

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

August
2016



堅持給您最好的
麗明營造

ISSN 0253- 3804



9 770253 380006

NT\$300



Volume 43, No. 4

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

土木營建材料

專輯

木鐸集
土木工程與埃及古文明

鹽下微言
台灣營建業分工探討

會員全程免費，晚宴付費參加，歡迎踴躍報名！

9月15日開始網路報名，紙本報名表另於9月下旬寄出



105 年年會暨 2016 土水國際論壇

日期：105 年 11 月 18 日（五）2016 土水國際論壇

105 年 11 月 19 日（六）105 年年會暨論壇

地點：台中林酒店 The Lin Hotel Taichung

主辦：麗明營造股份有限公司



社團法人中國土木工程學會

11/19

105 年年會大會

頒獎及授證：工程獎章、程禹傑出工程師獎、會士授證

專題演講：行政院公共工程委員會 吳宏謀主任委員

頒獎：論文獎、獎學金、學生工程創意競賽優勝

台灣北部水力發電 微電影首映

台灣土木史 電力工程誌 出版

9:30 ~ 12:00

11/18

工程參訪

台中歌劇院
台中捷運工程

9:30 ~ 12:00

2016 國際論壇

跨境海外工程談
台灣、韓國、蒙古、日本

1:30 ~ 5:10

1:30 ~ 5:20

五大論壇

採購法修法論壇

工程教育論壇及學生競賽發表

免開挖 (No-Dig) 技術論壇

創新水利論壇

營造安全衛生論壇

6:00 ~ 8:30

晚宴 K 歌大賽

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



麗明營造
BEST GIVING

電話：(04) 2255-9888
地址：台中西北區府會園道169號4樓 MAP
網址：<http://www.best-giving.com/>

土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水部分會
- 土水東部分會

發行人：呂良正

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：宋裕祺 (國立台北科技大學土木工程系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

副主任委員：王華弘 (明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授)

委員：王昭烈、何泰源、李順敏、李維森、林鎮洋、徐景文、曾昭衡
曾惠斌、黃尹男、廖肇昌、劉格非、鄭家齊、謝尚賢

(依姓氏筆劃排序)

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：100055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十二屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 張荻薇 楊偉甫 歐善惠

理事：王昭烈 朱旭 李元唐 宋裕祺 沈景鵬 林其璋 吳瑞賢
胡宣德 高宗正 莫若楫 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 陳國慶
廖學瑞 歐來成 劉恒昌 謝啟蕙

常務監事：周南山

監事：李建中 李順敏 林志棟 張培義 楊永斌 壽克堅

秘書長：倪惠妹

中國土木工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

土木營建材料專輯

(客座主編：廖肇昌副總工程師)

4

- 📖 專輯序言：土木營建材料專輯 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.01 廖肇昌 4
- 📖 自充填混凝土之發展與應用回顧 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.02 廖肇昌 5
- 📖 煉鋼爐渣對混凝土之影響與防制探討 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.03 張俊鴻／徐敏晃 7
- 📖 電弧爐煉鋼爐渣再利用與管理新訊 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.04 徐敏晃／涂哲維 12
- 📖 從 0206 地震省思地質改良 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.05 張東源／張家豪／蔡宗和 17
- 📖 混凝土塗裝介紹及塗膜缺陷分析 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.06 吳忠民／陳哲生 21
- 📖 熱浸鍍鋅在土木工程之應用概況 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.07 蔡明達／李祐承 31
- 📖 影像檢測及分析應用於國道鋪面養護之探討 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.08 陳順興／宋柏勳 39

木鐸集：土木與文明

- 📖 土木工程與古文明生死關鍵的個案分析
二、土木工程與埃及古文明的生與死 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.09 洪如江 46

工程技術及發展

- 📖 卵礫石層管推進工程超挖及卡鑽對管材
與土壤互制行為之影響研究 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.10 壽克堅／謝其穎 60
- 📖 以「管」窺「地」——
由維生管線課題研窺地下掘削機制 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.11 陳堯中／鄭玉鴻／黃祉萍 67

鹽下微言：台灣營建系列談

- 📖 過度追求效率的台灣營建業分工方式 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.12 高銘堂 74

~ 105年獎學金開始接受申請 105.10.15截止 ~

請各大學院校團體會員開始申請，請於 105 年 10 月 15 日前，將推薦書寄至
23146 新北市新店區中興路二段 190 號 11F
財團法人臺灣營建研究院 焦光華小姐收，逾時不予受理。

(推薦書已寄發各大學院校團體會員，請洽系辦公室)

學會資訊看板

📖 「節能！減碳！綠生活！— 氫燃料電池與捷運大安森林公園站的對話」 觀摩研討體驗活動記實 DOI: 10.6653/MoCICHE/2016.04304.13	張武訓／馬婉容	81
📖 105 年年會暨 2016 土水國際論壇預告 (105.11.18 ~ 19 @ 台中林酒店)		封面裡
📖 學會近期活動報告		85
105.4.28-30 2016 亞太城市建設實務論壇@香港		85
105.5.12 湖南省水利學會來訪交流		85
105.6.9-11 參加蒙古土木工程師協會 2016 年年會		85
105.6.14 參加施義芳立法委員發起之採購法公聽會		85
105.6.16 資訊委員會舉辦資訊視覺化論壇		86
105.7.5 台電通霄電廠擴建工程觀摩研習@苗栗		86
105.7.12 周南山常務監事赴國工局演講		86
105.7.22 公共工程委員會吳宏謀主委來訪		86

廣告特搜

麗明營造股份有限公司 — BEST GIVING 堅持給您最好的	封面
台灣電力公司 — 潔淨·節流·新未來	封底
SAS Asia Bar Systems — 安全、經濟、有效地克服土建工程的困難與挑戰	封底裡
實固股份有限公司 — 最安全、實用、堅固的第一選擇	44
交通部鐵路改建工程局 — 高架鐵路咫尺現 新塑臺中天際線	45
台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 卓越源自於超越	59
經濟部水利署 — 水情服務全方位 輕鬆防災人人會	72
中興工程顧問股份有限公司 — 深厚精博大地團隊 掌握億萬年大地記錄的奧秘	73

中國土木水利工程學刊、土木水利會刊已完成數位物件識別號 (DOI) 申請



土木水利會刊
DOI: 10.6653/MoCICHE

中國土木水利工程學刊
DOI: 10.6652/JoCICHE

數位物件識別號 (Digital Object Identifier, 簡稱 DOI) 是一套識別數位資源的機制, 對象有視頻、報告或書籍等。DOI 除包涵命名協定外, 亦包涵將識別號解析為具體位址之協定。輸入 DOI 可直接連結到該物件之網址。





土木營建材料 專輯

專輯序言

專輯客座主編 廖肇昌／國道新建工程局副總工程司

長期在公部門服務，受命邀稿編輯本期「土木材料」時，乃洽詢具實務且受關心的課題供各界參考。「永續發展」是近十餘年來廣受重視的願景，策略執行上不論是稱減碳、減廢、節能、再利用，或稱生命週期管理、綠建築、綠道路、碳盤查或延壽……等，都與土木材料技術發展及其應用有甚大關聯。

自充填混凝土（SCC）堪稱為近 20 餘年來混凝土材料技術發展過程的重要里程碑。SCC 以更低的水泥用量，更好的工作性及更耐久的品質，很快地在國內推廣開來。筆者提出十餘年來參與及觀察 SCC 的心得，在「自充填混凝土之發展與應用回顧」一文加以研析。「煉鋼爐渣對混凝土之影響與防制探討」、「電弧爐煉鋼爐渣再利用與管理新訊」及「從 0206 地震省思地質改良」三篇文章，是因應國內鋼鐵業在煉鋼之

後的剩餘爐渣，於蕞爾小島的臺灣地區應該要如何去化，提出再利用之建議。「混凝土塗裝介紹及塗膜缺陷分析」是化工背景的專業者，試圖從延長混凝土構造物的服務壽命切入，提供出另外一種思維；同理，「熱浸鍍鋅在土木建築之應用概況」則是冶金方面的專業者，思考臺灣地處高腐蝕環境下，致力推動一種腐蝕防制技術。「影像檢測及分析應用於國道鋪面養護之探討」，係從國道鋪面養護管理面切入，嘗試在每日繁忙的國道上如何快速發現鋪面缺失，減少人為判讀差異，所擬影像分析自動化檢測鋪面損壞情形的技術，其應用頗能符合國道維護管理需求。

因應全球氣候變遷、產業經營需求、生態環境保育及政府財政短絀等特性的變化，土木材料也應有其質與能的改變，以接受必要的挑戰。🏡





自充填混凝土之發展與應用回顧

廖肇昌／國道新建工程局副總工程師

創新領先

民國 87 年，自充填混凝土 (Self-Compaction Concrete，簡稱 SCC) 於國道建設中首用於二高烏日交流道烏日穿越橋，至今已將屆 18 年之久。為普及化 SCC 的應用，十餘年來，有關 SCC 流動性量測國家標準 (CNS 14840 自充填混凝土障礙通過性試驗法、CNS 14841 自充填混凝土流下性試驗法、CNS 14842 高流動混凝土坍流度試驗法) 及工程會施工綱要規範 (第 03315 章自充填混凝土) 皆已制定及公告完成，中國土木水利工程學會混凝土施工規範 (土木 402-94) 亦增訂第 13 章「自充填混凝土」；學術研究方面，包括使用 SCC 的鋼筋混凝土柱與預力混凝土梁之結構行為、SCC 乾縮潛變與握裹力、SCC 流變性及配比等，亦陸續在台大、交大、成大等各大學完成，讓各界對 SCC 在鋼筋混凝土的應用，能更了解其結構行為。工程應用也同步開展，在國道橋梁墩柱的應用包括國道 6 號南投段、八里新店線八里五股段、台中生活圈二、四號線快速道路、國道 1 號五股楊梅拓寬段、高雄港聯外高架道路工程及金門大橋工程；其他的重大工程尚有台北鐵路地下化南港車站、台北 101 大樓、北捷松山線南京東路車站站體，機捷台北車站雙子星大樓 (12,000 psi) 等。SCC 在台灣地區已成為一項規格化的商品，尤其在民間許多大樓的柱內灌漿，皆多指定使用 SCC。

SCC 主要係大量使用卜作嵐材料 (水淬高爐石粉、飛灰) 取代水泥 (約至 45%)，使 SCC 兼具節能減碳功能，成為一種環保性材料。國際發展上，SCC 始於 1986 年東京大學土木系，隨即使用於日本明石跨海大橋，1999 年於瑞典斯德哥爾摩舉辦首次 SCC 國際研討會，之後陸續於 2001 年東京 (日本)，2003 年雷諾雅未克 (冰島)，2005 年芝加哥 (美國)，2007 年 Ghent (比利時)，2010 年蒙特婁 (加拿大)，2013 年愛荷華 (美國)、2016 年華盛頓 (美國) 等地舉辦國際研討會。SCC 已為國內外工程界所重視，並快速擴展其應用。台灣地區近十餘年來，歸功於產官學研各界熱心人士的投入，採取分工與合作方式，快速建構完整的使用環境。

成效彰顯

SCC 應用至今，是否達成當初採用目的，即 (1) 在鋼筋密集構件中能不經搗實可通過狹小的鋼筋間隙，完全填充模板內的空間；(2) 在具封閉性空間，無法順利澆置混凝土的構件如 SRC 柱內灌漿，能以逆打方式從柱底側面灌入混凝土後完全填充柱內空間；(3) 能減少澆置混凝土所需技術人員，降低施工噪音達成施工自動化目標；(4) 提高混凝土品質的均質性，耐久性等。經近十餘年來在不同的工程業主、監造者、營造業、預拌混凝土供應商及相關學者專家交換意見後，並審視眾多實際施工成果，各界普遍認同 SCC 確實改善傳統混凝土無法施作或常見的缺失，業界在 SCC 的產製能力也已有普及化現象。

高流動與耐久特性

SCC 為何能有高流動特性，且不會產生析離，係因在配比上與普通混凝土有如下差異；(1) 粗骨材用量較少；(2) 砂石比較高；(3) 膠結料用量較高及 (4) 化學摻料用量較高等。簡言之，SCC 配比組成是介於普通混凝土與水泥砂漿，藉由高漿體量及化學摻料 (高度減水劑) 使得粗骨材懸浮於漿體內，再經由泵送的初始動力使 SCC 能續依本身的重量來驅使流動特性達到填充空間的目的。SCC 的實現也要拜卜作嵐材料與高度減水劑之賜，才能有今天的 SCC 技術。

SCC 為何具耐久性，此可從其配比所用材料看出端倪。按混凝土施工規範中多規定，混凝土若要具耐久性，配比中的水膠比要低於 0.40，且要添加卜作嵐材料。現今在 SCC 配比設計上，為達到適當的黏滯性及流動性，以現階段配比能力與材料來源，配比組成必走向低水膠比 (< 0.40，或有在 0.40 ~ 0.45 間) 及足夠的膠結料用量 (一般都 > 450 kg/m³) 方能獲得所需特性，故 SCC 自然符合耐久特性要求。又因具低水膠比，其抗壓強度也比相同水灰比的普通混凝土為高。

待改善課題

SCC 雖具高流變性、高強度及高耐久性，但其變形特性卻因使用較低量的粗骨材量（一般混凝土粗粒料用量約 900 ~ 1000 kg/m³，SCC 粗粒料用量在 780 ~ 850 kg/m³），致有較普通混凝土有低的彈性模數，高的乾縮係數與潛變係數，故建議粗粒料用量至少要求維持在 800 kg/m³ 以上。但若將鋼筋加入 SCC 內一併分析時，純混凝土材料變形差異性的影響，到了鋼筋混凝土的結構行為，就不易彰顯，甚至在構件勁度上有優於傳統的鋼筋混凝土，此應是 SCC 與鋼筋有較佳的握裹力，將混凝土的變形移轉到鋼筋，改由鋼筋承受其變形，此等結果已經由國內數個大學研究成果可得證。

粗骨材用量乃關係混凝土能否成為 SCC 的關鍵，有些產製者，因未能掌握配比技巧、骨材料源穩定性及品管能力不足，在配比設計上將粗骨材量予以降低，或降低粗骨材最大粒徑，或提高砂石比，如以 SCC 第二級為例，粗骨材用量之絕對體積在日本規範建議為 0.30 ~ 0.33 m³/m³，結果有的 SCC 配比將粗骨材量降至 0.28 m³/m³ 或以最低值 0.30 m³/m³ 為目標以求通過鋼筋間隙試驗。另外在粗骨材最大粒徑上，SCC 於初期推動時，要求粗骨材應使用 6 分石（20 mm）10% 混合 3 分石（10 mm）90%，但現今有許多配比卻是 100% 使用 3 分石，混凝土的砂石比高至 57%，此等作法都將使 SCC 更易於產生析離現象，此係因細骨材含水量在產製時是非常不易控制，結果在高砂石比下，更會因砂含水量的變異造成誤差放大的效果，使得 SCC 澆置後在表層產生厚 2 ~ 5 公分不等的砂漿層（析離），亦使該層收縮加大，易於在硬化過程產生收縮裂縫（此亦因工地多無法作好養護工作），故一般建議砂石比至少也應控制在 51% 以下。

SCC 有良好流動性及自充填性，許多人認為可加快施工速度，然而，澆置 SCC 於模板空間的過程是在置換模板空間內的空氣，快速流動與澆置過程，會使得空氣無法順利排出，黏附或陷入在模板上，以致拆模後的混凝土表面產生較普通混凝土為多的氣孔，此幾乎是各國皆然。解決方式只有減緩澆置速度，提供 SCC 在模板內適當的流動距離或以適當的工具如細長鋼刷沿模板內面隨 SCC 澆置高度上升時加以輕微上下擾動，即可減少這些氣孔（普通混凝土若振動不足亦會有此情形產生）。是否須使用所謂的消泡劑，恐與配比所使用的化學摻料有關，仍待驗證。幸好這些氣孔只停留在表層稍影響外觀，並不會對強度或耐久性有不良影響。

有關流動性品管試驗，由於監造者對規範解讀與執行認知不同，有要求 SCC 運至工地後每車都要進行三項試驗（坍流度、U 型鋼筋間隙通過及 V 漏斗流下時間試驗），增加工地品管試驗所須人員，對於其後續推廣亦形成一種無

形的障礙。故在現地的品管檢測上，可先以坍流度檢測即可，若未符合規定，且認為該批 SCC 有可能因流動性差，無法完全填充構件內的空間，再進一步進行 U 型鋼筋間隙通過，以提高品管效率。

結語

SCC 後續應用推廣與前述待改善課題有關，產製 SCC 的預拌業者更扮演關鍵角色。SCC 配比設計中之組成材料用量與比例關係應訂定門檻值，以免配比偏向小粒徑與少量粗骨材的組成。現階段而言，6 分石與 3 分石的混合使用有其必要，最少粗骨材用量以 800 kg/m³ 為目標，對大多數產製者應皆可生產。硬化後 SCC 表面氣孔的減少，可透過澆置速率與流動距離，或以長鋼刷擾動表層來達成。在簡化試驗方法上，企待實務經驗回饋，如運送距離短，澆置構件不複雜，出廠前已進行三項品管試驗，是否在 60 分鐘內仍要再檢驗三項品管試驗，或將工地執行的 U 型鋼筋間隙通過試驗改用 ASTM C1621/C 1621M-09b 「Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring」方法進行，實有檢討必要，以期有效果與有效率的進行品管。

SCC 是混凝土技術發展的重要突破，所具優點亦為國際肯認，持續推動其應用可因應國內勞動力短缺、施工自動化、節能減碳與構造物生命週期考量之所需。每一種材料都有其優缺點，鋼筋也有腐蝕的缺點，SCC 當然也不例外，但其確有相當的優勢及值得的代價，可應用到適合的結構物。

參考資料

- 詹穎雯，廖肇昌，「自充填混凝土簡介、施工與應用」，土木水利第 3 卷第 3 期，中國土木水利工程學會，92.6，第 86-91 頁。
- 廖肇昌，「二高烏日交流道連絡道穿越橋—自充填混凝土之應用」，結構工程，第十九卷第二期，中華民國結構工程學會，93.6，第 93-107 頁。
- 廖肇昌，「SCC 歐洲指導原則大公開（一）（二）（三）」，營建知識，275-277 期，台灣營建研究院，94.12.23，95.1.23，95.2.23。
- 日本土木學會「高流動混凝土施工指針」，平成十年。
- 日本建築學會「高流動性混凝土材料、配比、製造、施工指引及解說」。
- 林建宏、林士平、李章哲，「自充填混凝土外柱接頭之攪曲行為」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成大，第 91-121 頁。
- 趙文成、謝奕倫，「自充填混凝土梁在高強度箍筋使用下之剪力強度測試與探討」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成大，第 122-147 頁。
- 方一匡、張簡建良、林廷駿，「自充填混凝土梁在彎矩、剪力及扭矩組合載重之承力行為」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成大，第 211-246 頁。
- 沈進發、高健章、詹穎雯、張耀文，「自充填混凝土預力梁力學行為研究（一）」，中國土木水利工程學會，94 年 7 月。
- 陳俊融、黃國立，「高雄捷運使用自充填混凝土之案例探討」，高性能混凝土在結構工程應用之研討會，國科會工程科技推展中心主辦，94.4.12，成功大學，第 186-210 頁。
- 廖肇昌，「國道六號南投段自充填混凝土施工技术探討」，結構工程，第 22 卷，第 2 期，中華民國結構工程學會，96.6，第 29-42 頁。



煉鋼爐渣對混凝土之影響與防制探討

張俊鴻／財團法人台灣營建研究院工程服務組專案經理

徐敏晃／財團法人台灣營建研究院工程服務組組長

建築誤用有害爐渣時有所聞

「爐渣」泛指煉鋼廠再生產過程的副產物，國內鋼鐵廠依生產製程可分成高爐廠及電弧爐廠，前者原料以鐵礦砂為主，以中鋼公司、中龍公司為代表，後者原料來源以廢鋼為主，又分不鏽鋼廠及碳鋼廠，不鏽鋼廠如華新麗華、燁聯，碳鋼廠如東和、豐興，鋼鐵業為國內重要產業，鋼鐵消費量被視為國家工業化的指標，然由於鋼鐵在生產時耗用的原料及能源甚為龐大，因此生產過程拌生的「副產物」數量亦甚為龐大。其中，高爐爐渣經處理技術的進步，已被製成水淬高爐爐渣粉，廣泛的用於混凝土中，為高經濟價值的再生材料。然而「電弧爐渣」過往多次發生未妥善再利用而發生非法棄置情形，因此政府在「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」中，訂定「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」據以管控這類爐渣的來源、處理、用途、品質。

依 100 年 2 月 9 日版的「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」，電弧爐渣可用於「非結構性混凝土粒料原料」，但在「CNS 1240 混凝土用粒料」國家標準中，對於此類可再利用之固體一般事業廢棄物卻規定必須要先經「毒性特性溶出程序 (TCLP)」及「建築材料用事業廢棄物之放射線含量限制要點」檢驗合格，並經必要之安定化處理程序，確保體積穩定性，在物性化性符合該標準品質要求下，若使用者同意才可使用。由於電弧爐渣中的還原渣含有部分游離氧化鈣 (f-CaO) 及游離氧化鎂 (f-MgO)，由水反應後會導致體積膨脹將近兩倍，若被加入混凝土中，則會在一段時間後於表面爆出，形成類似「青春痘」情形，造成外觀瑕疵。這類案件過往就時有所聞，但在今年 3 月初因媒體對於電弧爐渣事件的深入報導，加入有部分知名建築受害，引使社會大眾的關注，更有預拌

業者因而被求償千萬，使得政府加強對電弧爐渣的管制，甚至公告暫停國內電弧爐煉鋼爐渣（包括還原渣與氧化渣）的使用 3 個月，除了研擬更嚴謹的管制措施外，亦希望業者（包含鋼鐵業及預拌業）能提出良好的管制辦法。

新修訂的「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」及「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」已於 105 年 6 月 20 日正式公告，將電弧爐渣再利用用途刪除「非結構性混凝土粒料原料」，並規定更嚴格的品質管制措施及主管機關監督機制，後續成效尚待時間驗證。

惟國內土木工程對砂石需求量龐大，以電弧爐渣一年將進 200 萬噸的產出量而言，實有被混用到混凝土的風險，因此除了靠鋼鐵廠與再利用業者的流向管控外，預拌混凝土業者及工地現場工程師有必要瞭解爐渣特性，建立起簡易快速的管控措施，以避免工程誤用到有害爐渣。

電弧爐渣材料特性

電弧爐煉鋼廠在熔煉過程依化學反應分成三個階段：熔解期、氧化期及還原期，熔解期指廢鐵原料經初步分類、稱重後加料，熔解成液態鋼液，氧化期指再通入高壓氧氣以加速氧化作業，此時部分的鐵及其他雜質（如矽、錳）生成氧化物和先其投入的少量石灰開始形成少量的氧化渣，再通入更多的氧氣，雜質則氧化升成更多量的固態氧化渣。此時鋼液中含氧化量過高，因此須加入大量石灰石、碳粉等副原料加以還原造渣，此階段即為還原期。製程中所產生的爐渣因其比重較小與鋼液分離，成為電弧爐渣，氧化期產出稱氧化渣，還原期產出稱還原渣，有關電弧爐渣生產流程詳圖 1。

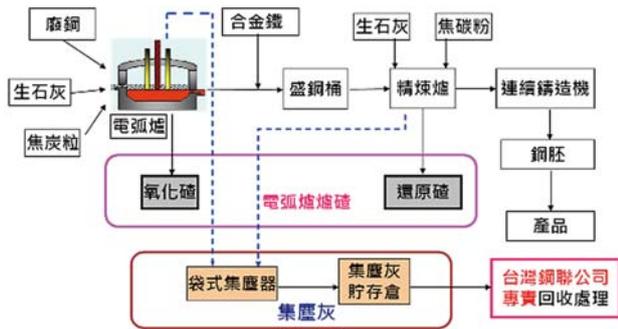


圖 1 電弧爐渣生產流程

氧化渣外形構造呈現粗糙之黑褐色，表面凹凸富有稜角且多孔洞，類似天然火成岩（如圖 2 所示），體積穩定，有關氧化渣之化學組成如表 1 所列，由於氧化渣表面含有鐵質殘留，若鋼爐渣再利用機構未妥善破碎與磁選處理，經再利用後易有繡斑情況，造成對其使用觀感不佳的負面態度。



電弧爐氧化渣（細粒料） 電弧爐氧化渣（細粒料）

圖 2 電弧爐氧化渣外觀

表 1 電弧爐氧化渣之化學成份分析 (%)

SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Cr
16 ~ 20	24 ~ 35	34 ~ 38	2 ~ 8	3 ~ 6	0.7

還原渣外觀外觀多呈現灰白色粉末狀（如圖 3 所示），內含成份中的游離氧化鈣（f-CaO）和游離氧化鎂（f-MgO）極易與 H₂O 和 CO₂ 發生反應，係為造成還原渣體積膨脹的主因，此水化反應將隨反應時間減緩，有關還原渣之化學組成如表 2 所列。另氧化鈣為高鹼度之物質，故經檢測其酸鹼值（pH）高達 12 ~ 13 左右。



電弧爐還原渣 電弧爐還原渣

圖 3 電弧爐還原渣外觀

表 2 電弧爐還原渣之化學成份分析 (%)

SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	S
22 ~ 29	48 ~ 50	1 ~ 2	6 ~ 10	14 ~ 18	0.8 ~ 1.5

電弧爐渣摻混細粒料檢驗

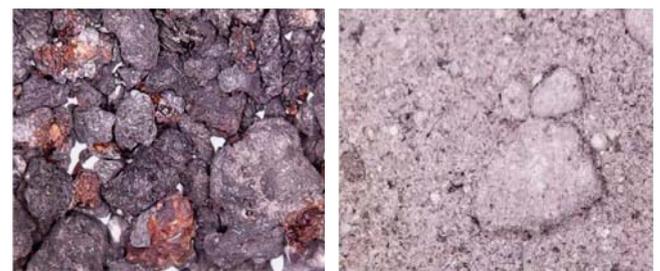
由於 CNS 國家標準尚未針對電弧爐渣的安定化訂定檢測方法與標準，因此現階段為協助預拌混凝土廠以既有品管儀器研擬合適快速的簡易篩檢法，營建研究院特針對電弧爐渣進行一系列物性試驗，試驗結果說明如下：

外觀檢測

氧化渣細粒料顏色偏黑色，呈顆粒狀，比重重；還原渣偏粉狀，顏色為灰白色。但若以少比例添加到天然細粒料中，則不易從外觀判別。

顯微觀測

分別以 45X 放大鏡及 500X 顯微鏡觀測，45X 適合攜帶，檢測單顆較大顆粒用；500X 顯微鏡須連接電腦、平板或手機，適合數量較多之粒料。500 倍放大觀測氧化渣可見空隙及鐵鏽，還原渣表面則為灰白色粉狀，如圖 4。



500X 氧化渣 500X 還原渣

圖 4 氧化渣及還原渣微觀檢視

篩分析試驗

氧化渣粒徑集中在 #4 ~ #16 之間，還原渣粒徑則多為 #50 ~ #200，有關篩分析結果詳表 3。

磁吸測試

電弧爐渣含有鐵質成分，以強力磁鐵幾乎都可吸附起來，詳圖 5。

表 3 氧化碴分析

篩號	電弧爐氧化碴		
	累積留篩重量 g	累積留篩 %	累積過篩 %
9.5 mm (3/8 in)	0	0	100
4.75 mm (No.4)	21.6	4	96
2.36 mm (No.8)	181.6	33	67
1.18 mm (No.16)	329.5	60	40
600 μm (No.30)	421.5	76	24
300 μm (No.50)	480.0	87	13
150 μm (No.100)	518.9	94	6
75 μm (No.200)	539.9	97.8	2.2
底盤	552.1	---	---
細度模數 FM :	3.54		



氧化碴磁鐵吸附

還原碴磁鐵吸附

圖 5 氧化碴及還原碴磁吸反應

pH 試驗

電弧爐碴因摻有生石灰，為強鹼性，故可由 pH 值檢測棒快速的檢測砂石的酸鹼度來作為爐碴判別，營建院針對不同試驗條件對 pH 之影響說明如下。

1. 添加比例影響：以不同比例（1%、5%、10%）的電弧爐氧化碴及還原碴摻入天然砂石，再以 1：1 的比例浸泡於蒸餾水中，測酸鹼度之結果，即便僅添加 1% 都比純天然砂石之 pH 值高出甚多。詳表 4。

表 4 pH 檢測結果

添加比例	100% 爐碴	20% 爐碴	10% 爐碴	5% 爐碴	1% 爐碴
氧化碴	12.0	11.7	11.6	11.6	11.4
還原碴	12.7	11.9	11.5	11.6	11.5

註 1：純水 7.0、細粒料 8.8
 註 2：所用爐碴為碳鋼廠電弧爐碴、以玻璃電極式 pH 計檢測

2. 浸泡時間影響：將電弧爐碴於水中浸泡 72 小時後試驗，pH 值並無變化，與初始值差異不大，詳表 5。

表 5 浸泡後 pH 值變化

浸泡時間	0 分鐘	1 小時	24 小時	48 小時	72 小時
細粒料	8.8	8.8	8.6	8.6	8.6
1% 還原碴	11.5	11.6	11.6	11.5	11.5
5% 還原碴	11.6	11.8	11.8	11.8	11.7
10% 還原碴	11.5	11.5	11.7	11.7	11.6
20% 還原碴	11.9	11.9	11.9	12.0	11.9

3. 清洗影響：(1) 參考 CNS 491 含泥量清洗法：參考 CNS 491 第 7 節 A 程序乾淨水掏洗法，若將細粒料置於 #200 篩上以清水清洗至乾淨為止後，再測 pH 值發現天然砂石會趨近於 7；清洗氧化碴其 pH 值會降低，但仍然較正常值有明顯差異，清洗還原碴其 pH 值降低程度更有限。(2) 參考 CNS 13407 細粒料水溶性氯離子試驗法：參考 CNS 13407 第 3 節 (b) 直接以兩手握持瓶子，將頂部及底部予以反轉搖振 3 次，再旋開瓶蓋，將混濁水倒出後，重新注入清水至瓶內八分滿後再旋緊瓶蓋，依前述操作方法反覆執行，至瓶內上澄液目視約略呈清澈止。發現氧化碴及還原碴的 pH 值會略為下降，若是添加到細粒料中則下降會較多。

不同清洗方法對電弧爐碴的 pH 值確實稍有影響，但基本所測出數據皆大於 10，超出一般砂石之合理範圍。

4. 顆粒粗細影響：無論將還原碴以 #16 篩篩分成粗細兩種粗細粒料，或是以 #4 篩篩分成兩種尺寸粒料，分別測其 pH 值，發現粉狀還原碴之 pH 值雖然大於顆粒狀還原碴，但差異不大。若再將兩種不同顆粒之還原碴置於 #200 篩上以清水清洗至乾淨為止後再測 pH 值，發現粉狀還原碴僅降一點點，顆粒狀還原碴雖然降較多，但差距仍未超過 1。若是以細粒料水溶性氯離子試驗法進行清洗亦得到類似結果。無論如何，還原碴顆粒粗細對 pH 值影響有限。

5. 小結：因 pH 值差距為 10 倍濃度，實測粒料樣品的含水量高低、是否須面乾內飽和或先炒乾、是否先洗淨、是否先浸泡、取粉或取顆粒，對試驗結果並無關鍵性影響，綜合前述試驗結果，建議廠內細粒料進廠後直接取樣加水測 pH 值即可。若想要更快速的檢測細粒料的 pH 值，則可利用酚酞在 pH 大於 9



酚酞噴劑 酚酞變色

圖 6 酚酞檢驗

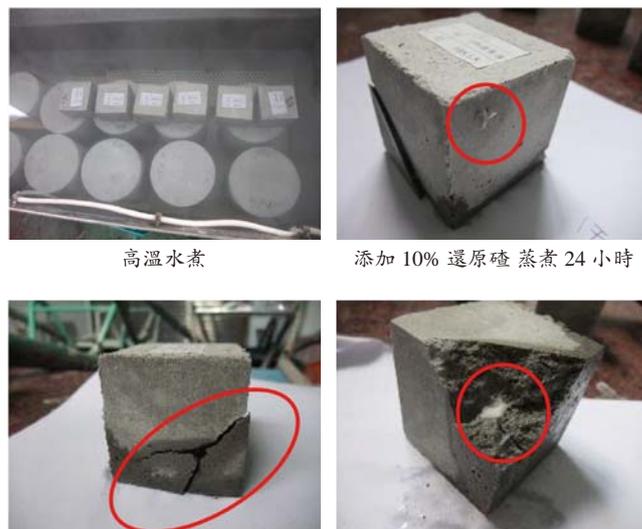
的環境下會變成粉紅色的特性，以酒精將酚酞稀釋成 1% 濃度，每次進料時噴灑於表面，以變色與否作為爐渣檢測知初步判斷，如圖 6。

高溫水槽蒸煮試驗

還原渣因含 f-CaO，遇水反應後會變成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，膨脹約 2 倍，但反應時間緩慢，以高溫高壓蒸煮時即會加速反應。然預拌廠內大多無 CNS 1258 熱壓膨脹試驗用的模具及高壓蒸煮鍋，因此本院特以不同還原渣添加比例混拌之水泥漿砂方塊，置於 90°C 保溫水槽中，蒸煮 72 小時，觀察表面變化。在經過 24 小時後，添加 5% 還原渣的方塊試體表面可見爆突情形，添加 10% 還原渣的方塊試體除表面爆突外另有崩塊情形，崩裂處中心可見白色物質。經過 48 小時後與 24 小時時無太大差異，72 小時情形亦同。本院另嘗試將方塊試體浸於水中置入 100°C 烘箱中蒸煮，24 小時後 5% 還原渣方塊及 10% 還原渣方塊有爆突情形，但 48 小時後並無其他再爆突情形。同時本院亦有拌製不同添加比例的氧化渣方塊試體，但因高溫水槽蒸煮後表面並無異常。由試驗結果可知，含有還原渣之細粒料製成水泥砂漿方塊經高溫水槽蒸煮後，24 小時內即可見爆突情形，惟爆突部位僅限 2 公分以內，且為較大之顆粒，約大於 #8 篩網網目，若僅是粉狀還原渣則無爆突情形。高溫水煮試驗結果詳圖 7。

電弧爐渣簡易篩檢措施

綜合前項試驗結果，可歸納出預拌混凝土廠品管人員簡易檢測爐渣之方式如下，流程圖詳圖 8：



添加 10% 還原渣 蒸煮 24 小時 添加 10% 還原渣 蒸煮 24 小時

圖 7 還原渣水泥方塊高溫水煮結果

- (1) 每日上下午各於細粒料進場時取樣進行爐渣檢測，若廠內有不同供應商，則每供應商應至少取樣一次。
- (2) 先以磁鐵檢測，看有無吸附物質，有的話以 500X 顯微鏡觀察表面是否有鐵鏽、孔隙、或灰白物質等異常狀況。一般而言天然砂石或大陸機制砂石有可能含有少量鐵質，但比例不至超過 1%。
- (3) 以水砂 1:1 比例混拌後檢測 pH 值，若 pH 值較基準值（純天然砂或大陸砂）高許多或 pH 值超過 10，則屬異常。

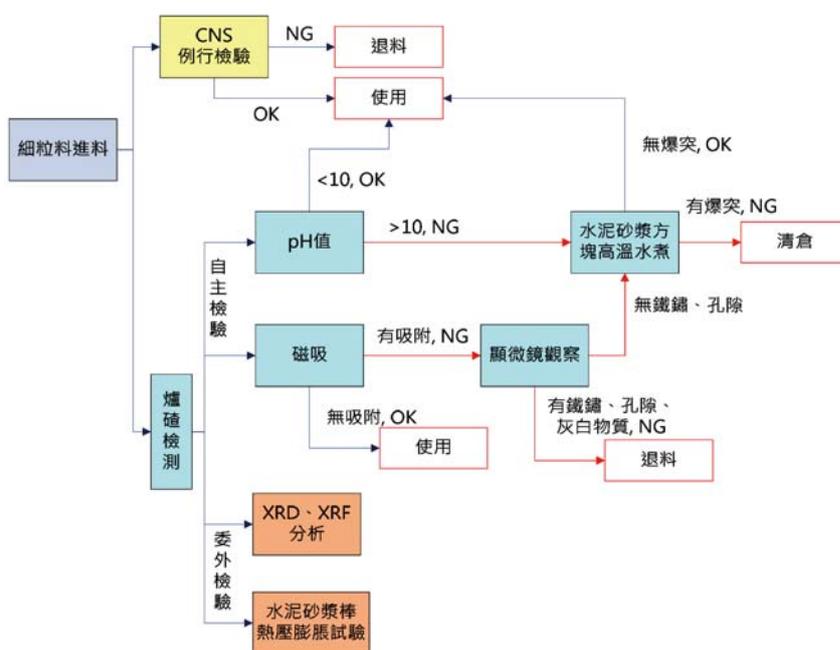


圖 8 預拌廠細粒料品管檢驗流程

- (4) 經表面顯微觀察及 pH 值檢測屬異常者，應暫停該車次細粒料使用，以該試樣進行水泥砂漿方塊，拆模後置於高溫水槽蒸煮 24 小時，確認有無異狀。無異常後可繼續使用，但仍應請供料商檢討 pH 值超標原因，並進行改善。若有爆突情形則應立即清倉處理。
- (5) 天然砂石的 pH 值主要會受到表面游離水的影響，與砂石場內製程有關，故本院檢測各廠砂石及所用水的 pH 皆不太相同，故各廠應先建立砂石 pH 值背景資料及允收範圍，建議允收範圍可以 3 倍標準差當警戒值，6 倍標準差當行動值。
- (6) 有鑑於還原渣對混凝土品質之危害，檢測標準應從嚴而訂。
- (7) 若真還有疑慮，可送往 TAF 實驗室進行 XRD、XRF 分析試驗及水泥砂漿棒熱壓膨脹試驗，可得較正式之試驗結果。

預拌廠源頭管理

不管取樣頻率多麼頻繁，仍有取樣代表性問題，預拌廠仍應加強源頭砂石場管理及運輸過程管理，建議措施如下：

源頭管制

針對預拌廠進料砂石廠首要確保供料源頭端無收受可疑廢棄物。若為出口方來計價，應要求供應商提報供料的砂石場，由廠內品管人員赴廠檢核後，方得供料，檢核重點在於確認砂石場有無收其他不明料源砂石，例如剩餘土石方（如磚瓦廢混凝土塊）、事業廢棄物再利用處理廠（如爐渣、底灰），廠內粒料成品堆置應妥善分類，不得混料。另因應砂石場常標取不同河川砂石，驗廠石所取樣之砂石不代表往後都會送相同品質，故應要求砂石商穩定料源，若有更換應通知預拌廠，取得同意後方得供料。此外，砂石進料單除數量及種類外，應標示來源砂石場以茲追溯，並與砂石供應商簽訂之合約應明規定品質規格及允收標準，並納入穩定料源之規定。

運輸管制

針對砂石運輸過程之管理，主要是確保砂石料能由經核可的砂石場載運抵預拌廠內。對此，建議委託

固定可靠之運輸公司辦理相關工作，另可於砂石車上加裝 GPS 定位設備，以確認砂石車的出場地，以及車行過程無進行私自混料的動作。

工地對電弧爐渣之防制措施

對工地現場工程師而言，則難以用 pH 值檢測或外觀目視來判斷混凝土中是否有摻用爐渣，因此最有效的管制還是「源頭管理」，挑選有信譽的預拌廠，請其提供爐渣自主管制紀錄，若真還是有所疑慮，則可在抽樣作圓柱試體時，多作一組，拆模後即可放於高溫水槽中蒸煮，看表面是否有爆突物質，一般若有添加還原渣，則 24 小時以內即會有爆突發生。對於已成屋的混凝土，亦可以鑽心取樣將試體進行高溫水煮，觀察表面變化。

倘若建築物真的發生爆突現象，則可先觀察爆突時間點、數量、位置，於爆突處鑽孔取樣，對異物進行 XRF 及 XRD 分析，釐清異物種類，再鑽心取樣進行抗壓試驗，確認強度是否符合設計要求，若不足則須修復補強，取樣之異物亦應送樣進行重金屬（TCLP）檢測及戴奧辛檢測，確認對環境之影響性。

依營建院過往所辦理之結構物爆突鑑定案，爆突物質多屬電弧爐還原渣，混凝土鑽心抗壓強度多能達到設計規範要求，環境面檢驗亦符合法規規定，然而確有長達兩年的時間面臨混凝土表面持續爆突的問題，帶給建商及住戶極大的困擾，預拌廠不僅要負連帶賠償責任，對商譽影響更是難以估計。

結語

混凝土所需砂石用量龐大，儘管品管人員每日執行砂石進料檢驗，但仍有代表性的問題，因此政府法令對於鋼鐵廠及再利用處理廠的流向管制更形重要，電弧爐渣應朝多元化發展為目標，探詢可穩定且大量的再利用方式，並透過完善的管理機制，採驗證專廠處理過程的方式，將廢棄資源導入適切的用途中，例如氧化渣可往瀝青混凝土用途使用，而還原渣可用於水泥廠取代石灰石，以市場機制將電弧爐渣導到合理合適的去化用途，讓廢棄物能適材適所的再利用，方能創造廢棄物之價值性，從源頭讓預拌混凝土能免於電弧爐渣的危害。



電弧爐煉鋼爐渣再利用與管理新訊

徐敏晃／財團法人台灣營建研究院組長

涂哲維／財團法人台灣營建研究院工程師

近期，國內爐渣或其再利用產品非法棄置、填埋及誤用事件頻傳，從爆發脫硫渣、電弧爐煉鋼爐渣（石）（以下簡稱電弧爐渣）等非法棄置造成田地污染事件；以及最近因還原渣誤摻入混凝土內，使建物混凝土外牆產生同「長青春痘」現象，致各界聞渣色變、人心惶惶。為避免誤用情形再度發生，並防止事態全面擴及到公共或民間工程，本年3月11日經濟部工業局發佈「暫停電弧爐煉鋼還原渣使用於非結構性混凝土粒料用途」公告，依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」第3條規定，暫停還原渣再利用於非結構性混凝土粒料原料及非結構性混凝土原料之用途，為期至少3個月，期間進行管制措施強化與再利用管理法規修訂，並敦促廠商自主管理工作。

面對廢棄物的產生無法避免，而工程用材料亦是可大量去化使用的用途之一，國內應回歸事件偵結，正視其處理與再利用課題，適材適所推動導入正確的工程用途為當務之急，而再利用管理法規則應搭配再利用用途的市場端特性，納入管制要點，以從法制面管控其使用流向，另就材料品質規格之管控，則歸至工程材料標準與規範中要求，方能促使健全國內資源再利用環境。

資源化途徑與煉鋼爐渣間的市場結構關係

國內面對廢棄物導入工程材料應用，可參仿所謂「大水庫理論」概念，應從總體供給與需求面來評估，以提供穩定使用的再利用途徑為必要考量條件，

方可確立為推動的標的，才有辦法有效避免竄至其他工程用途使用。據統計國內每年將近約有兩千萬公噸的廢棄物產出，經評估掩埋與填海造島將可形成大量與穩定的去化途徑，但目前國內就該議題仍存在討論空間，短期仍以作為土木工程材料較能解決當務的困



圖 1 國內能有效去化廢棄物的資源化方式

境。推估國內有大宗材料需求的工程用途，依排序包括預拌混凝土、瀝青混凝土、道路基底層、水泥原料等 6 大項，而適用材料則須透過技術與市場面的綜合評估後方可論定。

有關鋼爐渣係指各種金屬在萃取及提煉過程所產出的副產品，各類鋼爐渣多以提煉方法來命名，分別為轉爐石、高爐石與脫硫渣，主要為中鋼、中龍採高爐與轉爐冶煉的一貫煉鋼製程所產出；另電弧爐氧化渣與還原渣，為豐興、東和、唐榮、燁聯等鋼廠經電爐冶煉作業所產出，針對鋼爐渣分類如圖 2 說明。有關國內鋼爐渣產出的數量與分佈如圖 3 所示，約計共 20 餘家鋼廠所產出，多分佈於西部地區，以高爐石經水淬後研磨成水淬高爐石粉為最大量，每年約有 400 萬公噸的產量，已大量用作預拌混凝土之膠結材料中；另轉爐石年產約 150 萬公噸、氧化渣年產約 140 萬公噸、還原渣及脫硫渣各計 40 萬公噸／年。

煉鋼爐渣之工程材料適用性評估

綜上，國內大宗煉鋼爐渣，其中經水淬方式冷卻之高爐石，具潛在的水硬性，研磨成細粉添入混凝土中會產生卜作嵐反應，可增加混凝土晚期強度，並使其更加緻密而增進耐久性，且國內已普遍使用。一貫化作業鋼廠煉鋼所產的轉爐石，因含有游離石灰遇水後易產生體積膨脹，但其具耐磨、高硬度及高抗滑特性，適於鋪面材料使用，或經餘熱悶壓處理為鐵礦渣粉作為水泥添加料。針對電弧爐煉鋼作業的氧化渣，經磁選、破碎、篩分等加工處理後，產品具穩定性，且具含泥量低、磨損率低及健性佳等特性，適於道路鋪面材料使用；還原渣則為鈣、鎂、鋁、鐵及矽等元素組成的 $\text{CaO}(\text{MgO}) - \text{Al}_2\text{O}_3(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{SiO}_2$ 三元素系統，介於矽酸鹽水泥熟料與高爐石之間的產物，最適作為水泥生料使用，或建議導入低強度控制性混凝土 (CLSM) 粒料使用。有關各煉鋼爐渣外觀綜整於圖 4，並就各鋼爐渣處理要件與資源化用途歸類列於圖 5，主要

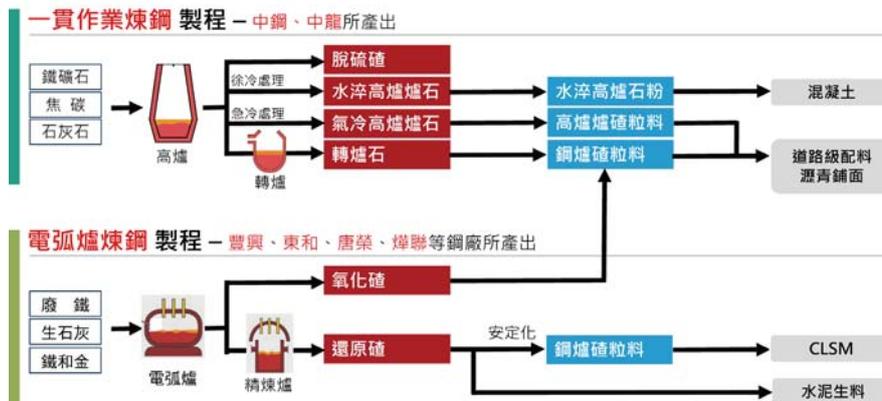


圖 2 國內產出的鋼爐渣種類識別



圖 3 國內鋼爐渣的數量與分佈

再利用用途鎖定在道路用粒料、水泥原料為主，部分搭配作為低強度控制性混凝土粒料使用。

電弧爐渣再利用管理方式修定要點

針對弧爐渣之再利用管理，依現行「廢棄物清理法」第 39 條授權經濟部訂定再利用管理規定及執行管理作業。因應近期電爐渣及其再利用產品相關非法事件，為強化對其再利用之管理，經濟部工業局針對「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表「編號十四、電弧爐煉鋼爐渣(石)」再利用管理方式進行檢討與修訂，以加強對廢棄物再利用之運作管理，減輕社會大眾對電爐渣再利用產品運用之疑慮。有關修正要

點包括明確安定化作業執行單位、限制粒料產品銷售對象(僅限預拌混凝土製造業與營造業)、明定產品出貨單應載明使用之廢棄物種類等項，茲將與工程使用相關之修正要點簡述如下，以供各界參考。

分列再利用用途

有鑑於成分特性與適用用途之差異，及為確保再利用產品品質與流向，故分列並修正氧化渣與還原渣之再利用用途。與現行公告之再利用用途相較，氧化渣與還原渣皆刪除「水泥製品原料」用途，還原渣則另增刪除混凝土相關用途，有關修訂前後版本如表 1 所列。

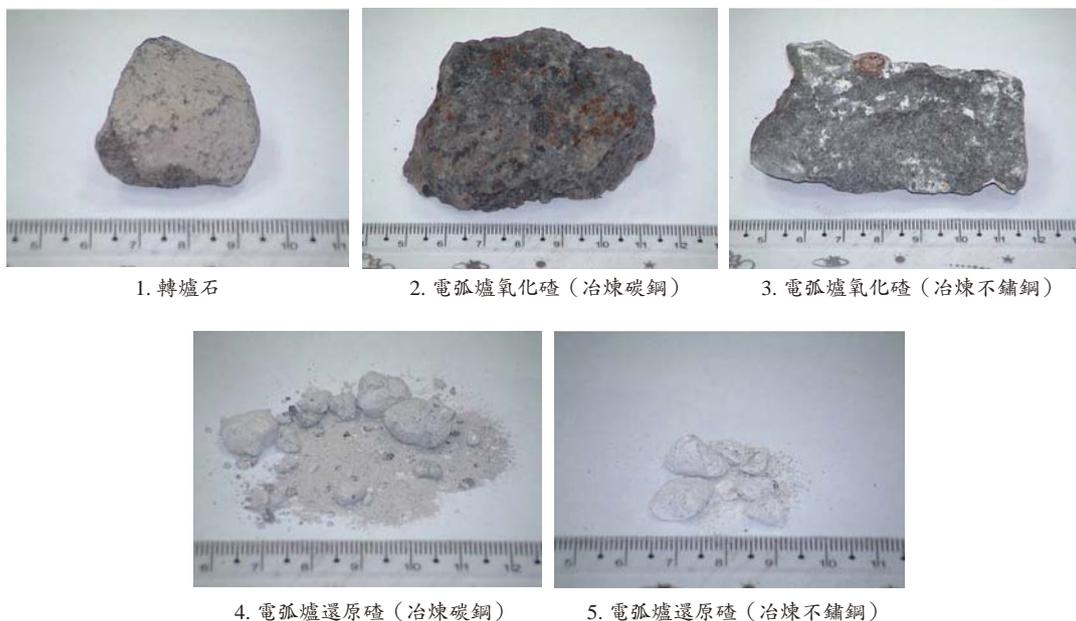


圖 4 煉鋼爐渣圖例

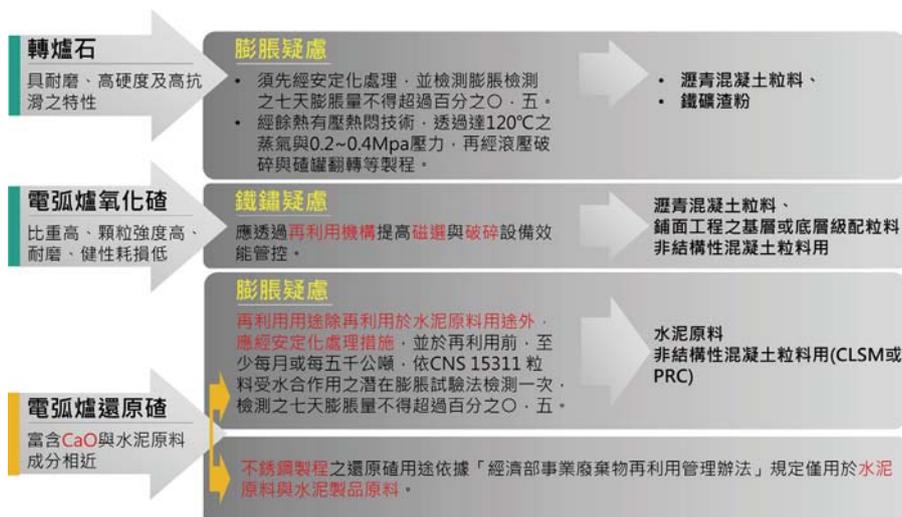


圖 5 鋼爐渣處理要件與資源化用途歸類

分列再利用機構應具資格

為強化電弧爐渣再利用機構之管理作為，以確保再利用產品品質與流向，詳列氧化渣與還原渣之再利用機構應具資格，以與再利用用途間相互對應，有關修訂前後版本如表 2 所列。

明訂安定化管理作為

為確保及加強掌握廢棄物安定性，增訂氧化渣膨脹性檢測相關規定，並明定還原渣安定化執行單位應具安定化處理設備，以強化電爐渣再利用安定化確保之管理作為，有關修訂前後版本如表 3 所列。

詳定再利用產品應符合規格

為確保再利用產品品質，搭配所公告之再利用用途，明列其產品品質應符合規範相關規定文字，其中，考量產業實務運作需求，保留作為低強度控制性混凝土粒料之用途，但為避免因轉售而誤用情形，故限制產品使用對象僅限所屬同一法人所設之拌合廠，有關修訂前後版本如表 4 所列。

新增再利用產品銷售限制規定

為確保再利用產品使用無虞，增訂再利用產品銷售限制規定，有關修訂前後版本如表 5 所列。

表 1 電弧爐渣再利用用途修正前後比較

舊版條文	現行條文
二、再利用用途：水泥原料、水泥製品（限混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋、紐澤西護欄）原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、非結構性混凝土粒料原料、非結構性混凝土原料或鋪面工程（機場、道路、人行道、貨櫃場或停車場）之基層或底層級配粒料原料。但不銹鋼製程產生之還原渣（石）僅限於水泥原料及水泥製品原料。	二、再利用用途： （一）氧化渣（石）：水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料或鋪面工程（道路、人行道、貨櫃場或停車場）之基層或底層級配粒料原料。 （二）還原渣（石）：水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料或鋪面工程（道路、人行道、貨櫃場或停車場）之基層或底層級配粒料原料。但不銹鋼製程產生之還原渣（石）用途為水泥原料。

表 2 電弧爐渣再利用機構應具資格修正前後比較

舊版條文	現行條文
三、再利用機構應具備下列資格：依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、水泥製品（限混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋、紐澤西護欄）、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、非結構性混凝土粒料、非結構性混凝土、鋪面工程之基層或底層級配粒料或砂石。	三、再利用機構應具備下列資格： （一）氧化渣（石）：依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、控制性低強度回填材料用粒料、控制性低強度回填材料或鋪面工程之基層或底層級配粒料。 （二）還原渣（石）：依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土或鋪面工程之基層或底層級配粒料。

表 3 電弧爐渣安定化管理修正前後比較

舊版條文	現行條文
四、運作管理： （二）再利用應符合下列規定： 2、還原渣（石）：再利用用途除再利用於水泥原料用途外，應經安定化處理措施，並於再利用前，至少每月或每五千公噸，依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，檢測之七天膨脹量不得超過百分之〇·五。	四、運作管理： （一）再利用機構應符合下列規定： (2) 氧化渣（石）：再利用於水泥原料用途以外者，經破碎、磁選及篩分之產出物應至少每月委託檢測機構採樣，並依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量未超過百分之〇·五者，始得進行再利用，連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。 (3) 還原渣（石）：再利用機構依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備安定化處理設備。還原渣（石）經安定化處理後，應至少每月委託檢測機構採樣，並依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量未超過百分之〇·五者，始得進行再利用。 (4) 膨脹量檢測之採樣，再利用機構應於採樣前十日以書面方式通知當地環保主管機關及本部。採樣通知應包括採樣時間、地點、採樣單位及檢測單位。變更採樣時間及地點未於十日前通知者，其檢測結果不予採信。 (5) 膨脹量檢測報告應由經依標準法授權之實驗室認證機構所認可之實驗室，依該認證機構所訂格式辦理，並應由再利用機構於每年一月、四月、七月及十月前，將上一季檢測報告提報當地環保主管機關及本部。氧化渣（石）經破碎、磁選及篩分等處理之產出物，其膨脹量檢測頻率為每半年至少檢測一次者，得於每年一月及七月前，將前半年檢測報告提報當地環保主管機關及本部。

表 4 再利用產品應符合規格修正前後比較

舊版條文	現行條文
<p>四、運作管理：</p> <p>(十二) 再利用用途產品為混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔或溝蓋等水泥製品者，其品質應符合國家標準。</p> <p>(十三) 前款規定以外之再利用用途產品，其品質應符合國家標準、國際標準或該產品之相關使用規定。</p>	<p>四、運作管理：</p> <p>7、再利用用途之產品應符合下列規定：</p> <p>(1) 瀝青混凝土及控制性低強度回填材料產品應依公共工程施工綱要規範之品質(性質)項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。</p> <p>(2) 水泥、瀝青混凝土粒料、控制性低強度回填材料用粒料及鋪面工程之基層或底層級配粒料產品品質應符合該項產品之國家標準。</p> <p>(3) 再利用產品除水泥外，至少每月應檢測一次產品品質。</p> <p>(4) 再利用產品品質檢測報告應由經依標準法授權之實驗室認證機構所認可之實驗室，依該認證機構所訂格式辦理。</p> <p>(5) 再利用機構應於每年一月、四月、七月及十月前將上一季再利用產品檢測報告提報當地環保主管機關及本部。</p> <p>8、再利用用途之產品屬鋪面工程之基層或底層級配粒料者，其使用應符合下列規定：</p> <p>(1) 與飲用水源及依水利法規定取得水權之水井距離需在二十公尺以上。</p> <p>(2) 不得使用於農業用地、耕地、環境敏感地及屬公告之水庫集水區、國家重要濕地與自來水水質水量保護區。</p> <p>(3) 再利用產品品質應符合 CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料之國家標準。</p> <p>(4) 粒徑小於九.五公厘者，應先以其他工程材料隔離。</p> <p>9、再利用用途之產品屬瀝青混凝土粒料者，應符合下列規定：</p> <p>(1) 瀝青混凝土粒料產品銷售對象以瀝青混凝土廠為限。</p> <p>(2) 再利用機構應與產品銷售對象簽訂買賣契約書，並應於簽訂契約書之次日起三十日內，檢具該契約書送本部備查，並副知再利用機構當地及產品銷售對象所在地之環保主管機關。變更契約書內容或終止契約時，亦同。</p> <p>(3) 再利用產品銷售對象，其廠內瀝青混凝土粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該銷售對象。</p> <p>(4) 於再利用產品銷售對象所產製之瀝青混凝土產品出廠後十日內，以書面方式向產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及本部，提報該批再利用產品使用對象、使用量、庫存量及瀝青混凝土之產生量、銷售對象、銷售量與使用地點相關資料。</p> <p>10、再利用用途之產品屬控制性低強度回填材料用粒料者，應符合下列規定：</p> <p>(1) 不得將再利用產品轉售予其他法人。</p> <p>(2) 再利用產品使用對象僅限所屬同一法人所設置之控制性低強度回填材料廠。</p> <p>(3) 再利用產品使用對象，其廠內控制性低強度回填材料用粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該使用對象。</p> <p>(4) 於再利用產品使用對象所產製之控制性低強度回填材料產品出廠後十日內，以書面方式向產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及本部，提報該批再利用產品使用對象、使用量、庫存量及控制性低強度回填材料之產生量、銷售對象、銷售量與使用地點相關資料。</p>

表 5 再利用產品銷售限制修正前後比較

舊版條文	現行條文
<p>無</p>	<p>四、運作管理：</p> <p>11、再利用用途產品為瀝青混凝土、控制性低強度回填材料或鋪面工程之基層或底層級配粒料者，其銷售應符合下列規定：</p> <p>(1) 鋪面工程之基層或底層級配粒料產品銷售對象以營造業為限。</p> <p>(2) 再利用機構應於產品出貨單上載明使用本編號之再利用種類。</p> <p>(3) 再利用機構應與鋪面工程之基層或底層級配粒料產品使用者簽訂記載本管理方式規定使用限制及產品使用地點與數量之買賣契約書，並應於簽訂契約書之次日起三十日內，檢具該契約書送本部備查，並副知再利用機構當地及其產品使用地點之環保主管機關。變更契約書內容或終止契約時，亦同。</p> <p>(4) 再利用機構應於產品出廠後十日內，以書面方式將該批再利用產品出廠時間、該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、數量及運達地點，提報該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、當地及其產品使用地點之環保主管機關及本部。</p>

結語

綜上，針對電弧爐渣之工程材料適用性與擬修訂之再利用管理規定來看，未來還原渣將以作為水泥原料使用為主，且以目前國內水泥廠產能評估，將能有效的去化每年還原渣的產出，且可降低水泥製造過程對天然礦石的開採，有助國內環境生態的永續維持；

氧化渣則因具比重大、質地硬、耐磨性高等特質，於鋪面材料使用，將助於減輕重車對路面造成損害，另搭配包括低強度控制性混凝土與基底層粒料使用，將能達去化目標。對此，再搭配相關再利用管理辦法的精進，確保其流向後，可有效避免誤用至結構混凝土中，應能消除各界對其再利用之疑慮。





從 0206 地震省思 地質改良

張東源／中聯資源股份有限公司營業處經理

張家豪／中聯資源股份有限公司品管處經理

蔡宗和／中聯資源股份有限公司品管處工程師

2016年2月6日凌晨3時57分發生芮氏規模6.4的強震，震央雖位於高雄市美濃區，卻造成台南地區多處房屋倒塌與嚴重傷亡。中央氣象局表示，從地震發生到災害出現，影響有3階段，一是震源所在地斷層破裂後震波傳遞的方向，其次是路徑，最後是「場址效應」，也就是災害所在地的地質特性較鬆軟，造成原本應該是震央附近，震度會最大、搖晃最久，但卻是台南搖得比震央附近還嚴重，搖晃長達8秒之久，使得台南地區成重災區，參見圖1。

地震發生後，土壤液化引發各界熱議，關於土壤液化的防治技術之提昇與推廣，不僅是重要且迫切的課題，也是對居住於土壤液化區之居民最有實質的幫助。本文將針對土壤液化的成因與防治技術、水泥系處理劑用於土壤液化的防治工法與案例等進行說明。

土壤液化的成因

台灣西部濱海地區的沉積地層，主要為細砂或粉砂類土壤，若基礎位於此類地層，則有壓縮性大，抗剪強度低，或有發生土壤液化之潛能。液化防治在於提高土壤對液化抵抗之能力，藉由增強土壤之抗液化強度、改善土壤對變形之抵抗能力或促進土壤內孔隙水壓之消散方法來達成，參見圖2。



圖 1 0206 美濃大地震造成台南地區房屋倒塌

地質改良工法用於土壤液化的防治技術

有液化潛能的土層，可以透過液化處置措施來提升土層的抗液化能力，但要選用那種方式，必須考量其液化深度範圍、建築物構造或特殊性、地質條件及施工便易性與經濟性。常見的液化防治方法如：樁基礎、地下室或地下永久擋土結構加深、土壤夯實改

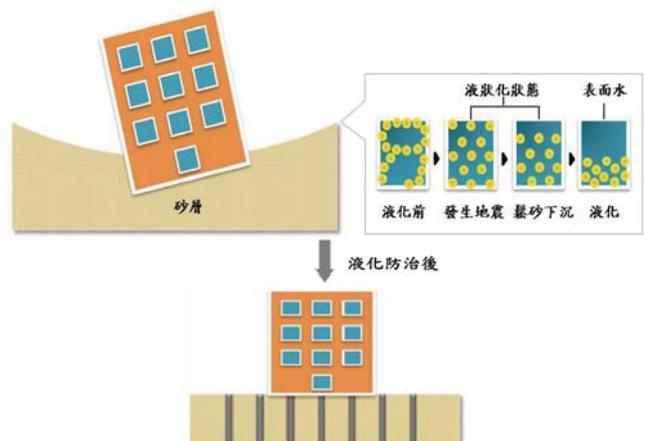


圖 2 液化發生過程變化與液化防治效益之示意圖 [1,2]

良、增加地中壁或限制土體位移的鋼板、開挖置換土壤及排水工法等 [2]。

水泥系處理劑應用在液化防治方面，常見的地質改良工法如前述之灌漿工法與拌合工法之地質改良技術。不論進行攪拌樁、高壓噴射樁、深層攪拌樁等地質改良工程時，皆可配合使用水泥系處理劑，強化地盤與防止構造物沉陷方面，可獲得更好的成效。

應用於土壤液化防治地質改良工法分類

地質改良工法應用於土壤液化防治係利用水泥系處理劑與化學藥劑等材料，以填充土壤間孔隙或與土壤混合成一體，藉化學作用而改良地質。而膠結改良技術之型態，依藥劑與土層之結合方式，主要有深層攪拌處理工法、藥液注入工法及事前混合處理工法等三種方式，詳細說明如下所述。

深層攪拌處理工法

利用特殊之機械於軟弱地層中攪拌土壤之同時注入水泥系處理劑使與土壤混合形成固結體之工法，深層攪拌工法在軟弱地層之處理上是極為有效之工法。格子狀改良工法為最常使用方法之一，參見圖 3。

藥液注入工法

近年來普遍採用地質改良工法，所採用之藥液及其配比、注入率等均需依照地質鑽探資料決定，目的在於將藥液緩慢灌注並且滲透進入土壤孔隙間，以填充土層間之孔隙，以降低滲透係數防止沉陷與隆起等變形，使土層更加穩定。

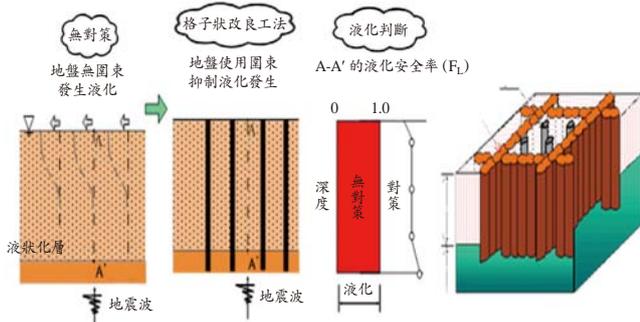


圖 3 深層攪拌處理工法示意圖 [3]

事前混合處理工法

將工區軟弱土壤添加水泥系處理劑，混和攪拌後成具高強度的新材料，並運送新材料至工區回填於地質。此添加水泥系處理劑於軟弱地質的目的在於改良其力學性質、增加降低滲透率及提高承載能力。

水泥系處理劑用於防止土壤液化之成效

添加水泥系處理劑後，做反覆應力載重分析及直接剪力試驗，結果表現甚佳，添加水泥系處理劑後，的確可以減少其位移量、減低液化發生的潛能，另外從鑽心試體的破壞型式判斷，添加卜特蘭水泥試體是脆性破壞，強度驟降，而添加水泥系處理劑的試體在達到最大荷重後，則強度無瞬間驟降狀況，顯示添加水泥系處理劑確實對防止土壤液化有優異表現，參見圖 4。

水泥系處理劑之高細度對灌漿效果與耐久性影響

水泥系處理劑主要是由高細度爐石粉等礦物摻料及其他助劑所調配而成，因其特殊的顆粒特性與均勻的粒徑分佈，有益延長可工作時間及灌漿液之流動範圍，與細顆粒土壤拌合之均勻性或灌漿工程土粒空隙之滲透性，皆有優異的表現。

其利用特殊化學配方與水混合硬化後即產生新的結晶體，此結晶體可提高整體的緻密性，同時具有抗硫酸鹽侵蝕、抗海水侵蝕、低氯離子滲透等優良之耐

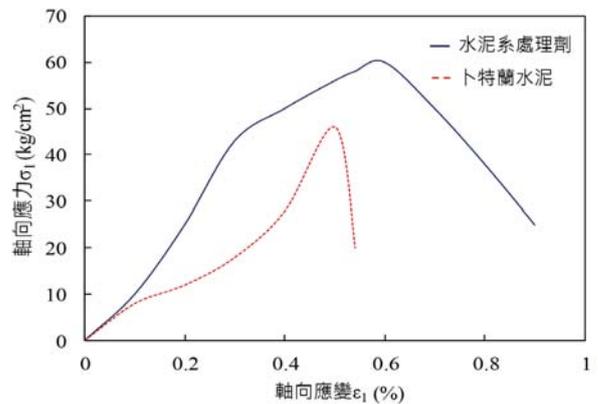


圖 4 齡期 30 天之鑽心試體應力應變關係圖

久性能表現，參見表 1 及圖 5 ~ 6 所示，適用於鄰近海域地區地下灌漿工程，而液化防治之灌漿處理多為永久防治工法或鄰近海岸，前述相關性能特點甚為重要。

土壤液化潛能區之防治工法施工案例

深層混合攪拌工法^[4]

高層大樓地盤改良施工概要

大阪港由於嚴重之土壤液化及土壤永久變形，當在鄰近岸壁進行高層大樓建設工程時，為降低因地震帶來的災害如液化，於開挖前以水泥系處理劑配合深層混合攪拌工法施作格子狀改良，以強化軟弱地盤。

設計、施工與管理

圖 7 之 Oriental Hotel 基地地盤在 GL-12 m ~ GL-13 m 處為軟弱沖積層，地下水位 GL-1.5 m。其為地上 14 層，高 60 m，建築面積 10,789 m² 之船型建築物，其主構造為鋼骨結構。深層混合攪拌工法施工後，進行強度試驗，改良體的抗壓強度為 5.5 MPa。改良範圍為 134.4 m × 59.2 m。

液化防治效益

Oriental Hotel 僅建物表面有發生破損現象，但碼頭沿岸之堤岸、擋土牆及周圍地盤大部分都破壞。採用格子狀改良工法的地盤並未有地表沉陷現象，未使用格子狀改良工法者則發生地表面變形，噴砂等現象。

表 1 不同水質拌合養生對抗壓強度之影響^[3]

土壤種類	配比(%)		地質改良材		拌合用水		養護用水		抗壓強度(kgf/cm ²)	
	*土漿	地質改良材	卜特蘭水泥	水泥系處理劑	淡水	海水	淡水	海水	7天	28天
砂土	100	10		✓		✓		✓	14.0	18.6
	100	10	✓			✓		✓	4.2	**6.9
	100	10		✓	✓		✓		15.2	25.6
	100	10	✓		✓		✓		2.6	4.9
	100	10		✓	✓		✓		13.8	20.0
	100	10	✓		✓		✓		3.4	**6.1
粘土	100	10		✓	✓		✓		22.6	36.1
	100	10	✓		✓		✓		5.9	9.6

備註 *土漿-砂土:水=2:1(重量比)、粘土:水=2:1(重量比)、** 試體尚未抗壓前表面已有裂紋。



10%卜特蘭水泥+100%土壤
 硬化3天後浸泡海水養生6個月



10%水泥系處理劑+100%土壤
 硬化3天後浸泡海水養生6個月

圖 5 卜特蘭水泥與水泥系處理劑的試體之抗硫酸鹽(海水)性能比較^[4]

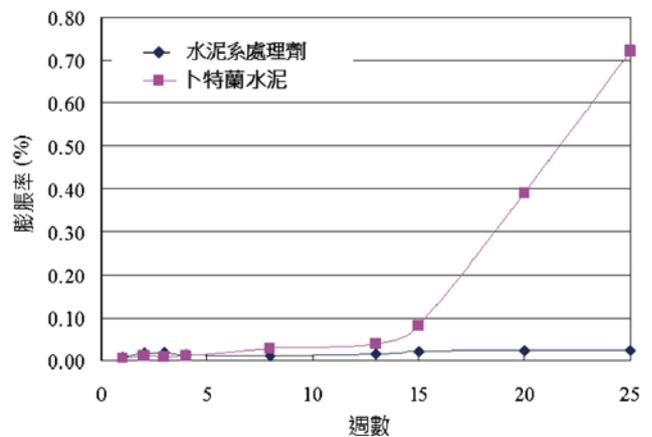


圖 6 抗硫酸鹽膨脹試驗 (ASTM C1012 方法)^[3]

植入式基樁工法^[5]

高雄港 44 號碼頭之工程概要

現場施作工址形狀為長 78.55 m、寬 45.77 m 的矩形，土質為水力抽砂回填的均勻砂土，水力回填為台灣最被廣泛採用的填土造地方法之一。

設計與施工

設計與施工：原地質已有打設直徑 45 m、長度 25 m 的 PC 樁改良，預定在工址處建造卜特蘭水泥儲運

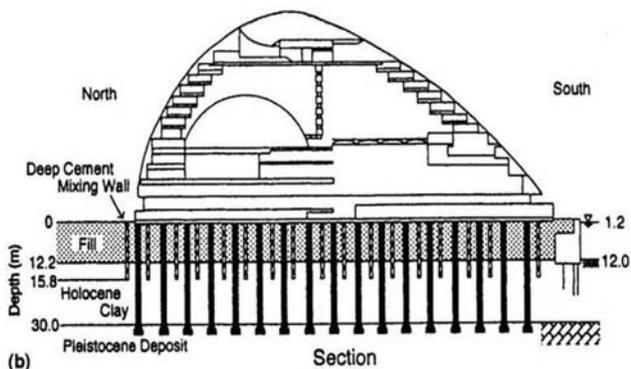


圖 7 Oriental Hotel 大樓全景與設計圖



圖 8 海岸旁地鐵工程進行高壓噴射灌漿工法全景

站，先將原穀倉拆除，在 PC 樁間隔處施作直徑 1 m、長度 25 m 的場鑄植式基樁，共 354 支。

成效確認

於反覆載重試驗下，添加水泥系處理劑所製成之試體，僅在浸水一天的情形下，側向應變平均減少 50% 以上，顯示添加水泥系處理劑後，的確可減少其位移量，減少液化發生的潛能。

高壓噴射灌漿改良工法

高雄地鐵工程（愛河段／高雄車站）之高壓噴射灌漿改良工法，於 102.12 ~ 103.05 使用 2,843 MT 之水泥系處理劑，如圖 8 所示。

結論

1. 水泥系處理劑的硬固强度高、低滲透性、止水效果甚

佳，其抗硫酸鹽侵蝕、抗海水侵蝕、抗鹼侵蝕作用及氯離子滲透低等耐久性表現甚佳，各項性能皆優於一般卜特蘭水泥，適合用於鄰近海域地區之地下灌漿工程。

2. 綜合所述，目前國內外常見液化防治之地質改良技術，不論進行深層混合攪拌、植式基樁、高壓噴射樁及事前混合處理等地質改良工法，皆可使用水泥系處理劑作為地質改良材料。

參考文獻

1. 李維峰、柯武德（2009），「HSC301 地質改良劑技術手冊改版更新」，台灣科技大學研發產字 2921 號研究報告，第 71-83 頁。
2. 東京都都市整備局（2013），「液狀化による建物被害に備えるための手引」，第 1-52 頁。
3. 中聯資源（股）公司（2010），「HSC301 處理劑」，使用手冊。
4. 陳振川、李維峰、潘昌林、黃亦敏（2009），「土壤液化改良應用研究」，財團法人台灣營建研究院案號 TRC-89002 研究報告，第 1-41 頁。



混凝土塗裝介紹及塗膜缺陷分析

吳忠民／柏林股份有限公司經理

陳哲生／柏林股份有限公司總經理

於混凝土結構表面再進行油漆塗裝，在現今是非常普遍且常見的工法。混凝土塗裝後不但能改變其單調外觀，創造出更高的視覺效果，更能達到保護混凝土表面，不受外界化學物質侵蝕進而延長結構體的使用壽命，兼具美觀與防護功能。因混凝土面為一具多孔性材質，其抗張強度低，容易發生表面龜裂現象，而使得混凝土塗裝比起鋼鐵塗裝，更容易產生起泡、針孔、龜裂及剝離等塗膜缺陷。故不論是塗裝承包商、塗料製造商及任何關心混凝土塗裝品質者有必要瞭解並學習如何處理塗裝缺陷，以避免塗膜缺陷重複發生。雖然今天所有塗料製造商幾乎都有ISO 9000品質管理系統制度，及透過相關混凝土塗裝規範等文件制定，來避免混凝土防護塗裝的缺陷一再發生，但有時候相同錯誤卻還是重複出現。本文，主要針對在混凝土塗裝上較常見塗膜缺陷類型介紹及建議改善措施，避免相同錯誤重複產生。

混凝土特性及型態介紹

混凝土是由水泥、砂子與碎石的混合物。當加入一定量水分的時候，混凝土中水泥便會「水合」：形成微觀不透明的晶格結構，從而包裹和結合骨料硬化成為整體結構，產生堅硬的強度。人類使用水泥並不是近代的事，遠在古埃及和希臘時代，人們就知道用水泥來黏合石材和磚塊，建造各種建築物。只是古代所用的水泥成分主要是石灰泥，也就是生石灰（CaO）和砂子的混合物。其強度的產生，並非靠最初加入水時石灰的消化作用（ $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 \downarrow$ ）而來，而是後來由於長期接觸空氣，吸收其中的二氧化碳而產生碳酸鈣（ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ）的緣故，這與目前普遍使用的波特蘭水泥（portland cement）：其主要成份為矽酸鹽混合物，經水合作用（ $\text{CaSiO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{Ca(OH)}_2 + \text{CaSiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）而硬化並不相同。現代較常用的波特蘭水泥（portland cement），一般均認為是由一位英國里芝市（Leeds）的建築師 Joseph Aspdin 所發明（他在 1824 年申請獲得

專利）。其製造方法是以一定比例的石灰石（碳酸鈣）和黏土（矽酸鋁），混合置於窯中燒製而成。此法至今仍無重大改變。在燒製時，原料熔成塊狀，磨成細粉後即成水泥，其中所含的矽酸鈣，就是促使水泥具有「水硬性」（hydraulic character）的主因。波特蘭水泥的首次大規模應用，是在 1825 至 1834 年的泰晤士河隧道建築工程。

混凝土為無機、多孔性材料，乾燥時其孔洞體積可達 10 ~ 25%，其硬化或水合過程可持續數年，但約在 28 天可達初步物理特性。混凝土結構擁有易施作、可提供高厚度、緻密性之防水遮蔽層，達一定厚度時其結構可阻礙水通過混凝土；另一方面，它的多孔性可使水分蒸發，使其從高濕度回復至低濕度。在飽和水中，其 pH 值達 12 ~ 13，屬高鹼性材料；而一般鋼鐵在 pH 值達 11.5 時即呈現鈍化而達到防蝕作用。混凝土抗壓強度相當高，可達 2,000 ~ 8,000 psi，但相對抗張強度相當低，通常僅為抗壓強度 1/10 ~ 1/13，故易產生龜裂現象。因混凝土的抗拉強度較低，任何顯著的拉彎作用都會使其微觀晶格結構開裂和分離，從而導

致結構的破壞。而絕大多數結構構件內部都有「受拉應力作用」的需求，故未加鋼筋的混凝土極少被單獨使用於工程。一般工程常見混凝土型態包括：

1. 鋼筋混凝土（在混凝土中安置鋼筋，主要用於一般房屋建築物）。
2. 鋼骨混凝土（以鋼材替代鋼筋，增強抵抗外力的韌性，用於高樓建築物）。
3. 預力混凝土（使用預力鋼鍵，主要用於長跨橋樑，部分房屋建築也有使用）。
4. 輕質混凝土（使用較輕的人造骨材，用在隔熱、隔音，可降構材載重）。
5. 重質混凝土（用於防護核子輻射，常見於醫院及核能電廠）。
6. 預鑄混凝土（先在工廠完成灌鑄工作，再運至工地進行安裝，應用範圍很廣）。
7. 預拌混凝土（混凝土在設備完善的工廠中先拌好，再運送至工地使用，多為一般工程所使用）
8. 滾壓混凝土（用於大壩及道路施工）。
9. 噴射混凝土（用於襯工、保護、及維修工程）。

其中又以鋼筋混凝土為應用最多的一種結構形式。目前中國大陸是世界上使用鋼筋混凝土結構最多的地區。

鋼筋混凝土失效形式

因混凝土為反應性材料，易與酸性化學物質及純水反應進而分解，故混凝土在與不同化學物質與環境變化下會產生品質下降現象。常見鋼筋混凝土失效模式如下：

碳化作用

混凝土孔隙中含的水分通常是鹼性，混凝土在飽和水中其 pH 值為 12 ~ 13 屬高鹼性。根據 pourbaix 圖，鋼筋在 pH 值大於 9.5 時是惰性的，不會發生鏽蝕。但因空氣中的二氧化碳會與水泥中的鹼反應，使得混凝土碳酸化而導致孔隙水變酸，使 pH 值降低至 9.5 以下，造成混凝土中鋼筋失去惰性而產生鏽蝕、體積膨脹，進而使得混凝土產生裂縫。從構件製成之時起，二氧化碳便會碳化構件表面的混凝土，並且不斷加深。如果構件發生開裂，空氣中的二氧化碳將會更容易進入混凝土的內部。通常在結構設計的過程中，會根據建築規範確定

最小鋼筋保護層厚度，如果混凝土的碳化削弱了這一數值，便可能會導致因鋼筋鏽蝕造成的結構破壞（如圖 1）。測試構件表面的碳化程度的方法是在其表面鑽一個孔，並滴以酚酞，碳化部分便會變成粉色，通過觀察變色部分便可得知碳化層的深度（如圖 2）。

氯化腐蝕

氯化物，包括氯化鈉，會對混凝土中的鋼筋腐蝕。其主要氯離子來源為海風侵蝕、混料及除雪劑。因此，拌合混凝土時只允許使用清水且需注意砂子及骨材含氯量。同樣，在冰封路面使用鹽來為混凝土路面除冰是不適當。

硫酸鹽腐蝕

硫酸鹽會與矽酸鹽水泥反應生成具有膨脹性的副產品，例如：礬石（Ettringite）或碳硫矽鈣（Thaumasitein）從而導致混凝土的早期失效。而硫酸鹽主要來源為地下水、工業污染、汽機車廢氣及自然界中細菌分解。



圖 1 鋼筋腐蝕而造成混凝土層剝落



圖 2 混凝土層碳化部分經酚酞滴定成粉色

鹼骨料反應

鹼骨料反應或鹼矽反應，(Alkali Aggregate Reaction, 簡稱 AAR, 或 Alkali Silica Reaction, 簡稱 ASR) 是指當水泥的鹼性過強時, 骨料中的活性矽成分 (SiO₂) 與鹼發生反應生成矽酸鹽, 引起混凝土的不均勻膨脹, 導致開裂破壞。它的發生條件為、(1) 骨料中含有相關活性成分、(2) 環境中有足夠的鹼性、(3) 混凝土中有足夠的濕度 75% RH。

混凝土塗裝

為避免混凝土因不利環境接觸而產生早期失效現象, 雖然有其他具有特殊用途—如快乾性、放熱低及抗硫性的水泥, 也逐漸發展出來了, 但總結仍以油漆塗裝方式最為經濟、便利方式之一。塗裝不但能強化混凝土防水功能, 透過不同塗裝系統的選擇, 更能達到抗酸鹼、防腐蝕及美觀功能。為確保混凝土塗裝能正常發揮其功能並達到預期的保護壽命, 正確的塗裝流程及混凝土素地狀況掌握便顯得相當重要。尤其鋼筋混凝土皆為現場施工灌漿, 施工品質好壞相對影響後續塗裝的品質及難易度。本文將就混凝土塗裝流程及常見混凝土塗裝缺陷及預防方法介紹如下。

混凝土素地檢查

混凝土品質不似鋼鐵穩定, 如混凝土混合比例不當及施工品質低落, 將會造成後續塗裝容易失敗。故塗裝前須先確認混凝土品質是否符合規定, 不合格混凝土面, 未經改善前即施作塗裝, 將造成塗膜缺陷提早出現。表 1 為混凝土塗裝前須確認素地處理狀況, 待一切確認後方能進行塗裝。另外塗裝前混凝土素材平整度即已決定, 無法憑藉塗料塗裝方式改變其原有平整性。

表 1 混凝土素地檢查

項次	檢查項目
1	混凝土養生硬化期是否已足夠 (一般需 28 天以上)
2	混凝土表面含水量是否符合要求
3	結構體是否有滲漏現象
4	工區內模板、雜物是否已清除完畢
5	混凝土表面鐵線、鐵釘、鋼筋及木屑等突出物是否已完全清除並補平
6	混凝土表面釘孔、蜂窩、蟲洞是否已完全填補平整
7	混凝土突出部份腳印及泥渣是否已剷除並修補平整
8	模板接縫處高低差是否已完全修補平順
9	是否有砂石與水泥分離, 造成混凝土鬆散強度低落之現象
10	混凝土表面泥漿層是否有太厚之現象
11	混凝土表面平整度在 3 公尺範圍內是否高低差 > 3 mm

混凝土表面處理

此為影響後續混凝土塗裝品質最重要階段。混凝土表面處理可參考 NACE No.6/SSPC-SP13 Joint Surface Preparation Standard. 其表面處理方法有下列幾種：

1. 表面清潔：依 ASTM D4258 描述, 可藉由真空、噴射空氣及水清潔, 除去混凝土表面髒物、灰塵及鬆動物質。另外, 使用清潔劑和蒸汽則為除去混凝土表面的油脂。
2. 機械表面處理法：
 - (1) 噴砂法：依 ASTM D4259 描述, 可使用乾式噴砂 (Dry abrasive blasting)、溼式噴砂 (Wet abrasive blasting)、真空噴砂 (Vacuum-assisted blasting) 及離心式鋼珠噴砂 (Centrifugal shot blasting) 等除去污染物、浮漿 (laitance) 及強度較弱的混凝土層, 並使混凝土表面產生適當的粗糙度; 但使用此工法需避免過度噴砂, 造成石礫外露, 而影響後續塗膜平整性。原則上以 40 ~ 60# 砂紙粗糙度較為合適。
 - (2) 水刀：依 NACE No.5/SSPC-SP 12、ASTM D4259, 可使用高壓水或水刀 (Waterjetting) 方式來除去污染物、浮漿 (laitance) 及強度較弱的混凝土層, 並使混凝土表面產生適當粗糙度。
 - (3) 敲擊法：採用敲擊或鏟除方式可除去舊塗膜、浮漿及強度較弱的混凝土層, 但此法可能破壞混凝土表面或造成微龜裂, 需依規定程序執行。處理完畢後亦可依 ASTM D4541 執行抗拉試驗, 以確認其附著強度。
 - (4) 動力工具：如採用動力工具, 像研磨機或鋼絲刷亦可除去上述混凝土表面物質, 但效率較差, 可能過度研磨且無法產生適當粗糙度。
3. 化學表面處理法：
 - (1) 酸洗法：依 ASTM D4260 及 NACE Standard RP0892, 針對水平混凝土面, 酸洗 (Acid etching) 可除去浮漿、強度較弱的混凝土層及提供表面粗糙度。但此法須完全除取反應物質並檢測 pH 值, 確保酸液已完全中和。但需注意, 採用此法時不可使用鹽酸, 以避免腐蝕鋼筋; 此法並不適用在垂直混凝土面及有填縫劑之混凝土面。
 - (2) 燃燒法：使用火或其他熱源將混凝土表面有機物

質去除。去除範圍依所使用設備效率、火燄大小及與混凝土面距離有關。此法會降低混凝土強度或破壞混凝土，須進一步執行拉拔強度試驗。

4. 表面清潔度：

表面處理後之混凝土面須牢固並產生適當粗糙度且亦需再依 ASTM D4258 方法進行混凝土表面清潔。

塗裝前環境檢測

混凝土為多孔性材質，其含水分會影響後續塗裝品質，故塗裝前須確認其混凝土含水份是否達到塗裝前之規定。另外塗裝前可允許環境條件則依塗料製造商或供應商規定執行。一般業界混凝土塗裝前環境檢測條件如下：

1. 表面含水分：如混凝土含水率高於可塗裝之規定限制，須將混凝土乾燥至可塗裝範圍。目前混凝土含水份檢測可採用 ASTM D4263 塑膠薄膜測試法，將約 45 公分平方 0.1 mm 厚之塑膠膜，以膠帶密封於待測混凝土面，經 16 小時以後觀察塑膠膜下是否有水珠凝結，如有，則表示含水分過高，不宜塗裝。另外亦可採用水分測定計直接量測，此儀器仍藉由超音波原理進行檢測。一般混凝土可塗裝狀況下之含水率約為 5 ~ 15%；此數值會因依使用不同的塗料而異，8% 較為常見的標準。
2. 除原油漆製造商的規定外，氣溫在 10°C 以下、表面溫度在露點 3°C 以下，或環境相對濕度超出 85% 以上時，不得進行塗裝工作。
3. 風力足以使塵垢、砂土等沾於漆膜時，除非另有方法阻止此種現象發生，否則不得進行油漆工作。
4. 潮濕天候時，不得將油漆塗覆於無遮蔽之表面，亦不得塗於有水或潮濕之表面。

塗裝作業

混凝土素地及表面處理完成後，經環境檢測合格則可進行塗裝工作。一般混凝土塗裝系統可分為薄塗型含溶劑型及水性塗料（總乾膜厚約在 500 μm 以下），厚塗型，無溶劑塗料（總乾膜厚約在 5 mm 以下）及 FRP 玻璃強化纖維內襯。而塗裝材料，依系統特性約可分為底漆、中塗漆及面漆。其特性說明如下：

1. 底漆：須具備高滲透性及高附著力，可使混凝土表面強度增加、上塗塗料與混凝土相容性更好且能穩

固附著於混凝土面上，故此層一般設計膜厚較薄並不建議一次厚塗。

2. 補土：需具備高固成分、可厚批、易研磨、乾燥快、附著力優等優點。其為填補混凝土中孔洞或毛細孔，使塗膜更為平整美觀。補土與塗料相容性要好，以方便上漆。
3. 中塗漆：宜具較高顏料分（高顏料體積濃度值）、阻絕性，及體固分，使其能一次厚塗，增加塗膜厚度。在一般混凝土塗裝設計中，有時中塗漆與面漆為同一材料。
4. 面漆：樹脂含量宜高（低顏料體積濃度值），使塗膜更為緻密，抗化學藥品性更佳。塗裝作業中，須隨時注意施工環境條件變化，及每道漆上塗前底塗表面狀況及塗裝間隔。塗裝間隔過短或太長，都會影響塗膜層間附著性。

混凝土塗裝塗膜缺陷分析

混凝土塗裝不似鋼鐵面塗裝，容易受到底材狀況影響而形成塗膜缺陷。且混凝土多孔性特質及現場灌漿施工所造成之缺陷也與日後塗裝成敗息息相關。故瞭解混凝土塗裝經常產生的缺陷型態及如何避免，是確保塗裝品質非常重要一環。現將塗裝缺陷型態說明如下：

孔洞 (Holes)

在塗裝過程中所發生之塗膜缺陷。如果塗裝過程中沒改善這些在塗膜中的孔洞，將因混凝土品質降低而使塗膜失敗。一般孔洞可分為三種類型並說明如下：

1. 氣孔 (Blow Holes)：在塗膜中產生較小、形狀似火山口孔洞（圖 3）。其為混凝土中氣體或水蒸氣自然



圖 3 混凝土塗裝缺陷—氣孔

逸出所造成。當混凝土板塊溫度增加時，便會產生氣體逸出現象；通常在戶外施工此一現象會較為明顯，尤其是在陽光直接照射的情況下。要解決此一問題，可在當混凝土溫度達到最高時（一般約在午後）施作至少一道底漆或封孔漆（sealer）。在上塗第二道漆前，須檢查第一道漆並處理所有氣孔。

2. 蟲洞 (Bug Hole)：如圖 4 所示，在 SSPC-SP 13/NACE No.6 中，定義蟲洞為規則或不規則洞穴，通常它的直徑不超過 15 mm。其形成原因是混凝土澆注時，搗實不足或黏度太高，造成空氣誘導至表面而形成。在有蟲洞表面塗裝，須先將這些孔洞進行填補。填補前要先將蟲洞表面破壞，以避免產生水滴型孔洞，而使空氣無法順利逸出，造成補土因空氣阻隔而鼓起，而法填滿孔洞。有時候，其他塗膜孔洞是在橋樑狀蟲洞，用較薄混凝土修補後產生。經過一段時間，薄混凝土層產生缺陷，然後塗膜亦隨之發生缺陷。為避免上述問題發生，應確保所有蟲洞皆已處理並填入與塗裝系統相容之補土材料。



圖 4 混凝土缺陷—蟲洞

3. 針孔 (Pinhole)：這些孔洞（圖 5）微小到幾乎很難用肉眼觀察。其主要是由塗料施工性及施工方式所造成。多道塗裝系統所產生針孔，較不像單道塗裝，其針孔由底材直接通至外界，污染物及濕氣容易進入底材。通常小數量針孔並不會造成塗膜失敗，除非表面曝露於凍／融循環或腐蝕環境。針孔測定可於塗裝後藉由針孔測定器測得。但於混凝土塗裝作業中，如要進行針孔測試需採用導電型底漆。發現針孔後則需進行補修程序。



圖 5 混凝土塗裝缺陷—針孔

塗膜龜裂 (Cracks)

塗膜龜裂是塗膜邊緣鼓起 (edge lifting)、碎裂和剝離的開始點，尤其當塗膜處於熱應力、水、凍／融循環和化學物質環境。當塗裝施工後，混凝土產生龜裂則塗膜亦會隨之發生缺陷。另一方面，如果塗裝前混凝土接縫處已產生龜裂，則塗裝後亦容易發生塗膜龜裂現象。在許多案例中，龜裂現象有時候在美觀上是可以被接受的，也就是說，除非塗層有進一步破壞發生，否則是不會被視為一種缺陷。塗膜龜裂現象約可分類為 5 種狀況，分別敘述如下。

1. 反射性龜裂 (Reflective Cracks)：當塗裝完成後，因混凝土發生後續龜裂，而造成塗膜產生反射性龜裂（圖 6）。一般發生此一現象，是混凝土硬化過程中收縮造成的（通常約 44% 收縮龜裂發生在前 28 天，而 91% 則在 1 年內發生）。大部分新建結構工程，工期皆非常緊迫，總是無法在 28 天後才塗裝，也就是說塗裝時混凝土並未完全硬化，所以混凝土及塗膜龜裂風險便會增加。為避免塗膜因混凝土收縮現象發生龜裂，要求較低混凝土水灰比及設計適當的混凝土控制縫 (control joints) 可將收縮龜裂可能性降至最低。



圖 6 混凝土塗裝缺陷—反射龜裂

2. 動態龜裂 (Dynamic Cracks)：任何會移動的龜裂 (圖 7) 皆屬動態龜裂。室外環境比室內環境更容易產生移動性龜裂，此乃因裂縫的移動、擴張、收縮與環境溫度變化有關，而室內溫度變化通常較室外少。動態龜裂可以是收縮 (非結構) 龜裂或結構性龜裂。兩者之差異是收縮龜裂通常在同一平面上往兩個方向移動，而結構龜裂則是多個方向及平面移動。在動態龜裂的混凝土面上施作塗裝，將造成塗膜缺陷產生。為避免因動態龜裂所伴隨的塗膜缺陷，應在塗裝前將此些結構缺陷找出並加以修補。混凝土結構龜裂的補修無法由塗裝包商自行補修，應由土木工程師確認造成結構龜裂的原因及提出適當的修補工法，而這些動作須在塗裝執行前完成。混凝土動態龜裂處理可藉由加強網補強 (Bridge technique)、灌注樹脂接著劑或切割裂縫填入彈性填縫劑等工法加以補修。

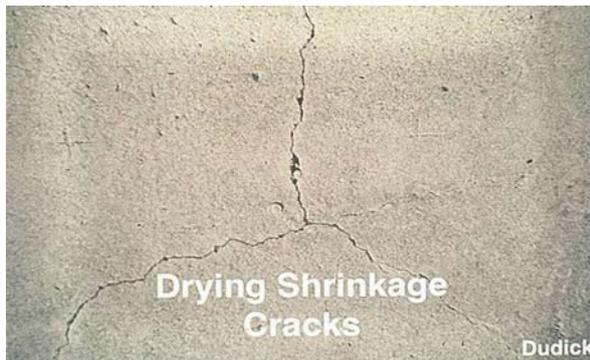


圖 7 混凝土缺陷—乾縮龜裂

3. 冷接縫龜裂 (Cold Joints Cracks)：此一因混凝土澆注時間差所產生接縫龜裂 (圖 8)，通常與收縮龜裂類似。此龜裂發生在兩次混凝土澆注所產生收縮應力之弱點處。當塗裝施作於冷接縫混凝土面時，此缺陷非常有可能在接縫處因冷接縫收縮龜裂而造成塗膜隨之龜裂，此一現象與反射性龜裂非常類似。避免冷接縫所造成塗膜龜裂其處理方式與動態龜裂同。

4. 控制縫塗膜龜裂 (Coating Cracks in Control Joints)：控制縫的目的，是在避免因收縮應力所產生的龜裂 (圖 9)，將混凝土面產生任意龜裂現象的可能性降至最低。當塗裝施作於控制縫上，控制縫的收縮膨脹活動將造成大部分塗膜龜裂。另外，施工應避免在控制縫中灌注樹脂砂漿或其它硬質材料否則將使控制縫功能失效。如何在控制縫上避免塗膜缺陷，可藉由適當的填縫劑填充控制縫。如果控制縫不能



圖 8 混凝土缺陷—冷接縫龜裂



圖 9 混凝土缺陷—控制縫龜裂

裸露，而加以塗膜覆蓋的設計是必要的話，則必須小心施工。控制縫龜裂其模式與動態龜裂類似，在 SSPC-TU2/NACE 6G197 文獻中，有其圖解說明如何處理此兩種接縫龜裂的不同工法。

失去附著力 (Disbondment)

塗膜失去附著力一般是不被允許。無論如何，塗料最基本要求是：能附著於底材上。雖然許多塗料能容許小部分塗膜失去附著強度而仍能保有原塗膜功能，但對於任何種類的塗料，塗膜產生龜裂或剝離總是不被接受。下列幾種現象是造成塗膜在混凝土面附著力降低的肇因：

1. 混凝土表面強度不佳：對大部分塗裝來說，混凝土表面之抗張強度是非常重要的，原則上混凝土面抗張強度需達 200 psi 才能符合塗裝附著強度要求。是否因混凝土抗張強度不足而造成塗膜附著力不佳的現象，很容易從剝離的塗膜底面是否仍黏著一層薄薄混凝土層而得知。而這層薄薄混凝土層有可能是未完全除去的水泥浮漿或鬆散混凝土層。為避免塗膜附著力因此現象降低，混凝土面需有適當的處理及硬化，所有浮漿必須全部去除並在塗裝前進行抗

張強度試驗（依 ASTM D4541 或 ACI 503R），另外亦可參考 SSPC-SP13/NACE 6 作為混凝土塗裝前表面處理指導，而混凝土可接受的抗張強度值應向塗料製造商諮詢。

2. 混凝土面粗糙度不足：大部分塗裝系統需要底材表面的粗糙度來提供足夠的機械錨定機制。混凝土面所需粗糙度是依塗料的種類及厚度不同而異。如果剝離塗層底面未黏著任何混凝土層且塗層底面呈現平滑狀，則代表可能是混凝土面粗糙度不足，需進一步向塗料製造商洽詢。避免此一類型失敗，可藉由規範設定、檢查及加強依塗料製造商所建議表面粗糙度來達到改善目的。在由國際混凝土修補協會（International Concrete Repair Institute）所出版技術指導規範“Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings and Polymer Overlays”有 9 種不同粗糙度目視標準，而 SSPC-SP13/NACE 6 同樣提供表面粗糙度指導。

3. 混凝土表面污物：依污染物種類不同，塗膜會附著於污染物（如：灰塵）上或從污染物上分離（如：油脂或矽化物）而非混凝土面。有些污染物甚至會影響到塗膜硬化而造成塗層剝落，此一狀況發生，可由塗層下帶有黏性的現象獲得證實。避免此一剝離現象產生，可藉由規範設定、檢查及依塗料製造商所建議或相關業界規範文件，確實除去表面污物。

4. 熱應力（Thermal Stress）：極端溫度（太冷或太熱）環境、溫度突然變化或冷熱循環等現象會在塗膜產生足夠熱應力而造成塗膜龜裂或剝離。一般在塗料選用上，如果未考量所處的環境熱應力影響，則塗膜缺陷便會發生。產生熱應力的典型環境例子，如曝露在極端溫度的戶外混凝土面、使用熱水或水蒸氣的混凝土面清潔方式和周圍有極端冷熱設備（如：烤箱或冰箱）的環境。為避免此一現象的塗膜失敗，可依塗料製造商建議，適用此環境的塗裝系統設計。

5. 起泡（Blisters）：塗膜起泡（圖 10），通常是因混凝土表面空氣進出或水蒸氣散發及過多水分所造成。當混凝土氣體逸出，而塗膜強度足以抵抗此一氣壓，則會立即產生氣泡（否則則會產生氣孔）。高膜厚塗層（厚度超過 2.5 mm）在施工過程中，混凝土氣體逸出，則塗層容易產生氣泡。如果起泡的大小



圖 10 混凝土塗裝缺陷—氣泡

是在可接受的範圍（依使用條件而定），這些起泡可能並不會影響塗膜的功能性。但一般而言，起泡仍是不被接受的。避免混凝土中氣體逸出所造成的起泡，可藉由規範設定、檢查或確認混凝土面是在冷卻的狀況下才施以塗裝，來達到預防效果。混凝土中濕氣的散發所造成的塗膜起泡，在塗裝施工後任何時間（從一個月至數年）皆可能發生。而所產生的氣泡內可能含有水分，也可能是乾的，完全依當時檢查時間點而定，甚至偶有會起泡發生後又消失狀況發生。造成起泡現象有多種理論，如滲透壓（Osmotic Pressure）、毛細現象（Capillary Action）、水蒸氣散發和化學反應。在這些理論中，塗膜下過多的水分是造成起泡主因，需要加以預防。為避免此一問題發生，塗裝施工前，如有必要可在所有混凝土面覆蓋濕氣阻絕層並檢測水蒸氣蒸發情況（依 ASTM F1869），確認混凝土面過多的水分已蒸發。當塗層封住混凝土表面，將阻礙水分蒸發而可能造成塗膜起泡。為避免因混凝土含水分過高的問題，可在塗裝前藉由覆蓋透明塑膠膜，進行含水分觀察（依 ASTM D4263）來判定是否可進行塗裝，而塗料製造商亦需提供一混凝土含水分可接受範圍值。

6. 接縫處附著力降低：對塗裝工程而言，對於如何處理塗層與控制縫界面是非常重要的階段。如果塗層邊緣沒有封住，則塗層容易被其他物質侵入而造成塗膜邊緣隆起和碎裂。為避免在接縫處的塗層被破壞，可選擇一合適材料（比原塗料更能承受在邊緣處所產生應力），封住塗層接縫處並選用一個好的填縫劑以封住控制縫，此填縫劑強度需要能緩衝接縫邊緣應力和具可撓性，如此才足以抵抗在室溫下接縫週期性移動。

7. 塗層終止端 (Termination Points) 附著強度降低：對於任何塗裝系統，混凝土接縫處及終止端，對其收邊處塗膜狀況都具有明顯影響。一般塗層終止端處，如排水溝渠設備之設備界面和混凝土樓板中間（僅一半樓板需塗裝），此一部分處理細節及訓練常被忽略，所以在塗層終止端常見塗膜缺陷，如塗膜邊緣鼓起和片狀碎裂。為避免此一問題發生，可藉由對混凝土邊緣切割成一適當角度而加以改善。在 SSPC TU2/NACE 6G197 文獻中有適當的處理程序說明。排水溝渠處，因經常性磨擦和液體侵蝕（如水和化學藥品）故常會發生塗層剝落及磨損現象。此一現象可藉由將原混凝土塗裝邊緣再加塗並封住四周來避免。工廠許多地方皆可見設備的界面，包括平底桶槽、支撐柱、幫浦、支撐托架、溝渠、管線支架和其他永久性設備會阻礙塗層在混凝土面形成一連續塗膜且因這些界面形狀複雜，所以常常缺乏適當處理，通常會造成塗膜邊緣鼓起。在一般正常設備操作條件下，塗膜失敗的風險若過高，建議利用填縫劑封住設備界面或在結構設計上儘量降低界面個數與複雜性。

層間剝離

此類型塗膜失敗非常容易觀察，因為單一層或多層塗膜仍然良好的附著在混凝土面上。失敗主要原因是塗層間的表面污染物、胺霧 (Amine Brush)；主要發生於環氧樹脂系統、底層塗膜硬化不足和底層與上層塗料相容性不佳所造成。

1. 層間污染物：通常是由灰塵、水分凝結或化學物質所造成。為避免污染物附著，可藉由堅持清潔有可能已污染塗層表面來達到目的。依塗裝系統不同，可能需要在塗前研磨下層已塗裝完成的表面來除去不純物。避免水分凝結，可藉由確認表面溫度高於露點溫度 5°F (3°C) 來達到。
2. 胺霧 (Amine Brush)：此問題通常發生在胺硬化環氧樹脂塗裝系統 (圖 11)。胺霧發生程度依塗料配方和施工環境而異 (如：相對濕度)。嚴重胺霧可由外觀看出塗膜發白或雲狀褪色現象，且其通常摸起來會有黏黏的感覺。有時候輕微胺霧發生並不易由外觀觀察到，故在塗裝下一道漆前表面須先清潔，清潔方法可藉由研磨或刮除方式執行。



圖 11 混凝土塗裝缺陷—胺霧

3. 底塗硬化不良：此一問題非常明顯，當底層材料產生層間附著失敗，通常是部分塗膜附著在上層漆表面下方和部分塗膜保留在混凝土面 (圖 12)。塗料製造商可透過底材塗膜樣品進行分析，來判定是否已適度硬化。為避免此一問題發生，可增加品質控制步驟來確認下一層塗料執行前是否已適度硬化。
4. 底塗材料不相容：此一問題發生通常是底塗材料 (如：補土) 與上塗材料由不同塗料廠商生產且相互間未進行相容性試驗。不相容的底塗材料對上層塗料可能鍵結較弱或上層塗料可能溶解底塗。通常不相容現象可從底塗層間附著失敗或是黏著的狀況產生於兩塗層間觀察出來。堅持使用同一塗料製造商所生產塗料或經塗料製造商對於上塗前驗證底塗相容性，可避免此一塗膜缺陷的發生。



圖 12 混凝土塗裝缺陷—剝離

舊塗膜重新上塗失敗

此塗膜失敗類型的主因是舊塗膜與混凝土間附著強度變弱，使得上塗塗料時產生較弱的層間附著強度和新舊塗膜相容性不佳所造成的。

1. 附著強度變弱：當上塗新塗層且在塗膜硬化過程中舊塗膜產生收縮，塗膜與混凝土附著變弱將造成層狀剝離。此現象可由已剝落的新塗膜底面中發現亦有舊塗膜附著觀察到。避免因舊有塗膜附著力不足而產生重塗後塗膜剝離缺陷，可藉由包括品質控制程序來測試舊塗膜附著強度（依 ASTM D4541 或 ACI 503R），通常其合格標準最少是 200 psi。為確保其附著性可選擇將舊塗膜除去以避免失敗。
2. 層間附著力不足：舊有塗層間附著力變弱是此塗膜缺陷主因。在舊有塗膜重新上塗在塗膜乾燥過程中會產生收縮應力，而如舊塗膜其強度不足以抵抗其收縮應力且兩塗層本身鍵結強度良好的話則層間附著失敗便會產生。
3. 新、舊塗膜不相容：舊塗膜有時會影響上塗塗料硬化或被上塗塗料溶解。在環氧樹脂舊塗膜其硬化劑在長時間下並未完全產生聚合反應，甚至可長達 10 ~ 15 年。而此未反應的硬化劑將阻礙乙烯酯塗料硬化，而苯乙烯系塗料將溶解乳膠系塗料。為避免不相容現象發生，在重新塗裝前可執行相容性試驗。

表面外觀缺陷

表面缺陷一般是外觀問題，大部分並不會影響塗料功能。一些共同表面缺陷描述如下：

1. 水漬：水潑濺在塗膜表面，塗層初期看起來是好的，然後轉為白點化。這是表面現象，通常此些白點洗不掉，甚至要用砂紙或機械研磨才能清除。此表面缺陷肇因通常是胺硬化環氧樹脂產生胺霧的類型。過多的胺與水蒸氣反應形成油膩、白化或雲狀薄膜。避免水漬產生，可藉由塗料供應商提供試驗數據或方法，進一步排除此一問題。
2. 灰塵黏著：許多塗料因具有吸附灰塵的趨勢，而此一現象可能是個缺陷，尤其是塗膜外觀及衛生上常會特別受到重視。灰塵吸附能力可請塗料製造商提供資訊，而灰塵清潔可藉由工具加以清潔。

3. 褪色（UV 黃變）：許多塗料對抗紫外線能力較弱，會使塗膜產生黃變（其他功能仍保持），如果已塗裝混凝土面是需曝曬在紫外光下，為避免褪色可向塗料製造商諮詢，請其提供抗紫外線數據或提供抗 UV 塗料。
4. 粉化（Chalking）：通常大部分環氧樹脂塗料與苯環族 PU 漆，在經一段時間後，塗膜表面會粉化而導致塗膜厚度損失。為避免此一狀況，可使用較厚的塗裝系統設計，允許一段時間後粉化所造成塗膜損失，並要求塗料製造商提供試驗數據和產品可接受的粉化度作為參考依據。
5. 沾污性（Staining）：塗膜曝曬於化學物質中而造成顏色改變，有時候這種化學曝曬是因清潔塗層的清潔劑（如硝酸系清潔劑）所造成。沾污，通常是一種外觀的問題，但有時候在沾污及清潔多次循環下可能造成塗膜損失。避免沾污，可藉由已知化學曝露環境和塗料製造商提供，可使用於塗膜的抗污化學藥品資訊。
6. 表面刮痕（Surface Scratches）：通常發生於地板塗裝。表面刮痕並不會影響塗膜功能性（除非外觀及衛生是重要的）。對於塗膜，不論其顏色為何，其刮痕皆為白色。避免刮痕，在選擇塗料前可先選擇一小區域進行測試或參考塗料製造商的說明書。針對此一問題，可使用耐磨性較佳的面漆，於有抗磨和外觀上需求之塗裝系統。

避免塗膜失敗的策略

1. 更新塗裝規範：塗裝規範是避免失敗的控制文件，而此規範應該隨時更新。當塗裝缺陷出現，瞭解其產生原因及機構是預防再發生的最好方法，而後續則須將此一經驗反應在規範上。避免塗裝失敗，應列出塗料可能發生的缺陷查核表，包括缺陷發展的有效因子、會發生缺陷的區域。如下所述：
 - (1) 塗膜缺陷：氣孔、蟲洞、針孔。
 - (2) 缺陷發展有利因子：混凝土表面強度、混凝土透氣性、過多水分、表面平整度、濕氣傳送、接縫處邊緣處理、接縫處填縫劑設計、光澤保持率、色彩保持率、抗污性、抗灰塵黏附性。

(3) 發生缺陷區域：收縮龜裂、動態龜裂、結構縫、控制縫、隔離縫、溝渠／排水界面、混凝土板中間終止端、設備界面。

2. 遵守規範：工程執行時，有時候進度壓力相當大。有時候，趕工時常會有藉口說，我們沒有時間完全依規範程序將事情完成，但一旦發現失敗時，卻又有時間做第二次。堅持依規範進度時間適當執行工作是必要的，不要輕易以進度及方便理由，同意縮短工期。

確實執行檢查：檢查是強化工具。開始時如有一位塗料製造商的技術代表及有此類工作經驗及指定塗裝系統經驗之專職檢查員，是確保工程成功要素。保持記錄也是非常重要的，正確的記錄將有助於判別失敗的型態。一般工作日誌資訊應包括下列項目：底材表面溫度、大氣溫度、露點、相對濕度、塗裝工作流程、混凝土表面強度數據、表面處理檢查記錄、表面粗糙度檢查記錄、使用塗料批號、乾

或濕膜厚、針孔測試、一般性記錄（如每日活動）、每日安全查核表。

3. 排定維護工作：已施作完成塗裝須排定其維護計畫，以確保塗膜發揮至最大使用壽命。如果沒有執行維護，塗膜小缺陷可能依操作條件不同很快的會變成失敗主因。定期修護塗膜小缺陷（如間隔6~12個月），將可確保整體塗裝系統的完整性和降低維護成本。維護頻率依所處環境而定，曝露於嚴重腐蝕環境區域需更頻繁的維護來預防主要失敗的發生。清潔工作應包括在維護程序中，清潔工作可使塗膜小缺陷被發現的機率提高並且將腐蝕性液體清除以減低對塗膜的影響進而延長塗膜使用壽命。

混凝土塗裝受底材狀況影響較鋼鐵塗裝更為複雜，塗裝過程中任一環節稍不注意都可能使塗層提早發生缺陷，降低其使用壽命。唯有清楚掌握混凝土塗裝過程中每一環節該注意事項及處理重點並確實依規定執行，才能達到預期塗裝保護壽命年限。 



社團法人
中國土木水利工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

敬邀您加入本學會會員



www.ciche.org.tw

學會是 ...

一個凝聚產官學土木專業知識的團體
一個國際土木組織最認同的代表團體

一個土木人務必加入的專業學術團體
一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體

會員可享多項優惠 ...

申請學生獎學金
得到國際專業組織承認
參加國際交流活動
免費贈送一年六期會刊

本會出版品七折優待
本會學刊訂閱優惠
主辦研討會優先參加及大幅優惠



熱浸鍍鋅在土木建築之應用概況

蔡明達／中華民國熱浸鍍鋅協會秘書長
李祐承／臺鍍科技股份有限公司業務專員

鋼鐵具備省能源、環保、耐震等特性，是土木建築中重要的材料。台灣每年可生產約2,000萬噸的粗鋼，且運用在建築結構將近100萬噸，但台灣受大陸及海洋的氣候影響，秋冬吹著東北季風為台灣帶來海中的氯離子且濕度高，而夏季則吹著西南風帶來高溫及多濕，這種型態氣候為鋼筋及鋼結構帶來生鏽、損壞的危機。雖然這些材料長期受混凝土或油漆的保護，但常因其施工性因素而致使防蝕能力略顯不足，因此更需要施工簡單且防蝕性佳的方法，熱浸鍍鋅正是可運用的方法。

熱浸鍍鋅

熱浸鍍鋅 (hot dip galvanizing)，是針對鋼鐵材料做防蝕的方法，是利用鋅的腐蝕速率及犧牲保護的防蝕特性，將鋼鐵或鋼筋浸在熔融鋅裡反應形成鋅鐵合金層後，鋅再披覆在外層以保護鋼鐵或鋼筋生鏽，因此熱浸鍍鋅層也具有軟中帶硬的耐碰撞效果。熱浸鍍鋅工法，自發明後運用在工業上已有 170 年以上的歷史，而在台灣至少也有 46 年的歷史，是個值得信賴的方法。熱浸鍍鋅工法之施工可依照 CNS 8503 作業方法施作，事先將鋼鐵經脫脂、酸洗等步驟將其表面清潔；而其鍍鋅品質可依照 CNS 10007 之規定施作，以達穩定品質。

熱浸鍍鋅，除具有防蝕佳之性質外，尚有環保及施工可靠之特性。熱浸鍍鋅之防蝕佳，是因熱浸鍍鋅暴露於空氣中，會逐漸與空氣中氧、水及二氧化碳形成氧化鋅 (ZnO)、氫氧化鋅 (Zn(OH)₂)、碳酸鋅 (ZnCO₃) 腐蝕生成物，成為緻密的薄膜保護鋅及底下鋼材。因為熱浸鍍鋅足以長時間保護鋼鐵以致不必時常維修，所以熱浸鍍鋅具長期經濟效益及優異之週期壽命，相較於其他防蝕方法更具環保，更不會造成環境污染。根據芬蘭 VTT Technical Research 研究顯示，以一熱浸鍍鋅處理平台架經 60 年後之週期壽

命 (Life-cycle) 為例，其包含鋼鐵製作及期間維修之所需要能源為 23,700M 焦耳，為其他處理方法之 36.6%。在全球變暖潛能值 (Global warming potential, GWP)、酸化潛能值 (Acidification potential, AP) 和光化學臭氧生成潛能值 (Photochemical ozone creation potential, POCP) 指標也一樣，熱浸鍍鋅的影響是比較油漆小，如圖 1 所示。

另外，熱浸鍍鋅的施工性也比其他方式佳。以天候及施工角度為例來談，熱浸鍍鋅在廠房施工，操作溫度在 450°C 浸入熔融鋅液中不受濕度、天候及角度影響。其他表面處理方法之前處理的噴砂及工法施作時皆必須控制在相對濕度 85% 以下，否則水氣會在常溫下的鋼鐵噴砂面結露，鋼鐵表面會很快產生紅鏽而影響施工品質，甚至影像後續之防蝕性。台灣，年平均相對濕度皆達 80% 以上，甚至有些地區高達 85% 或 90%。以 105 年 2、3 月為例，北部的雨季長達一個多月且濕度又高，因此可想而知，一年可施工天數應極為有限；施工角度而言，其他處理方法之角落、孔徑內、板厚端或管內是特別難施工，施工角度須特別注意否則容易疏忽產生缺陷。

熱浸鍍鋅並不是完美無缺的工法，構件的尺寸及重量會受鍍鋅設備而有所限制，但從上面施工性的分析，熱浸鍍鋅是值得信賴的防蝕工法。

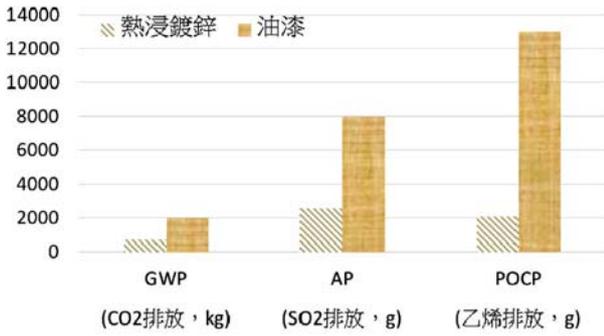


圖 1 熱浸鍍鋅陽台與油漆之比較

熱浸鍍鋅之應用

1970 年，台灣即有熱浸鍍鋅產業，早期只鍍一些外銷貨櫃用或管用配件。1972 年，台灣第一家輸電鐵塔公司成立後先設立 7 m 長鍍鋅槽，從此進入新的熱浸鍍鋅時代。當時，適逢十大建設及基礎建設開始建造，熱浸鍍鋅陸續運用在護欄板、號誌架、標誌架、路燈燈桿、鐵路電氣化電桿等，但輸電鐵塔尚未生產還是從日本進口鍍鋅角鋼構件來安裝，直到 1975 年輸電鐵塔公司才自行製作及鍍鋅；至於螺栓螺帽，亦至 1977 年經專業熱浸鍍鋅廠自日本引進關鍵技術後於 1979 年開始鍍作。台灣於 1982 年有廠商設立 10,500 × 1,000 × 1,200 鍍鋅槽後，才開始鍍作較大鋼結構件。

熱浸鍍鋅之應用，是多方面的，可說有鋼材的地方即可運用，除非一些特殊環境有所限制外。應用上，可概分為土木工程、交通設施、電力電信、農業園藝、機械設備、家居生活、五金配件等方面，如表 1 所示。據統計資料，台灣 2015 年約有 30.3 萬的鋼鐵經熱浸鍍鋅處理，其中營建相關工程之鋼構約有 7.2 萬噸，約佔全部熱浸鍍量的 24%，如圖 2 所示。建築工程可以運用熱浸鍍鋅防蝕的有很多，有鋼筋、鋼構、配件、設備、欄杆等，若以大宗而言則以廠房鋼構為主，至於鋼結構大樓，除非外露部分採用熱浸鍍鋅防蝕，否則位於內部則直接塗覆防火披覆或防火漆。以下就以土木工程方面分項概述。

建築

廠房

廠房結構以鋼結構為主，因熱浸鍍鋅具有防蝕性強及高經濟效益且方便，故利用作為表面之防蝕工

表 1 熱浸鍍鋅應用概分

分類	鋼鐵製品
土木工程	鋼鐵結構型鋼、鋼筋、基礎
交通設施	鐵公路之標誌、燈桿、護欄、隔音牆柱、電桿、鋼橋
電力電信	輸電鐵塔、電桿、4G 信號架、太陽能架
農業園藝	柵欄、溫室
機械設備	機械支座、汽車底盤、船用配管
家居生活	中庭大門、燈具、花台、欄杆、公園設施
五金配件	螺絲、螺帽、鐵釘、扣環.....等

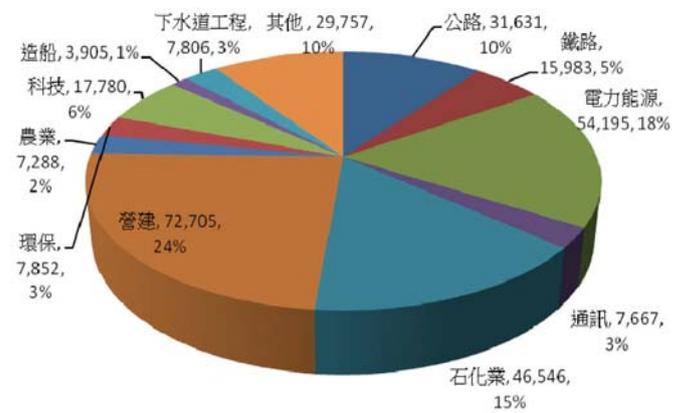


圖 2 台灣 2015 年鋼鐵熱浸鍍鋅統計分析

作。廠房結構利用熱浸鍍鋅防蝕已很普遍，特別是石化業及濱海地區廠房，甚至於熱浸鍍鋅表面再塗上三道或五道油漆做雙重保護，以抵抗嚴苛的腐蝕環境，例如位於臨海 3 ~ 500 公尺區域內的外露廠房、管架。廠房、管架結構可以以 H 型鋼或箱型梁為主結構再經熱浸鍍鋅處理，其他如基礎螺栓、C 型鋼、A325 高強度螺栓亦經熱浸鍍鋅處理，如圖 3 ~ 5 所示。

鋼構大樓

鋼構大樓室內鋼結構大多於其表面直接塗覆防火披覆或防火漆，而外露鋼構、制震器、帷幕牆配件、機械設施、消防系統、藝術欄杆等採用熱浸鍍鋅防蝕，如圖 6 ~ 10 所示。

高架車站

近年來，捷運路線、鐵路改建部分採用高架路段，高架路段車站鋼構多數為開放式，因而因真空強風吹襲而鋼構防蝕功效容易被打折，如圖 11 所示。因而，包括文湖線內湖段、機場捷運、環狀線、台中捷

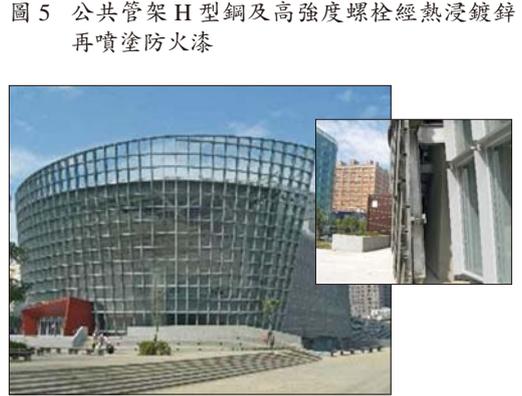


圖 3 熱浸鍍鋅廠房(1)，H型鋼為主(上)，柱子採用H型鋼封版當箱梁(下)

圖 4 熱浸鍍鋅廠房(2)，柱子採用箱梁，A325 螺栓經熱浸鍍鋅(上)，H型鋼為主，RC 包覆 H 鋼柱(下)

圖 5 公共管架 H 型鋼及高強度螺栓經熱浸鍍鋅再噴塗防火漆

圖 6 外露鋼構採用熱浸鍍鋅



圖 7 921 地震災後重建採熱浸鍍鋅鋼構房屋

圖 8 大樓空調系統冷卻水塔一律採用熱浸鍍鋅



圖 9 大樓制震器固定座，經熱浸鍍鋅處理

圖 10 大樓帷幕牆預埋件、消防系統、配件採用熱浸鍍鋅防蝕

運 (G3 ~ G9 站)、台鐵台中高架化及高鐵新增三站等採用熱浸鍍鋅、防火漆及面漆之雙重保護，圖 11 為高鐵苗栗站月台鋼架 (基礎段未經熱浸鍍鋅)，其油漆系統如表 2 所示。



圖 11 高鐵苗栗站月台鋼架採用熱浸鍍鋅處理

表 2 高鐵苗栗站月台鋼架油漆系統

	防蝕系統	乾膜厚(μm)	備註
1	熱浸鍍鋅	85	
2	環氧合金底漆	50	
3	防火漆	3 ~ 4000	視鋼材厚度，2 hr 防火時效
4	環氧中塗漆	50	
5	氟樹脂面漆	30	
6	氟樹脂面漆	30	

道路橋梁

台灣於 1991 年在台 2 甲線陽金公路建造第一座熱浸鍍鋅橋梁－馬槽橋 (SRC 結構，鋼構 800 噸、鋼筋 1,500 噸)，由於當地潮濕又位於含硫磺地帶故特別注意防蝕性，如圖 12 所示。1992 年陸續設有 16 m 長可鍍作鋼橋之鍍鋅槽，所以於 1996 年設計建造出包含中和立體交叉工程及林口高架橋兩座的大量熱浸鍍鋅鋼橋，圖 13 為台灣歷年經熱浸鍍鋅處理之橋梁噸數統計，其中有含少部份人行陸橋、自行車道橋及水管橋。



圖 12 台灣第一座熱浸鍍鋅橋梁－馬槽橋

熱浸鍍鋅鋼橋雖於 1996 年出現高峰期，但鋼橋仍受限於鍍鋅槽而侷限於 I 型板梁橋，而當時已開始因長跨距往箱梁發展，因此箱梁鍍鋅也只侷限於鋼拱或桁架橋之較小箱梁，圖 14 為跨距 66 m 的鹿港福興橋，是第一座熱浸鍍鋅鋼拱橋，同時也是鋼箱梁，箱梁尺寸約為 12,500 × 1,000 × 2,000。另外，為克服大箱梁鋼橋（大於鍍鋅槽）鍍鋅問題，研究試驗箱梁先將翼板與腹板用鋼板放樣、加工後熱浸鍍鋅處理，然後再銲接組合成箱梁。現已成功應用在幾座人行陸橋及道路橋，如圖 15 所示。圖 15 為台東東 36 線松楓橋，約有 782 噸。

板梁橋

板梁橋，因跨距較短梁深較不高且無密閉空間，故極適合熱浸鍍鋅處理。目前幾座較大熱浸鍍鋅板梁橋多屬於都會型快速道路，包含前述的中和立體交叉工程屬於台 64 線快速道路一部份及銜接北二高中和交流道匝道，共 6,958 噸，自通車至今已有 20 年，

熱浸鍍鋅的部分（不含橋墩及帽梁）仍未有維修或生鏽的情形，如圖 16 所示，依現場吊掛 9 年試片分析其每年之腐蝕速率為 1.55 g/m²，如圖 17 所示，若依此腐蝕速率計算該橋鍍鋅附著量 600 g/m² 之耐用年限，應至少可再維持 100 年以上。表 3 為台灣幾座大型熱浸鍍鋅板梁橋，其中林口高架橋因位於台灣腐蝕環境最嚴重之一，因未採油漆作雙重防蝕，防蝕效果未充分發揮。藉此，希望大家引為借鏡，未來工程若臨海或接近海岸務必採取熱浸鍍鋅與油漆之雙重防蝕工法。

箱梁橋

箱梁橋，因跨距較長梁深較高或寬，且設有中、端隔板，故難度稍高，加上跨距長板較厚，箱梁單重也比較重，於鍍鋅處理時風險稍大。有些箱梁屬梁不深但較寬，此時鍍鋅時須將箱梁轉 90 度方向，所以吊耳之設置極為重要。圖 18 為桃園宏太橋，跨距 47.2 m 約有 532 噸。

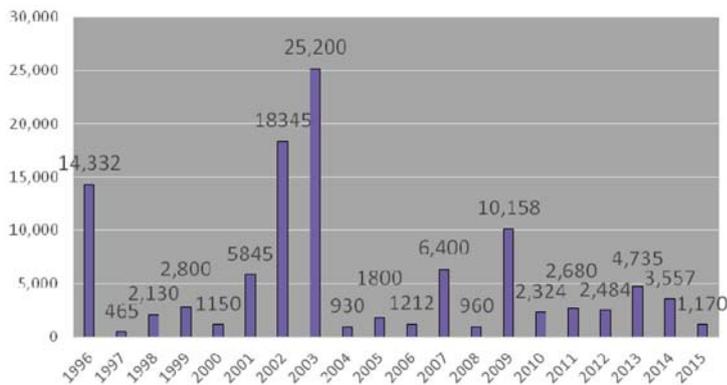


圖 13 台灣歷年之熱浸鍍鋅橋梁統計



圖 14 第一座熱浸鍍鋅鋼拱橋—福興橋



圖 15 松楓橋，採用鋼板先鍍鋅再組銲成箱梁



圖 16 中和立體交叉工程，歷經 20 年仍未有維修或生銹情形



圖 17 中和立體交叉工程現場吊掛暴露試片



表 3 台灣大型熱浸鍍鋅板梁橋

工程名稱	施工單位	重量 (噸)	完成年	備註
中和立體交叉工程	營建署	6,958	1996	台 64 八里新店
林口高架橋	公路總局	7,294	1996	台 61 線，未加油漆
新北環快一、二標	營建署	13,938	2002	
台中環中路五～八段	營建署	17,177	2003	高鐵聯外道路

RC 橋

RC 橋，理論上鋼筋受到混凝土鹼性環境保護下是不會生鏽腐蝕的，但往往事與願違，常因環境、施工或保護層不足等因素而看到保護層剝落、鋼筋生鏽，故熱浸鍍鋅被視為防蝕鋼筋而逐漸用於橋梁，有全橋鋼筋採用熱浸鍍鋅，例如馬槽橋、鹿安橋，如圖 19 所示；有過河段下部結構採用，例如西濱快 49 標（180 K 附近，跨員林大排與二港溪）及目前施工中的金門大橋；最近也有被採用於高架橋之胸牆、分隔島、擋土牆等以防止保護層不足或施工問題，例如西濱快觀音一新豐段。至目前止，用於土木建築的鋼筋經熱浸鍍鋅處理約有 53,000 噸。



圖 18 桃園宏大橋，箱梁鍍鋅時採翻轉 90 度方向浸鍍



圖 19 鹿安橋，全橋鋼筋採用熱浸鍍鋅

結語

熱浸鍍鋅工業化已有 170 年的歷史，在台灣的應用也超過 46 個年頭，雖然它顏色單一且會受限於鍍鋅設備，不是十全十美的工法，但它卻是個值得信賴、可靠的防蝕工法，可以讓工程減少維修次數及成本，也有較高的經濟效益。另位於臨海或近海岸工程，採用熱浸鍍鋅工法的同時也要採取加油漆之雙重防蝕，以充分發揮防蝕成效。

參考文獻

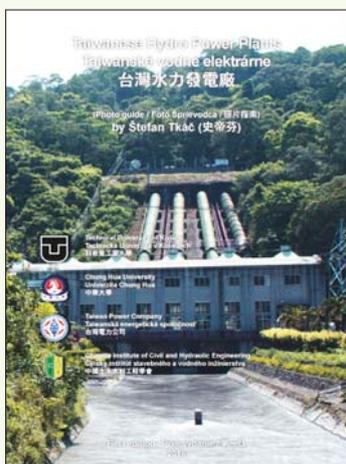
1. CNS 8503 熱浸鍍鋅作業方法。
2. CNS 10007 鋼鐵之熱浸鍍鋅。
3. American Galvanizers Association (2013), 「Galvanized Steels Contribution to the water environment」.
4. 曾清銓、王昭烈 (1993), 「熱浸鍍鋅在陽明山馬槽橋之應用」, 防蝕工程第七卷第二期, 第 40-52 頁。
5. 曾清銓、林曜滄、蔡明達 (1996), 「熱浸鍍鋅鋼橋施工—中和市中正路立體交叉工程」, 先進橋梁施工技術, 第 73-80 頁。
6. 王韻瑾 (1995), 「台十五線林口高架橋面漆更新技術」, 臺灣公路工程第三十二卷第二期, 第 35-48 頁。
7. CNS 14771 鋼筋混凝土用熱浸鍍鋅鋼筋。
8. 交通部 (2015), 耐久性設計, 「公路橋梁設計規範」。

訊息

最新出版品 ~ 台灣水力發電廠



~會員優惠中!~
歡迎踴躍訂購!



由斯洛伐克籍的史帝芬博士對台灣全島水力發電廠的歷史及現況收集拍攝的照片集，授權由本學會出版發行，2016 年 5 月出版。



影像檢測及分析應用於 國道鋪面養護之探討

陳順興／交通部臺灣區國道高速公路局工務組工程科科長

宋柏勛／國立中央大學土木工程研究所博士

在社會發展及經濟起飛的帶動下，臺灣地區公路系統，包括國道高速公路、省道、縣道、鄉道、市區道路等，呈現出層級清楚、功能完備的路網系統，在路網日趨完備之下，公路工程由新建工程轉往以維護管理為主的層面，在政府機關方面，亦由新工驗收變成道路的狀況調查，以及時控管道路的各類破壞及狀況，讓道路恢復至良好的服務水準，提供高品質的服務水準來服務大眾。

先進國家之鋪面維護管理系統（Pavement Management System, PMS）中，主要以益本比（Benefit/cost, B/C）的觀念來使經費分配能充分運用^[1,2]，對於路面的服務狀況則以乘坐汽車時的舒適感為基準來評斷路面狀況的優或劣^[3]，在路面狀況調查方面，國道高速公路局最早的鋪面調查狀況是由高速公路局養護工務段以人工乘車採目視巡查及國道公路警察局警員機動巡查再加上路人的通報後來派員查修，尤其國道道路養護重點在於用路人行車安全性，故在高公局之「高速公路養護手冊」^[4]中明訂對於道路之巡查種類及頻率，但由於其路網頗大且養護人力之不足，其巡查後獲得資料之整理工作亦相當繁雜，故如何提昇路面狀況調查之技術，簡化整理記錄的工作以妥善保存並有效管理這些寶貴的資料，使其有效地應用於高速公路養護上實為一重要課題，但因缺乏道路實況之視覺影像資料，若不實地踏勘該路段將無法全盤瞭解該路段之路面現地狀況、各項路面破壞大小之相關位置等情形，致使無法查核該路段狀況資料之正確性。

現今電子科技產品進步快速，若能將道路鋪面狀況配合視覺影像技術建置基本資料整合儲存於電腦中，將有利於各項資料之查詢及修改作業，提昇對路面狀況的了解，清楚轄區內道路的鋪面狀況，且利用在電腦中可看到道路現況影像，將可實際應用於發包養護及路面損壞狀況的了解，減少實地踏勘之次數及時間；因此，如何整合現有科技，組裝構建路面檢測設備，用以作為建立一包含文字、圖檔及連續影像等之路面狀況調查系統，期以有效減少人力、時間，並提供正確的路面狀況，提高使用管理效率實為一大課題。

常見路面狀況指標

鋪面狀況指標 (Pavement Condition Index, PCI)

鋪面表面破壞是由一群破壞形式共同決定，最早包含車轍、龜裂、修補面積，後來又將橫向、縱向、塊狀裂縫，剝脫…等種種破壞形式包含入表面破壞中。Darter 及 Shahin 等人於 1970 年代末期至 80 年代初期所發展之鋪面狀況指標（Pavement Condition Index, PCI），

經過 20 年來的發展，已列入於美國材料試驗學會標準測試（American Society for Testing and Materials, ASTM）制訂規範 ASTM D 6433 適用於路面及停車場^[5]。

依據規範內容，PCI 為依據鋪面現況量測及觀察鋪面破壞之結果評估鋪面整體狀況的數值指標，主要調查路段的鋪面結構完整性及面層行車狀況。PCI 不能量測結構損壞能力（Structural Capacity），亦不能直接提供鋪面抗滑或平坦度資料，僅提供客觀及合理的基

礎，用以作為鋪面養護需求及優先順序之決策依據。持續監測 PCI 可建立鋪面整體之劣化模式，可依據現時的鋪面設計、養護程序驗證及改善鋪面服務績效，由養護回饋資料作為鋪面主要整修需求之判斷依據。PCI 的評級區間可如表 1 所示。

依據規範 ASTM D 6433 所定義之破壞項目共有 19 項，包括了鱷魚狀裂縫、冒油、塊狀裂縫、凸起／凹陷、折皺／波浪型路面、凹陷、邊緣裂縫、反射裂縫、車道路肩高差、縱向／橫向裂縫、補錠、粒料光滑、坑洞、跨越鐵道、車轍、推擠、滑動裂縫、膨脹、風化／剝脫等，為了分類方便，於表 2 中將之分成四大類來方便記憶，其中裂縫類中鱷魚狀裂縫、塊狀裂縫、滑動裂縫等三項所量測方式為面積，邊緣裂縫、反射裂縫、縱橫向裂縫等三項所量測方式為長度，於是以其量測方式的不同再細分為兩類。

鋪面狀況評級 (Pavement Condition Rating, PCR)

這是一種類似 PCI 的路面狀況評級的指標，是由美國俄亥俄州交通運輸廳 (Ohio Department of Transportation, ODOT) 所發展之路面狀況評級

(Pavement Condition Rating, PCR) [6]。PCR 的計算公式可參考公式 1，評分尺度可參考表 3，於柔性瀝青鋪面的檢測表可見表 4。

$$PCR = 100 - \sum_{i=1}^n Deduct_i \quad (1)$$

其中 n 為存在的破損數，

$Deduct_i$ 為第 i 項破損項目權重，嚴重度，與範圍的乘積值。

其他相關鋪面狀況指標

美國西北鋪面管理系統 (Northwest Pavement Management Systems) 及美國華盛頓運輸交通廳 (Washington State Department of Transportation) 也發展路面表面狀況評級 (Pavement Surface Condition Rating, PSCR)。PSCR 考慮 12 項破損指標，分別為車轍及磨損、鱷魚狀裂縫、縱向裂縫、橫向裂縫、推擠、冒油、補錠、波浪型路面、凸起和凹陷、塊狀破壞、鋪面邊緣狀況、及破壞修補狀況 [7]。此外，中國大陸發展之路面狀況指標 [8] 也與 PSR 及 PSCR 相似，於柔性鋪面採用 12 項破損，但扣減表又與 PSR 及 PSCR 不同。

表 1 PCI 評級區間

PCI 值	圖示 (Chart)	等級 (Rating)
85 ~ 100		最佳 (Excellent)
70 ~ 85		很好 (Very good)
55 ~ 70		好 (Good)
40 ~ 55		尚可 (Fair)
25 ~ 40		差 (Poor)
10 ~ 25		很差 (Very poor)
0 ~ 10		失敗 (Failed)

表 3 PCR 評級區間

PCR 值	圖示 (Chart)	狀況 (Condition)
90~100		很好 (Very good)
75~90		好 (Good)
65~75		尚可 (Fair)
55~65		普通 (Fair to Poor)
40~55		差 (Poor)
0~40		很差 (Very poor)

表 2 PCI 定義之 19 項破壞名稱

種類	編號	破壞名稱	種類	編號	破壞名稱
裂縫 (面積)	01	鱷魚狀裂縫	表面變形	04	凸、凹陷
	03	塊狀裂縫		05	波浪型路面
	17	滑動裂縫		06	凹陷
裂縫 (長度)	07	邊緣裂縫		15	車轍
	08	反射裂縫		16	推擠
	10	縱、橫向裂縫		18	隆起
表面破壞	11	補錠	其他	02	冒油
	13	坑洞		09	路肩高差
	19	風化、剝脫		12	粒料光滑
				14	跨越鐵道

表 4 PCR 評級表

Section: _____ Date: _____
 Log mile: _____ to _____ RATED BY: _____
 Sta: _____ to _____

FLEXIBLE PAVEMENT CONDITION RATING FORM

DISTRESS	DISTRESS WEIGHT	SEVERITY WT.*			EXTENT WT.**			DEDUCT POINTS***
		L	M	H	O	F	E	
RAVELING	10	0.3	0.6	1	0.5	0.8	1	
BLEEDING	5	0.8	0.8	1	0.6	0.9	1	
PATCHING	5	0.3	0.6	1	0.6	0.8	1	
POTHOLES/DEBONDING	10	0.4	0.7	1	0.5	0.8	1	✓
CRACK SEALING DEFICIENCY	5	1	1	1	0.5	0.8	1	
RUTTING	10	0.3	0.7	1	0.6	0.8	1	✓
SETTLEMENT	10	0.5	0.7	1	0.5	0.8	1	
CORRUGATIONS	5	0.4	0.8	1	0.5	0.8	1	
WHEEL TRACK CRACKING	15	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	✓
BLOCK AND TRANSVERSE CRACKING	10	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	✓
LONGITUDINAL JOINT CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	
EDGE CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	
RANDOM CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	✓

*L = LOW **O = OCCASIONAL TOTAL DEDUCT = _____
 M = MEDIUM F = FREQUENT SUM OF STRUCTURAL DEDUCT (✓) = _____
 H = HIGH E = EXTENSIVE 100 - TOTAL DEDUCT = PCR = _____
 *** DEDUCT POINTS = DISTRESS WEIGHT X SEVERITY WT. X EXTENT WT.
 REMARKS: _____

綜合 PCI、PCR、PSCR 及路面狀況指數之發展可知，對於表面破壞的績效，各地區對於涵蓋的破損項目及扣分表均受當地鋪面專家之認定所影響。除了以單一指標考量鋪面表面破壞的方法外，美國戰略公路研究計劃 (Stratagem Highway Researching Plan, SHRP) 則認為長期鋪面績效計畫 (Long-Term Pavement Performance, LTPP) 中的破損項目應單獨紀錄。

依據 2014 年 6 月出版的 LTPP 破壞定義手冊 (Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance)，將柔性瀝青鋪面破損定義為五大類共 15 種指標，分類可參考表 5^[9]。

表 5 LTPP 柔性瀝青鋪面破壞定義

損壞類別	破損細項
裂縫 Cracking	1. Fatigue Cracking 2. Block Cracking 3. Edge Cracking 4. Longitudinal Cracking 5. Reflection Cracking at Joints 6. Transverse Cracking
補錠及坑洞 Patching and Potholes	7. Patch Deterioration 8. Potholes
表面變形 Surface Deformation	9. Rutting 10. Shoving
表面缺陷 Surface Defects	11. Bleeding 12. Polished Aggregate 13. Raveling
其他 Miscellaneous Distresses	14. Lane-to-Shoulder Drop-off 15. Water Bleeding and Pumping

Juang 與 Amirkhanian 利用模糊集合理論發展統一鋪面破損指標 (United Pavement Distress Index, UPDI)，利用模糊集合理論之歸屬度函數將七種破壞種類 (鱷魚狀裂縫、車轍、坑洞、補錠、塊狀裂縫、縱向裂縫及其他) 加以整合^[10]。UPDI 借用模糊數學模式消除鋪面績效各項因素間模糊或相互運算時不易確定的問題，就數學理論上而言，此種方法有效的避免於線性方程式中各變數獨立的要求，特別適合於鋪面系統中破損種類間彼此成因重疊，不易將變數區隔之狀態。此外，UPDI 也提供了針對表面破壞指標中，除了 PCI 及 PCR 的扣分方法外的另一種選擇。

臺灣國道鋪面巡檢方式

目前於國道高速公路局之巡查頻率及方式明訂於「高速公路養護手冊」^[4]第二章巡查制度中，依巡查方式分為經常巡查、定期巡查及特別巡查等三種，其中

經常巡查又分為日間經常巡查 (每日一次) 及夜間巡查 (每月至少一次)，是由養護單位指派工程司或經訓練之人員執行，其方式是從車上採以目力檢視，鋪面、橋面、伸縮縫等可憑車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷。現行國道巡查制度已導入以 3C 之 4G 行動電話手機加平板電腦來取代紙本記載，以減少目視錯判及減輕內業之文書作業負擔，同時讓施工人員及業務主管立即接收鋪面缺失之訊息，提供養護效率。

以現行國道經常巡查制度方式可快速將坑洞、明顯裂縫等快速紀錄後以 4G Wi-Fi 來通報以進行後續養護缺失改善作業，但以評估整體道路服務水準來進行分析時，尚缺乏具體鋪面缺失的量化資料 (如 PCI)，在此方面可嘗試採用國外發展已臻成熟之影像自動辨視技術來達成，配合定期巡查之執行來對道路進行整體性評估。

國道鋪面巡查項目

對現地通車路段進行鋪面資料之檢測調查等，主要為建立鋪面狀況指標 (Pavement Condition Index, PCI) 之資料，依 ASTM D6433 而言，柔性鋪面及剛性鋪面都分為 19 項破壞，依高速公路養護手冊之巡查項目而言，柔性鋪面為路面破裂、坑洞、跳動狀況、路面鬆裂、皺褶、冒油、沉陷、剝脫、隆起、扭曲、鋪面車轍、油滴浸蝕等，剛性鋪面為路面破裂、坑洞、唧水現象、跳動狀況、路面破碎、沉陷、版塊翹曲、施工縫、收縮縫填料封劑之損壞等。

現地資料檢測之方式分為兩個部分，在外業調查時採用自動化紀錄現地狀況，在外業調查結束後以半自動化處理之方式於內業進行處理，其半自動之方式為採用影像辨視為主，人工判讀為輔以提高正確性，期將所有資料擷取並紀錄下來。

鋪面影像檢測車

美國德州 VCrack 交通運輸廳部門 (TxDOT) 在過去幾年的研究計畫中完成及實現鋪面影像檢測車之開發，目前現行有九部在實際操作使用中，其研究報告中成功研發可 100% 影像掃描鋪面破壞狀況，並且可在 5-70 mile/hr (8 ~ 112 km/hr) 速度下進行檢視，並可做即時影像處理進行破壞項目及等級判定，目前國內亦有多部設備以其為原型進行開發，以提高對鋪面狀況檢測之效率。

以自動化檢測之方式主要可快速蒐集外業資料，檢測資料結合 GPS 座標以輔助提升內業資料建檔之效



圖 1 國道經常巡查系統介面示意圖^[11]

率，在系統主要功能部分分為外業作業與內業作業兩部分，外業部分之功能為前視影像 CCD 及鋪面影像蒐集設備 LineScan，內業功能為鋪面影像辨視及鋪面現況指標計算，並將所有鋪面破壞狀況紀錄於資料庫中，以提供工程師診斷路面狀況之輔助。

鋪面影像自動辨視鋪面破壞技術

由於實際檢測時所需考量之因素眾多（如穿過車輛、樹木、電纜線...等），且都會影響到後續自動辨視的結果，故以適合之設備取得良好之影像為此技術之關鍵，在取得良好影像後，需要對影像進行前處理，包括影像裁切（長度裁切、有效範圍裁切等）、光源校正（運用自然光源或天然光源，均需要進行光源校正）後，再針對處理後之影像進行自動辨視。

影像自動辨視的第一步驟為判斷影像是否存在破壞，可利用本文採用資料探勘（Data Mining）為對於大量的資料進行處理，加以發掘、萃取而得到存在於資料中有意義之資訊，利用資料探勘之技術可以快速且精確的將路面缺陷影像取得缺陷資訊以做為後續支援決策使用。並且藉由各種不同的演算法進行缺陷資訊的取得和預測。

另一種鋪面破壞自動辨視之方式是採用自動化指標（United Condition Index, UCI）進行，該方法是將影像利用網格處理技術進行處理，進行影像分割、二值化、灰階值計算、指標換算等方式，再利用二值化灰階值垂直與縱向變化率計算之。

裂縫量測與影像品質規範

一般鋪面狀況指標與統一裂縫指標調查項目整理如表 7 所示。國內常用 PCI 中之 14 項破壞調查項目，透過複雜之計算轉換扣減分方式得到指標值，擁有較完整之扣減分計算系統。UCI 為經由美國 FHWA 認可之裂縫分析指標，僅調查 7 個項目，以各項裂縫為主，計算方式為道路面積扣除破壞面積後之百分比，顯示兩者於計算基礎有所不同。詳細比較發現，PCI 對於高程變化之破壞項目需以肉眼進行估計（高速公路養護手冊中以車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷），或另加裝垂直測距儀，如雷射或超音波等方式計算；而 UCI 為鋪面破壞影像系統使用之指標，僅能判斷較常出現及非高程屬性之破壞。

表 6 高速公路養護手冊鋪面巡查項目及注意事項

巡查方式 巡查項目	日間經常巡查注意事項	定期巡查注意事項	特別巡查注意事項
柔性鋪面	路面破裂、坑洞、跳動狀況	路面鬆裂、皺褶、冒油、沉陷、剝脫、隆起、扭曲、車轍、油滴浸蝕	
剛性鋪面	路面破裂、坑洞、唧水現象、跳動狀況	路面破碎、沉陷、版塊翹曲。 施工縫、收縮縫填料封劑之損壞	



圖 2 鋪面影像檢測車示意圖 (以中央大學土木工程系開發為例)

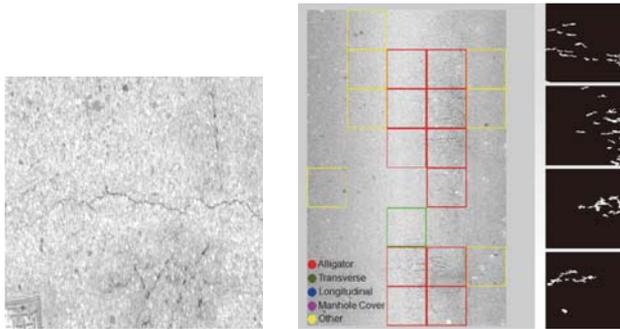


圖 3 鋪面 Scan 後原始影像 圖 5 鋪面影像偵測破壞畫面示意圖

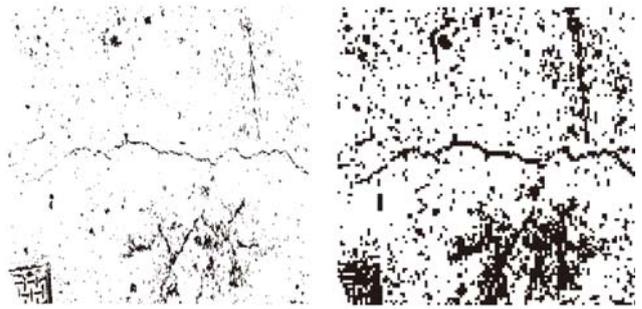


圖 4 鋪面 Scan 後經過處理後之破壞影像

結論

國道現行之路面調查工作分為每年定期使用抗滑、平坦及撓度儀器進行定期檢測一次及半年採人工方式現地調查二種方式為主，在日間經常巡查上導入 3C 行動電話加上平板電腦以減輕養護巡查文書負擔並紀錄道路缺失，但乘坐公務車巡查時，有時無法詳細發現路面之狀態而有遺漏之現象。為提高道路管理效率及鋪面巡查正確性與公信度，可利用定期之路面影像資料進行完整路面缺失檢測及路面成效評估。目前國內開發之道路影像資訊記錄系統經驗證，其檢測作業時間約為傳統路面破壞調查的三分之一，亦已針對國道全線之外車道進行檢測，提供訂定國道鋪面全生命周期維護管理策略時之參考。

參考文獻

- 林沂賢, HDM-4 於台灣地區柔性路面養護工程應用之研究, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 2002 年。
- 陳永林, HDM-4 運用於國內高速公路養護管理之研究, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 2003 年。
- 姚志廷, 鋪面養護決策支援分析模式之研究, 國立中央大學土木工程研究所博士論文, 2005 年。
- 交通部臺灣區國道高速公路局「高速公路養護手冊」, 2011 年 2 月修訂版。
- ASTM, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM D6433-11, 2011.
- Saraf, C.L., Pavement Condition Rating System: Review of PCR Methodology. 1998.
- Kay, R.K. and A. O'Brien, Pavement Surface Condition Rating Manual. 1992: State Transportation Center, University of Washington.
- Chiang, Z., et al. Weights Comparison of Pavement Surface Distress Indexes in China and the US. in Performance Modeling and Evaluation of Pavement Systems and Materials@ sSelected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference. 2009. ASCE.
- Miller, J.S. and W.Y. Bellinger, Distress identification manual for the long-term pavement performance program. 2014.
- Juang, C. and S. Amirkhanian, Unified pavement distress index for managing flexible pavements. Journal of transportation engineering, 1992. 118(5): pp. 686-699.
- 交通部臺灣區國道高速公路局「國道經常巡查系統」, 高公局委託大同大學辦理技術服務, 2015~2016。

表 7 鋪面狀況指標與統一裂縫指標破壞調查項目表

破壞調查項目	指標	鋪面狀況指標 PCI	統一裂縫指標 UCI
1. 龜裂		●	●
2. 縱向裂縫		●	●
3. 橫向裂縫		●	●
4. 塊狀裂縫		●	●
5. 坑洞及人孔高差與薄層剝離		●	▲ (不含人孔高差)
6. 車轍		●	○
7. 補紋與管線回填		●	●
8. 推擠		●	○
9. 隆起與凹陷		●	○
10. 冒油		●	●
11. 波浪狀鋪面		●	○
12. 車道與路肩分離		●	○
13. 滑溜裂縫		●	○
14. 骨材剝落		●	○

註：●代表列入調查項目 ○代表無列入調查項目 ▲代表部份列入調查項目

表 8 人工調查與自動化鋪面破壞調查操作特性表

操作特性	調查方式	
	人工調查	自動化鋪面破壞調查
操作性	複雜	簡易
調查速度	慢	快
安全性	低	高
資料應用性	低	高



圖 6 道路影像資訊記錄系統示意畫面

實固股份有限公司

圓盤系統®支撐架 圓盤系統®施工架 系統模板

產品通過 歐盟EN12810-1認證 最安全、實用、堅固的第一選擇

—— 良好穩定品質 確保設計安全性 ——

精良的製造技術/完善的規劃設計/豐富的工程經驗
專業的設計團隊/效率化的施工方式/誠摯的服務熱情



以色列



哥倫比亞



大陸 重慶

傳統產業科技化 施工技術效率化



SUCCOOT
Superior COmpany Of Taiwan



印尼



越南

外銷世界60餘國



菲律賓



泰國

實固股份有限公司

407-64 臺中市西屯區台灣大道四段1836號

TEL : +886-4-2359 8338

FAX : +886-4-2359 8480

e-mail : info@sucoot.com

http : //www.sucoot.com.tw



高架鐵路咫尺現

新塑臺中天際線

豐原站

栗林站

潭子站

頭家厝站

松竹站

太原站

精武站

臺中站

五權站

大慶站

臺中車站

廣告



交通部鐵路改建工程局
Railway Reconstruction Bureau, MOTC





土木工程與古文明生死關鍵的個案分析

二、土木工程與埃及古文明的生與死

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授，中國土木水利工程學會會士

引言

埃及古文明誕生之地

在今北、中非洲的尼羅河 (Nile River)，全長 6,650 公里，是全世界最長的河流，流域面積 340 萬平方公里，平均流量每秒 2,830 立方公尺。尼羅河上游分為白尼羅河 (White Nile) 與藍尼羅河 (Blue Nile)。較長的白尼羅河，一股支流來自中非洲的維多利亞湖 (Lake Victoria，在坦桑尼亞、烏干達、與奈洛比三國邊界)；另一股支流發源於愛德華湖 (Lake Edward) 或

更南一些，但尚未尋勘；二股支流在烏干達境內會合後，向北流入南蘇丹、蘇丹。藍尼羅河，發源於衣索匹亞的 Tana 湖，為尼羅河水量及肥沃泥沙的來源。白、藍二河在蘇丹 (sudan) 的 Khartoum 會合成為尼羅河的主流，由蘇丹向北流入埃及境內的尼羅河谷、大三角洲，最後流入地中海。

尼羅河的下游段，包括蘇丹的北疆河谷及埃及境內的尼羅河谷，皆流經沙漠之地；埃及古文明，誕生在亞斯文 (Aswan) 以北尼羅河谷兩岸及其洪積平原，大三角洲。參考圖 1、圖 2。

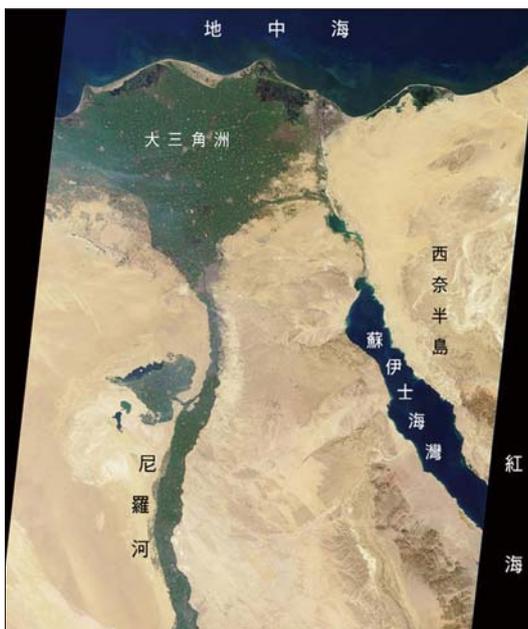


圖 1 尼羅河下游衛星影像 (Credit NASA USA)



圖 2 尼羅河一景，埃及境內 (洪如江攝)

埃及古文明發展簡史

5500BC 至 3100BC，分別在今埃及地區的南部與北部，出現許多聚落；但是因為還沒有文字記載，屬「史前時代」。

3100BC，Narmer 王統一南、北埃及，定都 Memphis，後世稱為「第 1 王朝」(1st Dynasty)；終於「第 30 王朝」(30th Dynasty, 380-343BC)。

343BC 至 332BC，埃及由波斯人 (Persian) 所統治。

332BC 至 305BC，由希臘 (國王亞歷山大大帝，Alexander the Great) 統治。亞歷山大大帝尊重埃及文化，受到埃及人歡迎，勝過埃及法老王。

305 BC，亞歷山大大帝死亡之後，其埃及總督建立托勒密王朝 (Ptolemaic Dynasty, 305 BC-30BC)，男王稱 Ptolemy I 至 Ptolemy XII，女王稱 Cleopatra I 至 Cleopatra VII (俗稱埃及豔后)。

30BC，羅馬大軍攻進埃及，女王 Cleopatra VII 及其男友安東尼 (Antinous) 自殺身亡。

羅馬統治埃及之後，對埃及的歷史、文化，極盡摧殘毀滅之能事，所有金字塔、神廟、與宗廟，皆不准埃及人接近、任由損壞或被沙土所埋沒。

但因埃及古文明的土木工程 (包括地上巨石工程與地下坑道) 實在太多，規模太大，羅馬人所能破壞的，只是少數。所以當西方考古學家與好奇之士加以發掘之後，見者莫不對其工程的雄偉、精緻、與極為豐富的銘文 (象形文字為主)、浮雕、及彩繪，感到震撼，有人誤認為是外星人所建。

埃及古文明的土木工程建設，大致可以分成三個時代：

- 金字塔工程時代：2686BC-1650BC
- 帝王谷工程時代：1504BC-1069BC
- 神廟工程時代：1504BC-30BC

金字塔工程時代 (2686BC-1650BC)

至目前為止，為法老王及其配偶所建的金字塔，約有 140 座被發現。特別龐大者 (Major Pyramids) 37 座 (Lehner, 1997)。

法老王 Djoser (2667-2648BC) 在 Saqqara 建世界上第一座金字塔 (稱 Djoser 金字塔，圖 3)。在沒有現代「科學」，也沒有「經驗」的情況下，當時的工程師只



圖 3 Djoser (2667-2648BC) 所建的階梯式金字塔，世界第一座金字塔，不成功，未使用 (洪如江攝)

憑藉工程「判斷」，建成階梯式金字塔 (Step Pyramid)；又因使用石灰岩，風化相當嚴重，棄而不用。

第四王朝 (2613 - 2494BC) 法老王 Sneferu (2613-2589BC)，先在 Meidum 建一座七階的階段式金字塔，然後加大為八階，最後在階梯面加鋪，使之成為真金字塔 (四面及四直線向上集中於金字塔頂端的一點)，但被棄而不用，可能因為結構不穩定；目前，這座金字塔已經荒廢。Sneferu 在 Dahshur (Meidum 之北 40 公里處) 另建金字塔，由於技術不足，金字塔外表成曲面，稱曲面金字塔 (Bent Pyramid, 圖 4)，但也遭受廢棄不用的下場。Sneferu 在他登基後約 30 年之時，在曲面金字塔之北約 2 公里處建第三座金字塔，稱北金字塔 (North Pyramid) 或紅色金字塔 (Red Pyramid, 圖 5 至圖 8)，是埃及的第一座成功的典型金字塔。

由以上的說明可知，埃及人建出典型的金字塔，並不是一步到位，而是經過 50 年以上的試誤，才獲得成功。



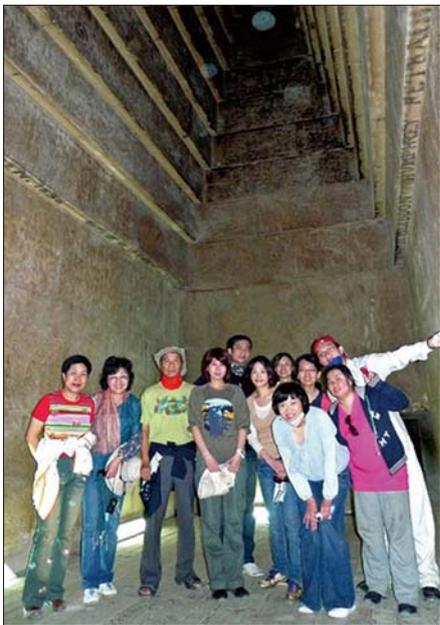
圖 4 Sneferu (2613-2589BC) 所建的曲面金字塔，不成功，未使用 (洪如江攝)



圖 5 Sneferu (2613-2589BC) 所建的紅色金字塔 (洪如江攝) ↑



圖 6 Sneferu (2613-2589BC) 所建紅色金字塔的出入口 (後人開挖) (洪如江攝並加註) →



↑ 圖 8 遊客在紅色金字塔出口處攝影留念 (洪如江攝)

← 圖 7 遊客在紅色金字塔內部攝影留念 (洪如江攝)

吉薩 (Giza) 地區的三座金字塔 (圖 9)，先後分別由 Khufu (希臘文 Cheops)、Khafre (Chephren)、與 Menhaure 等三位法老王所建。



圖 9 吉薩 (Giza) 地區的金字塔群，分別由 Khufu、Khafre、Memkaure 等三位法老王所建 (洪如江攝)

Khufu 金字塔，為所有金字塔中之最大者（ $146.6\text{ m} \times 230.37\text{ m} \times 230.37\text{ m}$ ， $V = 2,583,283\text{ m}^3$ ），故又稱大金字塔（The Great Pyramid）（圖 10）。考古學家在大金字塔一角空地挖到運送 Khufu 木乃伊的「太陽船」，在當地建「太陽船博物館」（圖 11），存放太陽船（圖 12，圖 13）。

圖 10 Khufu (2589-2566BC) 的大金字塔
（洪如江攝）



圖 11 Khufu 大金字塔一角及太陽船（運送木乃伊的皇船）博物館
（洪如江攝）



圖 13 運送 Khufu 木乃夷的太陽船正面（洪如江攝）



圖 12 運送 Khufu 木乃夷的太陽船斜側面（洪如江攝）

Khafre 又在 Giza 建人面獸身像（the Great Sphinx）（圖 14）。

吉薩 Giza 地區所建的三大金字塔，皆建設祭壇小廟與參道。

以上所列舉的金字塔，並不是全部，還有許多小型的金字塔建給皇親國戚使用，多不夠堅固，有的被毀，有的被埋沒沙土之下。

圖 14 Khafre 所建的人面獅身像（Sphinx，前）及 Khafre 金字塔
（後）（洪如江攝）→



金字塔皆被盜，不但陪葬的金銀財寶被洗劫一空，連法老王的遺體（木乃伊）也被拖出來當柴燒，法老王「王權天授」或「天神下凡」的謊言被戳破，動搖法老王與祭司的權威。因此，金字塔建設高峰（吉薩地區的金字塔群）之後，越建越小，終於在 1650BC 結束金字塔工程時代。

法老王 Khufu 為自己所建的「大金字塔」，共用石塊 2,186,053 塊，石塊最重者 14.656 噸，最輕者 1.535 噸 (Smith and Parmenter, 2004)；動員 25,000 人，費時 23 年，共費工約 2.1 億「工-日」(man-day)，假設以每「工-日」新台幣 2,000 元計，則需「工資」約新台幣 4,000 億元，尚未包括船隻（搬運人員及石塊用）、工具製造和維修、工人及其眷屬之宿舍營區、等等費用。

建造一百多座金字塔，耗費（以新台幣計）至少數十兆之多。

帝王谷與后谷地下墳墓工程時代 (1504BC-1069BC)

為防被盜，王陵以及貴族墳墓 62 所，改在尼羅河西側沙漠中的所謂「帝王谷」(Valley of Kings) 內，以隧道方式，將木乃伊與陪葬寶物深埋地下坑洞之中（圖 15 示一處隧道式王陵的入口）。以為絕對安全，卻依然被盜。但木乃伊沒有受到破壞，故能由祭司移放神廟之中保存；目前多移放開羅的埃及博物館中展覽。

Tutankhamun（另譯 Tutankhamen 者）王陵隧道，因為埋在另一王陵隧道之下，其極端奢華的金棺（圖 16 至圖 18）、套棺、及大量精美的陪葬寶物，才能逃過一劫。在近代考古挖掘之後，陪葬寶物移至開羅的埃及博物館中展覽，圖 19 至圖 21 所顯示的只是館藏 Tutankhamun 陪葬寶物中非常小的一部分。



圖 15 帝王谷內一個岩石坑洞式陵墓的入口 (洪如江攝)



圖 16 未成年夭折法老王 Tutankhamun 的純金木乃伊內棺（前）、內臟包金木棺（後）(王寶璽教授攝)

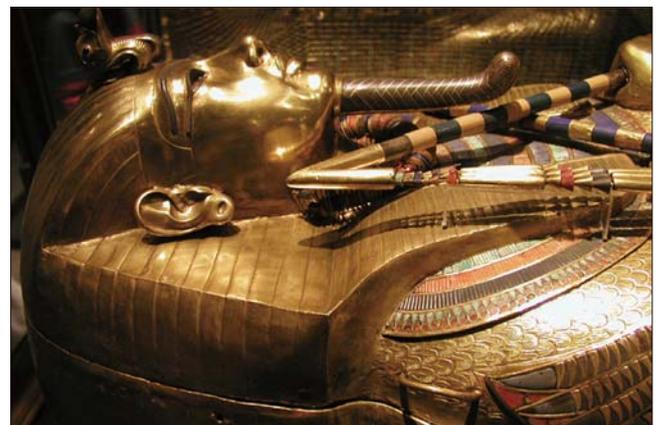


圖 17 Tutankhamun 金棺頭部近照 (王寶璽教授攝)



圖 18 純金面具鑲寶石↑
(王寶璽教授攝)



圖 19 Tutankhamum 金像
及金質豹像(王寶璽
教授攝)→



圖 20 Tutankhamum 的金椅(王寶璽教授攝)

另在帝王谷不遠之處，開發出「后谷」(Valley of Queens) 地下坑道式墳墓 75 所。

進一步閱讀，參考 Shaw & Nicholson (1995)。

神廟工程時代 (1504BC-30BC)

在金字塔工程時代結束之後，開發帝王谷之外，也開始建設神廟(已經發現 125 處以上，Wilkinson, 2000)，多極為龐大。大部分獻給具有迷信性質的守護神(例如太陽神、月神、老鷹神、鱷魚神、等等)，部分獻給法老王(有男有女)，與王后。許多神廟的牆、柱，雕刻大量的象形文字，成為後代解讀埃及歷史的重要根據。

值得一提的是，現在所看到的阿布辛貝(Abu-Simbel)雙廟，與伊希斯(Isis)神廟，原來位於河谷中較低的陸地，在亞斯文(Aswan)高壩建成之後，將被水庫之水淹沒，因此由聯合國教科文組織(UNESCO)主導，遷移現址高地。

圖 22 至圖 46，以幾組神廟為代表，顯示埃及古文明在神廟工程的投資，與在金字塔工程的龐大投資，可以相提並論；其精緻程度，勝過金字塔者。



圖 21 雪花石膏桶側面的象形文字(Tutankhamum 陪葬品)
(王寶璽教授攝)



圖 22 卡納克神廟(Karnak Temple)西口(洪如江攝)



圖 23 由卡納克聖池看 Amun-RA 神殿的一部分 (洪如江攝)

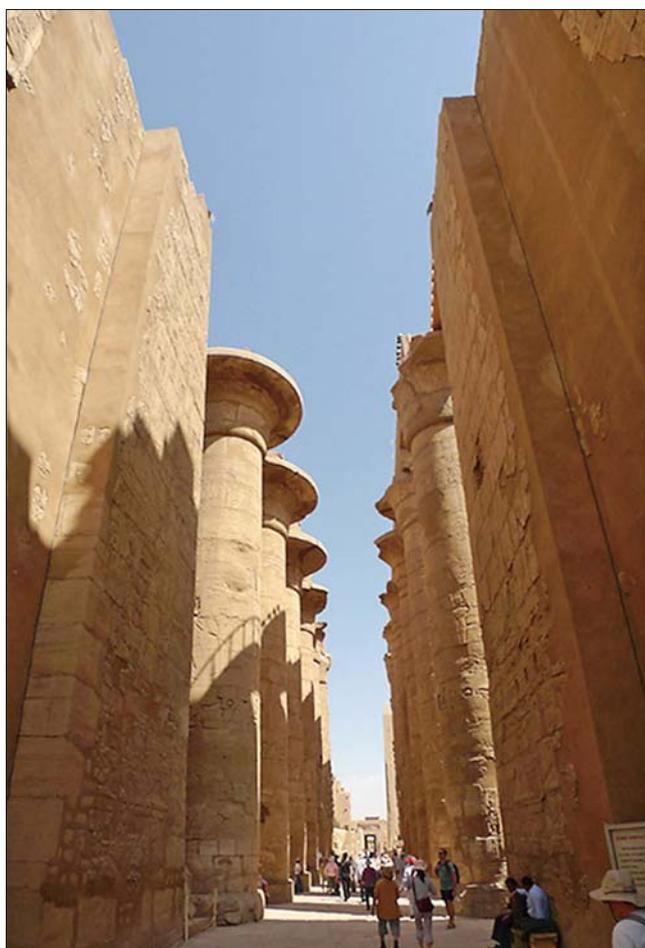


圖 24 卡納克神廟內的巨大列柱廊道 (洪如江攝)



圖 25 卡納克神廟巨柱面的銘文 (圖像及象形文字) (洪如江攝)

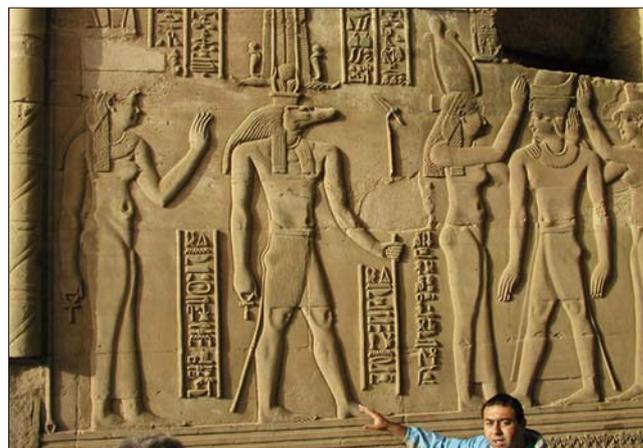


圖 26 卡納克神廟岩壁的浮雕 (神像及象形文字) (王寶璽教授攝)



圖 27 聖甲蟲 (Scarab) (埃及古文明所信仰的動物之一) 的石雕神像 (洪如江攝) ↑



圖 28 阿布辛貝 (Abu-Simbel) 雙廟，獻與法老王 Rameses II 自己與王后 Nefertari，紀念 Kadesh 戰役勝利 (洪如江攝) →

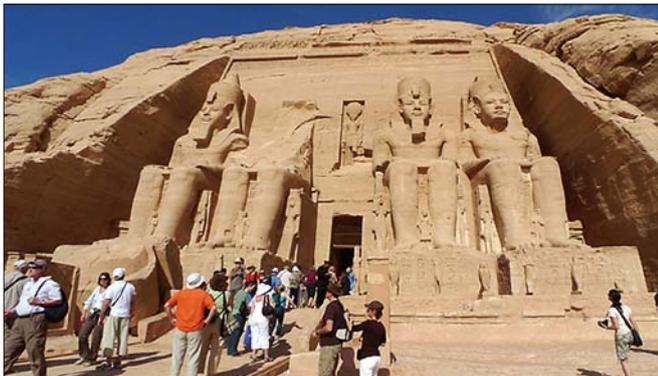


圖 29 Rameses II (1279-1213BC) 神廟正面 (洪如江攝)



圖 30 皇后 Nefertari 神廟正面 (洪如江攝)



圖 31 Rameses II (1279BC-1213BC) 打敗仗回都，反而製作英勇殺敵的壁畫欺騙百姓 (王寶聖教授攝)



圖 32 遷建飛來島 (Philae) 上的 Isis 神廟 (洪如江攝)



圖 33 飛來島 (Philae) 上的 Isis 神廟內部 (洪如江攝)



圖 34 Isis 神廟的主殿 (洪如江攝)



圖 35 路克索 (Luxor) 神廟 (洪如江攝)



圖 36 路克索 (Luxor) 神廟內部 (洪如江攝)



圖 37 從尼羅河遊艇上拍攝雙神 (鷹神與鱷魚神) 廟 (洪如江攝)

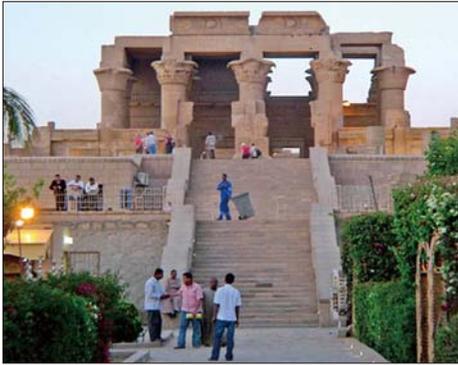


圖 39 雙神廟內鷹神浮雕（洪如江攝）

圖 38 雙神（鷹神與鱷魚神）廟正面（洪如江攝）

圖 40 雙神廟內鱷魚神浮雕（洪如江攝）



圖 41 Edfu 鷹神廟正面（洪如江攝）



圖 42 Edfu 鷹神廟正面（洪如江攝）

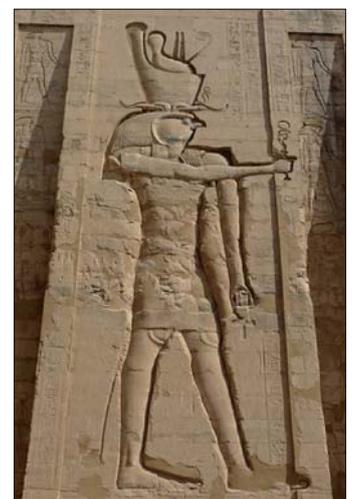


圖 43 Edfu 鷹神廟內鷹神浮雕（洪如江攝）



圖 44 Edfu 鷹神廟內鷹神石雕 (洪如江攝)



圖 45 女法老王 Hatshepsut 之廟的遠景 (洪如江攝) ↑



圖 46 女法老王 Hatshepsut 之廟的近景 (洪如江攝) ←

埃及古文明誕生與興盛的原因

- (1) 尼羅河，源遠流長，水量極為豐沛，灌溉尼羅河兩岸土地及三角洲（面積 2.4 萬平方公里）廣大土地。尤其是每年洪水帶給三角洲肥沃的淤泥（silt），造益農業生產，長久穩定。
- (2) 盛產石材（圖 47），適合建造宏偉及耐久的工程。
- (3) 尼羅河，航運交通極為方便，也盛產魚類。



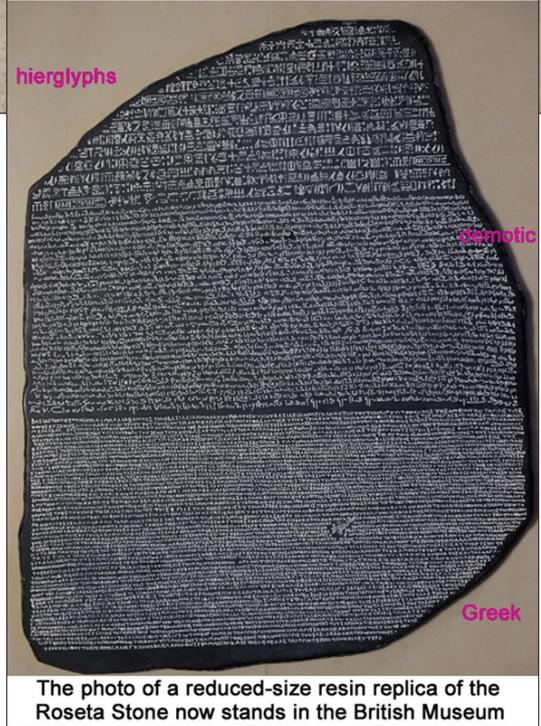
圖 47 埃及古文明土木工程的採石場一景 (洪如江攝)



未完成之方尖碑
(製作中發現裂縫)

圖 48 埃及古文明土木工程採石場中，未完成的方尖碑（洪如江攝）

Full-size of the Roseta Stone: 112.3cmX75.7cmX28.4cm



The photo of a reduced-size resin replica of the Roseta Stone now stands in the British Museum

圖 49 羅塞達石碑 (Rosetta Stone) 縮小模型照片 (洪如江攝)

- (4) 發明象形文字、通俗文字、幾何學、天文學、土地測量術、及土木工程相關的工藝，建設雄偉的金字塔、地下的隧道式坑洞、及神廟。
- (5) 木乃伊的製作及長期保存，也是一種醫學成就。

埃及古文明衰亡的原因

- (1) 古埃及信仰的對象多而混雜，缺乏中心思想，難以凝聚全民共識。
- (2) 建造太多規模極為龐大的工程：
 - * 一百多座金字塔墳墓
 - * 「帝王谷」建造地下隧道式墳墓 62 所
 - * 「后谷」地下隧道式墳墓 75 所
 - * 神廟 125 座以上
 - * 墳墓中的金棺，陪葬的金雕、玉雕、珠寶，不計其數。
 如此耗盡國家資源，卻不建防衛工程（例如歐洲許多國家的城堡、中國的萬里長城），為亡國的主要因素。
- (3) 金字塔及地下陵墓皆被盜，法老王「王權神授」與「天神下凡」的謊言被戳破之後，祭司及法老王威信完全喪失。

- (4) 多次對外用兵，也多次被外國侵略得逞。
- (5) 30BC，羅馬消滅埃及最後的托勒密王朝 (Ptolemaic Dynasty)，埃及古文明滅亡。
- (6) 自 639AD 阿拉伯大軍攻佔埃及之後，埃及已經成為一個阿拉伯國家，使用阿拉伯語文，埃及人多改信伊斯蘭教，少數信仰基督教，至於今日。今天的埃及人，已經不再是 30BC 之前原來「多神信仰」者。



圖 50 羅塞達石碑 (Rosetta Stone) 象形文字部分 (洪如江攝)



圖 51 羅塞達石碑 (Rosetta Stone) 通俗文字部分 (洪如江攝)



圖 52 羅塞達石碑 (Rosetta Stone) 希臘文部分 (洪如江攝)

埃及歷史的解讀

埃及歷史的解讀，與拿破崙征服埃及（1798-1801）有關。拿破崙震於埃及文明的偉大，派出數百位學者到埃及研究。1799年，法國學者在尼羅河三角洲 el-Rashid 村所尋獲的「羅塞達石碑」(Rosetta Stone, 196BC)，以三種文字（包括希臘文，Greek；古埃及象形文字，hieroglyphic script；與通俗文字，Demotic script）雕刻出大祭司（High Priest）為新王 Ptolemy V 加冕的公告。英軍在埃及打敗法軍之後，羅塞達石碑落入英軍手中，現在存放於大英博物館中，法國與埃及各獲複製品一塊。羅塞達石碑文字，經英國學者 Thomas Young 解讀部分，法國學者 Jean-Francois Champollion 解讀全部之後；埃及古文明金字塔、神廟及地下陵墓中所有的象形文字，以及民間使用的通俗文字，皆可譯成希臘文及其他文字。埃及約 5000 年的歷史終於獲得重建。

誌謝

埃及古文明的考察，由台灣大學的學術發展基金會與土木系文教基金會共同支助。多幅照片由王寶璽教授攝贈。一併在此誌謝。

參考文獻

1. Lehner, Mark (1997), *The Complete Pyramids*, Thames & Hudson, London.
2. McIntosh, Jane ; Twist, Clint (2001), *Civilizations: The Ten Thousand Years of Ancient History*. BBC Worldwide. 其漢文本由余幼珊、郭乃嘉、朱孟勳譯 (2003)，時報文化，台北市。
3. Mercedes de la Garza (未見出版年代), *The Mayas, 3000 Years of Civilization*, Bonechi, Firenze.
4. Shaw, Ian ; Nicholson, Paul (1995), *The British Museum, Dictionary of Ancient Egypt*, The British Museum Press, London.
5. Wilkinson, Richard H. (2000), *The Complete Temples of Ancient Egypt*, Thames & Hudson, London.
6. Wikipedia, *the free encyclopedia*. 

卓越源自於超越

台灣世曦始終相信並堅持

唯有不斷超越自我，才有機會成就不凡

在服務業主的每一當下

積極尋求創新與精進

用專業贏得客戶的信賴

用關懷永續生生不息的大地

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568

<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw

CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

Creativity · Excellence · Conservation · Integrity



卵礫石層管推進工程超挖及卡鑽 對管材與土壤互制行為之影響研究

壽克堅 / 國立中興大學土木工程學系教授

謝其穎 / 國立中興大學土木工程學系碩士研究生

非明挖工法於都市施作時，常因困難地質（如卵礫石層）或障礙物而造成施工困難、工期延誤或發生災損。本文章主要針對非明挖施工法裡的管推進施工法（Pipe-jacking Method），探討管推進工法施工時可能遭遇之困難，以及施工困難狀況下之管材土體互制行為。探討之施工困難包括超挖、擠壓、卡鑽等問題。本研究針對超挖範圍、卡鑽位置、阻力大小以及推進力施加位置等，以ABAQUS有限元素軟體進行三維數值模擬，探討直線推進施工中的問題。

No-Dig construction in the city might still encounter of difficulties. However, the difficulties or obstacles, which might cause schedule delays and damage to the pipes. This study considered different overcut range, sticking position, resistance, jacking force, and the location of jacks, etc., for the straight line and curved pipe-jacking. The ABAQUS finite element software was applied for three-dimensional numerical simulations for straight line pipe-jacking with different difficult situations.

引言

因都市高度開發施工空間受限，台灣地區之地下管線施工已大規模朝向免開挖工法之大方向邁進，以管推進工法及潛盾工法為主要工法。在推進工程中經常利用切削面盤之擴挖邊刀，對周圍土體超挖來減少推進過程中之抵抗力；但如超挖量不如預期、土壤變異性或地層不穩定等因素，使推進中發生管體周圍間隙有局部塌陷、異物卡管可能造成局部摩擦力增大並引起各種問題。此時可能因推力不足無法推進，管材可能會因為應力集中受力過大而產生破壞，使得推進工作中止或延誤。

管推進施工之管材土壤互制研究，可分為解析理論推導、物理模型模擬以及數值分析模擬三大類。前述之問題因其複雜性，數值分析方法較為容易可行。前人對管推進之數值模擬，管材一般均假設為剛體，且不考慮管材自重對推進造成之影響；對於超挖造成開挖面大於切削面盤之效應，與推進過程遭遇不同類型卡鑽問題之行為研究非常有限。因此，本研究特別

針對超挖範圍、卡鑽位置、阻力大小等，進行直線管推進數值分析研究；評估在各種條件情況下進行開挖工程所造成之影響，以及施工中可能遭遇之問題，可提供實際施工時之參考。

數值分析理論與假設

數值分析方法

採用有限元素法（Finite element method）分析，分析步驟大概分為前處理、程式分析及後處理三個步驟。前處理方面採用 ABAQUS 有限元素軟體^[1-3]的 ABAQUS/CAE（Complete ABAQUS Environment），此軟體由美國 Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. 公司所發展，可應用範圍十分廣泛，由線性結構分析至複雜之非線性應力分析均可適用。

數值模擬基本假設

模擬卵礫石層進行管推進工程之複雜力學行為，必須

做一些假設以達到簡化分析目的，以下為模擬基本假設：

1. 採靜態分析，忽略地震力等動態因素。
2. 假設卵礫石層為一均質連體，其材料參數以其巨觀力學行為決定。
3. 卵礫石層之應力 — 應變為彈塑性關係 (elastic plastic behavior)；管材、掘進機之應力 — 應變為線彈性關係 (linear elastic behavior)。
4. 現地應力狀態包含垂直應力分量與水平應力分量。
5. 現地應力之平衡不計大氣壓力，僅考慮重力之值與方向。
6. 不考慮地下水對推進工程之影響。

數值解析理論

在 ABAQUS/Standard 模組中，非線性分析中使用牛頓 — 瑞福生收斂法 (Newton-Raphson Method)。此收斂法為二階收斂法，能使殘餘力迅速減少以達到靜力平衡，而於分析中快速、正確地得到收斂值。其關係式如下：

$$R_a = P - I_a$$

其中外力為 P ，內力為 I_a ，收斂之殘餘力為 R_a 。

變位 (displacement) 是由每一疊代之力量增量 d_p 所造成之微小變位累積而成；在本收斂法中，每一次疊代過程如下：

組成剛性矩陣 K_i ；

同時得出變位 C_i ；

計算在變位 C_i 時之內力向量 $I(u_i)$ ；

此時殘餘力為 $R_{a,i} = P_i - I_{a,i}$ ；

重複上述過程，最後由以下條件式判斷是否收斂：

(1) 判斷最大殘餘力 $R_{a,max}$ 是否在容許範圍內。

(2) $C_i \left\{ \sum_{j=1}^{#iter} C_j \right\}$ 。

同時滿足上述兩條件才滿足收斂，此時節點處於平衡狀態。

現地應力狀態

隧道開挖前，礫石層處於現地應力平衡狀態。現地應力的關係式如下：

$$\sigma_h = K_0 \sigma_v$$

其中 σ_h 為水平應力， σ_v 為鉛直應力， K_0 為靜止土壓力係數。

進行大地工程模擬時，常會需要施加現地應力，但如此則可能造成網格之初始變形，對於如隧道開挖等需要預先設定接觸面之模擬，容易造成計算上之問題與數值落差，為了解決上述的問題，使用 ABAQUS 命令指令 *initial conditions, type = stress, input = 檔名 .inp 進行初使現地應力平衡。初始現地應力是將土體先給予重力之後讀取所有的土體元素的六個方向應力狀態 (S11、S22、S33、S12、S13、S23) 製作為一個副檔名為 .inp 的輸入檔，ABAQUS 會將這些土體元素的應力狀態依照此 .inp 輸入檔進行平衡，完成此步驟後，即可以讓初始位移為零或極小狀態，滿足工程分析需求。

土壤材料參數與塑性準則參數

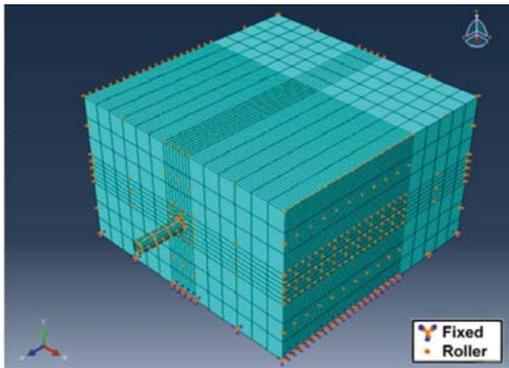
ABAQUS 程式中針對顆粒性材料如卵礫石土層，提供兩種塑性降伏準則供選擇使用，分別為 Mohr-Coulomb plasticity 與 Drucker-prager models 塑性降伏準則。本研究採用 Drucker-Prager models 塑性降伏準則中的 Exponent Drucker-Prager 廣義指數降伏模式來模擬土層之塑性行為，此塑性準則非常適合應用在具摩擦性且抗壓強度大於抗張強度之材料上，特別是卵礫石土層；另外亦允許在非彈性行為下發生潛變，由以上條件看來，Exponent Drucker-Prager 廣義指數降伏模式可作為模擬卵礫石層塑性行為的數值分析依據。同時也可以將 Mohr-Coulomb model 參數轉換成塑性硬化參數 (Drucker-Prager Hardening failure criterion) 輸入模型使用。

數值模型建立

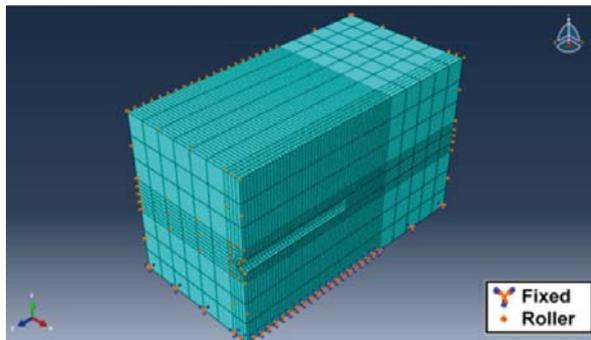
幾何與邊界條件

本研究模擬在水平地表面下 12.5 m 處 (隧道中心)，進行水平向管推進工程，並考慮超挖、擠壓與卡鑽等不同影響因素。模擬之土體尺寸為長 40 m × 寬 40 m × 深度 25 m 之長方立方體；混凝土管為外徑 2 m，內管徑 1.6 m，厚度為 0.2 m 空心圓柱體；掘進機頭直徑為 2 m，長度為 2.5 m 接在混凝土管的前緣；直線推進用管材為標準管，長度 2.5 m。

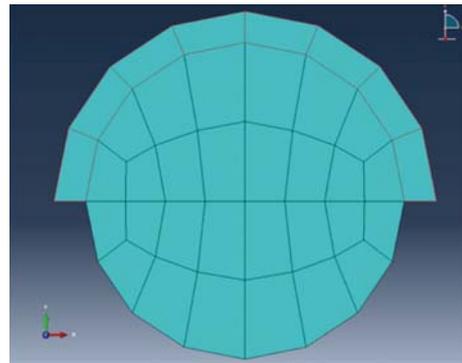
土體模型的四周側部邊界採用滾支承 (roller) 束制，底部邊界用固定支承 (fixed bearing) 束制，頂部邊界為地表面 (自由面) 所以不予以束制。數值分析模型為直線管推進模型，包含超挖及卡鑽等類型，模型網格如圖 1、圖 2 所示。



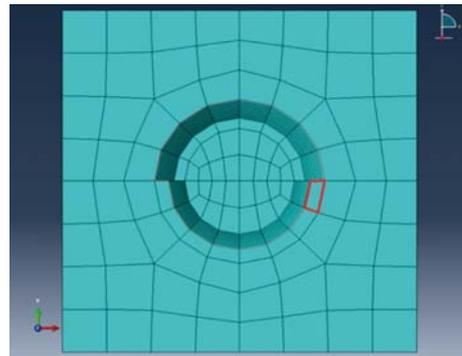
(a) 立體示意圖



(b) 立體縱剖面示意圖
圖 1 直線管推進模型



(a) 直線超挖範圍 180° 示意圖



(b) 直線超挖 + 卡鑽位置示意圖
圖 2 直線超挖推進模型

數值分析元素類型

在數值分析中，選取適當元素是很重要的。尤其在有限元素法中，選用不同型式的元素會產生不相同的分析結果。因此，選用適當的元素種類，可以獲得較精確的數值分析結果；若使用不適當的元素種類，可能導致分析結果產生相當大的誤差，甚至得到錯誤的結果。ABAQUS 擁有豐富的元素類型，包含了一階完全積分元素 (C3D8)、一階減積分元素 (C3D8R)、一階非協調元素 (C3D8I)、以及二階元素 (C3D20)。考量分析收斂難易度、結果精確性、數值運算所需時間，建議使用三維八節點非協調六面體固體元素 (Incompatible mode, C3D8I) 來模擬；其優點在能克服在線性完全積分元素中，因過度變形產生的剪力自鎖 (Shear Locking) 問題，同時可以用較低的時間成本獲得較佳的結果。

選用材料參數

根據褚炳麟 [4]、黃崇文與司徒銳文 [5]、中興工程顧問社 [6,7]、任德煜 [8]、中華顧問工程司 [9]、陳堯中 [10] 等學者之研究結果資料顯示，卵礫石層普遍具有高摩擦角與低凝聚力之材料性質。中部地區卵礫石之材料性質範圍其彈性模數 E 約：1,000 ~ 11,000 kg/cm²、凝聚力 c ：

0.11 ~ 0.3 kg/cm²、內摩擦角 ϕ_p ：30 ~ 66 度、靜止土壓力係數 K_0 ：0.25 ~ 0.85、現地密度：1930 ~ 2350 kg/m³、柏松比約為 0.2 ~ 0.3。混凝土管彈性模數：33.45GPa、柏松比：0.2，單位重：2,400 kg/m³；掘進機彈性模數：200GPa、波松比：0.3，單位重為 7850 kg/m³；詳細材料參數參照表 1、表 2。

針對材料降伏準則，本研究採用 Drucker-Prager models 塑性降伏準則中的 Exponent Drucker-Prager 廣義指數降伏模式來模擬土層之塑性行為，其中 Exponent Drucker-Prager 所需參數是參考顏君行 [11] 進行管推進物理模型試驗結果回歸求得；此外使用 Exponent Drucker-Prager 準則還必須給定土壤之膨脹角 β ，可由王金昌等人 [12] 「ABAQUS 在土木工程中的應用」書裡的 Mohr-Coulomb 與 Drucker-Prager 參數對照表線性內插求出。

混凝土材料參數設定時，除了假設降伏前遵守虎克定律呈線彈性外，當混凝土進入塑性區後之應力應變行為，本研究採 ABAQUS 中的混凝土損傷塑性模型 (concrete damaged plasticity model)，混凝土之塑性準則參數參照表 3。此外，土體與管材之摩擦係數是參考劉耕豪 [13] 針對管推進工程數值模擬進行摩擦係數試驗，求得之管材與土壤摩擦係數如表 4。

表 1 卵礫石層材料參數

參數	範圍	選用
γ_t (kN/m ³)	19.3 ~ 23.5	21.5
ϕ (°)	30 ~ 66	37
c (kPa)	11 ~ 30	15
K_0	0.25 ~ 0.85	0.398
v	0.2 ~ 0.3	0.3
E (GPa)	0.1 ~ 1.1	0.33

表 2 推進管材料參數

參數	混凝土管	鑽掘機
E (GPa)	33.45	200
v	0.2	0.3
γ_t (kN/m ³)	24	78.5

表 3 混凝土管之塑性準則參數

Dilation Angle (°)	Eccentricity	f_{b0}/f_{c0}	K	Viscosity Parameter
15	0.1	1.16	0.667	0

表 4 各摩擦係數試驗之摩擦係數

	無滑材	添加可塑劑與 PAA
μ	0.523	0.129

推進力計算

依據日本土木學會 (1996) 隧道標準示方書 (潛盾編)。直線管推進數值模型之推進力計算過程如下：

土壤參數

土壤單位重 $\gamma_t = 21.5$ (kN/m³)

內摩擦角 $\phi = 37^\circ$

凝聚力 15 (kN/m²)

側向土壓力係數 $K_0 = 1 - \sin\phi = 0.398$

隧道上方覆蓋土層深度 (至頂拱) $H = 11.5$ (m)

潛盾機外部與土壤摩擦係數

第一節推管 $F1a = \mu \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L_{m1} \cdot P_m + W_{ma} \cdot g) = 3205.75$ (kN)

第二節推管 $F1b = \mu \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L_{m2} \cdot P_m + W_{mb} \cdot g) = 3605.33$ (kN)

$\mu = 0.129$, $D_0 = 2$ (m), $L_{m1} = 20$ (m), $L_{m2} = 22.5$ (m)

$P_m = \frac{2 \cdot P_e + Q1_e + Q2_e}{2} = 192.96$ (kN/m²)

上部垂直土壤重量 $P_e = \gamma_t \cdot 2D_0 = 86$ (kN/m²)

頂部水平土壤重量 $Q1_e = \gamma_t \cdot H \cdot K_0 = 98.406$ (kN/m²)

底部水平土壤重量 $Q2_e = Q1_e = \gamma_t \cdot D_0 \cdot K_0 = 115.52$ (kN/m²)

開挖面前端阻力

$$F2 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot P_f = 336.03 \text{ (kN)}$$

$$P_f = \frac{Q1 + Q2}{2} = 106.963 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

第二節直線推管所需總推進力

$$F_{XT} = F1b + F2 = 3605.33 + 336.03 = 3941.36 \text{ (kN)}$$

$$\left[\frac{F_{XT}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_0^2)} \right] = 3484.84 \text{ (kN/m}^2\text{)} \approx 3.48 \text{ (MPa)}$$

上述之推進力施加位置於工作井與土體交界處，亦即推力加載於推進管最後一節尾端上，且每推進一節施加推進力位置就必須往後挪，以符合實際推進情況。此外本節所求出之推進力尚未考慮超挖情形，超挖所需推進力必須以試誤法推求，理論上因超挖造成管材與周圍土體接觸面積減少，使摩擦抵抗力降低，超挖推進力會比一般管推進力要來的小。

結果與討論

本研究探討之典型直線推進模型設定條件如下：土體模型尺寸為 40 m × 40 m × 25 m 之立方體，掘進機直徑 2 m、長 2.5 m，混凝土管為空心圓柱外徑 2 m、管長 2.5 m、壁厚 0.2 m，推管覆土深度為 11.5 m，所有元素類型皆為 C3D8I 元素，網格總數為 14520 個 (一般) 與 17800 個 (超挖)。卡鑽元素大小為 0.5 × 0.5 m × 0.2 m 之方體，卡鑽分別在掘進機後方第二節管材右側前、中、後三個位置，超挖範圍為水平線上 180 度、厚度 0.2 m，超挖長度一律從開挖面至卡鑽位置前一個網格處。土體考慮為彈塑性體，掘進機為彈性體，管材降伏前為線彈性，降伏後為彈塑性，圖例之 L' 為卡鑽元素自身長度 (m)， L 為其他節點與卡鑽元素之直線距離 (m)。數值分析模型代號整理如表 5。以上述條件進行直線推進模擬，數值分析結果及發現重點如下：

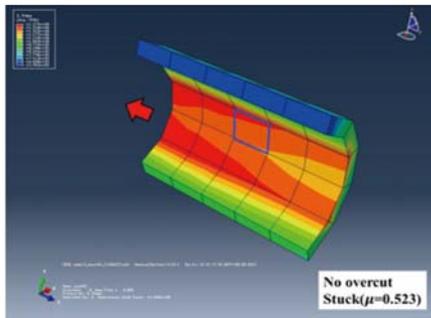
- (1) 卡鑽位置不同摩擦係數之數值分析結果顯示，管壁內外側之受力情形有明顯不同。推進遭遇卡鑽但沒有將管材卡死時 ($\mu = 0.523$)，管壁內側應力會比外側大。當卡鑽卡死摩擦係數 ($\mu = \infty$) 時，管壁內側應力會小於外側，相較於卡鑽類型 ($\mu = 0.523$) 之行為正好完全相反 (如圖 3、圖 4)。
- (2) 卡鑽位置摩擦係數 ($\mu = 0.523$) 時，用一般狀況推進時之推進力一樣可使管材推至定位。即便摩擦係數增加，當推進力大於卡鑽位置之最大靜摩擦時，一樣會讓管體前進，對推進行為影響不大。此

表 5 數值分析模型代號

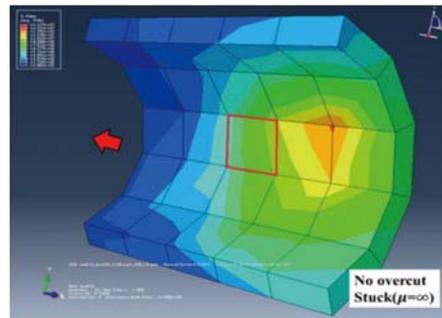
數值分析模型代號		說明
直線推進	No, Ns	No overcut, No stuck
	No, s	No overcut, stuck
	o, Ns	overcut, No stuck
	o, s	overcut, stuck
曲線推進	No, Ns	No overcut, No stuck
	No, s	No overcut, stuck
	135, Ns	overcut range 135°, No stuck
	135, s	overcut range 135°, stuck
	180, Ns	overcut range 180°, No stuck
	180, s	overcut range 180°, stuck
共用	L'	卡鑽元素自身長度 (m)
	L	其他節點與卡鑽元素之直線距離 (m)
	AA'	管壁內側環向路徑
	BB'	管壁外側環向路徑
	CC'	周圍土壤環向路徑
	DD'	管壁內側軸向路徑
	EE'	管壁外側軸向路徑
	FF'	周圍土壤軸向路徑
GG'	土壤徑向路徑	

外卡鑽位置距離後方千斤頂越近，則管材內外側應力差距越大（圖 5、圖 6）。

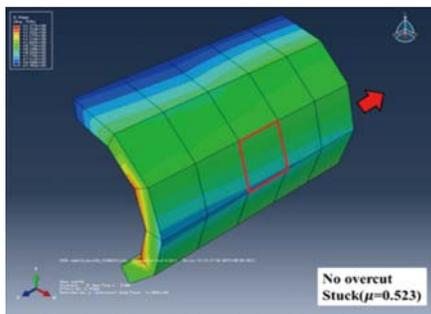
- 一般直線推進遭遇卡鑽之數值分析結果顯示，卡鑽位置摩擦係數 ($\mu = \infty$) 比摩擦係數 ($\mu = 0.523$)，管材與土壤各方向（環向、軸向及徑向）應力皆增加 5 ~ 25 倍，土壤各方向變位增加約 25 ~ 70 倍（圖 5 ~ 圖 20）。
- 直線超挖推進在遭遇卡鑽問題時，微觀行為變化比一般直線推進遭遇卡鑽時更為劇烈。比較卡鑽位置摩擦係數 ($\mu = \infty$) 與摩擦係數 ($\mu = 0.523$)，管材與土壤各方向（環向、軸向及徑向）應力皆增加 5 ~ 25 倍，土壤各方向變位較為明顯，增加約 65 ~ 200 倍（圖 5 ~ 圖 20）。



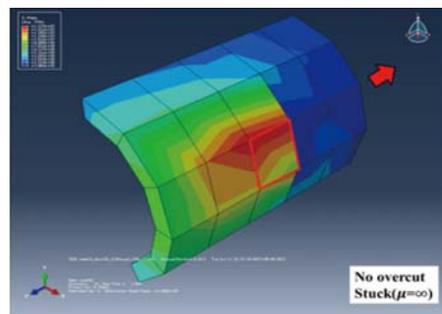
(a) 管壁內側



(a) 管壁內側



(b) 管壁外側



(b) 管壁外側

圖 3 直線推進部分卡鑽之管壁內外側應力示意圖

圖 4 直線推進卡鑽卡死之管壁內外側應力示意圖

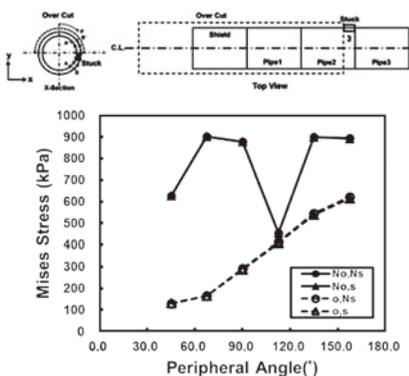


圖 5 水平比較直線推進管壁內側 (AA') 環向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

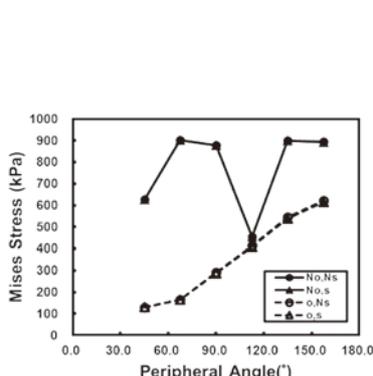


圖 6 水平比較直線推進管壁外側 (BB') 環向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

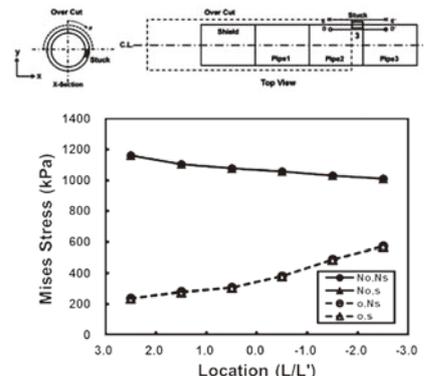


圖 7 水平比較直線推進管壁內側 (DD') 軸向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

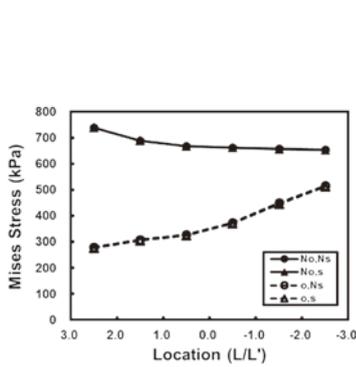


圖 8 水平比較直線推進管壁外側 (EE') 軸向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

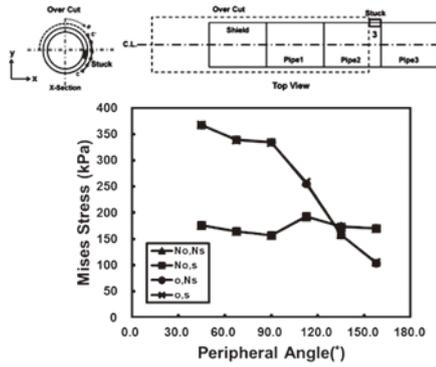


圖 9 水平比較直線推進土壤環向 (CC') 應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

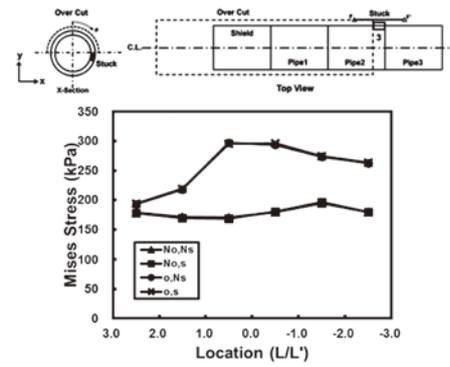


圖 10 水平比較直線推進土壤軸向 (FF') 應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

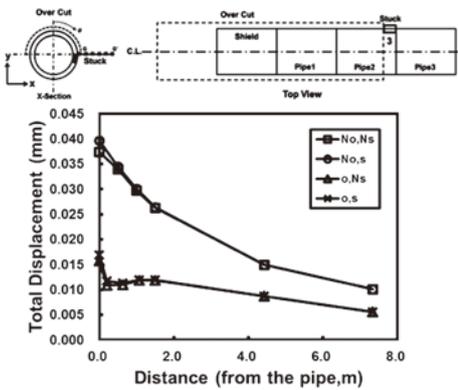


圖 11 水平比較直線推進土壤徑向 (GG') 變位圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

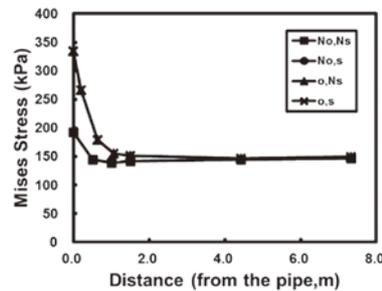


圖 12 水平比較直線推進土壤徑向 (GG') 應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

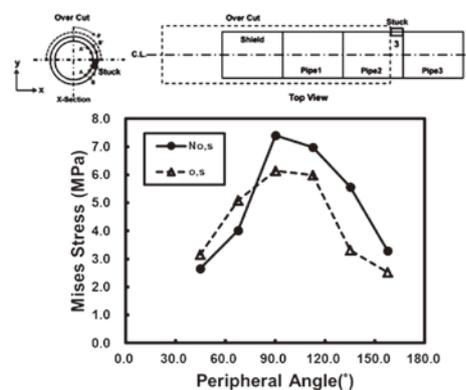


圖 13 水平比較直線推進管壁內側 (AA') 環向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

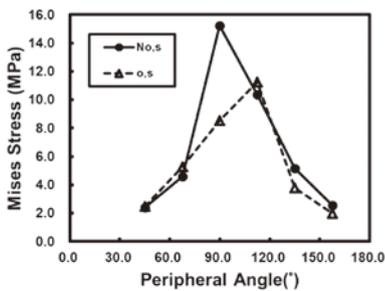


圖 14 水平比較直線推進管壁外側 (BB') 環向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

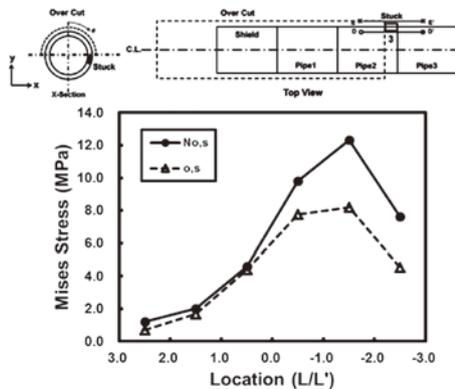


圖 15 水平比較直線推進管壁內側 (DD') 軸向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

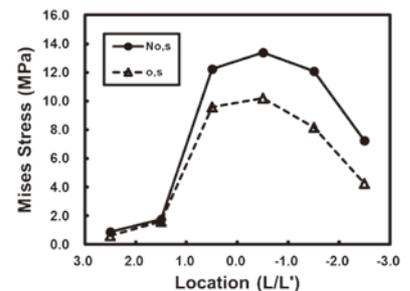


圖 16 水平比較直線推進管壁外側 (EE') 軸向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

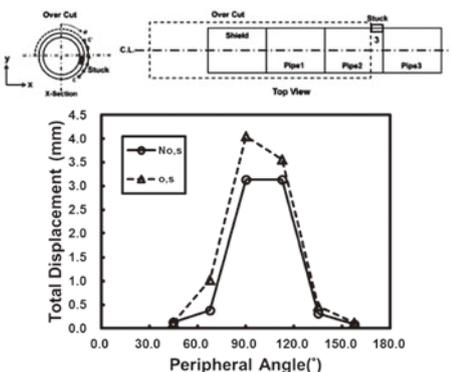


圖 17 水平比較直線推進土壤環向 (CC') 變位圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

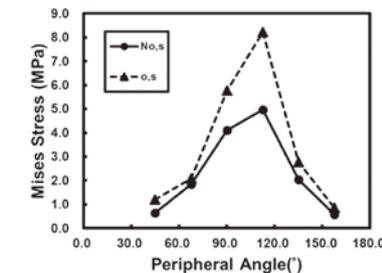


圖 18 水平比較直線推進土壤環向 (CC') 應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

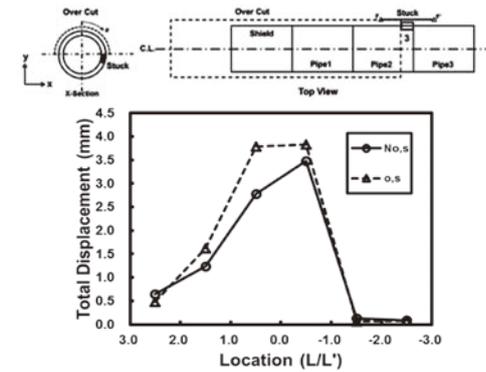


圖 19 水平比較直線推進土壤軸向 (FF') 變位圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

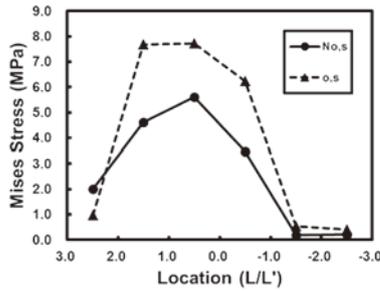


圖 20 水平比較直線推進土壤軸向 (FF') 應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

結論

本研究針對直線推進施工中超挖範圍、卡鑽位置、阻力大小等，以 ABAQUS 有限元素軟體進行三維數值模擬。結果顯示卡鑽位置及不同卡鑽程度（不同摩擦係數），管壁內外側之受力情形有明顯不同；當卡鑽完全卡死時，管材與土壤都承受極大應力及變形，應盡可能避免。

由本研究之結果可歸納得以下之建議：滑材特別是管外側之背填滑材的施加對於管材之穩定及推進力之控制影響甚巨；此外，背填滑材施加後管材與土壤之互制行為變得較溫合，對於土壤的變位包括地表的沉陷也可獲得改善。以上之建議，對於較大口徑、超挖量大、或地層變異性大之免開挖施工，更加重要或適用。

參考文獻

1. 愛發股份有限公司，ABAQUS 實務入門引導，台灣：全華圖書，2005:1 ~ 276。
2. 石亦平、周玉蓉，ABAQUS 有限元分析實例詳解，北京：機械工業出版社，2008:1 ~ 391。
3. 曹金風、石亦平，ABAQUS 有限元分析常見問題解答，北京：機械工業出版社，2008:1 ~ 306。
4. 褚炳麟，台灣地區麓山帶與台地礫石材料性質之初步研究，中國土木水利季刊，1982.9(2):73 ~ 86。
5. 黃崇仁、司徒銳文，台中大肚山台地卵礫石層承載特性調查實例，國際卵礫石層地下工程研討會，台北，1995:1-41 ~ 1-50。
6. 中興工程顧問社，台中市垃圾焚化廠管理大樓、警衛室、配水池大地力學現地直剪試驗報告，台灣環境保護處，1993。
7. 中興工程顧問社，台中市第四期工業區開發計劃地質鑽探及實驗工作報告書，台灣土地開發信託投資股份有限公司，1995。
8. 任德煜、黃國書、林棕元等，台中盆地利用推進工地施行直接剪力試驗之研究，岩盤工程研討會，新竹，1998:119 ~ 128。
9. 財團法人中華顧問工程司，台灣西部走 高速鐵路路線結構工程細部設計苗栗 - 台中段補充地質調查報告，高速鐵工程籌備處，1994。
10. 陳堯中，管推進工程管線與土壤互制行為之分析研究，土木水利，2001. 28(2):5 ~ 19。
11. 顏君行，管推進工程管線與土壤互制行為之分析研究，台中：中興大學土木工程研究所，2006。
12. 王金昌、陳頁開，ABAQUS 在土木工程中的應用，大陸：浙江大學出版社，2007。
13. 劉耕豪，鉛直曲線管推進對土壤及鄰近建物影響之數值分析，台中：中興大學土木工程研究所，2010。



105 年年會

工程教育論壇

土木工程學生設計能力和國際移動力

11月19日(六) 13:30~17:20 台中林酒店

土木工程系是如何培育學生解決工程問題的能力？這方面的教育和工程教育認證有怎樣的關係？當今國際上工程教育認證的現況和影響為何？工程教育認證對土木系畢業生國際移動力又有如何的影響？本論壇將針對以上問題提供說明及經驗分享，並希望藉由與與會者的交流強化國內土木工程教育與世界接軌的進展。

議程

時間	講題	講者
13:30~13:40	論壇介紹	主持人：呂良正理事長
13:40~14:00	國際工程教育認證現況及影響	劉曼君博士 中華工程教育學會 (IET) 辦公室主任兼認證委員會副執行長
14:00~14:10	Capstone 問卷調查結果分享	
14:10~14:30	台大土木工程實作經驗分享	
14:30~14:50	淡江土木 Capstone 課程之初體驗	
14:50~15:10	Q & A	主持人：呂良正理事長
15:10~15:40	Tea & Coffee	
15:40~15:55	學生工程創意競賽得獎團隊發表	金牌 (TBA)
15:55~16:10		銀牌 (TBA)
16:10~16:25		銅牌 (TBA)
16:25~16:45	國際專業工程師執照 FE & PE 考試	王華弘副教授 中華臺北亞太工程師監督委員會副秘書長
16:45~17:05	跨國執業經驗談	張文豪技師 卡文諮詢工程師有限公司
17:05~17:20	Q & A	主持人：呂良正理事長



以「管」窺「地」

— 由維生管線課題研窺地下掘削機制

陳堯中／國立臺灣科技大學營建工程系教授

鄭玉鴻／加興營造工程股份有限公司工程師

黃祉萍／國立臺灣科技大學營建工程系碩士生

本文嘗試以近年來管線相關災難角度切入探討地下掘削機制之重要性，屏除輔以其他工法可以解決的項目，分別以設計及施工兩方面建立廣義式之推力評估及其適挖性指標，期能達到「大小通吃、軟硬兼施」之目的，再配合外業現場調查資蒐施工數據資料佐證之。

本研究為改善傳統設計面僅考慮整體之土水壓，加入局部貫切力的貢獻，且由傳統現地施工數據僅有單一評估值，無法適切模擬正常開挖狀況，為更能詳細探討掘進推力變化，故加入四條上、下限供現場可能產生異況範圍判識。施工面則有別傳統之工進分析僅有推力及輪進（距離）作工程進度記錄，各案例間無法比較且無異況警戒之概念，由施工面針對推力、扭矩及掘削速率之工程進度相關管控關係，利用量綱分析將 (1) 地質材料因子：楊氏模數、單拉強度、單壓強度 (2) 機械掘進因子（推力、扭矩）評估影響因子正規化，作為「正規化工進橢圓圖」之建置，並求取其特徵值，其圓心、長短軸、面積均具物理與工程意義，得以作為正常施工之適挖性與異況警戒之行動參考。

本研究蒐集所得資料，因已正規化尺度之影響，未來可由規模較大之潛盾借鏡給規模較小之管推作參考。未來在潛盾機操作面板上希望能添加本監測指標，也能在後端建置一資料庫，未來由「地下」上「雲端」，可即時跟以往案例做比對，供現場施工人員之參佐。

鑑古知今・繼往開來

空間資源是空間環境中能夠為人類開發利用、獲得經濟和其他效益的物質或非物質資源的總稱，隨著都市高速發展，人口急劇增加，用地取得困難，地下化自然成為空間資源中的最後一塊拼圖，雖然是最後但不是最不重要，甚至是不可或缺的一部分。近年來，台灣飽受「管線」之困，由去年的「化學管」引發高雄氣爆案，到今年自來水使用「鉛管」、高雄小港區中林路及大寮區鳳林路盾工程造成地層崩塌等，所在多有顯示地下管線安全之重要性。

依據 2015 年瑞士洛桑國際管理學院 (IMD) 國家競爭力評估報告顯示，在四個構面因素 (Main

Competitiveness Factor) 裡，汙水下水道普及率為基礎建設評分指標之一。在全球汙水下水道普及率評比中，由表 1 得知，在 48 國提供汙水處理率的評比國家中，我國用戶接管普及率僅 47.0%，排名第 44 名敬陪末座，故對全球競爭力 (2015 年台灣總排名第 11 名) 造成影響。

截至 104 年 9 月內政部營建署資料統計普及率達 50.39%，即對整體接管率而言，仍有近 49.61% 之進步空間，且 104 年度營建署推動「汙水下水道第五期建設計畫」，預計於 104 年至 109 年完成，估計 6 年內政府及民間將投入 1068 億元經費，並已列為國家重大政策「愛台十二項建設」重點執行項目之一。台灣下水道普及率排名表整理如表 2 所示。

表 1 全球 48 個國家下水道普及率排名表 (依 2013 年統計資料)
(資料來源: IMD, The World Competitiveness YearBook 2015)

國家別或地區	新加坡	英國	以色列	荷蘭	西班牙	瑞士	德國	台灣
普及率 (%)	100.0	100.0	99.0	99.0	99.0	98.0	97.3	47.0
排名	1	1	3	3	3	6	7	44

表 2 台灣下水道普及率排名表

區域	分類	局部	整體
國內 (營建署) 依 2015 年 8 月統計資料		N/A	50.31/100%
國外 (瑞士洛桑管理學院) 依 2013 統計資料		44/48	11/60

困難重重・困知勉行

困難其來有自，首先是關乎政治選舉作秀，地下管線看不到就不算是政績，不受到重視；在法律方面而言，管線各單位各自為政，沒有一個統一管道共同管理，上述等非工程原因本研究雖列出但不予考量，僅針對地下掘進工程面為改善重點。首先實施調查實務困境現況發現可分為流體及固體兩大類，其中流體可採「遠排近灌」利用降水及冰凍工法等措施處理，固體則可分為天然如遇流木、樹根等，可假想為在破鏡作業時之混凝土中添加纖維筋，抗拉好但抗剪差，不敵扭矩；人工則有箱涵及基樁等基礎構造物，如圖 1 所示。

綜整以上劃定範圍及屏除輔以其他工法可以解決的項目，建立研究之推力評估及其適控性指標，再依外業現場調查資蒐施工數據資料佐證之。並以本研究風險指標阻抗關係圖及工進橢圓圖於施工層面探討掘進工程於正常順利掘進及困難發生時之推力變化情況以及適確性及開挖狀況評估建議。

由設到施・通盤考量

由設計面言，傳統僅考量整體之土水壓，於潛盾施工時，僅考慮潛盾機前方土壓及水壓造成的主動土壓，利用螺旋輸送機調節排土速率，以使土倉內維持接近充滿狀態及後方千斤頂的推力，使其產生被動土壓為達平

衡，而達開挖面安定之效果，如圖 2 及圖 3 所示。

由施工面言，僅依照前人文獻建議地質選切削刀刃及掘削機器，綜整國內、外掘進機種類共計超過六千多種之開挖面盤配置，如圖 4。一般工程思考皆多考慮工法與機型對應各類不同地層之「可挖性」作探討，鮮少對「適確性」作研析。

大小通吃・軟硬兼施

本研究適用範圍，包含大尺度全斷面隧道鑽掘機工法 (Tunnel boring machine, TBM)、潛盾工法 (Shield tunneling, ST) 及小尺度管推工法 (Pipe jacking, PJ)，和各種臺灣分區地質條件 (土、礫、岩) 皆為本研究訴求之調查項目，希冀達到「大小通吃」以及「軟硬兼施」的目的，如圖 5 及表 3 所示。

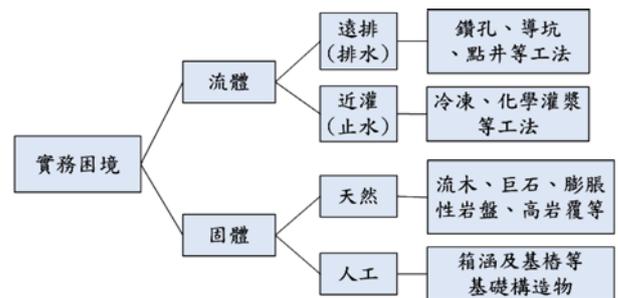


圖 1 實務困境調查



圖 2 掘進開挖面壓力平衡示意圖 (林國龍, 2010)

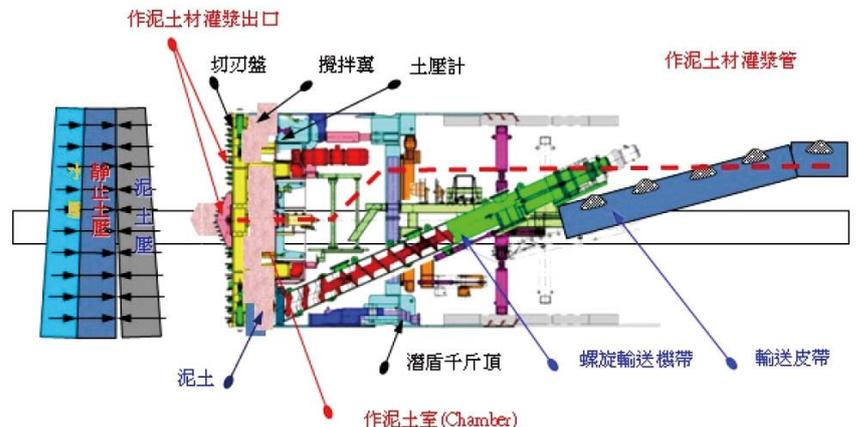


圖 3 土壓平衡式潛盾機潛盾機施工原理 (資料來源: 豐順營造公司網站)



圖 4 不同地層分別適用之機械開挖面盤類型 (資料來源: 奧村機械製作股份有限公司)

施工面則有別傳統之工進分析僅有推力及輪進(距離)作工程進度記錄, 各案例間無法比較且無異況警戒之概念, 由施工面針對推力、扭矩及掘削速率之工程進度相關管控關係, 利用量綱分析將(1)地質材料因子: 單拉強度 σ_c 、單壓強度 σ_t 、楊氏模數 E ; (2)機械掘進因子(推力 T_h 、扭矩 T_q)評估影響因子正規化, 如式(1)~式(4)所示, 作為「正規化工進橢圓圖」之

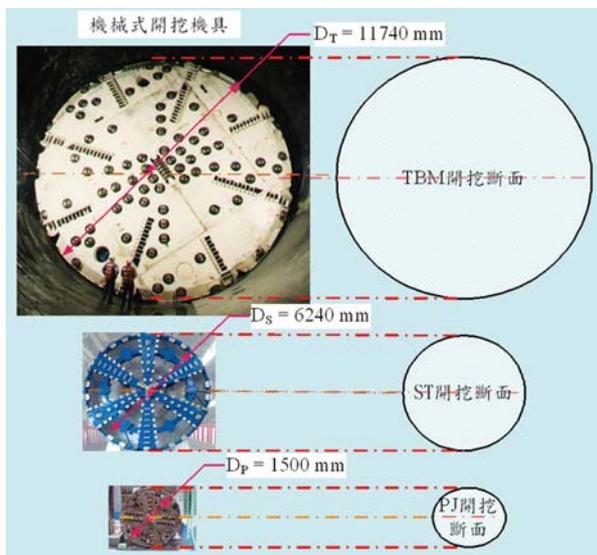


圖 5 各種尺度機械式開挖工程之斷面示意圖

表 3 廣義式掘削機制綜整分析

I. 以地質破壞特徵作分類	II. 以局部至整體切削單元作分類
<ul style="list-style-type: none"> 脆性類岩 (Brittle): 岩盤、孤石、地下混凝土或硬質改良地盤等 延-脆複合材料 (Compound): 卵礫石層、橫或縱向變異之地質 延性土壤 (Ductile): 黏性與砂性土壤 	<ul style="list-style-type: none"> 單刀 (Single cut): 正向與否¹、楔刀或錐頭²、轉動與否³、刀角大小⁴、磨耗與否⁵、大地應力⁶ 群刀 (Doubled-cutter): 臨界雙刀間距⁷ 切削面盤 (Cutter-head): 整體最適化配置
III. 以開挖斷面尺寸作分類	<ul style="list-style-type: none"> 全斷面隧道開挖 (TBM) 潛盾工法 (Shield tunnel) 管推工法 (Pipe jacking)

本研究為改善傳統設計面僅考慮整體之土水壓, 加入局部貫切力的貢獻, 且由傳統現地施工數據僅有單一評估值, 如圖 6, 無法適切模擬正常開挖狀況, 為更能詳細探討掘進推力變化, 故加入四條上、下限供現場異況可能產生範圍判識, 如圖 7。

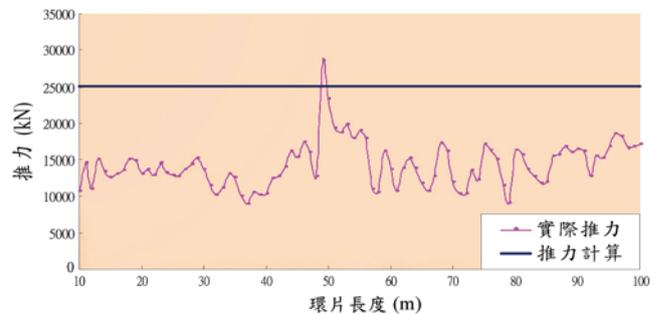


圖 6 桃園卵礫石潛盾設計與現地施工推力 (林國龍^[5])

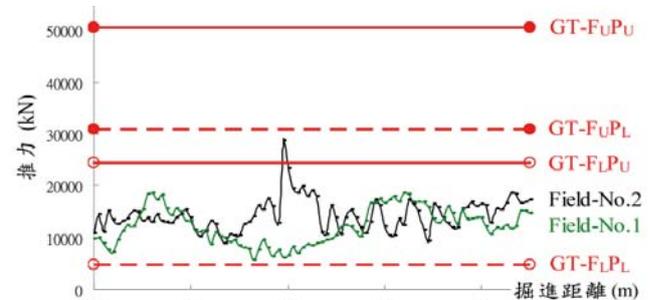


圖 7 本研究風險指標阻抗值與桃園卵礫石潛盾現地施工數據比較 (林國龍^[5])

建置, 並求取其特徵值, 其圓心、長短軸、面積均具物理與工程意義, 得以作為正常施工之適挖性與異況警戒之行動參考, 其物理場見圖 8。

$$\Pi_1 = \frac{T_h}{r^2 \sigma_c} = T_h^* \quad (1)$$

機械因子:

$$\Pi_2 = \frac{T_q}{r^3 \sigma_c} = T_q^* \quad (2)$$

$$\Pi_3 = \frac{E}{\sigma_c} = R^* \quad (3)$$

地質因子:

$$\Pi_4 = \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = H^* \quad (4)$$

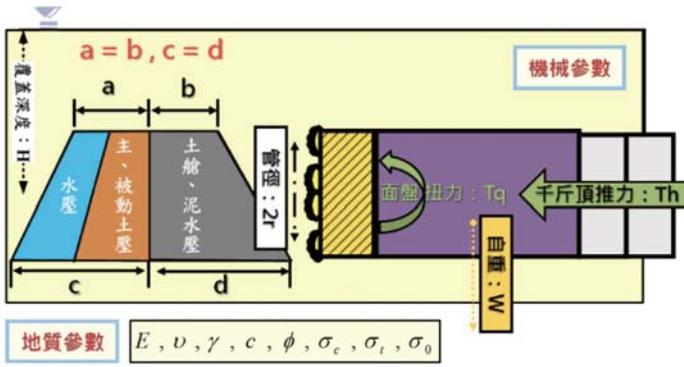


圖 8 機械式鑽掘開挖物理場示意圖

綜上所述，本研究團隊經現場實務案例驗證，經由適挖性指標的建立，不僅能針對接觸域場之掘削進度作探討，還可以將其分割成四個象限，見圖 9，針對其分佈位置進行傳統大地工程安全性之管理研析，其中機械因子相對較地質材料因子好求得，又因現場施工大多固定扭矩調整推力，所以本文先取正規化推力因子與掘進速率之關係圖作分析。日後便可依循此模式，增添多筆案例，充實資料的統計依據並將所有分析成果綜整如圖 10。

就適挖性之探討言，資料點落於各象限之優劣順序如下：(IV) > (I) > (III) > (II)，因為先以 X 軸進度管理來看，其值越大表示工進傾向順利故 (I) 和

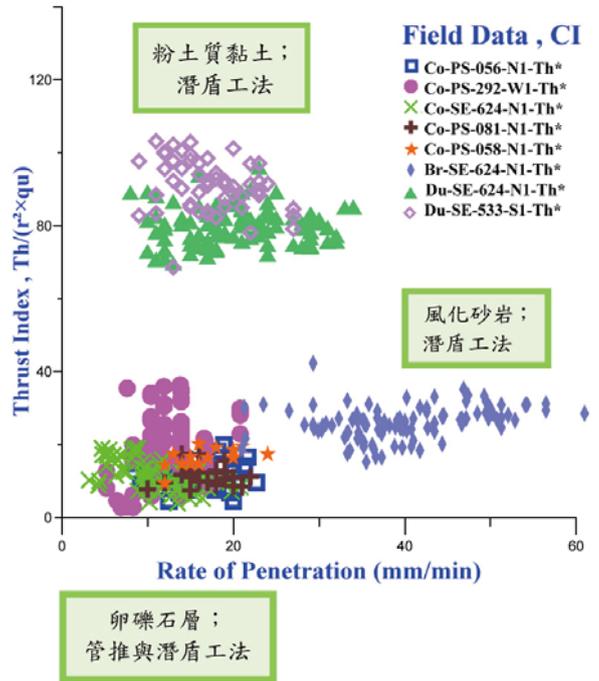


圖 10 正規化推力工進圖於不同地質材料下之特徵分佈 (鄭玉鴻^[8])

(IV) 優於 (II) 和 (III)。再者，藉由 Y 軸耗費能量角度言，其值反而需要降低，且若該值減少而掘削進度維持相同，就整體之適挖性言，是為益助。綜上言之，(IV) > (I) 且 (III) > (II)，故得其代表較佳適挖性之優先順序。

首先將本次研究之地質材料參數 (案例資蒐來源為鄭玉鴻, 2013)，彈性模數 E 、單壓強度 σ_c 列於表 4，再依照相對勁度指標 R^* 、掘進速率 R.O.P、正規化推力指標 T_h^* 三者之間相對關係，製圖如圖 11 至圖 14 所示，可發現相同地質材料群聚現象一致。雖本次單壓強度設為定值，未來如能應用前面所提之貫切力求得楊氏模數、單壓強度、單拉強度，所得結果將會更加準確。

表 4 案例剖析之地質材料無因次因子統整 (鄭玉鴻^[8])

項次	案例編號	地質材料	彈性模數 (MPa)	單壓強度 (MPa)
1	Co-SE-624-N1	卵礫石層	22.6	130
2	Co-PS-081-N1	卵礫石層	20	130
3	Br-SE-624-N1	風化砂岩	27.5	50

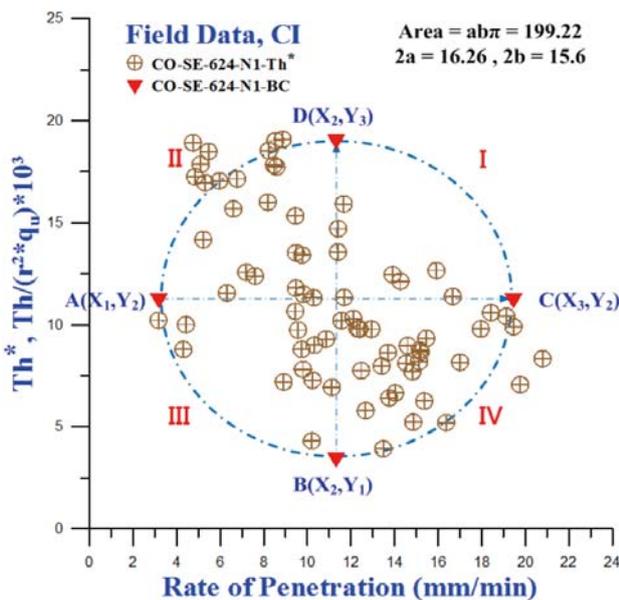


圖 9 桃園卵礫石潛盾工程分析路段之工進橢圓與座標象限分佈圖 (楊喆巽^[7])

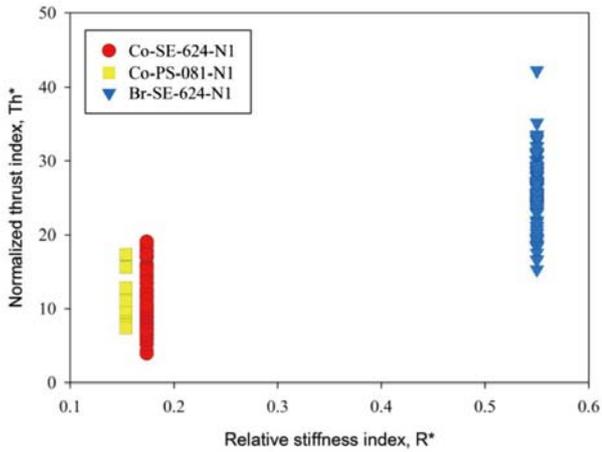


圖 11 不同地質不同工法之相對勁度與正規化推力因子關係圖

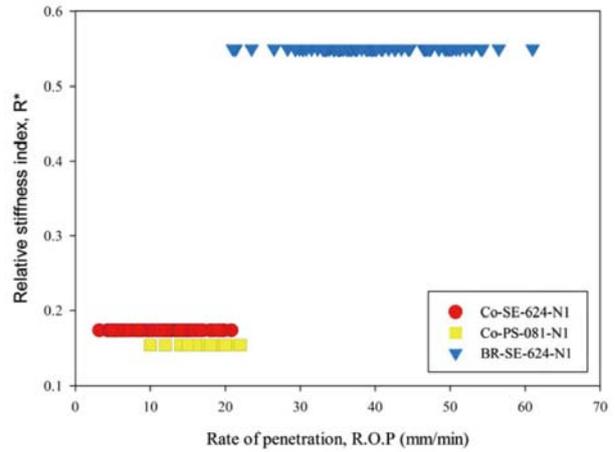


圖 13 不同地質不同工法之掘進速率與相對勁度關係圖

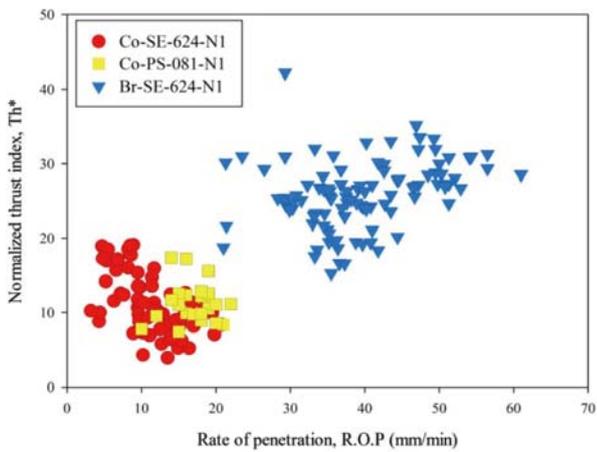


圖 12 不同地質不同工法之掘進速率與正規化推力因子關係圖

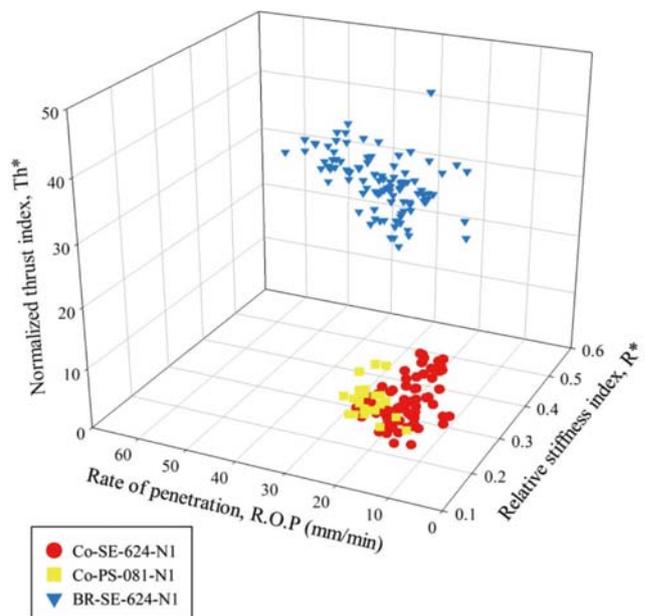


圖 14 不同地質不同工法之相對勁度、掘進速率與正規化推力因子關係圖

他山之石·可以攻玉

根據前人研究指出，本研究直線推力計算之卵礫石層刀頭貫切力比率最大可佔總阻抗之 28%，說明了岩、礫之接觸場貫切力宜應加入推力計算方為合理（林國龍^[5]）。本研究蒐集所得資料，因已正規化尺度之影響，未來可由規模較大之潛盾借鏡給規模較小之管推作參考。未來在潛盾機操作面板上希望能添加本監測指標，也能在後端建置一資料庫，未來由「地下」上「雲端」，可即時跟以往案例做比對，供現場施工人員之參佐。

參考文獻

1. IMD business school, "The World Competitiveness YearBook 2015", Switzerland, 2015.
2. 內政部營建署網站「http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=9995&Itemid=50」。
3. 「污水下水道第五期建設計畫（104 至 109 年度）核定本」，內政部營建署，2014 年 9 月。
4. 陳立憲、楊喆異、林國龍、林郁修、蘇億峰，「廣義式地下掘削機制及應用於卵礫石層管推工法之案例分析」，中國土木水利工程學會會刊，第 36 卷，第 6 期，2009，45~56 頁。
5. 林國龍，廣義式地下掘進之推進力係分析，碩士論文，國立台北科技大學土木工程系，台北，2010。
6. 奧村機械，「潛盾機設計概要和潛盾施工法技術資料簡報」，2009。
7. 楊喆異，隧道掘進之土（岩）—機互制與可挖指標研探，碩士論文，國立台北科技大學土木工程系，台北，2010。
8. 鄭玉鴻，地下機械開挖之廣義式掘進模型與正規化可挖指數：直線推進為例，碩士論文，國立台北科技大學土木工程系，台北，2013。



水情服務全方位 輕鬆防災人人會



防災資訊服務網

最新、最即時的水情與防災資訊，盡在「防災資訊服務網」<http://fhy.wra.gov.tw>



行動水情APP

透過智慧型手機上網「行動水情」，即可快速下載，隨時掌握水情資訊



淹水預警訊息

打免費電話0800-079-579 登錄市話或手機號碼，就可以收到市話語音或手機簡訊的淹水預警通知



7-11pos系統

風災豪雨期間，全國7-ELEVEN門市同步傳遞各地警戒水情





掌握億萬年大地記錄的奧秘

深厚精博大地團隊 SINOTECH



要成就穩固與安全的工程，必須瞭解歷經億萬年變遷的大地。中興工程顧問公司在踏實立足大地的同時，更以對基礎專業的堅持，致力探索地面之下蘊含的秘密，對土地更深層的瞭解，成就出磐石般的工程品質。



過度追求效率的台灣營建業分工方式

高銘堂／泛亞工程建設股份有限公司前總經理、萬鼎工程顧問股份有限公司前董事長

台灣營造業的轉包現象

大家一談到營造業的分工方式，馬上聯想到層層轉包。有關轉包的效率及弊端，許多學界先進都有專文剖析。業主或公眾，更視其為營造業問題之源，尤其是俗稱的「一腳踢」，讓人對包商有「臨難母狗免，臨財母狗得」的惡劣印象。採購法也有第六十五條等的相關規定，可據之對廠商作出解約、停權的處分。但轉包會造成工程品質低落、進度遲滯這種說法，究竟是廠商相互剝削的因，還是果？何種形式或範圍的轉包是絕對不容許？要如何去禁絕它？而在執法禁絕轉包的過程中，會不會妨害效率，株連無辜？最後，如果層層轉包是營造業難以杜絕的一個現象，要怎樣去減少它帶來的壞處？

其實不限於營造廠的施工，顧問公司的規畫、設計工作，也存在如「論件計酬」垂直分工的轉包模式，只是因顧問公司的工作屬於靜態的書圖文件，都在私密性高的辦公處所進行，不像營造業在現場有施工機械、車輛、材料、設施等，加上人員進出穿梭，具體外顯，很容易看出其間各單位的關係。一旦工程本身進行得不順利，或有什麼意外，很容易就成為檢討的對象。

**產業分工關係的回顧：
從資源匱乏的克難時代，到資金充沛的開放市場**

第一階段：資源匱乏克難時期

台灣公共工程執行的早期，因缺乏資源、人才與

資金，政府單位必須請進先進國家顧問，在他們指導下，訓練、培育工程師辦理規畫、設計等工作。施工方面也因民間營造廠規模有限，必須由軍工機關自辦。此時期多由接收美援，或利用有限預算購買機具，自行雇工施工開始，如水利局、縣市政府、公路局、軍工局、公共工程局下的施工總隊、機械總隊、養路隊等，或成立專業工程機關如榮工處、中華工程等。這個時期的工程建設，把工作做出來勝過一切。最困難的部分是大型機械取得，並要懂得操作及維修，讓機器能夠順利運轉。另一個高成本項目是建材，如鋼筋、水泥，在多由政府管制分配下，不會因為有價差和採購對象的問題，讓外界批評。至於勞務、工程師與管理成本，因為國民所得較低，相對於施工機械或材料的比例不高，給相當於總價的8%~10%，算是非常充裕（這個比例一直延用到現在，即使主要材料、重型機具成本漲幅在3~5倍，人工成本却高漲達20~30倍，仍然算8%~10%，台灣包商真是韌性十足）。因為整個工程都是機關自辦，機械、材料、人工都是政府直接經手，非發包整個工程，不會讓第三者獲得暴利。只要工程完工，就是國人的驕傲，不會有人指謫。

第二階段：國營工程單位起飛時期

後來幾個國營工程機關發展成專業的施工廠商，他們爭取其他機關的大型工程，比價對象往往是高成本、高姿態的國際廠商。就競爭力而言，絕大部分的工項可用本地廠商熟稔的工法，節省成本；至於工程較困難的部分，他們只要付出局部的技術指導費用，進口特殊的機械或設備，就可以解決，較諸國際廠商不分難易項目，一律使用他們的工法自然便宜許多。

再加上協調較為容易，所以重大基礎建設，主辦機關最方便的做法，就是交給國營施工廠商。這段時間國營工程事業成長迅速起飛，不能說完全是議價特權。當然在形成寡斷的此過程中，作為創業肇基的內部資源，尤其是工程師、技術工和管理幹部，無法等比增加，漸漸需要外包，也因此出現轉包、甚至剝削的指控，種下後來工程業重新洗牌的遠因。

在國家基礎建設全速進行時，台灣經濟起飛，民間累積了一定的資金與資源動員能力，對國營工程單位的外部資源需求，可作充分回應。但在這樣的合作關係中，支配資源的實質權力漸漸轉移到民間，而且因技術與經驗的涓滴效應（trickle down）擴大到整個工程產業，民間廠商日益壯大，他們很自然的開始挑戰只有公營工程單位才有能力承包並完成國家大型公共工程的神話。另一方面，原來政府機關自辦或交辦工程，因襲從前以內部資源完成工程的經驗，編製預算與議價都是以類似成本加成的方式處理，當成本有變化，並不會引起太多的注意與責難。但在「十大建設」時，或因無大型、複雜工程經驗，規劃、估價能力較差，致工期延宕及預算追加情形嚴重，實質施作主力又為外部廠商，因此遭人質疑有利益輸送關係，認為這種議價特權，妨礙了競爭及產業發展。所以後來，工程招標機關的議價或發包，政治上非給公營工程單位不可的壓力既然緩和下來，實務上發包給民間廠商亦屬可行，因為經多年的積極建設，民間的勞務或專業小包，已經熟練一般性的土木工作。就算是需要特殊、先進的施工機具或技術，著名的國際工程公司也會樂意與台灣民間廠商合作。德、奧專業工程公司之於北二高的橋梁、隧道；日本營建大廠之於台北捷運的地下車站與潛盾隧道，就是市場開放後較為成功的案例。

第三階段：公民營造公司共存時期

在公、民營營造公司共存時期，因為工程夠多；再加上投標資格限制，台灣廠商必須取得國際公司的支持，符合資格的競爭者並不多，工程得標價較為合理；且為保障完工，承包團隊不會苛待下包，所以主承包商與分包商或工頭的關係堪稱穩定。但台灣是

一個競爭的社會，一方面，本土廠商既然已經取得業績，於是活躍於台灣的國際廠商，特別是日本廠商，再也不能因為只掌握占整個工程一小部分的某些項目的施工技術，就讓他們一而再、再而三的取得工程的主導地位。因此國際廠商參與我國工程，開始時是無他不可的 JV 夥伴、技術合作廠商，最後只是按照 GPA 必須給予等同本國待遇的國外競標者。另一方面，金融開放，資本市場活絡，原來在「二線」的廠商積極提昇自己，財務資金方面不再是問題，業績資格在沒有必須與國際廠商配對的限制下，市場等於完全開放，競爭激烈，價格因競標而每況愈下，廠商與下包的分工關係，只能朝向更嚴峻的方向去作調整。

施工機具與車輛供給的分工關係變化，最能說明國情民風如何影響產業的實務運作。在資本缺乏或昂貴的時代，台灣的主承包商必須具有購買、操作與維持施工機具與各式車輛的能力，才得承包工程。但隨著工程施工進入高度機械化、自動化，機械及車輛的使用是否能發揮效率，影響到進度與成本，是工程成敗的關鍵。主承包商反而不再自擁機械與施工車輛，因為機械、車輛是否能維持良善的堪用率，靠的是操作手操作時避免不良的操作，維修技工確實落實繁複的保養程序。但我國的技術工人沒有西方工匠嚴格自我要求的傳統，如果只是單純的受雇者，沒有激勵又不易考核，表現落差可能很大，常給工地的執行者帶來困擾。所以外包，如計時租借，反成了最好的辦法。這也同時適用於專業機械租賃業老闆與他的操作手、維修工的關係。其演化結果，最具有競爭力的組合竟是所有權者、操作手、維修保養等的三位合體。所以產業裡常見的就是只擁有一、兩部機具的個體戶，加上少數幾家大一點的機械租賃業，而後者也會以「靠行」合作的方式，擴大自己的經營規模。一般由機械租賃業者負責業務、提供場地、保養維修設施、周轉貸款，並抽取適當的費用。靠行者必須為實際執行效率負責，這樣子才能讓機械保持最佳的狀態，維持租用或發包者的利益，也就是維持競爭力。在這樣的行業文化中，主承包商如果為了要掌握施工品質及進度，想要自擁機械、設備，也因產業裡面大家習慣做自了漢，寧願自負盈虧也不吃大鍋飯，而不可行。

第四階段：市場完全競爭時期

當市場進入完全競爭的時候，廠商追求效率更到極致，分工明確。主承包商除了不再自擁機具，在勞務方面發包的方式也有了改變。開始時，廠商本來是依照工人分工的習慣與工項的性質，把工作發包給相關的工頭或廠商，如鋼筋、模板、防水施工等，而由主承包商負責協調工序、進出、介面等。但隨著社會經濟與產業各項關係的改變，公共工程的競爭關係與履約條件越趨複雜，許多主承包商為了減少他們協調指揮的負擔，並減輕人事成本，會把所有工項交給同一家下包，由其來管理其他的小包或工頭。到了最後，許多主承包商只負責供應主要材料，更甚於此，因為供料與施工責任非為一體，會產生介面，增加損耗，進而影響進度以及品質，很多主承包商會把供料的責任也一併交給下包。就這樣，下包承攬的範圍和責任的縱深越來越大，到最後，包括大工程，連管理責任都要交給下包，這就是業主討厭、害怕的「一腳踢」現象。

追求效率到極致的產業分工關係

雖然主承包商下總攬的包商（總下包）承攬的範圍越變越大，但它下面實際工作的工頭、小包，卻因工人自主意識擴張，無法像從前一樣直接掌握工人，負完全責任，因此就出現了靠行、再分包等合作型態，再對「總下包」負責。所以「一腳踢」的發包模式，是一種鬆散的分工關係，就算「總下包」沒有惡意，只要下面某個層次的承攬者發生了問題，比如說無法調到工人，或是品質不能維持，介面沒辦法協調等，「總下包」無力解決，主承包商為了救進度、品質，往往必須付出「贖金」，還不一定能解決問題，這也是「一腳踢」方式發包，令人憂懼的原因。但吊詭的卻是，這些根植於低價搶標，又因社會成見、習俗與法律的約束，讓團隊成員無法控制的現象，一再發生，主承包商卻更需要找一個「總下包」幫他解決這些問題。明知山有虎，偏向山中行，為什麼？我們就往這方面來探討。

加諸守法、堂正經營者的差點 (handicap) ?

就人事及管理成本而言，在勞基法的實踐下，台灣大公司與中小企業的差異，其實比許多人想像的大。小公司受雇者的薪資除了較低，通常採責任制，不必付員工加班費。這除了成本的因素，還有施工人員能不能隨傳隨到，長留工地的問題。在某些家族型的企業，為了減少稅負與勞健保費用，酬勞低報的情形非常普遍，退休提存金的繳納也因之少了很多。這樣子做，法律上是有問題的，但因這樣讓公司有額外的競爭力，市場上還是不少人願意冒這樣的風險。每次勞基法修改，同樣的行業，有人暴跳如雷，有人無動於衷，就反映出有人需要面對，有人只把它當參考用。

其次是雇主法定責任與義務的轉嫁，尤其是工安事故的處理。除了勞安法令的相關處罰外，與傷亡者的賠償談判，不可諱言，由小包出面談成的金額通常會較為「合理」。所以演變到現在，主承包商為成本以及管理方便考量，常常減少自己派員，並把管理責任往外推。

此外，工程的執行不論是設計或施工，都需要許多單位參與：業主、PCM、規劃、設計、監造、主承包商、平行包商、協力廠商、供應商、業管機關，在工地更有勞安、警政、交通、環保、鄰里民眾、地方人士等，要工作順利進行，在各種層次會有許多溝通、協調與整合的工作要做。但就工程承包業者而言，就算是一個大公司都不一定有足夠的人才，具適當的公、私關係，能在不同的場合處理各式各樣的問題。因此基於方便與實際需要，就發展出一個特殊的分工關係：由總下包負責與相關單位溝通、協調。

綜合以上，我們可知在分工緊密的台灣市場，主承包商在資源的取得或競爭力的維持上，已經變成極端的依賴外部資源了。主承包商間競爭的勝負，僅在於誰能利用其既有的內外「關係組織網」，在市場中取得優勢資源及知識，在競標中勝出，並順利完成工程。然而營建公司的對外關係組織網能否維繫並加強，依賴的是：

公司控管的權威性：其下包商會不會遵守合約承諾，客觀上要看合約條款能否提供完整的保護，主觀上也有主承包商執行合約的意志與過去的經驗。

取得外部資源或維繫關係的真正成本：實質條件較好，且能依雙方能力，適度分配風險責任，無過猶不及的情形。

公司與外部組織網成員的互信：在個人化或反個人化的合約設計做適當的選擇，不致浪費資源在互相防範，或反過來造成執行合約時的不確定性。除了與小包工作的規模與重要性，也有歷史與非理性因素應該考慮。

小包產品或服務是否有優勢地位或不可取代性？如競爭力、地緣性、寡占。

主承包商是否也可提供外部包商某種資源，而與之有互補性？如此較諸其他的主承包商加小包組合，才更具競爭力。

有剝削者味道，但又賺不到錢的各層次承包商？

基本上，營造業是一種加工層次很低的代工業，除了這幾年才開始推行的統包式合約，主承包商的工作是照業主提供的圖說「按圖施工」，沒什麼變化。競爭者之間在「材料」、「人工」、「機具設備」方面，也就是直接成本，取得的差異會比較小。所以雖然業主編的工程預算中，管理費、利潤、風險準備金，即所謂間接成本，也因長期過度競爭被往下拉，但廠商也只能盡量壓低這間接成本，想辦法在競標中勝出。因此一旦有小包願意以低價承攬最多的工作，分擔最大限度的合約責任，主承包商如不接受，等於是把業務機會讓給對手。而在這種步步升高的競爭關係下，小包也抱怨大包強迫他們接受過低的價錢，苛刻的工作與付款條件，就合約責任而言，儼然是一個具體而微，却是被剝削的小包。

被定位為剝削者的主承包商，在台灣營造界的特殊生態下，卻認為自己是公共工程合約關係下的弱勢。的確，如果說他們與下包的關係自簽訂合約開始，即成為下包的人質，就實務上並不為過。如情境一：與下包之次承攬合約，因該等次承攬合約小包商或工頭財力有限，拿不出實質履約保證，市場亦以之為常規，主包商若認真要求，則至找不到下包之地步。情境二：在合約執行過程中，小包將本求利，品質、進度上常無法配合主合約要求，遇市場波動、發生任何意外，甚或只是工程進行不是如小包原來設定的理想化情形，必定會片面要求變更履約條件。其中之強悍者，更以癱瘓工程進行為籌碼，逼使主承包商讓步。

主承包商如要驅逐小包出場，以第三者代之，往往缺乏即時、有效的強制力。反過來說，被指控違約的下包，卻能以法律程序或社會力量拖延時間作為抗衡。不論事態如何發展，時間如何拖延，尤其在沒有實質履約保證金的情況下，下包的損失非常有限。反過來說，合約主承包商可能遭受之逾期罰款或對其他廠商之賠償卻十分龐大，所以在顧全大局情況下，主承包商常被迫息事寧人，遷就小包的要求。所以對主承包商而言，與小包的合約，一不小心，就會變成一種成本加成，甚至加暴利的關係。

台灣的學界，有人界定營建市場的這種分包，或轉包關係是一種剝削。但是既為剝削，應指有人得到高額的利潤？但近年來市場上未聞有任何大小營造廠商在承包公共工程上獲得合理利潤。其原因很單純，就是這些主、次包商省下來或額外負擔的費用都在競標減價中奉獻給業主，除了私人工程外，在公共工程，最大的剝削者反而是機關了！

從「成也小包」，到「敗也小包」，無贏家的分工關係

以政府的立場來看公共工程合約，政府也是受害者。投標廠商應該依照合約規定，考慮該特定工程品質與進度的要求，量化所有的風險，反映在投標標價

中；而不是以投標廠商發包、採購的不當所產生的品質與進度等問題移轉給業主，強迫業主妥協接受。換句話說，如果主承包商先不管其業務需求，在投標時都能以合理的實質條件來估算取得外部資源的成本，至少其於履約時，工程品質與進度對自己及業主而言，不會有大風險。但問題是台灣營建市場的老闆太多，不管是主承包商、次包商或所謂專業廠商，他們無時不刻，都想拿工作，會想盡辦法節省成本，會去接受甚至去鼓勵某些小包報價走偏鋒。比如說，要小包把工作計畫和成本估價，建立在人力、機具調配都完美的狀況下。大家都知道在現實世界裡工作與資源在時間上不可能配合得天衣無縫，所以這樣的工作安排一定會出包，產生種種進度與品質的大問題，最後還是他的上層包商要承受。但這就是人性：人們只相信他們所願意相信的。

管過工地的人都知道，在工序繁複情況下，眾多小包的工作需要交叉進行，誰什麼時候進場，什麼時候交出場地，需要相互配合，無法在訂約時詳細規定。所以當小包堅持在工地工作面與工作量要足夠，在成本可節省到最低時才願意進場，其他小包無法預測亦無法調派工人情況下，一定把人力、機具轉移到其他工地，等到他們的工作累積到經濟的工作量時才會派充足的人力進場。像這樣，因為極端競爭，小包被迫以幾近理想化的資源配置，來報價及承接工作，而且必須同時包好幾個工作來保證自己的工班、機具天天可以滿載工作，這樣如何能履行承諾的工期？解決的辦法只有趕工，許多應有的步驟被忽略，對品質造成嚴重威脅。

此外還有「二度」或「衍生」傷害的問題。如前面所說，現階段台灣公共工程的分工體系，因各層次的承攬人、供應商，為取得業務，在價格品質與工期上常作出超乎其能力的承諾，而變得非常脆弱。本來應該合作的各層次合約關係人，不信任對方的能力與履約誠意，市場稍有波動或工作條件略為不順，彼此並無空間相讓。為求生存，反而以極端手段反擊，讓雙方更進一步陷入困境。想繼續在這樣子的市場耕耘，變得很困難，很痛苦！但要放棄，損失更大，而且無緩衝，所以只好繼續搶標！整個產業在這種惡性循環

的窘境中無法獲得改善，與甲方的關係也是一樣。各級承包商因為分工關係脆弱不堪，造成許多工期、品質、計價與要求變更的糾紛，也激起工程承辦人的防衛心理，常以保守甚至不合理的態度來回應包商的「委屈」，反過頭來又造成了承包商更大的損害與履約問題。

大型土木工程轉包分包走入偏鋒， 整個業界專業退化？

台灣營建市場因轉包、分包制度走偏鋒所造成的問題，除了殺價、品質堪慮、進度無法掌控之外，市場牽就既有的分工系統，新設計、新工法難以採行，主承包商間無人在技術上能有優勢，在業務上能超越他人，營建市場切割進一步零碎化，市場秩序更加紊亂，各公司的人才、技術及經驗等無法累積、組織無法演進、資金無法增加，在沒辦法走出去的情況下，只好採取更加保守與封閉的經營政策。

這種專業力量退化的情形在大型土木工程更為嚴重。土木工程如橋梁、隧道、港灣、碼頭、重機廠房等，雖然勞務上大家還是傾向發包，但施工的規劃、技術工法、施工圖說、工期管控、品質作業、估驗計價等等還是要由專業團隊，也就是由工程師群來主導掌控。因為土木工作不像建築有相似性、重複性，甲工地轉到乙工地，前述各項作業大部份要重新來過。好似我們做一套西裝，量身、剪裁、縫製，不一樣的顧客就要從新來過。要開西服店，訓練有素的西裝師傅是不能缺少的。在土木營造業這些人原來是養在大公司的，漸漸的為管理上的理由，大公司拿了業務後，把工作「一腳踢」踢出去，不再掌握施工細節，人才就慢慢往下包商流動。另一方面開放的市場又容許許多新的競爭者參與競標，尤其是從建築或建設業轉過來的新競爭者，缺乏土木人才，更依賴下包。這些技術與管理人才資源支配權的轉移，不只是雇主的轉移，因為新的聘僱關係中的薪資費用一定較前為低，會逼迫第一流的人才退出這個行業，是另一個嚴重的後遺症。

中、小型營造工程的分工關係

相對於國家大型工程的承包者，許多甲級營造廠承包幾億的工程，其實是以個人，而非組織的方式來履行工程合約。演化的結果，就形成一種特殊的分工：一個營造廠的老闆負責追蹤業務資訊，估價投標，張羅押標金與履約保證金、簽約、辦理計價、驗收等較具商業性與政治性的工作；另一位小本經營者，也許也是營造廠的老闆，就承接了所有的現場實務工作，包括材料、施工、工務與品管、安衛與環保等，比較屬於技術性與管理性的工作。

這樣的合作方式在台灣營建市場變得很普遍，期間也有一些細節的差別，比如說有些工程合約的履約保證金實際上是由轉包（借牌）的對象出錢，代替名義上出面簽約（被借牌）的廠商繳納的。執行合約所要呈報的工地主任、品管及安衛人員為了符合規定，發票的開立，當然是由「借牌」的廠商出面聘雇，以他的名義發薪；同樣的購買材料、租用機械、若干專業工程的外包等，為了節稅，有的也會以「被借牌」的廠商名義，承受發票。至於雙方實際的權利義務，因為要兼顧形式的合法，以及「借牌者」與「被借牌者」的實際情形，實在沒辦法以具體、詳細的合約條文來規範，通常是以雙方的默契，或工程界的「慣例」來補充。也因為這樣，模糊及矛盾太多，一遇工程進行狀況不如人意，許多潛在的問題就跑出來了。

撇開採購法的規定，這種分工方式單以比較正統的商業經營概念去看，根本是匪夷所思。但存在的東西必定有其道理，在台灣這種形式的分工，雖不為採購法所允許，亦不為法律所保障，但仍盛行。歸納其原因至少有三：

1 出於需要；作工的人與作業務的人根本上是屬於兩種不同類型的人。在人人都想做老闆，急於創業、展業，互信文化在社會不是很充分情況下，兩個不一樣特質的人分工，並不是組成一個夥伴關係，而是根據各人長處，負責盈虧。

2 反而有具競爭力；合作的方式既然無法百分之百為法律所保障，但唇齒相依，雙方都不敢輕易啟端尋釁，反而省掉許多為求形式合法的直、間接費用，尤其是效率，不是一般用組織，循流程辦事，較大型的工程公司所能比擬的。

3 處理也比較明快；遇到工程進行狀況有不如預期發生糾紛時，以這種觀念分工的經營者，常依成例、社會制約力等來解決，反而明快（儘管某一方會受壓制而有較大的損失），所以並不會嚇阻後繼者不敢再用這種方式承包工程。

面對現場工作有它必須具備的草根性，面對工人、監工，如何經營關係，包括正面的合作與負面的抗衡，一般來說，沒有強悍的性格與足夠的韌性是無法承擔的。處理業務則較需要有能伸能屈的性格，對商業、金融、會計等有一定的知識。這兩者在大工程公司可以具備，但要把他們聚集在承包中、小工程的小公司，就會產生一山不容二虎的態勢。

接著我們再來探討，分為兩個公司以前述的方式合作，對採購秩序與效率有什麼影響？有無必要以採購法第六十五條相繩？

是台灣營建市場特有的轉、分包制度造成公共工程品質堪慮，進度無法掌控，產業專業退化？還是公眾成見或政府政策因素驅使廠商發展出這一套無情現實的轉、分包分工方式？真的是值得大家費心探討，但更重要的是對目前營造環境的形勢判斷：過度競爭是不是已走到盡頭？一切終將回歸專業，理性，謹慎負責的承包商終將出頭？或這是工程業長期衰頹，無限盤整的開始？

局盡天將曉，殘星數點明—— 產業的長夜或黎明？

如果營建業是一齣長劇，1950年代演到現在，我們還沒辦法預測它會有什麼收場（denouement）；但它對於作為觀眾有時也入戲的我們，還是有一些啟示吧！

陷入流沙，就不要亂動

首先，我們認為經濟的發展程度、社會組織型態、民族性，與營建市場的規模，這些存在的條件，是決定一國營建產業分工方式的原因。反過來說，相應於特定的分工方式下，產業生態、市場秩序、工程品質與價值問題，就會有原因地發生，具有不以人的主觀意志為轉移的必然性。許多人認為市場運作的情況不理想，可以以政策、法令修正的方式將之扭轉，坦白說，是不可能的！因為傳統產業封閉保守，人們對交易習慣的選擇，有點像是哲學上的決定論（determinism），會受到先前存在的原因所制約。針對營建產業的政策、法令可以，而且必須隨時制定及改正，以服務當下；但不能期望這些政策頒發後，只要貫徹力行，就能匡正時弊，還能把營建市場抬舉成一個營建烏托邦。舉例來說，前面我們所討論造成市場嚴重後果的分工方式，有人認為修法，或加強執法，或由產業界來自律，就可以把它禁絕，忽略了導致這種分工方式背後的力量，莫之能禦，不是少數人主觀意志可轉移的。換句話說，陷入流沙，就不要亂動，營建產業的興衰榮枯，還是看客觀環境如何影響它，是不是會有正面的變化，最為重要。

希望主管機關減少管制，讓營造業分工方式 依市場原則自由發展

其次，如果我們探討市場某個階段，為什麼政府對公共工程會去做，或不去做什麼樣的決定？而不去想當時的客觀環境，尤其是技術、機具、材料、勞務等資源如何取得；以及政治、經濟條件如何調和；而只是就當時分工方式的效率與理想中的分工方式做比較，不論結論如何，都是無意義的。我們非難過去，焉知來者不會非難我們？市場會因工程本身技術、管理

的演化而變化，但主要還是受經濟、社會、文化的影響而變化。我們預測市場崩壞，大小公司為求生存，反把自己逼向險境；但焉知下一個階段，殘存的公司之間的競爭，會因新的經理人較為理性，在社會、經濟、文化大環境的改變下，營造業分工方式也因之作改變？我們業界現在想盡辦法求生、求活，作為未來的人看反而認為我們是苟延殘喘，延宕大破大立的時機？也就是說希望主管機關減少管制，讓營造業分工方式依市場原則自由發展，或許有峰迴路轉得到意外結果的可能。

回到從前，營造公司自購部分機具設備， 成立自辦團隊

我們的工程產業在卅年前，國家建設剛起飛時，引進了不少時髦的經營管理觀念，其中營造業要往只做管理（CM）方面發展，拋棄自行施工的做法，一時成為風尚，到現在仍然不能說他不對。但以結果而論，彩票尚未對獎，就把扁擔先丟了，雖然合乎營造人長久以來希望提升自己地位的心情，但終究是不踏實。所以在大家想要能度過難關，等待變局之餘，我們還是建議營造公司不必堅持「蓋高尚」，可以考慮某種程度的回到從前，營造公司自購部分機具設備，成立自辦團隊，不必因要依靠外包，時常陷入勒贖危機。目前重大工程因勞力缺乏，仍容許少數外勞進口，許多工程公司，因缺乏自辦能力，只能把外勞「借」給小包，向他們收費，賺回一點蠅頭小利而沾沾自喜，不會去想自己去聘僱台灣領班、技術工，作業手或施工工程師等，來帶領他們；針對品質、進度較為緊要的部分，自行施工。其實只要自辦工作量達到二、三成，就可對某些輕諾寡信的台灣小包構成制衡。如果市場上多幾家公司這麼作，整體營造業的勞務供需情形都會有改善。目前業界有兩、三家公司維持這種老派的作法，比較起來，經營狀況較為穩定；不像別的公司只是做內業、算帳、請款。這些廠商必須面對自辦而生出的技術和管理問題，迎接挑戰，但卻也因此生出活力，更能掌握工程成敗與自身命運。

這些廠商，猶如幾點暗夜微星，雖不奪目，但在曙光拂地前的朦朧時刻，他們卻能照映出產業前行的蜿蜒小路。 



「節能！減碳！綠生活！」 「氫燃料電池與捷運大安森林公園站的對話」 觀摩研討體驗活動記實

張武訓／中國土木水利工程學會工程景觀委員會主任委員

馬婉容／中國土木水利工程學會工程景觀委員會幹事

中國土木水利工程學會致力於對國家「永續」、「綠營建」與「能源」發展的使命，同時配合政府因應全球氣候變遷，落實環境正義的目標，善盡共同保護地球環境的責任；非常榮幸承經濟部能源局指導，由本學會與財團法人台灣經濟研究院、財團法人工業技術研究院、臺北市政府捷運工程局以及臺北大眾捷運股份有限公司，共同攜手，於 105 年 7 月 29 日及 30 日，在大安森林公園捷運站陽光大廳舉辦「節能！減碳！綠生活！— 氫燃料電池與捷運大安森林公園站的對話」觀摩研討體驗。



捷運大安森林公園站

本次觀摩研討體驗活動地點特別選擇具有節能生態概念及景觀規劃設計的捷運信義線大安森林公園站，本車站工程去年榮獲本學會頒發「工程美化與景觀類」優勝獎，及獲得世界不動產聯合會 2015 全球卓越建設獎—公部門基礎建設／環境適意工程類首獎（第一名）；103 年榮獲臺北市都市景觀大獎、交通部第 15 屆金路獎、臺北市政府第三屆公共工程卓越獎、中華民國不動產協進會「2014 國家卓越建設獎」等榮耀與肯定，堪稱工程優良標竿。

105 年 7 月 29 日開幕式出席及參觀民眾逾 200 人，經濟部能源局曾增材副組長擔任開幕典禮主席致辭指出，新政府上台將綠能產業列為 5 大重點發展產業，對推動再生能源發展充滿雄心，並訂出 2025 年再生能源供應比重將占 20%，未來國內發展再生能源將是一大挑戰，與太陽能與風能相較，氫燃料電池可以維持穩定的能源供應量，在使用過程中不會排放碳，是國內推動再生能源發展項目中一項重要的綠色產業。臺北大眾捷運公司顏邦傑總經理指出，對地球最好的關懷就是節能，



呂良正理事長受邀 105/7/29 開幕式致辭



105/7/29 開幕式主辦單位代表合影



105/7/29 開幕式部分與會貴賓合影

105年7月29日開幕式，邀請工研院綠能所王人謙副所長，以「氫能及燃料電池發展現況與挑戰」為主題發表演講，並安排台灣經濟研究院左峻德所長、能源局陳世南科長、臺北市政府捷運工程局蘇瑞文副總工程司、本學會倪惠姝秘書長及本學會環境景觀暨工程美化委員會張武訓主任委員，與現場與會人員及民眾互動與談，並示範操作氫燃料電池小跑車，獲得現場與會人員及民眾熱烈回應與讚嘆。



105/7/30 氫燃料研討會意見交換

節能環保是都會生活的趨勢，搭乘捷運可以省去其他能源的消耗，減少碳排放，捷運公司的立場就是鼓勵民眾多搭乘捷運系統，藉由觀念的推動，形成文化，在生活中感受。臺北市政府捷運工程局局長張澤雄表示，捷運大安森林公園站的設計與公園、綠地、陽光結合，使用環保建材，曾獲得全球卓越建設獎，是全市捷運的指標站點，利用太陽光電，將水轉換成氫氣成為燃料電池進行儲存，每月可以供應1千度的電力供公園使用，不但節能減碳，也有產能。本學會理事長呂良正指出，永續節能使建築業受到重視，政府重視新能源，透過這項體驗活動讓國人認識氫燃料電池。



105/7/29 開幕式主持人介紹參展廠商



105/7/30 上午學員合影

105年7月30日舉辦觀摩研討體驗活動，實際參與上午及下午兩場活動學員共計112人，現場另有百餘位民眾共襄盛舉；活動首先由臺北市政府捷運工程局南區工程處劉振忠主任及劉仙梅工程司，帶領學員欣賞臺北捷運大安森林公園站裡，橫躺著翹二郎腿悠閒享受日光浴的童趣樹蛙、「春光乍現」、「四季」、「秋葉旅人」及「大安之花」等大型公共藝術，以及令人倍感沁涼的水霧、水幕、水柱、水瀑「水舞秀」；臺北市

政府捷運工程局南區工程處蘇炎輝主任及孫文俊工程司，導覽低耗節能展示屋；台灣經濟研究院林若蓁組長（博士），藉由氫燃料電池與產品趣味影片及簡報，介紹氫燃料電池最新趨勢與應用，現場準備 10 台燃料電池小跑車，林若蓁組長（博士）教導學員及現場民眾，體驗將水分解成氫氣及氧氣之過程並驅動小跑車，此外，將環保回收保特瓶加入 1/4 瓶水，再加入檸檬酸與小蘇打後，在保特瓶瓶口套汽球，透過汽球逐漸變大的過程與驚喜，體驗二氧化碳捕存技術。



105/7/30 下午學員合影



大安森林公園站
公共藝術



配合世界各國積極進行減碳政策以遏止氣候暖化的目標，本學會藉由辦理本次研討會，讓國人認識車站工程美化的特質、低耗節能展示屋的環保綠能及氫燃料電池，除透過動畫介紹氫能燃料電池原理與應用、簡報燃料電池最新發展資訊、欣賞德國環保之旅影片、實際動手操作燃料電池教具及示範新型教具，活動現場還有台灣經濟研究院邀請之博研、美菲德、錫力、群翌、鼎佳、宏進、高力等國內重要的氫能燃料電池業者，現場公開展示燃料電池發電設備、交通載具、氫燃料電池科學體驗及等活動。新能源發展是各先進國家的重要政策，其中氫能與燃料電池為穩定潔淨之電力，具節



導覽低耗節能展示屋



台經院林若蓁組長簡報



觀賞饒富童趣的蝌蚪青蛙與荷葉



氫燃料電池驅動小跑車體驗成功

能減碳之優勢，目前國際上已廣泛運用在不同發電裝置，包含大型發電機，及新能源汽車、摩托車、3C 電子產品之電力來源；台灣氫能與燃料電池結合了上游（原料、零組件）、中游（燃料電池）、下游（系統廠、電池應用），產業鏈完備，燃料電池產業已具備完整技術及國際競爭力，為配合世界各國積極進行減碳政策以遏止氣候暖化，在國內發展新能源產業實屬必要。



體驗二氧化碳捕存技術

感謝照片提供：張武訓、謝傳儒、蘇瑞麟、林合洲



「工程景觀」
粉絲專頁
~ 歡迎加入 ~

相信參與本次活動的產、官、學、研及一般民眾，除了體驗潔淨綠能，見證台灣新能源發展，進一步瞭解環保趨勢，炎炎夏日不僅身心放鬆，環保節能，而且收穫滿滿。有關本次活動之過程，歡迎利用臉書搜尋「工程景觀」社群，可瀏覽或自行下載儲存活動照片，並可知悉工程景觀委員會相關訊息。🇧🇪

105.4.28-30 2016 亞太城市建設實務論壇 @ 香港



由來自中國、香港、澳門、臺灣、新加坡、馬來西亞、印尼等地區之土木、建築專業領域的同業、學者專家，就橋梁、隧道、填海工程、城鄉建設及可持續發展等課題，相互交流以達成區域互助與技術合作。論壇由香港科技大學土木及環境工程學系、香港科技大學校友會及香港工程師學會土木分部共同主辦。



大會籌備會主席梁雄光先生

張盈智結構技師演講



105.5.12 湖南省水利學會來訪交流

湖南省水利學會由鐘再群副理事長帶隊，共 12 人於 2016.5.12 上午十點半拜訪本會，由張監事培義、陳主委清泉、張主委武訓和倪祕書長惠姝接待。



湖南水利學會鐘團長表示台灣值得學習的方面有：標準較高、管理先進、重視生態環保、發揮整合效益、人民文明，並對自來水博物館的保護成功印象深刻。

我方提到為因應空氣污染源議題，兩岸人民必須共同努力，提出 3G 和 3R 環保觀念，願一起為人民的健康而努力。



105.6.9-11 參加蒙古土木工程師協會 2016 年會



適逢蒙古協會 20 周年慶，新大樓舉行破土典禮



呂理事長接受當地電台訪問

與蒙古協會理事長
Mr. GUNBOLD Baatar 合影

學會出席代表團：
呂理事長、張陸滿主委、
台科大張大鵬教授、成大陳景文教授
及嘉義大學劉玉雯教授



105.6.14 參加施義芳立法委員發起之採購法公聽會

6/14 由新科立法委員施義芳委員發起政府採購法第 101 條公聽會，邀請交通部、內政部、工程會、各大公會、學會等土木各界共同討論。當天有以下三個版本提出。



謝佳伯律師以上水學會代表身分提出意見

世曦版

強調比例原則及情節重大的衡量。
處分應有多樣性，且最重不得逾三年。

中興版

強調執行中未考量比例原則或情節重大。
101 條六款應於判別確定後再執行。

土水版

建議給予廠商陳述意見之機會，並明列減免事由之適用。
參考美國聯邦採購規則 (Federal Acquisition Regulation; FAR) 中對於停權處分之設計。於第四款增列情節重大，避免責罰不相當之情事發生。

105.6.16 資訊委員會舉辦資訊視覺化論壇

資訊視覺化學者聚頭，跨界交流！



澳大利亞人機界面
技術研究中心主任
杜本麟教授



香港科技大學 NIE
Social Media Lab 總
監許丕文助理教授



台灣大學新聞所
所長林照真教授



三位學者與康仕仲主任委員對談

105.7.5 台電通霄電廠擴建工程觀摩研習 @ 苗栗

7/5 台電通霄工程參訪由能源委員會主辦，共計 57 人參加，陳蒼賢主委與溫世忠處長全程帶領。台電為配合未來電力系統整體需求，及提升通霄電廠營運績效及競爭力，規劃於通霄電廠進行分期（共二期）擴建及更新機組計畫，此擴建計畫為台灣近年重大工程建設之一。透過簡報解說與實地參訪，以及會後的討論，讓學員吸收良多。



陳蒼賢主委致詞



現場討論熱烈

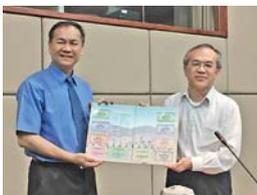


溫世忠處長贈送紀念禮



105.7.12 周南山常務監事赴國工局演講

7/12 國公局邀請周南山常務監事進行「高速公路於困難地形之設計考量」專題演講。周常務監事報告中國雅西公路的設計概要及實地參訪心得，並提出高速公路的綠色與永續設計見解，獲得各局處代表共 50 多人的一致讚賞。



陳局長致贈高速公路
回數票紀念冊



105.7.22 公共工程委員會吳宏謀主委來訪

7/22 公共工程委員會吳宏謀主任委員率技術處徐景文處長、林傑副處長、陳義昌科長來學會訪談，並由中國工程師學會李建中理事長與楊立奇秘書長一起接待。會中討論工程會的施政方向與學會未來可配合方向，雙方交談熱烈。





茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木水利工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

43.5 43.6 44.1 44.2 44.3 44.5 共 次
(10月) (12月) (2月) (4月) (6月) (8月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)
商號

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木水利工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: mandy@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0 0 0 3 0 6 7 8	金額 新台幣 (小寫)	仟	萬	拾	萬	仟	佰	拾	元
------	-----------------	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

報名費
 繳納 _____ 研討會
報名費 _____ 元

繳納會費
 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本)
 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版)
請留 email: _____
 初級會員年費 300元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期
 新台幣 1,800元
自第 _____ 卷第 _____ 期起，_____ 年期雙月刊 _____ 份

訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期
 國內·會員 新台幣 800元
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元
 國外·個人 美金 40元
 國外·機關團體 美金 100元
自第 _____ 卷第 _____ 期起 _____ 年期學刊 _____ 份

收款戶名	社團法人中國土木水利工程學會	
姓名	寄款人	
地址	主管：	
電話	經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款別 注：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本) <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版) 請留 email: _____
身分證號碼			<input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
卡別 <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
信用卡卡號			訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡簽名欄最後三碼			白天聯絡電話
信用卡有效期限 (月/年)			通信地址
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)



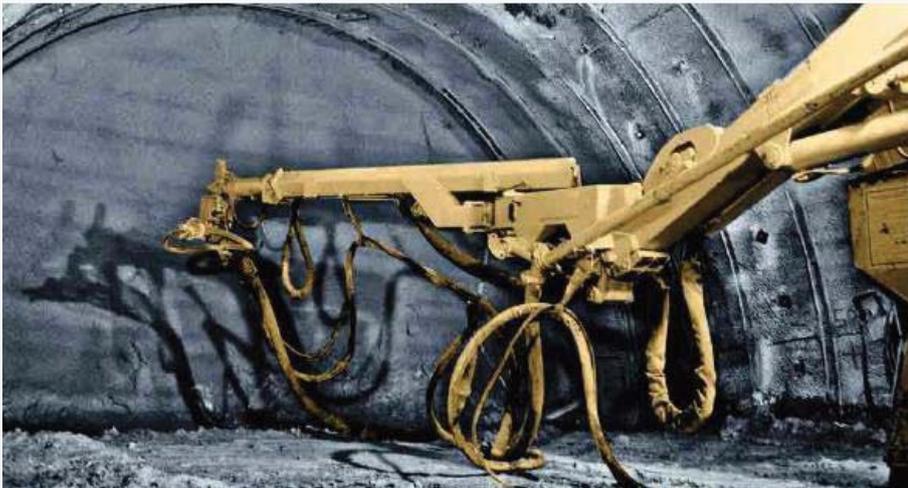
德國工藝的螺紋鋼棒系統 (SAS thread bar - Systems) 讓你安全、經濟、有效地克服土建工程的困難與挑戰



SAS Post-tensioning system, 也就是工程界所稱的 DSI bar, 廣泛用於預力混凝土橋, 無論是縱向或橫向中短長度的鋼棒鋼鍵, 可以用在橋面或橋墩, 也常用在跳島式施工台車, 及特殊結構承受反覆張壓力的鋼構基礎連結。



地錨邊坡的破壞案例, 例如汐止林肯大郡順向坡滑動事件、國道三號3.1K走山事件等, 令人驚心難忘! 台灣的公共工程有數萬隻鋼絞線地錨, 需要長期的監測改善! 使用SAS geotechnical systems 高強度螺紋鋼棒地錨, 可以從設計、材料、施工、保養上, 根本改善及避免鋼絞線地錨災難的發生。



SAS Formwork ties system 使得各種形狀及要求的混凝土施工, 變得既容易又安全而品質又高;

SAS marineties system 用於港灣及碼頭等工程;

SAS Mining and Tunnelling Systems 有
expansion shell anchors、
resin anchor、grout bolts、
rapid grout Bolt、
Micropiles for bottom buoyancy protection



Manhattan
New York City

五十層的高樓不一定要使用鋼結構(SC)或鋼骨鋼筋混凝土(SRC)! 使用SAS reinforcing coupling system的高強度鋼筋混凝土(RC), 可以達到樑柱尺寸不致於太大, 既安全又經濟, 而且舒適性、防水性、隔音性較好的結構設計。



德國巴伐利亞鋼鐵工業集團的SAH公司生產的SAS thread bar - Systems, 數十年來用於世界各地巨大的或特殊的工程, 例如紐約新世貿大樓、長江三峽大壩3000噸升船機、其生產的螺紋鋼棒及各式各樣系統套件(accessories), 都經詳細設計及測試, 具備歐盟及各地品保和認證文件。

Mobile/0935-497521 0988-18857 Email/sastaipei@gamil.com



潔淨·節流·新未來

愛護地球 守護環境

是生活在這片土地上所有人的共同責任



我國「再生能源發電設備獎勵總量」為650~1,000萬瓩，能源局規劃至民國119年累計推廣目標為1,725萬瓩，發電容量占比約可達30%，發電量占比則約達14%。