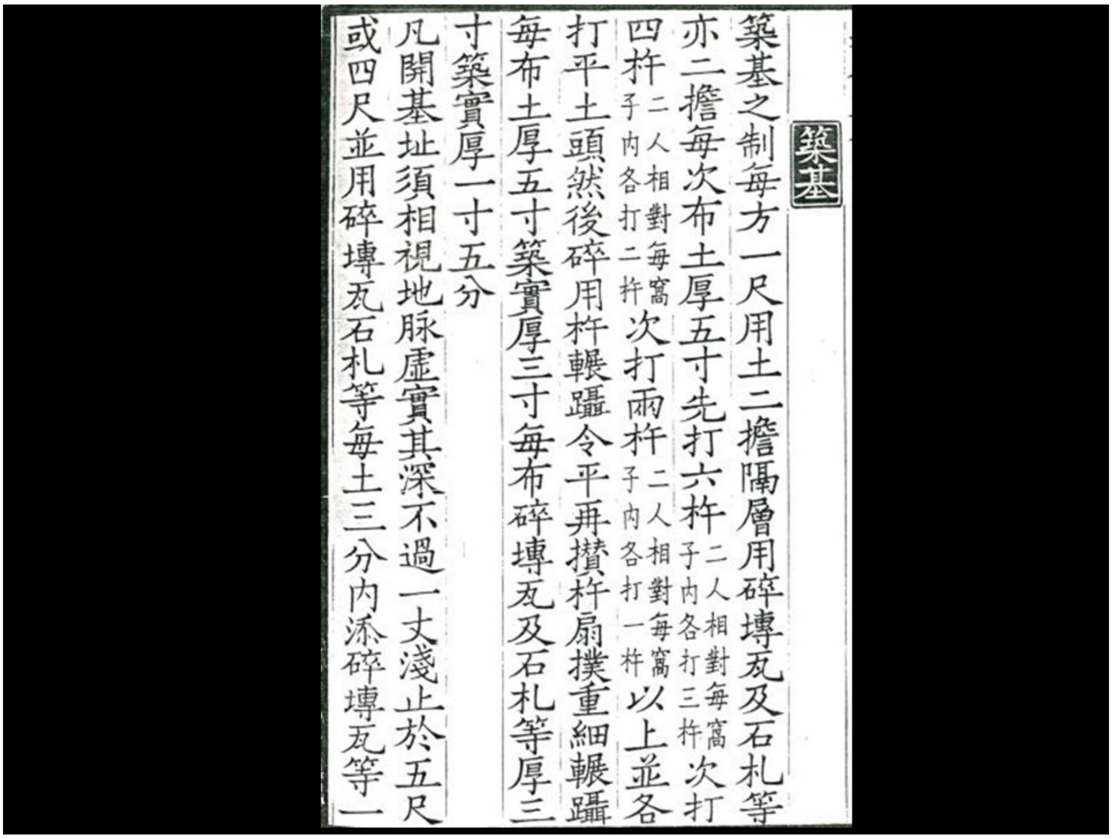
1st 自永續發展觀點談土木工程師的傳承


自永續發展觀點談
土木工程師的傳承
歐晉德
2018.10.26


中國現存最早的建築及工業技術文獻
《考工記》
考工記
(戰國.493BC)

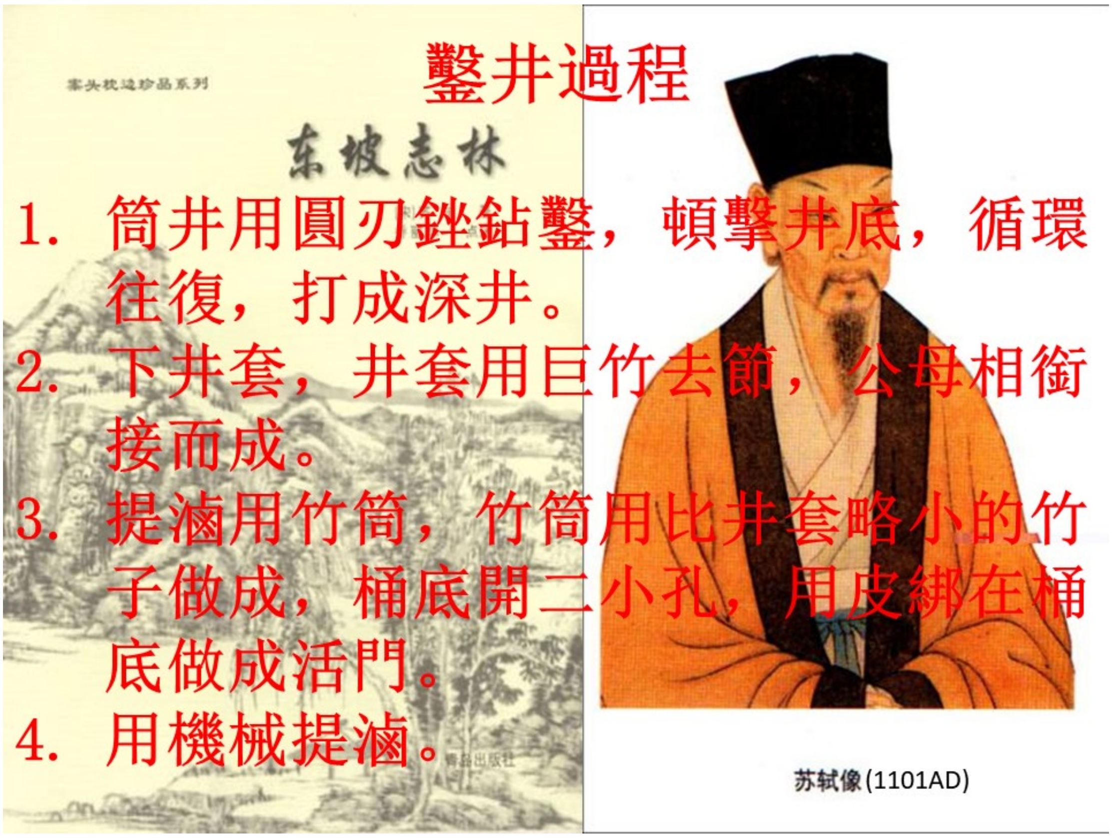

洛汭成位圖
尚書
最早一本歷史文獻
古代城市規劃

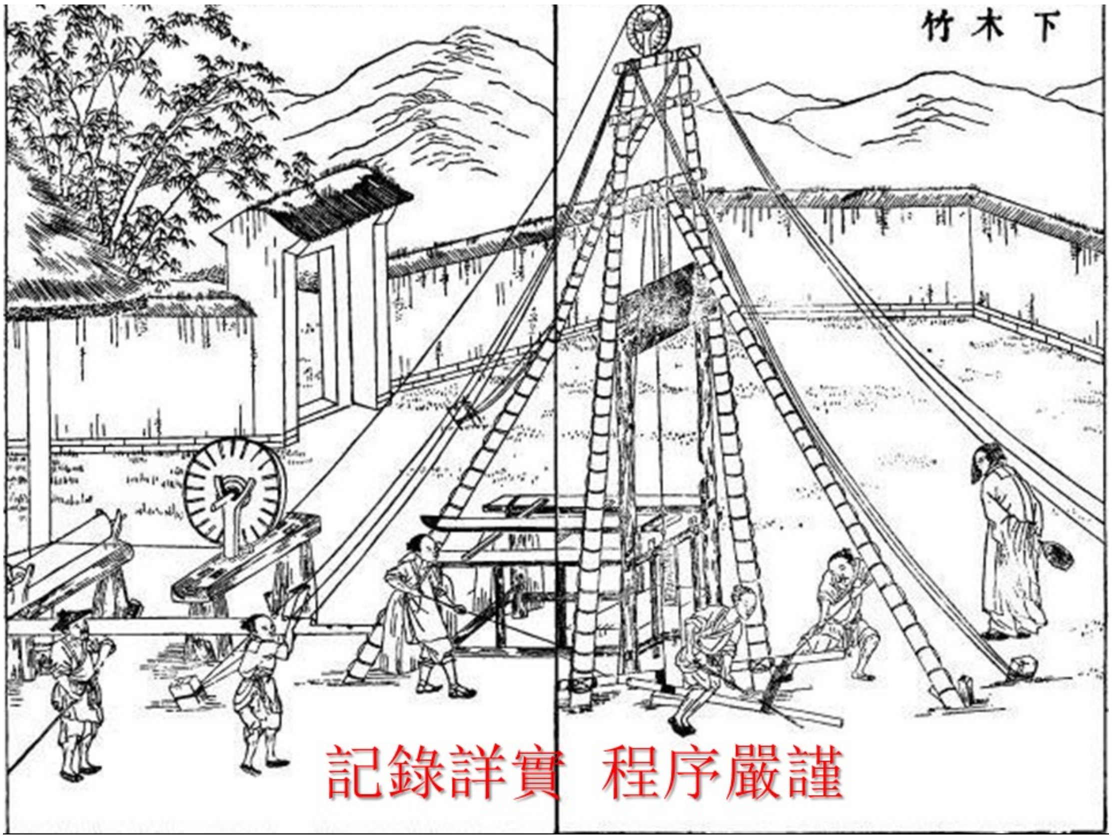

世界最早的建築技術規範
營造法式
(宋.1103AD)


築基

築基之制每方一尺用土二擔隔層用碎塼瓦及石札等亦二擔每次布土厚五寸先打六杵（二人相對每窩子內各打三杵）次打四杵（二人相對每窩子內各打二杵）次打兩杵（二人相對每窩子內各打一杵）以上並各打平土頭然後碎用杵輾躡令平再攅杵扇撲重細輾躡每布土厚五寸築實厚三寸每布碎塼瓦及石札等厚三寸築實厚一寸五分

凡開基址須相視地脉虛實其深不過一丈淺止於五尺或四尺並用碎塼瓦石札等每土三分內添碎塼瓦等一

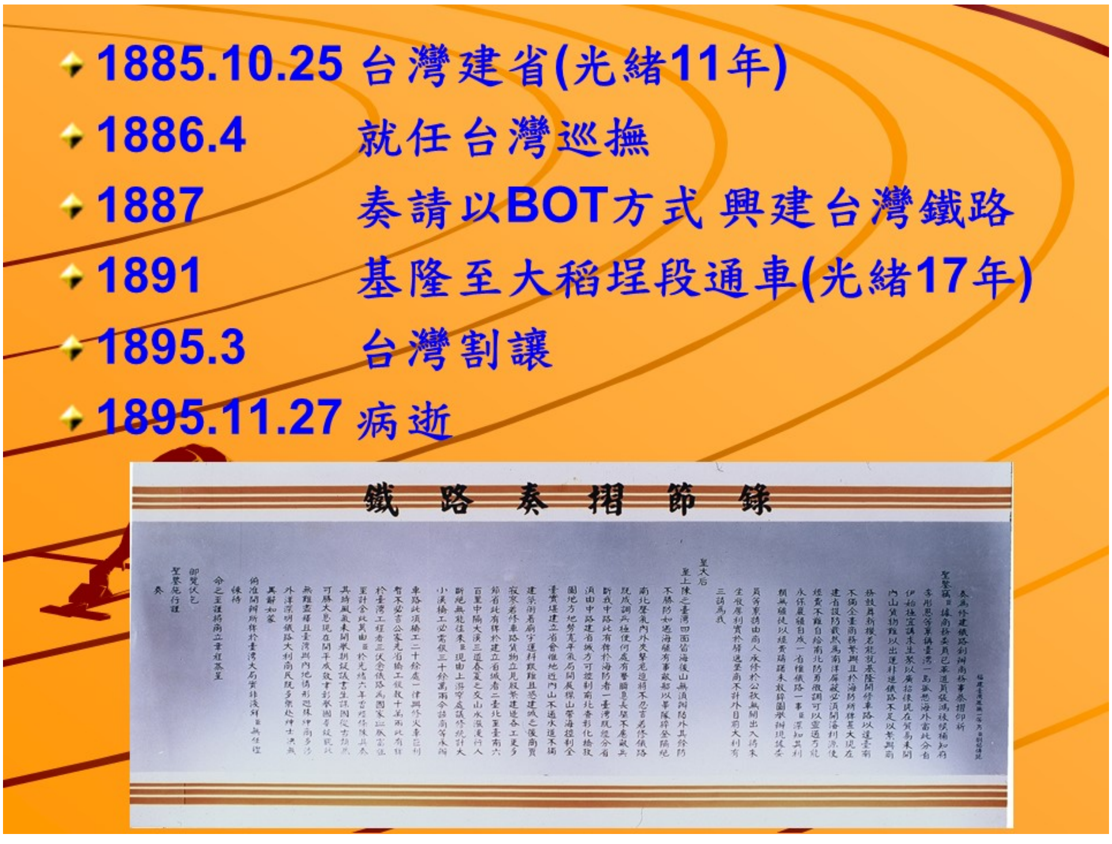



下木竹
記錄詳實 程序嚴謹


吳將軍圖說(1690)
古洛陽橋


重視生態環境


劉銘傳(1836－1895)
1880 建議修建鐵路
1884.5.24 抵台灣
1884.9.11 授福建巡撫
劉銘傳像

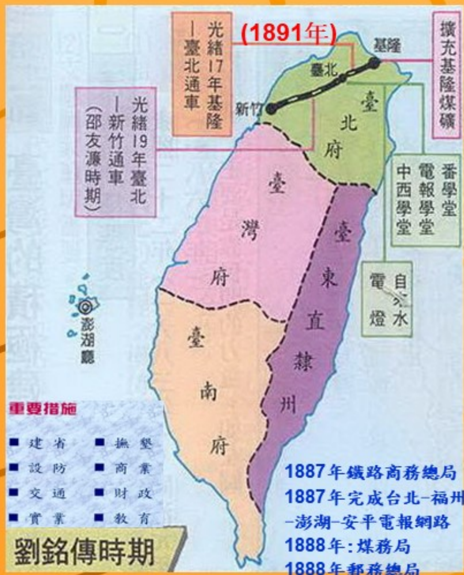

1885.10.25 台灣建省(光緒11年)
1886.4 就任台灣巡撫
1887 奏請以BOT方式興建台灣鐵路
1891 基隆至大稻埕段通車(光緒17年)
1895.3 台灣割讓
1895.11.27 病逝
鐵路奏摺節錄

治臺原則

「使臺地自有之才，足供臺地經常之用，不需要取給於內地，然後處常處變，都可自全。」

建省、設防、交通、清賦、撫墾、治安、實業、財務、教育。

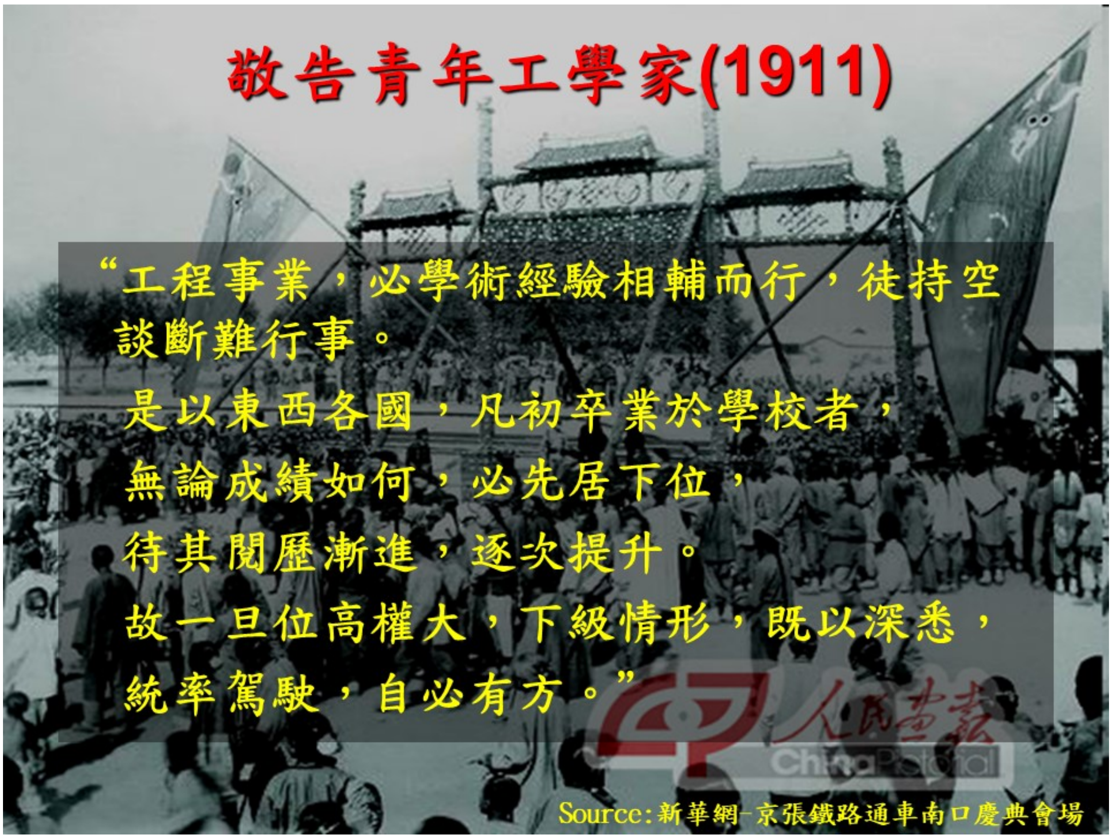
「舉一隅之設施，為全國之範，以一島基國之富強」



把台灣建設成一個模範省，
以奠定全中國現代化的基礎

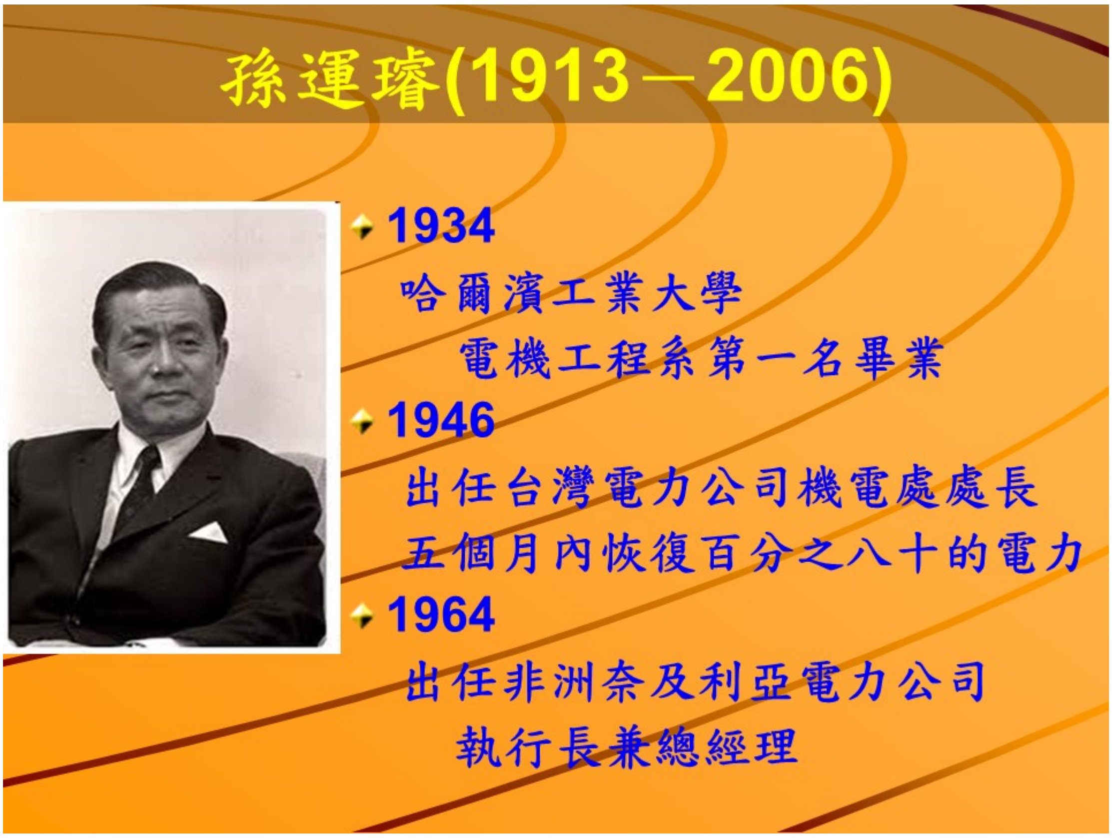
詹天佑(1861－1919)

- 1872　赴美入小學
- 1878　入耶魯大學土木工程系
- 1881　取得土木工程學士
- 1888　到天津中國鐵路公司
  任幫工程司修築津渝鐵路
- 1894　成為英國ICE會員，
  為中國人入此會之始
- 1905－1909
  擔任京張鐵路總工程司
  八達嶺隧道(1091公尺)
  居庸關隧道(367公尺)
- 1912　協助孫中山先生
  創十萬公里鐵路計劃
  擔任中國工程師學會首任會長


敬告青年工學家(1911)
"工程事業，必學術經驗相輔而行，徒持空談斷難行事。
是以東西各國，凡初卒業於學校者，
無論成績如何，必先居下位，
待其閱歷漸進，逐次提升。
故一旦位高權大，下級情形，既以深悉，
統率駕馭，自必有方。"
Source:新華網-京張鐵路通車南口慶典會場


給留美老師Northrop夫人信
"所有的中國人和外國人都在密切注視著我的工作，如果我失敗了，那就不僅是我個人的不幸，而且是所有的中國工程司和中國人的不幸，固若如此，中國工程司將失掉大眾的信任！"
Source:新華網-
詹天佑（車下右起第三人）京張線建成合影


嚴謹自持和以事業為前提，
為民族獨立富強而團結奮鬥
的道德風範與創業精神。
Source:新華網-八達嶺隧道竣工時工程人員合影

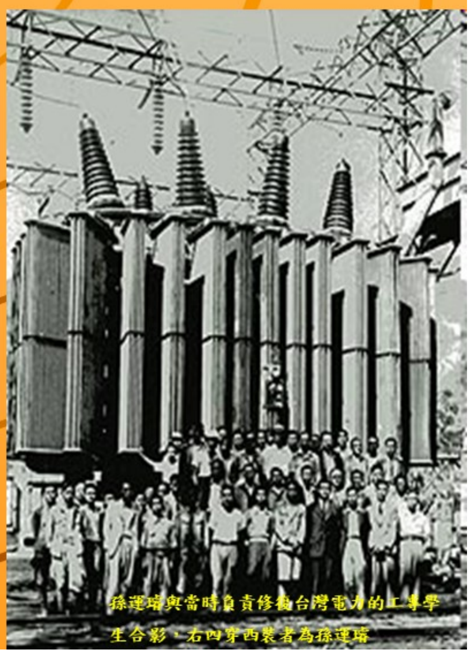

孫運璿(1913－2006)
1934
哈爾濱工業大學
電機工程系第一名畢業
1946
出任台灣電力公司機電處處長
五個月內恢復百分之八十的電力
1964
出任非洲奈及利亞電力公司
執行長兼總經理

- 1967　任交通部長，推動十大建設
- 1969　任經濟部長
- 1978　任行政院院長
- 1984　因公務過勞而腦溢血
- 2006　病逝，享年93歲

工程師性格的政治家

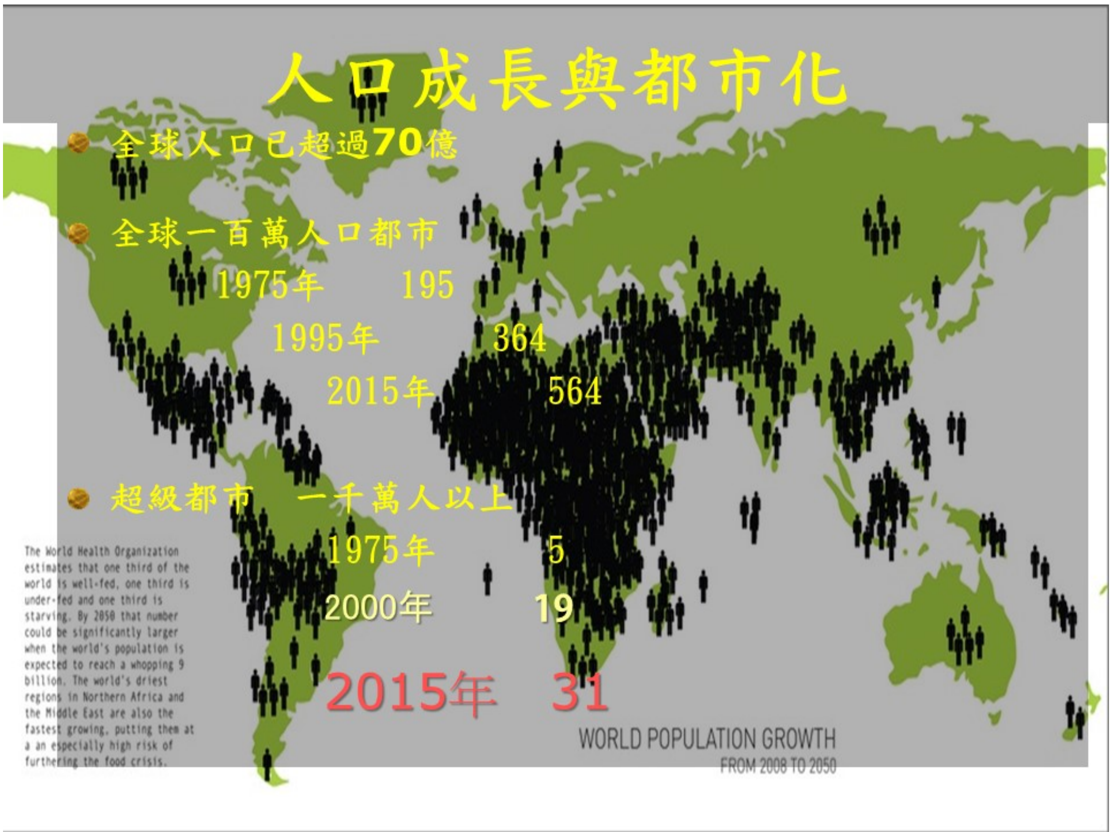
縝密思考，腳踏實地，
講求數據，著重分析

擅長規劃，建立制度，
循序漸進的治國之道，
充分彰顯其工程師的特質



孫運璿與當時負責修復台灣電力的工專學生合影，右四穿西裝者為孫運璿


未來的衝擊

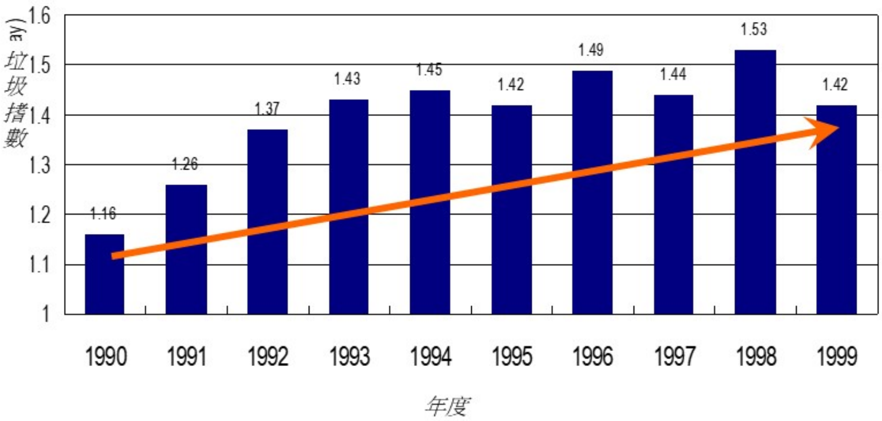

人口成長與都市化
全球人口已超過70億
全球一百萬人口都市
1975年 195
1995年 364
2015年 564
超級都市 一千萬人以上
1975年 5
2000年 19
2015年 31
The World Health Organization estimates that one third of the world is well-fed, one third is under-fed and one third is starving. By 2050 that number could be significantly larger when the world's population is expected to reach a whopping 9 billion. The world's driest regions in Northern Africa and the Middle East are also the fastest growing, putting them at a an especially high risk of furthering the food crisis.
WORLD POPULATION GROWTH
FROM 2008 TO 2050


1
10
30 million
• 都市化人口快速增加
中國超過一百萬人口城市
1970年16個
2015年106個
(美國45個 歐洲55個)
Beijing
Shanghai
Guangzhou
2015


超級都市的挑戰
(1) 垃圾及汙染
(2) 交通壅塞
(3) 水供給
(4) 衛生醫療
(5) 房屋供給不足
(6) 貧民窟
(7) 暴力治安
(8) 政治衝突
(9) 食物安全及供給
(10) 天然災害

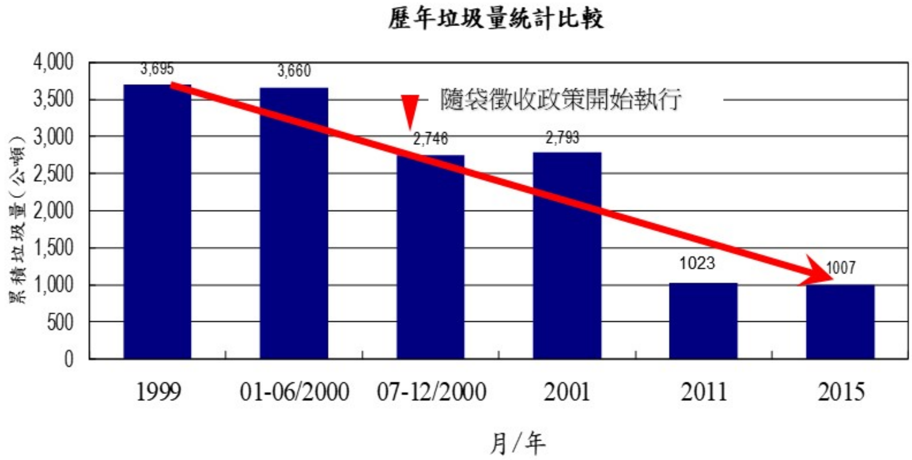

垃圾及污染

垃圾量變化
Waste Amount Index 1990-1999



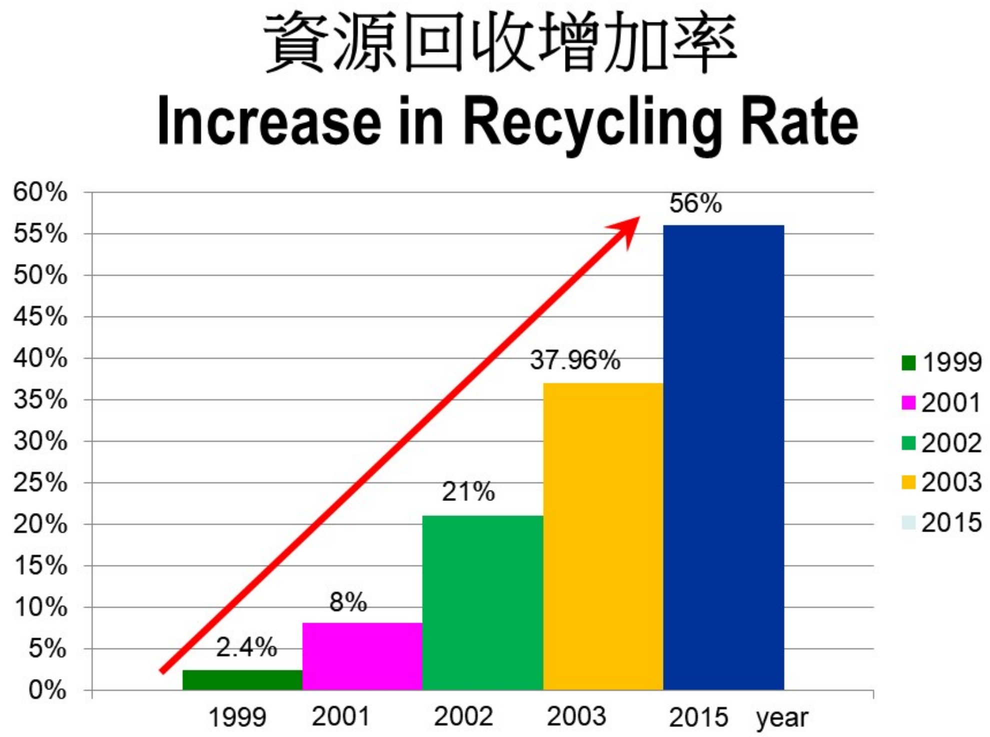
Page 3

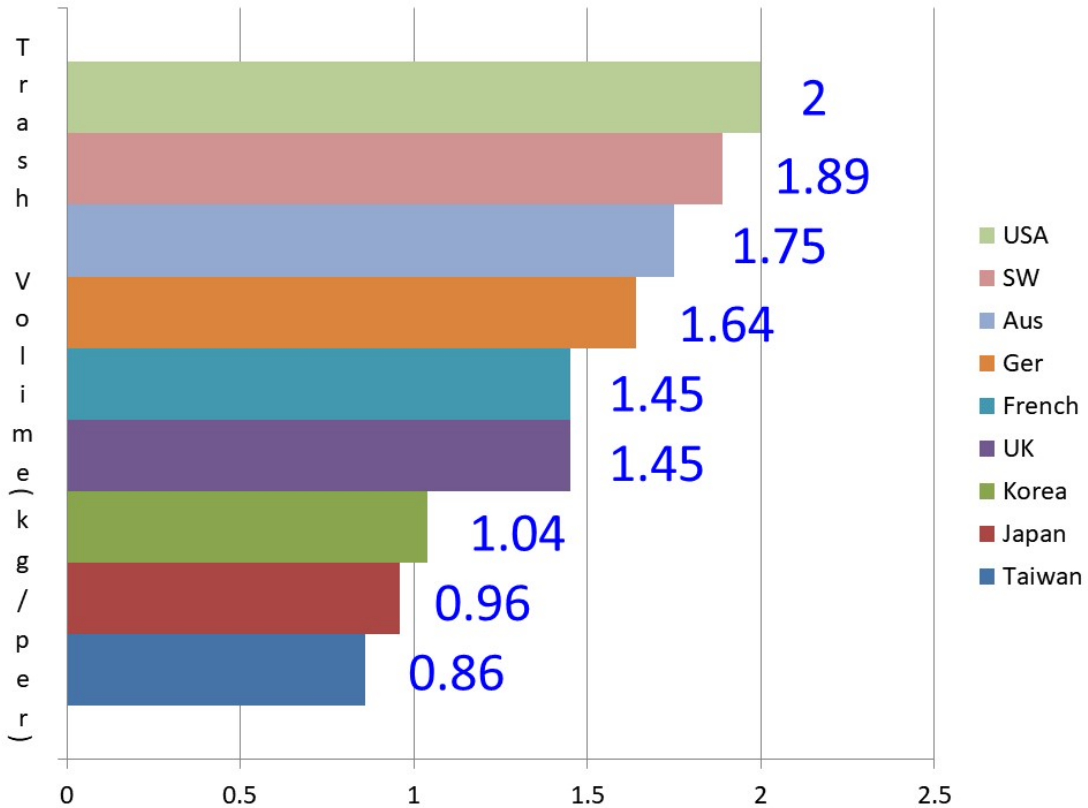
垃圾減量成果
Success in Waste Reduction



1.14公斤/每人每日

0.882公斤/每人每日


資源回收增加率
Increase in Recycling Rate
60%
55%
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
56%
37.96%
21%
8%
2.4%
1999
2001
2002
2003
2015
year
1999
2001
2002
2003
2015


Trash Volime (kg/per)
2
1.89
1.75
1.64
1.45
1.45
1.04
0.96
0.86
0
0.5
1
1.5
2
2.5
USA
SW
Aus
Ger
French
UK
Korea
Japan
Taiwan


THE WALL STREET JOURNAL.

Home World U.S. Politics Economy Business Tech Markets Opinion Arts Life Real Estate

LIFE

Taiwan: The World's Geniuses of Garbage Disposal

How the island, with landfills not far from capacity, became one of the world-wide leaders in recycling

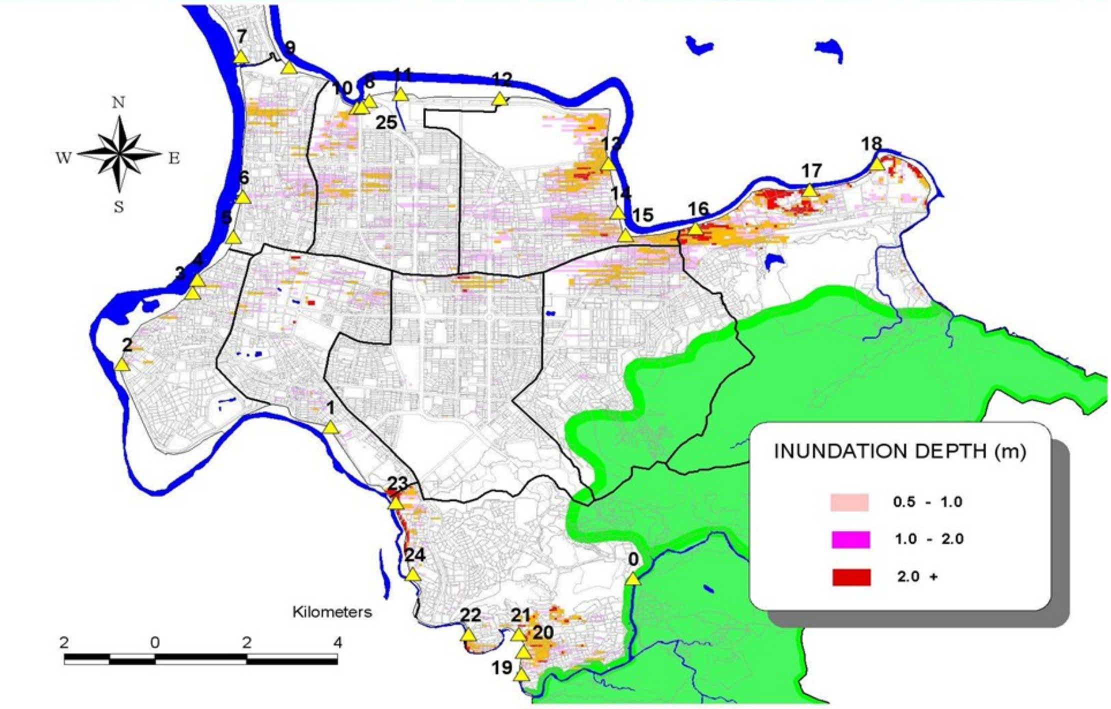
Taiwan's recycling rate of 55% makes it a world leader. Here are some numbers to know. Photo: Joyu Wang/The Wall Street Journal

By KATHY CHEN
May 17, 2016 5:05 p.m. ET

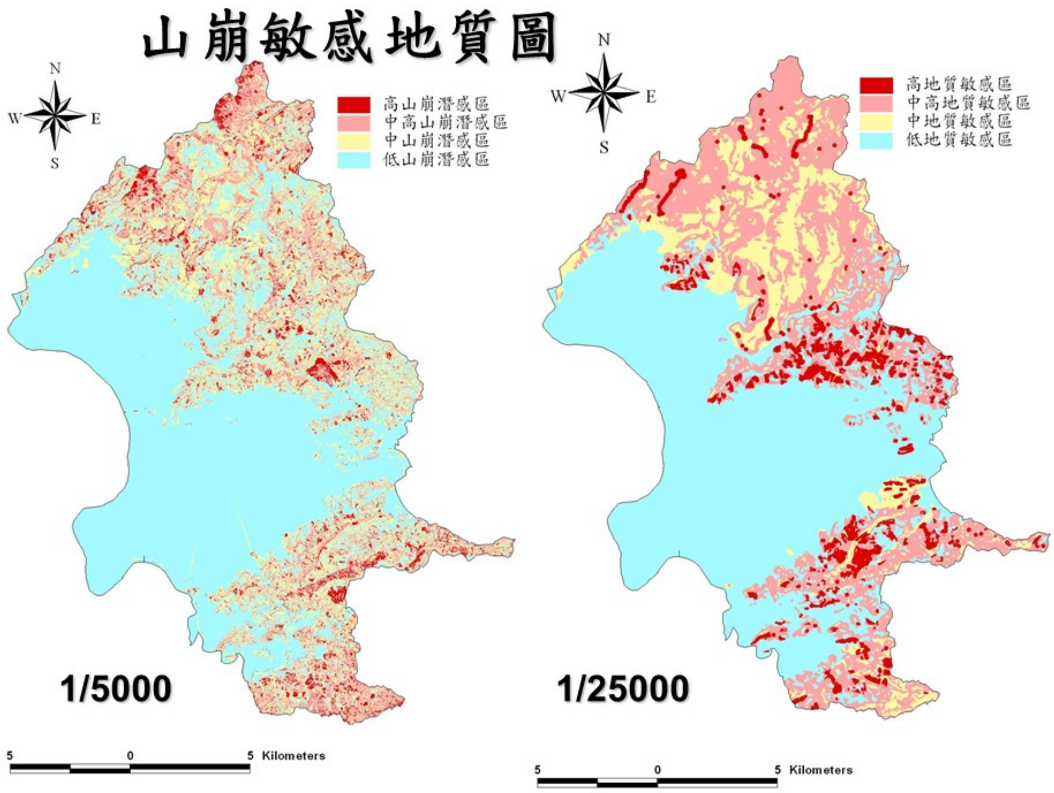
14 COMMENTS

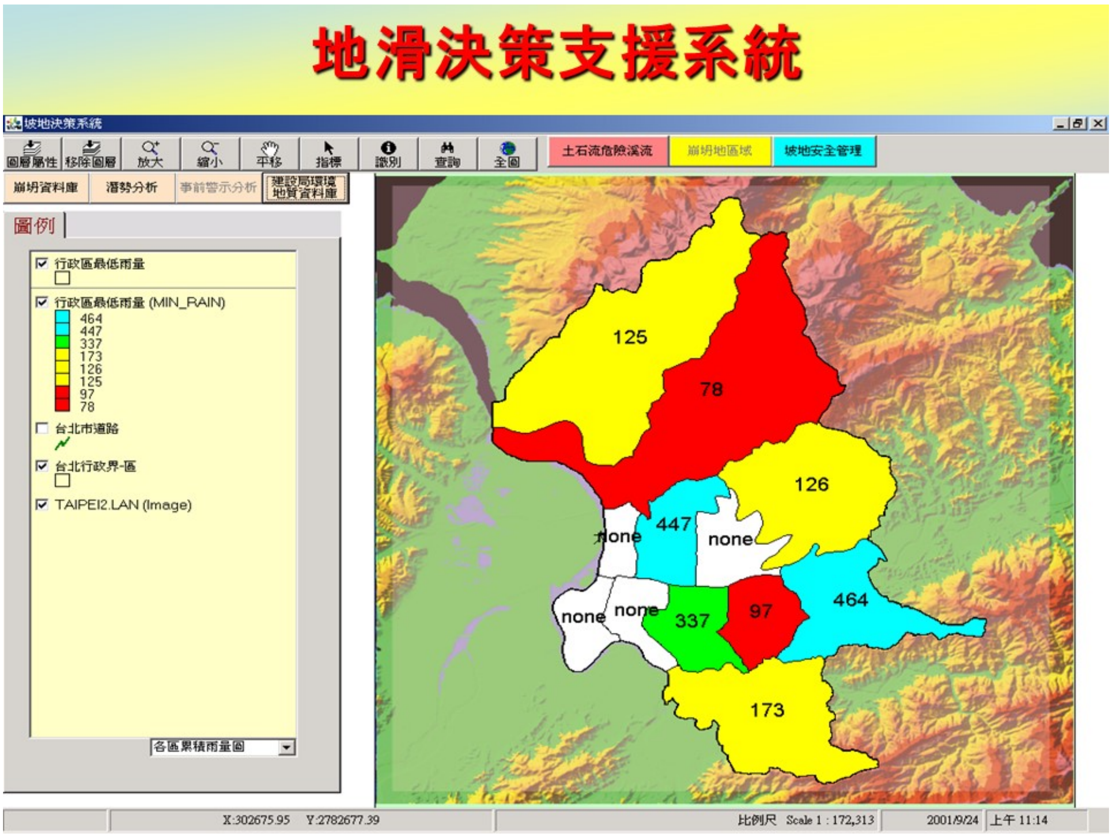
Taipei

淹水潛勢圖

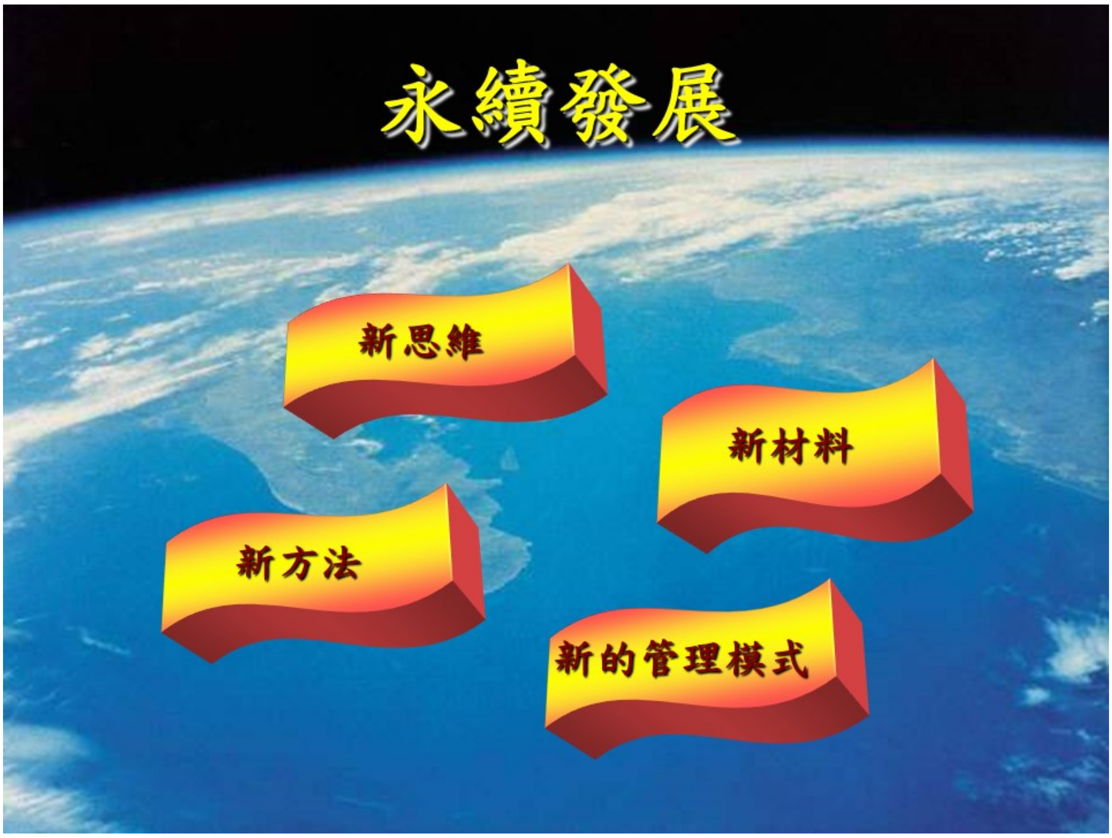


土石流


山崩敏感地質圖
N
W
E
S
高山崩潛感區
中高山崩潛感區
中山崩潛感區
低山崩潛感區
1/5000
5 0 5 Kilometers
高地質敏感區
中高地質敏感區
中地質敏感區
低地質敏感區
1/25000
5 0 5 Kilometers


地滑決策支援系統
坡地決策系統
圖層屬性
移除圖層
放大
縮小
平移
指標
識別
查詢
全圖
土石流危險溪流
崩坍地區域
坡地安全管理
崩坍資料庫
潛勢分析
事前警示分析
建設局環境地質資料庫
圖例
行政區最低雨量
行政區最低雨量 (MIN_RAIN)
464
447
337
173
126
125
97
78
台北市道路
台北行政界-區
TAIPEI2.LAN (Image)
各區累積雨量圖
125
78
126
447
none
none
none
none
337
97
464
173
X:302675.95 Y:2782677.39
比例尺 Scale 1 : 172,313
2001/9/24 上午 11:14


921地震東星大樓崩塌與重建


永續發展
新思維
新材料
新方法
新的管理模式


未來工程師面對更大的挑戰
必須更注意大自然環境變遷的影響
發展人類與大自然共生的系統
使用得更節省而擁有的更多
重視經驗的傳承與團隊的合作


工程師的堅持
前瞻性的視野
堅定完成任務的決心
誠實負責任的態度
超越時代的道德勇氣
以有限的生命來創造永恆
圖片來源：Bridgestone 網頁


感謝您的聆聽

2nd 柔性防護結構設計原理

3rd 營建 4.0--『4D 智慧城市』

營建4.0--『4D 智慧城市』

前 言
壹、 營建4.0
貳、 4D 智慧城市

工學院40年的蛻變與移轉		
1	電機/電子	科技/ 大資料、人工智慧、物聯網
2	機械	工業4.0、中國製造2025
3	化工	生醫、奈米、環保
4	土木	土木工程的典範移轉與蛻變

報告人: 蕭興臺 中華民國 2018 年 10月 26日

BIM產學研發中心 1 結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

前言、全球趨勢(電機/電子大數據BigData)

- 大數據：內部、外部、封閉、開放、(不)乾淨、(非)結構、有機
- 社群大數據：FB、Google
- 個人大數據：運動、心跳、血壓、收入、開銷
- 企業大數據：行銷、客戶、市場、需求、銷售、利潤、客訴
- 政府大數據：市民、違規、犯罪、收入、消費、天氣、菜價、房價、稅收
- IOT大數據：從各種感知器而來
- 系統大數據：從各種子系統而來

BIM產學研發中心 2 結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
前言、全球趨勢(電機/電子人工智慧AI)
人工智慧即服務
人工智慧的範疇與價值訴求
人工智慧技術與應用領域
資料
語音
音響
靜態圖像
動態影像
文件
Text
交易資料
定位資訊
登錄資訊
醫療資訊
不規則資訊
存儲型資訊
串流資訊
感測資訊
網絡資訊
其他資訊
應用領域
公共應用
• 交通、運輸、通訊
• 電力、瓦斯、水管
• 氣候、環境
• 防災、治安
產業應用
• 製造、農林水產
• 金融、商務、O2O
• 法務
• 經營管理
生活應用
• 娛樂、遊戲
• 健康、照護
• 教育
特定用途
• 汽車
• 機器人
• 醫療、醫藥
關鍵技術
辨識技術
• 聲音、影像、文字、生物辨識(辨識、臉部、指紋、虹膜、視網膜、掌形、靜脈紋、聲紋、步伐、筆跡、DNA)
• 自然語言辨識、資料庫辨識
人機介面技術
• 可視化、可聽化、互動交談
• 代理人(Agent)
知識探索技術
• 資訊檢索/萃取
• 資料探勘(Data Mining)
• 資訊回饋推薦
處理技術
• 最適化
• 設計
• 預測
裝置運作技術
• 監控
• 診斷
• 控制
基盤技術
學習型
• 機器學習(Machine Learning)
• 神經網絡(Neuron Network)
知識型
• 推理系統
• 知識庫
• 知識的表示
Fuzzy型
• 模糊推理
• 模糊控制
其他
• 遺傳模型
• 混沌模型
價值訴求
準確
快速
即時
便利
安全
可靠
廣泛
靈活
提升效率
獲利提升
穩定
通用
資料來源：日本特許廳；工研院 IEK(2016/02)
Copyright 2017 All Rights Reserved
21
BIM產學研發中心
3
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
前言、全球趨勢(電機/電子物聯網IoT)
物聯網經濟將近80%商機來自應用服務
巨量資料、使用者分析
人工智慧
串流資料採集分析
機器學習
機器視覺
In memory Processing
第3層：應用服務層
城市智慧應用
雲端運算、資料中心、伺服器
NFV
SDN
分散式儲存
Cloud RAN
雲端管理平台
資料安全
第2層：網路層
行動網路、無線區域網路、乙太網路
LTE (如 LTE-M, NB-IOT, LTE-U)
Wi-Fi (如 HaLow)
Self-Organizing Network
Massive MIMO
感測裝置、終端設備
第1層：感知層
SiP高階封裝技術
感測及辨識技術
低功耗處理器
能源採集技術
軟性顯示技術
物聯網商機
$262 Billion (79.9%)
$18 Billion (5.5%)
$17 Billion (5.2%)
$31 Billion (9.5%)
應用服務
系統整合
雲
網
端
資料來源：工研院IEK，Gartner，2016年3月
Copyright 2017 All Rights Reserved
11
BIM產學研發中心
4
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
前言、全球趨勢(電機/電子物聯網即服務IoTaaS)
協同共享服務
Uber以都市運籌服務為目標，打造共享生態系
Uber 目標
解決市場供需不平衡問題
叫車服務軟體
人流、車流、物流、金流、數據
解決都市交通物流問題
全球都市運籌生態系
交通運輸
金融服務
物流服務
保安服務
UBER
公交系統
雲端大數據系統
無人駕駛
機器人
行動監控
行動通訊
快遞服務
企業軟體
食物餐飲
商店百貨
電子商務
汽車貸款
各類交通工具需求媒合服務
美國地方政府
FlexBus
deCarta
TOMTOM
300個城市地圖與交通資訊
DELPHI
AIRBUS
TOYOTA
吉利汽车
VIET CAPITAL BANK
shopify
clover
NORDSTROM
Walmart
COLE HAAN
ChowNow
SAP
Google Express
T-Mobile
Carnegie Mellon University
資料來源：Uber；工研院IEK(2016/09)
BIM產學研發中心
5
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
前言、全球趨勢(機械 工業4.0)
經濟部
一、背景分析
(一)製造業全球趨勢
■資訊消費革命：因網路資訊發達，使產品壽命加速縮短，少量多樣及客製化成為主流。
■亞洲缺工問題：中國大陸、日本、台灣等面臨少子化、老年化，造成製造業生態轉變，及台商製造業升級的壓力。
■歐美再工業化：美國、德國為保持世界製造強權地位，相繼推出製造業升級計畫。
韓國2014年提出「製造業創新3.0策略」，協助中小型製造業建立智慧化與最佳化生產程序。
美國2011年推出「AMP計畫」，藉此重新取得國際製造競爭力領先地位。
德國2012年推動「工業4.0計畫」，藉此維持在全球製造領域的競爭優勢。
中國大陸2015年宣布實施「中國製造2025」，實現製造業升級，力爭到2025年從製造大國邁入製造強國行列
日本2013年提出「日本產業重振計畫」，透過設備和研發之促投來重振製造業。
主要國家製造業政策
BIM產學研發中心
6
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
China University of Technology
前言、全球趨勢(機械 工業4.0)
製造生產進化過程:1.0 自動化生產(資本密集)、2.0 產業自動化(技術密集)、3.0 產業e化(創新密集)、
4.0 智動化生產(智慧密集)，目的:快速彈性製造、少量多樣客製化。
網宇虛實系統 (Cyber Physical System, CPS)、
精實管理(Lean Management)、模擬系統(Sensoria Simulation)
物聯網(Internet of Things，IoT)、巨量資料(Big Data)
經濟部
四、台灣生產力4.0之政策觀點
PRODUCTIVITY 4.0
(一)政策核心理念：
我國結合精密機械(德國強項)、
資通訊(美國強項)及管理技術之
基礎，推動生產力4.0。
生產力4.0生態系統 (Ecosystem)
聯網服務製造系統
精實管理
物聯網
智慧機器人(智動化)
巨量資料
網宇實體系統 (CPS)
感測
應用
網路
P.6
BIM產學研發中心
7
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center

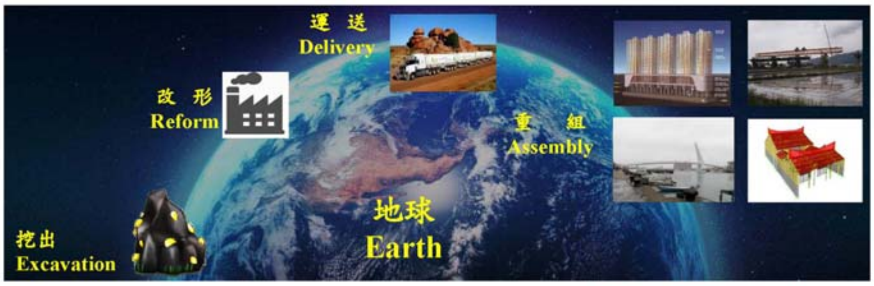

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
China University of Technology
前言、全球趨勢(化工 生醫產業)
全球及台灣生技醫藥產業現況
▶ 2014年全球藥品1.05兆美元，2010-14年複合成長4.45%； 醫療器材3,403億美元，2010-14年複合成長5.63%； 健康福祉約1.49兆（2015年統計額尚未出版）
▶ 2015年台灣生技及健康福祉營業額為新台幣4,215億元，醫療器材營業額為1,330億元，成長8%；製藥為772億元，受原料藥市場價格競爭影響，衰退7.2%；應用生技為884億元，成長7.5%；健康福祉為1229億元，成長9.5%
▶ 在台生技投資金額484億元，較2014年成長6%
▶ 台灣生技醫藥出口值為1,177億元，較2014年成長15%
歷年我國生醫產業營業額
2015年我國生醫產業營業額分佈
億元
5000
4000
3000
2000
1000
0
2011
2012
2013
2014
2015年
32%
21%
18%
29%
BIM產學研發中心
8
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
前言、全球趨勢(化工 奈米科技)
高度相關
製程相關技術開發
奈米材料科技的研究、開發、設計、驗證
熟悉化學 / 化工原理
檢查及檢驗報告結果判讀
奈米元件整合技術
中度相關
技術支援研發與專業推廣訓練
撰寫研發紀錄簿
化學製程安全層級及品管
BIM產學研發中心
9
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
前言、 4.0新思維
4.0產業新思維: (資料來源: 行政院2015重大科技策略會議2015/06/04)
製造業4.0、商業服務4.0、農業4.0→營建產業?
製造業4.0
商業服務4.0
農業4.0
農業4.0
我們期待的是....
智慧栽培
農業3.0
精密設施栽培
農業2.0
簡易設施栽培
農業1.0
露地栽培
資料來源：經濟部工業局
資料來源：經濟部商業司
資料來源：農委會
BIM產學研發中心
10
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

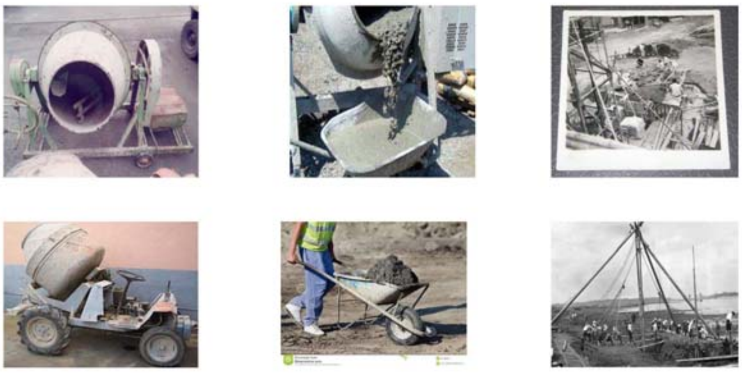
壹、『營建4.0』--營建產業的內涵



BIM產學研發中心　　11　　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

壹、『營建4.0』--營建1.0(場拌混凝土+人工)



BIM產學研發中心　　12　　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center


中國科技大學
China University of Technology
『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、『營建4.0』--營建2.0(預拌混凝土+施工機械)
BIM產學研發中心
13
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


中國科技大學
China University of Technology
『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、『營建4.0』--營建3.0(模組化生產+重型機械)
BIM產學研發中心
14
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、『營建4.0』--營建4.0(精實管理+資通科技)
精實供應煉、物聯網 (子計畫一)
BIM(含3D列印)情境模擬(子計畫二)
VR /AR/MR視覺化、行動化(子計畫三)
營建
4.0
第一屏:全球屏
(GIS)
第二屏:視覺屏
(BIM)
第三屏:信息屏
(IoT)
營建1.0→ 營建2.0→ 營建3.0
→ 營建4.0: (GIS+BIM+IoT)
(1)精實營建(Lean Construction)
(2)情境模擬 (BIM含3D列印)
(3)物聯網IoT
+大數據Big Data
+人工智慧AI
4D 工程資訊雲(子計畫四)
(網宇虛實系統,CPS)
BIM產學研發中心
15
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、營建4.0(分項一)—精實營建、物聯網
(Lean Construction 、 IoT)
精實營建、制程創新 (供應鏈→零等待、零浪費、零庫存)
(Lean Construction 、 IoT、Big Data)
供應鏈管理RFID
1 Manufactured
2 Read to ship
3 Received on site
4 Erected
Building information model
Report
16
BIM產學研發中心
16
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center

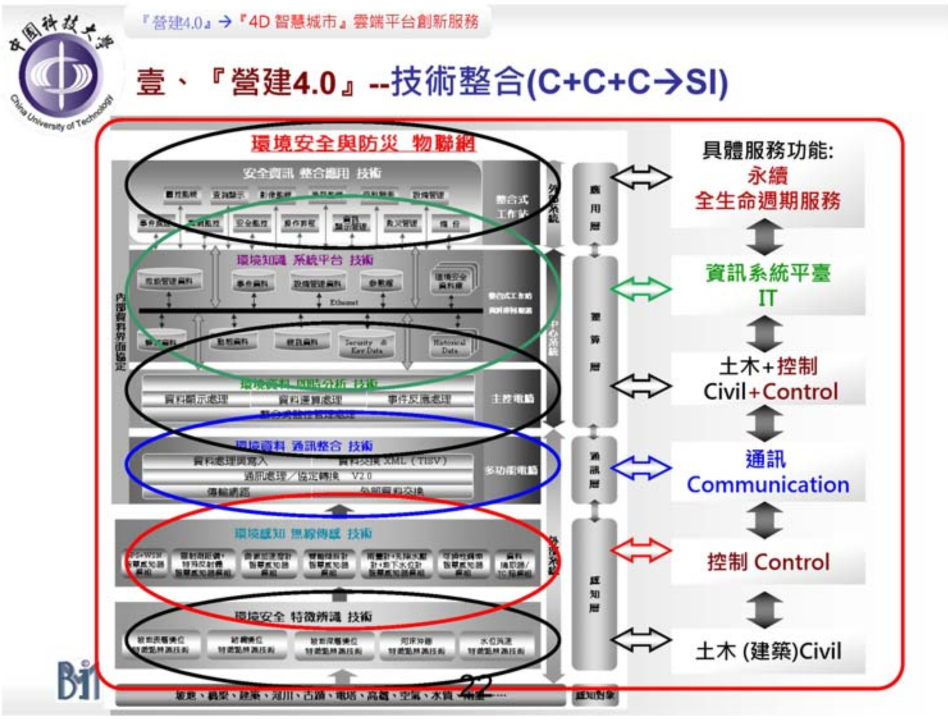

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、營建4.0(分項二)—情境模擬
BIM+3D Printing
情境模擬
(虛實整合模擬)
淡江大橋
撫台街洋樓老虎窗
國定古跡蔡氏宗祠BIM建模
國定古跡蔡氏宗祠3D列印
2017世大運溜冰場BIM建模
2017世大運溜冰場3D列印
BIM產學研發中心
17
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、營建4.0(分項三)—視覺化
虛擬實境(VR/AR/MR)、行動化(Mobile)
視覺虛擬化
VR/AR/MR
視覺行動化
Mobile
BIM產學研發中心
18
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、營建4.0(分項四)—4D 雲端平臺
(GIS+BIM+IOT)
第一屏:全球屏
(GIS)
第二屏:圖像屏
(BIM)
第三屏:信息屏
(IoT)
VR&AR
Mobile
BIM產學研發中心
19
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、『營建4.0』--營建4.0(全生命週期永續服務)
4D雲端平台永續服務功能:
1. 新建開發服務
2. 防災節能服務
3. 永續維運服務
4. 其他相關服務
維持管理費
32%
(主體)初期建設費
26%
50年LCC
設備/設備更新費
10%
能源費32.3...
開挖
施工
完工
永續
BIM產學研發中心
20
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、『營建4.0』--物聯網技術架構(IOT)
物聯網技術架構圖
應用層
安全防災
環境監測
節能環保
智慧家居
城市管理
通訊層
物聯網服務支援平台
物聯網資料中心
大數據分析中心
BIM圖像中心
Lte
5G
mmWave
Cloud Computing
WiMAX
ZigBee
WiFi
感知層
安全防災監控
智慧建築設備
環境節能設備
地震
淹水
火災
坡地
傾斜
位移
空氣
路燈
風速
日照
濕度
21


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
壹、『營建4.0』--技術整合(C+C+C→SI)
環境安全與防災 物聯網
安全資訊 整合應用 技術
環境知識 系統平台 技術
環境資料 通訊整合 技術
環境感知 無線傳感 技術
環境安全 特徵辨識 技術
具體服務功能:
永續
全生命週期服務
資訊系統平臺
IT
土木+控制
Civil+Control
通訊
Communication
控制 Control
土木 (建築)Civil
22

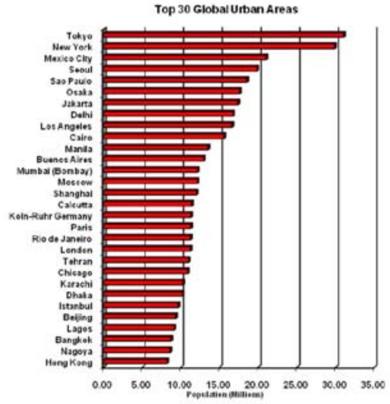
『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

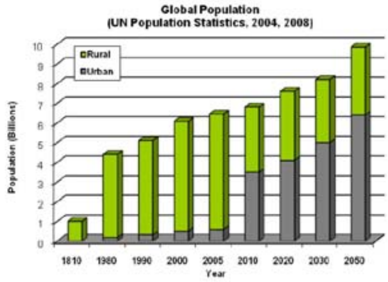
貳、『4D 智慧城市』--人口向城市集中

聯合國：預測 2050 年 70% 人口集中於都市(60億人)

Mega-City → Smart City(智慧城市)

國際電信聯盟： 2005 提出 Internet of Things, IoT，物聯網





Source: United Nations Population Estimates, 2008

23

結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

貳、『4D 智慧城市』--各國趨勢

時間	政策方向	說　　明
2006	韓國	22「u-City」城市 主要內容：安全、便利、健康、舒適。
2011	歐盟	智慧城市架構 主要內容：智慧交通、智慧生活、智慧環境、智慧公共管理、智慧能源、及智慧經濟
2011	日本	經濟產業省規劃**智慧城市** 主要內容：綠色電力能源、綠色生活綠色交通
2011	台灣	經建會:2011年:APEC**智慧社區**倡議行動會議 主要內容:智慧運輸、智慧建築、智慧電網、智慧就業與消費 內政部建築研究所:2010年 主要內容:智慧綠建築、智慧社區、智慧城市
2011	大陸	「感知中國物聯網」十二五計畫，中國電信公司提出**智慧城市** 主要內容:智慧交通、智慧通訊、醫療照護、環保、及安全防災

表一　國際智慧城市推動領域

城市	政府	教育	安防	健康醫療	能源	環保	交通	建築	觀光
紐約	0		0	0	0	0	0	0	
東京			0	0	0	0	0	0	0
橫濱			0		0	0	0	0	
新加坡	0	0		0	0		0		
哥本哈根	0				0	0	0	0	
奧胡斯	0			0	0	0	0		
巴塞隆納	0	0		0	0	0	0	0	0
巴黎	0	0			0	0	0		0
赫爾辛基	0		0		0	0	0		0
倫敦	0	0		0	0	0	0		0
阿姆斯特丹	0	0	0	0	0	0	0	0	
斯德哥爾摩	0		0	0	0	0	0	0	
維也納		0	0	0	0	0	0	0	
柏林	0	0	0	0	0	0	0	0	0
多倫多			0	0	0	0	0		
總　計	11	7	9	11	15	14	15	9	6

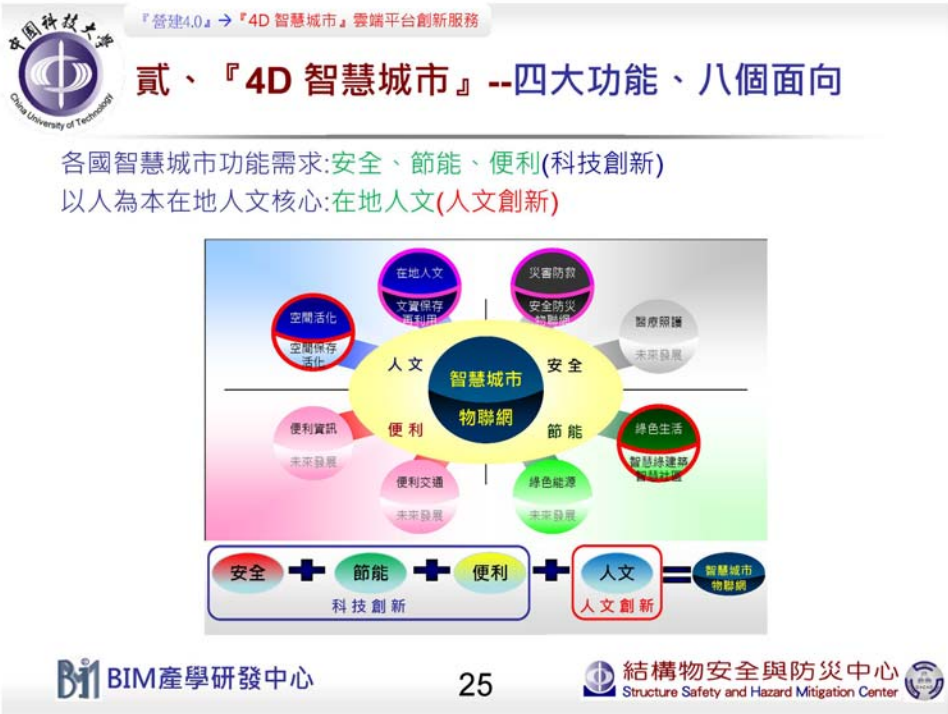
資料來源：MIC

資料來源： 張旭佑，" 全球智慧城市發展與商機" ，106/10 ，產業雜誌。

BIM產學研發中心

24

結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--四大功能、八個面向
各國智慧城市功能需求:安全、節能、便利(科技創新)
以人為本在地人文核心:在地人文(人文創新)
在地人文
文資保存再利用
災害防救
安全防災物聯網
空間活化
空間保存活化
醫療照護
未來發展
人文
安全
智慧城市
物聯網
便利資訊
未來發展
便利
節能
綠色生活
智慧綠建築
便利交通
未來發展
綠色能源
未來發展
安全 + 節能 + 便利 + 人文 = 智慧城市物聯網
科技創新
人文創新
BIM產學研發中心
25
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--Vision (4D Smart City)
Green
智慧住家→
智慧建築→
智慧社區→
智慧都市→
智慧臺灣
G + I - Taiwan
U - Taiwan
M - Taiwan
E - Taiwan
SMART CITY
智慧城市
Smart city
智慧綠 住家、建築、社區、城市發展示意圖
資料來源:內政部建築研究所
BIM產學研發中心
26
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--安全防災(災害案例)
地震災害--117阪神地震、921集集地震、512四川地震、311福島海域
117阪神地震
921集集地震
512四川地震
311福島海域地震
117阪神地震
921集集地震
512四川地震
311福島海域地震
BIM產學研發中心
27
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--安全防災(災害案例)
颱洪災害-- 辛樂克颱風(2008/08/09)、莫拉克颱風(2009/08/08)、
梅姬颱風(2010/10/21)
BIM產學研發中心
28
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--安全防災(災害案例)
火場災害
台中阿拉大火
2011年3月6日
雲林六輕
2012年7月25日
圓山飯店
1995年6月27日
臺北草山行館
2016年4月7日
BIM產學研發中心
29
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--安全防災(災害案例)
管線氣爆災害
高雄石化管線氣爆
2016年7月31日
台中瓦斯管線氣爆
2017年4月29日
台中瓦斯管線氣爆
2017年5月21日
BIM產學研發中心
30
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

貳、『4D 智慧城市』--安全防災(災害案例)

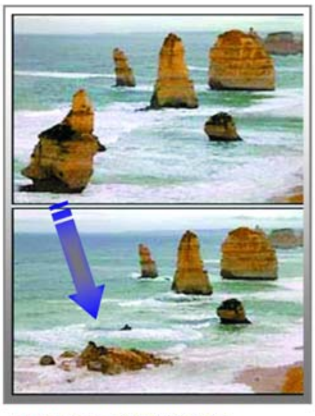
竊盜災害

BIM產學研發中心　31　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

貳、『4D 智慧城市』--安全防災(災害案例)

無颱無震災害



時間: 2005/07/03 9:19
地點: 澳洲 "十二門徒岩"

時間: 1995/06/29
地點: 南韓首爾三豐百貨
結果: 501死亡

時間: 2007/08/01
地點: 美國35W高速公路
結果: 4死60傷30失蹤

時間: 2010/04/25
地點: 國道三七堵段
結果: 4死亡

時間: 2012/12/2
地點: 日本山梨縣笹子隧道
結果: 9死亡

BIM產學研發中心　32　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--安全防災(防災需求)
需求探討:→服務流程設計
(1)平時 提供 安全預警 功能
(2)災時 提供 查報應變 功能
(3)災後 提供 復建診斷 功能
地震災害
颱風災害
火場災害
管線災害
BIM產學研發中心
33
Structure Safety and Hazard Mitigation Center
China University of Technology


智慧安全城市(Smart Safety City)
洪汛防災
地震防災
坡地防災
管線防災
空污防災
安全防災監控中心
坡地防災
洪汛防災
安全古蹟
安全廠房
安全社區
安全校園
安全路橋
安全施工
安全社區(建築)
安全校園
安全廠房
安全古蹟
安全路橋
安全施工
34

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

貳、『4D 智慧城市』--永續服務

全方位安全防災
(消防、結構、保全)

智慧設備維運
(機電設備、智慧設備)

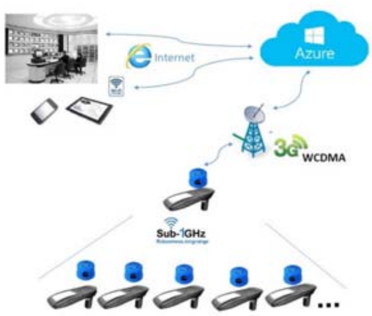
智慧物業管理
(生活、資產、空間)

BIM產學研發中心　35　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

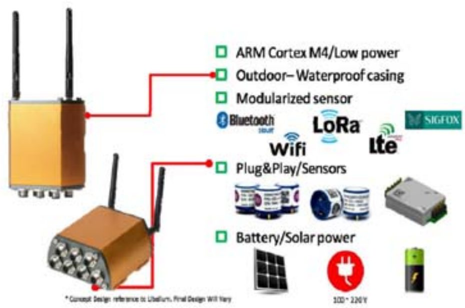
『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

貳、『4D 智慧城市』--環境節能(路燈、空汙)

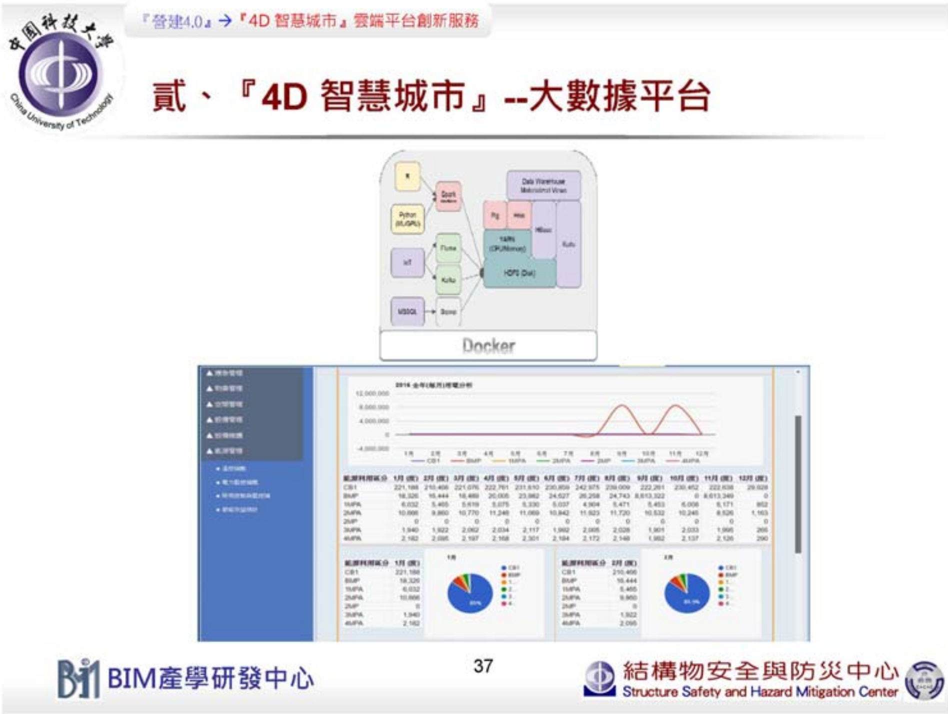
智慧路燈

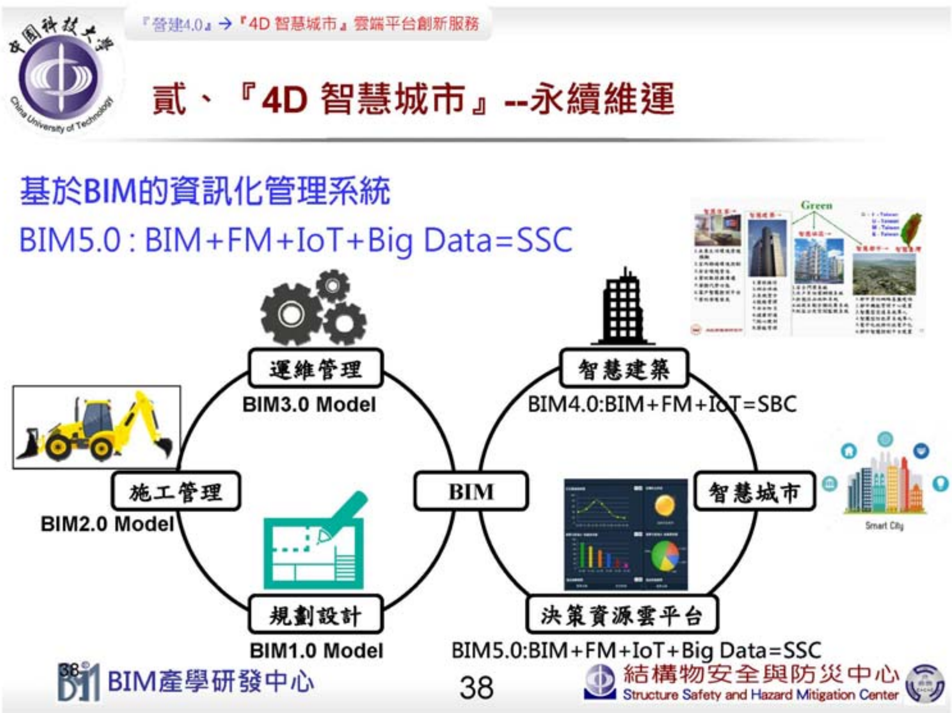


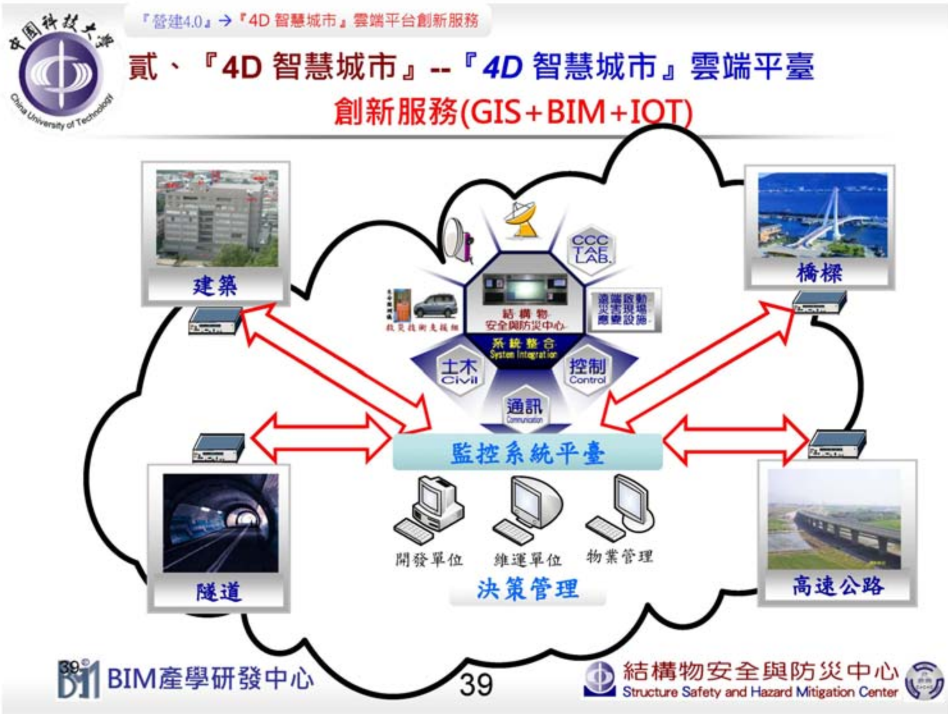
空氣品質PM2.5



BIM產學研發中心　36　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--大數據平台
Docker
BIM產學研發中心
37
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center


『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務
貳、『4D 智慧城市』--永續維運
基於BIM的資訊化管理系統
BIM5.0 : BIM+FM+IoT+Big Data=SSC
運維管理
BIM3.0 Model
智慧建築
BIM4.0:BIM+FM+IoT=SBC
施工管理
BIM2.0 Model
BIM
智慧城市
Smart City
規劃設計
BIM1.0 Model
決策資源雲平台
BIM5.0:BIM+FM+IoT+Big Data=SSC
BIM產學研發中心
38
結構物安全與防災中心
Structure Safety and Hazard Mitigation Center



『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

貳、『4D 智慧城市』--
『安全與防災物聯網』+『營建4.0』→『4D 智慧城市』

案例實績:

第一階段:環境安全與防災物聯網(IoT) 2008~2014
1. 2008 ~ 2010教育部重點特色計畫 三年2,520萬
2. 2012 ~ 2014經濟部學界科專計畫 三年6,000萬
3. 2015/01/01 技轉授權中興保全股份有限公司120萬元
4. 2014 --國家發明創作獎→銀牌創作獎 第一名(多功能地震求生警報器)

第二階段: 營建4.0(BIM+IoT) 2015~2017
1. 2016 ~ 2017 教育部技職再造二期計畫營建生產力4.0 二年1,100萬
2. 2016 ~ 2017 臺北捷運劍潭站懸吊式屋頂結構安全評估與防災監測系統規劃297萬
3. 2017 ~ 2018 基隆文化局劉銘傳隧道結構安全評估與3D BIM建置計畫550萬

第三階段:4D 智慧城市 (GIS+BIM+IoT) 2018~
1. 2016 ~ 2018 金門縣國定古蹟防災系統三年建置計畫2,100萬
(第一期計畫625萬已執行,第二期860萬已執行,第三期計畫規劃中)
2. 2017 ~ 2018 公路總局台64線觀音隧道BIM管理維護系統建置計畫464萬
3. 2018 ~ 2121 教育部「永續智慧綠城市物聯網」實作教學環境計畫(1,980萬)

2018 ~『4D智慧城市』雲端平臺創新服務

BIM產學研發中心 40 結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

附錄:建置案例(臺灣):『4D 智慧城市』雲端平臺 創新服務(GIS+BIM+IOT)

金門國定古蹟安全防災監控系統

第一屏:全球屏 (GIS)　第二屏:圖像屏 (BIM)　第三屏:信息屏 (IoT)

台64線快速道路觀音山隧道BIM管理維護系統

第一屏 GIS(大地屏)　第二屏 BIM(圖像屏)　第三屏 IoT(資訊屏，含設施維護、裂縫管理、監測資料等)

BIM產學研發中心　41　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

---

『營建4.0』→『4D 智慧城市』雲端平台創新服務

工學院40年的蛻變與移轉		
1	電機/電子	科技/ 大資料、人工智慧、物聯網
2	機械	工業4.0、中國製造2025
3	化工	生醫、奈米、環保
4	土木	土木工程的典範移轉與蛻變???

讓改變看得見

報告結束
敬請指教

BIM產學研發中心　42　結構物安全與防災中心 Structure Safety and Hazard Mitigation Center

4th 活塞杆点支式柔性缓冲系统冲击力学行为

活塞杆点支式柔性缓冲系统冲击力学行为

余志祥 1,2　严绍伟 1　许浒 1　赵世春 1,2*

（1.西南交通大学土木工程学院，四川成都 610031；2.陆地交通地质灾害防治技术国家工程实验室，四川成都 610031）

摘要：

针对公路、铁路沿线棚洞结构的落石防护问题，提出了活塞杆点支式柔性缓冲系统，该系统支撑于棚洞结构顶部，由缓冲器、环形网、支撑绳、活塞杆组成，对棚洞结构起缓冲防护作用。为研究缓冲系统冲击力学行为，设计了子结构模型，开展了 25kJ 能量冲击试验，结合动力非线性分析，研究了子结构模型的冲击变形、传力途径、内力响应以及缓冲消能特性。研究表明：活塞杆点支式柔性缓冲系统可有效实现落石防护，系统具有松弛变位、顶紧压缩、回弹释放三阶段变形特征，可实现缓冲、自复位及落石的可引导弹出；与普通钢压杆支撑模型相比，子结构模型的冲击力作用持时延缓 67%，冲击力峰值降幅达 30%；在相同冲击能量下，与砂土缓冲垫层和 EPS 缓冲垫层的冲击力相比，子结构模型冲击力峰值降幅分别达到 69%和 61%。最后，通过弹簧刚度参数分析，拟合得到子结构模型的性能曲线及其 P-s 相关方程。

关键词：缓冲系统；活塞杆；落石；冲击；力学行为

中图分类号: TU31　　文献标志码: A　　文章编号：

Mechanical behavior of piston rod point-supported flexible buffer system

Yu Zhixiang[1, 2]　*Yan Shaowei*[1]　*Xu Hu*[1]　*Zhao Shichun*[1, 2*]

(1. School of Civil Eng. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. National Engineering Laboratory for prevention and control of geological disasters in land transportation, Chengdu 610031, China)

Abstract: To solve the rockfall protection problems of rock-sheds along highways and railways, a piston rod point-supported flexible buffer system is proposed. Consisting of buffers, ring nets, support ropes and piston rods, the buffer system is supported on the top of a rock-shed and can provide buffer protection for the rock-shed structure. To study the mechanical behavior of the buffer system, a substructure model was designed and an impact test of 25kJ was carried out. The loading path and deformation feature, as well as the internal force response and system buffering characteristics were emphatically analyzed in combination with the test and numerical simulation. The results show that the substructure can successfully intercept a block with impact kinetic energy of 25kJ. The buffering process is characterized by three stages, i.e. relaxation deformation, compression deformation and deformation resilience. Compared with the steel column support model, the piston rod point-supported buffer system can reduce the maximum impact force by about 30%, and increase the impact time by 67%. Meanwhile, compared with those of the sand cushion layer and the EPS cushion layer, the maximum impact force of the substructure model reduces by about 69% and 61% respectively under the same impact energy. By adjusting the system configuration, the performance curve and the corresponding approximate formula are obtained under different spring stiffness conditions.

Keywords: buffer system; piston rod; rockfall; impact; mechanical behavior

E-mail: yzxzrq@126.com

一、　引 言

地震加剧了滚石落石灾害，公路、铁路隧道洞口常采用棚洞进行落石防护，保障行车安全。为防止落石冲击对棚洞结构造成破坏，常在其顶部设置缓冲垫层或缓冲部件，形成洞顶缓冲系统。覆土作为缓冲垫层较为常见，常与钢筋混凝土棚洞组合使用，研究论述颇丰[1-6]。但是，由于覆土自重大、缓冲性能有限、容易导致落石堆积[7-9]，因此使用上存在局限性。为了满足快捷安装和维养需求，也可利用钢结构、钢丝网和消能器组合形成钢结构棚洞，目前应用较多，但相关的基础研究较为鲜见。

为提高棚洞结构防护能力，很多学者着眼于研究具有更好缓冲性能的洞顶垫层材料。Kawahara[3]等通过试验发现增大砂土垫层厚度可有效降低落石冲击加速度，且材料干密度越小，缓冲效果越好。Schellenberg[4]等设计了一种由土工布、钢丝网和散粒填充物组成的阻尼块，并在阻尼块中分别填充砂土、泡沫玻璃和砾石作为缓冲材料，试验研究了三种类型阻尼块的冲击加速度、持时及冲击变形等。Effeindzourou[10]等在冲击试验基础上，构建了阻尼块的离散元模型，再现了

基金项目：国家自然科学基金（51408498，51678504）；四川省科技计划重点项目（2018JY0029）
作者简介：余志祥，博士，副教授，研究方向为结构工程
通讯作者：赵世春，博士，教授，研究方向为结构工程
收稿日期：

Schellenberg 的试验结果。Sun[11]等通过 12 组落石冲击试验研究了橡胶轮胎垫层的缓冲性能，发现橡胶轮胎能够减小棚洞顶部冲击力，且在橡胶轮胎内部填充砂石等材料能够提高缓冲垫层刚度与耗能能力。Hsu[9,12]等将聚苯乙烯泡沫（EPS）用作棚洞缓冲材料，提出了由 EPS、钢格栅和钢丝网组成的复合垫层，研究对比了复合垫层和砂垫层的抗冲击性能，结果表明复合垫层能够增大棚

洞顶板落石冲击作用面积，冲击力降幅最高可达 50%。总的来看，垫层材料研究的关键在于提高缓冲性能的同时，要尽量降低结构的负重。实际应用中，还常采用专门的金属缓冲器用于提升棚洞结构的防护能力。Delhomme[7-8]等在钢筋混凝土棚洞柱顶设置消能支座，开展了 6 次 1：3 缩尺试验，研究了消能支座对棚洞落石冲击动力响应的影响，消能支座虽降低了棚洞的冲击力峰值，但也出现了屈曲，棚洞顶板出现开裂破坏，需维修更换方能继续使用。柔性防护网系统和钢结构棚洞则常采用金属消能器作为缓冲部件，通过消能器的非弹性变形来消耗落石冲击动能，进行过载保护。消能器往往是落石防护系统的核心部件，Castanon-Jano[13]等对常用的消能器进行了全面研究，从试验、数值模拟、工作机理等多角度对比了消能器的缓冲特性。由于金属消能器具有极高的耗能/质量比(E/m)，采用较少的材料消耗便可获得较高的耗能，因此在落石防护工程中应用广泛[14]。此外，张路青[15]、吕志刚[16]等还分别在柔性防护网系统和泥石流拦挡坝中采用簧式缓冲器，将其设置于冲击作用的传递路径上，通过弹簧压缩蓄能以实现冲击力的消减，但该类缓冲器在棚洞结构中的应用研究鲜有报道。

上述研究成果提高了落石灾害的防护水平，但实际应用中棚洞结构被落石冲击损伤、破坏的事故仍然时有发生。以钢筋混凝土棚洞为例，虽然改良垫层材料可以降低棚洞负重，提升棚洞缓冲性能，但仍未从根本上解决落石堆积问题，加上缓冲垫层的缓冲能力有限，棚洞仍然可能被击穿（图 1a）。同样，新近应用的钢结构棚洞也因为设计理论不成熟、缓冲性能不足，落石发生时棚洞主体结构、拦截网片、钢丝绳等关键部件经常发生不可恢复性破坏（图 1b），给防护与维养带来巨大挑

战。

（a）钢筋混凝土棚洞[6]

（b）钢结构棚洞

图 1 棚洞典型破坏形式
Fig.1 Typical failure modes of rock-sheds

落石冲击时，棚洞结构通过洞顶缓冲垫层或缓冲部件消耗冲击能量，缓冲系统的性能直接决定了棚洞结构的防护能力。针对此，综合考虑轻质高强、安装简便、易于维护等因素，本文提出了一种活塞杆点支承式柔性缓冲系统，该系统由缓冲器、环形网、支撑绳、活塞杆四部分组成，应用时将其连接于棚洞结构顶部，实现落石缓冲与拦截。为研究缓冲系统冲击力学行为，设计了子结构试验模型，开展了 25kJ 能量的落锤冲击试验，结合动力非线性分析，研究了子结构模型的冲击变形、传力途径、内力响应、缓冲消能等，揭示了缓冲系统的抗冲击性能。

1 缓冲系统设计

从系统缓冲原理来看，无论是改良缓冲垫层还是采用金属缓冲器，其原理均为增加冲击过程中系统的缓冲变形或延长缓冲作用时间，从而达到降低冲击力的目的。但是，从既有研究文献来看[3,6]，缓冲垫层材料的冲击制动时间大多低于 30ms，与被动柔性防护网系统的缓冲时间[17-18]相比

存在数量级差异。因此可以将柔性防护网系统的优点与棚洞结构结合，形成新的缓冲系统。但需要指出的是，虽然被动柔性防护网系统的非弹性大变形可提高系统缓冲性能，但也会加大系统的冲击位移 s，导致落石直接接触冲击棚洞主体结构并造成破坏。为此，拦截部件与主体结构间的缓冲区高度 H 应综合考虑冲击位移 s 与冲击力 P 限制。实际应用中，应采用具有抗压能力的杆件将拦截部件支撑起来，形成缓冲隔离空间。因此，缓冲系统应包含拦截单元、缓冲单元、支撑单元，并采用恰当的边界条件，实现单元间合适的传力变形（图 2）。

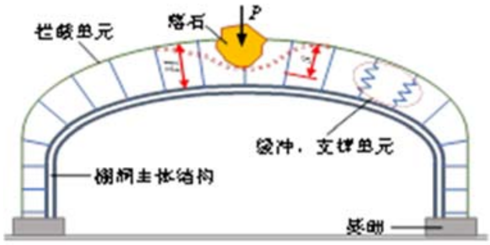


图 2 新型缓冲系统示意
Fig.2 Layout of the new buffer system

拦截单元直接承受落石冲击，抵抗冲切与张拉作用，可以采用柔性防护网系统中广泛应用的高强钢丝网，如绞索网、环形网等[14,17]。环形网由独立的网环柔体单元套接组成，各网环单元间可接触滑移，对落石冲击力的传播具有很好的适应性，可有效降低局部冲击导致的材料损伤[17]，因此新型缓冲系统优先考虑采用环形网作为拦截单元。

缓冲器的选择对系统缓冲变形影响很大，落石防护系统中常用的非弹性拉伸式消能器[13]虽然耗能效果很好，但非弹性变形较大，不利于控制缓冲距离，且变形不可恢复，对系统维护有一定影响。为此，本文采用螺旋弹簧作为缓冲单元，将其与支撑绳、支撑杆等关键受力部件结合，增强系统缓冲性能。

既有钢结构棚洞研究中，多将独立的挂网支撑架刚性连接在棚洞钢架顶部，落石冲击时，由于支撑架缺乏缓冲性能，容易导致支撑架屈曲失稳及钢架弯剪破坏[19]。为此，本文构建了活塞杆模型（图 3），活塞杆由两根不同直径的圆钢管嵌套而成，并在圆钢管相交部位外套螺旋弹簧，受压时

形成活塞效应，以提高支撑杆件的缓冲能力，减少钢架冲击力。

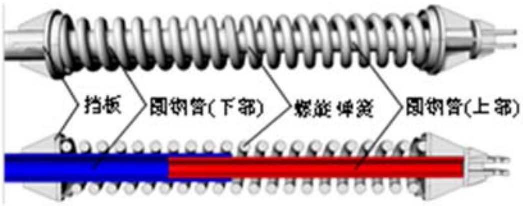
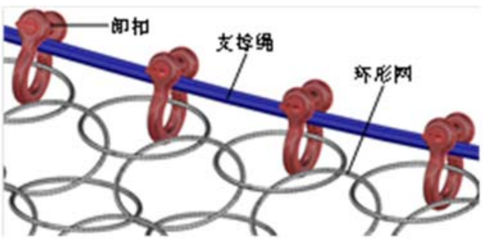


图 3 活塞杆设计原理
Fig.3 Design principle of the piston rod

同时，为了保证支撑杆工作的整体性，进一步将活塞杆相互连接形成四角锥网架腹杆，以支撑绳代替四角锥网架上弦杆，并将支撑绳与四角锥网架、环形网的连接设置为滑移边界（图 4），形成活塞杆点支式柔性索网支撑体系（图 6）。

（a）支撑绳滑移边界



（b）环形网滑移边界

图 4 滑移边界
Fig.4 Slip boundary

实际应用时，支撑绳通过最外沿四角锥单元顶部的可滑动支座后（图 4a），可牵引至棚洞附近的岩体或者直接在棚洞主体结构上进行锚固，并在支撑绳锚固点附近串联螺旋弹簧（图 5），对锚杆、支撑绳形成缓冲保护。

图 5 支撑绳缓冲单元
Fig.5 Buffer unit of the support rope

综上所述，本文建立了活塞杆点支式柔性缓冲系统，系统由缓冲单元（螺旋弹簧缓冲器）、拦截单元（环形网）、支撑单元（活塞杆、支撑绳）构成（图 6）。实际应用时，可将图 6 所示的缓冲系统子结构相互连接形成整体缓冲系统，并将其铰接支撑于棚洞主体结构上部，实现落石的缓冲与拦截。

2 缓冲系统力学行为

2.1 模型试验

为研究活塞杆点支式柔性缓冲系统的冲击力学行为，设计了子结构试验模型（图 6），模型有效防护面积 2.0m×3.0m，有效缓冲区高度为 2.0m，模型中各部件类型及其连接方式参考第 1 节。试验时，为模拟缓冲系统各子结构单元间的侧向约束作用，在支撑绳水平段跨中部位连接拉锚绳，表 1 为模型构件信息。

参考欧洲 ETAG-27 规范[20]，在陆地交通地质灾害防治技术国家工程实验室展开足尺冲击试验。试验忽略落石滚动效应，采用自由落体冲击，将质量为 340kg、特征长度为 0.6m 的二十六面体钢筋混凝土标准落锤竖直提升 7.5m，校准位置，然后释放落锤，冲击动能为 25kJ，落锤冲击部位为子结构模型中心区域（图 6）。

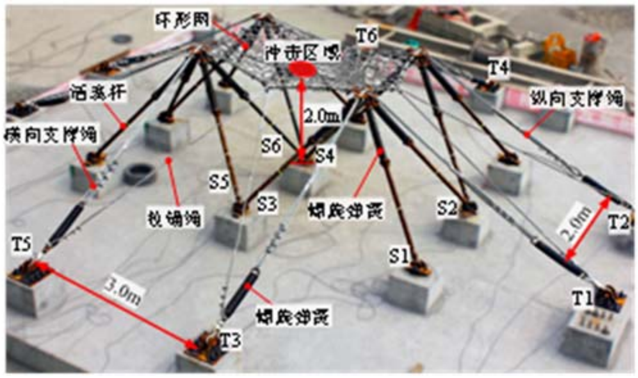


图 6 子结构试验模型
Fig.6 Substructure test model

表 1 试验模型主要构件规格
Table1 Main component specifications of the test model

构件名称	规格	材料	备注
环形网	R7/3/200	—	—
支撑绳[21]	2Φ18	6x19s+IWR（钢芯）	1770MPa
拉锚绳[21]	1Φ16	6x19s+IWR（钢芯）	1770MPa
活塞杆(上部)	Φ48x9	Q235B	235MPa
活塞杆(下部)	Φ68x8.5	Q235B	235MPa
螺旋弹簧[22]	YB 25×100×830	—	309kN/m

在活塞杆靠近支座位置沿杆件轴方向粘贴动态应变片（以字母 S 表示），钢丝绳锚固点部位连接拉力传感器（以字母 T 表示），采用 DEWE800 动态采集仪进行数据采集，采样频率为 10kHz；采用四台 OLYMPUS 高速摄影机分别从 0°、45°、90°和俯视四个方位进行运动变形数据采集，落锤的加速度时程则由与落锤相连的加速度传感器进行测量，各测点位置如图 6 所示。

2.2 数值模型

采用 LS-DYNA 对缓冲系统子结构冲击过程进行模拟，计算理论详见文献[14,23-25]。计算模型中，环形网采用分段线性塑性材料和梁单元进行模拟，支撑绳沿活塞杆网架顶端的滑移过程可通过构建安全带单元[24]实现，落石与网环的接触采用梁-面自动接触，网环以及网环与支撑绳之间设置

为通用接触，保持离散状态，滑动接触面遵循库伦摩擦定律（式 1）。

$$\mu\left(\dot{\mathbf{g}}_T\right)=\mu_D+\left(\mu_S-\mu_D\right)e^{-c\left\|\dot{\mathbf{g}}_T\right\|} \qquad (1)$$

式（1）中，$\dot{\mathbf{g}}_T$ 为接触体间的相对滑移速度；μ_S 为静摩擦系数，取 0.15；μ_D 为动摩擦系数，取 0.1；c 为指数衰减系数，描述了静摩擦系数趋近动摩擦系数的速度。

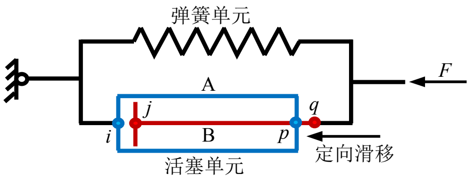
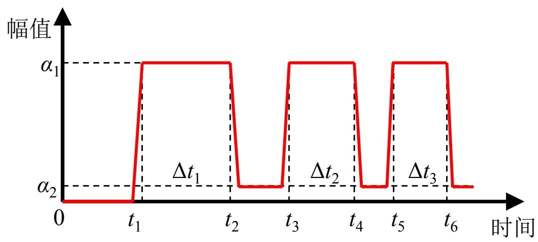
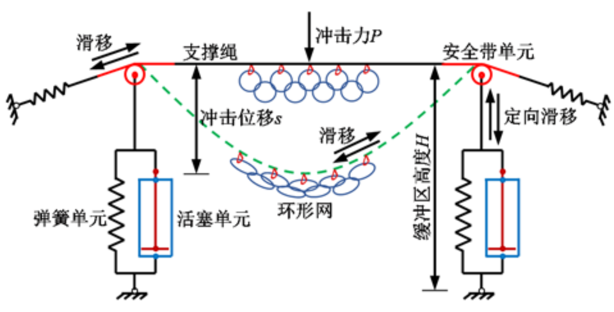


图 7 弹簧活塞单元
Fig.7 Spring-piston element

为模拟图 3 所示活塞杆的工作过程，构建了弹簧活塞单元，如图 7 所示。弹簧活塞单元由活塞单元和只受压弹簧单元并联组成，其中活塞单元由两对同位节点对（i，j）、（p，q）组成，节点 i、p 连接形成刚性杆 A，节点 j、q 连接形成刚性杆 B，两对节点分别采用罚函数方法建立约束关系[25]，外荷载 F 作用下杆单元 A、B 可沿轴线定向滑移。



（a）阻尼时变曲线



（b）系统动力学模型

图 8 数值计算模型

Fig.8 Numerical model

显示动力算法中，为了保证冲击波传递过程在每个单元上的遍历性，必须严格控制足够精细的时间步长，为此设置时间步长 $\Delta te \le 0.00001s$。多柔体系统的阻尼主要来自质量阻尼，落锤触网前近似为无阻尼刚体，系统阻尼来自于子结构模型本身，接触冲击发生后，落锤与子结构模型共同运动，极大增加了系统的质量阻尼，因此这是一个变阻尼过程，为了考虑系统质量阻尼的动态变化过程，定义阻尼系数 Ds 随时间变化[24]（图 8a）。图 8a 中，0 时刻落锤开始下降，t1 时刻落锤与环形网接触，t2 时刻落锤回弹外抛，t1-t2 阶段即为第一次接触冲击过程，对应幅值系数 $\alpha 1=1$。t2-t3 阶段落石脱离环形网，缓冲系统产生微小回弹，对应幅值系数 $\alpha 2=0.05$。t3 时刻落锤再次下落接触环形网形成二次冲击，以此类推可得出多次接触冲击过程的阻尼变化情况，各次接触冲击持时 Δti 由试算近似得到。

图 8b 为缓冲系统子结构有限元模型，模型信息详见表 2，共计 4938 个单元，5401 个节点，该模型后续称为“模型 A”。同时，将“模型 A”中的弹簧活塞杆替换成普通杆单元，构建了“模型 B”，便于比较活塞杆对系统缓冲性能的影响。

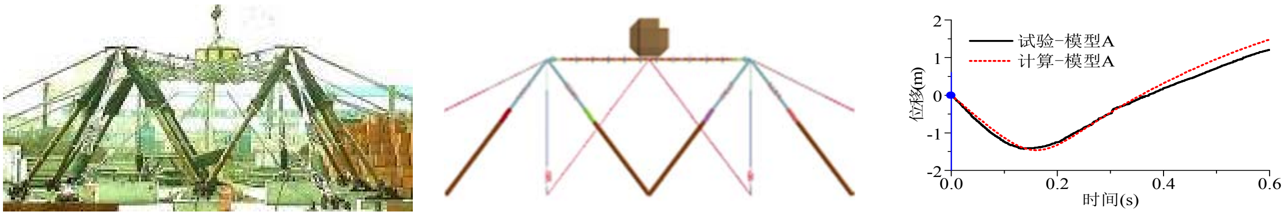
表 2 有限元模型材料及单元特性
Table2 Material and element characteristics of the finite element model

部件名称	密度(kg/m^3)	泊松比	弹性模量(MPa)	屈服强度(MPa)	单元类型	材料类型
环形网	7850	0.3	1.2×10^5	—	梁	分段线性塑性
钢丝绳	7850	0.3	1.5×10^5	—	索	弹性
活塞杆	7850	0.3	2.0×10^5	235	梁	两阶段弹塑性
弹簧	—	—	—	—	弹簧阻尼	非线性弹簧
落锤	2500	0.2	2.0×10^4	—	实体	刚体

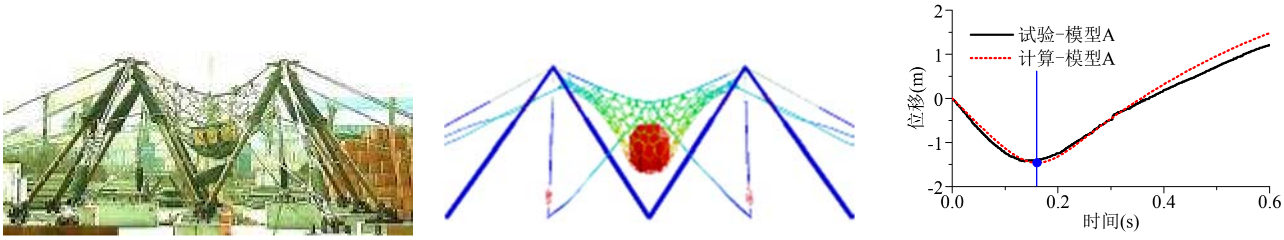
2.3 冲击变形

试验结束后，落锤被成功拦截，模型中各构件均未出现明显的细部损伤。采用 Pro-Analyst 软件

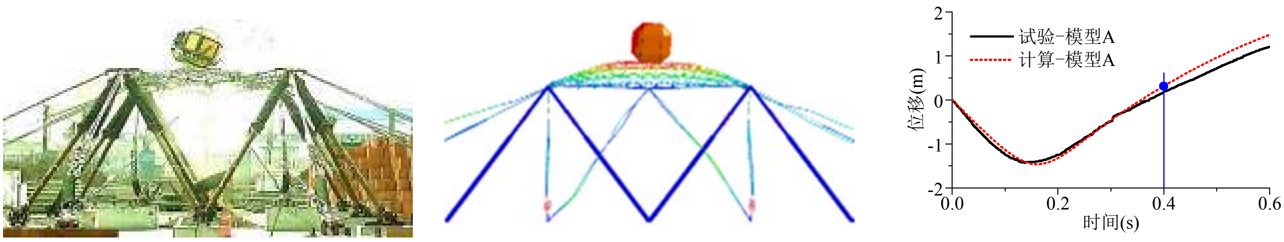
对高速视频进行解构，并结合数值模拟分析，选取落锤触网、系统压缩变形、落锤回弹外抛等几个关键时刻进行分析。试验（列 1）与数值模拟（列 2）冲击过程及其位移时程曲线（列 3）如图 9 所示。



（a）落锤触网（t=0s）



（b）最大冲击变形（t=0.16s）



（c）落锤离网（t=0.4s）

图 9 落锤冲击过程
Fig.9 Impact process of the block

从高速视频分析来看，模型先后经历了 3 次冲击-回弹往复大变形，最终落锤回弹外抛，本文选取第一次冲击历程动力响应结果进行分析（图 9）。表 3 为系统部分运动变形统计结果，可以看出，试验与数值模拟的冲击位移、接触冲击持时（落锤触网至第一次回弹离网）均吻合较好。落锤回弹高度误差较大，与阻尼参数具有近似性有关。

表 3 运动变形特征
Table3 Characteristics of motion and deformation

项目	试验	数值模拟	误差
最大冲击位移（m）	1.43	1.46	2.1%
落锤回弹高度（m）	2.00	2.41	20.5%
接触冲击持时（s）	0.44	0.40	9.1%

总体来看，系统缓冲过程具有三阶段特征：

第一阶段：持时约 0.04s，落锤开始接触环形网（图 9a），环形网因冲击作用产生 V 型大变形。但是，由于网环间初始松弛性较大，加之网环与边界支撑绳间可相对滑移，因此冲击变形获得释放，支撑绳受力不大，也未见滑动，活塞杆不产生压缩变形。该阶段末期环间滑移趋于结束，环网张紧。

第二阶段：持时约 0.12s，环间滑移结束，冲击变形持续增加。支撑绳开始沿活塞杆网架顶部支座滑移，活塞杆在摩擦力作用下产生偏摆，同时伴随轴向压缩变形。该阶段末（图 9b），系统变形充分发育，变形呈漏斗状，活塞杆偏摆与压缩变形均趋于最大。

第三阶段：持时约 0.24s，落锤开始回弹，活塞杆和支撑绳上的弹簧变形能获得释放。由于系统安装误差，接触面反弹受力具有不均匀性，首次回弹过程中落锤出现斜抛（图 9c），并在后续冲击过程中逐次加剧。实际应用时，若将缓冲系统倾斜布置，则可利用这种“弹出效应”，实现落石自清理。

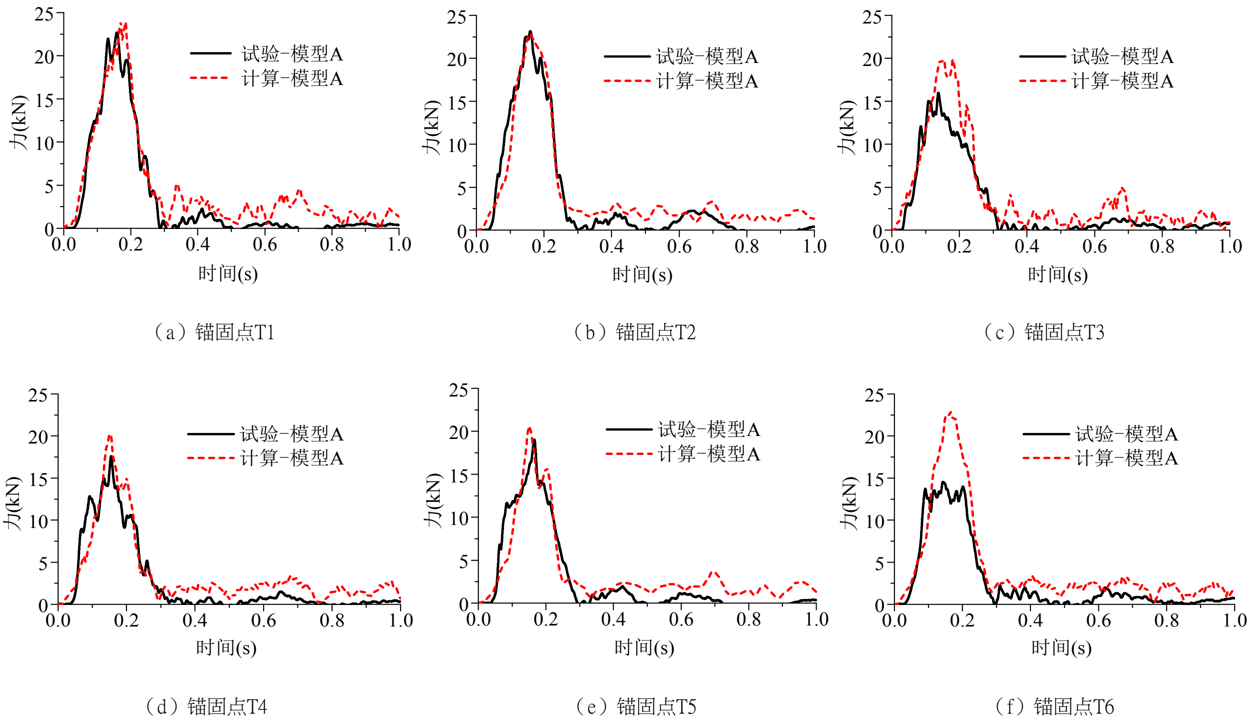
2.4 构件受力与传力

（1）钢丝绳

图 10 为落锤冲击作用下各钢丝绳锚固点反力时程，位置与编号参见图 6。由于模型布置的不对称，纵向支撑绳锚固点（T1-T2）反力峰值略大于横向支撑绳锚固点（T3-T6）。但总体来说，各钢丝绳锚固点反力峰值大致维持在 20kN 左右。

钢丝绳在受力张紧后内力迅速增加，其陡升段与回落段分别对应于 2.3 节中第二、三阶段。以

锚固点 T1 为例（图 10a），落锤触网后，由于系统的初始松弛变形，锚固点反力并未急剧增加，而是出现一个持时较短的平台段；第二阶段，由于张拉作用，支撑绳弹簧拉长变形，锚固点反力攀升，系统达到最大冲击变形时，最大拉力达 22.7kN，历时约 0.16s；进入第三阶段，系统变形恢复，落锤回弹，支撑绳、拉锚绳沿原变形路径反向运动，锚固点反力回落，在 0.3s 后锚固点 T1 反力基本恢复至零，并随着钢丝绳的摆动出现少量波动并逐渐趋于平稳。



（a）锚固点T1 （b）锚固点T2 （c）锚固点T3

（d）锚固点T4 （e）锚固点T5 （f）锚固点T6

图 10 钢丝绳锚固点反力时程曲线
Fig.10 Reaction time-history curves of anchorage points of wire ropes

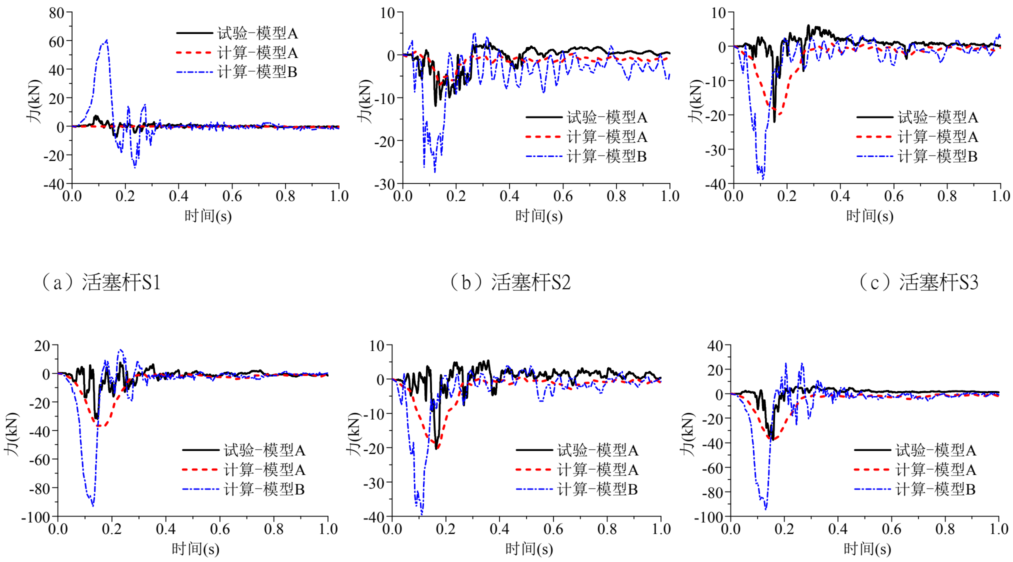
（2）活塞杆

通过粘贴于活塞杆端部的动态应变片记录了杆件的轴力响应，位置与编号如图 6 所示，图 11 为各活塞杆轴力时程曲线。总体而言，活塞杆的动力响应也具有三阶段特征：第一阶段主要为系统从松弛到变形张紧阶段，传递至活塞杆的冲击力较小，轴力时程较为平缓；第二阶段中，活塞杆轴力增大，弹簧快速压缩变形，活塞杆轴力在该阶段末期达到峰值；进入第三阶段后，落锤回弹，弹簧变形能释放，活塞杆回弹伸长，内力逐渐回落至零。据实测显示，第一波冲击完成后，各活塞杆仍处于弹性状态。

与普通钢压杆（模型 B）相比，活塞杆优势主要体现在轴力峰值、响应持时以及轴力振荡幅度三个方面，具体表现为：其一，相同能量落锤冲击作用下各活塞杆轴力峰值均小于钢压杆，落锤冲击过程中活塞杆最大轴力值约为 37.0kN（图 11f），而对应位置普通钢压杆轴力峰值约为 95.0kN，增幅达 157%；其二，相同能量落锤冲击作用下各活塞杆轴力响应持时均大于普通钢压杆，活塞杆轴力响应持时约为 0.3s，而普通钢压杆约为 0.18s，降幅约为 67%；其三，与普通钢压杆相比，由于活塞杆上并联了缓冲弹簧，增大了刚度阻尼，其轴力时程的振幅变化相对平缓。

需要指出的是，由于活塞杆与缓冲弹簧的连接方式为刨平后接触顶紧（图 3），因此活塞杆为只受压单元，其理论上无法受拉。但由于加工的偏差以及冲击过程传力变形的复杂性，当活塞杆做活塞式伸长变形时，难免出现卡阻等问题，导致实际试验时活塞杆并不是理想的只受压状态，因此与理论计算相比，活塞

杆实测轴力时程中出现了小幅度的拉力振荡，但拉力值很小，不影响对结果的分析判断。



（a）活塞杆S1　（b）活塞杆S2　（c）活塞杆S3

（d）活塞杆S4　（e）活塞杆S5　（f）活塞杆S6

图 11 活塞杆轴力时程曲线
Fig.11 Axial force time-history curves of piston rods

2.5 系统缓冲性能

（1）系统耗能

对子结构模型中各关键部件内能进行统计，如表 4 所示。落锤初始冲击动能为 25kJ，但落锤触网后由于重力持续做功，实际总冲击能量约为 30.7kJ。当落锤第一次达到最大冲击位移时，弹簧内能为 15.7kJ，约占总冲击能量的 51%；环网内能为 5.0kJ，约占总冲击能量的 16%。冲击结束后，从缓冲吸能来看，主要依靠弹簧；但从耗能来看，主要源于系统阻尼，约占总冲击能量的 45%，系统其余部件几乎不耗能。

表 4 系统能量分配
Table4 Energy distribution of the system

项目	能量（kJ）	
	第二阶段末	第三阶段末
环形网	5.0	0.9
弹簧	15.7	0.07
系统阻尼	8.7	13.8
其余部件	1.3	0.3

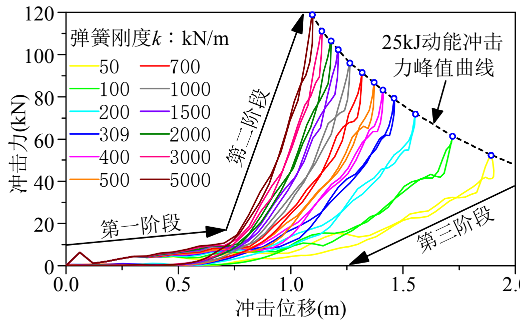
（2）系统 P-s 相关性

表 5 为缓冲系统子结构模型（模型 A）与包括模型 B 在内的其它缓冲系统的冲击力响应对比。与模型 B 相比，模型 A 冲击力峰值降幅达 30%，冲击力持时延长约 67%。同时，根据文献[9,12]所推荐的缓冲垫层冲击力计算公式，采用 2.1 节所述落锤冲击参数，得出 25kJ 落锤冲击动能下 0.9m 厚的砂垫层和 EPS 垫层的最大冲击力分别为 249.7kN 和 199.3kN，相比之下，模型 A 冲击力峰值降幅分别达到 69%和 61%。可见，本文提出的缓冲系统冲击力大幅度降低，缓冲性能提升明显，且系统回弹后各部件均未见明显的塑形损伤，使得系统具有抵抗二次冲击的能力，便于维护。

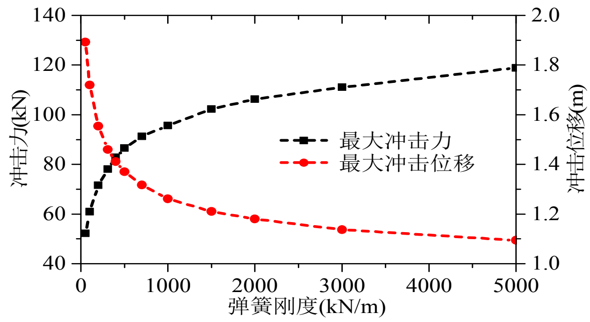
表 5 系统冲击力响应对比
Table5 Comparison of impact force responses

缓冲系统	最大冲击力（kN）	冲击力持时（s）
试验-模型A	65.7	0.26
计算-模型A	78.0	0.30
计算-模型B	111.4	0.18

0.9m厚砂垫层	249.7	—
0.9m厚EPS垫层	199.3	—



（a）系统性能曲线



（b）最大冲击力与最大冲击位移

图 12 系统 P-s 性态关系
Fig.12 P-s relationship of the system

此外，分析了弹簧刚度从 50kN/m 至 5000kN/m 递增条件下子结构模型的缓冲性能曲线（图 12a），并根据计算结果建立了 25kJ 落锤冲击动能下弹簧刚度、子结构模型的最大冲击力、最大冲击位移的相关曲线（图 12b）。据图 12 分析易知，系统缓冲过程为变刚度非线性过程，弹簧刚度对系统第一阶段刚度影响很小，该阶段的系统性能曲线基本保持一致。弹簧刚度对系统第二阶段的刚度影响非常明显，系统刚度随着弹簧刚度的增大明显增大，冲击力峰值也逐渐增大，相应的冲击位移逐渐减小。对图 12a 进行曲线拟合，发现各性能曲线呈指数增长关系，近似服从式（2）分布。

$$P(s)=0.5e^{\frac{s}{b}}-0.5 \tag{2a}$$

$$b=0.17+\frac{0.787}{1+(0.1k)^{1/2}} \tag{2b}$$

式（2）中，s，P（s）分别为模型第一、二阶段任意时刻的冲击位移（m）与冲击力（kN），s 取值范围为（0,2）；b 为与弹簧刚度 k（kN/m）相关的常数，可通过式（2b）求得。

3 结论

综上所述，可得如下结论：

（1）弹簧、环形网、滑移索及活塞杆可整合形成活塞杆点支式柔性缓冲系统实现落石防护。落石冲击时，系统具有松弛变位、顶紧压缩、回弹释放三阶段特征，可实现缓冲、自复位及落石的可引导弹出。

（2）与普通钢压杆支撑模型相比，缓冲系统子结构模型的冲击力峰值降幅达30%，冲击力持时增加 67%；与砂垫层和 EPS 垫层相比，子结构模型冲击力峰值降幅分别达到 69%和 61%。

更具通用性的系统 P-s 相关方程还需考虑冲击能量、弹簧刚度及弹簧伸长量等因素的变化，可借助论文构建的动力学模型进一步展开参数化分析获得。

参考文献

[1] Kishi N, Konno H, Ikeda K, et al. Prototype impact tests on ultimate impact resistance of PC rock-sheds[J]. International Journal of Impact Engineering, 2002, 27(9):969-985

[2] Pichler B, Hellmich C, Mang H A. Impact of rocks onto gravel design and evaluation of experiments[J]. International Journal of Impact Engineering, 2005, 31(5):559-578

[3] Kawahara S, Muro T. Effects of dry density and thickness of sandy soil on impact response due to rockfall[J]. Journal of Terramechanics, 2006, 43(3):329-340

[4] Schellenberg K, Volkwein A, Roth A, et al. Rockfall-falling weight tests on galleries with special cushion layers [C]//Majorana C, Salomoni V, Lok T S. Proceedings of the 3rd International Conference on Protection of Structures Against Hazards. Singapore: CI-PREMIER PTE LTD., 2006:251-258

[5] 何思明, 李新坡, 吴永. 滚石冲击荷载作用下土体屈服特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(s1):2973-2977(He Siming, Li Xinpo, Wu Yong. Research on yield property of soil under rock-fall impact[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(s1):2973-2977(in Chinese))

[6] Ho T S, Masuya H, Takashita N. Experimental study concerning impact characteristics by collision of weight on sand cushion over steel beam[J]. International Journal of Geomate, 2013, 4(1):471-476

[7] Delhomme F, Mommessin M, Mougin J P, et al. Behavior of a structurally dissipating rock-shed: experimental analysis and study of punching effects[J]. International Journal of Solids & Structures, 2005, 42(14):4204-4219

[8] Delhomme F, Mommessin M, Mougin J P, et al. Damage mechanisms of a reinforced

concrete rock-shed slab impacted by blocks[J]. Journal of Structural Engineering, 2007, 133(10):1426-1433

[9] Hsu S H, Maegawa K, Chen L H. Experimental study on the eps-based shock absorber for rock-shed[J]. International Journal of Geomate, 2016, 11(26):2534-2540

[10] Effeindzourou A, Thoeni K, Giacomini A, et al. Efficient discrete modelling of composite structures for rockfall protection[J]. Computers & Geotechnics, 2017, 87:99-114

[11] Sun J, Chu Z, Liu Y, et al. Performance of used tire cushion layer under rockfall impact[J]. Shock & Vibration, 2016, 2016(10):1-10

[12] Hsu S H, Maegawa K, Hama A. Full-scale testing and modeling of rock-shed shock absorbers under impact loads[J]. International Journal of Protective Structures, 2017:1-17

[13] Castanon-Jano L, Blanco-Fernandez E, Castro-Fresno D, et al. Energy dissipating devices in falling rock protection barriers[J]. Rock Mechanics & Rock Engineering, 2017, 50(3):603-619

[14] 赵世春, 余志祥, 赵雷, 等. 被动防护网系统强冲击作用下的传力破坏机制[J]. 工程力学, 2016, 33(10):24-34(Zhao Shichun, Yu Zhixiang, Zhao Lei, et al. Damage mechanism of rockfall barriers under strong impact loading[J]. Engineering Mechanics, 2016, 33(10):24-34 (in Chinese))

[15] 张路青, 杨志法, 祝介旺, 等. 簧式缓冲器的工作原理及其在滚石柔性防护系统中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(3):108-112(Zhang Luqing, Yang

Zhifa, Zhu Jiewang, et al. Operational principle of spring buffer and its application in flexible rockfall prevention system[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2007, 18(3):108-112(in Chinese))

[16] 吕志刚. 弹簧格构泥石流拦挡坝抗冲击性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014(Lv Zhigang. Study on impact resistance of spring lattice debris flow dam[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2014(in Chinese))

[17] Yu Z X, Qiao Y K, Zhao L, et al. A simple analytical method for evaluation of flexible rockfall barrier part 1: working mechanism and analytical solution[J]. Advanced Steel Construction, 2018, 14(2):115-141

[18] Yu Z X, Qiao Y K, Zhao L, et al. A simple analytical method for evaluation of flexible rockfall barrier part 2: application and full-scale test[J]. Advanced Steel Construction, 2018, 14(2):142-165

[19] 汪敏, 石少卿, 阳友奎. 新型柔性棚洞在落石冲击作用下的试验研究[J]. 土木工程学报, 2013, 46(09):131-138(Wang Min, Shi Shaoqing, Yang Youkui. Experimental study on a new type flexible rock-shed under impact of rockfall[J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(09):131-138(in Chinese))

[20] EOTA. ETAG 27 Guideline for European technical approval of falling rock protection kits[S]. Brussels: European Organization for Technical Approvals, 2008

[21] GB/T 20118-2006 一般用途钢丝绳[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006(GB/T

20118-2006 Steel wire ropes for general purpose[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006(in Chinese))

[22] GB/T 2089-2009 普通圆柱螺旋压缩弹簧尺寸及参数(两端圈并紧磨平或制扁)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009(GB/T 2089-2009 Cylindrical coiled compression spring dimensions and parameters[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006(in Chinese))

[23] 赵世春, 余志祥, 韦韬, 等. 被动柔性防护网受力机理试验研究与数值计算[J]. 土木工程学报, 2013, 46(5):122-128(Zhao Shichun, Yu Zhixiang, Wei Tao, et al. Test study of force mechanism and numerical calculation of safety netting system[J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(5):122-128(in Chinese))

[24] Livermore software technology corporation (LSTC). LS-DYNA keyword user’s manual volume Ⅰ[M]. Livermore: Livermore Software Technology Corporation, 2013

[25] Hallquist J O. LS-Dyna Theory manual[M]. Livermore: Livermore software technology corporation, 2006

余志祥（1976-），男，博士，副教授。主要从事结构工程研究。

严绍伟（1993-），男，硕士研究生。主要从事结构工程研究。

许　浒（1985-），男，博士，讲师。主要从事结构工程研究。

赵世春*（1961-），男，博士，教授。主要从事结构工程研究。

5th Dynamic modeling and analysis of coupling between rock debris and flexible barrier based on explosion simulation

Dynamic modeling and analysis of coupling between rock debris and flexible barrier based on explosion simulation

Xu Hu[a] Yu ZhiXiang[a,b] Qi Xin[a,c] Zhao ShiChun[a] Pei XiangJun[c*]

*Corresponding author

[a]School of Civil Eng. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

[b]National Engineering Laboratory for prevention and control of geological disasters in land transportation, Chengdu 610031, China

[c]State Key laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu university of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: For studying the dynamic behavior of flexible barriers subjected to the impact of rock debris, a computational framework of an Air-Debris-Barrier (A-D-B) coupling model is proposed, accounting for slipping, contact, and large deformation of the barrier. Rock debris are attained from an explosion based on Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) formula-based solid-fluid coupling. The simulation is verified by full-scale testing and showed that the impact peak force and deformation of the barrier decreased by 25% and 30%, respectively, and the internal peak force of the net reduced by 50% with respect to single block impact.

Keywords: Flexible barrier; Rock debris; Explosion; Solid-fluid coupling; Impact

1 Introduction

According to previous research (Li 2013), landslides and cliff collapses account for 72.9% of the geological disasters in China. Flexible barriers are an effective countermeasure to reduce the risk of this type of disaster (Fig. 1). A European standard (ETAG 2008) specifies the substitution of a concrete block for rock debris for barrier testing that is widely used in the United States, Japan, and China. This guideline treats the distributed load as a concentrated load under the same impact energy, to consider both the bullet effect (Hambleton et al. 2013) and the most unfavorable load. Arndt et al. (2009) also noted that simultaneously arriving rockfall impacts hardly excessively reduced the suspended barrier height or compromised capacity. However, features of rockfalls depend on the actual geological conditions, even though assessment of barrier systems based on single block impact is conservative, it is difficult to reflect characteristics of multiple blocks impacts associated with rockfall debris, such as load distribution, lag time, and collision-friction effect (Hambleton et al. 2013; Ortiz and Arndt 2008; Glover et al. 2010), which have influence on the barrier response. The above two impact actions differ in loading modes, leading to the distinguishing predictions of the maximum deflection of the barrier system that significantly affect the overall arrangement of the project. For example, a very strict protective clearance distance is required along railways and highways to help prevent rockfall from colliding with vehicles. The extremely large barrier deflections (Yu et al. 2018a and 2018b; Peila et al. 1998) based on a concentrated load can result in a restriction on determining the installation location of the system, and sometimes causes the abandonment of this effective protection measure. In addition, the larger design loads, compared to those that occur in reality reduce the cost effectiveness of the system. Therefore, influence of multiple rocks under the impact of rockfall debris deserve consideration. The mechanical behavior of flexible barrier subjected to the impact of multiple rock blocks has recently attracted more attention (Leonardi et al. 2016; Albaba 2016; Albaba et al. 2017).

Concerning the influence of load distribution on the barrier response, Castro-Fresno et al. (2008) carried out four concentrated load tests and four uniform load tests on a square steel frame with dimensions 2 m by 2 m, and then found that the ultimate bearing resistance under uniform load is three times that under concentrated load. Consequently, the loading model strongly affects the mechanical behavior of the barrier. Volkwein et al. (2009) carried out a full-scale test of a barrier subjected to the impact of a tree trunk, and found that flexible barrier can be used for extreme load under the condition considering the impact area. Hambleton et al. (2013) presented a simple analytical model to determine the critical energy required to break the net, and then revealed that critical energy is proportional to block diameter, and critical velocity is inversely proportional to diameter. Leonardi et al. (2016) noted that the peak impact force on the barrier increases with the increment of grain content. Thus, it is easy to assess that the buffer capacity and the local punching property of the structure require a higher capacity under a smaller impact area.

Fig. 1 Barrier capture of single rockfall and rock debris.

Many scholars have studied the mechanical behavior of barriers in the context of European Technical Approval Guideline (ETAG) 027 (2008). For example, eight groups of prototype barriers were subjected to the impact of a block with kinetic energy ranging from 500 kJ to 5000 kJ by Gottardi and Govoni (2011). It was found that the braking time and peak anchoring force increased almost linearly with the testing energy level, and braking time was always less than 0.4 s. Maegawa et al. (2005) developed energy-absorbing tests on four groups of nylon nets and six groups of the barriers with nylon nets. The results showed that the ratio of friction energy and collision energy is nearly identical under different conditions, and the design should be developed referring to the cumulative absorbing energy of the component. Furthermore, the mechanical behavior of the barrier has also been studied numerically (Miranda et al. 2010 and 2015; Zhao et al. 2013).

Owing to the difficulties in conducting experimental tests on rockfall debris, the numerical simulation is an efficient approach to investigate this subject, but it is still a challenge. For this reason, this study proposes a novel computational framework of an Air-Debris-Barrier (A-D-B) coupling model, as shown in Fig. 2, in which rock debris is acquired from the explosion simulation of Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) formula-based solid-fluid coupling.

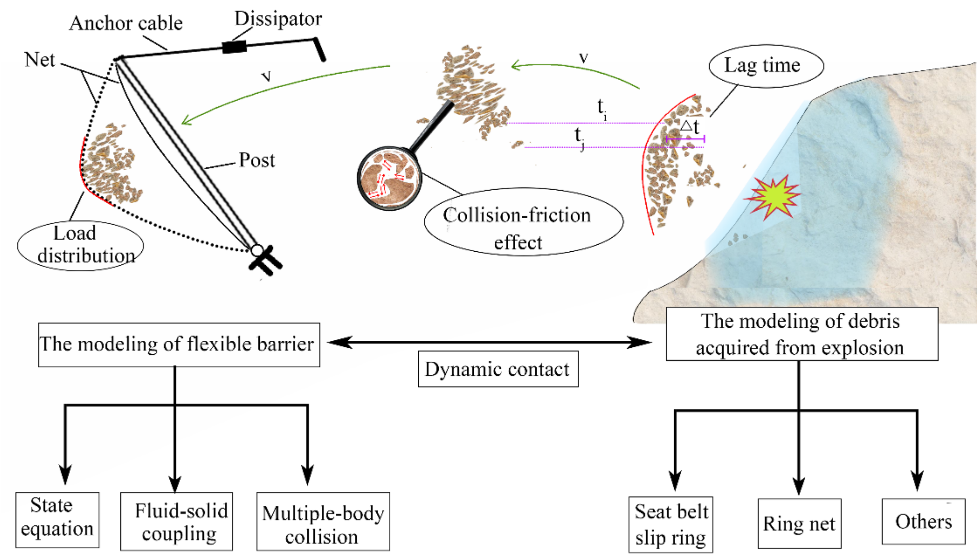


Fig. 2 A-D-B coupling model.

2 Numerical Method

2.1 Modeling of explosion debris

Debris material is normally represented by discrete elements and applied to barrier studies (Albaba 2016; Albaba et al. 2017). There is no doubt that the discrete element method is suitable for simulating the slip and rotation in particles. However, the spherical shape of a single discrete element cannot reproduce the interlocking effect (Cui and

O'Sullivan 2006) among debris (Fig. 3a and Fig. 3b). For this reason, researchers have introduced computer imaging techniques to quantitatively depict the geometric characteristics of debris, and then gathered spherical elements to approximate natural rocks (Fig. 4a), resulting in the complexity. In addition, the number of spherical elements is often increased to improve the accuracy, which leads to a lower computational efficiency. In this paper, the proposed methodology of the rock explosion (Fig. 4b) is simpler than the discrete element method when considering the interlocking effect, and greatly improves the computational efficiency.

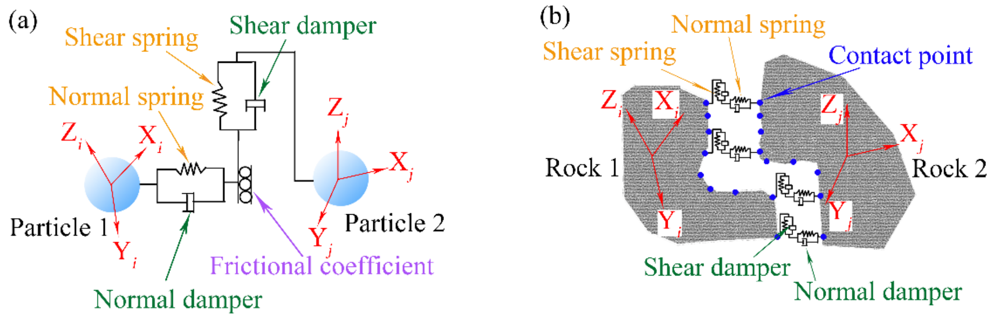


Fig. 3 The interlocking strategy between: (a) discrete elements and (b) finite elements.

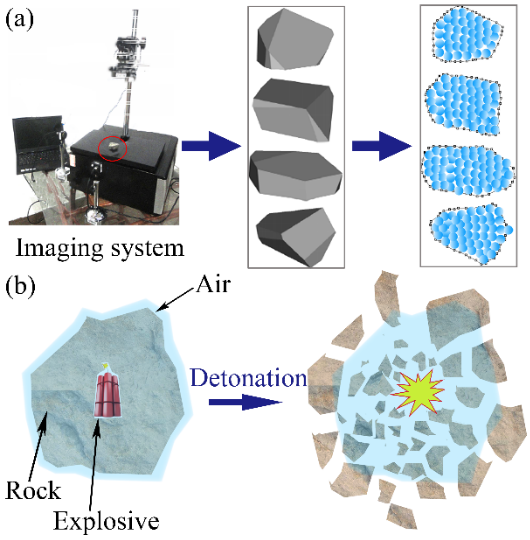


Fig. 4 The procedure of different methodologies: (a) discrete element method and (b) rock explosion.

In the explosion model, both the explosive and air are regarded as fluids, and described by the multi-material ALE formula. State equations can depict the relationship between volume and internal energy under pressure (LSTC 2007). The Jones-Wilkins-Lee (JWL) equation of state of explosives is as follows:

$$P = A\left(1-\frac{\omega}{VR_1}\right)e^{-R_1V} + B\left(1-\frac{\omega}{R_2V}\right)e^{-R_2V} + \frac{\omega E}{V}, \tag{1}$$

where ψ is relative volume and U_e denotes the internal energy contained per volume. Other parameters are shown in Table 1. The linear equation of state of air is described as:

$$P = C_0 + C_1 S + C_2 S^2 + C_3 S^3 \left(C_4 + C_5 S + C_6 S^2 \right) U_e, \tag{2}$$

where $S = \frac{1}{V} - 1$ and V and other parameters have the same definition as that in Eq. (1). The material parameters $C_0 = C_1 = C_2 = C_3 = C_6 = 0$ and $C_4 = C_5 = 0.4$. The density of air is 1.225 kg/m^3 and the initial relative volume is 1.

Table 1 Equation of state parameters

Symbol	Definition (Units)	Value	Symbol	Definition (Units)	Value
P	Detonation pressure (Pa)	1.85×10^{10}	B	Material constant (Pa)	3.230×10^{9}
U_0	Initial internal energy (J/m^3)	7×10^{9}	R_1	Material constant	4.15
ψ_0	Initial relative volume	0	R_2	Material constant	0.95
A	Material constant (Pa)	3.712×10^{11}	ω	Material constant	0.3

The explosive and rock, which are treated as compressible Newtonian flows, are coupled by the air after detonation. Consequently, the mass and momentum must be conserved (Vandamme et al. 2015). The governing equation for mass is depicted as follows:

$$\partial \rho_f / \partial t + \nabla \cdot (\rho_f v) = 0, \tag{3}$$

The governing equation for the momentum is described as:

$$\partial \rho_f v / \partial t + \nabla \cdot (\rho_f v v - \tau_f) = f_f\ , \tag{4}$$

where t represents time, f_f is the volume force vector of fluid, ρ_f is the density of fluid, v represents the velocity vector of fluid, and τ_f denotes the tensor of shear force.

The conservation equation of momentum is acquired from Newton's second law:

$$\rho_s \ddot{d}_s = \nabla \cdot \sigma_s + f_s, \tag{5}$$

where ρ_s is the solid density, σ_s is Cauchy stress tensor, f_s is the volume force vector of solid, and $\ddot{d}_s$ is the acceleration vector.

The calculation results are exchanged on the interface between the fluid domain and solid domain. In this process, the stress τ and displacement d are kept conservative, satisfying the following equations:

$$\begin{cases} \tau_f \cdot n_f = \tau_s \cdot n_s \\ d_f = d_s \end{cases}, \tag{6}$$

where the subscripts f and s represent fluid and solid, respectively.

The plastic kinematic model with Mises failure criterion are used to represent rock debris (LSTC 2007). Rigid bodies are used for the area of the mountain outside the explosion area and ground. Shock waves and detonation gases produced by explosion cause the cracks in the rock near the explosive. Due to the large pressure of detonation gases, the cracks further open and gases push the broken rocks for radial movement.

2.2 Modeling of flexible barrier

Flexible barriers consist of the net, steel posts, horizontal and longitudinal support cables, anchor cables, and energy dissipators, as referenced in the literature published by others (Yu et al. 2018a and 2018b; Zhao et al. 2013).

(1) Slip element

In engineering, the post is affixed to the slope with a hinge pin, which allows the post to rotate along the direction of impact. Meanwhile, to satisfy the large deformation of the structure, a sliding support is arranged at the post end to realize the free sliding of the support cable. The simulation of the sliding cable and sliding boundary is of importance in the model to attain realistic simulation. Thus, sliding cable elements are established (Fig. 5). In theory, Node B is attached to the node at the post end, defined as sliding support, and connected to the cable elements on both sides of the post end. The internal force of the j-th cable element is represented by F_j. When Element 1 slides to Element 2, the amount of slip at each time step is dependent on F_1/F_2, which is relative to the angle θ between two elements and friction coefficient μ of the cable on the sliding support. When F_1 is close to F_2 or $\theta = 0$, sliding will not occur. Slip is sufficient to reduce the ratio F1/F2 to $e^{\mu\theta}$. The cable element connecting two nodes has a single degree of freedom and similar properties to a spring. Thus, the internal force F_j can be calculated as follows:

$$F_s = K_s \Delta L + D_s \Delta L, \tag{7}$$

where D_s and K_s are damping and stiffness of the cable, respectively, and ΔL is the amount of elongation, which is the difference between current length and initial length, where initial length is the sum of initial distance between the two nodes and initial relaxation length (LSTC 2007).

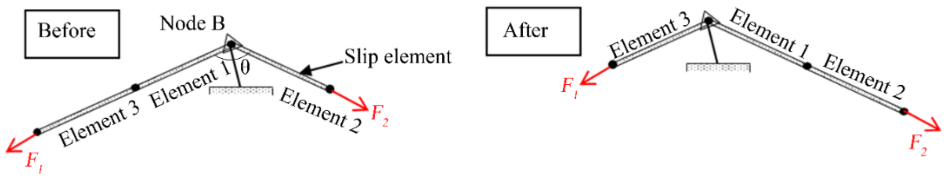


Fig. 5 Seat belt slip ring.

(2) Ring net

The net is one of the key components in a barrier system. There are three special mechanical characteristics of nets. First, the ring is bent at the early loading stage and axially tensed at the later loading stage, resembling the high strength cable, except for the property of unrecoverable plastic deformation at the ring junction. The stiffness of the restoring force is defined by the axial tension.

Second, because the ring is parallel fastened or twined with high-strength steel wires, it is easy to be horizontally crushed during tension. When the beam element with identical section area is used, the contact stiffness and bending stiffness are overestimated, as shown in Eq. 8. The bending stiffness of the beam element is depicted as:

$$EI_{\mathrm{eq}} = E\frac{\pi d_{\mathrm{e}}^4}{64} = E\frac{A_{\mathrm{e}} d_{\mathrm{e}}^2}{16}. \tag{8a}$$

The actual bending stiffness is presented as follows:

$$EI_{\mathrm{ring}} = \sum E\frac{\pi d_i^4}{64}, \tag{8b}$$

where E denotes the elastic modulus; I_{eq} and I_{ring} are the inertial moment of beam element and ring, respectively; d_{e} and d_i denote the diameter of beam element and the ring, respectively; and A_{e} is the equivalent area of the beam element. For modifying the stiffness, Eq. (8a) is equated to Eq. (8b) to attain the equivalent diameter, however, resulting in a lower tensile stiffness. In engineering, the stress-strain relationship in the stage of axial tension can be adjusted to improve the plastic modulus.

Third, the entire ring net consists of discrete rings, where boundary slip is added between rings. If rings are hinged with each other, the net will exhibit a completely different mechanical property, leading to an unpredictable performance and great error. Therefore, it is necessary to select appropriate models for the above three characteristics.

2.3 Dynamic contact

In the penalty method, an interface force is introduced to contact pairs for limiting the penetration, which is proportional to penetration and master stiffness, and regarded as a normal spring. The frictional interface force acquired from the Coulomb equation (Wriggers 2006) is deemed as a shear spring to restrict the relative motion (Fig. 6).

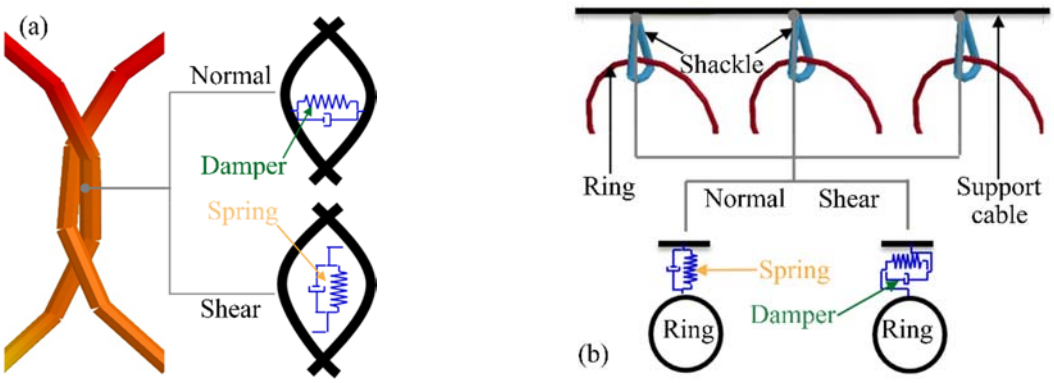


Fig. 6 The spring-damper units (a) between rings and (b) between the support cable and the net.

The first step of contact searching is finding the nearest beam element, which is considered from the midpoint of the beam, and can be defined as (Fig. 7):

$$\mathrm{x}^{IC} = \frac{1}{2}\left(\mathrm{x}^{I} + \mathrm{x}^{I+1}\right). \tag{9}$$

If the beam element satisfies the condition $d_{\min} = \min_{I} \left\| \mathrm{x}^{IC} - \mathrm{x}^{\mathrm{P}} \right\|$, it can be regarded as the possible contact beam element, hence a coarse contact location is found. However, the comprehensive search with the local condition can only happen in the following condition:

$$d_{\min} \le L^{I},\ L^{I} = \min(l^{I}, d^{I}), \tag{10}$$

where $l^{I} = \left\| \mathrm{x}^{I+1} - \mathrm{x}^{I} \right\|$ and d^{I} is the largest diagonal of a specific section. This condition is equal to establishing a sphere with the center at the middle of the beam element. It is useful to local searching when the slave node is on the sphere surface or inside in the sphere. If Eq. (10) is satisfied, the minimum distance can be calculated as follows:

$$d(\mathrm{P}, I) = \min_{I} \left\| \mathrm{x}^{I}(I) - \mathrm{x}^{\mathrm{P}} \right\| = \left\| \mathrm{x}^{I}(\bar{\mathrm{I}}) - \mathrm{x}^{\mathrm{P}} \right\| = \left\| \bar{\mathrm{x}}^{I} - \mathrm{x}^{\mathrm{P}} \right\|, \tag{11}$$

where $\bar{\mathrm{I}}$ denotes the coordinate of the beam axis with the minimum from Node P and the value of $\bar{\mathrm{I}}$ must be limited in the bound $-1 \le \bar{\mathrm{I}} \le 1$. Otherwise, the local condition should be further adopted to test nearby elements (Wriggers 2006).

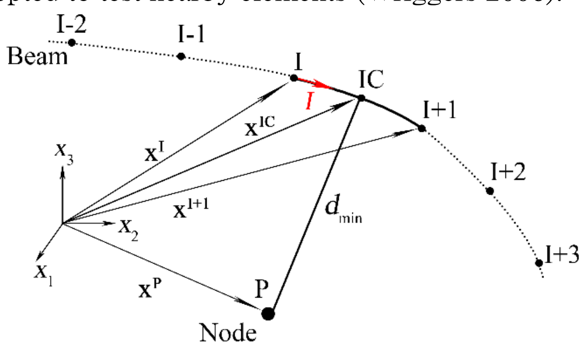


Fig. 7 Contact searching.

2.4 Dynamic algorithm

The responses of the system can be calculated using the numerical tool LS-DYNA. In explicit dynamic algorithms, time steps and system damping are the critical factors influencing the accuracy of the dynamic calculation. The time step is relevant to the velocity of the impacting wave and the size of the element. Therefore, the calculation time can be greatly reduced by increasing the time step through mass scaling. However, the larger time step can lead to excessive inertial mass. Hence, the additional inertial mass should be below 5% for calculation accuracy (LSTC 2007). In the present study, the time step is set as $\Delta t_e \le 0.00001$ s.

$$\Delta t_e = L_e \Big/ \sqrt{E_e / \rho_e} \tag{12}$$

where L_e denotes the characteristic length of one element; and E_e and ρ_e are the modulus of elasticity and mass density, respectively.

Before the falling rocks contact the system, they are regarded as non-damping rigid bodies and the mass damping of the system comes from the barrier system itself. Then the mass damping of the system can be greatly increased due to the rebounding of both falling rocks and flexible structure after impact. Hence, this is a process with time-varying damping and time-varying mass, which is considered as weighted damping in the calculation process (LSTC 2007). The acceleration of the system with damping can be calculated by Eq. (13) and the best damping is defined by the lowest modal frequency.

$$a^n = M^{-1}(P^n - F^n - F^n_{damp}) \tag{13}$$

where, P^n and F^n are the external loading vector and internal loading vector, respectively; F^n_{damp} is the force vector induced by system damping and calculated by $2mw_{\min}v$; and C_s and $w_{\min}$ are damping coefficient and lowest modal frequency, respectively.

The moment of maximum impacting displacement and maximum rebounding displacement are represented by t_1 and t_2, respectively. The first rebounding happened between time t_1-t_2 with large magnitude, and the corresponding magnitude coefficient is equal to 1 at t_1. After t_2, the falling rocks have minimal rebounding and remain stationary, and the corresponding coefficient is equal to 0.1.

3 Experimental Method

A full-scale impact test was performed on a barrier prototype according to ETAG 027 guidelines. As shown in Fig. 8, a large reacting-force wall with a height of 13.5 m and full of locating holes was arranged at the test site. The block with a weight of 6000 kg was lifted to an altitude of 34 m by the gantry, and then freely released after position calibration. The center position of the middle span of the barrier (point 1) was impacted by the block with a kinetic energy of 2000 kJ. A high-speed camera was utilized to record the impact and monitor the barrier deformation and the block motion. Additionally, 18 force sensors were mounted on the components to collect the tensile force time histories.

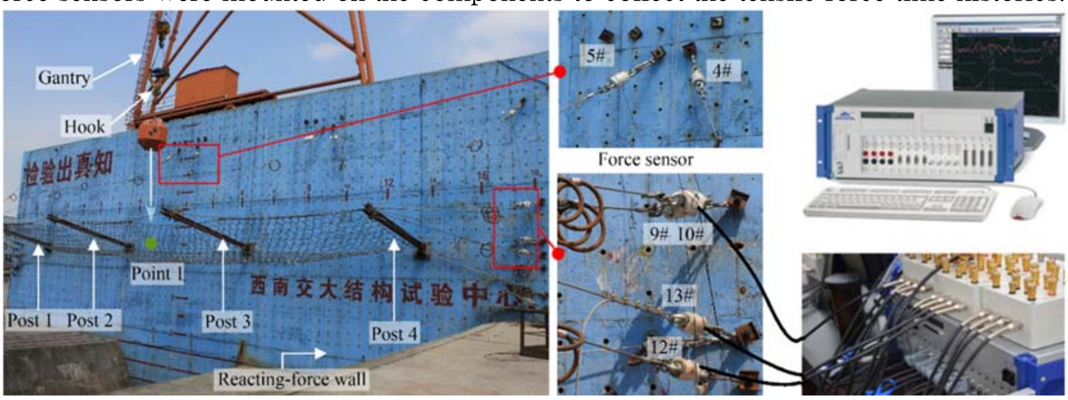


Fig. 8 Prototype barrier for experimental testing.

The spacing and height of the posts were 9 m and 5.5 m, respectively, and the standard steel material of Q235 and the post specification HW 200×200×8×12 are adopted. All of the types of cables are 6×19S+IWR (steel core) with the tensile strength of 1770 MPa. The specification of 1Φ22 is applied to all the cables, except for the major support cables with the specification of 2Φ22. The ring net, which is woven by the steel wire with high tensile strength of 1770 MPa, adopts the specification of R16/3/300. Two brake rings of GS-8002 with the maximum elongation of 1 m and the starting force of 45 kN are arranged one-by-one on each cable in the system, except that only one brake ring is mounted on the lateral support cable.

4 Results and Discussion

The numerical model of the barrier under the impact of a single block and the impact of rock debris with the testing configuration and kinetic energy of 2000 kJ were established, which are referred to as Case 1 and Case 2 in the following. Rock debris is acquired from the explosion, where the emulsion rock explosive with the size of 0.2 m × 0.2 m × 0.2 m and depth of 1.3 m is adopted.

When the barrier is impacted by the single block, the ring net in the major contact area rapidly changes from relaxation to tension, forming a V-shaped bulging region, as shown in Fig. 9. At the same time, the tension force is transferred from the net to the minor support cable, which is then attached to the major support cable with shackles. The addition of block displacement leads to the increment of the force on the support cable. The brake ring works when the force exceeds the threshold of starting force at 0.1 s, leading to an increment of energy dissipation and sliding of the support cable on the end of the post. The shackles in the middle span simultaneously slide to the center, which drives the net toward the center, exhibiting an initial funnel shape. As the support cable further slides on the post end, the angles between the post and the support cables on both sides become smaller, causing a large vertical component of force to be applied to the post and anchor cable. At 0.3 s, the force on the upper anchor cable reaches the braking force. As the post swings down, a fuller funnel shape is acquired. At 0.45 s, the maximum deformation and the maximum impact force achieve 8.92 m and 800 kN, respectively (Fig. 10a and Fig. 10b). After that, the block rebounds slightly and remains steady at 0.6 s.

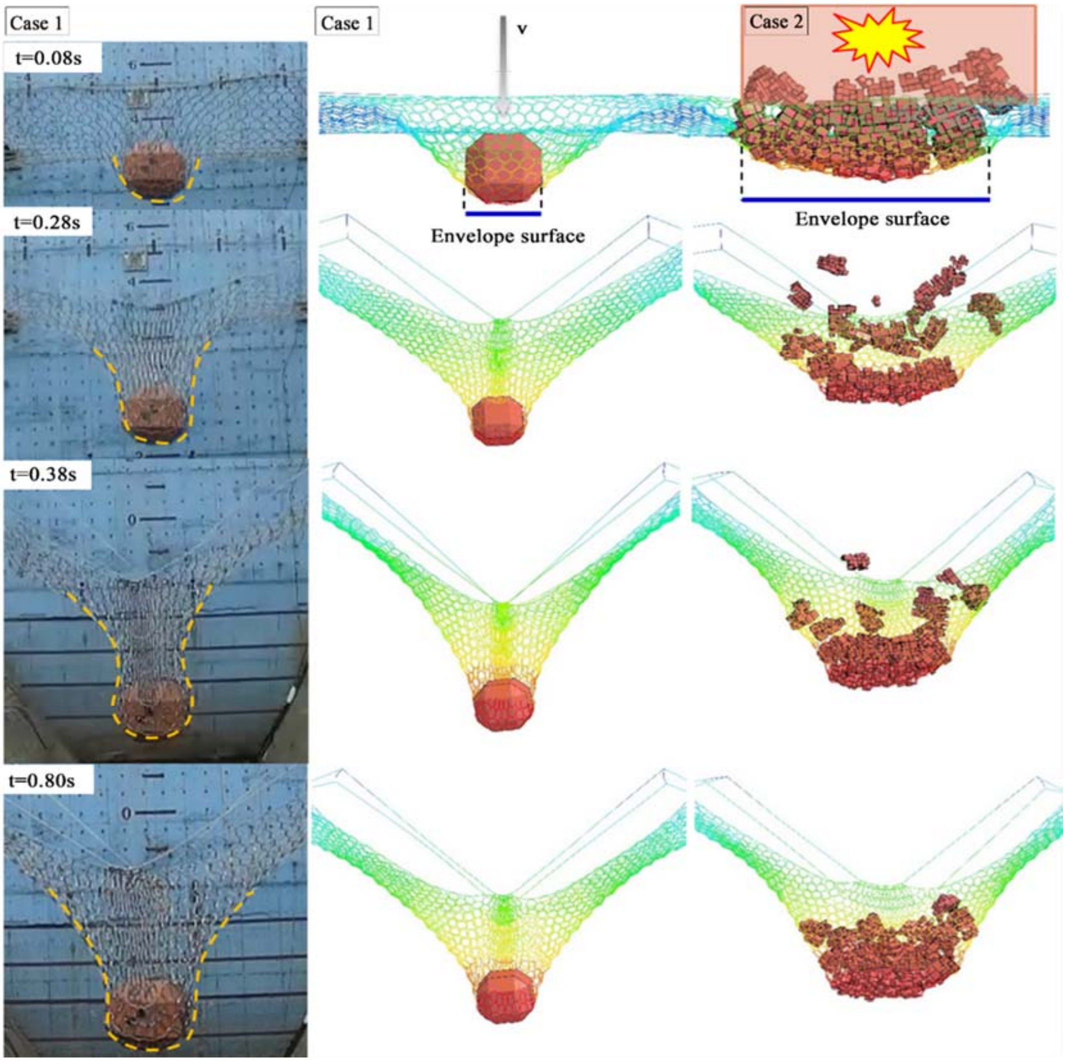


Fig. 9 System deformation.

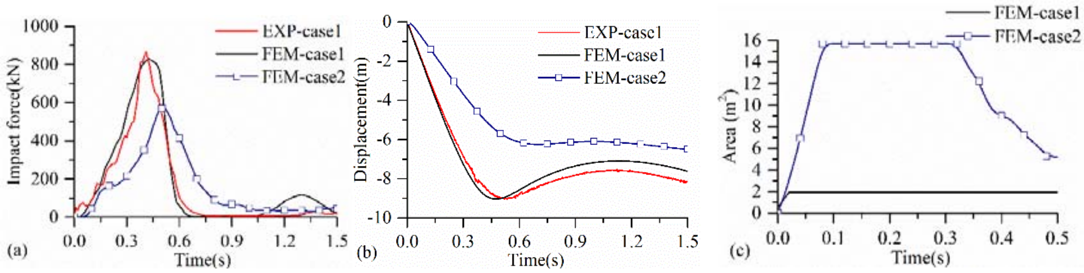


Fig. 10 Time history curves of (a) the impact force, (b) the displacement of rockfall, and (c) the area of envelope surface.

The mass of debris acquired from the explosion ranges from 15 kg to 700 kg. It is assumed that the total number of rocks in the debris and the total mass of debris are n_l and m_l, respectively, and the mass, velocity, and acceleration of a single rock are m_i, v_i, and a_i, respectively, with the vertical component of the acceleration a_i^V. Thus, the total kinetic energy of debris and vertical impact force are represented as $E_{kl}=\sum_{i=1}^{n_l}\frac{1}{2}\cdot m_i v_i^2$ and $F_l=\sum_{i=1}^{n_l} m_i a_i^V$, respectively. From 0 s to 0.05 s, E_{kl} sharply increases to 2000 kJ during the explosion. At 0.05 s, the impact force is initially imposed on the net. The increasing number of rocks impacting the net creates tension and forms a bowl shape. Meanwhile, the force is transferred from the net to other components, showing an identical order with that impacted by a single block. At 0.17 s, the internal force of the major support cable increases to the braking force. Then, the sliding of the support cable and shackle lead to an initial funnel-shaped net. After 0.4 s, when the brake ring starts to move on the anchor cable, the vertical funnel shape is more obvious. At 0.68 s, the system achieves the maximum deformation of 6.20 m, which is 30% less than that under the impact of a single block. The vertical impact force is about 600 kN, which is 25% less than Case 1. Finally, the system achieves stability at 0.8 s.

The contact positions between the rocks and net at a certain moment are projected to the plane of the initial net. Second, the projections are connected by spline curves to form an envelope surface. The time-varying envelope surface area is illustrated in Fig. 10c, where the time axis takes the moment of first contact as zero. The envelope of the block is square at the initial moment. After 0.02 s, the envelope surface becomes a positive octagon, and remains constant in the subsequent process. For debris, the envelope surface is initially a dot. Then, it expands to the ellipse with the long axis of 5.9 m and the short axis of 3.4 m at 0.08 s. It remains constant until it begins to shrink at 0.40 s. At 0.50 s, it reduces to the ellipse with a long axis of 3.7 m and a short axis of 1.8 m. Finally, it remains constant in the following interception. Thus, rock debris has the effects of distributed load and longer loading time, called lag time, which are decisively different from the impact of a single block, due to the discreteness.

For the sake of simplicity, only the data of #10 force sensor on the upper major support cable, #12 force sensor on the upper minor support cable, #4 force sensor on the upper anchor cable, and #13 force sensor on the lateral anchor cable are illustrated. When the system is impacted by a single block, the internal force evolutions of the steel-wire cables always present an initial sharp increase. After 0.1 s, due to the start of brake rings on support cables, plastic flow occurs, leading to a gentle increment of force (Fig. 11a and Fig. 11b). After 0.3 s, the internal force of the anchor cable increases to the braking force, and the internal force of the upper anchor cable and lateral anchor cable reach the peak of 110 kN and 80 kN at 0.4 s, respectively, followed by unloading (Fig. 11c and Fig. 11d). The internal forces of the upper major support cable and upper minor support cable reach the peaks of 140 kN and 45 kN at 0.46 s, respectively, also followed by unloading. When the system is subjected to the impact of debris, the internal force of the steel-wire cables presents a sharp increase, which is slightly less than that impacted by a single block. After 0.17 s, the internal force of the upper major support cable and upper minor support cable steadily increase until it reaches the peak of 120 kN and 50 kN at 0.60 s, respectively, and is then followed by unloading. The internal forces of the upper anchor cable and lateral anchor cable gently increase after 0.40 s, and arrive at the peak force of 100 kN and 60 kN at about 0.65 s, followed by unloading.

When the system is impacted by the block, the axial force of post 1 sharply increases to a peak of 400 kN at 0.48 s, followed by the relaxation to zero (Fig. 11e). When the system is subjected to the debris, the axial force of post 1 increases to the peak of 380 kN at 0.58 s, followed by unloading. The internal force evolutions of other posts, which are not presented here, are similar to post 1, but the internal force peaks of post 2 and post 3 under Case 1 and Case 2 are 230 kN and 200 kN, respectively.The internal force of the net at the central position of the middle span under Case 1, and at the position with maximum internal force under Case 2, are illustrated in Fig. 11f. The internal force increases to 28 kN at 0.45 s under Case 1 and to a peak of 15 kN at 0.68 s under Case 2.

Overall, numerical force evolutions under the impact of debris agree well with the experimental results, except that a long response time is observed due to the lag time, thus the A-D-B coupling model is verified. Furthermore, the internal force of the net under Case 2 is about half of that under Case 1, which agrees with earlier findings (Castro-Fresno et al. 2008; Volkwein et al. 2009).

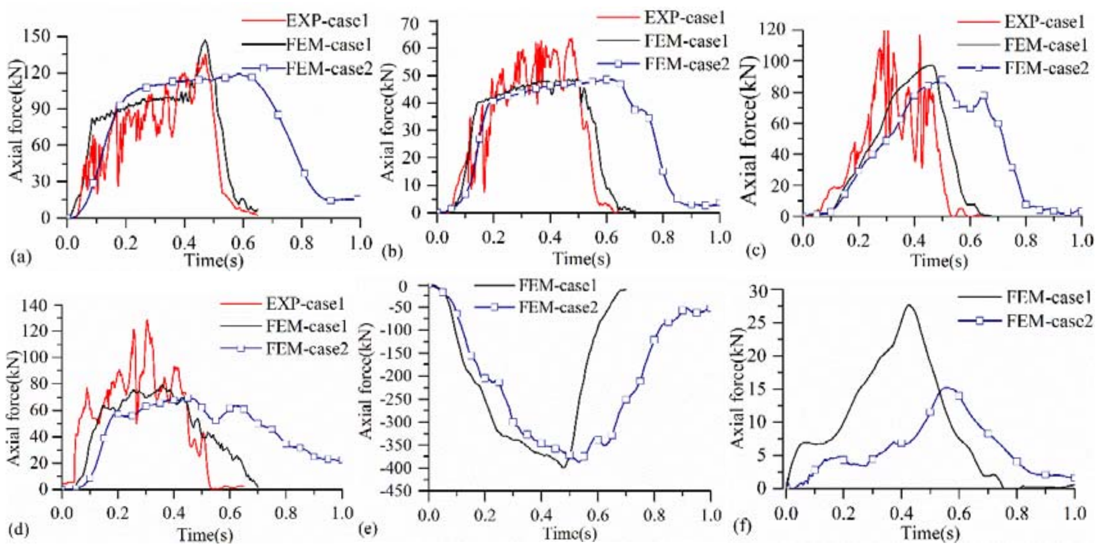


Fig. 11 The internal force time history curves for (a) upper major support cable, (b) upper minor support cable, (c) upper anchor cable with #4 force sensor installed, (d) lateral anchor cable with #13 force sensor installed, (e) post 1, and (f) net.

5 Conclusions

The proposed computational framework is suitable for the simulation of barriers under the impact of rock debris, and the A-D-B coupling model can be utilized to consider several influences of rock debris on the dynamic behavior of barriers, such as the load distribution, time lag, and collision-friction effect.

For the barrier prototype, the impact force of the rock debris was 25% less than that of a single block. Furthermore, the loading model has a large effect on the internal force of the ring net. The peak force under the impact of rock debris was 50% lower than the impact of a single block, which reduces the barrier cost. However, the loading models have minimal influence on the support cable, anchor cable, and the steel post. The deformation of the system was also reduced by 30%.

It is necessary to explain that this study only focuses on the dynamic response of the barrier under the impact of rock debris with a kinetic energy of 2000 kJ. For the sake of developing a more general law, other impact tests and simulations should be conducted, and the influence of particle size generated by rock blasting on the structural response investigated in the future.

Acknowledgements

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China [grant numbers 51678504 and 51408498]; the Open Fund of National Engineering Laboratory for Bridge Structure Safety Technology [grant number 310821151102]; the Fund of State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection [grant number SKLGP2016K013]; the Fundamental Research Funds for the Central Universities [grant number 2682017CX006]; and the fund of the Department of Science and Technology of Sichuan Province [grant number 2018JY0029].

References

Albaba A, 2016. *Discrete element modeling of the impact of granular debris flows on rigid and flexible structures*, Dissertation, University Grenoble Alpes.

Albaba A, Lambert S, Kneib F, Chareyre B, Nicot F ,2017. DEM modeling of a flexible barrier impacted by a dry granular flow, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50(11), 3029-3048.

Arndt B, Ortiz T, Turner A, 2009. *Colorado’s full-scale field testing of rockfall attenuator systems*. Transportation research circular E-C141.

Castro-Fresno D, Diaz JJDC, López LA, Nieto PJG, 2008. Evaluation of the resistant capacity of cable nets using the finite element method and experimental validation, *Engineering Geology*, 100(1–2), 1-10.

Cui L, O'Sullivan C, 2006. Exploring the macro- and micro-scale response of an idealised granular material in the direct shear apparatus, *Géotechnique*, 56(7), 455-468.

EOTA (European Organization for Technical Approvals), 2008. *Guidelines for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits –ETAG 027.* Brussels, Belgium.

Govoni L, Miranda SD, Gentilini C, Gottardi G, Ubertini F, 2011. Modelling of falling rock protection barriers, *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 11(4),126-137.

Glover J, Volkwein A, Dufour F, Denk M, Roth A, 2010. *Rockfall attenuator and hybrid drape systems – design and testing considerations*. Third Euro-Mediterranean Symposium on Advances in Geomaterials and Structures, p. 379-384.

Hambleton JP, Buzzi O, Giacomini A, Spadari M, Sloan SW ,2013. Perforation of flexible rockfall barriers by normal block impact, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(3), 515-526.

Li P，2013. *The disaster situation of the national geological disaster for this year.* The Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. http://news.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201305/ [accessed 9 May 2013].

Livermore Software Technology Corporation, 2007. *LS-DYNA keyword user’s manual*, volume I.

Leonardi A, Wittel FK, Mendoza M, Vetter R, Herrmann HJ, 2016. Particle–Fluid–Structure Interaction for Debris Flow Impact on Flexible Barriers, *Computer-Aided*

Civil and Infrastructure Engineering, 31(5), 323-333.

Miranda SD, Gentilini C, Gottardi G, Govoni L, Mentani A, Ubertini F, 2015. Virtual testing of existing semi-rigid rockfall protection barriers, *Engineering Structures*, 85, 83-94.

Miranda SD, Gentilini C, Gottardi G, Govoni L, Ubertini, F, 2010. *A simple model to simulate the full-scale behavior of falling rock protection barriers*, In: Physical Modelling in Geotechnics, Proceedings of the 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, 2, 1247-1252.

Maegawa K, Tajima T, Iwasaki M, 2005. Weight impact tests on a simple and flexible Rock-fence using a PE-net, *Journal of Structural Engineering*, 51A(3), 1615-1624

Ortiz T, Arndt B, 2008. *Implementation & Developments of Hybrid Rockfall Barrier Systems in Colorado.* 59th Highway Geology Symposium. Santa Fe, New Mexico.

Peila D, Pelizza S, Sassudelli F, 1998. Evaluation of behaviour of rockfall restraining nets by full scale tests, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 31(1), 1-24.

Vandamme M, Dangla P, Nikoosokhan S, Brochard L, 2015. *Modeling the poromechanical behavior of microporous and mesoporous solids: application to coal*, In: Kim A, Guyer RA, editors, Nonlinear elasticity and hysteresis: fluid-solid coupling in porous media, Wiley-VCH.

Volkwein A, Roth A, Gerber W, Vogel A ,2009. Flexible rockfall barriers subjected to extreme loads, *Structural Engineering International*, 19(3), 327-332.

Wriggers P, 2006. *Computational Contact Mechanics*, 2nd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Yu ZX, Qiao YK, Zhao L, Xu H, Zhao SC, Liu YP, 2018a. A simple analytical method for evaluation of flexible rockfall barrier part 2: application and full-scale test, *Advanced Steel Construction,* 14(2), 142-165.

Yu ZX, Qiao YK, Zhao L, Xu H, Zhao SC, Liu, YP, 2018b. A simple analytical method for evaluation of flexible rockfall barrier part 1: working mechanism and analytical solution, *Advanced Steel Construction*, 14(2), 115-141.

Zhao SC, Yu ZX, Wei T, Qi X, 2013. Test study of force mechanism and numerical calculation of safety netting system, *China Civil Engineering Journal*, 5, 122-128.

6th 建築火災成因分析與消防搶救探討

建築火災成因分析與消防搶救探討

Analysis of Causes and Rescue on Building Fires

紀茂傑 1、林俊昱 1、周諸明 1,2
1 吳鳳科技大學消防系、2 嘉義縣消防局

摘要

台灣地區平均每年發生火警約 1629 件（A1+A2 火災案件），而建築物火災案件佔所有火災之比例高達七成五（74.55%）。建築物一旦發生火災，常造成重大人命傷亡與社會成本損失。本研究主要探討連棟式頂樓加蓋住宅火災之消防搶救策略研擬，主要利用訪談消防救災相關人員與消防搶救案例分析，了解連棟式頂樓加蓋住宅火災之消防搶救方法與嘉義縣消防局消防搶救的現況，並研擬具體可行的消防搶救策略，改善消防搶救模式，希望能更精進消防搶救工作。本研究並利用連棟式住宅火災案例來探討嘉義縣消防局對消防搶救的處理能力。結果顯示嘉義縣消防局在裝備器材部分，足以應付連棟式住宅火災，但是對於高樓層建築及地下建築物火災，於搶救上有一定困難，另在救災人力上則嚴重不足；在消防搶模式上，對於一般建築物火災均可勝任，但是如能補充消防分隊人力，尤其增加分隊每個時段的備勤人員數量，應是最直接可以改善目前的消防搶救模式的方法，並可使民眾生命財產更有保障。
關鍵詞：連棟式建築火災、消防搶救、器材、人力、模式。

Analysis of Causes and Rescue on Building Fires

Maochieh Chi, Chun-Yu Lin

WuFeng University,Chiayi County621, Taiwan

Abstract:The purpose of this study is to discuss the strategy of fire rescue on building fires. The fighter interview and building fire examples in Chiayi County were used to understand the rescue states and tactics of Chiayi County Fire Bureau. Through the results of the interview, the strategy and tactics of fire prevention and control can be improved and promoted. The example of townhouse fire were taken to discuss the fire rescue capacity of Chiayi County Fire Bureau. Results of the interview show that the equipment and tools of fire rescue currently are sufficient for the top-floor covered houses, wooden buildings and RC structures, but insufficient to deal with the buildings with their height more than 50 meters and underground buildings. In addition, increasing the numbers of firefighter is necessary due to the shortage of manpower. In the fire rescue mode, fire rescue can be done well for general building fire. However, increasing the numbers of fighter should be the best way to improve the fire rescue mode and increase safety on people’ s lives and property.

Keywords: townhouse, fire rescue, equipment, manpower, mode

一、前言

近年來，由於都市人口快速成長，大都會區迅速發展，使得各類建築物逐漸邁向集合化、高密度化、住商複合多元化，相對設施設備複雜化及新舊建築物複合存在使用的發展，隨著社會進步、經濟發展和消費活動日趨頻繁，而導入商業型態及各類建築物之用途作更多元化使用，以致於新建或舊有建築物火災危險程度相對的增加，參酌消防署 100~105 年全國火災統計資料如圖 1 所示，台灣地區平均每年發生火警約 1629 件（A1+A2 火災案件），而建築物火災案件佔所有火災之比例高達七成五（74.55%）。

由嘉義縣 100~106 年全縣火災統計資料顯示，平均每年發生火警約 29 件（A1+A2 火災案件），而建築物火災案件佔所有火災之比例高達 72.41%，與全國火災發生比率相近，其中，A1、

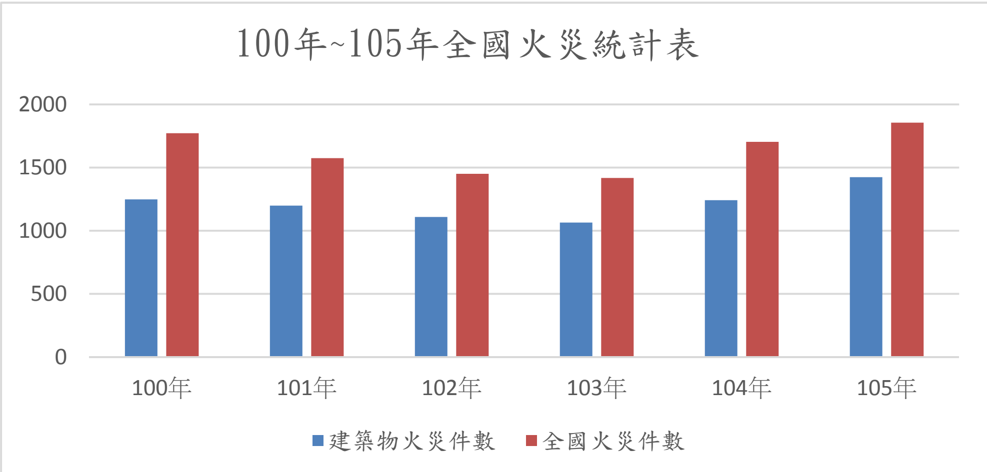


圖 1 100~105 年全國火災統計結果(內政部消防署)

A2 及 A3 等三類火災分別定義為（1）A1 類火災：造成人員死亡之火災案件。（2）A2 類火災：造成人員受傷、涉及糾紛、縱火案件或起火原因待查之火災案及（3）A3 類火災：非屬上述 A1 類、A2 類之火災案件。

建築物一旦發生火災，除了生命財產之損失外，將造成無數家庭生活頓失依靠，延伸環境與社會問題，建築物火災常因商業行為導入後，容易導致建築

物防火區劃破壞、樓層出入口變更、逃生門上鎖、出入口停車阻礙、火源增多、人員出入多及複雜等情形，增加火災建築物危險性，一旦發生火災常造成重大人命傷亡與社會成本損失。因此本研究擬透過案例解析，提升消防人員火災搶救效能，並針對嘉義縣消防局現行消防人員數量、車輛裝備器材實用性及堪用品質等相關內容進行了解，以利提升火災搶救效能並提出建議；本研究擬以嘉義縣連棟式頂樓加蓋住宅火災為例，探討消防人員消防救災戰力與消防搶救器材裝備是否足夠，期對學術研究有積極正面的功能與意義外，可以提供相關具體改善策略與建議，俾利增進消防救災成效，提升為民服務品質。

二、文獻回顧

1、建築物火災特性與火災成因

建築物防火特性及火災成因會因不同建築而有所影響，建築物火災特性可分類為(1)木造建築物火災、(2)耐火建築物火災、(3)高層建築物火災、(4)地下建築物火災等四種。木造建築物火災為易燃物之火災，其燃燒速度迅速。耐火建築物火災主要泛指具有抗火(Fire Resistance)性能構造之建築物，如磚造、石造、空心磚造、混凝土造、鋼筋混凝土造等建築物，其中尤以鋼筋混凝土造者更具有代表性。高層建築物火災特性為濃煙容易蓄積；高溫灼熱；延燒快速；逃生不易；搶救困難等。地下建築物火災，除上述與高樓火災有相似之特徵外，尚有下列特殊之處分別為(1)地下建築物火災現場瞬息萬變:地下層因結構複雜，用途分歧，因此隨時可能產生不同之情勢，呈現一種極不安定之狀態。(2)搶救工作危險重重地下層之救火工作，因受上升之濃煙與高熱之壓迫，困難重重。(3)火點發現困難。由於地下建築火災經常延誤發現，消防隊到達時已隔相當時間。此外搶救時內部漆黑無光，加上濃煙充斥其間，火點不易發現。(4)對火勢之發展頗難掌握地下建築之火災，因缺乏充足之空氣，其燃燒一直呈燻燒狀態。由於濃煙阻礙視線，對於火勢是否向上移動，甚至是否越過水柱所及之範圍，頗難確定。(5)水損嚴重：高樓火災滅火之水流，可由上層經樓梯或其他出口流往地面，而地下層火災之射水，完全積於地下建築之中。

住宅火災起火原因主要源於電器火災、用火不慎、吸菸及縱火，大部分起源於人為因素。住宅的起火原因和火災特點具有三種特性，分別為(1)成長性、(2)不定性及(3)偶發性。火災具有不斷自然發展、變化與無窮擴大之特性，只要可燃物不斷存在且無阻斷燃燒之因素，燃燒面積與時間成反比下，星星之火足以釀成巨大災難，火災現場乃是極為不安定場所，且可能有突發的危險，隨時有意想不到新事態發生為不定性。另外，火災發生之突發性不論為人為故意縱火或自然形成均不可能事先準確預測，皆為火災發生之偶發性。

2、建築防火相關規定

依據內政部 106/12/21 公布建築技術規則建築設計施工設備編之第 69 條建築物應為防火構造，但工廠建築除依下表 C 類規定外，作業廠房樓地板面積，合計超過五十平方公尺者。其主要構造均以不燃材料建造。舉例來說，表內三層以上之樓層，係表示三層以上之任一樓層供表列用途時，該棟建築物即應為防火構造，表示如在第二層供同類用途使用，則可不受防火構造之限制。但該使用之樓地板面積，超過表列規定時，即不論層數如何，均應為防火構造。其相關建築物防火種類規定如表 1(內政部營建署法規)所示。

表 1 建築物使用防火類組

建築物使用類組			應為防火構造者		
類別	組別		樓層	總樓地板面積	樓層及樓地板面積之和
A 類	公共集會類	全部	全部	-	-
B 類	商業類	全部	三層以上之樓層	3000 平方公尺以上	二層部分之面積在 500 平方公尺以上
C 類	工業、倉儲類	全部	三層以上之樓層	1500 平方公尺以上(工廠除外)	變電所、飛機庫汽車修理場、發電場廢料堆置貨處理場、廢棄物處理場及其他地方主管機關認定之建築物，其總樓地板面積在 150 平方公尺以上者
D 類	休閒、文教類	全部	三層以上之樓層	2000 平方公尺以上	-
E 類	宗教殯葬類	全部	三層以上之樓層	2000 平方公尺以上	-
F 類	衛生、福生、更生類	全部	三層以上之樓層	-	二層面積在 300 平方公尺以上。醫院限於有病房者
G 類	辦公服務類	全部	三層以上之樓層	2000 平方公尺以上	-
H 類	住素類	全部	三層以上之樓層	-	二層面積在 300 平方公尺以上。

I 類	危險物品類	全部	三層以上之樓層	依危險品種類及儲藏量貨另行由內政部以命令規定之

3、建築火災消防搶救

火災發生消防機關進行搶救作業是減少火災損失的重要作為，消防搶救作業是一項複雜的過程由於火場情勢複雜與狀況易變，加上各種因素的不同，難以使得每次火災搶救過程能一致性，經由前人不斷努力及經驗傳承了解影響消防搶救滅火效果之關鍵所在，而一般火災事件從發生到被撲滅這段時間，如消防機關越早介入，所達到滅火效果應該越高，火災案件由開始到撲滅流程如圖 2 所示。

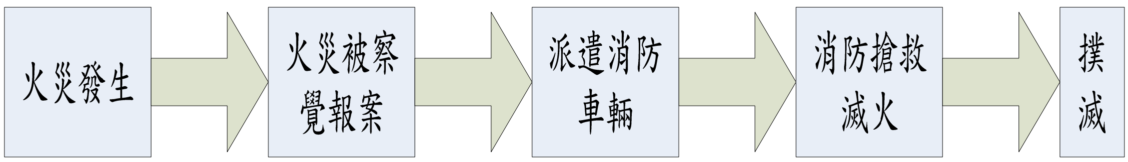
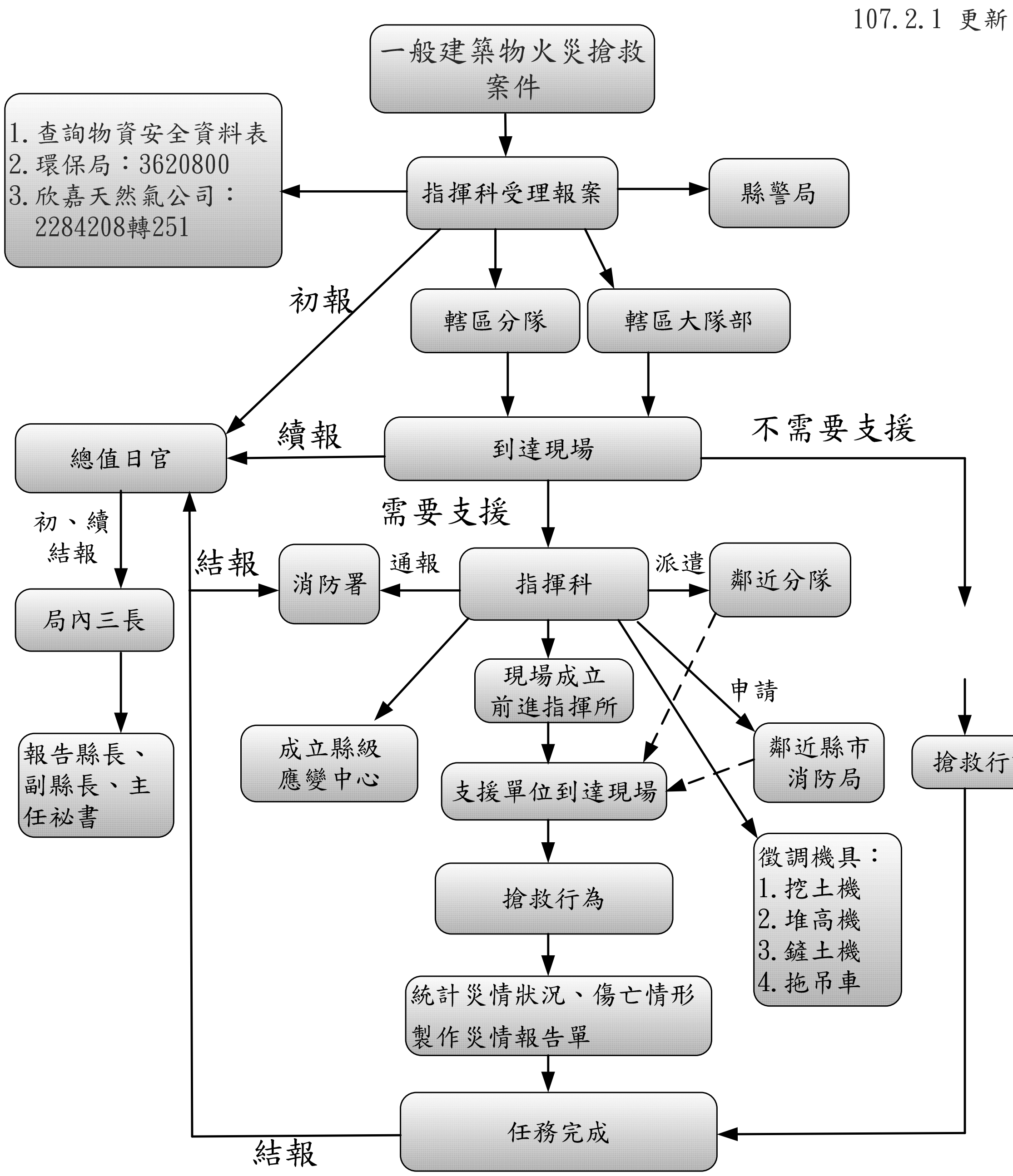


圖 2 一般火災案件由開始到撲滅流程圖

4、嘉義縣消防搶救的現況

嘉義縣消防局一般建築物火災搶救作業的現況如下說明：火災發生後指揮中心受理民眾報案後，派遣轄區分隊及鄰近二個分隊出動搶救，並同步作業通知消防大隊及友軍單位前往支援救災，消防同仁到達現場進行火災搶救，必須對該場所內部是否存放九大類公告之危險物品、場所內部結構及隔間、災害現場附近水源分布圖等相關資料，詢問場所關係人，提供救災人員對於現場更有所了解。嘉義縣消防局一般建築物火災搶救標準作業程序如圖 3 所示；連棟式頂樓加蓋住宅火災搶救各階段的作業流程步驟說明如圖 4 所示。（資料來源嘉義縣消防局）。



注意事項：
1. 大隊部人員到場成立前進指揮所，現場無線電通訊頻繁，統一調整為5號頻道。
2. 受傷人數達15人以上時，啟動大量傷病患作業程序，通知衛生局成立應變中心。
3. 人員傷亡、大陸國籍或嘉義縣民，通知民政處與社會局處理。
4. 事故地點交通不便時，立即跟署申請直升機支援。
5. 協調調派大型拖吊機具支援。
6. 隨時追蹤現場狀況，徵查傷亡人數與搶救情形，請大隊部人員回傳現場照片。

圖 3 嘉義縣消防局一般建築物火災搶救作業流程標準 SOP

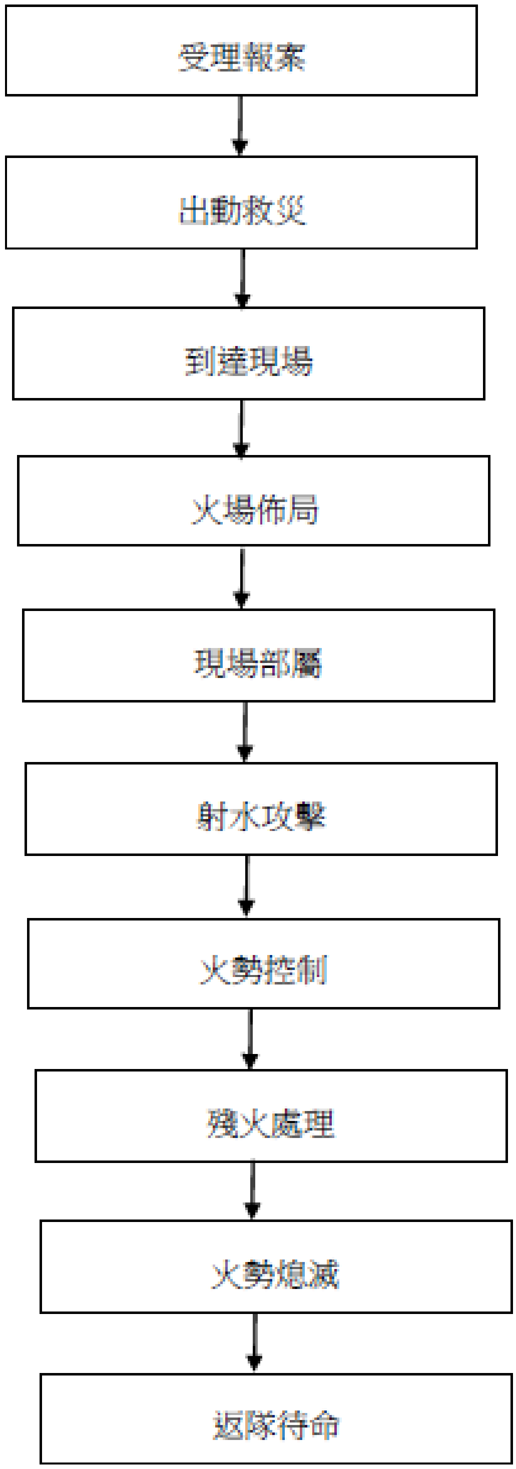


圖 4 嘉義縣消防局連棟式頂樓加蓋住宅火災搶救流程

三、研究設計

本研究主要在探討嘉義縣建築物火災消防搶救戰術分析，如何有效減少建築物火災的發生，消防搶救人員裝備器材是否足夠？消防搶救人力是否足夠？消防搶救人員各項技能訓練是否充足？消防搶救人員救災模式有那些可以改善的搶救方式以及消防搶救人員對於建築物搶救最應注意的事項等等，研究採用訪談及案例分析方式進行，研究架構如圖 5 所示。

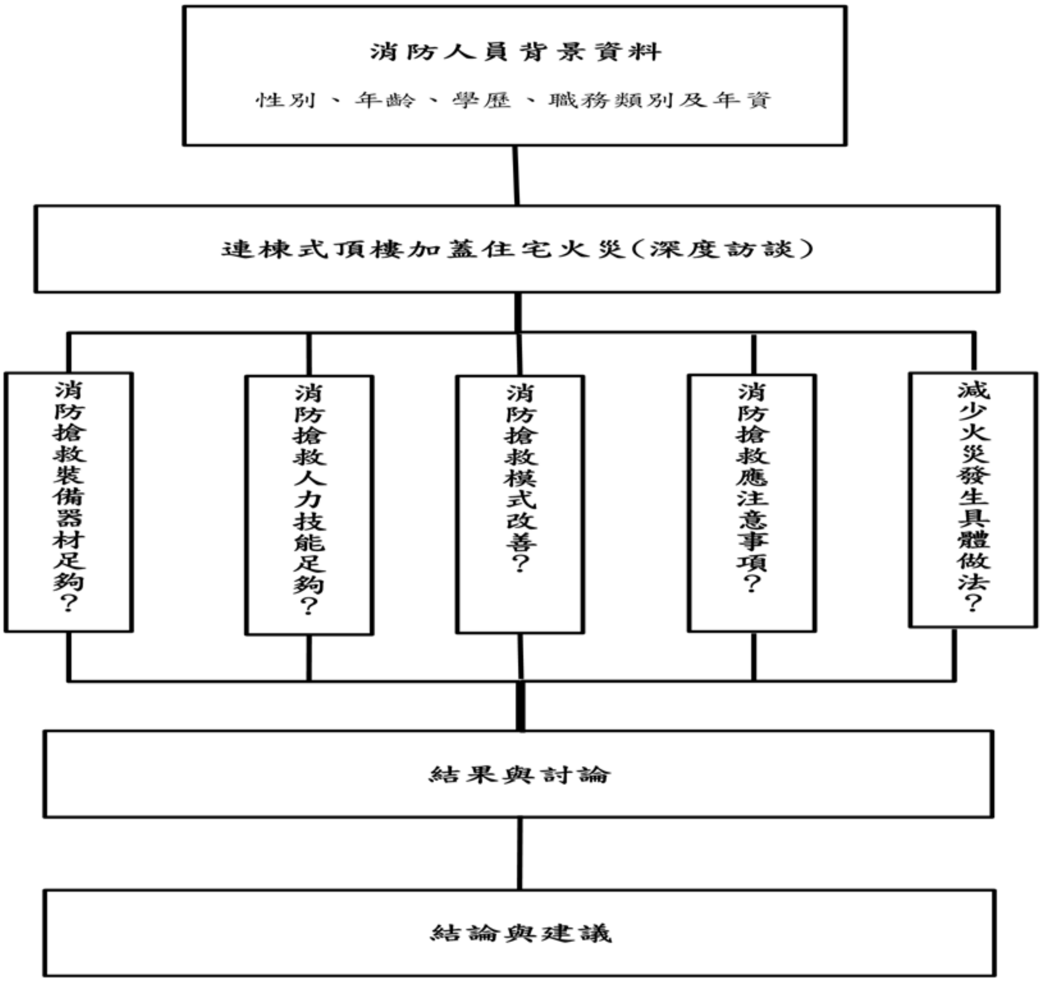


圖 5 研究架構圖

四、案例分析

嘉義縣中埔鄉○○村○○路○○○巷等 8 戶，係座南朝北之 3 層樓連棟建築物（1、2 樓均為鋼筋混凝土、3 樓加蓋鐵皮屋之構造），東、西兩面與其他建築物毗鄰，正（北）面臨 8 米寬巷道，作為住宅用途。於 102 年 11 月 24 日 19:57 接獲報案發生火警。現場燃燒情形如圖 6。建築物使用狀況、面積及燒損

程度面積 370 平方公尺，燒毀頂樓加蓋鐵皮屋全毀 4 戶，半毀 4 戶共計 8 戶。

圖 6 現場照片

本案火災發生於 102 年 11 月 24 日 19 時 57 分前，嘉義縣消防局救災救護指揮中心受理該連棟建築物 119 電話報案後，即出動中埔、三和、番路、太保、水上、祥和、竹崎、双福、鹿草分隊之消防人員及各式消防車輛馳赴火災現場搶救，救災人、車於 20 時 3 分，到達火災現場發現中華路○○巷○號三樓已全面燃燒，火勢猛烈並向二側延燒，○○號已有濃煙竄出，三和 11 立即出水 3 線，1 線由○號大門進入搶救，另 2 線向○○號射水防護防止擴大延燒，搶救及部署情形如圖 7 所示。本火災因連棟建築物 3 樓為鐵皮搭蓋，並以三合板（鐵皮）作為隔間牆及裝潢天花板，裝修皆為易燃性材質，故火勢一發生後即迅速由屋頂天花板往相鄰兩側建物空隙竄燒，火勢於 21 時 31 分撲滅。受燒損（燬）之連棟式頂樓加蓋鐵皮屋建築物，未設消防安全設備、保全及監視錄影系統，且其內部未儲放危險物品。

圖 7 搶救部署圖

現場搶救檢討分析及建議：

1、優點

轄區分隊於搶救初期有效佔據水源供給三和 11（水箱消防車）持續出水，搶救過程水源均穩定中繼，無匱乏中斷情形。火勢燃燒範圍雖廣，但現場救火指揮官調度得宜，順利阻止火勢往東西兩側及南側蔓延，消防人員有效防止飛火延燒，使火勢不致再擴大延燒。參與救災的消防人員，消防衣帽鞋及防焰頭套、手套等防護裝備鈞有確實著裝，入室人員有背負空氣呼吸器，安全官有確實管制人員進出。

2、缺點

火災現場巷道狹小，不易於消防車停駐佈線消防搶救，巷道狹窄，消防車不易進入，加上火警當晚風力強達四級風，故火勢一發不可收拾，造成消防搶救上之困難。因民眾違規停車導致 61（水庫消防車）較慢到達火場；另火場正面建築物前停放一部廂型車，導致救災較為困難。

3、建議事項

透過各種管道向中央單位爭取，以補足應有之消防警力，爭取消防車輛、裝備，以利消防救災。針對老舊及巷道狹窄致消防搶救困難之場所，建議主管機關，

應做全盤之規劃及整理，以防止類似事件再次發生。對於前述搶救困難之區域，本縣消防隊將持續進行消防救災演練，以利災害發生時，能迅速部署消防警力，將災害損失減至最低。本縣消防隊也將持續辦理各種救災訓練，並且持續派遣人員接受各項救災技能特訓（救助訓練、化學災害搶救訓練、緊急救護訓練、潛水訓練等），以增強本縣之消防救災能力。加強宣導居家防火安全常識，徹底落實火災預防工作。消防栓水壓不足，請自來水公司提供改善解決方案，以利救災勤務之執行。

五、結果與討論

1、消防搶救裝備器材分析

嘉義縣消防局目前消防搶救裝備器材足不足以因應各類型建築火災，針對消防搶救裝備器材足不足以因應各類型建築火災的答案，每位受訪談者的答案雖不盡相同，但也可歸類出一些共同點，大家對於嘉義縣消防局目前消防搶救裝備器材足不足夠應付各類型火災的看法都一致，受訪者普遍認為頂樓加蓋式住宅火災案件是足以應付的、木造建築物火災是足夠應付的、RC 結構住宅（防火構造建築物）火災是足以應付的、高層建築物火災是不足以應付的（因為雲梯消防車的高度不足，嘉義縣現有的雲梯消防車高度只有 32 公尺），亦缺少排煙車、地下建築物火災是不足夠應付的（因缺少排煙車）。

2、消防搶救人力分析

嘉義縣消防局在搶救連棟式頂樓加蓋住宅火災案件時，會出動轄區鄰近的兩個分隊為第一梯次派遣的戰力，共有三部消防水箱車，一部救護車，一部水庫消防車及一部救助器材車，同時同步通知派遣大隊人車及警察、電力公司、自來水公司等單位。此為初期火災的消防戰力，若火勢擴大時須加派救助分隊及鄰近分隊，並通知義消人員前往支援救災工作。嘉義縣消防局目前消防人力有 3 個消防大隊、23 個消防分隊，人員編制為 444 名，實際從事外勤消防搶救工作為 402 名（資料來源嘉義縣消防局），嘉義縣義勇消防人員實際從事外勤消防搶救工作總計 654 名。

3、消防搶救模式分析

嘉義縣消防局受理一般建築物火災發生搶救標準作業模式，會由消防局救災救護指揮中心統一調派轄區分隊、鄰近分隊，並同步通知消防大隊及友軍單位前往支援救災。嘉義義消防局消防大隊出勤模式為消防大隊接獲災害出勤指令，由大隊長或副大隊長率領各級幕僚人員立即出勤，以有效執行現場指揮幕僚作業，各大隊幕僚人員出勤時得參照各任務編組分別擔任分配之任務，並於災害現場開設前進指揮所，以統合各項指揮搶救事宜，大隊幕僚人員應作有效分工，瞭解工作特性，俾能協助各級指揮官指揮調度，有效達成任務，大隊幕

僚人員應依排表輪值，24 小時機動待命，接獲通知後應立即趕赴災害現場，出勤時倘編組人數不足時，依實際出勤人員做有效任務分工及遞補，各大隊幕僚人員依事故現場狀況靈活運用，發揮整體消防戰力，以確保人民生命財產安全。

4、建築火災消防搶救注意事項

搶救連棟式頂樓加蓋住宅火災搶救安全注意事項共十二點：(1)救災車輛避免靠近火場；(2)人員任務編組與進出管制；(3)起火處所不明則不可貿然行動；(4)注意夾層坍塌或建物倒塌情形；(5)注意墜落危害；(6)救災人員不可單獨行動且需搭配水線救災；(7)使用熱影像儀搭配救災；(8)直線射水儘量避開鋼結構接合部；(9)進退路徑儘量靠近主結構鋼柱；(10)建立穩定中繼供水與保持車輛水箱水源不溢滿；(11)全程應穿戴整套消防衣帽鞋；(12)危險判斷參考等。

5、降低建築火災具體作法

綜合文獻資料、深度訪談資料整理，嘉義縣消防局針對如何減少建築火災有以下四項具體作法：（1）推動住宅防火診斷措施、（2）普及住宅防火器材、（3）推行消防護照或消防闖關卡等防火逃生知識教育、（4）協助宣導民眾用火用電安全及初期應變等消防常識。

六、結論與建議

1、結論

綜合文獻資料、消防搶救災案例探討及深度訪談消防人員結論如下：

(1)消防搶救裝備器材足不足夠應付各類型火災，頂樓加蓋式住宅、木造建築物、RC 結構住宅（防火構造建物）等三種類型建築物火災以嘉義縣消防局目前的裝備器材是足以應付的，但高層建築物火災以嘉義縣消防局的裝備器材目前只有 32 公尺的雲梯車缺乏更高的雲梯車及排煙車所以不足因應，地下建築物火災則是缺乏排煙車，所以不足因應。

(2)目前火災現場救災人力是嚴重不足的，解決問題的根本之道在於，要增加消防分隊每個時段可以出勤救災的備勤人員數量，要達成這個目標最直接的方式為補充人力，並將勤務的重新規劃與調整，簡化消防人員的勤務種類和業務，但人力補充緩不濟急，首先是把不合時宜的勤務免除或刪除，就可以有多出的消防人力立即可以投入執行救災任務。

(3)目前消防搶救模式均按一般建築物火災搶救標準作業模式，分別由救災救護指揮中心、消防大隊、消防分隊執行火災搶救工作派遣任務，補充消防分隊人力，是最直接能改善消防搶救模式，增加消防分隊每個時段可以出勤救災的備勤人員，並將勤務重新規劃與調整簡化消防人員的勤務種類和減少外勤消防人員的業務，使外勤消防人能專心於救災、救護工作的執行，確保民眾生命財產更有保障。

(4)建築火災消防搶救（連棟式頂樓加蓋住宅火災）有那些注意事項，經訪深度訪談，案例分析研究認為此類型建築物火災，因樓頂加蓋鐵皮屋之違章建築情形，因此火煙無法從垂直通道疏散，增加消防搶救及防護之因難，連棟式住宅極易燃燒，火煙容易經兩側鐵皮縫隙延燒，消防搶救人員於佈署水線時應特別注意加強防護阻隔延燒。

(5)針對如何減少建築火災有以下四項具體作法：（1）推動住宅防火診斷措施。（2）普及住宅防火器材。（3）推行消防護照或消防闖關卡等防火逃生知識教育。（4）宣導民眾用火用電安全及初期火災應變等消防常識。

2、建議

針對未來提升建築火災消防搶救之策略方面，提出下列建議：本研究主要針對連棟式頂樓加蓋住宅火災消防搶救探討，建築火災的型式還有很多種類，後續研究者可以針對其他類別的建築火災加以研究，如高層建築物火災、地下建築物火災、耐火結構建築物、鋼結構鐵皮屋建築物等，對整個建築火災的消防搶救更能全面了解，因為不同縣市有不同的住宅特性，尤其以台北都會區土地少高樓林立，對這種超高樓層大樓的火災，可能更需要去模擬各種消防搶救戰術，所以建議都會區的研究者可以去做更深入的探討，以期能對建築火災的消防搶救更加精進。

參考文獻

陳錦龍、紀人豪，「**鐵皮屋建築物火災搶救隊測之研究**」，吳鳳科技大學碩士論文，2015 年。

嘉義縣火災調查資訊系統，2016 年。

吳志欽、何三平，「**建築物火災發生原因及預防對策之探討**」，長榮大學碩士論文，2008 年。

內政部消防署「**消防人員救災安全手冊**」第貳篇-搶救鐵皮屋建築物火災安全指導原則。

建築技術規則：http://w3.cpami.gov.tw/law/law/lawe-2/b-rule.htm

行政院「**維護公共安全方案-營建管理部分**」營建管理篇第九條應採行措施辦法，民國 90 年 8 月 29 日函核定。

內政部消防署，「**直轄市縣市消防車輛裝備及其人力配置標準**」，總則，民國 105 年修正。

直轄市縣市消防車輛裝備及其人力配置標準-消防裝備表。

直轄市縣市消防車輛裝備及其人力配置標準-消防車輛定義及應備裝置表。

嘉義縣消防局全球資訊網頁資料，2018 年。

內政部消防署「**消防機關火場指揮及搶救作業要點**」民國 106 年 8 月 23 日修正。

嘉義縣消防局**大隊幕僚人員作業原則**，民國 107 年。

內政部消防署**消防人員救災安全手冊**，民國 104 年 12 月五版。

105 年消防統計年報，中華民國內政部消防署全球資訊網，http://www.nfa.gov.tw/cht/index.php。

內政部消防署，「**火災調查鑑定作業要領**」，民國 106 年 1 月 18 日修正。

7th 日本地區共同管道建設現況

6th CROSS-STRAIT SEMINAR 2018 10/26 in Taiwan

Current State of Underground Common Duct in Japan

Dr. and Former Professor
Masahiro Nakano

Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

*Contents

Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

1． Underground common duct

1) About Common Duct

① Purpose

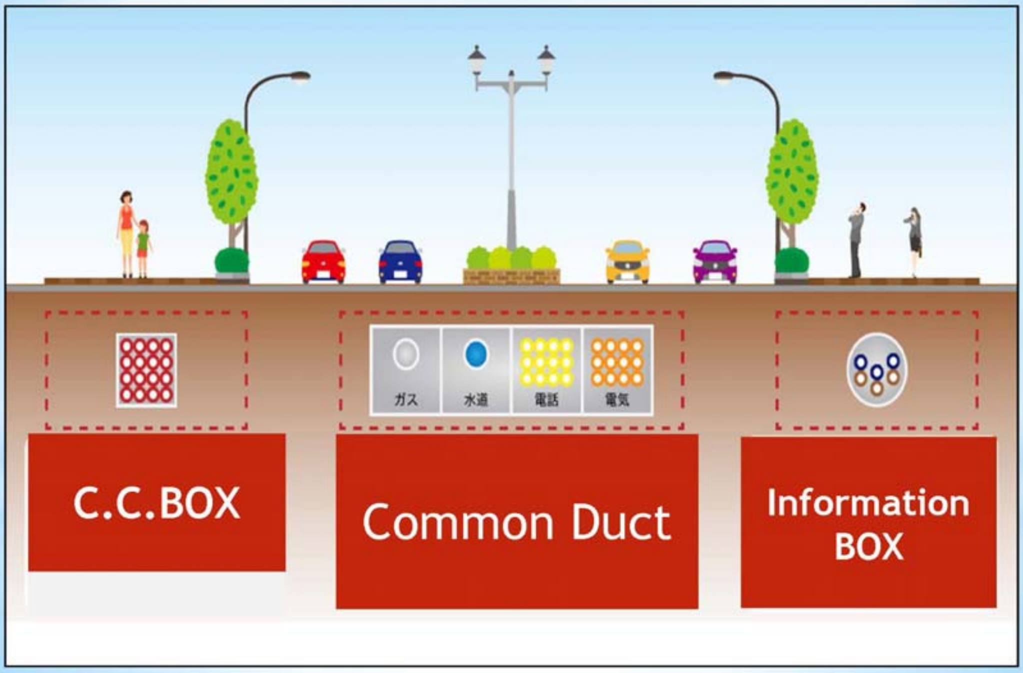
1) Trenching works on the road is prevented.
2) Smooth traffic is secured.
3) Lifeline facilities are accommodated safely.
4) Improvement of urban landscape and protection against disasters

Fig. Accommodations in Common duct
[E, T, W, G, S]

Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

https://www.cgr.mlit.go.jp/chiki/doyroj/gaiyou/3-1%20kyoudoukou%20Top.htm#1

1) Underground Common Duct ②Outline

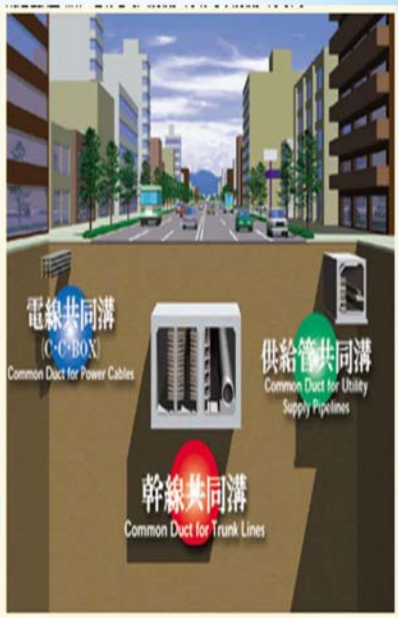


③ Kind of Common duct

1. Common Duct (<u>for Trunk Lines</u>)
Trunk line facilities of T. E. G. W. G. S. and so on are accommodated under roadway mainly and supported an urban function.
In maintenance work the workers can work inside common duct.

2. Common Duct (<u>for Utility Supply Pipelines</u>)
Utility Supply Pipelines of T. E. G. W. G. S. and so on are accommodated under sideway mainly and supported an urban function.
These are possible to connect a lifeline to each building without digging a road up.

3. Common Duct (<u>for P and Tel Cables</u>):
C.C.BOX
At the facilities which accommodate an electric power line and a information wire overall under the sidewalk and can have improvement of urban landscape and the protection against disasters



Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

http://www.kkr.mlit.go.jp/road/kyodoko/k05.htm

④ The role of Common Duct

1) Trenching on the road is prevented.

2) A town is protected from an accident.
The telephone wire (optic fiber), the electric power cable, gas hose, water supply and pipes are strong in an accident by underground box store.
It's difficult for a pipe lines and a cables to spoil, and so for an automatic detection apparatus to be installed, maintenance works can do safety sure.

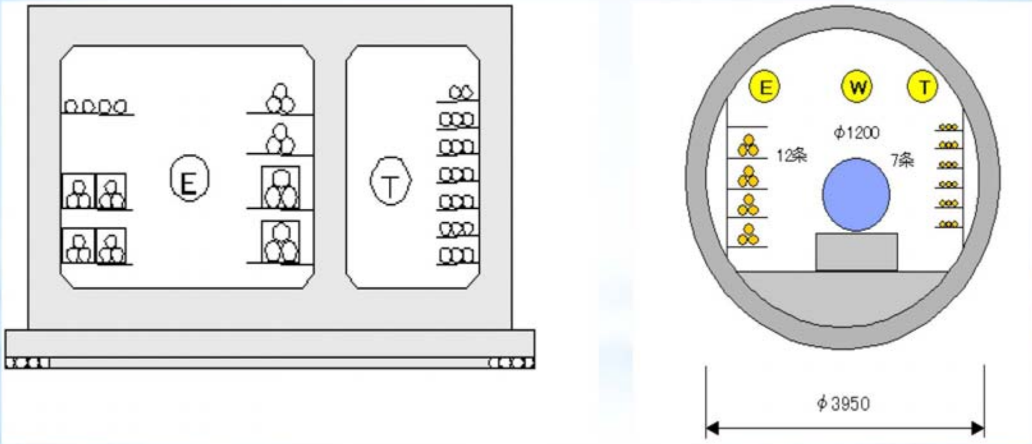
3) Road space can be used effectively.
A common duct arranges and integrates these facilities and can accommodate them orderly.
Specially C C BOX can be enabled of beautiful retainment of road space and effectively to be used highly more than now

Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

http://www.kkr.mlit.go.jp/road/kyodoko/k04.html

(Ref.) Two structural types of Common Duct

In case of Common Duct for Trunk Lines



Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN
https://www.cgr.mlit.go.jp/chiki/doyroj/gaiyou/3-1%20kyoudoukou%20Top.htm#1

(Ref.) Construction work in Tokyo Hibiya

(from The Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

http://www.ktr.mlit.go.jp/toukoku/chika/hibiya/index.htm

■Common Duct for Utility Supply Pipeline

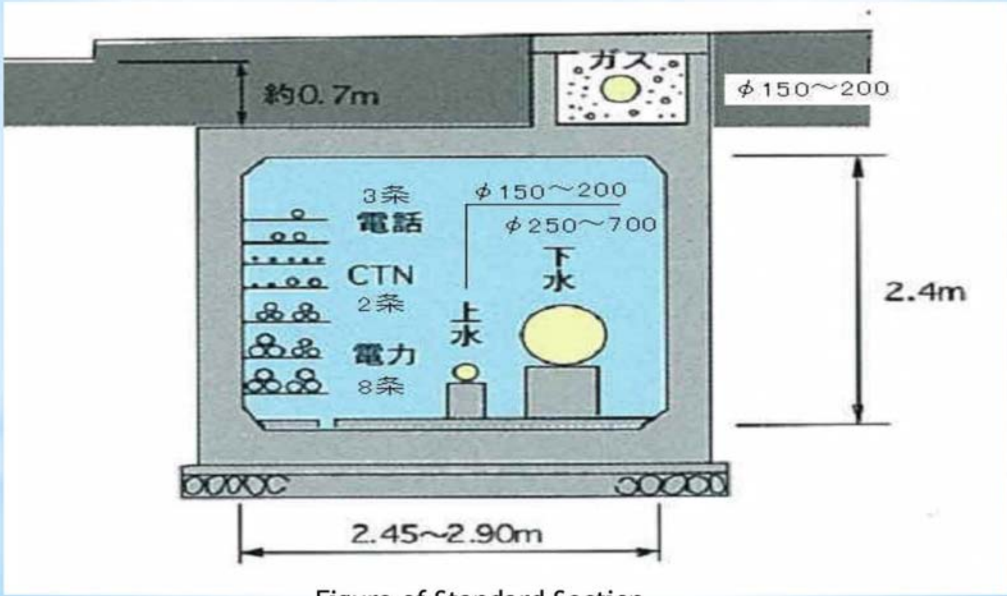


Figure of Standard Section

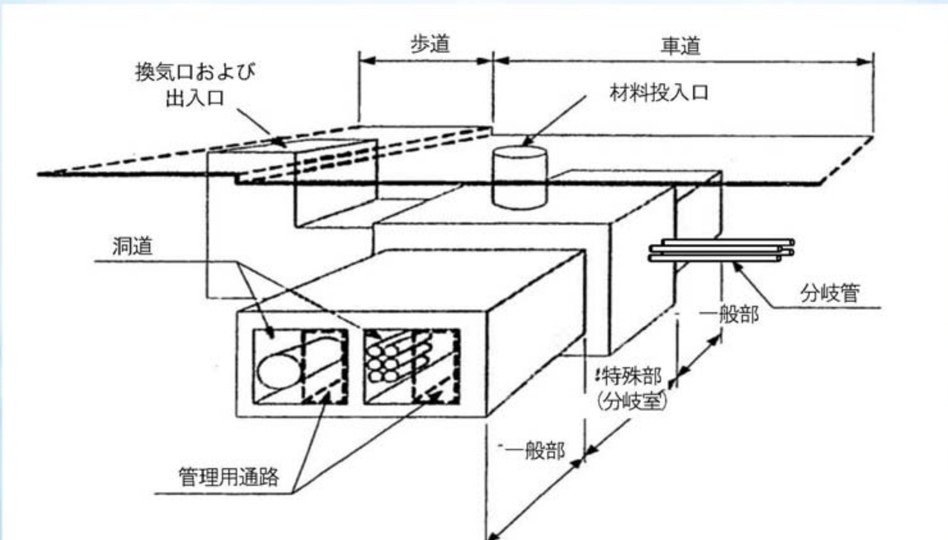
Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

https://www.cgr.mlit.go.jp/chiki/doyroj/gaiyou/3-1%20kyoudoukou%20Top.htm#1

1.2) The structure of facilities

General part and special part

(branch, cable connection, material carrying-in, and so on)



共同溝施設構成図

- Selection of construction method

A. Open-cut method

Because the cross-sectional form isn't fixed and a special department has a lot of changes(the entrance, exit ways and the ventilation openings, etc.) this method is generally applied.

B. Non open-cut method(Shield method)

This method is adopted when the common duct has the restrictions by the existing structure and must avoid the influence to road traffic by construction.

*Way of thinking of method of construction selection:
A method of construction considers influence to the cost performance, construction work, work and traffic safety and also an accommodation plan of other enterprise, a crossing structures, highway planning, and after these considering the method is selected.

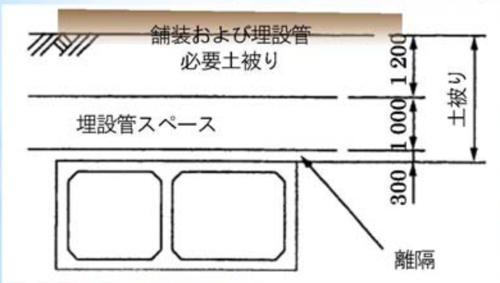
11

Design plan(in Open-cut method)

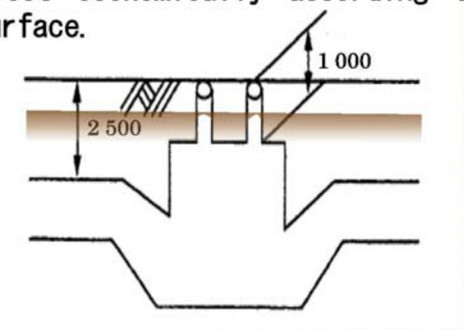
Linear plan(plane and running through)

A. After the plane point of view of the common duct is made the center of the road as a principle, and considering the location of existing structure, horizontal alignment plans is done according to the road.

B. Vertical alignment considers the smallest earth receiving and drainage slope (more than 0.2 %), and as far as possible, excavation shin plans become smallest economically according to the vertical slope of the roadway surface.



Smallest Earth receiving depth(in section)
(unit : mm)



Earth receiving depth(in side section)
(unit: mm)

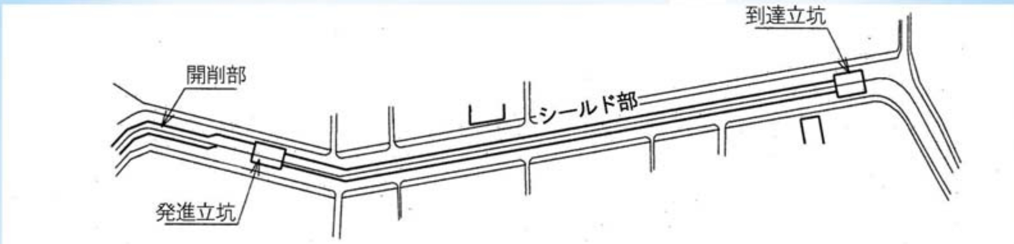


Fig Plan view

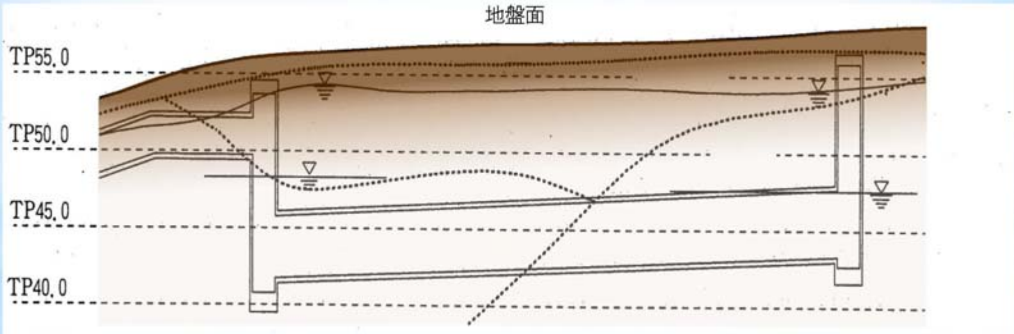


Fig Longitudinal view

Outline view figure of plane and longitudinal

1. 3) Attendance equipment

Attendance equipment is established for the purpose of securement, preservation in the maintenance, fire, flooding and crime prevention and so on for the good operational condition in the common duct.

Main equipment are follows:

(1) Drainage facilities (dead water is excluded.)

(2) Water supply equipment (for cleaning and fire extinguishing)

(3) Ventilating installation (exclusion of poisonous gas, dehumidification and prevention of the temperature)

(4) Lighting installation (illumination and outlet)

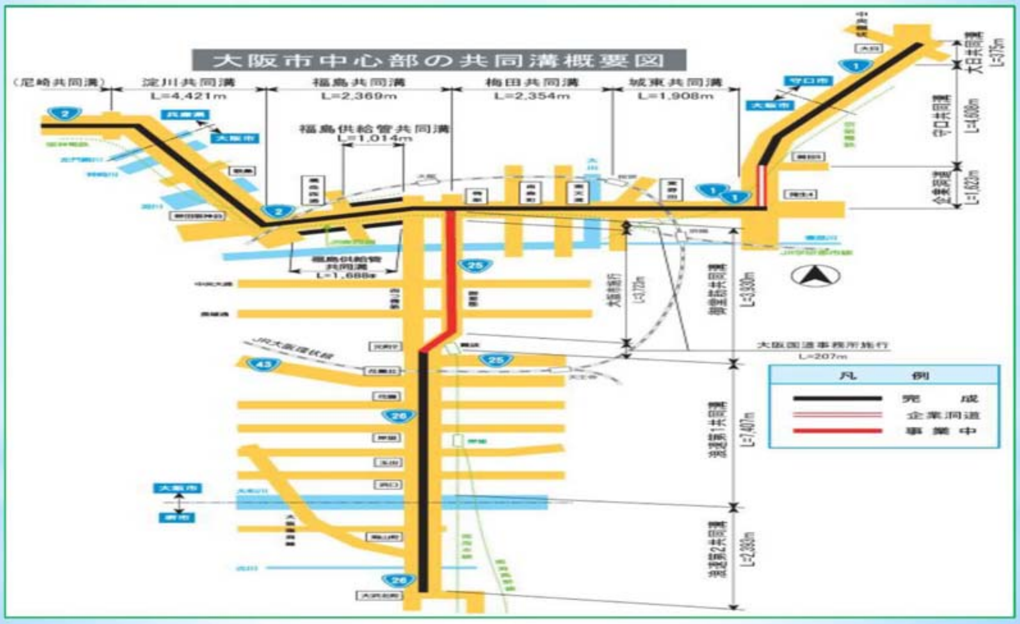
(5) Power distribution installation (machine, power supply retirement of illumination and power distribution)

(6) Disaster prevention safe equipment(fire in the ditch , accident prevention, safety ensuring and crime prevention)

(7) Sign system (guide and warning)

14

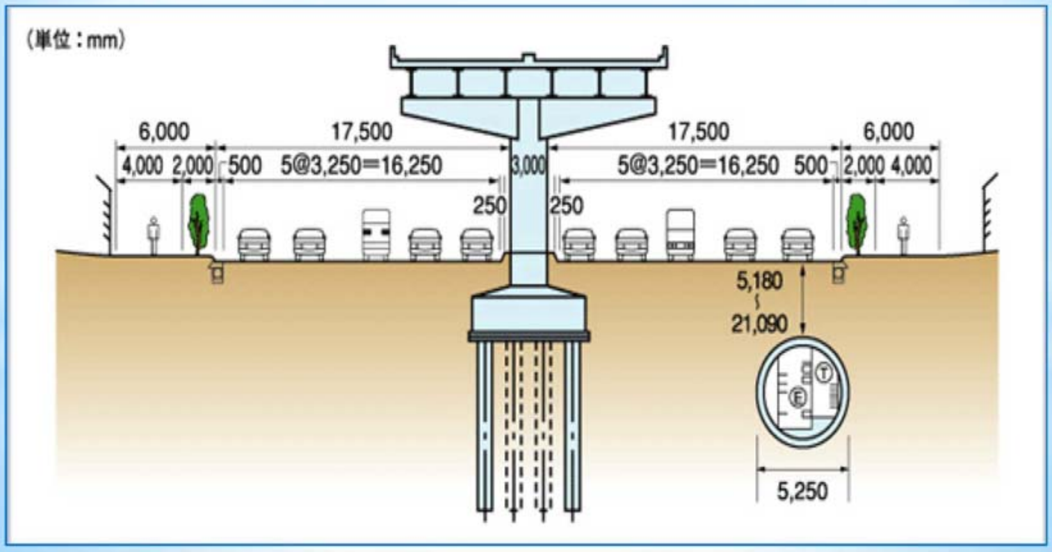
4.）(1) Underground common duct in Osaka



Dr.Masahiro NAKANO　CSKR JAPAN

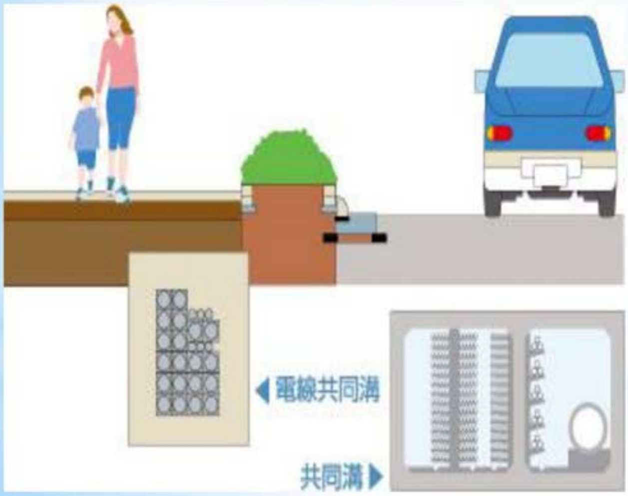
2）Underground common duct in Kobe

★Kobe common duct have opened in 2001 and am aiming at a network with Osaka one.



2. Common Duct for Telecommunication and Power Cables (C·C·BOX)

Location of C.C.Box



Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

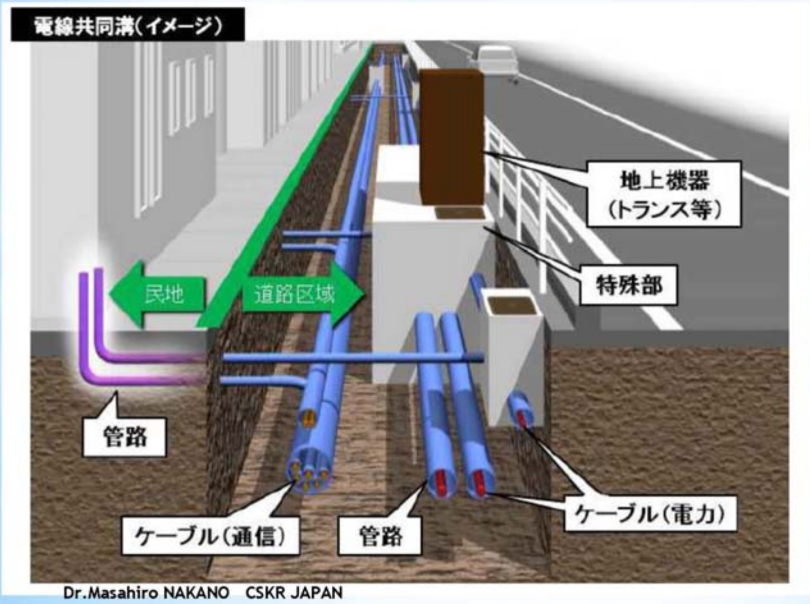
http://www.kkr.mlit.go.jp/kyoto/make/kankyo/kyoudoumizo_01.html

1.The facilities which are established the road underground accommodating wire of more than 2 enterpriser

2.The property housed in a wire common duct are

＊Power supply
＊Telecommunication(Optical fiber)
＊Cablecasting(TV, radio, music)
＊ Optical fibers for administration of a road management authority

2. 1) Outline of Common Duct for Electricity and Telecommunication Cables (C·C·Box)



Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

Construction site

2.2) Outline of information Box

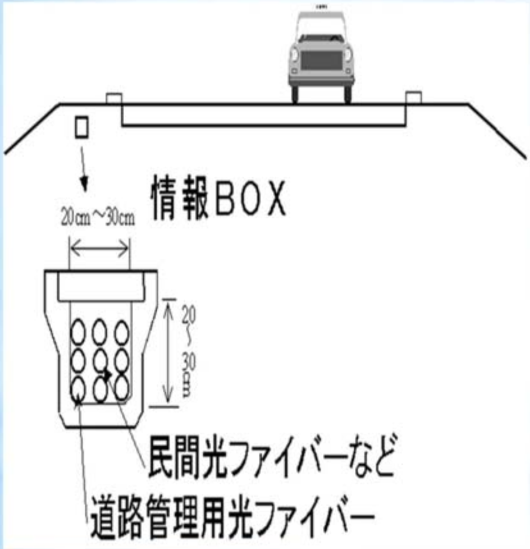


Fig Location of Information Box

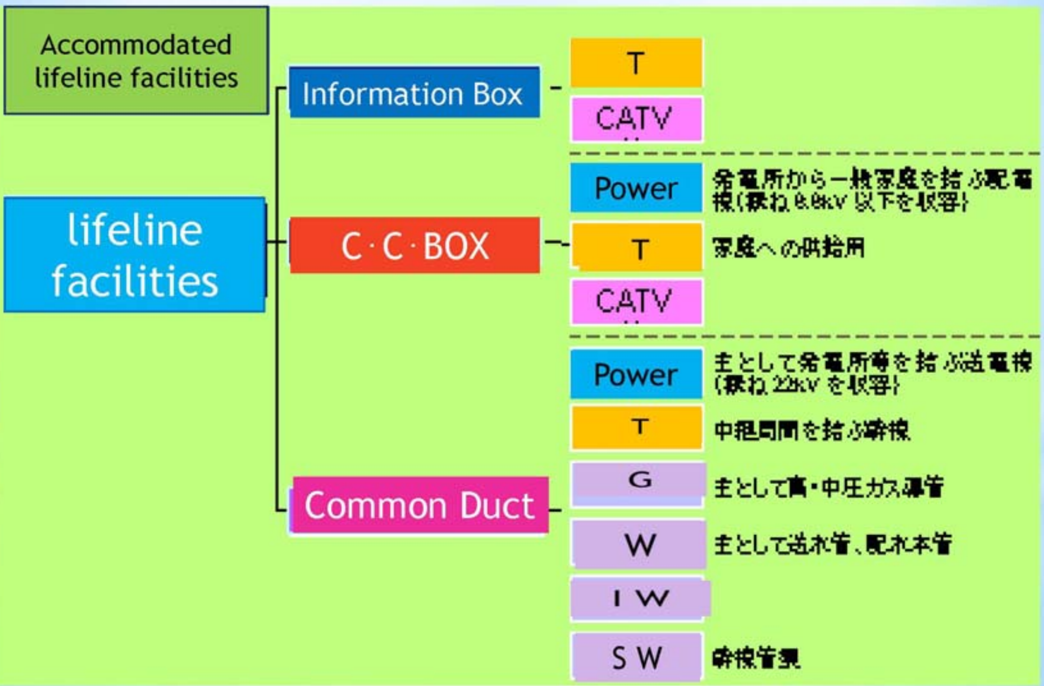
Dr.Masahiro NAKANO CSKR JAPAN

＊ This is established by road management sectors and the facilities for accommodate a fiber-optic cable for road management.

＊ The inner space accommodates a optical fiber cable for road management in one space, and divides inside it by a sheath spout.

＊ Private enterprise persons also are possible to construct the communications line by optical fibers in this space.

3.Accommodated lifeline facilities under roads

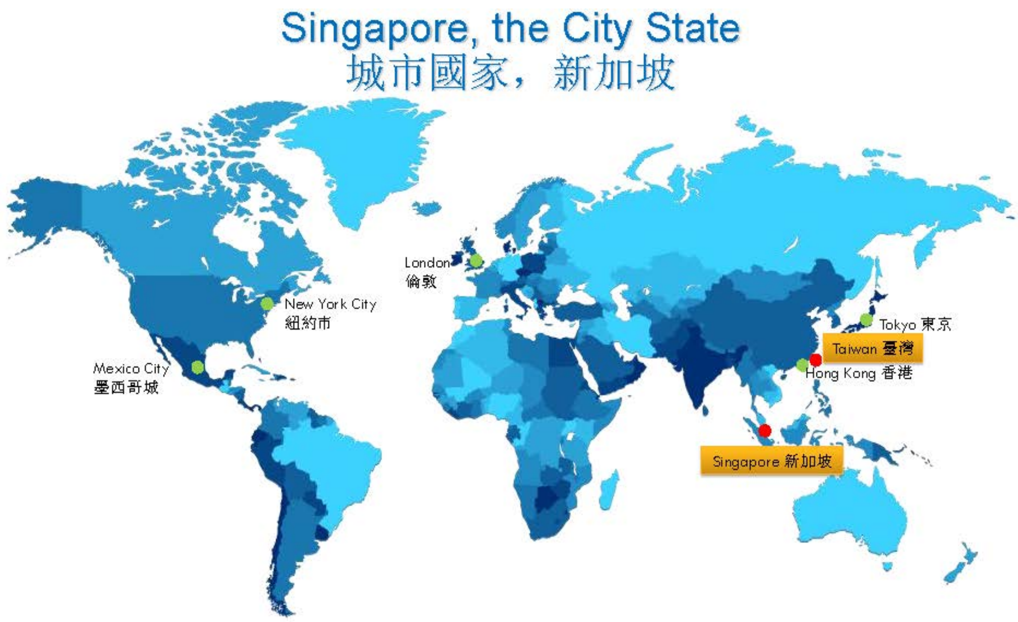


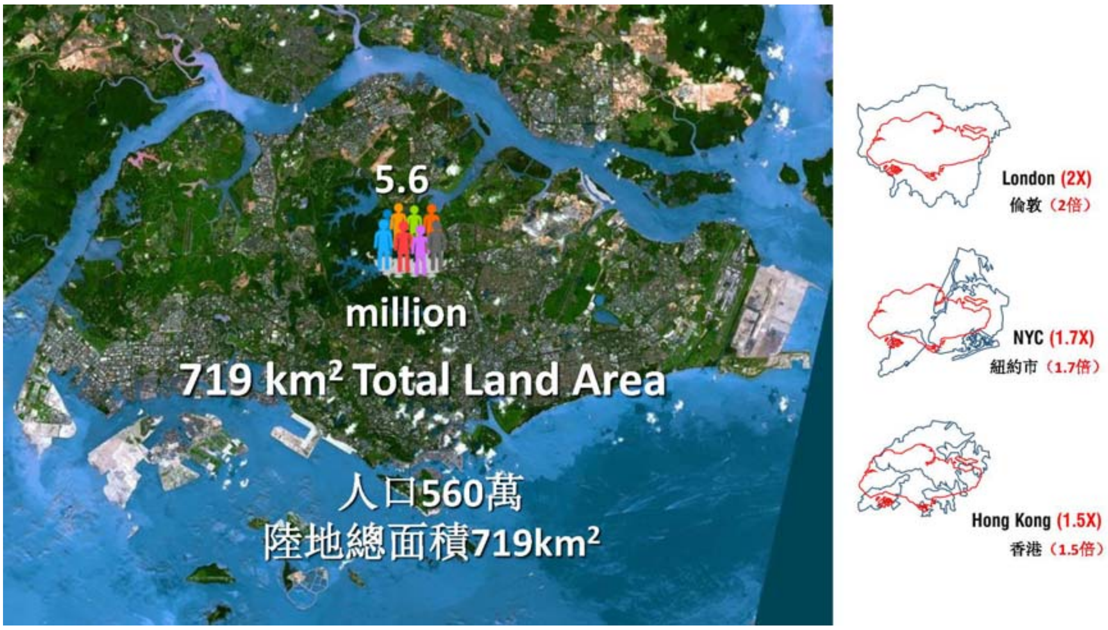
8th 新加坡濱海灣共同管道建設

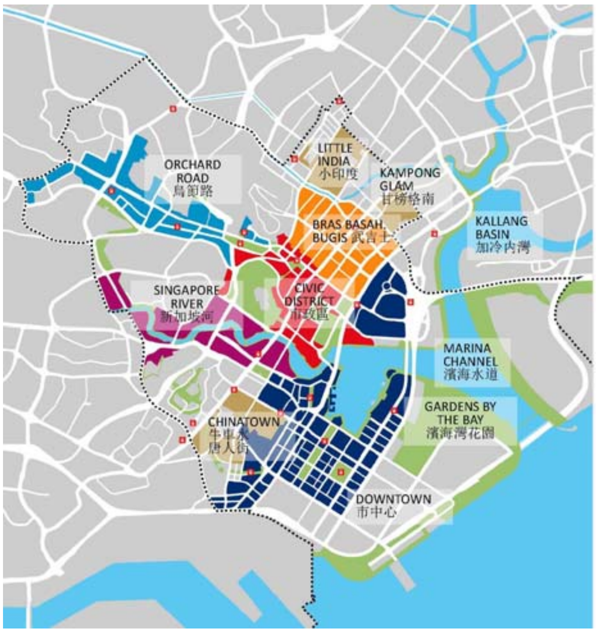
Development of the Common Services Tunnel in Marina Bay, Singapore
新加坡濱海灣共同管道的建設

Ler Seng Ann 呂成安
Group Director (Development Services) 總署長（發展服務）
Urban Redevelopment Authority 市區重建局

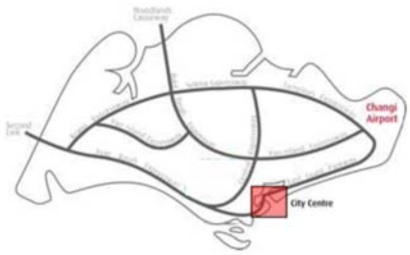
URBAN
REDEVELOPMENT
AUTHORITY


Singapore, the City State
城市國家，新加坡
London
倫敦
New York City
紐約市
Tokyo 東京
Taiwan 臺灣
Mexico City
墨西哥城
Hong Kong 香港
Singapore 新加坡


5.6
million
719 km² Total Land Area
人口560萬
陸地總面積719km²
London (2X)
倫敦（2倍）
NYC (1.7X)
紐約市（1.7倍）
Hong Kong (1.5X)
香港（1.5倍）



Singapore's City Centre 市中心



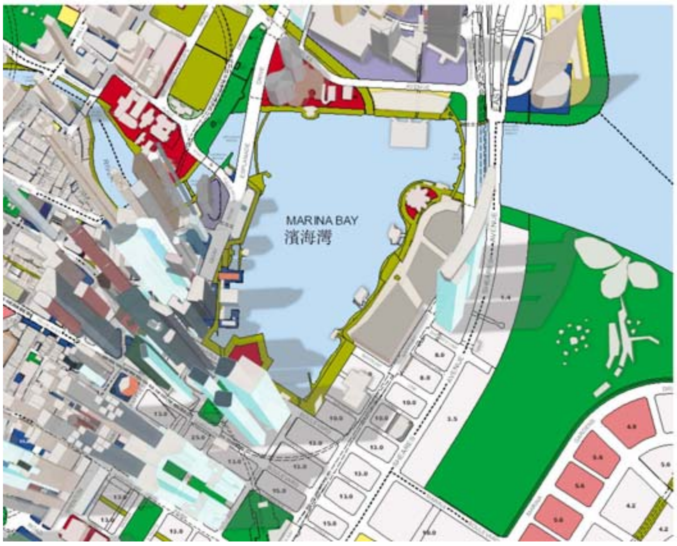
- Districts with unique & distinctive character
  具有特色
- Well-served by transportation
  交通便利
- Mix of uses to meet business & living needs
  綜合土地運用，以滿足商業與生活需求

Planning for a High Density Mixed-use District 高密度綜合利用區的規劃

Planning Ahead of Time 提前規劃

Planning for Marina Bay 濱海灣的規劃

- A pro-active and holistic approach 主動並整體的規劃方式

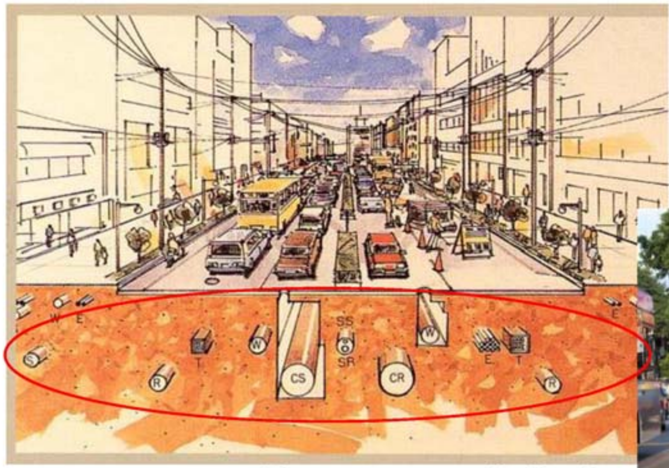


- **Developed through public & private partnership**
  公私合作開發
- **Govt. provides infrastructure & release land for private development**
  政府提供基礎設施並劃撥土地供私營企業開發使用
- **URA - the Development Agency for Marina Bay:**
  市區重建局—濱海灣的發展機構
  - Prepares master plan for land & water activities
    制定土地運用與水上活動的總體計劃
  - Co-ordinates planning & infrastructure implementation
    協調規劃與基礎設施的實施
  - Acts as land sales agent
    銷售土地
  - Programmes events & activities
    籌辦活動
  - Markets & place manages the district
    對該區進行行銷于管理


Planning a sustainable Live-Work-Play Environment 規劃一個可持續的生活、工作、娛樂環境
Compact living 高密度綜合利用
Homes, offices and amenities are located together for more compact, convenient living, reducing possible long distance travelling for residents and office workers.
Eco-friendly buildings 環保型建築
The bay will have eco-friendly buildings with new developments required to achieve a minimum Green Mark Platinum or Gold™ standard. This means buildings will have features that promote energy and water savings, healthier indoor environments and the introduction of more greenery.
Higher levels of green 綠化高樓
All new developments have to offer some form of skyrise greenery under URA's landscape replacement policy, taking green to a whole new level. This helps to lower the urban heat island effect and possibly reduce the demand for air-conditioning.
Keeping cool 降低溫度
Ambient air temperature is cooled with shady trees, water features and outdoor fans to make walking along the promenade a breeze.
Water supply 集水區
Marina Barrage, the dam built across the Marina Channel makes Marina Bay Singapore's first freshwater reservoir in the city, adding to Singapore's water supply by 10%.
Carbon free 降低排碳量
Carbon emission-free travel is encouraged with a comprehensive network of train stations, underground links and walking paths. In future, cycling paths and water taxis will offer more options to get around.
CABLE TUNNEL
PIPE TUNNEL
All in one tunnel 共同管道
All utilities supporting the Marina Bay developments are housed in one common services tunnel that distributes water, electricity and telecommunication services. This frees up land, with lesser maintenance disruptions on the roads.
Gardens green 公園
The latest Gardens by the Bay adds another 100 hectares of lush garden greenery to the bay. Super trees within the garden harness solar energy for lighting at night while the lake system acts as natural filtration for water from the gardens' catchment, creating aquatic habitats.


Common Services Tunnels
共同管道

Traditional Design of Infrastructure Services 傳統設計

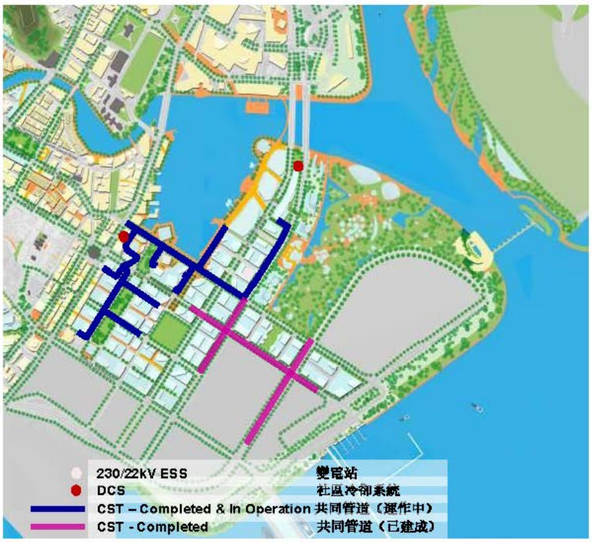


Services laid under the roadside verges or road carriageways
管綫鋪設在路肩或車道底下

Road digging not just causes traffic delays, but also affects the image of the area
道路開挖導致交通阻塞，影響環境

Using Innovative Infrastructure & Systems 採用創新基礎設施

- Common Services Tunnel (CST) 共同管道

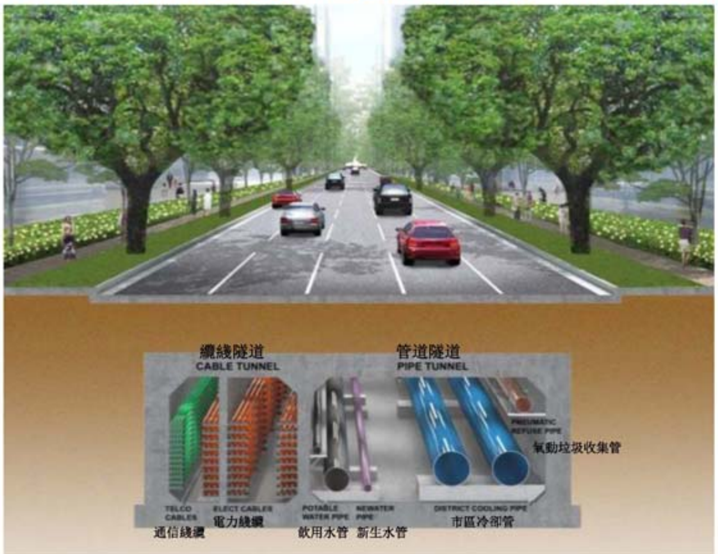


- State of the art infrastructure & services:
  先進的基礎設施
  - Common Services Tunnel (CST)
    共同管道
  - District Cooling System
    社區冷卻系統
  - Pneumatic Refuse Conveyance System
    氣動垃圾輸送系統

Benefits of the CST 共同管道的好處

- Minimal traffic disruption 降低對交通的干擾
- A better urban environment 改善環境
- More reliable services 提高管線服務可靠性
- Shorter services laying time 縮短管線鋪設時間
- Optimisation of land 優化用地
  - Reduction of road reserve width (more land for development)
    減少道路專用範圍的寬度（騰出更多土地供開發）
  - Integration of ancillary structures with developments
    附屬結構與開發區融爲一體

Utilities in the Common Services Tunnel 共同管道内的管綫



Services in CST:
共同管道内的管綫:

- Power cables
  電力綫纜
- Telecom cables
  通信綫纜
- Potable Water pipes
  飲用水管
- Newater pipes
  新生水管
- District Cooling Pipes
  社區冷卻管
- Pneumatic refuse collection pipes (future)
  氣動垃圾收集管（規劃中）

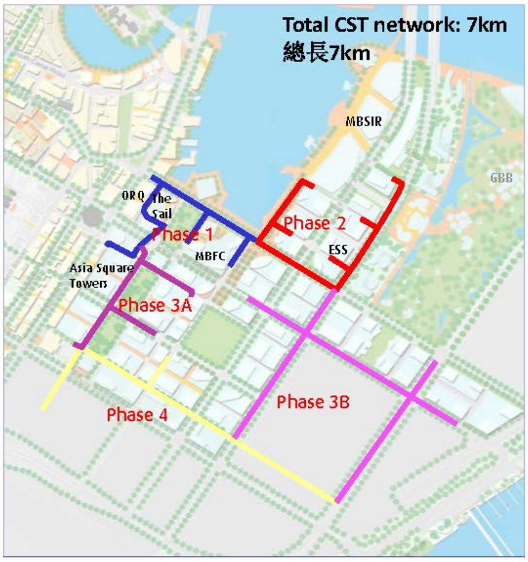
Exclusion:
不包含:

- Gas pipes
  煤氣管
- Sewer pipes
  下水道


Common Services Tunnel 共同管道
View of pipe tunnel 管道隧道
Potable Water Pipes
飲用水管
District Cooling Pipes
市區冷卻管
NEWater Pipe
新生水管
View of Pipe Tunnel


Common Services Tunnel 共同管道
Power Cables
電力綫纜
Telcos
通信綫纜
DCS pipe
市區冷卻管
DCS pipe
市區冷卻管
Potable Water &
NEWater pipes
飲用水與新生水管

Common Services Tunnel in Marina Bay to date 截至目前的成果



- Implementation in 4 Phases
  分4期實施
  - Completed & in operation: Phases 1,2 & 3A (about 4km)
    運作中：1、2、3A期（約4km）
  - Just completed : Phase 3B (about 1.7km)
    剛建成：3B期（約1.7km）
  - Future : Phase 4
    未建成：4期
- Government has spent over **S$1 billion** on the infrastructure works incl. consultancy studies.
  政府已對工程（包括顧問研究）投入**10億多新元**
- Average cost of CST construction: **S$200mil per km.**
  平均造價：**每公里2億新元**

Implementation of the CST at Marina Bay 共同管道的實施
- Key Considerations 關鍵考量

(1) Land Use Considerations 用地考慮

- Marina Bay is a **Greenfield** development
  濱海灣是一個綠地開發區
- Planning up to **detailed Master Planning** (individual land parcellation)
  詳細的總體規劃（地塊分割）
- **Firm plans of underground developments** which will impact CST design & planning
  提前確定會影響共同管道的其他地下空間發展的規劃
- Area with **high GPR/density for** commercial developments
  高密度商業區

(2) Other Key Requirements 其他需求

- A **Development Agent** 發展代理機構
- A **Owner** 業主
- A CST O&M **Operator** 共同管道運行維護管理單位

Design of the Tunnels
管道的設計

CST Design Considerations 設計上的考量

Flexibility 靈活性

- Design for ultimate capacity & 120 years life span 按最終容量與120年使用壽命進行設計
- Easy to lay and maintain services 便於管綫的鋪設與維護

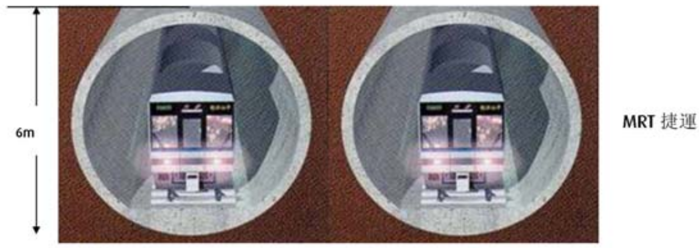
Safety 安全性

- Use of only non-combustible materials 僅使用不易燃材料
- Separation of cables and pipes tunnel 纜綫隧道與管道隧道的分隔
- Tunnel is always safe for work 確保安全的工作環境

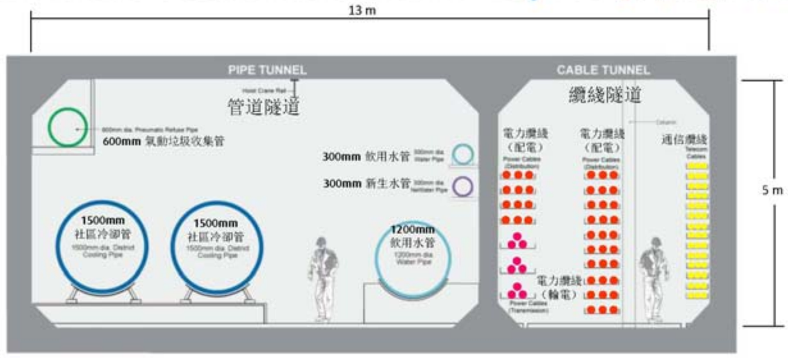
Security 保安

- 24/7 Centralized control/monitoring system 全天候的集中控制與監測系統
- Restricted access points 監控出入口的使用

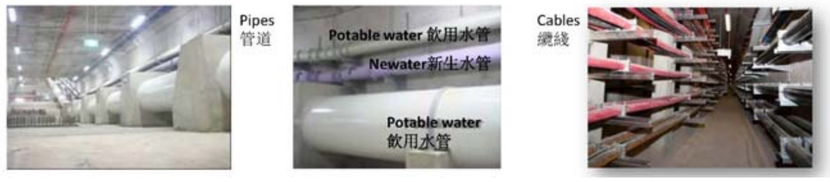
CST Design Dimensions 設計尺寸

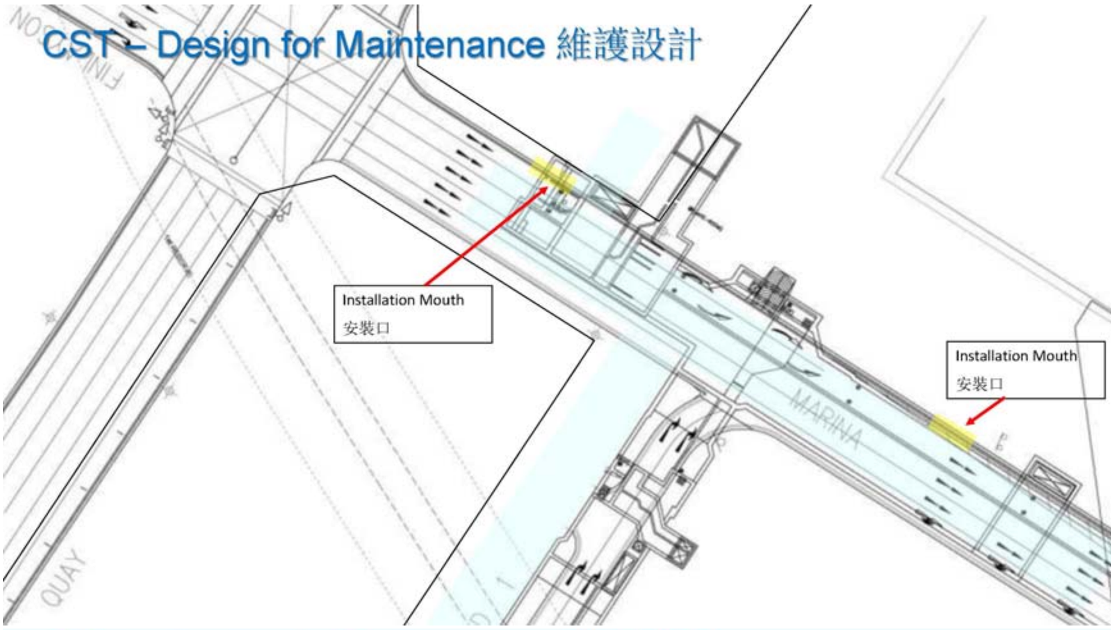


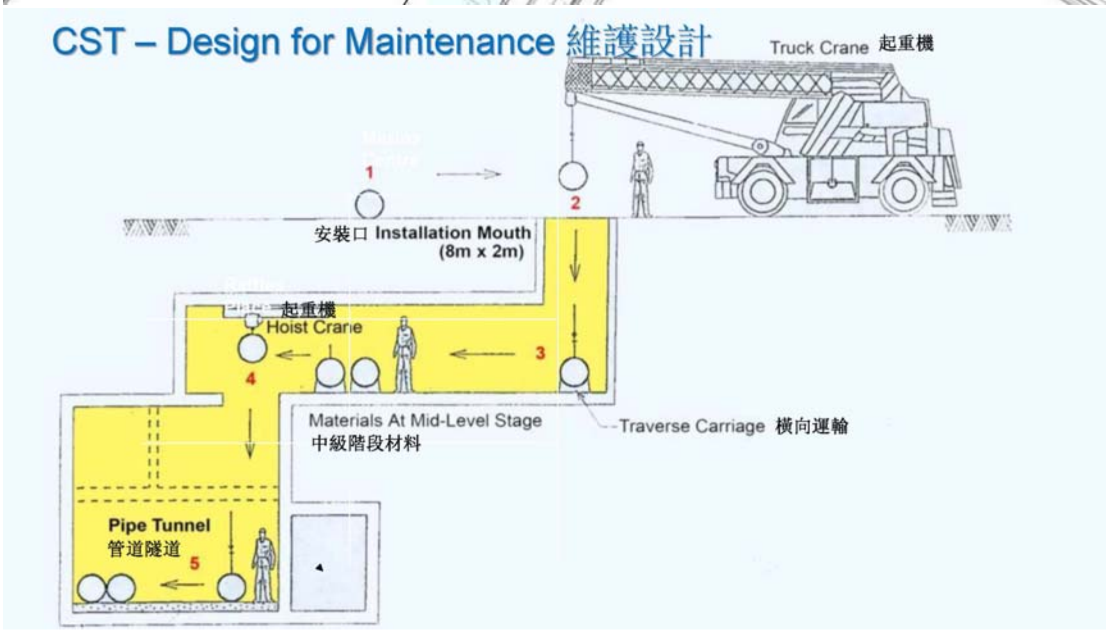
Typical CST Cross Section and Interior Layout 標準斷面與內部佈置



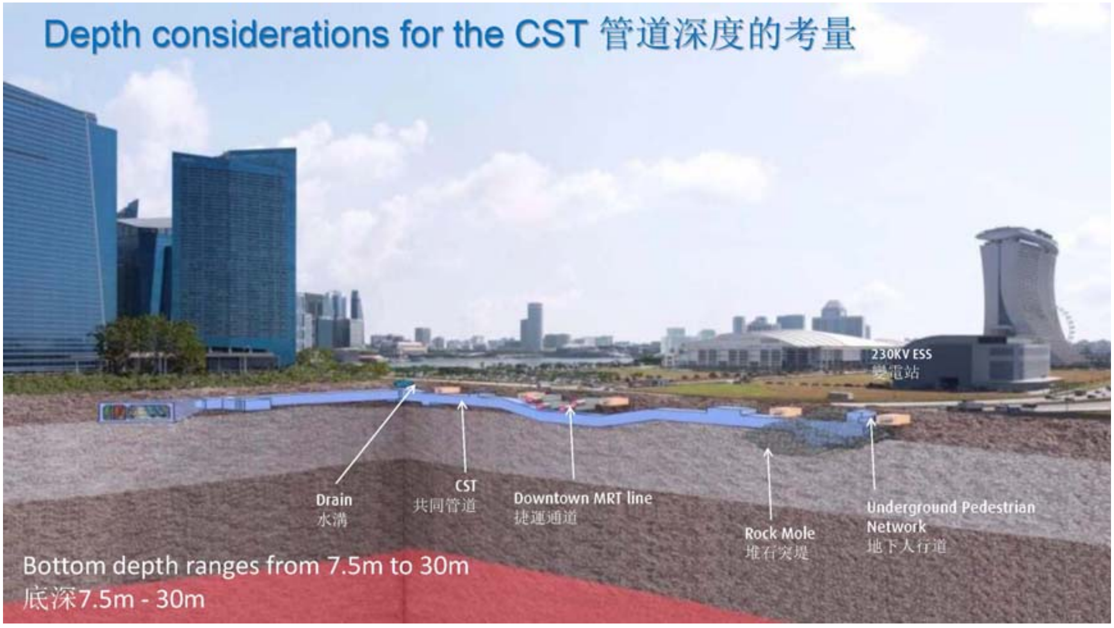
TYPICAL CROSS SECTION OF COMMON SERVICES TUNNEL 標準斷面



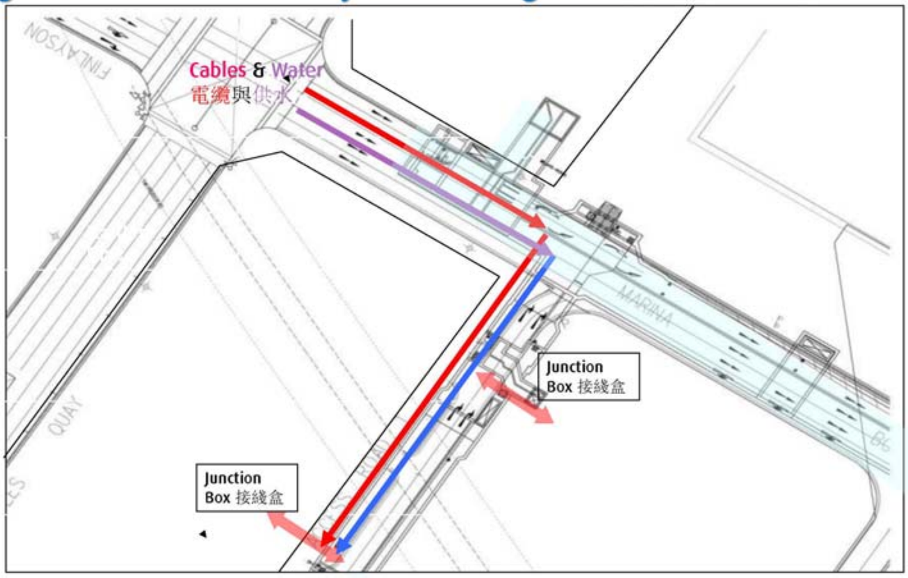

CST – Design for Maintenance 維護設計
Installation Mouth
安裝口
Installation Mouth
安裝口
MARINA
QUAY


CST – Design for Maintenance 維護設計
Truck Crane 起重機
1
2
安裝口 Installation Mouth
(8m x 2m)
起重機
Hoist Crane
3
4
Materials At Mid-Level Stage
中級階段材料
Traverse Carriage 橫向運輸
Pipe Tunnel
管道隧道
5

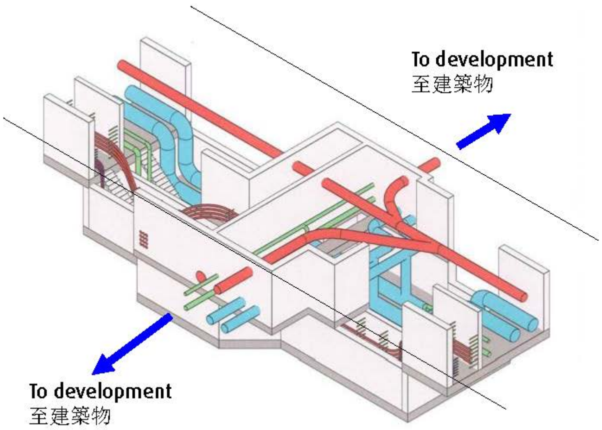
CST – Design for Maintenance 維護設計



Design to Connect Directly to Building 連通建築物的設計

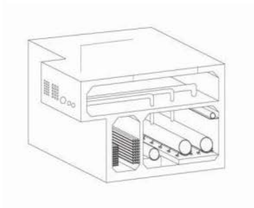


Connection of CST to developments 與建築物的連同

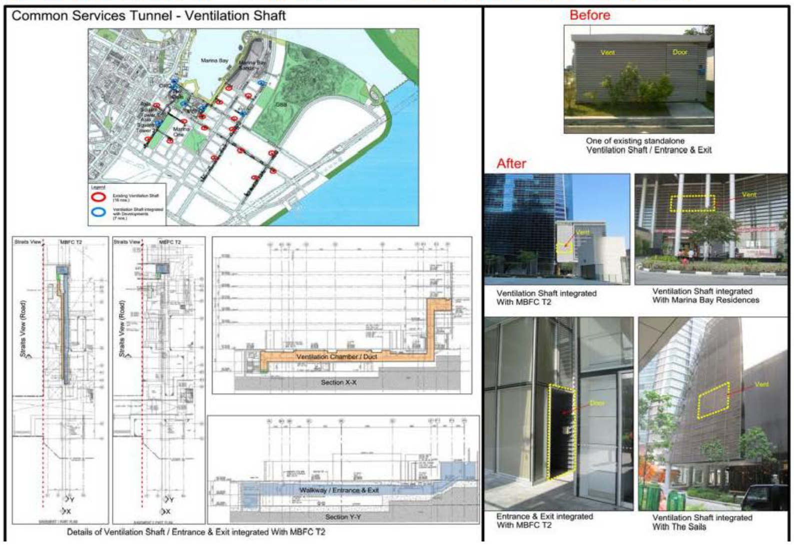


Junction Box 接綫盒

- Connection Point to development
  至建築物的連接點



Design to Integrate Ancillary Structures with Development – CST Vent Shaft
附屬結構與建築物融爲一體的設計 – 共同管道的通風豎井



Key Challenges 主要挑戰

Planning Stage 規劃階段

- Need to plan ahead of time
  需要提前做好規劃
- Need for close coordination with other infra agencies
  需要與其他基礎設施參建單位相互協調

Construction Stage 施工階段

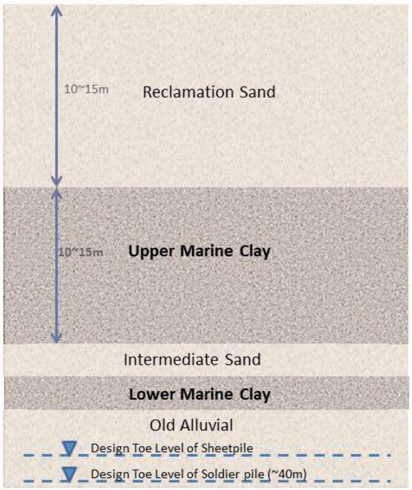
- Reclaimed Land
  填海造地

O&M Stage 運行維護階段

- Security of CST
  保安
- Protection of CST structure
  結構的保護

Construction of the Tunnels
施工

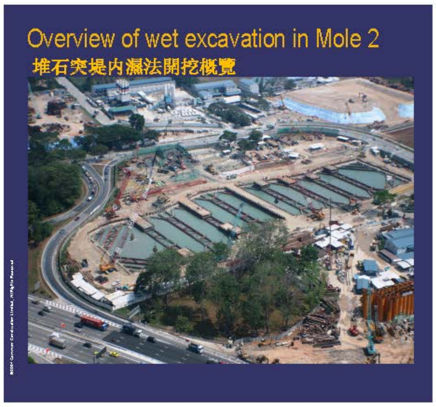
Stage 1 – Installation of Sheetpiles and Soldier Piles



Installation of sheetpiles using vibro machine


Challenges faced in construction of the Tunnels
施工過程面對的挑戰

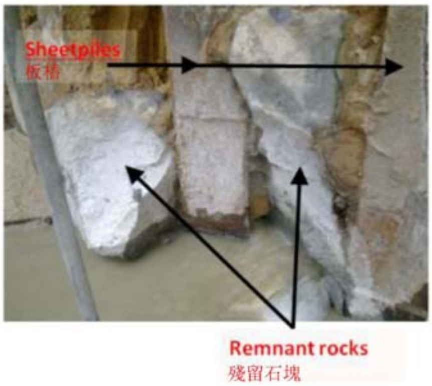

Congestion during the peak of Construction
施工高峰期的擁堵
Marina Bay
濱海灣
MBSIR 濱海灣金沙飯店
濱海灣 MBFC
金融中心
CST1B
共同管道1B期
DTL
捷運通道
DTL
捷運通道
Rock Mole 堆石突堤
CST2
共同管道2期



Innovative ideas to remove the rock mole:
清除堆石突堤的創新方法:

- Use of a flooded cofferdam system
  採用淹水圍堰系統
- Open cut with natural flooding from the sea
  海水天然水驅明挖

Challenges met during Construction 施工過程面對的挑戰

1. Remnant Rocks obstructing installation of Temporary Earth Retaining Walls (Sheetpiles and Soldier Piles) 殘留石塊妨礙臨時擋土墻（板樁與支護樁）的安裝	2. Remnant Rocks encountered during excavation 開挖過程中遇到的殘留石塊
	

Challenges met during Construction 施工過程面對的挑戰

3. Flooding of Cofferdam due to water ingress from the permeable reclaimed sand layer 水經過填海用砂層進入圍堰導致圍堰被淹	
	

Challenges met during Construction 施工過程面對的挑戰

4. Water ingress from the permeable reclaimed sand layer
透水填海用砂導致進水

Water ingress through the sheetpiles
板椿進水

Challenges met during Construction 施工過程面對的挑戰

5. Obstruction by existing services
地下管綫妨礙施工

Operation & Maintenance (O&M) of the tunnels
運行與維護

CST Control Centre 控制中心

Systems in the CST Control Centre 控制中心的系統

Operation & Maintenance 運行與維護

- 24/7 Manned
  全天候有人值守
- Operation & Management of the CST
  運行與維護
  - Monitoring & control of all systems
    對所有系統進行監控
  - Security checks
    保安檢查
  - Recording of utility usage by the users
    記錄用戶的用量
  - Auto-paging when system malfunctions
    系統發生故障時自動尋呼
  - Routine maintenance
    日常維護

M&E systems in the CST 機電系統

Safety systems 安全系統

- Fire Detection System – ensure fire safety
  火災探測系統，確保消防安全
- Ventilation system – ensure good air quality
  通風系統，確保空氣質量
- Environment Monitoring system – ensure the environment is fitted for work.
  環境監控系統，確保環境滿足施工需求
- Comm. System – establish comm during emergency
  通信系統，發生緊急情況時建立通訊聯係
- Lighting System – ensure work is done safely.
  照明系統，確保施工安全

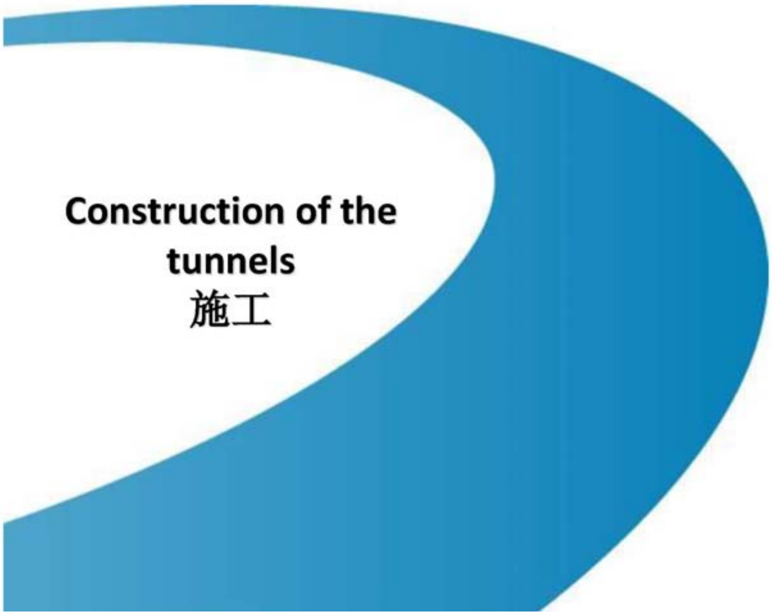
M&E systems in the CST 機電系統

Security systems 保安系統

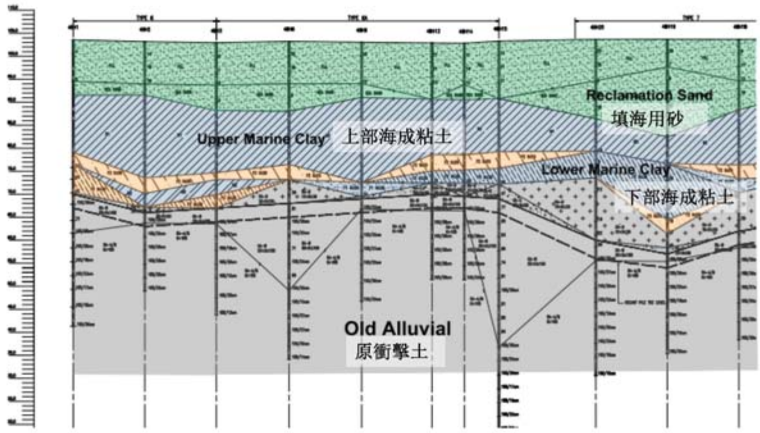
- Access control & CCTV system - to ensure all entrances are secured
  門禁與閉路電視系統，確保所有入口的安全
- Magnetic contacts & Infra Red detectors – to ensure all access points are secured
  電磁接觸器與紅外探測器，確保所有入口的安全

CCTV Camera and Monitor

Stand- By Slides
備用簡報



Typical Geological Makeup in Marina Bay 濱海灣的土質



Stage 1 – Installation of Sheetpiles and Soldier Piles
第1階段 – 安裝板樁與支護樁

Installation of sheetpiles using vibro machine 用振搗機安裝板樁

Stage 2 – Installation of Soil Improvement to the Upper and lower Marine Clay
第2階段 – 對上部與下部海成粘土進行土質改良

Soil Improvement works (injection of cement grout into the soil layer)
土質改良（往土裏注入水泥漿）

Stage 3 – Installation of Foundation Bored Piles
第3階段 – 安裝轉孔基樁

Installation of Foundation Bored Piles
安裝轉孔基樁

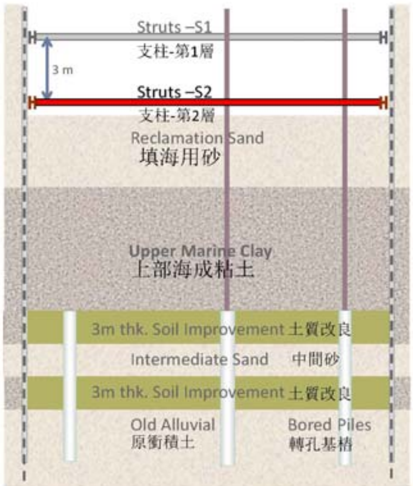
Stage 4 – Installation of King Posts, 1st Layer Excavation and Installation of 1st Level Struts

第4階段 – 安裝中間樁、進行第1層挖土、安裝第1層支柱

Installation of 1st level struts
安裝第1層支柱

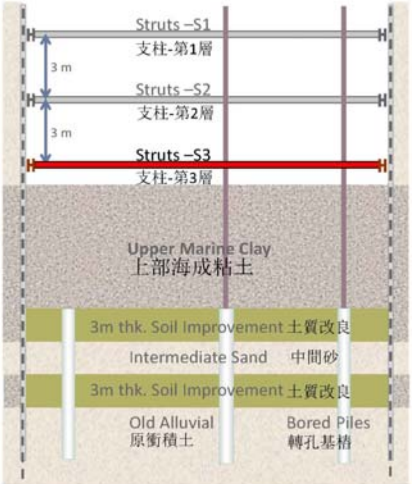
Stage 5 – 2nd Layer Excavation and Installation of 2nd Level Struts

第5階段 – 進行第2層挖土、安裝第2層支柱



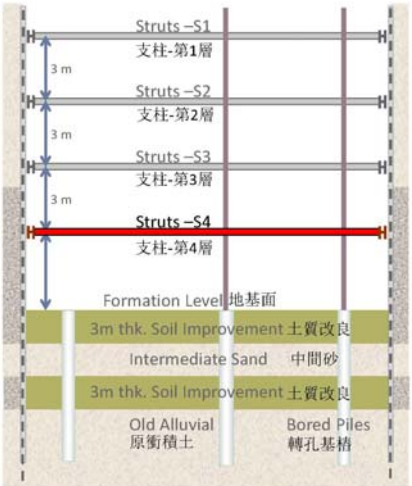
Installation of 2nd level struts
安裝第2層支柱

Stage 6 – 3rd Layer Excavation and Installation of 3rd Level Struts
第6階段 – 進行第3層挖土、安裝第3層支柱



Installation of 3rd level struts
安裝第3層支柱

Stage 7 – 4th Layer Excavation and Installation of 4th Level Struts
第7階段 – 進行第4層挖土、安裝第4層支柱

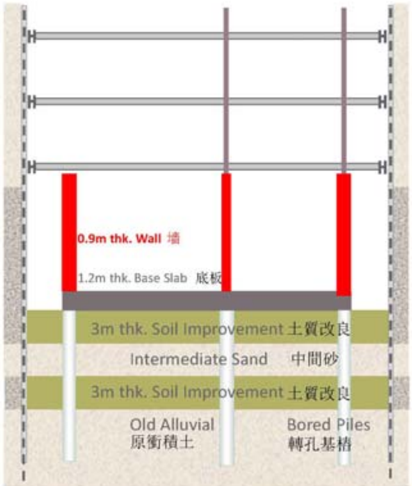


Excavation and installation of struts until formation level
挖土並安裝支柱達至地基面

Stage 8 – Permanent Structural Works Commence with Base Slab
第8階段 – 由底板開始建造永久結構

Arranging the reinforcement for the base slab
為底板的排列鋼筋

Stage 9 – Permanent Structural Works – Construction of External and Internal Tunnel Walls
第9階段 – 永久結構 – 建造內部與外部隧道墻

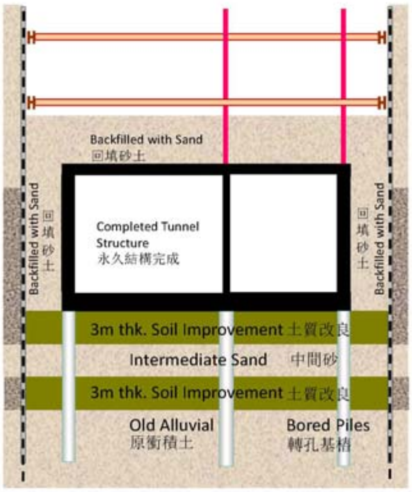


Tunnel walls casting completed
隧道墻建造完畢

Stage 10 – Permanent Structural Works – Construction of Roof Slab
第10階段 – 永久結構 – 建造屋頂板

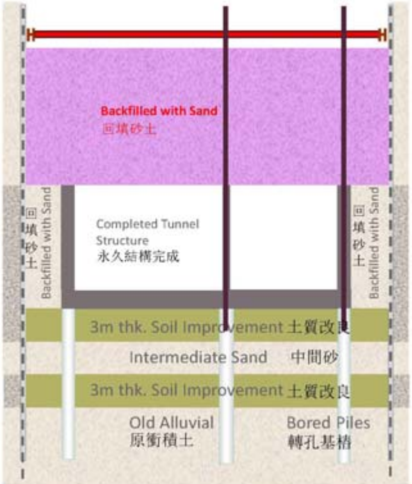
Roof slab completed
屋頂板建造完畢

Stage 11 – Backfilling and Removal of Struts after Permanent Structural Works Completes
第11階段 – 永久結構建造完畢后回填砂土並去除支柱



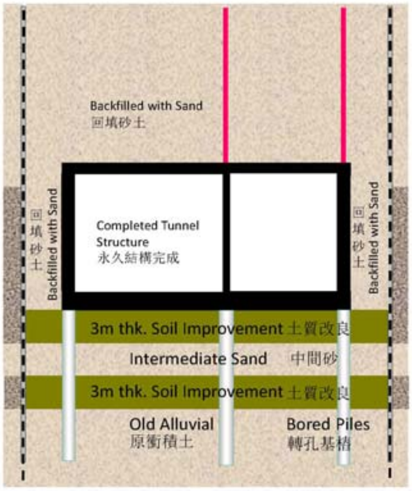
Stage by Stage Removal of Struts
階段性去除支柱

Stage 12 – Backfilling and Removal of Struts continues to next Strut level
第12階段 – 繼續回填砂土並去除支柱



Stage by Stage Removal of Struts
階段性去除支柱

Stage 13 – Backfilling and Removal of Struts continues to Ground level
第13階段 – 繼續回填砂土並去除支柱至地面爲止

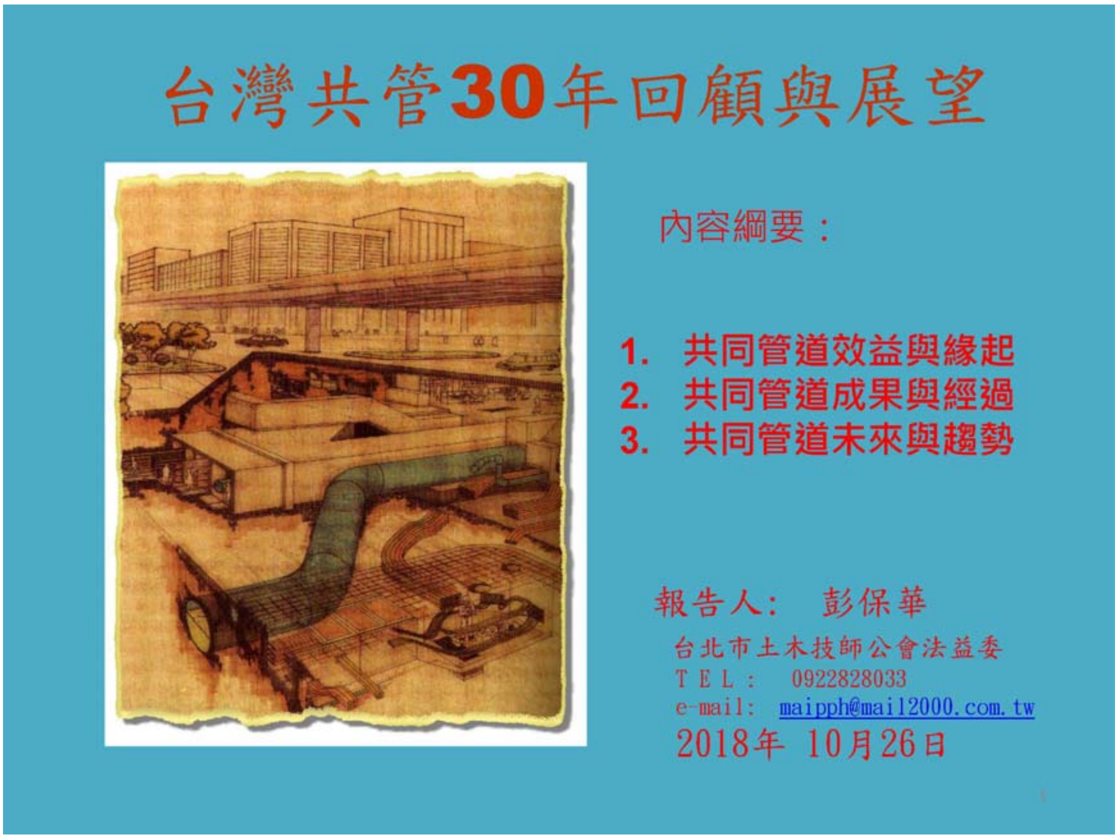


Backfilled to original ground level
回填砂土至地面

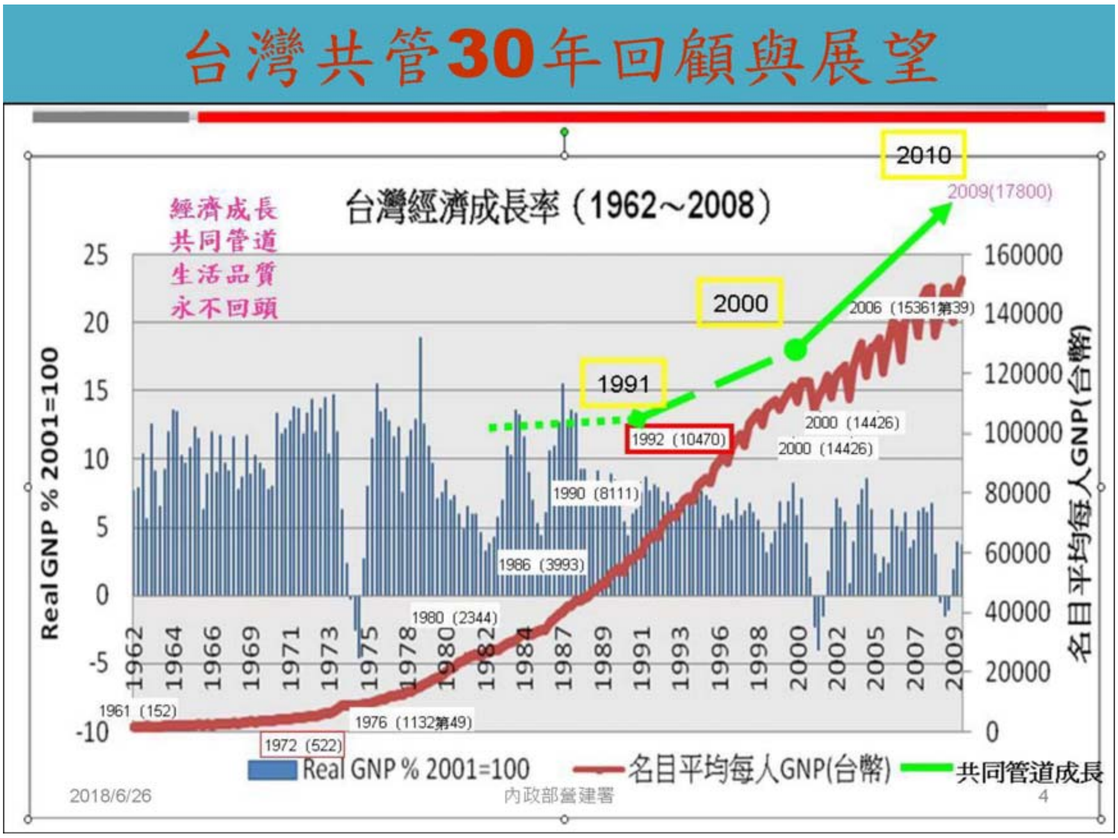
Stage 14 –Removal of all Temporary Earth Retaining Sheetpiles and Soldier Piles
第14階段 – 去除臨時擋土板樁與支護樁

Removal of all Temporary Retaining Sheetpiles and Soldier Piles
去除臨時擋土板樁與支護樁

9th 台灣共同管道 30 年回顧與展望




台灣共管30年回顧與展望
早期的警告措施
吵雜又難聞的汽車並不受到騎士和運貨馬車夫的歡迎，
因為它們常使得馬匹驚竄。
在英國有數年時間法律是這麼規定：任何有動力的車輛都必須由一位拿紅旗的人帶領，而速限為每小時6
• 臺灣推動歷史
– 月挖1100次,年挖31萬m^2
– 院長,歷任市長,捷運機會
– 80.2.15正式成立共管科
• 歐美推動歷史
– 英國,法國,德國,美國
• 日本推動歷史
– 1926.年東京九段阪
– 1963.年共同溝法
8


台灣共管30年回顧與展望
台灣經濟成長率（1962~2008）
經濟成長
共同管道
生活品質
永不回頭
2010
2009(17800)
2000
2006（15361第39）
1991
1992（10470）
2000（14426）
2000（14426）
1990（8111）
1986（3993）
1980（2344）
1976（1132第49）
1972（522）
1961（152）
Real GNP % 2001=100
名目平均每人GNP(台幣)
Real GNP % 2001=100
名目平均每人GNP(台幣)
共同管道成長
2018/6/26
內政部營建署
4

共同管道台北市配合捷運信義線效益分析表

一、長度：6500m(起自中華路迄大道路)
二、參加管線(幹管)：電力(23KV18-36 條,161KV6-12 條,345kv12-24 條)、電信(60-80 條)、自來水 2400mm ∮、電力通信 3 條
三、參加管線(CAB)：電力(23KV27 條,380V30 條)、電信(8 條)、電力通信 3 條、號誌 1 條、軍訊 9 條
四、幹管斷面：2 孔=2.8M*(1.8+2.2) =4.3*2.2+1.8*2.2 =2.2*(1.8+1.2)
3 孔=4.5M*(3.8+1.6+2.2)
五、工程成本：
(一) 幹管 主體工程費 17 億 1000 萬 2.63 億/KM(2-3 孔)
管線遷移費 7400 萬
地盤改良費 6 億 1800 萬
附屬設備費 7 億 9500 萬 1.2 億/KM(2-3 孔)
31 億 8700 萬

(二) 75 年 主體維護費 3 億 434 萬
機電設備維護費 4 億 2377 萬
營運維護費 5 億 8220 萬
13 億 1031 萬

A．共同管道 75 年投資工程成本約 45 億元 =(一)+(二)
B．傳統管線埋設成本約 26 億元
C．共同管道 75 年之效益 2337 億元

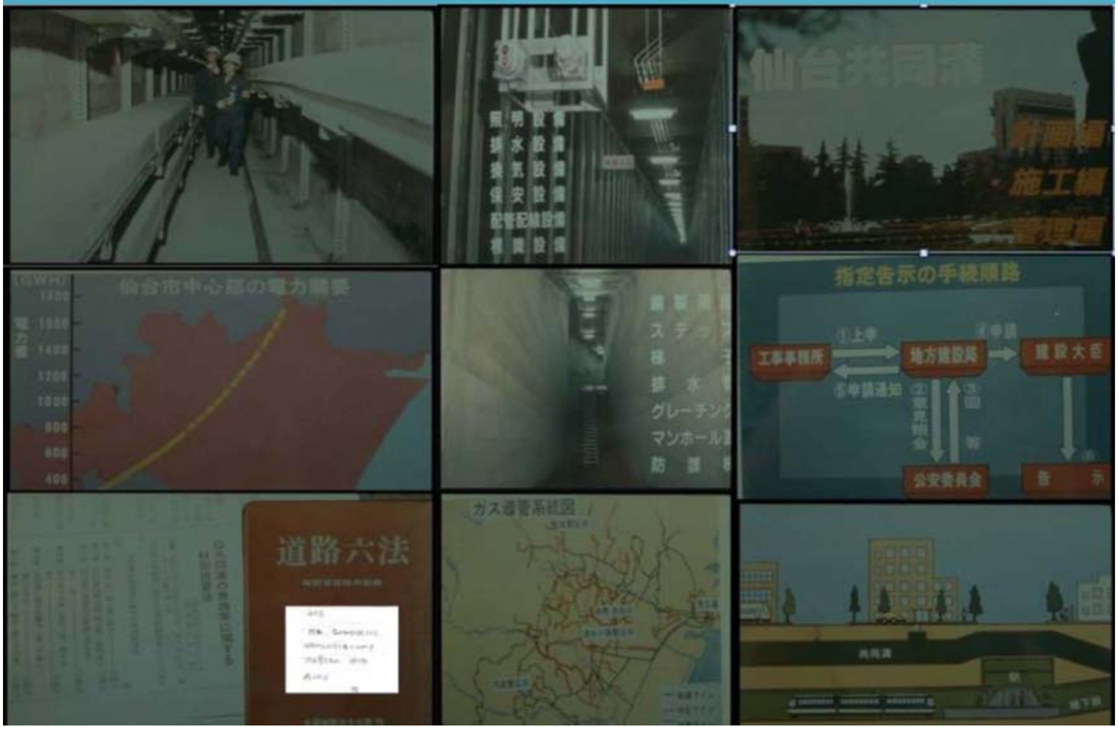
- 交通順暢化 2310 億 6600 萬元
- 交通事故 1 億 8450 萬元
- 路面修復 23 億 5838 萬元
- 管線維修 9216 萬元

依台北市所規劃之配合捷運信義線共同管道工程中幹管共同管道（長約六千五百公尺）為例，以共同管道方式建設其經費約為四十五億餘元，若以傳統方式埋設管線所需工程費約為二十六億餘元；但因興建共同管道所產生之經濟效益（以七十五年估計）如交通順暢化、減少交通事故、節省路面修補及管線維修費等估計約為二三三六億餘元，由以上數據可知共同管道建設費用較傳統方式高約一．七三倍，但其長期效益卻較傳統埋設方式高五十一倍。

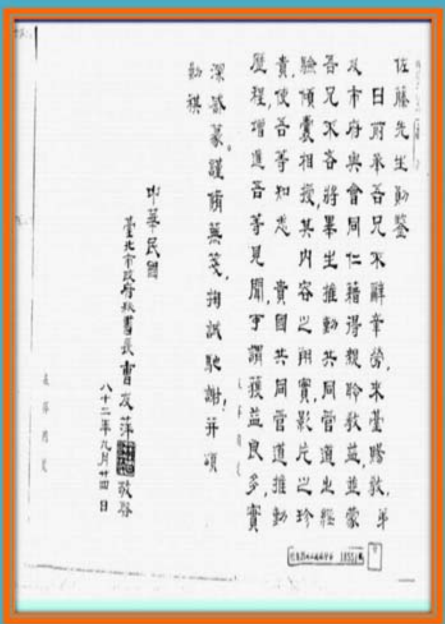

台灣共管30年回顧與展望
車場
愛知共同溝


台灣共管30年回顧與展望

台灣共管30年回顧與展望



台灣共管30年回顧與展望



佐藤先生勛鑒
日前承吾兄不辭辛勞，來臺賜教，並
及市府與會同仁藉得親聆教益，並蒙
吾兄不吝將畢生推動共同管道之經
驗傾囊相授，其內容之翔實，影片之珍
貴，使吾等知悉 貴國共同管道推動
歷程，增進吾等見聞，可謂獲益良多，實
深感荷。謹備蕪箋，掬誠馳謝！并頌
勛祺
中華民國
臺北市政府秘書長 曹友萍 敬啓
八十二年九月廿四日

(一)還是要溝通：日本剛開始推動@個管線單位疑慮甚多，但經多方解釋與道路主管機關硬性要求，二造達成共識，如今電力電信自來水參與意願較高，瓦斯公司則勉強接受，但日本管線單位已形成："不參加@就是不配合政策，是很沒面子的事。

二)市民皆贊同：
(市民則非常贊成做@，以銀座@為例，施工完成至今10年不挖路，商店受益最大，居民常以住@道路為榮。

(三)公權力發揮：即使政府部門配合款先行編列，日後的協商還是頗費周章，在日本推動@至今，@單位還是會找出各種理由不肯出錢，造成協商不成無法施築的案例。因此@施築需要公權力充分發揮和上級長官的支持，以及推動單位不懈的耐心和毅力。

(四)合理分擔經費：政府負擔經費30%~70%都有，每一個案都需協商，日本@法有推定投資額之計算，但仍要持續協商才會成功。

(五)委外維養：日本@多為中央建設省所施築，因此管理維護也多屬建設省或建設省委託之官民合營公司管理維護。

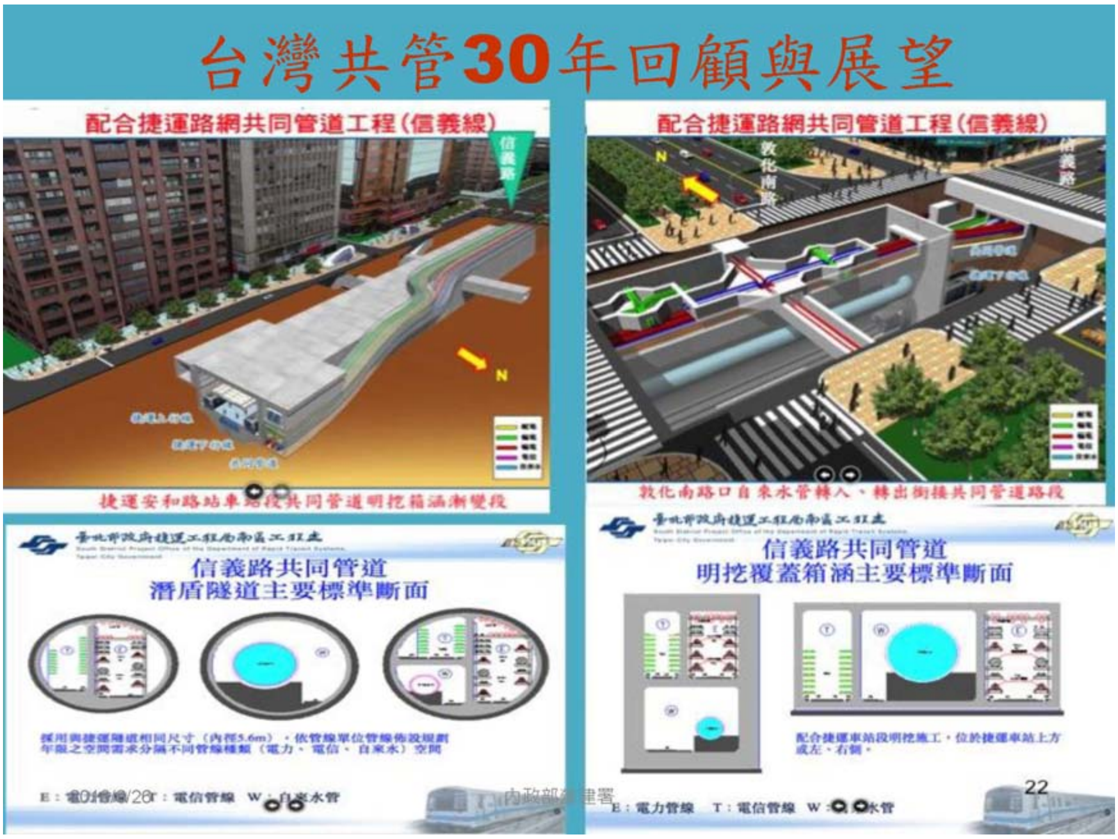
(六)技術沒問題：日本對@標準斷面和E, T干擾等問題都有很多經驗，在@設計指針內都有所規定，大家可予參考。


台灣共管30年回顧與展望
經過與成果


台灣共管30年回顧與展望


台灣共管30年回顧與展望
台北市共同管道工程計畫圖
這班列車您搭上了沒有?
台中市共同管道
台北縣共同管道

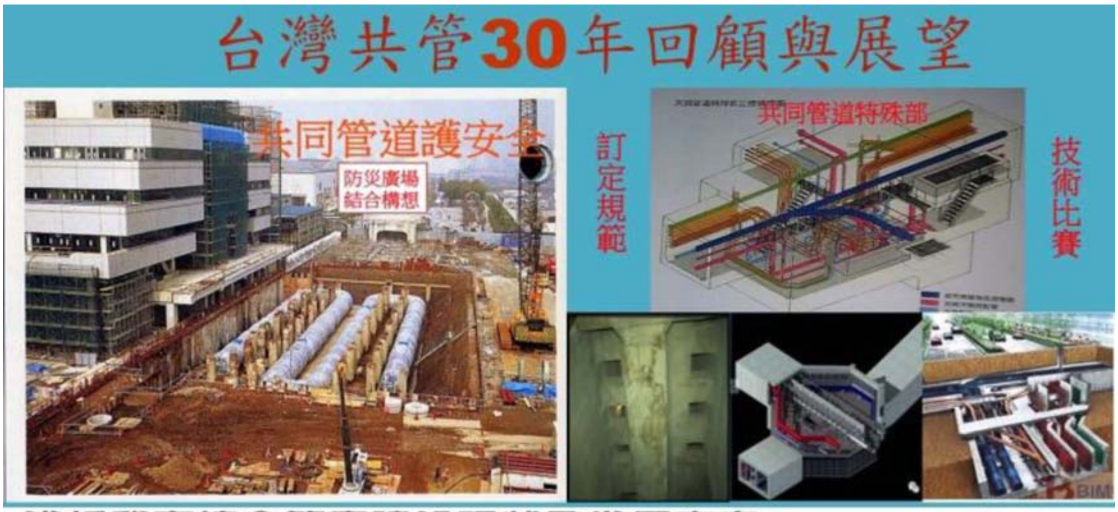

台灣共管30年回顧與展望
台北共同管道
2018/6/26

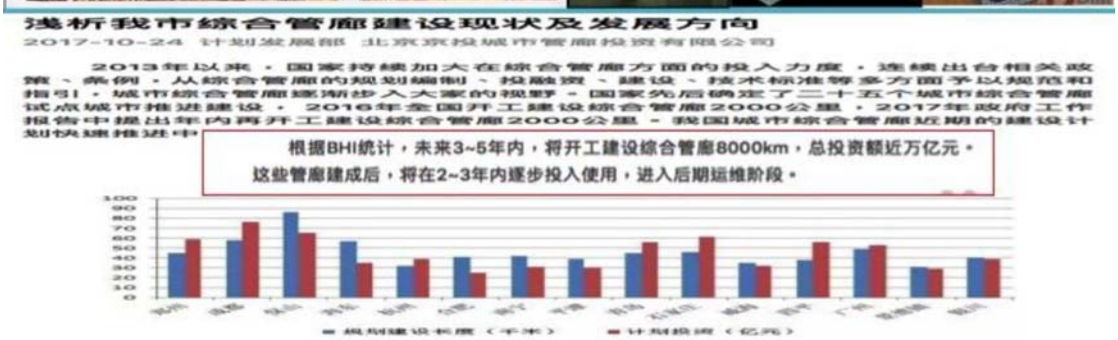

台灣共管30年回顧與展望
配合捷運路網共同管道工程(信義線)
信義路
N
捷運安和路站車站段共同管道明挖箱涵漸變段
配合捷運路網共同管道工程(信義線)
敦化南路
信義路
敦化南路口自來水管轉入、轉出銜接共同管道路段
信義路共同管道
潛盾隧道主要標準斷面
信義路共同管道
明挖覆蓋箱涵主要標準斷面
22


台灣共管30年回顧與展望
輸配電纜線
幹管無中華電信
700自來水


台灣共管30年回顧與展望
大陸之共同管道
荣誉证书
860730


台灣共管30年回顧與展望
二岸交流




浅析我市綜合管廊建设现状及发展方向

2017-10-24 计划发展部 北京京投城市管廊投资有限公司

2013年以来，国家持續加大在綜合管廊方面的投入力度，连續出台相关政策、条例，从綜合管廊的规划编制、投融资、建设、技术标准等多方面予以规范和指引，城市綜合管廊逐渐步入大家的视野。国家先后确定了二十五个城市綜合管廊试点城市推进建设，2016年全国开工建设綜合管廊2000公里，2017年政府工作报告中提出年内再开工建设綜合管廊2000公里。我国城市綜合管廊近期的建设计划快速推进中

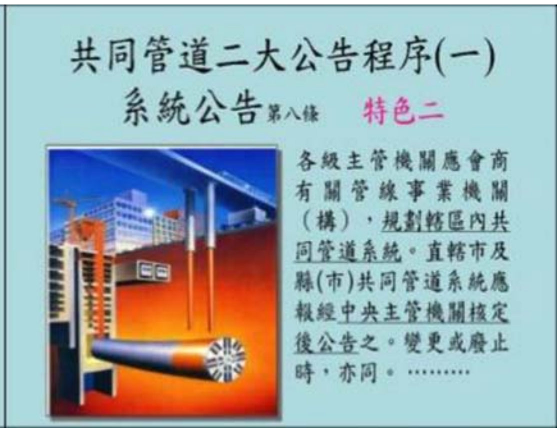
根据BHI统计，未来3~5年内，将开工建设綜合管廊8000km，总投资额近万亿元。
这些管廊建成后，将在2~3年内逐步投入使用，进入后期运维阶段。

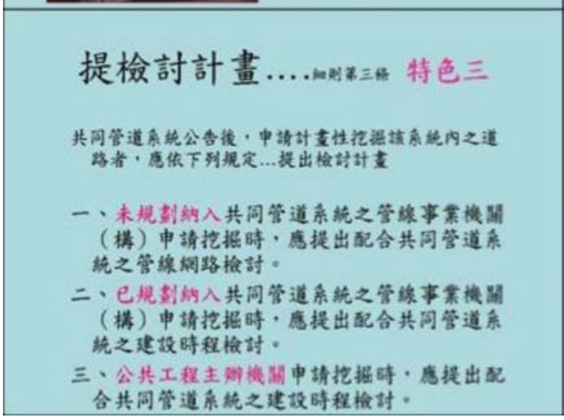

台灣共管30年回顧與展望
首都東京における
共同溝の現状
2018年 6月
日本工営株式会社 技師長
瀧浪 慎一
Shinichi Takinami
第二次世界大戰後的共同管道
1960年代
1963年4月 共同管道法成立
共同管道建設事業
所謂電線共同管道（C・C・BOX）
乃是指為了形成機能性道路空間與美麗的街景，而將電線與光纖等加以整合收納於步道下方的設施。
【效果】
・確保災害時的緊急輸送道路
・邁向高度資訊化，安定地供給電力
提升通信的信賴性
2018/6/26
內政部營建署


共同管道法
• 立法緣起: 世界潮流 • 都市安全 • 歷史責任
• 立法經過: 研究 • 醞釀 • 三讀
• 相關子法: 細則 • 分攤辦法 • 上下空土地 •
設計標準 • 管理維護辦法 • BOT
傳埋管線
傳埋管線
支管
幹管
支管


台灣共管30年回顧與展望
共同管道法
整體規劃
效益分析
(財務.經濟.技術)
(共同管道與捷運共構效益最大)
第十一條
• 新市鎮開發、新社區開發、農村社區更新重劃、辦理區段徵收、或市地重劃或都市更新地區、大眾捷運系統、鐵路地下化及其他重大工程應優先施作共同管道；其實施區域位於共同管道系統者，各該主管機關應協調工程主辦機關及有關管線事業機（構），將共同管道系統實施計畫列入該重大工程計畫一併執行之。………
優先施做 >9
作業開始
修正
共同管道系統規劃
檢附相關資料
呈報內政部
共同管道法第八條
否
核定？
是
公告共同管道系統
共同管道法第八條
施行細則第二條
擬定與執行實施計畫
共同管道法第九條
施行細則第三條、第五條、第六條
細部規劃設計
共同管道法第三十三條
公告禁挖道路範圍
共同管道法第十三條
施行細則第十條
發包及施工
共同管道法第十五條
管理及維護
共同管道法第十六條
共同管道法第十七條
共同管道法第十九條
共同管道法第卅一條
施行細則第十二條
是
共同管道系統
通盤檢討？
共同管道法第八條
施行細則第四條
否
作業結束


共同管道建設及管理經費分攤辦法
（主管機關與主辦機關） 特色一
• 第二條 共同管道工程建設經費分攤為工程主辦機關負擔三分之一，管線事業機關（構）按其參與之共同管道類別負擔三分之二。…..
• 第三條 共同管道建設完工後三個月內，工程主辦機關及參與之管線事業機關（構）應提撥總工程經費之百分之五，成立共同管道管理及維護專戶，專款專用。 …..


共同管道二大公告程序(一)
系統公告第八條 特色二
各級主管機關應會商有關管線事業機關（構），規劃轄區內共同管道系統。直轄市及縣(市)共同管道系統應報經中央主管機關核定後公告之。變更或廢止時，亦同。 ………


提檢討計畫….細則第三條 特色三
共同管道系統公告後，申請計畫性挖掘該系統內之道路者，應依下列規定…提出檢討計畫
一、未規劃納入共同管道系統之管線事業機關（構）申請挖掘時，應提出配合共同管道系統之管線網路檢討。
二、已規劃納入共同管道系統之管線事業機關（構）申請挖掘時，應提出配合共同管道系統之建設時程檢討。
三、公共工程主辦機關申請挖掘時，應提出配合共同管道系統之建設時程檢討。


共同管道二大公告程序(二)
禁挖範圍公告第十三條 特色四
• 主管機關訂定共同管道實施計畫時，應同時劃定禁止挖掘道路範圍並公告之。…………

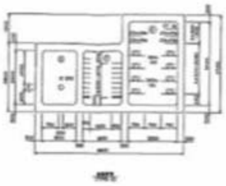

台灣共管30年回顧與展望
共同管道建設及管理經費分攤辦法
第一條 本辦法依共同管道法第二十一條第一項規定訂定之。
第二條 共同管道工程建設經費分攤為工程主辦機關負擔三分之一，管線事業機關（構）按其參與之共同管道類別負擔三分之二。
前項參與之管線事業機關（構）分攤比例值，依下列公式計算之：
$$Rj = \frac{Vj \times Cj}{\sum_{J=1}^{n} (Vj \times Cj)}$$
建設費
Rj 為第j類管線單位應負擔額之比例值
Vj 為第j類管線之使用體積（立方公尺）
Cj 為第j類管線每挖方之傳統埋設成本（新台幣：元/立方公尺），由工程主辦機關會商相關管線事業機關（構）訂定之
Vj×Cj 為第j類管線之使用體積傳統值
n 為該共同管道工程之參與管線類數
管維費
共同管道建設及管理經費分攤辦法
第四條 共同管道之管理維護經費分擔方式為由參與之各管線事業機關（構）於建設完工後第二年起平均分攤管理維護費用之三分之一，另三分之二由主管機關協調管線事業機關（構）依使用時間或次數等比例分攤。
前項管理維護費用不包括主管機關編制內人事費用。
2018/6/26
25


共同管道工程設計標準
92.04.23公告實施
2018/6/26

台灣共管30年回顧與展望

共同管道設計標準

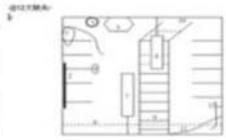
- 第 七 條　共同管道標準部內部空間尺寸應符合下列規定：
- 一、淨高：
  幹管不得小於二百二十公分供給管不得超過一百五十公分但電纜溝不得超過 一百二十公分。
- 二、淨寬：
  依收容管線所需寬度及作業空間決定之。幹管之走道寬度不得小於八十公分。



共同管道設計標準

第 六 條

- 共同管道外壁距離私有地界不得小於一公尺。但因道路線形變化或人行道寬度限制等特殊情況，經主管機關核可，得做必要之調整。

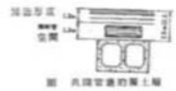


共同管道設計標準

- 第 九 條　辦理共同管道工程結構設計時，應分析及計算下列情況：
- 一、軟弱地盤沉陷之影響。
- 二、地下水引致上浮力之影響。
- 三、地震之影響。
- 四、地盤液化之影響。
- 五、對鄰近結構物之影響。

共同管道設計標準

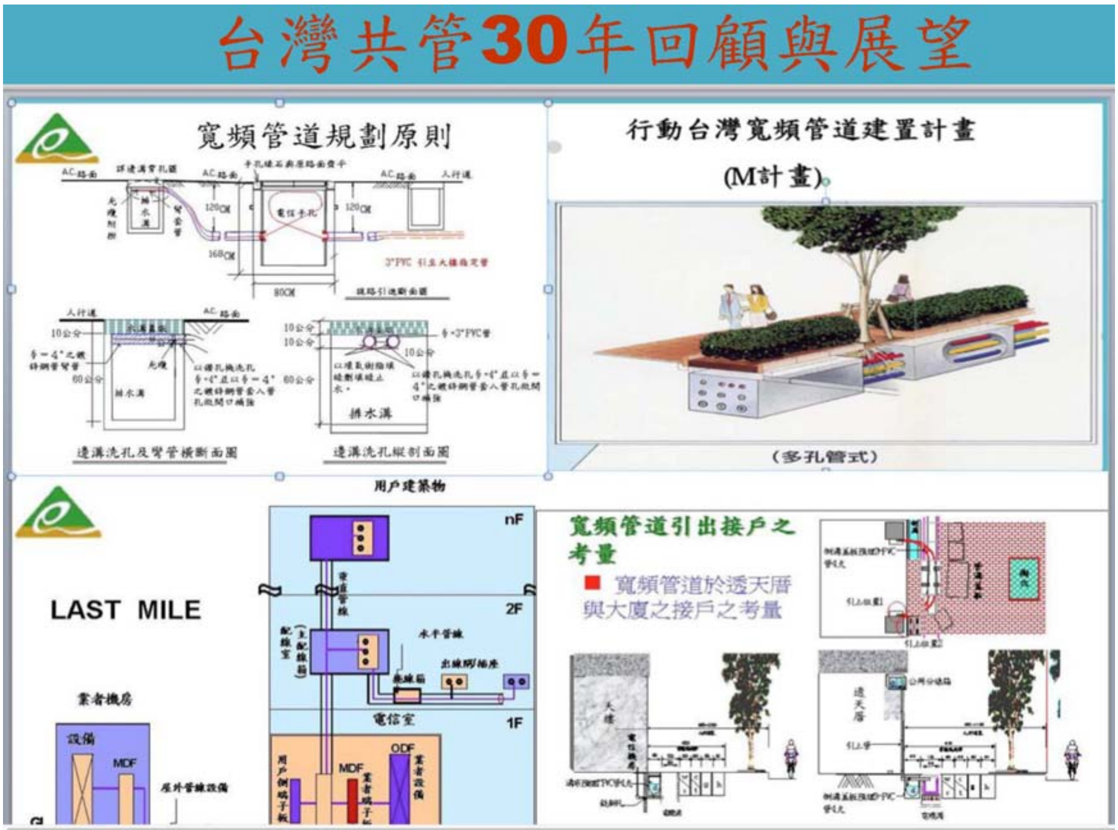
- 第 八 條
  幹管頂版上緣至道路舖面間之覆土厚度，在標準部不得小於二百五十公分，在特殊部不得小於一百公分。



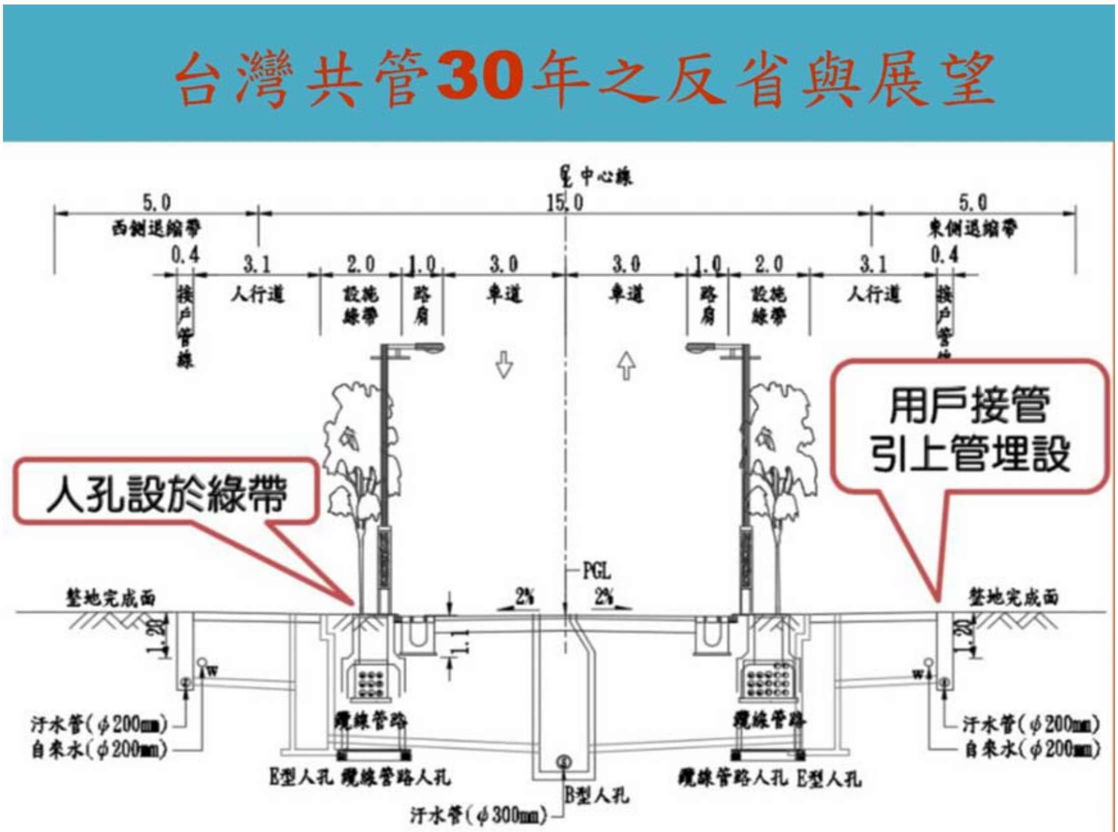
2018/6/26　　內政部營建署　　27

台灣共管30年回顧與展望

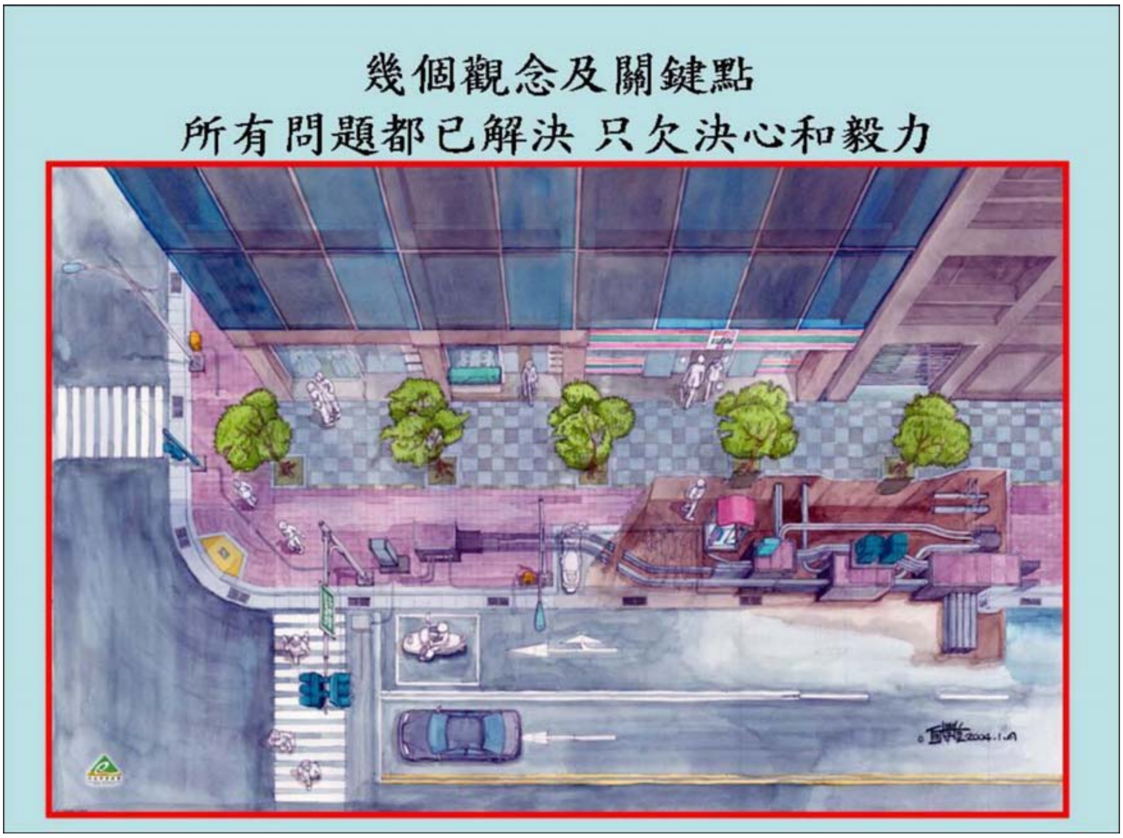

1041210第二次會議解決
人孔設立於人行道之共同管道復舊平面
共同管道擴大部
既有共同管道
四.人孔設立於人行道剖面示意圖
2018/6/26
北工處長拜訪
王文水源經驗
政部營建署

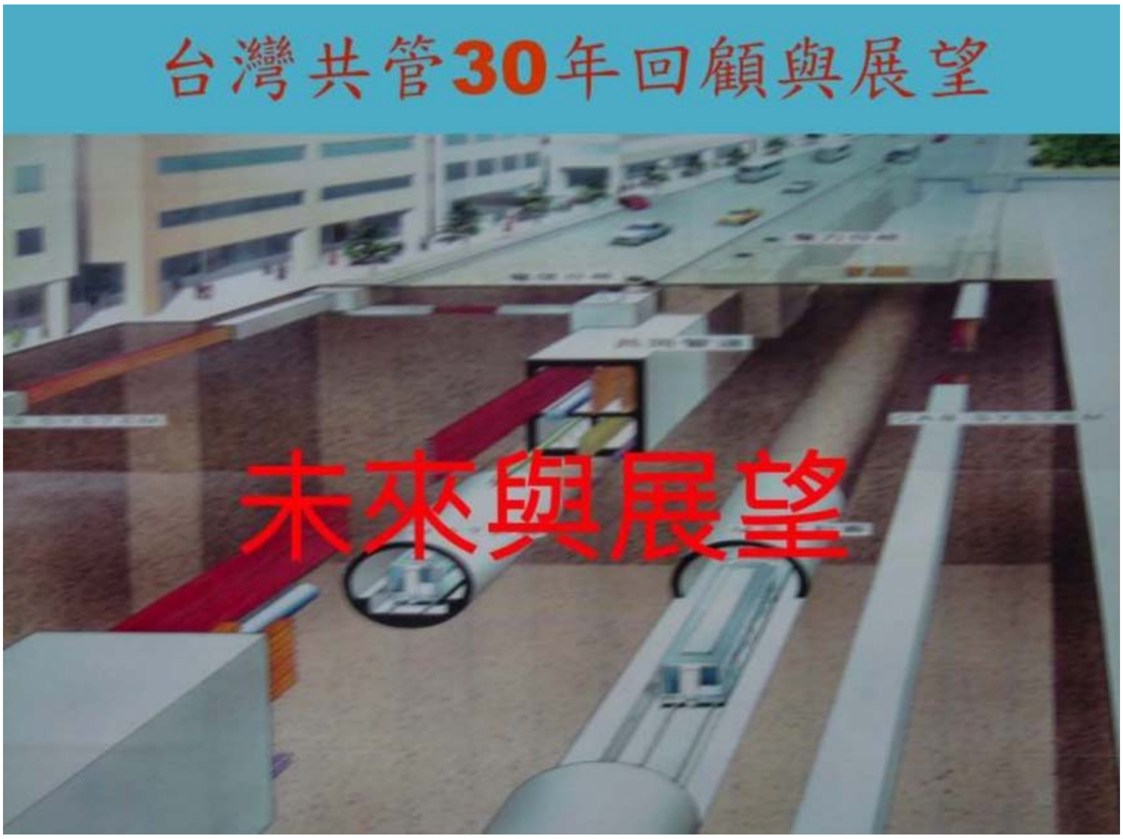

台灣共管30年回顧與展望
寬頻管道規劃原則
邊溝洩孔及彎管接斷面圖
邊溝洩孔縱剖面圖
行動台灣寬頻管道建置計畫
(M計畫)
(多孔管式)
LAST MILE
用戶建築物
業者機房
MDF
電信室
寬頻管道引出接戶之考量
寬頻管道於透天厝與大廈之接戶之考量


台灣共管30年回顧與展望
施工階段
宜蘭縣府羅東市地重劃
1-測量放樣及鋼板樁打設
纜線管路
施工流程
2-擋土支撐及開挖
3-管路配管施工
4-管路配管查驗
5-管路通管


台灣共管30年之反省與展望
中心線
5.0
西側退縮帶
15.0
5.0
東側退縮帶
0.4
3.1
2.0
1.0
3.0
接戶管線
人行道
設施綠帶
路肩
車道
人孔設於綠帶
用戶接管
引上管埋設
PGL
2%
整地完成面
纜線管路
汙水管(φ200mm)
自來水(φ200mm)
E型人孔 纜線管路人孔
B型人孔
汙水管(φ300mm)
纜線管路人孔 E型人孔


台灣共管30年回顧與展望
..土地上空或地下之使用 ..審核辦法
第 3 條
主管機關於確定共同管道工程需穿越公、私有土地之上空或地下時，應將穿越部分使用之空間範圍以適當之圖說公告之，並以書面通知土地所有權人。
前項穿越部分之空間範圍，其使用邊界以不超過共同管道工程構造物之外緣加一・五公尺為限。


幾個觀念及關鍵點
所有問題都已解決 只欠決心和毅力

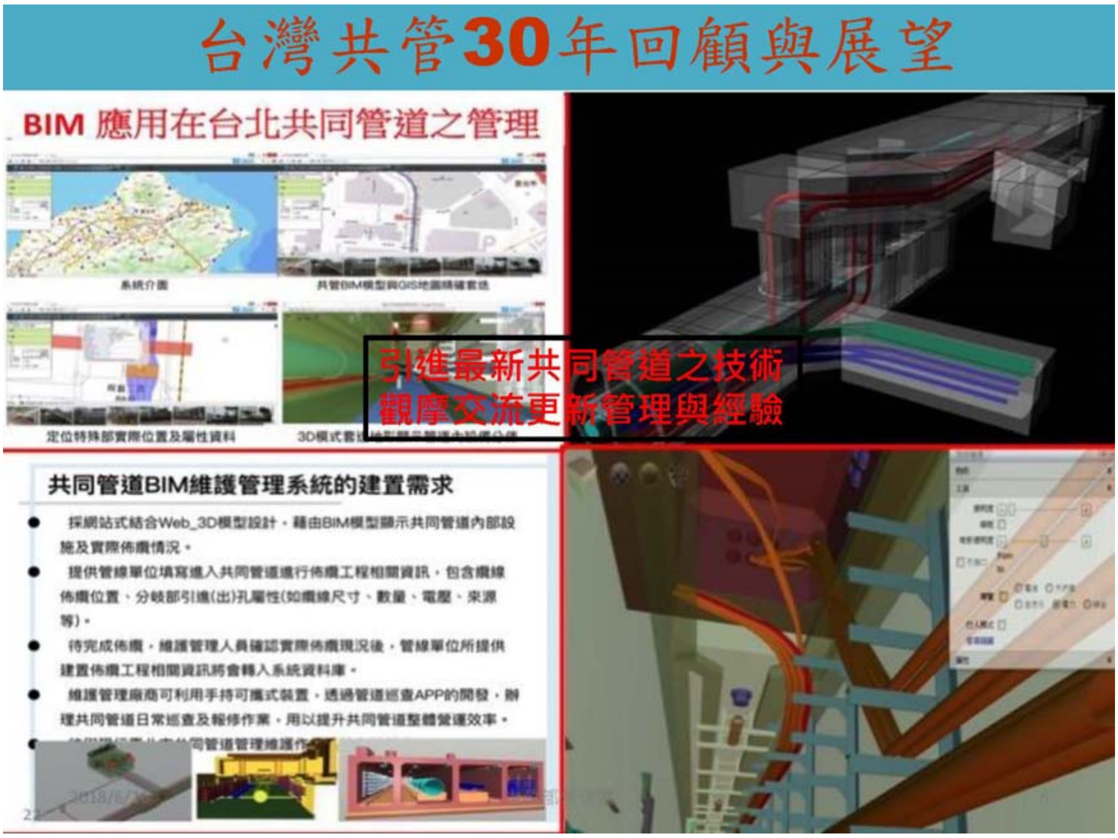

台灣共管30年回顧與展望
未來與展望


台灣共管30年回顧與展望
因地制宜推動共同管道建設
捷運新社區開發之系統公告
新彰數位 有線電


台灣共管30年回顧與展望
持續宣揚共同管道的建設
對市民對長官對管線單位


台灣共管30年回顧與展望
嚴格共同管道的法治精神
遵循共同管道系統之流程
視察台中市文心路路平專案
林佳龍盼打造成為
人本安全
綠色交通
示範道路
高雄氣爆32死
高官重判4年10月
凱旋路整條炸毀


台灣共管30年回顧與展望
STA.3K+325
成立共同管道管專責單位
勵行道路開挖管制與輔導


台灣共管30年回顧與展望
BIM 應用在台北共同管道之管理
系統介面
定位特殊部實際位置及屬性資料
引進最新共同管道之技術
觀摩交流更新管理與經驗
共同管道BIM維護管理系統的建置需求
採網站式結合Web_3D模型設計，藉由BIM模型顯示共同管道內部設施及實際佈纜情況。
提供管線單位填寫進入共同管道進行佈纜工程相關資訊，包含纜線佈纜位置、分岐部引進(出)孔屬性(如纜線尺寸、數量、電壓、來源等)。
待完成佈纜，維護管理人員確認實際佈纜現況後，管線單位所提供建置佈纜工程相關資訊將會轉入系統資料庫。
維護管理廠商可利用手持可攜式裝置，透過管道巡查APP的開發，辦理共同管道日常巡查及報修作業，用以提升共同管道整體營運效率。


台灣共管30年回顧與展望
因地制宜推動共同管道建設
捷運新社區開發之系統公告
持續宣揚共同管道的政策
對市民對長官對管線單位
嚴格共同管道的法治精神
遵循共同管道系統之流程
成立共同管道管專責單位
勵行道路開挖管制與輔導
引進最新共同管道之技術
觀摩交流更新管理與經驗


讓共同管道工程成為台灣的驕傲
共同管道是有質感的社會　讓人敬佩的精緻工程

10th 新型勢下綜合管廊新材料新技術研發及應用探討

国内综合管廊现状成就

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)

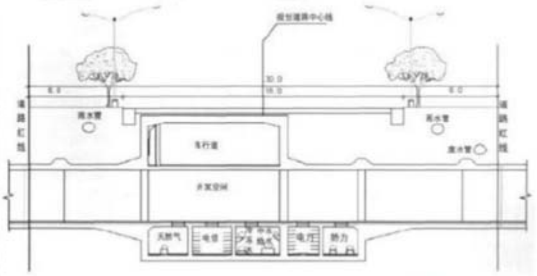
2003年，广州市政府建设大学城时，同步建设了总长度约**18km综合管廊**，总投资3.5亿元。2004年建成开始运营。

收费标准 / 管线	入廊收费标准		日常维护费用收费标准	
	管线直径（毫米）	单位长度收费标准（元）	截面空间比例（%）	金额（万元/年）
饮用净水管线	600	562.28	12.70	31.98
供电管线	—	102.70	35.45	89.27
通信管线	—	59.01	25.40	63.96
杂用水管线	400	419.65	10.58	26.64
供热水管线	600	1394.09	15.87	39.96

◆ **创建体系**

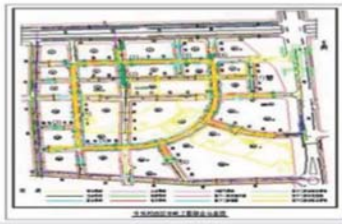
国内综合管廊现状成就

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)



◆ **整合建设**

2006年在中关村（西区）建设了长度1.48 km的综合管廊，结合地下环形车道和地下空间综合开发进行建设。




国内综合管廊现状成就
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)
◆预制拼装
2007年，上海世博园区为配合世博园区建设，建设一条6.2km综合管廊，集成4种管线设施，并且在传统的现浇整体式综合管廊的工艺基础上，尝试了世界上较为先进的预制应力综合管廊技术（200m)。同时，制定技术标准和管理规章


选题背景介绍
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)
目录 | Content
一 国内外综合管廊现状成就
二 当下综合管廊焦点问题探讨
三 综合管廊建设、运营管理模式
四 PPP模式推进综合管廊建设

当下综合管廊焦点问题探讨-政策导向

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)

国家政策

2015年7月31日，国务院新闻办公室举行推进城市地下管廊建设及促进旅游消费等政策国务院政策例行吹风会。

提出两点精神：排水管线可以入廊 有条件尽量入

2016年6月17日电视会议

提出燃气 污水必须入廊、促进各地科学编制管廊规划、加快管廊建设工作的决策部署，进一步统一思想，加大工作力度，把好事办好。

国办发[2015]61号

国务院办公厅关于推进城市地下综合管廊建设的指导意见

提出推广预制装配技术，提高预制装配化率，推进新型建筑工业化。

2015年6月16日 关于推进建筑信息模型应用的指导意见

至2020年末，设计及施工单掌握并实现bim与企业管理系统及其他信息技术合成应用；项目90%以上采用bim技术。

当下综合管廊焦点问题探讨-案例

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)

法国综合管廊

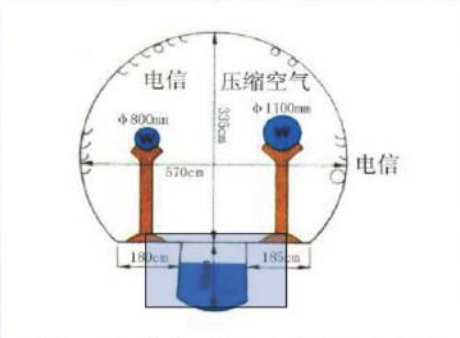


图 1-1 巴黎第一条地下管线综合管廊

综合管廊已有180余年的发展历史。

法国巴黎1833年就兴建世界上第一条综合管廊，综合管廊内容纳了自来水、通讯、电力、压缩空气管道等市政公用管道。

当下综合管廊焦点问题探讨-案例

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)



1861年，英国首都伦敦修建第一条综合管廊，煤气管道纳入综合管廊。但是由于煤气管道出现通风不良等问题，故从1928年以后不再收容。

当下综合管廊焦点问题探讨-案例

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)

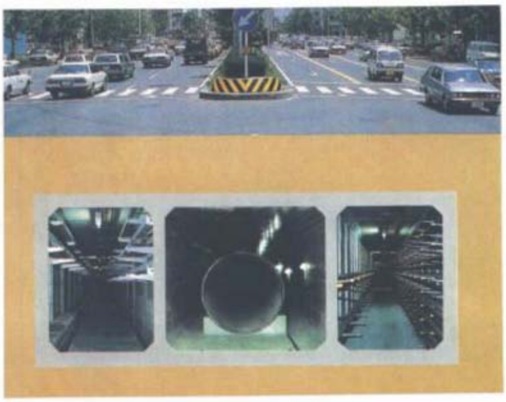


图 1-10

迄今为止，日本是世界上综合管廊建设速度最快，规划最完整，法规最完善，技术最先进的国家。


当下综合管廊焦点问题探讨-BIM
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd. (HPDI)
智能管廊系统
BIM物理信息
数字监控系统
管线GIS信息


中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd. (HPDI)
目录 | Content
一 国内外综合管廊现状成就
二 当下综合管廊焦点问题探讨
三 综合管廊建设、运营管理模式
四 PPP模式推进综合管廊建设


综合管廊建设运营管理模式-国内
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)
现有管廊建设及管理模式概述
政府出资
1、由政府负责综合管廊的主体和附属设备的全部投资。
2、建设完成后，政府委托第三方公司负责项目的维护，相关费用由政府承担。
联合出资
1、由政府和各管线单位共同出资成立项目公司，负责综合管廊的建设。
2、建设完成后，由项目公司负责综合管廊的后期运营和日常维护，相关费用由政府和各管线单位共同分担。
PPP模式
1、鼓励社会资本组建项目公司参与城市地下综合管廊建设和运营管理。
2、投资建设及运营由管廊建设运营管理单位负责，PPP项目公司通过向入廊管线单位收取有偿使用费。


综合管廊建设运营管理模式-国内
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)
现有管廊建设及管理优缺点
政府出资
地方政府的财权和事权呈现不匹配状态，由财政全投资的模式建设综合管廊增加地方政府的财政负担。项目的建设及后期运营效率不够高效，不利于综合管廊项目的发展和推动。
联合出资
降低了政府财政资金的投资压力，解决了管线单位入廊难的问题，弊端在于投资额显著提高，增加公众负担，降低了项目的社会效益。各方分摊的建设资金比例难以确定，协调难度大。
PPP模式
政府投入资金占比相对较低，从而保障管廊项目稳定的运营收益。政府部门通过外围制度环境的建设，为社会资本合理投资回报的可靠性以及稳定性营造法律政策环境。 对法律环境要求高，相关法规尚未完善，存在法律调整的盲点。

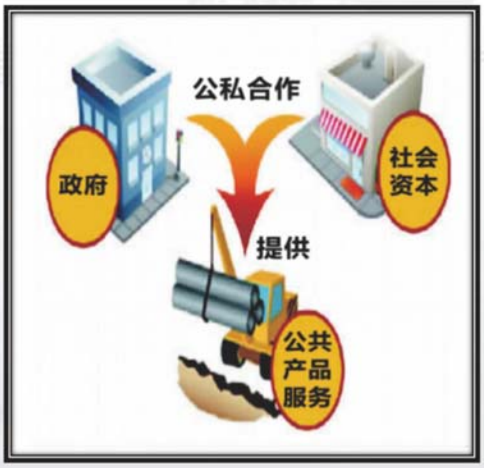
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd. (HPDI)

目录 | Content

中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd. (HPDI)

PPP模式推进综合管廊建设

PPP是Public-Private-Partnership的首字母缩写，常译为“公共-私营-合作机制”，是指为了建设基础设施项目，或是为提供某种公共物品和服务，政府按照一定的程序和方式，与私人组织(社会力量)以政府购买服务合同、特许经营协议为基础，明确双方的权利和义务，发挥双方优势，形成一种伙伴式的合作关系，并通过签署合同来明确双方的权利和义务，以确保合作的顺利完成，由社会力量向公众提供市政公用产品与服务的方式，提高质量和供给效率，最终实现使合作各方达到比预期单独行动更为有利的结果。




PPP模式推进综合管廊建设
中交公路规划设计院有限公司
CCCC Highway Consultants CO.,Ltd.(HPDI)
PPP项目
重要环节
项目选择
社会合作伙伴确定
项目公司设立
融资、建设、运营管理


绘基础设施蓝图
铸工程咨询旗舰
谢 谢！

11th 裝配式鋼製綜綜合管廊新材料新技術研發及應用探討

装配式钢制综合管廊

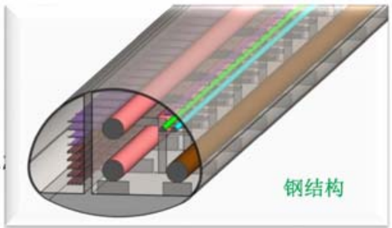
MCC 中冶京诚

中冶波纹钢制装配式综合管廊

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

中冶钢管廊研发背景



1. 中冶管廊对于**新工艺、新材料**探索；

2. 中冶管廊**技术沉淀雄厚，**工程经验极为丰富，一大批国家、行业专家团队；

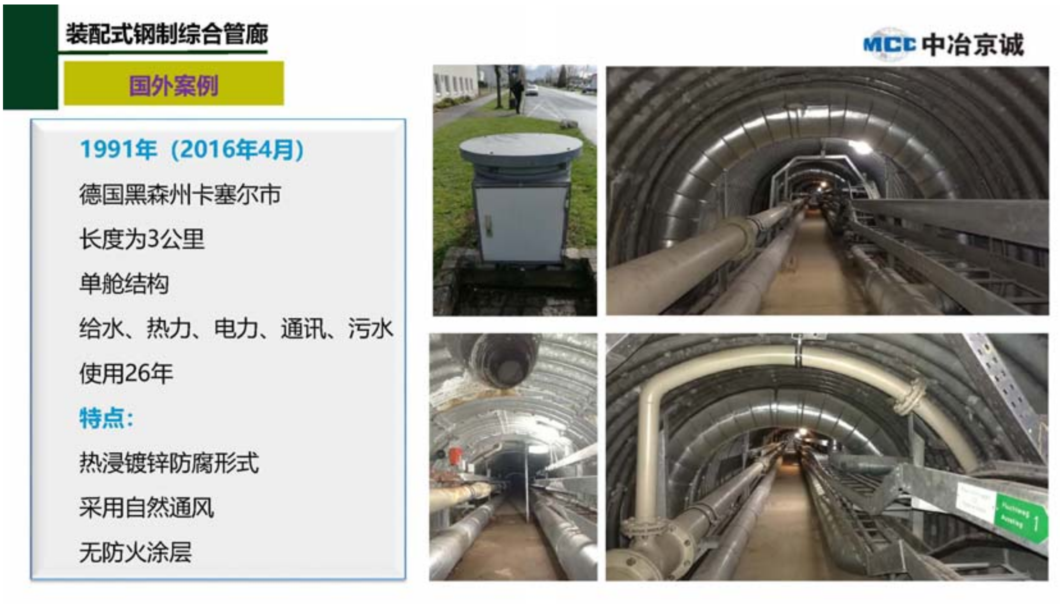
3.国家市政基础设施需求较大，**市政开发前景**广大；

4.中冶京诚是国家**“钢结构规范”**的主编单位、国家**“城市综合管廊规范”**的参编单位，**“冷弯协会”**主要成员单位；

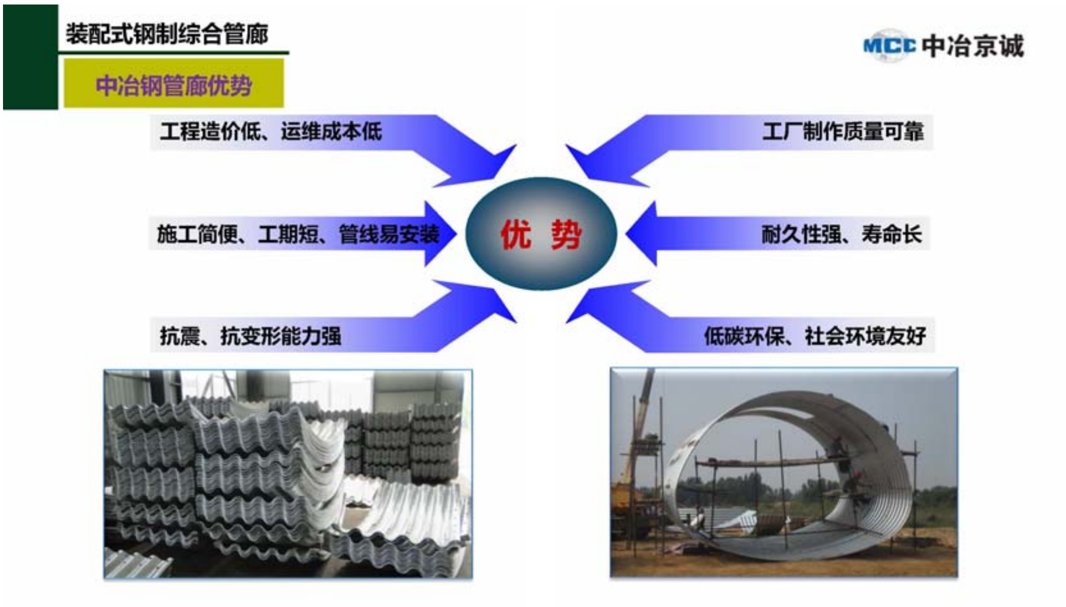
5.益通管业具有多年来钢制公路桥涵丰富经验；

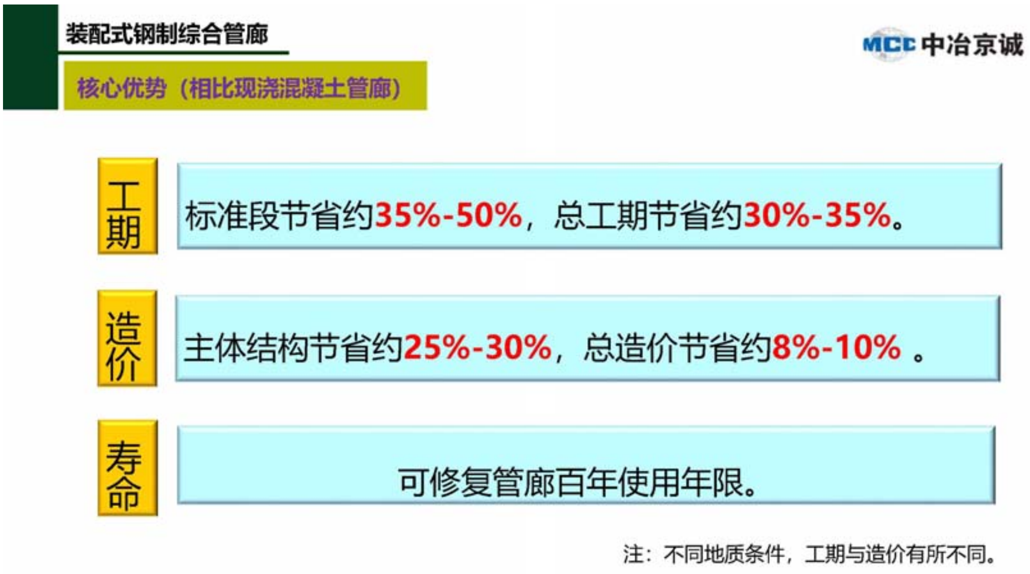
6.**发达国家**已具有可借鉴的成功经验。


装配式钢制综合管廊一
国外案例
MCC 中冶京诚
最早：
1945年前东德耶拿市
蒸汽管道和电缆
已使用72年
特点：
热浸镀锌防腐形式
采用自然通风
无防火涂层


装配式钢制综合管廊
国外案例
MCC 中冶京诚
1991年（2016年4月）
德国黑森州卡塞尔市
长度为3公里
单舱结构
给水、热力、电力、通讯、污水
使用26年
特点：
热浸镀锌防腐形式
采用自然通风
无防火涂层


装配式钢制综合管廊
国内案例
MCC 中冶京诚
国内参考案例：公路桥涵
最早应用青藏公路
2001年推广
全国已建成约30000座


装配式钢制综合管廊
中冶钢管廊优势
MCC 中冶京诚
工程造价低、运维成本低
工厂制作质量可靠
施工简便、工期短、管线易安装
优 势
耐久性强、寿命长
抗震、抗变形能力强
低碳环保、社会环境友好


装配式钢制综合管廊
核心优势（相比现浇混凝土管廊）
MCC 中冶京诚
工期
标准段节省约35%-50%，总工期节省约30%-35%。
造价
主体结构节省约25%-30%，总造价节省约8%-10% 。
寿命
可修复管廊百年使用年限。
注：不同地质条件，工期与造价有所不同。

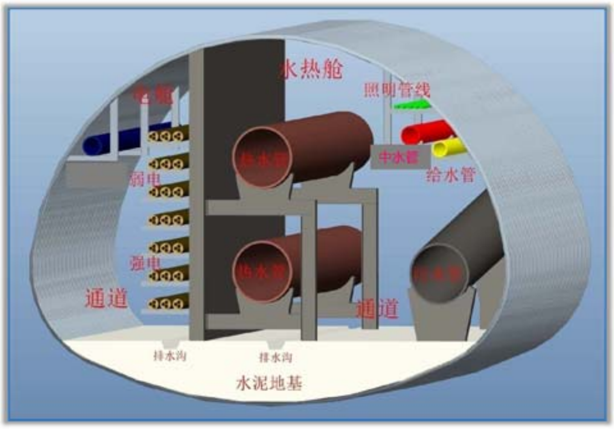

装配式钢制综合管廊
中冶钢管廊研发里程碑
MCC 中冶京诚
研发里程碑
2015年10月29日
中冶管廊技术研究院挂牌
工艺断面研究比对
2016年2月
建立有限元计算模型
开展三维设计
2016年4月
2016年4月19
武邑县政府、京诚、益通战略合作
研发团队赴德国考察
2016年4月
2016年5月
计算选定波形、壁厚
同北京工业大学、北京交通大学、中冶建研院讨论交流防腐、防渗、防火方案
2016年6月
板片试制
试验示范项目开工建设
2016年6月29
2016年7月
试验数据检测采集
试验示范项目完工
2016年8月17日

装配式钢制综合管廊

中冶钢管廊示范项目介绍

MCC 中冶京诚

衡水武邑示范段



1、**项目地点**：衡水武邑；

2、**长度**：1.8km（50米示范段）；

3、**入廊管线**：热力、污水、给水、中水、电力、电讯等。

4、**断面类型**：管拱型（马蹄型）

5、**断面尺寸**：

“双舱” （6.5*4.8）米

6、**土壤情况**：

最小电阻率 2260 Ω.cm　pH=6.9

装配式钢制综合管廊

示范项目介绍

MCC 中冶京诚

实景照片

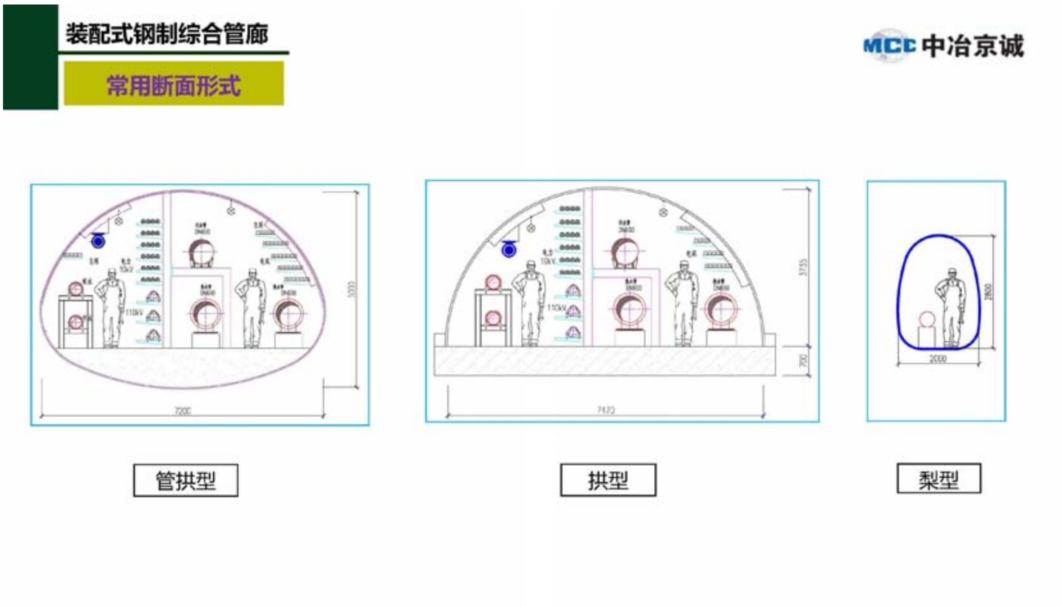
钢制管廊基坑开挖

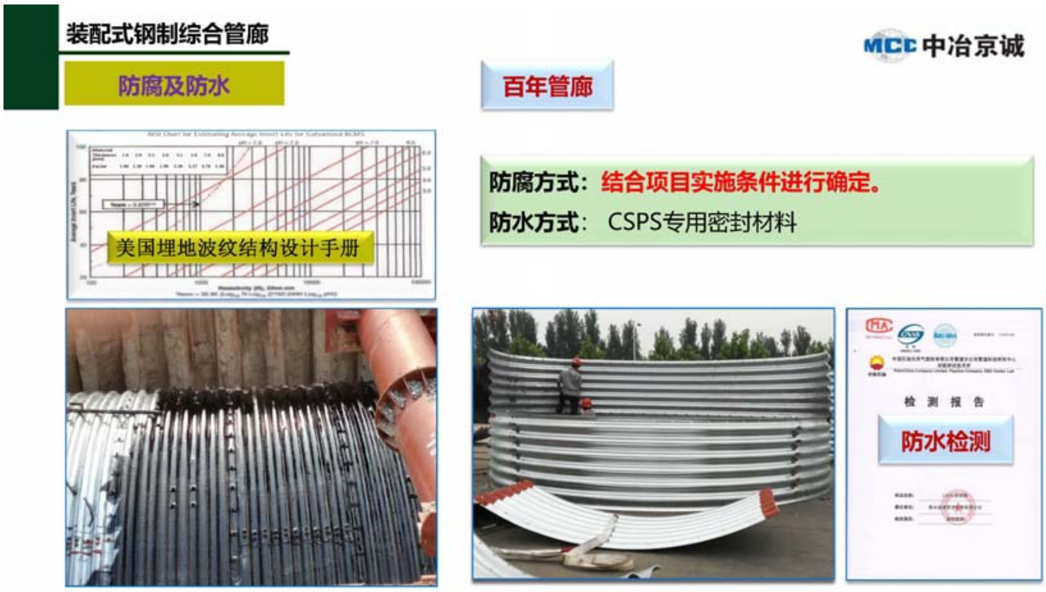
钢制管廊现场组装

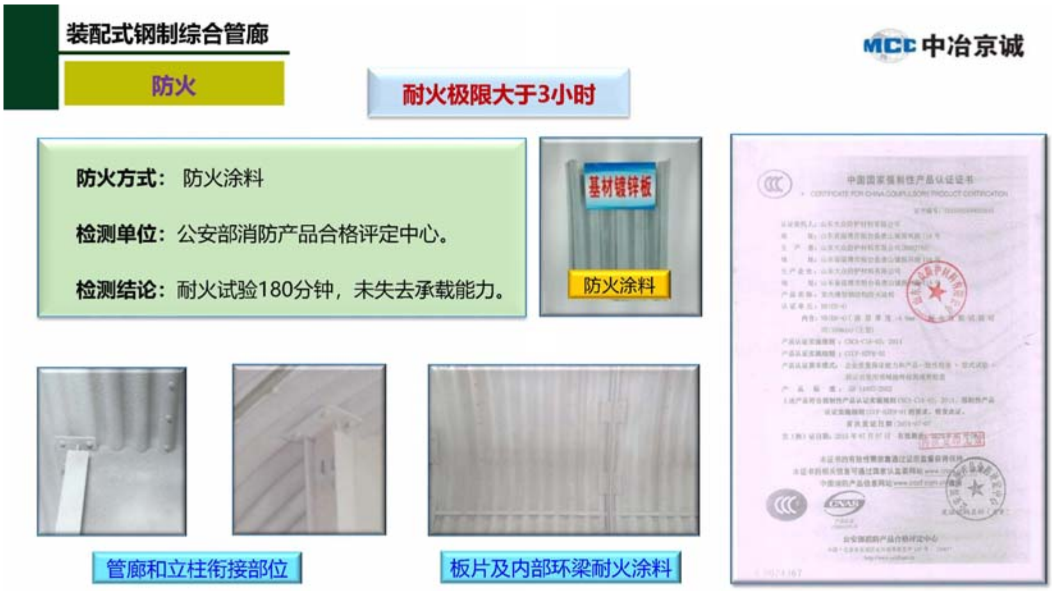
钢制管廊走道板施工

钢制管廊整体回填


装配式钢制综合管廊
示范项目介绍
实景照片
MCC 中冶京诚
MCC 中冶京诚
益通管业
钢制综合管廊


装配式钢制综合管廊
常用断面形式
MCC 中冶京诚
管拱型
拱型
梨型


装配式钢制综合管廊
防腐及防水
百年管廊
MCC 中冶京诚
美国埋地波纹结构设计手册
防腐方式：结合项目实施条件进行确定。
防水方式： CSPS专用密封材料
检 测 报 告
防水检测


装配式钢制综合管廊
防火
耐火极限大于3小时
MCC 中冶京诚
防火方式： 防火涂料
检测单位：公安部消防产品合格评定中心。
检测结论：耐火试验180分钟，未失去承载能力。
基材镀锌板
防火涂料
管廊和立柱衔接部位
板片及内部环梁耐火涂料

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

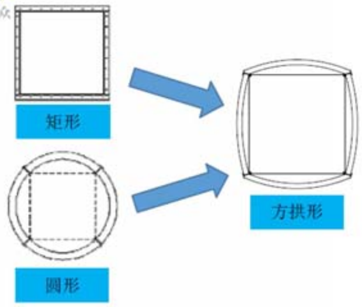
南京联众方拱形波纹钢制装配式综合管廊

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

单舱干、支线管廊

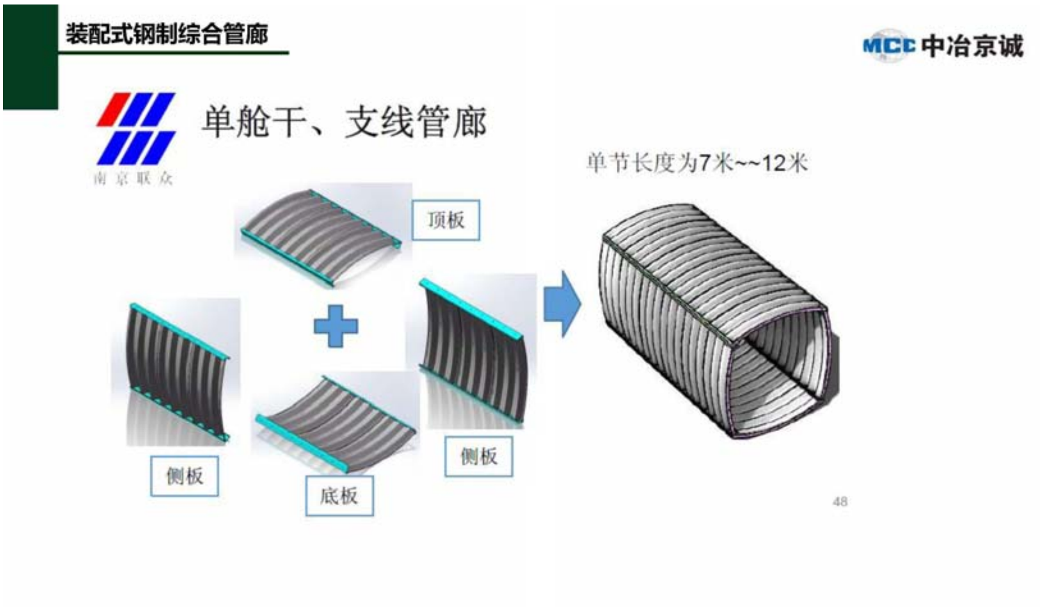
南京联众

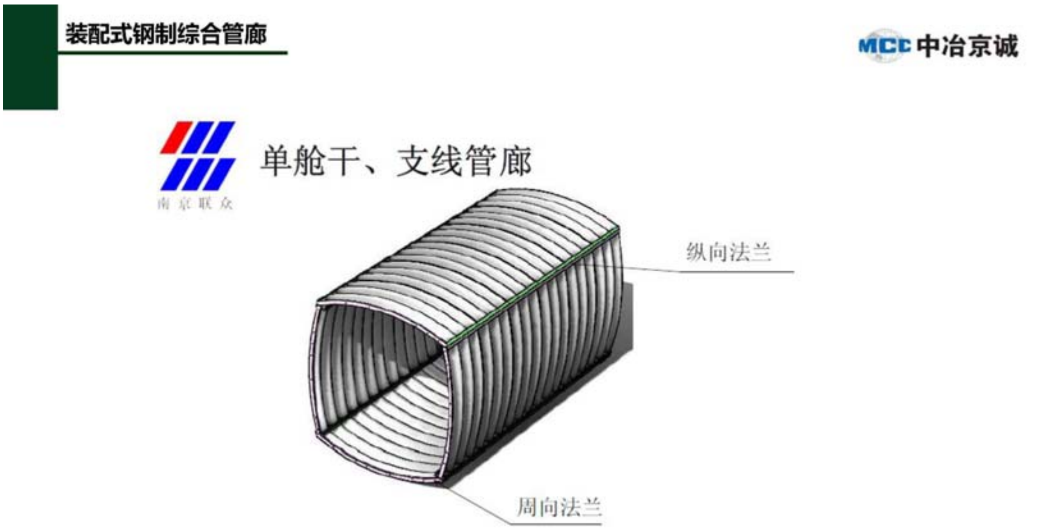


方拱形截面

有效的利用管土共同受力原理，增强了廊体强度，减小管廊钢板的厚度，节省造价。

有效的利用管廊内部的净空空间，增加内部线管容纳量。


装配式钢制综合管廊
MCC中冶京诚
南京联众
单舱干、支线管廊
单节长度为7米~~12米
顶板
侧板
底板
侧板
48

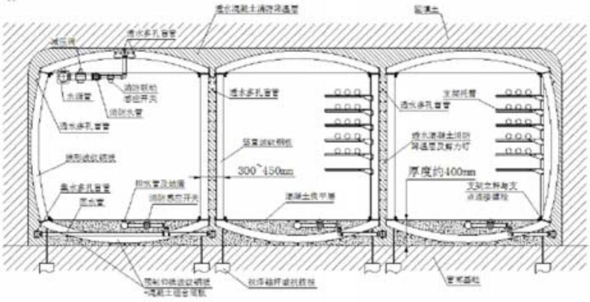

装配式钢制综合管廊
MCC中冶京诚
南京联众
单舱干、支线管廊
纵向法兰
周向法兰

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

多舱管廊-多舱结构截面图



装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

多舱管廊

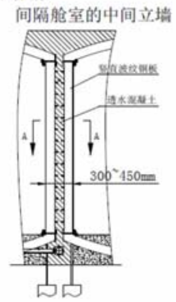
采用多个单舱管廊的拼舱式结构

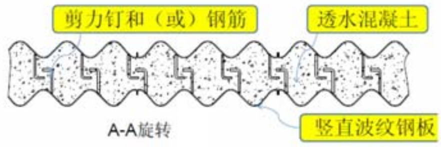
装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

多舱管廊





①多舱廊体外侧与土壤接触的墙板均为外拱的拱形墙板，充分利用管土共同受力原理；

②两个相邻的单舱之间的墙板采用竖直波纹钢板，竖直波纹钢板外侧焊有剪力钉和（或）钢筋，两个竖直波纹钢板间的空隙填充透水混凝土，形成高强度钢-混组合结构竖墙；

53

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

结构优点

① 有效的利用管土共同受力原理，大幅度减小钢板的厚度，节省造价；

② 有效的利用管廊内部的净空空间，内部线管容纳量比涵洞型波纹钢管廊能增加1/6~2/5；

③ 四个连接角为钝角结构，没有圆弧角的弧度卷圆限制，可以使用大波高、大惯性矩的波纹钢板，大大提高了廊体的强度，<u>同样的钢材用量却能使管廊板壁的惯性矩提高5.3~7.7倍，从而比目前国内外涵洞型波纹钢管廊节省造价</u>；

55

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

结构优点

南京联众

④ 能充分利用侧壁设置管线支架；

⑤ 径向刚度比涵洞型波纹钢管廊提高近102倍，解决了廊体径向变形问题，同时，解决了抗浮装置难以设置的难题；

⑥ 单片墙板的面积是涵洞型波纹钢板片面积的5～15倍，可达50平方米，减少了廊体的周向及轴接缝数量及长度，减少了安装及廊体密封的工作量，减少了廊体的泄露隐患；

⑦ 能制作高宽比比较大或比较小的管廊；

⑧ 廊体轴向尺寸及径向尺寸控制精度大大提高；

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

结构优点

南京联众

⑨ 廊体内外两侧不需要做防水层，造价节省；

⑩ 廊体顶部易设置管架；

⑪ 便于与矩形混凝土管廊连接；

⑫ 廊底混凝土垫层厚度小，节省造价；

⑬ 便于设置拼舱式多舱式结构；

⑭ 工期比涵洞型波纹钢管廊提高二倍以上；

⑮ 工期比现浇混凝土管廊提高5～10倍，比装配式混凝土管廊提高3 ～5倍 。

装配式钢制综合管廊

中冶京诚

南京联众

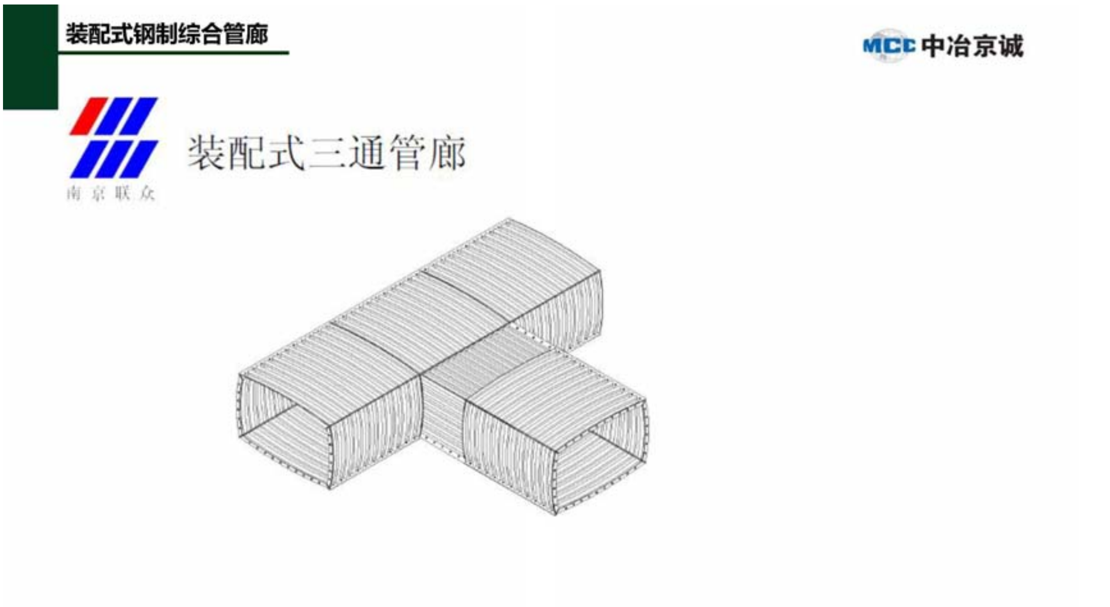
装配式通风口

装配式钢制综合管廊

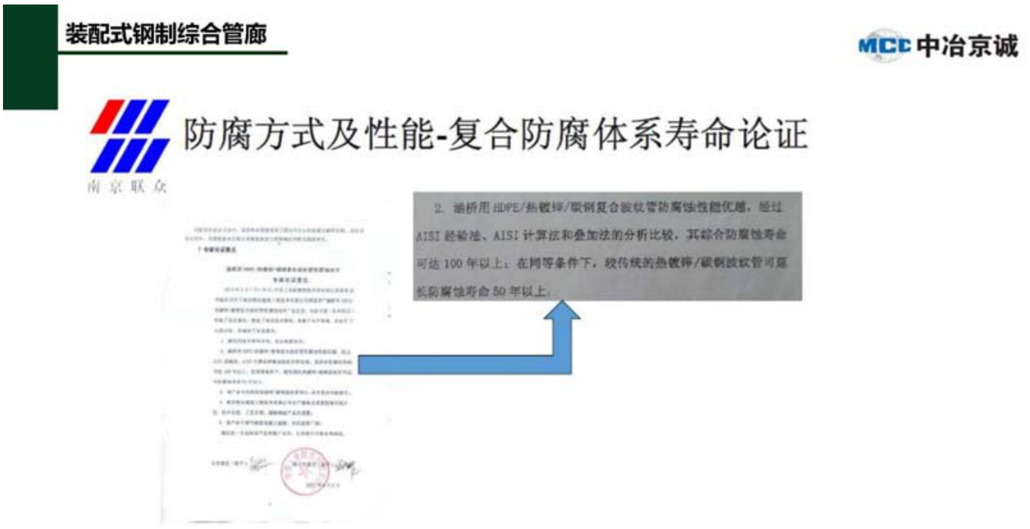
中冶京诚

南京联众

装配式集水坑


装配式钢制综合管廊
MCC 中冶京诚
南京联众
装配式三通管廊


装配式钢制综合管廊
MCC 中冶京诚
南京联众
结构试验-主要过程
开挖
找平
埋土压力盒
回填压实
接线
记录


装配式钢制综合管廊
中冶京诚
防腐方式及性能-复合防腐体系寿命论证
南京联众
2. 涵桥用HDPE/热镀锌/碳钢复合波纹管防腐蚀性能优越，经过AISI经验法、AISI计算法和叠加法的分析比较，其综合防腐蚀寿命可达100年以上；在同等条件下，较传统的热镀锌/碳钢波纹管可延长防腐蚀寿命50年以上。


装配式钢制综合管廊
中冶京诚
耐火方式及性能-疏导法耐火专利技术
南京联众
说 明 书
一种能够防火的钢质地下综合管廊
技术领域
本发明涉及一种地下综合管廊，尤其涉及一种能够防火的钢质地下综合管廊。
背景技术
本申请人长期致力于钢质结构综合管廊的研究和应用，其中，钢结构综合管廊在施工完成后需满足验收规范。参照《建筑设计防火规范》GB 50016-2014规定，尤其是管廊结构要求达到建筑构件的燃烧性能和耐火极限。目前，大多数管廊使用防火涂料防火，施工繁琐，成本增加，且每隔一定年限后，涂料要重新进行维护或更换。更重要的是钢结构管廊大部分都利用了管土共同受力原理，也叫协同变形原理，廊体会发生少量变形，涂料可能会脱层和脱落。另外，即使有防火涂料的存在，当构件经过《建筑设计防火规范》GB 50016-2014规定的实验方法实验时，钢质地下综合管廊外围的回填土中会产生大量的水蒸汽，给整个工程带来隐患。
消防法规中，将防方法分为隔离法和疏导法，隔离法是截断或阻滞火灾产生的热量

装配式钢制综合管廊

中冶京诚

南京联众

实际管廊工程工地现场结构测试

测试方案由同济大学制定。参与测试单位：同济大学、东南大学、安徽省交通设计院四分院、南京联众建设工程技术有限公司。

装配式钢制综合管廊

中冶京诚

南京联众

耐火方式及性能-疏导法透水实验结论

①钢质廊体外侧包裹粗砂层或透水混凝土或级配碎石，水从廊体顶部沿侧壁的透水层在2~5分钟之内就流至廊体底部，并且各个位置的流量分布均匀。

②外壁的透水层中有流动的水时，在无防火涂料的情况下，管廊钢质板壁升温能得到有效抑制，温度一直控制在100℃以下，无高温高压蒸汽产生，可以达到耐火极限三小时甚至更长时间的要求。

③背火面防腐层锌无氧化现象，塑料陶瓷防腐层完好。迎火面锌层有氧化现象，迎火面塑料陶瓷防腐层烧毁。

④ 此耐火方式，可保证在火灾发生后，廊体结构能继续使用，而用防火涂料方式防火，廊体外侧镀锌层被破坏，不能继续防腐，寿命大大降低。

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

施工安装—单舱

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

施工安装—多舱

133

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

单舱管廊内部

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

结语：本结构管廊的优点

- ⑧ 底板与混凝土一同预制，解决了底部回填难题。
- ⑨ 便于设置抗浮装置，造价低、易施工。
- ⑩ 多舱设置的经济性和结构更优。
- ⑪ 易设置装配式附属结构及设施：如装配式钢结构投料口、通风口、集水井等。
- ⑫ 耐火性能：先进防火技术，造价低、易施工。
- ⑬ 工期短：每个班组，每天可拼装50米（以4米×4米截面为例）。
- ⑭ 廊体内外两侧都不需要另做防水处理，造价省。
- ⑮ 抗震。
- ⑯ 结合国家供给侧改革，解决钢材产能过剩难题。

143

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

南京联众

结语：本结构管廊的优点

- ⑧ 底板与混凝土一同预制，解决了底部回填难题。
- ⑨ 便于设置抗浮装置，造价低、易施工。
- ⑩ 多舱设置的经济性和结构更优。
- ⑪ 易设置装配式附属结构及设施：如装配式钢结构投料口、通风口、集水井等。
- ⑫ 耐火性能：先进防火技术，造价低、易施工。
- ⑬ 工期短：每个班组，每天可拼装50米（以4米×4米截面为例）。
- ⑭ 廊体内外两侧都不需要另做防水处理，造价省。
- ⑮ 抗震。
- ⑯ 结合国家供给侧改革，解决钢材产能过剩难题。

143

装配式钢制综合管廊

MCC 中冶京诚

3、综合管廊其他新材料之應用-内蒙古首条竹缠绕管廊

1. 2018年4月24日由在中铁十八局集团轨道公司在呼和浩特市元亨石墨产业园铺设成功；

2.竹缠绕综合管廊的重量是传统混凝土管廊的1/10，，综合成本大约降低10%-30%；

3.其抗压强度与混凝土管廊强度同等，安装难度低，缩短施工周期；

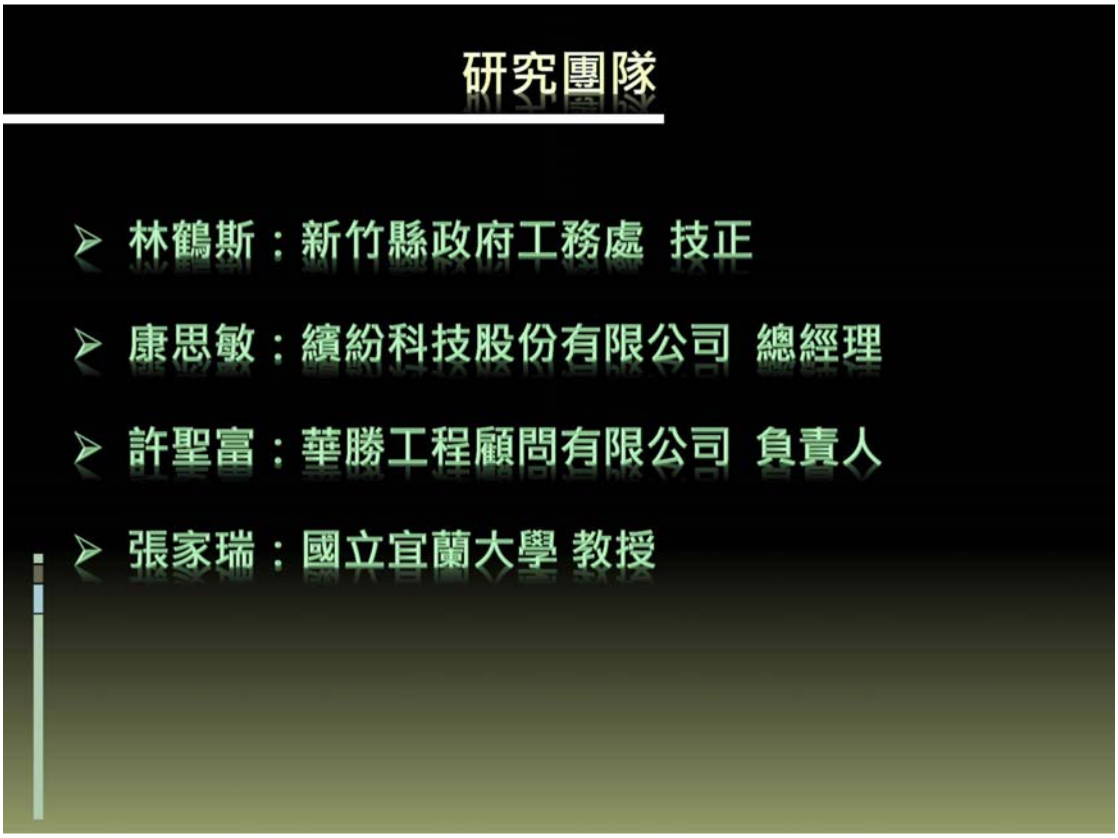
4.具有重量轻、施工安装方便、使用寿命长、防火保温、抗渗漏、耐腐蚀、抗地质沉降、运输便捷、资源可再生、低碳环保等突出优点；

5.大陸是世界上最主要的产竹国，竹类资源、竹林面积、竹材蓄积和产量均居世界首位。竹产业是集生态、经济、社会效益于一体的朝阳产业和绿色产业，发展竹缠绕复合材料产业对进一步推动我国生态文明建设、促进可持续发展，具有重要的现实意义。

竹缠绕综合管廊内部及外觀


感谢聆听，欢迎交流
李跃飞　中冶京诚工程技术有限公司副总工 13601370124
1159986368@QQ.COM

12th BIM 技術在共同管道建設應用



簡報大綱

- 一. 共同管道工程與營運管理簡介
- 二. BIM技術應用於共同管道工程的優勢
- 三.新竹高鐵特定區共同管道簡介
- 四.新竹高鐵特定區共同管道BIM應用介紹
- 五. 未來展望

共同管道建設的特點與目標

- 特點：
  - ✓ 分佈于城市各道路下方，範圍廣大，設施設備眾多
  - ✓ 結合業主與管線單位，需要專業技術核心知識與經驗
  - ✓ 攸關城市基礎設施運行，牽涉業主最根本利益
- *目標：*
  - ✓ *確保共同管道運維的穩定性與可持續性*
  - ✓ *強化共同管道運維的可靠度與安全性*
  - ✓ *優化共同管道運維的效率與前瞻性*

共同管道管理維護作業：主管機關

- 新竹縣共同管道管理辦法第三條　共同管道構造體及其給排水、通風、照明、通訊、電力、消防、警報、標誌、監視（測）系統、材料投入口蓋版組及鑄鐵蓋組等為共同管道主體設施，由主管機關管理維護

共同管道管理維護作業：管線事業機關

- 共同管道法第十九條

共同管道內之公共設施管線及其附屬設施，**由各該管線事業機關（構）檢修管理，並定期巡檢作必要之安全措施。**

- 新竹縣共同管道管理辦法第五條

管線事業機關（構）權責如下：

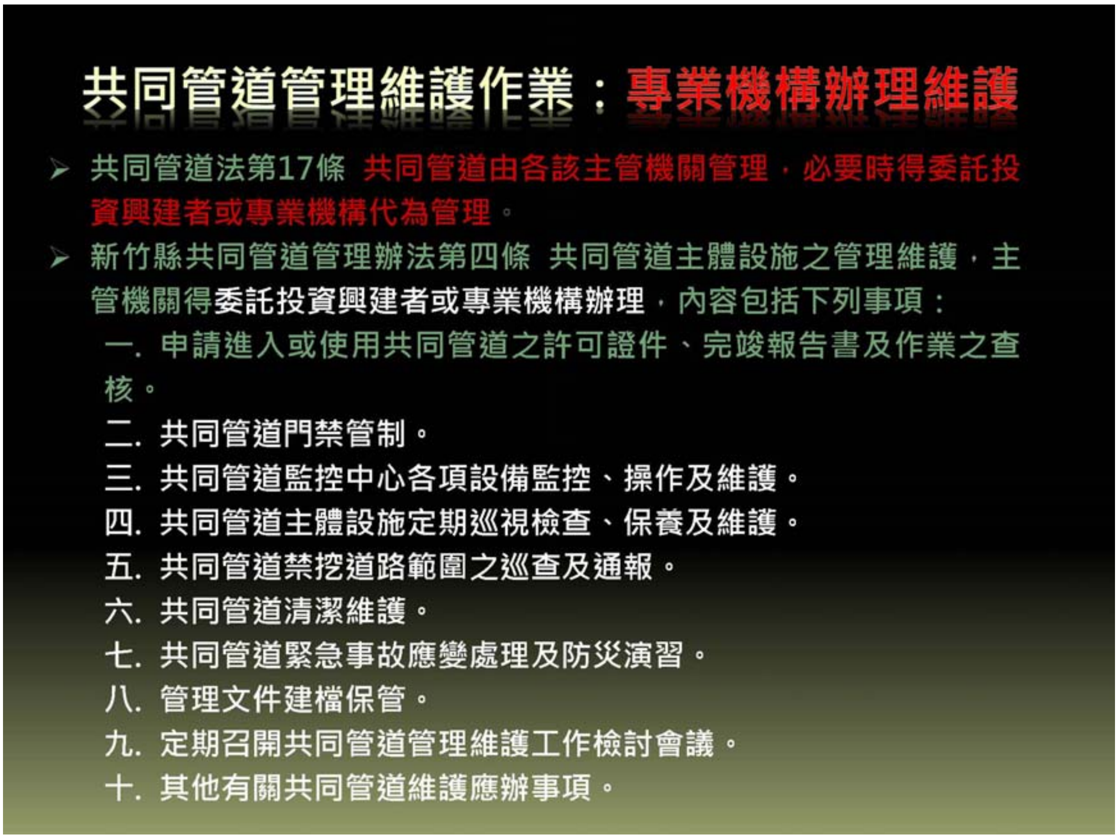
一. 共同管道內之管線及其附屬設備定期巡視檢查、保養及維護。

二. 共同管道緊急事故應變處理。

三. 配合辦理共同管道防災演習。

四. 共同管道管線管理資料之建檔保管。

前項第一款之管線附屬設備由兩個以上管線事業機關（構）共同使用時，維護權責由主管機關協調決定之。


共同管道管理維護作業：專業機構辦理維護
➢ 共同管道法第17條 共同管道由各該主管機關管理，必要時得委託投資興建者或專業機構代為管理。
➢ 新竹縣共同管道管理辦法第四條 共同管道主體設施之管理維護，主管機關得委託投資興建者或專業機構辦理，內容包括下列事項：
一. 申請進入或使用共同管道之許可證件、完竣報告書及作業之查核。
二. 共同管道門禁管制。
三. 共同管道監控中心各項設備監控、操作及維護。
四. 共同管道主體設施定期巡視檢查、保養及維護。
五. 共同管道禁挖道路範圍之巡查及通報。
六. 共同管道清潔維護。
七. 共同管道緊急事故應變處理及防災演習。
八. 管理文件建檔保管。
九. 定期召開共同管道管理維護工作檢討會議。
十. 其他有關共同管道維護應辦事項。

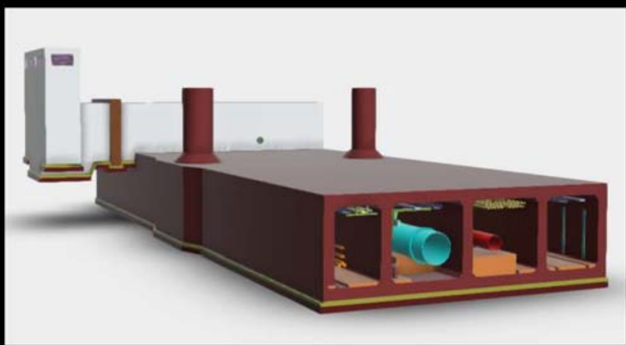

共同管道營運管理的問題
相關報表與分析
：紙本資料，無法進行資料分析
使用者介面親和力
：平面圖資，不夠直觀
資產設施資訊更新
：設備進行汰換、改善或檢查時，無法及時更新資料，影響管理系統的有效性
圖說資料協同管理
：各項圖說及資料缺乏關聯性，進而影響設施設備管理之準確性
工程竣工圖說
：相關圖說無法即時查出管道各空間、設施設備之相關資訊

簡報大綱

- 一. 共同管道工程與營運管理簡介
- 二. BIM技術應用於共同管道工程的優勢
- 三.新竹高鐵特定區共同管道簡介
- 四.新竹高鐵特定區共同管道BIM應用介紹
- 五. 未來展望

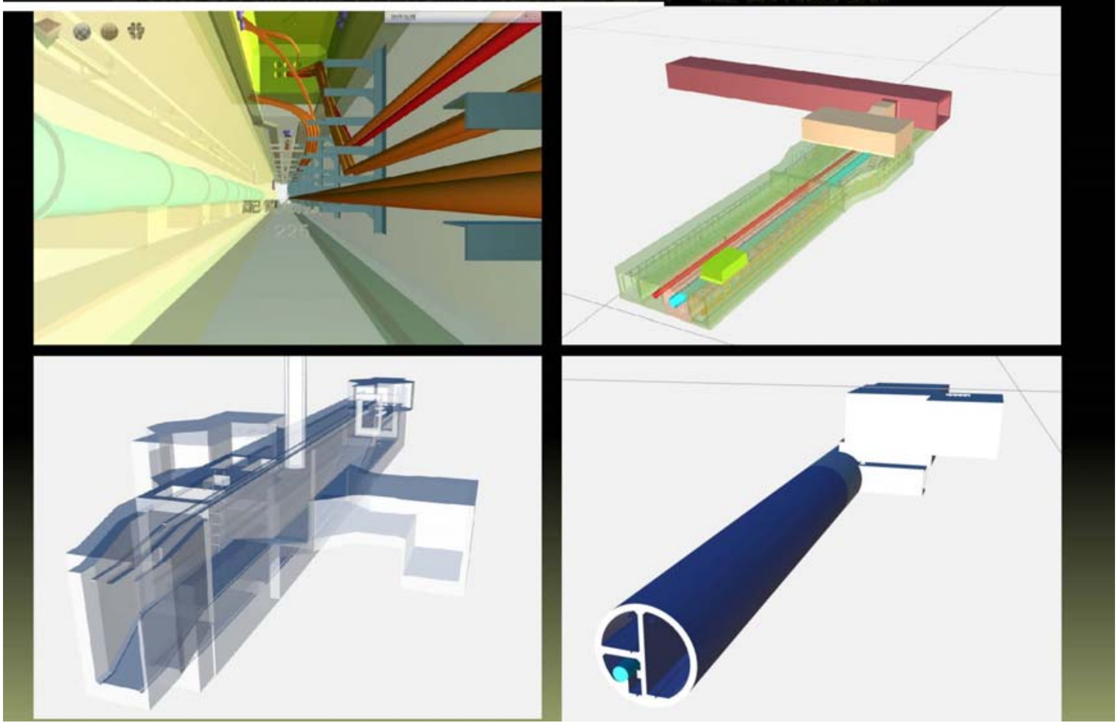
BIM(建築資訊模型)已被廣泛運用於土木工程(非建築類)

- 道路工程
- 橋樑工程
- 捷運工程
- 離岸風力發電工程
- 共同管道工程



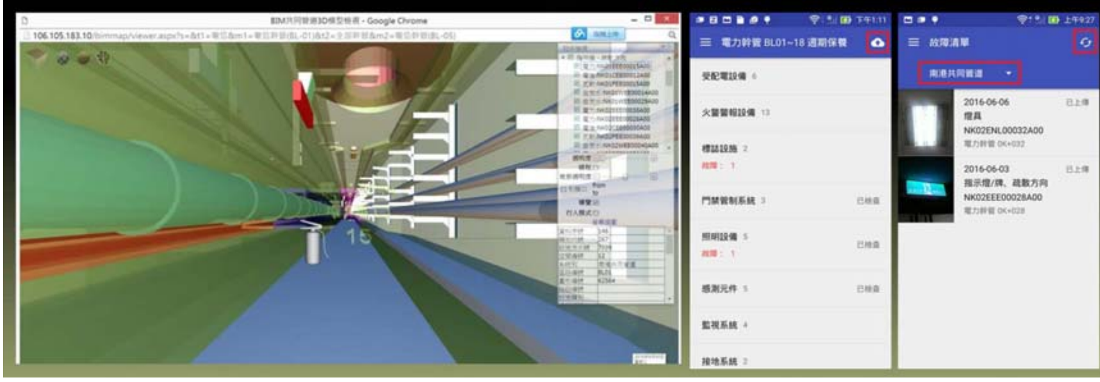
應用目標：使用3D BIM技術協助進行各項土木工程之設計、施工及營運管理，運用BIM技術之整合能力，有助於解決工程溝通、衝突檢討、時程管理、工程模擬等問題，並在工程各階段提供統一資料交換方式，大幅提升工程資訊的正確有效地傳遞與共享。

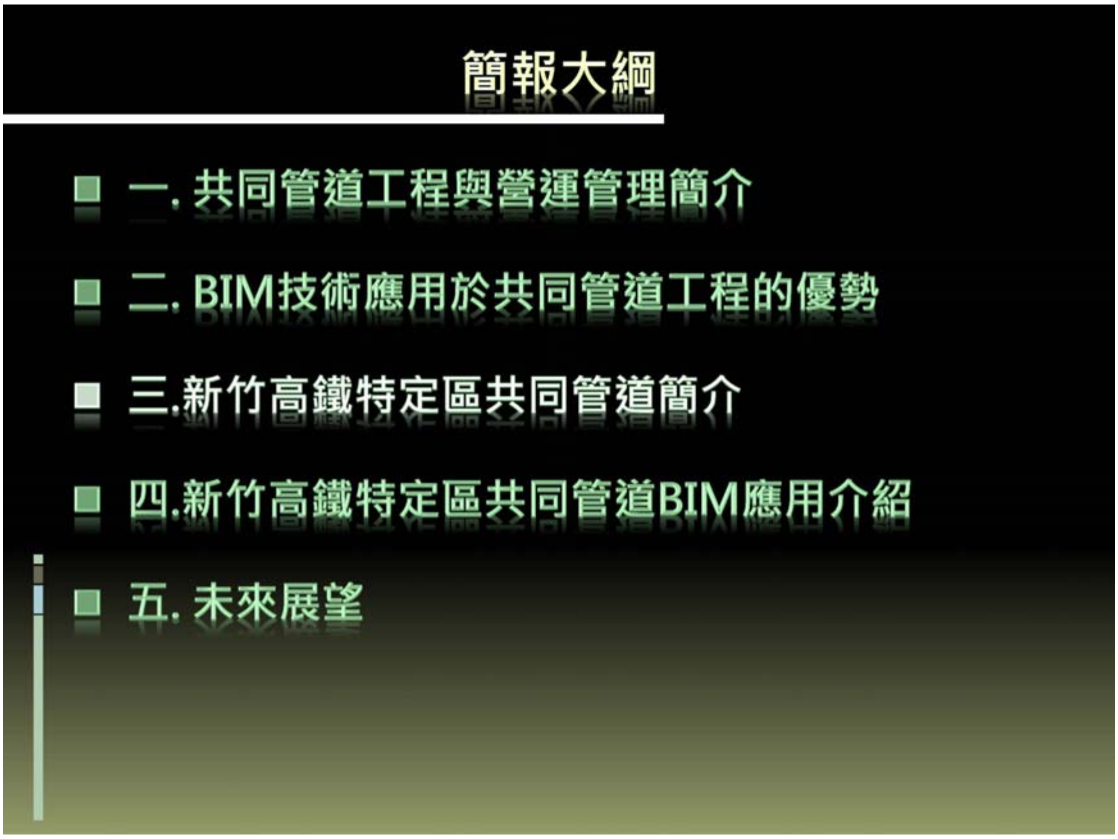
BIM技術應用於共同管道工程的優勢

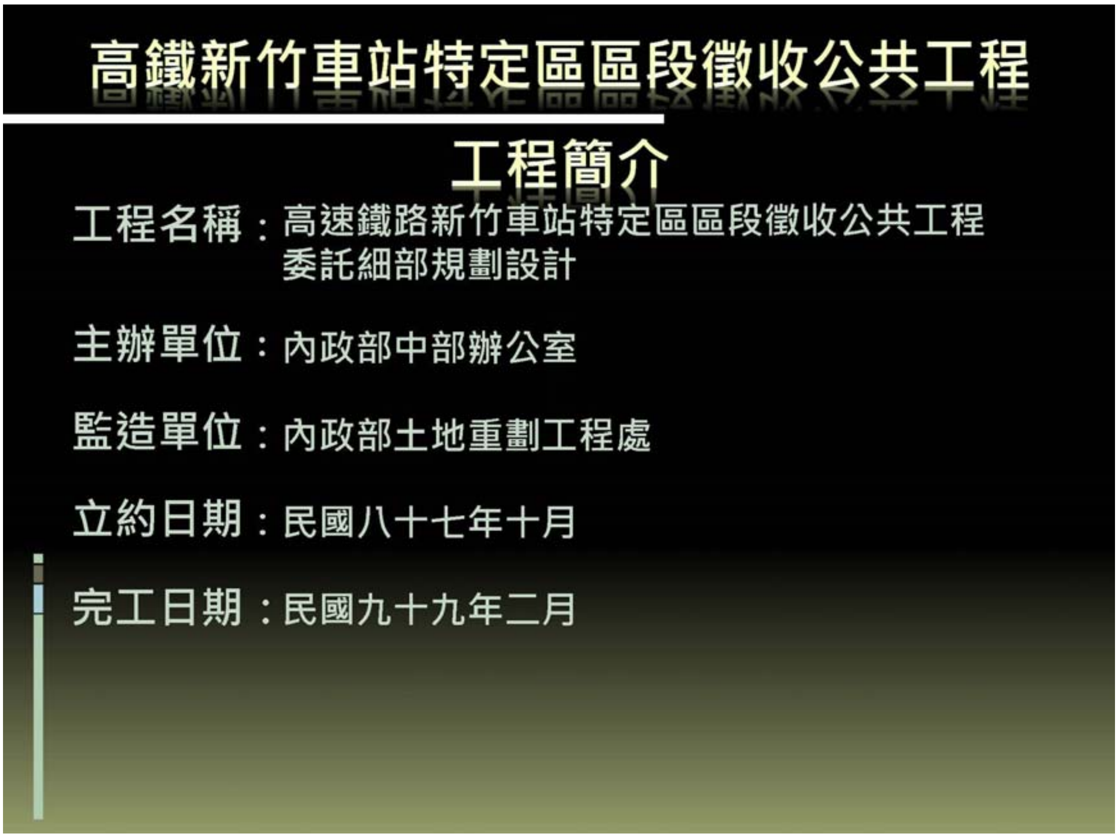


BIM技術應用於共同管道維護管理的優勢

- 由共管營運管理端需求出發，同時考量行政管理者、系統維護者、決策者等權責與角色，並基於BIM的大數據特性開發延伸前後端的應用軟體，輔助各項維護管理工作。
- 藉由BIM數化實現圖文結合功能，配合定期更新資料庫，提升系統信賴度與使用率，進而實現降低管理成本支出，提升營運維護效能，延長共同管道設施設備使用壽命

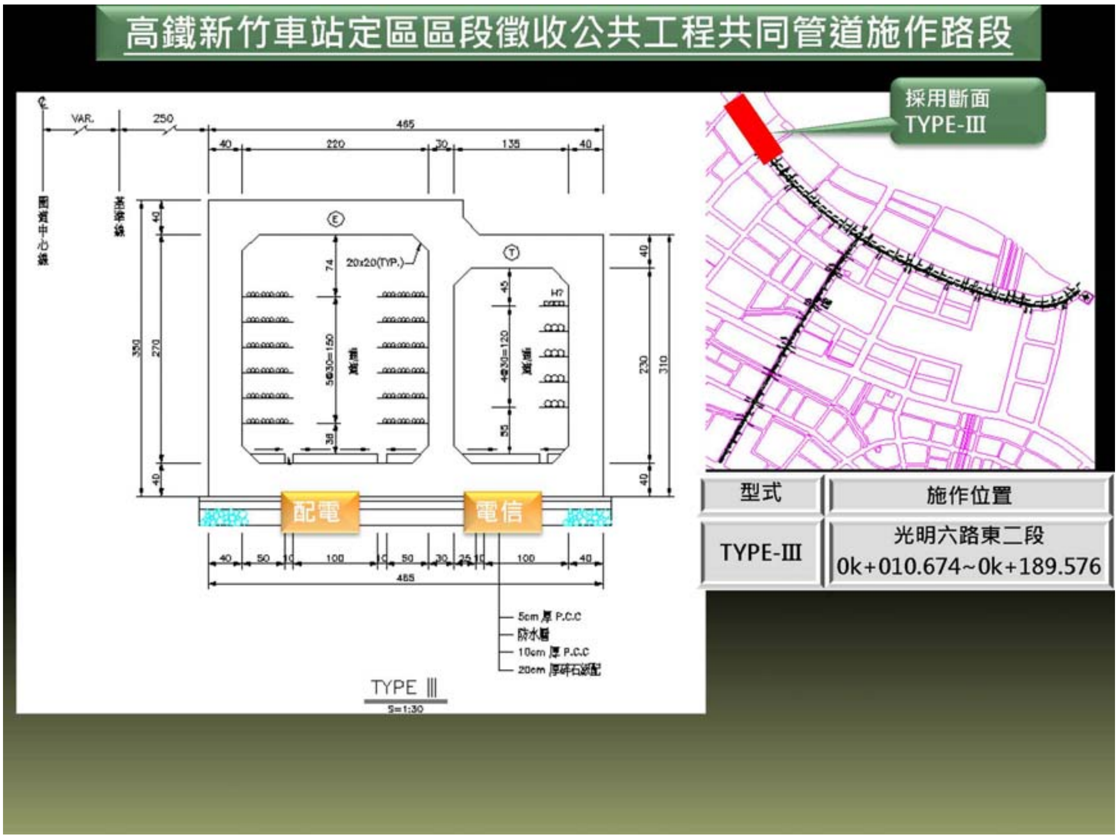


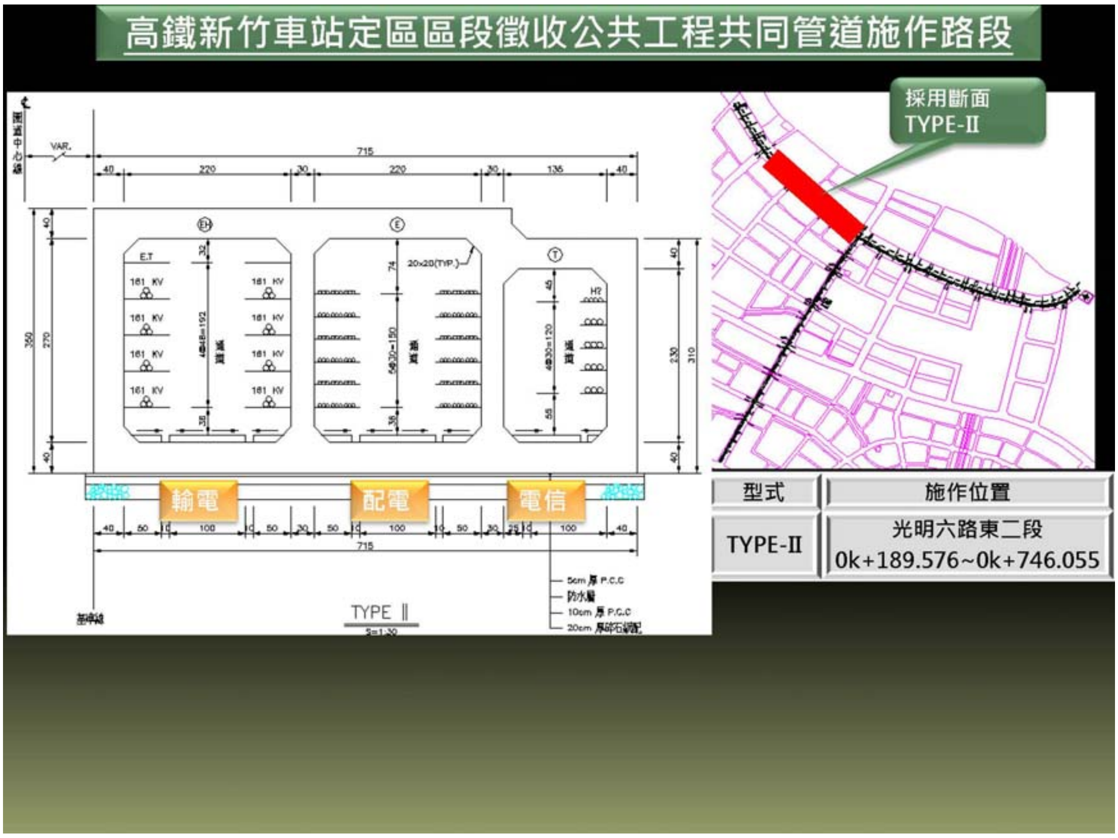

簡報大綱
一. 共同管道工程與營運管理簡介
二. BIM技術應用於共同管道工程的優勢
三.新竹高鐵特定區共同管道簡介
四.新竹高鐵特定區共同管道BIM應用介紹
五. 未來展望


高鐵新竹車站特定區區段徵收公共工程
工程簡介
工程名稱：高速鐵路新竹車站特定區區段徵收公共工程
委託細部規劃設計
主辦單位：內政部中部辦公室
監造單位：內政部土地重劃工程處
立約日期：民國八十七年十月
完工日期：民國九十九年二月

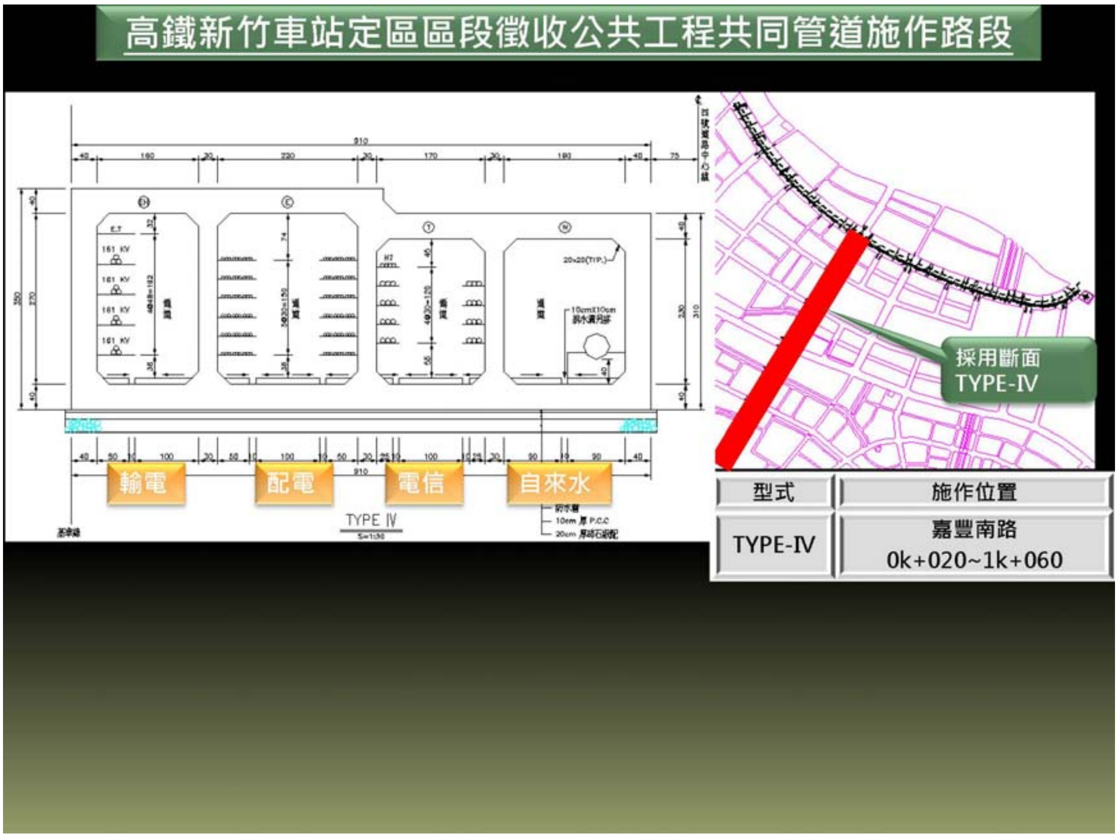

北
THSR
車站專用區
產
圖 例
住宅區
商業區
高鐵車站專用區
產業專用區
宗教專用區
加油站專用區
機關
高鐵路線用地
變電所
人行步道
公園、綠地
廣場
兒童遊樂場
體育場
停車場
學校
環保設施用地
電力事業用地
園道
住宅區(再在發展地區)
道路
灌溉設施專用區
天然氣設施專用區
自來水事業專用區
電信事業專用區
計畫範圍
高鐵新竹站特定區都市計畫平面圖


高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程共同管道施作路段
共管施作里程及長度
園道（光明六路東二段）
0k+010.674~1k+647.034
L=1636.360M
四號道路（嘉豐南路）
0k+020~1k+060
L=1050M
起點里程
0k+010.674
光明六路東二段
終點里程
1k+060.000
終點里程
1k+647.034
嘉豐南路
起點里程
0k+020.000

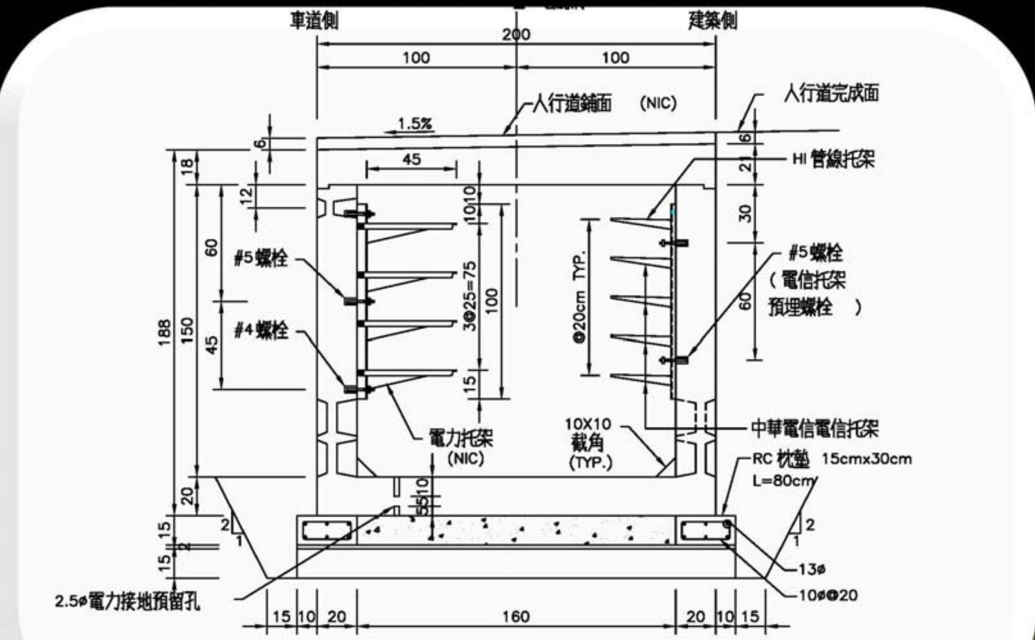

高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程共同管道施作路段
採用斷面
TYPE-III
型式
施作位置
TYPE-III
光明六路東二段
0k+010.674~0k+189.576
配電
電信
5cm 厚 P.C.C
防水層
10cm 厚 P.C.C
20cm 厚碎石級配
TYPE III
S=1:30


高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程共同管道施作路段
採用斷面
TYPE-II
型式
施作位置
TYPE-II
光明六路東二段
0k+189.576~0k+746.055
輸電
配電
電信
5cm 厚 P.C.C
防水層
10cm 厚 P.C.C
20cm 厚碎石級配
TYPE II
S=1:30


高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程共同管道施作路段
採用斷面
TYPE-I
輸電
配電
電信
自來水
TYPE I
型式
施作位置
TYPE-I
光明六路東二段
0k+746.055~1k+647.034


高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程共同管道施作路段
採用斷面
TYPE-IV
輸電
配電
電信
自來水
TYPE IV
型式
施作位置
TYPE-IV
嘉豐南路
0k+020~1k+060

共同管道—電纜溝標準斷面圖



嘉豐南路道路電纜溝標準斷面圖

幹管與電纜溝施作里程及位置

	幹管	電纜溝
光明六路東二段	0k+010~1k+649 道路中央 L=1640M	0k+010~1k+649 幹管兩側 L=3280M
嘉豐南路	0k+020~1k+070 道路中央 L=1050M	0k+020~1k+070 道路兩側 L=2100M

22


高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程暨站區照片
共同管道監控中心夜間內部現況
車站專區
共同管道監控中心暨公一公園完工照


高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程暨站區照片
輸電通道
配電通道

高鐵新竹車站定區區段徵收公共工程暨站區照片

自來水洞道

T字交叉口處

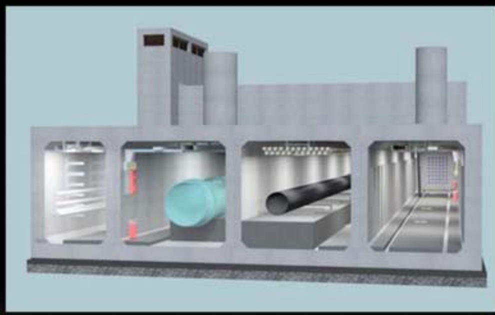
簡報大綱

- 一. 共同管道工程與營運管理簡介
- 二. BIM技術應用於共同管道工程的優勢
- 三.新竹高鐵特定區共同管道簡介
- 四.新竹高鐵特定區共同管道BIM應用介紹
- 五. 未來展望

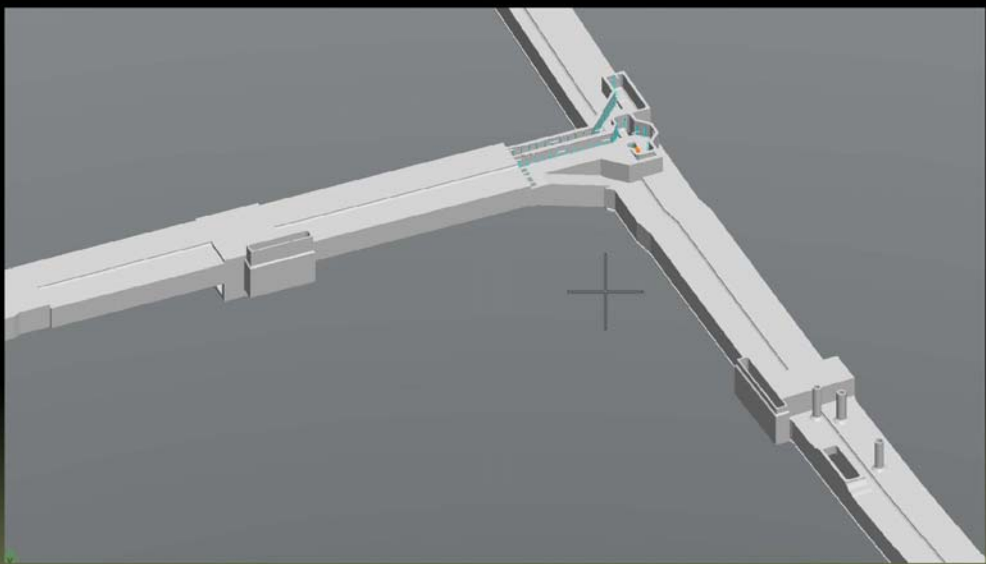
BIM模型及元件資料建置標準

- BIM模型建置精細程度、流程、BIM元件屬性等標準須明確律定，以利系統性應用

精細度（LOD）	模型元件
100	N/A
200	纜線
300	管道模型 特殊部模型 管道機電設備模型
400	N/A
500	N/A

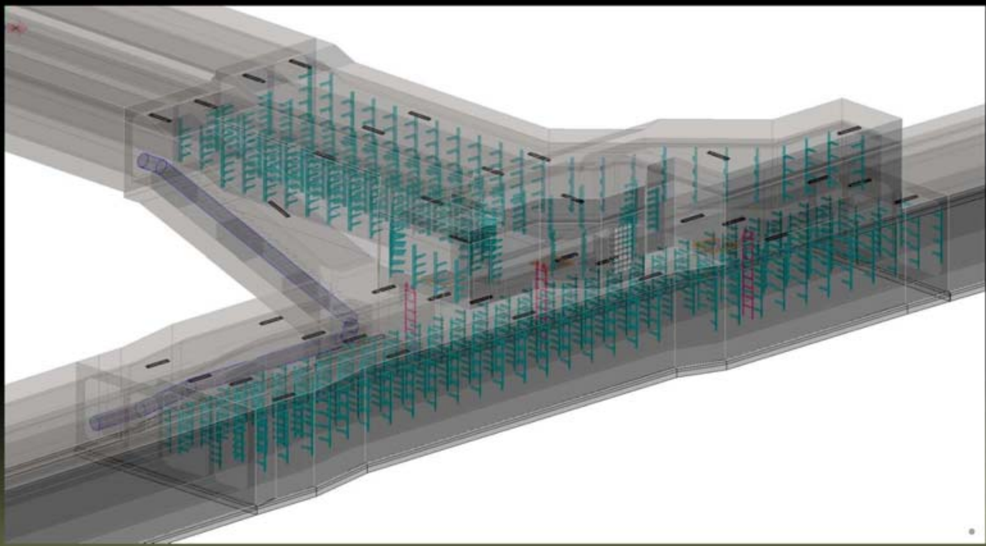


新竹高鐵特定區BIM模型



28

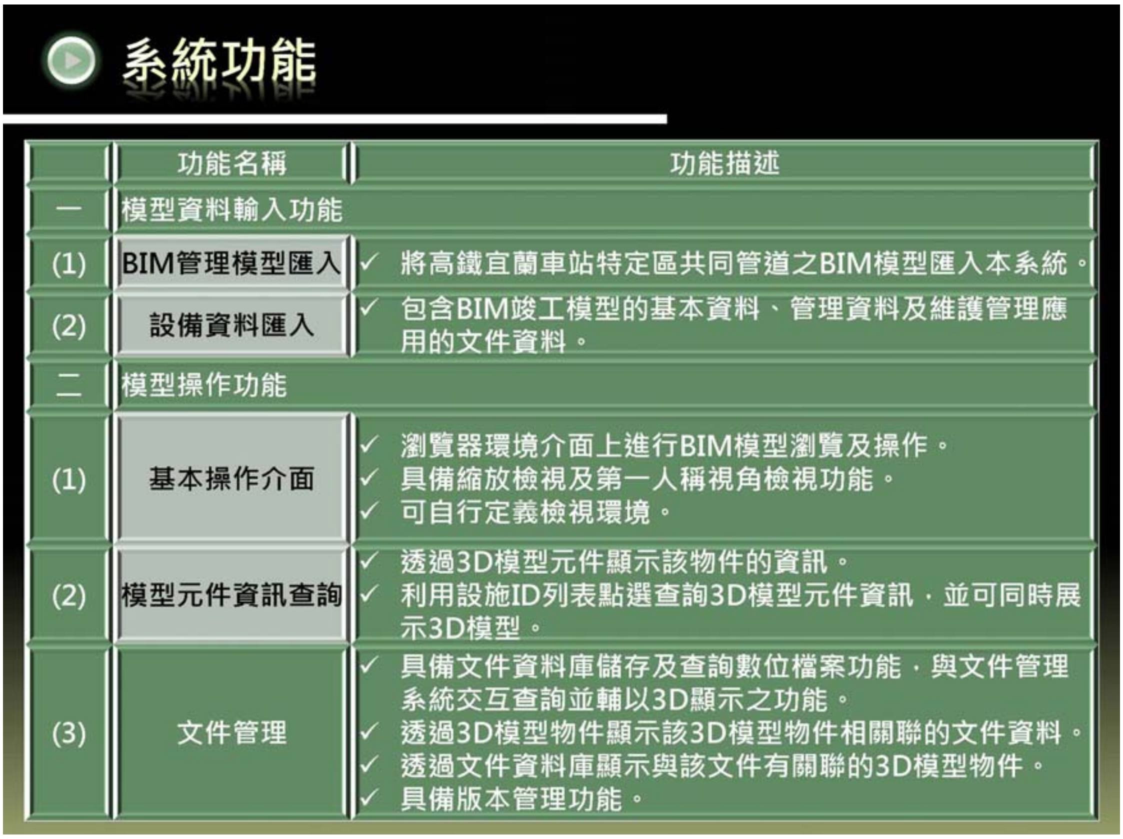
新竹高鐵特定區BIM模型



29

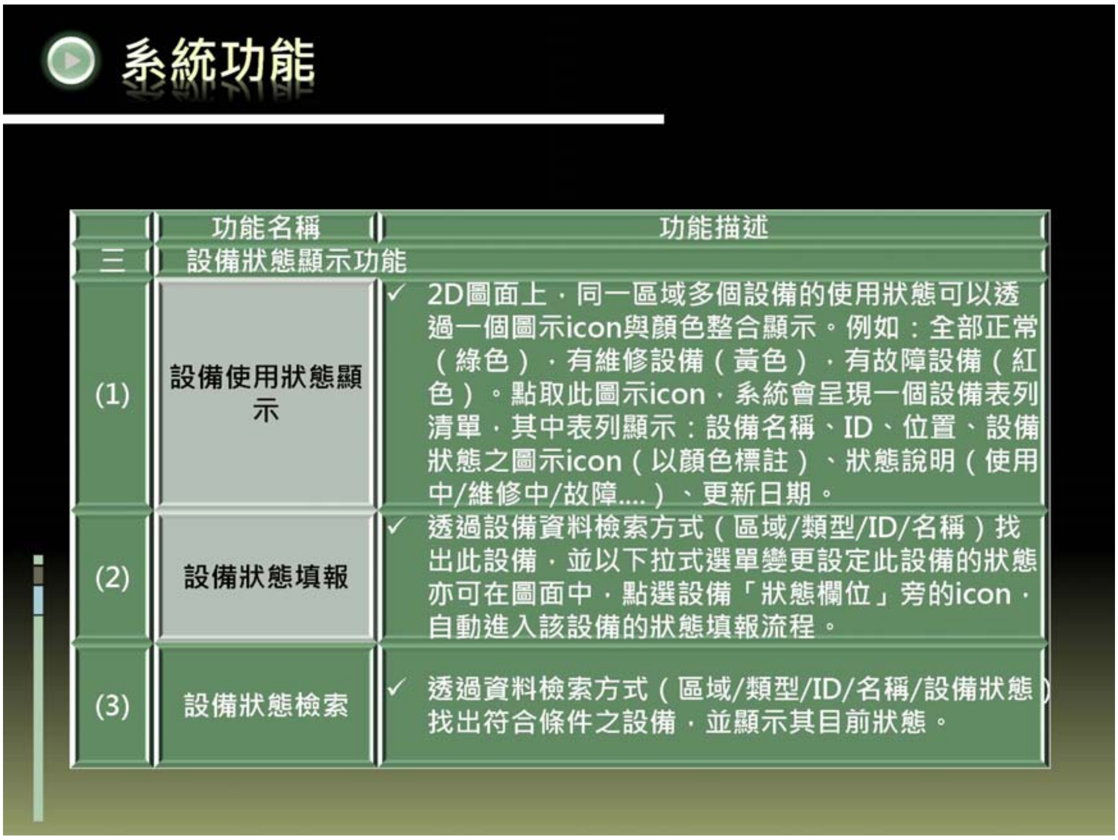
共同管道圖資BIM資訊化系統

本計畫建置共同管道圖資BIM資訊化系統之目的，是基於對共同管道數位化管理的要求，包括：可靠性、安全性、實用性、開放性、可擴展性、可維護性等，並透過BIM模型技術、地理資訊系統技術等有效結合，將共同管道內外部大量的空間與設備資訊，均可掌握其精確位置及屬性，並在BIM三維視覺化環境中進一步增強共同管道管理人員對管道空間的掌握能力，形成所見即所得的管理新模式，並為打造智慧城市管理平台提供堅實的基礎。



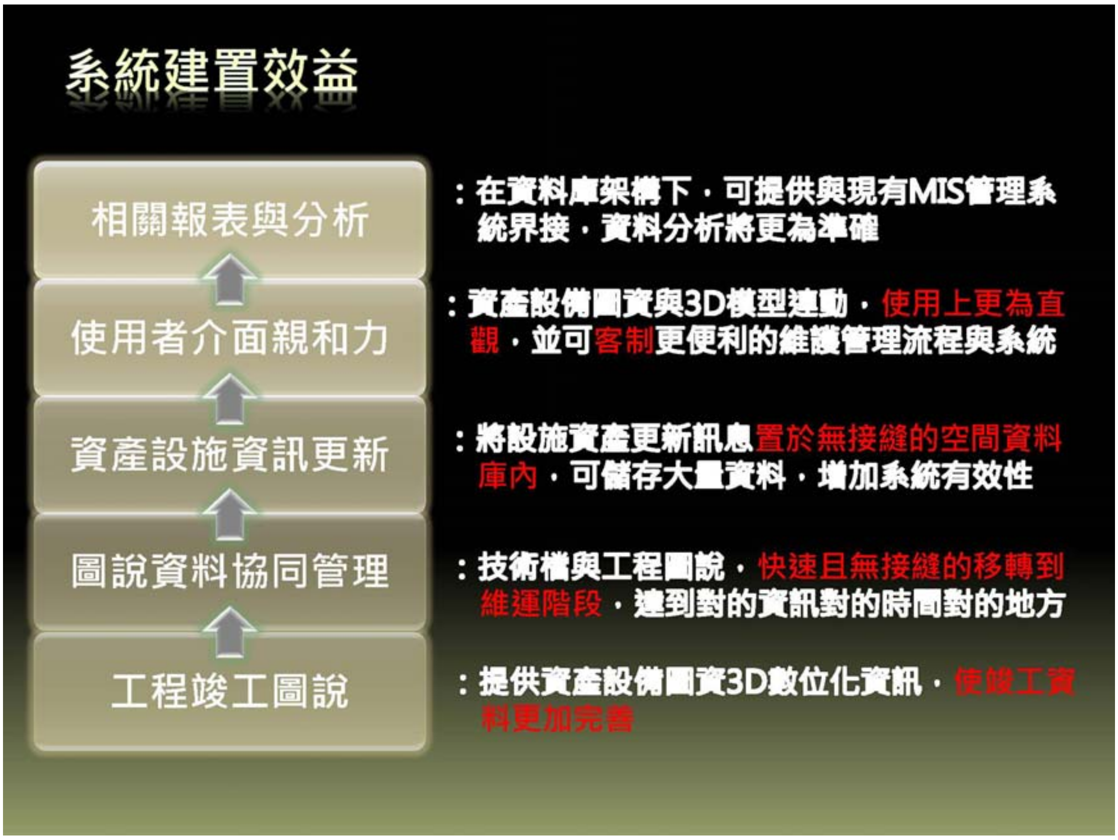
系統功能

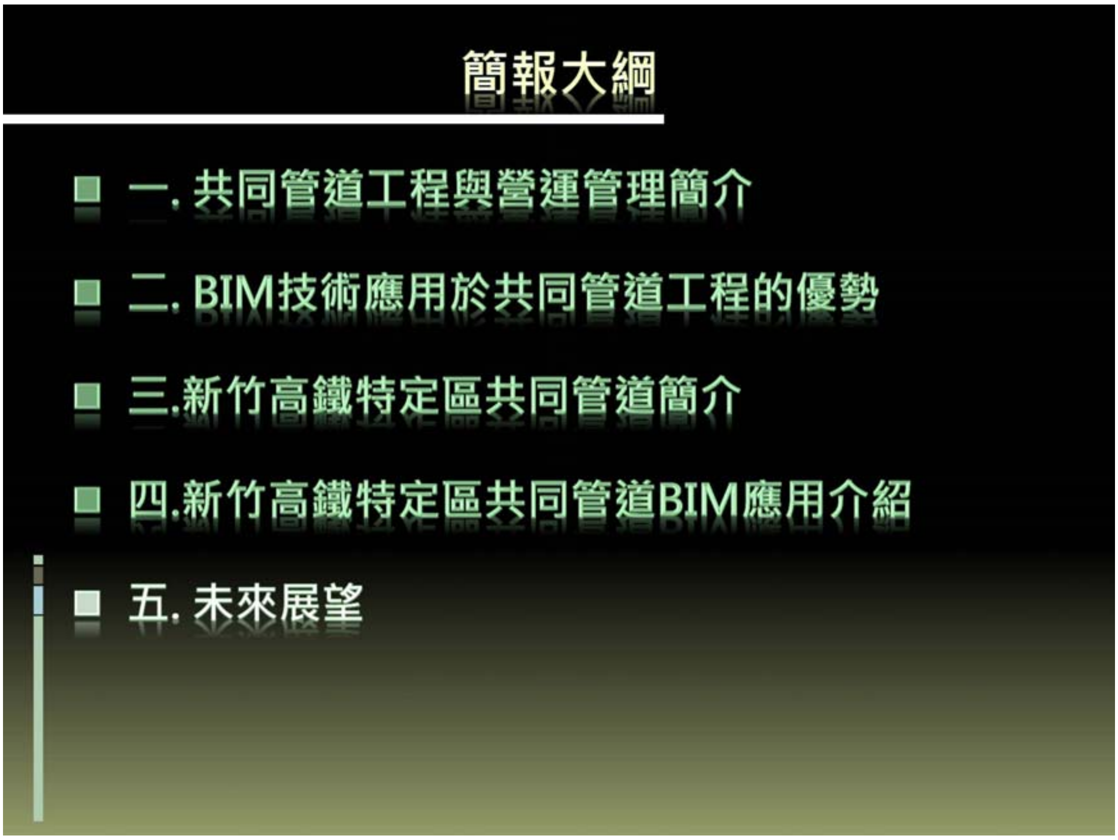
	功能名稱	功能描述
一	模型資料輸入功能	
(1)	BIM管理模型匯入	✓ 將高鐵宜蘭車站特定區共同管道之BIM模型匯入本系統。
(2)	設備資料匯入	✓ 包含BIM竣工模型的基本資料、管理資料及維護管理應用的文件資料。
二	模型操作功能	
(1)	基本操作介面	✓ 瀏覽器環境介面上進行BIM模型瀏覽及操作。 ✓ 具備縮放檢視及第一人稱視角檢視功能。 ✓ 可自行定義檢視環境。
(2)	模型元件資訊查詢	✓ 透過3D模型元件顯示該物件的資訊。 ✓ 利用設施ID列表點選查詢3D模型元件資訊，並可同時展示3D模型。
(3)	文件管理	✓ 具備文件資料庫儲存及查詢數位檔案功能，與文件管理系統交互查詢並輔以3D顯示之功能。 ✓ 透過3D模型物件顯示該3D模型物件相關聯的文件資料。 ✓ 透過文件資料庫顯示與該文件有關聯的3D模型物件。 ✓ 具備版本管理功能。

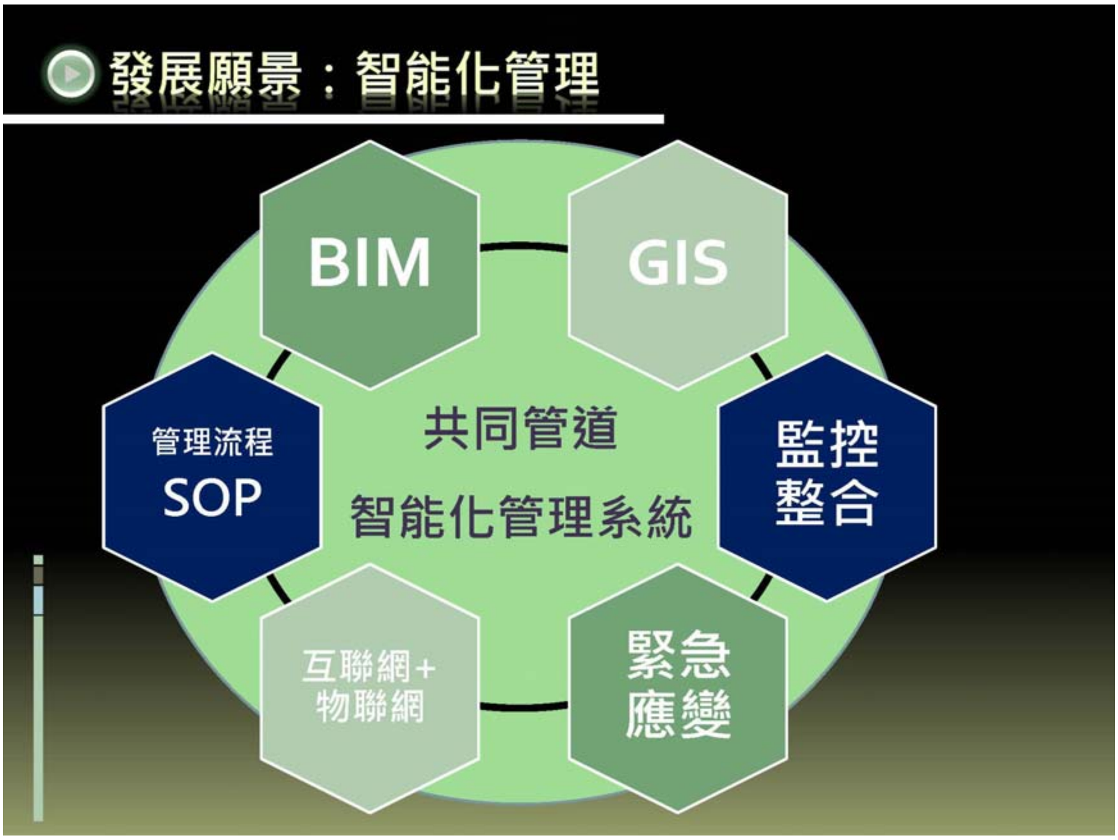


系統功能

	功能名稱	功能描述
三	設備狀態顯示功能	
(1)	設備使用狀態顯示	✓ 2D圖面上，同一區域多個設備的使用狀態可以透過一個圖示icon與顏色整合顯示。例如：全部正常（綠色），有維修設備（黃色），有故障設備（紅色）。點取此圖示icon，系統會呈現一個設備表列清單，其中表列顯示：設備名稱、ID、位置、設備狀態之圖示icon（以顏色標註）、狀態說明（使用中/維修中/故障....）、更新日期。
(2)	設備狀態填報	✓ 透過設備資料檢索方式（區域/類型/ID/名稱）找出此設備，並以下拉式選單變更設定此設備的狀態亦可在圖面中，點選設備「狀態欄位」旁的icon，自動進入該設備的狀態填報流程。
(3)	設備狀態檢索	✓ 透過資料檢索方式（區域/類型/ID/名稱/設備狀態）找出符合條件之設備，並顯示其目前狀態。


系統建置效益
相關報表與分析
：在資料庫架構下，可提供與現有MIS管理系統界接，資料分析將更為準確
使用者介面親和力
：資產設備圖資與3D模型連動，使用上更為直觀，並可客制更便利的維護管理流程與系統
資產設施資訊更新
：將設施資產更新訊息置於無接縫的空間資料庫內，可儲存大量資料，增加系統有效性
圖說資料協同管理
：技術檔與工程圖說，快速且無接縫的移轉到維運階段，達到對的資訊對的時間對的地方
工程竣工圖說
：提供資產設備圖資3D數位化資訊，使竣工資料更加完善


簡報大綱
一. 共同管道工程與營運管理簡介
二. BIM技術應用於共同管道工程的優勢
三.新竹高鐵特定區共同管道簡介
四.新竹高鐵特定區共同管道BIM應用介紹
五. 未來展望


發展願景：智能化管理
BIM
GIS
管理流程
SOP
共同管道
智能化管理系統
監控
整合
互聯網+
物聯網
緊急
應變


敬請指教

13th 台灣橋樑災害管理平台開發與應用

台灣橋梁災害管理平台開發與應用

Development of Highway Bridge Disaster Management Platform with GIS Technology

林曜滄 總工程師
台灣世曦工程顧問股份有限公司 經理部
宋裕祺 教授、院長
國立臺北科技大學 土木與防災研究所、工學院
劉新達 副理
台灣世曦工程顧問股份有限公司 空資部
張廷犖 博士
台灣世曦工程顧問股份有限公司 防災中心

摘 要

台灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交界，屬環太平洋地震帶，地震頻繁，交通設施面臨強烈地震侵襲的威脅。數十年來的國內外地震災害，均顯示震災對社會造成的衝擊與經濟損失，是相當嚴重而深遠，遠超過其他天然災害。此外，全球性極端氣候帶來暴雨，引發洪水、土石流、山崩之複合型連鎖式天然災害，加上強烈地震侵襲，威脅人民生命財產與橋梁安全，間接影響國家競爭力。

災害總在遺忘的時候來臨，有鑑於此，台灣世曦以『認知風險、嚴陣以待（Know the risk, be prepared）』順應自然的防災思維，成立「防災工程技術整備中心」(簡稱防災中心)。橋梁平時是維生基礎設施與經濟命脈，災時是防災道路系統之重要一環，因此，應用 GIS 技術開發「公路橋梁災害管理平台」。此一災害管理平台中已蒐集橋梁基本資料庫、防災資源資料庫、自然環境資料庫、社經環境資料庫、地形資料庫、航照影像資料庫等資訊，可用以快速利用關鍵字、橋梁結構、跨度、竣工年份等條件檢索橋梁資訊，以輔助支援決策。另建置橋梁快篩功能，主要是利用橋梁之易損性曲線、危害度曲線，及其重要度，進行快篩作業，可以在既有之橋梁管理系統之基本資料，運用 GIS 技術，計算出其重要度權重，再進行快篩作業，可將隸屬橋梁管理單位龐大數量之橋梁，篩選出危險及老舊橋梁，並進行分級管理，提供各橋管單位做為橋梁管理聚焦及進行下一階段優先詳細評估與加固補強之參考，當危險及老舊橋梁經過加固補強後，可提升其抗災能力，降低災害損失，以保障人民行的安全，營造永續發展的生活環境。

關鍵詞：公路橋梁災害管理平台、危害度曲線、易損性曲線、快篩作業

Abstract: Taiwan is located at the junction of the Eurasia plate and the Philippine Sea plate. It belongs to the Pacific Rim earthquake zone and has frequent earthquakes. The traffic facilities are threatened by strong earthquakes. Earthquake disasters at Taiwan and abroad for decades have shown that the impact of earthquake disasters on society and economic losses is quite serious and far-reaching, far exceeding other natural disasters. In addition, the global extreme climate brings heavy rain, a complex chain of natural disasters that cause floods, mud flow, and landslides. Moreover, strong earthquakes threaten people's lives, property, and bridges, and indirectly affect national competitiveness.
In view of the fact that disasters are always forgotten, CECI has established the "Disaster Prevention Engineering Technology Maintenance Center" (referred to as the Disaster Prevention Center) with the "Know the risk, be prepared" to comply with the natural disaster prevention thinking. Bridges are not only the life-saving infrastructure and economic lifeline, but also an important part of disaster prevention road systems. Therefore, GIS technology is used to develop the “Highway Bridge Disaster Management Platform”. This disaster management platform has collected information such as basic bridge database, disaster prevention resource database, natural environment database, social economic database, terrain database, and aerial image database, which keywords can be used to search for bridge information by conditions such as span, completion year, etc. to assist decision support. In addition, the bridge quick-screening function is mainly used of the bridge's fragility curve and hazard curve, and its importance, to carry out quick-screening operations. The importance of weight can be calculated based on the basic data of the existing bridge management system using GIS technology, and then the quick-screening operation can be used for the bridge management unit to select dangerous and old bridges under the huge number of bridges, and carry out hierarchical management, providing the reference of priority focusing and the next stage detailed assessment and reinforcement for each bridge management unit. When the dangerous and old bridges are retrofitted and strengthened, they can improve their resilience and reduce disaster losses to ensure the safety of the people and create a sustainable living environment..

Keywords: Highway Bridge Disaster Management Platform, Hazard Curve, Fragility Curve, Quick-screening

一、前言

臺灣地區地震與颱風等天災頻傳，近年來發生頻率與強度更有加重的趨勢，對於人民生命財產安全及相關產業發展，造成極大之傷害與影響，亦對企業經營競爭力及台灣的經濟產業造成衝擊，不利國家競爭力之提升。政府為因應防災、減災工作的重要性，於 2001 年 7 月頒布施行「災害防救法」，並於 2003 年 7 月正式成立「國家災害防救科技中心」。台灣世曦基於對社會責任的承擔，及回饋國家社會的服務初衷，以『認知風險、嚴陣以待（Know the risk, be prepared）』順應自然的防災思維，於 2017 年 4 月 21 日(1935 年 4 月 21 日新竹台中烈震後 82 周年)正式成立「防災工程技術整備中心」，其成立宗旨為：(1)於平時，針對災害類型之成因進行研析，並研究防災與減災工程技術外，並進行防災教育訓練與救災演練；(2)於災害發生緊急應變期間，協助機關參與勘災，並提供救災技術支援，以及作為災害應變作業支援之窗口；(3)於災害復原重建期間，提供緊急復舊及永久重建相關工程技術支援等。希望在工程防災方面能為國家社會盡一份心力，善盡企業社會責任。

二、公路橋梁災害管理系統

橋梁可以跨越河川、山谷、港口與道路，克服地形阻隔障礙，是交通路網之關鍵環節，更是災害發生時最重要之維生線。臺灣本島因地狹人稠，綿密之交通路網遂成為島內區域聯繫及經濟發展之磐石。此外，臺灣本島河川密布，常須藉由橋梁來串連二岸路網，因此橋梁功能的維持更是確保交通運轉及經濟活動之主要關鍵。

臺灣因地處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之交界，屬環太平洋地震帶，地震發生頻仍，終年受到地震災害的威脅，如 1999 年 9 月 21 日發生芮氏規模 7.3 之集集大地震，除造成生命財產重大損失外，更造成多處橋梁損毀、道路中斷，部分地區的搶救災工作更因此受到嚴重的影響，使得災情持續擴大，其所產生後續之損失更倍數於地震發生瞬間產生的災損。另 2011 年日本 311 大地震，雖然災情相當嚴重，災損成因主要是因地震引發大海嘯及核災造成，直接由地震所造成的災害則較為輕微，尤其耐震補強後之橋梁更未見有明顯受損情形，顯見耐震補強的有效性與必要性。因此，吾人應思考如何汲取災害經驗及教訓，及早針對耐震能力不足之橋梁進行有效之耐震補強作業，期能於未來地震發生時，降低橋梁因耐震能力不足而損毀，導致交通運輸中斷，社會經濟衝擊之機率，且災後如能維持道路橋梁之功能，將能大幅減少地震後所導致之生命、財產損失，同時亦能加速災後工商業社經活動之恢復腳步。工程設施之防災，範圍甚廣，第一階段先聚焦在橋梁設施，作為標的。

災害管理分成四個階段，包括減災、整備、應變、復建，為了將有限人力

資源，投入系統開發工作，先鎖定減災階段之快篩分析，以篩選出危險及老舊橋梁，進行分級管理，讓有限資源發揮最大功效。經調查資料顯示，各橋梁管理單位均管轄龐大數量之橋梁，要在有限人力經費進行檢查維護工作，相當困難，即使如歐美日等先進國家也同樣面臨相同之困境。今(2018)年 8 月 14 日義大利莫蘭迪橋在暴風雨中瞬間倒塌，造成 43 人死亡，14 人受傷之慘劇，震驚全世界，國人不得不更加體認橋梁安全之重要性。本系統採二階段篩選，提供各橋管單位做為橋梁管理聚焦及進行下一階段優先詳細評估與加固補強之參考，橋梁災害管理減災流程如圖 1 所示。

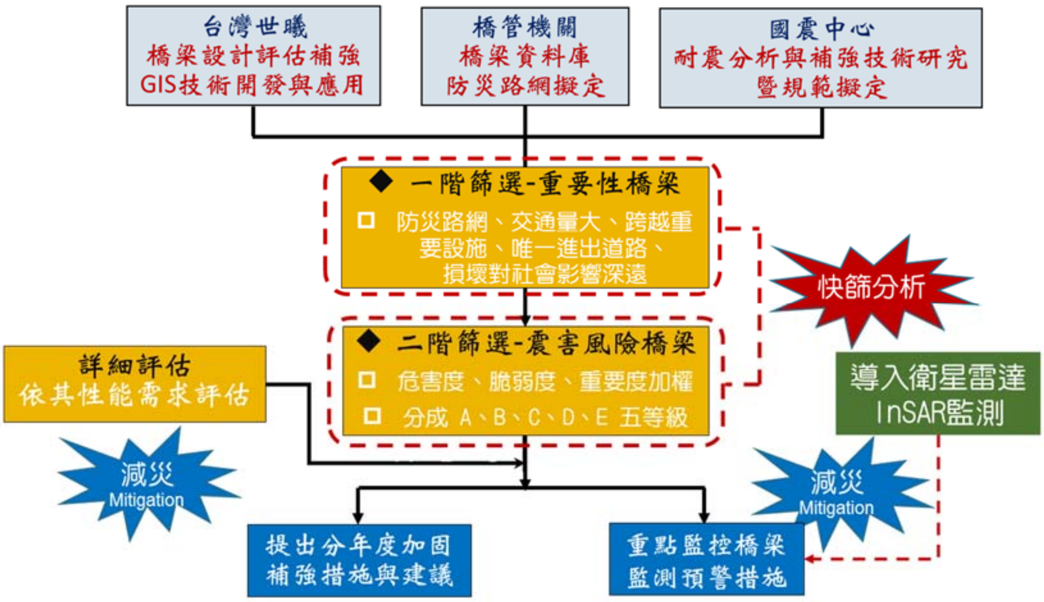


圖 1 橋梁災害管理減災流程

三、橋梁震損評估快篩機制

橋梁震損評估快篩機制主要包含一套橋梁震害風險評估的演算方法，此方法主要由「易損性曲線」、「危害度曲線」及「橋梁重要度」組成，其演算過程需依賴橋梁基本資料與耐震詳評之評估資料，但由於大部份橋梁均未進行過耐震詳評分析，無法取得結構達降伏時之地表加速度(A_y)與達極限時之崩塌地表加速度(A_C)之資料，做為建立易損性曲線之基礎，所以本研究將使用橋梁基本資料與「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」[1]之研究成果，做為未經耐震詳評橋梁A_y與A_C之假定，以讓橋梁震害風險評估演算得以執行，其各分項說明如下：

1、易損性曲線

結構物震損評估經常使用易損性曲線(Fragility Curve)作為依據，而易損性曲線係指各類結構物在不同最大地表加速度或頻譜位移或最大位移反應下，所產生不同損壞狀況的機率值，本研究在橋梁震損評估方面使用最大地表加速度

(PGA)作為結構物損壞曲線之地動參數。

結構物耐震能力通常係以整體結構在各耐震性能等級下所能承受的地表加速度表示之。該地表加速度可由側推分析所得之容量震譜，依據工址地震水平譜加速度係數等規定配合容量震譜法以及改良式耐震能力評估方法求得，本文參考文獻[2,3,4,5]，將結構物之耐震能力以圖 2 所示之 PGA 與結構譜位移(Spectral Displacement)之雙線性關係表示之。

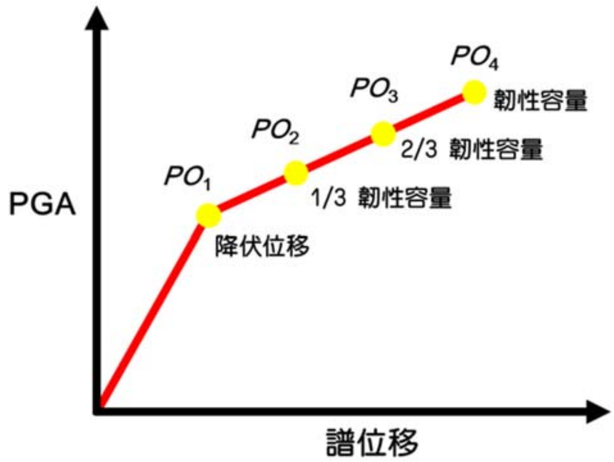


圖 2 結構物之耐震能力

橋梁震損評估參考現行耐震設計規範及台灣地震損失評估系統 TELES[6]之建議，採用以下四種結構性能等級作為地震損壞評估之依據：

1. 結構性能一(PO_1)：當結構物之位移達到降伏位移時。
2. 結構性能二(PO_2)：當結構物之位移達到韌性容量之 1/3 時。
3. 結構性能三(PO_3)：當結構物之位移達到韌性容量之 2/3 時。
4. 結構性能四(PO_4)：當結構物之位移達到韌性容量時。

依據此四種結構性能之定義，結構之損壞狀態可訂為五階段(參考式 1)，分別為無損壞機率$P_r(R_1)$、輕微損壞機率$P_r(R_2)$、中度損壞機率$P_r(R_3)$、嚴重損壞機率$P_r(R_4)$與幾近崩塌機率$P_r(R_5)$，如圖 3 所示。其對應之發生機率$P_r(R_i)$可表示為：

$$
\begin{aligned}
&P_r(R_1) = 1 - P_1 \\
&P_r(R_i) = P_{i-1} - P_i \,, i = 2 \sim 4 \\
&P_r(R_5) = P_4
\end{aligned}
\tag{1}
$$

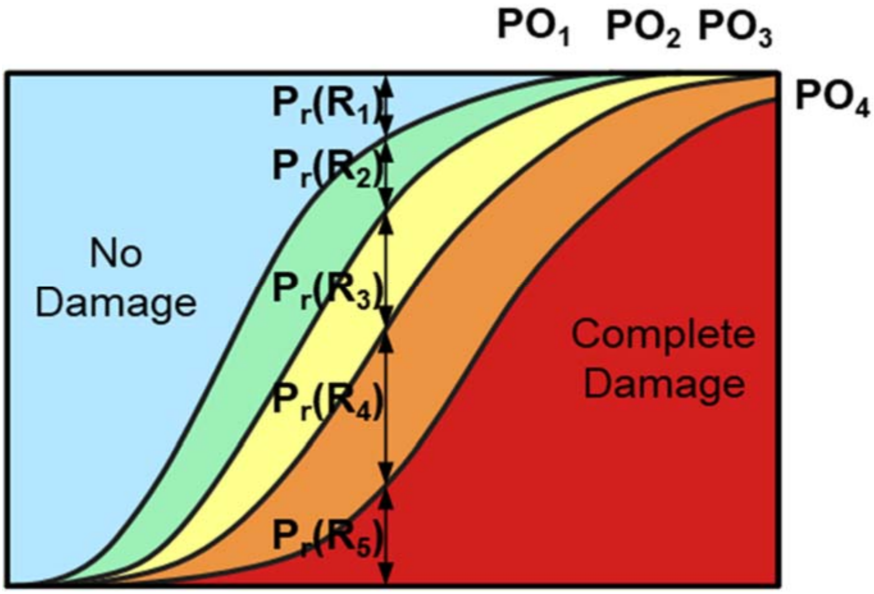


圖 3 結構物易損性曲線

2、危害度曲線

以 30 年回歸期對應之設計地震地表加速度$0.4S_S^D/3.25$、475 年回歸期對應之設計地震地表加速度$0.4S_S^D$及 2500 年回歸期對應之設計地震地表加速度$0.4S_S^M$進行曲線擬和(Curve Fitting)(參考公式 2)，建立符合該行政區之地震危害度曲線(如圖 4)，其計算方式為將該地區之$0.4S_S^D/3.25$及$0.4S_S^M$與其對應之回歸期分別代入式 2，求解a_0及a_1。

$$\frac{x}{0.4S_S^D} = \left[\frac{T_r}{475}\right]^{a_0+a_1x^{0.1}} \tag{2}$$

式中，x為有效最大地表加速度，S_S^D為震區短週期設計水平譜加速度係數，T_r為對應有效最大地表加速度x之回歸期，a_0及a_1為待定係數。待求解a_0及a_1後，即可代入地震之 PGA 求解其回歸期T_r，再將T_r代入式 3 計算該 PGA 之年超越機率。

$$P = 1 - e^{-\left(\frac{1}{Tr}\right)\times t} \tag{3}$$

其中，T_r為對應有效最大地表加速度PGA之回歸期；t 為橋梁設計年限。

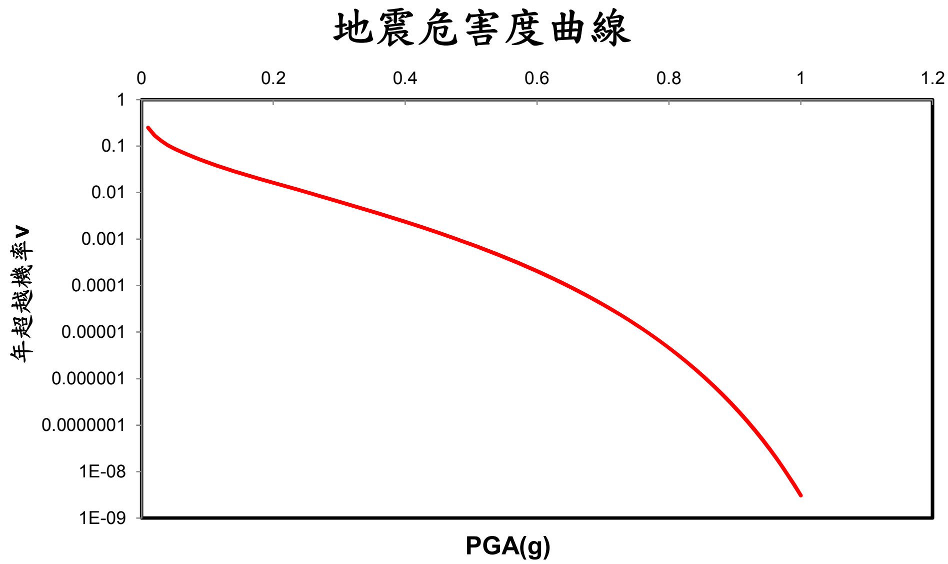


圖 4 地震危害度曲線

3、重要度權重

橋梁重要度是一個權重之係數，不同橋管單位可以依據資源調配的策略，設計不同橋梁重要度之計算方式，一般橋梁重要度是依交通流量、區域環境、搶救災影響、是否為唯一聯外道路及距離大型醫院或防救災指揮中心等因子決定橋梁重要度權重。

橋梁是否要進行耐震補強，主要取決於補強效益，橋梁地震災害風險成本取決於震損風險及脆弱度等兩大因子，而脆弱度又與橋梁規模、交通流量、區域環境、搶救災影響、二次災害及地震危害度等多項因素息息相關。具體量化脆弱度實務上並不容易，亦費時費力。因此，本系統擬採用「權重式重要度簡易決定法」，以利大量橋梁進行重要度篩選分級，提供後續進行詳細評估之依據。其權重計算如式 4 所示。

$$W_T = W_{LN} \cdot \beta + W_R + W_I + W_{HC} + W_{CR} \tag{4}$$

其中，W_T：總權重，其它各符號之意義參考表 1 所示。

表 1 橋梁重要度權重

橋梁權重因子	值	說明
W_{LN}(總車道數因子)	1	橋梁車道數: 2 以內
	1.5	橋梁車道數: 3~4
	2	橋梁車道數: 5 以上
(道路重要網補正因子)	1	重要道路(國道、省道)
	2	一般道路
W_R(區域屬性因子)	1	郊區(都市計畫區之外)

	1.5	縣轄市鎮
	2	直轄都會區
W_I(防災路網因子)	0	橋梁位於防災路網外
	6	橋梁位於防災路網上
W_{HC}(醫院區位因子)	0	橋梁周邊 2 公里內無大型醫院
	3	橋梁周邊 2 公里內有大型醫院
W_{CR}(跨越性因子)	0	橋梁未跨越河川、國道、省道、鐵路及道路（車道數為 4 以上）
	3	橋梁跨越河川、國道、省道、鐵路及道路（車道數為 4 以上）

4、橋梁震災損失評估

結合前述「易損性曲線」、「危害度曲線」及「橋梁重要度」之估算，再以式 5 估算震害損失率(Seismic Loss Ratio)：

$$\frac{\int_0^{PGA_{max}}[\sum_{i=1}^{5}Loss_i\times P_r(R_i)]f(PGA)dPGA}{\int_0^{0.4S_S^M}[\sum_{i=1}^{5}Loss_i\times P_{r.ref}(R_i)]f(PGA)dPGA}\times(Weight\times\frac{1.5}{18}) \quad (5)$$

式 5 其組成可以區分成三個部份：橋梁年平均地震損失(分子的部份)、橋梁考量最新規範要求之年平均地震損失(分母的部份)及權重與比例調整係數。

橋梁年平均地震損失的計算方式，若橋梁有耐震詳評之A_y與A_C資料則採用此資料建立易損性曲線；反之則使用回歸統計公式，估算A_C與A_y後，代入並建立易損性曲線。由於橋梁基本資料欠少橋梁建構之成本資料，所以在$Loss_i$之估算，僅考量單位成本下，不同損壞程度維修之成本比例代替分別為 0%, 2%, 10%, 70%, 100%。

橋梁考量最新規範要求之年平均地震損失的部份亦參考相同公式計算之，但其A_c與A_y之假定，則考量該型式橋梁在最新設計規範所要求之設計係數。參考圖 5，考量 PGA 與結構譜位移之雙線性關係，並分別以(A_c=0.4S_S^M, S_d=4Δy)與(A=0.4S_S^D, S_d=2Δy)之線性關係代入，反推求解(A_y, S_d=Δy)，由此求得A_y與A_c。並以此A_y與A_c建立易損性曲線後，進一步求得各種損壞程度發生之機率為$P_{r.ref}(R_i), i = 1\sim5$ 。

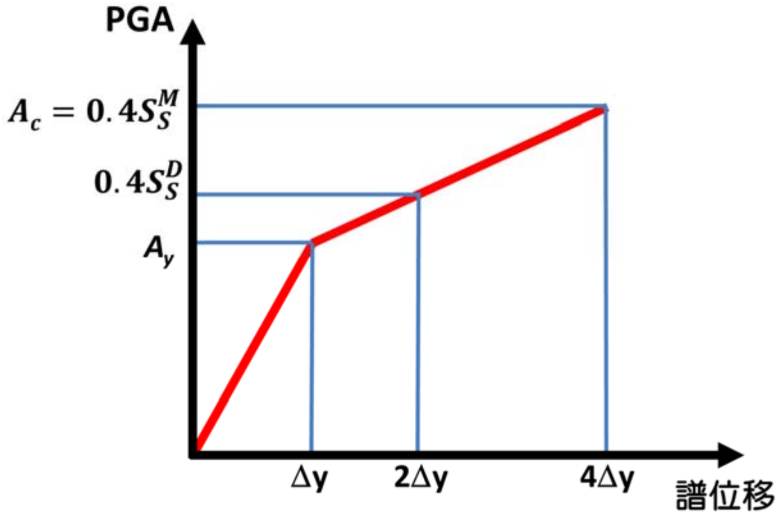


圖 5 新規範要求之橋梁耐震能力需求

四、系統功能開發與建置

1、系統環境架構

系統環境採用虛擬主機（VM）方式提供 AP 及 GIS、DB Server，對於管理、資料備份及資源運用等，提供相當大的彈性及優勢，系統環境架構如圖 6 所示。

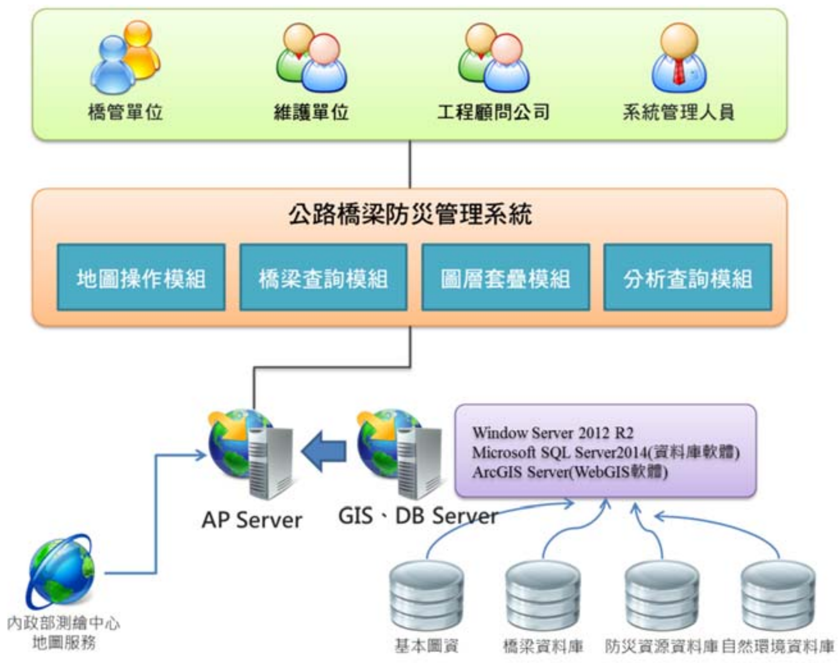


圖 6 系統環境架構圖

網際網路地理資訊軟體：採用 ESRI ArcGIS Server 10.5 地圖服務平台，支援影像、圖磚、向量的地理資料庫，提供 GIS 圖台服務發佈，如 Map Services、 Feature Services、OGC WMS、OGC WFS 等；另透過應用程式 API 與 AJAX 或 HTML 技術進行整合開發，可提供網頁 GIS 分析及展示服務。

資料庫軟體：採用 Microsoft SQL Server 作為系統資料庫軟體，其具備安全與穩定性高之優勢外，更有易於操作、查詢語法便捷，相容性高等優點，所設計之資料庫格式可被多種開發平台所使用，可提供最迅速、安全的資訊服務。

2、系統版型規劃

考量使用者在操作系統之直覺性，將視窗畫分為四大區，以「地圖操作區」為基礎，另依系統功能屬性將功能畫分為「主選單功能列」、「資訊區」、「地圖功具區」等，如圖 7 所示。另考量使用者常需要在地圖與功能視窗之間相互切換或互相查詢，故功能區均以「可收合」之理念進行設計，可隨時切換，以兼顧「地圖畫面最大化」及「功能操作方便性」。

圖 7 系統版型規劃及功能區說明圖

3、空間資料庫蒐集及建置成果

依據四大類別整理所需資料，四大類別包括:橋梁資料、防災資源、自然資源、社經資源，整體架構如圖 8。系統呈現以橋梁為主軸，防災、自然、社經資源作為參考圖資，在平台上呈現為各別圖層，便於使用者套疊參照。同時整理台灣世曦結案資料庫中橋梁案件編號，以提供橋梁防災平台串聯查詢本公司內部專案。

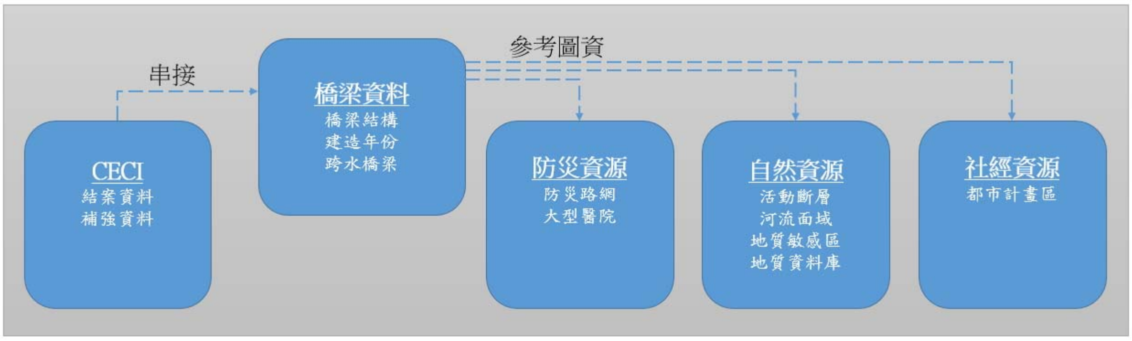


圖 8 資料庫架構

以下針對各資料庫內容之建置方式、資料來源及建置成果進行說明：

(i) 橋梁資料：由各橋管單位提供管轄橋梁資料，整併為 GIS 格式，橋梁資料包含使用情況、建造年月、維護年月、所屬機關、橋梁結構、位置等各細項記錄於屬性欄位中，以橋管單位分類，總筆數現有 8011 筆，俟完成台中市橋管資料建置後，將再加入 2000 多筆。

(ii) 防災資源：蒐集各縣市防災路網、大型醫院位置。

(iii) 自然資源：蒐集全台活動斷層、地質敏感區、河川面域資料。

(iv) 社經資源：蒐集各縣市之都市計畫區範圍。

(v) 橋梁設計資料資料：整合台灣世曦結案資料庫，針對台灣世曦曾參與專案之橋梁，可在本平台上連結至本公司內部結案資料庫進行查詢。

(vi) 底圖資料：介接通用版電子地圖、正射影像、OpenStreetMap、地質圖、國土利用調查成果、福衛二號影像等 Open Data。

4、系統功能規劃及開發成果

公路橋梁防災管理系統之功能架構圖，如圖 9 所示，包含四大模組，分別為地圖操作、橋梁查詢、圖層套疊及分析屬性查詢等。以下說明各項功能之內容。

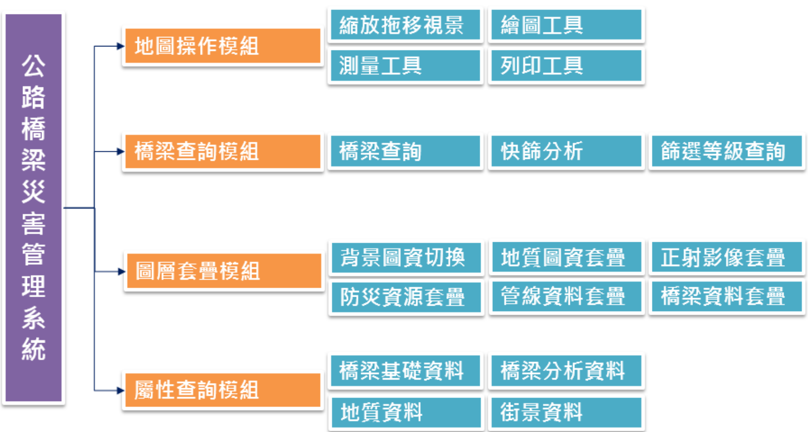


圖 9 系統功能架構圖

(1) 地圖操作模組

(i) 縮放拖移視景：利用游標與滾輪來移動地圖畫面及調整比例尺，以顯示不同細緻程度之畫面。

(ii) 繪圖工具：可於圖面上加入點、線、面等圖示及文字註記。

(iii) 測量工具：可於圖面上繪製線段或範圍，量測實際距離或面積。

(iv) 列印工具：將目前地圖範圍以設定之比例尺及紙張大小匯出 PDF 或 PNG 格式之檔案。

(2) 橋梁查詢模組

(i) 橋梁查詢：利用關鍵字、縣市、結構型式、竣工年份等參數，篩選符合條件之橋梁，顯示於地圖。

(ii) 快篩分析：以管理機關、結構型式、竣工年份、最大跨度、總權重為篩選條件。

(iii) 篩選等級查詢：以管理機關和震害篩選等級為篩選條件。

(3) 圖層套疊模組

(i) 背景圖資切換：使用者可利用本功能切換背景圖資，含電子地圖、正射影像、衛星影像、土地利用圖、地質圖，可調整透明度。圖資套疊，各圖層可獨立開關、調整透明度、調整順序、調整圖例、移除圖層。

(ii) 地質圖資套疊：包含鑽孔點位、多種主題地質敏感區、全台活動斷層、土層網格。

(iii) 正射影像套疊：正射影像圖層為臺北市地區自民國 34 年至 106 年之多時期航測正射影像。

(iv) 防災資源套疊：含臺北市防災路網、醫院 2 公里環域範圍等。

(v) 管線資料套疊：含桃園市電力、自來水、雨汙水等管線資料。

(vi) 橋梁資料套疊：將橋梁以跨水橋、建造年、結構、中央管河川橋梁、重要度因子、結案資料等主題分成多個橋梁圖層。

(4) 屬性查詢模組

當點選橋梁點位，將展開下方屬性欄，共有四個頁籤可供切換。

(i) 橋梁基礎資料：於地圖上點選橋梁點位，可查詢橋梁基礎資料，包含名稱、管理機關、里程、年份、設計標準與參數及多種結構型式與結構尺寸等。

(ii) 橋梁篩選：含重要度統計、震害篩選等級統計、重要度分析及快篩分析。

(iii) 地質資料：可查詢距橋梁最近的地質鑽孔資料，及查詢橋梁是否位在各種主題之地質敏感區。

(iv) 街景：使用 Google 服務，查看橋梁之街景，可任意移動，瞭解實地狀曠。

五、結語

未來我們面對的是複合型連鎖式天然災害，必須嚴肅面對此一衝擊與挑戰，亟需將防災戰略思維「大震不倒、中震可修、小震不壞」的觀念，再進一步追求降低經濟損失之「震後功能性之維持」，最終以追求災後快速的應變與「強化國家震後恢復力」，俾達成建立永續的家園為目標。有鑑於災害類型更多樣、難逆料，防救災環境條件愈來愈嚴苛，須要更多民間組織投入技術開發，強化防救災技術能力。台灣世曦多年來在災害防救相關之工程規劃設計、檢測、災損評估、補強技術、監測、預警技術研發等方面蓄積了豐富的經驗，乃期許以災防技術應用之落實行動，協助政府與民間建置全生命週期之防救災體系，將災害衝擊降至最低，進而提升國家整體之抗災能量。民眾防災意識要覺醒，先要自救，才有他救。因此，台灣世曦率先成立民間企業防災組織與投入防災技術開發，利用既有之專精技術與人力資源，投入橋梁防災技術開發，回饋社會，善盡社會責任，希望作到人人作防災、達成家固而國強之目標。

參考文獻

交通部公路總局，*公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究*，2009

何明錦、蔡益超、宋裕祺，*鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊—視窗化輔助分析系統 SERCB Win2012*，內政部建築研究所，2012

Sung, Y.C., Hsu, C.C., Hung, H.H., Chang, Y.J., "Seismic Risk Assessment System of Existing Bridges in Taiwan", *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 9, No. 9, 2013, p.p. 903-917

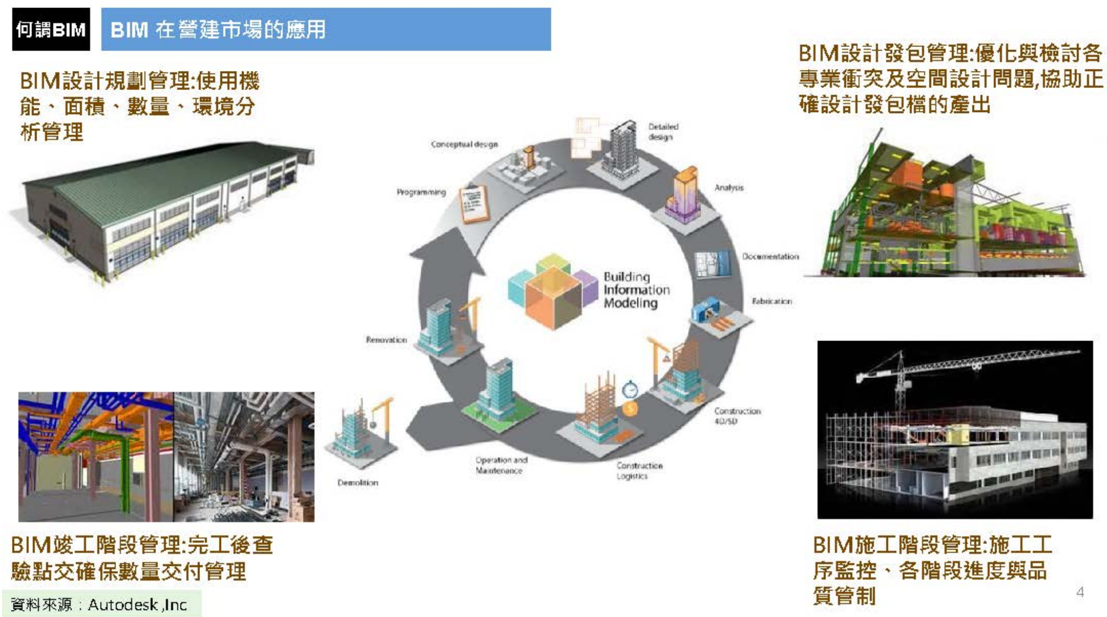
Lee, C.A., Sung, Y.C., Hsu, C.C., Lu, M.D., Chou, K.W. "Earthquake Damage Assessment System for New Taipei City", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol.41, 2018, p.p.168-180

張永叡，施邦築，張寬勇，宋裕祺，"簡易型橋樑災損評估系統之建立與應用"，*結構工程*，第二十三卷，第三期，民國九十七年九月，第 69-84 頁

葉錦勳，*台灣地震損失評估系統—TELES*，國家地震工程研究中心，2003

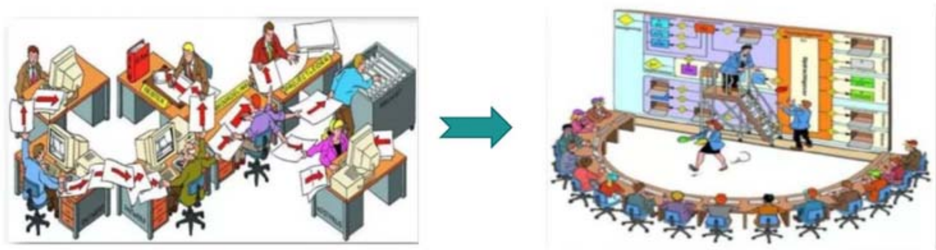
14th BIM 於城市建設管理趨勢與應用


一. 何謂 BIM
3


何謂BIM
BIM 在營建市場的應用
BIM設計規劃管理:使用機能、面積、數量、環境分析管理
BIM設計發包管理:優化與檢討各專業衝突及空間設計問題,協助正確設計發包檔的產出
Conceptual design
Detailed design
Programming
Analysis
Documentation
Fabrication
Building Information Modeling
Renovation
Construction 4D/5D
Demolition
Operation and Maintenance
Construction Logistics
BIM竣工階段管理:完工後查驗點交確保數量交付管理
資料來源：Autodesk ,Inc
BIM施工階段管理:施工工序監控、各階段進度與品質管制
4

何謂BIM 工具改變了產業

傳統CAD作業，與 BIM 整合作業



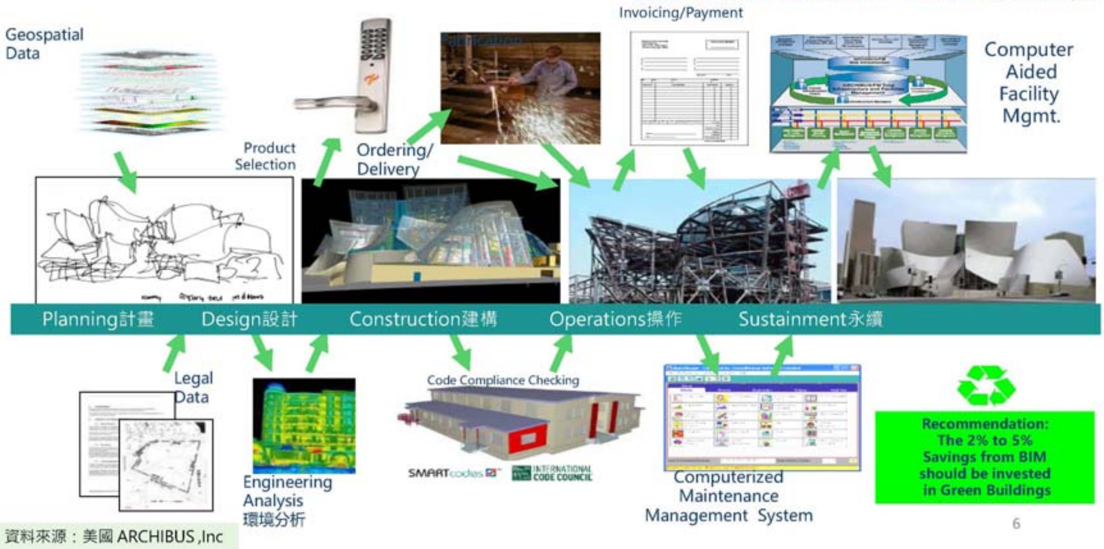
由傳統CAD 的分工作業，提升到 BIM
(Building Information Modeling / Building Information Management)
一個中央資料庫,各專業共用，室內、 建築、結構、機電等專業的每一次修改,
均在資料庫展現,專業之間同步進行協同設計

資料來源：廈門建設局長 林樹枝局長

5

何謂BIM 美國 AIA 解釋了BIM的對營建產業的影響

整合建築BIM全程的應用
一國際綠建築評估可節約2~5%的建設能源耗損

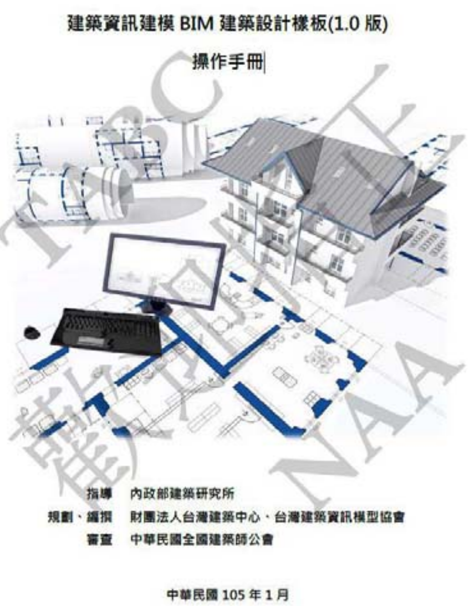


資料來源：美國 ARCHIBUS ,Inc

6


大陆各省市BIM相继政策推动
上海
北京
广州
上海市建筑信息模型技术应用指南
（2015版）
上海市城乡建设和管理委员会
二〇一五年五月
UDC
中华人民共和国国家标准
GB
P
GB/T50XXX－20XX
建筑工程设计信息模型分类和编码标准
Standard for classification and coding of building constructions design information model
中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
联合发布
广州地铁集团有限公司文件
穗铁总工〔2015〕337号
关于印发《广州市城市轨道交通导向标识系统导则》和《广州市城市轨道交通BIM建模与交付标准》的通知
各总部（部、室、中心）、各全资公司：
现将《广州市城市轨道交通导向标识系统导则》和《广州市城市轨道交通BIM建模与交付标准》印发给你们，请遵照执行。
特此通知。


2014年新北市政府推動了
BIM線上審查系統
一、城市的基礎建設
新北市政府對於城市的管理主要交由城鄉發展局與工務局兩個一級機關負責。城鄉發展局為都市計畫主管機關，工務局為建築管理主管機關。城鄉發展局擁有完整的自然環境調查、土地使用強度及都市設計等城市空間管理計畫、手段與資訊系統，也可以稱之為地理資訊系統(GIS)。工務局擁有完整的建築執照審查、工地管理及建築使用等建築管理計畫、手段與資訊系統，統稱為建築管理資訊系統(MIS)。如圖2可以顯示，目前BIM推動從應用於建築執照審查開始，就是希望透過行政流程的改變，整合都市計畫與建築管理這兩項城市管理的重要左右手。以BIM發展數位建築基礎的重要性及強化3DGIS地理資訊的確實有其必要性與迫切性。
GIS基地資訊查詢系統
都市計畫
地籍圖資
BIM線上審查系統
建照審查
法規資訊
MIS(建管資訊系統)
基本資料
作業標準
圖2：BIM與城市發展及建築資訊關係架構圖

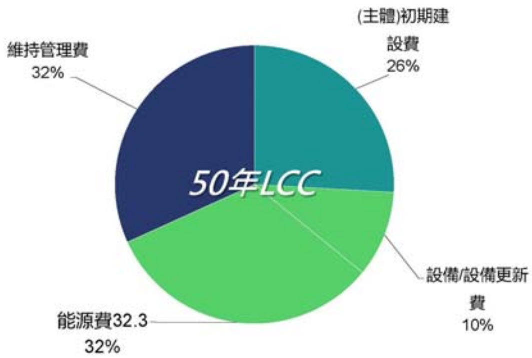

建築資訊建模 BIM 建築設計樣板(1.0 版)
操作手冊
指導 內政部建築研究所
規劃、編撰 財團法人台灣建築中心、台灣建築資訊模型協會
審查 中華民國全國建築師公會
中華民國 105 年 1 月

管理價值 物業設施設備生命週期成本管理

- 一棟建築物的產生會經過規劃、設計、發包、施工、營運維護等過程。
- 建築物生命週期成本（LCC）係指從設備、設施的購入到廢棄為止所需花費的所有成本之合計

費用包括：設備設備的取得（初期成本）、維持費用（運轉成本）、拆除費用等

建築物的生命週期總成本中，
營運使用與維護管理超過 70%

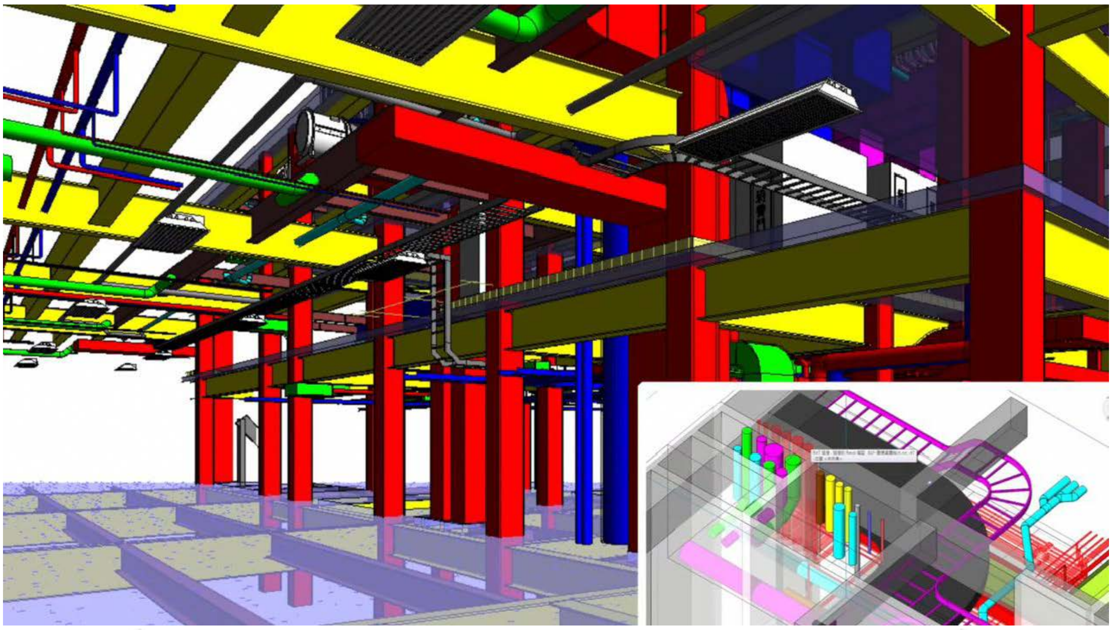


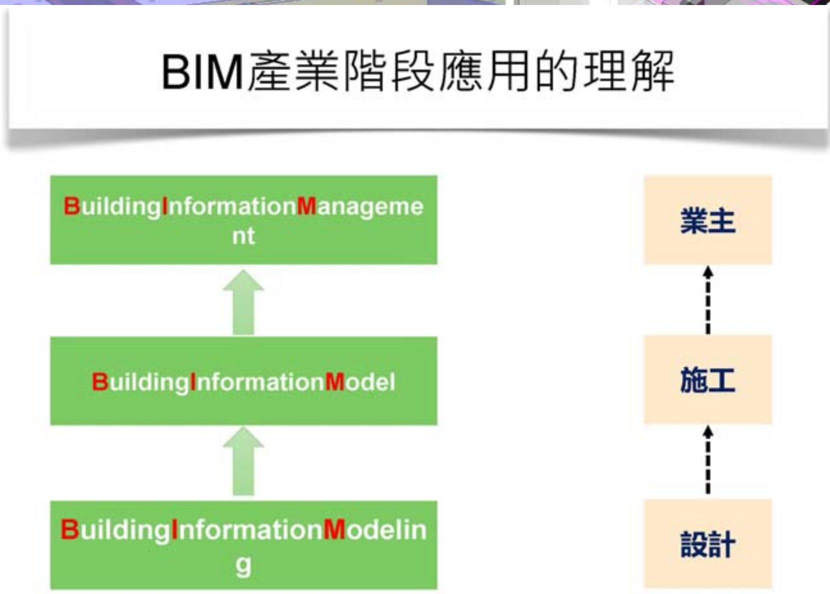
資料來源：Jones Lang LaSalle, Inc

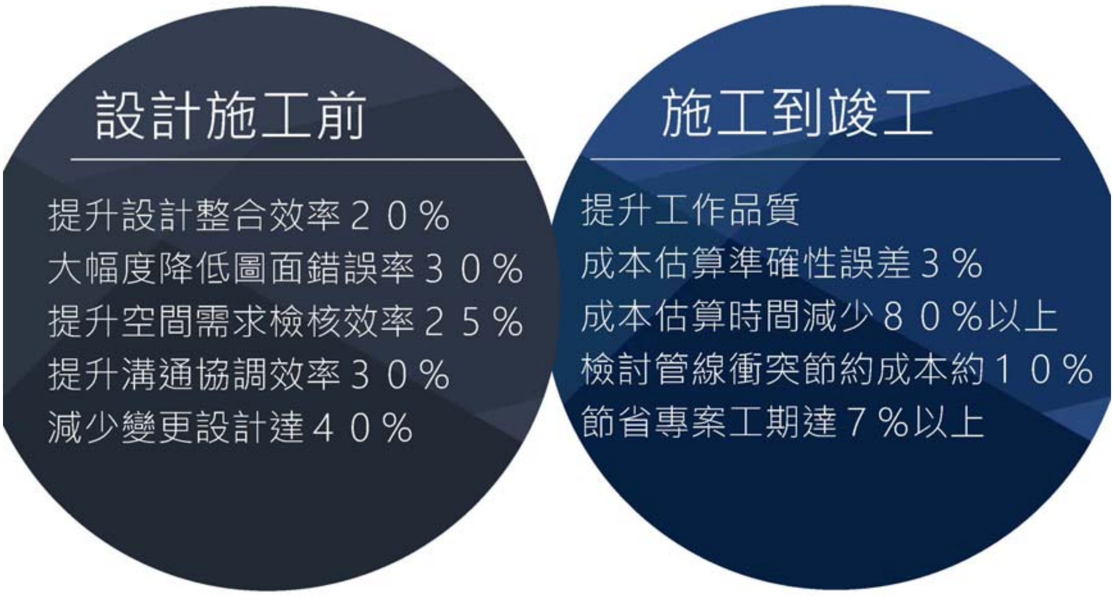
9

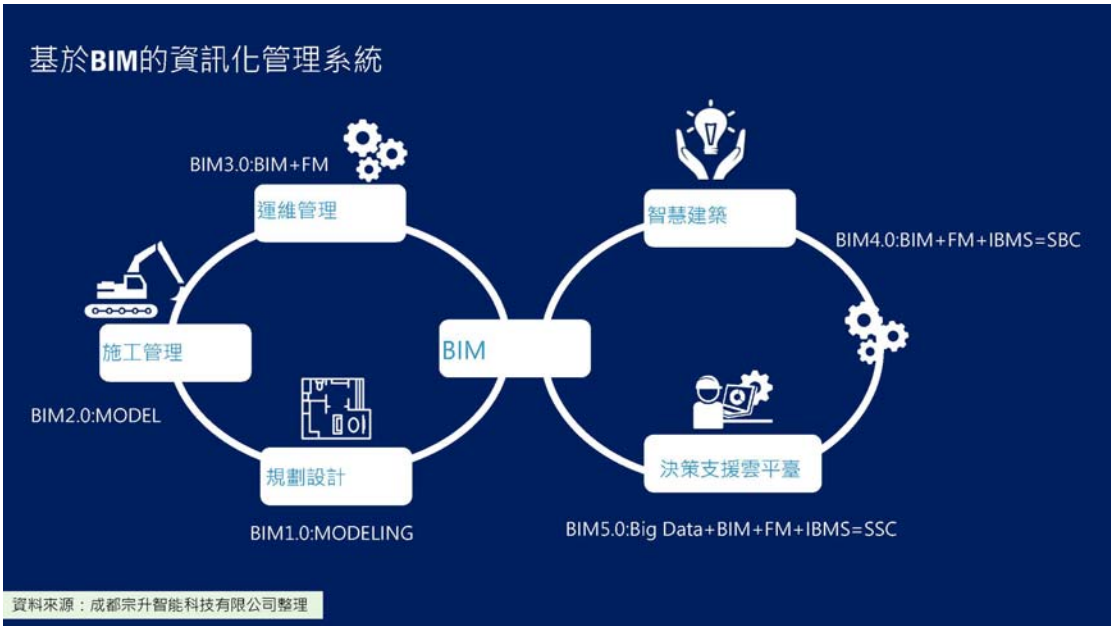
二. B I M的功能與重要性

10

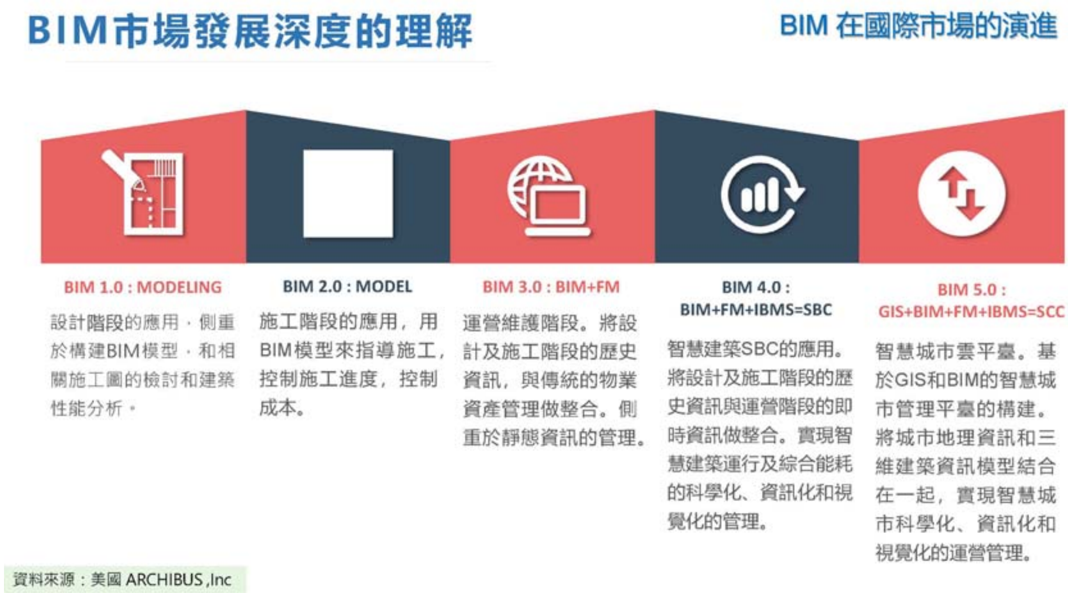



BIM產業階段應用的理解
BuildingInformationManagement
BuildingInformationModel
BuildingInformationModeling
業主
施工
設計


設計施工前
提升設計整合效率２０％
大幅度降低圖面錯誤率３０％
提升空間需求檢核效率２５％
提升溝通協調效率３０％
減少變更設計達４０％
施工到竣工
提升工作品質
成本估算準確性誤差３％
成本估算時間減少８０％以上
檢討管線衝突節約成本約１０％
節省專案工期達７％以上

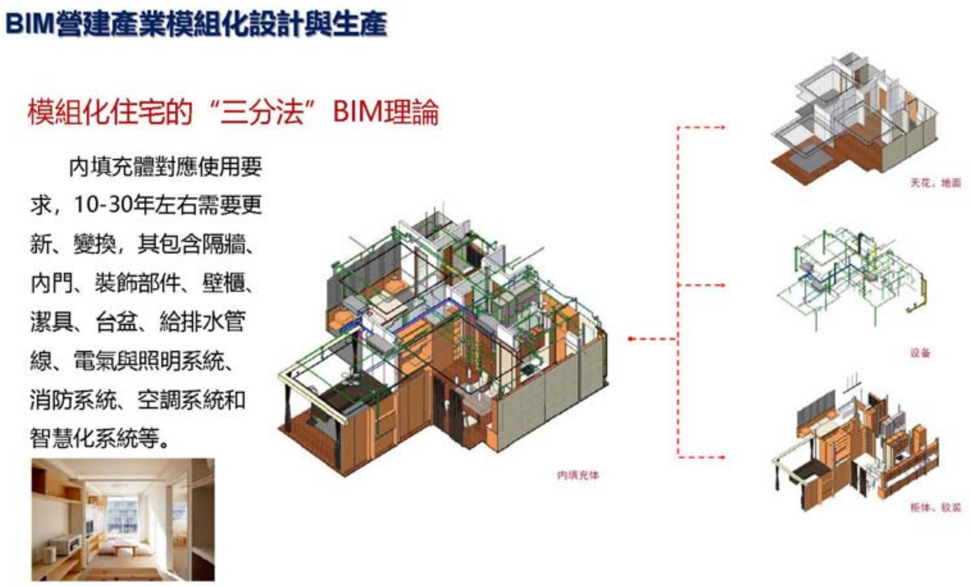

基於BIM的資訊化管理系統
BIM3.0:BIM+FM
運維管理
智慧建築
BIM4.0:BIM+FM+IBMS=SBC
施工管理
BIM
BIM2.0:MODEL
規劃設計
決策支援雲平臺
BIM1.0:MODELING
BIM5.0:Big Data+BIM+FM+IBMS=SSC
資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理

三. BIM在營建產業應用發展趨勢
15

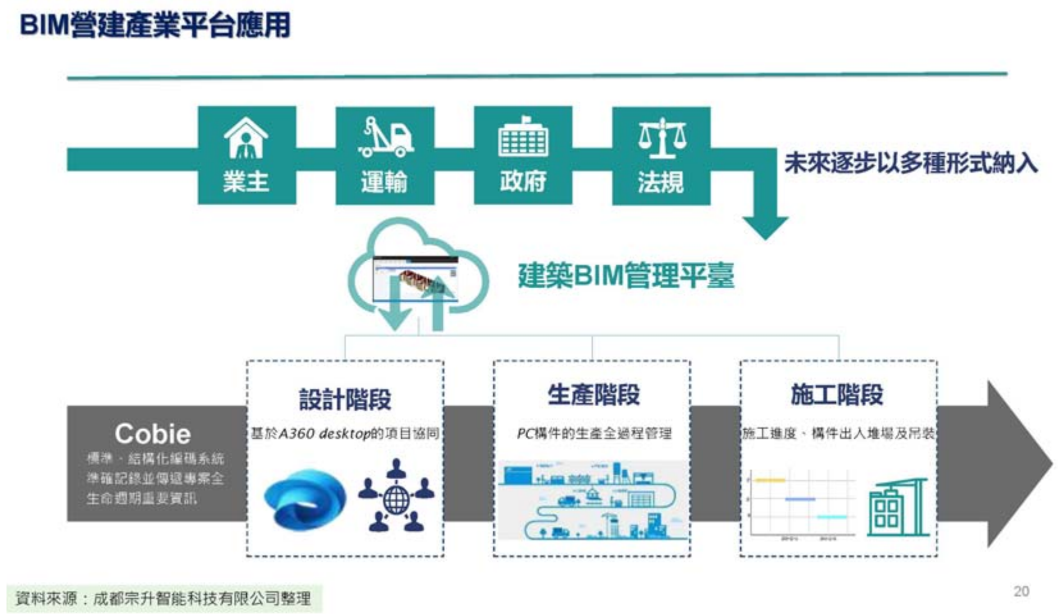


BIM市場發展深度的理解
BIM 在國際市場的演進
BIM 1.0 : MODELING
設計階段的應用，側重於構建BIM模型，和相關施工圖的檢討和建築性能分析。
BIM 2.0 : MODEL
施工階段的應用，用BIM模型來指導施工，控制施工進度，控制成本。
BIM 3.0 : BIM+FM
運營維護階段。將設計及施工階段的歷史資訊，與傳統的物業資產管理做整合。側重於靜態資訊的管理。
BIM 4.0 :
BIM+FM+IBMS=SBC
智慧建築SBC的應用。將設計及施工階段的歷史資訊與運營階段的即時資訊做整合。實現智慧建築運行及綜合能耗的科學化、資訊化和視覺化的管理。
BIM 5.0 :
GIS+BIM+FM+IBMS=SCC
智慧城市雲平臺。基於GIS和BIM的智慧城市管理平臺的構建。將城市地理資訊和三維建築資訊模型結合在一起，實現智慧城市科學化、資訊化和視覺化的運營管理。
資料來源：美國 ARCHIBUS ,Inc

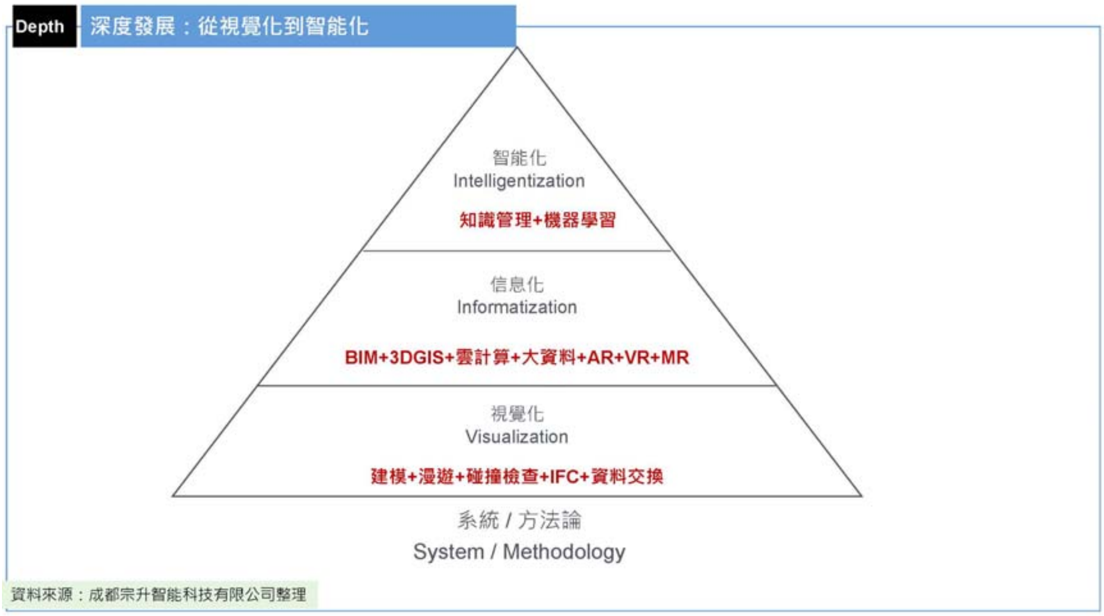
資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理




BIM營建產業應用的三個層次
1.0 3D模型
2.0 項目協同
3.0 產業整合
• 模型技術：BIM軟體的組織內應用
• 模型流程：組織內的BIM角色與基於模型的工作流
• 模型政策：組織內的BIM標準
• 協同技術：跨組織的模型共用軟體與仲介軟體工具
• 協同流程：跨組織的BIM專案角色、基於模型的跨專業工作流及新的協同導向商務模型
• 協同政策：跨組織的模型標準及協同標準、協同導向的合同文本及教育程式
• 整合技術：基於互聯網的交互解決方案、跨系統的互聯網即時整合
• 整合流程：供應鏈整合、專案生命週期的跨專業整合
• 整合政策：供應鏈整合標準、合同文本及跨專業教育程式
資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理
19

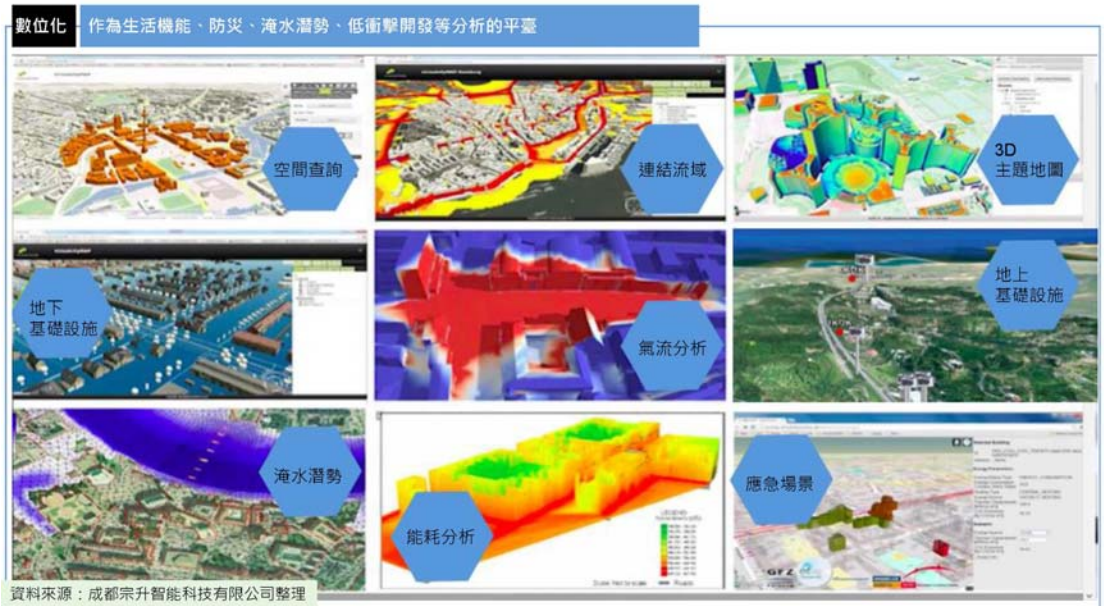

BIM營建產業平台應用
業主
運輸
政府
法規
未來逐步以多種形式納入
建築BIM管理平臺
Cobie
標準、結構化編碼系統準確記錄並傳遞專案全生命週期重要資訊
設計階段
基於A360 desktop的項目協同
生產階段
PC構件的生產全過程管理
施工階段
施工進度、構件出入堆場及吊裝
資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理
20


四. BIM用於城市建設管理的深度應用
21

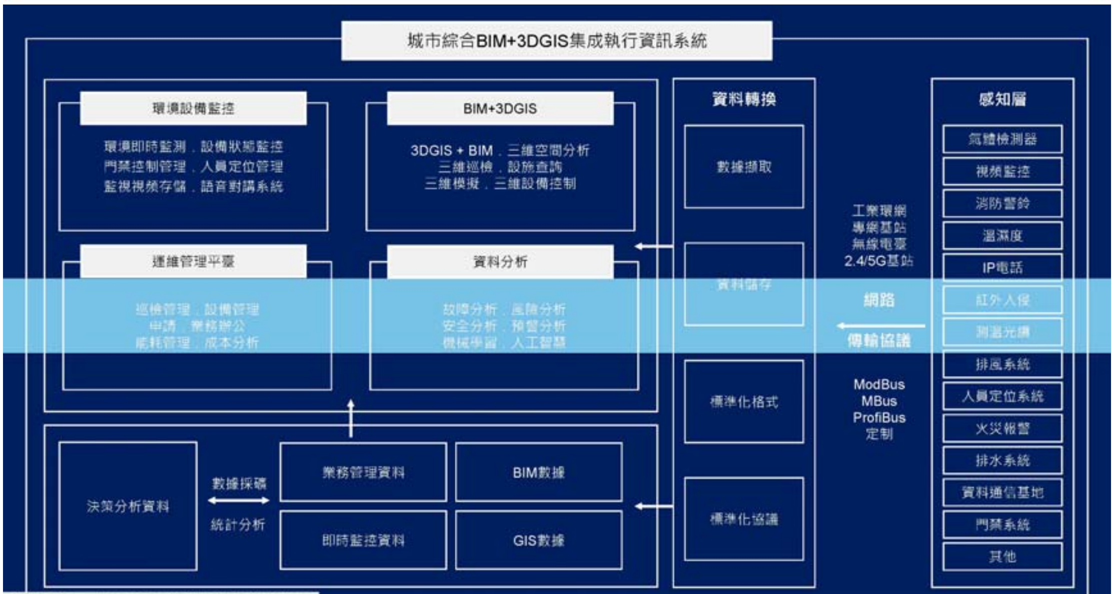

Depth
深度發展：從視覺化到智能化
智能化
Intelligentization
知識管理+機器學習
信息化
Informatization
BIM+3DGIS+雲計算+大資料+AR+VR+MR
視覺化
Visualization
建模+漫遊+碰撞檢查+IFC+資料交換
系統 / 方法論
System / Methodology
資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理


EIoT
物聯網重要感知技術
物聯網像人的末梢神經網路IoT (Internet of Things)
BIM 特質
凡是所有工程結構物，與其空間內有關之設施設備，在其存在的生命週期中，包括規劃、設計、請照、發包、施工、營運、維護、拆除等；其空間與時間、幾何與非幾何、動態與靜態、微觀與巨觀、跨專業、跨階段之相關多
光感測器
紅外線距離感測
超音波距離感測
雷射測距儀
彎曲曲率檢知計
三軸加速度計
陀螺儀運動感測
紅外線定位模組
電子羅盤方向感應
GPS衛星感測系統
壓電式力量傳感
溫溼度感測
23
資料來源：宗陞智能工程有限公司整理


數位化
搭建基於BIM+3DGIS的城市數位基礎設施平臺
數字基礎設施是智慧海綿城市的必要支持 Digital Infrastructure
智慧城市需要數位元基礎設施平臺作為技術支持。通過無人機傾斜攝影技術建立3DGIS模型，再將基礎設施BIM模型整合，形成BIM+3DGIS模型。BIM+3DGIS是目前國際先進的數位基礎設施技術，3DGIS（三維地理資訊系統）描繪城市巨觀場景，BIM（建築資訊模型）呈現基礎設施規模、幾何和參數，作為防洪、淹水潛勢、低衝擊開發等的分析平臺
資料來源：北京超圖公司 SuperMap



資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理



資料來源：成都宗升智能科技有限公司整理


五. BIM於城市建設管理的應用
27


一. BIM延伸到智慧化管理在市場大型建築業主的關注
二. 基於BIM運維案例示範
Smart Building Cloud
GIS地理資訊管理
Geographic Information Systems
BIM建築模型資訊管理
Building Information Management(Model)
FM設施管理
Facilities Management
IBMS智慧化建築系統管理
Intelligent Building Management System

2013年北京超高層 (中信銀行總行大樓)

1.2 智慧建筑云平台技术应用要求

智慧建筑采用智慧建筑云平台（Smarter Buliding Cloud，以下简称"SBC" ），实现建筑内各信息系统、网络系统、监控系统、管理系统间的互联互通和数据共享交换是现代智慧建筑的技术核心。智慧建筑云平台（SBC）就是通过建筑信息模式（BIM）和建筑物运营及设施管理（FM），将智能建筑物内智能化各应用系统通过 BIM 3D 三维模型有机的联系在一起，集成为一个相互关联、完整和协调的综合监控与管理的大系统，使系统信息高度共享和合理分配，克服以往因各应用系统独立操作、各自为政的"信息孤岛"现象。智能化智慧建筑云平台将智能建筑物内智能化各应用系统包括：综合信息集成系统（IBMS）、基于 BIM 的物业及设施管理系统（PM＋FM）、建筑物管理系统（BMS）、公共安全系统（SMS）、信息设施管理（ITSI）、机房工程等二级平台集成在统一的计算机网络平台和统一的 BIM 3D 人机界面浏览、显示、操作的环境上，从而实现智能化各应用系统之间的信息资源的共享与管理、各应用系统的互操作和快速响应与联动控制，以达到自动化监视与控制的目的。

北京中國尊H=520M AREA=45萬M2
BIM+FM+IBAS智能建築雲平臺
2018年完工

2017 年臺灣桃園國際機場 T3

航廈容量 66.5萬平方米
T3 主航廈規劃樓地板面積為 42.1 萬㎡
T3 衛星廊廳總樓地板面積為 22.4 萬㎡。

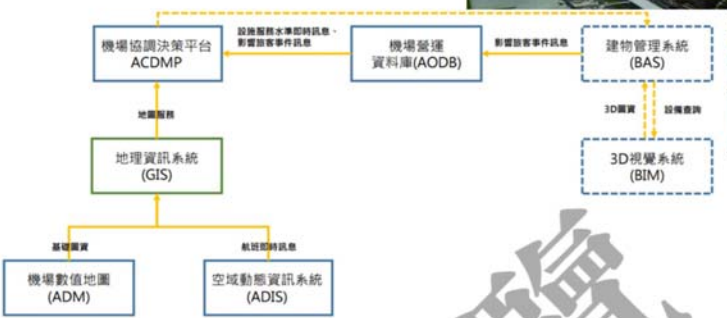
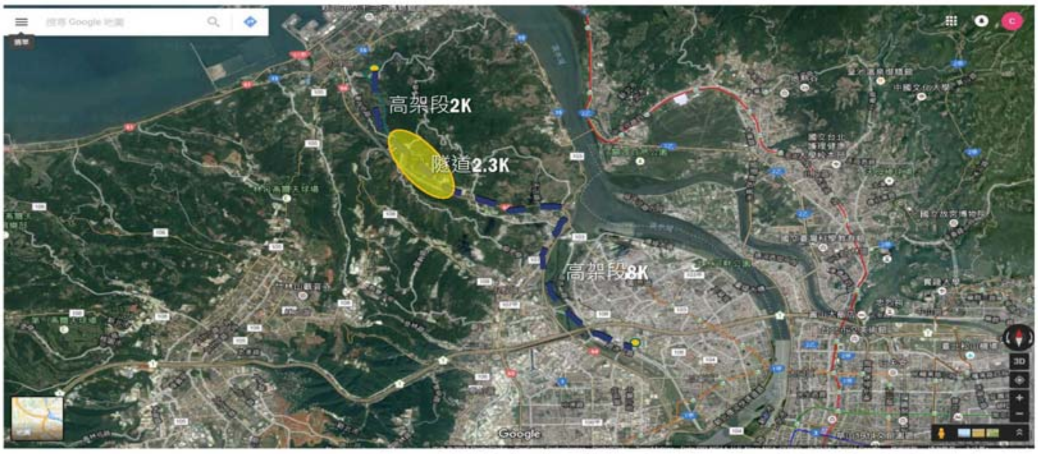


圖 1186L-2 地理資訊系統架構圖


案例分享
臺灣64快速道路及觀音山隧道BIM維護管理系統
基於BIM城市綜合管廊智慧管理系統
四川省泛悅城市基於BIM工地安全管理系統
應用集成
• 3D GIS+BIM ：地理資訊集成 三維城市及BIM圖像化
• FM : 基礎建設設施管理及運維 (設施/文檔/工單/劣化巡檢)
• IoT : 物聯網監測監控 . 電力 / 環境 / 設備及管線狀態


臺灣64快速道路及觀音山隧道BIM維護管理系統
3D GIS+BIM+FM+IoT

計畫概述-位置



台64線觀音山隧道及隧道前2公里後8公里高架段
12.3km

3

平臺設計 -三屏連動

公路隧道BIM維護管理系統架構

GIS　　　BIM　　　IoT

第一屏:地理資訊屏　　第二屏:圖像管理屏　　第三屏:資訊管理屏

1. 系統架構: GIS、BIM、IoT等三大框架組成，各框架間相互連動，從宏觀的地理資訊到微觀的設施設備資訊可完全掌握
2. 系統擴充: 建置範圍可輕易擴充

執行主計畫內容-(BIM 建模)

(1)觀音山隧道BIM細部建模(含西口機電房、隧道結構、機電管線及監控系統)

1. 隧道結構建模。
2. 隧道機房建模(包含機房建築、機房內部機電設施)。
3. 隧道機電建模(包含機電管線設備、通風系統、照明系統、消防系統)

高架段及隧道BIM結構建置交付內容(含機電管線設備)		
高架路段(隧道前2公里、後8公里)	下部構造	樁帽
		墩柱
		帽梁
		橋臺
		翼牆
		基樁
		沉箱
	上部構造	橋面板
		邊梁
		防撞牆
		欄杆
隧道段	隧道構造	隧道構件

現場照片 BIM模型成果

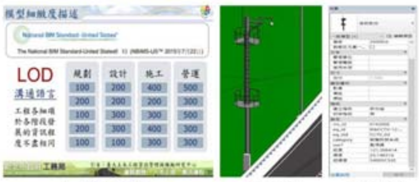
35

整體執行計畫-3D BIM 建模-精細建模

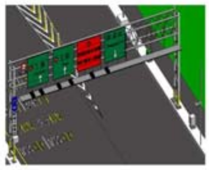
機電管線

導入組件一覽表				顏色	RGB	LOD 300
隧道(機房)機電服務設施	排水系統	廢水	WP	230-118-26		以竣工圖說提交的立管、主管、分支管之管路/閥/配件/隔絕材元件的確切尺寸/形狀/位置建置
		污水	SP	144-77-10		
		RP：雨水	RP	91-155-231		
		通氣管	VP	112-48-160		
		排水	ACP	191-143-0		
	給水系統	冷卻水	CW	191-143-0		
		熱水管	HW	255-255-255		
	消防	消防進風	SF	255-0-0		
		消防排風	SF	255-0-0		
		灑水管線	FSP	255-0-0		
		泡沫管線	FOP	255-0-0		
	電氣	電纜橋架/線槽		68-114-196		
	通風系統	送風	FA	153-255-15		
		回風	RA	102-204-255		
		補給水	MU	31-145-36		
		冷卻水送水管	CWS	150-0-0		
		冷卻水回水管	CWR	130-130-60		
		冰水送水管	CHS	153-255-153		
		冰水回水管	CHR	255-255-210		

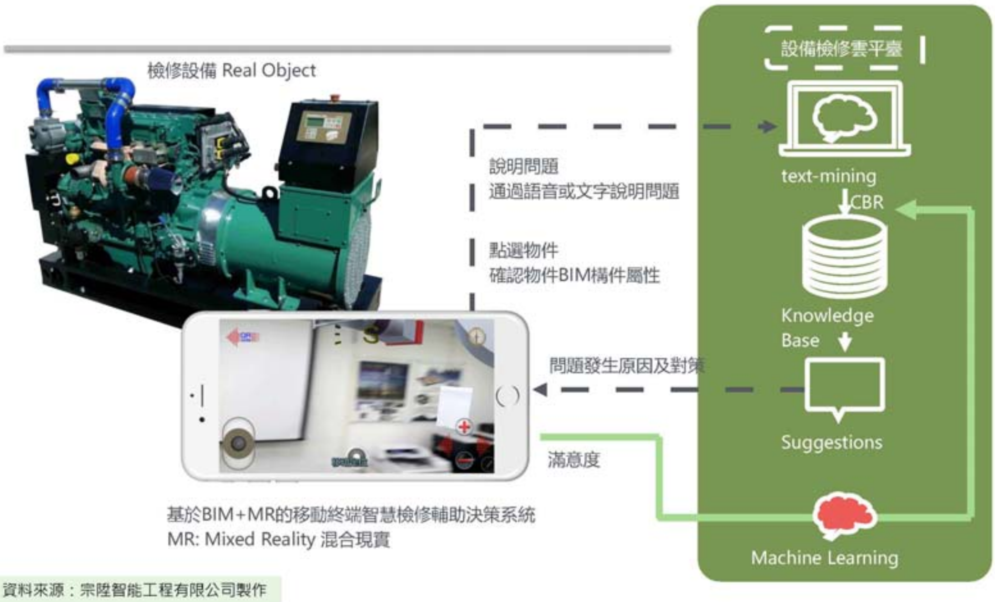
機電組件精細建置



A. NBIMS-US™定義 B.道路監控 C.屬性資料



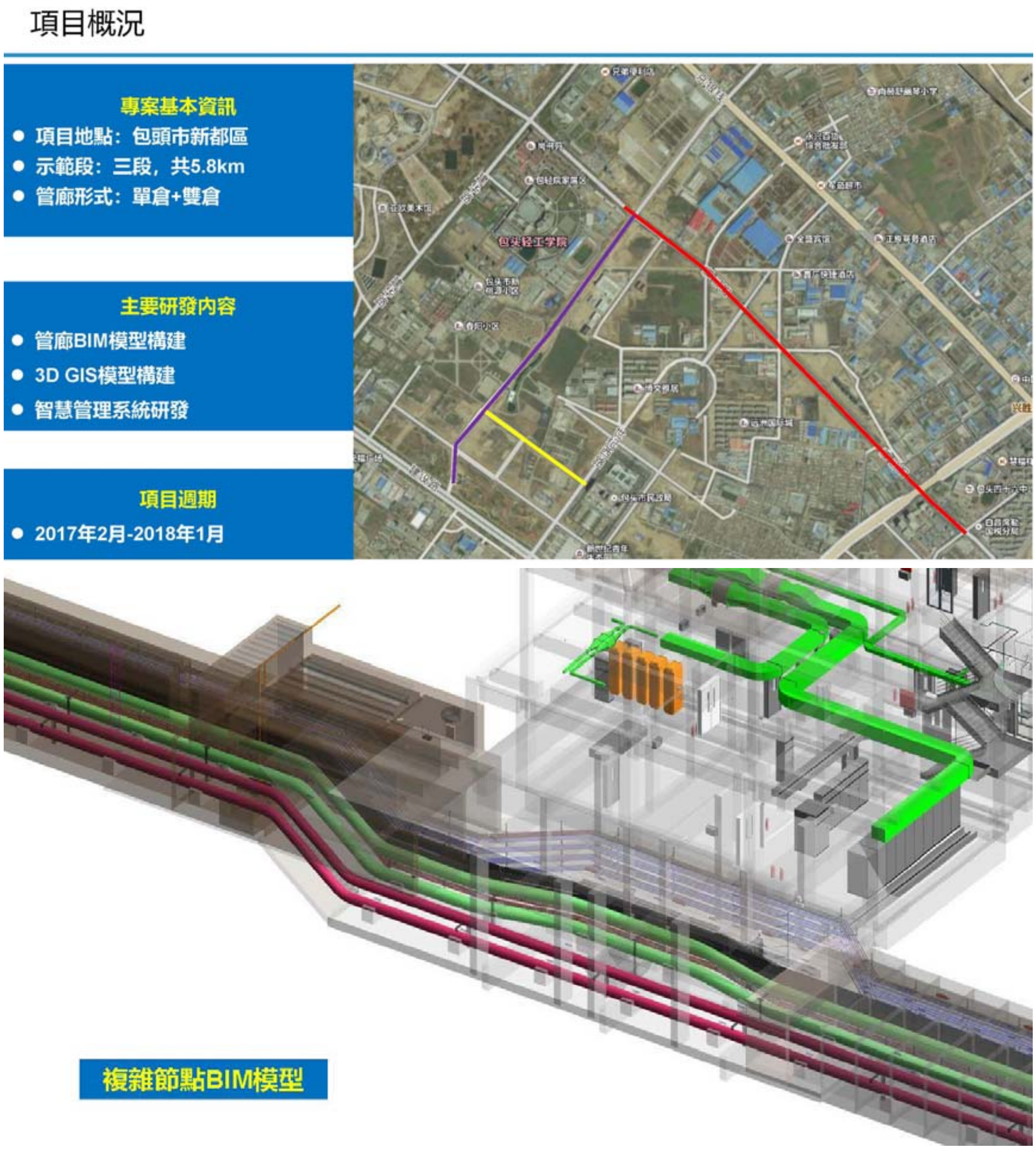
發電機 行動通訊設備 冷卻塔 3D-BIM標誌



資料來源：宗陞智能工程有限公司製作


整系統平臺-展示
GIS
第一屏:地理資訊屏
BIM
第二屏:圖像管理屏
IoT
第三屏:資訊管理屏
39

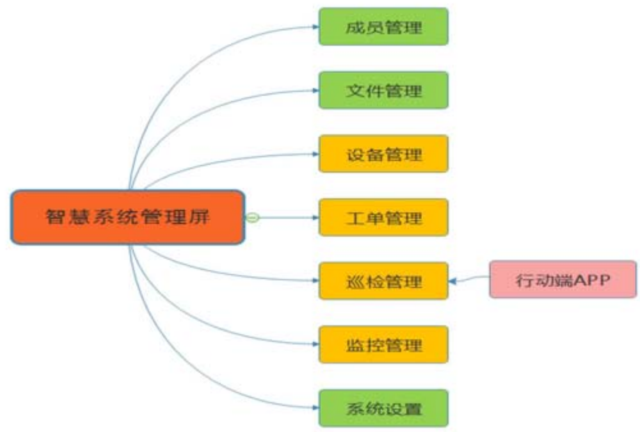

基於BIM城市綜合管廊智慧管理系統
3D GIS+BIM+FM+IoT


項目概況
專案基本資訊
● 項目地點：包頭市新都區
● 示範段：三段，共5.8km
● 管廊形式：單倉+雙倉
主要研發內容
● 管廊BIM模型構建
● 3D GIS模型構建
● 智慧管理系統研發
項目週期
● 2017年2月-2018年1月
包头轻工学院
複雜節點BIM模型

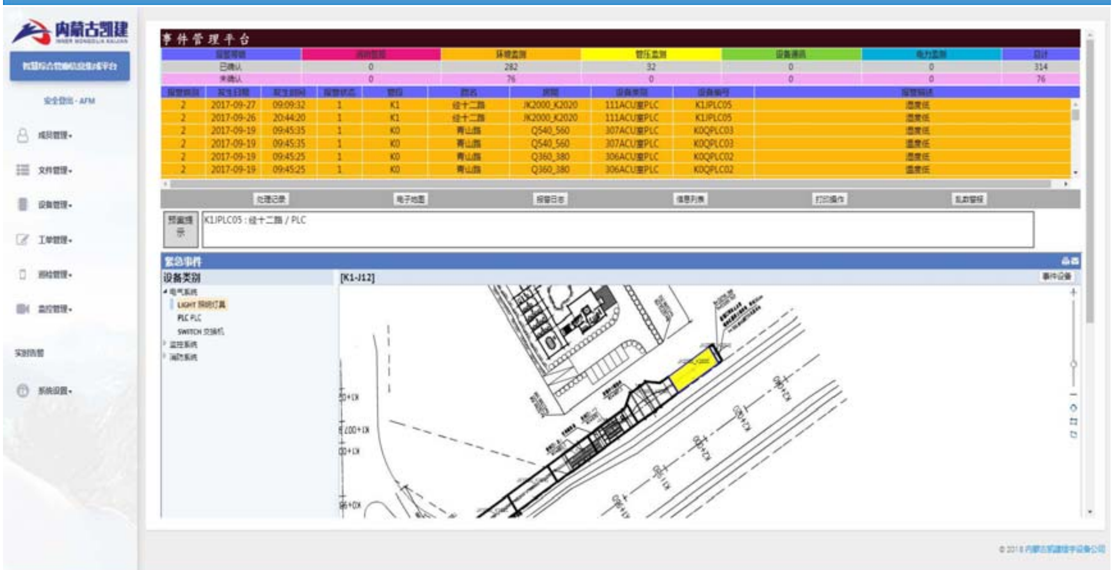
項目概況

單主機雙屏：圖形屏（BIM+3DGIS）+管理屏

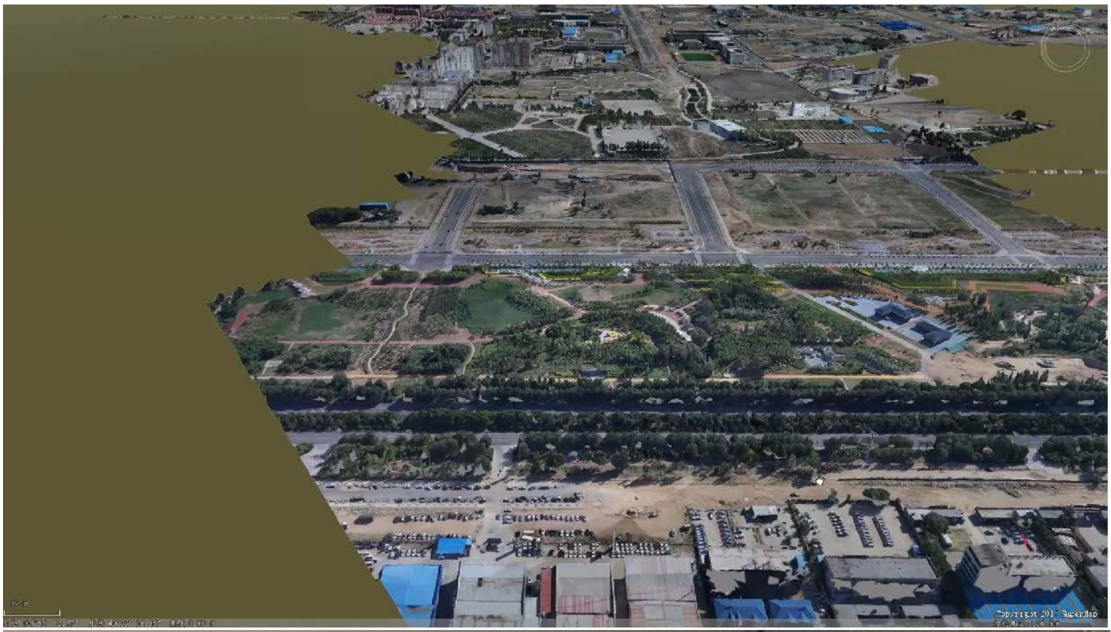
管理系統研發



管理系統主要功能模組



監控管理—即時監控



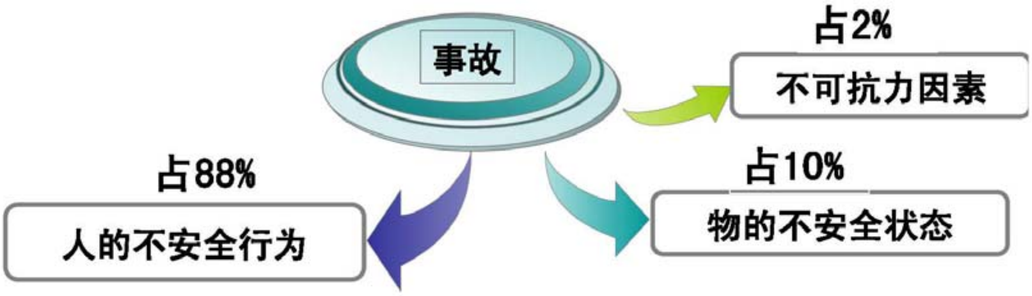

VR Zoom
建立管廊VR試驗區，並將無線感測器採集的即時資料跟VR平臺互動，體驗視覺化、數位化、智能化的沉浸式效果

2005年7月21日廣州海珠區江南大道南珠城海廣場深基坑垮塌，致3人死亡，4人受傷

2008年11月15日，杭州地鐵1號線深基坑垮塌，致17個施工人員死亡，4人失蹤

海因里希调查了75000件工伤事故的结果

(Herbert William Heinrich)



引自清華大學李廣信《基坑工程事故分析》

BIM+3D GIS+IoT 實現可視即時的動態監測

53

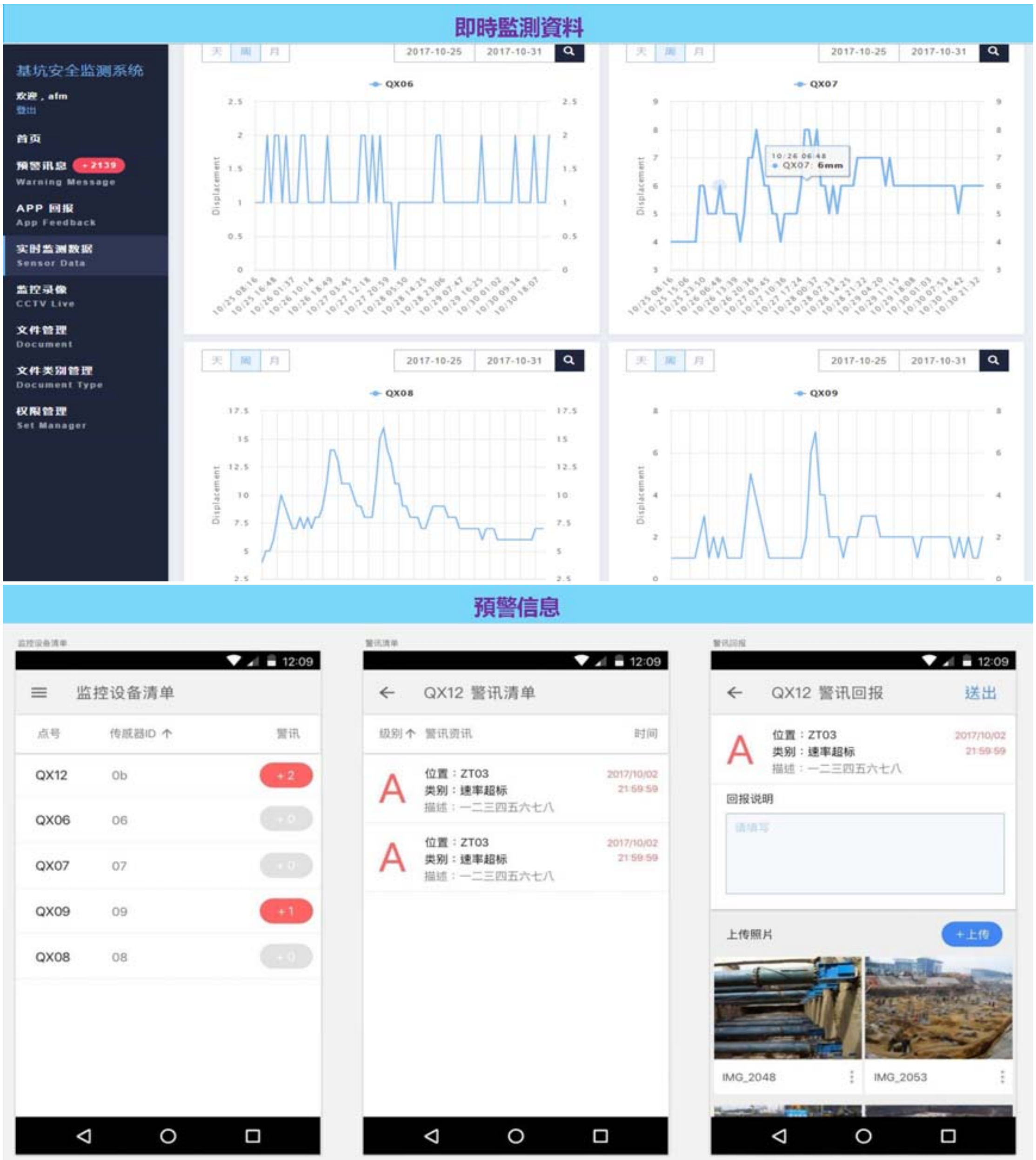
項目概況

BIM+3DGIS

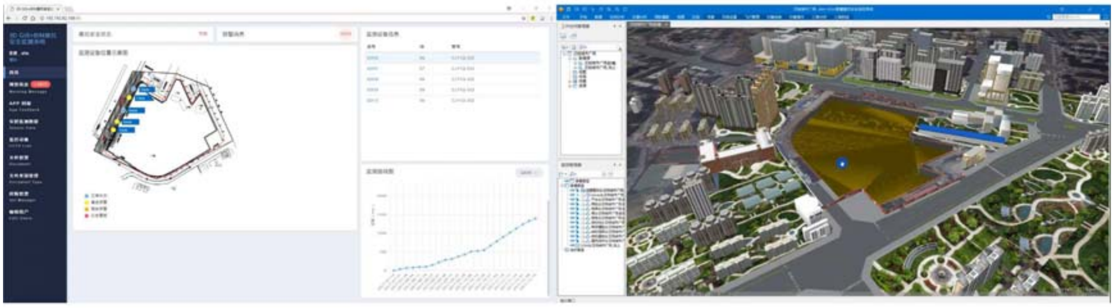
安全监控平台

基坑及周邊模型

首頁介面


即時監測資料
基坑安全监测系统
欢迎，afm
登出
首页
预警讯息 +2139
Warning Message
APP 回报
App Feedback
实时监测数据
Sensor Data
监控录像
CCTV Live
文件管理
Document
文件类别管理
Document Type
权限管理
Set Manager
天 周 月
2017-10-25 2017-10-31
QX06
QX07
10/26 06:48
QX07: 6mm
QX08
QX09
Displacement
預警信息
12:09
监控设备清单
点号 传感器ID 警讯
QX12 0b +2
QX06 06 +0
QX07 07 +0
QX09 09 +1
QX08 08 +0
QX12 警讯清单
级别 警讯资讯 时间
A
位置：ZT03
类别：速率超标
描述：一二三四五六七八
2017/10/02
21:59:59
QX12 警讯回报
送出
回报说明
请填写
上传照片
+上传
IMG_2048
IMG_2053

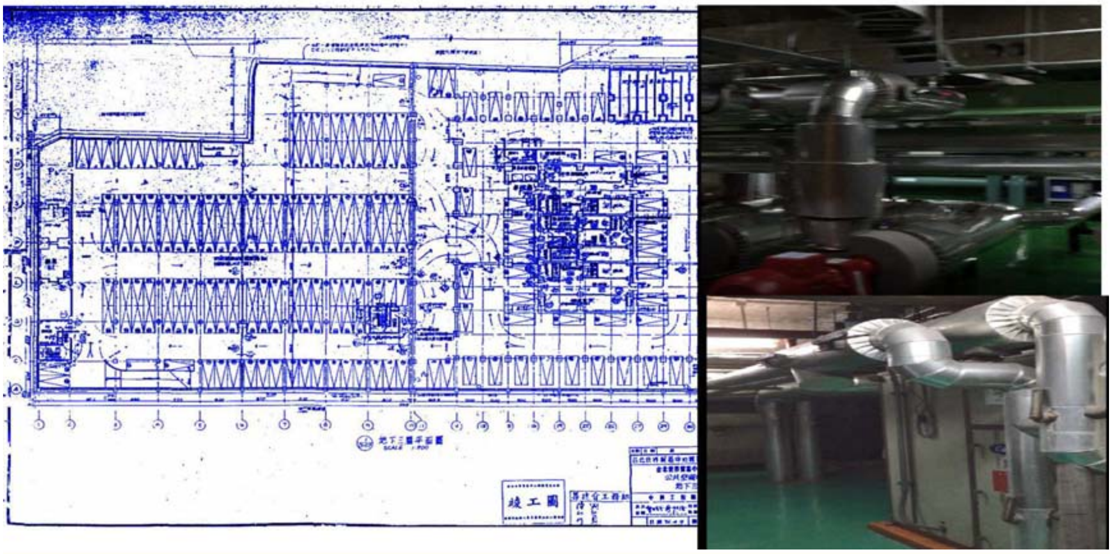
系統平臺展示

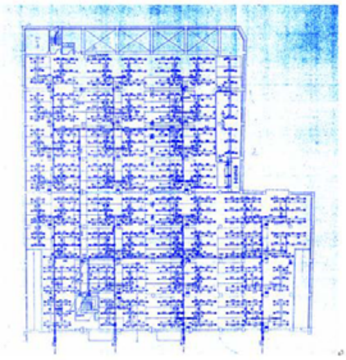



TWTC International Trade
Building Corporation
台北世界貿易中心 國際貿易大樓
基於BIM的智慧化物業管理
智能化資產・運維・能源・安全・信息・設備管理
登入資訊
帳號：
AFM
密碼：
登入

資料來源：宗陞智能工程有限公司整理

製作過程：BIM反向工程驗證方式 (現調/訪談/藍晒圖/拍照)



現場照片(CAD)	BIM模型成果
	

現場照片	BIM模型成果	現場照片	BIM模型成果
			

整合智能化: 將現有中控中心傳統圖控監測轉化3D圖控

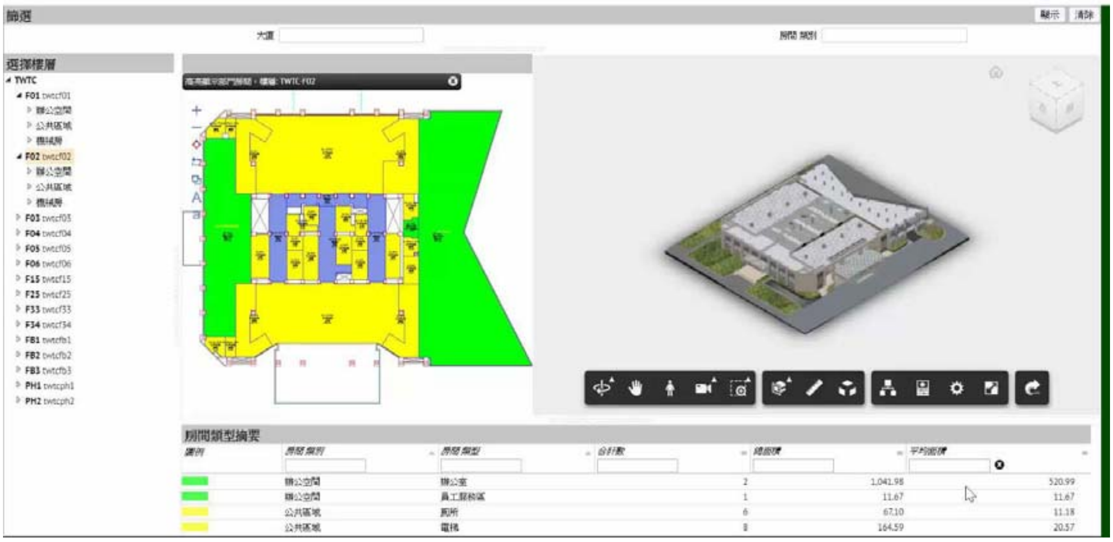
國貿中控機房 :項目實施現況

雙屏連動

第一屏：中控中心3D智能監控 (IoT 實時數據)

第二屏：BIM+FM

B/S 架構的 FM+BIM



B/S 架構的 FM+BIM


感 謝 聆 聽
敬請多提寶貴意見!

15th 坡地生命週期防災監測資訊整合及視覺化雲端平台

峰峰相連到雲端” - 坡地生命週期防災監測資訊整合及視覺化雲端平台

My Peak Cloud” – A Integrated Visualization Cloud Platform For Slope Hazard Life-Cycle Prevention and Monitoring Services

王淳讙 德克皇工程科技顧問股份有限公司
賴世屏 德克皇工程科技顧問股份有限公司

摘　要

近年氣候異常造成坡地滑動頻傳，於”坡地災害維護生命週期”之工作框架下，“峰峰相連到雲端”之雲端平台為結合"巨觀環境"政府 Open Data 及"微環境"坡地監測資訊，於 GIS 及 3D 虛擬環境，讓不同使用者在坡地異常發生之前、中、後等過程，加速災害資訊傳遞及溝通之效率。本平台注重 Open Data 與每個場址監測資料之混搭應用，運用“坡地監測專案資訊查詢及動態展示” 、“峰峰相連到雲端” 、 “坡地安全快速展示”等三個不同模組，運用使用者介面及視覺畫呈現靜態及坡地監測資料 4D 動態資訊，滿足不同使用者對於所關心之坡地在面臨強降雨及地震之安全狀態。

關鍵詞：坡地災害、監測、GIS、Open Data、雲端平台、視覺化、設施生命週期

”My Peak Cloud” – A Integrated Visualization Cloud Platform For Slope Hazard Life-Cycle Prevention and Monitoring Services

C.H. Wang DHTech Engineering Consultant CO.,Ltd.
Edmond Lai DHTech Engineering Consultant CO.,Ltd.

Abstract: Under the recent influence of increasing intensity and frequency of rainfall and earthquake events, the slope failure events became one of the major hazards that produces major impact to human society. ‘My Peak Cloud’ service incorporates government Open Data to provide macro scale environmental information, and to establish the service the slope hazard monitoring. In order to provide sufficient visualized slope monitoring information, a 3-dimensional (3D) slope model is established for each individual project with underground monitoring information. The 3D model can also demonstrate data variation with various time step to form a 4D (3D plus time) model. Combining with other data visualization provided by ‘My Peak Cloud’, it can support various user before, during, and after the slope hazard event.

Keywords: Slope Hazard, Monitoring, GIS, Open Data, Cloud Platform, Visualization, Facility Life-cycle

一、前 言

以臺灣交通系統之特色而言，位於郊區之交通設施大多會穿越山區，由於地質及環境因素影響，道路坡地災害頻繁發生。道路設施旁之上邊坡及下邊坡，每當自然災害發生時(強降雨、地震等)，常常會引致不同程度及類型之坡地災害，因而影響交通設施之服務性，以及用路人之安全性。以民眾居住之環境而言，臺灣大都市多為山地所圍繞，因為目前都市居住區域已經緊連坡地，或居住區域已經深入城市邊緣之山區，每當颱風及地震侵襲台灣，所引發之坡地災害，常常會影響居住區域。目前一般公共工程及防災等專業資訊平台，多針對大環境提出”巨觀環境資訊”，例如: 地質災害、氣象、地震等，需要經過專業加值才能被一般大眾所使用。自動監測資訊服務需要更進一步考量，依據使用者所關心之周遭環境資訊，即為”微環境”資訊。對一般民眾而言，在不同災害威脅下，居住四周之”微環境”變化是最重要的，例如: 未來即將發生的強降雨，是否會對居住社區旁的坡地造成威脅，會不會影崩塌的危險。因此監測的結果，其實可直接提供一般居民使用。

本文先探討坡地災害於設施使用年限中，所應建立之生命週期維護工作程序。而其中，針對坡地監測場址之工作，本文提出“峰峰相連到雲端”雲端平台之服務內容，而呈現新一代坡地維護及防災之工具。最後，並探討由平台服務可延伸之商業市場說明。

二、坡地災害維護生命週期

以一般人工設施之設計使用年限為 30~50 年，通常在使用年限之內，會因強降雨、地震、人為開發、維護不當等因素，而造成設施功能降低，或更甚引發其他衍生性災害。以臺灣坡地而言，坡地會因為長時間的遭受降雨及地震之侵襲而造成損傷，或因為人為不當開發，而影響坡地的安全性，以致於造成鄰近坡地之相關交通民生設施同時遭受波及。”坡地災害維護生命週期”之定義為：時間序中不同時期因自然或人為災害所引起，在不同尺度之區域範圍內，因不同之管理需求而由不同專業人士所需執行之坡地防災及維護作業。

以坡地災害在其使用年限之中所可能遭受之災害，以致於需要探討”坡地災害維護生命週期”中所需之服務以及所需之資料應用服務，其流程如：

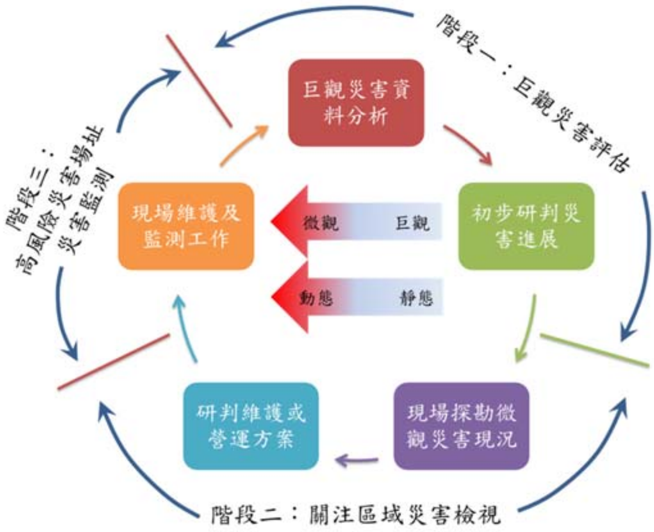


圖 1 ”坡地災害維護生命週期”程序流程

1、第一階段：巨觀災害評估

需要以大區域之背景資料，於平時營運維護機斷，依照地質、地形、地貌、災害歷史、災害境況分析等，初步比對會造成坡地災害之可因子，以協助使用者做出可災害之風險評估評估可能發生災害之種類及嚴重度。

本階段主要工作：

(1) 巨觀災害資料分析：依照政府 Open Data 及其他相關巨觀環境資料，擷取與關注大區域之相關資料，進行空間資訊之彙整。

(2) 初步研判災害進展：在大區域範圍內執行初步坡地災害風險分析，研判可能發生災害之區位及嚴重性，以便規劃進一步現況探勘之需求。

2、第二階段：關注區域災害檢視

經由第一階段工作，已可在大區域中初步風險評估出需要進一步關注之區域，因此可更進一步投入人力實際檢視關注區域之現況，且製作成記錄。並依照記錄，而研判個別關注區域所需之維護或監測計畫。

本階段主要工作：

(1) 現場探勘微觀災害現況：運用航拍影像（例如：UAV）或實地探訪，觀察具備災害潛勢之位址，研判可能發生災害之嚴重性。

(2) 研判維護或營運方案：彙整巨觀及微觀災害分析成果，規劃於一般營運時期之坡地災害維護方案，例如維護作業內容、維護時間、所需技術、監測、急救災整備等需求。

3、第三階段：高風險災害場址災害監測

經由第二階段工作成果，針對高災害潛勢或已經有災害記錄之關注場址，進行監測工作。其目的為隨時掌握災害發生之跡象，以利隨時啟動防災作業。為了整合地表及地下之災害資訊，本階段建議運用相關監測儀器，擷取分析其數據，可實際展現地下之變化。

本階段主要工作：運用人員定期及機動執行現場勘查，以及即時監測儀器資訊，協助控管即時之災害現況。

三、“峰峰相連到雲端”服務說明

依據上述所說明之“坡地災害維護生命週期”中之程序說明，針對坡地災害高風險之區域，需要部設設監測儀器，以監測實際發生之物理量，以協助解讀災害發生之現況。目前相關坡地監測服務，多以平面報告或網站中呈現文字、照片、2D 圖形等資訊，經過專案人員解說之後，仍需由閱讀者各自解讀，因而產生資訊傳遞緩慢，或是造成每個人解讀不同之困擾。

“峰峰相連到雲端”雲端平台主要為針對坡地災害高風險之區域進行之監測專案。相較於既有之監測資訊呈現方式，本平台具有下列之特點：

(1)政府 Open Data 提供許多可以直接引用的資料，例如:地質、地形、災害潛勢、雨量即時數據、颱風預測、地震等。環境資訊以及監測數據如能在同一雲端資訊平台整合及呈現，可以讓使用者更快更容易了解監測成果。

(2)雲端資訊平台除注重環境資訊及監測資料的整合顯示，將不同資訊混搭而產生對決策有助益之結果，並以視覺化輔助呈現。

(3)為了適當詮釋資訊，需要運用地理資訊系統(GIS)以及監測場址之 3D 詮釋，同時匯集所有資訊在同一空間，才能在虛擬的雲端環境之中了解實際的真實微環境場址狀態。雲端資訊平台除了注重資訊整合，並需要在 3D 空間中隨時間演進展現微環境資訊變化，而達成 4D(3D 空間加上時間因素)的成效。

“峰峰相連到雲端”雲端平台之 WEB 服務主要包含三個模組，分別為：

模組一：“坡地監測專案資訊查詢及動態展示”模組

模組二：“坡地環境資訊查詢”模組

模組三：“坡地安全快速展示”模組

1、“坡地監測專案資訊查詢及動態展示”模組:

(1) 服務情境

本模組為監測專案服務，免除既有以 2D 平面資訊，運用 Open Data 所提供之巨觀環境資訊，整合 3D 監測場址地形資訊，更進一步整合監測資訊同時在 3D 環境中，配合時間演變而顯示 4D 整體之變化。圖 2 顯示本模組提供使用者之服務程序。

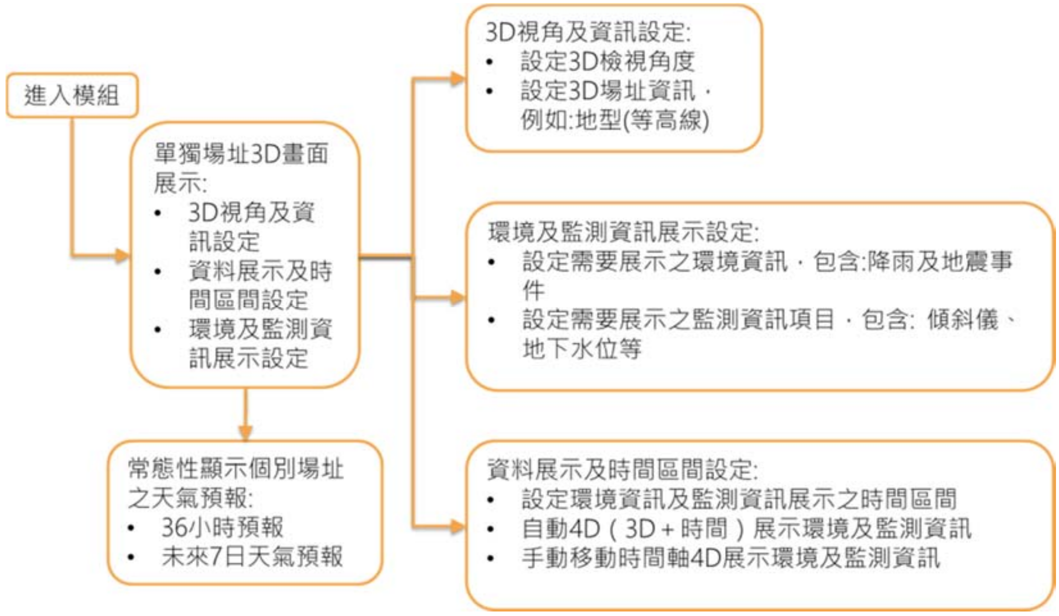


圖 2 “坡地監測專案資訊查詢及動態展示”模組服務內容架構

相較於過往以監測專案以紙本報告方式提供資料，卻往往造成紙本資料儲存及查詢不易。當使用者要查詢某一場址之歷史資料時，卻常常一時難以找到紙本報告。本模組以 GIS 展示監測場址位置，同時連結此一場址於不同時間所產出之相關資料。因此，如圖 3 所示，經由點選所需之資料，模組便展示傳統之紙本資訊，因而提供即時之資訊管理、查詢、及展示功能。

圖 3 監測場址專案資料管理

本模組以單獨場址之”微環境”3D 虛擬地形模型為主，建構及展示專案之地質及監測資訊。使用者可藉由設定所需展示之時間區間，模組將同時展示監測資訊在虛擬空間中之 4D 演變。如圖 4，整合空間中監測數據之變化，同時連結相關之環境資訊，包含：降雨量、地震震度、地下水位等。

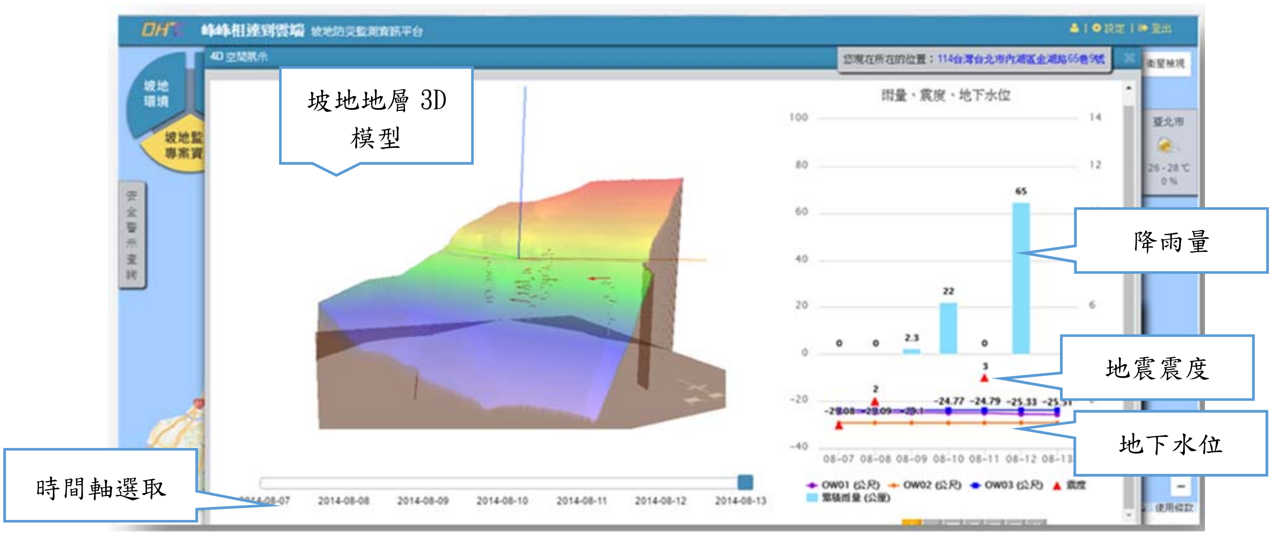
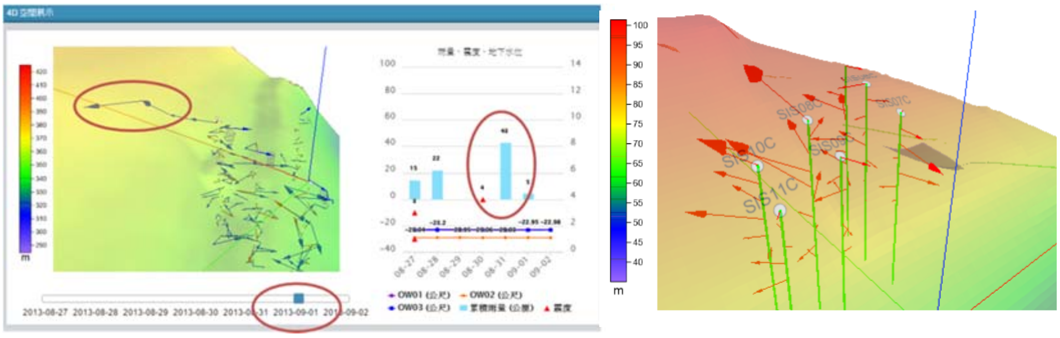


圖 4 4D 監測專案展示畫面

本模組所展示之監測數據，以地中傾斜管之數據為主。展示地層中不同深度之變位和向量，而非傳統之 A 向（垂直坡面）及 B 向（平行坡面），提供直覺式之空間資訊展示。圖 5(a)為隨時間變化，藍色箭頭為顯示變位量逐漸累積及變化之路徑，能協助探討地層滑動之歷史演變。例如圖 5 中圈註之變化路徑，與相對時間之雨量有相關連。圖 5(b)為展示變位之變化總量，紅色箭頭為最初至最終時間之變位量及空間方向。



(a) 4D 監測展示地層中變位路徑　　(b) 4D 監測展示地層中變位總量

圖 5 4D 監測展示地層中變位展示

(2) Open Data 使用說明

表 1 “坡地監測專案資訊查詢及動態展示”模組使用 Open Data 說明

資料集名稱	使用說明
一般天氣預報-今明 36 小時天氣預報	顯示使用者位置之天氣資訊
一般天氣預報-七天天氣預報	顯示使用者位置之天氣資訊
中央氣象局雨量站觀測資料	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
顯著有感地震報告資料-顯著有感地震報告	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
小區域有感地震報告資料-小區域有感地震報告	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅

2、“坡地環境資訊查詢”模組:

(1) 服務情境

相較於目前眾多平台能展示相關環境資訊，而使用者需要自行依據所需位置，而另外找出相關資訊。本模組專注於依照使用者所選擇之關注場址，或是監測專案之位置，在 GIS 平台上顯示其位置，同時顯示其周遭之相關環境及災害潛勢等資訊。圖 6 顯示本模組提供使用者之服務程序。圖 7 為依據關注場址之空間位置，運用政府 Open Data 而展示相關資訊。

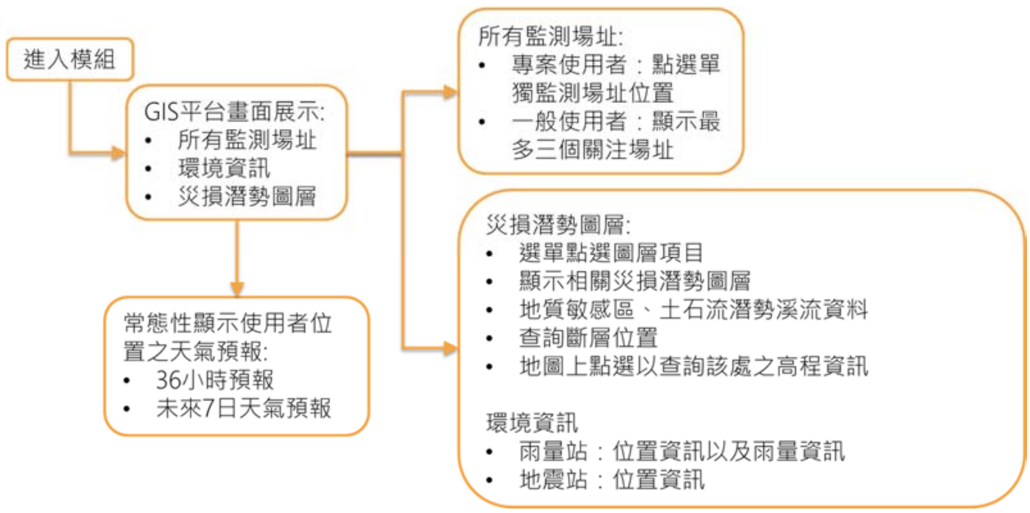
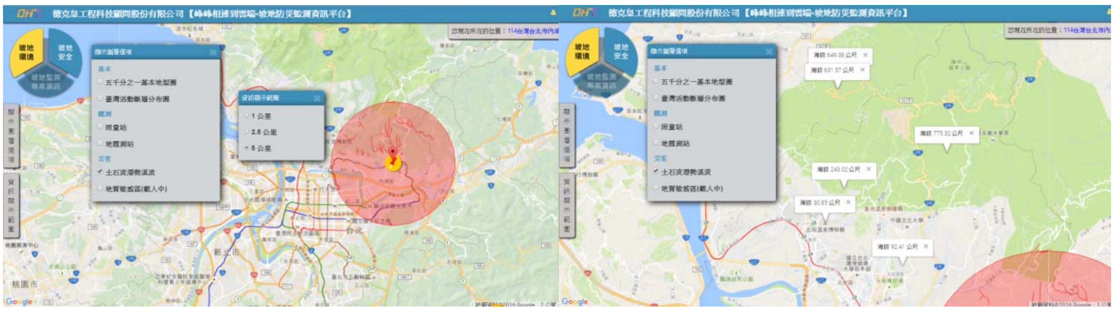


圖 6 “坡地環境資訊查詢”模組服務內容架構

(a) 臺灣活動斷層分布畫面　　(b) 中央氣象局雨量站展示畫面

(c) 地震測站展示畫面　　(d) 關注場址 5km 內地質敏感區畫面



(e) 關注場址 5km 內區域之土石流潛勢溪流畫面　　(f) 高程查詢畫面

圖 7 “坡地環境資訊查詢”模組服務內容架構

(2) Open Data 使用說明

表 2 “坡地環境資訊查詢”模組使用 Open Data 說明

資料集名稱	使用說明
內政部 20 公尺網格數值地形模型資料	顯示高程資訊
五千分之一基本地形圖	顯示土地使用類別、街廓及道路區域
中央氣象局雨量站觀測資料	顯示雨量站位置、測站位置資料
臺灣活動斷層分布圖(五十萬分之一紙圖版更新數值檔)	顯示斷層空間位置
地質敏感區範圍數值檔	顯示關注場址鄰近區域地質災害
土石流潛勢溪流資料	協助展示關注場址之鄰近坡地災害威脅
一般天氣預報-今明 36 小時天氣預報	顯示使用者位置之天氣資訊
一般天氣預報-七天天氣預報	顯示使用者位置之天氣資訊

3、“坡地安全快速展示”模組:

(1) 服務情境

對於每個使用者之關注場址，都希望能在很快時間之內提供安全與否之資訊，運用”巨觀環境”之 Open Data 資訊，混搭動態環境資訊，以及依據相關管理值執行雲端智能分析後呈現安全性。圖 8 顯示本模組提供使用者之服務程序。圖 9 為依據關注場址之空間位置，展示相關事件資訊，以及做出每個場址之警訊。

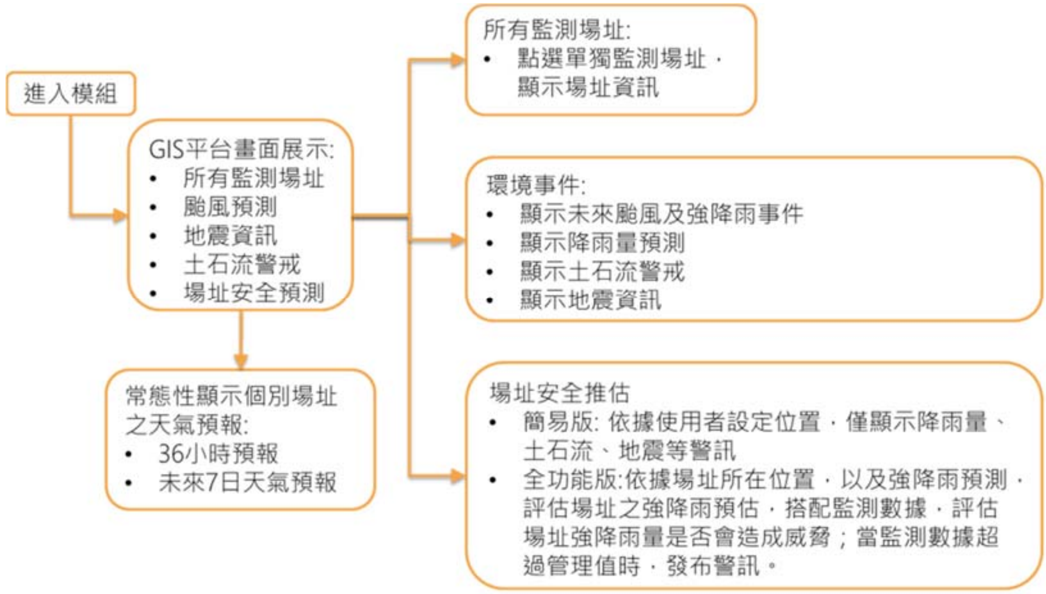
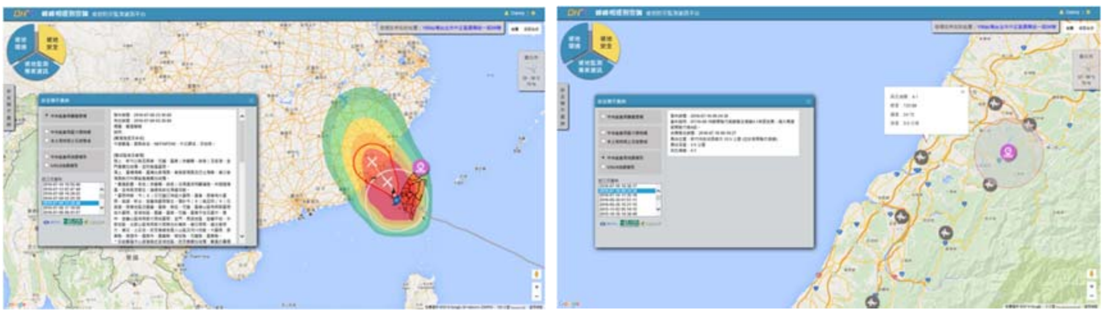
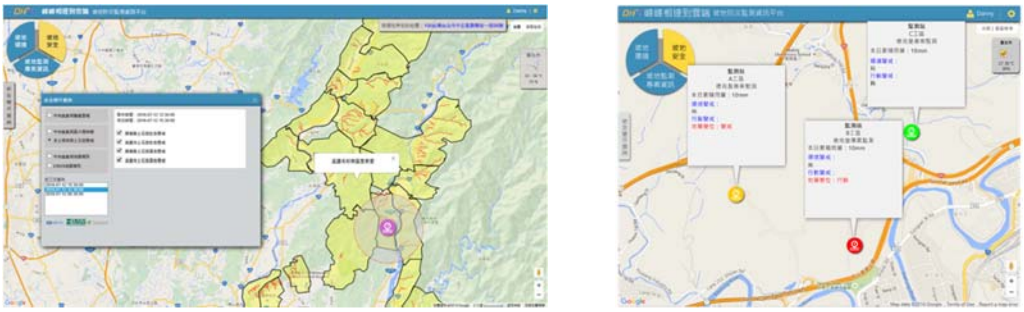


圖 8 “坡地安全快速展示”模組服務內容架構



(a) 颱風資訊畫面　　　　(b) 地震事件資訊展示畫面



(c) 土石流警訊查詢及展示畫面　　(d) 關注場址極端事件燈號發佈畫面

圖 9 “坡地安全快速展示” 模組畫面展示

關於每個關注場址之安全管理，為運用巨觀環境資訊（降雨、地震、土石流）以及搭配監測資訊（地中傾斜管、地下水位監測），於雲端智能研判安全性。其方案包含：

(a) 依據專案之地下水位以及傾斜管監測資訊，搭配 Open Data 所提供之環境資訊，系統將相關資訊混搭並經邏輯分析後，提供專案使用者相關警訊。

(b) 強降雨發生前依據 Open Data 所提供之中央氣象局對臺灣區域所發佈之預估降雨資料，搭配傾斜管之位移資訊，提供綠色: 安全；黃色: 警戒；紅色:行動之資訊。

(c) 強降雨發生時，依據即時降雨資訊及累積降雨評估降雨量是否會對監測場址造成威脅。

(d) 強降雨發生時或一般平時，依照地下水位之監測資訊，進行異狀判別。

(e) 強降雨發生時或一般平時，依據傾斜管提供之坡地變位資訊，進行異狀判別。

(f) 當發佈土石流警訊，使用者在土石流警戒行政區範圍內便顯示警訊。

(g) 當地震發生時，依據有感地震及小區域地震資訊，顯示該場址所屬行政區域之震度。同時，系統會顯示有量測到震度的測站，提供使用者查詢。

(2) Open Data 使用說明

表 3 “坡地安全快速展示”模組使用 Open Data 說明

資料集名稱	使用說明
颱風消息與警報-颱風消息	展示動態環境資訊
颱風消息與警報-颱風侵襲機率	展示動態環境資訊
中央氣象局颱風警報	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
中央氣象局豪大雨特報	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
中央氣象局雨量站觀測資料	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
顯著有感地震報告資料-顯著有感地震報告	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威

資料集名稱	使用說明
	脅
小區域有感地震報告資料-小區域有感地震報告	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
水土保持局土石流紅黃警戒	展示動態環境資訊，研判是否對關注場址造成威脅
土石流潛勢溪流資料	展示動態環境資訊，使用者查詢特定土石流潛勢溪流資訊
一般天氣預報-今明 36 小時天氣預報	顯示使用者位置之天氣資訊
一般天氣預報-七天天氣預報	顯示使用者位置之天氣資訊
U.S. Geological Survey, USA	顯示動態地震資訊
NOAA, USA	顯示動態熱帶氣旋資料

四、防災資訊雲端整合商業市場運用

有鑑於坡地防災服務之市場確實有需求，相關產業關注之發展內容如圖 10 中說明:

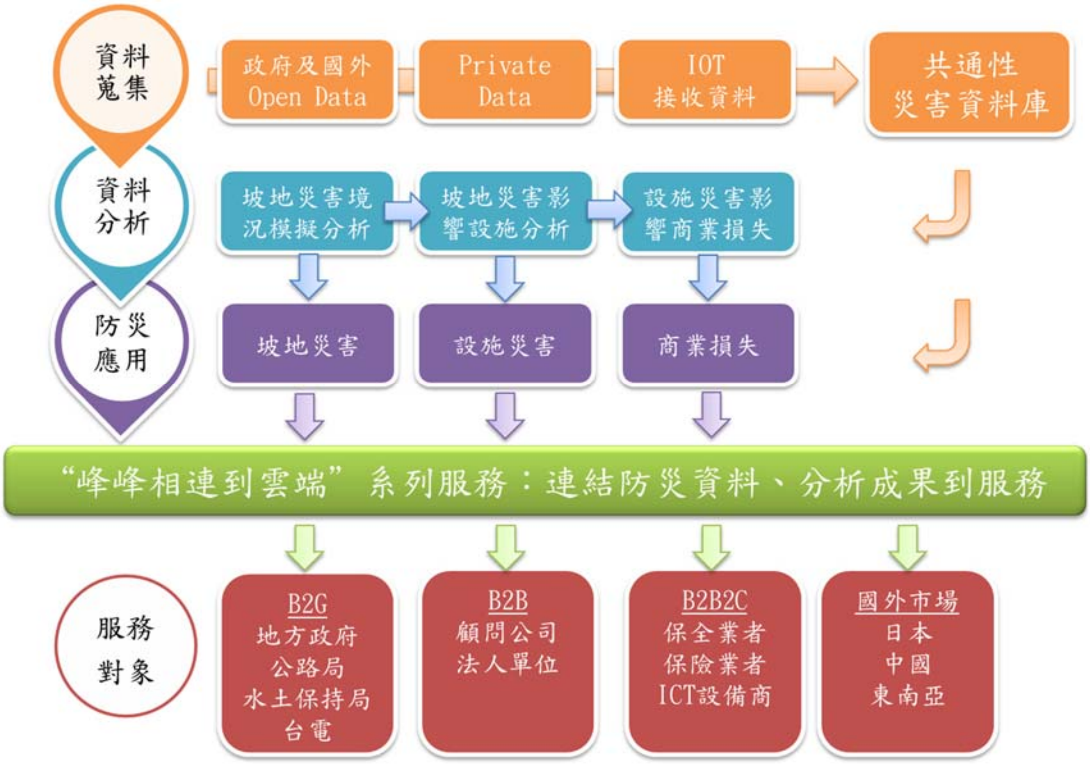


圖 10 “坡地安全快速展示” 模組畫面展示

(1) 以資料蒐集面而言，由政府 Open Data 以及其他環境資料混搭 Private Data 之應用，而後衍生成直接納入 IOT 資訊，以形成共通性災害資料庫為目的，能逐漸形成以多重災害大數據分析之成果，將對於資料分析之經驗複製到其他單位或市場，而服務其所需之防災需求。

(2) 以資料分析面而言，由資料累積中結合多重災害大數據分析，由坡地

災害為基礎，衍生至坡地鄰近之設施損失。例如，強降雨或地震事件所引致之坡地災害，分析其對於工廠生產線所可能因為強降雨、地震震動、坡地災害等所造成之商業損失。

(3) 以防災應用面而言，依據共通性災害資料庫以及資料分析，依據商業行為所執行之所在空間位置，可歸納出相關災害問題。依據坡地及環境災害影響設施安全性，而後延伸到一般商業受災害影響之防災需求，再將災害分析延續到對於設施內商業營運之影響。

(4) ”峰峰相連到雲端”服務，可陸續延伸平台之服務需求，結合前述資料蒐集之工作，形成連結資料庫以備查詢；結合前述資料分析之平估程序及方法，將之內建置自動計算，而後呈現在平台，同時提供災害分析相關警示。而上述之成果，可以依據使用者所關心之地點不同，以及使用者使用需求不同，運用平台中一致之工作架構，銜接不同使用者之客製化需求。

(5) 服務 B2G 市場：沿襲既往營運模式，唯除了執行監測作業，更成為資訊運用雲端服務平台，創造新的防災服務模式。

(6) 服務 B2B 市場：形成防災產業營運商，而直接服務其他公司，以提供降低災害發生，或當災害發生時能即時做出反制措施，以及降低對生命財產損失。

(7) 服務 B2B2C 市場：防災產業營運商提供其他公司服務(B2B)，而其他公司將其服務融入本身商業發展，而再以產品或服務之方式服務於一般個人(B2C)。

五、結論

本文依據臺灣坡地災害之現象，提出”坡地災害維護生命週期”之動態管理程序。 “峰峰相連到雲端” - 坡地防災監測資訊整合及視覺化雲端平台之目的，為服務高災害風險之坡地監測專案。

(1)“坡地監測專案資訊查詢及動態展示”模組:以個別場址之”微環境”3D 虛擬地形模型為主，建構及展示專案之地質及監測資訊。使用者可藉由設定所需展示之時間區間，展示監測資訊在虛擬空間中之 4D 演變。

(2)“坡地環境資訊查詢”模組:架構在 GIS 平台，為彙整監測場址所有相關”巨觀環境”之 Open Data，包含:雨量、颱風、地震、地質、地形、災害潛勢等。

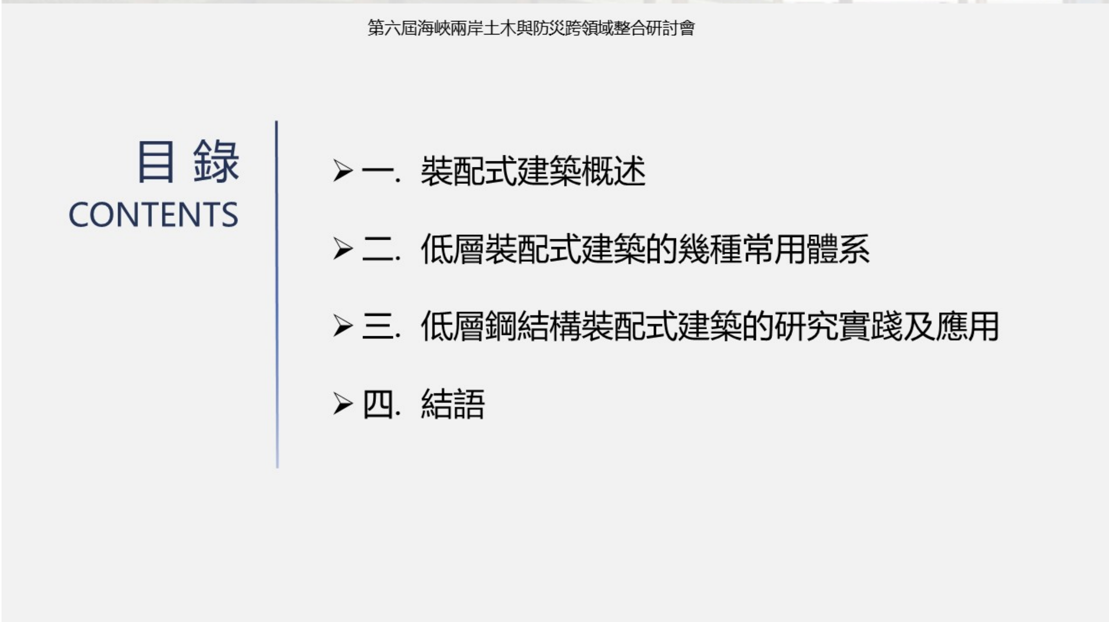
(3)“坡地安全快速展示”模組:架構在 GIS 平台，結合”巨觀環境”之 Open Data 資訊，混搭分析及呈現安全性以及相關資訊查詢。模組同時提供數個不同監測場址之基本專案資訊以及安全狀態。

(4) “峰峰相連到雲端”預計將結合其他資料以及資料分析成果，結合坡地災害或異狀之監測資訊，以提供不同之 B2G、B2B、B2B2C 等不同商業模式開發。

參考文獻

王淳讙、賴世屏，2016。“峰峰相連到雲端” - 坡地防災監測資訊整合及視覺化雲端平台，台北：經濟部工業局 105 年度「資料服務產業應用推動計畫—資料服務應用補助」，成果報告。

16th 低層鋼結構裝配式建築的體系組成及應用



01

裝配式建築概述

裝配式建築的定義
Assembled building

《裝配式鋼結構建築技術標準GB/T 51232》定義的 "***裝配式建築***"：結構系統、外圍護系統、設備與管線系統、內裝系統的主要部分採用預製部品部件集成的建築。

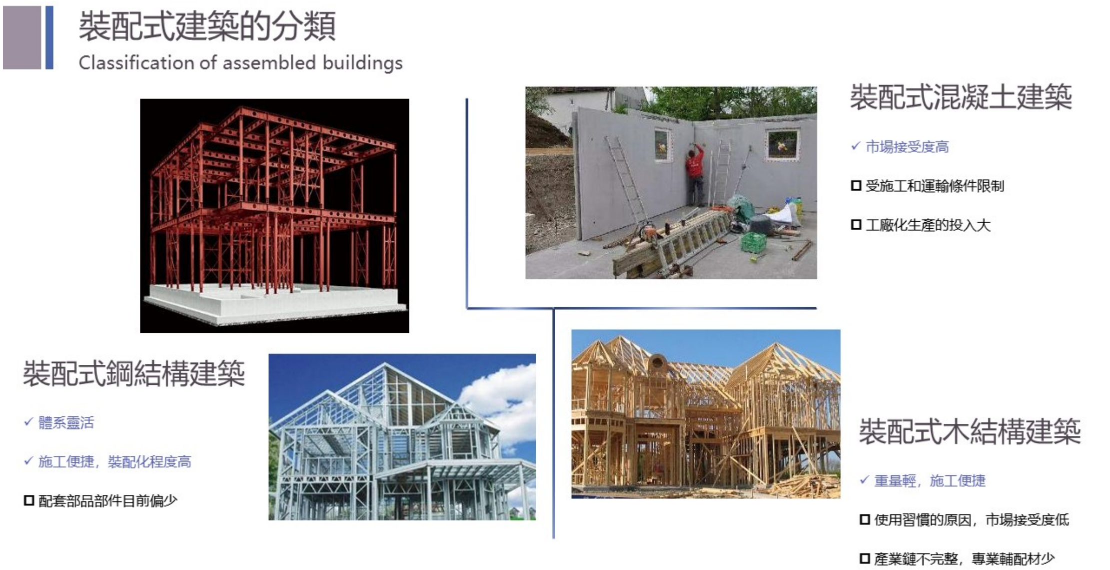
裝配式鋼結構建築：建築的結構系統由鋼部（構）件構成的裝配式建築。

標準化設計，工廠化生產，裝配化施工，一體化裝修，資訊化管理，智慧化應用。

關鍵字：***集成、協同、一體化。***

- 建築、結構、設備、裝修等專業互相配合。
- 設計、材料、生產、施工一體化。


裝配式建築的分類
Classification of assembled buildings
低層裝配式建築
非常適合中小企業
在資金和技術上，中小企業完全可以滿足低層裝配式建築技術研發、生產和專案實施的要求。
在市場上，低層建築數量多，項目分散，單個專案金額較低，中小企業更有靈活的優勢。
多高層裝配式建築
適合央企、國企、大型企業
體系設計、生產和施工中需要解決的技術問題多、工作量大、時間長。
專案的金額大，資金需求量大，基本上是央企、國企和大型企業的“禁臠”。
政府保障性住房項目為例，單個項目的金額往往在幾十億元。


裝配式建築的分類
Classification of assembled buildings
裝配式混凝土建築
✓ 市場接受度高
□ 受施工和運輸條件限制
□ 工廠化生產的投入大
裝配式鋼結構建築
✓ 體系靈活
✓ 施工便捷，裝配化程度高
□ 配套部品部件目前偏少
裝配式木結構建築
✓ 重量輕，施工便捷
□ 使用習慣的原因，市場接受度低
□ 產業鏈不完整，專業輔配材少

有利政策和廣闊前景

Favorable policy & Broad prospects

中央層面的推廣及政策

- 2016年2月6日中共中央《關於進一步加強城市規劃建設管理工作的若干意見》
- 2016年9月27日國務院辦公廳《關於大力發展裝配式建築的指導意見》
- 2027年2月24日國務院辦公廳《關於促進建築業持續健康發展的意見》

全國各地的政策支持

- 全國31個省市，都出臺了相應的政策，推廣裝配式建築
- 每個省份有4~5個重點推廣城市，有詳細的推廣目標和配套政策
- 有硬性指標要求：到2020年，裝配式建築占新建建築的30%

經濟補助

- 不超過3%的容積率獎勵
- 每平方米補貼100元，單個項目最高補貼1000萬元
- 按比例退還牆改基金，返退散裝水泥基金

2013-2017年城鎮住房竣工面積（單位：億㎡）

年份	住房竣工面積（不含農戶）	農戶住房竣工面積
2013	9.9	8.6
2014	10.1	8.4
2015	9.3	7.9
2016	9.1	7.3
2017	9.1	7.1

注：2017年統計局資料暫未公佈，由2011-2016年的平均增長率估算而來。資料來源：國家統計局，如是金融研究院

低層裝配式建築的廣闊市場

Broad market of low-rise assembled buildings

中國現在不缺房子，但是缺有品質的好房子！

企業項目

- ✓ 度假、文化旅遊
- ✓ 健康、養老
- ✓ 新農村建設

個人自建房

- ✓ 打工回鄉建房
- ✓ 農村自建房

政府專案

- 異地搬遷
- 精准扶貧

海外項目

- 東南亞
- 一帶一路

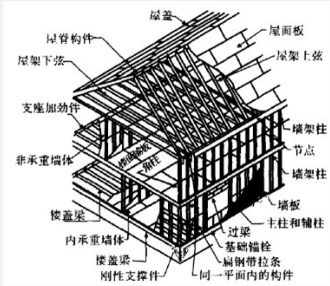

國內裝配式建築的現狀
Present situation of assembled buildings in China
國內現有低層住宅並無品質可言
目前國記憶體量最大、新建數量最多的低層住宅仍為農民自建房。
外觀老化嚴重，
使用壽命短
舒適性差
功能性差
居住品質
自住房
炒房
機遇與挑戰
國內房產市場正在經歷劇烈轉變，國民買房及居住理念
轉變或成為市場的決定性因素
行業內企業及其產品的現狀
大家都才剛起步！
• 做低層裝配式房屋的企業很多，大部分是最近幾年新成立的。
• 不少裝配式企業不以實在的建築產品來生存，而是以其他的方式生存（如圈地、資本運作、賣部品部件）。
• 現有裝配式建築的施工和傳統的建築施工方式差別不大。
• 工廠化生產程度低。
• 機械化程度低。
• 施工中人工作業多。
• 距離集成化、一體化較遠。


國外裝配式建築的發展及現狀
Development & present situation of assembled buildings abroad
低層裝配式建築是一種趨勢，
國外建築的現在就是我們的將來。
日本的發展歷程：
追求數量→數量與品質並重→多方面綜合發展
生產
運輸
安裝
德國
日本

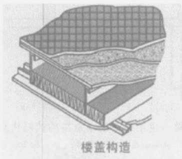

02
低層裝配式建築的幾種常用體系

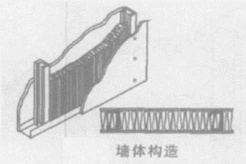
冷彎薄壁結構

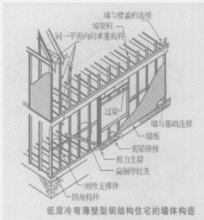
- 冷彎薄壁型鋼結構體系是由木結構演變而來的一種輕型鋼結構體系，如右圖。
- 冷彎薄壁型鋼結構住宅主要由牆體、樓蓋、屋蓋及圍護結構組成。
- 樓蓋結構由間距400mm或600mm的樓蓋梁、樓面板和吊頂組成。
- 牆體結構由間距400mm或600mm的牆架柱、雙面結構板材或裝飾石膏板、拉條等組成。
- 是一種複合板結構體系或板肋結構體系，結構中考慮面板的“蒙皮效應”。



低層冷彎薄壁型鋼結構住宅的構造

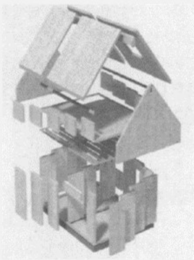






裝配式大板結構（板式結構）

- ✓ 用預製混凝土或其他材料的牆板和樓板拼裝成的房屋結構，是一種工業化程度較高建築結構體系。
- ✓ 主要優點是可以進行商品化生產，現場施工效率高，勞動強度低，結構強度與變形能力均比混合結構好。
- 但造價較高，需用大型的運輸吊裝機械，平面佈置不夠靈活。
- 裝配式大板結構的聯結構造是房屋能否充分發揮強度、保證必要的剛度和空間整體性能的關鍵。


SIP（Structural Insulated Panels）板式結構
SIP板是由 2 層OSB（歐松板）等為面板
和 1 層保溫芯板疊合而成的複合板材。

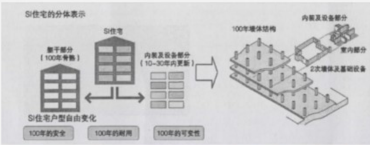

鋼筋混凝土板式結構


木結構板式結構

樑柱+板體系

SI住宅體系：建造過程中骨架體與內裝體完全分離的一種住宅形式。
S（Skeleton）即骨架體（支撐體），I（Infill）即填充體（內裝體）。

SI住宅體系示意圖



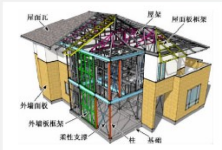
框架結構體系：

- 柱、梁形成承重框架
- 再擱置樓板和內外牆板

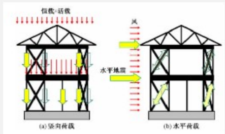
分層裝配式支撐鋼結構工業化建築體系：

- 分為結構體系、外裝圍護體系、內裝設備體系 3 部分
- 結構體系包括支撐鋼框架系統和樓蓋系統
- 在樑柱節點處保持梁通長、柱分層
- 主要依靠柱間交叉柔性支撐抵抗水準力，屬於支撐式鋼結構

結構體系構成示意圖



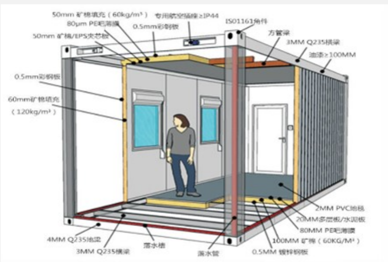
結構主要傳力路徑



集裝箱組合結構（盒式結構、組合結構）

集裝箱建築：是建築領域年輕的分支之一，採用ISO標準集裝箱，可以像積木一樣組合成各種形式的建築。

- ✓ 工廠化程度很高。在工廠完成結構、設備和內部裝修，甚至是傢俱
- ✓ 現場安裝快
- 生產投資較大，運輸條件要求高，需要大型吊裝設備



03

低層鋼結構裝配式建築的研究實踐及應用

3.1 現行設計規範中與低層鋼結構裝配式建築相關內容的梳理

3.1.1 國外的結構體系成熟，是否可以直接引入國內使用？——NO!

- 國外的結構體系在國內無相應的設計規範。
- 國內產業鏈不齊全，主要部品部件的生產精度、品質相差較遠。
- 幅員遼闊，各地的材料、生產、施工條件、人員專業水準等差異較大。

3.1.2 國內低層建築可以分為兩類：

- 滿足設計規範要求的低層建築，主要是低層別墅。滿足建設程式，有設計施工圖、圖審的建築，注重建築功能，對造價不敏感。
- 農村自建房。重點是要求價格便宜，幾乎無建築功能的要求。

滿足設計規範要求的低層建築

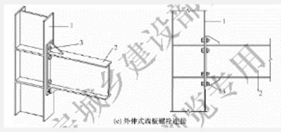
農村自建房

有關鋼結構的設計規範（主要的）：

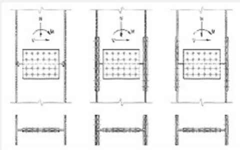
- 鋼結構設計規範 GB 50017-2017
- 高層民用建築鋼結構技術規程 JGJ99-2015
- 高層建築鋼-混凝土混合結構設計規程 CECS 230-2008
- 裝配式鋼結構建築技術標準 GB 51232-2016
- 冷彎薄壁型鋼結構技術規範 GB 50018-2002
- 門式剛架輕型房屋鋼結構技術規範 GB 51022-2015
- 端板式半剛性連接鋼結構技術規程 CECS 260-2009
- 輕型鋼結構住宅技術規程 JGJ209-2010

3.1.3 結構體系及樑柱連接方式:

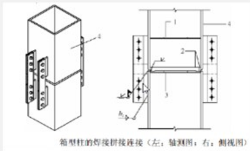
- 鋼結構規範3.2.7條：框架結構樑柱連接有剛性連接、鉸接連接、半剛性連接。
- 高層民用建築鋼結構技術規程8.4.6條：箱形柱在工地的接頭應全部採用焊接。
- 裝配式鋼結構建築技術標準5.2.13條：樑柱連接可採用翼緣焊接腹板栓接或全焊接連接形式（注：需要現場焊接！）；當有可靠依據時，也可採用端板螺栓連接的形式。
- 輕型鋼結構住宅技術規程5.4.6和5.4.7條：給出了鋼管柱與H型鋼樑的剛性連接的做法。



鋼柱的連接方式



H型鋼： (1) 焊接　(2) 螺栓連接　(3) 栓焊連接



矩管（箱型鋼柱）只有一種連接方式：焊接

3.1.4 樓板的類型:

- 壓型鋼板組合樓板、鋼筋桁架樓承板
- 預製混凝土疊合板、預製預應力空心板
- 條板樓面
- 現澆混凝土樓板（現場濕作業，和裝配式施工不匹配）

3.1.5 外牆板的類型:

- 條板（整體預製、複合夾芯條板）
- 大板
- 現場組裝大板外牆
- 玻璃幕牆

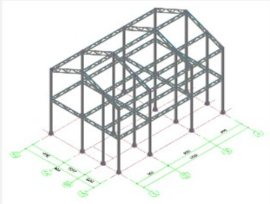
小結——國內現行有關鋼結構的規範的不足:

- 主要是針對多高層、廠房等結構，較少針對低層鋼結構建築。
- 針對傳統的施工方法，沒有考慮裝配式施工的需要。裝配式建築規範中，與裝配式施工有關的實質內容較少。

3.2 低層鋼結構裝配式建築設計主要荷載及其影響的分析

幾種主要荷載：（以四川省為例）

- 樓板、屋面板的自重。
- 牆板自重。
- 風荷載。
- 地震作用。

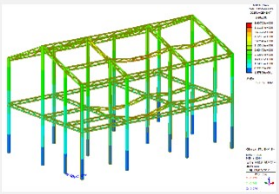


結論：

在低層鋼結構裝配式建築中，使用輕質樓板和牆板時：

- 1. 在抗震設防烈度8度及以下地區，地震作用對主體結構的受力無影響。
- 2. 抗震設防烈度提高到9度，僅少數構件應力增大，需要加大構件截面。
- 3. 風荷載對結構側向位移的影響較地震作用大。

當採用自重較大的材料時，地震作用對結構的影響則不能忽視。



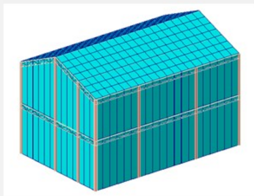
3.3 不同牆板材料、類型對主體結構受力的影響分析

計算模型中考慮牆板的剛度，計算結果表明：

1. 牆板的剛度對結構剛度的影響較明顯。
2. 不同的牆板厚度（剛度不同）的計算結果表明，較小的牆板厚度即可讓結構計算結果滿足規範要求。
3. 計算中未考慮牆板和主體結構的連接方式帶來的影響。

不同牆板厚度的計算結果表

序號	牆板厚度（mm）	最大水準位移（mm）	最大水準位移（mm）	鋼柱最大應力比	鋼樑最大應力比
1	0	4.9	26.4	0.84	0.86
2	10	4.2	3.1	0.30	0.81
3	20	4	1.7	0.20	0.81
4	50	3.7	0.8	0.18	0.81
5	100	3.4	0.7	0.14	0.82



帶有牆體的結構計算模型

鋼框架+牆板實際結構組成

3.4 低層鋼結構裝配式建築的設計及工程應用實踐

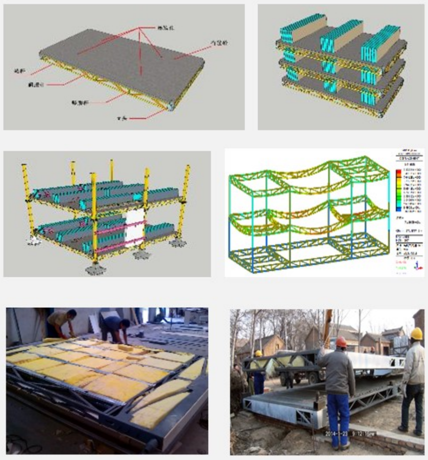
3.4.1滿足現行設計規範的結構體系及圍護結構的選擇——*四川省地方圖集的編制*

結構體系及主要部件比選表

序號	項目	比選的方案	選擇
1	結構體系鋼框架樑柱節點	剛接	
		半剛接	
		鉸接	√（取不利結果）
2	樓板、屋面板	疊合板+現澆混凝土面層	
		鋼筋桁架樓承板	√
		現澆混凝土樓板	
3	內牆（條板）	蒸壓加氣混凝土板（ALC）	√
		改性石膏板	
		聚苯顆粒保溫一體板	
4	外牆（條板）	蒸壓加氣混凝土板（ALC）	√
		灰渣水泥預製板	
		聚苯顆粒保溫一體板	

沙盤模型；施工過程；完工後外觀效果

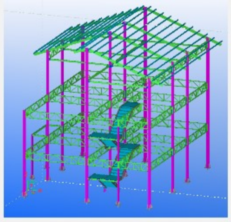
3.4.2 一體式樓板的設計

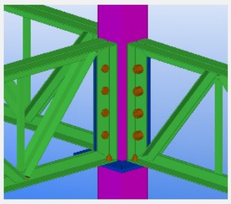


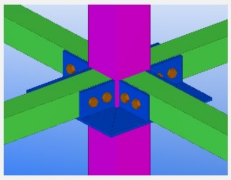
桁架-壓型鋼板-發泡混凝土組合一體式樓板：

- 梁板一體，四周為桁架式主樑。
- 面層板自上而下：發泡混凝土、鋼筋網片、冷彎型鋼板。
- 板四角設置W型連接件，用於與鋼柱連接。

3.4.3 鋼樑與鋼柱的連接方式的改進







為了避免現場焊接，採用全螺栓連接的半剛性樑柱節點：

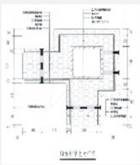
- 分別採用不同的節點剛度值，進行結構分析。
- 節點的剛度對整體結構的計算結果影響不大。
- 實際工程施工結果表明，全螺栓連接的節點，施工速度快，連接效果良好。

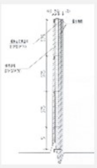
不同連接節點剛度下結構計算結果表

序號	節點剛度比值	最大水準位移（mm）	最大水準位移（mm）	鋼柱最大應力比	鋼樑最大應力比
1	0	4.2	4.4	0.30	0.81
2	0.2	4.2	3.1	0.30	0.81
3	0.5	4.1	2.5	0.30	0.81
4	1	4.1	2.3	0.30	0.81

3.4.4 牆板的組成及生產的改進

- 採用新型夾芯保溫一體板的構造組成。
- 牆板生產時預埋管線，減少現場開槽作業。
- 牆板生產時預埋牆板與主體結構的連接件，加快安裝速度。
- 牆板的強度性能試驗。





牆板設計圖、生產及試驗

項目的安裝及完工後建築效果

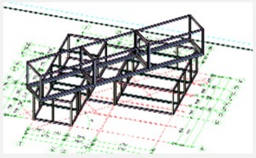
3.4.5 創意型組合房屋的結構組成

一、採用帶託盤的結構連接方式，實現不同模組之間任意方式的組合

- 本項目有三個不同組團，使用功能不同，包含辦公室、商業建築、展示空間等。
- 相比集裝箱建築，承受的荷載更大；建築保溫、隔音等效果更好。

二、通過不同尺寸的模組之間的組合，形成大空間

- 採用三種不同尺寸的基本模組，通過不同的組合方式，實現大空間。
- 本項目的最大平面尺寸：4.5x12m，6x10m。
- 如有需要，可以任意擴展至更大的尺寸。




大空間拓展示意

室內大空間效果

3.5 工程實踐中有待研究的一些技術問題

螺旋地樁作為建築的基礎：

- 一種熱鍛後的金屬管表面焊接纏繞螺旋葉片的管樁。
- 廣泛應用於光伏工程。用於建築結構中尚無規範。


傳統木結構的柱腳做法：

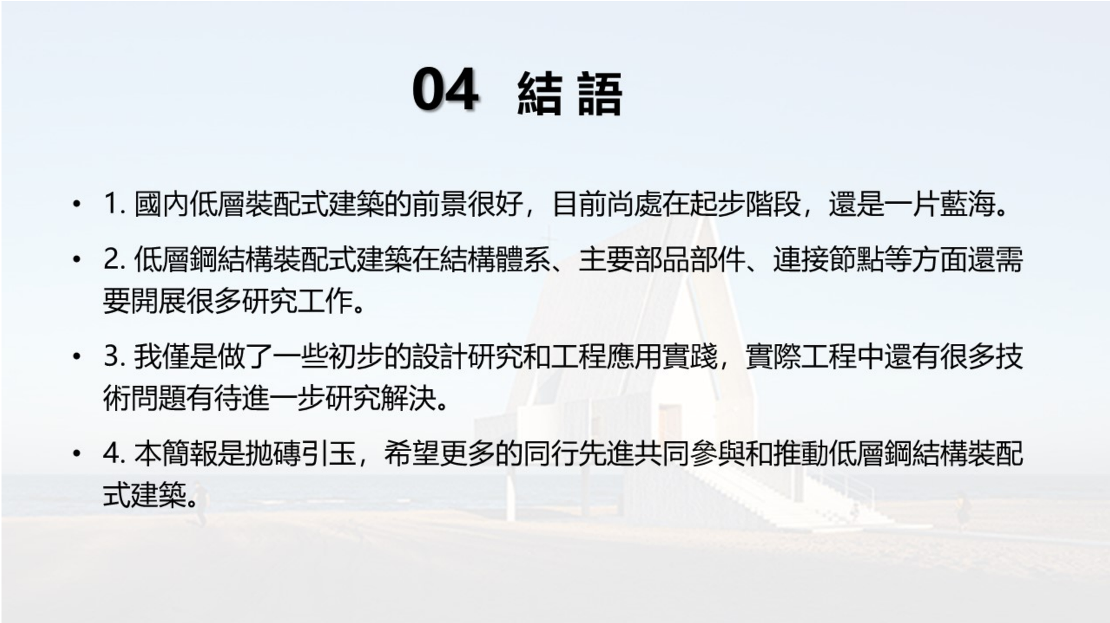
- 平擺浮擱式柱腳，尚無規範。


組合房屋的連接：

- 組合房屋各單元之間的連接，尚無規範。

不同材料的條板對結構剛度的貢獻：

- 輕型鋼結構住宅設計規範5.1.3條：輕型鋼結構住宅框架結構體系，宜利用輕質牆體側向剛度對整體結構抗側移的作用，牆體的側向剛度由試驗確定。


04 結語
• 1. 國內低層裝配式建築的前景很好，目前尚處在起步階段，還是一片藍海。
• 2. 低層鋼結構裝配式建築在結構體系、主要部品部件、連接節點等方面還需要開展很多研究工作。
• 3. 我僅是做了一些初步的設計研究和工程應用實踐，實際工程中還有很多技術問題有待進一步研究解決。
• 4. 本簡報是拋磚引玉，希望更多的同行先進共同參與和推動低層鋼結構裝配式建築。


謝 謝!
THANK YOU

17th 卜作嵐材料對水泥基材孔隙結構與抗氯離子滲透能力影響之研究

卜作嵐材料對水泥基材孔隙結構與抗氯離子滲透能力影響之研究

Effect of Pozzolans on the Pore Structure and Resistance to Chloride Penetration of Cement-based Materials

徐輝明 [1] 趙紹錚 [2] 鄭安 [3] 林威廷 [4] 張凱勛 [5]

[1]國立宜蘭大學土木工程學系 教授
[2]國立宜蘭大學土木工程學系 教授
[3]國立宜蘭大學土木工程學系 教授
[4]國立宜蘭大學土木工程學系 副教授
[5]國立宜蘭大學土木工程學系 研究生

摘要

混凝土屬多孔性複合材料，內部結構部分孔隙是經由水化反應後，其水化產物之氫氧化鈣溶解於水所產生，故外在有害物質可藉由氣體或水溶液侵入破壞內部結構，導致於縮短混凝土使用壽命，甚至造成鋼筋腐蝕及耐久性不佳等問題。為改善混凝土孔隙結構，可於新拌混凝土中添加卜作嵐材料，與水泥之水化產物進行二次水化反應，以減少混凝土內部孔隙體積及提高緻密性，降低外在有害物質之侵入。本研究以飛灰、爐石、矽灰三種卜作嵐材料取代部份水泥用量，水膠比設定為 0.4 及 0.6，取代水泥用量分別為 0%、10%、20%、30%，並添加強塑劑控制其工作性。本研究利用抗氯離子滲透及壓汞孔隙試驗，評估各卜作嵐材料對水泥基材孔隙之影響，試驗結果顯示當以爐石取代水泥用量 30%時，其具最緻密效果及抗氯離子滲透能力，孔隙結構與卜作嵐材料取代水泥比例有關，善用卜作嵐材料的特性將有效改善水泥基材之耐久性，並有助於提升綠色營建及永續發展。

關鍵字：卜作嵐、氯離子、壓汞孔隙試驗

Effect of Pozzolans on the Pore Structure and Resistance to Chloride Penetration of Cement-based Materials

Hui-Mi Hsu[1] Sao-Jeng Chao[2] An Cheng[3] Wei-Ting Lin[4] Kai-Hsun Chang[5]

[1] Department of Civil Engineering, National Yilan University, Yilan 260, Taiwan

[2] Department of Civil Engineering, National Yilan University, Yilan 260, Taiwan

[3] Department of Civil Engineering, National Yilan University, Yilan 260, Taiwan

[4] Department of Civil Engineering, National Yilan University, Yilan 260, Taiwan

[5] Department of Civil Engineering, National Yilan University, Yilan 260, Taiwan

Abstract

The present research aimed to study the effect of natural pozzolans on the chloride permeability and pore structure of mortars. Ordinary Portland cement was used and three mortars preparations were made by incorporating natural pozzolans (fly ash, slag and silica fume) at a rate of 10, 20 and 30% by weight of Ordinary Portland cement. The pore structure and the charge passed of cement-based materials were measured with the mercury intrusion porosimetry (MIP) method and the rapid chloride permeability test (RCPT), respectively. The results obtained indicate that, substituting slag for Ordinary Portland cement with a level 30% gives highest strength and densest pore structure comparable to those obtained with Ordinary Portland cement alone. It is concluded that natural pozzolans in mortars significantly reduces pore structure depending on the cement replacement level, thus promoting green construction and sustainable development.

Key words: Pozzolanic Material, Resistance to chloride penetration, Mercury injection pores

一、 前言

1995 年 ACI 318-95 規範與 ASTM C618-12[1]對卜作嵐材料定義相關之說明表示出混凝土中可容許添加飛灰及矽灰等卜作嵐材料 (Pozzolans)，並與水泥視為膠結材料(Cementitious material)。一般而言，卜作嵐材料可以提高混凝土的緻密性、降低水化熱、減少試體內部孔隙、改善工作性、提高抗壓強度及耐久性等，其因為藉由消耗水泥水化反應產物中之鹼性物質，包括氫氧化鈉、氫氧化鉀、 氫氧化鈣等，其功能為有效抑制硫酸根離子及活性粒料反應，亦可作為惰性材料，填補混凝土中之孔隙。現今，卜作嵐材料之利用在水泥產業上佔了相當重要之位置，其經由工業生產後提煉出並將其再回歸利用於營建業上，有效取代部份之水泥用量，提升混凝土之性能，延長混凝土結構物之生命週期。卜作嵐材料在與水泥中之鹼性物質發生卜作嵐反應後，可直接消耗易溶於水的氫氧化鈣，並生成 C-S-H 膠體，用以混凝土填充孔隙，進而增加其緻密程度，反應出卜作嵐材料具有增進混凝土之耐久性有正面的效益。

水泥砂漿作為典型之多孔性複合材料，所含之孔隙尺寸及形狀不盡相同，且零散分佈於水泥砂漿內，因其為影響離子傳輸速率之要素，在孔隙結構研究上，針對孔隙尺寸大小又細分為搗實孔隙(Compaction Pore)、輸氣孔隙(Entrained Air)、毛細孔隙(Capillary Pore)、膠體孔隙(Gel Pore)[10]，其表面具有傳輸離子之能力，與大氣接觸下，毛細孔隙的接觸角偏小時，空氣中之水份易由水泥砂漿表面沿毛細孔隙向內部侵入，傳輸之同時，外界有害物質亦以水份作為介質傳輸進入水泥砂漿中，影響其硬固、耐久性，根據文獻[2]，水泥砂漿傳輸過程中，較為重要元素包含靜水壓力下水的傳輸、毛細現象產生之水的傳輸、濃度梯度造成的離子擴散及藉由水份之移動之離子傳輸等，這些傳輸特性主要依孔隙結構而所產生，因此孔隙尺寸、體積及連通性的特徵將可影響到整體之傳輸性能，而依據 Neville[3]文獻所示，以 100nm 為一分界點，100nm 以下之膠體孔隙(Gel Porosity)主要與抗率離子能力相關，反之，抗壓強度與孔隙結構之關係主要是在毛細孔隙間(Capillary Porosity)，據上述文獻，探討卜作嵐材料於水泥基材孔隙結構之抗氯離子能力及抗壓強度相關性為本研究之要點，盼藉此成果延伸運用於實際工程上。

二、　試驗計畫

本研究經訂定目標，相關文獻之蒐集與探討後，以水泥砂漿作為探討耐久、微觀性質試驗，將水灰比 0.4、0.6，分別以飛灰、爐石、矽灰三種卜作嵐材料取代水泥重量(0%、10%、20%、30%)，其比重分別為 2.3、2.9 及 2.1，並將試驗齡期設定為 28 及 56 天。表 1 與 2 為試驗設計變數及配比設計表。

表 1　試驗變數

水膠比	0.4、0.6		
卜作嵐材料	飛灰	爐石	矽灰
取代水泥量(%)	0、10、20、30	0、10、20、30	0、10、20、30
養護條件	飽和石灰水養護		

表 2　水泥砂漿之配比設計比例

編號	水	水泥	砂	飛灰	爐石	矽灰
4OPM	0.4	1	2.75	0	0	0
4F10		0.9		0.1	0	0
4F20		0.8		0.2	0	0
4F30		0.7		0.3	0	0
4G10		0.9		0	0.1	0
4G20		0.8		0	0.2	0
4G30		0.7		0	0.3	0
4S10		0.9		0	0	0.1
4S20		0.8		0	0	0.2
4S30		0.7		0	0	0.3
6OPM	0.6	1		0	0	0
6F10		0.9		0.1	0	0
6F20		0.8		0.2	0	0
6F30		0.7		0.3	0	0
6G10		0.9		0	0.1	0
6G20		0.8		0	0.2	0
6G30		0.7		0	0.3	0
6S10		0.9		0	0	0.1
6S20		0.8		0	0	0.2
6S30		0.7		0	0	0.3

對於水泥砂漿編號之設定說明其第一碼為表示水泥砂漿之水灰比，第二碼表示為所取代水泥之卜作嵐材料，飛灰、爐石及矽灰依序設定為 F、G 及 S，第三、四

碼為取代水泥之用量 10%、20%及 30%，將控制因子組獨立出第一碼與上述組別相同，從第一碼之後設定為 OPM。

三、 試驗材料

本研究主要採用矽灰、飛灰、爐石作為卜作嵐添加材於水泥砂漿中，下列為材料相關所示：

1 矽灰

矽灰是在電弧爐中矽金屬與鐵合金生產過程之廢棄物，因其表面積較大，與氫氧化鈣接觸後，卜作嵐反應尤為良好，反之，亦因其吸水性高，導致工作性下降。依據李金來[9]與 M.Rostami[4]等人之研究成果，矽灰在取代 10%水泥用量時，其抗壓強度、抗氯離子能力有明顯上升。

2 飛灰

灰為火力發電廠在燃煤中之工業附加產物，其顆粒呈玻璃質或非結晶質，與氫氧化鈣行卜作嵐反應生成矽酸鈣、鋁酸鈣或細鋁酸鈣[5]，另可分為低鈣飛灰(F 級)與高鈣飛灰(C 級)，據研究[6][7]F 級飛灰會於拌合後一週進行卜作嵐反應，其因混凝土試體中 PH 值需達 13.2 時，飛灰中之玻璃質混合物破壞，才行卜作嵐反應；C 級飛灰因其高鈣特性，分離出之鈣離子與 F 級飛灰相比下相對之多，行卜作嵐反應較 F 級早，與強塑劑之結合亦較 F 級飛灰優異。

3 爐石

爐石為煉鋼廠煉鋼時之附加產物，組成成份以氧化矽、氧化鋁及氧化鐵為主，依文獻[8][11]可基本歸類成氣冷高爐石與水淬高爐石，其中因水淬高爐石是以噴水方式急遽降溫冷卻，其內部玻璃質高達 95%且結構排列紊亂，導致活性增加，利於行卜作嵐反應；氣冷高爐石則採靜置降溫，使其有時間完成結晶過程，內部構造較水淬高爐石穩固，活性不佳之狀態下，卜作嵐反應亦為不佳。

四、 結果討論

1 硬固性質試驗

(1) 抗壓強度試驗

抗壓強度試驗為材料試驗最重要之指標，以強度數據將可發現不同卜作嵐材料取代部份水泥用量下，其抗壓強度值結果由圖 1 及 2 搭配表 3 及表 4 所示，可以比較 0.4 及 0.6 水膠比下各齡期之抗壓強度，從中可以得出在低水膠比下，其所有試驗組之抗壓強度值皆大於高水膠比之抗壓強度；在同水膠比下，各卜作嵐材料之間作對比，可推論出爐石在各齡期下，有較佳之抗壓強度，其早期抗壓強度值大於矽

灰，此部份推論在拌合過程中，因矽灰之材料特性，導致試體孔隙較另兩種卜作嵐材料多；在同水膠比且同一卜作嵐材料下，不同比例之取代水泥用量亦可比較其差異，以爐石作為較佳之卜作嵐添加材下，其取代水泥用量在 30%時，其抗壓強度最為優異，綜合上述，可推論出低水膠比下，以爐石 30%取代水泥用量作為卜作嵐添加材尤佳。

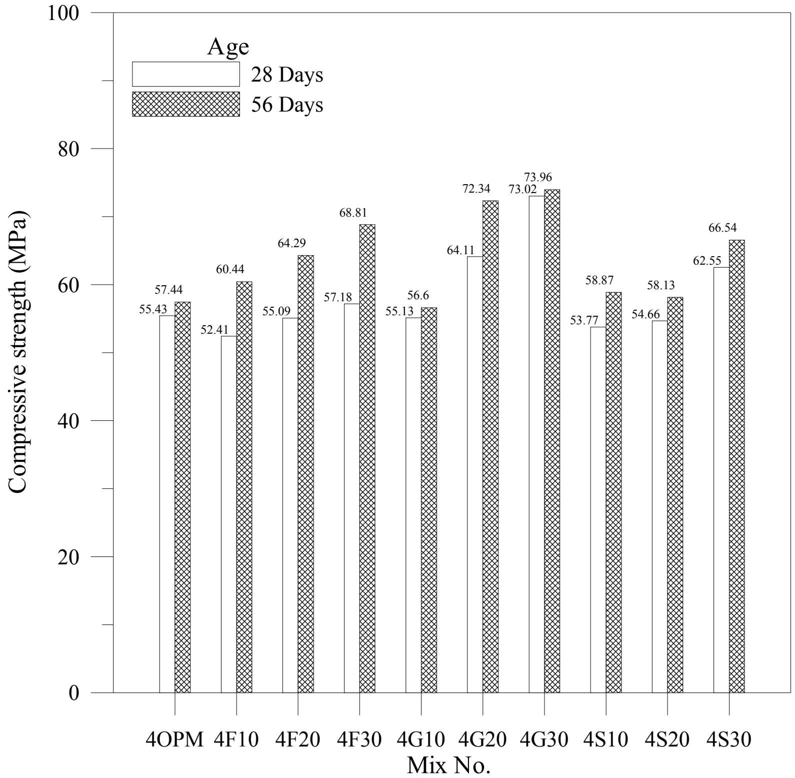


圖1　水泥砂漿之抗壓強度(w/b=0.4)

表 3　水泥砂漿之砂漿抗壓強度（w/b=0.4，單位：MPa)

Age(days) / Mix No.	28	56
4OPM	57.44	66.43
4F10	60.44	60.89
4F20	64.29	65.53
4F30	68.81	72.11
4G10	56.6	57.75
4G20	72.34	72.55
4G30	73.96	76.55
4S10	58.87	62.1
4S20	58.13	63.57
4S30	66.54	71.91

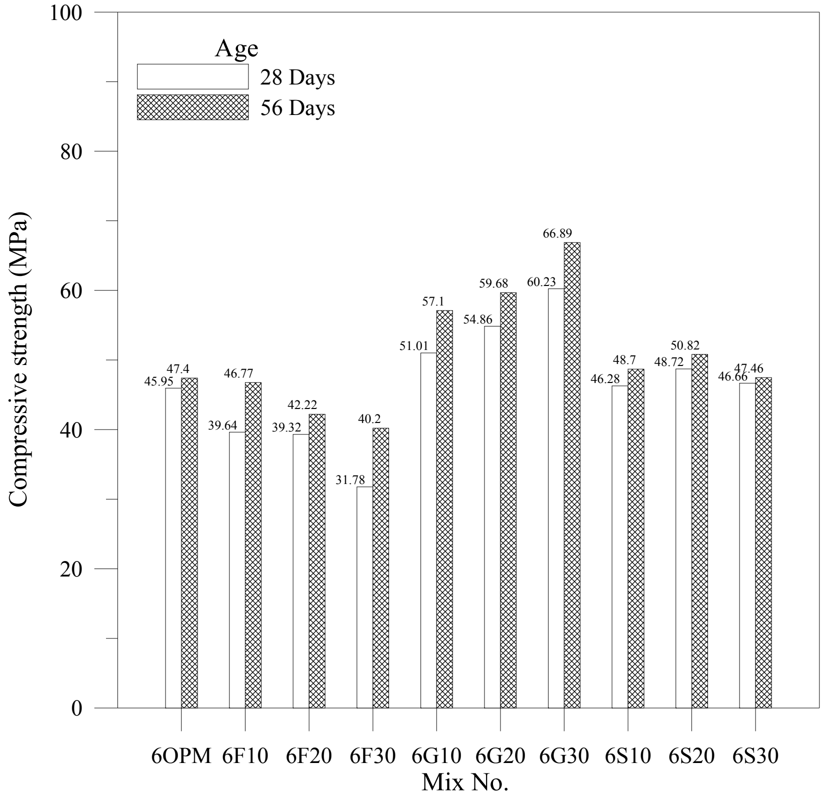


圖2　水泥砂漿之抗壓強度(w/b=0.6)

表 4　水泥砂漿之砂漿抗壓強度 (w/b=0.6，單位：MPa)

Age(days) / Mix No.	28	56
6OPM	47.4	49.77
6F10	46.77	53.64
6F20	42.22	49.24
6F30	40.2	41.75
6G10	57.1	59.1
6G20	59.68	60.81
6G30	66.89	67.36
6S10	48.7	52.09
6S20	50.82	55.38
6S30	47.46	56.37

2　耐久性質試驗

(1) 快速氯離子滲透試驗(RCPT)

本試驗依據 ASTM C1202 規定進行，以齡期 28 與 56 天(ϕ 10×5cm)之圓柱砂漿

試體進行，試驗結果對應規範中對 RCPT 試驗氯離子電荷通過量評估表(表 5)，圖 3、4 及表 6、表 7 分別為 0.4、0.6 水膠比之試驗結果。從試驗結果中得知，因以水泥砂漿進行試驗，其在試驗進行當中，因不符合規範試驗時間及規定溫度，導致某些試驗組別無法計算其累積電荷量，但卻可明顯對比出，低水膠比下，其抵抗率離子滲透能力優於高水膠比組別，而隨著試體齡期之增加，其抵抗率離子滲透能力亦增加，試驗組別當中，以爐石取代水泥用量組之累積總通過電荷量最低，以表 5 為參考，其在高低水膠比下，皆為低率離子滲透，此部份可推論出爐石作為卜作嵐添加材擁有較佳之填補孔隙效果，在依不同比例爐石取代水泥用量比較下，其在 30% 取代時，其抗氯離子滲透能力最佳。

表 5　ASTM C1202 之氯離子電荷通過量評估表

累積電荷量(Coulomb)	氯離子滲透率
>4000	高
2000-4000	中
1000-2000	低
100-1000	極低
<100	無

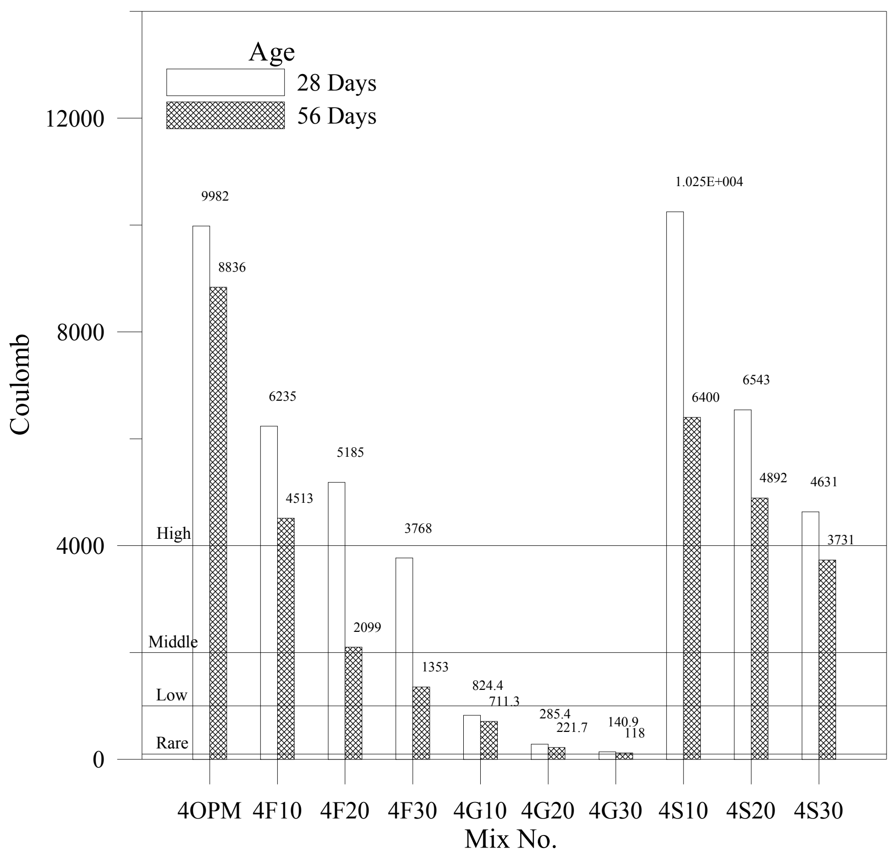


圖3　水泥砂漿之快速氯離子滲透率(w/b=0.4)

表 6　水泥砂漿之快速氯離子滲透率 (w/b=0.4，單位：Coulomb)

Age(days) / Mix No.	28	56
4OPM	9982	8836
4F10	6235	4513
4F20	5185	2099
4F30	3768	1353
4G10	824	711
4G20	285	222
4G30	141	118
4S10	10249	6400
4S20	6543	4892
4S30	4631	3731

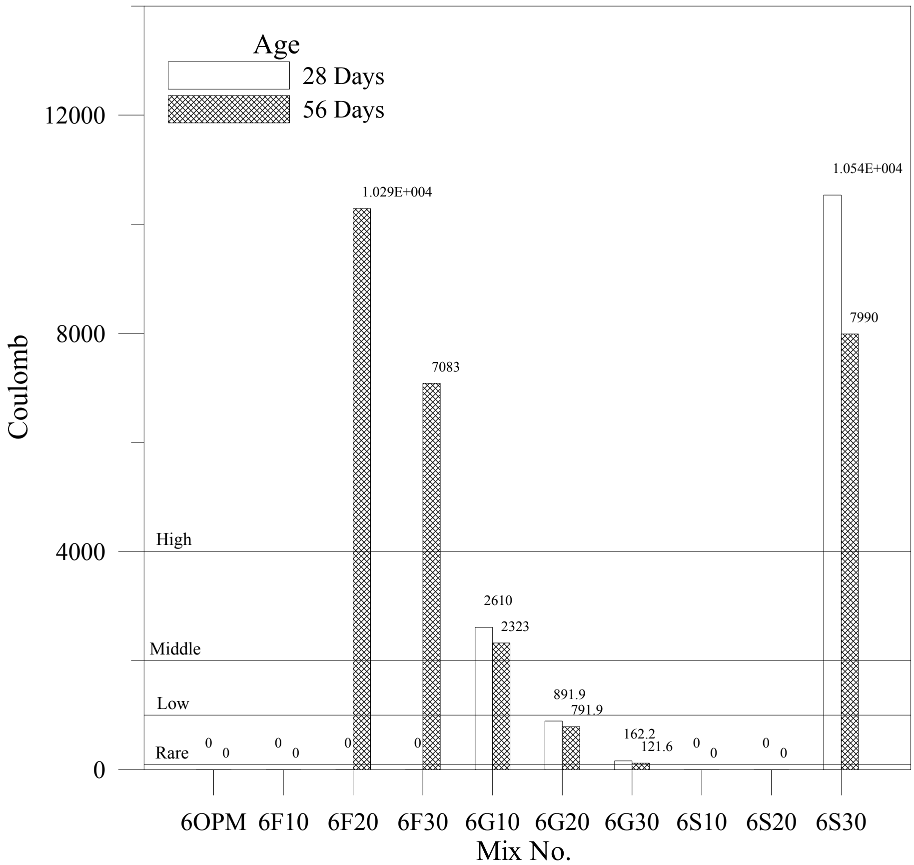


圖4　水泥砂漿之快速氯離子滲透率(w/b=0.6)

表 7　水泥砂漿之快速氯離子滲透率 (w/b=0.6，單位：Coulomb)

Age(days) / Mix No.	28	56
6OPM	--	--
6F10	--	--
6F20	--	10287
6F30	--	7083
6G10	2610	2323
6G20	892	792
6G30	162	122
6S10	--	--
6S20	--	--
6S30	10536	7990

3　微觀性質試驗

(1) 壓汞孔隙量測試驗(MIP)

依據 ASTM D4404 規範進行，以齡期 28 及 56 天之試體進行試驗，從試驗中可得知試體內部之孔隙分佈狀況，進一部計算出膠體孔隙(Gel Porosity)、毛細孔隙(Capillary Porosity)及總孔隙體積(Total Porosity)，其中總孔隙體積為試體單位重量內之孔隙體積，單位為 ml/g，是由膠體與毛細孔隙所阻成，膠體孔隙控制試體體積之穩定性與耐久性，其孔隙直徑<100nm，而毛細孔隙則為控制試體強度，其孔隙直徑>100nm。

以 0.4、0.6 水膠比，不同比例及種類之卜作嵐材料取代部份水泥用量，探討其總體積孔隙、膠體孔隙及毛細孔隙，進一步探討卜作嵐材料對水泥基質材料之影響。其試驗結果之 28 天孔隙關係如圖 5 與圖 6、孔隙分佈如圖 7 與圖 8、累積孔隙量如圖 9 與圖 10 搭配表 8 及表 9；56 天孔隙關係如圖 11 與圖 12、孔隙分佈如圖 13 與圖 14、累積孔隙量如圖 15 與圖 16 搭配表 10 及表 11，在低水膠比下，其壓汞孔隙量皆小於高水膠比組別，而隨著齡期得延長，其總孔隙體積亦隨之減少，在卜作嵐材料組別中，以 30%爐石取代水泥用量最為明顯，此部份推論為試體內部之 C-S-H 膠體完整填補孔隙所致，導致試體內部緻密性提升，綜合試驗之結果，可分析出在低水膠比下，30%爐石取代水泥用量，其試體之孔隙量最少。

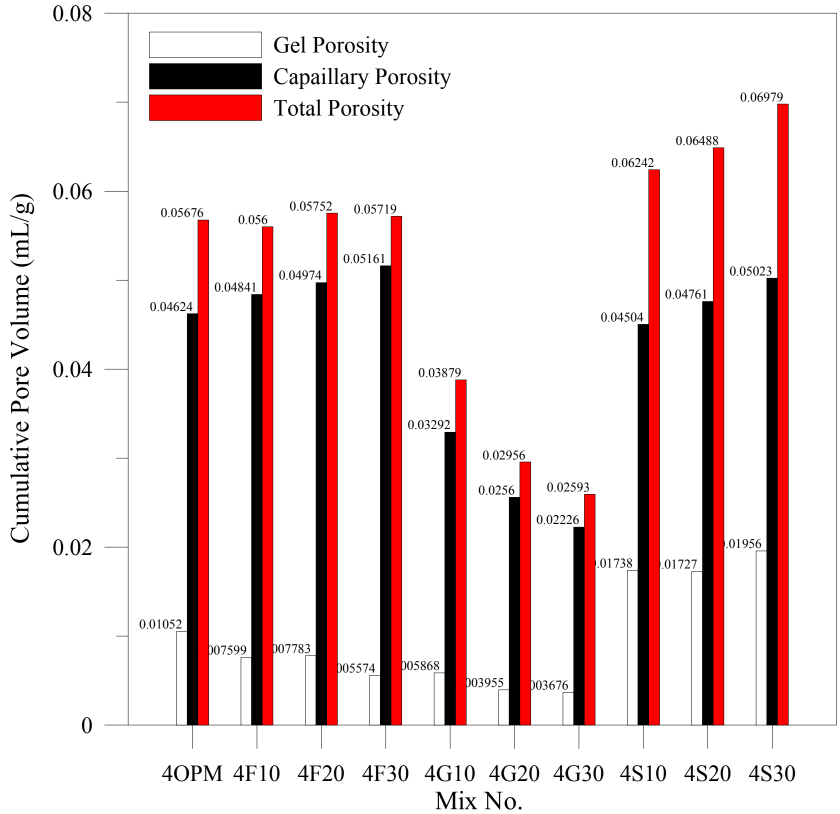


圖5　水泥砂漿之孔隙關係(28 Days，w/b=0.4)

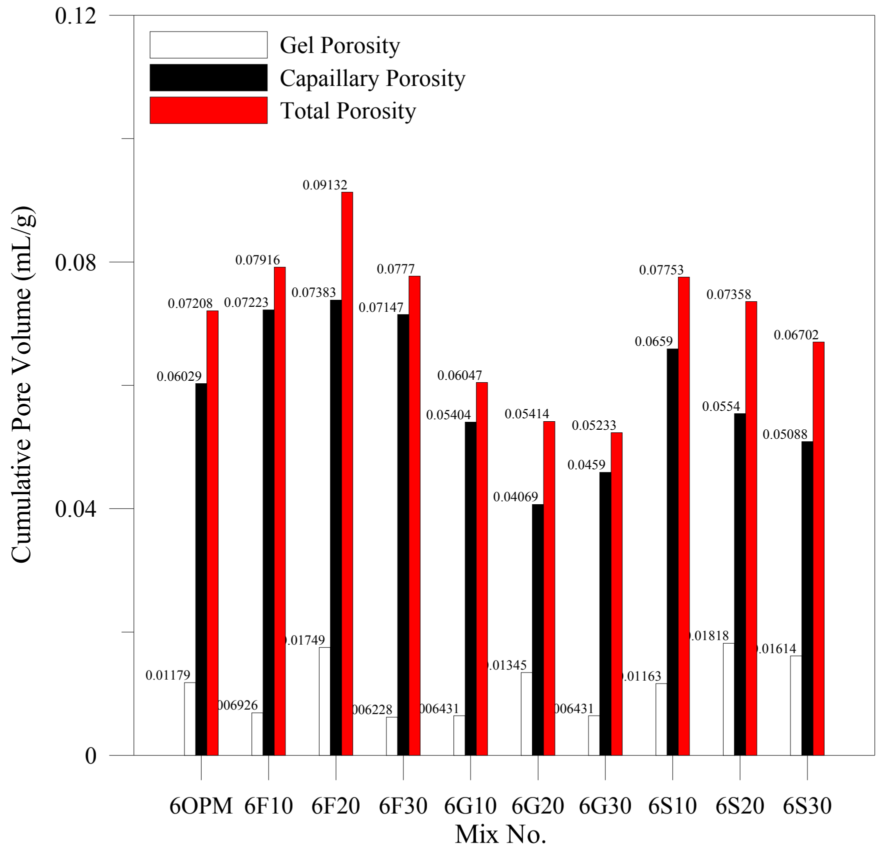


圖6　水泥砂漿之孔隙關係(28 Days，w/b=0.6)

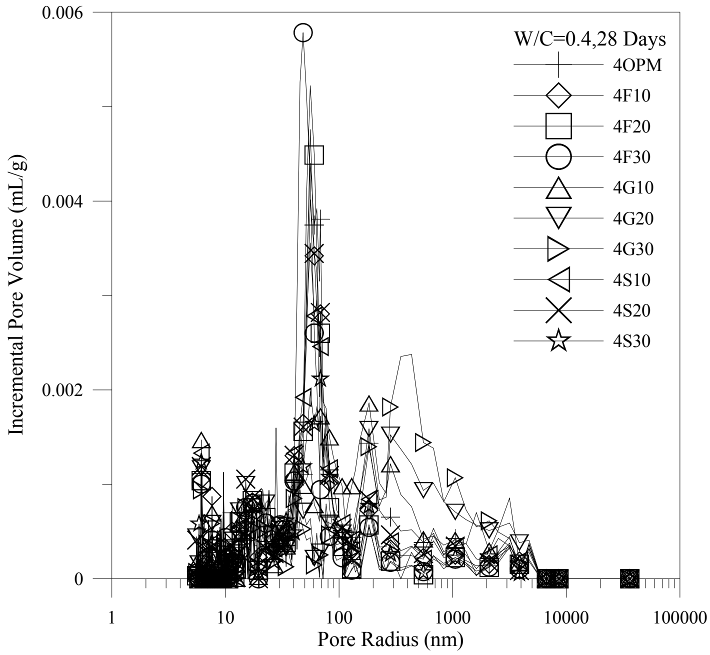


圖7　水泥砂漿之孔隙分佈(28 Days，w/b=0.4)

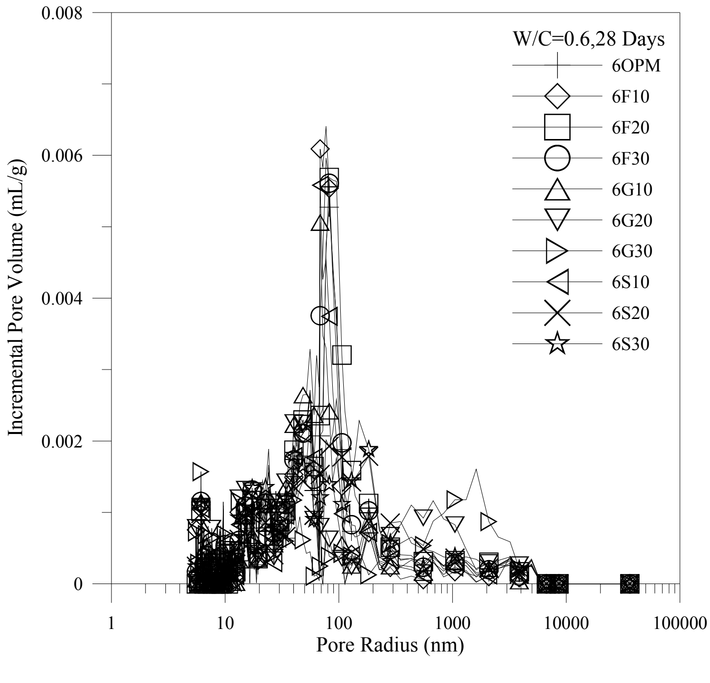


圖8　水泥砂漿之孔隙分佈(28 Days，w/b=0.6)

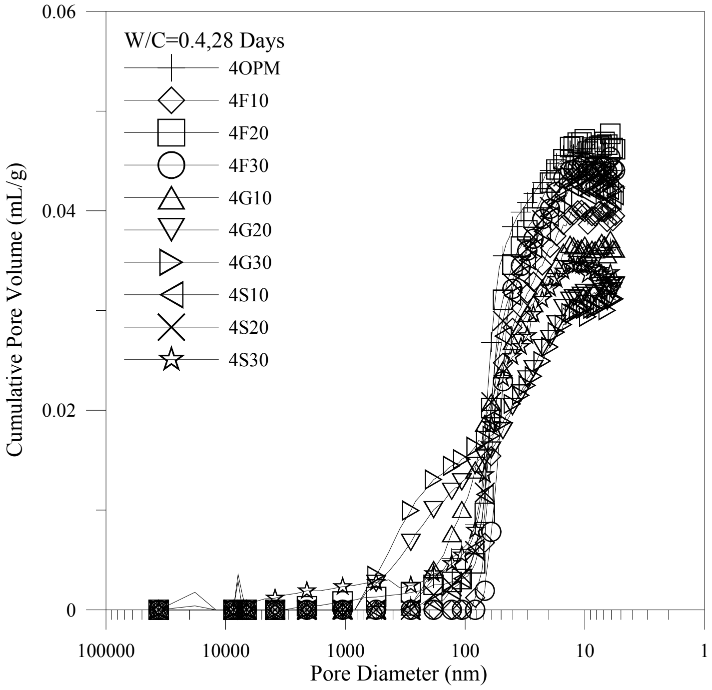


圖9　水泥砂漿之累積孔隙(28 Days，w/b=0.4)

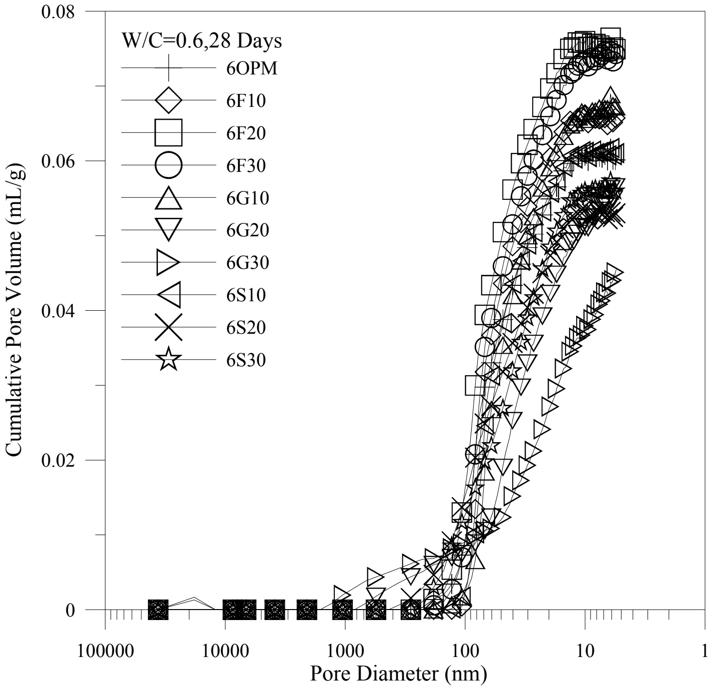


圖10　水泥砂漿之累積孔隙(28 Days，w/b=0.6)

表 8　水泥砂漿 28 天孔隙關係（w/b=0.4，單位：ml/g)

Mix No.	Gel Porosity	Capillary Porosity	Total Porosity
4OPM	0.0105	0.0462	0.0568
4F10	0.0076	0.0484	0.0560
4F20	0.0078	0.0497	0.0575
4F30	0.0056	0.0516	0.0572
4G10	0.0059	0.0329	0.0388
4G20	0.0040	0.0256	0.0296
4G30	0.0037	0.0223	0.0259
4S10	0.0174	0.0450	0.0624
4S20	0.0173	0.0476	0.0649
4S30	0.0196	0.0502	0.0698

表 9　水泥砂漿 28 天孔隙關係（w/b=0.6，單位：ml/g)

Mix No.	Gel Porosity	Capillary Porosity	Total Porosity
6OPM	0.0118	0.0603	0.0721
6F10	0.0069	0.0722	0.0792
6F20	0.0175	0.0738	0.0913
6F30	0.0062	0.0715	0.0777
6G10	0.0064	0.0540	0.0605
6G20	0.0134	0.0407	0.0541
6G30	0.0064	0.0459	0.0523
6S10	0.0116	0.0659	0.0775
6S20	0.0182	0.0554	0.0736
6S30	0.0161	0.0509	0.0670

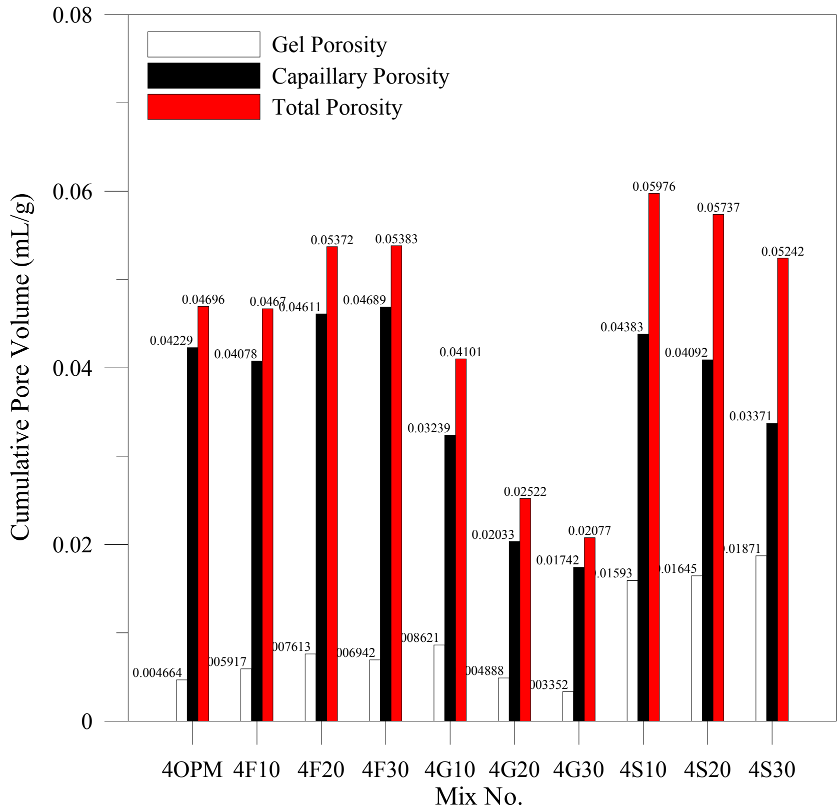


圖11　水泥砂漿之孔隙關係(56 Days，w/b=0.4)

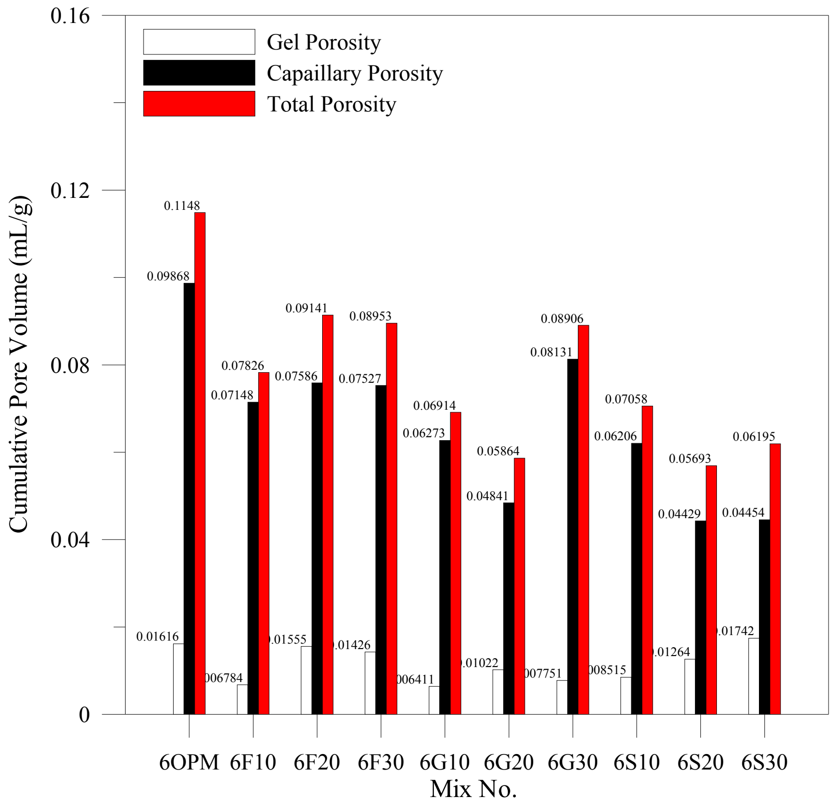


圖12　水泥砂漿之孔隙關係(56 Days，w/b=0.6)

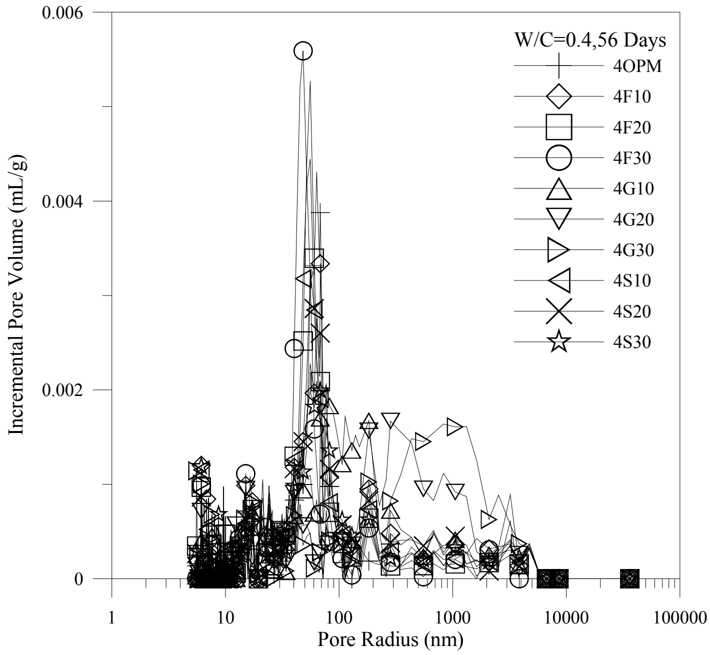


圖13　水泥砂漿之孔隙分佈(56 Days，w/b=0.4)

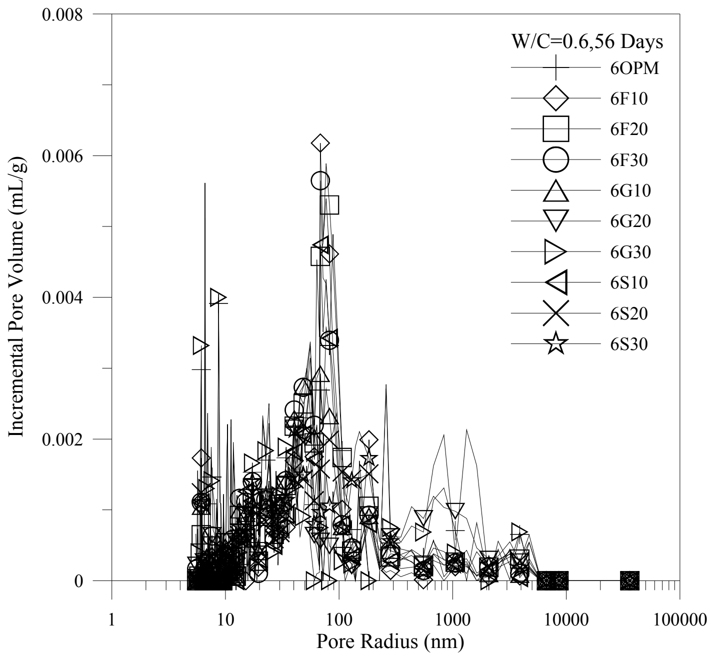


圖14　水泥砂漿之孔隙分佈(56 Days，w/b=0.6)

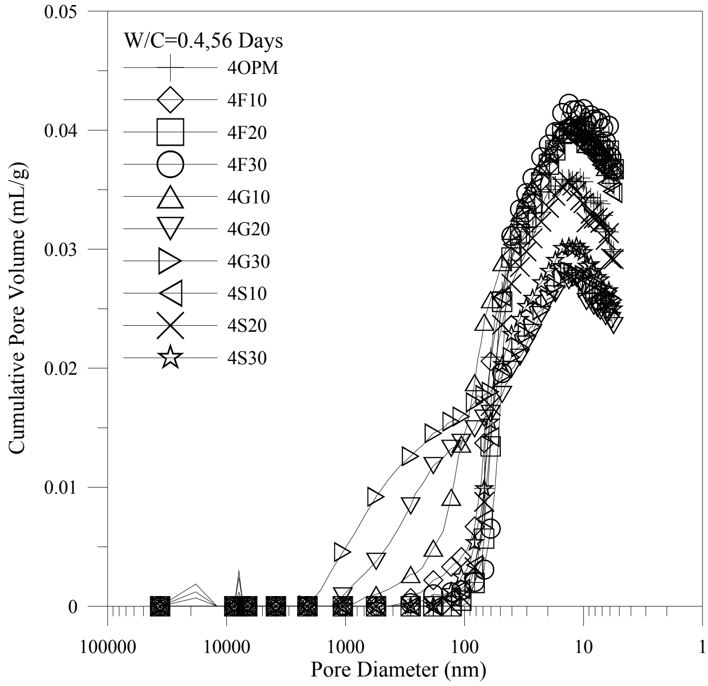


圖15　水泥砂漿之累積孔隙(56 Days，w/b=0.4)

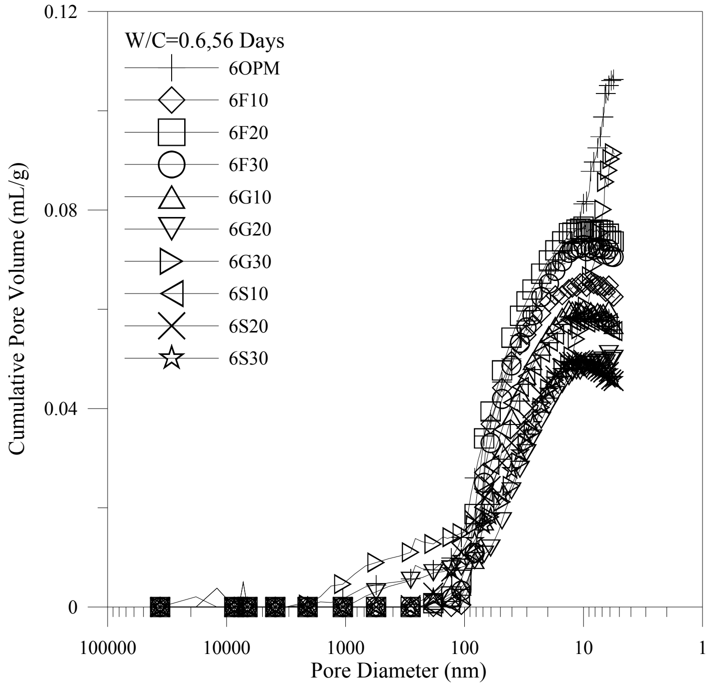


圖16　水泥砂漿之累積孔隙(56 Days，w/b=0.6)

表 10　水泥砂漿 56 天孔隙關係（w/b=0.4，單位：ml/g)

Mix No.	Gel Porosity	Capillary Porosity	Total Porosity
4OPM	0.0047	0.0423	0.0470
4F10	0.0059	0.0408	0.0467
4F20	0.0076	0.0461	0.0537
4F30	0.0069	0.0469	0.0538
4G10	0.0086	0.0324	0.0410
4G20	0.0049	0.0203	0.0252
4G30	0.0034	0.0174	0.0208
4S10	0.0159	0.0438	0.0598
4S20	0.0165	0.0409	0.0574
4S30	0.0187	0.0337	0.0524

表 11　水泥砂漿 56 天孔隙關係（w/b=0.6，單位：ml/g)

Mix No.	Gel Porosity	Capillary Porosity	Total Porosity
6OPM	0.0162	0.0987	0.1148
6F10	0.0068	0.0715	0.0783
6F20	0.0155	0.0759	0.0914
6F30	0.0143	0.0753	0.0895
6G10	0.0064	0.0627	0.0691
6G20	0.0102	0.0484	0.0586
6G30	0.0078	0.0813	0.0891
6S10	0.0085	0.0621	0.0706
6S20	0.0126	0.0443	0.0569
6S30	0.0174	0.0445	0.0620

4　孔隙結構與抗氯離子能力之探討

快速氯離子滲透試驗中，0.6 水膠比之部份組別未達規範標準，為此以 0.4 組別對膠體孔隙進行探討，試驗結果以控制組作為基準分成 4 區塊，其關係如圖 17 與圖 18 所示，隨著汞注入量的提升，其抗氯離子之能力則逐漸下降，兩者間呈現一負向關係，表示膠體孔隙所注入之汞含量對於氯離子滲透率影響較大，不同齡期下，皆以爐石取代部份水泥用量之組別落在 III 區附近，證明其擁有較佳之抗氯離子能力，對於水泥砂漿緻密性亦有所提升。

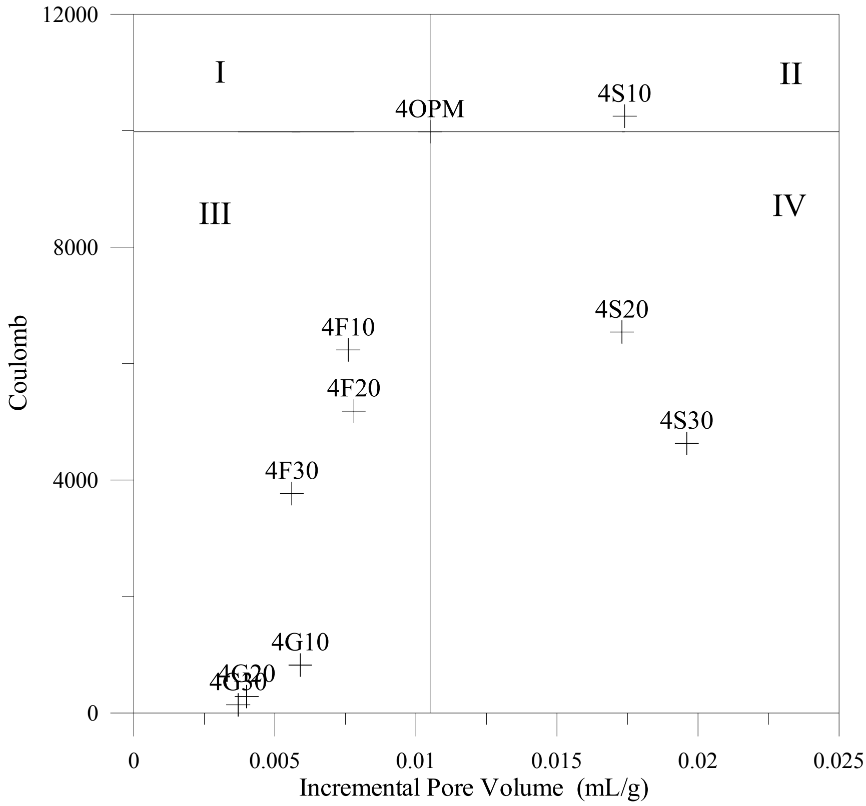


圖17　氯離子滲透率與膠體孔隙汞注入量之關係
(28 Days，w/b=0.4)

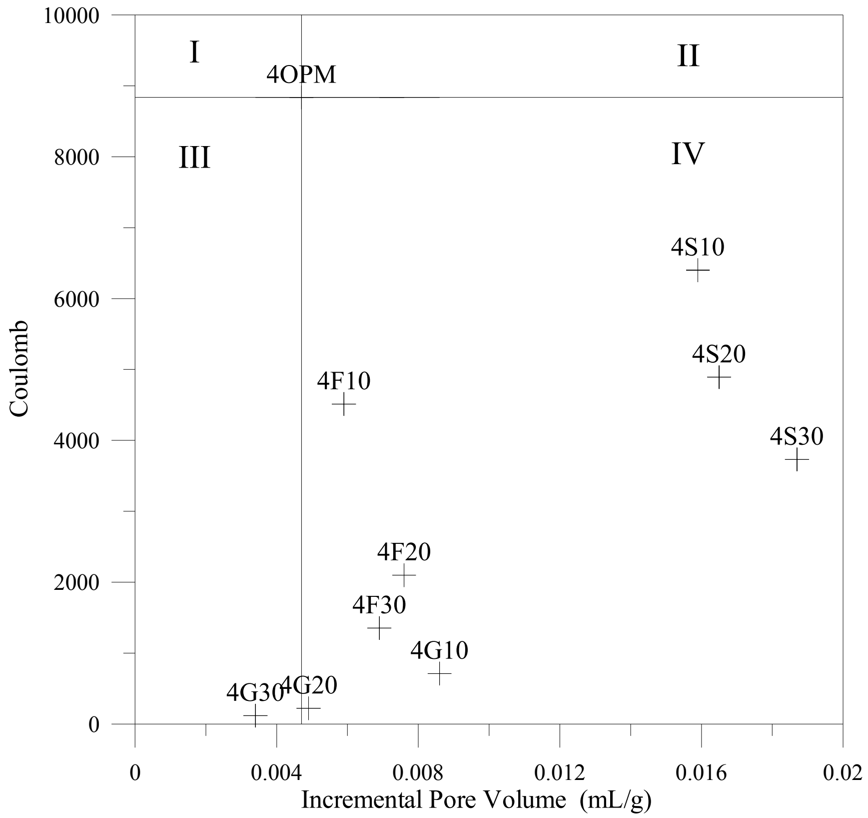


圖18　氯離子滲透率與膠體孔隙汞注入量之關係
(56 Days，w/b=0.4)

5　孔隙結構與抗壓強度之探討

毛細孔隙內之汞注入量，如圖 7、9、13 及 15 所示，在注入量過 100nm 時，其汞注入量明顯上升，表示其孔隙量居多，在與抗壓強度對比下，其關係如圖 19 與圖 20 所示以控制組為基準分為 4 區塊，結果顯示毛細孔隙的多寡與抗壓強度之間，亦呈現出負向關係，在不同齡期下，皆取落於 I 區內之組別，得出以爐石取代部份水泥用量之組別擁有較佳之抗壓強度與較稀少之孔隙，間接證明出水泥砂漿之緻密性與抗壓強度間為相互影響。

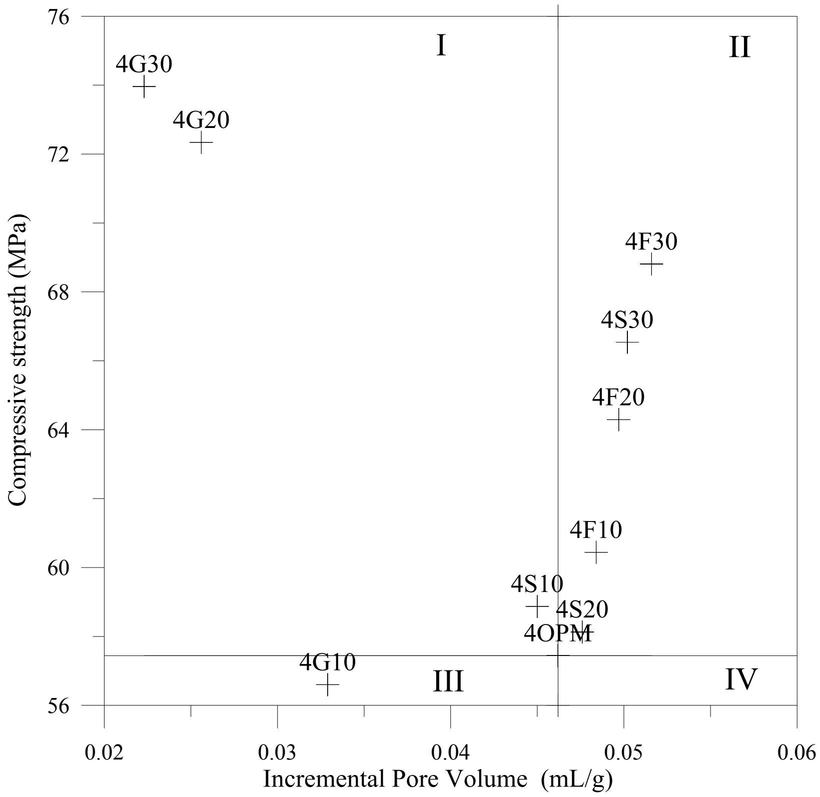


圖19 抗壓強度與毛細孔隙汞注入量之關係
(28 Days w/b=0.4)

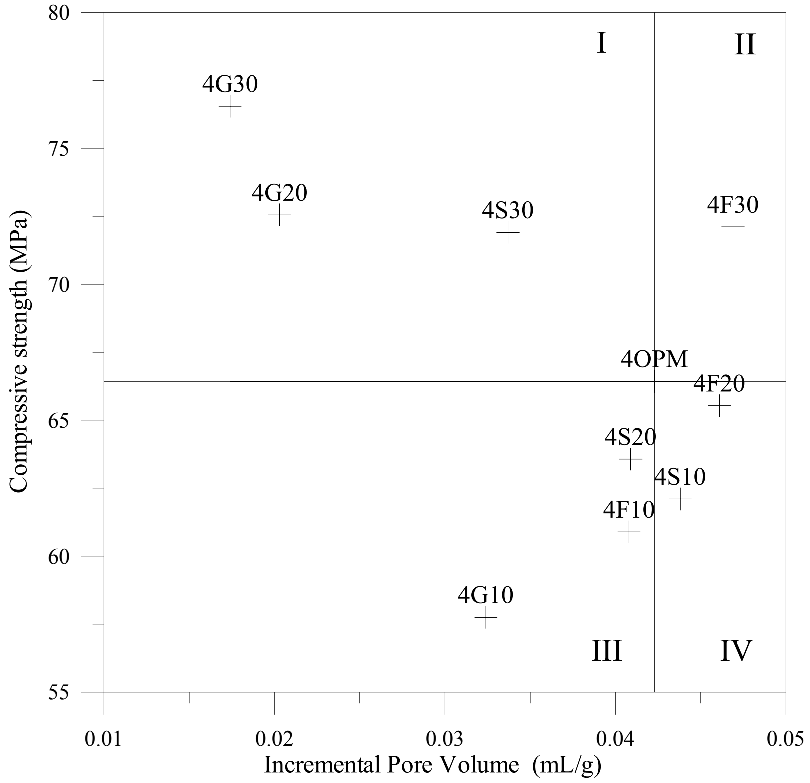


圖20 抗壓強度與毛細孔隙汞注入量之關係
(56 Days w/b=0.4)

五、 結論

本研究主要針對卜作嵐材料對於水泥砂漿孔隙之研究，目前研究結果初步可得下列結論：

1. 抗壓強度試驗可得出在低水膠比下，以 30%爐石取代水泥用量之抗壓強度最高，其可與耐久及微觀試驗結果相佐證，水泥砂漿之內部之孔隙量多寡，直接影響於試體緻密性，其緻密性越高之試驗組，其抗壓強度異愈高。
2. 從快速氯離子試驗中，依抗氯離子能力評估水泥砂漿之緻密程度，與規範之評估準則相對應，累積通過電量愈低之組別其抗率離子滲透能力愈佳，進一步與水泥砂漿之孔隙關係進行探討，得出其孔隙量愈少，其抗氯離子能力愈佳，其中之最佳試驗組別與其他試驗結果一致。
3. 在壓汞孔隙量測試驗上，直接對於水泥砂漿試體內部孔隙變化進行探討，可完整的分析出毛細與膠體孔隙之分佈與多寡，可依試驗結果對應於硬固及耐久性質試驗上進行分析探討。可得出其孔隙量之多寡直接影響於水泥砂漿緻密程度。
4. 以膠體孔隙與抗氯離子能力相互探討下，可得出兩者間為一負向關係，抗氯離子之能力會隨著膠體孔隙變化，而隨著孔隙量增加，則其抗氯離子能力則下降。
5. 抗壓強度與毛細孔隙間之探討，得出以爐石取代 30%水泥用量下，其擁有較佳之抗壓強度與緻密性，間接證明出抗壓強度與毛細孔隙間為相互對應關係。

六、 參考文獻

1. ASTM C618, “Standard Specifications for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”, Annual book of ASTM Standard, 2008.
2. T.C. Power, “The Physical Structure of Portland Cement Paste, in The Chemistry of Cements”, Acad. Press, London, Volume 1, 1964, P.391－416.
3. AM Neville，“properties of concrete”，Pearson Education Limited，Harlow，1995.
4. M.Rostami,K.Behfarnia, ” The effect of silica fume on durability of alkali activated slag concrete”, Construction and Building Materials, Volume 134, 1 March 2017, P. 262-268.
5. J.F. Young, S. Mindess, “Concrete,” 2nd edition, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 2003.
6. C.L. Page, N.R. Short, T.A.El, “Diffusion of Chloride Ions in Hardened Cement Paste”, Cement and Concrete Research, Volume 11, 1981, P.395-406.
7. Jiting Xie, Obada Kayali, “Effect of superplasticiser on workability enhancement of Class F and Class C fly ash-based geopolymers”, Construction and Building Materials, Volume 122, 30 September 2016, P. 36-42.

8. 江洛亭，卜作嵐材料對輕質骨材混凝土介面區微觀性質之研究，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2006。
9. 李金來，添加矽灰與飛灰對水泥基質複合材料孔隙結構與腐蝕行為之研究，國立台灣海洋大學材料工程研究所博士論文，2013。
10. 杜弘文，以壓汞孔隙儀探討水泥質材料孔隙結構，中華技術學院土木防災研究所碩士論文，2009。
11. 呂恩賜，廢觸媒與卜作嵐材料共同取代部分水泥對自充填混凝土工程性質之研究，國立雲林科技大學營建工程研究所碩士論文，2006。

18th 地錨邊坡檢測與安全潛勢分析

地錨邊坡安全潛勢評估模式之建置

Establishment of the Safety Potential Analysis Model for Anchored Slope

趙紹錚 林威廷 黃政裕 賴思翰
國立宜蘭大學

摘要

台灣地形多以山地、丘陵形態為主，因應人口成長及交通發展，各項公路的建設逐步向山坡地擴展，而在開闢道路時常交會山坡地，為了提升邊坡的安全性，大量採用地錨工法來增加邊坡的穩定度。地錨隨著使用年限的增加而無法發揮原有預力，尤其近年發生多起地錨邊坡災害，故地錨之功能與檢測備受重視。本研究針對邊坡導入安全潛勢之概念，蒐集邊坡相關資料，如環境地質圖、地層剖面圖、鑽孔柱狀圖、邊坡竣工圖、邊坡災害歷史，並透過邊坡巡查、儀器監測、地錨檢測等資料瞭解邊坡異常徵兆，並進一步利用 GIS 地理資訊系統建立邊坡圖層、地錨點位圖層、及相關資料數值，以各種資料相互內插繪製潛勢分析。最後提供邊坡潛勢成果，評估邊坡的危險趨勢，註明可能發生危害之區域，可提供相關單位留意該區後續變化行為，能對此邊坡做一預判的機制，有效提升地錨邊坡安全維護管理。

關鍵詞：地錨、邊坡、安全潛勢、地理資訊系統

一、 前言

台灣許多公路逐漸往山坡地建設擴展，為了提升邊坡安全，常採用地錨工法來增加邊坡的穩定性。地錨隨著使用年限的增加無法發揮原有的效能，導致邊坡可能發生異狀，應盡早找出可能發生危害的邊坡。管理公路之機關會定期施作邊坡巡查及地錨檢測，委託專業人員巡視邊坡整體狀況，而地錨的功能性可藉由外觀檢視、組件檢視、及揚起試驗來判斷效能的狀況，依序以上檢測項目分別打出成績。

本研究從土壤液化潛勢圖得到啟發，將安全潛勢之概念帶入地錨邊坡上。利用 GIS 地理資訊系統繪製圖層，包含邊坡上之地錨一併建置，模擬邊坡現地樣貌，進一步透過邊坡巡查、地錨檢測及儀器監測等資訊匯入地理資訊系統中，並透過內插方式匯出低、中、高潛勢區，判對此處邊坡可能發生危害之區域，提供公路機關能預防判斷並盡早進行處置。

二、 GIS 地理資訊系統

地理資訊系統(Geographic Information System)，簡稱 GIS。我們的生活可說是無時無刻都在接觸 GIS，通常與日常生活息息相關，不管查詢地圖或搜尋公車路線等不外乎全都依靠地理資訊系統。GIS 是一個可以建立、瀏覽、查詢、分析地理空間資料的電腦系統，其功能小至地圖的展示，大至空間決策分析與支援。地理資訊系統所處理之地理空間資料，可以是真實地表或地下資訊、人文活動或歷史紀錄資料，它是真實世界簡化與數值化的結果，但可以表達出真實世界的地理位置與訊息。

本研究運用 Quantum GIS（QGIS）程式，藉由地錨檢測之功能性與成果，表現於邊坡周圍的趨勢性，並且觀察邊坡高潛勢的區域，建議維護者留意之警訊，提供目標範圍加強維運作業。QGIS 是繪製潛勢圖的程式媒介，此程式相當友善開放原始碼地理資訊系統，使用 GNU (General Public License)授權，屬於 Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)的官方計畫。在 GNU 這個授權下，開發者可以自行檢閱與調整程式碼，並保障讓所有使用者可以免費且自由地修改程式。QGIS 是一個使用簡單的 GIS，提供常見的功能與圖徵。藉著核心圖徵提供基本功能與附加元件（Python 或 C++）持續地擴充，讓使用者可以瀏覽、管理、編輯、分析資料以及製圖。

三、　邊坡安全潛勢介紹

安全潛勢概念運用的領域相當廣泛，舉凡颱風、土石流、海嘯、淹水區域範圍、與最近討論熱烈的土壤液化皆有潛勢概念。本節主要介紹安全潛勢應用於地錨邊坡之流程及步驟，潛勢分析的繪製時機通常於大規模評估邊坡的穩定性及安全性，同時配合邊坡全面巡查、監測、及地錨檢測給予評分。由於地錨檢測為單支功能評分，邊坡上每支地錨皆緊密關聯，檢測的視野應逐漸擴展致整體邊坡，應該由點的概念擴展至面的概念，故利用 GIS 地理資訊系統展示成果。

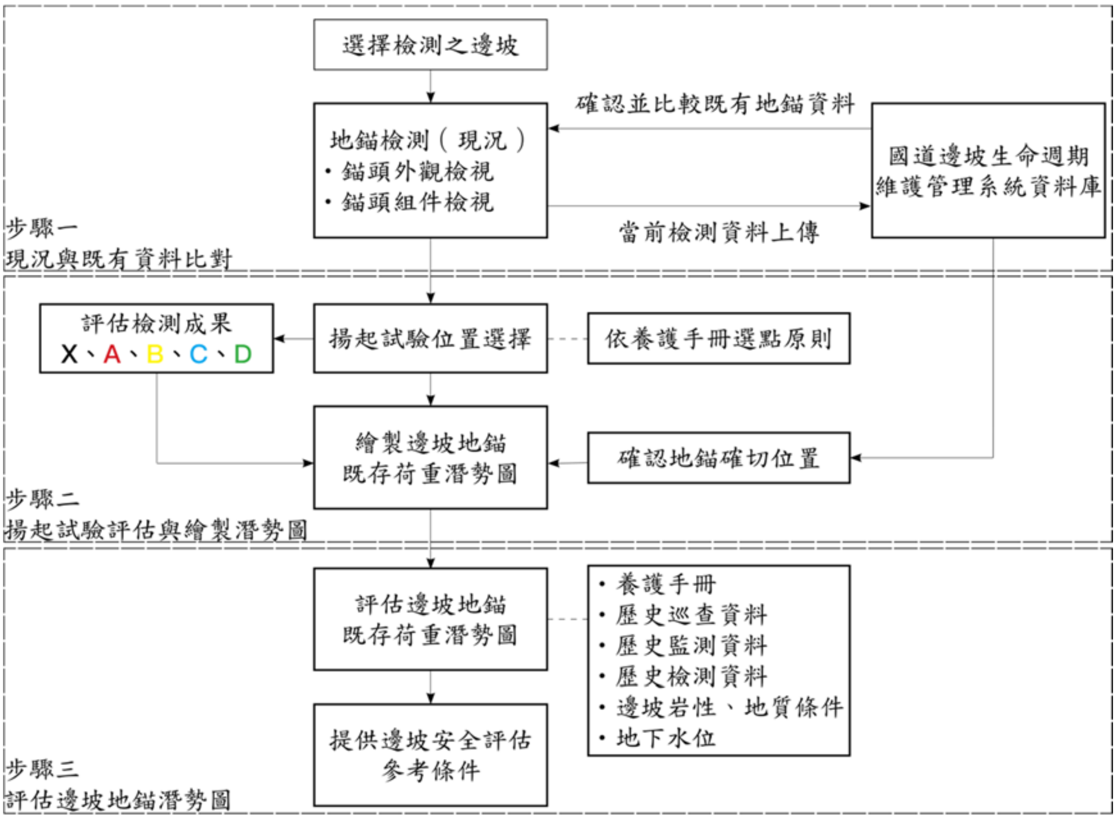
3.1 安全潛勢流程

安全潛勢分析之流程大致分為三個步驟如圖一所示：步驟一，選擇檢測之邊坡，蒐集該邊坡相關資料，如環境地質圖、地層剖面圖、鑽孔柱狀圖、邊坡竣工圖，並透過邊坡歷史巡查資料、儀器監測數據了解該邊坡歷史災害及異常徵兆，並定實施作邊坡巡查及地錨檢測，包含錨頭外觀檢視、錨頭組件檢視、與揚起試驗。地錨外觀採全面檢測，檢視周遭部分有無明顯異常徵兆，進一步挑選組件檢視及揚起試驗位置，檢視地錨現況和預力損失程度，每個地錨檢測項目結果依照分級標準 X、A、B、C、D 級來判斷。

步驟二，巡視最新現況核對該邊坡之地錨確切位置，配合地錨檢測項目結果，建置 GIS 地錨點位 Shape 檔，點位中可存取需要分析之類別，包含外觀檢視、組件檢視、揚起試驗結果、既存荷重百分比 Rtd(%)等，其中 Rtd(%)為地錨設計荷重與揚起試驗之既存荷重之比值，考慮邊坡地錨的設計荷重有所不同，因此藉由比值作為比較標準。建立一系列數據後，分析方式以 QGIS 內建功能距離反比權重法進行分析，須以內插方式進行，故將地錨檢測分級標準設定 D 級為 100%、C 級為 75%、B 級為 50%、A 級為 25%、X 級為 0%。

步驟三，為分析邊坡安全潛勢重要階段，需配合步驟二繪製各類潛勢圖層加以

局部判別，並與步驟一蒐集各項歷史巡查資料、歷史監測數據，並將相關圖層相互套疊，最後匯出邊坡安全潛勢之成果。



圖一 安全潛勢分析之流程

四、 邊坡安全潛勢案例成果

本節選取一處地錨邊坡繪製，探討邊坡地錨之功能表現，討論邊坡區域範圍內的變化情形，依照繪製邊坡安全潛勢之流程，蒐集路塹邊坡基本資料，利用各項資料繪製邊坡安全潛勢，最後結合歷史巡查、監測數據及地錨檢測資料合評估地錨邊坡潛勢分析之成果，最後匯出外觀安全潛勢、組件安全潛勢、揚起試驗安全潛勢以及既存荷重百分比(Rtd%)安全潛勢。

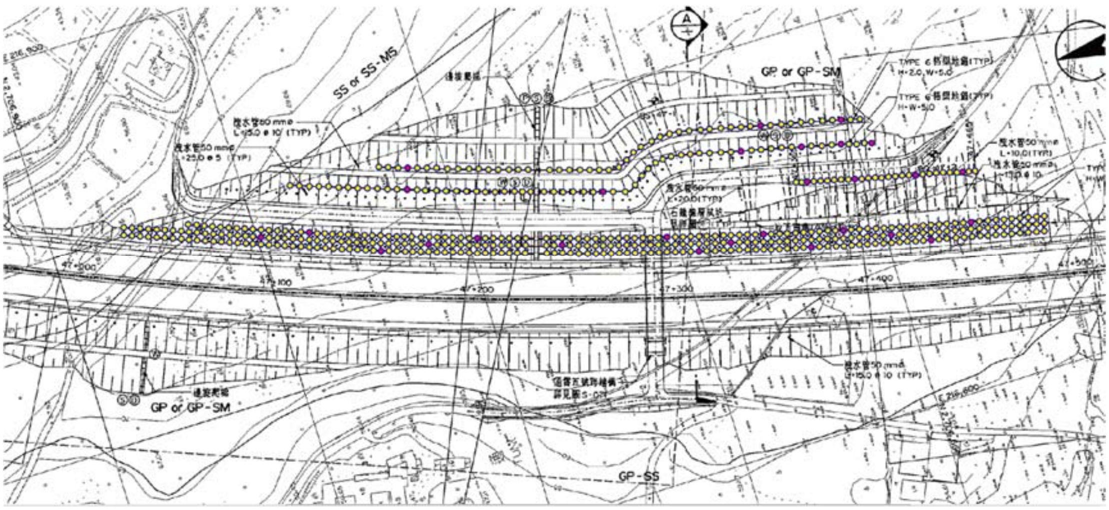
4.1 邊坡基本資料介紹

本文選取一處路塹地錨邊坡，此邊坡中間間隔一座跨越橋，左右兩邊地質條件及皆為相似，現場情形如圖二所示。邊坡範圍邊界如竣工圖(圖三)所示，原始坡面坡頂高程為 100m，坡趾高程為 60m，每一色階表示高程區間 5m。地質條件分為紅壤、卵礫石夾砂層、泥質砂岩或砂岩夾泥岩、卵礫石夾層，屬順向坡，開挖完成後邊坡為四階，邊坡坡度為 1V：1.5H。地錨主要打設於第一、二、三階邊坡，地錨總數共有 474 支，設計資料如表二所示。

表二 地錨設計資料

階數	排數	面版型式	地錨設計資料						數量
			間距	俯角	鋼腱長度（m）			設計荷重	
			（m）	（度）	自由段	錨碇段	總長	（T）	
第三階	第 1 排	連梁	5	15	15	10	35	45	39
第二階	第 1 排	連梁	5	15	15	10	35	45	59
第一階	第 1 排	排樁	3.5	15	8	17	25	45	28
第一階	第 3 排	預鑄格梁	4	15	10	10	20	65	116
	第 2 排	預鑄格梁	4	15	10	10	20	45	116
	第 1 排	預鑄格梁	4	15	10	10	20	45	116
總數量									474

圖二 邊坡現場照片

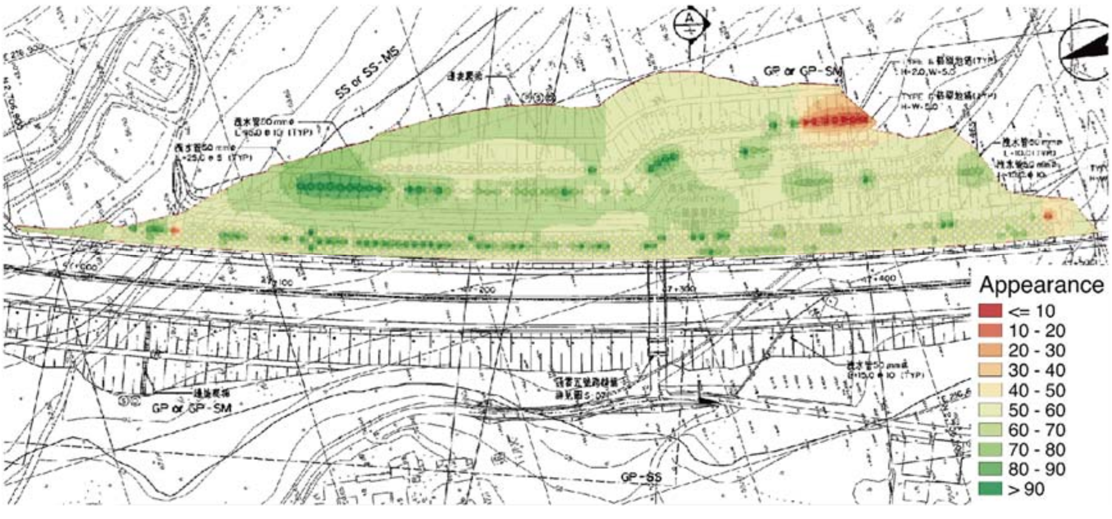


圖三 邊坡竣工圖

4.2 外觀檢視安全潛勢

針對地錨檢測資料，此處邊坡地錨共 474 支且外觀全面逐一檢視，檢視結果之分級百分比為 D 級為 13.5%、C 級為 15.2%、B 級為 70.7%、A 級為 0.63%、X 級為 0%，錨頭保護座許多輕微破損或裂縫，其損傷雖不影響結構行為，故外觀分級大多落在 B 級。外觀安全潛勢分布情形如圖四，於 QGIS 自訂 D 級為 100%、C 級為 75%、B 級為 50%、A 級為 25%、X 級為 0%，色階由紅色表示功能嚴重，綠色表示功能良好，共分為 10 階，以清楚了解變化區域。

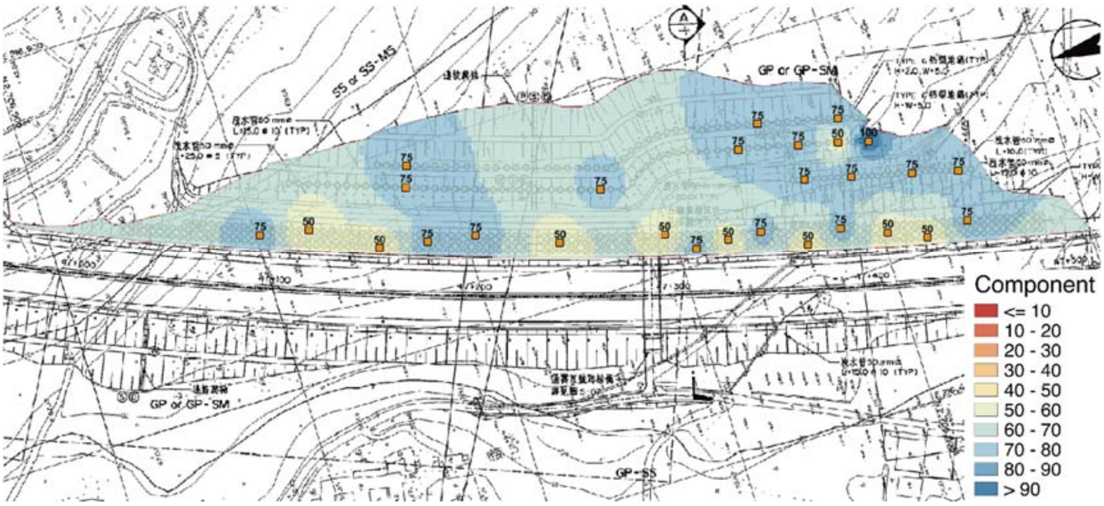
整體而言可以看出大部分區域為淡黃色功能介於 40%~50%。然而分區觀察邊坡左側範圍之結果，有部分呈現綠色功能介於 80%~90%，其餘為淡黃色；邊坡右側錨頭外觀潛勢結果相對於左側情況較差，橘紅色範圍居多功能介於 20%~30%，有少部分為紅色區域功能介於 0%~10%，須特別留意後續的情況。



圖四 外觀檢視安全潛勢

4.3 組件檢視安全潛勢

針對地錨檢測資料，組件檢視依選點原則選擇 28 支施做檢測，檢視結果之分級百分比為 D 級為 3.6%、C 級為 64.3%、B 級為 32.1%、A 級及 X 級為 0%，檢測成果大多數落於 C 級，以安全潛勢方式呈現組件檢視成果分布情形如圖五，色階由紅色表示功能損失嚴重，藍色表示功能良好，共分為 10 階，以清楚了解變化區域。分析錨頭組件潛勢，整體而言可以看出大部分區域為淡綠色功能介於 50%~60%，少區域顯示為橘色功能介於 30%~40%，然而橘色區域表示錨頭組件銹蝕與滲水情形較顯著，且多位於下邊坡研判可能與地下水位有關。



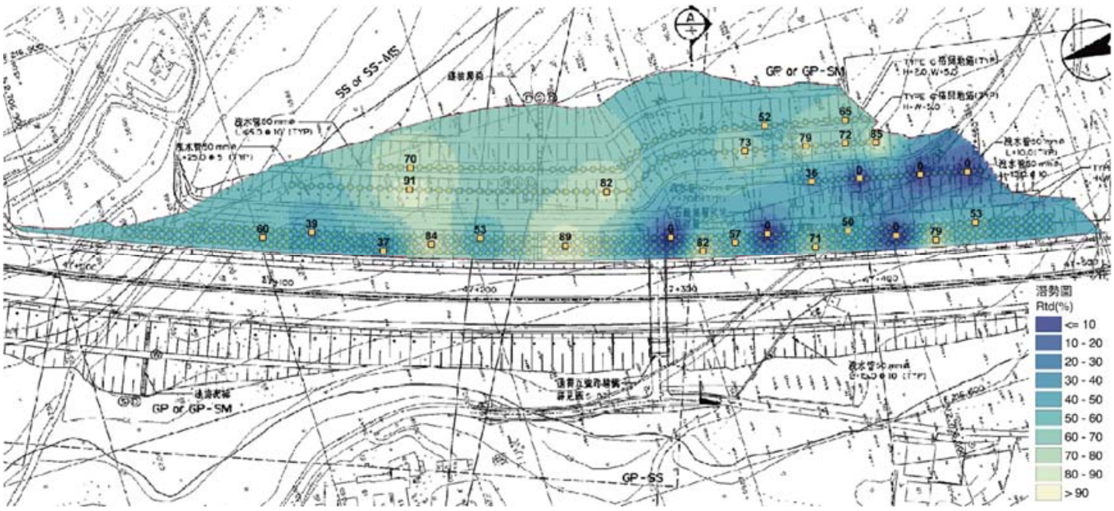
圖五 組件檢視安全潛勢

4.4 揚起試驗安全潛勢

揚起試驗可直接得知地錨目前既存荷重結果，針對地錨檢測資料，揚起試驗依選點原則選擇 27 支施做檢測，分級百分比結果為 D 級 26%、C 級為 44.4%、B 級為 18.5%、A 級為 11.1%、X 級為 0%。安全潛勢分析方式以揚起試驗成果方式呈現如圖六，設計色階以分級原則，共分五個級別為，D 級(■)既存荷重介於 0.8~1.2 的設計荷重、C 級(■)既存荷重介於 0.5~0.8 的設計荷重、B 級(■)既存荷重介於 0.2~0.5 設計荷重、A 級(■)既存荷重大於 1.2 設計荷重或小於 0.2 設計荷重、X 級(■)為鋼絞線斷裂或地錨拉脫。邊坡左側大多以 C 級為主，邊坡右側則為 A、B 級為主。

另外，安全潛勢分析方式以既存荷重百分比（Rtd）成果分布情形如圖七，此處邊坡地錨之 Rtd 皆無 100%，代表每支地錨皆有預力損失現象，因此以 0%~100%區分 10 個階段，深藍色表示預力損失嚴重，顏色越淺既存荷重百分比越高。整體而言，可以看出邊坡左側邊坡之 Rtd 大多維持 50%~80%區間功能屬於尚可，右側地錨顏色較深，Rtd 約為 20%~50%，代表此處地錨之設計荷重與既存荷重之比值較低，地錨已有預力下降趨勢，無法發揮原有功效，故需較留意右側邊坡後續安全。

圖六 揚起試驗安全潛勢



圖七 既存荷重百分比安全潛勢

五、　結論與建議

GIS 地理資訊系統已經使用行之有年，本文將邊坡導入安全潛勢之概念，以地錨檢測資料繪製，可以呈現外觀檢視安全潛勢、組件檢視安全潛勢、揚起試驗安全潛勢、既存荷重百分比安全潛勢，利用色階深淺表示低、中、高潛勢區，能對此邊坡預判可能發生危害之區域，有效提升地錨邊坡安全維護管理，提供公路機關能預防判斷並盡早進行處置。

另有以下幾點建議可行未來計畫如下：

1. 由於組件檢視及揚起試驗依照選點原則做挑選，並非全面檢測，導致資料量不足，以致安全潛勢分析不夠精細，未來若驗證此方法可行，可採用全面檢測使結果能更精確。
2. 目前外觀檢視安全潛勢、組件檢視安全潛勢、揚起試驗安全潛勢、既存荷重百分比安全潛勢分別為四張圖，雖各項檢測彼此有關聯，卻無相關權重表示，未來可考慮權重配置繪出更完整潛勢分析圖。

參考文獻

1. 劉瀚聲，(2013)，國道邊坡地錨效能初步統計及預力衰減數值模擬，碩士論文，國立宜蘭大學土木工程學系研究所。
2. 周宏達，(2016)，地錨揚起試驗結果探究及地錨既存荷重評估，碩士論文，國立宜蘭大學土木工程學系研究所。
3. Sakai, T. and Fujiwara, Y., 2017. Evaluation of Slope Stability Based on Monitoring of Residual Loads on Ground Anchors Using the SAAM System, GEOMATE, Geotechnique, 7(1), 10-18.

宜蘭地區土壤液化潛勢圖資之鑽探品質管理

Drilling Quality Control for the Ilan Liquefaction Potential Map

趙紹錚 鄭安 徐輝明 蕭宗益 王炫之
宜蘭大學 土木工程學系

摘 要

2016 年 2 月，一場強烈的地震重創了台南地區，讓台灣重新審視地震災害對台灣的影響，其中土壤液化也受到大家的重視，因此內政部於同年立即公告了相關的計畫及施作條款，目的在於推動地質調查作業品質之提升與液化相關圖資成果之精進。其中，宜蘭地區被列為計畫第一批施作補充地質調查之區域，除了考慮到本區域是由數條河流共同沖積而成的沉積地形，富含鬆散均勻的粒狀土壤外，整個蘭陽平原的地下水位相當接近地表，再加上緊鄰沖繩海槽斷層區也使得宜蘭地震頻繁，確定其位於液化敏感區域之特性。台灣於 2018 的 2 月再次受到花蓮地震的侵襲，使得鄰近震央的宜蘭地區土壤液化情勢倍受考驗，乃針對宜蘭縣重要之行政、經濟之重鎮，如宜蘭市、羅東鎮等區域，共計布設了 218 處新增地質鑽探調查孔位進行補充調查，透過相關土壤試驗結果重新審視及評估宜蘭地區土壤液化情況。因此，對於本計畫於宜蘭地區鑽探作為，需要有更完善的品質管理。為了落實宜蘭地區之鑽探整體提升之目標，本文對於近期鑽探階段性成果做出匯整與討論，希望透過相關研究成果進一步提升宜蘭地區液化成果之效益。

關鍵詞：土壤液化、潛勢圖、鑽探、地質調查、宜蘭

一、前 言

臺灣位於環太平洋地震帶，地震頻仍，有關如何防災、減災、救災是政府施政的重要方針。2016 年 2 月 6 日於台南地區發生規模 6.6 的強震，造成許多嚴重的災情，其中土壤液化所延伸的災害更是政府所關注的重點之一，因此土壤液化的議題再次受到重視。為了達到安全、防治、預警、應變等目的，對於既有土壤液化潛勢圖資勢必再進一步做精度的提升，特別是人口密集區、低樓層、老舊建築物、及地質條件複雜區。因宜蘭地區地質多為細顆粒含量高的軟弱土壤且地下水位面非常接近地表，當地震來臨時，土壤液化發生的可能性相當的高，需增設鑽探孔位，繪製更為具代表性之中級土壤液化潛勢圖，以提供政府及有關單位對於災害防治及預警

作業之用，而居民也能得到安全舒適之居住環境，乃有必要深入探討宜蘭地區土壤液化相關圖資製作之精進策略。

二、宜蘭地區土壤液化圖資精進概述

2016 年 4 月 29 日營建署核定「安家固園計畫」，為協助民眾瞭解、改善住宅之結構安全與持續完成整治改善工作之目的，宜蘭縣政府著手辦理「土壤液化潛勢區防治改善示範計畫」以完成「中級土壤液化潛勢地圖製作」。宜蘭大學永續發展中心之團隊有幸參與相關計畫之執行與推動，除了為服務地區民眾略盡微薄之力，同時也能對土壤液化與顆粒力學等相關學術研究所長有所發揮。在計畫第一期中，規劃於宜蘭地區三個鄉鎮市(宜蘭市、羅東鎮及五結鄉)共計約 81.7 km^2 進行補充地質鑽探調查 218 處，欲對於研究範圍取得具代表性之分析土壤資訊，並進行後續研究分析與探討，其中最主要研究方向的就是今年來被人們所關注的土壤液化議題。

為了提升土壤液化潛勢圖資之精度與質量，必須嚴格落實相關品質管理之把關，一般而言，品質管理提升大多是以狹義的觀點而言，需要嚴格要求現地施工作業的施工與品質，取樣後的土壤試體與相關土壤試驗的正確性也是管控的項目之一。但是，對於整體品質控管而言，也可以更廣義並且包含更多面向的探討，從施作鑽探前的規劃、鑽探施作孔位之調整、新舊資料庫的彙整、地下水為控制等，再到前述之關於現地施作、土壤試驗之專項管理，以及其他督導方法的研擬，甚至是評估方法的選用、分析之參數的選擇、調整、及修正等。這些作為在探討品質管理時往往容易被忽視的地方，但其中任何一個細節在繪製土壤液化相關圖資時，如果沒有好好把關的話，都有可能導致結果失控。因此，對於宜蘭地區中級土壤液化潛勢地圖製作時，即有針對如何提升成果之品質特別羅列管控要點，現希望透過本文向與會專家學者及工程界先進共同作一分享與交流，相互討論與建言，讓後續鑽探作業與相關成果中，不僅僅是最終研究成果，於鑽探過程之品質亦能夠更受到重視。

三、鑽探前置作業之準備

不論是對於任何重大工程進行，事前必定有相當充分的討論、籌備，方能使的後續相關作業在推動執行時可以達到事半功倍之成效，而對於土壤液化研究所需的鑽探調查也是相同的道理，在施作鑽探之前，如果有良好的事前規劃，對於後續鑽探作業之推動與執行勢必會形成良好的助力。然而，這些前置作業可能包含有相當多面向需要去考量與規劃籌辦，本文針對既有鑽探孔位資料蒐集、鑽孔除錯機制建立、補充鑽探布設、地下水位安排事宜等略作討論。

1、既有鑽孔資料彙整蒐集與應用

進行地質補充鑽探之前，第一步驟必須先蒐集高品質既有鑽孔，例如公共工程、大型建物、及可信度較高之鑽探報告，第二步驟將其進行比對、評估後，篩選出可用之鑽孔。以宜蘭地區為例，第一期土壤液化精度提升範圍為宜蘭市、羅東鎮、及五結鄉，本研究既有鑽探孔位約有 512 孔，鑽孔位置分布情形，如圖 11 所示，由鑽孔分布圖上來看，明顯的發現在宜蘭市及羅東鎮之鑽探孔位之分布最多，而市區密度最高，主要因為宜蘭市及羅東鎮為宜蘭地區之文教區及商業區，其孔位數量與布設位置皆是可以加以利用的；而其他鑽探孔位主要分布位置為國道五號高速公路沿線處，由於高速公路之建造標準普遍高於其他道路之規範要求，所以對於場址地質狀況亦須十分重視及要求，所以這些孔位有良好的質量。因此在液化評估分析時，若是將這些鑽探孔位加以合理的運用，可以達到以下功用：(1)做為補充鑽探孔位布設位置定址與調整之考量、(2)提升整體分析孔位分布設置之密度狀況、(3)藉以比對附近既有與補充鑽孔資料正確性、及(4)增加液化相關成果潛勢圖資之精度，如此一來，對於後續研究而言不論是質與量都可以得到相當程度之助益。

圖 11 宜蘭地區既有鑽孔位置分布(徐瑩潔，2007)

2、建立鑽探資料的除錯機制

處理大地工程之問題，必須確保其具有相當程度之前期調查結果與可用資料數量，才能有效提升分析成果之精度與可靠性，於液化相關研究時，除了於調查區域進行補充地質調查的施作外，既有鑽探資料的選擇運用也是相當重要的環節，因此在大量蒐集前期資料的同時，應確保資料之品質與可性度，並進一步影響土壤液化

潛勢圖之品質提升，正確的彙整各種來源之鑽探調查資料可顯著提高分析所需的鑽孔密度及均勻程度，亦可減少重複調查造成的資源浪費。

由於鑽探資料會基於不同之來源、原始調查目的、施作技術能力及不同年代等因素，而有不一樣之資料儲存形式。因此，對於既有與新增鑽孔資料勢必建立一審慎的篩選機制來將鑽孔資料進行審慎篩選比對，剔除不適用、不完備及錯誤的部分。鑑此，基於液化評估之考量，本研究以液化研究所需的參數建立對應之篩選條件，如表 1 所示，篩選結果將鑽井資料依據其資料狀況，分為「符合條件」、「FC 無資料」、「SPT-N 值無資料」、「γ_t 不符」、「USCS 不符」等，提供地質師、工程師再次檢視各鑽孔資料之錯誤原因，並去除有疑義之鑽探資料，有了較高品質的資料才能更有佳的後續液化相關應用分析。

表 4 既有鑽孔資料篩選判斷條件彙整表

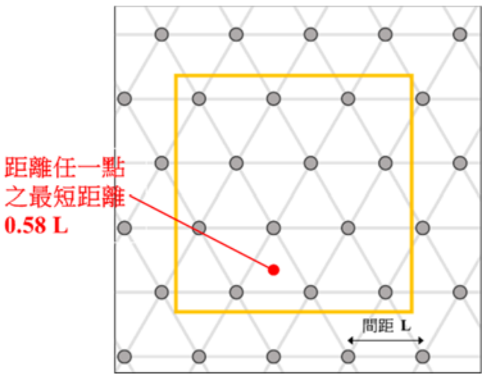
項目	條件描述
SPT-N	1 N值須完備且間隔大致規律，若漏缺則視情況酌予修復或濾除 2 20公尺深度內之N值必須都有值，否則該孔濾除 3 若該孔30公尺內最後一筆資料之N值已大於50，則設定該深度至30公尺皆以最後一筆N值作為代表值
FC	沒有輸入FC值資訊之鑽孔視情況酌予修復(依該深度上下相同土壤分類之數值予以填補)或濾除
γ_t	1 γ_t範圍超乎正常區間，視情況酌予修復或濾除 2 如γ_t為空值則內定γ_t=1.8 t/m^3 3 如γ_t>3 t/m^{3}者，該孔濾除
USCS	1 USCS分類欄位資料型態不合、漏缺、或明顯錯誤酌予修復或濾除 2 USCS分類欄位漏缺部分，以下列判斷式酌予修復 ✓ IF FC<50 and N<50 then USCS =“SM” ✓ IF FC<50 and N≧50 then USCS =“GM” ✓ IF FC≧50 and PI<7 then USCS =“ML” ✓ IF FC≧50 and PI>7 then USCS =“CL”
PI	1 配合USCS分類檢核PI值欄位是否合理或有漏缺(人工判斷) 2 檢核PI值未填被誤判成0或砂質土有高PI值等明顯錯誤
座標	以計畫為單位檢視該批鑽孔資料是否有67-97偏移(人工判斷)
區位	1 鑽孔非屬山區、台地、水中之鑽孔(人工判斷) 2 由數值地形模型產製6%坡度圖以及20m等高線，用以檢核鑽孔位置是否屬於平原區域

3、鑽探孔位布設與密度控制

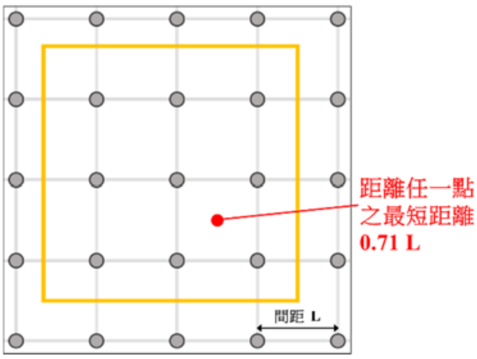
為了使土壤液化分析成果達到具有相當之精度，對於鑽探孔位之布設及密度之

要求必須定義施行的準則，方能使布設達到最有效率及經濟之運用。首先，在密度考量上會參考中級液化精度圖資之要求，以每平方公里 4 孔為目標，且必須針對中、高潛勢區、人口聚居密集區、低樓層及老舊建築物集中區、或密度不足缺乏鑽孔之地區，評估於適合之地點酌予增加鑽孔數量；另外對於低潛勢區或人口聚居稀疏及地質條件單純區域，得酌予減少鑽孔密度，使鑽孔布點達到最大效益。

本研究在目標密度下之鑽孔布設係採用「三角交錯布設」為原則進行初步配置，如圖 2(a)，考量到在三角交錯布設配置在平面空間的相同面積下，交錯布設的密度會較一般(矩形)布設方式還高，而一般(矩形)布設方式如圖 2(b)。同時，在比較兩者之點位分布狀況時，三角交錯布設於區域中的任一點離其鄰近點位之最遠距離亦較一般(矩形)布設方式接近，因此可以使鑽孔布設達到最佳之效率。最後，對於區域性土壤液化分析之鑽孔配置，需避免有不足與不均現象或其他特殊考量需要增加密度調查，再將初步配置的結果參考既有潛勢圖資、地質微分區、台灣古圖資、都市人口分布、都市計畫區域等圖資進行調整，使得鑽孔布設在兼具效率外，於後續應用上也可以達最佳化，進一步使鑽探布設之質量及分布之調整可達到優化調查之目的。



(a) 三角交錯布設



(b) 一般布設方式

圖 12 鑽孔布設示意圖

4、地下水位持續監測與更新

在探討土壤液化時，地下水位的選用扮演相當重要的角色，因此，如何正確的選用地下水位就如同變相提升液化分析成果之品質，在監測數據數量與分布、分析水位選擇及地下水位的更新都是有相當值得探討之處。數量與分布方面，必須兼顧到有質與量的考量，對於水位之監測資料必須是由適當的管道取得可靠、可信的資料來源，以滿足水位數據是有質的，而水位之監測資料亦必須是有一定的數量，並盡可能遍布研究調查之範圍，使得將來應用的水位資料時不論是在抽樣、挑選設置是內插分析時，都會起到良好的幫助。

而分析水位的選擇是相當具有討論性的項目，不同之分析水位可能代表不同之考量情況，同時也可以有不同之解釋，因此如何選用可以說相當具有藝術性，但就

應用上的液化分析而言，可能需要比較嚴謹的去使用。因此，本研究在後續土壤液化相關圖資之分析水位選擇，基於實務與應用上之考量，建議以地區性汛期之平均水位進行分析，方能得到較合理之分析結果；而地下水位的更新亦是相當重要的環節，對新增水位監測資料的加入、不適當資料篩除及原有地下水監測成果的持續更新，都會增加地下水位資料的適宜性及代表性。當對於地下水位資料的精進，由於土壤液化發生與地下水位的狀態是息息相關，因此如何讓地下水位在液化研究中有更好發揮，是相當具有探討意義的，並可使得鑽探成果相關圖資的品質有所提升。

四、現地鑽探施工作業之提升

為了提升現地之地質鑽探工程作業品質，除了現場施工人對於自身鑽探技術精進與現場作業自主品質管理提升外，監造及督導單位也必須提出相關策略去執行，並設置建立檢核點來對現場作業進行宣導及掌控。其目的是希望透過良好的現場管理與品質控制，讓政府官員與工程界相關人員能重視對於鑽探作業的施作。此外，更重要的是其對於後續土壤液化分析影響，液化潛勢圖資質量及精度所造成之幫助。

1、辦理鑽探現場教育訓練

為建立現地人員作業之品質標準、施作之流程及檢驗重點，宜蘭地區在進行補充鑽探作業時，辦理了兩場的相關教育訓練。首先在整體鑽探作業施作前辦理「標準鑽探作業流程示範講習」，講習中安排了第一孔鑽探作業之示範施工，希望藉由此次活動建立往後宜蘭地區本期鑽探之標準作業流程標準，並確認現場監造之現地品管程序，使相關單位可以瞭解鑽探流程並建立對現場作業品質之共同認知，同時，亦提供一平台進行想法與意見之交流。再來就是「地質鑽探標準作業研習會」的籌辦，同樣對於現場施作人員進行輔導外，也安排了關於鑽探作業說明、公共安全介紹、後續土壤液化應用等專題說明，除了相關單位及人員，也開放讓有興趣的一般民眾參與，幫助與會人員對現場鑽探作業執行及鑽探報告檢視更進一步瞭解，最重要的是，透過舉辦相關教育訓練及講習來讓參與人員認知施作鑽探之品質對後續研究及應用之重要性，增加彼此之責任與義務感，高標準的正規化品質標準、施作之流程及檢驗重點的建立，可以確保應用之土壤液化潛勢分析參數更具正確性。

2、現場鑽探施工品質督導

探究鑽探作業的品質提升，現場作業的管理是最為直接與重要的，因此，現地之施工作業必須要針對人、事、物有明確的專項管控。於「人」的方面，必須確認

參與鑽探人員需要有相當之現地經驗及施工技術，若是在大範圍之鑽探施工作業中應對於現場有良好的人員控制，並建立鑽機與作業人員的編組；於「事」的方面，在施作前應確認施工人員之標準鑽探施工程序，在施作中除了確認鑽探施工的正確性外，同時也應該留意現場工安狀況〈如現場人員之安全措施、工區防護圍籬、警示燈等〉，在施工後之場地復舊雖然是最容易被忽略的，但是不可否認的是好的施工善後與良好的工程品質試有絕對的關聯的，此外，若是在大範圍之鑽探施工作業中應有良好的鑽探每日、每月等階段性施工進度掌控；於「物」的方面，則是注重機械、機具的狀況，應確認鑽探機械之形式、功率是否適合施作於需調查地區之地形、地質、進尺深度、取樣形式等條件，再者，也應檢視施作相關器具的尺寸及其完整性，如取樣器刀口不能有凹陷、變形等問題。此外，若是為因應其他需求或特殊考量而增加其他檢測與試驗時，也應對於相關檢測儀器、設備的流程與校正情形有所了解。

而鑽探作業最重要的是取得所需的土壤參數，因此對於現地取樣保存必須有相當之要求，以土壤液化分析所需的土壤劈管取樣為例，首先必須確認取樣之程序、器具、深度是否符合取樣土壤之目的，接著是將取樣後土壤試體，應立即進行密封保存，並且適當的分別標示之，確保取樣之完整性與順序無誤，確認密封及標示狀況後，須集中置於陰涼或有遮蔽之處，避免其溫度劇烈變化，不致影響其土壤性質。最後，試體應該在鑽探施工結束後，必須盡早且以最穩定的方式送往試驗室進行後續試驗，使得土壤試驗盡可能保持其在原生土層中之初始狀態。

3、鑽探即時影像監看

由於鑽探範圍遍布宜蘭地區之宜蘭市、羅東鎮、五結鄉三個鄉鎮市，相較於建案一般之鑽探施工而言，其施工地點分布較為寬廣，可能會因為距離因素而增加整體督導作業的難度。儘管鑽探施作現場安排數名具有豐富實務經驗之現地工程師，對於工程的品質、進度、安全加以嚴密的管控，且當調查工作遭遇施工障礙及限制時，亦有安排地質、大地領域之專業人員進行現場督導，但為求工程技術之精進與監造品質提升，且考量到施作現地鑽探過程與進度可以讓參與計畫的相關人員可以隨時清楚了解施工狀態，並進行同步進度與品質的確認。因此，在鑽探施作的期間要求施工人員裝設監看系統，並遠端傳輸至線上網站之「鑽探行動管理系統DMS」，以滿足督導單位可以方便且快速的同時確認多台鑽機的施工情況。此外，可利用其中之「即時影像傳輸系統 CCTV」達到遠距管理、即時監督及紀錄留存等多重效益，而現場作業過程可以透明、公開，使得相關人員在利用即時影像監看的同時也可以參與現場品質管理，讓鑽探作業的品質管理作業又多了一重提升。

4、試驗品管控制

除了上述的現地管制外，對於取樣土壤試體之控制也是有助於成果圖資的品質

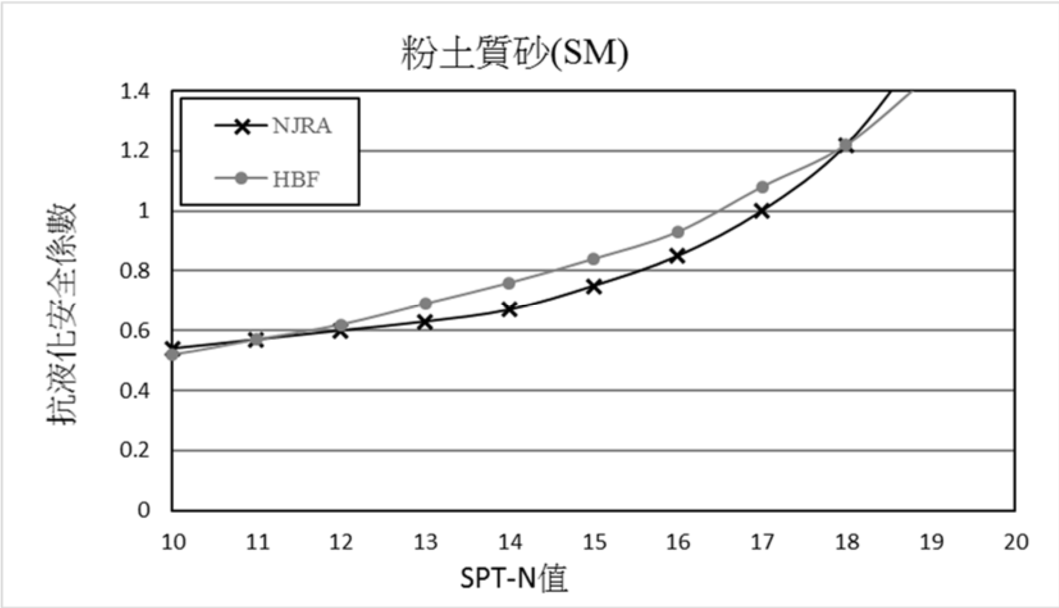
提升。因此，宜蘭地區補充地質鑽探相之關試驗監督也是管控的重點，取樣土壤試體之試驗必須由具有 TAF 認證之試驗室進行。TAF 全名為財團法人全國認證基金會，主要推動國內各類驗證機構、檢驗機構及試驗室各領域之國際認證，建立品質與技術能力的評鑑標準，結合專業人力評鑑及運用能力，以認證各試驗機構，提昇品質與技術能力，強化認證公信力，使得試驗成果可以更具代表性。

在將試體交付 TAF 認證之試驗室進行試驗的同時，督導單位也同步於現地鑽探取樣進行抽樣，並將其取樣試體交付予第三方試驗室進行第二重的試驗，藉由第三方試驗室試驗成果來對照於原本 TAF 認證試驗室之土壤試驗結果，對土壤相關結果作一比較。因此除了可以確認試驗結果之準確性與檢視原本試驗室之試驗結果，在試驗室自主管理及 TAF 認證的品質保證上，再多加上一層的把關，達到二級品管之目的，更能確認相關試驗結果之土壤分析參數之正確性。

五、土壤液化評估方法與參數探討

1、液化評估方法比較

由於目前廣泛使用的土壤液化分析參數及方法眾多，且方法的選定攸關液化潛能指數之計算結果，連帶影響著最終產出之土壤液化潛勢圖。因此，如何選用合適的土壤液化評估方法也是本文所需要探討的議題之一，常見之評估方法像美國的 NCEER (2001)、Boulanger & Idriss (2014)、Cetin (2004)等，日本的 NJRA (1996)、T&Y (1983)等、和台灣本土的 HBF(2016)。這些方法在土壤液化的評估研究皆有相當廣泛的被使用，其中 HBF 評估方法係透過大量本土之液化案例進行回歸，所以應用於宜蘭地區土壤之評估分析會有較好的適宜性。現將 HBF(2016)與初級液化潛勢圖之評估方法 NJRA 進行探討，由於本文調查範圍之地質有大量的砂土與粉土區域，因此對於其中主要液化地層材料－粉土質砂(SM)及砂質粉土(ML)為例，解析隨著 N 值變化，HBF 及 NJRA 液化評估法之抗液化安全係數(F_L)如下圖 13 所示，上圖為粉土質砂(SM)，在宜蘭地區主要之 N 值落在 10 以上之範圍，由此區間可初步瞭解 NJRA 於細粒料含量較少之條件下較為保守；下圖則為砂質粉土(ML)，在宜蘭地區主要之 N 值落在 3 到 10 之範圍，由此區間可初步瞭解 HBF 於細粒料含量較多之條件下較為保守，藉由不同細粒料含量之土壤在不同評估方法下會呈現相反之結果。



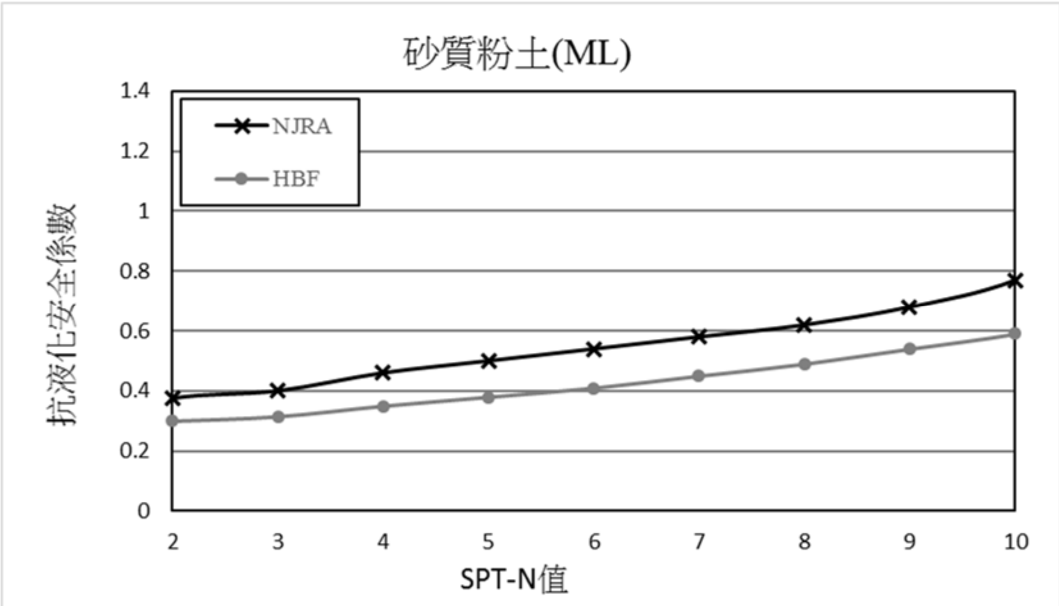


圖 13 HBF 及 NJRA 法之隨 SPT-N 改變之 F_L 變化

HBF 法與 NJRA 法之分析成果比較如圖 14 所示，可以發現相較於本研究採用之 HBF 法評估結果，NJRA 法於 FC 較少時偏向保守，於 FC 較多時則反之，故在兩種土壤液化評估方法下由於現地之地質條件影響會使得液化潛勢分析結果略有差異，於五結鄉西側 NJRA 法會有偏向於高液化潛勢的趨勢，而於宜蘭市東北側與南側 NJRA 法會有偏向於低液化潛勢的趨勢。故建議在選用評估土壤液化時，須要將多方因素列入考量，包括地區性、地質特性、地震分類情形、參數應用與修正等，選擇合適的液化程序可以讓液化相關成果圖資更精確及代表性。

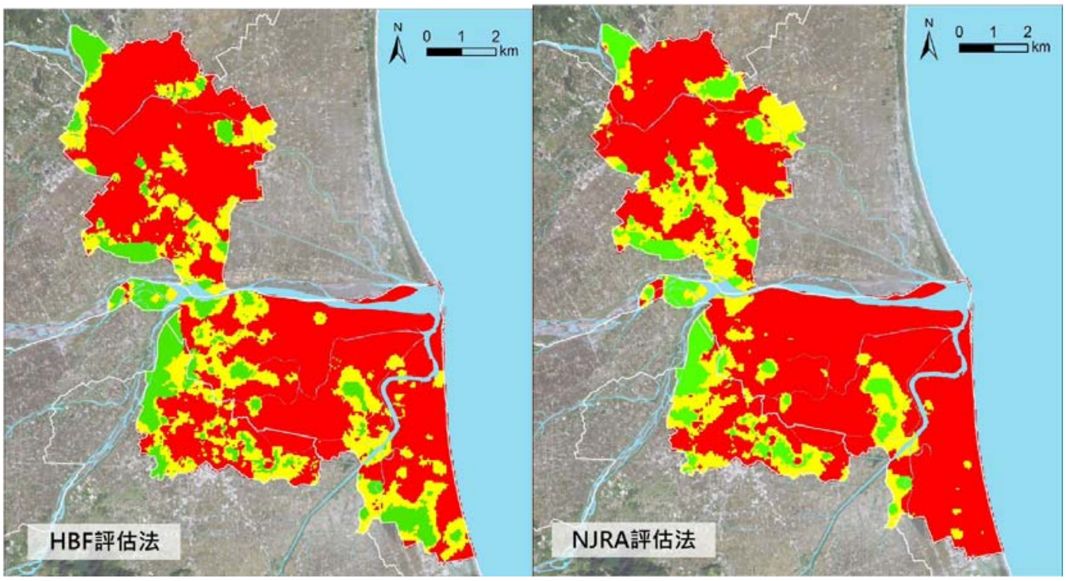


圖 14 HBF 法與 NJRA 法之分析成果圖

2、分析地下水位選用

構成土壤液化主要有三大要素：疏鬆砂質土壤、強烈地震、及高地下水位，由此可知，地下水位參數對於液化分析扮演者舉足輕重的角色，一旦地下水位升高，土壤處於飽和狀態，會使得土壤中孔隙被水分所填滿，而處於相對不穩定之狀態。本節針對地下水位參數進行敏感度分析，將本研究範圍補充之 218 鑽孔進行分析，所選用之水位為鑽探施作結束後三個月所量測之地下水平均值進行升降，藉此瞭解水位面的高低對於液化潛能值 P_L 之影響，以得知宜蘭地區土壤對於地下水位之敏感度。

如圖 15 所示，在水位變化越大，P_L 改變量也就越大，在水位變化在±0.5m 時，$|\Delta P_L|$大多集中於 0~3 之範圍內，可能會使得土壤液化潛勢分及有所變化；當水位變化在±1.0m 時，$|\Delta P_L|$在圖中的分布與前者相比明顯下降了不少，並且發生明顯右移現象，說明在 1.0m 的水位改變量是足以對液化潛勢情形有相當顯著的影響。從另外一個角度而言，在相同水位差之變化下，不論是在 0.5m 合 1.0m 的分析結果，都可以看出相較於地下水位調降，地下水位的提升會對 P_L 有較大的影響，值得注意的是，這些改變會使的評估時場址的液化情勢變得更不樂觀。因此，本節所探討的內容正好呼應 3.4 節內容，對於評估選用之地下水位需要十分慎重考量，分析水位除了必須具有其意義及代表性外，對於該水位的些許變化，會對評估結果有相當程度之影響。

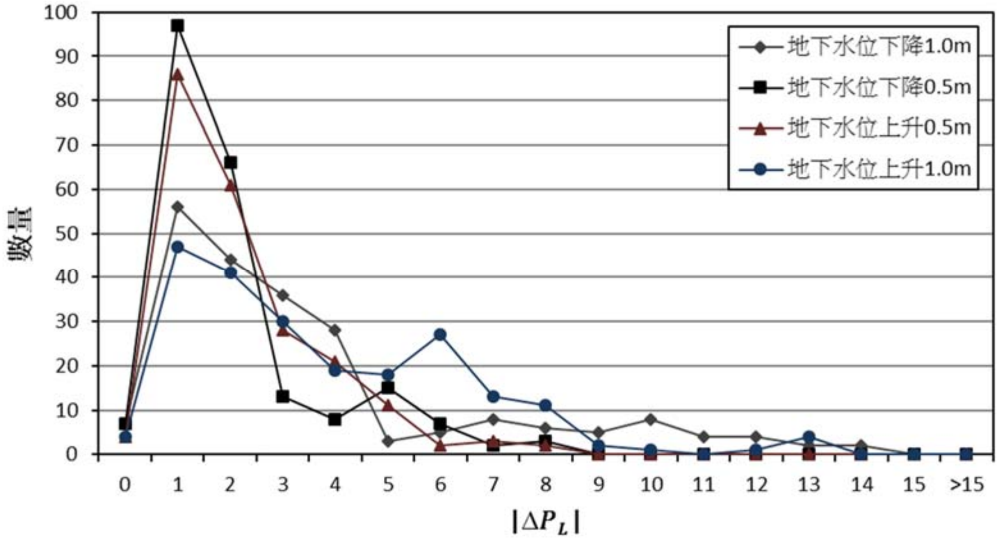


圖 15 不同水位變化下宜蘭地區$|\Delta P_L|$分布情形

3、標準貫入能量比之選用

由於評估方法的關係，需要利用 SPT 試驗之 N 值來反應土壤強度並進一步評估液化情形，簡單來說，所測得 N 值越大代表該場址抗液化能力應該越佳，因此，對於 N 值的修正與調整在液化之應用上就會變得格外之重要。而 N 值所用之貫入能量一直是受到質疑的，最早在 1983 年 Seed 曾比較各國不同的打擊方式及落錘型式之貫入能量關係，建議若非自由落體錘擊之能量皆利用 60%來進行分析，但經過多年的研究，有諸多學者發現，貫入能量不僅僅受到機具或人為之影響，還會因試驗所在地之地層不同而有所變動。因此為進一步瞭解其貫入能量，本節針對貫入能量參數進行敏感度分析，將本研究範圍補充之鑽孔彙整，就宜蘭地區目前所用之貫入能量參數 72%與 Seed 建議之貫入能量參數 60%間的差值作為研究之參數調整進行升降，藉此瞭解貫入能量高低對於液化潛能值 P_L 之影響，得知其對於宜蘭地區土壤之敏感度。

由圖 16 所示，以 72%為基準，在貫入能量比變化越大時，ΔP_L改變量也就越大，在貫入能量比變化在±12%時，$|\Delta P_L|$大多集中在小於 10 之範圍內，這些變化會導致土壤液化潛勢分及有所變化；當貫入能量比變化在±24%時，$|\Delta P_L|$在圖中的分布與前者相比明顯下降了不少，並且發生明顯右移現象，說明在貫入能量比的修正會左右液化潛勢表現的情形。值得注意的是，在降低貫入能量比時，對於液化潛勢的變化會比較大，特別時在 48%(-24%)時，出現較多$|\Delta P_L| \geq 15$ 現象，這是相當奇特的現象。總結而言，對於選用貫入能量比亦是需要十分慎重去修正，除了參考相關地質分區資訊外，現地的貫入能量檢測與既有貫入能量調查成果也相當重要，必要時有一些工程師的經驗判斷作為輔助，對於貫入能量比選用會相當有幫助，適當的

能量比選用，從某些角度而言，會對液化相關成果有絕對正向之影響。

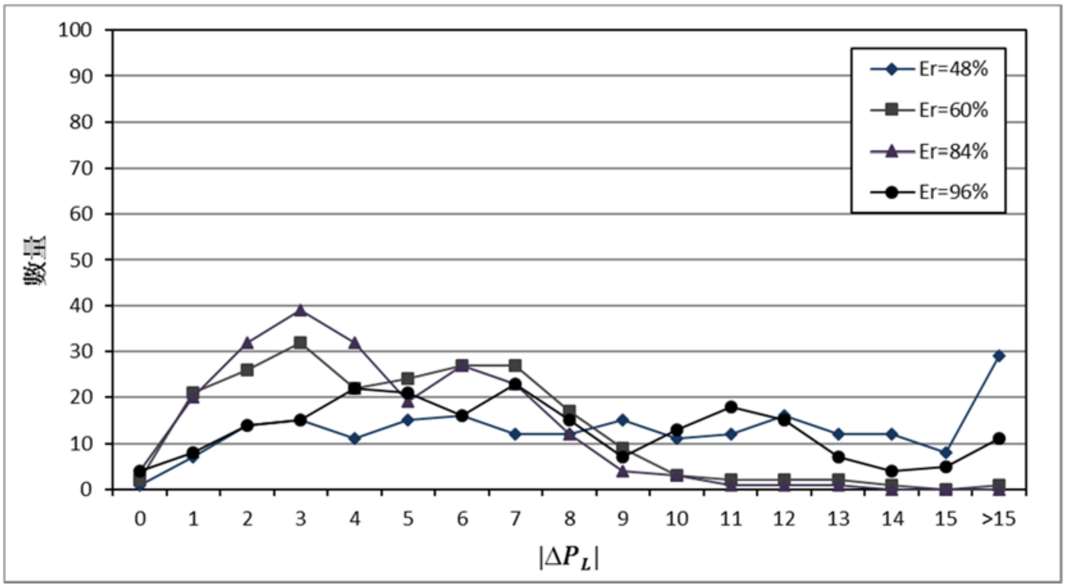


圖 16 不同貫入能量比下宜蘭地區$|\Delta PL|$分布情形

六、結論與建議

對於土壤液化潛勢圖資之鑽探品質管理，是需要依靠在其製作之過程之層層把關，本文以宜蘭地區中級土壤液化潛勢圖之相關計畫作為所探討之案例，從鑽探調查前的籌備、規劃、調查，良好的前置作業下提高鑽孔應用之價值；再到鑽探作業的施工時相關品質管理的策略以及相關人員共同督導，使得現地真實的土壤訊息可以被獲取，讓後續應用之工程師可以大展身手；最後對於適當研究方法的選擇、分析參數的選用，可以依照所探討之議題及應用需求進行調整，可以以不同的方向與原則去解析之，其對於整體成果圖資提升是可以達到畫龍點睛之成效。總之，若需要從鑽探作業來加強土壤液化相關成果圖資的精進，於鑽探施作前、中、後的品質控制，皆有可以列入深入探討之處。

七、參考文獻

Chao, S. J., Hsu, H. M., Cheng, A. and Pan, C. W., 2018. Strategy for Improving Precision of Soil Liquefaction Potential, *GeoShanghai International Conference*, 169-177.

Chao et. al., 2017. Preliminary Evaluation of Liquefaction Potential in Ilan Area, *5th International Conference on Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation*, 37 – 47.

Chao, S. J., Hsu, H. M., and Hwang, H., 2010. Soil Liquefaction Potential in Ilan City and Lotung Town, *Taiwan, Journal of GeoEngineering*, 5(1), 21-27.

Chao, S. J. and Hwang, H., 2007. Engineering Properties of Soft Ground Condition of Yilan Area, *Sino-Geotechnics*, 133, 19-30.

Hsu, Y. C., 2007. Evaluation of Liquefaction Potential in ILan Area, Master Thesis, Department of Civil Engineering, National Ilan University.

Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K., 1982. Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference*, Southampton, 925-939.

Mogami, T. and Kubo, K., 1953. The behaviour of sand during vibration, *Proc. 3rd Int. Conf.* Soil Mech. and Foundation.

Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, SM9(97), 1249-1273.

Seed, H. B., 1979. Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquake, *Journal of the Geotech Engng Division*, ASCE, GT2(105), 201-255.

Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chung, R. M., 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 111(12), 1425-1445.

Youd, T. L. and Perkins, D. M., 1978. Mapping Liquefaction Induced Ground Failure Potential, *Journal of the Geotechnical Engineering division*, ASCE, 104(4), 433-446.

20th 三維列印在文資保存之應用案例-國定古蹟蔡氏家廟

三維列印在文資保存之應用案例-國定古蹟蔡氏家廟

三維 Printing in the Application Case of Cultural Heritage Preservation - Cai Ancestral Shrines in Qionglin Temple

莊昀[1]、呂雅涵[1]、黃泓皓[1]、蕭興臺[2]、林國禎[2]
1：中國科技大學結構物安全與防災中心、2：中國科技大學土木與防災設計系

摘要

三維列印技術在近幾年因專利技術解鎖、設備成本降低、成品具高度重複性及數位科技應用等因素，大幅降低三維原型製作技術門檻。在過往需要高度手工藝技術之文化資產原型製作因傳統匠師數量減少、文化資產歷史資料多為二維資料導致文化資產原型在精度面臨高度挑戰，而文化資產保存在近期發展已由傳統量測繪圖進展到逆向工程之三維掃描建立數位模型，且持續增加三維數位模型案例，經由三維列印技術可將存在於計算機內虛擬之三維數位模型具象實體化，成為可在實際生活中舉手可得之實體，對文化資產保存可提供具體化之教育推廣功能，又可在文化資產標的物修復前中後各階段提供高精度參考標準，以減少因歷史資訊不完整所產生差異，提高文化資產標的物修復品質。

本研究經文化部文化資產局補助，以國定古蹟蔡氏家廟為案例，進行基於文化資產保存為目的之三維列印原型製作，研究內容自承接既有逆向工程之三維雷射掃描點雲資料，進行三維數位模型繪製、切層作業與檢視、三維列印實體原型等實作與紀錄，可供文化資產標的物製作原型需求人員作業參考。

關鍵詞：三維列印、逆向工程、文化資產保存

一、前言

隨著數位時代的來臨和光學資訊科技的躍進，科技已成為文化資產保存與修復重要的知識與工具。近年來，三維掃描技術於文化資產之應用已日趨普遍，不僅應用於調查與修復，亦能藉此一窺古蹟與歷史文物結構內部的奧妙；透過三維列印技術，更可以進一步協助守護文資保存的價值。

三維列印技術經由自動化設備可產製符合文化資產保存對高精度中尺寸與中精度大尺寸之需求，故研提三維列印在文資保存之應用對古蹟保存虛實整合進行研究。

文化資產保存技術依序自人工測繪、三維掃描至 BIM 建模已發展數位保存技術(虛擬模型)，本研究可輔助提升古蹟保存之工藝及古蹟保存之能力，結合已發展之數位保存技術，提供文化資產保存「虛實整合典藏系統」，並促進文化資產保存技術研究與應用，如圖 1 所示。

本研究主要重點有四，分述如下：

1. 三維列印模型建置研究：承接科學調查與記錄之文資數位保存資料建立三維列印之精緻模型。
2. 二維切層作業方法研究：對三維列印模型進行二維切層作業方法。
3. 資料轉檔方法研究：承二維切層作業方法成果進行三維列印設備資料轉檔。
4. 三維列印在文資保存之應用技術研發：綜合前 1-3 項技術整合以國定古蹟「金門蔡氏宗祠」為案例進行實作，由實作模型蒐集資訊並改進技術。

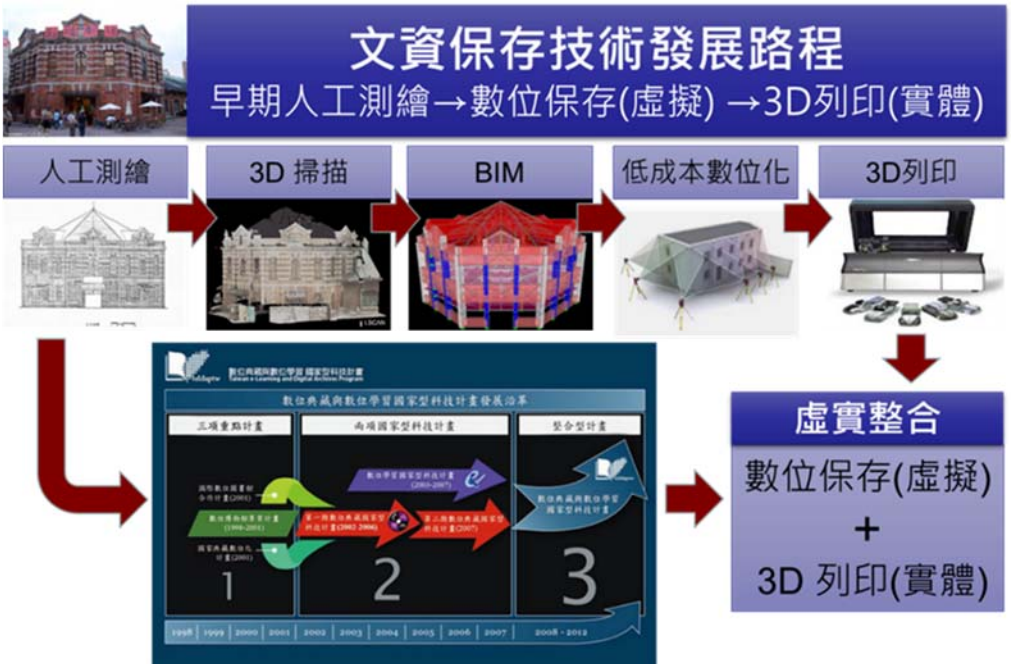


圖 1 文資保存技術發展與三維列印整合示意

二、文獻探討

文化遺產的保存及數位技術的整合，是 21 世紀重要的國際趨勢，數位化技術不但可以完整地紀錄並保存文化遺產的詳細文件與資訊，更可以有效地發揮加值功能；數位科技是 21 世紀影響人類生活文化的重要議題，在文化資產保存再利用上

更是如此。既往相對靜態且封閉的文化資產工作，藉這項仍在持續發展中的課題，成為全世界關注的熱點；透過各種技術與應用的開發，拓展文化資產保存再利用加值的各種可能性是一項重要研究課題。歐盟在執行中的歐盟科研架構計畫第七期計畫(Framework Program 7,簡稱 FP7) 、Horizon 計畫(2014-2020) 及美國保羅蓋蒂研發中心(The J. Paul Getty Conservation Institute) 推動的 Open Content 計畫，均將數位科技與文化遺產保存再利用的研究與應用，作為極重要的發展課題。

近年來在國外政府大力推動及全球媒體的關注下，三維列印技術儼然成為未來科技的焦點。如今已經進步到可以藉由此技術，開發出各種應用，包括列印出實體的人工關節、齒模、模具、零組件、及各式物件。有別於傳統的機械製造程序，三維列印技術採用材料疊加的方式製作物件，可以克服工具機加工無法達成的幾何形狀死角，做到自動化實體自由形狀製造（Solid Freeform Fabrication, SFF），符合古蹟少量多樣之特性。依目前國際的研發趨勢來看，過去被稱為快速成型(Rapid Prototyping, RP)的三維列印(Printing)將會逐漸發展成快速製造(Rapid Manufacturing)，使用三維列印技術發展古蹟保存精緻模型可預期能縮短模型製造期程，且能提供古蹟保存所需之精細程度，三維列印技術預期在未來 5-10 年間達到發展高峰，如圖 2 所示。

目前國內使用三維列印技術在古蹟保存上之應用非常稀少，本計畫蒐集國內外相關資料進行背景分析，分別以國內外三維列印在古蹟保存之案例與三維列印技術發展兩部分說明。

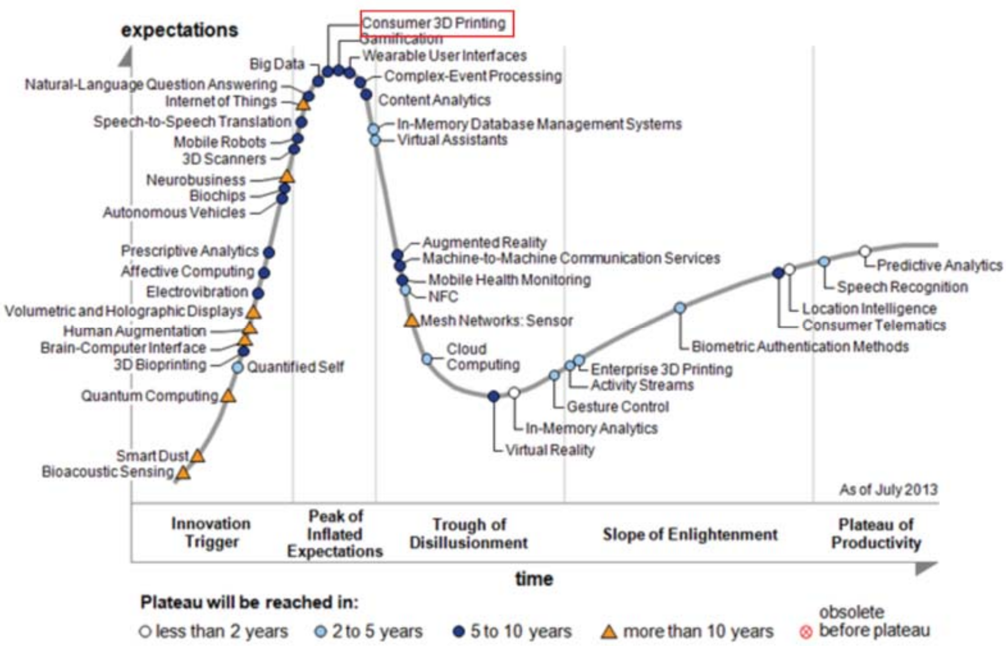


圖 2 三維列印技術預期發展示意圖

【Ref.: 2015, 三維 Printing for Scientific & Cultural Heritage Collections, Richard J. Urban, Ph.D.】

1. 國內外三維列印在古蹟保存之案例

(1)西安大雁塔模型

大雁塔是西安市著名的旅遊景點，唐代永徽三年(西元 652 年) ，玄奘為藏經而修建，塔身土層，通高 64.5m 被視為古都西安的象徵。為了復原這一文化瑰寶，西安市文物局使用了西安交通大學的積層製造技術進行了縮放模型的製作，由於大雁塔每一層的造型皆不相同，且在每層塔身都佈滿了精美的雕刻，使用傳統手動雕刻方式製作這一模型不僅過期較長，而且製作出的模型也無法保障與大雁塔完全一致。而積層製造技術製作這一模型僅需幾個小時就可完成，製作後的大雁塔模型結構精美，填滿了歷史的滄桑及美感(如圖 2)。西安市文物局將大雁塔積層製造模型送給國內外的貴賓，將中國的傳統建築文化推廣到了世界各地。Ref.: 2013，中國機械工程學會，三維列印，列印未來---從虛擬到實現，佳魁文化。

(2)Asinou Church In Cyprus

12 世紀初的教堂與 12 世紀後期的壁畫用來奉獻給聖母瑪利亞。它被認為是拜占庭壁畫最好的例子。研究人員使用無人機對教堂古蹟進行數位掃描建立三維數位模型後，以三維列印進行教堂古蹟模型製作。Ref.: 2015，K. Themistocleous、M. Ioannidesa、A. Agapioua and D.G. Hadjimitsisa，The Methodology Of Documenting Cultural Heritage Sites Using Photogrammetry, UAV And 三維 Printing Techniques:The Case Study Of Asinou Church In Cyprus，Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)

(3)既有三維列印數位模型之古蹟

隨著三維列印設備發展與普及，可在網路上輕易取得知名之古蹟或世界景觀建築之三維列印數位模型應用，但現階段在模型精細度上多受限於三維列印設備之層厚度影響導致模型成品粗糙，雖有益於文化資產教育推廣，但難以符合古蹟保存需求。Ref.: 30 Wonders of the World 三維 Printed，Thingiverse，https://all 三維 p.com

2. 三維列印技術發展

三維列印技術，已成為全球技術發展的重要趨勢之一，其製作模型及實體的技

術能力與商機，正蓬勃發展於各個應用領域。在三維列印技術與設備，目前市場上主要有 FDM(熔融沉積成型、精度較差、強度較高)及光固化成型(雷射光固化或紫外線光固化、精度較高、強度較差)等不同設備，成型尺寸則有 130mm * 130mm * 190mm ~ 350mm * 350mm * 500mm 等大小不一規格。目前國內已有多家廠商投入三維列印技術之研發，惟產出之列印設備仍以中低階小型產品為主，大型或高階列印設備則大都係代理進口。

三維列印成型技術依據使用材料形式和製程型態有所不同，主要可歸納為五類，優缺點整理如表 1 所示。

表 1 三維列印成型技術優缺點比較表

成型技術	優點	缺點
熔融沉積成型，FDM (	1.作業環境乾淨、安全。 2.無須貴重元器件。 3.材料取得容易且多元。	1.成品表面粗糙，需後處理。 2.製作速度緩慢。
黏著成型，3DP (3D Printing and Gluing)	1.無須貴重元器件。 2.無須加設支撐配置。 3.能直接列印彩色。	1.石膏材料強度低。 2.表面手感稍有粗糙。
選擇性雷射熔融，SLS (Selective Laser Sintering)	1.成型材料廣泛，含金屬材料。 2.零件建構時間短。 3.未用粉末可循環利用。	1.粉末燒結表面粗糙。 2.大尺寸零件易翹曲變形。 3.製程產生有毒氣體。
光固化立體造型，SLA (Stereo Lithography Appearance)	1.技術成熟度高。 2.成型快速，系統穩定。 3.可大尺度且高精度。	1.裝置造價高昂。 2.需設計支撐結構。
分層實體製造，LOM (Laminated Object Manufacturing)	1.成本低。 2.快速成型製程。 3.無須設計支撐配置。	1.浪費材料。 2.需專門實驗室環境。

Ref.: 2014，吳懷宇，原來世界不是平的：三維列印+數位成像技術 「凹凸」整個地球暨本研究整理

三維列印是種積層快速成型技術，經由三維數值模型分解成平面切片，透過三維印表機把材料按切片圖逐層疊加完成模型建置。主要作業流程如圖 10 所示，可分為三維模型設計、三維格式轉換、三維列印軟體與三維列印設備共四部分，描述如下：

3D模型設計	→	3D格式轉換	→	3D列印軟體	→	3D列印設備
創意構想 (Revit、AutoCAD、SketchUP)		匯出STL格式 (Rapidform XOR)		逐層分割		逐層建模
存在實體 (測量繪圖、3D掃描、3D照相)						

圖 3 三維列印作業流程圖

三、研究方法

本研究以案例實作方法進行三維列印在文資保存應用技術之研究，考量古蹟代表性與尺度條件規劃以國定古蹟「金門蔡氏宗祠」為案例進行三維列印模型建置研究、二維切層作業方法研究、資料轉檔方法研究及精緻模型三維列印，研究方法與步驟如圖 4 所示。

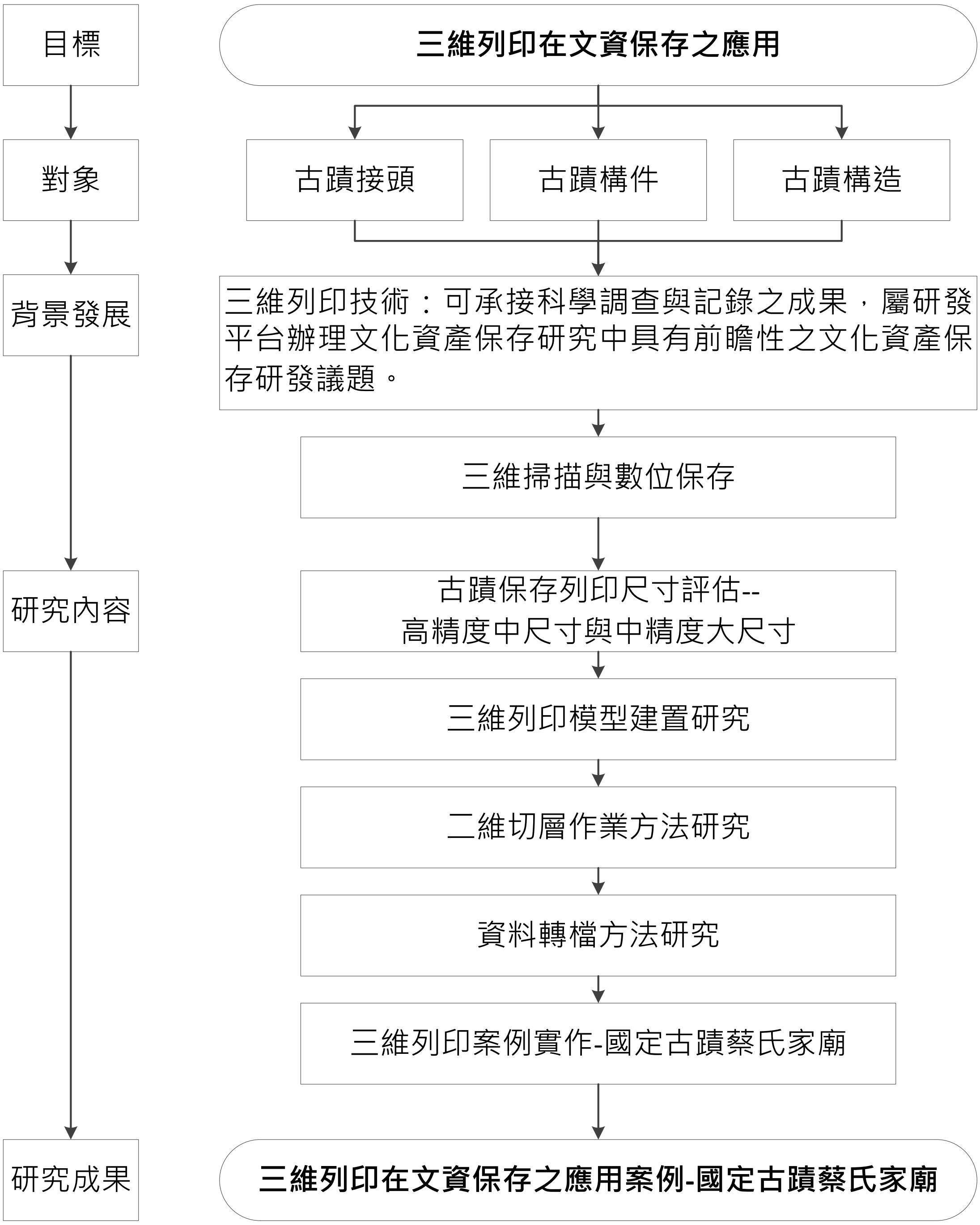


圖 4 研究方法與步驟示意圖

1. 自行研發特色

目前雖有套裝軟體可供應用但無具體標準程序可供參考，本研究對文資保存提供應用方案。各階段自行研發說明如下：

■三維列印模型建置研究：承接三維掃描檔案後須進行三維列印數位模型建置，建置過程須考量古蹟保存需求與三維掃描模型之間失真，三維掃描模型與三維列印數位模型之間失真，三維列印數位模型與三維列印設備失真等三項因素後研提符合古蹟保存需求之三維列印數位模型建置方法。

■二維切層作業方法研究：三維列印設備執行三維實體模型列印係採分層列印累積堆疊作業，故在三維列印數位模型進行二維切層作業規劃時，須考量因二維切層作業產生失真因素進行作業方法研究。

■資料轉檔方法研究：三維列印設備使用機器碼作為列印控制資訊，二維切層作業規劃之檔案轉換成機器碼時所產生之失真因素須加以調整。

■案例實作：三維列印設備進型三維實體模型列印過程因材料特型、成型速度等因素產生三維模型瑕疵或失真狀況，經由案例實作紀錄瑕疵或失真狀況回饋前述各階段做為調整依據。

綜上，本研究自行研發之三維列印技術應可產製符合文資保存需求之三維列印實體模型。

2. 研究使用三為列印設備

設備參考規格如表 2 所示，由實作模型蒐集資訊並改進以完成三維列印在文資保存之應用技術之研究。

表 2 三維列印設備參考規格表

項目	FDM	STL
設備照片		

項目	FDM	STL
模型尺寸	350 mm * 350 mm * 500 mm	294 mm * 192 mm * 148.6 mm
水平解析	0.0125 mm	600dpi(about 0.04 mm)
垂直解析	0.001 mm	900dpi(about 0.03 mm)
層解析度	(0.05-0.30)mm	(0.016-0.028)mm
材料	ABS、PLA、PA、PVA、HIPS、TPE、TPV	VeroClear、RGD525、DurusWhite
特色	可製作大尺寸元件達 50 公分，符合本計畫對大尺寸元件之需求。	可製作高精細度之元件達 0.0016 公分，符合本計畫對精緻化之高精度需求。

3. 案例說明-國定古蹟金門蔡氏家廟

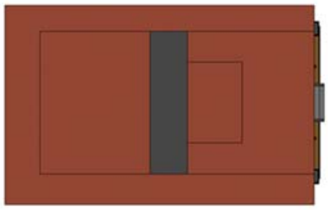
文化資產類別/級別/種類：古蹟/國定古蹟/祠堂	
金門瓊林村現存的祠堂共有七座八祠，即蔡氏家廟、新倉上二房十一世宗祠、坑乾六世宗祠、新倉下二房六世十世宗祠、前庭房六世宗祠、大厝房十世宗祠、藩伯宗祠。 蔡氏宗祠之建築平面仍遵循中國傳統的建築型式，具有明顯主軸線，左右對稱格局。整體佈局在虛實之間開創了靈活流暢的內部空間。此種格局和當地民居建築大致相同，致使原本屬於祭祀性質，肅穆的宗祠卻也保有有居家生活般的平易親切。	
評定基準	具歷史、文化、藝術價值
指定/登錄理由	具文化資產保存價值
公告日期/文號	1985/08/19/內政部（７４）臺內民字第３３８０９５號

四、結果與討論

1. 結果

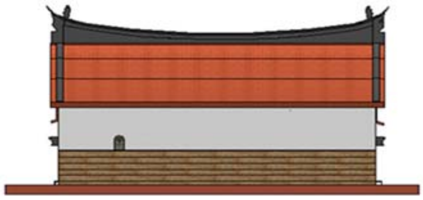
本研究完成國定古蹟蔡氏家廟案例之三維數位模型、二維切層作業與三維列印模型等，成果分別如圖 5-圖 7 所示。

a. 三維數位模型-上視

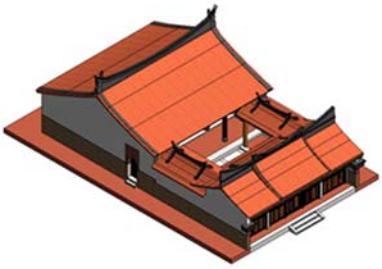


b. 三維數位模型-下視

c. 三維數位模型-正視



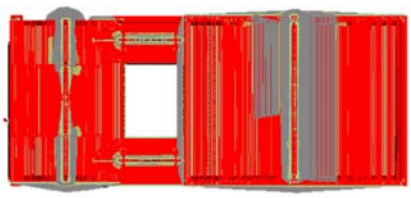
d. 三維數位模型-後視



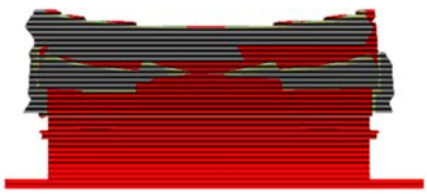
g. 三維數位模型-左上正視

h. 三維數位模型-正上右視

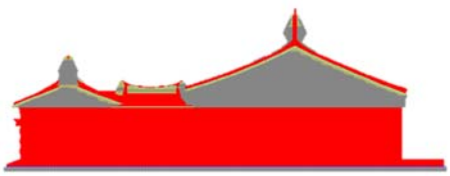
圖 5 國定古蹟蔡氏家廟之三維數位模型建置成果

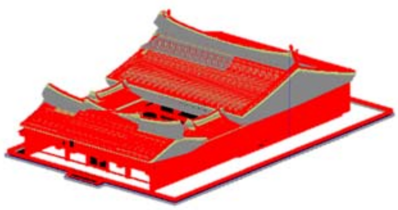


a. 數位模型二維切層-上視



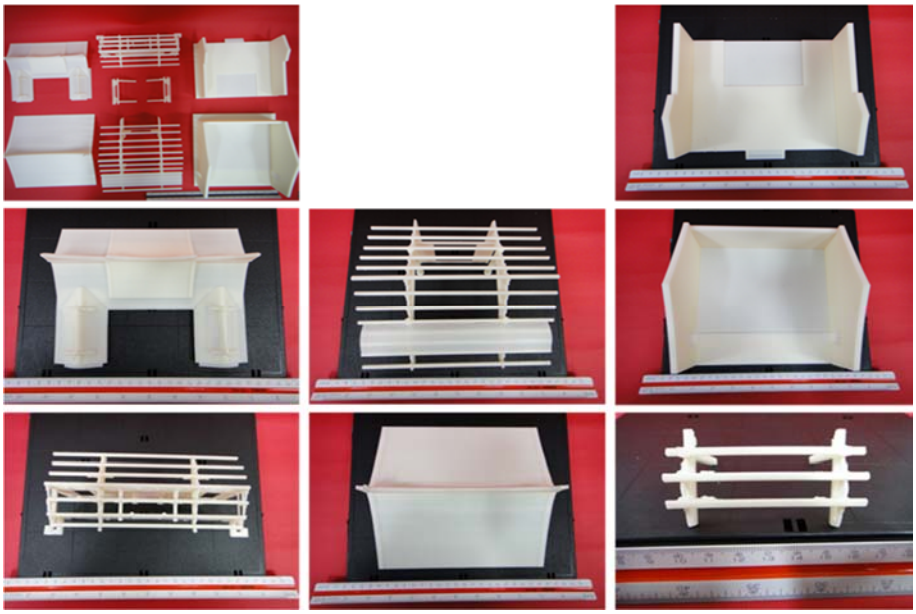
b. 數位模型二維切層-正視



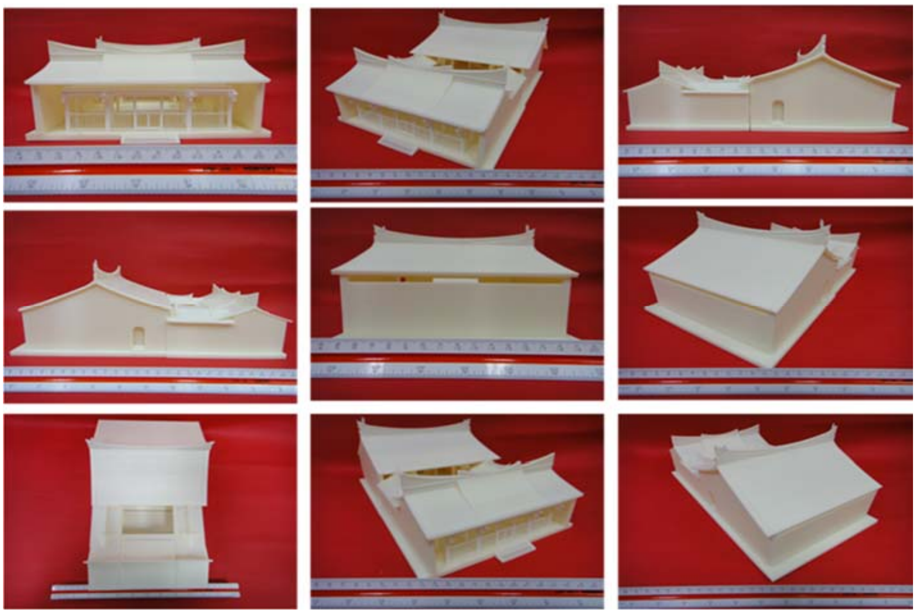


c. 數位模型二維切層-右側視	d. 數位模型二維切層-正上右視

圖 6 國定古蹟蔡氏家廟之二維切層作業成果



a. 三維列印模型成果-上視



b. 三維列印模型成果-各視角

圖 7 國定古蹟蔡氏家廟之三維列印模型成果

2. 討論

本研究以「三維列印在文資保存之應用」為目標，以古蹟接頭、古蹟構件與古

蹟構造等標的物為對象，承接科學調查與記錄之三維數位模型成果，研提以文資保存為基礎之三維列印應用技術，以促進古蹟保存研究。經由三維列印模型建置研究、二維切層作業方法研究、資料轉檔方法研究與案例實作共四個研究階段進行古蹟保存精緻模型虛實整合，研究預期成果計四項，說明如下：

茲分三維列印之應用、三維數位結合與專利申請三部分進行說明如下：

(1)三維列印之應用：

A. 降低修復技術門檻：文資修復前可供文資主管機關、所有權人與修復匠師進行作業規劃討論釐清；文資修復中可隨時進行修復作業檢討；文資修復後可作為成果檢驗依據，並將該三維列印實體模型留做教育延續。

B. 促進文資教育推廣：實體基於保存緣故，多不宜直接觸摸，三維列印實體模型可供文資與相關人員接觸，擴展教育方法。

(2)三維數位結合：國內已有數位典藏計畫持續對文資保存提供數位虛擬模型技術與平台，本研究將三維列印模型建置研究、 二維切層作業方法、資料轉檔方法與三維列印技術進行結合，以實現文資保存虛實整合與人才培育。

參考文獻

1. 2015, 3D Printing for Scientific & Cultural Heritage Collections, Richard J. Urban, Ph.D.
2. 2013，中國機械工程學會，三維列印，列印未來---從虛擬到實現，佳魁文化。
3. 2015，K. Themistocleous、M. Ioannidesa、A. Agapioua and D.G. Hadjimitsisa，The Methodology Of Documenting Cultural Heritage Sites Using Photogrammetry, UAV And 3D Printing Techniques:The Case Study Of Asinou Church In Cyprus，Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)
4. 30 Wonders of the World 3D Printed，Thingiverse，https://all 3Dp.com
5. 2014，吳懷宇，原來世界不是平的：三維列印+數位成像技術 「凹凸」整個地球暨本研究整理

21th 文資 3D 列印原理與操作職能課程之職能模型建構

文資 3D 列印原理與操作職能課程之職能模型建構

Constructing a Competency Model and Competency-Based Program for Principle and Operation of Culture Heritage 3D Printing

莊昀[1]、呂雅涵[1]、黃泓皓[1]、蕭興臺[2]、李清順[3]、藍家勝[4]、吳宏明 4、陳郁唐[4]、鄭旭峰[5]

1：中國科技大學結構物安全與防災中心、2：中國科技大學土木與防災設計系、3：職能課程專家、4：三維列印產業代表、5：古蹟修復產業代表

摘　要

職能課程為勞動部發展職能導向課程之一，其特色在經由 ADDIE 模型對課程進行系統地發展，從產業需求分析(Analysis)、課程設計(Design)、課程發展(Develop)、課程執行(Implement)到監控評估(Evaluate)的整個過程完成與產業需求密集結合之職能課程據以辦理人才訓練，

本研究經文化部文化資產局補助，以文資 3D 列印原理與操作為職能課程，辦理三次專家會議(利益關係人)建構職能模型，專家範疇有職能科程專家、三維列印與文化資產修復等產業代表、課程講師等，明確定義本課程發展主要任務為接收文資個案與確認模型規格、建立文資 3D 列印用介面檔案、列印與移交文資 3D 實體模型等三項，以培育參訓學員具備產出文資 3D 列印模型之知識及技能，並符合文資產業 3D 列印人才需求，強化學員本身之工作專業能力，進而提高自我競爭力及就業機會，從事 3D 列印相關工作。

關鍵詞：三維列印、職能課程、職能模型

一、前言

隨著數位時代的來臨和光學資訊科技的躍進，科技已成為文化資產保存與修復重要的知識與工具。近年來，3D 掃描技術於文化資產之應用已日趨普遍，不僅應用於調查與修復，亦能藉此一窺古蹟與歷史文物結構內部的奧妙；透過 3D 列印技術，更可以進一步協助守護文資保存的價值。

本課程屬「文資 3D 列印應用學程」其中一門，發展歷程係延續「文化資產學院第二期人才培育計畫：產學群組『文資 3D 列印應用學程』(105/08/01-106/12/31)」，本期以「文資 3D 列印應用」為計畫主題，規劃 3 門專業技術課程，分別為「文資 3D 數位模型建置」、「文資 3D 列印原理與操作」及「文資精緻模型保存列印」，另與本校文化資產技術研究中心開設 2 門課程結合，合計 5 門課程成立「文資 3D 列印應用學程」，規劃「文資 3D 列印原理與操作」辦理勞動部職能課程品質認證，希冀透過教育訓練傳遞正確的修復觀念，知識及作法，並逐步落實在實務層面，同時評估為次階段證照培訓的基礎。本計畫專業職能技術課程可屬創新實務，因課程規劃須有實作演練，且成果須符合自訂標準，又 3D 列印在文資產業之應用尚處萌芽階段，依文資法可引用新技術降低後續修復技術門檻，且能提供修復參考樣本作為預期與後續驗收比對，可為創新應用。

二、文獻回顧

依勞動部勞動力發展署，iCAP 職能發展應用平台（http://icap.wda.gov.tw），職能導向課程發展指引(103 年 8 月)，辦理職能導向課程認證作業，依照 ADDIE 教學設計模型，即所謂的分析(Analysis)、設計(Design)、發展(Development)、實施(Implementation)、評估(Evaluation)五大面向歸納，各面向之重點要求如下所述：

(1)分析：發展的課程應為產業、企業或組織有實質需求，故需透過具體的職能基準依據或職能分析過程，並應依據職能與需求分析，規劃有系統性的課程地圖。本階段達成「職能依據」及「課程地圖」等 2 項審核指標。

(2)設計：為確保課程設計的合適性，應依據職能與需求分析，設計合適的教學／訓練目標，並依此發展完整的課程內容。本階段達成「教學/訓練目標」及「課程內容」等 2 項審核指標。

(3)發展：確定教學／訓練目標、對象及內容後，決定適當的教學方法，以及選擇合適的教材與教學資源。本階段達成「教學方法」及「教材與教學資源」等 2 項審核指標

(4)實施：實際執行課程時，應保存實際課程辦理的資料證據，以確保實施的教學品質。本階段達成「課程辦理」之審核指標。

(5)評估：為確保課程成果的成效性，應設計合適且有效的評量方式，並針對學習成果提出證據，規劃一套自我監控的機制進行整體學習成效的評估，以提出未來改進的具體建議。本階段達成「學習成果評量」、「學習成果證據」及「監控評估」等 3 項審核指標。

各流程說明及相關工作表單如下表所示。

表 1 職能課程流程說明表

流程	步驟	實施說明	參考工作表單
流程一、分析： 進行職能分析確認、規劃課程地圖	1-1 進行職能需求分析	說明引用職能及發展職能導向課程之需求。	F1-1 引用職能及需求表
	1-2 進行職能落差分析	進行職能落差分析找出最急迫教育或培訓的缺口。	
	1-3 確認課程發展範疇	確定欲發展之課程範疇。	F1-3 引用職能範疇表
	1-4 重組職能內涵	依據職能內涵或行為指標，重組課程或單元。	F1-4 職能內涵重組表
	1-5 規劃課程地圖	規劃課程架構與學習進程或學習單元路徑。	F1-5 課程地圖規劃表
流程二、設計： 設計教學／訓練目標與內容	2-1 設定教學／訓練目標	依據課程地圖、行為指標設定教學／訓練目標。	F2-1 教學／訓練目標設定表
	2-2 規劃課程內容	依據教學／訓練目標規劃課程內容並涵蓋職能內涵。	F2-2 課程內容規劃表
流程三、發展： 選定教學方法、教材與教學資源	3-1 規劃教學方法	根據教學／訓練目標、對象及內容，選定教學方法。	F3-1 教學方法規劃表
	3-2 準備教材與教學資源	規劃並準備合適的教材與教學資源。	F3-2 教材與教學資源規劃表
流程四、實施： 辦理課程	4-1 辦理課程	實際辦理課程，並留存相關紀錄。	F4-1 課程辦理檢核表
流程五、評估： 進行評量、監控評估課程成效及回饋修正	5-1 評量學習成果	規劃多元評量方式，進行學習成果評量。	F5-1 學習成果評量規劃表
	5-2 收集學習成果證據	收集學習過程的成果證據，評估課程學習成效。	F5-2 收集學習成果證據表
	5-3 監控評估與回饋修正	規劃課程整體學習成效及自我監控之機制。	F5-3 監控評估機制規劃表

參考文獻：職能導向課程發展指引

三、「文資 3D 列印應用」學程職能標的

本單位結合本校文化資產研究中心開設之古蹟保存倫理與修復技術與古蹟數位資料管理與呈現技術等 2 門課程，共計 5 門課程成立「文資 3D 列印應用學程」。

委員意見	透過3D列印能夠訂定出修復標準，並可以在修復過程中提供預覽，對修復的工作是能夠提升效率的。
回應說明	感謝委員肯定，執行單位持續發展3D列印技術在文資修復與保存之應用，延續文資學院第二期計畫「古蹟保存精緻模型3D列印技術之研究」成果，作為職能課程發展基礎，期望達到下列2點效益： 1. 降低修復技術門檻：修復前供規劃討論；修復中可隨時進行檢討修復後可作為檢驗依據。 2. 促進文資教育推廣：3D模型可供文資與相關人員接觸，擴展教育方法。

圖 1 「文資 3D 列印應用學程」職能需求示意圖

本計畫列印標的規劃有「大木構件榫頭」、「撫臺街老虎窗」、「北方石獅」與「國定古蹟蔡氏家廟」等，分別如下所示。

(1)大木構件榫頭：臺灣傳統大木構架類型可分為疊斗及穿斗兩類，而疊斗式是由縱向構架及橫向構架所組成。兩向構架中除了少數幾個構材穿接外，其餘構材皆是在柱間進行填充。縱向構架是由瓜筒、通樑、通隨、疊斗系統、柱頂約束的束材，以及小填充材如隨材所組成。橫向構架則是由具拉緊功能的桁引、具有防止縱向構架傾倒功能的數層枋材、隔架傳力的小構件（如一斗三升、斗抱等）及大楣所組成。屋面的塑形灰作與正脊、垂脊的重量先經由椽條傳至桁欂，再由桁欂傳至兩向構架至地面層。從縱向構架與橫向構架的榫接現況，可以發現縱向與橫向構架僅有少數接點具有拉緊或是約束功能，即八字束與中脊桁以及桁引與位於落地柱頂之束的榫接。上述接點均是使用不同尺寸的燕尾榫接合。運用於明間桁欂與次間桁欂續接的燕尾榫，由於需直接承受屋面重量，雖然下面有構架支撐，仍需具備一定程度的抗彎能力。

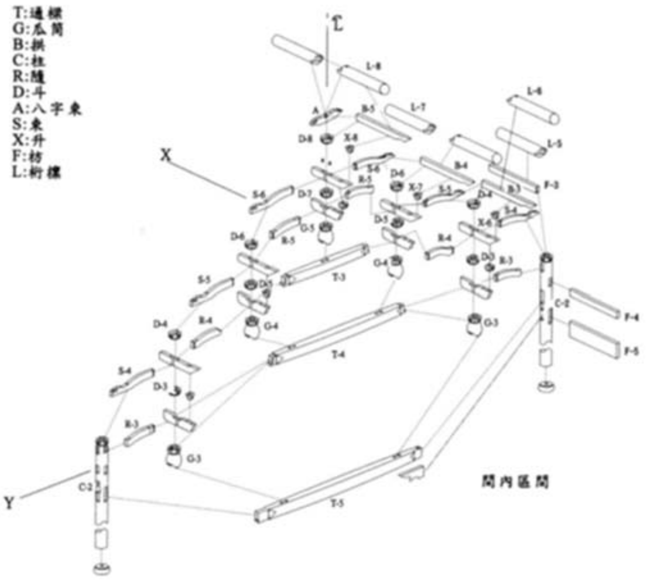


圖 2 「大木構件榫頭」示意圖

(2)撫臺街洋樓老虎窗：為半圓形小窗，於傾斜的屋頂上闢出，多屬閣樓之窗口，具通風或採光之功能，外觀上具有裝飾性。撫臺街洋樓由經營土木營造之高石組興建於 1910 年，至 1997 年指定為市定古蹟期間經歷多次轉手，後歸國防部軍備局所有，供眷屬宿舍使用。其外觀為歐風十足之店鋪建築，騎樓由石砌拱廊構成，天花板採菱形幾何圖案。

圖 3 「撫臺街洋樓老虎窗」示意圖

(3)北方石獅：石獅係置於中門門柱前，用來加固門柱，龍邊放雄獅，其造型威

而不猛，上身挺起，前肢玩繡球，獅球引申賜求之意；虎邊放雌獅，戲小獅子，引申太師、少師之意，象徵官祿相傳；雄獅與母獅相望，似有歡迎之意。中華石獅以分佈無大陸黃河流域中、下游地區者為北方石獅，在臺灣常見者屬李芝崗所述之北京獅，額頭多飽滿圓凸，體幹四肢刻畫多銅筋鐵骨粗壯有勁，姿態較規矩端嚴，多蹲坐低頭俯視，胸膛飽滿壯實，頭鬃螺髮工整旋卷，項圈寬大雕飾有花紋並掛鈴鐺、纓絡等，前肢撐立多公踏繡球母壓撫倒仰少獅，背脊不置鬃毛而多飾以結飾。

圖 4 「北方石獅」示意圖

(4)國定古蹟蔡氏家廟：屬金門瓊林全村蔡氏子孫共同祭祀之「大祖厝」，主祀蔡氏始祖十七郎公與五世靜山公，為二落三進合院式建築，由三川山門、翼廊、天井與正殿組成。屋脊、山牆、水車堵有精緻的裝飾。木構架方面之斗拱、瓜筒、吊筒、束等構件兼具力與美的效果，外簷門窗、隔窗均有精細雕刻。外牆後方有一造型精巧之石雕風獅爺鑲嵌於壁體。

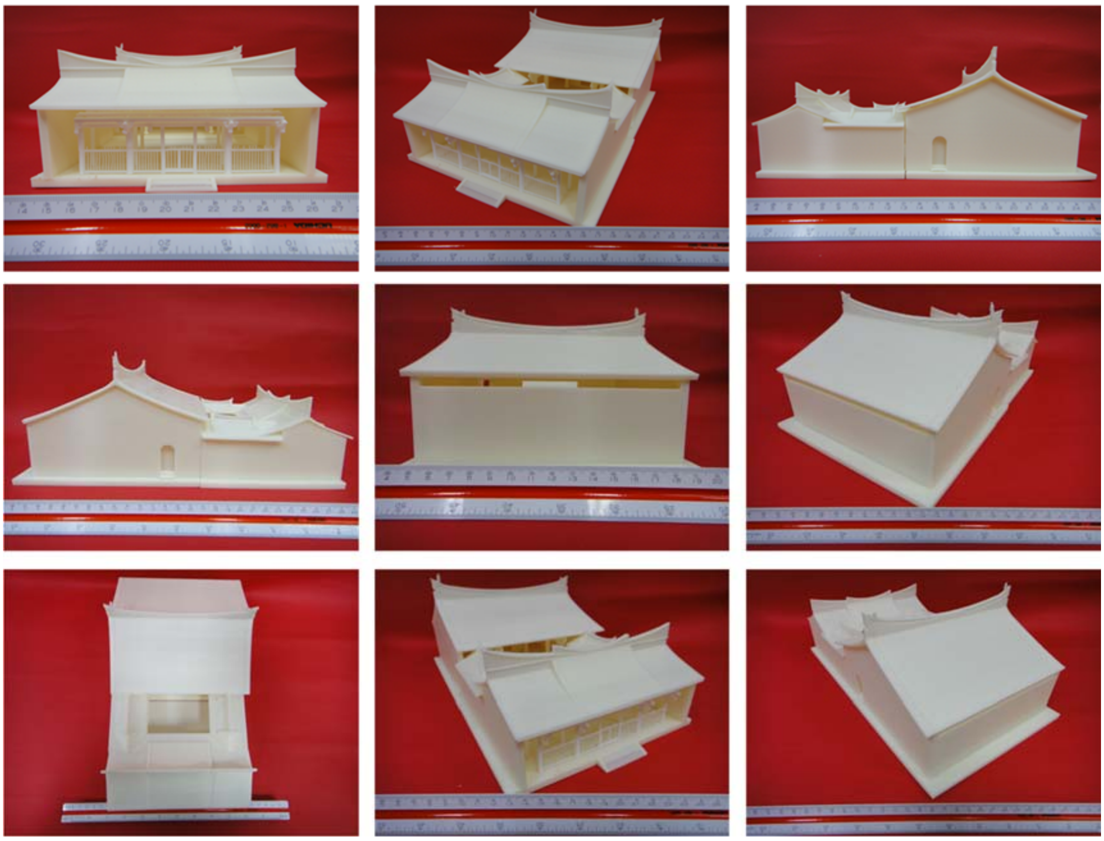


圖 5 「國定古蹟蔡氏家廟」示意圖

四、「文資 3D 列印原理與操作」職能需求分析

(一)需求性分析

1. 既有 3D 列印應用文化資產保存與修復案例

3D 列印技術在復原並保存歷史文化方面具有重要意義，能還原文物的真實性，記錄這些文物曾經遭受滅頂之災的歷史，有效避免了人類的歷史記憶被抹殺。

隨著 3D 列印技術應用範圍的不斷擴展，眾多博物館和文物修復工作者開始利用 3D 列印與 3D 掃描技術，使破敗不堪的古文物「起死回生」，不僅修復了文物，也讓古代文化得以傳承。在中國大陸已具體利用 3D 列印技術完成文物修復，經由技術人員在不接觸文物的前題下通過立體掃描、數據採集、繪畫模型等方法，採集文物的細節資訊，重建擬真數位 3D 模型，再經由 3D 列印技術提供復刻件，為文物修復保戶提供了參考。雖然復原的文物、古建築並不能完全替代被摧毀的文物、古建築，但不可否認的是，3D 列印復原技術將成為考古、文物鑑賞等領域不可缺少的重要技術支撐。隨著 3D 列印技術的成熟，結合利用計算機技術實現文物及考古現場的數字模型的建立和信息化存儲，進而對數字模型進行管理和應用，我們預測，3D 列印技術在文物修復領域將具有更加廣闊的研究和應用前景。

2. 3D 列印產業需求

2013 年 3D 列印產值達 30 億美元，YoY(Year of Year)成長 36%，Wohlers Associates 公司因此調高了未來的成長率□預計 2020 年將成長至 210 億美元，複合年均增長

率(CAGR)(2013~2020)約 31%，3D 列印市場過去 4 年成長 3 倍，零組件生產占比十年內成長 9 倍，5,000 美元以下之 3D 印表機成長超過 100%，消費性產品/電子業、工商業、汽車業是最大應用，功能性模型與元件生產為主要應用項目，美國是 3D 列印設備最大消費市場。參考文獻：3D 列印未來發展趨勢與商機分析，吳淑美，證券服務 637 期，2015 年 5 月。

3. 國內文資修復需求分析

根據文化部資產網站料顯示，截至 2017 年 8 月，全國已於文化資產局登錄之有形文化資產數量，共計 2,340 處與 1,655 組，其中古蹟計 888 處，歷史建築計 1,333 處，聚落計 13 處， 考古遺址計 45 處，文化景觀計 61 處，古物件數計 1,655 組。文化部長鄭麗君於 106 年 9 月主持一〇六年全國文化機關主管會報，與會的全國廿二個縣市文化局處長（或副局處長）發言踴躍，提出的建言亦多，鄭部長表示，關於文化資產修復預算逐年增加，中央今年編列文資修復預算達十三億元，明年加計前瞻基礎建設預算，中央編列明年之文資修復預算將達十七億元，將全力協助各縣市文化局文化資產之保存維護業務之推動。參考文獻：http : // news. pchome. com. tw/ living/ tssdnews/20170928/index-15065280008332267009.html。

(二)重要性分析

3D 列印應用在文化資產保存與修復議題，目前國內以本校進行文化部文化資產局建構文化資產守護網絡－文化資產學院第二期人才培育計畫研發群組「古蹟保存精緻模型 3D 列印技術之研究」獲得具體成果，完成國定古蹟金門瓊林蔡氏家廟與臺北市定古蹟撫台街洋樓，計 2 處 3D 列印模型，建立 3D 列印應用於文化資產保存之作業流程。本課程經辦理職能專家會議，獲得傳統匠師對本項職能肯定，透過 3D 列印技術訂定有形文化資產修復標準，並可在修復過程提供預期成果實體化，對修復工作能提升效率。目前資歷較深的匠師觀念漸漸在改變，以前修復時僅靠平面圖及照片容易走樣，若現在與 3D 列印技術結合，施工前雙方以模型做修復確認，修復完成後可以避免不必要的爭議並可以降低估價成本。又在施工前有模型的參考讓工頭在監督時更加有效率，也可以減少很多工作成本。

爰文化資產保存法第 24 條略以，古蹟修復計畫必要時得採用現代科技與工法，以增加其抗震、防災、防潮、防蛀等機能及存續年限。古蹟辦理整體性修復及再利用過程中，應分階段舉辦說明會、公聽會，相關資訊應公開，並應通知當地居民參與。

使用 3D 列印模型可提供文化資產修復與保存提供預期成果實體化目標，並據以作為保存或修復標的之標準，能協助溝通並有效提升作業效率，顯現本課程在文化資產修復之重要性。

(三)急迫性分析

聯合國教育、科學及文化組織於西元 1972 年通過《保護世界文化和自然遺產公約》，2001 年通過《世界文化多樣性宣言》，將文化資產視為人類的共同遺產，國

際社會所有成員均應共同負起維護的責任。我國《文化資產保存法》於民國 71 年立法後，期間推動多次修法工作，30 餘年來為順應全球發展趨勢，已積極投入各項文化資產保存工作。目前諸多先進國家無不盡全力加以保存及維護；推究目的，不外乎藉此深植國家文化基礎及傳承先人智慧和技術。

美國學者杜威（John Dewey）指出：「界定出一個好的問題，等於解決了一半的問題」。文化資產的守護包含保存、維護、發揚與傳承，最重要的關鍵莫過於人才養成和培育的基礎工作，文化部文化資產局雖自 96 年起開辦一系列文化資產人才培訓課程，內容含括有形文化資產、無形文化資產、保存科學、文化行政及相關推廣教育，惟諸多課程多缺乏整體目標、系統整合與訓練後追蹤管理。爰此，如何全面整合政府機關、學術單位、民間團體等資源，以產官學研民跨域合作方式，依循正規教育、非正規教育、證照培訓等管道，型塑完整的人才培育機制，藉以建構文化資產守護網絡，實為重要且迫切的課題。

本課程係承接文化部文化資產局建構文化資產守護網絡－文化資產學院第二期人才培育計畫研發群組「古蹟保存精緻模型 3D 列印技術之研究」具體成果，課程發展結合傳統匠師、營造業、設備供應商，期找尋創新之應用模式，並據以培育人才，解決逐漸凋零之傳統匠師數量與持續增加之有形文化資產間差異，藉由 3D 列印技術可在修復前提供預期成果，能有效降低修復爭議，顯現對產業發展有其需求。

(四)發展標的對產業之影響

3D 列印技術在國外已有具體應用在文資修復案例，提供在最小干預原則下對文化資產進行外觀幾何上之修復或重現，經訪談業界得知，過去雖無相關技術應用實例，但經由文化部文化資產局建構文化資產守護網絡－文化資產學院第二期人才培育計畫研發群組「古蹟保存精緻模型 3D 列印技術之研究」成果推廣活動，執行修復人員若然在修復前即能獲得以實體化之預期修復成果，對修復過程有重要之參考價值。

凡修復工程因其原來樣貌已損壞消失者，執行修復之傳統匠師透過既有文獻資料(僅平面二維參考資料)或參考他人意見進行修復作業，皆須在修復作業完成後，方能得知修復成果，於此階段接續辦理驗收作業，常遭遇因人員主觀差異或修復標的難以具體量化標準，導致驗收過程出現爭議，透過「文資 3D 列印原理與操作」技術，可提供所有權人，業務、使用、管理單位明確預期修復成果，提前在修復前取得一致共識，並協助匠師在修復前做為修復參考依據，供修復過程隨時檢討，完成修復後更可作為幾何外觀之檢驗依據。

3D 列印技術應用在文資修復在國內屬前瞻作法，可對 6 類傳統營造匠師既有產業職業工作範疇提供修復前參考，故選定「文資 3D 列印原理與操作」作為職能課程申請標的。

(五)課程地圖規劃

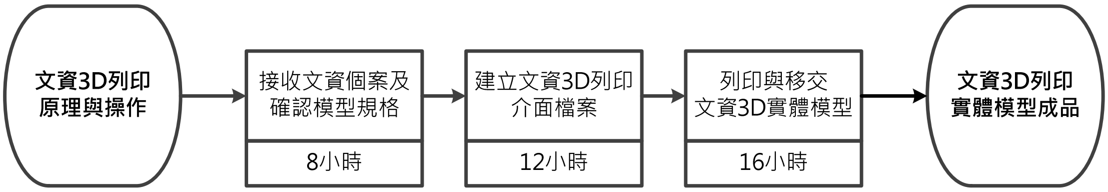


圖 6 課程地圖

(六)職能落差分析

本單位對文資 3D 列印應用整體範疇整理以下圖示意，就文資 3D 列印原理與操作課程範疇以藍色顯示。

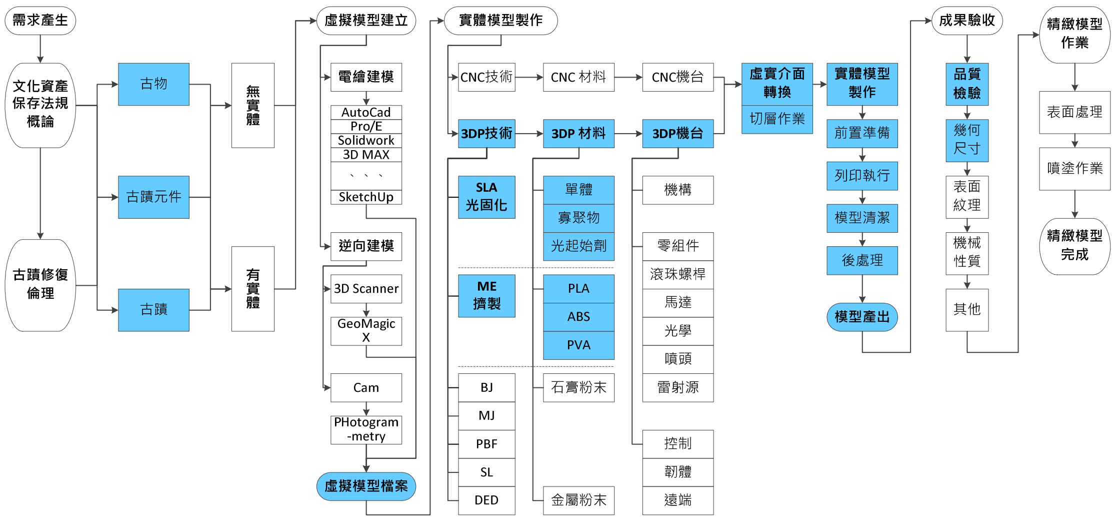


圖 7 職能落差分析示意圖

(七)職能作業任務說明

圖 8 任務 1-接收文資各案與確認模型規格

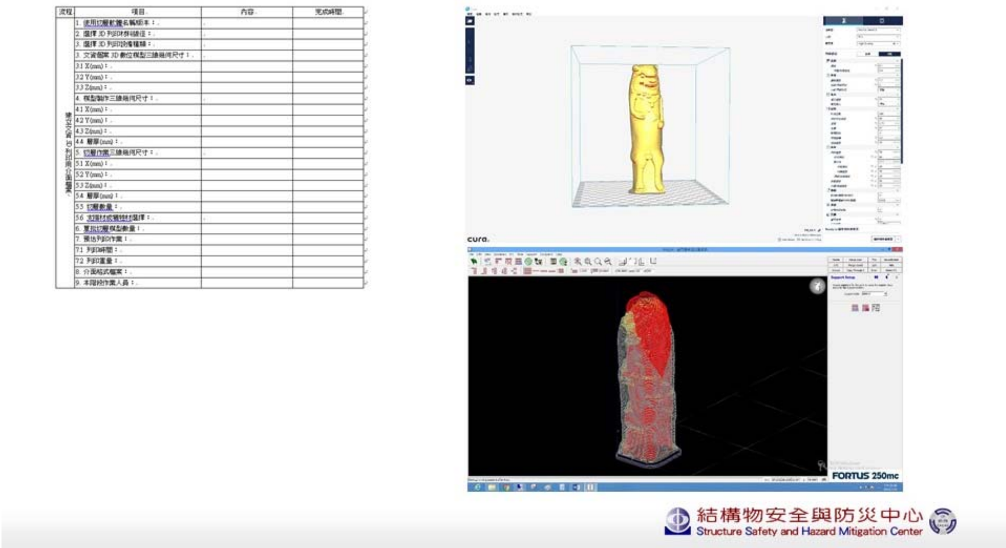


圖 9 任務 2-建立文資 3D 列印用介面檔案

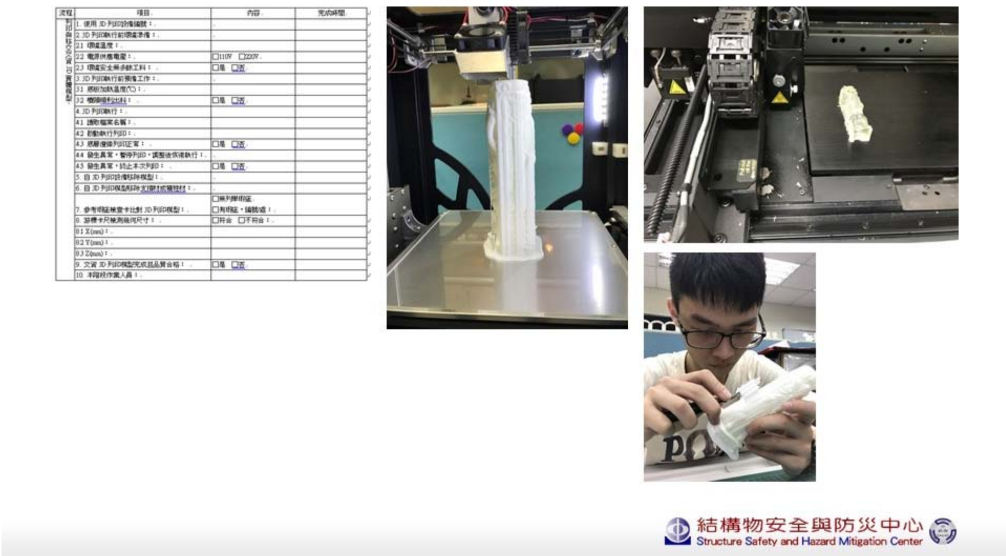


圖 10 任務 3-列印與移交文資 3D 實體模型

五、結論與建議

本研究所提「文資 3D 列印原理與操作」職能模型屬自行發展職能整理如下：

所屬行業	建築營造	職業/職位名稱	文資 3D 列印工程師
項目	說　明		
工作描述	在有 3D 列印設備的工作環境下，完成下列事項： 1. 接收文資個案與確認模型規格。 2. 建立文資 3D 列印用介面檔案。 3. 列印與移交文資 3D 實體模型。		
課程職能級別	3 級		

工作任務	工作產出	行為指標 (STAR)	職能級別	職能內涵	
				知識	技能
T1 接收文資個案與確認模型規格	O1.1 工單	P1.1 能辨別文資個案規格是屬古物、古蹟元件或古蹟 P1.2 使用工單與業主溝通並填寫以承接文資 3D 數位模型檔案 P1.3 能查詢文資個案公告資料查詢並登填入工單	3 級	K01 文化資產與修復倫理 K02 文資 3D 數位模型 K03 文資 3D 列印作業流程 K04 3D 列印技術原理 K05 3D 列印設備 K06 3D 列印材料 K07 切層作業與介面檔案	S01 工單規格確認 S02 文資 3D 列印模型數位檔案格式 S03 文資 3D 模型初步分析 S04 文化資產登錄資料
T2 建立文資 3D 列印用介面檔案	O2.1 工單 O2.2 介面格式檔案	P2.1 能使用切層軟體載入文資個案數位檔案 P2.2 能使用切層軟體選擇文資 3D 列印設備、幾何尺寸、列印層厚，建立文資 3D 列印模型支撐或犧牲層結構，建立文資 3D 列印模型位置、排列與方向 P2.3 能使用切層軟體建立適用之介面格式檔案 P2.4 能將介面格式檔案名稱與位置填入工單	3 級	K02 文資 3D 數位模型 K03 文資 3D 列印作業流程 K04 3D 列印技術原理 K05 3D 列印設備 K06 3D 列印材料 K07 切層作業與介面檔案	S01 工單規格確認 S02 文資 3D 列印模型數位檔案格式 S05 3D 列印設備與材料選擇 S06 文資 3D 列印模型介面檔案
T3 列印與移交文資 3D 實體模型	O3.1 工單 O3.2 文資 3D 列印模型	P3.1 能使用 3D 列印設備及依要求進行列印前環境準備工作，完成底板溫度設定與噴頭出料 P3.2 能依說明書執行 3D 列印工作並在發現 3D 列印工作發生異常時暫停或終止工作 P3.3 使用合適工具至 3D 列印設備平台移除文資 3D 列印模型及其支撐材料 P3.4 使用瑕疵檢查卡檢查文資 3D 列印模型與使用游標卡尺比對模型瑕疵與檢核幾何尺寸 P3.5 能使用工單填寫文資 3D 列印模型完成時間與品質核可記錄	3 級	K03 文資 3D 列印作業流程 K05 3D 列印設備 K06 3D 列印材料 K07 切層作業與介面檔案 K08 工具特性 K09 量測概論 K10 品管概論	S01 工單規格確認 S06 文資 3D 列印模型介面檔案 S07 文資 3D 列印模型前準備操作 S08 文資 3D 列印模型執行操作 S09 文資 3D 列印模型後處理操作 S10 文資 3D 列印模型品質檢測
職能內涵（A=attitude 態度）					
A01 創新、A02 分析推理、A03 自我學習發展、A04 成本意識					

說明與補充事項
建議擔任此職類/職業之學歷與能力條件：本課程先備知識與能力限制為需高中(職)畢業或電腦相關技術證照或技術士丙級以上人員。

參考文獻

1. 勞動部勞動力發展署，職能導向課程發展指引，103 年 8 月。
2. 3D 列印未來發展趨勢與商機分析，吳淑美，證券服務 637 期，2015 年 5 月。
3. http : // news. pchome. com. tw/ living/ tssdnews/20170928/index-15065280008332267009.html
4. 中國科技大學，勞動部勞動力發展署職能導向課程規劃與執行報告書-課程名稱：文資 3D 列印原理與操作，107 年 10 月。

22th 古蹟暨歷史建築結構安全承載能力評估程序與應用技術之研究

古蹟暨歷史建築結構安全承載能力評估程序與應用技術之研究

Research on Evaluation Procedure and Application Technology for Structural Safety Capacity of Historic Sites and Buildings

蕭興臺、呂雅涵
中國科技大學土木與防災設計系

摘　要

現今古蹟暨歷史建築修復作業大致分為三個階段-調查研究、規劃設計及因應計畫，惟國內相關法規並未清楚定義每個階段的執行項目，本研究考量目前國內現況所需，且國際與國內尚無具體研究成果之古蹟暨歷史建築結構安全評估程序與技術，參考國內外執行多年且具成效之現代建築結構安全評估程序與技術，提出適用於國內古蹟暨歷史建築修復再利用作業各階段中，其結構安全評估之程序、內涵與技術。主要研究目標，應包括：(1)研提古蹟暨歷史建築保存再利用各階段作業，結構安全評估之目的與執行事項；(2)研發綜整古蹟暨歷史建築保存再利用各階段作業，結構安全評估執行事項之應用技術；(3)研究建立適用於不同類型古蹟暨歷史建築結構之安全評估操作程序與表單，以供實務上之操作。本研究將以文獻蒐集與案例資料為主，蒐集各執行單位與文化主管機關之古蹟暨歷史建築修復實際案例共 86 個案例，依縣市、研究類別、級別及案件類別進行歸納綜合分析，並初擬建議古蹟暨歷史建築結構安全評估依照各階段分別提出階段目的、應執行事項及產出成果，經專家諮詢會議確定後續有研究之必要。

關鍵詞：古蹟暨歷史建築修復、結構安全評估

一、前 言

國內自文化資產保護法(下稱文資法)施行以來，相關細則與作業辦法已隨之頒布並修訂，目前超過 2,200 處之古蹟暨歷史建築，其保存修復與再利用過程，皆據以執行並已獲相當成效。

依相關法令及作業辦法，目前古蹟暨歷史建築的保存修復與再利用，主要依據「古蹟修復再利用辦法」、「古蹟歷史建築紀念建築及聚落建築群建築管理土地使用消防安全處理辦法」、「古蹟管理維護辦法」等辦法，進行古蹟保存修復與再利用的執行作業。

其中對結構安全部分，因相關辦法的部分內容定義尚未明確完善，造成各古蹟在保存修復與再利用執行過程，多次的審查會議中產生極度困擾；又目前古蹟結構之安全評估與分析學理，尚未如近代建築結構之完善可靠，採用之檢測調查與分析評估方法亦時有爭議。

本研究即以目前國內急需，且國際與國內尚無具體研究成果之古蹟暨歷史建築結構安全評估程序與技術，參考國內外執行多年且具成效之現代建築結構安全評估程序與技術，研究發展適用於國內古蹟暨歷史建築修復再利用作業各階段中，其結構安全評估之程序、內涵、與技術。主要 3 項目標包括：

1. 研提古蹟暨歷史建築保存再利用各階段作業，結構安全評估需求目的與執行事項。
2. 綜整古蹟暨歷史建築保存再利用各階段作業，結構安全評估執行事項的應用技術。
3. 研究建立適用於不同類型古蹟結構之安全評估操作程序與表單，以供實務上之操作。

二、文獻回顧

2012 年 5 月 20 日，文建會改制為文化部後，文資總處隨之改組為「文化資產局」(下稱文資局)。文資局期望能因時制宜推動歷史遺跡的相關修法工作，實施國定古蹟總體檢，其目的在於落實《文化資產保存法》的各項文化資產保存目標。因此文資局於 105 年 11 月正式提出有形文化資產防災守護專案，專案報告中分析古蹟主要致災因子包括自然災害(地震、颱風、水災、潮氣、土石流等)及人為災害(火災、生物性危害及竊盜等)。又為落實古蹟防災之保存目標，主要推動項目包括：(一)建構防災整備機制、(二)推動防災科技整合、及(三)深化文資守護網絡。

其中(二)推動防災科技整合部分，在地震颱風致災因子項目下，主要與古蹟結構安全議題有關。而子項目下又以古蹟結構安全評估技術及防災監測預警技術為最

緊要之研究重點。

然目前古蹟暨歷史建築的保存修復與再利用，主要依據「古蹟修復再利用辦法」、「古蹟歷史建築紀念建築及聚落建築群建築管理土地使用消防安全處理辦法」、「古蹟管理維護辦法」等辦法，進行古蹟保存修復與再利用的執行作業。

其中對結構安全部分，因相關辦法的部分內容定義未明確完善(如圖 17)，造成各古蹟在保存修復與再利用執行過程，多次的審查會議中產生極度困擾；又目前古蹟結構之安全評估與分析學理，尚未如近代建築結構之完善可靠，採用之檢測調查與分析評估方法亦時有爭議。

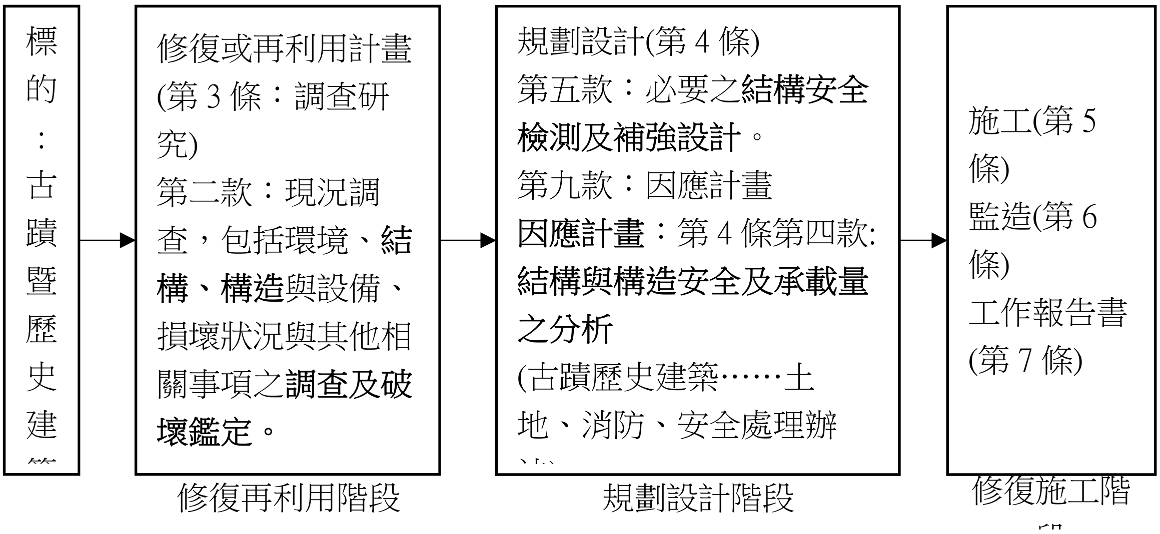


圖 17 古蹟暨歷史建築結構安全相關辦法內容定義各階段示意圖

目前執行古蹟暨歷史建築修復再利用辦法規範之調查研究或修復設計，以及配合的「因應計畫」文本時，最常被要求的工作之一即為「結構計算」。然結構計算有與前述各階段之結構調查、破壞鑑定、安全檢測、承載量分析…名詞又不盡相同，至造成保存再利用過程，作業執行上之高度困擾。

按在結構工程領域實務上，結構物安全健康檢測主要目的為評估結構安全性(Safety)與使用性(Serviceability)是否滿足使用設計條件之水準。前者著眼於結構物在受力後，是否達到極限狀態(Ultimate Limit State)，如失去平衡、倒塌等；後者則評估結構物在受力時，是否達到使用限度(Service Limit State)，如變形量、振動量過大致無法正常使用。

結構安全檢測評估作業，可依檢測與評估所採用之方法與技術，通常需考量標的物重要性、評估階段性目的、及後續使用性(再利用性)等因素，而採取相對成本最小且有效之方法。依歐盟結構評估監控協會(European Association on Structural Assessment, Monitoring and Control, SAMCO)之建議，結構安全檢測評估由簡單至完整共可區分為 0~5 等級，如下圖所示。每個等級分述如下：

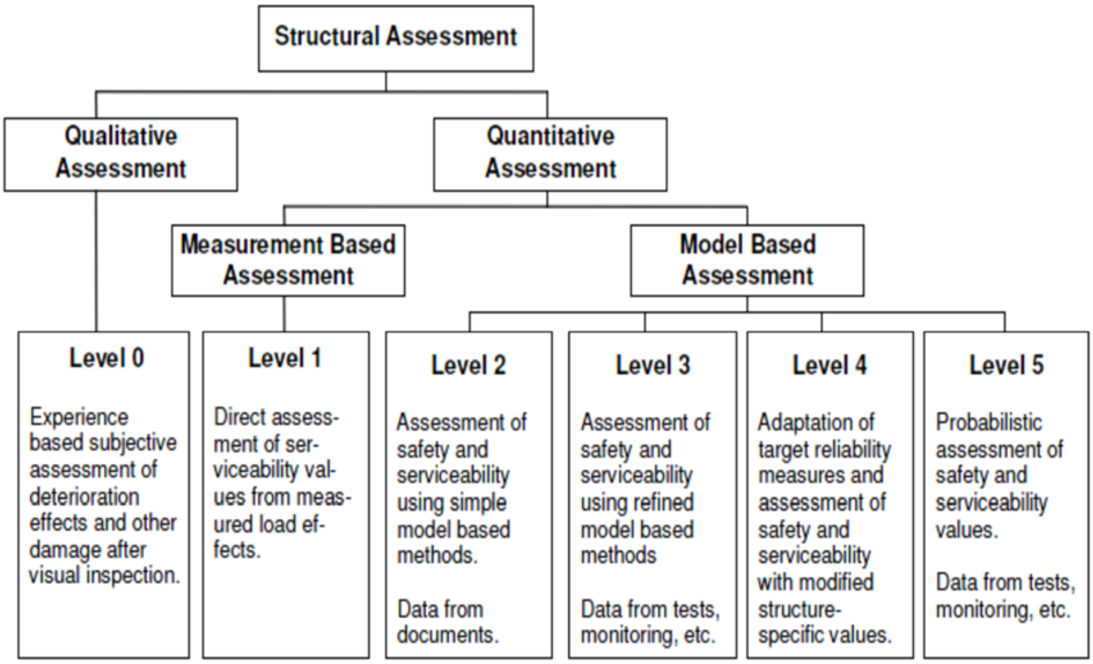


圖 18 結構安全檢測評估分級示意圖

Level 0：係由受訓合格之檢測人員經由目視方法，主觀評估構件之劣化程度及影響範圍等。實務上通常以經驗法則預先編訂相關記錄表格，再按表逐項檢查，屬質化評估方法。因無需進行量測或試驗，故可快速進行，檢測成本低，可立即獲得評估結果。

Level 1：當結構物受力狀態下量測變形量數值，用以直接評估使用性之限度。包括各種幾何變位、變形、傾角或沉陷量測，需使用量測工具如量尺、經緯儀或水準儀等，屬基於量測之量化評估方法。因須進行量測作業，故較 Level 0 為費時，但依據量測所得數據評估，較無主觀判斷因素，惟量測位置可能受限於現場各種情況而無法取得全面性結果。

Level 2：以圖說等設計資料建立結構物分析模型，可同時評估安全性及使用性。目前電腦分析軟體均相當成熟，計算精度佳，且無須至現場進行量測或試驗，屬基於模型之量化評估方法。但圖說與現況如不相符時，評估結果將受影響。

Level 3：以監測或試驗結果修正 Level 2 之模型，亦可同時評估安全性及使用性。計算結果較 Level 2 更能精確反應實際結構物之特性，屬基於模型之量化評估方法。

Level 4：以 Level 3 之模型導入可靠度方法，因此安全性及使用性均以可靠度量度值為評估值，因不同構件具有個別之可靠度，可經由結構系統構件間之組合關係，計算出整體系統之可靠度，屬基於模型之量化評估方法。

Level 5：將不確定性之機率分布加入模型，因此可反應結構材料性質之不確定性，

評估結果不再為單一明確數值，而是以機率分布型態之隨機變數表示，亦屬基於模型之量化評估方法。

日本文化廳(重要文化財耐震診斷、耐震補強的手引)對於木構造古蹟的耐震評估，以重要性及時效與成本考量，提出三階段的評估方法。包括耐震預備診斷(耐震初步評估)、耐震基礎診斷(耐震詳細評估)、及耐震專門評估(耐震特殊評估)等三階段工作。

大陸古建築木結構維護與加固技術規範，將古蹟結構安全性分為結構可靠性鑑定及抗震鑑定兩部分。其中結構可靠性鑑定旨在對古蹟結構現況進行詳細的目視檢查，而抗震鑑定則規定對於抗震烈度 6(0.063g、台灣 4 級震區)以上之區域，均需進行詳細的抗震能力評估。綜觀此大陸規範，基本上並無初評、詳評等分階段觀念，而台灣從 921 震後，全國抗震需求均已超過 5 級以上，亦即依大陸規範所有古蹟均需進行詳細耐震評估。

在其他結構物領域，國內校舍建築，教育部於民國 98 年始推動「加速高中職及國中小老舊校舍補強整建計畫」，委託國家地震工程研究中心調查全臺灣既有校舍之耐震能力。國家地震工程研究中心所發展的耐震能力評估方法，主要分為簡易調查、初步評估、詳細評估、補強設計等程序，而初步評估法能迅速篩選出有耐震疑慮的校舍，優先進行詳細評估及耐震補強。

另美國國會於 1968 年通過之聯邦公路法案（Federal Highway Act of 1968）中，要求運輸部門建立全國性橋梁檢測標準，並成立專案計畫進行專業檢測人員之培訓。美國聯邦公路總署（Federal Highway Administration, FHWA）首先建立「全國橋梁清冊（National Bridge Inventory, NBI）」資料庫，進行全國橋梁相關資料之搜集與整理，同時公布「全國橋梁檢測標準（National Bridge Inspection Standards, NBIS）」，要求各州政府以每 2 年為週期，全面為其所管轄之橋梁進行一次檢測作業，且參與之檢測人員皆須符合相關資格限制並通過專業課程的培訓。美國橋梁檢測類型分為 5 種類型，分別為初始檢測（Initial）、定期檢測（Routine）、破壞檢測（Damage）、深化檢測（In-Depth）及特殊檢測（Special）等。

台灣地區橋梁管理系統(TBMS)中之橋梁檢測則採用 D.E.R.&U 方法，基本上屬於初步檢測評估的概念。檢測的構件計 21 項，包括全橋構件 11 項及每橋孔構件等。

綜觀前述國內古蹟暨歷史建築保存修復再利用作業過程，有關結構安全性評估採用方式，各方認知不一的困擾，以及參考文獻所述各國古蹟及其他結構物的執行程序方式，本研究即以目前國內急需，且國際與國內尚無具體研究成果之古蹟暨歷史建築結構安全評估程序與應用技術，研究發展適用於國內古蹟暨歷史建築修復再利用作業各階段中，其結構安全評估之程序、內涵、與應用技術。期能使古蹟歷史建築之保存再利用各階段作業，能建立一標準之作業流程與執行項目，使古蹟暨歷

史建築保存修復與再利用作業更具效率，同時也達到經濟性與合理性的共同整體目標。

三、研究方法

本研究採用之方法與步驟，分別說明如下：

1.研究方法：

(1) 文獻蒐集與案例資料，包括：

A.蒐集各執行單位與文化主管機關之古蹟暨歷史建築修復實際案例有關結構安全評估內涵。

B.蒐集國內外各古蹟暨歷史建築結構安全評估作業程序、法規文獻與資料。

C.蒐集國內外古蹟暨歷史建築結構安全檢測與評估之技術文獻。

D.蒐集國內外他種結構物(橋梁、校舍等)安全評估承載能力評估之程序與技術之法規與文獻

(2)歸納綜合分析，包括：

A.綜合歸納國內外古蹟暨歷史建築調查研究階段，實際案例有關結構安全評估之作業項目與成果。

B.綜合歸納國內外古蹟暨歷史建築修復規劃設計時，有關結構安全承載力之作業項目與成果。

C.綜合歸納國內外古蹟暨歷史建築結構安全承載力之應用技術內涵與可靠度。

(3)初步研提建議事項，包括：

A.依國內古蹟管理維護辦法，初步研提建議古蹟暨歷史建築修復再利用計畫(調查研究)階段，有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。

B.依國內古蹟管理維護辦法，初步研提建議古蹟暨歷史建築規劃設計階段，有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目及應產出報告內容。

C.特殊條件下，如鄰房施工、國定古蹟、特殊類古蹟(隧道、橋梁等) ，初步研提有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。

2.研究步驟：

古蹟結構安全評估承載能力評估程序與應用技術之研究(I)–第一年

1. 文獻蒐集與案例資料

(1)蒐集各執行單位與文化主管機關之古蹟修復實際案例有關結構安全評估作業資料。
(2)蒐集國內外各古蹟結構安全評估法規文獻、與作業程序資料。
(3)蒐集國內外古蹟結構安全檢測與評估之技術文獻。
(4)蒐集國內外他種結構物(橋梁、校舍等)安全評估承載能力評估程序與技術之法規與文獻。

2. 歸納綜合分析

(1)綜合歸納國內外古蹟修復再利用計畫(調查研究)階段，實際案例有關結構安全承載力評估之作業項目與成果。
(2)綜合歸納國內外古蹟修復規劃設計階段，有關結構安全承載力評估之作業項目與成果。
(3)綜合歸納國內外古蹟結構安全承載力之應用技術內涵與可靠度。

3. 初步研提建議事項

(1)依國內古蹟管理維護辦法，初步研提建議古蹟修復再利用計畫(調查研究)階段，有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。
(2)依國內古蹟管理維護辦法，初步研提建議古蹟規畫設計階段，有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。
(3)特殊條件下，如鄰房施工、國定古蹟、特殊類古蹟(隧道、橋梁等) ，初步研提有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。

古蹟結構安全評估承載能力評估程序與應用技術之研究(II)–第二年

1. 示範案例操作：傳統建築磚木結構系統 (預定2處)

(1)修復再利用計畫(調查研究)階段，古蹟磚木結構系統之結構安全評估示範案例操作。
(2)規劃設計階段，古蹟磚木結構系統之結構安全評估作業示範案例操作。

2. 初步研提建議可行方案

(1)研提古蹟修復再利用計畫階段(調查研究)，所需達成磚木結構系統之結構安全評估的目的、方法流程、與操作表單(概念上屬基本檢測與初步評估)。
(2)研提古蹟修復規畫設計階段，所需達成磚木結構系統之結構安全評估的目的、方法流程與操作表單(概念上屬必要之詳細檢測與詳細評估)。

古蹟結構安全評估承載能力評估程序與應用技術之研究(III)--第三年

1. 示範案例操作：傳統建築純木結構系統 (預定2處)

(1)修復再利用計畫(調查研究)階段，古蹟純木結構系統之結構安全評估示範案例操作。
(2)規劃設計階段，古蹟純木結構系統之結構安全評估作業示範案例操作。

2.研提精實修正建議方案

(1)研提古蹟修復再利用計畫階段(調查研究)，實務上可行之精實修正方案，包括所需達成結構安全承載力評估的目的、方法流程、與操作表單(含傳統建築磚木結構系統、及純木結構系統，概念上屬基本檢測與初步評估)。
(2)研提古蹟修復規畫設計階段，實務上可行之精實修正方案，包括所需達成結構安全評估的目的、方法流程與操作表單((含傳統建築磚木結構系統、及純木結構系統，概念上屬必要之詳細檢測與詳細評估)。
(3)初步分析各階段結構安全檢測評估工作所需之經費。
(4)研提特殊條件下，如鄰房施工、國定古蹟、特殊類古蹟(隧道、橋梁等) ，實務上可行之有關結構安全承載力評估之應技術、應執行項目、及應產出報告內容。
(5)規劃建置「古蹟結構安全管理資訊系統」，以利完整建立國內古蹟結構安全資料庫。

圖 19 研究步驟示意圖

四、研究內容

按古蹟保存倫理首重真實性與完整性，其旨在保存當時建造的技藝與材料工法。故在保存修復再利用過程，雖其結構安全性能無法滿足現行規範需求，考量古蹟修復都必須遵守的(1)可辨識、(2)可逆性、與(3)最小干預之作法，仍不宜作過度補強，而破壞古蹟的歷史價值。

綜觀一般古蹟暨歷史建築結構安全性評估的結果，常未能完全滿足現行各項法規的需求，故往往須於修復再利用計畫及因應計畫中，提供安全使用的注意事項與建議，以確保公共安全性。

本研究過往曾執行古蹟結構安全評估研究，進行重要標的物詳細耐震、耐風能力評估，經評估古蹟結構物的安全性，確無法滿足現行規範的要求時，即提供後續再利用時的安全建議事項，以供古蹟管理維護單位參考使用。執行目的需求主要包括以下三種狀況：

- 古蹟結構耐震耐風能力確有疑慮
- 國定古蹟
- 鄰房施工影響古蹟

惟此項耐震、耐風能力詳細評估，係基於目前既有之結構學理與工具進行分析評估，然因古蹟結構材料(如磚、木)與結構系統(構件結合方式)的特殊性，其可靠度應不如現代結構物(如鋼筋混凝土、鋼結構等)的準確，故評估結果常選擇保守方式建議。又此古蹟結構耐震耐風能力詳細評估過程，極度耗費人力物力，成本不低，是否比照大陸規範對烈度 6 以(4 級)上之古建築，皆須進行抗震鑑定，似有待再討論。目前國內古蹟保存維護管理辦法及因應計畫辦法內，對古蹟結構安全評估的規範未盡明確，造成保存維護各階段工作執行時的困擾，更甚造成付出的成本得不到真正需要的成果，徒增困擾與浪費。

本研究全程擬分三階段執行，本年主要研究項目包括：

(1)文獻蒐集與案例資料： 包括

A.蒐集各執行單位與文化主管機關之古蹟暨歷史建築修復實際案例有關結構安全評估作業資料。

B.蒐集國內外各古蹟暨歷史建築結構安全評估法規文獻、與作業程序資料。

C.蒐集國內外古蹟暨歷史建築結構安全檢測與評估之技術文獻。

D.蒐集國內外他種結構物(橋梁、校舍等)安全評估承載能力評估程序與技術之法規與文獻。

(2)歸納綜合分析：包括

A.綜合歸納國內外古蹟暨歷史建築調查研究階段，實際案例有關結構安全評估之作業項目與成果。

B.合歸納國內外古蹟暨歷史建築修復規劃設計時，有關結構安全承載力之作業項目與成果。

C.綜合歸納國內外古蹟暨歷史建築結構安全承載力之應用技術內涵與可靠度。

(3)初步研提建議事項：

A.依國內古蹟管理維護辦法，初步研提建議古蹟暨歷史建築修復再利用計畫(調查研究)階段，有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。

B.依國內古蹟管理維護辦法，初步研提建議古蹟暨歷史建築規畫設計階段，有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。

C.特殊條件下，如鄰房施工、國定古蹟、特殊類古蹟(隧道、橋梁等) ，初步研提有關結構安全承載力評估之階段性目的、應執行項目、及應產出報告內容。

五、研究成果

按目前國內古蹟暨歷史建築保存作業之調查研究與修復設計(含因應計畫)等階段，實務執行上之程序混亂與要求不一。且國內外各國古蹟暨歷史建築結構安全評估作業程序亦不盡相同。本研究辦理專家諮詢座談會的目的，即為尋求各界對以下 2 階段工作的建議與共識：

1.古蹟暨歷史建築修復再利用計畫(調查研究)階段，有關結構安全承載力評估之作業項目與成果。

2.古蹟暨歷史建築修復規劃設計階段(含因應計畫)，有關結構安全承載力評估之作業項目與成果。

而研究成果，將以使實務操作上古蹟暨歷史建築保存各階段作業與成果，得以建立依據與共識。

本研究於 107 年 7 月 25 日辦理專家學者諮詢會議(參與學者專家包括閻嘉義教授、詹添全教授、閻亞寧教授)，研提古蹟結構安全評估之階段目的與執行事項為會議主要目的。初擬建議古蹟結構安全評估依照各階段分別提出階段目的、應執行事項及產出成果：

1.調查研究階段：

(1)階段目的：提供後續修復設計階段，有關結構安全部分之 A.結構安全資訊，B.

修復方案建議。

(2)應執行事項：Level 1 為現況損壞調查記錄，Level 2 為材料幾何檢測調查記錄，Level 3 為簡易評分調查表紀錄。

(3)預期產出：A.現況損壞程度紀錄報告，B.結構材料與幾何現況資訊報告，C.結構安全風險程度，D.後續規劃設計結構安全評估應執行事項與費用概估，E.後續修復設計方案建議與預算概估。

2.規劃設計階段：(基於調查研究成果)

(1)階段目的：執行修復設計，確保結構安全性能符合再利用需求(非現行法規需求)，A.結構安全承載能力評估(使用安全性、耐震能力、耐風能力)，B.修復方案設計與防災計畫

(2) 應執行事項：Level 4 結構安全初步評估表(簡易量化評估)，包含下列三張表，A.使用安全性初步評估表，B.震能力初步評估表，C.耐風能力初步評估表。

(3)預期產出: 初步結構承載能力分析，產出 A.使用安全評估報告，B.耐震能力初步評估報告，C.耐風能力初步評估報告。

3.結構安全因應計畫；(當結構承載能力不符基本需求時，須提送因應計畫)，當基本結構安全承載能力不足時，須提出因應計畫，包括(1)補強設計方案：確保古蹟結構安全性符合基本耐震耐風需求，(2)防災計畫：確保再利用過程不致造成人命傷亡。

(1)階段目的：確保結構安全性能符合基本需求、並提出防災應變計畫。

(2)應執行事項： Level 5(或 Level 6)，結構安全有限元素線性(或非線性)分析評估。

(3)預期產出：A.結構使用安全性能，B.結構耐震承載能力，C.結構耐風承載能力，D.補強設計方案及防災計畫。

4.特殊狀況：鄰房施工影響古蹟(撫台街洋樓，市定古蹟)應評估古蹟、而非評估新建物 (擬非線性分析)。

表 5 案件類別對各縣市統計表

縣市	國定古蹟	市/縣定古蹟	歷史建築	小計
基隆	1	2	0	3
台北	1	0	2	3
新北	1	9	0	10
桃園	0	5	10	15
新竹	1	1	0	2
台中	0	4	13	17
嘉義	1	0	1	2
台南	3	11	4	18
高雄	3	3	1	7
屏東	1	0	0	1
澎湖	1	0	3	4
金門	4	0	0	4
總計	17	35	34	86

表 6 研究類別對各縣市統計表

縣市	調查研究	修復設計	因應計畫	小計
基隆	1	0	2	3
台北	0	0	3	3
新北	7	1	2	10
桃園	2	0	13	15
新竹	0	0	2	2
台中	3	0	14	17
嘉義	1	0	1	2
台南	10	7	1	18
高雄	3	0	4	7
屏東	0	1	0	1
澎湖	2	0	2	4
金門	4	0	0	4
總計	33	9	44	86

表 7 各級別對各縣市統計表

縣市	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
基隆	3	2	0	1	0	0
台北	3	2	1	3	1	0

縣市	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
新北	10	2	0	4	0	0
桃園	15	12	1	7	0	0
新竹	2	2	0	0	0	0
台中	17	11	0	8	0	0
嘉義	2	1	0	0	0	0
台南	18	7	0	4	3	0
高雄	7	3	0	1	0	0
屏東	1	0	0	0	0	0
澎湖	4	1	0	0	0	0
金門	4	4	0	0	4	0
總計	86	47	2	28	8	0

表 8 各級別對研究類別統計表

	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
調查研究	33	11	0	5	5	0
修復設計	9	2	0	2	1	0
因應計畫	44	34	2	21	2	0
總計	86	47	2	28	8	0

六、結論

1.經專家諮詢會議確定後續有發展之必要。

2.研提結構安全評估技術級別共分為六級，說明如下：

- Level 1.結構損壞現況目視調查記錄
- Level 2.結構材料與幾何檢測調查記錄
- Level 3.結構簡易評分調查表(有無疑慮風險)
- Level 4.結構安全初步評估表(簡易量化評估)
- Level 5.結構安全有限元素線性分析評估(Linear FEM)
- Level 6.結構安全有限元素非線性分析評估(Non-Linear FEM)

3.本研究已完成資料蒐集案件共 86 件，並分別依縣市案例、研究類別、級別及案件類別完成歸納分析(如表 1 至表 4)。由本研究研提之級別以 Level 1 達成之案例數量較多其中又以因應計畫案例較多，修復計畫案例較少；而 Level 3 則為較少案例執行此階段項目，又調查研究及修復設計階段無案例執行。

參考文獻

[1] Recording and Coding Guide for the Structure Inventoryand Appraisal of the Nation’s Bridges，Federal Highway Administration，1995 年 12 月。

[2] 大陸古建築木結構維護與加固技術規範(中華人民共和國 1992 年 9 月 29 日)

[3] 重要文化財耐震診斷、耐震補強的手引(平成 8 年 1 月 17 日)

[4] 古蹟修復再利用辦法(民 106 年 7 月 27 日)

[5] 古蹟歷史建築紀念建築及聚落建築群建築管理土地使用消防安全處理辦法(民 106 年 7 月 27 日)

[6] 古蹟管理維護辦法(民 106 年 7 月 27 日)

[7] 文資局防災守護方案(民 105 年 11 月 25 日)

[8] 鍾立來、葉勇凱、簡文郁、蕭輔沛、沈文成、邱聰智、周德光、趙宜峰、楊耀昇、涂耀賢、柴駿甫、黃世建、孫啟祥，「校舍結構耐震評估與補強技術手冊第二版」，國家地震工程研究中心報告，報告編號：NCREE-2009-023，台北，2009 年 11 月。

23th 物聯網應用在建構工安警示與回報智慧管理系統

物聯網應用在建構工安警示與回報智慧管理系統

劉惠園[a] 蔡宗易[b] 任泰奎[c]

[a] 中國科技大學資工系副教授

[b] 瑞賦科技股份有限公司總經理

[c] Business Development Manager, Criteol K.K. Inc., Japan.

聯絡作者：劉惠園[a],(lindaliu54@yahoo.com.tw)

摘要

本文將特別針對透過 ISO 45001 獲得施工現場安全衛生管理系統之驗證，以物聯網之軟硬體技術創新整合於工安警示與回報系統，針對公安系統提出（一）協助危害現場之主動提醒、（二）人員進出紀錄與統計、（三）施工機具進出管制與（四）淨空提醒與協助作業現場走動之巡查管理，等幾個主要功能的資訊加以統合，並利用靈活的軟、硬體技術與設備，將各部門的資訊都納入一個跨部門、跨地區的整合工作流程中，將所有營運資源的數據納為有效資訊提供管理服務，以即時監控並支援公司的各項關鍵決策、提升業主之安全資源管理效能。

關鍵字：施工現場、安全衛生管理、物聯網、工安警示與回報系統

Innovative applications of IOT integrated in intelligence management system for building construction safety warning and reward

LIU Hui-Yuan [a], TSAI Tsung-Yi [b], REN Tai-Kui [c],

[a] Department of Computer Science & Information Engineering, Associate professor ,China University of Technology , (lindaliu54@yahoo.com.tw)

[b] Rifartek Technologies co., Ltd, General Manager

[c] Business Development Manager, Criteol K.K. Inc., Japan.

Abstract

This article will specifically target to get the construction site safety and health management system which can be verified through OHSAS 45001. In this paper, we proposed an IoT infrastructure that provides innovative and integrated safety warning/reporting system in industry that it would address the following features (i) Help to automatically bring precaution in dangerous area, (ii) Keep track of personannel access control records and statistics and (iii) Assets management of construction equipment and (iv) Clearance notification of construction area with large machine. The IoT-based system utilizes both software and hardware modules cooperatively. This system also collects both cross-departments and cross-areas information that managed in integrated resources that aimed to provide services to real-time monitoring and support of the key decisions of the company, to enhance the effectiveness of safety management resource owners of valid information.

Key words：Construction site、safety and health management、Internet of Things、Construction site safety warning and reporting system.

一、 簡介

1. 職業安全衛生管理系統

透過 ISO 45001 獲得職業安全衛生管理系統驗證，這是組織對員工承諾的有力信號。

許多組織將職業安全衛生管理系統 (OHSMS) 作為風險管理戰略的基本部分來實施，應對不斷變化的立法，保護自己的員工和其他人在他們的管控下作業。

ISO 45001 驗證使組織能夠管理職業健康與安全風險，提高績效。

ISO 45001 核心重點

- 企業應在工作現場張貼標示、警告與或其他現場危害控制措施。
- 企業應配發防護器具，防止物理性傷害。例如防滑、輻射影響、防止地板上尖銳物刺傷腳部等。
- 要求企業必須執行安全措施，保障員工、暫時性工作人員、承攬商、訪客以及任何在工作場所之人員安全素。
- 進行危害鑑別。企業必須明確的鑑別可能造成傷害、生理健康損害或身故的各種危害情況。
- 企業所建立的職安預防措施，必須是可量化且符合實務。
- 執行員工健康監控，且監控結果應用來保護和增進員工個人、集體以及受作業環境暴露族群之健康。健康評估程序應包括但限於對員工進行健康檢查、生物
- 對工作區域、過程、裝置、機械/設備、操作程序及工作組織之設計必須符合安全性原則，也需考量這些設計對人體工學是否適用。
- 監測、輻射檢查、問卷調查及健康記錄評估等內容。
- 企業應定期舉辦工具箱會議（tool box talk），向現場作業員工持續宣導職安措施，確保員工保持高度警覺，達到零事故的安全目標。

ISO 45001:2018 涉及以下關鍵領域：

- 危害識別、風險評估和確定控制措施
- 法律和其他要求
- 目標和 OHS 計畫
- 資源、角色、職責、責任和權利
- 能力、訓練和認知
- 溝通、參與和諮詢
- 營運控制
- 應急準備和回應
- 績效評估、監控和改善

2.物聯網

物聯網的概念起源於比爾蓋茲 1995 年《未來之路》一書，在《未來之路》中，比爾蓋茲已經提及 IoT 的概念，只是當時受限於無線網路、硬體及感測設備的發展，因此並未引起重視。但隨著技術不斷進步，國際電信聯盟於 2005 年正式提出 IoT 概念，而在 2009 年歐巴馬就職演講與 IBM 提出的「智慧地球」得到了熱烈地響應後，IoT 再次引起各界廣泛的關注。

物聯網（Internet of Things，縮寫 IOT）是一個計算和通信技術的革命，將日常物品轉換成智能物體，能夠感知、解釋並對環境作出反應。這種通信技術的演變，提供了人與物，物與物之間新的的通信方式。而網際網路、傳統電信網等訊息承載體，讓所有能夠被獨立定址的普通物理對象實現互聯互通的網路(簡單來說,就是物品與物品可以透過網路交換訊息)。

根據歐洲電信標準協會（European Telecommunications Standards Institute,ETSI）之定義，IoT 可依照不同的工作內容劃分為感知層、網路層及應用層（圖 1）。

圖 1：IoT 架構及關鍵技術。（物聯網架構 http://www.csie.ntpu.edu.tw/~yschen/course/2012-1/WNMC/ch14.pdf）

3.智慧管理

將物聯網技術應用於工地的施工機具進出管制與淨空提醒管理，的確能為業主帶來助益，導入物聯網智慧管理的效益在於以下四點：

(1). 更有效地進行施工機具識別、庫存資料蒐集、分類和追蹤等作業。

(2). 確時記錄棧板、鋼筋、混泥土、磚瓦、設備和工時等的資料。

(3). 在條碼無法工作的惡劣環境下進行資料蒐集。

(4). 可以整合智慧工料與安全管理，提高施工效率。

一般來說工地管理的重點工作包括4點：

1.盤點工具 2.儲位管理 3.人員進出管理 4.安全空間，無論哪一種都必須建構在正確識別人員與工料的前提下，如此才能達到提高進出與施工安全的效率及正確性。

二、 系統目標

符合ISO 45001標準之系統，為了協助並增進施工現場安全，應具備：

1危害辨識、風險評估及危害告知

2危險性工作場所評估

3現場巡查管理

4安全衛生稽查

5工地進出管理

6用電安全管理

7 消防管理與防災演練

本研究以應用物聯網軟硬體儀器、設備與系統，特別針對施工現場的安全衛生管理標準，推出「巡檢、進出與安全E化系統」，將既有施工現場管理，進化建置成智慧管理模式。

三、 主要工作內容

1.協助危害現場之主動提醒（偵測人員靠近危害現場，並主動發出警示）

施工現場具有許多危害現場，甚至是擺放建材區域也是危險重重，因此人員施工走動的安全性管理很重要。傳統施工現場透過架設安全防護網於危險區域，與施工走道裝置鐵欄杆來提供安全防護。結合RFID設備的應用，可以提前感應與警示，發揮警示預防的功效。

圖2.傳統處理方法: 架設安全網

(1)傳統處理方式均為架設安全網。

(2) 外圍施工走道掉落偵測

圖3.傳統處理方法: 架設安全網

本研究採用架設 RFID 偵測器，與物聯網警報系統，於人員靠近甚至是掉落時啟動警報模式。(主動通報工安人員，加速工安事件通報能力與處理速度，減低工安通報遺漏的缺失)。

2. 人員進出紀錄與統計（偵測並統計人員進出各樓層之時間與數量）

圖4.傳統採用短距離感應式門禁機來管理人員進出

本研究採用：

(1).被動式長距離 RFID 方案，防水，耐高溫

圖 5. RFID 讀取器

RFID 讀取器標準：ISO 18000-6C

- 讀取距離：最長4 ~ 8公尺
- 上位系統傳輸介面：藍牙，傳輸距離 10 ~ 30 公尺

圖 6. RFID 標籤

- 標籤主體與救命器插銷固定在一起。
- 中間夾層，兩側加工置入人員姓名與編號
- 頂部金屬扣環

(2). 導入即時定位系統，以圖控方式掌握施工人員動向。

(3). 即時定位系統同時結合 CCTV，增加遠端視訊與人員地點的雙重訊息。

(4). 在施工人員進出施工區域時，確認需配戴之標準配備，包含安全帽、施工服。
在進行特定危險施工項目時，如鋼構階段，由 RFID 確認具備水平安全母鎖及防墜器，再進行施工。

圖 7.人員安全配備

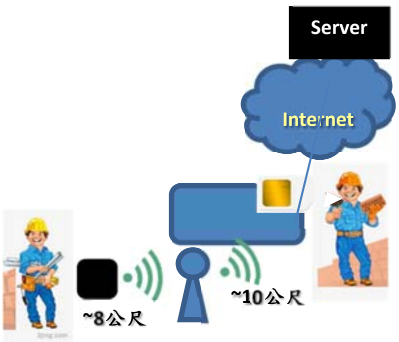


圖 8. 人員安全資訊傳輸架構

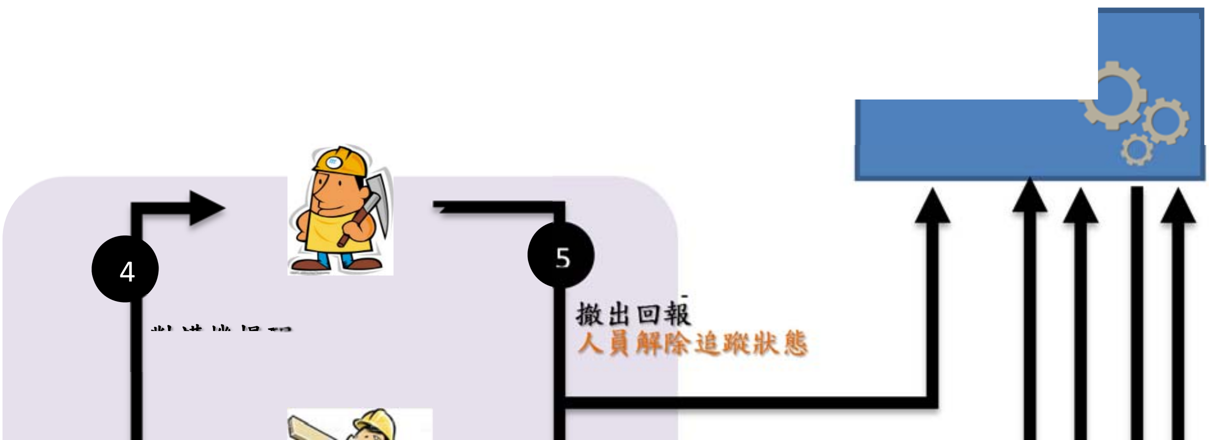


圖 9.勞工安全應用展示畫面

由全區 3D 立體圖快速得知各區域的施工人員資料，並掌握每一位人員的施工動態。並以旋轉、縮放的圖控來查閱相關資料。

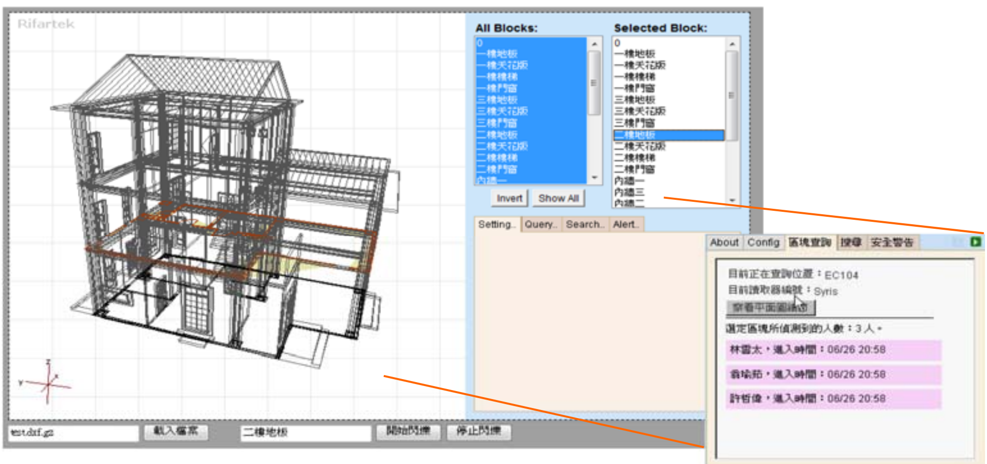


圖 10.　3D 立體圖應用展示畫面

圖11.　2D平面圖示：隔間與人員數量資訊

透過 3D 全景圖得知區塊資料後，再利用 2D 平面圖來確認更精細的人員資料，包含進出、警示區域、各分區人員名單。

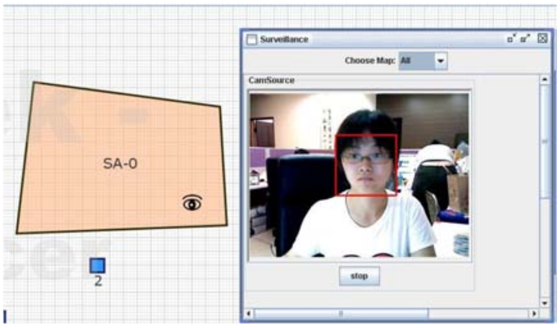


圖12.　2D平面圖示結合CCTV

監控地圖可整合 CCTV 系統，於 2D 平面圖增加視訊監控點，讓整個系統成為一個整合式、統一介面的工安平台。

3. **施工機具進出管制與淨空提醒（提醒施工人員活動中機具與自身安全）**


圖13. 傳統於工地 架設警示三角錐

傳統施工機具進出管制與淨空提醒方式，是採用架設警示三角錐；本研究則架設 RFID 偵測器，與警報系統，於人員靠近時啟動警報模式。(參考圖 9.勞工安全應用展示畫面)

4. **協助作業現場走動之巡查管理（紀錄、提示、警示不安全環境、設備數據等）。**

(1).

(i)傳統現場走動之巡查管理，採用紙本記錄、標準作業準則；本研究則以手持 RFID 巡查，提供現地端之
- 定位回報
- 派工回報
- 異常通報
- 定位導引
- 急訊推播

經由現地端之各感應器，經由網路傳訊於行控中心，可即時掌握人員狀態，做各種回饋控管，同時可以累積各項資訊，以大數據分析，供未來決策之用。

(ii)於行控中心可提供
- 人員線上狀態
- 人員即時動態顯示
- 卡片更動log
- 級區通行異常
- 危險區域逗留異常
- 設備及時狀態
- 樓層平面檢視
- 樓層平面即時狀態
- 人員RFID維護
- 卡片列表
- 低電力檢視
- 歷史動態查詢

以上為網路連接順暢時之應用。

然若網路連結異常，也就是說當發生災害，以致網路中斷連線，則啟動緊急模式，掃描臨近旗標，提供離線定位與地圖指引；掃描臨近工作人員，可得知人員動向。

(2)應用情境規劃：

(i) **網路連接順暢時：**

圖 14. 現場走動之巡查管理，網路連接順暢時

(ii) 網路連接異常時：（如發生災害切斷網路連結）

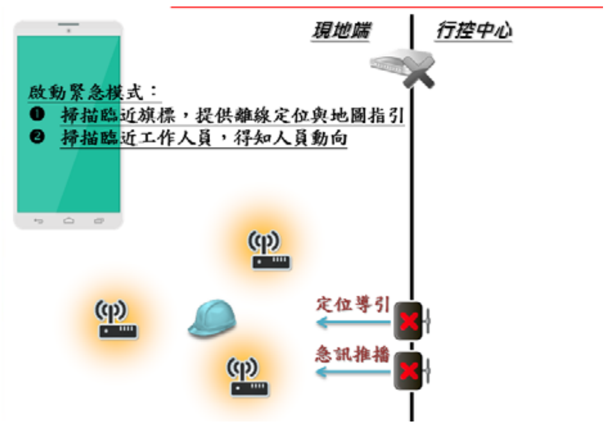


圖 15. 現場走動之巡查管理，網路連接異常時

(3)系統架構

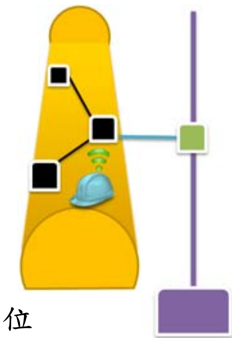


圖 16. 工地現場人員定位應用系統架構

(i) 工作用安全帽與定位訊號發報晶片

功用：

a.發報人員身份 ID、方位、室溫等數據

(ii) 無線訊號收集與發報設備

功用：

a.收集安全帽上的無線訊

b.透過 RS485 與 TCP/IP 回報至定位系統

(iii) WiFi 基地台

功用:

a.提供行動上網之 WLAN 基礎建設

b.提供定位訊號收集器之Private LAN 基礎建設

(iV) 定位系統

功用：

a.定位引擎、行控平台

(4)軟體系統架構

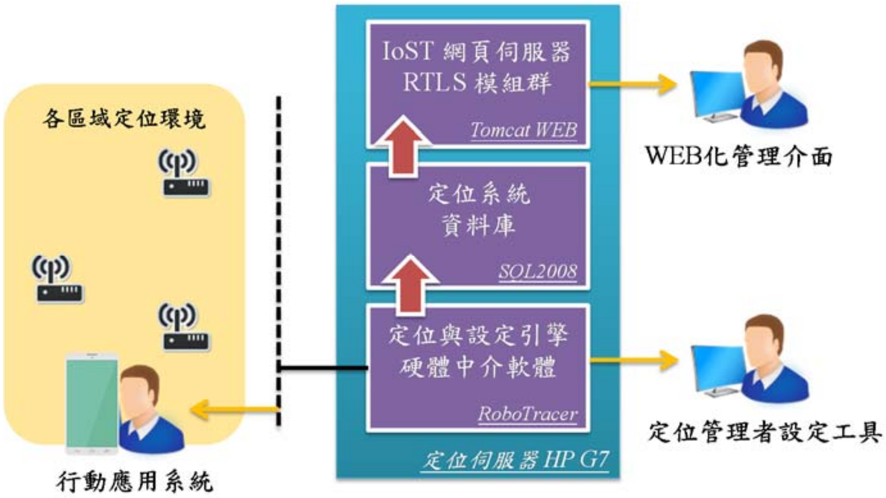


圖 17. 工地現場人員定位應用軟體系統架構

四、 討論

應用物聯網軟硬體技術，通過手持式終端設備讀取建材品與人員辨識的條碼或RFID標籤，經由行動通訊網路將資訊即時上傳至後台系統，達到管理最即時化、材品周轉率最大化的目標，人員管理最安全化。

傳統的工地安全管制系統採用紙本式的紀錄配合門鎖與鑰匙，主要是管制何人(who)可以進出何處(where)。其中，人員的管理係透過鑰匙的配發來達成。一旦鑰匙遺失，就必須更換門鎖，以確保安全。

傳統機械式門鎖無法得知鑰匙持有者進出的時間與次數，亦無法規定及限制某些特定鑰匙的使用日期及時段。對於經常有臨時人員進出的施工場所，很難有效地管理人員進出狀況，嚴重影響施工之安全。

不同於機械式門鎖與鑰匙，電子式安防門禁系統使用RFID、微處理機或電腦，可記錄所有授權進出者及其使用的時間(when)與地點。電子式安防門禁系統亦可透過系統設定，限制人員的使用時段與有效進出日期。萬一人員變動或門禁感應卡(credential)遺失，只要將該人員或卡片的授權取消，即可確保新安全設定全面立即生效，不用浪費時間與金錢去更換所有門鎖。

傳統現場走動之巡查管理，採用紙本記錄、標準作業準則。經由現地端之各感應器，經由網路傳訊於行控中心，可即時掌握人員狀態，做各種回饋控管，同時可以累積各項資訊，以大數據分析，供未來決策之用。

故而針對以往傳統管理模式，對照本研究之應用物聯網軟硬體之技術，建構公安警示與回報之管理系統，以下列各項作一比較：

五、 結論

1.本研究創新之智慧管理模式比較

(1)傳統管理模式 (As-Is Model)

1.危險區域架設安全防護網
1.施工走道架設鐵欄杆
2.短距門禁感應
3.門禁、CCTV獨立作業
4.器具配戴
5.點名、紙本作業
6.危險器具三角錐淨空
7.人員巡查

(2)智慧管理模式 (As-Is Model)

1.系統提前感應與警示
2.即時通知掉落之緊急事件
3.長距、快速感應，掌握人員動向
4.整合式統一系統，降低操作困難
5.RFID確認器具，事前防範疏失
6.3D, 2D 全區圖控追蹤
7.危險區域RFID感應並主動警示
8.E、M化作業，提醒器具異常數

2.本研究之規劃優勢

六、 參考文獻

1.Evans, H. and J. Johnson, (2005), “10 StepsToward RoHS Directive Compliance”, CircuitsAssembly, 16(2), 68-70

2.Richard B. Chase, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano, OperationsManagement For Competitive Advantage, McGraw-Hill, New York, 2004.

3. Klaus Finkenzeller, RFID Handbook : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification，Translated by Rachel Waddington, Wiley, Chichester,England, 2003.

4. Mikell P． Groover, Automation，Production Systems，and Computer-Integrated Manufacturing, Prentice Hall, New Jersey, 2001.

5. Robin Koh, Edmund W. Schuster, Indy Chackrabarti, Attilio Bellman, “Securing the Pharmaceutical Supply Chain”, Auto-ID Center, June 2003

6　A. Juels, “RFID Security and Privacy: A Research Survey,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, No.2, February 2006

7. Ian J Shelley & Rachel Ho, “Applications of Radio Frequency for the Construction Industry,” HK Institution of Engineers Conference, January 2003

8. OHSAS 18001 - 職業健康和安全管理系統：

http://www.sgs.com.tw/zh-TW/Health-Safety/Quality-Health-Safety-and-Environment/Health-and-Safety/Health-Safety-and-Environment-Management/OHSAS-18001-Occupational-Health-and-Safety-Management-Systems.aspx

9. OHSAS 18001（ ISO 45001）職業安全衛生管理系統

http://www.isoleader.com.tw/home/iso-coaching-detail/1310

10. A. Juels, “RFID Security and Privacy: A Research Survey,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.24, No.2, February 2006.

11.物聯網架構 http://www.csie.ntpu.edu.tw/~yschen/course/2012-1/WNMC/ch14.pdf

12. 物物相聯的龐大網路─物聯網張志勇、陳正昌 http://scimonth.blogspot.com/2014/05/blog-post_3117.html

24th 艰险山区高速铁路隧道洞口新型棚洞结构研究

高速铁路高陡坡面隧道洞口新型棚洞结构研究

史 先 伟 （中铁第一勘察设计院集团有限公司）

摘要：研究目的：艰险山区高速铁路高陡坡面隧道洞口坡面落石防护问题，是制约安全运营的重要因素，本文以西安至成都高速铁路项目为依托，结合地形特点，提出两种新型棚洞结构—一种桥隧一体化柔性钢网棚洞、一种柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞，并分析各自特点，提出适用条件。

研究结论：(1）柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞上部结构自重大，需单独设置基础，工序复杂，施工难度大，投资大，但耐久性好，后期维护成本低，在轨面标高与地面高差较大、高地震区时采用务必进行详细检算分析后采用。(2）桥隧一体化柔性钢网棚洞，制作安装方便，可以与桥设为一体，不需单独设置基础，具有制作安装方便、经济美观等优点，但钢材耐久性差，需定期防锈处理，后期维护成本高。(3）轨面距沟心地面高差是影响两种新型棚洞型式选取的重要因素，一般高差小于 15m 时优先选用柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞。(4）该研究成果可在铁路隧道洞口落石防护中推广使用。

关键词： 高陡坡面；隧道洞口；落石防护；新型棚洞

中图分类号：U25　　文献标识码：A

Study on new shed tunnel structure for high steep slope tunnel portal of high speed railway

SHI　Xian-wei（China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.）

Abstract: Research purposes：Rockfall protection on steep slopes of tunnel at high and steep slopes of high speed railway,is an important factor restricting the safe operation，this paper is based on the high-speed railway project from Xi'an to Chengdu,combined with terrain features,two new types of shed structure are proposed---the integration of flexible steel net shed tunnel tunnel,column and beam supported reinforced concrete shed, and analyzes their characteristics, puts forward the applicable conditions.

Research conclusions: (1)Column and beam supported reinforced concrete shed tunnel superstructure, need to set the foundation alone,complex process, construction difficulty,large investment,but good durability, low maintenance cost,when the elevation on the surface of the orbit and the height difference of the ground are higher,the detailed analysis and calculation of the high seismic zone must be carried out.(2)The integration of flexible steel net shed tunnel easy to make and install,can be integrated with the bridge, the utility model has the advantages of convenient manufacture and installation,beautiful appearance etc,but poor durability of steel, the need for regular anti rust treatment, high maintenance costs.(3)The elevation difference between the surface and the center of the channel is an important factor influencing the selection of two new types of shed tunnel, when the height difference is less than 15m, the column and beam supported reinforced concrete shed.(4)The research results can be widely used in rockfall protection of railway tunnel portal.

Keywords: High Steep Slope;Tunnel portal;Rockfall protection;New shed tunnel

1 研究背景

根据十三五铁高铁路网规划，至 2020 年将建设 3 万公里以上的高速铁路，新构筑的“八纵八横”高速铁路通道，新建高速铁路将更多处在中西部艰险山区，位于艰险山区的高速铁路需修建大量的隧道工程，高陡仰坡隧道洞口落石防护技术将成为困扰建设者的重大难题。

西成客专穿越秦岭、巴山两大山区，地形地质条件复杂、隧道占线路比重大，成群密集分布，越岭段长大隧道多，仅秦岭山区形成百余公里的长大密集隧道群，在我国铁路客运专线建设中和世界运营的高速铁路中实属罕见，隧道洞口大多为“V”型沟谷，桥隧相连，桥台进洞布置，坡面普遍较陡，两隧道间明线间距段长度普遍较小，坡面多有危岩落石分布，影响行车安全[1]。以西安至成都客运专线项目为依托，科研立项并进行了高陡仰坡隧道洞口仰坡落石防护技术的研究，提出两种防落石新型棚洞结构，并得以实施，有待运营阶段的考验，这两种棚洞结构是高速铁路领域的大胆尝试，并提出了自己的观点，现将研究及设计思路进行介绍，以期研究结果对类似工程的设计有一定的借鉴作用。

2 国内现状

艰险山区隧道洞口多处在“V”型沟谷，山坡陡峭，多有危岩落石分布，受高速铁路线路曲线半径等多种因素制约，完全绕避可能性较小，且一般不具备接长常规明洞的条件，危岩落石成为常见的地质灾害之一,严重威胁着山区铁路设备和运输安全，给铁路日常运营养护带来极大困扰。以下仅以成昆铁路 2004 年～2007 年间发生的危岩落石病害为例说明：

2004 年 5 月干溪沟大桥昆端危岩自垂直高度 200 米处崩塌砸坏拦石墙及钢轨栅栏，2005 年 8 月沙赵坪棚洞出口危岩崩塌脱落砸坏桥上的人行道，2005 年 12 月矣村坝隧道进口危岩自垂直高度 200 米崩塌落在隧道洞顶出现多处裂纹、小河子隧道至老虎咀隧道之间多次发生落石

砸坏拦石墙及钢轨栅栏后上道，2007 年 8 月 K283+990 里程处危岩自垂直高度 100 米崩塌下落砸断钢轨栅栏冲出挡墙后被机车迎头撞上。

除此以外西南地区的宝成、黔桂、南昆铁路危岩落石病害和安全事故频发，尤其是 2008 年 5.12 汶川大地震以后危岩落石分布更加广泛，其危害更为严重，虽然运营部门每年都在逐步实施了一些保护性工程，如增建棚洞、接长隧道、铺设防护网等，但投入这些工程的资金还是非常有限，即便实施了一些补救工程，也起不到根本性作用，不能彻底消除危岩落石所带来的安全隐患。

3 新型棚洞结构设置原则

3.1 设置方案综述

课题研究时先从空气动力学角度分析各隧道洞口是否需连接封闭，再由洞口坡面落石运动轨迹分析是否需在正常设计的基础上进行延长，因运动轨迹模拟时受制于岩性（落石形状）、植被、坡率等较多因素，造成模拟分析的准确性欠佳，考虑行车安全万无一失，更多地应结合经验分析后合理确定是否需接长棚洞。

研究过程中根据隧道口地形条件、相邻桥梁跨度和型式、基础设置条件，对接长部分的棚洞拟定了钢筋混凝土结构和柔性钢结构两种型式进行系统分析研究。

3.2 主要设计原则

（1）隧道洞口上方影响范围内的危、活石需彻底清除，并采取必要的锚固、支挡及拦截措施，棚洞的主要防护目标为小粒径的落石，即以上措施的“漏网之鱼”。

（2）内轮廓满足现行规范[2]要求、满足接触网绝缘距离要求，考虑结构变形影响，可适当加大。

（3）充分结合相邻桥梁的梁型和孔跨布置。

（4）上部结构检算时考虑的荷载有：自重荷载、风荷载、雪荷载、地震荷载和落石冲击荷载等。

（5）棚洞结构应充分考虑安全性、耐久性及经济性，施工和维护方便等需求。

4 两种新型棚洞结构拟定与检算

4.1 柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞

4.1.1 结构拟定

棚洞上部结构采用 35cm 厚的 C35 钢筋混凝土，外侧挂双层橡胶轮胎缓冲层，边墙两侧进行开孔，以减小结构自重，下部纵向托梁采用 C40 钢筋混凝土，托梁一端与隧道洞门合设基础，另一端结合桥梁孔跨设置柱桩，横断面如图 1 所示。

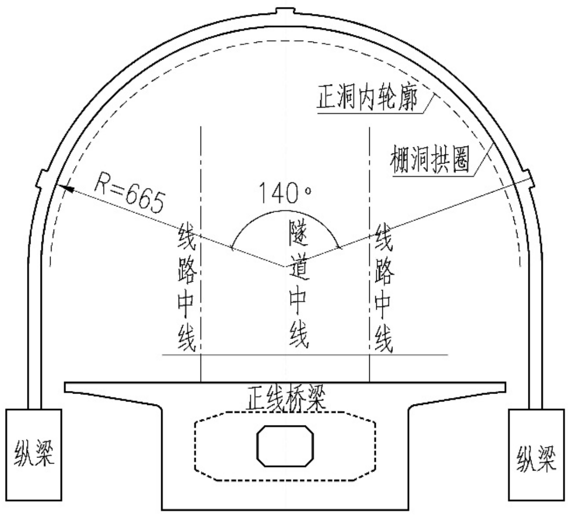


图 1　柱、梁支撑式棚洞横断面图（单位:cm）

4.1.2 结构检算

棚洞衬砌与托梁共同受力，故利用 ANSYS 软件建立三维荷载-结构模型，如图 2 所示。衬

砌用 shell63 单元模拟，托梁用 beam4 单元模拟。衬砌厚度为 35cm，托梁截面尺寸为高 1.5m×宽 1m×长 15m。

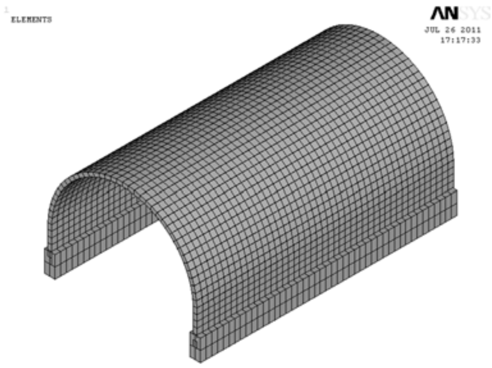


图 2　　结构模型图

荷载主要考虑：结构自重、落石冲击荷载(45KN)、风荷载、雪荷载、地震荷载。衬砌中截面最大负弯矩 64.4kN·m 位于拱顶部位，最大正弯矩 44.7kN·m 位于起拱线附近；衬砌中截面轴力 43.2 kN，位于拱顶部位。底梁弯矩图如图 3 所示，底梁轴力图如图 4 所示。

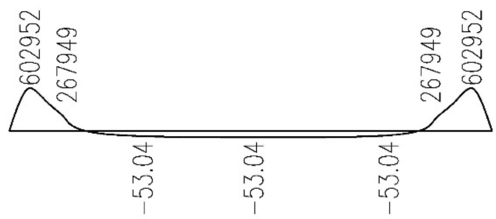


图 3　底梁弯矩图（N·m）

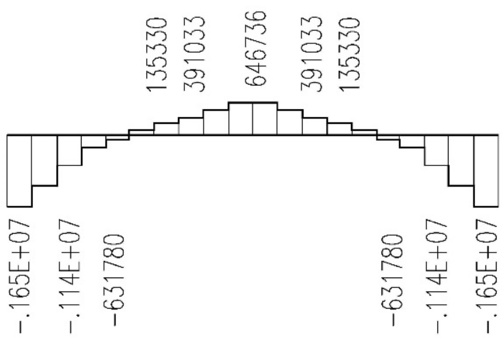


图 4　底梁轴力图（N）

根据以上结构受力检算：柱、梁支撑式棚洞衬砌主筋采用 5 根φ22 钢筋，格构梁（50*50cm）主筋采用 5 根φ25，纵向拖梁（L2）采用 8φ25 钢筋即可满足受力需求。工程实景照片如图 5 所示。

图 5　柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞施工照片

4.2 桥隧一体化柔性钢网棚洞

4.2.1 结构拟定

（1）上部结构

结构主要组成部件：钢拱架＋钢绞线＋端头索具＋消能器＋环形网＋格栅网+落石防护板+支座。H400×220×8×14 型钢为主体结构，拱形钢架满足限界及变形量要求并有适当富余量，钢拱架上连接直径为 18mm、间距不大于 300mm 的钢绞线作为主要的吸能部件，每根钢绞线的两端分别连接消能器，钢拱架外侧设 R×I～250 环形网与网孔尺寸为 50×60mm 的双绞六边形格栅网，在线路顶部的钢拱架底部焊接δ=2mm 钢板，避免小粒径落石入侵线路[1]。

（2）棚洞下部支持方案

方案一（独立基础）：更适用于后期补强时使用，设纵向拖梁支撑上部结构，横向可设置拉杆，在桥墩两侧并排设独立基础，为减少对沟谷行洪能力的影响，应和正线桥梁同孔跨布设，但与正线桥梁基础距离近，施工难度大。

方案二（桥墩支撑）：正线桥梁两侧增加纵向托梁支承棚洞主体钢拱架，纵向托梁两端通过斜向支撑，将上部结构的荷载传递到桥墩墩身,如图 6 所示。

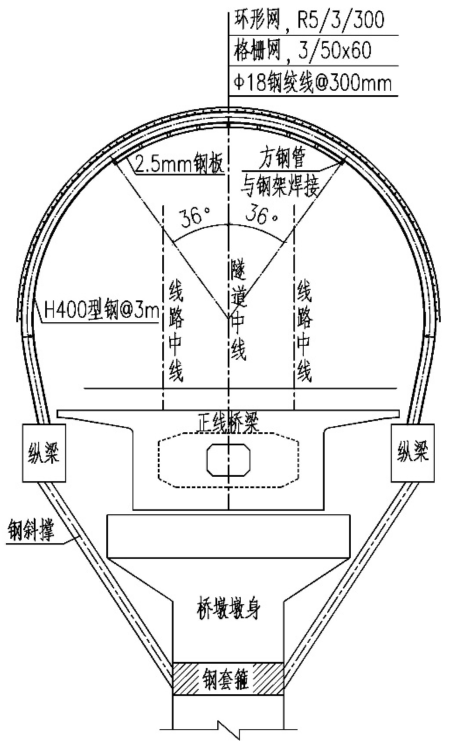


图 6　方案二下部支撑示意图　（单位:mm）

方案三（梁部支撑）：相对前两种支撑方案，将钢棚洞的拱架放置于正线梁上，每侧分别通过两个铰接接点与正线梁连接，每个节点传递到正线梁的力较小，不需要对桥梁设计进行大量的更改。本连接方式在正线梁翼缘板端部及腹板位置设置预埋件，钢拱架与正线梁之间采用铰销连接，可以提供钢拱架转动的空间，避免了固接引起的弯矩传递。可谓是桥隧一体化设

计，是一种比较合理、经济的连接方案[1]，如图 7 所示。

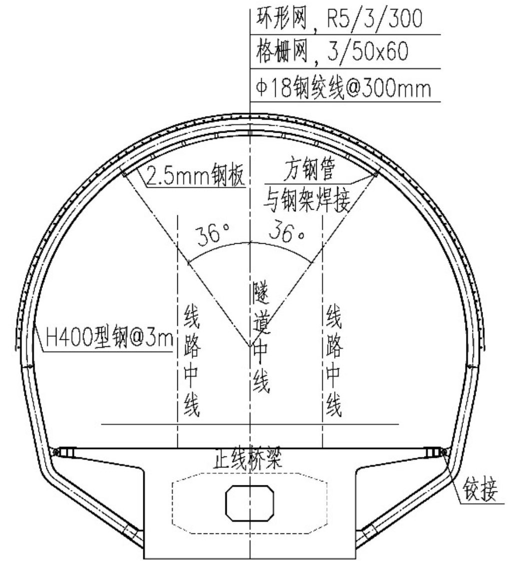


图 7　方案三（推荐）下部支撑示意图（单位:mm）

下部支撑优缺点比较如表 1 所示。

表 1　下部支撑优缺点比较

项目	方案	优点	缺点
1	方案一	1.与正线桥梁体的受力无干扰，受力简单； 2.基础单位设置、结构受力明确。	1. 铰接处有力传递至正线梁部，结构受力相对复杂，不仅要对桥墩基础的加强，还需考虑对梁部的影响； 2.单独设置基础，投资大； 3.对行洪能力有一定影响；
2	方案二	1.与正线桥梁体的受力无干扰； 2.不需单独设置基础；	1.施工难度大； 2.用钢量最大，后期维护难度和成本高；
3	方案三/推荐	1.造价低； 2.用钢量省后期维护保养成本最低；3.可利用正线桥梁作为施工平台，施工方便； 4.结构简洁、外形美观；	1.铰接处有力传递至正线桥梁，需对正线桥梁进行受力检算，有可能需配筋加强。

4.2.2 结构检算

钢棚洞检算采用 MIDAS/Gen 软件建立三维荷载-结构模型，模型纵向长度 45m，梁柱均选用两个节点，六个自由度的梁单元，该单元可以考虑拉（压）、弯、剪、扭四种内力的共同作用。撑杆选用桁架单元，该单位不承担弯矩，只承担轴向力。

荷载包括自重恒载（*D*）、落石冲击活载（*L*）、风荷载（*W*）、雪荷载（*S*）、顺桥向地震荷载（*Ex*）、横桥向地震荷载（*Ey*）。

落石冲击活载（*L*）：柔性棚洞的设计防护能量等级为 100KJ，相当于重量为 250kg（约为 $0.5m^3$ 的石头）的石头从 40m 高度自由下落。落石冲击由 3 根钢绞线共同承担，竖向分力的取值为 15KN，水平分力的大小取值为 38KN。结构最大变形 11.7mm，梁单元最大应力比 59.6MPa，桁架单元最大应力比 5.8MPa。

钢网棚洞结构检算结果如表 2 所示。

表 2　　结构检算结果统计表[1]

项目	结果	荷载组合	规范要求值	结论
变形/mm	11.7	$1.2D+1.4(L+S)$	31.5	满足要求
钢拱架应力/MPa	59.6	$1.2D+1.4(L+S)$	<310	满足要求
撑杆应力/MPa	5.8	$1.2D+1.4(L+S)$	<210	满足要求

工程实景照片如图 8 所示。

图 8　桥隧一体化柔性钢棚洞施工照片

5 两种新型棚洞结构的特点及适用性分析

柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞：结构自重大，达 37T/延米，需单独设置基础，工序复杂，施工难度大，投资大，但耐久性好，后期维护成本低。

桥隧一体化柔性钢网棚洞：制作安装方便，可以与桥设为一体，不需单独设置基础。具有制作安装方便、经济美观等优点，但钢材耐久性差，需定期防锈处理，后期维护成本高。

综上所述，轨面距沟心地面高差是影响两种新型棚洞型式选取的重要因素，高差较大时需设置独立基础，投资影响大，一般情况下高差小于 15m 时优先选用柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞，还应充分考虑地形、地质条件、自然环境和相关桥梁桥型综合比选后确定。

6 结语

（1）艰险山区山坡坡面陡峻，存在危岩落石在所难免，选线时应尽可能将隧道洞口绕避之，当受多种因素控制无法完全绕避时，务必在采取彻底清除活石和必要的锚固、支挡、拦截措施后，尽量接长洞口，往往接长常规明洞工程实施难度较大，设置上述两种棚洞结构可有效

防止小粒径落石对高铁运营安全的威胁，待工程运营验证后可广泛推广应用。

（2）柱、梁支撑式钢筋混凝土棚洞上部结构自重大，略显头重脚轻，抗震能力较差，在轨面标高与地面高差较大、类似悬臂结构（仅延长未封闭明线）、高地震区时采用务必进行详细检算分析后采用，相对而言桥隧一体化柔性钢网棚洞对高地震区适应性更好。

（3）桥隧一体化柔性钢网棚洞具有安全可靠、经济美观、抗冲击能力强的优点，设计阶段需对桥梁结构进行受力检算，必要时需对桥梁梁体横断面尺寸或配筋、纵向钢束进行加强，并在桥梁梁体实施阶段埋深铰接预埋件，避免后植入连接件造成对梁体的损伤。

（4）两种棚洞结构对接触网的布设均有一定影响，钢筋混凝土棚洞设置地段应等同隧道内布设接触网基础，设置钢棚洞的地段接触网布设应尽量避免设置下锚和转换柱，确无法避开时，应采取有效的绝缘保护措施。

参考文献：

[1〕史先伟.客运专线隧道群小间距洞口连接结构科研报告[D].西安：中铁第一勘察设计院集团有限公司,2013.

Shi Xianwei. PDL tunnels with small spacing tunnel connecting structure research report [D]. Xi'an: China Railway First Survey and Design Institute Group Co. Ltd, 2013

[2]国家铁路局.TB10621-2014 高速铁路设计规范[S].北京：中国铁道出版社，2014.

National Railway Bureau. Code for design of high speed railway China Railway Publishing House. 2014

[3]刘赪,李辉,史先伟,等.防落石钢筋混凝土明洞结构:中国,ZL201210182184.9[P].2015-05-20.

Liu Cheng, Li Hui, Shi Xianwei, et al. Anti rockfall reinforced concrete structure: Chinese, ZL201210182184.9[P].2015-05-20

[4]张剑,史先伟,李辉,等.一种桥隧一体防落石柔性钢网明洞结构:中国,ZL201220261468.2[P].2013-01-23.

Zhang Jian, Shi Xianwei, Li Hui, et al. Development of a bridge and tunnel rock fall proof flexible steel net structure: Chinese, ZL201220261468.2[P].2013-01-23

[5]刘赪,李辉,史先伟,等.一种防落石钢筋混凝土明洞结构:中国,ZL 201220261466.3[P].2013-01-23.

Liu Cheng, Li Hui, Shi Xianwei, et al. An anti rockfall reinforced concrete structure: Chinese,ZL 201220261466.3[P].2013-01-23

[6]张剑.山区高速铁路隧道间桥隧连接结构探讨[J].铁道工程学报,2011(08):62-67.

Zhang Jian. The mountainous high speed railway tunnel between the bridge and tunnel connecting structure of [J]. Journal of railway engineering, 2011 (08): 62-67

作者姓名：史先伟。

作者地址：陕西省西安市雁塔区西影路 2 号中铁第一勘察设计院集团有限公司桥隧处隧道一所。

邮　　编：710043。

联系电话：15702960899。

E-mail：20348497@qq.com。

25th 盾構隧道上方基坑大面積開挖卸載應對措施

盾構隧道上方基坑大面積開挖卸載應對措施

Countermeasures of shield tunnel from the construciton of pit foundation upward in sand and gravel stratum

戴志仁 王可峰 張海 高志宏

中鐵第一勘察設計院集團有限公司

摘　要

富水砂卵石地層條件下，針對地鐵盾構隧道上方基坑大範圍開挖卸載的不利影響，為確保地鐵運營安全，對下臥盾構隧道隆起與變形趨勢展開研究，從減小基坑開挖卸載的影響程度與增大隧道縱向剛度兩個方面著手，通過在盾構隧道內設置預應力錨索、軌道道床內設置暗梁結構並與管片疊合處理、以及臨時槽鋼縱向固定等措施的綜合應用，減小縱向不均勻變形趨勢，同時採用管幕法超前支護形成壓頂梁，並對上方基坑開挖採用“豎向分層、縱向分段、先支後挖”的基本原則，將盾構隧道的變形控制在了毫米級範圍，滿足了地鐵正常運營要求。

關鍵字：砂卵石地層；基坑開挖；卸荷；地鐵隧道；隧道管片；預應力錨索；疊合構件

A Specification for Conference Papers (l2-point)

Dai Zhiren Wang Kefeng Zhang Hai Gao Zhihong

China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd., Shaanxi Xi’ an, 710043

Abstract: As for the stratum with water-rich sand and gravel, the operating subway tunnel under the pit foundation is facing the risk of unloading. Focused on the upward movement trend, the deformation of shield tunnel has obviously exceeded the allowable value, under nomal design and construction method. Based on the risk reduction of operating metro line, the control of unloading of pit foundation and the increase of the longitudinal tunnel stiffness are put forward. It is found that, prestressed anchor, hidden beam in the road bed and which is composited with segment, longitudinal channel steel is strictly fixed on the surface of segment, and the top beam effect from pipe curtain support are very effective for the position control sheild tunnel. And also, the pit foundation excavation with the principle of vertical stratification, longitudinal segmentation, and digging aftert branch are very important for the control of unloading.

Keywords: the stratum with water-rich sand and gravel; pit foundation excavaton; unload; metro line; tunnel segment; prestressed anchor; composited structure.

一、引 言

近年來，隨著國家新一輪基礎設施建設規劃在各地的逐步落實，城市軌道交通建設又迎來了新一輪建設高潮，然而地鐵周邊環境的保護問題也愈發嚴重[1]。為確保地鐵運營安全[2]，地鐵隧道周邊 50m 範圍內屬於建設控制地帶，鄰近 3m 範圍內不能進行任何工程建設，但地鐵運可顯著帶動周邊地塊價值的上升，地鐵隧道正上方或鄰近工程的建設屢見不鮮[3][4]，對地鐵的正常運營形成了明顯的安全隱患。劉淼[5]對以西安地鐵出入段線上跨盾構區間，明確了基坑開挖與回填，導致下臥盾構隧道受到的卸載與載入效應影響較大；李平等[6]提出了可利用坑底地層加固與抗浮板樁相結合的措施，抑制下方隧道的隆起位移；李瑛等[7]對基坑下臥地鐵隧道的變形進行了研究，提出了坑底地層加固與分層分塊開挖的控制措施；於加新[8]提出了軟土地層基坑開挖引起坑底的回彈變形量的估算方法；俞縉等[9]肯定了基坑底部地層加固處理對抑制下方隧道隆起的控制效果；王俊等[10]提出了用作隧道上方高層建築荷載轉換構件的支撐樁，傳遞

的水準向荷載，對隧道襯砌而言屬於有利荷載。

縱觀國內外文獻資料與工程案例，地鐵與其他市政工程或地塊開發建設的協調問題，一般應在規劃階段予以解決。本文基於富水砂卵石地層條件下，成都地鐵某盾構隧道，面臨上方市政框架隧道施工，市政框架隧道基坑開挖期間，下臥盾構隧道覆土將由 14m 減少至 2.1m，卸載比超過 80%，隧道完全位於基坑底部卸載影響範圍內。因此，本文從減小基坑開挖卸載影響程度、提高隧道抵抗縱向不均勻變形能力兩個方面著手，將基坑開挖期間下臥盾構隧道的變形控制在毫米級範疇，確保了富水砂卵石地層中既有地鐵隧道的運營安全，研究成果可為地鐵沿線地塊開挖建設涉及的地鐵保護問題提供解決思路。

二、內 文

一、工程概況

1、工程簡介

成都地鐵某區間隧道主要走行于富水砂卵石地層[11]，在里程 DK17+360～DK17+400 範圍內穿越寶成鐵路（咽喉區），隧道拱頂埋深 10.8～17.8m，鐵路咽喉區涉及 6 股道，碎石道床，地層物理力學參數如表 1 所示，地質縱斷面如圖 2 所示，地下常水位埋深約為-6m，管棚施工期間，需將水位降至-20m（群井降水要求）。

根據市政工程建設時序安排，地鐵建成通車後，鐵路咽喉區將進行改造，同時市政框架隧道也將同步實施，市政基坑平面尺寸為 53m×59m，盾構隧道與基坑底部最小豎向淨距為 2.1m（基坑開挖深度為 11.9m），具體如圖 1～3 所示。

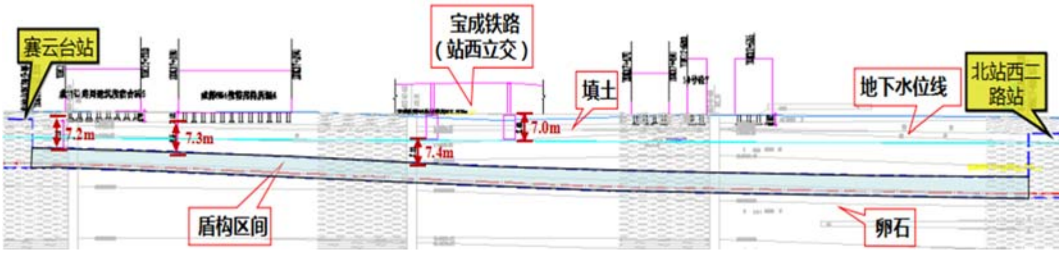


圖 1 區間縱斷面示意圖

Fig.1 Sketch map of longitudinal geological section

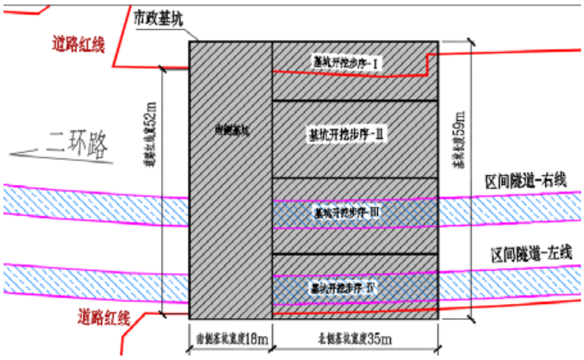


圖 2 基坑與隧道平面關係圖

Fig.2 Skethmap of pit foundation and metro tunnel

表 1 地層物理力學參數

Tab.1 Physical and mechnical parameter

土層及其編號	比重$_{\gamma}$ (kN/m^3)	黏聚力 C/kPa	內摩擦角 $\varphi/°$ ( )	側壓力係數K_0	壓縮模量 E_S/MPa	土層厚度 /m
1-1 填土	18	8	10	—	2.6	3.0
2-2 粉質粘土	19.7	37.1	17.1	0.40	6.0	0.6

土層及其編號	比重 γ (kN/m^3)	黏聚力 C/kPa	內摩擦角 $\varphi/°$（）	側壓力係數 K_0	壓縮模量 E_S/MPa	土層厚度 /m
2-9-1 鬆散卵石	20	0	30	0.33	20	3.2
2-9-2 稍密卵石	21	0	35	0.30	28	4.2
2-9-3 中密卵石	22	0	40	0.25	37	12.0
2-9-4 密實卵石	23	0	45	0.2	48	＞20

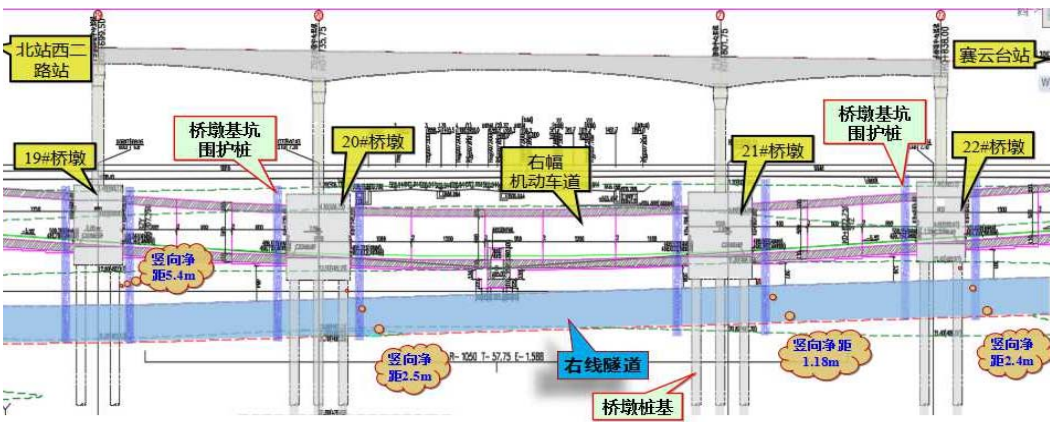


圖 3 地鐵隧道與市政框架隧道斷面關係圖

Fig.3 The section dragram of subway tunnel and municipal frameword tunnel

2、安全控制標準

為確保地鐵正常運營與公眾安全，基於既有工程經驗與相關規範[12][13][14]，同時考慮到富水砂卵石中工程經驗相對欠缺，因此從嚴制定了線盾構隧道風險控制標準，具體如下表所示。

表 2 已運營地鐵安全控制標準

Tab.2 Safety standards for operating subway tunnel

監測項目及範圍	已運營盾構隧道
隧道水準位移/豎向位移、徑向收斂	≤10mm
隧道變形曲率半徑	≥15000m
隧道變形相對曲率	≤1/2500
管片接縫張開量	＜2mm
軌道橫向高差/軌道高差（矢度值）	＜4mm
道床脫空量	≤5mm
結構裂縫寬度	≤0.2mm

二、基坑開挖卸載影響分析

本工程基坑開挖深度約為 12m，由於隧道與坑底距離較近，坑底的變形在一定程度上可以體現盾構隧道的變形情況，現有條件無法保證地鐵隧道運營期的安全。

眾所周知，卸荷模量 E_{uf} 與土體應力路徑密切相關，具體可用下式表達[15]。

$$E_{uf} = \bar{E}_{uf} \times \sigma_m = \bar{E}_{uf} \times \frac{\sigma_{1c} + \sigma_{3c}}{3} \qquad (1)$$

$$\bar{E}_{uf} = C \times [\left|\frac{1+R}{1-R}\right| + n] \qquad (2)$$

式中，$\bar{E}_{uf}$ 為歸一化無因次卸荷模量係數（$\bar{E}_{uf}$≈200，軸向與徑向卸荷比越大，數值越小），σ_m 為平均固結壓力，σ_{1c}与σ_{3c} 分別為土體徑向與軸向固結壓力，R 為加卸載比（$R=\Delta\sigma_1 / \Delta\sigma_3$），$C$ 為與 R 相關的常數，n 為試驗常數。

對於本工程而言，當基坑開挖深度為 12m 時，將相關參數代入上式，相應的卸荷模量約為 35.2Mpa，與卵石土的變形模量（中密卵石土可按 30Mpa 考慮）基本相當，這可能是基坑開挖後坑底地層存在回彈隆起趨勢的主要原因。

既有研究表明，基坑開挖必將導致坑底土體卸載，在軟塑性黏土地層條件下，坑底土體回彈量可達到基坑開挖深度的 0.5%～1.0%H。成都地區富水卵石土地層，由於土體壓縮模量與卸載模量相差不大，同時卸載模量較大，因此坑底土體隆起變形相對較小，現場實測結果顯示，坑底隆起變形不超過開挖深度的 2.0‰。即在常規設計方案（即未採取特殊保護措施的基坑設計方案）與施工技術水準條件下，本工程基坑底部隆起變形最大值在 24mm 左右（數值計算相關分析詳見第 5 部分），對應的隧道豎向位移最大值已經超出表 2 的控制要求（14mm＞10mm）。

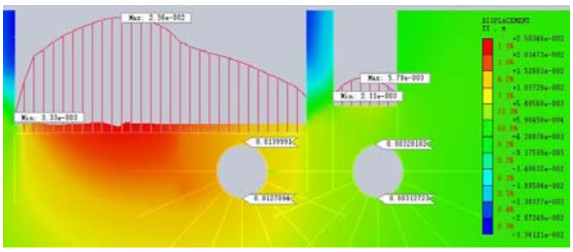


圖 4 常規方案下坑底與隧道豎向位移等值線圖

Fig.4 The vertical displacement contour with common excavation method

三、盾構隧道縱向剛度加強措施及其效果評價

由於管片環縱向接縫的存在，導致盾構隧道的縱向剛度相對較小，容易出現縱向不均勻變形，在採取管片加強配筋，提高接縫螺栓等級的情況下，如何進一步提高隧道縱向剛度，提高縱向不均勻荷載的承載能力，是本工程必須要解決的核心問題。

1、超前管幕及其壓頂梁實施效果

由於區間隧道下穿鐵路咽喉區，為確保穿越期間鐵路正常運營，因此採用管幕法超前支護，確保盾構掘進引起的擾動與地層損失在可控範圍內，具體如下圖所示。

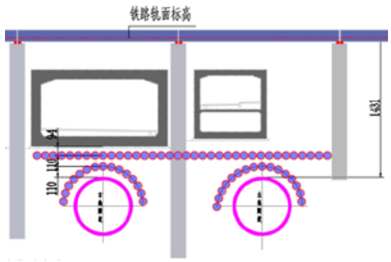


圖 5 地鐵隧道與下穿框架隧道間管幕佈置斷面圖

Fig.5 The section distribution of pipe curtaion between subway tunnel and municipal frameword tunnel

由上圖可知，管幕縱向長度為 51.5m，直徑 800mm，間距 850mm，上下設置兩道，下穿框架隧道底板以下與隧道拱頂左右 180°範圍內設置，管幕間設置鎖扣，總計 67 根，在橋墩基坑內由南向北打設。管幕打設完畢後，在內灌注微膨脹水泥砂漿，加強縱向剛度。

基坑開挖期間，由於實施分塊、分層、分區域開挖，因此已實施管幕可在一定程度上起到壓頂梁的作用，限制了基坑下方隧道的隆起變形趨勢。

2、抗拔錨索設置及其效果評估

基於成都地鐵盾構管片限界條件，在建築限界與隧道內徑之間僅預留了 100mm 的富裕，為確保地鐵運營安全，所有的附加措施不能突破此預留空間。

因此針對性地提出了預應力錨索處理措施，即每環管片設置 7 個張拉點（相應位置管片需要預留孔洞條件），100m 範圍內共計 933 個張拉點，每根錨索長約 10m，固定端長約 8m，具體如下圖所示。

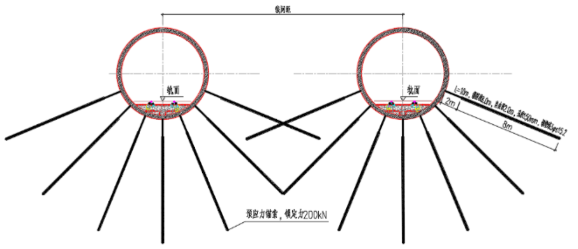


圖 6 預應力錨索設置斷面圖

Fig.6 The design of prstressed anchor rails

眾所周知，預應力錨索屬於柔性結構，可以在一定程度上抑制隧道的隆起變形，但無法從根本上消除隧道的隆起趨勢，通過計算分析，每個位置處設置 3 根 15.2 鋼絞線，具體如下圖所示。

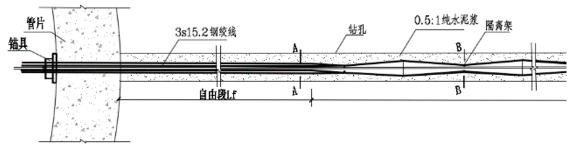


圖 7 預應力錨索詳圖

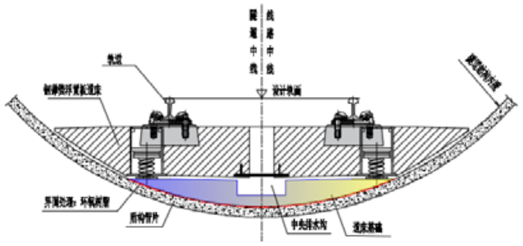
Fig.7 The detail design of prestressed anchor

3、道床內縱向暗梁與疊合式構件

道床結構一般是在隧道洞通後澆築的，雖與拱底處隧道結構緊密接觸，但兩者之間並不存

在剪力與彎矩的傳遞，可按常規複合式構件考慮，因此道床結構型式對隧道的縱向整體剛度影響不大。

道床基礎主要承受列車運營產生的豎向荷載，橫向受力為主，縱向受力為輔，因此縱向可按構造配筋考慮。通過加強結構配筋，形成縱向暗梁結構，加強縱向剛度。對道床基礎與拱底處隧道接觸部位進行介面處理，先將隧道內表面進行鑿毛處理，隨後塗刷環氧樹脂，最後澆築道床基礎，將道床基礎與隧道粘合為一個整體構件，形成具有整體承載效應的疊合式構件，具體如下圖所示。



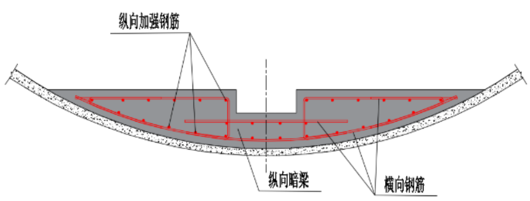


圖 8 特殊減振道床整體情況　　圖 9 道床內暗梁設置示意圖

Fig.8 Special reduction roadbed　　Fig.9 Hidden beam in vibration reduction roadbed

道床基礎採用 C40 混凝土，縱向採用 28 根φ20mm 的 HRB400E 級螺紋鋼，最大程度提高其縱向剛度。

4、隧道縱向槽鋼拉結方案

在隧道運營期間，為進一步加強縱向剛度抵抗不均勻荷載的能力，在隧道內部設置縱向槽鋼（主要在 10 點鐘與 2 點鐘方向），每段槽鋼長約 9m，槽鋼採用[22b（截面高度為 79mm，滿足限界要求），具體如下圖所示。

圖 10 隧道內槽鋼拉結實景圖

Fig.10 Application of chain steel in tunnel

槽鋼主要通過管片螺栓孔進行固定，因此具體位置可能會根據螺栓孔進行調整，對於管片採用預埋滑槽的隧道而言，可實現任意角度槽鋼的縱向拉結。

四、基坑開挖卸載控制措施研究

在地層條件、基坑深度一定的情況下，基坑支護與開挖方式對坑底地層的卸載與隆起趨勢起到控制性作用。因此必須結合建設工期、基坑深度、地層條件，基於分層、分塊、分區域的理念，嚴格按照“豎向分層、縱向分段、先支後挖”的原則開挖，同時採用樁+內支撐支護方式，同時，隧道正上方 6m 範圍內土體開挖設置試驗段，視監測情況確定相應處理方案，基坑施工期間，地下水位元需控制在隧道結構底板以下 1m。

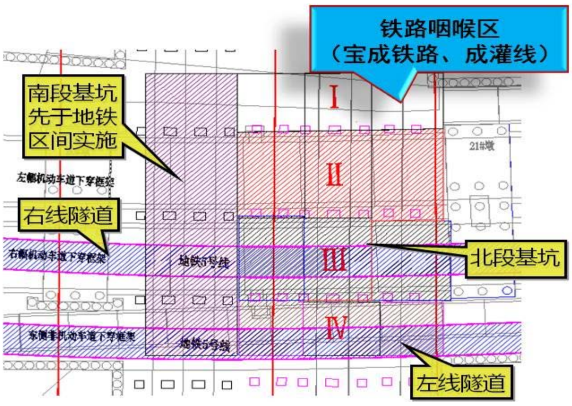


圖 11 隧道上方基坑分區域開挖示意圖

Fig.11 Sketch map of longitudinal segmentation excavation of pit foundation

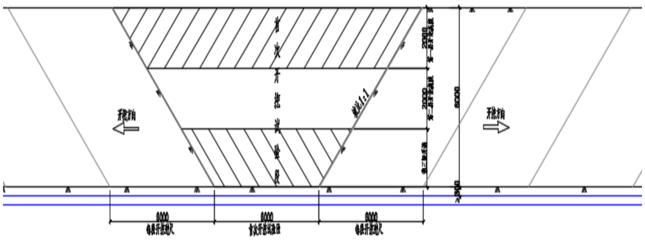


圖 12 隧道上方 6m 覆土基坑開挖試驗段示意圖

Fig.12 Excavation test of pit foundaiton as for the 6m depth stratum above tunnel

市政通道基坑分成南北兩部分實施，其中，南段基坑在地鐵隧道施工前完成，北段基坑由西向東分成四部分（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）開挖。

步驟一：北段第Ⅰ部分基坑開挖：圍護樁施工、施工降水、基坑分層開挖（2m/層），施做主體結構；

步驟二：北段第Ⅱ部分基坑開挖可參考第Ⅰ部分；

步驟三：北段第Ⅲ部分基坑開挖：分層開挖至基坑底部以上 6m，坑底以上 6m 範圍內土體採用豎向分層、縱向分段方式開挖（設置 6m 長試驗段，圖 13）；

步驟四：北段第Ⅳ部分基坑開挖可參考第Ⅲ部分。

五、數值模擬分析

為確保地鐵安全運營，採用 MIDAS/GTS 進行類比分析，模型尺寸：320m×110m×56m（長×寬×高），共由 604154 個單元，571573 個節點組成，採用位移邊界條件，數值模擬關鍵技術如下：

1）本構模型採用修正摩爾庫倫，地層為實體單元，盾構隧道與市政框架隧道結構為梁板

單元，管棚與基坑圍護結構為植入式錨杆；

2）隧道上半斷面注漿加固通過地層力學參數的改變來體現，按水泥土參數考慮；

3）道床線荷載按 17.5kN 考慮[11]；

4）盾構管片採用 C50 鋼筋混凝土，預應力錨索採用 3φs15.2 鋼絞線，基坑圍護結構採用φ1200mm@2000mm，C35 灌注樁（圍護樁嵌入比為 0.3），內支撐採用φ169mm 鋼管撐。

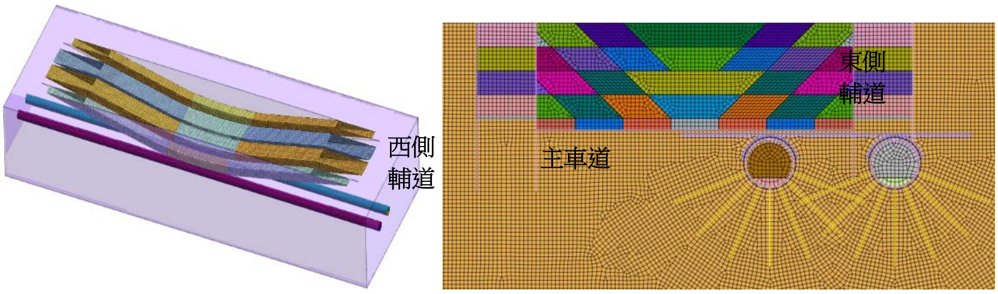


圖 13 計算模型

Fig.13 Calculation model

1、豎向位移等值線圖

基坑開挖完成後的豎向位移等值線圖如下所示。

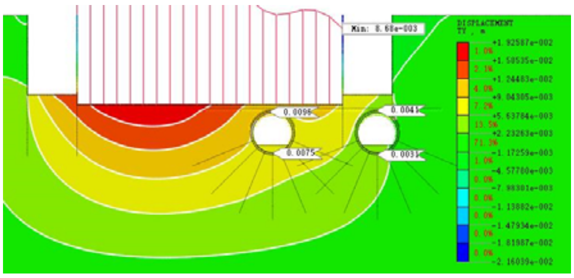


圖 14 東側輔道基坑開挖完成時豎向位移等值線

Fig.14 Vertical displacement contour for excavation to the bottom of the east foundation pit

表 3 基坑開挖中下臥盾構隧道豎向位移（mm）變化

Tab.3 The vertical displacement of tunnel while the excavation of pit foundation upward

施工步序	拱頂豎向位移	拱底豎向位移
西側輔道基坑開挖後	0	-0.1
主基坑第一層開挖完成	2	1.5
主基坑第二層開挖完成	4.1	3.0
主基坑第三層開挖完成	6.3	4.7
主基坑第四層開挖完成	8.6	6.4
主基坑開挖完成	9.1	6.8
東側輔道基坑開挖完成	9.6	7.5

由圖 14 與表 3 可知，通過綜合運用多種措施，最終將隧道正上方基坑開挖卸載的影響控制在毫米級（隧道拱頂最大隆起值為 9.6mm，拱底最大隆起值為 7.5mm），達到了規範的控制要求[14]，滿足了地鐵安全運營要求。

同時，通過進一步分析發現，沿隧道縱向，任意 10m 範圍內差異變形不大於 4mm，滿足了縱向變形曲率≤1/2500 的要求。

2、錨索應力分析

東側輔道基坑開挖完成後（最不利工況），預應力錨索的軸力圖情況如下。

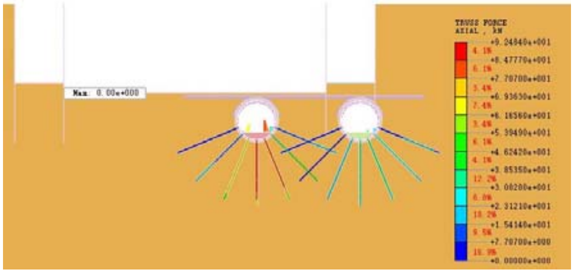


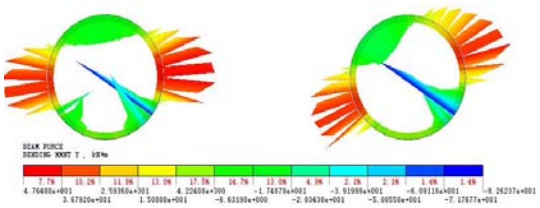
圖 15 錨索應力分析

Fig.15 Stress analysis of prestressed anchor

由上圖可知，基坑開挖完成後，預應力錨索軸力最大值將近 100kN，相應錨索應力約為 73.6MPa，小於錨索承載能力。

3、管片內力與配筋分析

東側輔道基坑開挖完成後（最不利工況），盾構管片內力與配筋情況如下。



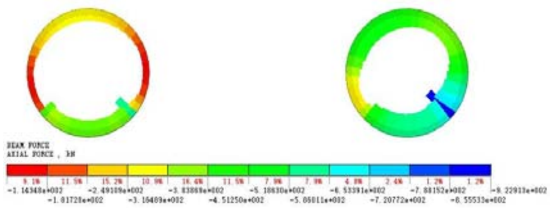


圖 16 管片彎矩圖 圖 17 管片軸力圖

Fig.16 Bending moment of shield lining Fig.17 Axial force of shield lining

表 4 管片內力與配筋圖

Tab.4 Stress and reinforcement analysis of segment

管片部位	內力		配筋/mm^2	
	彎矩/kN.m	軸力/kN	計算	實際
拱頂	30.5	249.1	600	1625（8@16）
拱腰	47.6	114.3	600	
拱底	82.6	383.9	910	

由圖 20、圖 21 以及表 4 可知，基坑開挖完成後，盾構隧道管片最大內力值出現在隧道拱底附近，相應最大彎矩值為 82.6m，最大軸力值為 383.9kN，每延米配筋為 8@16，即 1625mm2 即可滿足要求。

進一步觀察發現，基坑開挖卸載會導致下臥盾構隧道內力出現一定的偏轉（向基坑方向），尤其是右線隧道彎矩值（圖 16），這會導致相應位置處管片縱縫接觸方式發生變化[16]：拱頂處接縫內側張開量會減小甚至閉合，加劇管片的裂縫與破碎風險；接縫外側張開量會增大，不利於接縫防水，實際工程中應引起充分重視。

六、結論與建議

本文基於成都地鐵某區間隧道工程建成通車後，上方基坑施工導致大範圍卸載，對下方已運營地鐵隧道造成了安全隱患，通過分析得出以下幾點結論：

1）針對基坑開挖對下臥盾構隧道的影響，可從減小基坑開挖卸載的影響（豎向分層、縱向分段、先支後挖，坑底以上 6m 範圍內土體單次開挖範圍大於 2m）、提高隧道抵抗縱向不均勻變形能力兩個方面綜合考慮；

2）管幕法壓頂梁、抗拔錨索、道床內縱向暗梁並與管片疊合處理措施，能在一定程度上增大盾構隧道的縱向剛度，進而減小基坑開挖卸載引起的隧道隆起變形；

3）基坑開挖卸載會引起下臥盾構隧道內力出現偏轉，導致相應位置處管片縱縫接觸方式的變化，對管片裂縫控制與防水不利，實際工程中應加強監測，及時處理，避免影響行車安全。

4）市政工程應儘量在規劃階段統籌考慮，先期工程需為後期工程預留必要實施條件，本文研究結論可為類似工況下盾構隧道預留後期工程實施條件提供參考，後續研究可進一步從盾構管片結構設計方面考慮，以期提高盾構隧道縱向整體剛度。

參考文獻

[1] YUN Bai, ZHIREN Dai, ZHU Weijie. Multiphase Risk-Management Method and Its Application in Tunnel Engineering[J]. Natural Hazards Review, 2014, 15:140-149.

[2] 上海市市政工程管理局. 上海市地鐵沿線建築施工保護地鐵技術管理暫行規定[Z]。上海：上海市市政工程管理局，1994.

[3] 長安大學. 置地·時代廣場基坑工程對已建地鐵三號線吉祥村站的影響分析[R]。西安：長安大學，2013.

[4] LI Zhigao, LIU Guobin, ZENG Yuan, et al. Control Measures of Tunnel Displacement by Over-excavation Unloading[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006, 2(3): 430-443.

李志高，劉國彬，曾遠，等. 基坑開挖引起下方隧道的變形控制[J]. 地下空間與工程學報，2006，2（3）：430-433.

[5] LIU Miao, Analysis of Influence of Construction of Access Section of Xi’an Metro on Existing Shield Tuennl[J]. Tunnel Construction, 2016, 36(7):826～829.

劉淼. 西安地鐵側坡出入段線上跨上跨既有隧道施工影響分析[J]. 隧道建設, 2016, 36(7): 826～831.

[6] LI Ping, YANG Ting, LIU Hanlong, et al.　Heave Deformation of Existing Tunnels Under New Tunnel Excavation[J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011, 12(5):480～485.

李平, 楊挺, 劉漢龍, 王義, 陳育民.基坑開挖中既有下穿地鐵隧道隆起變形分析[J]. 解放軍理工大學學報（自然科學版）, 2011, 12(5): 480～485.

[7] LI Ying, CHEN Jinyou, HUANG Xigang, YUAN Jing, LIU Xingwang. Numerical Analysis of Effect of Large-scale Unloading on Underlying Shield Tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35 (10) Supp.2: 643～646.

李瑛, 陳金友, 黃錫剛, 袁靜, 劉興旺. 大面積卸荷對下臥地鐵隧道影響的數值分析[J]. 岩土工程學報, 2013, 35（10）增 2: 643～646.

[8] Yu Jiaxin. Geological Hazard Risks and Its Safety Management Strategies for Metro Line Construction[J]. Construction Supervision, 2013, 4(166): 49～51.

於加新. 地鐵施工的地質災害危險性與安全管理對策[J]. 建設監理, 2013, 4(166): 49～51.

[9] YU Jin, XU Qionghe, XING Weiwei, et al. Numerical Analysis of Upwarping Deformation of Existing Tunnels Under A New Tunnel’ s Excavation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(10) Supp.2: 653～657.

俞縉, 許瓊鶴, 邢崴崴, 丁勇, 程萬釗. 基坑工程下地鐵隧道隆起位移數值模擬分析[J]. 岩土力學, 2007, 28(10) 增 2: 653～657.

[10] WANG Jun, DAI Zhiren. Analysis on the Influence of Construction onf Building on Existing Tunnel below in Loess Area[J]. Chinese Journal on Underground Space and Engineering，2016, 12（3）: 747-753.

王俊，戴志仁. 黃土地區既有隧道上方新建建築施工影響分析[J]. 地下空間與工程學報，2016, 12（3）: 747-753.

[11] China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd., Detailed design of tunnel from Saiyuntai to Beizhanxierlu belonged to Chendu Metro Line 5[Z]. Chendu: China Railway First Survey & Design Institute Group Co. Ltd., 2016.

中鐵第一勘察設計院集團有限公司. 成都地鐵 5 號線一、二期工程 賽雲台～北站西二路了區間施工圖設計[Z]. 成都：中鐵第一勘察設計院集團有限公司，2016.

[12] GB 50911-2013，城市軌道交通工程監測技術規範[S].

[13] GB 50446-2008, 盾構法隧道施工與驗收規範[S].

[14] CJJ/T 202-2013, 城市軌道交通結構安全保護技術規範[S].

[15] Liu Guo-bin, Hou Xue-yuan. Unloading Modulus of the Shanghai Soft Clay[J]. Geotechnical Enginee, 1996, 18(6):18～23.

劉國斌，侯學淵. 軟土的卸荷模量[J]. 岩土工程學報, 1996, 18(6): 18～23.

[16] DAI Zhiren. Study on Mechanism of Segment Crack and Fracture of Underlying Shield Tunel Casued by Extensive Excavation and Unloading of Ground Surface[J]. China Railway Science, 2017, 38(4):1～8.

戴志仁. 地表大範圍開挖卸載引起下臥盾構隧道管片碎裂機理研究[J]. 中國鐵道科學, 2017, 38(4): 1～8.

作者簡介：戴志仁（1981～），男，江蘇溧陽人，2010 年畢業於同濟大學隧道及地下建築工程專業，工學博士，高級工程師，一級註冊結構工程師，註冊土木（岩土）工程師，註冊諮詢

（投資）工程師，主要從事城市軌道交通工程設計與研究方面的工作。Tel:（+86）13572461796. Email：dzrzss@126.com。

26th 高強混凝土多重複合芯柱抗震性能試驗研究

高強混凝土多重複合芯柱抗震性能試驗研究

李慧 王可峰 張海 高志宏 張貴海 黃永安

（中鐵第一勘察設計院集團有限公司 西安 710043）

摘要：以蘭州地鐵 1 號線東崗車輛基地運用庫框架柱為原型，製作並完成了 4 個 1/4 比例高強混凝土多重複合芯柱試件的低周反復荷載試驗，分析了該類多重複合芯柱的破壞形態、剛度退化和滯回耗能等力學性能，研究了軸壓比、 箍筋間距、配箍形式等參數對該類新型柱抗震性能的影響。研究結果表明：高強混凝土多重複合芯柱主要發生了彎剪破壞，柱腳塑性鉸區混凝土由於研磨效應而發生剝落，試件破壞時縱筋被壓屈，呈燈籠狀；複合芯柱試件的滯回曲線呈十分飽滿的弓形，耗能能力強，該類芯柱的抗震性能好；增加軸壓比後芯柱將發生剪切破壞，增加箍筋間距使得試件後期承載力快速下降，延性較差，雙重芯柱比單芯柱的承載力高、耗能好，該類芯柱的抗震性能顯著優於單芯柱的抗震性能。

關鍵字：芯柱；試驗研究；抗震性能；框架結構；滯回曲線

中圖分類號：TU375.4　　　　文獻標誌碼：A

Experimental Research on the seismic behaviour of high-strength concrete columns with multiple shape composite stirrup

Li Hui Wang Kefeng Zhang Hai Gao Zhihong Zhang Guihai Huang Yongan

(China Railway First Surver& Design Institute Group LTD , Xi’ an 710043, China)

Abstract: Taking the frame column of Donggang vehicle base located at Lanzhou Metro Line 1 as the prototype, four 1/4 scaled high strength concrete multiple composite core columns were tested in the experimental program. The failure modes, stiffness degradation and hysteretic energy dissipation of high strength concrete multiple composite core columns were investigated. In addition, the effect of axial compression ratio, stirrup spacing and the type of stirrup on the seismic behavior of the high strength concrete multiple composite core columns was studied. The results show that the failure mode of high strength concrete multiple composite core columns was combined bending damage and shearing destruction. When the specimen failed, the steel bar was yield. Minor spalling of the concrete occurred at the plastic hinge area of the column foot due to the grinding effect. The hysteretic loops of high strength concrete multiple composite core columns showed bow shapes, which showed the specimens have sufficient energy dissipation capacity to resist the earthquake. With the increase of axial compression ratio, the failure mode of high strength concrete multiple composite core columns changed from bend-shear failure to shear failure. However, the increase of the stirrup spacing will decrease the bearing capacity of high strength concrete multiple composite core columns at the late stage, and reduce the ductility of high strength concrete multiple composite core columns The study showed the double core column has higher bearing capacity and energy dissipation capacity compared with single core column, and the seismic performance of double core

---

基金專案：中鐵第一勘察設計院集團公司科研專案(科 16-33)

作者簡介：李慧(1982)，男，陝西米脂人，工學碩士，高級工程師。E-mail:316369094@qq.com

column is significantly better than the single core column.

Keywords: Core column；experimental; seismic behaviour；frame structures；hysteretic loops

一、 引言

本實驗研究是以蘭州地鐵 1 號線東崗車輛基地運用庫。在鋼筋混凝土結構中，柱作為豎向承重構件，承載著整個結構的全部豎向荷載和由水準力引起的附加荷載，一旦破壞就會危及整個結構的安全。由於柱的受力情況複雜並且柱本身的延性較差，因此提高柱的抗震性能極其重要。鋼筋混凝土柱在軸力、彎矩和剪力的共同作用下，通常會發生 3 種方式的破壞：彎曲破壞、彎剪破壞和剪切破壞。目前國內外已對鋼筋混凝土柱的抗震特性進行大量的試驗研究，破壞方式主要集中於彎曲破壞和剪切破壞，而對彎剪破壞研究較少。彎剪破壞是介於彎曲破壞和剪切破壞之間的一種破壞方式，破壞過程比較複雜，很難界定。本文主要通過 4 根鋼筋混凝土柱的低周反復試驗，研究反復荷載作用下高強混凝土多重複合芯柱的抗震性能。

二、 試驗概況

1、試件設計

試驗設計並製作了 4 根高強混凝土多重複合芯柱試件，模型的縮尺比為 1/4，試件的配筋大小均按現行規範進行計算。主要研究參數為：軸壓比、箍筋間距、配箍形式等，具體試件尺寸及參數見表 1。試件 EC-DC-100 的配筋見圖 1。

表1 試件基本參數

Table 1 Basic parameters of specimens

項目	EC-C-100	EC-DC-100	EC-DC-HA-100	EC-DC-200
截面/mm*mm	400*400	400*400	400*400	400*400
角筋	4Φ12	4Φ12	4Φ12	4Φ12
單側縱筋	10Φ12+8Φ12	10Φ12+8Φ12	10Φ12+8Φ12	10Φ12+8Φ12
箍筋(6 肢)	Φ8@100	Φ8@100	Φ8@100	Φ8@200
項目	外芯	外芯	外芯	外芯
截面/mm*mm	280*280(圓)	280*280(圓)	280*280(圓)	280*280(圓)
縱筋	24Φ8	24Φ8	24Φ8	24Φ8
箍筋	Φ6@100	Φ6@100	Φ6@100	Φ6@100
項目		內芯	內芯	內芯
截面/mm*mm		140*140(圓)	140*140(圓)	140*140(圓)
縱筋		10Φ8	10Φ8	10Φ8
箍筋		Φ6@100	Φ6@100	Φ6@100
混凝土強度等級	C50	C50	C50	C50
混凝土強度/MPa	54.31	54.31	54.31	54.31

軸壓力/kN	1270	1270	3180	1270
試驗軸壓比	0.2	0.2	0.5	0.2
剪跨比	3	3	3	3

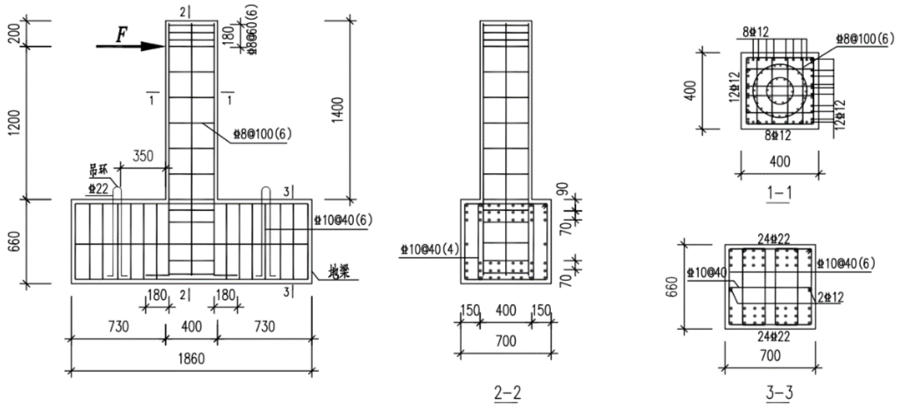


圖 1 試件 EC-DC-100 配筋

Fig.1 Arrangement of reinforcement of specimen EC-DC-100

在製作試件時，根據材性試驗要求，鋼筋按直徑分組，每組 3 根留樣，按《金屬材料室溫拉伸試驗方法 GB/T228-2002》[2-6]規定的方法進行拉伸試驗，測得其平均屈服強度 f_y、極限抗拉強度 f_u、彈性模量 E_s和屈服應變 $_y$等參數分別見表 2。混凝土在澆築試件時留置了 150mm×150mm×150mm 的標準立方體試塊，並與試件在同等條件下養護。依據《普通混凝土力學性能試驗方法標準 GB/T50081-2002》[2-7]測得立方體抗壓強度 f_{cu}如表 3 所示，取混凝土軸心抗壓強度$f_{ck}=\alpha_1\alpha_2 f_{cu}$，彈性模量 $E_c=10^5/2.2+34.7/f_{cu}$，$f_{tk}=\alpha_2\times 0.395 f_{cu}^{0.55}$，係數$\alpha_1$ 、α_2的具體取值見文獻[4]和文獻[5]。

表2 試驗鋼筋材性

Table 2 Material properties of steel bar

鋼 筋	φ6	φ8	$\underline{\varphi}$16	$\underline{\varphi}$20	Φ18	Φ20
屈服強度/MPa	391.4	355.9	369.0	393.1	435.9	458.8
屈服應變/(×10^{-6})	1911	1720	2170	2296	2247	2507

表3 試驗混凝土材性

Table 2 Material properties of concrete

標準強度	f_{cu} (N/mm^2)	f_{ck} (N/mm^2)	f_{tk} (N/mm^2)	E_c (N/mm^2)
C52	52.7	38.68	3.352	3.50×10^4
C55	55.9	40.92	3.425	3.55×10^4

2、載入方案

試驗採用低周往復載入方式，試驗時在柱頂通過液壓千斤頂施加恒定軸力，試驗載入時水準荷載由 MTS 電液伺服式作動器提供。試驗載入裝置如圖 2 所示。

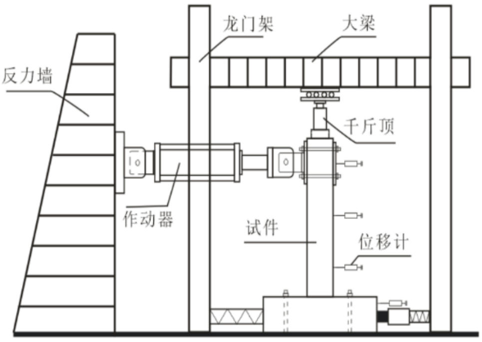


圖2 試驗裝置示意圖
Fig.2 Test set-up

對芯柱的試驗研究[3]表明，對於該類複雜配箍形式的混凝土柱載入不宜採用荷載控制。因此，試驗載入全過程均採用位移控制方法。按照 JGJT101-2015《建築抗震試驗規程》本次試驗 10mm 前以 2mm 為步長，每級荷載反復一次；10mm 後以 10mm 為步長，每級荷載反復三次，直至試件發生破壞，終止試驗。試驗載入制度如圖 3 所示。

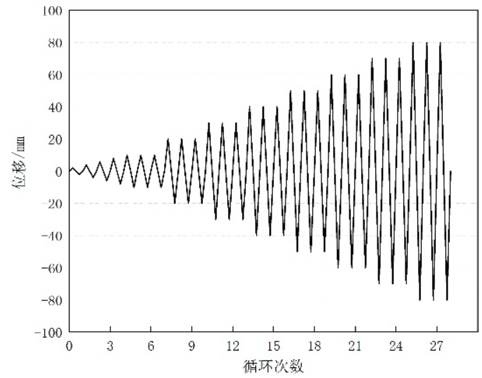
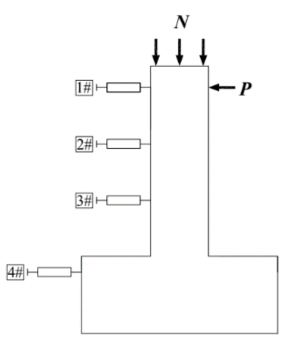


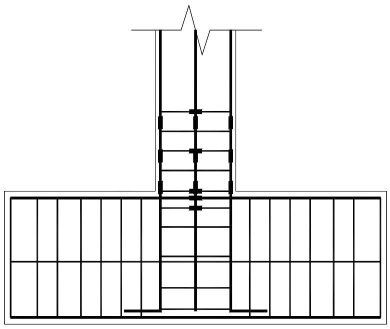
圖3 迴圈載入制度
Fig. 3 Loading cycles of vertical actuator

3、量測內容及測點佈置

試驗主要量測內容有：柱端載入點荷載和位移，柱不同高度部位的變形情況，柱腳區域縱筋的應變，混凝土應變分佈情況和箍筋的應變及試件裂縫開展情況等，測點佈置如圖 4 所示。



(a) 位移計佈置示意圖



(b) 鋼筋應變測點

圖4　測點佈置圖

Fig. 4　Instrument layout

各試件柱端荷載-位移滯回關係曲線由 MTS 載入系統自動進行採集，位移計、鋼筋及混凝土的應變均與 DH-3816 資料獲取系統相連，並在試驗全過程中對高強混凝土多重複合芯柱中鋼筋和混凝土的應變進行即時監控。通過裂縫觀測儀，放大鏡等量測裂縫的寬度及其發展情況，同時記錄迴圈位移達到峰值時相應的荷載、試件的變形和裂縫發育等試驗現象。

2 試驗過程及破壞形態

除軸壓比為 0.5 的試件 EC-DC-HA-100 發生了剪切破壞外，其餘各試件均發生了彎剪破壞。現以典型試件 EC-DC-100 為例，試驗情況介紹如下：

試件 EC-DC-100 最終發生彎剪破壞，其破壞特徵是混凝土柱首先在柱棱處出現水準彎曲裂縫，之後縱筋依次隨之屈服，水準裂縫加寬且斜向下發展延伸，同時出現多條新的斜裂縫，之後斜裂縫相互交叉形成“X”狀，混凝土保護層先在柱角發生局部剝落，隨後柱高 25cm 以下混凝土大面積脫落，鋼筋外露，隨著載入位移峰值繼續逐漸增大，外箍和外芯依次逐漸屈服，縱筋壓曲向外凸起成燈籠狀，破壞時內芯尚未屈服。現將其具體破壞過程詳述如下：

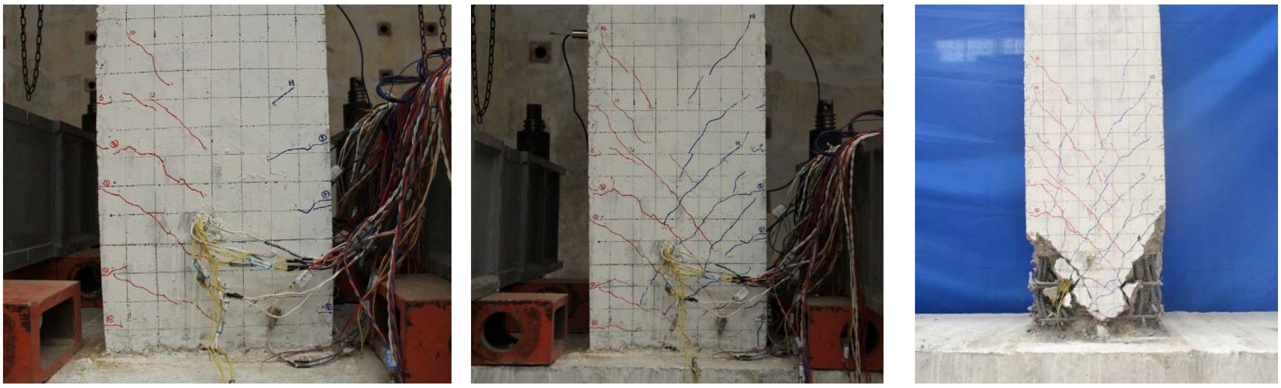
施荷初期，芯柱斜裂縫產生之前，柱端水準位移，縱筋和混凝土的應變均呈線性變化規律，即變形協調一致，此時芯柱處於彈性工作階段。從滯回曲線上可以明顯看出試件剛度並沒有發生褪化，卸載時變形仍能恢復原狀，沒有殘餘變形。

試件受力後，當水準位移載入至柱端 6mm 時，混凝土開裂，靠近柱高 10-40cm 範圍內出現 3 條垂直於柱棱方向的水準彎曲裂縫，裂縫寬度均為 0.04mm；反向載入至 6mm 時，靠近柱高 9cm 處出現寬為 0.04mm 的水準短裂縫，試件處於彈性階段。當柱端位移載入至 8mm 時，原有裂縫沿水準方向均有不同程度的延伸，且原柱高 10cm 處裂縫延伸較快。柱棱兩邊裂縫對稱出現，裂縫寬度不斷增加。試件開裂時的正向荷載為極限荷載的 45.5%，反向為極限荷載的 42.2%。荷載繼續增加，當柱端位移施加至 10mm 時，原有裂縫明顯加寬，最大裂縫寬度為 0.16mm。原有裂縫不斷延伸發展，柱高 20cm 處裂縫延伸最快，其微向下延伸至柱中部。反向載

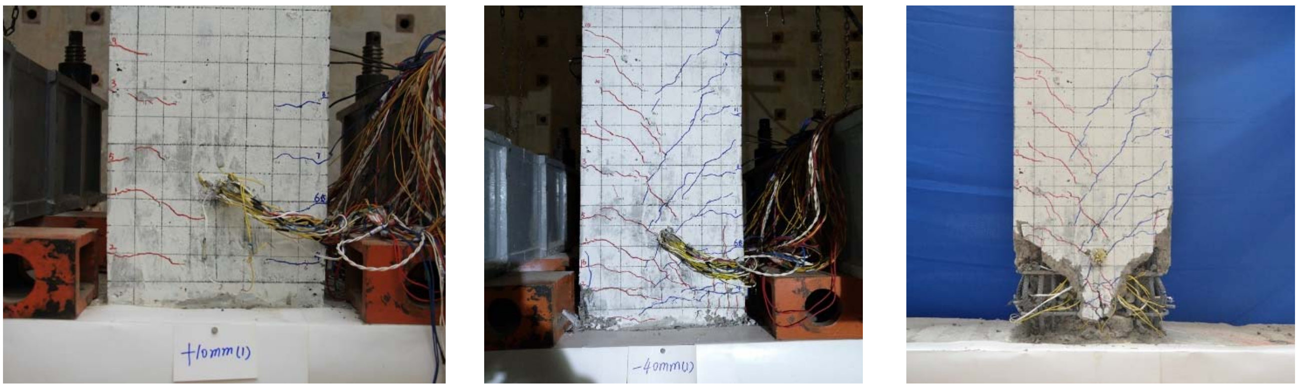
入至 10mm 時，原有裂縫寬度增加到 0.14mm。

初裂過後，荷載繼續增加，正向載入至 20mm 時，靠近柱高 60cm 內沿柱對角線方向首次出現一條短斜裂縫，裂縫寬度為 0.06mm，原有裂縫均沿柱對角線方向發展延伸，裂縫寬度明顯增加。反向載入時，原有裂縫迅速斜向下向柱中部發展延伸且在柱高 20cm 處原有斜裂縫交叉，裂縫發展顯著。同時隨著同級迴圈次數的增加，斜裂縫相互交叉，試件已進入彈塑性階段，載入迴圈後有少量的殘餘變形，從試件的滯回曲線上看，已呈現出非線性性質，試件剛度也有所降低。此階段試件的正向荷載為極限荷載的 88.6%，反向為極限荷載的 88.8%，此時試件的剪切變形逐漸增加。隨著荷載繼續增加，原有裂縫寬度明顯增加，部分裂縫寬度達到 1mm，同時也有少量平行於主斜裂縫的新裂縫出現。

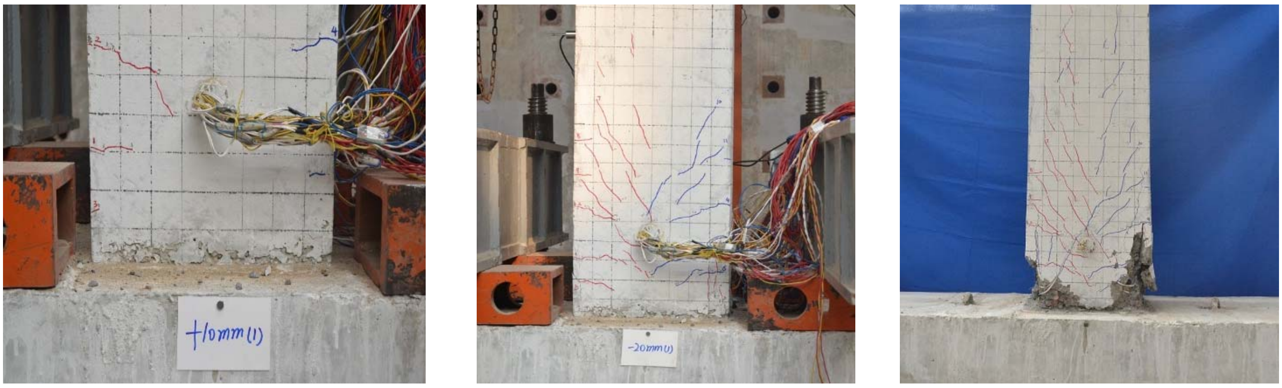
當柱端水準位移載入至 30mm 時，水準荷載達到最大值，且兩側斜裂縫發展延伸交叉形成“X”型縫形，最大裂縫寬度達到 1.2mm，同時柱腳有 3 條平行於柱棱方向的豎向新裂縫出現。隨著位移的迴圈載入，兩側柱腳有部分混凝土剝落，剛度退化明顯。載入至 40mm 時，試件達到峰值荷載，正向承載力為 619.7kN,反向承載力為 617.8kN。隨著位移的增大，柱角豎向裂縫與原有裂縫相互貫穿形成龜裂狀，最終試件柱腳 30cm 範圍內混凝土大面積剝落，承載能力急劇下降，剛度明顯退化，試件破壞時箍筋崩開，縱筋外露壓屈成燈籠狀。此時破壞時荷載正向為 526.75kN,反向荷載為 525.13kN。



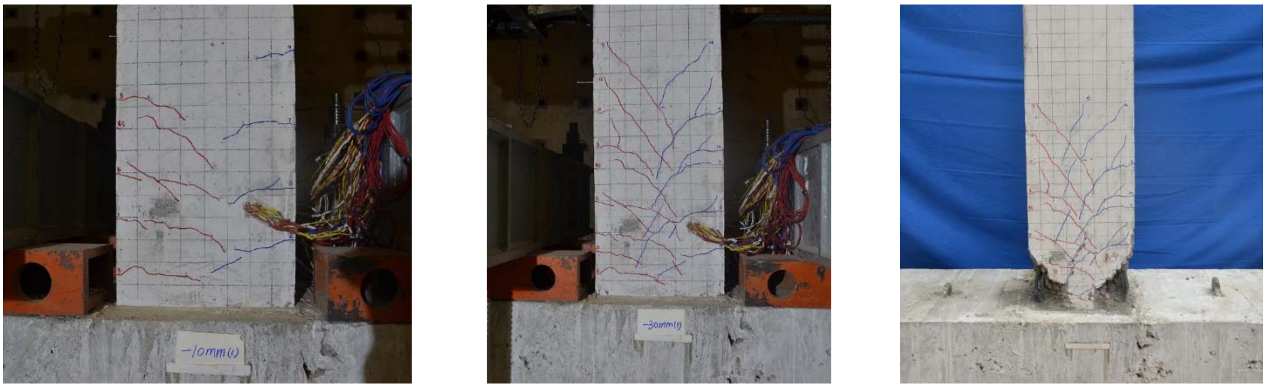
(a) EC-C-100



(b) EC-DC-100



(c) EC-DC-HA-100



(d) EC-DC-200

圖5　試件破壞歷程

Fig. 5　Failure process of specimen

試件各個階段的特徵荷載見表 4。根據圖 5 各試件的破壞歷程，可以看出各試件的破壞過程的不同，主要有以下一些特點：①軸壓比高的試件裂縫幾乎佈滿整個柱高，且剛出現的彎曲裂縫迅速發展為剪切破壞；②雙芯柱比單芯柱的斜裂縫出現較晚，且裂縫發展延伸較為緩慢；③箍筋間距較大的試件裂縫間距明顯較大，且發生破壞時迅速，延性較差。

三、 試驗結果分析

1、滯回曲線

各試件的荷載-位移滯回曲線分別如圖 8 所示。從圖 8 可見，本次試驗得到的滯回曲線具有以下一些特點：

(1)隨著柱端位移的增大，試件在屈服前，載入曲線斜率變化小，沒有過多的不可恢復的殘餘變形，正向和反向加卸載一次所形成的滯回環不明顯。進入彈塑性階段後，試件的滯回曲線逐漸偏離原來的直線向位移軸傾斜，並隨著迴圈次數的增加傾斜的程度加快，滯回環包圍的面積逐漸增大，滯回環形狀愈加飽滿。

表4　各試件的特徵荷載/kN

Table 4　Characteristic load of irregular joints

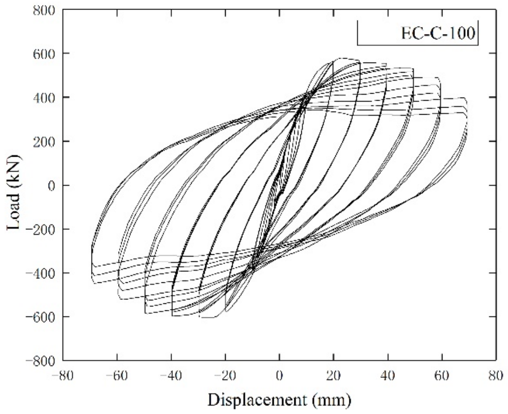
構件編號	方向	P_y	P_y 平均值	P_{max}	P_{max} 平均值	Pu	P_u 平均值
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
EC-C-100	正向	502.30	517.48	579.11	591.13	492.24	502.46
	反向	532.65		603.15		512.67	
EC-DC-100	正向	569.55	550.24	619.69	618.75	526.75	525.94
	反向	530.93		617.83		525.13	
EC-DC-200	正向	547.58	576.19	626.49	651.45	532.51	553.73
	反向	604.79		676.41		574.94	
EC-DC-HA-100	正向	704.80	757.18	857.49	857.81	674.87	728.67
	反向	809.55		856.12		782.47	

注：表中“正向”指 MTS 作動器作用於試件的荷載為壓力，“反向”指 MTS 作動器作用於試件的荷載為拉力。

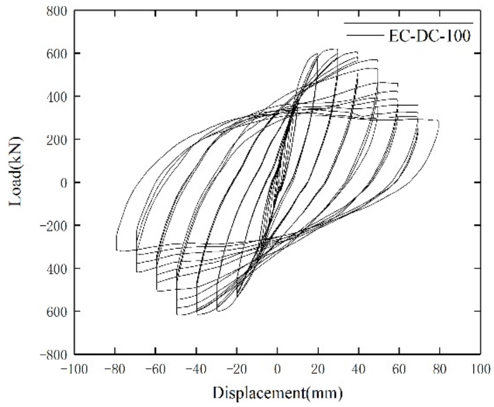
(2)隨著柱端位移的增大，載入時試件的剛度均逐漸在退化，且這種變化不僅受荷載增加的影響，而且在同一級荷載作用下也受迴圈次數增加的影響；達到水準力荷載峰值後，載入與卸載時試件的剛度進一步降低。

(3)大多數試件的 P-Δ 滯回曲線圖形比較平滑,沒有出現明顯的捏縮現象,存在著“屈服段”、“極限段”和“下降段”三部分；滯回環為穩定的弓形，包含的面積較大且隨著位移的增大而逐漸增大，表現出較好的滯回特性和耗能性能。

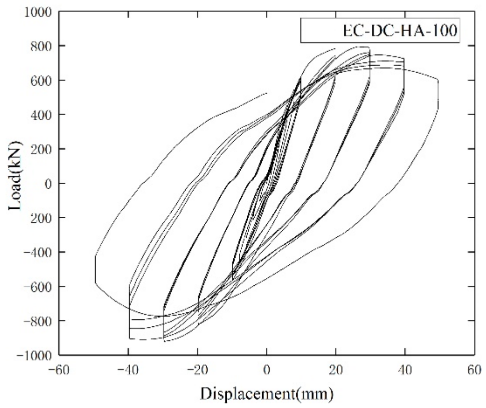
(4)通過對各試件滯回曲線比較可看出，箍筋間距小、多重配箍的試件 EC-DC-100 的滯回環面積最大且飽滿、承載力最高、極限變形最大，滯回曲線穩定，表現出較好的滯回特性；箍筋間距大的試件，試件滯回性能最差，當荷載達到最大值後滯回曲線呈不穩定狀態，強度衰減快，試件的耗能能力降低。



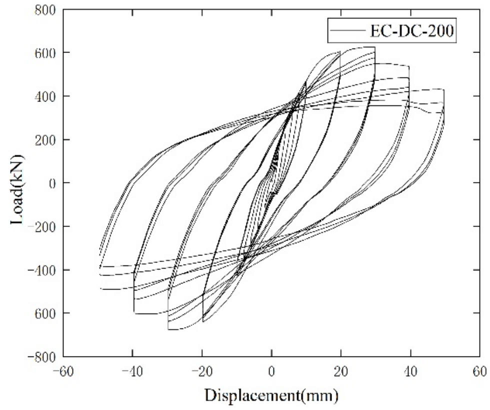
(a) EC-C-100



(b) EC-DC-100



(c) EC-DC-HA-100



(d) EC-DC-200

圖6　試件滯回曲線

Fig.6　Load versus displacement hysteretic curves

2、骨架曲線

各柱試件的力和位移骨架曲線如圖 7 所示。從圖 7 可以看出，配置多重複合箍筋的試件 EC-DC-100 骨架曲線包圍的面積最大、延性最好，其次分別是試件 EC-C-100，EC-DC-200。軸壓比最大的試件 EC-DC-HA-100 初始剛度最大，極限承載力最高，但過了最大荷載點後強度和剛度衰減最快、曲線下降坡度最大，構件的變形能力相對最差。說明多重複合配箍形式，箍筋間距及軸壓比都會影響到高強混凝土柱的延性及承載能力，但相對而言，軸壓比和配箍率影響最大。

總的來說，發生彎剪破壞的試件承載力較小，超過承載力峰值後，塑性變形較大，位移持續增長，有一段較長的平直段，延性較好；發生剪切破壞的試件承載力較高，骨架曲線下降段陡峭，幾乎無平直段，延性很差。

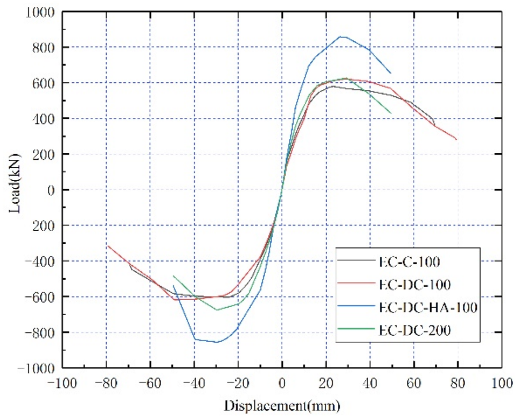


圖7　試件骨架曲線

Fig.7 Load versus displacement skeleton curves

3、影響因素分析

（1）軸壓比

軸壓比是影響構件延性的重要參數之一，建築抗震設計規範（50011-2010）中 6.3.6 和混凝土結構設計規範（50010-2010）中 11.4.16 都對柱軸壓比規定了限制，限制軸壓比主要是為了控制結構的延性。從試驗結果中可以看出，對箍筋間距和配箍形式相同的試件，隨著試件軸壓比的增大，極限位移減小，滯回環面積也相應減小，延性較差。軸壓比為 0.2 的試件極限承載力明顯低於軸壓比為 0.5 的試件 EC-DC-HA-100，但軸壓比為 0.5 的試件 EC-DC-HA-100 耗能能力明顯較弱，表現出明顯脆性的剪切破壞，其餘 3 根試件均發生延性較好的彎剪破壞。

（2）箍筋間距

從滯回環中可以看出，對軸壓比和配箍形式相同的試件，隨著箍筋間距的增大，試件極限位移減小，滯回曲線越發不飽滿，滯回環面積逐漸狹窄，但對極限承載力影響不大。試件 EC-DC-200 與試件 EC-DC-100 相比，最外層箍筋間距增大 100mm，其他條件相同，但試件後期滯回環不

太穩定，耗能能力弱，較易突然發生脆性破壞，延性相對較差。

（3）配箍形式

配箍形式也是影響高強混凝土柱抗震性能的另一重要參數，本實驗設計考慮了 2 種不同的配箍形式。對軸壓比和箍筋間距相同的試件，配箍形式不同，試件的滯回性能也有較大的差別。從試驗結果上看，試件 EC-C-100 與試件 EC-DC-100 相比，沒有配置內芯，試件最大承載力降低，滯回環面積減小，耗能性能減弱。

（4）強度退化

圖 8 為高強混凝土柱試件的強度退化率曲線，橫坐標 Δ 為試件任一時刻的位移。從圖中可以看出，試件進入彈塑性工作階段以後，試件 EC-DC-100 與其它試件相比強度退化速率較慢，後期承載力更穩定；試件 EC-DC-200 與試件 EC-DC-100 相比，曲線下降較快，說明箍筋間距小的試件強度穩定性較好、退化慢。

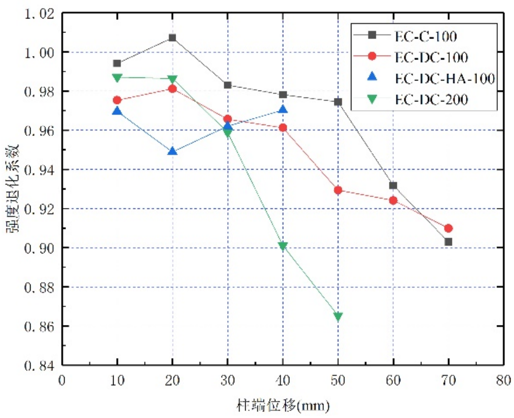


圖8　強度退化曲線

Fig. 8　Strength degradation curve

（5）剛度退化

從圖 9 可以看出，4 個試件的剛度退化曲線變化基本一致，都是開始退化較快、後期逐漸變緩，曲線比較光滑，無大的剛度突變，這樣可以保證柱底塑性鉸的出現；各試件基本參數雖然不同，但在同一級位移處剛度值非常接近，其大小關係基本隨位移的增加保持同步變化；高強混凝土強度高、塑性差，剛度幾乎是以直線形式退化；其中試件 EC-DC-100 由於軸壓比小、配箍率大、箍筋間距小而下降最緩。說明該試件的剛度退化性能良好。

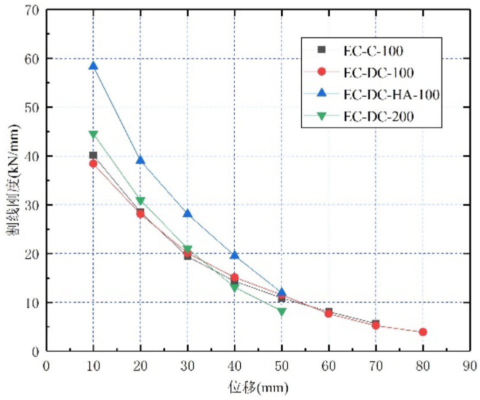


圖9　割線剛度退化曲線

Fig. 9　Stiffness degradation curves

（6）耗能性能

結構構件的耗能能力是以其荷載-變形滯回曲線所包圍的面積來衡量的，滯回曲線所包含的面積的積累反映了結構彈塑性耗能的大小。一般來說，滯回環越飽滿，即包圍面積越大，耗散的能量越多，結構的耗能性能越好。為了科學反映構件的耗能能力，不同研究者提出了不同的量化指標，如能量耗散係數、功比係數、能量係數等，其中《建築抗震試驗方法規程 JGJ-96》推薦採用等效粘滯阻尼係數來 h_e 反映構件的耗能能力即：

$$h_e = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{S_{(ABC+CDA)}}{S_{\Delta(OBE+ODF)}} \quad (1)$$

式中：$S_{(ABC+CDA)}$為滯回曲線所包圍的面積(見圖 10)；$S_{\Delta(OBE+ODF)}$為三角形 OBE 與 ODF 的面積之和。

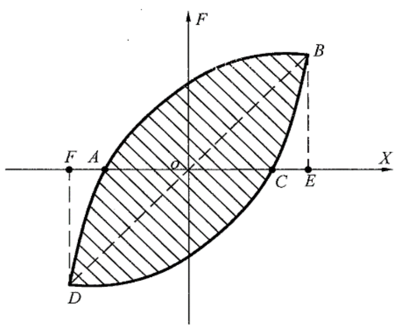


圖10等效粘滯阻尼係數計算

Fig. 10　Calculation of equivalent viscous damping coefficient

4 根混凝土芯柱試件在各級位移下最後一次迴圈時的 h_e 與變形關係見圖 11 所示。

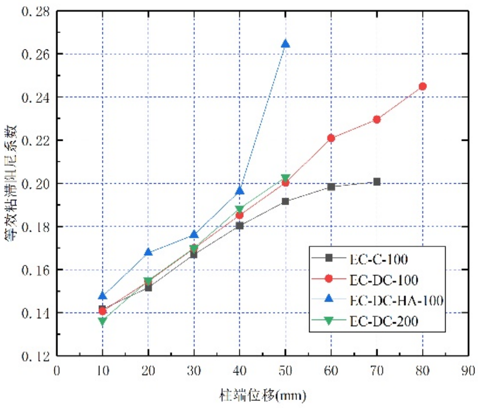


圖11 試件的等效粘滯阻尼係數

Fig. 11 The equivalent viscous damping coefficient of the specimen

根據文獻可知，彎曲破壞的混凝土柱 h_e 大約在 0.1-0.2 之間，而本試驗試件的等效粘滯阻尼比最小值為 0.136，均遠遠超過正常鋼筋混凝土柱的耗能範圍，可見其耗能性能滿足規範要求。

由圖中可以看出，所有試件的等效粘滯阻尼比都隨柱頂位移的增大而增大，表明高強混凝土多重複合芯柱的耗能能力較強，且在位移較大、試件保護層剝落臨近破壞時，由於核心縱筋及其內包混凝土仍處於較好的工作狀態，所以試件仍具有良好的耗能能力，尚能繼續抵抗地震作用；試件 EC-DC-100 的等效粘滯阻尼比大於其它試件，說明配箍率越大試件的耗能性能越好。

四、結 論

通過對高強混凝土多重複合芯柱進行低周往復荷載試驗研究及分析，可得到如下主要結論：

(1) 高強混凝土多重複合芯柱能有效改善高強混凝土塑性差的缺點，具有良好的滯回性能，強度和剛度退化率較普通鋼筋混凝土柱小。

(2) 軸壓比、配箍特徵值、縱筋配筋率都會影響柱的延性和承載力。其中，軸壓比小、縱筋配筋率和配箍特徵值大的柱耗能能力強高、延性好。

(3) 試件剛度退化前期較快、後期較慢，不同參數試件的剛度退化曲線變化基本一致。

(4) 高強混凝土多重複合芯柱試件的耗能能力較強，其等效粘滯阻尼比隨柱頂位移的增大而增大，在臨近破壞時仍有良好的耗能性能。

參 考 文 獻

（書籍）

建築結構抗震設計規(GB50010-2010)·

2010.北京：中國建築工業出版社.

混凝土結構設計規範(GB50010-2010)．2010.北京：中國建築工業出版社，2010.

JGJ 101—1996 建築抗震試驗方法規程．1997．北京:中國建築工業出版社，1997．

金屬材料室溫拉伸試驗方法(GB/T228-2002)．2002.北京：中國計畫出版社.

普通混凝土力學性能試驗方法標準(GB/T50081-2002). 2002.北京：中國建築工業出版社.

（期刊）

Budek M, Priestley M J, Lee C. Seismic Design of Columns with High-Strength Wire and Strand as Spiral Reinforcement. *ACI Structural Journal*. 2002, 99(5):660- 670.

Bayrak O, Sheikh S A. High-Strength Concrete Column under Simulated Earthquake Loading. *ACI Structural Journal*. 1997, 94(6):708-722.

Razvi S, Saatcioglu M. Confinement Model for High-Strength Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE* 1999, 125(3):281-289.

Sheikh S A, Shah D V, Khoury S S. Confined of High-Strength Concrete Columns. *ACI Structural Journal*. 1994,91(1):100-111.

Sugano S, Nagashima T, Kimura H. Experimental Studies on Seismic Behavior of Reinforced Concrete Members of High-Strength Concrete. *Special Publication, ACI.* 1990. Vol. 121:61-68.

孫治國,司炳君,王東升,等.高強箍筋高強混凝土柱抗震性能研究.*工程力學*, 2010,27(5):128-136.

劉伯權,白國良等.高軸壓比高強混凝土框架柱抗震性能試驗研究.*土木工程學報*, 2005, 38(1):45-50.

張國軍,劉伯權等.鋼筋混凝土框架柱在高軸壓比下的抗震性能試驗.*長安大學學報（自然科學版）*, 2002, Vol. 22(6):53-57.

陳家夔.鋼筋混凝土框架柱的抗震性能.*西南交通大學學報*, 1990, 2：23-31.

郭軍慶,雷自學,周天華.往復荷載作用下加芯混凝土框架柱剛度與耗能試驗分析.*建築結構*, 2008,

38(5):45-48.

董三升,趙均海.不同配筋形式柱的抗震延性.*建築科學與工程學報*, 2010,27(3): 121-126.

謝濤,陳肇元.高強混凝土柱抗震性能的試驗研究.*建築結構*, 1998,12:3-6.

27th 台灣橋梁災害管理平台開發與應用

台灣橋梁災害管理平台開發與應用

Development of Highway Bridge Disaster Management Platform with GIS Technology

林曜滄 總工程師

台灣世曦工程顧問股份有限公司 經理部

宋裕祺 教授、院長

國立臺北科技大學 土木與防災研究所、工學院

劉新達 副理

台灣世曦工程顧問股份有限公司 空資部

張廷犖 博士

台灣世曦工程顧問股份有限公司 防災中心

摘 要

台灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交界，屬環太平洋地震帶，地震頻繁，交通設施面臨強烈地震侵襲的威脅。數十年來的國內外地震災害，均顯示震災對社會造成的衝擊與經濟損失，是相當嚴重而深遠，遠超過其他天然災害。此外，全球性極端氣候帶來暴雨，引發洪水、土石流、山崩之複合型連鎖式天然災害，加上強烈地震侵襲，威脅人民生命財產與橋梁安全，間接影響國家競爭力。

災害總在遺忘的時候來臨，有鑑於此，台灣世曦以『認知風險、嚴陣以待（Know the risk, be prepared）』順應自然的防災思維，成立「防災工程技術整備中心」(簡稱防災中心)。橋梁平時是維生基礎設施與經濟命脈，災時是防災道路系統之重要一環，因此，應用 GIS 技術開發「公路橋梁災害管理平台」。此一災害管理平台中已蒐集橋梁基本資料庫、防災資源資料庫、自然環境資料庫、社經環境資料庫、地形資料庫、航照影像資料庫等資訊，可用以快速利用關鍵字、橋梁結

構、跨度、竣工年份等條件檢索橋梁資訊，以輔助支援決策。另建置橋梁快篩功能，主要是利用橋梁之易損性曲線、危害度曲線，及其重要度，進行快篩作業，可以在既有之橋梁管理系統之基本資料，運用 GIS 技術，計算出其重要度權重，再進行快篩作業，可將隸屬橋梁管理單位龐大數量之橋梁，篩選出危險及老舊橋梁，並進行分級管理，提供各橋管單位做為橋梁管理聚焦及進行下一階段優先詳細評估與加固補強之參考，當危險及老舊橋梁經過加固補強後，可提升其抗災能力，降低災害損失，以保障人民行的安全，營造永續發展的生活環境。

關鍵詞：公路橋梁災害管理平台、危害度曲線、易損性曲線、快篩作業

Abstract: Taiwan is located at the junction of the Eurasia plate and the Philippine Sea plate. It belongs to the Pacific Rim earthquake zone and has frequent earthquakes. The traffic facilities are threatened by strong earthquakes. Earthquake disasters at Taiwan and abroad for decades have shown that the impact of earthquake disasters on society and economic losses is quite serious and far-reaching, far exceeding other natural disasters. In addition, the global extreme climate brings heavy rain, a complex chain of natural disasters that cause floods, mud flow, and landslides. Moreover, strong earthquakes threaten people's lives, property, and bridges, and indirectly affect national competitiveness.

In view of the fact that disasters are always forgotten, CECI has established the "Disaster Prevention Engineering Technology Maintenance Center" (referred to as the Disaster Prevention Center) with the "Know the risk, be prepared" to comply with the natural disaster prevention thinking. Bridges are not only the life-saving infrastructure and economic lifeline, but also an important part of disaster prevention road systems. Therefore, GIS technology is used to develop the “Highway Bridge Disaster Management Platform”. This disaster management platform has collected information such as basic bridge database, disaster prevention resource database, natural environment database, social economic database, terrain database, and aerial image database, which keywords can be used to search for bridge information by conditions such as span, completion year, etc. to assist decision support. In addition, the bridge quick-screening function is mainly used of the bridge's fragility curve and hazard curve, and its importance, to carry out quick-screening operations. The importance of weight can be calculated based on the basic data of the existing bridge management system using GIS technology, and then the quick-screening operation can be used for the bridge management unit to select dangerous and old bridges under the huge number of bridges, and carry out hierarchical management, providing the reference of priority focusing and the next stage detailed assessment and reinforcement for each bridge management unit. When the dangerous and old bridges are retrofitted and strengthened, they can improve their resilience and reduce disaster losses to ensure the safety of the people and create a sustainable living environment..

Keywords: Highway Bridge Disaster Management Platform, Hazard Curve, Fragility Curve, Quick-screening

一、前言

臺灣地區地震與颱風等天災頻傳，近年來發生頻率與強度更有加重的趨勢，對於人民生命財產安全及相關產業發展，造成極大之傷害與影響，亦對企業經營競爭力及台灣的經濟產業造成衝擊，不利國家競爭力之提升。政府為因應防災、減災工作的重要性，於 2001 年 7 月頒布施行「災害防救法」，並於 2003 年 7 月正式成立「國家災害防救科技中心」。台灣世曦基於對社會責任的承擔，及回饋國家社會的服務初衷，以『認知風險、嚴陣以待（Know the risk, be prepared）』順應自然的防災思維，於 2017 年 4 月 21 日(1935 年 4 月 21 日新竹台中烈震後 82 周年)正式成立「防災工程技術整備中心」，其成立宗旨為：(1)於平時，針對災害類型之成因進行研析，並研究防災與減

災工程技術外，並進行防災教育訓練與救災演練；(2)於災害發生緊急應變期間，協助機關參與勘災，並提供救災技術支援，以及作為災害應變作業支援之窗口；(3)於災害復原重建期間，提供緊急復舊及永久重建相關工程技術支援等。希望在工程防災方面能為國家社會盡一份心力，善盡企業社會責任。

二、公路橋梁災害管理系統

橋梁可以跨越河川、山谷、港口與道路，克服地形阻隔障礙，是交通路網之關鍵環節，更是災害發生時最重要之維生線。臺灣本島因地狹人稠，綿密之交通路網遂成為島內區域聯繫及經濟發展之磐石。此外，臺灣本島河川密布，常須藉由橋梁來串連二岸路網，因此橋梁功能的維持更是確保交通運轉及經濟活動之主要關鍵。

臺灣因地處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之交界，屬環太平洋地震帶，地震發生頻仍，終年受到地震災害的威脅，如 1999 年 9 月 21 日發生芮氏規模 7.3 之集集大地震，除造成生命財產重大損失外，更造成多處橋梁損毀、道路中斷，部分地區的搶救災工作更因此受到嚴重的影響，使得災情持續擴大，其所產生後續之損失更倍數於地震發生瞬間產生的災損。另 2011 年日本 311 大地震，雖然災情相當嚴重，災損成因主要是因地震引發大海嘯及核災造成，直接由地震所造成的災害則較為輕微，尤其耐震補強後之橋梁更未見有明顯受損情形，顯見耐震補強的有效性與必要性。因此，吾人應思考如何汲取災害經驗及教訓，及早針對耐震能力不足之橋梁進行有效之耐震補強作業，期能於未來地震發生時，降低橋梁因耐震能力不足而損毀，導致交通運輸中斷，社會經濟衝擊之機率，且災後如能維持道路橋梁之功能，將能大幅減少地震後所導致之生命、財產損失，同時亦能加速災後工商業社經活動之恢復腳步。工程設施之防災，範圍甚廣，第一階段先聚焦在橋梁設施，作為標的。

災害管理分成四個階段，包括減災、整備、應變、復建，為了將有限人力資源，投入系統開發工作，先鎖定減災階段之快篩分析，以篩選出危險及老舊橋梁，進行分級管理，讓有限資源發揮最大功效。經調查資料顯示，各橋梁管理單位均管轄龐大數量之橋梁，要在有限人力經費進行檢查維護工作，相當困難，即使如歐美日等先進國家也同樣面臨相同之困境。今(2018)年 8 月 14 日義大利莫蘭迪橋在暴風雨中瞬間倒塌，造成 43 人死亡，14 人受傷之慘劇，震驚全世界，國人不得不更加體認橋梁安全之重要性。本系統採二階段篩選，提供各橋管單位做為橋梁管理聚焦及進行下一階段優先詳細評估與加固補強之參考，橋梁災害管理減災流程如圖 1 所示。

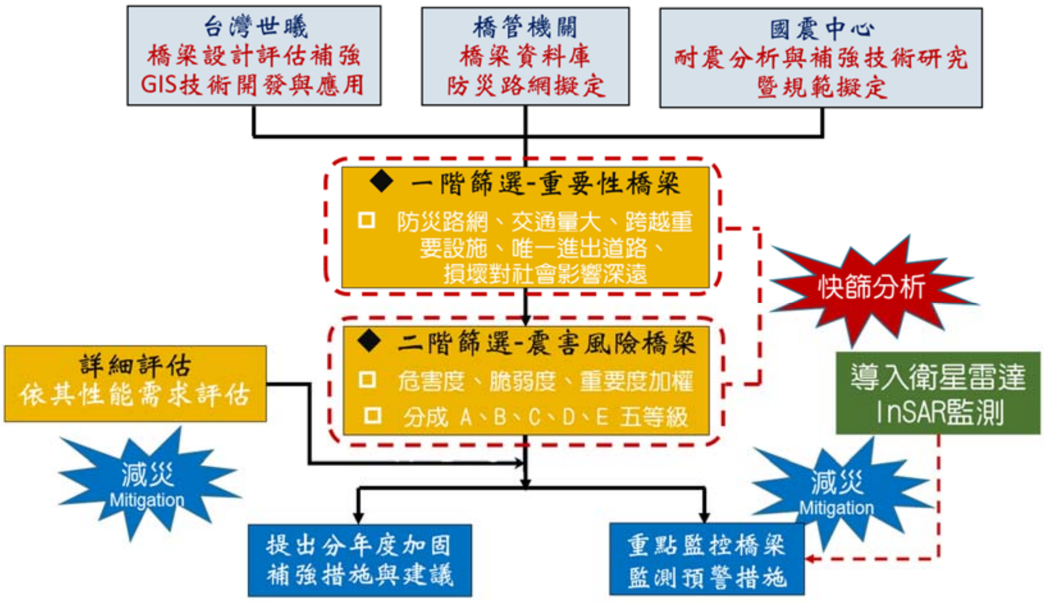


圖 1 橋梁災害管理減災流程

三、橋梁震損評估快篩機制

橋梁震損評估快篩機制主要包含一套橋梁震害風險評估的演算方法，此方法主要由「易損性曲線」、「危害度曲線」及「橋梁重要度」組成，其演算過程需依賴橋梁基本資料與耐震詳評之評估資料，但由於大部份橋梁均未進行過耐震詳評分析，無法取得結構達降伏時之地表加速度(A_y)與達極限時之崩塌地表加速度(A_c)之資料，做為建立易損性曲線之基礎，所以本研究將使用橋梁基本資料與「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」[1]之研究成果，做為未經耐震詳評橋梁A_y與A_c之假定，以讓橋梁震害風險評估演算得以執行，其各分項說明如下：

1、易損性曲線

結構物震損評估經常使用易損性曲線(Fragility Curve)作為依據，而易損性曲線係指各類結構物在不同最大地表加速度或頻譜位移或最大位移反應下，所產生不同損壞狀況的機率值，本研究在橋梁震損評估方面使用最大地表加速度(PGA)作為結構物損壞曲線之地動參數。

結構物耐震能力通常係以整體結構在各耐震性能等級下所能承受的地表加速度表示之。該地表加速度可由側推分析所得之容量震譜，依據工址地震水平譜加速度係數等規定配合容量震譜法以及改良式耐震能力評估方法求得，本文參考文獻[2,3,4,5]，將結構物之耐震能力以圖 2 所示之PGA 與結構譜位移(Spectral Displacement)之雙線性關係表示之。

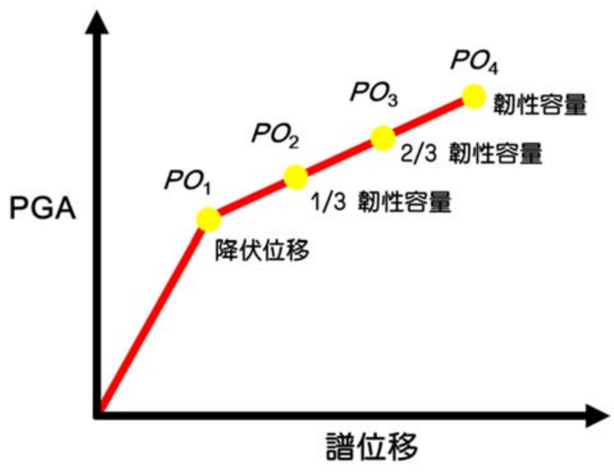


圖 2 結構物之耐震能力

橋梁震損評估參考現行耐震設計規範及台灣地震損失評估系統 TELES[6]之建議，採用以下四種結構性能等級作為地震損壞評估之依據：

1. 結構性能一(PO_1)：當結構物之位移達到降伏位移時。
2. 結構性能二(PO_2)：當結構物之位移達到韌性容量之 1/3 時。
3. 結構性能三(PO_3)：當結構物之位移達到韌性容量之 2/3 時。
4. 結構性能四(PO_4)：當結構物之位移達到韌性容量時。

依據此四種結構性能之定義，結構之損壞狀態可訂為五階段(參考式 1)，分別為無損壞機率$P_r(R_1)$、輕微損壞機率$P_r(R_2)$、中度損壞機率$P_r(R_3)$、嚴重損壞機率$P_r(R_4)$與幾近崩塌機率$P_r(R_5)$，如圖 3 所示。其對應之發生機率$P_r(R_i)$可表示為：

$$
\begin{aligned}
&P_r(R_1) = 1 - P_1 \\
&P_r(R_i) = P_{i-1} - P_i \, , i = 2 \sim 4 \qquad (1) \\
&P_r(R_5) = P_4
\end{aligned}
$$

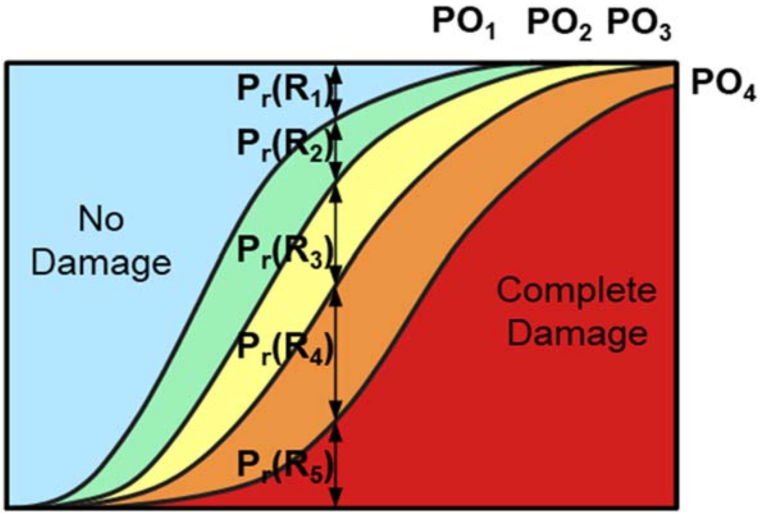


圖 3 結構物易損性曲線

2、危害度曲線

以 30 年回歸期對應之設計地震地表加速度$0.4S_S^D/3.25$、475 年回歸期對應之設計地震地表加速度$0.4S_S^D$及 2500 年回歸期對應之設計地震地表加速度$0.4S_S^M$進行曲線擬和(Curve Fitting)(參考公式 2)，建立符合該行政區之地震危害度曲線(如圖 4)，其計算方式為將該地區之$0.4S_S^D/3.25$及$0.4S_S^M$與其對應之回歸期分別代入式 2，求解a_0及a_1。

$$\frac{x}{0.4S_S^D} = \left[\frac{T_r}{475}\right]^{a_0+a_1x^{0.1}} \tag{2}$$

式中，x為有效最大地表加速度，S_S^D為震區短週期設計水平譜加速度係數，T_r為對應有效最大地表加速度x之回歸期，a_0及a_1為待定係數。待求解a_0及a_1後，即可代入地震之 PGA 求解其回歸期T_r，再將T_r代入式 3 計算該 PGA 之年超越機率。

$$P = 1 - e^{-\left(\frac{1}{Tr}\right)\times t} \tag{3}$$

其中，T_r為對應有效最大地表加速度PGA之回歸期；t 為橋梁設計年限。

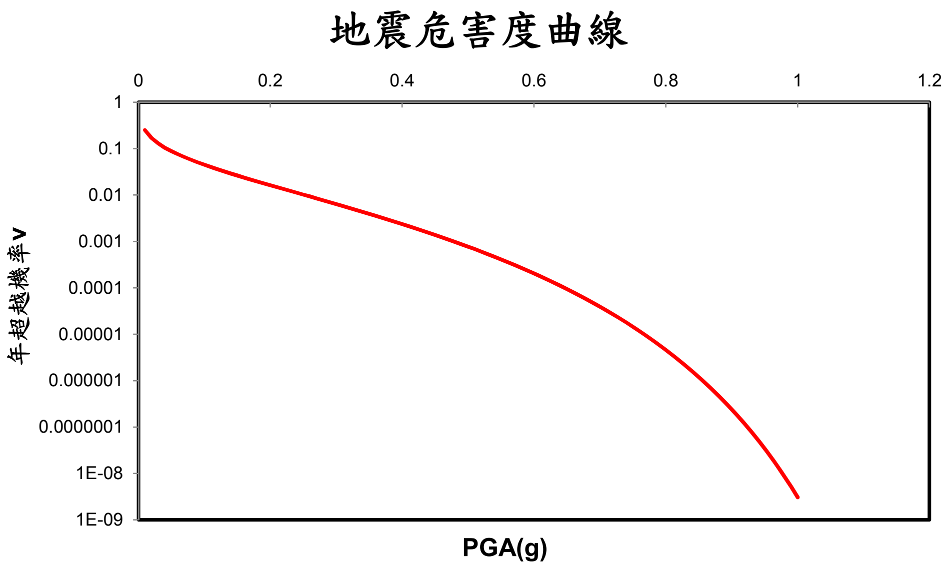


圖 4 地震危害度曲線

3、重要度權重

橋梁重要度是一個權重之係數，不同橋管單位可以依據資源調配的策略，設計不同橋梁重要度之計算方式，一般橋梁重要度是依交通流量、區域環境、搶救災影響、是否為唯一聯外道路及距離大型醫院或防救災指揮中心等因子決定橋梁重要度權重。

橋梁是否要進行耐震補強，主要取決於補強效益，橋梁地震災害風險成本取決於震損風險及脆弱度等兩大因子，而脆弱度又與橋梁規模、交通流量、區域環境、搶救災影響、二次災害及地震危害度等多項因素息息相關。具體量化脆弱度實務上並不容易，亦費時費力。因此，本系統擬採用「權重式重要度簡易決定法」，以利大量橋梁進行重要度篩選分級，提供後續進行詳細評估之依據。其權重計算如式 4 所示。

$$W_T = W_{LN} \cdot \beta + W_R + W_I + W_{HC} + W_{CR} \tag{4}$$

其中，W_T：總權重，其它各符號之意義參考表 1 所示。

表 1 橋梁重要度權重

橋梁權重因子	值	說明
W_{LN}(總車道數因子)	1	橋梁車道數: 2 以內
	1.5	橋梁車道數: 3~4
	2	橋梁車道數: 5 以上
(道路重要網補正因子)	1	重要道路(國道、省道)
	2	一般道路
W_R(區域屬性因子)	1	郊區(都市計畫區之外)
	1.5	縣轄市鎮
	2	直轄都會區
W_I(防災路網因子)	0	橋梁位於防災路網外

	6	橋梁位於防災路網上
W_{HC}(醫院區位因子)	0	橋梁周邊 2 公里內無大型醫院
	3	橋梁周邊 2 公里內有大型醫院
W_{CR}(跨越性因子)	0	橋梁未跨越河川、國道、省道、鐵路及道路（車道數為 4 以上）
	3	橋梁跨越河川、國道、省道、鐵路及道路（車道數為 4 以上）

4、橋梁震災損失評估

結合前述「易損性曲線」、「危害度曲線」及「橋梁重要度」之估算，再以式 5 估算震害損失率(Seismic Loss Ratio)：

$$\frac{\int_0^{PGA_{max}}[\sum_{i=1}^{5}Loss_i \times P_r(R_i)]f(PGA)dPGA}{\int_0^{0.4S_S^M}[\sum_{i=1}^{5}Loss_i \times P_{r.ref}(R_i)]f(PGA)dPGA} \times \left(Weight \times \frac{1.5}{18}\right) \tag{5}$$

式 5 其組成可以區分成三個部份：橋梁年平均地震損失(分子的部份)、橋梁考量最新規範要求之年平均地震損失(分母的部份)及權重與比例調整係數。

橋梁年平均地震損失的計算方式，若橋梁有耐震詳評之A_y與A_C資料則採用此資料建立易損性曲線；反之則使用回歸統計公式，估算A_C與A_y後，代入並建立易損性曲線。由於橋梁基本資料缺少橋梁建構之成本資料，所以在$Loss_i$之估算，僅考量單位成本下，不同損壞程度維修之成本比例代替分別為 0%, 2%, 10%, 70%, 100%。

橋梁考量最新規範要求之年平均地震損失的部份亦參考相同公式計算之，但其A_c與A_y之假

定，則考量該型式橋梁在最新設計規範所要求之設計係數。參考圖 5，考量 PGA 與結構譜位移之雙線性關係，並分別以(A_c=0.4S_S^M, S_d=4Δy)與(A=0.4S_S^D, S_d=2Δy)之線性關係代入，反推求解(A_y, S_d=Δy)，由此求得A_y與A_c。並以此A_y與A_c建立易損性曲線後，進一步求得各種損壞程度發生之機率為$P_{r.ref}(R_i), i = 1{\sim}5$ 。

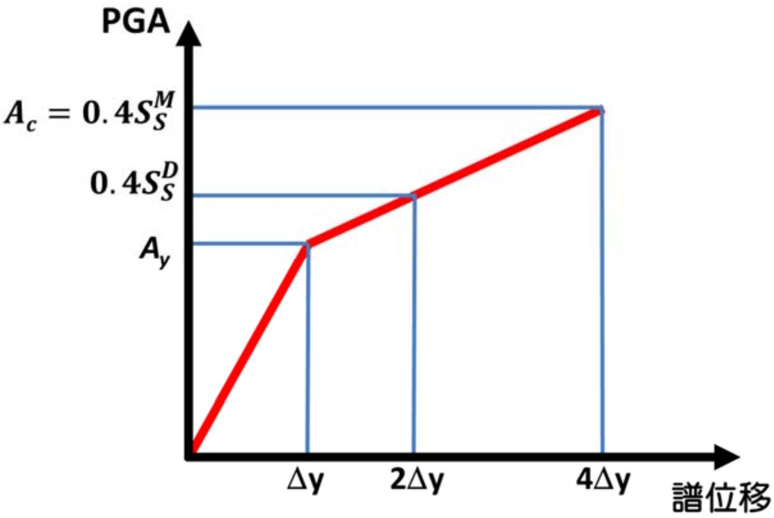


圖 5 新規範要求之橋梁耐震能力需求

四、系統功能開發與建置

1、系統環境架構

系統環境採用虛擬主機（VM）方式提供 AP 及 GIS、DB Server，對於管理、資料備份及資源運用等，提供相當大的彈性及優勢，系統環境架構如圖 6 所示。

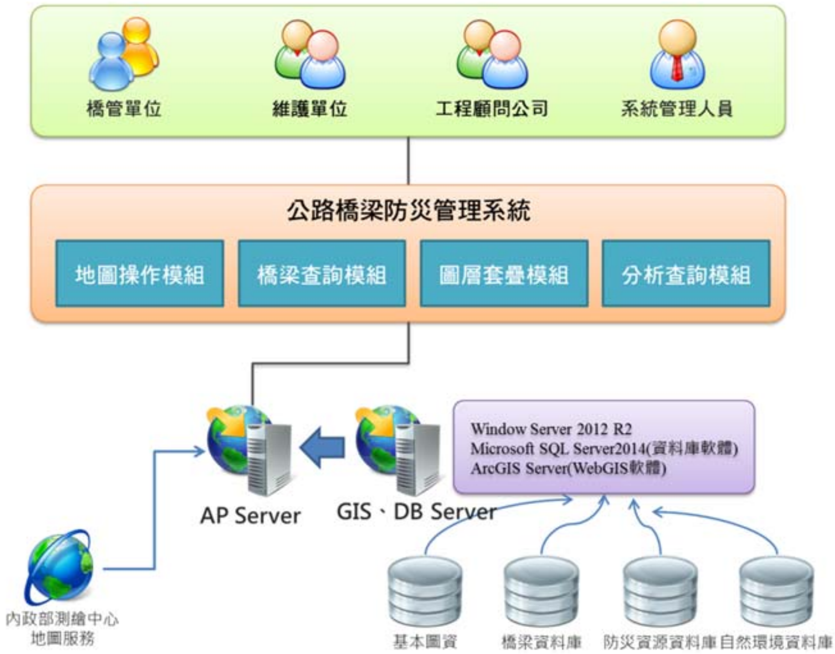


圖 6 系統環境架構圖

網際網路地理資訊軟體：採用 ESRI ArcGIS Server 10.5 地圖服務平台，支援影像、圖磚、向量的地理資料庫，提供 GIS 圖台服務發佈，如 Map Services、Feature Services、OGC WMS、OGC WFS 等；另透過應用程式 API 與 AJAX 或 HTML 技術進行整合開發，可提供網頁 GIS 分析及展示服務。

資料庫軟體：採用 Microsoft SQL Server 作為系統資料庫軟體，其具備安全與穩定性高之優勢外，更有易於操作、查詢語法便捷，相容性高等優點，所設計之資料庫格式可被多種開發平台所使用，可提供最迅速、安全的資訊服務。

2、系統版型規劃

考量使用者在操作系統之直覺性，將視窗畫分為四大區，以「地圖操作區」為基礎，另依系統功能屬性將功能畫分為「主選單功能列」、「資訊區」、「地圖功具區」等，如圖 7 所示。另考量使用者常需要在地圖與功能視窗之間相互切換或互相查詢，故功能區均以「可收合」之理念進行設計，可隨時切換，以兼顧「地圖畫面最大化」及「功能操作方便性」。

圖 7 系統版型規劃及功能區說明圖

3、空間資料庫蒐集及建置成果

依據四大類別整理所需資料，四大類別包括:橋梁資料、防災資源、自然資源、社經資源，整體架構如圖 8。系統呈現以橋梁為主軸，防災、自然、社經資源作為參考圖資，在平台上呈現為各別圖層，便於使用者套疊參照。同時整理台灣世曦結案資料庫中橋梁案件編號，以提供橋梁防災平台串聯查詢本公司內部專案。

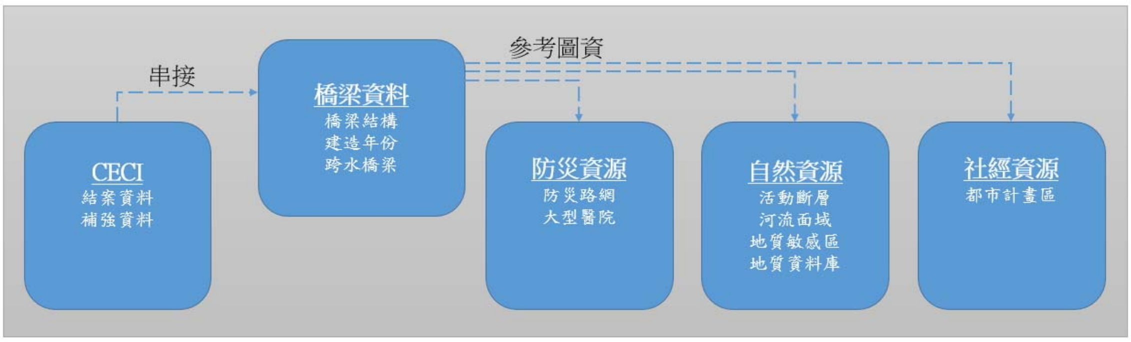


圖 8 資料庫架構

以下針對各資料庫內容之建置方式、資料來源及建置成果進行說明：

(i) 橋梁資料：由各橋管單位提供管轄橋梁資料，整併為 GIS 格式，橋梁資料包含使用情況、建造年月、維護年月、所屬機關、橋梁結構、位置等各細項記錄於屬性欄位中，以橋管單位分類，總筆數現有 8011 筆，俟完成台中市橋管資料建置後，將再加入 2000 多筆。

(ii) 防災資源：蒐集各縣市防災路網、大型醫院位置。

(iii) 自然資源：蒐集全台活動斷層、地質敏感區、河川面域資料。

(iv) 社經資源：蒐集各縣市之都市計畫區範圍。

(v) 橋梁設計資料資料：整合台灣世曦結案資料庫，針對台灣世曦曾參與專案之橋梁，可在本平台上連結至本公司內部結案資料庫進行查詢。

(vi) 底圖資料：介接通用版電子地圖、正射影像、OpenStreetMap、地質圖、國土利用調查成果、福衛二號影像等 Open Data。

4、系統功能規劃及開發成果

公路橋梁防災管理系統之功能架構圖，如圖 9 所示，包含四大模組，分別為地圖操作、橋梁查詢、圖層套疊及分析屬性查詢等。以下說明各項功能之內容。

圖 9 系統功能架構圖

(1) 地圖操作模組

(i) 縮放拖移視景：利用游標與滾輪來移動地圖畫面及調整比例尺，以顯示不同細緻程度之畫面。

(ii) 繪圖工具：可於圖面上加入點、線、面等圖示及文字註記。

(iii) 測量工具：可於圖面上繪製線段或範圍，量測實際距離或面積。

(iv) 列印工具：將目前地圖範圍以設定之比例尺及紙張大小匯出 PDF 或 PNG 格式之檔案。

(2) 橋梁查詢模組

(i) 橋梁查詢：利用關鍵字、縣市、結構型式、竣工年份等參數，篩選符合條件之橋梁，顯示於地圖。

(ii) 快篩分析：以管理機關、結構型式、竣工年份、最大跨度、總權重為篩選條件。

(iii) 篩選等級查詢：以管理機關和震害篩選等級為篩選條件。

(3) 圖層套疊模組

(i) 背景圖資切換：使用者可利用本功能切換背景圖資，含電子地圖、正射影像、衛星影像、土地利用圖、地質圖，可調整透明度。圖資套疊，各圖層可獨立開關、調整透明度、調整順序、調整圖例、移除圖層。

(ii) 地質圖資套疊：包含鑽孔點位、多種主題地質敏感區、全台活動斷層、土層網格。

(iii) 正射影像套疊：正射影像圖層為臺北市地區自民國 34 年至 106 年之多時期航測正射影像。

(iv) 防災資源套疊：含臺北市防災路網、醫院 2 公里環域範圍等。

(v) 管線資料套疊：含桃園市電力、自來水、雨汙水等管線資料。

(vi) 橋梁資料套疊：將橋梁以跨水橋、建造年、結構、中央管河川橋梁、重要度因子、結案

資料等主題分成多個橋梁圖層。

(4) 屬性查詢模組

當點選橋梁點位，將展開下方屬性欄，共有四個頁籤可供切換。

(i) 橋梁基礎資料：於地圖上點選橋梁點位，可查詢橋梁基礎資料，包含名稱、管理機關、里程、年份、設計標準與參數及多種結構型式與結構尺寸等。

(ii) 橋梁篩選：含重要度統計、震害篩選等級統計、重要度分析及快篩分析。

(iii) 地質資料：可查詢距橋梁最近的地質鑽孔資料，及查詢橋梁是否位在各種主題之地質敏感區。

(iv) 街景：使用 Google 服務，查看橋梁之街景，可任意移動，瞭解實地狀曠。

五、結語

未來我們面對的是複合型連鎖式天然災害，必須嚴肅面對此一衝擊與挑戰，亟需將防災戰略思維「大震不倒、中震可修、小震不壞」的觀念，再進一步追求降低經濟損失之「震後功能性之維持」，最終以追求災後快速的應變與「強化國家震後恢復力」，俾達成建立永續的家園為目標。有鑑於災害類型更多樣、難逆料，防救災環境條件愈來愈嚴苛，須要更多民間組織投入技術開發，強化防救災技術能力。台灣世曦多年來在災害防救相關之工程規劃設計、檢測、災損評估、補強技術、監測、預警技術研發等方面蓄積了豐富的經驗，乃期許以災防技術應用之落實行動，協助政府與民間建置全生命週期之防救災體系，將災害衝擊降至最低，進而提升國家整體之抗災能量。民眾防災意識要覺醒，先要自救，才有他救。因此，台灣世曦率先成立民間企業防災組織與投入防災技術開發，利用既有之專精技術與人力資源，投入橋梁防災技術開發，回饋社會，善盡社會責任，希望作到人人作防災、達成家固而國強之目標。

參考文獻

交通部公路總局，*公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究*，2009

何明錦、蔡益超、宋裕祺，*鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊—視窗化輔助分析系統 SERCB Win2012*，內政部建築研究所，2012

Sung, Y.C., Hsu, C.C., Hung, H.H., Chang, Y.J., "Seismic Risk Assessment System of Existing Bridges in Taiwan", *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 9, No. 9, 2013, p.p. 903-917

Lee, C.A., Sung, Y.C., Hsu, C.C., Lu, M.D., Chou, K.W. "Earthquake Damage Assessment System for New Taipei City", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol.41, 2018, p.p.168-180

張永叡，施邦築，張寬勇，宋裕祺，"簡易型橋梁災損評估系統之建立與應用"，*結構工程*，第二十三卷，第三期，民國九十七年九月，第 69-84 頁

葉錦勳，*台灣地震損失評估系統—TELES*，國家地震工程研究中心，2003