

轉 爐 石 CLSM

使用手冊 110年版



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 110 年 4 月

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。

轉爐石粒型偏方正，硬度高、耐磨性佳，透過製程生產之轉爐石粒料，包括滾筒轉爐石及爐下轉爐石，其粒徑規格穩定，保留轉爐石原有之材料特性，經驗證可取代天然砂石作為再生粒料。中鋼集團產出的轉爐石粒料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粒料正確使用觀念，以確保應用於控制性低強度回填材料(Controlled Low Strength Material，以下簡稱 CLSM)之績效，提升工程品質，因此研擬「轉爐石 CLSM 使用手冊」(以下簡稱本手冊)，並經工業局委請第三方專業機構(財團法人工業技術研究院)驗證足以滿足工程需求。本手冊主要內容包括轉爐石粒料之材料性質、CLSM 工程性質、應用實例及效益、配比設計方式、品質管理等使用規範、轉爐石粒料及轉爐石 CLSM 產品標準、工程與環境驗證機制方式等。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	III
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 總則	1
1.1 一般原則	1
1.2 內容說明	5
1.3 使用要點	6
參考文獻	8
第二章 材料性質	9
2.1 轉爐石粒料之生產	9
2.2 轉爐石粒料之性質	12
參考文獻	15
第三章 工程性質、實例及效益	17
3.1 一般原則	17
3.2 轉爐石 CLSM 之工程性質	18
3.3 轉爐石 CLSM 之體積穩定性	23
3.4 應用實例	27
3.5 使用轉爐石 CLSM 之產品效益	30
參考文獻	31
第四章 配比設計	33
4.1 一般原則	33
4.2 轉爐石 CLSM 配比設計原則	33
4.3 轉爐石 CLSM 配比設計步驟	33
4.4 配比試拌	39
4.5 注意事項	39
4.6 參考配比	40
參考文獻	42

第五章 使用規範	43
5.1 使用要點	43
5.2 資料審查	43
5.3 材料	43
5.4 配比設計	44
5.5 產製	44
5.6 計量與計價	44
參考文獻	46
第六章 產品標準	47
6.1 轉爐石粒料品質標準	47
6.2 轉爐石 CLSM 品質標準	51
參考文獻	53
第七章 驗證機制	55
7.1 驗證檢驗要點	55
7.2 環境監測	56
參考文獻	57
第八章 注意事項	59
8.1 一般原則	59
8.2 發包	59
8.3 設計	60
8.4 驗證	60
8.5 轉爐石 CLSM 回收再利用應注意事項	61
附錄	
附錄 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 轉爐石 CLSM 發包補充文件	

表目錄

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	3
表 1.2 使用者快速索引對照表	7
表 2.1 轉爐石粒料化學成分之含量	13
表 2.2 轉爐石粒料物理性質分析	14
表 3.1 日本鋼爐渣資源化應用概況表	17
表 3.2 美國鋼爐渣資源化應用概況表	18
表 3.3 轉爐石 CLSM 之工程性質規範	18
表 3.4 轉爐石 CLSM 工程性質(滾筒轉爐石).....	19
表 3.5 轉爐石 CLSM 工程性質(爐下轉爐石)	19
表 3.6 轉爐石 CLSM 之體積穩定性試驗結果(滾筒轉爐石).....	24
表 3.7 國內轉爐石 CLSM 應用實例	27
表 3.8 轉爐石 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM)0-10cm 土壤數據表(滾筒轉爐石)...	28
表 3.9 轉爐石 CLSM 應用實例配比資料(滾筒轉爐石).....	29
表 4.1 配比調整原則	39
表 4.2 轉爐石 CLSM 參考配比(滾筒轉爐石).....	41
表 4.3 轉爐石 CLSM 參考配比及性質(爐下轉爐石).....	41
表 6.1 轉爐石粒料品質標準	47
表 6.2 轉爐石粒料 TCLP 溶出濃度數值	48
表 6.3 轉爐石粒料產品規格證明書樣式	49
表 6.4 CLSM 之性質要求	51
表 6.5 國內 CLSM 材料規範彙整	52
表 7.1 CLSM 試驗項目表	55

圖目錄

圖 1.1 爐渣之生產流程.....	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.....	10
圖 2.3 滾筒轉爐石外觀.....	10
圖 2.4 爐下轉爐石製程說明圖.....	11
圖 2.5 爐下轉爐石外觀圖.....	11
圖 2.6 轉爐石粒料 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 三相圖.....	13
圖 3.1 不同爐下轉爐石比例於各齡期抗壓強度發展圖.....	22
圖 3.2 不同水泥用量於齡期 28 天抗壓強度柱狀圖.....	23
圖 3.3 轉爐石 CLSM 浸水膨脹率曲線圖(爐下轉爐石).....	25
圖 3.4 轉爐石 CLSM 長度變化曲線圖(爐下轉爐石).....	25
圖 3.5 轉爐石 CLSM 受載試體膨脹變化曲線圖(爐下轉爐石).....	26
圖 3.6 轉爐石 CLSM 現地施作現況.....	27
圖 3.7 現地試驗 A 區(AC 面層)結果分析圖.....	29
圖 3.8 現地試驗 B 區(CLSM 面層)結果分析圖(滾筒轉爐石).....	29
圖 3.9 應用實例現地現況(滾筒轉爐石,108.09.05 拍攝).....	30
圖 4.1 配比設計流程.....	34

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，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^[1.1]。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，經檢測不具毒性、不含戴奧辛，其物性、化性穩定，惟具膨脹性，經過適當之安定化加工後，製成轉爐石粒料已大幅降低體積膨脹性可作為工程材料使用。先進工業化國家如美國、德國、荷蘭、日本等，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，依據先進國家研究結果及實務經驗顯示，轉爐石熱熔渣經過加工，即成為轉爐石粒料，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，將轉爐石當成工程材料，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。

中鋼集團為宣導包括滾筒轉爐石及爐下轉爐石等轉爐石粒料之正確使用觀念，以確保轉爐石應用於 CLSM 之績效，乃研擬本「轉爐石 CLSM 使用手冊」(以下簡稱本手冊)，並經工業局委請第三方專業機構(財團法人工業技術研究院)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，先進國家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，以轉爐石粒料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]，主要化學成份為氧化鈣(CaO)，氧化鐵(Fe₂O₃)，二氧化矽(SiO₂)，氧化鎂(MgO)等所組成，化性穩定經檢測不具毒性、不含戴奧辛。

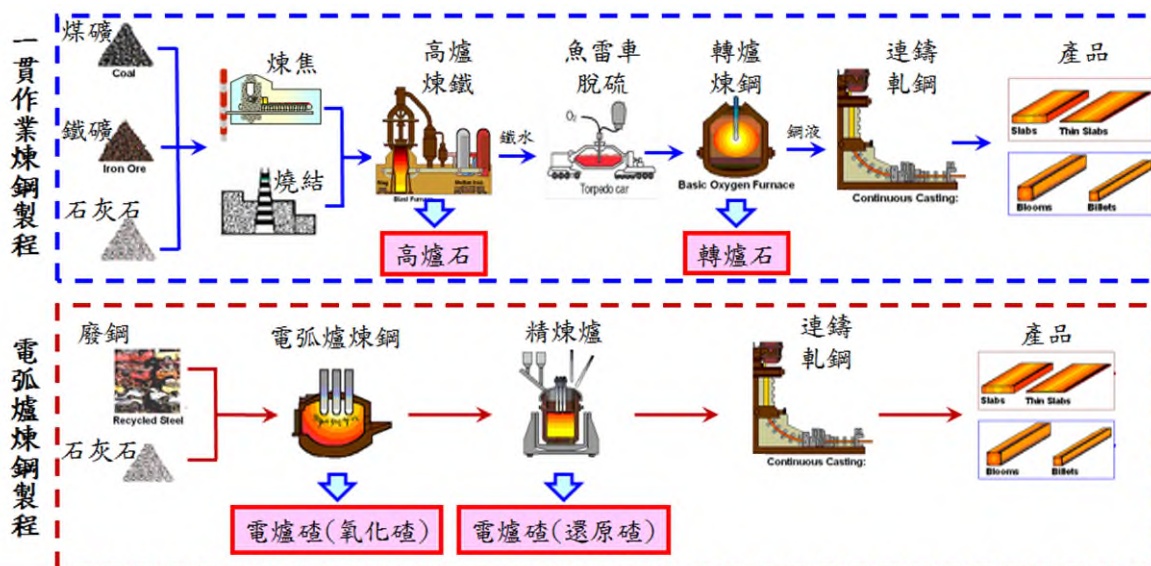


圖 1.1 爐渣之生產流程^[1.1]

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
一貫作業煉鋼製程	高爐石(氣冷)	33.92	14.88	0.51	40.72	6.27	0.47	1.40	0.51	0.04	0.55
	高爐石(水淬)	33.46	13.70	0.42	42.69	6.21	0.35	1.48	0.46	0.04	0.39
	轉爐石	11.45	4.48	21.60	39.37	6.39	-	-	0.49	1.97	4.01
電弧爐煉鋼製程	氧化渣(碳鋼)	19.91	12.05	14.90	36.16	3.32	-	-	0.74	0.90	7.61
	還原渣(碳鋼)	20.22	10.28	9.79	41.16	10.32	-	-	0.38	0.60	1.78
	氧化渣(不鏽鋼)	33.32	4.66	2.47	38.37	17.49	-	-	1.48	0.54	1.21
	還原渣(不鏽鋼)	30.34	2.01	2.21	50.49	10.60	-	-	0.15	0.54	0.10

(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) 轉爐石粒料

本手冊所稱之「轉爐石粒料」，係為前述一貫作業煉鋼冶煉過程所產之轉爐石，經加工再製而成之再生粒料，包括「滾筒轉爐石」或「爐下轉爐石」，經驗證可作為控制性低強度回填材料(CLSM)使用材料。

- 「滾筒轉爐石」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，具粒徑規格穩定、無粉料等特點，粒徑規格主要為 4.75 mm 以下，幾乎屬細粒料組成。

- b. 「爐下轉爐石」由轉爐石經噴濺冷卻及破碎、乾式篩分、磁選等加工程序後所製成之產品，粒徑規格主要為 6.3 mm 以下，作為細粒料使用。

(4) 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。

(5) 轉爐石 CLSM

本手冊之「轉爐石 CLSM」係指滾筒轉爐石或爐下轉爐石的轉爐石粒料，作為再生粒料取代天然粒料，再按配比設計所定之配合比例，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 CLSM 所使用之轉爐石粒料，為一貫作業煉鋼冶煉過程所產之轉爐石，經加工再製而成之再生粒料，包括「滾筒轉爐石」或「爐下轉爐石」，且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，應用轉爐石 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，針對轉爐石粒料性質、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轉爐石 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 材料性質

本章內容將說明中鋼集團轉爐石粒料之產出流程、化學性質、物理性質等項目，以驗證轉爐石粒料之適用性。

2. 第三章 工程性質、實例及效益

本章介紹轉爐石 CLSM 產品之流動性、早期強度與強度發展等工程性質，並提供現地驗證實例與效益，以敘明轉爐石 CLSM 成品之適用性。

3. 第四章 配比設計

本章提供轉爐石 CLSM 配比設計之目的、方法及步驟，其與一般 CLSM 相似，重點在於以適當比例之轉爐石粒料取代粒料，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，使轉爐石 CLSM 之產品能充分達成所需之性質要求。

4. 第五章 使用規範

轉爐石 CLSM 產製、運送、施工及計價方式，與一般 CLSM 並無差異，以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」之相關規定為原則。本章主要提供轉爐石 CLSM 使用之資料送審、材料使用、配比設計等，須注意之使用規範，以確保工程品質的維持。

5. 第六章 產品標準

本章提供轉爐石粒料之品質標準，以及轉爐石 CLSM 產品之工程性質要求，供使用單位作為相關允收或檢驗標準的參考。

6. 第七章 驗證機制

本章說明使用轉爐石 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，在轉爐石粒料進料至 CLSM 廠、成品出廠運送至施工現場時，可透過本章所列之抽樣檢驗方式，達到品質管制之要求。

7. 第八章 注意事項

本章特將前章節所述之品質管制措施與注意事項，從發包、設計、驗證到回收再利用過程，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 使用要點

1. 本手冊說明使用轉爐石 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. 本手冊僅針對轉爐石 CLSM 與一般 CLSM 不同之特性加以規定，在使用轉爐石粒料時，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. 為確保轉爐石 CLSM 施工品質，工程主辦機關應落實公共工程三級品管制度。滾轉爐石 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轉爐石 CLSM 時，應依據工程特性及需求，決定所需使用轉爐石 CLSM 品質要求。除應充分瞭解本手冊之有關規定外，應供詳細資料載明於工程圖說。
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(內容應敘明轉爐石粒料摻配方式、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	轉爐石粒料生產與管理記錄(生產 批次、數量、日期...等)	6.1 轉爐石粒料品質標準 6.2 轉爐石 CLSM 品質標準
	轉爐石粒料允收品質標準與報告	6.1 轉爐石粒料品質標準 附錄 2 轉爐石 CLSM 發包補充文件
	轉爐石粒料收料管制、退貨與管 理方式	6.1 轉爐石粒料品質標準 附錄 2 轉爐石 CLSM 發包補充文件
	轉爐石 CLSM 生產拌和配比與規 範	第四章 配比設計 附錄 2 轉爐石 CLSM 發包補充文件
	CLSM 必要品質檢測報告	6.2 轉爐石 CLSM 品質標準
監造 單位	CLSM 允收標準與檢驗報告	6.2 轉爐石 CLSM 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 轉爐石 CLSM 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 轉爐石粒料品質標準 6.2 轉爐石 CLSM 品質標準 附錄 2 轉爐石 CLSM 發包補充文件
	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 轉爐石 CLSM 品質標準
	保固與品質	依發包單位需求辦理
	配比設計流程	2.2 轉爐石粒料之性質 第四章 配比設計

參考文獻

- 1.1 中國鋼鐵股份有限公司、中龍鋼鐵股份有限公司(2020)，〈轉爐石瀝青混凝土使用手冊〉。
- 1.2 〈Steel Furnace Slag〉(2014), 〈Australasian(iron&steel)slag association,Quick Reference Guide 3〉。
- 1.3 Alexander S. Brand, Jeffery R. Roesler (2015), 〈Steel furnace slag aggregate expansion and hardened concrete properties〉, 〈Cement and Concrete Composites〉, Volume 60,July, Pages 1-9。
- 1.4 吳盈學(2011)，〈養護條件對轉爐石之環境相容性影響〉，私立輔英科技大學環境工程與科學系碩士論文。
- 1.5 王韡蓓、劉志堅、李釗、許書王(2013)，〈爐渣作為混凝土粒料的問題及策略〉，技師期刊，第 62 期，P21-31。
- 1.6 蔡柏棋、徐登科(2014)，〈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。
- 1.7 蘇德馨(2012)，〈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。

第二章 材料性質

2.1 轉爐石粒料之生產

1. 轉爐石產出

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。

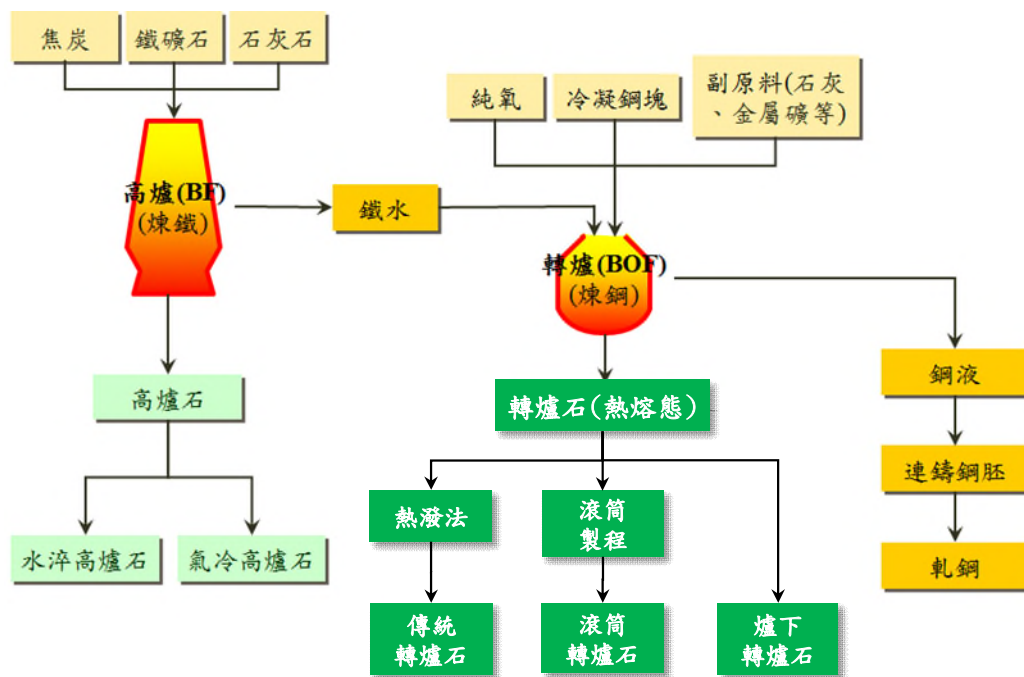


圖 2.1 一貫作業煉鋼爐石產出流程

2. 轉爐石加工技術

轉爐石於出渣冷卻時，若未經任何加工程序，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，以提升轉爐

石之安全性。目前中鋼集團主要供應作為轉爐石 CLSM 的轉爐石粒料，包括滾筒轉爐石及爐下轉爐石等 2 種類型，分將加工製程簡述如下。

(1) 滾筒轉爐石

滾筒轉爐石係由中龍公司採「滾筒法」加工方法所生產，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，以穩定材料性質與粒徑規格，如圖 2.2 所示。轉爐石經滾筒法加工後具粒徑規格穩定、無粉料等特點，資源化加工過程經重覆篩選與磁選，形成粒徑為小於 4.75 mm 之滾筒轉爐石(型號：AC1)，如圖 2.3 所示。

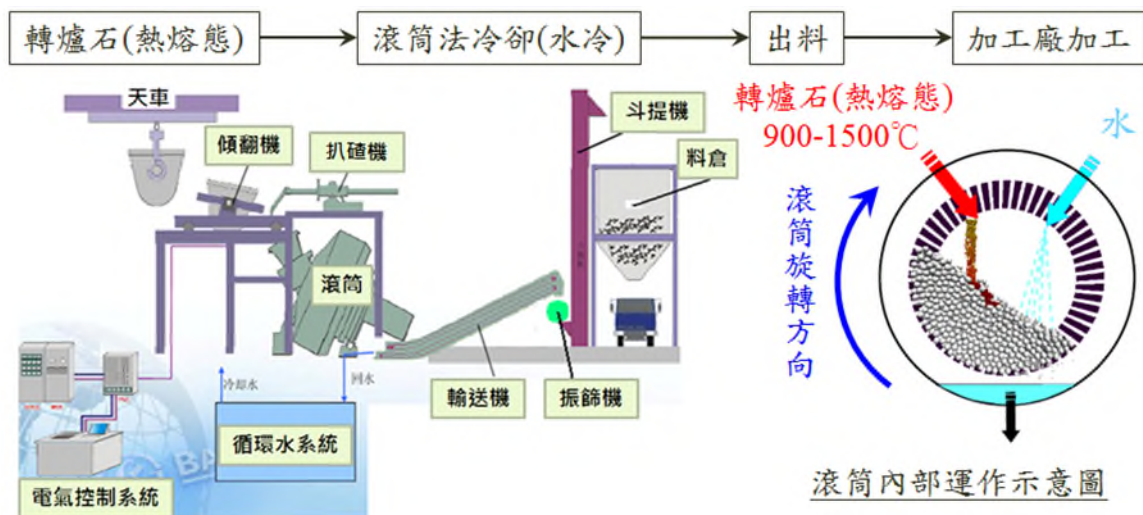


圖 2.2 滾筒轉爐石製程



圖 2.3 滾筒轉爐石外觀

(2) 爐下轉爐石

爐下轉爐石係由中鋼或中龍公司，經轉爐冶煉分批添加石灰，轉爐早期吹煉反應較劇烈所噴濺之爐下的轉爐石，收集加工製成粒徑為 6.3 mm 以下之細料，可添加適當比例應用於 CLSM。有關爐下轉爐石加工作業程序包括破碎、乾式篩分、磁選等，作業方式詳下說明。

- A. 破碎：破碎加工係指利用外力的施予，令大塊的轉爐石碎裂，使其顆粒大小及級配符合工程需要，並利於用磁選機去除高含鐵成分。目前使用機械破碎方式，利用破碎機具，以震動或槌擊等方式進行加工。
- B. 磁選：磁選加工係指利用電磁原理以回收內含鐵物質，如殘鋼等，該類含鐵物質經過精製後可用於廠內回收。
- C. 篩分：篩分加工係指將已經完成破碎與磁選加工程序的轉爐石，利用篩分機篩成符合使用需求之級配粒料規格，形成粒徑為 6.3 mm 以下，如圖 2.4 所示。



圖 2.4 爐下轉爐石製程說明圖



圖 2.5 爐下轉爐石外觀圖

2.2 轉爐石粒料之性質

1. 化學性質

轉爐煉鋼是以鐵水吹氧冶煉，而轉爐石經安定化流程加工後，傳統轉爐石、滾筒轉爐石及爐下轉爐石，化學組成無太大差異，惟各含量之比例稍有不同，主要有 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 等，其三相圖如圖 2.6 所示，與水泥生料所用之石灰石、黏土及鐵粉之主要成分相似。有關化學成分含量如表 2.1 所示，各主要化學成分特性如下說明。

- (1) 氧化鈣(CaO)： CaO 為爐渣之主要成分， CaO 含量高，能生成較多矽酸鹽類，形成水化反應活性(以下活性皆指水化反應的活性)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) 三氧化二鋁(Al_2O_3)： Al_2O_3 亦是決定爐渣活性之成分之一，在爐渣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。
- (6) 游離氧化鈣(f- CaO)：f- CaO 吸收大氣中之水分與二氧化碳而反應，使轉爐石體積膨脹，惟經過適當安定化加工後，製成轉爐石粒料，可有效降低其游離氧化鈣含量，大幅降低體積膨脹性。

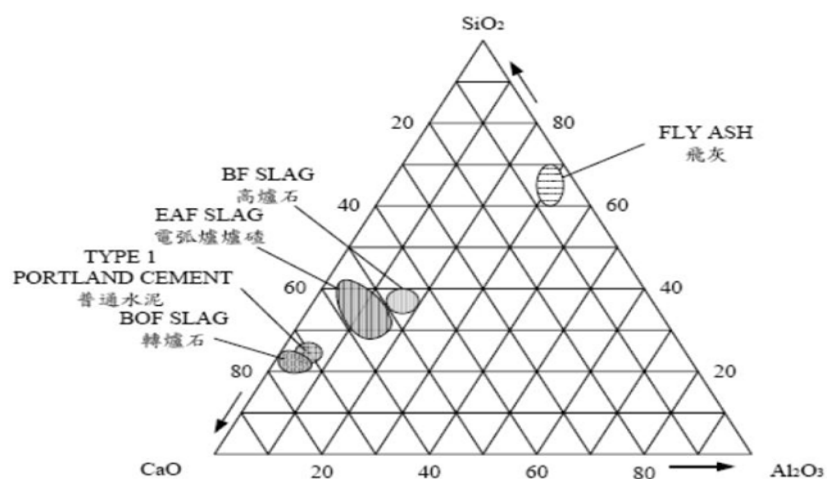


圖 2.6 轉爐石粒料 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 三相圖

表 2.1 轉爐石粒料化學成分之含量

化學物質	含量統計資料(%)					
	傳統轉爐石 ^(註1)		滾筒轉爐石 ^(註2)		爐下轉爐石 ^(註3)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
氧化鈣(CaO)	36.4	2.82	37.7	3.59	35.6	1.39
二氧化矽(SiO ₂)	8.5	1.42	8.1	1.79	10.4	0.82
三氧化二鐵(Fe ₂ O ₃)	26.3	3.37	28.0	4.82	31.8	2.46
氧化錳(MnO)	2.5	0.16	2.6	0.45	2.7	0.43
氧化鎂(MgO)	6.0	0.53	6.0	0.63	5.8	1.39
三氧化二鋁(Al ₂ O ₃)	4.9	1.84	2.2	0.99	3.4	0.63
五氧化二磷(P ₂ O ₅)	2.6	0.33	3.0	0.42	2.4	0.15
氧化鉻(Cr ₂ O ₃)	0.3	0.05	0.3	0.08	0.2	0.09
備註	1.中龍傳統轉爐石 106-109 年度統計資料。 2.中龍滾筒轉爐石 106-109 年度統計資料。 3.中龍爐下轉爐石 109 年度統計資料。					

2. 物理性質

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，而經加工後之轉爐石粒料與未加工之轉爐石間物理性質差異性不大，有關轉爐石粒料物理性質分析如表 2.2 所列。轉爐石經加工製程之轉爐石粒料，在膨脹率上略有差異，滾筒轉爐石平均為 0.73%、爐下轉爐石平均為 1.8%。

表 2.2 轉爐石粒料物理性質分析

物理性質		滾筒轉爐石		爐下轉爐石 ^(註 3)	
		通過指定篩網百分率(%)		通過指定篩網百分率(%)	
篩分析- 過篩百 分比(%)	1/4” (6.3mm)	100		100	
	#4 (4.75mm)	97		91	
	#8 (2.36mm)	30		58	
	#16 (1.18mm)	4		31	
	#30 (0.6mm)	1		15	
	#50 (0.3mm)	1		7	
	#100 (0.15mm)	1		3	
試驗項目		平均	標準差	平均	標準差
硫酸鈉健性(%)		0.51	0.38	4.8	0.70
吸水率(%)		2.3	0.54	4.4	0.67
比重		3.37	0.08	3.22	0.14
夯壓膨脹率(%)		0.73 ^(註 1)	0.27 ^(註 1)	1.8 ^(註 4)	0.39 ^(註 4)
		0.14 ^(註 2)	0.12 ^(註 2)		
備註		1. 依 CNS 15311〔粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法〕試驗，混合比例為 100%滾筒轉爐石 2. 依 CNS 15311〔粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法〕試驗，混合比例為 20%滾筒轉爐石+80%天然粒料 3. 營建研究院檢測資料 ^[2.2] 4. 依 CNS 15311〔粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法〕試驗，混合比例為 100%爐下轉爐石			

參考文獻

- 2.1 許伯良、林平全、徐登科(2011)，〈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，社團法人中華鋪面工程學會。
- 2.2 財團法人臺灣營建研究院(2020)，〈爐下轉爐石 CLSM 應用技術研究試驗報告書〉。

第三章 工程性質、實例及效益

3.1 一般原則

轉爐石 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，轉爐石粒料可替代天然粒料作為 CLSM 之再生粒料使用，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渣資源化應用概況，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 日本鋼爐渣資源化應用概況表

單位：千噸

年度	爐渣種類	產量 (噸)	資源化用途								合計
			再利用	道路用	水泥用	土壤改良	土木工程	化肥用	填土用	其他用	
2012	轉爐石	11,036	2,584	3,085	525	426	3,474	10	62	734	10,901
	電爐石	2,726	26	1,070	20	29	1,240	196	138	201	2,920
	合計	13,762	2,610	4,155	545	455	4,714	206	201	935	13,821
2013	轉爐石	11,620	2,435	4,176	531	807	4,239	23	34	613	12,857
	電爐石	2,777	25	1,007	35	72	1,206	124	107	263	2,840
	合計	14,397	2,459	5,182	566	879	5,446	147	141	877	15,697
2014	轉爐石	12,247	3,228	4,003	504	551	3,738	20	55	715	12,816
	電爐石	2,831	33	1,062	20	58	1,087	123	138	290	2,811
	合計	15,079	3,261	5,065	525	608	4,826	143	194	1,006	15,627
2015	轉爐石	11,614	3,005	3,514	479	442	3,386	25	52	616	11,521
	電爐石	2,624	47	1,155	26	20	869	83	166	256	2,623
	合計	14,238	3,053	4,670	505	463	4,255	108	219	872	14,143
2016	轉爐石	11,482	2,614	3,351	515	509	3,657	19	103	726	11,494
	電爐石	2,627	65	1,159	25	16	959	47	124	251	2,646
	合計	14,110	2,679	4,509	540	525	4,615	67	227	977	14,140
2017	轉爐石	10,930	2,261	3,571	500	472	3,520	17	87	11,149	11,236
	電爐石	2,743	39	1,252	32	12	905	52	123	2,617	2,740
	合計	13,672	2,300	4,824	531	484	4,424	69	210	13,766	13,977

資料來源：NIPPON SLAG ASSOCIATION(<https://www.slg.jp/pdf/Amounts%20of%20steel%20slag%202017FY.pdf>)

表 3.2 美國鋼爐渣資源化應用概況表

年度	爐渣種類	資源化用途 (%)								
		混凝土粒料	混凝土產品	瀝青混凝土	路基和表面	填土用	混凝土用膠結材料	煉磚原料	雜項(鐵路、屋面、礦織或土壤改良劑)用途	其它用途
2013	高爐石(氣冷式)	10.5	2.6	19.7	49.4	4.8	-	-	5.2	7.8
	高爐石(水淬式)	-	-	-	-	-	100	-	-	-
	轉爐石	-	-	15.9	49.8	15.6	-	3.3	1.5	13.9
2014	高爐石(氣冷式)	9.7	1.9	21.4	44.7	10.2	-	-	6.4	5.7
	高爐石(水淬式)	-	-	-	-	-	99.7	-	0.3	-
	轉爐石	-	-	11.9	49.7	12.6	-	2.6	1.2	22.0
2015	高爐石(氣冷式)	7.7	2.7	21.9	49.7	8.0	-	-	5.8	4.2
	高爐石(水淬式)	-	-	-	-	-	99.8	-	0.2	-
	轉爐石	-	1.1	11.8	50.7	9.9	-	2.9	1.3	22.3
2016	高爐石(氣冷式)	18.8	1.6	18.3	46.7	3.8	-	-	8.2	2.6
	高爐石(水淬式)	-	-	-	-	-	99.7	-	0.3	-
	轉爐石	-	-	20.3	42.3	15.5	-	2.4	2.0	17.5
2017	高爐石(氣冷式)	21.4	1.7	13.2	47.6	3.5	-	-	9.2	3.5
	高爐石(水淬式)	-	-	-	-	-	99.8	-	0.2	-
	轉爐石	-	0.4	15.1	40.8	14.8	-	2.4	2.0	24.7

資料來源：US Geological Survey (<https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2017-fesr.pdf>)

3.2 轉爐石 CLSM 之工程性質

依工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)之規定，CLSM 工程性質規定包含「坍流度(或管流度)」、「落沉強度試驗」、「28 天抗壓強度」、「氣離子試驗」等項，提供使用單位瞭解轉爐石 CLSM 應用之完整工程性質。有關轉爐石 CLSM 工程性質規定，依循公共工程施工綱要規範第 03377 章控制性低強度材料之要求規定，重點工程性質規範詳表 3.3 所列，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 3.3 轉爐石 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

1. 滾筒轉爐石^[3.2]

有關使用滾筒轉爐石之 CLSM 工程性質，摘自「滾筒轉爐石應用於高壓磚、透水磚及 CLSM 驗證驗廠計畫期末報告」^[3.2]，主要研究成果如下說明。

針對滾筒轉爐石使用量分別為 0、159、330、516 kg/m³ (總粒料量之 0%、10%、20%、30%)，水泥用量為 100 kg/m³ 用水量為 270 kg/m³、飛灰用量為 300 kg/m³、三分石用量為 390 kg/m³，底灰與滾筒轉爐石總量控制約 1,100 kg/m³ 左右，各配比組流度均在 40 cm 以上，具有良好的流動性。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，第 28 天抗壓強度也符合規範值 90 kgf/cm² 以下規定，有關滾筒轉爐石各使用量之 CLSM 工程性質彙整如表 3.4 所列。

表 3.4 轉爐石 CLSM 工程性質(滾筒轉爐石)^[3.2]

滾筒轉爐石使用量		0%	10%	20%	30%	規 範 值
新拌氣離子(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〔預拌混凝土〕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(kgf/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	

2. 爐下轉爐石^[3.3]

有關使用爐下轉爐石之 CLSM 工程性質，摘自「爐下轉爐石 CLSM 應用技術研究試驗報告書」^[3.3]，本節提供主要研究成果如下說明。

針對水泥用量分為一般水泥用量 105 kg/m³ 及高水泥用量 145 kg/m³；爐下轉爐石取代量分別為 0 kg/m³、110 kg/m³、220 kg/m³ 及 320 kg/m³(總粒料量之 0%、7%、14%、20%)；爐下轉爐石與廢鑄砂總量控制在 540 kg/m³ 左右，有關爐下轉爐石各使用量之 CLSM 工程性質彙整如表 3.5 所列，工程性質特點如下說明。

表 3.5 轉爐石 CLSM 工程性質(爐下轉爐石)^[3.3]

爐下轉爐石使用量		0%	10%	20%	30%	規 範 值
		低水泥量/高水泥量				
新拌氣離子(kg/m ³)		0.097/ 0.029	0.039/ 0.065	0.039/ 0.024	0.019/ 0.032	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090〔預拌混凝土〕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)		70/62	63/60	65/58	67/56	76 mm 以下 早強型 3~4hr 一般型 12~24 hr
坍流度(cm)		50/47	45.5/45.5	46.5/45	46/45.5	40 cm 以上
抗壓強度(kgf/cm ²)	1 天	8.27/ 12.62	9.78/ 17.33	10.81/ 15.27	9.12/ 14.96	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	39.18/ 58.09	43.58/ 56.49	41.71/ 59.35	41.21/ 63.23	

(1) 坍流度

坍流度為判斷 CLSM 工作性之依據，可依 CNS 14842[高流動性混凝土坍流度試驗法或 CNS 15462[控制性低強度材料流動稠度試驗法]進行測定，CLSM 常用於管溝回填或級配回填，需具有良好的流動性，故工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)規定坍流度應 40 cm 以上，以達到良好的流動性。而爐下轉爐石取代量為 $110\sim 320\text{ kg/m}^3$ (總粒料量 7~20%)，搭配適當用水量與其它粒料使用，其坍流度試驗結果皆可符合規範所需 40 cm 以上之需求。

(2) 空氣含量

CLSM 的含氣量依據 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]進行測定。當爐下轉爐石取代量為 $110\sim 320\text{ kg}$ (總粒料量 7~20%)，與氧化碴、廢鑄砂與剩餘土石方等粒料拌和時，其空氣含量約在 3~5 % 之間。空氣含量多寡係關係到配比設計時之材料用量比例，但工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)中尚無空氣含量之限制。

(3) 單位重

CLSM 的單位重依據 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]進行測定。針對專廠通路使用材料種類，爐下轉爐石比重約 3.22(取代量 $110\sim 320\text{ kg}$ ，總粒料量 7~20%)、氧化碴約為 3.37，當與廢鑄砂與剩餘土石方拌合混合配比時，其單位重約在 $1,850\sim 2,000\text{ kg/m}^3$ 左右。其爐下轉爐石與氧化碴使用量越多，其 CLSM 單位重越大，但在試拌配比材料使用條件下，增幅有限。

(4) 落沉強度試驗

落沉試驗是測定 CLSM 澆置後，判斷是否可繼續進行施工的依據，參考試驗標準為 CNS 15862[測定控制性低強度材料施加荷重時機之落球試驗法]。工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)規定當落沉強度試驗壓紋直徑小於 76 mm，可做為進行後續工作之判定。而爐下轉爐石與氧化

渣、廢鑄砂與剩餘土石方等粒料一同使用時，落沉強度均符合規範要求的 24 小時壓紋直徑小於 76 mm 之要求。落沉強度直接受水泥添加量所影響，添加量越多，則測值降低；與爐下轉爐石使用多寡無明顯關聯性。

(5) 水溶性氯離子

依 CNS 13465[新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法]，檢測包含爐下轉爐石與氧化渣、廢鑄砂與剩餘土石方等粒料拌合之 CLSM 其氯離子含量介於 $0.01\sim0.06\text{ kg/m}^3$ 間，低於新拌鋼筋混凝土水溶性氯離子含量之規範值 0.15kg/m^3 。若使用其它有機物含量較高之再生粒料，其新拌混凝土水溶性氯離子含量亦可能提高，在使用時應特別注意。因此，接觸鐵材或鋼材時會有腐蝕生鏽的情形，或是使用時鐵材與鋼材表面應有隔離或保護措施，故在工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)規定 CLSM 如使用於金屬管線埋設物之回填時，則水溶性氯離子含量須符合 CNS [3090 預拌混凝土]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。

(6) 抗壓強度發展

CLSM 的抗壓強度依據 CNS 15865[控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法]進行測定，因管溝回填用 CLSM 除早期施工要求需具一定強度外，考量往後再開挖需求，CLSM 抗壓強度有上限規定不可太高。爐下轉爐石 CLSM 強度發展趨勢與落沉強度具關連性，落沉強度低，故早期強度亦低，但晚期強度仍需視水泥用量及水膠比。依工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)中針對 28 天抗壓強度之規定，如應用為管溝工程回填，則建議以 50 kgf/cm^2 為上限。

A. 不同爐下轉爐石比例之影響

就整體強度發展趨勢而言，不同爐下轉爐石取代量($110\sim 320\text{ kg/m}^3$ ，總粒料量 7~20%)，對強度無太大影響，有關試驗結果如圖 3.1 所示。

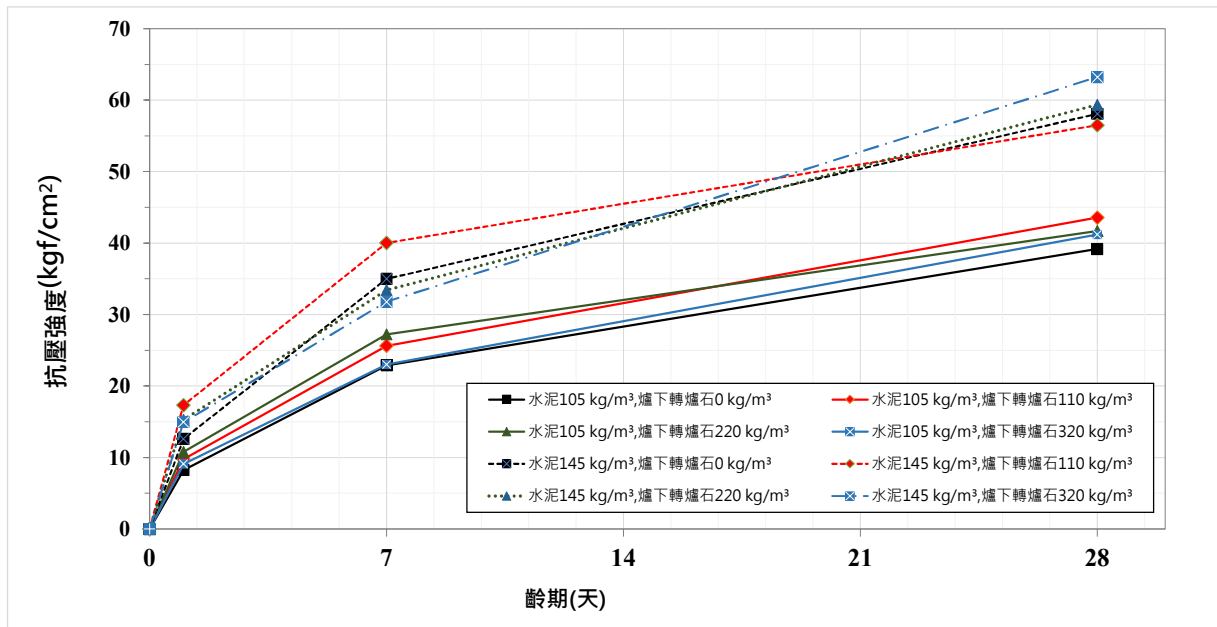


圖 3.1 不同爐下轉爐石比例於各齡期抗壓強度發展圖

B. 不同水泥用量對強度之影響

在取代不同比例的爐下轉爐石當中，當提高水泥用量時，其強度亦有明顯提升，且高水泥用量有助於早期強度發展。

按工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)所建議「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」。基此，若應用為鋪面管溝工程之回填，建議搭配水泥用量為 105 kg/m^3 使用，其 28 天抗壓強度均落在 $41\sim 44\text{ kgf/cm}^2$ 間，符合 50 kgf/cm^2 上限之要求；若使用工程為永久的結構回填，建議搭配水泥用量為 145 kg/m^3 使用，其 28 天抗壓強度均落在 $58\sim 64\text{ kgf/cm}^2$ 間，符合不超過 90 kgf/cm^2 上限之要求。

由於本手冊僅探討水泥用量 105 kg/m^3 及 145 kg/m^3 對於強度之影響，對於抗壓強度而言，水泥用量多寡比爐下轉爐石取代量比例更顯重要，齡期 28 天之抗壓強度發展如圖 3.2 所示。

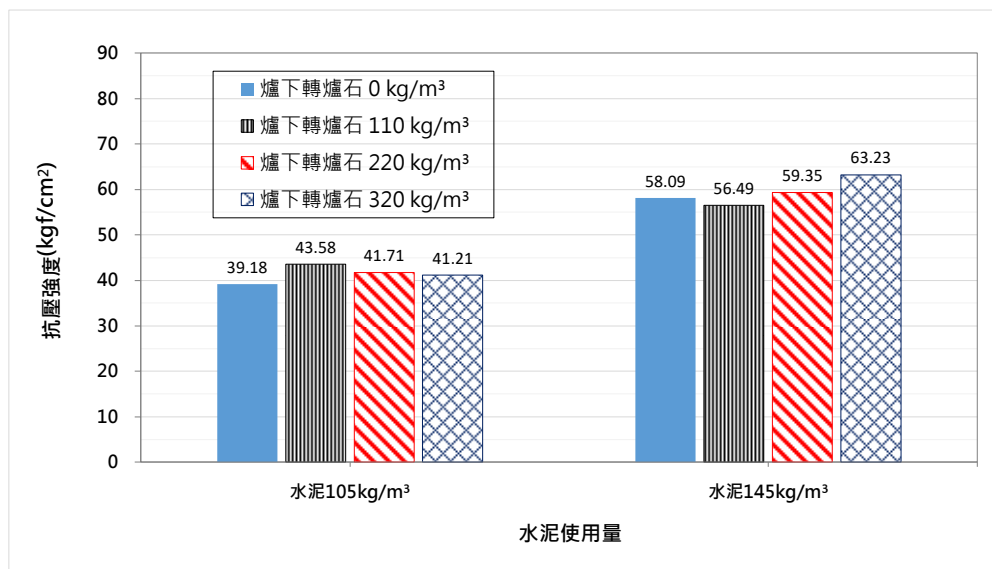


圖 3.2 不同水泥用量於齡期 28 天抗壓強度柱狀圖

3.3 轉爐石 CLSM 之體積穩定性

體積穩定性在於確認使用轉爐石 CLSM 時，鋪面是否因此而有膨脹或隆起現象。由於轉爐石 CLSM 其雖新拌性質及抗壓強度皆可符合施工規範要求，但體積穩定性乃工程應用關鍵，以可容許膨脹範圍內，決定轉爐石粒料的添加量。

惟工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)中並無體積穩定性之檢測規定，故分別引用包括 CNS 15311[粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法]、CNS 14603[硬固水泥砂漿及混凝土長度變化試驗法]及模擬 CLSM 現場受鋪面載重施工條件，量測樣品含有潛在膨脹物質之反應情形，為加速試驗進行，受測試體皆置於 70°C 高溫水槽中養護，且拉長檢測齡期，以檢視受測試體體積穩定性。

1. 滾筒轉爐石^[3.2]

有關使用滾筒轉爐石之 CLSM 體積穩定性，針對滾筒轉爐石使用量為 716 、 935 kg/m^3 (總粒料量之 40%、50%) 之配比進行驗證，有關檢驗結果如表 3.6 所列，其長度變化率及浸水膨脹比其膨脹率數值皆相當低，且經長時間的量測，仍低於

作為道路基底層回填級配之 7 天膨脹率小於 0.5%的要求。

表 3.6 轉爐石 CLSM 之體積穩定性試驗結果(滾筒轉爐石)

檢驗項目	齡期	配比組別	
		40%	50%
長度變化(%)	7 天	-0.006	-0.008
	14 天	-0.016	-0.018
	21 天	-0.031	-0.036
	28 天	-0.043	-0.046
	90 天	-0.062	-0.085

檢驗項目	齡期	配比組別	
		40%	50%
膨脹率(%)	0 天	0.00	0.00
	1 天	0.00	0.00
	2 天	0.00	0.01
	3 天	0.00	0.01
	4 天	0.00	0.01
	5 天	0.00	0.01
	6 天	0.00	0.01
	7 天	0.01	0.01
	30 天	0.01	0.01
	60 天	0.02	0.01
	90 天	0.02	0.01
	120 天	0.02	0.01

2. 爐下轉爐石^[3.3]

有關使用爐下轉爐石之 CLSM 體積穩定性，採用低水泥用量(105 kg/m^3)組進行試驗，爐下轉爐石使用量每立方公尺分別為 0 kg、110 kg 及 220 kg(總粒料量之 0%、7%、14%)，探討爐下轉爐石對於體積穩定性影響差異，其餘使用之粒料種類為氧化碴、廢鑄砂與剩餘土石方。茲就 3 種不同的體積膨脹量試驗結果，說明如下。

(1) 浸水膨脹變化

依 CNS 15311[粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法]，於不同齡期進行量測，如圖 3.3 所示，針對爐下轉爐石膨脹率進行探討，結果顯示其膨脹率反應自齡期 14 天起陸續產生，測至 40 天齡期內，取代量 220 kg/m^3 (總粒料量之 14%)膨脹率最高，約在 0.05%以內，且各組體積皆已呈現穩定態勢。顯示爐下轉爐石 CLSM 各取代量(110 kg/m^3 至 220 kg/m^3 ，總粒料量 7~14%)之膨脹量，在本試驗法之檢測條件下，且經長時間的量測，仍低於作為道路基底層回填級配之 7 天膨脹率小於 0.5%的要求。

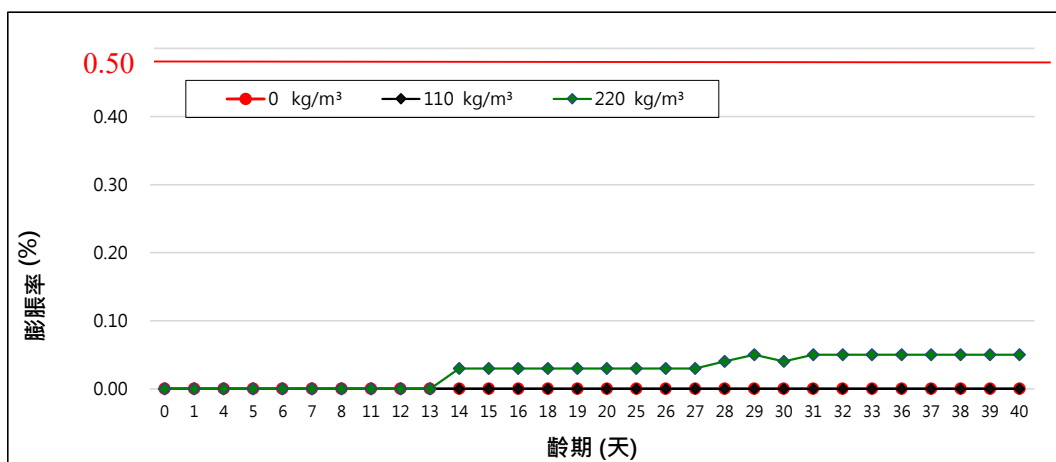


圖 3.3 轉爐石 CLSM 浸水膨脹率曲線圖(爐下轉爐石)

(2) 長方柱試體長度變化

依 CNS 14603[硬固水泥砂漿及混凝土長度變化試驗法]，於不同齡期進行量測，其試驗結果如圖 3.4 所示，其長度於齡期第一天即有變化，直觀察測至 40 天齡期，可見在常溫狀態下，其長度變化相對小，膨脹率約略為 0.0002 % 間；在加溫加速反應試驗狀態，膨脹率介於 0.0003~0.0005 % 間，各組差異並不明顯，且爐下轉爐石 CLSM 各取代量(110 kg/m³ 至 220 kg/m³，總粒料量 7~14%)之膨脹量，在本試驗法之檢測條件下，且經長時間的量測，仍低於作為道路基底層回填級配之 7 天膨脹率小於 0.5%的要求。

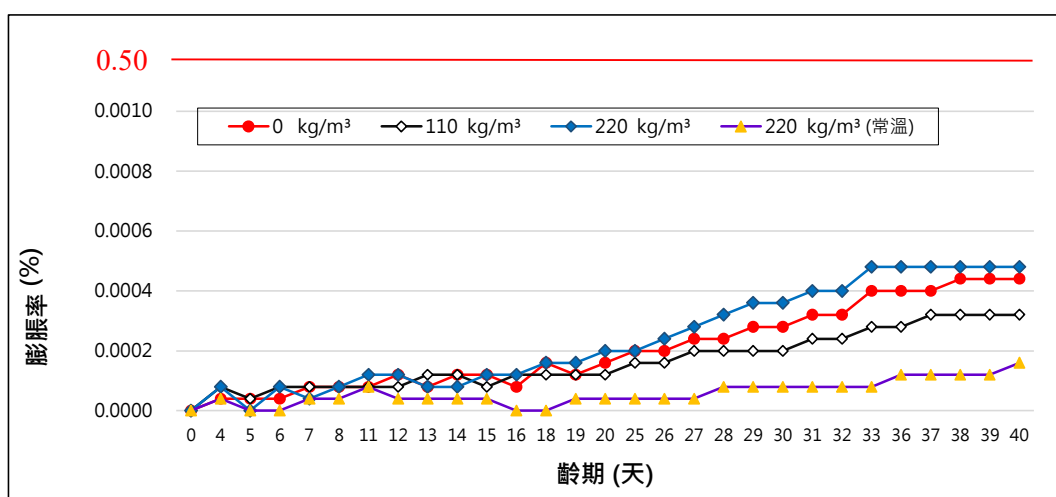


圖 3.4 轉爐石 CLSM 長度變化曲線圖(爐下轉爐石)

(3) 受載圓柱試體膨脹變化

參考台北自來水事業處的管溝工程標準圖說，設計 15cm*30cm 的混凝土圓柱試體，上方放置相當於 20cm 厚瀝青鋪面的鐵塊重量，模擬管溝 CLSM 現場施工條件，於不同齡期進行量測，其試驗結果如圖 3.5 所示。在本試驗法之檢測條件下，顯示爐下轉爐石取代量在 220 kg/m³(總粒料量 14%)內，體積變化情況穩定，膨脹率約落在 0.15%以內，且經長時間的量測，仍低於作為道路基底層回填級配之 7 天膨脹率小於 0.5%的要求。

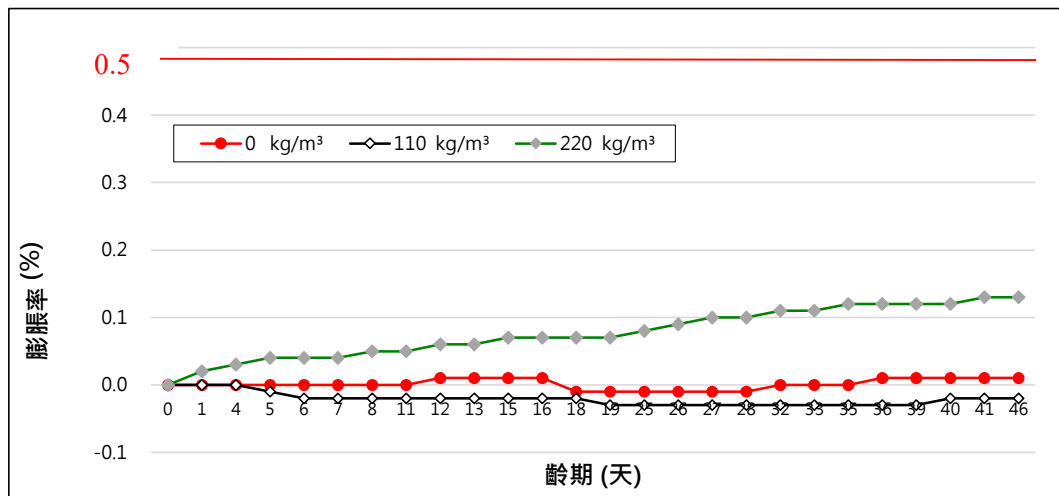


圖 3.5 轉爐石 CLSM 受載試體膨脹變化曲線圖(爐下轉爐石)

3.4 應用實例

有關轉爐石 CLSM 與一般 CLSM 的現場施作工序並無差異，施工現況如圖 3.6 所示。目前已經第三方驗證之工程實例如表 3.7 所列，主要針對環境無害性與現地體積穩定性等 2 大項指標，進行長期監測，以驗證轉爐石 CLSM 現地使用成效，有關監測數據分析結果說明如下。



圖 3.6 轉爐石 CLSM 現地施作現況

表 3.7 國內轉爐石 CLSM 應用實例

區位	現地驗證材料種類	驗證目標
案例一、 中鋼集團廠區(中 聯安定化 3 場)	(1) 轉爐石 CLSM，滾筒轉爐石使用比例為總粒料量之 30%。 (2) 原生土壤	驗證使用環境無害性
案例二、 台中港區南堤路 62 號綠帶區	(1) A 區，轉爐石 CLSM 厚 100 cm，滾筒轉爐石使用比例為總粒料量之 30%，上方加鋪 5cm AC 面層。 (2) B 區，轉爐石 CLSM 厚 100 cm，滾筒轉爐石使用比例為總粒料量之 30%，上方未再加鋪面層材料。	驗證使用現地體積穩定性

1. 案例 1:驗證使用環境無害性

中鋼集團為驗證轉爐石 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 3.8)皆低於國內土壤污染監測及管制標準。



圖 3.7 應用實例現地現況(滾筒轉爐石)

表 3.8 轉爐石 CLSM 區域及鄰近區域(未鋪 CLSM)0-10cm 土壤數據表(滾筒轉爐石)

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	
					鋪 CLSM 區域	鄰近區域 (未鋪 CLSM)
pH	NIEA S410.62C	—	—	—	8.3~8.5 (25.1~25.2°C)	8.8 (25.0°C)
砷	NIEA S310.64B	mg/kg	30	60	4.75~7.10	7.53
汞	NIEA M317.04B	mg/kg	10	20	ND	ND
鎘	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	10	20	0.13~0.22	0.22
鉻	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	175	250	14.9~26.1	23.8
銅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	220	400	5.86~8.12	9.00
鎳	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	130	200	11.6~15.3	15.8
鉛	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	1000	2000	9.50~11.4	13.2
鋅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	1000	2000	51.0~57.6	63.4

備註:中聯台中廠區於 106 年 9 月鋪設 CLSM；土壤採樣日期為 107 年 3 月 27 日。

2. 案例 2:驗證使用現地體積穩定性

於台中港區中聯公司南堤路 62 號門口綠帶區，進行 CLSM 現地實驗，依序為 AC 面層區(A 區)及 CLSM 面層區(B 區)，兩區塊中間隔有 300 cm 之原土區，以避免互相影響，每一區塊之原土面須經夯實機械震動滾壓達 90%以上，CLSM 面層區灌漿厚度為 100 cm，AC 面層區上有再加鋪 5 cm 之 AC 鋪面，面層兩側預先挖出 50 cm 正方深度 100 cm 之孔洞，灌入無收縮砂漿後，再埋入不銹鋼基樁，以作為三米直規之基準點，面層中央及各量測點位皆以鋁製墊片定位，以提高量測之精準度。

針對本案使用之轉爐石 CLSM 配比如表 3.9 所列，經 7 天、28 天、90 天、151 天及 211 天以三米直規量測其與面層之差值變化，再除以其各測站之深度值，計算出其每個測站點位之膨脹率平均值，A 區及 B 區之各測站平均值大部分約落在 0.1%以下，最大值小於 0.2%，皆小於設定目標上限值 0.5 %，試驗結果如圖 3.7 及圖 3.8 所示。且經 211 天後現地狀況無裂縫或隆起現象，現地周邊之植物生長茂盛(如圖 3.9 所示)。

表 3.9 轉爐石 CLSM 應用實例配比資料(滾筒轉爐石)

單位: kg/m^3

水	水泥	飛灰	三分	滾筒轉爐石	底灰	總計
270	100	300	390	516	513	2089

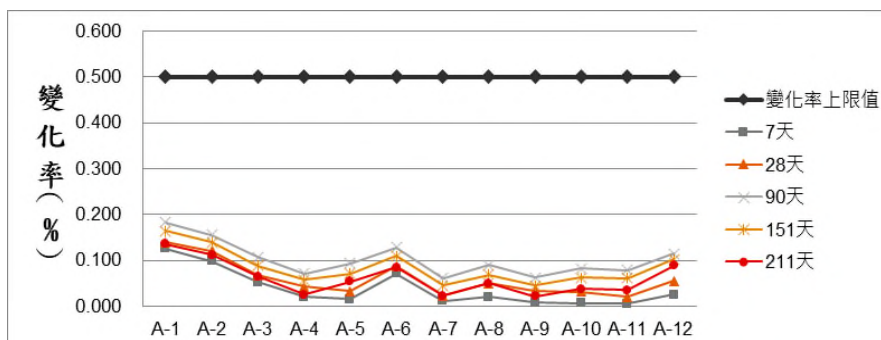


圖 3.7 現地試驗 A 區(AC 面層)結果分析圖

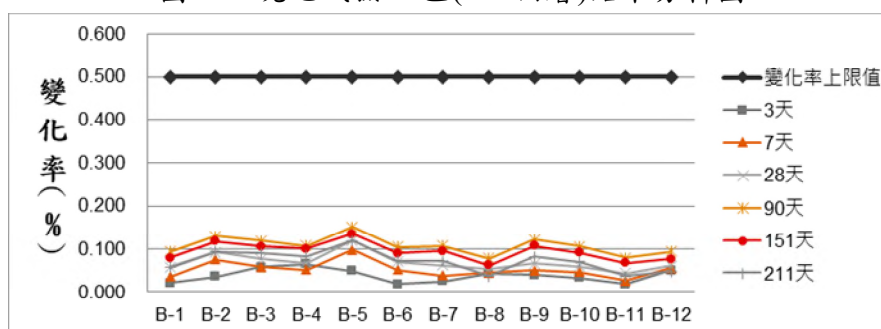


圖 3.8 現地試驗 B 區(CLSM 面層)結果分析圖(滾筒轉爐石)



A 區(AC 面層)現地現況



B 區(CLSM 面層)現地現況

圖 3.9 應用實例現地現況(滾筒轉爐石,108.09.05 拍攝)

3.5 使用轉爐石 CLSM 之產品效益

本節針對轉爐石粒料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，其施工程序可免予滾壓，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。

參考文獻

- 3.1 行政院公共工程委員會(2019)，〈控制性低強度回填材料〉，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第 8 版。
- 3.2 國立高雄科技大學土木工程與防災科技研究所(2019)，〈滾筒轉爐石應用於高壓磚、透水磚及 CLSM 驗證驗廠計畫期末報告〉。
- 3.3 財團法人臺灣營建研究院(2020)，〈爐下轉爐石 CLSM 應用技術研究試驗報告書〉。

第四章 配比設計

4.1 一般原則

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

4.2 轉爐石 CLSM 配比設計原則

1. 轉爐石 CLSM 配比設計範疇

以適當比例之轉爐石粒料取代使用，使轉爐石 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〔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

轉爐石 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 轉爐石 CLSM 配比設計步驟

轉爐石 CLSM 係指使用包括滾筒轉爐石或爐下轉爐石之轉爐石粒料，取代一定比例作為再生粒料使用，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。由於轉爐石粒料拌和時其工作性會隨著取代量增加而降低，轉爐石粒料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。

轉爐石 CLSM 之產品配比設計無論轉爐石粒料使用比例多寡，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]。

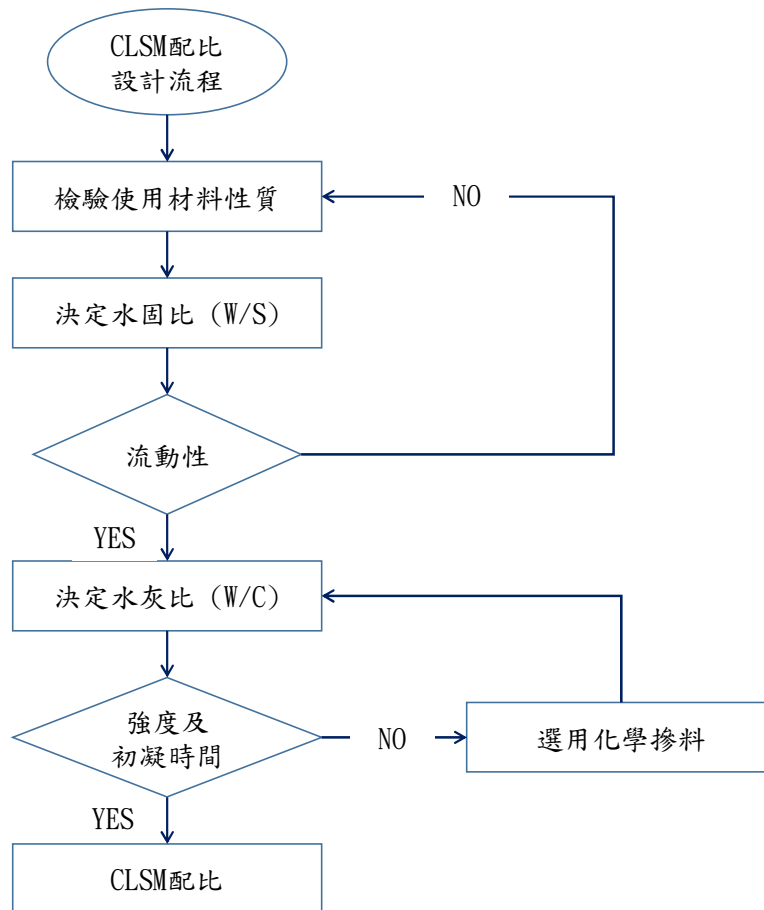


圖 4.1 配比設計流程^[4.1]

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。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^[4.1]。

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(S)，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

$$a. \text{水固比}(W/S) = \text{水重}(W) / \text{固體重}(S) \quad (4-1)$$

$$b. \text{水灰比}(W/C) = \text{水重}(W) / \text{水泥重}(C) \quad (4-2)$$

$$c. \text{固體重}(S) = \text{水泥重}(C) + \text{粒料重}(F) \quad (4-3)$$

$$d. \text{化學摻料添加量}(A) = \text{水泥重}(C) \text{之 } X\%^{[4.3]} \quad (4-4)$$

5. 配比計算範例

(1) 低水泥量配比計算

- a. 假設 CLSM 之爐下轉爐石取代總粒料量為 120 kg/m^3 (總粒料量約 7%) 並搭配氧化碴、廢鑄砂與剩餘土石方粒料使用，其中各粒料種類添加量分別為 390 kg/m^3 、 480 kg/m^3 及 840 kg/m^3 ，所需規格為 28 天強度設計約 40 kgf/cm^2 ，坍流度需求為 40 cm 以上。

由實驗所得經驗值得出：

水固比 $W/S = 0.1$

固體重 $S = 1,950 \text{ kg/m}^3$

水灰比 $W/C = 1.633$

轉爐石 CLSM 空氣含量 = 3.5%

- b. 水重 W，由公式 4-1， $W/S = 0.1 = W/1,950$ ， $W = 195 \text{ kg/m}^3$ 。

c. 水泥重 C，由公式 4-2， $W/C = 1.633 = 195 / C$ ， $C = 119 \text{ kg/m}^3$ 。

d. 粒料重 F，由公式 4-3， $S = C + F$ ， $1,950 = 119 + F$ ， $F = 1,831 \text{ kg/m}^3$ 。

因爐下轉爐石取代量為 120 kg/m^3 ，其它粒料使用量則為 $1,831 \text{ kg/m}^3 - 120 \text{ kg/m}^3 = 1,711 \text{ kg/m}^3$ 。另細粒料總量控制 600 kg/m^3 ，則廢鑄砂使用量則為 $600 \text{ kg/m}^3 - 120 \text{ kg/m}^3 = 480 \text{ kg/m}^3$ 。

e. 轉爐石 CLSM 空氣含量 = 3.5%，即含氣量 = 35 kg/m^3 。

註：為本範例試驗配比試驗值，若使用不同物料組成，應重新進行檢測。

f. 單位體積重換算 = $(195/1) + (119/3.15) + (120/3.22) + (390/3.37) + (480/2.12) + (840/1.8) + 35 = 1,113.9 \text{ kg/m}^3$ 。

水重 = $195/1.1139 = 175 \text{ kg/m}^3$

水泥重 = $119/1.1139 = 106 \text{ kg/m}^3$

爐下轉爐石重 = $120/1.1139 = 107 \text{ kg/m}^3$

氧化矽料重 = $390/1.1139 = 350 \text{ kg/m}^3$

廢鑄砂料重 = $480/1.1139 = 430 \text{ kg/m}^3$

剩餘土石方料重 = $840/1.1139 = 754 \text{ kg/m}^3$

註：算式中係假設水比重為 1、水泥比重為 3.15、爐下轉爐石比重為 3.22、氧化矽比重為 3.37、廢鑄砂比重為 2.12、剩餘土石方比重為 1.8。其中，自然狀態含水量爐下轉爐石約 5% 左右、氧化矽約 2% 左右、廢鑄砂約 25% 左右、剩餘土石方約 25% 左右等狀態計算然應依實際含水狀態之比重為準，設計時應依據材料廠商提供之比重進行換算。

g. 試拌並量測 CLSM 性質是否符合工程要求，若否，則調整配比或添加化學摻料再做試拌與調整。

(2) 高水泥量配比計算

a. 假設 CLSM 之爐下轉爐石取代總粒料量為 120 kg/m^3 (總粒料量約 7%) 並搭配氧化矽、廢鑄砂與剩餘土石方粒料使用，其中各粒料種類添加量分別為 390 kg/m^3 、 480 kg/m^3 及 780 kg/m^3 ，所需規格為 28 天強度設計約 60 kgf/cm^2 ，坍流度需求為 40 cm 以上。

由實驗所得經驗值得出：

水固比 $W/S = 0.104$

固體重 $S = 1,930 \text{ kg/m}^3$

水灰比 $W/C = 1.26$

轉爐石 CLSM 空氣含量 = 3.8%

b. 水重 W ，由公式 4-1， $W/S = 0.1 = W/1,930$ ， $W = 201 \text{ kg/m}^3$ 。

c. 水泥重 C ，由公式 4-2， $W/C = 1.26 = 201/C$ ， $C = 160 \text{ kg/m}^3$ 。

d. 粒料重 F ，由公式 4-3， $S = C + F$ ， $1,930 = 160 + F$ ， $F = 1,770 \text{ kg/m}^3$ 。

因爐下轉爐石取代量為 120 kg/m^3 ，其它粒料使用量則為 $1,770 \text{ kg/m}^3 - 120 \text{ kg/m}^3 = 1,650 \text{ kg/m}^3$ 。另細粒料總量控制 600 kg/m^3 ，則廢鑄砂使用量則為 $600 \text{ kg/m}^3 - 120 \text{ kg/m}^3 = 480 \text{ kg/m}^3$ 。

e. 轉爐石 CLSM 空氣含量 = 3.8%，即含氣量 = 38 kg/m^3 。

註：為本範例試驗配比試驗值，若使用不同物料組成，應重新進行檢測。

f. 單位體積重換算 = $(201/1) + (160/3.15) + (120/3.22) + (390/3.37) + (480/2.12) + (780/1.8) + 38 = 1,102.5 \text{ kg/m}^3$ 。

水重 = $201/1.1025 = 183 \text{ kg/m}^3$

水泥重 = $160/1.1025 = 145 \text{ kg/m}^3$

爐下轉爐石重 = $120/1.1025 = 109 \text{ kg/m}^3$

氧化矽料重 = $390/1.1025 = 354 \text{ kg/m}^3$

廢鑄砂料重 = $480/1.1025 = 435 \text{ kg/m}^3$

剩餘土石方料重 = $780/1.1025 = 707 \text{ kg/m}^3$

註：算式中係假設水比重為 1、水泥比重為 3.15、爐下轉爐石比重為 3.22、氧化矽比重為 3.37、廢鑄砂比重為 2.12、剩餘土石方比重為 1.8。其中，自然狀態含水量爐下轉爐石約 5% 左右、氧化矽約 2% 左右、廢鑄砂約 25% 左右、剩餘土石方約 25% 左右等狀態計算然應依實際含水狀態之比重為準，設計時應依據材料廠商提供之比重進行換算。

g. 試拌並量測 CLSM 性質是否符合工程要求，若否，則調整配比或添加化學摻料再做試拌與調整。

6. 配比調整原則

不同再生粒料因性質各異，在混合使用的情況下會影響 CLSM 的空氣含量、單位體積、坍(流)度、穩定性及強度，單位體積及含氣量與材料種類及用量有關，坍流度則會影響 CLSM 的工作性及填充能力，穩定性意指 CLSM 應均勻混合與粒料彼此結合不析離，強度則應考量往後是否有開挖之需求或承載需求。

參考美國混凝土學會(American Concrete Institute, ACI) ACI 229R-13 Report on Controlled low strength materials (CLSM)所列配比調整原則如表 4.1 所示，依前項配比試拌結果在某些性質不符時，或於工地供料時出現料相異常情況，可依此表建議方向進行調整，再重新試拌確認配比之適用性。

表 4.1 配比調整原則^[4.4]

性質	異常情形	調整方向
坍(流)度	過大	a.減少用水量 b.增加細粒料
	過小	a.增加用水量 b.添加減水劑
穩定性	粒料析離	a.減少用水量 b.增加細粒料 c.增加膠結材料 d.增加輸氣劑 e.添加增稠劑
單位體積	過低	a.確認材料比重是否正確 b.增加材料用量
	過高	a.確認材料比重是否正確 b.減少材料用量
強度	過低	a.增加膠結材料 b.減少輸氣劑 c.使用減水劑來降低用水量
	過高	a.減少膠結材料 b.增加輸氣劑

4.4 配比試拌

所得之轉爐石 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，且轉爐石 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. CLSM 拌合廠於配比設計前應先確認轉爐石粒料及其他原物料之性質成分、品質及含水量狀態，含水量多寡會影響材料比重，進而影響 CLSM 的單位體積，故使用前需注意。

2. 建議依前項配比設計流程，進行單項材料的配比設計及試拌，包含可能添加使用的其它種類再生粒料，建立符合工程需求的基礎配比資料庫，再以各單項材料的基礎配比，疊加不同比例再生粒料的 CLSM 配比進行計算，再透過試拌進行配比調整。
3. 有鑑於各項粒料之含水量高低不一，建議可依基礎配比的含水量作為基準，當個別種類批次的含水量高時，則調高配比個別種類用量；反之含水量低，則調降用量。
4. CLSM 之拌合材料可使用卜作嵐摻料(如水淬高爐爐渣粉、燃煤飛灰等)取代部分水泥或水泥直接用水泥系處理劑取代作為膠結材料使用。水泥量的增加有可能需增加用水量來維持坍流度，其配比設計應透過試拌確認其性質是否符合工程需求。所增加之用水量，應調整配比以符合設計單位體積，避免生產出來的 CLSM 體積過大或過小。
5. 部份再生粒料在與水泥及水混合過程中有可能會產生氣體，使得 CLSM 的含氣量增加，因此在做配比設計時，可假設較高的含氣量，再依空氣含量試驗結果進行配比調整。
6. CLSM 因應不同工程後續施工時程需求，所需早期強度不盡相同，一般而言 24 小時應符合落沉強度要求，壓痕直徑在 7.6 cm 以內，若為市區道路管線工程則有可能要求 4 小時即需達落沉強度要求，可以添加速凝型化學摻料來控制 CLSM 凝結時間。
7. 使用不同材料基礎配比所疊加而成的配比應透過試拌與調整以確認符合工程需求，並將其紀錄於疊加配比資料表。
8. 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]。

4.6 參考配比

依工程會施工綱要規範第 03377 章(控制性低強度回填材料)規定管溝用 CLSM 其坍流度至少需 40 cm 以上，在管溝回填於 CLSM 情況下，28 天強度控制在 50 kgf/cm² 以下；永久結構回填，28 天強度控制在 90 kgf/cm² 以下。針對轉爐石

CLSM 參考配比資訊如下列，提供作為配比設計時之參考，CLSM 廠品管人員仍應依廠內材料條件進行調整，並經試拌後確認性質符合工程需求。

1. 滾筒轉爐石^[4.5]

考量滾筒轉爐石之膨脹性質，其取代總粒料建議不得超過 30% 為原則，有關參考配比資訊如表 4.2 所列。

表 4.2 轉爐石 CLSM 參考配比(滾筒轉爐石)

單位: kg/m³

水	水泥	飛灰	三分	滾筒轉爐石	底灰	總計
270	100	300	390	516	513	2089

2. 爐下轉爐石^[4.6]

在符合 CLSM 工作性與強度等前提，另考量 CLSM 混凝土體積穩定性等因素，建議配比範圍及性質結果如表 4.3，建議水泥用量至少 105 kg/m³，爐下轉爐石取代量建議控制在總粒料量之 10% 為上限。

其中，爐下轉爐石使用量，與廢鑄砂總量應控制在 540 kg/m³ 左右；氧化矽用量約控制 350 kg/m³；剩餘土石方於低水泥用量(105 kg/m³)時使用 750 kg/m³、高水泥用量(145 kg/m³) 時使用 690 kg/m³，抗壓強度可控制在 40~60 kg/cm² 之間。惟應用為管溝工程之回填時，建議搭配水泥用量為 105 kg/m³ 使用，以符合不超過 50 kgf/cm² 為原則。

表 4.3 轉爐石 CLSM 參考配比及性質(爐下轉爐石)

設計配比(kg/m ³)							CLSM 性質		
水泥	水	氧化矽	轉爐石 級配料 C	廢鑄砂	剩餘土 石方	化學 摻料	單位重 (kg/m ³)	24 小時 落沉(cm)	28 天強度 (kgf/cm ²)
105	170	340	110	430	750	--- (註)	1,900~ 1,930	6.3~6.5	41~44
145	185	355	170	370	690			5.8~6.0	56~60

註：一般添加化學摻料目的在於縮短 CLSM 的凝結時間，部分化學摻料有促進水泥提早水化以獲得早期強度效果，而化學摻料使用量應參照供應商原廠建議量，經試拌結果調整確定。化學摻料之規格亦應符合 CNS 12283[混凝土用化學摻料]規定。

參考文獻

- 4.1 胡志誠(2004)，〈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。
- 4.2 陳怡伶(2006)，〈都市垃圾焚化底渣於管溝回填應用之探討〉，國立中華大學土木工程碩士論文。
- 4.3 行政院環境保護署(2015)，〈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〉。
- 4.4 ACI (2013), 〈Report on Controlled low strength materials (CLSM) 〉, ACI 229R-13。
- 4.5 國立高雄科技大學土木工程與防災科技研究所(2019)，〈滾筒轉爐石應用於高壓磚、透水磚及 CLSM 驗證第二期驗廠計畫期末報告〉。
- 4.6 財團法人臺灣營建研究院(2020)，〈爐下轉爐石 CLSM 應用技術研究試驗報告書〉。

第五章 使用規範

5.1 使用要點

轉爐石 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」^[5.1] 規定。

5.2 資料審查

1. 轉爐石粒料於供料前，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. 轉爐石 CLSM 於施工前，應查驗轉爐石 CLSM 品管作業文件，內容包含轉爐石粒料規格品質證明文件、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，可於轉爐石粒料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. 轉爐石粒料之料源應維持穩定，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或爐下轉爐石之轉爐石粒料類別，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將轉爐石粒料誤用至其他用途。
4. 轉爐石粒料皆依照中鋼集團編撰之轉爐石自主管理計畫進行管制，內容針對轉爐石粒料管理機制、紀錄皆有明確說明。

5.4 配比設計

1. 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%；爐下轉爐石取代總粒料不得超過 10%。
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。
3. 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) 轉爐石 CLSM 應在拌和廠進行拌和作業以穩定產製 CLSM 之品質。
 - (2) 轉爐石 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

在編製轉爐石 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。

參考文獻

- 5.1 行政院公共工程委員會 (2019)，〈控制性低強度回填材料〉，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第 8 版。
- 5.2 行政院環境保護署(2015)，〈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〉。

第六章 產品標準

6.1 轉爐石粒料品質標準

1. 中鋼集團轉爐石粒料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 拌和廠於轉爐石粒料進料時，可要求中鋼集團提供轉爐石粒料品質報告書，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. 為避免轉爐石粒料膨脹特性影響 CLSM 之耐久性，須符合下列標準：

依 CNS 15311 試驗^[6.1]，浸水膨脹率比滾筒轉爐石及爐下轉爐石不得超過 3%；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 轉爐石粒料品質標準

測試項目		產品標準		測試方法
		滾筒轉爐石	爐下轉爐石	
最大粒徑	篩號			
	1/4"(6.3 mm)	-	>95	CNS 486 〔 粗細粒料篩析法 〕
	#4 (4.75 mm)	>95	-	
健度(%)		≤10		CNS 1167 〔 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法 〕
膨脹率(%)		≤3		CNS 15311 〔 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法 〕

表 6.2 轉爐石粒料 TCLP 溶出濃度數值

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
MDL1	0.038	0.0004	0.017	0.016	0.017	0.017	0.021	0.039	0.01
爐下轉爐石	ND	ND	0.207	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MDL2	0.032	0.0004	0.019	0.009	0.018	0.019	0.016	0.033	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
中聯資源自主品管	<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)；爐下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/2020/80206) 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 MDL1；報告編號：AR/2020/80206 之 MDL2)。								

5. 搭配工程案隨批檢附產品規格證明書，證明書內容登入轉爐石粒料之最大粒徑規格、健性、膨脹率及環境相容性(TCLP)等檢驗結果。有關檢測頻率，材料性質每 1,000 公噸檢測 1 次；環境相容性(TCLP)每季 1 次，所提供之產品規格證明樣式如表 6.3 所示。

表 6.3 (a)轉爐石粒料產品規格證明書樣式

中聯資源股份有限公司				
品管試驗報告				
樣品名稱：轉爐石粒料 (標註滾筒轉爐石或爐下轉爐石)			採樣地點：中聯○○廠	
			採樣日期： 年/ 月 /日	

篩號/粒徑	篩分析			
	停留量		通過率 (wt.%)	產品規格
	留篩 (wt.%)	累積 (wt.%)		
1/4" /6.3mm				>95 (爐下轉爐石)
#4/4.75mm				>95 (滾筒轉爐石)
#8/2.36mm				-
#16/1.18mm				-
#30/0.6mm				-
#50/0.3mm				-
#100/0.15mm				-

試驗項目		測試方法	分析結果	產品規格
物理性質	硫酸鈉健度(%)	CNS1167 [使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法]		≤10
	吸水率(%)	CNS 488 [粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法]		-
	比重	CNS 488 [粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法]		-
	夯壓膨脹率(%)	CNS 15311 [粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法]		≤3

備註	本試驗樣品結果所列紀錄僅對樣品本身負責。
----	----------------------

分析人員：

覆核：

表 6.3 (b)轉爐石粒料產品規格證明書樣式

中聯資源股份有限公司				
品管試驗報告				
樣品名稱：轉爐石粒料 (標註滾筒轉爐石或爐下轉爐石)			採樣地點：中聯○○廠	
			採樣日期： 年/ 月 /日	

試驗項目		毒性特性溶出 (TCLP)		
		溶出濃度 (mg/L)	法規極限值	檢測方法
總鉛/Pb			< 5.0	NIEA R201.14C NIEA R306.13C NIEA M104.02C
總銅/Cu			< 15.0	
總鉻/Cr			< 5.0	
總鎘/Cd			< 1.0	
總硒/Se			< 1.0	
總鋇/Ba			< 100	
總砷/As			< 5.0	
總汞/Hg			< 0.2	
六價鉻/Cr(VI)			< 2.5	

XRF 螢光分析				
試驗項目		測試方法	分析結果	產品規格
成 份 分 析 (wt.%)	氧化鈣 / CaO	ASTM C-114 (XRF 法)		
	氧化鎂 / MgO			
	二氧化矽 / SiO ₂			
	氧化鋁 / Al ₂ O ₃			
	氧化鐵 / Fe ₂ O ₃			
pH 值		NIEA R208. 04C		
備註		本試驗樣品結果所列紀錄僅對樣品本身負責。		

分析人員：	覆核：
-------	-----

6.2 轉爐石 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。

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 6.4、表 6.5 所示)。

表 6.4 CLSM 之性質要求^[6.2]

項目	試驗方法	要求
*註 1 管流度(cm)	CNS 15462 〔控制性低強度材料 流動稠度試驗法〕	[15-20][20-30][]
*註 1 坍流度(cm)	CNS 14842 〔高流動性混凝土坍 流度試驗法〕	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862 〔測定控制性低強度 材料施加荷重時機之 落球試驗法〕	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 〔控制性低強度材料 圓柱試體之製備及試 驗法〕	[90 ^{註 2}][]以下
氯離子含量	CNS 13465 〔新拌混凝土中水溶 性氯離子含量試驗 法〕	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090〔預拌混凝土〕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
備註	1.管流度及坍流度可擇一試驗辦理。 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/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。	

表 6.5 國內 CLSM 材料規範彙整^[6.3、6.4]

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
	修正流度	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
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	40~80 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，落沉強度試驗結果須符合 ASTM D6024 [Standard Test Method for Ball Drop on Controlled Low Strength Material (CLSM) to Determine Suitability for Load Application] 第 3.6.4 規定；流度及修正流度可擇一試驗辦理。						

參考文獻

- 6.1 經濟部標準檢驗局(2010)，〈粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法〉，CNS 15311。
- 6.2 行政院公共工程委員會(2019)，〈控制性低強度回填材料〉，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第 8 版。
- 6.3 陳政宏(2012)，〈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。
- 6.4 王圍任(2008)，〈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。

第七章 驗證機制

轉爐石 CLSM 應用時，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. 拌和廠轉爐石粒料進料品質管制，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. 轉爐石粒料測試其 CNS 15311 浸水膨脹比須小於 3%。
3. 轉爐石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 〔控制性低強度材料流動稠度試驗法〕	[15-20][20-30][]
* ^{註1} 坍流度(cm)	CNS 14842 〔高流動性混凝土坍流度試驗法〕	[40 以上][]
落沉強度試驗	CNS 15862 〔測定控制性低強度材料施加荷重時機之落球試驗法〕	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 〔控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法〕	[90 ^{註2}][]以下
氯離子含量	CNS 13465 〔新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法〕	如使用於金屬管線埋設物之回填時，須符合 CNS 3090〔預拌混凝土〕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
備註	1.管流度及坍流度可擇一試驗辦理。 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/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。	

7.2 環境監測

針對環境相容性之規定^[7.2]，中鋼集團之轉爐石粒料經過加工、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，且於現地鋪築觀測結果顯示皆符合國內法規標準。整體而言，從原料(詳述於本手冊 6.1 節)，乃至 CLSM 產品應用後土壤之檢驗(詳述於本手冊 3.4 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 行政院公共工程委員會(2019)，〈控制性低強度回填材料〉，公共工程施工綱要規範第 03377 章，第 8 版。
- 7.2 陳信榮、張簡國禎(2011)，〈轉爐石對環境相容性之探討〉，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面研討會論文集，社團法人中華鋪面工程學會。

第八章 注意事項

8.1 一般原則

包括滾筒轉爐石及爐下轉爐石等的轉爐石粒料，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。轉爐石粒料應用於 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轉爐石粒料應用於 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轉爐石粒料於 CLSM 時，須事先於發包文件中註明其種類及摻配比例，轉爐石 CLSM 發包文件可參考附錄 2。
2. CLSM 拌和廠於轉爐石粒料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. 轉爐石粒料料源應維持穩定，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或爐下轉爐石之轉爐石粒料類別，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將轉爐石粒料誤用至其他用途。
5. 轉爐石粒料皆依照中鋼集團編撰之轉爐石自主管理計畫進行管制，內容針對轉爐石粒料管理機制、紀錄皆有明確說明。轉爐石 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. 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。

8.3 設計

1. 轉爐石粒料應用於 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，並考量轉爐石粒料特性，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%。

2. 轉爐石粒料比重

因轉爐石粒料比重較天然粒料高(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

考量轉爐石粒料仍具些微膨脹性，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；爐下轉爐石取代總粒料不得超過 10%為限。另依本手冊提供參考之配比方案，滾筒轉爐石與爐下轉爐石不建議混用，除經業主同意並有第三方驗證混用之轉爐石 CLSM 工程性質。

8.4 驗證

1. 轉爐石粒料品質驗證

CLSM 廠於轉爐石粒料進料時，可要求中鋼集團提供轉爐石粒料類別(滾筒轉爐石或爐下轉爐石)及品質報告書，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. 轉爐石粒料膨脹性

中鋼集團對轉爐石粒料膨脹性之出廠標準，滾筒轉爐石及爐下轉爐石之浸水膨脹率比皆不得超過 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 轉爐石 CLSM 回收再利用應注意事項

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

第 03377 章

控制性低強度回填材料

第 03377 章 V8.0

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、脫硫爐石粒料或再生粒料。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) 脫硫爐石粒料為煉鋼副產物脫硫爐石經加工處理所製成，應符合環保署公告之「毒性特性溶出程序(TCLP)」為無害者，其含水量不得大於[30][]%，並經必要性之安定化前處理程序，且滿足工程需求者，取代粒料比例不得大於[50][]%，如使用時應注意氯離子含量，並應符合本章之 3.6.2 款規定。
- (4) 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][]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，但分批取樣餘數未達 25m³者，得併入前一組取樣，每次澆置量未達[20][]m³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

轉爐石 CLSM

發包補充文件

轉爐石粒料控制性低強度回填材料(轉爐石 CLSM)

110.4 修訂

1. 通則

1.1 本篇概要

- (1) 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 **轉爐石粒料** 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。
- (2) 有關轉爐石 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通則性規定，應依據公共工程施工綱要規範第 03377 章〈控制性低強度回填材料〉辦理。
- (3) 本章提供轉爐石 CLSM 施工補充要點及相關規定。
- (4) 本章所使用之轉爐石粒料，係指「滾筒轉爐石」或「爐下轉爐石」等 2 種類型之再生粒料。
- (5) 其他規定請參考施工綱要規範第 03377 章。

1.2 工作範圍

請參考施工綱要規範第 03377 章。

1.3 相關章節

請參考施工綱要規範第 03377 章。

1.4 中華民國國家標準 (CNS)

請參考施工綱要規範第 03377 章。

1.5 資料送審

1.5.1 品質管制計畫書

- (1) 品質管制計畫書應包含轉爐石粒料之出廠證明、粒料試驗報告及每季一次之 TCLP 定期委外報告。
- (2) 配比設計報告書除契約圖說另有規定或經工程司同意者外，報告書應載明轉爐石粒料取代總粒料量之比例。
- (3) 其他規定請參考施工綱要規範第 03377 章。

2. 產品

2.1 一般規格

- (1) 轉爐石 CLSM 所使用之轉爐石粒料，為一貫作業煉鋼冶煉過程所產之轉爐石，經加工再製而成之再生粒料，包括「滾筒轉爐石」或「爐下轉爐石」。
- (2) 轉爐石粒料規格應符合表一之品質標準規定。

表一 轉爐石粒料品質標準

測試項目		產品標準		測試方法
		滾筒轉爐石	爐下轉爐石	
最大粒徑	篩號/粒徑			
	1/4" / 6.3 mm	-	>95	CNS 486 〔粗細粒料篩析法〕
	#4 / 4.75 mm	>95	-	
健性(%)		≤ 10		CNS1167 〔使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法〕
膨脹率(%)		≤ 3		CNS 15311 〔粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法〕

- (3) 轉爐石粒料根據配比設計報告，與其它粒料按一定比例混合後之級配粒料，需依 CNS 15311 進行膨脹試驗，其連續 7 天膨脹量須小於 0.5 %。
- (4) 轉爐石粒料取代總粒料量之比例，滾筒轉爐石以不超過 30%為原則，爐下轉爐石以不得超過 10%為原則。
- (5) 轉爐石 CLSM 若用於有硬固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。
- (6) 其他規定請參考施工綱要規範第 03377 章。

2.2 材料

請參考施工綱要規範第 03377 章。

2.3 品質管制

請參考施工綱要規範第 03377 章。

3. 施工

3.1 準備工作

3.2 產製

- (1) 拌和廠之轉爐石粒料料倉，應有明確標示，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將轉爐石粒料誤用至其他用途。
- (2) 按配比設計應於準備供料之場地進行試拌，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。
- (3) 若轉爐石 CLSM 產品無法滿足設計功能需求時，且經送第三方公正單位檢驗，證實係因轉爐石粒料造成，拌合廠商須暫停使用該批不合格品之轉爐石粒料，或工程司得要求暫停使用該批不合格品轉爐石粒料，並要求轉爐石粒料供應廠商運回更換。
- (4) 其他規定請參考施工綱要規範第 03377 章。

3.3 運送

請參考施工綱要規範第 03377 章。

3.4 澆置

請參考施工綱要規範第 03377 章。

3.5 養護

請參考施工綱要規範第 03377 章。

3.6 檢驗

請參考施工綱要規範第 03377 章。

4. 計量與計價

請參考施工綱要規範第 03377 章。

轉 爐 石 CLSM

使用手冊 110年版