

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

October
2019

夢想和幸福 零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



羅東水資源回收中心景觀生態池



南科入口意象景觀生態工程



www.ceci.com.tw

ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 46, No. 5

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

學會資訊看板

921 地震
二十週年研討會
精彩演講分享

土木工程
在循環經濟中
所扮演角色

專輯

連結海洋



看見不一樣的湛藍風景

每年中秋前夕，台電動員全台數千人淨灘，
撿拾起海灘上的垃圾，看待海洋的眼光就會不一樣。

走過25年淨灘歲月，
台電14個發電廠單位認養了海灘。
現在做的影響未來，
保護海洋環境需要每個人齊心投入維繫。



台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

人與自然的共生之道，台電與你一起追求。

廣告

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



夢想和幸福 零距離的接軌
台灣世曦工程顧問股份有限公司

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
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：王昭烈

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非 (國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800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：10055 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二十三屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：王昭烈

常務理事：陳仲賢 楊偉甫 歐來成 歐善惠

理事：朱旭 余信遠 吳瑞賢 宋裕祺 沈景鵬 林呈 林其璋

胡宣德 胡湘麟 高宗正 張荻薇 許泰文 陳彥伯 黃炎龍

廖學瑞 劉沈榮 劉恒昌 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：李元唐 李建中 周功台 陳清泉 楊永斌 薛春明

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

「土木工程在循環經濟中所扮演角色」專輯 (客座主編：詹穎雯教授)

📖 專輯序言：循環經濟大趨勢下之社會分工新秩序	詹穎雯	3
📖 水泥廠在循環經濟與減碳的思維及作為—台灣水泥	陳光熙／林尚毅／章興國	4
📖 水泥產製與環境—新城山礦場植生綠化工法	陳志賢／游象麟／吳偉誠	9
📖 鋼鐵爐渣應用為水泥生料的實踐	鄭瑞濱／江世哲	14
📖 鋼鐵爐渣之循環應用—電弧爐煉鋼還原渣再利用	蔡文博／鄭大偉／黃兆龍	20
📖 無機再生粒料於公共工程循環利用—以南星計畫及其轉爐石填築計畫為例	張欽森	28
📖 鋼鐵爐石於海事工程日本應用及國內展望	許伯良／葉建偉	37
📖 瀝青刨除料去化—冷拌再生瀝青混凝土之應用	陳世晃／林志棟／徐聖博／簡啟倫	43
📖 循環經濟下的固定污染源操作許可建議	邱暉仁	47
📖 低碳，對預拌混凝土業發展的思考	楊志強	53
📖 桃園市循環經濟再利用整合策略探討	黃治峯／林志棟／凌宇康／何旻哲	57

學會資訊看板

📖 第三十七屆亞洲土木工程聯盟執行委員會大會紀實	林子剛／張陸滿／謝啟萬	69
📖 921地震二十週年回顧與省思研討會精彩演講分享	秘書處	72

廣告特搜

台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 夢想和幸福 零距離的接軌	封面
台灣電力股份有限公司 — 連結海洋 看見不一樣的湛藍風景	封面裡
經濟部水利署北區水資源局 — 石門水庫及其集水區 整治計畫重要成果	封底



循環經濟大趨勢下之 社會分工新秩序

專輯序言


專輯客座主編 詹穎雯／國立臺灣大學土木工程學系教授、社團法人台灣混凝土學會理事長

營建工程技術以混凝土工程為主體，建構出現代的社會文明。即便在科技發展飛速、世代更迭不止的現今，短時間內仍然不見有全新的材料與科技可加以取代。然而，地球資源在經過一個世紀以上的耗用之後，人類已經意識到資源環境的有限與不可回復，因此，國際社會開始有意識地放緩經濟發展與區域開發的步調與規模，並且尋求更為審慎保守的資源使用模式！在這個浪潮下，以「循環經濟」概念為主的思為模式已經成為混凝土工程技術背後最重要的內涵，並且正逐漸從不同的面向落實在混凝土工程的實務中。本期為「循環經濟」專刊，內容即在於呈現國內混凝土產業中最具代表性的前瞻性做法，並且呼應最新的國際趨勢！

水泥為混凝土中最核心的材料，其傳統的製程中，除需要進行石灰石的開採外，並且要耗用極高的熱能進行煨燒使成熟料，常給予社會一種耗能、破壞環境的刻板印象，然而，在過去近廿多年的技術更新下，台灣的水泥產業已出現完全不同的面貌，水泥生產可以結合能源循環、資源再生與環境永續等面向，扮演「循環經濟」火車頭的角色！其中，台泥和平廠的「港、廠、電三合一」的設計堪稱是世界水泥廠的典範；亞泥新山礦場所採行的植生工法使採礦與植生更迭並行，使景觀環

境的衝擊降至最低；潤泰水泥廠則將具活性不易再生使用的鋼鐵爐渣導入製程，不僅能取代天然石灰石，也能完全去化這種類型的工業副產物。事實上，不管是做為替代生料或者替代燃料，水泥廠的生產製程是許多工業副產物再生利用的最佳終極途徑！在循環經濟的落實上，水泥廠具有不可替代的重要角色。

混凝土需要大量的砂石材料做為骨材，提供其主要的體積與重量，然而天然砂石的開採幾已到了臨界點，未來除了疏濬外，可能已沒有多餘的天然砂石可供使用，因此，使用「再生粒料」是一個必然的途徑，除可提供做為非結構混凝土所需的部分骨材，並且能有效再利用各類的事業副產物，事實上，營建工程的用途，每年可去化的事業廢棄物可達近千萬公噸，是各部門的循環經濟中最為顯著的！本期文章特別從填海造陸、路基填築、瀝青鋪面等不同的應用途徑介紹其相關工程技術。不僅技術面，有關法規面與不同主管機關間的有效整合，也都是推動循環經濟的成功要素！

期待透過本期文章，能使讀者對營建工程在「循環經濟」上的實務作法有深入的認識，從而啟發在各種不同工程技術與面向上可能的創意作法！



水泥廠在循環經濟與減碳 的思維及作為—台灣水泥

陳光熙 / 台灣水泥股份有限公司研究室 協理

林尚毅 / 台灣水泥股份有限公司研究室 資深經理

章興國 / 台灣水泥股份有限公司研究室 資深副理

台泥和平廠區當時為響應政府產業東移政策及落實環保理念，在投資興建水泥廠、電廠與港口之初，即規畫並建成世界首創「港、廠、電三合一」的循環經濟商業模式，並引進豎井、密閉式廊道與餘熱發電系統，並在製程中推動廢棄物資源再利用。近年來除了投入二氧化碳捕獲與水泥窯協同處理技術外，更發展推動綠色能源建置，已確立環保、能源、水泥為台泥的核心事業，未來更已規畫將和平廠區打造成一個能讓遊客與社區樂於親近，共存共榮的開放式產業生態園區。

前言

節能減排、創能與循環經濟目前在國際間日益受到關注，綠能與循環經濟也都屬國家推動「5+2」產業創新政策之一；台灣水泥一直在節能減排與循環經濟上的努力從未間斷，近年並投入綠能建置以及二氧化碳捕獲相關研究，希望能透過創新設計使能、資源的生命週期延長，藉由產業內與產業間的資源循環與再利用，在降低天然資源消耗的同時緩解廢棄物與污染產生的問題建立出更友善的經濟模式。

世界首創的「港、廠、電三合一」

台灣水泥在和平廠區充分體現了循環經濟的具體實踐（圖1）。和平港港口輸入了電廠所需的燃料，以及生產水泥所需的燃料與鐵渣、石膏、爐石等原物料，在製成水泥產品之後再經由和平港運輸至西部各港口的水泥接收站，避免陸運運輸過程對環境及交通造成的衝擊。港區儲運系統係採密閉式廊道輸送帶設計以減少物料粉塵溢散，碼頭則設置自動裝卸料機具

降低港區貨運流量，減少空氣污染。

和平水泥廠在建廠規劃時，即採用最先進之環保設備如兼顧景觀與環保之全密閉式儲存及輸送系統、採用 Low-NOx 製程與設備。另於主要排氣煙囪設置 CEMS 自動連續監測系統，嚴格控制排氣品質，確保所有排放均優於國家標準，台泥所有旋窯均配置餘熱發電設施，在和平廠我們採用日本最先進的閃蒸技術提高回收熱量之效能，以達餘熱發電系統之最大效益。

和平火力發電廠配置兩組 660 MW 裝置容量燃煤汽力發電機組，採用密閉式燃煤儲運系統、靜電集塵器、排煙脫硫設備、選擇性觸媒轉化器脫硝設備、低氮氧化物燃燒器及自動連續監測系統等多項最先進之空氣汙染防治設備，有效控制煙囪排放硫氧化物及氮氧化物之濃度，發電所產生之煤灰可供給水泥廠做為水泥的替代原料，於廠區內完全去化；水泥廠並提供產製的石灰石粉供給和平火力發電廠電廠排煙脫硫設備（FGD）做為脫硫劑使用，煙氣脫硫所產出的脫硫石膏再回送給水泥廠做為水泥生產時必要的添加劑，形成一個良性迴圈。



圖 1 港、廠、電三合一

豎井系統與礦山維護

和平廠採最先進之「山頂平臺式階段開採豎井運輸法」開採（圖 2），礦山開採同步進行植生綠化，使礦區除達成綠化、美化之成效，亦能兼顧水土保持之功效，此法破壞面積小，對景觀與環保衝擊較低，且具有安全性高、產能大、運輸成本低之特點，而且完全地下化、自動化，大幅降低山體表面植被影響，平地完全不會受到山頂採掘作業影響，同時避免礦山邊坡裸露。目前共有 3 套豎井開採系統，年產能達 1,500 萬噸供應生產所需。石灰石開採後自豎井口倒入豎井中，再經由破碎機及旋碎機進行破碎，將石灰石逐漸縮小粒徑，藉由密閉式輸送帶輸送至圓庫及廠內，運輸過程屬全密閉方式所以無噪音及粉塵汙染等問題。

台泥和宜蘭大學園藝學系團隊，採「創新手法和獨門配方」，跳脫速成的植被綠化模式，深耕棲地以重建當地生態面貌為主軸，種植樹苗以原生、先驅且耐逆境的物種為主。此所謂的獨家配方就是水源滴灌法精準灌溉以及防風網等策略，逐步將多種植物移入礦區進行復育。



圖 2 山頂平臺式階段開採豎井運輸法

廢棄物資源再利用

台泥發展協助產業解決廢棄物之方案，多年來使用的再生資源包括：發電廠之脫硫石膏、煤灰、脫硫渣，光電及半導體等產業之氟化鈣污泥、廢溶劑，造紙業、石材、淨水廠、化工廠之污泥、鋼鐵廠礦泥化學原料廠之鋁礦土渣、工程廢棄土等等（圖 3）。以水泥旋窯作為環保之核心技術，充分發揮水泥窯高溫、高擾流、高滯留時間之特性，妥善地發揮無二次污染的功能，將所

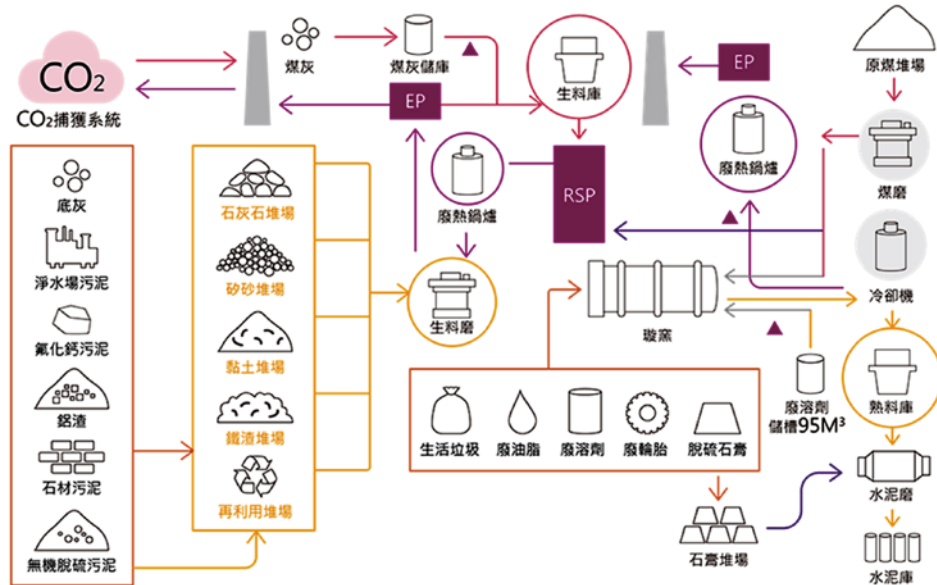


圖 3 台泥產業間廢棄物處理

有可行的廢棄物轉化為資源物，用作水泥製程所需的替代原料或替代燃料，實現產業間合作將資源再利用形成環保價值鏈。台泥並制定驗收規範、檢驗標準、摻配比例等相關規範與程序，所有進廠之廢棄物亦須檢驗成分是否符合驗收規範，並確保使用再生資源生產的水泥產品符合 CNS 61 卜特蘭水泥國家標準，再回到建材產業鏈中，達成循環經濟的目標。

水資源與水循環管理

隨著氣候變遷導致的極端氣候使得水資源管理的重要性日漸升高，台泥訂定每年用水減量 1% 的目標，並推動用水減量措施。和平廠 2019 年規劃汙水回收工程，進一步提升廠內回收水使用率，並用於廠內綠化及道路灑水系統使用。蘇澳廠 2019 年規劃增設管路、抽水機及儲水槽將擴大放流廢水回收再利用，供應廠內堆置場、道路灑水污染防治及花園澆灌等用水，預估每日可減少 300 立方公尺用水量。台泥為鑑別衝擊並建立用水管理機制，2019 年蘇澳廠、和平廠雙雙通過 ISO 14046 水足跡盤查的第三方查證，提升水泥廠水資源管理，為國內第一家獲得水足跡認證的水泥廠。

創新的二氧化碳捕獲與利用 (CCUS, Carbon Capture, Utilization, and Storage)

台泥公司本著「環保是責任，不是成本」的經營理念，在和平廠區創建時所完成的「港、廠、電三合

一」雖已達成零廢棄物廠區，但仍有二氧化碳排放的懸念未能解決，所以在獲知工研院尋求合作研究對象時雙方一拍即合，台泥自 100 年起投入經濟部能源局補助計畫，成功的開發以天然廉價石灰石為吸附劑之「鈣迴路捕獲二氧化碳技術」，在 102 年於本公司花蓮和平水泥廠區，建立「1.9MWt 鈣迴路捕獲二氧化碳先導型試驗廠」，該廠成為同類型技術中全球最大規模的試驗廠（圖 4）。該技術於 2014 年更獲得素有產業創新奧斯卡獎美名的「全球百大科技研發獎 (R&D 100 Awards)」的國際大獎肯定（圖 5），研發期間並陸續獲得國內外媒體與刊物的參訪與邀稿報導，此舉也同時響應政府與全球節能減碳的企業社會責任。

鈣迴路技術是以天然石灰石（碳酸鈣，CaCO₃）作為吸附劑，以進行 CO₂ 捕獲。石灰石相對於其他化學吸收劑而言，其成份安全、穩定、蘊藏量豐富且價格便宜，具有較大的理論吸附容量（0.786g CO₂/gCaO），且失去活性的吸附劑還可再投入水泥製程做為原料或產製附加價值較高的輕質碳酸鈣，因此無事業廢棄物產生。捕獲流程是先將含 CO₂ 之燃燒煙氣導入碳酸化爐於 600 ~ 700°C 下與吸附劑 CaO（氧化鈣）反應生成 CaCO₃（碳酸鈣），反應如方程式 (1) 所示。生成的 CaCO₃ 則再進入煅燒爐中，經約 850 ~ 950°C 的高溫使 CO₂ 脫附再生成 CaO，反應如方程式 (2) 所示。再生之 CaO 則可送回至碳酸化爐，再次進行碳酸化反應如此即形成迴圈。



捕獲後的二氧化碳除了地質封存還能做些什麼，這就讓台泥想繼續尋求合適的再利用技術使之再回到循環鏈中，於是再與工研院展開「戶外微藻固碳系統及高單價微藻培養研究」合作計畫，開發微藻養殖的固碳技術與經營模式探索，台泥選擇比樹木固碳量速度還要高數十倍的藻類做為標的（圖6），以從藻類萃取出質柴油，藉由此技術進行生物固碳之餘，並將養殖導入富含蝦紅素之雨生紅球藻以提升相關經濟效益（圖7），將純化後的二氧化碳作為雨生紅球藻生長所需之碳源，一般生成1公斤的藻體約當吸收1.83公斤的二氧化碳，如此將生產水泥過程中所排放的二氧化碳在捕獲後再利用，讓二氧化碳也進入循環經濟產生加值化的效益，台泥與工研院合作之「創新碳循環經濟微藻減碳與高產率蝦紅素產業應用模式」計畫，榮獲第13屆國家新創獎的肯定（圖8）。



圖5 全球百大科技研發獎 (R&D 100 Awards)



圖6 戶外微藻固碳系統



圖7 雨生紅球藻養殖系統



圖4 鈣迴路捕獲二氧化碳先導型試驗廠



圖8 第13屆國家新創獎

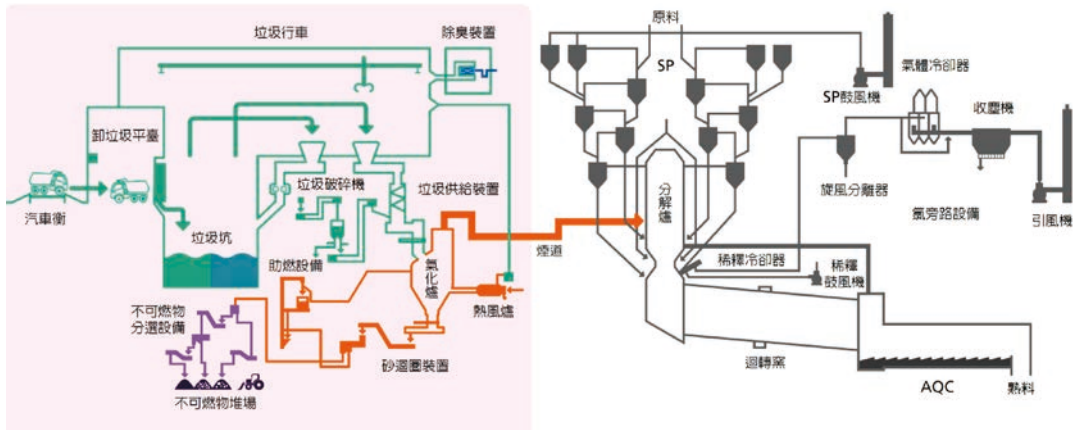


圖 9 水泥窯協同生活垃圾焚燒處理流程

台泥隨後再與工研院的生醫所展開蝦紅素的應用研究，由於雨生紅球藻富含的蝦紅素具有優異的抗氧化能力及多元的應用價值，根據數據顯示，雨生紅球藻之蝦紅素濃度，為磷蝦 250 倍、鮭魚的 6,000 倍，台泥蝦紅素在延緩細胞老化、視網膜修護甚至阿茲海默症預防等，都已展現初步成果。台泥亦嘗試「減省去萃取步驟」，直接食用天然的蝦紅素紅球藻，與工研院共同開發出「減碳環保麵」，搭配花蓮在地的馬告粉、七味粉，成為獨一無二的減碳蕎麥麵禮盒。

水泥窯協同生活垃圾焚燒處理

一般的垃圾焚化爐因為燃燒溫度較低不易完整消除戴奧辛，導致產生的高毒性飛灰和燃燒過後的底渣，以至於無法資源化的部分就必須採取固化掩埋處理，久而久之繼續污染土地、水源。而水泥廠跟垃圾焚化廠共構的好處，就是可以用高溫分解戴奧辛，把飛灰、底渣也透過高溫淨化，成為水泥的一部分達成 100% 廢棄物再利用。

台泥首先將城市生活廢棄物由車運入廠後，再將廢棄物進行破碎堆置處理等階段，利用抓斗送入氣化爐產生可燃氣體，可燃氣導入旋窯系統的分解爐中，做為替代燃料提供給燒成時的能源需求（圖 9）。生產過程之熱氣，經由系統的餘熱發電裝置，將產生的熱能轉成電力使用，有機物質在水泥窯中可被充分破壞不致生成毒性物質，無機物質即成為水泥熟料，兼具資源循環利用與降低能耗與排放的效益。

再生能源

台泥節能之餘更積極布局再生能源領域以求創能，相繼規劃投入太陽能、風力、地熱發電等領域，同時也



圖 10 地面太陽能電廠

對於其他再生能源發電與儲能方式進行研究評估，以強化台泥的核心事業。2018 年 6 月已建置完成第一座地面太陽能電廠（圖 10），藉由採用雙面太陽光電模組，利用地面反射光增加發電量，並預計在 2019 年底將於彰濱完成 12.1MW 的光電加上 7.2MW 的風電，建構臺灣第一座大型「風光共存」的再生能源電廠。

結語

在自然界裡是沒有「廢棄物」存在的，應該是無限循環生生不息的。台泥始終在土地、岩石、地質、空氣與水之中，探索人與生活、人與居住環境之間的複雜關係，積極成為一個全神貫注處理人類文明與大自然環境之間複雜關係的綠色環境工程公司，所以我們所做的各項嘗試與努力不只是為了台泥公司的永續，也同時為了人類與環境的永續而努力，期望不只是滿足我們這一代的需求，進而能讓往後的世代實際感受到我們所打造的願景「The future is worth it」。



水泥產製與環境 — 新城山礦場植生綠化工法

陳志賢 / 亞洲水泥花蓮製造廠 首席副廠長

游象麟 / 亞洲水泥花蓮製造廠 工程師兼主任

吳偉誠 / 亞洲水泥花蓮製造廠 助理工程師

水泥產業與礦業有著密不可分的關係，其中礦業開發初期大都涉及山坡地的破壞，尤其在露天礦場的開發行為中，對環境的影響最明顯可見的是植被遭到破壞。近年來台灣經濟快速成長，民眾漸漸重視環保議題，故礦區開發除資源有效利用外，更首重水土保持及環境保育工作。

亞泥花蓮廠新城山礦場位在立霧溪出海口，礦區面積約 400 公頃，與聞名遐邇的太魯閣國家公園相鄰，每年由蘇花公路與中橫公路到此觀光人潮達眾多，礦場局部裸露殘壁影響景觀，因而使亞泥礦區植被復育更顯迫切。

過去採礦注重水土保持，以做好礦區防災工作，而植生綠化為水土保持工作的一環，隨著時代的進步，台灣的礦區復育工作已逐漸重視生態觀點，提升為景觀復原、維護自然生態復育功能及內涵等。如何使開發行為對於景觀衝擊降到最低，以及採掘跡地植生、綠化及復舊，乃是永續經營上一大難題與挑戰。

前言

亞泥自 1974 年取得礦業權開採迄今，為合理利用大理石礦源，避免不當的開採，先後聘請德、日等外國地質及採礦專家，詳查礦藏之蘊藏，引進最先進的採礦技術，並規劃整體開發計畫，同步執行植生復舊，以降低對環境衝擊。本公司於設立廠礦之初，即已深切瞭解環境保護與景觀維護的重要，因此特別與國內植物學者、林業機構及自然生態專家等合作，對於本地區附近天然林、石灰岩地植物群落進行植被調查，並擬定開採後景觀復舊與生態綠化的技術圭臬，在開採的同時逐步復原礦區生態，恢

復大自然的面貌。為顧及礦場之營運對於環境保護、水土保持與周遭景觀的衝擊，本礦場除採用露天階段式開採，開採後又可立即種植植被，等階段性開採告一段落，植生綠化已有顯著成果，降低景觀衝擊。

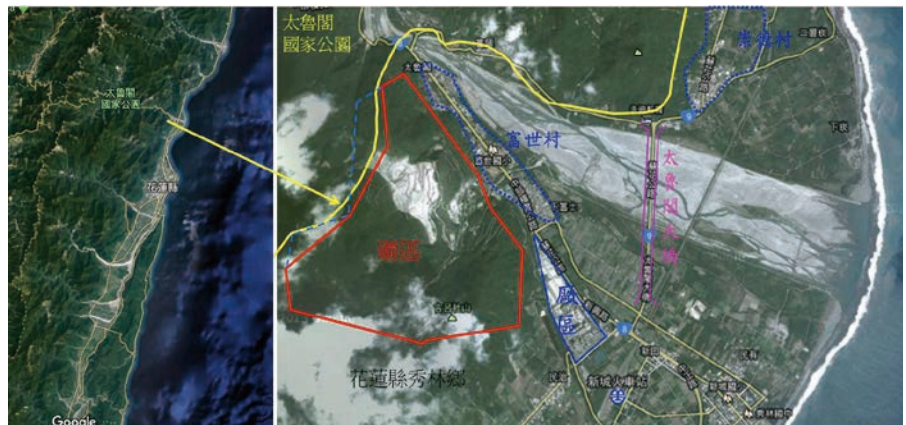


圖 1 新城山礦場交通位置

亞泥仿自然植生造林法

由於亞泥植生綠化不斷精進走在業界前端，於1981年即與中興大學水土保持工程研究所建教合作，由該所教授群共同策劃本礦場水土保持計畫及教導並移轉具有水土保持功能的植生技術。于1990年起先後又與中華民國工程環境學會及中華民國自然生態保育協會合作，針對礦區附近天然林、石灰岩地植物群落進行植被調查，記錄植物種類、頻度、密度及優越度，建立此區植被由先驅、營建及優勢樹種之演替調查資料，分析石灰岩地區土壤物化性及有益植物生長之微生物種類，據以建立生態綠化計畫，從而自400餘種原生植物中選定87種做為植生綠化景觀復舊樹種，以進行苗木繁殖、培育、健化及現地客土改良、植栽施肥、養護灌溉之管理工作，改善植物生長環境及朝向極相演替，誘導、加速植物提早建立優勢及穩定之植被社會，使礦山儘速恢復自然生態，因此亞泥也依據這計畫藍圖執行了數十年迄今。

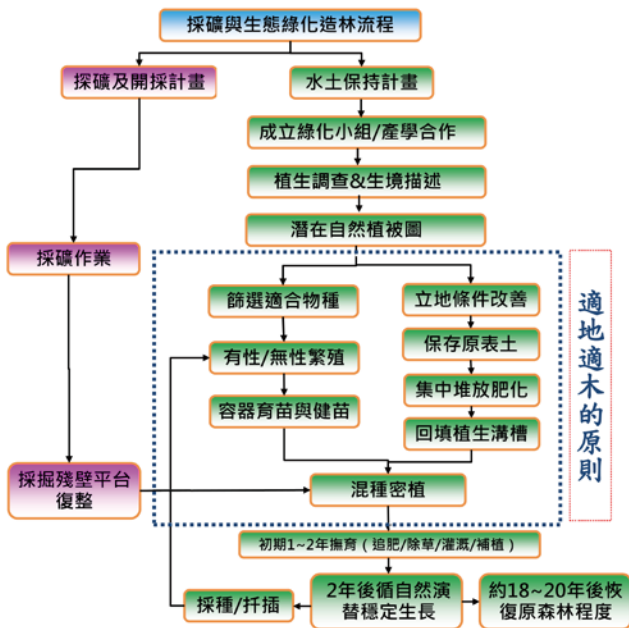


圖2 新城山礦場植生復育計畫

成立綠化小組

聘當地部落具有環保及園藝專長之人員成立「綠化小組」，建立苗木繁殖方法、容器育苗系統及有益土壤微生物之接種技術，從事種苗繁殖、培育、健化、植栽、灌溉、施肥及除草維護等工作，以「生態綠化」工法進行植生復舊工作。



圖3 綠化小組工作情形

設立育苗室

育苗室提供播種及扦插繁殖，設置加壓噴霧及定時控制之仿自然霧灌溉化設備，促使種苗迅速成長、提高種苗品質及出栽存活率，年可產四萬餘株，除了自給自足外，基於敦親睦鄰的理念，並捐贈大量苗木供鄰近學校及社區種植以共同美化生活環境。



圖4 亞泥育苗室



圖5 溫室內採自動控制溫、濕度

健化苗木

設立健化場以增強幼苗的抗旱、抗貧疾、耐曝曬及競生能力，再將已健化的幼苗換置大型容器，促使苗木發育成樹，以利植栽。於容器內的基材加入菌根菌使成樹根系發育完全，再移植現場，不受節氣的變化全年植栽，存活率在85%以上。



圖 6 穴植管完整根系



圖 7 穴植管戶外健化



圖 8 健化場採容器育苗

現場客土植栽

依據行政院農業委員會 2003 年公告的水土保持技術規範，第 184 條露天礦場之最終殘壁邊坡原則如下：原料礦場（白雲石、大理石、石灰石）每階段高度為 10 m 以下、平台寬度 5 m 以上，如以預剝式保留者，平台寬度 4 m 以上，殘留邊坡 75° 以下。

新城山礦場以預剝式的方式採礦，故將殘留階段訂為高 10 m，寬 4 m，殘留跡仰角 53°，邊坡仰角 75°。另外為了永久性、穩定性及經濟性等因素，在殘壁上採取平整炸法（Smooth wall blasting）使壁面平整、穩健、不受過裂損傷，可以防止殘壁崩落，免卻人工擋固設施。

殘留壁階段平台，以破裂機配合怪手，沿殘留階段之走向挖掘平台內側深約 1.2 m，寬約 1.5 m 之植生溝槽，並放置客土以利種植木本植物，進行植被恢復。



圖 9 礦場植栽完成情形



圖 10 礦場植栽 1 個月情形



圖 11 礦場植栽 1 年情形



圖 12 礦場植栽 3 年情形



圖 13 礦場植栽 5 年情形

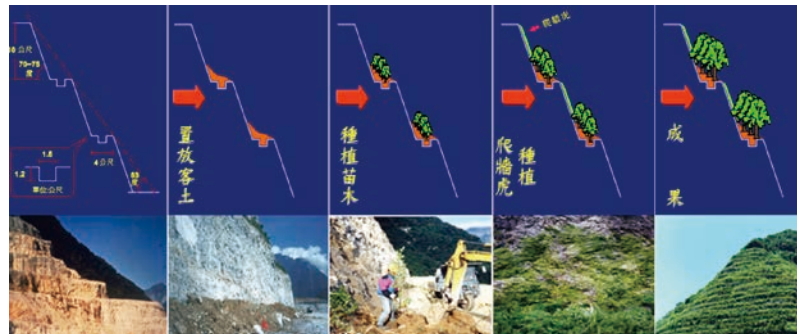


圖 14 植生溝客土槽綠化工法

首創植生土包快速綠化工法

傳統客土槽植生工法約需 5 年植被生長期，可達覆蓋率 80%，惟面對民眾對環保意識日漸高漲，傳統客土槽植生工法已無法符合民意急迫視覺景觀之要求，新城山礦場位於蘇花公路目視可及之景觀敏感區，為加速綠化減少景觀衝擊，研發植生土包工法加速綠化，植生網袋放置客土及草種後，堆疊於坡面並輔以岩釘固定，可即時改善裸露岩面外觀，2 個月後草叢遍生，1 年半



圖 15 植生土包綠化工法施工前



圖 16 植生土包綠化工法施工後

後植生經自然演替從草本、灌木到喬木林，樹高約 1~3m，可達快速綠化之效；該工法獲政府各相關主管機關肯定及表揚，並獲澳洲政府推崇為礦場綠化的典範。

國際永續發展典範礦場

亞洲水泥公司長期以來致力於礦區植生綠化復舊，其技術屢受國內外政府機構、學界與同業肯定；2004 年 APEC 峰會時，經濟部以亞泥新城山礦場之綠化復舊成果，向世界各國展示報告；2008 年 5 月日本全國石灰石礦業協會組團，對亞泥新城山礦場植生綠化努力與成果極為讚賞，並刊載於日本「石灰石」會刊，文中載錄『亞泥對綠化極為努力且具體成效，目前日本石灰石礦山殘壁，尚未有綠化如此有成之礦山』，同年 11 月日本資源素材學會 10 名教授再度慕名參訪；2011 年澳洲政府『礦業永續發展』出版品“A Guide to Leading Practice Sustainable Development in Mining, Australian Government.” 登載亞泥新城山礦場綠化復舊實績，為典範礦場供礦業同業為楷模。

植生復育成果

在遙測在環境監測上的應用，常態化差異植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index, 簡稱 NDVI) 是用來監測綠色植物最常用到的遙測資料，在礦區植被



圖 17 2008 年日本「石灰石」會刊登載亞泥新城山礦場綠化實績



圖 18 201 年澳洲政府出版品登載亞泥新城山礦場綠化復舊實績

復育的研究上，可以克服傳統人力調查礦場殘留壁植生復育工作所遇到耗費大量人力、時間、及無法大規模且全面性的調查等問題。

經研究在現地樣區調查與遙測技術大面積 NDVI 分析，可得知隨著復育時間的增加，復育區 NDVI 的平均值增加，標準差減小，顯示復育時間越久植物生長情形相對越穩定。

在現地調查初步發現採掘跡植被復育區 5 年以上均可發現野生動物排遺，由此推測「亞泥仿自然的造林法」根據各植物社會演替序列之順序，判定潛在植被發展傾向，提供潛在原生優勢物種為選種育苗的策略成功，又出栽樹種多樣化且以混種密植的方式營造植物生態社會，使復育區在後續植被演替提供足夠多樣性環境。

結論

近年來民眾環保意識抬頭，企業社會責任與環境保育議題已是每一企業永續經營之首要課題。亞洲水泥

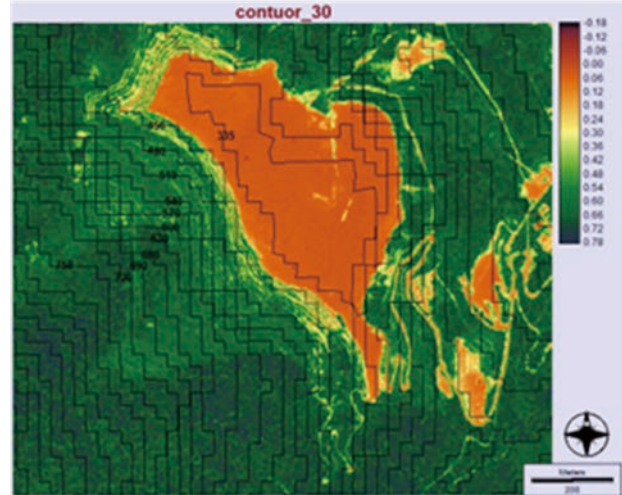


圖 19 礦場 NDVI 分佈影像 (福衛二號)



圖 20 台灣山羊排遺

公司秉持永續經營理念，採取整合性的環保策略，將礦山植生綠化技術推廣移地保育，發展休閒林園與蝴蝶園區，並持續關懷弱勢族群及繁榮地方，進用當地優秀人力，並提供多元就業機會及協助當地人就業，歷經時代的種種環保考驗，始終秉持著「工業發展與環境保護並行不悖」的理念，跟進時代腳步，投注各項環保改善，尤以礦區植生綠化景觀復舊廣獲國內外一致好評，獲得政府各項環保獎項，進而吸引許多國外水泥業、礦業同業、學者組團前來考察，以吸取相關經驗，開啟企業經營環保跨領域多面向的交流。未來亞洲水泥仍將本著企業永續發展的精神、背負社會責任，戮力推動復育計畫，並將實際綠化復育技術與經驗推廣至國內其他礦場，祈能改善國內礦業日漸趨微之困境。

參考文獻

1. 李佩怡 (2007)，礦區採掘殘留平台植被恢復之研究—以亞洲水泥新城山礦場為例國立花蓮教育大學生態與環境教育研究所碩士論文。
2. 張詠智 (2008)，亞泥新城山礦場陡坡植生包復育工法及其植被之研究。國立花蓮教育大學生態與環境教育研究所碩士論文。
3. 吳偉誠 (2011)，遙測技術監測礦區殘留壁植被復育之研究—以亞泥新城山礦場為例，鑛冶，第 55 卷，第四期。



鋼鐵爐渣應用為水泥生料的實踐

鄭瑞濱 / 潤泰精密材料股份有限公司創新研發中心 副總經理

江世哲 / 潤泰精密材料股份有限公司創新研發中心 協理

鋼爐渣是在 1,500°C ~ 1,700°C 高溫下形成，冷卻後，液態變成固態塊狀。一般為深灰和深褐色，主要有鈣、鐵、鎂、矽、鋁等氧化物組成。主要礦物相有矽酸三鈣、矽酸二鈣、鐵鋁酸鈣等。但鋼爐渣裡面有生產水泥熟料所需的主要元素鐵鋁鈣鎂矽，其鐵含量與鐵石尾矽含量相當。鋼爐渣中礦物相也同矽酸鹽水泥熟料相似，作為原材料代替生產熟料是為良好選擇。

依據本公司導入實踐的經驗，鋼鐵爐渣經過磨粉、均化分析及鍛燒處理後，性質穩定，添加至水泥生料中當作原料，亦不影響其原本性質；將鋼鐵爐渣導入水泥廠為原料的替代，將原本事業廢棄物無處可去的現況找到一方法確實可行。

前言

煉鋼可依製程分為一貫作業煉鋼及電弧爐煉鋼形式，目前台灣一貫煉鋼系統僅有中鋼及中龍使用此種煉鋼方式，在流程中之高爐部份，所產生之爐渣稱為高爐石，高爐石為目前主要普遍加入混凝土中做為膠結材料，目前運用廣泛，流程中接下來的轉爐部分所生產的爐渣即為轉爐石，轉爐石目前由中聯資源公司負責處理及去化，另一方面，電弧爐煉鋼的領域，電弧爐煉鋼依經濟部頒發技術手冊所載，國內每家電弧爐煉鋼廠之製程不完全相同，但主要製程大致上是相似的，電弧爐煉鋼係利用高電壓情況下，高電流通過人造石墨電極時，交流三電極間產生高溫電弧（直流電極則於電極棒和爐底極間產生高溫電弧），高溫電弧則將廢鋼熔解，以達成熔煉鋼鐵之目的。電弧爐煉鋼在冶煉過程中，依其化學反應可分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期，流程如圖 1。電弧爐渣依產生的階段，又可分為氧化渣及還原渣，氧化渣含鐵量及硬度都較高，將氧化渣內之鐵份去除後為良好瀝青混凝土骨材，而還原渣因含有 f-MgO 及 f-CaO 性質較不穩定，活性較高，誤用後加至混凝土中易讓混凝土產生爆出突起現象。

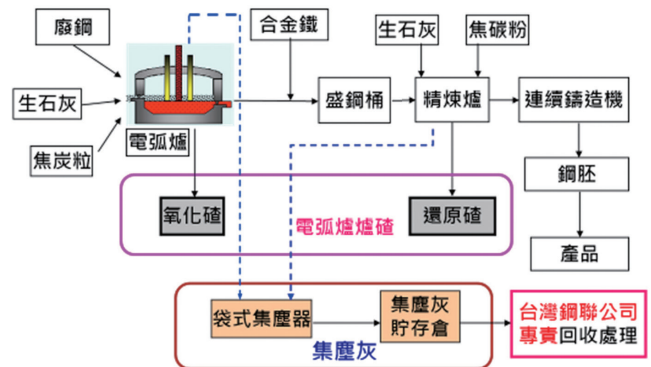


圖 1 電弧爐渣產生之流程圖

由於煉鋼爐渣係由多種礦物組成的固熔體，隨不同之化學成分而變化，其性質亦與化學成分有密切的關係。一般而言，煉鋼爐渣普遍具有下列性質。

- 密度：爐渣的密度一般約為 3.1 ~ 3.6 g/cm³，但由於電弧爐煉鋼爐渣含鐵量較高，因此其密度較高爐渣之密度為大，而密度較高相對較具耐磨性。
- 單位容積重量：爐渣之單位容積重量不但受其成分影響，還與粒度有關，一般而言，通過 80 目標準篩的渣粉，高爐石密度約為 1.74 g/cm³，電弧爐渣約為 1.62 g/cm³ 左右。
- 易磨性：煉鋼爐渣由於結構較為緻密，故較一般砂

更具耐磨性。以易磨指數表示，標準砂為 1，高爐渣為 0.96，而轉爐渣及電弧爐煉鋼渣均為 0.7。

- 活性： C_3S 、 C_2S 等為活性礦物，具有水硬膠凝性，因此 C_3S 、 C_2S 含量高的高鹼度電弧爐煉鋼渣，可作為水泥生產原料或製造建材製品。
- 穩定性：煉鋼渣渣含游離氧化鈣 f-CaO、游離氧化鎂 f-MgO、 C_3S 、 C_2S 等，這些組成在一定條件下都具有不穩定性。鹼度高的渣在緩緩冷卻時， C_3S 會在 1,250°C 到 1,100°C 時緩緩分解為 C_2S 和 f-CaO； C_2S 在 675°C 時 β - C_2S 相會變為 γ - C_2S 相，並且發生體積膨脹，其膨脹率達 10%。另外煉鋼渣渣吸水後，f-CaO 會消解為氫氧化鈣 $Ca(OH)_2$ ，體積將會膨脹 100 ~ 300%，f-MgO 會消解為氫氧化鎂 $Mg(OH)_2$ ，體積亦會膨脹約 77%，因此含 f-CaO、f-MgO 的常溫煉鋼渣渣乃是處於不穩定狀態的，只有當 f-CaO、f-MgO 消解完成或含量很少時，才會穩定。

煉鋼渣渣應用為水泥生料的文獻

鋼渣渣是在 1,500°C ~ 1,700°C 高溫下形成，冷卻後，液態變成固態塊狀。一般為深灰和深褐色，主要有鈣、鐵、鎂、矽、鋁等氧化物組成。主要礦物相有矽酸三鈣、矽酸二鈣、鐵鋁酸鈣等。但鋼渣渣裡面有生產水泥熟料所需的主要元素鐵鋁鈣鎂矽，其鐵含量與鐵石尾砂含量相當。鋼渣渣中礦物相也同矽酸鹽水泥熟料相似，作為原材料代替生產熟料是為良好選擇。

目前，世界各先進國家均對鋼渣渣進行回收與資源化，主要應用於道路面層與基底層級配材料、土木工程、水利工程、回填材料及肥料等，用途相當廣泛，其中做為水泥生料使用各國約占 4 ~ 6% [5]。

一般而言，鋼渣中 RO 相（二價金屬氧化物固溶體）含量約 20% ~ 30%，平均粒徑為 31 ~ 45 μm ，晶粒邊緣 FeO/MgO 的莫耳比（mole ratio）大。鋼渣中的 RO 相晶粒比矽酸鹽礦物小，比鐵鋁酸鹽和 f-CaO 相大；RO 相是鋼渣中硬度、密度最大的礦物，在粗粒級和重組分中富集，氣力分級 RO 相在粗粉中含量是細粉的 2 倍以上。FeO/MgO 的莫耳比越高，RO 相硬度和密度越大，重力選別性越好。再者，鎂鐵尖晶石、RO 相和伴生礦物分別屬於強磁性、中磁性和非磁性礦物。磁選鋼渣粉精礦中 RO 相含量是尾礦的 5 倍以上，氧化焙燒鋼渣粉能提高其磁選性。此外，RO 相屬於導體礦物或中等導體礦物，伴生礦物屬於非導體礦物，電選精礦 RO 相含量是

尾礦的 3 倍以上。FeO/MgO 的莫耳比越高，RO 相的磁性越強、電導率越高，電選和磁選的選別性越好，這些都是鋼渣渣的特性 [6]。

早在二十世紀 1970 年，國外就有鋼渣渣代替石灰石質原料煅燒水泥熟料的報導；1980 年中期，有些單位做了一些工業性試驗及生產，由於配製生料中氧化鐵過高，使煅燒熟料存在一定困難；鋼渣渣物料就化學組成而言， Fe_2O_3 和 FeO 含量約為 28% ~ 30%。

文獻 [7] 以鋼渣渣替代鐵粉配製生料製備矽酸鹽水泥熟料，對比研究了不同石灰石飽和係數條件下，常規鐵粉配料和鋼渣渣配料的生料的易燒性，並採用 XRD 繞射和岩相分析研究了燒成熟料的礦物組成和微觀結構。結果表明：當煅燒溫度小於 1,350°C 時，鋼渣渣配料燒制的熟料樣品 f-CaO 含量略高於鐵粉配料的樣品；當煅燒溫度在 1,400°C 以上時，兩種配料生料的易燒性相當。和鐵粉配料相比，鋼渣渣配料沒有改變燒成熟料的礦物組成，而且使阿利特礦物（A 礦）晶粒發育更加完整、顆粒平均尺寸增大、分佈更加均勻。鋼渣渣能夠完全代替鐵粉配料燒制出礦物組成相同、礦物發育良好的優質熟料。

此外，文獻 [8] 針對鋼渣渣替代配料煅燒熟料進行研究工作，說明鋼渣渣是煉鋼過程中，為除去鐵中的硫、磷等有害元素，加入石灰石、螢石（ CaF_2 ）、矽鐵粉最後形成的廢渣，鋼渣渣的化學組分與矽酸鹽熟料成份較為接近，目前常使用的轉爐鋼渣，其主要礦物組成是 C_2S 、 C_3S 及 RO 相，還有少量的 C_4AF 、鐵酸鈣（ C_2F ）和 f-CaO、 $Ca(OH)_2$ 以及單質鐵等，具備代替硫酸渣進行生料配料的條件；鋼渣渣成份中的 FeO、 P_2O_5 ，CaO 在熟料煅燒中起到礦化和晶種作用， Fe_2O_3 的熔點為 1,560°C，而 FeO 的熔點為 1,420°C，因此能降低熟料的液相生成溫度和液相黏度，提高 C_2S 與 CaO 在液相中的擴散，促進 C_3S 晶體的發育成長， P_2O_5 含量較少，一般在 1.5%，摻入後不會影響水泥性能，而且 P_2O_5 是 β - C_2S 的晶格穩定劑，能夠阻止 α - C_2S 在 675°C 時轉變為 γ - C_2S ，防止熟料粉化， CaF_2 是一種良好的礦化劑，CaO 不需分解直接參與固相反應，不僅能夠降低熟料的熱耗，同時還能誘導 C_3S 的形成，以及由於鋼渣渣是經過高溫煅燒後的產物，所以具有相對比較高的活性，使用鋼渣渣配料可以較明顯的提高生料的易燒性，從而可以大幅度提高生料配料 KH 值，進而提高熟料中 C_3S 含量。由於鋼渣渣中 MgO 含量較高，用鋼渣渣配料後，熟料中

MgO 的含量較原來高出 0.6% 左右，使熟料的液相量增多，物料的最低共熔點降低，所以使用鋼渣配料可以較明顯的提高生料的易燒性。

在鋼爐渣取代水泥之建議取代量方面，文獻 [6] 以鋼渣 10% 之摻量替代部分生料，經混合煨燒後，燒製出的熟料礦物與一般水泥熟料礦物一致，且熟料礦物水化發展良好，此替代成果，可降低生產成本，以及減少水泥工業對石灰石、鐵礦等天然原料之需求，同時鋼渣的摻入能夠降低碳酸鈣的分解溫度，減少 CO₂ 排放。文獻 [9] 指出，鋼渣中 CaO、SiO₂ 和 Fe₂O₃ 含量相當豐富，3 者之總和達到 75%，其作用可做為水泥生料之鐵質校正料，建議鋼渣之添加量約 10% 以下較佳。P.E. Tsakiridis *et al.* [10] 以鋼爐渣 10.5% 之摻量替代部分生料，結果表示使用鋼爐渣不會影響水泥熟料之礦物性質，在物理及力學性質方面，亦對於鋼爐渣於水泥之生產不會造成負面影響。Remus Iacobescu *et al.* [11] 也曾以鋼爐渣替代作為生料原料使用，替代 5% 及 10% 的石灰石，與石灰石、黏土共同燒結為水泥熟料，結果亦顯示對水泥性質無負面影響。

替代生料的應用與應用測試

鋼鐵爐渣的原料替代

鋼鐵爐渣具有和矽酸鹽水泥熟料相似的化學組成和礦物組成，表 2 為不同種類鋼鐵爐渣化學成分表，

各式鋼鐵爐渣主要化學成分為 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 等，與卜特蘭水泥成分相似，因此，作為水泥和混凝土摻料極具發展潛力，然而，鋼鐵爐渣作為混凝土摻料使用時，存在鋼鐵爐渣體積穩定性問題，因此，鋼鐵爐渣作為水泥替代原料具有相當的潛力。

目前將廢棄物資源化作為水泥替代原料，在國外已有許多研究證明其可行性，且於水泥廠實際運作已行之多年，且有相當程度的生產成本降低與節能減碳功效。根據鏡田誠、鈴木英人 [7] 等人的研究指出水泥工業具有以下之特點：

- 水泥旋窯具有很高的燒結溫度可以分解幾乎所有的原料。
- 生產水泥最主要的原料石灰石是最被廣泛地運用於中和工業的汙染。
- 廢棄物的焚化灰渣組成被有效地用於水泥原料，因此將其用於水泥廠不會有二次污染的問題。
- 微量元素如重金屬等已經被安全地中和與固定於水泥熟料中。
- 水泥旋窯的生產能力大。

由於鋼鐵爐渣化學組成以 CaO 為主，約佔比為 40% ~ 45%，對於石灰石、黏土、矽礦、鐵渣等水泥組成原料而言，鋼鐵爐渣可作為替代石灰石原料使用。水泥製程流程圖如圖 4 所示，將石灰石、黏土、矽礦、鐵渣等原料經生料研磨後，水泥生料粉先於 850°C

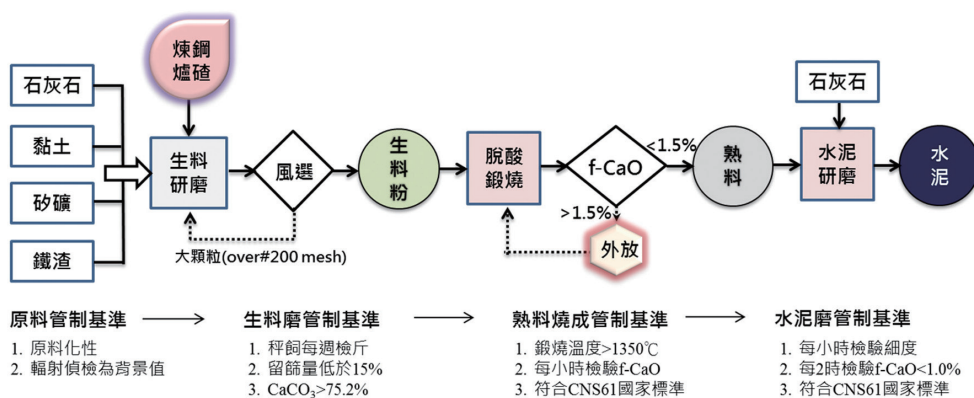


圖 2 水泥生產製造流程圖

表 2 各式鋼鐵爐渣化學組成成份表 [6]

項目	氧化物成分%										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI
氣冷高爐石	33.9	14.9	0.5	40.7	6.3	0.5	1.4	0.5	0.0	0.6	0.3
水淬高爐石	33.5	13.7	0.4	42.7	6.2	0.4	1.5	0.5	0.0	0.4	0.3
轉爐鋼爐渣	11.5	4.5	21.6	39.4	6.4	--	--	0.5	2.0	4.0	3.9
氧化渣	19.9	12.1	14.9	36.2	3.3	--	--	0.7	0.9	7.6	1.0
還原渣	20.2	10.3	9.8	41.2	10.3	--	--	0.4	0.6	1.8	1.2

~ 900°C 懸浮預熱機進行生料 CaCO₃ 脫酸作用，將脫酸作用產生之 CaO 於水泥旋窯內以約 1,400°C 高溫熔融液相燒結成矽酸三鈣 (C₃S)、矽酸二鈣 (C₂S)、鋁酸三鈣 (C₃A)、與鋁鐵四鈣 (C₄AF) 等水硬性礦物相之水泥熟料，如圖 3 所示。因此，當鋼鐵爐渣取代石灰石作為替代原料使用，存在於鋼鐵爐渣內的大量游離氧化鈣，於高溫熔融液相中亦能與 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 產生水泥礦物相燒結反應，可有效降低鋼鐵爐渣游離氧化鈣 (f-CaO)，依據 CNS 61 國家標準，熟料燒成管制基準以每小時管制熟料游離石灰含量，游離石灰含量大於 1.5% 需進行外放處理或回料與生料重新燒結處理。因此，高溫燒結作用不僅使鋼鐵爐渣進行安定化處理，更確保含有鋼鐵爐渣之熟料游離石灰含量符合 CNS 61 國家標準，此外亦能將存在於鋼鐵爐渣重金屬等微量元素，安全中和與固定於水泥熟料中，降低重金屬毒物溶出的可能性。

使用鋼鐵爐渣做用水泥替代原料相關文獻指出 [8]，由於鋼鐵爐渣大量游離氧化鈣無需經過脫酸吸熱反應，作為水泥替代原料具有低耗熱與低碳排等優點，且燃燒能力指數 (Burning ability index, BI) 試驗結果顯示，添加鋼鐵爐渣之水泥生料相對於未添加鋼鐵爐渣之控制組生料，具有較低殘留之游離氧化鈣 (f-CaO) 與較佳之水泥熟料燒結能力。圖 4 為水泥替代原料經高溫作用殘留之游離氧化鈣含量與燒結溫度關係圖 [9]，水泥熟料中游離氧化鈣含量隨著高溫燒結溫度增加而顯著降低，且添加廢磚粉與蛋殼等替代原料，於不同溫度燒結後，殘留之游離氧化鈣較未添加替代原料之控制組低，說明替代原料中之游離氧化鈣安定化的方法，可透過高溫燒結程序使材料中存在之游離氧化鈣降低，並符合國家標準

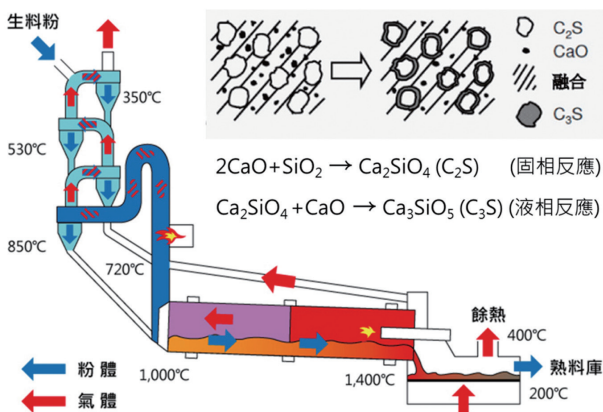


圖 3 水泥生料旋窯燒結示意圖

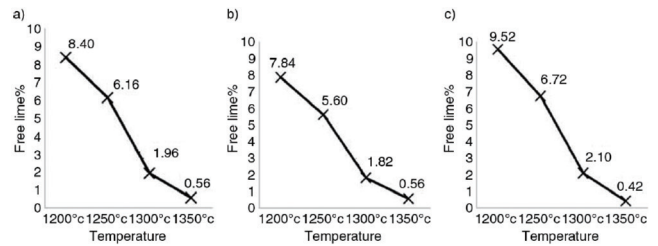


圖 4 水泥替代物料殘留游離氧化鈣與高溫燒結溫度關係 (a) 控制組生料；(b) 廢磚粉替代生料；(c) 蛋殼替代生料 [9]

值。因此，鋼鐵爐渣等廢棄物，進入水泥廠作為替代原料再利用方法，為降低游離氧化鈣所引發混凝土膨脹崩壞危害之最有效的方法。

替代生料的熱效應與水泥產品性質

以經濟部編號第 14 號的再利用管理辦法，電弧爐鋼鐵爐渣可用為水泥原料，為確認作為水泥生料的可行性，本計畫採用熱分析方法，進行評估。熱分析是研究物質在溫控條件下，發生的物理或化學變化與溫度之關係，常用的有熱機械分析法 (Thermomechanical Analysis, TMA) 及差示掃描量熱法 (Differential Scanning Calorimetry, DSC)。TMA 方法主要為量測不同之材料於溫度變化上之物性變化，物性變化包含膨脹收縮、軟化現象及交聯硬化等方式呈現。TMA 之量測係將材料樣品上施加某一固定力量，並藉由可溫度控制之爐體，於溫度增加或減少時，其材料之膨脹或收縮現象，皆可藉由 TMA 來量測到探針之變化情形，以獲得膨脹係數或收縮係數，裝置如圖 5(a) 所示。DSC 和 TMA 儀器裝置相似，如圖 5(b)。就一般水泥生料燒成反應透過兩種熱分析結果，如圖 6 所示，兩種分析方法之反應曲線，可大致分為四個階段，第 1 階段發生在煨燒溫度 700°C ~ 850°C 之間，為預熱脫酸階段、第 2 階段發生在 1,200°C ~ 1,300°C 之間，為 C₂S 生成階段、第 3 階段發生在 1,250°C ~ 1,350°C 之間，為液相產生階段、第 4 階段則發生在大於 1,250°C 時，為 C₃S 生成與相變階段。

本計畫依據配料分析所得成果，將兩種配料方案之各組水泥樣品，以不同的熱分析方法進行分析，採用 TMA 分析方法，其分析結果如圖 7 所示。由以上結果可知，使用鋼鐵爐渣取代部分水泥生料是具有潛力及可行性之方法，且經過高溫煨燒後，鋼鐵爐渣最令人憂心之活性造成之爆出突起之疑慮已消除，且亦可符合水泥生料之需求。



(b) DSC 分析儀器 (a) TMA 分析儀器

圖 5 熱分析儀器

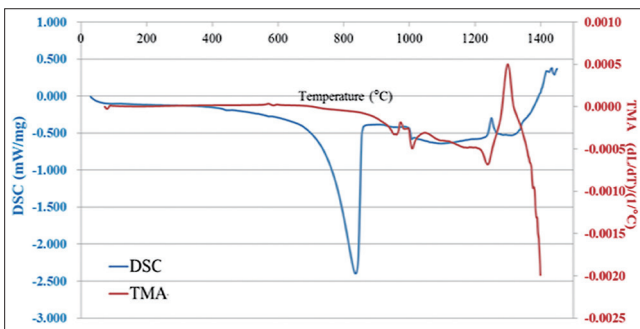


圖 6 一般水泥 TMA 及 DSC 之熱分析結果

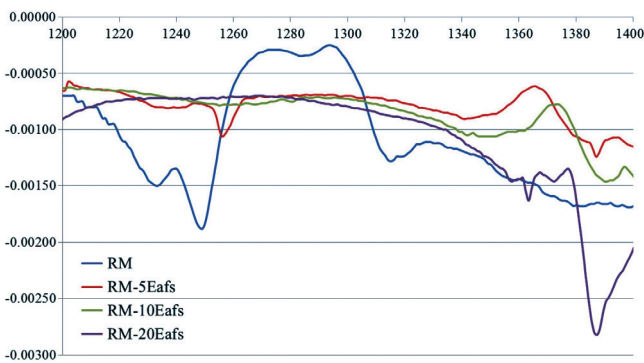


圖 7 採直接配料設計法之水泥原樣熱分析結果 (溫度 >1150°C)

圖 8 為鋼鐵爐渣替代部分生料燒成熟料，研磨成水泥的水泥強度發展趨勢，添加鋼鐵爐渣與否，根本不影響水泥的品質；表 1 為以鋼鐵爐渣為生料的水泥砂漿棒熱壓膨脹百分比，如表 3 所示，結果亦顯示參加部分鋼鐵爐渣為生料燒結而成的熟料製造的水泥，還是一樣的水泥！

表 3 鋼鐵爐渣為生料的水泥砂漿棒熱壓膨脹百分比

	水泥砂漿棒熱壓膨脹 (%)
control set	- 0.018
1%	- 0.017
3%	- 0.011
5%	- 0.022

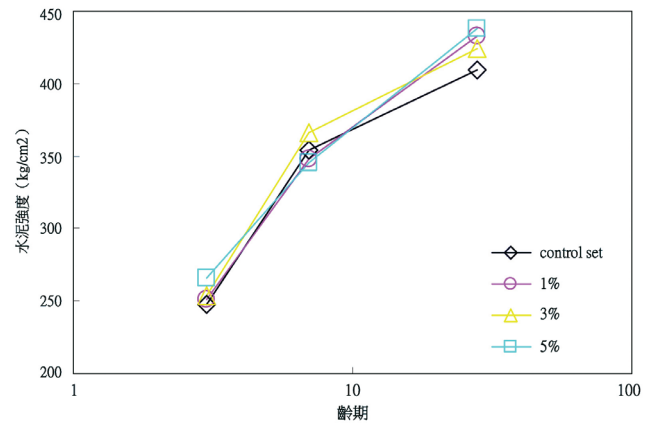


圖 8 鋼鐵爐渣為生料的水泥強度發展狀況

導入應用的作法

本試驗計畫，化性建立之鋼鐵爐渣取樣頻率為每天乙次（每週五天），並且連續 9 個月進行取樣，總取樣次數預計約為 156 次。鋼鐵爐渣實際儲放情形如圖 9，由圖中顯示鋼鐵爐渣為粉狀，但其中涵蓋部份金屬雜質等。本取樣準則係取四處之鋼鐵爐渣，並遵守均化取樣之方式來進行，使其取樣之鋼鐵爐渣性質平均並具有代表性，取樣之情況如圖 10。

鋼鐵爐渣取樣後開始進行 XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer, 簡稱：XRF) 化性分析，並由初步試驗結果得知鋼鐵爐渣主要含有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 及 MgO 等化學含量。由於 X 射線螢光光譜儀可量測出



圖 9 鋼鐵爐渣實際儲放情形



圖 10 鋼鐵爐渣取料情形

表 4 鋼鐵爐渣 XRF 化性含量初步結果之分析

鋼鐵爐渣 cement		SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
第一階段	最大值	29.46	6.35	4.74	113.26	40.24	1.25
	最小值	0.00	2.67	0.57	59.30	2.43	0.00
	平均值	15.88	4.03	2.07	71.63	5.14	0.67
	標準差	9.91	0.68	1.02	12.02	6.28	0.35
	變異係數	62.42	16.92	49.16	16.78	122.20	52.59
第二階段	最大值	27.85	12.97	10.13	52.76	44.93	3.69
	最小值	20.69	3.91	1.82	30.21	3.28	0.00
	平均值	24.77	8.57	3.29	45.75	6.87	0.79
	標準差	1.32	1.79	1.27	3.92	4.93	0.97
	變異係數	5.34	20.84	38.78	8.57	71.74	123.18

鋼鐵爐渣之各元素含量，再將量測出之元素依照與其氧化物之間的關係來計算氧化物含量，其氧化物之實際含量應再以人工濕式分析來確定，並將人工濕式分析之結果來回饋校正 X 射線螢光光譜儀。

第一階段取樣分析係將第一階段中取鋼鐵爐渣之氧化物 (SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO 及 MgO 等) 最高及最低含量之當日樣本，再以人工濕式分析來確認其實際化學含量，並將人工濕式分析之試驗結果回饋至 XRF 光譜分析儀中以建立鋼鐵爐渣檢量線，以修正 XRF 光譜分析儀之化學含量檢量標準，以使第二階段之 XRF 試驗結果更加精確。兩階段之化學性質穩定性如表 4 所示，由表中得知經人工濕式分析後回饋之鋼鐵爐渣化學含量，其 SiO₂、Fe₂O₃、CaO 及 MgO 之變異係數皆有降低之情形，可明顯了解鋼鐵爐渣化學性質具有不穩定性，其化學性質不穩定性之產生受電弧爐煉鋼廠之製程所影響；鋼鐵爐渣的均化設計為水泥廠應用鋼鐵爐渣為原料的關鍵技術所在。

結論

鋼鐵爐渣經過磨粉、均化分析及鍛燒處理後，性質穩定，可添加至水泥生料中當作原料，亦不影響其原本性質，最佳去化之方向及為導入水泥廠做為生料使用。本研究試驗中，使用鋼鐵爐渣所產出之水泥經過分析後也證實不影響水泥原本功效；將鋼鐵爐渣導入水泥廠之成功，將原本事業廢棄物無處可去的現況找到一方法，確實可行。

參考文獻

1. 廖啟州、黃偉慶、蘇茂豐，「廢鑄砂與電弧爐渣混合料取代瀝青混凝土粒料成效探討」，工業污染防治季刊，第 103 期，第 23-36 頁 (2007)。
2. 蘇茂豐，「電弧爐渣資源化歷程」，綠基會通訊，第 11-14 頁 (2010)。
3. 王韡蒨、劉志堅、李釗、許書王，「爐渣作為混凝土粒料的問題與策略」，技師期刊，第 62 期，第 21-31 頁 (2013)。
4. Geiseler, J., 「冶金渣 - 創造美好未來的材料」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第 1-8 頁 (1999)。
5. 王濤，「電爐鋼渣應用技術研究」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第 242-255 頁 (1999)。
6. 許伯良，「轉爐石之處理與應用」，中聯資源公司 (2009)。
7. 鏡田誠、鈴木英人，「Summary of the technical seminar for Taiwan cement manufacturers' association on Waste and Cement industry in Japan」，Taiheiyō cement corporation and Taiheiyō engineering corporation, (2003)。
8. Bernardo, G., Marocoli, M., Nobili, M., Telesca, A., and Valenti, G. L., 「The use of oil well-derived drilling waste and electric arc furnace slag as alternative raw materials in clinker production」, Resource, Conservation and Recycling, 52, pp. 95-102 (2007)。
9. Ghorab, H. Y., Rizk, M., Ibrahim, B., and Allam, M. M., 「High belite cement from alternative raw materials」, Materials and Construction, (64) 314, (2014)。
10. P.E. Tsakiridis, G.D. Papadimitriou, S. Tsivilis, and C. Koroneos., Utilization of steel slag for Portland cement clinker production. Journal of Hazardous Materials, Vol. 152, pp 805-811 (2008)。
11. Remus Iacobescu, Dimitra Koumpouri, Yiannis Pontikes, Rami Şaban, George Angelopoulos, 「Utilization of EAF metallurgical slag in green belite cement」, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 73, pp. 187-194 (2011)。
12. Alexander S. Brand, Jeffery R. Roesler, Steel furnace slag aggregate expansion and hardened concrete properties, Cement and Concrete Composites, Vol. 60, pp. 1-9 (2015)。



鋼鐵爐渣之循環應用 — 電弧爐煉鋼還原渣再利用

蔡文博 / 台鋼資源股份有限公司 總經理

鄭大偉 / 台北科技大學材料及資源工程系 教授

黃兆龍 / 臺灣科技大學營建工程學系 教授

傳統線性的生產消費模式，是從自然環境開採原物料後，加工製造成商品，商品被使用後就直接丟棄，不斷的消耗著有限的資源創造產品，最後再直接掩埋或焚燒。而循環經濟在製造生產的每個產品都經過精心設計，並可用於多個循環來使用，不同的材料與生產製造的循環皆經過仔細規劃，一個製程的輸出可成為另一個製程的輸入，藉由減緩、封閉與縮小物質與能量循環，使得資源的投入與廢棄、排放達成減量化的目標。

鋼鐵工業為產業發展之基礎，舉凡各種產品製造、營建工程、交通運輸及工商機具等，皆與鋼鐵工業息息相關，但伴隨著鋼鐵製造過程而產出的副產物—爐渣，如何妥善的處理與再利用，使其資源化，重新進入資源循環體系，進而降低環境衝擊並提升產業經營效能。電弧爐煉鋼爐渣為電弧爐煉鋼製程中所產的副產物，依冶煉過程可分為電弧爐煉鋼氧化渣（以下稱氧化渣）及電弧爐煉鋼還原渣（以下稱還原渣）兩大項^[1]。鋼鐵產業為能妥善再利用還原渣，集資成立之台鋼資源股份有限公司，依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」^[2]所規定之爐渣安定化方式建立生產線，應用高壓蒸汽熱壓處理進行還原渣安定化，安定化後產品則須經過 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」或熱壓膨脹法之檢驗合格，方能進行還原渣再利用。本文乃針對電弧爐煉鋼還原渣之安定化程序、安定化成效驗證與工程上之再利用用途進行說明，期待能妥善處理爐渣，創造產業與社會雙贏之結果，善盡企業社會責任。

前言

2016 年末媒體報導爐渣屋問題，2017 年 3 月松菸文創大樓發生「青春痘牆面」爐渣（還原渣）屋事件，爐渣頓時成為台灣舉國關注的焦點，人人聞爐渣色變。事件中的主角爐渣以較精確的名稱來稱呼，應該稱為「電弧爐煉鋼還原渣」，在台灣的鋼鐵產業中，依生產工藝來分主要有一貫化煉鋼廠（如中鋼、中龍）與電弧爐煉鋼廠（如豐興、東和、協勝發、海光…等）兩種，以電弧爐煉鋼來說，因在不同程序產出，產生的副產物分為氧化渣與還原渣兩種，就國內現今電弧爐煉鋼廠每年約生產 1,000 萬公噸粗鋼，亦產出約計 120 萬公噸氧化渣及 46 萬公噸還原渣^[1]。有關

爐渣之資源化再利用用途，歐盟爐石協會^[3]、美國國家爐石協會^[4]、日本爐石協會^[5]及台灣鋼鐵工業同業公會^[1]均有統計載明，數十年來電弧爐煉鋼氧化渣已廣泛使用於瀝青混凝土、道路基礎、鐵路道渣及地盤改良等用途；另一方面，會與水產生反應而導致體積膨脹之還原渣，則因爐渣屋事件的關係，剎時間面臨無處可去的窘境，台灣經濟命脈之一的鋼鐵產業面對著每天產出的還原渣亟待有效去化，鋼鐵產業苦思解決之道。因此，鋼鐵業集資成立爐渣再利用機構「台鋼資源股份有限公司」（以下稱台鋼資源），依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」所規定之爐渣安定化方式建立生產線，採用高壓蒸汽熱壓處理進行還原渣安定化，

安定化後產品則須經過 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」或熱壓膨脹法之檢驗，方能進行還原渣再利用，使用於管理辦法中許可的用途。

營建業向來是資本、能源都高度密集的產業，不但在歐盟地區佔了 40% 能源使用量，也是全球使用原物料最多的產業，更是製造了 25% ~ 40% 的碳排放量。世界經濟論壇 (World Economic Forum) 在 2016 年指出，若將循環經濟實踐在營建業上，預估每年可節省 1,000 億美元的支出，並大幅提高全球營建業的生產力^[6]。電弧爐煉鋼將廢鋼重新熔煉成各產業所需的鋼鐵原料，本身就是資源循環中重要的一環，但在從新熔煉的過程中會產生煉鋼副產品—爐渣。其中，還原渣在煉鋼製程中經過 1,500°C 冶煉，為一無機之粒料，其 TCLP 與戴奧辛檢測均可符合管理辦法規定，經過適當的處理與安定化，在體積穩定性無虞之前提下，將其視為一種營建材料，使用在合適的營建用途上，從新導入營建業材料循環中，可有效發揮其的適用性與價值性，不但可減少天然資源的開發與使用，對於循環經濟在營建業的推廣亦有所助益。但如何在確保營建品質安全無虞的前提下，達到資源循環再利用的目標，將還原渣妥善安定化，解決其體積穩定性之疑慮，使用在合適的營建用途上，實為一可行之方式。

電弧爐煉鋼還原渣

電弧爐煉鋼均為批次作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期。將廢鐵及廢鋼經初步分類和稱重後加料，使廢鐵原料熔解成液態鋼水，為加速熔解，另通入高壓氧氣以加

速氧化作用，此時廢鋼中含有之氧化物開始生成少量之氧化渣，再通入更多之氧氣，雜質則氧化生成更大量的固態氧化渣及氣態氧化物 (廢氣)，又因鋼液中含氧量過高，因此需加以還原作用，其作法是加入大量石灰石、碳粉等副料，使其與氧化物反應，產生還原浮渣並去氧脫硫，以清潔鋼液。此時可加入各種添加劑 (如矽鐵、錳鐵、焦炭、生石灰等) 以調整鋼液成份，煉鋼爐渣即是由此煉鋼過程所排出的熔渣，故又分為氧化渣及還原渣，圖 1 為煉鋼爐渣之產生流程圖^[7,8]。

國內還原渣研究資料顯示，各煉鋼廠還原渣組成成份中^[8,10,11]，氧化物中以 CaO 及 SiO₂ 佔有之比例最多，分別佔有 35.3% ~ 54.9% 與 16.6% ~ 34.8%，介於卜特蘭水泥第 I 型 (分別為 62% 及 22%) 與高爐石粉 (分別為 42% 及 34%) 的化學成份含量之間，如圖 2 所示。MgO 含量則高於卜特蘭水泥，主要因煉鋼廠於冷卻高溫還原渣時間過速，造成保溫材 MgO 包裹於爐渣顆粒中，無法經由常溫緩慢冷卻消解。若混合不同廠還原渣之各化學成份含量是介於參與混合煉鋼廠還原渣之間或相近，因此整體推估，煉鋼還原渣具有類似水泥及卜作嵐材料的膠結材料的效應。然而如果還原渣未經充分安定化，則還原渣中的游離氧化鎂/鈣 (f-MgO/f-CaO) 將是造成水泥、水泥砂漿及混凝土膨脹劣化的主要因素^[8,10]。

還原渣中主要化學組成對爐渣性質的影響程度^[7]：
氧化鈣 (CaO)

氧化鈣為水泥及爐石之主要成分，主要來源為造渣過程所添加之大量生石灰。一般而言 CaO 之含量越高應用於混凝土中之活性越高，但超過一極限值時，會因為大量之氧化鈣而產生析晶現象，導致活性之降

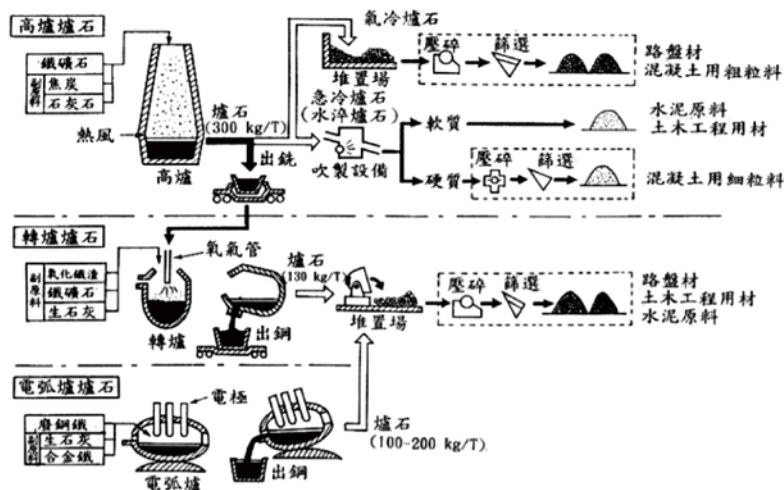


圖 1 煉鋼爐渣之產出流程^[9]

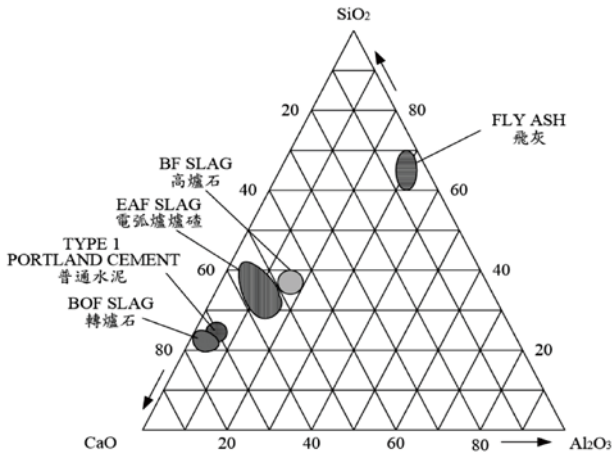


圖 2 煉鋼還原爐渣與卜作嵐材料之三相平衡關係圖 [12]

低，尤其低於冷卻速率下，會產生粉化之現象。此外，還原渣再利用上之最大疑慮在於本身體積之高膨脹率 [10,11]，原因為還原渣含有大量未反應完之生石灰，這些未反應完之氧化鈣會以游離氧化鈣 (Free-CaO) 之形式存在，而游離氧化鈣之特點為活性大，易與水及二氧化碳反應消解成氫氧化鈣及碳酸鈣。在游離氧化鈣轉換成氫氧化鈣之過程中，電弧爐渣之體積會膨脹，而當游離氧化鈣完全反應消解或是含量低時，電弧爐渣才會趨於穩定。

二氧化矽 (SiO₂)

一般電弧爐渣中 SiO₂ 含量為 15% ~ 25%，就生成膠凝物質而言，其 SiO₂ 含量較 Al₂O₃ 含量為多，它主要生成低鈣矽酸鹽和高矽玻璃體，有時 SiO₂ 也以游離狀態存在，對其它有用礦物水化結晶過程會起阻礙作用，使其活性下降，但爐渣中的 SiO₂ 能促進玻璃體的形成，對爐渣淬冷粒化有幫助，又此成份對於形成玻璃質結構有密切關係，然而由於爐渣中 CaO 與 MgO 之總含量，並不足以使 SiO₂ 充分結合成玻璃質，所以 SiO₂ 含量過多時反而使活性降低。

氧化鎂 (MgO)

大多數氧化鎂與氧化矽及氧化鈣結合成穩定型化合物，一般而言含量低於 20% 則無健康問題之顧慮，同時氧化鎂之存在可使爐渣之顯微結構較開放而增加其活性。另相關文獻指出，氧化鎂是造成電弧爐渣體積不穩定的主要因素之一，因此在爐渣未安定化之前將其拌入混凝土中，可能造成混凝土危害，造成體積膨脹。

電弧爐還原渣資源化規定與國外再利用用途

「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」2019 年 5 月 20 日公告修正「編號九、電弧爐煉鋼爐渣 (石)」之再利用管理規定，其中還原渣之再利用用途為，水泥生料，經安定化處理後作為瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料原料、管溝回填用控制性低強度回填材料原料、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、紐澤西護欄原料，或經高壓蒸汽處理後作為非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料或混凝土 (地) 磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料。經安定化處理後之還原渣 (石)，應至少每月委託檢測機構依 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除再用於紐澤西護欄原料用途者應未超過百分之 0.05 外，其他再利用用途未超過百分之 0.5 者，始得進行再利用。而再用於非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土 (地) 磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途，且依前日契約書屬安定化處理執行單位者，須具備高壓蒸汽處理設備。其中，電弧電弧爐煉鋼渣 (石) 經高壓蒸汽處理須維持爐內壓力至少在 20.1 kgf/cm² 且持續 3 小時，其產出物應至少每月委託檢測機構依附件熱壓膨脹試驗法 (20.1 kgf/cm² 且持續 6 小時) 檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得進行再利用。

另外，電弧爐煉鋼渣 (石) 經再利用程序之產出物，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年度至少檢測一次戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測 (TCLP) 有毒重金屬項目。經檢測未超過表 1 標準者，始得作為再利用用途之產品使用。還原渣資源化的基本趨勢，也是必要的方案，目前是以非結構之道路材料及瀝青混凝土為主，日本則在土木工程上有甚高的應用比率。國外煉鋼爐渣的產生量及資源化之統計資料如表 2 所示。

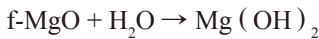
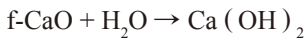
電弧爐還原渣之安定化 [16]

電弧爐煉鋼渣含游離氧化鈣 (f-CaO)、MgO、C₃S、C₂S 等，這些組成一定條件下都具有不穩定性。冷卻後煉鋼渣吸水後，f-CaO 會消解為氫氧化鈣 [Ca(OH)₂]，體積將會膨脹 100% ~ 300%，MgO 會消

表 1 戴奧辛及毒性特性溶出程序檢測 (TCLP) 檢測標準^[2]

分析項目	溶出試驗標準 (毫克/公升)
總鉛	4.0
總鎘	0.8
總鉻	4.0
總硒	0.8
總銅	12.0
總銀	10.0
六價鉻	0.2
總砷	0.4
總汞	0.016
含 2,3,7,8 - 氯化戴奧辛及呔喃同原物等十七種化合物之總毒性當量濃度 ≤ 0.1 (ng I-TEQ/g)。	

解為氫氧化鎂 [Mg(OH)₂]，體積膨脹約 77%，因此含有 f-CaO、MgO 的常溫煉鋼爐渣是處於不穩定狀態，只有當 f-CaO、MgO 消解完成或含量很少時或磨得非常細的狀況下，體積才會穩定不膨脹。所以基本上安定化就是棄除體積不穩定因素，亦即加速以下反應：



目前台灣電弧爐煉鋼產業所產出之爐渣均為固態冷渣，所以台鋼資源所採用之還原渣安定化技術為熱壓處理方式，使用高溫高壓蒸汽處理還原渣的膨脹因子，所採用之蒸壓釜內蒸汽壓力為 2.0 ± 0.05MPa，溫度於 215.7 ± 1.3°C 之範圍內，恆壓時保持飽和蒸汽壓，並持續 3 小時以上。利用高溫高壓蒸汽將還原渣所含有的 f-CaO、MgO 消解完成或達到含量很少之狀態，消除體

積不穩定因素，使還原渣體積穩定不膨脹，達到可再利用之目的。台鋼資源依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測之試驗結果如表 3 所示，台灣主要鋼鐵廠之還原渣，經安定化後檢測其七天膨脹量，均可符合低於百分之 0.5 之規定，得進行再利用。

表 3 還原渣安定化前後之浸水膨脹率試驗結果

樣品	操作壓力 (kg/cm ²)	原樣膨脹率 (%)	安定化 3h 膨脹率 (%)	安定化 6h 膨脹率 (%)
鋼鐵廠 A	13	0.53	0.11	0.02
鋼鐵廠 B	13	2.26	0.54	0.2
鋼鐵廠 C	13	0.33	0.27	0.1
鋼鐵廠 D	13	1.53	1.32	0.26
鋼鐵廠 E	13	0.91	0.33	0.17
鋼鐵廠 F	13	1.17	0.2	0.08

安定化後電弧爐還原渣應用於控制性低強度材料 (CLSM) 與非構造物卜特蘭混凝土 (PC)

台鋼資源公司利用安定化還原渣 (照片 1) 與台灣鋼聯旋轉窯渣 (照片 2)，替代天然粒料，應用於控制性低強度材料 (CLSM) 及非構造物卜特蘭混凝土 (PC) 中，以驗證台鋼資源生產的安定化還原渣與旋轉窯渣再利用於營建工程中之可行性。所有的 CLSM 及 PC 配比均透過新拌及硬固性質試驗，分析其做為 CLSM 及 PC 之可行性，並藉由熱壓膨脹試驗，驗證產品之體積穩定性，以有效資源化煉鋼還原渣與旋轉窯渣。

表 2 國外煉鋼爐渣的產生量及資源化之統計資料^[14,15]

資源化用途	資源化數量分布 (%)					
	歐盟 11 國 (2007)	日本 (2008)		德國 (2006)	美國 (2007)	
		電爐渣	轉爐渣			
廠內回收	4	2.3	15.2	13.4	-	
工程材料	道路石料	47	35.4	19.8	43.9	51.3
	瀝青混凝土粒料		-	-		14.4
	鐵道渣		-	-		2.3
	基地改良		4.3	5.5	4.4	13.3
	土木工程		34.5	47.4	18.8	
	混凝土粒料		1.6	3.5	-	-
製造原料	港灣/堤岸工程	-	-	3.7	-	
	水泥原料	-	0.9	5.6	-	6.7
	加工用原料	-	9.8	0.2	-	-
肥料/土壤改良	2	-	-	4.8	-	
其他 (下游販售殘銹等)	-	2.7	1.1	-	-	
掩埋/棄置	7	8.4	1.6	10.2	-	
堆存	3	-	-	0.8	12	
合計	100	99.9	99.9	100	100	
總量 (萬公噸)	4500	526	1076	584	780	



照片 1 還原渣

照片 2 旋轉窯渣

爐渣粒料基本性質

電弧爐還原渣：以溫度 180°C 及蒸汽壓力 10 kg/cm² 的蒸汽安定化處理還原渣，Group1、Group2 及 Group3 還原渣各項物理性質分析結果如表 4 所示。

旋轉窯渣：本研究使用之旋轉窯渣，乃台灣鋼聯資源化處理電弧爐集塵灰產生之副產物（可再利用廢棄物 R-1207），酸性旋轉窯渣（AC）及鹼性旋轉窯渣（AK）細度模數（FM）分別為 4.75 與 4.84，仍然為接近河川細粒料之粒徑，並非屬於一般天然河川粗粒料的範圍。AC 酸性旋轉窯渣之主要化學組成為氧化鐵（48.8%）及二氧化矽，氧化鈣與二氧化矽的比值為 0.26；AK 鹼性旋轉窯渣之主要化學組成為氧化鐵（63.3%）及氧化鈣，氧化鈣與二氧化矽的比值為 2.36。旋轉窯渣不含會崩解的成份，故屬穩定性佳的渣。

還原渣控制性低強度材料（CLSM）及非構造物卜特蘭混凝土（PC）在工程上之應用

還原渣 CLSM 在工程上之應用

本研究使用之細粒料為安定化後之還原渣 Group1、Group2 及 Group3，配比設計採用固定膠結料比率（水泥：燃煤飛灰比率 1：1），水膠比（W/B）設定為 1.08，水灰比（W/C）為 2.16，砂膠比（S/B）設定為 6：1，電弧爐還原渣取代河川細之比例為 0%、33%、66%、100%，添加 5% 強塑劑以增加流動性，添加 6%、速凝

表 4 還原渣之基本性質分析

性質名稱	Group1	Group2	Group3
重量 (kg)	30.6	34.0	22.4
比重	2.89	2.96	2.80
吸水率 (%)	3.06	2.93	2.82
乾搗單位重 (kg/m ³)	1684	1771	1513
孔隙率 (%)	0.37	0.39	0.42
細度模數 (FM)	2.64	2.28	1.92
浸水膨脹率 (CNS 15311)	< 0.2%	0.2% ~ 0.4%	0.4% ~ 0.5%

劑以控制凝結時間。經計算後配比如表 5 所示。

新拌 CLSM 性質要求達到規定的坍流度、管流度及落沉時間，結果顯示如表 6 所示，基本上經由上述基本材料性質試驗數據可知，還原渣不同粒徑細度會直接影響新拌 CLSM 特性，細度模數（FM）愈小，比表面積愈大，對工作性愈不利，但這些工作性質基本上均可藉由添加摻料調整達成。初凝時間依據 ASTM C403「Time of setting by penetration resistance」之規定進行，基本上初凝時間，初凝愈短，則落沉時間愈短，這種結果都是工作性的一種表徵，而落沉試驗是更能表現出路面載重的承受能力。一般型規定落沉時間須在 24 小時內達成，早強型則需在 4 小時內達成，試驗結果顯示如表 6 所示，大部分配比均可符合一般型 CLSM 之新拌性能需求。

硬固 CLSM 訴求早強晚弱的特性，依據台北市政府新工處的規定，齡期 1 天抗壓強度須高於 7 kgf/cm²，齡期 28 天抗壓強度須在 90 kgf/cm² 以下。本研究檢測 4 個齡期的 CLSM 抗壓強度，試驗結果如表 7 所示。還原渣 CLSM 的一天抗壓強度皆可以滿足大於 7 kgf/cm² 的要求，至於 28 天抗壓強度，除少部份配比組強度高於 90 kgf/cm² 外，大部份皆低於 90 kgf/cm² 的規定，但這些略高強度的配比組是可以透過配比修正降低其晚期強度，可以減少水泥用量。基本上就強度而言，還原渣 CLSM 可符合一般工程需求。

表 5 CLSM 配比表 (kg/m³)

編號	取代比例	強塑劑	速凝劑	水泥	飛灰	還原渣	水	細粒料
C1F1S0A6SP5	0%	5%	6%	136.2	136.2	0	294.7	1567.1
C1F1S33A6SP5	33%			139.1	139.1	528.0	300.9	1072
C1F1S66A6SP5	66%			142.1	142.1	1078.7	307.3	555.7
C1F1S100A6SP5	100%			145.3	145.3	1671.3	314.3	0

備註：代號及符號說明 C1-F1-S33-A6-SP5：C1：水泥與飛灰漿值濃度為 1:1；F1：水泥與飛灰漿值濃度為 1:1；S0：取代比例為 0%；A6：速凝劑為總膠結材料 6% 的重量比；SP5：強塑劑為總膠結材料 5% 的重量比。

表 6 電弧爐還原渣新拌 CLSM 性質







Group 1 還原渣					
編號	工作性		單位重	凝結時間	
	管流度 (cm)	坍流度 (cm)	新拌單位重 (kg/m ³)	初凝時間 (hr)	落沉時間 (hr)
C1F1S0A6SP5	20	53	1940	9.1	-
C1F1S33A6SP5	27	70	1816	8.4	-
C1F1S66A6SP5	29	72	1749	8.1	-
C1F1S100A6SP5	21	54	1657	7.8	8.6
Group 2 還原渣					
C1F1S0A6SP5	20	53	1896	8.6	-
C1F1S33A6SP5	24	77	1763	6.5	8.3
C1F1S66A6SP5	23	75	1689	4.8	6.7
C1F1S100A6SP5	22	54	1573	4.1	5.9
Group 3 還原渣					
C1F1S0A6SP5	20	54	1961	8.3	-
C1F1S33A6SP5	28	79	1764	5.4	7.8
C1F1S66A6SP5	22	60	1686	4.7	6.2
C1F1S100A6SP5	17	42	1639	5.3	7.6

表 7 電弧爐還原渣 CLSM 之抗壓強度

Group 1 還原渣 (kgf/cm ²)				
編號	齡期 12 小時	齡期 1 天	齡期 14 天	齡期 28 天
C1F1S0A6SP5	3.16	7.14	61.16	80.49
C1F1S33A6SP5	3.67	7.67	78.96	84.17
C1F1S66A6SP5	4.89	8.91	67.66	82.61
C1F1S100A6SP5	4.26	4.95	53.18	69.79
Group 2 還原渣 (kgf/cm ²)				
C1F1S0A6SP5	3.69	7.16	75.46	84.82
C1F1S33A6SP5	3.51	7.50	88.84	90.35
C1F1S66A6SP5	5.54	10.82	80.83	85.37
C1F1S100A6SP5	4.89	5.50	71.41	80.03
Group 3 還原渣 (kgf/cm ²)				
C1F1S0A6SP5	3.54	8.47	71.44	82.34
C1F1S33A6SP5	3.46	7.41	80.14	82.61
C1F1S66A6SP5	4.79	7.97	61.78	74.81
C1F1S100A6SP5	3.94	6.91	58.79	68.95

關於還原渣應用於工程上，其體積穩定性實為其工程性質外，外界更關注之焦點。本研究將硬固 CLSM 的試體先於室溫浸水養護 3 天後，即進行熱壓膨脹試驗，在高溫及高壓（飽和蒸汽壓）的作用下，加速其膨脹反應，以測試摻加不同程度安定化還原渣 CLSM 的體積變異程度，進而評估應用於道路回填後的路面穩定性。試驗結果如表 8 示，各還原渣及旋轉窯爐渣 CLSM 皆沒有產生爆裂現象，顯示三種程度安定化還原渣（Group1、Group2 及 Group3）製成 CLSM 時，皆在高溫及高壓作用下，線膨脹量分別為 0.04%、0.03% 及 -0.02%，Group3 還原渣組甚至收縮，完全不會產生爆裂現象。不同程度安定化還原渣應用於道路回填的 CLSM 材料，是目前最佳再資源化的選項之一。

表 8 電弧爐還原渣 CLSM 配比熱壓膨脹結果

	Group1 還原渣	Group2 還原渣	Group3 還原渣
熱壓前			
熱壓後			
線膨脹	0.04%	0.03%	-0.02%

還原渣 PC 在工程上之應用

本研究使用之粗粒料為酸性旋轉窯渣 (AC) 及鹼性旋轉窯渣 (AK)，細粒料為 Group1、Group2 還原渣。還原渣 PC 配比設計係以緻密混凝土設計法 (DMDA) [19] 進行設計，配比中還原渣以不同比例 (50%、65%、75%、100%) 取代河砂，配比資料如表 9 所示。

Group1 還原渣及 Group2 還原渣所製作之卜特蘭混凝土 (PC)，其中還原渣取代 50% 天然細粒料之配比抗壓強度結果如表 10 所示，一般溫度養護混凝土均隨著齡期的增長，試體抗壓強度也跟著增加，齡期為 28 天時，酸性旋轉窯渣取代天然粗粒料時，強度發展較使用天然細粒料者慢，但抗壓強度皆大於 210 kgf/cm²；而以 Group1 及 Group2 還原渣搭配鹼性旋轉窯渣以取代天然粗粒料時 (AK-I50% 還原渣 + 50% 天然河砂)，其強度發展很快，甚至較天然砂石佳，可以推估高鈣含量的鹼性旋轉窯渣，效果很明顯可使用 50% 還原渣替代天然河砂，鹼性旋轉窯渣替代天然粗粒料製成混凝土。

此外，有鑑於還原渣應用於工程上時，除了強度等工程性質外，對於產品之體積穩定性，是使用者最關切的事，也是台鋼資源等再利用業者必須堅守的品質要求。本研究以 AC 酸性旋轉窯渣與 AK 鹼性旋轉窯渣做為粗粒料，並以 Group1、Group2 電弧爐還原渣依不同比例與河砂混合後，探討還原渣替換天然細粒料後，混凝土試體之體積穩定性。混凝土試體於室溫養護 3 天後，

進行熱壓膨脹試驗，結果如表 11 所示，根據試驗結果顯示，隨著還原渣替代天然河砂的比例上升時，混凝土收縮棒試體之體積膨脹率由收縮亦逐漸膨脹，電弧爐還原渣替代天然河砂達 75% 時，其體積仍具穩定性。本研究所使用之還原渣安定化設備為台鋼資源試驗用蒸壓釜，其操作時以溫度 180°C 及蒸汽壓力 10 kg/cm² 的蒸汽安定化處理還原渣，未來正式量產時則採用溫度 214°C 及蒸汽壓力 21 kg/cm² 的蒸壓釜，進行還原渣安定化處理，對於還原渣之安定化應可達到更佳之效果，對於還原渣之安全使用比例應可再提高。此外，由實驗結果發現，粗粒料部分，不論以酸性或鹼性旋轉窯渣進行取代，皆無膨脹之疑慮。

結論

台鋼資源採用高壓蒸汽安定化處理電弧爐煉還原渣，結果顯示還原渣經高壓蒸汽處理後，還原渣之浸水膨脹率可低於百分之 0.5 (CNS 15311)，高壓蒸汽安定化處理確實可達成體積穩定之成效。

安定化後還原渣產製之 CLSM，其工程性能可符合工程需求，透過熱壓膨脹試驗測試所有硬固 CLSM 試體，顯示皆無表面破裂現象，可以避免應用於 CLSM 而造成路面隆起變形之現象，還原渣 CLSM 體積穩定性無虞。

安定化後還原渣搭配旋轉窯爐渣產製非構造物卜

表 9 PC 配比表 (kg/m³)

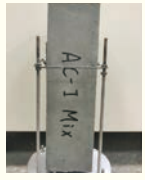
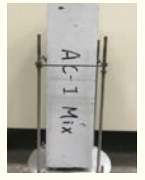

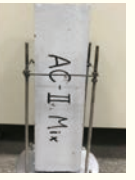







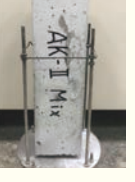
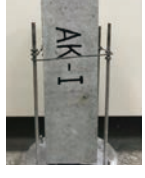



編號	w/b	Sand	Coarse	Fly ash	Cement	Water	SP
AK-I	0.42	909.8	922.8	102.4	384.8	221.5	5.8
AK-II	0.51	873.3	1087.2	52.1	356.8	220.5	4.9
AC-I	0.47	1041.9	699.7	117.3	341.7	230.6	5.5
AC-II	0.53	1100.9	746.5	65.7	342.2	225.5	4.9

備註：AC-I 及 AK-I 分別表示使用酸性旋轉窯渣 (AC) 及鹼性旋轉窯渣 (AK)；-I 及 -II 分別表示使用 Group 1 及 Group 2 還原渣做為細粒料

表 10 還原渣 PC 混凝土試體抗壓強度 (單位：kgf/cm²)

Group1 還原渣					
試體代號	養護齡期 (天)	3	7	14	28
天然砂石對照組		112.1	199.0	242.3	265.8
AC-I (50% 還原渣 + 50% 天然河砂)		128.4	165.22	190.9	211.5
AK-I (50% 還原渣 + 50% 天然河砂)		141.0	228.6	263.6	285.1
Group2 還原渣					
試體代號	養護齡期 (天)	3	7	14	28
AC-II (50% 還原渣 + 50% 天然河砂)		127.6	168.9	190.2	223.0
AK-II (50% 還原渣 + 50% 天然河砂)		141.4	233.8	285.6	311.8

表 11 還原渣 PC 混凝土熱壓膨脹試驗結果

細粒料		粗粒料	Group1		Group2	
混合比例		旋轉 窯渣	熱壓試驗前	熱壓試驗後	熱壓試驗前	熱壓試驗後
還原渣	河砂					
50	50	AC				
100	0	AC				
50	50	AK				
100	0	AK				

特蘭混凝土 (PC)，其強度可達 210 kgf/cm² 以上，電弧爐還原渣替代天然河砂達 75% 時，其體積仍具穩定性。未來正式量產時則採用溫度 214°C 及蒸汽壓力 21 kg/cm² 的蒸壓釜，進行還原渣安定化處理，對於還原渣之安定化應可達到更佳之效果，還原渣之安全使用比例應可再提高。

電弧爐煉鋼原本就是資源循環中重要的一環，但在重新熔煉的過程中會產生煉鋼副產品—爐渣。台鋼資源透過高溫高壓蒸汽安定化還原渣，在體積穩定性無虞之前提下，將還原渣使用在 CLSM 與非構造物混凝土等合適的營建用途上，可有效發揮其的適用性與價值性，不但可減少天然資源的開發與使用，對於循環經濟在營建業的推展亦有所助益。

參考文獻

1. 「煉鋼爐石種類」，台灣鋼鐵工業同業公會 (<http://steelslag.tsiia.org.tw>) (2018)。
2. 「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」，行政院經濟部 (2019)。
3. 歐盟爐石協會 (<http://www.euroslag.com>) (2018)。
4. 美國國家爐石協會 (<http://www.nationalslag.org>) (2018)。

5. 「鋼鋼鐵渣基層材料與天然材料的比較」，日本爐石協會 (<http://www.slg.jp/e/index.htm>) (2018)。
6. 循環台灣基金會 (<https://www.circular-taiwan.org/>)。
7. 余騰耀、林平全、施延熙、黃兆龍、蔡敏行，電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊，中興工程顧問股份有限公司，2001。
8. 余騰耀，「電弧爐煉鋼業廢棄物減量及資源回收」，環保特刊，第 193-221 頁 (1996)。
9. 蘇茂豐、陳立，「電弧爐煉鋼渣之資源化現況及未來展望」，工業污染防治，第 93 期，27-51 頁，Jan. 2005。
10. 張同生、劉福田、王建偉等，鋼渣安定性與活性激發的研究進展 [J]，矽酸鹽通報，2007, 26(5): 980-984。
11. 桑山忠等，「電氣爐還元スラグの水硬性と其の利用」，廢棄物学会論文誌，Vol. 1, No. 1 (1990)。
12. 江奇成，電弧爐煉鋼還原渣與鑄件廢料摻用於混凝土再生材之模式研究，博士論文，國立台灣科技大學營建工程系 (2005)。
13. Lea, F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, 1980。
14. 綠基會通訊，2010
15. Sakuraya, T., 「日本煉鋼工業高爐渣與鋼渣利用現狀」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第 15-20 頁 (1999)。
16. 唐明述、袁美棲、韓蘇芬，鋼渣中 MgO, FeO, MnO 的結晶狀態與鋼渣的體積安定性 [J]，矽酸鹽學報，7(1): 35-46 (1979)。
17. 王韓蒨，熱壓技術用於鋼渣安定性之研究 (2014)。
18. CNS 國家標準。
19. 黃兆龍，高性能混凝土理論與實務，詹氏書局 (2013)。



無機再生粒料於公共工程循環利用 — 以南星計畫 及其 轉爐石填築計畫 為例

張欽森 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 港灣工程部 協理

南星計畫開啟岸邊築堤填廢處理廢棄物之先端，除妥善處理高雄境內經濟快速成長衍生之建築廢棄土外，亦保護大林蒲沿岸舊部落居民及鳳林國中師生免於遭受波浪之威脅，產生之新生地又可增廣市幅，做為市政建設推動之用地，可謂畢其功於一役。推動過程以爐石、飛灰取代部份築堤材料，可降低工程單價，同時解決中鋼、台電事業廢棄物處理問題。因此，南星計畫之推動應可做為其他單位處理營建廢棄土之典範。

「轉爐石填築計畫」配合高雄市政府推動遊艇產業園區時程需求順利完成，提供民間企業與市政合作之典範。藉由計畫之執行，進行轉爐石物性、化性及大地監測作業，並詳細規劃填築作業，以做為未來轉爐石進行填海造陸時之參考範例，期望藉由該計畫拋磚引玉，讓企業機構了解其產生副產品之性質，並思考妥善處理方式，並以循環經濟理念為地球環境盡一份心力。

計畫緣起

南星計畫

早期大林蒲地區地勢低窪，每屆颱風來襲，深受波浪沖擊、海水倒灌之苦，百姓生命、財產毫無保障，於是自民國 69 年 6 月起開闢大林蒲建築廢棄物處理場，藉填築而圍成之臨時海（土）堤，保障大林蒲舊部落及鳳林國中師生之安全，並提供一容納高雄市改制後各項建設蓬勃發展所衍生建築廢棄物之空間。

於開放大林蒲建築廢棄物處理場至民國 79 年之十年間，產生出約 50 餘公頃新生地，可謂集處理廢棄物、保護市容、防止海水倒灌、保障百姓生命財產安全及增廣市幅等功能於一役。惟此廢棄物處理場沿用傳統方式，由岸邊逐步往外海傾倒堆置，未構築防護海堤，致填築物遭海浪沖失，除新生地生成變緩，影響預期效益外，遭波浪帶走之廢棄物污染附近海域，折減設置處理場之美意，因此，高雄市政府環境保護

局乃興起於岸邊築堤填廢替代傳統方式，即先構築圍堤方式，提供市區營建所產生廢棄物堆置之空間，其功能除與傳統廢棄物處理場一樣外，尚有防治海域污染及配合休閒遊憩設施規劃，提供市民休閒、遊憩、賞夕陽之空間，此即「南星計畫」或「大林蒲填海計畫」成立之緣由。

轉爐石填築計畫

高雄市環保局係以協助市府處理轄區之建築廢土方及無害廢棄物為職責，避免其隨處丟棄，影響市容、造成污染及增加後續處理之成本。有別於以取得新生土地，進行土地開發為目的之填海造陸計畫，因此，基於環保局立場，此填海計畫將以不達成飽和為主要考量，否則市府必須另覓處理剩餘土石方之去處。

然隨著經濟發展，百姓對觀光遊憩需求日殷，在解除戒嚴後，人民對大海的嚮往與時俱增；交通部配合國家政策，推動以海岸解嚴、生態保育等為基礎，於民國

99年提出「推動遊艇活動發展方案」，並於當年12月經行政院核定，期待藉由發展遊艇活動，推廣我國海上活動多元化及帶動遊艇活動相關經濟與觀光事業。

台灣地區遊艇產業之產值高居全球前茅，南部地區為台灣遊艇產業製造重鎮，惟近年大陸地區積極推動遊艇產業，並重金吸收台灣技術專才前往服務，而現有遊艇業者受廠房腹地限制，無法擴建，且與都市發展相容性低，造成遊艇行業發展壓力；因此，高雄市政府在南星計畫區規劃約113公頃之遊艇產業園區，提供臨水碼頭廠房及下水設施，做為巨型遊艇建造生產基地。

惟南星計畫以收容剩餘土石方為目的，新生地產生進度無法配合遊艇園區開發期程，為加速填地進度，高雄市政府協調中鋼公司提供轉爐石做為填築替代料源；而中鋼公司基於長期合作及社會公益，乃配合市政建設之需求協助辦理，惟以轉爐石做為填地料源為國內首創，為期能在最短工期內獲得最佳工作成果，並建立日後轉爐石填築作業之參考範例，於填築過程進行填築材料物、化性及大地性質之監測作業，並對填築作業進行詳細規劃，以做為未來轉爐石進行填海造陸時之參考範例。

計畫內容

南星計畫

南星計畫配合施工規劃及剩餘土石方填放需求採分期分區推動，其中近程計畫位於高雄港二港口以南至中油公

司海底油管間海域，又以台電公司大林電廠出水口導流堤為界分二期實施，第二期工程因紅毛港未完成遷村而暫緩推動；中程計畫接續近程計畫實施，其範圍位於中油公司海底油管以南至鳳鼻頭間海域，並配合填築時效性及施工季節性再分二區推動。遠期計畫因各單位於計畫區附近海域規劃有區位重疊而功能不同之相關計畫，須各相關計畫整合後再一併實施，其關係位置詳圖1所示。

計畫目的

1. 妥善規劃棄土場，並在時程上密切配合，以解決高雄市境內建築廢棄土及無害事業廢棄物填放之需求。
2. 支援高雄市都會之發展及境內其它重大建設之開發，妥善解決工程棄方，以保障工程順利推展，並保持市容整潔，促使高雄市升級為國際都市。
3. 保護原遭受海浪侵襲之百姓生命、財產安全，並解決海岸髒亂、受侵蝕之風貌。
4. 所衍生之新生地可增廣市幅，並提供作市府建設用地之需。

計畫構想與規劃原則

1. 依圍堤施工季節性、廢棄物填築時效性及政府預算編列等因素，採分期分區開發方式實施；另為避免填築廢棄物遭波浪侵襲帶走，污染鄰近海域，將以先築堤後填築方式進行。
2. 因南星計畫界定為安定掩埋場，進場填放物質須符合「事業廢棄物貯存、清除、處理方法及設施標

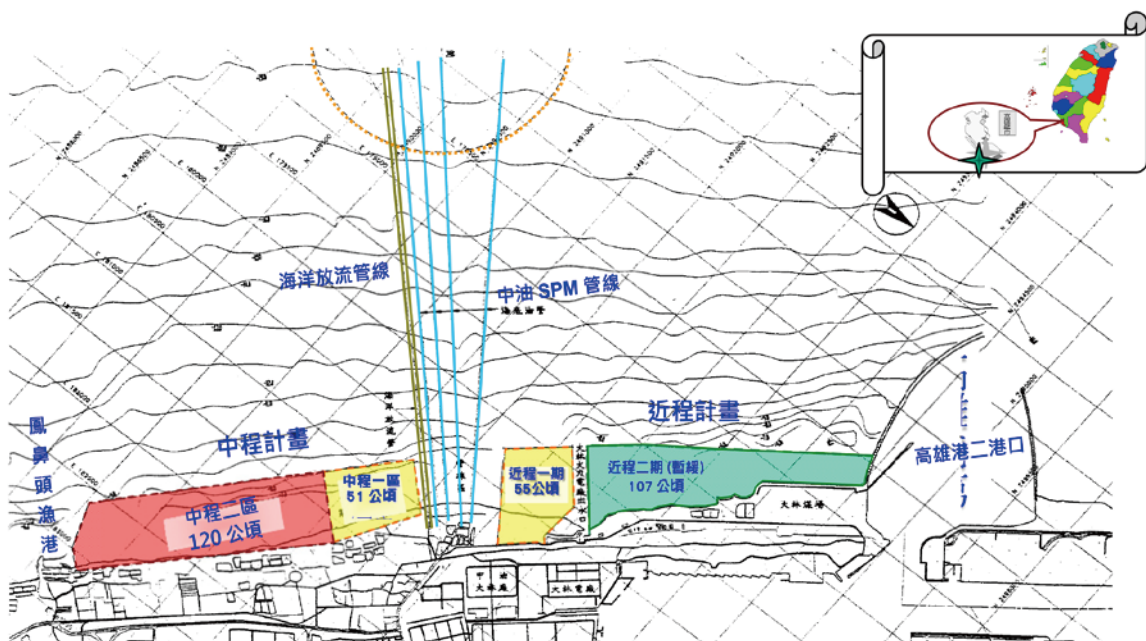


圖1 高雄市南星計畫關係位置圖

準」之規定。

3. 無害事業廢棄物中以飛灰及爐石為主，因其有與水泥特性相似之波索蘭（Pozzoland）效應，將用以取代部份水泥作為築堤材料。
4. 以爐石、飛灰取代部份築堤材料，除可降低工程單價，同時解決中鋼公司、台電公司之事業廢棄物處理問題。
5. 保留鳳鼻頭附近有一沙灘地供漁筏停靠，未來配合漁港興建而修正圍堤佈置。另鳳鼻頭為一軍事防砲陣地及重要景觀，應予以避開。
6. 顧及對海洋環境之影響、工程之經濟性及施工之便利性，外側堤線以位於 -8m 等深線附近為宜。

計畫成果

1. 近程計畫

(1) 規劃成果

- 第一期工程面積共約 55 公頃；填區容量為 450 萬方。
- 提供高雄市約 2 年廢棄物處理填放使用。

(2) 執行說明

- 第一期工程海堤民國 79 年 3 月 2 日開工，80 年 12 月 11 日完竣，並隨即開放供高雄市建築廢棄土進場填放。
- 第一期工程填區 85 年 10 月填滿，第二期工程因紅毛港遷村尚未解決而暫緩實施。
- 為因應高雄市境內營建廢棄土填放壓力，除於第一期填區上以原地加高方式提供容量外，乃積極推動中程計畫之執行。

2. 中程計畫

(1) 規劃成果

- 基於工程費及廢棄方填築需求，佈置中隔堤，期於最短期間提供一區域供高雄市廢棄方填放。
- 中程計畫面積共 171 公頃，北區 51 公頃，南區 120 公頃；總容量 1,600 萬方，北區 300 萬方，南區 1,300 萬方。
- 約可提供高雄市 6 ~ 8 年之廢棄物處理填放使用。

(2) 執行情形

- 第一區工程民國 84 年 9 月 11 日開工，86 年 7 月 14 日完竣。
- 第二區工程 87 年 5 月 15 日開工，90 年 8 月完竣；為期儘早完成一可供容納工程剩餘土石方之空間，第二區工程又以中隔堤區分成兩區施築。

轉爐石填築計畫

為滿足南星計畫 100 年底完成填地之需求，將中鋼公司煉鋼過程產出之轉爐石送至中聯公司億昌廠及利昌廠暫置，再由中聯以卡車運送至計畫區填築。依當時現地高程估算（詳圖 2），南星中程計畫尚須土方約 316 萬方；考量土方來源有高雄市每年營建剩餘土方（約 60 ~ 70 萬方）、南星計畫一期工區超填土方（約 100 萬方）及少量高屏溪清淤土方，因此，初估至 100 年底尚有約 110 萬方之土方需求缺口。

由於轉爐石具膨脹性，當中鋼產出之轉爐石，短期堆置，如其膨脹率無法達到設定之 3.5% 以下時，則



圖 2 南星計畫填築狀況與遊艇產業園區分區圖

先送至臨時養生區水中養生 3 ~ 6 個月，再取樣試驗。當試驗之膨脹率符合計畫要求時，再挖運永久填築。

由中聯進場之轉爐石從 99 年 6 月 1 日開始至 101 年 2 月 29 日，共進場 138 萬 4,390 噸，以轉爐石單位重 2.3 估計，進場轉爐石量約 60 萬 1,908 方；高爐石進場量為 24 萬 3,933 噸，其中約 16 萬 3,627 噸作為填地使用，其他高爐石則做為鋪築臨時施工道路。用在填地之轉爐石及高爐石進場量彙整表如表 1 和表 2 所示。

實施方式

南星計畫

1. 海堤為永久性結構，設計年限採迴歸期 50 年潮位及波浪。
2. 採高基拋石式海堤，堤心石為 10 cm ϕ 以上卵石，堤後背填採中鋼爐石。近程計畫因受限於經費，部份堤心石以中鋼氣冷爐石替代。

3. 混凝土部份材料取自爐石及飛灰，利用研磨之水淬爐石粉替代大量水泥；因近程計畫受限於水淬爐石粉研磨細度及爐石粒料之強度，致使部份消波塊斷裂，因此，中程計畫主要受力之消波塊採用一般傳統骨材。
4. 近程計畫海堤直立部以內填爐石方式構築，以降低工程費；惟此施工方式較費時，中程計畫因廢棄土填放壓力，海堤直立部採傳統場鑄混凝土施工。
5. 近程、中程計畫海堤標準斷面詳如圖 3、圖 4 所示。其中 ▲ 表示與轉爐石或煤灰資源再利用有關之工項。

轉爐石填築計畫

填築分區規劃

為管控填築進度及料源分佈，沿南星計畫西堤每隔 30 m 做分區標示，共 27 區。另為確保填築轉爐石

表 1 轉爐石填築數量統計

月別	單月填築量		累計填築量		填區	備註
	重量 (ton)	體積 (m ³)	重量 (ton)	體積 (m ³)		
99.06	150,891	65,605	150,891	65,605	A2	6/1 開始填築
99.07	71,433	31,058	222,324	96,663	A2	
99.08	99,857	43,416	322,180	140,078	B2	
99.09	86,338	37,538	408,519	177,617	B2	
99.10	70,814	30,789	479,333	208,405	B2	
99.11	70,118	30,486	549,451	238,892	B2	
99.12	83,013	36,093	632,464	274,984	B1	
100.01	72,846	31,672	705,310	306,656	B1	
100.02	55,632	24,188	760,941	330,844	B1	
100.03	78,629	34,187	839,571	365,031	B1 及 A1	
100.04	65,333	28,406	904,903	393,436	A1	
100.05	52,053	22,632	956,956	416,068	A1	
100.06	75,937	33,016	1,032,893	449,084	A1	
100.07	79,737	34,668	1,112,630	483,752	A1	
100.08	65,719	28,573	1,178,349	512,326	B2	
100.09	56,961	24,766	1,235,310	537,091	B2	
100.10	5,385	2,341	1,240,695	539,433	B2	
100.11	90,128	39,186	1,330,823	578,619	B2	
101.01	6,307	2,742	1,337,130	581,361	B2	
101.02	42,352	18,414	1,384,390	601,909	A2	

表 2 高爐石填築數量統計表

月別	單月填築量		累計填築量		填區	備註
	重量 (ton)	體積 (m ³)	重量 (ton)	體積 (m ³)		
99.10	60,008	37,505	60,008	37,505	A2	10/11 開始填築
99.11	50,900	31,812	110,908	69,317	A2	
99.12	35,656	22,285	146,564	91,603	A1	
100.01	7,533	4,708	154,097	96,311	A1	
100.02	3,375	2,109	157,473	98,420	A1	
100.03	6,155	3,847	163,627	102,267	A1	

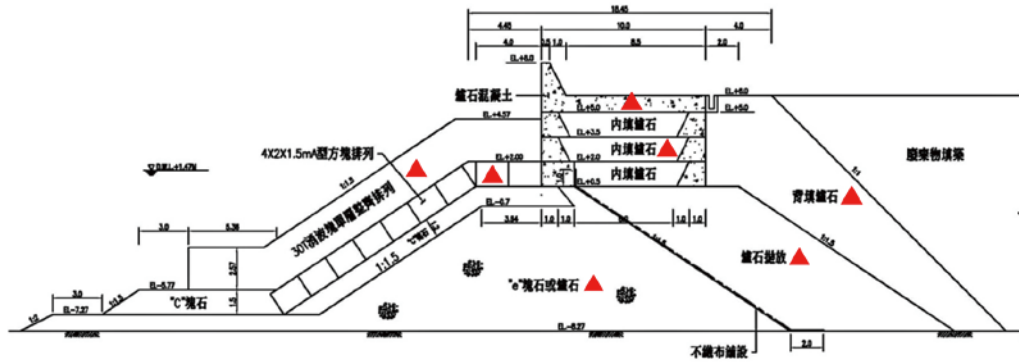


圖 3 南星近程計畫海堤標準斷面圖

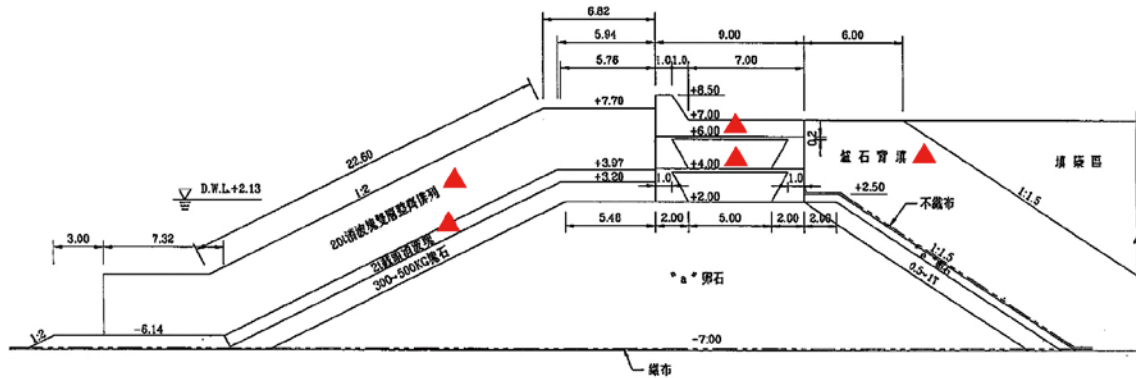


圖 4 南星中程計畫西堤標準斷面圖

不影響南星計畫海堤結構安全，西堤臨陸側 25 m 範圍設置緩衝區，不填築轉爐石，因此，沿南星計畫南堤，緩衝區外每隔 30 m 做分區標示，共 a ~ p 等 16 區。另依現場填區水深，將填區由深至淺劃分 A ~ C 三區。考量轉爐石填築期間須海水充分交換，使轉爐石產生水化現象，以及早達穩定狀態，在第 10 區設置臨時水道。

在填築過程，環保局要求下水測試區，不得填築轉爐石；原規劃在 C 區，招商後選定 B 區做為遊艇下水測試區，因此，南星二期填築區僅在 A 區做永久填築，填築過程利用 B 區作為臨時養生區，完工前需全數挖除。

料源品管

中聯公司長期進行轉爐石膨脹性質研究，依據多年試驗，出場轉爐石膨脹率控制在 3.5% 以下時，當再一次接觸海水後，其膨脹率可大幅下降，因此，為確實管控填地品質及後續追蹤，出貨及料源膨脹率皆控制在 3.5% 以下。如出場料源無法達到要求，則先於 B 區進行臨時養生，再定期取樣，進行膨脹性試驗，俟膨脹率小於 3.5% 時，再行挖運及永久填築。

轉爐石之品質管控分為料源品質管制及出貨品質管制兩部分：

1. 料源品質管制：由中聯公司進行自主品管檢驗，檢驗項目、測試方法及檢驗頻率如表 3 所示。

轉爐石含進場及現場小搬運量約 229.8 萬噸，依據料源品管試驗頻率，每 2.5 萬噸進行一次取樣試驗，總計本計畫約需進行 92 次試驗，實際現場計進行 118 次取樣分析試驗。由試驗結果得知：

- (1) TCLP、化學成分及篩分析試驗成果，皆符合原填築施工計畫書內相關規範。
- (2) pH 值介於 11.05 ~ 12.48，符合 < 12.5 之要求。
- (3) 膨脹率 (%) 介於 0.08 ~ 3.45，符合 ≤ 3.5 之要求。

2. 出貨品質管制：轉爐石出場填築前需進行出貨品質檢驗，其檢驗項目及檢驗頻率，如表 4 轉爐石出貨品質管制表所示，分中聯自行品管及委外 (SGS) 測試，經檢測均符合填地規範要求方得出料。

- (1) 出貨自主品管試驗：
 - 轉爐石 TCLP、化學成分及篩分析試驗成果，皆符合原填築施工計畫書相關規範。
 - pH 值介於 12.07 ~ 12.45，符合 < 12.5 之要求。

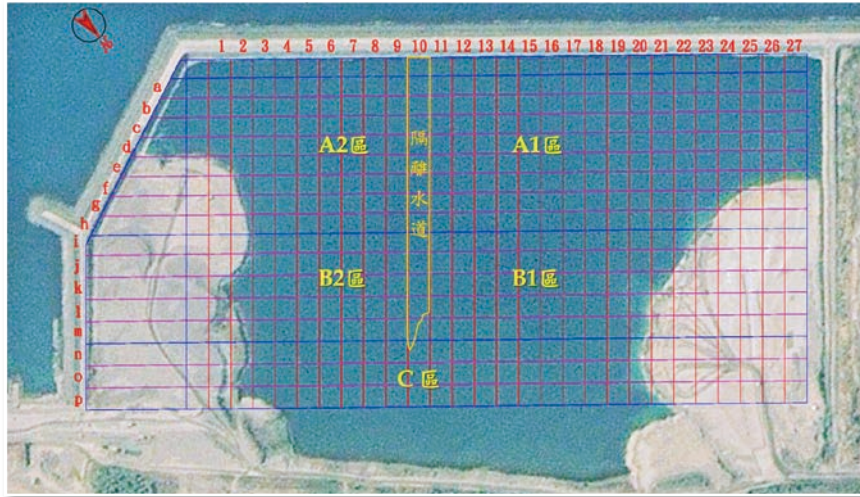


圖 5 填築分區配置圖

表 3 轉爐石料源品質管制表

測試項目	測試方法	產品規範 (中聯自訂)	自行品管
1. 粒料最大尺寸 (cm)	CNS486 (粗細粒料篩析法)	≤ 5.0	1 次 / 25,000T
2. MgO (%)	T30-Q33-059 (XRF 螢光分析)	≤ 10.5	1 次 / 25,000T
3. 膨脹率 (%)	ASTM D4792 (粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法)	≤ 3.5	1 次 / 25,000T
4. pH	NIEA R208.04C (氫離子濃度指數測定方法)	< 12.5	1 次 / 25,000T
5. TCLP	NIEA R201.14C (毒性特性溶出程序)	符合環保署法規	1 次 / 25,000T

表 4 轉爐石出貨品質管制表

測試項目	測試方法	產品規範 (中聯自訂)	測試頻率	
			自行品管	委外測試
1. 粒料最大尺寸 (cm)	CNS486 (粗細粒料篩析法)	≤ 5.0	1 次 / 週	—
2. MgO (%)	T30-Q33-059 (XRF 螢光分析)	≤ 10.5	1 次 / 週	—
3. 膨脹率 (%)	ASTM D4792 (粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法)	≤ 3.5	1 次 / 週	1 次 / 1 季
4. pH	NIEA R208.04C (氫離子濃度指數測定方法)	< 12.5	1 次 / 週	1 次 / 2 月
5. TCLP	NIEA R201.14C (毒性特性溶出程序)	符合環保署 法規要求	1 次 / 週	1 次 / 2 月
6. 戴奧辛	NIEAM801.12B (戴奧辛及呋喃檢測方法)	符合環保署 法規要求	—	1 次 / 季

- 膨脹率 (%) 介於 0.02 ~ 3.47, 符合 ≤ 3.5 之要求。
- (2) 委外試驗：
- pH 值介於 11.72 ~ 12.45, 符合 < 12.5 之要求。
 - 膨脹率 (%) 介於 0.2 ~ 2.3, 符合 ≤ 3.5 之要求。
 - 戴奧辛最大值為 0.004 (ngI-TEQ/g), 符合 < 1.0 之要求。

大地監測

進行大地監測作業，以了解轉爐石做為填地料源後原地面高程之變化、變化速率、地下水位變化以及

其對鄰近結構物之影響，據以進行填築地層穩定性與鄰近結構物安全評估。

大地監測主要項目為：(1) 原地層、回填層及覆蓋層高程變化量測；(2) 地下水位高程量測；(3) 回填層 / 覆蓋層側向變形量測；(4) 鄰近區域與結構物變形與傾斜量測等四大部份。其監測項目、使用儀器、監測目的及儀器設置位置與數量規劃原則，如表 5 所示。

依上述規劃原則，配置完成之監測系統如圖 6 所示，各項監測儀器之編號、數量、設置深度、設置位置及設置時機如表 6 所示。

由於遊艇產業園區開發用地尚未完成填築，依表六大地監測儀器裝設時機，除測沉板、建物沉陷點及傾斜儀外，其他監測儀器皆無法安裝及監測。由已安裝監測儀器初步量測結果及歷時曲線，其變位及傾斜均不大，惟交地後相關監測未能繼續，殊為可惜。

工程效益

南星計畫

南星計畫之實施，開啟了岸邊築堤填廢方式處理廢棄物之先端，藉由妥善之規劃、設計，使南星計畫

表 5 大地監測項目、使用儀器、監測目的及規劃原則彙整表

項次	監測項目	使用儀器	監測目的
1	地表沉陷量	地表沉陷觀測點	量測回填區與鄰近既有回填區地表之沉陷量（每 1 公頃設置一監測點）
2	回填層面高程變化量	測沉板	量測爐石回填完成面之高程變化（以回填層厚度 4 m、5 m、6 m、7 m、8 m，於南北填區各 1 處設置）
3	原地層面高程變化量	多點式桿式伸縮儀	量測地表下原地層、原地層層面及爐石回填層面之高程變化
4	地下水水位	水位觀測井	量測回填區內地下水水位之高程及其變化（每 4 公頃設置一監測點）
5	土層水平變形量	土中傾度管	量測回填區邊緣地區土層水平方向變形量（回填與未來開發計畫邊緣，100~200 m 設置一監測點）
6	建物變位量	建物變位觀測點	量測鄰近既有海堤之沉陷量與側向變形量（既有海堤上以 200 m 設置一監測點）
7	建物傾斜量	傾斜儀	量測鄰近既有海堤之傾斜變化量（同上）

表 6 大地工程監測系統設計規劃結果一覽表

監測儀器	儀器編號	數量	裝設深度	裝設位置	裝設時機
地表沉陷觀測點	SM-1 ~ 61	61	回填完成面	回填區內外	土方回填完成後
測沉板	SP-1 ~ 8	8	爐石完成面	回填區內	爐石回填完成後
多點式桿式伸縮儀	EX-1 ~ 7	7	1. 爐石回填層面 2. 原地層層面 3. EL. -15.0m	回填區內外	土方回填完成後
水位觀測井	OW-1 ~ 10	10	7~10m	回填區內外	土方回填完成後
土中傾度管	SIS-1 ~ 14	14	原地層下 5m	回填區內外	土方回填完成後
建物變位觀測點	SB-1 ~ 5	5	—	既有海堤上	100.10 底前
傾斜儀	TI-1 ~ 8	8	—	既有海堤上	100.10 底前

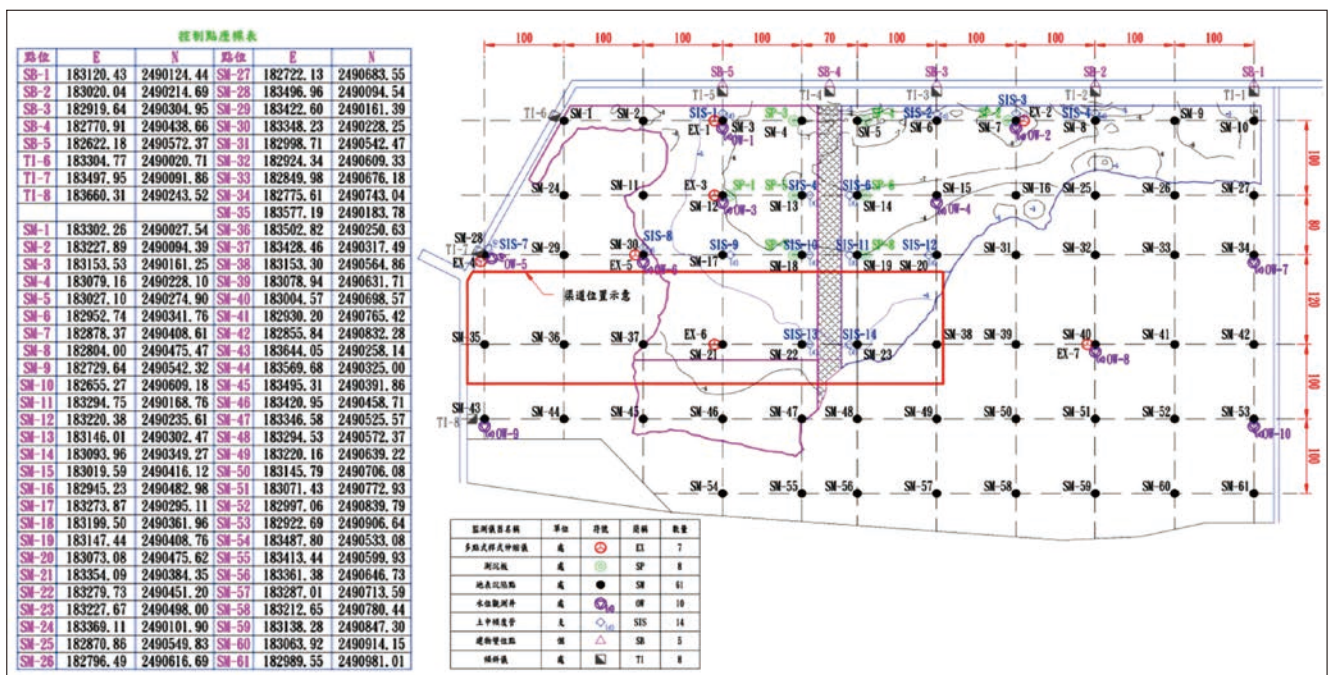


圖 6 大地工程監測儀器系統配置圖

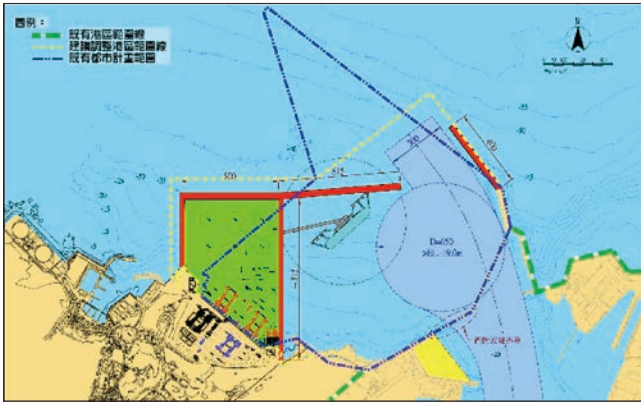


圖 7 基隆協和電廠更新計畫

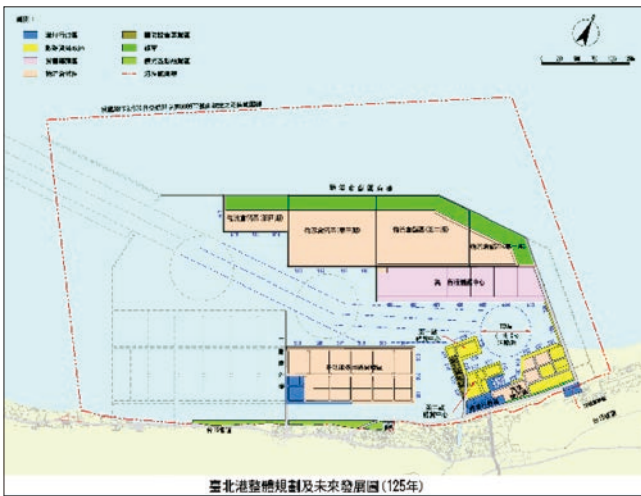


圖 8 台北港遠期用地開發計畫

在各界關注下順利推展，而南星計畫之開發除妥善處理高雄市境內因經濟快速成長所衍生之建築廢棄土，免於任意投棄曠野或傾倒市區，致影響市容，造成二次污染外，亦保護大林蒲沿岸舊部落居民及鳳林國中師生，免於遭受波浪之威脅，產生之新生地又可增廣市幅，做為市政建設推動之用地，可謂畢其功於一役。因此，南星計畫之推動應可做為其他單位處理營建廢棄土之典範。茲歸納其工程效益如下：

- 保護大林蒲附近居民之生命財產安全。
- 總計圍築面積約 221 公頃，除增廣市幅外，並提供市民休閒、遊憩、賞夕陽之空間。
- 提供 2,050 萬立方公尺之掩埋空間，以處理工程剩餘土石方，避免剩餘土石方濫倒問題發生。
- 提供 210 萬立方公尺空間，處理高雄市焚化爐所產生之灰渣。
- 提供市府都市發展（已完成都市計畫變更為特定倉儲轉運專用區）或其他建設（如遊艇專區）所需之土地。

轉爐石填築計畫

轉爐石填放配合市府時程需求，已順利完成，提供民間企業與市政合作之典範。而藉由計畫之執行，進行轉爐石物性、化性及大地監測作業，期望藉由本計畫拋磚引玉，讓企業機構了解其產生副產品之性質，並思考妥善處理方式，並以循環經濟理念為地球環境盡一份心力。茲歸納其工程效益如下：

- 配合市政建設，協助解決用地需求。
- 提供轉爐石未來做為填地料源之標準作業程序或依據，避免因不當使用產生之誤會與爭議。
- 由本計畫執行成果及相關數據，轉爐石將可供未來相關計畫填築料源考量之參考。



圖 9 台中港外港區擴建計畫

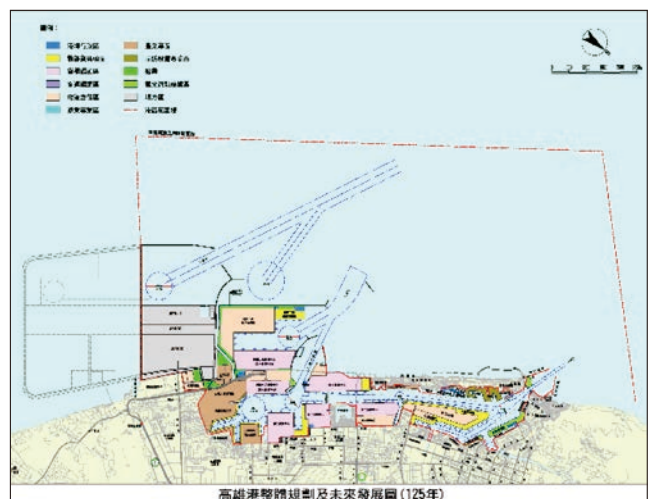


圖 10 高雄港第三港區開發計畫

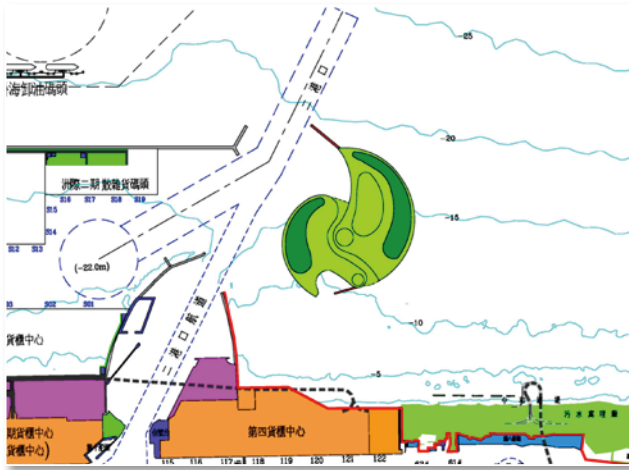


圖 11 高雄港人工島配置示意圖



圖 12 轉爐石做為回填料工程性質實測位置示意圖

結語與建議

結語

1. 基於環境保護、資源再利用及循環經濟之政策，轉爐石之再利用應予以正視及妥善推廣。
2. 若以抽沙方式進行大面積填海造陸工程，將對環境造成影響，環評時易遭受反對聲音；若依土地使用計畫，納入轉爐石等為填築材料，將可提高計畫可行性。
3. 南星計畫推動之初，中鋼公司僅係依高雄市政府環保局要求協助解決用地問題，惟基於轉爐石長期利用原則，應建立足夠數據，以消彌百姓對轉爐石之不信任。
4. 中鋼已完成「轉爐石海事工程使用手冊」，正試行中；並在台北港離岸物流倉儲區進行試驗，希望未來取得足夠數據後，可更順利將轉爐石應用於填海造陸工程。

建議

1. 台灣為海島國家，陸域土地上高山丘陵較不易進行開發，致使可開發範圍有限，加以都會高度發展，民眾相對重視土地使用相容性，因此，有大型開發計畫往海域延伸之構想。在進行填海造陸工程時需考量料源取得、工程技術、經濟效益等；如何降地抽砂量，減少對海域環境之衝擊攸關計畫順利推動與否。若參考南星計畫及轉爐石填築計畫成功之經驗將有助於填海造陸工程之推動。
2. 未來台灣商港範圍內擬推動之填海造陸計畫有基隆港協和電廠更新計畫、台北港遠期發展用地、台中港外港區擴建計畫及高雄港第三港區開發計畫等。此等開發計畫面積大，所需回填料源多，若能配合土地使用計畫，將轉爐石填放於綠地、停車場或其他低開發區，除可協助中鋼去化轉爐石，亦可減少抽砂料源，增加計畫可行性。
3. 除配合港區開發計畫進行填海造陸工程，協助提供轉爐石合法處理場地外，亦可結合地方政府（處理建築剩餘土石方）、事業單位（處理事業廢棄物）及港務管理機關（容納港區疏濬土方）共同研究長期廢棄產品之去化場所。例如早期南部某事業單位委託顧問公司研擬其事業廢棄物填海造陸場址篩選可行性研究案，曾於高雄港第二港口外規劃一座人工島，詳圖所示，其面積為 125 公頃，容量為 2,711 萬方。後因投資費用高且未能整合需求單位而未能繼續推動，殊為可惜，未來希望有高瞻遠矚單位能續推類似之相關計畫。
4. 為強化改質轉爐石之科學檢驗成果，供「轉爐石海事工程使用手冊」修訂依據，中鋼公司利用轉爐石做為台北港物流倉儲區回填材料，利用室內試驗室與現場試驗進行工程特性之觀測，同時進行施工前、中、後之海域水質與底值以及海域生態之現場監測，了解轉爐石做為回填材料所可能對海域環境產生之影響。

上述試驗計畫包括轉爐石填料之工程行為評估、海下底床承载力、海域水質監測、海域生物體重金屬監測、海域生態調查暨長期資料之生態結構數理分析及轉爐石產製回填資材驗證等工作，希望藉由一系列調查與研究，提供轉爐石做為填海造陸料源之最佳佐證。





鋼鐵爐石於海事工程

日本應用及國內展望

許伯良 / 中聯資源股份有限公司 經理

葉建偉 / 中聯資源股份有限公司 工程師

日本將鋼鐵爐石應用於海事工程，主要包含港灣工程用人工石材、海洋牧場應用、氧化鈣改質土之海洋修復、填海造陸及地盤改良，且依其需求發展出各式鋼鐵爐石產品，將鋼鐵爐石有效及妥善地進行資源化運用。

台灣與日本同為一海島國家，其港口為國家重要建設及經濟命脈。港區之土地來源除早期少數天然港口之土地為自然地形既有外，其餘港口土地均為圍堤造地而來，造地後土地須進行地盤改良後方能使用，本文蒐集日本鋼鐵爐石於海事工程幾項應用方向，並進一步分享於地盤改良相關實績及研究，可做為台灣未來鋼鐵爐石海事工程應用之借鏡。

前言

隨著全球人口數持續成長與經濟發展需求，資源的耗用與日俱增。有別於傳統的線性經濟發展思維，循環經濟以資源妥善循環利用的角度切入，重新思索各物品的可用價值，以最少自然資源投入、最少廢棄物排放以及最少環境危害發展經濟，故「循環經濟」已成為全球永續發展的熱門議題及潮流。台灣自然資源匱乏，海事工程面臨砂石短缺之問題，在必須大量仰賴國外資源進口的現況下，如何透過思維的轉型創造或保留住更多可用資源，締造新的經濟發展契機，實為必須面對的議題，故政府也在推動產業創新計劃項目中，將循環經濟列為重要的項目。鋼鐵爐石應用於海事工程範疇，在同為島國的日本實績眾多，不僅創造國土，增加土地資源之利用，並可減少外海抽砂量，降低對海域生態之衝擊。在循環經濟的潮流下，做了最佳之示範。

鋼鐵爐石產源及種類

台灣鋼鐵產業產出之爐石大致可分為高爐石、轉

爐石及電爐渣三種，一般常稱呼之製鋼爐石（Steel Slag）係包含轉爐石及電爐渣之統稱。煉鋼製程及產出爐石種類如圖 1。

高爐石為一貫作業煉鋼廠（如中鋼公司、中龍公司）在煉鐵過程產出之副產物，高爐石經急速水冷卻即形成所謂之水淬高爐石，經研磨成粉即為爐石粉，爐石粉與水泥摻配成為高爐水泥，取代一般水泥應用於營建工程。另約 3% 高爐石則以空氣自然冷卻方式產出，此部分氣冷高爐石大都用於道路級配使用。

一貫作業轉爐煉鋼過程中自鐵水吹煉成鋼時亦須加入生石灰及白雲石等石材當助熔劑，以除去鐵水中的雜質，其所形成的即為轉爐石。

電弧爐煉鋼可分為碳鋼（如豐興、東和、海光公司等）與不銹鋼（如唐榮不銹鋼公司等）製程；電弧爐煉鋼係以回收之廢鐵、廢鋼為原料，經電弧爐高溫熔煉後製成鋼材，生產過程所產生之爐石，統稱為電爐渣，電爐渣又可細分為氧化渣與還原渣。電弧爐煉鋼於電爐煉製過程排放的懸浮微粒及氣態污染物，經空氣污染防治設備收集後稱為電爐集塵灰。電弧爐煉鋼製程如圖 2。

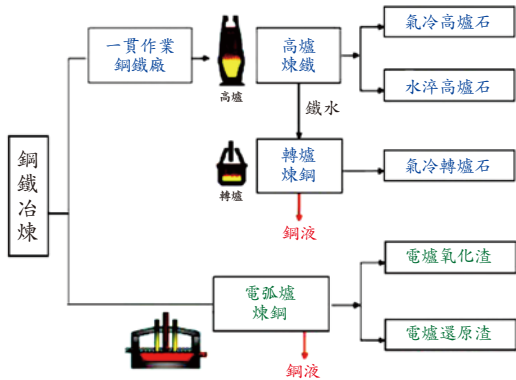


圖 1 煉鋼製程與爐石產出種類^[1]

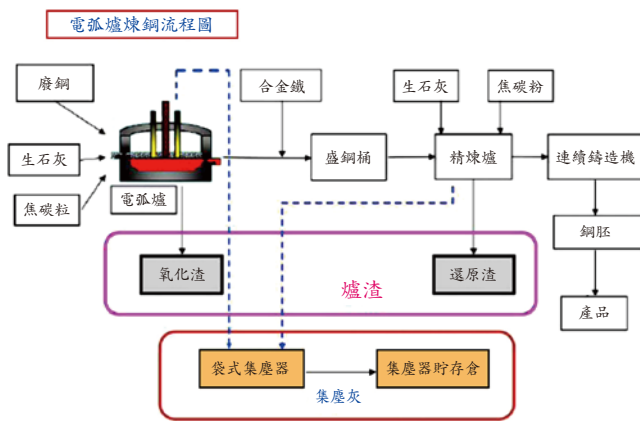


表 1 鋼鐵爐石之化學成份 (單位%)^[1]

鋼鐵爐石產品主要成分

鋼鐵爐石的主要成分為石灰 (CaO) 和二氧化矽 (SiO₂)。其他成分方面，高爐爐石含有三氧化二鋁 (Al₂O₃)、氧化鎂 (MgO) 等，製鋼爐石則含有氧化鐵 (FeO)、氧化鎂 (MgO)。

以上成分存在自然界的地殼或天然岩石、礦物中，化學成分與普通的水泥類似。鋼鐵爐石的形狀與物理特性與一般的碎石和砂礫類似，但可藉由調整冷卻程序，使爐石產生特有的各種不同的性質，詳表 1。

項目	氧化物成分%										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI
氣冷高爐石	33.92	14.88	0.51	40.72	6.27	0.47	1.40	0.51	0.04	0.55	0.33
水淬高爐石	33.46	13.70	0.42	42.69	6.21	0.35	1.48	0.46	0.04	0.39	0.27
轉爐鋼爐渣	11.45	4.48	21.60	39.37	6.39	-	-	0.49	1.97	4.01	3.94
氧化渣 a	19.91	12.05	14.90	36.16	3.32	-	-	0.74	0.90	7.61	0.98
還原渣 a	20.22	10.28	9.79	41.16	10.32	-	-	0.38	0.60	1.78	1.24
氧化渣 b	33.32	4.66	2.47	38.37	17.49	-	-	1.48	0.54	1.21	0.21
還原渣 b	30.34	2.01	2.21	50.49	10.60	-	-	0.15	0.54	0.10	0.56

a: 破鋼電弧爐渣
b: 不鏽鋼電弧爐渣

圖 2 電弧爐煉鋼製程^[2]

鋼鐵爐石於海事工程日本相關應用

日本應用鋼鐵爐石於海事工程技術成熟且材料溶出量均符合日本國內「土壤環境標準」、「海洋污染防治法水底土砂標準」等各種環境標準，故應用類別眾多，於日本鋼鐵協會及新日鐵住金の鐵鋼スラグ製品 NS スラッグズ刊物中提到，主要將鋼鐵爐石應用於港灣工程用人工石材、海洋牧場應用、氧化鈣改質土之海洋修復、填海造陸及地盤改良，以下說明。

1. 港灣工程用人工石材

日本創造出鋼鐵爐石加工產品，稱為方堤石 (Frontier Stone) 或方堤碎岩 (Frontier Rock)，用來作為海洋工程用的非液化填埋材或碎鵝卵石、護背石，甚至是潛堤或緩坡海堤用資材，如圖 3 所示。

方堤石、方堤碎岩為製鋼爐石和高爐水泥和水等混合後固化製得的人工石材。方堤石為直徑 300 mm 以下的小型人工石材；方堤碎岩為直徑 100 mm 到直徑 1,000 mm 大小的人工石材，如圖 4 所示。

3. 海洋牧場應用

日本創造出鋼鐵爐石加工產品「必茂麗 (ビバリー) 混合營養素」，透過混合轉爐石 (鐵) 與人工腐植土 (腐植酸)，使其能以腐植酸鐵的型式提供海藻生長所需要的「鐵離子」給海洋，幫助藻場形成，為海藻專用維他命，如圖 5 所示。

此外，由鋼鐵副產物亦即轉爐石和高爐石粉等製造而成的「塊狀必茂麗」和「必茂麗碎石」是可用作藻類、生物附著生長的基材，相關產品混和使用可建造藻場、漁場，如圖 6、圖 7 所示。



圖 3 作為海岸石材的使用案例^[4]



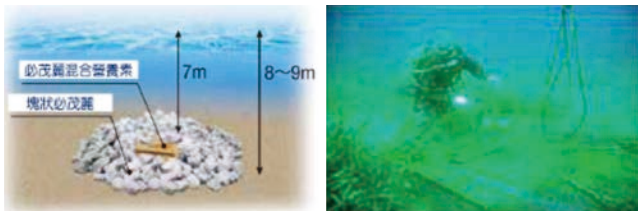
圖 4 左為方堤石 (Frontier Stone)、右為方堤碎岩 (FrontierRock)^[4]



圖 5 必茂麗混合營養素^[4]



圖 6 左為塊狀必茂麗、右為必茂麗碎石^[4]



人造丘內設置必茂麗混合營養素的示意圖(左)與實際圖(右)(2007.11)

7個月後真昆布茂密生長在整片人造丘

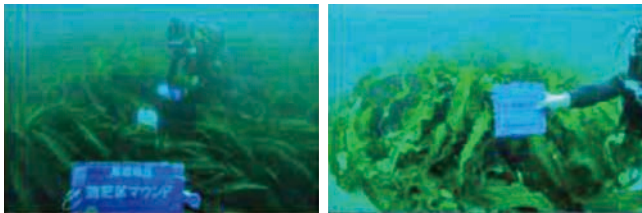


圖 7 塊狀必茂麗和必茂麗混合營養素的組合使用案例 (北海道函館市)^[4]

3. 氧化鈣改質土之海洋修復

日本創造出一應用技術，藉由將港灣的疏濬土與氧化鈣改質材（鋼鐵爐石作為原料）混合形成氧化鈣改質土，如圖 8 所示，可提高疏濬土的強度，也可抑制疏濬土中的磷及硫化氫等高營養物質產生。藉由加入改質土，可施行原本只有疏濬土不易施工的人工淺灘和深掘窪地的回填，以進行海域環境的修復，已實際應用於日本濱堺區域，如圖 9 所示。

4. 填海造陸及地盤改良

日本填海造陸實績眾多，將高爐石與轉爐石等鋼爐渣應用於填海造陸作為海上機場建設，主要應用地點包含北九州機場（Kitakyushu Airport）、中部國際機場（Central Japan International Airport）、神戶機場（Kobe Airport）、關西國際機場（Kansai International Airport）、東京國際機場（Tokyo International Airport），

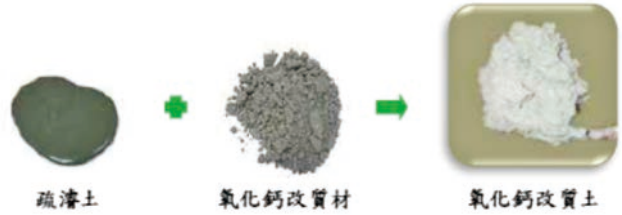


圖 8 氧化鈣改質土^[4]



圖 9 海域施工示意圖與實際海域應用(濱堺 2007 年 10 月)^[4]

Haneda Airport) 等重要國際機場，2000 年～2010 年合計使用量超過 800 萬噸，詳表 2 及圖 10 所示。

此外，日本創造出鋼鐵爐石加工產品「環保蓋亞石 (Eco-Gaia)」作為地盤改良材料，如圖 11 所示。將高爐漸冷爐石或者水淬爐石的質量混合比以 15%～50% 的範圍混入製鋼爐石中製成，具有單軸壓縮強度（齡期 28 日）60 kN/m² 以上的凝固性。與傳統自然砂相比，能有更優異的抗剪強度，增加支撐力或是降低地震時斷裂變形的風險，進而能夠縮減材料費並且減少需地盤改良的面積，達到降低成本效果。

表 2 日本爐石大規模使用案例^[5]

地點	使用量 (噸)	用途 (爐石種類)	使用實例
北九州機場 Kitakyushu Airport	1,500,000	軟弱地盤改良 (水淬爐石製品)	2000 ~ 2002
中部國際機場 Central Japan International Airport	1,900,000	跑道路盤材等 (水淬爐石、 轉爐石等製鋼爐石製品)	2001 ~ 2004
神戶機場 Kobe Airport	1,700,000	跑道路盤材等 (水淬爐石、 轉爐石等製鋼爐石製品)	2003 ~ 2004
關西國際機場 2 期工事 Kansai International Airport	1,100,000	跑道路盤材等 (水淬爐石、 轉爐石等製鋼爐石製品)	2004 ~ 2007
東京國際機場 D 跑道工事 Tokyo International Airport (Haneda Airport)	1,850,000	分區堤、臨時路面材等 (水 合固化體人工石材、水淬爐 石、轉爐石等製鋼爐石製品)	2007 ~ 2010



圖 10 日本填海造陸案例分布圖^[5]



圖 11 環保蓋亞石 (Eco-Gaia)^[4]

日本製鋼爐石應用於 SCP 實績

日本為海島型國家，除了與海爭地之需求外，因日本大地震頻繁（例如 2011 年 3 月 11 日發生的東日本大地震導致東京周圍關東地區海岸線等沿海地區的地面液化），此類型的災難使得日本相對有更迫切的地盤改良需求，又日本天然砂之取得皆仰賴進口居多，需求如此大量的地盤改良填充材料將從何而來？日本鋼鐵爐石協會調查數據顯示，日本將製鋼爐石材料應用於擠壓砂樁（SCP）有許多實績，在 13 處工程應用 SCP 案例中使用製鋼爐石材料總計 148 萬方，詳見表 3，顯見日本發展製鋼爐石材料適用於 SCP 且相關技術已趨成熟。

日本製鋼爐石應用於 SCP 相關研究

製鋼爐石材料適用於 SCP 之幾項特性，除粒度分布良好，為容易壓實的材料外，其顆粒大多富含稜角，具高抗剪角，與天然砂進行比較，詳見表 4。

日本對於製鋼爐石材料應用於 SCP 相關研究成果亦豐，參考日本文獻 Examination of Application of Steel Slag to Sand Compaction Pile Method，文中提到，試驗場

表 3 日本製鋼爐石材料應用於擠壓砂樁（SCP）實績^[4]

SCP 案例	施工場所 / 工事名稱	業主	使用量 (m ³)
1	神戶製鋼所加古川製鐵所 / LDG 儲槽地基改良工事	神戶製鋼所	2,300
2	江戶川區葛西第五工區住宅建設	舊日本住宅公園	101,000
3	新日本製鐵君津製鐵所 / 原料堆積場增強工事	新日本製鐵	7,500
4	川崎製鐵 / 倉庫基礎地基改良	川崎製鐵	21,400
5	新日本製鐵君津製鐵所 / 粗礦堆存場補強工事	新日本製鐵	17,500
6	神戶港六甲海島 / R1 岸壁復舊工事	運輸省第三港灣建設局	1,200
7	名古屋港鍋田埠頭西 5 區地基改良工事	名古屋港管理組合	125,000
8	和歌山下津港本港地區岸壁改良工事	運輸省第三港灣建設局	36,200
9	尾道系崎港貝野地區岸壁工事	廣島縣三原土木事務所	158,000
10	大竹港修築 -5.5 岸壁工事	廣島縣廿日市土木事務所	146,000
11	廣島港出島地區岸壁工事	廣島縣廣島港灣振興局	592,000
12	阿賀掩埋工事	廣島縣吳市	268,000
13	和歌山下津港本港地區岸壁 (-13m) 築造工事	運輸省第三港灣建設局	4,500

表 4 製鋼爐石與天然砂材料特性^[4]

材料特性	天然砂	製鋼爐石
級配	隨地域具變化	粒度分布良好
磨損率 (%)	25 ~ 27	17.6
比重	2.5 ~ 2.7	3.2 ~ 3.5
濕潤單位體積重量 (kN/m ³)	18	22 ~ 25
抗剪角 (°)	30 ~ 35	> 40

址位於 JFE 東日本工廠 Oihama 區，將天然砂與 5 種鋼鐵爐石應用於小規模現地 SCP 工法，共計有六組 (No.1 養生後轉爐石、No.2 天然砂、No.3 氣冷高爐石、No.4 未養生轉爐石、No.5 人造石、No.6 水淬高爐石)，每一組試驗規劃占地面積為 $8 \times 8\text{m}^2$ ，施作樁體 4×4 支 (第 1 組因土地面積不足，有稍作酌減)，觀察其成效，相

關試驗材料及區位配置詳見圖 12，由施作前後標準貫入試驗之 N-Value 顯示，施作後六組土壤強度皆有明顯提升，鋼鐵爐石與天然砂應用於 SCP 工法皆具成效，無明顯差異，詳見圖 13。此外，文獻中亦針對施作前後進行該地區各深度 pH 測定 (0 ~ 12 m)，結果顯示，施作前後該地區各深度 pH 亦無明顯變化，詳見圖 14。

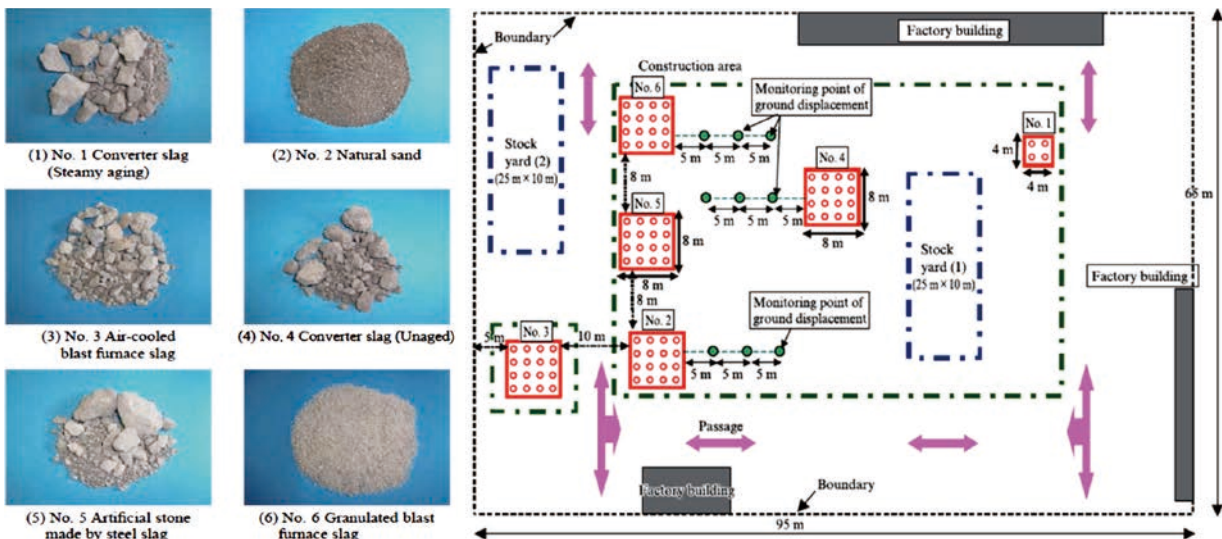


圖 12 日本製鋼爐石材料應用於 SCP 材料及區位配置圖 [6]

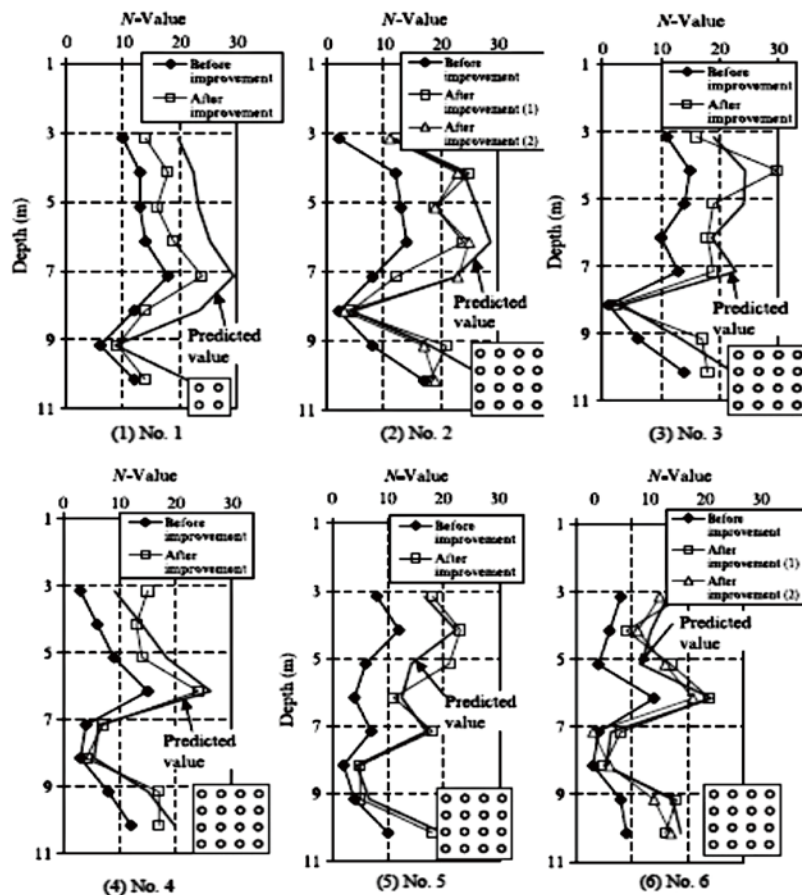


圖 13 施工前後 N-Value (六組材料應用於 SCP 試驗) [6]

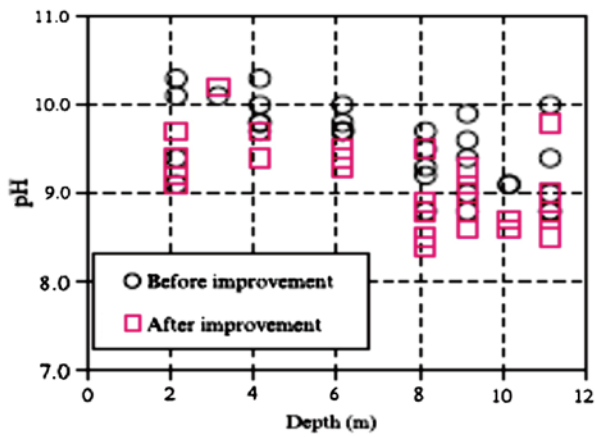


圖 14 施工前後 pH 測值（六組材料應用於 SCP 試驗）^[6]

鋼鐵爐石於海事工程國內展望

台灣與日本同為一海島國家，其港口為國家重要建設及經濟命脈，目前已具備國際商港 7 座，工業專用港 2 座，如圖 15 所示。港區之土地來源除早期少數天然港口之土地為自然地形既有外，其餘港口土地均為圍堤造地而來，因此幾乎台灣的港口均有圍堤而成之土地。大片造地且廣為人知的港口如臺中港、臺北港、麥寮港、高雄港等。為因應國家經濟發展等因素，目前圍堤造地的範圍已超過 10 m 水深，顯見無論是造地抑或料源需求，皆可謂需求迫切。而藉由此法所形成之土地，稱為軟弱人工地盤（如港灣回填區或濱海抽砂造陸區等），通常具鬆軟、高孔隙比、高含水量、低強度、易於壓縮與變形、受地震影響顯著等特性，需要進一步進行地盤改良工程，以利後續國土之利用。

國內鋼鐵爐石於海事工程應用，可參考同為海島型國家日本之經驗及方向，於地盤改良之範疇進行研究及試驗，做為台灣未來鋼鐵爐石海事工程應用實務之借鏡，故文中分享日本鋼鐵爐石於海事工程相關應用類別，以及製鋼爐石（steel slag）應用於擠壓砂樁（sand compaction pile, 以下簡稱 SCP）實績及研究成果，供讀者參考。

結論

鋼鐵工業為國家重要產業，鋼鐵爐石為煉鋼鐵過程必然產生之副產物，尤其缺乏天然資源之台灣，面

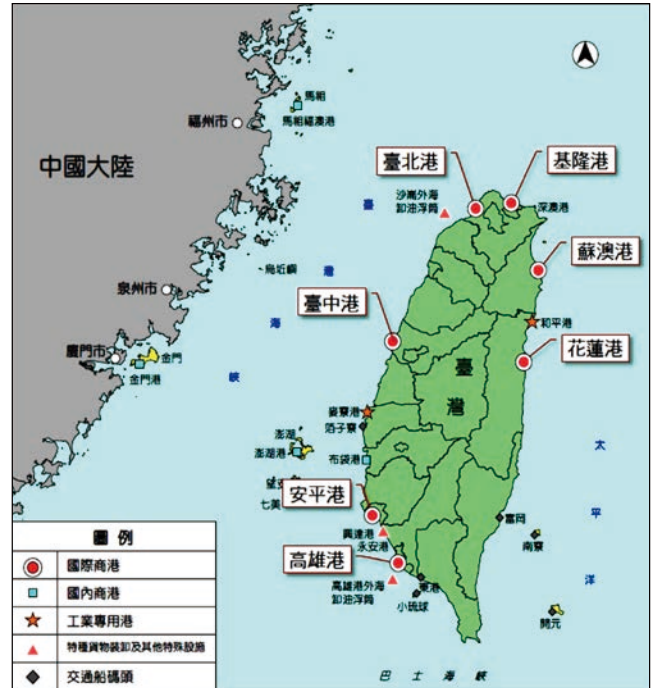



圖 15 台灣各重要港區圖^[7]

對國內海事工程大量砂石之需求（如填海造陸及地盤改良），採用爐石資源取代天然資源之開採，才是真正達到保護國土環境之手段，文中分享日本將鋼鐵爐石應用於海事工程相關資訊，供國內讀者參考，期台灣未來能使用可用資源適「材」適所，除可實踐循環經濟，亦可為國家及產業創造雙贏。

參考文獻

1. 陳信榮, 「轉爐石對環境相容性之探討」。轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面研討會（2011）。
2. 徐登科, 「爐石與應用」。台灣省土木技師公會技師報（2014）。
3. 王韡蓓, 「爐渣作為混凝土粒料的問題及策略」。技師期刊 62 期（2013）。
4. 新日鐵株式會社, 「新日鐵住金の鉄鋼スラグ製品 NS スラッグーズ」產品一覽。
5. Nippon Slag Association, 「環境資材鉄鋼スラグ」。
6. ONDA Kunihiko, HONDA Hideki, YOSHITAKE Hideki, Examination of Application of Steel Slag to Sand Compaction Pile Method, JFE TECHNICAL REPORT No. 19 (Mar. 2014)。
7. 國家發展委員會臺灣國際商港及國內商港位置示意圖, 「https://www.ndc.gov.tw/News_Content.aspx?n=114AAE178CD95D4C&sms=DF717169EA26F1A3&s=2238B771F0CF3DF9」, 網頁資訊（2016）。 



瀝青刨除料去化 — 冷拌再生瀝青混凝土之應用

陳世晃 / 國立中央大學土木工程學系 教授

林志棟 / 國立中央大學土木工程學系 榮譽教授

徐聖博 / 國立中央大學土木品保中心 專案經理

簡啓倫 / 國立中央大學工學院 專案經理

臺灣地區瀝青混凝土刨除料堆積如山，衍伸出相關環保與工程管理的問題，據了解目前瀝青混凝土刨除料堆置之申報數量已達數百萬公噸，而現行國內的相關法規最高僅添加 40% 於熱拌再生瀝青混凝土，剩餘之刨除料只能堆置於廠內，其如何去化與資源再利用也是目前產官學界積極尋解決的重大問題。而隨者科技日新月異，新材料、新技術及新工法的創新與研究，多具有功能、效益提升或節能減碳之特性，冷拌再生瀝青混凝土是以道路工程上所回收之材料，利用乳化瀝青或發泡瀝青等工法進行去化，生產過程中不需要將粒料加熱，並可直接鋪設於道路，利用冷拌再生瀝青混凝土應用於市區道路基層與管線挖掘工程，藉以期解決刨除料堆置問題。

瀝青刨除料回收再利用現況

瀝青混凝土於民國 88 年由環保署公告為再利用類別；且民國 91 年內政部發布營建事業廢棄物再利用管理辦法，歷經民國 93 年奉行政院命令營建署為瀝青混凝土挖（刨）除料再生利用業務之中央主管機關、民國 96 年修正發布，將廢瀝青混凝土刪除改列為再生資源；最後於民國 98 年於內政部公布修正「營建事業再生利用之再生資源項目及規範」規定事業產生之瀝青混凝土挖（刨）除料之再生用途為瀝青混凝土材料或工程填方材料及其相關規定，全面實施瀝青混凝土資源再利用，並解決營建材料短缺嚴重及回收瀝青混凝土佔用空間堆置之問題。

根據 107 年交通部統計處臺灣地區目前道路總長為 43,133 公里，面積共 533,968 千平方公尺，相較於 91 年道路長度增加 6,096 公里，而面積增加近 131,381

千平方公尺，其中台灣地區瀝青混凝土鋪面比例佔 97%，並且逐年的增加成長。熱拌再生瀝青混凝土在法規的限制下，瀝青刨除料（Recycled asphalt pavement, RAP）添加上限為 40%，但在每年道路總長及面積逐年增加的情形下，反映出每年瀝青鋪面經維修後所產出之刨除料年產量大幅增加，導致多年來各縣市之廠商陸續貯存之刨除料已達飽和，進而衍生出環保問題，其瀝青刨除料堆置情形如圖 1 所示。



圖 1 瀝青刨除料堆置情形

冷拌再生瀝青混凝土技術介紹及應用

依據美國瀝青科技中心（National Central Asphalt Technology, NCAT）將瀝青混合料依不同的拌和溫度分為熱拌、溫拌及常溫三類。然而，常溫（冷拌）為本案例所探討之主軸，冷拌拌和溫度通常介於 16°C ~ 35°C 之間。冷拌再生技術係指將既有道路刨除之再生瀝青混凝土粒料，以冷拌再生技術以水泥穩定處理、發泡穩定處理或乳化瀝青穩定處理等處理方式進行拌和作業；拌和過程中無須將粒料進行加熱，拌和後可直接將冷拌再生混合料鋪築於道路，鋪築完畢後即可開放車輛交通。

冷拌再生瀝青混凝土之穩定化技術

冷拌再生技術分類方式係以拌和過程中所添加穩定劑作為劃分，包含水泥、瀝青、礦物摻料及水泥材料等穩定劑材料，一般主要以水泥系及瀝青系兩大類為大宗。所有穩定處理方式都將單體之粒料藉由黏結材料結合在一起，以提高材料之強度及抗水份侵害能力。

1. 水泥穩定化技術：水泥材料之應用係目前較為廣泛及普遍之營建材料，大部分國家皆有生產水泥，在材料方面取得較為便利，使用上較易被接受及信賴。水泥主要功能為提供強度之來源，可提高材料之勁度與抗壓強度，並減少塑性產生；添加水泥作為穩定材料之用量不宜過多，水泥經水化反應後，若養治不當或添加過多易發生龜裂現象，故用於鋪面工程中需謹慎設計用量。水泥系材料包含石灰、水泥飛灰之混合物及礦物材料等作為水泥系穩定處理，以增加鋪面之承載能力。考量水泥拌和均勻性，若水泥添加量低於重量比 2%，建議以水泥漿形式進行添加，而水泥系材料添加方式主要分成兩種：

- (1) 乾式散播方法：欲進行水泥穩定處理之道路播撒水泥，以人工或利用機具進行散播方式，利用滾筒將水泥與鋪面材料均勻拌和，如圖 2 所示。
- (2) 濕式泵送方法：預先將水泥與水拌和成水泥漿，透過泵送設備噴入再生機中與既有道路材料進行拌和作業，以微電腦設備進行控制品質，以達到準確度及均勻性，如圖 3 所示。

2. 乳化瀝青穩定處理：乳化瀝青（Emulsified Asphalt）係以瀝青加溫磨成小顆粒狀，加入乳化劑與水強力混和，使瀝青小顆粒懸浮於水中，如圖 4，水份蒸發後會還原成瀝青。標準的乳化瀝青是以微粒形式分散於連續式的水中，乳化劑中的離子在分子周圍形成靜電



圖 2 乾式散播方法



圖 3 濕式泵送方法及水泥稀漿設備

資料來源：<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2013/02/distribuidor-de-cal-e-cimento.html>

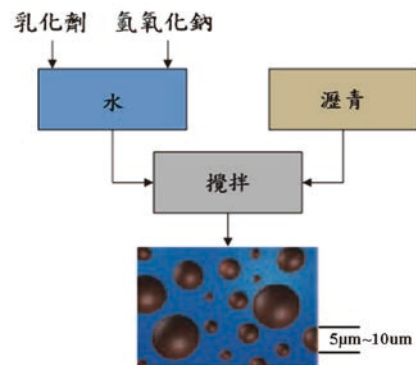


圖 4 乳化瀝青製程示意圖

力，阻止瀝青顆粒重新組合。當乳化瀝青與粒料混合時，乳化瀝青會產生破乳現象，瀝青由水中分離出來，瀝青顆粒將重新結合成連續的瀝青膜附著於粒料表面，乳化瀝青中多餘的水則保留於混合料中，破乳時間為拌合至瀝青顆粒由水中分離之時間差。

使用乳化瀝青為穩定處理方式主要原因是乳化瀝青可與濕冷的材料進行拌合，乳化瀝青只是暫時的狀態，最終是藉由瀝青脫離懸浮之狀態下，使瀝青發揮黏結之效果，因此破乳時間與養治方式對於混合料之性能是重要的。

3. 發泡瀝青穩定處理：於 1956 年美國愛荷華州立大學 Ladis H. Casanyi 教授首先發現發泡瀝青可作為穩定處理方式，此項技術後來被美孚石油公司進行改造，並開發水與瀝青拌合產生發泡的膨脹室，如圖 5。發泡瀝青係指在高溫的瀝青中加入微量的水，使瀝青的物理性質暫時改變，高溫的瀝青與水接觸時轉換成蒸氣，則形成數以千計的微小瀝青氣泡，造成瀝青體積大量膨脹而使黏度降低，在此狀態下與粒料拌合為最適合的情況。使用發泡瀝青可以讓工程界走向低能源、少污染且又養護容易的工法，無論是品質高的碎石或是含高塑性細料的劣質礫石料，都可以用發泡瀝青工法進行穩定處理。

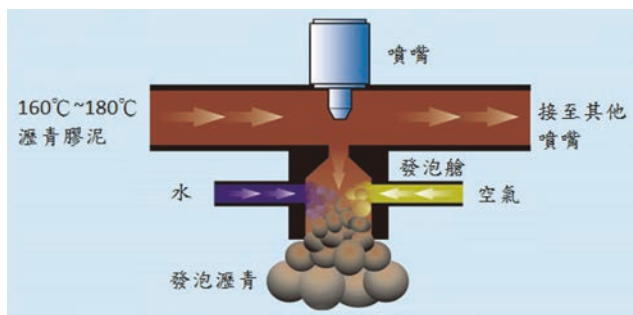


圖 5 發泡瀝青製程示意圖

資料來源：Wirtgen Cold Recycling Manual.

冷拌再生瀝青混凝土應用於市區道路之探討及案例

冷拌再生工法於歐美地區及中國大陸已廣泛被使用，近年發展亦日趨成熟。而在臺灣，由於冷拌再生瀝青混凝土相關規範尚未訂定，故本案例之冷拌再生瀝青混凝土配合設計係以國外冷拌再生技術規範標準，結合國內道路基底層相關施工規範進行配合設計。施作配合設計前須先確認級配粒料組成比例及最佳含水量與黏結劑之種類，並透過調整添加最佳拌和用水量及利用不同黏結劑含量比例製作試體，以國外冷拌再生技術規範標準決定冷拌再生瀝青混凝土最佳配比，並以最佳配比進行道路管線挖掘回填試辦工程，整體工程流程圖如圖 6 所示。

試鋪道路開挖及鋪設作業

- (1) 試鋪道路切割面與開挖面應平整，縱面噴灑黏層，且不能有崩塌、積水等現象。
- (2) 依現行臺灣各縣市快慢車道管線埋設之要求，其深度需大於 1.2 m（面層至管線頂部）。

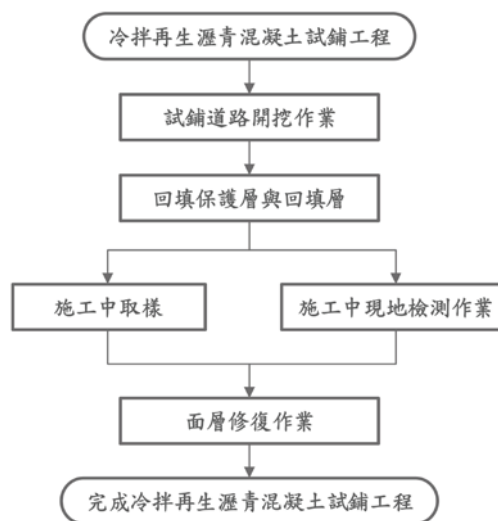


圖 6 整體工程流程圖

- (3) 依選址結果，如現地已有設計管線通過，則依該管線之埋設位置進行回填作業；如無管線者，則依設計斷面將管線預埋設於設計深度及安裝位置。
- (4) 回填層材料依規劃設計結果進行回填。採用冷拌再生瀝青混凝土回填者，試驗材料參考 AASHTO 及 ARRA 規範進行冷拌再生配合設計，且以每層厚度不大於 30 cm 方式進行壓實。若有採用其他控制性低強度回填材料者，依據國內行政院公共工程委員會施工綱要第 02335 章，進行品質檢驗及回填工序。

本案例係針對管線挖掘回填材料進行探討，以國外冷拌再生成熟技術引入臺灣鋪面，將其應用於管線挖掘回填工法中。首先，模擬現行市區道路管線挖掘 1.2 m 深度之規定進行斷面設計。再來，回填層以發泡瀝青及乳化瀝青之冷拌再生瀝青混凝土作為回填材料進行綜合考量，基本斷面設計如下圖 7 所示。

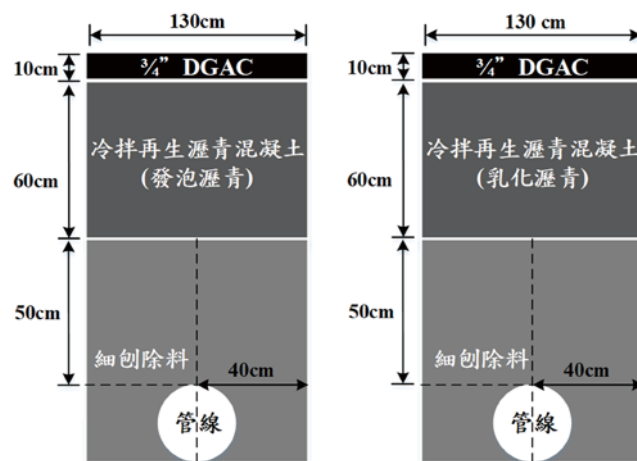


圖 7 本案例試鋪斷面圖

本案例試鋪擬採用廠拌式冷拌設備作為冷拌再生瀝青混凝土生產設備。因本案例冷拌再生瀝青混凝土所選用之瀝青穩定化技術分為發泡瀝青及乳化瀝青，以發泡瀝青作為穩定處理及以水泥作為填縫材料時，於現地生產須搭配瀝青加熱設備，以供瀝青膠泥保持實驗室所設計之發泡溫度，同時亦搭配水泥槽，以泵送方式運送水泥至拌和機內與發泡瀝青混凝土進行拌和；以乳化瀝青作為穩定處理拌和時，則規劃以現有瀝青拌和廠設備進行改裝，進行廠內拌和處理，如圖 8、9 所示。

本案例以模擬現行管線挖掘工程進行管挖回填施工，試鋪工程地點選定臺北市南港區經貿一路進行管線挖掘回填試鋪工程，試鋪斷面採用發泡瀝青穩定處理與乳化瀝青穩定處理之冷拌再生瀝青混凝土進行綜合考量。本案例試鋪規劃流程圖如圖 10，其施工順序如圖 11 至圖 18 所示。

挑戰與機會

冷拌再生工法在國外應用及發展已行之有年，臺灣自經濟起飛時代起，政府推行許多道路建設，導致道路新建與整修工程逐年成長，而道路經刨除重鋪後衍生出之瀝青刨除料已面臨過剩及囤積問題，且國內目前尚無冷拌再生瀝青混凝土相關規範，本案例參考國外冷拌再生技術及相關規範添加 100% 瀝青刨除料進行現地驗證工程，以探討其應用於臺灣道路底層之可行性，並透過本案例訂定國內冷拌再生瀝青混凝土相關規範，以利減少瀝青刨除料囤積空間，達到瀝青刨除料完全去化之目標。



圖 8 發泡瀝青混凝土生產設備



圖 9 乳化瀝青混凝土生產設備
資料來源：本案例所拍攝

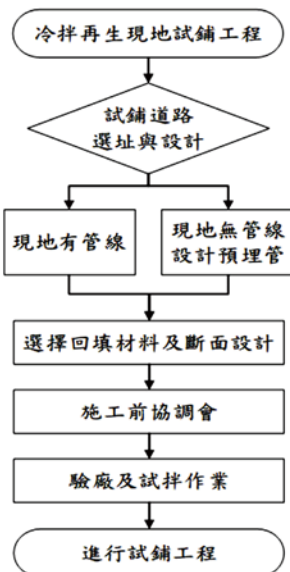


圖 10 試鋪規劃流程圖



圖 11 管線埋設及保護層回填



圖 12 保護層滾壓



圖 13 回填層第一層回填及滾壓



圖 14 回填層第二層回填及滾壓



圖 15 回填層第二層表面壓平



圖 16 黏層噴灑作業



圖 17 面層鋪設作業



圖 18 試辦工程完工

資料來源：本案例所拍攝

參考文獻

1. Wirtgen Cold Recycling Manual. 3th Edition, ISBN 3-936215-05-7, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany, 2010.
2. Wahhab, Hamad I. Al-Abdul, et al. "Study of road bases construction in Saudi Arabia using foam asphalt." Construction and Building Materials 26.1, 2012, p. 113-121.
3. Wirtgen Cold Recycling Manual. 1st Edition,, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany, 2012.
4. 呂柏璋,「溫拌瀝青混凝土應用於台灣地區可行性研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2012)。
5. 徐聖博,「發泡瀝青技術添加瀝青刨除料應用於道路底層可行性之研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2015)。
6. 曾偉原,「冷拌再生瀝青混凝土應用於管線挖掘回填層之可行性研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2016)。
7. 游景年,「冷拌再生瀝青混凝土應用於道路管線挖掘回填工程之現地驗證」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2017)。
8. 簡啓倫,「冷拌再生乳化瀝青混凝土應用於鋪面底層之可行性評估」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程研究所, 桃園 (2019)。





循環經濟下的 固定污染源 操作許可 建議

邱暉仁 / 財團法人臺灣營建研究院 專案經理

未來在科技的不斷發展可能有更多新廢棄物將作為工程粒料之替代品或水泥原料之替代品，另在聯合處理機構之製程處理後，其供應予水泥廠之產品可能是複合廢玻璃纖維、廢污泥與廢太陽能板之矽質替代原料，故若依既有之逐項申報，許多新廢棄物料將無法明確定義，即阻礙循環再利用。本文建議可學習日本成立臨時組織（委員會）統一審查，以加速同性質之申請作業，而地方主管單位則以落實監督、稽查為主要任務。

營建資源循環舉足輕重

營建業因為單一產品之量體較一般消費性產品為大且數量亦多，故每年使用之資源勢必高於其他產業，以台灣而言，營建產業每年主要建材之需求，在砂石部分約 8,000 萬噸、水泥部分約 1,000 萬噸、鋼筋部分約 400 萬噸、型鋼部分約 50 萬噸。然而如是龐大之自然資源並非取之不盡、用之不竭的，因此唯有透過循環經濟之理念，由源頭端設計納入各式合適之二

次物料以取代天然資源，始可減緩自然資源消耗之速度，達到地球永續之目標。

上述提及之合適二次物料在不同營建工程類別則有不同之品項，就預拌混凝土工程部分，既往國內在產、學、研三方的合作下，已成功將煉鐵產生之水淬高爐爐渣與燃煤電廠產生之飛灰應用於混凝土中，以作為水泥之替代材料（如圖 1 所示）；依 105 年環保署事業廢棄物再利用申報資料，煤灰再利用申報量為 527



圖 1 80 年代台灣煤灰-水淬高爐爐渣應用研究（陳振川教授提供）

萬噸、水淬高爐石（渣）為 303 萬噸，共佔國內事業廢棄物總量之 46%，如是之利用不但可使得混凝土之耐久性增加，同時解決水淬高爐石、燃煤飛灰去化之問題，亦減少水泥之使用及水泥生產所衍生的碳排放量，是國內營建產業體現循環經濟所創造出之三贏局面，同時亦扶植出水淬高爐石研磨廠之綠色環保產業。

再利用管理辦理並無考量實際利用的供給系統

除高爐石、燃煤飛灰之外，由於循環再利用、零廢棄之不斷倡議，國內許多事業廢棄物亦透過主管機關之法令宣告，希望再利用到各式指定之產業中，包括「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」50 項再利用項目、「農業事業廢棄物再利用管理辦法」10 項再利用項目、「營建事業廢棄物再利用管理辦法」9 項再利用項目及最新發布之「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」的 8 項再利用項目。

其中各再利用管理辦法所羅列之再利用用途大致如下表 1 所示，主要以原產業原料再利用、工程粒料再利用、輔助燃料再利用及其他等，但由於工程材料

之需求量能相對於其他產業為多、且容他性高，因此多數之事業廢棄物皆規畫以營建工程為主要之再利用領域，包括每年 100 萬噸之垃圾焚化爐底渣朝向以控制性低強度回填材料之粒料作替代再利用、150 萬噸之煉鋼轉爐石與 100 萬噸之電弧爐煉鋼氧化渣規畫作為瀝青混凝土之粒料等。然而如是看似合理之循環再利用規畫，並非事業廢棄物產生源尋得公告許可之再利用廠即可施行的，其間仍存在許多法規之阻礙需予克服，固定污染源設置與操作許可證管理辦法即是一例。

供給工廠的管理法規—固定污染源設置與操作許可證

「固定污染源設置與操作許可證管理辦法」係依「空氣污染防治法」第二十四條第三項規定所訂定之法令，用以管控公私場所中具有經中央主管機關指定公告之固定污染源，以防制空氣污染、維護國民健康生活環境，提高生活品質。

因此，當工廠具有公告之固定污染源身份，除於設置時需檢具空氣污染防治計畫向直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關委託之政府其他機關申請固

表 1 共通性事業廢棄物再利用種類及管理方式（107.01.08）

編號	再利用種類	再利用用途
一	廢鐵	● 鋼鐵原料：鐵錠原料、鐵製品原料、煉鋼原料、鑄鐵原料、鑄鋼原料、氯化鐵原料或硫酸亞鐵原料
二	廢紙	● 漿紙原料
三	廢玻璃	● 玻璃原料 ● 陶瓷土粉原料、陶瓷磚製品原料 ● 工程粒料：鋪面工程之基層或底層級配粒料原料、混凝土粒料原料、混凝土原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、玻璃纖維板原料（限玻璃纖維）、水泥原料或水泥製品（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
四	廢塑膠	● 塑膠粒原料、塑膠製品原料、塑膠製品 ● 再生油品原料或輔助燃料
五	廢單一金屬（銅、鋅、鋁、錫）	● 銅、鋅、鋁、錫、鋼鐵製品之原料或其化學品原料
六	廢水泥電桿	● 工程粒料：混凝土粒料原料、瀝青混凝土粒料原料、鋪面工程之基層或底層級配粒料原料、人工魚礁原料、濱海沿岸道路圍籬 ● 軍事偽裝物原料 ● 防風林、園藝造景用材料 ● 學校教學用材料
七	廚餘	● 飼料、飼料原料 ● 培養土原料、有機質肥料原料 ● 生質再生能源之燃料原料或燃料
八	廢食用油	● 肥皂原料、硬脂酸原料 ● 燃料油摻配用之脂肪酸甲酯原料、生質柴油原料或生質再生能源之燃料原料或燃料

定污染源設置許可證，並依許可證內容進行操作外，依該辦法第三條之規定，當固定污染源設備之更換或擴增、製程、原（物）料、燃料或產品之改變，致有下列情形之一者，則該操作許可證便需提出 **許可變更申請**，倘未達變更者，應提出 **許可異動申請**。

- 增加空氣污染物排放種類。
- 任一空氣污染物年排放量推估較許可證記載之年許可排放量增加達百分之二十及五公噸以上。
- 空氣污染物年排放量推估較許可證記載之年許可排放量增加達下列情形之一者：
 - (1) 氮氧化物達五公噸以上。
 - (2) 硫氧化物達十公噸以上。
 - (3) 揮發性有機物達五公噸以上。
 - (4) 粒狀物達十公噸以上。
 - (5) 一氧化碳達一百公噸以上。
 - (6) 其他經中央主管機關指定公告者。

水泥廠、砂石處理堆置場、預拌混凝土廠、瀝青混凝土廠是為營建工程需求材料最主要之原料廠與加工廠，亦是上述各式事業廢棄物欲應用至營建產業之主要再利用處理廠，而此四種場所皆屬於公告之固定污染源，受「固定污染源設置與操作許可證管理辦法」之約束，必需針對製程流程、燃料原料或產品量及操作期程、污染排放及污染防治、防治設施操作條

件、排放管道、連續自動監測等資訊向地方管理單位進行申報。

以預拌混凝土廠之固定污染源操作許可證內容為例，其主要的污染物為來自於原物料輸送過程產生之粒狀污染物，包括石、一般建築用砂、卜特蘭水泥、爐石、煤灰等原料於預拌混凝土產製過程可能產生之逸散粉塵，因此常見規劃脈動式袋式集塵裝置來防治此粒狀污染物。另就瀝青混凝土廠之固定污染源操作許可證內容，其主要的污染除使用一般建築用砂、石灰石粉、碎石、瀝青回收料等原料所產生之粒狀污染物外，尚包括使用重油產生之揮發性有機化合物（VOCs）與乳狀瀝青 - 柏油、瀝青回收料加熱產生之異味、一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物等，其採行的防制措施除袋式集塵裝置外，亦有旋風分離器等。

因此，當預拌混凝土廠或瀝青混凝土廠在循環經濟之推動下，欲使用不同於目前設計使用之原、燃料，諸如預拌混凝土廠配合環保署之政策，使用焚化爐底渣生產控制性低強度回填材料，或瀝青混凝土廠配合經濟部將轉爐石作為瀝青混凝土粒料等，依「固定污染源設置與操作許可證管理辦法」之規定，若此原料改變未涉及上述所提之變更者，應填具申請表，並檢具空氣污染防制設施差異說明書、試車計畫書及異動所需之工程期程等相關文件，事先提出 **許可異動申**

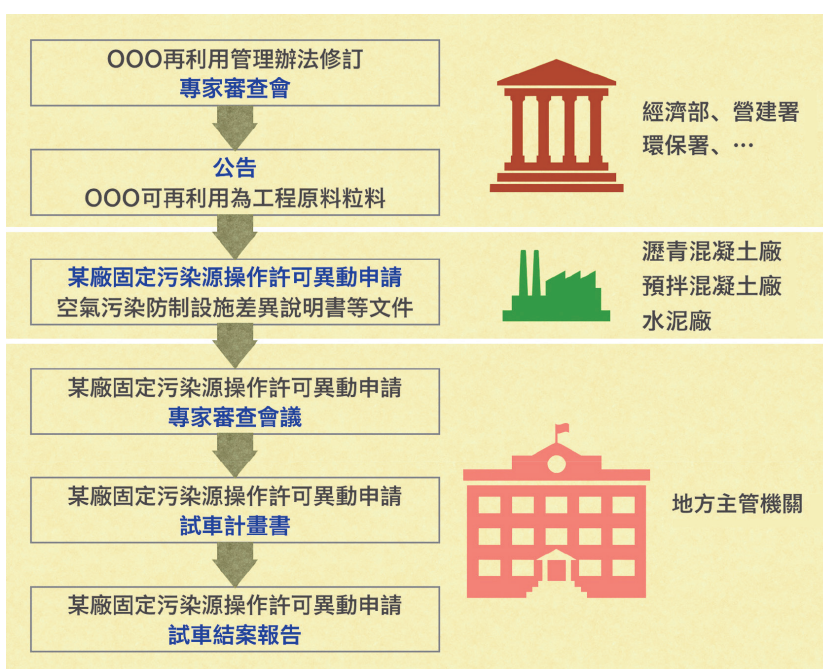


圖 2 固定污染源操作許可異動申請流程

請，如下圖 2 之流程；而若此原料替代致有『固定污染源設置與操作許可證管理辦法』第三條第一項情形之一者，則應填具申請表，連同經技師簽證之空氣污染防治計畫，事先提出 **許可變更申請**，並經主管單位審核後始可使用。然而國內近年來之空氣品質防制要求增嚴，因此多數之申請為在既有之排放條件下作異動，鮮為污染增項或增量之變更。

除因原料之改變需依法進行操作許可證之變更或異動申請外，事業廢棄物之再利用尚需依環保署公告之要求，應以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形，因此預拌混凝土廠、瀝青混凝土廠或水泥廠等欲使用事業廢棄物之單位，便需檢具「**再利用者登記檢核表**」向地方主管機關申請再利用機構管制編號，以利未來廢棄物使用之網路申報；而此申請管制編號之行政程序即稱為「再利用檢核」，供地方主管機關檢查核對是否符合再利用資格及相關管理方式規定。但若預拌混凝土廠或瀝青混凝土廠已具有再利用機構的管制編號，因增加廢棄物之項目，則仍需提出變更申請。

此外，依據行政院環保署 98 年 9 月 21 日環署廢字第 0980083284E 號函公告，收受事業廢棄物進行再利用之再利用機構，則需提送「事業廢棄物清理計畫書」供審查，而事業廢棄物清理計畫書之格式及應載明事項如下：

- (1) 事業基本資料。
- (2) 原物料使用量及產品產量或營運狀況資料。
- (3) 產品製造或使用過程、作業流程或處理流程。
- (4) 事業廢棄物之種類、數量及清理方式。
- (5) 事業於遷廠、停（歇）業、宣告破產時之事業廢棄物清理計畫。
- (6) 有害事業廢棄物緊急應變計畫。

從上述法規之逐項探討可以發現，循環經濟之推動在固定污染源操作許可之變更申請部分實存在三個執行面之問題，以下逐一說明：

重覆審查、再利用時程延宕且中央與地方權責不分

舉焚化爐底渣為例，從上圖 2 之固定污染源操作許可異動申請流程中可發現，焚化爐底渣之再利用方式已在中央主管機關透過無數次之檢討與專家審查後，

始公告可再利用作為控制性低強度回填材料之粒料使用，然而當預拌混凝土廠欲申請使用時，除在再利用者登記檢核與廢清書變更申請外，操作許可異動尚需再一次申請與審查，且審查內容實與廢清書雷同，倘其審查結果不通過，是否代表否決中央所訂定之再利用管理辦法？亦或推翻廢清書所陳述之再利用計畫？

事業廢棄物需逐項填報、重覆作業且無實質空污數值供審查

固定污染源操作許可為空污之管制，在污染總量管制之條件下，若再利用單位使用不同來源之同質廢棄物，則仍需逐項填報於異動申請書中進行審查，諸如水泥廠之矽質原料可能來自天然矽砂、廢玻璃、廢玻璃纖維、廢太陽能板、廢矽晶等，而鈣質原料可能來自天然石灰石、高爐石、轉爐石、還原渣、氟化鈣、脫硫渣等，若水泥廠欲使用各種矽質或鈣質廢棄物，皆需逐項申請始得使用，然而各項廢棄物於再利用者檢核階段實已審查作為流向管制，而在原料異動申請時因尚未使用亦無實際數值可供審查，故審查意義不明。

逐項申報不利新物料之循環利用

未來在科技的不斷發展可能有更多新廢棄物將作為工程粒料之替代品或水泥原料之替代品，另未來在聯合處理機構之製程處理後，其供應予水泥廠之產品可能是複合廢玻璃纖維、廢污泥與廢太陽能板之矽質替代原料，故若依既有之逐項申報，許多新廢棄物料將無法明確定義，即阻礙循環再利用。

有鑑於上述實際作業所產生之問題，以下提出三個固定污染源操作許可之執行建議，希望可供主管單位參考調整，以利國內循環經濟之推動。

合併申請

若進一步探討「再利用者登記檢核表」、「事業廢棄物清理計畫書」、「固定污染源操作許可證」三者法規要求文件之審查資料，則可以比較得知內容皆具有關聯性（如下表 2），並無需獨立審閱，因此在循環經濟的推動下，若可將三份文件合併共同申請審查，則審查之結果將較具有整合性與效率，對於加速循環有其正面之意義。

表 2 相關法規之申請審查資料內容

法規	再利用者登記檢核表	事業廢棄物清理計畫書	固定污染源操作許可證
審查內容	<ul style="list-style-type: none"> • 再利用者基本資料 • 再利用類別 • 廢棄物再利用情形 • 再利用機構主要產品 	<ul style="list-style-type: none"> • 基本資料 • 再利用類型資料 • 主要原料及添加物之種類及用量 • 產品種類及產量 • 再利用廢棄物說明 • 資源化後之產品或再生物料說明 • 製程說明 • 空氣污染關聯說明 • 水污染關聯說明 • 廢棄物清除、處理、再利用及最終處置 	<ul style="list-style-type: none"> • 基本資料 • 空氣污染防制計畫 • 空氣污染防制計畫差異說明書 • 試車計畫書

專責審查、地方監督

在循環經濟的多元原物料（一次原料與二次原料）設計理念下，再利用機構可能在短期間即使用超過十種不同傳統之二次原料，或者倍增其再利用處理量，以日本水泥廠為例，在 2000 年公告循環社會法前，其主要使用之副產品或廢棄物僅 10 項（每年使用超過 10 萬噸者），再利用處理量為 2,176 萬噸，以當時之水泥產量 8,685 萬噸計，每噸水泥去化 251 公斤之廢棄物；然而在 2000 年後，因循環社會政策之大幅推動，2010 年水泥廠使用之副產品或廢棄物已近 20 項，包括煤灰、高爐石、工業污泥、營建廢土、副產石膏、垃圾焚化爐灰渣、非鐵爐渣、廢木屑、廢塑膠、廢鑄砂、鋼渣、廢白土、廢油、廢玻璃、廢輪胎、動物骨骸、礦場廢料、生質燃料、其他，再利用處理量已超過 2,800 萬噸，再加上水泥產量較 1990 年下滑至 5,590 萬噸，每噸水泥協同處理之廢棄物量已高達 465 公斤，趨近於 1990 年代之 1 倍。

若日本之發展趨勢於國內發生，依上述三種法規之要求皆應進行變更申請，不但冗長的行政工作恐將延遲循環經濟之效益，相關的主管單位人員亦可能無法理解並即時辦理所有申請案件，因此建議可學習日本成立臨時組織（委員會）統一審查，以加速同性質之申請作業，而地方主管單位則以落實監督、稽查為主要任務。

建立功能型物料名稱管理

廢棄物的種類繁多，公告再利用於各工程材料之種類亦相當多元（如下表 3），且未來若引入應用端為導向之中間處理機構，則許多二次物料將沒有名稱，然而上述文件亦皆需述明原物料品名，因此功能型物料名稱一如水泥矽質替代原料，或可作為未來二次物料管理之新方向，而固定污染源操作許可中之原料說明則可改以矽砂及其矽質替代原料作因應，如表 4，是故未來再利用廠在總污染排放不變之前提下，轉換使用不同二次料時則可有較大之空間，中間處理機構之

表 3 各目的事業主管機關訂定再利用種類之再利用用途

再利用用途類別	再利用用途名稱	公告 / 附表種類
工程材料	水泥原料	煤灰、廢玻璃、廢白土、廢鑄砂、石材廢料（板、塊）、石材礦泥、電弧爐煉鋼爐渣（石）、感應電爐爐渣（石）、化鐵爐渣（石）、廢沸石觸媒、淨水污泥、高爐礦泥、轉爐礦泥及熱軋礦泥、旋轉窯爐渣（石）、淨水軟化碳酸鈣結晶、氟化鈣污泥、廢噴砂、廢壓模膠、廢石膏模等 19 項。
	混凝土攪和物、混凝土粒料、瀝青混凝土粒料、粒料原料、混凝土粒料原料、級配粒料、瀝青混凝土粒料原料、預拌混凝土原料、非結構性混凝土粒料原料、輕質粒料原料、爐渣（石）粒料原料、道路工程粒料原料、鋪面工程之基層或底層級配粒料原料、混凝土添加料之原料、瀝青混凝土添加料、人工粒料原料、骨材、瀝青混凝土原料、非結構性混凝土原料	煤灰、廢陶瓷磚瓦、廢鑄砂、石材廢料（板、塊）、石材礦泥、電弧爐煉鋼爐渣（石）、感應電爐爐渣（石）、化鐵爐渣（石）、旋轉窯爐渣（石）、廢水泥電桿、廢噴砂、廢玻璃（瓶、屑）、廢棄尖銳器具、廢橡膠、營建混合物等 15 項。

表 4 功能型物料管理應用於固定污染源操作許可之建議

二、原物料燃用量或產品：	1 原物料使用規定	污染源		主要原物料名稱	最大設計量	其他特殊規定
		編號	名稱			
		E201	砂石儲料倉	一般建築用砂及其替代物料 (1)		
		E201	砂石儲料倉	碎石及其替代物料 (2)		

備註：(1) 砂替代物料為各再利用管理辦法公告可作為瀝青混凝土用砂之二次物料，如轉爐石砂料等。
 (2) 碎石替代物料為各再利用管理辦法公告可作為瀝青混凝土用碎石之二次物料，如轉爐石粗料、氧化礫粗料等。

產品亦可有品名依據，至於空污管理則仍可由原線上系統作隨時之監測管控。

結論

藉由本文對相關法規之釐清可知，若僅以相對單純的焚化爐底渣應用於預拌混凝土廠及轉爐石應用於瀝青混凝土廠，則預拌混凝土廠或瀝青混凝土廠等再利用機構便需從「再利用者登記檢核表」、「事業廢棄物清理計畫書」、「固定污染物操作許可證」等逐項申請變更或異動，而各項申請審查之時間短輒 1 個月，長至 6 個月，因此若欲參照各目的事業主管機關訂定再利用種類之再

利用用途（如上述表 3）推行循環利用，以再利用作為水泥原料之部分，若單一廠則預期最快需 10 年以上之行政申請流程才可能完備；倘若欲將尚未歸類於水泥原料再利用之其他事業廢棄物導入循環，諸如未來可能大量產生之廢棄太陽能板、廢棄風機葉片等，則所需時程恐更漫長，然而各種事業廢棄物的種類不斷的推陳出新，法規永遠無法及時跟上產業之變換，是故台灣的循環經濟推展在舊有法規的禁錮下，似乎無法如日本循環社會推動政策之施行下，有著一呼百應之顯著成效；但若可透過法規管理之調整因應，則台灣循環經濟之發展未來，仍是大有可為的。🏡



土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



低碳，對預拌混凝土業發展的思考

楊志強 / 國產建材實業股份有限公司 副總經理

隨著世界工業經濟的發展、人口的劇增、人類慾望的無限上升和生產生活方式的毫無節制，世界氣候面臨越來越嚴重的問題，二氧化碳排放量愈來愈大致使地球臭氧層破壞，全球極端性、災難性氣候變化屢屢出現，已經嚴重危害到人類的生存環境和健康安全。

台灣溫室氣體排放總量占全世界第 21 位^[1]，社會科技的發展與節能減碳的矛盾，是當前不容回避的關鍵問題。

混凝土的使用已有一百多年歷史，是目前最大宗的建築材料，且仍將是未來可見 100 年內主要的建築材料，但傳統的混凝土材料對人居環境有諸多負面影響，2018 年台灣混凝土使用量約為 3,973 萬立方米，這其中約需水泥 1,430 萬噸、粒料 7 千萬噸之資源，巨大的能源消耗使得環境問題日益突出；因此，積極地開發利用綠混凝土；最大限度地綜合利用自然資源和能源、降低能耗和物耗、減少對環境的負面效應，對於混凝土的未來發展具有至關重要的意義。

建築節能，首要必需材料低碳

根據資料顯示，全球房地產建築業的能耗占全球總能耗的 32%^[2]；而高達 90% 以上的已有建物都是高耗能建築^[2]。臺灣 2018 年核發建築物建造執照樓地板面積統計達 184 萬平方公尺，倘若可以提高建築能效，其將可以減少數萬噸的二氧化碳排放。目前全球關注的低碳話題，對台灣營建產業的影響極為深遠；欣慰的是，國內公部門已有共識，並有積極的行動作為回應低碳號召，為生態環保、節能減碳貢獻心力。一切跡象顯示，低碳建築（綠建築）已逐漸成為國際建築界的主流趨勢。

低碳建築（綠建築）對採用新建材、新工藝、新技術的要求更高。目前從國內角度觀之範圍來看，低碳建築（綠建築）仍然只處於初期發展階段，從國內來講，也只是一個概念和試驗階段，純粹理論意義上的低碳建築（綠建築）可說少之又少。世界各國儘管有低碳理念上的建築，但也只是反映在建築的某一部分或一些設施，對整體建築而言，或許未必稱得上是

真正的低碳建築（綠建築）；惟讓人可喜的是，目前已經有不少建築開始部分地採用低碳理念設計、施工，隨著新技術和經濟的發展，低碳建築（綠建築）必將強有力地推進建築節能。

低碳混凝土的『綠色』意涵

建造低碳建築，首要必須使用節能、低碳的建築材料，這樣才能真正達到建築節目的目的，才能符合低碳的要求。

在現代建築中，混凝土是用量最大且十分重要的材料之一，如何使混凝土成為低碳的綠色材料，目前國內產、官、學、研仍未有統一的共識，但一般說來，綠混凝土應具有比傳統混凝土更優化的再生性資源循環使用及有害物質的最低排放，其既能減少環境污染，又能與自然生態系統協調共生。「綠」的涵義應可解釋為節約資源與能耗、不破壞環境且更有利於環境可持續的發展，既滿足使用者的需求，又不危害自然生態。

混凝土作為現代建築的主材料，若考慮其須為減碳貢獻，首當其衝即是考慮由預拌混凝土生產供應廠著手進行，由於預拌混凝土使用專用機具與專業人員操作，其具有獨特的集中攪拌、良好的計量控制、先進的拌合流程與現代化的檢測手段等，都能保證預拌混凝土有理由、有能力實現低碳作為。

然而，影響預拌混凝土發揮『綠色』內含的層面很多，但總體歸納，欲將混凝土設計成為「綠色」產品，筆者認為應該從『發揮材料特性』、『陳舊規範修正』、『提升耐久性』、『綜合經濟考量』、『合理施工』與『正確使用』這幾個方面綜合考量，分述如下：

充分發揮材料特性

以自充填混凝土為例，自充填混凝土的材料特性主要是由工作性所控制，為了符合流動性、黏滯性、充填性的需求，故而所使用之膠結材料勢必須達一定用量以上方可符合。一般而言，自充填混凝土為了符合工作性能之要求，所使用之膠結材料用量反應在混凝土抗壓強度的表現皆可達 6,000psi 以上。然而，對於混凝土材料未深入瞭解的使用者，為了迎合現行使用最廣泛的 3,000 psi ~ 4,000 psi 抗壓強度之混凝土需求，硬是將自充填混凝土原本即可發揮的抗壓強度表現，透過各種手段迫使其抗壓強度縮限於一定範圍之內。原來是一項高抗壓強度之材料，在進行結構設計時，即可因此而縮小結構斷面增加使用空間、減輕混凝土自重、增加整體結構工程之勁度，但是卻因為使用者未明瞭材料特性，使得其在結構設計時仍是將之視為高流動性能的一般抗壓強度（3,000 psi ~ 4,000 psi）混凝土，從而迫使預拌混凝土材料供應商為了迎合中低抗壓強度的需求，必須透過各種方式壓抑 SCC 的正常強度發展。在 2000 ~ 2006 年時「中、低強度自充填混凝土」的配比設計、學術論文、使用實績等如雨後春筍般崛起，即是因其對材料的使用需求與特性未能充分瞭解，導致積非成是的觀念與做法。

將原本可發揮的材料特性予以「封印」並限制發展，雖然令人匪夷所思，卻仍然有許多使用及設計單位仍奉為圭臬，這樣的衝突皆是因為對於材料的特性認識不足所引起，在政府推行「節能減碳」的今日，讓材料充分發揮其應有的特性，並藉此節約材料的浪費，這才是綠色混凝土的初衷。

規範標準的與時俱進

混凝土設計應考慮不同的用途，從而於設計時有所偏重。現在混凝土大多作為受壓材料使用，故而應充分考慮其受壓性能；此外還有很多特殊用途的混凝土，在設計時更應注意其適用性，根據其功能要求有所側重，如無細粒料混凝土其功能主要是作為透水使用，我們其實不需一味追求多功能的混凝土，如此將造成材料的浪費。

再者，現行規範中，許多內容仍未能跟隨混凝土的產製能力與時俱進，材料規範仍維持 10 年前之水準，卻未能適時的修正。公部門在高喊「節能減碳」的同時，實應深切的檢討規範的可行性是否符合環保及現行使用之訴求，實在不需再墨守成規，以過去的觀念套用於現行的施工做法。例如『公共工程施工綱要規範』為工程單位使用最廣之引據來源，其 03050 章 V11.0「混凝土基本材料及施工一般要求」內容所述（2.1.1），3,000psi 最大水膠比為 0.59、4,000 psi 最大水膠比為 0.45，雖然內容述明「本表僅供配比設計參考，實際材料用量仍應以配比設計結果為準」，然多數工程人員未必能瞭解混凝土各項材料特性，更遑論混凝土配比設計基礎，再加上目前預拌混凝土廠的拌合機械效能已非昔日重力式拌合機可比擬，混凝土材料專業從業人員皆知，以目前的混凝土拌製技術普遍而論，水膠比為 0.55 ~ 0.65 拌製 3,000 psi ~ 4,000 psi 抗壓強度之混凝土實是輕而易舉之事；若依公共工程施工綱要規範限定之水膠比 0.59、0.48 拌製為 3,000 psi、4,000 psi 之混凝土，實在是材料上的浪費。

現行規範的適用性是否須再申論檢討，實有賴產、官、學界的工程先進共同研議，如此所得之「綠色」效益，將是最直接的回饋，其效益甚為可觀。

混凝土工程一條龍作業、提昇混凝土的品質與耐久性

將建設工程壽命從 10 年提高到 20 年、100 年以上，其必將按比例節約能源，並減少污染的排放。這種減少是成倍的，因此提高建設工程的壽命應該是節能減碳必須重視的重要環節。

混凝土工程因其工程量浩大，將會因耐久性不足對未來社會造成極為沉重的負擔，提高混凝土的耐久性顯得越來越重要。現在混凝土的一個發展方向是高性能混

凝土，而其基本的特點是耐久性，但是提高混凝土耐久性並不意味著混凝土的材料成本一定會增加。在多所應用工業副產品之高爐爐石、飛灰合理使用，以取代部分的水泥，如此不但可以「減廢」，且由於混凝土後期強度的提升、耐久性增加、降低混凝土材料之成本造價，還可以相應的「節能」，故合理適當的卜作嵐材料使用，將是未來「綠色」混凝土的一項基調主軸。

自從 921 之後，混凝土材料的生產及品管措施備受社會各界關注，故而漸漸的衍生許多第三公正單位進行預拌混凝土材料供應商的品管驗證作業，如台灣營建研究院所推出的 GRMC 認證「優」標章，以驗證預拌混凝土生產工廠的品質管制，再加上營造單位及業主不定時的驗廠及認證（二、三級品管），故具有品牌形象及合法作業的預拌混凝土材料供應商，其品質應都可符合設計需求，但這一切僅止於「混凝土材料」本身。

現行混凝土工程上仍以「泵送」作為主要的澆置措施，根據營建署頒布之「預拌混凝土工程專業營造業」所述，其業務範圍包括：「預拌混凝土之泵送、澆置、搗實工程」，意即混凝土材料的生產品質管控與後續的養護工項未含及於「預拌混凝土工程專業營造業」的業務內容，一般學界與業界也多未對該部分工作內容及管制有較多之著墨，致使「泵送」混凝土的過程中動輒加水，使得澆鑄於結構的混凝土品質已與預拌車洩料的混凝土材料有相當之歧異，再加上營造單位或許未必進行混凝土養護工項，重重的不利因素疊加，將使得最終的結構品質讓人存疑！

「權力」與「責任」是不可劃分的，想要擁有權力則必須對其職權範圍內的事情負責。然而「預拌混凝土工程專業營造業」僅需 2 百萬資本額即可申請成立營運，而且以目前的工程生態而言，其甚至有替代工地營造監工人員對預拌混凝土廠所生產之產品品質進行「品管」作業（預拌廠生產之混凝土坍度雖可符合工程合約內容，但仍嫌坍度過低而拒絕施工或自行加水）。常想擁有權力，但又不肯對其職掌內的事情負責，以至於國內工程界到處可見有權無責之情形。

現行混凝土工程生態為混凝土生產及施工是由兩家不同的企業共同完成的，一旦混凝土品質發生問題，容易造成生產單位及施工單位相互推諉，不易確切界定事故的主要責任者。要徹底解決這些環節可能產生的問題，建議是將混凝土工程（生產、運輸、泵送、澆製、搗實、養護）從營建工程中切割剝離，將

現行由預拌混凝土廠生產運輸、營建施工單位泵送養護，雙方共同完成的混凝土工程運行模式，簡化為混凝土工程全程由預拌混凝土生產單位負責完成的一元化作業。如此不僅能釐清預拌混凝土運行模式中的職責關係，且將有助於混凝土品質及耐久性的提升，解決混凝土工程的長久沉痾。

綜合考量混凝土各項經濟指標

政府、學界大力鼓吹使用「再生粒料」於混凝土之中，期以營建廢棄物回收作為再生混凝土用粒料，解決國內天然砂石料源之短缺，達到環保和資源再利用之功能。甚至欲以添加再生粒料於混凝土中之比例，來作為評論預拌混凝土供應商是否具有「綠」性質之指標。其立意雖良善，但是回歸事件的本質，營建廢棄物的清理與再利用，本應是有一套嚴謹的處理機制，若是強加要求營建廢棄物一定須應用於混凝土之中，變成營建廢棄物的處理是預拌混凝土供應商的責任，卻未必是社會之福、國家之利。

應用「再生粒料」於混凝土中時，若欲達成與天然粒料相同的混凝土品質，則須於「再生粒料」材料的選擇與配比設計的研製同時進行慎選，水泥材料的使用比例或許需較一般使用天然粒料的普通混凝土為高，如此相較之下，產製成本是否有達至「經濟」的要求，是需要再行精算討論。而若使用「再生粒料」於混凝土中，配比設計未有對應之調整時，雖然產製成本較為「經濟」，然最終之混能土品質是否可符合需求卻是仍待商榷！

目前台灣非法之預拌混凝土廠眾多，再加上預拌混凝土的利潤被極度的壓縮，在一片紅海之中，若是政府再大力鼓吹「再生粒料」的使用，部份不肖業者因為生存的壓力，檯面上雖說仍是遵守國家要求之規範，檯面下的生產品質或許未必盡然，「再生粒料」的品質與添加比例若淪為無人確切的監控與管理，如此的工程品質也不必再說了，縱使材料能夠「節能減碳」，也並非當初設計的初衷！

經濟性是混凝土的一項綜合性指標，在滿足前三者的前提下，設計時應考慮與混凝土有關的各項經濟指標，除了考慮材料本身價格，還應一併考慮到施工的附加成本及潛在的經濟因素（如對環境的影響等），如此精算後方能取決混凝土的使用材料與配比設計，若未通盤考量，而僅欲達某一目標卻忽略了其他的產出成本，未必符合「綠色」混凝土之內涵。

綠色施工

施工階段既是規劃、設計的實現過程，又是大規模改變自然生態環境、消耗自然能源的過程，因此對這一過程進行控制和管理，倡導以節約能源、降低消耗、減少污染的產生量和排放量為基本宗旨，對於推行土木、建築的可持續發展策略，推廣綠色施工有著不可忽視的作用。

混凝土的綠色不光是指其材料本身，實際上混凝土施工中的一些問題對混凝土材料強度的發展、能耗的降低、減少混凝土施工附屬的浪費等有著直接的影響。如採用自充填混凝土可以省掉混凝土的振搗，從而減少污染、減少能耗和勞動力的投入；又如混凝土的養護，雖然簡單，但卻是一個很重要的技術環節，除了灑水或滯水養護外，我們是否考慮節水問題，是否考慮除了用水養護以外的其它更好的養護方法，在有些臨時用水、水壓不高的高層建築混凝土養護之處，我們採用養護液養護，但我們是否能進一步研究保證混凝土強度等其它性能符合設計要求，而又可自行養護的混凝土？

由於受到工期的限制，施工進度過快（7天、5天、甚至3天一個建築樓層）卻又忽略了對混凝土施以正確的養護作業，這對混凝土的耐久性發展是極為不利的，業主通常未認識到耐久性問題及其對使用壽命的長期影響，因此不願為增加耐久性付出更多的代價。根據相關資料統計，一般耐久性的問題總是出現在建築物完工後的10年中，其中60%出現在完工後的3年之內^[3]。為此建議應對設計、監造、施工者規定法定的責任保固期，這種負有經濟責任的法律規定可能是保證耐久性的最重要的制度保障。

綠色的使用

建築物也是一個產品，對於這個產品的使用，我們也應該像其他的產品一樣提醒使用者注意產品的使用事項；然在現實的情況下，混凝土結構不正常使用的情況比比皆是，如加蓋超載、牆面開槽鑿洞或外推、改變使用功能等等，而使用者往往卻忽略了採取相應的結構補強措施，以確保結構物的結構行為可符合設計所需。

混凝土結構建築物（包括土木結構）交付使用時，也應該有產品使用說明書，用通俗易懂的語言或文字告訴用戶使用時應注意的事項、如何正確使用、如何

保護或加強，以及出現哪些問題屬於正常（如牆面粉飾的砂漿發生乾燥收縮裂紋）、一般問題該如何處理；出現哪類問題時要撤離報警等等。只有這樣，才會引起社會對自己生活空間的關注與重視，才會「善待」材料和與之形成的結構，提高建築物的耐久性，減少不必要的生命財產安全事故。


創造永續經濟

研究綠色混凝土材料和技術無疑是今後混凝土發展的趨勢。綠色混凝土不僅僅是一種材料、一項技術或一個法規，它應是一個完整的體系，從原材料、生產、設計、施工、使用，一直到建築物的解體和再利用，從各項過程的角度研究混凝土材料生產和使用過程中，資源與能源的合理化利用，以實現「節能、減廢、再利用」的持續發展。

當前在大環境尚處於逐步推動改善的情況下，對實施綠色混凝土應有足夠的耐心，過分強調綠色混凝土，可能會有些曲高和寡，惟有創造「環境保護、節能減碳」的社會氛圍，並使各項相應措施逐步的推向軌道才是正確的做法，強推是難以奏效的。當前應該重於宣導，更應該給予較明顯的政策性扶持推動。空洞的、口惠的做法是徒勞無功的，當前需要釐清的問題是，推行綠色混凝土是否會增加即期成本？增加多少？如果增加成本推高了本已備受責難的房價，會不會影響大眾的使用意願？如果這些較為切實的問題不加以解決，只是單純的強調綠色混凝土對環境的長遠好處，很可能在市場上受阻，最後反而使永續的概念蒙受非難。

針對國際能源價格持續攀升與當今台灣資源匱乏之下，為促進台灣產業升級及創造永續經濟，其實應更加速「綠混凝土」永續行動策略的發展。鼓勵產業升級創新、提昇產業競爭力、修正不當產業制度規範、創造永續經濟與環境保護、落實污染者付費原則等，儘速將具有共識的結論轉化為具體行動，透過產、官、學、研、民等各界共同合作，一一落實，才有可能使台灣在同時落實環境保護下，朝向永續經濟的發展。

參考文獻

1. 環保署，『2018年中華民國國家溫室氣體清冊報告』，<http://bit.ly/2m7LZVR>
2. 中國建築節能協會，『中國建築能耗研究報告』，<http://bit.ly/2IKWBJO>
3. 內政部建築研究所，『提升建築物長期品質與機能推動架構之初步研究』，<http://bit.ly/2m7RSCr> 



桃園市 循環經濟 再利用整合策略探討

黃治峯 / 國立中央大學土木工程學系 博士生

林志棟 / 國立中央大學土木工程學系 榮譽教授

凌宇康 / 皓勝工業股份有限公司 總經理

何旻哲 / 國立廣島大學社會基盤環境工學構造材料工學研究科 博士生

配合國家發展計畫六大施政主軸—產業升級及創新經濟，桃園市自 106 年 8 月籌組結合產（再利用機構、瀝青廠、工程顧問公司）、官、學各界專家學者計畫團隊，運用被棄置的資源，透過新工法的轉換成為可用資材，共同完成瀝青廠設備驗廠、鋼質粒料（氧化矽）及瀝青混凝土刨除粒料工程試辦作業，桃園市至少有 3 家瀝青廠取得環境保護局固定污染源操作許可，可全力配合循環經濟推動。

以桃園市政府轄管之道路長度 3,283 公里，面積約 4,148.3 萬平方公尺（公路 2,076.1 萬、市區道路 2,072.2 萬），將長久以來難以處理之廢棄粒料（氧化矽、道路刨除料、焚化底渣等），以建立適當規範，拌合於瀝青混凝土以及控制性低強度回填材料（CLSM）中，用以鋪築於轄管道路之路基、道路面層，或是緊急之道路坑洞修補、管溝挖掘回填，將可有效去化廢棄粒料，點石成金，讓廢棄物等資源再生，逐步將運用於公共工程，達成國家發展兼顧循環經濟之政策目標。

桃園市已去化鋼質粒料（氧化矽）數量逾萬噸、瀝青混凝土刨除粒料約 1,600 噸及焚化再生粒料 26,000 噸。為使全國皆能去化氧化矽、瀝青混凝土刨除粒料及焚化再生粒料，桃園市政府修訂施工綱要規範，並提案至行政院公共工程委員會審查，已於 107 年 10 月及 11 月審查通過；舉辦全國論壇，邀請再生粒料各主管機關、推動機關、各地方縣市政府及相關產業界、學者共同交流；行政院環保署於農委會桃園農改場舉辦「再生粒料參訪暨茶會論壇」指定桃園市為觀摩案例，邀請行政院環境保護署李應元前署長、桃園市鄭文燦市長及行政院公共工程委員會顏久榮副主任委員共同開幕；今年入選 2019 韌性城市大會（第十屆全球城市韌性與調適論壇），取得發表資格。

目前使用鋼質粒料（氧化矽）及瀝青混凝土刨除粒料皆能節省工程成本，添加 30% 氧化矽細粒料經計算後與新料瀝青混凝土比較每立方可節省 2,145 元（約每立方節省 29%）；天然碎石級配市場價格約為 630 元，瀝青混凝土刨除粒料取代較細粒料使用每立方公尺能節省約 24 元（約每立方節省 4%）。

台灣每年砂石需求在 7,500 萬噸以上，抽取海砂影響海底砂盤的穩定，開採河砂會改變河流和沿海生態系統。地球資源有限，國人環保意識抬頭，桃園市將鋼鐵產業難題轉換為瀝青混凝土新材料，也將瀝青產業的刨材料再度應用於道路基層新材料，未來鋼質粒料（氧化矽）應用於航空城道路可去化 65 萬噸，瀝青混凝土刨除粒料則去化量可達 165 萬 6,000 噸，減少大量河砂及海砂掏挖。目前臺北市政府、臺南市政府、嘉義縣政府及內政部營建署自論壇發表後，相繼至桃園市進行觀摩，全國各縣市政府開始推廣使用再生再利用材料，去化量可達數百萬噸之多，使台灣邁向優質的循環經濟國家，落實減少開採天然砂石，降低工程成本，解決產業問題，保護生態環境，達到永續發展的目標。

前言與推動過程說明

當前世界各先進國家對於廢棄物處理多投注心力，尤其荷蘭與水爭地，天然資源匱乏，爰傾全國之力發展循環經濟為世界知名，荷蘭宣誓 2050 年全國零

廢棄物，英國預計 2040 年淘汰傳統石油車。保護環境，並同時兼顧經濟發展，各國皆列為國家重要目標。

全世界每年砂石需求在 150 億噸以上，台灣每年砂石需求在 7,500 萬噸以上，如果持續大量開採砂石，

會加劇破壞河川及海洋生態，且新加坡、日本、荷蘭等先進國家已開始使用再生粒料（廢棄塑膠粒料等），運用在道路鋪面上。

回歸國內作法，中央政府推出「五加二產業發展政策」，其中一項即包含循環經濟，希望透過重新設計產品和商業模式，促進更好資源使用效率、消除廢棄物及避免污染自然環境。以國內來說，鋼質粒料約 300 萬噸 / 年（桃園市產生約 10 萬噸 / 年）、瀝青刨除料約 500 萬噸 / 年（桃園市產生約 50 萬噸 / 年）、焚化底渣約 100 萬噸 / 年（桃園市產生約 6 萬噸 / 年），如果沒有適當處理及去處，將成為無發處理且堆積如山的環境問題。

總統蔡英文於 105 年 5 月 20 日就職演說提及「台灣走向循環經濟時代，把廢棄物轉換為再生資源」及行政院林全前院長於 106 年 5 月 25 日提出政策方針指示各部會及地方政府，逐步將各種再生資源適材適所的運用於公共工程。

以桃園市政府轄管之道路長度 3,283 公里，面積約 4,148.3 萬平方公尺（公路 2,076.1 萬、市區道路 2,072.2 萬），若能將長久以來難以處理之廢棄粒料（氧化碴、道路刨除料、焚化底渣等），以建立適當規範，拌合於瀝青混凝土中，用以鋪築於轄管道路之路基、道路面層，或是緊急之道路坑洞修補，將可有效去化廢棄粒料，點石成金，讓廢棄物等資源再生，逐步將運用於公共工程。達成國家發展兼顧循環經濟之政策目標。

循環經濟推動歷程

遭遇問題

產業廢棄物無處可去之困境

● 煉鋼之副產物 / 氧化碴

台灣區鋼鐵工業同業公會反映鋼鐵生產後之事業廢棄物無去處，台灣鋼鐵工業每年煉鋼約 2,100 萬公噸，產值約 9,500 億元，同時會產生 300 萬公噸的爐碴無處去，因廠商堆置空間有限，有被迫減產之虞，屆時所產生層面會波及電子業、汽車業…等其他工業，間接造成本國經濟與生計嚴重問題。而國內爐碴再利用負面新聞不斷，造成民眾對爐碴認知偏頗，無法全面了解，使得去化更加艱辛。

● 刨除道路瀝青混凝土 / 刨除料

台灣區瀝青工業同業公會反映瀝青刨除料無處堆置，目前國內辦理修復道路工程，每年至少會產生 300 萬噸（桃園市約產生 30 萬噸）的瀝青混凝土刨除料，但依現有道路工程的施工規範規定，現階段進行道路修復的再生瀝青混凝土最多僅能添加 40% 瀝青刨除料摻入使用，尚有 60% 瀝青混凝土刨除料無法去化，因此全國各縣市的瀝青廠都面臨刨除料堆積如山，難以去化的問題，進而影響工廠運轉，落入難再承接工程施作之窘境。倘若隨意堆置他處，將會遭各主管單位處罰，瀝青混凝土產業因而陷入十分艱難之困境，台灣區瀝青工業同業公會也多次促請行政院公共工程委員會重視瀝青混凝土刨除料堆置問題。行政院公共工程委員會於相關會議上，宣導請各縣市政府妥善規劃瀝青混凝土刨除料去處。

● 垃圾焚化爐之底渣 / 焚化底渣

雖然民生垃圾焚化後減少體積，但焚化製程中產生的焚化底渣若不設法去化，將造成處理堆置空間的問題，進而恐再造成如同 104 年中彰投等地區垃圾無處可去無法消化的情形，因此焚化再生粒料的去化，屬於全國迫切待解決事項。

跨域協調整合困難

因廢棄粒料之問題處理，涉及眾多單位整合困難，需透過跨域協調，如行政機關間合作並制定規章、道路挖掘管理中心、產業工會、鋼鐵廠、瀝青廠、垃圾焚化爐等相關單位通力合作，形成新的上、中、下游產業鏈才有可能解決廢大量廢棄粒料無處可去問題。

- (1) 上游：鋼鐵廠、刨除料收集場、垃圾焚化爐等，產出大量廢棄粒料。
- (2) 中游：再利用機構及環保單位，檢測及認證廢棄粒料之物理、化學特性，是否適合再利用。
- (3) 下游：產業工會及瀝青廠採購新設備做再生粒料之拌合處理。

缺乏施工規範及成功案例

再生粒料用於道路工程缺乏施工規範，國內亦無相關成功之工程案例可供參考，故難以推動，需先由制度面著手，爰此桃園市政府工務局、台灣營建研究院、行政院公共工程委員會擬定、審查、核定設計施工規範以供依循。

另亦開始透過桃園市道路工程進行試辦應用、檢測成果等案例，歸納成功原因，調整摻料之最適配比，以滾動檢討方式，回饋修正施工規範。

公務機關本位主義及民眾意識普遍不支持

過往公務機關本位主義過重，思維趨於保守，不敢嘗試突破，皆因為一旦發生任何差池，便需要背負「責任」。

而採用再生粒料鋪設於道路工程，的確部分民眾會產生疑慮，擔憂粒料有毒性及污染性，且過往部份工程因將氧化碓運用於道路鋪面，產生明顯鏽斑，視覺上不甚美觀，使得民眾初步印象不佳，初期試辦普遍並不支持。

桃園市從公務團體內部向相關單位說明永續發展重要性及現今循環經濟趨勢，提醒公務人員服務大眾的初衷—「若這一代不做，下一代將會付出更大代價！」經多次協調及說服取得內部共識，推動工程永續發展及循環經濟。桃園市政府養護工程處於 105 年選擇龍潭區桃 68-1 線（高原路），將氧化碓取代部份粒料摻混瀝青後用於道路鋪面，至今道路鋪面完整無破損，唯一狀況是些許鏽斑。探究其因是該路採用氧化碓「粗粒料」，鐵含量較高易產生鏽斑，而（107）年八德區豐德路試辦工程採用氧化碓「細粒料」，透過破碎、磁選、篩分等程序降低氧化碓中鐵含量，進而降低鋪面產生鏽斑的問題。

經透過滾動檢討方式，檢討配比設計，使鏽斑消失，並透過長期檢測再生材料於鋪設前、後之污染性、強度、耐久性等項目，確保無毒、無害、經年耐久，進而取得民眾支持。



圖 1 過往道路工程產生明顯鏽斑（圖片引用自由時報）

技術、設備不成熟

因採用再生粒料鋪設於道路工程，其需要新的處理程序、檢測試驗等技術，因技術不成熟、設備需添購，對於產業工會及瀝青廠皆是新的困難與挑戰，故需透過取得環保局之固定污染源操作許可、新規範制定、試辦再生粒料鋪設於道路，進行多項長期檢測試驗，持續滾動檢討，使得技術面不斷精進成熟。

透過產業工會及瀝青廠意識環境保護及創新技術之價值所在，願意採購新設備做再生粒料之拌合處理，逐步補足再生粒料應用於道路工程所需要之技術及設備。

工務與環保單位合作

本次研究主要再生及再利用材料有刨除再生粒料、鋼質粒料（轉爐石）及鋼質粒料（氧化碓），其中刨除料和轉爐石不需要經過再利用機構處理，而刨除料又不需要申請空汙變更異動。依據法規「經濟部再生利用之再生資源項目及規範」，刨除再生粒料不需要提供計畫書。而依據法規「經濟部工業局事業廢棄物再利用管理辦法」，氧化碓需要經過再利用機構處理後，並提供供料計畫書才可以將鋼質粒料（氧化碓）供料給瀝青拌合廠使用。瀝青拌合廠則必須向當地環境主管機關申請固定污染源操作許可證及相關環保許可之變更或異動作業，以確保製程作業符合操作許可內容。固定污染源操作許可申請在瀝青混凝土拌合廠其實不難，主要是本身申請文件是否有如實，另外配合政府政策所需要增加的設備是否有增加，定期申報資料完整性，讓政府知道工廠在做什麼事，生產流程使用什麼材料，對環境造成那些影響，定量數值化。鋼質粒料等再利用產品部分取代原來的生產總量，並不需要再進行檢測，經環保主管機關同意後可直接申請准用固定污染源操作許可證之「異動一款」，在不增加污染量的條件下，將拌合流程經過位置及通過量進行說明。另外堆置總量不增加，取代部分堆置總量，並說明堆置位置即可。

全國首創：循環經濟、點石成金計畫

- 創新觀念需充分溝通，取得各界共識（策略與決心）
使用新的材料鋼質粒料（氧化碓），一般傳統瀝青業者都同為面臨「對新材料的基本性質特性不熟」、

「工廠內材料儲存空間須調整」、及「須依賴空污法申請固定污染源操作許可」等因素，有恐懼排斥的心防，須透過協調環保單位共同協助說服嘗試挑戰，直到有具體成果，該心防才會放下配合推動；經過強力輔導桃園市已至少有 3 家瀝青廠取得該固定污染源操作許可，可以全力配合推動，使桃園市成為全國第一個和民間團體達到共識能同心協助推動的地方政府。

另焚化再生粒料雖然已有相關案例使用於道路級配料基底層，但由於焚化再生粒料比重輕、易脆裂及磨損率高，缺乏使用誘因，且民眾對於焚化再生粒料特性不熟悉等問題，其應用於公共工程上難以推廣，藉由適材適所概念，將焚化再生粒料應用於土壤穩定，例用焚化再生粒料內含石灰特性改良土質，提高主辦機關及廠商使用意願。

此項創新應用推行不易，需有正確策略及心態，從主辦機關聯合產、關、學、研，各界齊心協力，以正確之三個進程策略：試辦、推廣、適用，及保護環境之三個永續心態：敢用、會用、一定要用，逐步凝結各界共識，願意共同推動。

● 再生粒料創新設計規範（新配比）

(1) 煉鋼之副產物 / 氧化矽

對於鋼質粒料（氧化矽）單位重較一般天然粒料來的重，必須透過實驗室材料試拌與開會請專家就其試拌數據及自身經驗提出可行方案，再透過試辦工程實施成效試驗驗證才能做出較正確的配比使用。為確保鋼質粒料（氧化矽）來源品質穩定及日後責任容易釐清，特別在新增施工規範內訂定「供料計畫書」。

(2) 刨除道路瀝青混凝土 / 刨除料

老舊的路面材料經刨起後的粒料為瀝青混凝土刨除粒料，再利用過程會經過破碎程序，產生級配降級問題，且又外層裹油包覆。因此加入天然級配重新拌合作為級配粒料，即使外層裹油包覆也不影響作為級配之功能，經過洛杉磯磨損試驗等基本性質試驗通過後，可替代較細的粒料使用。

(3) 垃圾焚化爐之底渣 / 焚化底渣

土壤性質受到各種因素影響複雜無比，而垃圾焚燒後經穩定化處理成為焚化再生粒料，因區域性生活特性燒結後之化學成分有些許差異。透過實驗將桃園具代表性紅土與桃園市觀音灰渣處理場之焚化再生粒料進行拌合作業，觀察反應機制及數據統計穩定土壤成效顯著後，再對各應用工程進行試辦出最佳配比。

● 創新成效評估作法

民眾對於爐渣是否對環境有影響存有疑慮，故八德區豐德路道路工程施工前，不僅針對氧化矽進行取樣試驗外，還進行水質井鑽探採樣地下水，並預計進行五年的水質長期監測，藉此掌握八德區豐德路水質變化情形。

氧化矽的材料經過嚴格管控，所有供料需檢附無輻射、戴奧辛、TCLP（毒性溶出試驗）等相關環境類的試驗報告，先確定供料不影響生態環境才允許使用，施作過程中及完工後同時委託中華鋪面學會進行成效評估，以確保本工程氧化矽鋪面品質，確保工程成效，並持續檢討與驗證。



圖 2 彭柯曼梁撓度試驗

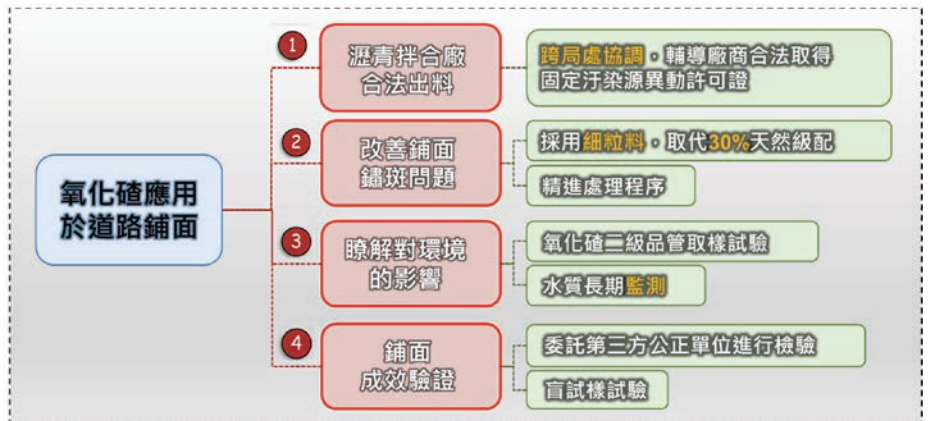


圖 3 氧化矽應用於道路鋪面各面向品質管理

試辦工程之成功案例

桃園市目前將再生粒料，創新運用於道路鋪面有許多成功案例。

- 煉鋼之副產物 / 氧化碓

氧化碓已運用於 7 條道路之鋪面，道路長度達 7,593 公尺，共計去化 7,419 噸，其中桃園市八德區豐德路氧化碓瀝青混凝土鋪面試辦工程，亦獲得 107 年桃園市公共工程金品獎，及行政院公共工程委員會 107 年第 18 屆公共工程金質獎榮譽。

- 刨除道路瀝青混凝土 / 刨除料

刨除料已運用於 3 條道路之基底層，道路長度達 960 公尺，共計去化 1,623 噸。

- 垃圾焚化爐之底渣 / 焚化底渣

焚化底渣已摻入道路管線挖掘後之控制性低強度回填材料 (CLSM)，目前已去化 2 萬 6 千噸。

宣傳與推廣

將桃園市目前將再生粒料，創新運用於道路鋪面之許多成功案例，透過媒體宣傳行銷、舉辦研討會及論壇、期刊論文發表等，廣邀各界參與討論，並將桃園經驗分享予各相關單位 (中央機關、地方政府、各縣市產業工會、瀝青廠、環保產業等)，並做及意見交流。

- (1) 透過媒體報導 5 則以上。
- (2) 研討會 / 論壇 9 場。
(官、產、學界共同參與)。
- (3) 期刊論文發表 1 篇。

循環經濟發展目標達成度

確保永續消費和生產模式

透過預防、減量、再循環、再利用等方式減少廢棄物生成，桃園市即是依據循環經濟的概念，力行循環及再利用，將鋼鐵工業生產的廢棄物，轉為瀝青工業的拌合級配材料。

目前國內每年氧化碓產量計 120 萬公噸，桃園市目前已協助鋼鐵產業去化 5,537 噸應用於工業區道路及專案歲修。未來氧化

碓用於航空城道路 (約 360 公頃)，預計可去化 65 萬噸的氧化碓。

瀝青混凝土刨除粒料依照台灣區瀝青工業同業公會表示已遠超過 300 萬噸，而桃園市在推廣瀝青混凝土刨除粒料優先於其他縣市應用於道路基層，已去化 1,600 噸瀝青混凝土刨除粒料。目前已規劃設計於瓶頸道路及重劃區內進行使用可協助去化 33,500 噸，若應用於航空城道路預計去化量可達 165 萬噸。

煉鋼之副產物 / 氧化碓運用於道路工程之成效

氧化碓應用於工業區道路及每年專案歲修，目前已完成 7 條道路，總長度約 7,600 公尺，已去化氧化碓數量約 5,537 噸。近期尚有 4 條道路，總長 19,900 公尺使用，可去化氧化碓數量約 11,100 噸。

未來桃園市每年道路專案修復工程，其道路面積至少使用 1/3 之氧化碓，估計每年可持續去化約 4.5 萬噸氧化碓。此外，航空城建設至少使用 65 萬噸以上。

使用氧化碓鋪設之道路，可提高道路強度及耐久度，並且相較傳統用新料瀝青混凝土鋪設道路，可節省約 26% 經費 (以八德區豐德路為案例)。

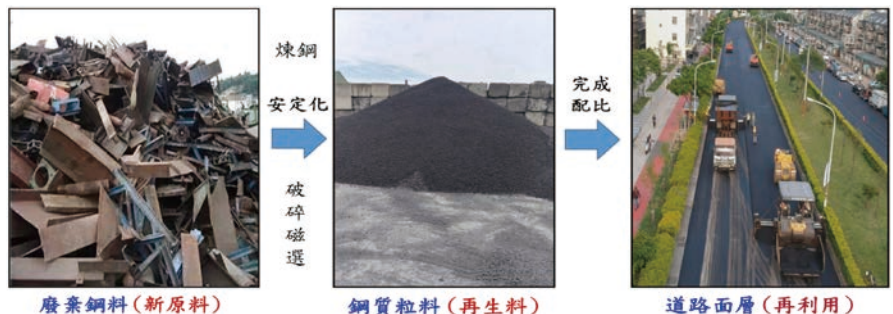


圖 4 氧化碓之運用方式

表 1 桃園市氧化碓之運用於道路工程之成效

項次	工程名稱	道路長度 (公尺)	道路寬度 (公尺)	去化數量 (噸)	完工日期
1	龍潭區高原路桃 68-1 道路品質改善計畫	150	17	150	105.12.6
2	八德區豐德路氧化碓瀝青混凝土鋪面試辦工程	600	30	1,300	107.4.19
3	新屋區桃 107 線 (0K+000~2K+570) 道路品質改善計畫	2,570	8	1,460	107.6.2
4	楊梅區獅二路道路品質改善計畫 (幼獅工業區)	480	10	350	107.10.15
5	龜山區華亞一路道路品質改善計畫 (華亞科技園區)	1,742	8	1,050	107.11.23
6	龍潭區美國路道路品質改善計畫	1,900	6	427	107.12.12
7	蘆竹區打通營盤里歐楓街延伸段新闢道路工程	151	8	800	108.1.28
總計		7,593		5,537	



圖 5 桃園市八德區豐德路運用氧化矽之施工及完工照片

刨除道路瀝青混凝土 / 刨除料運用於道路工程之成效

桃園有許多瓶頸道路及重劃區內進行使用，目前已完成 3 條道路，總長為 960 公尺，已去化瀝青混凝土刨除料約 1,600 噸。近期 5 條道路刻正設計使用，預計還有 35,600 公尺道路將使用瀝青混凝土刨除料應用基層，及去化 33,500 噸瀝青混凝土刨除料。

未來桃園市之瓶頸道路打通及重劃區道路，估計每年可持續去化約 16 萬噸刨除料，未來航空城建設至少使用 165 萬噸以上。

表 2 桃園市刨除料之運用於道路基層之成效

項次	工程名稱	道路長度 (公尺)	路基厚度 (公尺)	去化數量 (噸)	完工日期
1	平鎮區石門大圳巡防道路改善工程	510	0.3	578.2	107.9.6
2	楊梅區五守街至福矜路消防及水保改善工程	300	0.3	520.3	107.7.7
3	平鎮區華安里華安街道路拓寬工程	150	0.4	524.6	108.2.17
總計		960		1,623	



圖 6 刨除料之運用方式



圖 7 石門大圳巡防道路改善工程運用刨除料 (不同配比試驗) 之完工照片



圖 8 五守街至福裕路改善工程(上)、華安街道路拓寬工程(下)運用刨除料之完工照片

垃圾焚化爐之底渣 / 焚化底渣運用於道路工程之成效

焚化再生粒料應用工程有三方面著手：控制性低強度回填材料 (CLSM)、環保高壓磚及穩定土石方。

未來除持續運用於管溝回填 CLSM 外，亦研究如何運用於道路路床、基地回填土石方穩定、構造物回填及作為道路面磚使用，將來會有更多應用機會。

- 控制性低強度回填材料 (CLSM)

桃園市轄內開挖長度達 50 公尺的道路管挖工程使用控制性低度混凝土 (CLSM) 回填時，必須添加焚化再生粒料 500 公斤，據環境保護局統計，截至 108 年 5 月中旬，管挖單位使用焚化再生粒料 (焚化底渣) 約 2 萬 6 千噸。

- 環保高壓磚

已於 107 年 12 月 21 日邀請相關磚品製造廠商共同討論技術性去化量問題，由工程單位提出使用需求數量，由環境保護局上網採購，目前環保高壓磚其中至少 30% 組成為焚化底渣。

預計今 (108) 年度將會有 27,600 平方公尺之人行道及公園建築周遭簡易鋪面將會使用焚化再生粒料製成的環保高壓磚及透水磚，預計可去化 1,247 噸焚化再生粒料 (焚化底渣)。

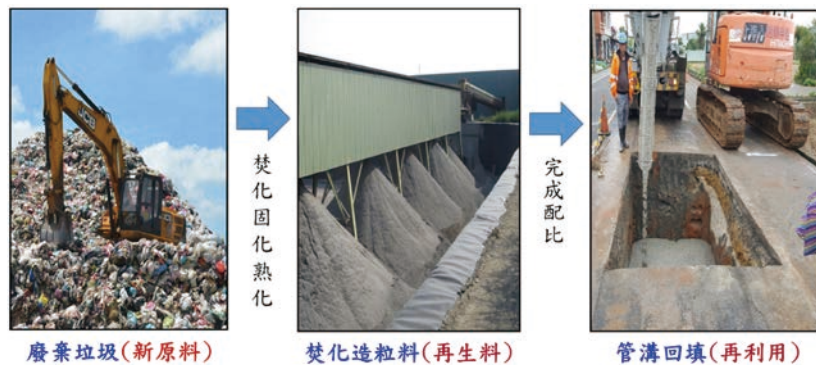


圖 9 焚化底渣之運用方式

焚化底渣申請作業流程

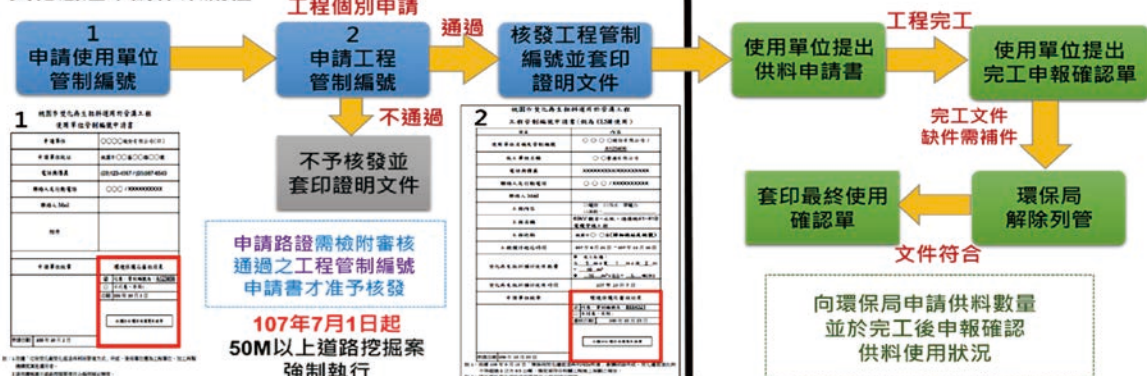


圖 10 桃園市焚化底渣運用於 CLSM 管制流程圖

桃園市養護工程處預計於桃園區中興路，試辦以環保高壓磚鋪設人行道，預計 108 年 12 月前完工，將會是全國第一條循環經濟人行道，並結合無障礙設施及透水鋪面，兼顧環保、無障礙及降低熱島效應。

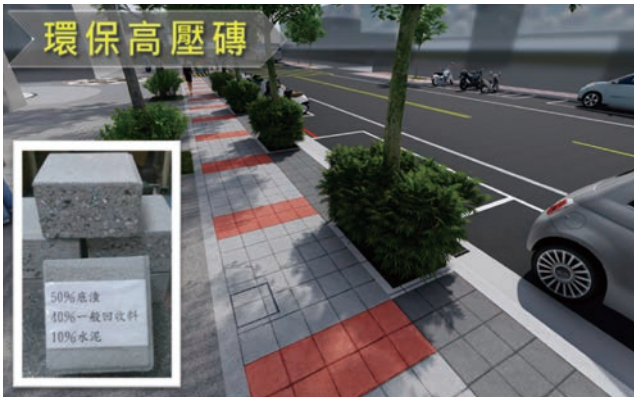


圖 11 桃園區中興路試辦以環保高壓磚鋪設人行道

● 穩定土石方

桃園市政府新建工程處於福園公園，已將 226 立方公尺土石方及 260 立方公尺焚化再生粒料（焚化底渣）進行拌合，並且運回 486 立方公尺回填於福元公園停車場。未來將規劃試辦桃園機場捷運 A20 站區區段徵收工程（基本設施）及桃園市觀音區忠富路（桃 85 號）彎道改善工程（第二階段），前者為焚化再生粒料應用於基地回填，後者為應用於路床改良。

運用焚化再生粒料之最佳配比與工程特性，刻由中原大學土木工程學系，利用上述試辦案件進行試驗，並研擬相關設計及施工規範，未來將報請公共工程委員會審查通過後，即可推廣實施。

計畫經費運用之合理性

數十萬經費解決百萬噸問題

桃園市自 106 年 8 月 9 日委託社團法人中華鋪面工程學會進行「桃園市再生及再利用材料運用於公共工程之策略與規範修訂服務」，決標金額新臺幣 898,000 元整，工作項目包含召開專家學者會議 7 次（包含規範討論、試辦工程可行性擬定、鋪築方案擬定）、配比相關試驗、研討會及推廣教育訓練等。以執行期程半年 100 萬元以內採購案，解決數十年瀝青廠數以百萬的瀝青混凝土刨除料、鋼鐵工業百萬噸氧化渣及民生數萬噸焚化再生粒料，解決產業運轉困難之窘境。

煉鋼之副產物 / 氧化渣用於道路工程可降低成本

鋼質粒料（氧化渣）為免費之材料，因此瀝青混凝土添加 30% 氧化渣細粒料經計算後，與新料瀝青混凝土比較每立方可節省 2,145 元（約每立方節省 29%）。

表 3 新料瀝青混凝土及氧化渣瀝青混凝土價格比較

項目	新料瀝青混凝土	氧化渣瀝青混凝土
單價 (元 / 立方公尺)	7,461 元	5,136 元

刨除道路瀝青混凝土 / 刨除料用於道路工程可降低成本

天然碎石級配市場價格約為 630 元，而瀝青混凝土刨除料使用前需要經過破碎、過篩及拌合等程序，且只能取代較細粒料使用，因此經過計算後，每立方公尺能節省約 24 元（約每立方節省 4%）。

表 4 天然碎石級配及瀝青混凝土刨除料價格比較

方案處理過程	天然碎石級配	瀝青混凝土刨除料 (以複價計算)
破碎、過篩	×	○ 66 元 / 立方公尺
添加粗粒料	×	○ 320 元 / 立方公尺
材料拌合費用	×	○ 220 元 / 立方公尺
統計	630 元 / 立方公尺	606 元 / 立方公尺

垃圾焚化爐之底渣 / 焚化再生粒料用於道路工程可降低成本

焚化再生粒料由本府環境保護局進行品質把關並無償提供給工程主辦機關，以焚化再生粒料進行土壤改良費用較原以置換土方費用，每立方公尺可節省 530 元（約每立方節省 62%）。

表 5 原置換土方費用及土壤改良費用價格比較

方案處理過程	運至土資廠及購土	使用焚化再生粒料改良土石方
剩餘土石方處理費	○ 350 元 / 立方公尺	×
購土	○ 500 元 / 立方公尺	×
焚化再生粒料	×	○ 免費供應
石灰	×	○ 150 元 / 立方公尺
拌合(耕耘機)	×	○ 170 元 / 立方公尺
總計	850 元 / 立方公尺	320 元 / 立方公尺

循環經濟於工程上之應用推動策略

推動永續發展相關工作具體成效

道路工程運用再生粒料之具體成效

- (1) 解決鋼鐵工業製程之副產品、路面刨除料、垃圾焚化後底渣之去化問題，促進環保及工程產業發展，達到產業共生、循環經濟再利用。
- (2) 減少天然砂石開採，節省施工經費及達到節能減碳。
- (3) 解決瀝青廠瀝青混凝土刨除料堆置及廠區環保問題，去化難以處理之廢棄物。
- (4) 解決民生垃圾產生問題，並且擴大焚化再生粒料之應用面向，避免垃圾大戰。
- (5) 透過研討會、論壇、參訪及期刊論文發表等，進行經驗回饋及意見交流，提升再生粒料技術及品質。

將桃園市經驗，修訂施工規範供全國依循

為應用鋼質粒料（氧化碓）及瀝青混凝土刨除料應用基層，桃園市政府修訂施工規範第 02722 章、第 02726 章、第 02741 章及第 02742 章，提案施工綱要規範送至行政院公共工程委員會審查，並於 107 年 10 月 2 日及 107 年 11 月 9 日開會審查通過，會議紀錄各於 107 年 10 月 24 日及 11 月 30 日發布，可推廣至全國使用。

建立再生粒料與生命週期管理平台（生產履歷管理）

透過建置平台模組，並納入桃園市各工程單位積極推動之循環經濟材料，進行後端管理

平台進行追蹤及分析管理，達到循環經濟的效益同時以此整體性的指標管理平台作為未來整合性之績效評估，並且將使用權限授予各主辦機關及承攬廠商加強平台正確性及應用廣泛性。

推動永續發展相關工作特殊實績及亮點

落實循環經濟，達保護生態環境及永續發展目標

全世界每年砂石需求在 150 億噸以上，台灣每年砂石需求在 7,500 萬噸以上，消耗的資源數量僅次於水，

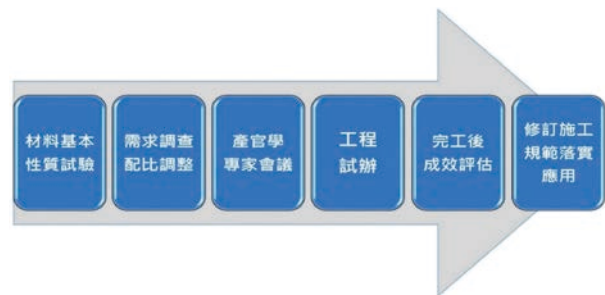


圖 12 再生粒料制定施工規範之步驟圖

再生粒料種類	項次	再生粒料種類	綱要規範審查進度	備註
鋼質粒料	1	第02741章 瀝青混凝土之一般要求	已修訂完成	1.作為細粒料最高可摻入30% 並於規範內要求供料計畫書 2.財團法人臺灣營建研究院於107年10月24日發布會議紀錄審查通過，並公開閱覽2個月後納入正式版本。
	2	第02742章 瀝青混凝土鋪面	已修訂完成	
瀝青混凝土 刨除粒料	3	第02722章 級配粒料基層	已修訂完成	1.粒料備細最高可摻入60% 2.財團法人臺灣營建研究院於107年11月30日發布會議紀錄審查通過，並公開閱覽2個月後納入正式版本。
	4	第02726章 級配粒料底層	已修訂完成	
焚化再生粒料	5	第03377章 控制性低強度回填材料	已修訂完成 (105年7月)	應用於CLSM
	6	第02331章 基地及路堤填築	進行研究階段	
	7	第02361章 土質改良	進行研究階段	

圖 13 三種再生粒料制定施工規範以供依循

桃園市政府 Taoyuan City Government		循環經濟平台 Circular Economy Platform			
地區					
案件查詢					
首頁 > 案件管理					
Search..			案件搜尋		
識別碼	工程名稱	氧化碓使用量	刨除料料基層使用量	焚化再生粒料使用量	主辦機關
1	桃園市觀音區草漯第一、六區整理開發單元市地重劃統包工程	0	24347	8077	新建工程處
2	桃園區場捷運A20站區段徵收工程(基本設計)	0	27365.4	0	新建工程處
3	平鎮區華安里華安街道路拓寬工程	0	524.6	0	新建工程處
4	楊梅區五守街至福裕路消防及水保改善工程(吳天宮)	0	520.3	0	新建工程處
5	平鎮區石門大圳巡防道路改善工程	0	578.2	0	新建工程處
6	蘆竹區開南段龍林街北上道路開通工程	0	351.936	0	新建工程處
7	八德區興豐路人行道改善工程	0	140.8	0	養護工程處
8	楊梅區校前路人行道改善工程	0	815.58	55.568	養護工程處
9	桃園市蘆竹區人本示範道路-南山路一、二段道路多目標改善工程	0	0	0	養護工程處
10	桃園市龍潭區桃68-1線	150	0	0	養護工程處

圖 14 循環經濟材料管理平台（生產履歷管理概念）

抽取海砂影響海底砂盤的穩定，開採河砂會改變河流和沿海生態系統，這些現象造成河水氾濫、海岸線向內退縮等生態浩劫。將鋼鐵產業難題轉換為瀝青混凝土新材料，也將瀝青產業的創材料再度應用於道路基層新材料，循環再利用達到零廢棄目標，減少大量河砂及海砂掏挖，落實保護生態，提供後代子孫優質生活環境。

解決長年垃圾焚燒後，底渣無法處理問題

台灣地區垃圾廢棄物以焚化為主，掩埋為輔，垃圾經焚化處理、高溫燒結後產生數量龐大的焚化爐底渣，據行政院環境保護署統計資料顯示近年來台灣地區焚化爐底渣總產量約在 80 ~ 100 萬公噸，由於台灣地區地狹人稠，掩埋場空間不足，加上環保意識抬頭，永續發展概念已儼然成為趨勢，焚化爐底渣再生利用不僅可以使得廢棄物減量，更可達到資源永續循環經濟的目標，解決政府當今需面對的難題。

節能減碳，節省經費

目前已知使用鋼質粒料（氧化碓）取代天然級配料 30%，碳足跡約每公噸節省 6.24 KgCO₂e。以桃園市政府養護工程處「桃園市八德區豐德路氧化碓瀝青混凝土鋪面試辦工程」為案例，使用 1,300 噸鋼質粒料（氧化碓），碳足跡減少約 8,112 KgCO₂e，相當於 740 棵樹 1 年的二氧化碳吸收量。

此外，氧化碓瀝青混凝土在價格上較傳統瀝青混凝土便宜 25%，本案試辦工程完成後替市庫節省了 360 萬餘元。

國家級計畫—桃園航空城開發，將運用再生粒料

藉由循環經濟零廢棄物的理念，在回應鋼鐵及瀝青產業問題上，達到一個新的產業平衡，使桃園成為韌性城市。

在工程上應用再生資源，使資源的循環最佳化，且循環的途徑短（在地問題、在地解決），成為循環城市。

航空城道路（約 360 公頃）未來若運用再生再利用材料，預計可去化 65 萬噸的鋼質粒料（氧化碓）及 165 萬噸的瀝青混凝土刨除粒料。

八德區豐德路氧化碓鋪面工程榮獲金品獎、金質獎

八德區豐德路路幅寬度約 40 米、雙向六車道，連接台 4 線的重要道路，也是八德區砂石車行駛路段，因重車往來頻繁導致鋪面損耗率高。而氧化碓係為鋼質粒料，具有耐壓、堅硬、耐磨損等特性，特別適用於車水馬龍、車輛反覆剎停的市區道路，摻混氧化碓的瀝青可大幅提升道路之耐久性，延長道路壽命，降低日後道路維護管理費用。

桃園市政府養護工程處提報循環經濟道路 - 八德區豐德路氧化碓瀝青混凝土鋪面工程，亦獲得 2018 桃園市公共工程金品獎（107 年 8 月 20 日頒獎），及行政院公共工程委員會 107 年第 18 屆公共工程金質獎（107 年 12 月 18 日頒獎）榮譽。（工程介紹影片詳網路連結 <https://www.youtube.com/watch?v=wQKtgxalvTk>，如下圖 QR code）

再生粒料結合行政院推動道路前瞻計畫

配合行政院前瞻計畫推動，桃園市亦提出 4 條道路品質改善計畫，同時結合道路循環經濟之再生粒料應用，提報內政部營建署、經濟部工業局成功爭取經費補助，不僅充分運用前瞻計畫機會爭取中央補助，加速桃園市道路品質提升效率，亦可實踐再生粒料之應用推廣，落實循環經濟。

宣傳與推廣

將桃園市目前將再生粒料，創新運用於道路鋪面之許多成功案例，透過媒體宣傳行銷、舉辦研討會及論壇、期刊論文發表等，廣邀各界參與討論，並將桃園經驗分享予各相關單位（中央機關、地方政府、各縣市產業工會、瀝青廠、環保產業等），並進行意見交流。



圖 15 豐德路氧化碓鋪面工程榮獲金品獎（左）、金質獎（右）

(1) 透過媒體報導 5 則以上

自由時報電子報、聯合新聞網、台灣好新聞 TaiwanHot.net、好房網 News、Yahoo 奇摩新聞等皆有桃園市應用氧化碓相關報導。

- 自由時報電子 <https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/1180778>
- 聯合新聞網 <https://udn.com/news/story/11322/3575439>
- 台灣好新聞 <http://www.taiwanhot.net/?p=568529>
- 奇摩新聞 <https://reurl.cc/k2b4x>
- 好房網 <https://reurl.cc/bgj43>

(2) 研討會 / 論壇 9 場

與中央大學陸續辦理 8 場循環經濟相關研討會及 1 場全國性論壇，自 106 年 8 月起「市區道路鋪面工程循環經濟再利用研討會」、「桃園市道路人本環境提升暨鋪面循環經濟推廣作為精進研討會」、「台灣地區循環經濟再生再利用優質鋼碓應用於道路工程品質耐久性提升高峰論壇」，107 年的「桃園再利用規範研討會」、「桃園前瞻計畫執行績效管理提升研討會」、「道路工程循環經濟導入再生粒料應用成效研討會」、「瀝青混凝土刨除粒料循環再利用研討會」，至 108 年 3 月「循環經濟材料導入草漯重劃區應用論壇」。

表 6 桃園市道路前瞻計畫結合循環再生粒料

項次	工程名稱	計畫經費	補助經費	補助單位	去化數量(噸)
1	新屋區桃 107 線 (0K + 000 ~ 2K + 570) 道路品質改善計畫	24,860	12,430	內政部營建署	1,460
2	龍潭區美國路道路品質改善計畫	12,000	6,000	內政部營建署	1,900
3	楊梅區獅二路道路品質改善計畫 (幼獅工業區)	5,440	4,570	經濟部工業局	350
4	龜山區華亞一路道路品質改善計畫 (華亞科技園區)	14,310	12,020	經濟部工業局	1,050
總計		56,610	35,020		4,760

(3) 期刊論文發表 1 篇

桃園市獲邀 108 年 6 月 26 日至 28 日假德國波昂舉辦之 2019 韌性城市大會 (第十屆全球城市韌性與調適論壇) 發表投稿。

民眾參與度

計畫執行期間民眾 / 廠商 / 機關參與程度

民間企業積極參與

民間瀝青廠及再利用機構為配合推動國家循環經濟政策及克服工程應用再生再利用粒料所需，皆紛紛增購新設備及調整生產流程動線，足見民間產業與政府達成共識，共同努力創造雙贏局面。

本計畫過程中，透過桃園市政府工務局及環保局連輔導，成功使桃園市之瀝青廠成功轉型，即可依循規範使用及處理再生粒料，達成工程與環保產業異業結盟。

民間自辦市地重劃區工程亦應用

因桃園市政府陸續採用循環經濟材料於轄內道路成效良好，故桃園市觀音區廣福 (第五單元) 自辦市地重劃重劃會也函請本府，亦遵照本府所訂施工規範採用再生再利用粒料於工程上，落實循環經濟政策。

本計畫成效可做為全國各機關參考

政院環境保護署邀請桃園市政府於 107 年 9 月 14 日，聯合辦理再生粒料參訪暨茶會論壇活動，並參訪新屋區新湖示範道路及觀音灰渣處理廠等地。

臺南市政府於 107 年 12 月 14 日、臺北市政府於 108 年 3 月 15 日及嘉義縣政府於 108 年 5 月 9 ~ 10 日至桃園市參訪學習經驗。

桃園市政府以每年 10 萬噸之循環經濟材料去化量，擴及全國各縣市政府使用再生再利用材料去化量可達數百萬噸之多，使台灣邁向優質的循環經濟國家，落實減少開採天然砂石，降低工程成本，解決產業問題，保護生態環境，達到永續發展的目標。



圖 16 民間瀝青廠配合本計畫，重新安排設備及堆置區位

民眾資訊取得難易度

舉辦道路循環經濟論壇，廣邀各界參與並積極推廣

107年9月6日舉辦「桃園市工程循環經濟導入再生再利用粒料應用論壇」，邀請行政院公共工程委員會、內政部營建署、經濟部工業局、交通部公路總局、行政院環境保護署、各縣市政府及相關產業界、學者共同交流。

再生粒料規範上網公開方便取得

目前網路上搜尋即可看到許多關於桃園使用循環經濟粒料的相關報導，本局也在網站上公開使用循環經濟

粒料相關施工規範，行政院公共工程委員會也將審查過後施工綱要規範於公共工程技術資料庫發布，讓需要使用的顧問公司及營造廠商可以輕易取得桃園市的施工規範，並且一起落實推廣循環經濟、永續發展策略。

- 桃園市政府工務局網址：<https://pwb.tycg.gov.tw>
- 公共工程技術資料庫網址：<http://pcces.pcc.gov.tw>

民眾參與道路循環經濟施工說明會

為使民眾充分瞭解道路循環經濟理念，桃園市政府即透過道路品質提升改善計畫，廣邀工程所在地之民意代表及地民參與施工說明會，使得再生粒料之生產、檢測、施工、追蹤成效等作法，能逐漸獲得民眾

認知進而轉為支持，落實循環經濟普世價值。

民眾路平滿意度及道路考評提升

桃園市於內政部營建署107年度「道路養護管理暨人行環境無障礙考評計畫」共獲得「直轄市型優等獎」、「道路養護直轄市型第一名」、「交通工程直轄市型第一名」、「人行環境直轄市型第二名」、「區塊考評直轄市型第二名」等5項殊榮，路平滿意度由升格前30%提升至70%，使道路及行人環境能夠兼顧實用性及循環經濟。

結語

循環經濟儼然已成為環境資源之顯學，全球各地均有多種倡議轉化為實踐的個案，甚至是通案。如何因地制宜，將思考轉化為行動，將是公私部門必須面對之課題。桃園市通盤檢討在地環境、資源以及廢棄物之特性，擬定循環經濟之政策，協調運用研究部門之研發能力，納入私部門之製程暨設備改善，共同發展資源與廢棄物之再利用對策，以及相關規範與具體作法，倍求周延。再生粒料運用於公共工程即為此一循環經濟再利用整合策略之體現。台灣自然資源有限，雖各地客觀環境條件不盡相同，但循環經濟對環境之影響在此36,000平方公里土地上，不應侷限於行政區界限。謹以本文略述桃園市循環經濟再利用整合策略發展之進程，供各界先進參考，以利共同呼應中央政府「五加二產業發展政策」，共創台灣更加優質之環境與資源。



圖 17 行政院環境保護署與桃園市政府合辦再生粒料參訪暨茶會論壇 (107年9月14日)



圖 18 內政部營建署及嘉義縣政府參訪桃園市再生粒料應用 (108年3月9日~10日)



圖 19 桃園市工程循環經濟導入再生再利用粒料應用論壇 (107年9月6日)



2019年9月25~27日 印度果阿邦 (Goa, India)

第三十七屆 亞洲土木工程聯盟

執行委員會 大會紀實

林子剛／國立交通大學土木工程學系 教授

張陸滿／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、亞洲土木聯盟委員會 主任委員

謝啟萬／國立屏東科技大學土木工程系 教授、國際關係委員會 主任委員

序言

亞洲土木工程聯盟 (Asian Civil Engineering Coordination Council, ACECC)，每三年一次舉辦亞洲地區土木工程會議 (Civil Engineering Conference in the Asian Region, CECAR) 大會。按慣例，聯盟每年召開二次 2 天的執行委員會 (Execution Committee Meeting, ECM) 會議，一次在春季，一次在秋季。第一天執行委員會會議上午是技術協調委員會會議 (Technology Coordinating Committee Meeting, TCCM)，討論各技術小組的事務，緊接著下午則召開規劃委員會會議 (Planning Committee Meeting, PCM)，籌劃 ACECC 的各項活動。第一天的會議是第二天執行委員會會議的會前會，規劃委員會提出之建議方案將再提到第二天的執行委員會決議，換言之，執行委員會會議內容幾乎和規劃委員會會議相同。

第三十七屆執行委員會 (The 37th ECM) 為了慶祝 ACECC 成立二十周年及配合即將在 2022 舉辦的 CECAR9 籌備進度及場地勘查，會議維持為兩天，即在 9 月 25 日上午開 31 次 PCM，下午進行 26 次 TCCM 會議，9 月 26 日則進行 37th ECM，會後並到附近勘查 2022 年 CECAR9 的場地。另外 9 月 27 日上午舉行 ACECC 成立二十周年慶祝大會，下午則由 TC-17 與 TC-23 (CHCHI 謝啟萬委員主辦) 兩個技術委員會進行特別議程，晚上再進行大會晚宴。

第 37 屆亞洲土木工程聯盟執行委員會會議，係在印度西岸的果阿邦 (Goa, India) Cidade de Goa - IHCL SeleQtions 飯店會議室舉行，本屆會議有來自美國、臺灣、印度、日本、韓國、菲律賓、澳洲、越南、緬甸

等地區的 9 個會員。尼泊爾、蒙古、印尼、孟加拉代表此次因事未參加，巴基斯坦則改採視訊方式與會。

第三十一次規劃委員會會議 (The 31st PCM)

於 9 月 25 日上午九點，在果阿城 IHCL 精選飯店一樓會議室舉行規劃委員會會議 (The 31st PCM)，由主席 Er. Rajinder Ghai 教授主持會議，主席確認前 36 屆 ECM，30 次 PCM 及 25 次 TCCM 會議紀錄，並現場進行傳閱，同時亦通過了本次規劃委員會會議的議程。首先秘書處報告 ACECC 各項活動、財務狀況。日本 JSCE 針對 CECAR8 進行了總結報告。技術委員會獎評程序及規則修訂亦進行了討論，而獎評次委員會之主席之選舉大會也做了進一步說明。除此之外，現場針對未來領袖活動、下一屆秘書長的選舉方式、CECAR9 的籌備進度以及將在克拉叻舉辦的 38 屆 ECM 最新規劃均進行了廣泛討論。39 屆 ECM 之主辦單位選擇、ACECC 未來十年展望與 ACECC 各會員專業技術研究報告之網路分享亦被充分的討論。

第二十六次技術協調委員會會議 (The 26th TCCM)

2019 年 9 月 25 日下午在確認所有會員代表出席之後開始會議。討論議程包含：通過上一屆會議紀錄、每一項技術工作委員或其代言人逐一報告過去六個月執行計畫的進度和預期自未來六個月將呈現的成果。

本次技術協調委員會由幾個技術委員會進行報告，包含了 TC-14: “Sustainable Infrastructure” (ASCE), TC-17: “Ethics” (ASCE & PICE), TC-21: “Transdisciplinary Approach for Building Societal Resilience to Disasters” (JSCE & PICE), TC-23: “Applications of Geosynthetics for various civil engineering disciplines” (CICHE), TC-24: “Gender and Development in Infrastructure” (PICE) 及 TC-25: “The guidance of civil infrastructure practitioners in the design and construction of stabilised pavements in the Asia-Pacific Region” (EA)。以下將部分內容摘錄如下：

TC-14: “Sustainable Infrastructure” (ASCE): Dr. Udai 報告了 TC-14 的一些最近活動，並向 ACECC 申請 US\$3,500 預算，預計在下一次的 ECM 中辦理技術講習會。除此之外將開立線上課程。

TC-17: “Ethics” (ASCE & PICE): TC17 將於 9 月 27 下午舉辦，各國代表均希望能有一人參與此技術委員會。原技術委員會名稱 Anti-Corruption 討論後，建議改為 Ethical Practices for Reducing Corruption in Civil Engineering，最終名稱的決定將請 TC17 委員會自行討論，再於第 38 屆 ECM 提出確認。

TC-23: “Applications of Geosynthetics for Various Civil Engineering Disciplines” (CICHE)：我會代表謝啟萬教授說明近期與未來規劃，包含將於國際間舉辦多項研討會。大會主席建議可以將 ACECC 列入贊助協辦單位，如此有助於 CECAR9 對與會者進行各項活動之介紹。

第三十七屆執行委員會大會 執行委員會會議

第三十七屆亞洲土木工程聯盟執行委員會會議（The 37th ECM of ACECC）於 2019 年 9 月 26 日上午在果阿城 IHCL 精選飯店一樓會議室舉行。在開會之前按慣例，每一個會員代表為所有出席會議的成員，準備了足以代表各地區之風土紀念品，我會此次則分送突顯台灣各地特色之小磁鐵組及精美的筷子。

執行委員會主席 Dr. S L. Swamy 確認前一次 36th ECM 會議紀錄之後，並通過了本次規劃委員會會議的議程，會議正式開始。本屆會議共計有美國、臺灣、印度、日本、韓國、菲律賓、澳洲、越南、緬甸等地區的 9 個會員與會，尼泊爾、蒙古、印尼、孟加拉代表此次因事未參加，巴基斯坦則改採視訊方式參與。本次會議中針對人事的部分，有幾項重要議程，資說明如下。獎評次委員會之主席由我會代表張陸滿教授，經過現場全體代表一致同意通過。另外下一屆秘書長職位則由 ASCE 的代表 Dr. Uadi P. Singh 競逐，經現場熱烈討論後通過。而第 39 屆 ECM 亦通過由菲律賓主辦，時間暫訂為 2020 年 10 月底。



張陸滿主委代表我會致贈印度地主團隊紀念品



我會代表張陸滿教授、謝啟萬教授與林子剛教授參加會議一幕



37th ECM 會議後大合照

重要決議事項

在確認各會員之首席代表與團體後，隨即展開會議（我會首席代表由 ACECC 委員會主任委員張陸滿教授代表出席），重要決議事項如下：

- 回顧第三十六屆於日本舉辦之 ECM 會議紀錄。
- 確認 37th ECM 議程。
- 決議通過 TCCM 活動報告。
- 決議通過 PCM 活動報告。
- 秘書處報告 ACECC 活動並決議通過。
- 秘書處報告 ACECC 財務狀況並獲決議通過（截止於 2019 年 8 月 31 日），並決議通過 2019 至 2022 各會員之會員費用（我 CICHE 土水學會應繳之會費仍為每年美金 2,500 元）。秘書處並報告第八屆 CECAR 各項活動，包括議程、重要活動、報名資訊、頒獎、最終預算案等。
- 通過獎評次委員會主席由我會代表張陸滿教授擔任。
- 通過下一屆秘書長職位則由 ASCE 代表 Dr. Uadi P. Singh 擔任。
- 報告並決議通過於 2020 年 3 月 12 日至 3 月 14 日在巴基斯坦南海岸線的克拉奇（Karachi）辦之第 38th ECM 計畫（Proposed by IEP, Pakistan）。
- 報告並決議通過於 2022 年 9 月 21 日至 9 月 23 日在印度（Goa, India）舉辦之第九屆 CECAR 計畫（Proposed by ICE, India）。
- 報告並決議通第三十九屆 ECM 計畫由菲律賓 PICE 主辦。

ACECC 二十周年慶祝大會

為了慶祝 ACECC 二十周年，主辦單位於 9 月 27 安排相關慶祝活動。慶祝活動於會場之 Annexure-I 會議廳舉行，開幕儀式中亦邀請了果阿邦的行政首長 Dr. Pramod Sawant 共襄盛舉，場面盛大且隆重。隨後由現任秘書長 Dr. Horikoshi 及 Dr. Kusakabe 代表歷屆理事長對於 ACECC 過去二十年之發展回顧進行專題報告。而印度之 Prof. R. M. Vasan 則針對未來十年展望進行報告。張陸滿教授亦在慶祝活動中代表我會致賀並重申我會將與 ACECC 個會員密切合作繼續參與並推動 ACECC 各項活動。



ACECC 二十周年慶祝傳統點燈儀式

亞洲土木工程聯盟目前成員

在緬甸工程協會獲准加入聯盟後，目前亞洲土木工程聯盟（Asian Civil Engineering Coordination Council, ACECC）共有 14 個代表不同經濟地域（Economic Region）的會員，包括美國土木工程學會（American Society of Civil Engineers, ASCE）、台灣的中國土木水利工程學會（Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, CICHE）、澳洲工程師協會（Engineers Australia, EA）、緬甸工程協會（Federation of Myanmar Engineering Societies）、印尼土木結構工程師協會（Indonesian Society of Civil and structural Engineers, HAKI）、印度土木工程學院（Institution of Civil Engineers-India, ICEI）、孟加拉工程師學院（Institution of Engineers-Bangladesh, IEB）、巴基斯坦工程師學院（Institution of Engineers-Pakistan, IEP）日本土木工程師學會（Japan Society of Civil Engineers, JSCE）、韓國土木工程師學會（Korean Society of Civil Engineers, KSCE）、蒙古土木工程師協會（Mongolian Association of Civil Engineers, MACE）、尼泊爾工程師協會（Nepal Engineers' Association, NEA）、菲律賓土木工程師學會（Philippine Institute of Civil Engineers, PICE），與越南土木工程協會聯盟（Vietnam Federation of Civil Engineering Associations, VFCFA）。





921 地震 二十週年 回顧與省思 研討會 精彩演講分享

時間：108 年 9 月 19、20 日
地點：國立臺北科技大學

本研討會報名熱烈，網路報名在公布後 24 小時內即湧入 100 位報名。兩天研討會出席人數



共計 358 人。整個研討會議題規劃豐富，場場精彩。講者均為一時之選，演講內容更是精心準備。簡報已公布於土水學會網站，歡迎點選 QR code 瀏覽。



王炤烈理事長
感謝大家熱烈參與



北科大王錫福校長
開幕致詞

【專題演講一】

20 年後回看 921 重建



黃榮村 講座教授 / 中國醫藥大學生物醫學研究所



主持人之一
洪如江名譽教授 / 台大土木工程

【議題一：地震觀測與應變】

921 地震後氣象局地震測報工作之進展



蕭乃祺 副主任 / 中央氣象局地震測報中心

集集地震後台灣強地動領域之應用



溫國樑 教授 / 國立中央大學地球科學學系

地質災害事件之衝擊與對應



陳宏宇 主任 / 國家災害防救科技中心

【議題二：勘災與重建】



陳國隆 副局長
交通部高速公路局

主持人之一

從勘災重建經驗 談橋梁震害與防災策略



張荻薇 理事長 / 結構技師全聯會

建築勘災及重建



蔡克銓 教授 / 國立臺灣大學土木工程學系



葉錦勳 研究員 / 國家地震工程研究中心



陳家漢 副工程師 / 國家地震工程研究中心

土壤液化災害之回顧與防災思維



陳正興 名譽教授 / 國立臺灣大學土木工程學系

從 921 地震談土木技師震損調查



賴建宏 副理事長 / 台北市土木技師公會

回顧 921 震害 談近年結構工程技術的發展



藍朝卿 理事長 / 新北市結構技師公會

921 地震後之橋梁耐震補強



黃炳勳 資深協理 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司

【專題演講二】

921 及莫拉克災後之永續工程重建



陳振川 教授 / 財團法人唐獎教育基金會執行長
國立臺灣大學土木工程學系名譽教授



921 地震、88 風災
兩位重建會主委難得同台

【議題三：技術、規範變革與法律】

建築物耐震設計規範及解說更新重點



蔡益超 名譽教授 / 國立臺灣大學土木工程學系

921 地震後國內耐震技術之研發與應用



張國鎮 教授 / 國立臺灣大學土木工程學系

災難事故與救援之法律議題



王正嘉 教授 / 國立中正大學法律學系

921 築巢專案執行機制與成果



呂良正 院長 / 臺灣營建研究院
國立臺灣大學土木工程學系教授

【議題四：建物災害與補強】

鄭宜平 理事長
中華民國全國建築師公會



主持人之一

大規模地震後復原重建之對策



林傑 處長 / 行政院公共工程委員會

建築耐震補強政策作為



高文婷 組長 / 營建署建築管理組

從建築物使用管理的角度探討其對 RC 建築結構耐震能力之影響



陳澤修 主任委員 / 中華民國全國建築師公會

校舍耐震之演進



鍾立來 副主任 / 國家地震工程研究中心

安全的守護－全面啟動耐震特別監督



李明濤 經理 / 臺灣建築中心應用推廣部

危險老舊建築物耐震能力判定、處理之發展與建議



宋裕祺 院長 / 國立臺北科技大學工程學院
土木工程系教授

感謝全體協辦單位

行政院公共工程委員會、行政院災害防救辦公室、交通部中央氣象局、交通部公路總局、交通部高速公路局、內政部營建署、國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心、財團法人中華顧問工程司、財團法人台灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院、國立臺北科技大學土木工程系、國立臺灣大學土木工程學系、臺灣建築學會、社團法人中華民國建築技術學會、中華民國土木技師公會全國聯合會及各地方公會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會及各地方公會、中華民國全國建築師公會、臺灣仲裁協會、林同棧工程顧問股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、中興工程顧問股份有限公司

— 石門水庫及其集水區 整治計畫重要成果 —



新建中庄調整池



電廠防淤功能改善



增設分層取水工

水庫為穩定供水必要設施，因此既有水庫永續經營為首要任務，將在符合環境保護、經濟發展及社會正義等面向，朝永續發展之願景前進。



生態多樣性維護



多元化水源



土地管理



汙染削減策略



水庫與集水區
居民安全保障

永續石門



維持庫容



公眾參與



區域水資源
調配

— 石門水庫永續藍圖 —

