

電弧爐煉鋼爐碴(石)於海事工程 應用手冊



台灣鋼鐵工業同業公會

中華民國 110 年 09 月 編印

目 錄

第一章 總則	1
1.1 緣起	1
1.2 目的	4
1.3 名詞定義	4
1.4 適用範圍	6
1.5 內容說明	6
1.6 手冊使用者導引	8
第二章 電弧爐煉鋼爐渣(石)性質與相關規定	9
2.1 鋼爐渣產出、特性與應用	9
2.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用	12
2.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)性質	14
2.3.1 化學性質 ^[11]	14
2.3.2 物理性質	17
2.3.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料之環保規範	21
2.3.4 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用管理規定與相關標準	22
第三章 海事工程特性、工項及電弧爐煉鋼爐渣(石)適用範圍	23
3.1 海事工程特性及工項	23
3.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)產品性質	24
3.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)適用海事工程工項	28
第四章 電弧爐煉鋼爐渣(石)工程性質與應用相關規定	31
4.1 一般原則	31
4.2 產出	32
4.3 貯存	33
4.4 清除	34
4.5 流向管理	36
4.6 電弧爐煉鋼爐渣(石)雲端管理系統	37
4.7 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程相關設計指南	38
4.7.1 基本原則	38
4.7.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)性質	38
4.7.2.1 單位體積重量	38

4.7.2.2 抗剪角	39
4.7.3 礫石樁設計(砂質土壤地盤)	39
4.7.4 擠壓砂樁設計(黏土質土壤地盤)	39
4.7.4.1 適用範圍與設計法	39
4.7.4.2 改良地盤的剪力強度	39
4.7.4.3 樁的滲透性	39
4.7.4.4 折減係數	40
4.8 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程相關施工步驟與工法說明	40
4.8.1 基本原則	40
4.8.2 回填資材	41
4.8.2.1 施工說明	42
4.8.2.2 材料供應計畫	43
4.8.2.3 材料儲備與運輸	43
4.8.3 整地應用、港灣施工便道及堤後背填	44
4.8.3.1 施工說明	44
4.8.3.2 材料供應計畫	48
4.8.3.3 材料儲備與運輸	48
4.8.4 地盤改良(礫石樁) ^[21]	49
4.8.4.1 施工說明	49
4.8.4.2 材料供應計畫	52
4.8.4.3 材料儲備與運輸	52
4.8.5 地盤改良(擠壓砂樁)	53
4.8.5.1 施工說明	53
4.8.5.2 材料供應計畫	56
4.8.5.3 材料儲備與運輸	56
4.8.6 地盤改良(海域軟弱地盤土方置換) ^[21]	57
4.8.6.1 施工說明	57
4.8.6.2 材料供應計畫	58
4.8.6.3 材料儲備與運輸	59
4.8.7 斜坡堤(拋石)	59

4.8.7.1 施工說明	59
4.8.7.2 材料供應計畫	62
4.8.7.3 材料儲備與運輸	63
4.8.8 斜坡堤(消波塊)	63
4.8.8.1 施工說明	63
4.8.8.2 材料供應計畫	65
4.8.8.3 材料儲備與運輸	65
4.8.9 人工魚礁	66
4.8.9.1 施工說明	66
4.8.9.2 材料供應計畫	67
4.8.9.3 材料儲備與運輸	67
第五章 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程法規規定及分項工程自主品質管理	69
5.1 一般原則	69
5.1.1 電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料出廠管制	69
5.1.2 材料及配比設計管制	70
5.1.3 產製及施工管制	70
5.1.4 驗收階段管制	70
5.1.5 注意事項	71
5.2 材料自主品質管理	73
5.2.1 回填資材	73
5.2.1.1 自主管理產品標準	73
5.2.1.2 自主管理環境安全品質	76
5.2.2 鋪面材料	76
5.2.2.1 自主管理產品標準	76
5.2.2.2 自主管理環境安全品質	79
5.2.3 港灣施工便道	79
5.2.3.1 自主管理產品標準	79
5.2.3.2 自主管理環境安全品質	79
5.2.4 堤後背填	80
5.2.4.1 自主管理產品標準	80

5.2.4.2 自主管理環境安全品質	80
5.2.5 地盤改良	80
5.2.5.1 自主管理產品標準	80
5.2.5.2 自主管理環境安全品質	81
5.2.6 斜坡堤	83
5.2.6.1 自主管理產品標準	83
5.2.6.2 自主管理環境安全品質	83
5.2.7 人工魚礁	86
5.2.7.1 自主管理產品標準	86
5.2.7.2 自主管理環境安全品質	86
第六章 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之品保機制	87
6.1 一般原則	87
6.2 現場之品保機制	87
6.2.1 回填資材(電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料)	88
6.2.2 整地應用及鋪面材料	88
6.2.3 港灣施工便道	89
6.2.4 堤後背填	89
6.2.5 地盤改良(礫石樁與擠壓砂樁)	90
6.2.6 地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)	93
6.2.7 斜坡堤(拋石)	94
6.2.8 斜坡堤(消波塊)	95
6.2.9 人工魚礁	96
第七章 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程環境監測及注意事項	99
7.1 一般原則	99
7.2 環境安全性	99
7.2.1 環境安全品質	99
7.2.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)溶解水溶液的 pH	102
7.2.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)對海洋生物的影響	104
7.3 施工前及施工期間環境監測	105
7.4 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之注意事項	109
第八章 電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化案例探討	113

8.1 前言	113
8.2 國內外電弧爐煉鋼爐碴(石)資源化利用概況	113
8.3 電弧爐煉鋼爐碴(石)資源化方向	116
8.4 爐碴粒料於土木工程與港口之應用	119
8.4.1 名古屋港的 Tobishima Minami 區碼頭	120
8.4.2 東予港西条地區港灣改修工程	120
8.4.3 Punta Sollana 防波堤擴建工程	121
8.4.4 土木工程用鋼碴碎石(JSTM H 8001).....	122
8.5 煉鋼爐碴於地盤改良之應用	122
8.5.1 對周圍海域影響之驗證	122
8.5.2 羽田空港地盤改良工程	124
8.6 電弧爐煉鋼爐碴(石)資源化案例	125
8.6.1 電弧爐煉鋼爐碴(石)使用於人工魚礁	125
8.6.2 應用電弧爐煉鋼爐碴(石)建設實績	129
8.6.3 電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於災害重建	133
第九章 施工綱要規範有關港灣工程相關規定評析	135
9.1 海事工程防波堤(第 02391 章 V6.0).....	135
9.2 海事工程人行道底層與面層(第 02779 章 V4.0*、第 02778 章 V4.0)	135
9.3 海事工程生態護岸(第 02388 章)	136
9.4 海事工程圬工附屬品(第 04090 章 3.0)	136
9.5 海事工程借土 (第 02322 章 V3.0)*	136
9.6 海事工程選擇性回填材料(第 02319 章 V4.0)	136
9.7 海事工程構造物回填(第 02317 章 V3.0)	137
9.8 海事工程開挖及回填(第 02315 章 V4.0)	137
9.9 海事工程品質管理(第 01450 章 V8.0).....	137
9.10 海事工程基地及路堤填築(第 02331 章 V3.0)	138
9.11 海事工程級配粒料底層(第 02726 章 V10.0)	138
9.12 海事工程級配粒料基層(第 02722 章 V9.0)	138
9.13 海事工程混凝土磚(第 04220 章 V4.0)	138
9.14 港灣工程用預鑄混凝土塊(第 03439 章 V3.0)	139

9.15 碼頭(第 02392 章 V7.0).....	139
9.16 港灣工程用沉箱(第 02395 章 V4.0)*	139
9.17 港灣工程用緣石及緣石側溝(第 02770 章 V5.0)	140
9.18 港灣工程瀝青混凝土鋪面(第 02742 章 V10.0)	140
參考文獻	141
附錄一 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表及附件	147
附錄二 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範港灣工程 相關章名與章碼	167
附錄三 CLSM 電弧爐煉鋼爐渣(石)供料計畫書	169
附錄四 工程顧問公司制定之施工綱要規範第 02361A 章擠壓砂樁 ^[21]	183
附錄五 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02231 章清除與掘除 (V3.0).....	191
附錄六 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02319 章選擇性回填材料 (V5.0).....	197
附錄七 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02722 章級配粒料基層 (V9.0).....	205
附錄八 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02726 章級配粒料底層 (V10.0).....	219

表目錄

表 2-1 煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)主要特性與應用	10
表 2-2 煉鋼爐渣(石)的應用統計(鋼鐵公會提供).....	11
表 2-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)化學成分之含量(鋼鐵公會統計)	17
表 2-4 氧化渣(石)粗粒料密度與吸水率試驗結果 ^[3, 17]	19
表 2-5 氧化渣(石)細粒料密度與吸水率試驗結果 ^[3, 17]	19
表 2-6 氧化渣(石)洛杉磯磨損及健度試驗結果 ^[3, 17]	20
表 2-7 國內各鋼廠水合膨脹試驗結果 ^[3, 15, 17]	20
表 2-8 電弧爐煉鋼爐渣(石)重金屬毒性特性溶出及氫離子濃度指數 結果	22
表 3-1 海事工程材料用途與參考規範	29
表 3-2 海事工程用途與暴露情境評估 ^[18, 21]	30
表 4-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)出廠檢驗標準 ^[24]	33
表 4-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用程序產出物檢驗標準 ^[2]	35
表 5-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-回填資材(電弧爐煉鋼 爐渣(石))	74
表 5-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-回填資材(電弧爐煉鋼 爐渣(石)可拌合其他材料)	75
表 5-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-回填資材(電弧爐煉鋼 爐渣(石)可拌合其他材料)且作為透水材料用	76
表 5-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-整地應用(電弧爐煉鋼 爐渣(石))	77
表 5-5 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-級配粒料基底層(電弧 爐煉鋼爐渣(石))之級配規定	78
表 5-6 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-級配粒料基底層(電弧 爐煉鋼爐渣(石))之品質要求	78

表 5-7 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-港灣施工便道.....	79
表 5-8 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-堤後背填.....	80
表 5-9 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(礫石樁)..	81
表 5-10 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(擠壓砂樁)(I).....	82
表 5-11 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(擠壓砂樁)(II).....	82
表 5-12 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(海域軟弱地盤土方置換).....	83
表 5-13 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤(拋石).....	84
表 5-14 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤(消波塊)....	84
表 5-15 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤之環境監測項目	85
表 5-16 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤(人工魚礁)	86
表 6-1 現場之品保機制彙整表 (相關驗收標準與環境安全品質) ^[21]	87
表 7-1 煉鋼爐渣的環境安全品質標準及試驗方法 ^[18]	100
表 7-2 環境安全標準 ^[18]	100
表 7-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)依使用途徑的自主管理環境安全品質基準和試驗方法 ^[18, 21]	101
表 7-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料應用於海事工程之環境標準	102
表 7-5 短期育種試驗中魚類和貝類的存活情況 ^[18]	104
表 7-6 環境監測規範及檢測項目	106
表 7-7 環境分類及海洋環境品質標準	107
表 7-8 台灣地區沿海海域範圍及海域分類	108
表 7-9 地下水污染監測標準及管制標準	108

表 8-1 歐美日國家煉鋼爐渣產生量及資源化統計 ^[39-41]	117
表 8-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)實際使用案例成果 ^[18]	129

圖目錄

圖 1-1 煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼爐渣)分類	5
圖 1-2 電弧爐煉鋼流程 ^[7, 8]	5
圖 2-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)產出流程圖	11
圖 2-2 氧化渣(石)與還原渣(石)外觀	12
圖 2-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用前處理程序	13
圖 2-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)、普通水泥及高爐石 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖	15
圖 2-5 安定化後還原渣(石)(a)研磨前；(b)研磨後	18
圖 2-6 台灣營建研究院碳鋼氧化渣(石)膨脹性試驗結果((a)A 鋼鐵廠提供;(b)B 鋼鐵廠提供)	21
圖 2-7 國立台灣科技大學碳鋼氧化渣(石)膨脹性試驗結果((a)C 鋼鐵廠提供;(b)D 鋼鐵廠提供)	21
圖 3-1 氧化渣粒料混合比例/水灰比與坍流度之關係 ^[19]	25
圖 3-2 含不同還原渣取代水泥量下之混凝土坍度變化 ^[20]	25
圖 3-3 氧化渣(石)粒料混合比例/水灰比與凝結時間之關係 ^[19]	26
圖 3-4 不同還原渣(石)取代水泥量下之混凝土凝結時間變化(水膠比:0.32) ^[20]	26
圖 3-5 氧化渣(石)粒料混合比例/水灰比與 28 天抗壓強度之關係 ^[19]	27
圖 3-6 還原渣(石)取代 20%卜特蘭水泥量時細度與抗壓強度關係圖 ^[20]	28
圖 4-1 雲端管理系統流程圖	38
圖 4-2 礫石樁施工流程圖 ^[34]	50
圖 4-3 礫石樁地盤改良工法級配曲線 ^[34]	51
圖 5-1 含電弧爐煉鋼爐渣(石)於海事工程品管作業流程	72

圖 6-1 地盤改良(礫石樁與擠壓砂樁)成效檢驗的建議鑽孔位置 ^[18] ...	92
圖 7-1 純水和海水加入飽和的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液中 pH 的變化.....	103
圖 8-1 名古屋港的 Tobishima Minami 區碼頭	120
圖 8-2 東予港西条地區港灣改修工程 ^[49]	121
圖 8-3 Punta Sollana 防波堤 ^[50]	121
圖 8-4 廣島港海洋 SCP 案例.....	123
圖 8-5 羽田空港地盤改良工程 ^[68]	124
圖 8-6 羽田空港 D 滑行跑道擴建工程 ^[69]	124
圖 8-7 1m × 1m × 1m 海洋塊 ^[70]	126
圖 8-8 海洋塊人工魚礁施工現場 ^[70]	126
圖 8-9 海底碳酸爐渣塊的視圖 ^[70]	126
圖 8-10 爐渣塊、花崗岩塊和混凝土塊與植物數量關係圖 ^[70]	127
圖 8-11 15 個爐渣塊堆積在 5 米深的海底呈金字塔狀 ^[70]	128
圖 8-12 大量的魚聚集在由爐渣塊創造的空間中 ^[71]	128
圖 8-13 建造海洋環境改善之測試場景	128
圖 8-14 Ofunato 港口入口處建造防波堤 ^[72]	133

第一章 總則

1.1 緣起

鋼鐵工業係以從事黑色金屬礦物採選和黑色金屬冶煉加工等工業生產活動為主的工業包括金屬鐵、鉻、錳礦物的採選、煉鐵、煉鋼、鋼加工、鐵合金冶煉、鋼絲及其製品業等細分工業；鋼鐵工業是現代化國家重要建設必要的原物料工業之一。鋼鐵工業包括生產生鐵、鋼、鋼材、工業純鐵和鐵合金等工業，是全世界所有工業化國家的基礎工業之一，有經濟學家曾建議將國家總鋼產量或人均鋼產量做為衡量一個國家經濟實力的重要指標之一，此顯示鋼鐵工業確為國家生產經濟的重要基礎產業，也是國家經濟水平和綜合國力的重要標示，提升國力必須維持鋼鐵業的持續發展。然而伴隨著鐵或鋼的產製過程，必然會產出一定量的副產物(或廢棄物)，國內各鋼鐵廠以往均依政府規定，送交合法廠商加以處理或再生利用；然因近年來台灣環保意識高漲及少數資源處理廠商未能妥適再利用或處理鋼爐渣，致造成社會大眾對鋼爐渣再利用方式產生疑慮，然而台灣目前配合世界各國推動永續發展策略，開始大力倡導研發資源再生使用的循環經濟技術，所以如何排除再利用疑慮並充分再利用事業副產物，不僅是鋼鐵業，亦是產出「事業廢棄物」或「一般廢棄物」的各產業必須嚴肅面對的課題。

「鋼爐渣」是煉鋼生產作業中產出的廢棄物，不同方式的煉鋼程序產出的爐渣性質不盡相同，一貫作業煉鋼廠煉鋼前，先用高爐將鐵礦煉成生鐵後，送進轉爐將生鐵冶煉成鋼，生產過程中產出的爐渣包括：鐵渣(氣冷高爐渣、水淬高爐渣(石))、脫硫渣及轉爐渣四類；一般廢鐵煉鋼多採用電弧爐，煉鋼過程中產出的爐渣分別為電弧爐煉鋼爐還原渣(石)與電弧爐煉鋼爐氧化渣(石)。前述水淬高爐渣(石)依據以往長期使用經驗，顯示經研磨達到適當細度後，適量添加於混凝土中代替部分卜特蘭水泥作為輔助膠凝材料(cementitious materials)，對於混凝土性能無負面的影響。然而脫硫渣、轉爐渣、電弧爐煉鋼爐還原渣(石)與電弧爐煉鋼爐氧化渣(石)因含有一定數量的游離氧化鈣，與水接觸後可能會發生膨脹反應，該類鋼爐渣再生利用時，應特別考量體積膨脹對使用用途可能的影響。為有效處理無害事業廢棄物，事業廢棄物資源化再利用是優先選項，應依廢棄物個別特性，擇定適當再利用途徑加以推廣使用，為達成充分再利用的目標，除須具備處理目前相關廢棄物的技術能力與再利用專業技術外，並應尋找多元且具有大量材料需

求的再利用途徑，方能降低鋼爐渣堆積或誤用對環境與工程品質的衝擊外，並能提升鋼鐵產業與再利用機構經營效能，同時建立國內符合市場機制的循環經濟體系。

過去的研究成果顯示，適量的使用鋼爐渣於再利用途徑，不致產生負面影響，如確有膨脹疑慮時，鋼爐渣可經適當安定化處理後成為有用的資源，採用穩定可靠技術與妥適管理制度為鋼爐渣資源化再利用的關鍵。為了確保使用鋼爐渣於營建工程對構造物的安全性或使用性無負面影響，游離 f-MgO 及 f-CaO 含量必須加以控制。相關檢測技術須優先訂定，除遵循政府制訂的相關法規外，鋼鐵業者為保證煉鋼爐渣再利用的品質，建立適當的雲端資訊，讓鋼爐渣再利用途徑透明化。

為使國內鋼爐渣具有廣泛的再利用途徑，一般鋼廠均採行適當的生產流程與嚴格的品質管理制度。鋼爐渣再生利用時，首先其化學成分或性質必須符合環保署事業廢棄物相關環保標準及經濟部事業廢棄物再利用規定，其次在市場上需將鋼爐渣處理至符合國家標準的營建材料或能達到符合綠建材或綠色採購的需求性能。國內外許多工程案例顯示鋼爐渣可做為興建道路、港口、機場即其他基礎工程的營建材料(construction materials)，亦可做為恢復、改善海域或大地土壤的環境材料(environmental materials)。21 世紀世界各國正在努力解決全球暖化溫升問題，第一步努力的目標是建立低碳社會，節約能源與資源、降低 CO₂ 排放量等。台灣如能利用鋼爐渣良好的環境材料或工程材料特性，廣泛多元的再利用於營建工程，除能減輕鋼爐渣堆積問題，更能降低河川砂石需求，對台灣整體環境保護與資源保存有具體貢獻。另外國內近年來河川砂石資源日漸稀少，北部地區工程需求多靠進口砂石，僅花東、南部及中部等尚有配合河川疏濬，進行季節性開採，然目前各項基礎工程仍有大量砂石需求，必須嚴肅面對砂石未來持續短缺的問題，所以研發使用替代粒料技術有相當的迫切性。過去數十年國內外相關研究顯示電弧爐煉鋼爐渣(石)的物理特性與天然河川機製粒料相近，電弧爐煉鋼爐渣(石)經適當加工處理後，可做為再生粒料代替天然粒料使用於營建工程相關工項上，其用法及施工與使用天然粒料無異。台灣四面環海，許多基礎工程如港灣工程、港口工程或近岸工程均屬海事工程，部分工項如港口鋪面、防波堤、碼頭、施工便道、堤後背填、沉箱與沉箱充填、海岸地質改良、樁基、拋石填海造地、消波塊及人工魚礁等均需耗用大量粒料，所以台灣產業界與工程界應

配合國家永續發展政策，充分使用鋼爐碴於海事工程各工項上，除有助達到節能減排目標外，更能符合循環經濟策略。

「電弧爐煉鋼爐碴(石)」為電弧爐煉鋼製程產出的廢棄物，依照冶煉過程可分為「電弧爐煉鋼爐氧化碴(石)」及「電弧爐煉鋼爐還原碴(石)」兩類。國內電弧爐煉鋼廠每年生產約 800 萬公噸粗鋼，伴之產出約 78 萬公噸氧化碴(石)及 66 萬公噸還原碴(石)，二者依國內廢棄物清理法認定為一般事業廢棄物^[1]，其再利用管理作業需依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」^[2]辦理。目前國內電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用用途包括：(1)水泥生料、(2)瀝青混凝土粒料原料、(3)瀝青混凝土原料、(4)控制性低強度回填材料用粒料原料、(5)控制性低強度回填材料原料、(6)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、(7)紐澤西護欄原料，或經高壓蒸氣處理後作為(1)非構造物用預拌混凝土粒料原料、(2)非構造物用預拌混凝土原料、(3)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(附錄一)。台灣區鋼鐵工業同業公會(以下簡稱鋼鐵公會)為有效推廣鋼爐碴在營建工程上正確應用技術，已完成相關技術手冊編修如：(1)電弧爐煉鋼氧化碴瀝青混凝土鋪面使用手冊，(2)電弧爐煉鋼氧化碴(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊及(3)電弧爐煉鋼氧化碴(石)應用於道路級配粒料底層試行使用手冊^[3-5]。

國外鋼爐碴再使用或再利用於營建工程項目包括：水泥原料、混凝土粒料、道路工程用材料、路基級配粒料、港灣(harbor)與港口(port)工程用材料，土壤改質材料與其他土木工程材料，以日本為例，2012 年電弧爐煉鋼爐碴(石)產量約為 13,821,000 公噸，其中使用於工程項目(use in works)佔 31%，使用於路基(road base)佔 29%，使用於土木工程項目(civil works)佔 28%，使用於水泥生產(cement)佔 4%，使用於土壤改質(soil improvement) 佔 3%及掩埋(landfill)佔 1%。有鑑於此，鋼鐵公會為推廣電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於港灣(harbor)與港口(port)工程上，特委託中華民國建築技術學會依據鋼鐵公會已完成編審的電弧爐煉鋼爐碴(石)應用在營建工程上相關技術手冊，同時參照國內外相關應用技術分析結果與工程實例，進行編訂「電弧爐煉鋼爐碴(石)於海事工程應用手冊」(以下簡稱本手冊)，期能利用本手冊闡明電弧爐煉鋼爐碴(石)材料性質與再利用於港灣(harbor)與港口(port)工程相關技術，並剖析電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於港灣與港口工程相關項目與適切性能，另外訂定再利用相關品質管理措施及提出修訂公共工程委員會共

通性工項施工綱要規範港灣工程章節建議，本手冊可提供國內工程界使用電弧爐煉鋼爐渣(石)於港灣與港口工程時之完整參考資料。

1.2 目的

使用電弧爐煉鋼爐渣(石)替代天然粗細粒料(或碎石與機製砂)，做為港灣與港口工程各工項中符合規定的再生粒料或填充料，除能降低天然砂石資源開採需求量，節省港灣與港口營建工程物料成本外，同時亦可避免浪費國家可再利用礦石資源，達到循環經濟之目的。為有效擴大電弧爐煉鋼爐渣(石)資源再利用途徑，將電弧爐煉鋼爐渣(石)導入港灣與港口工程項目中充分使用有其必要性。本手冊編撰之目的，在遵照環保署廢清法規定與「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」公告鋼爐渣再利用途徑前提下，綜整已審定電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用於營建工程的相關技術手冊內涵，參照行政院公共工程委員會頒訂共通性工項施工綱要規範有關港灣工程各章相關規定，分析國內港灣與港口工程工項，擬訂電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程使用手冊，提供工程界使用電弧爐煉鋼爐渣(石)於使用於海事工程技術與注意事項等資訊，以推廣電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用範疇並確保營建工程品質。

1.3 名詞定義

1. 煉鋼爐渣

根據 CNS 15310^[6]中的定義，鋼爐渣(steel slag)為非金屬產品，係與鋼同時在轉爐或電弧爐之煉鋼爐中所產生，主要為氧化鐵、氧化鋁、氧化錳、氧化鈣、氧化鎂及氧化矽等氧化物熔融組合而成之矽酸鹽及鐵氧化物，包含轉爐石(渣)、電弧爐氧化渣(石)、電弧爐還原渣(石)。本手冊所稱之「煉鋼爐渣」不包括將鐵礦原料與粘土及助熔劑在高溫熔爐中冶煉反應後所產生熔渣(又稱高爐爐渣(石)、鐵渣)。國內主要煉鋼方法分為電弧爐煉鋼與一貫作業煉鋼兩類，其中電弧爐煉鋼冶煉反應過程中產出電弧爐煉鋼爐氧化渣(石)與電弧爐煉鋼爐還原渣(石)，一貫作業煉鋼伴隨產出轉爐渣(石)(如圖 1-1 所示)，本手冊旨在闡明電弧爐煉鋼之「電弧爐煉鋼爐渣(石)」再利用於海事工程相關技術與品管注意事項。

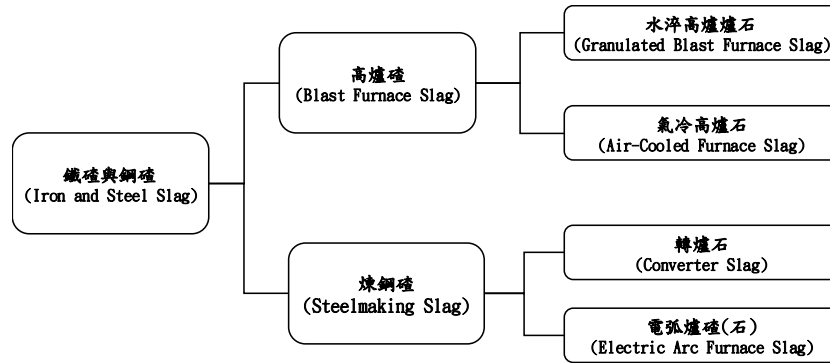
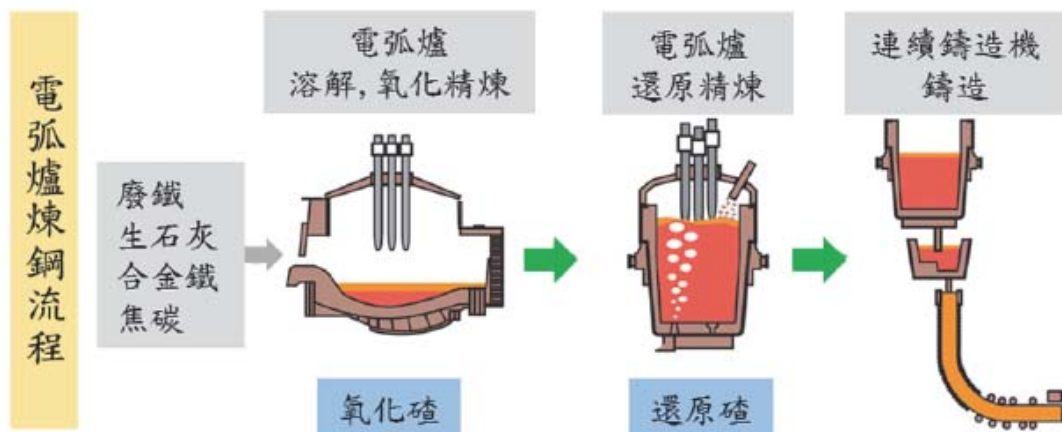


圖 1-1 煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼爐渣)分類

2. 電弧爐煉鋼爐渣(石)

本手冊所稱之「電弧爐煉鋼爐渣(石)」係指經電弧爐煉鋼過程，於氧化過程中產出之熱熔渣，經冷卻後產出之爐渣(石)。電弧爐煉鋼利用電能發熱至 $1,500\sim 1,600^{\circ}\text{C}$ ，將廢鐵原料及所添加的 CaO 熔融，再吹氧去除熔鋼中的不純成分物質，如 FeO 、 MnO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等氧化物，互相反應結合成安定的礦物相，其比重較還原層的鐵水為輕，浮在上層形成「電弧爐煉鋼爐氧化渣(石)」(以下簡稱「氧化渣(石)」)，見圖 1-2 所示。然後將熔融的鐵水移至取鍋精煉爐(LF)，添加多量的 CaO ，在還原環境下進行去除鐵水中的氧和硫成分，精煉成鋼，此時所產生的爐渣稱為「電弧爐煉鋼爐還原渣(石)」(以下簡稱「還原渣(石)」)，與氧化渣(石)兩者合稱「電弧爐煉鋼爐渣(石)」。爐壁上的保溫材料 MgO 會脫落，此時之還原渣(石)內會存在有游離的 CaO 及 MgO 。

圖 1-2 電弧爐煉鋼流程^[7, 8]

3. 電弧爐煉鋼爐碴(石)再生粒料

本手冊所稱之「電弧爐煉鋼爐碴(石)再生粒料」為前述電弧爐煉鋼爐碴(石)經破碎、磁選與篩分再利用處理所製成之再生粒料，符合中央目的事業主管機關之相關再利用規定並足以滿足工程需求者。

4. 海事工程(marine works)

海事工程為土木工程的分項專業，主要在規劃設計與施工時，必須將海洋環境因素列入，其中包括波浪力、波浪高、水深、波能譜(wave energy spectrum)及波浪方向等；海事工程工項包括內港工程(inner harbour works)、垂直丘堤(vertical and mound dikes)、船塢(wet docks)、碼頭(wharves)、石油鑽井平台(oil rigs)、疏浚和回填工程(dredging and filling works)、離岸排污口(offshore outfalls)、水下管道(underwater pipes)及海灘再生(beach regeneration)等。

5. 港灣工程 (port and harbor engineering)

港埠(port)包括一或多個碼頭，可以停靠船舶，提供人員上下船或裝卸貨物設施；水路運輸可分內水路運輸(inland transportation)與海洋運輸(ocean transportation)；內水路運輸為河川運輸或運河運輸。港口(harbor)係船舶建造、維修、停靠與避風的區域。港灣工程(port and harbor engineering)包含港埠、港口、運河(canals)及其他海事設施的規劃、設計、施工及營運。

1.4 適用範圍

本手冊相關規定及建議事項適用於鋼爐碴(氧化碴(石)與安定化還原碴(石))在海事工程(港灣與港口工程)上應用，除本手冊所載各事項外，並可參照行政院公共工程委員會頒訂共通性工項施工綱要規範有關港灣工程各章相關規定(附錄二)。

1.5 內容說明

本手冊內容涵括使用含電弧爐煉鋼爐碴(石)於海事工程工項時所需相關資訊，本手冊架構或章節內容概述如下：

1. 總則

2. 電弧爐煉鋼爐碴(石)性質與相關規定

本章主要說明電弧爐煉鋼爐渣(石)之材料性質，包含電弧爐煉鋼爐渣(石)之產出、再利用處理程序與材料使用要求、物理與化學性質、法規與標準等資訊。

3. 海事工程特性、工項及電弧爐煉鋼爐渣(石)適用範圍

本章主要說明含電弧爐煉鋼爐渣(石)營建工程適用範圍，並針對使用含電弧爐煉鋼爐渣(石)的各項工程性質進行說明，以作為海事工程工項使用電弧爐煉鋼爐渣(石)參考。

4. 電弧爐煉鋼爐渣(石)工程性質與應用相關規定

本章先依民國 110 年 6 月 24 日發布之「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表說明電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用用途範圍、再利用機構應具備資格、運作管理等，再參考行政院公共工程委員會頒訂共通性工項施工綱要規範及文獻介紹海事工程各工項的設計指南、施工說明、材料供應計畫、儲備與運輸等。

5. 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程法規規定及分項工程自主品質管理

本章主要說明電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程相關的法規，亦參照工程會共通性工項施工綱要規範港灣工程各章相關規定，說明海事工程各工項自主管理產品標準、環境安全品質要求及各項管制，包括出廠、材料及配比、產製與施工及驗收等。

6. 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之品保機制

本章主要介紹應用電弧爐煉鋼爐渣(石)於海事工程各工項的現場品保機制，綜整說明相關品質管制措施及應注意事項，除參照工程會共通性工項施工綱要規範港灣工程各章相關規定外，應參照本章說明進行品質檢驗，以確保含電弧爐煉鋼爐渣(石)產品海事工程品質。

7. 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之環境監測及注意事項

本章主要說明電弧爐煉鋼爐渣(石)於海事工程時之環境品質要求、電弧爐煉鋼爐渣(石)對於海水酸鹼值及海洋生物的影響、施工前與期間的環境監測要求及其他應注意事項等。

8. 電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化探討案例

本章主要探討電弧爐煉鋼爐渣(石)國內外資源化利用概況及未來資源化的方向，並蒐集文獻列舉相關案例說明其資源化成效。

9. 施工綱要規範有關港灣工程相關規定評析

本章列舉行政院公共工程委員會頒訂共通性工項施工綱要規範及其他非屬共通性工項施工綱要規範中與港灣工程相關之各章規定，擇要評析電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程相關要求或規定。

1.6 手冊使用者導引

本技術手冊可提供與海事工程相關的業主(或機關)，施工廠商、監造廠商、預拌廠(再利用機構)、煉鋼廠(產源事業)等，使用含電弧爐煉鋼爐渣(石)工程材料時的參考資料，建議各單位依其職責可優先參考本手冊相關章節：

- (1) 業主(或機關)或代表業主的技術顧問機構，於指定使用電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料於特定海事工程工項前，需知悉使用電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料於營建工程相關事項，所以可參考第二章~第五章及第九章內容，選定符合規定電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料及全程管控使用電弧爐煉鋼爐渣(石)原料與產品品質。
- (2) 煉鋼廠可參照第二章、第六章與第九章內容，訂定產源電弧爐煉鋼爐渣(石)品質管理與流向追蹤策略。
- (3) 預拌廠(再利用機構)與施工廠商應參照第二章~第七章內容，採用正確含電弧爐煉鋼爐渣(石)產品配比、產製與施工程序及含電弧爐煉鋼爐渣(石)產品品質控制方法。
- (4) 營造廠與監造廠商應參照第四章~第七章及第九章內容，確保含電弧爐煉鋼爐渣(石)產品工程品質並能符合海域環境保護各項規定。

第二章 電弧爐煉鋼爐渣(石)性質與相關規定

2.1 鋼爐渣產出、特性與應用

鋼爐渣(steel slag)是生鐵(pig iron)及廢鋼(steel scrap)冶煉成具韌性鋼材過程中產出的副產物，主要為轉爐鋼渣(converter slag)與電弧爐煉鋼爐渣(石)(electric arc furnace slag)。一般生鐵送進轉爐每生產 1 公噸鋼，約產出 110 kg 轉爐渣；電弧爐煉鋼係先將廢鋼熔融精煉，氧化精煉過程會產出氧化渣(石)，還原過程會產出還原渣(石)，每生產 1 公噸電弧爐鋼，約產出 70 kg 氧化渣(石)及 40 kg 還原渣(石)。

迄今煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)依據其特性已有效且廣泛的應用於許多領域，由於全球環保意識與循環經濟概念日漸興盛，煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)已被視為可高度再生利用的材料，使用適當再利用技術，大量使用煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)，除可降低煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)掩埋對環境的衝擊，並能達到資源保存與節約能源的效益。由於煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)具有些許潛在水化性能及高強度特性，適合做為道路基底層材料；煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)顆粒密度及硬度高，抗磨耗性優，適合作為瀝青混凝土粒料；另外煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)高抗剪角、高顆粒密度及高單位體積重適合做為土木工程材料及地改材料如砂樁(sand compaction piles)材料。煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)特性與應用彙整如表 2-1 與表 2-2 所示，本手冊僅探討電弧爐煉鋼爐渣(石)的應用。

電弧爐煉鋼製程一般採用批次作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，依序分為熔解期、氧化期及還原期。將廢鐵或廢鋼初步篩選後進行分類、秤重與加料，並將廢鋼鐵原料熔解成液態鋼水；為加速熔解，爐內通入高壓氧氣以加速氧化作用，此時廢鋼鐵中之氧化物開始生成少量之氧化渣(石)，繼續通入更多之氧氣，爐內雜質發生氧化反應，生成大量的固態氧化渣(石)及氣態氧化物(廢氣)，但此過程使鋼液含氧量過高，所以需加以還原；還原程序係添加大量生石灰、焦炭粒等副料，使其與氧化物反應，產生還原渣(石)並去氧脫硫淨化鋼液，同時可依性質需求加入不同外加料(如矽鐵、高碳錳鐵、焦炭、矽錳鐵、鋁錠等)，以調整鋼液成分，電弧爐煉鋼爐渣(石)即是泛指由此電弧爐煉鋼過程所產出的熔渣，故電弧爐煉鋼爐渣(石)分為氧化渣(石)及還原渣(石)，產出流程如圖 2-1 所示。

表 2-1 煉鋼鐵爐渣(鐵渣、鋼渣)主要特性與應用

類別	產出方式	特性	應用
高爐渣 (blast furnace slag)	氣冷爐石	透水性	道路基底層材料
		無鹼質粒料反應	混凝土用粗粒料
		低 Na ₂ O, K ₂ O 含量	水泥生料(代替部分黏土)
		隔熱與吸音性能 (加工成纖維)	岩棉原料
		肥料成分(CaO, SiO ₂)	矽酸鈣肥料(Calcium silicate fertilizer)
	水淬粒狀爐石 (granulated slag)	研磨成粉(GGBFS)具高 潛在水化性能	卜特蘭高爐水泥原料(Raw material for Portland blast furnace slag cement)
			卜特蘭高爐水泥混合料 (Blending material for Portland cement)
			混凝土摻料(Concrete admixtures)
		低 Na ₂ O and K ₂ O	水泥生料(代替部分黏土)
		潛在水化性能(Latent hydraulic property)	土木工程材料(Material for civil engineering works)、地改材料 (Ground improvement material: Backfill material, Earth cover material, Embankment material, Road subgrade improvement material, Sand compaction material, Ground drainage layers, etc.)
		輕質，大內磨擦角(large angle of internal friction), 高透水性	混凝土用細粒料
		不含氯離子	
		無鹼質粒料反應	矽酸鈣肥料(Calcium silicate fertilizer) 土壤改質(Soil improvement)
		肥料成分(CaO, SiO ₂)	
煉鋼渣 (steelmaking slag)	轉爐石 (converter slag) 電弧爐煉鋼爐渣 (石) (electric arc furnace slag)	剛硬(Hard), 抗磨耗 (wear-resistant)	瀝青混凝土粒料(Aggregate for asphalt concrete)
		透水性 (hydraulic property)	道路基底層材料(Base course material)
		高內磨擦角 (Large angle of internal friction)	土木工程材料(Material for civil engineering works, ground improvement material: material for sand compaction piles)
		含 FeO、CaO、SiO ₂ 成分	水泥熟料原料(Raw material for cement clinker)
		肥料成分 (CaO、SiO ₂ 、MgO、FeO)	肥料(Fertilizer)及地改(Soil improvement)

表 2-2 煉鋼爐渣(石)的應用統計(鋼鐵公會提供)

用途	美國 (National Slag Association, 2015)	日本 (Nippon Slag Association, 2017)	歐盟 (Euroslag, 2016)
瀝青	11.8%	-	-
道路基底層	50.7%	45.7%	46.0%
水泥原料	2.9%	1.2%	-
回填	9.9%	4.5%	-
地盤改良	-	0.4%	-
混凝土	1.1%	2.9%	-
水泥/混凝土原料	-	-	4.4%
土木工程	-	33.0%	-
水利工程	-	-	2.2%
加工原料	-	1.9%	-
肥料	-	-	2.7%
回爐	22.3%	1.4%	15.3%
其他	1.3%	7.5%	6.6%
暫存	-	-	8.6%
堆置	-	-	14.1%

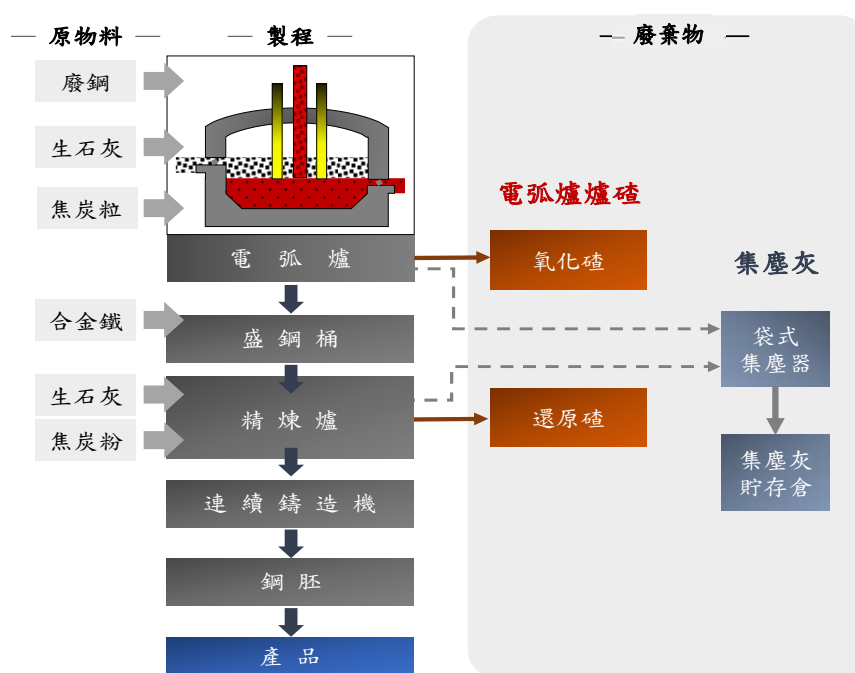


圖 2-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)產出流程圖

電弧爐煉鋼係以廢鋼鐵為原料，電弧爐通電產生電弧冶煉，生產的週期較長，分成氧化期和還原期，並分段產出氧化渣(石)與還原渣(石)。氧化渣(石)中氧化鈣含量較低，氧化亞鐵含量較高，而還原渣(石)含量比例相反。在礦物組成方面，氧化渣(石)其礦物組成以橄欖石、薔薇輝石為主；而還原渣(石)其礦物組成以 C_3S (矽酸三鈣)、 C_2S (矽酸二鈣)及 RO (二價金屬氧化物固溶體)為主^[9]。國內電弧爐煉鋼每生產 1,000 kg 之鋼約可產出 100-200 kg 的電弧爐煉鋼爐渣(石)。一般電弧爐煉鋼過程中所產出氧化渣(石)與還原渣(石)比例，依所產出的鋼料種類與處理流程不同而有所差異。鋼料概分為碳鋼、不銹鋼及特殊鋼三種。碳鋼廠中氧化渣(石)與還原渣(石)產量比約為 4：1，而不銹鋼廠中產量比約為 1：2，鑄鋼廠中產出約為 1：1^[10]。

電弧爐煉鋼爐渣(石)是由多種礦物組成，外表粗糙不平且富有稜角，氧化渣(石)與還原渣(石)外觀如圖 2-2；電弧爐煉鋼爐渣(石)具有低磨損率、高硬度及高內摩擦角等優點，若經破碎、磁選及篩分處理後，經適當調整粒徑分布，可再利用作為道路鋪面基底層級配料、面層瀝青混凝土粒料或其他回填粒料。



氧化渣(石)

還原渣(石)

圖 2-2 氧化渣(石)與還原渣(石)外觀

2.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用

電弧爐煉鋼爐渣(石)經處理後可使用於工程或作為產品原料，依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」^[2]附表規定，再利用用途並未區分氧化渣(石)或還原渣(石)，用途包括水泥生料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低

強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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。

電弧爐煉鋼爐碴(石)的處理方式須依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用於水泥生料用途以外者，應經破碎、磁選及篩分等處理，以符合工程需求之材料品質規格，再使用前處理程序如圖 2-3 所示。

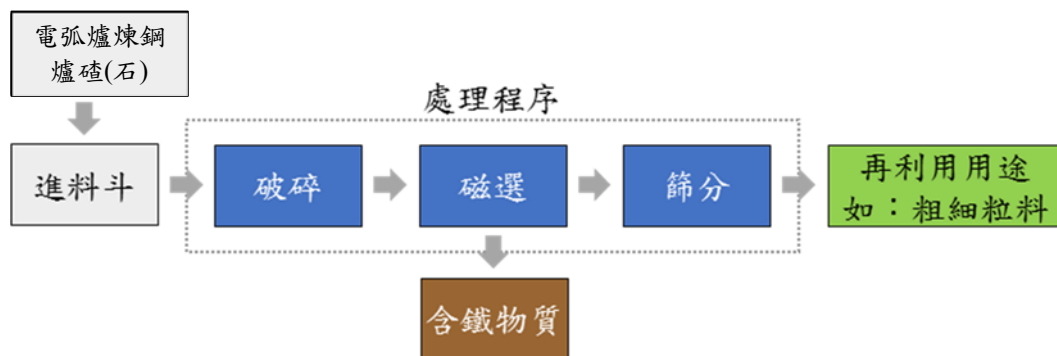


圖 2-3 電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用前處理程序

電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用前處理的分項作業包括：

(1) 破碎

破碎處理係指施以外力使大塊的電弧爐煉鋼爐碴(石)碎裂成不同粒徑顆粒，以利篩分。目前國內普遍採用機械破碎法，利用破碎機具，以震動或槌擊方式進行破碎，一般破碎至砂以下粒徑(通過 2.36 mm(8 號)篩)，以利磁選。

(2) 磁選

磁選處理係指利用磁吸原理以回收破碎電弧爐煉鋼爐碴(石)內混含鐵物質如殘鋼等，該類含鐵物質經過回收煉製後可再使用於工業用途，且於電弧爐煉鋼爐碴(石)後端作為再生粒料時可減少表面鏽蝕斑點數量。

(3) 篩分

篩分係指將已經完成破碎與磁選處理程序的電弧爐煉鋼爐渣(石)，利用篩分機具篩出不同粒徑粒料，並經適當組合獲致符合工程需求級配。電弧爐煉鋼爐渣(石)經過前處理程序後，可做為多種工程使用之再生粒料。

2.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)性質

電弧爐煉鋼爐渣(石)性質主要與電弧爐煉鋼使用原料與製程有關，電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用前處理程序(破碎、磁選、篩分)，係調整電弧爐煉鋼爐渣(石)粒徑、除去一些含鐵物質及獲得不同粒料級配，電弧爐煉鋼爐渣(石)性質概述如下。

2.3.1 化學性質^[11]

電弧爐煉鋼爐渣(石)包括氧化渣(石)與還原渣(石)，兩者的主要成分皆為石灰石(CaO)、氧化矽(SiO₂)、氧化鐵(Fe₂O₃)與氧化鎂(MgO)，由於精煉時間很短而石灰石含量大，部分石灰石助劑(limestone auxiliary material)以游離氧化鈣(f-CaO)型式存於鋼爐渣。電弧爐煉鋼爐渣(石)化學組成，主要為含鈣、鎂、鋁、鐵和矽等元素組成的 CaO(MgO)-Al₂O₃(Fe₂O₃)-SiO₂ 三元系統如圖 2-4 所示，其化學組成比例介於矽酸鹽水泥熟料和高爐石間。電弧爐煉鋼爐渣(石)主要成分與地表天然岩石或礦物相似；化學成分與卜特蘭水泥也相近；電弧爐煉鋼爐渣(石)外觀與物理性質與普通碎石或機製砂相仿。工程應用可利用不同爐渣粒徑組合，獲致需求級配。電弧爐煉鋼爐渣(石)的化學性與物理性，經適當加工後可適用於許多領域。

電弧爐煉鋼爐渣(石)含有石灰石，與水接觸反應後，pH 介於 10~12，其鹼度等於或小於再生混凝土底層材料(recycled concrete base course material)或水泥固化土壤(cement-stabilized soil)。由於土壤一般偏酸性，自爐渣產品溶出的鹼成分會被土壤吸附而趨中性化，當與爐渣接觸的水不能滲入土壤時，水會外流如同使用再生混凝土底層材料或水泥固化土壤情形，可於表層填築土堤(creating an embankment of soil)或在排水前使用 CO₂ 氣體降低鹼度。當使用鋼爐渣產品時，需先確認施工時與施工後，必須採用的排水處理措施。

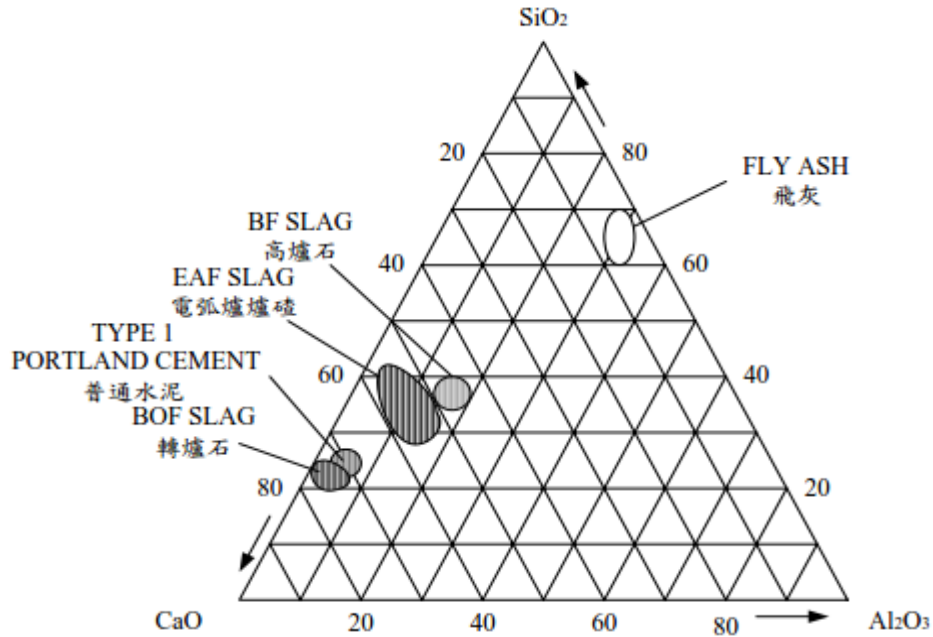


圖 2-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)、普通水泥及高爐石 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖

電弧爐煉鋼爐渣(石)產品使用於陸地時，其重金屬溶出量含量需符合經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表^[2]所要求之標準，視使用用途，應依環境影響評估報告書中之項目辦理定期監測，有關監測範圍及項目，可參考第 5.2 節所述，其中陸域及海域底質重金屬及有機物含量須符合現行土壤污染管制標準^[12]。雖然電弧爐煉鋼爐渣(石)依法屬於一般事業廢棄物，可再利用於土木工程項目，但應用於海事工程時，可再參考 7.2 與 7.3 節進行檢測與環境監測。

使用電弧爐煉鋼爐渣(石)產品可產生節能減碳的效益，屬於綠色材料。電弧爐煉鋼爐渣(石)不含不潔物質、黏土、貝殼類等，做為細粒料或粗粒料，化學成分均勻，更且不含活性矽，不會發生鹼質粒料反應。

氧化渣(石)依粒徑區分屬於利用慢速冷卻的粗粒料，日本於 2003 年 JIS 訂定電弧爐氧化渣粒料 (electric arc furnace oxidizing slag aggregates)標準，日本土木工程師學會(Japan Society of Civil Engineers)及建築師協會(Architectural Institute of Japan)將 JIS 標準納入設計與施工建議。另外氧化渣(石)爐乾(oven-dry)比重約為 3.6 g/cm^3 ，比一般天然粒料密度高出許多，適合做為輻射遮蔽重質混凝土用粒料。

電弧爐精煉鋼材時，如生石灰(quick lime, free lime)未完全溶解而殘留於爐渣，

與水接觸反應後，體積膨脹約 2 倍，可能產生粒料崩脫現象(popout phenomenon)，此問題可利用安定化處理程序(爐渣游離 CaO 與水反應成無反應性的熟石灰)解決，安定化處理程序分為 3 種：室外堆積至穩定狀態、採用高溫蒸氣或高壓蒸氣加速與水反應。

依鋼鐵公會統計結果(如表 2-3 所示)，兩者主要化學成分的活性特性概述如下：

- (1) 氧化鈣(CaO)：氧化鈣與氧化鐵為氧化渣(石)主要成分，兩者總和約 43-76%，一般冶煉過程需要加入適量石灰石，因此氧化渣(石)中 CaO 含量占有一定比例，在製程中添加 CaO 主要目的為提高活性，但過多 CaO 也會造成活性降低，而在緩慢降溫的環境下，容易發生粉塵化現象，使煉鋼爐渣活性受到影響。還原渣(石)的氧化鈣含量在 30-56%之間，與高爐渣接近，但兩者生成方式不同，高爐渣係以水淬方式急速冷卻，而還原渣(石)則多為緩慢冷卻，故相較之下活性較低。
- (2) 二氧化矽(SiO₂)：二氧化矽為氧化渣(石)與還原渣(石)的次要成分，氧化矽在煉鋼爐渣中的含量主要以鹽基度活性作為判斷標準，一般氧化矽在一定量時能生成活性物質 C₃S、C₂S 等，但過量時反而會使活性降低。還原渣(石)的二氧化矽含量約在 11%-28%之間，由於還原渣(石)中的 CaO 與 MgO 總含量小，故二氧化矽無法充分結合成玻璃質結構。
- (3) 氧化鋁(Al₂O₃)：氧化鋁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)：氧化渣(石)內 MgO、SiO₂ 及 Al₂O₃ 可結合成穩定型混合物，MgO 含量增加會提高氧化渣(石)活性，因此氧化渣(石)中 MgO 含量與其活性有關。還原渣(石)的氧化鎂含量在 4%-25%之間，因此若未安定化即拌製混凝土，將為體積膨脹的因素之一。
- (5) 氧化鐵(Fe₂O₃)：碳鋼氧化渣(石)的氧化鐵含量大多在 20%以上，而碳鋼還原渣(石)的氧化鐵含量約僅在 2-5%之間。相較之下，不銹鋼氧化渣(石)與不銹鋼還原渣(石)的氧化鐵含量較低，分別約在 4.5-6.2%之間與 0.8-4.5%之間。
- (6) 硫(S)：硫在爐渣中通常與 CaO 結合成 CaS，與水作用生成 Ca(OH)₂，

如有 MnO 存在時，易生成 MnS。

- (7) 氧化錳(MnO)：氧化渣(石)中氧化錳含量約在 1-4%，氧化錳會影響氧化渣(石)之健度。
- (8) 游離氧化鈣(f-CaO)：游離氧化鈣可吸收大氣中水分與二氧化碳(CO₂)而導致膨脹現象發生。
- (9) 其他雜質：氧化渣(石)與還原渣(石)內可能含有各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使兩者微觀結構更加鬆散，進而增加兩者活性。

表 2-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)化學成分之含量(鋼鐵公會統計)

成分	碳鋼氧化渣(石) (%) ⁽¹⁾	不銹鋼氧化渣 (石)(%) ⁽²⁾	碳鋼還原渣(石) (%) ⁽³⁾	不銹鋼還原渣 (石)(%) ⁽²⁾
CaO	23.39-37.44	26.01-37.06	30.73-55.42	44.30-52.07
SiO ₂	13.81-20.43	25.79-34.60	11.65-27.97	16.00-24.50
Al ₂ O ₃	2.69-11.27	5.53-7.70	0.69-19.88	0.95-24.20
MgO	1.89-9.98	7.34-14.6	4.87-24.75	4.31-12.68
MnO	1.29-3.26	2.14-4.06	0.15-0.47	0.12-1.18
S	0.05-0.08	<0.158	0.23-0.87	0.31-0.34
SO ₃	<0.16	<0.07	1.67-2.37	<0.372
Fe ₂ O ₃	20.10-38.19	4.57-6.14	2.57-5.00	0.88-4.41
f-CaO	<0.16	-	1.3-5.18	<0.24
註： (1) 103-105年度各碳鋼廠產出檢驗統計資料。 (2) 106-109 年度各不銹鋼廠產出檢驗統計資料。 (3) 106年度各碳鋼廠產出檢驗統計資料。				

2.3.2 物理性質

氧化渣(石)與還原渣(石)係多種礦物組成之固溶體，其物理性質會隨化學性質變化而不同。氧化渣(石)又可概分為碳鋼渣(石)及不銹鋼渣(石)，還原渣(石)則安定化後經磨粉過篩以替代天然細粒料使用，兩者粒料特性說明如下。

1. 外觀

氧化渣(石)表面呈現灰色或灰黑色，主要為塊狀顆粒，次為粗顆粒，僅有少

量粉末狀小顆粒數，顆粒粒型多角，表面凹凸粗糙多孔，屬表面多孔結構。還原渣(石)表面亦呈現灰色或灰黑色，如圖 2-2 所示^[11]。相較於氧化渣(石)，還原渣顆粒平均粒徑較小，粒徑分佈大。安定化後的還原渣(石)色澤較淺，經研磨前後如圖 2-5 所示，細度模數約由 2.78 降至 1.75^[13]。



圖 2-5 安定化後還原渣(石)(a)研磨前；(b)研磨後

2. 比重

氧化渣(石)因鐵質氧化物金屬含量較高，比重介於 2.5~3.7，平均值約為 3.1^[11]。還原渣(石)因鐵質氧化物金屬含量較高，未安定化前比重約在 2.3~3.4 之間^[14]，安定化並磨粉過篩後比重介於 2.8~3.0^[15]，兩者皆較一般天然砂粒料比重 (2.5~2.7) 高。

3. 吸水率

氧化渣(石)吸水率約在 0.9~5.0% 之間，平均值約為 3.6，較天然砂粒料之吸水率 (1.5~3.5%) 高，此係氧化渣(石)表面多孔隙所造成^[11]。未安定化之還原渣(石)吸水率約在 0.4~35.69% 之間^[16]，安定化後吸水率約在 2.8~3.1% 之間^[15]，研磨過篩後可達 17%，亦較天然砂粒料之吸水率高，此係研磨後比表面積較大之故。

4. 耐磨性

氧化渣(石)質地堅硬，硬度值介於 6-7，抗磨性優於普通天然粒料。相關試驗結果顯示天然砂、高爐爐渣及電弧爐煉鋼爐渣(石)三者之耐磨指數分別為 1、0.96 及 0.7，其中耐磨指數越低代表耐磨性越高^[16]。國立中央大學針對國內各鋼廠 106 年產出之氧化渣(石)粗、細粒料密度、吸水率、磨損及健度試驗，試驗結

果詳如表 2-4—表 2-6^[3, 17]。

未安定之還原渣(石)，硬度值介於 3-9^[16]，經浸泡飽和硫酸鈉試驗重量損失率約在 0.07~0.4%之間^[14]，若安定化後再經研磨過篩後使用，由於非作為粗粒料使用，故不測定磨損與健度。

表 2-4 氧化渣(石)粗粒料密度與吸水率試驗結果^[3, 17]

試驗項目		氧化渣(石)	不銹鋼氧化渣(石)
烘乾狀態	密度，23℃，kg/m ³	2,860-3,600	2,750-3,030
	相對密度，23℃/23℃	2.868-3.67	2.752-3.036
面乾內飽和狀態	密度，23℃，kg/m ³	2,990-3,700	2,880-3,060
	相對密度，23℃/23℃	2.996-3.708	2.892-3.072
視密度，23℃，kg/m ³		3,100-3,800	3,130-3,330
視相對密度，23℃/23℃		3.108-3.814	3.139-3.339
吸水率，%		0.9-4.48	1.2-5.08

表 2-5 氧化渣(石)細粒料密度與吸水率試驗結果^[3, 17]

試驗項目		氧化渣(石)	不銹鋼氧化渣(石)
烘乾狀態	密度，23℃，kg/m ³	3,080-3,690	2,500-3,180
	相對密度，23℃/23℃	3.091-3.695	2.505-3.19
面乾內飽和狀態	密度，23℃，kg/m ³	3,130-3,740	2,690-3,200
	相對密度，23℃/23℃	3.133-3.751	2.693-3.205
視密度，23℃，kg/m ³		3,220-3,910	3,020-3,270
視相對密度，23℃/23℃		3.225-3.915	3.28-3.3029
吸水率，%		1.34-4.04	0.48-7.5

表 2-6 氧化渣(石)洛杉磯磨損及健度試驗結果^[3, 17]

試驗項目	碳鋼氧化渣(石)	不銹鋼氧化渣(石)
洛杉磯磨損率，%	20-37	30-40
粗粒料，健度(5 次循環，損失%)， 硫酸鈉	1-2	0-2
細粒料，健度(5 次循環，損失%)， 硫酸鈉	1-3	0-2

5. 膨脹性

國立中央大學針對國內各鋼廠碳鋼氧化渣(石)與不銹鋼氧化渣(石)試樣參照 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」標準進行水合膨脹試驗，試驗結果顯示均低於規定值 0.5%(試驗結果詳如表 2-7)；另外台灣營建研究院及國立臺灣科技大學團隊，亦參照 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」標準，分別先後自不同鋼鐵廠取得氧化渣(石)以進行膨脹性試驗，試驗結果如圖 2-6 與圖 2-7 所示，三個研究單位研究成果明確顯示所有氧化渣(石)試樣 7 天膨脹率試驗值均低於規定值 0.5%。就長期而言，參考 CNS 15311 試驗法，其係以粒料連續浸泡 70 度熱水加速水合反應 7 天，結果顯示膨脹量於 7 天後趨於平緩，可據此推測具膨脹潛勢的氧化物已近完全反應，此時之膨脹量仍遠小於 0.5%，因此可進一步推估，長期於自然環境使用下，氧化渣(石)的膨脹量甚低。安定後還原渣(石)之浸水膨脹值約介於 0.11~0.37%^[15]。

表 2-7 國內各鋼廠水合膨脹試驗結果^[3, 15, 17]

試驗項目	氧化渣(石)	不銹鋼氧化渣(石)	安定化處理後 還原渣(石)
浸水膨脹試驗(7天平均值)，%	0-0.05	0.02-0.18	0.11-0.37

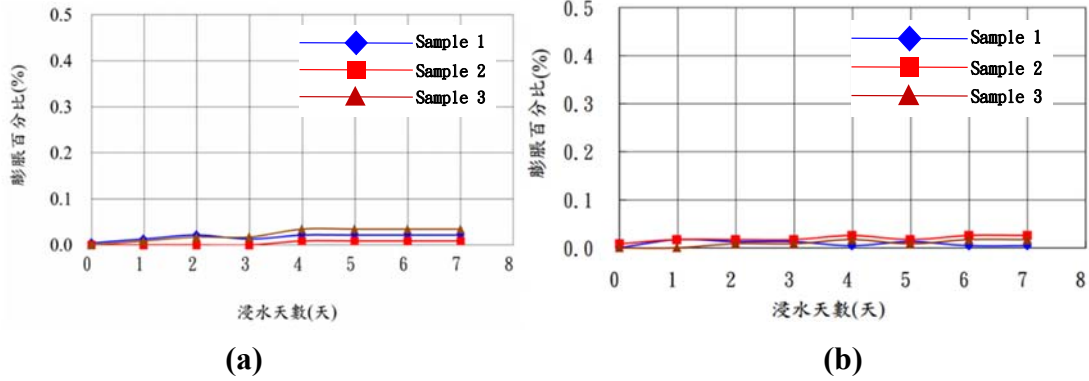


圖 2-6 台灣營建研究院碳鋼氧化渣(石)膨脹性試驗結果((a)A 鋼鐵廠提供;(b)B 鋼鐵廠提供)

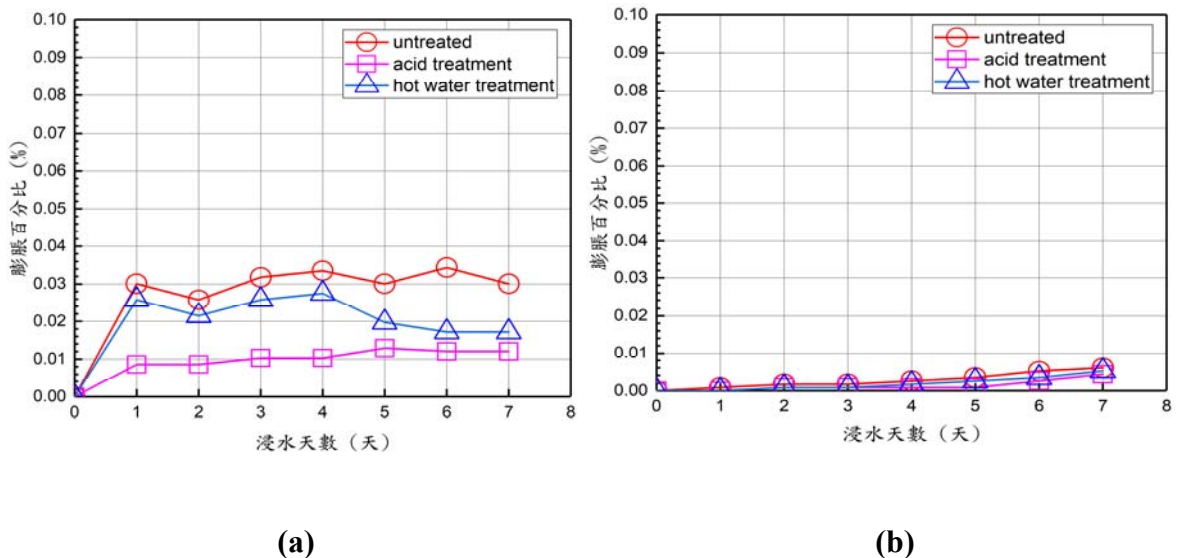


圖 2-7 國立台灣科技大學碳鋼氧化渣(石)膨脹性試驗結果((a)C 鋼鐵廠提供;(b)D 鋼鐵廠提供)

2.3.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料之環保規範

依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表，產源事業於電弧爐煉鋼爐渣(石)出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測 1 次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測 1 次氫離子濃度(pH 值)，連續 3 個月之 pH 檢測值小於 12.5 者，得每年至少檢測一次。各鋼廠(包含中龍、慶欣欣、龍慶、東和、聯成、海光、協勝發、豐興、羅東、易昇、威致、建順等十二家碳鋼廠與華新麗華、榮剛、燁聯、唐榮等四家不銹鋼廠)所產出之電弧爐煉鋼爐渣(石)重金屬毒性溶出

及氫離子濃度指數試驗結果與管制標準如表 2-8，均可符合相關環保規範(詳見 4.2 節)。

2.3.4 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用管理規定與相關標準

電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用管理方式規定與相關標準，詳如附錄一。

表 2-8 電弧爐煉鋼爐渣(石)重金屬毒性特性溶出及氫離子濃度指數結果

檢測項目	規範值 ^[24] (mg/L)	檢測方法 ⁽¹⁾	氧化渣(石) 檢測值 ^[4]	不銹鋼 氧化渣(石) 檢測值 ⁽²⁾	還原渣(石) 檢測值 ⁽³⁾	不銹鋼 還原渣(石) 檢測值 ⁽²⁾
鉛	≤5.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	≤0.334	ND	≤0.202	≤0.05
鎘	≤1.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	≤0.021	ND	≤0.0046	ND
鉻	≤5.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	≤0.092	ND-0.05	≤1.47	≤0.554
硒	≤1.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	≤0.053	ND-0.1	≤0.273	≤0.048
銅	≤15.0	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	≤0.024	ND	≤0.021	≤0.001
鋇	≤100	NIEA R201.15C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	0.144-5.74	0.339-0.902	≤4.72	0.290-0.573
六價鉻	≤2.5	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	≤0.092	ND-0.01	≤0.1	≤0.04
砷	≤5.0	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	≤0.004	ND-0.001	≤0.046	≤0.046
汞	≤0.2	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	≤0.002	ND	≤0.0011	≤0.0016
氫離子濃度 指數(pH值)	2-12.5	電極法	9.62-11.01	10.22-12.39	9.23-12.19	10.81-12.44
	(溫度)		(24.8-25.1)	(24.7-25.1)	(22.8-28.3)	(25.1-28.3)

⁽¹⁾ National Institute of Environmental Analysis (NIEA)

NIEA R201.15C：事業廢棄物毒性特性溶出程序

NIEA R208.04C：廢棄物之氫離子濃度指數(pH 值)測定方法－電極法

NIEA R306.13C：事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法-酸消化法

NIEA R309.12C：事業廢棄物萃出液中六價鉻檢測方法-比色法

NIEA R314.12C：冷蒸氣原子吸收光譜法

NIEA R318.12C：事業廢棄物萃出液中總砷檢測方法-連續式氫化砷原子吸收光譜法

NIEA M104.02C：感應耦合電漿原子發射光譜法

⁽²⁾ 鋼鐵公會提供 108-109 年 4 家不銹鋼鋼鐵廠檢驗數據

⁽³⁾ 鋼鐵公會提供 108 年 10 家鋼鐵廠檢驗數據

第三章 海事工程特性、工項及電弧爐煉鋼爐渣(石)

適用範圍

3.1 海事工程特性及工項

海事工程係以開發、利用、保護或恢復海洋資源為目的，工程主體位於海岸線向海一側的新建、改建、擴建工程。海事工程概括港灣工程、港口工程及離岸工程等；影響海事工程設計之有關因素有風、潮汐及波浪等。另外港區地質，可用場地、交通現況與環保問題亦是重要考量項目。港灣工程工項有：堆石防波堤、混凝土消波塊、堆石堤基、沉箱防波堤(含沉箱回填及封頂、混凝土堤面及胸牆及拋石基礎等)，棧橋碼頭，沉箱碼頭，混凝土塊碼頭，鋼鈑樁碼頭等。港灣工程施工規劃包括規劃資料，規劃準則及規劃範例。海事工程始於為海岸帶開發服務的海岸工程。然隨著航海事業的發展和生產建設需要的增長，海岸工程發展快速，概分海岸防護工程、圍海工程、海港工程、河口治理工程、海上疏浚工程、沿海漁業工程、環境保護工程等。海事工程具體項目包括：(1)圍填海、海堤工程；(2)人工島、海上和海底物資儲藏設施、跨海橋梁、海底隧道工程；(3)海底管道、海底電(光)纜工程；(4)海洋礦產資源勘探開發及其附屬工程；(5)海上潮汐電站、波浪電站、溫差電站等海洋能源開發利用工程；(6)大型海水養殖場、人工魚礁工程；(7)鹽田、海水淡化等海水綜合利用工程；(8)海上娛樂及運動、景觀開發工程；(9)海岸防護工程(海堤、護岸、保灘等海岸防護工程)；(10)圍填海工程(圍堤、堵壩、水閘及(11)海港工程(防波堤、碼頭、船塢、修造船廠)。另外依據行政院工程會共通性工項施工綱要規範，與港灣工程相關章名與章碼詳如附錄二。

「海事工程」術語是 20 世紀 60 年代提出的，近年來隨著海洋石油、天然氣等礦產的開採，逐步發展充實起來的。自 20 世紀後半期起，隨著對能源的需求量急遽增加，開採海域石油與天然氣，以及開發海洋資源規模不斷擴大，近海工程成為近 30 年來發展快速的工程之一。

海洋工程的環境影響評價，應當以工程對海洋環境和海洋資源的影響為重點進行綜合分析、預測和評估，並提出相應的生態保護措施，預防、控制或者減輕工程對海洋環境和海洋資源造成的影響和破壞。因國內尚無鋼爐渣產品的環境安全品質標準，故應用於海事工程時，可參考 JIS K0058-1 Test Methods for Chemicals in Slags 進行檢測。

海洋工程的环境保護設施應當與主體工程同時設計、同時施工。嚴格控制圍堤填海工程。禁止在經濟生物的自然產卵場、繁殖場、索餌場和鳥類棲息地進行圍堤填海活動。圍堤填海工程使用的填充材料應符合環境保護標準。電弧爐煉鋼爐渣(石)可視為顆粒材料(granular material)，應用做為道路基底材料，相較於天然粒料，氧化渣具有更佳土壤力學特性如高容積密度與高內磨擦角，但在工程使用時，需將游離 CaO 的膨脹反應與高鹼溶出性的影響，列入設計考量。電弧爐煉鋼爐渣(石)在土建工程應用範圍非常廣泛，如海岸保護回填(coastal protection backfill)、地面覆蓋改質軟弱土地(earth covering for correcting soft ground)、路基(road subgrade)與築堤(embankments)等。港灣工程使用鋼爐渣代替天然粒料，因鋼爐渣的高容積密度與高內磨擦角特性，構件斷面較小，此可減少鋼料或混凝土用量，降低建造成本。

3.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)產品性質

電弧爐煉鋼爐渣(石)性質主要與電弧爐煉鋼所使用的原料與製程條件有關，而電弧爐煉鋼爐渣(石)經再利用前處理程序(破碎、磁選、篩分)，可改變電弧爐煉鋼爐渣(石)粒徑、除去含鐵物質及調配成不同粒徑。然而，根據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」^[2]附表，電弧爐煉鋼爐渣(石)的再利用用途，並未區分氧化渣(石)或還原渣(石)，日本相關文獻^[18]對於電弧爐煉鋼爐渣(石)於海事工程的應用，亦未區分兩類，因此本手冊適用的電弧爐煉鋼爐渣(石)同時包括氧化渣(石)或還原渣(石)，須視使用用途而決定是否須經高壓蒸氣處理。

含電弧爐煉鋼爐渣(石)產品，係使用電弧爐煉鋼爐渣(石)取代一般粒料拌所製成的產品，產品新拌工作性、凝結時間及抗壓強度等工程性質，基本上需符合相關規範要求，分述如下。

1. 工作性 (流動性)

流動性為判斷水泥質複合材料工作性之依據，一般利用混凝土坍度、坍流度 (CNS 14842)或管流度(CNS 15462)試驗測定。文獻^[19]試驗結果顯示含氧化渣(石)產品之流動性，會隨著水灰比增加而增加，但隨著取代量的增加而降低(如圖 3-1 所示)，因含氧化渣(石)拌製之產品黏稠性較一般產品高，拌合時需要使用較多水才能達到需求流動性，可摻配一般粒料使用，獲得產品需求的流動性或工作性。以還原渣取代水泥方式拌製混凝土時，則取代量越多時，坍度越高，即有較佳的工作性^[20]，如圖 3-2 所示。

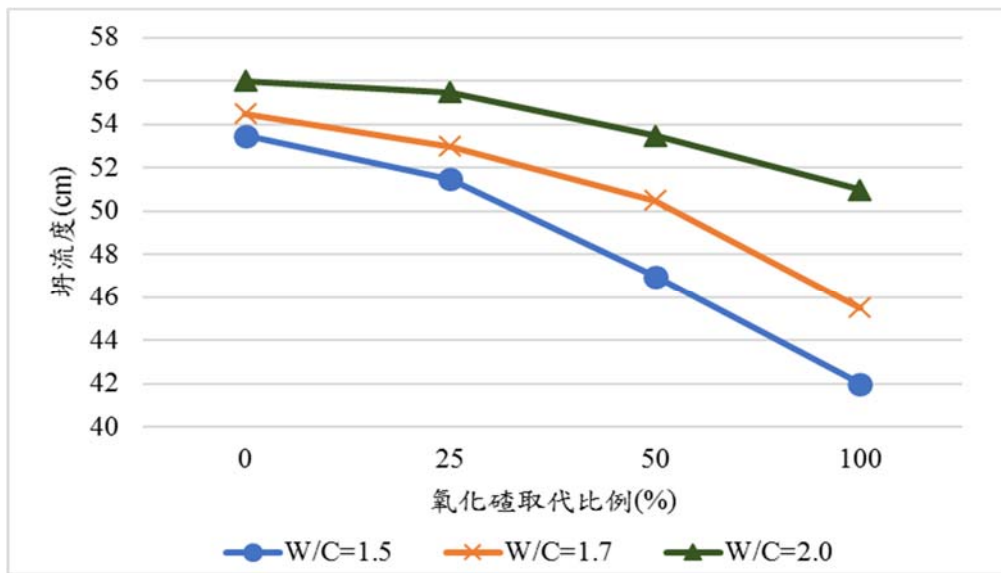


圖 3-1 氧化渣粒料混合比例/水灰比與坍流度之關係^[19]

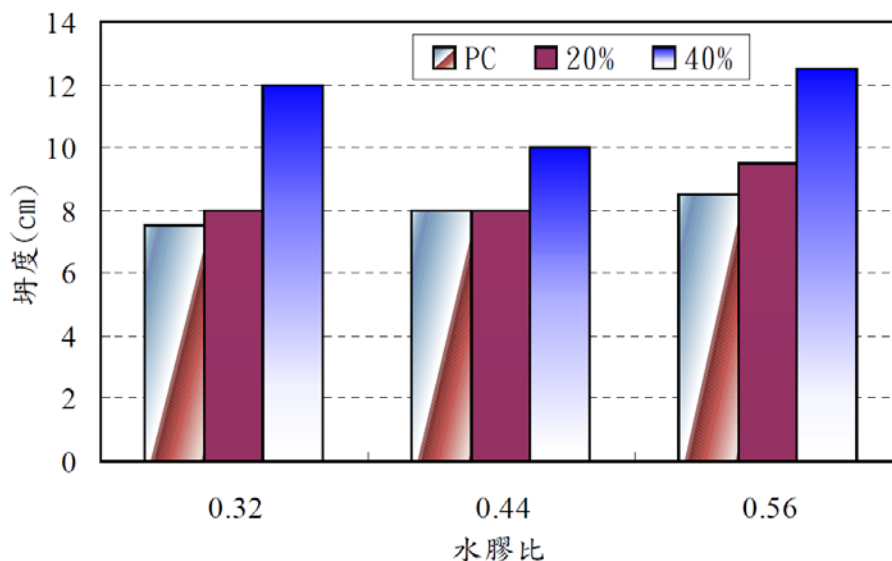


圖 3-2 含不同還原渣取代水泥量下之混凝土坍度變化^[20]

2. 凝結時間

凝結時間可參照 CNS 14220 或 ASTM C403 進行測定，通常用來判斷產品現場澆置後繼續施工之依據。依據凝結時間測定法，當貫入強度達 400 psi 時定義為初凝。文獻^[19]試驗結果顯示含添加氧化矽(石)時，凝結時間隨著取代量增加而增加。水灰比降低，則凝結時間會縮短，但水灰比對凝結時間的影響沒有氧化矽(石)取代量大，詳如圖 3-3 所示。由於含氧化矽(石)時之凝結時間可能會延長，如為達到工程需求時間，可添加化學摻料加以改善。以還原矽(石)取代部分水泥時，初終凝時間同樣較普通混凝土緩凝，如圖 3-6 所示。

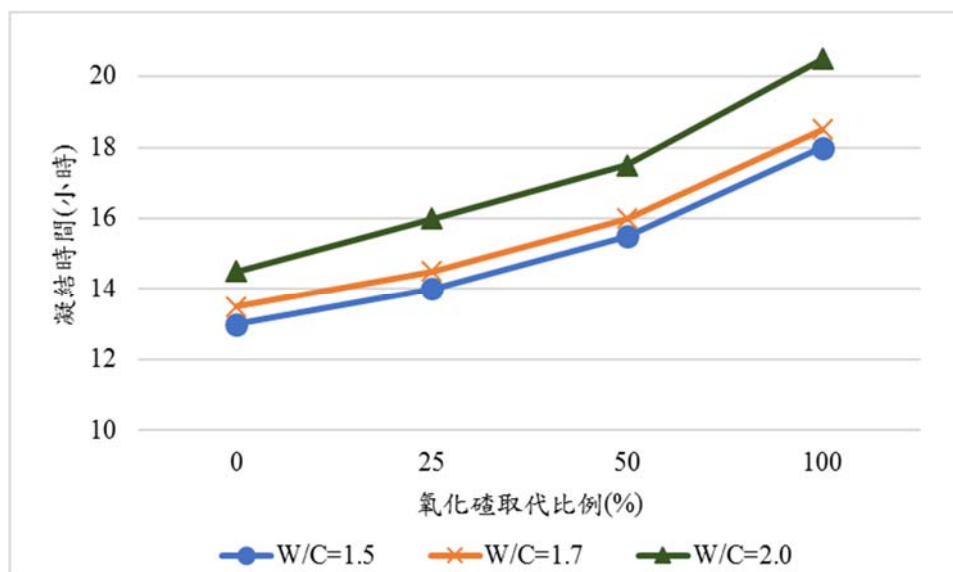


圖 3-3 氧化矽(石)粒料混合比例/水灰比與凝結時間之關係^[19]

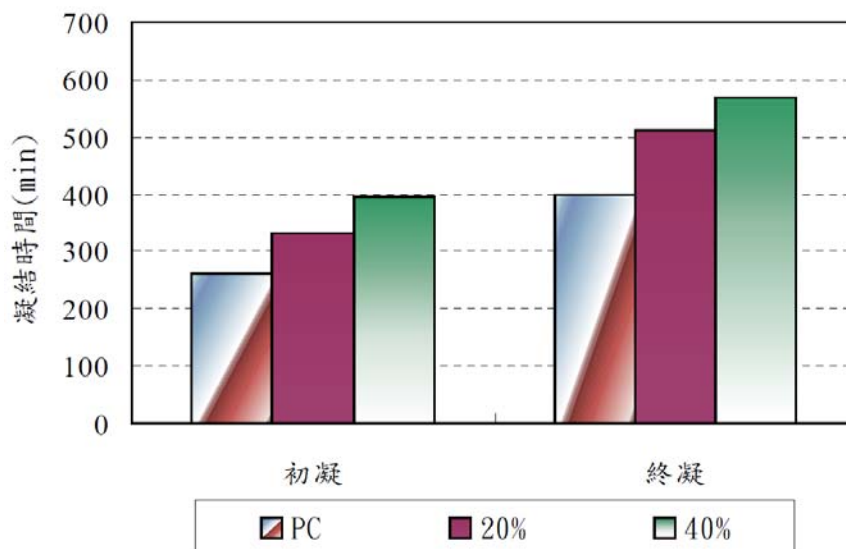


圖 3-4 不同還原矽(石)取代水泥量下之混凝土凝結時間變化(水膠比:0.32)^[20]

3. 落球試驗結果

落球試驗法(CNS 15862)是決定施加荷重適當時間的試驗方法，亦為判斷產品澆置後，是否可進行鋪面施工的重要依據參數。依照規範建議當落球試驗之壓紋直徑小於 76 mm 時間，可做為進行後續工作之判定指標。

4. 抗壓強度

產品的抗壓強度可參照 CNS 15865「控制性低強度材料圓柱試體之製備及試驗法」進行試驗。文獻^[19]試驗結果顯示含氧化碴(石)產品之粒料取代比例越高，抗壓強度越高，詳如圖 3-5 所示。若以還原碴(石)取代水泥，則因細度增加而提供初期良好的強度品質^[20]，如圖 3-6 所示。

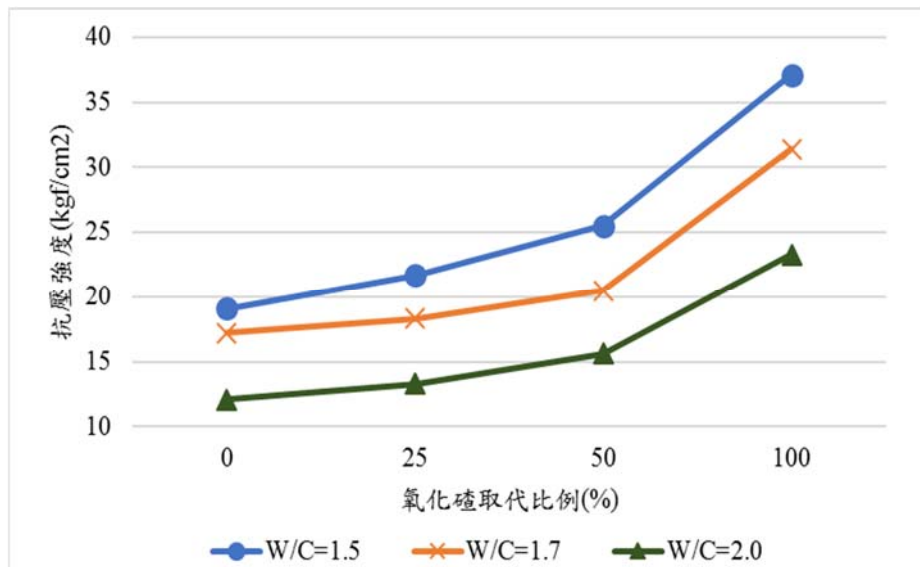


圖 3-5 氧化碴(石)粒料混合比例/水灰比與 28 天抗壓強度之關係^[19]

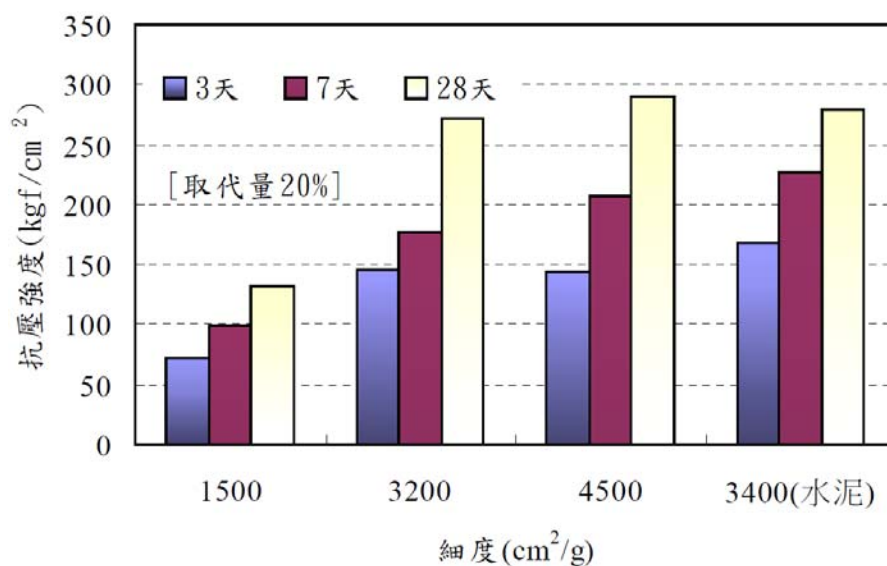


圖 3-6 還原渣(石)取代20%卜特蘭水泥量時細度與抗壓強度關係圖^[20]

3.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)適用海事工程工項

依據前述各項工程性質及已完成的技術手冊：(1)電弧爐煉鋼氧化渣瀝青混凝土鋪面使用手冊^[3]、(2)電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊^[4]、(3)電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊^[16]、(4)電弧爐還原渣安定化技術手冊^[7]及(5)電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於道路級配粒料底層試行使用手冊^[5]，並參考轉爐石海事工程使用手冊^[21]，電弧爐煉鋼爐渣(石)經再利用前處理程序後，電弧爐煉鋼爐渣(石)產品可用於海事工程的用途及適用參考規範如表 3-1，適用的檢測方法與標準如表 3-2所示。

表 3-1 海事工程材料用途與參考規範

用途		產品品質參考規範
回填材(電弧爐煉鋼爐碴(石) 摻合其他材料)		共通性工項施工綱要規範 第02319章「選擇性回填材料」
鋪面材料 整地應用		共通性工項施工綱要規範 第02319章「選擇性回填材料」 第02722章「級配粒料基層」 第02726章「級配粒料底層」
港灣施工便道		
堤後背填		共通性工項施工綱要規範 第02319章「選擇性回填材料」
地盤改良	礫石樁 擠壓砂樁	工程顧問公司制定之施工綱要規範 ^[21] 第02361A章「擠壓砂樁」(附錄四)
	海域軟弱地盤土方 置換	施工綱要規範 第02391章「防波堤」 ⁽¹⁾
斜坡堤	拋石	施工綱要規範 第02391章「防波堤」 ⁽¹⁾
	消波塊	
人工魚礁		

⁽¹⁾ 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

表 3-2 海事工程用途與暴露情境評估^[18, 21]

產品暴露情境評估					檢測項目	檢測方法	環境安全品質基準
用途	種類	是否可視為「土」用	人體直接攝取可能性	溶出途徑			
回填材料	電弧爐煉鋼爐碴(石)	不可	無	海水	溶出量	環告13	港灣用途溶出量基準
	電弧爐煉鋼爐碴(石)摻合其他材料	不可	無	海水	溶出量	環告13	港灣用途溶出量基準
鋪面材料	整地應用	不可	有	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
					酸可萃取量	JIS K0058-2	酸可萃取量基準
		不可	有	地下水	溶出量	JIS K0058-1之5	一般用途溶出量基準
					酸可萃取量	JIS K0058-2	酸可萃取量基準
港灣施工便道		不可	有	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
					酸可萃取量	JIS K0058-2	酸可萃取量基準
堤後背填		不可	無	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
地盤改良	礫石樁	不可	無	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
			無	地下水	溶出量	JIS K0058-1之5	一般用途溶出量基準
	擠壓砂樁		無	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
			無	地下水	溶出量	JIS K0058-1之5	一般用途溶出量基準
	海域軟弱地盤土方置換		無	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
斜坡堤	拋石	不可	無	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
	消波塊	不可	有	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準
					酸可萃取量	JIS K0058-2	酸可萃取量基準
人工魚礁		不可	無	海水	溶出量	JIS K0058-1之5	港灣用途溶出量基準

第四章 電弧爐煉鋼爐碴(石)工程性質與應用相關規定

本章首先介紹電弧爐煉鋼爐碴(石)作為再生材料所需的作業與管理方式，其次參考文獻^[4, 18, 21-23]介紹電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之相關要求與規定。

4.1 一般原則

現行事業廢棄物再利用係依據廢棄物清理法(簡稱廢清法)第 39 條^[1]規定執行，該法授權各中央目的事業主管機關訂定事業廢棄物再利用規定及主辦再利用相關業務。再利用管理相關法規包括事業廢棄物產生、清除至再利用過程等，除遵照前述事業廢棄物再利用管理辦法外，尚須符合廢棄物再利用前之貯存、清除、紀錄申報等相關規定。各中央目的事業主管機關依其管理辦法規定，針對性質安定或再利用技術已臻成熟之廢棄物，得公告其再利用種類及管理方式，各再利用機構得參照依該再利用種類及管理規定進行再利用，毋需申請個案再利用許可。

電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用作業係屬經濟部掌理之業務，有關電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用處理作業應依據中華民國 110 年 6 月 24 日發布「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」^[2]規定辦理。

電弧爐煉鋼爐碴(石)的再利用用途可包括：水泥生料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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。

電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用機構係指電弧爐煉鋼爐碴(石)處理為再生粒料之業者，電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用機構應具備下列資格：

1. 電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用機構為處理電弧爐煉鋼爐碴(石)為再生粒料之機構。
2. 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，應為具有合法登記或符合免辦理登記規定之工廠。

3. 再利用產品項目至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、控制性低強度回填材料用粒料、控制性低強度回填材料、鋪面工程之基層或底層級配粒料、紐澤西護欄、非構造物用預拌混凝土粒料、非構造物用預拌混凝土、水泥製品用粒料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋。
4. 須具有再利用審核通過資格。

於海事工程，電弧爐煉鋼爐碴(石)主要可用於回填資材(電弧爐煉鋼爐碴(石)或電弧爐煉鋼爐碴(石)可拌合其他材料)、鋪面材料(整地應用)、港灣施工便道、堤後背填、地盤改良(礫石樁、擠壓砂樁及海域軟弱地盤土方置換)、斜坡堤(拋石與消波塊)及人工魚礁等，工法與施工步驟同天然級配，惟於設計階段需注意其物化特性及應用途徑，以達安全設計之基本要求。其中，若作為控制性低強度回填材料或其粒料，可另參考鋼鐵公會所出版之「電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊」^[4]進行配比設計與管理。若作為鋪面材料或道路級配粒料，可另參考「電弧爐煉鋼氧化碴(石)瀝青混凝土鋪面使用手冊」^[3]及「電弧爐氧化碴(石)應用於道路級配粒料底層試行使用手冊」^[5]。

4.2 產出

依據廢清法第 31 條規定，經中央主管機關指定公告一定規模之事業應於公告之一定期限依中央主管機關規定之格式、項目、內容、頻率，以網路傳輸方式，向直轄市、縣(市)主管機關申報其廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出、輸入、過境或轉口情形。另針對電弧爐煉鋼爐碴(石)部分，係依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表「編號八、電弧爐煉鋼爐碴(石)」規定，電弧爐煉鋼爐碴(石)應經破碎、磁選及篩分等處理。

於產源事業出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年度至少檢測一次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過有害事業廢棄物認定標準者(詳如表 4-1)，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度(pH 值)，連續三個月之 pH 檢測值小於 12.5 者，得每年至少檢測 1 次。

表 4-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)出廠檢驗標準^[24]

項次	檢驗項目		品質標準(上限)
1	毒性特性溶出程序 (毫克/公升)	總鉛	5.0
		總鎘	1.0
		總鉻	5.0
		總硒	1.0
		總銅	15.0
		總銀	100.0
		六價鉻	2.5
		總砷	5.0
		總汞	0.2
2	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 (ng I-TEQ/g)		≤1.0
3	氫離子濃度指數 (pH 值)		2-12.5

若不須經高壓蒸氣安定化處理時，再利用於瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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應至少每月委託檢測機構採樣，並依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量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。連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。若須經高壓蒸氣安定化處理時，則經安定化處理後，應至少每月委託檢測機構採樣，並依附件熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得再利用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。

4.3 貯存

氧化渣(石)及還原渣(石)不得混合貯存。氧化渣(石)及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，並得採用露天貯存方式，其貯存場所應設排水收集設施。但貯存於廠房內者，不在此限。若貯存於露天場所，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料，並設有排水收集設施。排水通道應保持暢通，避免發生

污水溢散情形。另各貯存區應明確標示名稱及產品種類。

還原渣(石)及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，且貯存場所應為水泥混凝土鋪面及設有截流溝及排水收集措施，其四周應以防塵網或阻隔牆圍封，其總高度應達設計或實際堆置高度一．二五倍以上，並覆蓋防塵布或防塵網，覆蓋面積應達堆置區面積百分之八十以上。但貯存於廠房內者，不在此限。

電弧爐煉鋼爐渣(石)及再利用用途產品貯存高度不得超過工廠廠區周圍結構體圍牆或其他阻隔設施，且貯存場所毗鄰農業用地者，應設置截流溝渠。但貯存於廠房內者，不在此限。

4.4 清除

針對電弧爐煉鋼爐渣(石)處理及再利用業者，應據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」之相關規定辦理，以滿足環境面之管理要求，應注意事項如下：

1. 進料與貯存

- (1) 進料時，應查驗鋼鐵廠檢送之試驗報告，重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度，檢測值不得超過「有害事業廢棄物認定標準」，詳如表 4-1。
- (2) 卸料時，目測該批物之組成成分，是否摻雜異物，並留存進料紀錄。
- (3) 廠內若同時收受氧化渣(石)及還原渣(石)，進料後應分別貯存。另原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應加以隔離避免發生混料情形。
- (4) 氧化渣(石)得貯存於露天場所，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料，並設有排水收集設施。排水通道應保持暢通，避免發生污水溢散情形。
- (5) 各貯存區宜明確標示名稱及產品種類。

2. 再利用處理

- (1) 大粒徑氧化渣(石)，可先經過破碎機軋製成碎粒。

- (2) 磁選機設定磁選能量，應能有效篩分出氧化渣(石)內含鐵金屬。鐵金屬在回收運送過程中，應注意避免發生外洩情形。
- (3) 篩分機的篩分柵網，應定期現場檢查有無變形或破損情形。
- (4) 分離之鐵金屬應儲放於獨立空間，並有適當隔離避免與其他物料發生混料情形。

3. 再利用用途產品貯存與出廠檢測

- (1) 電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料於拌合廠按照配比，若依照需求批次產製 CLSM，則無產品貯存之問題。
- (2) 如電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料貯存量超過該再利用用途產品前六個月之累積銷售量時，應停止收受電弧爐煉鋼爐渣(石)。
- (3) 依規定至少每年執行一次再生粒料環境用途溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度項目檢驗，低於「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」標準(詳如表 4-2)方可進行再利用。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該辦法附表編號八中運作管理之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。

表 4-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用程序產出物檢驗標準^[2]

項次	檢驗項目		品質標準(上限)
1	毒性特性溶出程序 (毫克/公升)	鉛	0.1
		鎘	0.05
		鉻	0.5
		銅	10
		砷	0.5
		汞	0.02
		鎳	1
		鋅	50
2	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 ((ng I-TEQ/g))		0.1

(4) 再利用用途之產品應符合下列規定：

- (i) 再利用產品品質應符合上述附表附件二規範(附錄一)，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。但品質規範項目屬現地試驗者，不受本文檢測實驗室資格之限制。
- (ii) 再利用機構應於每月月底前，連線至指定申報區提報前月再利用產品檢測報告及工程採購契約書。但再利用產品以該項產品之國家標準或公共工程共通性工項施工綱要規範為品質規範者，得免提報工程採購契約書。

4. 再利用用途產品運送

送貨單上，應標示再利用產品之用途、配比、數量、出廠車輛車號、出廠時間、車程及駕駛簽名文件。

4.5 流向管理

於再利用管理中，為避免事業廢棄物有不當棄置導致污染環境，故環保署依「廢棄物清理法」第 39 條之一規定，經中央主管機關指定公告之再利用產品，由中央目的事業主管機關負責其流向追蹤管理，必要時並實施環境監測。行政院環境保護署於 107 年 1 月 9 日公告「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」^[25]並自 107 年 8 月 1 日生效。電弧爐煉鋼爐碴(石)應進行流向追蹤之再利用產品範圍包括：瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、控制性低強度回填材料用粒料、控制性低強度回填材料原料或鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料。若用於填海或填築土地者，則須依中央目的事業主管機關所定事業廢棄物再利用管理辦法取得許可之再利用方式。

電弧爐煉鋼爐碴(石)產源機構、清運機構及再利用機構應依行政院環境保護署「以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之申報格式、項目、內容及頻率」規定，分別申報清運日期時間、機具車號、數量及再利用情形等資訊。

電弧爐煉鋼爐碴(石)經再利用產製再利用產品後，應依「經濟部事業廢棄物

再利用管理辦法」第 21 條規定：電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用機構應於每月十日前，主動連線至中央主管機關事業廢棄物申報及管理資訊系統，申報其前月再利用產品之營運紀錄，另應以網路傳輸方式，於最終再利用產品出廠後四日內，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，提報再利用產品中間與最終使用情形相關資料。另外產源事業應於每月月底前，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，確認前月再利用機構提報之電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用產品中間與最終使用情形，如經確認無誤或逾時，則該筆資料不得再作任何修正。

如已使用電弧爐煉鋼爐渣(石)且發生異常膨脹而挖除，除應先確認該挖除料是否混摻其他爐渣或膨脹性物質，該挖除料應依「廢棄物清理法」相關規定辦理，如採再利用方式，應經適當安定化處理，確保無膨脹疑慮。

本手冊參考文獻^[21]於後續所列用途，包括回填資材、整地應用、港灣施工便道及堤後背填、地盤改良(礫石樁)、地盤改良(擠壓砂樁)、斜坡堤(拋石)、斜坡堤(消波塊)及人工魚礁等，可參考前述「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表規定，以電弧爐煉鋼爐渣(石)做為以上用途所需之瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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。然而，若欲用於整地地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)時，則須依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，向經濟部申請再利用許可後，依許可文件內容辦理。

4.6 電弧爐煉鋼爐渣(石)雲端管理系統

台灣鋼鐵工業同業公會與相關業者共同推動建置電弧爐煉鋼爐渣(石)雲端網路申報系統(<http://twliang.com:20011/default>)，由產源端即開始電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料的品質管控及加強流向管理，包括每月爐渣產生量、清運及使用流向，並提供工程案例實績，流程示意圖如圖 4-1。透過資料庫的建置，確保電弧爐渣再利用產品品質，避免產生環保爭議或影響工程品質，提昇工程單位使用

信心。



圖 4-1 雲端管理系統流程圖

4.7 電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程相關設計指南

4.7.1 基本原則

以電弧爐煉鋼爐碴(石)進行海事工程相關之地盤改良、土方置換、土方覆土與加載回填等，可視電弧爐煉鋼爐碴(石)如同天然粒料使用^[18]。目前兩種地盤改良法，包括礫石樁與擠壓砂樁，電弧爐煉鋼爐碴(石)於兩者皆適用。以下 4.7.2 節僅節錄文獻^[18]所建議性質，實際使用應視需求進行試驗以確保符合性能要求。另用於港區造地填築，宜依行政院 110 年 6 月 11 日核定之「再生粒料應用於港區造地填築作業程序」辦理。雖然電弧爐煉鋼爐碴(石)可能因水化作用而膨脹，若其膨脹率滿足第 5.2 節各項應用之要求，則此膨脹極小，並不影響上部結構與周遭環境，因此於設計中可忽略不計。若膨脹率超過限值，則長時間可能造成混凝土顯著開裂(斜坡堤、人工魚礁)或結構體不穩定，如地盤、便道、鋪面、回填與背填的不均勻隆起，因此降低服務性及減少使用壽命。

4.7.2 電弧爐煉鋼爐碴(石)性質

4.7.2.1 單位體積重量

設計時所需之電弧爐煉鋼爐碴(石)單位體積重須參考 CNS 1163 測定容積密度，視所處環境及應用需求，分別測定濕潤、水中及飽和狀態下的容積密度^[18]。

4.7.2.2 抗剪角

電弧爐煉鋼爐渣(石)的抗剪角設為 40 度。若於地盤改良考慮偏心荷重，則抗剪角設為 45 度^[18]。當電弧爐煉鋼爐渣(石)的使用受限且物理性質事先已確定時，則抗剪角可依試驗資料的數量及變異性而調整。

4.7.3 礫石樁設計(砂質土壤地盤)

使用電弧爐煉鋼爐渣(石)的礫石樁設計可比照天然粒料。文獻^[26]顯示使用電弧爐煉鋼爐渣(石)時，與使用天然砂具有相同的夯實效果。

4.7.4 擠壓砂樁設計(黏土質土壤地盤)

4.7.4.1 適用範圍與設計法

一般而言，使用電弧爐煉鋼爐渣(石)的擠壓砂樁設計可比較礫石樁，使用高改良率，亦因其較天然砂具較高的抗剪角和單位容積重，因此減少地盤改良所需耗工。

由於電弧爐煉鋼爐渣(石)的滲透係數隨時間而降低，使用擠壓砂樁時，通常改良率高， $a_s \geq 70\%$ 。除此之外，過去案例^[27]發現使用爐渣時，實際沉陷值較計算值低。另一方面，當不考慮樁的滲水性而使用較低的替代率時，樁的彎矩破壞可能提早發生，因此實際強度低於由圓弧破壞面所計算的降伏強度，建議考慮樁的彎矩破壞下，使用彈塑性 FEM 分析其穩定性，來確認樁的安全^[28-31]。

4.7.4.2 改良地盤的剪力強度

當使用電弧爐煉鋼爐渣(石)時，應適當設定改良地盤的剪力強度，以擠壓砂樁改良的地盤穩定計算可比照傳統的礫石樁的圓弧破壞面計算，其抗剪能力應依第 4.7.2.2 節計算，不考慮黏滯力。

4.7.4.3 樁的滲透性

設計中不考慮樁的滲透性。當電弧爐煉鋼爐渣(石)使用在擠壓砂樁時，樁的滲透性降低。基本上，使用擠壓砂樁的目的在於提高改良率，因此滲透性的需求

低，也因此不須於設計時考慮樁的滲透性。

4.7.4.4 折減係數

於確認使用電弧爐煉鋼爐碴(石)之擠壓砂樁穩定性時，計算時所使用之係數可比照使用天然砂，因所使用之係數僅考慮到電弧爐煉鋼爐碴(石)的低限。

4.8 電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程相關施工步驟與工法說明

4.8.1 基本原則

參考轉爐石的應用^[21]，電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之最終用途使用場所主要可包括回填資材、整地應用、港灣施工便道及堤後背填、地盤改良、斜坡堤(拋石)、斜坡堤(拋石)與人工魚礁等。

各項管理原則可參考施工綱要規範第 01310 章「計畫管理」*。人員組織管理包括：

- (1) 承包商應提送執行契約工作之組織編制，並輔以必要之圖表，交工程司審核。此管理組織應涵蓋契約之所有需求層面，界定每位人員之職務與權責，並依公共工程施工品質管理作業要點及契約之規定。
- (2) 承包商應於開工前，提報工作組織內主要人員資歷、工作經驗，供工程司審核

施工計畫管理包括：

- (1) 承包商應依契約規定，於規定之期限內提出整體及分項施工計畫交予工程司審核。
- (2) 承包商所提送之施工計畫，在不影響施工品質之情況下，宜配合各項工法，使能儘量節省能源及自然資源。

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

- (3) 如工程司認為先前已獲同意之施工方法有變更之必要，工程司得撤回先前之同意。承包商並應採取必要之步驟，以徵求工程司對變更施工方法之同意。

品質計畫管理包括：

- (1) 承包商應依契約規定提出品質計畫予工程司審核。
- (2) 上述計畫之內容，按施工綱要規範第 01451 章「品質計畫」*規定辦理。

安全衛生管理包括：

- (1) 承包商應依相關法令規定採取一切必要措施，注重工地環境清潔與維護，確保工作安全並維持交通的順暢，以保護所有在工地工作人員之安全與健康。並確實依據契約之規定，以安全又有效之方法施工。
- (2) 承包商應於收到開工通知 30 天內，依據中華民國勞工安全衛生相關法規之規定，向工程司提出工地施工勞工安全衛生管理計畫。承包商並應依工程所在地方政府頒布之規定，向工程司提出工地環境污染防治計畫。
- (3) 其他安全衛生有關措施，應符合共通性工項施工綱要規範第 01523 章「施工安全衛生及管理」、第 01572 章「環境保護」、第 01574 章「職業安全衛生」及第 01582 章「施工警告標示」之規定。

4.8.2 回填資材

回填資材之施工方式主要以電弧爐煉鋼爐渣(石)產品進行回填，未來因應工程需求或設備精進可能有更先進施工方法，不排除電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料(如：包含浚港淤泥、營建土石方及抽砂材料)再進行回填施工。若依據契約及設計圖示之規定，凡指明為擋土牆、護坡、建築物、箱涵、鋼筋混凝土排水溝等構造物之開挖及回填工作等，可參考施工綱要規範第 02315 章「開挖及回填」*。若透水材料係用於水溝、暗溝、擋土牆、橋台背面及其他透水層之回填，俾利構造物之排水及地下水之排除，或砂與級配粒料之回填材料係用於排水管四周或基礎墊層或設計圖說指定之處，俾構造物四周之壓實效果較佳且殘餘沉陷量較少

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

時，則可參考共通性工項施工綱要第 02319 章「選擇性回填材料」。

4.8.2.1 施工說明

1. 施工計畫

施工計畫應包括工作概要、場地佈置圖、施工機具種類、數量及廠牌規格、運輸搬運、工地安全措施、施工順序、工程預定進度、施工紀錄表、異常處理等必要事項。承包商須針對施工範圍提出施工計畫，經工程司核可後施工，內容參照文獻^[21]至少包含以下各點：

- (1) 每月填築數量與填築方法。
- (2) 施工機具之名稱、型式、每小時工作能量、配備數量及工作進度表。
- (3) 施工所需臨時設施之計畫圖與結構圖。

2. 施工方法

- (1) 回填工作應依照本規範施工之一切開挖處所，凡未為永久構造物所佔據而形成之空間之回填。並應依照本規範或契約之規定辦理。
- (2) 在地下構造物或基礎施工完成後，將模板、支撐、垃圾及其他雜物清除，且基礎混凝土周圍，至少應在澆置混凝土 7 天後，並經工程司檢驗認可後方可回填。回填時應配合其相關工程之施工，依序辦理。
- (3) 除了另有規定外，應以工程司認可之適當材料回填，回填至原地面高程，或設計圖所示或工程司指示之高程，回填料不得含有機物，木材及其他雜物。
- (4) 回填區內有積水或流水現象，特別是防水系統，並應先處理妥善後，方可回填。
- (5) 進行回填工作時，不得損害構造物，應注意勿使回填材料對構造物產生楔塞作用(Wedging Action)。回填外緣及接坡面可修築成階梯或鋸齒式以防構成楔塞作用。
- (6) 回填工作應分層填築，每層鬆方厚度不得超過 30 cm。除設計圖或契約另有許可外，應使用機械夯實，若空間足夠小型壓路機施工時，則其每層鬆方厚度經工程司同意後可增加至 50 cm。每層壓實度應達到

以[AASHTO T180]試驗求得最大乾密度之 90% 以上。若為透水材料、砂、級配粒料時，則應按設計圖說及工程司指定之地區內鋪設之，選擇材料之鋪設及壓實，每層厚度不得大於 20 cm，每 100 m² 作 1 次壓密試驗，壓實度應達 AASHTO T180 試驗所得最大乾密度之 95% 以上。若鋪設之材料無法以 AASHTO T180 試驗求得最大乾密度時，則經工程司同意，可依 ASTM D4253 方法求得其相對密度，相對密度應達 85% 以上。

- (7) 如構造物兩側均需回填時，應同時進行，並使兩側回填高度儘量保持相同，以平衡兩側所受之土壓力。
- (8) 回填工作之數量應按設計圖或工程司所示之回填線與設計圖所示開挖線所包圍之體積扣除為永久構造物所佔體積後所得數量計算。

4.8.2.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出回填資材之供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

- 1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
- 2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
- 3. 材料供應場平面佈置圖。
- 4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.2.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據回填資材之材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日應儲備相當數量，以備雨季時，可維持回填資材之材料供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及

防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等之裝載能力及路面承載力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者之重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量控制使用。

4.8.3 整地應用、港灣施工便道及堤後背填

整地應用、港灣施工便道及堤後背填之施工說明、材料供應計畫及材料儲備與運輸，皆可參照 4.8.2 節回填資材所述之說明辦理。惟施工過程有關材料儲備區與施工區域之逕流水應儘量導離，即應設置雨水截流系統與沉澱池相關設施，以利於防止施工污水、廢水排入既有溝渠或海面(需經沉澱、去除固體物質等處理)，以降低海面白濁現象之產生。

另一方面，依據「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表，電弧爐煉鋼爐碴(石)可用於鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料，因此以電弧爐煉鋼爐碴(石)作為基層或底層級配粒料時，可另參考共通性工項施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」、第 02726 章「級配粒料底層」及第 02779 章「人行道底層」*，相關施工說明、材料供應計畫、材料儲備與運輸要求如後。

4.8.3.1 施工說明

1. 施工計畫

施工計畫應包括工作概要、場地佈置圖、施工機具種類、數量及廠牌規格、運輸搬運、工地安全措施、施工順序、工程預定進度、施工紀錄表、異常處理等必要事項。承包商須針對施工範圍提出施工計畫，經工

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

程司核可後施工。

2. 施工方法

作為級配料基層時，施工方法應注意以下各點^[32]:

- (1) 雨天時應視氣候狀況，並徵得工程司之同意後方可施工。
- (2) 施工所用之機械、工具設備等，均須徵得工程司之同意後方可使用，並須經常保養，以維持良好之作業狀況，所有機具設備，必須準備充份，以使工程能於適當之配合下順利進行，以避免發生延誤、中斷等情形。
- (3) 路基整理依共通性工項施工綱要規範第 02336 章「路基整理」之各項規定辦理。
- (4) 撒鋪材料
 - (a) 運達工地之合格材料分堆堆置於路基上，然後以機動平路機攤平。
 - (b) 在撒鋪之前，如工程司認為必要，應按其指示在路基上灑水，以得一適宜之濕度。
 - (c) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象時，應按工程司之指示，以機動平路機拌和至前述現象消除為止。
 - (d) 級配粒料應按設計圖說所示或工程司指示之厚度分層均勻鋪設，每層厚度應約略相等。
 - (e) 鋪設時，應避免損及其下面之路基，並按所需之全寬度鋪設。
 - (f) 所有不合規定之顆粒及一切雜物，均應隨時予以撿除。
 - (g) 級配粒料每層撒鋪厚度應依設計圖說所示或工程司之指示辦理，每層撒佈厚度應約略相等，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定，務須足能達到所需之壓實度為原則。
 - (h) 每層壓實厚度視滾壓機具之能量而異，除另有規定或工程司核准外，每層最大壓實厚度不得超過[20cm](鬆鋪厚度約為壓實厚度之 1.35 倍)，但亦不得小於所用粒料標稱最大粒徑之[2 倍]。

(5) 滾壓

- (a) 級配粒料撒鋪及整形完成後，應立即以[10t]以上三輪壓路機或振動壓路機滾壓。
- (b) 滾壓時，如有需要，應以噴霧式灑水車酌量灑水，使級配粒料含有適當之含水量，俾能壓實至所規定之密度。
- (c) 如級配粒料含水量過多時，應俟其乾至適當程度後，始可滾壓。
- (d) 滾壓時應由路邊開始。如使用三輪壓路機時，除另有規定者外，開始時須將外後輪之一半壓在路肩上滾壓堅實，然後逐漸內移，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之一半，直至全部滾壓堅實，達到所規定之壓實度時為止。
- (e) 在曲線超高處，滾壓應由低側開始，逐漸移向高側。
- (f) 壓路機不能到達之處，應以夯土機或其他適當之機具夯實。
- (g) 滾壓後如有不平之處，應耙鬆後補充不足之材料，或移除多餘部分，然後滾壓平整。
- (h) 分層鋪築時，在每一層之撒鋪與壓實工作未經工程司檢驗合格之前，不得繼續鋪築其上層。
- (i) 鋪築上層級配粒料時，其下層表面應刮毛約[2cm]，以增加二層間之結合，並應具有適當之濕度，否則應酌量灑水使其濕潤。
- (j) 最後一層滾壓完成後，應以機動平路機刮平，或以人工修平，隨即再予滾壓。
- (k) 刮平及滾壓工作應相繼進行，直至所有表面均已平整堅實，並符合設計圖說所示之斷面為止。
- (l) 刮平及滾壓時，得視實際需要酌量灑水。

作為級配料底層時，施工方法應注意以下各點^[33]:

- (1) 雨天時應視氣候狀況，並徵得工程司之同意後方可施工。
- (2) 施工所用之機械、工具設備等，均須工程司徵得之同意之方可使用，並須經常保養，以維持良好之作業狀況，所有機具設備，必須準備充

份，以使工程能於適當之配合下順利進行，以避免發生延誤、中斷等情形。

(3) 路基或基層整理依第 02336 章「路基整理」及第 02722 章「級配粒料基層」之各項規定辦理。

(4) 撒鋪材料

(a) 運達工地之合格材料，可直接倒入鋪料機之鋪斗中，攤平於已整理完成之路基或基層面上或分堆堆置於路基或基層上，然後以機動平路機或其他機具攤平。

(b) 在撒鋪之前，如工程司認為必要，應按其指示在路基或基層上灑水，以得一適宜之濕度。

(c) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象時，應按工程司之指示，以機動平路機拌和至前述現象消除為止。

(d) 級配粒料應按設計圖說所示或工程司指示之厚度分層均勻鋪設，每層厚度應約略相等。

(e) 鋪設時，應避免損及其下面之路基、基層或已鋪設之前一層，並按所需之全寬度鋪設。

(f) 所有不合規定之顆粒及一切雜物，均應隨時予以撿除。

(g) 級配粒料每層撒鋪厚度應依工程司之指示辦理，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定，務須足能達到所需之壓實度為原則。

(h) 每層壓實度視滾壓機具之能量而異，除另有規定或工程司核准外，每層最大壓實厚度不得超過[20cm](鬆鋪厚度約為壓實厚度之 1.35 倍)，但亦不得小於所用粒料標稱最大粒徑之[2 倍]。

(5) 滾壓

比照前述級配料基層滾壓方式進行。

作為人行道底層時，施工方法應注意以下各點^[33]：

(1) 人行道路基之高程與坡度應依契約圖說所示或工程司之指示。路基整理應壓實至依第 02336 章「路基整理」[AASHTO T180]測定之最大乾密度

之[90%]。

- (2) 級配粒料基層依第 02722 「級配粒料基層」、底層依第 02726 章「級配粒料底層」之規定鋪設，並壓實至依[AASHTO T180]及[AASHTO T224]試驗法測定之最大乾密度之[90%]。
- (3) 混凝土底層依第 03310 章「結構用混凝土」之規定。
- (4) 界石應依設計圖說所示尺度施工。

4.8.3.2 材料供應計畫

使用電弧爐煉鋼爐碴(石)作為再生粒料前，廠商應提送相關供料計畫書，其內容應包含電弧爐煉鋼爐碴(石)來源及驗證單位出具合格證明文件、電弧爐煉鋼爐碴(石)與天然粒料混合比例、建議供料稽核方式、相關試驗方法及其相關之工程性質等，經工程司審查核可或由主辦機關指定第三者專業機構或專家查證後方可供料。

承包商於開工後須提出級配粒料之供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
3. 材料供應場平面佈置圖。
4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.3.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據級配粒料之材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日應儲備相當數量，以備雨季時，可維持級配粒料之材料供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及

防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等之裝載能力及路面承載力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者之重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量控制使用。

4.8.4 地盤改良(礫石樁)^[21]

4.8.4.1 施工說明

1. 施工計畫

- (1) 承包商應於地盤改良施工前先進行下列調查，並將其結果納入施工計畫書，施工前向業主提報，經工程司核定後施工。
- (2) 調查內容如：地下埋設物、土壤物理性質及土壤分類。

2. 施工方法

- (1) 礫石樁工法(乾式)係為利用油壓方式並配合揚實錐壓入地層以形成樁孔，再將礫石料(本節所指的礫石料為電弧爐煉鋼爐渣(石))投入至揚實錐底部，藉由反覆擠壓形成樁體，如圖 4-2 所示。
- (2) 礫石樁兼具夯實土壤與地震時排水功能，可使原土孔隙比降低，增加緊密度，並可提供垂直排水通道，縮短排水路徑。
- (3) 乾式礫石樁施工步驟如下說明：

A. 步驟 1：

機器駛至樁位後送料管及送料斗充滿石料，完成準備工作。

B. 步驟 2：

將震動棒貫穿地面直至預定深度。

C. 步驟 3：

當震動棒尖端到達預定深度後往上提昇至一定高度並同時打開送料管底部閘門讓石料漏出，此時震動棒震動夯實礫石料。

D. 步驟 4：

往後每次提升約 50 cm，並打開送料管底部閘門，讓礫石料漏出，並以震動棒震動夯實礫石料，反覆此項動作直到完成一根礫石樁後再駛至另一樁位重覆施工動作。

- (4) 礫石樁工法可作為承載樁，用以減少沉陷及不均勻沉陷現象，更有基樁所無法達到徹底防止土壤液化發生之特點，一般礫石樁直徑約為 0.85 m~ 1.1 m，深度可達 20 m。

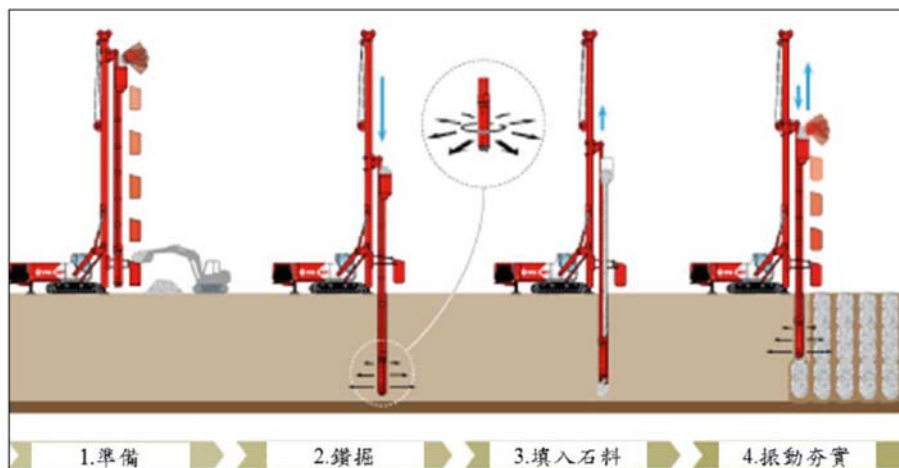


圖 4-2 礫石樁施工流程圖^[34]

3. 樁位之容許誤差

- (1) 根據過去地盤改良經驗，當細料含量大於 30%，單純以震動擠密達夯實效果明顯降低，需填充礫石以增加改良效果，圖 4-3 為適用於礫石樁地盤改良工法級配曲線範圍。
- (2) 礫石樁位置須依據設計圖規定佈設，為防止累積誤差須設置若干控制基線，以便引測 附近礫石樁位置。
- (3) 樁位之容許誤差由契約面及技術面進行研判之。

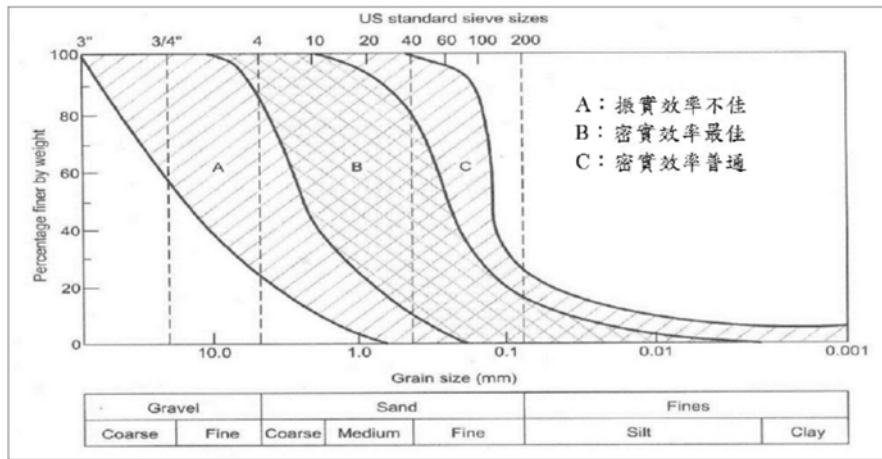


圖 4-3 礫石樁地盤改良工法級配曲線^[34]

4. 施工紀錄

- (1) 施打順序以由外圍向中心漸進為原則，或採階段或跳排方式打設，如因其他原因而須變更施打順序時須先取得工程司同意。
- (2) 為確保礫石樁能得到良好效果，施工時須安裝各式自動記錄器，以便將施工過程作成記錄，各該記錄器使用要點分述如下：
 - A. 電力自動記錄器(KW 計)：為貫入鋼管與礫石樁時，振動機所耗電力之連續記錄計，用以推測礫石樁壓實度。
 - B. 投入礫石量記錄器(BM 計)：用於記錄注入管內礫石量，檢算礫石樁所需礫石量進而判定礫石樁之樁徑、樁長與壓實度是否合乎規定。
 - C. 管底高程記錄器(GL 計)：為施工時鋼管貫入與礫石料被擠壓作業過程中，自動記錄管底高程變化，以得知礫石樁長度，並供查看礫石樁形成經過及其壓實度。
 - D. 另有管內礫石面高程記錄器(SL 計)及基準線記錄器(MSL 計)，惟振動機至少需具備 KW、BM 及 GL 等之三針式自動記錄器。且上述各自動記錄器均應於施工前會同工程司進行校正。各項自動記錄器如因臨時故障，非經工程司同意不得繼續施工。
 - E. 承包商應填報表內容：樁號、日期、作業起止時間、打樁機別、

施工前後原地面高程、振動頻率及出力能量、鋼管管徑、鋼管貫入時間、鋼管貫入深度、填入礫石量、拔管時間、壓縮空氣、電流量、操作者姓名、監工姓名、天氣及異常現象等。

F. 以上各種記錄，承包商應予整理後於次日送工程司核備。

5. 清理

施工完成後，其地面須予復舊。

4.8.4.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出礫石樁工程之供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
3. 材料供應場平面佈置圖。
4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.4.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據礫石樁工程材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日應儲備相當數量，以備雨季時，可維持礫石樁工程之材料供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第6.2節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等裝載能力及路面承載力，限制承載量及其行駛速度。

- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量控制使用。

4.8.5 地盤改良(擠壓砂樁)

若以電弧爐煉鋼爐渣(石)做為地盤灌漿材料，可參考共通性工項施工綱要規範第 02341 章「地盤灌漿處理」進行。

4.8.5.1 施工說明

1. 施工計畫

地盤灌漿處理之施工方法應經工程司核可。施工前應先提送地盤灌漿處理工法之詳細資料，交工程司審核，並應保證其設計與施工均具備良好之專業技能，足以確保工程及鄰近建物之安全，另於施工前進行以下調查，包括地下埋設物、土壤物理性質及土壤分類等。

2. 施工機具

- (1) 承包商應備有足夠之挖土機具、運土卡車及挖運土方之附屬設備。
- (2) 以履帶或膠輪起重機為主體，將振動機、漏斗、鋼管等施工設備，以緩衝器介於其中吊起，然後沿導架上下操作，鋼管底端之自動靴，使貫入鋼管及擠壓砂柱時不致於回侵入管內，而且擠出管內砂料(本節所指的砂料為電弧爐煉鋼爐渣(石))時能靈活開啟。為使管內之砂料有效擠壓成連續砂柱，需有輸入壓縮空氣之設備及防縮管之高壓水注入管。鋼管上部裝有灌砂用漏斗，以適當之砂桶容器將砂放入漏斗，另以剷土機剷砂供送於砂桶中。操作室內裝置各種自動記錄儀。上述各設備可視打樁設備及實際施工情形予以適當選用及裝配之。
- (3) 若工程司認為承包商使用之機具及設備功能不佳，可能影響施工品質及工期時，得要求撤換。承包商於接獲工程司通知後，應於三天內完成撤換工作。

3. 施工方法

一般而言，自地表施作地盤處理時，應開挖足夠數量之試坑或觀測坑，以確定地下管線及人為障礙物之位置。灌漿孔之鑽孔排列即應參考前述管線或障礙物之位置，作周詳之考慮。於地盤處理作業期間，現有之管線應予以充份保護，防止其受損。任何溢流至地表面上之漿液或其他材料，均應予以移除。施工完成後，地面應予恢復原狀。灌漿壓力應予審慎控制，以防漿液損及或侵入鄰近管線、構造物，或破壞週邊土壤。壓力狀況應持續監視，如有任何壓力驟增或驟減情形發生時，應立即暫停灌漿作業，直至確定其原因為止。必要時灌漿管可用合適之套管或其他方式穿過連續壁，穿過連續壁之任何套管或孔應以封函蓋或填塞盒封固，以達防水效果。灌漿管應妥為保護，以免遭受損壞。如有灌漿管無法再作後續灌漿之用時，應於緊鄰處另行安管。灌漿管端應確實達到設計之位置。斜管之長度超過 6 m 者，其管端位置應予查核。擠壓灌漿管長度在 15 m 內者，其管端應在預定點 0.5 m 內；管長超過 15 m 者，則應在 0.75 m 內。此外，所有地盤處理程序均應嚴格依照工程司所核可之方法施作。灌漿機具操作手與現場控制注入孔灌漿作業之技術人員之間，應維持通話連繫。其他要求包括：

- (1) 以履帶或膠輪起重機為主體，將振動機、漏斗、鋼管等施工設備，以緩衝器介於其中，承包商應根據地質條件及試作區取樣驗證結果，提出實作之施工計畫，選用最適當的材料和方法實施擠壓砂樁地質改良，以達契約設計圖式要求。
- (2) 本工程所用之打樁機具，其能量應至少能打至設計樁長加 2 m 之深度，承包商進場前應將打樁機規格及施工安全控制計畫送請工程司認可後，始得施工。
- (3) 擠壓砂樁之樁徑、間距、打設深度及方法，均應按設計圖說施工，不得擅自變更，如遇現場無法施作時，須經工程司同意後調整。
- (4) 施工前須先調查鄰近之地下管線，排水溝、水井及構造物基礎情況等，採取適當防護。

4. 施工步驟

- (1) 打設擠壓砂樁採用振動擠壓式施工方法。

- (2) 利用振動打樁機將底部有自動靴密封之鋼管，打至規定之設計深度。
- (3) 將依定量之砂料由漏斗注入鋼管內，然後再將鋼管徐徐振動拔起一定高度(依個案而定)，利用振動及壓縮空氣等方法，使管內之砂料經自動靴擠出管外。
- (4) 將拔起之鋼管適度往下振壓及利用壓縮空氣，以擠壓管外之砂，將之搗實。然後重複操作此動作至地面以下的實打部分之設計高程，應確實注意按規定投砂量打設。
- (5) 鋼管往上拔起與往下振壓之速度應力求均勻，以免擠壓砂樁有中斷、頸縮或鼓脹情形。
- (6) 鋼管拔起與振動過程中，應隨時校核投入之砂量與形成之擠壓砂樁長度。

5. 樁位之容許誤差

- (1) 擠壓砂樁位置須依據設計圖規定佈設，為防止累積誤差，須設置若干控制基線，以便引測附近擠壓砂樁位置。
- (2) 樁位之容許誤差由契約面及技術面進行研判之。

6. 施工紀錄

- (1) 施打順序以由外圍向中心漸進為原則，或採階段或跳排方式打設，如因其他原因，而須變更施打順序時，須先取得工程司之同意。
- (2) 為確保擠壓砂樁能得到良好效果，施工時必須安裝各式自動記錄器，以便將施工過程作成記錄，各該記錄器使用要點分述如下：
 - A. 電力自動記錄器(KW 計)：為貫入鋼管與擠壓砂樁時，振動機所耗電力之連續記錄計，用以推測擠壓砂樁之壓實度。
 - B. 投入砂量桶記錄器(BM 計)：本計用於記錄注入管內之砂量，用以檢算擠壓砂樁實需砂量進而判定擠壓砂樁之樁徑、樁長與壓實度是否合乎規定。
 - C. 管底高程記錄器(GL 計)：為施工時鋼管貫入與砂料被擠壓作業過程中，自動記錄管底高程變化，以得知擠壓砂樁之長度，並供查

看擠壓砂樁形成經過及其壓實度。

D. 另有管內砂面高程記錄器(SL 計)及基準線記錄器(MSL 計)，惟振動機至少需具備 KW、BM 及 GL 等之三針式自動記錄器。且上述各自動記錄器均應於施工前會同工程司進行校正。各項自動記錄器如因故臨時故障，非經工程司同意不得繼續施工。

E. 承包商應填報表內容：樁號、日期、作業起止時間、打樁機別、施工前後原地面高程、振動頻率及出力能量、鋼管管徑、鋼管貫入時間、鋼管貫入深度、填砂量、拔管時間、壓縮空氣、電流量、操作者姓名、監工姓名、天氣、異常現象等。

F. 以上各種記錄，承包商應予整理後於次日送工程司核備。

7. 清理

施工完成後，其地面須予復舊。

4.8.5.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出擠壓砂樁工程之供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
3. 材料供應場平面佈置圖。
4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.5.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據擠壓砂樁工程材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日並應儲備相當數量，以備雨季，可維持擠壓砂樁之材料供應，避免造成工程停工有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。

- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等裝載能力及路面承載力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者重量須相符，作為料源及進料品質、數量控制。

4.8.6 地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)^[21]

4.8.6.1 施工說明

1. 施工計畫

依工程圖說及特性提出整體及各分類之施工計畫、品管計畫及環境保護計畫。

2. 施工方法

- (1) 海域軟弱地盤土方置換作業前，應先進行施工場地及儲料場地、臨時碼頭、潮位計、臨時導航及安全措施、環境監測、水深測量、交通維持、勞工安全衛生、環境保護 措施。

- (2) 施工場地及儲料場地

A.基地先進行工地清理、清除及掘除，完成後進行整地。

B.清除及掘除應依共通性工項施工綱要規範第 02231 章「清除及掘除」之規定辦理。

- (3) 海域軟弱地盤土方置換之拋放作業

電弧爐煉鋼爐渣(石)作為替代天然石料使用時，於拋放前，於下層應鋪設襯墊，放完成後之表面亦需鋪設一層地工織物覆蓋，另亦可以地工織袋裝載完成後，做為替代堤心石料使用，惟上層仍需設置至少

50 cm 厚粒徑 10 cm 以上之天然卵石覆蓋，不得有暴露於受力面無適當覆面或覆坡設施之情況。其餘依施工綱要規範第 02391 章「防波堤」*之相關規定辦理。

(4)臨時導航及安全措施

- A. 設置警示燈及浮燈標。
- B. 施工期間於施工週邊船舶航行範圍，應設置日、夜、晴、雨皆清晰可見之警示燈、浮燈標，以維持船舶航行及施工作業船舶及人員之安全。
- C. 設置之時間及區域應先知會當地漁會及管轄之航管單位，並經公告後設置。
- D. 施工船機：按航行及船舶避碰規定於船四周，加裝紅、綠 2 色燈組，以避免碰撞。
- E. 海上管及浮筒：每組浮筒上應加裝警示燈，尤以夜間更應告知周遭船隻安全航道。
- F. 浮標：應於施工區之施工船舶前後與鄰側佈放燈組浮標示警。
- G. 工區位於外海時，應考量足夠航行之航道，並置放足夠之警示浮燈標。

4.8.6.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
3. 材料供應場平面佈置圖。
4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

4.8.6.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據海域軟弱地盤土方置換工程材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置 儲存場，平日並應儲備相當之數量，以備雨季時，可維持海域軟弱地盤土方置換之材料供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等之裝載能力及路面之承載力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者之重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量控制使用。

4.8.7 斜坡堤(拋石)

本節斜坡堤，如拋石(含卵石、塊石及堤心石)係指施工完成後允許表面高程(含坡面)改變與無安全疑慮與無設定高程要求之結構型式，如拋石堤、防波堤、碼頭岸邊、海纜保護、海底輸油管保護、離岸風電基礎防淘刷保護，可參考文獻^[35]與施工綱要規範第 02391 章「防波堤」*進行設計。以下舉例數種施工方式，未來可能有其他更先進、經濟之施工法^[21]。

4.8.7.1 施工說明

1. 施工計畫

依工程圖說及特性提出整體及各分項之施工計畫、品管計畫、環境保護

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

計畫。

2. 施工方法

- (1) 施工前，應先進行設置施工場地及儲料場地、臨時施工碼頭、沉箱儲存場、潮位計、臨時導航及安全措施、環境監測，及進行水深測量、施工道路、交通維持、勞工安全衛生、環境保護措施。

- (2) 施工場地及儲料場地

- A. 基地先進行工地清理、清除及掘除，完成後進行整地。
- B. 整地高程及級配鋪設依設計圖說施工。
- C. 清除及掘除應依共通性工項施工綱要規範第 02231 章「清除及掘除」之規定辦理。

- (3) 拋石(含卵石、塊石及堤心石)之混凝土型塊製作及吊放作業

膨脹率小於 0.5%(CNS 15311)之電弧爐煉鋼爐碴(石)得作為混凝土製作之粗細粒料，餘詳共通性工項施工綱要規範第 03310 章「結構用混凝土」之規定辦理，相關製作及吊放作業則參考施工綱要規範第 02391 章「防波堤」*及第 03439 章「港灣用預鑄混凝土塊」*之相關規定辦理。

- (4) 拋石(含卵石、塊石及堤心石)用於離岸結構物或離岸風電水下基礎之拋放作業，依載具、作業方式之不同，可概分為下列施工之方式：

- A. 以平台船(Barge)運輸石料，將怪手開上平台船上固定，到目的地後將石料以怪手挖起拋置海中，常用於港灣工程或淺水域拋石作業，缺點有拋石定位精度不佳、容易浪費石料、施工時間長，優點為機具便宜，適用於拋石要求不高之工程案。
- B. 以側邊拋放式拋石船(Side Stone Dumping Vessel)運送及拋放石料，此船型已設計放置石料艙位，由側邊直接倒大量石料，相較普通平台船，此船型一次可載較多石料與同時多側拋石，效率較普通平台船高，但缺點是水下拋石精準定位不佳。
- C. 以落管式拋石船(Fall Pipe Vessel)運送及拋放石料，此船型設計有可伸縮之管道，且具有先進水下定位系統，可同時計算船隻

作動、海流、調整拋放口，將石料精準拋放於規劃位址，可拋放水深達百米以上，常用於水深較深輸油管拋石、海底電纜保護拋石、離岸風電基礎拋石等，其優點為定位精準、拋石效率高適合深水域作業，缺點為石料大小有限制，每顆石料重量須300公斤以下，且船隻租金不斐。

- D. 以麻袋混凝土作為防淘刷設施，此為國內港灣工程常使用之工法，以乾拌合之混凝土裝入可滲水之麻袋，每包約一噸，以普通平台船裝載麻袋，並將吊車開上平台船固定，開往海上定點後，以吊車將麻袋混凝土吊至水下定位，此方式須潛水俠於水下協助定位並解除吊勾，此方式較費時費工，一般用於小範圍之港灣工程。

(5) 臨時施工碼頭

- A. 臨時施工碼頭供作沉箱之製作及作裝石碼頭用，其水深須符合沉箱浮游吃水深及裝石船舶之吃水深，並應考慮其上載荷重。
- B. 提出臨時施工碼頭之施工計畫、結構計算書及工作圖送工程司核可後施工。

(6) 沉箱儲存場

- A. 儲存場面積應依製作、拖放之速度及考量不能拖放時間內沉箱之儲存所需之面積。
- B. 沉箱儲存場位置配合沉箱浮游吃水深及潮位應浚挖或回填至適當之深度，並將砂面整平至 ± 30 cm。
- C. 砂面整平完成後進行拋石及整平工作，拋石厚度約50 cm，並整平至 ± 10 cm。

(7) 潮位計

- A. 為控制水深測量及沉箱製作與拖放，如附近無潮位計可供觀測，施工前應設立一潮位計。
- B. 潮位計應包括壓力式潮位計、可抽換式之資料蒐集記錄器。

C. 潮位計測量範圍應在 0~10 m 之間。壓力許可差 0.5% 讀值。計時許可差 1 min/年。

D. 各項儀器配備及設計圖說、規範經同意後設置。

(8) 臨時導航及安全措施

A. 設置警示燈及浮燈標。

a. 施工期間於施工週邊船舶航行範圍，應設置日、夜、晴、雨皆清晰可見之警示燈、浮燈標，以維持船舶航行及施工作業船舶及人員之安全。

b. 設置之時間及區域應先知會當地漁會及管轄之航管單位，並經公告後設置。

B. 施工船機：按航行及船舶避碰規定於船四周，加裝紅、綠 2 色燈組，以避免碰撞。

C. 海上管及浮筒：每組浮筒上應加裝警示燈，尤以夜間更應告知周遭船隻安全航道。

D. 浮標：應於施工區之施工船舶前後與鄰側佈放燈組浮標示警。

E. 保留足夠航行之航道。

F. 施工中於南[北]堤頭設置移動性之“紅[白]色光防波堤延伸用導航燈標”。

G. 海底拋石處外側設置浮燈標 3 處。

4.8.7.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。

2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。

3. 材料供應場平面佈置圖。

4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.7.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據拋石之材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日應儲備相當數量，以備雨季時，可維持拋石之材料供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等之裝載能力及路面之承載力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者之重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量控制使用。

4.8.8 斜坡堤(消波塊)

本節斜坡堤係指施工完成後允許表面高程(含坡面)改變且無安全疑慮與無設定高程要求之結構型式，如拋石堤或防波堤之消波塊(混凝土塊石)作業。

4.8.8.1 施工說明

1. 施工計畫

依工程圖說及特性提出整體及各分項之施工計畫、品管計畫、環境保護計畫。

2. 施工方法

- (1) 施工前，應先進行設置施工場地及儲料場地、臨時施工碼頭、沉箱儲存場、潮位計、臨時導航及安全措施、環境監測，及進行水深測量、施工道路、交通維持、勞工安全衛生、環境保護措施。

(2) 施工場地及儲料場地

- A. 基地先進行工地清理、清除及掘除，完成後進行整地。
- B. 整地高程及級配鋪設依設計圖說施工。
- C. 清除及掘除應依共通性工項施工綱要規範第 02231 章「清除及掘除」之規定辦理。

(3) 消波塊之混凝土型塊製作及吊放

膨脹率小於 0.5% (CNS 15311)之電弧爐煉鋼爐碴(石)得作為混凝土製作之粗細粒料，餘詳共通性工項施工綱要規範第 03310 章「結構用混凝土」之規定辦理，相關製作及吊放作業則依施工綱要規範之第 02391 章「防波堤」*及第 03439 章「港灣用預鑄混凝土塊」*之相關規定辦理。

(4) 臨時導航及安全措施

- A. 設置警示燈及浮燈標。
 - a. 施工期間於施工週邊船舶航行範圍，應設置日、夜、晴、雨皆清晰可見之警示燈、浮燈標，以維持船舶航行及施工作業船舶及人員之安全。
 - b. 設置之時間及區域應先知會當地漁會及管轄之航管單位，並經公告後設置。
- B. 施工船機：按航行及船舶避碰規定於船四周，加裝紅、綠 2 色燈組，以避免碰撞。
- C. 海上管及浮筒：每組浮筒上應加裝警示燈，尤以夜間更應告知周遭船隻安全航道。
- D. 浮標：應於施工區之施工船舶前後與鄰側佈放燈組浮標示警。
- E. 保留足夠航行之航道。
- F. 施工中於南[北]堤頭設置移動性之“紅[白]色光防波堤延伸用導

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

航燈標”。

G. 海底拋石處外側設置浮燈標 3 處。

4.8.8.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
3. 材料供應場平面佈置圖。
4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.8.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據消波塊之材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日並應儲備相當之數量，以備雨季時，可維持消波塊之供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等之裝載能力及路面之承載力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者之重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量 控制使用。

4.8.9 人工魚礁

4.8.9.1 施工說明

1. 施工計畫

依工程圖說及特性提出整體及各分項之施工計畫、品管計畫、環境保護計畫。

2. 施工方法

(1) 人工魚礁施工前，應先進行施工場地及儲料場地、臨時碼頭、潮位計、臨時導航及安全措施、環境監測、水深測量、交通維持、勞工安全衛生、環境保護措施。

(2) 施工場地及儲料場地

A. 基地先進行工地清理、清除及掘除，完成後進行整地。

B. 清除及掘除應依共通性工項施工綱要規範第 02231 章「清除及掘除」之規定辦理。

(3) 混凝土型塊製作

得採電弧爐煉鋼爐碴(石)作為混凝土製作之粗細粒料，餘詳共通性工項施工綱要規範第 03310 章「結構用混凝土」之規定辦理。

(4) 臨時導航及安全措施

A. 設置警示燈及浮燈標。

B. 施工期間於施工週邊船舶航行範圍，應設置日、夜、晴、雨皆清晰可見之警示燈、浮燈標，以維持船舶航行及施工作業船舶及人員之安全。

C. 設置之時間及區域應先知會當地漁會及管轄之航管單位，並經公告後設置。

D. 施工船機：按航行及船舶避碰規定於船四周，加裝紅、綠 2 色燈組，以避免碰撞。

E. 海上管及浮筒：每組浮筒上應加裝警示燈，尤以夜間更應告知周遭船隻安全航道。

F. 浮標：應於施工區之施工船舶前後與鄰側佈放燈組浮標示警。

G. 海底人工魚礁置放處外側設置浮燈標。

4.8.9.2 材料供應計畫

承包商於開工後須提出回填資材之供料計畫書，可參考附錄三並新增以下各點：

1. 材料供應場之位置、儲存量及物化性質。
2. 材料需求量、運輸量、儲備量及使用量。
3. 材料供應場平面佈置圖。
4. 退貨機制：如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨。

4.8.9.3 材料儲備與運輸

1. 儲備

- (1) 依據人工魚礁工程材料供應計畫，參照每日最大需要量及合理儲備量設置儲存場，平日應儲備足夠數量，以備雨季，維持人工魚礁供應，避免造成工程停工，有關材料之抽驗頻率與規定詳第 6.2 節。
- (2) 工地儲存場採取材料分區儲放為原則，並應注意地表逕流水處理及防塵需求。

2. 運送

- (1) 視車輛、船隻、機具等裝載能力及路面承载力，限制承載量及其行駛速度。
- (2) 載運車輛皆設置有防塵措施與 GPS 設施管控流向。
- (3) 材料供應場及工地應過磅，且二者之重量須相符，並以此作為料源及進料品質、數量控制使用。

第五章 電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程法規規定及分項工程自主品質管理

為確保電弧爐煉鋼爐碴(石)粒料品質能符合海事工程之需求，本章節內容除參考行政院公共工程委員會所頒布的共通性工項施工綱要外，不足之處亦參考中國鋼鐵股份有限公司所刊行的「轉爐石海事工程」^[21]及日本沿岸技術研究中心所刊行之「港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル」^[18]。由於各類用途品質易受各作業階段影響，建議執行全面品質管理，以減少影響工程品質之變異發生，宜將本章節相關管制措施及注意事項納入自主管理系統內，以確保含電弧爐煉鋼爐碴(石)於海事工程之品質。另用於港區造地填築，宜依行政院 110 年 6 月 11 日核定之「再生粒料應用於港區造地填築作業程序」辦理。

5.1 一般原則

電弧爐煉鋼爐碴(石)於海事工程品質管制流程如圖 5-1 所示，視實際需求可直接使用電弧爐煉鋼爐碴(石)再生粒料或以其拌製含電弧爐煉鋼爐碴(石)之混凝土或控制性低強度回填材料(CLSM)。各作業階段應特別強調之相關管制措施分述如下，以確保其品質。有關手冊中提到第三驗證單位是未來整個制度成功與否之關鍵，建議主管機關應就管理面落實各處理環節，於申報系統方面，所有材料與物質之流向及資訊都應清楚註記，倘未來有問題發生，才可追溯相關責任。

5.1.1 電弧爐煉鋼爐碴(石)粒料出廠管制

1. 電弧爐煉鋼爐碴(石)進料時，可目視該批組成成份是否摻雜異物，並留存進料記錄，以穩定生產品質。
2. 廠內若有同時收受氧化碴(石)與還原碴(石)，兩者進料後應分別貯存。另原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應適當隔離避免發生混料情形。
3. 依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」規定，電弧爐煉鋼爐碴(石)粒料每年至少執行一次重金屬毒性特性溶出程序及戴奧辛總毒性當量濃度項目檢驗，並須符合法規品質要求，方可作工程使用。

5.1.2 材料及配比設計管制

1. 承包商應評估拌合廠所提供之電弧爐煉鋼爐碴(石)粒料供應商資格與確認電弧爐煉鋼爐碴(石)粒料產源，必要時，承包商應會同工程單位辦理查廠。
2. 拌合廠應確認電弧爐煉鋼爐碴(石)粒料出廠檢驗報告之品質規格符合「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」及行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範各相關應用之規定，方可進料。
3. 拌合廠應依照承包商要求之粒料規格與工程性質，使用工程預定用料進行配比設計與試拌，待確認配比設計結果符合需求後，經工程單位審查核可則可進行產製。

5.1.3 產製及施工管制

1. 拌合廠應依照審查核可之配比進行產製，若有變更需求時，應先通知承包廠及取得工程機關之認可後，方可執行，並留存相關紀錄。
2. 含電弧爐煉鋼爐碴(石)混凝土或 CLSM 配比應於拌合廠進行產製作業，以確保所產製混凝土或 CLSM 之品質。
3. 承包商應依規範要求頻率，辦理含電弧爐煉鋼爐碴(石)混凝土或 CLSM 品質檢驗。
4. 澆置時，應均勻澆置，並確保混凝土或 CLSM 之密實性，以避免對埋設物產生偏壓，及造成混凝土或 CLSM 內部空洞或強度分布不均的情形。
5. 完工後，需進行灑水等養護作業，待確認達到初凝狀態後才可進行後續瀝青混凝土面層等鋪設工程。

5.1.4 驗收階段管制

1. 應依規範及合約要求，查驗施工時所需之試驗報告及工程施工紀錄，如 CLSM 之管流度或坍流度、落沉強度試驗報告。
2. 應依規範及合約要求，查驗施工後之長期性質，如普通混凝土或 CLSM 之 28 天抗壓強度試驗結果。

5.1.5 注意事項

使用電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料之公共工程應注意下列事項：

1. 工程主辦機關應於施工前查驗相關供應證明文件與品管作業文件。
2. 相關證明文件主要確認使用之含電弧爐煉鋼爐渣(石)海事工程品質，應符合法規標準並滿足工程需求。

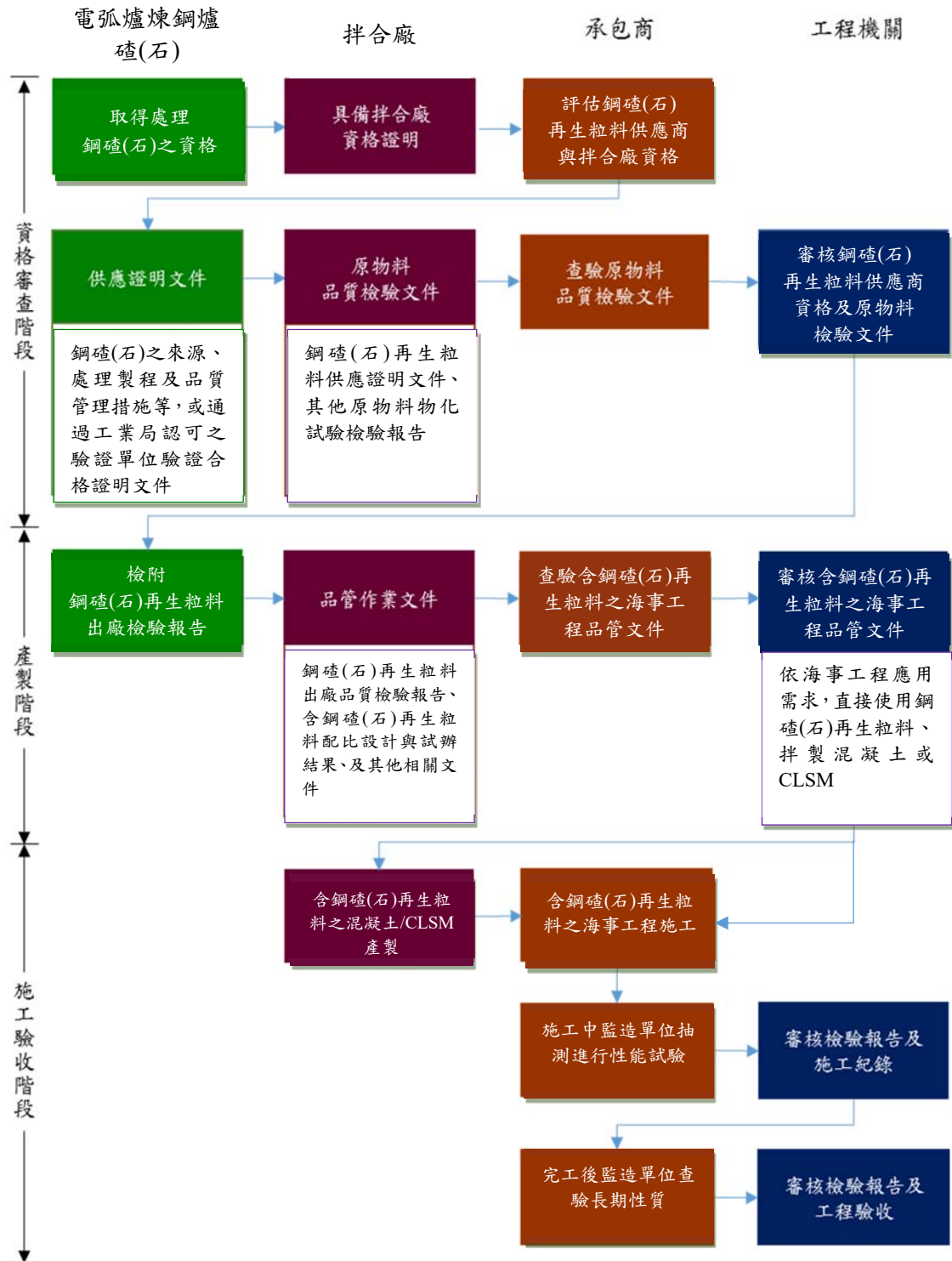


圖 5-1 含電弧爐煉鋼爐碴(石)於海事工程品管作業流程

5.2 材料自主品質管理

電弧爐煉鋼爐渣(石)的品質管理要求須參考各用途相關之施工綱要規範，並可參考文獻^[21]訂定更嚴格之標準，如以下各節分述。

5.2.1 回填資材

5.2.1.1 自主管理產品標準

電弧爐煉鋼爐渣(石)須質地堅硬、緻密、耐磨，不得含有易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物。根據共通性工項施工綱要規範第 02320 章「不適用材料」，不適用材料係指含有木本、草本及蔓藤類植物或屬於污泥、腐植土及最大乾密度小於 1.5 t/m^3 之不良土壤，或其他任何經工程司認定為不適於作為基礎或填方之物質，但不包括自然含水量過多經乾燥後仍可適用之土壤，或者依 ASTM D2487 試驗結果屬於泥炭土(PT)、高塑性有機質土(OH)及低塑性有機質土(OL)材料者。

電弧爐煉鋼爐渣(石)用於回填資材(電弧爐煉鋼爐渣(石)或電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料)之產品標準如表 5-1 與表 5-2 所示。若做為透水材料，於設計圖說或特訂條款應指定透水材料之類型，否則即按表 5-3 中第 1 類型供應。透水材料之組成重量百分率，按 AASHTO T27 試驗方法檢驗，應符合表 5-3 中級配規定。

表 5-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-回填資材(電弧爐煉鋼爐渣(石))

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法－電極法
戴奧辛(ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤5.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%) ^(1,2)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
最大乾密度	>1.5 t/m ³	CNS 11777-1 土壤含水量與密度關係試驗法(改良式夯實試驗法)
壓實度	最大乾密度之 90% 以上 ⁽³⁾	AASHTO T180 以 10 磅(4.536 公斤)夯錘，落距 18 吋(45.72 公分)，決定土壤含水量與密度關係試驗法
磨損百分率(%) ⁽⁴⁾	≤40	AASHTO T96 小尺度粗粒料洛杉磯磨損試驗
含砂當量(%) ⁽⁴⁾	≥55	CNS 15346 土壤及細粒料之含砂當量試驗法
備註： (1) 填築於海平面以下。 (2) 上方如有構造物，須有足夠之覆土層。 (3) 若為水材料、砂、級配粒料，則為最大乾密度之 95%以上。 (4) 做為透水材料。		

表 5-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-回填資材(電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數(PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤5.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)(¹⁻³)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
最大乾密度	>1.5 t/m ³	CNS 11777-1 土壤含水量與密度關係試驗法(改良式夯實試驗法)
土壤分類(⁴)	非屬以下土壤： (1)泥炭土(PT) (2)高塑性有機質土(OH) (3)低塑性有機質土(OL)	CNS 12387 工程用土壤分類試驗法
壓實度	最大乾密度之 90% 以上(⁵)	AASHTO T180 以 10 磅(4.536 公斤)夯錘，落距 18 吋(45.72 公分)，決定土壤含水量與密度關係試驗法
磨損百分率(%)(⁶)	≤40	AASHTO T96 小尺度粗粒料洛杉磯磨損試驗
含砂當量(%)(⁶)	≥55	CNS 15346 土壤及細粒料之含砂當量試驗法
備註： (1) 填築於海平面以下。 (2) 上方如有構造物，須有足夠之覆土層。 (3) 其他材料包含浚港淤泥、營建土石方及抽砂材料。 (4) 除電弧爐煉鋼爐渣(石)外之其他拌合材料適用。 (5) 若為透水材料、砂、級配粒料，則為最大乾密度之 95%以上。 (6) 做為透水材料。		

表 5-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-回填資材(電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料)且作為透水材料用

通 過 百 分 率 (%)			
篩號	類型 1	類型 2	類型 3
2"	100	—	—
1 1/2"	95~100	100	—
3/4"	50~100	90~100	100
1/2"	—	40~100	95~100
3/8"	15~55	25~ 40	70~100
No. 4	0~25	18~ 33	0~ 55
No. 8	0~ 5	5~ 15	0~ 10
No.200	0~ 3	0~ 3	0~ 3

5.2.1.2 自主管理環境安全品質

參考第四章所建議最終用途之使用場所，並考量產品生命週期各階段可能曝露環境，其化學成分釋入環境途徑對應之試驗項目，並且設定無人體直接攝取之可能性，其化學成分將透過海水的途徑溶出，電弧爐煉鋼爐渣(石)環境安全性評估作法及對應規範後續如表 7-2 與表 7-3 所示。

另環保署於 108 年 10 月 2 號公告「再生粒料環境用途溶出程序(NIEAR222)」^[36]之檢驗方法，本方法係參考日本、荷蘭等資源化產品之作法及經驗，以電弧爐煉鋼爐渣(石)之再生粒料產品實際用於環境之溶出情境評估，其重金屬溶出檢測結果應符合經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表「編號 8、電弧爐煉鋼爐渣(石)」再利用管理方式規定，擬定環境標準如後續表 7-4 所示，以確保使用地點之環境安全性。

5.2.2 鋪面材料

5.2.2.1 自主管理產品標準

電弧爐煉鋼爐渣(石)須質地堅硬、緻密、耐磨，不得含易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物。電弧爐煉鋼爐渣(石)用於整地應用產品標準，如表 5-4 所示，若進一步作為鋪面工程之基層或底層級配料原料時，更須滿足 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」要求。級配如表 55 所列，第一型級配粒料符合表中 A、B、C 或 D 級配之規定，第二

型級配符合該表中 E 或 F 級配之規定。其中，粗粒料於反覆凍融或乾濕狀態下不得產生破裂，且洛杉磯磨損率不得大於 50%，細粒料通過試驗篩 75 μm CNS 386-1 百分率不得大於通過試驗篩 425 μm CNS 386-1 百分率的三分之二。通過試驗篩 425 μm CNS 386-1 部分之液性限度不得大於 25，塑性指數不得大於 6，主要性質需求如表 5-6 所列。

表 5-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-整地應用(電弧爐煉鋼爐渣(石))

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛(ng I-TEQ/g)	≤ 0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤ 5.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率($\%$) ^(1,2)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率($\%$)	≤ 40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
CBR 值($\%$)	≥ 70.0	CNS 12382 夯實土樣加州載重比試驗法
備註:		
(1) 上方如有構造物則訂為<0.5%。		
(2) 上方如為露天儲區、停車場或其他無須鋼性鋪面之場所等，無需特別限制膨脹率。		

表 5-5 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-級配粒料基底層(電弧爐煉鋼爐渣(石))之級配規定

試驗篩標稱 稱孔篩 (mm)	通過試驗篩之質量百分率(%)					
	第一型				第二型	
	A 級配	B 級配	C 級配	D 級配	E 級配	F 級配
50	100	100	—	—	—	—
25	—	75~95	100	100	100	100
9.5	30~65	40~75	50~85	60~100	—	—
4.75[No.4]	25~55	30~60	35~65	50~85	55~100	70~100
2.00[No.10]	15~40	20~45	25~50	40~70	40~100	55~100
0.425[No.40]	8~20	15~30	15~30	25~45	20~50	30~70
0.075[No.200]	2~8	5~15	5~15	8~15	6~15	8~15
備考：[]內為篩號						

表 5-6 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-級配粒料基底層(電弧爐煉鋼爐渣(石))之品質要求

測試項目	規範值	測試方法
粗粒料		
洛杉磯磨損率(%)	≤50.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
細粒料		
通過試驗篩 425 μm CNS 386 之液性限度	≤25	CNS 5088 土壤液性限度試驗、塑性限度試驗及塑性指數決定法
通過試驗篩 425 μm CNS 386 之塑性指數	≤6	

5.2.2.2 自主管理環境安全品質

自主管理環境安全品質規定，皆可參照 5.2.1.2 節回填資材所述之說明辦理。

5.2.3 港灣施工便道

5.2.3.1 自主管理產品標準

電弧爐煉鋼爐碴(石)須質地堅硬、緻密、耐磨，不得含易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物。電弧爐煉鋼爐碴(石)用於港灣施工便道產品標準如表 5-7 所示。

5.2.3.2 自主管理環境安全品質

自主管理環境安全品質規定，皆可參照 5.2.1.2 節回填資材所述之說明辦理。

表 5-7 電弧爐煉鋼爐碴(石)自主管理產品標準-港灣施工便道

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤5.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)(¹)	—	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
CBR 值(%)	≥70.0	CNS 12382 夯實土樣加州載重比試驗法
備註: (¹) 無須特別限制。		

5.2.4 堤後背填

5.2.4.1 自主管理產品標準

電弧爐煉鋼爐渣(石)須質地堅硬、緻密、耐磨，不得含有易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物。電弧爐煉鋼爐渣(石)用於堤後背填之產品標準如表 5-8 所示。

5.2.4.2 自主管理環境安全品質

自主管理環境安全品質規定，皆可參照 5.2.1.2 節回填資材所述之說明辦理。

表 5-8 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-堤後背填

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法－電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 戴奧辛及呔喃檢測方法－同位素標幟稀釋氣相層析／高解析質譜法
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤5.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)(¹)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
備註:		
⁽¹⁾ 距堤 25 m 以內膨脹率<0.5%，大於 25 m 則無特別限制。		

5.2.5 地盤改良

5.2.5.1 自主管理產品標準

電弧爐煉鋼爐渣(石)須質地堅硬、緻密、耐磨，其粗、細粒料級配可參考共通性

工項施工綱要第 02341 章「地盤灌漿處理」，不得含有易風化顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有礙本工程品質及功能有害物。電弧爐煉鋼爐碴(石)用於地盤改良(礫石樁、擠壓砂樁及海域軟弱地盤土方置換)之產品標準除參考施工綱要外，亦可參考文獻^[21]訂定標準，如表 5-9～表 5-12 所示。擠壓灌漿之材料應使用指定之細粒料及足夠之水拌合，以產生可壓送且坍度介於 15～40 mm 之漿液，其坍度須符合 CNS 1176 之方法測定。任何拌合料坍度超過 40 mm 即不得灌注，而應予廢棄或重新拌合，使達到規定之坍度後再使用。

5.2.5.2 自主管理環境安全品質

自主管理環境安全品質規定，皆可參照 5.2.1.2 節回填資材所述之說明辦理。

表 5-9 電弧爐煉鋼爐碴(石)自主管理產品標準-地盤改良(礫石樁)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤8.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)(¹)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
內摩擦角(度)	≥40.0	CNS 11778 土壤直接剪力試驗法
健性(硫酸鈉) (%)	≤8.0	CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法
吸水率(%)	≤3.0	CNS 488 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法
備註: (1) 出料時提供膨脹率證明。		

表 5-10 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(擠壓砂樁)(I)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法－電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 戴奧辛及呔喃檢測方法－同位素標幟稀釋氣相層析／高解析質譜法
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
膨脹率(%)(¹)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
內摩擦角(度)	≥40.0	CNS 11778 土壤直接剪力試驗法
健性(硫酸鈉) (%)	≤8.0	CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法
液性限度(%)	≤25.0	CNS 5088 土壤液性限度試驗、塑性限度試驗及塑性指數法
塑性指數(%)	無塑性	
備註: (¹) 出料時提供膨脹率證明。		

表 5-11 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(擠壓砂樁)(II)

標準篩號	#4	#200
通過重量(%)	100	15-30

表 5-12 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	≤10.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)(¹)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
健性(硫酸鈉) (%)	≤8.0	CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法
備註: (¹) 出料時提供膨脹率證明。		

5.2.6 斜坡堤

5.2.6.1 自主管理產品標準

斜坡堤(拋石及消波塊)須質地堅硬、緻密，其相關產品標準如表 5-13 與表 5-14 所示。

5.2.6.2 自主管理環境安全品質

自主管理環境安全品質規定，皆可參照 5.2.1.2 節回填資材所述及共通性工項施工綱要規範第 02391 章「防波堤」之說明辦理。此外於施工前及施工期間須進行環境監測，確切掌握施工階段之環境影響程度並作為改善之依據。有關監測系統範圍及項目，應依環境影響評估報告書中之項目辦理，一般項目如表 5-15 所示。前述各監測成果須定期陳報監測報表，列為各級環保機關追蹤考核及環境改善之依據。其他項目，如清除及掘除應依共通性工項施工綱要規範第 02231 章「清除及掘除」之規定辦理，工程施工前鄰近建築物現況調查應依第 02291 章「工程施工前鄰近建築物現況調查」之規定辦理。

表 5-13 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤(拋石)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤ 0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	依設計要求	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
洛杉磯磨損率(%)	≤ 40.0	CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)洛杉磯磨損試驗法
		CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法
健性(硫酸鈉) (%)	≤ 10.0	CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法
吸水率(%)	依設計要求	CNS 488 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法
比重	≥ 2.6	
抗壓強度(kgf/cm ²)	依設計要求	CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗法

表 5-14 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤(消波塊)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤ 0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm)	依設計要求	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
抗壓強度(MPa) ⁽¹⁾	≥ 21.0	CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗法
備註: ⁽¹⁾ 抗壓強度是指混凝土製品之規範要求，取代消波塊之粗粒料的取代比例，則依據實際混凝土配比設計估算之。		

表 5-15 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤之環境監測項目

類別	項 目	地 點	頻 率
水 質	陸域：(海岸線以內) pH、懸浮固體、化學需 氧量、生化需氧量、真 色色度。 海域：(海岸線以外) pH、懸浮固體、化學需 氧量、生化需氧量、真 色色度。	陸域：(海岸線以內) 包括各排水路及港池出 口。 海域：(海岸線以外) 港區沿岸。分3層採樣： 包括施工範圍附近與各 排水路出口。每點分3層 採樣，分別於水面下1m、 中間、底床上1處各取樣 1次。	每季1次，分漲、退潮各 採樣依次。
放 流 水 質	水溫、pH、化學氧量、 懸浮固體、生化需氧 量、油脂 金屬：銅、鎘、鉛、鉻、 鋅	放流水出口	每月1次
底 質	陸域：(海岸線以內)總 有機物、油脂、酚類、 銅、鎘、鉛、鉻、鋅。 海域：(海岸線以外)總 有機物、油脂、酚類、 銅、鎘、鉛、鉻、鋅	陸域：包括各排水路及港 池出口。 海域：港區沿岸、水深處。	每季1次
空 氣 品 質	總懸浮微粒(TSR) 粒徑 $\leq 10\mu\text{m}$ 之懸浮微 粒(PM ₁₀)、一氧化碳、 硫氧化物、氮氧化物、 風速、風向、落塵量	於工區港區附近住宅區、 公共設施、聯外道路側進 行連續24小時自動監測。	每月1次，每次連續24小 時自動監測。
噪 音 振 動	均能值(Leq)、最大值 (Lmax)	於工區附近敏感受體及 施工運輸車輛途經頻繁 地區進行零時至24時之 環境音量偵測。	每月測1次
營 建 噪 音 振 動	均能值(Leq)、最大值 (Lmax)	於工程周界15m位置測 定。	每月測2次，每次取樣時 間須連續8分鐘以上，取 樣時距不得多於2秒。

註：* 本表中空氣品質及營建噪音振動每一工程均須監測，其餘項目可依工程之性質決定是否實施監測。

5.2.7 人工魚礁

5.2.7.1 自主管理產品標準

人工魚礁相關自主管理之產品標準如表 5-16 所示。

5.2.7.2 自主管理環境安全品質

自主管理環境安全品質規定，皆可參照 5.2.1.2 節回填資材所述之說明辦理。

表 5-16 電弧爐煉鋼爐渣(石)自主管理產品標準-斜坡堤(人工魚礁)

測試項目	規範值	測試方法
pH	<12.5	NIEA R208.04C 廢棄物之氫離子濃度指數 (PH 值)測定方法—電極法
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	≤0.1	NIEA M801.13B 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
輻射(nSV/h)	<200	輻射偵測以 X-ray 及伽瑪射線偵測儀
粒徑範圍 (cm) ⁽¹⁾	≤5.0	CNS 486 粗細粒料篩析法
膨脹率(%)(²)	<0.5	CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
抗壓強度(MPa) ⁽³⁾	≥14.0	CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗法
備註： (1) 粒徑範圍是指用於產製人工魚礁混凝土製品的粒料粒徑之規範要求。 (2) 若粒料直接當人工魚礁使用，則膨脹率無特別限制。 (3) 抗壓強度是指人工魚礁混凝土製品之規範要求。		

第六章 電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之品保機制

6.1 一般原則

電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之品保機制，建議可由第三公正單位辦理，第三公正單位必需事先制定「品保規劃計畫書」，內容應包括品保目的、期程、材料的工程性質及環境相容性項目、檢測頻率及結論說明等，品保的目的在於確認施工時所使用的材料是否符合業者所提的產品規範，主要是想藉由第三公正單位可以從客觀的立場來進行品保。

6.2 現場之品保機制

因現場之品保機制涉及檢驗與驗收，本節將相關驗收標準與環境安全品質彙整成表 6-1 以利參考使用。

表 6-1 現場之品保機制彙整表 (相關驗收標準與環境安全品質)^[21]

應用途徑	回填資材		整地應用	港灣施工便道	堤後背填	地盤改良			斜坡堤		人工魚礁
應用種類	電弧爐煉鋼爐碴(石)	電弧爐煉鋼爐碴(石)可拌合其他材料	鋪面材料、回填材	—	—	礫石樁	擠壓砂樁	海域軟弱地盤土方置換	拋石	消波塊	—
驗證目的	供工程驗收單位與第三公正單位參考										
抽樣頻率(出貨檢驗)	將依使用量訂定合理之抽驗頻率										
抽樣頻率(現場檢驗)	依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之										
驗證機制 規範準則	環境安全品質										
	驗收標準										
退貨機制	如材料收受後，經合格檢測單位檢測判定不符合品質規範則進行退貨										

6.2.1 回填資材(電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料)

- 1 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於回填資材品保機制之規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用「電弧爐煉鋼爐渣(石)」或「電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料」作為回填資材，因填築區域位於海平面以下且將以粒料型式存在，將不會視為土壤而加以利用，且上方將填築覆土層亦無人體直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。
- 2 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考相關品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法，而抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。
- 3 填築材料運入施工用地，經檢驗合格後，方准卸車裝船；不合格者，應原車運回。
- 4 填築材料，須層次分明均勻，以達指定之位置及高程。
- 5 為免偏離堤線，必須預先設置各種適當標幟指明作業範圍，並隨時舉行測量，以免過與不及影響整坡工作。
- 6 每一層材料之填築，於未經檢查或高程測量前，不得填築上層之材料。
- 7 以電弧爐煉鋼爐渣(石)取代天然粒料用於回填資材，施工方法並無明顯差異，惟因具部份膨脹性及鹼性，相關管理措施詳載於電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之注意事項。
- 8 有關回填高程等需符合設計圖之規定，檢驗與驗收規定亦可參考表 6-1。

6.2.2 整地應用及鋪面材料

- 1 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於整地應用及鋪面材料品保機制之規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用「電弧爐煉鋼爐渣(石)」直接

作為整地應用及鋪面材料時，因將以粒料型式存在，將不會視為土壤而加以利用，但因鋪築於海平面上層，人體將有直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水或地下水。

- 2 至於材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法，而抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。

6.2.3 港灣施工便道

- 1 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於港灣施工便道品保機制之規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐渣(石)直接作為港灣施工便道，以粒料型式存在，不視為土壤而加以利用，但因鋪築於海平面上層，人體有直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。
- 2 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS 3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法，而抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。

6.2.4 堤後背填

- 1 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於堤後背填品保機制之規範準則：需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為堤後背填用途，因填築區域位於海平面以下且將以粒料型式存在，將不會視為土壤而加以

利用，且上方將填築覆土層亦無人體直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。

2. 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法，而抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。

6.2.5 地盤改良(礫石樁與擠壓砂樁)

1. 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於地盤改良品保機制之規範準則：需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為地盤改良(礫石樁及擠壓砂樁)，填築區域如位於海平面以下且以粒料型式存在，將不會視為土壤而加以利用，且上方將填築覆土層亦無人體直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水；填築區域如位於陸域且以粒料型式存在，亦將不會視為土壤而加以利用，溶出途徑將透過地下水。
2. 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法，而抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。
3. 試樁作業：為確認礫石樁、擠壓砂樁之施工控制參數及施工後改良品質，需進行試樁作業，依據砂質地層與黏土質之不同，建議如下：

A. 砂質地層：

- (1) 依不同地質進行試樁，以確定不同地質條件下之施工控制參數。

- (2) 依圖說規定，於改良樁中心及改良樁之間土壤進行鑽孔試驗，鑽孔深度至少需與改良樁深度相同，並依工程圖說規定辦理標準貫入試驗，改良樁中心及樁間土壤之平均 STP-N 值需大於工程圖說之要求數值。
- (3) 為確保及品保工程品質建議同時測試改良前後土壤之 ψ 、相對密度 D_r 及最大孔隙比 e_{max} 、最小孔隙比 e_{min} 。
- (4) 鑽探完成後，每一鑽孔皆需以砂料回填。

B. 黏土質地層：

- (1) 依不同地質進行試樁，以確定不同地質條件下之施工控制參數。
 - (2) 依圖說規定，改良設計要求為支承力者：應選定一處改良單元，針對該處之地基(改良樁本體及該樁承擔範圍內之土壤)之支承力進行平鈹載重試驗，確認改良樁體之極限支承力，改良後樁體之極限支承力需高於工程圖說之要求。
 - (3) 依圖說規定，改良設計要求為剪力強度者：若改良設計要求為剪力強度，需依據工程圖說於改良樁中心及樁間土壤進行試驗，試驗孔深度至少需等於改良樁深度，樁間土壤採圓錐貫入或現場十字片剪試驗，改良樁中心採標準貫入試驗。改良樁中心及樁間土壤之平均剪力強度需大於工程圖說要求。
 - (4) 為確保及品保工程品質，建議測試改良前後土壤 C 、 ψ 、 S_u 、 E 值、 Kh (LLT 試驗)。
 - (5) 鑽探結束後，每一鑽孔均需以砂料回填。
4. 以電弧爐煉鋼爐碴(石)取代天然粒料用於礫石樁與擠壓砂樁，施工方法並無明顯差異，惟因具部份膨脹性及鹼性，相關管理措施詳載於電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之注意事項。
5. 檢驗要點：
- (1) 鑽孔深度：在礫石樁或擠壓砂樁打設範圍內取一組鑽孔檢驗，分區內之

檢驗孔位由工程司選定，需與礫石樁或擠壓砂樁之深度相同，詳設計圖所示。

- (2) 鑽孔位置：應擇定在菱形四根樁之重心及此菱形四根之任選一根中心，並取其二者平均 N 值(或依其改良率所佔權重計算 N 值)檢驗成效，鑽孔位置詳圖 6-1 所示。

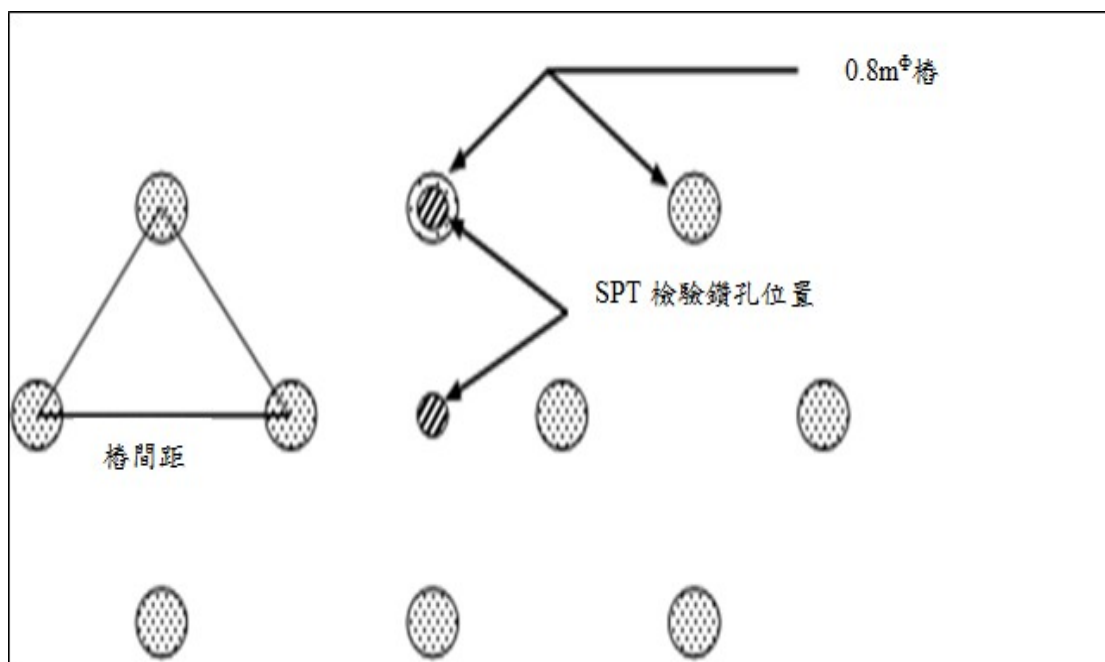


圖 6-1 地盤改良(礫石樁與擠壓砂樁)成效檢驗的建議鑽孔位置^[18]

6. 檢驗項目：

- (1) 1.5 公尺辦理標準貫入試驗一次。
- (2) 一般物理性試驗(含 Dr 相對密度、過篩百分比、FC 細粒料及 CL 黏土粒料含量)。

7. 驗收合格標準：

- (1) 驗收合格標準詳設計圖說。
- (2) 若任一深度相連之三組平均標準貫入試驗 N 值，經判定無法符合設計成果需求時應另選取相連之四根擠壓砂樁中央及此菱形四根之任選一根中心，辦理同樣鑽孔及試驗動作，用以確定軟弱土層之存在。

- (3) 當驗收檢驗孔之平均 N 值小於合格標準時，應配合土壤物性試驗成果進行液化潛能分析，若經評估顯示土層中僅為 1 點液化或 2 點液化(土層非連續)狀況時，則仍屬合格標準；然若非屬前述情形時，則均屬不合格標準。

6.2.6 地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)

1. 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於地盤改良品保機制之規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)，填築區域如位於海平面以下且以粒料型式存在，將不會視為土壤而加以利用，且上方將填築覆土層亦無人體直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。
2. 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法。抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。
3. 石料運入施工用地，經檢驗合格後，方准卸車裝船；不合格者，應原車運回。
4. 拋放石料，應依設計圖說與工程規劃，以達指定之位置。
5. 免偏離堤線，必須預先設置各種適當標幟指明堤線等作業範圍，並隨時測量，以免過與不及，影響海域軟弱地盤土方置換作業。
6. 本節未說明之工作項目依設計圖說及契約項目或依該施工項目之相關章節中之現場品質管理部分辦理。
7. 以電弧爐煉鋼爐渣(石)取代天然粒料用於地盤改良(海域軟弱地盤土方置換)，施工方法並無明顯差異，惟因具部份膨脹性及鹼性，相關管理措施詳載於

電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之注意事項。

8. 檢驗要點：有關海域軟弱地盤土方置換高程等應符合設計圖之規定，檢驗與驗收規定亦可參考表 6-1。

6.2.7 斜坡堤(拋石)

1. 電弧爐煉鋼爐碴(石)用於斜坡堤(拋石)品保機制之規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐碴(石)作為斜坡堤製品之粒料(拋石)，填築區域位於海平面以下且以混凝土製品型式存在，將不會視為土壤而加以利用，亦無人體直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。
2. 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEAR208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法。抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。
3. 拋放石料：
 - (1) 石料運入施工用地，經檢驗合格後，方准卸車裝船；不合格者應原車運回。
 - (2) 拋放石料，須層次分明均勻，以達指定之位置及高程。
 - (3) 免偏離堤線，必須預先設置各種適當標幟指明堤線等作業範圍，並隨時測量以免過與不及，影響整坡工作。
 - (4) 每一層次石料拋放，於未經檢查或高程測量前，不得拋放上層之石料。
 - (5) 各層石料之厚度應依設計圖說拋放，同時應考量沉陷量。
 - (6) 護面塊石排放：應依設計坡線排放，未達設計坡線 30 cm 者必須補足；超出設計坡線 30cm 者不予計價。
4. 拋石整坡與整平：

- (1) 超出允許範圍之部分，應修整至合於規定要求，並檢附測量紀錄，申請複驗認可。
 - (2) 如需以較小石料填縫時，須先獲得工程司之同意。
 - (3) 監督與驗核：須備有通訊設備與水下閉路電視之裝置，以便監督人員隨時加以驗核。
5. 消波塊(混凝土方塊)之製作及吊放：
- (1) 以 5 m 為一測點控制。
 - (2) 安放不良或損傷嚴重之方塊，應重新排放或更換；必要時鄰近方塊一併重排或更換。
6. 本節未說明之工作項目依設計圖說及契約項目或依該施工項目之相關章節中之現場品質管理部分辦理。
7. 以電弧爐煉鋼爐碴(石)取代天然粒料用於斜坡堤(拋石及消波塊)，施工方法並無明顯差異，惟因具部份鹼性，相關管理措施詳載於電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於海事工程之注意事項。
8. 檢驗要點：有關拋填高程及坡度、混凝土型塊尺寸與吊放等需符合設計圖之規定，檢驗與 驗收規定亦可參考表 6-1。

6.2.8 斜坡堤(消波塊)

1. 電弧爐煉鋼爐碴(石)用於斜坡堤(消波塊)品保機制之規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐碴(石)作為斜坡堤製品之粒料(消波塊)，將以混凝土製品型式存在，將不會視為土壤而加以利用，但因填築區域如位於海平面上層，人體將有直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。
2. 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA

R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法。抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。

6.2.9 人工魚礁

1. 電弧爐煉鋼爐碴(石)用於人工魚礁品保機制規範準則，需考量使用情境而決定環境安全品質試驗方法，使用電弧爐煉鋼爐碴(石)作為人工魚礁之混凝土粒料或直接使用，填築區域皆位於海平面以下，將不會視為土壤而加以利用，亦無人體直接攝取之可能性，溶出途徑將透過海水。
2. 材料工程性能品保之產品標準試驗法可參考品保機制規範準則(如粒徑可參照 CNS 486 粗細粒料篩析法、膨脹率(%)可參照 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法、洛杉磯磨損率(%)可參照 CNS 490 粗粒料(37.5 mm 以下)及 CNS3408 粗粒料(粒徑 19 mm 以上)磨損試驗法、pH 可參照 NIEA R208.04 氫離子濃度指數測定方法、戴奧辛可參照 NIEA M801.12B 戴奧辛檢測方法。抽樣頻率則依據工程驗收單位或第三公正單位與承攬商雙方議定之；或依使用量訂定合理之抽驗頻率。
3. 拋放人工魚礁：
 - (1) 拋放人工魚礁，以達指定之位置及高程。
 - (2) 人工魚礁應依設計圖說拋放，必須預先設置各種適當標幟指明堤線等作業範圍，並隨時測量。
4. 拋放人工魚礁之製作及吊放：
 - (1) 以 5 m 為一測點控制。
 - (2) 安放不良或損傷嚴重之人工魚礁時應重新排放或更換；必要時鄰近人工魚礁一併重排或更換。
5. 本節未說明之工作項目：依設計圖說及契約項目或依該施工項目之相關章節之現場品質管理部分辦理。
6. 以電弧爐煉鋼爐碴(石)取代天然粒料用於人工魚礁，施工方法並無明顯差異

，惟因具部份膨脹性及鹼性，相關管理措施詳載於電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之注意事項。

7. 檢驗要點：有關拋填高程及坡度、混凝土型塊尺寸與吊放等需符合設計圖之規定，檢驗與驗收規定亦可參考表 6.1。

第七章 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程環境 監測及注意事項

7.1 一般原則

電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程包含做為整地材料、回填材料(電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料)、建築道路材料、分隔堤防材料、鋪面材料、港灣施工便道、堤後背填、地盤改良(礫石樁、擠壓砂樁及海域軟弱地盤土方置換)、斜坡堤(拋石與消波塊)及人工魚礁等。

電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之監測目的在於確切掌握施工階段之環境影響程度並作為改善依據，本章所述環境監測內容皆引用環保署公告之規範，包含「海域環境分類及海洋環境品質標準」、「地下水污染監測標準」及「地下水污染管制標準」。

7.2 環境安全性

7.2.1 環境安全品質

使用的煉鋼爐渣應符合制定的各種環境安全與品質標準。日本在煉鋼爐渣的試驗方法和環境安全品質標準分別如表 7-1及表 7-2所示，所使用之自主環境安全品質基準與試驗方法如表 7-3所列。本手冊參考文獻^[21]，建議比照其環境監測項目及品質標準，詳如7.3節所述。另依環保署於民國108年10月2號公告「再生粒料環境用途溶出程序(NIEA R222)」^[36]之檢驗方法，本手冊亦參考經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表「編號8、電弧爐煉鋼爐渣(石)」再利用管理方式規定擬訂電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料產品應用於海事工程之環境標準，建議如表7-4所列。

表 7-1 煉鋼爐渣的環境安全品質標準及試驗方法^[18]

用途	場所	試驗項目	試驗方法	環境安全品質基準
樁地盤改良	海域	溶出	JIS K 0058-1*	港灣用途溶出量標準
	陸域	溶出	日本環境省告示 第 18 號	一般用途溶出量標準
		含有	日本環境省告示 第 19 號	含有量標準
土方置換 土方覆土	海域	溶出	JIS K 0058-1*	港灣用途溶出量標準
	陸域	溶出	日本環境省告示 第 18 號	一般用途溶出量標準
加載回填		含有	日本環境省告示 第 19 號	含有量標準

* JIS K 0058-1 5.利用有姿による試験

表 7-2 環境安全標準^[18]

項目	港灣用途溶出量標準 (mg/L)	一般用途溶出量標準 (mg/L)	酸可萃取量基準 (mg/kg)
鎘	0.009 以下	0.003 以下	150 以下
鉛	0.03 以下	0.01 以下	150 以下
六價鉻	0.15 以下	0.05 以下	250 以下
砷	0.03 以下	0.01 以下	150 以下
汞	0.0015 以下	0.0005 以下	15 以下
硒	0.03 以下	0.01 以下	150 以下
氟	15 以下	0.8 以下	4000 以下
硼	20 以下	1 以下	4000 以下

表 7-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)依使用途徑的自主管理環境安全品質基準和試驗方法^[18, 21]

產品暴露情境			檢測項目	檢測方法	自主管理環境安全品質標準
用途	種類	溶出途徑			
回填資材	氧化碴(石)	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
	氧化碴(石)可拌和其他材料	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
鋪面材料	整地應用	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
			含有量	JIS K0058-1	含有量
		地下水	溶出量	日本環境省告示第 18 號	一般用途
			含有量	日本環境省告示第 19 號	含有量
港灣施工便道		海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
			含有量	JIS K0058-1	含有量
堤後背填		海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
地盤改良	礫石樁	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
		地下水	溶出量	日本環境省告示第 18 號	一般用途
	擠壓砂樁	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
		地下水	溶出量	日本環境省告示第 18 號	一般用途
	海域軟弱地盤土方置換	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
斜坡堤	拋石	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
	消波塊	海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量
			含有量	JIS K0058-1	含有量
人工魚礁		海水	溶出量	JIS K0058-1	港灣用途溶出量

表 7-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)再生粒料應用於海事工程之環境標準

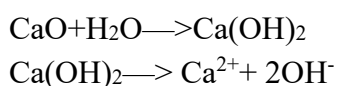
檢測方法	檢測項目	標準值
再生粒料環境用途 溶出程序 (NIEA R222)	鉛 (毫克/公升)	≤ 0.1
	鎘 (毫克/公升)	≤ 0.05
	鉻 (毫克/公升)	≤ 0.5
	銅 (毫克/公升)	≤ 10
	砷 (毫克/公升)	≤ 0.5
	汞 (毫克/公升)	≤ 0.02
	鎳 (毫克/公升)	≤ 1
	鋅 (毫克/公升)	≤ 50

7.2.2 電弧爐煉鋼爐渣(石)溶解水溶液的 pH

電弧爐煉鋼爐渣(石)溶解水溶液的pH值通常較高，但使用在海域時，由於海水成分的緩衝作用和稀釋，周圍海域的pH值幾乎沒有升高。

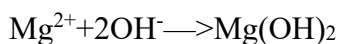
1. pH值上升：

電弧爐煉鋼爐渣(石)的石灰(CaO)與水反應並變成熟石灰。它在海水中溶解為 Ca^{2+} 和 OH^- 。



2. 海水成分的緩衝作用：

海水中含有的Mg與來自煉鋼爐渣的 OH^- 反應，降低pH。



海水中含有碳酸根離子，與煉鋼爐渣 OH^- 反應，降低了pH。

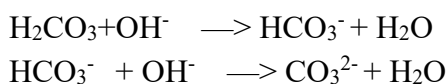


圖 7-1係將純水和海水加入飽和的 Ca(OH)_2 水溶液中，作為緩衝作用引起pH下降的一個例子，結果發現由於海水的緩衝作用導致pH下降的值與純水pH下降的值相比約低1.0 ~ 1.5。

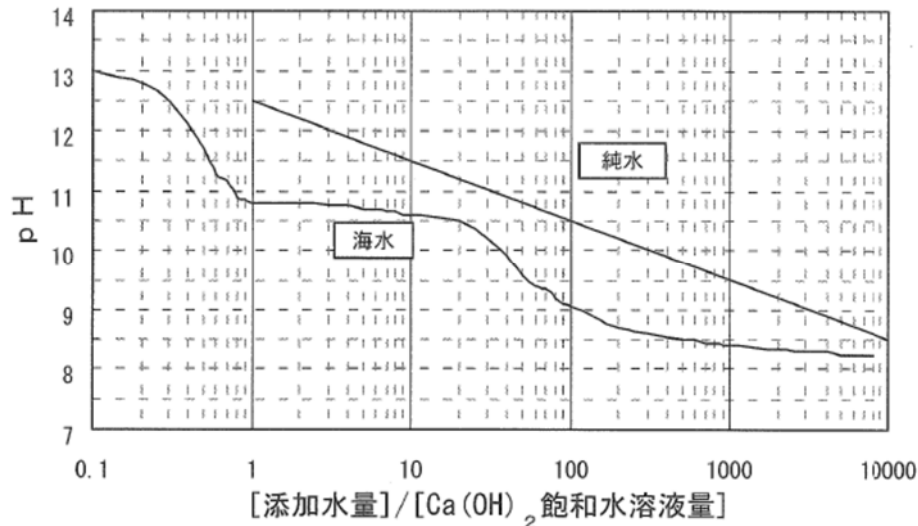


圖 7-1 純水和海水加入飽和的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液中 pH 的變化

3. 用海水稀釋：

在海域使用煉鋼爐渣時，爐渣附近的海水pH值上升，但是對周圍區域的影響非常小，可以忽略不計，因為它被大量的海水稀釋。

當使用電弧爐煉鋼爐渣(石)使得土地使用中的鹼性水溶出時，應注意的事項和採取的措施說明如下^[18]：

1. 高鹼性水引起的環境應用標準

在河流、湖泊、下水道等公共水域與電弧爐煉鋼爐渣(石)接觸的水(以下簡稱“逕流水”)，雖然沒有直接的管理辦法規範，但是對於由高鹼性水會對生存環境的保護造成影響，基於風險考量，日本在「水污染控制法」的排水標準中規定了pH值應介於5.8~8.6。

2. 當海域pH值介於5.0~9.0必須採取必要措施

(1) 永久性措施示例(施工後)

若電弧爐煉鋼爐渣(石)中所含物質產生高鹼度的逕流水，直接流入公共水域時並可能存在風險，則須採取措施，例如用具有高鹼吸附能力的土壤覆蓋；當電弧爐煉鋼爐渣(石)周圍地面的鹼吸附能力高時，鹼從電弧爐煉鋼爐渣(石)中流出，由於它被吸附到周圍的地面，並沒有對地下水產生影響，此時必須採取特殊措施防止逕流；當周圍地面電弧爐煉

鋼爐渣(石)鹼的吸附能力低時，根據靠近地面水位和電流方向流速及調查用水情況等，切斷與地下水接觸部位的周圍區域，採取措施，如覆蓋具有高吸收能力土壤；對於土壤適宜性和覆土厚度、鋪設土料的措施等則依鹼性性質和土壤鹼的吸附能而定。

(2) 施工期間的措施示例

施工期間，在採取永久性措施之前，如果高鹼性徑流水直接溢入公共水域，請採取以下措施：(a)設置臨時儲存設施，中和二氧化碳和排水等措施；(b)或者用鋼板等覆蓋煉鋼爐渣的施工現場，以防止雨水與電弧爐煉鋼爐渣(石)接觸。

7.2.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)對海洋生物的影響

利用電弧爐煉鋼爐渣(石)對海洋生物的影響進行了各種安全品保試驗，結果顯示電弧爐煉鋼爐渣(石)對海洋生物幾乎沒有影響。表 7-5為短期育種試驗中電弧爐煉鋼爐渣(石)對魚類和貝類的存活情況試驗結果，發現電弧爐煉鋼爐渣(石)對魚類和貝類的短期影響很小^[18]。

表 7-5 短期育種試驗中魚類和貝類的存活情況^[18]

	電弧爐煉鋼爐渣(石)		天然石砂(控制區)	
	收容數	死亡個數	收容數	死亡個數
日本比目魚	20	0	20	0
Mummichog (マミチヨグ)	5	0	5	0
Mochi Gochi (ネズミゴチ)	6	0	6	0
吻	4	0	4	0
細辛	60	0	60	0
海星	5	0	5	0
海葵	適合的數量	0	適合的數量	0
牡蠣	4	0	4	0

7.3 施工前及施工期間環境監測

施工前及施工期間環境監測檢測項目包含水質之重金屬濃度及pH值，其規範及項目可參考表 7-6~表 7-9，各監測成果可供業主及第三公正單位參考使用。

表 7-6 環境監測規範及檢測項目

用途	種類	應用區域		適用規範	檢測項目		
					頻率	pH	重金屬
回填資材	電弧爐煉鋼爐碴(石)	海域	海域環境分類及海洋環境品質標準	依雙方及環境條件議定	V	10項 (鎘，鉛，六價鉻，砷，汞，硒，銅，鋅，錳，銀)	
	電弧爐煉鋼爐碴(石)拌合其他材料						
鋪面材料	整地應用	海域	海域環境分類及海洋環境品質標準			10項 (砷，鎘，鉻，銅，鉛，汞，鎳，鋅，鐵，錳)	
		陸域	地下水污染監測標準 地下水污染管制標準				
港灣施工便道		海域	海域環境分類及海洋環境品質標準			10項 (鎘，鉛，六價鉻，砷，汞，硒，銅，鋅，錳，銀)	
堤後背填		海域	海域環境分類及海洋環境品質標準				
地盤改良	礫石樁及擠壓砂樁	應用領域	海域			海域環境分類及海洋環境品質標準	10項 (鎘，鉛，六價鉻，砷，汞，硒，銅，鋅，錳，銀)
			陸域			地下水污染監測標準 地下水污染管制標準	
	海域軟弱地盤土方置換		海域			海域環境分類及海洋環境品質標準	10項 (鎘，鉛，六價鉻，砷，汞，硒，銅，鋅，錳，銀)
斜坡堤	拋石	海域	海域環境分類及海洋環境品質標準			10項 (鎘，鉛，六價鉻，砷，汞，硒，銅，鋅，錳，銀)	
	消波塊						
人工魚礁		海域	海域環境分類及海洋環境品質標準			10項 (鎘，鉛，六價鉻，砷，汞，硒，銅，鋅，錳，銀)	

表 7-7 環境分類及海洋環境品質標準

項目/分類	單位	甲類	乙類	丙類
鎘	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01
鉛	mg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1
六價鉻	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05
砷	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05
汞	mg/L	< 0.002	< 0.002	< 0.002
硒	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05
銅	mg/L	< 0.03	< 0.03	< 0.03
鋅	mg/L	< 0.5	< 0.5	< 0.5
錳	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05
銀	mg/L	< 0.05	< 0.05	< 0.05
pH 值	--	7.5-8.5	7.5-8.5	7.0-8.5
備註	1.甲類：適用於一級、二級水產用水、工業用水、游泳及環境保育。 2.乙類：適用於二級水產用水、工業用水及環境保育。 3.丙類：適用於環境保育。			

表 7-8 台灣地區沿海海域範圍及海域分類

海 域 範 圍	水 體 分 類
鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域	甲
高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域	乙
曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域	甲
王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間海域	乙
澎湖群島海域	甲
備註： 在右列之一海域水體內之河川、區域排水出海口或廢水管線排放口出口半徑二公里之範圍內之水體得列為次一級之水體。	

表 7-9 地下水污染監測標準及管制標準

檢測項目	單位	監測標準		管制標準	
		第一類	第二類	第一類	第二類
砷	mg/L	< 0.025	< 0.250	< 0.05	< 0.50
鎘	mg/L	< 0.0025	< 0.0250	< 0.005	< 0.050
鉻	mg/L	< 0.025	< 0.250	< 0.05	< 0.50
銅	mg/L	< 0.5	< 5.0	< 1.0	< 10.0
鉛	mg/L	< 0.025	< 0.250	< 0.05	< 0.50
汞	mg/L	-	-	< 0.002	< 0.020
鎳	mg/L	-	-	< 0.1	< 1.0
鋅	mg/L	< 2.5	< 25.0	< 5.0	< 50.0
鐵	mg/L	< 0.15	< 1.50	-	-
錳	mg/L	< 0.025	< 0.250	-	-
pH 值	-	-	-	-	-
備註：第一類為飲用水水源保護區內之地下水。第二類為第一類以外之地下水。					

7.4 電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之注意事項

電弧爐煉鋼爐渣(石)係指煉鋼過程中所產生之廢棄物，基於砂石粒料日益短缺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、施工過程及應用範圍等內容，提出詳細之敘述。用於海事工程時，其方法及步驟與傳統天然材料類似，本章係綜合前述各章再次提列電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程時所需之注意事項等，作簡要說明，期望有助於業界參酌應用。

電弧爐煉鋼爐渣(石)應用於海事工程之注意事項包括：

1. 膨脹性：使用者對電弧爐煉鋼爐渣(石)有膨脹疑慮時，應依工程使用需求規範電弧爐煉鋼爐渣(石)膨脹性，供料廠商依CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」測試且符合規範要求並提供試驗報告。
2. pH值：電弧爐煉鋼爐渣(石)鹼性較高，當應用於海事工程之材料時，會部份接觸海水，但由於海水具備緩衝與稀釋能力，對於海域pH值之影響有限，惟仍可定期辦理pH值檢測作業。
3. 用於港區造地填築，宜依行政院110年6月11日核定之「再生粒料應用於港區造地填築作業程序」辦理。
4. 人工魚礁之吊放拋投應依「投設人工魚礁或其他漁業設施許可管理辦法」申請投設許可，有關該辦法第4條所訂之公私場所申請投設人工魚礁或其他漁業設施，應檢具下列文件：
 - (1)申請書載明機構名稱、負責人姓名、地址及電話。
 - (2)以經緯度表示之申請投設礁區或地點之位置。
 - (3)礁體或設施之型式、規格、數量、材質及結構設計圖。
 - (4)投設之機具及方式。
 - (5)預計投設之期間及次數。
 - (6)投設前底質、水質、水文、營養鹽、浮游生物及包含底棲生物在內生態環境概況。
 - (7)預估投設後對生態環境之影響說明。
 - (8)投設行為有無污染之虞及相關污染防治措施之說明。
 - (9)依本法第五十七條規定繳交審查費之證明。

(10)其他經中央主管機關或中央漁業主管機關指定之文件。

5. 將依不同應用用途說明施工後之維護與改建管制方式：

(1) 回填資材：由於該場址使用電弧爐煉鋼爐渣(石)或電弧爐煉鋼爐渣(石)可拌合其他材料做為永久性之填海造陸材料後，上方需再鋪築覆土材料，故無施工後之維護作業及改建工程。

(2) 堤後背填：由於該場址使用電弧爐煉鋼爐渣(石)做為永久性之堤後背填材料後，上方需再鋪築覆土材料，故無施工後之維護作業及改建工程。

(3) 地盤改良：該場址使用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為砂樁、礫石樁及海域軟弱地盤土方置換等工程材料，上方需再鋪築覆土材料，故無施工後之維護作業及改建工程。

(4) 鋪面材料：針對該場址應用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為鋪面材料(整地應用)，施工後之維護作業則將依與業主的合約規定執行；另後續進行改建工程將產生「電弧爐煉鋼爐渣(石)建築廢棄材料」，產源事業將會同業主工程單位協助列管管理，「電弧爐煉鋼爐渣(石)建築廢棄材料」經檢測如符合擠壓砂樁、回填資材及堤後背填規範(粒徑分布、膨脹率等)，則同天然粒料使用，惟材料性質不同應分堆儲放。

(5) 港灣施工便道：同鋪面材料。

(6) 斜坡堤：針對該場址應用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為拋石與消波塊，施工後之維護作業則將依與業主的合約規定執行；另因其使用場址位於海岸旁，長期受氣候風化與海浪侵蝕後沉入海底，故無後續改建工程。

(7) 人工魚礁：針對該場址應用電弧爐煉鋼爐渣(石)作為人工魚礁，施工後之維護作業則將依與業主的合約規定執行，如制定定期巡檢作業，確認投放位置並記錄其完整性；另因其場址位於海底，為最終使用用途(永久性存在)，故無後續改建工程。

6. 電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料進料品質管制，電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料進料時需查核出廠證明、產品檢驗報告，若有疑慮時，應洽出廠公司。

7. 電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料料源應維持穩定，否則需增加產品檢驗頻率。

8. 各儲區應明確標示電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料種類，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料誤用至其他用途。

9. 本工程施工方式係利用卡車將電弧爐煉鋼爐渣(石)運抵工地後，直接將電弧爐煉鋼爐渣(石)傾倒入填區中，為減少對鄰近環境之影響，在施工期間須進行灑水作業。
10. 電弧爐煉鋼爐渣(石)用於海事工程時，可依實際工程需求調整施工作業方式。

第八章 電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化案例探討

8.1 前言

國內鋼鐵工業快速成長，不但產品品級逐步提昇，產量亦逐年增加，適時對下游工業提供質優且價格合理的穩定料源。由於鋼鐵屬於大宗物資且生產時耗用的原料及能源甚為龐大，因此生產過程伴生的「副產物」數量亦甚為龐大。電弧爐煉鋼爐渣(石)係電弧爐煉鋼過程所產生的廢棄物，依冶煉過程分為氧化渣(石)及還原渣(石)，由於產量龐大且過去均未妥善再利用而任意棄置，因此普遍認定其為廢棄物。事實上，經由適當的加工處理程序，即可將煉鋼爐渣予以資源化再利用，並進而呈現多方面的效益，諸如降低環境污染風險、減少天然礦產開採等。

鑑於鋼鐵業普遍對於空氣污染防治已頗具成效，但除少數業者對於廢棄物處理及資源化再利用亦初具成效外，大部份業者仍處於起步階段，經濟部工業局乃自87年度起積極推動電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化技術開發與推廣，以協助促進電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化技術落實應用。有關還原渣(石)部分因具粉化現象且化性與高爐爐石粉相近，目前資源化技術主要應用於混凝土中取代部分水泥或水泥中的摻配料方向著手研究；而電弧爐煉鋼爐渣(石)部分，則朝向路盤材料以及填地材料等應用方向著手研究，但尚未達實用階段；因此本章主要探討國內外電弧爐氧化渣資源化利用概況以及國內未資源化之原因分析，並對國內外較成熟之資源化技術做一探討及列舉相關案例說明其資源化成效。

8.2 國內外電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化利用概況

近來年台灣鋼鐵工業快速的成長，不但產品等級逐步提昇，且產量也逐年增加。而鋼鐵工業於煉鋼過程中所伴隨的副產品—爐渣，早期被視為鋼鐵廠的廢棄物，過去鋼鐵業並未重視爐渣廢棄物的減量，也沒有投入相關爐渣資源化應用開發工作。自從鋼鐵大量生產後，爐石亦即我們俗稱的爐渣之處理與利用即成為世界各產鋼國家研究之重點。然而隨著環保法規日趨嚴格、廢棄物禁止海拋、陸地處置場所不敷使用、廢棄物處理費用高昂及資源永續利用觀念興起等

因素，各國才積極投入爐渣應用於水泥、道路工程、混凝土、農業及陶瓷原料等資源化技術之研發。事實上經由適當的加工處理(如篩分、碎化、磁選等)即可將爐渣予以資源化並應用於各項土木工程上。在公路基底層以爐渣替代天然碎石級配料鋪築抑或取代混凝土中部分的粗粒料拌製成面層材料，經初步試驗已獲得正面的成效，因此預期以爐渣取代天然或碎石粒料將是一必然的趨勢。目前國內之煉鋼廠可分為兩類，一為屬於一貫作業煉鋼僅有中鋼一家，以鐵礦石為主要原料，另一為電弧爐煉鋼，以廢鋼鐵為主要原料。

一貫作業煉鋼廠冶煉鋼鐵的過程中，會產生大量的爐渣，每冶煉一噸的生鐵，大約有310公斤的高爐爐渣伴隨而生；而吹煉一噸鋼，則大約有130公斤轉爐爐渣伴隨而生。早期煉鋼廠，並不重視爐渣之再利用，故大多數的爐渣皆採拋棄或是掩埋的方式處理。但經過多年的研究，經過適當處理後之爐渣，可應用於工程或農業如水泥取代、農業土壤改良、陶瓷製作、混凝土拌製、道路鋪築等。

台灣地區電弧爐煉鋼業在民國77年底時，共有工廠39家、52座爐，其中民營37家、47座爐，國營2家、5座爐，全部電弧容量共計1,008公噸，年產粗鋼268萬公噸，且全年外銷比例佔總產量10%左右。民國80年代國內電弧爐煉鋼工廠總數35家，其中兩家處於停工或半停工狀態，35家工廠共有電弧爐總數47座，總容量為1,173公噸，爐體大小以20公噸最為普遍，50公噸與15公噸者次之，由於電弧爐噸數愈大者，單位成本愈低，目前電弧爐噸數又有增大的趨勢。

電弧爐煉鋼業，係以廢鋼鐵為原料，經電弧爐熔煉而生產鋼胚，再經軋延程序而生產鋼筋、棒鋼、角鋼及型鋼各類鋼品。依其原料來源而論，電弧爐煉鋼業實為典型的資源回收工業。國內電弧爐煉鋼廠所使用廢鋼鐵原料，有購自國內市場，亦有自國外進口者。一般以拆船廢鐵、汽車廢鐵、壓鑄廢鐵、民間廢鐵為主。由於廢鋼鐵來源複雜，其中金屬除鐵金屬外，亦含有鋅、鉛、鎘、鋁、銅、鉻及鎳等金屬，經熔煉反應後，大部份非鐵金屬與添加之副原料便形成煉鋼副生之廢棄物。電弧爐煉鋼業主要廢棄物可分為爐渣及爐塵灰，爐渣又可分為氧化渣(石)、還原渣(石)。

目前大部份爐渣及爐塵灰經代處理業者以固化技術進行處理後掩埋。由於其產生量逐年增加，基於污染減量及廢棄物資源化的理念，經濟部工業局及行

政院環境保護署已積極推動成立電弧爐煉鋼業廢棄物處理體系，而大部份業者亦積極參與投資成立處理體系，目前已分別於高雄及台中成立處理體系並積極籌辦設廠事宜，完成設廠後將可妥善處理廢棄物並逐年提昇處理技術達到資源化的目標。

煉鋼、煉鐵副生的爐渣隨著鋼鐵的產量同時增加，在天然資源缺乏及環保意識的逐漸抬頭下，這些先前被認為是廢棄物的副產品，如何再資源化利用乃是鋼鐵業者一項重要的研究開發課題。美國遠在十九世紀開始將爐渣做為道路粒料使用，分別在1830年及1886年在密蘇里洲及芝加哥，以爐渣鋪築碎石路面；由於1888年在俄亥俄州將爐渣作為路床材料，1908年更在俄亥俄州以爐渣粒料鋪築瀝青碎石路面，1913年在賓州鋪築瀝青混凝土路面。於1918年成立「國家爐渣協會(National Slag Association)」負責鋼鐵爐渣資源化利用以及處理事宜。於1959年及1968年由ARBA (American Road Builder's Association) 發表之技術公報，提及爐渣鋪面擁有較高的摩擦係數，利用高爐爐渣作為防滑街道，成果良好。於1991年由ASTM (American for Testing and Materials)制訂「瀝青混凝土用鋼鐵爐渣粒料標準(ASTM D5106-91)」。

日本在二十世紀初也開始利用爐渣，不過到五十年以後才開始大量利用。那時日本鋼鐵工業快速成長，而大量副生的爐渣正好作為擴建鋼鐵廠的填地材料，同時正逢日本全國道路整備計畫，高爐爐渣大量出售做為道路的建設材料。到了六十年代，由於日本鋼鐵廠擴建暫時告一個段落等因素，使得爐渣用量減少而發生爐渣堆存與出路問題，引發了日本鋼鐵業努力於爐渣利用的研究與開發以及基礎研究，隨後又因為景氣回復而抒解了爐渣的問題。但在七十年代，日本的公共建設減少，削減了道路用高爐爐渣，並且鋼鐵廠內的使用也減少，使得爐渣再度發生問題，導致業者在鋼鐵廠內成立專門部門來負責爐渣的處理與應用，來解決爐渣的問題。1976年3月日本鋼鐵聯盟成立「爐渣資源化委員會」來推動日本全國爐渣利用技術的研究開發，至今完成制(修)定爐渣相關日本工業標準(JIS)規範有：「混凝土用爐渣粒料 (JIS A5011)」、「道路用鋼鐵爐渣 (JIS A5015)」、「預拌混凝土 (JISA5308)」、「混凝土用高爐渣粉 (JIS A60206)」、「卜特蘭水泥 (JISR5210)」及「高爐渣水泥 (JIS R5211)」等。這些績效有助於資源與能源節約及環境保護，大幅提高爐渣的利用率。

根據日本建設技術特集之神戶製鋼技報中說明，利用轉爐渣摻合高爐渣及水淬爐渣為複合爐渣，做為道路底層材料，分別與粒度調整爐渣(HMS-25)及粒度調整碎石(M-30)作圓形試驗路面，經過相同車輛荷重次數之實驗分析結果，複合爐渣之現在路面服務指數PSI (Present Serviceability Index) 最高且變化最少，亦顯示爐渣之成效佳。由以上爐渣之利用簡史，可以知道鋼鐵爐渣在道路建設方面，不論是在面層、底層或基層之道路鋪設或爐渣混凝土方面，均有使用之先例，爐渣用為道路材料在性能上已獲得肯定。

根據聯合國世界主要鋼鐵國家的煉鋼爐渣的利用情況資料顯示煉鋼爐渣以用在道路方面最多，約有44%，其次是肥料用、再利用、少量做為取代水泥用。在法國煉鋼爐渣100%用在肥料方面，美國和蘇聯的煉鋼爐渣高比例用在道路方面(分別為99%和83.7%)等現象都是值得注意的地方。在日本的情形則為19%再利用、9.4%道路用、6.2%取代水泥用、2.2%肥料用。另外根據日本鋼鐵爐渣協會的資料顯示日本鋼鐵爐渣利用率約達90%左右，另外則採掩埋處理。電弧爐爐渣中約有32%遭掩埋處理，故電弧爐爐渣的利用率僅達68%，其中24%做為道路用、8%土木用、5%再利用、2%取代水泥用、30%其他用。

8.3 電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化方向

二十世紀初期，國外開始研究煉鋼爐渣的利用，但由於爐渣成份複雜，各種成份含量的變化幅度大，因此過去對爐渣的利用率一直不高，導致各國都有大量爐渣棄置堆積，佔用土地，影響環境等。但隨著煉鋼技術及資源化再利用技術的發展加上礦源、能源缺乏，1970年代以來不少國家對於爐渣的利用迅速提高。表 8-1為1990–2017年間工業先進國家煉鋼爐渣的產生量及資源化之統計資料^[37]。

表 8-1 歐美日國家煉鋼爐渣產生量及資源化統計^[37-39]

資源化用途		資源化數量之分佈(%)							
		歐盟		日本			德國 (2000)	美國	
		(1996)	(2016)	電爐渣 (1999)	轉爐渣 (1999)	鋼爐渣 (2017)		(1999)	(2015)
廠內回收(包括渣、殘銑及殘鋼)		11	8.6	8.1	28.2	1.4	13.4	—	22.3
工程材料	道路石料	39	46.0	56.8	17.1	45.7	43.9	21,3	50.7
	瀝青混凝土粒							11.8	11.8
	鐵道渣		—	—	—	—		2.2	—
	港灣/堤岸工程			3.9	14.8	—	4.4	—	—
	地基改良					0.4	18.8	11.0	9.9
	土木工事		2.2	12.1	31.0	33.0			—
	混凝土粒料		4.4	—	—	2.9	—	—	1.1
製造原料	水泥原料	—		15.3	1.7	6.9	1.2	—	2.9
加工用原料	—	—	—		1.9	—	12.5	—	
肥料/土壤改良		8	2.7	2.4	1.8	7.5		4.8	—
其他 (下游販售殘銑等)		—	6.6				—	—	1.3
掩埋/棄置		41	—	15.0	0.2	4.5	12.4	—	—
堆存		—	14.1	—	—	—	2.1	—	—
合計		99	99.9	100.0	100.0	—	99.8	58.8	100.0
總量(萬噸)		960	—	307	968	—	582	1360	—

在廠內回收方面，以1999年日本轉爐渣28.2%為最多，德國的13.4%次之。用於道路石料、瀝青混凝土、鐵道渣等正式道路工程上，以1999年日本電爐渣的56.8%最大宗，其次為德國43.9%及美國35.3%，歐聯11國亦有部份使用。用於港灣及堤岸工程方面，以德國4.4%稍佳，日本方面也有些微使用，而近年來德國鋼鐵爐渣研究協會(FehS)已將電爐渣應用於港灣及堤岸工程列為研究發展方向之一。在混凝土粒料方面，各國幾乎尚無進展，但依相關文獻顯示，

僅在日本方面愛知工業大學森野奎二教授針對電弧爐煉鋼爐渣(石)有深入研究(1993~迄今)^[40]、日本東京白煉瓦株式會社並實際應用及生產擁壁、邊坡護牆、分隔島、管溝及人工漁礁等爐渣混凝土製品^[41]；在澳洲方面CSIRO公司近年來亦進行低強度(20 MPa)爐渣混凝土之相關研究，實際應用於人行步道、腳踏車道、邊坡護牆、分隔島及管溝等之混凝土工程中^[42]。在地基改良與土木工事方面，1999年日本轉爐渣及電爐渣分別為31%與12.1%，德國計18.8%，美國的統計未包括贈送部份之數量，故實際用於地基改良與土木工事方面之數量應超過表 8-1所列的11%。作為水泥等其它產業原料方面，1999 年日本轉爐渣及電爐渣各為6.9%及1.7%，另外在中國大陸已發展出鋼渣水泥(含水淬爐石及電爐渣約65%)^[43]，在美國方面Chaparral和TXI公司發展出CemStar鋼渣水泥(含電爐渣15%)^[44]，加拿大亦進行相關研究，其它國家則相當少。用在肥料/土壤改良方面，以歐聯11國1996年8%最高，德國4.8%其次，日本及美國也有些微數量。在掩埋或棄置上，以歐聯11國1996年的41%為最高，1996年日本電爐渣15%次之及德國12.4%最少。

目前沒有全球的爐渣(包含鐵渣與鋼渣)生產數據，但可能估計為相當於生鐵產量的25%至30%，鋼渣約佔粗鋼生產的10%至15%輸出^[45]。據此估算，2019年全球鐵渣產量約為3.2億至3.84億噸、鋼渣約1.9億噸至2.8億噸^[45]。2019年，美國鋼鐵業中，生鐵(pig iron)的生產量佔全部生產量的23%，粗鋼(raw steel)佔87%，而其中轉爐(basic oxygen furnace)生產佔30%，電弧爐(electric arc furnace)佔比高達70%^[45]。煉鋼爐渣主要使用在營建業(construction industry)中，2019年的爐渣銷售量估計為1700萬噸，價值約4.7億美元^[45]。其中，高爐渣約佔銷售總噸數之50%及總額之88%，其餘為轉爐渣(石)及電弧爐渣(石)。根據統計，於2017年煉鋼爐渣15.1%用於瀝青混凝土、40.8%用於道路基底層、14.8%用於回填^[46]。於2020年，美國有33個州至少設有一個以上的煉鋼爐渣處理設施，約有28家公司設有129間處理廠在處理廢鋼和煉鋼爐渣^[45]。

日本鋼鐵爐渣產品的製造和質量管理已經進行廣泛的應用，這些產品已經符合日本的環境標準，現在大多數產品以JIS(日本工業標準)標準或日本《綠色採購法》的指定採購項目形式提供給市場。因此鋼鐵爐渣產品不僅在日本的道路、港口、機場和其他基礎設施中用作建築材料，而且在改善海洋、土壤和

其他環境方面，作為環境材料均發揮重要作用。不僅邁出創建低碳社會的第一步，並且達到節約資源、節約能源和減少二氧化碳排放方面的需求。依據2015到2017年統計，日本煉鋼爐渣使用量分別大約為14,143仟噸、14,140仟噸、13,977仟噸。

由上述資料，反映出煉鋼爐渣用途是多方面的，而近年來環保意識高漲，使得煉鋼爐渣朝資源化方向逐漸發展，從早期的日本爐渣協會、美國爐渣協會(NSA)、德國鋼鐵爐渣研究協會(FehS)、澳亞爐渣協會(ASA)以及近年成立之歐洲爐渣協會(EU)等機構，其目的均係加強各國在爐渣資源化方面的交流及合作，以解決爐渣資源化之相關問題。

8.4 爐渣粒料於土木工程與港口之應用

使用於土木工程的爐渣粒料比天然砂(11-16 kN/m³ 濕單位重量)重量高，具有高抗剪角(35° 或更高)，並且水化性質隨時間變得更堅硬，它還具有與優質砂相同或更好的透水性。由於其性質，煉鋼爐渣可以與天然路基材料相同的方式處理為粒狀材料。它具有比天然基層材料更好的土壤力學性質，包括更高的體積密度和更大的內部摩擦角。然而，因為它含有石灰，其性質包括膨脹和高鹼溶解性。

爐渣粒料於土木工程的應用很廣泛，包括沿海保護回填、用於改良軟土地基的地面覆蓋物、道路路基和路堤。爐渣粒料的物理和力學特性包括比天然砂更輕，具有更大的抗剪角。此外它具有水化特性，會隨著時間的增加而發生水化和固化反應，在發生地震時產生高抗土壤液化性。當爐渣粒料用作海岸保護回填材料時，其重量輕，抗剪角度大，效果好，大大降低了前板樁的主動土壓力，減少了板樁截面積。一旦完全凝固，就不會在地震中液化，因此不需要額外的液化對策。當爐渣粒料用作地面覆蓋物來修正鬆軟土質時，因其重量輕，減少了側向土壤流動的危險以及固結沉降量。因為它能抵抗水的影響，具有優良的路基填充材料。由顆粒狀爐渣製成的底層重量輕，適用於軟土地面，在交通負荷下不會發生大的變形並提供足夠的承載能力，即使在反復交通負荷下也不會因滲透水而導致強度損失。

另一方面，從煉鋼爐渣中洗脫出來的水符合日本法規「防止海洋污染和海洋災害法」的標準。儘管來自爐渣的水其 pH 通常很高，但已經證實，當應用於

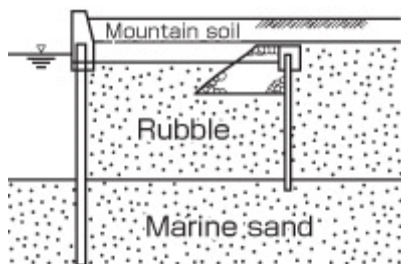
海洋用途時，海水組成分的稀釋和緩衝作用可導致周圍水中幾乎沒有 pH 增加。

8.4.1 名古屋港的 Tobishima Minami 區碼頭

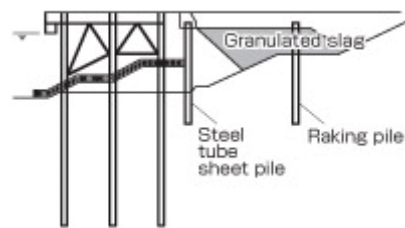
名古屋港的 Tobishima Minami 集裝箱碼頭於 2005 年開始運營，是日本最大的碼頭之一，地震加固碼頭深達 16 米，允許集裝箱船隻 10,000 TEU(TEU：表示集裝箱船的裝載能力單位。一個 TEU 相當於一個 20 英尺的集裝箱。)或更大的碼頭停靠。由於在設計審查期間，該碼頭的回填材料從碎石和其他材料變為爐渣粒料，因此可以減少前鋼管板樁和耙樁的橫截面，大大降低了施工成本 (根據土地、基礎設施、運輸和旅遊部名古屋港口辦事處的數據，大約 18%)，如圖 8-1 所示。



名古屋港 Tobishima 轉運站



回填型鋼板樁



名古屋港 Tobishima Minami District Quay

圖 8-1 名古屋港的 Tobishima Minami 區碼頭

8.4.2 東予港西条地區港灣改修工程

東予港是日本愛媛縣的重要港口，支援當地工業活動和物流。為了強化與阪神地區協作以及發展成具多功能的活動空間，曾進行了港灣改修工程，並運用電弧爐煉鋼渣作為回填材料，亦用來施作港口防波堤(圖 8-2)。工程共分成三階

段，分別在平成 14 年(2002 年)、17 年(2005 年)及 25 年(2013 年)，總共運用 38900 m³ 的電弧爐碴^[47]。



回填工程



防波堤

圖 8-2 東予港西条地區港灣改修工程^[47]

8.4.3 Punta Sollana 防波堤擴建工程

西班牙 Bilbao 港利用電弧爐煉鋼碴擴建於 Punta Sollana 的防波堤，此工程歷經四年、耗費 4 千萬歐元完成(圖 8-4)^[48]。過程中，使用 Biscay 地區所產的電弧爐煉鋼碴澆置混凝土，達到密度 2.65 t/m³ 以上。



圖 8-3 Punta Sollana 防波堤^[48]

8.4.4 土木工程用鋼渣碎石(JSTM H 8001)

由於鋼渣碎石的性質，煉鋼爐渣可以與天然路基材料以相同的方式處理為粒狀材料。它具有比天然基層材料更好的土壤力學性能，包括更高的體積密度和更大的內部摩擦角。然而，因為它含有石灰，因此具有膨脹性和高鹼溶解性。如果可以充分了解煉鋼爐渣這些特性並適當的使用，便可以利用鋼鐵渣產品的特性，經由精心規劃使其具有成本效益的結構。

在這些條件下，日本建築材料測試中心(JSTM 標準)制定了新的組織標準，在土木工程中使用的煉鋼爐渣材料－早期 JIS 標準未涵蓋的材料。該新標準規定了轉爐渣和電弧爐渣生產的每種煉鋼爐渣的類別，質量標準和銷售管理標準。

8.5 煉鋼爐渣於地盤改良之應用

由於煉鋼爐渣形狀具有許多邊緣和粗糙表面，使其具有類似於天然碎石或沙子的特徵。其顆粒密度為 $3.3 - 3.6 \text{ g/cm}^3$ ，高於天然石材，由於其材料重，濕單位質量為 $21 - 23 \text{ kN/m}^3$ ，水中單位質量為 $14 - 16 \text{ kN/m}^3$ 。煉鋼爐渣顆粒的尺寸在 $37.5 - 0.075 \text{ mm}$ 的範圍內，即使僅輕微壓實，抗剪切角度也達到 40 度或更大。內聚力約為 $50 - 100 \text{ kN/m}^2$ ，因此過去已有許多研究嘗試運用鋼渣作為地盤改良用^[49-63]。

自 1990 年代早期，Akinmusuru^[59]即嘗試使用爐渣於郊區道路，發現可增加強度、加州承載比(CBR)及乾密度。後續研究亦發現，加入爐渣可增加乾密度、降低最佳含水量、增加 CBR 及增加抗壓強度^[58, 62]。混合爐渣與熟石灰、C 級飛灰或水淬高爐渣茶粉等，能更進一步增加抗壓強度^[63, 64]。使用爐渣穩定黏土質土壤較用石灰時可獲得接近的承載容量^[52]。

8.5.1 對周圍海域影響之驗證

日本礦渣協會與沿海開發技術研究所合作，自 1993 年以來一直參與使用煉鋼爐渣作為港口和港口建設材料之應用技術研究，並於 2008 年出版了「煉鋼爐渣在港口使用指南和港口建設」。這項研究不僅檢驗了材料的物理特性，還利用神戶港島的陸砂壓實樁(SCP)和廣島港的海洋 SCP 進行了試驗施工，並研究了對海洋環境的影響。

陸砂壓實樁(SCP)是一種地盤改良方法，包括用壓實的沙子將樁打入軟土地面，以增加地面強度。由於用於地面改良的煉鋼爐渣具有比天然砂更高的單位質量和更大的抗剪角，並且這些岩土工程特性可用於降低地盤改良工作的成本。

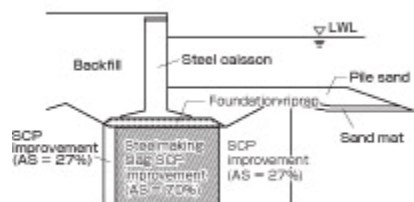
關於使用煉鋼爐渣對海洋區域的環境影響，儘管從煉鋼爐渣中洗脫的水其 pH 很高，但當使用爐渣作為 SCP 填料時，它被密封在套管內並幾乎不接觸海水，故周圍海域幾乎沒有 pH 增加。由於煉鋼爐渣被評估為天然砂作為 SCP 材料的可能替代品，因此它已被用於許多地方的港口和港口，包括廣島港約 400 萬噸。特別是由於環境保護的原因，現在許多地方政府已經禁止在瀨戶內海和其他地區疏浚海砂，此政策有助於快速增長使用煉鋼爐渣作為 SCP 填料進行地盤改良，如圖 8-4 所示。



砂壓實樁



Dejima 區的廣島港



廣島港海洋 SCP 工作地點的橫截面

圖 8-4 廣島港海洋 SCP 案例

8.5.2 羽田空港地盤改良工程

日本東京國際機場離岸擴建工程始於 1984 年 1 月，由東京都政府建造，其建造於羽田海上廢棄物填埋場，如圖 8-5 所示。因該區具有沉降不均的問題，除了透過陸砂壓實樁(SCP)的地盤改良方式改善外，並使用煉鋼爐碴加載路堤、鋪裝。整個工程總共使用了 136.6 萬 m^3 的煉鋼爐碴。另外，該機場於 2007~2010 年間所進行的 D 滑行跑道擴建案(圖 8-8)，期間亦運用人工石材、高爐爐碴及煉鋼爐碴共 185 萬噸作為隔離路堤和臨時道路材料等^[65]。

圖 8-5 羽田空港地盤改良工程^[66]圖 8-6 羽田空港 D 滑行跑道擴建工程^[67]

8.6 電弧爐煉鋼爐渣(石)資源化案例

8.6.1 電弧爐煉鋼爐渣(石)使用於人工魚礁

日本煉鋼爐渣以每年4000萬噸的速度成長，因此如何有效地使用煉鋼爐渣變得越來越重要。日本NKK公司(Nippon Kōkan;世界上最大的鋼鐵製造商之一，也是日本第二大鋼鐵製造商。)利用爐渣砂封蓋技術(Blast Furnace Slag Sand-Capping Technology)在日本的一個封閉海域Naka-umi執行國土交通省西部島根縣運輸整備局的海洋淨化和砂封蓋計畫(Sea Purification and Sand-Capping Project)，有效引領行業推動使用爐渣。NKK引入顆粒狀之煉鋼高爐礦渣製作大型碳酸鹽爐渣塊，稱為海洋塊(marine blocks)如圖 8-7所示，將二氧化碳注入爐渣塊，並在煉鋼爐渣中添加鉀使其產生肥沃的矽酸鉀來進行人工魚礁施工，圖 8-8為海洋塊人工魚礁施工現場^[68]。

在二氧化碳減排方面，爐渣中CaO的主要來源是矽酸鈣化合物，如 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 和 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 等，當發生碳化反應時會形成碳酸鈣和矽膠。若爐渣CaO含量為質量50%，反應率50%時，1噸爐渣可吸收200公斤的 CO_2 。因此如果每年在日本生產的爐渣中，有400萬噸用於吸收二氧化碳，每年將可吸收80萬噸二氧化碳，這一數額相當於22萬噸碳當量以及1997年日本鋼鐵聯合會應對COP3京都會議中二氧化碳減排目標的十分之一(基準年：1995年)。

爐渣塊在培育海洋植物實驗部分，Takahashi & Yabuta於1997年11月，在廣島縣的Setoda放置了25厘米立方的爐渣塊並監控其表面，結果發現海洋植物在爐渣表面生長，貝類也附著在爐渣表面，圖 8-9為綠色海洋植物在爐渣塊上繁殖，顯示爐渣塊給海底周圍環境帶來有益影響。

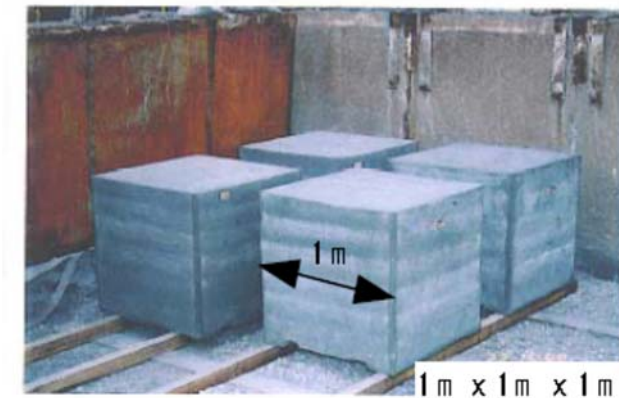


圖 8-7 1m × 1m × 1m 海洋塊^[68]



圖 8-8 海洋塊人工魚礁施工現場^[68]

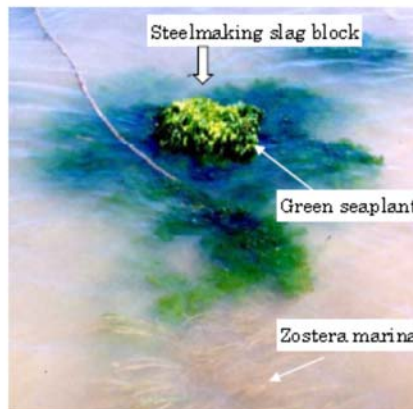


圖 8-9 海底碳酸爐渣塊的視圖^[68]

在同一地區選用相同尺寸(10厘米×10厘米×1厘米)的爐渣塊、花崗岩塊和混凝土塊放在海底，進行比較其與海洋植物生長的關係。監測時間從1998年4月到1999年1月，9個月期間爐渣塊、花崗岩塊和混凝土塊上生長的馬尾藻植物的

數量如圖 8-10所示。爐渣塊在其表面生長的海洋植物數量最大，其原因可能是爐渣塊是多孔的，其表面粗糙度為 $328\text{ }\mu\text{m}$ ，比混凝土塊($273\text{ }\mu\text{m}$)和花崗岩粗糙塊($67\text{ }\mu\text{m}$)大，因此爐渣塊體有更多比海洋植物胚胎更大的表面空腔，適合海洋植物的停留和表面上的增長更容易。圖 8-11有15個爐渣塊堆積在5米深的海底呈金字塔狀，主要用於研究大型海洋植物和其他生物的生長；圖 8-12為大量的魚聚集在由爐渣塊創造的空間中，且許多海洋植物正在生長；圖 8-13為NKK在福山工廠利用1000噸(800立方米)的高爐渣生產的防砂材料製作20個海洋塊，用來改善 600 m^2 的海床面積。

在日本的許多沿海地區使用爐渣塊海洋塊，改善海洋環境包括：

- (1)增進海洋植物、海洋生物、魚類等的生長；
- (2)海洋植物的氧氣產生；
- (3)爐渣砂封蓋的效果包括增加營養鹽；
- (4)創造一個多功能有機體可以生存的砂質海底。

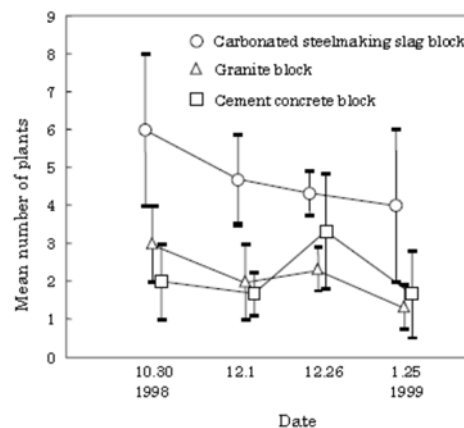


圖 8-10 爐渣塊、花崗岩塊和混凝土塊與植物數量關係圖^[68]



圖 8-11 15 個爐渣塊堆積在 5 米深的海底呈金字塔狀^[68]

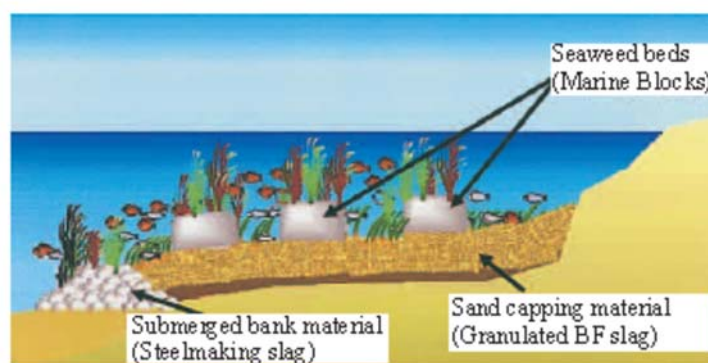


圖 8-12 大量的魚聚集在由爐渣塊創造的空間中^[69]



圖 8-13 建造海洋環境改善之測試場景

8.6.2 應用電弧爐煉鋼爐碴(石)建設實績

電弧爐煉鋼爐碴(石)實際使用於日本之案例實績如表 8-2所示^[18]。

表 8-2 電弧爐煉鋼爐碴(石)實際使用案例成果^[18]

編號	辦理機關	施工時間	施工現場	數量 (m ³)	用途
1	(隸)神戶製鋼所	昭和 2 年	(株)神戶製鋼所 加古川製鉄所	2300	壓密砂樁(SCP)
2	攪浜港埠頭公社	昭和 58~59 年	横浜港本牧埠頭。 突堤コンテナヤード	105,000	裝載路堤。鋪裝
3	川崎製鐵(株)	昭和 60 年	川崎製鐵(株)千葉製鉄所	21,400	壓密砂樁(SCP)
4	運輸省第二港灣建設局	昭和 60~平成 5 年	羽田空港沖合展開地盤	1,366,000	裝載路堤。鋪裝
5	新日本製鐵(株)	昭和 61 年	新日本製鐵(株)君津製鉄所	7,500	壓密砂樁(SCP)
6	新日本製鐵(株)	昭和 61 年	新日本製鐵(株)君津製鉄所	17,500	壓密砂樁(SCP)
7	横浜市港湾局	平成 2 年	横浜港大黒埠頭 コンテナヤード	205,000	裝載路堤。鋪裝
8	横浜市港湾局	平成 3~4 年	横浜市大黒埠頭二期地区	144,000	裝載路堤和路面
9	岡山県倉敷地方振興局	平成 6~10 年	岡山県玉島人工島	600,000	中間分隔(軟土強制更換)
10	運輸省第五港灣建設局	平成 7 年 (1995)	四日市港霞ヶ浦北埠頭地区南仮護岸工事	1,000	鋼板電池式臨時護岸填料
11	運輸省第三港灣建設局	平成 8~9 年	神戸港六甲アイランド	1,200	壓密砂樁(SCP)
12	名古屋港管理組合	平成 9~10 年	名古屋港鍋田埠頭西 5 区	125,000	壓密砂樁(SCP)
13	愛媛県伊予三島市	平成 9~10 年	愛媛県三島)11之江港金子地区臨海土地造成工募	294,000	中等分區路堤
14	運輸省第三港灣建設局	平成 10~11 年	韮歌山下澤港本港地区	40,700	壓密砂樁(SCP)
15	広島県三原土木事務所	平成 10~12 年	曙道兼騎港貝野地区	158,000	壓密砂樁(SCP)
16	広島県廿日市土木事務所	平成 10~12 年	大竹港修築 5.5 岸壁	146,000	壓密砂樁(SCP)
17	広島県広島港灣振興局	平成 10~12 年	広島港出島地区護岸	692,000	壓密砂樁(SCP)
18	広島県呉市	平成 10~12 年	阿賀マリノポリス	268,000	壓密砂樁(SCP)

編號	辦理機關	施工時間	施工現場	數量 (m ³)	用途
19	國土交通省中國地方整備局	平成11~12年	尾道系崎港貝野地区岸壁工事	110,000	壓密砂樁(SCP)
20	広島県虫島港湾振興局	平成12年	広島港	8,000	壓密砂樁(SCP)
21	広島県竹原市土木事務所	平成12年	大西港港湾修築工事	40,000	壓密砂樁(SCP)
22	岡山県井笠地方振興局	平成12年	岡山県笠岡市神島外浦	12,000	中間分隔(軟土強制更換)
23	愛媛県川之江市	平成12~17年	川之江市西部臨海土地造成工事	600,000	分區回填
24	國土交通省中國地方整備局	平成13年	大竹港東栄地区岸壁築造工事	242,000	壓密砂樁(SCP)
25	広島県福山市土木事務所	平成13年	福山港埠頭用地造成工事	5,000	壓密砂樁(SCP)
26	國土交通省中國地方整備局	平成13年	福山港埠頭箕沖地区岸壁築造工事	5,000	壓密砂樁(SCP)
27	八幡浜地方産業經濟部水産課	平成13年	八修第1号八幡浜漁港改築工事	60,000	壓密砂樁(SCP)
28	新日本石油室蘭製油所	平成13年	新日本石油室蘭製油所構内	18,000	壓密砂樁(SCP)
29	愛媛県三崎町建設課	平成13~16年	与修漁港改築工事	18,000	壓密砂樁(SCP)
30	広島県廿日市土木事務所	平成14年	大竹港東栄地区岸壁築造工事	21,000	壓密砂樁(SCP)
31	新居浜市役所港務局	平成14年	新居浜港廃棄物護岸築造工事	168,000	壓密砂樁(SCP)
32	愛媛県西条地方局	平成14年	東予港(西条地区)港湾改修工事	11,000	壓密砂樁(SCP)
33	吉海町役場建設部	平成14年	越智郡吉海町掠名漁港修築事業	8,000	壓密砂樁(SCP)
34	中部国際空港(株)	平成14年	中部国際空港	45,000	裝載路堤。鋪裝
35	広島県地域事務所廿日市支局	平成15~16年	地域水産物供給基盤整備工事	1,528	壓密砂樁(SCP)
36	愛媛県伊予市雙海町建設課	平成15年	上灘漁港宮崎西防波堤新設工事	2,978	壓密砂樁(SCP)
37	広島県三原土木事務所	平成15年	尾道系崎港港湾環境整備工事	50,947	壓密砂樁(SCP)
38	広島県地域事務所廿日市支局	平成15~16年	大竹港港湾修築環境改修工事	52,000	壓密砂樁(SCP)
39	名古屋港管理組合	平成15~16年	飛島埠頭コンテナヤード	71,000	裝載路堤
40	國土交通省中國地方整備局	平成16年	大竹港	11,000	壓密砂樁(SCP)
41	北海道広尾町	平成16年	十勝港石炭ヤード新設工事	60,000	地面加固

編號	辦理機關	施工時間	施工現場	數量 (m ³)	用途
42	神戸市みなと総局	平成16~17年	神戸市ポートアイランド	257,000	垃圾填埋場
43	愛媛県新居浜市港湾局	平成17年	新居浜港廃棄物護岸築造工事	16,605	壓密砂樁(SCP)
44	愛媛県西条地方局	平成17年	東予港(西条地区)港湾改修工事	9,900	壓密砂樁(SCP)
45	愛媛県四国中央市	平成17~19年	寒川東部臨海土地造成工事	370,000	中型隔斷和覆蓋土方
46	国土交通省中國地方整備局	平成18~190年	福山港本航路地区仮設通路工事	250,000	臨時道路回填
47	国土交通省中國地方整備局	平成18~20年	福山港本航路地区〔岡山県笠岡市鋼管町〕	644,800	盛土
48	長崎県	平成18~21年	阿翁浦漁港整備工事	25,000	壓密砂樁(SCP)
49	東京都港湾局東京港建設事務所	平成19年	10号地	230,875	壓密砂樁(SCP)
50	新日本石油	平成19年	室蘭製油所	3,000	壓密砂樁(SCP)
51	広島地域事務所建設局	平成19年	大竹市波浪漁港地域水産物供給基盤整備工事	4,200	壓密砂樁(SCP)
52	新日本石油室蘭製油所	平成19年	兄ノウ基礎液状化対策	3,000	壓密砂樁(SCP)
53	北海道開発局室蘭港湾事務所	平成19年	入江埠頭浪状化対策	2,000	壓密砂樁(SCP)
54	愛媛県大洲市	平成20年	櫛生漁港地域水産物供給基地	7,000	壓密砂樁(SCP)
55	福山地域事務所	平成21年	福山市箕沖町地先	17,780	壓密砂樁(SCP)
56	国土交通省	平成21年	羽田D滑走路埋立工区	46,400	假設道路
57	観音寺市役所建設課	平成21年	観音寺市伊吹町	11,000	壓密砂樁(SCP)
58	香川県観音寺市建設課	平成21年	伊吹漁港地域漁港漁場整備(特定)事業沖防坡堤	33,000	壓密砂樁(SCP)
59	東京都港湾局	平成21年	品川埠頭耐震工事	3,500	壓密砂樁(SCP)
60	国交省九州地方整備局	平成21年	長崎港岸壁地盤改良工事	120,000	壓密砂樁(SCP)
61	愛知県衣浦港務所	平成21~22年	衣浦港改修工事	8,300	壓密砂樁(SCP)
62	名古屋市交通局	平成21~22年	高速度鐵道第6号線	2,900	路體土改良
63	国交省中部地方整備局	平成21~22年	愛知県鍋田埠頭	22,000	壓密砂樁(SCP)

編號	辦理機關	施工時間	施工現場	數量 (m ³)	用途
64	長崎港湾漁港事務所	平成21~23年	長崎港改修工事	342,500	壓密砂樁(SCP)
65	広島港湾振興基希所	平成22年	広島市南区元宇品町地先	6,270	壓密砂樁(SCP)
66	愛媛県東予地方局	平成22年	愛媛県西条市六新田	10,300	壓密砂樁(SCP)
67	広島港湾振興事務所	平成22年	広島市南区元宇品町	4,300	壓密砂樁(SCP)
68	愛媛県東予地方局	平成22年	愛媛県西条市大新田	4,700	壓密砂樁(SCP)
69	長崎県	平成22年	長崎諫早市	15,000	壓密砂樁(SCP)
70	新浜市役所	平成23年	新居浜市務開町	20,300	壓密砂樁(SCP)
71	長崎県	平成23年	長崎県リッ倉	21,400	壓密砂樁(SCP)
72	広島県	平成23年	広島市南区元宇品町地先	16,400	壓密砂樁(SCP)
73	愛媛県	平成23年	愛媛県川之江	28,000	路基
74	今治市役所水産課	平成23年	今治市宮窪町友浦	7,200	壓密砂樁(SCP)
75	広島県	平成24年	広島県江田島市	9,500	壓密砂樁(SCP)
76	岡山県	平成24年	倉敷市玉島乙島	1,300	壓密砂樁(SCP)
77	広島県	平成24年	広島港坂地区	9,500	壓密砂樁(SCP)
78	長崎県長崎振興局	平成25年	長崎市	7,900	壓密砂樁(SCP)
79	愛媛県	平成25年	愛媛県	6,200	路床置換
80	釜石市	平成25年	岩手県	41,100	推積土改質
81	香川県高松土木事務所	平成25年	香川県高松港	4,500	壓密砂樁(SCP)(路域)
82	国土交通省東北地方整備局	平成25~26年	宮城県北上川下流都堤防	150,000	壓密砂樁(SCP)(路域)
83	愛媛県東予地方局	平成25年	愛媛県西条市	18,000	壓密砂樁(SCP)
84	愛知県	平成25年	愛知県	3,600	壓密砂樁(SCP)
85	広島県西部建設事務所	平成25年	広島県廿日市市	10,000	壓密砂樁(SCP)
86	長崎県港湾漁港事務所	平成25年	長崎県	35,000	壓密砂樁(SCP)
87	国土交通省中国地方整備局	平成25~26年	鳥取県境港市	95,000	壓密砂樁(SCP)
合計使用量: 8,930,281 m ³					

8.6.3 電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於災害重建

2011年日本東部發生大地震和海嘯，因此在Tohoku地區的港灣與港口重建工程中大量的使用電弧爐煉鋼爐碴(石)水化基質之人造石材Frontier Rock。主要使用1噸大小的石頭作為海港入口防波堤的表層保護石(armor stones)。圖8-14是在Ofunato港口入口處建造防波堤，其中11,000立方米的Frontier Rock被用作表層保護石，14,000立方米也被用於建造Kamaishi港口入口處的防波堤，對日後的災害重建非常有助益。

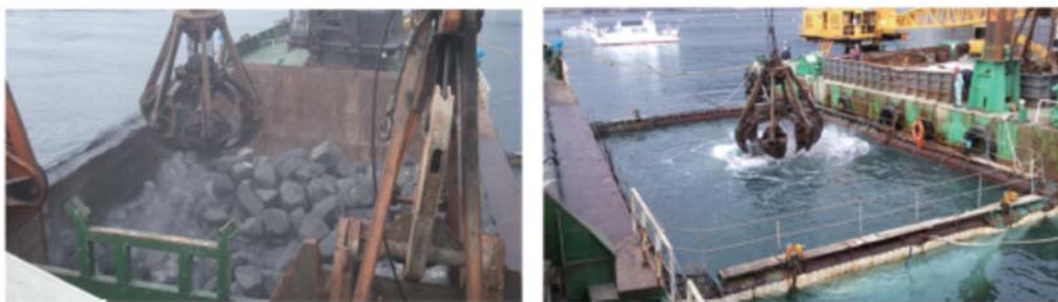


圖 8-14 Ofunato 港口入口處建造防波堤^[70]

第九章 施工綱要規範有關港灣工程相關規定評析

本章針對公共工程委員會頒布之共通性工項施工綱要規範及其他非屬共通性工項施工綱要規範中與港灣工程相關重要工項，擇要剖析，探討電弧爐煉鋼爐碴(石)作為再生粒料，符合應用於海事工程相關要求或規定。

9.1 海事工程防波堤(第 02391 章 V6.0)*

防波堤型式分為直立式、合成式及斜坡式等，本章說明合成式防波堤之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。使用材料相關章節：第 02317 章--構造物回填、第 02319 章--選擇性回填材料、第 02322 章--借土*、第 02361 章--土質改良、第 02395 章--港灣用沉箱*、第 03050 章--混凝土基本材料及施工一般要求、第 03150 章--混凝土附屬品、第 03430 章--現場預鑄混凝土構件*及第 03439 章--港灣用預鑄混凝土塊*等。

於海事工程，電弧爐煉鋼爐碴(石)主要可用於回填資材(電弧爐煉鋼爐碴(石)或電弧爐煉鋼爐碴(石)可拌合其他材料)、鋪面材料(整地應用)、港灣施工便道、堤後背填、地盤改良(礫石樁、擠壓砂樁及海域軟弱地盤土方置換)、斜坡堤(拋石與消波塊)及人工魚礁等，工法與施工步驟同天然級配，惟於設計階段需注意其物化特性及應用途徑，以達安全設計之基本要求。其中，若作為控制性低強度回填材料或其粒料，可另參考鋼鐵公會所出版之「電弧爐煉鋼電弧爐煉鋼爐碴(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊」^[4]進行配比設計與管理。

9.2 海事工程人行道底層與面層(第 02779 章 V4.0*、第 02778 章 V4.0)

本章說明港埠人行道工程中之路基整理、級配粒料基層或底層、混凝土底層及混凝土界石之有關作業，包括材料、設備、施工及檢驗等相關規定。相關章節包括：第 02336 章--路基整理、第 02722 章--級配粒料基層、第 02726 章--級配粒料底層、第 03050 章--混凝土基本材料及施工一般要求及第 02742 章--瀝青混

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

凝土鋪面。

9.3 海事工程生態護岸(第 02388 章)*

本章係說明河溪及渠道施作生態護岸所需材料、施工及維護等相關規定。施工方法包括砌石護岸、拋石護岸、箱籠護岸、植岩互層護岸、木排樁護岸、木框護坦及圓木渠道等，相關章節：01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02386 章--砌排石工、第 02381 章--拋石*及第 02374 章--石籠*。

9.4 海事工程圬工附屬品(第 04090 章 3.0)

本章說明圬工附屬設備之材料、施工及檢驗之相關規定。圬工如砌紅磚、混凝土磚及石材等作業所需組件、支撐系統及補強錨碇等。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 04220 章--混凝土磚及第 04240 章--高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚。

9.5 海事工程借土 (第 02322 章 V3.0)*

本章說明土石方工程中計算挖填平衡後，不足土石方之借土，包括挖裝、運輸、借土區設施之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02231 章--清除及掘除、第 02331 章--基地及路堤填築及第 02336 章--路基整理。

9.6 海事工程選擇性回填材料(第 02319 章 V4.0)

本章說明選擇性回填材料之材料、施工及檢驗等相關規定。工作範圍包括透水材料回填、砂回填、級配粒料回填、再生粒料回填等。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02722 章--級配粒料基層、第 02726 章--級配粒料底層。

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

9.7 海事工程構造物回填(第 02317 章 V3.0)

本章說明構造物回填之材料、施工及檢驗等相關規定。工作範圍包括各型構造物之基礎回填及公共管線管溝回填與夯實。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02251 章--地下構造物保護灌漿、第 02252 章--公共管線系統之保護、第 02253 章--建築物及構造物之保護、第 02255 章--臨時擋土樁設施、第 02256 章--臨時擋土支撐工法、第 02316 章--構造物開挖、第 02319 章--選擇性回填材料、第 02320 章--不適用材料、第 02321 章--基地及路幅開挖*、第 02322 章--借土*、第 02323 章--棄土、第 02331 章--基地及路堤填築、第 02333 章--透水砂層填築*。

9.8 海事工程開挖及回填(第 02315 章 V4.0)*

本章說明一般建築構造物開挖及回填所採用之材料、設備、施工與檢驗等之相關規定。工作範圍係依據契約及設計圖示之規定，凡指明為擋土牆、護坡、建築物、箱涵、鋼筋混凝土排水溝等構造物之開挖及回填工作等均屬之。相關章節：第 01725 章--施工測量及第 02320 章--不適用材料。

9.9 海事工程品質管理(第 01450 章 V8.0)

本章說明執行契約工作之品質管理規定，確保工程之成果符合設計及規範之品質目標。品質管理範圍：成立品管組織，訂定施工要領，訂定施工品質管理標準，訂定檢驗程序，訂定自主施工檢查表，建立文件、紀錄管理系統。品質管理應包括但不限於下列項目：(1)工藝水準。(2)製造商說明書。(3)製造商證明書及報告書。(4)廠商及製造商(供應商)之現場服務。(5)實驗室之服務。承包商應建立品質管理計畫。品質管理計畫必須由承包商直接管制施工、製造及安裝之品質，辦理檢驗與試驗，並確保本契約下之全部材料、設備、施工品質及所辦理之工程或工作均符合本契約之規定。

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

9.10 海事工程基地及路堤填築(第 02331 章 V3.0)

本章說明土石方工程中基地及路堤填築滾壓之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。工作範圍包括(1)填方區之填築滾壓(2)路堤之填築滾壓(3)鋪平(4)灑水(5)滾壓。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02220 章--工地拆除、第 02231 章--清除及掘除、第 02316 章--構造物開挖、第 02317 章--構造物回填、第 02320 章--不適用材料、第 02322 章--借土*、第 02336 章--路基整理、第 02610 章--排水涵管。

9.11 海事工程級配粒料底層(第 02726 章 V10.0)

本章說明使用於鋪面工程之級配粒料底層有關材料、設備、施工及檢驗等相關規定。規定之材料，得採用天然級配粒料、水泥、再生級配粒料或其混合料。

本章工作範圍涵蓋底層所用級配粒料之篩選、拌和、撒鋪、滾壓、維護等。相關章節：第 02336 章--路基整理、第 02722 章--級配粒料基層、天然級配粒料底層、再生級配粒料底層。

9.12 海事工程級配粒料基層(第 02722 章 V9.0)

本章說明使用於鋪面工程之級配粒料基層有關材料、設備、施工及檢驗等相關規定。規定之材料，得採用天然級配粒料、水泥、再生級配粒料或其混合料。

本章工作範圍涵蓋底層所用級配粒料之篩選、拌和、撒鋪、滾壓、維護等。相關章節：第 02336 章--路基整理。

9.13 海事工程混凝土磚(第 04220 章 V4.0)

本章說明混凝土磚之材料、施工與檢驗之相關規定。工作範圍：凡土木建築物牆身及附屬構造物包括圍牆等，於設計圖說註明為砌混凝土磚者。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 03210 章--鋼筋、第 04061 章--水泥砂漿、第 04090 章--圬工附屬品。

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

9.14 港灣工程用預鑄混凝土塊(第 03439 章 V3.0)*

本章說明港灣用現場預鑄混凝土塊構件之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。預鑄混凝土塊如雙 T 塊(Dolos)、鼎形塊(Tribar)、鈷形塊(Akmon)、方塊(Cube)、菱形塊(Tetrapod)等異形塊(消波塊)或其他各種形塊。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 01725 章--施工測量、第 03050 章--混凝土基本材料及施工一般要求、第 03210 章--鋼筋、第 03310 章--結構用混凝土、第 03390 章--混凝土養護。

9.15 碼頭(第 02392 章 V7.0)

本章說明板樁式、棧橋式、重力式等型式碼頭、護岸之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。基地工程包括(1)基地清除及掘除(2)土方工程(3)地質改良；下部結構包括(1)基礎工程:構造物開挖、回填及棄方處理、濾布及襯墊鋪設、拋石及整平；(2)基樁工程(3)鋼板樁工程(4)混凝土塊製作及吊放。擋土設施包括(1)板樁(2)預鑄混凝土製擋土牆(3)預鑄方塊。相關章節：第 01450 章--品質管理、第 02261 章--圍堰*、第 02291 章--工程施工前鄰近建築物現況調查、第 02316 章--構造物開挖、第 02317 章--構造物回填、第 02319 章--選擇性回填材料、第 02320 章--不適用材料、第 02322 章--借土*、第 02326 章--浚填*、第 02336 章--路基整理、第 02361 章--土質改良、第 02374 章--石籠*、第 02391 章--防波堤*、第 02394 章--碼頭附屬設施*、第 02451 章--基樁*。

9.16 港灣工程用沉箱(第 02395 章 V4.0)*

本章概要說明港灣採用混凝土沉箱時之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。相關章節：第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02319 章--選擇性回填材料、第 03050 章--混凝土基本材料及施工一般要求、第 03310 章--結構用混凝土、第 03390 章--混凝土養護。

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

9.17 港灣工程用緣石及緣石側溝(第 02770 章 V5.0)

本章說明於道路與步道復舊及新建工程中，緣石及緣石側溝之製造與安裝，包括材料、設備、施工及檢驗等相關規定。工作範圍(1)場鑄緣石(2)預鑄緣石(3)場鑄緣石側溝(4)預鑄緣石側溝。相關章節：第 02336 章--路基整理、第 03051 章--再生粒料混凝土、第 03150 章--混凝土附屬品、第 03390 章--混凝土養護第 03410 章--工廠預鑄混凝土構件。

9.18 港灣工程瀝青混凝土鋪面(第 02742 章 V10.0)

本章說明鋪面工程面層及底層之瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定。瀝青混凝土係將加熱之粗粒料、細粒料、瀝青膠泥及乾燥之礦物填縫料，按配合設計所定配合比例拌和均勻後，依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面，按本節規範之規定，或依工程司之指示，分一層或數層鋪築於已整理完成之底層、基層、路基或經整修後之原有面層上，滾壓至所規定之壓實度而成者。工作範圍：瀝青混凝土之產製、瀝青混凝土之運送、瀝青混凝土之鋪築及壓實。相關章節：第 02741 章--瀝青混凝土之一般要求、第 02745 章--瀝青透層、第 02747 章--瀝青黏層。

參考文獻

- [1]. 行政院環境保護署，廢棄物清理法. 2017.
- [2]. 行政院經濟部，經濟部事業廢棄物再利用管理辦法. 2021.
- [3]. 台灣鋼鐵工業同業公會，電弧爐煉鋼氧化渣瀝青混凝土鋪面使用手冊. 2018.
- [4]. 台灣鋼鐵工業同業公會，電弧爐煉鋼氧化渣(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊. 2019.
- [5]. 台灣鋼鐵工業同業公會，電弧爐氧化渣應用於道路級配粒料底層使用手冊. 審查中.
- [6]. CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料. 2000.
- [7]. 經濟部工業局，電弧爐還原渣安定化技術手冊. 2017.
- [8]. 鐵鋼スラグ協會，電氣炉スラグ~地域に根ざしたリサイクル資材. 2014.
- [9]. 曾仕文，電弧爐還原渣應用於控制性低強度材料及其安定化成效評估研究，碩士論文，國立中央大學. 2012.
- [10]. 鄭清元，電弧爐煉鋼爐渣特性及取代混凝土粗骨材之研究，碩士論文，國立中央大學. 2000.
- [11]. 刑金池，電弧爐氧化渣資源化利用研究，碩士論文，國立台北科技大學. 2000.
- [12]. 行政院環境保護署，土壤汙染管制標準. 2011.
- [13]. 台灣鋼鐵工業同業公會，電弧爐煉鋼還原渣(石)應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊. 審查中.
- [14]. 江奇成、湛淵源、林庭亦、黃兆龍，電弧爐煉鋼還原渣應用於高性能混凝土之特性研究，中國土木水利工程學刊，16(1)，p.167-178. 2004.
- [15]. 黃兆龍、鄭大偉、廖敏志、江奇成、杜嘉崇、黃重福，鋼渣應用於混凝土製品之研究. 2018.
- [16]. 經濟部工業局，電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊. 2001.
- [17]. 台灣鋼鐵工業同業公會/國立中央大學，氧化渣基本物理性質試驗，台灣台北. 2017.

- [18]. 一般財団法人沿岸技術研究センター, 港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル. 2015.
- [19]. 林志杰, 應用電弧爐氧化渣(石)於高性能低強度材料之研究, 碩士論文, 淡江大學. 2003.
- [20]. 傅國柱, 還原渣取代部分水泥之研究, 碩士論文, 國立中央大學. 2002.
- [21]. 中國鋼鐵股份有限公司、中龍鋼鐵股份有限公司, 轉爐石海事工程使用手冊. 2017.
- [22]. 行政院公共工程委員會, 施工綱要規範第 02319 章 V4.0 選擇性回填材料. 2013.
- [23]. 行政院公共工程委員會, 施工綱要規範第 02317 章 V3.0 構造物回填. 2013.
- [24]. 行政院環境保護署, 有害事業廢棄物認定標準. 2017.
- [25]. 行政院環境保護署, 應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品. 2018.
- [26]. (一財)土木研究センター, 建設発生土利用技術マニュアル第 4 版. 2013.
- [27]. 篠崎晴彦、土田孝、鈴木操, 製鋼スラグサンドコンパクションパイル改良地盤の沈下変形動態観測結果報告. 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.
- [28]. 高橋英紀、北詰昌樹、中村健、丸山憲治, SCP 改良地盤の極限状態に着目した埋立載荷模型実験. 土木学会論文集, 64(2): p. 267-281, 2008.
- [29]. 高橋英紀, 砂杭・粘性土複合地盤の破壊過程に関する基礎的研究. 京都大学学位論文, p. 240, 2008.
- [30]. 高橋英紀、森川嘉之、篠崎晴彦、木下洋樹、丸山憲治, 固結特性を有する鉄鋼スラグを用いた SCP 改良地盤の埋立載荷荷重に対する安定性. 地盤工学ジャーナル, 6(1): p. 81-95, 2011.
- [31]. 高橋英紀、森川嘉之, 固結特性を有する粒状体を用いた SCP 改良地盤の安定性に関する実験的研究. 港湾空港技術研究所報告, 49(2), 2010.
- [32]. 行政院公共工程委員會, 施工綱要規範第 02722 章 V9.0 級配粒料基層. 2018.
- [33]. 行政院公共工程委員會, 施工綱要規範第 02726 章 V10.0 級配粒料底層. 2018.
- [34]. 中華民國大地工程學會, 地盤改良設計施工及案例. 科技圖書, 2006.

- [35]. 邱永芳、李賢華、蔡立宏、黃茂信, 可循環式綠色能源結合港灣結構以建構綠色港灣之發展研究. 交通部運輸研究所, 2017.
- [36]. 行政院環境保護署, 再生粒料環境用途溶出程序 (NIEA R222.10C). 2019.
- [37]. 劉國忠, 煉鋼爐渣資源化技術與未來推展方向. 環保月刊. 1(3): p. 114-136, 2001.
- [38]. National Slag Association, <http://www.nationalslag.org>
- [39]. Nippon Slag Association, <http://www.slg.jp>
- [40]. 森野奎二教授個人網站, <http://aitech.ac.jp/~morino/morinoHP.htm>
- [41]. 日本東京白煉瓦株式會社之資源回收產品目錄.
- [42]. Robert, B. and A. Ken, New Uses for Steel Mill Slag— A Valuable Resource form Waste. Innovation & Construction Technology, 21: p. 1-6, 2001.
- [43]. 李勇、孫樹杉、王建華、朱桂林, 高渣礦渣水泥的研究, 冶金爐渣處理與利用國際研討會, 北京市. p. 175-182, 1999.
- [44]. 社團法人中華民國企業永續發展協會, 企業永續發展簡訊. 44: p. 5-6, 2001.
- [45]. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2020, Reston, Virginia, USA. 2020.
- [46]. U.S. Geological Survey, Slag - Iron and Steel [Advanced Release] 2017 Minerals Yearbook, Reston, Virginia, USA. 2020.
- [47]. 安藤工業株式会社, <http://www.andokogyo.co.jp/civil04/>
- [48]. Bilbaoport, Extension Works on Punta Sollana Breakwater Project in Operation, <https://www.bilbaoport.eus/en/news/extension-works-punta-sollana-breakwater-project-operation/>
- [49]. Aldeeky, H. and O. Al Hattamleh, Experimental study on the utilization of fine steel slag on stabilizing high plastic subgrade soil. Advances in Civil Engineering, 2017.
- [50]. Chan, C.-M., T.-A. Mizutani, and Y. Kikuchi, Reusing dredged marine clay by solidification with steel slag: a study of compressive strength. International Journal of Civil and Structural Engineering, 2(1): p. 270, 2011.
- [51]. Chan, C.-M. and A.N. Abdul Jalil, Some insights to the reuse of dredged marine soils by admixing with activated steel slag. Advances in Civil Engineering, 2014.
- [52]. Manso, J.M., V. Ortega-López, J.A. Polanco and J. Setién , The use of ladle

- furnace slag in soil stabilization. *Construction and Building Materials*, 40: p. 126-134, 2013.
- [53]. Shen, J., Y. Xu, J. Chen, J. and Y. Wang, Study on the stabilization of a new type of waste solidifying agent for soft soil. *Materials*, 12(5): p. 826, 2019.
- [54]. Xu, B. and Y. Yi, Soft clay stabilization using ladle slag-ground granulated blastfurnace slag blend. *Applied Clay Science*, 178:105136, 2019.
- [55]. Shalabi, F.I., I.M. Asi, and H.Y. Qasrawi, Effect of by-product steel slag on the engineering properties of clay soils. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(4): p. 394-399, 2017.
- [56]. Ashango, A.A. and N.R. Patra, Behavior of expansive soil treated with steel slag, rice husk ash, and lime. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(7): 06016008, 2016.
- [57]. Ismail, A., S. Awad, and M. Mwafy, The utilization of electric arc furnace slag in soil improvement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(1): p. 401-411, 2019.
- [58]. Akinwumi, I., Soil modification by the application of steel slag. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 58(4): p. 371-377, 2014.
- [59]. Akinmusuru, J.O., Potential beneficial uses of steel slag wastes for civil engineering purposes. *Resources, Conservation and Recycling*, 5(1): p. 73-80, 1991.
- [60]. Poh, H., G.S. Ghataora, and N. Ghazireh, Soil stabilization using basic oxygen steel slag fines. *Journal of materials in Civil Engineering*, 18(2): p. 229-240, 2006.
- [61]. Al-Amoudi, O.S.B., A.A. Al-Homidy, M. Maslehuddin, T.A. Saleh, Method and mechanisms of soil stabilization using electric arc furnace dust. *Scientific Reports*, 7(1): p. 1-10, 2017.
- [62]. Zumrawi, M.M. and A.A.-A.A. Babikir, Laboratory study of steel slag used for stabilizing expansive soil. *University Of Khartoum Engineering Journal*, 6(2), 2017.
- [63]. Abdi, M.R., Effects of basic Oxygen steel slag (BOS) on strength and durability of kaolinite. *International Journal of Civil Engineering*, 9(2): p. 81-89, 2011.
- [64]. Yildirim, I.Z., M. Prezzi, M. Vasudevan and H. Santoso, Use of soil-steel slag-class-C fly ash mixtures in subgrade applications, Purdue University. Joint

- Transportation Research Program, 2012.
- [65]. 東京都地質調査業協会, 技術ノート (No.49) 特集: 東京国際空港. 2017.
 - [66]. 上野隆史, 羽田空港沖合展開事業の詳細内容, <http://www.tamagawa-kisui.jp/ref/ref-18.html>
 - [67]. 五洋建設株式会社, 東京国際空港 D 滑走路建設外工事, http://www.pentaocean.co.jp/business/project/pj_story/024.html
 - [68]. Takahashi, T. and K. Yabuta, New Applications for Iron and Steelmaking Slag, in NKK Technical Review. 2017.
 - [69]. Kazuya, Y., T. Hirokazu, and T. Tatsuhito, New Applications of Iron and Steelmaking Slag Contributing to a Recycling-oriented Society†, in JFE Technical Report. 2006.
 - [70]. Takeshi, M., T. Hiroyuki, and W. Keiji, Iron and Steel Slag Products and New Effective Utilization Technologies, in JFE Technical Report. 2018.

附錄一 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表 及附件

110.06.24發布版本

再利用種類	再利用管理方式
編號八、電弧爐煉鋼爐渣(石)	一、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。 二、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、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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。 三、再利用機構應具備下列資格：依法辦理工廠登記或符合免辦理登記規定之工廠，其產品至少為下列之一項：水泥、瀝青混凝土粒料、瀝青混凝土、控制性低強度回填材料用粒料、控制性低強度回填材料、鋪面工程之基層或底層級配粒料、紐澤西護欄、非構造物用預拌混凝土粒料、非構造物用預拌混凝土、水泥製品用粒料、混凝土(地)磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋。 四、運作管理： (一)再利用機構應符合下列規定： 1、機構設置應符合下列規定： (1)廠房之建築應堅固，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料。 (2)工廠廠區周圍應設置二、四公尺高結構體圍牆或其他適當阻隔之設施，廠內及廠外連接主要交通之道路應鋪設瀝青混凝土或水泥混凝土路面。 (3)廠內各作業場所應明確區隔，製造作業區與行政

	作業區應明確劃分。 (4)原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應適當隔離。 (5)工廠內部應有充分採光、照明及通風設備。 2、受託再利用前應依下列規定簽訂契約書，並於訂定契約書之次日起三十日內，由安定化處理執行單位連線至指定申報區提報該契約書；其變更時，亦同： (1)氧化渣（石）：再利用於非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途者，應與產源事業簽訂記載高壓蒸氣安定化處理執行單位（產源事業或再利用機構）、方式及處理時間之契約書。 (2)還原渣（石）：再利用於水泥生料用途以外者，應與產源事業簽訂記載安定化處理（含高壓蒸氣處理）執行單位（產源事業或再利用機構）、方式及處理時間之契約書。 3、再利用應符合下列規定： (1)再利用於水泥生料用途以外者，應經破碎、磁選及篩分等處理。但於產源事業出廠前已經前述處理程序者，不在此限。 (2)再利用機構依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備安定化處理設備。 (3)再利用於瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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。氧化渣（石）經破碎、磁選及篩分之產出物連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。
--	--

	(4)再利用於非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途，且依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備高壓蒸氣處理設備。 (5)電弧爐煉鋼爐渣（石）經高壓蒸氣處理須維持爐內壓力至少在20.1 kgf/cm²且持續三小時，其產出物應至少每月委託檢測機構依附件一熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得進行再利用。 (6)膨脹量檢測之採樣，應會同檢測單位執行，且再利用機構應於採樣前十日，連線至指定申報區提報採樣通知。變更採樣時間及地點未於十日前重新提報者，其檢測結果不予採信。 (7)膨脹量檢測報告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，依該認證機構所定格式辦理，但熱壓膨脹試驗之檢測報告得由學術單位或具檢驗能力之實驗室依其所定格式辦理。再利用機構應於每月月底前，連線至指定申報區提報前月膨脹量檢測報告。 (8)再利用於水泥生料用途者，須具備水泥旋窯設備。 (9)再利用於控制性低強度回填材料、非構造物用預拌混凝土用途者，除破碎、磁選及篩分設備外，其餘再利用製程設備僅限用於產製本編號之再利用用途產品。 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再生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：○·一 毫克/公升。 (2)鎘：○·○五 毫克/公升。
--	--

	(3)鉻：○·五 毫克/公升。 (4)銅：十 毫克/公升。 (5)砷：○·五 毫克/公升。 (6)汞：○·○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$\leq$○·一 (ng I-TEQ/g)。 5、前目檢測之採樣應由檢測單位執行，且再利用機構應於採樣前十日，連線至指定申報區提報採樣通知。變更採樣時間及地點未於十日前重新提報者，其檢驗結果不予採信。檢測報告應由環保主管機關核發許可證之檢驗測定機構依其所定格式辦理，並由再利用機構於每年三月前連線至指定申報區提報上年度檢測報告。 6、再利用用途之產品應符合下列規定： (1)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。但品質規範項目屬現地試驗者，不受本文檢測實驗室資格之限制。 (2)再利用機構應於每月月底前，連線至指定申報區提報前月再利用產品檢測報告及工程採購契約書。但再利用產品以該項產品之國家標準或公共工程共通性工項施工綱要規範為品質規範者，得免提報工程採購契約書。 7、再利用用途之產品屬鋪面工程之基層或底層級配粒料者，其使用應符合下列規定： (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國家重要濕地、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。 (6)鋪面工程之面層應採用瀝青混凝土面層、水泥混凝土面層或磚材面層，且底層施工完成後六個月內，應完成面層施作。 8、再利用用途之產品屬瀝青混凝土粒料者，應符合下列規定： (1)瀝青混凝土粒料產品銷售對象以瀝青混凝土廠為限。 (2)再利用機構應與產品銷售對象簽訂買賣契約書，並於瀝青混凝土粒料產品出廠前，連線至指定申報區提報該契約書。變更契約書內容或終止契約時，亦同。 (3)再利用產品銷售對象，其廠內瀝青混凝土粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該銷售對象。 (4)於再利用產品銷售對象所產製之瀝青混凝土產品出廠後四日內，連線至指定申報區，提報該批再利用產品所使用本編號再利用種類之產源事業、產品使用對象、使用量、庫存量及瀝青混凝土之產生量、銷售對象、出廠時間、銷售量、再生粒料使用量、工程名稱、使用地點及範圍。 9、再利用用途之產品屬控制性低強度回填材料用粒料者，應符合下列規定： (1)再利用產品使用對象僅限所屬同一法人所設置之控制性低強度回填材料廠，且產製之控制性低強度回填材料僅限供作管溝回填及公共工程道路之路基、基層、底層、坑洞或其他回填用途使用。但電弧爐煉鋼爐碴（石）以高壓蒸氣處理設備安定化，並符合本款第三目之五規定者，其再利用
--	--

	產品使用對象不受所屬同一法人之限制。 (2)再利用產品使用對象非屬同一法人者，再利用機構應與產品銷售對象簽訂買賣契約書，並應於控制性低強度回填材料用粒料產品出廠前，連線至指定申報區提報該契約書。變更契約書內容或終止契約時，亦同。 (3)再利用產品使用對象，其廠內控制性低強度回填材料用粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該使用對象。 (4)於再利用產品使用對象所產製之控制性低強度回填材料產品出廠後四日內，連線至指定申報區，提報該批再利用產品所使用本編號再利用種類之產源事業、產品使用對象、使用量、庫存量及控制性低強度回填材料之產生量、銷售對象、出廠時間、銷售量、再生粒料使用量、工程名稱、使用地點及範圍。 10、再利用用途之產品屬非構造物用預拌混凝土粒料者，應符合下列規定： (1)非構造物用預拌混凝土粒料銷售對象以預拌混凝土廠為限，且產製之預拌混凝土僅得供作非構造物用途及製造業與倉儲業廠區之建築物主要構造以外用途使用。 (2)再利用機構應與產品銷售對象簽訂買賣契約書，並應於非構造物用預拌混凝土粒料產品出廠前，連線至指定申報區提報該契約書。變更契約書內容或終止契約時，亦同。 (3)再利用產品銷售對象，其廠內非構造物用預拌混凝土粒料庫存量超過前一個月之累積使用量時，應停止運送再利用產品至該銷售對象。 (4)於再利用產品銷售對象所產製之非構造物用預拌混凝土產品出廠後四日內，連線至指定申報區，提報該批再利用產品所使用本編號再利用種類之產源事業、產品使用對象、使用量、庫存量與非構造物用預拌混凝土之產生量、銷售對象、出廠時間、銷售量、再生粒料使用量、工程名稱、使用地點及範圍。 11、再利用用途之產品屬水泥製品用粒料者，應符合下列規定：
--	--

	(1)水泥製品用粒料銷售對象以水泥及混凝土製品製造業為限。 (2)再利用機構應與產品銷售對象簽訂買賣契約書，並應於水泥製品用粒料產品出廠前，連線至指定申報區提報該契約書。變更契約書內容或終止契約時，亦同。 12、再利用用途之產品屬瀝青混凝土粒料、控制性低強度回填材料用粒料、鋪面工程之基層或底層級配粒料、非構造物用預拌混凝土粒料及水泥製品用粒料者，應依下列規定申報流向： (1)再利用產品之申報規定及遞送聯單遞送方式，依附件三辦理。 (2)再利用產品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。 (3)鋪面工程之基層或底層級配粒料再利用產品，經本部解除案件編號申報列管者，再利用機構應停止供料至該案產品買賣契約書所載之使用地點。 13、再利用用途產品為瀝青混凝土、控制性低強度回填材料、鋪面工程之基層或底層級配粒料、紐澤西護欄或非構造物用預拌混凝土者，其銷售應符合下列規定： (1)鋪面工程之基層或底層級配粒料產品銷售對象以營造業為限。 (2)控制性低強度回填材料產品僅限供作管溝回填及公共工程道路之路基、基層、底層、坑洞或其他回填用途使用。 (3)非構造物用預拌混凝土產品僅得供作非構造物用途及製造業與倉儲業廠區之建築物主要構造以外用途使用。 (4)紐澤西護欄產品不得堆疊使用。 (5)再利用機構應於產品出貨單上載明使用本編號之再利用種類。 (6)再利用機構應與鋪面工程之基層或底層級配粒料產品使用者簽訂記載本管理方式規定使用限制、使用用途工程名稱、工程單位、施工期程及產品使用地點、用途（道路、人行道、貨櫃場或停車場之鋪面工程）與數量之買賣契約書，並附具工
--	--

	程圖樣及說明書；另再利用產品供作公共工程使用者，應取得工程主辦機關同意使用再生粒料證明文件，供作其他工程使用者，應取得經土地所有權人同意書面文件。 (7)再利用機構於鋪面工程之基層或底層級配粒料產品出廠前，應先連線至指定申報區，提報該產品買賣契約書、工程圖樣及說明書，以及工程主辦機關同意使用再生粒料證明文件或土地所有權人同意書面文件，且經中央目的事業主管機關同意後，始得出料。變更契約書內容或終止契約時，亦同。 (8)再利用用途產品除鋪面工程之基層或底層級配粒料者外，再利用機構應於產品出廠後四日內，連線至指定申報區，提報該批再利用產品銷售對象、出廠時間、使用用途工程名稱、工程單位、該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、數量、再生粒料使用量、使用地點及範圍。 14、再利用用途產品貯存量超過該再利用用途產品前六個月之累積銷售量時，應停止收受廢棄物進廠再利用。 15、再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理。 16、再利用機構於堆置、輸送或以車輛運輸逸散性粒狀污染物質及從事易致粒狀污染物逸散之製程、操作或裝卸作業時，應依固定污染源逸散性粒狀污染物空氣污染防制設施管理辦法相關規定辦理。 (二)產源事業應符合下列規定： 1、產源事業不得將電弧爐煉鋼產生之集塵灰及地面、廠房及屋頂清潔收集之塵灰混入氧化渣(石)或還原渣(石)再利用，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測一次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度(pH值)，連續三個月之pH檢測值小於十二·五者，得每年至少檢測一次。 2、前目檢測之採樣應由檢測單位執行，且產源事業應於採樣前十日，連線至指定申報區提報採樣通知。變更採樣時間及地點未於十日前重新提報者，其檢驗
--	--

	結果不予採信。檢測報告應由環保主管機關核發許可證之檢驗測定機構依其所定格式辦理，並由產源事業於每年三月前連線至指定申報區提報上年度檢測報告。 3、委託再利用前應依下列規定簽訂契約書，並於訂定契約書之次日起三十日內，由安定化處理執行單位連線至指定申報區提報該契約書；其變更時，亦同： (1)氧化渣（石）：再利用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、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途者，應與再利用機構簽訂記載高壓蒸氣安定化處理執行單位（產源事業或再利用機構）、方式及處理時間之契約書。 (2)還原渣（石）：再利用於水泥生料用途以外者，應與再利用機構簽訂記載安定化處理（含高壓蒸氣處理）執行單位（產源事業或再利用機構）、方式及處理時間之契約書。 4、產源事業依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備安定化處理設備，且應符合下列規定： (1)再利用於瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料、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，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，始得送往再利用機構。 (2)再利用於非構造物用預拌混凝土粒料原料、非構造物用預拌混凝土原料、水泥製品用粒料原料、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途者，須具備高壓蒸氣處理設備。 (3)電弧爐煉鋼爐渣（石）經高壓蒸氣處理須維持爐內壓力至少在20.1 kgf/cm²且持續三小時，其產出
--	---

	物應至少每月委託檢測機構依附件熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得送往再利用機構。 5、膨脹量檢測之採樣，應會同檢測單位執行，且產源事業應於採樣前十日，連線至指定申報區提報採樣通知。變更採樣時間及地點未於十日前重新提報者，其檢測結果不予採信。 6、膨脹量檢測報告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，依該認證機構所定格式辦理，但熱壓膨脹試驗之檢測報告得由學術單位或具檢驗能力之實驗室依其所定格式辦理。產源事業應於每月月底前，連線至指定申報區提報前月檢測報告。 7、除再利用於水泥生料或經高壓蒸氣處理後作為水泥製品用粒料原料、混凝土（地）磚、空心磚、水泥瓦、水泥板、緣石、混凝土管、人孔、溝蓋之原料用途外，產源事業應於每月月底前，連線至指定申報區，確認前月再利用機構提報之電弧爐煉鋼爐渣（石）再利用產品中間與最終使用情形，如經確認無誤或逾時，則該筆資料不得再作任何修正。 (三)貯存地點應符合下列規定： 1、氧化渣（石）及還原渣（石）不得混合貯存。 2、氧化渣（石）及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，並得採用露天貯存方式，其貯存場所應設排水收集設施。但貯存於廠房內者，不在此限。 3、還原渣（石）及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，且貯存場所應為水泥混凝土鋪面及設有截流溝及排水收集措施，其四周應以防塵網或阻隔牆圍封，其總高度應達設計或實際堆置高度一．二五倍以上，並覆蓋防塵布或防塵網，覆蓋面積應達堆置區面積百分之八十以上。但貯存於廠房內者，不在此限。 4、電弧爐煉鋼爐渣（石）及再利用用途產品貯存高度不得超過工廠廠區周圍結構體圍牆或其他阻隔設施，且貯存場所毗鄰農業用地者，應設置截流溝渠。但貯存於廠房內者，不在此限。 (四)電弧爐煉鋼爐渣（石）送往再利用機構再利用前之清
--	--

	除，應由領有廢棄物清除許可證之公民營清除機構為之。 (五)第一款及第二款規定之提報作業，除採樣通知外，如提報日期適逢假日，得順延至次一工作日。
--	---

註：本手冊僅摘錄部分規定條款內容，詳細請至經濟部工業局網站下載，查詢網址：<https://www.moeaidb.gov.tw>。

附件一 熱壓膨脹試驗法：

一、取樣

電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料之取樣根據 CNS 485 附錄 A 之 A.1.2 「自料堆取樣」之方法規定採樣，取樣質量至少十公斤。

二、儀器裝置

- (一) 試體模具：製作水泥砂漿和混凝土試體所用之模具，須能製作有效標距為 250 公釐，且長×寬×高尺寸分別為 285 公釐×25 公釐×25 公釐（水泥砂漿）及 285 公釐×75 公釐×75 公釐（混凝土）之長方柱試體，以供長度變化量測之需。而用於量測混凝土長度變化，其試體模具須能製作有效標距為 250 公釐。

註 1. 有效標距係指用作參考點之兩金屬螺釘最內端之間的距離。試體模具組裝時，各部分應能緊密而牢固扣緊。模具應使用不銹鋼，或抵抗水泥漿或混凝土侵蝕之鋼或硬質金屬製成，邊框須足夠剛性防扭曲變形。

註 2. 模具兩端之端板於水泥材料凝結期間，應有一直徑 6 公釐之不銹鋼或不腐蝕金屬參考點正確位於固定位。參考點之位置應使其主軸（Principal axis）與試體主軸恰好相合，且螺釘伸入試體間之長度為 25 ± 0.15 公釐，兩螺釘最內端之距離為 250.0 ± 2.5 公釐，而此 250 公釐其為用予計算長度之有效標距。

- (二) 高壓蒸煮鍋：高壓蒸煮鍋為一種高壓蒸汽爐，裝有自動控制器，且具有破裂板或安全閥。加熱裝置於最大容積負荷（水加試樣）下，在加熱開關開啟後之四十五到七十五分鐘內，能將錶壓力提高至 20.8 kgf/cm^2 （絕對壓力約 21.8 kgf/cm^2 ），自動控制器應能將錶壓力維持在 $20.8 \pm 0.7 \text{ kgf/cm}^2$ 至少六小時之久。錶壓力 $20.8 \pm 0.7 \text{ kgf}$ ，相當於溫度 $215.7 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 。高壓蒸煮鍋之設計當於加熱開關關閉後之九十分鐘內，將錶壓力從 20.8 kgf/cm^2 降至低於 0.7 kgf/cm^2 。應裝有排氣閥，於加熱初期釋放空氣，並於冷卻末期釋放剩餘壓力。壓力錶之錶面直徑應為 11.4 公分，且刻度板之最大刻度為 40 kgf/cm^2 ，其每一刻度應不大於 0.25 kgf/cm^2 。於 20.8 kgf/cm^2 之工作壓力下，壓力錶可容許之誤差不得超過 0.20 kgf/cm^2 。

- (三) 長度校正器：用於測定試體長度變化之量具，其設計須能夾入所採尺寸之試體，並可適當與試體鑲嵌標釘圓頭部分接觸，且能快速地讀得測微錶之讀數。試體之長度變化，應用一量表或量測範圍至少有 7.5 公釐之長度測微器量測。儀器之刻度至少應到 0.025 公釐，在其範圍內任一點試驗時，其許可差不得大於 ± 0.051 公釐。各重複測量之許可差不得大於 0.025 公釐，校正器應有具備絕緣設置之因鋼（Invar Steel）製參考尺，以供校核用。

三、溫度與濕度

- (一) 製模室及乾料之溫度應維持在 20°C 至 27.5°C 。拌合用水、濕櫃及濕室之溫度應在 $23^\circ\text{C} \pm 1.7^\circ\text{C}$ 。

(二) 濕櫃或濕室為試體儲存設備，其相對濕度應不小於百分之九十。

四、高壓蒸煮鍋安全作業須知

(一) 壓力錶容量應為 40 kgf/cm^2 。若壓力錶容量太小，在高於規定之最大工作壓力下，實際壓力可能超出量測範圍；但若壓力錶容量過大，恐因指針移動幅度太小而無法注意，故操作人員應確保壓力錶指針無超過壓力錶之最大刻度。

(二) 測試壓力錶運作是否正常。請同時使用溫度計與壓力錶，以進行壓力錶運轉測試，及指出任何可能的故障與異常狀況。

(三) 維持自動控制器正常運作。

(四) 設置安全閥，使壓力於超過本試驗方法規定壓力 20.8 kgf/cm^2 之百分之六至百分之十（即約 23.2 kgf/cm^2 ）時吹洩。除非製造商對安全閥之維護提出具體說明，否則每年應委託製造商進行閥門檢查至少二次。檢查時應使用測試儀器進行測試，或藉由調整自動控制器，使高壓蒸煮鍋壓力達 23.2 kgf/cm^2 ，此時安全閥應自動開啟或調整至可自動開啟，且操作員應遠離安全閥。

註：應注意潛在意外狀況。例如：當自動控制失敗且安全閥卡住，乍看之下錶壓力讀值為零，但其實已超過壓力錶最大刻度之壓力。此狀況多最終才被檢測出，並於裝置發生故障前釋放該未知之過剩壓力。

(五) 進行高壓蒸煮鍋頂部拆卸時，應戴上隔熱手套以避免造成灼燙傷，而排氣閥應遠離操作人員。高壓蒸煮鍋頂部拆卸後，應將其傾斜，使蒸汽排出且遠離操作人員，避免遭高壓蒸煮鍋內液體燙傷。

(六) 壓力錶讀值為零時，不一定等同高壓蒸煮鍋內壓力為零，其仍存在潛在危險。

五、試體準備

(一) 模具準備：模具應薄塗礦物油；塗畢後設置不鏽鋼或不受侵蝕之金屬參考點，並使其保持乾淨及不沾油類。

(二) 拌製水泥砂漿：拌製水泥砂漿所用之細鋼碴粒料必須符合表 1「CNS 1240 混凝土粒料」之級配規定。

表 1 細鋼渣粒料之級配規定

試驗篩之標稱孔寬(CNS 386-1)	過篩百分率%
9.5 公釐	100
4.75 公釐	95-100
2.36 公釐	80-100
1.18 公釐	50-85
600 微米	25-60
300 微米	5-30
150 微米	0-10

以水泥砂漿所用材料之比例為一份水泥對 2.75 份細鋼渣粒料(以重量計)，水與水泥之比例(水灰比)採用 0.485，拌合方法按照「CNS 3655 水硬性水泥可塑稠性水泥漿及壩料之機械拌合法」規定之步驟，將所有拌合水置於拌碗內，然後加入水泥靜置三十秒鐘允許水泥吸收水分後，開動拌合器，以低速(140±5rpm)拌合三十秒鐘，在低速拌合過程，將全部量之細鋼渣粒料於三十秒鐘內緩慢加入，停止拌合器，將速率調為中速(285±10rpm)再拌合三十秒鐘，停止拌合器，將壩料靜置九十秒鐘，此期間之最初十五秒鐘迅速將附著於拌碗側面之壩料刮入拌碗內，然後開動拌合器，以中速(285±10rpm)拌合一分鐘，拌合成鋼渣粒料水泥砂漿。

(三)拌製混凝土：拌製混凝土所用之粗粒料採用粗鋼渣粒料(以重量計)。粗鋼渣粒料必須符合表 2「CNS 1240 混凝土粒料」試驗篩標稱孔寬 9.5 公釐之級配規定。

表 2 粗鋼渣粒料之級配規定

尺度編號	標稱尺度(公釐)	試驗篩標稱孔寬					
		12.5 (公釐) $\left(\frac{1}{2}\right)$	9.5 (公釐) $\left(\frac{3}{8}\right)$	4.75 (公釐) (No.4)	2.36 (公釐) (No.8)	1.18 (公釐) (No.16)	300 (微米) (No.50)
		過篩百分率(%)					
8	9.5~2.36	100	85~100	10~30	0~10	0~5	—
89	9.5~1.18	100	90~100	20~55	5~30	0~10	0~5
9(a)	4.75~1.18	—	100	85~100	10~40	0~10	0~5
註：依 CNS 14891 之定義，尺度稱號 9 之粒料為細粒料，但當其與尺度稱號 8 之粒料組合後，則可成尺度稱號為 89 之粗粒料。							

混凝土設計採用「CNS 12891 混凝土配比設計準則」進行配比設計，水與水泥之比例(水灰比)採用 0.45，拌合方法按照「CNS 1230 試驗室混凝土試體製作及養護法」6.1 拌和混凝土之規定步驟拌和鋼渣粒料混凝土

。將所有拌合水置於拌碗內，然後加入水泥靜置三十秒鐘後，開動拌合器，以低速（ $140\pm 5\text{rpm}$ ）拌合三十秒鐘，在低速拌合過程，將全部量之細鋼碴粒料於三十秒鐘內緩慢加入，停止拌合器，將壩料靜置九十秒鐘，此期間之最初十五秒鐘迅速將附著於拌碗側面之壩料刮入拌碗內，然後開動拌合器，以中速（ $285\pm 10\text{rpm}$ ）拌合一分鐘，先拌合成鋼碴粒料水泥砂漿。最後加入粗鋼碴粒料，及液狀的摻料（當需要添加摻料時，依「CNS 1230 試驗室混凝土試體製作及養護法」第 5.5 節規定辦理），可行的話，將摻料先溶於拌和水中。當所有材料加入後，轉動拌和三分鐘，停止三分鐘，再轉動拌和二分鐘，於停止動期間，拌和機開口處應予覆蓋，以防止水分蒸發散失。對於留存於拌和機和機內水泥砂漿，應事先予以補足，使傾出拌和機的混凝土具有正確的配比。

（四）模具試體：水泥砂漿或混凝土拌合後，利用鐵鏟或其他合適工具將水泥砂漿或混凝土置入模具內，且選取的工具應能確保可自拌和桶內取得代表性的試樣，為避免試體製作過程產生粒料分離，應用鐵鏟等工具將水泥砂漿或混凝土再拌均，將鐵鏟等工具沿模具頂緣置入水泥砂漿或混凝土，以確保水泥砂漿或混凝土均勻對稱置入，並將粗粒料在模具中分離之程度減至最低。在搗實前先用搗棒將模內混凝土撥勻，裝填最後一層試樣時，可多加一些試樣使搗實後水泥砂漿或混凝土剛好充滿模具。

（五）試體之儲存：模製完畢後，立即置放於濕櫃或濕室內至少二十小時；若於二十四小時前將試體自模內取出，應放於濕櫃或濕室內直到試驗時為止。

六、試驗步驟

（一）模製後二十四小時正、負三十分鐘，將試體自濕櫃或濕室內取出，量其長度，在室溫下放入高壓蒸煮爐架上，使試體四面均可與飽和蒸氣接觸。高壓蒸煮爐內應有充足水量，確保試體可於飽和蒸氣環境中進行試驗。高壓蒸煮爐內水量一般為高壓蒸煮爐容量百分之七至十。

（二）高壓蒸煮爐加熱之初，應將排氣閥出口開關打開直至有蒸氣噴出時為止（注意安全）。關上排氣閥開關，並以一定之升溫速率提高高壓蒸煮爐內溫度，使其於開啟加熱開關後之四十五分鐘至七十五分鐘內蒸氣壓力達到 20.8 kgf/cm^2 ，於此壓力維持六小時，而後關閉加熱開關，使高壓蒸煮爐冷卻，其冷卻速率在九十分鐘後將壓力降至低於 0.7 kgf/cm^2 以下，其餘壓力則略開排氣閥出口開關，使其緩慢釋放至與大氣壓力相等。將高壓蒸煮爐打開，將試體取出並置入溫度在 90°C 以上熱水中。試體周圍水溫以加冷水方法，使其均勻下降，並於十五分鐘內降至 23°C ，並維持於該穩定溫度至少十五分鐘，然後將試體表面拭乾，觀察及記錄試體完整性，包括外觀爆裂、局部爆孔、崩解及破裂現象，如試體結構完整則量測其長度。

註：如欲在 26.5°C 下作一切量測時，建議於自濕櫃或濕室內將試體取出後，放於溫度保持在 26.5°C 水內至少十五分鐘，然後取出，量長度再放入高壓蒸煮爐。從高壓蒸煮爐內取出試體後，在十五分鐘內將試體及水之溫

度降至 26.5℃，保持試體及水在此溫度十五分鐘之久，然後量其長度。

七、計算

試體蒸煮前後長度之差除以標距以百分率表示之，計算至百分之〇·〇一，即為水泥製品之熱壓膨脹。收縮（負膨脹）則於百分數前加一負號。

八、試驗報告

試驗報告應至少記載下列事項：

- （一）試驗法名稱
- （二）取樣方法及日期
- （三）試體之尺寸及長度變化率
- （四）試體完整性（有無外觀爆裂、局部爆孔、崩解及破裂現象）及圖示
- （五）試驗日期

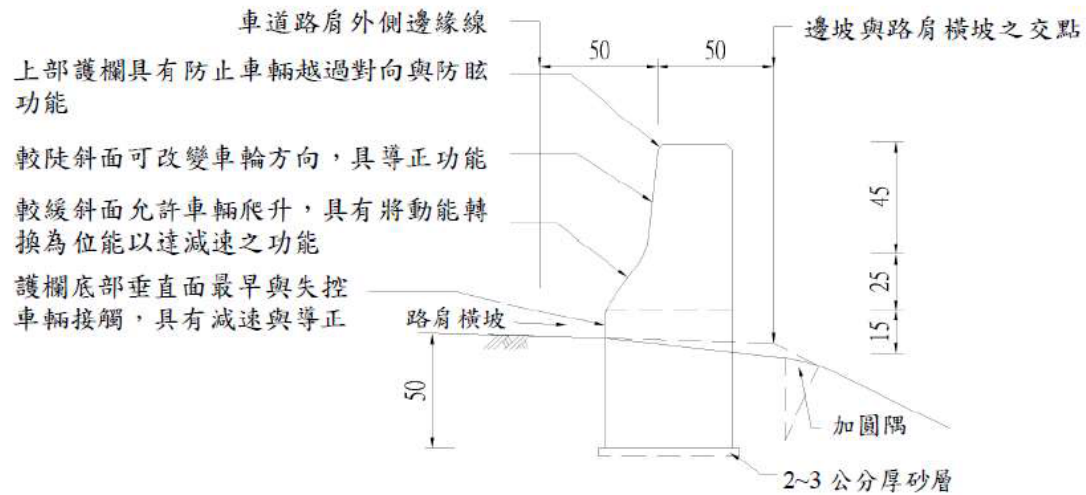
附件二 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用產品品質規範

一、紐澤西護欄以外再利用產品

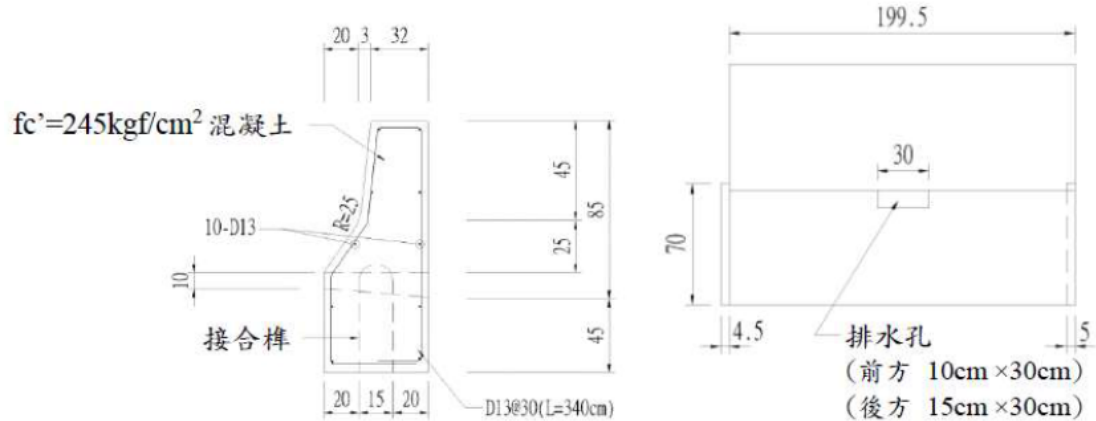
再利用產品項目	品質規範
水泥	符合 CNS 61 卜特蘭水泥之品質標準。
瀝青混凝土粒料	符合 CNS 15310 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料之品質標準。
瀝青混凝土	依公共工程共通性工項施工綱要規範第 02741 章瀝青混凝土之一般要求之品質項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。
控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒料	符合 CNS 1240 混凝土粒料之品質標準。
控制性低強度回填材料	依工程主辦機關施工規範第 03377 章 控制性低強度回填材料或工程採購契約書檢驗，並符合其品質規範。
非構造物用預拌混凝土	符合 CNS 3090 預拌混凝土之品質標準。
鋪面工程之基層或底層級配粒料	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 高壓混凝土地磚、CNS 14995 透水性混凝土地磚、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。

二、紐澤西護欄再利用產品

紐澤西護欄再利用產品品質規格應符合下列基本圖，其尺度除有註明者外，均以「公分」為單位。但再利用產品供作公共工程使用者，不在此限；其品質規格應符合工程採購契約書規範。



剖面圖



斷面及配筋

正面示意圖

附件三 鋪面工程之道路基層或底層級配粒料、瀝青混凝土粒料、控制性低強度回填材料用粒料、非構造物用預拌混凝土粒料及水泥製品用粒料再利用產品之申報規定及遞送聯單遞送方式

申報時機	執行者	申報規定	遞送聯單遞送方式
再利用產品出廠前	再利用機構	於再利用產品出廠前，應連線申報清運之日期時間、機具車號、用途、數量及清運、銷售使用單位、該批產品所使用本編號再利用種類之產源事業、再生粒料使用量等資料。但再利用產品屬鋪面工程之道路基層或底層級配粒料者，另應申報使用用途工程名稱、工程單位、使用地點及範圍。	應於完成申報作業後，列印遞送聯單一份及轉化為條碼形式之產品資訊交予清運者。
再利用產品清運	清運者	- 應於清運出廠時，於遞送聯單上載明「實際清運日期時間」、「實際清運機具車號」、「實際清運重量」等資料，經與再利用機構書面確認，作為其後續連線申報實際清運情形確認依據。 - 準用應裝置即時追蹤系統之清運機具及其規定，於再利用機構現場刷取遞送聯上之再利用機構條碼，以確認接收情形。 - 應於再利用產品清運出再利用機構後一日內載運至銷售使用單位。	遞送聯單經清運者收受後，隨同再利用產品運送。
再利用產品收受	清運者	- 再利用產品送抵銷售使用單位，應於遞送聯單上載明銷售使用單位之「實際收抵日期時間」、「實際收受重量」等資料，經與銷售使用單位書面確認，以確認送抵情形。 - 準用應裝置即時追蹤系統之清運機具及其規定，於銷售使用單位現場刷取遞送聯單上之銷售使用單位條碼。	- 確認完成收受再利用產品後，清運者應於次月月底前將前月完成簽收之遞送聯單送交予再利用機構留存。 - 遞送聯單申報程序結束。
最終確認	再利用機構	- 應依前開清運者於遞送聯單上載明資料，於再利用產品出廠後二日內，進行連線申報實際供應、清運、收受情形之最終修正確認作業，且應自行保存三年以供查核。 - 如相關軟硬體設施發生故障無法依前開各項申報機制辦理時，應於修護完成後一日內補行連線申報。	

附錄二 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範 港灣工程相關章名與章碼

章碼	章名
02210	地下調查
02220	工地拆除
02231	清除及掘除
02240	祛水
02251	地下構造物保護灌漿
02252	公共管線系統之保護
02253	建築物及構造物之保護
02255	臨時擋土樁設施
02256	臨時擋土支撐工法
02291	工程施工前鄰近建築物現況調查
02315	開挖及回填*
02316	構造物開挖
02317	構造物回填
02318	渠道開挖
02319	選擇性回填材料
02320	不適用材料
02321	基地及路幅開挖*
02322	借土*
02323	棄土
02324	土方測沉板*
02325	浚挖*
02326	浚填*
02331	基地及路堤填築
02332	營建剩餘土石方材料回填*
02333	透水砂層填築*
02336	路基整理
02383	拋石固床工*
02388	生態護岸*
02391	防波堤*

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

02392	碼頭*
02394	碼頭附屬設施*
02395	港灣用沉箱*
02396	港灣導航設施*
02457	預力混凝土基樁*
02459	預力混凝土板樁*
02460	鋼管樁*
02461	木樁*
02462	H 型鋼樁*
02463	鋼板樁
02468	反循環式鑽掘混凝土基樁
02469	全套管式鑽掘混凝土基樁
02610	排水管涵
02620	地下排水
02635	雨水排水*
02722	級配粒料基層
02726	級配粒料底層
02742	瀝青混凝土鋪面
02745	瀝青透層
02747	瀝青黏層
02751	水泥混凝土鋪面
02770	緣石及緣石側溝
02778	人行道面層
02779	人行道底層*
02898	標線
02966	再生瀝青混凝土鋪面

* 非屬共通性工項施工綱要規範，應符合工程主辦機關施工規定。

附錄三 CLSM 電弧爐煉鋼爐渣(石)供料計畫書

目錄

項目	內容	頁次
一、公司基本資料	1-1 公司簡介	1
二、電弧爐煉鋼爐渣(石)來源及製程	2-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)原料來源及製程	2
	2-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)原料環境相容性及輻射檢驗	3
	2-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用生產製程流程	4
三、品質管制措施	3-1 品管作業檢驗程序	6
	3-2 進廠允收管制及退運程序	7
	3-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)產品環境相容性檢驗及輻射檢驗	9
	3-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)產品浸水膨脹率及粒料品質	10
四、建議供料稽核方式	4-1 供料稽核方式	11
五、相關佐證資料 1 -再利用許可處理之資格證明文件及相關標章	略	
六、相關佐證資料 2 -產源端原料檢驗報告	略	
七、相關佐證資料 3 -再利用機構端產品檢驗報告	略	

一、公司基本資料

1-1 公司簡介

XX環保事業股份有限公司(以下簡稱XX公司)於民國90年4月創立，工廠設立於彰濱工業區線西區。民國92年12月XX一廠通過再利用檢核登記，屬於國內專業化爐碴再利用工廠，再利用項目包括：電弧爐煉鋼爐碴(石)、旋轉窯爐碴、感應電爐爐碴、化鐵爐碴及廢鑄砂工廠之鑄砂，核准再利用總檢核量為45,100公噸/月，目前電弧爐煉鋼爐碴(石)再利用檢核量為31,000公噸/月。爐碴再利用產品包括：瀝青混凝土粒料原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、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。為因應再利用產品之尾礦粒料應用，XX公司於101年01月增設二廠為預拌混凝土廠，設置預拌混凝土作業設備，粒料原料由一廠供應，生產控制性低強度回填材料(CLSM)，最大生產量為26,400公噸/月，屬於爐碴再利用法規管制之同一法人預拌混凝土廠。

XX公司自成立以來，秉著『用心服務、創新成長、良心事業』經營理念，不斷地，服務國內相關鋼鐵產業之電弧爐煉鋼爐碴(石)、鑄造業鑄造工廠產生廢鑄砂資源化工作，屬於國內主要資源再利用爐碴的再利用廠。XX公司電弧爐煉鋼電弧爐煉鋼爐碴(石)粗、細粒料具有內政部建築研究所再生綠建材標章產品認證，相關工廠登記、營業登記、再利用檢核許可文件及再生綠建材標章證書於「五、相關佐證資料 1」。

二、電弧爐煉鋼爐渣(石)來源及製程

2-1 電弧爐煉鋼爐渣(石)原料來源及製程

電弧爐煉鋼廠爐渣是將資源回收的廢鐵、廢鋼之原料在高溫熔爐中反應後煉製成不同的鋼類產品。國內廢鐵回收率高達 94%，台灣資源回收的廢鐵、廢鋼，都可以透過煉鋼程序去化，而且可以 100%、不限次數的回收再利用。國內典型的電弧爐煉鋼廠，採用民間收集的廢鐵、拆船、廢汽車、工業廢鐵等為原料，將廢鐵、廢鋼在初步篩選後分類，在符合原料使用標準下，秤重加料，倒入電弧爐熔爐中，再以人造石墨電極插入爐體內廢鋼、廢鐵材料中，經過通電流，藉著石墨電極與廢鐵、廢鋼原料產生電弧，所產生高溫放熱溫度可達 1600℃ 以上，在此階段將廢鐵、廢鋼熔解。電弧爐煉鋼冶煉過程依其操作步驟可分為下列階段：

- (1) 入料期：廢鐵、廢鋼原料經由輻射檢測，符合原料使用標準後，倒入電弧爐煉鋼熔爐中，通常需要 2-3 批次投料過程。
 - (2) 熔解期：通以電流藉石墨電極與廢鐵、廢鋼原料間產生電弧，產生高溫放熱，溫度可達 1600℃ 以上熔解廢鐵、廢鋼。
 - (3) 氧化期：本階段主要為投入焦炭、石灰石及吹氧作業，目的是將鋼液中雜質與石灰石反應，形成氧化渣狀物與鋼液分離。
 - (4) 除渣一：本階段主要為氧化期產生的浮渣去除，將浮渣排入盛渣鋼桶，冷卻後浮渣即成為電弧爐煉鋼爐渣(石)。
 - (5) 還原期：本階段主要為投入合金鐵(如矽錳鐵、錳鐵合金)調整鋼液化學成分，達到各種鋼品化學成分需求，但因鋼液中含氧量過高，因此需加以還原，其作法是加入大量石灰石、焦碳等副料，使其與氧化物反應，產生還原浮渣並去氧脫硫，以純化鋼液。
 - (6) 除渣二：將還原期浮渣排入盛渣鋼桶，冷卻後浮渣即成為還原渣(石)。
 - (7) 出鋼：將鋼液澆鑄成鋼坯。故電弧爐煉鋼過程的化學反應分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期，排出的爐渣又分為電弧爐煉鋼爐渣(石)及還原渣(石)，二種不同性質的爐渣依「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」附表「編號八、電弧爐煉鋼爐渣(石)」規定分區貯放。
- XX 鋼鐵股份有限公司爐渣產生的流程如圖 2-1 所示。

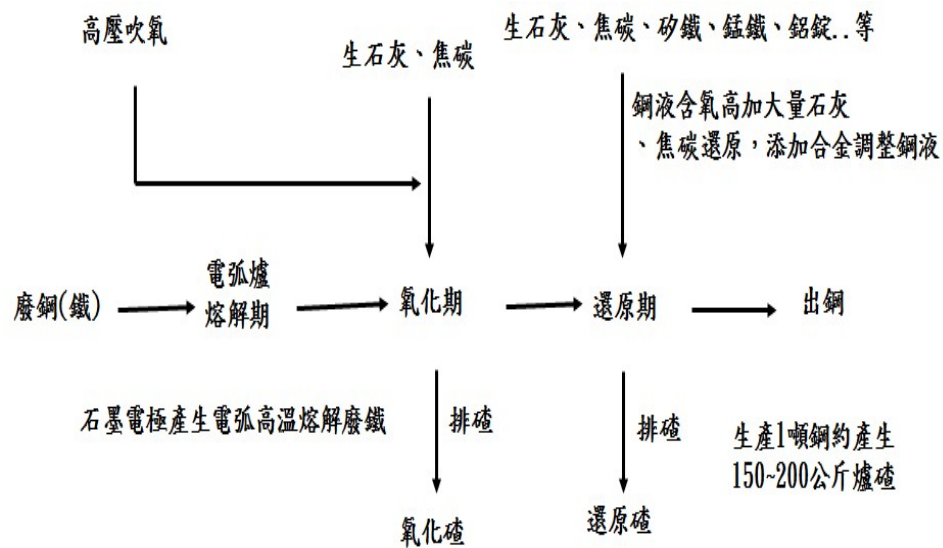


圖 2-1 X X鋼鐵公司爐渣產生流程

2-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)原料環境相容性檢驗及輻射檢驗

依照經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表編號八、電弧爐煉鋼爐渣(石)之規定，於出廠前，應依中央主管機關公告之檢測方法，每年至少檢測一次有毒重金屬及戴奧辛項目，經檢測未超過本法公告之有害事業廢棄物認定標準者，始得進行再利用；另至少每月檢測一次氫離子濃度(pH 值)，連續三個月之 pH 檢測值小於十二·五者，得每年至少檢測一次，事業機構需要進行每年度的環保檢驗與測試，在符合法規要求標準之下的鋼廠電弧爐煉鋼爐渣(石)才能進入再利用廠。

表 2-1 X X 鋼鐵產出電弧爐煉鋼爐渣(石)環境相容性檢驗

項目	檢驗方法	檢測值	管制標準	偵測極限
總汞 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<0.2	0.0002
總砷 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	ND	<5.0	0.0003
總銅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<15.0	0.021
總鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<5.0	0.018
總鎘 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<1.0	0.008
總鉛 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<5.0	0.126
六價鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	ND	<2.5	0.010
總鋇 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	1.31	<100	0.070
總硒 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	ND	<1.0	0.002
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	NIEA M801.13B	0.0007	≤1.0	0.0003
pH	NIEA R208.04C	10.71	2-12.5	-

表 2-2 X 鋼鐵產出電弧爐煉鋼爐渣(石)輻射劑量檢驗

檢測項目	檢測結果	管制標準	檢測方法
輻射劑量	≤1	≤1	建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點

*檢測單位/清華大學原子科學技術發展中心放射性核種分析實驗室

2-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用生產製程流程

X X 公司電弧爐煉鋼爐渣(石)再利用作業程序首先是將待處理的電弧爐煉鋼爐渣(石)原料從貯存區搬運至作業區，分別置放投料口，粗篩料桶可以順利將小於 100 mm 爐渣進入料桶，大於 100 mm 以上爐渣分離至堆置區，經由怪手、大鋼牙協助敲碎至尺寸小於 100 mm 以下，再重新投入，進入料桶，此料桶為原料進料緩衝區，經由輸送帶原料輸送至震動篩選機(三層篩)，分選出爐渣 5-18 mm，大於 18 mm 之爐渣，將由輸送帶送往錐碎機(石磨)進行至小於 18 mm 以下，其他再重新輸運至震動篩選機(三層篩)，處理過程中以磁選機及磁滾輪將含廢鐵產品磁選後，將產品區分成廢鐵及電弧爐煉鋼爐渣(石)粗、細粒料。粗粒料(石)尺寸

為二分石、三分石，細粒料尺寸<5 mm。本廠可以依客戶需求尺寸分佈的粒料調整粒料大小。

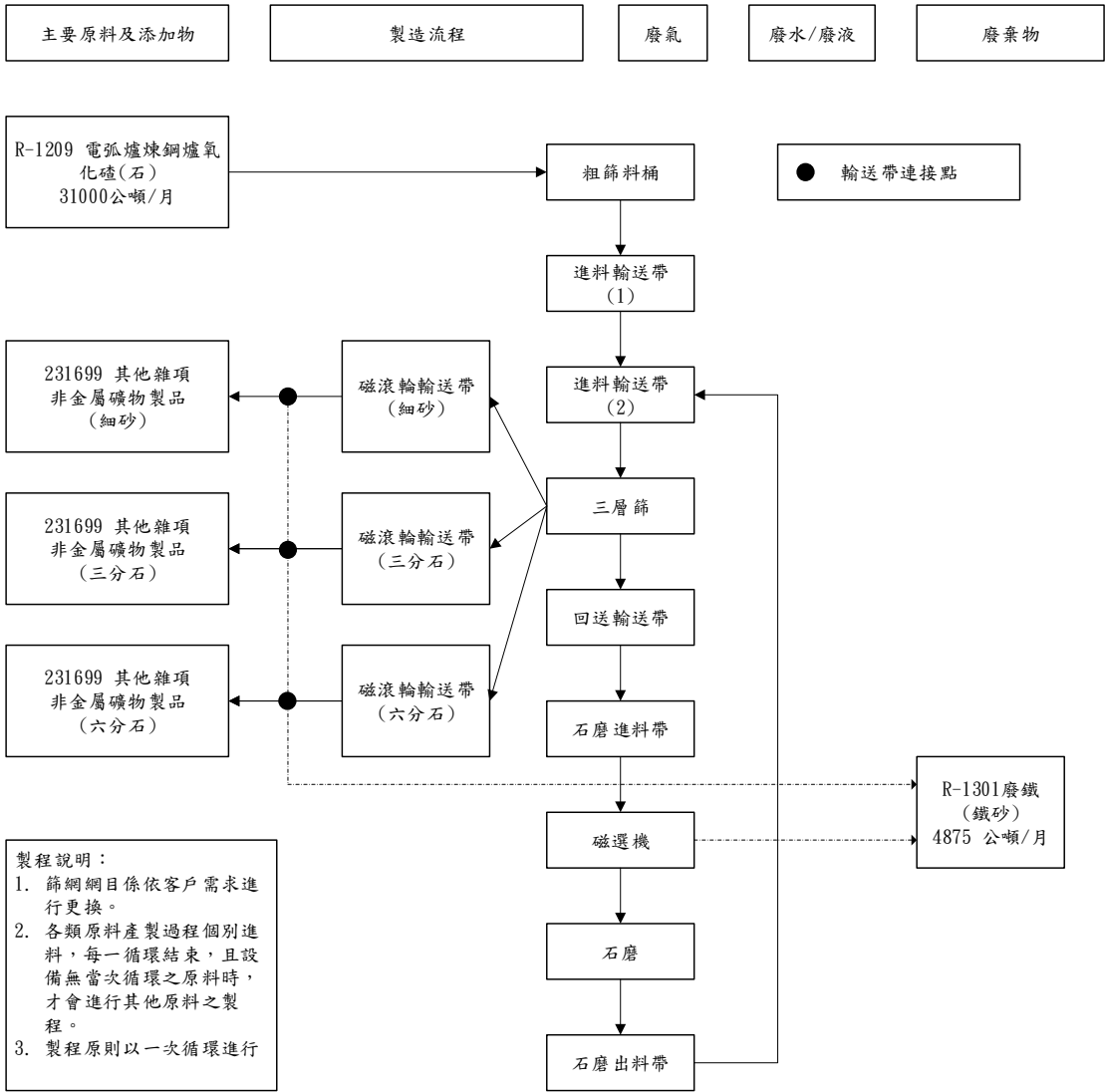


圖2-2 X X公司電弧爐煉鋼爐渣(石)生產製程流程圖

三、品質管制措施

3-1 品管作業檢驗程序

為確保本廠電弧爐煉鋼爐渣(石)產品之品質及符合法規之要求，依照經濟部事業廢棄物再利用管理辦法附表編號八、電弧爐煉鋼爐渣(石)之規定，事業機構需要進行檢驗與測試，在符合法規要求標準之下的鋼廠電弧爐煉鋼爐渣(石)才能進入工廠，經由本廠再利用處理後的產品，每年進行環保署認可實驗室的檢測產品有毒重金屬、戴奧辛、pH 一次；電弧爐煉鋼爐渣(石)經破碎、磁選及篩分之產出物應至少每月委託檢測機構採樣，並依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量未超過百分之〇．五者，始得進行再利用，連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。再利用產品品質檢測報告由經依標準法授權之實驗室認證機構所認可之實驗室，依該認證機構所訂格式辦理，再利用產品至少每月應檢測一次產品品質，CLSM 產品依公共工程共通性工項施工綱要規範之品質(性質)項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。針對需要提送供料計畫書之工程案，依建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點方法檢測不含輻射之項目。品管作業檢驗程序如圖 3-1 所示。

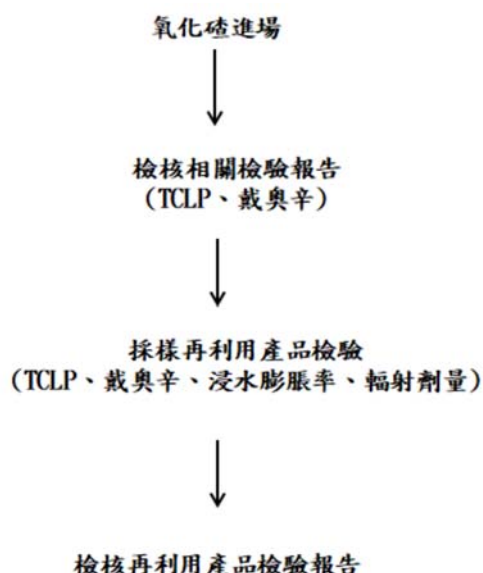


圖 3-1 XX 公司品管作業檢驗程序

3-2 進廠允收管制及退運程序

(1) 進廠允收管制

接獲事業機構通知有清除需求時，首先將評估確認本廠製程及貯存區是否足以接受此批原料，若再利用用途產品貯存量超過再利用用途產品前 6 個月之累積銷售量時，停止收受廢棄物進廠再利用。另外尚須考量製程工作安排，若無法承接時，將暫停派車前往清運。若無上述之虞慮之下，本廠將安排清運公司或本廠車輛前往清運。

清運車輛到達事業機構時將由司機確認聯單、清運之廢棄物種類及外觀判斷是否顏色或物狀是否有異於常態，若有不符過去經驗狀況，將由司機回報公司，暫停清運，若初步符合可以清運條件，才開始進行裝載作業。當清運車輛將原料運回工廠時，將由工廠人員確認聯單、清運之廢棄物種類及外觀判斷是否顏色或物狀是否有異於常態，若有異常將回報廠長進一步確認，若無法符合契約或廠內進料標準，則將原車運回事業機構。在符合允收標準可以收料條件下，進行原料過磅，依原料種類清運至適當貯存區下料。

(2) 退運機制

- a. 通知事業機構退運原因及預訂到達時間。
- b. 未卸料退運時於上網申報點選不接受並依該項程序退運。
- c. 經目測不符允收標準或突發性停業時，與產源事業協商退運時程及清運車輛，經確認符合要求及確認時間後上網申報退運作業，經與產源事業溝複檢收受，完成退運程序。
- d. 報備地方環保單位及聯單說明 進廠允收管制及退運程序如圖 3-2 所示。

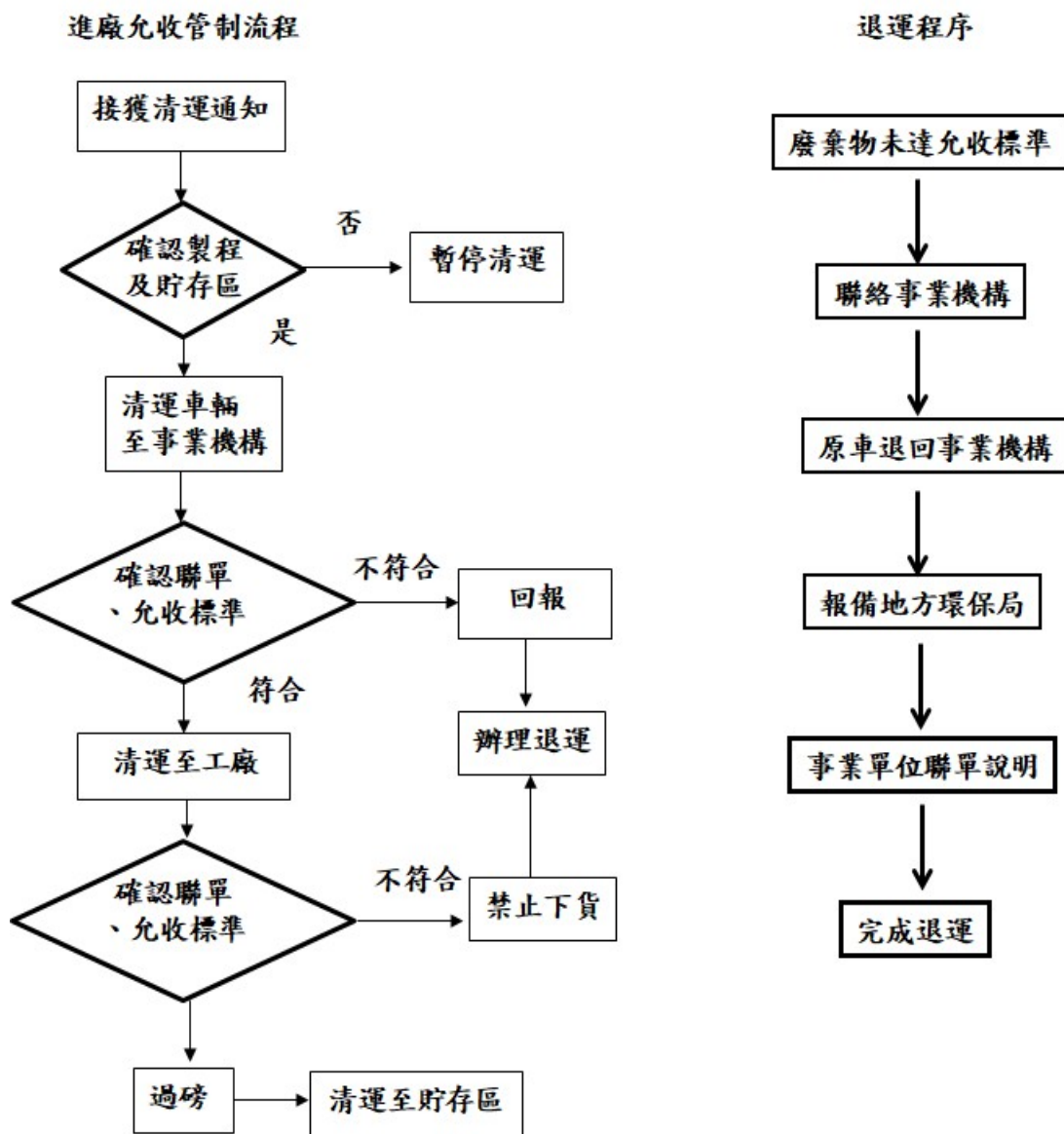


圖 3-2 進廠允收管制及退運程序

3-3 電弧爐煉鋼爐渣(石)產品環境相容性檢驗及輻射檢驗

針對電弧爐煉鋼爐渣(石)粒料產品的檢測主要分成有：

1. 有毒重金屬溶出及戴奧辛
2. 輻射
3. 浸水膨脹率
4. 粒料之品質檢驗

本廠電弧爐煉鋼爐渣(石)產品之有毒重金屬溶出及戴奧辛、輻射劑量檢測結果如表 3-1 與表 3-2 所示。

表 3-1 X X 公司電弧爐煉鋼爐渣(石)產品品質檢驗

項目	檢驗方法	檢測值	管制標準	偵測極限
汞 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	ND	<0.02	0.000077
砷 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	ND	<0.5	0.033
銅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<10.0	0.035
鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<0.5	0.033
鎘 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<0.05	0.034
鉛 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<0.1	0.034
鎳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<1	0.008
鋅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	ND	<50	0.035
戴奧辛 ng I-TEQ/g	NIEA M801.13B	≤0.1	≤0.1	-

表 3-2 X X 公司電弧爐煉鋼爐渣(石)產品輻射劑量檢驗

檢測項目	檢測結果	管制標準	檢測方法
輻射劑量	≤ 1	≤ 1	建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點

*檢測單位/清華大學原子科學技術發展中心放射性核種分析實驗室

3-4 電弧爐煉鋼爐渣(石)產品浸水膨脹率及粒料品質

本廠電弧爐煉鋼爐渣(石)產品之浸水膨脹率及粒料品質檢測結果如表 3-3 與表 3-4 所示。

表 3-3 X X 公司電弧爐煉鋼爐渣(石)產品浸水膨脹率檢測結果

檢驗項目	檢驗方法	檢驗結果	管制標準	檢測單位
粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法	CNS 15311	0.03	0.5%	SGS高雄實驗室

表 3-4 X X 公司電弧爐煉鋼爐渣(石)產品粒料之品質檢驗結果

檢測項目	檢測方法	檢測結果	標準要求
篩分析(級配)	CNS 486與 CNS 491	參見七、相關佐證資料	符合業主需求或CNS 15309細粒料級配規定之
健度%	CNS 1167	2.8	硫酸鈉: $\leq 15\%$ 硫酸鎂: $\leq 20\%$ CNS15309 附錄 A
塑性指數	CNS 5088	NP	≤ 4 (通過425 μm 試驗篩 CNS 15309規定)

四、建議供料稽核方式

4-1 供料稽核方式

XX 公司提供本案電弧爐煉鋼爐渣(石)粗細粒料品質具有明確之產品履歷，包括來源、處理製程、品質管制措施等；材料相關性質經品保符合環保法規之無害標準，相關試驗方法及試驗報告滿足道路工程需求，提供使用單位審查核可後方可供料；使用電弧爐煉鋼爐渣(石)施工時，依照設計規劃之規定進行抽驗，必要時，得配合工程司指示進行抽驗。本案產品品質檢驗項目及頻率參照工業局爐渣(石)管理規定，產品標準依循 CNS 1240 混凝土用粒料，驗收方式依循公共工程施工規範第 03377 章控制性低強度回填材料。本案針對電弧爐煉鋼爐渣(石)粗細粒料建議供料稽核方式包含以下的品質檢驗項目、方法及頻率，如表 4-1-表 4-2 所示。

表 4-1 CLSM 用電弧爐煉鋼爐渣(石)產品品質檢測項目、方法及頻率

檢測項目	檢測方法	標準要求	頻率
比重	CNS 488、CNS 487	-	每一工程或每一來源
篩分析 (級配)	CNS4 86 與 CNS 491	符合業主需求或CNS 15309 細粒料級配規定之級配稱號	
健度%	CNS 1167	硫酸鈉: ≤15% 硫酸鎂: ≤20% CNS15309 附錄 A	
浸水膨脹率%	CNS 15311	<0.5	
輻射	建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點	≤1	
重金屬溶出試驗 TCLP	環保署環檢所檢測方法		詳如表 4-2
戴奧辛			
pH			

表 4-2 電弧爐煉鋼爐渣(石)重金屬溶出試驗 TCLP、戴奧辛、pH 管制標準

項目	檢驗方法	產源端管制標準	產品端管制標準
總汞 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R314.12C	<0.2	<0.02
總砷 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R318.12C	<5.0	<0.5
總銅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	<15.0	<10
總鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	<5.0	<0.5
總鎘 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	<1.0	<0.05
總鉛 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	<5.0	<0.1
六價鉻 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R309.12C	<2.5	—
總鉍 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	<100	—
總硒 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R300.10C	<1.0	—
總鎳 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	—	<1
總鋅 mg/L	NIEA R201.15C NIEA R306.13C	—	<50
戴奧辛 (ng I-TEQ/g)	NIEA M801.13B	≤0.1	≤0.1
pH	NIEA R208.04C	2-12.5	—

五、相關佐證資料 1-再利用許可處理之資格證明文件及相關標章

六、相關佐證資料 2-產源端原料檢驗報告(略)

七、相關佐證資料 3-再利用機構端產品檢驗報告(略)

附錄四 工程顧問公司制定之施工綱要規範 第 02361A 章 擠壓砂樁^[21]

1. 通則

1.1 本章概要

擠壓砂樁係指用砂料或混拌礫石材料打設於地盤中，增加砂土層強度以抵抗液化或粘性土壤增加複合強度加速排水壓密沈陷之地質改良方式。

1.2 工作範圍

1.2.1 打設震動擠壓砂樁(Sand Compaction Pile)。

1.2.2 擠壓砂樁之施工圖、孔徑、長度數量詳見設計圖。

1.2.3 工程地點及砂樁打設位置詳見設計圖。

1.2.4 擠壓砂樁砂料規定。

1.2.5 施行擠壓砂樁成效檢驗工作。

1.2.6 清理現場及整平地表。

1.3 相關準則

1.3.1 中華民國國家標準(CNS)

(1) CNS 386 Z7008(73.11.20 公布版) 試驗篩

(2) CNS 1167A3031 健性試驗

1.3.2 美國材料試驗協會標準(ASTM)

ASTM-1586 標準貫入試驗

ASTM D422、D423、D424、D854、D1140、D2216 土壤一般物理性試驗。

1.4 資料送審

1.4.1 承包商應於施工前 14 日，提供擬採用工法之詳細圖說、施打計畫及其他有關資料送請工程司審核，其項目包括：

(1) 圖說：包括振動打樁機設備之簡圖、規格及打設之流程等。

(2) 打設計畫：包括樁位之配置、放樣、採用之材料、打樁與投入計量關係等。

(3) 其他有關資料：包括填充材料之規格及檢驗報告，自動記錄器檢驗報告，施工及試驗表格等有關技術資料。

(4) 現場廢土處理。

(5) 其他工程司認為必要項目。

2. 產品

2.1 材料

2.1.1 填充砂料：須為天然砂石，可取自洲際貨櫃中心計畫區範圍內或其他經工程司指示區位，並應經篩選，不含黏土、泥塊、有機物或其他有害物質，級配須符合下列規定：

標準篩	12.5(mm)	#4	#16	#50	#100
通過重量%	90~100	70~100	20~80	3~25	0~10

2.1.2 需混拌 20% 用於加強砂樁成形及增加強度之礫石或碎石，其粒徑應小於 1cm，於採運前應先作健性試驗，其磨損率不得超過 8%。砂石料進場時，承包商應通知工程司抽樣檢驗，以石料每 2,500m³ 檢驗一次，砂料每 10,000m³ 檢驗一次為原則，遇料源改變或現場工程師需要可增加次數，檢驗結果如不合規定，則該批砂石料應無條件更換。

3. 施工

3.1 準備工作

承包商於進行任何土質改良施工之前應先進行下列調查，並將其結果提報工程司。

3.1.1 地下埋設物調查

3.2 施工機具

3.2.1 承包商應備有足夠之挖土機具、運土卡車及挖運土方之附屬設備。

3.2.2 以履帶或膠輪起重機為主體，將振動機、漏斗、鋼管等施工設備，以緩衝器介於其中吊起，然後沿導架上下操作，鋼管底端之自動靴，使貫入鋼管及擠壓砂柱時不至於回侵入管內，且使在擠出管內砂料時能靈活開啟。為使管內之砂料有效擠壓成連續砂柱，需有輸入壓縮空氣之設備及防縮管之高壓水注入管。鋼管上部裝有灌砂用之漏斗，以適當之砂桶上下將砂放入漏斗，另以剷土機剷砂供送於砂桶中。操作室內裝置各種自動記錄儀。上述各設備可視打樁設備及實際施工時之情

形予以適當選用及裝配之。

- 3.2.3 若經工程司認為承包商所使用之機具及設備功能不佳，而可能影響施工品質及工期時，得要求撤換。承包商於接獲工程司通知後，應於三天內完成撤換工作。

3.3 施工方法

- 3.3.1 承包商應根據地質條件及試作區取樣驗證結果，提出實作之施工計畫，選用最適當的材料和方法實施擠壓砂樁地質改良，以達契約設計圖式的要求。

- 3.3.2 本工程所用之打樁機具，其能量應至少能打至設計樁長加 2 公尺之深度，承包商進場前應將打樁機之規格及施工安全控制計畫送請工程司認可後，使得施工。

- 3.3.3 擠壓砂樁之樁徑、間距、打設深度及方法，均應按設計圖說施工，不得擅自變更，如遇現場無法施做情況，則須經工程司同意後調整。

- 3.3.4 施工前須先調查鄰近之地下管線，排水溝、水井及構造物基礎情況等，採取適當防護措施後，始得施工，以避免施工而影響其安全。

- 3.3.5 施工時須選派對建議之施工方法附有專門知識及實務經驗之工程師負責工地之施工。

3.3.6 擠壓砂樁之施工方法

- (1) 本工程打設砂樁採用振動擠壓式施工方法。
- (2) 利用振動打樁機將外徑約 50cm 且底部有自動靴密封之鋼管，打至規定之設計深度。
- (3) 將依定量之砂料由漏斗注入鋼管內，然後再將鋼管徐徐振動拔起一定高度約 3.75m，利用振動及壓縮空氣等方法，使管內之砂料經自動靴擠出管外。
- (4) 將拔起之鋼管適度往下振壓及利用壓縮空氣，以擠壓管外之砂，將之搗實。然後往復操作此動作至地面以下實打部分之設計高程為止，乙方應切實注意按規定投砂量打設。
- (5) 鋼管往上拔起與往下振壓之速度應力求均勻，以免砂樁有中斷、頸縮或鼓脹情形發生。
- (6) 鋼管拔起與振動過程中，應隨時校核投入之砂量與形成之砂樁長度。

3.3.7 樁位之容許誤差

- (1) 砂樁位置須按照設計圖規定佈設，為防止累積誤差須設置若干控制基線，以便引測附近砂樁位置。
- (2) 砂樁之設計位置在平面上之偏差不得超過 15cm，倘偏差過大或其他不當原因而拔出重打時不予計價。
- (3) 砂樁之垂直度偏差，不得超過 1/50。

3.3.8 砂樁施打順序

- (1) 施打順序以由外圍向中心漸進為原則，或採階段或跳排方式打設，如因其他原因之影響，而須變更施打順序時須先取得工程司之同意。
- (2) 承包商於施打前須提出施打計畫及順序送請工程司同意後施作。

3.3.8 施工紀錄

- (1) 為確保砂樁能得到良好之效果，施工機具必須由熟練之人員操作，且施工時必須安裝各式自動記錄器，以便將施工過程作成記錄，各該記錄器使用要點分述如下：

- A. 電力自動記錄器(KW 計)：為貫入鋼管與砂樁時，振動機所耗電力之連續記錄計，用以推測砂樁之壓實度。
- B. 投入砂量桶記錄器(BM 計)：本計用於記錄注入管內之砂量，用以核算砂樁實需砂量進而判定砂樁之樁徑、樁長與壓實度是否合乎規定。
- C. 管底高程記錄器(GL 計)：為施工時鋼管貫入與砂料被擠壓作業過程中，自動記錄管底高程變化，以得知砂樁之長度，並供查看砂樁形成經過及其壓實度。

另有管內砂面高程記錄器(SL 計)及基準線記錄器(MSL 計)，惟振動機至少需具備 KW、BM 及 GL 等之三針式自動記錄器。且上述各自動記錄器均應於施工前會同工程司進行校正。各項自動記錄器如因故臨時故障，非經工程司同意不得繼續施工。

- (2) 承包商應填報表內容：

樁號、日期、作業起止時間、打樁機別、施工前後原地面高程、振動頻率及出力能量、鋼管管徑、鋼管貫入時間、鋼管貫入深度、填砂量、拔管時間、壓縮空氣、電流量、操作者姓名、監工姓名、天氣、異常現象等。

(3) 以上各種記錄，承包商應予整理後於次日送工程司核備。

3.4 清理

施工完成後，其地面須予復舊。

3.5 現場前導試驗(Pilot Test)

3.5.1 於施工前，承包商應於工址現場依圖說配合現場工程師選定試打區先行試作。前導試驗依其改良率由小至大施作，每一改良率施作完成後提送檢驗成果初稿供工程司審查，經核可後方得進行下一改良率之試打。

3.5.2 試打改良後土體須達設計圖說要求，施工之品質及安全由承包商負完全責任。試打前承包商應提前導試驗施工計畫送工程司核可後據以執行。

3.5.3 前導試驗之補救措施

若檢驗成果經工程司評估後無法滿足設計需求，則由承包商另提施工改善計畫，包含調整工序、施工方式、料源等送工程司審核後，再行進行『現場前導試驗』，直至符合設計需求為止；若需配合調整改良率者，則由工程司評估後再提供承包商執行。

3.5.4 前導試驗之試打依設計圖之標示施作，費用均已包含於契約單價「現場前導試驗」中，不另給付。

3.5.5 『現場前導試驗』成果報告需包含前導試驗現場施工計畫、料源檢驗、現場施工紀錄及成效檢驗結果，並送工程司核備後據以全面施作。

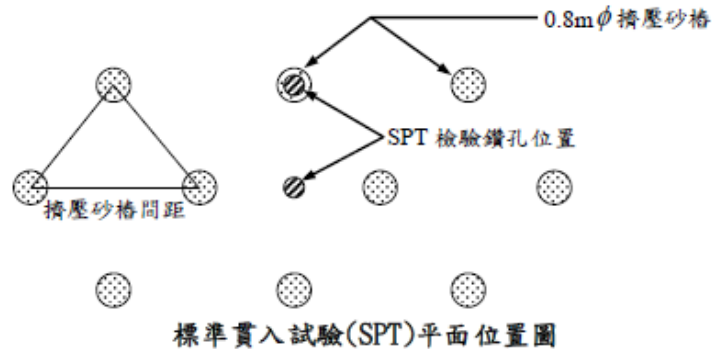
3.6 檢驗

3.6.1 檢驗頻率、鑽孔深度、鑽孔位置、檢驗項目、驗收合格標準

(1) 檢驗頻率：在砂樁打設範圍內約每 2,500m²取一組鑽孔檢驗，分區內之檢驗孔位由工程司選定，不足 2,500m²時仍以一組計。

(2) 鑽孔深度：與擠壓砂樁深度相同，詳設計圖所示。

(3) 鑽孔位置：應擇定在菱形四根砂樁之重心及此菱形四根之任選一根中心，並取其二者平均 N 值檢驗成效，鑽孔位置詳下圖所示。



(4) 檢驗項目：

- A. 1.5 公尺辦理標準貫入試驗一次。
- B. 一般物理性試驗(含 Dr 相對密度、過篩百分比、FC 細粒料及 CL 黏土粒料含量)

(5) 驗收合格標準：

- A. 驗收合格標準詳設計圖說。
- B. 若任一深度相連之三組平均標準貫入試驗 N 值，經判定無法符合設計成果需求時應另選取相連之四根砂樁中央及此菱形四根之任選一根中心，辦理同樣鑽孔及試驗動作，用以確定軟弱土層之存在。
- C. 當驗收檢驗孔之平均 N 值小於合格標準時，應配合土壤物性試驗成果進行液化潛能分析，若經評估顯示土層中僅為 1 點液化或 2 點液化(土層非連續)狀況時，則仍屬合格標準；然若非屬前述情形時，則均屬不合格標準。

3.6.2 不合格區之判定：若任一深度相連之三組平均標準貫入試驗 N 值，經判定無法符合設計成果需求時應另選取相連之菱形四根砂樁之重心及此菱形四根之任選一根中心，辦理同樣鑽孔及試驗動作，並取其二者平均 N 值，用以確定軟弱土層之存在。

3.6.3 成效檢驗不合格之處置

對於無法符合改善目標值之區段，承包商應提出評估與改善建議，並經工程司審核同意後據以執行，主要執行要點如下：

- (1) 不合格分區重新改良。
- (2) 對於不合格週邊可自行作檢驗孔執行試驗，調查不合格區域分佈範

圍，經工程司校核同意後，就該區域進行補救改良，其自行檢驗孔及補救改良衍生之相關費用由承包商負責。

(3) 於補救改良區內經現場工程司指定重取兩組試驗，任一組不合格即視為不合格，不合格區再行重新補救改良。

3.6.4 成效檢驗之回填

成效檢驗鑽孔作業完成後應以砂確實回填，回填費用已包含於成效檢驗單價分項中。

3.6.5 成效檢驗報告

成效檢驗報告需包括分析方法、成果及建議，並需由專業技師簽證。

4. 計量與計價

4.1 計量

以公尺核計，依實作數量計量。

4.2 計價

按契約單價以公尺計價。契約單價分項包括擠壓砂樁及成效檢驗，其擠壓砂樁單價包括一切為完成擠壓砂樁改良所需之人工、材料、設備、動力、裝載運輸、空打段、地下埋設物調查及其他有關之費用在內。

〈本章結束〉

附錄五 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02231 章清除與掘除(V3.0)

**附錄五 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範
第 02231 章 清除與掘除 (V3.0)**

第 02231 章 清除及掘除

1. 通則

1.1 本章概要

說明依設計圖說或工程司指示地區之清除及掘除，包括設備及施工之相關規定。

1.2 工作範圍

1.2.1 清除地面之雜草、農作物、殘枝、竹、木等。

1.2.2 掘除地面以下之樹根及埋沒之大樹等。

1.2.3 不適用表土。

1.2.4 設計圖說指定某些樹木花草須予保留時，承包商對指定保留之花草樹木應予以小心保護，以免遭受傷害或毀損。

1.3 相關章節

1.3.1 第 01330 章--資料送審

1.3.2 第 01450 章--品質管理

1.3.3 第 02220 章--工地拆除

1.3.4 第 02902 章--植物種植及移植

1.3.5 第 02905 章--移植

1.4 資料送審

1.4.1 品質管制計畫書

1.4.2 施工計畫

2. 產品

(空白)

3. 施工

3.1 施工方法

3.1.1 工作範圍內地面清除與掘除時，承包商可考慮將地面之表土移運至自覓地點存放，以備用作均勻覆蓋邊坡之材料，以利穩定邊坡及植草。若收集之表土數量不足時，承包商應另自行覓土覆蓋。

3.1.2 不含有機物之表土若非為不適用材料，而合乎填方材料要求，經工程司認可後，可作為路堤路基頂面下 1.5m 以外下層填方之用。運離現場之廢棄物應棄置於主管機關核准之棄置場所。

3.1.3 清除

(1) 除設計圖另有指定外，施工區均應清除，清除之深度由工程司視工地實際情況決定之。

(2) 在工區範圍內之原地面、所有雜草、竹、木、農作物等，除工程司另有指示外，均應完全清除。

(3) 池塘、沼澤地、水田及爛泥地帶等之清除工作，除另有規定外，應先將所有積水排乾後方可進行。

(4) 施工範圍內既有排水及灌溉溝渠之淤積污泥及雜物，應依工程司之指示一併清除。

(5) 除工程司另有許可外，清除作業應連續並配合土石方作業，較土石方工作領先完成，避免延誤土石方作業。

(6) 清除工作應配合土石方作業局部分區施工，以避免將地面清除後閒置過久而致表層土壤流失。

(7) 須移植之樹木，在掘除前應依第 02902 章「植物種植及移植」及第

02905 章「移植」之規定辦理。

3.1.4 掘除

- (1) 清除範圍內自然地面以下，所有之竹、樹根及埋沒之大樹均應掘除，並移除處置之，其可移除之物應包括本規範之其他章節所未提及者
- (2) 所有挖方地區、填方地區、工程司指定之任何地區所規定之處，均應予掘除。掘除之深度與範圍應由工程司視情況而決定移除全部殘枝、大樹根、埋沒之木料及所有障礙物，並以不影響施工及工程品質為原則。
- (3) 由於掘除作業所餘留之低窪地應以經工程司認可之材料回填，並按規定予以滾壓或夯實。
- (4) 掘除工作所掘起之物，依工程司指示之辦法處理。工區及其鄰近地區須保持整齊悅目狀態。
- (5) 掘除工作應較整地工作提前完成，不得延誤整地作業。

3.1.5 樹木花草保留區

- (1) 在工地清理開始前，應在樹木花草保留區設立臨時柵欄，當施工完成時將柵欄移除。
- (2) 不得在柵欄保護區內貯存施工材料、垃圾或清除之廢棄物。

3.1.6 若發現古蹟遺址時，應依據文化資產保存法相關規定辦理；或是清除及掘除動作將影響其他設施或造成建築物損壞時，亦應依據相關規定辦理。

4. 計量與計價

4.1 計量

4.1.1 清除及掘除可選擇下列之一計量。

4.1.2 依契約詳細價目表「清除及掘除」項目以[一式][公頃][平方公尺][]計量。

4.1.3 大面積且低填方工程，得以「表土挖除運離現場」項目以[立方公尺][]

計量。

4.2 計價

4.2.1 清除及掘除可選擇下列之一計價。

4.2.2 依契約詳細價目表「清除及掘除」項目以[一式][公頃][平方公尺][]計價。

4.2.3 大面積且低填方工程，得以「表土挖除運離現場」項目以[立方公尺][]計價。

4.2.4 單價已包括一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸、指定保留物之保護措施及其他為完成本工作所必需之費用在內。

4.2.5 用地範圍外由承包商自行並自費取得而為工程司認可之合格棄置場及棄土區，其棄置場、棄土區及清除及掘除工作等均已包含於有關項目單價內，不另予給付。

4.2.6 如契約內未有「清除及掘除」「表土挖除運離現場」之付款項目，則施工前所須清除與掘除等工作之費用，已包括於契約其他有關工作項目內，不另給付。

〈本章結束〉

附錄六 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02319 章選擇性回填材料(V5.0)

**附錄六 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範
第 02319 章 選擇性回填材料 (V5.0)**

第 02319 章 V5.0

選擇性回填材料

1. 通則

1.1 本章概要

說明本章 1.2 項所列選擇性回填材料之材料、施工及檢驗等相關規定。

1.2 工作範圍

1.2.1 透水材料回填

1.2.2 砂回填

1.2.3 級配粒料回填

1.2.4 再生粒料回填

1.3 相關章節

1.3.1 第 01330 章--資料送審

1.3.2 第 01450 章--品質管理

1.3.3 第 02316 章--構造物開挖

1.3.4 第 02317 章--構造物回填

1.3.5 第 02320 章--不適用材料

1.3.6 第 02321 章--基地及路幅開挖

1.3.7 第 02331 章--基地及路堤填築

1.3.8 第 02333 章--透水砂層填築

1.3.9 第 02722 章--級配粒料基層

1.3.10 第 02726 章--級配粒料底層

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準 (CNS)

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| (1) CNS 486 | 粗細粒料篩析法 |
| (2) CNS 487 | 細粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (3) CNS 488 | 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (4) CNS 490 | 粗粒料(37.5mm 以下)洛杉磯磨損試驗法 |
| (5) CNS 11777 | 土壤含水量與密度關係試驗法(標準式夯實試驗法) |
| (6) CNS 11777-1 | 土壤含水量與密度關係試驗法(改良式夯實試驗法) |
| (7) CNS 11827 | 道路用高爐爐碴 |
| (8) CNS 11828 | 道路用高爐爐碴檢驗法 |
| (9) CNS 12387 | 工程用土壤分類試驗法 |
| (10) CNS 14732 | 依粗料含量調整土壤夯實密度試驗法 |
| (11) CNS 14733 | 以砂錐法測定土壤工地密度試驗法 |
| (12) CNS 15305 | 級配粒料基層、底層及面層用材料 |
| (13) CNS 15311 | 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法 |
| (14) CNS 15346 | 土壤及細粒料之含砂當量試驗法 |
| (15) CNS 15358 | 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料 |

1.4.2 美國材料試驗協會 (ASTM)

- | | |
|----------------|--|
| (1) ASTM D4253 | Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table |
|----------------|--|

1.4.3 目的事業主管機關

- (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) 內政部營建剩餘土石方處理方案

(5) 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

須符合第 01330 章「資料送審」之規定。

1.5.1 品質管理計畫書

須符合第 01450 章「品質管理」之規定。

1.5.2 施工計畫書

1.5.3 再生粒料供應商於工程進行前，應提送相關供料計畫書，內容陳述該供應再生粒料之品管作業、建議供料稽核方式、相關試驗方法等，經使用單位審查核可後方可供料。

2. 產品

2.1 功能

2.1.1 透水材料係用於水溝、暗溝、擋土牆、橋台背面及其他透水層之回填，俾利構造物之排水及地下水之排除。

2.1.2 砂與級配粒料之回填材料係用於排水管四周或基礎墊層或設計圖說指定之處，俾構造物四周之壓實效果較佳且殘餘沉陷量較少。

2.2 材料

回填材料得依工程性質，採用符合本章規定之砂、礫石、碎石、卵石或本章所規定之回填再生粒料。

2.2.1 透水材料

(1) 透水材料應為潔淨、堅硬耐磨之砂、礫石、碎石、卵石或再生粒料，不得含有機物、黏土塊等之有害物質。

- (2) 於設計圖說或特訂條款應指定透水材料之類型，否則即按下列第 1 類型供應。透水材料之組成重量百分率，按 CNS 486 試驗方法檢驗，應符合下列級配規定：

通 過 百 分 率 (%)			
篩號	類型 1	類型 2	類型 3
2"	100	—	—
1 1/2"	95~100	100	—
3/4"	50~100	90~100	100
1/2"	—	40~100	95~100
3/8"	15~55	25~ 40	70~100
No. 4	0~25	18~ 33	0~ 55
No. 8	0~ 5	5~ 15	0~ 10
No. 200	0~ 3	0~ 3	0~ 3

- (3) 所有供應之粒料，須按 CNS 490 方法試驗，經過 500 迴轉後，其磨損百分率不得大於[40%][]。
- (4) 透水材料依 CNS 15346 試驗，含砂當量不得小於[55][]。
- (5) 若使用再生粒料，應符合 2.2.4 款之規定。

2.2.2 砂

- (1) 本工作所採用之砂，應為潔淨河砂、陸地砂或再生粒料，並符合下列之規定：

篩 號	通過百分率 (%)
No. 4	50~100
No. 200	0~15
含砂當量不得小[30][]	

- (2) 若使用再生粒料，應符合 2.2.4 款之規定。

2.2.3 級配粒料

級配粒料需符合第 02722 章「級配粒料基層」及第 02726 章「級配粒料底層」之規定。

2.2.4 再生粒料係指將營建剩餘土石、廢棄混凝土、焚化再生粒料、高爐爐渣或鋼爐渣軋製而成之粒料。再生粒料之品質應符合下列規定：

- (1) 再生粒料之毒性溶出試驗(TCLP)應符合環保署毒性事業廢棄物溶出試驗標準之要求。
- (2) 再生粒料使用高爐爐渣時，其品質應符合 CNS 11827 之要求，其檢驗依 CNS 11828 之規定辦理。
- (3) 再生粒料使用爐渣時，其品質應符合 CNS 15305 之要求。
- (4) 再生粒料使用焚化再生粒料時，應依 CNS 487、CNS 488 之規定辦理，其比重不得小於[1.5][]，吸水率不得大於[20%][]。
- (5) 再生粒料須按相關準則 1.4.4 款之規定。
- (6) 除特別註明外，本章再生粒料之規定適用於純用再生粒料或混有天然粒料之再生粒料。

2.2.5 []

3. 施工

3.1 施工方法

3.1.1 透水材料、砂、級配粒料應按設計圖說及工程司指定之地區內鋪設之，選擇材料之鋪設及壓實，每層厚度不得大於[20cm][]，每[100m²][]作 1 次壓密試驗，壓實度應達[CNS 11777][CNS 11777-1][]方法試驗，再以[CNS 14732][]方法校正所得最大乾密度之[95%][]以上。

3.1.2 若鋪設之材料無法以[CNS 11777][CNS 11777-1][]方法試驗求得最大乾密度時，則經工程司同意，可依 ASTM D4253 方法求得其相對密度，相對密度應達[85%][]以上。

3.1.3 []

4. 計量與計價

4.1 計量

- 4.1.1 「透水材料回填」、「砂回填」、「級配粒料回填」、「再生粒料回填」應按設計圖說或工程司指示鋪設之地區，在現場壓實計量，並以[立方公尺][]為單位計量，因超挖或承包商為便利或由其疏忽而施作之回填，均不予計量。

4.2 計價

- 4.2.1 「透水材料回填」、「砂回填」、「級配粒料回填」、「再生粒料回填」應按設計圖說或工程司指示鋪設之地區，在現場壓實後計量，並以[立方公尺][]為單位計價，因超挖或承包商為便利或由其疏忽而施作之回填，均不予計價。
- 4.2.2 單價已包括所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸及其他為完成本工作所必需之費用在內。

〈本章結束〉

附錄七 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範第 02722 章級配粒料基層(V9.0)

**附錄七 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範
第 02722 章 級配粒料基層 (V9.0)**

第 02722 章 V9.0

級配粒料基層

1. 通則

1.1 本章概要

說明使用於鋪面工程之級配粒料基層有關材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

1.2 工作範圍

本章所規定之材料，得採用天然級配粒料、再生級配粒料或其混合料。

1.2.1 本章工作範圍涵蓋基層所用級配粒料之篩選、拌和、撒鋪、滾壓、養護等。

1.2.2 天然級配粒料基層

1.2.3 再生級配粒料基層

1.3 相關章節

1.3.1 第 02336 章--路基整理

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準（CNS）

- | | |
|--------------|-------------------------|
| (1) CNS 486 | 粗細粒料篩析法 |
| (2) CNS 487 | 細粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (3) CNS 488 | 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (4) CNS 490 | 粗粒料（37.5mm 以下）洛杉磯磨損試驗法 |
| (5) CNS 5088 | 土壤液性限度試驗、塑性限度試驗及塑性指數決定法 |

- (6) CNS 11777 土壤含水量與密度關係試驗法(標準式夯實試驗法)
- (7) CNS 11777-1 土壤含水量與密度關係試驗法(改良式夯實試驗法)
- (8) CNS 11827 道路用高爐爐碴
- (9) CNS 12382 夯實土樣加州載重比試驗法
- (10) CNS 12383 夯實土壤阻力 R 值及膨脹壓力試驗法
- (11) CNS 14732 依粗料含量調整土壤夯實密度試驗法
- (12) CNS 14733 以砂錐法測定土壤工地密度試驗法
- (13) CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料
- (14) CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
- (15) CNS 15346 土壤及細粒料之含砂當量試驗法
- (16) CNS 15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料

1.4.3 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) 內政部營建事業再生利用之再生資源項目及規範
- (5) 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 系統設計要求

1.5.1 級配粒料基層，係將級配料依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本章規範規定，鋪築於已滾壓整理之路基上者。

1.5.2 依「行政院環境保護署垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，焚化再生粒料使用地點之限制如下：

- (1) 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。

- (2) 使用於陸地時，應高於使用時現場地下水位 1m 以上。
- (3) 不得位於依都市計畫法劃定之農業區及保護區、依區域計畫法劃定之一般農業區、特定農業區，及依非都市土地使用管制規則劃定之農牧用地、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。
- (4) 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目限制使用之土地分區或編定使用之土地範圍內。
- (5) 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。

1.6 資料送審

1.6.1 品質計畫

1.6.2 施工計畫

- 1.6.3 使用再生粒料前，廠商應提送相關供料計畫書，其內容應包含再生粒料來源及驗證單位出具合格證明文件、再生粒料與天然粒料混合比例、建議供料稽核方式、相關試驗方法及其相關之工程性質等，經工程司審查核可或由主辦機關指定第三者專業機構或專家查證後方可供料。

2. 產品

2.1 定義

- 2.1.1 天然級配粒料係指天然岩石或礫石經碎解、篩選或混合程序所製成之級配粒料。
- 2.1.2 再生級配粒料應符合 1.4.3 款之相關規定，其再生材料之來源包括：
 - (1) 符合 CNS 11827 高爐爐碴或 CNS 15305 內之爐碴規定，經碎解、篩選或軋製而成之級配料。

- (2) 石材礦泥、石材廢料(板、磚或塊)、營建剩餘土石、廢棄混凝土、廢磚瓦、廢陶瓷類、鋼質粒料(氧化碴)等軋製而成之級配料，其品質應符合「內政部營建事業廢棄物再利用種類及管理方式」、「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者。
- (3) 瀝青混凝土挖(刨)除料及鈦鐵礦氯化爐碴軋製而成之級配料，其品質應符合「內政部營建事業再生利用之再生資源項目及規範」、「經濟部再生利用之再生資源項目及規範」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者。
- (4) 焚化再生粒料應符合「行政院環境保護署垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」之要求，其資源化產品用途為「道路級配粒料基層」，並經主管機關同意使用者。

2.1.3 除特別註明外，本章再生級配粒料之規定適用於純用再生粒料或混有再生粒料之級配粒料。

2.2 材料

- 2.2.1 級配粒料之級配及品質，因所採用之路面厚度設計方法而異，故廠商應按契約圖說規定供應所需之級配粒料，未經工程司之書面許可，不得採用他類級配粒料。
- 2.2.2 級配粒料須清潔、不含有機物、塊狀或團狀之土塊、雜物及其他有害物質，且於加水滾壓後，容易壓成一堅固而穩定之基層者，其粗粒料應質地堅韌及耐久，經[CNS 490][]洛杉磯磨損試驗，其磨損率不得大於[50%][]。
- 2.2.3 再生級配粒料應包括來源、處理製程、品質管制措施等；材料相關性質應經驗證符合環保法規之無害標準，且滿足道路工程需求，並有文件證明者。
- 2.2.4 廠商所供應之再生級配粒料，應剔除石膏、黏土塊、橡膠、塑膠、紙、布、木材及其他易碎物質等雜質。

2.2.5 使用再生級配粒料施工時，應照設計規定進行抽驗工作，必要時，得配合工程司指示進行抽驗。

2.2.6 (1) 爐渣之品質應符合 CNS 15305 之要求。

(2) 鈦鐵礦氯化爐渣及鋼質粒料（氧化渣）應依 CNS 487、CNS 488 之規定辦理，其比重不得小於[1.5][]，吸水率不得大於[25%][]，且經[CNS 15311][]浸水膨脹試驗，其浸水膨脹比不得大於[0.5%][]。

2.2.7 若使用再生級配粒料之焚化再生粒料時，應依 CNS 487、CNS 488 之規定辦理，其比重不得小於[1.5][]，吸水率不得大於[20%][]。

2.2.8 基層級配粒料之級配及品質

基層所用級配料主要有下列四類型，廠商應於施工前提出相關試驗報告，其結果應符合設計圖說之規定。級配粒料篩分析應依 CNS 486 之規定辦理。

(1) 第一類型

試驗篩 mm	通過方孔試驗篩之重量百分率(%)					
	A	B	C	D	E	F
50.0 (2in)	100	100				
25.0 (1in)	—	75~95	100	100	100	100
9.5 (3/8in)	30~65	40~75	50~85	60~100	—	—
4.75 (No. 4)	25~55	30~60	35~65	50~85	55~100	70~100
2.00 (No. 10)	15~40	20~45	25~50	40~70	40~100	55~100
0.425 (No. 40)	8~20	15~30	15~30	25~45	20~50	30~70
0.075 (No. 200)	2~8	5~20	5~15	5~20	6~20	8~25

此類型基層級配料，其通過 0.075mm (200 號) 篩之細粒土壤應在通過 0.425mm (40 號) 篩者之[2/3][]以下，通過 0.425mm 篩部分之液性限度不得大於[25%][]，塑性指數不得大於[6%][]。

(2) 第二類型

A. 級配

採用此類型基層級配料時，應在施工前，由廠商選定並徵得工程公司之同意後，按所選定之級配施工。施工時，其實際級配與所選定級配之許可差，不得超過表二之規定。

表二 第二類型基層級配料之級配規定

試驗篩 mm	容許級配範圍	實際級配與所選定級配之許可差
	通過方孔試驗篩之重量百分率(%)	
50.0 (2in)	100	-3
37.5 (1 1/2in)	90~100	±5
4.75 (No. 4)	30~ 60	±10
0.075 (No. 200)	0~ 12	±5

B. 品質

第二類型基層級配料之品質應符合表三之規定。

表三 第二類型基層級配料之品質規定

試驗項目	試驗值	試驗方法
C. B. R. 值，最少	[20%][]	CNS 12382
或 R 值，最少	[55][]	CNS 12383
液性限度，最大	[25%][]	CNS 5088
塑性指數，最大	[6%][]	CNS 5088
含砂當量，最少	[25%][]	CNS 15346

(3) 第三類型

A. 級配

第三類型基層級配料之級配應符合表四之規定。

表四 第三類型基層級配料之級配規定

試驗篩 mm	通過方孔試驗篩之重量百分率(%)		
	A	B	C
75.0 (3in)	100	100	100
63.0 (2 1/2in)	90~100	90~100	90~100
4.75 (No. 4)	35~70	40~90	50~100
0.075 (No. 200)	0~20	0~25	0~30

B. 品質

第三類型基層級配料之品質應符合表五之規定。

表五 第三類型基層級配料之品質規定

試驗項目	試驗值(%)			試驗方法
	A	B	C	
C. B. R. 值，最少	[35][]	[20][]	[10][]	CNS 12382
含砂當量，最少	[30][]	[25][]	[20][]	CNS 15346

(4) 第四類型

A. 級配

第四類型基層級配料之級配應符合表六之規定。

表六 第四類型基層級配料之級配規定

試驗篩 mm	通過方孔試驗篩之重量百分率(%)
100 (4 in)	100
4.75 (No. 4)	25~100
0.075 (No. 200)	0~25

B. 品質

第四類型基層級配料之品質應符合表七之規定。

表七 第四類型基層級配料之品質規定

試 驗 項 目	試 驗 值 (%)	試驗方法
4.75mm 以上粗粒料： 洛杉磯磨損值，最大	[50][]	CNS 490
0.425mm 以下細粒料： 液性限度，最大	[25][]	CNS 5088
塑性指數，最大	[6][]	CNS 5088

2.2.9 級配粒料之拌和

除級配粒料之級配已符合設計圖說或本章規範之規定者外，為使所用級配粒料之級配能符合規定，須以下列任何一法拌和之，若使用材料中含有焚化再生粒料等，其拌和作業應於再利用機構或砂石廠內進行或經目的事業主管機關核可後辦理。

(1) 用拌和機拌和

- A. 所用拌和機應經工程司之認可。拌和機應經常保持良好之狀態，其輪葉或葉片，應具有適當之尺度及淨空，並予適當之調節，俾能生產均勻之合格材料。
- B. 拌和機應有足夠之生產能量，以便能在良好之工作效率下，繼續不斷地施工。
- C. 拌和時，應視實際需要，均勻噴入適量之水，俾使鋪築壓實時，能達到所需之壓實度。

(2) 用機動平路機 (Motor Graders) 拌和

- A. 運至工地之級配粒料，如尚需另加粒料方能符合所規定之級配時，可在路基或基層堅實之情況下，以機動平路機拌和。
- B. 拌和時，通常係將較粗之粒料置於下層，較細之粒料置於上層，然後將粒料由路中翻至路側（或由路側翻至路中，視粒料之堆置位置而定），再由路側翻至路中，如是往返拌和直至級配均勻為止。
- C. 拌和時應注意，勿使粒料有析離現象，並應避免損及路基或基層。

- D. 在拌和過程中，應視實際需要，均勻灑以適量之水，務使級配粒料於鋪築壓實時，能達到所需之壓實度。

(3) 用人工拌和

- A. 如級配粒料數量不大時，得用鏟或其他工具以人工拌和至級配均勻為止。
- B. 拌和時，應視實際需要，均勻灑以適量之水，務使級配粒料於鋪築壓實時，能達到所需之壓實度，惟應注意—在粒料乾拌均勻以前不得灑水。

3. 施工

3.1 施工方法

- 3.1.1 雨天時應視氣候狀況，並徵得工程司之同意後方可施工。

- 3.1.2 施工所用之機械、工具設備等，均須徵得工程司之同意後方可使用，並須經常保養，以維持良好之作業狀況，所有機具設備，必須準備充份，以使工程能於適當之配合下順利進行，以避免發生延誤、中斷等情形。

3.1.3 路基整理

依第 02336 章「路基整理」之各項規定辦理。

3.1.4 撒鋪材料

- (1) 運達工地之合格材料分堆堆置於路基上，然後以機動平路機攤平。
- (2) 在撒鋪之前，如工程司認為必要，應按其指示在路基上灑水，以得一適宜之濕度。
- (3) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象時，應按工程司之指示，以機動平路機拌和至前述現象消除為止。
- (4) 級配粒料應按設計圖說所示或工程司指示之厚度分層均勻鋪設，每層厚度應約略相等。
- (5) 鋪設時，應避免損及其下面之路基，並按所需之全寬度鋪設。
- (6) 所有不合規定之顆粒及一切雜物，均應隨時予以撿除。

- (7) 級配粒料每層撒鋪厚度應依設計圖說所示或工程司之指示辦理，每層撒佈厚度應約略相等，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定務須足能達到所需之壓實度為原則。
- (8) 每層壓實厚度視滾壓機具之能量而異，除另有規定或工程司核准外，每層最大壓實厚度不得超過[20cm][] (鬆鋪厚度約為壓實厚度之 1.35 倍)，但亦不得小於所用粒料標稱最大粒徑之[2 倍][]。

3.1.5 滾壓

- (1) 級配粒料撒鋪及整形完成後，應立即以[10t][]以上三輪壓路機或振動壓路機滾壓。
- (2) 滾壓時，如有需要，應以噴霧式灑水車酌量灑水，使級配粒料含有適當之含水量，俾能壓實至所規定之密度。
- (3) 如級配粒料含水量過多時，應俟其乾至適當程度後，始可滾壓。
- (4) 滾壓時應由路邊開始。如使用三輪壓路機時，除另有規定者外，開始時須將外後輪之一半壓在路肩上滾壓堅實，然後逐漸內移，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之一半，直至全部滾壓堅實，達到所規定之壓實度時為止。
- (5) 在曲線超高處，滾壓應由低側開始，逐漸移向高側。
- (6) 壓路機不能到達之處，應以夯土機或其他適當之機具夯實。
- (7) 滾壓後如有不平之處，應耙鬆後補充不足之材料，或移除多餘部分，然後滾壓平整。
- (8) 分層鋪築時，在每一層之撒鋪與壓實工作未經工程司檢驗合格之前，不得繼續鋪築其上層。
- (9) 鋪築上層級配粒料時，其下層表面應刮毛約[2cm][]，以增加二層間之結合，並應具有適當之濕度，否則應酌量灑水使其濕潤。
- (10) 最後一層滾壓完成後，應以機動平路機刮平，或以人工修平，隨即再予滾壓。

(11) 刮平及滾壓工作應相繼進行，直至所有表面均已平整堅實，並符合設計圖說所示之斷面為止。

(12) 刮平及滾壓時，得視實際需要酌量灑水。

3.2 檢驗

使用天然級配粒料以外之材料，必要時，得依工程特性，酌增下列試驗頻率。所增加之試驗頻率按本章之 3.2.1 款規定辦理。

3.2.1 級配粒料試驗頻率

(1) 使用天然級配粒料時，應每[600m³][]做一次試驗。

(2) 若工程使用再生級配粒料者，除供料稽核外，每[500m³][]做一次試驗。

3.2.2 工地密度試驗

(1) 試驗頻率

每一層至少應每[1,000m²][]做密度試驗一次。

(2) 試驗方法

工地密度應以[CNS 14733][]等標準方法求之。

3.2.3 壓實度要求

(1) 級配粒料基層應滾壓至設計圖說所規定之壓實度。

(2) 如無明確規定時，基層壓實度至少應達到依[CNS 11777][CNS 11777-1][]方法試驗，再以[CNS 14732][]方法校正所得最大乾密度之[95%][]以上。

(3) 如試驗結果未達規定密度時，應繼續滾壓或以翻鬆灑水或翻曬晾乾後重新滾壓之方法處理，務必達到所規定之密度為止。

3.3 許可差

3.3.1 頂面平整度許可差

(1) 完成後之基層頂面應具平順、緊密及均勻之表面。

- (2) 以[3m][]長之直規沿平行於，或垂直於道路中心線之方向檢測時，其任何一點之高低差均不得超過[±2.5cm][]。

3.3.2 厚度許可差

- (1) 完成後之基層，由工程司隨機選取代表性地點鑽洞檢測其厚度。
- (2) 檢測之頻率為每[1,000m²][]做一次。
- (3) 檢測厚度結果，應符合下列規定：
- A. 任何一點之厚度不得比設計厚度少[2cm][]以上，並應以較小之許可差數值為準。
 - B. 各點厚度之平均值不得小於設計厚度。
 - C. 如完成後之基層厚度未能符合以上規定時，應將其表面翻鬆後補充新料，並按規定重新滾壓至合格為止。經徵得工程司同意後，廠商得以上層較佳材料彌補不足之厚度，惟不得要求加價。
- (4) 檢測厚度所留洞孔應以適當之材料填補夯實。

3.4 保護

- 3.4.1 已完成之基層應經常灑水保養，以防細料散失。
- 3.4.2 如基層於鋪築底層之前，發現有任何損壞或其他不良情況時，重新整平滾壓。

4. 計量與計價

4.1 計量

- 4.1.1 級配粒料基層依不同規格，按完工後經驗收合格之壓實數量，以[立方公尺][平方公尺，註明厚度][]計算。
- 4.1.2 級配粒料基層使用再生粒料時，應明確告知施工廠商所需數量，以便施工廠商及早因應準備。

4.2 計價

- 4.2.1 依契約詳細價目表內所列不同材料規格或粒料種類，應以[立方公尺][平方公尺，註明厚度][]單價計價。
- 4.2.2 該項單價已包括材料之供應、運輸、裝卸、拌和、各項試驗(含抽驗)、撒鋪、灑水、滾壓、刮平及為完成基層所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸及為完成本工作所必需之費用在內。
- 4.2.3 級配粒料基層使用再生粒料時，再生粒料單價應獨立編列。
- 4.2.4 超出設計寬度及厚度所鋪設之任何部分均不予計價。

〈本章結束〉

附錄九 行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02779 章級人行道底層(V4.0)

**附錄八 行政院公共工程委員會共通性工項施工綱要規範
第 02726 章 級配粒料底層 (V10.0)**

第 02726 章 V10.0

級配粒料底層

1. 通則

1.1 本章概要

說明使用於鋪面工程之級配粒料底層有關材料、設備、施工及檢驗等相關規定。

1.2 工作範圍

本章所規定之材料，得採用天然級配粒料、水泥、再生級配粒料或其混合料。

1.2.1 本章工作範圍涵蓋底層所用級配粒料之篩選、拌和、撒鋪、滾壓、維護等。

1.2.2 天然級配粒料底層

1.2.3 再生級配粒料底層

1.3 相關章節

1.3.1 第 02336 章--路基整理

1.3.2 第 02722 章--級配粒料基層

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準 (CNS)

- | | |
|-------------|--------------------------|
| (1) CNS 486 | 粗細粒料篩析法 |
| (2) CNS 487 | 細粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (3) CNS 488 | 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法 |
| (4) CNS 490 | 粗粒料 (37.5mm 以下) 洛杉磯磨損試驗法 |

- (5) CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法
- (6) CNS 5088 土壤液性限度試驗、塑性限度試驗及塑性指數決定法
- (7) CNS 11777 土壤含水量與密度關係試驗法(標準式夯實試驗法)
- (8) CNS 11777-1 土壤含水量與密度關係試驗法(改良式夯實試驗法)
- (9) CNS 11827 道路用高爐爐碴
- (10) CNS 14732 依粗料含量調整土壤夯實密度試驗法
- (11) CNS 14733 以砂錐法測定土壤工地密度試驗法
- (12) CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料
- (13) CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
- (14) CNS 15346 土壤及細粒料之含砂當量試驗法
- (15) CNS 15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料

1.4.2 美國州公路及運輸協會 (AASHTO)

- (1) AASHTO T238 土壤及土壤粒料工地密度之核子試驗法(淺層)

1.4.3 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) 內政部營建事業再生利用之再生資源項目及規範
- (5) 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 系統設計要求

- 1.5.1 級配粒料底層，係將級配粒料依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面或依工程司之指示，按本章規範之規定鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者。

1.5.2 鋪於基層上者為底層，惟不用基層而直接將底層材料鋪於路基上者亦稱底層。

1.6 資料送審

1.6.1 品質計畫

1.6.2 施工計畫

1.6.3 使用再生粒料時，廠商應提送相關供料計畫書，其內容應包含再生粒料來源及驗證單位出具合格證明文件、再生粒料與天然粒料混合比例、建議供料稽核方式、相關試驗方法及其相關之工程性質等，經工程司審查核可或由主辦機關指定第三者專業機構或專家查證後方可供料。

2. 產品

2.1 定義

2.1.1 天然級配粒料包含天然、碎石級配粒料，係指天然岩石或礫石經碎解、篩選或混合程序所製成之級配粒料。

2.1.2 再生級配粒料應符合 1.4.3 款之相關規定，其再生材料之來源包括：

(1) 符合 CNS 11827 高爐爐碴或 CNS 15305 內之爐碴規定，經碎解、篩選或軋製而成之級配料。

(2) 石材礦泥、石材廢料(板、磚或塊)、營建剩餘土石、廢棄混凝土、廢磚瓦、廢陶瓷類、鋼質粒料(氧化碴)等軋製而成之級配粒料，其品質應符合「內政部營建事業廢棄物再利用種類及管理方式」、「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者。

(3) 瀝青混凝土挖(刨)除料及鈦鐵礦氯化爐碴軋製而成之級配料，其品質應符合「內政部營建事業再生利用之再生資源項目及規範」、「經濟部再生利用之再生資源項目及規範」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者。

(4) 焚化再生粒料應符合「行政院環境保護署垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」之要求，其資源化產品用途為「道路級配粒料底層」，並經主管機關同意使用者。

2.1.3 除特別註明外，本章再生級配粒料之規定適用於純用再生粒料或混有天然粒料之再生粒料。

2.2 材料

2.2.1 級配粒料之級配及品質，因所採用之路面厚度設計方法而異，故廠商應按契約圖說之規定使用所需之級配粒料，未經工程司之書面許可，不得採用他類級配粒料。

2.2.2 級配粒料須清潔、不含有機物、塊狀或團狀之土塊、雜物及其他有害物質，且於加水滾壓後，容易壓成一堅固而穩定之底層者，其粗粒料應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗[CNS 490][]結果，其磨損率不得大於[50%][]。

2.2.3 再生級配粒料應包括來源、處理製程、品質管制措施等；材料相關性質應經驗證符合環保法規之無害標準，且滿足道路工程需求，並有文件證明者。

2.2.4 使用之再生級配粒料，應剔除石膏、黏土塊、橡膠、塑膠、紙、布、木材及其他易碎物質等雜質。

2.2.5 使用再生級配粒料施工時，應照設計規定進行抽驗工作，必要時，得配合工程司指示進行抽驗。

2.2.6 若使用再生級配粒料中之爐渣材料時，亦應符合下列規定：

(1) 爐渣之品質應符合 CNS 15305 之要求。

(2) 鈦鐵礦氯化爐渣及鋼質粒料(氧化渣)應依 CNS 487、CNS 488 之規定辦理，其比重不得小於[1.5][]，吸水率不得大於[25%][]，且經[CNS 15311][]浸水膨脹試驗，其浸水膨脹比不得大於[0.5%][]。

2.2.7 若使用再生級配粒料中之焚化再生粒料時，應依 CNS 487、CNS 488 之規定辦理，其比重不得小於[1.5][]，吸水率不得大於[20%][]。

2.2.8 底層級配粒料之級配及品質

底層所用級配粒料主要有下列三類型，廠商應於施工前提出相關試驗報告，其結果應符合設計圖說之規定。底層所用級配粒料，必要時應按[CNS 1167][]硫酸鈉健度試驗法試驗，試驗結果其重量損失不得大於[12%][]，或硫酸鎂健度試驗法試驗，試驗結果其重量損失不得大於[18%][]。又粗粒料之組成，以重量計算，至少應有[75%][]以上具有 2 個以上之破碎面。級配粒料篩分析應依 CNS 486 之規定辦理。

(1) 第一類型

第一類型底層級配粒料之級配，應符合表一內，A 或 B 型中之一種。

表一 第一類型底層級配粒料之級配規定

試驗篩 (mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率 (%)	
	A	B
50.0 (2in)	100	100
25.0 (1in)	—	75~95
9.5 (3/8in)	30~65	40~75
4.75 (No. 4)	25~55	30~60
2.00 (No. 10)	15~40	20~45
0.425 (No. 40)	8~20	15~30
0.075 (No. 200)	2~8	5~20

(2) 第二類型

A. 級配

採用此類型底層級配粒料時，應在施工前，由工程司在表二所列容許級配範圍內選定一種級配，或由廠商選定並徵得工程司之同意後，按所選定之級配施工。施工時，其實際級配與所選定級配之許可差，不得超過表二之規定。

表二 第二類型底層級配粒料之級配規定

試驗篩 mm	容許級配範圍	實際級配與所選定級配之許可差
	通過方孔試驗篩之重量百分率(%)	
50.0 (2in)	100	-2
37.5 (1 1/2in)	95~100	-5
19.0 (3/4in)	70~92	±8
9.5 (3/8in)	50~70	±8
4.75 (No. 4)	35~55	±8
0.60 (No. 30)	12~25	±5
0.075 (No. 200)	0~8	+3

B. 品質

第二類型底層級配粒料之品質應符合表三之規定。

表三 第二類型底層級配粒料之品質規定

試驗項目	試驗值
C. B. R. 值，最少	[80][]
或 R 值，最少	[78][]
液性限度，最大	[25][]
塑性指數	[NP][]
含砂當量，最少	[35][]

(3) 第三類型

A. 級配

第三類型底層級配粒料之級配應符合表四之規定。

表四 第三類型底層級配粒料之級配規定

試驗篩 mm	通過方孔試驗篩之重量百分率(%)	
	A	B
50.0 (2in)	100	
37.5 (1 1/2 in)	90~100	
25.0 (1 in)	—	100
19.0 (3/4 in)	50~85	90~100
4.75 (No. 4)	30~45	35~55
0.60 (No. 30)	10~25	10~30
0.075 (No. 200)	2~9	2~9

B. 品質

第三類型底層級配粒料之品質應符合表五之規定。

表五 第三類型底層級配粒料之品質規定

試驗項目	試驗值(%)
C. B. R. 值・最少	[85][]
含砂當量，最少	[40][]

2.2.9 級配粒料之拌和

除級配粒料之級配已符合設計圖說或本章規範之規定者外，為使所用級配粒料之級配能符合規定，須以下列任何一法拌和之，若使用材料中含有焚化再生粒料，其拌和作業應於再利用機構或砂石場內進行或經目的事業主管機關核可後辦理。

(1) 拌和機拌和

- A. 所用拌和機應經工程司之認可。拌和機應經常保持良好之狀態，其輪葉或葉片，應具有適當之尺度及淨空，並予適當之調節，俾能生產均勻之合格材料。
- B. 拌和機應有足夠之生產能量，以便能在良好之工作效率下，繼續不斷地施工。
- C. 拌和時，應視實際需要，均勻噴入適量之水，俾使鋪築壓實時，能達到所需之壓實度。

(2) 機動平路機 (Motor Graders) 拌和

- A. 運至工地之級配粒料，如尚需另加粒料方能符合所規定之級配時，可在路基或基層堅實之情況下，以機動平路機拌和。
- B. 拌和時，通常係將較粗之粒料置於下層，較細之粒料置於上層，然後將粒料由路中翻至路側（或由路側翻至路中，視粒料之堆置位置而定），再由路側翻至路中，如是往返拌和直至級配均勻為止。
- C. 拌和時應注意勿使粒料有析離現象，並應避免損及路基或基層。

D. 在拌和過程中，應視實際需要，均勻灑以適量之水，務使級配粒料於鋪築壓實時，能達到所需之壓實度。

(3) 人工拌和

A. 如級配粒料數量不大時，得用鏟或其他工具以人工拌和至級配均勻為止。

B. 拌和時，應視實際需要，均勻灑以適量之水，務使級配粒料於鋪築壓實時，能達到所需之壓實度，惟應注意在粒料乾拌均勻以前不得灑水。

3. 施工

3.1 施工方法

3.1.1 雨天時應視氣候狀況，並徵得工程司之同意後方可施工。

3.1.2 施工所用之機械、工具設備等，均須工程司徵得之同意之方可使用，並須經常保養，以維持良好之作業狀況，所有機具設備，必須準備充份，以使工程能於適當之配合下順利進行，以避免發生延誤、中斷等情形。

3.1.3 路基或基層整理

依第 02336 章「路基整理」及第 02722 章「級配粒料基層」之各項規定辦理。

3.1.4 撒鋪材料

(1) 運達工地之合格材料，可直接倒入鋪料機之鋪斗中，攤平於已整理完成之路基或基層面上或分堆堆置於路基或基層上，然後以機動平路機或其他機具攤平。

(2) 在撒鋪之前，如工程司認為必要，應按其指示在路基或基層上灑水，以得一適宜之濕度。

(3) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象時，應按工程司之指示，以機動平路機拌和至前述現象消除為止。

- (4) 級配粒料應按設計圖說所示或工程司指示之厚度分層均勻鋪設，每層厚度應約略相等。
- (5) 鋪設時，應避免損及其下面之路基、基層或已鋪設之前一層，並按所需之全寬度鋪設。
- (6) 所有不合規定之顆粒及一切雜物，均應隨時予以撿除。
- (7) 級配粒料每層撒鋪厚度應依工程司之指示辦理，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定，務須足能達到所需之壓實度為原則。
- (8) 每層壓實度視滾壓機具之能量而異，除另有規定或工程司核准外，每層最大壓實厚度不得超過[20cm][] (鬆鋪厚度約為壓實厚度之 1.35 倍)，但亦不得小於所用粒料標稱最大粒徑之[2 倍][]。

3.1.5 滾壓

- (1) 級配粒料撒鋪及整形完成後，應立即以[10t][]以上三輪壓路機或震動壓路機滾壓。
- (2) 滾壓時，如有需要應以噴霧式灑水車酌量灑水，使級配粒料含有適當之含水量，俾能壓實至所規定之密度。
- (3) 如級配粒料含水量過多時，應俟其乾至適當程度後始可滾壓。
- (4) 滾壓時應由路邊開始，如使用三輪壓路機時，除另有規定者外，開始時須將外後輪之一半壓在路肩上滾壓堅實，然後逐漸內移，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之一半，直至全部滾壓堅實，達到所規定之壓實度時為止。
- (5) 在曲線超高處，滾壓應由低側開始逐漸移向高側。
- (6) 壓路機不能到達之處，應以夯土機或其他適當之機具夯實。
- (7) 滾壓後如有不平之處，應耙鬆後補充不足之材料，或移除多餘部分，然後滾壓平整。
- (8) 分層鋪築時，在每一層之撒鋪與壓實工作未經工程司檢驗合格之前，不得繼續鋪築其上層。
- (9) 鋪築上層級配粒料時，其下層表面應刮毛，以增加二層間之結合，並應具有適當之濕度，否則應酌量灑水使其濕潤。

- (10) 最後一層滾壓完成後，應以機動平路機刮平，或以人工修平，隨即再予滾壓。
- (11) 刮平及滾壓工作應相繼進行，直至所有表面均已平整堅實，並符合設計圖說所示之斷面為止。
- (12) 刮平及滾壓時，得視實際需要酌量灑水。

3.2 檢驗

3.2.1 級配粒料試驗頻率

- (1) 使用天然級配粒料時，應每[600m³][]做一次試驗。
- (2) 使用再生級配粒料時，除供料稽核外，每[500m³][]做一次試驗。

3.2.2 工地密度試驗

- (1) 試驗頻率
每一層至少應每[1,000m²][]做密度試驗一次。
- (2) 試驗方法
工地密度應以[CNS 14733][AASHTO T238][]等標準方法求之。

3.2.3 壓實度要求

- (1) 級配粒料底層應滾壓至設計圖或特訂條款所規定之壓實度。
- (2) 如無明確規定時，底層壓實度至少應達到依[CNS 11777][CNS 11777-1][]方法試驗，再以[CNS 14732][]方法校正所得最大乾密度之[95%][]以上。
- (3) 如試驗結果未達規定密度時，應繼續滾壓，或以翻鬆灑水或翻曬晾乾後重新滾壓之方法處理，務必達到所規定之密度為止。

3.3 許可差

3.3.1 頂面平整度許可差

- (1) 完成後之底層頂面應具平順、緊密及均勻之表面。
- (2) 以[3m][]長之直規沿平行於，或垂直於道路中心線之方向檢測時，其任何一點之高低差均不得超過[±1.5cm][]；如面層厚度在 7.5cm 以下時，其底層頂面之高低差不得超過[±0.6cm][]，不合格處應予整平壓實。

3.3.2 厚度許可差

- (1) 完成後之底層，由工程司隨機選取代表性地點鑽洞檢測其厚度。
- (2) 檢測之頻率為每[1,000m²][]做一次。
- (3) 檢測厚度結果，應符合下列規定。
 - A. 任何一點之厚度不得比設計厚度少[1.0cm][]以上。
 - B. 各點厚度之平均值不得小於設計厚度。
 - C. 如完成後之底層厚度未能符合以上規定時，應將其表面翻鬆後補充新料，並按規定重新滾壓至合格為止。經徵得工程司同意後，廠商得以上層較佳材料彌補不足之厚度，惟不得要求加價。
- (4) 檢測厚度所留洞孔應以適當之材料填補夯實。

3.4 保護

3.4.1 已完成之底層應經常灑水保養，以防細料散失。

3.4.2 如底層於鋪設面層之前發現有任何損壞或其他不良情況時，應重新整平滾壓。

4. 計量與計價

4.1 計量

級配粒料底層依不同規格，按完工後經檢驗合格之設計圖規定尺寸，以

4.2 計價

- 4.2.1 依契約詳細價目表內所列不同材料規格或粒料種類，以[立方公尺][平方公尺，註明厚度][]單價計價。該項單價已包括材料之供應、運輸、裝卸、拌和、撒鋪、灑水、滾壓、刮平及為完成底層所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸及為完成本工作所需之費用在內。
- 4.2.2 級配粒料底層使用再生粒料時，再生粒料材料費單價應獨立編列，另有關再生粒料底層施工費用包括運輸、裝卸、拌和、撒鋪、灑水、滾壓、刮平及為完成底層所需之一切人工、機具、設備、動力、運輸及為完成本工作所需之費用在內。
- 4.2.3 超出設計寬度及厚度所鋪設之任何部分均不予計價。

〈本章結束〉



台灣鋼鐵工業同業公會

Taiwan Steel & Iron Industries
A s s o c i a t i o n

台北市長安東路一段9號10樓

TEL:886-2-2542-7900 FAX:886-2-2531-6708