

# 轉爐石道路基底層

（使）（用）（手）（冊）



中國鋼鐵股份有限公司  
中龍鋼鐵股份有限公司

中華民國 109 年 3 月 25 日



## 摘要

鋼鐵工業可帶動下游工業之發展，具有改善工業結構與促進國家整體經濟發展之功能，因此素有「重工業之母」之稱呼；一貫作業煉鋼過程中產出之副產物以爐石為最大宗，中鋼公司及中龍公司年產轉爐石數量約 160 萬公噸。轉爐石具耐磨、高硬度及高承载力之特性，且轉爐石具微膠結性有利基底層之耐久性，又經適當安定化處理或混拌方式降低轉爐石體積膨脹以符合相關工程應用的規範要求。

鑑於鋼鐵工業對於達成循環經濟之目標殷切，行政院工程會公布之「第 02722 章 級配粒料基層」、「第 02726 章 級配粒料底層」施工綱要規範及經濟部標準檢驗局 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」、CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」標準中，規範道路基層、底層所使用煉鋼爐渣之品質，且依據世界各國研究結果及實務經驗顯示，轉爐石經適當安定化處理後可取代天然砂石應用於道路工程，作為填方材料、基底層級配料及瀝青混凝土面層材料等。而中鋼集團轉爐石經過安定化後可符合 CNS 15358 中依 CNS 15311 測試其 7 天膨脹率不超過 0.50% 之規定，以使用至道路基底層。

中鋼集團為宣導轉爐石之正確使用觀念，以確保轉爐石應用於道路基底層之績效，提升應用於道路基底層的工程品質，因此編撰「轉爐石道路基底層使用手冊」（以下簡稱本手冊）。本手冊主要內容包括改質轉爐石、蒸汽養生轉爐石及轉爐石瀝青混凝土刨除料之材料性質、粒料產品標準、基底層工程性質、應用實例及效益、使用要點及驗證機制等。本手冊除可作為工程主辦機關、設計及施工單位、營造業等相關產業參考遵循外，亦可提供轉爐石資源化應用於道路基底層之相關規範，有利於促進永續發展政策之推行及確保公共工程之品質。



# 目錄

摘要.....	I
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
<b>第一章 總則 .....</b>	<b>1</b>
1.1 一般原則 .....	1
1.2 內容說明 .....	4
<b>第二章 材料性質 .....</b>	<b>7</b>
2.1 轉爐石之生產 .....	7
2.2 轉爐石之性質 .....	11
2.3 轉爐石之安定性 .....	16
<b>第三章 產品標準 .....</b>	<b>23</b>
3.1 轉爐石使用試驗標準與施工規範 .....	23
3.2 轉爐石環境相容性 .....	23
<b>第四章 工程性質、實例及效益 .....</b>	<b>25</b>
4.1 工程用途 .....	25
4.2 工程性質 .....	25
4.3 應用實例 .....	29
4.4 產品效益 .....	39
<b>第五章 使用規範 .....</b>	<b>41</b>
5.1 一般原則 .....	41
5.2 轉爐石供料計畫書與產品規格證明書 .....	41
5.3 轉爐石級配粒料基層材料、產製與施工 .....	45
5.3.1 材料 .....	45
5.3.2 產製 .....	48
5.3.3 施工 .....	49
5.3.4 品質檢驗 .....	51
5.3.5 計量與計價 .....	52
5.4 轉爐石級配粒料底層材料、產製與施工 .....	53
5.4.1 材料 .....	53
5.4.2 產製 .....	55
5.4.3 施工 .....	56
5.4.4 品質檢驗 .....	58
5.4.5 計量與計價 .....	59
<b>第六章 驗證機制 .....</b>	<b>61</b>
6.1 施工品質驗證機制 .....	61

6.2 環境相容性驗證機制 .....	62
<b>第七章 品質管理與注意事項 .....</b>	<b>65</b>
7.1 一般原則 .....	65
7.2 品質管理 .....	65
7.3 注意事項 .....	66
<b>附錄 1 公共工程委員會施工綱要規範</b>	
<b>附錄 1.1 公共工程委員會施工綱要規範第 02722 章 級配粒料基層</b>	
<b>附錄 1.2 公共工程委員會施工綱要規範第 02726 章 級配粒料底層</b>	

## 表目錄

表 1.1	使用者快速索引對照表.....	5
表 2.1	轉爐石化學成分之含量.....	13
表 2.2	轉爐石之物理性質.....	14
表 2.3	轉爐石瀝青混凝土刨除料比重試驗結果.....	15
表 2.4	洛杉磯磨損試驗結果.....	15
表 2.5	含砂當量試驗結果.....	16
表 2.6	轉爐石改質處理與天然粒料混拌之膨脹率.....	17
表 2.7	轉爐石蒸汽養生法之批次間膨脹率.....	18
表 2.8	轉爐石蒸汽養生法與天然粒料混拌之膨脹率.....	19
表 3.1	國內外轉爐石應用於道路級配粒料基底層之試驗標準及施工規範.....	23
表 3.2	TCLP 溶出濃度測值與認定標準.....	24
表 4.1	轉爐石(蒸汽養生法) 工程性質.....	27
表 4.2	轉爐石瀝青混凝土刨除料取代之試驗配比.....	28
表 4.3	國內道路底層應用轉爐石級配粒料的實例.....	29
表 4.4	中聯沿海場及高雄市中林路旁中鋼場區道路工程轉爐石取代率.....	31
表 4.5	再利用產品檢測結果-轉爐石刨除料.....	35
表 4.6	再利用產品檢測結果-改質轉爐石.....	36
表 4.7	再利用產品檢測結果-原道路基底層及路床.....	36
表 4.8	土壤分析結果-轉爐石刨除料.....	37
表 4.9	土壤分析結果-改質轉爐石.....	38
表 4.10	地下水分析結果-轉爐石刨除料.....	38
表 4.11	地下水分析結果-改質轉爐石與原道路基底層.....	39
表 5.1	基底層用粒料性質要求.....	42
表 5.2	基底層用轉爐石粒料自主管理產品標準.....	42
表 5.3	第一類型基層級配料之級配及品質規定.....	45
表 5.4	第二類型基層級配料之級配及品質規定.....	46

表 5.5	第三類型基層級配料之級配及品質規定.....	46
表 5.6	第四類型基層級配料之級配及品質規定.....	47
表 5.7	粒料依比重修正使用比例之範例.....	47
表 5.8	級配粒料基層之檢驗方式與頻率.....	49
表 5.9	第一類型底層級配粒料之級配規定.....	53
表 5.10	第二類型底層級配粒料之級配及品質規定.....	54
表 5.11	第三類型底層級配粒料之級配及品質規定.....	54
表 6.1	108 年度 4 季 TCLP 檢測結果與認定標準.....	63



## 圖目錄

圖 1.1	道路結構剖面示意圖.....	3
圖 2.1	鋼鐵生產流程示意圖.....	7
圖 2.2	爐石產出流程及資源化途徑.....	8
圖 2.3	轉爐石改質法之原理.....	9
圖 2.4	轉爐石改質法設備.....	9
圖 2.5	轉爐石改質法作業流程.....	10
圖 2.6	轉爐石蒸汽養生法試驗設備.....	10
圖 2.7	轉爐石蒸汽養生法作業流程.....	10
圖 2.8	轉爐石 CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 三相圖 .....	12
圖 2.9	轉爐石改質法處理之膨脹率.....	16
圖 2.10	轉爐石改質處理與天然粒料混拌之膨脹率.....	17
圖 2.11	轉爐石蒸汽養生法之批次間膨脹率.....	18
圖 2.12	轉爐石蒸汽養生法之長時間膨脹率變化.....	18
圖 2.13	轉爐石蒸汽養生法與天然粒料混拌之膨脹率.....	19
圖 2.14	轉爐石瀝青混凝土刨除料用量與膨脹率關係圖.....	20
圖 4.1	轉爐石(改質法)取代粗粒料級配曲線.....	26
圖 4.2	轉爐石(改質法)CBR 值.....	26
圖 4.3	轉爐石(蒸汽養生法)取代天然粒料級配曲線.....	27
圖 4.4	轉爐石瀝青混凝土刨除料取代之級配曲線.....	28
圖 4.5	轉爐石瀝青混凝土刨除料 CBR 貫入試驗趨勢圖.....	29
圖 4.6	中聯沿海場及高雄市中林路旁中鋼場區道路工程執行流程.....	30
圖 4.7	轉爐石基底層道路實廠鋪設.....	31
圖 4.8	中聯沿海場試驗路段配置圖(長度單位:公尺).....	31
圖 4.9	平坦度試驗值.....	32
圖 4.10	莊敬路轉爐石基底層鋪築配置圖.....	33
圖 4.11	平坦度試驗.....	33

圖 4.12 車轍試驗.....	34
圖 4.13 抗滑試驗.....	34
圖 4.15 產品碳足跡.....	39
圖 5.1 轉爐石產品規格證明書樣式(a).....	43
圖 5.1 轉爐石產品規格證明書樣式(b).....	43
圖 6.1 道路基底層驗證項目.....	61

# 第一章 總則

## 1.1 一般原則

### 1. 緣起

鋼鐵工業為產業發展之基礎，舉凡各種產品製造、營建工程、交通運輸及工商機具等，皆與鋼鐵工業息息相關，但伴隨著鋼鐵製造過程而產出的副產物，在環保意識日益高漲的大環境下，如何妥善處理與利用皆需審慎的面對與思考。鋼鐵業生產副產物之資源化，須視其性質與特性，擇定合適用途進行推動，其相關處理與再利用技術為必備條件外，探詢多元且有大量材料需求之再利用途徑，方能有效達到資源化目的，以建立合乎市場經濟規模的資源循環體系，進而降低環境成本。

轉爐石為一貫作業煉鋼廠在煉製鋼液時，將鐵水、副原料加入轉爐後，以純氧吹煉而產出鋼液及熱熔渣，其中經冷卻之熱熔渣稱為轉爐石 (Basic Oxygen Furnace slag, BOF slag)。轉爐石屬煉鋼爐渣 (steel slag) 之一，具有耐磨、高硬度之特性，作為基底層能提供較高之承载力，並可同時解決國內砂石資源短缺之困境。行政院工程會公布之「第 02722 章 級配粒料基層」<sup>[1.1]</sup>、「第 02726 章 級配粒料底層」<sup>[1.2]</sup> 施工綱要規範及經濟部標準檢驗局 CNS 15305 「級配粒料基層、底層及面層用材料」<sup>[1.3]</sup>、CNS 15358 「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」<sup>[1.4]</sup> 標準中，規範道路基層、底層所使用煉鋼爐渣之品質，且依據世界各國研究結果及實務經驗顯示，轉爐石經適當安定化處理後可取代天然砂石應用於鋪面工程，作為填方材料、基底層級配料及瀝青混凝土面層材料等。

### 2. 目的

轉爐石經過安定化處理可降低其膨脹性，以符合 CNS 15358 中依 CNS 15311 測試其 7 天膨脹率不超過 0.50% 之規定，轉爐石作為道路基底層天然粒料之替代材料，能降低天然資源開採及節省工程成本。為有效推廣資源再利用，將轉爐石導入土木工程之使用有其

必要性。而配合政府推動瀝青混凝土刨除料再利用之政策，另針對轉爐石瀝青混凝土刨除料應用於道路基底層，提供相關技術資訊及驗證結果，納入統整以供使用者參考。因此，本手冊編撰目的為提供工程界使用轉爐石及與轉爐石瀝青混凝土刨除料作為基底層之說明。

### 3. 定義

#### (1) 煉鋼爐渣

本手冊所稱之「煉鋼爐渣」係指生產鋼鐵之鐵礦原料及助熔劑（如石灰、焦炭）在高溫熔爐中反應所產生之熔渣。目前國內煉鋼方法大致有轉爐及電弧爐 2 種，常見之煉鋼爐渣有轉爐石及電弧爐石等兩種，按不同之生產流程，可分為轉爐石、碳鋼電弧爐渣及不鏽鋼電弧爐渣等類煉鋼爐渣。

#### (2) 轉爐石

本手冊之「轉爐石」，為一貫作業煉鋼廠在煉製鋼液時，將鐵水、副原料加入轉爐後，以純氧吹煉而產出鋼液及熱熔渣，冷卻後再經安定化及破碎、磁選與篩分處理產出轉爐石，按不同安定化處理方式，有改質轉爐石及蒸汽養生轉爐石等 2 種，粒料品質符合 CNS 規定，可作為道路級配粒料基底層使用材料。

##### A. 改質轉爐石

改質轉爐石之產出流程係於 1400°C 之熱轉爐渣吹入氧氣及改質劑(矽砂)，吹入氧氣使轉爐渣中 FeO 氧化成為 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，產生熱能使吹入之 SiO<sub>2</sub> 與游離石灰/氧化鎂熔融形成穩定之矽酸鹽及鐵酸鹽等化合物，將遇水膨脹的游離石灰/氧化鎂加以有效轉化去除，再經過破碎、磁選與篩分處理產出之改質轉爐石，其粒料品質符合 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」、CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」之規定，可作為道路級配粒料基底層使用材料。

## B. 蒸汽養生轉爐石

蒸汽養生轉爐石之產出流程係將破碎、磁選與篩分處理產出之轉爐石，置入常壓蒸汽養生設備，使轉爐石與蒸汽充分接觸，藉由蒸汽中之水分與游離氧化鈣、游離氧化鎂反應達到體積安定化之目的，按此製程產出之蒸汽養生轉爐石其粒料品質符合 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」、CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」之規定，可作為道路級配粒料基底層使用材料。

### (3) 轉爐石瀝青混凝土刨除料

本手冊之「轉爐石瀝青混凝土刨除料」，為既有路面之轉爐石瀝青混凝土材料經挖（刨）除運回拌和廠打碎，其粒料品質符合 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」、CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」之規定，可作為道路級配粒料基底層使用材料。

### (4) 道路基底層

道路基底層係用於道路鋪面層下之粒料層(路面結構參圖 1.1)，其由符合特定級配之粒料混拌而成，其材料、品質相關規範需符合行政院工程會公布之「第 02722 章 級配粒料基層」、「第 02726 章 級配粒料底層」之規定。

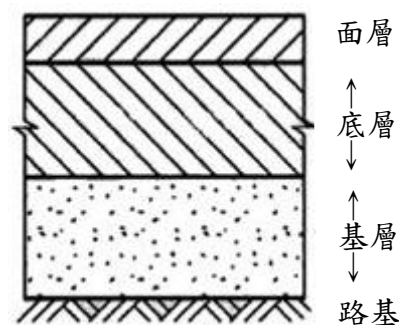


圖 1.1 道路結構剖面示意圖

## 1.2 內容說明

本手冊內容彙整轉爐石材料性質、產品標準，道路基底層使用之工程性質、實例及效益、使用規範及驗證機制，為利於各使用單位快速查閱，表 1.1 列明使用者快速索引對照表。本手冊內容摘要說明如下：

### 1. 第二章 材料性質

轉爐石品質應符合 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」及 CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」標準要求，以作為管制轉爐石產品品質依據。本章內容主要詳述轉爐石生產過程及物化性質，並特納入膨脹率量測資訊，以驗證材料安定性。

### 2. 第三章 產品標準

依據 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」及 CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」之規定，本章內容主要提供轉爐石產品之使用試驗標準與施工規範，以及環境相容性等資訊。

### 3. 第四章 工程性質、實例及效益

轉爐石按特定級配要求，混拌於道路基底層使用，其材料、品質相關規範需符合行政院工程會公布之「第 02722 章 級配粒料基層」、「第 02726 章 級配粒料底層」之規定。為敘明轉爐石於道路基底層之材料適用性，本章內容主要按試驗與現地使用評估結果，提出應用實例及其績效。

### 4. 第五章 使用規範

按行政院工程會公布之「第 02722 章 級配粒料基層」、「第 02726 章 級配粒料底層」之規定，本章內容就轉爐石應用於道路基底層之適用範圍、運送要點及施工要點（含準備工作與施工方法）等作業，提出使用要點，及與天然粒料混拌使用之摻配添加方式，以確保工程品質。

### 5. 第六章 驗證機制

按行政院工程會公佈之「第 02722 章 級配粒料基層」、「第 02726 章 級配粒料底層」

之規定，本章內容就轉爐石道路基底層完工後，提出驗證檢驗方式，並特納入與環境相容性之轉爐石材料與現地之驗證檢驗方式，以確保使用無虞。

## 6. 第七章 品質管理與注意事項

轉爐石於工程應用時，其品質與各階段作業息息相關，本章內容特將前章節所述之品質管制措施及注意事項，供各界使用時參考引用，以提升轉爐石應用於基底層工程品質。

表1.1 使用者快速索引對照表

對象	項目	參考章節
道路工程採購機關	1.採購招標規範、規格 2.計價方式 3.驗收項目與檢驗項目	第三章 產品標準 3.1 轉爐石使用試驗標準與 施工規範 3.2 轉爐石環境相容性 第五章 使用規範
道路工程設計、監造單位	1.允收標準與檢驗報告 2.供料使用管理記錄 3.品質檢測報告	第三章 產品標準 3.1 轉爐石使用試驗標準與 施工規範 第五章 使用規範 5.1 一般原則 5.2 轉爐石供料計畫書與產 品規格證明書 5.3 轉爐石級配粒料基層材 料、產製與施工 5.4 轉爐石級配粒料底層材 料、產製與施工
級配粒料之試驗單位	級配粒料配合設計流程	第三章 產品標準 3.1 轉爐石使用試驗標準與 施工規範 3.2 轉爐石環境相容性 第五章 使用規範 5.3.1 材料(基層) 5.4.1 材料(底層)
工程施工單位	1.生產與管理記錄 2.道路級配粒料基層及底層品質管 理	第五章 使用規範
轉爐石及其粒料生產業者	材料性質與標準	第三章 產品標準 3.1 轉爐石使用試驗標準與 施工規範 3.2 轉爐石環境相容性

## 參考文獻

- 1.1 「公共工程施工綱要規範第 02722 章【級配粒料基層】」，行政院公共工程委員會。
- 1.2 「公共工程施工綱要規範第 02726 章【級配粒料底層】」，行政院公共工程委員會。
- 1.3 「級配粒料基層、底層及面層用材料」，中華民國國家標準 CNS 15305。
- 1.4 「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」，中華民國國家標準 CNS 15358。



## 第二章 材料性質

### 2.1 轉爐石之生產

#### 1. 轉爐石產出

中鋼集團(中鋼公司、中龍公司)之煉鋼製程係採一貫作業鋼鐵冶煉方式，有關生產流程如圖 2.1。高爐石 (Blast Furnace slag, BF slag) 為一貫作業煉鋼廠在煉鐵過程產出之副產物，高爐石經急速水冷卻即形成所謂之水淬高爐石，中鋼 95% 以上高爐石係以水淬高爐石型態產出，此水淬高爐石經研磨成粉即為爐石粉，爐石粉與水泥摻配成為高爐水泥，取代一般水泥應用於營建工程過程中；另約 5% 高爐石則以空氣自然冷卻方式產出，此部分氣冷高爐石大都用於道路級配使用；生產 1 噸鐵水會自高爐產出約 310 公斤之之高爐石。鐵水送到轉爐煉鋼過程中亦須加入石灰石等石材當助熔劑，以除去鐵水中的雜質，每生產 1 噸鋼液會自轉爐產出約 100-118 公斤之轉爐石 (Basic Oxygen Furnace slag, BOF slag) 可作為道路等工程材料使用。有關高、轉爐石資源化途徑如圖 2.2 所示。

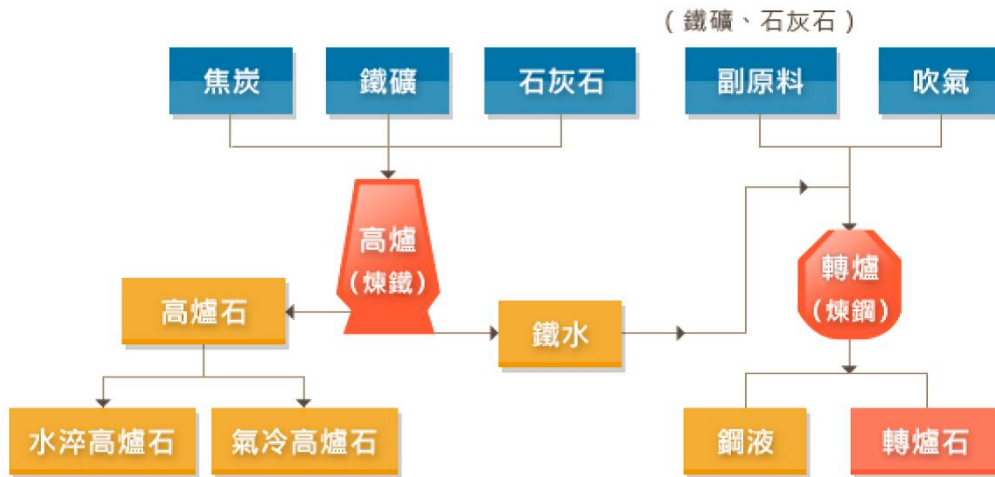


圖 2.1 鋼鐵生產流程示意圖

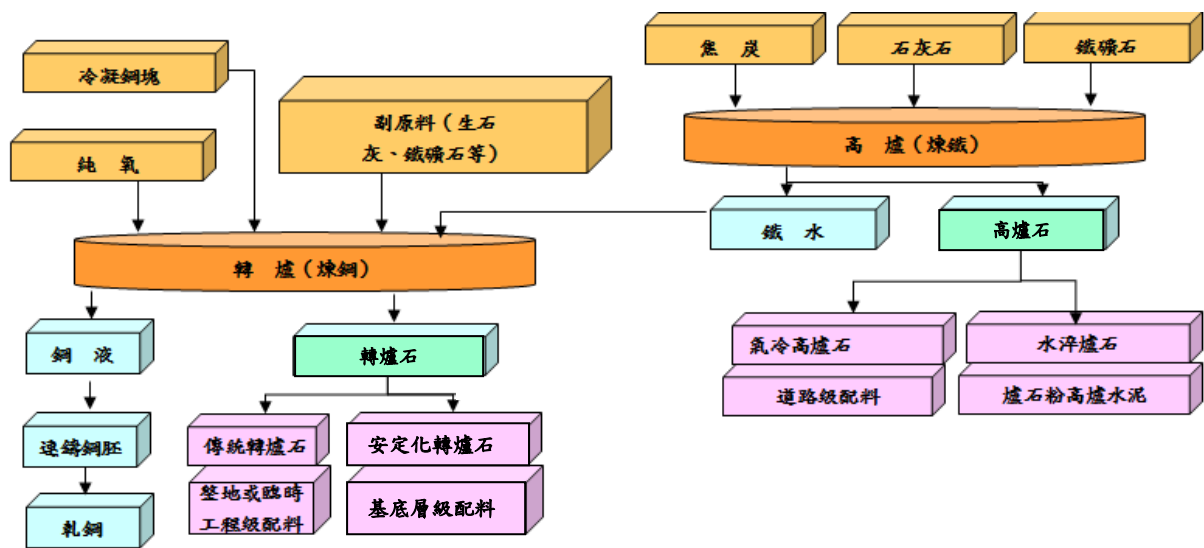


圖 2.2 爐石產出流程及資源化途徑

## 2. 轉爐石安定化處理

在煉鋼製程中，由於煉鋼熔渣倒出時無法完全與鋼液分離，故轉爐石中常含有鐵成分；另為去除鋼液中之雜質常加入大量石灰，因此在鋼液吹煉完成後產出之轉爐石會含有游離石灰（f-CaO）。針對中鋼於煉鋼過程產出之轉爐石等成分，由於高爐產生之銑鐵中含有高量碳以及有害於鋼鐵材料之成分，如矽、磷及硫使銑鐵堅硬易脆，因此必須將銑鐵在轉爐中精煉，並添加石灰與其他助熔劑以去除有害成分。因此，轉爐石於出渣冷卻時，若未經任何處理程序，會因轉爐石中存在之游離氧化鈣（f-CaO）及氧化鎂（f-MgO）而引起膨脹現象，進而造成體積不穩定。為了進一步改善轉爐石本身之膨脹性質，就國內外各種安定化處理技術說明如下。目前中鋼集團主要以供應採「改質法」及「蒸汽養生法」之轉爐石，作為級配粒料基底層使用，本手冊亦依該 2 種安定化處理後之材料與應用實例進行驗證。

### (1) 改質法

「改質法」<sup>[2.1]</sup>為中鋼現行安定化方法之一，亦為本手冊產品使用之安定化方法。係由德國 ThyssenKrupp 公司及 FEhS 建築研究所開發之技術<sup>[2.2]</sup>，原理係於 1400°C 之熱渣吹入氧氣及改質劑(矽砂)，吹入氧氣使渣中 FeO 氧化成為 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，產生熱能使吹入之 SiO<sub>2</sub> 與游離石灰/氧化鎂熔融形成穩定之矽酸鹽及鐵酸鹽等化合物，將遇水膨脹

的游離石灰/氧化鎂加以有效轉化去除(如圖 2.3)。其製程操作程序包含轉爐石運送及溫度控管、改質劑添加、改質吹煉、熱渣取樣、線上快速檢測等(改質法設備如圖 2.4；改質法作業流程如圖 2.5)，改質後的轉爐石依 CNS15311 量測遇水的膨脹率可降至 0.5 % 以下，故可有效消除轉爐石遇水膨脹的問題。目前此技術已被德國 ThyssenKrupp 公司及 ArcelorMittal 公司比利時根特廠所採用<sup>[2,3]</sup>，德國已將改質法產製之轉爐石廣泛應用於道路及水利工程材料<sup>[2,4]</sup>。

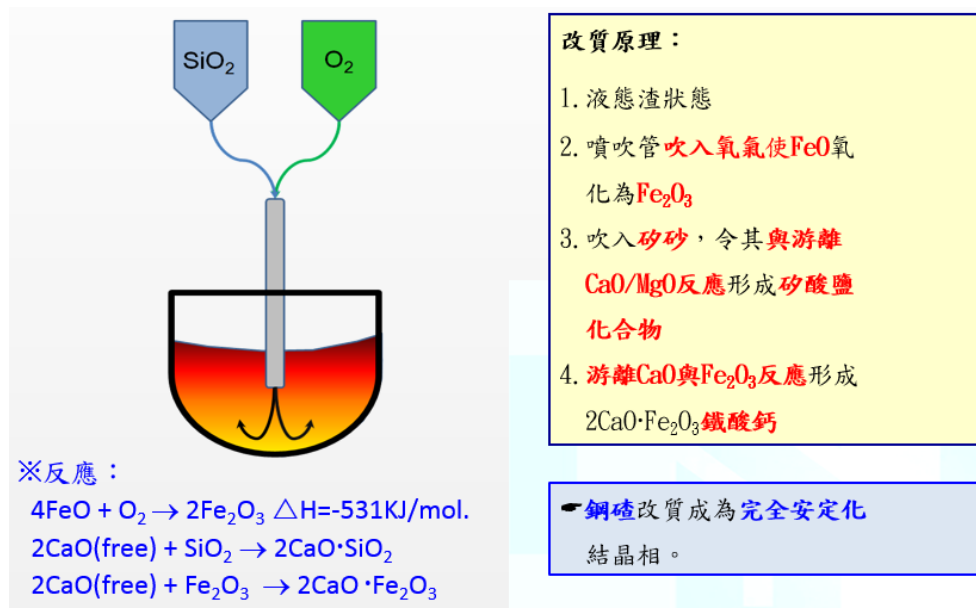


圖 2.3 轉爐石改質法之原理



圖 2.4 轉爐石改質法設備

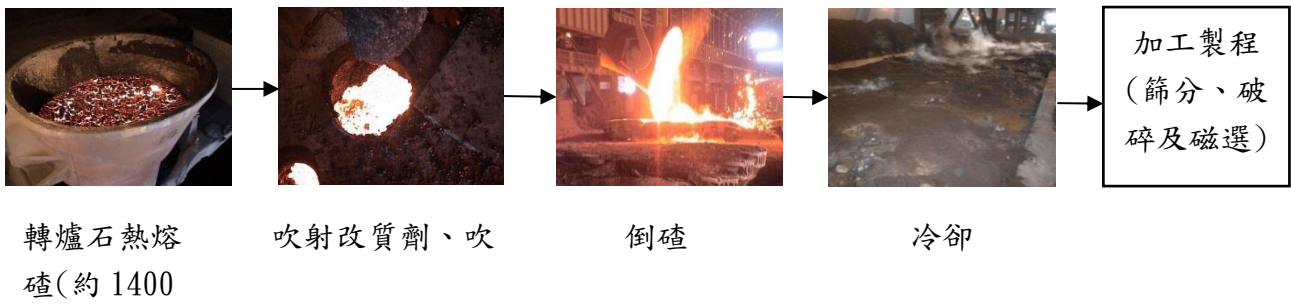


圖 2.5 轉爐石改質法作業流程

(2) 蒸汽養生法

蒸汽養生法為中鋼現行安定化方法之一，亦為本手冊產品使用之安定化方法。主要通入常壓蒸汽或高壓蒸汽使轉爐石與蒸汽充分接觸，藉由蒸汽中之水分與游離氧化鈣、游離氧化鎂反應達到體積安定化之目的，有關廠內蒸汽養生法試驗設備與作業流程如圖 2.6 及圖 2.7 所示。



圖 2.6 轉爐石蒸汽養生法試驗設備

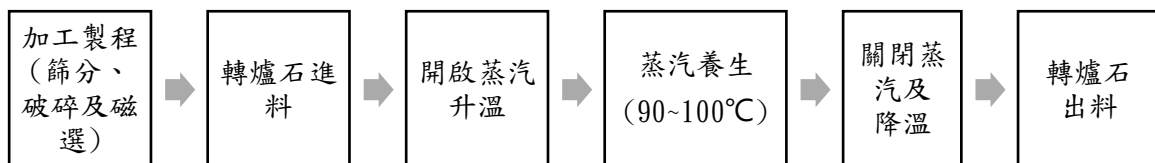


圖 2.7 轉爐石蒸汽養生法作業流程

### 3. 轉爐石產出作業方式

有關轉爐石產出作業方式詳下說明：

#### (1) 破碎

破碎處理係指利用外力的施予，令大塊的轉爐石碎裂，使其顆粒大小及級配符合工程需要，並利於用磁選機去除高含鐵成分。目前使用機械破碎方式，利用破碎機具，以震動或槌擊等方式進行處理。

#### (2) 磁選

磁選處理係指利用電磁原理以回收內含鐵物質，如殘鋼等，該類含鐵物質經過精製後可用於廠內回收。

#### (3) 篩分

篩分處理係指將已經完成破碎與磁選處理程序的轉爐石，利用篩分機篩成符合使用需求之級配粒料規格，可作為道路基底層材料等使用。

## 2.2 轉爐石之性質

### 1. 化學性質

轉爐煉鋼是以鐵水吹氧冶煉，而轉爐石經安定化流程處理後，化學組成與未經安定化處理之轉爐石並無太大差異，惟各含量之比例稍有不同，主要有  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$  等，其三相圖如圖 2.8 所示，與水泥生料所用之石灰石、黏土及鐵粉之主要成分相似。有關化學成分含量如表 2.1 所示，各主要化學成分特性如下說明。

- (1) 氧化鈣 ( $\text{CaO}$ )： $\text{CaO}$  為爐渣之主要成分， $\text{CaO}$  含量高，能生成較多矽酸鹽類，形成水化反應活性(以下活性皆指水化反應的活性)較高之矽酸二鈣 ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) 及硫鋁酸鈣。
- (2) 二氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ )： $\text{SiO}_2$  主要生成低鈣矽酸鹽和高矽玻璃體，有時  $\text{SiO}_2$  以游離狀態存在，阻礙礦物水化結晶過程使其活性下降，由於轉爐石中  $\text{CaO}$  與  $\text{MgO}$  之總含量，不足以使  $\text{SiO}_2$  充分結合成玻璃質，所以  $\text{SiO}_2$  含量過多反而降低活性。

- (3) 三氧化二鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ):  $\text{Al}_2\text{O}_3$  亦是決定爐渣活性之成分之一，在爐渣中易形成鋁酸鹽和鋁矽酸鹽等礦物，其含量愈多活性愈大。
- (4) 氧化鎂 ( $\text{MgO}$ ): 在轉爐石內  $\text{MgO}$  與  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  結合成穩定型化合物，當  $\text{MgO}$  增加時會提高轉爐石之活性，因此轉爐石中  $\text{MgO}$  含量多寡與其活性大小有關。
- (5) 硫 ( $\text{S}$ ):  $\text{S}$  在爐渣中通常與  $\text{CaO}$  結合成  $\text{CaS}$ ，在有  $\text{MnO}$  存在情況下易生成  $\text{MnS}$ 。
- (6) 氧化錳 ( $\text{MnO}$ ):  $\text{MnO}$  含量在 1~8%，氧化錳之存在會影響轉爐石之健度。
- (7) 游離氧化鈣 ( $\text{f-CaO}$ ):  $\text{f-CaO}$  吸收大氣中之水分與二氧化碳而反應，使轉爐石體積膨脹，惟經過安定化流程後可有效降低其游離氧化鈣含量。
- (8) 游離氧化鎂 ( $\text{f-MgO}$ ):  $\text{f-MgO}$  吸收大氣中之水分而反應，使轉爐石體積膨脹，惟轉爐石經安定化處理後，游離氧化鎂含量降低。
- (9) 其他雜質: 轉爐石內可能仍含有各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使爐石微觀結構更加開放，進而增加其活性。

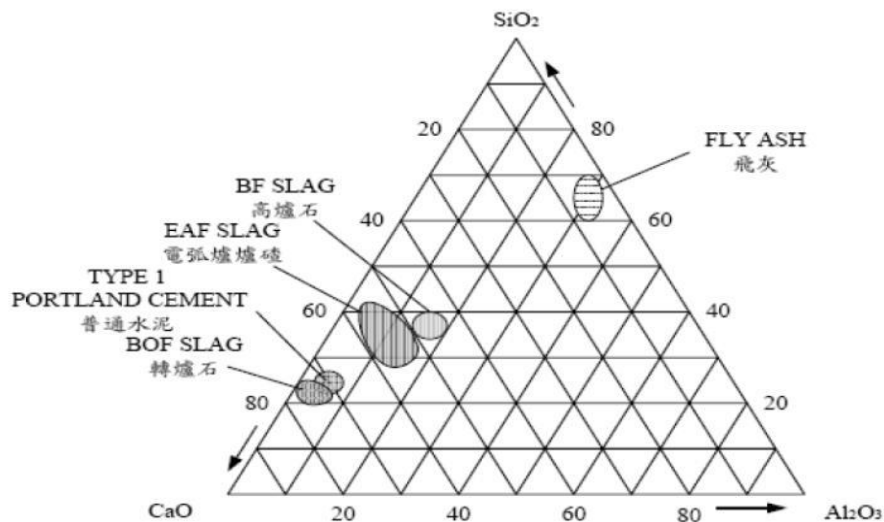


圖 2.8 轉爐石  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  三相圖

表2.1 轉爐石化學成分之含量

化學物質	轉爐石					改質/蒸汽養生轉爐石			
	含量(註1) (%)	含量(註2) (%)	含量(註3) (%)	含量(註4)(%)		改質法		蒸汽養生法	
				平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
氧化鈣 (CaO)	42~52	40~52	42	40.8	2.43	37.62	4.06	38.35	1.12
二氧化矽 (SiO <sub>2</sub> )	10~20	10~19	15	10.4	1.74	20.57	3.55	12.69	1.42
氧化鐵 (FeO <sub>x</sub> )	15~35	10~40	24	28.2	4.62	27.52	4.83	34.12	1.91
氧化錳 (MnO)	3~10	5~8	5	2.05	0.59	2.70	0.59	2.98	0.22
氧化鎂 (MgO)	1~8	5~10	8	6.9	1.24	5.84	1.69	4.25	0.49
三氧化二鋁 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.5~3	1~3	5	3.4	1.14	1.89	0.88	3.58	1.11
五氧化二磷 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1.5~4	0.5~1	0.8	2.6	0.3	3.18	2.00	2.94	0.22
硫 (S)	0.25	< 0.1	0.08	—	—	0.04	0.02	0.15	0.01
氧化鉻 (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	< 2	—	—	0.2	0.04	0.16	0.04	0.27	0.04
CaO/ SiO <sub>2</sub>	4	—	—	4.0	0.62	1.88	0.37	3.06	0.36

資料來源

註1：Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure (SAM-06-DE05)。

註2：Turner Fairbank Highway Research Center, Material Description for Steel Slag.

註3：National Slag Association, Steel Slag-A Premier Construction Aggregate.

註4：中鋼、中龍101-105年度統計資料

註5：中鋼轉爐石(改質法處理)統計資料

註6：中鋼轉爐石(蒸汽養生處理)統計資料

## 2. 物理性質

轉爐石係由多種礦物組成之固熔體，隨著化學成分之變化而有所不同，其物理性質與化學成分有著密切關係，而安定化處理後之轉爐石與未安定化處理之轉爐石間物理性質差異性不大，惟經過安定化處理之轉爐石可大幅降低其膨脹性，如表 2.2 所示，有關轉爐石特性如下說明。

- (1) 耐磨性(abrasion resistance): 轉爐石有堅硬表面及較佳抗磨損能力, 抗風化(weathering)及抗侵蝕能力好(erosion)。

- (2) 摩擦性 (friction properties)：轉爐石外表粗糙凹凸且富有稜角，可提高顆粒間彼此之抗摩擦能力 (wear resistance)，使用於基底層可有助於提高道路之承載能力。
- (3) 比重 (specific gravity)：轉爐石含氧化鐵成分高，使其比重約略為 3.4 (大於天然級配料約 18%~33%)。
- (4) 吸水率 (water absorption)：轉爐石粒料表面孔隙較天然粒料多，因此吸水率較高，惟經過安定化處理後可減少其表面孔隙，降低其吸水率。
- (5) 膨脹性：轉爐石吸水後 f-CaO 會水化成氫氧化鈣 (Ca(OH)<sub>2</sub>)、f-MgO 會水化為氫氧化鎂 (Mg(OH)<sub>2</sub>)，體積膨脹會膨脹，惟經過安定化處理後可有效降低其膨脹性。
- (6) 承載力：轉爐石級配料之加州承載比(CBR)值較天然級配料高，其應用至道路基底層能提供較高之承載力。

表2.2 轉爐石之物理性質

物理性質		參考值				規範值	
		轉爐石 (註 1)	改質/蒸汽養生轉爐石			粗粒料	細粒料
			改質法(註 1)	蒸汽養生法(註 2)			
			粗粒料	細粒料			
比重	烘乾狀態	3.40	3.47	3.36 - 3.46	2.87 - 3.00	—	—
	面乾內飽和狀態			3.39 - 3.49	3.00 - 3.18	-	-
吸水率 (%)		1.2 - 2.9	0.8 - 1.5	0.91 - 0.95	4.39 - 4.54	—	—
洛杉磯磨損 (%)		9.7 - 16.7	5.1 - 15.1	13		≤ 50	—
健性試驗 (%)		0.0 - 1.3	0.0 - 1.0	0.12	1.1	硫酸鈉健度試驗法 ≤ 12 硫酸鎂健度試驗法 ≤ 18	
浸水膨脹比 (%)		1.5 - 6.0	0.0 - 0.45	0.26 - 0.29		≤ 0.5	
資料來源							
註1：中鋼試驗統計資料							
註2：臺灣營建研究院試驗統計資料							

### 3. 轉爐石瀝青混凝土刨除料性質

根據既有轉爐石瀝青混凝土鋪設道路，刨除後進行轉爐石瀝青混凝土刨除料性質分析，其轉爐石瀝青混凝土鋪面，係用轉爐石粗粒料全取代天然粗粒料(約佔總粒料之 60%)，有關轉爐石瀝青混凝土刨除料性質如下說明。



(1) 比重 (specific gravity) :

轉爐石瀝青混凝土刨除料與一般天然粒料比重相異，如表 2.3 所示，天然粒料約 2.62、轉爐石瀝青混凝土刨除料約 2.85。

表2.3 轉爐石瀝青混凝土刨除料比重試驗結果

材料	天然粒料	轉爐石瀝青混凝土刨除料		
比重	2.624	2.845		
吸水率(%)	2.30	0.59		
含油率(%)	0	4.2	4.7	4.9
資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料				

(2) 吸水率 (water absorption) :

天然粒料吸水率大約為 2.30%，轉爐石瀝青混凝土刨除料為 0.59%(如表 2.3 所示)，顯示轉爐石瀝青混凝土刨除料遠低於天然粒料，原因是部分轉爐石瀝青混凝土刨除料尚有部分粒料包含瀝青膠泥，使水分無法侵入粒料，因此吸水率會較低。

(3) 耐磨性 (abrasion resistance) :

轉爐石瀝青混凝土刨除料之洛杉磯磨損與一般天然粒料相近，可以發現兩者抵抗磨損性能佳，皆能符合規範要求，磨損試驗與含砂當量試驗結果如表 2.4、表 2.5。

表2.4 洛杉磯磨損試驗結果

試樣	天然粒料	轉爐石瀝青混凝土刨除料
試樣重(g)	5000	5000
留#12 篩重(g)	4033.5	4292.5
損失重(g)	966.5	707.5
磨損率(g)	19.33	14.15
備註	1. 依 CNS 490 A3009 規定以 A 試樣級配進行試驗，磨球數量為 12 個，磨球總質量約為 5000 (正負 25) g 2. 依施工綱要規範第 02722 章及第 02726 章，基底層級配料之品質規定磨損率不得大於 50%	
資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料		

(4) 含砂當量：

轉爐石瀝青混凝土刨除料之含砂當量與天然粒料相近，且符合施工規範中第二類型基層級配料之品質規定與第二類型底層級配料之品質規定。

表2.5 含砂當量試驗結果

試驗次數	天然粒料	轉爐石瀝青混凝土刨除料
含砂當量(%)	85.71	88.19
備註	1. 依施工規範第 02722 章 級配粒料基層，第二類型基層級配料之品質規定，含砂當量最少 25%，最少分別為 A-30%、B-25%、C-20%。 2. 依施工規範第 02726 章 級配粒料底層，第二類型底層級配料之品質規定，含砂當量最少 35%。	
資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料		

## 2.3 轉爐石之安定性

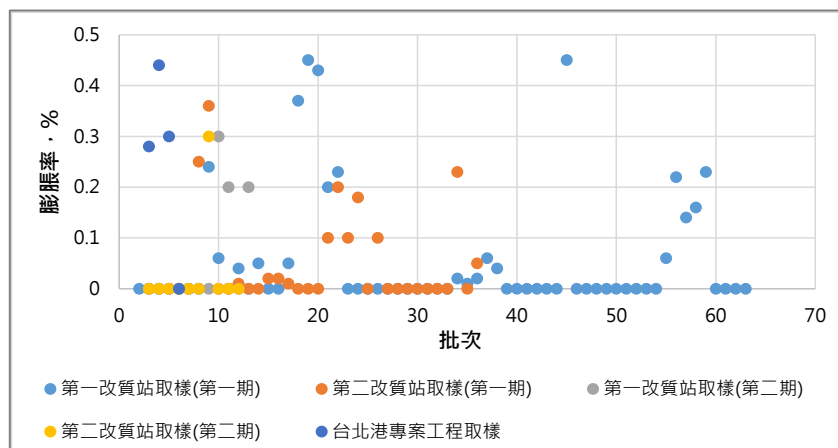
### 1. 道路基底層膨脹性規定

根據 CNS 15358 規定若將轉爐石(本手冊指蒸汽養生轉爐石、改質轉爐石及轉爐石瀝青混凝土刨除料)用於道路級配粒料基底層時，須依 CNS 15311 之試驗標準測試其 7 天膨脹率應不超過 0.5%。

### 2. 轉爐石之膨脹性驗證試驗

#### (1) 改質法

針對採改質法之轉爐石，進行 120 批次取樣，7 天平均膨脹率為 0.06%、標準差為 0.12(如圖 2.9)；搭配中鋼莊敬路試驗道路工程案，以 20%、40%、60%及 70%取代天然粒料，7 天膨脹率分別為 0.15%、0.16%、0.17%及 0.18%(如表 2.6 及圖 2.10)，皆能符合 7 天膨脹率不得超過 0.50%之要求。



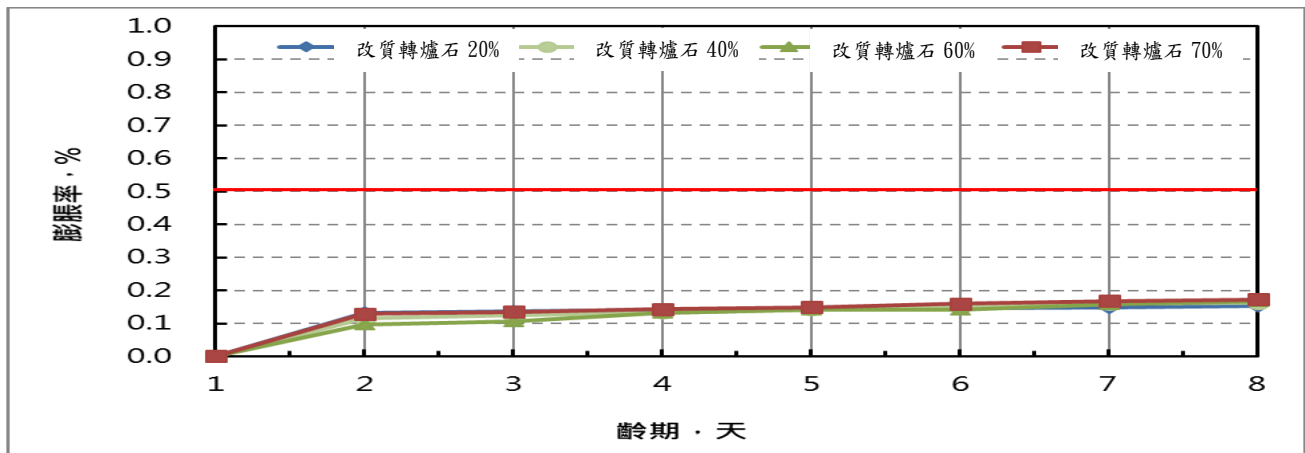
資料來源：中鋼試驗統計資料

圖 2.9 轉爐石改質法處理之膨脹率

表2.6 轉爐石改質處理與天然粒料混拌之膨脹率

改質轉爐石取代天然粒料	膨脹率
20%	0.15%
40%	0.16%
60%	0.17%
70%	0.18%

資料來源：中鋼試驗統計資料



資料來源：中鋼試驗統計資料

圖 2.10 轉爐石改質處理與天然粒料混拌之膨脹率

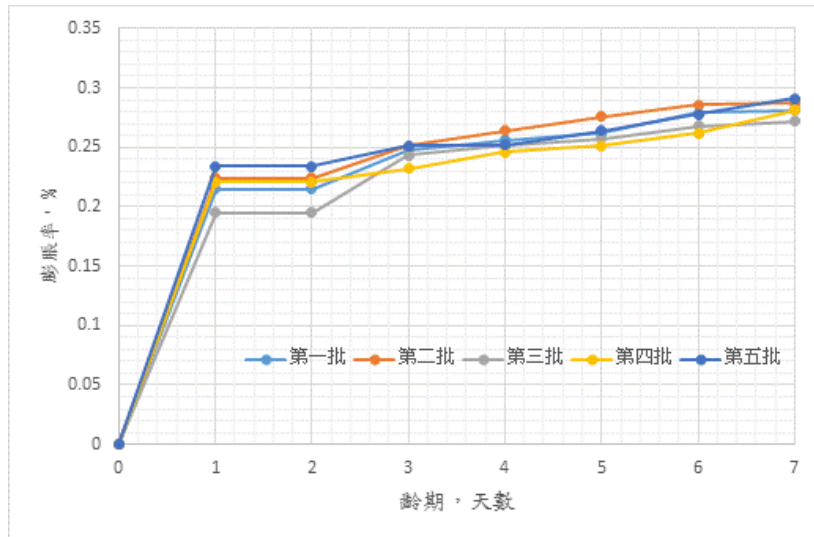
## (2) 蒸汽養生法

針對採蒸汽養生法之轉爐石，進行連續 5 批次取樣，批次間(第一批次)7 天平均膨脹率為 0.275%、標準差為 0.007，各批次 7 天平均膨脹率為 0.275%、標準差為 0.01(如表 2.7 及圖 2.11)；針對其中 2 批次(第四及五批次)進行長時間膨脹率量測，基本上至第 14 天後，膨脹率變化趨於穩定，不再增長(如圖 2.12)，皆低於 0.35% 以下；以 0%、25%、50%、75% 及 100% 取代天然粒料，7 天膨脹率分別為 0.12%、0.17%、0.22%、0.23% 及 0.24%(如表 2.8 及圖 2.13)，皆能符合 7 天膨脹率不得超過 0.50% 之要求。

表2.7 轉爐石蒸汽養生法之批次間膨脹率

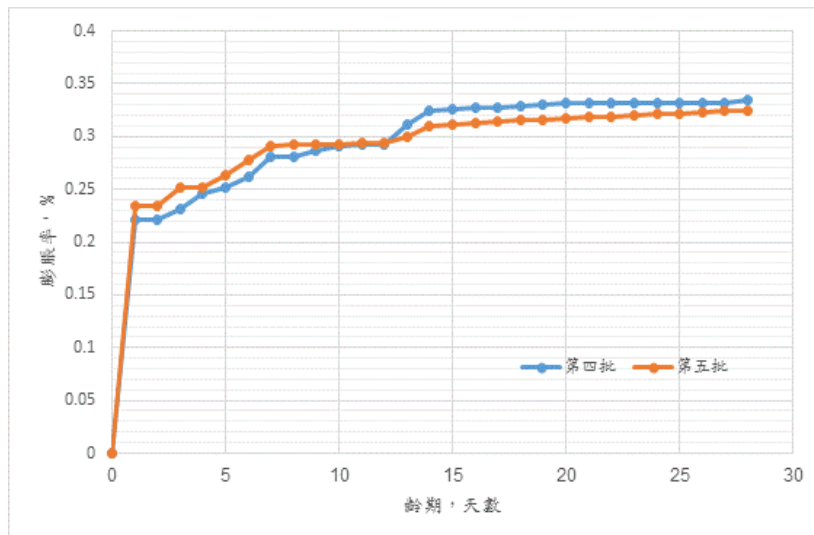
批次		7 天膨脹率(%)
均勻性驗證	第一批	0.28
		0.27
穩定性驗證	第二批	0.29
	第三批	0.27
	第四批	0.26
	第五批	0.28

資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料



資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料

圖 2.11 轉爐石蒸汽養生法之批次間膨脹率



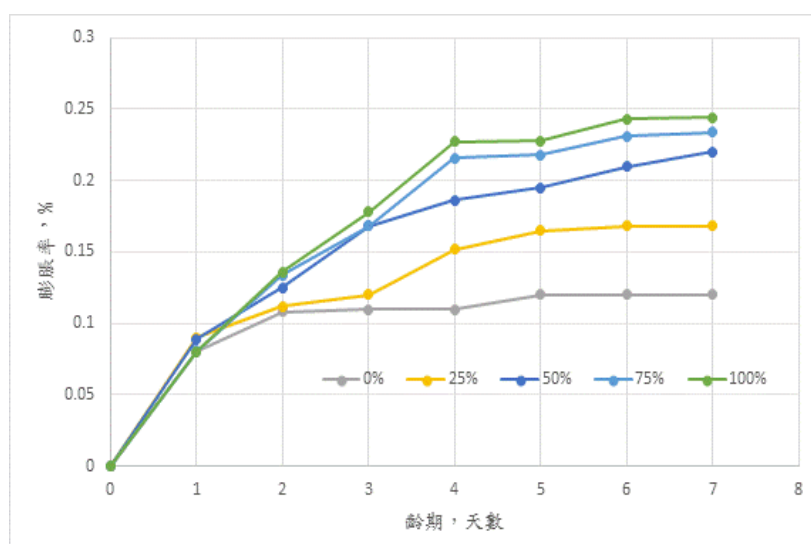
資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料

圖 2.12 轉爐石蒸汽養生法之長時間膨脹率變化

表2.8 轉爐石蒸汽養生法與天然粒料混拌之膨脹率

取代率 (%)	7 天膨脹率(%)
100	0.24
75	0.23
50	0.22
25	0.17
0	0.12

資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料

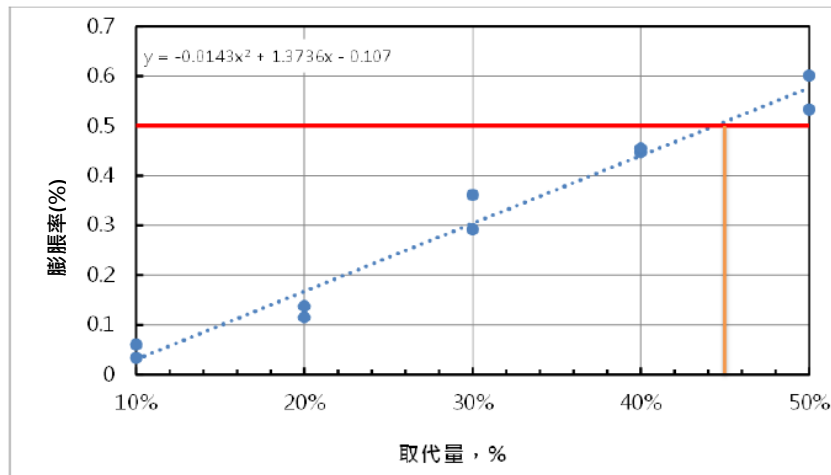


資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料

圖 2.13 轉爐石蒸汽養生法與天然粒料混拌之膨脹率

### (3) 轉爐石瀝青混凝土刨除料

經試驗結果顯示，轉爐石瀝青混凝土刨除料 40%取代量仍可符合膨脹率需小於 0.5% 的規範，但是當取代量到達 50%時，膨脹率達 0.6%已無法符合規範的要求，有關轉爐石瀝青混凝土刨除料用量與膨脹率關係如圖 2.14。係因轉爐石應用於瀝青混凝土係透過瀝青包裹轉爐石，故其應用於瀝青混凝土鋪面無膨脹議題，但轉爐石瀝青混凝土鋪面刨除時將受到刨除機之刀刀刨除，使原先受瀝青包裹完全之轉爐石產生新的破碎面，將有膨脹之可能，經過驗證計畫結果顯示轉爐石瀝青混凝土刨除料雖相較於原生轉爐石之膨脹量較低，但仍有潛在膨脹性，建議轉爐石瀝青混凝土刨除料作為級配料基底層使用，設計摻配量上限為 40%，並根據級配料之級配及品質試驗結果進行調整。



資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

圖 2.14 轉爐石瀝青混凝土刨除料用量與膨脹率關係圖

## 參考文獻

- 2.1 Y.H. Tseng, Y.C. Lee and B.L. Sheu, 「 The Application and Breakthrough of BOF Slag Modification Technique in CSC 」 , 8th European slag conference, 2015.
- 2.2 M. Kühn, P. Drissen and H. Schrey, 「 Treatment of liquid steel slags. In 2nd European slag conference 」 , Düsseldorf, Germany, pp. 123-135, 2000.
- 2.3 Y. Li, and W.B. Dai, 「 Modifying hot slag and converting it into value-added materials: A review 」 , Journal of Cleaner Production, 175, pp.176-189, 2018.
- 2.4 D. Mudersbach, P. Drissen, and H. Motz, 「 Improved slag qualities by liquid slag treatment 」 , 2<sup>nd</sup> International Slag Valorization Symposium, Leuven, pp. 299-311, 2011.





## 第三章 產品標準

### 3.1 轉爐石使用試驗標準與施工規範

轉爐石的品質可達使用於級配粒料基層及級配粒料底層規格的要求，材料性質如前第二章所列，用於道路級配粒料基底層之工程性質另在第四章說明。表 3.1 係彙整國內轉爐石應用於道路級配粒料基層及底層之試驗標準及施工規範，以作為轉爐石品質檢驗的標準依據。

表3.1 國內外轉爐石應用於道路級配粒料基底層之試驗標準及施工規範

項目	試驗標準及施工規範
級配粒料基層 及底層	<ol style="list-style-type: none"><li>1. CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料</li><li>2. CNS 15358 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料</li><li>3. 公共工程施工綱要規範第02722章級配粒料基層</li><li>4. 公共工程施工綱要規範第02726章級配粒料底層</li><li>5. 級配粒料基層、底層及面層用材料（美國材料試驗學會）ASTM D1241-07 Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Subbase, Base, and Surface Courses</li><li>6. 公路或機場底層、基層用碎粒料級配粒料（美國材料試驗學會）ASTM D2940/D2940M-09 Standard Specification for Graded Aggregate Material For Bases or Subbases for Highways or Airports</li><li>7. Iron and steel slag for road construction JIS A5015:2018(日本)</li></ol>

### 3.2 轉爐石環境相容性

按現行「事業廢棄物毒性特性溶出程序(TCLP)」檢驗，出廠轉爐石能符合有害事業廢棄物認定標準規定，且中鋼集團轉爐石自主管理之規範係訂為國家法規認定標準的 1/10，檢驗結果與環保規範標準如表 3.2 所列。

由 TCLP 溶出試驗結果可證實轉爐石材料本身無毒，而轉爐石實際應用於基底層時，由於基底層位置坐落於面層之下、路基之上，轉爐石基底層級配料不會接觸到地表物質，故無影

響地表水疑慮，而根據第四章工程實例之地下水與土壤等檢測結果，皆能符合相關標準與無異常情況，故說明轉爐石應用於道路基底層對環境影響低。

而環保署為推動再生粒料，針對再生粒料之環境相容性，已規劃訂定再生粒料環境相關檢測方法及標準，並考量應用區域、研擬管理方式等，未來相關應用亦須按環保署公告相關辦法辦理。

表3.2 TCLP溶出濃度測值與認定標準

材料/標準	TCLP 溶出濃度(mg/L)								
	As	Hg	Ba	Cd	Cr	Cu	Pb	Se	Cr(VI)
轉爐石檢測值	N.D	N.D	0.119	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
有害事業廢棄物 認定標準	<5.0	<0.2	<100	<1.0	<5.0	<15	<5.0	<1.0	<2.5
綠建材	<0.3	<0.005	-	<0.3	-	<0.15	<0.3	-	<1.5
中聯規範	<0.5	<0.02	<10	<0.1	<0.5	<1.5	<0.5	<0.1	<0.25
備註	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 測試方法係依據環保署公告之方法 NIEA R201.14 進行測試。</li> <li>2. 轉爐石檢測值數據為中聯資源定期委台灣檢驗公司檢驗報告(報告編號：AR/2017/20179)。</li> <li>3. 中聯規範：容許值需低於目前「有害事業廢棄物認定標準」之 TCLP 規範值的 10%。</li> <li>4. ND：表該數據低於方法偵測極限之測定值(MDL)。</li> <li>5. 資料來源：中鋼試驗統計資料</li> </ol>								

## 第四章 工程性質、實例及效益

### 4.1 工程用途

使用轉爐石作為級配粒料，應用於新建、養護道路或施工便道工程之基底層時，其級配粒料品質除符合工程主辦機關之規定外，亦應符合行政院工程會公布之「第 02722 章 級配粒料基層」<sup>[4.1]</sup>、「第 02726 章 級配粒料底層」<sup>[4.2]</sup>施工綱要規範及經濟部標準檢驗局 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」<sup>[4.3]</sup>、CNS 15358「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」<sup>[4.4]</sup>試驗標準之要求。

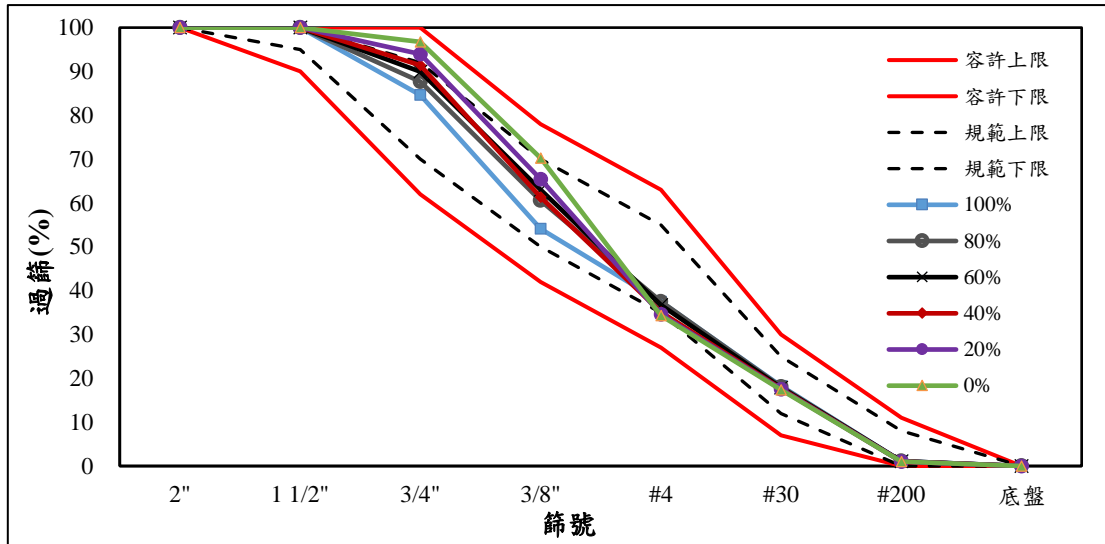
### 4.2 工程性質

依據國內針對轉爐石或轉爐石瀝青混凝土刨除料之粒料檢試驗，其粒料物、化性及膨脹率結果如第二章所述，本節主要說明道路工程基底層級配粒料其力學參數的標準，現階段用來表示土壤以及碎石級配料等材料工程強度的方式，大抵有加州承載比（California bearing ratio，簡稱 CBR 值）、土壤阻力值（Resistance Value，簡稱 R 值）及土壤回彈模數（Resilient Modulus，簡稱 MR）等數種，由於國內級配粒料基底層試驗大多採用加州承載比法，因此本節主要說明應用 CBR 法的工程性質。CBR 試驗主要目的為測定道路工程級配粒料之承載力，其為路基土壤或路面粒料與標準優良級配碎石承載力之百分比，CBR 值愈高者代表承載力愈佳，后分列含轉爐石瀝青混凝土刨除料之工程性質試驗結果，以驗證轉爐石於道路級配粒料基底層使用之可行性。

#### 1. 轉爐石

##### (1) 改質法

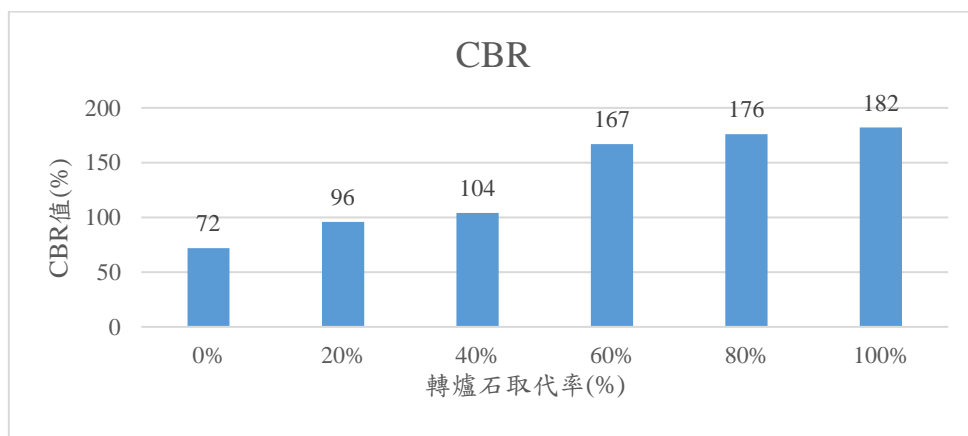
有關採改質法之轉爐石取代天然粗粒料六分料及三分料分別為 0%、20%、40%、60%、80%、100% 做混合料配比，細粒料部分為 25%天然砂，級配曲線如圖 4.1 所示，能符合公共工程施工規範「第 02722 章 級配粒料基層」及「第 02726 章 級配粒料底層」第二類型基底層級配料之級配規定。



資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

圖 4.1 轉爐石(改質法)取代粗粒料級配曲線

根據 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)、ASTM(American Society for Testing and Materials)及公路局施工規範之規定，作為路底、路基之粒料級配及品質須滿足其要求，其中底層材料 CBR 值需大於 80%；基層材料 CBR 值需大於 20%，才能有效抵抗所受承載力，依據 AASHTO T180(D)法，進行改良夯實試驗，有關改質法之轉爐石取代天然粒料分別為 0%、20%、40%、60%、80%、100%之 CBR 值如圖 4.2，驗證能作為級配粒料基底層之材料需求。

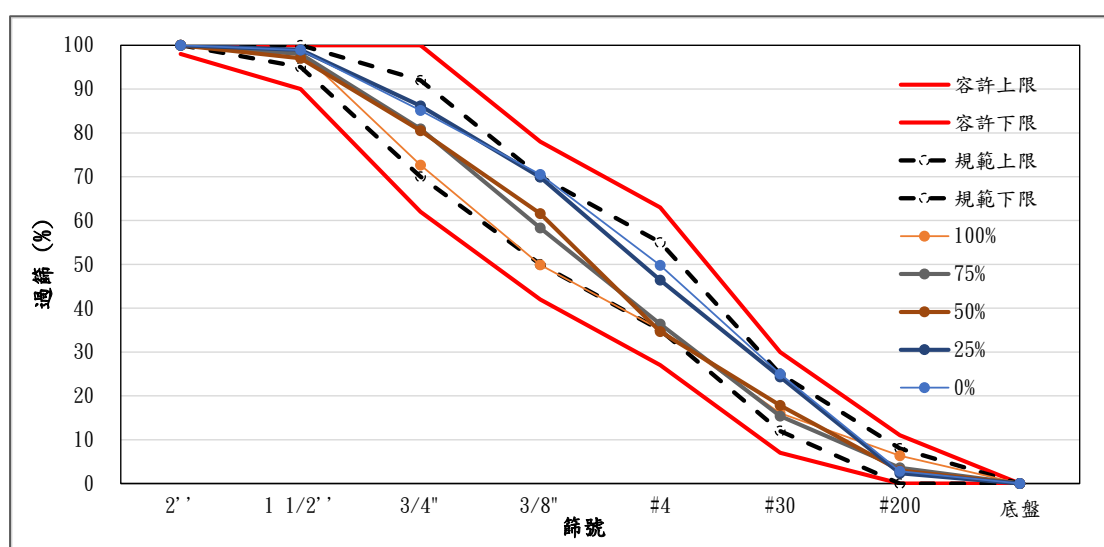


資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

圖 4.2 轉爐石(改質法)CBR 值

## (2) 蒸汽養生法

針對蒸汽養生法之轉爐石取代天然粒料，按對全粒料摻配比 100%、75%、50%、25% 及 0% 之級配曲線如圖 4.3 所示，能符合公共工程施工規範「第 02722 章 級配粒料基層」及「第 02726 章 級配粒料底層」第二類型基底層級配料之級配規定。按對全粒料摻配比 100%、75%、50%、25% 及 0%，經夯實後之級配粒料性質如表 4.1，可看出含砂當量會隨轉爐石之使用量增加而降低、其 CBR 值會隨轉爐石之使用量增加而上升等的現象。



資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料

圖 4.3 轉爐石(蒸汽養生法)取代天然粒料級配曲線

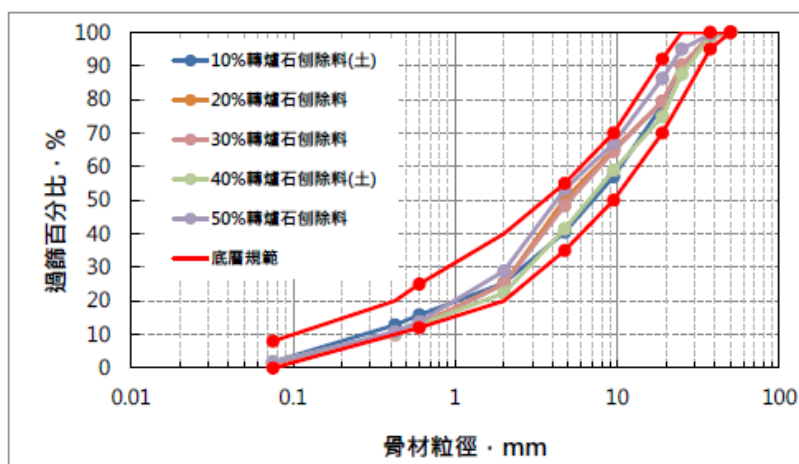
表4.1 轉爐石(蒸汽養生法) 工程性質

取代率 (%)		C.B.R.值(%)	R 值	液性限度	塑性指數	含砂當量(%)
100		160.8	87	10	2	53
75		169.5	82	10	2	56
50		158.4	83	12	3	57
25		106.2	81	15	4	65
0		98.5	80	20	5	71
規 範	底層(第二類型)	> 80	> 78	< 25	NP	> 35
	基層(第二類型)	> 20	> 55	< 25	< 6	> 25

資料來源：臺灣營建研究院試驗統計資料

## 2. 轉爐石瀝青混凝土刨除料

依據行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02726 章級配粒料底層第二類型級配設計，選定配比設計後用以配置試體，再進行土壤最大乾單位重、加州承載比 CBR 試驗、試體潛在膨脹試驗，依照試驗結果判斷是否符合基底層強度的規範要求。本研究所使用材料為轉爐石瀝青混凝土刨除料與天然粒料，轉爐石瀝青混凝土刨除料取得後先烘乾再與烘乾後的碎石級配依各試驗之級配要求，調製各試驗所需之級配料。試驗級配料乃依據 CNS15305 級配粒料底層要求，以轉爐石瀝青混凝土刨除料取代天然粒料分別為 0%、10%、20%、30%、40%、50% 做混合料配比，配比設計如圖 4.4 及表 4.2 所示。



資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

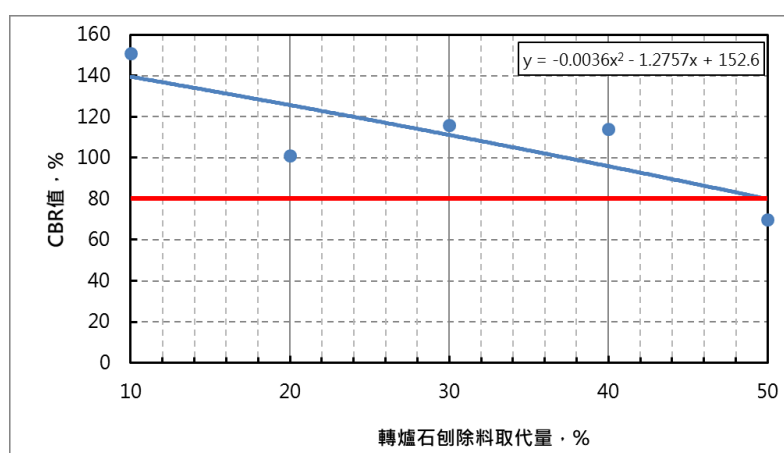
圖 4.4 轉爐石瀝青混凝土刨除料取代之級配曲線

表4.2 轉爐石瀝青混凝土刨除料取代之試驗配比

配比設計	碎石八分料	碎石六分料	碎石三分料	碎石二分料	碎石砂	轉爐石鋪面刨除料	砂土
10%	20%	15%	20%	10%	20%	10%	5%
20%	20%	10%	10%	20%	20%	20%	0%
30%	20%	10%	10%	15%	15%	30%	0%
40%	25%	10%	10%	10%	0%	40%	5%
50%	10%	20%	0%	10%	10%	50%	0%

資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

以轉爐石瀝青混凝土刨除料取代 10%、20%、30%、40%、50% 的 CBR 試驗可以得知，在取代 10% 的轉爐石瀝青混凝土刨除料原料中，天然碎石級配含量較多，所以 CBR 值較高；相對在取代量到達 50% 時，CBR 值已明顯降低且並不符合行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02726 章級配粒料底層之規範要求。經回歸方程式的迴歸分析後，可以發現本次所使用的轉爐石瀝青混凝土刨除料估計在 49% 取代量時 CBR 值為底層規範下限，如圖 4.5。



資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

圖 4.5 轉爐石瀝青混凝土刨除料 CBR 貫入試驗趨勢圖

### 4.3 應用實例

目前由己鋪築驗證之轉爐石級配粒料道路底層工程實例如表 4.3 所列，並搭配第三方驗證進行包括工程使用成效及環境監測，經驗證後說明轉爐石經安定化處理後，可消除其膨脹性問題(數據如圖 2.10、圖 2.13 及圖 2.14 所示)，應用於道路基底層不僅能符合國內施工規範及環境法規要求，更能進一步提升工程成效，茲於本節敘述各工程案應用實例成效。

表4.3 國內道路底層應用轉爐石級配粒料的實例

路段	轉爐石種類	轉爐石使用比例
中聯沿海場及高雄市中林路旁中鋼場區道路	改質法	0%、20%、40%、60%、80%、100%
	改質法	70%
中鋼公司莊敬路道路	轉爐石瀝青混凝土刨除料	20%、40%
	蒸汽養生法	100%
中聯儲區(預計 109 年鋪設)	蒸汽養生法	100%

## 1. 中聯沿海場及高雄市中林路旁中鋼場區道路-改質法轉爐石

有關中聯高雄沿海場區道路及高雄市中林路坍塌影響中鋼場區搶修工程道路，採轉爐石進行道路基底層鋪設，其中，為尋求最合適之材料配比，特於中聯沿海場道路辦理過程中，進行相關試驗與評估，有關本道路工程之辦理試驗如圖 4.6，完工現況如圖 4.7 所示。搭配轉爐石 0%、20%、40%、60%、80%、100% 取代粗粒料，各粒料添加量如表 4.4 所列，試驗路段配置如圖 4.8 所列，

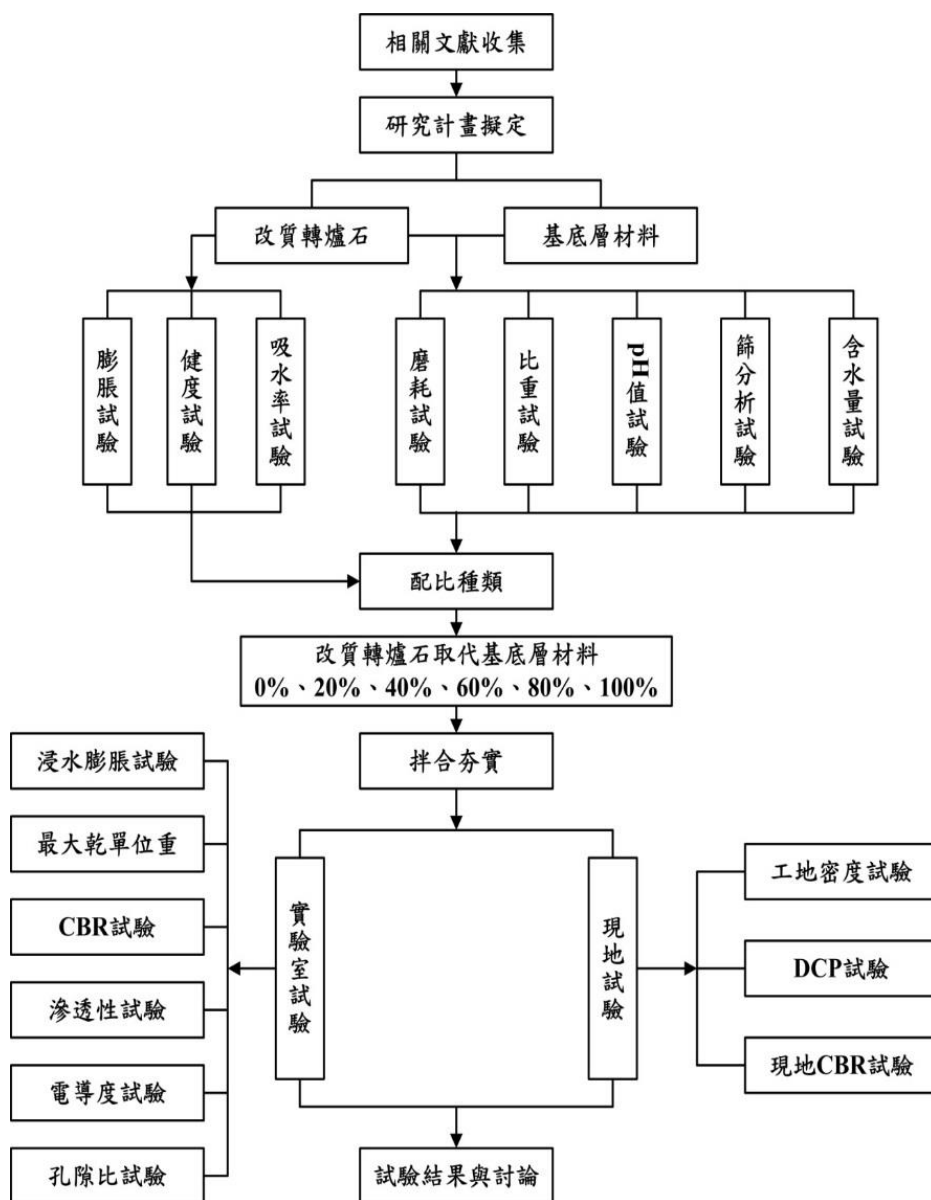


圖 4.6 中聯沿海場及高雄市中林路旁中鋼場區道路工程執行流程





(a) 中聯沿海場區



(b) 高雄市中林路旁中鋼場區

圖 4.7 轉爐石基底層道路實廠鋪設

表4.4 中聯沿海場及高雄市中林路旁中鋼場區道路工程轉爐石取代率

轉爐石(改質法處理)	六分料	三分料	碎石砂	轉爐石取代粗粒料
0%	20%	55%	25%	0%
15%	18%	42%	25%	20%
30%	15%	30%	25%	40%
45%	5%	25%	25%	60%
60%	0%	15%	25%	80%
75%	0%	0%	25%	100%

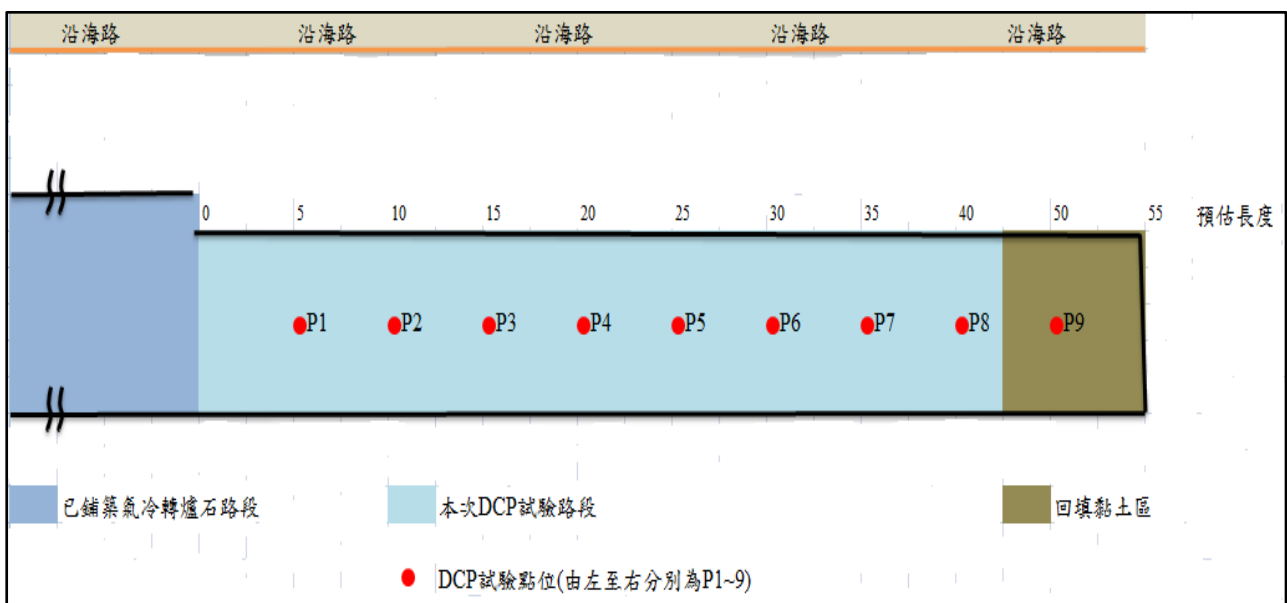
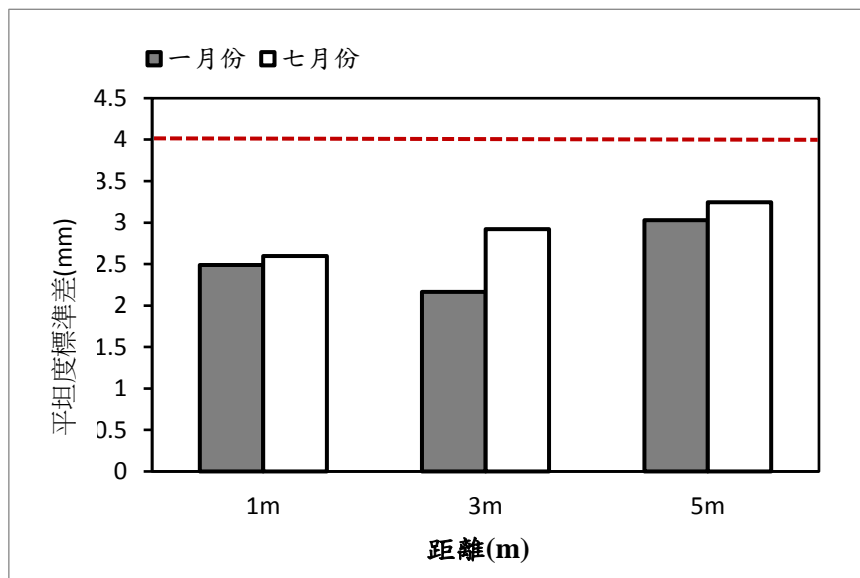


圖 4.8 中聯沿海場試驗路段配置圖(長度單位:公尺)

有關中聯高雄沿海場區道路工程，搭配轉爐石性質與工程性質試驗結果，詳前節資訊。本工程於完工後，為檢測轉爐石應用於碎石級配是否會造成膨脹進而導致路面損壞，採高低平坦儀進行檢測，係以每 200 公尺為一檢測單位，每 1.5m 收集一點高低差，每連續 10 點為一組，每組之標準差不得大於±4 公釐。路面寬為六公尺總長 100m 取來回共三次做檢測，並依交通部公路總局之規範平坦度標準差不得大於 4mm，超過規定者應改善至合格為止。從圖 4.9 分析來看，在總寬 6m 路面上，分別在 1m、3m、5m 進行試驗，一月份各組標準差分別為 2.49mm、2.16mm、3.03mm，而七月份各組標準差分別為 2.6mm、2.92mm、3.25mm，皆符合不得大於 4mm 之規範。



資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

圖 4.9 平坦度試驗值

## 2. 中鋼公司莊敬路道路-改質法及刨除料之轉爐石

有關中鋼公司莊敬路道路，路段長度為 350m，以中鋼河北三路刨除瀝青混凝土面層做為轉爐石瀝青混凝土刨除料基底層使用，而面層設計亦採用轉爐石瀝青混凝土，道路工程範圍與材料配置如圖 4.10 所示。本工程為探討總膨脹率對面層穩定性之影響，採不同厚度設計。其中，改質法之轉爐石段，道路長度為 70m、厚度為 30cm 與 60cm，轉爐石取代量達 70%；轉爐石瀝青混凝土刨除料段，道路長度為 300m、厚度為 30cm、60cm 及 90 cm，取代量設計 20% 及 40%。

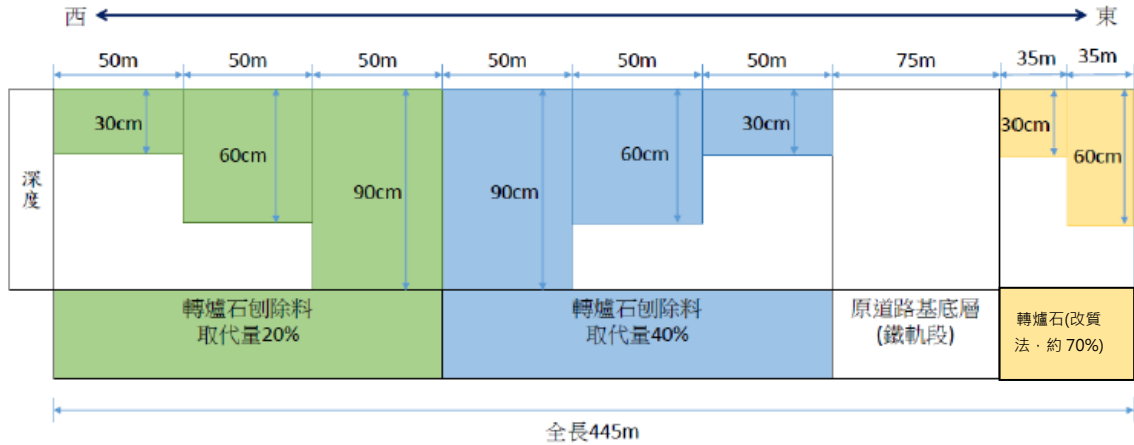
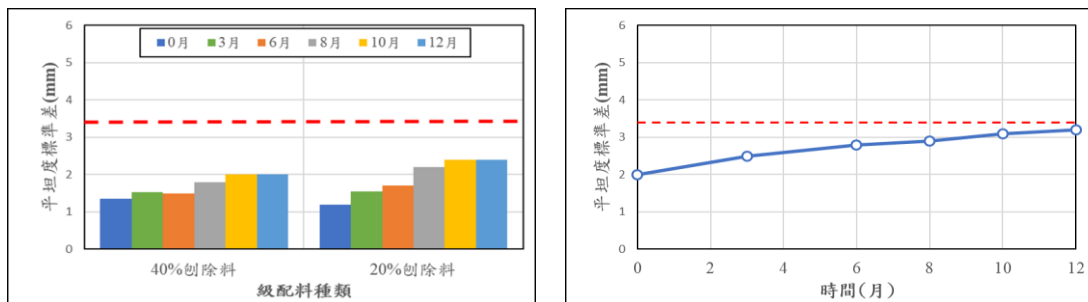


圖 4.10 莊敬路轉爐石基底層鋪築配置圖

(1) 平坦度試驗

依據公路總局所訂之平坦度試驗方法，使用標準差 SD 作為檢測及控制路面最後鋪築面之平坦性之驗收依據，至完工後 12 個月之平坦度試驗結果如圖 4.11。不論轉爐石瀝青混凝土刨除料或改質法轉爐石路段，平坦度標準差皆在合格範圍內。



(1) 轉爐石刨除料路段

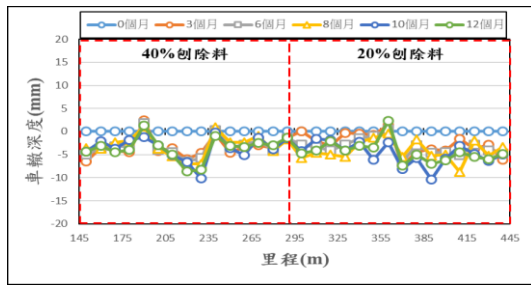
(2) 改質法轉爐石路段

資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

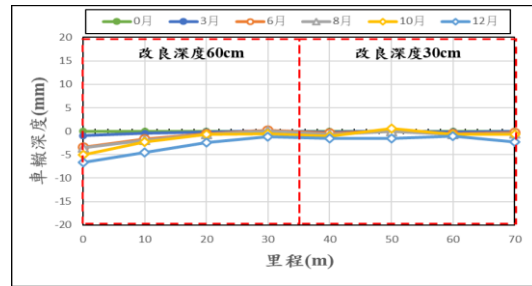
圖 4.11 平坦度試驗

(2) 車轍試驗

鋪面車轍值主要在量測位於輪跡處之縱向表面下陷，沿著輪跡邊緣可能發生鋪面上舉，也可能產生橫向位移，一般係由交通荷重所引起之壓密或側向位移。對此，採用三米直規進行，至完工後 12 個月之試驗結果如圖 4.12 所示。針對爐石瀝青混凝土刨除料路段，車轍深度隨時間變化平均約在 5 mm；改質法轉爐石路段，排除受材料交界面影響，相較爐石瀝青混凝土刨除料路段之車轍深度變化更為穩定。



(1) 轉爐石刨除料路段



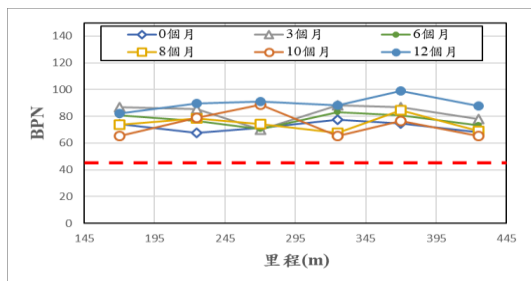
(2) 改質法轉爐石路段

資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

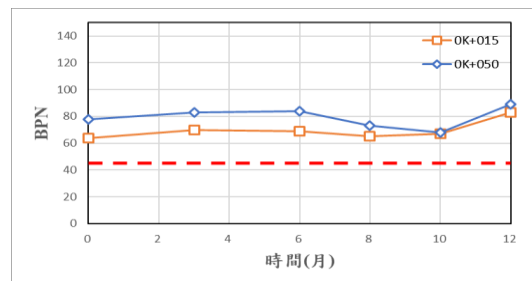
圖 4.12 車轍試驗

(3) 抗滑試驗

以英式擺錘試驗儀施作抗滑度試驗，記錄其英式擺錘係數值(British Pendulum Number, BPN)，至完工後 12 個月之試驗結果如圖 4.13。不論轉爐石瀝青混凝土刨除料或改質法轉爐石路段，抗滑係數皆大於 45，由於國內尚未有明確規範抗滑標準範圍，依據國外研究經驗， $BPN \geq 42$  屬”優”等級， $BPN$  介於 37~42 之間屬於”良”等級，32~37 屬”中”等級，27~32 為”次”等級，27 以下為”差”。



(1) 轉爐石刨除料路段



(2) 改質法轉爐石路段

資料來源：中華鋪面工程學會試驗資料

圖 4.13 抗滑試驗

(4) 環境性檢測

搭配本道路鋪設，進行包括再利用產品、土壤及地下水等環境性檢驗，檢測結果分述如下列。

A. 再利用產品材料毒物溶出背景值建立

針對改質轉爐石 70%、轉爐石剷除料 20%、轉爐石剷除料 40%、原道路基底層及路床等，進行採樣，檢測分析包括 As、Hg、Pb、Cd、Cr、Cr<sup>6+</sup>、Se、Cu、Ba 及 pH 等項目，以作為長期土壤及地下水監測之使用材料背景值依據，其監測結果均低於有害事業廢棄物認定標準。有關檢測結果如表 4.5~4.7 所列，均低於有害事業廢棄物認定標準。

表4.5 再利用產品檢測結果-轉爐石剷除料

序號	樣品編號		MDL	單位	有害事業廢棄物認定標準	轉爐石剷除料 20%-1	轉爐石剷除料 20%-2	轉爐石剷除料 20%-3	轉爐石剷除料 40%-1	轉爐石剷除料 40%-2	轉爐石剷除料 40%-3
	檢驗項目	檢驗方法									
1	pH	NIEA R208.04C	-	-	≥12.5 或 ≤2.0	11.09 (25.0°C)	11.91 (25.0°C)	11.33 (25.1°C)	11.63 (25.0°C)	11.91 (25.0°C)	11.64 (25.0°C)
2	事業廢棄物毒性特性溶出程序	NIEA R201.15C	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	萃出液中總砷	NIEA R306.13C/M104.02C	0.038	mg/L	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	萃出液中總鋇	NIEA R306.13C/M104.02C	0.018	mg/L	100	0.098	0.117	0.103	0.068	<0.050 (0.044)	0.075
5	萃出液中總鎘	NIEA R306.13C/M104.02C	0.010	mg/L	1.0	ND	<0.030 (0.015)	ND	ND	ND	ND
6	萃出液中總鉻	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	萃出液中六價鉻	NIEA R309.12C	0.01	mg/L	2.5	ND	ND	<0.02	ND	ND	ND
8	萃出液中總銅	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	15.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	萃出液中總汞	NIEA R314.12C	0.0004	mg/L	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	萃出液中總鉛	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	萃出液中總硒	NIEA R306.13C/M104.02C	0.035	mg/L	1.0	ND	<0.100 (0.069)	ND	ND	<0.100 (0.045)	<0.100 (0.042)

資料來源：屏東科技大學試驗資料

表4.6 再利用產品檢測結果-改質轉爐石

序號	樣品編號		MDL	單位	有害事業廢棄物認定標準	改質轉爐石 70%-1	改質轉爐石 70%-2	改質轉爐石 70%-3
	檢驗項目	檢驗方法						
1	pH	NIEA R208.04C	-	-	≥12.5 或 ≤2.0	10.65 (25.1℃)	9.98 (25.1℃)	10.55 (25.1℃)
2	事業廢棄物毒性特性溶出程序	NIEA R201.15C	-	-	-	-	-	-
3	萃出液中總砷	NIEA R306.13C/M104.02C	0.038	mg/L	5.0	ND	ND	ND
4	萃出液中總銀	NIEA R306.13C/M104.02C	0.018	mg/L	100	ND	ND	ND
5	萃出液中總鎘	NIEA R306.13C/M104.02C	0.010	mg/L	1.0	ND	ND	ND
6	萃出液中總鉻	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	5.0	ND	ND	ND
7	萃出液中六價鉻	NIEA R309.12C	0.01	mg/L	2.5	ND	ND	ND
8	萃出液中總銅	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	15.0	ND	ND	ND
9	萃出液中總汞	NIEA R314.12C	0.0004	mg/L	0.2	ND	ND	ND
10	萃出液中總鉛	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	5.0	ND	ND	ND
11	萃出液中總硒	NIEA R306.13C/M104.02C	0.035	mg/L	1.0	<0.100 (0.046)	ND	ND

資料來源：屏東科技大學試驗資料

表4.7 再利用產品檢測結果-原道路基底層及路床

序號	樣品編號		MDL	單位	有害事業廢棄物認定標準	原道路基底層-1	原道路基底層-2	原道路基底層-3	路床-1	路床-2	路床-3
	檢驗項目	檢驗方法									
1	pH	NIEA R208.04C	-	-	≥12.5 或 ≤2.0	8.50 (25.0℃)	7.97 (25.1℃)	8.13 (25.1℃)	8.23 (25.1℃)	8.20 (25.0℃)	8.20 (25.0℃)
2	事業廢棄物毒性特性溶出程序	NIEA R201.15C	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	萃出液中總砷	NIEA R306.13C/M104.02C	0.038	mg/L	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	萃出液中總銀	NIEA R306.13C/M104.02C	0.018	mg/L	100	0.287	0.266	0.234	0.630	0.734	0.656
5	萃出液中總鎘	NIEA R306.13C/M104.02C	0.010	mg/L	1.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	萃出液中總鉻	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	5.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	萃出液中六價鉻	NIEA R309.12C	0.01	mg/L	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	萃出液中總銅	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	15.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	萃出液中總汞	NIEA R314.12C	0.0004	mg/L	0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	萃出液中總鉛	NIEA R306.13C/M104.02C	0.017	mg/L	5.0	ND	ND	ND	ND	<0.050 (0.024)	ND
11	萃出液中總硒	NIEA R306.13C/M104.02C	0.035	mg/L	1.0	ND	ND	ND	ND	<0.100 (0.045)	ND

資料來源：屏東科技大學試驗資料

### B. 土壤檢測

針對本路段為期 1 年之土壤採樣分析，有關檢測結果如表 4.8~4.9 所列，

均低於土壤污染監測標準及管制標準。

表4.8 土壤分析結果-轉爐石剷除料

序號	樣品編號		單位	土壤污染管制標準	土壤污染監測標準	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06			
	檢驗項目	檢驗方法				(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)
						30cm剷(40%)(0~15cm)			30cm剷(40%)(15~30cm)			60cm剷(40%)(0~15cm)			60cm剷(40%)(15~30cm)					
1	砷	NIEA S310.64B	mg/kg	60	30	8.33	8.40	11.1	8.43	8.29	13.9	8.87	9.58	9.46	6.72	11.9	8.44			
2	汞	NIEA M317.04B	mg/kg	20	10	ND	<0.100 (0.081)	<0.100 (0.061)	<0.100 (0.044)	<0.100 (0.041)	<0.100 (0.058)	<0.100 (0.065)	<0.100 (0.045)	<0.100 (0.043)	<0.100 (0.047)	<0.100 (0.044)	<0.100 (0.051)			
3	鎘	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	20	10	ND	<0.33 (0.16)	<0.33 (0.19)	ND	<0.33 (0.20)	<0.33 (0.31)	<0.33 (0.11)	<0.33 (0.17)	<0.33 (0.19)	ND	<0.33 (0.14)	<0.33 (0.24)			
4	鉻	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	250	175	19.3	34.4	30.8	22.0	27.6	32.8	29.3	26.7	31.4	33.2	27.8	29.6			
5	銅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	400	220	12.4	18.6	21.9	14.5	20.1	27.0	17.1	16.0	23.3	20.0	23.5	19.7			
6	鎳	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	200	130	24.2	29.4	32.3	26.6	31.2	37.5	31.4	29.5	32.4	34.6	32.8	31.3			
7	鉛	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	23.9	19.8	21.4	25.0	22.1	29.3	25.7	18.3	20.0	22.8	23.6	21.1			
8	鋅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	75.3	88.2	91.5	83.1	91.5	109	85.5	86.8	98.9	94.4	97.1	93.4			

備註：背景調查時，採樣至鋪面下方1.5m，每點篩測XRF 10個深度(鋪面下方每0~15；15~30；30~45；45~60；60~75；75~90；90~105；105~120；120~135；135~150cm)，如篩測無異常數值，則每點位取未來規劃再利用產品之基底層鋪設深度下0~15、15~30cm之樣品進樣分析。

序號	樣品編號		單位	土壤污染管制標準	土壤污染監測標準	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06			
	檢驗項目	檢驗方法				(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)
						90cm剷(40%)(0~15cm)			90cm剷(40%)(15~30cm)			90cm剷(20%)(0~15cm)			90cm剷(20%)(15~30cm)					
1	砷	NIEA S310.64B	mg/kg	60	30	11.2	12.1	11.6	11.9	9.99	10.0	9.40	9.98	12.3	11.7	8.22	9.89			
2	汞	NIEA M317.04B	mg/kg	20	10	<0.100 (0.058)	<0.100 (0.048)	<0.100 (0.057)	<0.100 (0.050)	<0.100 (0.045)	<0.100 (0.049)	<0.100 (0.051)	ND	<0.100 (0.055)	<0.100 (0.055)	<0.100 (0.044)	<0.100 (0.057)			
3	鎘	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	20	10	<0.33 (0.12)	<0.33 (0.21)	<0.33 (0.28)	<0.33 (0.11)	<0.33 (0.17)	<0.33 (0.25)	ND	<0.33 (0.15)	<0.33 (0.26)	<0.33 (0.10)	<0.33 (0.21)	<0.33 (0.21)			
4	鉻	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	250	175	32.7	28.6	30.7	29.8	27.9	28.3	31.0	27.5	30.4	28.9	29.1	30.8			
5	銅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	400	220	20.0	27.7	26.5	23.5	24.8	21.4	22.4	21.9	24.0	25.6	21.9	23.1			
6	鎳	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	200	130	35.4	36.8	36.8	34.4	33.0	32.2	34.1	33.2	34.8	37.8	33.7	34.2			
7	鉛	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	27.8	27.0	28.9	27.4	24.8	22.2	24.7	25.3	26.8	30.4	25.1	25.0			
8	鋅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	99.3	106	105	105	96.1	96.4	95.5	98.8	101	106	97.5	105			

備註：背景調查時，採樣至鋪面下方1.5m，每點篩測XRF 10個深度(鋪面下方每0~15；15~30；30~45；45~60；60~75；75~90；90~105；105~120；120~135；135~150cm)，如篩測無異常數值，則每點位取未來規劃再利用產品之基底層鋪設深度下0~15、15~30cm之樣品進樣分析。

序號	樣品編號		單位	土壤污染管制標準	土壤污染監測標準	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06			
	檢驗項目	檢驗方法				(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)
						60cm剷(20%)(0~15cm)			60cm剷(20%)(15~30cm)			30cm剷(20%)(0~15cm)			30cm剷(20%)(15~30cm)					
1	砷	NIEA S310.64B	mg/kg	60	30	7.16	7.09	11.1	11.1	8.93	11.5	7.41	9.46	8.54	7.02	7.67	9.01			
2	汞	NIEA M317.04B	mg/kg	20	10	<0.100 (0.097)	0.144	0.111	<0.100 (0.075)	<0.100 (0.051)	<0.100 (0.058)	ND	<0.100 (0.090)	0.140	0.148	<0.100 (0.094)	ND			
3	鎘	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	20	10	<0.33 (0.07)	<0.33 (0.19)	<0.33 (0.25)	<0.33 (0.07)	<0.33 (0.20)	<0.33 (0.24)	<0.33 (0.08)	<0.33 (0.18)	<0.33 (0.20)	<0.33 (0.10)	<0.33 (0.18)	<0.33 (0.24)			
4	鉻	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	250	175	28.9	23.3	27.6	29.6	23.0	29.4	17.8	27.9	29.5	27.5	29.1	29.3			
5	銅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	400	220	16.9	16.9	20.8	27.5	15.9	22.0	11.7	19.4	16.0	16.8	15.7	21.6			
6	鎳	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	200	130	28.9	26.8	31.4	38.0	27.6	34.6	22.4	29.7	28.2	27.3	28.9	31.9			
7	鉛	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	22.1	20.1	23.6	32.1	16.7	24.5	23.0	21.4	19.0	24.6	17.9	20.4			
8	鋅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	79.5	85.9	91.3	108	79.1	99.9	71.9	89.5	85.5	81.6	82.3	93.7			

備註：背景調查時，採樣至鋪面下方1.5m，每點篩測XRF 10個深度(鋪面下方每0~15；15~30；30~45；45~60；60~75；75~90；90~105；105~120；120~135；135~150cm)，如篩測無異常數值，則每點位取未來規劃再利用產品之基底層鋪設深度下0~15、15~30cm之樣品進樣分析。

表4.9 土壤分析結果-改質轉爐石

序號	樣品編號		單位	土壤污染管制標準	土壤污染監測標準	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06	106.11	107.11	108.06			
	檢驗項目	檢驗方法				(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)
						60cm改(70%)(0~15cm)			60cm改(70%)(15~30cm)			30cm改(70%)(0~15cm)			30cm改(70%)(15~30cm)					
1	砷	NIEA S310.64B	mg/kg	60	30	4.74	11.0	11.6	12.2	11.4	10.5	7.25	9.94	11.3	5.19	10.8	11.3			
2	汞	NIEA M317.04B	mg/kg	20	10	ND	<0.100 (0.041)	<0.100 (0.059)	<0.100 (0.051)	<0.100 (0.055)	<0.100 (0.056)	ND	<0.100 (0.044)	ND	ND	<0.100 (0.051)	<0.100 (0.050)			
3	鎘	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	20	10	ND	<0.33 (0.17)	<0.33 (0.30)	<0.33 (0.09)	<0.33 (0.23)	<0.33 (0.23)	<0.33 (0.07)	<0.33 (0.18)	<0.33 (0.23)	ND	<0.33 (0.20)	<0.33 (0.21)			
4	鉻	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	250	175	9.53	26.5	31.9	30.8	29.5	27.9	21.7	29.9	29.5	14.8	28.7	31.0			
5	銅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	400	220	<6.67 (6.66)	20.2	22.1	21.0	26.6	24.1	14.2	21.8	19.7	10.0	22.2	22.1			
6	鎳	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	200	130	13.5	32.1	32.8	35.0	36.4	33.8	26.5	33.3	31.5	17.5	34.3	33.1			
7	鉛	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	15.7	22.6	25.7	30.2	28.9	25.9	26.6	23.7	22.5	21.6	23.5	23.5			
8	鋅	NIEA S321.64B/M104.02C	mg/kg	2000	1000	40.4	88.0	96.9	95.2	103	99.3	80.5	95.2	92.2	53.6	96.6	95.8			

備註：背景調查時，採樣至鋪面下方1.5m，每點篩測XRF 10個深度(鋪面下方每0~15；15~30；30~45；45~60；60~75；75~90；90~105；105~120；120~135；135~150cm)，如篩測無異常數值，則每點位取未來規劃再利用產品之基底層鋪設深度下0~15、15~30cm之樣品進樣分析。

資料來源：屏東科技大學試驗資料

### C. 地下水檢測

針對本路段為期1年之地下水採樣分析如表4.10~4.11所列，低於地下水污染監測標準及管制標準。

表4.10 地下水分析結果-轉爐石剷除料

樣品編號		單位	地下水污染管制標準(第二類)	地下水污染監測標準(第二類)	106.11	107.11	108.05	106.11	107.11	108.05
檢驗項目	檢驗方法				(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)
砷	NIEA W434.54B	mg/L	0.50	0.25	0.0032	<0.0020 (0.0018)	<0.0020 (0.0008)	0.0057	0.0184	0.0028
鎘	NIEA W311.53C	mg/L	0.050	0.025	ND	ND	ND	ND	ND	ND
鉻	NIEA W311.53C	mg/L	0.50	0.25	ND	<0.010 (0.007)	ND	ND	ND	ND
銅	NIEA W311.53C	mg/L	10	5	ND	ND	<0.010 (0.009)	ND	ND	<0.010 (0.006)
汞	NIEA W330.52A	mg/L	0.020	0.010	ND	ND	ND	ND	ND	ND
鎳	NIEA W311.53C	mg/L	1.0	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
鉛	NIEA W311.53C	mg/L	0.10	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
鋅	NIEA W311.53C	mg/L	50	25	0.023	0.028	0.033	0.059	0.023	0.031

資料來源：屏東科技大學試驗資料



表4.11 地下水分析結果-改質轉爐石與原道路基底層

樣品編號		單位	地下水污染 管制標準 (第二類)	地下水污染 監測標準 (第二類)	106.11	107.11	108.05	106.11	107.11	108.05
檢驗 項目	檢驗 方法				(背景)	(半年)	(一年)	(背景)	(半年)	(一年)
					改(70%)			原		
砷	NIEA W434.54B	mg/L	0.50	0.25	0.0044	0.0071	0.0032	0.0031	0.0027	<0.0020 (0.0008)
鎘	NIEA W311.53C	mg/L	0.050	0.025	ND	ND	<0.003 (0.001)	ND	ND	<0.003 (0.001)
鉻	NIEA W311.53C	mg/L	0.50	0.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
銅	NIEA W311.53C	mg/L	10	5	ND	ND	0.013	ND	ND	0.011
汞	NIEA W330.52A	mg/L	0.020	0.010	ND	ND	<0.0010 (0.0002)	ND	ND	<0.0010 (0.0002)
鎳	NIEA W311.53C	mg/L	1.0	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
鉛	NIEA W311.53C	mg/L	0.10	0.05	<0.010 (0.005)	<0.010 (0.004)	ND	ND	<0.010 (0.008)	ND
鋅	NIEA W311.53C	mg/L	50	25	0.025	0.040	0.041	0.031	0.021	0.033

資料來源：屏東科技大學試驗資料

#### 4.4 產品效益

根據環保署產品碳足跡服務平台公告之轉爐石產品碳足跡為 1.58Kg CO<sub>2</sub>e/1000Kg，遠低於天然粒料 7.24Kg CO<sub>2</sub>e/1000Kg(圖 4.15)，因此轉爐石運用於道路基底層亦達到節能減碳效益。另針對轉爐石應用於道路基底層使用，其工程方面效益分列如下。

1. 轉爐石之洛杉磯磨損試驗及健性試驗顯示，其磨損率及健性較一般天然粒料低，因而增加基底層耐久性，避免道路因路基磨損而破壞。
2. 轉爐石之 CBR 試驗結果顯示其隨轉爐石取代比例增加而增加，說明轉爐石應用至道路基底層能提升道路承载力。

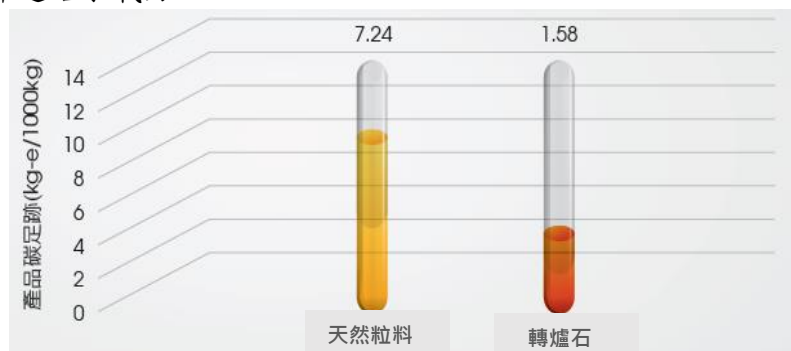


圖 4.15 產品碳足跡

## 參考文獻

- 4.1 「公共工程施工綱要規範第 02722 章【級配粒料基層】」，行政院公共工程委員會。
- 4.2 「公共工程施工綱要規範第 02726 章【級配粒料底層】」，行政院公共工程委員會。
- 4.3 「級配粒料基層、底層及面層用材料」，中華民國國家標準 CNS 15305。
- 4.4 「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」，中華民國國家標準 CNS 15358。

## 第五章 使用規範

### 5.1 一般原則

轉爐石級配粒料基層或底層的產製與施工，係指將轉爐石與天然粒料，依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，按本章之規定或依工程司之指示，分一層或數層鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者，滾壓至所規定之壓實度而成者。各階段作業之相關規定及注意事項，除本章所述之外，宜參照公共工程施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」及第 02726 章「級配粒料底層」規定。

### 5.2 轉爐石供料計畫書與產品規格證明書

#### 1. 供料計畫書

- (1) 轉爐石於供料前，應查驗相關供應證明文件，內容包括來源、處理製程、品質管制措施及不合格品退換貨機制等。
- (2) 轉爐石級配粒料基底層於施工前，應查驗轉爐石之品管作業文件如供料計畫書，內容包含轉爐石與天然粒料之混合比例、拌和方式與地點、建議供料稽核方式、相關試驗方法以及其相關之工程性質等。

#### 2. 產品規格證明書

- (1) 轉爐石係由中鋼集團所產製與供應，按企業社會責任要求，所供應之轉爐石產品品質規格與自主檢驗措施如下所列，以確保供料品質維持。
  - A. 轉爐石須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨，且級配需依照 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」及 CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」規定或者施工綱要規範，不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。

- B. 轉爐石經安定化或混拌為基底層用粒料性質要求如表 5.1。
- C. 其他相關規定可參照 CNS 15305「級配粒料基層、底層及面層用材料」及 CNS 15358「公路或機場底層、基層用碎石級配粒料」或者施工綱要規範之規定。
- D. 轉爐石粒料採分堆存放，以避免與天然級配料互相混雜，俾能正確按規定比例混合，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在石料堆放場所混合。
- E. 除工程司有特殊要求，品質檢驗與驗收標準應依照施工綱要規範規定為主。
- F. 根據施工規範第 02722、02726 章級配粒料基層、底層第 3.2.1 節級配粒料，檢驗項目如表 5.1 及中聯自主管理檢驗項目、出廠標準與檢驗頻率如表 5.2 所列，針對膨脹率訂 0.5%、TCLP 訂認定標準為法規規定之 1/10 作為自主管理之出廠標準。

表5.1 基底層用粒料性質要求

試驗方式	規範值	試驗方法
健性 (硫酸鈉) (硫酸鎂)	≤ 12% ≤ 18%	CNS 1167
洛杉磯磨損試驗	≤ 50%	CNS 490
膨脹率	≤ 0.5%	CNS 15311

表5.2 基底層用轉爐石粒料自主管理產品標準

測試項目	規範值	出廠標準	檢驗頻率	測試方法
粒徑範圍(CM)	≤ 5.0	同規範	1,000 公噸 /次	CNS 486 粗細粒料篩析法
洛杉磯磨損率(%)	≤ 50.0			CNS 490 粗粒料(37.5MM 以下)洛杉磯磨損試驗法
膨脹率(%)	≤ 0.5			CNS 3408 粗粒料(粒徑 19MM 以上)磨損試驗法
pH 值	< 12.5			CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法
戴奧辛	< 1.0			NIEA.R208.04 氫離子濃度指數測定方法
輻射(NSV/H)	< 200			NIEA.M801.12B 戴奧辛及呔喃檢測方法
				事業廢棄物放射性含量測定方法與取樣方法
TCLP	As	< 5.0	季/次	NIEA R201.14 事業廢棄物毒性特性溶出程序
	Hg	< 0.2		
	Ba	< 100		
	Cd	< 1.0		
	Cr	< 5.0		
	Cu	< 15		
	Pb	< 5.0		
	Se	< 1.0		
Cr(VI)	< 2.5	< 0.25		

- (2) 搭配工程案隨批檢附產品規格證明書，內標註轉爐石產品之安定化處理方式，並登入該批次轉爐石之篩分析、洛杉磯磨損率、膨脹率及環境相容性報告(TCLP)等檢驗結果。有關檢測頻率，材料性質(篩分析、洛杉磯磨損率、膨脹率)分按不同安定化處理方式每 1,000 公噸檢測 1 次；環境相容性報告(TCLP 等) 每季 1 次，所提供之產品規格證明書樣式如圖 5.1 所示。而膨脹率逐案採每 10,000 公噸(含以內)，經第三方抽驗乙次。

中聯資源股份有限公司				
品管試驗報告				
樣品名稱：改質轉爐石(產品名)		採樣地點：中聯XX廠		
報告編號：000-00-00-00		採樣日期：年/月/日 (年-月-日-流水號)		
篩號/粒徑	篩分析			
	停留量		通過率(wt.%)	產品規格
	留篩(wt.%)	累積(wt.%)		
2" / 50 mm				-
1" / 25 mm				-
3/4" / 19 mm				-
1/2" / 12.5 mm				-
3/8" / 9.5 mm				-
#4 / 4.75 mm				-
底盤				-
試驗項目		測試方法	分析結果	產品規格
物理特性	洛杉磯磨損率(%)	CNS 490		$\leq 50$
	吸水率(%)	CNS 488		-
	面乾內飽和虛比重	CNS 488		-
	膨脹測試(%)	CNS 15311		$\leq 0.5$
備註	1. 本試驗樣品結果所列記錄僅對樣品本身負責。			
分析人員：		覆核：		

圖 5.1 (a)轉爐石產品規格證明書樣式

**中聯資源股份有限公司**  
**品管試驗報告**

樣品名稱：改質轉爐石(產品名) 採樣地點：中聯XX廠

報告編號：000-00-00-00 採樣日期：年/月/日  
(年-月-日-流水號)

檢驗項目	毒性特性溶出(TCLP)			
	溶出濃度(mg/L)	法規限值(mg/L)	檢測方法	
總鉛/Pb		<5.0	NIEA R201.14C NIEA R306.13C NIEA M104.02C	
總銅/Cu		<15.0		
總鉻/Cr		<5.0		
總鎘/Cd		<1.0		
總硒/Se		<1.0		
總鋇/Ba		<100.0		
總砷/As		<5.0		
總汞/Hg		<0.2		
六價鉻/Cr(VI)		<2.5		
XRF螢光分析				
試驗項目		測試方法	分析結果	產品規格
成份 分析 (wt. %)	氧化鈣 / CaO	ASTM C-114 (XRF法)		-
	氧化鎂 / MgO			
	二氧化矽 / SiO <sub>2</sub>			
	氧化鋁 / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
	氧化鐵 / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
pH值		NIEA R208.04		<12.5
備註	1. 本試驗樣品結果所列記錄僅對樣品本身負責。			

分析人員：

覆核：

圖 5.1 (b)轉爐石產品規格證明書樣式

## 5.3 轉爐石級配粒料基層材料、產製與施工

### 5.3.1 材料

#### 1. 基層級配料之級配及品質

- (1) 轉爐石級配粒料之來源及處理製程詳見本手冊第二章；品質管制措施詳見本手冊第 5.2 節；材料相關性質環保法規驗證詳見本手冊第 3.2 節；並將工程性質與應用實例彙整於本手冊第四章，可滿足道路工程需求。
- (2) 依公共工程施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」規定，基層級配料之級配及品質有第一類型、第二類型、第三類型及第四類型，分別如表 5-4、表 5-5、表 5-6 及表 5-7 列，相關詳細之規定可參考附錄。

表 5.3 第一類型基層級配料之級配及品質規定

級配規定						
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
品質規定						
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%。						

表5.4 第二類型基層級配料之級配及品質規定

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
品質規定		
試驗項目	試驗值	試驗方法
CBR 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

表5.5 第三類型基層級配料之級配及品質規定

級配規定				
試驗篩 mm	通過方孔試驗篩之重量百分率 (%)			試驗方法
	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	
品質規定				
試驗項目	試驗值(%)			試驗方法
	A	B	C	
CBR 值，最少	35	20	10	CNS 12382
含砂當量，最少	30	25	20	CNS 15346



表5.6 第四類型基層級配料之級配及品質規定

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	
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. 混合比例

- (1) 基層級配料之產製實務以重量為基準，因轉爐石與一般粒料之比重不同，級配料組成若有轉爐石及天然粒料，需進行比重權值修正，以調整粒料之配合比例，修正方式如表 5.8 範例。

表5.7 粒料依比重修正使用比例之範例

修正前(依體積百分比)				
粒料種類	粒料比重	使用比例(%)		
P1	3.400	70		
P2	2.600	30		
修正後(依重量百分比)				
粒料種類	原使用比例	粒料比重	權值(註1)	修正後比例(%) (註2)
P1	70	3.400	238	75.32
P2	30	2.600	78	24.68
合計	100	-	316	100
註1：權值=原使用比例×粒料比重				
註2：修正後比例=(權值/權值合計)×100%				

- (2) 轉爐石與天然粒料之混合比例，應由組成之級配粒料規格及品質決定。
- (3) 改質法與蒸汽養生法之轉爐石可全取代天然料料，混合比例，可藉由含砂當量值、CBR 值進行設計。轉爐石與天然粒料混拌後之級配粒料，其含砂當量會隨轉爐石之使用量

增加而降低、其 CBR 值會隨轉爐石之使用量增加而上升。

- (4) 轉爐石瀝青混凝土刨除料取代天然粒料百分比，顯示其乾密度及最佳含水量隨取代量增加而增加、CBR 值隨取代量增加而降低、膨脹量隨取代量增加而增加。應用在基層上，則須謹慎考慮轉爐石瀝青混凝土刨除料取代天然碎石料的使用量，建議轉爐石瀝青混凝土刨除料取代量上限為 40%。

## 5.3.2 產製

### 1. 拌和

- (1) 一般規定：為維護施工現場周遭環境品質及混合比例，須在砂石場之廠區或經工程司核可方式，進行與天然粒料之混拌作業。
- (2) 生產批次：以「月」為生產批次單位，供料單位皆會隨批次檢附產品規格證明書，確認各批出廠皆符合品質管制標準。
- (3) 混合比例：應依據承包商提供之混合比例進行混拌。
- (4) 拌和方式：
  - A. 拌和機拌和：使用之拌和機應經常保持良好狀態，其輪葉或葉片應具有適當之尺度及淨空，並予適當調節，以生產均勻之合格材料。
  - B. 場內現有拌和設備：砂石場可利用場內原有之拌和設備進行拌和，拌和時須注意投料順序及頻率，以生產均勻之合格材料。

### 2. 運輸

- (1) 轉爐石產源為中鋼集團一貫作業煉鋼廠，並由中聯公司負責運搬、堆存與管理，各種原料與產品分類儲存不得混雜，避免污染。
- (2) 在運送時，運送車車斗應加裝帆布或其他遮蓋裝置，以避免雨水滲入及粉塵逸散。

### 5.3.3 施工

#### 1. 材料

施工前，應針對轉爐石級配粒料基層進行品質檢驗，檢驗方法與頻率如表 5.9，而其級配規格及品質要求依類型須符合前表 5.4~表 5.7。

表5.8 級配粒料基層之檢驗方式與頻率

項次	檢驗方法	檢驗頻率
1	CNS 486 粗細粒料篩析法	1. 數量未達 500 m <sup>3</sup> 檢驗 1 件。 2. 數量超過 500m <sup>3</sup> 時，每 500 m <sup>3</sup> 隨機選取 1 件試樣檢驗。
2	CNS 490 粗粒料 (37.5mm 以下) 洛杉磯磨損試驗法	
3	CNS 487 細粒料比重及吸水率試驗法	
4	CNS 488 粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法	
5	CNS 1167 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法	
6	NIEA R306 事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法－酸消化法 NIEA M801 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	供料前須檢附供料計畫書及隨批檢附產品規格證明書。
7	CNS 5088 土壤液性限度試驗、塑性限度試驗及塑性指數決定法	依選用級配粒料類型，每一料源至少 1 次。
8	CNS 15346 土壤及細粒料之含砂當量試驗法	依選用級配粒料類型，每一料源至少 1 次。
9	CNS 12382 夯實土樣加州載重比試驗	依選用級配粒料類型，每一料源至少 1 次。

#### 2. 路基整理

- (1) 鋪築基層前，路基全寬均應清除草木及其他雜物，並將所有清除物運棄，低窪處或車轍之積水應先予排除。
- (2) 在填方段路基頂面下 75cm 以內之路基材料，應壓實至最大乾密度之 95% 以上；在挖方段路基頂面下 30cm，應壓實至最大乾密度之 95% 以上。
- (3) 若基面下有鬆軟材料，以致影響路基滾壓工作時，該部分路基應予翻鬆、曝曬或挖棄換填符合設計路基強度 CBR 值或 R 值之材料，然後壓實至規定壓實度。
- (4) 在路基整形修面時，其頂層過高部分應予刮除，刮除之剩餘材料可用於頂層高程不足地點或棄置之。
- (5) 缺料時應補充新料，將原有之頂層耙鬆，加水拌和，並滾壓整修至合乎規定。
- (6) 經過整修後，路基頂面應保持其整修完成之狀態，並繼續維護直至基層開始鋪築為止。

### 3. 撒鋪材料

- (1) 運達工地之合格材料分堆置於路基上，然後以機動平路機攤平。
- (2) 在撒鋪之前，如有需要可路基上灑水以得一適宜濕度。
- (3) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象應以機動平路機拌和，至前述現象消除為止。
- (4) 級配粒料應按規定之厚度分層均勻鋪設，每層厚度約略相等，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定，以達到所需之壓實度為原則。
- (5) 鋪設時，應避免損及其下面之路基，並按所需全寬度鋪設。
- (6) 發現有不合規定之顆粒及雜物時，均應隨予以撿除。
- (7) 每層壓實厚度視滾機具之能量而異，最大以不超過 20cm（通常鬆鋪厚度約為壓實之 1.35 倍）為宜，但亦不得小於所用粒料標稱最大徑之 2 倍。

### 4. 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，使級配粒料有夯實試驗之最佳含水量，以能壓實至所規定之密度。
- (3) 如級配粒料含水量過多時，應俟其乾至最佳含水量附近後始可滾壓。
- (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，開始時需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處。
- (6) 壓路機不能到達之處，應以夯土或其他適當之機具夯實。
- (7) 滾壓後如有不平之處，應耙鬆補充不足之材料，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現場人員檢驗合格分層鋪築時，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 2 cm，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，過程中得視實際需要酌量灑水。
- (12) 每一層滾壓數量達 1,000m<sup>2</sup> 時，應至少檢驗一次壓實度，並以 CNS14733 「以砂錐法測定土壤工地密度試驗法」標準方法求之，壓實度應至少達依 CNS 11777-1 「土壤含水量與密度關係試驗法(改良式實驗法)」方法試驗，再以 CNS14732 「依粗料含量調整土壤夯實密度試驗法」方法校正所得最大乾密度之 95% 以上。如試驗結果未達規定密度時，應繼續滾壓，或以翻鬆灑水或曝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。

## 5. 保護

- (1) 已完成之基層應經常灑水以保持最佳含量，以防止細料散失。
- (2) 如基層於鋪設底層之前發現有任何損壞或不良情況時，應重新整平滾壓。

### 5.3.4 品質檢驗

完工後基層之品質，宜參照工程會施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」相關檢驗方式與品質要求，進行驗收檢驗。

#### 1. 壓實度

- (1) 級配粒料基層應滾壓至設計圖或特定條款所規定之壓實度。
- (2) 如無明確規定時，基底層壓實度至少應達到依 CNS 11777、CNS 11777-1 之方法試驗，再以 CNS 14732 之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。

#### 2. 頂面平整度

- (1) 完成後之基層頂面應平順、緊密及均勻表面。

- (2) 基層頂面平整度許可差以 3m 之直規沿平行，或垂直道路中心線方向檢測時，其任何一點高低均不得超過 $\pm 2.5\text{cm}$ 。

### 3. 鋪設厚度

- (1) 完成後之基層，由現場人員隨機選取代表性地點鑽洞檢測其厚度。檢測之頻率為每  $1,000\text{m}^2$  做一次。
- (2) 任何一點之基層鋪設厚度不得比設計厚度少 2.0cm 以上，或不得比設計厚度少 10% 以上，各點厚度之平均值不得小於設計厚度。
- (3) 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。

### 5.3.5 計量與計價

在編製轉爐石級配粒料基層之工程預算或估價時，可參考下列計量與計價方式，進行相關作業。

#### 1. 計量

級配粒料基層依不同規格，按完工後經檢驗合格之設計圖規定尺寸，以「立方公尺」計算。

#### 2. 計價

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」單價計算。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需之費用在內。

## 5.4 轉爐石級配粒料底層材料、產製與施工

### 5.4.1 材料

#### 1. 底層級配料之級配及品質

- (1) 轉爐石級配粒料之來源及處理製程詳見本手冊第二章；品質管制措施詳見本手冊第 5.2 節；材料相關性質環保法規驗證詳見本手冊第 3.2 節；並將工程性質與應用實例彙整於本手冊第四章，可滿足道路工程需求。
- (2) 依公共工程施工綱要規範第 02726 章「級配粒料底層」規定，底層級配料之級配及品質有第一類型、第二類型及第三類型，分別如表 5-10、表 5-11 及表 5-12 列，相關詳細之規定可參考附錄。

表5.9 第一類型底層級配粒料之級配規定

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

表5.10 第二類型底層級配粒料之級配及品質規定

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
品質規定		
試驗項目	試驗值	
CBR 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	

表5.11 第三類型底層級配粒料之級配及品質規定

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
品質規定		
試驗項目	試驗值 (%)	
CBR 值，最少	85	
含砂當量，最少	40	



## 2. 混合比例

- (1) 底層級配料之產製實務以重量為基準，因轉爐石與一般粒料之比重不同，級配料組成若有轉爐石及天然粒料，需進行比重權值修正，以調整粒料之配合比例，修正方式如前表 5.8 範例。
- (2) 轉爐石與天然粒料之混合比例，應由組成之級配粒料規格及品質決定。
- (3) 改質法與蒸汽養生法之轉爐石可全取代天然料料，混合比例，可藉由含砂當量值、CBR 值進行設計。轉爐石與天然粒料混拌後之級配粒料，其含砂當量會隨轉爐石之使用量增加而降低、其 CBR 值會隨轉爐石之使用量增加而上升。
- (4) 轉爐石瀝青混凝土刨除料取代天然粒料百分比，顯示其乾密度及最佳含水量隨取代量增加而增加、CBR 值隨取代量增加而降低、膨脹量隨取代量增加而增加。應用在底層上，則須謹慎考慮轉爐石瀝青混凝土刨除料取代天然碎石料的使用量，建議轉爐石瀝青混凝土刨除料取代量上限為 40%。

## 5.4.2 產製

### 1. 拌和

- (1) 一般規定：為維護施工現場周遭環境品質及混合比例，須在砂石場之廠區或經工程司核可方式，進行與天然粒料之混拌作業。
- (2) 生產批次：以「月」為生產批次單位，供料單位皆會隨批次檢附產品規格證明書，確認各批出廠皆符合品質管制標準。
- (3) 混合比例：應依據承包商提供之混合比例進行混拌。
- (4) 拌和方式：
  - A. 拌和機拌和：使用之拌和機應經常保持良好狀態，其輪葉或葉片應具有適當之尺度及淨空，並予適當調節，以生產均勻之合格材料。
  - B. 場內現有拌和設備：砂石場可利用場內原有之拌和設備進行拌和，拌和時須注意投料順序及頻率，以生產均勻之合格材料。

## 2. 運輸

- (1) 轉爐石產源為中鋼集團一貫作業煉鋼廠，並由中聯公司負責運搬、堆存與管理，各種原料與產品分類儲存不得混雜，避免污染。
- (2) 在運送時，運送車斗應加裝帆布或其他遮蓋裝置，以避免雨水滲入及粉塵逸散。

## 5.4.3 施工

### 1. 材料

施工前，應針對轉爐石級配粒料底層進行品質檢驗，檢驗方法與頻率如前表 5.9，而其級配規格及品質要求依類型須符合前表 5.10~表 5.12。

### 2. 路基或基層整理

- (1) 鋪築基層前，路基全寬均應清除草木及其他雜物，並將所有清除物運棄，低窪處或車轍之積水應先予排除。
- (2) 在填方段路基頂面下 75cm 以內之路基材料，應壓實至最大乾密度之 95% 以上；在挖方段路基頂面下 30cm，應壓實至最大乾密度之 95% 以上。
- (3) 若基面下有鬆軟材料，以致影響路基滾壓工作時，該部分路基應予翻鬆、曝曬或挖棄換填符合設計路基強度 CBR 值或 R 值之材料，然後壓實至規定壓實度。
- (4) 在路基整形修面時，其頂層過高部分應予刮除，刮除之剩餘材料可用於頂層高程不足地點或棄置之。
- (5) 缺料時應補充新料，將原有之頂層耙鬆，加水拌和，並滾壓整修至合乎規定。
- (6) 經過整修後，路基頂面應保持其整修完成之狀態，並繼續維護直至基層開始鋪築為止。
- (7) 基層整理按公共工程施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」或前第 5.3 節之各項規定辦理。

### 3. 撒鋪材料

- (1) 運達工地之合格材料分堆置於路基或基層面上，然後以機動平路機或其它機具攤平。
- (2) 在撒鋪之前，如有需要可路基或基層上灑水以得一適宜濕度。
- (3) 撒鋪時，如發現粒料有不均勻或析離現象應以機動平路機拌和，至前述現象消除為止。
- (4) 級配粒料應按規定之厚度分層均勻鋪設，每層厚度約略相等，其最大厚度須視所用滾壓機械之能力而定，以達到所需之壓實度為原則。
- (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，並按所需全寬度鋪設。
- (6) 發現有不合規定之顆粒及雜物時，均應隨予以撿除。
- (7) 每層壓實厚度視滾機具之能量而異，最大以不超過 20cm（通常鬆鋪厚度約為壓實之 1.35 倍）為宜，但亦不得小於所用粒料標稱最大徑之 2 倍。

### 4. 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，使級配粒料有夯實試驗之最佳含水量，以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，開始時需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處。
- (6) 壓路機不能到達之處，應以夯土或其他適當之機具夯實。
- (7) 滾壓後如有不平之處，應耙鬆補充不足之材料，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現場人員檢驗合格分層鋪築時，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，過程中得視實際需要酌量灑水。
- (12) 每一層滾壓數量達 1,000m<sup>2</sup> 時，應至少檢驗一次壓實度，並以 CNS14733 「以砂錐法測定土壤工地密度試驗法」標準方法求之，壓實度應至少達依 CNS 11777-1 「土壤含水量與密度關係試驗法(改良式實驗法)」方法試驗，再以 CNS14732 「依粗料含量調整土壤夯實密度試驗法」方法校正所得最大乾密度之 95% 以上。如試驗結果未達規定密度時，應繼續滾壓，或以翻鬆灑水或曝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。

## 5. 保護

- (1) 已完成之底層應經常灑水以保持最佳含量至面層施工為止，並在鋪築面層前檢測高程。
- (2) 如於鋪設其他層面之前發現有任何損壞或不良情況時，應重新整平滾壓。

### 5.4.4 品質檢驗

完工後底層之品質，宜參照工程會施工綱要規範第 02726 章「級配粒料底層」相關檢驗方式與品質要求，進行驗收檢驗。

#### 1. 壓實度

- (1) 級配粒料底層應滾壓至設計圖或特定條款所規定之壓實度。
- (2) 如無明確規定時，基底層壓實度至少應達到依 CNS 11777、CNS 11777-1 之方法試驗，再以 CNS 14732 之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。

#### 2. 頂面平整度

- (1) 完成後之底層頂面應平順、緊密及均勻表面。

- (2) 底層頂面平整度許可差以 3m 之直規沿平行，或垂直道路中心線方向檢測時，其任何一點高低均不得超過 $\pm 2.5\text{cm}$ ；如面層厚度在 7.5cm 以下時，其底層頂面之高低差不得超過  $\pm 0.6\text{cm}$ ，不合格處應予整平壓實。

### 3. 鋪設厚度

- (1) 完成後之底層，由現場人員隨機選取代表性地點鑽洞檢測其厚度。檢測之頻率為每 1,000m<sup>2</sup> 做一次。
- (2) 任何一點之底層鋪設厚度不得比設計厚度少 1.0cm 以上，或不得比設計厚度少 10% 以上，各點厚度之平均值不得小於設計厚度。
- (3) 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。

## 5.4.5 計量與計價

在編製轉爐石級配粒料底層之工程預算或估價時，可參考下列計量與計價方式，進行相關作業。

### 1. 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「立方公尺」計算。

### 2. 計價

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」單價計算。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。



## 第六章 驗證機制

### 6.1 施工品質驗證機制

施工完成後基底層之品質，宜參照工程會施工綱要規範第 02722 章「級配粒料基層」以及第 02726 章「級配粒料底層」相關檢驗方式與品質要求，驗證其級配曲線、CBR 值、壓實度、道路平整度及鋪設厚度(如圖 6.1)。

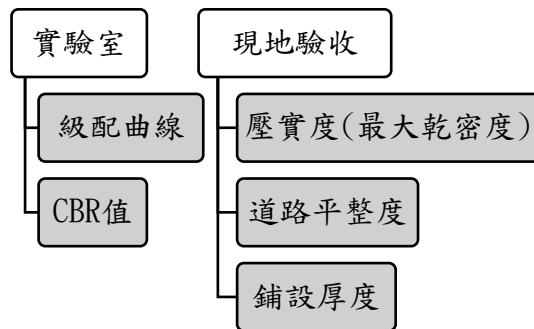


圖 6.1 道路基底層驗證項目

#### 1. 級配曲線

- (1) 基層所用級配粒料主要有四種類型；底層所用級配粒料主要有三種類型，廠商應於施工前選定施工類型，經工程主辦單位同意後，依契約圖說之規定辦理，
- (2) 基底層級配粒料篩分析應依 CNS 486 之規定辦理。
- (3) 級配規定基層可參考表 5.4 至表 5.7、底層可參考表 5.10 至表 5.12。

#### 2. CBR 值

- (1) 基層級配料之 CBR 值至少應達 20%；底層級配料之 CBR 值至少應達 80%。
- (2) 基底層級配粒料 CBR 試驗應依 CNS 12382 之規定辦理。
- (3) CBR 品質規定基層可參考表 5.5 至表 5.7、底層可參考表 5.11 及表 5.12。

#### 3. 壓實度

- (1) 級配粒料基底層應滾壓至設計圖或特定條款所規定之壓實度。
- (2) 如無明確規定時，基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) 如試驗結果未達校正規定密度時，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。

#### 4. 頂面平整度

- (1) 完成後之底層、基層頂面應平順、緊密及均勻表面。
- (2) 底層、基層頂面平整度許可差以 3m 之直規沿平行或垂直道路中心線方向檢測時，其任何一點高低差均不得超過 $\pm 1.5\text{cm}$ ；如面層厚度在 7.5cm 以下時，其底層頂面之高低差不得超過  $\pm 0.6\text{cm}$ ，不合格處應予整平壓實。

#### 5. 鋪設厚度

- (1) 完成後之底層，由現場人員隨機選取代表性地點鑽洞檢測其厚度。檢測之頻率為每 1,000m<sup>2</sup> 做一次。
- (2) 任何一點之底層鋪設厚度不得比設計少 1.0cm 以上，各點厚度之平均值不得小於設計厚度。
- (3) 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，並按規定重新滾壓製合格為止。

### 6.2 環境相容性驗證機制

轉爐石應用至道路基底層除了應依公共工程施工綱要規範第 02722 章【級配粒料基層】<sup>[6.1]</sup>及第 02726 章【級配粒料底層】<sup>[6.2]</sup>之項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。依據中華民國國家標準 CNS 15358【公路或機場基層、底層用碎石級配粒料】<sup>[6.3]</sup>符合品質標準。針對出廠轉爐石之環境相容性，中鋼集團於出廠前即會檢測轉爐石之 TCLP、輻射及戴奧辛試驗。且轉爐石自主管理對於 TCLP 規範值係以國家法規認定標準的 1/10，更是符合綠建材之通則標準。中鋼集團按自主管理辦法，每季自主送驗，委託台灣檢驗公司檢驗轉爐石之 TCLP，108 年度 4 季檢測結果如表 6.1 所示。



表6.1 108年度4季TCLP檢測結果與認定標準

樣品/標準	TCLP 溶出濃度(mg/L)								
	As	Hg	Ba	Cd	Cr	Cu	Pb	Se	Cr(VI)
108 年度第一季 檢測	N.D	N.D	0.054	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.02
108 年度第二季 檢測	N.D	N.D	0.122	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	<0.02
108 年度第三季 檢測	N.D	N.D	0.249	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
108 年度第四季 檢測	N.D	N.D	0.148	N.D	N.D	N.D	N.D	0.052	<0.02
偵測極限之測定 值(MDL)	0.038	0.0004	0.018	0.010	0.017	0.017	0.017	0.035	0.01
有害事業廢棄物 認定標準	<5.0	<0.2	<100	<1.0	<5.0	<15	<5.0	<1.0	<2.5
綠建材	<0.3	<0.005	-	<0.3	-	<0.15	<0.3	-	<1.5
中聯規範	<0.5	<0.02	<10	<0.1	<0.5	<1.5	<0.5	<0.1	<0.25
備註	<p>1.每季樣品檢送時間為 1 月 16 日、4 月 10 日、7 月 18 日、10 月 22 日。</p> <p>2.本樣品由中聯資源自行送樣，轉爐石檢測值數據為中聯資源定期委台灣檢驗公司檢驗報告(報告編號：AR/2019/10308、AR/2019/40120、AR/2019/70083、AR/2019/A0145)。</p> <p>3.測試方法係依據環保署公告之方法 NIEA R201.15 進行測試。</p> <p>4.中聯規範：容許值需低於目前「有害事業廢棄物認定標準」之 TCLP 規範值的 10%。</p> <p>5.ND：表該數據低於方法偵測極限之測定值(MDL)。</p>								

## 參考文獻

- 6.1. 「公共工程施工綱要規範第 02722 章【級配粒料基層】」，行政院公共工程委員會。
- 6.2. 「公共工程施工綱要規範第 02726 章【級配粒料底層】」，行政院公共工程委員會。
- 6.3. 「公路或機場基層、底層用碎石級配粒料」，中華民國國家標準 CNS 15358。

## 第七章 品質管理與注意事項

### 7.1 一般原則

轉爐石係中鋼集團在煉鋼過程中所產生之副產品，基於工程砂石粒料日益短缺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。轉爐石應用於道路基底層時，其工程規定及步驟與一般基底層類似，本章係綜合前述各章再提列使用轉爐石應用於基底層之產品時所需之條件及注意事項等，作綱要性說明，期望有助於業界參酌應用。

### 7.2 品質管理

#### 1. 轉爐石出廠管制

- (1) 轉爐石品質：出廠前應針對轉爐石進行粒料性質試驗，相關試驗項目如表 5.1 所示。  
若轉爐石品質異常時，將依循轉爐石自主管理進行回收、分堆及重工，待檢驗合格後再行出貨。
- (2) 環境相容性：出廠前應檢驗戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測有毒重金屬項目，其檢測值標準按環保署公告之規範為準。

#### 2. 產製階段管制

- (1) 工程施工單位應查驗轉爐石出廠產品規格證明書，品質符合環保規定及級配粒料基底層使用要求，方可進料。
- (2) 確定級配粒料基底層之級配類型，以決定轉爐石與天然粒料之混合比例。

#### 3. 施工階段管制

- (1) 工程施工單位應依規範要求頻率，辦理轉爐石級配粒料基底層之品質檢驗。
- (2) 滾壓時，可依現場工地密度試驗結果，調整夯實能量，避免過度夯壓使級配粒料產生破碎。
- (3) 底層完工後，於面層施工前可酌量灑水養護，以維持最佳含水量狀態。

#### 4. 驗收階段管制

- (1) 查驗施工中壓實度試驗報告及工程施工紀錄。
- (2) 現場平整度及厚度檢驗，應符合規範之規定。

### 7.3 注意事項

1. 工程機關於施工前應查驗相關供應證明文件與品管作業文件，如供料計畫書，以確認使用之轉爐石級配粒料底層品質，符合環保法規之無害標準，且滿足工程需求。
2. 工程施工單位於施工準備期間，應視實際需要於級配粒料上均勻灑以適量之水(夯實試驗之最佳含水量)，使級配粒料於鋪築壓實時能達到所需之壓實度。
3. 有關轉爐石作為級配粒料基底層使用相關區位規定，依目的事業主管機關(經濟部)再生粒料相關規定辦理。

# 附錄



# 附錄 1.1

公共工程委員會施工網要規範

## 第 02722 章

級配粒料基層





# 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 道路用高爐爐渣
- (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 高爐爐渣或 CNS 15305 內之爐渣規定，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

表一 第一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	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，均應隨時予以檢除。

- (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[600m<sup>3</sup>][ ]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[500m<sup>3</sup>][ ]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[1,000m<sup>2</sup>][ ]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[1,000m<sup>2</sup>][ ]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 1.2

公共工程委員會施工網要規範

## 第 02726 章

級配粒料底層





# 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 道路用高爐爐渣
- (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 高爐爐渣或 CNS 15305 內之爐渣規定，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(氧化渣)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渣軋製而成之級配料，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[600m<sup>3</sup>][ ]做一次試驗。
- (2) 使用再生級配粒料時，除供料稽核外，每[500m<sup>3</sup>][ ]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[1,000m<sup>2</sup>][ ]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[1,000m<sup>2</sup>][ ]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[立方公尺][平方公尺，註明厚度][ ]計算。

## 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〉