

轉爐石運用於高交通量之道路可行性評估

林志棟¹ 陳世晃² 葉銘欽³ 鍾閔文⁴ 林伯儒⁵

¹ 國立中央大學土木工程學系 教授
² 逢甲大學運輸科技與管理學系 副教授
³ 國立中央大學土木工程學系 博士候選人
⁴ 國立中央大學土木工程學系 碩士生
⁵ 逢甲大學運輸科技與管理學系 碩士生

摘要

轉爐石是煉鋼工業的副產品，其擁有相當高的耐磨性與堅韌度，針對這項特性與國內外相關的研究指出其適合應用在瀝青混凝土的中的粗骨材，本研究即是使用轉爐石摻配級配料鋪設瀝青混凝土試鋪路面，本研究所採用的兩段試驗道路皆是屬於煉鋼廠區內有常有載重超過 80 噸載重卡車通過的，甚至還有履帶車輛在上通過，另外，兩條道路都在台中港區的，該地區的道路需要面對鹽分的侵蝕與乾濕冷熱的循環，在此特別惡劣環境與交通的條件，可以加速呈現使用轉爐石做為瀝青混凝土路面的面層的問題，經過約為一年的觀測，可以發現使用轉爐石的瀝青混凝土，在抗車轍能力與平整度試驗皆優於使用傳統的粒料的瀝青混凝土，在抗滑能力上也相當優異的表現，因此，綜合上本研究計畫在台中港區有超重交通量的廠區道路上觀測結果，可以發現使用轉爐石在瀝青混凝土具有相當良好的成效，值得進一步研究與推廣至瀝青混凝土。

關鍵詞：轉爐石、瀝青混凝土與超重交通道路

一、研究背景與目的

依據國外相關研究顯示轉爐石利用於道路基底層或應用於面層材料方面之成果良好，證實轉爐石可取代天然級配料作為基底或面層材料。綜觀各先進國家對於轉爐石再利用之經驗，經相關研究結果均證實具良好之鋪面績效，且轉爐石具有表面堅硬、耐磨性及親油性，其經適當安定化處理後可取代天然砂石而應用於鋪面工程可做為填方材料、基底層級配料及瀝青混凝土面層材料等。美國材料試驗協會（American Society for Testing and Materials, ASTM）業已針對煉鋼爐石應用於瀝青鋪面材料編列相關之標準規範（ASTM D5106），顯示轉爐石可應用於鋪面工程。本計畫目的為轉爐石摻配級配料鋪設瀝青混凝土試鋪路面並進行成效檢測，本研究計畫主要工作項目如下：中聯台中廠區內轉爐石鋪面成效檢測、中龍鋼鐵廠區內轉爐石鋪面材料配合設計、中龍鋼鐵廠區內轉爐石鋪面成效檢測；希望藉由現地的鋪設添加轉爐石的瀝青混凝土可以確認其在鋪面的服務特性與品質，相望藉由本研究成果可提供產官學界在未來使用展爐石於鋪面工程石參考使用〔1,2〕。

二、國外轉爐石材料之應用

鋼渣是屬於煉鋼過程所產生的副產品，而一般鋼渣因為提煉過程的不同，可分為轉爐石(Basic Oxygen Furnace-BOF)及電弧爐渣(Electric Arc Furnace-EAF)。轉爐石材料在歐洲國家很普遍被運在道路工程上，轉爐石材料在歐洲國家被歸納成一般廢棄物(Waste)及再利用材料(Secondary Raw Material)，並不是屬於有害廢棄物，轉爐石材料在歐洲國家之身分如表 1 所示、而轉爐石材料再利用領域之範圍如表 2 所示。

表 1 轉爐石材料在歐洲國家之身分

國家	一般廢棄物 (是/不是)	有害廢棄物 (是/不是)	Inert Waste (是/不是)	再利用材料 (是/不是)
歐洲社區	是	不是	不是	是
丹麥	是	不是	不是	是
西班牙	是	不是	不是	是
法國	是	不是	不是	是
斯洛維尼亞	是	不是	隨著種類而定	是
瑞典	是	不是	不是	是

資料來源: Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure DE-04

表 2 轉爐石材料在歐洲國家之再利用範圍

國家	Surface course (是/不是)	Road Base (是/不是)	Sub-base (是/不是)	Sub-grade (是/不是)	Shoulders (是/不是)
奧地利	是	是	不是	不是	不是
丹麥	不是	不是	不是	不是	不是
西班牙	是	---	---	---	---
法國	是	不是	是	是	是
斯洛維尼亞	不是	不是	不是	不是	不是
瑞典	不是	不是	是	是	不是

根據歐洲爐石協會(The European Slag Association)在 2006 所公布之研究報告內如圖 1 所示，歐洲煉鋼過程所產生的鋼渣總量達到約 1500 萬噸，其中 930 萬噸(62%)是屬於轉爐石(BOF)、435 萬噸是屬於電弧爐渣(EAF)。

根據圖 2 顯示，鋼渣材料在歐洲的再利用情況資料，顯示煉鋼爐石以用在道路方面最多(45%)，其次是暫存、內部回收、肥料與水利工程少量做為取代水泥用。據根 USGS(U.S. Geological Survey) 統計資料，美國 2003 年產生約 880 萬噸煉鋼爐渣，47% 利用於道路材料，17% 使用於替代瀝青混凝土粒料、其他再利用佔 25% 與掩埋 11%，如圖 3。日本鋼鐵爐石協會的資料顯示，日本使用情形為 47% 營建材料(含混凝土粒料)、13% 再利用、26% 道路用、4% 取代水泥用，剩餘則為地盤改良、掩埋及其他使用等，如圖 4。在德國，煉鋼爐石每年產生超過 350 萬噸，其中 68% 用營建材料、14% 內部回收、12% 掩埋及 6% 肥料，如圖 5。〔3-6〕

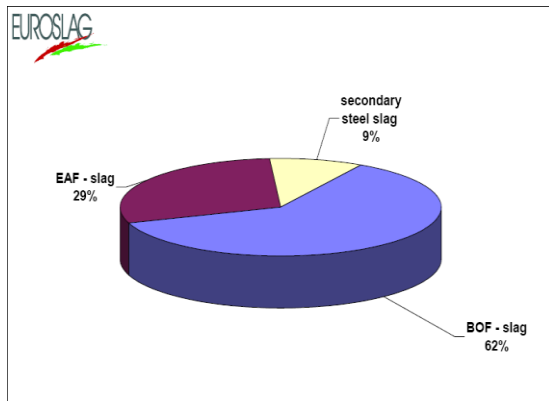


圖 1 歐洲地區的鋼渣生產量(2004)

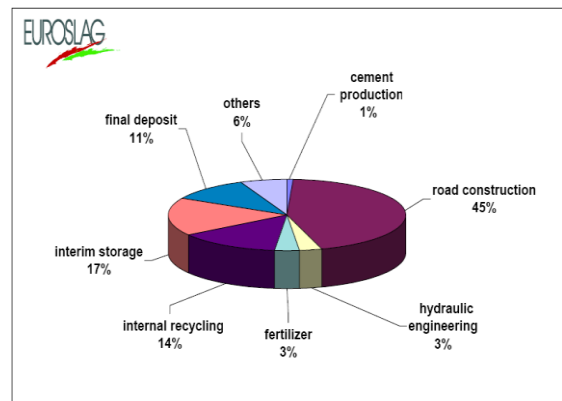


圖 2 鋼渣材料在歐洲的再利用情況(2004)

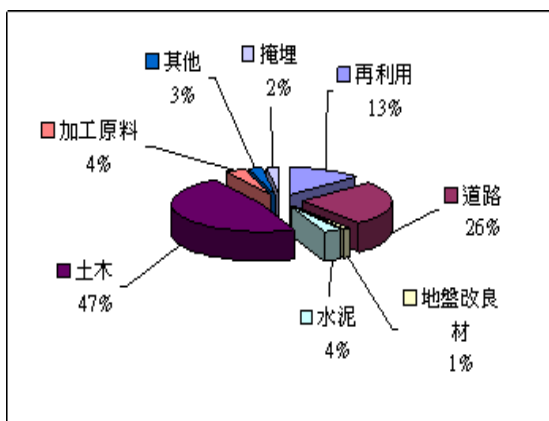


圖 3 鋼渣材料在美國的再利用情況(2003)

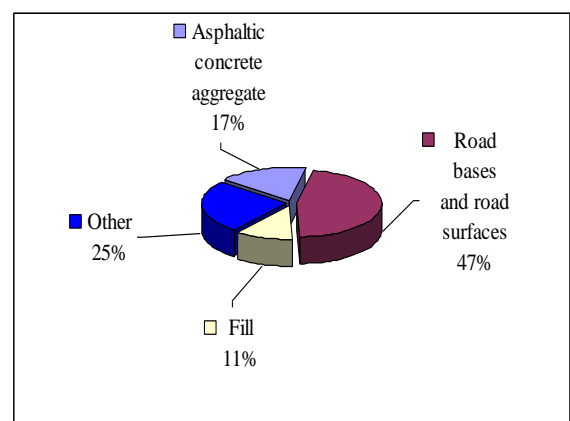


圖 4 鋼渣材料在日本的再利用情況(2005)

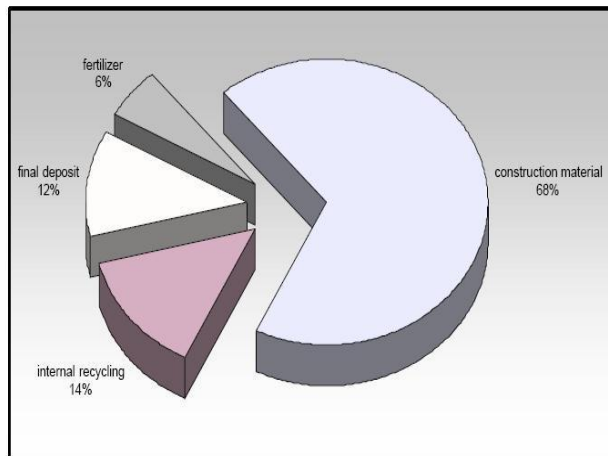


圖 5 德國煉鋼爐石利用狀況(2001)

三、試驗路段點位之配置

本研究針對中聯台中廠與中龍鋼鐵廠區轉爐石試鋪道路進行成效評估，試鋪路段長期成效評估皆為雙向單車道檢測；

1. 中聯台中廠區

中聯台中廠區內鋪設三段(A、B、C 三段)，概述如下表 3(a)及表 3(b)所示：

表 3(a)中聯台中廠區試驗道路之配置

路段	概述	鋪築面積為
A 段	廠區大門出入口道路，	長度 36 公尺、寬 10 公尺
B 段	廠區內道路	長度 98 公尺、寬 11 公尺
C 段	廠區內料源堆積場前道路	長度 64.6 公尺、寬 25.8 公尺

中聯台中廠試鋪道路位置如圖 6 示，其檢測點位如表 3，因試驗路段 C 段位於料源堆置場區內，該區段粉塵量大，使得成效試驗不易執行，本研究團隊於 98 年 11 月 05 日與業主溝通協調後，檢測區段更改為 A、B 段，料源堆置場區現況如圖 7 及圖 8 示。

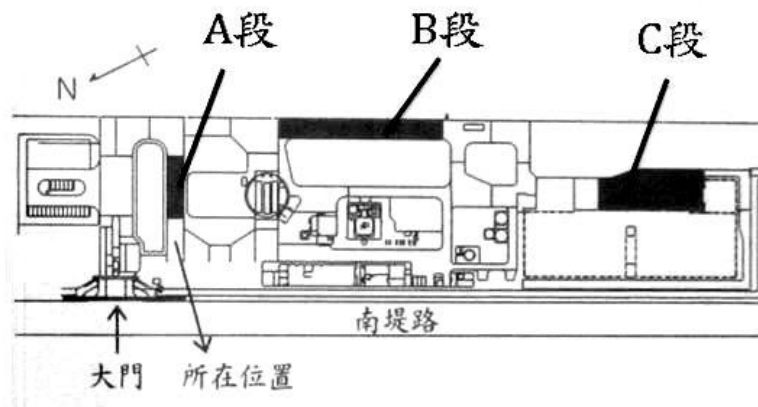


圖 6 中聯台中廠區試鋪廠區平面圖



圖 7 料源堆置場現況-1



圖 8 料源堆置場現況-2

2. 中龍鋼鐵重交通試驗道路

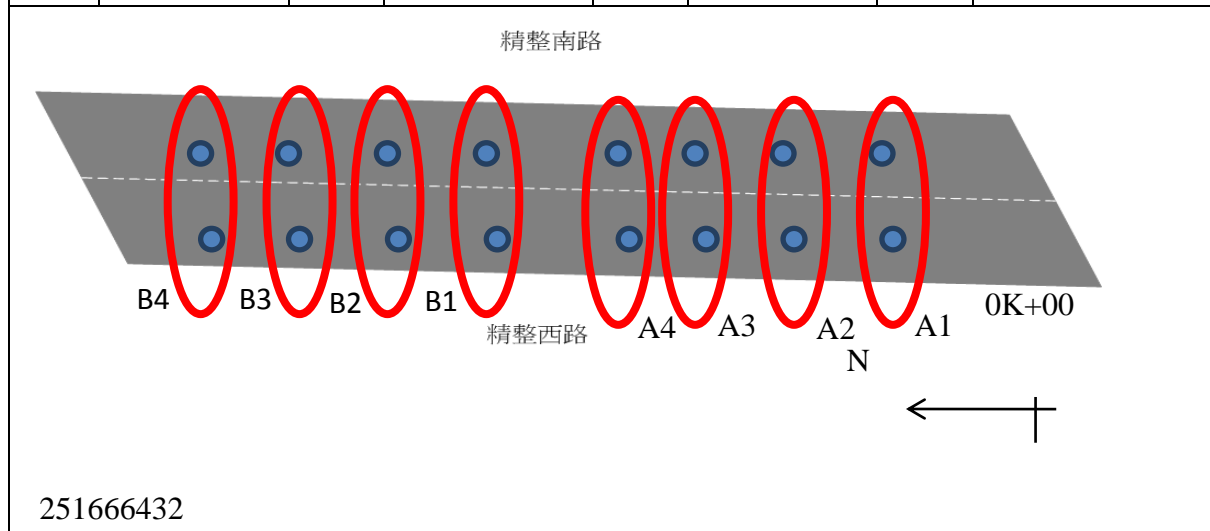
中龍鋼鐵試鋪道路位置如圖 9 示，其檢測點位如表 5，該試鋪路段總長約 380 公尺、寬度為 8 公尺，該路段位於室外廢鋼堆置區旁，分別為以轉爐石取代天然粒料 0%、40%，面層結構採密級配瀝青混凝土設計，面層材料設計概述如下：

表 4 中龍鋼鐵重交通試驗道路配置

路段	概述	鋪築面積為
A 段	鋪設密級配瀝青混凝土添加轉爐石 40%	長度 200 公尺、寬 8 公尺
B 段	鋪設一般密級配瀝青混凝土無添加轉爐石	長度 170 公尺、寬 8 公尺

表 5 中龍鋼鐵廠區試驗路段量測點位

A 斷面				B 斷面			
A1	0k+050m	A3	0k+150m	B1	0k+250m	B3	0k+350m
A2	0k+100m	A4	0k+200m	B2	0k+300m	B4	0k+370m



3. 鋪設材料與配合設計

本研究依照行政院公共工程委員會頒訂之施工綱要規範第 02742 章附錄所訂定之熱拌瀝青混凝土混合料配合設計方法進行，依使用粒料之篩分析資料進行工作拌合公式之設計。針對廠商提供粒料分別進行各項基本物性試驗以作為後續試驗之依據。基本物性包括比重、吸水率試驗結果如表 6 示。

表 6 粗粒料比重及吸水率試驗

	六分石	轉爐三分石	轉爐二分石
試驗時水溫度(°C)	23	23	23
校正 23°C 時校正係數(K)	1.000	1.000	1.000
容積比重, 23°C/23°C(烘乾法)	2.620	3.229	3.310
容積比重, 23°C/23°C(面乾內飽和法)	2.643	3.324	3.401
視比重, 23°C/23°C	2.681	3.567	3.643
吸水率(%)	0.873	2.932	2.763

本研究之瀝青混凝土經由馬歇爾配合設計法獲得調整級配與相關試驗資料如表 7 及表 8 所示。

表 7 瀝青混凝土級配

	六分	轉爐三分	轉爐二分	砂	石粉	合成級配	規範值
使用百分率%	15	25	15	42	3	100	
篩號	過篩%	過篩%	過篩%	過篩%	過篩%	過篩%	過篩%
25mm(1")	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
19mm(3/4")	74.7	100.0	100.0	100.0	100.0	96.2	90-100
12.5mm(1/2")	4.6	92.3	100.0	100.0	100.0	83.8	-
9.5mm(3/8")	0.5	55.4	99.4	100.0	100.0	73.8	56-80
4.75mm(NO.4)	0.5	3.4	16.3	94.2	100.0	46.1	35-65
2.36mm(NO.8)	0.4	3.1	2.5	72.0	100.0	34.5	23-49
1.18mm(NO.16)	0.4	3.0	2.5	54.5	100.0	26.1	-
0.6mm(NO.30)	0.4	2.8	2.4	39.6	99.7	20.8	-
0.3mm(NO.50)	0.4	2.6	2.3	23.8	96.5	14.0	5-19
0.15mm(NO.100)	0.4	2.2	2.0	9.6	84.2	6.5	-
0.075mm(NO.200)	0.4	1.5	1.4	2.4	51.2	3.2	2-8

表 8 空隙率與 VMA 試驗

含油量	試體平均單位 重(g/cm ³)	粒料平均虛比 重(g/cm ³)	最大理論密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	VMA (%)
4.0	2.52	2.882	2.756	7.48	15.61
4.5	2.54	2.882	2.732	6.20	15.57
5.0	2.58	2.882	2.707	4.63	14.66
5.5	2.59	2.882	2.684	2.74	14.52
6.0	2.60	2.882	2.660	1.57	14.47

四、研究成果

1. 平整度檢驗

依工程會施工綱要規範 02742 章中所規定，完成後之鋪面應具平順、緊密及均勻表面。以 3 公尺長之直規沿平行於路中心線方向檢測，其任何一點高低差，底層或粘結層不得超過 ± 0.6 公分，平整度標準差 s 不得大於 2.6 公厘；一般公路之面層不得超過 ± 0.6 公分，平整度標準差 s 不得大於 2.6 公厘；高速公路之面層不得超過 ± 0.3 公分，平整度標準差 s 不得大於 2.4 公厘。所有高低差超過上述部分，應由承包商改善至合格為止。所有微小之高凸處、接縫及蜂巢表面，均應以熱燙鈹燙平。本次進行平整度試驗採用 ARRB Walking Profile（如圖 10 所示），以桃園縣市區道路養護標準為例，國際糙度指標(IRI 值)需小於 5，本次完工後平坦度試驗結果如表 9 及表 10 所示，由試驗結果可以發現試驗組與對照組都維持良好的狀況。

表 9 中聯台中廠試驗道路平坦度現地量測數據(IRI)

檢測時間	組別	里程	IRI 值
2009/05/06	A	0k+000~0k+036	2.13
	B	0k+000~0k+098	2.89
	C	0k+000~0k+064	2.88
2009/11/05	A	0k+000~0k+036	3.28
	B	0k+000~0k+098	2.89
	C	0k+000~0k+064	3.04
2010/04/22	A	0k+000~0k+036	3.08
	B	0k+000~0k+098	2.61
	C	0k+000~0k+064	---
2010/09/30	A	0k+000~0k+036	3.15
	B	0k+000~0k+098	2.97
	C	0k+000~0k+064	---

表 10 中龍鋼鐵廠試驗道路平坦度現地量測數據(IRI)

檢測時間	混合料種類	里程	南-->北	北-->南
2009/08/24	BOF 40%	0k+000~0k+100	2.01	2.45
		0k+100~0k+200	1.86	2.24
	BOF 0%	0k+200~0k+300	2.13	2.06
		0k+300~0k+375	2.43	1.98
2009/11/05	BOF 40%	0k+000~0k+100	1.82	2.71
		0k+100~0k+200	1.91	2.39
	BOF 0%	0k+200~0k+300	2.27	1.91
		0k+300~0k+375	2.66	1.72
2010/09/30	BOF 40%	0k+000~0k+100	2.03	---
		0k+100~0k+200	2.11	---
	BOF 0%	0k+200~0k+300	2.57	---
		0k+300~0k+375	2.89	---

(1) 中聯台中廠區

本試驗路段屬高載重交通量之區域，進出車輛以大型車輛及鋼廠特種車輛為居多，且高載重行駛頻繁。本試驗路段 C 區經開放交通後為堆置場前道路，因該區粉塵量大檢測不易，故自 2009/11/05 檢測後，協調此區之後檢測不納入檢測範圍。而隨著開放交通時間的累積與交通量的增長，依照常理推估其易於造成道路平整度 IRI 值的提升。由圖 11 結果得知，從 2009/05/06 執行刨除重鋪施工後的例行性第一次道路平整度檢測，至 2010/09/30 第四次例行性檢測為止，道路平整度 IRI 值檢測成效跳動幅度並不明顯，且道路平整度 IRI 值大多維持在 3 以下，其表現仍屬優良。



圖 10 平整度檢驗

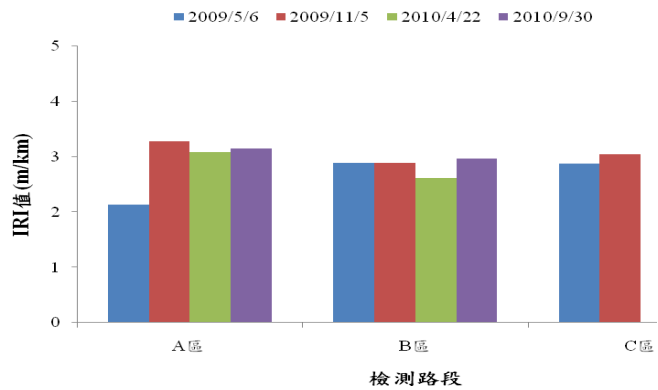


圖 11 中聯台中廠各試驗路段之 IRI 值

(2) 中龍廠區

中龍廠區試驗道路分成 A、B 兩區，A 區為添加 40% 轉爐石，B 區為完全天然粒料鋪設而成，經完工後數次檢測結果，均可發現各段 IRI 值隨開放交通之影響有逐漸提高的趨勢，但大體而言仍低於 3，鋪面平坦度屬優良級。而檢測路段北-->南段，因旁邊為堆置區，常有履帶車行經該路面，對於鋪面的破壞程度極大，僅檢測至 2009/11/05 該次檢測紀錄，往後因鋪面已被履帶車之輪跡破壞，故不列入檢測範圍。而探討本路段南-->北向之鋪面平坦度，由圖 12 可發現，A 區之 IRI 值較 B 區略低，以統計分析結果，添加 40% 轉爐石之 A 區與天然粒料之 B 區並無顯著性差異存在，顯示以轉爐石取代天然粒料對於道路平坦度 IRI 值影響不大。且由 A、B 兩區經開放交通後 IRI 值上升趨勢可發現，鋪設轉爐石之 A 區路段，上升趨勢較緩，其表示轉爐石在抵抗路面變形維持 IRI 的能力上較天然粒料較佳。

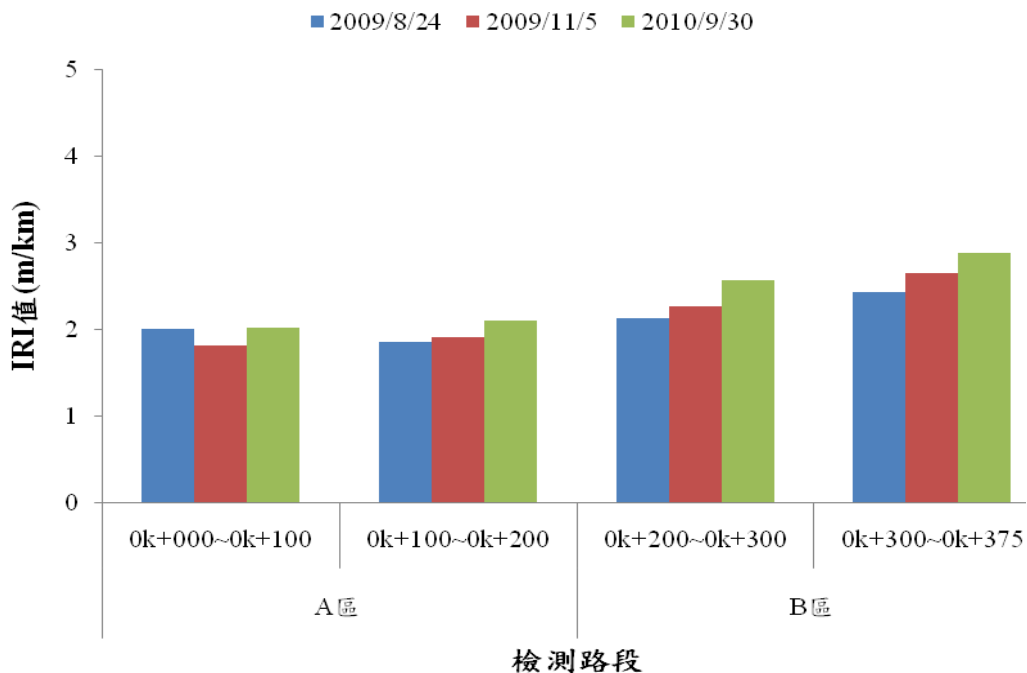


圖 12 中龍廠各試驗路段之 IRI 值(南-->北)

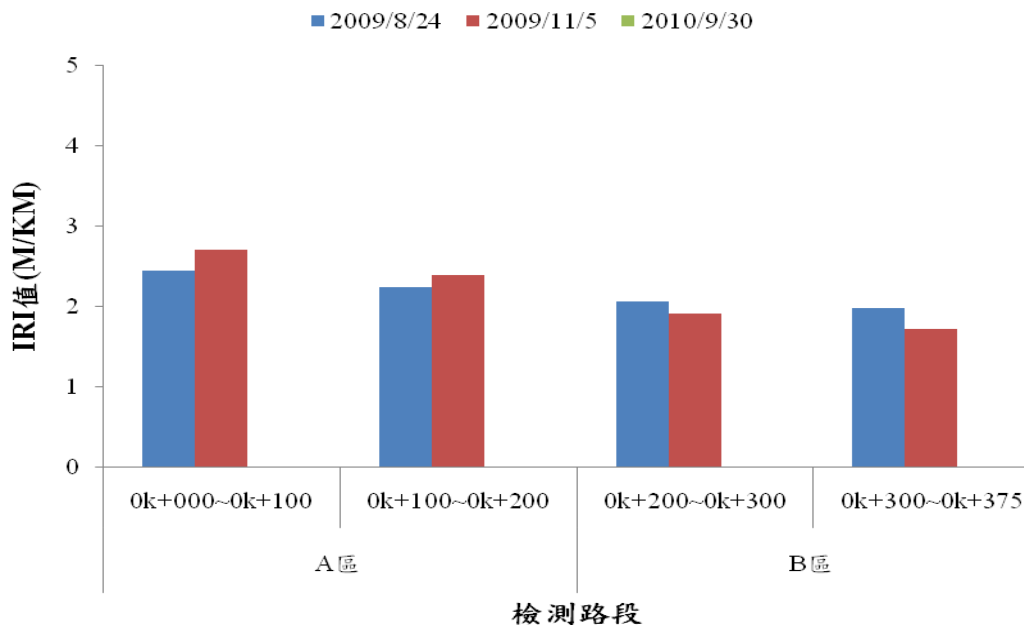


圖 13 中龍廠各試驗路段之 IRI 值(北-->南)

2. 車轍

本研究團隊使用三公尺直規進行車轍深度之量測，量測情形如圖 14 所示，於施工完成後第一次試驗結果發現，部分位置已出現車轍情形，研判為鋪築滾壓造成之不平整，並非為實際車輛行走後所造成之面層車轍。而路面形成車轍的主要因素一般可分為二類，第一類來自於鋪面結構的問題，第二類則是由面層的瀝青混凝土所造成的，現地車轍深度是顯示鋪面結構與面層瀝青混凝土兩者所形成車轍之總和。依市區道路養護手冊中規定，明顯車轍深度為 6 ~ 13mm，中級車轍深度為 14 ~ 25mm，嚴重車轍深度為 38mm 以下，極嚴重車轍深度 38mm 以上。本試驗道路經兩年的開放交通後之結果，車轍深度大多落在 1~4mm 之間，仍屬不明顯之車轍深度值。



圖 14 車轍之量測

(1) 中聯台中廠區

由圖 15 及圖 16 可見，右輪跡產生車轍程度普遍較左輪跡來的大，一般而言，道路皆會作弧型洩水坡度之設計，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。依國內道路養護之規定，經兩年開放交通後，中聯台中廠區內試驗道路車轍深度僅 1~3mm，屬於不明

顯之車轍破壞程度，顯示以轉爐石取代天然粒料對於車轍深度之影響不大。

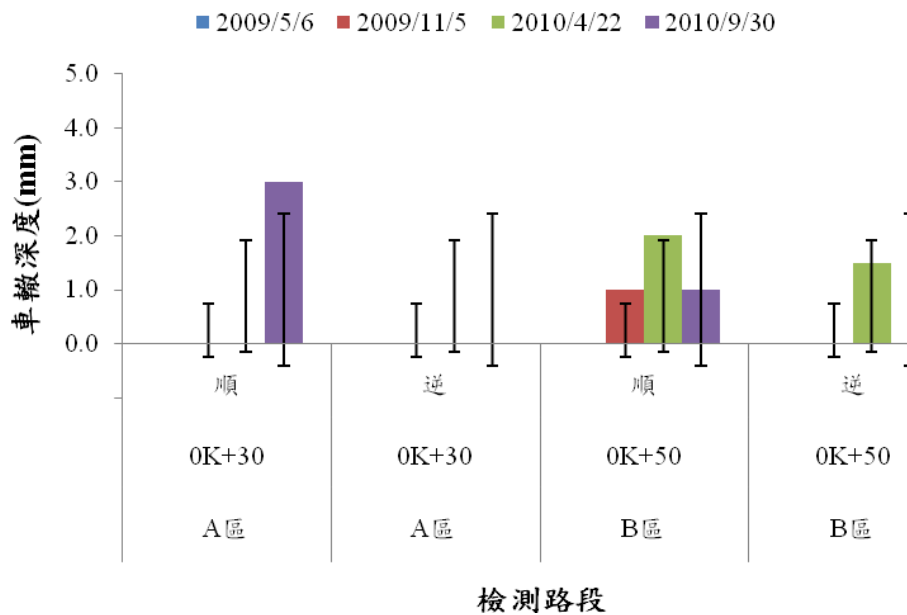


圖 15 中聯台中廠區左輪跡車轍試驗結果

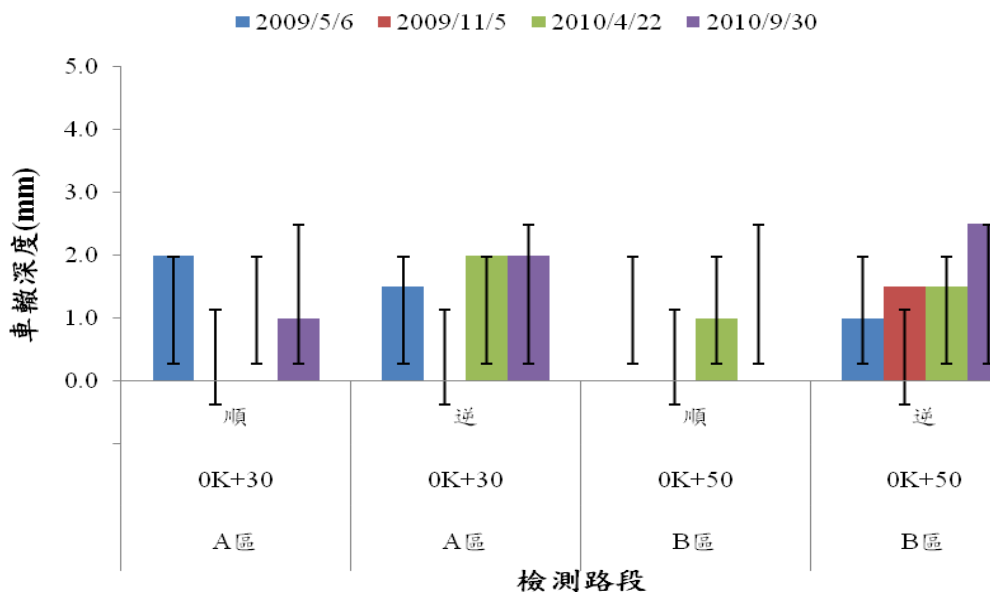


圖 16 中聯台中廠區右輪跡車轍試驗結果

(2) 中龍廠區

由檢測結果可知，A 區與 B 區(南-->北)對於車轍深度值的表現並不明顯，亦即添加轉爐石與天然粒料對車轍所造成的影響差異性不大，甚至於 A 區幾乎未發生車轍破壞情形。逆向部分(北-->南)因履帶車經常性行走之故，完工半年已有部分路段發生 6mm 之明顯車轍破壞，其餘路段亦均有 1~4mm 不等之車轍深度，故於 2009/11/05 完成檢測後，後續並未放入檢測範圍，因鋪面已遭破壞。

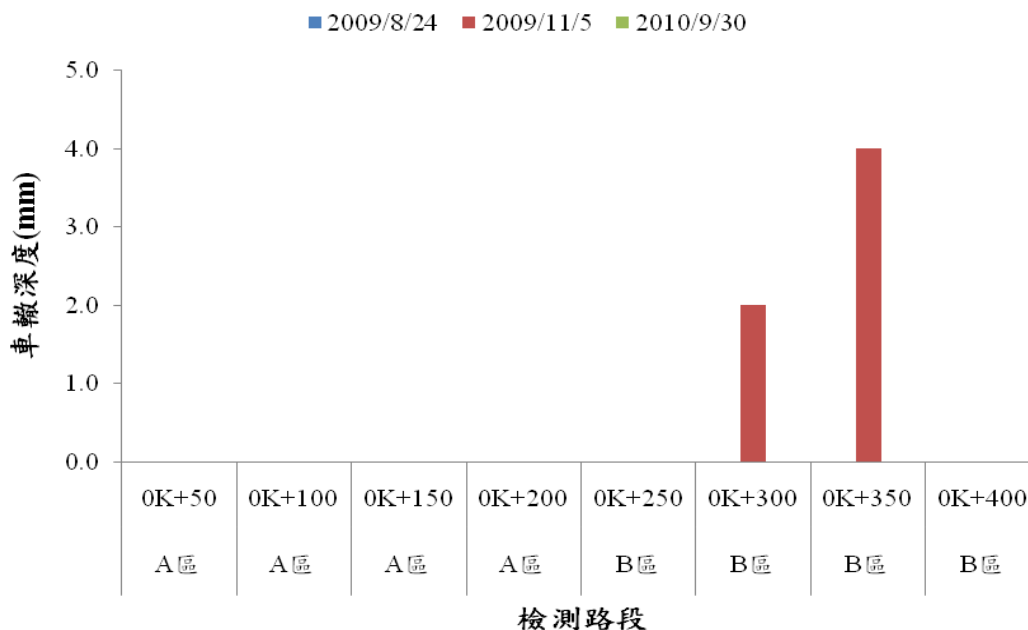


圖 17 中龍廠區左輪跡車轍試驗結果(南-->北)

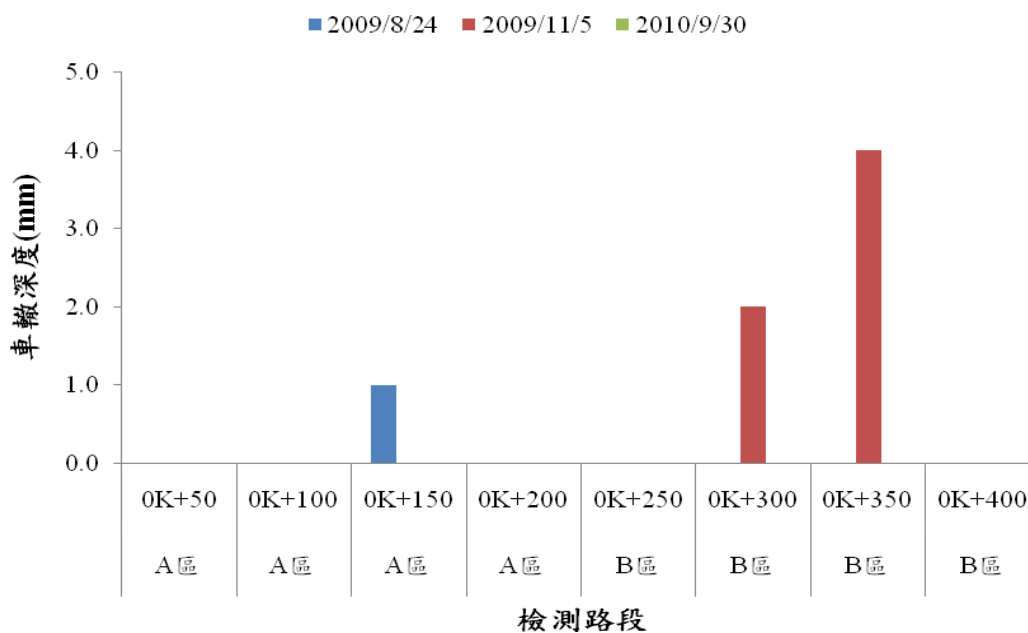


圖 18 中龍廠區右輪跡車轍試驗結果(南-->北)

3. 抗滑度

路面抗滑能力對開車的安全性是最大的關鍵因素，其抗滑度是指道路可提供車輛行駛時之摩擦能力，尤其在雨天路面濕滑狀態，摩擦力的大小關係到行車安全。因車輛行走時，輪胎主要接觸於車道的左、右兩側輪跡處，所以本研究針對車輛輪跡處進行抗滑試驗。而影響鋪面抗滑性能之因素可分為：鋪面材料因素、交通因素及環境因素。鋪面材料對鋪面抗滑特性的影響可分為微觀紋理(microtexture)與巨觀紋理(macrotecture)兩部份。微觀紋理即為骨材表面的觸摸感，主要提供骨材與輪胎表面之間之黏著力，巨觀紋

理則指的是骨材之大小、外型、柔性鋪面的骨材填塞狀況及剛性鋪面表面之磨平情形都為巨觀紋理的特徵。此紋理的特性會使輪胎表面產生形變，耗損運具前進之動能，促使運具停止。一般來說，低速度情況下之抗滑能力主要由微觀紋理所提供，而高速狀態下之抗滑能力則由巨觀紋理來提供；交通因素對鋪面抗滑特性的影響可分為交通量、速度、胎壓、荷重與胎紋；環境因素對鋪面抗滑特性的影響可分為濕度與溫差。本試驗是以英式擺錘試驗儀施作抗滑度試驗，記錄其 BPN(British Pendulum Number)值，即 R 值，再以當時溫度換算成 20°C 時之標準 R20，並計算其摩擦係數，來探討各材料之間開放交通後的成效。隨著時間增加、車輛輪胎摩擦及車輛碾壓作用，當粒料受車輛再壓密作用致表面紋裡變緻密，所以經過開放通車後其抗滑值 BPN 變低。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”；本試驗路段經過兩年開放通車後，抗滑值 BPN 均維持在 50 以上，顯示本試驗道路抗滑度皆屬“優”等級。

(1) 中聯台中廠區

由圖 19 說明各試驗路段開放通車後，輪跡處 BPN 值隨通車時間增加的變化情形，其中可發現本廠區試驗道路輪跡處 BPN 值有先上升再慢慢降低的趨勢，其主因為開放通車後鋪面表層油膜會被磨損，粒料之粗糙面因而顯現，使得路面抗滑能力提昇，而隨著時間增加、車輛輪胎摩擦及車輛碾壓作用，當粒料受車輛再壓密作用致表面紋裡變緻密，使得抗滑能力稍微降低，但 BPN 值仍維持在 55 左右。再由圖 19 及圖 20 比較可知，輪跡處受交通載重及磨損之影響，BPN 值有明顯下降趨勢，非輪跡處因承受較少之交通載重與車輪磨損作用，BPN 值隨通車時間增加並沒有明顯的變化趨勢，BPN 值亦大多維持在 60~65 之間。大致而言，以轉爐石取代天然粒料鋪面具有良好的抗滑能力，經開放通車兩年後，對於雨天行車安全仍能發揮良好之抗滑成效。

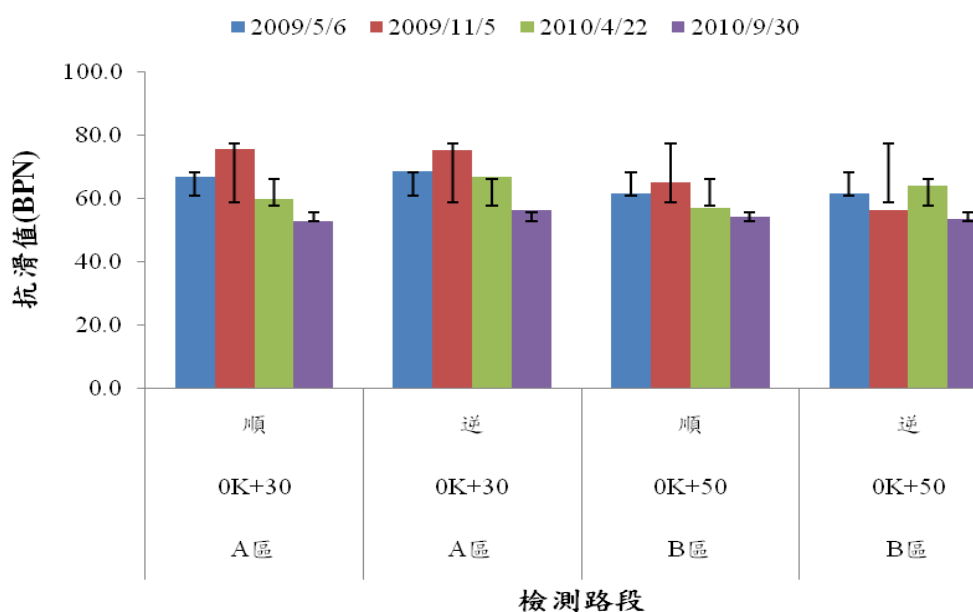


圖 19 中聯台中廠區之輪跡處抗滑試驗結果

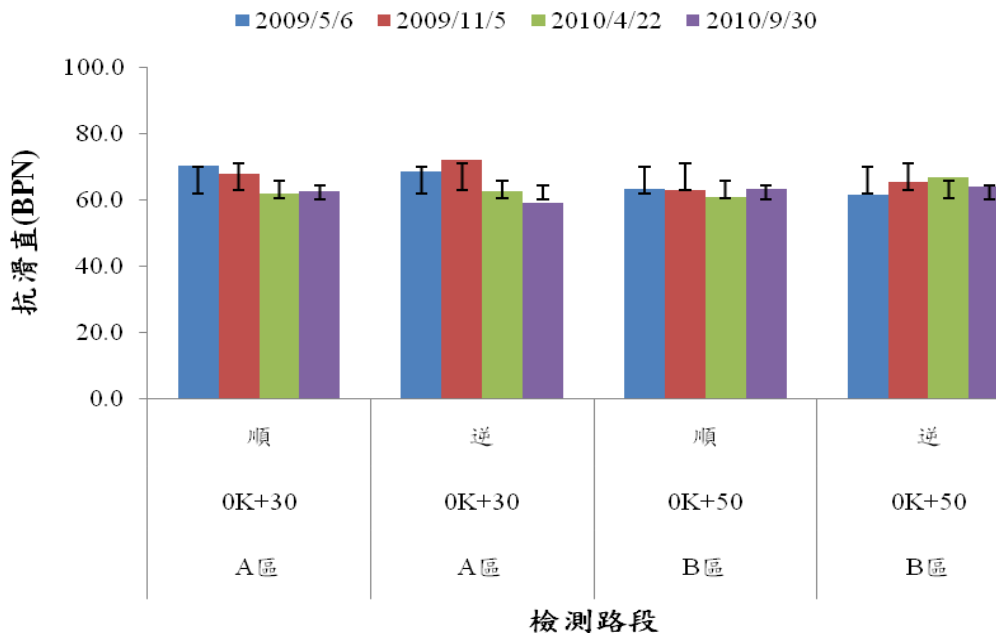


圖 20 中聯台中廠區之非輪跡處抗滑試驗結果

(2) 中龍廠區

由斷面設計了解，A 區添加 40% 轉爐石，B 區為全天然粒料，在完工後進行抗滑試驗發現，A 區與 B 區完工後之 BPN 值差異不大，大多落在 75~80 之間，經開放通車後，輪跡處受交通載重及磨損之影響，抗滑能力下降較為明顯。若比較 A 區及 B 區抗滑能力，可發現添加 40% 轉爐石之 A 區與天然粒料 B 區之 BPN 值差異性不大，經開放通車兩年後，輪跡處 BPN 值約在 65，非輪跡處則約為 70，依據國外研究分類標準，同屬於“優”等級，由量測結果如圖 21 及圖 22 所示。

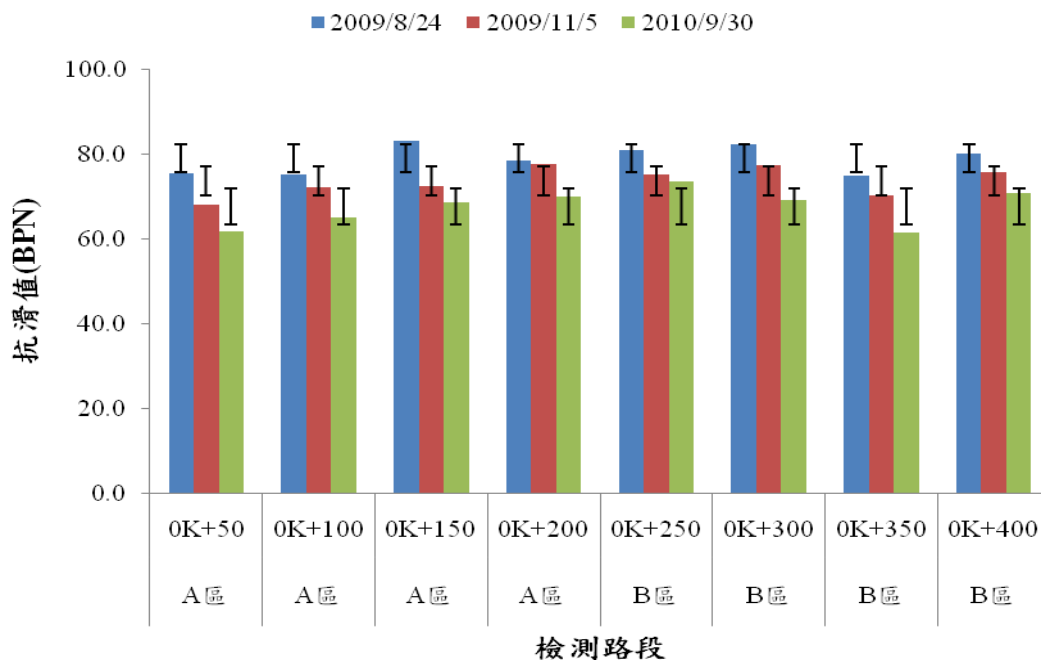


圖 21 中龍廠區之輪跡處抗滑試驗結果

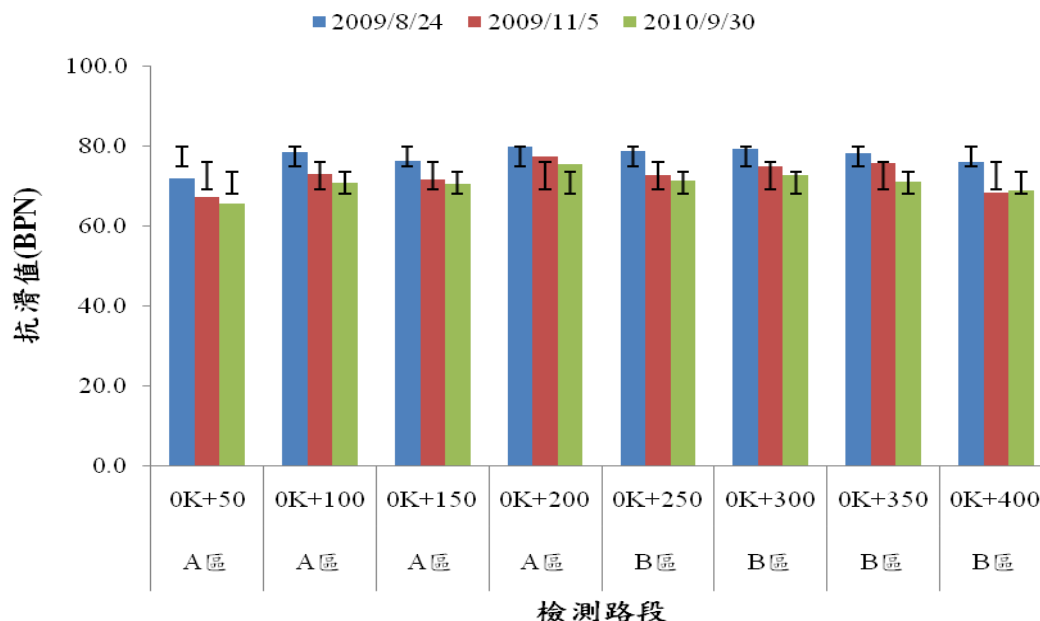


圖 22 中龍廠區之非輪跡處抗滑試驗結果

五、結論與建議

1. 中龍鋼鐵試鋪道路成效

各段 IRI 值隨開放交通之影響有逐漸提高的趨勢，但大體而言仍低於 3，鋪面平坦度屬“優良”等級；添加 40% 轉爐石之 A 區與天然粒料之 B 區並無顯著性差異存在，顯示以轉爐石取代天然粒料對於道路平坦度 IRI 值影響不大。且由 A、B 兩區經開放交通後 IRI 值上升趨勢可發現，鋪設轉爐石之 A 區路段上升趨勢較緩，其表示轉爐石在抵抗路面變形維持 IRI 的能力上較天然粒料較佳。A 區與 B 區順向(南-->北)對於車轍深度值的表現並不明顯，亦即添加轉爐石與天然粒料對車轍所造成的影響差異性不大。添加 40% 轉爐石之 A 區與天然粒料 B 區之 BPN 值差異性不大，經開放通車兩年後，輪跡處 BPN 值約在 65，非輪跡處則約為 70，依據國外研究分類標準，同屬於“優”等級。

2. 中聯台中廠試鋪道路成效

道路平整度 IRI 值檢測成效跳動幅度並不明顯，且道路平整度 IRI 值大多維持在 3 以下，成效表現優良。依國內道路養護之規定，經兩年開放交通後，中聯台中廠區內試驗道路車轍深度僅 1~3mm，屬於不明顯之車轍破壞程度，顯示以轉爐石取代天然粒料對於車轍深度之影響不大。輪跡處 BPN 值維持在 55 左右，非輪跡處約為 60~65 之間，顯示經開放通車兩年後，以轉爐石取代天然粒料鋪面對於雨天行車安全仍能發揮良好之抗滑成效。

綜合兩條試驗道路的觀測結果，可以得知添加轉爐應用於超交通量之廠道路，其成效不亞於一般粒料，甚至更優，值得進一步推廣。

六、參考文獻

1. 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，2009。

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。
3. Francois, D., “Existing Specific National Regulations Applied to Material Recycling,” *SAM Report DE-04*, Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure, Europe, pp.24~27, 2004.
4. Sinis, F., “Literature Review of Recycling of By-products in Road Construction in Europe,” *SAM Report DE-05*, Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure, Europe, pp.87~99, 2004.
5. Proctor, D.M., Fehling, and K.A., Shay, E.C., “Physical and Chemical Characteristics of Blast Furnace, Basic Oxygen Furnace, and Electric arc Furnace Steel Industry Slags,” *Environ. Sci Technol*, Vol.34, No.8, pp.1576-1582, 2000.
6. EUROSLAG, “Legal Status of Slags,” The European Slag Association, Duisburg, Germany, 2006.