

滾筒轉爐石 CLSM 使用手冊



CHINA STEEL



DRAGON STEEL



CHC RESOURCES

中國鋼鐵股份有限公司
中龍鋼鐵股份有限公司
中聯資源股份有限公司

中 華 民 國 107 年 9 月 25 日

摘 要

鋼鐵業為一個國家重要經濟發展之基石及工業發展的基本來源。現今人們食、衣、住及行都與鋼鐵密不可分。煉鋼產業連接上下游與相關事業、產業之發展。中鋼公司及中龍公司年產轉爐石數量約 160 萬公噸，在此環保法規嚴謹的時代，如何有效應用工業副產物，亦是當務之急、刻不容緩。

轉爐石粒型方正，抗壓性高、耐磨性佳，而透過滾筒製程生產之滾筒轉爐石，其粒徑均勻、無沾附細粉，不僅保留轉爐石原有之工程性，更降低轉爐石天生之膨脹性，可取代天然砂石作為再生工程材料。且中鋼集團轉爐石於出廠前均會定期進行物理特性及環境相關試驗(毒性溶出特性程序試驗(TCLP)、戴奧辛及輻射等)，以確保其品質符合中鋼集團之產品標準及國家環境相關法規。

中鋼集團為宣導轉爐石之正確使用觀念，提升工程品質，以確保滾筒轉爐石應用於控制性低強度回填材料（Controlled Low Strength Material，以下簡稱 CLSM）之品質規範，因此研擬此本「滾筒轉爐石 CLSM 使用手冊」（以下簡稱本手冊），並委請第三方專業機構驗證足以滿足工程需求。本手冊主要內容包括滾筒轉爐石材料性質、滾筒轉爐石應用於 CLSM 工程性質、滾筒轉爐石應用於 CLSM 應用實例及效益、滾筒轉爐石應用於 CLSM 配比設計、CLSM 工程使用滾筒轉爐石應注意事項、滾筒轉爐石應用於 CLSM 產製、運輸、施工及品質管理等。本手冊除可作為工程主辦機關、設計及施工單位、營造業及 CLSM 拌和廠等相關產業參考遵循外，亦可提供滾筒轉爐石資源化應用於 CLSM 之相關技術，有利於促進永續發展政策之推行及確保公共工程之品質。

目 錄

摘 要	I
目 錄	II
表目錄	IV
圖目錄	V
第一章 總則	1
1.1 一般原則	1
1.2 內容說明	4
1.3 本手冊使用要點	6
參考文獻	8
第二章 滾筒轉爐石材料性質	9
2.1 滾筒轉爐石之生產	9
2.2 滾筒轉爐石之一般性質	11
參考文獻	13
第三章 工程性質及效益	14
3.1 一般原則	14
3.2 應用實例	15
3.3 滾筒轉爐石應用於 CLSM 之工程性質	17
3.4 使用滾筒轉爐石製作 CLSM 之產品效益	17
參考文獻	18
第四章 配比設計	19
4.1 一般原則	19
4.2 使用滾筒轉爐石製作 CLSM 配比設計原則	19
4.3 使用滾筒轉爐石製作 CLSM 配比設計步驟	19
4.4 試拌	22
4.5 注意事項	22
參考文獻	23
第五章 使用規範	24
5.1 使用要點	24
5.2 資料審查	24

5.3 材料	24
5.4 配比設計	25
5.5 產製	25
5.6 計量與計價	25
參考文獻	27
第六章 產品標準	28
6.1 滾筒轉爐石品質標準	28
6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 品質標準	29
參考文獻	30
第七章 驗證機制	31
7.1 驗證檢驗要點	31
7.2 環境監測	32
參考文獻	33
第八章 注意事項	34
8.1 一般原則	34
8.2 發包	34
8.3 設計	35
8.4 驗證	35
8.5 滾筒轉爐石應用於 CLSM 回收再利用應注意事項	35
附錄	
附錄 1 公共工程委員會施工綱要規範	
附錄 1.1 公共工程委員會施工綱要規範 第 03377 章 控制性低強度回填材料	
附錄 2 滾筒轉爐石應用於 CLSM 發包補充文件	
附錄 3 實地驗證計畫	
驗證檢驗委辦單位	
驗證檢驗要點	
驗證成果	
環境監測	
現地鋪設對土壤及地下水之影響	
參考文獻	

表目錄

表 1.1 高爐石、轉爐石、碳鋼電弧爐碴及不鏽鋼電弧爐碴化學成分	3
表 1.2 使用者快速索引對照表	7
表 2.1 傳統轉爐石及滾筒轉爐石化學成分之含量	12
表 2.2 滾筒轉爐石(細粒料)物理性質分析表	12
表 3.1 日本鋼爐碴資源化應用概況表	14
表 3.2 美國鋼爐碴資源化應用概況表	15
表 3.3 滾筒轉爐石之 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM)0-10cm 土壤數據表	16
表 3.4 滾筒轉爐石應用於 CLSM 之工程性質規範	17
表 5.1 國內 CLSM 材料規範彙整	26
表 6.1 滾筒轉爐石品質標準	28
表 6.2 滾筒轉爐石 TCLP 溶出濃度數值	29
表 6.3 CLSM 之性質要求	29
表 7.1 CLSM 試驗項目表	31

圖目錄

圖 1.1 爐碴之生產流程	3
圖 2.1 一貫作業煉鋼爐石產出流程	9
圖 2.2 滾筒轉爐石製程說明圖	10
圖 2.3 滾筒轉爐石(細粒料；型號：AC1)外觀圖	10
圖 3.1 中聯台中廠區鋪設滾筒轉爐石 CLSM	15
圖 3.2 CLSM 工程案例	16
圖 3.3 滾筒轉爐石之 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM)土壤採樣點示意圖	17
圖 4.1 配比設計流程	20

第一章 總則

1.1 一般原則

1. 緣起

鋼鐵業為一個國家重要經濟發展之基石及工業發展的基本來源。現今人們食、衣、住及行都與鋼鐵密不可分。煉鋼產業連接上下游與相關事業/產業之發展。中鋼公司及中龍公司年產轉爐石數量約 160 萬公噸^[1.1]，在此環保法規嚴謹的時代，如何有效應用工業副產物，亦是當務之急、刻不容緩。其中鋼鐵製程分為二類：第一類為一貫作業煉鋼，主要由天然鐵礦砂、煤礦及石灰石，經由高爐熔煉成鐵水、轉爐冶煉產生鋼液；另一類為電弧爐煉鋼，主要原料為廢鋼，將廢鋼加入電弧爐冶煉產生鋼液。煉鋼過程除了產出鋼液外，還會附帶產出副產品—爐石，一貫煉鋼流程在煉鐵高爐會產出高爐石(氣冷高爐石、水淬高爐石)及煉鋼轉爐產出轉爐石，電弧爐煉鋼流程則產出氧化渣及還原渣。

中鋼集團在一貫作業煉鋼過程中所產出之副產物以爐石為最大宗，轉爐石為一貫作業煉鋼廠在煉製鋼液時，將鐵水及副原料加入轉爐後，以純氧吹煉而產出鋼液及熱熔渣，其中經冷卻之熱熔渣稱為轉爐石 (Basic Oxygen Furnace slag, BOF slag)。轉爐石屬煉鋼爐石 (steel slag) 之一，具有耐磨、高硬度及高抗滑之特性，經檢測符合相關環保標準，其物性、化性穩定，經過適當之安定化處理，使其可作為工程材料使用。先進工業化國家如美國、德國、荷蘭、日本均訂有法令政策視爐石為資源物質，大量使用於各種工程領域，澳洲鋼鐵協會也持續著倡導使用爐渣產品並提高監管對其效益的了解，與其他傳統產品相比來的更經濟更環保^[1.2]。

目前環保意識高漲，地球資源日漸貧乏，各國開始注重資源之回收再利用，台灣地狹人稠資源有限，須將資源再做更有效的利用，依據研究結果及實務經驗顯示，轉爐石熱熔渣送入高速滾筒內，經過適當安定化處理減低膨脹特性，可取代天然砂石而應用於工程作為填方材料、基底層級配料及瀝青混凝土面層材料等，而 CLSM 具有免夯實、沉陷量小、自我充填、便於再開挖特性，且 CLSM 使用之粒料，可為混凝土用粒料、現場開挖土石方或再生粒料，因此，將滾筒轉爐石當成材料，不但可節省環境及工程成本，並同時解決天然砂石缺乏及鋼鐵工業副產物再利用之問題。

中鋼集團為宣導滾筒轉爐石之正確使用觀念，以確保滾筒轉爐石應用於 CLSM 之品質規範，乃研擬本「滾筒轉爐石 CLSM 使用手冊」（以下簡稱本手冊），並委請第

三方專業機構驗證足以滿足工程需求，除可作為工程主辦機關、設計及施工單位、營造業及拌和廠等相關產業參考遵循外，亦可提供轉爐石資源化再利用於 CLSM 之相關技術，俾利共同促進永續發展政策之推行及確保公共工程之品質。

2. 目的

轉爐石為煉鋼及煉鐵所產生之副產物，世界各國如澳洲經研究後已將轉爐石歸類為穩定材料^[1.3]，近年來全球環保意識提高，對於廢棄物再利用方法及技術之開發與應用非常廣泛，以國內而言擁有良好煉鋼及煉鐵技術，每年產出轉爐石量非常可觀，依公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」之規定，CLSM 使用之粒料，可為產製混凝土用粒料、現場開挖土石方或再生粒料，所以本手冊將轉爐石做為再生粒料應用於 CLSM，就永續發展觀點而言，以轉爐石替代天然粒料可增進資源回收再利用比例，進而達到資源重複使用（reuse）、循環利用（recycling）及回收利用（recovery）等循環經濟基本原則，不僅環保、省時、降低工程成本且施工便利^[1.4]。

3. 定義

(1) 煉鋼爐石

本手冊所稱之「煉鋼爐石」（亦稱為煉鋼爐渣）係指生產鋼鐵之鐵礦原料與助熔劑（如螢石、石灰石及焦炭）在高溫熔爐中反應所產生之熔渣。目前國內煉鋼方法大致有轉爐及電弧爐等 2 種，常見之煉鋼爐石有轉爐石及電弧爐石等兩種，其不同之生產流程如圖 1.1^[1.1]所示。鋼鐵製程所產生之高爐石、轉爐石、碳鋼電弧爐渣及不鏽鋼電弧爐渣之成分如表 1.1 所示^[1.5]。

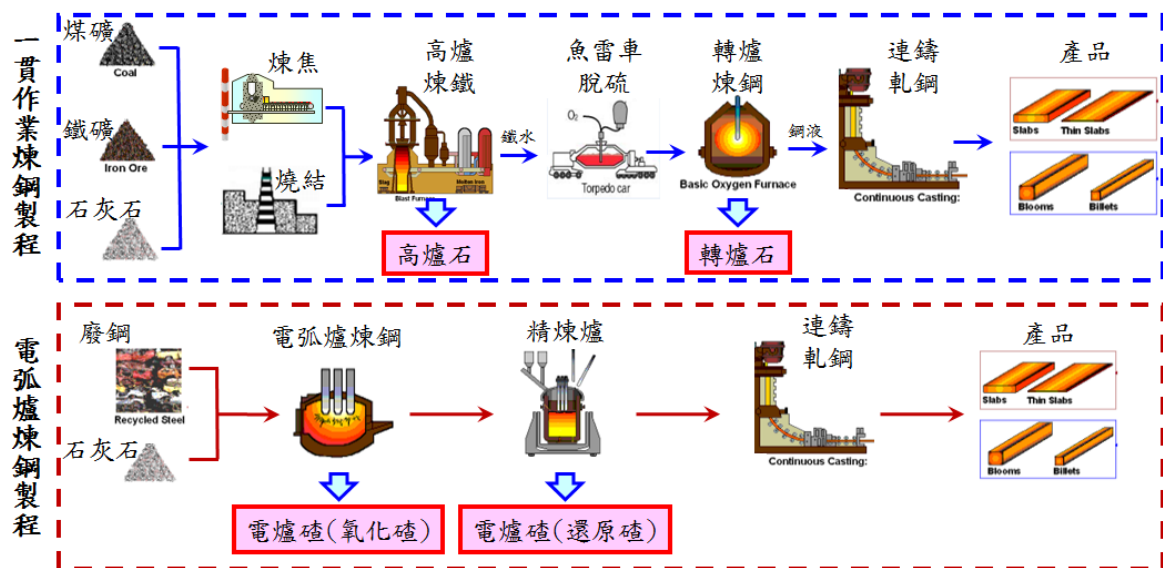


圖 1.1 爐渣之生產流程^[1.1]

表 1.1 高爐石、轉爐石、碳鋼電弧爐渣及不鏽鋼電弧爐渣化學成分^[1.5]

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

(2)轉爐石

轉爐石為一貫作業煉鋼廠在煉製產生的鐵水運送至轉爐，轉爐吹煉成鋼液時須再加入石灰等原料作為助熔劑，藉此去除鐵水中的雜質而形成鋼液，此過程所產生的爐石即為轉爐石。

(3)傳統轉爐石

世界許多國家處理轉爐石的通行方法為熱潑法，即將高溫熔融轉爐石潑入專門的處理場，噴淋適量的水促其冷卻，然後進行破碎、磁選及篩分等加工製程。經此過程所產生的爐石即為本手冊所稱之「傳統轉爐石」。

(4)滾筒轉爐石

將轉爐煉鋼製程所排出之高溫熔渣送入高速滾筒內，並以水及鋼球作冷卻介質，使轉爐石急冷固化及破碎，所產出即稱之為「滾筒轉爐石」。轉爐石經滾筒法處理後具有粒徑均勻、無沾附細粉等特點，資源化加工過程經重覆篩選與磁選，形成粒徑小於 4.75 公厘之滾筒轉爐石(細粒料)。

(5)控制性低強度回填材料(Controlled Low Strength Materials, CLSM)

CLSM 為自充填之水泥基材料，由水、水泥、粗細粒料配合卜作嵐(Pozzolanic Materials)所組成，卜作嵐材料包括爐石粉、飛灰、矽灰及稻殼灰等，CLSM 的配比，乃視實際應用上之需求及材料本身之性質可加以調整，但其組成材料仍需符合流動性與再開挖性的需求^[1.6]，CLSM 的配比中，除原有水、水泥與粗細粒料等必要原料外，有時還需要另外添加化學摻料，以改善或調整 CLSM 性質，滿足在施工上或力學上之需要，如工作性、凝結時間、強度發展速率等^[1.7]。

CLSM 因其無須滾壓夯實及本身可被設計成高流動性，因此適用於狹窄或重型滾壓機具無法到達之區域，通常被使用於管線回填、孔洞回填或用以隔絕限定區域之回填材料。

(6)滾筒轉爐石 CLSM

本手冊之「滾筒轉爐石 CLSM」係指以滾筒轉爐石(細粒料)部分做為再生粒料取代天然粒料(本文中所提及之取代量皆為重量百分比取代量)，再按配比設計所定之配合比例與 CLSM 充分拌和均勻後，可用於管線回填及孔隙填充等使用。

4.適用範圍

本手冊中所規範之轉爐石係指經特別處理過，較不具膨脹性之滾筒轉爐石(細粒料)。國內已將再生粒料使用之相關規定納入控制性低強度回填材料規範中，滾筒轉爐石(細粒料)應用於 CLSM 時，除可參照本手冊所規定之事項外，其中 CLSM 之相關施工規定及要求，可依據行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工綱要規範」第 03377 章「控制性低強度回填材料」之相關規定辦理。

1.2 內容說明

本手冊參考國內外再生材料應用於 CLSM 之相關文獻、規範、研究報告等資料，針對滾筒轉爐石材料性質、工程性質及效益、配比設計、使用規範、產品標準、驗證

機制與環境監測及滾筒轉爐石應用於 CLSM 工程使用應注意事項等逐一探討。本手冊內容摘要說明如下：

(1) 第二章 滾筒轉爐石材料性質

轉爐石在煉鋼過程中產出後會依不同冷卻及處理方式而使得其化學性質及物理性質產生變化，本章內容將說明中鋼集團滾筒轉爐石之產出流程、化學性質、物理性質等項目。

(2) 第三章 工程性質與效益

本章介紹滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品時，其管流度試驗、坍流度試驗、抗壓強度試驗及落沉強度試驗等工程性質，藉由此四項試驗數據說明滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品之效益。

(3) 第四章 配比設計

滾筒轉爐石應用於 CLSM 配比設計之目的、方法及步驟與一般 CLSM 相似，重點在於以適當比例之滾筒轉爐石取代粒料，依據 ACI 混凝土配比設計中絕對體積法的基本精神決定出配比之單位用水量，使滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品能充分達成所需之性質要求。

(4) 第五章 使用規範

使用滾筒轉爐石應用於 CLSM 的產製、運送、施工及計價方式與一般 CLSM 並無差異，故此章僅說明於發包設計時，需事先將有使用滾筒轉爐石為添加物之說明，以及 CLSM 廠操作時須注意之使用規範。

(5) 第六章 產品標準

本章說明滾筒轉爐石應用於 CLSM 粒料之品質標準，供 CLSM 廠在進料時做為允收標準；以及滾筒轉爐石應用於 CLSM 產品時，應符合工程性質。

(6) 第七章 驗證機制

本章說明滾筒轉爐石應用於 CLSM 時，為驗證其能合乎相關工程性質規定及無環境污染之影響，在滾筒轉爐石進料至 CLSM 廠、成品出廠運送至施工現場時，皆可進行抽樣檢驗，以達到品質管制之要求。

(7) 第八章 注意事項

本章係綜合前述各章再提列使用滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品時，從發包、設計、驗證到回收再利用過程中所需注意事項，作綱要性說明，期望有助於業主、設計發包單位與 CLSM 廠參酌應用。

1.3 本手冊使用要點

1. 本手冊說明滾筒轉爐石應用於 CLSM 之材料、設備、施工及檢驗等相關規定，可提供工程採購單位、設計及監造單位、營造業及拌和廠等相關產業之依循或參考，詳細說明如表 1.2。
2. 本手冊僅針對滾筒轉爐石應用於 CLSM 與一般 CLSM 不同之特性加以規定，在使用滾筒轉爐石應用於 CLSM 時，除參照本手冊規定外，其產製、施工及品質管制方式，可依照行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工綱要規範」，或依其他經認可之施工規範辦理。
3. 為確保滾筒轉爐石應用於 CLSM 施工品質，工程主辦機關應落實公共工程三級品質管制制度。滾筒轉爐石應用於 CLSM 品質管制，可參照行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工品質管理作業要點」辦理。
4. 各工程主辦機關決定使用滾筒轉爐石應用於 CLSM 時，應依據工程特性及需求，決定所需使用滾筒轉爐石應用於 CLSM 品質要求。除應提供詳細資料載明於工程圖說外，並應充分瞭解本手冊之有關規定。
5. 本手冊僅依目前之技術將其設計及施工方法加以說明，但預期未來將有新工法或新技術陸續開發，故在不違反公共工程品質管制規定及徵得業主同意下，設計者若提供配比設計報告書（內容應敘明滾筒轉爐石摻配方式、相關材料料源、配比設計及試拌結果等資料），經工程監造單位核可者亦可採用。

表 1.2 使用者快速索引對照表

對 象	項 目	參 考 章 節
CLSM 拌和廠	滾筒轉爐石生產與管理記錄 (生產批次、數量、日期...等)	6.1 滾筒轉爐石粒料品質標準 6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 之品質標準
	滾筒轉爐石允收品質標準與報告	6.1 滾筒轉爐石粒料品質標準
	滾筒轉爐石收料管制、退貨與管理方式	6.1 滾筒轉爐石粒料品質標準
	滾筒轉爐石與 CLSM 生產拌和 配比與規範	第四章 配比設計
	CLSM 必要品質檢測報告	6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 之品質標準
監造單位	CLSM 允收標準與檢驗報告	6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 之品質標準
	供料使用管理記錄	5.2 資料審查
	CLSM 品質檢測報告	6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 之品質標準 7.1 驗證檢驗要點
採購機關	採購招標規範、規格與允收標準	5.2 資料審查 6.1 滾筒轉爐石粒料品質標準 6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 之品質標準
	計價方式	附錄 1 公共工程委員會施工綱要規範
	CLSM 驗收項目與檢驗項目	6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 之品質標準
	保固與品質	依發包單位需求辦理
設計單位	配比設計流程	2.2 滾筒轉爐石之一般性質 第四章 配比設計

參考文獻

- 1.1 「轉爐石瀝青混凝土使用手冊」，中國鋼鐵股份有限公司，中龍鋼鐵股份有限公司，（2017）。
- 1.2 「Steel Furnace Slag」，Australasian(iron&steel)slag association,Quick Reference Guide 3，（2014）
- 1.3 「Steel furnace slag aggregate expansion and hardened concrete properties」,Cement and Concrete Composites, Alexander S. Brand, Jeffery R. Roesler,Volume 60,July, Pages 1-9,（2015）。
- 1.4 「推動產業循環經濟，永續發展大家談」，財團法人台灣營建研究院，營建知訊 CONSTRUCTION NEWS RECORD，第 419 期，鄭百宏、邱暉仁，P23-30，（2017）。
- 1.5 「爐渣作為混凝土粒料的問題及策略」，技師期刊，第 62 期，P21-31，王韡蓓，劉志堅、李釗、許書王，（2013）。
- 1.6 「台灣常用爐石與工程應用實務」，台灣土木技師公會，技師報，第 938 期，蔡柏棋，徐登科，（2014）。
- 1.7 「廢牡蠣殼應用於控制性低強度材料可行性之研究」，國立高雄應用科技大學土木工程系碩士論文，蘇德馨，（2012）。

第二章 滾筒轉爐石材料性質

2.1 滾筒轉爐石之生產

煉鋼爐石為煉鋼過程所產出之副產品。國內煉鋼製程包含一貫作業煉鋼及電弧爐煉鋼，所產生之爐石皆通稱為煉鋼爐石；前者所產生之煉鋼爐石稱為轉爐石，後者所產生之煉鋼爐石包含電弧爐氧化渣與電弧爐還原渣。一貫作業煉鋼為由鐵礦石煉成鐵再煉至鋼之製程，其以鐵礦石、石灰石和焦炭等天然原物料於高爐中煉製鐵水，再直接以此鐵水加入石灰於轉爐中煉鋼；過程中於高爐每冶煉 1 噸鐵水會產出約 310 公斤之高溫熔渣，冷凝為固體後稱為高爐石，而於轉爐每吹煉 1 噸鋼時，大約產生 100-118 公斤之高溫熔渣，冷凝為固體後稱為轉爐石^[2,1]，其生產流程如圖 2.1 所示。

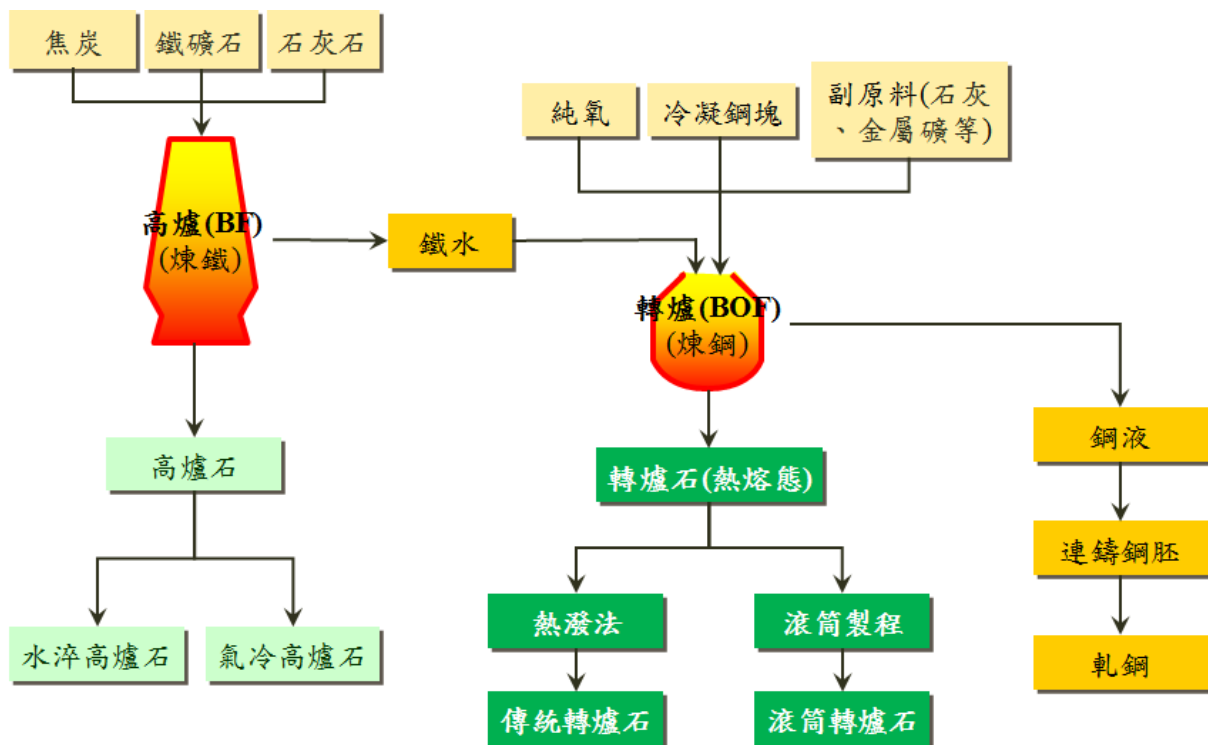


圖 2.1 一貫作業煉鋼爐石產出流程

轉爐石於出渣冷卻時，若未經任何處理程序，會因轉爐石中存在之游離氧化鈣（f-CaO）及游離氧化鎂（f-MgO）引起膨脹現象而造成體積不穩定，為使轉爐石達到工程所需之粒料性質要求，因此資源化再利用前必須提高其穩定性，為提升轉爐石之安全性，中鋼集團於實驗室評估各種商業化轉爐石處理方法後，目前以「滾筒法」和「改質法」為兩大主軸技術。

「滾筒法」為中龍公司做為轉爐石之處理方法以生產「滾筒轉爐石」，滾筒處理技術是將高溫熔融爐渣在轉動的滾筒中，利用大量水及鋼球進行冷卻，並藉由筒身與鋼球之滾動時所造成的應力作用，使高溫熔渣在筒內進行急速冷卻與碎化，且利用鋼與渣體收縮率不同的原理將鋼、渣分離，以穩定材料性質與顆粒均勻性，如圖 2.2 所示。轉爐石經滾筒法處理後具有粒徑均勻、無沾附細粉等特點，資源化加工過程經重覆篩選與磁選，形成粒徑為小於 4.75 公厘之滾筒轉爐石(細粒料；型號：AC1)，如圖 2.3 所示。

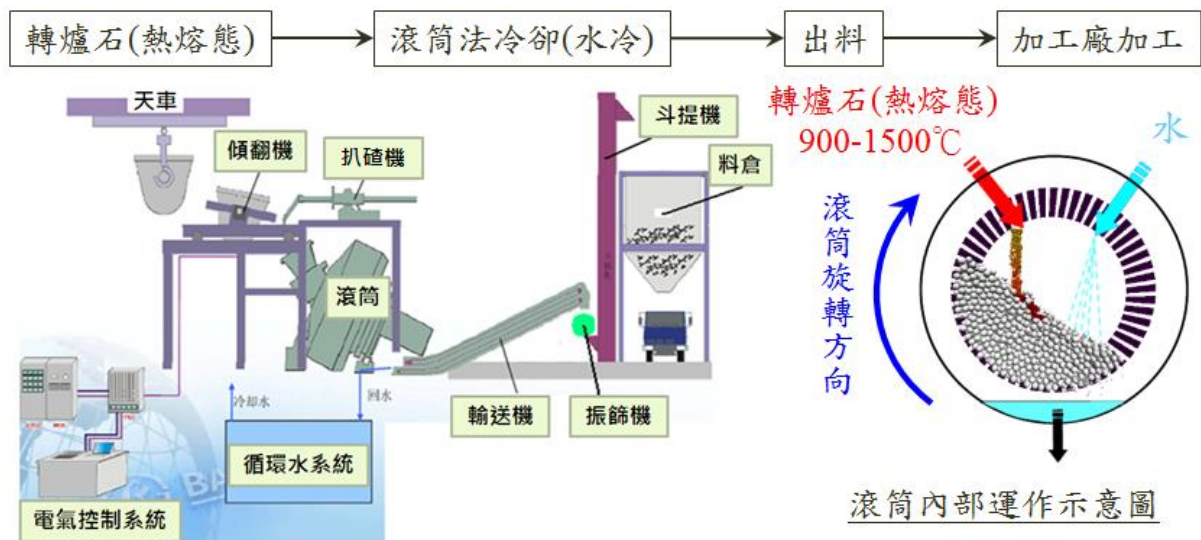


圖 2.2 滾筒轉爐石製程說明圖



圖 2.3 滾筒轉爐石(細粒料；型號：AC1)外觀圖

2.2 滾筒轉爐石之一般性質

轉爐煉鋼是以鐵水吹氧冶煉，由於製程條件之不同，所生產之轉爐石具有不同之物化性質，茲詳述如下：

1. 滾筒轉爐石之化學性質

轉爐石主要化學成分為氧化鈣 (約 38~45%)，其次為三氧化二鐵 (約 23~33%)、二氧化矽 (約 8~12%)，並含少許 Al_2O_3 、 MgO 等其他化學成分，詳細成分如表 2.1 所示，各主要化學成分之特性如下：

- (1) 氧化鈣 (CaO)： CaO 為爐石之主要成分， CaO 含量高，能生成較多矽酸鹽類，形成活性較高之矽酸二鈣 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 及硫鋁酸鈣。
- (2) 二氧化矽 (SiO_2)： SiO_2 主要生成低鈣矽酸鹽和高矽玻璃體，有時 SiO_2 以游離狀態存在，阻礙礦物水化結晶過程使其活性下降，由於轉爐石中 CaO 與 MgO 之總含量，不足以使 SiO_2 充分結合成玻璃質，所以 SiO_2 含量過多反而降低活性。
- (3) 氧化鋁 (Al_2O_3)： Al_2O_3 亦是決定爐石活性之成分之一，在爐石中易形成鋁酸鹽和鋁矽酸鹽等礦物，其含量愈多活性愈大。
- (4) 氧化鎂 (MgO)：在轉爐石內 MgO 與 SiO_2 及 Al_2O_3 結合成穩定型化合物，當 MgO 增加時會提高轉爐石之活性，因此轉爐石中 MgO 含量多寡與其活性大小有關。
- (5) 氧化錳 (MnO)： MnO 含量在 1~8%，氧化錳之存在會影響轉爐石之健度。

表 2.1 傳統轉爐石及滾筒轉爐石化學成分之含量

化學物質	傳統轉爐石 含量 ^(註 1) (%)		滾筒轉爐石 含量 ^(註 2) (%)	
	平均	標準差	平均	標準差
氧化鈣 (CaO)	40.8	2.43	40.5	3.99
二氧化矽 (SiO ₂)	10.4	1.74	8.6	1.88
三氧化二鐵 (Fe ₂ O ₃)	28.2	4.62	27.9	5.16
氧化錳 (MnO)	2.05	0.59	2.6	0.34
氧化鎂 (MgO)	6.9	1.24	2.6	0.34
三氧化二鋁 (Al ₂ O ₃)	3.4	1.14	1.6	0.45
五氧化二磷 (P ₂ O ₅)	2.6	0.3	2.8	0.44
氧化鉻 (Cr ₂ O ₃)	0.2	0.04	0.2	0.07
CaO/ SiO ₂	4.0	0.62	4.9	1.00
資料來源 註 1：中鋼、中龍傳統轉爐石 101-105 年度統計資料。 註 2：中龍滾筒轉爐石 102-106 年度統計資料				

2. 滾筒轉爐石之物理性質

滾筒轉爐石係由多種礦物組成之固熔體，隨著化學成分之變化而有所不同，其物理性質與化學成分有著密切關係。滾筒轉爐石(細粒料)之物理性質詳如表 2.2。

表 2.2 滾筒轉爐石(細粒料)物理性質分析表

項 目		硫酸鈉健度 (%)		吸水率 (%)		比重		浸水膨脹比 (%)	
		平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
性質 數據	滾筒轉爐石(細粒料)	0.51	0.38	2.3	0.54	3.37	0.08	0.73 ^{註 1}	0.27 ^{註 1}
								0.14 ^{註 2}	0.12 ^{註 2}
備註	1. 依 CNS 15311 試驗，混合比例為 100%滾筒轉爐石(細粒料) 2. 依 CNS 15311 試驗，混合比例為 20%滾筒轉爐石(細粒料)+80%天然粒料								

參考文獻

- 2.1 「轉爐石生產製程與工程應用」，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面研討會，許伯良、林平全、徐登科，社團法人中華鋪面工程學會，（2011）。

第三章 工程性質及效益

3.1 一般原則

滾筒轉爐石應用於 CLSM 之各項基本物理性質試驗，其結果皆符合公共工程施工綱要規範第 03377 章之坍流度、落沉強度試驗、抗壓強度及氯離子含量等要求，可替代天然粒料作為 CLSM 之粒料使用，導入土木工程應用具有需求量大且穩定的特性，蔚為各國推動轉爐石再利用的趨勢，如表 3.1 及表 3.2 分別為日本及美國近年鋼爐碴資源化應用概況，對於環境的保護，降低工業副產品生產量及回收再利用工業副產品是實現永續發展的主要因素，為了達成永續發展，這些因素一定要和政府政策，經濟及當地文化正確的結合在一起。

表 3.1 日本鋼爐碴資源化應用概況表

單位：千噸

年度	爐碴種類	產量	再利用	道路用	水泥用	土壤改良	土木工程	化肥用	其他用	填土用	合計
2012	轉爐石	11,036	2,584	3,085	525	426	3,474	10	734	62	10,901
	電爐石	2,726	26	1,070	20	29	1,240	196	201	138	2,920
	合計	13,762	2,610	4,155	545	455	4,714	206	935	201	13,821
2013	轉爐石	11,620	2,435	4,176	531	807	4,239	23	613	34	12,857
	電爐石	2,777	25	1,007	35	72	1,206	124	263	107	2,840
	合計	14,397	2,459	5,182	566	879	5,446	147	877	141	15,697
2014	轉爐石	12,247	3,228	4,003	504	551	3,738	20	715	55	12,816
	電爐石	2,831	33	1,062	20	58	1,087	123	290	138	2,811
	合計	15,079	3,261	5,065	525	608	4,826	143	1,006	194	15,627
2015	轉爐石	11,614	3,005	3,514	479	442	3,386	25	616	52	11,521
	電爐石	2,624	47	1,155	26	20	869	83	256	166	2,623
	合計	14,238	3,053	4,670	505	463	4,255	108	872	219	14,143
2016	轉爐石	11,482	2,614	3,351	515	509	3,657	19	726	103	11,494
	電爐石	2,627	65	1,159	25	16	959	47	251	124	2,646
	合計	14,110	2,679	4,509	540	525	4,615	67	977	227	14,140

資料來源：NIPPON SLAG ASSOCIATION (<http://www.slg.jp/pdf/Steel%20Slag%202016FY.pdf>)

表 3.2 美國鋼爐渣資源化應用概況表

資源化用途	2014 年			2015 年		
	高爐石 (%) ²		轉爐石 (%)	高爐石 (%) ²		轉爐石 (%)
	氣冷式	水淬式		氣冷式	水淬式	
混凝土粒料	9.7	—	(3)	7.7	—	—
混凝土產品	1.9	—	—	2.7	—	1.1
瀝青混凝土	21.4	—	11.9	21.9	—	11.8
路基和表面	44.7	—	49.7	49.7	—	50.7
填土用	10.2	—	12.6	8.0	—	9.9
水泥原料	—	99.7	—	—	99.8	—
煉磚原料	—	—	2.6	—	—	2.9
雜項用途 ⁴	6.4	0.3	1.2	5.8	0.2	1.3
其它用途 ⁵	5.7	—	22.0	4.2	—	22.3

備註：

1. 受訪者調查回覆僅提供其爐渣之主要資源化用途，因此，次要資源化用途可能未回報。本數據包含部分估算值，因此準確值不超過 2 個小數位數。
2. 不包括易膨脹或粒狀爐渣；此材料通常作為輕質骨材出售。
3. 小於 0.05%。
4. 應用方式包含用於鐵路道渣、屋面、礦織或土壤改良劑。
5. 包含回爐再利用（應用量可能低估）及其他用途。

資料來源：U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey

(https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel_slag/myb1-2015-fesla.pdf)

3.2 應用實例

中鋼集團為驗證滾筒轉爐石應用於 CLSM 之成效，已先於中鋼集團廠區內試行鋪設滾筒轉爐石應用於 CLSM 試驗場址，並分析場址鋪設使用後鋪 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM) 0-10 cm 土壤採樣進行重金屬檢測分析，其檢測結果(如表 3.3)皆低於國內土壤污染監測及管制標準。



圖 3.1 中聯台中廠區鋪設滾筒轉爐石 CLSM
(107 年 3 月 1 日拍攝)



圖 3.2 CLSM 工程案例

(上二圖：107 年 6 月 8 日拍攝；下二圖 106 年 12 月 10 日拍攝)

表 3.3 滾筒轉爐石之 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM)0-10cm 土壤數據表

檢測項目	檢測方法	單位	土壤污染 監測標準	土壤污染 管制標準	中聯台中廠區		MDL
					鋪 CLSM 區域	鄰近區域 (未鋪 CLSM)	
pH	NIEA S410.62C	—	—	—	8.3~8.5 (25.1~25.2℃)	8.8 (25.0℃)	-
砷	NIEA S310.64B	mg/kg	30	60	4.75~7.10	7.53	0.112
汞	NIEA M317.04B	mg/kg	10	20	ND	ND	0.033
鎘	NIEA S321.64B/ M104.02C	mg/kg	10	20	0.13~0.22	0.22	0.07
鉻	NIEA S321.64B/ M104.02C	mg/kg	175	250	14.9~26.1	23.8	1.87
銅	NIEA S321.64B/ M104.02C	mg/kg	220	400	5.86~8.12	9.00	1.92
鎳	NIEA S321.64B/ M104.02C	mg/kg	130	200	11.6~15.3	15.8	0.79
鉛	NIEA S321.64B/ M104.02C	mg/kg	1000	2000	9.50~11.4	13.2	1.01
鋅	NIEA S321.64B/ M104.02C	mg/kg	1000	2000	51.0~57.6	63.4	1.97

備註：

1. 中聯台中廠區於 106 年 9 月鋪設 CLSM；
2. 採樣日期：107 年 3 月 27 日；
3. 採樣/檢測單位：台灣檢驗科技股份有限公司

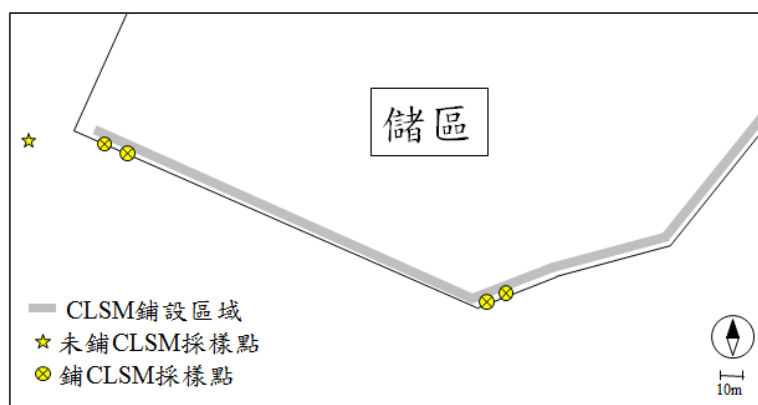


圖 3.3 滾筒轉爐石之 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM)土壤採樣點示意圖

3.3 滾筒轉爐石應用於 CLSM 之工程性質

滾筒轉爐石取代天然粒料應用於 CLSM 可符合公共工程施工綱要規範第 03377 章控制性低強度材料之一般要求，詳細規範如表 3.4 滾筒轉爐石應用於 CLSM 之工程性質規範表，供設計及使用單位參考，惟各試驗項目之規範值仍需視實際工程需求調整。

表 3.4 滾筒轉爐石應用於 CLSM 之工程性質規範^[3.1]

試驗項目	28 天抗壓強度 (kgf/cm ²)	坍流度 (cm)	落沉強度試驗 (mm)
規範值	≤90	≥40	≤76

3.4 使用滾筒轉爐石製作 CLSM 之產品效益

本節針對滾筒轉爐石符合一般粒料應用於 CLSM 之產品效益，說明如下：

- (1) 具備可流動性、無收縮性、塑性以及自動壓實性等多重特性，其施工程序可免于滾壓，節省施工成本。
- (2) 抗壓強度之要求不高，故 CLSM 之材質要求相對於水泥混凝土而言，亦較為寬鬆。
- (3) 減少天然砂石開採，推動綠色循環經濟，實現資源永續發展。

參考文獻

- 3.1 「控制性低強度回填材料」，行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第七版次，(2016)。

第四章 配比設計

4.1 一般原則

滾筒轉爐石應用於 CLSM 配比設計之目的、方法及步驟與一般 CLSM 相似，但滾筒轉爐石應用於 CLSM 配比設計仍具有一些特性，應參照本章之規定辦理。

4.2 使用滾筒轉爐石製作 CLSM 配比設計原則

1. 滾筒轉爐石應用於 CLSM 配比設計範疇

以適當比例之滾筒轉爐石取代粒料，使滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品能充分達成所需之性質要求，依循之試驗標準為 CNS 15865 之控制性低強度材料圓柱試體之製作及試驗法。

2. 配比設計準則所引用之各項試驗法原則

滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品可依循公共工程施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料，其所引用之各項試驗以第 03377 章所述內容為主，不足者依序以 CNS 或 ASTM 為輔。

4.3 使用滾筒轉爐石製作 CLSM 配比設計步驟

滾筒轉爐石 CLSM 係指使用滾筒轉爐石取代一定比例天然粒料，經配比設計結果確認能滿足工程使用需求後，所拌和而成的 CLSM。由於滾筒轉爐石拌和時其工作性會隨著取代量增加而降低，滾筒轉爐石的比重較天然粒料大，因此取代量提升時，CLSM 的單位重也會上升。

滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品配比設計無論滾筒轉爐石使用比例多寡，皆可依照一般 CLSM 配比設計方式進行，即以水固比(W/S)控制工作性，由水灰比(W/C)控制強度，輔以化學摻料縮短初凝時間，各步驟說明如下，配比設計流程如圖 4.1 所示^[4.1]。

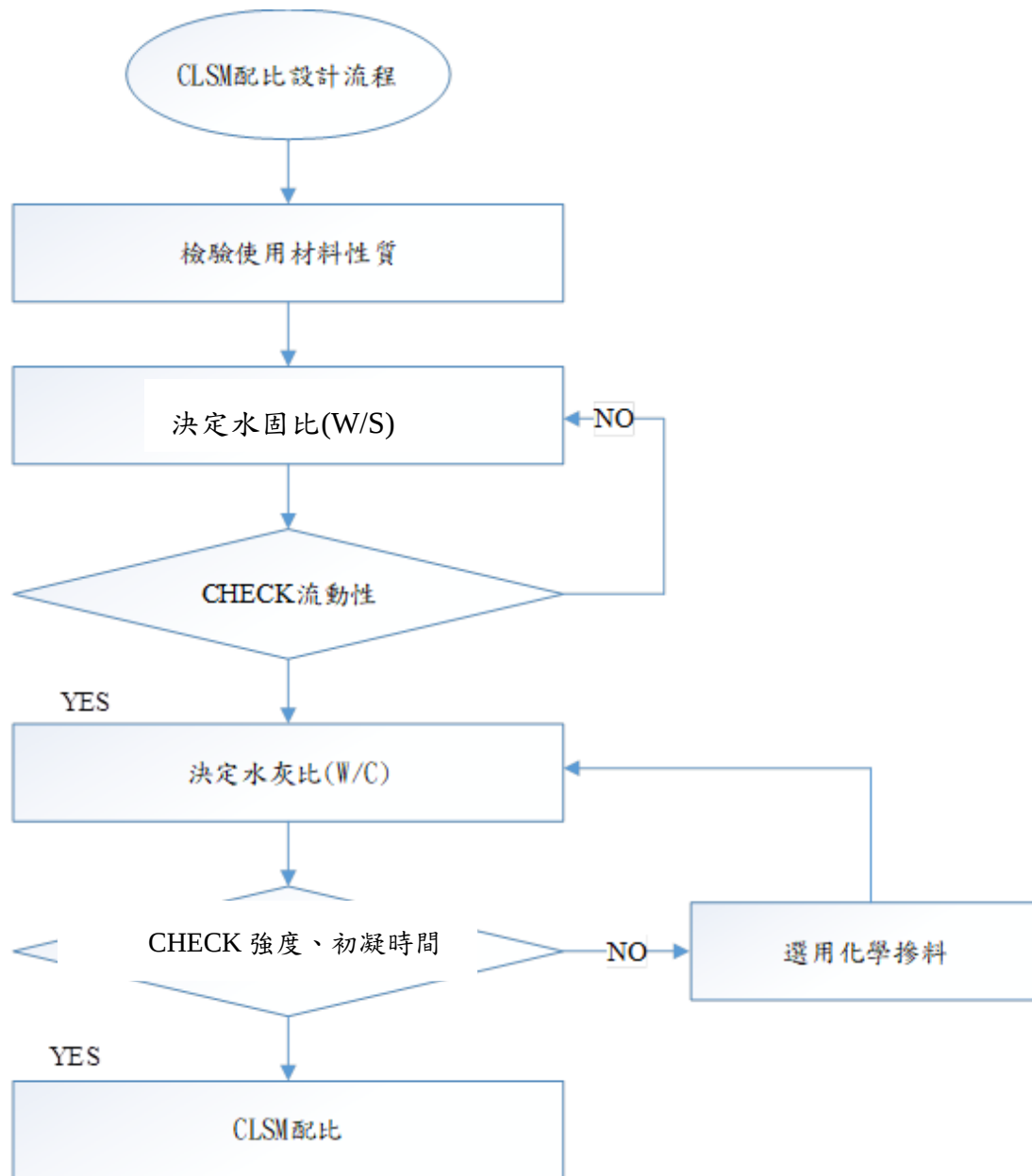


圖 4.1 配比設計流程^[4.1]

1. 決定水固比

水固比係指水對固體粒料之重量比(W/S)，調整水固比可決定 CLSM 工作性^[4.1]。為確保 CLSM 達到工程需要之流動性，通常調整水固比較具明顯效果，增加水固比，流動性會隨之提高。添加滾筒轉爐石拌和 CLSM 時，水固比可由 0.3~0.4 作為配比設計起始值，再經試拌作後續調整。

2. 決定水灰比

水灰比係指水對水泥之重量比(W/C)，調整水灰比可確保 CLSM 達到強度及初凝時間之要求，通常水泥量愈高，初凝時間愈短，而早期的抗壓強度亦較高。添加滾筒轉爐石拌和 CLSM 時，水灰比可由 2.7~5 作為配比設計起始值，再經試拌作後續調整^[4.2]。

3. 選用化學摻料

若配合工程需求欲縮短 CLSM 初凝時間或提升其他工作性，可選用化學摻料如早強劑、發泡劑、速凝劑，以達到所需功效。其中以添加早強劑之效果最為顯著^[4.3]，使用減水早強劑，可大幅提高其流動性，並達到減水之效果，惟當早強劑用量達水泥量 6% 的重量比時，可能會出現泌水與粒料析離現象。

4. 配比設計計算說明

在進行配比設計前，應先確認 CLSM 之工程需求條件與物料基本資料後，再利用計算公式進行計算水固比、水灰比與選用化學摻料等用量，並進行試拌，當確認試拌結果符合需求條件時則完成配比設計，計算步驟如下：

(1) 工程需求條件：

- a. CLSM 要求之流動性，如目標坍流度。
- b. CLSM 之目標強度。
- c. CLSM 需求之可繼續施工時間。
- d. 其他要求限制。

(2) 物料基本資料：

- a. 粗細粒料之篩分析。
- b. 粗粒料之單位重量。
- c. 粗細粒料之面乾內飽和(SSD)比重及吸水率。
- d. 其他材料性質。

(3) 建議配比設計步驟公式

- a. 依目標坍流度，估計水固比(W/S)。
- b. 由需澆置試體量估計固體重(F)，固體重為水泥重與粒料重之和。
- c. 由水固比與固體重，計算得水重(W)。

- d.由 CLSM 目標強度與經驗資料，估計水灰比(W/C)。
- e.由水灰比與水重，計算得水泥重(C)。
- f.以前面估計固體重與水泥重，計算得粒料重(F)。
- g.決定水固比，試拌調整水固比以達目標坍流度。
- h.決定水灰比，由試拌調整水灰比以達到目標強度與初凝時間需求，並可考慮是否添加化學摻料。
- i.決定化學摻料添加量，由試拌調整添加比例，以達到需求目標性質。
- j.由所決定之水固比、水灰比與化學摻料添加量，經前述計算方式可求得各材料用量。
- k.利用重量比方式，將上述各材料使用量換算成生產 1 立方時各材料之使用量，即可求得配比設計值。

(4) 計算公式

- a. 水固比(W/S)=水重(W)/固體重(S)
- b. 水灰比(W/C)=水重(W)/水泥重(C)
- c. 固體重(S)=水泥重(C)+粒料重(F)
- d. 化學摻料添加量(A)=水泥重(C)之 X%^[4.3]

4.4 試拌

所得之滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品配比設計結果應在實際施工作業前，以實際使用之材料及比例進行試拌，驗證各項配比設計結果之性質是否與試驗室內之結果相符，以及是否符合施工作業之需要，且滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品各項重要性質應符合要求方能採用，否則應修正配比設計後再進行試拌至符合要求。

4.5 注意事項

1. 公共工程施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料可使用卜作嵐摻料(如水淬高爐爐渣粉、燃煤飛灰等) 或水泥系處理劑取代部分水泥作為膠結材料使用，其配比設計應透過試拌確認其性質符合工程之需求。
2. CLSM 配比設計完成後，應記錄其試拌試驗結果，包含使用材料、配比方式、配比結果及工程性質試驗結果，以利後續產製作業。^[4.3]

參考文獻

- 4.1 「焚化廠底灰應用於工程回填材料之環境安全性研究」，國立臺灣大學土木系碩士論文，胡志誠，（2004）。
- 4.2 「都市垃圾焚化底渣於管溝回填應用之探討」，國立中華大學土木系碩士論文，陳怡伶，（2006）。
- 4.3 「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」，行政院環境保護署，（2015）。

第五章 使用規範

5.1 使用要點

滾筒轉爐石應用於 CLSM 的產製與施工，各階段作業之相關要求及注意事項，除本章所述之外，可參照公共工程委員會施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」規定。

5.2 資料審查

1. 滾筒轉爐石於供料前，拌和廠應查驗相關供應證明文件，內容包括出廠證明文件及品質報告等。
2. 拌和廠應檢附經濟部公司執照及工廠登記證或經權責單位核可設立之證明文件。
3. 含滾筒轉爐石之 CLSM 於施工前，應查驗含滾筒轉爐石之 CLSM 品管作業文件，內容包含滾筒轉爐石規格品質證明文件、配比設計方式、相關試驗方法以及其相關之工程性質等。

5.3 材料

1. 拌和廠進行滾筒轉爐石進料品質管制時，可於滾筒轉爐石進料時查核出廠證明、經認證之粒料試驗報告及每季一次之 TCLP 定期委外報告，並留存資料，以供後續備查，若有疑慮時，應洽出廠公司。
2. 滾筒轉爐石料源應維持穩定，否則需增加產品檢驗頻率，而除工程司有特殊要求，品質檢驗與驗收標準應依照施工規範內之規定為主。
3. 各進料斗倉之進料口處應明確標示滾筒轉爐石，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將滾筒轉爐石誤用至其他用途。
4. 滾筒轉爐石皆依照中鋼集團編撰之轉爐石自主管理計畫進行管制，內容針對滾筒轉爐石管理機制、紀錄皆有明確說明。

5.4 配比設計

1. 滾筒轉爐石 CLSM 應作配比設計可參照第四章說明進行，並考量滾筒轉爐石之膨脹性質，其取代總粒料不得超過 30%。
2. 配比設計宜以工程預定用料作試拌，並有流動性、初凝時間與強度發展等工程性質試驗紀錄資料，以確認性質符合工程需求及提供施工規劃參考，國內 CLSM 相關規範可參考表 5.1。
3. 滾筒轉爐石 CLSM 若用於有時間要求之回填工程，宜在配比設計時調整與確認其初凝時間特性，並依該特性作後續施工規劃，以提升施工效率。

5.5 產製

1. 拌和
 - (1) 含滾筒轉爐石之 CLSM 應在拌和廠進行拌和作業以穩定產製 CLSM 之品質。
 - (2) 含滾筒轉爐石之 CLSM 應依照配比設計結果進行拌和作業，產製期間不宜自行更動配比，若有疑慮須經工程單位同意後執行。
 - (3) 拌和廠內不同料源及尺寸之粒料應分開儲放，並避免混料情形發生。
 - (4) 拌和廠內之儲存槽、計量器、校正用標準砝碼、拌和水之計量設備等須符合 CNS 3090 之規定。
 - (5) 所有拌和設備，均應隨時保持良好之操作狀態，並提供足夠充份之預備機件，以備機械發生故障時使用。
2. 運送
 - (1) 運送時應保持新拌之 CLSM 品質均勻，避免造成材料析離及泌水。
 - (2) 於運送過程中，不可另外添加水量或其他外加摻料，以保持 CLSM 既有品質。

5.6 計量與計價

在編製含滾筒轉爐石之 CLSM 工程預算或估價時，可參考下列計量與計價方式，進行相關作業。

1. CLSM 以「立方公尺」或「平方公尺」並註明厚度方式計量，除另有規定外，其數量依設計圖說所示之尺度計算之。

2. CLSM 之付款依契約詳細價目表之單價給付，其單價包括一切人工、材料、鋪築、養護、工具、裝備及雜項費用。

表 5.1 國內 CLSM 材料規範彙整^[5.1、5.3、5.4、5.5、5.6]

規定項目		內政部營建署 CLSM 規範		台北市政府 工務局 CLSM 規範	高雄市政府 工務局 CLSM 規範	公共工程 委員會 CLSM 規範
		制式材料	非制式材料			
工作性	坍度	-	19cm 以上	-	-	-
	坍流度	-	40cm 以上	40-60cm	40cm 以上	40cm 以上
	管流度	15 ~ 20cm	-	-	15~20cm	15 ~ 20cm 20 ~ 30cm
凝結時間		早強型 3 ~ 5hr 一般型 12~36hr	-	4 hr 以內	-	-
單位重		2000 kg/m ³ 以下	-	-	-	-
粗粒料用量		400 kg/m ³ 以下	-	400 kg/m ³ 以下	400 kg/m ³ 以下	400 kg/m ³ 以下
抗壓強度	24 小時 齡期	-	-	7 kgf/cm ² 以上	-	-
	28 天齡 期	7 ~ 90 kgf/cm ²	5~30 kgf/cm ²	40~80 kgf/cm ²	35~90 kgf/cm ²	90 kgf/cm ² 以下
落沉強度試驗		-	7.6 cm 以下	7.6 cm 以下 早強型 4hr 一般型 24hr	7.6 cm 以下 早強型 4hr 一般型 24hr	7.6 cm 以下 早強型 3 ~ 4hr 一般型 12 ~ 24 hr
備註：依公共工程委員會規定，坍流度及管流度可擇一試驗辦理。						

參考文獻

- 5.1 「控制性低強度回填材料」，行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第七版次，（2016）。
- 5.2 「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」，行政院環境保護署，（2015）。
- 5.3 「再生材料資源化應用於預拌土壤材料之工程性質研究」，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，陳政宏，（2012）。
- 5.4 「添加爐灰與聚丙烯纖維對預拌土壤材料粒學性質之研究」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，王圍任，（2008）。
- 5.5 「控制性低強度回填材料」，台北市政府工務局，施工規範第 03377 章，第二版次，(2015)。
- 5.6 「控制性低強度回填材料」，高雄市政府工務局，施工規範第 03377 章，第四版次，(2018)。

第六章 產品標準

6.1 滾筒轉爐石品質標準

1. 中鋼集團滾筒轉爐石於出廠前會定期進行品質試驗，包括物理特性及環境相關試驗(毒性溶出特性程序試驗，TCLP)，詳細試驗項目及中鋼集團產品標準如表 6.1 及表 6.2 所示。
2. CLSM 拌和廠於滾筒轉爐石進料時，可要求中鋼集團提供滾筒轉爐石品質報告書，以確認符合表 6.1 及表 6.2 之品質標準，若 CLSM 拌和廠有疑慮，可自行抽樣委託第三公正單位試驗。
3. 為避免滾筒轉爐石膨脹特性影響 CLSM 之耐久性，須符合下列標準：
依 CNS 15311 試驗^[6.1]，滾筒轉爐石(細粒料)浸水膨脹比不得超過 3%；滾筒轉爐石(細粒料)混合天然粒料或其他再生粒料時，該混合料浸水膨脹比不得超過 0.5%。
4. 產品回收再利用應符合中央目的事業主管機關之相關再利用規定或經第三者專業機構驗證足以滿足工程需求者。

表 6.1 滾筒轉爐石品質標準

篩號/粒徑		產品標準	
		滾筒轉爐石(細粒料)	檢驗方法
篩通過率	3/8" / 9.5 mm	-	CNS 486
	#4 / 4.75 mm	>95	
	#8 / 2.36 mm	-	
	#16 / 1.18 mm	-	
	#30 / 0.6 mm	-	
	#50 / 0.3 mm	-	
	#100 / 0.15 mm	-	
物理特性	健性(%)	≤ 10	CNS1167 (使用硫酸鈉之粒料試驗法)
	吸水率(%)	≤ 3	CNS 488
	膨脹測試(%)	≤ 3	CNS 15311

表 6.2 滾筒轉爐石 TCLP 溶出濃度數值

材料/標準	As	Hg	Ba	Cd	Cr	Cu	Pb	Se	Cr(VI)
滾筒轉爐石檢測值	ND	ND	0.286	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MDL	0.038	0.0004	0.017	0.016	0.017	0.017	0.021	0.039	0.01
有害事業廢棄物 認定標準	>5.0	>0.2	>100	>1.0	>5.0	>15	>5.0	>1.0	>2.5
中聯資自主品管	<0.5	<0.02	<10	<0.1	<0.5	<1.5	<0.5	<0.1	<0.25
備註	1. 測試方法係依據環保署公告之方法 NIEA R201.15C 進行測試。 2. 滾筒轉爐石檢測值數據為中聯資源委台灣檢驗公司檢驗報告(報告編號：AR/2017/80163)。 3. ND：表該數據低於方法偵測極限之測定值(MDL)。 4. MDL：偵測極限之測定值(報告編號：AR/2017/80163 之 MDL)。								

6.2 滾筒轉爐石製作 CLSM 品質標準

CLSM 廠應提送含括表 6.3 所列各項性質之試驗計畫，經工程司核可後，進行配比設計試驗。

滾筒轉爐石 CLSM 成品於出廠運送至施工現場時，業主或設計發包單位皆應進行抽樣檢驗，以確認其符合公共工程施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料之品質標準，其品質標準及抽驗頻率皆與一般市售 CLSM 相同(如表 6.3 所示)。

表 6.3 CLSM 之性質要求^[6.2]

項目	試驗方法	要求
*註 1 管流度 (cm)	CNS 15462	[15-20][20-30][]
*註 1 坍流度 (cm)	CNS 14842	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862	一般型：[12][24][]小時 早強型：[3][4][]小時
28 天抗壓強度 (kgf/cm ²)	CNS 15865	[90 ^{註 2}][]以下
氯離子含量	CNS 13465	如使用於金屬管線埋設物之回填時， 須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非 金屬管線埋設物之回填時，可免辦理 本項試驗

*註 1：管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

*註 2：因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。

參考文獻

- 6.1 「CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」，經濟部，（2010）。
- 6.2 「控制性低強度回填材料」，行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第七版次，（2016）。

第七章 驗證機制

滾筒轉爐石應用於 CLSM 時，為驗證能合乎相關工程性質規定及無環境污染之影響，在 CLSM 出廠運送至施工現場時，皆應進行抽樣檢驗，以達到品質管制之要求。

7.1 驗證檢驗要點

1. 拌和廠滾筒轉爐石進料品質管制，滾筒轉爐石粒料進料時需查核出廠證明、粒料試驗報告及每季一次之 TCLP 定期委外報告，並留存資料，以供後續備查，若有疑慮時，應洽出廠公司。
2. 滾筒轉爐石(細粒料)測試其 CNS 15311 浸水膨脹比須小於 3%。
3. 滾筒轉爐石(細粒料)依拌和公式取代量混合於粒料時，測試其混合料 CNS 15311 浸水膨脹比須小於 0.5%。
4. CLSM 現場執行之項目如表 7.1 所示^[7.1]。

表 7.1 CLSM 試驗項目表^[7.1]

項目	試驗方法	要求
*註 1 管流度 (cm)	CNS 15462	[15-20][20-30][]
*註 1 坍流度 (cm)	CNS 14842	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862	一般型：[12][24][]小時 早強型：[3][4][]小時
28 天抗壓強度 (kgf/cm ²)	CNS 15865	[90 ^{註 2}][]以下
氯離子含量	CNS 13465	如使用於金屬管線埋設物之回填時， 須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非 金屬管線埋設物之回填時，可免辦理 本項試驗

*註 1：管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

*註 2：因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。

7.2 環境監測

中鋼集團之滾筒轉爐石經過安定處理、破碎、磁選及篩分後，會定期檢測 TCLP(依據 CNS 15310 環境相容性規定)、輻射及戴奧辛試驗，且依各國標準檢驗結果顯示皆符合國內外標準^[7.2]。整體而言，從原料(詳述於本手冊 6.1 節)、CLSM 產品之檢驗(詳述於本手冊附錄 3)，乃至 CLSM 產品應用後土壤之檢驗(詳述於本手冊 3.2 節)顯示皆符合國內法規標準，故建議本手冊應用於 CLSM 產製、施工或使用產品之單位毋須進行相關環境監測。

參考文獻

- 7.1 「控制性低強度回填材料」，行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範第03377章，第七版次，（2016）。
- 7.2 「轉爐石對環境相容性之探討」，轉爐石應用石瀝青混凝土鋪面研討會，陳信榮、張簡國禎，（2011）。

第八章 注意事項

8.1 一般原則

滾筒轉爐石係中鋼集團在煉鋼過程中所產生之副產品，基於工程砂石粒料日益短缺，避免耗用自然資源及落實公共工程資源再利用政策，本手冊於前述各章已針對基本性質、配比設計、施工過程及應用範圍等內容，提出詳細之敘述。滾筒轉爐石應用於 CLSM 材料時，其工程設計之方法及步驟與一般 CLSM 類似，本章係綜合前述各章再提列使用滾筒轉爐石應用於 CLSM 之產品時所需之條件及注意事項等，作綱要性說明，期望有助於業界參酌應用。

8.2 發包

1. 若主辦機關設計添加滾筒轉爐石於 CLSM 時，須事先於發包文件中註明其種類及摻配比例，滾筒轉爐石 CLSM 發包文件可參考附錄 2。
2. CLSM 拌和廠於滾筒轉爐石進料時可要求查核出廠證明、粒料試驗報告及每季一次之 TCLP 定期委外報告，並留存資料，以供後續備查，若有疑慮時，應洽出廠公司。
3. 滾筒轉爐石料源應維持穩定，否則需增加產品檢驗頻率，而除工程司有特殊要求，品質檢驗與驗收標準應依照施工規範內之規定為主。
4. 各進料斗倉之進料口處應明確標示滾筒轉爐石，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將滾筒轉爐石誤用至其他用途。
5. 滾筒轉爐石皆依照中鋼集團編撰之轉爐石自主管理計畫進行管制，內容針對滾筒轉爐石管理機制、紀錄皆有明確說明。含滾筒轉爐石之 CLSM 應作配比設計，可參照第四章說明進行，以利於提升配比設計效率。
6. 配比設計宜以工程預定用料作試拌，並有流動性、初凝時間與強度發展等工程性質試驗紀錄資料，以確認性質符合工程需求及提供施工規劃參考。
7. 含滾筒轉爐石之 CLSM 若用於有時間要求之回填工程，宜在配比設計時調整與確認其初凝時間特性，並依該特性作後續施工規劃，以提升施工效率。

8.3 設計

1. 滾筒轉爐石應用於 CLSM 添加量

為符合【公共工程施工綱要規範第 03377 章控制性低強度回填材料】之工程性質規定，並考量滾筒轉爐石之粒料特性，滾筒轉爐石取代總粒料不超過 30%。

2. 滾筒轉爐石比重

因滾筒轉爐石比重較天然粒料高(參考表 2.2)，於配比設計時，須以體積法進行設計，最後再將各材料(粗粒料、細粒料、膠結材及水等)依其比重計算為拌合重量。

3. 注意事項

考量滾筒轉爐石仍具些微膨脹性，在未經相關試驗證實可提高摻配比例並經取得業主同意前，滾筒轉爐石取代總粒料以不超過 30%為限。

8.4 驗證

1. 滾筒轉爐石品質驗證

CLSM 廠於滾筒轉爐石進料時，可要求中鋼集團提供滾筒轉爐石品質報告書，以確認符合表 6.1 及表 6.2 之品質標準，若 CLSM 廠有疑慮，可自行抽樣委託第三公正單位試驗。

2. 滾筒轉爐石膨脹性

中鋼集團對滾筒轉爐石膨脹性之出廠標準為滾筒轉爐石(細粒料)浸水膨脹比不得超過 3%，若 CLSM 廠對膨脹率有疑慮，可自行抽樣委託第三公正單位試驗。

8.5 滾筒轉爐石應用於 CLSM 回收再利用應注意事項

滾筒轉爐石 CLSM 於使用終止時，可依據內政部營建署「營建事業廢棄物再利用種類及管理方式」編號七：營建混合物之再利用管理規定辦理，說明如下：

1. 可交由下列機構處理：

- (1) 經直轄市、縣（市）政府所核准設立可兼收容處理營建混合物之土資場。
- (2) 經直轄市、縣（市）政府依地方自治法規許可設立之營建混合物資源分類處理場。
- (3) 依營建廢棄物共同清除處理機構管理辦法許可並核發登記證之機構。

2. 經分類作業後所產出之粒料，可作為營建工程材料、工程填地及道路工程級配料、工程填地材料、骨材及建材原料、CLSM 混凝土添加材料及磚瓦原料等或委由合格清除處理機構處理。
3. 上述再利用用途之產品應符合國家標準或國際標準或該產品之相關使用規定。

附錄

附錄 1

公共工程委員會

施工綱要規範

附錄 1.1

公共工程委員會施工網要規範

第 03377 章

控制性低強度回填材料

第 03377 章 V7.0

控制性低強度回填材料

1. 通則

1.1 本章概要

控制性低強度回填材料 (Controlled Low Strength Material, 以下簡稱 CLSM) 係由水泥(含水泥系處理劑)、卜作嵐摻料、粒料及水按設定比例拌和而成, 必要時得依規定使用化學摻料。

1.2 工作範圍

本章工作範圍涵蓋 CLSM 之組成材料、性質要求、拌和、設備、品管、檢驗等相關規定。

1.3 相關章節

1.3.1 第 02320 章--不適用材料

1.3.2 第 03050 章--混凝土基本材料及施工一般要求

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準 (CNS)

- | | |
|---------------|--------------------|
| (1) CNS 61 | 卜特蘭水泥 |
| (2) CNS 1240 | 混凝土粒料 |
| (3) CNS 3036 | 混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物 |
| (4) CNS 3090 | 預拌混凝土 |
| (5) CNS 3091 | 混凝土用輸氣附加劑 |
| (6) CNS 12283 | 混凝土用化學摻料 |

- (7) CNS 12387 工程用土壤分類試驗法
- (8) CNS 12549 混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉
- (9) CNS 12833 流動化混凝土用化學摻料
- (10) CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
- (11) CNS 13961 混凝土拌和用水
- (12) CNS 14842 高流動性混凝土坍流度試驗法
- (13) CNS 15286 水硬性混合水泥
- (14) CNS 15462 控制性低強度材料流動稠度試驗法
- (15) CNS 15862 測定控制性低強度材料施加荷重時機之落球試驗法
- (16) CNS 15863 控制性低強度材料密度(單位重)、拌成物體積、水泥含量及含氣量(比重計法)試驗法
- (17) CNS 15864 新拌控制性低強度材料取樣法
- (18) CNS 15865 控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法

1.4.2 目的事業主管機關再利用規定

- (1) 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法
- (2) 經濟部再生利用之再生資源項目及規範
- (3) 內政部營建事業廢棄物再利用種類及管理方式
- (4) 行政院環境保護署垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式

1.5 資料送審

- 1.5.1 品質管制計畫書
- 1.5.2 施工計畫書
- 1.5.3 拌和設備之說明書
- 1.5.4 配比設計報告書

2. 產品

2.1 一般規格

除工程司依工程特殊需求，訂定特殊檢驗項目外，CLSM 應符合表一之基本性質規定。

表一 CLSM 之性質要求

項目	試驗方法	要求
* ^{註1} 管流度 (cm)	CNS 15462	[15-20][20-30][]
* ^{註1} 坍流度 (cm)	CNS 14842	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862	一般型：[12][24][]小時 早強型：[3][4][]小時
28 天抗壓強度 (kgf/cm ²)	CNS 15865	[90 ^{註2}][]以下
氯離子含量	CNS 13465	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非金屬管線埋設物之回填時，可免辦理本項試驗

*註 1：管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

*註 2：因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。

2.2 材料

2.2.1 水泥

- (1) 所使用之水泥應符合 CNS 61 或 CNS 15286 之相關規定。
- (2) 水泥之運送及儲存，除另有規定外，均須符合第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」之相關規定。

2.2.2 水泥系處理劑

如使用現場開挖土石方作為粒料，為增加固化拌和體強度，得使用化學成份中三氧化硫(SO_3)小於 12%之水泥系處理劑，但其餘性質仍應符合 CNS 15286 之相關規定。

2.2.3 卜作嵐摻料

卜作嵐摻料係指水淬高爐爐渣粉、燃煤飛灰等。

- (1) 所使用之卜作嵐摻料應符合 CNS 3036、CNS 12549 之相關規定。
- (2) 卜作嵐摻料之運送及儲存，除另有規定外，均須符合第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」之相關規定。
- (3) 使用 CNS 15286 之水泥時，不得另添加卜作嵐摻料。
- (4) 使用水泥系處理劑時，不得另添加卜作嵐摻料。

2.2.4 粒料

CLSM 使用之粒料，可為產製混凝土用粒料、現場開挖土石方或再生粒料。粒料粒徑不得超過[19][50][]mm，其大於[19][50][]mm 者應篩除或軋碎處理；其中大於 NO.4 試驗篩 4.75mm 之粗粒料用量不得超過[400][] kg/m^3 。使用粒料之規定如下：

- (1) 混凝土用粒料應符合 CNS 1240 之規定。
- (2) 現場開挖土石方應依 CNS 12387 加以分類，其中泥炭土、高塑性有機質土及低塑性有機質土含量不得大於[10][]%，並應符合第 02320 章「不適用材料」之相關規定。
- (3) 再生粒料應符合中央目的事業主管機關之相關再利用規定或經第三者專業機構驗證足以滿足工程需求者。

2.2.5 拌和水

拌和水應符合 CNS 13961 之相關規定。

2.2.6 化學摻料

- (1) 化學摻料應符合 CNS 3091、CNS 12283、CNS 12833 之相關規定。
- (2) 化學摻料之使用量及使用方法應依照製造廠商之配方說明書並提請工程司認可。

2.3 品質管制

2.3.1 CLSM 之單位重、拌和體積與含氣量試驗應依 CNS 15863 之相關規定進行。

2.3.2 CLSM 回填材料配比設計如經核可，其材料之來源、數量、材料級配、比例等，非經依規定程序報請工程司核准，不得擅自變更。

2.3.3 工程配比設計應使用經核准之材料，按重量或體積配料並在準備供料之場地試拌。

2.3.4 拌和設備規定

(1) 拌和廠之料倉、計量器、校正用標準砝碼、給水之計量設備等須符合[CNS 3090][]之規定。

(2) 使用工地型拌和設備產製 CLSM 時，其拌和設備應事先提送計畫，經工程司認可後方得使用。

(3) 所有配料及拌和設備，均應隨時保持良好之操作狀態，並應提供足夠充份之預備機件，以備機械發生故障時使用。

2.3.5 試驗一般規定

供應商應提送含括表一所列各項性質之試驗計畫，經工程司核可後，進行配比設計試驗。

3. 施工

3.1 準備工作

施工前應先依設計圖說之規定完成填築範圍內雜物之清除與基地整平作業，並應確認所有埋設物已按規定裝設及固定完竣。

3.2 產製

所有 CLSM 均應以符合本章之第 2.3.4 款規定之拌和設備為之。

3.3 運送

承包商應於 CLSM 供料使用前擬具 CLSM 之產製輸運計畫，經工程司審核後為之。

3.4 澆置

3.4.1 澆置前，CLSM 應以機械方式充分拌和。

3.4.2 CLSM 灌置入回填區時，應避免對結構體產生偏壓現象。

3.4.3 CLSM 澆置過程中得進行必要之震動搗實。

3.5 養護

CLSM 澆置完成後，需進行灑水養護，並使用麻袋、塑膠布及其他適當物品覆蓋或依設計圖說規定辦理，養護時間依設計圖說規定。

3.6 檢驗

3.6.1 CLSM 於澆置時，應依照 CNS 15864 所規定之程序取樣，進行檢、試驗。

3.6.2 應進行[管流度][坍流度]及氯離子含量試驗（如無鋼材腐蝕疑慮時，報請工程司同意後，得免辦理本項試驗）。試驗應依[CNS 15462][CNS 14842]及 CNS 13465 之相關規定進行，試驗頻率與抗壓強度試驗相同，工程司得視現場狀況隨時增加試驗頻率。

3.6.3 為確保後續工作的執行，工程司得要求進行 CNS 15862 落沉強度試驗，當落沉強度試驗之壓紋直徑小於 76mm，可做為進行後續工作之判定。

3.6.4 抗壓強度試驗

(1) 每種 CLSM 每澆置[50][100][] m^3 ，應取樣一次製作[一][]組至少[二][]只圓柱試體，不足[50][] m^3 者，以[50][] m^3 計，但分批取樣餘數未達 25 m^3 者，得併入前一組取樣，每次澆置量未達[20][] m^3 者，經工程司同意得免作抗壓強度試驗。

(2) 圓柱試體應依照 CNS 15865 之規定製作及試驗。

(3) 除設計時另有規定外，CLSM 規定抗壓強度為[28][]天齡期之試驗強度。

4. 計量與計價

4.1 計量

CLSM 按[立方公尺][平方公尺，註明厚度][]計量，除另有規定或工程司另有指示外，其數量依設計圖說所示之尺度計算之。

4.2 計價

CLSM 之付款按契約詳細價目表之單價給付，其單價包括一切人工、材料、鋪築、養護、工具、裝備及雜項費用。

〈本章結束〉

附錄 2

滾筒轉爐石應用於
CLSM 發包補充文件

滾筒轉爐石細粒料拌和控制性低強度回填材料

107.09.21 修訂

1. 通則

1.1 概要

為提倡資源回收、再使用及再生利用等方式，將資源有效循環利用，本工程將利用 **滾筒轉爐石(細粒料)**^註 使用於控制性低強度回填材料 (Controlled-Low-Strength-Materials, 簡稱 CLSM)，並訂定相關規定。

本章內容包含 CLSM 之組成材料、性質要求、拌和、設備、品管、檢驗及計量與計價等相關規定。

註：將轉爐煉鋼製程所排出之高溫熔渣送入高速滾筒內，並以水及鋼球作冷卻介質，

使高溫熔渣急冷固化及破碎，再經過破碎、篩分及磁選加工流程，所產出粒徑小於 4.75 公厘粒料即稱之為「滾筒轉爐石(細粒料)」。

1.2 相關章節

1.2.1 第 03050 章—混凝土基本材料及施工一般要求

1.2.2 第 03377 章—控制性低強度回填材料

1.3 相關準則

1.3.1 中華民國國家標準 (CNS)

- | | |
|----------------|-------------------------|
| (1) CNS 61 | 卜特蘭水泥 |
| (2) CNS 486 | 粗細粒料篩析法 |
| (3) CNS 488 | 粗粒料密度、相對密度 (比重) 及吸水率試驗法 |
| (4) CNS 1167 | 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法 |
| (5) CNS 1237 | 混凝土拌和用水試驗法 |
| (6) CNS 1240 | 混凝土粒料 |
| (7) CNS 3036 | 混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐攪和物 |
| (8) CNS 3090 | 預拌混凝土 |
| (9) CNS 3091 | 混凝土用輸氣附加劑 |
| (10) CNS 12283 | 混凝土用化學摻料 |
| (11) CNS 12387 | 工程用土壤分類試驗法 |
| (12) CNS 12549 | 混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉 |
| (13) CNS 12833 | 流動化混凝土用化學摻料 |
| (14) CNS 13465 | 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法 |
| (15) CNS 13961 | 混凝土拌和用水 |
| (16) CNS 14842 | 高流動性混凝土坍流度試驗法 |

- | | |
|----------------|---|
| (17) CNS 15286 | 水硬性混合水泥 |
| (18) CNS 15311 | 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法 |
| (19) CNS 15462 | 控制性低強度材料流動稠度試驗法 |
| (20) CNS 15862 | 測定控制性低強度材料施加荷重時機之落球試驗法 |
| (21) CNS 15863 | 控制性低強度材料密度(單位重)、拌成物體積、水泥含量及含氣量(比重計法)試驗法 |
| (22) CNS 15864 | 新拌控制性低強度材料取樣法 |
| (23) CNS 15865 | 控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法 |

1.4 資料送審

1.4.1 品質管制計畫書

1.4.2 施工計畫

1.4.3 拌和設備之說明書

1.4.4 配比設計報告書

1.4.5 供料計畫書

拌合廠商使用滾筒轉爐石(細粒料)應提送相關供料計畫書，內容陳述該滾筒轉爐石(細粒料)之出廠證明、品管報告、滾筒轉爐石(細粒料)與天然粒料混合比例、相關試驗方法以及其相關之工程性質等，提供使用單位審查核可後方可供料。

1.5 品質保證

1.5.1 滾筒轉爐石(細粒料)產品於使用前，拌和廠可依供應商之品管試驗報告進行配合設計，各類型品質標準規定項目如表 1.5-1 所述。

表 1.5-1 滾筒轉爐石(細粒料)檢驗標準

篩號/粒徑		產品標準	
		滾筒轉爐石(細粒料)	檢驗方法
篩通過率	3/8" / 9.5 mm	-	CNS 486
	#4 / 4.75 mm	>95	
	#8 / 2.36 mm	-	
	#16 / 1.18 mm	-	
	#30 / 0.6 mm	-	
	#50 / 0.3 mm	-	
	#100 / 0.15 mm	-	
物理特性	健性(%)	≤10	CNS1167 (使用硫酸鈉之粒料試驗法)
	吸水率(%)	≤3	CNS 488
	膨脹測試(%)	≤3	CNS 15311

1.5.2 更改配比時，拌合廠商需進行試拌

CLSM 配比設計應使用經核准之材料，按重量或體積配料並在準備供料之場地試拌，試拌 CLSM 後製作試體進行試驗，各項性質檢驗標準須符合表 2.1-1 之規定。

2. 產品

2.1 一般規格

除工程司依工程特殊需求，訂定氯離子含量等特殊檢驗項目外，CLSM 應符合下表之基本性質規定。

表 2.1-1 CLSM 之性質要求

項目	試驗方法	要求
*註 ¹ 管流度 (cm)	CNS 15462	[15-20][20-30][]
*註 ¹ 坍流度 (cm)	CNS 14842	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862	一般型：[12][24][]小時 早強型：[3][4][]小時
28 天抗壓強度(kgf/cm ²)	CNS 15865	[90 註 ²][]以下
氯離子含量	CNS 13465	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非金屬管線埋設物之回填時，可免辦理本項試驗

*註 1：管流度及坍流度可擇一試驗辦理。

*註 2：因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm² 為上限。

2.2 材料

2.2.1 水泥

(1) 所使用之水泥應符合 CNS 61 卜特蘭水泥或 CNS 15286 水硬性混合水泥之相關規定。

(2) 水泥之運送及儲存，除另有規定外，均須符合本綱要規範第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」內相關條款之要求。

2.2.2 水泥系處理劑

如使用現場開挖土石方作為粒料，為增加固化拌和體強度，得使用化學成份中三氧化硫(SO₃)小於 12%之水泥系處理劑，但其餘性質仍應符合 CNS 15286 之相關規定。

2.2.3 卜作嵐摻料

卜作嵐摻料係指水淬高爐爐渣粉、燃煤飛灰等。

- (1) 所使用之卜作嵐摻料應符合 CNS 3036、CNS 12549 之相關規定。
- (2) 卜作嵐摻料之運送及儲存，除另有規定外，均須符合第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」之相關規定。
- (3) 使用 CNS 15286 之水泥時，不得另添加卜作嵐摻料。
- (4) 使用水泥系處理劑時，不得另添加卜作嵐摻料。

2.2.4 粒料

CLSM 使用之粒料，可為產製混凝土用粒料、現場開挖土石方或滾筒轉爐石(細粒料)。

滾筒轉爐石(細粒料)添加比例不得超過總粒料之 30%。

粒料粒徑不得超過[19][50][]mm，其大於[19][50][]mm 者應篩除或軋碎處理；其中大於 NO.4 試驗篩 4.75mm 之粗粒料用量不得超過 [400][]kg/m³。使用粒料之規定如下：

- (1) 混凝土用粒料應符合 CNS 1240 之規定。
- (2) 現場開挖土石方應依 CNS 12387 加以分類，其中泥炭土、高塑性有機質土及低塑性有機質土含量不得大於[10][]%，並應符合第 02320 章「不適用材料」之相關規定。
- (3) 滾筒轉爐石應符合表 1.5-1 之規定。

2.2.5 拌和水

拌和水應符合 CNS 13961 之相關規定。

2.2.6 化學摻料

- (1) 化學摻料應符合 CNS 3091、CNS 12283、CNS 12833 之相關規定。
- (2) 化學摻料之使用量及使用方法應依照製造廠商之配方說明書並提請工程司認可。

2.3 品質管制

2.3.1 CLSM 之單位重、拌合體積與含氣量試驗應依 CNS 15863 之相關規定進行。

2.3.2 CLSM 回填材料配比設計若經核可，其材料之來源、數量、材料級配、比例等，非經依規定程序報請工程司核准，不得擅自變更。

2.3.3 拌和設備規定

- (1) 拌和廠之料倉、計量器、校正用標準砝碼、給水之計量設備等須符合 CNS 3090 之規定。
- (2) 使用工地型拌和設備產製 CLSM 時，其拌和設備應事先提送計畫，經工程司認可後方得使用，承包商不得因計畫書送審之時程因素要求額外增加工期。
- (3) 所有配料及拌和設備，均應隨時保持良好之操作狀態，並應提供足夠充份之預備機件，以備機械發生故障時使用。

2.3.4 試驗一般規定

供應商應提送含表 2.1-1 所列各項性質之試驗計畫，經工程司核可後，進行配比設計試驗。

3. 施工

3.1 控制性低強度回填材料出廠前，監造單位應會同承包商及相關單位至拌和廠廠驗，包括滾筒轉爐石之儲存、控制性低強度回填材料配比設計或試拌等相關工作。

3.2 準備工作

3.2.1 施工前應先依設計圖說之規定完成填築範圍內雜物之清除與基地整平作業，並應確認所有埋設物已按規定裝設及固定完竣，以避免因浮力造成上浮現象。

3.3 產製

所有 CLSM 均應以符合 2.2.3 節規定之拌和設備為之。

3.4 運送

承包商應於 CLSM 供料使用前擬具 CLSM 之產製輸運計畫，經工程司審核後為之。

3.5 澆置

3.5.1 澆置前，CLSM 應以機械方式充分拌和。

3.5.2 CLSM 灌置入回填區時，應避免對結構體產生偏壓現象。

3.6 養護

CLSM 澆置完成後，需視工址環境考慮進行養護，以防水分蒸發。養護方法可使用麻袋、塑膠布及其他適當物品覆蓋或依設計圖說規定辦理。

3.7 檢驗

3.7.1 CLSM 於澆置時，應依照 CNS 15864 所規定之程序取樣，進行檢、試驗。

3.7.2 應進行包括管流度或坍流度在內之施工中試驗。試驗應依 CNS 15462 與 CNS 14842 高流動性混凝土坍度試驗法之相關規定進行，試驗頻率不得少於抗壓強度試驗之 1 倍，工程司得視現場狀況隨時增加試驗頻率。

3.7.3 為確保後續工作的執行，工程司得要求進行 CNS 15862 落沉強度試驗等試驗項目，當落沉強度試驗之壓紋直徑小於 76mm，可做為進行後續工作之判定。

3.7.4 抗壓強度試驗

(1) 每種 CLSM 每澆置[50][100][]m³，應取樣一次製作[一][]組至少[二][]只圓柱試體，不足[50][]m³者，以[50][]m³計，圓柱試

體應依照 CNS 15865 之規定製作及試驗。但分批取樣餘數未達 25m^3 者，得併入前一組取樣，每次澆置量未達 $[20][\quad]\text{m}^3$ 者，經工程司同意得免作抗壓強度試驗。

- (2) 28 天抗壓強度：因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 $[90][\quad]\text{kgf/cm}^2$ 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 $[50][\quad]\text{kgf/cm}^2$ 為上限。

3.8 不合格品處置

若因添加滾筒轉爐石(細粒料)而使 CLSM 成品無法滿足表 2.1-1 CLSM 之設計功能需求時，且經送第三方公正單位檢驗，證實係因滾筒轉爐石(細粒料)造成 CLSM 品質無法符合設計功能需求時，拌合廠商須暫停使用該批不合格品之滾筒轉爐石(細粒料)，或機關得要求廠商暫停使用該批不合格品之滾筒轉爐石(細粒料)，並要求供應廠商運回更換。

4. 計量與計價

4.1 計量

本項目[控制性低強度回填材料] 依實作數量以【立方公尺】計量。

4.2 計價

本項目[控制性低強度回填材料]之付款按契約詳細價目表之單價給付，其單價包括一切人工、材料、鋪築、養護、工具、裝備及雜項費用以及其他依設計圖、規範或工程司代表指示之一切工作在內。

附件一、滾筒轉爐石品管試驗報告格式

中聯資源股份有限公司
品管試驗報告

樣品名稱：滾筒轉爐石(細粒料) 採樣地點：
採樣日期：
報告日期：

檢驗項目		測試方法	檢驗結果	產品規格
化學成分	SiO2	XRF螢光分析		—
	Al2O3			—
	Fe2O3			—
	CaO			—
	MgO			—
	TiO2			—
	P2O5			—
	MnO			—
	Cr2O3			—
篩 分 析				
篩 號/粒 徑	停 留 量		通過率(wt.%)	產品規格
	留 篩(wt.%)	累 積(wt.%)		
3/8" / 9.5 mm				—
#4 / 4.75 mm				>95
#8 / 2.36 mm				—
#16 / 1.18 mm				—
#30 / 0.6 mm				—
#50 / 0.3 mm				—
#100 / 0.15 mm				—
試驗項目		測試方法	分析結果	產品規格
物理特性	健性(%)	CNS1167(使用硫酸鈉之粒料試驗法)		≤10
	吸水率(%)	CNS 488		≤3
	膨脹測試(%)	CNS 15311		≤3
備註				

分析人員：

覆核：

公司試驗報告章

[illegible]

(第2頁，共2頁)

[illegible]

1306249

SGS Telwen Ltd. /高雄市楠梓加工出口區開發路61號

(886-7) 301-2121

www.sqs.tw

Member of SGS Group

附件三、滾筒轉爐石(細粒料)出廠證明格式

品 質 保 證 書

____年____月份本公司運交_____ 滾筒轉爐石(細粒料)
計 ____ 公噸，業依照本公司 ISO-9001 品質管理系統檢驗，品質確實符合本公司之產品
規範要求，測試報告詳附件，特此保證。

此致

中聯資源股份有限公司 總經理： _____

中 華 民 國 ____ 年 ____ 月 ____ 日

表單編號：Q2-008-03

附錄 3

實地驗證計畫

實地驗證計畫

為驗證滾筒轉爐石應用於 CLSM，能合乎相關工程性質規定及無環境污染之影響，特安排於中聯資源股份有限公司台中港區施作現場鋪築滾筒轉爐石 CLSM，並執行相關工程性質試驗及環境監測，所取得之數據後續將納入使用手冊作為範例參考。

驗證檢驗委辦單位

規劃單位：國立高雄科技大學 土木工程系

檢驗單位：台灣檢驗科技股份有限公司

驗證期間：自民國 106 年 09 月 01 日起至民國 108 年 06 月 30 日

(暫定，期程將依實際驗證需求而定)

驗證檢驗要點

1. 將原物料做物化特性分析，確認所有原物料符合公共工程規範，配比部分採用滾筒轉爐石取代總粒料(0%、10%、20%、30%)製成 CLSM 試體，探討其新拌性質試驗及進行各項硬固性質試驗與耐久性質試驗，並經由試驗結果選定穩定配比並於現地鋪設 CLSM，執行現地相關試驗，藉此建立 CLSM 之工程性質關係。
2. 於 CLSM 預拌廠內取樣，確認所有原物料符合公共工程規範使用規定，並取回配比驗證所需之材料，執行之項目如表 1 所示。
3. 確認最適用配比後，進行廠拌出料，同時也進行廠拌之相關試驗，以確保現場出料品質與當初設計之品質相符，執行之項目如表 2 所示^[1]。
4. 於中聯資源股份有限公司台中港區灌漿現場於隔日後進行現地試驗部分，執行之項目如表 3 所示。

表 1 原物料檢驗及配比設計試驗項目

編號	項 目
1	水泥(物性及化性試驗)
2	滾筒轉爐石物性試驗(浸水膨脹比試驗、洛杉磯試驗、健度試驗等)
3	滾筒轉爐石化學成分(CaO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 、MgO、Al ₂ O ₃ 、Free-CaO)
4	配比設計驗證(0%、10%、20%、30%)

表 2 廠拌成品試驗項目表

編號	項 目
1	管流度 / CNS 15462
2	坍流度 / CNS 14842
3	落沉強度試驗 / CNS 15862
4	1 天、28 天抗壓強度 / CNS 15865
5	混凝土長度變化試驗 (參考 CNS 14603 硬固水泥砂漿及混凝土長度變化試驗) ^(註 1)
6	浸水膨脹比試驗 (參考 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗) ^(註 2) (4 種配比，製模空養 7 日後開始監測 7 日、1 個月)
7	氯離子含量 / CNS 13465

註 1：混凝土長度變化試驗為參考 CNS 14603，其試體尺寸為長 285mm×寬 75mm×高 75mm 之長方形柱體，養護方式為放置溫度 23.0±2.0℃，相對濕度在 50±4%環境中，經 7 天、14 天、21 天、28 天量測試體長度。

註 2：浸水膨脹比試驗為參考 CNS 15311 規定，將 CLSM 澆置於內徑 152.4±0.7 mm，高度 177.8±0.5 mm 金屬試驗模具內，於空氣養護 7 日後將試樣及模具浸入 70℃ 恆溫水槽，量測測微錶初始值紀錄為 0 天量測值，經 1 天、2 天、3 天、4 天、5 天、6 天、7 天、30 天量測測微錶紀錄。

註 3：此兩試驗方法之差異，主要在於養護條件不同，為模擬混凝土在不同溫、濕環境條件下之體積(或長度)變化情況。

CNS 14603 是模擬現場經澆置後 CLSM 之膨脹變化狀態；然而 CNS 15311 則是使用浸水、加熱法使材料加速水合作用，進而評估經澆置後 CLSM 之潛在膨脹變化狀態。

表 3 現地試驗

項 目
落沉強度試驗 / CNS 15862
現場高程測量試驗(澆置後 7 日、1 個月、3 個月)

驗證成果

由於 CLSM 特性之一即高流動性，因此必須先試拌找出適合流動性，紀錄其水灰比與水膠比，以供正式拌合之參考。本實驗試拌設計滾筒轉爐石添加量依序為 0%，10%，20%，30%共四組配比，如表 8 所示。

經試拌獲得結果，發現每組坍流度均在 40 cm 以上，具有良好的流動性。抗壓強度 28 天實驗結果顯示，符合規範值 90 kgf/cm^2 以下，落沉強度試驗位置(前)結果顯示現場 CLSM 表面無異常現象，被凱利球落下動作所帶至表面無明顯表面水或光澤，長度變化率及浸水膨脹比其膨脹率數值也相當低如表 9 所示。

經試拌獲得結果綜合評估下，現地試驗廠拌配比分為 2 組，配比中水泥添加量分別為 100 及 130，令其編號為水泥 100 及水泥 130，AC1 添加量皆為 30%，如表 10 所示。現地試驗結果顯示 2 組配比之坍流度介於 43~44cm，符合規範要求之 40 cm 以上，第 28 天抗壓強度也符合規範值 90 kgf/cm^2 以下，落沉強度試驗位置(前)(中)(後)均與試拌結果一致，長度變化率及浸水膨脹比也相當低，養護天數 30 天，數據已無太大變化，如表 11 所示。

表 4 卜特蘭 I 型水泥物性實驗結果

測 試 項 目	測 試 結 果	CNS61(2011)TYPE I 規範值
細度(氣透儀法)(m ² /kg)	357	MIN.260
空氣含量(%)	10.13	MAX.12.0
熱壓膨脹(%)	+0.04	MAX.0.8
凝結時間檢驗(費開式針法) 初凝(min) 終凝(min)	162 315	MIN.45 ; MAX.375 -----
抗壓強度(kgf/cm ²) 3 天 7 天 28 天	221.2 310.5 368.9	MIN.122.4 MIN.193.7 MIN.285.5

表 5 卜特蘭 I 型水泥化性實驗結果

試 驗 項 目	試 驗 結 果	CNS61(2011)規定 TYPE I
氧化鎂(MgO)(%)	1.1	MAX.6.0
三氧化硫(SO ₃)(%)	2.39	當 C ₃ A ≤ 8% MAX.3.0 當 C ₃ A > 8% MAX.3.5
不溶殘渣(I.R.)(%)	0.35	MAX.0.75
燒失量(L.O.I.)(%)	0.7	MAX.3.0

表 6 轉爐石化性試驗結果

試 驗 項 目	滾筒轉爐石(細粒料)
二氧化矽(SiO ₂)(%)	9.9
氧化鋁(Al ₂ O ₃)(%)	2.1
氧化鐵(Fe ₂ O ₃)(%)	30.6
氧化鈣(CaO)(%)	41.5
氧化鎂(MgO)(%)	6.7
游離氧化鈣(F-CaO)(%)	0.13

表 7 粒料試驗結果

試 驗 項 目	天然粒料	滾筒轉爐 石(細粒料)	滾筒轉爐 石(細粒 料)(含量 30%)	滾筒轉爐 石(細粒 料)(含量 50%)	滾筒轉爐 石(細粒 料)(含量 70%)
9.5mm(3/8 in)	100	100	---	---	---
4.75mm (No.4)	100	92	---	---	---
2.36mm (No.8)	96	40	---	---	---
1.18mm (No.16)	69	17	---	---	---
600 μ m (No.30)	42	6	---	---	---
300 μ m (No.50)	21	2	---	---	---
150 μ m (No.100)	10	1	---	---	---
烘乾相對密度(比重) (O.D)(23/23 $^{\circ}$ C)	2.623	3.421	---	---	---
面乾內飽和相對密度(比 重)(S.S.D)(23/23 $^{\circ}$ C)	2.664	3.467	---	---	---
視相對密度(視比重)(23/23 $^{\circ}$ C)	2.735	3.587	---	---	---
烘乾密度(O.D)(23 $^{\circ}$ C)(kg/m ³)	2620	3410	---	---	---
面乾內飽和密度 (S.S.D)(23 $^{\circ}$ C)(kg/m ³)	2660	3460	---	---	---
視密度(23 $^{\circ}$ C)(kg/m ³)	2730	3580	---	---	---
吸水率 (%)	1.6	1.4	---	---	---
健性試驗	2.4	2.5	---	---	---
通過 75 μ m(No.200)篩粒料含 量(%)	5.0	0.9	---	---	---
有機物含量(比色板法)	接近比色 板 1 號顏 色,較比色 板 3 號標 準色淡	接近比色 板 1 號顏 色,較比色 板 3 號標 準色淡	---	---	---
粒料單位質量(搗桿夯實法) (kg/m ³)	1561	1868	---	---	---
土塊與易碎顆粒 (%)	0.2	0.9	---	---	---
輕質物質含量 (氯化鋅) (煤及褐炭) (%)	0.0	0.1	---	---	---
洛杉磯磨損率(D 級配,500 轉) (%)	---	---	---	---	---
浸水膨脹比	---	0.27	0.01	0.20	0.28

表 8 試拌配比設計

配比編號	水	水泥	飛灰	三分	滾筒轉爐石 (細粒料)	底灰	總計
0%	270	100	300	390	0	841	1901
10%	270	100	300	390	159	740	1959
20%	270	100	300	390	330	631	2021
30%	270	100	300	390	516	513	2089

表 9 試拌成果

試拌成果		0%	10%	20%	30%	規 範 值
新拌氯離子(kg/m ³)		0.064	0.067	0.059	0.058	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090 之規定，如使用於非金屬管線埋設物之回填時，可免辦理本項試驗
落沉強度試驗(mm)		55	57	59	69	76 mm 以下 早強型 3 ~ 4hr 一般型 12 ~ 24 hr
坍流度(cm)		48.5	44	49.5	48	40 cm 以上
抗壓強度(kg/cm ²)	1 天	7.1	8.8	12.7	8.7	因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm ² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm ² 為上限
	28 天	42.9	54.1	70.3	54.6	
長度變化(%)	7 天	0.003	0.009	0.004	0.006	
	14 天	-0.005	-0.005	-0.005	-0.007	
	21 天	-0.023	-0.025	-0.029	-0.022	
	28 天	-0.041	-0.044	-0.046	-0.040	
膨脹率(%)	0 天	0.00	0.00	0.00	0.00	
	1 天	0.00	0.00	0.00	0.01	
	2 天	0.00	0.00	0.00	0.01	
	3 天	0.00	0.00	0.00	0.01	
	4 天	0.00	0.00	0.00	0.01	
	5 天	0.00	0.00	0.01	0.01	
	6 天	0.00	0.00	0.01	0.02	
	7 天	0.00	0.00	0.01	0.02	
	30 天	0.00	0.00	0.01	0.02	

表 10 現地試驗廠拌配比

配比編號	水	水泥	飛灰	三分	滾筒轉爐石 (細粒料)	底灰	總計
水泥 100	270	100	300	390	516	513	2089
水泥 130	270	130	300	383	508	503	2094

表 11 現地試驗結果

驗 證 廠 址		水泥 100	水泥 130	規 範 值
坍流度(cm)		43	44	40 cm 以上
落沉強度試驗 (mm)	試驗位置(前)	61	50	76 mm 以下 早強型 3 ~ 4hr 一般型 12 ~ 24 hr
	試驗位置(中)	57	50	
	試驗位置(後)	66	58	
抗壓強度 (kg/cm ²)	1 天	9.2	12.1	因應國內使用狀況，如使用工程為永久的結構回填，建議強度以不超過 90 kgf/cm ² 為佳，如應用為鋪面管溝工程之回填，則建議不超過 50 kgf/cm ² 為上限
	28 天	58.1	53.2	
長度變化(%)	7 天	-0.005	-0.008	
	14 天	-0.012	-0.020	
	21 天	-0.032	-0.034	
	28 天	-0.046	-0.048	
膨脹率(%)	0 天	0.00	0.00	
	1 天	0.00	0.01	
	2 天	0.01	0.01	
	3 天	0.01	0.01	
	4 天	0.01	0.02	
	5 天	0.01	0.02	
	6 天	0.01	0.02	
	7 天	0.02	0.02	
	30 天	0.02	0.02	

環境監測

中鋼集團之滾筒轉爐石經破碎、磁選及篩分後，於出廠前即會檢測滾筒轉爐石之 TCLP(依據 CNS 15310 環境相容性規定)、輻射及戴奧辛試驗。而中鋼集團出廠滾筒轉爐石 TCLP 標準值不僅符合國家法規認定標準，更是符合綠建材之通則標準，如表 12 所示。轉爐石長期溶出檢測，經委託成大永續環境科技中心的研究測試以下各項轉爐石長期穩定性與環境相容試驗，而結果顯示轉爐石於長期溶出試驗亦符合各國標準^[2]：

1. 根據美國多重毒性特性溶出試驗(MTCLP)，模擬 1000 年之重金屬溶出。
2. 歐盟營建材料法令 BMD 之 Column Test NEN7343、Tank Leaching Test NEN7345，模擬 100 年重金屬及 pH 值環境釋出量。
3. 日本 Japanese leaching test No.13(JLT-13)與 Japanese leaching test No.46(JLT-46)。

註：更多轉爐石長期監測資料可至 <http://www.chc.com.tw/pe2.html> 查詢

表 12 TCLP 溶出濃度數值(mg/L)

材料/標準	As	Hg	Ba	Cd	Cr	Cu	Pb	Se	Cr(VI)
滾筒轉爐石檢測值	ND	ND	0.286	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MDL	0.038	0.0004	0.017	0.016	0.017	0.017	0.021	0.039	0.01
有害事業廢棄物 認定標準	>5.0	>0.2	>100	>1.0	>5.0	>15	>5.0	>1.0	>2.5
中聯資自主品管	<0.5	<0.02	<10	<0.1	<0.5	<1.5	<0.5	<0.1	<0.25
備註	5. 測試方法係依據環保署公告之方法 NIEA R201.15C 進行測試。 6. 滾筒轉爐石檢測值數據為中聯資源委台灣檢驗公司檢驗報告(報告編號：AR/2017/80163)。 7. ND：表該數據低於方法偵測極限之測定值(MDL)。 8. MDL：偵測極限之測定值(報告編號：AR/2017/80163 之 MDL)。								

現地鋪設對土壤及地下水之影響

1. 執行期間：為期 1 年
2. 場址背景：如表 13 所示

表 13 場址背景

環境項目	說明
地理位置	本試驗場址位於台中港內之中聯資環港路 62 號門口綠帶區
氣候	本試驗場址位於台中之西海岸區，季風強而雨量少
地形地勢	本場址屬西部沿海平原地形，且主要以抽砂填海方式構築而成之人造海港，海拔高度在 10m 以下
地質與土壤	台中港主要為抽砂填海而成，依中龍/中聯資公司承辦人員表示，部份回填用土方取自大肚山台地，因此土壤除來自海岸沖積層之砂土之外，預計亦可發現含有台地堆積層與階地崩積層之紅土與黃壤等
水文及水系	台中港主要為抽砂填海而成，毗鄰環境多為海域。另本試驗場址南側設有台中火力發電之放流口，並由東向西放流至台灣海峽
環境敏感區	本試驗場址非屬於任何限制發展區、飲用水水源水質保護區、污染控制場址或整治場址等相關環境敏感區

本案環境監測計畫內容包含成品或原物料檢測分析、土壤及地下水監測等，土壤及地下水採樣期程規劃如表 14 所示：

(一) 成品或原物料(CLSM 及對照組區混凝土層)檢測分析

- (1) CLSM 及對照組區混凝土層等二區各採集 3 組樣品(均質性)
- (2) 高科大採樣；SGS 分析，預計 107 年 4~7 月
- (3) 分析項目:TCLP(As、Hg、Cd、Cr、Cr⁶⁺、Cu、Ba、Pb、Se)、pH。
- (4) 檢測分析結果及有害事業廢棄物認定標準彙整如表 15 所示。

(二) 地下水監測

- (1) 針對鋪設道路進行 CLSM 及對照組區調查，規劃於上述區域內設置 1 口 2 吋簡易井(水位 4~5 公尺)，共計 2 口，設井深度約 10 公尺內，地表下 1~10 公尺開篩。
- (2) 分析項目：重金屬(As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn)、pH，相關規範標準如表 16 所示地下水重金屬污染監測及管制標準。
- (3) 監測頻率：每半年一次(背景值及鋪設半年後之定檢)，共計 2 次。

(三) 土壤監測

- (1) 針對鋪設道路進行 CLSM 及對照組區調查，規劃於上述區域隨機分佈 2 點次，共計 4 點次，採樣深度 0~10 公分。
- (2) 現場篩測：XRF 篩測鋪面層下方約 0~10 公分土壤。
- (3) 分析項目：重金屬(As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn)、pH，相關規範標準如表 17 所示土壤重金屬污染監測及管制標準。
- (4) 監測頻率：每半年一次(背景值及鋪設半年後之定檢)，共計 2 次。

表 14 規劃期程表

工作項目	背景調查檢測	鋪設半年後定期檢測 (依現場鋪設調整)
土壤及地下水檢測	107 年 3~4 月	107 年 9~11 月

表 15 滾筒轉爐石 CLSM 及對照組區混凝土層 TCLP 分析結果

檢驗項目	檢驗方法	單位	有害事業廢棄物認定標準	滾筒轉爐石 CLSM	混凝土	MDL
事業廢棄物毒性特性溶出程序	NIEA R201.15C	---	---	---	---	---
萃出液中總砷	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>5.0	ND	ND	0.038
萃出液中總銀	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>100.0	1.03~1.07	0.437~0.589	0.018
萃出液中總鎘	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>1.0	ND	ND	0.010
萃出液中總鉻	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>5.0	ND	ND	0.017
萃出液中六價鉻	NIEA R309.12C	mg/L	>2.5	ND	ND	0.01
萃出液中總銅	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>15.0	ND	ND	0.017
萃出液中總汞	NIEA R314.12C	mg/L	>0.2	ND	ND	0.0004
萃出液中總鉛	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>5.0	ND	ND	0.017
萃出液中總硒	NIEA R306.13C/M104.02C	mg/L	>1.0	ND	ND	0.035
pH	NIEA R208.04C	---	≤2；≥12.5	11.02~11.21 (25.0℃)	11.82~12.18 (25.1℃)	---

備註：採樣日期為 107 年 7 月 27 日。

表 16 地下水重金屬污染監測及管制標準

檢測項目	檢驗方法	單位	地下水污染監測標準 (第二類)	地下水污染管制標準 (第二類)
重金屬				
砷(As)	NIEA W434.54B	mg/L	0.25	0.50
鎘(Cd)	NIEA W311.53C	mg/L	0.025	0.050
鉻(Cr)	NIEA W311.53C	mg/L	0.25	0.50
銅(Cu)	NIEA W311.53C	mg/L	5.0	10
鉛(Pb)	NIEA W311.53C	mg/L	0.05	0.10
汞(Hg)	NIEA W330.52A	mg/L	0.010	0.020
鎳(Ni)	NIEA W311.53C	mg/L	0.5	1.0
鋅(Zn)	NIEA W311.53C	mg/L	25	50

表 17 土壤重金屬污染監測及管制標準

檢測項目	檢驗方法	單位	土壤污染監測標準	土壤污染管制標準
重金屬				
砷(As)	NIEA S310.64B	mg/kg	30	60
鎘(Cd)	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	10	20
鉻(Cr)	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	175	250
銅(Cu)	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	220	400
鉛(Pb)	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	1000	2000
汞(Hg)	NIEA M317.04B	mg/kg	10	20
鎳(Ni)	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	130	200
鋅(Zn)	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	1000	2000

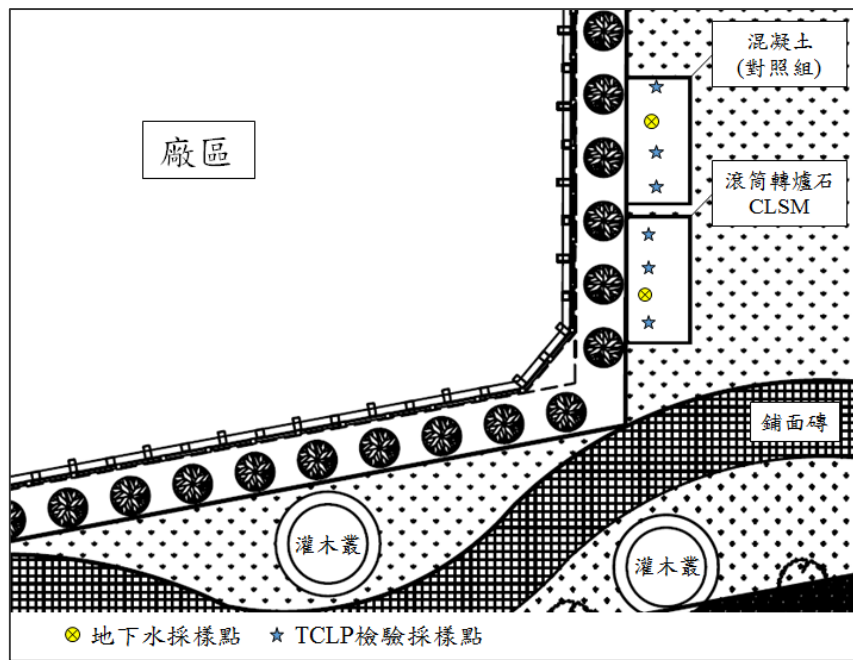


圖 1 滾筒轉爐石 CLSM 及對照組區混凝土層採樣示意圖

參考文獻

1. 「控制性低強度回填材料」，行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第七版次，(2016)。
2. 「轉爐石對環境相容性之探討」，2011 年轉爐石應用石瀝青混凝土鋪面研討會，陳信榮、張簡國禎。