

無機循環材料環境標準與應用專案計畫

成果報告

受託單位：環興科技股份有限公司

計畫執行期間：110.03.24~110.12.10

計畫經費：NTD 12,100,062

計畫主持人：葉柏宏

協同主持人：洪瑋濃

計畫執行人員：吳文龍、楊庭雅、黃室睿、彭敏、陳
柏均、王詩婷、關家倫、陳瑄淇、羅
彗瑋、陳淑珍、賴世雯、賴玫君、許
弘莒、江朕榮、施敏華、洪菁燕、林
峻億

中華民國 110 年 12 月

「無機循環材料環境標準與應用專案計畫」

計畫成果報告基本資料表

委辦單位	行政院環境保護署		
執行單位	環興科技股份有限公司		
參與計畫人員姓名	葉柏宏、洪瑋濃、吳文龍、楊庭雅、黃室睿、彭敏、陳柏均、王詩婷、關家倫、陳瑄淇、羅彗瑋、陳淑珍、賴世雯、賴玫君、許弘莒、江朕榮、施敏華、洪菁燕、林峻億		
年 度	110	計畫編號	110B008
研究性質	☐ 基礎研究 ☒ 應用研究 ☐ 技術發展		
研究領域	環境科學(含環保工程、環境管理)		
計畫屬性	☐ 科技類 ☒ 非科技類		
全程期間	110 年 03 月 24 日至 110 年 12 月 10 日止		
本期期間	110 年 03 月 24 日至 110 年 12 月 10 日止		
全程經費	12,100,062 元		
	資本支出		經常支出
	土地建築 _____元		人事費 <u>5,852,154</u> 元
	儀器設備 _____元		業務費 <u>6,247,908</u> 元
	其 他 _____元		材料費_____元
			其 他_____元
摘要關鍵詞（中英文各三則）			
1. 無機循環粒料（Inorganic recycled materials）			
2. 環境溶出試驗（Environmental leaching test）			
3. 廢棄物資源化（Waste-to-resource transformation）			

行政院環境保護署計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

無機循環材料環境標準與應用專案計畫

二、英文計畫名稱：

Project of environmental standard and application for inorganic recycled materials

三、計畫編號：

110B008

四、執行單位：

環興科技股份有限公司

五、計畫主持人及協同主持人：

葉柏宏、洪瑋濃

六、執行開始時間：

110/03/24

七、執行結束時間：

110/12/10

八、報告完成日期：

110/12/10

九、報告總頁數：

530(本文)

十、使用語文：

中文

十一、報告電子檔名稱：

110B008.PDF

十二、報告電子檔格式：

PDF

十三、中文摘要關鍵詞：

無機循環粒料、環境溶出試驗、廢棄物資源化

十四、英文摘要關鍵詞：

Inorganic recycled materials、Environmental leaching test、Waste-to-resource transformation

十五、中文摘要：

為推動無機循環材料環境標準與應用，盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向與工程及環境相關規定，並以再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)進行品質及用途環境檢測，據以研提無機循環材料材料化條件及環境標準建議。

為提升無機循環材料應用品質進行 2 項試驗驗證，以焚化再生粒料散水通氣熟化處理試驗，提出降低重金屬溶出模組參數建議；以持續第 2 年焚化再生粒料加工再製品浸泡地下水中重金屬溶出試驗，瞭解加工再製品浸泡地下水環境中長期之影響。

為瞭解無機循環材料應用於港區造地填築之海水浸泡環境影響，先持續進行臺北港現地 1 批次焚化再生粒料槽體海水浸泡溶出試驗採集檢測，並依檢測結果結合既有海象觀測資料，進行海域水質擴散模式模擬，並與我國海域環境分類及海洋環境品質標準比較，以瞭解焚化再生粒料現地填築時對鄰近海域水質可能影響。

十六、英文摘要：

In order to promote the environmental standards and application of inorganic recycled materials, this project reviewed the distribution of major domestic inorganic recycled materials and regulations for the engineering and environment, and conducted quality and environmental testing with dissolution program for environmental use of recycled pellets (NIEA R222). According to this, this project provided materialization conditions and environmental standard recommendations for inorganic recycled materials.

For improving the quality of inorganic recycled materials, this project proposed to reduce the parameters of the heavy metal elution module based on the test of aging for recycled aggregates (from incineration bottom ash) with loose water and aeration. In addition, the heavy metal dissolution test of products from incineration recycled aggregates soaked in groundwater was used to understand the long-term impact of the product soaking in the groundwater environment.

In order to understand the environmental impact of seawater immersion of inorganic recycled materials used in land reclamation in port areas, this project detected the sample from the on-site leaching test of incinerating recycled aggregate in FRP tank and combined the existing walrus data based on the test results to simulate the water quality diffusion model of the sea area. The relevant results were compared with marine environment categories and marine environment quality standards to understand the possible impact of incineration

recycled pellets on the water quality of adjacent seas when incineration recycled pellets filled on-site.

報告大綱

本報告共分為七個主要章節：

第一章 前言(計畫緣起、目標及工作項目)

- (一) 計畫緣起 (詳 1.1 節)。
- (二) 計畫目標及工作項目 (詳 1.2 節)。
- (三) 計畫執行方法及預期效益(詳 1.3 節)。
- (四) 執行進度 (詳 1.4 節)。

第二章 盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議

- (一) 盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碯、還原碯、煤灰）產生量、再利用率等用途及資源循環流向【掌握量能及流向】 (詳 2.1 節)
- (二) 檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碯、還原碯、煤灰等）環境用途溶出狀況【持續溶出基線檢測】 (詳 2.2 節)
- (三) 實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題【實地訪查意見蒐集】 (詳 2.3 節)
- (四) 依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議【材料認證及標準建立】 (詳 2.4 節)
- (五) 研擬焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程【應用環境安全查驗建立】 (詳 2.5 節)
- (六) 章節摘要 (詳 2.6 節)

第三章 提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗

- (一) 進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗【散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出】 (詳 3.1 節)
- (二) 模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況【加工品持續浸泡地下水溶出試驗】 (詳 3.2 節)

(三) 模擬焚化再生粒料加工製品破碎後混凝土塊環境用途溶出狀況 【加工製品破碎後環境用途溶出試驗】(詳 3.3 節)

(四) 章節摘要 (詳 3.4 節)

第四章 推廣無機再生粒料於港區內工程建設之應用，並持續追蹤監測及檢討

(一) 續辦焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測 【批次槽體海水溶出試驗持續檢測】(詳 4.1 節)

(二) 依前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之可能影響【港區填築應用海域水質擴散模擬】(詳 4.2 節)

(三) 章節摘要 (詳 4.3 節)

第五章 配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率。

第六章 結論與建議。

第七章 參考文獻。

行政院環境保護署委託研究及專案工作計畫成果報告摘要 (詳細版)

計畫名稱：無機循環材料環境標準與應用專案計畫

計畫編號：110B008

計畫執行單位：環興科技股份有限公司

計畫主持人及協同主持人：葉柏宏、洪瑋濃

計畫期程：110 年 03 月 24 日至 110 年 12 月 10 日止

本期期程：110 年 03 月 24 日至 110 年 12 月 10 日止

計畫經費：新台幣 12,100,062 元整

摘要

為推動無機循環材料環境標準與應用，盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向與工程及環境相關規定，並以再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)進行品質及用途環境檢測，據以研提無機循環材料材料化條件及環境標準建議。

為提升無機循環材料應用品質進行 2 項試驗驗證，以焚化再生粒料散水通氣熟化處理試驗，提出降低重金屬溶出模組參數建議；以持續第 2 年焚化再生粒料加工再製品浸泡地下水中重金屬溶出試驗，瞭解加工再製品浸泡地下水環境中長期之影響。

為瞭解無機循環材料應用於港區造地填築之海水浸泡環境影響，先持續進行臺北港現地 1 批次焚化再生粒料槽體海水浸泡溶出試驗採集檢測，並依檢測結果結合既有海象觀測資料，進行海域水質擴散模式模擬，並與我國海域環境分類及海洋環境品質標準比較，以瞭解焚化再生粒料現地填築時對鄰近海域水質可能影響。

Abstract

In order to promote the environmental standards and application of inorganic recycled materials, this project reviewed the distribution of major domestic inorganic recycled materials and regulations for the engineering and environment, and conducted quality and environmental testing with dissolution program for environmental use of recycled pellets (NIEA R222). According to this, this project provided

materialization conditions and environmental standard recommendations for inorganic recycled materials.

For improving the quality of inorganic recycled materials, this project proposed to reduce the parameters of the heavy metal elution module based on the test of aging for recycled aggregates (from incineration bottom ash) with loose water and aeration. In addition, the heavy metal dissolution test of products from incineration recycled aggregates soaked in groundwater was used to understand the long-term impact of the product soaking in the groundwater environment.

In order to understand the environmental impact of seawater immersion of inorganic recycled materials used in land reclamation in port areas, this project detected the sample from the on-site leaching test of incinerating recycled aggregate in FRP tank and combined the existing walrus data based on the test results to simulate the water quality diffusion model of the sea area. The relevant results were compared with marine environment categories and marine environment quality standards to understand the possible impact of incineration recycled pellets on the water quality of adjacent seas when incineration recycled pellets filled on-site.

前 言

在邁向資源循環及循環經濟，為持續推動無機再生粒料(無機循環材料)利用及管理，環保署前已持續辦理焚化底渣或再生粒料相關計畫，先由焚化再生粒料(焚化底渣)著手，在工程面、環境面及管理面等面向，陸續推動焚化再生粒料應用及管理相關工作，以期強化管理及提高使用意願，並逐步與相關權責機關合作擴大至其他無機再生粒料(無機循環材料)。

為擴大推動至其他無機再生粒料(無機循環材料，如轉爐石、氧化碴、還原碴及煤灰等)資源化管理及提高環境用途使用意願，讓無機循環材料在工程可行、環境安心及管理嚴謹逐步推動建構下，適材適所應用於陸域及海域用途(含港區造地工程)。

本計畫為經濟部主辦 109 年至 112 年「循環材料驗證與媒合平台計畫」科專計畫之子計畫，為第 2 年(110 年)延續性計畫，其中第 1 年

(109 年)已藉由盤點國內無機循環材料之循環流向，研析我國砂石量能供需及替代可能性，並建立各類循環材料環境用途溶出試驗第 1 年基線檢測，同時提出我國台北、台中及高雄港等港區工程開發使用無機循環材料之整合評估及規劃，並辦理焚化再生粒料於臺北港現地回填試驗計畫之先期試驗(如 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫(第 0 至第 1 個月海水溶出結果)。

本年度計畫為第 2 年延續性計畫，主要為推動無機循環材料環境標準與應用，本計畫目標為：

- 一、盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議。
- 二、提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗。
- 三、推廣無機再生粒料於港區內工程建設之應用，並持續追蹤監測及檢討。

執行方法

為推動無機再生粒料循環利用，由研析國外無機再生粒料再利用之環境用途溶出方法及管制精神，進行國內無機再生粒料環境用途品質檢測分析，並先由建立焚化再生粒料品質及環境用途標準著手，以期研擬無機再生粒料共通性之品質及環境用途規範及管理機制，提升再生粒料品質及環境用途信心。同時配合政策需求，計畫主軸重點為盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議。提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗。推廣無機再生粒料於港區內工程建設之應用，並持續追蹤監測及檢討。

執行工作項目及範圍說明如下：

- (一)持續盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向，建置第 2 年無機循環材料環境用途溶出基線資料，同時據以研訂無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議。
- (二)辦理提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬焚化再生粒料加工再製品持續浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況(延續性中長期溶出結果)。

- (三) 持續辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測(延續性海水溶出結果)，並據以結合既有海象觀測資料，先進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響等，以利後續實際辦理焚化再生粒料於臺北港現地回填試驗之依據。

結 果

本計畫各工作項目計畫成果說明如下：

- 一、盤點國內主要無機循環材料資源循環流向，建置無機循環材料環境用途溶出基線資料，研訂無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議

- (一) 盤點國內主要無機循環材料(轉爐石、氧化矽、還原矽、煤灰等)之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向(詳如 2.1 節)

1. 盤點轉爐石、氧化矽、還原矽、燃煤飛灰、燃煤底灰及其產製再生粒料 108 年、109 年及 110 年(1-8 月)之產生量、再利用量等資源循環流向。
2. 各粒料 109 年主要再利用用途為：轉爐石用於港區填築(約 26%)、氧化矽用於控制性低強度回填材料(約 94%)、還原矽用於卜特蘭水泥(約 57%)、燃煤飛灰用於預拌混凝土(約 77%)、燃煤底灰用於控制性低強度回填材料(約 31%)。
3. 中鋼公司為加速轉爐石去化及拓展海事工程應用管道，經三階段評估已於 109 年 7 月通過「臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告(新增造地料源)」，並自 109 年 11 月提供轉爐石作為其防風林區造地填築料源，每年量約 130 萬噸，可有效消化累積暫存量。

- (二) 檢測國內主要無機循環材料環境用途溶出狀況(詳如 2.2 節)

1. 無機循環材料以再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)進行 20 件次品質及用途環境基線檢測(轉爐石 2 件、氧化矽 6 件、還原矽 6 件、燃煤飛灰 3 件及燃煤底灰 3 件)

，並與地下水污染管制標準比較。

- (1) 目的：持續第 3 年基線檢測，建立無機循環材料產品環境標準，並掌握溶出基線概況。
 - (2) 轉爐石 2 件皆符合第一類及第二類地下水污染管制標準，不符合率為 0%。
 - (3) 氧化渣 6 件皆符合第二類地下水污染管制標準，不符合率為 0%；1 件樣品之重金屬及鹽類項目不符合第一類地下水污染管制標準，不符合率為 16.7%。
 - (4) 還原渣 6 件皆符合第二類地下水污染管制標準，不符合率為 0%；5 件樣品之重金屬及鹽類項目不符合第一類地下水污染管制標準，不符合率為 16.7%。
 - (5) 燃煤飛灰 3 件皆符合第二類地下水污染管制標準，不符合率為 0%；3 件樣品之重金屬及鹽類項目不符合第一類地下水污染管制標準，不符合率為 100%。
 - (6) 燃煤底灰 3 件皆符合第一類及第二類地下水污染管制標準，不符合率為 0%。
2. 完成特色檢測之檢測分析，計 18 件次。
- (1) 混合不同再生粒料(18 件次)，考量實際港區造地填築料源混合，設定 6 種混料組合方式，1:1 檢測，與另案(焚化再生粒料)合作檢測發揮最大效益。
 - (2) 混合粒料樣品具均質化效果，重金屬及鹽類項目溶出值沒有明顯產生加乘作用，皆可符合第二類地下水污染管制標準。
- (三) 實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題 (詳如 2.3 節)
1. 為優先瞭解還原渣之去化問題或遭遇困難點，完成辦理 12 場次實地訪查，包含 7 家還原渣事業單位(產源)、3 家再利用機構，另依環保署業務需求，配合辦理 2 家公民營廢棄物處理機構實地訪查。
 2. 還原渣再利用主要意見及建議如：(1)部分品質未能達水

泥廠允收其標準，建議可輔導產源增設前處理設施、(2)

產品市場接受度低，道路工程去化不易，建議加強推廣。

(3)建議還原渣安定化再利用業者協處其他非會員料源。

(四) 依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質(詳如 2.4 節)

1. 參考法令規章、CNS 標準、施工綱要規範、使用手冊等，彙整主要無機循環材料之(轉爐石、氧化渣、還原渣)的工程性標準及環境安全標準
2. 提出還原渣應用於水泥生料允收條件建議及完成規劃，完成 1 場次鋼爐渣品質規範與材料化專家諮詢會議。
3. 考量再生粒料環境應用之通用性，應具有相同的溶出方法及環境規範，建議採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為再生粒料檢測方法。
4. 參考各粒料產製特性及歷年檢測資料，建議檢測項目，分為共通項目 8 項重金屬(鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳、鋅、及與其事業製程及其廢棄物特性相關之選擇項目重金屬(2 項，鈾及鈾)及鹽類(氟鹽)，檢測標準可參考我國地下水污染管制標準。

(五) 研擬再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程 (詳如 2.5 節)

1. 提出「焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程」，含再利用機構自主管理「重金屬溶出快篩作業程序」及「三階段環境品質檢查」。
2. 重金屬溶出快篩作業程序是藉「再生粒料環境用途溶出程序」之萃出液 pH 值，結合 pH 依存性，可快速獲得鉛快篩溶出不符合焚化再生粒料第一級及第二級機率。
3. 實場驗證顯示，重金屬溶出快篩作業流程對於不同批次及不同堆置時間之焚化再生粒料具適用性，能夠以「快篩

萃液 pH]快速獲得鉛溶出超標機率，且實際溶出檢測亦相符。

4. 焚化再生粒料三階段環境品質檢查是參考日本鐵鋼爐碴協會之自主三階段檢驗及工業局循環材料及驗證媒合平台作法，分為料源檢查、產品檢查及出貨檢查。以臺中市烏日廠產製之焚化再生粒料作為實場對象，底渣及底渣產製之焚化再生粒料的環境品質皆符合「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」之相關規範。

二、提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬加工再製品持續浸泡地下水的溶出狀況。

(一) 進行散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗 (詳如 3.1 節)

1. 完成桃園市 BOO 廠、臺中市烏日廠、新北市八里廠、宜蘭縣利澤廠之第 1 階段散水通氣熟化試驗(64 件次)，第 2 階段以新北市樹林廠、苗栗縣竹南廠、嘉義市廠及高雄市中區廠產製之焚化再生粒料為驗證組(4 件次)，共計 68 件次
2. 對於粒料 pH 值小於 12.1 的焚化再生粒料，測試最適參數為通氣量 1 L/min(50 L/Ton/min) 10%二氧化碳、通氣時間 2 天、散水強度 0.1 L/kg 使用 2 公升散水量，散水通氣試驗具有最佳熟化效果，試驗後上層(0-10 公分)及底層(40-50 公分)樣品皆能低於第二級環境標準，或使原初始樣品溶出濃度高於第一級環境標準者，經由散水通氣後低於第一級環境標準。
3. 對於粒料 pH 值大於 12.1 且高濃度鉛溶出的焚化再生粒料，無法以最適參數(通氣量 1 L/min(50 L/ton/min)10%二氧化碳、通氣時間 2 天、散水強度 0.1 L/kg)，經由散水通氣試驗後，樣品無法符合第二級環境標準，必須調整研提之散水通氣操作參數。

4. 焚化再生粒料經過熟化後之鉛及銅溶出會下降，越靠近進氣口(底層樣品)、越長的通氣時間、較高的通氣量皆能有效降低鉛、銅溶出；鉻溶出則是呈現上升的趨勢，越靠近進氣口、越長通氣時間、較高通氣量都可能使鉻溶出上升，而上升幅度也會因料源差異而有所不同
5. 計畫提出散水通氣處理模組，規劃批次處理量為 25 噸，估算每噸處理費 1,770 元，相較國內外之處理成本，散水通氣處理成本仍偏高，可透過調整通氣量、氣體濃度或通氣時間來找到較佳參數，降低操作成本。

(二) 模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況 (詳如 3.2 節)

1. 完成焚化再生粒料 CLSM 加工再製品浸泡地下水試驗的浸泡累計時間至第 9、12、15 至第 18 個月之浸泡液採樣及檢測，計 12 件次。
2. 重金屬濃度皆為 ND 或與地下水背景值無太大差異，皆低於第一類地下水污染管制標準。

(三) 新增模擬焚化再生粒料加工製品破碎後混凝土塊環境用途溶出狀況 (詳如 3.3 節)

1. 完成固化齡期 13 個月及 15 個月之焚化再生粒料加工再製品控制性低強度回填材料(CLSM)破碎後環境用途溶出試驗，計 6 件次。
 - (1) 鉛溶出值隨固化齡期增加而降低，於固化齡期 5 個月後，鉛溶出值趨於穩定。
 - (2) 銅溶出值隨固化齡期增加而降低，於固化齡期 13 及 15 個月後，銅溶出值無明顯變動。
 - (3) 鉻溶出值隨固化齡期增加而上升，推測原固定在水泥 CLSM 試體中鈣礬石礦物的六價鉻，因破碎後與二氧化碳接觸受碳酸化影響，導致六價鉻溶解釋出。
2. 完成固化齡期 1 個月及 3 個月之焚化再生粒料低密度再生透水混凝土破碎後環境用途溶出試驗，計 2 件次。

- (1) 檢測結果顯示，砷、鎘、銅、汞、鎳、鋅溶出低於第一類地下水污染標準；鉛及鉻溶出值高於第一類地下水污染標準但低於第二類地下水污染標準。

三、辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響

(一) 辦理焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時重金屬溶出之狀況（詳如 4.1 節）

1. 為觀察或瞭解焚化再生粒料進行填築時，經海水浸泡之中長期溶出影響，本年試驗規劃同 109 年 10 月現地槽體浸泡海水試驗(第 0 日至第 30 日檢測)，本年度 2 槽持續至浸泡第 11 個月採樣檢測，自 110 年 4 月至 9 月分 8 次，總計 16 件次。
2. 已完成辦理 2 槽(A 槽主試驗、B 槽參考組)共 16 次採樣，2 槽檢測結果皆符合焚化再生粒料環境標準第二級標準。
3. 初步預測未來焚化再生粒料實際填築港區時，由於海水量體遠大於槽體浸泡量，亦即液固比亦將遠大於於 A 槽主試驗的 10:1，預期實際重金屬溶出量將可能更低。

(二) 依據前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之可能影響，依結果協辦專家、研商或說明會議（詳如 4.2 節）

1. 利用焚化再生粒料槽體浸泡海水試驗計畫之重金屬溶出檢測結果，配合本計畫推算之釋放濃度，初步以假設填築總量 30 萬噸之焚化再生粒料填築量條件下，利用臺北港之海象資料，進行海域水質擴散模式模擬(包含鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅、六價鉻、錳、硒及銀等 12 項重金屬項目)，其模擬結果濃度增量及海水背景濃度和，皆可符合海域環境分類及海洋環境品質標準，顯示對鄰

近海域影響輕微。

2. 已依據前述結果，於 110 年 9 月 24 日完成辦理專家諮詢會議。

四、配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率

- (一) 彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署民意信箱協答、辦理與本計畫相關事宜及交辦事項【相關行政支援】(詳如 5.1 節)

本計畫辦理迄今，已協助辦理計畫相關事項共 64 件。

- (二) 辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議，協助研提會議資料與彙整紀錄及辦理後續事宜【5 場專諮研商會議】(詳如 5.2 節)

共完成辦理 5 場次相關之專家會議、研商會議或說明會議，5 場次合計約 96 人，專家學者合計約 28 位，符合契約規定。

- (三) 指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員，辦理本計畫幕僚行政、聯繫及相關事項【專任人員】(詳如 5.3 節)

本計畫已指派 1 名專任人員，具相關工作經歷及良好溝通協調能力，派駐環保署內專任協助本計畫相關工作。

結 論

- 一、無機廢棄資源可經處理製成無機循環材料，作為原料、材料、級配料或加工製品等應用於陸域或海域工程，替代天然砂石，降低掩埋處置需求，促進資源循環也邁向循環經濟。
- 二、盤點國內主要無機循環材料(轉爐石、氧化矽、還原矽、煤灰等)之資源循環流向，主要因循環材料之成分特性、工程性及環境性、使用實績及經驗、工程單位使用信心及意願等因素，有不同再利用用途。如轉爐石主要用於港區填築(約 26%)、氧化矽主要用於控制性低強度回填材料(約 94%)、還原矽主要用於卜特蘭水泥(約 57%)、燃煤飛灰主要用於預拌混凝土(約 77%)、燃煤底灰主要用於控制性低強度回填材料(約 31%)。
- 三、為推動國內無機循環材料適材料適所分流應用，應兼顧工程性及環境性面向，朝公共工程應用、港區造地填築及水泥廠協處等三大面向發展。
- 四、為建立國內主要無機循環材料(轉爐石、氧化矽、還原矽、煤灰等)品質及用途環境標準，比照 109 年 5 月 18 日公告焚化再生粒料環境標準作法，參考日本渣類資源化產品管制精神，持續以再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)進行 20 件次基線檢測，並與地下水污染管制標準比較，單一粒料檢測皆可符合一般區域使用之第二類管制標準；另考量實際港區造地填築料源混合，進行 18 件次混料組合特色檢測，亦皆可符合第二類地下水污染管制標準，對於主要無機循環材料用於一般區域及港區之使用用途，具環境安全正面意義。
- 五、為提升無機循環材料應用品質，進行熟化通氣試驗 8 廠共 68 件次測試驗證，試找出實場散水通氣處理模組之最佳參數為通氣量 1 L/min(50 L/Ton/min) 10%二氧化碳、通氣時間 2 天、散水強度 0.1 L/kg 使用 2 公升散水量，對於粒料 pH 值小於 12.1 的焚化再生粒料具有最佳熟化效果，如 pH 值大於 12.1 要適度調整參數。初步提出散水通氣處理模組，批次處理量為 25 噸，估算每噸處理費 1,770 元，亦可再透過調整通氣量、氣體濃度或通氣時間來找到較

佳參數，降低操作成本。

- 六、為瞭解浸泡於地下水中的焚化再生粒料加工再製品中長期溶出狀況，本年度延續前年度模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況之成果，持續浸泡加工再製品（CLSM）3組至第12、15及18個月並進行重金屬溶出狀況檢測共12件次，其檢測結果皆遠低於第一類地下水污染管制標準，顯示焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中長期環境溶出狀況良好。
- 七、為瞭解無機循環材料應用於港區造地填築之海水浸泡中長期環境影響，先持續進行自109年10月起於臺北港現地1批次焚化再生粒料槽體海水浸泡溶出試驗，持續採集檢測至浸泡第11個月，共16件次，皆符合焚化再生粒料環境標準第二級標準，初步預測未來實際填築港區時，由於海水量體遠大於槽體，預期實際重金屬溶出量將可能更低。並依檢測結果結合既有海象觀測資料，進行海域水質擴散模式模擬，其模擬結果濃度增量及海水背景濃度和，皆符合海域環境分類及海洋環境品質標準，顯示對鄰近海域影響輕微。

建議事項

- 一、由於我國無機資源物種類眾多，建議擴大爐碴類（如轉爐石、氧化碴、還原碴、感應電爐爐碴、化鐵爐爐碴、金屬冶煉爐渣、非有害礦碴、爐石（碴）或礦渣混合物等）、飛灰底渣類（如焚化爐底渣及飛灰、燃煤飛灰及底灰、一般性飛灰或底渣混合物、非有害廢集塵灰或其混合物、爐渣、重油灰渣、旋轉窯爐碴等）及無機性廢棄物（如高爐礦泥、轉爐礦泥及熱軋礦泥、無機性污泥、觸媒、玻璃等）等資源循環流向盤點，蒐集運作現況及相關意見，針對來源、再利用用途及運作管理等，提出優化循環利用或相關管理方式修正之建議。
- 二、為瞭解無機循環材料應用中長期環境影響，建議持續辦理無機循環材料於港區工程應用之環境檢測(每年)、1批次臺北港現地槽體無機再生粒料浸泡海水之中長期溶出驗證檢測(第2年)、無機再生

粒料產製之加工再製品浸泡地下水之中長期溶出驗證檢測(第 3 年)。

- 三、延續無機循環材料辦理實驗室試驗、臺北港現地 1 批次焚化再生粒料槽體海水浸泡溶出試驗及海域水質擴散模式模擬成果，接續辦理無機循環材料於港區現地填築試驗計畫，並進行工程材料性質檢測(如粗細粒料篩分析試驗、洛杉磯磨損試驗、密度及吸水率試驗、含砂當量試驗、夯實試驗)及環境監測(如無機再生粒料環境用途溶出程序監測、周界土樣監測、周界水樣監測、海水水質監測、海域底質監測等)與評估，以厚植無機循環材料應用於港區填築之論證基礎。

行政院環境保護署

無機循環材料環境標準與應用專案計畫

成果報告

目錄

頁碼

第一章	前言	1-1
1.1	計畫緣起	1-1
1.2	計畫目標、工作項目	1-6
1.2.1	計畫目標	1-6
1.2.2	工作項目	1-6
1.3	計畫執行方法及預期效益	1-9
1.4	執行進度	1-11
第二章	盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議	2-1
2.1	盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰）產生量、再利用量等用途及資源循環流向【掌握量能及流向】	2-2
2.2	檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）環境用途溶出狀況【持續溶出基線檢測】	2-58
2.3	實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題【實地訪查意見蒐集】	2-102
2.4	依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議【材料認證及標準建立】	2-120
2.5	研擬焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程【應用環境安全查驗建立】	2-152

2.6 章節摘要	2-176
第三章 提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗	3-1
3.1 進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗 【散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出】	3-2
3.2 模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況 【加工品持續浸泡地下水溶出試驗】	3-42
3.3 模擬焚化再生粒料加工製品破碎後混凝土塊環境用途溶出狀況 【加工品破碎後環境用途溶出試驗】	3-50
3.4 章節摘要	3-60
第四章 續辦焚化再生粒料槽體試驗之海水溶出檢測，並進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填對鄰近海域水質影響	4-1
4.1 續辦焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測 【批次槽體海水溶出試驗持續檢測】	4-2
4.2 依前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之可能影響【港區填築應用海域水質擴散模擬】	4-16
4.3 章節摘要	4-44
第五章 配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率	5-1
5.1 彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署民意信箱協答、辦理與本計畫相關事宜及交辦事項【相關行政支援】	5-1
5.2 辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議，協助研提會議資料與彙整紀錄及辦理後續事宜【5 場專諮研商會議】	5-2
5.3 指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員，辦理本計畫幕僚行政、聯繫及相關事項【專任人員】	5-3
第六章 結論與建議	6-1

6.1 結論	6-1
6.2 建議事項	6-2
第七章 參考文獻	7-1

圖目錄

頁碼

圖 1.1-1 環保署推動無機再生粒料(無機循環材料)環境標準應用與「推動循環經濟－廢棄物資源化」策略、110 年至 113 年資源循環行動計畫之關聯....	1-2
圖 1.1-2 無機再生粒料(無機循環材料)應用於陸域及海域環境用途整體示意.....	1-3
圖 1.1-3 環保署推動無機再生粒料(無機循環材料)環境標準與應用相關作法.....	1-4
圖 1.3-1 本計畫之計畫執行方法及工作流程	1-9
圖 2-1 「國內主要無機循環材料資源循環流向及環境用途溶出基線檢測，建議材料化條件、認證準則及環境標準」之作業流程.....	2-1
圖 2.1-1 「盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向」之作業流程	2-2
圖 2.1-2 我國轉爐石 109 年資源循環流向	2-5
圖 2.1-3 我國轉爐石 109 年資源循環流向(依物質流區分).....	2-6
圖 2.1-4 臺北港物流倉儲區之造地填築情形	2-9
圖 2.1-5 我國氧化碓及其再生粒料 109 年資源循環流向	2-16
圖 2.1-6 我國氧化碓及其再生粒料 109 年資源循環流向(依物質流區分).....	2-16
圖 2.1-7 我國還原碓及其再生粒料 109 年資源循環流向	2-26
圖 2.1-8 我國還原碓及其再生粒料 109 年資源循環流向(依物質流區分).....	2-26
圖 2.1-9 台鋼資源公司收受還原碓簡介	2-31
圖 2.1-10 國內煤灰之資源循環流向概況	2-48
圖 2.1-10 國內煤灰之資源循環流向概況(續).....	2-48
圖 2.1-11 我國燃煤飛灰(燃煤電廠)109 年資源循環流向(依物質流區分)	2-49
圖 2.1-12 我國燃煤飛灰(製造業鍋爐)109 年資源循環流向(依物質流區分).....	2-49
圖 2.1-13 我國燃煤底灰(燃煤電廠)109 年資源循環流向(依物質流區分).....	2-50
圖 2.1-14 我國燃煤底灰(製造業鍋爐)109 年資源循環流向(依物質流區分).....	2-50
圖 2.1-15 我國混燒灰渣(燃煤電廠+製造業鍋爐)109 年資源循環流向(依物質流區分)	2-51
圖 2.2-1 持續辦理檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤	

灰等) 環境用途溶出狀況之工作流程.....	2-58
圖 2.2-2 日本渣類資源化產品之管制精神示意	2-59
圖 2.2-3 「檢測國內主要無機循環材料的環境用途溶出狀況」之作業流程	2-68
圖 2.2-4 無機循環材料之採樣照片	2-75
圖 2.2-5 環保署 108 至 110 年計畫辦理轉爐石溶出基線資料之重金屬及鹽類溶出濃度狀況(鉛、鉻、鉬、氟鹽).....	2-91
圖 2.2-6 環保署 108 至 110 年計畫辦理氧化渣溶出基線資料之重金屬及鹽類溶出濃度狀況(鉛、鉻、鉬、氟鹽).....	2-92
圖 2.2-7 環保署 108 至 110 年計畫辦理還原渣溶出基線資料之重金屬及鹽類溶出濃度狀況(鉛、鉻、鉬、氟鹽).....	2-93
圖 2.2-8 環保署 108 至 110 年計畫辦理燃煤飛灰溶出基線資料之重金屬及鹽類溶出濃度狀況(鉛、鉻、鉬、氟鹽).....	2-94
圖 2.2-9 環保署 108 至 110 年計畫辦理燃煤底灰溶出基線資料之重金屬及鹽類溶出濃度狀況(鉛、鉻、鉬、氟鹽).....	2-95
圖 2.3-1 「實地訪查至少 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集其基本資料、使用情形及再利用遭遇問題」之作業流程	2-102
圖 2.3-2 實地訪查無機循環材料(還原渣)之篩選基本原則.....	2-103
圖 2.4-1 「依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議」之作業流程.....	2-120
圖 2.4-2 環保署推動循環經濟策略圖.....	2-148
圖 2.4-3 精進無機循環材料規範與環境品質專家諮詢會議照片	2-150
圖 2.5-1 再利用機構環境品質之重金屬溶出快篩作業程序規劃	2-158
圖 2.5-2 焚化再生粒料依據 CNS 15223 廢棄物特性-溶出行為試驗之重金屬鉛、鉻溶出 pH 依存性.....	2-160
圖 2.5-3 焚化再生粒料歷年基線普測使用再生粒料溶出程序在溶出時間 6 小時之溶出濃度與萃出液 pH 值關係 (a)金屬鉻；(b)金屬銅	2-161
圖 2.5-4 焚化再生粒料歷年基線普測使用再生粒料溶出程序在溶出時間 6 小時之鉛溶出濃度與萃出液 pH 值關係.....	2-161

圖 2.5-5	焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程	2-169
圖 2.5-6	臺中市烏日廠之採樣情形照片 (a)焚化底渣；(b)焚化再生粒料	2-171
圖 3-1	「提升焚化再生粒料品質及利用驗證，熟化處理模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗」之作業流程	3-1
圖 3.1-1	「進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗」之作業流程.....	3-2
圖 3.1-2	實場散水通氣熟化裝置及原理示意	3-4
圖 3.1-3	散水通氣熟化裝置示意.....	3-6
圖 3.1-4	散水通氣熟化裝置示意.....	3-7
圖 3.1-5	散水通氣熟化裝置示意.....	3-10
圖 3.1-6	散水通氣熟化試驗之金屬溶出與萃出液 pH 值關係圖	3-33
圖 3.2-1	「模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況」之作業流程.....	3-42
圖 3.2-2	109 年進行焚化再生粒料加工再製品(CLSM)浸泡地下水溶出試驗示意..	3-43
圖 3.2-3	110 年焚化再生粒料加工再製品(CLSM)浸泡地下水情況(至 15 個月)	3-47
圖 3.3-1	「模擬焚化再生粒料加工製品破碎後混凝土塊環境用途溶出狀況」之作業流程.....	3-50
圖 3.3-2	焚化再生粒料再製品 CLSM 試體破碎後混凝土塊之鉛、鉻、銅金屬溶出結果.....	3-55
圖 4-1	「續辦槽體海水溶出檢測，並進行擴散模擬，以瞭解造地回填時對海域水質影響」之作業流程.....	4-1
圖 4.1-2	焚化再生粒料運用於臺北港回填料源前的 3 階段評估工作	4-2
圖 4.1-3	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗示意	4-5
圖 4.1-4	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗於臺北港物流倉儲區第 2 期位置示意 ..	4-6
圖 4.1-5	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之重金屬溶出檢測趨勢(A 槽主試驗).....	4-12
圖 4.1-5	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之重金屬溶出檢測趨勢(A 槽主試驗)(續 1)	4-13
圖 4.1-5	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之重金屬溶出檢測趨勢(A 槽主試驗)(續 2)	4-14

圖 4.1-5 焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之重金屬溶出檢測趨勢(A 槽主試驗)(續 3)	4-15
圖 4.2-1 ROMS 水平網格及垂直網格變數配置	4-20
圖 4.2-2 ROMS 垂直 S 坐標示意圖	4-23
圖 4.2-3 模擬範圍地形.....	4-25
圖 4.2-4 海流模式 107 年 11 月水位與實測資料比對時序圖.....	4-26
圖 4.2-5 海流模式 107 年 11 月流速與實測資料比對時序圖(上圖：U 方向，下 圖：V 方向)	4-27
圖 4.2-6 海流模式 107 年 10 月流速 U 分量表、中及底層與實測資料(中山 ADCP)比對時序圖.....	4-28
圖 4.2-7 海流模式 107 年 10 月流速 V 分量表及底層與實測資料(中山 ADCP)比 對時序圖	4-28
圖 4.2-8 三維海流模式表層高平潮、退潮、低平潮及漲潮流速分布圖	4-29
圖 4.2-9 三維海流模式底層高平潮、退潮、低平潮及漲潮流速分布圖	4-29
圖 4.2-10 鉛離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-35
圖 4.2-11 鉛離子最大濃度增量平面分布圖.....	4-35
圖 4.2-12 鎘離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-35
圖 4.2-13 鎘離子最大濃度增量平面分布圖	4-36
圖 4.2-14 鉻離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-36
圖 4.2-15 鉻離子最大濃度增量平面分布圖	4-36
圖 4.2-16 銅離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-37
圖 4.2-17 銅離子最大濃度增量平面分布圖	4-37
圖 4.2-18 砷離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-37
圖 4.2-19 砷離子最大濃度增量平面分布圖	4-38

圖 4.2-20 汞離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-38
圖 4.2-21 汞離子最大濃度增量平面分布圖	4-38
圖 4.2-22 鎳離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-39
圖 4.2-23 鎳離子最大濃度增量平面分布圖	4-39
圖 4.2-24 鋅離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-39
圖 4.2-25 鋅離子最大濃度增量平面分布圖	4-40
圖 4.2-26 六價鉻離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺 濃度增量時序變化圖.....	4-40
圖 4.2-27 六價鉻離子最大濃度增量平面分布圖	4-40
圖 4.2-28 錳離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-41
圖 4.2-29 錳離子最大濃度增量平面分布圖	4-41
圖 4.2-30 硒離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-41
圖 4.2-31 硒離子最大濃度增量平面分布圖	4-42
圖 4.2-32 銀離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度 增量時序變化圖.....	4-42
圖 4.2-33 銀離子最大濃度增量平面分布圖	4-42
圖 4.2-34 「焚化再生粒料作為港區造地回填材料之海洋水質擴散模擬」專家諮 詢會議相關照片	4-43
圖 5-1 「配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率」之作業流程	5-1

表目錄

	<u>頁碼</u>
表 1.3-1 本計畫各項工作預期成果.....	1-10
表 1.4-1 本計畫各項工作預定進度及查核點	1-11
表 2.1-1 轉爐石現況及數量.....	2-4
表 2.1-2 轉爐石再生粒料使用量及使用情形	2-4
表 2.1-3 轉爐石應用於臺北港倉儲區規劃期程、規劃及填築量 (單位以萬噸計)..	2-10
表 2.1-4 轉爐石應用於臺北港倉儲區規劃期程、規劃及填築量 (單位以萬方計)..	2-10
表 2.1-5 氧化碓現況及數量.....	2-12
表 2.1-6 氧化碓再生粒料使用量及使用情形	2-13
表 2.1-7 氧化碓前五大再利用機構現況	2-14
表 2.1-8 109 年各鋼廠氧化碓產出及再利用現況	2-17
表 2.1-9 109 年各再利用機構氧化碓再利用用途及使用量	2-19
表 2.1-10 還原碓現況及數量.....	2-22
表 2.1-11 還原碓再生粒料使用量及使用情形.....	2-23
表 2.1-12 還原碓前五大再利用機構現況	2-24
表 2.1-13 109 年各鋼廠還原碓產出及再利用現況	2-27
表 2.1-14 109 年各再利用機構還原碓再利用用途及使用量	2-28
表 2.1-15 燃煤飛灰(R-1106)107 年~110 年 8 月產出貯存流向統計表.....	2-35
表 2.1-16 燃煤底灰(R-1107)107 年~110 年 8 月產出貯存流向統計表.....	2-36
表 2.1-17 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)107 年~110 年 8 月產出貯存流向統計表.....	2-37
表 2.1-18 燃煤飛灰(R-1106)前五大再利用機構現況	2-39
表 2.1-19 燃煤底灰(R-1107)前五大再利用機構現況	2-41
表 2.1-20 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)前五大再利用機構現況.....	2-43
表 2.1-21 燃煤飛灰(R-1106)再生粒料使用量及使用情形.....	2-44
表 2.1-22 燃煤底灰(R-1107)再生粒料使用量及使用情形.....	2-46
表 2.1-23 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)再生粒料使用量及使用情形.....	2-47

表 2.2-1	無機循環材料歷年溶出基線檢測及特色檢測之數量統計	2-61
表 2.2-2	無機循環材料歷年基線檢測(粒料)及特色檢測(加工製品)檢測結果	2-63
表 2.2-3	本年度(110)無機循環材料基線檢測及特色檢測計畫規劃	2-68
表 2.2-4	本年度(110)基線檢測採樣規劃名單	2-71
表 2.2-5	煤灰 107 至 109 年產量資料	2-72
表 2.2-6	本年度(110)無機循環材料特色檢測對象規劃	2-73
表 2.2-7	再生粒料環境用途溶出程序之採樣最小採樣點數	2-75
表 2.2-8	再生粒料環境用途溶出程序最大粒徑及最小樣品量	2-77
表 2.2-9	再生粒料環境用途溶出程序檢測項目	2-77
表 2.2-10	轉爐石 110 年(第 3 年)基線檢測結果及分析	2-80
表 2.2-11	氧化碓及還原碓 110 年(第 3 年)基線檢測結果及分析	2-82
表 2.2-12	煤灰 110 年(第 3 年)基線檢測結果及分析	2-85
表 2.2-13	特色檢測之再生粒料環境用途溶出程序檢測不符合情況	2-96
表 2.2-14	特色檢測之再生粒料環境用途溶出程序檢測結果	2-101
表 2.3-1	還原碓 109 年事業單位及再利用機構現況	2-104
表 2.3-2	實地訪查 12 場次產源、再利用機構及處理機構彙整表	2-104
表 2.3-3	實地訪查規劃重點.....	2-105
表 2.3-4	第 1 場次實地訪查—事業單位(產源)慶欣欣公司 訪查紀錄重點摘要	2-106
表 2.3-5	第 2 場次實地訪查—事業單位(產源)協勝發公司 訪查紀錄重點摘要	2-107
表 2.3-6	第 3 場次實地訪查—事業單位(產源)海光公司 訪查紀錄重點摘要	2-108
表 2.3-7	第 4 場次實地訪查—事業單位(產源)中龍公司 訪查紀錄重點摘要	2-109
表 2.3-8	第 5 場次實地訪查—事業單位(產源)易昇公司 訪查紀錄重點摘要	2-110
表 2.3-9	第 6 場次實地訪查—事業單位(產源)豐興公司 訪查紀錄重點摘要	2-111
表 2.3-10	第 7 場次實地訪查—事業單位(產源)聯成公司訪查紀錄重點摘要	2-112
表 2.3-11	第 8 場次實地訪查—再利用機構台鋼資源公司 訪查紀錄重點摘要	2-113
表 2.3-12	第 9 場次實地訪查—再利用機構潤泰公司 訪查紀錄重點摘要	2-114
表 2.3-13	第 10 場次實地訪查—再利用機構台泥蘇澳廠 訪查紀錄重點摘要	2-115
表 2.3-14	第 11 場次實地訪查—處理機構綠威公司 訪查紀錄重點摘要	2-116
表 2.3-15	第 12 場次實地訪查—處理機構榮寶公司 訪查紀錄重點摘要	2-117

表 2.3-16	實地訪查還原碴產源及再利用業者重點意見彙整表及初步建議	2-119
表 2.4-1	無機循環材料(再生粒料)材料允收及環境安全資料參考來源.....	2-121
表 2.4-2	轉爐石品質規範彙整.....	2-125
表 2.4-3	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法標的物料相關規定	2-127
表 2.4-4	氧化碴品質規範彙整.....	2-132
表 2.4-5	還原碴品質規範彙整.....	2-137
表 2.4-6	轉爐石的材料允收及環境安全規範	2-139
表 2.4-7	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法規範氧化碴及還原碴之金屬溶出標準.....	2-140
表 2.4-8	氧化碴的材料允收及環境安全規範	2-141
表 2.4-9	還原碴的材料允收及環境安全規範	2-141
表 2.4-10	CNS 國家標準對於轉爐石、氧化碴及還原碴再利用環境溶出規範.....	2-142
表 2.4-11	再生粒料港區用途標準(草案).....	2-144
表 2.4-12	再生粒料之環境用途標準初步建議項目	2-144
表 2.4-13	環保署專案計畫建議的水泥生料允收標準	2-146
表 2.4-14	還原碴應用於水泥生料材料允收規範	2-147
表 2.5-1	底渣交付再利用之條件.....	2-153
表 2.5-2	焚化再生粒料環境標準.....	2-153
表 2.5-3	焚化再生粒料重金屬鉛溶出快篩超標機率	2-162
表 2.5-4	焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程樣品採集規劃	2-171
表 2.5-5	整體查驗作業流程之焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序實場驗證 ..	2-173
表 2.5-6	焚化再生粒料三階段環境品質檢查之底渣料源檢測結果	2-173
表 2.5-7	焚化再生粒料三階段環境品質檢查之產品檢查及出貨檢查結果	2-174
表 3.1-1	相關熟化試驗或研究對熟化條件探討之彙整	3-4
表 3.1-2	散水通氣熟化試驗參數規劃.....	3-9
表 3.1-3	散水通氣熟化試驗檢測件次規劃	3-9
表 3.1-4	焚化再生粒料檢測項目及方法	3-10
表 3.1-5	散水通氣熟化試驗之焚化再生粒料來源	3-11
表 3.1-6	第 1 階段散水通氣熟化試驗之粒料 pH 值結果.....	3-12

表 3.1-7	第 1 階段散水通氣試驗之桃園市 BOO 廠焚化再生粒料重金屬溶出結果.....	3-18
表 3.1-8	第 1 階段散水通氣試驗之臺中市烏日廠焚化再生粒料重金屬溶出結果 ..	3-19
表 3.1-9	第 1 階段散水通氣試驗之新北市八里廠焚化再生粒料重金屬溶出結果 ..	3-20
表 3.1-10	第 1 階段散水通氣試驗之宜蘭縣利澤廠焚化再生粒料重金屬溶出結果	3-21
表 3.1-11	第 2 階段散水通氣熟化試驗之粒料 pH 值結果.....	3-22
表 3.1-12	第 2 階段散水通氣試驗之焚化再生粒料重金屬溶出結果	3-26
表 3.1-14	散水通氣熟化試驗之含水率及氯離子含量檢測結果	3-29
表 3.1-15	第 2 階段散水通氣試驗之滲出水檢測結果	3-29
表 3.1-16	散水通氣試驗參數與試驗結果關係	3-32
表 3.1-17	焚化底渣氯離子濃度試驗結果之相關研究	3-35
表 3.1-18	文獻散水通氣實驗之二氧化碳濃度、通氣時間及單位通氣量	3-36
表 3.2-1	焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水溶出試驗 CLSM 製作配比	3-45
表 3.2-2	地下水浸泡液中重金屬檢測方法	3-45
表 3.2-3	焚化再生粒料加工再製品 CLSM 地下水浸泡液採集樣品規劃	3-46
表 3.2-4	焚化再生粒料 CLSM 浸泡地下水第 0 至 18 個月之重金屬溶出狀況	3-48
表 3.2-4	焚化再生粒料 CLSM 浸泡地下水第 0 至 18 個月之重金屬溶出狀況(續).	3-49
表 3.3-1	109 年計畫執行焚化再生粒料加工再製品-CLSM 試體製作配比	3-52
表 3.3-2	天外天焚化再生粒料及 CLSM 再製品破碎後混凝土塊之溶出檢測結果 .	3-56
表 3.3-3	烏日焚化再生粒料及 CLSM 再製品破碎後混凝土塊之溶出檢測結果	3-56
表 3.3-4	中區焚化再生粒料及 CLSM 再製品破碎後混凝土塊之溶出檢測結果	3-56
表 3.3-5	焚化再生粒料加工再製品-低密度再生透水混凝土試體製作配比	3-57
表 3.3-6	溪州焚化再生粒料及低密度再生透水混凝土破碎後混凝土塊之溶出結果.....	3-59
表 4.1-1	109 年度辦理實驗室溶出試驗結果(分以去離子水及海水作為萃取液)....	4-4
表 4.1-2	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之檢測方法	4-7
表 4.1-3	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗採樣時間及對應海水浸泡日數	4-7
表 4.1-4	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之重金屬溶出檢測結果(1/2).....	4-10
表 4.1-4	焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之重金屬溶出檢測結果(2/2).....	4-11

表 4.2-1	本計畫推算之每噸重金屬釋放率濃度統計表	4-30
表 4.2-2	各重金屬離子濃度距離釋放點外之最大增量統計表(mg/L).....	4-34
表 4.2-3	重金屬離子向海側距離排放源之模擬濃度 (mg/L).....	4-34
表 5.2-1	本計畫 5 場專諮研商會議規劃及辦理情形	5-2

第一章 前言

第一章 前言

1.1 計畫緣起

為因應整體廢棄物之清理管制及循環利用，行政院環境保護署(以下簡稱環保署)於廢棄物管理上，長期致力於推動「資源循環零廢棄」，以減量(Reduction)、再使用(Reuse)、再利用(Recycling)、能源回收(EnergyRecovery)、土地新生(LandReclamation)及改變設計(Redesign)的 6R 政策。在現有的廢棄物管理基礎上，以源頭減量、資源回收為主，提倡以綠色生產、綠色消費、源頭減量、資源回收、再使用及再生利用等方式，將資源廢棄物有效循環利用，逐步達成全回收、零廢棄之目標，邁向循環經濟及永續發展。

讓臺灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源，提高廢棄物資源回收與再利用，加強能資整合，建立循環型生產與生活方式，達到零廢棄，低耗能的環境友善社會。環保署續於 107 年 2 月提出「推動循環經濟－廢棄物資源化」策略並提出 110 年至 113 年資源循環行動計畫(如圖 1.1-1 所示)，致力推動資源永續循環，邁向循環經濟，從物質生產、消費、回收(廢棄物管理)及循環(二次料市場)各階段，推動物料永續循環，並跨部會共同推動廢棄物資源化。

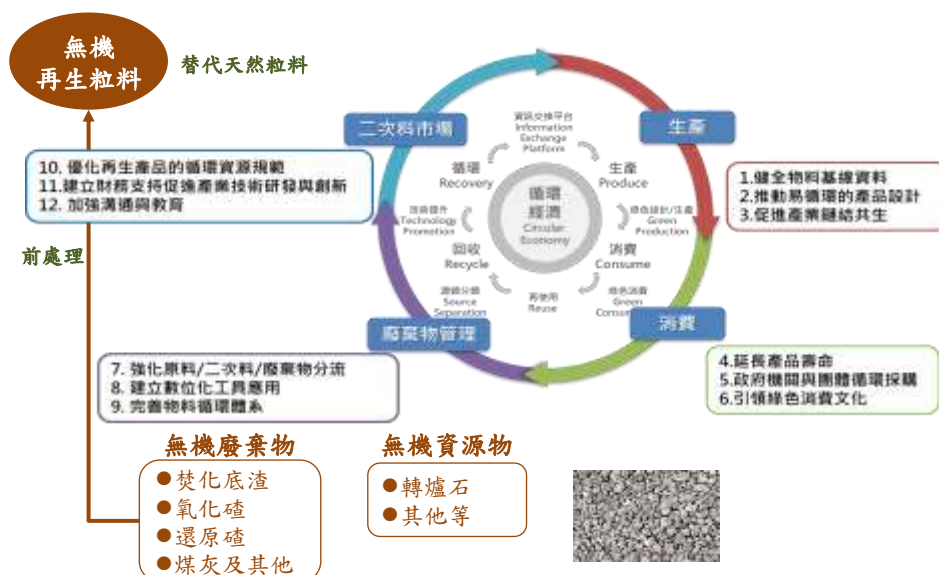
其 12 項重點策略包含：一、生產面：(一)健全物料基線資料。(二)推動易循環的產品設計。(三)提高生產流程的能資源效率，減少廢棄物產生。二、消費面：(一)延長產品壽命。(二)政府機關與團體循環採購。(三)引領綠色消費文化。三、廢棄物管理面：(一)強化原料/二次料/廢棄物分流。(二)建立數位化工具應用。(三)完善物料循環體系。四、二次料市場面：(一)優化再生產品的循環資源規範。(二)建立財務支持促進產業技術研發與創新。(三)加強溝通與教育。

其中，推動無機再生粒料再利用也是我國推動循環經濟－廢棄物資源化策略之二次料階段重要的一環(詳圖 1.1-1)，需確保二次料或再利用品質、加強技術研發與創新及提供經濟誘因。

把合適無機資源剩餘物或廢棄物轉換為再生粒料(或稱二次料、無機再生粒料、無機循環材料)，取代天然材料，可促進資源循環利用，減少天然資源之開採及耗竭，於國外先進國家(如歐盟或日本等)均已實施多年且應用上成熟普遍。國內目

前也已有相關眾多無機資源物(如轉爐石等)或無機廢棄物(如焚化底渣、還原渣、氧化渣、煤灰等)，資源化產製成無機再生粒料(無機循環材料)，作為原料、工程材料或加工製產品等，並應用於各種不同環境用途，以減少天然資源開採、降低建設成本及環境衝擊，促進資源循環也邁向循環經濟。

為強化應用管理及提高使用意願，降低相關疑慮，環保署已先由焚化再生粒料(焚化底渣再利用)著手，陸續在工程面(工程可行)、環境面(環境安心)及管理面(管理嚴謹)等面向推展相關工作(詳圖 1.1-2)，並逐步與相關權責機關合作期擴大至其他無機再生粒料(無機循環材料)。



資料來源：本計畫彙整。

圖 1.1-1 環保署推動無機再生粒料(無機循環材料)環境標準應用與「推動循環經濟－廢棄物資源化」策略、110 年至 113 年資源循環行動計畫之關聯

其中推動無機再生粒料(無機循環材料)循環也是我國推動「推動循環經濟－廢棄物資源化」策略重要一環，需確保二次料或再利用產品品質與建立監督機制、加強技術研發與創新及提供經濟誘因。把營建工程建設、事業生產或垃圾處理後產生之合適資源剩餘物或廢棄物轉換為無機再生粒料(無機循環材料)，取代天然材料，可促進資源循環利用及減少天然資源之耗竭，於國外先進國家(如歐盟或日本等)均已實施多年且應用上成熟普遍。

國內目前也已有相關眾多營建工程建設、事業生產或垃圾處理後產生之無機資源物(如轉爐石等)或無機廢棄物(如還原碴、氧化碴、煤灰等)，直接或經適當前處理後製成無機再生粒料(無機循環材料)，以替代天然粒料，再利用作為工程材料、級配料或加工再製產品等，並應用於各種不同陸域環境用途及海域環境用途(如造地工程及完成面建設)，以減少天然資源開採、降低建設成本及環境衝擊，促進資源循環也邁向循環經濟(詳圖 1.1-2 所示)。

惟前述無機再生粒料(無機循環材料)應用時，也面臨部分團體或使用單位會有疑慮，例如循環材料品質及用途、對環境影響、以判定廢棄物有害之毒性溶出特性溶出試驗(Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP)規範管制循環材料再利用是否合理、部分用途尚無相關施工綱要規範或技術使用手冊等、港區工程使用研究及推廣等。

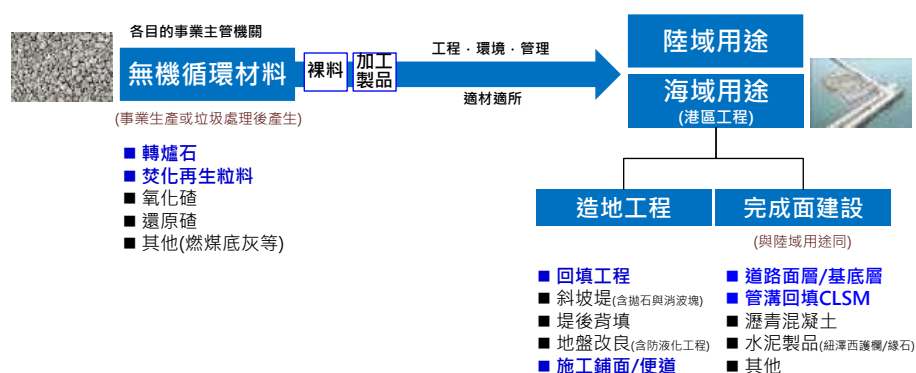


圖 1.1-2 無機再生粒料(無機循環材料)應用於陸域及海域環境用途整體示意

在邁向資源循環及循環經濟，為持續推動無機再生粒料(無機循環材料)利用及管理，環保署前已持續辦理焚化底渣或再生粒料相關計畫，先由焚化再生粒料(焚化底渣)著手，在工程面、環境面及管理面等面向，陸續推動焚化再生粒料應用及管理相關工作，以期強化管理及提高使用意願，並逐步與相關權責機關合作擴大至其他無機再生粒料(無機循環材料)。

(一) 環境面及管理面：研訂無機再生粒料(無機循環材料)環境用途標準及檢討應用監督管理

環保署於 109 年辦理無機再生粒料(無機循環材料)相關專案計畫，由研析國外無機再生粒料(無機循環材料)再利用之環境用途溶出方法及管制精神，進行國內無機再生粒料環境用途品質檢測分析，先建立無機

再生粒料(無機循環材料)品質及環境用途標準，研擬無機再生粒料(無機循環材料)共通性之品質及環境用途規範及管理機制，提升再生粒料品質及環境用途信心(詳圖 1.1-3)。並於 108 年 10 月 2 日公告再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)，其中以焚化再生粒料為例，擬定焚化再生粒料品質及環境用途標準，檢討環境用途分級管理，納入修正焚化底渣再利用管理方式，於 109 年 5 月 18 日修正焚化再生粒料環境標準，並於 110 年 1 月 1 日正式實施。

(二) 工程面：研訂施工規範及使用手冊及辦理港區回填試驗計畫

同時也持續編修用途相關施工綱要規範或技術使用手冊，有關推動港區工程使用方面，也持續辦理焚化再生粒料於臺北港區回填便道及管溝回填試驗工程等(104 年-迄今)，107 年成立再生粒料運用於港區工程推動小組等面向推動(詳圖 1.1-3)。



1

圖 1.1-3 環保署推動無機再生粒料(無機循環材料)環境標準與應用相關作法

除環保署既有焚化再生粒料計畫推動相關工作外，為擴大推動至其他無機再生粒料(無機循環材料，如轉爐石、氧化碲、還原碲及煤灰等)資源化管理及提高環境用途使用意願，讓無機循環材料在工程可行、環境安心及管理嚴謹逐步推動建構下，適材適所應用於陸域及海域用途(含港區造地工程)。環保署擬利用經濟部主辦 109 年至 112 年「循環材料驗證與媒合平台計畫」科專計畫之子計畫，推動其他無

機再生粒料(無機循環材料)之相關試驗及工作。

其中已於 109 年辦理「無機循環材料環境應用與整合專案計畫」，包含：

- (一) 盤點國內無機廢棄物及循環材料之循環流向(108 年及 109 年 1 月至 9 月)，研析我國砂石量能供需及替代可能。
- (二) 進行各類循環材料進行環境用途溶出試驗(第 1 年基線)，研訂陸海域用途環境安全性參考規範。
- (三) 規劃循環材料陸海域用途環境安全性檢測規範、提升品質技術及管理整合。
- (四) 我國港區工程開發使用無機循環材料之整合評估及規劃，提出台北、台中及高雄港等港區使用循環材料、可填築區位及用途之短中長程規劃方案建議，並著手開始辦理焚化再生粒料於臺北港現地回填試驗前之先期試驗(如 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫(第 0 至第 1 個月海水溶出結果))。

本年度計畫為第 2 年延續性計畫，主要為推動無機循環材料環境標準與應用，包含：

- (一) 持續盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向，建置第 2 年無機循環材料環境用途溶出基線資料，同時據以研訂無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議。
- (二) 辦理提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬焚化再生粒料加工再製品持續浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況(延續性溶出結果)。
- (三) 持續辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測(延續性海水溶出結果)，並據以結合既有海象觀測資料，先進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響等，以利後續實際辦理焚化再生粒料於臺北港現地回填試驗之依據。

爰此，環保署於 110 年度辦理「無機循環材料環境標準與應用專案計畫」(以下稱本計畫)。

1.2 計畫目標、工作項目

1.2.1 計畫目標

- 一、盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向，建置無機循環材料環境用途溶出基線資料，研訂無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議。
- 二、提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬焚化再生粒料加工再製品持續浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況。
- 三、辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響。
- 四、配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率。

1.2.2 工作項目

- 一、盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向，建置無機循環材料環境用途溶出基線資料，研訂無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議
 - (一) 盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向。
 - (二) 檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）的環境用途溶出狀況，依據再生粒料環境用途溶出程序，進行重金屬、鹽類及氫離子濃度指數項目試驗檢測，並與地下水污染管制標準進行比較。採集及試驗分析至少 36 件次，建立環境用途溶出狀況基線資料。（前述工作內容之粒料種類、採集、試驗方式及檢測項目，可依計畫需求經環保署同意後調整。）
 - (三) 實地訪查至少 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集其基本資料、無機循環材料使用情形及再利用遭遇問題。
 - (四) 依盤查資料分析及檢測結果，提出廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，藉由製程規範、材料認證及環境標準把關，精進無機循環材料的材料規範與環境品質，協助辦理專家會

議、研商會議或說明會議

- (五) 研擬焚化再生粒料之環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程。

二、提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬焚化再生粒料加工再製品持續浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況

- (一) 進行散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，以國內垃圾焚化廠之焚化再生粒料 8 組，於實驗室進行散水通氣熟化處理試驗。試驗條件須探討不同散水強度（至少 2 個條件）、不同通氣量（至少 2 個條件）及不同熟化時間（至少 2 個條件），於不同實驗時間，採集不同管柱深度樣品，建置散水強度、通氣量、及熟化時間與重金屬溶出關係，合計至少採集 64 件次樣本，並依再生粒料環境用途溶出程序進行重金屬及氫離子濃度指數檢測。依結果協助辦理專家會議、研商會議或說明會議。（前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經環保署同意後調整。）
- (二) 模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況檢測，採集或製作焚化再生粒料加工再製品（如 CLSM）3 組，進行至少 9 件次重金屬溶出狀況檢測，以瞭解浸泡於地下水中的焚化再生粒料加工再製品長期溶出狀況。（前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經環保署同意後調整。）

三、辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響。

- (一) 辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，於槽底取樣口進行浸泡液之定期採樣及檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時重金屬溶出之狀況，並進行至少 16 件次重金屬及氫離子濃度指數檢測。（前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經環保署同意後調整。）
- (二) 依據前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近

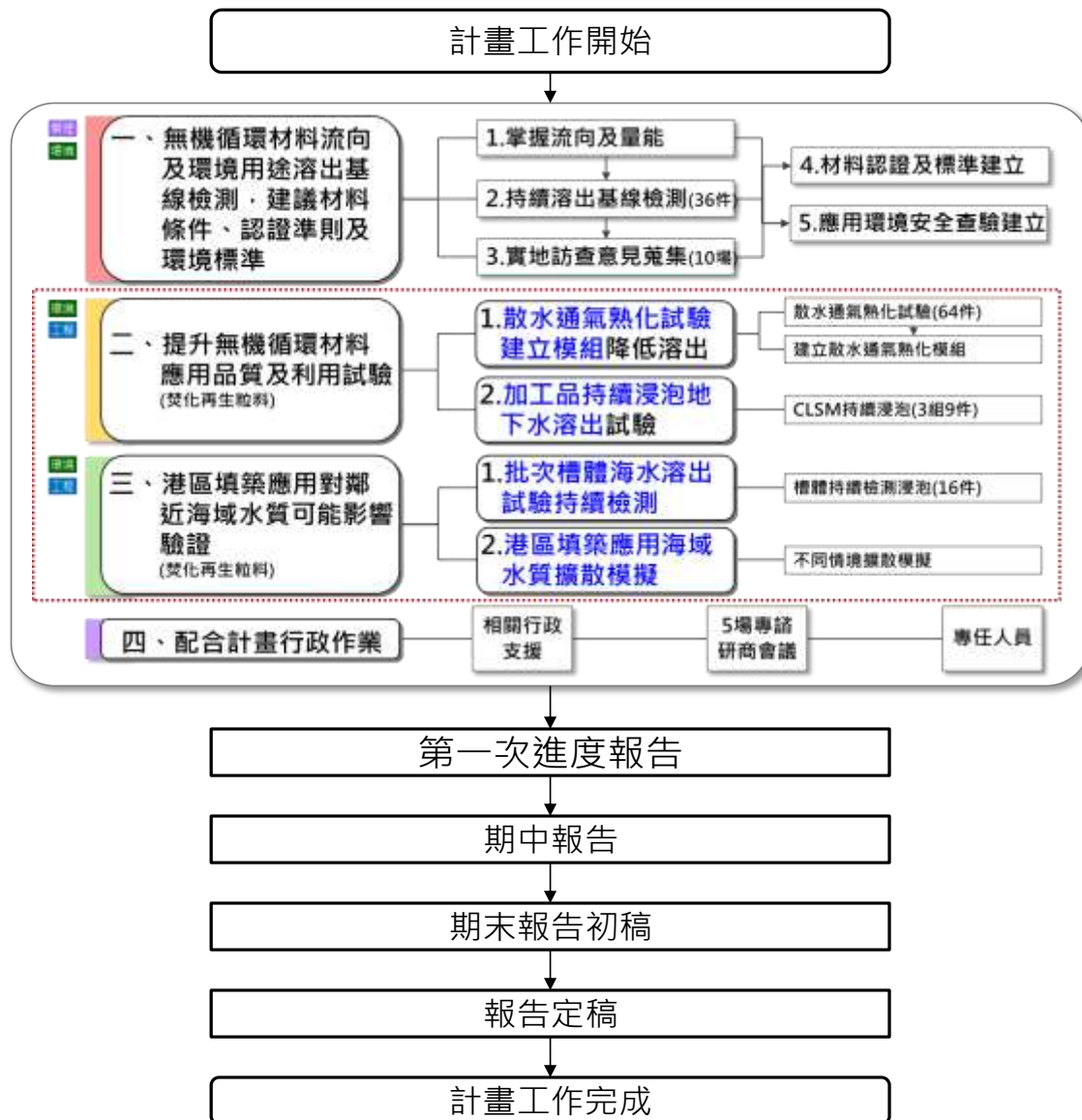
海域水質之可能影響，依結果協助辦理專家會議、研商會議或說明會議。

四、配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率。

- (一) 彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署網站的民意信箱協答、辦理與本計畫相關之考察、現勘、活動、召開會議準備相關事宜及其他臨時交辦事項。
- (二) 本計畫前述工作項目總計辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議（每場次半天，5 場次合計約 75 人，供膳、供茶水及供場地，5 場次專家學者合計至少 25 位，各場次可依內容彈性調整，並支給專家學者出席費及交通費），協助研提會議資料與彙整紀錄及辦理後續事宜。
- (三) 指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員 1 名，專門辦理本計畫幕僚行政、聯繫及本計畫相關事項，不得兼任其他工作。

1.3 計畫執行方法及預期效益

有關本計畫之計畫執行方法及預期效益，詳圖 1.3-1 及表 1.3-1 所示。



資料來源：本計畫彙整。

圖 1.3-1 本計畫之計畫執行方法及工作流程

表 1.3-1 本計畫各項工作目標及預期成果

工作項目	章節	目標	預期成果
一、無機循環材料流向及環境用途溶出基線檢測，建議材料條件及標準	1.掌握流向及量能	2.1 節	- 瞭解主要無機循環材料各用途使用情形，綜整問題強化管理 - 盤點主要無機循環材料 108/109/110(1 至 9 月)流向 - 繪製主要無機循環材料 109 年詳細流向
	2.持續溶出基線檢測(36 件)	2.2 節	- 瞭解主要無機循環材料粒料或混合應用之品質及用途環境安全性 - 完成第 3 年基線檢測 20 件 - 完成粒料混合特色檢測 18 件
	3.實地訪查意見蒐集(10 場)	2.3 節	- 藉由現場瞭解再利用現況及問題，提升再生粒料再利用品質 10 場次優化還原碴再利用訪查
	4.材料認證及標準建立	2.4 節	- 建立產品標準及認證制度，以提升再利用產品品質，增加使用意願 - 提出材料化條件、認證準則及產品標準
	5.環境安全查驗建立	2.5 節	- 以實廠運作驗證認證制度，修正運作流程，貼合實務面 - 研提整體查驗作業流程，實廠驗證供參
二、提升無機循環材料應用品質及利用試驗	1.散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出(焚化再生粒料)	3.1 節	- 建立焚化再生粒料實驗室參數，以模擬實廠運作規模之行參數規格，並初估設置成本作為推廣使用參據 - 建置散水強度、通氣量及熟化時間與溶出(68 件) - 提出實場化散水通氣處理模組規格參數規格建議 - 初估模組投資設置成本
	2.加工品持續浸泡地下水溶出試驗(焚化再生粒料)	3.2 節	- 瞭解焚化再生粒料用於 CLSM 及低密度透水混凝土長期浸泡地下水溶出情形，確保工程使用環境安全 - CLSM 浸泡地下水第 9/12/15/18 月溶出檢測(12 件) - 新增低密度再生透水混凝土浸泡地下水第 0/7/1 月/3 月溶出檢測(4 件)
三、港區填築應用對鄰近海域水質可能影響驗證	1.批次槽體海水溶出試驗持續檢測(16 件)	4.1 節	- 作為焚化再生粒料於臺北港現地回填試驗之參據 - 現地槽體浸泡海水第 6 至 11 月溶出檢測(16 件)
	2.港區填築應用海域水質擴散模擬	4.2 節	- 作為焚化再生粒料港區造地填築料源前 3 階段(實驗室試驗、現地試驗、環評)之第 2 階段先期評估工作 - 利用槽體試驗結果，進行港區回填對海域水質擴散模擬
四、配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率	1.相關行政支援	5.1 節	- 協助彙整本計畫相關成果或其他臨時交辦事項 - 依業務時效需求，完成辦理各項交辦事項
	2.5 場專諮研商會議	5.2 節	- 依施政需求，配合辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議 - 配合前述工作項目，廣納各界意見
	3.專任人員	5.3 節	- 指派專任人員 1 名，專門辦理本計畫幕僚行政 1 名專任人員辦理計畫相關事項

資料來源：本計畫彙整。

1.4 執行進度

有關本計畫至成果報告各項工作預定及實際執行進度，詳表 1.4-1 所示。

表 1.4-1 本計畫各項工作預定進度及查核點

項次	工作項目	類別	(%)	110 年											
				3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月		
一	盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議	預定	45.0	1.0	5.0	9.5	14.0	18.0	24.0	32.5	39.5	43.5	45.0		
		實際	34.0	1.0	7.5	12.0	16.5	22.5	28.5	34.0	39.5	43.5	45.0		
(一)	盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰）產生量、再利用量等用途及資源循環流向	預定	15.0	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0	11.0	12.5	14.0	14.5	15.0		
		實際	13.0	1.0	3.5	5.5	7.5	9.5	11.5	13.0	14.0	14.5	15.0		
(二)	檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）環境用途溶出狀況	預定	10.0	-	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	6.5	8.5	10.0	10.0		
		實際	6.5	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.5	8.5	10.0	10.0		
(三)	實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題	預定	10.0	-	0.5	1.0	1.5	3.5	5.5	7.5	9.0	10.0	10.0		
		實際	8.5	-	1.0	1.5	2.0	4.0	6.0	8.5	9.0	10.0	10.0		
(四)	依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議	預定	5.0	-	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0		
		實際	3.0	-	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0		
(五)	研擬焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程	預定	5.0	-	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0		
		實際	3.0	-	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0		
二	提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗	預定	20.5	-	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.5	18.5	20.5		
		實際	15.0	-	3.0	5.0	7.0	9.0	11.0	15.0	16.5	18.5	20.5		
(一)	進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗	預定	11.0	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	11.0		
		實際	7.5	-	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	7.5	8.5	10.0	11.0		
(二)	模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況	預定	9.5	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.5	8.5	9.5		
		實際	7.5	-	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	7.5	8.0	8.5	9.5		
三	續辦焚化再生粒料槽體試驗之海水溶出檢測，並進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填對鄰近海域水質影響	預定	19.5	-	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.5	15.5	17.5	19.5		
		實際	14.0	-	2.5	4.5	6.5	8.5	10.5	14.0	15.5	17.5	19.5		
(一)	續辦焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測	預定	10.0	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.5	8.0	9.0	10.0		
		實際	7.0	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	8.0	9.0	10.0		
(二)	依前述海水溶出重金屬檢測結果，進行海域水質擴散模擬，瞭解焚化再生粒料港區造地鄰近海域水質影響	預定	9.5	-	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.5	8.5	9.5		
		實際	7.0	-	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	7.0	7.5	8.5	9.5		
四	配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率	預定	15.0	1.5	2.5	3.5	5.0	6.5	8.0	8.5	9.5	13.5	15.0		
		實際	8.5	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	8.5	11.5	13.5	15.0		
(一)	彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署民意信箱協答、辦理與本計畫相關事宜及交辦事項	預定	5.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	3.0	4.5	5.0		
		實際	3.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	4.5	5.0		
(二)	辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議，協助研提會議資料與彙整紀錄及辦理後續事宜	預定	5.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	3.0	4.5	5.0		
		實際	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	2.0	3.5	4.5	5.0		
(三)	指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員，辦理本計畫幕僚行政、聯繫及相關事項	預定	5.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	3.5	4.5	5.0		
		實際	3.5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0		
預定累積進度百分比(%)				3	12	21	31	41	52	66	80	93	100		
實際累積進度百分比(%)				3	16	26	36	48	59	72	83	93	100		
提交重要報告							A			B	C				
查核點		預定完成時間	契約規定				實際辦理情形								
A：第一次進度報告		6 月 3 日	執行進度 25%以上，提出工作進度報告完成 2 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端之實地訪查				已完成 2 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端之實地訪查(詳 2.3 節)								
B：期中報告		9 月 3 日	執行進度 55%以上，提出期中報告完成 10 件無機循環材料之環境用途溶出程序檢測				已完成 37 件無機循環材料之環境用途溶出程序檢測(詳 2.2 節)								
C：期末報告初稿		10 月 20 日	完成本計畫各項工作，提出期末報告初稿				已完成本計畫各項工作，提出期末報告初稿								

註：本表所列工作進度，需配合配合實際決標進度、環保署指示及其他狀況作彈性調整。

第二章 盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議

第二章 盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議

有關「盤點國內主要無機循環材料之資源循環流向，建置無機循環材料環境用途溶出基線資料，研訂無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議」此項工作，本計畫已初擬辦理事項之作業流程，詳圖 2-1，依序說明如后。

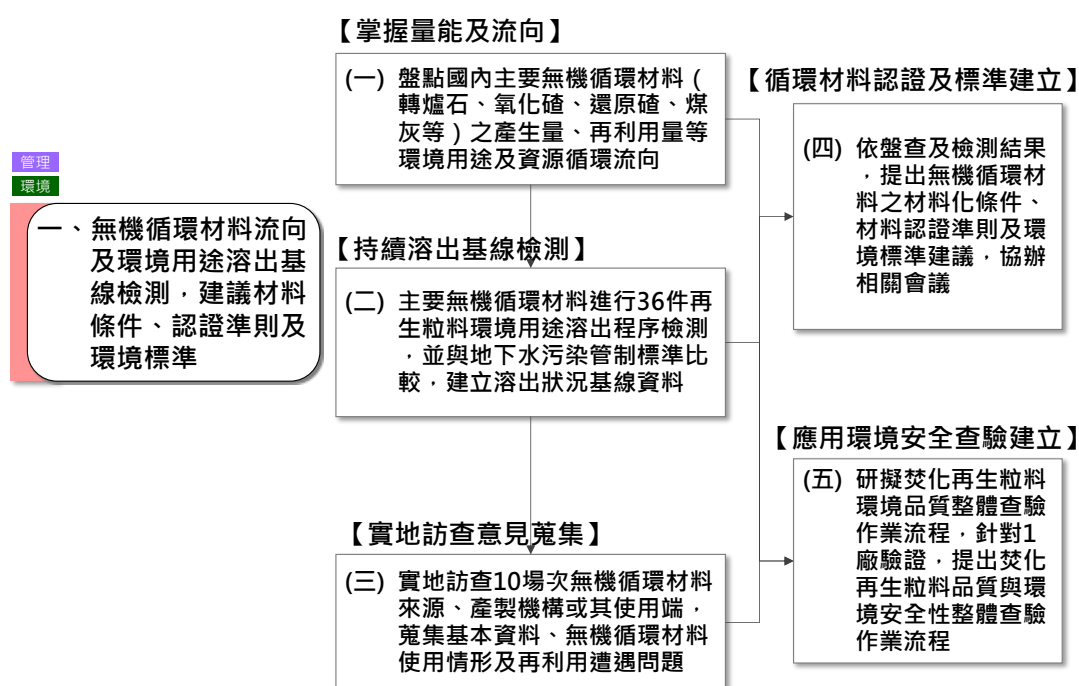


圖 2-1 「國內主要無機循環材料資源循環流向及環境用途溶出基線檢測，建議材料化條件、認證準則及環境標準」之作業流程

- 一、掌握量能及流向 — 盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化矽、還原矽、煤灰等）之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向，詳 2.1 節。
- 二、持續溶出基線檢測 — 檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化矽、還原矽、煤灰等）的環境用途溶出狀況，依據再生粒料環境用途溶出程序，進行重金屬、鹽類及氫離子濃度指數項目試驗檢測，並與地下水污染管制標準進行比較。採集及試驗分析至少 36 件次，建立環境用途溶出狀況基線資料，詳 2.2 節。

- 三、實地訪查意見蒐集 — 實地訪查至少 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集其基本資料、無機循環材料使用情形及再利用遭遇問題，詳 2.3 節。
- 四、循環材料認證及標準建立 — 依盤查資料分析及檢測結果，提出廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，藉由製程規範、材料認證及環境標準把關，精進無機循環材料規範與環境品質，協辦專家、研商或說明會議，詳 2.4 節。
- 五、應用環境安全查驗建立 — 研擬焚化再生粒料之環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程，詳 2.5 節。

2.1 盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰）產生量、再利用量等用途及資源循環流向【掌握量能及流向】

本項工作重點為「掌握量能及流向」，內容依據契約書為「盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向。」。有關本項「掌握量能及流向」作業流程，詳圖 2.1-1 所示。

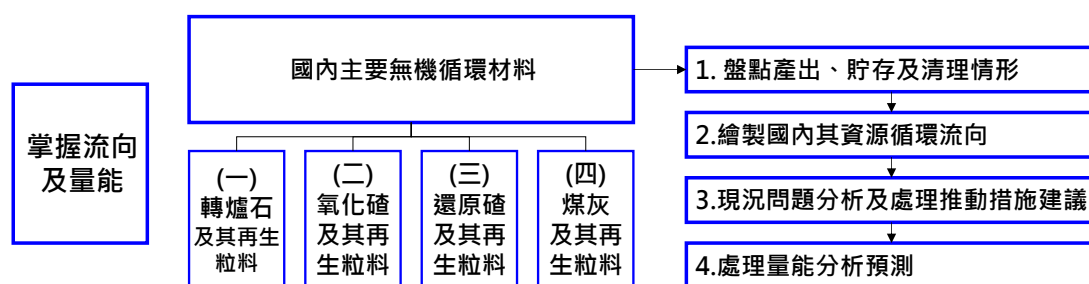


圖 2.1-1 「盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向」之作業流程

一、轉爐石及其再生粒料

(一) 盤點轉爐石及其再生粒料之產出、貯存及處理情形

我國轉爐石係主要由中國鋼鐵股份有限公司(以下或稱 中鋼公司)及中龍鋼鐵股份有限公司(以下或稱 中龍公司)經由轉爐冶煉產生鋼液過程中，產出之副產品。

本計畫初步彙整近 3 年轉爐石及其再生粒料現況及數量，以下進行相關說明。

1. 轉爐石及其再生粒料現況及數量(如表 2.1-1)

(1) 產生量

轉爐石產生量 108 年約 167 萬公噸、109 年約 156 萬公噸、110 年(1-8 月)約 117 萬公噸，主要中鋼公司及中龍公司產出，年產生量變化不大，平均約 160 萬左右。

(2) 再利用量(交付中聯資源公司之清運量)

再利用部分全數交由中聯資源公司處理加工成轉爐石再生粒料(或稱 轉爐石級配料)。

轉爐石再利用量 108 年約 79 萬公噸，109 年約 87 萬公噸，110 年(1-8 月)約 136 萬公噸，年再利用量有增加趨勢。

(3) 年增暫存量(當年產生量扣除再利用量)

108 年增暫存量約 88 萬公噸，109 年增暫存量約 69 萬公噸，110 年(1-8 月)年增暫存量約-19 萬公噸，由於 109 年增加海事工程用途，年增暫存量顯著下降之趨勢。

(4) 至當年止之累積暫存量

至 108 年止之累積暫存量約 399 萬公噸，至 109 年止之累積暫存量約 467 萬公噸，至 110 年 8 月止累積暫存量約 445 萬公噸。

(5) 再生粒料使用量及使用情形

轉爐石再生粒料使用量 108 年約 79 萬公噸、109 年約 87 公噸及 110 年(1-8 月)約 136 萬噸，由於 109 年 11 月增加轉爐石應用於海事工程用途(作為臺北港造地回填料源)，迄今 110 年再生粒料使用量有增加之趨勢。

表 2.1-1 轉爐石現況及數量

名稱	年度	產生量 (公噸)	再利用量 (公噸)	年增暫存量 (公噸)	累積暫存量 (公噸)	流向		
		A	B	C=A-B	D	機構管編	前五大機構名稱	申報量 (註)
轉爐石	108 年	約 167 萬 (中鋼 117 萬、中龍 50 萬)	約 79 萬	約 88 萬	約 399 萬 (至 108 年止)	B0203101	中聯資源(股)中港廠	約 42 萬
						E5601697	中聯資源(股)	約 86 萬
						E56A5522	中聯資源(股)沿海廠	約 113 萬
						L02A0301	中聯資源(股)台中廠	約 116 萬
						L02A1458	中聯資源(股)南堤廠	約 39 萬
	109 年	約 156 萬 (中鋼 104 萬、中龍 52 萬)	約 87 萬	約 69 萬	約 467 萬 (至 109 年止)	B0203101	中聯資源(股)中港廠	約 49 萬
						E5601697	中聯資源(股)	約 101 萬
						E56A5522	中聯資源(股)沿海廠	約 132 萬
						L02A0301	中聯資源(股)台中廠	約 136 萬
						L02A1458	中聯資源(股)南堤廠	約 46 萬
	110 年 (1-8 月)	約 117 萬 (中鋼 83 萬、中龍 34 萬)	約 136 萬	約-19 萬	約 445 萬 (至 110 年 8 月止)	B0203101	中聯資源(股)中港廠	約 17 萬
						E5601697	中聯資源(股)	約 61 萬
						E56A5522	中聯資源(股)沿海廠	約 81 萬
						L02A0301	中聯資源(股)台中廠	約 80 萬
						L02A1458	中聯資源(股)南堤廠	約 24 萬

資料來源：中龍及中鋼公司提供申報資料。(本計畫彙整)

說明：1. 轉爐石並非廢棄物，因此並無該機構收受之中報資料，爰以機構月申報之原料(爐石)使用量代替，其值與中鋼中龍公司提供之清理申報量將會略有差異。

2. 本表再利用率指再生粒料使用量。

表 2.1-2 轉爐石再生粒料使用量及使用情形

名稱	產品名稱或用途	108 年		109 年		110 年(1-8 月)	
		再生粒料 使用量 (公噸)	比例	再生粒料 使用量 (公噸)	比例	再生粒料 使用量 (公噸)	比例
轉爐石再生粒料產製之產品	海事工程(作為臺北港造地回填料源)(109 年 11 月起新增)		-	約 23 萬	26%	約 106 萬	78%
	廠內回收(燒結回收+殘鋼回收)	約 27.7 萬	35%	約 22 萬	25%	約 15 萬	11%
	控制性低強度回填材料(CLSM)	約 23.2 萬	29%	約 16 萬	18%	約 6 萬	5%
	瀝青混凝土鋪面(AC)骨材	約 19.9 萬	25%	約 13 萬	15%	約 2 萬	1%
	水泥替代原料	約 3 萬	4%	約 9 萬	10%	約 4 萬	3%
	高壓磚	約 3 萬	4%	約 3 萬	4%	約 1 萬	1%
	其他(如便道整地或試驗用料等)	約 2 萬	3%	約 1 萬	2%	約 2 萬	1%
	總計	約 79 萬	100%	約 87 萬	100%	約 136 萬	100%

資料來源：中龍及中鋼公司提供。(本計畫彙整)

說明：1. 「海事工程」用途係中鋼公司於 109 年 7 月通過新增轉爐石為臺北港填海造地料源之環差—「臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告(新增造地料源)」，填築量每年約 130 萬噸，109 年 11 月開始作為臺北港造地填築料源後，故 109 年增加一再利用用途。

2. 本表再利用率指再生粒料使用量。

- A. 108 年再利用用途別，主要以廠內回收(燒結回收+殘鋼回收)約 35%、控制性低強度回填材料(CLSM)約 29%、瀝青混凝土(AC)骨材約 25%等。
- B. 109 年再利用用途別，由於臺北港 109 年 7 月通過新增轉爐石為臺北港填海造地料源之環境影響差異分析(臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告(新增造地料源))，每年可提供填築量約 130 萬噸，並自 109 年 11 月開始進臺北港填築，109 年海事工程用途占約 26%，其他如控制性低強度回填材料(CLSM)約 18%、瀝青混凝土(AC)骨材 15%。
- C. 110 年(1-8 月)再利用用途別，主要以海事工程約 78%為主，其他如廠內回收(燒結回收+殘鋼回收)約 11%、控制性低強度回填材料(CLSM)約 5%。

2. 轉爐石再利用機構現況

國內轉爐石再利用機構共 1 家，為中聯資源股份有限公司(以下或稱 中聯公司)。

中聯公司許可或設計處理量每年約 143 萬公噸，主要處理方式含篩分、破碎、磁選、安定化等。

(二) 繪製國內轉爐石及其再生粒料之資源循環流向

1. 整體流向：依前述資料繪製國內轉爐石及其再生粒料之整體資源循環流向，如圖 2.1-2 所示。

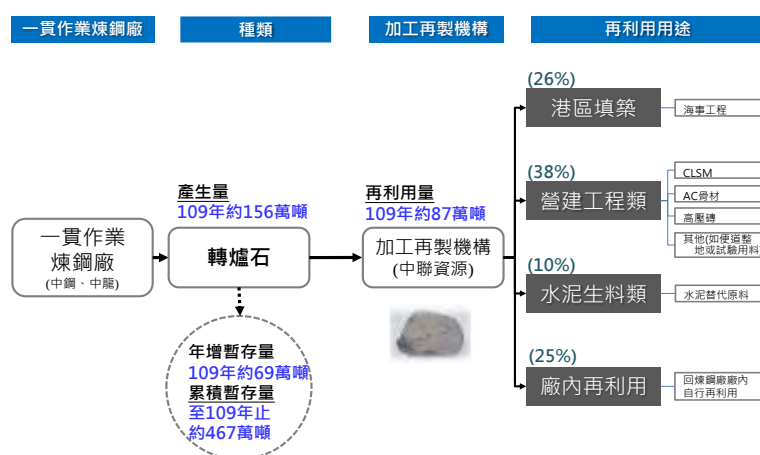
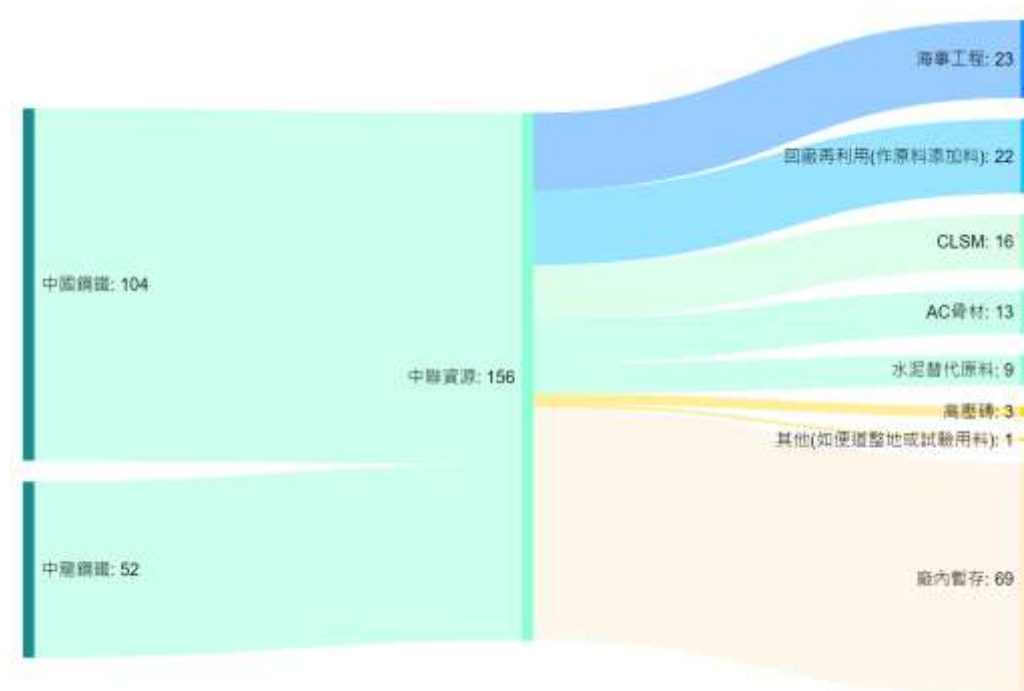


圖 2.1-2 我國轉爐石 109 年資源循環流向

2. 物質流向：依物質流區分繪製國內轉爐石及其再生粒料之資源循環流向如圖 2.1-3 所示。另依事業、再利用機構及用途區分如附件 5 所示。



資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-3 我國轉爐石 109 年資源循環流向(依物質流區分)

(三) 轉爐石及其再生粒料流向現況問題分析及處理推動措施建議

1. 流向現況問題分析

目前國內轉爐石流向及數量以 109 年為例說明，轉爐石年產生量約 156 萬公噸，轉爐石年再利用量約 87 萬公噸，當年年產生量約有 69 萬公噸未再利用(可能部分採暫置方式)。可能現況分析如下：

- (1) 轉爐石具膨脹特性，再利用去化管道容易受限。
- (2) 中鋼公司積極拓展轉爐石多元化再利用，於 109 年 11 月作為臺北港防風林區造地回填料源，透過下列 3 階段控管確認可行才填築使用，預計每年增加去化量 130 萬噸，可逐步去

化累積暫存量，自 109 年 11 月進港填築迄今(至 110 年 9 月)已填築約 143 萬噸。

- A. 實驗室試驗階段：確保焚化再生粒料品質，107 年起辦理，粒料品質符合相關標準。
 - B. 現地開挖回填試驗階段：確認回填資材現地工程對現地影響，107 年 12 月底完成現地回填試驗 2.2 萬 m³（約 6 萬噸），監測結果對環境無影響。
 - C. 環評差異分析階段：取得新增回填料源許可，109 年 7 月通過環評差異分析，並採海運運輸以降低對陸地交通影響。
- (3) 轉爐石累積暫存量較其它種類再生粒料大，為加速去化及拓展海事工程應用管道，臺北港於 109 年 11 月開始收受轉爐石作為其防風林區之造地回填料源，每年可增加去化量約 130 萬噸，惟去化年限有限，僅可填至 121 年，或需即早因應並提前規劃臺北港及高雄港遠期開發計畫期程，建立長遠去化管道。

2. 處理推動措施建議

由環境、管理及工程等面向，持續推動轉爐石應用於公共工程及港區造地填築用途，多元化使用：

- (1) 法令規範—滾動檢討修正「轉爐石自主管理計畫」及「第 02703 章轉爐石填海造地」施工綱要規範
 - A. 修訂轉爐石溶出檢測方式
 - (a) 現行檢測方式：依「第 02703 章轉爐石填海造地」施工綱要規範，現行轉爐石品質檢測係以「事業廢棄物毒性特性溶出程序(NIEA R201)」進行檢測。
 - (b) TCLP 檢測方式差異性：毒性特性溶出程序(簡稱 TCLP)，為 TCLP 實驗為模擬酸雨環境狀況下，衛生掩埋場內廢棄物掩埋過程中毒性物質溶出情形，其設計情境與再生粒料再利用用途不同，較

難反應再生粒料在環境中重金屬溶出潛勢及累積量。

- (c) 建議修訂檢測方式：為確保再利用產品應用於環境之安全性，建議比照其他再生粒料已實施的作法(焚化再生粒料、氧化碴及還原碴等)，參考我國公告「再生粒料環境用途溶出程序 (NIEA R222)」為檢測方式，修訂轉爐石溶出檢測方式。

B. 增修轉爐石環境品質標準

轉爐石屬一貫作業煉鋼廠之副產品，由中鋼公司自主管理，依興辦事業計畫及環評承諾自行負責去化，由經濟部國營會協助督導，建議持續滾動檢討修正「轉爐石自主管理計畫」，增修訂定轉爐石環境品質標準。建議比照其他再生粒料已實施的作法(焚化再生粒料環境標準、經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表有關氧化碴及還原碴重金屬溶出標準)，參考我國地下水污染管制標準(我國分為 2 類)，研訂轉爐石再生粒料環境標準值，以保護我國土壤及地下水環境。

(2) 推廣應用—道路工程及海事工程

A. 道路工程—優先使用無機再生粒料

公共工程之環評案件施工項目若符合再利用用途，透過環保署個案環評審查機制，要求開發單位承諾優先使用轉爐石等無機再生粒料。

B. 海事工程—加速去化管道

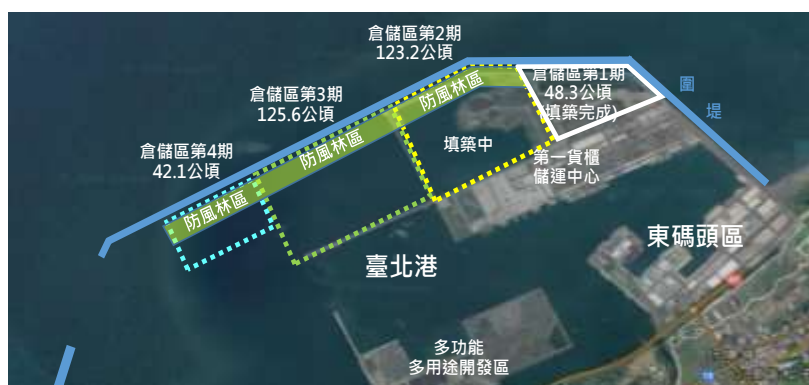
「臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告（新增造地料源）」於 109 年 7 月 1 日通過，轉爐石於 109 年 11 月正式提供臺北港倉儲區作為造地回填料源，去化量增加為 130 萬噸/年，惟臺北港北外堤可填築總量有限，暫存量完全去化年期至 121 年。121 年以後之去化地點須提早因應辦理(如規

劃臺北港、高雄港遠期開發計畫期程等)，以增加未來之填築量。

(四) 轉爐石處理量能分析預測

1. 臺北港造地規劃與進度 (如圖 2.1-4、表 2.1-3、表 2.1-4)

- (1) 簡介：臺北港自 100 年起於北側進行物流倉儲區之造地填築，共分為 4 期，面積總計 339.2 公頃，填築總量約 13,667 萬噸(約 7,325 萬方)。
- (2) 填築料源：營建土石方 (B1~B6 類土方及營建廢棄物分類後磚石填料(含磁磚))、109 年起新增轉爐石(中鋼/中龍一貫煉鋼廠副產品)
- (3) 填築分區：以營建土石方為主，共 4707 萬噸 6,790 萬方，其中 2~4 期防風林區專填轉爐石 535 萬方。
- (4) 填築進度：第 1 期已完成、第 2 期進行中，迄今已填築約 4,793 萬噸(約 2,647 萬方)，總進度完成約 36%。
- (5) 填築年限
 - A. 營建土石方：可填至 126 年，尚餘約 7,916 萬噸(約 4,398 萬方)。每年可填 756 萬噸/年(約 420 萬方/年)，剩餘約 10~15 年尚可填築。
 - B. 轉爐石：可填至 121 年，尚餘約 1,358 萬噸(約 503 萬方)。每年可填 130 萬噸/年(約 48 萬方/年)，剩餘約 10~11 年尚可填築。



資料來源：行政院環保署，臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第四次環境影響差異分析報告-年收土量體變更案(定稿本)，109 年 10 月。(本計畫彙整)

圖 2.1-4 臺北港物流倉儲區之造地填築情形

表 2.1-3 轉爐石應用於臺北港倉儲區規劃期程、規劃及填築量 (單位以萬噸計)

單位：萬噸

填築區			第 1 期(完成)	第 2 期(填築中)	第 4 期	第 3 期	合計
期程	營建土石方		100-105 年	106-117 年	113-116 年	116-126 年	
	再生粒料(轉爐石)		-	109-113 年	114-117 年	117-121 年	
填 築 料 源	營建 土石方	規劃量	1,548	4,192	1,933	4,549	12,222
		填築量	1,949	2,758	-	-	4,707
		剩餘量	-	1,435	1,933	4,549	7,916
	再生粒 料 (轉爐石)	規劃量	-	421	419	605	1,445
		填築量	-	86	-	-	86
		剩餘量	-	335	419	605	1,358
	合計	規劃量	1,548	4,613	2,352	5,153	13,667
		填築量	1,949	2,844	-	-	4,793
		剩餘量	-	1,769	2,352	5,153	9,275
當期進度(填築/規劃)			100%	63%	113 年開始	116 年開始	
總進度				36%			

註：營建土石方(1.8 萬公噸/萬方)、轉爐石(2.7 萬公噸/萬方)

參考來源：行政院環保署，臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第四次環境影響差異分析報告-年收土量體變更案(定稿本)，109 年 10 月。

表 2.1-4 轉爐石應用於臺北港倉儲區規劃期程、規劃及填築量 (單位以萬方計)

單位：萬方

填築區			第 1 期(完成)	第 2 期(填築中)	第 4 期	第 3 期	合計
期程	營建土石方		100-105 年	106-117 年	113-116 年	116-126 年	
	再生粒料(轉爐石)		-	109-113 年	114-117 年	117-121 年	
填 築 料 源	營建 土石方	規劃量	860	2,329	1,074	2,527	6,790
		填築量	1,083	1,532	-	-	2,615
		剩餘量		797	1,074	2,527	4,398
	再生粒 料 (轉爐石)	規劃量	-	156	155	224	535
		填築量	-	32	-	-	32
		剩餘量	-	124	155	224	503
	合計	規劃量	860	2,485	1,229	2,751	7,325
		填築量	1,083	1,564	-	-	2,647
		剩餘量		921	1,229	2,751	4,901
當期進度(填築/規劃)			100%	63%	113 年開始	116 年開始	
總進度				36%			

註：營建土石方(1.8 萬公噸/萬方)、轉爐石(2.7 萬公噸/萬方)

參考來源：行政院環保署，臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第四次環境影響差異分析報告-年收土量體變更案(定稿本)，109 年 10 月。

2. 處理量能分析預測

(1) 過去累積暫存量至 121 年可去化

依前述填築規劃進行分析預測，臺北港於 109 年 7 月通過「臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告（新增造地料源）」，轉爐石作為防風林區造地回填料，並考慮海上運輸及陸上卸貨等交通因素，每年僅可填築約 130 萬噸，截至 109 年底累積暫存量約 467 萬

噸，預估共計 11 年可將累積暫存量去化，至 121 年可去化累積暫存量。

(2) 未來可增加防風林區外填築區位，縮短去化年限

由於轉爐石現階段僅填築於防風林區，為提早因應優先擴大填築範圍，建議可依 110 年 6 月 11 日行政院核定之「再生粒料應用於港區造地填築作業程序」，評估可檢討綠帶及綠地用地(含公園用地)、停車場及廣場用地、環保設施用地或其他由港區目的事業主管機關經地盤或工程改良、穩定或強化評估核可之用地擴大使用轉爐石等再生粒料，增加防風林區外填築區位，以提高再利用量，縮減累積暫存消化年限。

(3) 增加未來臺北港或其他港區遠期用地，建立長遠去處

由於臺北港現行環評規定物流倉儲區全區(含轉爐石、營建土石方)填築年限有限(至 126 年止)，建議提早因應辦理臺北港或其他港區遠期用地，以增加未來之填築量，並建立轉爐石長遠去處。

二、氧化碴及其再生粒料

(一) 盤點氧化碴及其再生粒料之產出、貯存及處理情形

氧化碴係為電弧爐煉鋼製程中，熔煉後大部分非鐵金屬與添加之副原料所形成「煉鋼爐碴」，依其出碴時期不同可區分為氧化碴、還原碴兩類。

電弧爐煉鋼過程依其化學反應，分別為氧化期及還原期。氧化期係為使廢鐵原料溶解成液態鋼液，通入高壓氧氣以加速氧化作用，此階段產生之產品為氧化碴。

本計畫初步彙整近 3 年氧化碴及其再生粒料現況及數量、再利用機構現況，以下進行相關說明。

1. 氧化碴及其再生粒料現況及數量 (如表 2.1-5)

(1) 產生量

氧化碴產生量 108 年約 115 萬公噸，109 年約 105 萬公噸，110 年(1-8 月)約 88 萬，年產生量變化不大。

表 2.1-5 氧化碲現況及數量

名稱	年度	產生量 (公噸)	再利用量 (公噸)	再生粒料 使用量 (公噸)	年增暫存量 (公噸)	累積暫存量 (公噸)	流向	
		A	B	C	D=A-C	E	前五大機構名稱	收受量
氧化碲	108 年	約 115 萬	約 112 萬	約 121 萬	-6 萬	約 89 萬 (至 108 年止)	樺勝公司(含觀音廠)	410,771
							皓勝公司	160,649
							樺懋公司	156,391
							全興公司二廠	135,182
							立順興公司	61,583
	109 年	約 105 萬	約 132 萬	約 122 萬	-17 萬	約 61 萬 (至 109 年止)	樺勝公司(含觀音廠)	427,557
							皓勝公司	163,284
							樺懋公司	87,836
							全興公司二廠	91,644
							立順興公司	84,464
	110 年 (1-8 月)	約 88 萬	約 87 萬	約 83 萬	-5 萬	約 52 萬 (至 110 年 8 月止)	樺勝公司(含觀音廠)	393,240
							皓勝公司	112,933
							全興公司二廠	70,097
							立順興公司	50,021
							樺懋公司	41,972

資料來源：1. 環保署，事業廢棄物申報及管理資訊系統，(統計時間 108~110.08，查詢時間 110 年 10 月)。

2. 「使用量」資料來源：經濟部工業局「再利用運作及產品流向管理系統」，再利用機構運作申報區之最終再利用產品銷售使用紀錄申報資料所載氧化碲再生粒料使用量。免申報最終再利用產品銷售使用紀錄，則由環保署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」產出情形申報資料推估。

說明：1. 本表「再利用量」指事業端交付再利用機構之清運數量。

2. 本表「使用量」指實際氧化碲產製之再生粒料使用量。

3. 本表「累積暫存量」指至當年止之累積暫存量。

4. 流向僅列前五大之收受機構。

(2) 再利用量(指產源交付再利用機構之清運數量)

氧化碲再利用量 108 年約 112 萬公噸，109 年約 132 萬公噸，110 年(1-8 月)約 87 萬，年再利用量有增加之趨勢。

(3) 再生粒料使用量(氧化碲產製之再生粒料實際摻配所需添加使用量)

氧化碲再生粒料使用量 108 年約 121 萬公噸，109 年約 122 萬公噸，110 年(1-8 月)約 83 萬，年再生粒料使用量有增加之趨勢。

(4) 年增暫存量(當年產生量扣除再利用量)

108 年年增暫存量約-6 萬公噸，109 年年增暫存量約-17 萬公噸，由於 109 年再利用量大於產生量，故 109 年的年增暫存量較 108 年少。110 年(1-8 月)的年增暫存量約-5 萬公噸，

(5) 至當年止之累積暫存量

至 108 年止之累積暫存量約 89 萬公噸，至 109 年之累積暫存量約 61 萬公噸，至 110 年 8 月止之累積暫存量約 52 萬公噸，至當年止之累積暫存量逐漸減少。

(6) 再生粒料使用量及使用情形 (如表 2.1-6)

- A. 彙整氧化碯再生粒料使用量及使用情形如表 2.1-7。氧化碯再生粒料使用量 108 年約 121 萬公噸，109 年約 122 萬公噸，110 年(1-8 月)約 83 萬。
- B. 108 年再利用用途別，主要使用於管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM) (占約 94%)，其他包含鋪面工程之基層或底層級配粒料(占約 4%)、瀝青混凝土(占約 2%)等其他用途。
- C. 109 年再利用用途別，主要使用於管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM) (占約 94%)，其他包含鋪面工程之基層或底層級配粒料(占約 4%)、瀝青混凝土(占約 2%)、水泥製品(如紐澤西護欄等)(占約<1%)等其他用途。

表 2.1-6 氧化碯再生粒料使用量及使用情形

名稱	產品名稱或用途	108 年		109 年		110 年(1-8 月)	
		再生粒料使用量(公噸)	比例	再生粒料使用量(公噸)	比例	再生粒料使用量(公噸)	比例
氧化碯再生粒料產製之產品	管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM)	1,145,600	94%	1,145,697	94%	759,490	92%
	鋪面工程之基層或底層級配粒料	43,214	4%	43,214	4%	28,297	3%
	瀝青混凝土	25,218	2%	25,248	2%	39,894	5%
	水泥製品(如紐澤西護欄等)	-	-	5,158	<1%	2,319	<1%
	總計	約 121 萬	100%	約 122 萬	100%	約 83 萬	100%

資料來源：1. 除紐澤西護欄以外之再利用用途產品：經濟部工業局「再利用運作及產品流向管理系統」，再利用機構運作申報區之最終再利用產品銷售使用紀錄申報資料所載氧化碯再生粒料使用量。

2. 紐澤西護欄再利用用途產品：為免申報最終再利用產品銷售使用紀錄，由環保署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」產出情形申報資料推估。

- D. 110 年(1-8 月)再利用用途別，主要使用於管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM) (占約 92%)，其他包含

鋪面工程之基層或底層級配粒料(占約 3%)、瀝青混凝土(占約 5%)、水泥製品(如紐澤西護欄等)(占約<1%)等其他用途。

2. 氧化碓再利用機構現況

國內氧化碓再利用機構取得許可共 32 家，實際收受約 19 家，其中前五大再利用機構(如表 2.1-7)。說明如下：

表 2.1-7 氧化碓前五大再利用機構現況

序 號	再利用機構名稱	許可或設計處理量		氧化碓收受量		
		(公噸/月)	(公噸/年)	108 年 (公噸/年)	109 年 (公噸/年)	110 年(1-8 月) (公噸/年)
1	樺勝環保事業(股)有限公司(含觀音廠)	50,000	600,000	410,771	577,362	393,240
2	皓勝工業(股)有限公司	30,000	360,000	160,649	208,245	112,933
3	樺懋科技(股)有限公司	19,000	228,000	156,391	103,753	41,972
4	全興環保有限公司二廠	28,000	336,000	135,182	121,969	70,097
5	立順興資源科技(股)有限公司	29,771	357,252	61,583	122,605	50,021

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 108~109)。註：氧化碓收受量包含個案再利用部分。

(1) 樺勝環保事業(股)有限公司(含觀音廠)

- A. 許可或設計處理量每年約 60 萬公噸。
- B. 氧化碓收受量 108 年約 41 萬公噸、109 年約 57 萬公噸、110 年(1-8 月)約 39 萬公噸。
- C. 現行主要收受事業機構：11 家碳鋼廠(包含中龍鋼鐵、協勝發鋼鐵、易昇鋼鐵、東和鋼鐵苗栗廠、東和鋼鐵桃園廠、建順煉鋼、海光企業、慶欣欣鋼鐵、聯成鋼鐵、豐興鋼鐵、羅東鋼鐵)及 1 家鑄鋼廠(日嘉工業)之氧化碓。

(2) 皓勝工業(股)有限公司

- A. 許可或設計處理量每年約 36 萬公噸。
- B. 氧化碓收受量 108 年約 16 萬公噸、109 年約 20 萬公噸、110 年(1-8 月)約 11 萬公噸。
- C. 現行主要收受事業機構：2 家碳鋼廠(包含東和鋼鐵桃園廠、羅東鋼鐵)及 1 家不鏽鋼廠(華新麗華鹽水廠)之氧化碓。

(3) 樺懋科技(股)有限公司

- A. 許可或設計處理量每年約 22.8 萬公噸。
- B. 氧化碴收受量 108 年約 15 萬公噸、109 年約 10 萬公噸、110 年(1-8 月)約 4 萬公噸。
- C. 現行主要收受事業機構：2 家碳鋼廠(協勝發鋼鐵、易昇鋼鐵)及 2 家不鏽鋼廠(唐榮鐵工廠、燁聯鋼鐵)之氧化碴。

(4) 全興環保有限公司二廠

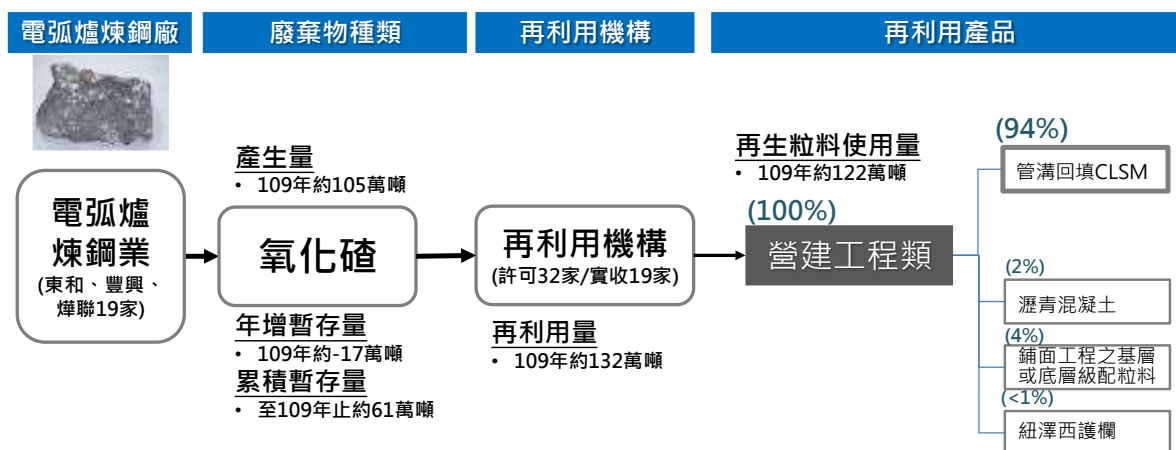
- A. 許可或設計處理量每年約 33.6 萬公噸。
- B. 氧化碴收受量 108 年約 13 萬公噸、109 年約 12 萬公噸、110 年(1-8 月)約 7 萬公噸。
- C. 現行主要收受事業機構：5 家碳鋼廠(易昇鋼、東和鋼鐵苗栗廠、東和鋼鐵桃園廠、慶欣欣鋼鐵、聯成鋼鐵)之氧化碴。

(5) 立順興資源科技(股)有限公司

- A. 許可或設計處理量每年約 35.7 萬公噸。
- B. 氧化碴收受量 108 年約 6 萬公噸、109 年約 12 萬公噸、110 年(1-8 月)約 5 萬公噸。
- C. 現行主要收受事業機構：1 家碳鋼廠(中龍鋼鐵)之氧化碴。

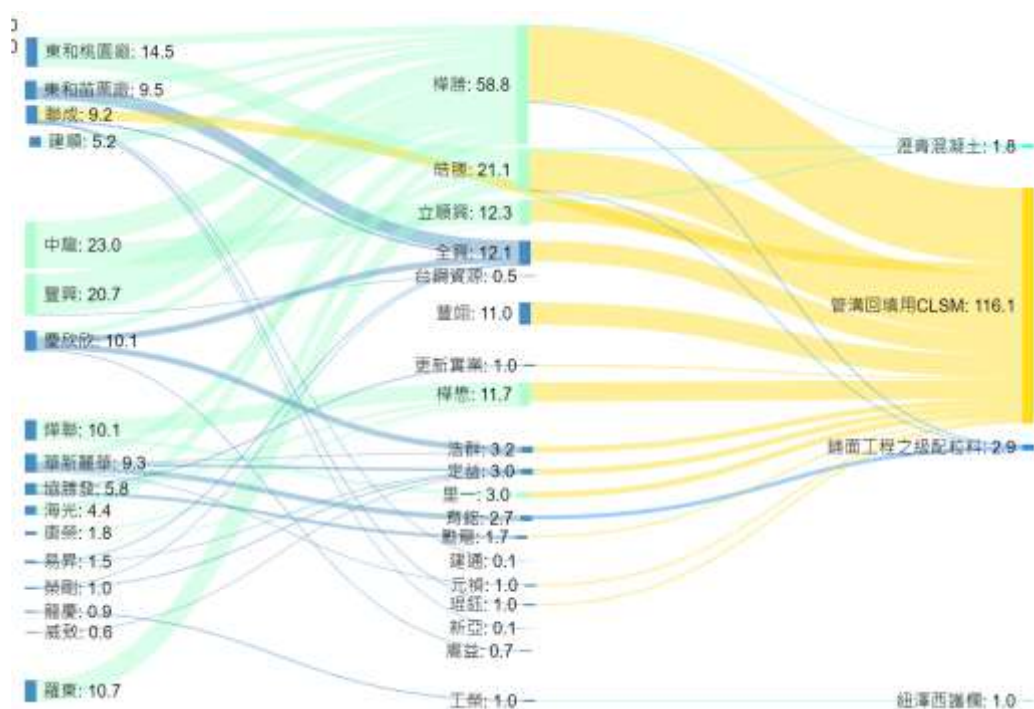
(二) 繪製國內氧化碴及其再生粒料之資源循環流向

1. 整體流向：依前述資料繪製國內氧化碴及其再生粒料之整體資源循環流向，如圖 2.1-5 所示。
2. 物質流向：依物質流區分繪製國內氧化碴及其再生粒料之資源循環流向如圖 2.1-6 所示。
3. 個別流向：依據不同事業、再利用機構(加工再製機構)及再利用用途區分(表 2.1-8 及表 2.1-9)。



資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-5 我國氧化碇及其再生粒料 109 年資源循環流向



資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-6 我國氧化碇及其再生粒料 109 年資源循環流向(依物質流區分)

表 2.1-8 109 年各鋼廠氧化碯產出及再利用現況

單位：公噸

鋼廠種類	管制編號	事業名稱	產生量 A	再利用量 B	交付之再利用機構名稱 (含事業單位廠內自行 再利用)	再利用量	年增 暫存量 C=A-B	累積 暫存量 D
全國			1,051,629	1,323,397	-	1,323,397	(271,768)	613,360
碳 鋼 廠	E5600332	協勝發鋼鐵廠股份有限公司	62,509	57,135	樺勝環保事業股份有限公司	746	5,374	14,279
					樺勝環保事業股份有限公司觀音廠	6,194		
					立順興資源科技股份有限公司	3,500		
					更新實業股份有限公司	8,599		
					樺懋科技股份有限公司	10,011		
					樺懋科技股份有限公司屏南廠	11,279		
					勵龍股份有限公司大發廠	16,804		
	E5600501	海光企業股份有限公司	41,458	43,688	樺勝環保事業股份有限公司	43,688	-2,230	74
	E5600798	龍慶鋼鐵企業股份有限公司	13,084	9,378	工榮企業有限公司北林廠	9,378	3,706	14,973
	G32A0540	羅東鋼鐵廠股份有限公司煉鋼廠	32,167	106,879	樺勝環保事業股份有限公司觀音廠	42,993	-74,712	122,982
					皓勝工業股份有限公司	63,887		
	H5200617	聯成鋼鐵股份有限公司桃園廠	25,544	32,814	樺勝環保事業股份有限公司	2,054	-7,270	459
					樺勝環保事業股份有限公司觀音廠	8,700		
					全興環保有限公司二廠	13,070		
					琨鈺企業有限公司	6,884		
					建通砂石廠	562		
					新亞拌合企業社苗栗廠	1,479		
					源富興業有限公司	65		
	H53A0675	東和鋼鐵企業股份有限公司新桃園廠	146,635	145,608	樺勝環保事業股份有限公司觀音廠	44,076	1,027	4,358
					皓勝工業股份有限公司	101,171		
					全興環保有限公司二廠	361		
	K7000513	建順煉鋼股份有限公司	18,789	51,606	樺勝環保事業股份有限公司	51,606	-32,817	72,241
	K8100129	東和鋼鐵企業股份有限公司苗栗廠	96,207	95,157	樺勝環保事業股份有限公司	28,711	1,050	1,500
					全興環保有限公司二廠	66,446		
	L0200633	中龍鋼鐵股份有限公司	107,784	230,161	樺勝環保事業股份有限公司	111,057	-122,377	54,528
					立順興資源科技股份有限公司	119,105		
	L9200728	豐興鋼鐵股份有限公司	203,531	206,484	樺勝環保事業股份有限公司	145,716	-2,953	-
					樺勝環保事業股份有限公司觀音廠	56,023		
					台鋼資源股份有限公司	4,745		

無機循環材料環境標準與應用專案計畫

單位：公噸

鋼廠 種類	管制編號	事業名稱	產生量 A	再利用量 B	交付之再利用機構名稱 (含事業單位廠內自行 再利用)	再利用量	年增 暫存量 C=A-B	累積 暫存量 D
	N1601229	慶欣欣鋼鐵股份有限公司	102,844	101,602	樺勝環保事業股份有限公司	31,904	1,242	2,350
					全興環保有限公司二廠	32,435		
					浩群實業股份有限公司六甲廠	30,241		
					嵩益股份有限公司	7,022		
	R14A1883	易昇鋼鐵股份有限公司	14,934	14,754	樺勝環保事業股份有限公司	3,871	180	1,545
					全興環保有限公司二廠	7,567		
					樺懋科技股份有限公司	266		
樺懋科技股份有限公司屏南廠					2,299			
定益企業有限公司					750			
R9701341	威致鋼鐵工業股份有限公司官田廠	56,145	5,893	定益企業有限公司	5,893	50,252	249,955	
小計		921,631	1,101,160	小計		(179,529)	539,445	
不銹鋼 合金鋼廠	E5601197	唐榮鐵工廠股份有限公司	18,380	18,460	樺懋科技股份有限公司	14,970	(80)	1,269
				里一實業有限公司	3,490			
	R8500582	華新麗華股份有限公司-鹽水廠	43,561	92,550	皓勝工業股份有限公司	43,187	(48,990)	7,051
					浩群實業股份有限公司六甲廠	1,836		
					定益企業有限公司	14,682		
					育銘實業有限公司東山廠	26,716		
					元禎環保國際股份有限公司	6,129		
	S1601990	燁聯鋼鐵股份有限公司	52,823	100,910	樺懋科技股份有限公司	78,506	(48,087)	64,768
					樺懋科技股份有限公司屏南廠	183		
					里一實業有限公司	22,221		
	R8400827	榮剛材料科技股份有限公司新營廠	10,994	10,294	全興環保有限公司二廠	2,090	700	800
定益企業有限公司					8,204			
小計		125,757	222,214	小計		(96,457)	73,888	
鑄鋼廠	E5600154	中鋼機械股份有限公司	0	0	-	0	0	10
	S3200099	日嘉工業股份有限公司	32	22	樺勝環保事業股份有限公司	22	10	17
	小計		32	22	小計	0	10	27
總計			1,051,629	1,323,397	總計	1,323,397	(271,768)	613,360

註：產出申報量＝聯單申報量+暫存申報異動量

資料來源：行政院環保署，事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 109.01~109.12)。資料篩選日期：110.05

表 2.1-9 109 年各再利用機構氧化碓再利用用途及使用量

管制編號	再利用機構名稱	許可量(設計處理量)		氧化碓 收受量	再利用用途	氧化碓 使用量
		(公噸/月)	(公噸/年)	(公噸/年)		(公噸/年)
	全國	397,365	4,768,380	1,323,397		1,219,317
H53B2707	樺勝環保事業股份有限公司(觀音廠)	50,000	600,000	577,362	管溝回填用控制性低強度回填材料	371,893
					瀝青混凝土	6,100
					鋪面工程之基層或底層級配粒料	6,857
H52A1222	皓勝工業股份有限公司	30,000	360,000	208,245	管溝回填用控制性低強度回填材料	200,670
					瀝青混凝土	7,692
					鋪面工程之基層或底層級配粒料	2,012
K730536	立順興資源科技股份有限公司	29,771	357,252	122,605	管溝回填用控制性低強度回填材料	100,910
					瀝青混凝土	4,244
					鋪面工程之基層或底層級配粒料	72
N1505955	全興環保有限公司二廠	28,000	336,000	121,969	管溝回填用控制性低強度回填材料	102,488
T57A1404	樺懋科技股份有限公司(屏南廠)	19,000	228,000	117,515	管溝回填用控制性低強度回填材料	95,290
D9600335	浩群實業股份有限公司六甲廠	13,500	162,000	32,077	管溝回填用控制性低強度回填材料	32,616
					瀝青混凝土	474
R91A0298	定益企業有限公司	7,000	84,000	29,530	管溝回填用控制性低強度回填材料	29,742
					鋪面工程之基層或底層級配粒料	4,860
D9400308	育鉉實業有限公司東山廠	10,000	120,000	26,716	鋪面工程之基層或底層級配粒料	22,089
T42A3005	里一實業有限公司	10,000	120,000	25,711	管溝回填用控制性低強度回填材料	25,819
E20A4374	勵龍股份有限公司大發廠	6,600	79,200	16,804	管溝回填用控制性低強度回填材料	7,695
					瀝青混凝土	3,104
D8700916	更新實業股份有限公司	7,000	84,000	8,599	管溝回填用控制性低強度回填材料	8,599
E1900680	工榮企業有限公司北林廠	5,000	60,000	9,378	瀝青混凝土	786
					紐澤西護欄	5,158
J59B0318	琨鈺企業有限公司	6,000	72,000	6,884	管溝回填用控制性低強度回填材料	6,884
J6000203	嵩益股份有限公司	35,000	420,000	7,022	(廠內暫存)	-
E2602281	元禎環保國際股份有限公司	4,800	57,600	6,129	管溝回填用控制性低強度回填材料	5,356
N16A3256	台鋼資源股份有限公司	8,335	100,020	4,745	瀝青混凝土	388
					鋪面工程之基層或底層級配粒料	3,529
K8300110	建通砂石廠	8,335	100,020	562	瀝青混凝土	2,460
K68A1202	新亞拌合企業社苗栗廠	1,000	12,000	1,479	(廠內暫存)	-
K7890277	源富興業有限公司苗栗廠	20,000	240,000	65	鋪面工程之基層或底層級配粒料	3,795
R14A2742	豐翊工程有限公司工廠	10,000	120,000	-	管溝回填用控制性低強度回填材料	107,349
E1604978	聯成預拌製品股份有限公司	14,000	168,000	-	管溝回填用控制性低強度回填材料	50,386
D9101177	立德鑫股份有限公司	12,000	144,000	-	-	-
R9303247	天九興業股份有限公司台南廠	3,024	36,288	-	-	-
K8303120	幸福有限公司	6,000	72,000	-	-	-
G32A2388	天育興業有限公司武荖坑廠	5,000	60,000	-	-	-
K7201430	岱泰企業股份公司	1,000	12,000	-	-	-
K71A2477	上禹水泥製品股份公司	3,000	36,000	-	-	-
B2305126	總茂環保股份公司	2,000	24,000	-	-	-
L03A0386	安信展業有限公司	5,000	60,000	-	-	-
B0202355	金瑄水泥製品股份有限公司龍井廠	25,000	300,000	-	-	-
N1505302	東奕環保事業股份公司	9,000	108,000	-	-	-
S2002526	上順水泥製品企業股份有限公司	3,000	36,000	-	-	-
總計		397,365	4,768,380		總計	1,219,317

註：1.除紐澤西護欄以外之再利用用途產品：經濟部工業局「再利用運作及產品流向管理系統」，再利用機構運作申報區之最終再利用產品銷售使用紀錄申報資料所載氧化碓再生粒料使用量。

2.紐澤西護欄再利用用途產品：為免申報最終再利用產品銷售使用紀錄，由環保署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」產出情形申報資料推估。

(三) 氧化碓及其再生粒料流向現況問題分析及處理推動措施建議

1. 流向現況問題分析

目前國內氧化碓流向及數量以 109 年為例說明，氧化碓年產生量約 105 萬公噸，氧化碓年再利用量約 112 萬公噸，當年再利用量已大於當年產生量。現況問題分析如下：

- (1) 氧化碓硬度較高，常用於道路鋪面或級配粒料利用，早期可能受還原碓誤用或鐵鏽問題影響去化。
- (2) 經濟部持續檢討「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表之電弧爐煉鋼爐碓（石）再利用管理方式，已分別陸續於 107 年 7 月 30 日、108 年 5 月 20 日及 110 年 06 月 24 日修正該辦法，加嚴再利用品質、新增再利用用途及流向管理，自 108 年起再利用量已大於當年產生量，故暫存量逐年下降，目前去化相對其他無機再生粒料較無問題。

2. 處理推動措施建議

由環境、管理及工程等面向，持續推動氧化碓應用於公共工程及港區造地填築用途，多元化使用，處理推動措施建議初步研擬如下：

(1) 法令規範

經濟部參考焚化再生粒料環境標準管制精神，於 110 年 6 月 24 日公告電弧爐煉鋼爐碓(氧化碓、還原碓)之重金屬溶出檢測、標準及使用地點限制，修正「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」第 3 條附表之再利用種類「編號八、電弧爐煉鋼爐碓（石）」(氧化碓、還原碓)，經再利用程序之產出物，於再利用階段出廠前，依「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」檢測重金屬項目(鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅)，每年度至少檢測一次，標準參考焚化再生粒料第一、二級環境標準控管產品品質，並限制使用地點(如水質水量保護區等區域)，確保應用時溶出對環境影響。並將持續滾動檢討法令規範，強化流向追蹤管理。

(2) 推廣應用

公共工程之環評案件施工項目若符合再利用用途，透過環保署個案環評審查機制，要求開發單位承諾優先使用氧化碓等無機再生粒料。

(四) 氧化碓及其再生粒料處理量能分析預測

氧化碓可以做為營建工程類，並以管溝回填 CLSM 用途為大宗，109 年產生量約 105 萬噸，109 年再利用量約 122 萬噸，當年產生氧化碓均可去化，並有 17 萬噸多餘裕量處理過去暫存量。109 年累積暫存量約 61 萬噸，預估至 114 年可完全去化暫存量。

三、還原碓及其再生粒料

(一) 盤點還原碓及其再生粒料之產出、貯存及處理情形

還原碓係為電弧爐煉鋼製程中，熔煉後大部分非鐵金屬與添加之副原料所形成「煉鋼爐碓」，依其出碓時期不同可區分為氧化碓、還原碓兩類。

電弧爐煉鋼過程依其化學反應，分別為氧化期及還原期。氧化期係為使廢鐵原料溶解成液態鋼液，通入高壓氧氣以加速氧化作用，此階段產生之產品為氧化碓。還原期係因鋼液含氧量過高，須加入石灰石、碳粉等副原料重新造碓，此階段產生之產品稱為還原碓。

本計畫初步彙整近 3 年還原碓及其再生粒料現況及數量、再利用機構現況，以下進行相關說明。

1. 還原碓及其再生粒料現況及數量(如表 2.1-10)

(1) 產生量

還原碓產生量 108 年約 30 萬公噸，109 年約 29 萬公噸，110 年(1-8 月)約 19 萬公噸，年產生量變化不大。

(2) 再利用量(產源交付再利用機構之清運數量)

還原碓再利用量 108 年約 13 萬公噸，109 年約 26 萬公噸，110 年(1-8 月)約 18 萬公噸(推估 110 年整年約 27 萬公噸)，年再利用量有增加之趨勢。

(3) 再生粒料使用量(還原碓產製之再生粒料實際摻配所需添加使用量)

還原碴再生粒料使用量 108 年約 14 萬公噸，109 年約 21 萬公噸，110 年(1-8 月)約 16 萬公噸(推估 110 年整年約 24 萬公噸)，年再生粒料使用量有增加之趨勢。

(4) 年增暫存量(當年產生量扣除再利用量)

108 年年增暫存量約 16 萬公噸，109 年年增暫存量約 8 萬公噸，110 年(1-8 月)年增暫存量約 3 萬公噸，年增暫存量有逐年減少之趨勢。

(5) 至當年止之累積暫存量

至 108 年止之累積暫存量約 74 萬公噸，至 109 年止之累積暫存量約 73 萬公噸，至 110 年 8 月止之累積暫存量約 69 萬公噸，顯示逐步消化過去累積暫存量之情形。

表 2.1-10 還原碴現況及數量

名稱	年度	產生量 (公噸)	再利用量 (公噸)	再生粒料 使用量 (公噸)	年增暫存量 (公噸)	累積暫存量 (公噸)	流向	
							前五大機構名稱	收受量
		A	B	C	D=A-C	E		
還原 碴	108 年	約 30 萬	約 13 萬	約 14 萬	16 萬	約 74 萬 (至 108 年止)	潤泰公司宜蘭冬山廠	53,144
							協勝發公司(廠內自行 再利用)	23,863
							台灣水泥公司和平廠	22,712
							中龍公司(廠內再利 用)	21,933
	109 年	約 29 萬	約 26 萬	約 21 萬	8 萬	約 73 萬 (至 109 年止)	潤泰公司宜蘭冬山廠	51,761
							台鋼資源(股)公司	50,271
							台灣水泥公司和平廠	41,874
	110 年 (1-8 月)	約 19 萬	約 18 萬	約 16 萬	3 萬	約 69 萬 (至 110 年 8 月止)	台鋼資源(股)公司	53,436
							潤泰公司宜蘭冬山廠	35,912
							台灣水泥公司和平廠	23,371
							樺懋科技(股)公司	20,845
							台灣水泥公司蘇澳廠	20,283

資料來源：1. 環保署，事業廢棄物申報及管理資訊系統，(統計時間 108~110.08，查詢時間 110 年 10 月)。

2. 「使用量」資料來源：經濟部工業局「再利用運作及產品流向管理系統」，再利用機構運作申報區之最終再利用產品銷售使用紀錄申報資料所載氧化碴再生粒料使用量。免申報最終再利用產品銷售使用紀錄，則由環保署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」產出情形申報資料推估。

說明：1. 本表「再利用量」指事業端交付再利用機構之數量。

2. 本表「使用量」指實際還原碴產製之再生粒料使用量。

3. 本表「累積暫存量」指至當年止之累積暫存量。

4. 流向僅列前四大之收受機構。

(6) 再生粒料使用量及使用情形(如表 2.1-11)

- A. 彙整還原碴再生粒料使用量及使用情形還原碴再生粒料使用量 108 年約 14 萬公噸，109 年約 21 萬公噸及 110 年(1-8 月)約 16 萬公噸。
- B. 108 年再利用用途別，主要使用於卜特蘭水泥(占約 57%)、管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM) (占約 39%)，其他用途包含非構造物用預拌混凝土(占約 3%)、鋪面工程之基層或底層級粒料(占約 1%)及瀝青混凝土(占約<1%)。
- C. 109 年再利用用途別，主要使用於卜特蘭水泥(占約 57%)、管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM) (占約 41%)，其他用途包含非構造物用預拌混凝土(占約 2%)、鋪面工程之基層或底層級粒料(占約<1%)及瀝青混凝土(占約<1%)。
- D. 110 年(1-8 月)再利用用途別，主要使用於管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM)(占約 49%)、卜特蘭水泥(占約 37%)，其他用途包含非構造物用預拌混凝土(占約 8%)、鋪面工程之基層或底層級粒料(占約 4%)。

表 2.1-11 還原碴再生粒料使用量及使用情形

名稱	產品名稱或用途	108 年		109 年		110 年(1-8 月)	
		再生粒料使用量(公噸)	比例	再生粒料使用量(公噸)	比例	再生粒料使用量(公噸)	比例
還原碴再生粒料產製之產品	卜特蘭水泥	81,297	57%	120,913	57%	79,566	49%
	管溝回填用控制性低強度回填材料(CLSM)	55,037	39%	87,114	41%	61,172	37%
	非構造物用預拌混凝土	4,159	3%	4,319	2%	12,399	8%
	鋪面工程之基層或底層級配粒料	1,678	1%	1,678	<1%	6,431	4%
	瀝青混凝土	29	<1%	29	<1%	4,440	<1%
	總計	約 14 萬	100%	約 21 萬	100%	約 16 萬	100%

資料來源：

1. 除卜特蘭水泥以外再利用用途產品：經濟部工業局「再利用運作及產品流向管理系統」，再利用機構運作申報區之最終再利用產品銷售使用紀錄申報資料所載氧化碴再生粒料使用量。
2. 卜特蘭水泥再利用用途產品：為免申報最終再利用產品銷售使用紀錄，由環保署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」產出情形申報資料推估。

2. 還原值再利用機構現況

國內還原值再利用機構取得許可共 10 家，主要有 6~7 家再利用機構實際收受還原值進行再利用。其中前五大再利用機構(如表 2.1-10 所示)，說明如下：

表 2.1-12 還原值前五大再利用機構現況

序號	再利用機構名稱	許可或設計處理量		還原值收受量		
		(公噸/月)	(公噸/年)	108 年	109 年	110 年(1-8 月)
				(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)
1	台鋼資源(股)有限公司	14,165	169,980	2,747	50,271	53,436
2	潤泰精密材料(股)有限公司宜蘭廠	8,000	96,000	53,144	51,761	35,912
3	台灣水泥(股)有限公司和平廠	6,000	72,000	22,712	41,874	23,371
4	樺懋科技(股)有限公司	3,000	36,000	2,994	29,413	20,845
5	台灣水泥(股)有限公司蘇澳廠	6,000	72,000	5,028	27,912	20,283

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 108.01~110.8，查詢時間：110 年 10 月)。

(1) 台鋼資源(股)有限公司

- A. 許可或設計處理量每年約 16.9 萬公噸。
- B. 還原值收受量 108 年約 0.2 萬公噸(108 年底始試運轉)，109 年約 5 萬公噸，110 年(1-8 月)5.3 萬公噸。
- C. 主要收受事業機構：10 家碳鋼廠(包含協勝發鋼鐵、東和鋼鐵苗栗廠、東和鋼鐵桃園廠、威致鋼鐵官田廠、建順煉鋼、海光企業、慶欣欣鋼鐵、龍慶鋼鐵、聯成鋼鐵、豐興鋼鐵)之還原值。

(2) 潤泰精密材料(股)有限公司宜蘭廠

- A. 許可或設計處理量每年約 9.6 萬公噸。
- B. 還原值收受量 108 年約 5.3 萬公噸，109 年約 5.1 萬公噸，110 年(1-8 月)3.6 萬公噸。
- C. 主要收受事業機構：5 家碳鋼廠(包含中龍鋼鐵、東和鋼鐵苗栗廠、東和鋼鐵桃園廠、豐興鋼鐵、羅東鋼鐵)之還原值。

(3) 台灣水泥(股)有限公司和平廠

- A. 許可或設計處理量每年約 7.2 萬公噸。
- B. 還原值收受量 108 年約 2.2 萬公噸、109 年約 4.1 萬公噸，110 年(1-8 月)2.3 萬公噸。

C. 主要收受事業機構：1 家碳鋼廠(豐興鋼鐵)及 1 家不鏽鋼廠(華新麗華鹽水廠)之還原碴。

(4) 樺懋科技(股)有限公司

A. 許可或設計處理量每年約 3.6 萬公噸。

B. 還原碴收受量 108 年約 0.2 萬公噸、109 年約 2.9 萬公噸，110 年(1-8 月)約 2.1 萬公噸。

C. 主要收受事業機構：1 家不鏽鋼廠(唐榮鐵工廠)之還原碴。

(5) 台灣水泥(股)有限公司蘇澳廠

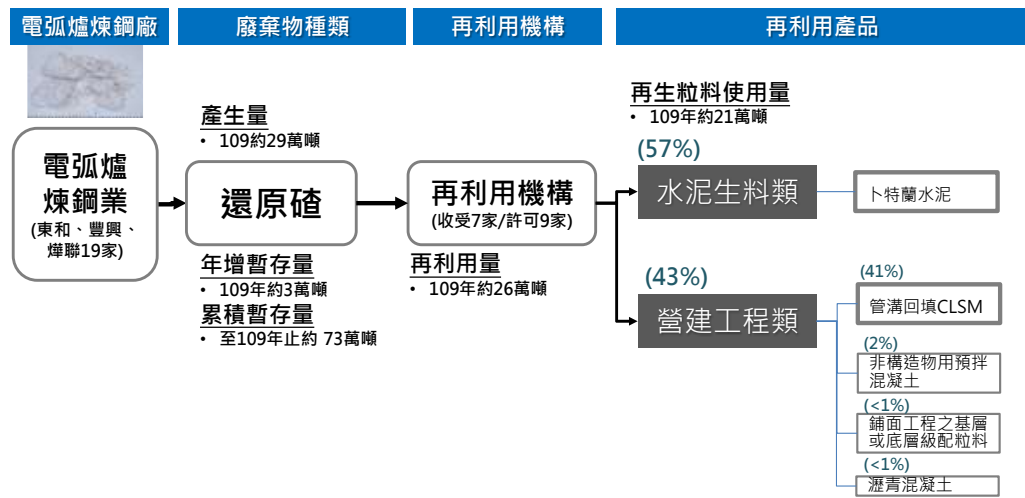
A. 許可或設計處理量每年約 7.2 萬公噸。

B. 還原碴收受量 108 年約 0.5 萬公噸、109 年約 2.7 萬公噸，110 年(1-8 月)約 2 萬公噸。

C. 主要收受事業機構：4 家碳鋼廠(豐興鋼鐵、東和鋼鐵苗栗廠、東和鋼鐵桃園廠、羅東鋼鐵)及 1 家不鏽鋼廠(華新麗華鹽水廠)之還原碴。

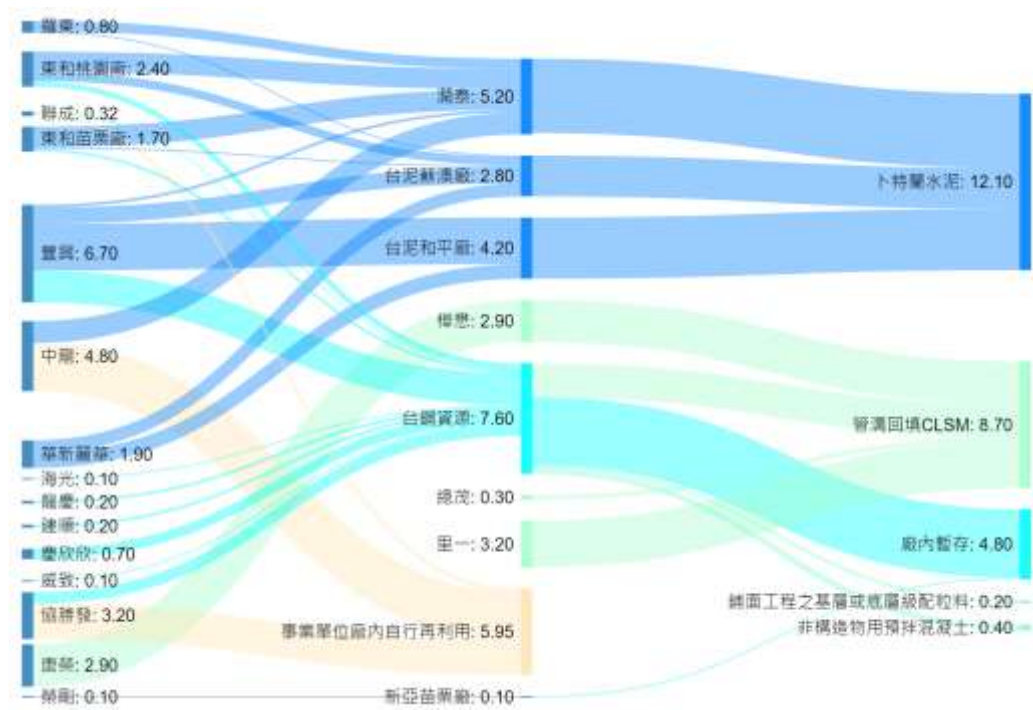
(二) 繪製國內還原碴及其再生粒料之資源循環流向

1. 整體流向：依前述資料繪製國內還原碴及其再生粒料之整體資源循環流向，如圖 2.1-7 所示。
2. 物質流向：依物質流區分繪製國內還原碴及其再生粒料之資源循環流向如圖 2.1-8 所示。另依事業、再利用機構及用途區分如附件 5 所示。
3. 個別流向：依據不同事業、再利用機構(加工再製機構)及再利用用途區分(表 2.1-13 及表 2.1-14)。



資料來源：本計畫研擬。

圖 2.1-7 我國還原渣及其再生粒料 109 年資源循環流向



資料來源：本計畫彙整。

圖 2.1-8 我國還原渣及其再生粒料 109 年資源循環流向(依物質流區分)

表 2.1-13 109 年各鋼廠還原碴產出及再利用現況

單位：公噸

鋼廠種類	管制編號	事業名稱	產生量 A	再利用量 B	交付之再利用機構名稱 (含事業單位廠內自行再利用)	再利用量	年增 暫存量 C=A-B	累積 暫存量 D
全國			299,924	261,627	-	261,627	38,297	733,768
碳鋼廠	E5600332	協勝發鋼鐵股份有限公司	30,930	32,432	台鋼資源股份有限公司	8,125	-1,501	4,503
					事業單位廠內自行再利用	24,307		
	E5600501	海光企業股份有限公司	10,223	1,393	台鋼資源股份有限公司	1,393	8,830	70,031
	E5600798	龍慶鋼鐵企業股份有限公司	1,531	2,341	台鋼資源股份有限公司	2,341	-810	4,184
	G32A0540	羅東鋼鐵股份有限公司煉鋼廠	4,562	8,275	潤泰精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠	6,784	-3,713	18,530
					台灣水泥股份有限公司蘇澳廠	1,491		
	H5200617	聯成鋼鐵股份有限公司桃園廠	1,706	3,188	台鋼資源股份有限公司	681	-1,481	506
					事業單位廠內自行再利用	2,507		
	H53A0675	東和鋼鐵企業股份有限公司新桃園廠	24,723	24,252	台鋼資源股份有限公司	3,985	471	2,975
					台灣水泥股份有限公司蘇澳廠	6,156		
					潤泰精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠	14,111		
	K7000513	建順煉鋼股份有限公司	589	1,567	台鋼資源股份有限公司	1,567	-978	20,972
	K8100129	東和鋼鐵企業股份有限公司苗栗廠	17,225	16,925	台鋼資源股份有限公司	1,661	300	800
					台灣水泥股份有限公司蘇澳廠	1,139		
					潤泰精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠	14,125		
	L0200633	中龍鋼鐵股份有限公司	36,727	47,423	潤泰精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠	14,600	-10,696	5,400
					事業單位廠內自行再利用	32,823		
	L9200728	豐興鋼鐵股份有限公司	39,050	67,065	台鋼資源股份有限公司	22,469	-28,015	90,326
					台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠	31,937		
					台灣水泥股份有限公司蘇澳廠	10,518		
					潤泰精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠	2,141		
	N1601229	慶欣欣鋼鐵股份有限公司	25,195	7,190	台鋼資源股份有限公司	7,190	18,005	66,184
	R14A1883	易昇鋼鐵股份有限公司	14,150	0	事業單位廠內暫存	0	14,150	50,740
	R9701341	威致鋼鐵工業股份有限公司官田廠	14,386	858	台鋼資源股份有限公司	858	13,528	58,449
	小計		220,997	212,909	小計	212,909	8,089	393,600
不銹鋼	E5601197	唐榮鐵工廠股份有限公司	33,500	29,414	樺懋科技股份有限公司	29,414	4,087	47,382

單位：公噸

鋼廠種類	管制編號	事業名稱	產生量 A	再利用量 B	交付之再利用機構名稱 (含事業單位廠內自行再利用)	再利用量	年增暫存量 C=A-B	累積暫存量 D
	R8500582	華新麗華股份有限公司-鹽水廠	26,275	18,547	台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠	9,938	7,728	192,998
					台灣水泥股份有限公司蘇澳廠	8,609		
	S1601990	燐聯鋼鐵股份有限公司	14,721	0	事業單位廠內暫存	0	14,721	75,982
	R8400827	榮剛材料科技股份有限公司新營廠	4,427	758	新亞拌合企業社苗栗廠	758	3,670	23,755
	小計		78,923	48,718	小計	48,718	30,205	340,117
鑄鋼廠	E5600154	中鋼機械股份有限公司	0	0	-	0	0	20
	S3200099	日嘉工業股份有限公司	4	0	-	0	4	32
	小計		4	0	小計	0	4	51
總計			299,924	261,627	總計	261,627	38,297	733,768

註：產出申報量＝聯單申報量+暫存申報異動量

資料來源：行政院環保署，事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 109.01~109.12)。資料篩選日期：110.05

表 2.1-14 109 年各再利用機構還原值再利用用途及使用量

管制編號	再利用機構名稱	許可量(設計處理量)		還原值 收受量	再利用用途	還原值 使用量
		(公噸/月)	(公噸/年)	(公噸/年)		(公噸/年)
全國		60,232	722,784	261,627		214,053
G37A0585	潤泰精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠	8,000	96,000	51,761	卜特蘭水泥	51,329
U0100187	台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠	6,000	72,000	41,874	卜特蘭水泥	41,874
G3200778	台灣水泥股份有限公司蘇澳廠	6,000	72,000	27,912	卜特蘭水泥	27,710
G3200849	信大水泥(股)有限公司南聖湖廠	3,000	36,000	-	-	-
N16A3256	台鋼資源股份有限公司	14,165	169,980	50,271	管溝回填用控制性低強度回填材料	22,525
					非構造物用預拌混凝土	4,319
					瀝青混凝土	29
					鋪面工程之基層或底層級配粒料	1,678
R1303049	樺懋科技股份有限公司	3,000	36,000	29,413	管溝回填用控制性低強度回填材料	29,414
B2305126	總茂環保(股)有限公司	4,500	54,000	-	管溝回填用控制性低強度回填材料	3,085
T42A3005	里一實業有限公司	6,000	72,000	-	管溝回填用控制性低強度回填材料	32,090
K68A1202	新亞拌合企業社苗栗廠	1,000	12,000	758		-
K7305362	立順興資源科技(股)公司	8,567	102,804	-		-
	事業單位廠內自行再利用	-	-	59,637		-
總計		63,232	758,784	261,627	總計	214,053

資料來源：1.除卜特蘭水泥以外再利用用途產品數量：經濟部工業局「再利用運作及產品流向管理系統」，再利用機構運作申報區之最終再利用產品銷售使用紀錄申報資料所載氧化碯再生粒料使用量。

2.卜特蘭水泥再利用用途產品數量：為免申報最終再利用產品銷售使用紀錄，由環保署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」產出情形申報資料推估。109.01~109.12)，查詢時間：110.04

(三) 還原碴及其再生粒料流向現況問題分析及處理推動措施建議

1. 流向現況問題分析

目前國內還原碴流向及數量以 109 年為例說明，還原碴年產生量約 29 萬公噸，還原碴年再利用率約 21 萬公噸，當年年產生量約有 8 萬公噸未再利用(可能部分採暫置方式)。可能現況問題分析如下：

- (1) 還原碴具膨脹特性、用途受限影響去化，一般再利用前需先安定處理再利用。
- (2) 受到 105 年誤用影響，經濟部工業局除復於 105 年 6 月 20 日公告修正後再利用管理辦法，大幅限縮爐碴再利用用途，加上再利用機構因法規趨嚴而停止收受或持觀望態度，致產源還原碴貯存量大幅上升。
- (3) 109 年起台鋼資源公司等收受還原碴安定化處理，作為道路工程使用，由經濟部協助該公司提高年再利用率達 17 萬噸。台泥公司及潤泰公司收受還原碴作為水泥生料，由經濟部協助兩家公司的收受量每年達 20 萬噸。
- (4) 惟經本計畫實地訪查台鋼資源公司(詳如 2.3 節)，110 年上半年還原碴再生粒料產品於道路工程去化推動上仍有瓶頸，因其市場接受度尚於起步期，仍需再加強推廣。

2. 處理推動措施建議

由環境、管理及工程等面向，持續推動還原碴應用於公共工程及港區造地填築用途，多元化使用，處理推動措施建議初步研擬如下：

(1) 法令規範

經濟部參考焚化再生粒料環境標準管制精神，於 110 年 6 月 24 日公告電弧爐煉鋼爐碴(氧化碴、還原碴)之重金屬溶出檢測、標準及使用地點限制，修正「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」第 3 條附表之再利用種類「編號 8、電弧爐煉鋼爐碴(石)」(氧化碴、還原碴)，經再利用程序之產出物，於再利用階段出廠前，依「再生粒料環境用途

溶出程序(NIEA R222)」檢測重金屬項目(鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅)，每年度至少檢測一次，標準值參考焚化再生粒料第一、二級環境標準控管產品品質，及限制使用地點(如水質水量保護區等敏感區域)，確保應用時溶出對環境影響。並將持續滾動檢討法令規範，強化流向追蹤管理。

(2) 推廣應用—道路工程、水泥業

- A. 道路工程—公共工程之環評案件施工項目若符合再利用用途，透過環保署個案環評審查機制，要求開發單位承諾優先使用還原碴等無機再生粒料。
- B. 水泥生料—由於還原碴質地屬於粉料，且其成分性質類近水泥製成原料-生石灰，故合適作為水泥生料添加替代成分，惟由於水泥業之允收標準較高，部份鋼廠無法達其允收標準，建議可考量先由台鋼資源協助安定化處理或由鋼鐵廠自設前處理設備，再送至水泥廠(如台泥、潤泰公司等)，以利增加水泥生料使用量。

(四) 還原碴及其再生粒料處理量能分析預測

- 1. 還原碴由鋼鐵業者共同投資之台鋼資源公司，以高壓蒸釜(共 5 座)進行安定化處理，每年共可處理量達 15 萬噸(如圖 2.1-9)，並設置 2 套混凝土拌合設備，可預先預拌混能土成品，不需再送其他交預拌廠，可應用於道路工程(主要以管溝回填 CLSM)為主。
- 2. 還原碴主要兩大用途為管溝回填 CLSM，及進水泥廠作為水泥生料(成分類近水泥製成原料-生石灰)，109 年產生量約 29 萬噸，109 年再利用量約 26 萬噸，109 年累積暫存量約 73 萬噸，預估至 120 年可完全去化暫存量。



資料來源：台鋼資源公司提供，110年8月。

圖 2.1-9 台鋼資源公司收受還原碴簡介

四、煤灰及其再生粒料

(一) 盤點煤灰及其再生粒料之產出、貯存及清理情形

煤灰主要是由燃煤發電廠或事業之燃煤鍋爐產生，煤炭內通常含有約 15~20%之灰份，應用於燃料燃燒使用時，則產生多量之固態殘分統稱為煤灰。煤炭燃燒目前最常見為粉煤燃燒最多，其粒子微細且量多，約占總煤灰量之 70~85%，外觀與水泥極為相似，粒徑在 0.4~100 μm 之間，另由於煤灰化學性質穩定，物理上亦見許多優越的性質，經由多年實驗及現場應用的結果，煤灰應用於工程材料的基本特性已被普遍接受，其用途廣泛深具開發評估之價值。

經彙整煤灰近 2 年申報資料，依煤灰之特性區分為燃煤飛灰(R-1106)、燃煤底灰(或含燃煤飛灰之底灰)(R-1107)及一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)，產生量、再利用量等用途流向資料說明如下：

1. 煤灰及其再生粒料現況

(1) 產生量

- A. 燃煤飛灰(R-1106)：彙整燃煤飛灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月產生量如表 2.1-15 所示，燃煤飛灰 108 年

產生量約 451 萬公噸，109 年產生量約 444 萬公噸，年產生量變化不大，110 年 1-8 月產生量約 314 萬公噸。

- B. 燃煤底灰(R-1107)：彙整燃煤底灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月產生量如表 2.1-16 所示，燃煤底灰 108 年產生量約 106 萬公噸，109 年產生量約 88 萬公噸，年產生量略減，110 年 1-8 月產生量約 60 萬公噸。
- C. 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)：彙整一般性飛灰或底渣混合物 108 年、109 年及 110 年 1-8 月產生量如表 2.1-17 所示，一般性飛灰或底渣混合物 108 年產生量約 20 萬公噸，109 年產生量約 19 萬公噸，年產生量略增，110 年 1-8 月產生量約 11 萬公噸。

(2) 再利用量(指產源交付再利用機構之清運數量)

- A. 燃煤飛灰(R-1106)：彙整燃煤飛灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月再利用量如表 2.1-15 所示。燃煤飛灰再利用量 108 年約 451 萬公噸，109 年再利用量約 444 萬公噸，年再利用量變化不大，110 年 1-8 月再利用量約 312 萬公噸。
- B. 燃煤底灰(R-1107)：彙整燃煤底灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月再利用量如表 2.1-16 所示。燃煤底灰再利用量 108 年約 98 萬公噸，109 年再利用量約 81 萬公噸，年再利用量略減，110 年 1-8 月再利用量約 51 萬公噸。
- C. 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)：彙整一般性飛灰或底渣混合物 108 年、109 年及 110 年 1-8 月再利用量如表 2.1-17 所示，一般性飛灰或底渣混合物 108 年產生量約 19 萬公噸，109 年產生量約 20 萬公噸，年再利用量略增，110 年 1-8 月再利用量約 11 萬公噸。

(3) 再生粒料使用量(煤灰(燃煤飛灰及燃煤底灰)產製之再生粒料實際摻配所需添加使用量)

由於煤灰之再生粒料使用量申報方式，依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，除鋪面工程之基層或底層級配粒料、瀝青混凝土粒料、非農業用地之工程填地材料等 3 項用途需申報，其他用途(共 8 項)皆不需申報再生粒料使用量，故燃煤飛灰(R-1106)、燃煤底灰(R-1107)之再生粒料使用量皆以再利用率估算。

- A. 燃煤飛灰(R-1106)：彙整燃煤飛灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月再生粒料使用量如表 2.1-15 所示。燃煤飛灰再生粒料使用量 108 年約 451 萬公噸，109 年約 444 萬公噸，年燃煤飛灰再生粒料使用量變化不大，110 年 1-8 月再生粒料使用量約 312 萬公噸。燃煤飛灰再生粒料主要用於混凝土拌合程序 (詳表 2.1-21)。
- B. 燃煤底灰(R-1107)：彙整燃煤底灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月再生粒料使用量如表 2.1-16 所示。燃煤底灰再生粒料使用量 108 年約 98 萬公噸，109 年約 81 萬公噸，年燃煤底灰再生粒料使用量略減，110 年 1-8 月再生粒料使用量約 51 萬公噸。燃煤底灰再生粒料主要用於混凝土拌合程序 (詳表 2.1-22)。
- C. 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)：彙整一般性飛灰或底渣混合物 108 年、109 年及 110 年 1-8 月再生粒料使用量如表 2.1-17 所示。一般性飛灰或底渣混合物再生粒料使用量 108 年約 19 萬公噸，109 年約 20 萬公噸，年燃煤底灰再生粒料使用量略增，110 年 1-8 月再生粒料使用量約 11 萬公噸。一般性飛灰或底渣混合物再生粒料主要用於混凝土拌合程序 (詳表 2.1-23)。

(4) 年增暫存量(當年產生量扣除再利用率)

- A. 燃煤飛灰(R-1106)：彙整燃煤飛灰 108 年、109 年及 110 年 1-8 月年增暫存量如表 2.1-15 所示。108 年年增暫存量約 24 萬公噸，109 年年增暫存量約 17 萬公噸，110 年 1-8 月年增暫存量約 13 萬公噸。

- B. 燃煤底灰(R-1107)：彙整 108 年、109 年及 110 年 1-8 月年增暫存量如表 2.1-16 所示。108 年年增暫存量約 8 萬公噸，109 年年增暫存量約 7 萬公噸，110 年 1-8 月年增暫存量約 9 萬公噸。
- C. 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)：彙整 108 年、109 年及 110 年 1-8 月年增暫存量如表 2.1-17 所示。108 年年增暫存量約 0 萬公噸，109 年年增暫存量約 0 萬公噸，110 年 1-8 月年增暫存量約 0 萬公噸。

(5) 至當年止之累積暫存量

- A. 燃煤飛灰(R-1106)：彙整燃煤飛灰至 108 年止及至 110 年 1-8 月止之累積暫存量，如表 2.1-15 所示。至 108 年止之累積暫存量約 0.9 萬公噸，至 109 年止之累積暫存量約 0.8 萬公噸，至 110 年 1-8 月止之累積暫存量約 2.6 萬公噸。
- B. 燃煤底灰(R-1107)：彙整燃煤底灰至 108 年止及至 110 年 1-8 月止之累積暫存量，如表 2.1-16 所示。至 108 年止之累積暫存量約 158 萬公噸，至 109 年止之累積暫存量約 165 萬公噸，至 110 年 1-8 月止之累積暫存量約 174 萬公噸。
- C. 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)：彙整燃煤底灰至 108 年止及至 110 年 1-8 月止之累積暫存量，如表 2.1-17 所示。至 108 年止之累積暫存量約 6 萬公噸，至 109 年止之累積暫存量約 5 萬公噸，至 110 年 1-8 月止之累積暫存量約 5 萬公噸。

表 2.1-15 燃煤飛灰(R-1106)107 年~110 年 8 月產出貯存流向統計表

名稱	年度	產生量 (公噸)	再利用量 (公噸)	再生粒料 使用量 (公噸)	年增暫 存量 (公噸)	累積暫存量 (公噸)	流向	
		A	B	C	D=A-C	E	前五大機構名稱	清理量 (註 1)
燃煤飛灰	108 年	約 451 萬	約 451 萬	約 451 萬	0 萬	約 0.9 萬 (至 108 年止)	台灣水泥公司和平廠	184,261
							宏洋預拌混凝土公司	139,615
							金瓊水泥公司	136,232
							勇興公司	133,074
							慶勝公司	106,057
	109 年	約 444 萬	約 444 萬	約 444 萬	0 萬	約 0.8 萬 (至 109 年止)	台灣水泥公司和平廠	271,566
							文鴻公司	193,016
							宏洋預拌混凝土公司	140,414
							勇興公司	101,841
							慶勝企業社	88,637
	110 年 (1-8 月)	約 314 萬	約 312 萬	約 312 萬	2 萬	約 2.6 萬 (至 110 年 8 月止)	台灣水泥公司和平廠	243,927
							文鴻公司	128,902
							金瓊水泥公司	97,382
							宏洋預拌混凝土公司	75,907
							慶勝企業社	52,893

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間：107 年~110 年 8 月)

註 1：流向僅列前五大之收受機構

註 2：產出量為本年度貯存量-前年度貯存量+本年度清理量計。

註 3：由於燃煤飛灰之再生粒料使用量申報方式，依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，除鋪面工程之基層或底層級配粒料、瀝青混凝土粒料、非農業用地之工程填地材料等 3 項用途需申報，其他用途(共 8 項)皆不需申報再生粒料使用量，故本表再生粒料使用量係暫以再利用量估算。

表 2.1-16 燃煤底灰(R-1107)107 年~110 年 8 月產出貯存流向統計表

名稱	年度	產出 (公噸)	再利用 量(公噸)	再生粒料 使用量(公 噸)	年增暫 存量 (公噸)	累積暫 存量 (公噸)	流向	
		A	B	C	D=A-C	E	前五大機構名稱	清理量 (註 1)
燃煤底灰	108 年	約 106 萬	約 98 萬	約 98 萬	8 萬	約 158 萬 (至 108 年 止)	寓源機械開發有限公司	222,406
							台灣電力(股)台中發電廠	146,981
							宏洋預拌混凝土(股)	58,983
							竑榮實業(股)高雄廠	50,447
							台灣水泥(股)和平分公司 和平廠	44,077
	109 年	約 88 萬	約 81 萬	約 81 萬	7 萬	約 165 萬 (至 109 年 止)	寓源機械開發有限公司	134,756
							台灣電力股份有限公司 台中發電廠	99,260
							台灣水泥股份有限公司 和平分公司和平廠	49,184
							益邦企業社	43,984
							竑榮實業股份有限公司 高雄廠	36,528
	110 年 (1-8 月)	約 60 萬	約 51 萬	約 51 萬	9 萬	約 174 萬 (至 110 年 8 月止)	寓源機械開發有限公司	50,335
							台灣電力股份有限公司 台中發電廠	47,232
							台灣水泥股份有限公司 和平分公司和平廠	40,416
							益邦企業社	26,498
							國薪窯業有限公司	25,168

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間：107 年~110 年 8 月)

註 1：流向僅列前五大之收受機構

註 2：產出量為本年度貯存量-前年度貯存量+本年度清理量計。

註 3：由於燃煤底灰之再生粒料使用量申報方式，依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，除鋪面工程之基層或底層級配粒料、瀝青混凝土粒料、非農業用地之工程填地材料等 3 項用途需申報，其他用途(共 8 項)皆不需申報再生粒料使用量，故本表再生粒料使用量係以再利用量估算。

表 2.1-17 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)107 年~110 年 8 月產出貯存流向統計表

名稱	年度	產出 (公噸)	再利用 量(公噸)	再生粒 料使用 量(公噸)	年增暫 存量 (公噸)	累積暫 存量 (公噸)	流向	
		A	B	C	D=A-C	E	前五大機構名稱	清理量 (註 1)
一般性飛灰或底渣混合物	108 年	約 20 萬	約 19 萬	約 19 萬	0 萬	約 6 萬 (至 108 年 止)	全興資源再生股份有限公司	73,204
							綠石環保資源股份有限公司	13,651
							金瓊水泥製品股份有限公司 龍井廠	10,883
							長信環保科技股份有限公司 一廠	10,608
							皓勝工業股份有限公司	6,643
	109 年	約 19 萬	約 20 萬	約 20 萬	-1 萬	約 5 萬 (至 109 年 止)	全興資源再生股份有限公司	84,213
							綠石環保資源股份有限公司	20,892
							金瓊水泥製品股份有限公司 龍井廠	11,676
							長信環保科技股份有限公司 一廠	8,009
							皓勝工業股份有限公司	8,399
	110 年 (1-8 月)	約 11 萬	約 11 萬	約 11 萬	0 萬	約 5 萬 (至 110 年 8 月止)	全興資源再生股份有限公司	56,374
							綠石環保資源股份有限公司	12,521
							長信環保科技股份有限公司 一廠	7,099
							皓勝工業股份有限公司	5,780
							東元國際股份有限公司	2,035

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間：107 年~110 年 8 月)

註 1：流向僅列前五大之收受機構

註 2：產出量為本年度貯存量-前年度貯存量+本年度清理量計。

註 3：由於一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)之事業來源主要皆與燃煤飛灰(R-1106)及燃煤底灰(R-1107)之事業來源相同，故本表再生粒料使用量係同前兩表暫以再利用量估算。

2. 煤灰再利用機構現況

(1) 燃煤飛灰(R-1106)

至 110 年 8 月國內燃煤飛灰(R-1106)再利用機構取得許可共 465 家，實際有再收受者共計 379 家，燃煤飛灰(R-1106)前五大再利用機構現況如表 2.1-18 所示，相關說明概述如下：

A. 台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠

(a) 許可或設計處理量每年約 48 萬公噸，108 年燃煤飛灰收受量約為 18.4 萬公噸，109 年燃煤飛灰收受量約為 27.2 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 24.3 萬公噸。

(b) 現行主要收受事業機構：和平電力股份有限公司和平火力發電廠及臺灣化學纖維股份有限公司龍德廠之燃煤飛灰。

B. 文鴻環保有限公司

(a) 許可或設計處理量每年約 38.4 萬公噸，108 年燃煤飛灰收受量約為 1.2 萬公噸、109 年燃煤飛灰收受量約為 19.3 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 12.9 萬公噸。

(b) 現行主要收受事業機構：台灣電力股份有限公司林口發電廠、大園汽電共生股份有限公司、正隆股份有限公司大園廠及長春人造樹脂廠股份有限公司新竹廠之燃煤飛灰。

C. 宏洋預拌混凝土股份有限公司

(a) 許可或設計處理量每年約 41.2 萬公噸，108 年燃煤飛灰收受量約為 14 萬公噸、109 年燃煤飛灰收受量約為 14 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 7.6 萬公噸。

- (b) 現行主要收受事業機構：麥寮汽電股份有限公司、台塑石化股份有限公司麥寮一廠及台塑石化股份有限公司麥寮三廠之燃煤飛灰。

D. 勇興交通有限公司

- (a) 許可或設計處理量每年約 35 萬公噸，108 年燃煤飛灰收受量約為 13.3 萬公噸、109 年燃煤飛灰收受量約為 10.1 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 4 萬公噸。

- (b) 現行主要收受事業機構：華亞汽電股份有限公司華亞汽電廠、台灣塑膠工業股份有限公司仁武廠及正隆股份有限公司后里分公司之燃煤飛灰。

E. 慶勝企業社

- (a) 許可或設計處理量每年約 39 萬公噸，108 年燃煤飛灰收受量約為 10.6 萬公噸、109 年燃煤飛灰收受量約為 8.9 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 5.3 萬公噸。

- (b) 現行主要收受事業機構：台塑石化股份有限公司麥寮二廠之燃煤飛灰。

表 2.1-18 燃煤飛灰(R-1106)前五大再利用機構現況

序號	再利用機構名稱	許可或設計處理量		108 年 燃煤飛灰 收受量	109 年 燃煤飛灰 收受量	110 年 1-8 月 燃煤飛灰 收受量
		(公噸/月)	(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)
1	台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠	40,000	480,000	184,261	271,566	243,927
2	文鴻環保有限公司	32,000	384,000	12,221	193,016	128,902
3	宏洋預拌混凝土股份有限公司	34,398	412,776	139,615	140,414	75,907
4	勇興交通有限公司	29,166	349,992	133,074	101,841	39,538
5	慶勝企業社	32,780.8	393,369.6	106,057	88,637	52,893
總計		168,345	2,020,138	575,228	795,474	541,167

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 108.01~110.08)。

(2) 燃煤底灰(R-1107)

國內燃煤底灰(R-1107)再利用機構於 110 年 8 月取得許可者共計 112 家，實際有再收受者共計 60 家，燃煤底灰(R-1107) 前五大再利用機構現況如表 2.1-19 所示，相關說明概述如下：

A. 寓源機械開發有限公司

- (a) 許可或設計處理量每年約 30 萬公噸，108 年燃煤底灰收受量約為 22.2 萬公噸、109 年燃煤底灰收受量約為 13.5 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 5 萬公噸。
- (b) 現行主要收受事業機構：永豐餘消費品實業股份有限公司清水廠、合眾紙業股份有限公司林內廠、台塑石化股份有限公司麥寮一廠、台塑石化股份有限公司麥寮二廠及台塑石化股份有限公司麥寮三廠之燃煤底灰(R-1107)。

B. 台灣電力股份有限公司台中發電廠

- (a) 許可或設計處理量每年約 76 萬公噸，108 年燃煤底灰收受量約為 14.7 萬公噸、109 年燃煤底灰收受量約為 9.9 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 4.7 萬公噸。
- (b) 現行主要收受事業機構：收受原廠台灣電力股份有限公司台中發電廠之燃煤底灰作灰塘填築。

C. 台灣水泥股份有限公司和平分公司和平廠

- (a) 許可或設計處理量每年約 120,000 萬公噸，108 年燃煤底灰收受量約為 4.4 萬公噸、109 年燃煤底灰收受量約為 4.9 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 4.0 萬公噸。
- (b) 現行主要收受事業機構：和平電力股份有限公司和平火力發電廠之燃煤底灰。

D. 益邦企業社

- (a) 許可或設計處理量每年約 4.8 萬公噸，108 年燃煤底灰收受量約為 4 萬公噸、109 年燃煤底灰收受量約為 4.4 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 2.6 萬公噸。
- (b) 現行主要收受事業機構：麥寮汽電股份有限公司、長春石油化學股份有限公司麥寮廠、台塑石化股份有限公司麥寮一廠、榮成紙業股份有限公司蒸汽廠及榮成紙業股份有限公司之燃煤底灰。

E. 荖榮實業股份有限公司高雄廠

- (a) 許可或設計處理量每年約 6.6 萬公噸，108 年燃煤底灰收受量約為 5 萬公噸、109 年燃煤底灰收受量約為 3.7 萬公噸，110 年 1-8 月燃煤飛灰收受量約為 1.5 萬公噸。
- (b) 現行主要收受事業機構：台灣電力股份有限公司興達發電廠、台灣塑膠工業股份有限公司仁武廠、台灣電力股份有限公司大林發電廠、國喬石油化學股份有限公司高雄廠及中國人造纖維股份有限公司高雄總廠之燃煤底灰。

表 2.1-19 燃煤底灰(R-1107)前五大再利用機構現況

序號	再利用機構名稱	許可或設計處理量		108 年 燃煤底灰 收受量	109 年 燃煤底灰 收受量	110 年 1-8 月 燃煤底灰 收受量
		(公噸/月)	(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)
1	寓源機械開發有限公司	25,000	300,000	222,406	134,756	50,335
2	台灣電力股份有限公司 台中發電廠	63,600	763,200	146,981	99,260	47,232
3	台灣水泥股份有限公司 和平分公司和平廠	10,000	120,000	44,077	49,184	40,416
4	益邦企業社	4,000	48,000	39,639	43,984	26,498
5	荖榮實業股份有限公司 高雄廠	5,500	66,000	50,447	36,528	15,464
總計		108,100	1,297,200	503,550	363,712	179,945

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 108.01~110.08)。

(3) 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)

國內一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)再利用機構於 110 年 8 月實際有再收受者共計 14 家，一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)前五大處理及再利用機構現況如表 2.1-20 所示，相關說明概述如下：

- A. 全興資源再生股份有限公司
 - (a) 許可或設計處理量每年約 16 萬公噸，108 年一般性飛灰或底渣混合物收受量約為 7.3 萬公噸、109 年收受量約為 8.4 萬公噸，110 年 1-8 月收受量約為 5.6 萬公噸。
 - (b) 現行主要收受事業機構：永豐餘工業用紙股份有限公司新屋廠、正隆股份有限公司后里分公司及台灣汽電共生股份有限公司官田廠之一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)。
- B. 綠石環保資源股份有限公司
 - (a) 許可或設計處理量每年約 4.2 萬公噸，108 年一般性飛灰或底渣混合物收受量約為 1.4 萬公噸、109 年收受量約為 2.1 萬公噸，110 年 1-8 月收受量約為 1.2 萬公噸。
 - (b) 現行主要收受事業機構：正隆股份有限公司后里分公司及中華紙漿股份有限公司台東廠。
- C. 金璫水泥製品股份有限公司龍井廠
 - (a) 許可或設計處理量每年約 2.9 萬公噸，108 年一般性飛灰或底渣混合物收受量約為 1.1 萬公噸、109 年收受量約為 1.2 萬公噸。
 - (b) 現行主要收受事業機構：永豐餘工業用紙股份有限公司新屋廠之一般性飛灰或底渣混合物。
- D. 長信環保科技股份有限公司一廠
 - (a) 許可或設計處理量每年約 1,800 公噸，108 年一般性飛灰或底渣混合物收受量約為 1.1 萬公噸、

109 年收受量約為 0.8 萬公噸，110 年 1-8 月收受量約為 0.7 萬公噸。

- (b) 現行主要收受事業機構：源大環能股份有限公司及大園汽電共生股份有限公司之一般性飛灰或底渣混合物。

E. 皓勝工業股份有限公司

- (a) 許可或設計處理量每年約 10.4 萬公噸，108 年一般性飛灰或底渣混合物收受量約為 0.7 萬公噸、109 年收受量約為 0.8 萬公噸，110 年 1-8 月收受量約為 0.6 萬公噸。
- (b) 現行主要收受事業機構：永豐餘工業用紙股份有限公司新屋廠及正隆股份有限公司竹北廠之一般性飛灰或底渣混合物。

表 2.1-20 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)前五大再利用機構現況

序號	再利用機構名稱	許可或設計處理量		108 年一般性飛灰或底渣混合物收受量	109 年一般性飛灰或底渣混合物收受量	110 年 1-8 月一般性飛灰或底渣混合物收受量
		(公噸/月)	(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)	(公噸/年)
1	全興資源再生股份有限公司	13,600	163,200	73,204	84,213	56,374
2	綠石環保資源股份有限公司	3,550	42,600	13,651	20,892	12,521
3	金瑋水泥製品股份有限公司龍井廠	2,400	28,800	10,883	11,676	0
4	長信環保科技股份有限公司一廠	150	1,800	10,608	8,009	7,099
5	皓勝工業股份有限公司	8,682	104,184	6,643	8,399	5,780
總計		28,382	340,584	114,989	133,189	81,774

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統(統計時間 108.01~110.08)。

(二) 繪製國內煤灰及其再生粒料之資源循環流向

1. 整體流向：煤灰產源端大致可分為燃煤電廠及製造業鍋爐，故就此二類業別盤點詳細流向(如表 2.1-21、表 2.1-22 及表 2.1-23)並依據前述彙整之相關資料，繪製國內煤灰之整體資源循環流向，如圖 2.1-10 所示。

2. 詳細流向：依據不同事業、再利用機構(加工再製機構)及再利用用途區分(如表 2.1-21、表 2.1-22 及表 2.1-23)，繪製國內煤灰及其再生粒料之資源循環流向，依物質流區分如圖 2.1-11~2.1-15 所示。

表 2.1-21 燃煤飛灰(R-1106)再生粒料使用量及使用情形

類型	事業機構	交付再利用機構	交付量(公噸)	再利用產品	再生粒料使用量推估(公噸)
燃煤電廠	台灣電力股份有限公司	國產建材實業股份有限公司	261,022	預拌混凝土	250,947
		亞東預拌混凝土股份有限公司	217,446	預拌混凝土	209,053
		文鴻環保有限公司	174,118	水泥生料	167,397
		金瓊水泥製品股份有限公司	86,348	預拌混凝土	41,721
				水泥生料	37,310
				CLSM	3,984
		鳳勝實業股份有限公司	71,837	預拌混凝土	69,064
		廣達混凝土股份有限公司	61,294	預拌混凝土	58,928
		錢宏興業股份有限公司	52,473	預拌混凝土	50,448
		力泰建設企業股份有限公司	49,415	預拌混凝土	47,508
		其他	836,348	預拌混凝土	770,041
				水泥生料	11,147
				CLSM	21,662
				填土(灰塘)	7
				其他	1,208
	民營電廠(和平電力股份有限公司和平火力發電廠、麥寮汽電股份有限公司)	台灣水泥股份有限公司	338,576	預拌混凝土	174,223
		環球水泥股份有限公司	58,443	水泥生料	151,284
				預拌混凝土	56,187
		宏洋預拌混凝土股份有限公司	46,247	預拌混凝土	41,806
				水泥生料	1,727
				CLSM	929
		台崧混凝土有限公司	42,240	預拌混凝土	40,610
		宏進交通股份有限公司	21,907	水泥生料	21,061
		良全預拌混凝土股份有限公司	17,040	預拌混凝土	16,382
		鳳勝實業股份有限公司	15,467	預拌混凝土	14,870
		天誠混凝土實業股份有限公司	12,703	預拌混凝土	12,213
		其他	202,680	預拌混凝土	188,020
				水泥生料	3,427
				CLSM	3,410
製造業鍋爐	台塑石化股份有限公司	宏洋預拌混凝土股份有限公司	94,168	預拌混凝土	85,126
				水泥生料	3,516

第二章 盤點無機循環材料循環流向及溶出檢測，認證準則及標準建議

類型	事業機構	交付再利用機構	交付量(公噸)	再利用產品	再生粒料使用量 推估(公噸)
				CLSM	1,891
		慶勝企業社	88,637	水泥生料	85,216
		台灣水泥股份有限公司	57,004	預拌混凝土	29,333
				水泥生料	25,471
		環球水泥股份有限公司	40,705	預拌混凝土	39,134
		聚業國際開發股份有限公司	26,141	水泥生料	25,132
		宏進交通股份有限公司	18,016	水泥生料	17,321
		國順預拌混凝土股份有限公司	17,756	預拌混凝土	17,071
		其他	522,041	預拌混凝土	489,066
				水泥生料	5,188
				CLSM	7,636
	臺灣化學纖維股份有限公司	昱勝企業社	34,824	水泥生料	33,480
		台灣水泥股份有限公司	30,510	預拌混凝土	15,700
				水泥生料	13,633
		泰美企業社	27,308	水泥生料	26,254
		豐翊工程有限公司工廠	13,205	CLSM	12,695
		浩群實業股份有限公司六甲廠	12,865	CLSM	12,368
		甲頂混凝土有限公司恆春廠	12,729	預拌混凝土	12,238
		其他	41,852	水泥生料	37,440
				CLSM	2,796
	台灣塑膠工業股份有限公司	榮順混凝土有限公司	33,383	CLSM	32,094
		豐翊工程有限公司工廠	23,294	CLSM	22,395
		勇興交通有限公司	21,639	水泥生料	20,804
		永觀工業股份有限公司	15,922	水泥生料	15,307
		樺懋科技股份有限公司屏南廠	14,909	CLSM	14,334
		其他	56,065	預拌混凝土	26,971
				水泥生料	22,187
				CLSM	4,505
				其他	237
	其他	勇興交通有限公司	77,052	水泥生料	74,078
		台灣水泥股份有限公司	39,227	預拌混凝土	20,185
				水泥生料	17,528
		其他	551,495	預拌混凝土	486,917
				水泥生料	26,823
				CLSM	15,326
				其他	1,142

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統

表 2.1-22 燃煤底灰(R-1107)再生粒料使用量及使用情形

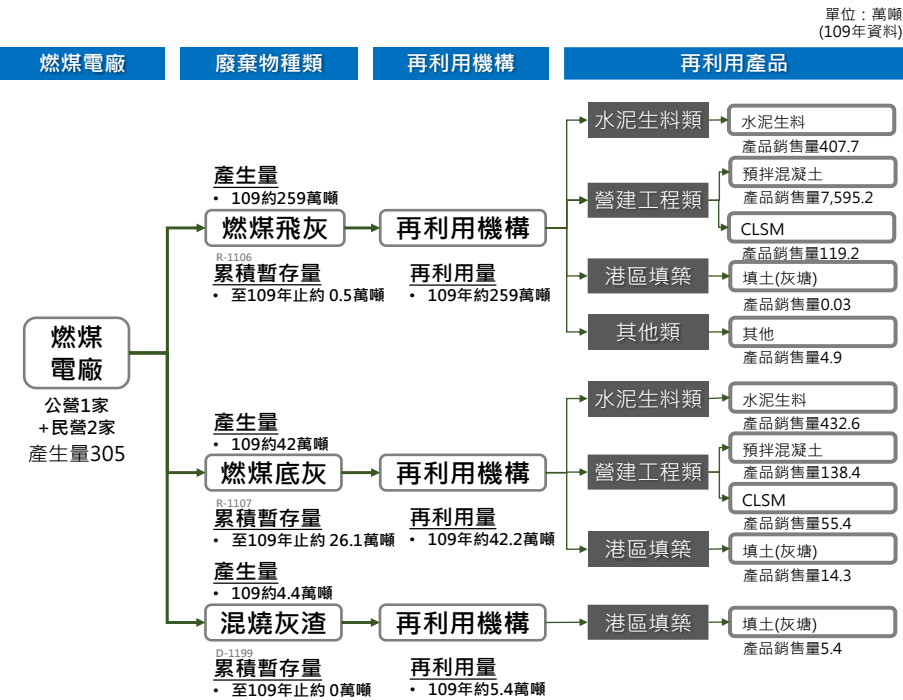
類型	事業機構	交付再利用機構	交付量(公噸)	再利用產品	再生粒料使用量推估(公噸)
燃煤電廠	台灣電力股份有限公司	台灣電力股份有限公司	141,141	填土(灰塘)	134,409
		上順水泥製品企業股份有限公司	27,677	預拌混凝土	26,357
		玄榮實業股份有限公司	19,578	預拌混凝土	17,357
				CLSM	1,287
		金璫水泥製品股份有限公司	18,010	預拌混凝土	15,600
				CLSM	1,550
		廣獲企業有限公司	17,270	預拌混凝土	16,446
		錢宏興業股份有限公司	14,604	預拌混凝土	13,907
		東遠股份有限公司	9,926	預拌混凝土	9,453
		立玄預拌股份有限公司	8,177	預拌混凝土	7,245
				CLSM	542
		其他機構	28,894	預拌混凝土	3,801
				水泥生料	17,189
				CLSM	6,526
	民營電廠(和平電力股份有限公司 和平火力發電廠、麥寮汽電股份有限公司)	台灣水泥股份有限公司	49,184	水泥生料	46,838
		宏洋預拌混凝土股份有限公司	28,101	預拌混凝土	25,988
				CLSM	773
		益邦企業社	26,640	預拌混凝土	25,369
		百原實業有限公司	20,238	CLSM	19,273
		宏進建材有限公司嘉義廠	7,132	預拌混凝土	6,792
		任建企業股份有限公司二廠	4,273	CLSM	4,069
製造業鍋爐	台塑石化股份有限公司	寓源機械開發有限公司	134,661	CLSM	128,238
		其他機構	24,767	預拌混凝土	15,206
				CLSM	8,379
	台灣塑膠工業股份有限公司	玄榮實業股份有限公司	12,565	預拌混凝土	11,140
				CLSM	826
		榮順混凝土有限公司	5,360	CLSM	5,104
		里一實業有限公司	200	CLSM	190
	其他	皓勝工業股份有限公司	30,307	CLSM	28,861
		榮順混凝土有限公司	14,984	CLSM	14,269
		其他機構	166,718	預拌混凝土	34,047
				水泥生料	101,536
				CLSM	23,006
				其他用途	177

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統

表 2.1-23 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)再生粒料使用量及使用情形

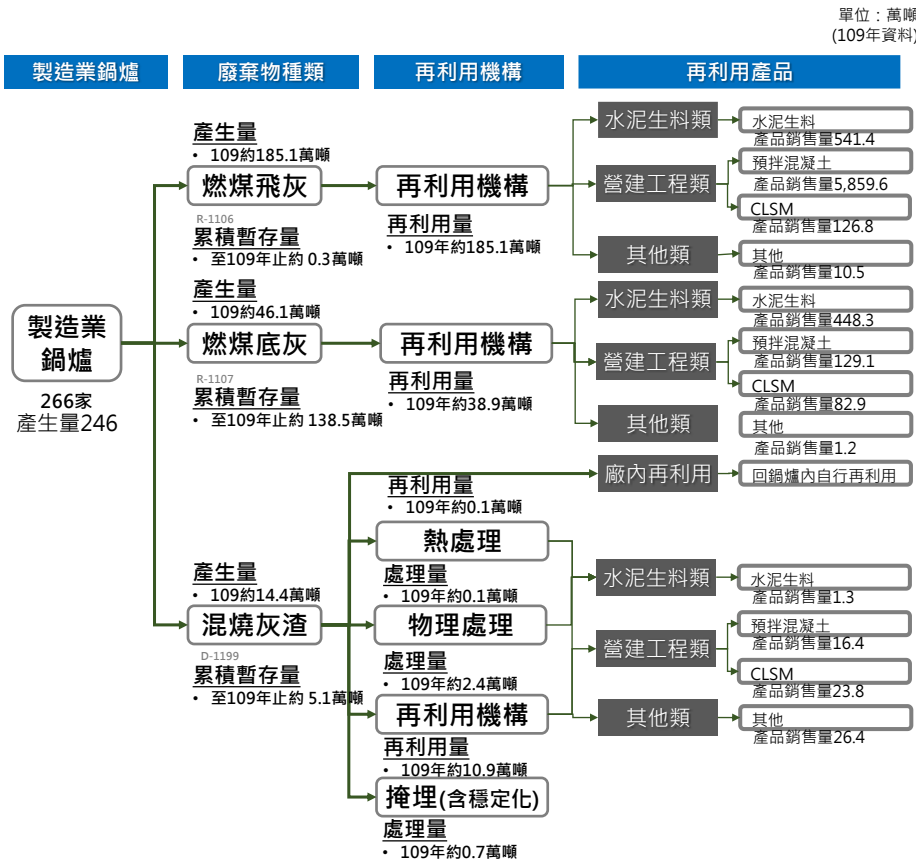
類型	事業機構	交付再利用機構	交付量(公噸)	再利用產品	再生粒料使用量推估(公噸)
燃煤 電廠	台灣電力股份有限公司	台灣電力股份有限公司	54,520	填土(灰塘)	
製造 業鍋 爐	永豐餘工業用紙股份有限公司新屋廠	金璫水泥製品股份有限公司龍井廠	11,676	預拌混凝土	3,568
				CLSM	4,867
		寰冠科技股份有限公司	2,706	CLSM	1,955
		皓勝工業股份有限公司	7,915	CLSM	5,719
		全興資源再生股份有限公司	21,437	CLSM	5,445
	台灣汽電共生股份有限公司官田廠	全興資源再生股份有限公司	26,242	其他	10,043
				CLSM	6,666
	中華紙漿股份有限公司台東廠	全興資源再生股份有限公司	26,242	其他	12,294
				CLSM	
	正隆股份有限公司竹北廠	皓勝工業股份有限公司	504	預拌混凝土	5,958
		全興資源再生股份有限公司	36,534	CLSM	364
	其他	廠內再利用	768	CLSM	9,280
		上禹水泥製品股份有限公司	2351	其他	17,116
		掩埋、固化、穩定化機構	7385		
		物理處理機構	11683	預拌混凝土	7,296
		熱處理機構	1,368	其他	1,145
				水泥生料	988

資料來源：事業廢棄物申報及管理資訊系統



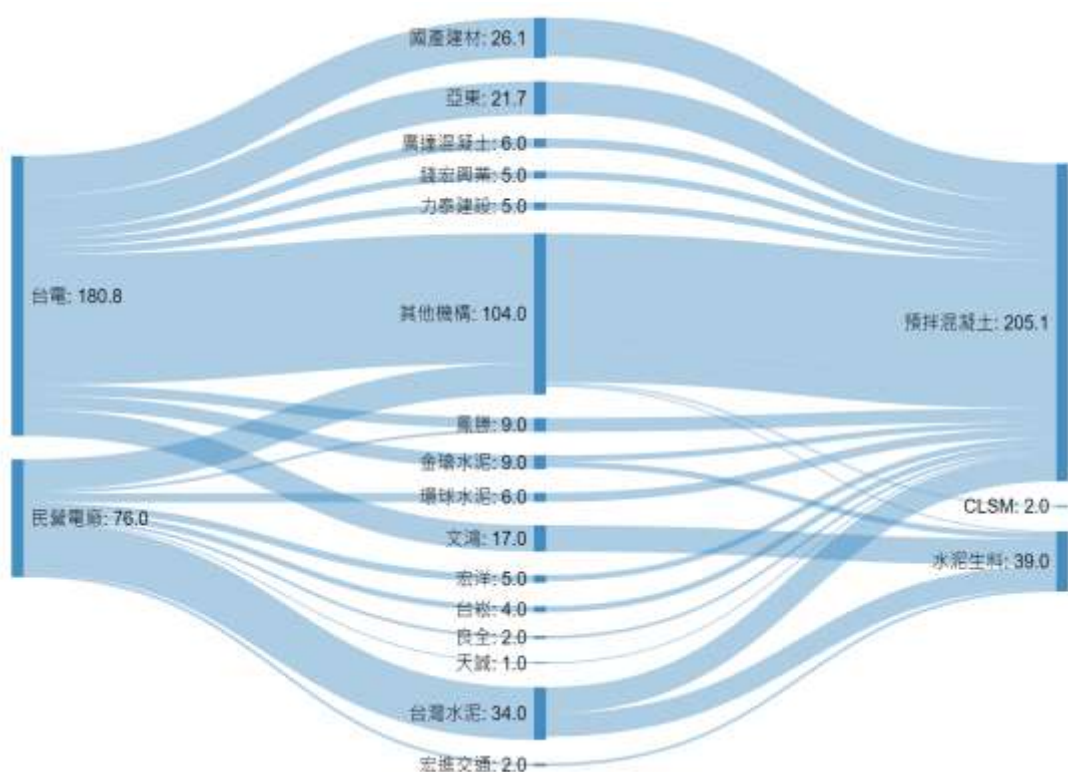
本計畫研擬。

圖 2.1-10 國內煤灰之資源循環流向概況



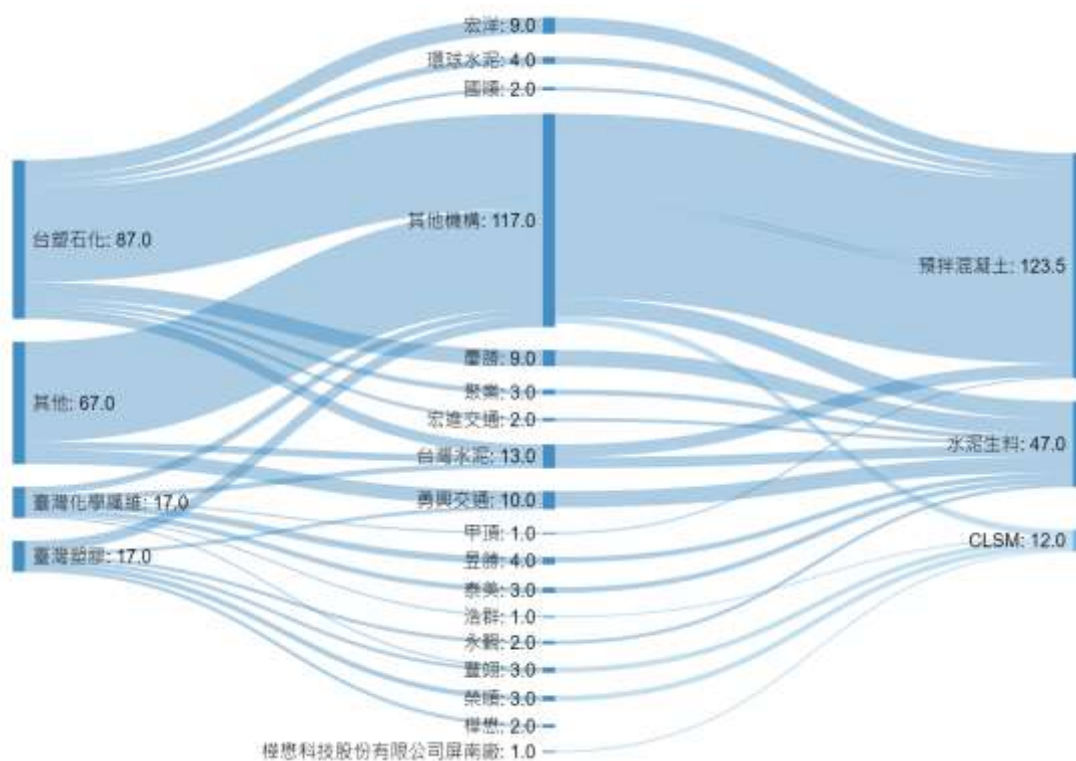
本計畫研擬。

圖 2.1-10 國內煤灰之資源循環流向概況(續)



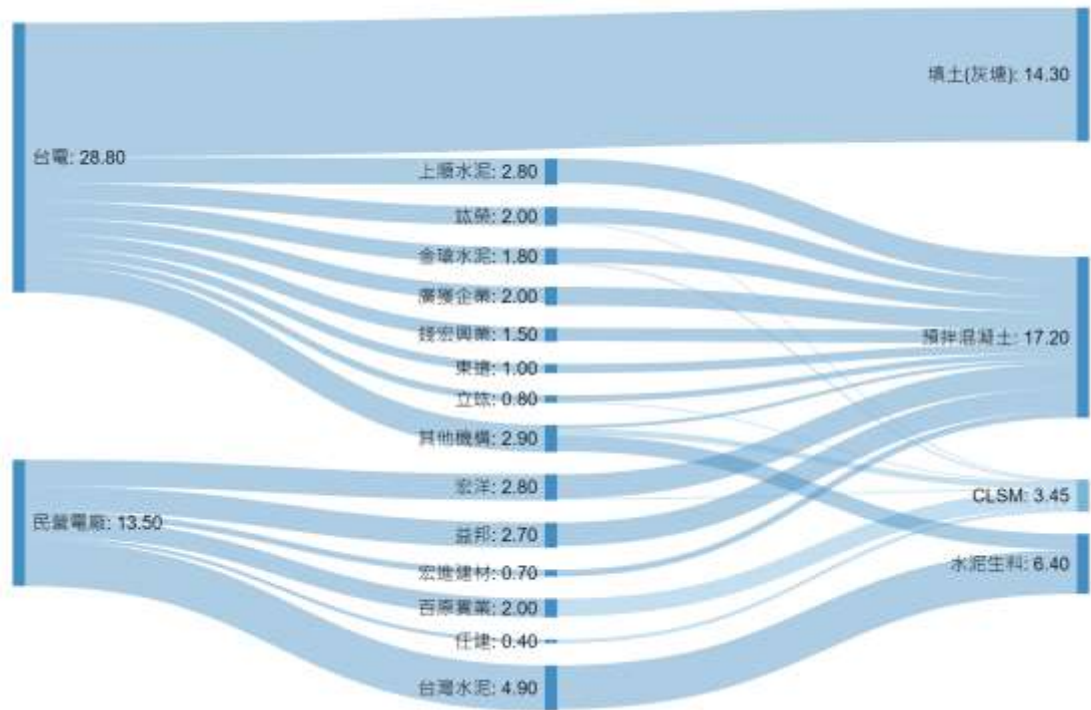
資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-11 我國燃煤飛灰(燃煤電廠)109 年資源循環流向(依物質流區分)



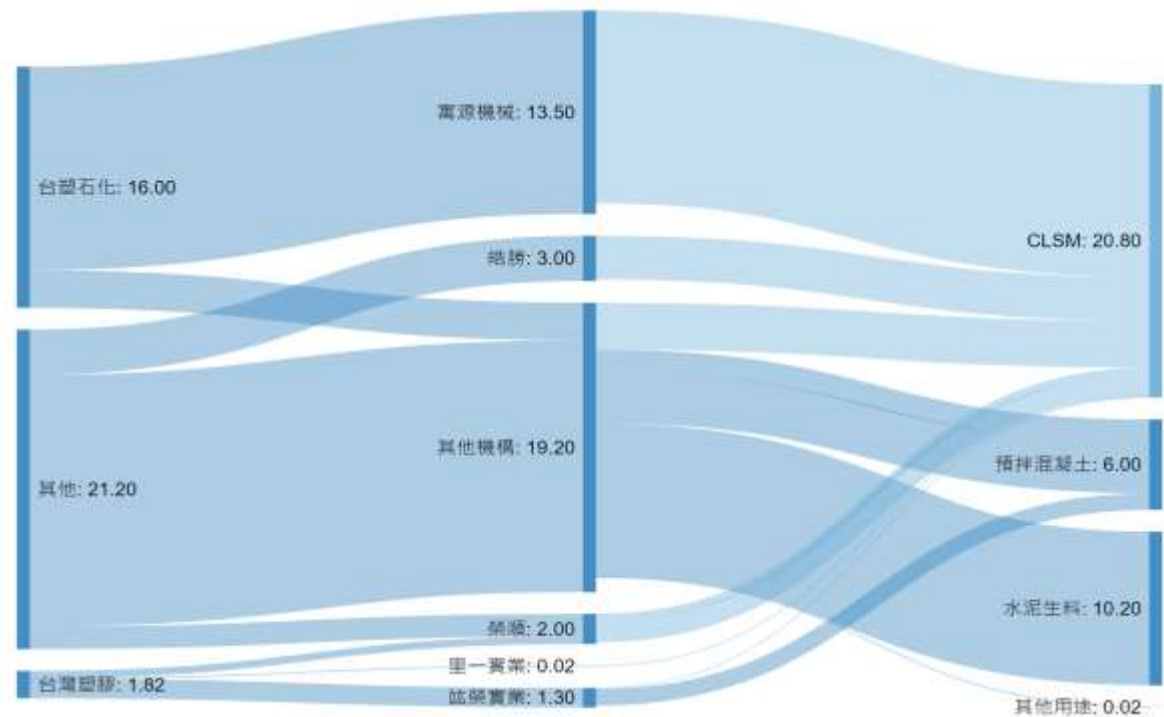
資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-12 我國燃煤飛灰(製造業鍋爐)109 年資源循環流向(依物質流區分)



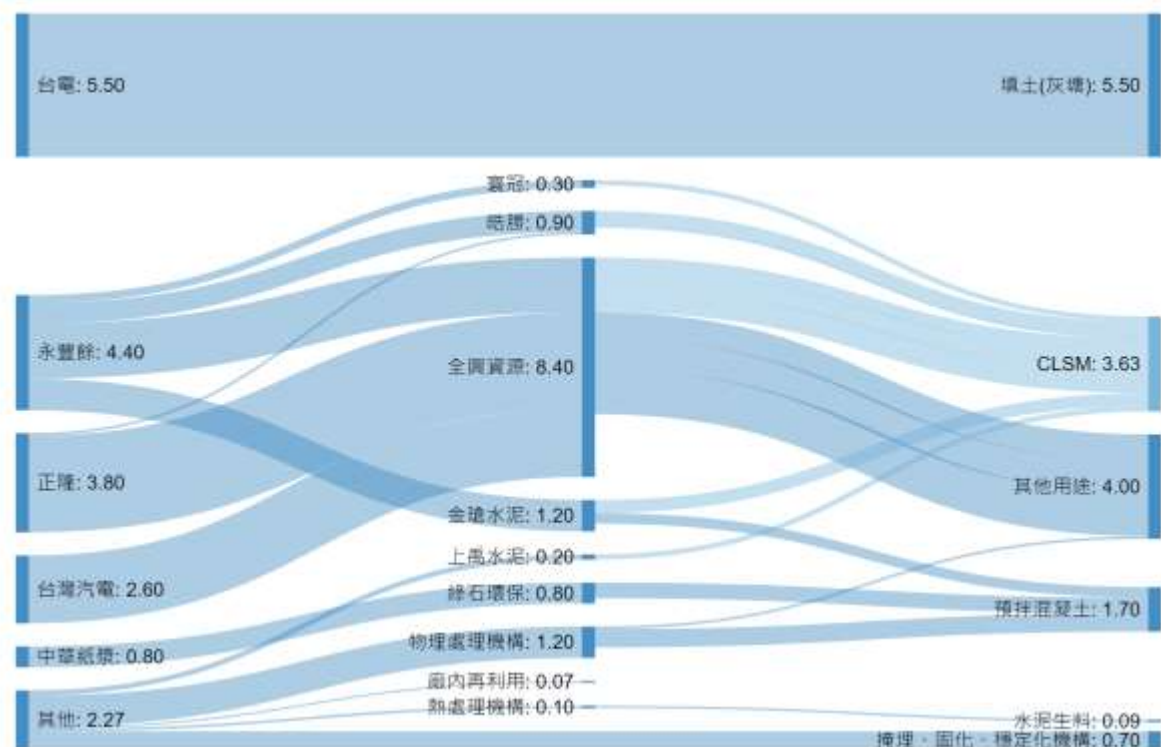
資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-13 我國燃煤底灰(燃煤電廠)109 年資源循環流向(依物質流區分)



資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-14 我國燃煤底灰(製造業鍋爐)109 年資源循環流向(依物質流區分)



資料來源：本計畫彙整

圖 2.1-15 我國混燒灰渣(燃煤電廠+製造業鍋爐)109 年資源循環流向(依物質流區分)

(三) 煤灰及其再生粒料流向現況問題分析及處理推動措施建議

1. 流向現況問題分析

煤灰主要是由燃煤發電廠或事業燃煤鍋爐產生。煤灰依據出灰位置或收集方式可分為 3 種：燃煤飛灰(R-1106)、燃煤底灰(或含燃煤飛灰之底灰)(R-1107)及一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)。以下針對煤灰種類及產源類別進行流向現況問題分析。

(1) 燃煤飛灰(R-1106)

A. 燃煤電廠

(A) 109 年產生量約 259 萬公噸。

(B) 109 年再利用量約 259 萬公噸，去化(再利用)好，累積貯存量低。

- (C) 主要再利用(需求)方式作為預拌混凝土，另作為水泥生料、CLSM、填土(灰塘)等。
- (D) 據再利用機構表示，燃煤飛灰在市場需求量大，除可與水泥直接混合使用以改善工程性質，取代部分水泥，如水壩工程中添加可強化壩體結構強度。而河海、橋樑及隧道工程摻入飛灰，可提高相關鹽類侵蝕。

B. 事業燃煤鍋爐

- (A) 109 年產生量約 185.1 萬公噸。
- (B) 109 年再利用量約 185.1 萬公噸，市場需求量大，去化(再利用)好，累積貯存量低(約 0.3 萬公噸)。
- (C) 其燃煤飛灰相關性質與燃煤電廠之燃煤飛灰類似，主要再利用(需求)方式作為預拌混凝土，另作為水泥生料、CLSM 等。

(2) 燃煤底灰(R-1107)

A. 燃煤電廠

- (A) 109 年產生量約 42 萬公噸。
- (B) 109 年再利用量約 42.2 萬公噸，去化(再利用)與產生量相近。
- (C) 累積貯存量約 26.1 萬公噸，主要為台塑麥寮汽電股份有限公司暫置於灰塘 25.8 萬公噸，該公司灰塘係六輕環評時規劃貯存煤灰的地點，截至 108 年底 2 處灰塘貯存煤灰量分別為 128 萬 m^3 及 31.7 萬 m^3 ，使用比率分別為 36.9% 及 31.0%，均依規定貯存。該公司於 106 年 1 月 9 日提出「六輕四期擴建計畫環境影響說明書申請備查案內容（灰塘貯存之燃煤鍋爐煤灰再利用規劃）」變更案，變更重點略以：「各期灰塘所貯存之煤灰，將依據『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』進行再

利用作業，目前規劃於灰塘現址作為工程填地材料使用，待填滿後，施以一公尺覆土進行植栽綠化，或按經濟部事業廢棄物再利用管理辦法所載其他方式再利用。」環保署於 106 年 1 月 25 日准予備查，並於 106 年 3 月 6 日函示雲林縣環保局，有關台塑公司之煤灰，如擬再利用，應依廢清法第 39 條第 1 項規定，依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」辦理。若扣除該公司累積貯存量，僅剩 0.3 萬噸，去化(再利用)尚可。

- (D) 主要再利用(需求)方式作為水泥生料，另作為預拌混凝土、CLSM、填土(灰塘)等。
- (E) 據再利用機構表示，燃煤底灰因表面有孔隙，雖亦可用於相關營建工程材料，然性質上較無飛灰等多元工程特性，故一般優先考慮收受飛灰，待其料源不足時再考慮底灰。

B. 事業燃煤鍋爐

- (A) 109 年產生量約 46.1 萬公噸。
- (B) 109 年再利用量約 38.9 萬公噸，約 7.2 萬公噸需暫存。
- (C) 累積貯存量約 138.5 萬公噸，主要臺塑相關企業占其大宗，申報暫置於灰塘 138 萬公噸，若扣除該相關企業申報暫置灰塘累積貯存量，僅剩 0.5 萬噸，去化(再利用)尚可。
- (D) 作為水泥生料，另作為預拌混凝土、CLSM 等用途。

(3) 一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)(以下簡稱混燒灰渣)

A. 燃煤電廠

- (A) 臺電於 109 年產生量約 4.4 萬公噸混燒灰渣(D-1199)。

(B) 109 年清理量約 4.4 萬公噸，無累積貯存量，去化亦相對穩定。

(C) 皆用於灰塘填築使用。

B. 事業燃煤鍋爐

(A) 事業燃煤鍋爐產生 109 年產生量約 14.4 萬噸。

(B) 109 年清理量約 14.2 萬公噸，去化尚屬穩定，累積貯存量約 5.1 萬公噸。

(C) 主要再利用(需求)方式為送往再利用機構，主要再利用產品為 CLSM 及預拌混凝土。

2. 處理推動措施建議

因一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)量少且去化相對穩定，故本次著重於燃煤飛灰及燃煤底灰之管理，由環境、管理及工程等面向，持續推動煤灰(燃煤飛灰及燃煤底灰)應用於公共工程及港區造地填築用途，多元化使用，處理推動措施建議研擬如下：

(1) 法令規範

A. 增修環境品質標準

(A) 燃煤飛灰(R-1106)

燃煤飛灰雖已有 20 年以上之再利用實績，且燃煤飛灰已普遍使用於預拌混凝土廠，屬於有價之材料。CNS 3036「混凝土用燃煤飛灰及未煅燒或煅燒天然卜作嵐材料」以規範其物化性，公共工程委員會施工規範亦規定燃煤飛灰之用量，且大部分水壩之混凝土需使用燃煤飛灰，然相關重金屬檢測、標準及使用地點限制資訊尚待補充，可參考經濟部近期於 110 年 6 月 24 日公告電弧爐煉鋼爐渣(氧化渣、還原渣)之重金屬溶出檢測、標準及使用地點限制，修正「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」第 3 條附表之再利用種類「編號 1、煤灰」，修正內容建議比照電弧爐煉鋼爐渣(氧化渣、還原渣)，經再利用程序之產

出物，於再利用階段出廠前，依「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」檢測重金屬項目(鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅)，每年度至少檢測一次，標準比照焚化再生粒料第一、二級環境標準控管產品品質，如限制使用地點(如水質水量保護區等敏感區域)，確保應用時溶出對環境影響。並將持續滾動檢討法令規範，強化流向追蹤管理。

(B) 燃煤底灰(R-1107)

燃煤底灰因表面有孔隙，雖亦可用於相關營建工程材料，然性質上較無飛灰等多元工程特性，且無 CNS 等相關要求，故相關重金屬檢測、標準及使用地點限制資訊尚待補充，可參考經濟部近期於 110 年 6 月 24 日公告電弧爐煉鋼爐渣(氧化渣、還原渣)之重金屬溶出檢測、標準及使用地點限制，修正「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」第 3 條附表之再利用種類「編號 1、煤灰」，修正內容建議比照電弧爐煉鋼爐渣(氧化渣、還原渣)，經再利用程序之產出物，於再利用階段出廠前，依「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」檢測重金屬項目(鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅)，每年度至少檢測一次，標準比照焚化再生粒料第一、二級環境標準控管產品品質，如限制使用地點(如水質水量保護區等敏感區域)，確保應用時溶出對環境影響。並將持續滾動檢討法令規範，強化流向追蹤管理。

B. 強化流向追蹤管理

(A) 燃煤飛灰(R-1106)

依經濟部事業廢棄物再利用管理辦法之附表再利用管理方式，編號 1 之煤灰如再利用於鋪面工程之基層或底層級配粒料原料、瀝青混凝土粒料原料或非農業用地之工程填地材料用途者，再利用機構應依下列規定，於每月十日前，主動連線至工業廢棄物清理與資源化資訊網內之再利用機構運作申報區(以下簡稱指定申報區)，申報前月煤灰及其再利用產品銷售使用情形。

為完善追蹤整體煤灰再利用使用情形，除上述三項共通用途持續申報，燃煤飛灰之高爐爐石粉、水泥、水泥製品、預拌混凝土、陶瓷磚瓦製品、顆粒保溫材料、混凝土粒料等用途亦建議列管申報以確實強化流向追蹤管理。

(B) 燃煤底灰(R-1107)

如同燃煤飛灰(R-1106)，除共通用途持續申報，燃煤底灰之水泥、預拌混凝土、混凝土粒料、陶瓷磚瓦製品、顆粒保溫材料、控制性低強度回填材料用粒料或控制性低強度回填材料等用途亦建議列管申報以確實強化流向追蹤管理。

(2) 推廣應用

誠如前述燃煤飛灰已有再利用做工程相關用途長達 20 年以上之實績，運用尚屬單純且去化穩定，燃煤底灰因表面有孔隙，雖亦可用於相關營建工程材料，然性質上較無飛灰等多元工程特性，故一般優先考慮收受飛灰，待其料源不足時再考慮底灰，故後續如欲加速燃煤底灰去化，可考量填海造地方式辦理，以填築造地方式進行去化之煤灰則送往彰濱工業區線西西 3 區及高雄港洲際貨櫃中心第二期計畫用地之東側水域進行填地作業。

另 101 年環評審查過程中，各界對於台塑公司管理灰塘之實際情形，多否認屬合理之貯存，爰此，縱台塑公司

能使灰塘符合設施標準規定，但仍有管理目的之疑慮。為此，行政院於 109 年 6 月 17 日指示經濟部專案輔導去化（再利用），針對貯存之燃煤底灰，應依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定辦理，該辦法附表中，已明定煤灰之再利用方式，故地方單位於後續期間應持續追蹤相關再利用流向。

據瞭解臺北港、臺中港及高雄港之中長程發展新興計畫(116 年以後)分別於南外堤遠期用地(約 316 公頃)、南填方區(II)(約 187 公頃)及第三港區第 1 期用地(約 743 公頃)等區域進行填築規劃，故上述相關區域後續可納入煤灰等再生粒料填海造地之考量，惟可能導致暫用其他粒料。

檢視 108 年至今之一般性飛灰或底渣混合物申報量，產出量與再利用量相近，於累積暫存量與年增暫存量則無變化，顯示該類廢棄物皆有合適之去化管道。該廢棄物後端去化管道主要為預拌混凝土及 CLSM，尚有部分歸掩埋、固化、穩定化處理，為讓臺灣邁向循環經濟時代，把相關廢棄物轉換為再生資源，故建議以掩埋、固化、穩定化處理之一般性飛灰或底渣混合物可再行檢視並朝預拌混凝土及 CLSM 考慮，以達到零廢棄、低耗能、淨零的環境友善社會。

(四) 煤灰及其再生粒料處理量能分析預測

煤灰可做為營建工程類材料，並以預拌混凝土用途為大宗，109 年產生量約 551 萬噸，110 年 8 月之累積貯存量約 182 萬公噸，主要台塑相關企業占其大宗，申報暫置於灰塘，若扣除該相關企業申報暫置灰塘累積貯存量，僅剩 0.5 萬噸，去化(再利用)尚可。

2.2 檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碯、還原碯、煤灰等）環境用途溶出狀況【持續溶出基線檢測】

本項工作重點為「持續溶出基線檢測」，內容依據契約書為「檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碯、還原碯、煤灰等）的環境用途溶出狀況，依據「再生粒料環境用途溶出程序」，進行重金屬、鹽類及氫離子濃度指數項目試驗檢測，並與地下水污染管制標準進行比較。採集及試驗分析至少 36 件次，建立環境用途溶出狀況基線資料。（前述工作內容之粒料種類、採集、試驗方式及檢測項目，可依計畫需求經環保署同意後調整）」。

本項工作為持續辦理我國主要無機循環材料（轉爐石、氧化碯、還原碯、煤灰等）之環境用途溶出檢測基線資料及特色檢測，自 108 年辦理迄今，以瞭解主要無機循環材料產製狀況及相關特性。本計畫持續溶出基線檢測工作流程，詳圖 2.2-1。包含：一、參考再生粒料環境用途溶出管制精神。二、歷年基線檢測及特色檢測計畫之內容及結果說明。三、本年度檢測及特色檢測計畫目的及規劃。四、本年度(110)採樣對象之篩選及規劃。五、本年度(110)採樣及檢測方法。六、本年度(110)檢測結果及分析。茲分別說明如后：

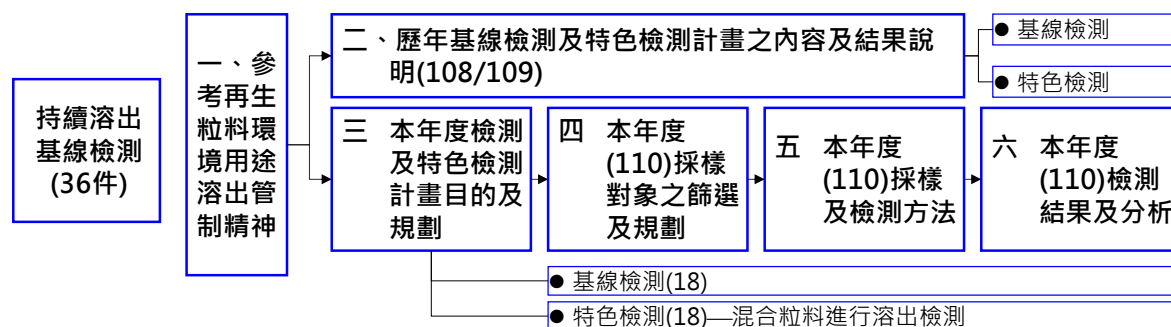


圖 2.2-1 持續辦理檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碯、還原碯、煤灰等）環境用途溶出狀況之工作流程

一、參考再生粒料環境用途溶出管制精神

(一) 日本再生粒料環境用途溶出管制精神(圖 2.2-2)

1. 參考日本渣類資源化產品之管制精神及作法，以無機循環材料實際工程應用於環境後，經雨水等淋洗不可造成環境污染為原則。
2. 即無機再生粒料採「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」(108.10.02 公告，同日本 JIS K 0058-1 之 5 溶出程序)後，溶出液重金屬應符合我國地下水污染管制標準值(分 2 類)。

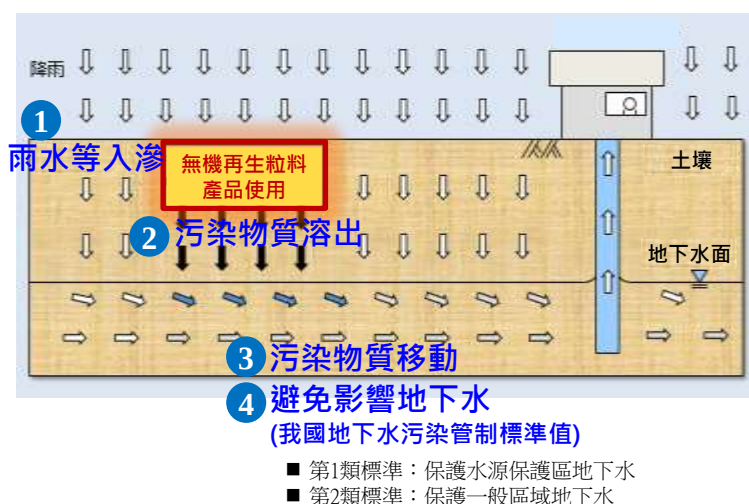


圖 2.2-2 日本渣類資源化產品之管制精神示意

(二) 我國先使用於修正公告焚化再生粒料環境標準

1. 環保署「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」對於焚化再生粒料(焚化底渣再利用產品)之重金屬溶出檢測方法，原援引 TCLP 毒性特性溶出程序，採取溶出標準則是為有害事業認定標準之限值 80%。
2. 而實際上，TCLP 的方法來源最初源自美國，其發展目的在於模擬酸雨環境狀況下，衛生掩埋場內廢棄物掩埋過程中毒性物質溶出時，是否會對掩埋場外的地下水體、地上水體或人體、環境造成危害性影響，而醋酸為掩埋場中最常見的酸，但對於焚化再生粒料之實際應用情境及接觸環境介質不同（天然水體）。
3. 因此，環保署經 107 年起(第 1 年)針對焚化再生粒料(焚化底渣再利用產品)，以「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為

溶出檢測方法(108 年 10 月 2 日公告，本公告與日本 JIS K 0058-1 之 5 溶出程序相同)，並與我國地下水污染管制標準進行比較，持續溶出基線檢測迄今。

4. 於 109 年 5 月 18 日修法公告「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」(110 年 1 月 1 日正式實施)。

參考日本渣類資源產品之溶出管制規範，並慮及我國環境特性，以焚化再生粒料實際用於環境之溶出情境及管制目的，採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為溶出檢測方法(108 年 10 月 2 日公告)。

並參考我國地下水污染管制標準分級規範環境標準(包含鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳及鋅 8 項重金屬)，以明確限制焚化再生粒料之使用地點、用途、檢測項目及標準分級管理，並檢討焚化再生粒料標準加嚴管理為「焚化再生粒料環境標準」，並依用途區分為第一級及第二級標準。

(三) 逐步擴大至其他無機循環材料(轉爐石、氧化渣、還原渣及煤灰等)的溶出基線檢測及管制

1. 藉由我國焚化再生粒料的溶出管制精神，期逐步擴大至其他無機循環材料(轉爐石、氧化渣、還原渣及煤灰等)溶出管制。
2. 環保署亦自 108 年(第 1 年)起針對其他無機循環材料(轉爐石、氧化渣、還原渣、煤灰等)開始進行持續溶出基線檢測。
3. 持續溶出基線檢測之目的，即為瞭解我國其他無機循環材料(轉爐石、氧化渣、還原渣、煤灰等)，以再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)，並參考我國第一類及第二類地下水污染管制標準作為研究基準，比較之間的關聯及概況，期建立其他無機循環材料之產品標準建議。
4. 本基線檢測屬於研究計畫(抽樣廠內狀況)，非實際無機循環材料出再利用機構之品質，無機循環材料須符合法規相關標準，始能出廠再利用。經濟部最新公告電弧爐煉鋼爐渣(氧化渣、還原渣)之重金屬溶出檢測、標準及使用地點限制：經濟部參考焚化再生粒料環境標準之作法，將經濟部事業廢棄物再利用管理辦法(110

年 6 月 24 日公告修正)新增規定電弧爐煉鋼爐碴(氧化碴、還原碴)經再利用程序之產出物，於再利用階段出廠前，依再生粒料環境用途溶出程序檢測重金屬項目(鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅)，每年度至少檢測一次，標準比照焚化再生粒料第一、二級環境標準控管產品品質，如限制使用地點(如水質水量保護區等敏感區域)，另再利用用途產品為水泥者，不在此限(詳見 2.4 節)。

三、本年度(110 年)基線檢測及特色檢測計畫之目的及規劃

本計畫依據對本計畫工項的瞭解，研擬本項工作基線檢測(粒料)及特色檢測(混合粒料)之作業流程，詳圖 2.2-3 及表 2.2-3，研析步驟說明如后。

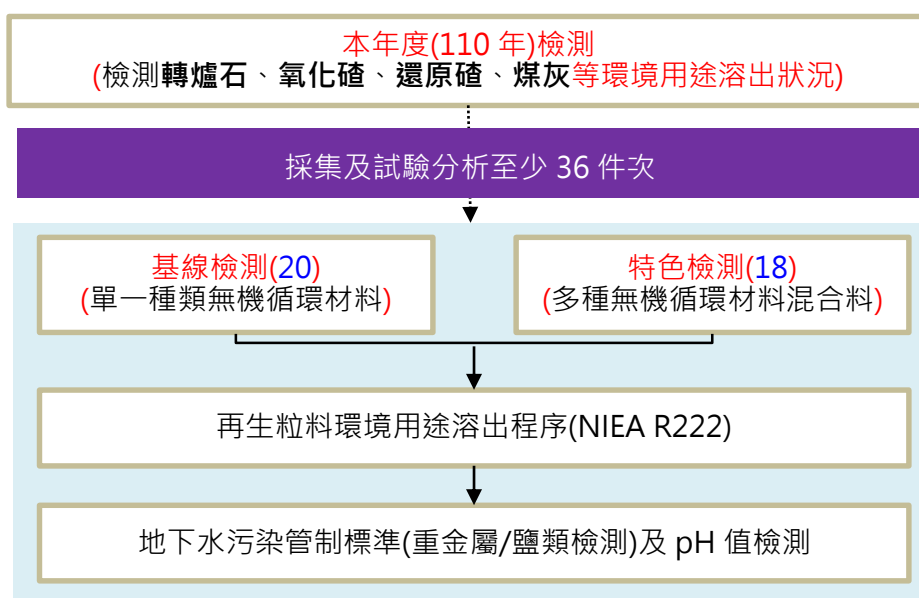


圖 2.2-3 「檢測國內主要無機循環材料的環境用途溶出狀況」之作業流程

表 2.2-3 本年度(110)無機循環材料基線檢測及特色檢測計畫規劃

項目	試驗對象	規劃數量(件)
(一) 基線檢測 (單一種類 無機循環材料)	・ 轉爐石	2
	・ 氧化碴	6
	・ 還原碴	6
	・ 煤灰	6
	小計	20
(二) 特色檢測 (多種無機循環 材料混合料)	・ 焚化再生粒料(2 組)及轉爐石(1 組)之混合料	2
	・ 焚化再生粒料(2 組)及氧化碴(2 組)之混合料	4
	・ 焚化再生粒料(2 組)及還原碴(1 組)之混合料	2
	・ 焚化再生粒料(2 組)、轉爐石(1 組)及氧化碴(2 組)之混合料	4
	・ 焚化再生粒料(2 組)、轉爐石(1 組)及還原碴(1 組)之混合料	2

項目	試驗對象	規劃數量(件)
	・ 焚化再生粒料(2 組)、轉爐石(1 組)、氧化碯(2 組)及還原碯(1 組)之混合料	4
	小計	18
	總計(至少 36 件次)	38

註：焚化再生粒料之測試樣品由環保署 110 年「無機再生粒料應用管理與推廣專案工作計畫」提供。

(一) 試驗目的

1. 本年度(110 年)基線檢測目的

為第 3 年之基線檢測，以單一再生粒料進行再生粒料環境用途溶出程序檢測，並與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較，建置無機循環材料環境用途溶出基線資料。

2. 本年度(110 年)特色檢測目的

考量未來填築料源(如港區填築等)屬於粒料混合型態，因此擬以不同再生粒料樣品混料組合後，進行再生粒料環境用途溶出程序檢測，並與溶出基線資料進行比對，並做為無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議之參考。

(二) 規劃說明(滿足至少 36 件次)

1. 基線檢測

分別採集轉爐石、氧化碯、還原碯及煤灰粒料，共 20 件粒料樣品，進行再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)檢測，與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較，以建置無機循環材料溶出基線資料。

2. 特色檢測

考量未來填築料源屬於混合型態，以不同再生粒料樣品混料組合後，進行再生粒料環境用途溶出程序檢測，並與溶出基線資料進行比對，做為無機循環材料材料化條件、材料認證準則及環境標準建議之參考，共 18 件。

四、本年度(110 年)採樣對象之篩選及規劃

(一) 110 年(第 3 年)基線檢測對象規劃

本計畫規劃採集轉爐石 2 件、氧化碯 6 件、還原碯 6 件、煤灰(燃煤飛灰及燃煤底灰)6 件，共 20 件粒料樣品，進行環境用途溶出檢測。

(二) 110 年(第 3 年)特色檢測對象規劃

本計畫規劃採集之轉爐石、氧化碓、還原碓粒料樣品與另案焚化再生粒料樣品混料組合後，進行環境用途溶出檢測，規劃檢測 18 件混料樣品，檢測結果將與溶出基線資料進行比對。

混合粒料樣品中包含：焚化再生粒料 2 家(由另案相關計畫同步採集之八里焚化再生粒料和永康焚化再生粒料提供)、轉爐石 1 家(中鋼公司，本計畫基線檢測對象)、氧化碓 2 家(燁聯鋼鐵及豐興鋼鐵，本計畫基線檢測對象)、還原碓 1 家(豐興鋼鐵，本計畫基線檢測對象)，依 6 組不同粒料組合，經等比例混合後，共 18 件次進行檢測分析，檢測對象規劃詳表 2.2-6。

- (1) 組合一：焚化再生粒料(2 家)及轉爐石(1 家)之混合料，共 2 種組合(2 件次)。
- (2) 組合二：焚化再生粒料(2 家)及氧化碓(2 家)之混合料，共 4 種組合(4 件次)。
- (3) 組合三：焚化再生粒料(2 家)及還原碓(1 家)之混合料，共 2 種組合(2 件次)。
- (4) 組合四：焚化再生粒料(2 家)、轉爐石(1 家)及氧化碓(2 組)之混合料，共 4 種組合(4 件次)。
- (5) 組合五：焚化再生粒料(2 家)、轉爐石(1 家)及還原碓(1 家)之混合料，共 2 種組合(2 件次)。
- (6) 組合六：焚化再生粒料(2 家)、轉爐石(1 家)、氧化碓(2 家)及還原碓(1 家)各 1 組合之混合料(4 件次)。

五、本年度(110 年)採樣及檢測方法

無機循環材料之採樣時間及採樣件數如表 2.2-4，完成採集轉爐石 2 件、氧化碓 6 件、還原碓 6 件、燃煤飛灰 3 件及燃煤底灰 3 件，共 20 件次，採樣照片如圖 2.2-4。

(一) 採樣方法

1. 煉鋼爐碓(轉爐石、還原碓、氧化碓)

煉鋼爐碓採集是依據環境檢驗所於 108 年 10 月 02 日公告「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」之再生粒料採樣方

法，採樣前需先了解料堆總量，以選擇最小採樣點數，步驟說明如下：

- (1) 採樣前於採樣點上方，垂直料堆表面插入一塊隔板，以防止較粗粒料滾落。
- (2) 隔板放置後，刮掉料堆最外層表面，採樣鏟以垂直料堆表面插入新裸露粒料中採集樣品。
- (3) 依據料堆總量參考表 2.2-7 決定採樣點數，採樣點儘可能平均分布於料堆，各採樣點採集約等量之樣品混合成 1 個初步樣品，初步樣品數量至少 25 公斤。
- (4) 初步樣品充分混合後，以四分法進行縮分，每次保留對角兩份，經數次縮分後取得所需樣品，置入容器內密封，室溫保存。

2. 煤灰(燃煤飛灰及燃煤底灰)

煤灰(燃煤飛灰及燃煤底灰)之樣品採集是參照國家標準「粒料取樣法(CNS 485)」或環境檢驗所公告「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」之採樣方法，國家標準 CNS 485「粒料取樣法」之自料堆取樣與自運輸車輛取樣之一般性指引說明如下：

	
中鋼公司之轉爐石	樺懋科技公司之燐聯氧化碓
	
慶欣欣公司之還原碓	現場初步篩分
	
現場樣品四分法	樣品

圖 2.2-4 無機循環材料之採樣照片

表 2.2-7 再生粒料環境用途溶出程序之採樣最小採樣點數

料堆總量(公噸)	採樣點數(n)
<1	6
1 — 5	10
5 — 30	14
30 — 100	20
100 — 500	30
500 — 1000	36
1000 — 5000	50
>5000	60

資料來源：再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)。

(1) 自料堆取樣

對於粗粒料或粗細混合粒料，應盡量利用機械設備，自主要料堆中不同高度與位置取數個分量後再混合組成工地樣品。若須顯示存在於主要料堆中既有之變異程度時，須從料堆之不同地點取得各別樣品。

若無法取得機械設備時，應從料堆之頂端、中間與底部各分三分之一體積處取得至少 3 個分量混合而成。將 1 塊隔板垂直推進料堆至取樣地點上有助於避免材料進一步地分離。自細粒料之料堆中取樣，其外層有可能分離時應先移除，再自下一層取樣。直徑及長度至少 30 mm 及 2 m 之取樣管插入料堆之隨機位置抽出至少 5 個分樣後再合成 1 個樣品。

(2) 自運輸車輛取樣

採取粒料樣品，應盡量利用機械設備，使材料可依不同高度與隨機地點曝露。當無法取得機械設備時，於外觀可合理代表料堆性質處，橫過車體挖掘 3 條以上溝槽，其底部約略水平，寬度至少 0.3 m 與在料堆表面下深度。沿每條溝槽約等間隔以鏟子向下推進料堆，取出 3 個以上分樣，除依車輛大小調整分量之數量外，卡車上粗粒料取樣基本上相同。

(二) 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)

1. 再生粒料環境用途溶出程序

- (1) 檢測方法為環保署公告「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」。
- (2) 採用去離子水(電阻值 $\geq 1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$)為溶劑，去離子水以鹽酸溶液或氫氧化鈉溶液調整 pH 值，使 pH 值介於 5.8 至 6.3 範圍內。
- (3) 依據樣品最大粒徑秤取所需最小樣品量(表 2.2-8)，再生粒料薄層平鋪置於萃取容器底部，緩慢倒入 10 倍樣品量之萃取

液，並將萃取容器安裝於攪拌裝置上，使攪拌葉片位於樣品與液面中間，以約 200 rpm 之轉速攪拌 6 小時。

- (4) 萃取完成後靜置 10 分鐘至 30 分鐘，以 0.45 μm 濾膜過濾，收集之萃出液依分析項目進行酸化後保存，並依照方法進行分析。
- (5) 萃液之分析項目為 109 年 5 月 18 日公告之「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」中之焚化再生粒料環境用途標準之規範項目，萃出液分析項目如表 2.2-9。

表 2.2-8 再生粒料環境用途溶出程序最大粒徑及最小樣品量

最大粒徑(d)(mm)	最小樣品量(g)
$37.5 \leq d < 53.0$	3000
$31.5 \leq d < 37.5$	2000
$26.5 \leq d < 31.5$	1000
$16.0 \leq d < 26.5$	500
$9.5 \leq d < 16.0$	200

資料來源：本計畫彙整。

表 2.2-9 再生粒料環境用途溶出程序檢測項目

檢測項目	檢測方法
萃出液金屬(鉛、鎘、鉻、銅、砷、鎳、鋅、銻、鉬)	- 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222) - 事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法－酸消化法(NIEA R306) - 感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104)
萃出液金屬/汞	- 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222) - 冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA R314)
萃出液/六價鉻	- 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222) - 事業廢棄物萃出液中六價鉻檢測方法－比色法(NIEA R309)
萃出液/氟鹽	- 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222) - 氟選擇性電極法(NIEA W413)
萃出液/亞硝酸鹽氮	- 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222) - 水中亞硝酸鹽氮檢測方法－分立式分析系統比色法(NIEA W458)
萃出液/硝酸鹽氮	- 再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222) - 水中亞硝酸鹽氮檢測方法－分立式分析系統比色法(NIEA W458) - 水中硝酸鹽氮檢測方法－分立式分析系統比色法(NIEA W459)
粒料氫離子濃度指數	廢棄物之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法-電極法(NIEA R208)

資料來源：本計畫彙整。

2. 萃出液之重金屬檢測方法

- (1) 分析萃出液中重金屬濃度檢測項目為砷、鎘、鉻、銅、汞、鉛、鎳、鋅、銻、鉬及六價鉻，檢測項目與方法參見表 2.2-9。

- (2) 除萃出液金屬汞依據冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA R314)及六價鉻依據事業廢棄物萃出液中六價鉻檢測方法—比色法(NIEA R309)進行分析外，其他金屬(砷、鎘、鉻、銅、鉛、鎳、鋅)皆依據事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法—酸消化法(NIEA R306)消化後，再以感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104.02C)分析。
3. 萃出液之鹽類檢測方法
 - (1) 分析萃出液中鹽類濃度檢測項目為氟鹽、硝酸鹽及亞硝酸鹽，檢測項目與方法參見表 2.2-9。
 - (2) 萃出液氟鹽依據氟選擇性電極法(NIEA W413)進行分析，萃出液亞硝酸鹽依據水中亞硝酸鹽氮檢測方法—分立式分析系統比色法(NIEA W458)進行分析，萃出液硝酸鹽依據水中亞硝酸鹽氮檢測方法—分立式分析系統比色法(NIEA W458)及分立式分析系統比色法(NIEA W459)進行分析。
4. 無機循環材料之氫離子濃度檢測方法
 - (1) 氫離子濃度指數檢測方法參見表 2.2-9，氫離子濃度指數測定是依據「廢棄物之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法-電極法(NIEA R208)」進行。
 - (2) 取至少 50 g 通過 9.5 mm 標準篩網之混合均勻樣品，再將樣品顆粒減小至粒徑小於 1 mm 後，秤取其中 20 ± 0.2 g 置於適當體積(如 100 mL)之燒杯內，加入 20 mL 試劑水，蓋上錶玻璃，持續攪拌混合液 5 分鐘。靜置混合液約 15 分鐘，使混合液的大部分固體沉澱，以直接、過濾、離心或利用其他方式取得水相層，測定水相層之 pH 值，並記錄溫度。

2.3 實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題【實地訪查意見蒐集】

本項工作重點為「實地訪查意見蒐集」，內容依據契約書為「實地訪查至少 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集其基本資料、無機循環材料使用情形及再利用遭遇問題。」。

本計畫對計畫工作的瞭解，研擬有關本項「實地訪查意見蒐集」作業流程，詳圖 2.3-1 所示，分別包含如下，研析初步成果如后說明。

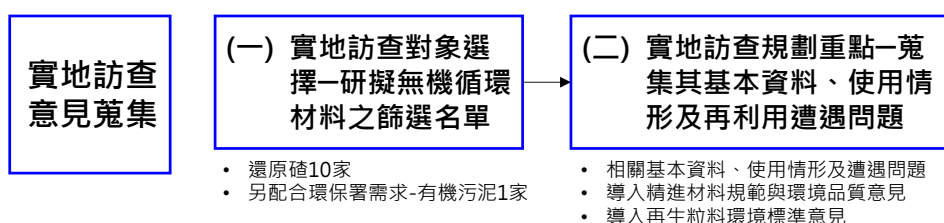


圖 2.3-1 「實地訪查至少 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集其基本資料、使用情形及再利用遭遇問題」之作業流程

一、實地訪查對象選擇

(一) 緣起

藉由第 2.1 節量能及流向盤點情形，初步得知我國無機循環材料中之還原碓(每年產生約 29 萬公噸)，由於其膨脹特性，再利用比率略低(每年使用量約 21 萬公噸)，造成相當累積暫存量約 73 萬公噸。

爰此，為優先瞭解還原碓之去化問題或遭遇之困難點，本計畫配合環保署政策考量，今年度主要優先針對「還原碓」產製之再生粒料來源(產源-事業單位)、產製機構或其使用端為實地訪查之主要關切項目，據以掌握還原碓產製再生粒料之使用現況及其後端使用現況。亦配合環保署業務實際需求進行現場訪查，前述二者合計辦理至少 10 場次實地訪查作業。

(二) 篩選基本原則

有關還原碴產製之再生粒料來源(產源-事業單位)、產製機構或其使用端為實地訪查篩選基本原則，係由以下條件考量：還原碴產生量大、累積暫存量較大或其再生粒料收受量大者，及其他(配合環保署業務實際需求、具計畫關聯或需求等)等，如圖 2.3-2。

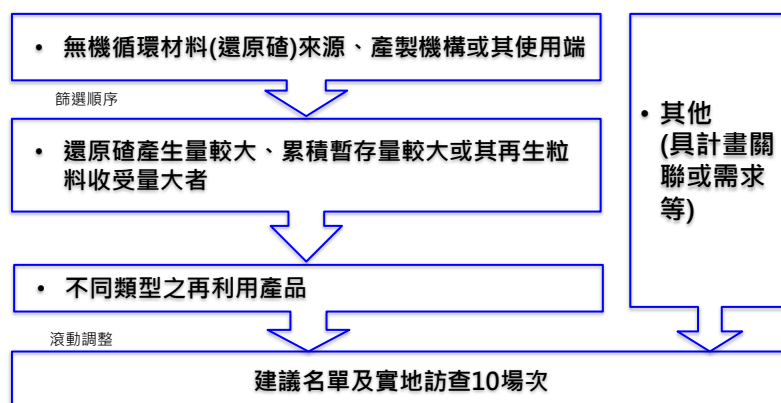


圖 2.3-2 實地訪查無機循環材料(還原碴)之篩選基本原則

(三) 訪查對象

1. 產出還原碴之事業單位共有 19 家、實際收受之再利用機構共有 6 家(詳表 2.3-1)。經前述條件篩選出 7 家事業單位(產源)及 3 家再利用機構，共 10 家進行實地訪查。

二、實地訪查規劃重點 (規劃內容如表 2.3-3)

- (一) 蒐集無機循環材料(還原碴部分)之相關基本資料。
- (二) 蒐集無機循環材料(還原碴部分)使用情形(比對檢視其使用用途、數量現況等資料)。
- (三) 訪查製程運作及流向管理。
- (四) 導入精進材料規範與環境品質之意見(配合納入後續第 2.4 節之提出廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準)。
- (五) 導入廢棄物產製為無機循環材料之環境標準建議之意見。

表 2.3-3 實地訪查規劃重點

重點	現場訪查內容	說明
(一)基本資料整理	1. 訪查機構名稱	●現場訪查機構之基本訊息
	2. 處理無機循環材料項目	
	3. 許可量或設計處理量	

	4. 訪查時間	
	5. 訪查地點	
	6. 訪查對象	
	7. 其他	
(二)訪查製程運作及流向管理	1. 109 年無機循環材料收受情形	●查製程運作及流向管理面問題 ●瞭解針對製程運作及流向管理上之實務配套(如處理流程、處理設備之運轉情形、設備操作及維護保養運轉狀況等)。
	2. 109 年無機循環材料來源	
	3. 109 年無機循環材料再利用量	
	4. 109 年無機循環材料再利用用途	
	5. 109 年無機循環材料暫存情形	
	6. 109 年無機循環材料產品產製銷售情形	
	7. 109 年無機循環材料整體流向概況	
	8. 處理廠廠房型式	
	9. 貯存場廠房型式	
	10. 廠內處理設備	
	11. 廠內處理流程	
	12. 設備操作及維護保養運轉狀況	
(三)溝通及意見交流	1. 廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則	●瞭解針對實務配套(如廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議等)
	2. 廢棄物產製為無機循環材料之環境標準建議	
	3. 其他相關建議或意見(如使用用途去化等)之意見。	

資料來源：本計畫研擬。

三、小結

本計畫針對還原碴產源及再利用業者訪查後，主要彙整重點問題及意見聚焦，主要意見及建議包含以下三點：

- (一) 還原碴送水泥業允收標準高，部分鋼鐵廠料源品質未能達其標準，建議未來可輔導產源業者增設前處理設施。
- (二) 還原碴安定化產品市場普遍接受度仍低，道路工程去化推動不易，建議未來環保署、經濟部偕同工程單位持續推廣道路工程去化，適材適所分流應用。
- (三) 由經濟部輔導設置之還原碴安定化再利用機構(台鋼資源)自 109 年開始收受還原碴進行安定化處理後，目前仍以收受 10 家入股鋼廠(豐興、東和、協勝發等)為主，未入股 9 廠部分仍有去化需求且有少部分暫置情形，建議俟台鋼資源運作成熟及去化相對穩定後，可由經濟部輔導增加協處其他鋼廠之還原碴，並另訂處理費用。

2.4 依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議【材料認證及標準建立】

本項工作重點為「材料認證及標準建立」，依據契約書所載內容為「依盤查資料分析及檢測結果，提出廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，藉由製程規範、材料認證及環境標準把關，精進無機循環材料的材料規範與環境品質，協助辦理專家會議、研商會議或說明會議」。

依前述 2.1～2.3 節的工作結果，研析標的對象的材料允收及環境安全資料，確認再生物料在特定應用情境下所需符合的環境與品質標準等方式，據以提出廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議。後續再依上述相關工作的結果，透過辦理研商說明會議的方式，請相關領域專家進行確認並提供建議，據以完善相關規劃。相關作業流程如圖 2.4-1 所示。

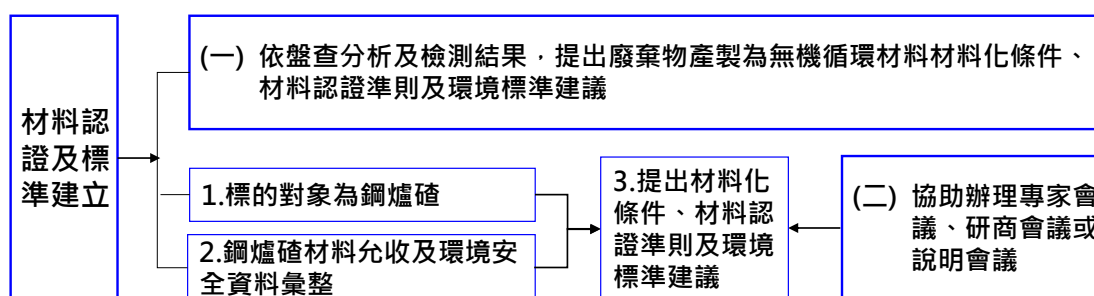


圖 2.4-1 「依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議」之作業流程

一、工作構想

由前述 2.1 節之盤點國內主要無機循環材料(轉爐石、氧化碴、還原碴、煤灰)產生量、再利用量等用途及資源循環流向，能掌握主要無機循環材料的處理量能及流向，配合溶出檢測結果(前述 2.2 節)與無機循環材料來源、產製機構或其使用端之實地訪查意見蒐集(前述 2.3 節)，以鋼爐碴之處理量能及去化途徑較為不足，因此今年度材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，將以鋼爐碴(轉爐石、氧化碴及還原碴)為標的物料。

二、確認無機循環材料(再生粒料)材料化條件(允收標準)

本工作項目參考法令規章(經濟部事業廢棄物再利用管理辦法)、CNS 國家標準、公共工程施工綱要規範、以及產業公會或產源業者撰寫之使用手冊等，已收集轉爐石、氧化碴及還原碴的相關材料允收及環境安全資料，相關規範來源彙整如表 2.4-1 所示。

表 2.4-1 無機循環材料(再生粒料)材料允收及環境安全資料參考來源

	CNS 國家標準	公共工程施工綱要規範	使用手冊
轉 爐 石	• CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料(99.12) • CNS 15308 瀝青鋪面混合料用粗粒料(99.12) • CNS 15309 瀝青鋪面混合料用細粒料(99.12) • CNS15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料(99.5) • CNS 14995 透水性混凝土地磚(95.4)	• 第 02701 章 轉爐石瀝青混凝土鋪面(V2.0, 100.2) • 第 02742 章 瀝青混凝土鋪面(V11.0, 108.8) • 第 02796 章 密級配改質瀝青混凝土鋪面(V8.0, 108.2) • 第 02703 章 轉爐石填海造地(V1.0, 109.7)	• 轉爐石瀝青混凝土使用手冊(109.9) • 轉爐石道路基底層使用手冊(109.3) • 轉爐石 CLSM 使用手冊(110.4) • 滾筒轉爐石及改質轉爐石鋪面磚使用手冊(107.5) • 轉爐石應用於水泥生料使用手冊(109.1) • 轉爐石海事工程使用手冊(106.11)
氧 化 碴	• CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料(99.12) • CNS 15308 瀝青鋪面混合料用粗粒料(99.12) • CNS 15309 瀝青鋪面混合料用細粒料(99.12) • CNS15305 級配粒料基層、底層及面層用材料(99.12) • CNS15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料(99.5) • CNS 14995 透水性混凝土地磚(95.4)	• 第 02702 章 氧化碴瀝青混凝土鋪面(V1.0, 108.12) • 第 02742 章 瀝青混凝土鋪面(V11.0, 108.8) • 第 02726 章 級配粒料底層(V10.0, 107.12) • 第 02722 章 級配粒料基層(V9.0, 107.12) • 第 02795 章 透水性混凝土地磚(V3.0, 109.11)	• 電弧爐煉鋼氧化碴瀝青混凝土鋪面使用手冊(107.5) • 電弧爐煉鋼氧化碴(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊(108.2) • 電弧爐煉鋼氧化碴(石)應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊(108.8)
還 原 碴	• CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料(99.12) • CNS 15308 瀝青鋪面混合料用粗粒料(99.12) • CNS 15309 瀝青鋪面混合料用細粒料(99.12) • CNS15305 級配粒料基層、底層及面層用材料(99.12) • CNS15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料(99.5) • CNS 14995 透水性混凝土地磚(95.4)	無	無

資料來源：本計畫彙整。

(一) 轉爐石應用情境材料允收標準

轉爐石為中鋼公司依法申請登記之產品，主要的品質規範依據為 5 個國家標準、4 個公共工程施工綱要規範、以及中鋼公司所撰寫之 6

本使用手冊，轉爐石於不同用途的材料允收規範如表 2.4-2，說明如下。

1. 轉爐石應用於海事工程

(1) 公共工程施工綱要規範第 02703 章「轉爐石填海造地」

材料允收規範為粒徑(cm) $\leq$ 5.0、洛杉磯磨損率(%) $\leq$ 40.0、pH $<$ 12.5、戴奧辛(ng I-TEQ/g) $<$ 1.0、輻射(nSv/h) $<$ 200。

(2) 轉爐石海事工程使用手冊(回填資材)

轉爐石應用於海事工程之回填資材用途，材料允收規範為粒徑、洛杉磯磨損率、pH、戴奧辛、以及輻射等，與前述公共工程施工綱要規範第 02703 章「轉爐石填海造地」的要求相同。

2. 轉爐石應用於控制性低強度回填材料(CLSM)

(1) 轉爐石 CLSM 使用手冊

轉爐石粒料應用於 CLSM 添加量，滾筒轉爐石取代總粒料不超過 30%；爐下轉爐石取代總粒料不得超過 10%。粒料品質標準包括健度(滾筒轉爐石及爐下轉爐石) $\leq$ 10%以及浸水膨脹率(滾筒轉爐石及爐下轉爐石)不得超過 3%。

當滾筒轉爐石或爐下轉爐石混合天然粒料或其他再生粒料時，該混合料浸水膨脹率不得超過 0.5%。

3. 轉爐石應用於瀝青混凝土原料

(1) 公共工程施工綱要規範第 02701 章「轉爐石瀝青混凝土鋪面」

轉爐石粒料取代天然粒料，使用量不得超過粒料總重量 40%，

品質規範為洛杉磯磨損率，用於底層、聯結層及整平層者 $\leq$ 50%，用於磨耗層者 $\leq$ 35%及面層者 $\leq$ 40%。健度 $\leq$ 12%(硫酸鈉法)或 $\leq$ 18%(硫酸鎂法)。

細粒料健度 $\leq$ 15%(硫酸鈉法)。配合設計之轉爐石混合級配粒料需依 CNS 15311 進行膨脹試驗，其連續 7 天膨脹量須小於 2%。

(2) 公共工程施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」

瀝青混凝土使用再生粒料時，其與天然粒料之組成比例，須依配合設計決定之，惟再生粒料使用量不得超過全部粒料之 20%。

(3) 公共工程施工綱要規範第 02796 章「密級配改質瀝青混凝土鋪面」

改質瀝青混凝土混合料之組成如使用轉爐石粒料取代天然粒料，則其使用料不得超過瀝青混合料重量之 40%。

(4) 公共工程施工綱要規範第 02701 章「轉爐石瀝青混凝土鋪面」

「轉爐石瀝青混凝土鋪面」的材料允收規範與公共工程施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」及第 02796 章「密級配改質瀝青混凝土鋪面」規範相同。

(5) 轉爐石瀝青混凝土使用手冊

轉爐石應用於瀝青混凝土的粒料品質標準，主要是依據 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」的規範值，其中鋪面混合粒料級配係以不同尺度粗粒料及細粒料級配料組合而成，因此粒料尺寸可依實際需求進行調整。

粗粒料品質規範(規格)主要包括洛杉磯磨損率 $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉法) $\leq 12\%$ 、混合級配料浸水膨脹率 $\leq 4\%$ 以及吸水率 $\leq 3\%$ 。細粒料規格包括健度(硫酸鈉法) $\leq 15\%$ 、塑性指數 $\leq 4\%$ 以及混合級配料浸水膨脹率 $\leq 4\%$ 。

密級配瀝青混凝土添加轉爐石比例建議取代天然料比例為粗粒料全取代約為 70% 為原則；多孔隙瀝青混凝土建議取代天然料比例為粗粒料全取代為 70~90%；石膠泥瀝青混凝土建議取代天然料比例為粗粒料全取代約為 80% 為原則」。

(6) CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」

工程初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20% 為宜。在粗粒料的部分，健度 $\leq 12\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 18\%$ (硫酸鎂法)，面層磨損率 $\leq 40\%$ ，作為底層用時 $\leq 50\%$ ；細粒料部分，健度 $\leq 15\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 20\%$ (硫酸鎂法)。

當粒料具水合成分時，供貨者應提供證明材料性能穩定的處理方法。

(7) CNS 15308「瀝青鋪面混合料用粗粒料」

品質規範與 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料之粗粒料」相同。

4. 轉爐石應用於水泥生料

(1) 轉爐石應用於水泥生料使用手冊

轉爐石應透過破碎篩分及磁選作業過濾大型雜物金屬等物質，採用粒徑較小之轉爐石並降低金屬鐵以降低對生料研磨系統磨耗情形。材料允收規範包含 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\%) \geq 25.0$ 、 $\text{CaO}(\%) \geq 30.0$ 、 $\text{MgO}(\%) \leq 9.50$ 、總鹼分 $(\%) \leq 0.30$ 、 $\text{Cl}(\%) \leq 0.10$ 、水分 $(\%) \leq 12.0$ 、粒徑 $(\text{mm}) \leq 10.0$ 。

5. 轉爐石應用於高壓磚

(1) 滾筒轉爐石及改質轉爐石鋪面磚使用手冊

材料允收規範包含洛杉磯磨損率(改質轉爐石二分料) $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉法)(滾筒轉爐石細粒料) $\leq 10\%$ 、健度(硫酸鈉法)(改質轉爐石二分料) $\leq 12\%$ 、吸水率(滾筒轉爐石細粒料及改質轉爐石二分料) $\leq 3\%$ 、浸水膨脹率(滾筒轉爐石細粒料) $\leq 3\%$ 、浸水膨脹率(改質轉爐石二分料) $\leq 0.5\%$ 。滾筒轉爐石取代天然總粒料不超過 70%以及改質轉爐石取代天然粗粒料可達 100%。

(2) CNS 14995「透水性混凝土磚」

品質規範為透水地磚製造所使用之各種無機物質添加物、再生資源或廢棄物，適用材料包含爐渣(轉爐石)，但以無害於透水地磚性能者為原則。

6. 轉爐石應用道路基底層級配粒料

(1) 轉爐石道路基底層使用手冊

材料允收規範為洛杉磯磨損率 $\leq 50\%$ 、健度(硫酸鈉法) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂法) $\leq 18\%$ 、浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$ 、粒徑 ≤ 5.0 cm、 $\text{pH} < 12.5$ 、戴奧辛 < 1.0 ng I-TEQ/g、輻射 < 200 nSv/h。

(2) CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」

品質規範為建議第一次施工鋪築時，先不超過粒料總量之 20%，而後視施工狀況再逐漸增加用量。粒料之成分具有水合特性(例如鋼爐碴)時，應依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」檢測其 7 天膨脹量不超過 0.50%。

表 2.4-2 轉爐石品質規範彙整

用途	再生粒料允收規範	參考依據
海事工程	粒徑範圍 ≤ 5.0 cm、洛杉磯磨損率 $\leq 40.0\%$	施工綱要規範第 02703 章 「轉爐石填海造地」(V1.0, 109.7) 轉爐石海事工程使用手冊 (106.11)
管溝回填用 控制性低強度 回填材料 原料	滾筒轉爐石取代總粒料不超過 30%、爐下轉爐石取代總粒料不得超過 10% 滾筒轉爐石最大粒徑#4(4.75 mm)通過率 $>95\%$ 爐下轉爐石最大粒徑 1/4"(6.3 mm)通過率 $>95\%$ 健度(滾筒轉爐石及爐下轉爐石) $\leq 10\%$ 浸水膨脹率(滾筒轉爐石及爐下轉爐石) $\leq 3\%$ 混合料浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	轉爐石 CLSM 使用手冊 (110.4)
瀝青混凝土 原料	轉爐石粒料取代天然粒料其使用量不得超過粒料總重量之 40% (1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層、聯結層及整平層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(磨耗層) $\leq 35\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ (2)細粒料：健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ (3)轉爐石混合級配料：浸水膨脹率 $<2\%$	施工綱要規範第 02701 章 「轉爐石瀝青混凝土鋪面」 (V2.0, 100.2)
	再生粒料使用量不得超過全部粒料之 20% 轉爐石品質要求同第 02701 章「轉爐石瀝青混凝土鋪面」	施工綱要規範第 02742 章 「瀝青混凝土鋪面」(V11.0, 108.8)
	轉爐石粒料取代天然粒料其使用料不得超過瀝青混合料重量之 40% (1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層、聯結層及整平層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(磨耗層) $\leq 35\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ (2)細粒料：健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ (3)轉爐石混合級配料：浸水膨脹率 $<2\%$	施工綱要規範第 02796 章 「密級配改質瀝青混凝土鋪面」(V8.0, 108.2)
	(1)轉爐石粗粒料：洛杉磯磨損率 $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ 、吸水率 $\leq 3\%$ (2)轉爐石細粒料：健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ (3)轉爐石混合級配料：浸水膨脹率 $\leq 4\%$	轉爐石瀝青混凝土使用手冊 (109.9)

用途	再生粒料允收規範	參考依據
	各工程於初期使用時，以不超過粒料總量之 20% 為宜 (1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層)≤50%、洛杉磯磨損(面層)≤40%、健度(硫酸鈉)≤12%或健度(硫酸鎂)≤18% (2)細粒料：健度(硫酸鈉)≤15%或健度(硫酸鎂)≤20% (3)一般要求：浸水膨脹率(由雙方議定)	CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」(99.12)
	洛杉磯磨損(底層)≤50%、洛杉磯磨損(面層)≤40% 健度(硫酸鈉)≤12%或健度(硫酸鎂)≤18%	CNS15308「瀝青鋪面混合料用粗粒料」(99.12)
	通過試驗篩 9.5mm CNS 386，且完全通過 4.75 mm 試驗篩之粒料	CNS15309「瀝青鋪面混合料用細粒料」(99.12)
水泥生料	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 25.0\%$ 、 $\text{CaO} \geq 30.0\%$ 、 $\text{MgO} \leq 9.50\%$ 、總鹼分 $\leq 0.30\%$ 、 $\text{Cl} \leq 0.10\%$ 、水分 $\leq 12.0\%$ 、粒徑 $\leq 10.0 \text{ mm}$	轉爐石應用於水泥生料使用手冊(109.11)
高壓磚	滾筒轉爐石取代天然總粒料不超過 70% 改質轉爐石取代天然粗粒料可達 100% 洛杉磯磨損率((改質轉爐石二分料)≤40% 滾筒轉爐石細粒料健度(硫酸鈉)≤15% 改質轉爐石二分料健度(硫酸鈉)≤12% 吸水率(滾筒細粒料及改質轉爐石二分料)≤3% 浸水膨脹率(滾筒轉爐石細粒料)≤3% 浸水膨脹率(改質轉爐石二分料)≤0.5%	滾筒轉爐石及改質轉爐石鋪面磚使用手冊(107.5)
	透水地磚製造所使用之各種無機物質添加物、再生資源或廢棄物，適用材料包含爐渣(轉爐石)，但以無害於透水地磚性能者為原則	CNS 14995「透水性混凝土地磚」(95.4)
道路基底層級配粒料	洛杉磯磨損率≤50%、健度(硫酸鈉)≤12%或健度(硫酸鎂)≤18%、浸水膨脹率≤0.5%、粒徑範圍(cm)≤5.0	轉爐石道路基底層使用手冊(109.3)
	第一次施工鋪築時，先不超過粒料總量之 20%，而後視施工狀況再逐漸增加用量。 粒料成分具有水合特性(例如鋼爐渣)，浸水膨脹率≤0.5%	CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」(99.5)

資料來源：本計畫彙整。

(二) 氧化矽應用情境允收標準

氧化矽再利用主要品質規範為經濟部事業廢棄物再利用管理辦法規定，再利用用途包含水泥生料、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、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、溝蓋之原料等，摘錄經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表如表 2.4-3 所示。

表 2.4-3 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法標的物料相關規定

標的物料	再利用管理辦法第三條附表相關規定(摘錄)(110 年 6 月 24 日公告修正)						
電弧爐煉鋼爐 渣(石)	1. 事業廢棄物來源：基本金屬製造業在電弧爐煉鋼製程所產生之氧化渣(石)或還原渣(石)。但氧化渣(石)與還原渣(石)無法分離或依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之。 2. 再利用用途：水泥生料、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，或經高壓蒸氣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。但不銹鋼製程產生之還原渣(石)用途為水泥生料、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、紐澤西護欄原料，或經高壓蒸氣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。 3. 再利用於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及紐澤西護欄原料用途者，氧化渣(石)經破碎、磁選及篩分之產出物及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利用於紐澤西護欄原料用途者應未超過百分之〇·〇五外，其他再利用用途未超過百分之〇·五者，始得進行再利用。 4. 電弧爐煉鋼爐渣(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再生粒料環境用途溶出程序檢測有毒重金屬項目。但再利用用途產品為水泥者，不在此限。經檢測未超過下列標準者，始得作為再利用用途之產品使用，但各再利用產品最終使用地點屬本款第七目所列限制使用地點之一者，其有毒重金屬項目溶出檢測結果不得超過下列標準之十分之一。 (1)鉛：〇·一 毫克/公升。 (2)鎘：〇·〇五 毫克/公升。 (3)鉻：〇·五 毫克/公升。 (4)銅：十 毫克/公升。 (5)砷：〇·五 毫克/公升。 (6)汞：〇·〇二 毫克/公升。 (7)鎳：一 毫克/公升。 (8)鋅：五十 毫克/公升。 (9)含 2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等十七種化合物之總毒性當量濃度$\leq$〇·一 (ng I-TEQ/g)。 5. 再利用產品品質應符合附件二規範，且除水泥外，至少每月應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室檢測一次產品品質。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>再利用產品項目</th><th>品質規範</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水泥</td><td>符合 CNS 61 卜特蘭水泥之品質標準。</td></tr> <tr> <td>瀝青混凝土粒料</td><td>符合 CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料之品質標準。</td></tr> </tbody> </table>	再利用產品項目	品質規範	水泥	符合 CNS 61 卜特蘭水泥之品質標準。	瀝青混凝土粒料	符合 CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料之品質標準。
再利用產品項目	品質規範						
水泥	符合 CNS 61 卜特蘭水泥之品質標準。						
瀝青混凝土粒料	符合 CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料之品質標準。						

標的物料	再利用管理辦法第三條附表相關規定(摘錄)(110年6月24日公告修正)	
	瀝青混凝土	依公共工程共通性工項施工綱要規範第 02741 章瀝青混凝土之一般要求之品質項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。
	管溝回填用控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土	符合 CNS 1240 混凝土粒料之品質標準。
	管溝回填用控制性低強度回填材料	依工程主辦機關施工規範第 03377 章 控制性低強度回填材料或工程採購契約書檢驗，並符合其品質規範。
	非構造物用預拌混凝土	符合 CNS 3090 預拌混凝土之品質標準。
	鋪面工程之基層或底層級配粒料	符合 CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料、公共工程共通性工項施工綱要規範第 02722 章 級配粒料基層或第 02726 章 級配粒料底層之品質標準。
	水泥製品用粒料	符合事業之間契約書標準。
	混凝土(地)磚	符合 CNS 13295 高壓混凝土磚、CNS 14995 透水性混凝土磚、CNS 12963 裝飾混凝土磚之品質標準。
	空心磚	符合 CNS 383 空心磚之品質標準。
	水泥瓦	符合 CNS 467 弓形水泥瓦、CNS 468 槽型水泥瓦、CNS 469 平脊形水泥瓦、CNS 1049 高壓弧脊形水泥瓦之品質標準。
	水泥板	符合 CNS 3802 纖維水泥板、CNS 11697 住宅屋面用裝飾水泥板、CNS 11699 外裝用纖維強化水泥板、CNS 13777 纖維強化水泥板、CNS 14890 再生纖維水泥板之品質標準。
	緣石	符合 CNS 3930 預鑄混凝土緣石之品質標準。
	混凝土管	符合 CNS 11691 無鋼襯預力混凝土管、CNS 12285 鋼襯預力混凝土管、CNS 14565 鋼襯混凝土管之品質標準。
	人孔	符合 CNS 15431 下水道用鋼筋混凝土預鑄人孔之品質標準。
	溝蓋	符合 CNS 10841 L 型側溝用陰井蓋之品質標準。

氧化碓再利用具有相關的 6 個國家標準、5 個公共工程施工綱要規範、以及台灣鋼鐵工業同業公會所撰寫之 3 本使用手冊，氧化碓於不同用途的材料(允收)品質規範如表 2.4-4，說明如下。

1. 氧化碓應用於水泥生料

(1) 經濟部再利用管理辦法

再利用於水泥生料用途者，須具備水泥旋窯設備。

CNS 國家標準僅針對產品(水泥)訂定 CNS 61「卜特蘭水泥」標準，並未無針對摻配材料種類編訂相關規範。

2. 氧化碓應用於瀝青混凝土粒料原料/瀝青混凝土原料

(1) 經濟部再利用管理辦法

氧化碓經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.5%者，始得進行再利用。

(2) 公共工程施工綱要規範第 02702 章「氧化矽瀝青混凝土鋪面」

氧化矽取代天然粒料之使用量，不得超過粒料總重量之 40%。粗粒料的部分包括：洛杉磯磨損(底層、聯結層及整平層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(磨耗層) $\leq 35\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 以及健度(硫酸鈉法) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂法) $\leq 18\%$ ；細粒料為健度(硫酸鈉法) $\leq 15\%$ 。

另外配合設計之氧化矽混合級配粒料，需依 CNS 15311 進行膨脹試驗，其連續 7 天膨脹量須小於 0.5%。

(3) 公共工程施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」

瀝青混凝土使用再生粒料時，其與天然粒料之組成比例，須依配合設計決定，惟再生粒料使用量不得超過全部粒料之 20%，再生級配粒料或其混合料包含鋼質粒料(氧化矽細粒料)，須符合 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」規範，且其 7 天膨脹量須小於 0.5%，始可進行再利用。

(4) 電弧爐煉鋼氧化矽瀝青混凝土鋪面使用手冊

碳鋼氧化矽使用在細粒料以不超過全部重量百分比 40%為原則。材料允收規範為粗粒料磨損率 $\leq 40\%$ (面層)，健度 $\leq 12\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 18\%$ (硫酸鎂法)、細粒料健度 $\leq 15\%$ (硫酸鈉法)。

(5) CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐矽粒料」

工程初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20%為宜。在粗粒料的部分，健度 $\leq 12\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 18\%$ (硫酸鎂法)，面層磨損率 $\leq 40\%$ ，作為底層用時 $\leq 50\%$ ；細粒料部分，健度 $\leq 15\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 20\%$ (硫酸鎂法)。

當粒料具水合成分時，供貨者應提供證明材料性能穩定的處理方法。

(6) CNS 15308「瀝青鋪面混合料用粗粒料」

品質規範與 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料之粗粒料」相同。

3. 氧化碴應用於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

(1) 經濟部再利用管理辦法

氧化碴經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.5% 者，始得進行再利用。

(2) 電弧爐煉鋼氧化碴(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊

根據「電弧爐煉鋼氧化碴(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊」的應用實例中，氧化碴可使用總粒料用量之 60~100%。

4. 氧化碴應用於鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料

(1) 經濟部再利用管理辦法

氧化碴經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.5% 者，始得進行再利用。

(2) 公共工程施工綱要規範第 02726 章「級配粒料底層」

再生材料之來源包含鋼質粒料（氧化碴）等軋製而成之級配粒料，其品質應符合「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」之要求，其再利用用途為「道路工程粒料」，並經主管機關同意使用。爐碴品質應符合 CNS 15305 之要求，粗粒料磨損率 $\leq 50\%$ 。鋼質粒料(氧化碴)比重 ≥ 1.5 ，吸水率 $\leq 25\%$ ，浸水膨脹比 $\leq 0.5\%$ 。底層所用級配粒料，健度 $\leq 12\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 18\%$ (硫酸鎂法)。

(3) 公共工程施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」

材料允收規範與第 02726 章「級配粒料底層」相同。

- (4) 電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊

根據「電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊」，氧化渣再生粒料物理及工程性質皆佳，第一次施工鋪築時初期使用量建議比例以 20% 為限。

- (5) CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」

品質規範為粗粒料洛杉磯磨損率 $\leq 50\%$ ；細粒料塑性指數 ≤ 6 。另外若材料中摻有鋼爐石渣時，其浸水膨脹率應 $\leq 0.5\%$ 。

- (5) CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」

建議於進行第一次施工鋪築時，先不超過粒料總量之 20%，而後視施工狀況再逐漸增加用量。粒料成分具有水合特性(例如鋼爐渣)時，應依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」檢測其 7 天膨脹量不超過 0.50%。

5. 氧化渣應用於紐澤西護欄原料

- (1) 經濟部再利用管理辦法

氧化渣經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.05% 者，始得進行再利用。

6. 氧化渣應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

- (1) 經濟部再利用管理辦法

經高壓蒸氣處理後，以經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附件熱壓膨脹試驗法檢測，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形，始得進行再利用。

7. 氧化渣應用於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

- (1) 經濟部再利用管理辦法

經高壓蒸氣處理後，以經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附件熱壓膨脹試驗法檢測，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形，始得進行再利用。

(2) 公共工程施工綱要規範第 02795 章「透水性混凝土磚」

無機物質添加物以使用再生資源或廢棄物為原料時，僅限於焚化再生粒料、廢陶瓷、廢磚瓦、廢玻璃、鋼爐碴中的電弧爐氧化碴或大理石、花崗石、其他石材類下腳料經破碎處理之粒料，但以無害於透水地磚性能者為限，其添加比例以不超過 50% 為上限。

表 2.4-4 氧化碴品質規範彙整

用途	再生粒料允收規範	參考依據
水泥生料	須具備水泥旋窯設備	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
瀝青混凝土粒料原料/ 瀝青混凝土原料	浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
	再生粒料使用量不得超過全部粒料之 20% 氧化碴細粒料：符合 CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料、浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	施工綱要規範第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」(V11.0, 108.8)
	取代天然粒料之使用量，不得超過粒料總重量之 40% (1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層、聯結層及整平層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(磨耗層) $\leq 35\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ (2)細粒料：健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ (3)級配粒料：浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	施工綱要規範第 02702 章「氧化碴瀝青混凝土鋪面」(V1.0, 108.12)
	碳鋼氧化碴使用在細粒料建議以不超過全部重量百分比 40% 為原則 (1)粗粒料：洛杉磯磨損率 $< 40\%$ 、健度(硫酸鈉) $< 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $< 18\%$ (2)細粒料：健度(硫酸鈉) $< 15\%$	電弧爐煉鋼氧化碴瀝青混凝土鋪面使用手冊(107.5)
	初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20% (1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ (2)細粒料：健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 20\%$ (3)一般要求：浸水膨脹率(由雙方議定)	CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」(99.12)

用途	再生粒料允收規範	參考依據
	洛杉磯磨損(底層)≤50%、洛杉磯磨損(面層)≤40% 健度(硫酸鈉)≤12%或健度(硫酸鎂)≤18%	CNS15308「瀝青鋪面混合料用粗粒料」(99.12)
	通過試驗篩 9.5 mm CNS 386，且完全通過 4.75 mm 試驗篩之粒料	CNS15309「瀝青鋪面混合料用細粒料」(99.12)
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	浸水膨脹率≤0.5%	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法(110.6 公告)
	氧化矽可使用總粒料用量之 60~100%	電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊(108.2)
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	浸水膨脹率≤0.5%	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法(110.6 公告)
	(1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層)≤50% (2)粒料：比重≥1.5、吸水率≤25%、浸水膨脹率≤0.5% (3)級配粒料：健度(硫酸鈉)≤12%或健度(硫酸鎂)≤18%	施工綱要規範第 02726 章「級配粒料底層」(V10.0, 107.12)
	粗粒料：洛杉磯磨損(基層)≤50% 粒料：比重≥1.5、吸水率≤25%、浸水膨脹率≤0.5%	施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」(V9.0, 107.12)
	氧化矽再生粒料第一次施工鋪築時初期使用量建議比例以 20%為限	電弧爐煉鋼氧化矽(石)應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊(108.8)
	(1)粗粒料：洛杉磯磨損率 ≤50% (2)細粒料：塑性指數≤6 若摻有鋼爐石矽時，浸水膨脹率≤0.5%	CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」(99.12)
	第一次施工鋪築時，先不超過粒料總量之 20%，而後視施工狀況再逐漸增加用量。 浸水膨脹率≤0.5%	CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」(99.5)
紐澤西護欄原料	浸水膨脹率≤0.05%	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法(110.6 公告)
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	應經高壓蒸氣安定化處理 熱壓膨脹試驗，試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法(110.6 公告)
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	應經高壓蒸氣安定化處理 熱壓膨脹試驗，試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法(110.6 公告)
	氧化矽添加物添加比例≤50% 無機物質添加物以使用再生資源或廢棄物為原料時，以無害於透水地磚性能者為限	施工綱要規範第 02795 章「透水性混凝土磚」(V3.0, 109.11)

用途	再生粒料允收規範	參考依據
	透水地磚製造所使用之各種無機物質添加物、再生資源或廢棄物，適用材料包含爐碴(轉爐石)，但以無害於透水地磚性能者為原則	CNS 14995「透水性混凝土磚」(95.4)

資料來源：本計畫彙整。

(三) 還原碴應用情境允收標準

還原碴再利用主要品質規範為經濟部事業廢棄物再利用管理辦法規定，再利用用途包含與前述氧化碴相同，摘錄經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表如表 2.4-3 所示。

還原碴具有相關的 6 個國家標準，目前尚未有還原碴相關的使用手冊，還原碴於不同用途的材料(允收)品質規範如表 2.4-5，說明如下。

1. 還原碴應用於水泥生料

(1) 經濟部再利用管理辦法

再利用於水泥生料用途者，須具備水泥旋窯設備。在 CNS 國家標準的部分，僅針對產品(水泥)訂定 CNS 61「卜特蘭水泥」標準，並未無針對摻配材料種類編訂相關規範。

2. 還原碴應用於瀝青混凝土粒料原料/瀝青混凝土原料

(1) 經濟部再利用管理辦法

還原碴經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.5% 者，始得進行再利用。

(2) CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」

工程初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20% 為宜。在粗粒料的部分，健度 $\leq 12\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 18\%$ (硫酸鎂法)，面層磨損率 $\leq 40\%$ ，作為底層用時 $\leq 50\%$ ；細粒料部分，健度 $\leq 15\%$ (硫酸鈉法)或 $\leq 20\%$ (硫酸鎂法)。

當粒料具水合成分時，供貨者應提供證明材料性能穩定的處理方法。

(3) CNS 15308「瀝青鋪面混合料用粗粒料」

品質規範與 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料之粗粒料」相同。

3. 還原碴應用於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

(1) 經濟部再利用管理辦法

還原碴經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.5% 者，始得進行再利用。

4. 還原碴應用於鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料

(1) 經濟部再利用管理辦法

還原碴經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.5% 者，始得進行再利用。

(2) CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」

品質規範為粗粒料洛杉磯磨損率 $\leq 50\%$ ；細粒料塑性指數 ≤ 6 。另外若材料中摻有鋼爐石碴時，其浸水膨脹率應 $\leq 0.5\%$ 。

(3) CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」

建議於進行第一次施工鋪築時，先不超過粒料總量之 20%，而後視施工狀況再逐漸增加用量。粒料成分具有水合特性(例如鋼爐碴)時，應依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」檢測其 7 天膨脹量不超過 0.50%。

5. 還原碴應用於紐澤西護欄原料

還原碴經破碎、磁選及篩分之產出物，應至少每月依 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 7 天浸水膨脹率未超過 0.05% 者，始得進行再利用。

6. 還原值應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

(1) 經濟部再利用管理辦法

經高壓蒸氣處理後，以經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附件熱壓膨脹試驗法檢測，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形，始得進行再利用。

7. 還原值應用於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

(1) 經濟部再利用管理辦法

經高壓蒸氣處理後，以經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附件熱壓膨脹試驗法檢測，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形，始得進行再利用。

(2) CNS 14995「透水性混凝土地磚」

透水地磚製造所使用之各種無機物質添加物、再生資源或廢棄物，適用材料包含爐碴，但以無害於透水地磚性能者為原則。

表 2.4-5 還原碓品質規範彙整

用途	再生粒料允收規範	參考依據
水泥生料	須具備水泥旋窯設備	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
瀝青混凝土粒料原料/瀝青混凝土原料	浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
	初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20% (1)粗粒料：洛杉磯磨損(底層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 、健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ (2)細粒料：健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 20\%$ (3)一般要求：浸水膨脹率(由雙方議定)	CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐碓粒料(99.12)
	洛杉磯磨損(底層) $\leq 50\%$ 、洛杉磯磨損(面層) $\leq 40\%$ 健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$	CNS15308 瀝青鋪面混合料用粗粒料 (99.12)
	通過試驗篩 9.5 mm CNS 386，且完全通過 4.75 mm 試驗篩之粒料	CNS15309 瀝青鋪面混合料用細粒料 (99.12)
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	浸水膨脹率 $< 0.5\%$	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
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	浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
	浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料(99.12)
	浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$	CNS15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料(99.5)
紐澤西護欄原料	浸水膨脹率 $\leq 0.05\%$	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
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	應經高壓蒸氣安定化處理 熱壓膨脹試驗，試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
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	應經高壓蒸氣安定化處理 熱壓膨脹試驗，試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (110.6 公告)
	透水地磚製造所使用之各種無機物質添加物、再生資源或廢棄物，適用材料包含爐碴，但以無害於透水地磚性能者為原則	CNS 14995 透水性混凝土地磚(95.4)

資料來源：本計畫彙整。

五、確認無機循環材料(再生粒料)環境安全規範

本工作項目透過蒐集彙整再生粒料的環境安全資料，包括一般及溶出項目，瞭解不同類別再生粒料的規範現況，目前已蒐集轉爐石、氧化渣、還原渣資料，相關規範如表 2.4-4 所示，後續將針對焚化再生粒料、燃煤底灰進行資料彙整，最後建議再生粒料環境用途之溶出方法與品質相關規範，結果如下。

(一) 再生粒料環境用途溶出程序

環保署 108 年 10 月 2 日公告採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」，適用於測定再生粒料（包括焚化再生粒料、煉鋼爐渣(Steel slag)、非鐵金屬爐渣(Non-ferrous slag)及廢棄物熔融爐渣(Waste molten slag)）中金屬之溶出量。

環保署於 109 年 5 月 18 日公告修正「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，對於焚化再生粒料環境使用新規範，並自 110 年 1 月 1 日生效，新法修正是參考日本渣類資源化產品之管制精神，並慮及我國環境特性，以焚化再生粒料實際用於環境之溶出情境及管制目的，採用再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)作為溶出檢測方法，並參考我國地下水污染管制標準分級規範環境標準，以明確限制焚化再生粒料之使用地點、用途、檢測項目及標準分級管理，並檢討焚化再生粒料標準改為「焚化再生粒料環境標準」，以地下水污染管制標準之重金屬為溶出管制項目，包含鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳及鋅 8 項重金屬，以保護土壤及地下水環境為主要管理精神。

(二) 轉爐石環境安全規範

轉爐石環境安全品質規範之一般項目為戴奧辛(<1.0 ng I-TEQ/g)、pH(<12.5)、以及輻射(<200 nSv/h)，轉爐石環境溶出之規範說明如下：

1. 陸域用途：陸域用途(瀝青混凝土、道路級配粒料底層及基層、控制性低強度回填材料、磚品)之環境溶出使用毒性特性溶出程序(TCLP)(NIEA R201)進行有害物質溶出試驗，溶出規範為小於有害事業廢棄物認定標準之 1/10。檢測項目及規範為總砷<5.0 mg/L、總汞<0.2 mg/L、總鋇<100.0 mg/L、總鎘<1.0 mg/L、總

鉻 < 5.0 mg/L、總銅 < 15.0 mg/L、總鉛 < 5.0 mg/L、總硒 < 1.0 mg/L、六價鉻 < 2.5 mg/L。

2. 港灣用途：轉爐石海事工程之環境溶出是使用再生粒料環境溶出(NIEA R222)進行微量物質溶出試驗，溶出規範為日本港灣用途標準。檢測項目及規範為鎘 ≤ 0.009 mg/L、鉛 ≤ 0.03 mg/L、六價鉻 ≤ 0.15 mg/L、砷 ≤ 0.03 mg/L、汞 ≤ 0.0015 mg/L、硒 ≤ 0.03 mg/L、氟鹽 ≤ 15 mg/L、硼 ≤ 20 mg/L。

公共工程施工綱要第 02703 章規範轉爐石之溶出試驗方法為 TCLP 毒性特性溶出程序(NIEA R201)之重金屬項目，轉爐石海事工程使用手冊的轉爐石溶出採用再生粒料溶出程序(NIEA R222)，兩者之溶出方法與檢測項目略有差異。彙整轉爐石的材料允收及環境安全規範如表 2.4-6 所示。

表 2.4-6 轉爐石的材料允收及環境安全規範

用途／規範	材料(粒料)允收規範	環境安全規範(一般)	環境安全規範-溶出
瀝青混凝土	洛杉磯磨損率 $\leq 40\%$ 粗粒料: 健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或 健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ 細粒料: 健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ 或 健度(硫酸鎂) $\leq 20\%$ 級配料浸水膨脹率 $\leq 4\%$ (手冊)； $< 2\%$ (施工規範) 吸水率 $\leq 3\%$	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 1.0 輻射(nSv/h) < 200	TCLP 溶出濃度 < 有害事業廢棄物認定標準之 1/10
道路級配粒料底層及基層	洛杉磯磨損(底層) $\leq 50\%$ ；洛杉磯磨損(基層) $\leq 50\%$ 健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 或 健度(硫酸鎂) $\leq 18\%$ 浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$ 粒徑範圍(cm) ≤ 5.0	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 1.0 輻射(nSv/h) < 200	TCLP 溶出濃度 < 有害事業廢棄物認定標準之 1/10
控制性低強度回填材料	健度(滾筒轉爐石及爐下轉爐石) $\leq 10\%$ 浸水膨脹率(滾筒轉爐石及爐下轉爐石) $\leq 3\%$ 混合料浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$ 。	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 1.0 輻射(nSv/h) < 200	TCLP 溶出濃度 < 有害事業廢棄物認定標準之 1/10
磚品	洛杉磯磨損率((改質轉爐石二分料) $\leq 40\%$ 滾筒轉爐石細粒料健度(硫酸鈉) $\leq 15\%$ 改質轉爐石二分料健度(硫酸鈉) $\leq 12\%$ 浸水膨脹率(滾筒轉爐石細粒料) $\leq 3\%$ 浸水膨脹率(改質轉爐石二分料) $\leq 0.5\%$ 吸水率 $\leq 3\%$	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 1.0 輻射(nSv/h) < 200	TCLP 溶出濃度 < 有害事業廢棄物認定標準之 1/10
水泥生料	Fe ₂ O ₃ (%) ≥ 25.0 、CaO(%) ≥ 30.0 MgO(%) ≤ 9.50 、總鹼分(%) ≤ 0.30 Cl-(%) ≤ 0.10 、水分(%) ≤ 12.0 粒徑(mm) ≤ 10.0	NA	NA
港灣造地(回填資材)用途	粒徑範圍(cm) ≤ 5.0 洛杉磯磨損率(%) ≤ 40.0	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 1.0 輻射(nSv/h) < 200	TCLP 溶出濃度 < 有害事業廢棄物認定標準(施工規範) 再生粒料環境溶出(NIEA R222) < 日本港灣用途標準，或以最新公告之港灣用途標準(手冊)

資料來源：本計畫彙整。

(三) 氧化碓及還原碓再利用環境安全規範

氧化碓及還原碓環境安全規範之一般項目為戴奧辛(<0.1 ng I-TEQ/g)、pH(<12.5)，其環境溶出之規範說明如下：

經濟部於 110 年 6 月 24 日公告修正「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」，參考焚化再生粒料管制精神，再利用程序產出物之有毒重金屬檢測方法，由「毒性特性溶出程序(TCLP)」修正為「再生粒料環境用途溶出程序」，檢測項目為鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳及鋅 8 項重金屬，其未超過下列標準者，如表 2.4-7，始得作為再利用用途之產品使用。

彙整氧化碓及還原碓的材料允收及環境安全規範，分別如表 2.4-8 及表 2.4-9 所示。

表 2.4-7 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法規範氧化碓及還原碓之金屬溶出標準

項目		一般地點	限制使用地點
檢測標準限值	鉛(毫克/公升)	0.1	0.01
	鎘(毫克/公升)	0.05	0.005
	鉻(毫克/公升)	0.5	0.05
	銅(毫克/公升)	10	1.0
	砷(毫克/公升)	0.5	0.05
	汞(毫克/公升)	0.02	0.002
	鎳(毫克/公升)	1	0.1
	鋅(毫克/公升)	50	5.0

註：限制使用地點包含

- (1)不得使用於依都市計畫法劃定為農業區、保護區、依區域計畫法劃定為特定農業區、一般農業區及其他使用分區內之農牧用地、林業用地、養殖用地、國土保安用地、水利用地，及上述分區內暫未依法編定用地別之土地範圍內。
- (2)不得使用於依國家公園法劃定為國家公園區內，經國家公園管理機關會同有關機關認定作為本目之一限制使用之土地分區或編定使用之土地範圍內。
- (3)不得使用於屬依飲用水管理條例公告之飲用水水源水質保護區及飲用水取水口一定距離、依區域計畫法劃定之水庫集水區及依自來水法劃定之自來水水質水量保護區範圍內。
- (4)不得使用於屬依濕地保育法公告之重要濕地、依文化資產保存法公告之自然保留區、依自然保護區設置管理辦法公告之自然保護區、依野生動物保育法公告之野生動物保護區及野生動物重要棲息環境等生態敏感區範圍內。
- (5)使用於陸地時，應高於使用時現場地下水位一公尺以上。

表 2.4-8 氧化碓的材料允收及環境安全規範

用途 \ 規範	材料(粒料)允收規範	環境安全規範(一般)	環境安全規範-溶出																													
水泥生料	NA	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1	NA																													
瀝青混凝土粒料原料/瀝青混凝土原料	洛杉磯磨損(面層)≤40% 粗粒料:健度(硫酸鈉)≤12% 或 健度(硫酸鎂)≤18% 細粒料:健度(硫酸鈉)≤15% 或 健度(硫酸鎂)≤20% 浸水膨脹率<0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1	依再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)檢測有毒重金屬項目，不得超過下列標準																													
管溝回填用控制性低強度回填材料粒料原料/管溝回填用控制性低強度回填材料原料	浸水膨脹率<0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1	<table><tr><th>項目</th><th>環境敏感區</th><th>非環境敏感區</th></tr><tr><td>鉛</td><td>0.01</td><td>0.1</td></tr><tr><td>鎘</td><td>0.005</td><td>0.05</td></tr><tr><td>鉻</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr><tr><td>銅</td><td>1.0</td><td>10</td></tr><tr><td>砷</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr><tr><td>汞</td><td>0.002</td><td>0.02</td></tr><tr><td>鎳</td><td>0.1</td><td>1</td></tr><tr><td>鋅</td><td>5.0</td><td>50</td></tr></table>			項目	環境敏感區	非環境敏感區	鉛	0.01	0.1	鎘	0.005	0.05	鉻	0.05	0.5	銅	1.0	10	砷	0.05	0.5	汞	0.002	0.02	鎳	0.1	1	鋅	5.0	50
項目	環境敏感區	非環境敏感區																														
鉛	0.01	0.1																														
鎘	0.005	0.05																														
鉻	0.05	0.5																														
銅	1.0	10																														
砷	0.05	0.5																														
汞	0.002	0.02																														
鎳	0.1	1																														
鋅	5.0	50																														
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	洛杉磯磨損(底層)≤50% 比重≥1.5、吸水率≤25% 底層所用級配粒料健度(硫酸鈉)≤12% 或 健度(硫酸鎂)≤18% 浸水膨脹率≤0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1	單位: mg/L																													
紐澤西護欄原料	浸水膨脹率<0.05%	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1																														
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	浸水膨脹率≤0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1																														
水泥製品用料料原料或混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料	浸水膨脹率≤0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng l-TEQ/g) < 0.1																														

表 2.4-9 還原碓的材料允收及環境安全規範

用途／規範	材料(粒料)允收規範	環境安全規範(一般)	環境安全規範-溶出																											
水泥生料	NA	NA	NA																											
瀝青混凝土粒料原料/瀝青混凝土原料	浸水膨脹率<0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 0.1	依再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)檢測有毒重金屬項目，不得超過下列標準 <table><tr><th>項目</th><th>環境敏感區</th><th>非環境敏感區</th></tr><tr><td>鉛</td><td>0.01</td><td>0.1</td></tr><tr><td>鎘</td><td>0.005</td><td>0.05</td></tr><tr><td>鉻</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr><tr><td>銅</td><td>1.0</td><td>10</td></tr><tr><td>砷</td><td>0.05</td><td>0.5</td></tr><tr><td>汞</td><td>0.002</td><td>0.02</td></tr><tr><td>鎳</td><td>0.1</td><td>1</td></tr><tr><td>鋅</td><td>5.0</td><td>50</td></tr></table> 單位: mg/L	項目	環境敏感區	非環境敏感區	鉛	0.01	0.1	鎘	0.005	0.05	鉻	0.05	0.5	銅	1.0	10	砷	0.05	0.5	汞	0.002	0.02	鎳	0.1	1	鋅	5.0	50
項目	環境敏感區	非環境敏感區																												
鉛	0.01	0.1																												
鎘	0.005	0.05																												
鉻	0.05	0.5																												
銅	1.0	10																												
砷	0.05	0.5																												
汞	0.002	0.02																												
鎳	0.1	1																												
鋅	5.0	50																												
管溝回填用控制性低強度回填材料粒料原料/管溝回填用控制性低強度回填材料原料	浸水膨脹率<0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 0.1																												
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	浸水膨脹率≤0.5%	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 0.1																												
紐澤西護欄原料	浸水膨脹率<0.05%	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 0.1																												
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	應經高壓蒸氣安定化處理 熱壓膨脹試驗，試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 0.1																												
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	應經高壓蒸氣安定化處理 熱壓膨脹試驗，試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形	pH < 12.5 戴奧辛(ng I-TEQ/g) < 0.1																												

(四) CNS 國家標準對於再生粒料(轉爐石、氧化碓及還原碓)再利用環境溶出規範

彙整已將鋼爐碓納入適用範圍的 CNS 國家標準，計有 6 個有提到環境安全(溶出)規範，如表 2.4-10 所示，可分成須符合經濟部事業廢棄物再利用管理辦法規定或須進行 TCLP 有害物質溶出試驗。

表 2.4-10 CNS 國家標準對於轉爐石、氧化碓及還原碓再利用環境溶出規範

CNS 國家標準	適用材料	環境安全規範
CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碓粒料(99.12)」	鋼爐碓	•須符合經濟部最新公告”經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式”相關再利用種類之規定(項目 1.適用範圍) •粒料若顯示具有產生溶出液之潛在可能性時，應依行政院環境保護署公告之”事業廢棄物毒性特性溶出程序(TCLP)”進行有害物質溶出試驗，或經訂購者同意之適當試驗方法檢測。…(項目 5.3.2 環境相容性)
CNS 15308「瀝青鋪面混合料用粗粒料(99.12)」	爐碓	•須符合經濟部最新公告”經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式”相關再利用種類之規定(項目 1.適用範圍)
CNS 15309「瀝青鋪面混合料用細粒料(99.12)」	爐碓	•須符合經濟部最新公告”經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式”相關再利用種類之規定(項目 1.適用範圍)
CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料(99.12)」	爐碓	•須符合經濟部最新公告”經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式”相關再利用種類之規定(項目 1.適用範圍)
CNS 14995「透水性混凝土地磚(95.4)」	再生資源或廢棄物(廢陶瓷、廢磚瓦、廢玻璃、廢鑄砂、爐碓…)	•使用再生資源或廢棄物再利用為原料者，須符合主管機關相關之規定(項目 7)
CNS 1240「混凝土粒料(103.2)」	可資源化再利用之固態一般事業廢棄物	•先依行政院環境保護署公告之”事業廢棄物毒性特性溶出程序(TCLP)”進行有害物質溶出試驗，再依據”有害事業廢棄物認定標準”判定該事業廢棄物係屬無害之一般事業廢棄物…(項目 1.4.1 確認材料無害)

資料來源：本計畫彙整。

(五) 再生粒料環境安全規範建議

焚化再生粒料已採用「再生粒料環境用途溶出程序」為溶出方法，「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」也參照焚化底渣再利用管理辦法，再利用程序產出物之有毒重金屬檢測方法，由「毒性特性溶出程序(TCLP)」修正為「再生粒料環境用途溶出程序」，檢測項目為

鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳及鋅 8 項重金屬，檢測標準為參考我國地下水污染管制標準(分為二類標準)。

根據環保署 108 年度委託「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」結果，無機再生粒料之環境用途標準建議項目選擇基本原則，分為共通項目 8 項重金屬(鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳、鋅、及與其事業製程及其廢棄物特性相關之選擇項目重金屬(2 項，銻及鉬)及鹽類(3 項，硝酸鹽、亞硝酸鹽、氟鹽)。

環保署 110 年度委託「無機再生粒料應用管理與推廣專案工作計畫」，正進行「再生粒料港區用途標準(草案)」研訂，如表 2.4-11 所示，其標準(草案)同樣是參考日本碴(渣)類資源化產品之作法及管制精神，以再生粒料用於環境之溶出情境及管制目的，採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為檢測方法，此標準也將戴奧辛納入考量。

雖然海洋較地下水之涵容性高，考量我國環境特性及用途管理一致性，原則以陸域一般區域用途及港區用途均須符合地下水污染管制標準，以保護港區海水，作為再生粒料港區用途之標準。

考量再生粒料在環境應用之通用性，應具有相同的溶出方法及環境規範，建議延續焚化再生粒料環境標準之作法，採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為再生粒料檢測方法，檢測項目及標準可參考我國地下水污染管制標準(分為二類標準)，依再生粒料特性及產業類別，篩選應檢測項目。

依據轉爐石、氧化碴、還原碴、燃煤底灰之產製特性及歷年檢測資料，建議環境用途標準檢測項目及標準值如表 2.4-12 所示，一貫作業及電弧爐煉鋼會使用螢石天然礦物或光電業氟化鈣污泥產製之氟化鈣作為冶金工業的助熔劑，納入銻、鉬、氟鹽等三項環境用途標準檢測項目。火力發電廠使用之燃煤中普遍含有氟化物，經燃燒後可能有減容效應，燃煤底灰之環境溶出檢測項目應納入氟鹽。硝酸鹽及亞硝酸鹽之來源主要為農業活動，初步建議不納入環境用途標準檢測項目。

表 2.4-11 再生粒料港區用途標準(草案)

檢測方法	檢測項目	再生粒料種類及標準值		
		焚化再生粒料	電弧爐煉鋼爐渣(石)	其他類
再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)	鉛(毫克/公升)	≤0.1	≤0.1	≤0.1
	鎘(毫克/公升)	≤0.05	≤0.05	≤0.05
	鉻(毫克/公升)	≤0.5	≤0.5	≤0.5
	銅(毫克/公升)	≤10	≤10	≤10
	砷(毫克/公升)	≤0.5	≤0.5	≤0.5
	汞(毫克/公升)	≤0.02	≤0.02	≤0.02
	鎳(毫克/公升)	≤1	≤1	≤1
	鋅(毫克/公升)	≤50	≤50	≤50
	銻(毫克/公升)	(免檢測)	≤0.7	≤0.7
	鉬(毫克/公升)	(免檢測)	≤0.7	≤0.7
	氟鹽(毫克/公升)	(免檢測)	≤8.0	≤8.0
戴奧辛及呋喃檢測方法—同位素標識稀釋氣相層析/高解析質譜法(NIEA M801)	戴奧辛總毒性當量濃度(ng I-TEQ/g) 備註：指含2,3,7,8-氯化戴奧辛及呋喃同源物等 17 種化合物之總毒性當量濃度	≤1	≤1	≤1

資料來源：環保署，110 年度委託「無機再生粒料應用管理與推廣專案工作計畫」。

表 2.4-12 再生粒料之環境用途標準初步建議項目

管制規範 品質項目		環境用途建議標準		環境用途標準建議項目				說明
		第一級標準	第二級標準	轉爐石	氧化碓	還原碓	燃煤底灰	
限制使用地點		敏感區域 (視特性考量)	一般區域					
重金屬	鎘	0.0050	0.050	V	V	V	V	共通項目
	鉛	0.010	0.10	V	V	V	V	
	砷	0.050	0.50	V	V	V	V	
	汞	0.0020	0.020	V	V	V	V	
	鉻	0.050	0.50	V	V	V	V	
	銅	1.0	10	V	V	V	V	
	鎳	0.10	1.0	V	V	V	V	
	鋅	5.0	50	V	V	V	V	
	銻	0.07	0.7	V	V	V	○	選擇項目 (視產業特性考量是否納入)
	鉬	0.07	0.7	V	V	V	○	
鹽類	氟鹽(以 F 計)	0.8	8.0	V	V	V	V	

本計畫彙整。註：V 為檢測項目；O 為可考慮檢測項目。

六、還原碴應用水泥生料允收(材料化)條件探討

(一) 還原碴去化流向分析

還原碴過往因再利用於工程時發生膨脹的問題，造成去化管道受阻，隨著電弧爐煉鋼業者的持續生產，近年還原碴暫存量持續攀升，累積暫存量從 104 年的數量低於 5 萬公噸，到 109 年已超過 70 萬公噸，如何有效去化是必須面對的問題。109 年還原碴再利用流向主要為水泥生料 12 萬公噸(占約 57%)，其次為管溝回填用 CLSM 粒料原料/原料 9 萬公噸(占約 41%)。

從去化成本觀點來看，經濟部事業廢棄物再利用管理辦法中針對還原碴的再利用部分，除了作為水泥生料原料僅須具備水泥旋窯設備之外，其餘的再利用方式均要求浸水膨脹率 $\leq 0.5\%$ (紐澤西護欄 $\leq 0.05\%$)或需經高壓蒸氣安定化處理，始得進行再利用，安定化處理會增加還原碴的再利用成本，降低與其他物料的競爭力。

現階段還原碴主要的去化為水泥生料及管溝回填用 CLSM 粒料原料/原料，但作為 CLSM 粒料原料/原料用途的市場規模有限，粗估市場規模每年約 300 萬公噸附近，與其他同樣用於 CLSM 的再生粒料比較，還原碴在再利用成本、地方政府推廣策略、價格補貼以及業者使用意願等無明顯的優勢，顯示還原碴應用於水泥生料更具再利用去化的潛力，惟目前此部分並沒有明確的材料允收條件，以下將進行其討論，以完善還原碴的去化管道。

(二) 還原碴應用於水泥生料材料允收條件

依據前述彙整無機循環材料(再生粒料)材料化品質規範研析，還原碴應用於水泥生料，除經濟部事業廢棄物再利用管理辦法中規定須具備水泥旋窯設備之外，公共工程施工綱要規範與 CNS 國家標準，並沒有針對還原碴的允收條件進行規定。依據國家標準 CNS 61「卜特蘭水泥」，卜特蘭水泥第 I 型的氧化鎂(MgO)最大值為 6.0%；三氧化硫(SO₃)最大值為 3.5%；氯離子(Cl⁻)濃度最大值為 0.024%。考量水泥最終產品仍需符合前述的標準，故建議還原碴應用於水泥生料的部分，仍需制定基本的允收條件，以利後續還原碴的再利用推廣。

依據環保署 110 年度委託「水泥窯作為資源循環中心評估專案計畫」，國外針對廢棄物作為水泥替代原料之允收條件(標準)多半採用負面表列，限制重金屬、鹵素、硫、毒性物質(PCBs、氰化物)等之含量，重金屬方面係採納世界企業永續發展委員會(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)所訂定之限值，針對個別重金屬(Cu、Cr)及重金屬總和(Hg + Cd + Tl 與 As + Ni + Co + Se + Te + Cr + Pb + Sb + Sn + V)訂定其限制含量，規劃以產品規格角度制定標準，再納入氧化鎂、水分、粒徑加以控管，並增加水泥原料主成分(CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃)作為正面表列項目，相關內容摘錄如表 2.4-13 所示。

表 2.4-13 環保署專案計畫建議的水泥生料允收標準

項目	單位	限值
Hg + Cd + Tl	mg/kg(最大值)	100
Cu	mg/kg(最大值)	3,000
As + Ni + Co + Se + Te + Cr + Pb + Sb + Sn + V	mg/kg(最大值)	10,000
Cr	mg/kg(最大值)	150
Cl	%(最大值)	0.25~0.5
S(任選)	%(最大值)	1~3
MgO(任選)	%(最大值)	9.0~9.5
水分(任選)	%(最大值)	10.0~12.0
粒徑(任選)	mm(最大值)	10.0
CaO + SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (任選)	%(最小值，乾基)	50

資料來源：環保署，110 年度委託「水泥窯作為資源循環中心評估專案計畫」。

還原碴的主要成分包含氧化鈣(CaO)，由於性質與水泥原料相近，作為水泥生料的技術可行性很高，然水泥生料對某些元素的含量有所管制會對水泥產品性質造成影響，例如氧化鎂含量、氯離子含量。還原碴應用於水泥生料也必須考慮前述不利水泥產品性質的元素含量，此外，也必須考慮還原碴的水分及粒徑規範，避免影響到水泥原料進料系統的運作。

還原碴中氧化鈣含量會隨著不同鋼鐵廠的規模、製程和產品別而有所不同，一般還原碴的氧化鈣含量會大於 30%；卜特蘭水泥第 I 型

的氧化鎂限值為 6.0%，而還原碴含量約為 6~10%；氯離子的部分，卜特蘭水泥第 I 型的氯離子濃度最大值為 0.024%，氯離子並非還原碴中的主要成分，其含量約為 $\leq 0.1\%$ 。參考中鋼公司之「轉爐石應用於水泥生料使用手冊」及水泥廠實場訪問，進料(還原碴)水分含量限值約為 8~15%，進料粒徑則為 10 mm。

環保署 110 年度委託「水泥窯作為資源循環中心評估專案計畫」是採用世界企業永續發展委員會(WBCSD)所訂定之限值，該報告是針對一般廢棄物或有色金屬(非鐵金屬)熔碴之個別重金屬(Cu、Cr)及重金屬總和(Hg + Cd + Tl 與 As + Ni + Co + Se + Te + Cr + Pb + Sb + Sn + V)訂定其限制含量，與還原碴之元素組成特性不同。此外，水泥產品的水溶性六價鉻，可能會對水泥勞工產生與過敏性皮膚有關之職業安全危害，歐盟指令(2003/53/EC)規定水泥產品之水溶性六價鉻(Cr(VI))限量為 2 mg/kg。

參考歐盟對水泥產品的鉻金屬管制及本計畫工項之專諮會建議，還原碴應用於水泥生料材料之建議允收規範項目為：氧化鈣、氧化鎂、氯離子、總鉻(或六價鉻)、水分、粒徑，如表 2.4-14 所示。由於水泥業者之水泥原料礦物來源之品質均不同，且不同鋼鐵廠之還原碴中品質含量也不盡相同，允收規範建議應由還原碴業者及水泥業者共同商議。

表 2.4-14 還原碴應用於水泥生料材料允收規範

	項目	單位	建議允收規範
物理性質	水分	% (最大值)	還原碴業者及水泥業者共同商議
	粒徑	mm (最大值)	還原碴業者及水泥業者共同商議
化學性質	氧化鈣	% (最小值，乾基)	還原碴業者及水泥業者共同商議
	氧化鎂(	% (最大值)	還原碴業者及水泥業者共同商議
	氯離子	% (最大值)	還原碴業者及水泥業者共同商議
	總鉻(或六價鉻)	mg/kg (最大值)	還原碴業者及水泥業者共同商議

資料來源：本計畫彙整。

七、無機循環材料(再生粒料)材料認證準則

健全二次料市場為近年來環保署推動循環經濟四大面相的其中之一(如圖 2.4-2 所示)。而如何讓再生粒料(無機循環材料)在適當的場所正確的使用且不會造成環境危害更是其中的關鍵因素。透過建立材料認證的機制來確保物料運作能符合材料允收標準與應用場域的環境品質標準。當可避免物料非法棄置或造成工程品質上的問題，減少天然原生物料的使用，為我國推動循環經濟作出正向的貢獻。經認證後的再生物料可擺脫其廢棄物的身分，並可於特定場域使用。

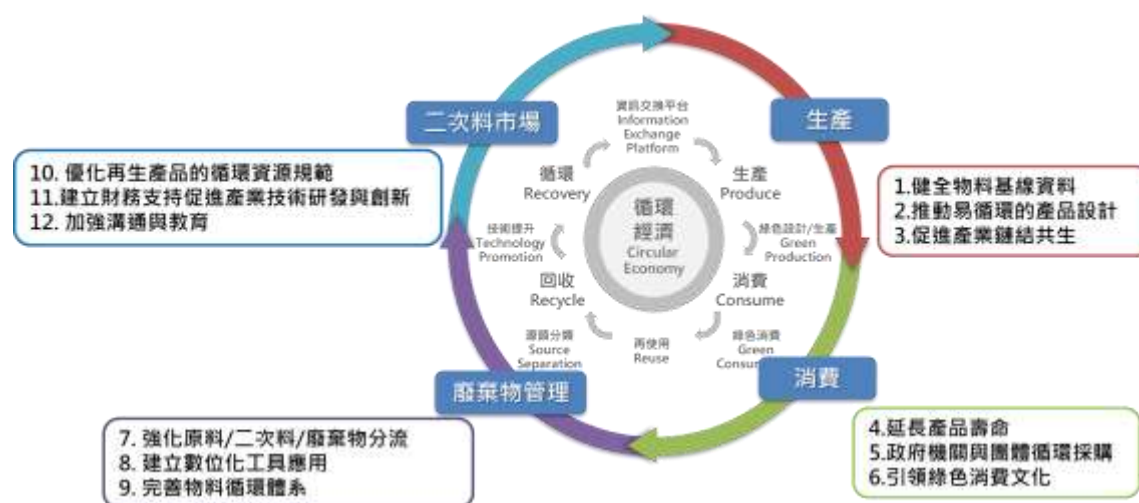


圖 2.4-2 環保署推動循環經濟策略圖

認證組織屬性的部分，初步建議以專屬基金會的方式來辦理，可維持驗證的專業性與公平性並避免利益糾葛。但非營利機構的缺點是沒有經濟誘因缺乏市場競爭力，需要經費挹注維持營運。這部分可參考環保署資源回收基金管理委員會、土壤及地下水污染整治基金管理委員會的相關設計，由廠商支付基金作為物料流向追蹤和品質檢驗所需支付的成本。

認證組織應納入跨部會與利害相關者共同監督並提高資訊透明度，透過適當的資訊揭露來建立公信力並社會進行有效溝通，也可應用現代化資訊科技(e.g. GPS、攝影機、雲端空間及相關資訊安全技術等)進行品質與流向管理。

物料產出(或經加工後)須品質穩定且能符合材料允收標準與環境安全標準始可獲得認證，在執行材料認證的部分主要透過範疇界定、流向追蹤及確認符合規範等三步驟來完成，相關說明如下：

- (一) 範疇界定：界定物料來源驗證至最終處置設施的驗證範疇、資訊系統傳遞過程及檢驗方式與頻率等。
- (二) 流向追蹤：透過 GPS、影像紀錄等方式來追蹤物料流向，來確保物料能正確的到達使用到達指定的地點，相關結果紀錄並可作為物料妥善處理的證明。
- (三) 確認符合規範：透過關鍵節點採樣檢驗的方式，來確保物料符合材料允收標準與應用場域的環境安全標準，相關結果紀錄並可作為物料妥善處理的證明。

以前述還原碴應用於水泥生料為例，由於應用於水泥去化不屬於環境用途，必須符合前述還原碴應用於水泥生料材料允收標準。

針對還原碴成分變化和均質性問題，建議再利用機構可以設定合宜的批次處理並以檢驗來確認產品符合規格，考量還原碴的成分和均質性會隨著不同鋼鐵廠的規模、製程、管理方式和產品別而有所不同，實務上應以產出的鋼鐵廠進行認證。

建議可由物料產出和去化相關的公協會合作組成專家技術委員會來設定材料允收標準，再交由認證組織來實施，確認出廠的產品符合材料允收標準。另水泥廠考量本身規模、場地、投資成本意願等因素，未必能針對還原碴增設前處理設備。故建議可找尋適當的地點增設前處理廠，或與既有的再利用機構合作，利用既有的破碎、篩分及磁選等設備將還原碴的粒徑與含鐵量都降低到適合水泥廠收受的標準。

八、辦理專家學者諮詢會議

依據契約書內容為「依盤查資料分析及檢測結果，提出廢棄物產製為無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，藉由製程規範、材料認證及環境標準把關，精進無機循環材料的材料規範與環境品質，協助辦理專家會議、研商會議或說明會議。」

本計畫配合環保署業務推動需求，針對精進無機循環材料規範與環境品質，彙整氧化碴、還原碴及轉爐石相關品質規範，提出「還原碴作為於水

泥生料材料規範(允收標準)」與「CNS 標準納入再生粒料環境品質」建議，辦理專家諮詢會議，會議辦理情形說明如下：

- (一) 諮詢重點：精進無機循環材料規範與環境品質專家諮詢會議。
- (二) 時間：110 年 8 月 16 日（星期一）下午 2 時。
- (三) 地點：視訊會議（Google Meet）。
- (四) 與會對象：詹穎雯委員、江康鈺委員、周錦東委員、柯明賢委員、陳偉聖委員、葉禮旭委員、環保署廢管處、環興公司及工研院，與會人數共 14 人。
- (五) 會議照片：詳圖 2.4-3 所示。
- (六) 會議意見：會議重點及意見參採情形整理如附件 9，會議紀錄詳如附件 9。

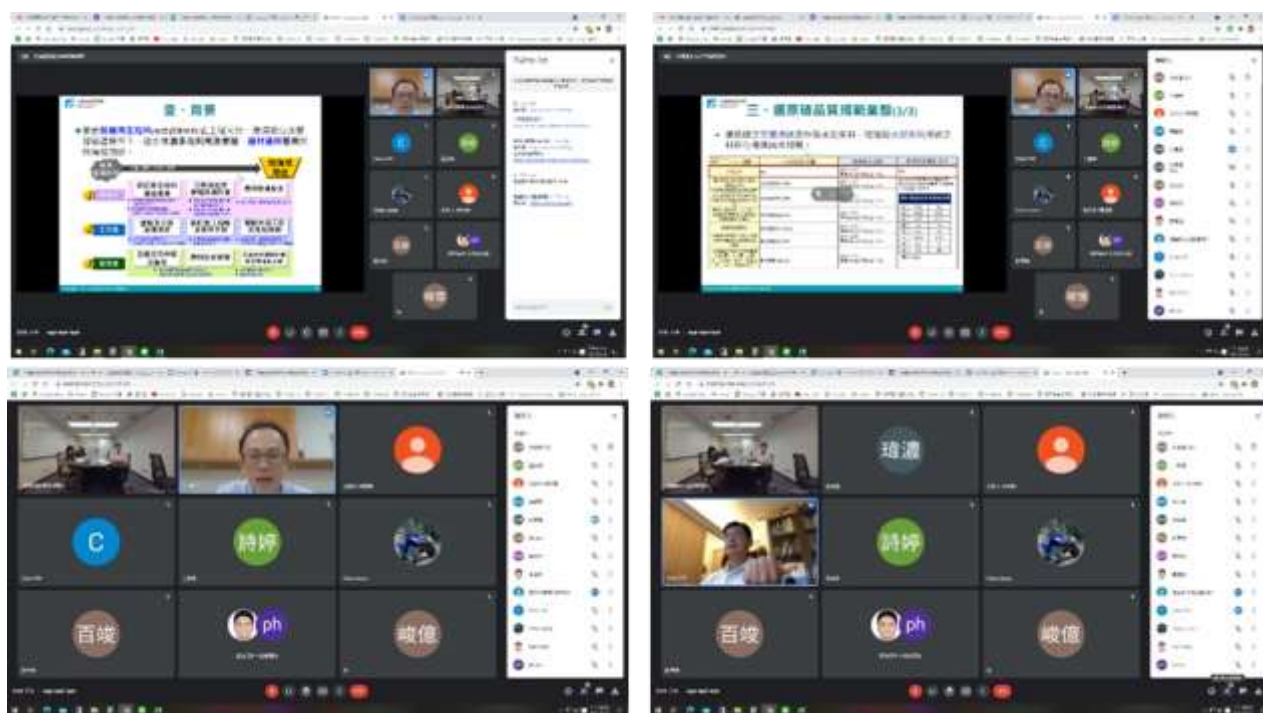


圖 2.4-3 精進無機循環材料規範與環境品質專家諮詢會議照片

九、小結

計畫參考法令規章、CNS 國家標準、公共工程施工綱要規範、以及產業公會或產源業者撰寫之使用手冊等，彙整轉爐石、氧化碓、還原碓之不同用途的材料允收(材料化)條件，且提出還原碓應用於水泥生料允收條件及材料認證準則的初步規劃，並以鋼爐碓相關品質規範與材料化條件為範疇完成 1 場專家諮詢會議。

考量再生粒料在環境應用之通用性，應具有相同的溶出方法及環境規範，建議延續焚化再生粒料環境標準之作法，採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為再生粒料檢測方法。

參考轉爐石、氧化碓、還原碓、燃煤底灰之產製特性及歷年檢測資料，建議煉鋼爐石(碓)及燃煤底灰的環境用途標準檢測項目，分為共通項目 8 項重金屬(鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳、鋅、及與其事業製程及其廢棄物特性相關之選擇項目重金屬(2 項，銻及鉬)及鹽類(氟鹽)，檢測標準可參考我國地下水污染管制標準(分為二類標準)。

一貫作業及電弧爐煉鋼會使用螢石天然礦物或光電業氟化鈣污泥產製之氟化鈣作為冶金工業的助熔劑，納入銻、鉬、氟鹽等三項環境用途標準檢測項目。火力發電廠使用之燃煤中普遍含有氟化物，經燃燒後可能會有減容效應，燃煤底灰之環境溶出檢測項目應納入氟鹽。

2.5 研擬焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程【應用環境安全查驗建立】

本項工作重點為「應用環境安全查驗建立」，內容依據契約書為「研擬焚化再生粒料之環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出「焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程」，包含再利用機構自主管理之「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」及「焚化再生粒料三階段環境品質檢查」，針對焚化再生粒料透過快篩作業，推估再生粒料金屬(鉛)溶出情形，即時掌握焚化再生粒料品質，以及進行再利用機構料源檢查、產品檢查及出貨檢查，確保焚化再生粒料環境應用之品質與環境安全性。

一、焚化底渣再利用管理方式

環保署於 91 年 10 月 11 日訂定公告「垃圾焚化廠焚化底灰再利用規定」，並於 101 年 10 月 17 日修正名稱為「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，迄今歷經 5 次修正，最新公告日期為 109 年 5 月 18 日，最新一次修正重點包含檢討現行焚化再生粒料環境標準(以下簡稱環境標準)及其溶出管制方法(毒性特性溶出程序 TCLP)，修改為焚化再生粒料品質及環境用途檢測與管理方法。以及規定焚化再生粒料使用用途及限制使用地點，強化分級管理及規定，並自 110 年 1 月 1 日實施。

摘錄「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」之品質、流向和相關設施規範，如下說明：

(一) 焚化再生粒料(底渣)品質及流向規定

1. 品質規範：

- (1) 底渣交付再利用機構前，垃圾焚化廠應檢測項目、檢測方法、頻率、標準、提供檢測結果期限及改善期限，如表 2.5-1 所示。
- (2) 底渣之再利用處理程序須先經篩分、破碎及篩選等前處理。
- (3) 用途為基地填築、路堤填築及道路級配粒料底層及基層者，前處理完成後並應採穩定化、熟化或水洗方式處理，

如採熟化方式處理者，其熟化期自底渣進再利用機構至焚化再生粒料出再利用機構止，至少為四十五日且不受貯存期限限制。

- (4) 焚化再生粒料於出再利用機構前，應每五百公噸至少檢測一次，檢測項目及標準如表 2.5-2 所示。

表 2.5-1 底渣交付再利用之條件

檢測項目	檢測方法	頻 率	標準		提供檢測 結果期限	備註
可燃物	一般廢棄物焚 化底渣可燃物 含量檢測方法 (NIEA R221)	每 月	≤2 %		次月七日 前(遇假 日順延)	七日內改善完 成。但經所屬 主管機關同意 者，不在此 限。
戴奧辛總毒 性當量濃度	戴奧辛及呋喃 檢測方法－同 位素標幟稀釋 氣相層析／高 解析質譜法 (NIEA M801)	每 季	≤1 ng I-TEQ/g		次月十五 日前(遇 假日順 延)	檢測結果達有 害事業廢棄物 認定標準，其 底渣不得送再 利用機構進行 前處理，並應 經固化法、穩 定化法或熱處 理法處理至檢 測值低於有害 事業廢棄物認 定標準後，採 衛生掩埋方式 處理。
重金屬毒性 特性溶出程 序	事業廢棄物毒 性特性溶出程 序(NIEA R201)	每 季	總鉛(毫克/公升)	≤5.0	次月十五 日前(遇 假日順 延)	
			總鎘(毫克/公升)	≤1.0		
			總鉻(毫克/公升)	≤5.0		
			總硒(毫克/公升)	≤1.0		
			總銅(毫克/公升)	≤15.0		
			總鋇(毫克/公升)	≤100.0		
			六價鉻(毫克/公升)	≤2.5		
			總砷(毫克/公升)	≤5.0		
			總汞(毫克/公升)	≤0.2		

表 2.5-2 焚化再生粒料環境標準

使用地點	用途	環境標準
屬公告事項七之限制使用地點	1.控制性低強度回填材料(且用於管溝工程之回填)。(本項不得用於公告事項七第一項第一款規定之相關水質水量保護區)	第一級標準
	2.低密度再生透水混凝土。	
	3.瀝青混凝土。	
	4.磚品。	
	5.用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品。	

非屬公告事項七之限制使用地點	1.基地填築。	第二級標準
	2.路堤填築。	
	3.道路級配粒料底層及基層。	
	4.控制性低強度回填材料。	
	5.低密度再生透水混凝土。	
	6.瀝青混凝土。	
	7.磚品。	
	8.用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品。	
未限制使用地點	1.水泥生料。	特定用途標準
	2.衛生掩埋場非與鋼材接觸用工程材料及衛生掩埋場覆土。但不得作為最終覆土。	
備註1：第一級標準：符合本級標準者，除用於本級標準規定之用途外，亦得用於第二級標準及特定用途標準規定之用途。		
檢測項目		標準值
戴奧辛總毒性當量濃度（ng I-TEQ/g）		≤0.1
粒徑大小（mm）		≤19
雜質		不得含有大小任二尺度（長度、寬度、深度）超過20mm 之可燃物、鐵金屬、非鐵金屬，以及電池與可辨識之市售產品。
檢測方法	檢測項目	標準值
再生粒料環境用途溶出程序（NIEA R222）	鉛（毫克/公升）	≤0.01
	鎘（毫克/公升）	≤0.005
	鉻（毫克/公升）	≤0.05
	銅（毫克/公升）	≤1.0
	砷（毫克/公升）	≤0.05
	汞（毫克/公升）	≤0.002
	鎳（毫克/公升）	≤0.1
	鋅（毫克/公升）	≤5.0
備註2：第二級標準：符合本級標準者，除用於本級標準規定之用途外，亦得用於特定用途標準規定之用途。		
檢測項目		標準值
戴奧辛總毒性當量濃度（ng I-TEQ/g）		≤0.1
粒徑大小（mm）		≤19
雜質		不得含有大小任二尺度（長度、寬度、深度）超過20mm 之可燃物、鐵金屬、非鐵金屬，以及電池與可辨識之市售產品。
檢測方法	檢測項目	標準值
再生粒料環境用途溶出程序（NIEA R222）	鉛（毫克/公升）	≤0.1
	鎘（毫克/公升）	≤0.05
	鉻（毫克/公升）	≤0.5
	銅（毫克/公升）	≤10
	砷（毫克/公升）	≤0.5
	汞（毫克/公升）	≤0.02
	鎳（毫克/公升）	≤1
	鋅（毫克/公升）	≤50

備註3：特定用途標準：符合本級標準者，僅得用於本級標準規定之用途。		
檢測項目		標準值
戴奧辛總毒性當量濃度 (ng I-TEQ/g)		≤0.1
粒徑大小 (mm)		≤19
雜質		不得含有大小任二尺度（長度、寬度、深度）超過20mm 之可燃物、鐵金屬、非鐵金屬，以及電池與可辨識之市售產品。
檢測方法	檢測項目	標準值
毒性特性溶出程序 (NIEA R201)	總鉛 (毫克/公升)	≤4.0
	總鎘 (毫克/公升)	≤0.8
	總鉻 (毫克/公升)	≤4.0
	總銅 (毫克/公升)	≤12.0
	總砷 (毫克/公升)	≤0.40
	總汞 (毫克/公升)	≤0.016
	總硒 (毫克/公升)	≤0.8
	總鋇 (毫克/公升)	≤10.0
	六價鉻(毫克/公升)	≤0.20

2. 流向規範：

- (1) 焚化再生粒料用途明定為 1.基地填築 2.路堤填築 3.道路級配粒料底層及基層 4.控制性低強度回填材料 5.低密度再生透水混凝土 6.瀝青混凝土 7.磚品 8.用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品 9.水泥生料 10.衛生掩埋場非與鋼材接觸用工程材料及衛生掩埋場覆土。但不得作為最終覆土。
- (2) 焚化再生粒料之使用地點限制規定：
 - A. 不得位於公告之飲用水水源水質保護區、飲用水取水口一定距離、水庫集水區及自來水水質水量保護區範圍內。
 - B. 不得位於目的事業主管機關公告之自然保留區、自然保護區、野生動物保護區及野生動物重要棲息環境範圍內。
 - C. 不得位於都市計畫法劃定為農業區、保護區；不得位於依非都市土地使用管制規則劃定為特定農業區、一般農業區及其他使用分區內之農牧用地、林業用地、養殖用地、國土保安用地、水利用地，及上述分區內暫未依法編定用地別之土地範圍內。

- D. 不得位於依國家公園法劃定為國家公園區內，經國家公園管理機關會同有關機關認定作為前款限制使用之土地分區或編定使用之土地範圍內。
 - E. 使用於陸地時，應高於使用時現場地下水位一公尺以上。
 - F. 用途為低密度再生透水混凝土、瀝青混凝土、磚品、用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品、水泥生料、衛生掩埋場非與鋼材接觸用工程材料及衛生掩埋場覆土者，不受前項規定限制。
 - G. 用途為控制性低強度回填材料者，不受第一項第五款規定限制。其使用於管溝工程之回填者，不受第一項第二款至第五款規定限制。
- (3) 再利用機構入口處應設置地磅系統，並定期依相關法規校正及留存紀錄，所有物品及車輛進出再利用機構均應過磅，依序記錄進出時間、車程、重量、物品內容。
 - (4) 焚化再生粒料之清運機具應裝置即時追蹤系統，且清運機具裝置之系統規格應符合應裝置即時追蹤系統之清運機具及其規定公告之規定。
 - (5) 申報資料：
 - A. 底渣產生地之地方環保局、再利用機構及供料機關（構）應於每月十日前以網路傳輸方式申報前一個月底渣再利用情形；其申報項目，參見「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」之附表三。如有變更時，應即上網申報變更內容。
 - B. 焚化再生粒料之申報規定及遞送聯單遞送方式，參見「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」之附表四及附表五。
 - C. 焚化再生粒料使用前，應以書面或網路傳輸方式取得工程管制編號、清運者管制編號及使用者管制編號，供料機關（構）始得供料。

- D. 供料機關（構）於焚化再生粒料供應且完成使用後十五日內，應以網路傳輸方式申報妥善使用證明，並檢送書面資料，包括過磅單及使用地點於施工前、中、後照片或錄影資料，向原核准工程管制編號之地方環保局申請解除列管，副知使用地（或產生地）之地方環保局備查。
- E. 前開機關應依供料機關（構）提送明定焚化再生粒料之使用及流向申報佐證資料進行查核作業，並依實際查核結果辦理解除列管，並將判定結果登載於網路申報系統，以通知工程單位及供料機關（構）。

(二) 再利用機構相關設施規範

- 1. 處理設施：
 - (1) 底渣貯存場所應設有排水收集處理設施。
 - (2) 廠內應設有篩分設備。
 - (3) 廠內應設置破碎處理設備。
- 2. 閉路電視錄影監視系統：
 - (1) 再利用機構所有進出口、地磅系統處，攝錄並應及於再利用機構內車行所有路徑。
 - (2) 處理設備投入口、處理流程作業區及衍生廢棄物、焚化再生粒料出料口。
 - (3) 進再利用機構底渣、衍生廢棄物及焚化再生粒料貯存區。
 - (4) 攝錄監視畫面應為彩色清晰影像，並顯示日期及時間。夜間攝影應提供足夠光源以供辨識。
 - (5) 攝錄監視系統應能連續二十四小時作業，錄影間隔時間至少一秒一畫面為原則。
 - (6) 應保存連續六個月影像紀錄。
 - (7) 如攝錄系統異常或故障，應即向主管機關報備，並於一週內修復，且於事後提報該期間營運紀錄及修復情形說明，送主管機關備查。
- 3. 環境規範：

- (1) 底渣之貯存，不得有廢棄物飛揚、逸散、滲出、污染地面或散發惡臭情事。
- (2) 底渣貯存場所之地點受公告事項七第一項第一款至第四款規定限制。
- (3) 底渣及焚化再生粒料應依據來源焚化廠之不同，採分廠分區貯存及標示，且其貯存區內物品堆置高度不得超過圍牆高度。

二、再利用機構自主管理之焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序

(一) 「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」規劃

1. 規劃構想：再生粒料之重金屬溶出情形需透過前處理(溶出)及檢測才能得出結果，須將焚化再生粒料經「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」前處理後，再將萃出液上機檢測(約需 14 天後)，才獲得金屬溶出檢測結果。

重金屬溶出快篩無法取代標準溶出檢測方法，溶出快篩目的是為使再利用機構能快速掌握焚化再生粒料產製品質狀況，本項工作透過重金屬溶出之 pH 依存性關係，建立再利用機構自主管理之「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」，溶出快篩試驗規劃如圖 2.5-1 所示。

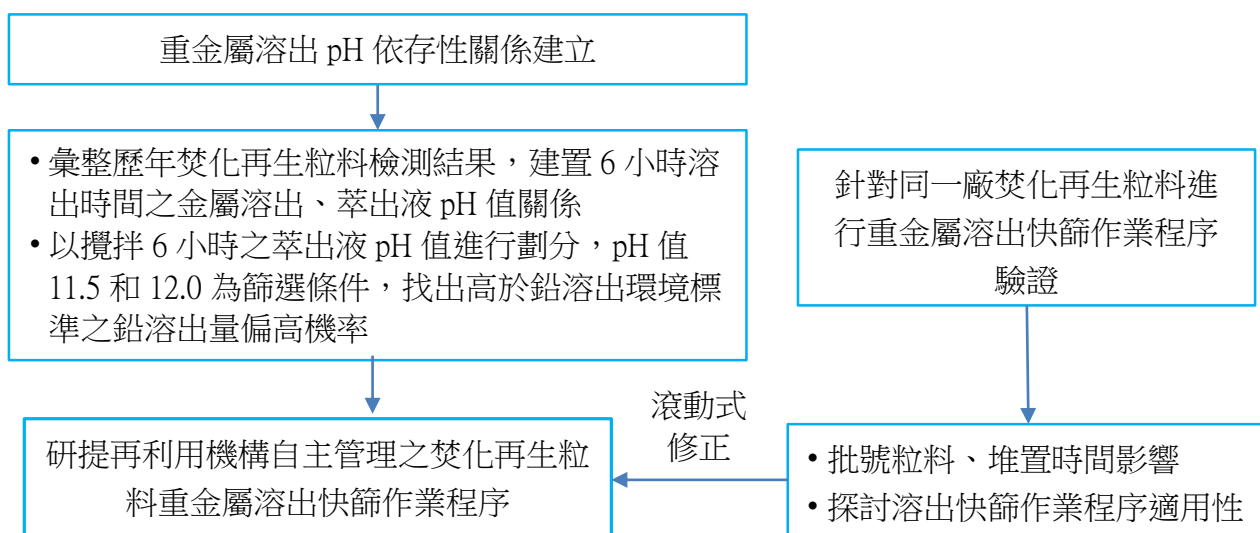


圖 2.5-1 再利用機構環境品質之重金屬溶出快篩作業程序規劃

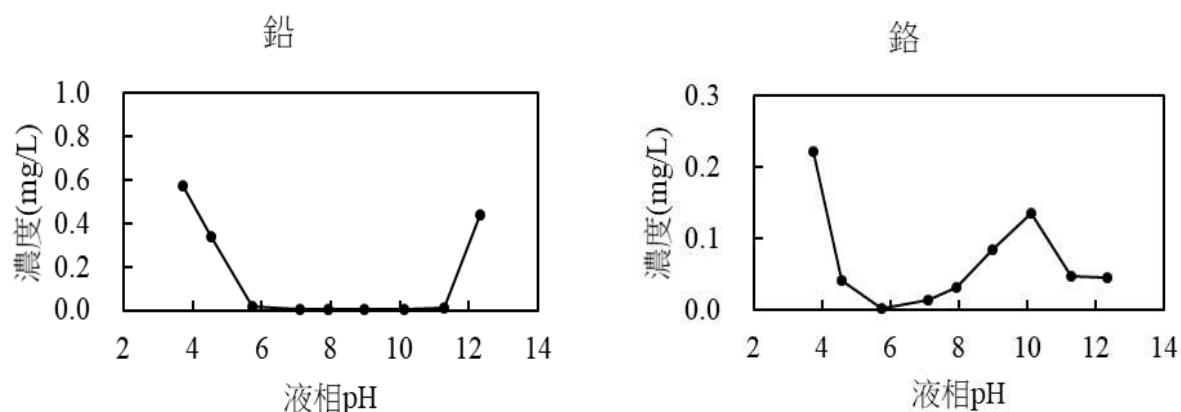
2. 重金屬溶出 pH 依存性

- (1) pH 依存性是物體在不同 pH 狀況下其中成分溶出行為的特性，物質所含金屬溶出量，會隨著 pH 改變而產生變化，所呈現 pH 依存性可以用來模擬或預測物質之重金屬溶出量。
- (2) pH 依存性資料可透過執行國家標準 CNS 15223「廢棄物特性-溶出行為試驗-pH 對初始酸鹼添加之溶出影響」試驗取得，該方法源自歐盟 EN 14429:2005，2017 年已成為美國環保署 EPA method 1313 (pH-dependent equilibrium test)，可判定不同 pH 值(4~10)對廢棄物中溶出無機成分溶出之影響

試驗方法是將樣品以固定液固比，添加預先估算的酸(HNO_3)鹼(KOH)量，使得萃出液經 48 小時萃取後，達到預計的 pH 值，所得各階段的萃出液，經過分析得知不同 pH 值下重金屬溶出量。

- (3) 環保署 109 年度計畫「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」，針對一座焚化廠之焚化再生粒料進行國家標準 CNS 15223「廢棄物特性-溶出行為試驗-pH 對初始酸鹼添加之溶出影響」，其檢測結果(如圖 2.5-2)發現焚化再生粒料之應用場域水體(液相)pH 值落於 6 至 10，能夠降低焚化再生粒料鉛溶出量，但鉻溶出值增減幅度並不明顯。

整體當液相 pH 值落在 6 至 8 間，對於試驗使用焚化再生粒料具有最低鉛、鉻溶出，顯示焚化再生粒料之重金屬溶出會隨著液相 pH 的改變而變化，具有 pH 依存性。



資料來源：環保署，「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」，109 年。

圖 2.5-2 焚化再生粒料依據 CNS 15223 廢棄物特性-溶出行為試驗之重金屬鉛、鉻溶出 pH 依存性

(二) 「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」建置步驟

1. 彙整 107 年「精進焚化再生粒料產品品質標準及管理策略專案計畫」、108 年「無機再生粒料管理專案計畫」及 109 年「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」之焚化再生粒料普測結果，檢測結果是以「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」進行試驗，溶出時間為 6 小時，針對重金屬鉛、鉻、銅進行討論，繪製金屬溶出濃度與萃出液 pH 值關係圖。
2. 重金屬鉻、銅進行再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)之溶出值與萃出液 pH 值關係如圖 2.5-3 所示，共計 59 筆檢測結果，重金屬鉻溶出之趨勢會隨著萃出液 pH 範圍不同而改變，當萃出液由高鹼性(約 12)降至 10.5 附近，鉻溶出值有增加趨勢，而當萃出液低於 10.5 附近，鉻溶出值則隨萃出液 pH 值減少而降低。銅溶出值分布較為凌亂，不易作為重金屬溶出快篩之試驗目標。

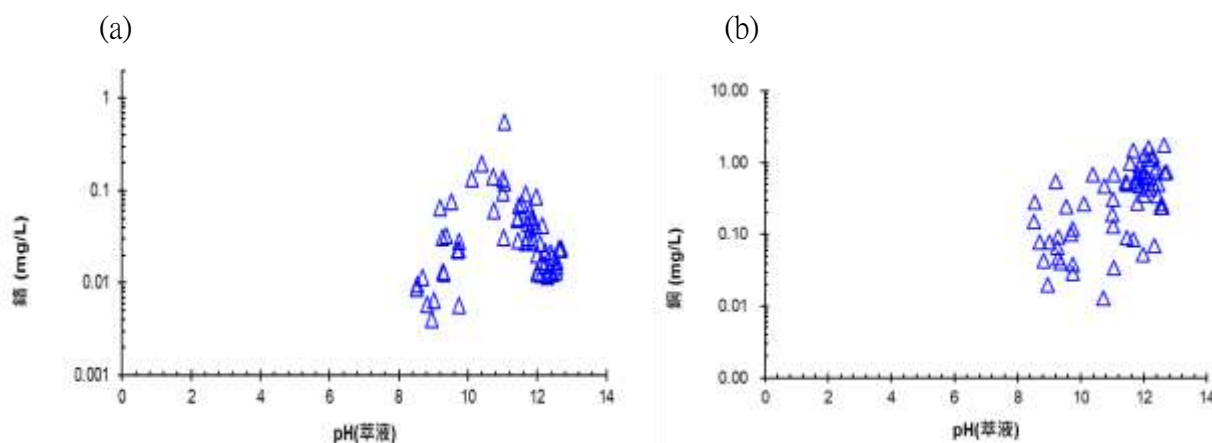


圖 2.5-3 焚化再生粒料歷年基線普測使用再生粒料溶出程序在溶出時間 6 小時之溶出濃度與萃出液 pH 值關係 (a)金屬鉻；(b)金屬銅

3. 重金屬鉛進行再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)之鉛溶出值與萃出液 pH 值關係如圖 2.5-4 所示，鉛在萃出液 pH 值大於 11.5 時，溶出量有明顯增加趨勢，11.5 至 12.5 間呈現明顯一直線，且第一級(0.01 mg/L)及第二級(0.1 mg/L)環境標準之規範皆落在該直線上。
4. 焚化再生粒料主要溶出高於環境標準之重金屬為鉛(兩性金屬)，鉛溶出具有明顯 pH 依存性，高鹼性時有明顯的變化趨勢，且涵蓋第一、二類環境標準，可應用作為快篩檢測。

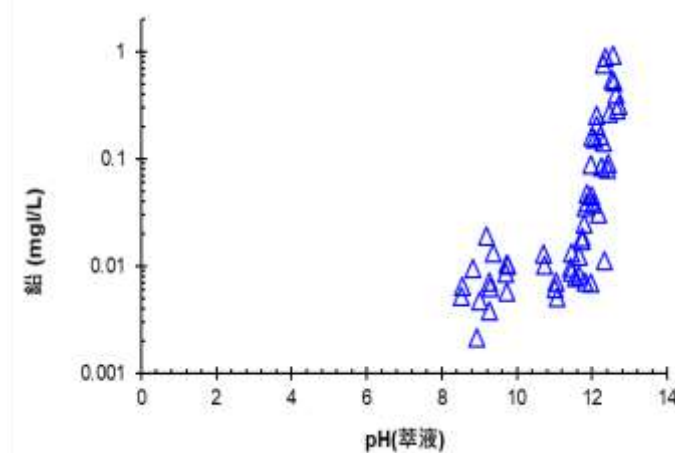


圖 2.5-4 焚化再生粒料歷年基線普測使用再生粒料溶出程序在溶出時間 6 小時之鉛溶出濃度與萃出液 pH 值關係

5. 研析歷年溶出檢測資料，推估金屬鉛溶出量偏高機率，以萃出液 pH 值進行劃分，59 組樣品中高於第二級環境標準者有 15 組，15 組之萃出液 pH 值皆超過 12，推估萃出液 pH 值大於 12 有相當高的機率(100%)之鉛溶出量高於第二級環境標準。高於第一級環境標準樣品，37 組中超過萃出液 pH 值 11.5 者有 30 組，推估當萃出液 pH 值大於 11.5 時，其鉛之溶出量有 81%機率高於第一級環境標準，如表 2.5-3 所示。
6. 鉛溶出量偏高機率是由環保署 3 年普測焚化再生粒料之 59 組樣品溶出結果獲得，由於各焚化廠之粒料性質會有所差異，因此建議再利用機構自行依焚化廠粒料來源，建立個別焚化再生粒料之溶出背景資料，持續更新並增加數據量，以精進快篩作業程序。

表 2.5-3 焚化再生粒料重金屬鉛溶出量偏高機率

焚化再生粒料環境標準	pH 篩選條件	鉛溶出量偏高機率 (高於標準組數/總組數)
鉛第一級環境標準(0.01 mg/L)	pH > 11.5	81% (30/37)
鉛第二級環境標準 (0.1 mg/L)	pH > 12.0	100% (15/15)

註：鉛溶出量偏高機率是以 107 年「精進焚化再生粒料產品品質標準及管理策略專案計畫」、108 年「無機再生粒料管理專案計畫」及 109 年「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」之焚化再生粒料基線研究結果，共計 59 組估算，鉛溶出量偏高機率會因檢測數量及 pH 值篩選條件而改變。

(三) 焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序

依據前述重金屬溶出快篩流程的研擬準則，計畫參照環保署公告之「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」及歷年溶出檢測數據，研提「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」，針對鉛金屬溶出量，以「快篩萃出液 pH 值」比對「pH 篩選條件」，獲得焚化再生粒料之金屬鉛溶出量偏高機率。

「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序(稿)」，說明如下一頁：

(四) 小結

彙整歷年焚化再生粒料以「再生粒料環境用途溶出程序」之萃出液 pH 值，結合重金屬溶出之 pH 依存性特性，計畫研提「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」，獲得焚化再生粒料之鉛溶出量偏高機率

為確認「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」之適用性，規劃實場驗證，針對不同產製批次樣品進行鉛溶出量偏高機率估算及溶出檢測，以滾動式檢討重金屬溶出快篩作業程序。

焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序(稿)

一、目的：

為即時掌握焚化再生粒料產製過程的品質，以焚化再生粒料進行「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」之萃出液 pH 依存性為依據，獲得重金屬溶出量與液相 pH 值關係，建立以液相 pH 值為快篩依據之重金屬溶出快篩方法，檢測快篩萃出液 pH 值即可快速推估重金屬溶出量。

二、方法依據：

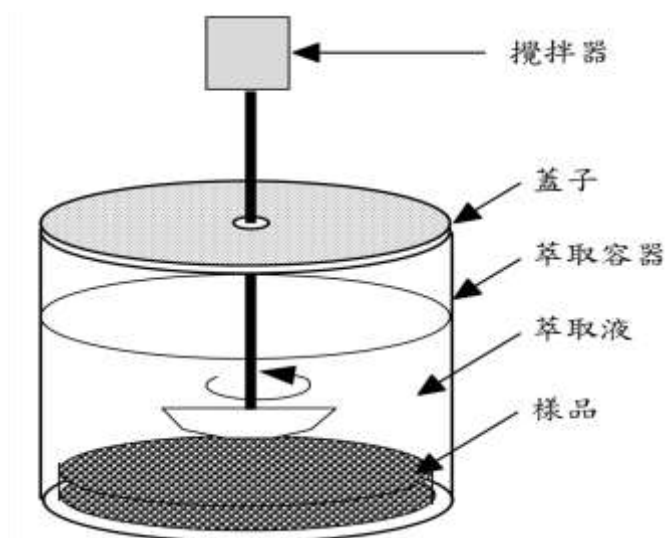
參考環檢所公告之再生粒料環境用途溶出程序(中華民國 108 年 10 月 02 日・環署檢字第 1080006238 號公告 NIEA R222.10C)。

三、適用範圍：

本作業程序適用於推估焚化再生粒料重金屬之溶出量。

四、設備與材料：

(一) 萃取容器：使用塑膠材質如聚乙烯 (Polyethylene) 製成之含蓋圓筒狀容器，樣品須可薄層平鋪於容器底部(如圖一)，依表一選擇容器直徑。

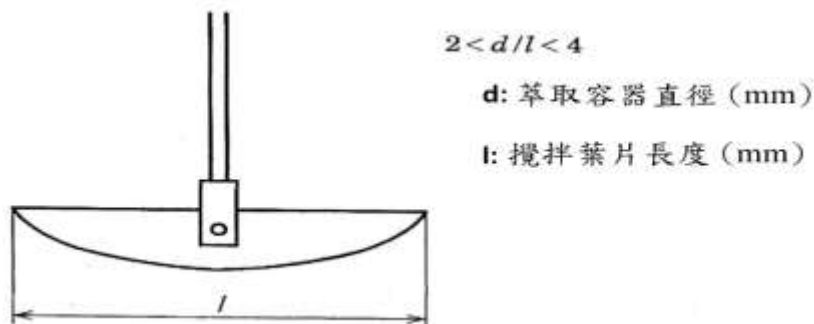


圖一 攪拌裝置示意圖

表一 樣品量、萃出液量及萃取容器直徑對照表

樣品量(g)	萃出液量(L)	萃取容器直徑(mm)
500	5	230
200	2	160
100	1	130

- (二)攪拌裝置：如圖一所示，攪拌裝置轉速 60 rpm 至 500 rpm，附轉速顯示器。攪拌葉片以不溶出或不吸附待測物之材質如氟碳樹脂(Fluorocarbon resin)製成，萃取容器直徑與攪拌葉片長度之比值在 2 至 4 範圍內(如圖二)。



圖二 攪拌葉片示意圖

- (三) 過濾裝置及濾膜：濾膜孔徑 $0.45\ \mu\text{m}$ ，直徑 25 mm 至 90 mm 或同級品。
- (四) 天平：能精稱至 0.01 g。
- (五) pH 計：具有自動溫度或手動溫度補償功能，可讀至 0.01 pH 單位。
- (六) 標準篩：孔徑大小 9.5 mm、16.0 mm 及 26.5 mm，篩框直徑 203.2 mm (8 inch)(含)以上。
- (七) 機械式搖篩機：使用時須使篩產生搖動，可使樣品產生彈跳、滾跌或相對於篩網面呈不同方向之轉動。

五、試劑：

檢測時使用之試劑除非另有說明，否則須至少為試藥級。

- (一) 試劑水：比電阻 $\geq 1\ \text{M}\Omega\text{-cm}$ 之試劑水。
- (二) 鹽酸溶液，0.01N：將 0.83 mL 濃鹽酸緩慢加入約 80mL 試劑水中，再定容至 1L，用以調整萃取液 pH 值。
- (三) 氫氧化鈉溶液，0.01N：溶解 0.4g 氫氧化鈉固體於適量試劑水中，再定容至 1L，用以調整萃取液 pH 值。

六、步驟：

- (一) 樣品準備：選擇具適當孔徑之標準篩，使能涵蓋樣品粒徑範圍(如表三)，由上而下依標準篩孔徑由大至小之順序套疊 1 組標準篩。取該樣品全部，置於最上層之篩網，以手工或機械式震動篩充分震(搖)動標準篩組以進行篩分，經篩分後有樣品殘留之最大篩網孔徑即為樣品最大粒徑。粒徑落在表四範圍內，可得最小樣品量，記錄表參見表三。

表三 最大粒徑及最小樣品量

最大粒徑 (d)(mm)	最小樣品量(g)
$16.0 \leq d < 26.5$	500
$9.5 \leq d < 16.0$	200
$d < 9.5$	100

(二) 萃取液製備：試劑水以鹽酸溶液或氫氧化鈉溶液調整 pH 值，使 pH 值介於 5.8 至 6.3 範圍內，製備時及製備後需注意避免污染。

(三) 萃取流程

1. 依據樣品最大粒徑，依表三至少秤取所需最小樣品量(取樣前須將篩分後樣品充分混合均勻，並以四分法取樣)，薄層平鋪於萃取容器底部。
2. 緩慢倒入 10 倍樣品量之萃取液於萃取容器中。
3. 將萃取容器安裝於攪拌裝置上，並使攪拌葉片位於樣品頂部與液面中間。
4. 蓋上蓋子避免污染。
5. 以 200 rpm 轉速攪拌 6 小時。
6. 萃取完成後靜置 10 分鐘，以 $0.45 \mu\text{m}$ 濾膜過濾，收集萃出液。

(四) 快篩萃出液 pH 值：測量萃出液 pH 值並記錄之。

(五) 數據分析：

1. 依環保署之 107~109 年度普測焚化再生粒料「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」之溶出結果，得出 6 小時之萃出液 pH 值與重金屬溶出關係(59 組)，15 組樣品之鉛溶出超過第二級環境標準(0.1 mg/L)，其中 15 組樣品之萃出液 pH 值皆超過 12(pH 篩選值 12)，鉛溶出量偏高機率 100%；37 組樣品之鉛溶出超過第一級環境標準(0.01 mg/L)，其中 30 組樣品之萃出液 pH 值超過 11.5(pH 篩選值 11.5)，鉛溶出量偏高機率 81%。
2. 快篩 pH 值比對 pH 篩選值，獲得金屬鉛溶出量偏高機率，參見表四。
3. 溶出快篩結果可作為審視焚化再生粒料環境品質之參考，亦可納入再利用機構之廠內自主管理，以定期檢視焚化再生粒料熟化情形。

表四 快篩 pH 值之金屬鉛溶出偏高機率

快篩條件	鉛溶出量 偏高機率	焚化再生粒料環境標準
快篩萃出液 pH 值> pH 篩選值(12)	100%	鉛第二級環境標準(0.1 mg/L)
快篩萃出液 pH 值> pH 篩選值(11.5)	81%	鉛第一級環境標準(0.01 mg/L)

七、注意事項

鉛溶出量偏高機率是由環保署 3 年普測焚化再生粒料之 59 組樣品溶出結果獲得，由於焚化再生粒料原本就是一種成分混雜的物料，為增加作業程序之可靠性，建議再利用機構自行依焚化廠粒料來源，建立個別焚化再生粒料之溶出背景資料，持續更新並增加數據量，以精進快篩作業程序。

八、參考資料

- (一) 行政院環境保護署，「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」，中華民國 109 年。
- (二) 行政院環境保護署，「無機再生粒料管理專案計畫」，中華民國 108 年。
- (三) 行政院環境保護署，「精進焚化再生粒料產品品質標準及管理策略專案計畫」，中華民國 107 年。

三、提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程

參考「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」相關既有規定及經濟部工業局規劃的循環材料之工程與環境品質追蹤管理整體作業流程構想(本計畫之母計畫，考量與母計畫運作模式整合及銜接)，本項工作研擬焚化再生粒料之環境品質整體查驗作業流程如圖 2.5-5 所示，納入法規相關之環境品質規範，作為供料機關、再利用機關、或使用機關參考，也能與經濟部工業局規劃的循環材料之工程與環境品質追蹤管理整體作業流程整合及銜接。

焚化再生粒料整體查驗作業流程包含再利用機構自主管理之「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」及「焚化再生粒料三階段環境品質檢查」。

(一) 再利用機構自主管理之重金屬溶出快篩作業程序

焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序之內容說明如前述小節，彙整歷年焚化再生粒料以「再生粒料環境用途溶出程序」之萃出液 pH 值，結合重金屬溶出之 pH 依存性，藉由「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」，可以獲得焚化再生粒料之鉛快篩溶出不符合焚化再生粒料第一級及第二級機率，可作為焚化再生粒料之廠內粒料品質自我管理參考。

(二) 焚化再生粒料三階段環境品質檢查：分為料源檢查、產品檢查及出貨檢查，說明如下

1. 料源檢查

料源檢查為焚化底渣之品質規範查核，而焚化底渣依公告之「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」應由焚化廠提供檢測報告予再利用機構參考，作為後續處理之依據。檢測項目包含可燃物、戴奧辛、毒性特性溶出程序之重金屬檢測等。

檢測結果若達有害事業廢棄物認定標準，其底渣不得送再利用機構進行前處理，並應經固化法、穩定化法或熱處理法處理至檢測值低於有害事業廢棄物認定標準後，採衛生掩埋方式處理。

2. 產品檢查

依公告之「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」規範，焚化再生粒料於出再利用機構前，應每五百公噸至少檢測一次，依不同焚化再生粒料使用用途，進行分級管理，已訂定不同的環境品質標準。

檢測項目含戴奧辛、粒徑大小、雜質、再生粒料環境用途溶出程序以及特定用途之毒性特性溶出程序等。

3. 出貨檢查

參考日本鐵鋼爐渣協會之自主三階段檢驗及工業局循環材料及驗證媒合平台作法，出貨檢查是針對出再利用機構，要運送至應用場域之焚化再生粒料進行檢測，檢測項目包含使用用途、使用地點及焚化再生粒料環境標準是否與「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」規範之內容相符。

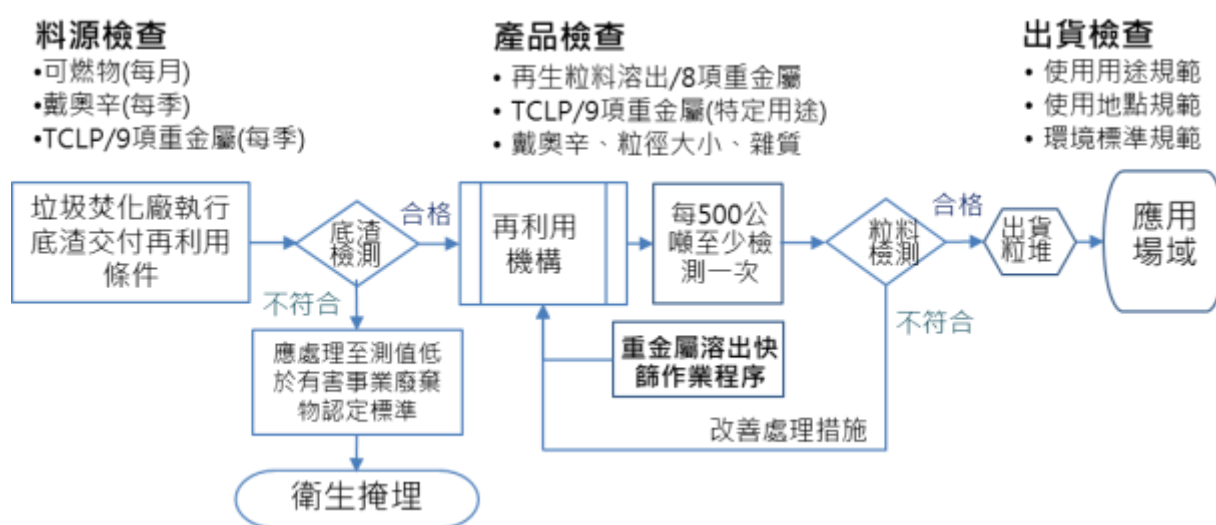


圖 2.5-5 焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程

四、針對 1 座焚化廠產製再生粒料之環境品質進行實場試驗

以臺中市烏日廠產製之焚化再生粒料作為實場試驗對象，再利用機構為全精英企業，針對研提「焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程」之再利用機構自主管理之重金屬溶出快篩作業流程及焚化再生粒料三階段環境品質檢查進行實廠查驗，說明如下。

(一) 環境品質實場查驗規劃

1. 整體查驗作業流程之「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」實場驗證

為使再利用機構現場能更快掌握焚化再生粒料之環境安全(溶出)品質，因此擬定「重金屬溶出快篩作業流程」作為自主管理之參考方法，依據前述重金屬溶出快篩作業流程進行試驗。

為確認粒料批號及堆置(熟化)時間對重金屬溶出快篩作業流程之影響，規劃採集不同產製批次及堆置(熟化)時間樣品進行溶出檢測，確認產製批次及堆置時間對焚化再生粒料「重金屬溶出快篩作業程序」影響。

2. 整體查驗作業流程之「焚化再生粒料三階段環境品質檢查」實場查驗

挑選臺中市烏日焚化廠之產製焚化再生粒料進行環境品質實場查驗，配合品質與環境安全性整體查驗流程之規劃，查驗項目可分為料源檢查、產品檢查及出貨檢查。

(二) 樣品採集

針對整體查驗作業流程之重金屬溶出快篩作業程序實場驗證之採樣分別於5月31日及7月14日採集2批焚化再生粒料，堆置天數皆為3日，且於7月29日採集堆置天數18日之焚化再生粒料。

整體查驗作業流程之三階段環境品質檢查實場查驗之料源查驗是在7月14日採集底渣樣品(堆置3日)、產品檢查是在8月25日採集堆置約45日的樣品，出貨檢查則在10月1日採集要運送出再利用機構的焚化再生粒料樣品。採樣期程和檢測項目如表2.5-4，採樣情形照片如圖2.5-6。

(a)



(b)



圖 2.5-6 臺中市烏日廠之採樣情形照片(a)焚化底渣；(b)焚化再生粒料

表 2.5-4 焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程樣品採集規劃

類別		堆置天數	採集時間	檢測項目
重金屬溶出快篩作業程序	粒料批號	3	5 月 31 日	重金屬溶出快篩作業流程
		3	7 月 14 日	
	堆置時間	3、18	7 月 14 日 7 月 29 日	
焚化再生粒料三階段環境品質檢查	料源檢查	3	7 月 14 日	底渣 TCLP 之重金屬溶出、戴奧辛
	產品檢查	45	8 月 25 日	再生粒料環境用途溶出程序、戴奧辛
	出貨檢查	81	10 月 1 日	再生粒料環境用途溶出程序

本計畫彙整。

(三) 焚化再生粒料之環境品質查驗結果

1. 整體查驗作業流程之再利用機構自主管理重金屬溶出快篩驗證

計畫採集由全精英企業再利用機構產製之焚化再生粒料，檢測目的是確認重金屬溶出快篩作業程序適用性，並非「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」規範之出再利用機構前檢測。

(1) 粒料批號驗證

針對臺中市烏日廠焚化再生粒料進行不同批次樣品採集，以確認重金屬溶出快篩作業流程適用性。第一批樣品於 5 月 31 日採集(批號 WZB 11010)，以「重金屬溶出快篩作業流程」萃取 6 小時後，獲得快篩萃出液 pH 值(11.85)，依據快篩作業流程進行判定(表 2.5-3)，快篩萃出液 pH 值(11.85)大於「pH 篩選條件(>11.5)」，鉛溶出量高機率高於第一級環境標準，而實際檢測之鉛溶出量為 0.035 mg/L(表 2.5-5)，亦高於第一級環境標準(0.01 mg/L)。

第二批樣品為 7 月 14 日採集(批號 WZB11014)，樣品之快篩萃出液 pH 值(12.40)，快篩萃出液 pH 值大於「pH 篩選條件(>12.0)」，鉛溶出量高機率高於第二級環境標準，而實際檢測鉛溶出量為 0.234 mg/L，亦高於第二級環境標準。

(2) 堆置時間驗證

為協助再利用機構快速獲得焚化再生粒料，經由自然熟化處理後的環境品質，針對前述底渣產製之焚化再生粒料(批號

WZB11014)，採集堆置 3 日(7 月 14 日採樣)及堆置 18 日(7 月 29 日採樣)之再生粒料進行重金屬溶出快篩。

焚化再生粒料產製後，堆置 3 日及堆置 18 日樣品以「重金屬溶出快篩作業程序」萃取 6 小時後，獲得快篩萃出液 pH 值分別 12.40 與 12.35，依據快篩作業流程進行判定，兩個樣品的快篩萃出液 pH 值皆大於「pH 篩選條件(>12.0)」，鉛溶出量高機率高於第二級環境標準，而實際檢測之鉛溶出量為 0.234 mg/L 與 0.203 mg/L (表 2.5-7)，亦高於第二級環境標準(0.1 mg/L)。

經溶出快篩檢測後，發現未翻攪或未移動的焚化再生粒料之快篩萃出液 pH 值沒有明顯改變，顯示其樣品的熟化程度不足，經建議再利用機構後，是藉由強化移動料堆的作業程序，增加焚化再生粒料的翻拌。

採集堆置 45 日樣品，其快篩萃出液 pH 值降為 11.78，實際鉛溶出測值為 0.025 mg/L，已經低於焚化再生粒料第二級環境標準(0.1 mg/L)，與重金屬溶出快篩作業流程之推估結果相符。

試驗結果顯示，結果皆能以「快篩萃出液 pH 值」搭配所建立之「pH 篩選條件」，快速獲得鉛溶出量偏高機率，且實際溶出檢測亦相符，說明重金屬溶出快篩作業流程對於不同批次及不同堆置時間之焚化再生粒料具有適用性。

表 2.5-5 整體查驗作業流程之焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序實場驗證

採集日期	批號	堆置天數	快篩萃出液 pH 值	pH 篩選結果	鉛溶出值(mg/L)
5月31日	WZB11010	3	11.85	pH >11.50，高機率高於 鉛第一級環境標準	0.035
7月14日	WZB11014	3	12.40	pH >12.0，高機率高於 鉛第二級環境標準	0.234
7月29日	WZB11014	18	12.35	pH >12.0，高機率高於 鉛第二級環境標準	0.203
8月25日	WZB11014	45	11.78	pH >11.50，高機率高於 鉛第一級環境標準	0.025

本計畫彙整。

2. 整體查驗作業流程之焚化再生粒料三階段環境品質檢查

針對焚化再生粒料進行三階段環境品質檢查，是針對同批次來源之底渣及產製焚化再生粒料進行檢測，包含料源檢查、溶出快篩及出貨檢查，說明如下。

(1) 料源檢查

計畫於7月14日在再利用機構採集烏日廠焚化底渣，針對進廠之焚化底渣進行毒性特性溶出程序(TCLP)之9項重金屬檢測，以及戴奧辛檢測。

毒性特性溶出程序的重金屬溶出總銅與總鉍分別為1.55和0.368 mg/L，總鉛、總鎘、總鉻、總砷、總汞、總硒及六價鉻溶出則皆為ND(低於偵測極限)，戴奧辛測值為0.003 ng I-TEQ/g(參見表2.5-6)。

檢測結果顯示，採集底渣之毒性特性溶出程序的9項重金屬檢測及戴奧辛檢測值皆低於底渣交付再利用之條件標準。

表 2.5-6 焚化再生粒料三階段環境品質檢查之底渣料源檢測結果

檢測項目	事業廢棄物毒性特性溶出程序									戴奧辛
	總鉛	總鎘	總鉻	總銅	總砷	總汞	總硒	總鉍	六價鉻	
底渣交付 再利用之條件	≤5.0	≤1.0	≤5.0	≤15.0	≤5.0	≤0.2	≤1.0	≤100.0	≤2.5	≤1
檢測值	ND	ND	ND	1.55	ND	ND	ND	0.368	ND	0.003
MDL	0.020	0.001	0.001	0.002	0.003	0.017	0.021	0.0001	0.01	-

註：事業廢棄物毒性特性溶出程序之檢測濃度單位 mg/L，戴奧辛濃度單位 ng I-TEQ/g；採集日期 5 月 31 日。

(2) 產品檢查

焚化再生粒料出再利用機構時必須進行檢測，針對前述底渣產製之焚化再生粒料(批號 WZB11014)，採集熟化堆置 45 日樣品，進行再生粒料環境用途溶出程序之重金屬溶出及戴奧辛檢測。

再生粒料環境用途溶出程序的鉛及銅金屬溶出分別為 0.025 和 1.13 mg/L，測值超過第一級環境標準(鉛 0.01 mg/L、銅 1 mg/L)，但低於第二級環境標準(鉛 0.1 mg/L、銅 10 mg/L)，戴奧辛測值為 0.004 ng I-TEQ/g(參見表 2.5-7)。

檢測結果顯示，採集焚化再生粒料之再生粒料環境用途溶出程序的重金屬及戴奧辛測值皆低於焚化再生粒料的第二級環境標準。

表 2.5-7 焚化再生粒料三階段環境品質檢查之產品檢查及出貨檢查結果

檢測項目	再生粒料環境用途溶出程序								戴奧辛
	砷	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅	
第一級環境標準	0.05	0.005	0.05	1	0.002	0.1	0.01	5	0.1
第二級環境標準	0.5	0.05	0.5	10	0.02	1	0.1	50	0.1
產品檢查測值	0.003	ND	0.027	1.13	ND	0.009	0.025	0.091	0.004
出貨檢查測值	ND	ND	0.039	0.714	ND	ND	ND	0.029	0.003
MDL	0.002	0.001	0.005	0.005	0.0001	0.005	0.001	0.011	-

註：再生粒料環境用途溶出程序之濃度單位 mg/L，戴奧辛濃度單位 ng I-TEQ/g；產品及出貨採集日期分別為 8 月 25 日與 10 月 1 日。

(3) 出貨檢查

出貨檢查是針對出再利用機構，要運送至應用場域之焚化再生粒料進行檢測，樣品採集時間為 10 月 1 日。

再生粒料環境用途溶出程序的鉛、鉻及銅金屬溶出分別為 ND、0.039 和 0.714 mg/L，戴奧辛測值為 0.003 ng I-TEQ/g(參見表 2.5-7)。檢測結果顯示，採集焚化再生粒料之再生粒料環境用途溶出程序的重金屬及戴奧辛測值皆低於焚化再生粒料的第一級環境標準。

經詢問再利用機構及查詢焚化再生粒料管理系統後，得知計畫採集樣品其用途為控制性低強度回填材料，符合現行「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」的相關規範。

五、小結

計畫提出「焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程」，包含再利用機構自主管理「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」及「焚化再生粒料三階段環境品質檢查」。

焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序是藉由「再生粒料環境用途溶出程序」之萃出液 pH 值，結合 pH 依存性，可快速獲得鉛溶出量偏高機率，但由於焚化再生粒料原本就是一種成分混雜的物料，為增加作業程序之可靠性，建議再利用機構自行依焚化廠粒料來源，建立個別焚化再生粒料之溶出背景資料，持續更新並增加數據量，以精進快篩作業程序。

實場驗證顯示，重金屬溶出快篩作業流程對於不同批次及不同堆置時間之焚化再生粒料具有適用性，能夠以「快篩萃出液 pH 值」快速獲得鉛溶出量偏高機率，且實際溶出檢測亦相符。

焚化再生粒料三階段環境品質檢查是參考日本鐵鋼爐碴協會之三階段自主檢驗及經濟部工業局循環材料及驗證媒合平台作法，分為料源檢查、產品檢查及出貨檢查。以臺中市烏日廠產製之焚化再生粒料作為實場對象，實場驗證顯示，底渣及底渣產製之焚化再生粒料的環境品質皆符合「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」之相關規範。

2.6 章節摘要

有關本章「盤點國內主要無機循環材料循環流向，建置環境用途溶出基線資料，研訂材料化條件、認證準則及標準建議」，主要工作項目為：「(一) 盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰）產生量、再利用量等用途及資源循環流向、(二) 檢測國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）環境用途溶出狀況、(三) 實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題、(四) 依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質，協辦相關會議、(五) 研擬焚化再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程」。

(一) 盤點國內主要無機循環材料（轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等）之產生量、再利用量等環境用途及資源循環流向(詳如 2.1 節)

1. 盤點轉爐石、氧化碓、還原碓、燃煤飛灰、燃煤底灰及其產製再生粒料 108 年、109 年及 110 年(1-8 月)之產生量、再利用量等資源循環流向。
2. 各粒料 109 年主要再利用用途為：轉爐石用於港區填築(約 26%)、氧化碓用於控制性低強度回填材料(約 94%)、還原碓用於卜特蘭水泥(約 57%)、燃煤飛灰用於預拌混凝土(約 77%)、燃煤底灰用於控制性低強度回填材料(約 31%)。
3. 中鋼公司為加速轉爐石去化及拓展海事工程應用管道，經三階段評估已於 109 年 7 月通過「臺北商港物流倉儲區填海造地計畫第三次環境影響差異分析報告（新增造地料源）」，並自 109 年 11 月提供轉爐石作為其防風林區造地填築料源，每年量約 130 萬噸，可有效消化累積暫存量。

(二) 檢測國內主要無機循環材料環境用途溶出狀況 (詳如 2.2 節)

1. 無機循環材料以再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)進行 20 件次品質及用途環境基線檢測(轉爐石 2 件、氧化碓 6 件、還原碓

6 件、燃煤飛灰 3 件及燃煤底灰 3 件)，並與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較。

- (1) 目的：持續第 3 年基線檢測，建立無機循環材料產品環境標準，並掌握溶出基線概況。基線檢測係於再利用機構廠內進行採樣檢測探討，非實際氧化碴及還原碴出再利用機構之性質，再利用機構須符合規定標準始能出廠再利用。
 - (2) 轉爐石 2 件皆符合第一類及第二類研究基準，不符合率為 0%。
 - (3) 氧化碴 6 件皆符合第二類研究基準，不符合率為 0%；1 件樣品之重金屬及鹽類項目不符合第一類研究基準，不符合率為 16.7%。
 - (4) 還原碴 6 件皆符合第二類研究基準，不符合率為 0%；5 件樣品之重金屬及鹽類項目不符合第一類地研究基準，不符合率為 16.7%。
 - (5) 燃煤飛灰 3 件皆符合第二類研究基準，不符合率為 0%；3 件樣品之重金屬及鹽類項目不符合第一類研究基準，不符合率為 100%。
 - (6) 燃煤底灰 3 件皆符合第一類及第二類研究基準，不符合率為 0%。
 - (7) 針對煉鋼製程產生之循環材料溶出較高物料，建議可再經破碎、磁選、篩分等處理程序，並加強落實廠內製程品質控管，以改善無機循環材料溶出品質。
2. 完成特色檢測之檢測分析，計 18 件次。
- (1) 混合不同再生粒料(18 件次)，考量實際港區造地填築料源混合，設定 6 種混料組合方式，等比例混合檢測，與另案(焚化再生粒料)合作檢測發揮最大效益。
 - (2) 混合粒料樣品具均質化效果，重金屬及鹽類項目溶出值沒有明顯產生加乘作用，皆可符合第二類研究基準。
 - (3) 因實務應用中填築料源須符合相關法規標準方可進行填築，由試驗結果推測使用符合標準但不同來源的循環材料

進行港區造地填築接，能夠符合第二類研究基準。建議後續持續針對不同配比之混料進行重金屬溶出及鹽類溶出檢測。

(三) 實地訪查 10 場次無機循環材料來源、產製機構或其使用端，蒐集基本資料、使用情形及再利用遭遇問題 (詳如 2.3 節)

1. 為優先瞭解還原碴之去化問題或遭遇困難點，完成辦理 12 場次實地訪查，包含 7 家還原碴事業單位(產源)、3 家再利用機構，另依環保署業務需求，配合辦理 2 家公民營廢棄物處理機構實地訪查。
2. 還原碴再利用主要意見及建議如：(1)部分品質未能達水泥廠允收其標準，建議可輔導產源增設前處理設施、(2)產品市場接受度低，道路工程去化不易，建議加強推廣。(3)建議還原碴安定化再利用業者協處其他非會員料源。

(四) 依盤查資料及檢測結果，提出無機循環材料之材料化條件、材料認證準則及環境標準建議，精進材料規範與環境品質(詳如 2.4 節)

1. 目的：篩選標的對象並透過彙整與釐清標的對象物料的相關使用規範，使物料使用者能依照規範正確使用該物料，並符合材料允收與環境安全標準，建立使用者與民眾的信心，以達到物料去化推廣的目的
2. 參考法令規章、CNS 標準、施工綱要規範、使用手冊等，彙整主要無機循環材料之(轉爐石、氧化碴、還原碴)的工程性標準及環境安全標準
3. 提出還原碴應用於水泥生料允收條件建議及完成規劃，完成 1 場次鋼爐碴品質規範與材料化專家諮詢會議。
4. 考量再生粒料環境應用之通用性，應具有相同的溶出方法及環境規範，建議採用「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」作為再生粒料檢測方法。
5. 參考各粒料產製特性及歷年檢測資料，建議檢測項目，分為共通項目 8 項重金屬(鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳、鋅與其事業製程

及其廢棄物特性相關之選擇項目重金屬(2 項，銻及鉬)及鹽類(氟鹽)，檢測標準可參考我國地下水污染管制標準。

(五) 研擬再生粒料環境品質整體查驗作業流程，針對 1 座焚化爐底渣產製再生粒料之環境品質驗證，提出焚化再生粒料品質與環境安全性整體查驗作業流程 (詳如 2.5 節)

1. 提出「焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程」，含再利用機構自主管理「重金屬溶出快篩作業程序」及「三階段環境品質檢查」。
2. 重金屬溶出快篩作業程序是藉「再生粒料環境用途溶出程序」之萃出液 pH 值，結合 pH 依存性，可快速獲得鉛溶出量偏高機率。
3. 實場驗證顯示，重金屬溶出快篩作業流程能夠以「快篩萃出液 pH 值」快速獲得鉛溶出量偏高機率，且實際溶出檢測亦相符，但由於焚化再生粒料原本就是一種成分混雜的物料，建議再利用機構自行依焚化廠粒料來源，建立個別焚化再生粒料之溶出背景資料，持續更新並增加數據量，以精進快篩作業程序。
4. 焚化再生粒料三階段環境品質檢查是參考日本鐵鋼爐碴協會之自主三階段檢驗及工業局循環材料及驗證媒合平台作法，分為料源檢查、產品檢查及出貨檢查。以臺中市烏日廠產製之焚化再生粒料作為實場對象，底渣及底渣產製之焚化再生粒料的環境品質皆符合「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」之相關規範。

第三章 提升焚化再生粒料品質及利用驗證 ，建立熟化模組降低重金屬溶出試 驗及加工再製品持續浸泡地下水溶 出試驗

第三章 提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗

有關「提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬焚化再生粒料加工再製品持續浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況」此項工作，主要為提升無機循環材料—焚化再生粒料之 2 項應用品質及利用試驗，本計畫作業流程詳圖 3.1，說明如后。

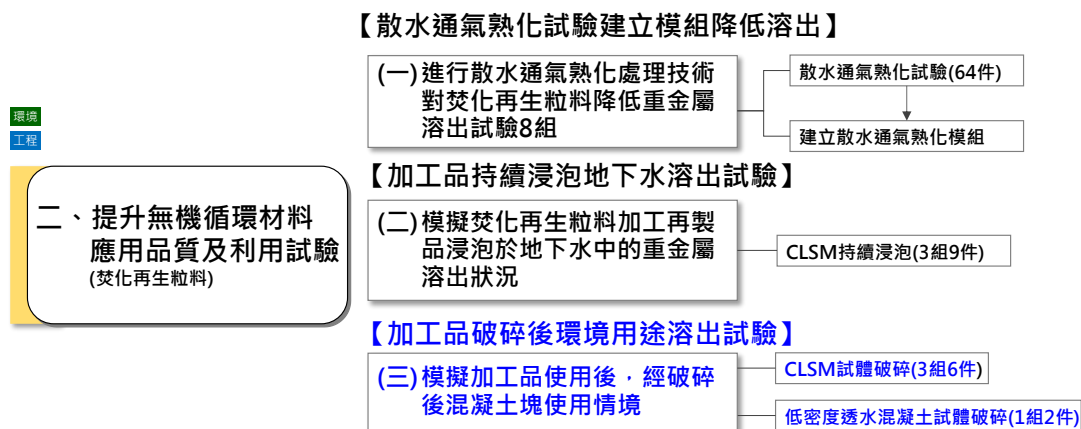


圖 3-1 「提升焚化再生粒料品質及利用驗證，熟化處理模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗」之作業流程

- 一、散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出 — 進行散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗 8 組。探討不同散水強度(至少 2 個條件)、不同通氣量(至少 2 個條件)及不同通氣時間(至少 2 個條件)，於不同實驗時間，採集不同管柱深度樣品，建置散水強度、通氣量、及通氣時間與重金屬溶出關係，合計 64 件次，並依再生粒料環境用途溶出程序進行重金屬及氫離子濃度指數檢測。依結果協辦相關會議。(前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經環保署同意後調整。)，詳 3.1 節。
- 二、加工品持續浸泡地下水溶出試驗 — 模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況，採集或製作焚化再生粒料加工再製品(如 CLSM)3

組，進行至少 9 件次重金屬溶出狀況檢測，以瞭解浸泡於地下水中的焚化再生粒料加工再製品長期溶出狀況(前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經環保署同意後調整。)，詳 3.2 節。

三、新增加工品破碎後環境用途溶出試驗 — 模擬焚化再生粒料加工再製品經維護剷除後之混凝土塊，考量其破碎後混凝土塊環境應用，製作焚化再生粒料加工再製品(如 CLSM、低密度再生透水混凝土)4 組，破碎後參照「再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)」，進行 8 件次之重金屬溶出狀況檢測，詳 3.3 節。

3.1 進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗

【散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出】

本項重點為「散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出」，內容依據契約書為「進行散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，以國內垃圾焚化廠之焚化再生粒料 8 組，於實驗室進行散水通氣熟化處理試驗。試驗條件須探討不同散水強度(至少 2 個條件)、不同通氣量(至少 2 個條件)及不同通氣時間(至少 2 個條件)，於不同實驗時間，採集不同管柱深度樣品，建置散水強度、通氣量、及通氣時間與重金屬溶出關係，合計至少採集 64 件次樣本，並依再生粒料環境用途溶出程序進行重金屬及氫離子濃度指數檢測。依結果協助辦理專家會議、研商會議或說明會議」。

本計畫研擬有關本項「散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出」作業流程，詳圖 3.1-1 所示，初步成果說明如后。

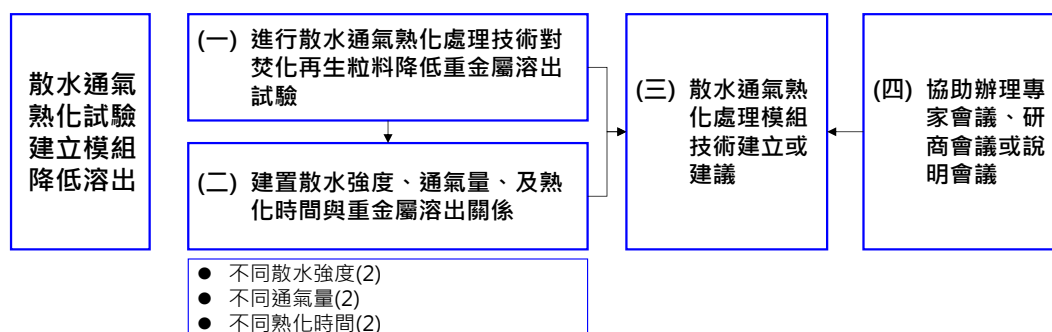


圖 3.1-1 「進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗」之作業流程

一、進行散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗

(一) 本試驗背景說明

1. 我國再利用機構大多採用自然熟化處理技術，是指焚化再生粒料於開放空間中，長時間與環境各項因子(空氣、水氣等)產生各種物理及化學作用而使得焚化再生粒料性質改變，進而達到降低重金屬溶出濃度，常見之熟化反應如碳酸化、水合作用、水解作用等。
2. 熟化反應中以碳酸化最為重要，是降低焚化底渣重金屬溶出之主要反應，碳酸化過程是藉由空氣中二氧化碳與粒料反應而降低其 pH 值，反應速率考量到許多因素，諸如粒料特性、水合反應程度、孔隙特徵以及暴露條件。
3. 碳酸鹽化反應過程中，空氣裡的 $\text{CO}_2(\text{g})$ 擴散至固體孔隙內，溶解至孔隙液相水中，形成 $\text{CO}_2(\text{aq})$ ，反應速率上為 CO_2 分壓大者且比表面積高之粒料反應較快。在孔隙液相中， $\text{CO}_2(\text{aq})$ 進行水合反應形成 H_2CO_3 ，是為反應速率決定步驟，碳酸再與粒料中氧化鈣(CaO)反應生成碳酸鈣，來穩定粒料性質並降低其鹼度，其整體反應過程如圖 3.1-2 所示。
4. 熟化過程降低焚化再生粒料 pH 值至微鹼性，進而形成低溶解性二次礦物，促使陽離子重金屬(Cu 、 Pb 、 Zn 等)溶解度降至最低，並因新形成非結晶鐵鋁礦物質之吸附作用，改善底渣中主要與微量元素之溶出情況。
5. 自然熟化雖可降低焚化再生粒料重金屬溶出，但有時長、需用地大、僅表面熟化等問題，國內再利用機構受限於廠內空間及再生料調度，單獨使用自然熟化可能無法滿足國內再利用機構對於焚化再生粒料的品質要求。
6. 109 年環保署報告「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」，針對自然熟化降低重金屬成效進行探討，試驗採集六座焚化廠焚化再生粒料，進行 180 天之實驗室自然堆置(熟化)試驗，試驗結果發現堆置天數至 45 日時，離表層 0-10 公分及 10-20 公分深度之樣品之鉛、鉻及銅溶出可符合第二級環境標準，但離表層 10-20 公分或 40-50 公分處樣品之粒料 pH 值至堆置天數 180 日依

然無明顯變化。

- 7. 影響熟化因素(控制影響參數)，如散水強度(含水量)、通氣量(含二氧化碳濃度)、通氣時間及粒料深度、翻堆攪拌等，透過改變這些控制變因或可縮短通氣時間或降低熟化所需空間。
- 8. 相關國內外研究(如久保田洋(2020)等)藉由調整部分控制影響參數組合，試算投設成本，以節省熟化空間，加速熟化程序，達到降低重金屬溶出的目的。(詳表 3.1-1)

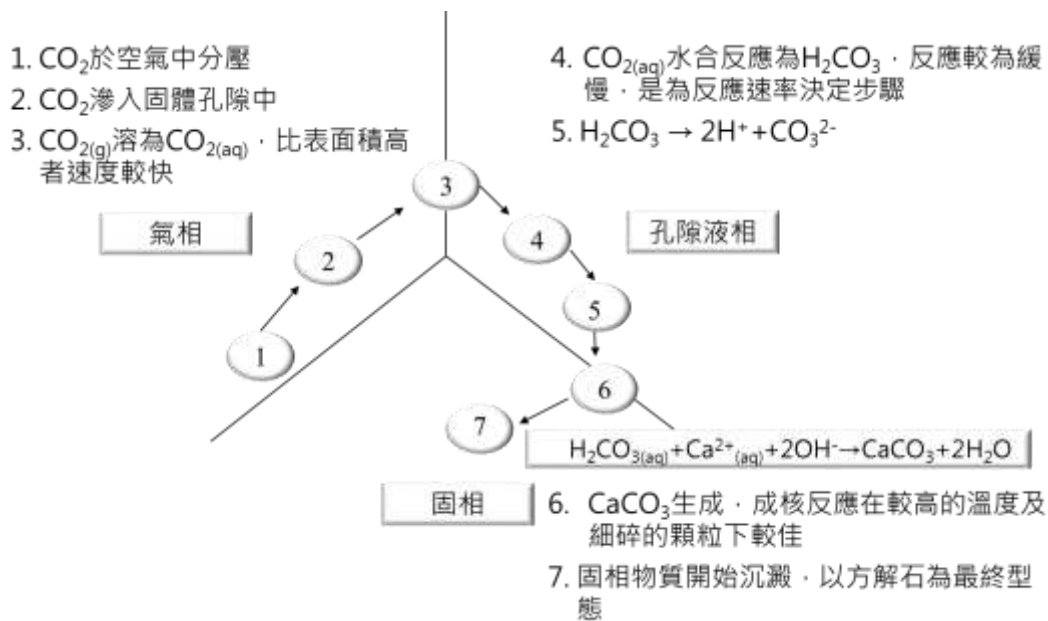


圖 3.1-2 碳酸鹽化反應機制圖

表 3.1-1 相關熟化試驗或研究對熟化條件探討之彙整

文獻	熟化條件探討			
	二氧化碳濃度	含水率	通氣(熟化)時間	通氣量/散水量
久保田洋(2020)	100%	19~34%	1~50 天	通氣量 70 L/min，散水液固比約 0.5(L/kg)
Steketee 等人(2020)	4~8%	無控制	21 天	通氣量 16.7 L/ton/min
Lin 等人(2015)	20%	5~25%	7 天	氣體濕度保持恆定
買隆恩(2012)	10%	20%	3.3 天(樣品 pH<8.5 時停止)	通氣壓力 1 大氣壓
Rendek 等人(2005)	100%	5~25%	2 天	通氣量 1 L/min (0.6kg)

本計畫彙整。

(二) 散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗

1. 作法：進行散水通氣熟化試驗，建立散水強度、通氣量及通氣(熟化)時間等參數與重金屬之溶出關係。

散水程序是指將水由料堆或管柱表面噴灑，產生少量的滲出水，藉由低體積的散水進行沖提，同時潤濕粒料表面及去除水溶性鹽類。

2. 目的：提出散水通氣技術模組化規格參數建議及投設成本初估，供再利用機構品質精進策略參考。

- (1) 國內目前底渣再利用機構多為採用自然熟化處理程序，一般自然熟化具節省處理成本之特性，但也有耗時較長，場地需求亦大等問題須考量。

- (2) 為能達成熟化降低重金屬溶出提升品質，並解決自然熟化對再利用機構之耗時及空間需求等問題，或藉由適度控制相關變因(如散水強度、通氣量、通氣時間、粒料深度等)，發展加速熟化處理模組技術，可加速焚化再生粒料去化。

- (3) 目的是藉試驗找出散水強度、通氣量及通氣時間之關係，作為焚化再生粒料品質精進策略參考。

3. 規劃構想：規劃建置散水強度、通氣量、及通氣時間與重金屬溶出關係(68 件次)。

- (1) 控制參數：散水強度、通氣量、通氣時間、粒料深度

試驗規劃係參考日本學者之久保田洋(2020)設計之散水通氣熟化反應槽，如圖 3.1-3 所示，以散水通氣方式進行加速熟化程序，並控制影響參數如散水強度、通氣量、通氣(熟化)時間、粒料深度等。

- (2) 規劃重金屬溶出及粒料 pH 值檢測 68 件次(至少 64 件次)

預計採集 8 座焚化廠產製之焚化再生粒料進行實驗，並將試驗分成 2 階段。

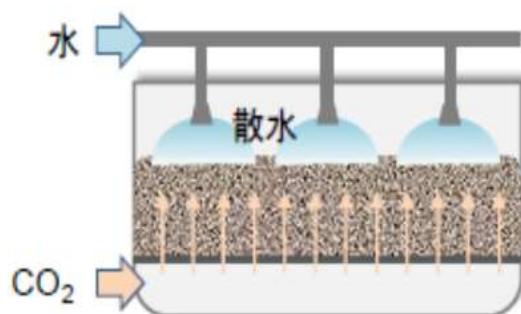
- A. 第 1 階段—決定出最佳參數：挑選其中 4 組(廠)焚化再生粒料之重金屬溶出濃度較高者，進行不同散水通氣參數控制之試驗(2 個散水強度、2 個通氣量、2 個不同通

氣時間條件)，得出最佳試驗條件。

- B. 第 2 階段—由最佳參數驗證成效：以最佳試驗條件挑選 4 組(廠)焚化再生粒料，進行相同熟化散水通氣試驗，驗證最佳參數對不同料源或不同批次之熟化成效。

(3) 檢測結果將彙整分析以下資訊：

- A. 散水強度與粒料重金屬溶出、氯離子含量之關係。
B. 通氣量與重金屬溶出之關係。
C. 不同通氣時間及料堆深度之焚化再生粒料重金屬溶出濃度之變化。



資料來源：1. 久保田洋(2020)，一般廢棄物燒却灰の散水・通氣処理による安定化促進技術 と土木資材化に関する研究。

圖 3.1-3 實場散水通氣熟化裝置及原理示意

4. 散水通氣熟化試驗規劃說明

- (1) 試驗對象：依據環保署計畫歷年檢測結果之焚化再生粒料金屬溶出濃度較高者，挑選 8 組(廠)，分別為來自以下焚化廠焚化底渣產製之焚化再生粒料：新北市八里廠、新北市樹林廠、桃園市 BOO 廠、苗栗竹南廠、臺中市烏日廠、嘉義市廠、高雄市中區廠、宜蘭縣利澤廠之焚化再生粒料進行試驗。
- (2) 試驗裝置：散水通氣熟化試驗是將採集之焚化再生粒料裝入試驗容器，試驗樣品拿回實驗室後沒有額外進行篩分處理，裝置示意如圖 3.1-4。
- A. 試驗容器為直徑 20 公分、高 55 公分之圓柱容器，裝填焚化再生粒料高度為 50 公分，該裝置底部設有氣體散氣盤以及排水設施，而上方則為散水裝置。以液固比計

算所需散水量，在通氣時間內進行散水。

B. 試驗中於底部散氣盤通入 CO_2 濃度 10% 氣體，試驗使用濃度 10% CO_2 氣體由鋼瓶供應廠商直接配置及提供。

(3) 試驗參數：散水強度、通氣量、通氣時間及不同深度樣品。

(4) 條件設定

參考賈隆恩(2012)及久保田洋(2020)之試驗結果，試驗參數將依試驗結果進行調整。

A. 散水強度：液固比 0.1 及 0.3 (L/kg)。

B. 通氣量： CO_2 濃度 10%，0.2 L/min 及 1 L/min。

C. 通氣(熟化)時間：1 日及 2 日。

D. 充填焚化再生粒料重量：約 20 kg。

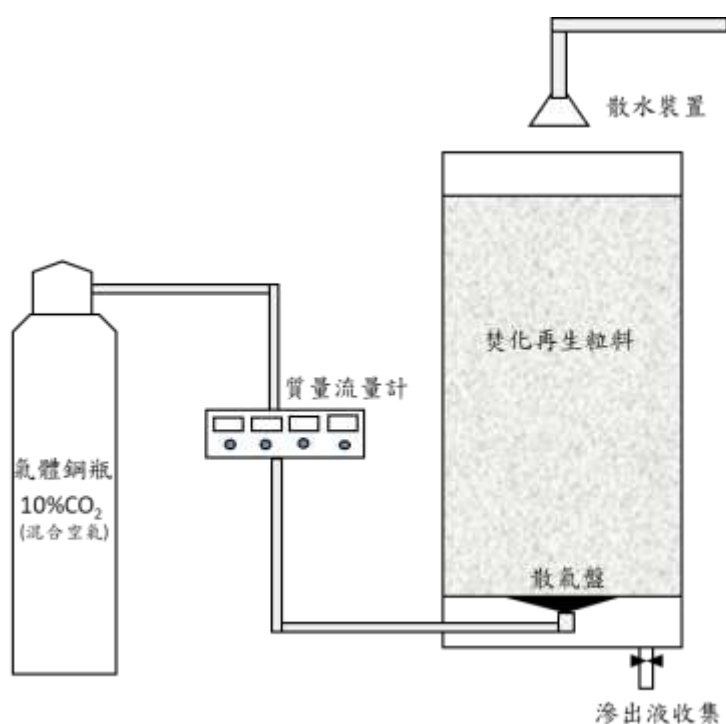


圖 3.1-4 散水通氣熟化裝置示意

(5) 管柱採樣深度

採集樣品依深度分為管柱上層及管柱下層樣品，為避免自然熟化影響本試驗之實驗結果，離管柱表層 0~10 公分樣品將不檢測重金屬溶出。

- A. 上層樣品：採集離管柱表層下方深度 10~20 公分之焚化再生粒料。
- B. 下層樣品：採集離管柱表層下方 40~50 公分之焚化再生粒料。

(6) 管柱二氧化碳貫穿量測

- A. 為瞭解二氧化碳氣體在管柱內變化，於試驗管柱上方裝設二氧化碳偵測器，實驗室二氧化碳背景值 450 ppm，當偵測出數值大於正常情況下 10% 時，認定此時通氣管柱之二氧化碳已經貫穿。
- B. 當通氣量在 1 L/min 時，試驗管柱在經過通氣約 1 天後，二氧化碳開始貫穿管柱，然而當通氣量 0.2 L/min 條件下，經過 1 天或 2 天時，仍未觀測到管柱上方之二氧化碳濃度上升情形，推測管柱二氧化碳尚未貫穿。

(7) 二階段試驗參數規劃：如表 3.1-2 所示。

A. 第 1 階段—決定出最佳參數

計畫執行 4 組(廠)，每組預計採集進行 16 件次樣品共計 64 件次樣品，4 組(廠)規劃為新北市八里廠、桃園市 BOO 廠、臺中市烏日廠、宜蘭縣利澤廠產製之焚化再生粒料，於試驗中找出能使焚化再生粒料符合環境標準且成本估算較低之試驗參數。

B. 第 2 階段—由最佳參數驗證成效

以最佳試驗條件挑選另 4 組(廠)焚化再生粒料，進行相同散水通氣熟化試驗，驗證最佳參數對不同料源之熟化成效。1 組(廠)進行 1 件次，4 組(廠)共計 4 件次，4 組(廠)規劃為新北市樹林廠、苗栗縣竹南廠、嘉義市廠、高雄市中區廠產製之焚化再生粒料。

- C. 合計第 1 階段檢測 64 件次及第 2 階段檢測 4 件次，共計 68 件次樣品(符合契約規定之 64 件次)，檢測詳細規劃如表 3.1-3 所示。

表 3.1-2 散水通氣熟化試驗參數規劃

條件設定		通氣量	散水強度	通氣時間	距離管柱表層深度
		0.2 L/min 1 L/min	液固比 0.1 L/kg 液固比 0.3 L/kg	1 日 2 日	上層 10~20 cm 下層 40~50 cm
1	組合1	0.2	0.1	1	10~20(上層)
2		0.2	0.1	1	40~50(下層)
3	組合2	0.2	0.1	2	10~20(上層)
4		0.2	0.1	2	40~50(下層)
5	組合3	0.2	0.3	1	10~20(上層)
6		0.2	0.3	1	40~50(下層)
7	組合4	0.2	0.3	2	10~20(上層)
8		0.2	0.3	2	40~50(下層)
9	組合5	1	0.1	1	10~20(上層)
10		1	0.1	1	40~50(下層)
11	組合6	1	0.1	2	10~20(上層)
12		1	0.1	2	40~50(下層)
13	組合7	1	0.3	1	10~20(上層)
14		1	0.3	1	40~50(下層)
15	組合8	1	0.3	2	10~20(上層)
16		1	0.3	2	40~50(下層)

本計畫彙整。

表 3.1-3 散水通氣熟化試驗檢測件次規劃

	試驗對象(焚化廠產製之 焚化再生粒料)	測試參數	檢測組數	檢測件 次
第1階段 決定出最佳 參數	· 新北市八里廠 · 桃園市 BOO 廠 · 臺中市烏日廠 · 宜蘭縣利澤廠	· 通氣量 · 散水強度 · 通氣(熟化)時間 · 深度	4組(廠)	64
第2階段 由最佳參數 驗證成效	· 新北市樹林廠 · 苗栗縣竹南廠 · 嘉義市廠 · 高雄市中區廠	· 第1階段之最佳 參數	4組(廠)	4
共計			8組(廠)	68

本計畫彙整。

5. 檢測方法

- (1) 檢測項目及方法如表 3.1-4 所示，共計檢測 68 件次。
- (2) 「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」萃出液之檢測項目包含鎘、鉛、砷、汞、鉻、銅、鎳及鋅 8 項重金屬。
- (3) 「廢棄物之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法-電極法(NIEA R208)」。

表 3.1-4 焚化再生粒料檢測項目及方法

檢測項目	檢測方法	樣品件次
粒料氫離子濃度指數	廢棄物之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法-電極法(NIEA R208)	68
萃出液金屬(鉛、鎘、鉻、銅、砷、鎳、鋅)	再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)/事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法－酸消化法(NIEA R306)/感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104)	68
萃出液金屬汞	再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)/冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA R314)	68

本計畫彙整。

6. 第 1 階段檢測結果及分析

(1) 散水通氣熟化裝置：試驗裝置如圖 3.1-5 所示，是由管柱底部之散氣盤通入 10% CO₂ 氣體。



圖 3.1-5 散水通氣熟化裝置示意

3.2 模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況

【加工品持續浸泡地下水溶出試驗】

本工項重點為「加工品持續浸泡地下水溶出試驗」，內容依據契約書為「模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況檢測，採集或製作焚化再生粒料加工再製品(如 CLSM)3 組，進行至少 9 件次重金屬溶出狀況檢測，以瞭解浸泡於地下水中的焚化再生粒料加工再製品長期溶出狀況。(前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經環保署同意後調整。)」。

本項「加工品持續浸泡地下水溶出試驗」作業流程，詳圖 3.2-1 所示，分別如下，研析成果如后說明。

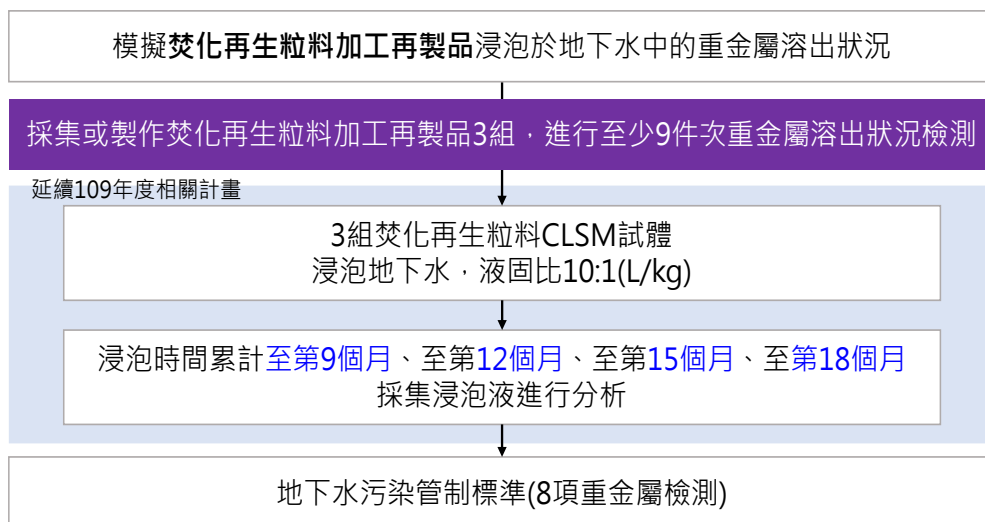


圖 3.2-1 「模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況」之作業流程

一、持續模擬焚化再生粒料加工再製品 CLSM 浸泡地下水之溶出試驗

(一) 本試驗背景說明

1. 現行管理方式(垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式)允許焚化再生粒料之加工再製品不受地下水位距離限制(使用於陸地時，應高於使用時現場地下水位一公尺以上)。
2. 109 年進行焚化再生粒料加工再製品(CLSM)浸泡地下水溶出試驗(3 廠)(詳圖 3.2-2 所示)，以瞭解焚化再生粒料加工再製品於地下水浸泡時重金屬溶出影響(0-6 個月)，本年度持續檢測以瞭解焚化再生粒料加工再製品於地下水浸泡時中長期之重金屬溶出影響。
3. 檢測結果與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較，地下水浸泡第 0 至第 6 個月溶出結果，重金屬濃度皆為 ND 或與地下水背景值無太大差異，皆低於第一類研究基準。(將與本年度試驗結果持續討論)

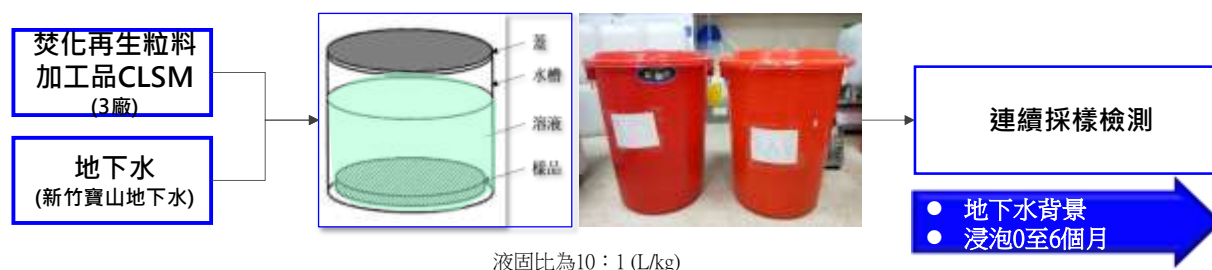


圖 3.2-2 109 年進行焚化再生粒料加工再製品(CLSM)浸泡地下水溶出試驗示意

(二) 模擬焚化再生粒料加工再製品 CLSM 浸泡地下水之溶出試驗

1. 作法：持續 109 年焚化再生粒料加工再製品 CLSM (3 組)浸泡地下水試驗之採樣、檢測及分析試驗。
2. 目的：確認焚化再生粒料加工品 CLSM 經地下水浸泡中長期溶出影響。

提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，模擬焚化再生粒料 CLSM 加工再製品持續浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況，以瞭解浸泡於地下水中的焚化再生粒料加工再製品長期於地下水環境中之溶出狀況。

3. 規劃說明：持續至浸泡第 12 個月、第 15 個月及第 18 個月採樣檢

測(3 廠共 9 件次)。

(1) 109 年模擬焚化再生粒料加工再製品 CLSM 浸泡地下水之溶出試驗說明

- A. 環保署 109 年無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫之焚化再生粒料加工再製品 CLSM(3 組)浸泡地下水試驗於 109 年 3 月，檢測浸泡第 0 至第 6 個月。
- B. 試驗對象：挑選重金屬溶出量較高之焚化再生粒料製成控制性低強度回填材料(CLSM)。焚化再生粒料來源為 3 座焚化廠(再利用機構)：包含基隆市天外天廠(永盛開發)、臺中市烏日廠(旭遠科技)及高雄市仁武焚化廠(路竹自篩廠)。
- C. 加工再製品 CLSM 製作配比：3 組 CLSM 製作配比，詳表 3.2-1。

- (a) 基隆市天外天廠(永盛開發)、臺中市烏日廠(旭遠科技)之 CLSM 加工再製品係由實驗室使用台泥公司生產卜特蘭水泥第 I 型水泥，製作圓柱試體(100 mm-D×200 mm-H)。

其配比參考環保署公告「焚化底渣再生粒料應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊」，配比為水固比 0.25：1、水灰比 2：1，焚化再生粒料添加量係參考高雄市規範，每立方公尺 CLSM 使用 800 公斤焚化再生粒料。

- (b) 高雄市仁武焚化廠(路竹自篩廠)之 CLSM(120 mm-D×240 mm-H)加工再製品係由高雄市環保局之委辦混凝土預拌廠提供。

其配比為水固比 0.19、水灰比 2.18，焚化再生粒料取代率為每立方公尺 CLSM 約使用 400 公斤焚化再生粒料。

表 3.2-1 焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水溶出試驗 CLSM 製作配比

焚化再生粒料來源	配比				水固比	水灰比
	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	焚化再生粒料 (kg/m ³)	天然粒料 (kg/m ³)		
基隆市天外天廠(永盛開發)	320	160	800	480	0.25	2
臺中市烏日廠(旭遠科技)	320	160	800	480	0.25	2
高雄市仁武焚化廠(路竹自篩廠)	240	110	374	871	0.19	2.18

註：仁武焚化廠之 CLSM 圓柱試體及製作配方由環保局委辦混凝土預拌廠提供。

D. 試驗內容：檢測地下水浸泡第 0 至第 6 個月溶出結果

- (a) 109 年「無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫」係取固化齡期 7 天之 3 組焚化再生粒料(天外天焚化廠、烏日焚化廠、仁武焚化廠)及 1 組天然砂石的 CLSM 圓柱試體進行試驗，試驗於 109 年 3 月開始執行，採集新竹(寶山地區)地下水作為萃取液，液固比控制(L/kg)為 10。
- (b) 模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水至第 0 小時、至第 6 小時、至第 1 天、至第 7 天、至第 1 個月(30 天)、至第 3 個月(90 天)及至第 6 個月(180 天)，採集不同累積浸泡時間之浸泡液進行分析。

E. 檢測方法

分析浸泡液中重金屬濃度檢測項目為砷、鎘、鉻、銅、鉛、汞、鎳、鋅，檢測項目與方法參見表 3.2-2。

除浸泡液金屬汞依據冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA R314)進行分析外，其他金屬(砷、鎘、鉻、銅、鉛、鎳、鋅)皆依據事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法－酸消化法(NIEA R306)消化後，再以感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA M104)進行分析。

表 3.2-2 地下水浸泡液中重金屬檢測方法

檢測項目	檢測方法
浸泡液金屬/(鉛、鎘、鉻、銅、砷、鎳、鋅)	- 事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法－酸消化法(NIEA R306) - 感應耦合電漿原子發射光譜法/(NIEA M104)
浸泡液金屬/汞	冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA R314)

資料來源：本計畫彙整。

- (2) 本年度試驗：延續進行此試驗設備，採集浸泡於地下水累計時間約 9 個月(採樣時間 109 年 12 月)、12 個月(採樣時間 110 年 3 月)、15 個月(採樣時間 110 年 6 月)及 18 個月(採樣時間 110 年 9 月)之浸泡液，每 3 個月更換地下水(模擬地下水以約 1 公尺/年緩慢流速下之重金屬溶出情況)，進行 8 項重金屬(砷、鎘、鉻、銅、鉛、汞、鎳、鋅)檢測分析，樣品數量規劃如表 3.2-3 所示。

表 3.2-3 焚化再生粒料加工再製品 CLSM 地下水浸泡液採集樣品規劃

焚化再生粒料加工再製品	累積浸泡月數(計畫採樣時間)	採集樣品(件)
基隆市天外天廠(永盛開發)	・浸泡第 9 個月(109 年 12 月)	4
臺中市烏日廠(旭遠科技)	・浸泡第 12 個月(110 年 3 月)	4
高雄市仁武焚化廠(路竹自篩廠)	・浸泡第 15 個月(110 年 6 月)	4
	・浸泡第 18 個月(110 年 9 月)	4
總計		12

資料來源：本計畫研擬。

3.4 章節摘要

有關本章「提升無機循環材料應用品質及利用試驗驗證，進行熟化處理模組對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗，模擬加工再製品持續浸泡地下水的溶出狀況」，主要工作項目為：「(一)進行散水通氣熟化處理對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗【散水通氣熟化試驗建立模組降低溶出】、(二)模擬焚化再生粒料加工製品持續浸泡地下水中重金屬溶出狀況【加工品持續浸泡地下水溶出試驗】、(三)模擬焚化再生粒料加工製品破碎後混凝土塊環境用途溶出狀況【加工品破碎後環境用途溶出試驗】」。

- (一) 進行散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗 (詳如 3.1 節)
1. 完成桃園市 BOO 廠、臺中市烏日廠、新北市八里廠、宜蘭縣利澤廠之第 1 階段散水通氣熟化試驗(64 件次)，第 2 階段以新北市樹林廠、苗栗縣竹南廠、嘉義市廠及高雄市中區廠產製之焚化再生粒料為驗證組(4 件次)，共計 68 件次。
 2. 對於粒料 pH 值小於 12.1 的焚化再生粒料，測試最適參數為通氣

量 1 L/min(50 L/Ton/min) 10%二氧化碳、通氣時間 2 天、散水強度 0.1 L/kg 使用 2 公升散水量，散水通氣試驗具有最佳熟化效果，試驗後上層(0-10 公分)及底層(40-50 公分)樣品皆能低於第二級環境標準，或使原初始樣品溶出濃度高於第一級環境標準者，經由散水通氣後低於第一級環境標準。

3. 對於粒料 pH 值大於 12.1 且高濃度鉛溶出的焚化再生粒料，無法以最適參數(通氣量 1 L/min(50 L/ton/min)10%二氧化碳、通氣時間 2 天、散水強度 0.1 L/kg)，經由散水通氣試驗後，樣品無法符合第二級環境標準，必須調整研提之散水通氣操作參數，或以添加穩定化藥劑方式，達到降低重金屬溶出目的。
4. 焚化再生粒料經過散水通氣熟化後重金屬砷、鎘、汞、鎳之溶出與初始樣品並無明顯變化，數值大部分為 ND 或接近 ND；鋅之溶出則有部分料源會升高，有部分降低，推測是料源差異導致；鉛及銅溶出會下降，越靠近進氣口(底層樣品)、越長的通氣時間、較高的通氣量皆能有效降低鉛、銅溶出；鉻溶出則是呈現上升的趨勢，越靠近進氣口、越長通氣時間、較高通氣量都可能使鉻溶出上升，而上升幅度也會因料源差異而有所不同。
5. 計畫提出散水通氣處理模組，規劃批次處理量為 25 噸，估算每噸處理費 1,770 元，相較國內外之處理成本，散水通氣處理成本仍偏高，亦可再透過調整通氣量、氣體濃度或通氣時間來找到較佳參數，降低操作成本。
6. 散水通氣試驗目前屬於實驗室測試階段，且熟化成效受料源影響甚大，因此在未來推廣部分，建議考量粒料特性、設置場地規模、廠商意願及技術需求等，再彈性調整參數，並視需求評估規劃。

(二) 模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況並與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較 (詳如 3.2 節)

1. 完成焚化再生粒料 CLSM 加工再製品浸泡地下水試驗的浸泡累計時間至第 9、12、15 至第 18 個月之浸泡液採樣及檢測，計 12 件次。
2. 重金屬濃度皆為 ND 或與地下水背景值無太大差異，皆低於第一類研究基準。

(三) 新增模擬焚化再生粒料加工製品破碎後混凝土塊環境用途溶出狀況（詳如 3.3 節）

1. 完成固化齡期 13 個月及 15 個月之焚化再生粒料加工再製品控制性低強度回填材料(CLSM)破碎後環境用途溶出試驗，計 6 件次。
 - (1) 鉛溶出濃度隨固化齡期增加而降低，於固化齡期 5 個月後，鉛溶出濃度趨於穩定。
 - (2) 銅溶出濃度隨固化齡期增加而降低，於固化齡期 13 及 15 個月後，銅溶出濃度無明顯變動。
 - (3) 鉻溶出濃度隨固化齡期增加而上升，推測是原先固定在水泥 CLSM 試體中鈣礬石礦物的鉻溶解釋出。
2. 完成固化齡期 1 個月及 3 個月之焚化再生粒料低密度再生透水混凝土破碎後環境用途溶出試驗，並與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較，計 2 件次。
 - (1) 檢測結果顯示，砷、鎘、銅、汞、鎳、鋅溶出低於第一類研究基準；鉛及鉻溶出濃度高於第一類研究基準但低於第二類研究基準。

第四章 續辦焚化再生粒料槽體試驗之海水溶出檢測，並進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填對鄰近海域水質影響

第四章 續辦焚化再生粒料槽體試驗之海水溶出檢測，並進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填對鄰近海域水質影響

有關「辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響」此項工作，本計畫已初擬辦理事項之作業流程，詳圖 4-1，依序說明如后。

- 一、批次槽體海水溶出試驗持續檢測 — 延續上年度底辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測(檢測持續浸泡 0-30 日間)，本年持續於槽底取樣口進行浸泡液之定期(檢測持續浸泡第 6 個月至第 12 個月間)採樣及檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時中長期重金屬溶出之狀況，進行至少 16 件次重金屬及氫離子濃度指數檢測。(前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經本署同意後調整。)，詳 4.1 節。
- 二、港區填築應用海域水質擴散模擬 — 依據前述焚化再生粒料槽體試驗海水溶出重金屬檢測結果，利用港區既有海象現場觀測資料，據以進行港區填築應用海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質環境之可能影響，並依結果辦理專家諮詢會議、研商會議或說明會議，詳 4.2 節。

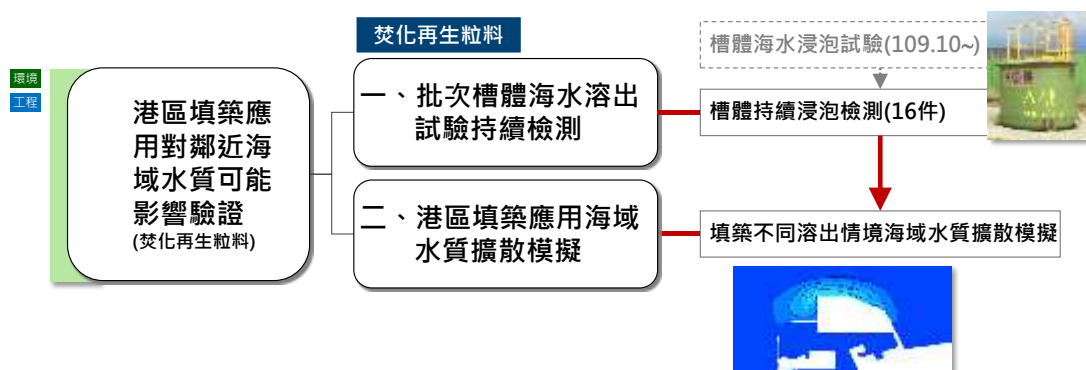


圖 4-1 「續辦槽體海水溶出檢測，並進行擴散模擬，以瞭解造地回填時對海域水質影響」之作業流程

4.1 續辦焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測 【批次槽體海水溶出試驗持續檢測】

本項工作重點為「批次槽體海水溶出試驗持續檢測」，內容依據評選文件為「辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，於槽底取樣口進行浸泡液之定期採樣及檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時重金屬溶出之狀況，並進行至少 16 件次重金屬及氫離子濃度指數檢測。(前述工作內容之粒料種類、採集及試驗分析數量分配，可依計畫需求經本署同意後調整。)」。

本項工作主要延續上年度底辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測(檢測持續浸泡 0-30 日間)，本年持續於槽底取樣口進行浸泡液之定期(檢測持續浸泡第 6 個月至第 12 個月間)採樣及檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時中長期重金屬溶出之狀況。主要包含：一、上年度辦理焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗目的及概況(檢測持續浸泡 0-30 日間)。二、本年度持續進行「焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗」海水溶出檢測結果及分析(檢測持續浸泡第 6 個月至第 12 個月間)。茲分別說明如后：

一、上年度辦理「焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗」之目的及概況

(一) 背景說明

1. 「焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗」為焚化再生粒料應用於臺北港回填料源前的 3 階段評估工作(實驗室試驗階段、現地開挖回填試驗階段、環評作業(含差異分析)階段，詳圖 4.1-2)中第 2 階段—現地開挖回填試驗階段之先期工作。

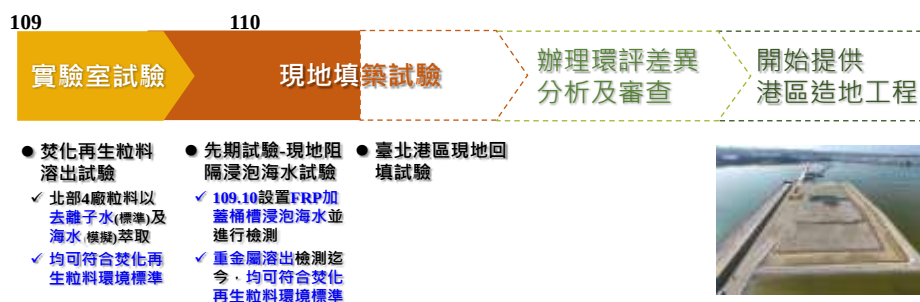


圖 4.1-2 焚化再生粒料運用於臺北港回填料源前的 3 階段評估工作

2. 各類再生粒料應用於港區造地填築前 3 階段評估，主要參考轉爐石應用於臺北港區造地填築前評估模式，相關評估完備後(如工程性、環境性)可行才開始提供港區造地工程填築。其中焚化再生粒料也自上年度(109 年)開始著手推動。

(1) 第 1 階段 — 實驗室試驗階段

- A. 目的：為確保再生粒料(如焚化再生粒料)之產品品質。
- B. 焚化再生粒料辦理狀況：焚化再生粒料於 109 年 4 月進行實驗室溶出試驗，包含以去離子水及海水溶出，結果均可符合焚化再生粒料環境標準。

(2) 第 2 階段 — 現地開挖回填試驗階段

- A. 目的：為確認再生粒料(如焚化再生粒料)於港區進行現地回填試驗對現地影響。
- B. 焚化再生粒料辦理狀況：依臺灣港務公司建議，於 109 年 10 月辦理先期試驗 — 「焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗」迄今(即本試驗階段)。並待槽體試驗確認後再續辦實際現地開挖回填試驗(尚未辦理)。

(3) 第 3 階段 — 環評作業(含差異分析)階段

- A. 目的：以作為港區造地還填料源進行環評作業(含差異分析)為取得新增回填料源許可，完成後即可作為港區填築料源(尚未辦理)。
- B. 焚化再生粒料辦理狀況：尚未辦理。

(二) 焚化再生粒料第 1 階段—實驗室試驗階段結果說明

1. 試驗方法

- (1) 於 109 年 4 月進行，以再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)進行(以去離子水浸泡 6 小時及攪拌，液固比 10：1)(標準方法)。
- (2) 考量未來港區造地填築主要可能與海水接觸，並增加以此方法改以海水(浸泡 6 小時及攪拌，液固比 10：1，模擬實況)為萃取液進行。

2. 試驗對象：選定北部 4 座焚化廠(新北市新店廠、樹林廠、八里廠

及臺北市北投廠)由公有自篩廠產製之焚化再生粒料。

3. 試驗結果

- (1) 以標準方法(以去離子水浸泡 6 小時及攪拌，液固比 10:1)檢測結果：4 廠焚化再生粒料均可符合焚化再生粒料環境標準第 2 級標準。
- (2) 以模擬實況(以海水浸泡 6 小時及攪拌，液固比 10:1)檢測結果：雖溶出濃度約略稍高於標準方法(以去離子水浸泡 6 小時)檢測，但均可符合焚化再生粒料環境標準第 2 級標準。

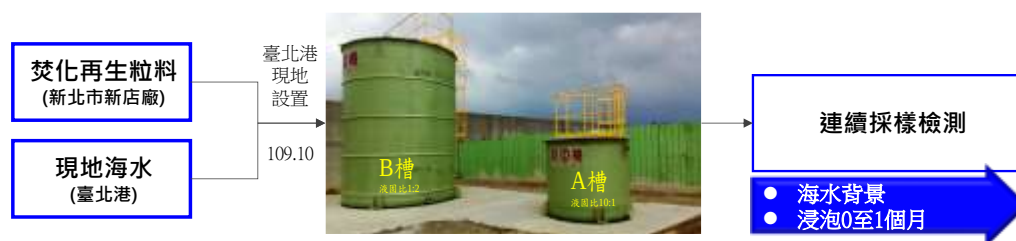
(三) 焚化再生粒料第 2 階段 — 現地開挖回填試驗階段中「焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗」辦理概述(檢測持續浸泡第 0 日至第 30 日間)

1. 試驗目的

- (1) 本試驗主要透過設置具阻隔現地環境之 FRP 加蓋槽體，槽體內以回填 1 批次之焚化再生粒料並引入海水浸泡，定期進行浸泡液之採樣檢測(檢測持續浸泡第 0 日至第 30 日間)，以先瞭解焚化再生粒料運用於造地回填時接觸海水時溶出狀況。
- (2) 本試驗會確認對海水溶出狀況無虞後，始推動及申請下階段「焚化再生粒料用於臺北港區現地回填試驗」。

2. 工作內容與方法(109.10-109.12)

- (1) 訂製具阻隔現地環境之 FRP 加蓋槽體：依回填焚化再生粒料及浸泡海水等需求，109 年 8 月~10 月規劃設計製作之 FRP 加蓋桶槽，同時於槽側底部設置取樣口 (如圖 4.1-3)。



- **A槽(主試驗)：**回填焚化再生粒料(0.2m³)，液固比10:1 (L/kg) (液固比與再生粒料環境用途溶出程序NIEA R222相同)
- **B槽(參考組)：**回填焚化再生粒料(25m³)，液固比1:2 (L/kg) (履約規定)

資料來源：環保署，109 年，無機循環材料環境應用與整合專案計畫。

本計畫彙整。

圖 4.1-3 焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗示意

(2) 槽體規格

A. A 槽(主試驗)：與再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)相同液固比 10：1 (L/kg)條件，為 5m³ 之桶槽，裝載 0.2m³ 之焚化再生粒料及 4m³ 之海水。

B. B 槽(參考組)：與下階段焚化再生粒料現地回填試驗相同容積 25m³ 條件，為 50 m³ 之桶槽，裝載 25m³ 之焚化再生粒料及 25m³ 之海水。【補充說明】：由於受限於槽體容積，未來實際現地回填之海水量將遠大於槽體海水量 25m³，液固比將遠大於 B 槽值，故本槽試驗僅作參考對照。

(3) 試驗對象：供料準備以北部區域優先，由新北市八里自篩廠提供來自新北市新店焚化廠之焚化再生粒料。其品質已檢測符合焚化再生粒料環境標準之第 2 級標準(詳表 4.1-1)。

(4) 現地架設：109 年 10 月將 FRP 加蓋桶槽設置地點於臺北港第 2 期物流倉儲區防風林區(造地完成面靠東側中隔堤處)(如圖 4.1-4)，進行鋪設基座及基底固定。FRP 加蓋桶槽具阻隔效果，可避免本試驗直接影響臺北港現地環境，且具地點設置之機動性及試驗完畢移除之便利性。



本計畫彙整。

圖 4.1-4 焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗於臺北港物流倉儲區第 2 期位置示意

(5) 槽體進料及引入海水：現地施工完成後即進行焚化再生粒料

槽體進料作業(109 年 10 月 22 日，設定為海水浸泡第 0 日)。
並以抽水機將海水引入，並注滿槽體，使焚化再生粒料完全
浸泡於海水中。

【補充說明】本試驗主要模擬當焚化再生粒料作為港區
圍填範圍內造地回填料源時，回填料填築層可能浸泡於海水之
中情境。由於在圍填範圍內填築，暫不考慮海水流動狀況。

(6) 槽體水質採樣及檢測(檢測海水浸泡第 0 日至 30 日間)

A. 於槽底取樣口進行浸泡液之採樣及檢測，以瞭解
焚化再生粒料運用於造地回填時，實際接觸海水時重金屬溶
出之狀況。

B. 檢測方法：主要以環保署公告檢測方法或國際認
可之檢測方法，檢測項目及方法如表 4.1-2 所示。萃出液之
pH 及重金屬檢測項目包含 pH、鎘(Cd)、鉛(Pb)、砷(As)、汞
(Hg)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鋅(Zn)等重金屬。

表 4.1-2 焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗之檢測方法

檢測項目	檢測方法
海水中鎘、海水中銅、海水中鎳、海水中鉛、海水中鋅	海水中鎘、鈷、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測前處理方法－鉍合離子交換樹脂濃縮法(NIEA W308)/ 水中金屬及微量元素檢測方法－感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA W311)
海水中鉻	水中金屬及微量元素檢測方法－感應耦合電漿原子發射光譜法(NIEA W311)
海水中砷	水中砷檢測方法－連續流動式氫化物原子吸收光譜法(NIEA W434)
海水中汞	水中汞檢測方法－冷蒸氣原子吸收光譜法(NIEA W330)
氫離子濃度指數 (pH)	水之氫離子濃度指數 (pH 值) 測定方法－電極法(NIEA W424)

資料來源：環保署，109 年，無機循環材料環境應用與整合專案計畫。本計畫彙整。

(7) 本槽體試驗於 109 年 10 月 22 日現地設置，進行海水背景濃
度、海水浸泡起第 4 日、第 7 日、第 10 日、第 14 日、第 16
日、第 19 日、第 22 日，(詳表 4.1-3)採樣檢測 16 次(2 槽各 8
次)，並與焚化再生粒料環境標準第 2 級標準比較。

表 4.1-3 焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗採樣時間及對應海水浸泡日數

槽體		浸泡日數 (海水浸泡累積日數)	採樣時間
主試驗	參考組		
A 槽 (液固比 10:1)	B 槽 (液固比 1:2)	●上年度計畫	
		第 0 日(海水背景)	109.10.22
		第 4 日	109.10.25
		第 7 日	109.10.28

		第 10 日	109.10.31
		第 14 日	109.11.04
		第 16 日	109.11.06
		第 19 日	109.11.09
		第 22 日	109.11.12
		●本年度計畫(110.03.24 開始)	
		第 6 個月	110.04.28
		第 7 個月	110.06.09
		第 8 個月	110.07.08
		第 9 個月	110.07.28
		第 9.5 個月	110.08.16
		第 10 個月	110.08.31
		第 10.5 個月	110.09.15
		第 11 個月	110.09.30

資料來源：1. 上年度計畫：環保署，109 年，無機循環材料環境應用與整合專案計畫。
本計畫研擬。

說明：此段期間因應 COVID-19 疫情第三級警戒彈性調整辦理(110.05.19 起)。

- (8) 上年度(109 年)試驗結果(檢測持續浸泡 0-30 日間):從採樣檢測海水背景濃度、海水浸泡起至 1 個月間(第 4 日、第 7 日、第 10 日、第 14 日、第 16 日、第 19 日、第 22 日)之各種重金屬溶出均符合焚化再生粒料環境標準第 2 級標準(詳表 4.1-4 所示)。

二、本年度持續進行「焚化再生粒料浸泡海水槽體試驗」海水溶出檢測結果及分析 (檢測持續浸泡第 6 個月至第 12 個月間)

- (一) 作法：以上年度 109 年 10 月現地槽體浸泡海水試驗設置槽體(內容物未變動)，持續進行第 6 個月至第 12 個月間之採樣、檢測及分析。
- (二) 目的：持續觀察或瞭解焚化再生粒料進行填築時，經海水浸泡之中長期溶出影響。
- (三) 本年度試驗規劃
 1. 試驗內容：本年度持續檢測持續浸泡第 6 個月至第 12 個月間，詳表 4.1-4，自 110.04 起分 8 次，2 槽總計 16 件次。
 2. 採樣期程規劃：採樣以 2 槽海水浸泡第 6 個月（110 年 4 月 28 日辦理）起預訂分別於第 7 個月、第 8 個月、第 9 個月、第 9.5 個月、第 10 個月、第 10.5 個月、第 11 個月。此段期間因應 COVID-19 疫情第三級警戒實際採樣日程及時間彈性調整辦理(110.05.19 起)。
 3. 檢測方法：同 109 年試驗(檢測項目及方法如表 4.1-2)，主要以環

保署公告檢測方法或國際認可之檢測方法，萃出液之 pH 及重金屬檢測項目包含 pH、鎘(Cd)、鉛(Pb)、砷(As)、汞(Hg)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鋅(Zn)等重金屬。

4.2 依前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之可能影響 【港區填築應用海域水質擴散模擬】

本項工作內容，依據契約書為「依據前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之可能影響，依結果協助辦理專家會議、研商會議或說明會議。」。

一、依據焚化再生粒料槽體試驗海水溶出重金屬檢測結果進行焚化再生粒料應用於港區造地填築海域水質之擴散模擬

(一) 模擬目的

由於利用無機循環材料於海域進行填築，其有可能會釋放出重金屬離子，同時影響海水之 pH 值，因此本計畫利用數值模式，針對填築之無機循環材料可能釋放之重金屬濃度，進行臺北港海域水質擴散模擬，以瞭解填築無機循環材料可能對海域水質產生之影響。

(二) 情境說明-依槽體試驗結果進行

本計畫規劃現地數據來進行模擬，前述章節之槽體試驗含 A 及 B 兩槽體，其中 A 槽為主試驗，與再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)相同液固比 10：1 (L/kg)條件，B 槽則為參考組(液固比 1：2 (L/kg))，初步預測未來焚化再生粒料實際填築港區時，由於海水量相對遠大於焚化再生粒料填築量，亦即液固比亦將遠大 10，故 B 槽試驗僅作參考對照。為儘可能符合環境現況，本次模擬將使用 A 槽體試驗量測之重金屬濃度結果，並配合預計要填築之可能總量進行推估。

目前臺北港之轉爐石計畫年收容量可達 48.2 萬方，未來假設預估焚化再生粒料可占其 30%，按此估算每年約有 15 萬方(30 萬公噸)焚化再生粒料可進台北港填築。

(三) 既有海象現場觀測資料

本節除整理歷年氣象局及港研中心測站之歷史長期統計資料(包含海流、波浪及潮位)外，亦蒐集 108 年中山大學於臺北港放置之短期 ADCP 資料，包含潮位及海流資料，主要介紹歷史海流(含流速統計及流向統計)、歷史波浪(含波高統計、週期統計及波向統計)、歷史潮位、短期量測資料(含潮汐資料及海流資料)。臺北港海域海流流速四季型態變化，變動幅度不大，以秋冬季平均流速稍高，春季最接近全年平均流速，夏季流速較低。由於海流觀測站離岸不遠，水體移動受到海岸線之限制，主要均為依海岸線方向作往復流動，隨季節並無明顯的變化。另有關臺北港海流流速、流向與水位變化等既有海項現場觀測資料之相關資訊詳附件 8。

(四) 海域水質擴散模擬模式說明

本計畫使用 ROMS (Regional Ocean Modeling System)進行台北港 3 維海流模式的建置。ROMS 由 Arango (Rutger Univesity)、Ezer (Princeton University)及 Shchepetkin (UCLA)所領導發展(Wilkin et al., 2005 ; Di Lorenzo et al., 2007 ; Warner et al., 2008)，經費則是由 Office of Naval Research (ONR)及 Ocean Modeling and Prediction Program 所贊助。ROMS 原始的運動方程式包含了兩個假設的條件，一為 Boussinesq approximation，及水體內部的密度差異可忽略，另一為 hydrostatic approximation，及垂直壓力梯度力與浮力平衡，其為自由表面計算模式系統，垂直座標使用 s 座標系統，並符合 Earth System Modeling System 架構，可以很容易的與符合此架構的模式進行耦合運算。ROMS 的動態核心包含了四個模式系統，分別是 nonlinear (NLM)、tangent linear(TLM)、representer tangent linear(RPM)及 adjoint (ADM)，此四個模式系統可以藉由不同的驅動方式分開或者同時進行運算。除了上述四個模式系統，ROMS 在資料同化的也提共了兩種狀態的計算方式，分別為 Strong (S4DVAR, IS4DVAR)及 Weak (W4DAVR)，因此 ROMS 在各種狀況的使用是相當靈活的。

ROMS 原始的運動方程式包含了兩個假設的條件，一為 Boussinesq approximation，及水體內部的密度差異可忽略，另一為 hydrostatic approximation，及垂直壓力梯度力與浮力平衡，因此以卡氏坐標表現方

程式如下所述，分別為

1. 基本控制方程式

連續方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots(4.2-1)$$

x 及 y 方向的動量方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} \bullet \Delta u - fv &= -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} \bullet \Delta v - fu &= -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4.2-2)$$

溫度及鹽度擴散方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \bullet \nabla T &= F_T + D_T \\ \frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \bullet \nabla S &= F_S + D_S \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4.2-3)$$

靜水壓平衡方程式

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{-\rho g}{\rho_0} \quad \dots\dots\dots(4.2-4)$$

狀態方程式(equation of state)

$$\rho = \rho(T, S, P) \quad \dots\dots\dots(4.2-5)$$

其中 $\vec{v}$ 為流速在水平(u 及 v)及垂直(w)的分量，T 為溫度，S 為鹽度，f 為科氏力係數， ϕ 為動態壓力，P 為總壓力，g 為重力加速度， ρ_0 為水的參考密度， ρ 為水的當地密度，(D_S, D_T, D_v, D_u) 為擴散項，(F_S, F_T, F_v, F_u) 則為外力項。

2. 垂直及水平邊界條件

ROMS 在垂直邊界條件的理論如下，在表層($z = \zeta(x, y, t)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_s^x(x, y, t) \quad \dots\dots\dots(4.2-6)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_s^y(x, y, t) \quad \dots\dots\dots(4.2-7)$$

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_P} + \frac{1}{\rho_0 c_P} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref}) \quad (4.2-8)$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = (E - P)S \quad (4.2-9)$$

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (4.2-10)$$

在底層($z = -h(x, y)$)

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_b^x(x, y, t) \quad (4.2-11)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_b^y(x, y, t) \quad (4.2-12)$$

$$\begin{aligned} \tau_b^x &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})u \\ \tau_b^y &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})v \end{aligned} \quad (4.2-13)$$

$$K_T \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (4.2-14)$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad (4.2-15)$$

$$-w + \vec{v} \bullet \nabla h = 0 \quad (4.2-16)$$

其中 E 蒸發量，P 為降雨量， Q_T 為表層熱通量， (τ_s^x, τ_s^y) 為表層風剪力， (τ_b^x, τ_b^y) 為底床磨差力， γ_1 為線性底床摩擦係數， γ_2 為二次底床摩擦係數。

模式在進行實際狀況模擬時，同常在邊界或者是模擬範圍內皆會出現陸地點，因此水平方向的邊界條件處理便相當重要，特別是在當邊界不為一直線延伸時最需要進行處理，ROMS 會在這種條件下增加高階的邊界條件，在東西向以 u 為例表示如下

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h\nu}{mn} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (4.2-17)$$

在南北向則表示如下

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h\nu}{mn} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (4.2-18)$$

在其他變數 v 、 S 及 T 皆有相似的邊界條件。

3. 網格變數配置

ROMS 水平網格變數配置採用 Arakawa C 格點位置，如圖 4.2-1 左圖所示，變數水位(zeta)、密度(ρ)及動態/非動態追蹤點位於網格的中央位置，水平的流速(u 及 v)則位於網格東/西及南/北的邊緣；垂直網格配置如圖 4.2-1 右圖所示，垂直分層厚度依照不同水深會有不一樣的變化，水平的動量項(流速 u 、 v 、密度 ρ 及動態/非動態追蹤點)分配於往格的中央，垂流通速(w)及垂直混和變數(Akt 、 Akv ...等)則置於網格上下邊緣。

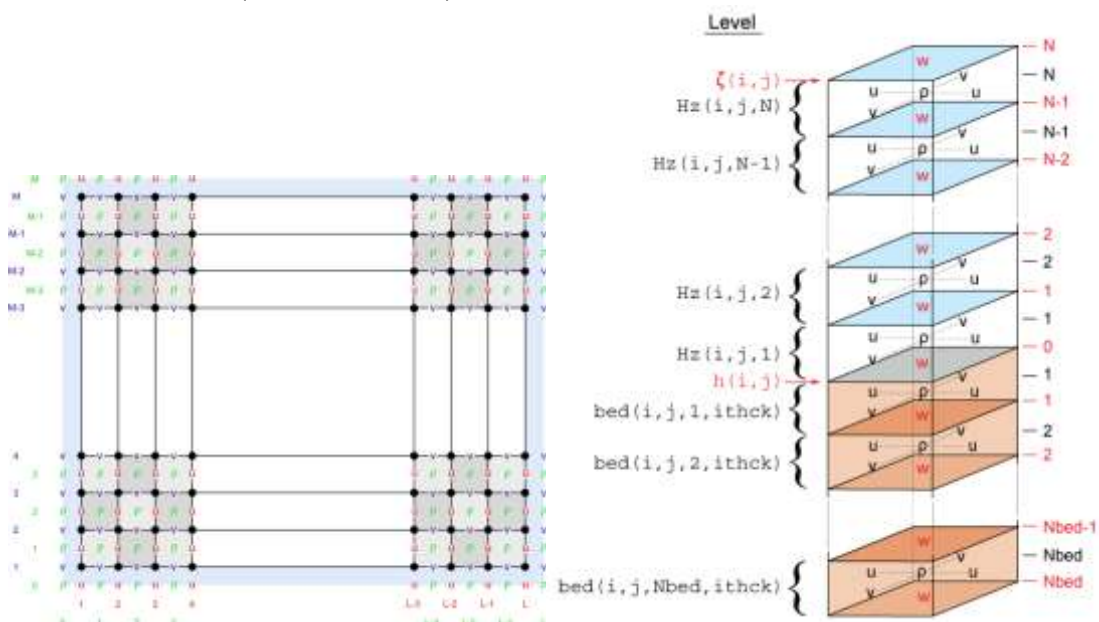


圖 4.2-1 ROMS 水平網格及垂直網格變數配置

4. 垂直 S 坐標系統

傳統的 z 坐標系統在遇到地形變化很大的地方，會產生網格不連續的現象，因此變出現了可依據地形變化等比例分配的坐標系統(sigma 坐標)，此坐標系統最早是應用在大氣方面，其後才使用於海洋的模擬。ROMS 使用的坐標系統為 S 坐標，此坐標系統為 Song 及 Haidvogel (1994)改進 sigma 坐標系統而來，其主要的優點是可使用非等比例進行垂直分層，讓使用者可以針對有興趣的區域進行密度較高的分層，如附圖 4.2-2。以下為 S 坐標的定義：

$$x = x$$

$$y = y$$

$$\hat{t} = t$$

$$z = \zeta + (1 + \frac{\zeta}{h})[h_c s + (h - h_c)C(s)]$$

$$C(s) = (1-b) \frac{\sinh(\theta s)}{\sinh \theta} + b \frac{\tanh\left[\theta(s + \frac{1}{2})\right] - \tanh(\frac{1}{2}\theta)}{2 \tanh(\frac{1}{2}\theta)} \dots\dots\dots(4.2-19)$$

其中 s 介於 0(表層 ζ) ~ -1(底層 h)之間， (θ, b) 為 S 坐標的表層及底層參數， $1 < \theta \leq 20$ ， $0 \leq b \leq 1$ ，當 $\theta = 0$ 則可轉換成傳統的 sigma 坐標，藉由調整 b 值則可增加或減少底層的層數。

兩種不同的坐標轉換方式如下

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \frac{\partial}{\partial z} &= \left(\frac{\partial s}{\partial z}\right) \frac{\partial}{\partial s} = \frac{1}{H_z} \frac{\partial}{\partial s} \end{aligned} \dots\dots\dots(4.2-20)$$

其中 $H_z = \frac{\partial z}{\partial s}$ 。

經過上述的坐標轉換，ROMS 的動態方程式可以轉換如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} - f v + \vec{v} \bullet \nabla u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} - \left(\frac{g\rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F_u + D_u \dots\dots\dots(4.2-21)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + f u + \vec{v} \bullet \nabla v = -\frac{\partial \phi}{\partial y} - \left(\frac{g\rho}{\rho_0}\right) \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + F_v + D_v \dots\dots\dots(4.2-22)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \bullet \nabla T = F_T + D_T \dots\dots\dots(4.2-23)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{v} \bullet \nabla S = F_S + D_S \dots\dots\dots(4.2-24)$$

$$\rho = \rho(T, S, P) \dots\dots\dots(4.2-25)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = \left(\frac{-gH_z \rho}{\rho_0} \right) \dots\dots\dots (4.2-26)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} + \frac{\partial(H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_z v)}{\partial y} + \frac{\partial(H_z \Omega)}{\partial s} = 0 \dots\dots\dots (4.2-27)$$

其中

$$\begin{aligned} \vec{v} &= (u, v, \Omega) \\ \vec{v} \bullet \nabla &= u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \Omega \frac{\partial}{\partial s} \\ \Omega(x, y, s, t) &= \frac{1}{H_z} \left[w - (1+s) \frac{\partial \zeta}{\partial t} - u \frac{\partial z}{\partial x} - v \frac{\partial z}{\partial y} \right] \\ w &= \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \Omega H_z \end{aligned} \dots\dots\dots (4.2-29)$$

垂直的邊界條件變為，表層(s=0)

$$\left(\frac{K_m}{H_z} \right) \frac{\partial u}{\partial s} = \tau_s^x(x, y, t) \dots\dots\dots (4.2-30)$$

$$\left(\frac{K_m}{H_z} \right) \frac{\partial v}{\partial s} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$\left(\frac{K_T}{H_z} \right) \frac{\partial T}{\partial s} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref}) \dots\dots\dots (4.2-31)$$

$$\left(\frac{K_S}{H_z} \right) \frac{\partial S}{\partial s} = \frac{(E-P)S}{\rho_0} \dots\dots\dots (4.2-32)$$

$$\Omega = 0 \dots\dots\dots (4.2-33)$$

在底層($z = -h(x, y)$)

$$\left(\frac{K_m}{H_z} \right) \frac{\partial u}{\partial s} = \tau_b^x(x, y, t) \dots\dots\dots (4.2-34)$$

$$\left(\frac{K_m}{H_z} \right) \frac{\partial v}{\partial s} = \tau_b^y(x, y, t) \dots\dots\dots (4.2-35)$$

$$\begin{aligned} \tau_b^x &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})u \\ \tau_b^y &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})v \end{aligned} \dots\dots\dots (4.2-36)$$

$$\left(\frac{K_T}{H_z}\right) \frac{\partial T}{\partial s} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.2-37)$$

$$\left(\frac{K_s}{H_z}\right) \frac{\partial S}{\partial s} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.2-38)$$

$$\Omega = 0 \quad \dots\dots\dots (4.2-39)$$

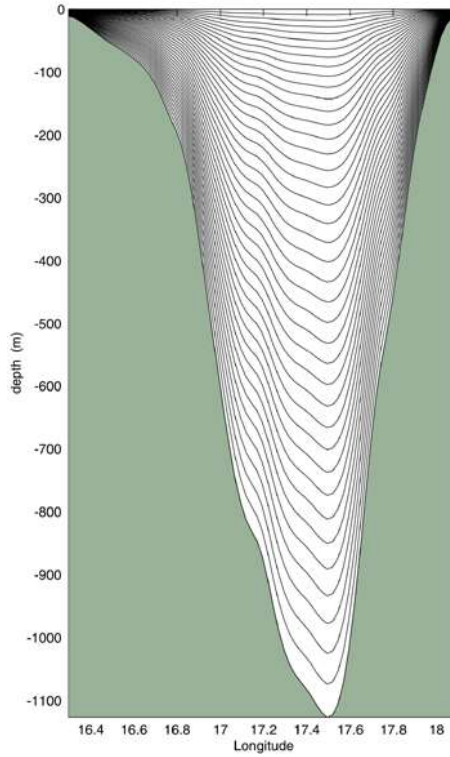


圖 4.2-2 ROMS 垂直 S 坐標示意圖

5. 水平 curvilinear 坐標

傳統的規則網格，對於計算實際曲折的海岸線，在解析力的部份是不足的，特別是針對計算流體的運動，因此 ROMS 為了解決這個問題，在水平坐標採用了可以產生不規則網格的 curvilinear 坐標系統。

設定新坐標軸 $\xi(x, y)$ 及 $\eta(x, y)$ ，則其水平弧長可以定為

$$\begin{aligned} (ds)_\xi &= \left(\frac{1}{m}\right) d\xi \\ (ds)_\eta &= \left(\frac{1}{m}\right) d\eta \quad \dots\dots\dots (4.2-40) \end{aligned}$$

其中 $m(\xi, \eta)$ 及 $n(\xi, \eta)$ 比例係數，其與實際的 $\Delta\xi$ 及 $\Delta\eta$ 是有關係的，經果坐標轉換，流速項轉入新坐標定義如下

$$\vec{v} \cdot \hat{\xi} = u, \vec{v} \cdot \hat{\eta} = v$$

將上式引入 ROMS 的動力機制，便可得到使用 curvilinear 及 S 坐標系統的公式，轉換如下

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z u}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u^2}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z uv}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z u \Omega}{mn} \right) \\ & - \left\{ \left(\frac{f}{mn} \right) + v \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{1}{n} \right) - u \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{m} \right) \right\} H_z v = \\ & - \left(\frac{H_z}{n} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} + \frac{g \rho}{\rho_0} \frac{\partial z}{\partial \xi} + g \frac{\partial \zeta}{\partial \xi} \right) + \frac{H_z}{mn} (F_u + D_u) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4.2-41)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z v}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z uv}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v^2}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z v \Omega}{mn} \right) \\ & + \left\{ \left(\frac{f}{mn} \right) + v \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{1}{n} \right) - u \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{m} \right) \right\} H_z u = \\ & - \left(\frac{H_z}{m} \right) \left(\frac{\partial \phi}{\partial \eta} + \frac{g \rho}{\rho_0} \frac{\partial z}{\partial \eta} + g \frac{\partial \zeta}{\partial \eta} \right) + \frac{H_z}{mn} (F_v + D_v) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4.2-42)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z T}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u T}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v T}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega T}{mn} \right) = \frac{H_z}{mn} (F_T + D_T)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z S}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u S}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v S}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega S}{mn} \right) = \frac{H_z}{mn} (F_S + D_S)$$

$$\rho = \rho(T, S, P)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = - \left(\frac{g H_z \rho}{\rho_0} \right) \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{H_z}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega}{mn} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(4.2-$$

43)

其中 z 為 ζ 的線性函數，因此連續方程式可以改寫為

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\zeta}{mn} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{H_z u}{n} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{H_z v}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{H_z \Omega}{mn} \right) \quad \dots\dots\dots(4.2-44)$$

以上即為使用 curvilinear 及 S 坐標 ROMS 的基本水動力方程式。

(6) 水質擴散方程式可表示如下

$$\frac{\partial(Sd)}{\partial t} + \frac{\partial(Sq_x)}{\partial x} + \frac{\partial(Sq_y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x d \frac{\partial S}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y d \frac{\partial S}{\partial y} \right] + (P - E)S$$

.....(4.2-45)

上列公式代表濃度的水平通量與濃度的水體交換及擴散通量平衡。其中 S 是水深平均濃度， d 為總水深， q_x 及 q_y 分別為 x 方向以及 y 方向之單位寬流量， P 及 E 分別為降水量以及蒸發量，單位是公尺/年。

(五) 海域水質擴散模擬結果及分析

1. 地形網格建置及邊界條件

模擬的範圍地形水深如圖 4.2-3 所示，範圍為東經 121.3-121.5 度，北緯 25.1-25.4 度。使用之水深資料為港研中心於 106 年 11 月量測之資料以及海洋學門資料庫 200 公尺網格水深資料進行內差，模擬範圍內最深處之水深約為 130 公尺。模式網格解析度設定為 50 公尺，計算網格為 400 x 600，垂直分層為 2 層，總共 1,200,000 個網格點。模式邊界採用港研中心 TAICOMS 模式資料，時間為 107 年 10 月 5 日至 107 年 11 月 30 日之潮位資料輸入，進行約 60 天之模擬。

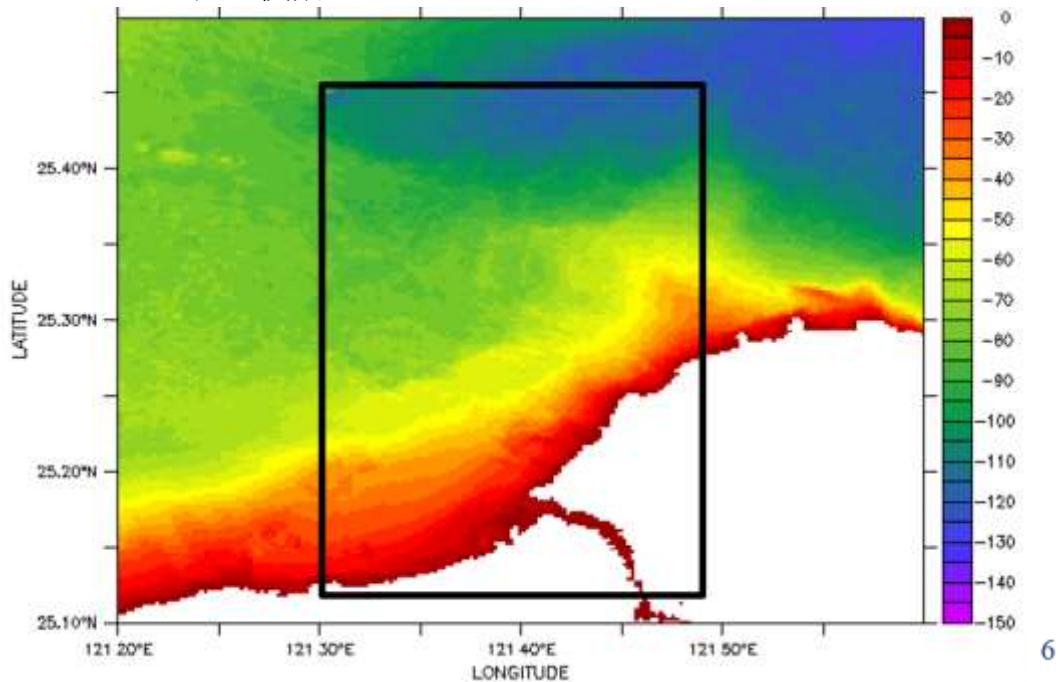


圖 4.2-3 模擬範圍地形

2. 海流模式比對結果

利用港研中心設置於臺北港港外之實測資料進行海流模式之律定與驗證，其觀測點座標位置為 TWD97 東經 121°22'28.2"，北緯 25°10'53.1"。圖 4.2-4 為模式水位與實測水位比對圖，模式與臺北測站之 RMS 誤差為 0.0703 公尺。由於目前僅取得港研中心臺北港測站表層流速資料，因此先進行表層流速比對，圖 4.2-5 即為模式結果與實測流速在 U 方向及 V 方向之時序比對圖，相關係數分別為 0.7521 及 0.701。圖 4.2-6 及 4.2-7 為模式結果流速分量表及底層與中山大學 ADCP 量測海流比對時序圖，U 分量表及底層相關係數為 0.734 及 0.713，V 分量表及底層則為 0.711 及 0.703。模式結果在水位及流速部分，皆與實測資料接近。圖 4.2-8 至圖 4.2-9 為表及底層，於高平潮、退潮、低平潮及漲潮時間點之流速分布，顯示臺北港海域表及底層整理流速趨勢差異不大，僅流速隨水深增加稍變小。

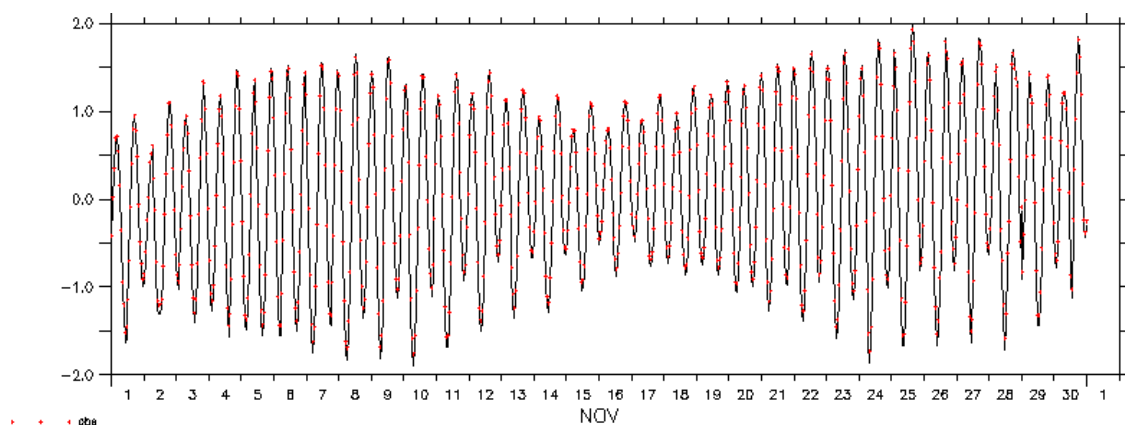


圖 4.2-4 海流模式 107 年 11 月水位與實測資料比對時序圖

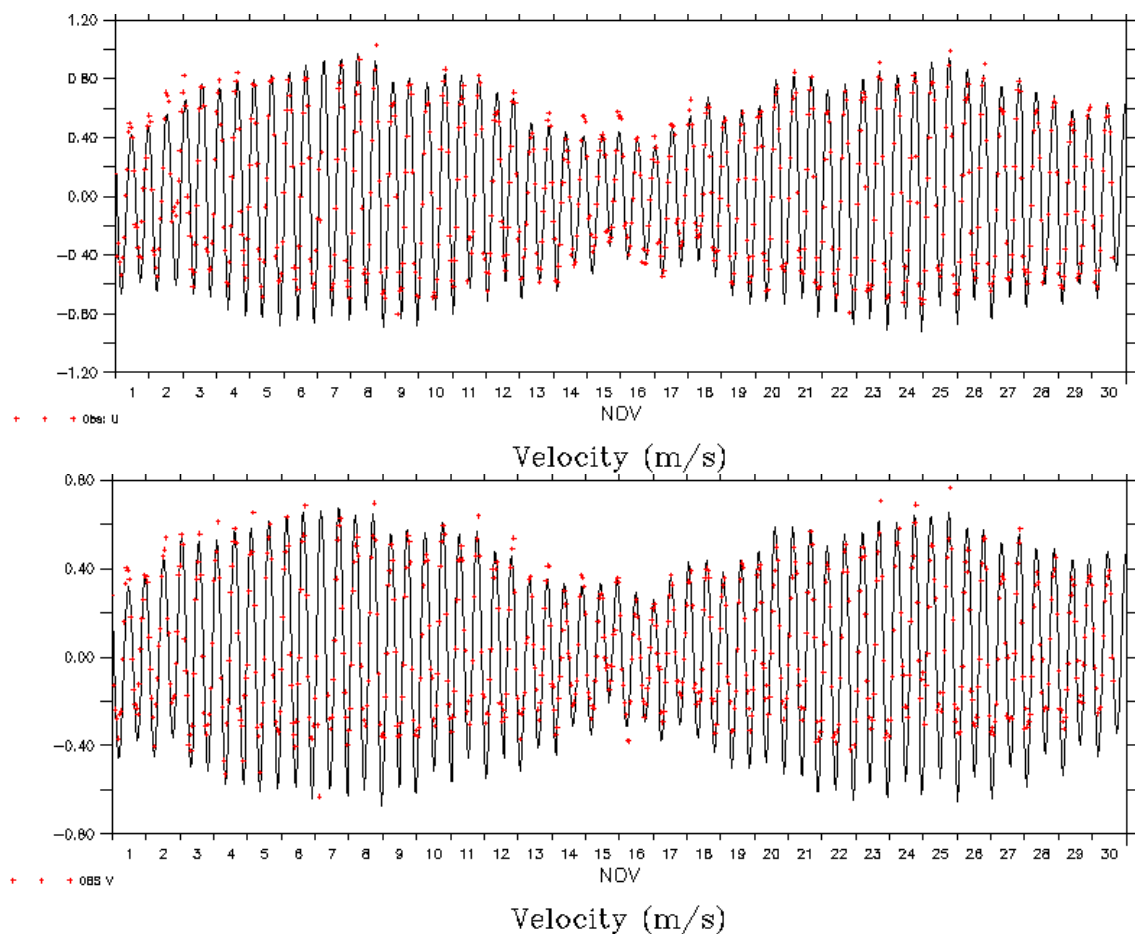
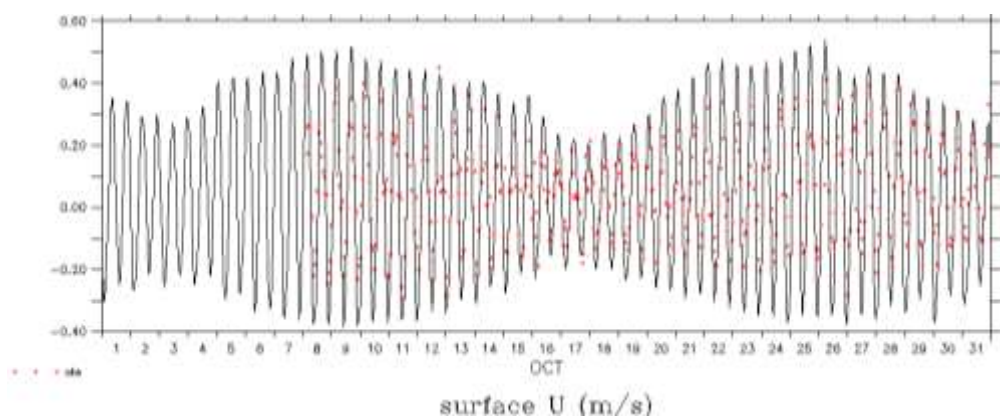


圖 4.2-5 海流模式 107 年 11 月流速與實測資料比對時序圖(上圖：U 方向，下圖：V 方向)



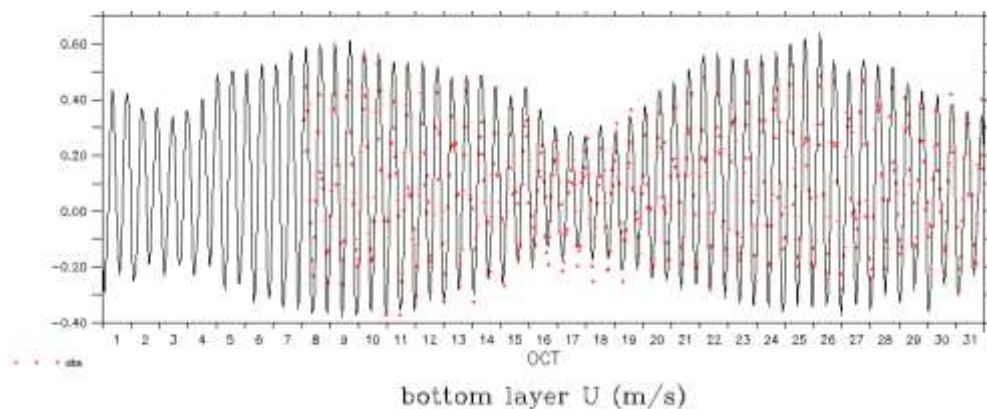


圖 4.2-6 海流模式 107 年 10 月流速 U 分量表、中及底層與實測資料(中山 ADCP)比對時序圖

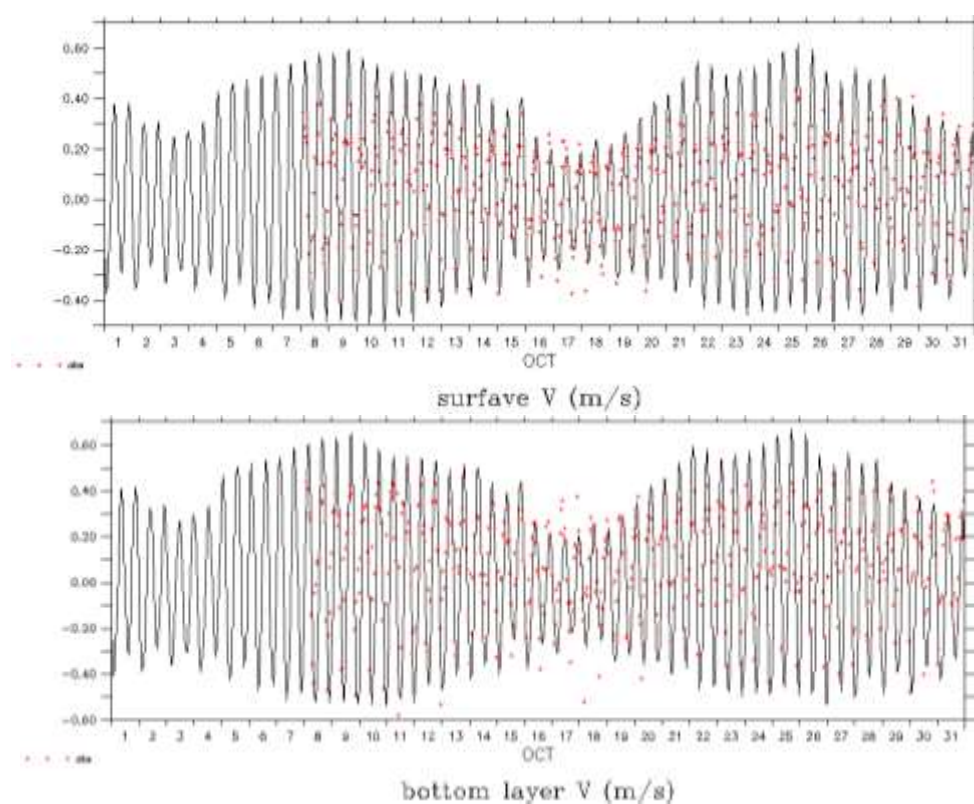


圖 4.2-7 海流模式 107 年 10 月流速 V 分量表及底層與實測資料(中山 ADCP)比對時序圖

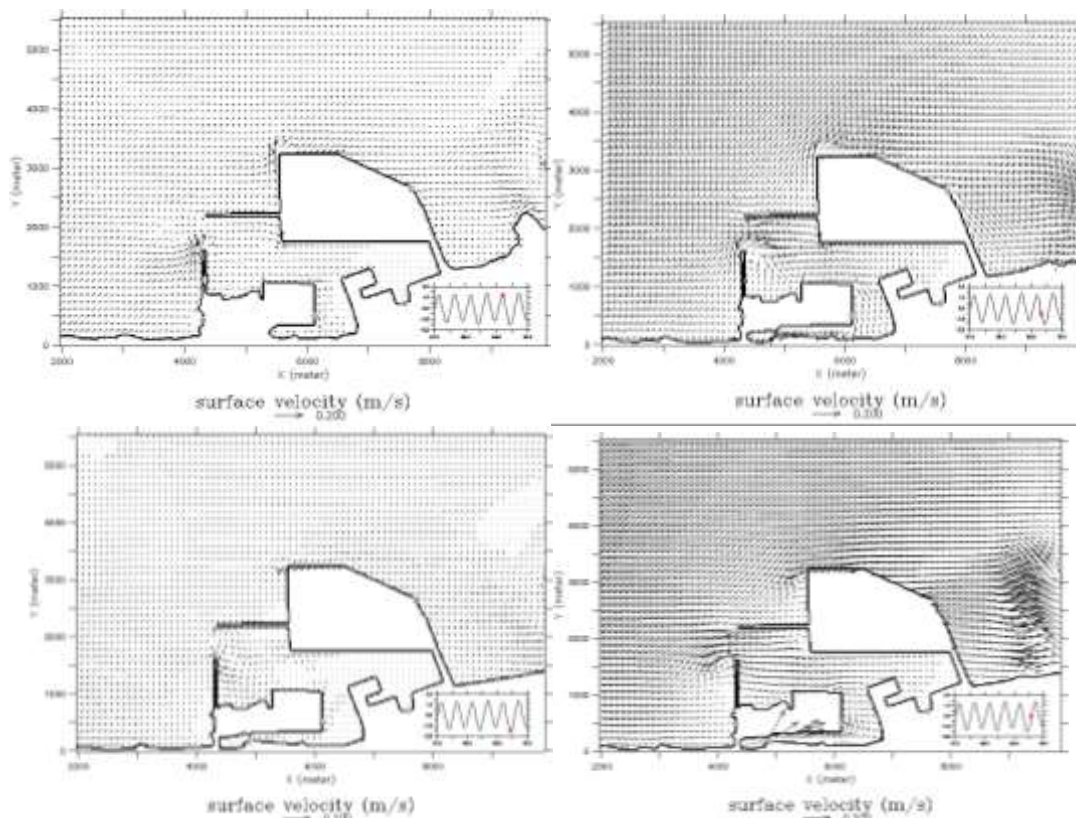


圖 4.2-8 三維海流模式表層高平潮、退潮、低平潮及漲潮流速分布圖

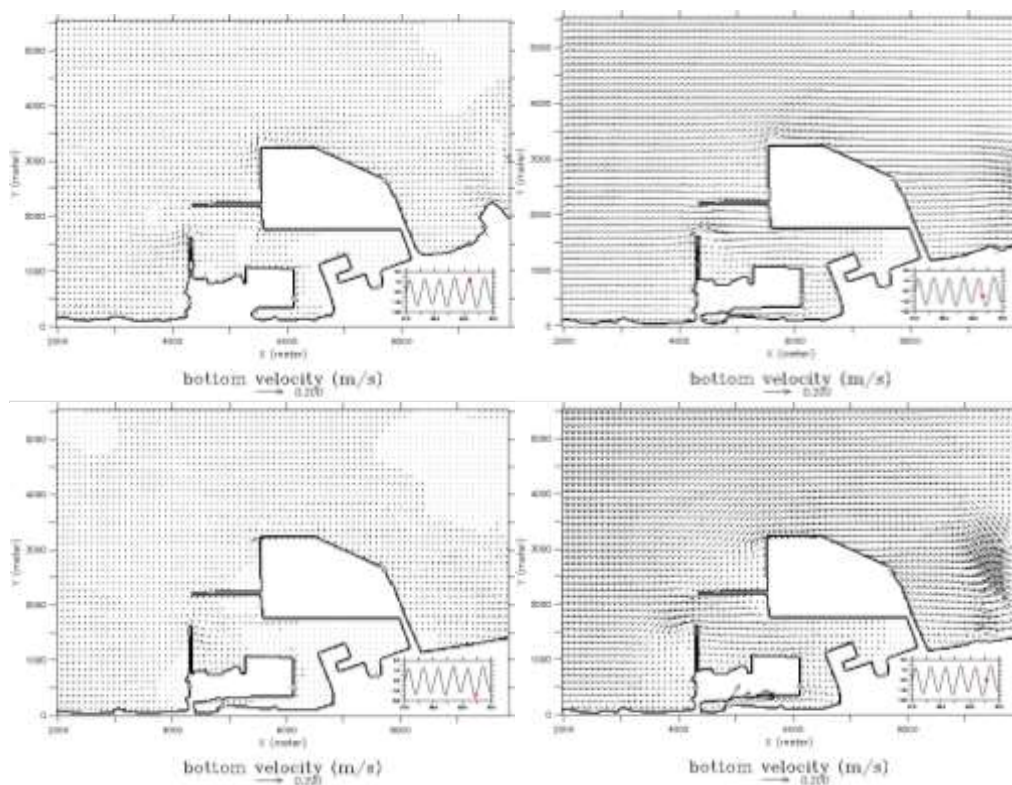


圖 4.2-9 三維海流模式底層高平潮、退潮、低平潮及漲潮流速分布圖

3. 重金屬擴散模擬結果

目前進行之情境模擬，為使用現地 A 槽體(主試驗)之檢測結果，由本計畫推算每公噸之焚化再生粒料產生重金屬釋放濃度，配合年度填築總量進行模擬，焚化再生粒料每噸產生之重金屬釋放濃度統計如表 4.2-1。

表 4.2-1 本計畫推算之每噸重金屬釋放率濃度統計表

A 槽推算之釋放率(mg/L.ton)						
重金屬種類	鉛離子	鎘離子	鉻離子	銅離子	砷離子	汞離子
釋放率	0.02425	0.00491	0.005	1.4219	0.000316	0.00016
重金屬種類	鎳離子	鋅離子	六價鉻離子	錳離子	硒離子	銀離子
釋放率	0.02414	0.005	0.0011	0.01208	0.00501	0.005

資料來源：本計畫彙整

(1) 重金屬離子濃度距離釋放點外之最大增量

本年度完成鉛離子、鎘離子、鉻離子、銅離子、砷離子、汞離子、鎳離子、鋅離子六價鉻離子、錳離子、硒離子及銀離子之釋放濃度，配合 30 萬公噸之焚化再生粒料填築量，進行海域擴散模擬 30 日。表 4.2-2 為鉛離子、鎘離子、鉻離子、銅離子、砷離子、汞離子、鎳離子、鋅離子六價鉻離子、錳離子、硒離子及銀離子距離釋放點 50 公尺、100 公尺、250 公尺及 500 公尺可能最大增量濃度。

A. 鉛離子

海域水質鉛離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，鉛離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000392 mg/L、0.000293 mg/L、0.000231 mg/L 及 0.000147 mg/L。

B. 鎘離子

海域水質鎘離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，鎘離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000007 mg/L、0.000006 mg/L、0.000004

mg/L 及 0.000003 mg/L。

C. 鉻離子

海域水質鉻離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，鉻離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000485 mg/L、0.000363 mg/L、0.000286 mg/L 及 0.000181 mg/L。

D. 銅離子

海域水質銅離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，銅離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000531 mg/L、0.000397 mg/L、0.000313 mg/L 及 0.000198 mg/L。

E. 砷離子

海域水質砷離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，砷離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000134 mg/L、0.000100 mg/L、0.000079 mg/L 及 0.000050 mg/L。

F. 汞離子

海域水質汞離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，汞離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000015 mg/L、0.000012 mg/L、0.000009 mg/L 及 0.000006 mg/L。

G. 鎳離子

海域水質鎳離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，鎳離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.002343 mg/L、0.001751 mg/L、0.001381

mg/L 及 0.000875 mg/L。

H. 鋅離子

海域水質鋅離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，鋅離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000485 mg/L、0.000363 mg/L、0.000286 mg/L 及 0.000181 mg/L。

I. 六價鉻離子

海域水質六價鉻離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，六價鉻離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000107 mg/L、0.000080 mg/L、0.000063 mg/L 及 0.000040 mg/L。

J. 錳離子

海域水質錳離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，錳離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000019 mg/L、0.000014 mg/L、0.000011 mg/L 及 0.000007 mg/L。

K. 硒離子

海域水質硒離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，硒離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000009 mg/L、0.000006 mg/L、0.000005 mg/L 及 0.000003 mg/L。

L. 銀離子

海域水質銀離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺，銀離子濃度增量時序變化圖，圖中顯示距離釋放點 50、100、250 及 500 公尺之可能最大增量為 0.000049 mg/L、0.000036 mg/L、0.000029

mg/L 及 0.000018 mg/L。

海域水質鉛離子、鎘離子、鉻離子、銅離子、砷離子、汞離子、鎳離子、鋅離子六價鉻離子、錳離子、硒離子及銀離子可能出現最大增量濃度平面分布圖，圖中顯示其最大濃度增量僅出現在釋放點附近，並未擴散到外圍海域。實際上，焚化再生粒料係填築於填築造地的範圍內，仍有幾公尺之海堤區隔，因而本次的模擬增量等濃度線，模擬條件遠較實際現況嚴格，在此模擬條件下，目前仍可得出低於海域環境分類及海洋環境品質標準之結果。

(2) 重金屬離子向海側距離排放源之模擬濃度

上述各項重金屬離子距離釋放點 50 公尺、100 公尺、250 公尺及 500 公尺可能最大增量濃度與海域背景濃度值相加，即為各距離海域濃度(詳表 4.2-3)，再與海域環境分類及海洋環境品質標準(台北港屬於乙類水質重金屬標準)比較，A 槽體試驗之鉛離子、鎘離子、鉻離子、銅離子、砷離子、汞離子、鎳離子、鋅離子六價鉻離子、錳離子、硒離子及銀離子濃度模擬值皆低於海域環境分類及海洋環境品質標準，顯示當焚化再生粒料應用於臺北港港區造地填築時鉛離子、鎘離子、鉻離子、銅離子、砷離子、汞離子、鎳離子、鋅離子六價鉻離子、錳離子、硒離子及銀離子溶出增量對海域水質之影響有限。

綜上，利用槽體試驗計畫之檢測結果，配合本計畫推算之釋放濃度，初步以假設總量 30 萬噸之焚化再生粒料填築量條件下，進行海域水質擴散模擬(包含鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅、六價鉻、錳、硒及銀等 12 項重金屬項目)，其模擬結果濃度值皆可符合海域環境分類及海洋環境品質標準，顯示對鄰近海域影響輕微。

表 4.2-2 各重金屬離子濃度距離釋放點外之最大增量統計表(mg/L)

	模擬濃度增量			
	距離排放源 50 公尺	距離排放源 100 公尺	距離排放源 250 公尺	距離排放源 500 公尺
重金屬離子	A ₅₀	A ₁₀₀	A ₂₅₀	A ₅₀₀
鉛離子	0.000392	0.000293	0.000231	0.000147
鎘離子	0.000007	0.000006	0.000004	0.000003
鉻離子	0.000485	0.000363	0.000286	0.000181
銅離子	0.000531	0.000397	0.000313	0.000198
砷離子	0.000134	0.000100	0.000079	0.000050
汞離子	0.000015	0.000012	0.000009	0.000006
鎳離子	0.002343	0.001751	0.001381	0.000875
鋅離子	0.000485	0.000363	0.000286	0.000181
六價鉻離子	0.000107	0.000080	0.000063	0.000040
錳離子	0.000019	0.000014	0.000011	0.000007
硒離子	0.000009	0.000006	0.000005	0.000003
銀離子	0.000049	0.000036	0.000029	0.000018

資料來源：本計畫彙整

表 4.2-3 重金屬離子向海側距離排放源之模擬濃度 (mg/L)

	海域環境 分類及海 洋環境品 質標準	海域環境 背景濃度 (4.1 節 A 槽檢測值)	濃度值(海域背景+增量)			
			距離排放 源 50 公尺	距離排放 源 100 公 尺	距離排放 源 250 公 尺	距離排放 源 500 公 尺
重金屬離子		B	B+A ₅₀	B+A ₁₀₀	B+A ₂₅₀	B+A ₅₀₀
鉛離子	0.01	0.00025	0.00064	0.00054	0.00048	0.00040
鎘離子	0.005	0.0001	0.00011	0.00011	0.00010	0.00010
鉻離子	-	0.005	0.00549	0.00536	0.00529	0.00518
銅離子	0.003	0.0021	0.00263	0.00250	0.00241	0.00230
砷離子	0.05	0.0013	0.00143	0.00140	0.00138	0.00135
汞離子	0.001	0.000084	0.00010	0.00010	0.00009	0.00009
鎳離子	0.1	0.0008	0.00314	0.00255	0.00218	0.00168
鋅離子	0.5	0.0793	0.07979	0.07966	0.07959	0.07948
六價鉻離子	0.05	0.0011	0.00121	0.00118	0.00116	0.00114
錳離子	0.05	0.00365	0.00367	0.00366	0.00366	0.00366
硒離子	0.01	0.00018	0.00019	0.00019	0.00019	0.00018
銀離子	0.05	0.005	0.00505	0.00504	0.00503	0.00502

資料來源：本計畫彙整

註 1：海水背景檢測值為兩槽體之平均值

註 2：部分重金屬之海水背景檢測值為 ND，故以 MDL 值或 QL 值表示

註 3：海域標準僅有六價鉻之標準值，故暫且列入以做參考

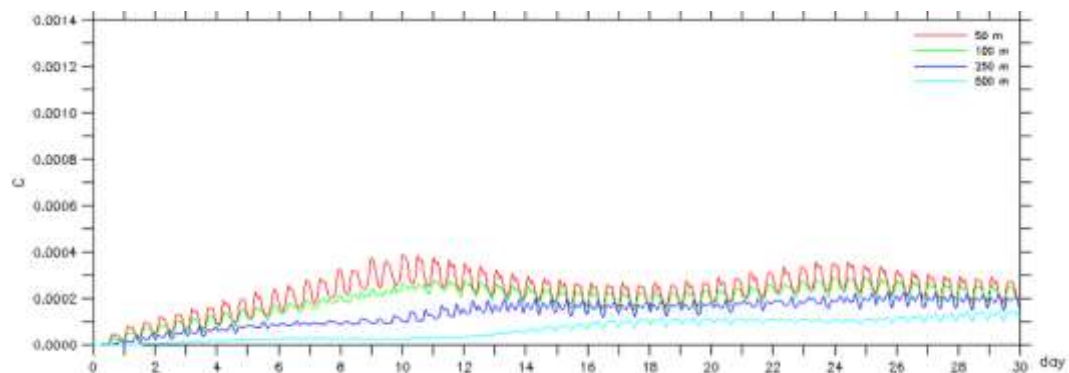


圖 4.2-10 鉛離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

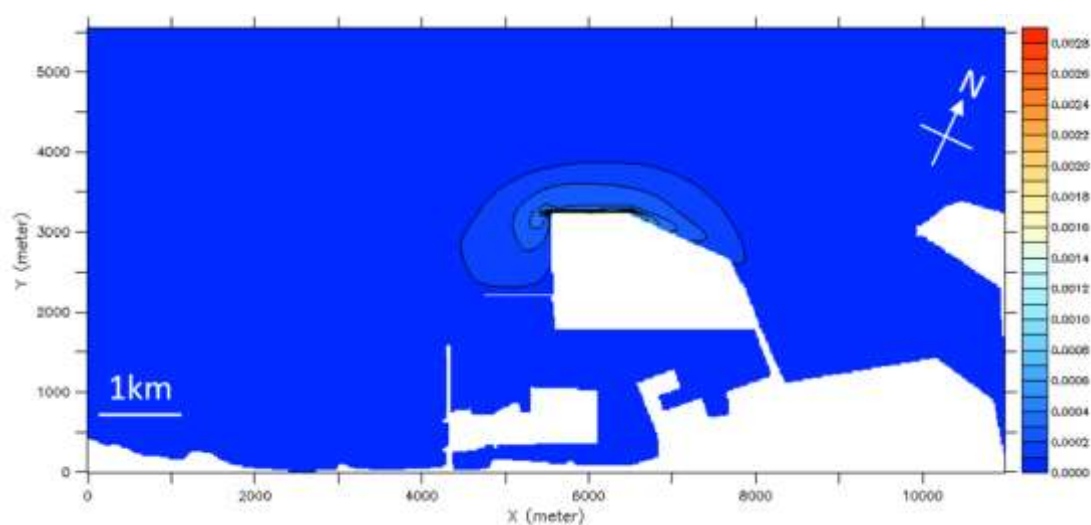


圖 4.2-11 鉛離子最大濃度增量平面分布圖

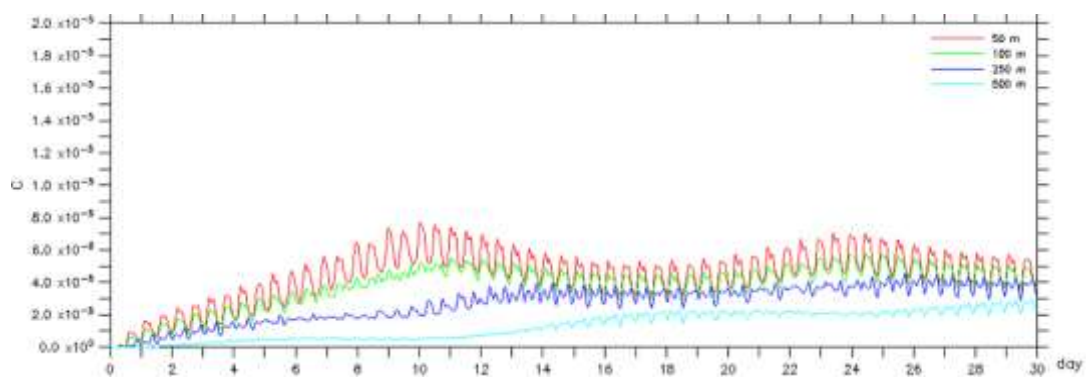


圖 4.2-12 鎘離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

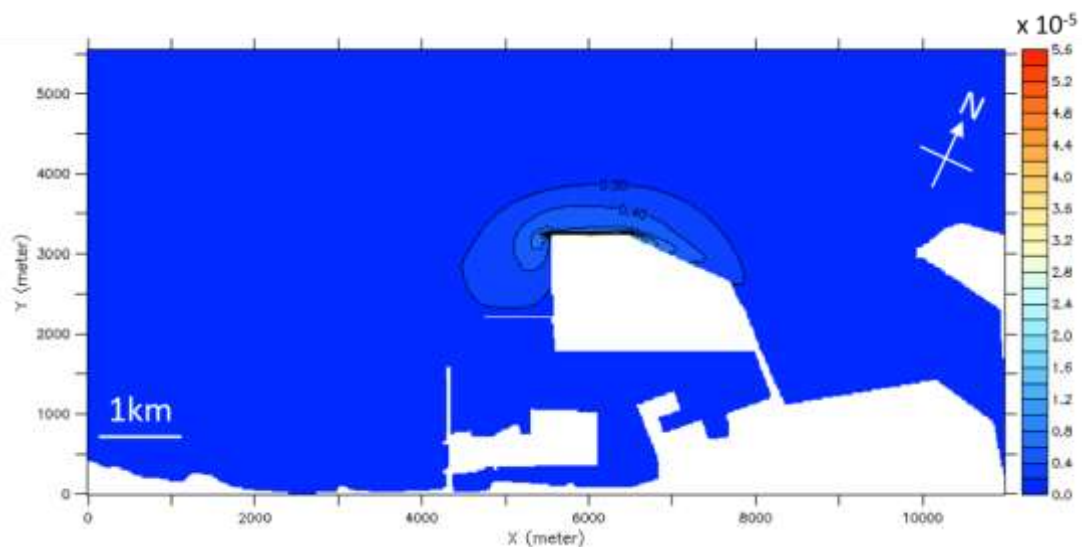


圖 4.2-13 鉛離子最大濃度增量平面分布圖

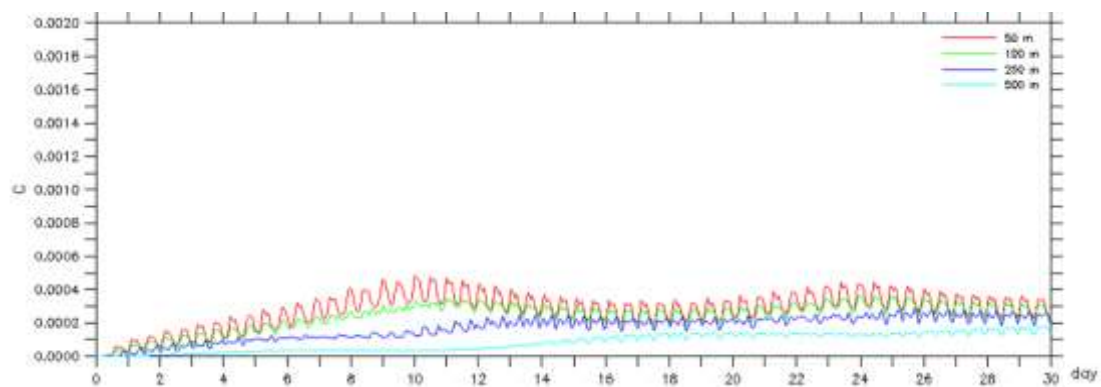


圖 4.2-14 鉛離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

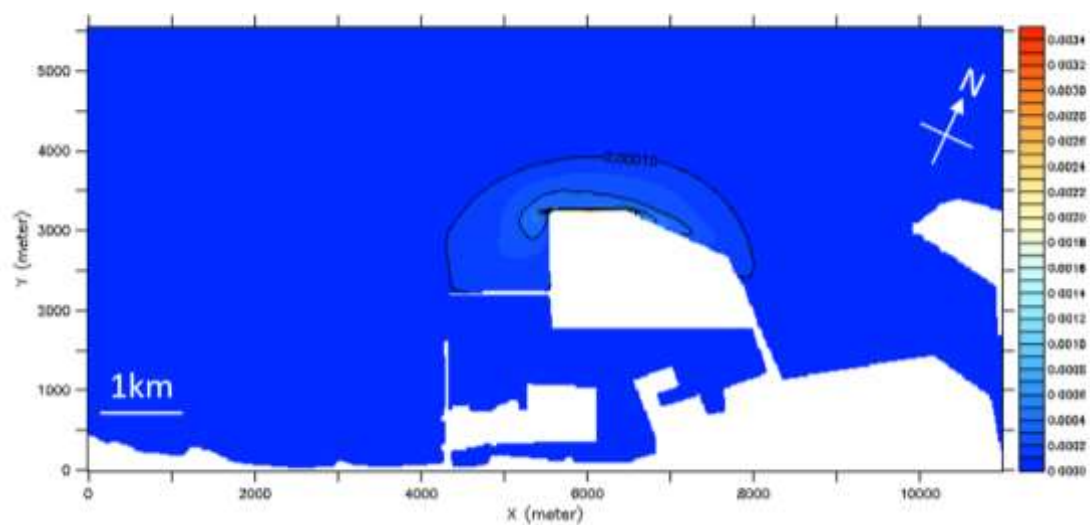


圖 4.2-15 鉛離子最大濃度增量平面分布圖

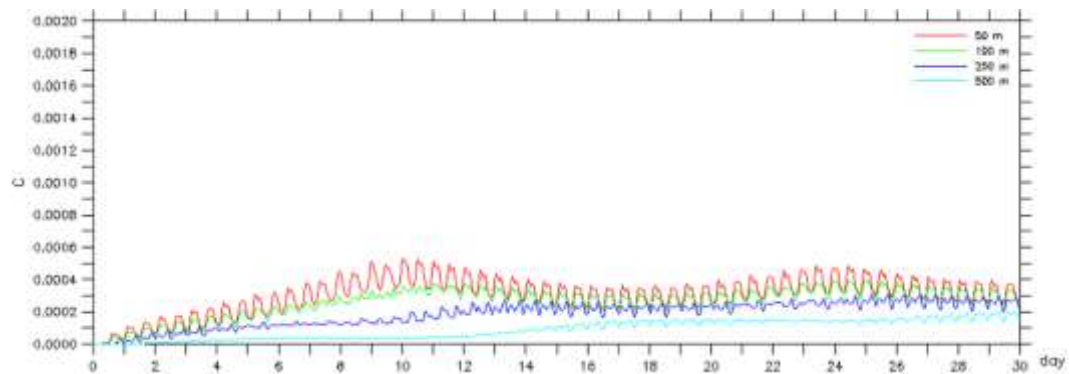


圖 4.2-16 銅離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

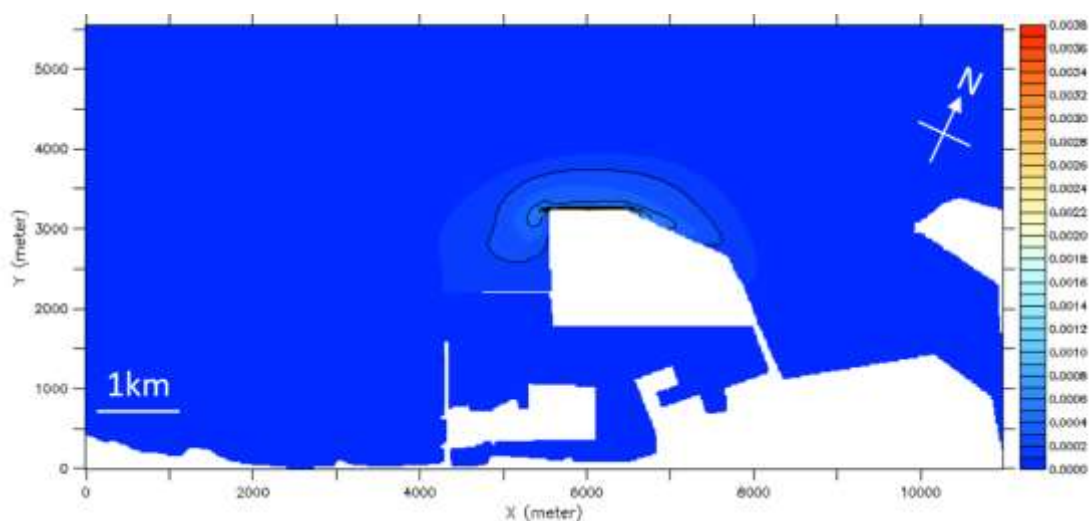


圖 4.2-17 銅離子最大濃度增量平面分布圖

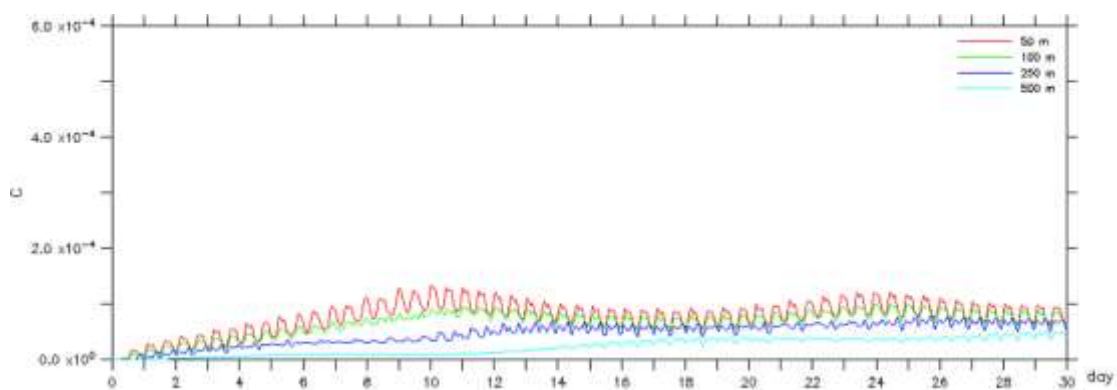


圖 4.2-18 砷離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

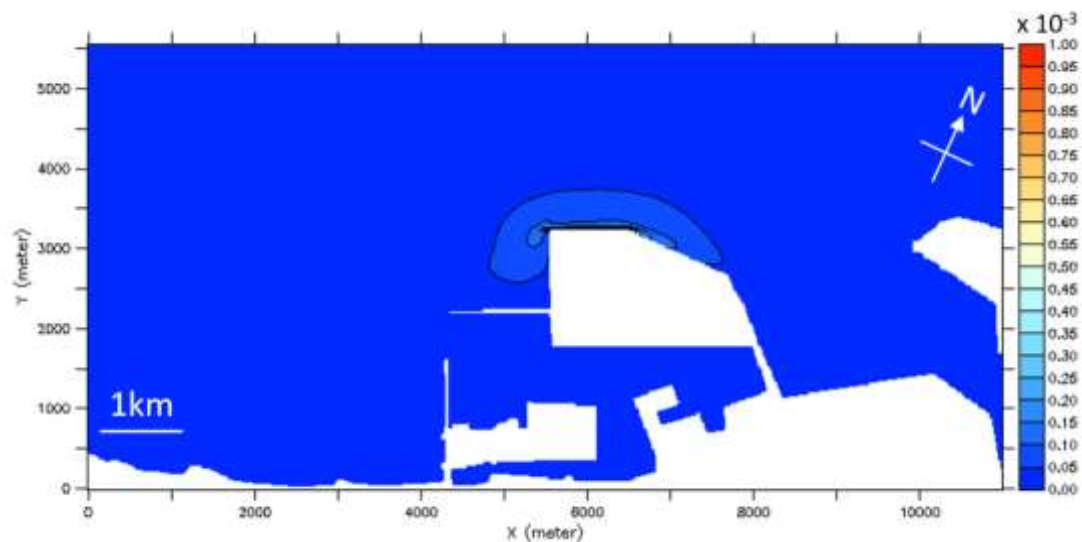


圖 4.2-19 砷離子最大濃度增量平面分布圖

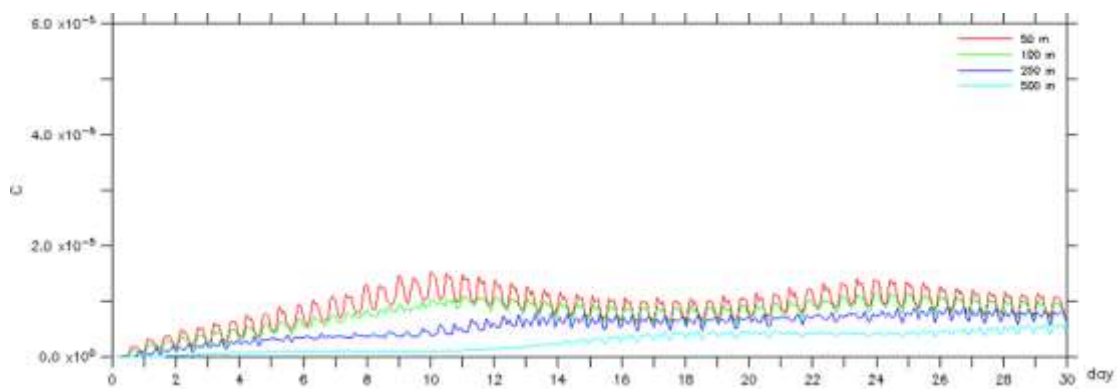


圖 4.2-20 汞離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

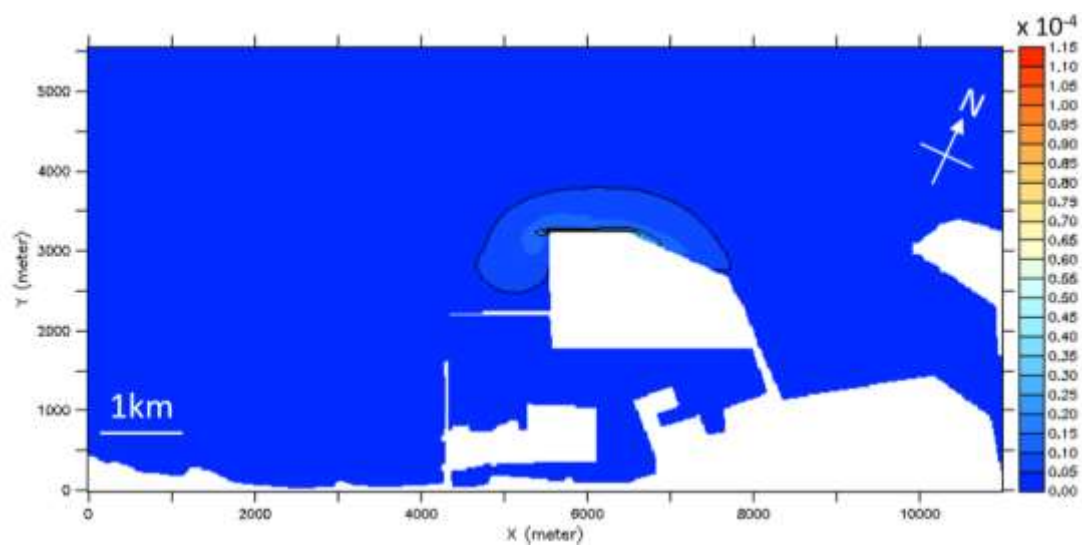


圖 4.2-21 汞離子最大濃度增量平面分布圖

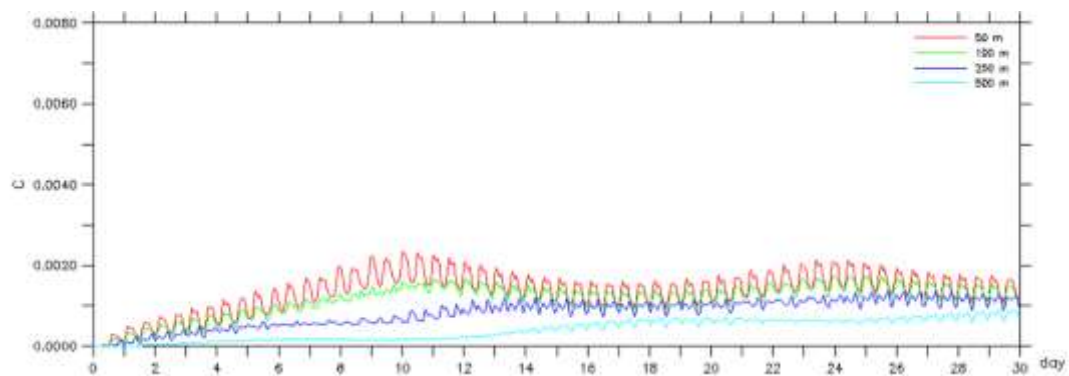


圖 4.2-22 鎳離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

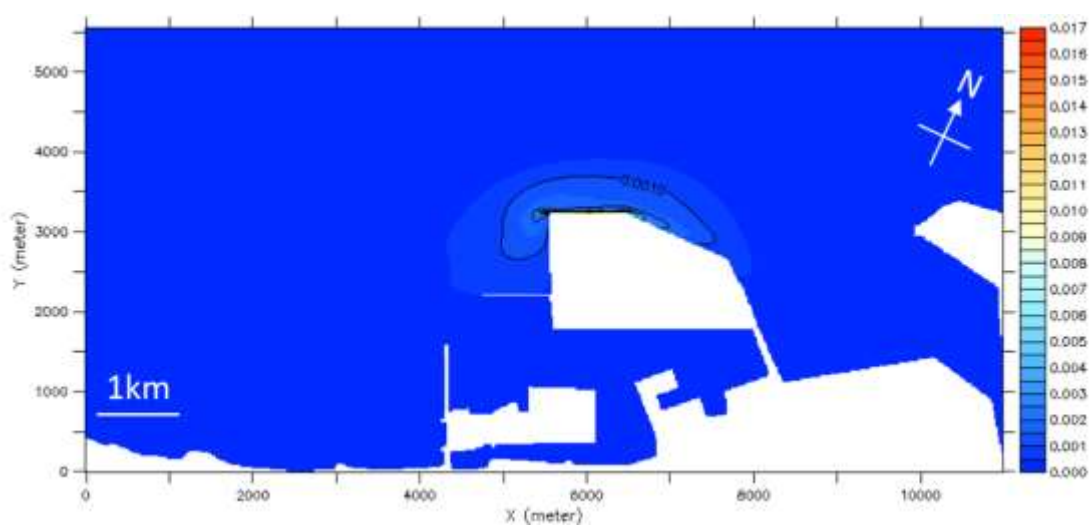


圖 4.2-23 鎳離子最大濃度增量平面分布圖

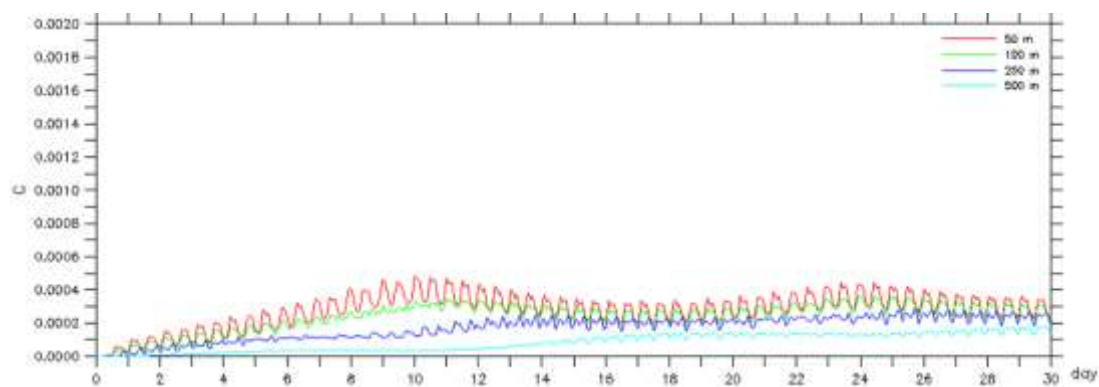


圖 4.2-24 鋅離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

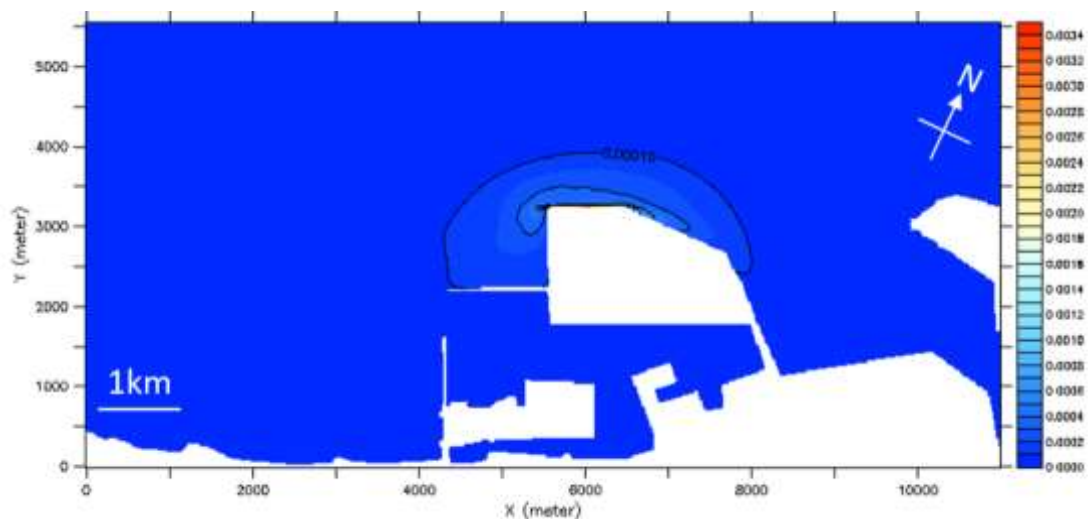


圖 4.2-25 鋅離子最大濃度增量平面分布圖

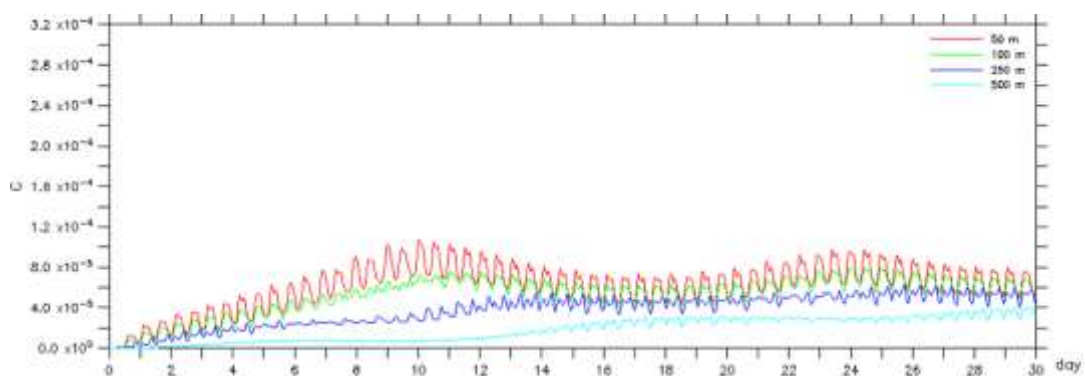


圖 4.2-26 六價鉻離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

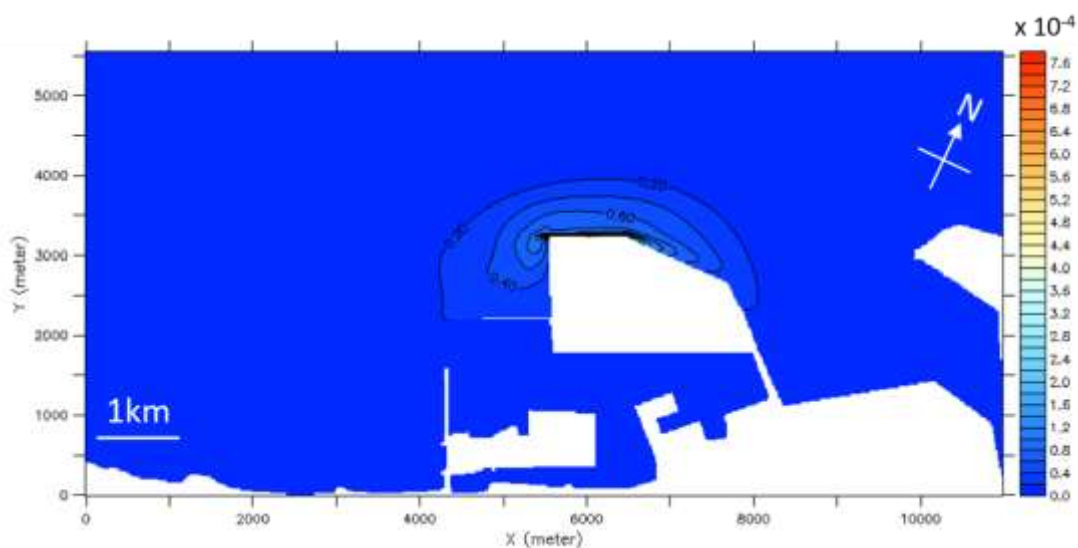


圖 4.2-27 六價鉻離子最大濃度增量平面分布圖

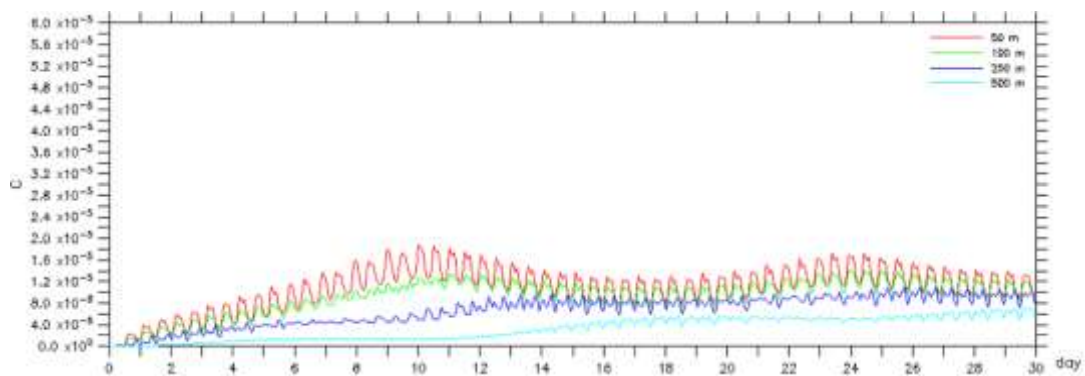


圖 4.2-28 錳離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

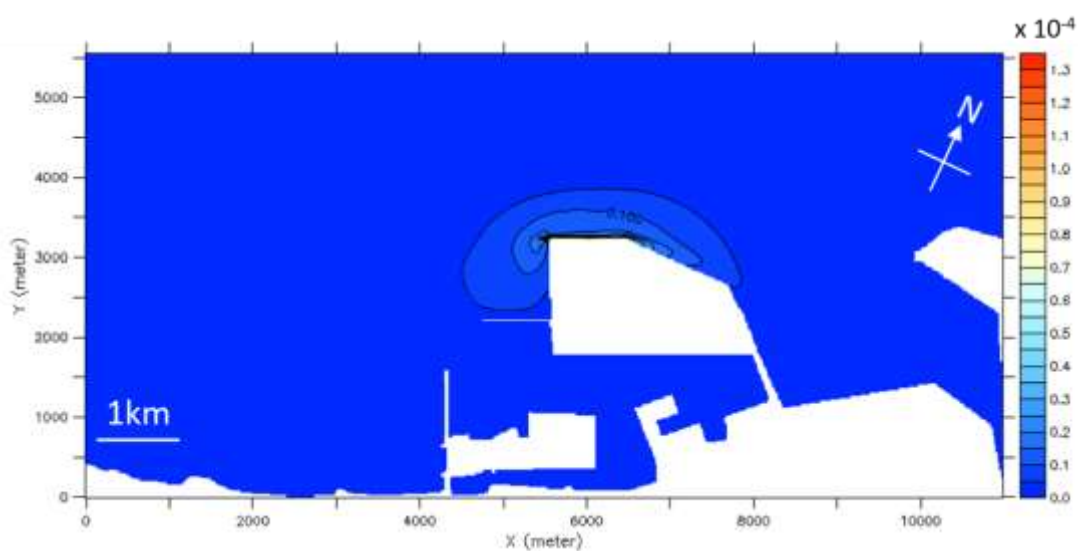


圖 4.2-29 錳離子最大濃度增量平面分布圖

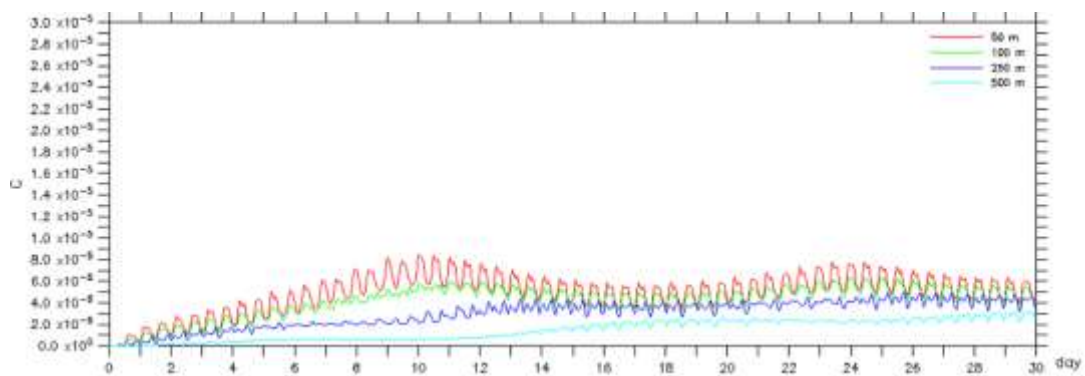


圖 4.2-30 硒離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

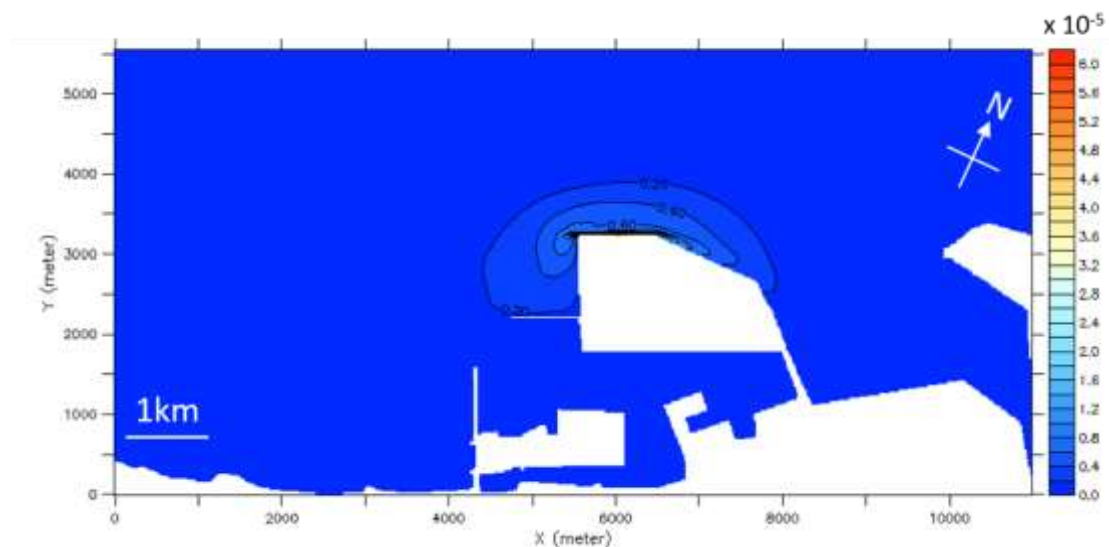


圖 4.2-31 銀離子最大濃度增量平面分布圖

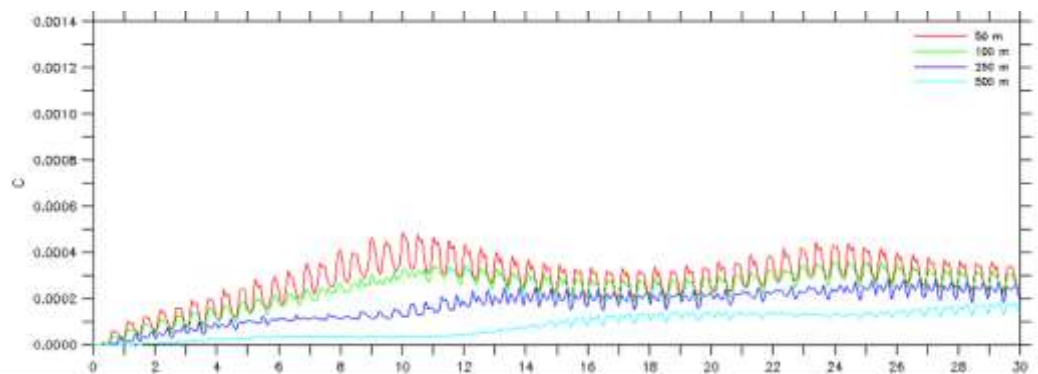


圖 4.2-32 銀離子向海側距離 2、3 及 4 期排放源 50、100、250 及 500 公尺濃度增量時序變化圖

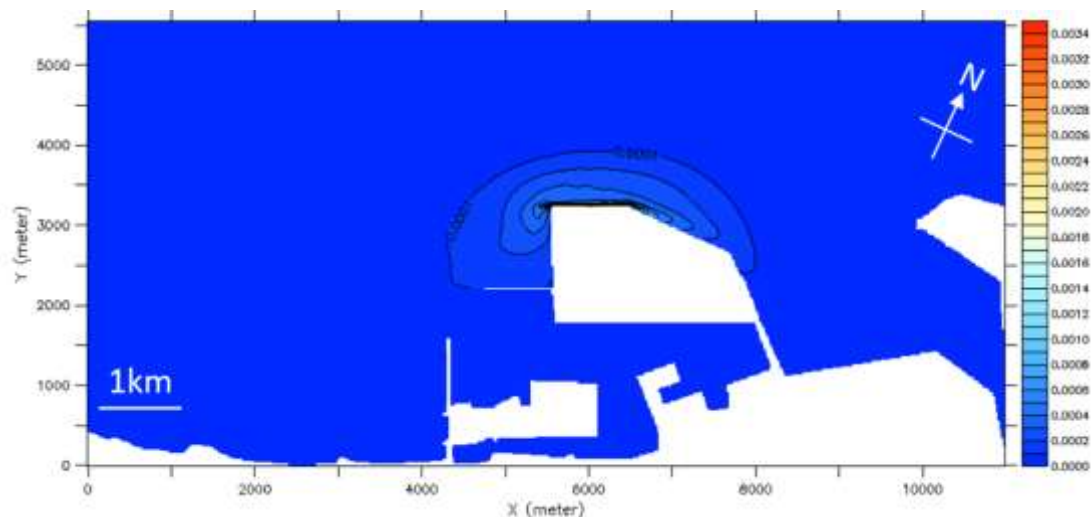


圖 4.2-33 銀離子最大濃度增量平面分布圖

二、協助辦理專家會議、研商會議或說明會議

本計畫依據擴散模擬成果，已於 110 年 9 月 24 日辦理線上專家諮詢會議。圖 4.2-34 為線上專家諮詢會議過程之截圖，參與委員、會議紀錄及委員意見，請參閱附件 9。本次線上專家諮詢會議結論如下：

1. 本次實驗僅採 22 日數據值，建議納入後續檢測結果並進行模擬以觀測長期浸泡後是否符合海域環境分類及海洋環境品質標準。
2. 考量各廠焚化再生粒料性質差異，建議考量以極值（實驗室實驗之最大溶出值）進行模擬以明瞭後續可填築之最適量體。



圖 4.2-34 「焚化再生粒料作為港區造地回填材料之海洋水質擴散模擬」

專家諮詢會議相關照片

4.3 章節摘要

有關本章「辦理 1 批次焚化再生粒料槽體試驗計畫之海水溶出檢測，進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填時對鄰近海域水質之可能影響」，主要工作項目為：「(一)辦理焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時重金屬溶出之狀況、(二)依據前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質可能影響，依結果協辦專家、研商或說明會議」

(一) 辦理焚化再生粒料槽體試驗浸泡液之海水溶出檢測，以瞭解焚化再生粒料回填實際接觸海水時重金屬溶出之狀況 (詳如 4.1 節)

1. 為觀察或瞭解焚化再生粒料進行填築時，經海水浸泡之中長期溶出影響，本年試驗規劃同 109 年 10 月現地槽體浸泡海水試驗(第 0 日至第 30 日檢測)，本年度 2 槽持續至浸泡第 11 個月採樣檢測，自 110 年 4 月至 9 月分 8 次，總計 16 件次。
2. 已完成辦理 2 槽(A 槽主試驗、B 槽參考組)共 16 次採樣，2 槽檢測結果皆符合焚化再生粒料環境標準第二級標準。
3. 初步預測未來焚化再生粒料實際填築港區時，由於海水量體遠大於槽體浸泡量，亦即液固比亦將遠大於 A 槽主試驗的 10:1，預期實際重金屬溶出濃度將可能更低。

(二) 依據前述海水溶出重金屬檢測結果，利用既有海象現場觀測資料，進行海域水質之擴散模擬，以瞭解焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之可能影響，依結果協辦專家、研商或說明會議 (詳如 4.2 節)

1. 利用焚化再生粒料槽體浸泡海水試驗計畫之重金屬溶出檢測結果，配合本計畫推算之釋放濃度，初步以假設填築總量 30 萬噸之焚化再生粒料填築量條件下，利用臺北港之海象資料，進行海域水質擴散模式模擬(包含鉛、鎘、鉻、銅、砷、汞、鎳、鋅、六價鉻、錳、硒及銀等 12 項重金屬項目)，其模擬結果濃度增量及海水背景濃度，皆可符合海域環境分類及海洋環境品質標準，顯示對鄰近海域影響輕微。
2. 已依據前述結果，於 110 年 9 月 24 日完成辦理專家諮詢會議。

第五章 配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率

第五章 配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率

有關「配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率」此項工作，本計畫研擬辦理事項之作業流程，詳圖 5-1，依序說明如后。

- 一、彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署民意信箱協答、辦理與本計畫相關事宜及交辦事項【相關行政支援】，詳 5.1 節。
- 二、辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議，協助研提會議資料與彙整紀錄及辦理後續事宜【5 場專諮研商會議】，詳 5.2 節。
- 三、指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員，辦理本計畫幕僚行政、聯繫及相關事項【專任人員】，詳 5.3 節。

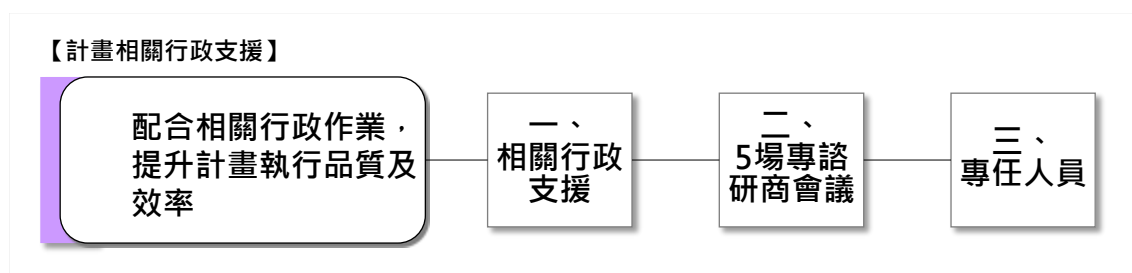


圖 5-1 「配合相關行政作業，提升計畫執行品質及效率」之作業流程

5.1 彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署民意信箱協答、辦理與本計畫相關事宜及交辦事項【相關行政支援】

本項工作內容，依據契約書為「彙整本計畫相關成果，配合需求提供資料及翻譯，並提供專家學者意見及環保署網站的民意信箱協答、辦理與本計畫相關之考察、現勘、活動、召開會議準備相關事宜及其他臨時交辦事項。」。

為維護本計畫工作品質，於計畫執行期間與本計畫成效相關之工作項目與會議，在計畫核定經費許可範圍內，本計畫將協助彙整本計畫相關成果，及其他臨時交辦事項，本計畫辦理迄今，已協助辦理計畫相關事項共 64 件。

5.2 辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議，協助研提會議

資料與彙整紀錄及辦理後續事宜【5 場專諮研商會議】

本項工作內容，依據契約書為「本計畫前述工作項目總計辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議（每場次半天，5 場次合計約 75 人，供膳、供茶水及供場地，5 場次專家學者合計至少 25 位，各場次可依內容彈性調整，並支給專家學者出席費及交通費），協助研提會議資料與彙整紀錄及辦理後續事宜。」。

本計畫會配合前述工作項目，依施政需求，配合辦理至少 5 場次專家會議、研商會議或說明會議。本計畫執行迄今，已完成協助辦理 5 場次相關之專家會議、研商會議或說明會議，重點摘述如表 5.2-1，辦理重點請參閱相關對應章節。5 場次合計約 96 人，專家學者合計約 28 位。

表 5.2-1 本計畫 5 場專諮研商會議規劃及辦理情形

項次	日期	會議議題	會議內容說明	專家學者	參與人數	對應章節
1	4.21	再生資源回收再利用促進委員會「無機再生粒料組」推動方向專家諮詢會議	- 針對無機再生粒料組未來推動策略及方向進行專家諮詢 - 專家學者 4 位、環保署、台營院、工研院等	4 位	14 人	2.1 節
2	8.26	「精進無機循環材料規範與環境品質」專家諮詢會議	- 針對精進無機循環材料規範與環境品質(如還原渣作水泥生料之允收標準及材料規範等)進行專家諮詢 - 專家學者 6 位、環保署、工研院等	6 位	14 人	2.4 節
3	9.24	「焚化再生粒料作為港區造地回填材料之海洋水質擴散模擬」專家諮詢會議	- 針對焚化再生粒料進行港區造地回填時對鄰近海域水質之擴散模擬結果進行專家諮詢 - 專家學者 8 位、環保署、成大水工所、工研院等	8 位	18 人	4.2 節
4	9.29	「散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗結果」專家諮詢會議	- 針對散水通氣熟化處理技術對焚化再生粒料降低重金屬溶出試驗結果進行專家諮詢 - 專家學者 6 位、環保署、工研院等	6 位	15 人	3.1 節
5	10.06	110 年再生資源回收再利用促進委員會「無機再生粒料組」第一次會議(延續 4.21 專諮會議)	- 針對無機再生粒料組未來推動策略及方向進行第 2 次專家諮詢 - 專家學者 4 位、交通部、經濟部、工程會、環保署、工研院等。	4 位	35	2.1 節
契約規定				25 位	75 人	-
(統計至 10.20 期末報告初稿)辦理情形小計				28 位	96 人	-

5.3 指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員，辦理 本計畫幕僚行政、聯繫及相關事項【專任人員】

依本計畫契約書規定，指派學士以上畢業，並具良好溝通協調企劃能力專任人員 1 名，該員須經環保署同意認可(更換時亦同)，專門辦理本計畫幕僚行政、聯繫及本計畫相關事項，以及本計畫執行之聯繫與回應，並配合環保署行政時效需求，協助答覆民眾所詢之問題等，該人員所需電腦及相關周邊設備由本計畫提供。

第六章 結論與建議

第六章 結論與建議

本年度計畫工作包括：盤點無機循環材料循環流向及溶出檢測，認證準則及標準建議(第二章)；提升焚化再生粒料品質及利用驗證，建立熟化模組降低重金屬溶出試驗及加工再製品持續浸泡地下水溶出試驗(第三章)；續辦焚化再生粒料槽體試驗之海水溶出檢測，並進行海域水質擴散模擬，以瞭解造地回填對鄰近海域水質影響(第四章)。

6.1 結論

- 一、無機廢棄資源可經處理製成無機循環材料，作為原料、材料、級配料或加工製品等應用於陸域或海域工程，替代天然砂石，降低掩埋處置需求，促進資源循環也邁向循環經濟。
- 二、盤點國內主要無機循環材料(轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等)之資源循環流向，主要因循環材料之成分特性、工程性及環境性、使用實績及經驗、工程單位使用信心及意願等因素，有不同再利用用途。如轉爐石主要用於港區填築(約 26%)、氧化碓主要用於控制性低強度回填材料(約 94%)、還原碓主要用於卜特蘭水泥(約 57%)、燃煤飛灰主要用於預拌混凝土(約 77%)、燃煤底灰主要用於控制性低強度回填材料(約 31%)。
- 三、為推動國內無機循環材料適材料適所分流應用，應兼顧工程性及環境性面向，朝公共工程應用、港區造地填築及水泥廠協處等三大面向發展。
- 四、為建立國內主要無機循環材料(轉爐石、氧化碓、還原碓、煤灰等)品質及用途環境標準，比照 109 年 5 月 18 日公告焚化再生粒料環境標準作法，參考日本渣類資源化產品管制精神，持續以再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)進行 20 件次基線檢測，並與計畫之研究基準(同我國地下水污染管制標準)比較；另考量實際港區造地填築料源混合，進行 18 件次混料組合特色檢測，亦皆可符合第二類研究基準，對於主要無機循環材料用於一般區域及港區之使用用途，具環境安全正面意義。
- 五、提出「焚化再生粒料之品質與環境安全性整體查驗作業流程」，包含再利用機

構自主管理「焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序」及「焚化再生粒料三階段環境品質檢查」，並針對烏日廠進行實場驗證，其結果顯示重金屬溶出快篩作業流程對於不同批次及不同堆置時間之焚化再生粒料具有適用性，能夠以「快篩萃出液 pH 值」快速獲得鉛溶出量偏高機率，且實際溶出檢測亦相符，而三階段環境品質檢查皆符合「垃圾焚化廠底渣再利用管理方式」之相關規範。

- 五、為提升無機循環材料應用品質，進行熟化通氣試驗 8 廠共 68 件次測試驗證，試找出實場散水通氣處理模組之最佳參數為通氣量 1 L/min(50 L/Ton/min) 10%二氧化碳、通氣時間 2 天、散水強度 0.1 L/kg 使用 2 公升散水量，對於粒料 pH 值小於 12.1 的焚化再生粒料具有最佳熟化效果。提出散水通氣處理模組，批次處理量為 25 噸，估算每噸處理費 1,770 元，亦可再透過調整通氣量、氣體濃度或通氣時間來找到較佳參數，降低操作成本。
- 六、為瞭解浸泡於地下水中的焚化再生粒料加工再製品中長期溶出狀況，本年度延續前年度模擬焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中的重金屬溶出狀況之成果，持續浸泡加工再製品 (CLSM) 3 組至第 12、15 及 18 個月並進行重金屬溶出狀況檢測共 12 件次，其檢測結果皆遠低於第一類研究基準(同第一類地下水污染管制標準)，顯示焚化再生粒料加工再製品浸泡於地下水中長期環境溶出狀況良好。
- 七、為瞭解無機循環材料應用於港區造地填築之海水浸泡中長期環境影響，先持續進行自 109 年 10 月起於臺北港現地 1 批次焚化再生粒料槽體海水浸泡溶出試驗，持續採集檢測至浸泡第 11 個月，共 16 件次，皆符合焚化再生粒料環境標準第二級標準，初步預測未來實際填築港區時，由於海水量體遠大於槽體，預期實際重金屬溶出量將可能更低。並依檢測結果結合既有海象觀測資料，進行海域水質擴散模式模擬，其模擬結果濃度增量及海水背景濃度和，皆可符合海域環境分類及海洋環境品質標準，顯示對鄰近海域影響輕微。

6.2 建議

- 一、由於我國無機資源物種類眾多，建議擴大爐渣類（如轉爐石、氧化渣、還原渣、感應電爐爐渣、化鐵爐爐渣、金屬冶煉爐渣、非有害礦渣、爐石（渣）或礦渣混合物等）、飛灰底渣類（如焚化爐底渣及飛灰、燃煤飛灰及底灰、一般性飛灰或底渣混合物、非有害廢集塵灰或其混合物、爐渣、重油灰渣、旋轉窯爐渣等）及無機性廢棄物（如高爐礦泥、轉爐礦泥及熱軋礦泥、無機性污泥、觸媒、玻璃等）等資源循環流向盤點，蒐集運作現況及相關意見，針對來源、再利用用途及運作管理等，提出資源循環利用或相關管理方式修正之建議。
- 二、焚化再生粒料重金屬溶出快篩作業程序是藉由萃出液 pH 值結合 pH 依存性，快速獲得鉛溶出量偏高機率，建議再利用機構自行依焚化廠粒料來源，建立個別焚化再生粒料之溶出背景資料，持續更新並增加數據量，以精進快篩作業程序。
- 三、散水通氣試驗尚屬於實驗室測試階段，且熟化成效受料源影響甚大，因此在未來推廣部分，建議考量粒料特性、設置場地規模、廠商意願及技術需求等，再彈性調整參數，並視需求評估規劃。
- 四、為瞭解無機循環材料應用中長期環境影響，建議持續辦理無機循環材料於港區工程應用之環境檢測(每年)、1 批次臺北港現地槽體無機再生粒料浸泡海水之中長期溶出驗證檢測(第 2 年)、無機再生粒料產製之加工再製品浸泡地下水之中長期溶出驗證檢測(第 3 年)。
- 五、延續無機循環材料辦理實驗室試驗、臺北港現地 1 批次焚化再生粒料槽體海水浸泡溶出試驗及海域水質擴散模式模擬成果，接續辦理無機循環材料於港區現地填築試驗計畫，並進行工程材料性質檢測(如粗細粒料篩分析試驗、洛杉磯磨損試驗、密度及吸水率試驗、含砂當量試驗、夯實試驗)及環境監測(如無機再生粒料環境用途溶出程序監測、周界土樣監測、周界水樣監測、海水水質監測、海域底質監測等)與評估，以厚植無機循環材料應用於港區填築之論證基礎。

第七章 參考文獻

第七章 參考文獻

1. 行政院環境保護署，事業廢棄物申報及管理資訊系統。
2. 行政院環境保護署，無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫，109 年。
3. 行政院環境保護署，無機循環材料環境應用與整合專案計畫，109 年。
4. 行政院環境保護署，水泥窯作為資源循環中心評估專案計畫，109 年。
5. 行政院環境保護署，無機廢棄物資源化產品之用途評估及去化規劃專案工作計畫，108 年。
6. 行政院環境保護署，再生粒料用途推廣、施工規範及管理專案工作計畫，108 年。
7. 行政院環境保護署，廢棄物資源化產物用途評估、推動及管理專案工作計畫，107 年。
8. 行政院環境保護署，廢棄物資源化產物用途及去化管道策略評估規劃專案工作計畫，106 年。
9. 行政院環境保護署，研訂廢棄物質最終處置策略專案工作計畫，104 年。
10. 行政院環境保護署，事業廢棄物清理政策-填海造島(陸)政策規劃專家會議 議題一 料源種類、特性與利用評估，103 年。
11. 行政院環境保護署，事業廢棄物清理政策-填海造島(陸)政策規劃專家會議 議題二 填海造島(陸)選址評估，103 年。
12. 行政院環境保護署，事業廢棄物清理政策-填海造島(陸)政策規劃專家會議 議題三 海洋生態及其他環境影響評估，103 年。
13. 行政院環境保護署，環保署推動廢棄資源物填海造島(陸)政策說明，102 年。
14. 行政院環境保護署，推動廢棄資源物填海造島(陸)計畫，101 年。
15. 行政院環境保護署，需以填埋方式處理之物質種類及數量評估、相關填埋設施政策方向規劃計畫，100 年。

16. 高思懷、孫常榮 (2004),「底渣再利用製程改善研究計畫」,淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文,淡水。
17. 陳韋伶 (2004),「不同焚化爐底渣物化性質比較分析」,國立中央大學土木工程研究所碩士論文,桃園。
18. 孫世勤、闕蓓德 (2005),垃圾焚化底渣熟化方式介紹,工業污染防治,第 94 期。
19. 劉人慈 (2013),「焚化爐底渣再利用於透水混凝土之研究」,國立中央大學土木工程研究所碩士論文,桃園。
20. 高永駿 (2004),「含垃圾焚化底渣瀝青混凝土之環境性質研究」,國立中華大學土木工程學系碩士論文,新竹。
21. 黃靖云 (2008),「不同養護條件對都市垃圾焚化底渣中重金屬溶出特性之影響」,嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文,臺南。
22. 買隆恩、江康鈺 (2012),「加速碳酸鹽化反應對焚化底渣重金屬移動特性影響之研究評估」,國立逢甲大學環境工程與科學所碩士論文,臺中。
23. 久保田洋 (2020),一般廃棄物焼却灰の散水・通気処理による安定化促進技術 と土木資材化に関する研究。
24. 繁泉恒河 (2020),清掃工場の排ガス・回収 CO₂ を用いて促進炭酸化処理を施した焼却主灰の溶出および力学特性,廃棄物資源循環学会論文誌。
25. Arickx, S., V. De Borger, T. Van Gerven, C. Vandecasteele. (2010). “Effect of carbonation on the leaching of organic carbon and of copper from MSWI bottom ash”, Waste Management, 30, p.1296-1302.
26. Langevoort M. (2019). “Transformation of municipal solid waste incinerator bottom ash into a freely applicable building material”. Recycling Technologies in Landfill Management Projects.
27. Rendek, E., Gaëlle D., Patrick G., (2006). “Carbon dioxide sequestration in municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash”. Journal of Hazardous Materials, 128(1), p.73-79.

28. Steketee, J., Langevoort, M. (2020). “Production of a stable building material by treatment of MSWI bottom ash with the Tauw EquiAsh® Process”. *Waste and Biomass Valorization*, 11, p.7109-7116
29. Wilkin, J. L., H. G. Arango, D. B. Haidvogel, C. S. Lichtenwalner, S. M. Durski, and K. S. Hedstrom, (2005). “A regional Ocean Modeling System for the Long-term Ecosystem Observatory,” *J. Geophys. Res.*, 110, C06S91, DOI:10.1029/2003JC002218.
30. ROMS 網站 https://www.myroms.org/wiki/Documentation_Portal