



中華鋪面工程學會

轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊

委託單位： 中國鋼鐵股份有限公司

中聯資源股份有限公司

執行單位： 社團法人中華鋪面工程學會

中華民國 99 年 12 月 30 日 第一版



中華鋪面工程學會

轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊

計畫名稱：轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊

執行時間：98 年 12 月 1 日至 99 年 12 月 30 日

委 託 單 位：中國鋼鐵股份有限公司

中聯資源股份有限公司

執 行 單 位：社團法人中華鋪面工程學會

計 畫 主 持 人：沈得縣

共 同 主 持 人：林志棟

協 同 主 持 人：陳偉全、陳世晃、黃隆昇、陳裕新

助 理 研 究 員：吳佳銘、李承劼、葉銘欽

研 究 助 理：曾士芳

中華民國 99 年 12 月 30 日 第一版

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，因此夙有「重工業之母」之稱呼。中鋼公司在一貫作業煉鋼過程中產出之副產物以爐石為最大宗，其中轉爐石年產量約為 120 萬公噸。轉爐石具耐磨、高硬度及高抗滑之特性，其粒料特性適合應用於鋪面工程。但未經安定化之轉爐石因含有游離石灰遇水後易產生體積膨脹，使其在資源再利用上受到質疑。但依國內外轉爐石再利用之經驗顯示；轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面工程之技術已相當成熟，且瀝青具有防水之特性若包裹轉爐石則可防止水分與其接觸而抑制體積膨脹，並使含轉爐石之瀝青混凝土鋪面性質穩定，因此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面極具潛力。

鑑於鋼鐵工業對於達成「零固廢」之目標殷切，但國內目前卻仍未針對轉爐石應用於鋪面工程編訂相關之使用手冊。中國鋼鐵股份有限公司及中聯資源股份有限公司為宣導轉爐石之正確使用觀念，以確保轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之績效，並避免因材料不當使用而造成工程失敗，因此委由社團法人中華鋪面工程學會召集國內瀝青混凝土相關之專家學者，研擬本「轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊」(以下簡稱本手冊)。本手冊主要內容包括轉爐石材料性質、轉爐石瀝青混凝土工程性質、轉爐石瀝青混凝土應用實例及效益、轉爐石瀝青混凝土配合設計、瀝青混凝土鋪面工程使用轉爐石應注意事項、轉爐石瀝青混凝土產製、運輸、施工及品質管理等。本手冊除可作為工程主辦機關、設計單位、施工單位及瀝青拌和廠等相關產業之參考遵循外，亦可提供轉爐石資源化應用於瀝青混凝土鋪面之相關技術，有利於政府促進永續發展政策之推行及公共工程品質之確保。

目錄

	頁碼
摘要.....	I
目錄.....	III
表目錄.....	VII
圖目錄.....	IX
第一章 總則.....	1
1.1 一般原則.....	1
1.2 內容說明.....	4
1.3 本手冊之使用要點.....	6
參考文獻.....	8
第二章 轉爐石之材料性質.....	9
2.1 轉爐石之生產.....	9
2.2 轉爐石之一般性質.....	11
2.3 轉爐石膨脹性.....	14
2.4 轉爐石處理及安定化.....	15
2.5 轉爐石之試驗標準與規範.....	16
2.5.1 國內外轉爐石應用於鋪面工程之試驗標準及規範.....	16
2.5.2 中華民國國家標準.....	17
參考文獻.....	26
第三章 轉爐石瀝青混凝土之工程性質.....	27
3.1 一般原則.....	27
3.2 轉爐石瀝青混凝土之工程性質.....	27
3.2.1 穩定值與流度值.....	28
3.2.2 回彈模數.....	30
3.2.3 水份敏感性.....	32
3.2.4 車轍深度.....	34
3.2.5 抗滑性.....	36
3.2.6 透水性.....	37
參考文獻.....	38
第四章 轉爐石瀝青混凝土之應用實例及效益.....	39
4.1 一般原則.....	39
4.2 國內外轉爐石應用概況.....	39
4.3 轉爐石瀝青混凝土之應用實例.....	43
4.3.1 南星計畫工程（加鋪）.....	43
4.3.2 中鋼動力東路（翻修）.....	43
4.3.3 中聯 A 廠廠區道路（翻修）.....	45

4.3.4	中聯台中研磨廠廠區道路（新鋪）	47
4.3.5	中龍廢鋼儲區旁道路（新鋪）	47
4.3.6	高雄縣澄清路（翻修）	48
4.3.7	中鋼原料 1 東路、煉焦 2 東路及原料 2 北路（翻修）	48
4.4	轉爐石瀝青混凝土之效益	50
4.4.1	轉爐石密級配瀝青混凝土之效益	50
4.4.2	轉爐石密級配再生瀝青混凝土之效益	50
4.4.3	轉爐石多孔隙級配瀝青混凝土之效益	51
	參考文獻	52
第五章	轉爐石瀝青混凝土配合設計	53
5.1	一般原則	53
5.2	轉爐石瀝青混凝土配合設計原則	53
5.2.1	本使用手冊於轉爐石瀝青混凝土配合設計區分為三個範疇	53
5.2.2	各依循之配合設計準則所引用之各項試驗法原則	53
5.3	轉爐石密級配瀝青混凝土配合設計步驟	54
5.3.1	注意事項	54
5.3.2	配合設計步驟	54
5.3.3	配合設計準則	56
5.3.4	配合設計之表示法	58
5.3.5	配合設計流程圖	59
5.3.6	建議瀝青含量之選取範例	60
5.4	轉爐石多孔隙瀝青混凝土配合設計步驟	61
5.4.1	注意事項	61
5.4.2	配合設計步驟	61
5.4.3	配合設計準則	65
5.4.4	配合設計之表示法	66
5.4.5	配合設計流程圖	67
5.4.6	建議瀝青含量之選取範例	68
5.5	轉爐石再生瀝青混凝土配合設計步驟	69
5.5.1	注意事項	69
5.5.2	配合設計步驟	69
5.5.3	配合設計準則	69
5.5.4	配合設計之表示法	70
5.5.5	配合設計流程圖	71
5.5.6	建議瀝青含量之選取範例	72
5.6	試拌	72
	參考文獻	72
第六章	轉爐石瀝青混凝土之產製、運輸及施工	73
6.1	一般原則	73

6.2	轉爐石瀝青混凝土之產製.....	73
6.2.1	粒料之管制.....	73
6.2.2	瀝青膠泥之管制.....	73
6.2.3	拌和廠生產管制.....	74
6.2.4	轉爐石瀝青混凝土混合料之拌和.....	74
6.3	轉爐石瀝青混凝土之運輸.....	75
6.4	轉爐石瀝青混凝土之施工.....	76
6.4.1	準備工作.....	76
6.4.2	施工方法.....	77
	參考文獻.....	82
第七章	轉爐石瀝青混凝土之品質管理.....	83
7.1	材料之品質管理.....	83
7.1.1	瀝青材料.....	83
7.1.2	粒料.....	84
7.2	轉爐石瀝青混凝土之品質管理.....	86
7.2.1	瀝青混凝土之混合料.....	86
7.2.2	現場之品質管理.....	87
7.3	檢驗要點.....	87
	參考文獻.....	88
第八章	瀝青混凝土鋪面工程使用轉爐石應注意事項.....	89
8.1	一般原則.....	89
8.2	轉爐石瀝青混凝土之定義及範圍.....	89
8.3	轉爐石之材料特性.....	89
8.4	轉爐石瀝青混凝土較佳添加量之選定.....	90
8.5	轉爐石瀝青混凝土鋪面應注意事項.....	91
8.5.1	鋪面設計應注意事項.....	91
8.5.2	配合設計應注意事項.....	92
8.6	轉爐石瀝青混凝土鋪面品質管制應注意事項.....	93
8.6.1	拌和階段.....	93
8.6.2	輸送、鋪築、滾壓階段.....	94
8.6.3	轉爐石瀝青混凝土鋪面使用階段.....	94
8.6.4	轉爐石瀝青混凝土產品與檢驗.....	94
	參考文獻.....	95

表目錄

	<u>頁碼</u>
表 2.1 轉爐石化學成分之含量.....	12
表 2.2 轉爐石之物理性質.....	14
表 2.3 國內外轉爐石應用於鋪面之規範編號及名稱.....	17
表 2.4 鋼爐渣之種類、標號及參考用途.....	18
表 2.5 單一粒度之煉鋼爐渣級配要求.....	18
表 4.1 日本鋼爐渣應用概況表.....	40
表 4.2 美國鋼爐渣應用概況表.....	40
表 4.3 中鋼/中聯轉爐石在瀝青混凝土鋪面研究及應用之成果.....	41
表 4.4 歷年轉爐石應用於瀝青混凝土鋪設實績一覽表.....	42
表 5.1 粒料依比重修正使用比例之範例.....	55
表 5.2 轉爐石密級配瀝青混凝土之馬歇爾配合設計準則.....	56
表 5.3 轉爐石密級配瀝青混凝土粒料間空隙率（VMA）之規定最小值.....	57
表 5.4 轉爐石密級配瀝青混凝土配合設計之建議報告格式.....	58
表 5.5 瀝青混合料拌和料性質分析.....	60
表 5.6 混合粒料級配於某篩號之通過百分率與係數對應關係.....	62
表 5.7 轉爐石多孔隙瀝青混凝土之配合設計準則.....	65
表 5.8 轉爐石多孔隙瀝青混凝土配合設計之建議報告格式.....	66
表 5.9 轉爐石再生瀝青混凝土配合設計之建議報告格式.....	70
表 6.1 瀝青加熱溫度.....	74
表 7.1 轉爐石瀝青混凝土所用瀝青膠泥.....	83
表 7.2 瀝青材料之相關試驗.....	83
表 7.3 轉爐石粗粒料規範表.....	84
表 7.4 轉爐石細粒料規範表.....	85
表 7.5 粒料之相關試驗.....	85
表 7.6 礦物填縫料級配表.....	86
表 7.7 瀝青混合料之試驗.....	86
表 7.8 瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差.....	87

圖目錄

	頁碼
圖 2.1 煉鋼爐石產出流程.....	10
圖 2.2 淺盤造塊餘熱自解法之作業流程.....	10
圖 2.3 轉爐石 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 三相圖	12
圖 3.1 轉爐石添加量與 DGAC 之穩度值關係圖	28
圖 3.2 轉爐石添加量與 DGAC 之流度值關係圖	29
圖 3.3 刨除料添加量 20%、轉爐石添加量與 RAC 之穩度值關係圖	29
圖 3.4 刨除料添加量 20%、轉爐石添加量與 RAC 之流度值關係圖	30
圖 3.5 轉爐石添加量與 PA 回彈模數之關係圖	31
圖 3.6 轉爐石添加量與 DGAC 回彈模數之關係圖	31
圖 3.7 刨除料添加量 40%、轉爐石添加量與 RAC 之回彈模數關係圖	32
圖 3.8 轉爐石添加量與 PA 水份敏感性試驗之關係圖	33
圖 3.9 轉爐石添加量與 DGAC 水份敏感性試驗之關係圖	33
圖 3.10 轉爐石添加量與 PA 車轍試驗之關係圖	34
圖 3.11 轉爐石添加量與 DGAC 車轍試驗之關係圖	35
圖 3.12 刨除料添加量 40%、轉爐石添加量與 RAC 之車轍關係圖	35
圖 3.13 轉爐石添加量與 PA 抗滑試驗之關係圖	36
圖 3.14 轉爐石添加量與滲透係數之關係圖	37
圖 5.1 轉爐石密級配瀝青混凝土之配合設計流程圖	59
圖 5.2 瀝青混合料性質分析曲線圖	61
圖 5.3 (例) 2.36mm (No.8) 篩通過百分率與空隙率 (VC) 之關係曲線	63
圖 5.4 轉爐石多孔隙瀝青混凝土之配合設計流程圖	67
圖 5.5 瀝青混合料垂流量與飛散損失量性質分析圖	68
圖 5.6 轉爐石再生瀝青混凝土之配合設計流程圖	71

第一章 總則

1.1 一般原則

1. 緣起

鋼鐵為社會經濟發展中不可或缺之原料，鋼鐵工業係以生產各種鋼鐵製品為主之行業，其規模與技術為衡量國家工業發展之重要指標。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。中國鋼鐵股份有限公司（簡稱中鋼公司）年平均鋼鐵生產量約為 1000 萬噸，而由煉鋼過程所產出之副產物量亦相當可觀。中鋼公司在一貫作業煉鋼過程中所產出之副產物以爐石為最大宗，依據行政院環保署 2008 年全國事業廢棄物申報統計資料顯示；水淬高爐石之產量約 276 萬公噸，轉爐石之產量約 120 萬公噸。高爐石為煉鋼廠在煉製生鐵（pig iron）過程中為降低生產溫度因添加石灰石作為助熔劑以使氧化鐵還原，而於高溫下所形成之氧化物爐渣。若以水淬方式冷卻者稱為水淬高爐石，若在大氣中冷卻者稱為氣冷高爐石，其中水淬高爐石因具潛在水硬性膠結能力，若經研磨成細粉添加於混凝土中則可產生卜作嵐反應（pozzolanic reaction）使混凝土結構更緻密，而增加混凝土晚期強度及耐久性。經濟部工業局已於 2004 年公告「水淬高爐石（渣）」為再生資源，目前國內每年至少需 400 萬噸爐石粉作為水泥摻料，因此水淬高爐石已全數資源回收再利用^[1.1]。

轉爐石為一貫作業煉鋼廠在煉製鋼液時，將鐵水、副原料及廢鋼加入轉爐後，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）。轉爐石係屬於煉鋼爐石（steel slag）之一，其具有耐磨、高硬度及高抗滑之特性，且粒料特性相當適合應用於鋪面工程，但未經安定化之轉爐石含有大量游離石灰（f-CaO），遇水後易產生體積膨脹，使得資源再利用上受到質疑，最終多以土木工程填方、填海造陸及圍堤背填等方式處理。為妥善地將轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面，並同時解決國內砂石資源短缺之困境。經濟部標準檢驗局已分別於 2001 年 12 月及 2010 年 12 月 30 日公佈 **CNS 14602**「道路用鋼爐渣」及 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」等國家標準，規範道路基層、底層及熱拌瀝青混凝土所使用之煉鋼爐渣，至此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之範疇終

有明確規範可供依循。依據世界各國之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而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^[1,2]。再者，美國材料試驗協會（American Society for Testing and Materials, ASTM）及日本工業規格（JIS, Japanese Industrial Standards）均已將煉鋼爐石應用於瀝青鋪面材料納入標準規範中（ASTM D5106 及 JIS A 5015），顯見轉爐石應用於鋪面工程之技術已成熟。就材料特性而言，瀝青具有防水之特性可包裹轉爐石而防止水分與轉爐石接觸產生體積膨脹，因此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面極具發展潛力。

中鋼公司及中聯資源股份有限公司為宣導轉爐石之正確使用觀念，以確保轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之績效，避免因材料不當使用而造成工程失敗，因此委由社團法人中華鋪面工程學會召集國內瀝青混凝土相關之專家學者，研擬本「轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面使用手冊」（以下簡稱本手冊），除可作為工程主辦機關、設計及施工單位、營造業及瀝青拌和廠等相關產業參考遵循外，亦可提供轉爐石資源化再利用於瀝青混凝土鋪面之相關技術，俾利共同促進永續發展政策之推行及確保公共工程之品質。

2. 目的

中鋼公司每年所產出之轉爐石經破碎、磁選、安定化及篩分等步驟後，材料品質均符合 CNS 14602「道路用鋼爐碴」及 CNS 15310「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」等規範要求，且轉爐石物理性質與天然粒料相近，又具備有強度佳、表面粗糙及多稜角等優良粒料特性，極適合應用於瀝青混凝土鋪面。目前國內所使用之河川砂石已漸趨枯竭，砂石主要來源之河川已達開採上限或已被明令禁採，僅東部及中部等地區仍可局部開採，台灣地區目前已面臨砂石資源短缺之問題。此外，隨著品質優良之粒料資源已耗罄，而目前開採之粒料多屬矽質砂岩，其具親水性之特質不利於瀝青混凝土之耐久性，然而轉爐石含大量鈣質成分具親油性，有利於瀝青混凝土之耐久性。就永續發展之觀點而言，以轉爐石替代天然粒料可增進資源回收再利用之比例，進而達到資源重複使用（reuse）、循環利用（recycling）及回收利用（recovery）等原則。近年來國內部分研究單位已針對轉爐石應用於密級配瀝青混凝土、再生瀝青混凝土及多孔隙瀝青混凝土之鋪面績效進行探討，並實地鋪設多條試驗道路以驗證轉爐石鋪面之工程性質及鋪面績效，依據現地評估結果顯示轉爐石取代天然粒料應用於瀝青混凝土鋪面具可

行性 [1.3-1.10]。

雖然國內已累積許多轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之成功案例，惟工程界仍普遍對轉爐石之材料性質、瀝青混凝土工程性質、瀝青混凝土應用及效益、瀝青混凝土配合設計、鋪面工程使用轉爐石應注意事項、瀝青混凝土產製、施工及品質管理等方面不甚瞭解，以致未能確實掌握設計與品管之要點。本手冊編定之目的主要在於提供鋪面工程界有關轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之正確觀念與方法，進而確保轉爐石瀝青混凝土鋪面之工程品質。

3. 定義

(1) 煉鋼爐石

本手冊所稱之「煉鋼爐石」(亦稱為煉鋼爐渣)係指生產鋼鐵之鐵礦原料與粘土雜質及助熔劑(如螢石、石灰及焦炭)在高溫熔爐中反應所產生之熔渣。目前國內煉鋼方法大致有轉爐、電弧爐及平爐煉鋼等3種，常見之煉鋼爐石有轉爐石及電弧爐石等兩種。

(2) 轉爐石

本手冊所稱之「轉爐石」(亦稱為轉爐渣)，為一貫作業煉鋼廠在煉製鋼液時，將鐵水、副原料及廢鋼加入轉爐後，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。

(3) 轉爐石瀝青混凝土

本手冊所稱之「轉爐石瀝青混凝土」係指以轉爐石全部或部分取代天然粒料，再按配合設計所定之配合比例與瀝青膠泥充分拌和均勻後，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。本手冊規定使用於瀝青混凝土之轉爐石，其材料品質須符合 **CNS 14602**「道路用鋼爐渣」或 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」等規範要求。轉爐石之材料品質影響瀝青混凝土鋪面績效甚巨，因此轉爐石在摻配於各種類瀝青混凝土前，應先確認轉爐石之物理性質及化學性質是否符合我國規範要求。

4. 適用範圍

本手冊可使工程界洞悉轉爐石資源化再利用於鋪面工程之相關技術，在本手冊中所規範或建議之轉爐石瀝青混凝土工程技術，亦適用於公共工程之密級配瀝青混凝土、改質密級配

瀝青混凝土及多孔隙（排水）瀝青混凝土。鑑於我國瀝青混凝土鋪面規範並未納入轉爐石相關之規定，本手冊乃蒐集與彙整國內外轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之相關文獻、規範、研究報告、技術指針及鋪設實例等資料，據以增訂相關之準則，以提供工程界參考及依循。轉爐石應用於瀝青混凝土時，除可參照本手冊所規定之事項外，其中瀝青混凝土配合設計法可參照美國瀝青學會手冊（AI MS-2）「瀝青混凝土及其他熱拌類之配合設計方法」及公共工程施工綱要規範第 02797 章「排水性改質瀝青混凝土鋪面」附錄一之「排水性瀝青混凝土混合料配合設計」。瀝青混凝土之相關施工規定及要求應依據行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工綱要規範」第 02741 章「瀝青混凝土之一般要求」之相關規定辦理。

1.2 內容說明

本手冊內容係彙整國內外轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面有關之文獻、規範、研究報告、技術指針及鋪設實例等資料，針對轉爐石材料性質、轉爐石瀝青混凝土工程性質、轉爐石瀝青混凝土之應用實例及效益、轉爐石瀝青混凝土配合設計、轉爐石瀝青混凝土之產製、運輸、施工及品質管理、瀝青混凝土鋪面工程使用轉爐石應注意事項等層面逐一探討。本手冊內容摘要說明如下：

(1) 轉爐石材料性質

粒料約佔瀝青混凝土重量之 85~94%，因此瀝青混凝土之鋪面績效深受粒料性質所影響。轉爐石之粒料品質應符合 **CNS 14602**「道路用鋼爐渣」或 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料」等規範之要求，以作為管制轉爐石之物理性質與浸水膨脹率之依據。在煉鋼過程中產出之轉爐石會依不同冷卻及儲存方式而使得其化學性質及物理性質產生變化，本手冊除針對中鋼轉爐石之產出流程、化學性質、物理性質及力學性質等項目進行研析外，並參酌國內外對煉鋼爐石膨脹性之要求及其體積穩定處理法，擬定粒料處理製程及品質管理措施，以確保粒料性質符合規範要求。

(2) 轉爐石瀝青混凝土工程性質

轉爐石可依照不同粒徑而分成特定之料堆放置，並依照級配要求拌製成瀝青混凝土。轉爐石經過適當之安定化處理，在瀝青拌和廠經過加熱與受到瀝青膠泥之包覆後，可降低爐渣

膨脹之特性。轉爐石瀝青混凝土普遍具有良好之工程性質，除具備高摩擦力、高儲熱性及高穩定值外，亦兼具抵抗剝脫及車轍之能力。基本上轉爐石瀝青混凝土之工程性質須符合各機關訂定之規範。本手冊特別專章針對轉爐石瀝青混凝土之工程性質進行說明，祈能使工程界能確切瞭解轉爐石瀝青混凝土之特性。

(3) 轉爐石瀝青混凝土之應用實例及效益

隨著環保及資源再生之意識高漲，煉鋼爐石資源化再利用已是各國鋼鐵工業必須共同推動之重要工作，亦為國內產官學研各界共同努力之目標。將轉爐石應用於瀝青混凝土因可利用瀝青包裹粒料而阻絕轉爐石接觸水分，而發揮穩定體積變化之功效，並且開啟轉爐石資源再利用取代天然粒料之新契機。中鋼公司於一貫作業煉鋼生產過程中產出之轉爐石，擁有材料性質優良與產量穩定等兩項因素，而有利於鋪面工程之應用，其中以再利用於瀝青混凝土最具競爭力。本手冊係彙整國內外轉爐石應用於瀝青混凝土之實例，並歸納出轉爐石瀝青混凝土應用範圍及效益，供工程界參考引用。

(4) 轉爐石瀝青混凝土配合設計

台灣地區經年多雨，水份易貯積在鋪面表面而侵害瀝青混凝土，造成其黏著性及凝聚性損失而發生剝脫現象，進而引起瀝青混凝土鋪面結構之破壞。為提高瀝青混凝土抗剝脫能力，通常會在瀝青混凝土中加入防剝劑或石灰而減少剝脫問題發生，但轉爐石成分中 SiO_2 之比例較天然粒料少，反而 CaO 佔相當高之比例，由於 CaO 為親油性，使得粒料能與瀝青膠泥更加緊密結合，可提高瀝青混凝土抗剝脫能力，因此轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面中可同時扮演粒料及防剝劑之角色。然而轉爐石卻含大量之金屬氧化物如 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgO 等物質，使轉爐石比重較天然粒料高，而瀝青混凝土配合設計中，比重差異會帶來瀝青混凝土體積性質之差別，如瀝青混凝土單位重、粒料間空隙率（Voids in Mineral Aggregate, VMA）及瀝青填充空隙率（voids filled with asphalt, VFA）等性質。現行轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之模式均將轉爐石視為天然粒料之替代品，但由於轉爐石與天然粒料兩者比重差異極大，故在瀝青混凝土配合設計方面須以體積法進行修正，方可獲得正確之瀝青混凝土體積。此外，轉爐石具多孔性及親油性會導致瀝青混凝土之最佳瀝青含量偏高。本手冊係蒐集國內外轉爐石瀝青混凝土配合設計方法之相關資料，在檢討現行配合設計方法之正確性與合理性後，據以研

訂轉爐石瀝青混凝土配合設計方法，以提供國內轉爐石瀝青混凝土鋪面配合設計之參考。

(5) 轉爐石瀝青混凝土之產製、運輸、施工及品質管理

若粒料品質控制得宜，並依據正確方法進行混合料配合設計，則轉爐石瀝青混凝土之性質與傳統瀝青混凝土相同，施工方法與使用成效亦一致。本手冊係彙整國內外轉爐石瀝青混凝土鋪面之施工規範，針對適用範圍、運送要點、施工要點（含準備工作與施工方法）及檢驗要點等進行通盤檢討，據以擬定轉爐石瀝青混凝土標準施工作業程序，以確保轉爐石瀝青混凝土鋪面之工程品質。

在轉爐石瀝青混凝土之品質管理與檢驗應注意事項方面，本手冊係依據 **CNS 14602**「道路用鋼爐碴」、**CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」、行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程品質管理制度」與「公共工程施工品質管理作業要點」等之要求研擬品質規範。由於轉爐石瀝青混凝土之品質常受工程各作業階段影響，應以全面品質管理（TQM）方式導入品質控制，本手冊係針對轉爐石瀝青混凝土各作業階段應特別強調者提出相關管制措施，以確保轉爐石瀝青混凝土鋪面之品質。

(6) 瀝青混凝土鋪面工程使用轉爐石應注意事項

採用轉爐石瀝青混凝土執行鋪面工程設計時，在工程圖說上須適當標示施工應注意及配合事項。轉爐石瀝青混凝土之使用，工程設計者首先須在設計時能具備周詳之考慮，並在設計上做適當之配合，故工程設計者在轉爐石瀝青混凝土適切應用上亦扮演相當重要之角色。為使轉爐石瀝青混凝土之推廣能達到預期之目標，並且使工程師對轉爐石各項特性有充分瞭解，本手冊除針對工程設計上應注意事項進行探討外，並依據各種文獻研究結果研擬相關應注意事項之內容，以提供工程設計者實務上之參考。

1.3 本手冊之使用要點

1. 本手冊說明鋪面工程中轉爐石瀝青混凝土之材料、設備、施工及檢驗等相關規定，可提供鋪面工程主辦機關、設計及施工單位、營造業及瀝青混凝土拌和廠等相關產業之依循或參考。
2. 本手冊僅針對轉爐石瀝青混凝土與一般瀝青混凝土不同之特性加以規定，在使用轉爐石瀝

青混凝土時，除可參照本手冊之規定外，其產製、施工及品質管制方式，應依照行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工綱要規範」，或依其他經認可之施工規範辦理。

3. 為確保轉爐石瀝青混凝土鋪面之施工品質，工程主辦機關應落實公共工程三級品管制度。轉爐石瀝青混凝土鋪面之品質管制，可參照行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程施工品質管理作業要點」辦理。
4. 各工程主辦機關決定使用轉爐石瀝青混凝土鋪面時，應依據鋪面工程特性及需求，決定所需使用轉爐石瀝青混凝土之品質要求。除應提供詳細資料載明於工程圖說中外，並應充分瞭解本手冊之有關規定。
5. 本手冊僅就眾多之轉爐石瀝青混凝土應用實例中選定幾個典型案例，依目前之技術將其設計及施工方法加以說明，但預期未來將有新工法或新技術陸續地被開發出來，故在不違反本手冊之基本精神及徵得業主同意之下，設計者若提供配比設計報告書（內容應敘明轉爐石摻配方式、相關材料料源、配比設計及試拌結果等資料），經工程監造單位核可者亦可採用。

參考文獻

- 1.1 「公共工程高爐石混凝土使用手冊」，行政院公共工程委員會（2001）。
- 1.2 黃大衛，「轉爐石取代傳統粒料對瀝青混凝土 VMA 性質影響之研究」，國立中央大學土木工程系碩士論文（2007）。
- 1.3 「轉爐石應用於密級配與多孔隙瀝青混凝土性質之綜合研究（期末報告）」臺灣世曦工程顧問股份有限公司（2009）。
- 1.4 「再生瀝青混凝土添加轉爐石成效評估研究計畫（期末報告書）」，義守大學（2008）。
- 1.5 林志棟，「利用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究-委託研究成果報告書」，社團法人中華鋪面工程學會（2007）。
- 1.6 林志棟，「轉爐石於鋪面工程之應用—長期成效評估（期末報告）」，社團法人中華鋪面工程學會（2006）。
- 1.7 林志棟，「轉爐石應用於鋪面工程之推廣」，國立中央大學土木工程學系（2006）。
- 1.8 林志棟，「轉爐石於鋪面工程之應用（SMA 配比報告書）」，國立中央大學土木工程學系（2005）。
- 1.9 林志棟，「中聯爐石處理資源化股份有限公司委託計畫期末報告—轉爐石應用於鋪面工程之推廣（配比試驗報告書）」，國立中央大學土木工程學系（2003）。
- 1.10 林志棟，「中聯爐石處理資源化股份有限公司委託計畫期末報告—轉爐石應用於鋪面工程之推廣」，國立中央大學土木工程學系（2003）。

第二章 轉爐石之材料性質

2.1 轉爐石之生產

中鋼公司在一貫作業煉鋼過程中冶煉 1 噸生鐵會自高爐排出約 310 公斤之冷卻固體物，稱為高爐石（Blast Furnace slag, BF slag）；而自轉爐用鐵水吹煉 1 噸鋼時，大約產生 100-118 公斤之冷卻固體物，稱為轉爐石（Blast Oxygen Furnace slag, BOF slag），其生產流程如圖 2.1 所示^[2.1]。由於煉鋼溶渣倒出時無法完全與鋼液分離乾淨，故轉爐石中常含有鐵成份；另為去除鋼液中之雜質常加入大量之石灰，因此在鋼吹煉完成後產出之轉爐石中亦含有游離石灰（f-CaO）。針對中鋼公司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鍊，並添加石灰與其他助熔劑，以去除有害成分，俟冷卻後形成轉爐石^[2.2]。

轉爐石是由多種礦物所組成，並隨化學成份之變化而有所不同。由於轉爐石含氧化鐵較高，因此比重較大，約為 3.2~3.6。轉爐石因含有未反應石灰，與水分接觸後產生水化反應形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 而使體積產生膨脹，導致其在再利用之應用上受到限制。但轉爐石外表粗糙凹凸富有稜角，且具有低磨損率、低健性、高承載比、高硬度及高內摩擦角等優點，充分顯示部分轉爐石是具有高度結構穩定性，可作為鋪面基底層級配及面層材料使用。

以往轉爐石之處理過程係將 1200℃ 之熱熔渣直接倒渣於渣廠地上，先經過空氣初步之冷卻後進行推渣，並以兩度噴水冷卻，最後再輔以破碎及篩分等動作，而形成粒徑為 2" 以下之轉爐石級配料，此法與日本大致相同，日本之轉爐渣亦是待其冷卻後，利用破碎與篩分方式，取得適合之轉爐石材料^[2.3]。為提升轉爐石之處理效率與利用價值，中鋼公司特別委託社團法人中華鋪面工程學會研擬轉爐石之資源再生等相關策略。近年來中鋼公司改採「淺盤造塊餘熱自解法」作為轉爐石之處理方法，其處理流程係將剛出渣之轉爐熱熔渣置於渣盤冷卻後，再將轉爐渣推入水坑中，可使熱渣於水坑中自然崩解粉碎成立方體狀，而得到低扁平率與 100% 破碎面之轉爐石，且轉爐石資源化加工過程不再破碎，僅重覆篩選與磁選工作，取粒徑 50mm 以下之粒料進行篩分，形成粒徑為 3/4"、3/8" 及 1/4" 之轉爐石粗粒料，篩選過程不加水沖洗無水污染問題，細粒料篩在密閉空間篩選，亦無空氣污染之問題。淺盤造塊水坑崩解處

理法之作業流程如圖 2.2 所示 [2.5]。

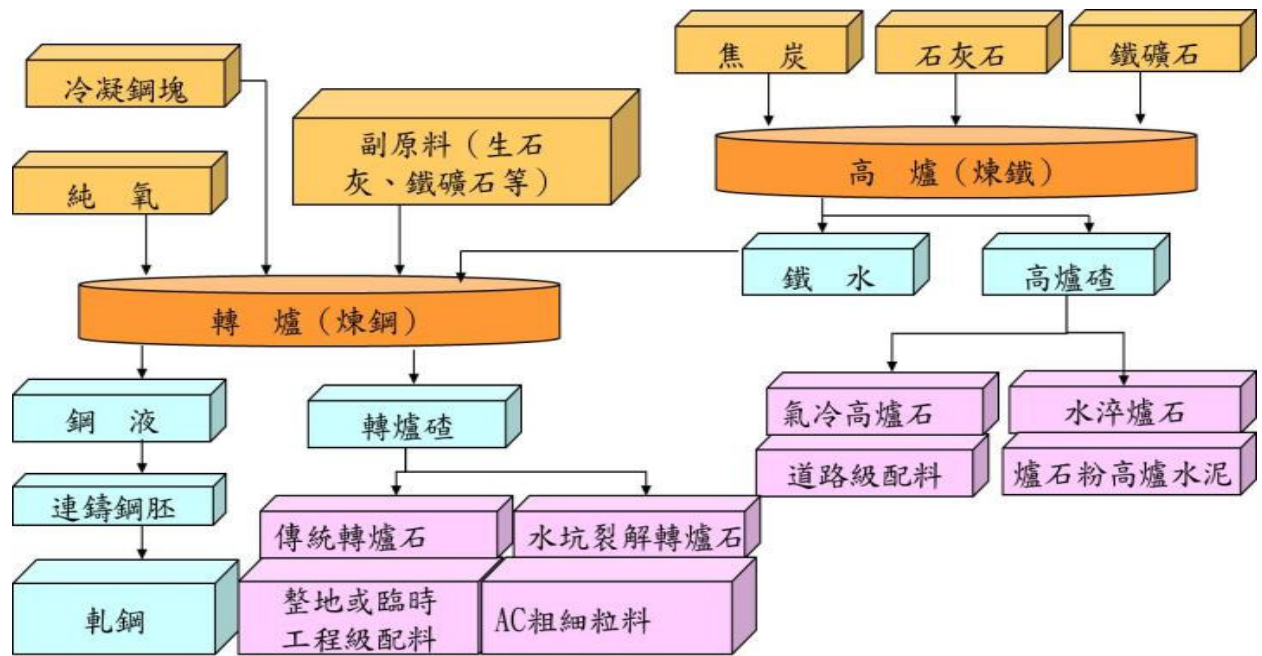


圖 2.1 煉鋼爐石產出流程

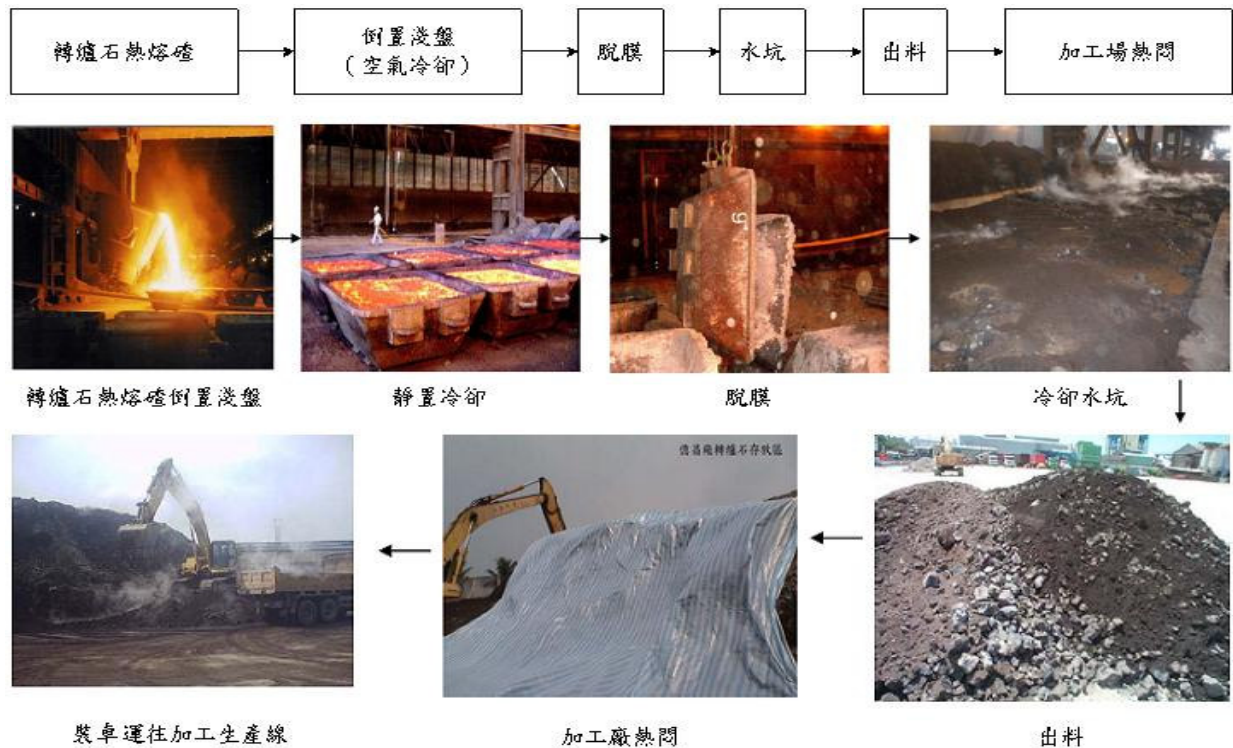


圖 2.2 淺盤造塊餘熱自解法之作業流程

2.2 轉爐石之一般性質

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

1. 轉爐石化學性質

轉爐石之化學成分主要有 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 等，其三相圖如圖 2.3 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。轉爐石之化學成分含量如表 2.1 所示，各主要化學成分之特性如下：

- (1). 氧化鈣 (CaO)： CaO 為爐渣之主要成份， CaO 含量高能生成較多矽酸鹽類，形成活性較高之矽酸鈣 (C_2S) 及硫鋁酸鈣。
- (2). 二氧化矽 (SiO_2)： SiO_2 主要生成低鈣矽酸鹽和高矽玻璃體，有時 SiO_2 以游離狀態存在，阻礙礦物水化結晶過程使其活性下降，由於轉爐石中 CaO 與 MgO 之總含量，不足以使 SiO_2 充分結合成玻璃質，所以 SiO_2 含量過多反而降低活性。
- (3). 氧化鋁 (Al_2O_3)： Al_2O_3 亦是決定爐渣活性之成份之一，在爐渣中易形成鋁酸鹽和鋁矽酸鹽等礦物，其含量愈多活性愈大。
- (4). 氧化鎂 (MgO)：在轉爐石內 MgO 與 SiO_2 及 Al_2O_3 結合成穩定型化合物，當 MgO 增加時會提高轉爐石之活性，因此轉爐石中 MgO 含量多寡與其活性大小有關。
- (5). 硫 (S)： S 在爐渣中通常與 CaO 結合成 CaS ，與水作用生成 Ca(OH)_2 ，在有 MnO 存在情況下易生成 MnS ，與水作用會發生體積膨脹現象。
- (6). 氧化錳 (MnO)： MnO 含量在 1~8%，氧化錳之存在會影響轉爐石之健度。
- (7). 游離氧化鈣 (f-CaO)： f-CaO 吸收大氣中之水分與二氧化碳 (CO_2) 而發生風化作用，使轉爐石體積膨脹。
- (8). 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。

表2.1 轉爐石化學成分之含量

化學物質	含量 ¹ (%)	含量 ² (%)	含量 ³ (%)	含量 ⁴ (%)
氧化鈣 (CaO)	42~52	40~52	42	35~49
二氧化矽 (SiO ₂)	10~20	10~19	15	8~18
氧化亞鐵 (FeO)	15~35	10~40	24	17~35
氧化錳 (MnO)	3~10	5~8	5	1~5
氧化鎂 (MgO)	1~8	5~10	8	1~10
三氧化二鋁 (Al ₂ O ₃)	0.5~3	1~3	5	0.5~7
五氧化二磷 (P ₂ O ₅)	1.5~4	0.5~1	0.8	1~3
硫 (S)	0.25	< 0.1	0.08	—
氧化鉻 (Cr ₂ O ₃)	< 2	—	—	0~0.5
CaO/ SiO ₂	4	—	—	—
Free-CaO	3~13	—	—	—

資料來源：

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

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

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

⁴ 中鋼、中龍 98、99 年度統計資料。

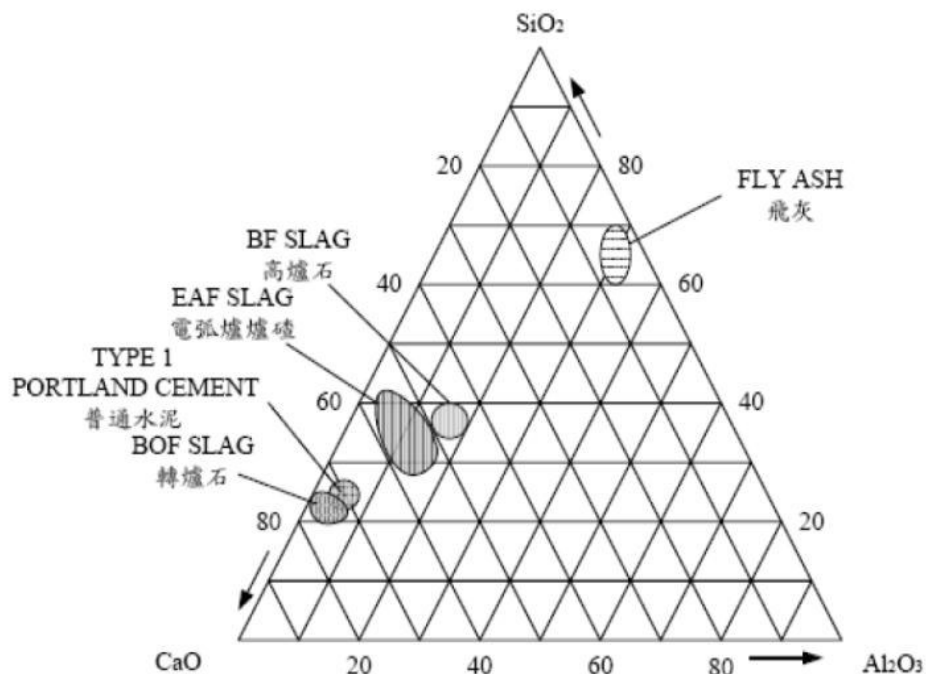


圖 2.3 轉爐石 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 三相圖

2. 轉爐石物理性質

轉爐石係多種礦物組成之固熔體，隨化學成份之變化而有所不同，其性質與化學成份有著密切之關係，轉爐石之物理性質如表 2.2 所示。轉爐石具有下列之粒料特性：

- (1). 耐磨性 (durability)：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)，非常適合用於瀝青混凝土鋪面。
- (2). 摩擦性 (friction properties)：轉爐石外表粗糙凹凸富有稜角，可提高瀝青混凝土之抗磨擦能力 (wear resistance)，特別是在行車速率較高之鋪面，使用轉爐石可有助於提高鋪面之摩擦力。
- (3). 儲熱能力 (heat retention)：轉爐石儲熱之功能較天然粒料好，可延長瀝青混凝土施工時間。
- (4). 比重 (specific gravity)：轉爐石含鐵成分高，比重介於 3.2~3.6 之間，轉爐石瀝青混凝土單位重大於傳統瀝青混凝土約 15%~25%，但會依配合設計而異。
- (5). 吸油率 (asphalt absorption)：轉爐石吸油能力較天然粒料高，會增加瀝青混凝土之含油量。
- (6). 吸水率 (water absorption)：轉爐石因具粗糙表面且毛細孔 (pores) 較天然粒料多，因此粒料吸水率較多。一般建議轉爐石材料應用於瀝青混凝土時，經過烘乾後之含水量不可超過 0.1%，以避免造成瀝青混凝土體積之不穩定。
- (7). 親油性 (hydrophobic)：轉爐石含大量鈣質成分具親油性，有利於瀝青混凝土之耐久性。
- (8). 膨脹性：轉爐石吸水後 f-CaO 會水化為氫氧化鈣 (Ca(OH)_2)，體積將會膨脹 100-300%，MgO 會水化為氫氧化鎂 (Mg(OH)_2)，體積膨脹約 77%。因此含有 f-CaO 及 MgO 之轉爐石處於不穩定狀態，唯有當 f-CaO、MgO 消解完成或含量很少時，亦或是不透水材料如瀝青包裹才會穩定。

轉爐石應用於瀝青混凝土則具有下列之材料特性：

1. 穩定值 (Stability)：以轉爐石拌製之瀝青混凝土可提升瀝青混凝土之穩定值。
2. 抗剝脫能力：轉爐石含有 CaO 可以有效增加瀝青混凝土抵抗剝脫能力。
3. 抗車轍能力：轉爐石瀝青混凝土動穩定值較高，因此具有良好之抗車轍能力。

表2.2 轉爐石之物理性質

物理性質	參考值*
比重	3.2~3.6
單位重 (kg/m^3)	1600~1920
吸水率 (%)	≤ 3
洛杉磯磨損 (%)	≤ 25
健性試驗 (%)	< 12
加州承載比 (CBR)	> 300

*資料來源：中聯資源股份有限公司提供

2.3 轉爐石膨脹性

1. 影響因素

影響轉爐石之膨脹因素可歸納為養治溫度、養治方法、養治時間、游離氧化鈣之活性及轉爐石粒徑大小等，茲詳述如下^[2.5]：

(1). 養治溫度

轉爐石之浸水膨脹率，根據 JIS A5015 解說中證實其養治水溫愈高膨脹率愈大，尤其是養治溫度在 60°C 以上就認定有促進膨脹之效果。

(2). 養治方法

根據 JIS A5015 解說養治方法可分為；(1)間歇養治：試體浸置於 $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ 熱水中持續養治六個小時，並在裝置內冷卻，次日再反覆此操作，總共 10 次循環；(2)連續養治：將試體持續養治於 $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ 熱水中，養治 4 日。研究結果顯示；在養治初期係以連續養治之膨脹率較大，但就長期之膨脹率而言，兩種養治方法之差異不大。

(3). 游離氧化鈣 (f-CaO)

f-CaO 活性愈高轉爐石之膨脹性愈大，且新鮮轉爐石比安定後轉爐石活性大。鹽基度 (CaO/SiO_2) 愈高，活性愈大。

(4). 轉爐石粒徑大小

粒徑較小之轉爐石比表面積大，與水接觸之面積增加，而增加其化學反應之進行，因此膨脹量較大；反觀尺寸較大之轉爐石，因反應接觸面積減少，膨脹量反而較小。

2. 相關規定

轉爐石具有遇水緩慢膨脹之特性，將導致鋪面工程失敗，由於各國對於膨脹性爐石品質要求相當嚴格，如：德國（DIN EN1744-1）規定正式道路級配料之膨脹率需低於 3.5%；日本（JIS A5015）規定煉鋼爐石用於正式道路級配料之膨脹率低於 1.5%；美國（FHWA）規定爐石細粒料膨脹率需低於 1%；台灣（CNS 14602）規定煉鋼爐石用於正式道路級配料之膨脹率低於 1.5%及用於熱拌瀝青混凝土之膨脹率低於 2.0%。

2.4 轉爐石處理及安定化

轉爐石於出渣冷卻時，若未經任何處理程序，由於轉爐石中存在之游離氧化鈣（f-CaO）及氧化鎂（MgO）會引起膨脹現象而造成體積不穩定，為使轉爐石達到工程所需之粒料性質要求，因此資源化再利用前必須提高其穩定性，其安定化處理技術說明如下：

1. 自然風化法

將轉爐石運送到渣場有規律地堆放，使轉爐石自然降溫、淋雨、吸潮，而達到粉化之目的，再利用時以挖掘機開採即可。

2. 水淬法

利用壓力水泵噴出高壓水柱，將高溫熔渣流沖碎、冷卻成粒渣。水淬法又分爐前水淬與室外水淬兩種方式。

3. 氣淬法

氣淬法與水淬法之處理機構稍有類似，不同處在於水淬法係直接以高壓水柱沖碎高溫熔渣，而氣淬法則以高壓氣體代替高壓水柱沖碎高溫熔渣。

4. 快速處理法

利用 CO₂ 及溫水對轉爐石進行快速穩定化處理，CO₂ 可來自石灰窯廢氣或其他來源，溫度 250℃，經過 48 小時處理後，風化膨脹率從 5.1%減少到 0.2%，低於用溫水處理後之膨脹率，此法之原理是使 CaO 不僅變成 Ca(OH)₂，而且可變成 CaCO₃，從而提高轉爐石之穩定性。

5. 淺盤潑法

淺盤潑法也稱為淺盤水淬法，煉鋼爐排出流動性佳之熔渣，由渣桶倒入特製大盤中，熔渣自流成渣餅後，噴水使之急冷，渣餅龜裂成大塊渣，當渣溫降到約 500℃ 時，將塊渣由淺盤倒進受渣車進行第二次噴水冷卻，渣塊繼續龜裂粉化，最後，待渣塊溫降到約 200℃ 時，再把渣塊由受渣車倒入渣池進行第三次冷卻，渣塊也進一步龜裂粉化，含水渣由池中取出脫水後，即可進一步加工處理。

6. 餘熱自解法

係利用 400-800℃ 之高溫轉爐石淋水後產生之溫度應力及 f-CaO 吸水（水蒸汽）消解後產生之體積膨脹應力等使煉鋼爐石冷卻、龜裂及粉化。餘熱自解法包括；渣桶自解、渣堆自解、封閉倉常壓自解及密封罐加壓自解等。

7. 滾筒法

將煉鋼爐排出之高溫熔渣送入高速滾筒內，並以水作冷卻介質，使轉爐石急冷固化及破碎。滾筒法除可簡化轉爐石堆放及破碎之流程外，亦具有排渣快、設備體積小及粒料性質穩定等優點。

8. 改質法

煉鋼爐出渣前將改質劑飛灰或赤土加入渣罐中，採用機械攪拌，使渣中 f-CaO 降到 1% 以下，此法之原理是使 CaO 變成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，抑制轉爐石風化膨脹。

2.5 轉爐石之試驗標準與規範

2.5.1 國內外轉爐石應用於鋪面工程之試驗標準及規範

目前轉爐石應用於瀝青混凝土及鋪面面層與基底層級配粒料所依循之規範如表 2.3 所示。其中包含美國材料試驗協會（ASTM）、日本國家標準（JIS/JSA）及中國國家標準（CNS）等。

表2.3 國內外轉爐石應用於鋪面之規範編號及名稱

項目	規範名稱
瀝青混凝土	ASTM D5106 —Standard specification for steel slag aggregates for bituminous paving mixtures ASTM D3515 —Standard specification for hot-mixed, hot-laid bituminous paving mixtures JIS A5015 —Iron and steel slag for road construction CNS 14602 —道路用鋼爐碴 CNS 15306 —瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法 CNS 15307 —熱拌、熱鋪瀝青鋪面混合料 CNS 15310 —瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料
鋪面面層 與基底層 級配粒料	ASTM D1241 —Standard specification for materials for soil-aggregate subbase, base, and surface courses ASTM D692 —Standard specification for coarse aggregate for bituminous paving mixtures ASTM D1073 —Standard specification for fine aggregate for bituminous paving mixtures ASTM D5106 —Standard specification for steel slag aggregates for bituminous paving mixtures ASTM D4792 —Standard test method for potential expansion of aggregates from hydration reactions ASTM D2940 —Standard specification for graded aggregate material for bases or subbases for highways or airports JIS A5015 —Iron and steel slag for road construction CNS 14602 —道路用鋼爐碴 CNS 15305 —級配粒料基層、底層及面層用材料 CNS 15308 —瀝青鋪面混合料用粗粒料 CNS 15309 —瀝青鋪面混合料用細粒料 CNS 15310 —瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料 CNS 15311 —粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法 CNS 15358 —公路或機場底層、基層用碎石級配粒料

*資料來源：中聯資源股份有限公司提供

2.5.2 中華民國國家標準

經濟部標準檢驗局已針對轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面制訂相關之國家標準，以規範轉爐石瀝青混凝土鋪面之材料品質與鋪面績效。以下就已公告及新公告之 **CNS** 規範中對轉爐石瀝青混凝土之重要規定內容進行彙整，以供後續應用轉爐石於瀝青混凝土鋪面之參考。

1. CNS 14602-道路用鋼碴

鋼爐碴外觀品質要求不得含有害量之扁平細長料、垃圾雜物、泥土及有機物等。鋼爐碴之種類、標號及參考用途如表 2.4 所示，其餘品質規定將分為 3 種，茲詳述如下：

表2.4 鋼爐碴之種類、標號及參考用途

種 類	稱 號	參考用途
單一粒度之煉鋼爐碴	SS-20	熱拌瀝青混凝土
	SS-13	
	SS-5	

單一粒度之煉鋼爐碴其品質須符合下列規定：

- (1). 浸水膨脹比：依規定測試，浸水膨脹比須在 2.0% 以下。
- (2). 級配：粒度分布依規定篩析，其級配須符合表 2.5 之規定。
- (3). 面乾內飽和比重：依規定測定，其值須在 2.45 以上。
- (4). 吸水率：依規定測定，其值須在 3.0% 以下。
- (5). 磨損率：依規定進行洛杉磯磨損試驗，磨損率須在 30% 以下。
- (6). 安定化：至少須經過 3 個月以上之自然風化法（普通安定化）程序。

表2.5 單一粒度之煉鋼爐碴級配要求

標 號	粒 度 範 圍 mm	過篩質量百分率，%					
		試驗篩標稱孔寬					
		25mm	19mm	12.5mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm
SS-20	20~13	100	85~100	0~15	—	—	—
SS-13	13~5	—	100	85~100	0~15	—	—
SS-5	5~2.5	—	—	100	85~100	0~25	0~5

2. CNS 15307—熱拌、熱鋪瀝青鋪面混合料

(1). 適用範圍

本標準適用於底層、聯結層、整平層及面層之熱拌、熱鋪瀝青、柏油、乳化瀝青與再生瀝青鋪面混合料。

(2). 粒料

粒料應為碎石、軋碎爐碴、鋼爐碴、軋碎礫石、及天然或碎石砂，且符合下列適當之 CNS 標準中對品質與軋碎顆粒之規定。

- A. 粗粒料：依 **CNS 15308**—瀝青鋪面混合料用粗粒料
- B. 細粒料：依 **CNS 15309**—瀝青鋪面混合料用細粒料之規定。
- C. 鋼爐碴：依 **CNS 15310**—瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料之規定。

3. **CNS 15308—瀝青鋪面混合料用粗粒料**

(1). 適用範圍

本標準適用於瀝青鋪面混合料之碎石、軋碎之水硬性水泥混凝土、高爐爐碴、鋼爐碴、礫石、膨脹頁岩、膨脹黏土與膨脹板岩等（經證實使用紀錄良好之其他爐碴料亦可使用）。

(2). 名詞釋義

鋼爐碴為煉鋼製程所產生爐碴之統稱，隨製程之不同可分為轉爐鋼碴、電弧爐鋼碴或平爐鋼碴。

(3). 物理性質

A. 一般性質

粗粒料應為堅硬、耐久之顆粒，表面沒有外物沾附且符合本標準之規定。

B. 級配

粗粒料之級配應符合 **CNS 15314** 中相關尺度稱號之要求，或於訂購單上所註明之其他級配。

C. 密度

爐碴：依 **CNS 1163** 中搗實法試驗，尺度稱號 57 或 8 號之氣冷高爐爐碴粗粒料，其密度須在 1120 kg/m^3 以上。

D. 粒料中之破碎顆粒

本標準之訂貨單須註明依 **CNS 15312** 試驗所得有關破碎顆粒之適當要求。

(a). 一般混合料：停留試驗篩 4.75mm **CNS 386** 上，具一個以上破碎面之粒料質量不小於 40%。

(b). 開放級配摩擦層混合料：停留試驗篩 4.75mm **CNS 386** 上具一個以上破碎面之粒料質量不小於 90%，兩個以上破碎面時則為 75%以上。

E. 健度

粗粒料經 5 次循環之健度試驗，使用硫酸鈉溶液時，其質量損耗率不得大於 12%，而使用硫酸鎂溶液時，則不得大於 18%。若採購者沒有指定硫酸鹽之種類，則試驗結果符合使用鹽類之規定範圍時，該粒料可以接受。

F. 磨損降級

粒料經 **CNS 490** 試驗結果，作為面層用時之磨損率不得大於 40 %，作為底層用時則不得大於 50 %。

- 備考：除軋碎之水硬性水泥混凝土外，粗粒料雖不符合健度或磨損降級規定，但符合下列情況時，亦可考慮使用。

(a). 同一料源或地層相似之粒料：其使用經驗證實可得滿意之路面結果。

(b). 經其他試驗結果顯示可得需求之性能：取自新料源之粒料（含軋碎之水硬性水泥混凝土）雖不符合第 4.6 節或第 4.7 節之要求，且無使用經驗資料，但若經由其他試驗之結果顯示可得所需求之性能時，亦可考慮使用。惟軋碎之水硬性水泥混凝土與 Na_2SO_4 或 MgSO_4 可能產生化學作用而導致較高之試驗結果，但有可能不會反應在粒料之凍融性質上，建議可增加其它試驗應證之。

4. CNS 15309—瀝青鋪面混合料用細粒料

(1). 適用範圍

本標準適用於瀝青鋪面混合料之細粒料。

(2). 一般特性

細粒料為通過試驗篩 9.5mm **CNS 386**，且幾乎完全通過 4.75mm 試驗篩之粒料，包含天然砂或來自碎石、軋碎之高爐爐渣、鋼爐渣、軋碎卵石，軋碎或未軋碎之膨脹頁岩、黏土、板岩或其混合物之加工細粒料，應為堅硬、強韌之顆粒且不含黏土、壤土或其他有害物質。

5. CNS 15310—瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料

(1). 適用範圍

本標準適用於瀝青鋪面混合料已軋碎之鋼爐渣粗粒料及細粒料^(註)。鋼爐渣粗粒料與細粒料可單獨使用或與包含 **CNS 15308**—瀝青鋪面混合料用粗粒料或 **CNS 15309**—瀝青鋪面混合

料用細粒料

等之其他礦物粒料組合使用，以產製符合 **CNS 15307** 之鋪面混合料。

- 註：若屬於經濟部最新公告「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」之再利用種類，則粒料之使用亦須符合該公告「再利管理方式」之規定。當瀝青混合料中之粗粒料 100% 為鋼爐碴時，此混合料中之鋼爐碴細粒料用量應予限制，以預防膨脹。各工程於初期使用時，建議用量以不超過粒料總量之 20% 為宜。

(2). 用語釋義

鋼爐碴為非金屬產品，係與鋼同時在轉爐或電弧爐煉鋼爐中所產生，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（碴）、電弧爐氧化碴、電弧爐還原碴。

(3). 一般特性

粗粒料及細粒料應採用堅硬、強韌及耐久之鋼爐碴塊，粒料應經過軋碎、篩分及磁選去除金屬成分等處理程序，以符合本標準之要求。粒料運送時應避免混入有害之外來物質，例如黏土、壤土、木屑、金屬碎屑及生石灰等或其他煉鋼廠之廢棄物。

(4). 物理性質

A. 粗粒料

- (a). 級配：粗粒料級配應符合 **CNS 15314** 之尺度編號，或於訂購時指定之另一級配規格。

使用之粒料尺度依鋪面混合料之需求組合而定，亦可指定是用於混合前或混合後之單一尺度或多個尺度之需求。

- (b). 粒料中軋碎顆粒：依本標準訂購材料，應參照 **CNS 15312** 指定適當之軋碎顆粒百分率。
- (c). 傳統混合料於停留 4.75mm **CNS 386** 試驗篩部分，應具有至少 1 個破碎面，且比例不小於質量比 40%。

- (d). 磨光性：粒料或面層混合料中最粗部分之粒料，於預定之交通量下須具有足夠之抗磨作用。

- (e). 健度：粗粒料依 **CNS 1167** 之規定經 5 次循環健度試驗，使用硫酸鈉時，其質量損耗率不得大於 12 %，而使用硫酸鎂時則不得大於 18%。若採購者未指定硫酸鹽之種類，則試驗結果符合所使用鹽類之規定範圍時，該粒料可以接受。
- (f). 磨損降級：粒料磨損率依 **CNS 490** 試驗時，於面層應不大於 30%，或於底層應不大於 50%。

B. 細粒料

- (a). 細粒料級配應符合 **CNS 15309**—瀝青鋪面混合料用細粒料之尺度編號，或於訂購時指定之另一級配規格。
- (b). 使用之粒料尺度係依鋪面混合料之需求組合而定，且可指定是用於混合前或混合後之單一尺度或多個尺度之需求。
- (c). 級配變異：從特定料源連續裝載出貨之細粒料，其細度模數與基準細度模數之變異應不大於 0.25，基準細度模數應是該料源的代表值，非經購買者同意，基準細度模數不得變更。
- (d). 細粒料通過 425 μ m **CNS 386** 篩之部分，依 **CNS 5088** 之規定試驗，其塑性指數應不超過 4.0。
- (e). 健度：細粒料依 **CNS 1167** 之規定經 5 次循環健度試驗，使用硫酸鈉時，其質量損耗率不得大於 15%，而使用硫酸鎂時則不得大於 20%。若採購者未指定硫酸鹽之種類，則試驗結果符合所使用鹽類之規定範圍時，該粒料可以接受。

C. 一般要求

- (a). 膨脹：粒料若含有具水合成分時，例如游離石灰 CaO，應由供貨者依 **CNS 15311**「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」試驗，並提供該粒料的性能紀錄、熟化或其它足以證明材料性能穩定（含膨脹性）之處理方法，其結果達到令人滿意之程度。
- (b). 若雙方對滿意程度無共識時，則依「剝脫的潛在性」（**CNS 15306** 瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法）測試評估。
- (c). 環境穩定性：粒料在使用時，應依下列項目及當時現行法規評估對環境（例如空氣品質、水質等）之影響性。

(d). 粒料應符合行政院環保署之相關規定。

(e). 粒料若顯示具有產生溶出液之潛在可能性時，應依行政院環境保護署公告之「毒性特性溶出程序 (TCLP)」進行毒性物質溶出試驗，或經購買者同意之適當試驗方法檢測。所有測試範圍（含金屬、揮發物質、半揮發物質及有機物等）之結果，應符合當時相關法規之規定。

(f). 輻射：應符合行政院原子能委員會「建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點」之規定。

(g). 特別要求：當購買者指定時，應進行（但不限於）下列評估項目。

(h). 剝脫的潛在性：依（CNS 15306 瀝青混凝土鋪面混合料）之規定。

(i). 易碎顆粒：依 CNS 1171 之規定。

(5). 取樣與試驗法

應依下列標準，對所有粒料進行取樣並測定其相關性質。

A. 隨機取樣：依 CNS 15315 之規定。

B. 取樣：依 CNS 485 之規定。

C. 級配與細度模數：依 CNS 486 及 CNS 491 方法 A 之規定。

D. 健度：依 CNS 1167 之規定。

E. 降級：依 CNS 490 之規定。

F. 膨脹：依 CNS 15311—粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法之規定。

G. 易碎顆粒：依 CNS 1171 之規定。

H. 剝脫：依（CNS 15306 瀝青混凝土鋪面混合料）之規定。

I. 附著層：依 CNS 15313 之規定。

J. 破碎顆粒含量：依 CNS 15312 之規定。

K. 塑性指數：依 CNS 5088 之規定。

L. 毒性物質溶出：依行政院環境保護署公告之「毒性特性溶出程序 (TCLP)」測試其溶出液中有害物質含量。

6. CNS 15311—粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法

(1). 適用範圍

本標準規定量測含有易受水合作用導致體積增加之成份，其夯實密級配粒料之潛在性體積膨脹試驗方法。

(2). 要義與應用

- A. 本試驗方法包括量測以 **CNS 12382** 所夯製試體之體積膨脹量，夯實之最大乾密度係以 **CNS 11777** 所得之結果為基準。為加速水合作用，試體必須浸入溫度為 $(70\pm3)^{\circ}\text{C}$ 之水中至少 7 天。
- B. 本試驗法提供適用於道路基層之鋼爐碴和其他材料，因受水合作用影響導致體積膨脹之測試。
- C. 本試驗法亦可使用於評估類似粒料之老化，或減低材料潛在膨脹能量處理效率之評估。
- D. 本試驗法所得之試驗結果並未依現地情形修正，且測試值不一定與使用狀況下之膨脹量相同。

(3). 樣品準備

- A. 依 **CNS 10989** 取得 2 份 18kg 之樣品。
- B. 將樣品分為通過試驗篩 19.0 mm **CNS 386** 及 4.75 mm **CNS 386** 兩部份。

(4). 膨脹試驗

- A. 從預留之樣品中，依 **CNS 12382** 之規定準備 3 個將浸泡用之樣品。
- B. 置放附有調整桿之有孔鋼板於鋼模內壓實試樣後，再於鋼板上加足夠之載重板至 4.54 kg，鋼模連試體浸於 $(70\pm3)^{\circ}\text{C}$ 之水中，使水分能夠自由進出試體頂面與底面，並於測試期間內保持水溫於 $(70\pm3)^{\circ}\text{C}$ 。
- C. 樣品置入熱水中 30 分鐘，此時相關試驗設備之熱膨脹效應已完成。讀取測微錶數值，此為測定樣品膨脹之「基準讀值」。
- D. 每日添加熱水以保持樣品完全浸沒於水中，連續 7 天讀取測微錶讀數值，此為「每日讀值」。當添加熱水後，至少間隔 2 小時始可讀取測微錶數值。
- E. 連續或每天測量並記錄水溫。

(5). 計算

A. 膨脹百分比（體積）

將每日讀值減去基準讀值後，除以試體初始高度（116.43 mm）再乘上 100，為膨脹百分比。

B. 膨脹速率

繪製膨脹百分比（Y 軸）與時間一天（X 軸）關係圖。

參考文獻

- 2.1 「轉爐石推廣手冊」，中國鋼鐵股份有限公司，高雄（2000）。
- 2.2 林志棟，「轉爐石於鋪面工程之應用－長期成效評估（期末報告）」，社團法人中華鋪面工程學會（2006）。
- 2.3 「平成 17 年度製鋼礦渣生成量及再利用量統計」，日本鐵鋼礦渣協會，<http://www.slg.jp>
- 2.4 李春雄，「中鋼轉爐石回脹抑制方法之研究」國立成功大學土木工程系碩士論文（2002）。
- 2.5 王金鐘，李德河，「轉爐石作為道路基底層及工程土方材料再生利用之力學特性研究」，中國土木水利工程學刊，第十七卷 第二期，第 1-12 頁（2005）。

第三章 轉爐石瀝青混凝土之工程性質

3.1 一般原則

轉爐石大多數具有相當好之性質，唯一缺點就是比重比一般天然粒料高，是否高比重會影響瀝青混凝土品質，經過各種成效試驗結果都有顯示正面效果，為了達到政府所推動的綠建材、綠建築的政策且達到永續發展的目標，將轉爐石材料添加於瀝青混凝土領域是值得推動的再利用材料。環境的保護，降低工業副產品生產量及回收再利用工業副產品是實現永續發展的主要因素，為了永續發展可以成功，這些因素一定要和政府政策，政府規定，經濟及當地文化正確的結合在一起。同樣的道路工程方面的永續發展。在歐美先進國家經過研究及觀察之後認為道路工程的永續發展成功關鍵點在於工業副產品及非天然材料。在這些比較先進國家，政府政策及永續性制度完整使得道路工程方面的永續發展成功實行。以國內外許多研究報告指出，轉爐石添加於瀝青混凝土之領域有明顯提高瀝青混凝土本身的品質的趨勢，以袁家偉碩士論文“使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究”，轉爐石添加於排水（PA）的效果並不輸於一般天然粒料的結果。而轉爐石添加於密級配瀝青混凝土（DGAC）及再生瀝青混凝土（RAC）部份，以本研究得到的轉爐石瀝青混凝土各項試驗結果也沒有劣於一般天然瀝青混凝土結果^[3.1, 3.2]。

3.2 轉爐石瀝青混凝土之工程性質

本手冊針對有添加轉爐石是否會造成造成瀝青混凝土的工程性質改變進行介紹，而本節所介紹之瀝青混凝土成效試驗包含回彈模數試驗、水份敏感性試驗、車轍試驗、抗滑試驗與透水量試驗，藉由此五項成效試驗來介紹使用轉爐石於瀝青混凝土成效會顯著影響，後續各節即為其詳述之結果，綜合成果而言，使用轉爐石並不會使瀝青混凝土之成效降低，甚至於抗滑值上會有更佳表現，引此值得推廣使用。

3.2.1 穩定值與流度值

穩定值與流度值是決定混合料配合設計的關鍵指標參數，為了探討使用轉爐石取代部分粒料是否會造成其 DGAC 與 RAC 之配合設計中之穩定值的改變，本手冊收集之相關研究，其都是依據 ASTM D1559 來進行穩定值試驗，應用於 DGAC 與 RAC 之結果分別如圖 3.1、圖 3.2、圖 3.3 及圖 3.4 所示，從圖中發現，使用轉爐石取代天然粒料會造成對 DGAC 與 RAC 之穩定值有提高的現象，本節之圖為彙整理於下列文獻之資料繪製而成，詳細資料煩見原始文獻 [3.6, 3.8]。

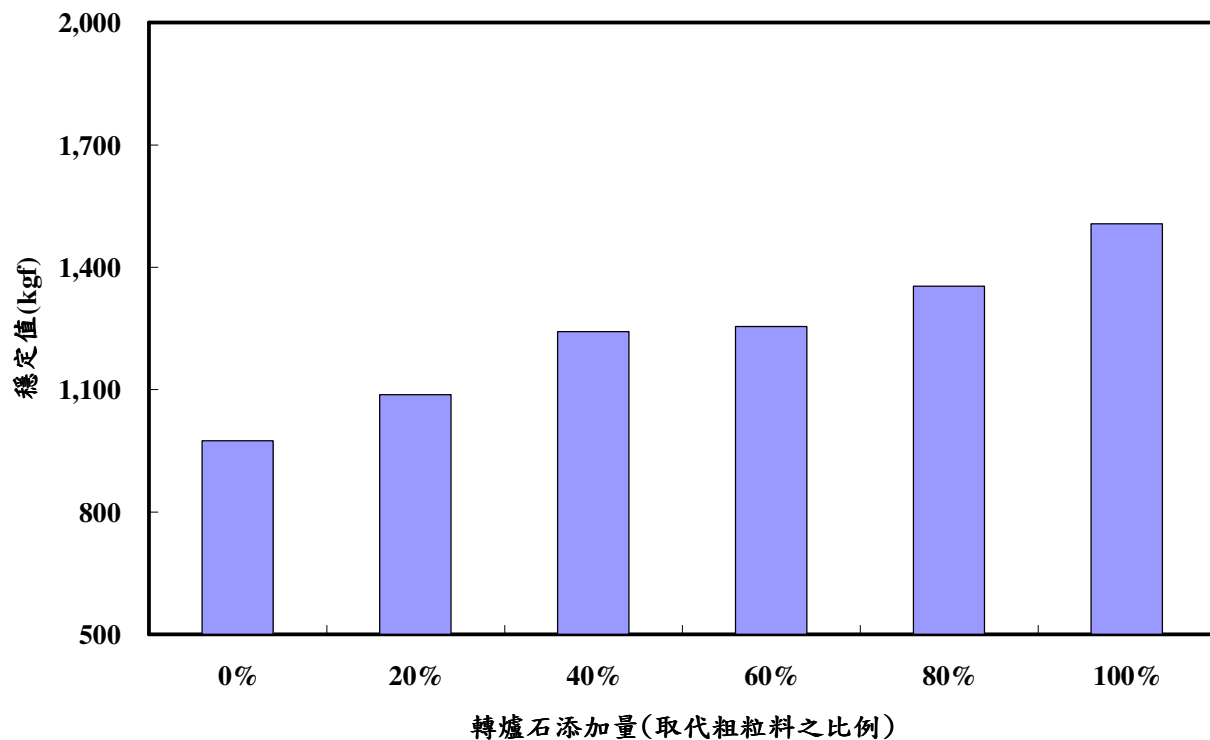


圖 3.1 轉爐石添加量與 DGAC 之穩度值關係圖

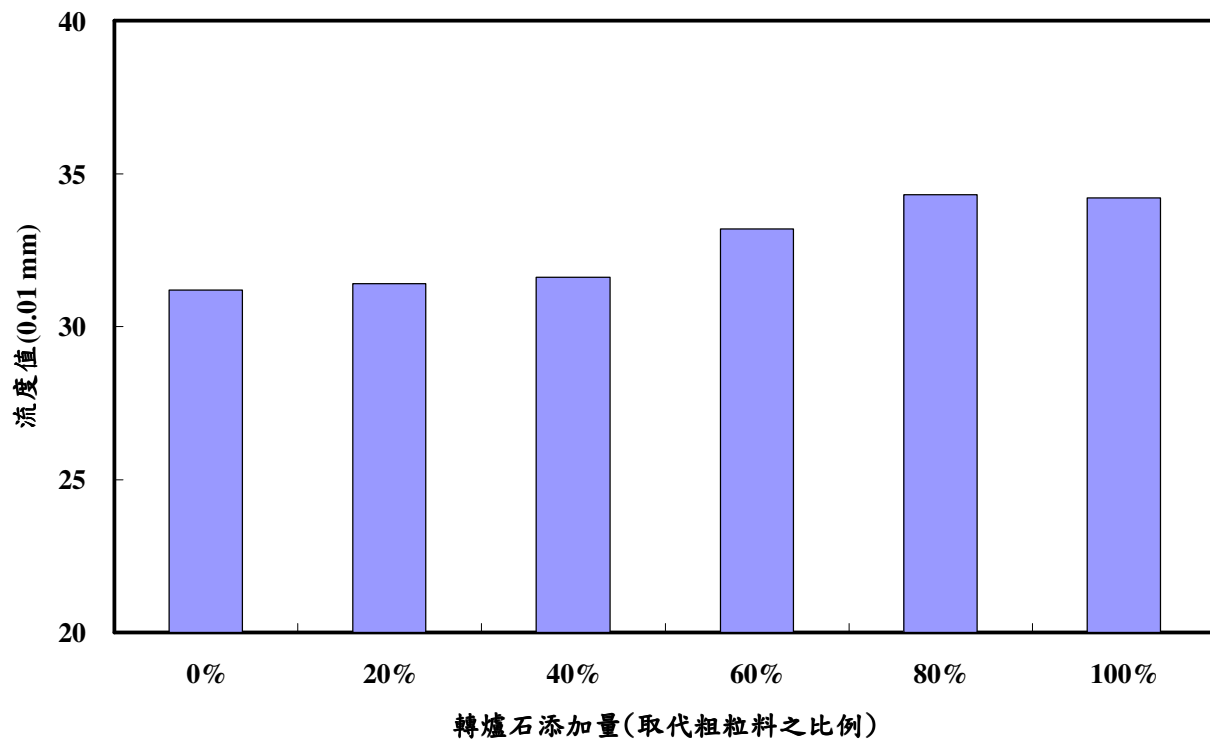


圖 3.2 轉爐石添加量與 DGAC 之流度值關係圖

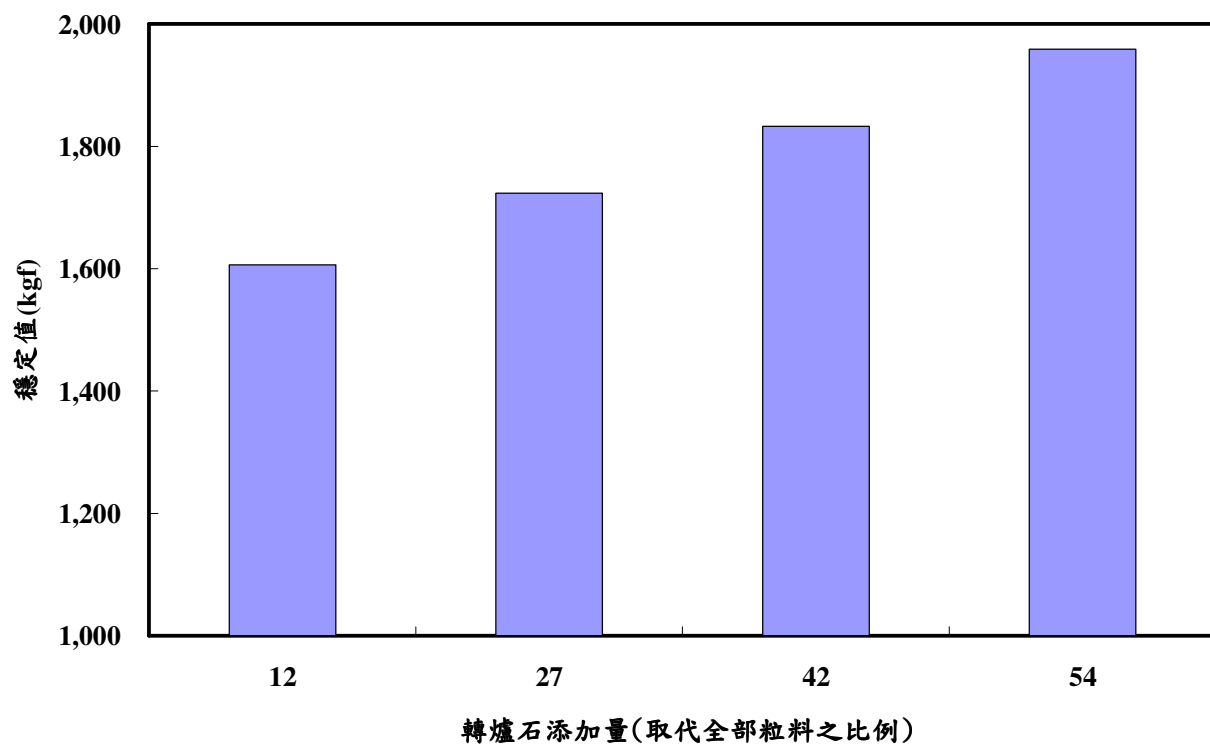


圖 3.3 刨除料添加量 20%、轉爐石添加量與與 RAC 之穩度值關係圖

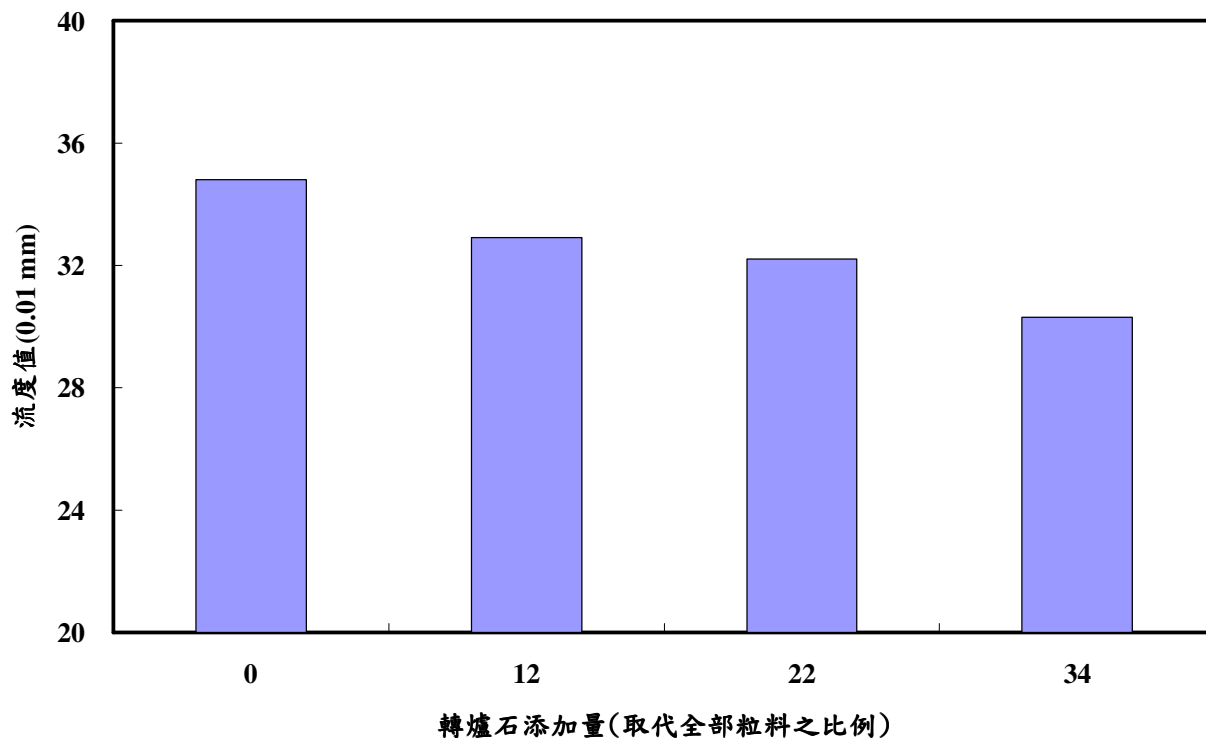


圖 3.4 刨除料添加量 20%、轉爐石添加量與 RAC 之流度值關係圖

3.2.2 回彈模數

為了探討使用轉爐石取代部分粒料是否會造成其 PA、DGAC 與 RAC 之回彈模數 (MR) 的改變，本手冊依據 **ASTM D4123** 來進行回彈模數試驗，首先將馬歇爾成效試體分別以 25℃ 與 40℃ 養護 24 小時，待養治完成後置於回彈模數試驗儀中進行試驗。其應用於 PA、DGAC 與 RAC 之結果分別如圖 3.5、圖 3.6 及圖 3.7 所示，從圖中發現，使用轉爐石取代天然粒料會造成對 PA、DGAC 與 RAC 之回彈模數有較高的結果，因此，用轉爐石為骨材於瀝青混凝土中並不會造成 MR 值過低，甚至有提升瀝青混凝土整體勁度的效果，本節之圖為彙整理於下列文獻之資料繪製而成，詳細資料請見原始文獻 [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9]。

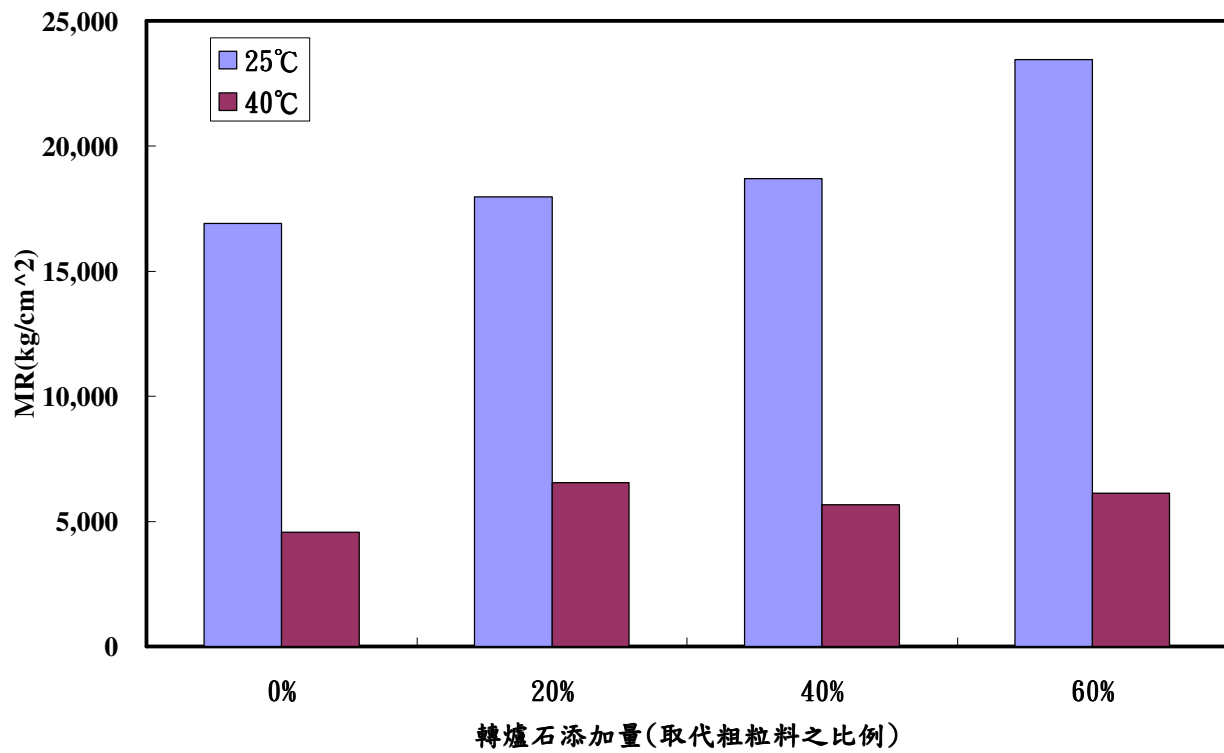


圖 3.5 轉爐石添加量與 PA 回彈模數之關係圖

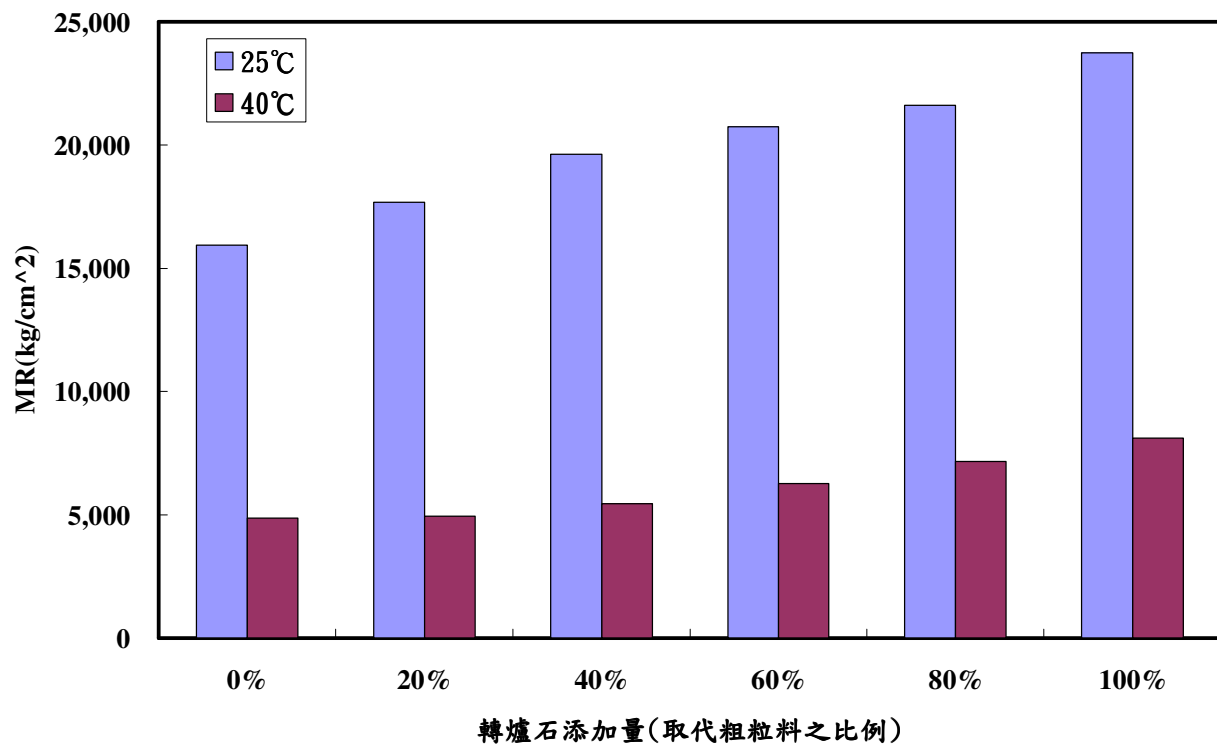


圖 3.6 轉爐石添加量與 DGAC 回彈模數之關係圖

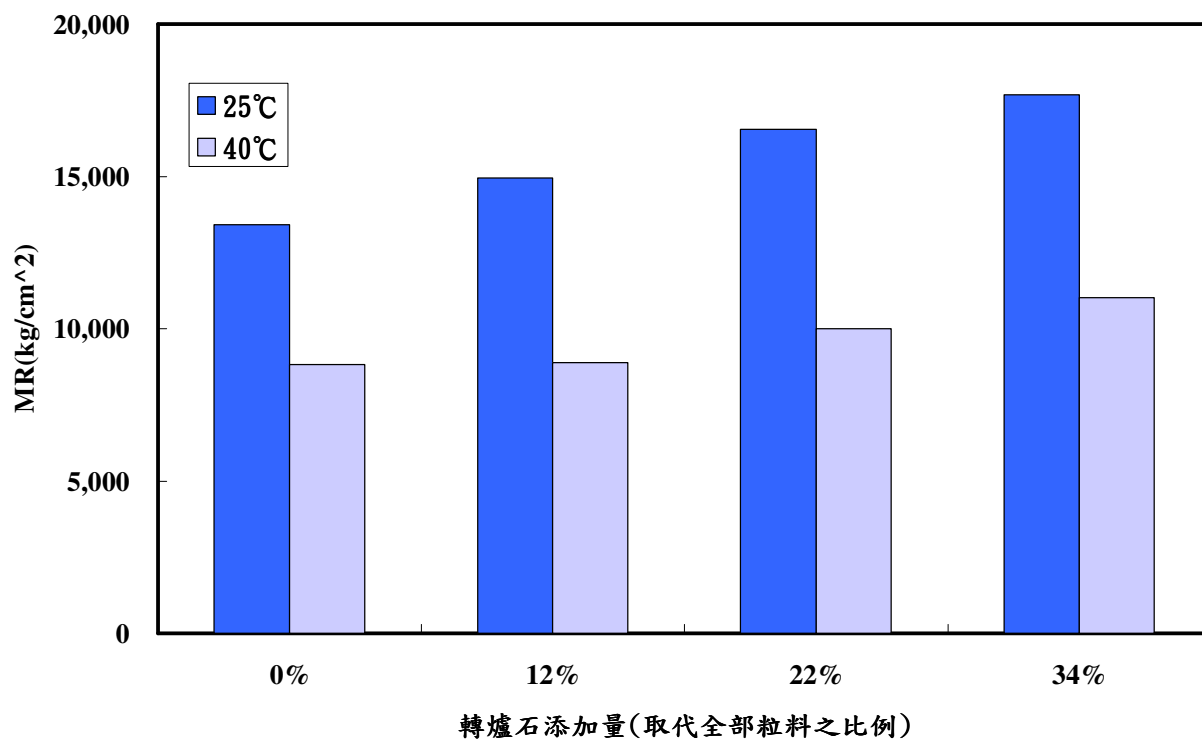


圖 3.7 刨除料添加量 40%、轉爐石添加量與 RAC 之回彈模數關係圖

3.2.3 水份敏感性

為了探討使用轉爐石取代部分粒料是否會造成其 PA、DGAC 之水份敏感性特性的改變，而進一步在雨天可能會產生剝脫的破壞現象，本手冊依據 AASHTO T283 水份敏感性特性試驗進行，以下簡稱 TSR 試驗，將試體經過凍融及 60°C 水浴後進行間接張力試驗，與沒經過上述過程之對照組試體比較，計算其間接張力強度折損率，即 TSR 值，值越高代表越不容易產生雨天剝脫的現象，其應用於 PA 與 DGAC 之結果分別如圖 3.8 及圖 3.9 所示，從圖 3.8 及圖 3.9 可以觀察隨著到添加轉爐石量增加會造成 TSR 上升的情況，其皆高於國內外所採用的 75% 之規範；而應用在 DGAC 時，從圖 3.9 可以發現觀察隨著到添加轉爐石量增加會造成 TSR 上升且全部高過 75% 以上的最小值，綜合上面兩個結果而言，添加轉爐石對於 DGAC 與 PA 整體的 TSR 會產生有統計上有顯著的差異，亦即在 TSR 上結果，使用轉爐石會比天然骨材有較佳的效應。本節之圖為彙整理於下列文獻之資料繪製而成，詳細資料請見原始文獻 [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.9, 3.10]。

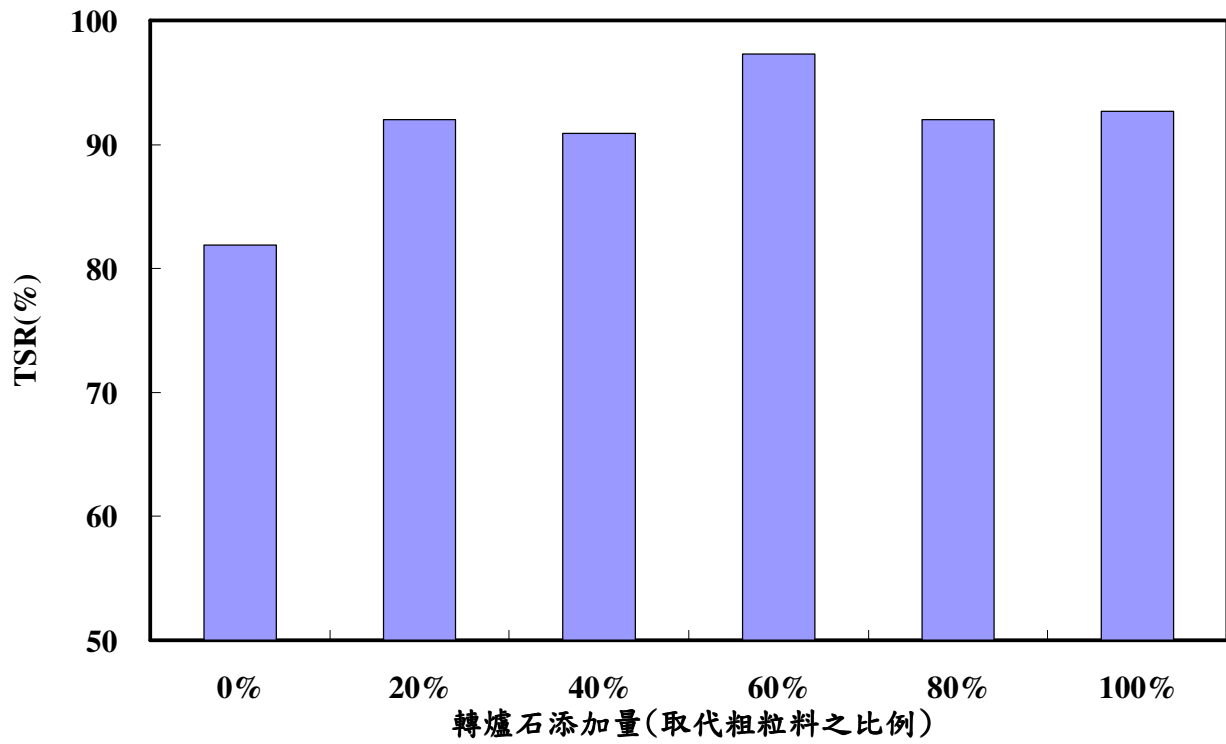


圖 3.8 轉爐石添加量與 PA 水份敏感性試驗之關係圖

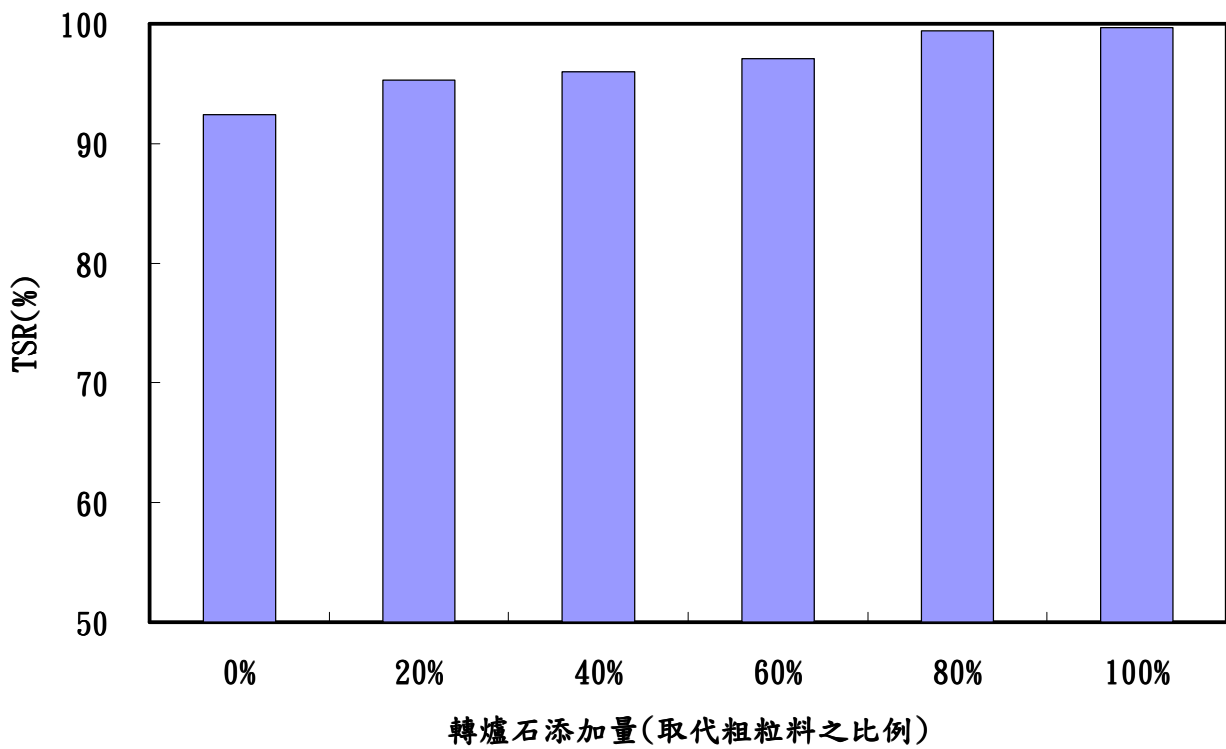


圖 3.9 轉爐石添加量與 DGAC 水份敏感性試驗之關係圖

3.2.4 車轍深度

為了探討使用轉爐石取代部分粒料是否會造成其 PA、DGAC 與 RAC 之抗車轍行為之改變，而進一步在夏天高溫路面的容易產生車轍破壞之現象，車轍試驗目的在於模擬鋪面面層材料開放交通後，經長期車輛滾壓產生車轍破壞之情形，台灣地區鋪面最高溫平均約為 60℃，所以本手冊將試驗控制於 60℃ 執行，本手冊採用英國道路試驗研究所發展且日本製編號 TR-322M 輪跡試驗來進行試驗，以下簡稱車轍試驗，車轍深度越高代表該材料組合越容易產生車轍，其應用於 PA、DGAC 與 RAC 之結果分別如圖 3.10、圖 3.11 及圖 3.12 所示，從三個圖可以發現觀察隨著到添加轉爐石量增加會造成車轍深度下降，因此，相較於天然粒料而言，添加轉爐石對於 PA 整體的抗車轍能力會有顯著的提升，使用該轉爐石應對於台灣地區困擾已久的夏天容易產生高溫車轍問題應可得到進一步的改善。本節之圖為彙整理於下列文獻之資料繪製而成，詳細資料請見原始文獻 [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10]。

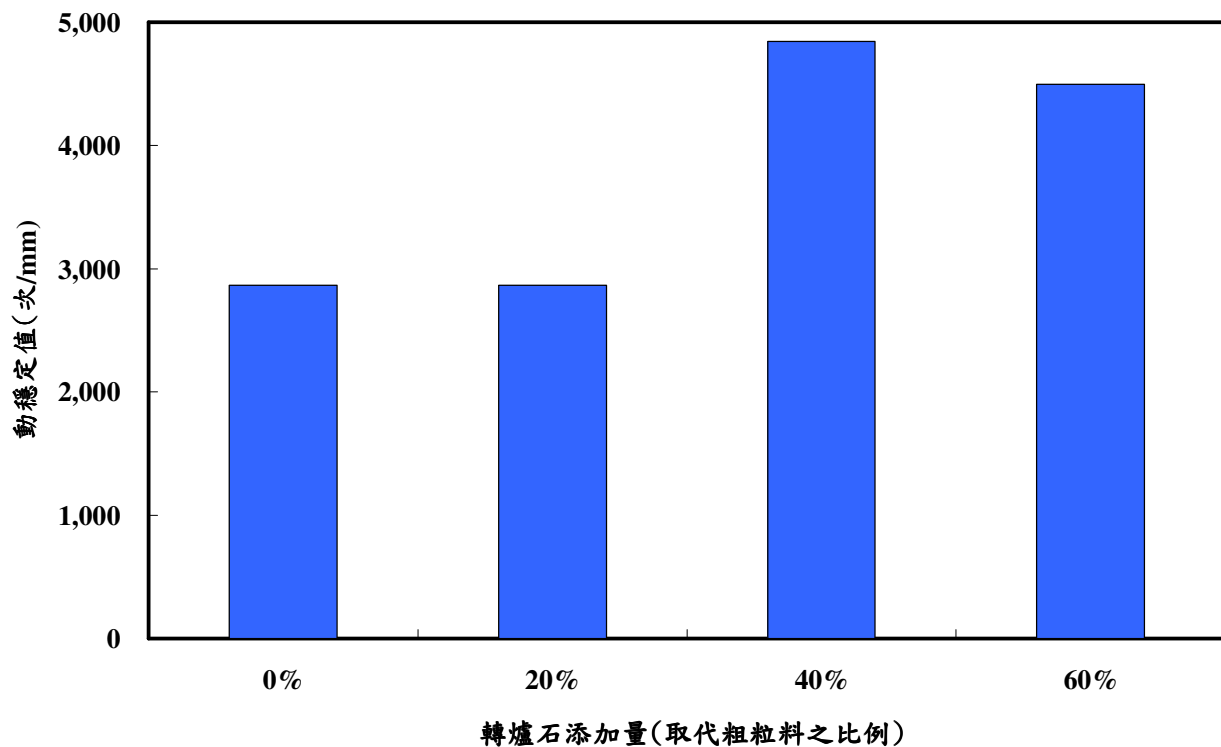


圖 3.10 轉爐石添加量與 PA 車轍試驗之關係圖

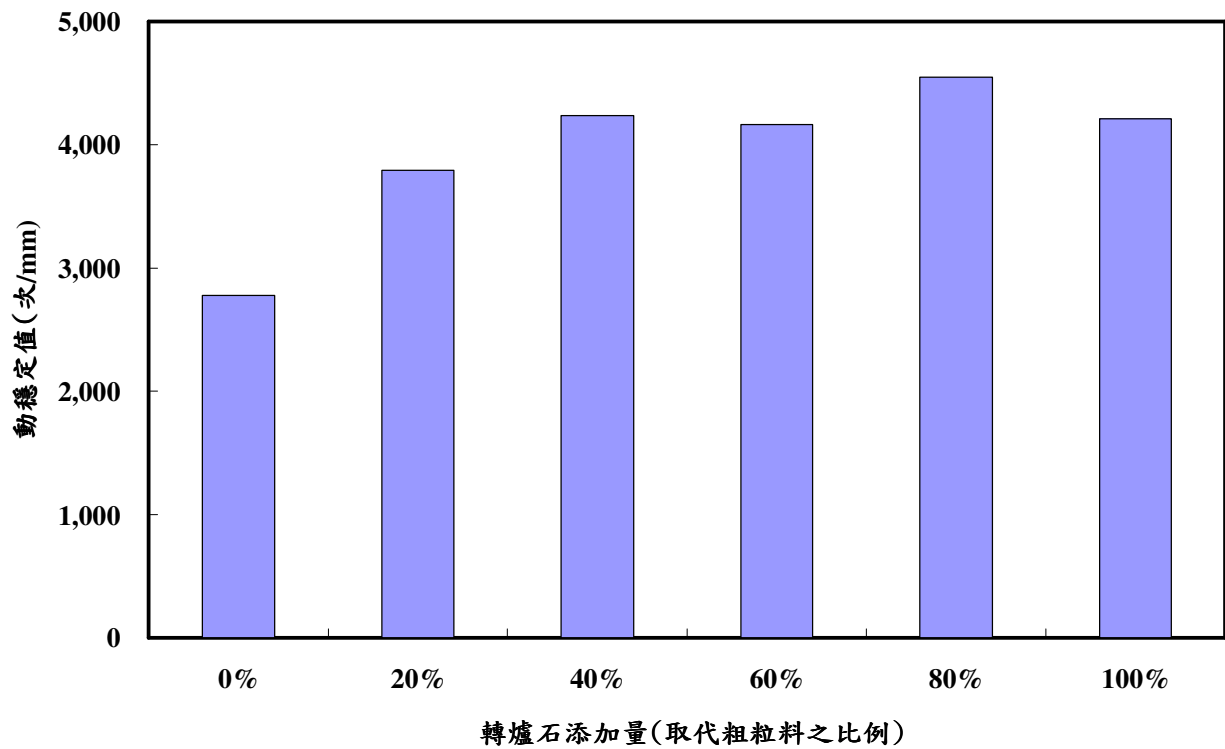


圖 3.11 轉爐石添加量與 DGAC 車轍試驗之關係圖

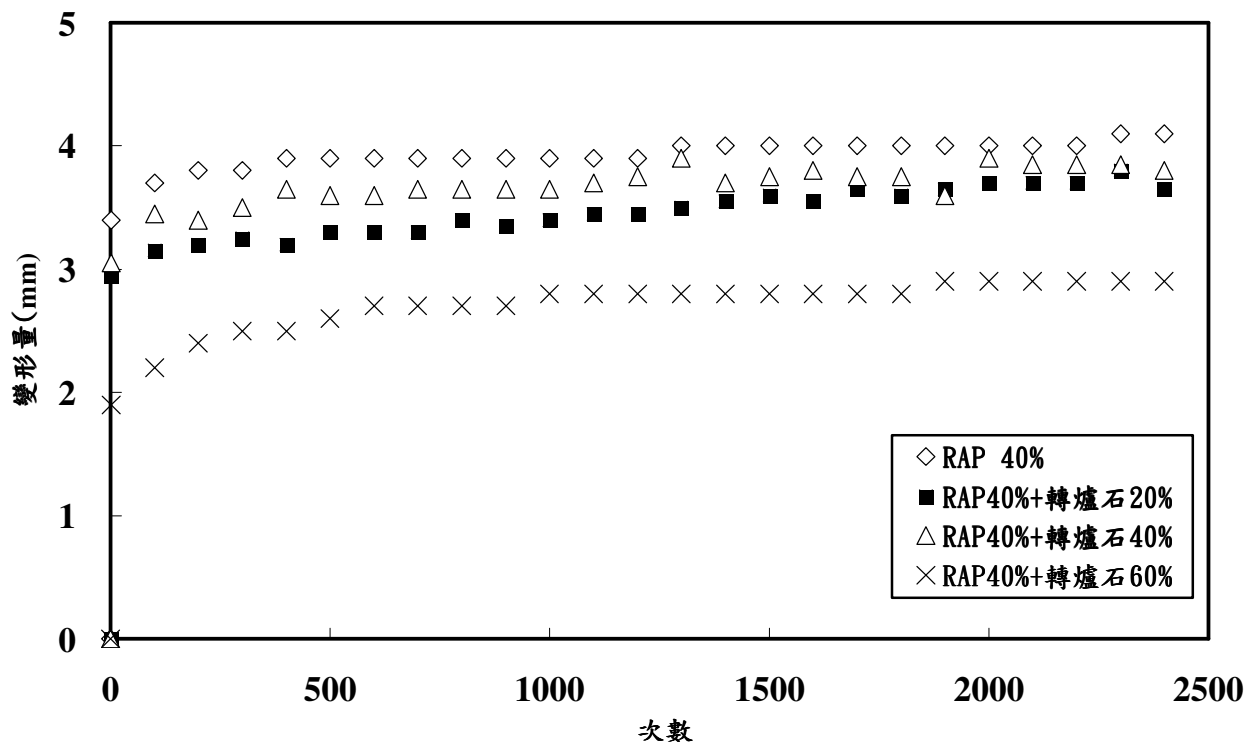


圖 3.12 刨除料添加量 40%、轉爐石添加量與 RAC 之車轍關係圖

3.2.5 抗滑性

為了探討使用轉爐石取代部分粒料是否會造成其 PA 之抗滑力為之改變，而進一步在雨天造成車輛行駛於路面的容易產生打滑之現象，本手冊採用抗滑試驗來評估，試驗方法係根據 ASTM E303 規範進行，BPN 值越高代表其的抗滑能力越佳，其應用於 PA 之結果分別如圖 3.13 所示，從此表以發現觀察隨著到添加轉爐石量增加會造成 BPN 不同程度之上升，而經過變異數分析結果顯示，使用轉爐石的混合料明顯比使用天然粒料的 BPN 要高，所得之由此可知添加轉爐石之 PA 在開放交通初期有較好的抗滑能力，本節之圖為彙整理於下列文獻之資料繪製而成，詳細資料請見原始文獻 [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5]。

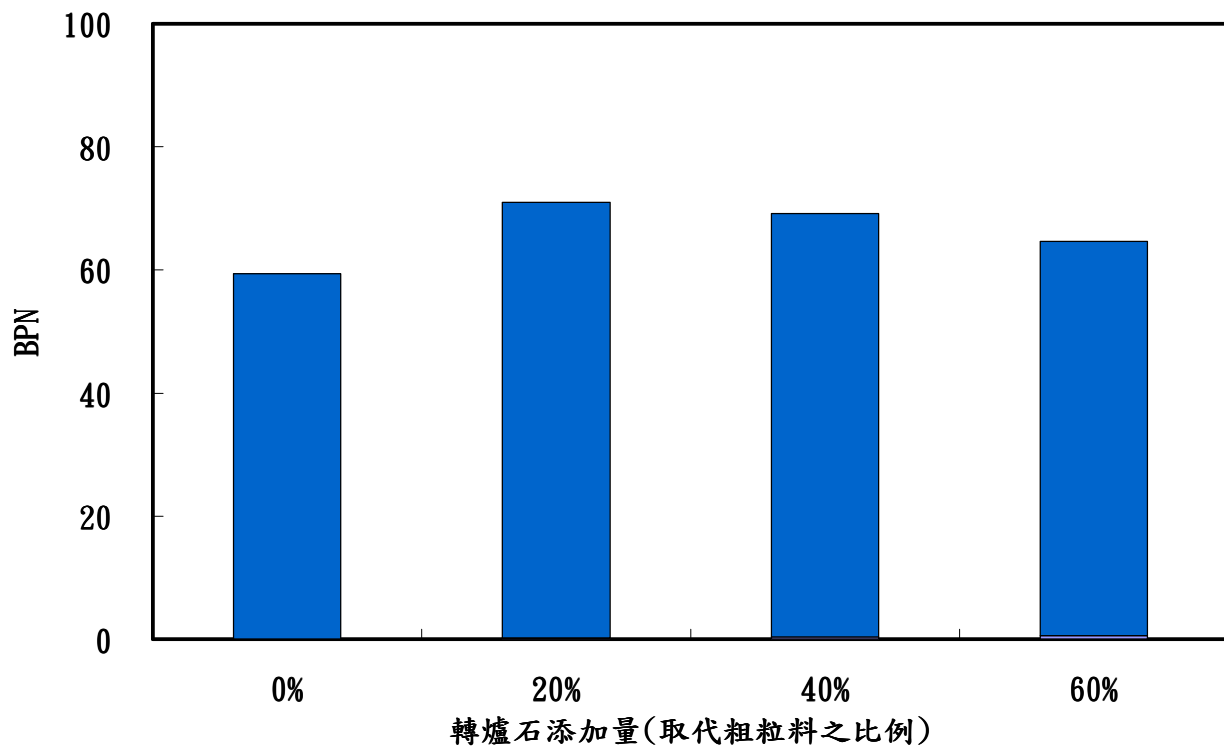


圖 3.13 轉爐石添加量與 PA 抗滑試驗之關係圖

3.2.6 透水性

為了探討使用轉爐石取代部分粒料是否會造成其 PA 之滲透之改變，而進一步容易在雨天造成路面積水甚至車輛打滑之現象，本手冊利用定水頭原理於實驗室內進行透水量量測，試驗結果如圖 3.14 所示，根據施工綱要規定滲透係數須大於 0.01 cm/sec，各組試驗結果遠高於規範要求，均有良好透水性。本節之圖為彙整理於下列文獻之資料繪製而成，詳細資料請見原始文獻 [3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5]。

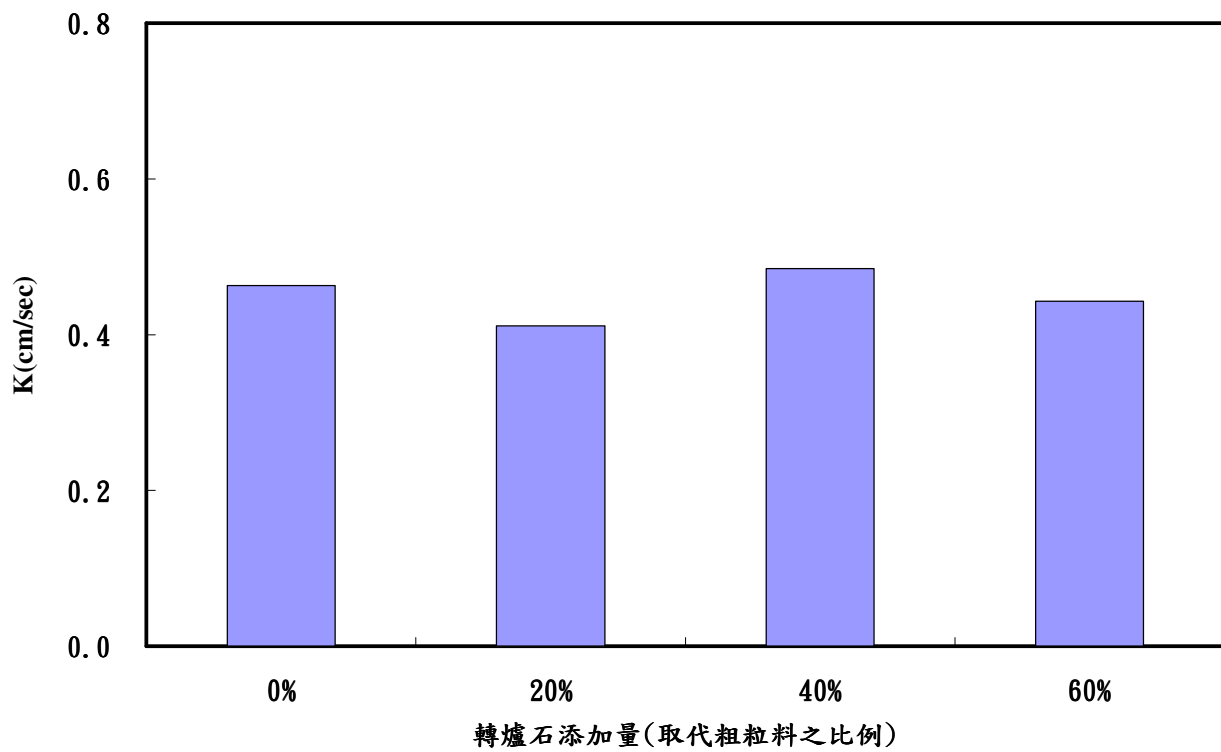


圖 3.14 轉爐石添加量與滲透係數之關係圖

參考文獻

- 3.1 林志棟，「利用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，中華鋪面工程學會，桃園（2007）。
- 3.2 黃大衛，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，桃園（2008）。
- 3.3 袁家偉，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，桃園（2007）。
- 3.4 「轉爐石取代天然粗細粒料應用於瀝青混凝土之成效評估」，國立中央大學，桃園（1999）。
- 3.5 「轉爐石應用於鋪面工程之推廣期末報告」，中華鋪面工程學會，桃園（2006）。
- 3.6 蔡國華，「轉爐石添加量對密級配瀝青混凝土之耐久性之研究」・碩士論文・高苑科技大學土木工程研究所，高雄（2009）。
- 3.7 葉志穎，「轉爐石添加量對多孔隙瀝青混凝土特性之研究」・碩士論文・高苑科技大學土木工程研究所，高雄（2009）。
- 3.8 「再生瀝青混凝土添加轉爐石成效評估研究計畫期中報告」，義守大學，高雄（2008）。
- 3.9 「轉爐石應用於密級配與排水性瀝青混凝土性質之綜合研究」，台灣世曦工程顧問股份有限公司，台北（2009）。
- 3.10 陳偉全、林平全、葉志穎、翁偉儒，「轉爐石添加量對多孔隙瀝青混凝土特性之研究」，礦冶季刊，54 卷第 1 期（209 期），pp.97-pp.108。
- 3.11 中國鋼鐵股份有限公司，「轉爐石推廣手冊」，高雄（1992）。

第四章 轉爐石瀝青混凝土之應用實例及效益

4.1 一般原則

正確使用轉爐石取代瀝青混凝土中部分粒料，可有效提升瀝青混凝土之穩定性及耐久性，特別是轉爐石之比重大，粒形方正、耐磨損、親油性，如果符合配合設計及施工要求（請參閱第五章及第六章），轉爐石可應用在重載交通量之高級瀝青混凝土路面。轉爐石應用在密級配瀝青混凝土、密級配再生瀝青混凝土時，轉爐石應符合 **CNS 14602**「道路用鋼爐碴」或 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」等國家標準，轉爐石使用量應依政府法規及業主契約規定辦理，而再生料（RAP）之添加必須先了解其瀝青含量之多寡、針入度大小及回收瀝青之絕對黏度，以便對級配瀝青用量及各篩號粒料用量之計算，依據行政院工程會頒佈之「各機關辦理瀝青混凝土再生利用作業要點」第八點，及「公共工程施工綱要規範」第 02966 章再生瀝青混凝土施工規範或各機關依工程特性訂定之施工規範辦理；轉爐石應用在多孔隙排水瀝青混凝土，基本上必須經過 **CNS 485 A3004** 等粒料物性試驗，了解轉爐石的物理性質，試驗分析流程依序為一般物理性質，包括改質瀝青、粒料扁平率分析、粗粒料比重及吸水率試驗法、洛杉磯磨損試驗、吸油率試驗、Cantabro 磨耗試驗、垂流試驗、馬歇爾配合設計試驗、理論最大比重、滯留強度指數試驗、間接張力試驗、回彈模數試驗、透水試驗及輪跡車轍等試驗 [4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6]。

4.2 國內外轉爐石應用概況

目前轉爐石已在國外道路工程中廣泛應用。表 4.1 及表 4.2 分別為日本及美國歷年之使用狀況。表 4.3 及表 4.4 為中鋼/中聯轉爐石在瀝青混凝土鋪面研究及應用之成果。以下介紹國內一些應用實例，以說明使用轉爐石之效益。

表4.1 日本鋼爐碴應用概況表

年度	爐碴種類	產量 (噸)	資源化用途 (%)								
			再利用	道路用	土壤改良	土木工程	水泥用	化肥用	填土用	其他用	合計
2004	轉爐石	9789	19.8	23.3	3.4	43.8	2.6	0.9	1.4	4.8	100
	電爐石	3591	2.6	37.8	5.4	31.2	1.8	0.9	7.4	12.9	100
	合計	13380	15.4	27.0	4.0	40.5	2.4	0.9	2.9	6.9	100
2005	轉爐石	10532	16.7	22.2	0.2	51.8	4.0	0.8	0.8	3.5	100
	電爐石	3528	1.9	37.9	5.3	34.2	1.7	1.0	6.6	11.3	100
	合計	14060	13.3	25.8	1.4	47.7	3.5	0.8	2.1	5.3	100
2006	轉爐石	10959	16.2	18.7	1.1	55.4	4.9	0.7	0.9	2.1	100
	電爐石	3608	2.3	31.4	4.1	38.3	1.7	0.6	6.7	15.0	100
	合計	14567	12.9	21.7	1.8	51.4	4.2	0.6	2.3	5.1	100
2007	轉爐石	11555	12.5	16.0	11.6	51.4	5.1	0.6	1.3	1.4	100
	電爐石	3678	2.6	29.9	9.3	32.2	1.7	0.3	6.8	17.2	100
	合計	15233	10.3	19.2	11.1	47.0	4.3	0.6	2.6	5.0	100
2008	轉爐石	11006	15.2	19.8	5.5	47.4	5.6	0.6	1.6	4.2	100
	電爐石	2954	2.3	35.4	4.4	34.6	0.9	0.6	8.4	13.5	100
	合計	13960	12.2	23.5	5.3	44.4	4.5	0.6	3.2	6.4	100

資料來源：NIPPON SLAG ASSOCIATION (<http://www.slg.jp/e/statistics-e.htm>)^[4.7]

表4.2 美國鋼爐碴應用概況表

資源化用途	2006			2007		
	高爐碴 (%)		轉爐石 (%)	高爐碴 (%)		轉爐石 (%)
	氣冷式	水淬式		氣冷式	水淬式	
混凝土粒料	15.7	—	—	15.2	—	—
混凝土產品	4.0	—	—	4.2	—	—
瀝青混凝土	13.3	—	12.1	11.8	—	14.4
路基和表面	41.3	—	51.0	41.4	6.3	51.5
填土用	13.5	—	16.6	13.0	—	13.3
水泥原料	—	94.1	—	—	86.1	—
煉磚原料	2.6	—	8.2	4.9	5.0	6.7
雜項(鐵路、屋面、礦織 或土壤改良劑)用途	7.6	0.6	0.8	6.7	0.7	2.3
其它用途	2.0	5.3	11.3	2.7	2.2	12.0

資料來源：U.S. Geological Survey (http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel_slag/)^[4.8]

表4.3 中鋼/中聯轉爐石在瀝青混凝土鋪面研究及應用之成果

序號	委託研究案名稱	執行單位
1	轉爐石取代天然粗粒料應用於瀝青混凝土之成效評估	國立中央大學
2	以轉爐石取代 SMA 瀝青混凝土碎石粗骨材級配之成效評估	國立中央大學
3	熱拌瀝青混凝土面層配合設計試驗	國立中央大學
4	轉爐石應用於鋪面工程之推廣－南星試鋪道路	國立中央大學
5	轉爐石應用於鋪面工程之推廣（配比試驗報告書）－轉爐石粗粒料摻配不同比例之天然細料及轉爐石細粒料	國立中央大學
6	轉爐石應用於鋪面工程之推廣－石膠泥瀝青（SMA）排水瀝青混凝土（PA）初期研究	中華鋪面工程學會
7	轉爐石於鋪面工程長期成效評估－南星試鋪道路追蹤	中華鋪面工程學會
8	利用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究－石膠泥瀝青（SMA）排水瀝青混凝土（PA）研究案	中華鋪面工程學會
9	再生瀝青混凝土添加轉爐石成效評估計劃	義守大學
10	轉爐石應用於密級配與排水瀝青混凝土性質之綜合研究	台灣世曦工程顧問公司
11	轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之長期成效評估－中國鋼鐵、中聯資源廠區道路追蹤3年	中華鋪面工程學會
12	中鋼廠區及高雄縣政府路面試鋪瀝青混凝土添加轉爐石成效評估研究計畫	義守大學
13	轉爐石應用於瀝青鋪面混凝土之長期成效評估計畫（中聯台中廠及中龍鋼鐵廠區內試鋪道路）	國立中央大學
14	轉爐石開放級配瀝青混凝土路面試鋪工程成效評估研究計劃	高苑科技大學
15	高雄市南星計畫路面試鋪改質瀝青混凝土添加轉爐石之成效研究計畫	義守大學

表4.4 歷年轉爐石應用於瀝青混凝土鋪設實績一覽表

試鋪路段別	業主	鋪築日期	AC類別	砂石材料別(註)	配比設計提供	合作AC廠商	現場監工	後續追蹤測試	監測完成日期
1.南星計畫工程 (加鋪)	高雄市環保局	2003.04	DG	AC-20(中油)	中央大學	光隆	中央大學	中央大學	95.11 完成
				轉爐石_粗(全)細料(10%)+天然砂					
2.中鋼動力東路 (翻修)	中鋼	2007.06	DG	AC-20(中油)	世曦	光隆	中鋼	中央大學	執行中 (96.06~99.06)
				轉爐石_粗料(全)+天然砂					
3.中聯 A 廠廠區道路 (翻修)	中聯	2007.07	A-DG	AC-20(台塑)	世曦	建中	中聯	中央大學	執行中 (96.06~99.06)
				轉爐石_粗料(全)+天然砂					
			B-DG	AC-20(台塑)					
				天然粗細料					
			A-1-1 PAC	AC -高粘度(建中)					
				轉爐石_粗料(全)+天然砂					
			B-1-1 PAC	AC -高粘度(建中)					
				天然粗細料					
4.中聯台中研磨廠廠區道路 (新鋪)	中聯	2009.01	DG	AC-20(中油)	世曦	禾鑫	中聯	中央大學	執行中 (98.04~100.03)
				轉爐石_粗料(全)+天然砂					
5.中鋼原料 1 東、煉焦 2 東路 (翻修)	中鋼	2009.03	DG	AC-20(中油)	義大	光隆	義大	義大	執行中 (98.03~100.02)
				轉爐石_粗料(全)+天然砂					
6.中鋼原料 2 北路 (翻修)	中鋼	2009.05	DG	AC-20(中油) 20%刨除粗料+20%轉爐石+天然砂	義大	光隆	義大	義大	執行中 (98.03~100.02)
7.高雄縣澄清路 (翻修)	高雄縣政府	2009.04	DG	AC-20(中油)	義大	瑞隆	義大	義大	執行中 (98.03~100.02)
				20%刨除粗料、40%轉爐石、20%刨除粗料+20%轉爐石+天然砂					
8.中龍廢鋼儲區旁道路 (新鋪)	中龍	2009.08	DG	AC-20(中油)	中央大學	禾鑫	中央大學	中央大學	執行中 (98.04~100.03)
				轉爐石_粗料(40%)+天然砂					

4.3 轉爐石瀝青混凝土之應用實例

4.3.1 南星計畫工程（加鋪）（2003/04）

本成效評估施測位置為南星計畫區環外道路 350 公尺之瀝青混凝土路面。此試鋪工程於 2003 年 5 月 24 日完工，由中央大學研究團隊進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、駐廠檢測、現地監工、及鋪後三年之長期成效評估，配比為以轉爐石 100%取代天然粗粒料及取代天然細粒料達總粒料量之 10%，本研究目的乃針對南星計畫區轉爐石試驗道路進行成效評估報告，以評估轉爐石應用於瀝青混凝土道路的可行性。綜合研究成果試驗道路成效良好，評估結果如下：

1. 轉爐石粒料與天然粒料相比，有較高之孔隙率，因此添加轉爐石於瀝青混凝土中有助於增加材料外層之瀝青膜厚度，提高鋪面耐久性。
2. 車轍成效分析，此試鋪路段在開放通車三年多後，其車轍數值大約在 6~9mm 左右，2005 與 2006 年之車轍值並無顯著差異，可初步判定此路段之車轍值呈現穩定之狀態。
3. 抗滑試驗成效分析，2005 與 2006 年之抗滑值並無顯著差異，可初步判定路段之抗滑值呈現穩定之狀態。
4. 平坦度試驗成效分析，試驗路段平坦度整體成效良好。
5. PCI 調查，現地 PCI 檢測數據約在 56~93 左右，依照美軍工兵團所訂定 PCI 與路面養護關係，此試鋪路段之 PCI 再經過三年後仍處於良好至優良的等級。

4.3.2 中鋼動力東路（翻修）（2007/06）

試鋪道路為中鋼廠區內動力東路，由台灣世曦進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、駐廠檢測、中鋼自行現地監工、及中央大學研究團隊進行鋪後三年之長期成效評估。該路段為路齡 20 年以上道路，路段長直、平穩，兩側排水良好。車流量大，尤其重車行駛最為頻繁，試鋪前因年久失修造成面層嚴重破壞。試驗路段係以轉爐石 (BOF slag) 取代 100 % 天然粗粒料、鋪設總長約 320 公尺，寬 15 公尺，雙向各 2 線道之 11cm 密級配瀝青混凝土。

研究目的為透過各階段檢測資料探討轉爐石對路面成效之影響並探討轉爐石瀝青混凝土鋪面與其它瀝青混凝土鋪面差異，研判轉爐石應用於鋪面工程之可行性。

1. 平整度檢測結果：

- (1). 由檢測結果得知，在原有路面檢測結果國際糙度指標 (IRI) 平均值 A 側為 4.18 (m/km)，B 側為 4.46 (m/km)，經過重新施工後第一次檢測 IRI 平均值，A 側 IRI 平均值 2.63 (m/km)，而 B 側 IRI 平均值 2.60 (m/km)，再經過 6、12 及 18 個月開放交通後 IRI 平均值，無論 A 側或 B 側均能維持在小於 3.00 (m/km)，以上結果代表使用轉爐石做為瀝青混凝土之粗粒料可以符合維持鋪面平整度之要求。
- (2). 路面平整度檢測發現，無論在 A 側或 B 側，檢測里程為 0K+100m 處 IRI 值最大，200m~300m 處 IRI 值最小，依據現地交通情況調查，0K+100m 處正好為進出廠直角轉彎處，重車行經此處時需減速轉彎後在加速，因此在這 100m 的距離內受到重車加速及減速造成推擠路面的情況，故 IRI 值較其他檢測里程為高，而 200m~300m 處重車以穩定速度前進，對於路面影響較小，因此相較於其他點位，此段里程 IRI 值較低，另外，綜合過去該路段採用傳統天然粒料之密級配瀝青混凝土的經驗，使用轉爐石於密級配瀝青混凝土在同樣的服務年限下確實可以維持較佳的平整度。

2. 抗滑試驗結果：

施工前摩擦係數約 0.9，開放交通後 12 個月內降至 0.5~0.7 之間，而開放交通後 18 個月後，摩擦係數降到 0.3~0.4 之間。根據國外文獻指出，在開放通車的前一兩年，摩擦係數會隨著瀝青混凝土的表面的油膜帶走而慢慢表面變亮光（稱為表面刨光現象），等到兩年之後或累積一定交通量之後，粗粒料才外露到表面後，摩擦係數才會慢慢再次提高，以此上述狀況屬於正常現象，另外，根據美國佛羅里達運輸部門規定，時速若低於 45 mile/hr（約 72km/hr），摩擦係數需高於 0.3 以上，而台灣的緯度與氣候又佛羅里達州相當類似，若依此標準，以目前試驗道路的狀況皆屬與良好的狀態，綜合上述各點來看，相對使用天然粒料之傳統鋪面而言，轉爐石的使用摩擦力和傳統鋪面一樣好。

3. 車轍深度試驗結果：

右輪跡車轍均較左輪跡大，其原因在於路面設有弧型洩水坡度，在重車行駛的情況下右側輪胎對於路面的載重較大，因此在長時間累積下右輪跡的車轍深度值變化較左輪跡快且車轍值亦較大，又綜合中鋼過去該路段同方向採用傳統天然粒料之密級配瀝青混凝土的養護經驗，使用轉爐石於密級配瀝青混凝土在同樣的服務年限下確實可以維持較低的車

轍深度。

4.3.3 中聯 A 廠廠區道路（翻修）（2007/07）

試鋪路段位於中聯廠區內，由警衛室進入道路至堆置場。總長約 400 公尺，單邊 4.75 公尺，2 線道。路段平穩，兩側排水良好。較多重車在行駛，試鋪前部份路面已成嚴重破壞。本研究委託台灣世曦工程顧問股份有限公司進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、駐廠檢測、中聯自行現地監工、及中央大學研究團隊執行鋪後三年之長期成效評估。

此試驗共鋪設四種瀝青混凝土種類，即（A1）轉爐石（BOF slag）取代 100%天然粗粒料，鋪設 12cm 厚之 AC-20 密級配及鋪設 5cm 排水瀝青混凝土；（A2）轉爐石（BOF slag）取代 100 %天然粗粒料，鋪設 12cm 厚之 AC-20 密級配；（B1）以 100%天然粒料，鋪設 12cm 密級配及鋪設 5cm 排水瀝青混凝土；（B2）以 100%天然粒料，鋪設 12 cm 厚之 AC-20 密級配。

1. 平整度檢測結果：

本試驗路段斷面依配合設計分成排水性（A1、B1）及密級配（A2、B2）等兩種性質不同之路段，在未試鋪前，檢測之 IRI 值 A 側方向為 3.03（m/km），B 側方向為 5.08（m/km）。完工後檢測，A 側之 IRI 值為 2.85（m/km），B 側 IRI 值則為 2.99（m/km）。密級配路段之路面平整度較優於排水性鋪面路段，且開放通車後 6、12 及 18 個月，IRI 值有隨著時間增加而呈現越大之趨勢。試鋪前後之路面平坦度之改善情形，以 B2 較佳。

2. 抗滑試驗結果：

由斷面設計了解 A1 段及 B1 段為鋪設排水性鋪面，在完工後進行抗滑試驗可以發現，採用排水性鋪面之摩擦係數較密級配鋪面為低；再考慮到轉爐石是否取代天然粒料的路面，添加轉爐石之排水性鋪面摩擦係數較一般天然粒料為低，而添加轉爐石之密級配鋪面摩擦係數則與一般天然粒料相差不大；而在由檢測時間來考量，經過 18 個月後，無論是排水性鋪面或密級配鋪面，其摩擦係數降至 0.3 左右，藉由檢測時之目視調查及鑽心後試體的外觀檢查，推估其原因為配合設計時設計含油量偏高，且南部夏季溫度較高，在長時間開放交通下，路面冒油，故使路面摩擦係數降低現象。

3. 車轍深度試驗結果：

以轉爐石添加瀝青混凝土之路段 A1 及 B1 側，車轍深度變化趨勢均較天然粒料來的

大，且若同時比較左輪跡與右輪跡可見，右輪跡同樣的變化較左輪跡來的大，其原因為路面設有弧型洩水坡度之因素，但是，若同時追蹤其交通量結果發現，在添加轉爐石部分路段的所承受的累積軸重當量（ESALs）是天然粒料的好幾倍大，若以同樣的累積軸重當量（ESALs）來比較，添加轉爐石的車轍深度還是比添加天然粒料的低非常多，這樣的結果與國內外相關研究的結果一致且也與中鋼中聯相關的使用與研究經驗相同，綜合上述幾點來看，使用轉爐石的瀝青混凝土之抗車轍能力確實確實高於傳統天然粒料。

4. 現地透水試驗結果：

中聯資源廠區內 A1 及 B1 區有鋪設排水性瀝青混凝土，本研究在現地進行滲流水量試驗，以評估排水性瀝青混凝土路面之滲水性。

依據日本道路協會「鋪裝試驗法便覽」（透水性瀝青混合物之透水試驗法）及公共工程施工綱要規範「02797 排水性改質瀝青混凝土鋪面—附錄 4」，試驗結果分析如下：

1. 不同設計斷面下透水情形（轉爐石與天然粒料）：在輪跡處剛鋪設完成之天然粒料排水性鋪面其透水效果較轉爐石排水性鋪面為佳，但在長時間持續追蹤情形下，發現使用天然粒料之排水性鋪面透水效果隨時間越長而降低，而使用轉爐石之排水鋪面則尚能維持在 800ml/15s 的透水效果，同樣情況在非輪跡處之兩種鋪面，天然粒料之排水鋪面亦隨時間增長其透水效果呈現降低現象，而轉爐石鋪面則約維持在 900 ml/15s。
2. 在現地檢測時，以目視調查現地情形發現，無論在 A1 或 B1 斷面（即轉爐石及天然粒料排水性鋪面），在鋪面面層處均有細砂堵塞排水孔隙，造成此原因可能久未以高壓水柱沖刷表面，在高密度重車行經下，導致面層均有細砂附著，影響排水效果。
3. 測點位下透水情形（輪跡處與非輪跡處）：無論使用轉爐石或天然粒料之排水性鋪面，在剛完工時，其透水效果在輪跡處與非輪跡處差異不大，但在開放交通 6 個月以上後即可明顯看出，位於非輪跡處之透水效果均較輪跡處為佳，此為正常使用下之現象，一般在輪跡處因長時間重型車輛碾壓下，面層粒料較易受到擠壓破損，形成較小碎石堵塞孔隙，另外中聯廠區鋪設時因油膜厚度設計較高，此由抗滑試驗中可以看出，同時在透水效果上也會造成影響，因中聯廠區屬較高密度重車輛之路段，在油膜厚度設計較高的情形下，經過長時間的碾壓及高溫的情形下，可能造成面層粒料與鄰近粒料間之孔隙被油膜包

覆，形成孔隙量不足或阻塞情形，進而影響排水效果。

4.3.4 中聯台中研磨廠廠區道路（新鋪）（2009/01）

本研究委託台灣世曦工程顧問股份有限公司進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、及中央大學研究團隊執行鋪後二年之長期成效評估。試驗路段由中聯台中研磨廠廠區進入後分三段，全長約 200m，以轉爐石（BOF Slag）取代 100%天然粗粒料，於 2009 年 1 月 20 日完工，截至 2010 年 5 月，試驗結果如下。

1. 平整度檢測結果：

平整度試驗採用 ARRB walking profile，國際糙度指標（IRI 值）需小於 5（m/km），本次完工後平坦度試驗結果 IRI 值介於 2.13（m/km）~2.89（m/km）之間，仍維持良好的狀況。

2. 車轍深度試驗結果：

試驗結果發現部分位置已出現車轍情形，研判為鋪築滾壓造成之不平整，並非為實際車轍。

3. 抗滑試驗結果分析：

試驗結果顯示 BPN 平均值介於 34.6~38.8 之間。

4.3.5 中龍廢鋼儲區旁道路（新鋪）（2009/08）

本研究委託中央大學研究團隊進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、駐廠檢測、現地監工、及執行鋪後二年之長期成效評估。試驗路段為中龍廠區廢鋼儲區旁道路，全長約 380m，以兩種試驗配比鋪設，即靠南側之約 200m 以轉爐石（BOF slag）取代天然粗粒料達總粒料量之 40%，與靠北側之對照組約 180m 以純天然粒料瀝青混凝土鋪設，於 2009 年 8 月 24 日完工，截至 2010 年 5 月，試驗結果如下。

1. 平整度檢測結果：

平整度試驗採用 ARRB walking profile，國際糙度指標（IRI 值）需小於 5（m/km），本次完工後平坦度試驗結果 IRI 值介於 1.91~2.71（m/km）之間，對照組 IRI 值介於 1.72~2.66（m/km）之間。

2. 車轍深度試驗結果：

試驗結果發現對照組及以轉爐石取代者皆已出現車轍情形，研判為鋪築滾壓造成之不平整，並非為實際車轍。

3. 抗滑試驗結果：

試驗結果顯示對照組 BPN 平均值介於 40~55 之間，以轉爐石取代者 BPN 平均值介於 41~56 之間。

4.3.6 高雄縣澄清路（翻修）（2009/04）

本研究委託義守大學研究團隊進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、駐廠檢測、現地監工、及鋪後二年之長期成效評估。試驗路段位於高雄縣澄清路上北起光復路二段南至澄清路 33 巷之間，全長約 250m，以三種瀝青混凝土種類鋪設，分別為：20%再生瀝青混凝土+20%轉爐石取代天然粗粒料、40%轉爐石取代天然粗粒料、20%再生瀝青混凝土取代天然粗粒料，於 2009 年 4 月 12 日完工，截至 2010 年 5 月，試驗結果如下。

1. 平坦度檢測結果：

試驗結果為三種配比間幾無差異。

2. 穩定值試驗結果：

試驗結果發現轉爐石取代越多者穩定值越高。

3. 抗滑試驗結果：

試驗結果顯示轉爐石取代越多者抗滑值越高。

4. 流度值試驗結果：

試驗結果顯示轉爐石 40%者>轉爐石 0%者>轉爐石 20%者。

5. 瀝青混凝土間接張力試驗結果：

試驗結果顯示轉爐石取代越多者間接張力值越高。

6. 車轍深度試驗結果：

試驗結果為三種配比間幾無差異。

4.3.7 中鋼原料 1 東路、煉焦 2 東路及原料 2 北路（翻修）（2009/03 & 05）

本研究委託義守大學研究團隊進行轉爐石瀝青混凝土之配合設計、駐廠檢測、現地監工、及鋪後二年之長期成效評估。試驗路段分別位於中鋼原料 1 東路、煉焦 2 東路及原料 2 北路

上，各自試鋪長度約為 260、200、200m。以兩種試驗配比鋪設，原料 1 東路及煉焦 2 東路為以轉爐石全取代天然粗粒料，原料 2 北路為 20%刨除粗料+20%轉爐石取代天然粗粒料，前者配比鋪設於 2009 年 3 月 13 日完工，後者配比鋪設於 2009 年 5 月 2 日完工，截至 2010 年 6 月，試驗結果如下。

1. 穩定值試驗結果：

不同轉爐石取代量之穩定值，其中轉爐石取代 20%為最低，其值為 1150~1540kg，反之轉爐石全取代天然粗粒料為最高，其值為 1360~2310kg。

2. 流度值試驗結果：

不同轉爐石取代量之流度值，實驗結果顯示轉爐石取代量 20%為最低，其值為 8.26~8.96 (0.25mm)，反之轉爐石全取代天然粗粒料為最高，其值為 8.4~9.49 (0.25mm)。

3. 空隙率試驗結果：

不同轉爐石取代量之空隙率，轉爐石取代量 20%為最低，其值約為 4.0~4.5%，反之轉爐石全取代天然粗粒料為最高，其值約為 5.0~5.7%，兩者相差為 1.0~1.2%之間。

4. 回彈模數試驗結果：

不同轉爐石取代量之回彈模數 (25℃)，由實驗結果可以得知轉爐石全取代天然粗粒料時為最高，其值約為 64000 (kg/cm²)，最低為轉爐石 20%取代量，其值約為 44000k (kg/cm²) 兩者差約為 20000 (kg/cm²)。不同轉爐石取代量之回彈模數 (40℃)，由實驗結果可以得知轉爐石取代量 60%時為最高，其值約為 32000(kg/cm²)，最低為轉爐石 20%取代量，其值約為 21000 (kg/cm²) 兩者差約為 11000 (kg/cm²)。綜合以上試驗結果得知，中鋼廠區內轉爐石全取代天然粗粒料為最佳取代，全取代天然粗粒料轉爐石本身硬度大，隨著轉爐石的取代量增加而增高。

5. 靜態潛變試驗結果：

不同轉爐石取代量之靜態模數 (25℃)，由實驗結果可以得知轉爐石全取代天然粗粒料時為最高，其值約為 76000sec. (kg/cm²)，最低為轉爐石 0%取代量，其值約為 70000 (kg/cm²)，兩者差約為 6000sec. (kg/cm²)。不同轉爐石取代量之靜態模數 (40℃)，由實驗結果可以得知轉爐石全取代天然粗粒料時為最高，其值約為 40000sec (kg/cm²)，最

低為轉爐石 20%取代量，其值約為 35000 (kg/cm^2)，兩者差約為 5000sec. (kg/cm^2)。

6. 動態潛變試驗結果：

不同轉爐石取代量之動態模數 (25°C)，由實驗結果可以得知轉爐石全取代天然粗粒料時為最高，其值約為 0.75sec (kg/cm^2)，最低為轉爐石 20%取代量，其值約為 0.55 (kg/cm^2)，兩者差約為 0.2sec. (kg/cm^2)。不同轉爐石取代量之動態模數 (40°C)，由實驗結果可以得知轉爐石全取代天然粗粒料時為最高，其值約為 0.35sec. (kg/cm^2)，最低為轉爐石 20%取代量，其值約為 0.24 (kg/cm^2)，兩者差約為 0.11sec. (kg/cm^2)。

4.4 轉爐石瀝青混凝土之效益

本使用手冊針對轉爐石應用在密級配瀝青混凝土、密級配再生瀝青混凝土及多孔隙級配瀝青混凝土之效益說明如下 [4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.9]。

4.4.1 轉爐石密級配瀝青混凝土之效益

1. 轉爐石洛杉磯磨損試驗及扁平比，較一般天然石磨損率來得低，因而能增加路面耐久性與行車車胎與路面之摩擦力，提高行車安全，有助於提升道路服務年限。
2. 轉爐石為親油性因子比天然粒料對於瀝青包裹力佳，遇水時比較不容易跟水分子結合而造成路面發生剝脫現象。
3. 轉爐石馬歇爾穩定值較高在路面承载力方面有較佳之表現。
4. 轉爐石比重較重，相較天然石體積小的許多，所用瀝青量較少，流度值較天然石低，對於抵抗車轍變形也有較佳之效果。

4.4.2 轉爐石密級配再生瀝青混凝土之效益

1. 節省廢料拋棄的運輸費用，降低施工成本。
2. 減少新粒料及新瀝青用量，防止天然環境被破壞。
3. 解決瀝青鋪面廢料場及爐石堆置的難題，並且可防止公害的發生，保護環境。
4. 瀝青鋪面廢料再生的單價較低，轉爐石密級配再生瀝青混凝土解決鋪面結構穩定性問題，節省能源。

4.4.3 轉爐石多孔隙級配瀝青混凝土之效益

1. 轉爐石多孔隙瀝青混凝土鋪面為將轉爐石取代部分粒料，依瀝青配比設計經壓實後，壓實層內組成互通的連續孔隙網，可使水在空隙間自由流動，藉由結構內連通之高孔隙率，將降於路面雨水於短時間內向路緣側排出，以免水份停留在路面或滲入路基，降低路基強度。
2. 轉爐石多孔隙瀝青混凝土之鋪面效益
 - (1). 轉爐石具有耐磨性高、密度高、硬度高及抗壓強度高等特性，粒料顆粒與顆粒間內摩擦力較高，將可提高瀝青混合料剪力強度，粒料型態若有多個破裂面及表面紋理粗糙，可增加粒料結構穩定性。
 - (2). 降低雨水中行車後面濺起的水霧，提升後隨車輛之視野。
 - (3). 降低雨天車頭燈光造成的路面之光線反射，提高對路面標線辨識力。
 - (4). 增加路面摩擦力，可降低雨天車輛打滑（hydroplaning）現象。
 - (5). 降低因行車產生的噪音，係因路面之高孔隙可吸收部份噪音及減少輪胎與路面之空氣作用所產生之噪音。
 - (6). 排水性鋪面的透水效果可維持較久。使用天然粒料之排水性鋪面透水效果隨時間越長而降低，而使用轉爐石之排水鋪面則尚能維持在 800ml/15s 的透水效果。

參考文獻

- 4.1 中華鋪面工程學會，「轉爐石於鋪面工程之應用~長期成效評估期末報告」台北（2006）。
- 4.2 袁家偉，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，桃園（2007）。
- 4.3 林志棟、黃大衛、林子傑、林志忠，「轉爐石取代傳統粒料對瀝青混凝土 VMA 性質影響之研究」，中華民國第八屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2008 世界華人鋪面專家聯合學術研討會，桃園。（2008）。
- 4.4 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「轉爐石應用於密級配與排水性瀝青混凝土性質之綜合研究期末報告」，高雄（2009）。
- 4.5 中國國家標準「**CNS14602** 道路用鋼爐碴」，經濟部標準檢驗局。
- 4.6 中鋼集團「轉爐石利用推廣手冊」，高雄（2007）。
- 4.7 NIPPON SLAG ASSOCIATION（<http://www.slg.jp/e/statistics-e.htm>）。
- 4.8 USGS（http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel_slag/）。
- 4.9 「再生瀝青混凝土添加轉爐石成效評估研究計畫期中報告」，義守大學，高雄（2008）。

第五章 轉爐石瀝青混凝土配合設計

5.1 一般原則

轉爐石瀝青混凝土配合設計之目的、方法及步驟與一般瀝青混凝土相似，但轉爐石瀝青混凝土配合設計仍具有一些特性，應參照本章之規定辦理。

5.2 轉爐石瀝青混凝土配合設計原則

5.2.1 本使用手冊於轉爐石瀝青混凝土配合設計區分為三個範疇

1. 轉爐石密級配瀝青混凝土：以適當比例之轉爐石取代粗粒料，使轉爐石瀝青混凝土能充分達成所需之性質要求，依循之配合設計步驟及準則為美國瀝青學會（The Asphalt Institute）AI MS-2【Mix Design Methods for Asphalt Concrete】之馬歇爾方法^[5.1]。
2. 轉爐石多孔隙瀝青混凝土：以適當比例之轉爐石取代粗粒料，使轉爐石多孔隙瀝青混凝土能充分達成所需之性質要求，依循之配合設計步驟及準則為公共工程施工綱要規範第 02797 章排水性改質瀝青混凝土鋪面附錄一之排水性瀝青混凝土混合料配合設計^[5.2]。
3. 轉爐石再生瀝青混凝土：以適當比例之轉爐石取代粗粒料，另依規定添加部分比例之再生瀝青粒料，使轉爐石再生瀝青混凝土能充分達成所需之性質要求，依循之配合設計步驟及準則為美國瀝青學會 AI MS-20【Asphalt Hot-Mix Recycling】^[5.3]及 AI MS-2【Mix Design Methods for Asphalt Concrete】之馬歇爾方法。

5.2.2 各依循之配合設計準則所引用之各項試驗法原則

1. 轉爐石密級配瀝青混凝土及轉爐石再生瀝青混凝土依循之 AI MS-2 及 AI MS-20 配合設計準則所引用之各項試驗方法以 AASHTO 為主，不足者依序以 ASTM 或 CNS 為輔。
2. 轉爐石多孔隙瀝青混凝土依循之公共工程施工綱要規範第 02797 章排水性改質瀝青混凝土鋪面附錄一之排水性瀝青混凝土混合料配合設計，所引用之各項試驗法以第 02797 章所述內容為主，不足者依序以 AASHTO、ASTM 或 CNS 為輔。

5.3 轉爐石密級配瀝青混凝土配合設計步驟

5.3.1 注意事項

1. 轉爐石取代粗粒料之比例：取代粗粒料比例以占粒料總量之 20% 為原則，若有實際需要且具備對轉爐石性質的充分認知及對轉爐石使用之良好管制，得提高取代比例為 30%、40%、50% 及 60%。
2. 瀝青用量之表示原則：以對瀝青混合料之重量百分比為表示原則，若有加註說明則不在此限。

5.3.2 配合設計步驟

1. 配合設計之基本資料：
 - (1). 瀝青膠泥比重。
 - (2). 瀝青膠泥黏度。
 - (3). 各組成之粒料烘乾虛比重。
 - (4). 各組成粒料之篩分析。
2. 各組成材料之物理性質試驗。
3. 依各粒料篩分析結果調配比例組成符合瀝青混凝土級配規格之混合粒料級配。
4. 依各組成粒料之使用比例計算混合粒料級配之烘乾虛比重。
5. 概估混合粒料級配之初始需求瀝青用量：轉爐石密級配瀝青混凝土之配合設計起始瀝青用量之訂定原則如下：

依下式概估起始瀝青含量 (P_A):

$$P_A (\%) = 0.035 \times a + 0.045 \times b + K \times c + F \dots \dots \dots (5.1)$$

式中 a = 混合粒料級配停留於 2.36mm (No.8) 篩百分率。

b = 混合粒料級配通過 2.36mm (No.8) 篩，停留 75 μ m (No.200) 篩百分率。

c = 混合粒料級配通過 75 μ m (No.200) 篩百分率。

$K = 0.15$ ，當 $c = 11 \sim 15$ 。

0.18，當 $c = 6 \sim 10$ 。

0.20，當 $c \leq 5$ 。

$F = 0 \sim 2.0$ ，視粒料吸水率高低而異，若無相關數值可參照，建議值為 0.7。

6. 訂定混合粒料級配之嘗試瀝青用量範圍，包含至少 5 個瀝青用量，原則上以 0.5%瀝青用量為間隔。
7. 依混合粒料級配組成比例配製試樣，轉爐石需先進行比重修正，修正原由及方式如下，共配製 1 個理論最大比重試驗用試樣，15 個夯製馬歇爾試體用試樣。

比重修正原由及方式：轉爐石密級配瀝青混凝土之配合設計實務應用以重量為基準，結果參數之計算分析係以容積為基礎，因轉爐石與一般粒料之比重值差異大於 0.20 以上，須進行比重權值修正，以調整粒料之組合比例，修正方式如以下範例：

表5.1 粒料依比重修正使用比例之範例

修正前				
粒料種類		粒料比重	使用比例	
A1		1.00	52.0	
A2		2.00	45.0	
A3		3.00	3.0	
修正後				
粒料種類	原使用比例	粒料比重	權值	修正後比例
A1	52.0	1.00	52.00	34.4
A2	45.0	2.00	90.00	59.6
A3	3.0	3.00	9.00	6.0
合計	100.0		151.0	100.0

權值 = 原使用比例×粒料比重

$$\text{修正後比例} = \frac{\text{粒料權值}}{\text{合計粒料權值}} \times 100$$

8. 依瀝青膠泥黏度求取之拌和溫度拌和試樣。
9. 依瀝青膠泥黏度求取之夯打溫度夯打 15 個試樣成為馬歇爾試體。
10. 依試驗法進行理論最大比重試驗及馬歇爾試體之容積比重、穩定值、流度值試驗。
11. 試驗結果計算，包含空隙率、VMA、VFA、容積比重、穩定值及流度值。
12. 分別繪製瀝青用量與空隙率、VMA、VFA、容積比重、穩定值及流度值等 6 個關係曲線圖。
13. 依下述原則選取建議瀝青用量並求取對應之各項性質結果值。若無法獲得完全符合配合

設計準則規定之瀝青用量，則應重新調整混合粒料級配，重做配合設計。

(1). 建議瀝青用量選取原則：

- A. 優先選取空隙率（ V_a ）等於 4.0% 之瀝青用量，若此瀝青用量所對應的各項瀝青混凝土性質均能符合配合設計準則之規定，則以此為建議瀝青含量。
- B. 若空隙率 4.0% 對應的瀝青用量於部份性質未能符合配合設計準則之規定，得於空隙率變化不超過 0.5% 之範圍為原則調整瀝青用量，使各項性質均符合規定，以此為建議瀝青用量。
- C. 若轉爐石取代粗粒料之比例達粒料總量之 40%，則將前述選取之瀝青用量調降 0.2% 為建議瀝青用量^[5.4]，惟其對應之各項性質仍需符合配合設計準則之規定。

(2). 各項性質結果值求取方式：以建議瀝青用量於 VMA、 V_a 、VFA 及單位重、穩定值、流度值等六個迴歸關係曲線圖採內插方式求取對應之各項性質結果值。

14. 混合粒料級配及建議瀝青用量合稱為工作拌和公式。

5.3.3 配合設計準則

1. 轉爐石密級配瀝青混凝土之配合設計準則訂定如表 5.2 及表 5.3^[5.1]。

表 5.2 轉爐石密級配瀝青混凝土之馬歇爾配合設計準則

試驗項目	重級交通量 ESAL $>10^6$		中級交通量 ESAL $10^4 \sim 10^6$		輕級交通量 ESAL $<10^4$	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
試體上下端各夯打次數	75		50		35	
穩定值（N）	8000	—	5400	—	3400	—
（lbf）	(1800)		(1200)		(750)	
流度值（0.25 mm）	8	14	8	16	8	18
空隙率（%）	3	5	3	5	3	5
粒料間空隙率（VMA，%）	如表 5.4					
瀝青填充率（VFA，%）	65	75	65	78	70	80

表5.3 轉爐石密級配瀝青混凝土粒料間空隙率（VMA）之規定最小值

粒料標稱最大粒徑（mm）	空隙率設計值（%）			備 註
	3	4	5	
1.18	21.5	22.5	23.5	空隙率設計值可用內插法 求出 VMA 值
2.36	19.0	20.0	21.0	
4.75	16.0	17.0	18.0	
9.50	14.0	15.0	16.0	
12.5	13.0	14.0	15.0	
19.0	12.0	13.0	14.0	
25.0	11.0	12.0	13.0	
37.5	10.0	11.0	12.0	
50.0	9.5	10.5	11.5	
63.0	9.0	10.0	11.0	

註 A：粒料標稱最大粒徑係指累積停留百分率大於 10 之上一個篩網孔徑。

B：轉爐石取代粗粒料比例達粒料總量之 40%者，VMA 之規定最小值可調降 1%^[5.4]。

2. 若轉爐石密級配瀝青混凝土使用改質瀝青為黏結材，其配合設計準則訂定如表 5.2 及表 5.3^[5.5]。

5.3.4 配合設計之表示法

1. 轉爐石密級配瀝青混凝土於配合設計所使用之各項專有名詞，其名詞解釋及對應符號均與使用一般粒料之密級配瀝青混凝土配合設計者相同。

2. 配合設計結果建議表示法

轉爐石密級配瀝青混凝土：配合設計報告建議格式如表 5.4。

表5.4 轉爐石密級配瀝青混凝土配合設計之建議報告格式

瀝青混凝土配合設計(馬歇爾法)試驗報告						
混合料種類：						
樣品來源：瀝青—			配合設計方法：AI MS-2			
粒料—						
試驗結果：						
1. 粒料配料比例						
粒料種類						
使用百分率						
2. 混合料級配						
篩網 稱號	通過質量百分率(%)		備註			
	工作拌和公式	規範值				
25mm(1 in)						
19mm(3/4 in)						
12.5mm(1/2 in)						
9.5mm(3/8 in)						
4.75mm(No. 4)						
2.36mm(No. 8)						
1.18mm(No. 16)						
0.8mm(No. 30)						
0.3mm(No. 50)						
0.15mm(No. 100)						
0.075mm(No. 200)						
3. 混合料容積比重 = 瀝青混合料有效比重 =						
瀝青比重 = 吸油率 (%) =						
4. 馬歇爾試體以4英吋鐵模夯製，夯壓溫度為_____℃，夯打次數上、下面各75次 夯錘重10磅，落距18英吋。						
5. 建議瀝青含量_____%(對混合料)，此瀝青含量之相對應瀝青混合料性質如下：						
項 目	試驗值	規範值	備 註			
25℃ 容積比重			規範依據：			
單位重 (kg/m ³)						
穩定值 (lbf)						
流度 (0.01in)						
空隙率 (%)						
VMA (%)						
VFA (%)						

5.3.5 配合設計流程圖

轉爐石密級配瀝青混凝土之配合設計流程圖如圖 5.1。

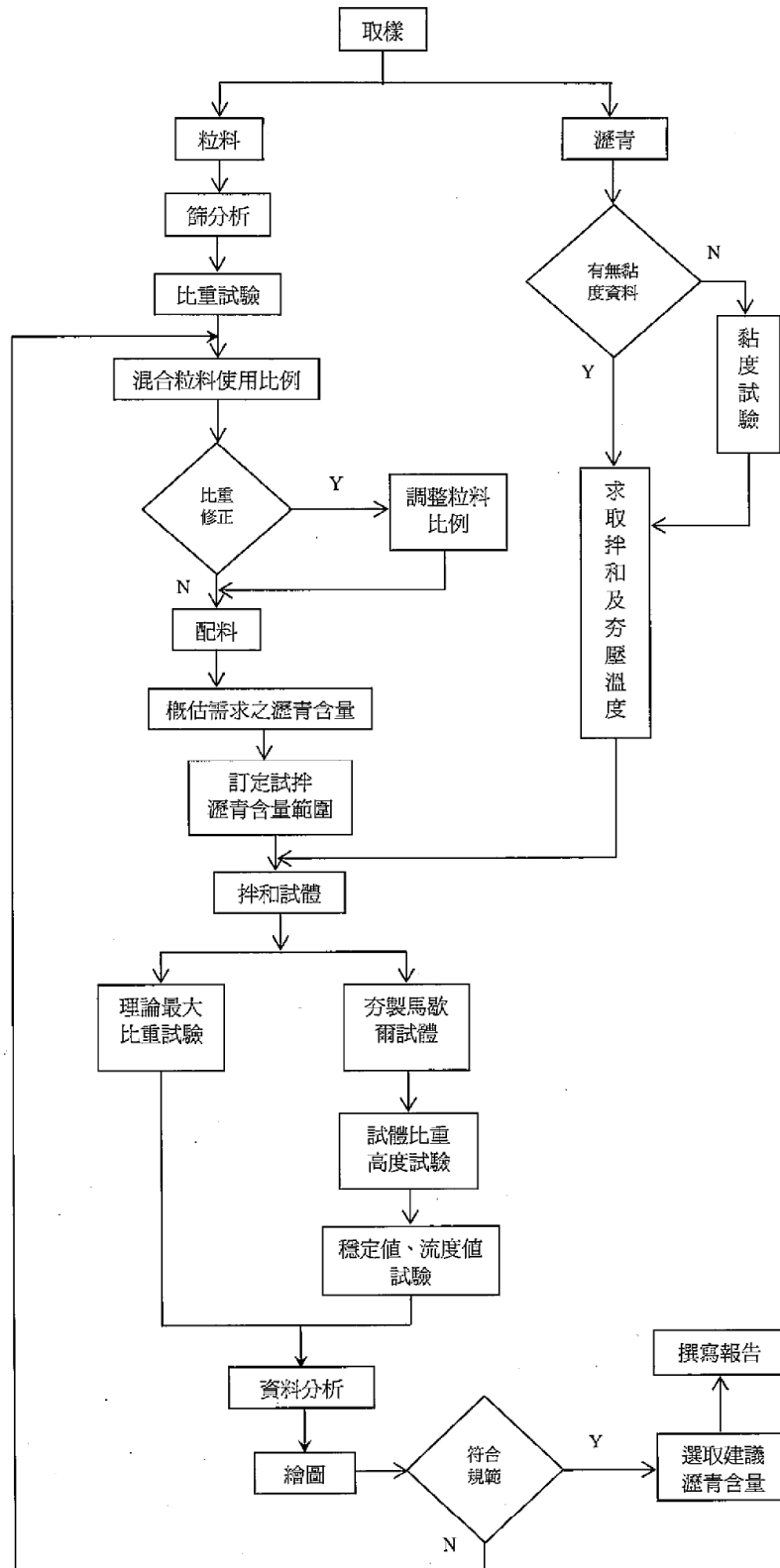


圖 5.1 轉爐石密級配瀝青混凝土之配合設計流程圖

5.3.6 建議瀝青含量之選取範例

採用轉爐石取代粗粒料，取代比例為粒料總量之 20%，各項參數值如下：

1. 粒料使用比例於粗粒料占 56%（一般粒料 36%，轉爐石 20%），細粒料占 42%，填縫料占 2%。
2. 混合粒料容積比重 2.774，有效比重 2.807，瀝青（AC-20）比重 1.037，吸油率 0.437%。
3. 瀝青混合料之拌和料性質分析歸納如表 5.5，性質分析圖繪製如圖 5.2。
4. 依分析圖所示，符合本件配合設計之瀝青含量範圍為 4.5~5.0%（對混合料），建議瀝青含量選取 4.8%（對混合料）。

表5.5 瀝青混合料拌和料性質分析

瀝青混合料拌和料性質分析								
材料種類	比重		混合料組成					
	容積比重 (烘乾法)	視比重	試拌組成 (% 對混合料)					
				1	2	3	4	5
(1) 粗粒料	2.902	—	P1	49.9	49.6	49.3	49.1	48.8
(2) 細粒料	2.647	—	P2	44.1	43.9	43.7	43.4	43.2
(3) 填縫料	—	—	P3	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
混合粒料合計	—	—	Ps	95.9	95.4	94.9	94.4	93.9
(4) 瀝青膠泥	—	1.030	Pb	4.1	4.6	5.1	5.6	6.1
瀝青混合料合計				100	100	100	100	100
(5) 混合粒料烘乾虛比重			G _{sb}	2.774				
(6) 理論最大比重			G _{mm}	2.622	2.601	2.580	2.560	2.540
(7) 試體容積比重 (平均值)			G _{mb}	2.461	2.477	2.495	2.506	2.511
(8) 混合粒料有效比重			G _{se}	2.807				
(9) 瀝青被粒料吸收率 (%)			P _{ba}	0.437				
(10) 有效瀝青含量 (%)			P _{bc}	3.7	4.2	4.7	5.2	5.7
(11) VMA (%)				14.93	14.81	14.64	14.73	15.00
(12) 空隙率 (%)			V _a	6.2	4.8	3.3	2.1	1.1
(13) VFA (%)				58.8	67.9	77.5	85.6	92.4
(14) 穩定值(lbf)(平均值)				3066	3435	3854	3875	3993
(15) 流度值(0.01in)(平均值)				8	9	10	10	12

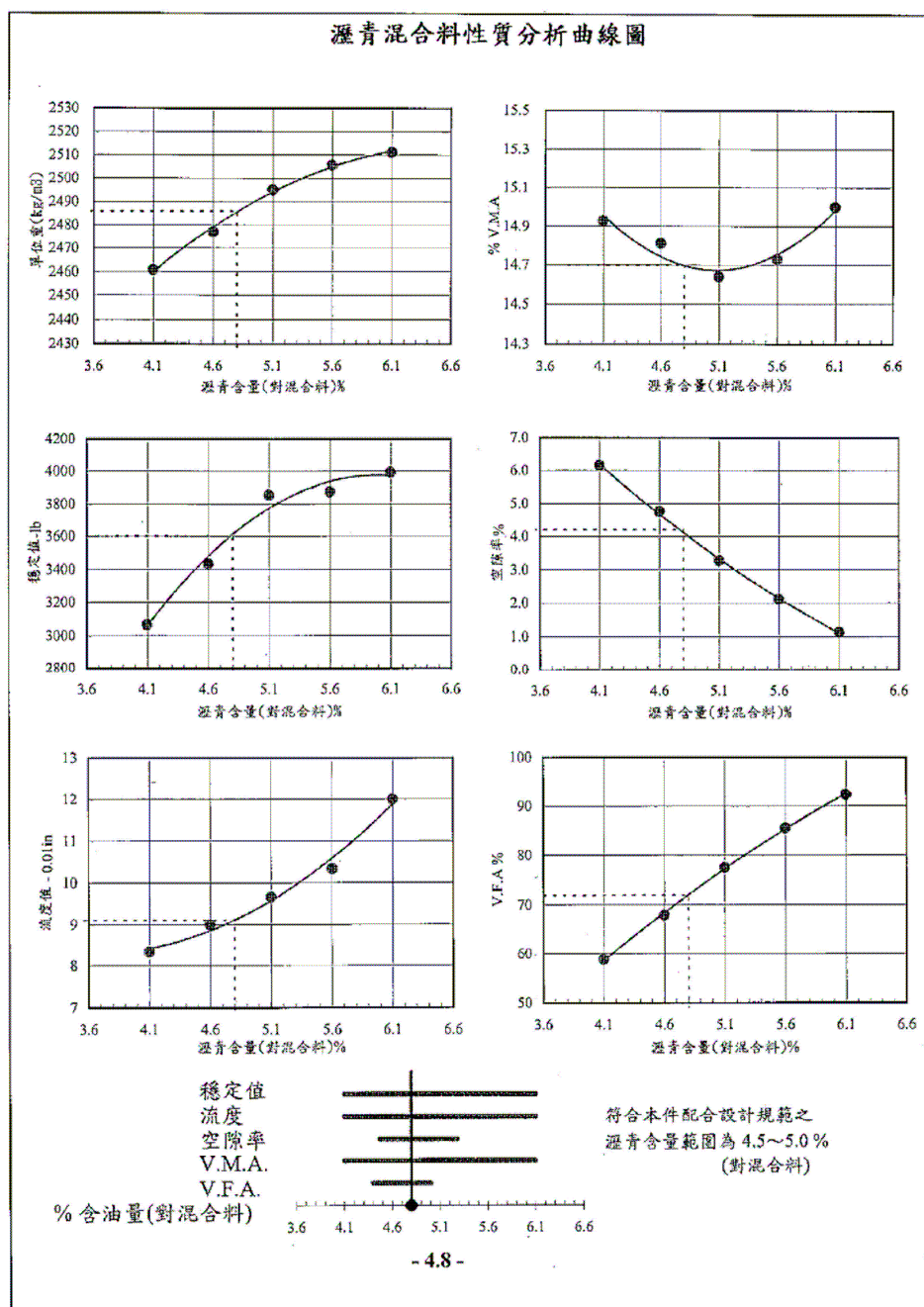


圖 5.2 瀝青混合料性質分析曲線圖

5.4 轉爐石多孔隙瀝青混凝土配合設計步驟

5.4.1 注意事項

轉爐石多孔隙瀝青混凝土配合設計步驟之注意事項請參照第 5.3.1 節之說明。

5.4.2 配合設計步驟

1. 配合設計之基本資料：

- (1). 瀝青膠泥比重。
- (2). 瀝青膠泥黏度。
- (3). 各組成粒料之篩分析。
- (4). 纖維材料。
2. 各組成材料之物理性質試驗。
3. 依各粒料篩分析結果調配比例組成符合瀝青混凝土級配規格之三個初試級配，並使其分別約位於級配規格粗、中、細範圍，中間級配宜通過 2.36mm (No.8) 篩之級配上、下限範圍的中間值；另粗與細級配於 2.36mm (No.8) 篩以通過百分率分別約等距±3%落於中間值與上、下限範圍內；三個級配在 0.075mm (No.200) 篩的通過百分率均設定在約 5% 左右。
4. 依下列公式及原則計算三個初試級配的預估起始瀝青用量：

$$A = (2 + 0.02 \times a + 0.04 \times b + 0.08 \times c + 0.14 \times d + 0.3 \times e + 0.6 \times f + 1.6 \times g) / 48.74 \dots\dots\dots (5.2)$$

$$\text{預估瀝青用量 (對粒料百分率)} = A \times t \dots\dots\dots (5.3)$$

式中 A = 混合粒料總表面積。

a, b, c, d, e, f, g = 混合粒料級配於某篩號的通過百分率，其對應關係列於表 5.6 內。

t = 粒料被瀝青包覆的瀝青膜厚度：若無指定或適合的數值則取 14 μ m；若轉爐石取代粗粒料比例達粒料總量之 40%者， t 取 12 μ m^[5.5]。

表5.6 混合粒料級配於某篩號之通過百分率與係數對應關係

篩網孔徑 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通過百分率 (%)	a	b	c	d	e	f	g
對應係數	0.02	0.04	0.08	0.14	0.3	0.6	1.6

5. 三個初試級配各配製 3 個夯製馬歇爾試體用試樣，1 個理論最大比重試驗用試樣。
6. 以預估之起始瀝青用量，依瀝青膠泥黏度求取之拌和溫度拌和試樣。
7. 以預估之起始瀝青用量，依瀝青膠泥黏度求取之夯打溫度夯打此各 3 個試樣成為馬歇爾試體，夯打次數為兩端面各夯打 50 次。

8. 依試驗法進行理論最大比重試驗及馬歇爾試體之虛密度，三個初試級配分別取其三個馬歇爾試體之虛密度平均值。
9. 計算試體空隙率。
10. 繪製三個初試級配於 2.36mm (No.8) 篩通過百分率與空隙率之關係曲線（例如圖 5.3），選定達到目標空隙率 $\pm 1\%$ （例如 $20\pm 1\%$ ）的級配做為選定之混合粒料級配，若三個初試級配的空隙率皆無法達到目標空隙率 $\pm 1\%$ ，則應重新選定組合材料，直到能達到目標空隙率。

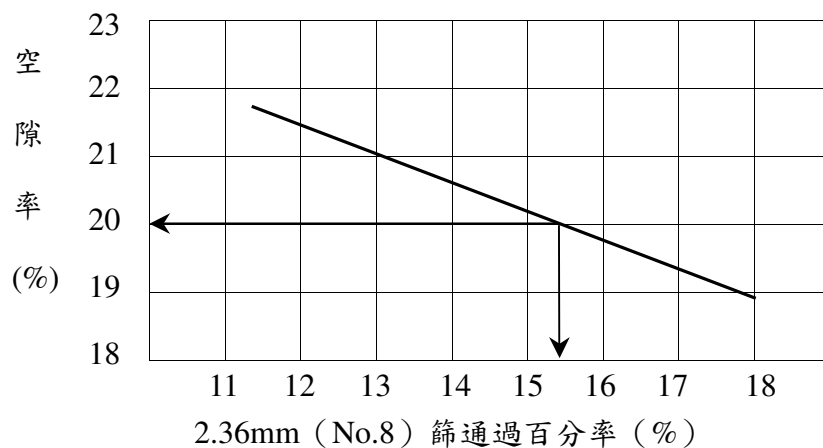


圖 5.3 （例）2.36mm (No.8) 篩通過百分率與空隙率（VC）之關係曲線

11. 選定混合粒料級配後，續配製混合粒料試樣，其中 10 個試樣進行垂流試驗，每個瀝青用量需 2 個試樣；5 個試樣進行肯塔堡飛散試驗，每個瀝青用量需 1 個試樣。
12. 決定混合粒料之瀝青用量範圍，可以預估瀝青用量為基準，以間隔 0.5% 的瀝青用量於乾、濕側範圍選擇 5 個瀝青用量。
13. 依試驗法進行此 5 個瀝青用量之垂流試驗及肯塔堡飛散試驗，垂流試驗各取 2 個試樣之平均值。
14. 繪製垂流量與瀝青用量關係曲線，其曲線轉折點之切線交點，即為本混合粒料瀝青用量的上限值。
15. 繪製飛散損失量與瀝青用量關係曲線，其曲線轉折點之切線交點，即為本混合粒料瀝青用量的下限值。

16. 依下列原則選取建議瀝青用量，建議瀝青用量以偏向垂流試驗之瀝青用量上限值，可獲得不致發生垂流現象且較大的瀝青膜厚度，提高耐久性。
- (1). 依垂流試驗結果繪製垂流量與瀝青用量關係曲線，其曲線轉折點之切線交點，為瀝青用量的上限值。
- (2). 依肯塔堡飛散（Cantabria）試驗繪製飛散損失量與瀝青用量關係曲線，其曲線轉折點之切線交點，為瀝青用量的下限值。
- (3). 選擇偏向垂流試驗之瀝青含量上限值為建議瀝青用量。
17. 選定建議瀝青用量後，於垂流試驗及肯塔堡飛散試驗之關係曲線圖中，以內插方式求取其對應的垂流量與飛散損失量。
18. 驗證混合粒料級配與建議瀝青用量，按選定之混合粒料級配配製 7 個試樣並夯製成馬歇爾試體，前 3 個試體先求取虛密度、空隙率、穩定值及流度值，另 3 個試體浸水 24 小時併同前 3 個試體求取浸水馬歇爾剝脫試驗強度（滯留強度）。
19. 第 7 個試體依試驗法求取透水性係數。
20. 製作動態穩定值試體進行動態穩定值驗證。
21. 若各項試驗結果的性質分析均可符合配合設計準則或規範的要求，則已完成配合設計試驗步驟；若試驗結果的性質分析尚無法完全符合配合設計準則或規範的要求，應調整級配重做配合設計試驗程序。
22. 混合粒料級配及建議瀝青用量合稱為工作拌和公式。

5.4.3 配合設計準則

轉爐石多孔隙瀝青混凝土之配合設計準則訂定如表 5.7^[5.2]。

表5.7 轉爐石多孔隙瀝青混凝土之配合設計準則

試 驗 項 目	規 範 值
試體上下端各夯打次數	50
穩定值 kN (kgf)	3.5 (350)
流度值 (0.1mm)	20~40
空隙率 (%)	15~25
動態穩定值 (次 / mm): 重型車交通量大者 重型車交通量大且行車速度緩慢者	1500 以上 3000 以上
滯留強度指數 (%)	80 以上
肯塔堡 (cantabria) 飛散試驗 (%)	20 以下
垂流試驗 (%): 燒杯法 (%) 網籃法 (%) AASHTO T305	0.3 以下 0.3 以下
滲透係數 (cm / sec)	10^{-2} 以上
現場透水試驗 (ml / 15sec)	900 以上

註 A：轉爐石取代粗粒料比例達粒料總量之 40%者，空隙率下限值可調降 1%^[5.5]。

5.4.4 配合設計之表示法

1. 轉爐石多孔隙瀝青混凝土於配合設計所使用之各項專有名詞，其名詞解釋及對應符號均與使用一般粒料之多孔隙瀝青混凝土配合設計者相同。

2. 配合設計結果建議表示法

轉爐石多孔隙瀝青混凝土：配合設計報告建議格式如表 5.8。

表5.8 轉爐石多孔隙瀝青混凝土配合設計之建議報告格式

多孔隙瀝青混凝土配合設計試驗報告						
標稱最大粒徑：						
樣品來源：瀝青—						
粒料—						
纖維—						
試驗方法：公共工程施工綱要 規範第02797章附錄一						
試驗結果：						
1. 粒料配料比例						
粒料種類						
使用百分率						
2. 混合粒料級配						
篩網 稱號	通過質量百分率(%)		備註			
	工作拌和公式	規範值				
25.0mm(1in)						
19.0mm(3/4in)						
12.5mm(1/2in)						
9.5mm(3/8in)						
4.75mm(No. 4)						
2.36mm(No. 8)						
1.18mm(No. 16)						
0.6mm(No. 30)						
0.3mm(No. 50)						
0.15mm(No. 100)						
0.075mm(No. 200)						
3. 混合粒料容積比重 =						
4. 瀝青混合料拌和添加_____纖維____%(對瀝青混合料重量比)。						
5. 馬歇爾試體以4英吋鐵模夯製，夯壓溫度為_____℃，夯打次數上、下面各50次 夯錘重10磅，落距18英吋。						
6. 建議瀝青含量____%(對混合料)，此瀝青含量之相對應瀝青混合料性質如下：						
項 目	試驗值	規範值	備 註			
直接容積單位重(g/cm ³)			規範依據：			
穩定值(kgf)						
流 度(0.25mm)						
空隙率(%)						
飛散損失量(%)						
垂流量(____℃, 1hr)(%)						
透水係數(cm/sec)						
動態穩定值(次/mm)						

5.4.5 配合設計流程圖

轉爐石多孔隙瀝青混凝土之配合設計流程圖如圖 5.4。

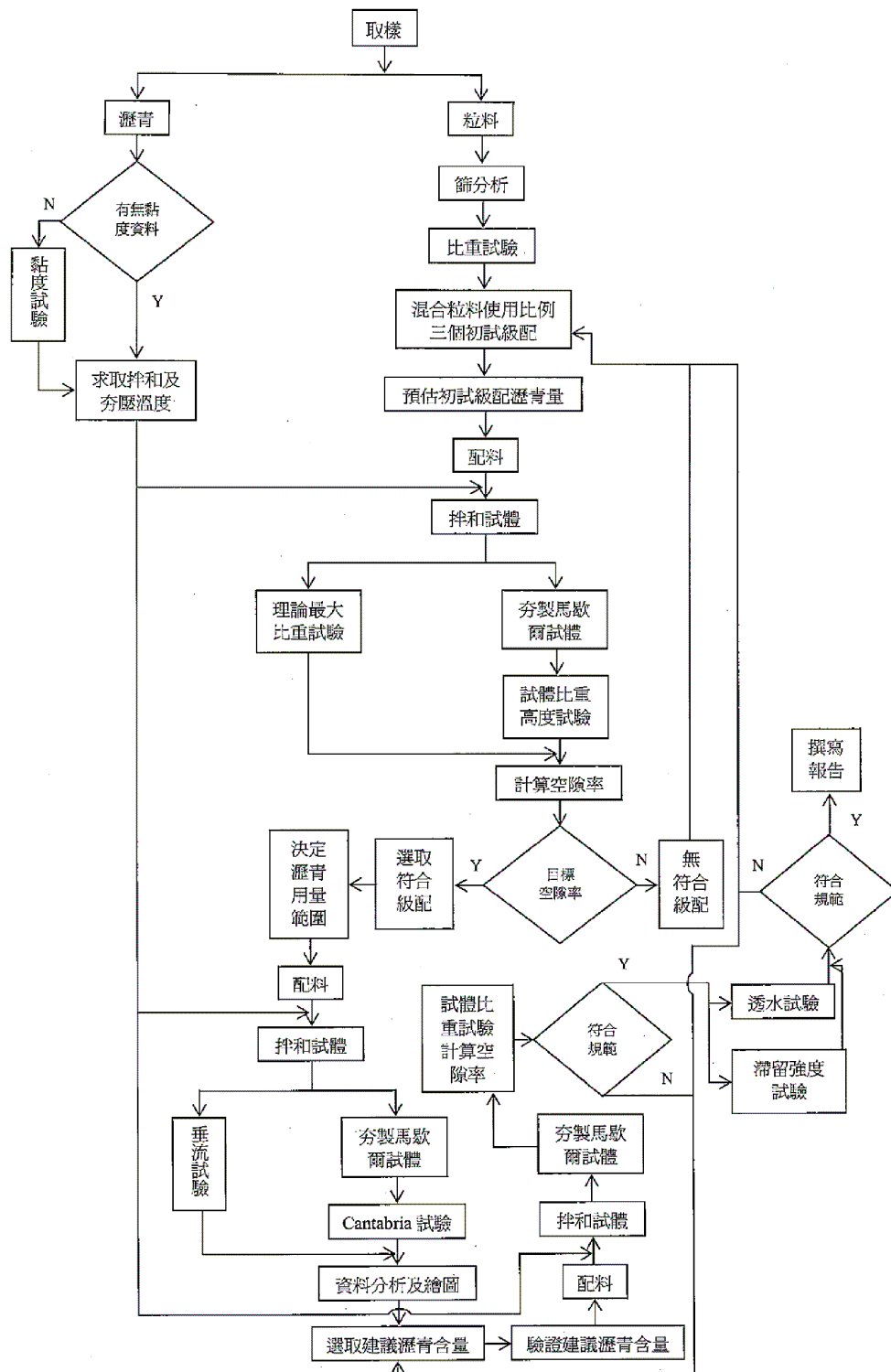


圖 5.4 轉爐石多孔隙瀝青混凝土之配合設計流程圖

5.4.6 建議瀝青含量之選取範例

採用轉爐石取代粗粒料，取代比例為粒料總量之 40%，各項參數值如下：

1. 粒料使用比例於粗粒料占 90%（一般粒料 50%，轉爐石 40%），細粒料占 7%，填縫料占 3%。
2. 以瀝青膜厚度 $12\mu\text{m}$ 計算所得之預估瀝青用量為 3.9%，以瀝青含量 2.9~4.9%為範圍、採 0.5%為瀝青含量間隔，進行各 5 個瀝青含量之垂流及肯塔堡飛散試驗（磨耗量）（以上瀝青含量均對混合料）。
3. 瀝青混合料垂流量與飛散損失量性質分析如圖 5.5，所得之可用瀝青含量區間為 3.8~4.5%，選取最大瀝青含量 4.5%為本件配合設計之建議瀝青含量。

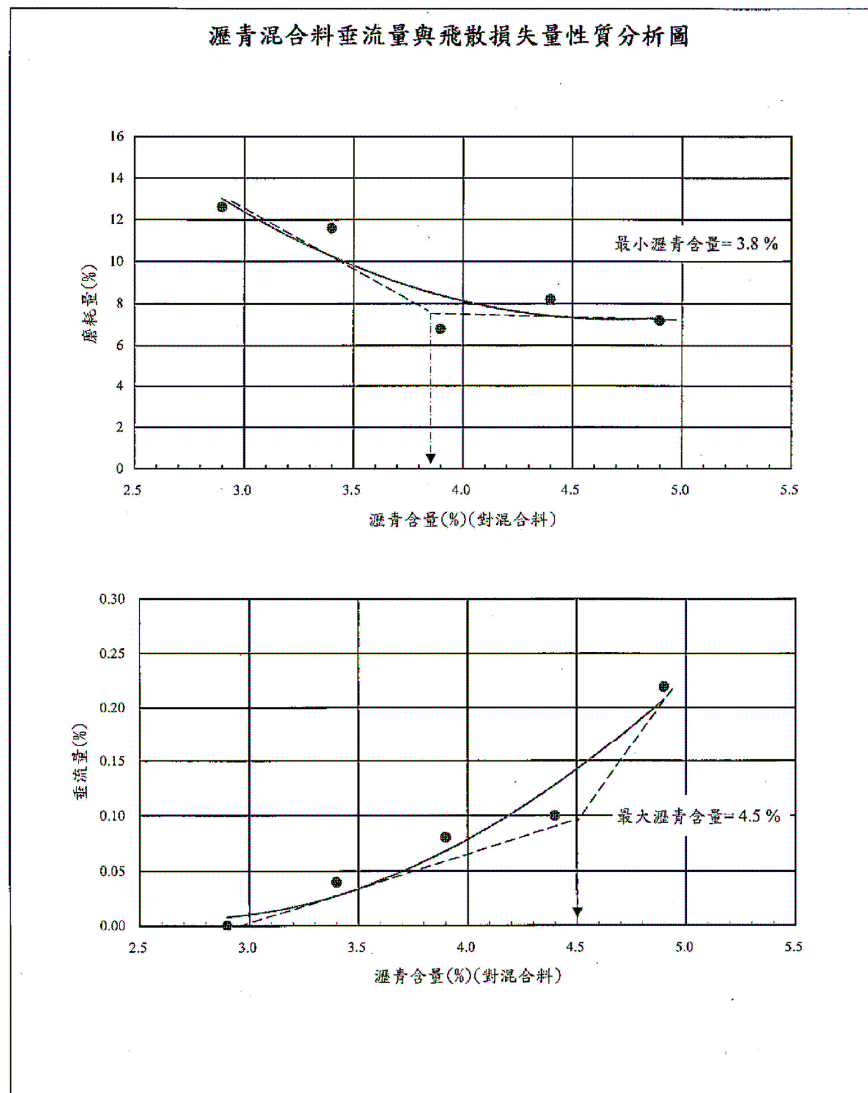


圖 5.5 瀝青混合料垂流量與飛散損失量性質分析圖

5.5 轉爐石再生瀝青混凝土配合設計步驟

5.5.1 注意事項

轉爐石再生瀝青混凝土配合設計步驟之注意事項請參照第 5.3.1 節之說明。

5.5.2 配合設計步驟

1. 配合設計之基本資料：
 - (1). 請參照第 5.3.2 節第 1 項內容。
 - (2). RAP 瀝青含量及萃取粒料篩分析。
 - (3). RAP 萃取瀝青黏度。
2. 請參照第 5.3.2 節第 2 項至第 5 項步驟。
3. 概估瀝青混合料之新瀝青膠泥需求量。
4. 依目標黏度選擇新瀝青膠泥等級（種類），若新瀝青黏度等級未能符合需要，應另求取再生劑添加比例。
5. 訂定混合粒料級配之嘗試瀝青用量範圍，包含至少 5 個瀝青用量，原則上以 0.5%瀝青用量為間隔。
6. 計算每一瀝青用量需添加的新瀝青膠泥重量。
7. 依混合粒料級配組成比例配製試樣，轉爐石需先進行比重修正，共配製 1 個理論最大比重試驗用試樣，15 個夯製馬歇爾試體用試樣。
8. 依瀝青膠泥目標黏度求取之拌和溫度拌和試樣。
9. 依瀝青膠泥目標黏度求取之夯打溫度夯打 15 個試樣成為馬歇爾試體。
10. 請參照第 5.3.2 節第 10 項至第 14 項步驟。
11. 工作拌和公式需計算並標示新瀝青膠泥之添加量占整體瀝青混合料之重量百分比。

5.5.3 配合設計準則

轉爐石再生瀝青混凝土之級配規格同屬於密級配，其配合設計準則相同，請參照第 5.3.3 節內容。

5.5.4 配合設計之表示法

1. 轉爐石再生瀝青混凝土於配合設計所使用之各項專有名詞，其名詞解釋及對應符號均與使用一般粒料之再生瀝青混凝土配合設計者相同。

2. 配合設計結果建議表示法

轉爐石再生瀝青混凝土：配合設計報告建議格式如表 5.9。

表5.9 轉爐石再生瀝青混凝土配合設計之建議報告格式

再生瀝青混凝土配合設計(馬歇爾法)試驗報告						
混合料種類：						
樣品來源：瀝青—						
粒料—			配合設計方法：AI MS-20			
回收料(RAP)—			AI MS-2			
試驗結果：						
1. 粒料配料比例						
粒料種類						
使用百分率						
2. 混合粒料級配						
篩網 稱號	通過質量百分率(%)		備註			
	工作拌和公式	規範值				
25mm(1 in)						
19mm(3/4 in)						
12.5mm(1/2 in)						
9.5mm(3/8 in)						
4.75mm(No. 4)						
2.36mm(No. 8)						
1.18mm(No. 16)						
0.8mm(No. 30)						
0.3mm(No. 50)						
0.15mm(No. 100)						
0.075mm(No. 200)						
3. 混合粒料容積比重 = 瀝青混合粒料有效比重 =						
瀝青比重 = 吸油率 (%) =						
4. 馬歇爾試體以4英吋鐵模夯製，夯壓溫度為_____℃，夯打次數上、下面各75次，夯錘重10磅，落距18英吋。						
5. 建議瀝青含量_____% [回收料(RAP)使用_____%，新瀝青添加量_____%，均對混合料] 此瀝青含量之相對應瀝青混合料性質如下：						
項 目	試驗值	規範值	備註			
25℃ 容積比重			規範依據：			
單位重 (kg/m ³)						
穩定值 (kgf)						
流度 (0.25mm)						
空隙率 (%)						
VMA (%)						
VFA (%)						

5.5.5 配合設計流程圖

轉爐石再生瀝青混凝土之配合設計流程圖如圖 5.6。

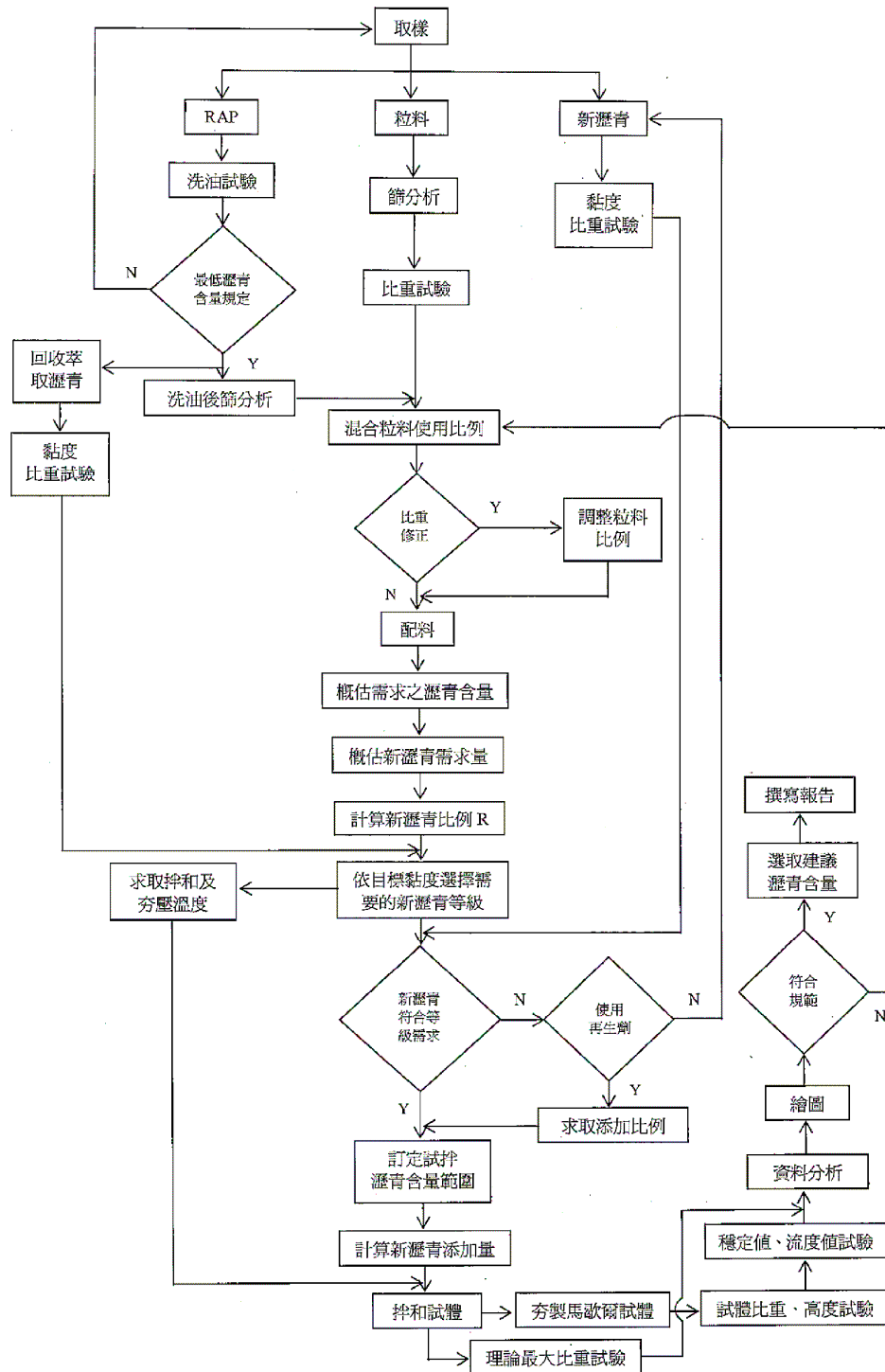


圖 5.6 轉爐石再生瀝青混凝土之配合設計流程圖

5.5.6 建議瀝青含量之選取範例

轉爐石再生瀝青混凝土配合設計於建議瀝青含量之選取原則與轉爐石密級配瀝青混凝土配合設計相同，請參照 5.3.6 節範例。

5.6 試拌

所得之轉爐石瀝青混凝土配合設計結果應在實際施工作業前，以實際使用之材料及比例進行試拌與試鋪，驗證各項配合設計結果之性質是否與試驗室內之結果相符，以及是否符合施工作業之需要，且轉爐石瀝青混凝土之各項重要性質應符合要求方能採用，否則應修正配合設計後再進行試拌及試鋪至符合要求。

參考文獻

- 5.1. The Asphalt Institute , AI MS-2 【Mix Design Methods for Asphalt Concrete】 , 6th edition.
- 5.2. 公共工程施工綱要規範第 02797 章【排水性改質瀝青混凝土鋪面】。
- 5.3. The Asphalt Institute , AI MS-20 【Asphalt Hot-Mix Recycling】 , 2nd edition.
- 5.4. 中聯資源股份有限公司（台灣世曦工程顧問股份有限公司承辦）【轉爐石應用於密級配與多孔隙瀝青混凝土性質之綜合研究】期末報告,2009 年 9 月。
- 5.5. 公共工程施工綱要規範第 02796 章【密級配改質瀝青混凝土鋪面】。

第六章 轉爐石瀝青混凝土之產製、運輸及施工

6.1 一般原則

本章相關規範適用於轉爐石瀝青混凝土，係指將加熱之轉爐石粗粒料、細粒料，瀝青膠泥、及乾燥之礦物填縫料等，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，按本章之規定或依工程司之指示，分一層或數層鋪築於面層或磨擦層上，滾壓至所規定之壓實度而成者。

6.2 轉爐石瀝青混凝土之產製

6.2.1 粒料之管制

1. 同一般天然粒料不同批次及不同尺寸的粒料應分隔堆放，防止混合，且應按施工技術規範的要求進行檢驗^[6.1]。
2. 粒料堆放時為了防止析離，應分層堆置且坡度應小於 1：3。
3. 粒料堆置場所場地應清潔堅固，並有良好的排水措施及注意粒料的含水量。

6.2.2 瀝青膠泥之管制

1. 儲存槽容量：儲存槽可分為直立式與臥式兩種，其大小約在 30 (TONS) ~ 60 (TONS) 之間，分槽儲放，總儲存量最少應為最大產能之三天使用量。
2. 加溫設備：一般有電熱棒加溫及燃燒熱煤油循環間接加熱兩大類，使用電熱棒加溫需採用間接加熱。加熱設備需有定溫定時裝置，以便自動啟閉。
3. 保溫裝置：每一儲槽及其連接管線之外部，均需包裹有包溫材料，並設有自動控制之恆溫設備。
4. 輸送管路：使用多種瀝青膠泥等級，其輸送管線最好能分開使用，避免管線內殘留其他種類之瀝青膠泥。
5. 瀝青保溫期間：瀝青膠泥之儲存以不超過 30 天為宜，若遇較長時間沒有使用，應適當降低保溫溫度，以防長期高溫造成瀝青膠泥劣化。

6.2.3 拌和廠生產管制 ^[6.2]

1. 生產熱拌瀝青混凝土時，需根據冷料篩分析的結果進行配比調整，以達到最接近工作拌合公式的比例為原則，進行進料加熱作業。
2. 拌合廠在正式出料前需對冷料流量進行量測。即在固定時間下以改變輸送帶之轉速進行量測，並以此繪製流量表以作為進料控制的依據。
3. 粒料在經過加熱滾筒加熱後，經由提升機進入震動篩網，進行篩分作業後，再分別進入熱料倉暫存。此時的熱料需再次取樣進行篩分析試驗，以瞭解各熱料倉內的粒料組成，並進行試算作業，以調整出最接近工作拌合公式的熱料用量。

6.2.4 轉爐石瀝青混凝土混合料之拌和 ^[6.3]

1. 瀝青材料之加熱

瀝青材料應在廠內加熱，其溫度應由黏度試驗決定之。瀝青之一般加熱溫度可參考表 6.1，惟除情況特殊經工程司核可者外，密級配不得超過 163℃，開放級配不得超過 120℃。

表6.1 瀝青加熱溫度

瀝青膠泥之種類及等級		雙軸拌和機內瀝青混合料之溫度℃	
		密級配	開放級配
原始黏度等級	AC- 5	120~145	80~120
	AC-10	120~155	80~120
	AC-20	130~165	80~120
	AC-40	130~170	80~120
殘餘黏度等級	AR-4000	135~165	80~120
	AR-8000	135~165	80~120
針入度等級	60-70	130~170	80~120
	85-100	120~165	80~120
	120-150	120~155	80~120

2. 粒料之加熱

- (1). 粗、細粒料在送入拌和機之前，均應烘乾加熱，其進入拌和機之溫度為 135℃~163℃，且均應超過瀝青之溫度，其實際使用溫度由工程司決定之，惟粒料與瀝青拌和時之溫度，彼此相差不得超過 10℃。

- (2). 粗、細粒料可同時送入乾燥爐內烘熱。烘熱後之粒料，應按工程司所規定之尺度，以篩網篩分後，分別送入熱斗中備用。

3. 拌和

- (1). 各種大小不同之粒料、填充料及瀝青材料，應依工地拌和公式所規定之比例，分別以重量比準確配合之。
- (2). 以分盤式拌和機拌和時，其濕拌時間不得超過 50 秒。
- (3). 以連續式拌和機拌和時，除另有規定者外，其拌和時間應依下列公式按重量法決定之。
- (4). 拌和時間（秒）= [拌和機之載重量（kg）] ÷ [拌和機之出口量（kg/s）]
- (5). 式中重量由工程司在工地作試驗決定之，惟無論如何，在連續式拌和機內拌和之時間不得超過 60 秒。
- (6). 瀝青混凝土混合料自拌和廠輸出時之溫度。一切過熱或溫度不足之混合料或混合料發生泡沫現象或顯示含有水份時，均應立即拋棄，不得使用。

6.3 轉爐石瀝青混凝土之運輸

1. 拌妥之轉爐石瀝青混凝土混合料，應以自動傾卸式卡車或其他適當之車輛運至工地鋪築。其數量應依瀝青拌和廠至工地間之運距而定，其總運輸量，應能與瀝青拌和廠之生產量及瀝青鋪築機之工作量互相配合，務使瀝青鋪築機能連續操作而不致延擱為原則。
2. 所用卡車之車箱內，應清潔、緊密、光滑，並應先塗一薄層肥皂溶液、石臘油或其他工程司認可之潤滑材料，以免轉爐石瀝青混凝土混合料黏附卡車上，不可使用柴油等石油類製品做為潤滑劑。
3. 運送時應以帆布或其他適當之遮蓋物覆蓋保溫，以防轉爐石瀝青混凝土混合料之溫度降低。
4. 除經工程司同意使用適當之照明設備施工者外，通常當天由拌和廠運至工地鋪築之轉爐石瀝青混凝土混合料之數量，務以天黑收工前能全部鋪築，並予滾壓完成者為限。
5. 轉爐石瀝青混凝土混合料，如在運送途中遇雨淋濕時，應即拋棄，不得再行使用。

6.4 轉爐石瀝青混凝土之施工

6.4.1 準備工作

1. 施工氣候

瀝青混凝土應於晴天及施工地點之氣溫在 10℃ 以上，且底層、基層、路基或原有路面乾燥無積水現象時，方可鋪築。霧天及雨天不得施工。

2. 施工機具

所有施工設備及機具，均應經工程司之檢查核可，並應經常加以適當之保養，俾能始終維持良好之狀態，順利完成工作。

3. 瀝青拌和廠

瀝青混凝土混合料，可用分盤式拌和廠（Batching Plant）、連續式拌和廠（Continuous Mixing Plant）或乾鼓式拌和廠（Dryer Drum Mixer）拌和，惟無論使用何種型式之拌和廠，應以能按配合設計所定之配合比例準確計量所需之各種材料，並將其拌和均勻者為合格。

4. 瀝青混合料之過磅要點

瀝青拌和廠拌合轉爐石瀝青混合料或生產中斷了一段時間後重新生產時，均應依據設計配比進行試拌作業。當通過試拌及抽樣試驗確定能生產出符合配比要求之瀝青混合料後方可正式生產。試拌作業基本上需進行下列管控項目：

- (1). 應依據工作拌合公式的要求，先以冷料調配出適當的進料量來進行粒料加熱，再以熱料調配出接近工作拌合公式的熱料用量。
- (2). 瀝青混合料按照熱料配比的粒料及瀝青膠泥用量，進行量秤試拌，試拌後取樣進行相關的馬歇爾試驗，並將其試驗值與配比設計值進行比較，以驗證配比設計瀝青用量的合理性，必要時可做適當的調整。
- (3). 確定適宜的拌合及出料溫度。控制瀝青混合料拌合及出廠溫度是混合料品質管制的重要因素。

5. 瀝青混合料之過磅要點

- (1). 瀝青拌和廠應設有卡車地磅及秤重房。

- (2). 地磅切實安裝於穩固之基礎上，並應經常保持水平及垂直之狀態。
- (3). 所有秤重設備應備有調整裝置，以便任何部分有偏差或逸出準線時，能迅速重予調整或定向，俾能發揮正常功用。
- (4). 地磅平台應有足夠之長度與寬度，以容納任何卡車，或能一次秤量可能用以運送瀝青混合料之全套搬運設備。
- (5). 地磅在瀝青拌和廠開始運轉之前，應經業主檢驗，此後每日應以工程司核可之方法予以檢驗。
- (6). 秤重房須有防風及防雨之設備，秤重紀錄機應予適當之保護。

6. 轉爐石瀝青混合料試鋪

轉爐石瀝青混凝土鋪面在進行正式施工前，應執行「試做」作業，從中瞭解施工過程的各個環節是否能達到預期的目標，進而修正各項施工缺失以確保施工品質能符合業主之需求。

- (1). 為了確實反應施工期間可能遇到的所有問題，在選擇試鋪地點時，盡可能選擇在施工位置處，如無法在施工位置上試鋪，亦需盡可能模擬出與工地相同之工作條件。
- (2). 轉爐石粒料比天然粒料較為堅硬且比重高，因此於鋪築時應視現場狀況調整轉爐石瀝青混合料之鬆方比，以確保鋪築厚度，一般轉爐石瀝青混合料鬆方比約 1.12~1.20（依轉爐石添加量）。
- (3). 施工中，應視鋪裝機動力而調整鋪築厚度以達設計要求。
- (4). 橫向及縱向接縫施工時，應考量轉爐石材料特性之影響，避免施工後於接縫處產生高低差。
- (5). 轉爐石瀝青混合料鋪築時，經工程司核可，依現場狀況調整滾壓能量與次數，以確保工程品質^[6.4]。

6.4.2 施工方法

1. 鋪築路段之整理與清掃

- (1). 鋪築轉爐石瀝青混凝土路面之路段，在施工前，其底層、基層、路基或原有路面應按下列規定予以整修及清掃，使其符合設計圖說所示之線形、坡度及橫斷面。

- (2). 如有坑洞或低陷不平之處，應先將其一切浮鬆材料移除，並以相同之材料按規定填補整修後，予以滾壓堅實。
- (3). 如表面有隆起或波紋之處，應將其刮平並予滾壓，務使平順堅實。
- (4). 如原有路面有冒油，不適當之修補或有接縫，裂縫等之灌縫料時，應予以清除潔淨，經工程司查核後，以瀝青混凝土混合料填補，並予滾壓或以手夯或其他適當方法夯實。
- (5). 上列各項工作完成後，應以清掃機或竹帚將表面浮鬆塵土及其他雜物清掃潔淨，清掃寬度至少應較路面鋪築寬度每邊各多 30cm。

2. 瀝青透層或黏層之澆鋪

如有瀝青透層或黏層之設計時，其施工應按行政院公共工程委員會一般公路工程施工綱要規範第 02745 章「瀝青透層」及第 02747 章「瀝青黏層」之規定辦理。

3. 轉爐石瀝青混凝土混合料之鋪築

- (1). 轉爐石瀝青混凝土混合料應以瀝青鋪築機鋪築。瀝青鋪築機必須能自動調整行駛速度、鋪築厚度及寬度者，其作業手應由訓練有素及富有經驗者擔任。
- (2). 鋪築前，應先測訂準線，俾使鋪築機在鋪築時有所依據，而鋪成平整之路面。
- (3). 緣石、邊溝、人孔、原有面層之垂直切面及建築物之表面與瀝青混凝土混合料相接合處，應全部均勻塗刷速凝油溶瀝青或乳化瀝青一薄層，使有良好之結合。
- (4). 鋪築機之速度，必須妥為控制，鋪築時瀝青混合料不得有析離現象（Segregation）發生，並使完成後之表面均勻平整，經壓實後能符合設計圖說所示之線形、坡度及橫斷面。如有析離現象時，應立即停止鋪築工作，並查明原因予以適當之校正後，始可繼續施工。
- (5). 瀝青混合料倒入鋪築機鋪築時之溫度，由工程司查核之，不得低於 120℃。
- (6). 鋪築工作應儘可能連續進行，不宜時斷時續。在鋪築機後面，應配有足夠之鏟手及耙手等熟練工人，俾於鋪築中發現有任何瑕疵時，能在壓實前予以適當之修正。
- (7). 鋪築機不能到達而需用人工鋪築之處，應先將瀝青混合料堆放於鐵板上，然後由熟練工人用熱工具鏟入耙平均鋪築，使其有適當之鬆厚度，俾能於壓實後達到所規定之厚度及縱橫坡度。瀝青混合料如結成團狀，須先予搗碎後，方能使用。
- (8). 上述工具之加熱溫度，不得高於瀝青混合料之鋪築溫度，僅使瀝青材料不黏著即可。
- (9). 轉爐石瀝青混凝土路面如係分層鋪築時，應於鋪築前兩小時內，先將前一層之表面清理

潔淨，並依規定均勻噴灑黏層，並由工程司進行查核，以增強二層間之黏結。

(10).轉爐石瀝青混凝土路面分層鋪築時，其各層縱橫接縫，不得築在同一垂直面上。如為雙車道時，路面頂層之縱向接縫，宜接近路面之中心位置，兩車道以上時，宜接近分道線。

(11).工作人員進入施工中之路面工作時，應穿乾淨之靴鞋，以免將泥土及其他雜物帶入瀝青混合料中。施工中間雜人等，應嚴禁入內。

4. 轉爐石瀝青混凝土混合料之滾壓

(1). 滾壓順序

瀝青混凝土混合料鋪設後，應以適當之壓路機滾壓，直至均勻並達到所需之壓實度時為止。滾壓分為下列步驟：

- A. 橫向接縫。
- B. 縱向接縫。
- C. 車道外側邊緣。
- D. 車道。

(2). 滾壓方法

- A. 瀝青混凝土混合料鋪設後，當其能承載壓路機而不致發生過度位移或毛細裂縫（Hair Cracking）時，應即開始初壓。滾壓時，壓路機應緊隨鋪築機之後，其距離通常不超過60m。
- B. 滾壓應自車道外側邊緣開始，再逐漸移向路中心，滾壓方向應與路中心線平行，每次重疊後輪之半。在曲線超高處，滾壓應自低側開始，逐漸移向高側。
- C. 滾壓時，壓路機之驅動輪須朝向鋪築機，並與鋪築機同方向進行，然後順原路退回至堅固之路面處，始可移動滾壓位置，再向鋪築機方向進行滾壓。每次滾壓之長度應略有參差。壓路機應經常保持良好之情況，以免滾壓工作中斷。
- D. 壓路機之鐵輪應以水保持濕潤，以免瀝青混合料黏附輪上，但水份不得過多，以免流滴於瀝青混合料內。
- E. 鐵輪壓路機之滾壓速度，用於初壓時每小時不得超過3km，其餘每小時不得超過5km。
- F. 在任何情形下，滾壓速度均應緩慢，且不得在滾壓路段急轉彎、緊急煞車或中途突然反向滾壓，以免瀝青混合料發生位移。

- G. 不論任何原因，如發生位移時，均應立即以熱齒耙耙平，或挖除後換鋪新瀝青混合料予以改正。
- H. 壓路機不能到達之處，應以熱鐵夯充分夯實，鐵夯之重量不得少於 11kg，夯面不得大於 320cm²。
- I. 路面之厚度、路拱、縱坡及表面平整度等，均由工程司於初壓後查核之，如有厚度不足、高低不平、粒料析離及其他不良現象時，均應於此時修補或挖除重鋪及重新滾壓，直至檢查合格時為止。
- J. 緊隨初壓之後，以膠輪壓路機依上述方法滾壓至少 4 遍，務使瀝青混凝土混合料達到規定密度時為止；滾壓速度，每小時不得超過 5km，通常其與初壓壓路機之距離為 60m，滾壓時瀝青混合料之溫度約為 82°C~100°C。
- K. 最後以 6~8t 二輪壓路機在路面仍舊溫暖時再行滾壓，直至路面平整及無輪痕時為止。滾壓時，瀝青混合料之溫度不得低於 65°C。
- L. 滾壓時，如發現瀝青混合料有鬆動、破裂、混有雜物或其他任何缺陷時，應立即予以挖除，並換填新瀝青混合料後，加以滾壓，使其與周圍鄰近路面具有同等堅實之程度。
- M. 滾壓時，應儘可能使整段路面得到均勻之壓實度。
- N. 滾壓後之路面，應符合設計圖說所示之路拱、高程及規定平整度。如有孔隙、蜂窩及粒料集中等紋理不均勻現象，應於滾壓時及時處理，否則應予挖除，並重鋪新料重壓。
- O. 壓路機與重型機械，在新鋪路面尚未滾壓完成前，不得停留其上，或在其上移位煞車。

(3). 接縫

- A. 所有接縫於施工時，均應特別小心，充分壓實，使其有平直整齊之接縫表面並與路面其他部位之瀝青混凝土有同樣結構及密度。
- B. 除彎道處之縱向接縫外，所有接縫應成平直之直線，橫向接縫並應儘量與路中心線成垂直，除使用模板者外，所有已冷卻之接縫接合面均應切成平整之垂直面。
- C. 接縫接合面應清刷潔淨除去一切鬆動材料後，塗刷一層黏層材料。
- D. 鋪築時，鋪築機應置於能使瀝青混合料緊密擠塞於接縫垂直接合面之處，並使其有適當之厚度，俾於壓實後，能與鄰接路面齊平。

(4). 邊緣

A. 瀝青混凝土之邊緣，如不用木料支撐時，應稍予鋪高並以熱夯充分夯緊，使能承受壓路機之輪重後，立即開始滾壓。滾壓時，壓路機之後輪應伸出邊緣 5~10cm。

B. 如瀝青混凝土路面與緣石或邊溝接壤時，其鋪築及滾壓工作應特別小心，以免損及緣石及邊溝。

(5). 路肩

如路肩不鋪面層時，路肩料應俟瀝青混凝土面層滾壓完成後，儘速鋪築。

參考文獻

- 6.1. 「轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之長期成效評估計畫－（中聯台中廠及中龍鋼鐵廠區內試鋪道路）期中報告」（2010），中聯資源股份有限公司。
- 6.2. 林植峰，「瀝青混凝土路面施工品質管理－以雪山隧道為例」（2007），碩士論文，國立中央大學土木研究所，桃園。
- 6.3. 「公共工程施工綱要規範第 02742 章【瀝青混凝土鋪面】」，行政院公共工程委員會。
- 6.4. 「利用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」（2007），中聯資源股份有限公司。

第七章 轉爐石瀝青混凝土之品質管理

7.1 材料之品質管理 [7.1] [7.2]

7.1.1 瀝青材料

用於轉爐石瀝青混凝土鋪面之瀝青材料，如表 7.1 所示。瀝青材料實際所用種類及等級，應依設計圖之規定，或依工程司之指示辦理。

表7.1 轉爐石瀝青混凝土所用瀝青膠泥

瀝青膠泥之 種類及等級		路面分類（面層底層）					
		公路/街道	停車場	私用道路	工廠鋪面	街坊	緣石
原始黏度等級	AC-10	V	V	V			
	AC-20	V	V	V	V		
	AC-40	V	V	V	V	V	V
殘餘黏度等級	AR-4000	V	V	V			
	AR-8000	V	V	V	V		V
針入度等級	60-70	V	V	V	V	V	V
	85-100	V	V	V			
改質瀝青	型Ⅲ	V	V	V	V		V

表7.2 瀝青材料之相關試驗

試驗項目	試驗方法	
	AASHTO	CNS
黏度	T201, T202	
針入度	T49	10090
閃火點	T48	3775
薄膜加熱	T179	10093
滾動薄膜加熱	T240	
延性	T51	10091
溶解度	T44	10092
比重	T228	
軟化點	T53	2486
韌性		
彈性恢復力		10091

7.1.2 粒料

1. 粗粒料

- (1). 轉爐石粗粒料停留於 2.36mm (8 號) 篩上者，須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨，且級配需依照 **CNS 14602** 或 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」規定或者施工規範(於熱拌瀝青混凝土，應參考單一粒度之煉鋼爐碴標準)，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，並應具有與瀝青材料混合後，雖遇水而瀝青不致剝落之性能。
- (2). 轉爐石粗粒料其餘性質要求如表 7.3 所示。
- (3). 轉爐石粗粒料依[CNS 1167][AASHTO T104]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健性試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 12%；硫酸鎂溶液之方法其重量損失不得大於 18%。
- (4). 轉爐石粗粒料應依尺度大小分別堆放，並應避免互相混雜，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。

表7.3 轉爐石粗粒料規範表

品質要求項目	規範值
健性 (硫酸鈉)	< 12%
(硫酸鎂)	< 18%
洛杉磯磨損率	30% 以下
浸水膨脹比	2% 以下
吸水率	3% 以下
面乾內飽和比重	2.45 以上

2. 細粒料

- (1). 轉爐石細粒料指通過 2.36mm (8 號) 篩者或包括石屑、天然砂或兩者之混合物，須潔淨、質地堅硬、緻密、顆粒富有稜角、表面粗糙及不含有有機土、黏土、黏土質沉泥、有機物、其他不礙本工程之品質及功能之有害物，且導入拌和機時不得有結塊之情形。
- (2). 細粒料依[CNS 1167][AASHTO T104]試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健性試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 15%。

(3). 細粒料其餘性質要求如表 7.4 所示。

(4). 如需用二種以上不同來源之細粒料時，應分別堆放，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在粒料堆放場所混合。

表7.4 轉爐石細粒料規範表

試驗方式	規範值
健性 (硫酸鈉)	< 15%
(硫酸鎂)	< 20%
稜角率	> 45%
液限	< 25%
塑性指數	無塑性

表7.5 粒料之相關試驗

試驗項目	試驗方法		
參考規範	AASHTO	CNS	ASTM
粒料之取樣	T2	485 A3004	—
粗粒料磨損試驗	T96	490 A3009 (<37.5mm)	—
		3408 A3059 (>19.0mm)	—
粒料單位重量標準試驗	T19	1163 A3027	—
粒料健度試驗	T104	1167 A3031	—
粗、細粒料篩分析	T27	486 A3005	—
礦物填縫料篩分析	T37	5265 A3094	—
粗粒料比重，吸水率	T85	488 A3007	—
細粒料比重，吸水率	T133	—	—
細粒料比重，吸水率	T84	487 A3006	—
含砂當量試驗	T176	—	—
粗粒料扁平率	—	—	D 4791

3. 礦物填縫料 (mineral filler)

(1). 本工程所稱礦物填縫料，係指通過 0.60mm (30 號) 篩之細料，於粗、細粒料經混合結果缺少通過 0.075mm (200 號) 篩之材料時使用之。

(2). 礦物填縫料可用完全乾燥之石灰、石粉末或水泥；或其他經工程司認可之塑性指數小於 4 之無機物粉末，惟不得含有塊狀物，其級配應符合表 7.6 之規定。

表7.6 礦物填縫料級配表

試驗篩 (mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率
0.60 (No. 30)	100
0.30 (No. 50)	95~100
0.075 (No.200)	70~100

7.2 轉爐石瀝青混凝土之品質管理

7.2.1 瀝青混凝土之混合料

1. 瀝青混凝土面層施築 1 個月前，應由承包商將各項用料採取代表性樣品送往實驗機構辦理配合設計試驗，並據以生產拌和料。
2. 瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配，係因所採用之路面厚度設計方法之不同而異，故承包商所提供之粒料，應符合設計圖說之級配要求，未經工程司之書面許可，不得使用他類級配之粒料。
3. 如設計圖說內未規定粒料之級配時，由工程司根據設計者之設計方法指定之，承包商應即照辦。
4. 經混合後之粒料，其級配之變化，不得自某一篩號之下限，驟變為相鄰篩號之上限，反之亦然，其含砂當量，用於面層者不得少於 50。
5. 瀝青混凝土所用粒料經混合後之級配及其瀝青含量，依設計圖說之規定。

表7.7 瀝青混合料之試驗

試驗項目	試驗方法		
	AASHTO	ASTM	CNS
配合設計 (AI MS-2)	T245, T246		
垂流試驗	T305		
瀝青混合料最大理論密度	T209	8758 A3150	
瀝青含量抽油及粒料篩分析	T164、T30	D2172	
包裹及剝脫試驗	T182	D2489、D3625	
浸壓試驗	T167, T283 (或用馬歇爾方法)	D4867	
拌和廠駐廠試驗	T172	D290	
壓實度試驗	T230		
瀝青鋪面混合料用鋼爐渣試驗			將公告

7.2.2 現場之品質管理

1. 施工中，每天應依 AASHTO T172 方法取樣抽驗未經滾壓之瀝青混凝土混合料至少 2 次，除另有規定者外，其試驗結果與工地拌和公式之許可差，不得超過表 7.8 之規定。
2. 如經試驗及檢測結果，其壓實度、平整度或厚度未能符合規定時，應即挖除，並就所用材料、施工機具及施工方法等加以檢討改正後，重新鋪築，直至符合規定時為止，否則不得繼續施工。
3. 瀝青混凝土於最後滾壓完成後，在鋪面溫度冷卻至 50°C 前，應禁止任何車輛行駛其上。

表 7.8 瀝青混凝土混合料每一試樣之各項許可差

篩 分 析 通 過 試 驗 篩 mm (in)	許可差百分率
12.5 及 12.5 以上 (1/2in 及 1/2in 以上) 之試驗篩	±8
9.5 及 4.75 (3/8in 及 No.4)	±7
2.36 及 1.18 (No.8 及 No.16)	±6
0.60 及 0.30 (No.30 及 No.50)	±5
0.15 (No.100)	±4
0.075 (No.200)	±3
瀝青含量，% (以瀝青混合料之總重量計算)	±0.5

7.3 檢驗要點

1. 粒料依 **CNS 490**、**CNS 14602**、**CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴」，經洛杉磯磨損試驗 500 轉後之磨損率，用於面層、底層、聯結層、整平層、磨耗層等，不得大於 30%，檢驗頻率為 500M³ 做一次。
2. 壓實度
 - (1). 工地密度可利用核子儀依 **ASTM D2950** 試驗方法或鑽取試樣求之。
 - (2). 壓實度未能符合規定時之處理辦法，應依設計圖說或其他契約文件之有關規定辦理。
3. 平整度
 - (1). 完成後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。以 3m 長之直規沿平行於或垂直於路中心線之方向檢測時，其任何一點高低差，面層不得超過±0.6cm，平整度標準差 (S) 不得大於 0.26cm。

(2). 所有高低差超過上述規定部分，應由承包商改善至合格為止。

(3). 所有微小之高凸處、接縫及蜂巢表面，均應以熱燙板燙平。

4. 鋪築厚度

(1). 路面完成後，每 1,000m² 應鑽取一件樣品，依 **CNS 8755** 之試驗法，檢測其厚度，檢測位置以隨機方法決定。所留試洞於檢測後，應即以適當材料回填並予夯實。

(2). 路面厚度之許可差應按下列規定辦理。

A. 許可差：厚度檢測結果，任何一點之厚度不得少於設計厚度 1cm 以上，其全數之平均不得少於設計厚度 0.5cm 以上。

B. 超出許可差時之處理辦法依設計圖說規定。

參考文獻

7.1. 「公共工程施工綱要規範第 02742 章【瀝青混凝土鋪面】」，行政院公共工程委員會。

7.2. 「中華民國國家標準」，經濟部標準檢驗局。

第八章 瀝青混凝土鋪面工程使用轉爐石應注意事項

8.1 一般原則

轉爐石係中鋼公司在煉鋼過程中所產生之副產品，基於道路工程砂石粒料日益短缺及落實公共工程資源再利用政策，轉爐石應用於鋪面工程，在中華民國國家標準已將轉爐石列入規範 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」，本手冊於前述各章已針對基本性質、配合設計、施工過程及應用範圍等內容，提出詳細之敘述。轉爐石作為瀝青混凝土鋪面材料時，其鋪面工程設計之方法及步驟與傳統瀝青混凝土類似，本章係綜合前述各章再提列使用轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面工程時所需之條件限制及注意事項等，作綱要性說明，期望有助於業界參酌應用。

8.2 轉爐石瀝青混凝土之定義及範圍

瀝青混凝土採用轉爐石取代天然或刨除粗細粒料與瀝青材料拌和之瀝青混合料，均稱之為「轉爐石瀝青混凝土」。在選用轉爐石時，需符合 **CNS 15310**「瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料」之規定。

8.3 轉爐石之材料特性

轉爐石粒料本身之物理性質與天然碎石近似，轉爐石之化學特性及礦物組成與卜特蘭水泥相似。其主要特性如下：

1. 比重：天然粒料之比重約介於 2.50-2.65 之間，轉爐石中含有超過 50% 之金屬氧化物且含鐵成分較高，因此比重比天然粒料大^[8,2]。
2. 扁平率：粗粒料扁平率分為 1：3 及 1：5 兩種比例，測定粗粒料扁平率需依 **ASTM 4791** 規範辦理，轉爐石顆粒形狀接近方形或圓形，轉爐石較天然碎石具有相當低的扁平率。
3. 耐磨性 (durability)：轉爐石表面堅硬、抗磨損能力佳，可抵抗風化 (weathering) 及侵蝕。
4. 持熱能力 (heat retention)：轉爐石對保留熱之功能比一般天然粒料佳，適合在運輸時間

比較久或運輸距離比較長的瀝青混凝土鋪面工程。

5. 抗剝脫能力：轉爐石因有 CaO 存在，可以有效增加瀝青混凝土抵抗剝脫能力。
6. 吸油率（absorption）：轉爐石之吸油能力比一般天然粒料稍微高一些。
7. 吸水率：轉爐石屬於多孔隙材料，因有比較粗糙之表面且毛細孔（pores）比一般天然粒料多，使得水滯留在毛細孔量比較多，使用時應符合 **CNS 14602** 所列鋼渣吸水率需小於 3% 之規定。
8. 健性：轉爐石健性值較低，使用時仍須符合 **CNS** 有關健性之規定。對於粗粒料，使用硫酸鈉溶液試驗時須小於 12%，使用硫酸鎂溶液試驗時須小於 18%；對於細粒料，使用硫酸鈉溶液試驗時須小於 15%，使用硫酸鎂溶液試驗時須小於 20%。
9. 岩性：轉爐石粒料應進行成分分析，以確定材料變異性。特別不應有明顯的石灰或相關氧化物結塊物存在。
10. 膨脹性：轉爐石有膨脹疑慮時，供料廠商依 **CNS 15311**「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」測試並提供試驗報告，若業主對試驗報告不滿意時，則依 **CNS 15306**「瀝青混凝土鋪面混合料受水分影響試驗法」測試 **TSR 張力強度** 比須大於 75%。
11. 轉爐石與瀝青黏結料混合成瀝青混合料，綜合本手冊之敘述，具有下列優良特性：穩定值高、高摩擦力、高儲熱性、抵抗剝脫、車轍之能力。

8.4 轉爐石瀝青混凝土較佳添加量之選定

目前國內轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面，依據國內外文獻、國內試驗室模擬成效試驗及實際現場鋪設，計有密級配、排水性級配、再生級配，就瀝青混凝土鋪面重要之穩定值、摩擦力、抗車轍等各項成效因素，茲就上述三種粒料級配添加轉爐石，擬定最佳添加量之原則供參考。

1. 再生瀝青混凝土添加轉爐石比例

- (1). 再生瀝青混凝土添加轉爐石，粗粒料添加越多，工程性質越佳，以取代總粒料重量 60% 為最佳^[8.5]，惟依據行政院公共工程委員會發佈「國內各工程單位使用熱拌再生瀝青混凝土之作業要點」，現行規定再生瀝青混合料不得超過整體瀝青混合料 40%，在轉爐石施

行規範未公佈前，以轉爐石取代瀝青混合料時，暫時歸類為再生粒料，總共再生粒料設計比例亦需符合規定。

- (2). 轉爐石與再生回收料合併取代比例不得超過總粒料比例 40%，建議較佳比例以添加 20% 刨除料及 20% 轉爐石為之。
2. 排水瀝青混凝土添加轉爐石比例

排水瀝青混合料添加轉爐石，粗粒料添加越多，工程性質越佳，以取代總粒料重量 60% 為最佳，為依據前項說明，建議在不熟悉轉爐石此材料性質前，轉爐石取代比例以不超過總粒料比例 40% 為原則，以符合現行規定。

3. 密級配瀝青混凝土添加轉爐石比例

密級配瀝青混合料添加轉爐石，粗粒料添加越多，工程性質越佳，取代總粒料比例 55%~60%，其各項成效最佳^[8.6]，惟依現行規定，轉爐石取代比例建議不超過總粒料比例 40% 為原則。

8.5 轉爐石瀝青混凝土鋪面應注意事項

8.5.1 鋪面設計應注意事項

轉爐石是一適用於瀝青混凝土之材料，與其他粒料混合時，轉爐石與天然粒料均做相同處理方式及試驗標準。但其材料基本特性不同，設計方法選定前，需注意下列作法。

1. 鋪面工程司在道路規劃設計階段，應明確規範鋪面層級配、粒徑尺寸、轉爐石使用量。
2. 轉爐石粒料添加數量及費用，需於工程契約或預算書內註明運送方式及運輸費用。
3. 惟依據行政院公共工程委員會發佈之「國內各工程單位使用熱拌再生瀝青混凝土之作業要點」，規定再生瀝青混合料不得超過整體瀝青混合料 40%，以轉爐石取代瀝青混合料時，亦歸類為再生粒料，總共再生粒料設計比例亦需符合規定。
4. 轉爐石瀝青混合料鋪設時，如同一般天然粒料瀝青混合料，需衡量交通量來取決轉爐石的添加用量，以避免因含油量過高而造成路面冒油現象^[8.3, 8.4]。
5. 工程設計時，需於工程施工設計圖註明轉爐石粒料取代比例。轉爐石粒料由於粒型較方正，鋪築時密度可能比傳統瀝青混凝土高，轉爐石設計添加比例大於 20% 時，必須考慮

鬆實方修正。

8.5.2 配合設計應注意事項

1. 一般原則：

- (1) 瀝青混凝土的配合設計過程係以重量比為基準，但是轉爐石的比重較重，則需要以體積法作為配合設計標準。
- (2) 瀝青混合料粒料添加轉爐石粒料，添加比例小於 40% 時，最佳瀝青含量與傳統瀝青混合料類似，添加比例大於 40% 時，建議最佳瀝青含量降低 0.2%-0.3%，但須考量 V.M.A 及 V.F.A 等性質，避免因瀝青含量降低，減少附著於粒料表面之瀝青薄膜，建議可選擇較高黏度之瀝青膠泥。
- (3) 轉爐石瀝青混凝土鋪面工程設計依據，仍須依據公共工程施工綱要規範第 02742 章瀝青混凝土鋪面修訂版規定，依據道路交通量、粒料最大標稱直徑、轉爐石粒料性質等因素，進行適用之轉爐石瀝青混凝土配合設計。
- (4) 承包商應於施工前，根據所規定之材料種類作配合設計，並經各項試驗選定工地拌合公式（Job Mix Formula）後，送請工程司核可，以決定瀝青材料及粒料之用量。
- (5) 根據配合設計所決定之最佳含油量所求得之各項試驗值，轉爐石瀝青混凝土之滯留強度指數（Retained Strength Index）應依〔ASTM D1075 D4867〕〔ASSHTO T283〕試驗達到 75% 以上。

2. 排水性瀝青混凝土：

- (1). 在排水性瀝青混凝土混合料中添加之纖維類材料，主要包括有木質纖維與礦物纖維等。選用任一種纖維類材料之使用量需依照垂流試驗決定。高黏度改質瀝青經試驗不產生垂流現象者，可不添加纖維穩定劑。
- (2). 轉爐石由於具多孔性，添加於排水性瀝青混凝土可能導致計算之最佳瀝青含量偏高，避免鋪築後產生冒油現象。轉爐石添加於排水級配瀝青混合料，仍須添加纖維，以防止拌合過程發生瀝青垂流現象。粒料被瀝青包覆的瀝青薄膜厚度：若無指定或適合的數值則設計 14 μ m；若轉爐石取代粗粒料比例大於 40% 者，瀝青薄膜厚度建議設計 12 μ m。

- (3). 排水瀝青混合料添加轉爐石，同一般天然粒料，需使用較高黏度之瀝青黏結料，以有效包裹轉爐石及天然粒料，提供較佳抵抗車轍及較佳抵抗疲勞之性能。

3 再生瀝青混凝土：

再生瀝青混凝土由於來源品質較難控制，如同天然粒料，添加轉爐石之再生瀝青混凝土最佳含油量不宜過高，以免產生冒油現象。

4.密級配瀝青混凝土：

- (1). 在相同級配規格下，調配較緻密之級配組成。
- (2). 依現行密級配配合設計機制所得之最佳瀝青含量，轉爐石添加比例超過 40%時，可降低約 0.3%瀝青用量。
- (3). 轉爐石取代粗粒料比例達粒料總量之 40%者，VMA 之規定最小值可降低 1%
- (4). 轉爐石使用於密級配瀝青混凝土可使用較高黏度之瀝青黏結材，可增加瀝青混合料各項成效。

8.6 轉爐石瀝青混凝土鋪面品質管制應注意事項

8.6.1 拌和階段

1. 轉爐石瀝青混凝土拌合生產前，應查驗拌合設備是否足以應付生產所需，依據試驗室配合設計之拌合公式，以拌合廠設備進行廠拌。工程單位須委託專業人員駐廠與現地檢驗材料、設備之定期檢驗及施工過程督導，確保轉爐石瀝青混凝土之施工品質。
2. 轉爐石瀝青混凝土拌合生產過程，包括拌合順序、乾溼拌合時間、拌合溫度等與傳統瀝青混凝土相同。轉爐石本身具親油特性，拌合過程中容易完成瀝青包裹，但由於顏色外觀可能誤判已拌合均勻而縮短拌合時間。為了拌合均勻性考量，拌合時間仍應符合第 02741 章瀝青混凝土之一般要求中 3.3.1 節，乾拌及濕拌時間規定。
3. 轉爐石瀝青混凝土比重大，每單位重量之體積量 (m^3) 相對較小，拌合生產數量計量方式通常以重量單位配置粒料比例，故計量時需注意相對體積問題，並換算符合之生產數量及計價。
4. 轉爐石瀝青混凝土生產出料過磅單仍須以重量單位表示，以利工程單位作為驗收計價依

據。

8.6.2 輸送、鋪築、滾壓階段

1. 輸送：

- (1). 轉爐石瀝青混凝土與一般混凝土瀝青的輸送方式無異，惟排水性瀝青混凝土需注意控制運輸及待料時間，避免產生垂流現象，而產生材料析離現象。
- (2). 轉爐石本身具保溫性質，可酌於增加工作時間。

2. 滾壓：

轉爐石本身粒料形狀趨於方正，比較容易達到壓實度規定，不需要過度壓實，經鋪面工程司許可，可依試鋪結果降低滾壓次數，避免造成過度壓實而降低瀝青混凝土空隙。

8.6.3 轉爐石瀝青混凝土鋪面使用階段

轉爐石本身特性具持熱效應，散熱時間較一般瀝青混凝土久，但施工滾壓完成開放時間，仍應確實依公共工程施工綱要規範第 02742 章瀝青混凝土鋪面修訂版 3.4.1 節規定，最後滾壓完成後之鋪面溫度冷卻規定，除契約另有規定外，鋪面溫度自然冷卻至 50℃ 前，應禁止任何車輛行駛。

8.6.4 轉爐石瀝青混凝土產品與檢驗

1. 轉爐石粒料進料品質管制，轉爐石粒料進料時需查核出廠證明、產品檢驗報告，若有疑慮時，應洽出廠公司。
2. 轉爐石粒料料源應維持穩定，否則需增加產品檢驗頻率。
3. 各進料斗倉之進料口處應明確標示轉爐石粒料種類，並嚴格管制不得任意與其他材料混雜，或將轉爐石粒料誤用至其他用途。

參考文獻

- 8.1. 林平全，「轉爐石於鋪面工程之應用」，綠營建材料再利用再生研討會，桃園（2006）。
- 8.2. 楊貫一，「爐石資源化—中鋼公司爐石應用的過去與未來」，技術與訓練，第十七卷，第一期，第 31 頁至第 46 頁（1992）。
- 8.3. 袁家偉，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文（2007）。
- 8.4. 黃大衛，「轉爐石取代傳統粒料對瀝青混凝土 VMA 性質影響之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文（2008）。
- 8.5. 黃隆昇、林登峰、林平全、張躍騰，「轉爐石替代再生瀝青混凝土粗粒料品質之探討」，鋪面工程（Pavement Engineering），Vol.6, No.2, pp.59-68（2008）。
- 8.6. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「轉爐石應用於密級配與排水性瀝青混凝土性質之綜合研究」，中聯資源股份有限公司委託研究計畫（2009）。