

MOTC-STAO-97-04

# 廢棄資源物再利用於公路工程 規範草案之研究

執行單位：國立中央大學

委託機關：交通部

中華民國 98 年 01 月

本報告為研究案並不代表交通部意見

MOTC-STAO-97-04

# 廢棄資源物再利用於公路工 程規範草案之研究

著者：黃偉慶、林志棟、李 釗、許書王

執行單位：國立中央大學

委託機關：交 通 部

中華民國 98 年 01 月

國家圖書館出版品預行編目資料

廢棄物資源物再利用於公路工程規範草案之研究/

黃偉慶, 林志棟, 李釗著. -- 初版. -- 臺北市 :

交通部, 民 98. 01

面; 公分

參考書目: 面

ISBN 978-986-01-6891-4(平裝)

1. 公路工程 2. 鋪面工程 3. 工程材料 4. 廢棄物利用

442.12

97024574

廢棄物資源物再利用於公路工程規範草案之研究

著 者：黃偉慶、林志棟、李 釗、許書王

出版機關：交通部

地 址：10052 台北市仁愛路一段五十號

網 址：<http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/lp?ctNode=314&mp=1>

電 話：(02)23492900

出版年月：中華民國 98 年 01 月

印 刷 者：欣德複印社

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

定 價：540 元

本書同時登載於交通部網站

展售處：五南文化廣場 40042 台中市中山路 6 號

電話：(04) 2226-0330

國家書店松江門市 10485 台北市松江路 209 號 1 樓

電話：(02) 2518-0207

國家網路書店：<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1009800047(平裝)

ISBN：978-986-01-6891-4

著作財產權人：交通部

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求著作財產權人書面同意或授權。

## 交通部科技顧問室委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：廢棄物資源物再利用於公路工程規範草案之研究			
國際標準書號(或叢刊書)		政府出版品統一編號	
978-986-01-6891-4		1009800047	
計畫編號		MOTC-STAO-97-04	
主管：卓訓榮 聯絡電話：02-23492860 傳真號碼：02-23122476 e-mail：hj_cho@motc.gov.tw  承辦人：許書王 聯絡電話：02-23492861 傳真號碼：02-23122476 e-mail：sy_hsu@motc.gov.tw		研究單位：國立中央大學土木系	
		計畫主持人：黃偉慶	
		聯絡電話：03-4227151-34136	
		傳真號碼：03-4252960	
		e-mail：t321655@ncu.edu.tw	
		研究人員：林宏偉、徐震宇	
		郭孟鑫	
		通信地址：中壢市中大路 300 號	
		聯絡電話：03-4269271	
		其他參與合作之研究團隊	
		研究期間	
		民國 97 年 02 月 05 日至民國 97 年 12 月 19 日	
		研究經費	
		1,794,000 元	
關鍵詞：再生、再利用、再生材料、規範			
摘要： 本研究係依據公共工程委員會函為推動垃圾焚化爐底渣再利用於公共工程，研議配合納入公路工程設計規範，期達成行政院環保署朝著垃圾零廢棄目標外，並能有效提升資源再利用率進行研究辦理。由於目前再生資源種類繁多，各種再生資源性質不一，為有效提升資源再利用率，本研究將針對公路工程各層結構進行探討研擬應用再生材料時，再生材料應有的物、化性質，以符合公路工程的基本要求，並應以符合環保署之相關規定為前提。  本研究主要進行資源再利用於公共工程之規範草案研擬外，另須針對本部公路類規範進行全面審視，在研究過程中至少包含以訪談、問卷、研討等方式，並參考國外相關規範之制定及管理方式，於研究報告中列出規範需修正之輕重緩急建議，供作規範管理之參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
98 年 01 月	346	新台幣 540 元整	凡屬機密性出版品均不對外公開，普通性出版品：公營、公益機關團體及學校，由本部依業務性質函送參考，其他需要者可函洽本部免費贈閱，或逕進入 <a href="http://www.motc.gov.tw">www.motc.gov.tw</a> 之科技研究項下下載。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見			



PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
SCIENCE & TECHNOLOGY ADVISORS OFFICE  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE : Study for standardizes outlines of utilization the waste materials on Highway Engineering			
ISBN(OR ISSN)		GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-01-6891-4		1009800047	MOTC-STAO-97-04
DIRECTOR GENERAL : Hsun-Jung Cho HONE : 02-23492860 FAX : 02-23122476 E-MAIL : hj_cho@motc.gov.tw  SPONSOR STAFF : Hseu, Shu-Wang PHONE : 02-23492861 FAX : 02-23122476 E-MAIL : sy_hsu@motc.gov.tw		RESEARCH AGENCY : Wei-Shing wang  PRINCIPAL INVESTIGATOR : PHONE : 03-4227151-34136 FAX : 03-4252960 E-MAIL : t321655@ncu.edu.tw PROJECT STAFF : Houng Wei Lin ,Chen Yu, Hsu Meng Shin Kuo ADDRESS : No.300, Jhongda Rd.,JhongliCity, Taoyu County 32001 PHONE : 03-4269271	
PROJECT PERIOD	From: February 2008 To: December 2008	PROJECT BUDGET	NT\$ 1,794,000
KEY WORDS : Recycled Materials, Recycling, Recycle, pavement engineering, pavement, cost-benefit analysis, Public Engineering			
ABSTRACT :  To improve the failure of asphalt concrete pavement, a great deal of effort have been proceeded to research the property and gradation of aggregate by the academic, engineers and industry. In Taiwan, local natural aggregate has large percent of silica, and thus lower the durability of the asphalt concrete. We try to use BOF-Slag as aggregate in asphalt concrete in place of natural aggregate, and analyze its mechanical property, compare with the natural aggregate by the same design method. So we can evaluate its performance as aggregate in flexible pavement. We demonstrate its service ability not only by laboratory data, but also by inspecting and observing an exemplified pavement for certain period of time. Then we will compile and analyze data from laboratory and on-site, edit an application manual, hold symposium, thus respond to the principle of resource recycling.			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
2009.01	346	NT\$ 540	<input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

# 目錄

目錄 .....	I
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	XV
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
1.3 預期完成的工作項目 .....	2
1.4 預期成果、效益及其應用 .....	2
<b>第二章 文獻回顧 .....</b>	<b>5</b>
2.1 廢棄資源物概述【1】【2】 .....	5
2.1.1 廢棄資源物的定義與特性【2】 .....	9
2.1.2 廢棄資源物的分類 .....	11
2.1.3 廢棄資源物適用用途 .....	12
2.2 廢棄資源物現況與未來發展【2】 .....	13
2.2.1 處理現況之問題點 .....	15
2.2.2 國外廢棄資源物應用情形【4】【5】【6】【7】【8】【9】 .....	15
2.2.3 國內廢棄資源物應用情形 .....	26
2.3 廢棄資源物處理方法【11】【12】 .....	28
2.3.1 改質之目的 .....	29
2.3.2 處理模式 .....	30
2.4 廢棄資源物於工程市場之經濟考量【14】 .....	31
2.5 國內外焚化底碴與混凝土塊再利用現況 .....	33
2.5.1 焚化爐底碴【14】【15】【16】【17】 .....	33
2.5.2 廢混凝土塊【18】【19】【20】【21】【22】 .....	36
2.6 營建資源再生利用推動政策及執行績效之探討【23】 .....	39
2.6.1 營建資源再生利用之推動政策 .....	41
2.6.2 營建資源再生利用之執行績效 .....	44

<b>第三章 研究計畫 .....</b>	<b>53</b>
3.1 研究流程 .....	53
3.2 國內外廢棄資源再利用於公路工程技術文獻彙整 .....	57
3.3 國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討 .....	57
3.4 國內廢棄資源再利用於公路工程事例集之編撰及驗證 .....	60
3.5 提出應用廢棄資源再利用於公路工程之管理模式 .....	60
3.6 提出廢棄資源再利用材料相關試驗結果及建議事項 .....	62
3.6.1 試驗材料 .....	63
3.6.2 基本性質試驗 .....	64
3.6.3 實驗室成效試驗 .....	72
3.6.4 現地成效試驗評估 .....	81
3.7 以試驗路段之材料生產與施工經驗，修改施工規範 .....	82
3.8 全面檢視本部公路類規範 .....	82
3.9 提出廢棄物資源再利用於公共工程規範修正草案研擬（含初審） .....	82
3.10 辦理訪談、問卷、研討 .....	83
<b>第四章 廢棄資源物之試驗結果與分析 .....</b>	<b>85</b>
4.1 焚化爐底碴 .....	85
4.1.1 焚化爐底碴各項物理試驗結果分析 .....	85
4.1.2 基底層試驗結果分析 .....	93
4.1.3 面層試驗結果分析 .....	100
4.1.4 瀝青處理底層試驗結果分析 .....	111
4.2 轉爐石 .....	116
4.2.1 粒料基本性質 .....	116
4.2.2 瀝青材料與纖維基本性質 .....	118
4.2.3 排水性瀝青混凝土配合設計 .....	119
4.2.4 排水性瀝青混凝土成效試驗分析 .....	119
4.2.5 石膠泥瀝青混凝土配合設計 .....	127
4.2.6 石膠泥瀝青混凝土成效試驗分析 .....	128

4.3 玻璃砂 .....	134
4.3.1 基本性質分析 .....	134
4.3.2 配合設計分析 .....	135
4.3.3 成效試驗結果 .....	137
4.4 電弧爐碴 .....	139
4.4.1 化學性質 .....	139
4.4.2 物理性質 .....	140
4.5 廢棄混凝土塊 .....	142
4.5.1 廢混凝土塊基本性質試驗結果 .....	142
4.5.2 廢混凝土塊均勻性、穩定性試驗結果 .....	143
4.5.3 廢混凝土塊應用於 CLSM 試驗結果 .....	144
4.6 廢輪胎 .....	146
4.6.1 廢輪胎橡膠添加於瀝青膠泥物性試驗 .....	146
4.6.2 廢輪胎橡膠瀝青混凝土配合設計結果 .....	146
4.6.3 現地成效 .....	147
4.7 小結 .....	149
<b>第五章 國內廢棄資源再利用於公路工程事例集編撰及驗證 .....</b>	<b>151</b>
5.1 焚化爐底碴 .....	151
5.1.1 焚化爐底碴試鋪道路 .....	151
5.2 轉爐石 .....	169
5.2.1 ○○○南星計劃區試鋪道路 .....	169
5.3 玻璃砂 .....	181
5.3.1 雲科大廢玻璃試鋪道路 .....	181
5.3.2 台北市廢玻璃鋪面試鋪道路 .....	182
<b>第六章 再生材料應用於道路鋪面工程之成本效益研究 .....</b>	<b>187</b>
6.1 再生材料之成本分析 .....	188
6.1.1 分析方法 .....	188
6.1.2 物價蒐集與整理 .....	190
6.2.3 成本分析 .....	193
6.2 再生材料應用於道路鋪面工程之效益評估 .....	196

<b>第七章 營建資源再生利用申報與流向管理制度之探討</b>	<b>199</b>
7.1 工務體系之兩階段申報查核勾稽管制	202
7.2 環保體系之源頭與清運管制	207
7.3 營建署與環保署管制系統差異整合分析	213
7.4 環保署之「事業廢棄物管制中心連線申報系統」	216
7.5 營建署與環保署網路申報系統差異整合分析	217
<b>第八章 個案分析與應用</b>	<b>221</b>
8.1 材料簡介	221
8.1.1 市場價格	221
8.2 工程應用	225
8.2.1 配合設計實例與預期成效	225
8.3 現地試鋪成本分析	235
8.4 小結	243
<b>第九章 檢視交通部部頒公路類規範</b>	<b>245</b>
9.1 問卷設計及統計資料	245
9.2 交通部部頒公路類規範修正之建議	247
9.3 交通部公路類規範需修正輕重緩急之建議	250
9.4 小結	253
<b>第十章 廢棄資源物納入本部部頒規範草案之研擬</b>	<b>255</b>
10.1 廢棄資源物納入部頒規範修正原則及草案研擬	255
10.1.1 部頒規範之檢視	255
10.1.2 修改公路類規範原則	257
10.2 初審會議結果及對照表	258
<b>第十一章 結論與建議</b>	<b>269</b>
11.1 結論	269
11.2 建議	271
<b>參考文獻</b>	<b>273</b>

附錄一 期中報告意見回覆表 .....	277
附錄二 期末報告意見回覆表 .....	281
附錄三 工作小組會議記錄.....	283
附錄 3.1 第一次工作小組會議.....	283
附錄 3.2 第二次工作小組會議.....	284
附錄 3.3 第三次工作小組會議.....	285
附錄 3.4 第四次工作小組會議.....	286
附錄 3.5 第五次工作小組會議.....	287
附錄 3.6 第六次工作小組會議.....	288
附錄四 專家座談會議記錄.....	289
附錄五 訪談業者記錄.....	293
附錄六 初審會議記錄.....	297
附錄 6.1 第一次初審會議紀錄.....	297
附錄 6.1 .1 交通部柔性鋪面設計規範草案 .....	298
附錄 6.1 .2 交通部公路工程施工規範草案 .....	299
附錄 6.2 第二次初審會議紀錄.....	300
附錄 6.2.1 交通部柔性鋪面設計規範草案 .....	301
附錄 6.2.2 交通部公路工程施工規範草案 .....	302
附錄 6.3 第三次初審會議紀錄.....	305
附錄 6.3.1 交通部柔性鋪面設計規範草案 .....	306
附錄 6.3.2 交通部公路工程施工規範草案 .....	307
附錄 6.3.3 公路養護手冊草案 .....	313
附錄 6.3.4 公路景觀設計規範草案 .....	313
附錄七 廢棄資源物項目 .....	315
附錄八 辦理研討會 .....	317



## 圖目錄

圖 1.1 研究流程 .....	3
圖 2.1 行政院永續發展委員會組織圖 .....	6
圖 2.2 國土資源組分工內容 .....	6
圖 2.3 環保署對廢棄物資源化政策推展過程 .....	7
圖 2.4 各部會管理辦法及管理方式概況圖 .....	8
圖 2.5 廢棄資源物分類簡圖 .....	10
圖 2.6 國內廢棄物分類圖 .....	12
圖 2.7 90 年度台灣廢棄物產量流向圖【2】 .....	13
圖 2.8 國內常用營建資源再生及再利用材料分類 .....	28
圖 2.9 再利用基本原則示意圖 .....	29
圖 2.10 市場機制與廢棄資源物應用關係圖 .....	32
圖 2.11 「國家永續發展行動計畫表一國土資源組」架構內容 .....	40
圖 2.12 「挑戰 2008：國家發展重點計畫」相關計畫架構內容 .....	42
圖 2.13 「推動營建資源再利用於公共工程行動計畫」之績效管考單位 .....	46
圖 3.1 研究流程 .....	55
圖 3.2 國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討流程 .....	59
圖 3.3 產生及再利用者管理介面-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例 .....	61
圖 3.4 公告後之申請流程圖-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例 .....	61
圖 3.5 連線事業廢棄物管制資訊網-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例 .....	61
圖 3.6 營建事業再生資源再生利用管理辦法之相關要點-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例 .....	62
圖 3.7 材料實驗計畫 .....	62
圖 3.8 PH 值測定儀 .....	69
圖 3.9 水溶性氯離子試驗 .....	71



圖 3.10 彈性模數試驗 .....	74
圖 3.11 潛變試驗 .....	75
圖 3.12 TSR 抽氣槽 .....	76
圖 3.13 間接張力試驗 .....	77
圖 3.14 輪壓機.....	79
圖 3.15 輪跡試驗儀.....	79
圖 3.16 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀外觀 .....	80
圖 3.17 探針式和表面接觸式探測計.....	81
圖 4.1 焚化爐底碴篩分析曲線圖 .....	86
圖 4.2 樹林-粗底碴比重管制圖.....	87
圖 4.3 新店-粗底碴比重管制圖.....	87
圖 4.4 八里-粗底碴比重管制圖.....	87
圖 4.5 樹林-粗底碴吸水率管制圖 .....	87
圖 4.6 新店-粗底碴吸水率管制圖 .....	87
圖 4.7 八里-粗底碴吸水率管制圖 .....	87
圖 4.8 樹林-細底碴比重管制圖.....	87
圖 4.9 新店-細底碴比重管制圖.....	87
圖 4.10 八里-細底碴比重管制圖.....	88
圖 4.11 樹林-細底碴吸水率管制圖 .....	88
圖 4.12 新店-細底碴吸水率管制圖 .....	88
圖 4.13 八里-細底碴吸水率管制圖 .....	88
圖 4.14 樹林-底碴單位重管制圖.....	88
圖 4.15 新店-底碴單位重管制圖.....	88
圖 4.16 八里-底碴單位重管制圖.....	88
圖 4.17 樹林-底碴洛杉磯磨損率管制圖 .....	89

圖 4.18 新店-底碴洛杉磯磨損率管制圖 .....	89
圖 4.19 八里-底碴洛杉磯磨損率管制圖 .....	89
圖 4.20 樹林-粗底碴健性管制圖 .....	90
圖 4.21 新店-粗底碴健性管制圖 .....	90
圖 4.22 八里-粗底碴健性管制圖 .....	90
圖 4.23 樹林-細底碴健性管制圖 .....	90
圖 4.24 新店-細底碴健性管制圖 .....	90
圖 4.25 八里-細底碴健性管制圖 .....	90
圖 4.26 樹林-底碴含泥量管制圖 .....	91
圖 4.27 新店-底碴含泥量管制圖 .....	91
圖 4.28 八里-底碴含泥量管制圖 .....	91
圖 4.29 鋅含量分析結果 .....	91
圖 4.30 鉛含量分析結果 .....	91
圖 4.31 銅含量分析結果 .....	92
圖 4.32 鉻含量分析結果 .....	92
圖 4.33 六價鉻含量分析結果 .....	92
圖 4.34 基層級配調整圖 .....	94
圖 4.35 底層級配調整圖 .....	94
圖 4.36 100%底碴夯實曲線圖 .....	96
圖 4.37 80%底碴夯實曲線圖 .....	96
圖 4.38 60%底碴夯實曲線圖 .....	96
圖 4.39 原土級配夯實曲線圖 .....	96
圖 4.40 修正 CBR 與乾密度關係(100%底碴) .....	97
圖 4.41 修正 CBR 值與乾密度關係(80%底碴) .....	97
圖 4.42 修正 CBR 與乾密度關係(60%底碴) .....	97

圖 4.43 修正 CBR 與乾密度關係(碎石級配).....	97
圖 4.44 0%底碴夯實曲線圖.....	98
圖 4.45 10%底碴夯實曲線圖.....	98
圖 4.46 20%底碴夯實曲線圖.....	98
圖 4.47 30%底碴夯實曲線圖.....	98
圖 4.48 修正 CBR 值與乾密度關係(碎石級配).....	99
圖 4.49 修正 CBR 值與乾密度關係(0%底碴).....	99
圖 4.50 修正 CBR 值與乾密度關係(20%底碴).....	99
圖 4.51 修正 CBR 值與乾密度關係(30%底碴).....	99
圖 4.52 回彈模數試驗結果比較圖 .....	101
圖 4.53 潛變模數試驗結果比較圖 .....	103
圖 4.54 間接張力強度比較圖 .....	104
圖 4.55 間接張力-功比較圖.....	104
圖 4.56 TSR 比較圖 .....	106
圖 4.57 間接張力-功比較圖.....	106
圖 4.58 變形量與輾壓次數關係曲線.....	107
圖 4.59 動穩定值比較圖 .....	108
圖 4.60 變形率比較圖 .....	108
圖 4.61 壓密度與壓實圈數之關係 .....	109
圖 4.62 對照組級配降格情形 .....	110
圖 4.63 添加 10%底碴級配降格情形 .....	110
圖 4.64 添加 20%底碴級配降格情形 .....	110
圖 4.65 瀝青處理底層回彈模數比較圖 .....	112
圖 4.66 瀝青處理底層潛變模數試驗結果比較圖.....	113
圖 4.67 間接張力強度比較圖 .....	114

圖 4.68 間接張力-功比較圖 .....	115
圖 4.69 改質三型瀝青黏滯度與溫度關係圖 .....	118
圖 4.70 滾壓次數與車轍深度關係圖 .....	122
圖 4.71 轉爐石添加比例與動穩定值趨勢圖 .....	122
圖 4.72 滾壓次數與車轍深度關係圖 .....	131
圖 4.73 轉爐石添加比例與動穩定值趨勢圖 .....	131
圖 4.74 洛杉磯磨損率與吸水率關係 .....	141
圖 4.75 溫度 70℃ 養治下三廠電弧爐渣之浸水膨脹量 .....	142
圖 4.76 廢混凝土塊粒徑分佈曲線 .....	142
圖 4.77 廢混凝土塊細比重管制圖 .....	144
圖 4.78 廢混凝土塊含泥量管制圖 .....	144
圖 4.79 廢混凝土塊健性管制圖 .....	144
圖 4.80 廢混凝土塊各批次篩分析結果 .....	144
圖 4.81 一天抗壓強度試驗結果 .....	145
圖 4.82 左車道撓度檢測結果曲線圖 .....	147
圖 4.83 右車道撓度檢測結果曲線圖 .....	148
圖 5.1 試鋪道路斷面圖-1 .....	151
圖 5.2 試鋪道路斷面圖-2 .....	151
圖 5.3 施工中成效評估內容示意圖 .....	152
圖 5.4 長期成效評估內容示意圖 .....	153
圖 5.5 現地取料與現地鑽心回彈模數試驗結果比較圖 .....	158
圖 5.6 現地取料與現地鑽心回彈模數試驗結果比較圖 .....	159
圖 5.7 現地取料面層潛變試驗結果比較圖 .....	160
圖 5.8 現地鑽心面層潛變試驗結果比較圖 .....	161
圖 5.9 現地取料瀝青處理底層潛變試驗結果比較圖 .....	162

圖 5.10 現地鑽心瀝青處理底層潛變試驗結果比較圖 .....	163
圖 5.11 高低平坦儀 .....	164
圖 5.12 抗滑試驗比較圖 .....	165
圖 5.13 摩擦係數比較圖 .....	165
圖 5.14 面層間接張力比較圖 .....	168
圖 5.15 底層間接張力比較圖 .....	168
圖 5.16 面層間接張力—功比較圖 .....	168
圖 5.17 底層間接張力—功比較圖 .....	168
圖 5.18 成效評估流程圖 .....	169
圖 5.19 車轍試驗點位圖 .....	170
圖 5.20 順向車轍試驗結果 .....	171
圖 5.21 逆向車轍試驗結果 .....	171
圖 5.22 抗滑試驗點位圖 .....	172
圖 5.23 順向抗滑試驗結果 .....	173
圖 5.24 逆向抗滑試驗結果 .....	173
圖 5.25 順向平坦度試驗結果 .....	174
圖 5.26 逆向平坦度試驗結果 .....	174
圖 5.27 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線示意圖 .....	175
圖 5.28 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面厚度圖 .....	177
圖 5.29 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線 A1 雷達圖 .....	178
圖 5.30 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面凸起照-測線 A1 .....	178
圖 5.31 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面凸起照-測線 A2 .....	179
圖 5.32 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線 A2 雷達圖 .....	179
圖 5.33 順向鋪面狀況 .....	180
圖 5.34 逆向鋪面狀況 .....	180

圖 5.35 鋪面破壞積水處 .....	180
圖 5.36 檢測道路標線反光度之儀器 .....	184
圖 6.1 柔性鋪面結構示意圖 .....	187
圖 6.2 成本分析架構圖 .....	189
圖 6.3 再生材料應用於道路鋪面評估流程圖 .....	196
圖 7.1 現行營建資源處理架構.....	200
圖 7.2 現行營建資源執行管理架構.....	201
圖 7.3 營建剩餘土石方流向及總量管制架構 .....	203
圖 7.4 兩階段申報查核及勾稽管制作業流程 .....	206
圖 7.5 環保署源頭理與清運管制架構 .....	209
圖 7.6 事業廢棄物網路申報管制作業流程 .....	210
圖 7.7 營建資源再利用資訊平台管理體系 .....	219
圖 8.1 玻璃瀝青級配曲線圖 .....	226
圖 8.2 轉爐碴瀝青處理底層級配曲線圖 .....	231
圖 8.3 轉爐碴取代量與成本關係圖.....	242
圖 8.4 轉爐碴粗料取代 0%與成本關係圖 .....	242
圖 8.5 轉爐碴粗料取代 10%與成本關係圖 .....	242
圖 8.6 轉爐碴粗料取代 20%與成本關係圖 .....	243
圖 8.7 轉爐碴粗料取代 30%與成本關係圖 .....	243
圖 8.8 轉爐碴粗料取代 40%與成本關係圖 .....	243
圖 8.9 轉爐碴粗料取代 50%與成本關係圖 .....	243
圖 9.1 問卷發放各單位百分比.....	245
圖 9.2 各單位對交通部部頒規範引用頻率情況.....	245



## 表目錄

表 2.1 物質資源分類與廢棄物問題對策 .....	5
表 2.2 經濟部公告四十三項一般事業廢棄物再利用類別 .....	11
表 2.3 內政部營建署公告八項營建事業廢棄物再利用類別 .....	11
表 2.4 國內事業廢棄物公告及申請再利用現況【2】 .....	14
表 2.5 事業廢棄物處理處置現況【3】 .....	15
表 2.6 各國一般廢棄物處理處置狀況 .....	16
表 2.7 日本再生資源類別及主管機關 .....	19
表 2.8 日本再生資源利用促進法之分類標準 .....	19
表 2.9 美國廢棄資源物應用於道路工程統計表（單位：百萬公噸） .....	21
表 2.10 「資源循環及廢棄物管理法」之廢棄物類別【10】 .....	23
表 2.11 德國廢棄資源物應用於道路工程統計表（單位：百萬公噸） .....	24
表 2.12 荷蘭廢棄物預防、再利用與最終處置預估量 .....	25
表 2.13 荷蘭廢棄資源物應用於道路工程統計表（單位：百萬公噸） .....	26
表 2.14 各國焚化底碴資源化應用方法 .....	35
表 2.15 國內底碴再利用用途統計 .....	36
表 2.16 焚化底碴再利用技術層次分類 .....	36
表 2.17 各部會年度廢棄混凝土數量利用率 .....	39
表 2.18 推動營建資源再生利用工作具體措施 .....	40
表 2.19 推動營建資源再利用於公共工程相關部會權責分工表 .....	43
表 2.20 使用廢棄混凝土再利用率績效指標 .....	44
表 2.21 營建廢棄混凝土資源再利用於公共工程示範案例相關資料 .....	45
表 2.22 內政部建研所推動廢棄混凝土再利用於次要結構相關具體措施表 .....	48
表 2.23 推動營建資源再利用於水土保持工程具體措施表 .....	49



表 2.24 國道新建工程局推動營建資源再利用於公共工程具體措施表.....	50
表 2.25 國道新建工程局執行廢棄混凝土再利用具體措施表.....	50
表 2.26 高公局執行廢棄混凝土再利用具體措施表.....	51
表 2.27 經濟部水利署推動營建資源再利用相關具體措施表.....	52
表 3.1 本團隊進行相關完成試驗道路.....	56
表 3.2 本團隊進行中相關試驗道路.....	56
表 3.3 基本性質試驗項目及參照規範.....	64
表 3.4 土壤及土壤粒料混合物之分類.....	65
表 3.5 鋪面成效評估項目及方式.....	81
表 4.1 TCLP 試驗分析結果.....	92
表 4.2 底碴土壤分類試驗結果.....	93
表 4.3 底碴含砂當量試驗結果.....	94
表 4.4 各種路面之含砂當量規定.....	94
表 4.5 基層含砂當量變化情形.....	95
表 4.6 底層含砂當量變化情形.....	95
表 4.7 摻配不同比例底碴重金屬濃度變化.....	95
表 4.8 焚化爐底碴夯實結果.....	95
表 4.9 基層各配比在不同夯實次數下之修正 CBR 值.....	96
表 4.10 基層各配比在 98%乾密度下之修正 CBR 值.....	96
表 4.11 基層各配比 4 天膨脹率.....	97
表 4.12 焚化爐底碴底層夯實結果.....	98
表 4.13 底層各配比在不同夯實次數下之修正 CBR 值.....	99
表 4.14 底層各配比在 98%乾密度下之修正 CBR 值.....	99
表 4.15 底層各配比 4 天膨脹率.....	99
表 4.16 粒料基本物性試驗結果.....	100

表 4.17 面層配合設計結果 .....	100
表 4.18 回彈模數試驗結果 .....	101
表 4.19 底碴各摻配量 25°C 回彈模數變異數分析 .....	102
表 4.20 底碴各摻配量 40°C 回彈模數變異數分析 .....	102
表 4.21 靜態潛變試驗結果 .....	103
表 4.22 底碴各摻配量 25°C 潛變模數變異數分析 .....	103
表 4.23 底碴各摻配量 40°C 潛變模數變異數分析 .....	103
表 4.24 間接張力試驗結果 .....	104
表 4.25 25°C 間接張力變異數分析 .....	105
表 4.26 40°C 間接張力變異數分析 .....	105
表 4.27 25°C 間接張力-功變異數分析 .....	105
表 4.28 40°C 間接張力-功變異數分析 .....	105
表 4.29 浸水殘餘間接張力試驗結果 .....	106
表 4.30 車轍輪跡試驗結果 .....	107
表 4.31 壓實後級配降格比較表 .....	109
表 4.32 瀝青處理底層試驗結果 .....	111
表 4.33 瀝青處理底層回彈模數試驗結果 .....	112
表 4.34 瀝青處理底層 25°C 回彈模數變異數分析 .....	112
表 4.35 瀝青處理底層 40°C 回彈模數變異數分析 .....	112
表 4.36 瀝青處理底層靜態潛變試驗結果 .....	113
表 4.37 瀝青處理底層 25°C 潛變模數變異數分析 .....	113
表 4.38 瀝青處理底層 40°C 潛變模數變異數分析 .....	113
表 4.39 間接張力試驗結果 .....	114
表 4.40 25°C 間接張力變異數分析 .....	114
表 4.41 40°C 間接張力變異數分析 .....	114

表 4.42 25°C 間接張力變異數分析 .....	115
表 4.43 40°C 間接張力變異數分析 .....	115
表 4.44 轉爐石物理性質 .....	116
表 4.45 轉爐石篩分析表(%) .....	116
表 4.46 轉爐石化學組成(%) .....	117
表 4.47 天然粒料物理性質 .....	117
表 4.48 天然粒料篩分析表(%) .....	117
表 4.49 改質三型瀝青物理性質 .....	118
表 4.50 纖維物理性質 .....	118
表 4.51 各摻配比例之工作拌合公式 .....	119
表 4.52 排水性瀝青混凝土配合設計結果 .....	119
表 4.53 25°C 回彈模數試驗結果 .....	120
表 4.54 40°C 回彈模數試驗結果 .....	120
表 4.55 25°C 回彈模數變異數分析 .....	121
表 4.56 25°C 回彈模數迴歸分析 .....	121
表 4.57 40°C 回彈模數變異數分析 .....	121
表 4.58 40°C 回彈模數迴歸分析 .....	121
表 4.59 車轍輪跡試驗結果 .....	122
表 4.60 滯留強度指數試驗結果 .....	123
表 4.61 滯留強度指數變異數分析 .....	123
表 4.62 滯留強度指數迴歸分析 .....	123
表 4.63 抗滑試驗結果 (20°C BPN) .....	124
表 4.64 摩擦係數結果 .....	124
表 4.65 摩擦係數變異數分析 .....	125
表 4.66 摩擦係數 T 檢定表 .....	125

表 4.67 車轍處抗滑試驗結果 (20°C BPN) .....	125
表 4.68 車轍處摩擦係數結果 .....	125
表 4.69 車轍處摩擦係數 T 檢定分析 .....	126
表 4.70 透水試驗結果 (CM/SEC).....	126
表 4.71 透水試驗變異數分析 .....	127
表 4.72 各摻配比例之工作拌合公式(%).....	127
表 4.73 石膠泥瀝青混凝土配合設計結果 .....	128
表 4.74 25°C 回彈模數試驗結果 .....	128
表 4.75 40°C 回彈模數試驗結果 .....	129
表 4.76 25°C 回彈模數變異數分析 .....	129
表 4.77 25°C 回彈模數迴歸分析 .....	129
表 4.78 40°C 回彈模數變異數分析 .....	130
表 4.79 40°C 回彈模數迴歸分析 .....	130
表 4.80 車轍輪跡試驗結果(MM).....	130
表 4.81 TSR 試驗結果 .....	131
表 4.82 TSR 試驗變異數分析 .....	131
表 4.83 TSR 試驗迴歸分析 .....	132
表 4.84 抗滑試驗結果(20°C BPN).....	132
表 4.85 摩擦係數結果 .....	132
表 4.86 摩擦係數變異數分析 .....	133
表 4.87 摩擦係數 T 檢定表 .....	133
表 4.88 車轍處抗滑試驗結果(20°C BPN).....	133
表 4.89 車轍處摩擦係數結果 .....	133
表 4.90 車轍處摩擦係數 T 檢定分析 .....	134
表 4.91 配合設計相關材料配置及用量 .....	136

表 4.92 各瀝青級配之過篩百分率總表 .....	136
表 4.93 瀝青混凝土配合設計結果 .....	136
表 4.94 回彈模數試驗結果 .....	137
表 4.95 抗滑性試驗結果 .....	137
表 4.96 車轍試驗結果 .....	138
表 4.97 TSR 試驗結果 .....	138
表 4.98 室內反光試驗結果 .....	139
表 4.99 各式爐碴和天然岩石之成份比較表 .....	140
表 4.100 廢混凝土塊基本性質試驗結果 .....	143
表 4.101 中油及中塑添加不同比例廢輪胎粉物性試驗結果 .....	146
表 4.102 添加廢輪胎粉之泥瀝青混凝土配合設計結果 .....	147
表 4.103 抗滑檢測結果總表 .....	148
表 5.1 底層各斷面工地密度 .....	153
表 5.2 基層各斷面工地密度 .....	154
表 5.3 各斷面 CBR 值 .....	155
表 5.4 施工後底層勁度試驗結果 .....	155
表 5.5 施工後底層勁度變異數分析結果 .....	156
表 5.6 施工後基層勁度試驗結果 .....	156
表 5.7 施工後鑽心試體壓實度試驗結果 .....	157
表 5.8 施工後面層回彈模數試驗結果 .....	158
表 5.9 施工後瀝青處理底層回彈模數試驗結果 .....	159
表 5.10 現地取料面層靜態潛變試驗結果 .....	160
表 5.11 現地鑽心面層靜態潛變試驗結果 .....	161
表 5.12 現地取料瀝青處理底層靜態潛變試驗結果 .....	162
表 5.13 現地鑽心瀝青處理底層靜態潛變試驗結果 .....	163

表 5.14 平坦度試驗結果 .....	164
表 5.15 抗滑試驗結果 .....	165
表 5.16 施工後面層勁度試驗結果 .....	166
表 5.17 面層間接張力試驗結果 .....	167
表 5.18 瀝青處理底層間接張力試驗結果 .....	167
表 5.19 95.10.27 彭柯曼樑試驗結果表(1/1000MM) .....	175
表 5.20 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線施測參數 .....	176
表 5.21 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面鋪面厚度分析 .....	176
表 5.22 試鋪路段 PCI 數據 .....	180
表 5.23 玻璃瀝青路面三次工地試鋪紀錄表 .....	181
表 5.24 玻璃瀝青混凝土鋪面通車一年後之工地檢測資料 (廢玻璃添加量 10%) .....	182
表 5.25 九十二年度玻璃砂道路統計表 .....	183
表 5.26 新光路與至善路抗滑能力試驗值 .....	184
表 5.27 室外反光試驗結果 .....	185
表 6.1 台灣地區天然砂石平均價格表 (不含運費) .....	190
表 6.2 台灣地區卡車運輸費用平均價格表 (30KM 內, 單位: 元) .....	191
表 6.3 台灣地區天然砂石平均價格表 (元/噸) .....	191
表 6.4 台灣地區水泥平均價格表 (該區含運費, 單位: 元/公噸) .....	191
表 6.5 台灣地區預拌混凝土平均價格表 (連工帶料含運費) .....	192
表 6.6 台灣地區瀝青混凝土平均價格表 (拌和後含運費, 元/公噸) .....	192
表 7.1 D05 類 (土木及建築廢棄物) 與 B8 營建混合物之處理場所管理現況 .....	207
表 7.2 應網路傳輸方式申報事業廢棄物流向之公告事業 .....	208
表 7.3 事業廢棄物源頭管理及流向管制作業要項 .....	211
表 7.4 環保與工務管理體系之比較 .....	215
表 7.5 舊版事業廢棄物代碼分類 .....	216

表 7.6 新、舊 D05 (土木及建築廢棄物) 廢棄物代碼物種修正差異 .....	217
表 7.7 環保與工務申報系統之比較.....	218
表 8.1 再生材料市場資料表 .....	221
表 8.2 台灣地區道路里程概況表 (單位：公里) .....	222
表 8.3 再生材料價格成本分析表 (單位：元/公噸) .....	222
表 8.4 每噸水淬高爐石粉處理成本分析表 (南部) .....	223
表 8.5 每噸轉爐石處理成本分析表 (南部) .....	223
表 8.6 每噸玻璃砂處理成本分析表 (北部) .....	224
表 8.7 每噸焚化爐灰渣處理成本分析表 (北部) .....	224
表 8.8 再生材料與天然砂石價格比較表 (元/噸) .....	225
表 8.9 摻配玻璃砂級配與台北市規範對照表 .....	226
表 8.10 玻璃瀝青混凝土與傳統瀝青混凝土配合設計結果 .....	227
表 8.11 每噸玻璃瀝青混凝土單價分析表 .....	227
表 8.12 爐渣瀝青混凝土配合設計結果 .....	228
表 8.13 每噸爐渣瀝青混凝土單價分析表 .....	230
表 8.14 轉爐渣瀝青處理底層級配與規範對照表.....	231
表 8.15 轉爐渣瀝青處理底層配合設計結果.....	231
表 8.16 每噸轉爐渣瀝青處理底層單價分析表 .....	232
表 8.17 灰渣與爐渣基底層配比設計.....	232
表 8.18 每噸灰渣與爐渣基底層級配單價分析表.....	233
表 8.19 台灣南北面層鋪裝單價分析表 .....	234
表 8.20 底渣成本分析表 (單位：元/公噸) .....	234
表 8.21 鋪裝單價分析表 .....	235
表 8.22 面層每噸底渣瀝青混凝土生產成本單價分析表 .....	236
表 8.23 處理底層每噸底渣瀝青混凝土生產成本單價分析表 .....	237

表 8.24 面層鋪設費用比較表 .....	238
表 8.25 處理底層層鋪設費用比較表 .....	238
表 8.26 CLSM 摻配焚化爐底渣材料成本單價分析表 .....	239
表 8.27 單位重與施工成本單價分析表(含運費).....	240
表 8.28 轉爐渣取代率與成本分析表.....	241
表 9.1 各規範適用性及成效統計評分表 .....	246
表 9.2 各規範問卷統計修正評分 .....	247
表 9.3 各規範問卷統計修訂年限意見百分比 .....	247
表 9.4 各委員對部頒規範修訂之建議 .....	248
表 9.5 交通部部編公路類規範大綱.....	250
表 9.6 問卷調查部頒規範修訂順序.....	252
表 10.1 交通部部編公路類規範.....	255
表 10.2 建議修正交通部頒規範章節綱要 .....	256
表 10.3 交通部柔性鋪面設計規範草案 .....	260
表 10.4 交通部公路工程施工規範草案 .....	261
表 10.5 公路養護手冊草案 .....	266
表 10.6 公路景觀設計規範草案.....	267





# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

在我國逐步成為已開發國家，並大力推動各項重大公共建設振興經濟的同時，亦應兼顧生態環境之維護，以落實「綠色矽島」之既定政策，故公共工程之執行應考量建立資源再利用之相關機制，以預作國家永續發展之長遠準備；行政院環境保護署業於九十一年七月三日公佈「資源回收再利用法」，並於九十二年七月三日全面實施，且為配合行政院「綠建築推動方案」工作項目，交通部於民國九十一年五月已完成廢棄混凝土應用於公路構造物之規範草案研擬，此次作業係配合行政院「綠建築推動方案」工作項目，將廢棄混凝土回收再生利用之規定納入而進行。其草案為由交通部委由台灣營建研究院所提出，經交通部邀集多位產官學界專家，召開多次複審會議而獲得共識。此次規範修訂包括「路基工程」、「路面工程」及「混凝土工程」等章節之相關內容，以期有效節省自然資源之使用，減少廢棄物之產生，並積極促進資源回收再利用，以減輕環境負荷。

## 1.2 研究目的

本研究係依據公共工程委員會函為推動垃圾焚化爐底渣再利用於公共工程，研議配合納入公路工程設計規範，期達成行政院環保署朝著垃圾零廢棄目標外，並能有效提升資源再利用率進行研究辦理。由於目前再生資源種類繁多，各種再生資源性質不一，為有效提升資源再利用率，本研究將針對公路工程各層結構進行探討研擬應用再生材料時，再生材料應有的物、化性質，以符合公路工程的基本要求，並應以符合環保署之相關規定為前提。

本研究主要進行資源再利用於公共工程之規範草案研擬外，另須針對本部公路類規範進行全面審視，在研究過程中至少包含以訪談、問卷、研討等方式，並參考國外相關規範之制定及管理方式，於研究報告中列出規範需修正之輕重緩急建議，供作規範管理之參考。

### 1.3 預期完成的工作項目

本研究針對『廢棄資源再利用於公路工程規範草案之研究』之評估的重點及項目如下所示，而整體研究流程如圖 1.1 所示：

- 一、國內外廢棄資源再利用於公路工程技術文獻彙整：收集國內外廢棄資源再利用於公路工程技術之工法特性、適用情形與成效等文獻（包含與本研究相關之規範）。
- 二、國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討：探討目前國內廢棄資源再利用於公路工程技術所發生之問題，並提出改善方法。
- 三、事例集之編撰及驗證，編撰事例集並現地驗證及提出注意事項，提供工程師在施工時之參考。至少包含材料應用、機具配合、成本分析。
- 四、提出應用廢棄資源再利用於公路工程時，其維護管理或拆除時，挖除材料移動追蹤，或再利用之管理模式。
- 五、提出至少蒐集 3 種以上廢棄資源再利用材料進行相關試驗之（至少包括毒性試驗、溶出、配比、壓密度、耐久性）結果及建議事項。
- 六、完成全面檢視本部公路類規範，提出與本研究（廢棄物資源再利用於公共工程）有關規範修正草案研擬（含初審）。
- 七、另提出本部公路類規範需修正輕重緩急之建議。

### 1.4 預期成果、效益及其應用

- 一、提出廢棄資源再利用於公路工程之技術、設計、施工與管理方針。
- 二、提出事例集及注意事項。
- 三、提出與本研究（廢棄物資源再利用於公共工程）相關規範之修正建議。
- 四、提出本部公路類規範需修正輕重緩急之建議。

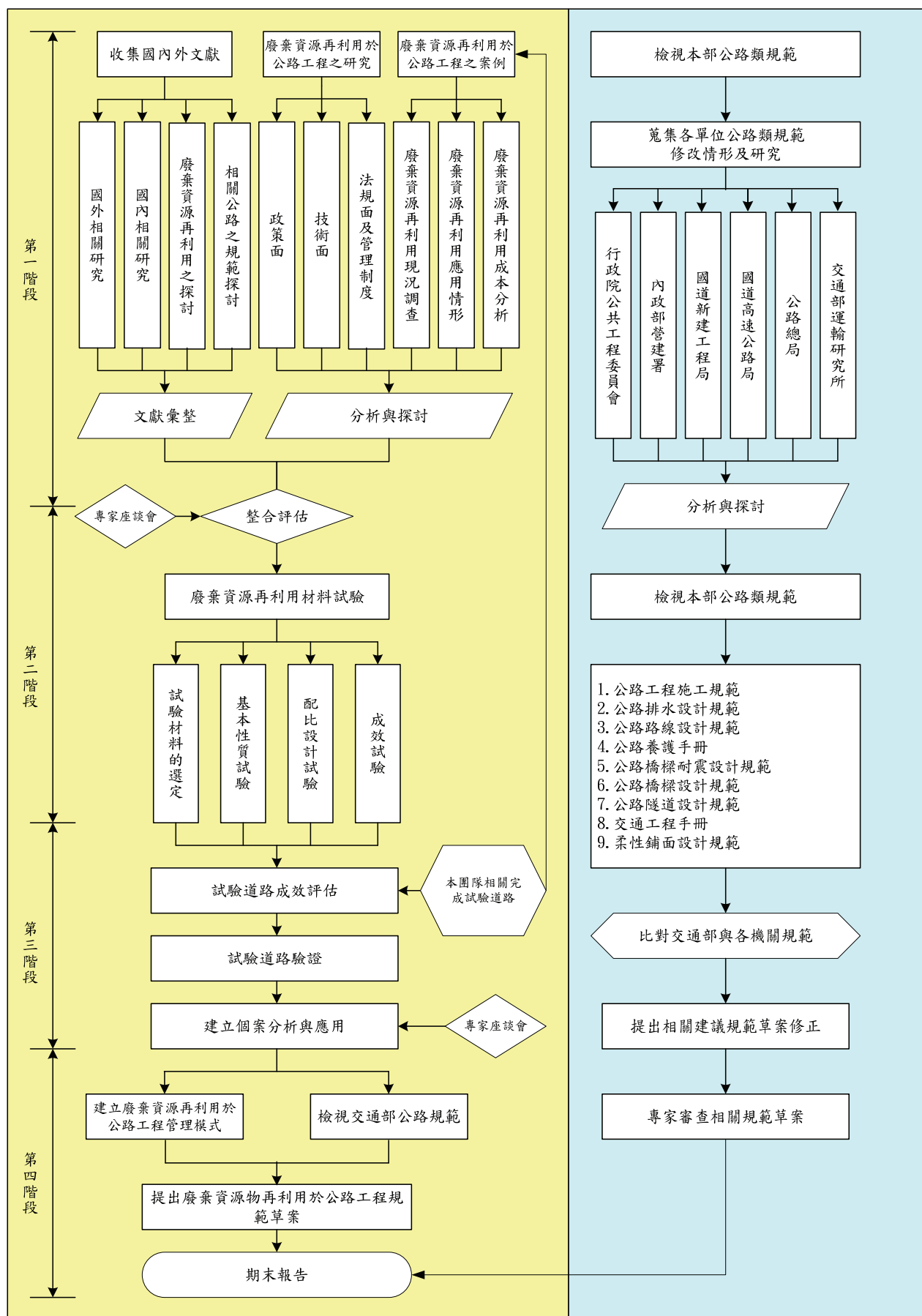


圖 1.1 研究流程



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 廢棄資源物概述【1】【2】

一個國家的廢棄物種類，依其國家的經濟活動而有所差異，一般而言，廢棄物通常定義為無法利用或無利用價值的資源。

人類所有的活動均會耗用『資源』，資源在利用後必然會產生廢棄物，這是資源耗竭的觀念。表 2.1 整理了地球物質資源的分類與相對產生的廢棄物問題對策，在人類賴以生存的資源中，最基本也是最重要的地下資源，屬於目前技術上尚無法生產的部分，這些重要資源的日益耗竭，也是人類推動資源回收再利用的重要誘因。

表 2.1 物質資源分類與廢棄物問題對策

資源分類		廢棄物產生問題	基本對策	
地下資源、無法人工生產的資源	金屬資源	地表常見 (Fe、Ca、Al、Mg、Mn 等)	低濃度對生態影響不大，集中則會產生重金屬污染。	氧化還原、回收再利用。
		地表稀有 (Hg、P <sub>b</sub> 、Ni、Zn、C <sub>d</sub> 、As 等)	易殘留累積於生物體內，微量便會造成生態系重金屬污染。	完全固化、分離濃縮、儲存保管。
	非金屬資源	地表常見 (P、Cl、S、Si 等)	對生態影響較小。	破碎後再利用或土壤分解。
		地表稀少 (F、I 等)	污染生態系。	固化處理。
	化石燃料	一次製品 (煤炭、石油、瀝青、天然氣等)	油膜、BOD 生成源，造成生態系破壞。	分離後再利用、能源利用。
		二次製品 (塑膠、合成橡膠、合成溶劑等)	自然界難以分解、產生 COD、具毒性、發泡等。	使用限制、轉換成易分解物、固化處理。
燃燒生成物		SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、HC 等造成大氣污染、熱污染。	餘熱利用、安定化、能源循環利用。	
地上資源 可人工生產	食物	BOD、惡臭、疾病寄生蟲源。	飼料肥料化、自然分解循環。	
	木材、天然纖維	腐爛的 BOD 發生源、火災。	有效分解、能源利用。	
	水	水質污濁。	回收再利用、節水。	

資料來源：廢棄物學入門（日本中央法規出版）

以往廢棄物皆被視為是無用物質，在處理處置上常常投入相當龐大的資源、土地、與人力，為了符合國內外日益嚴格的環保要求，社會負擔了不少污染防制成本。然而，『廢棄物』此名詞長久以來一直被誤導，許多過去被忽視的廢棄物或是副產品，均潛藏著再利用的可能性，若善加規劃，則可將其殘餘價值發揮至最大，這也是國內外各項廢棄資源物發展的起源。

故在「永續發展」之世界潮流下，先進國家對於處理廢棄物之趨勢，逐步以資源化為主，因此資源之有效利用，將維繫未來人類經濟活動之命脈，營建工程象徵國家進步發展及增進人類生活之重要工程建設，為避免過度開發製造大量營建廢棄物導致污染環境，將配合資源永續再利用原則，利用廢棄物減量（Reduce）、重複使用（Reuse）、再生利用（Recycle）

以及能源回收（Recovery）等方式，作為營建廢棄物成為有用之再生資源及達到永續發展目標必要手段。

我國對於營建資源再生利用之推動目前尚處於萌芽階段，比起鄰近國家發展較緩慢，為帶動國人追求資源回收循環再利用之理念與行動，行政院永續發展委員會於 2002 年 9 月發布「國家永續發展行動計劃表」，邀集各委員及學者專家，設置八個工作分組，共同合作致力打造一個屬於全民之「永續台灣」，如圖 2.1 所示，並經 95 年 11 月 20 日召開之第 20 次工作會議討論後，完成「永續發展行動計畫」修正草案，總計 462 項工作項目。其中國土資源組以具體行動及目標期程，規劃四大工作任務及十一大工作項目，針對營建資源再生利用部份，於工作任務參、推動綠營建項下之作項目三、推動營建資源再生利用，促進廢棄混凝土等營建資源再生利用，擬定我國相關資源再生利用目標與能源永續發續策略，以落實國土資源之永續發展，圖 2.2 為「國家永續發展行動計畫表－國土資源組」之架構與內容。

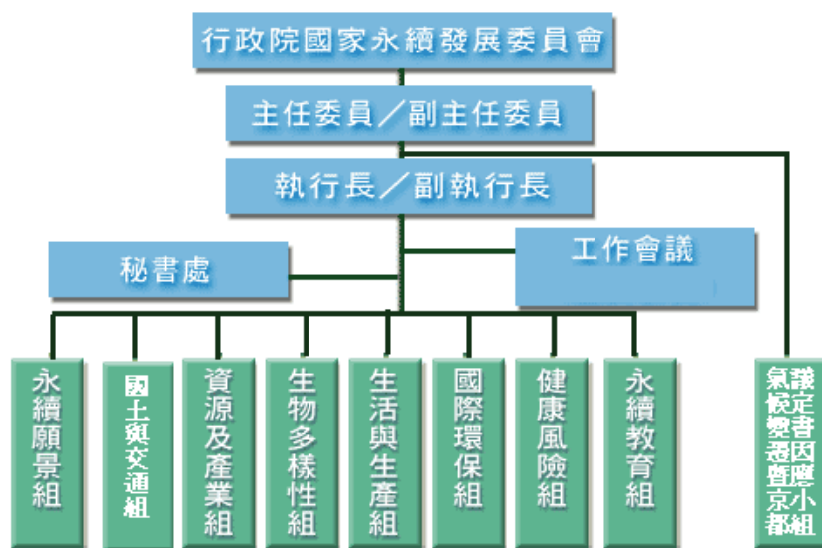


圖 2.1 行政院永續發展委員會組織圖

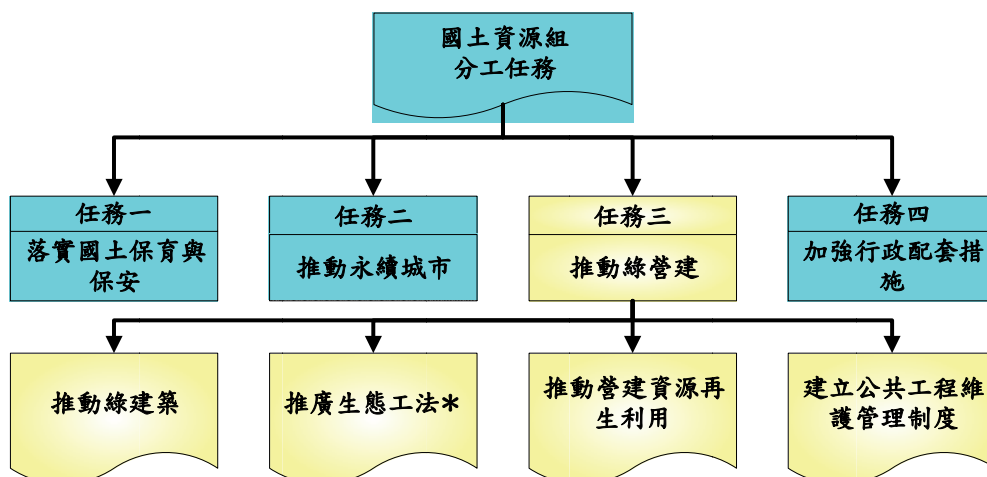


圖 2.2 國土資源組分工內容

近年來由於各項公共工程建設積極推動，天然砂石料之大量開採，天然礦源日趨枯竭，有鑒於資源短缺之危機，以及國際永續發展觀念的推動，尋求新的替代品配合工業廢棄物資源化回收再利用將是未來研究發展之目標。

一個國家的廢棄物種類，依其國家的經濟活動而有所差異，一般而言，廢棄物通常定義為無法利用或無利用價值的資源。以往廢棄物皆被視為是無用物質，在處理處置上常常投入相當龐大的資源、土地、與人力，為了符合國內外日益嚴格的環保要求，社會負擔了不少污染防治成本。然而，『廢棄物』此名詞長久以來一直被誤導，許多過去被忽視的廢棄物或是副產品，均潛藏著再利用的可能性，若善加規劃，則可將其殘餘價值發揮至最大，這也是國內外各項再生材料發展的起源。圖 2.3 為環保署對廢棄物資源化政策推展過程其重點說明。

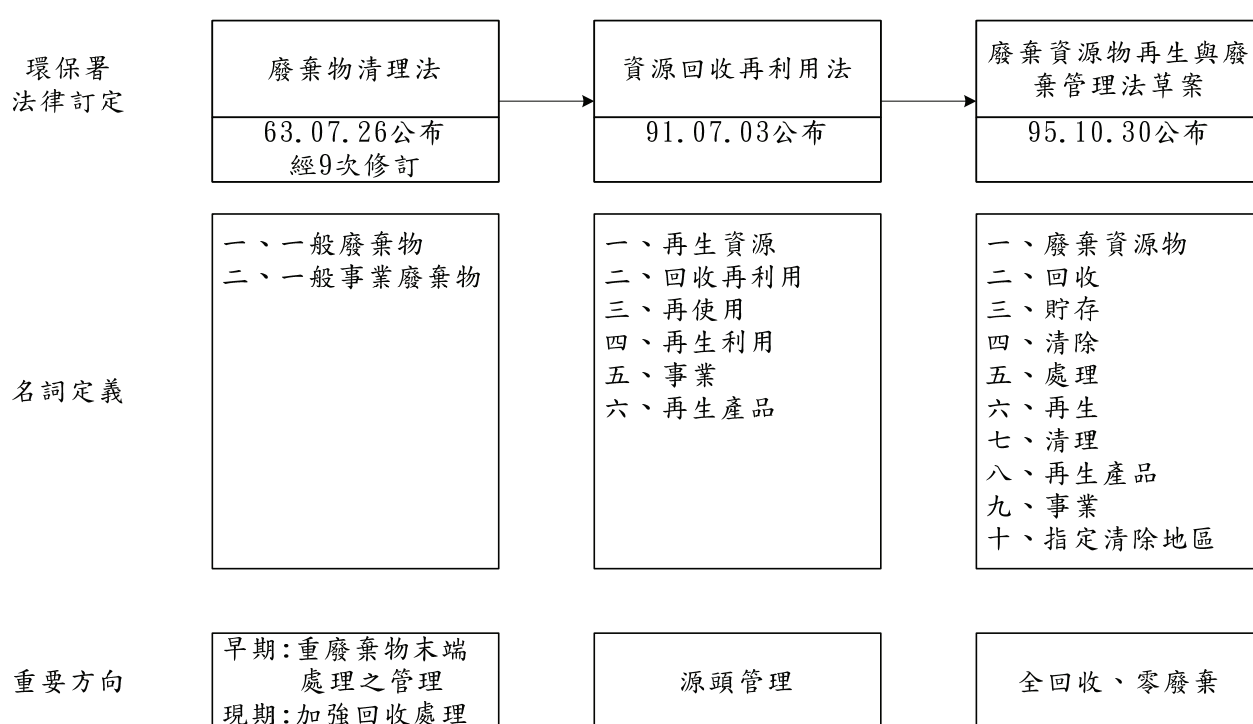


圖 2.3 環保署對廢棄物資源化政策推展過程

考量各部會對於所管轄區事業產生之廢棄物性質、再利用技術與再利用產品之通路較為熟悉，民國 90 年 10 月 24 日修正公布之廢棄物清理法第 39 條規定，即將事業廢棄物之再利用，改由中央目的事業主管機關主政，以更有效推動相關之作業，至民國 95 年底為止，內政部、財政部、經濟部、教育部、交通部、農委會、衛生署及國科會等 8 個部會依廢棄物清理法第 39 條第 2 項規定陸續發布所管理事業之事業廢棄物再利用管理辦法，並公告共計 92 項事業廢棄物可逕行在利用。另一方面，在資源回收再用法，該法於 92 年 07 月 03 日實施後，內政部、經濟部、教育部、交通部、農委會及衛生署，陸續依資源回收再用法第 15 條第 4 項規定發佈相關子法，且在再生資源項目，經濟部公告 2 項、環保署 5 項及內政部 1 項。圖 2.4 為各部會管理辦法及管理方式概況圖。



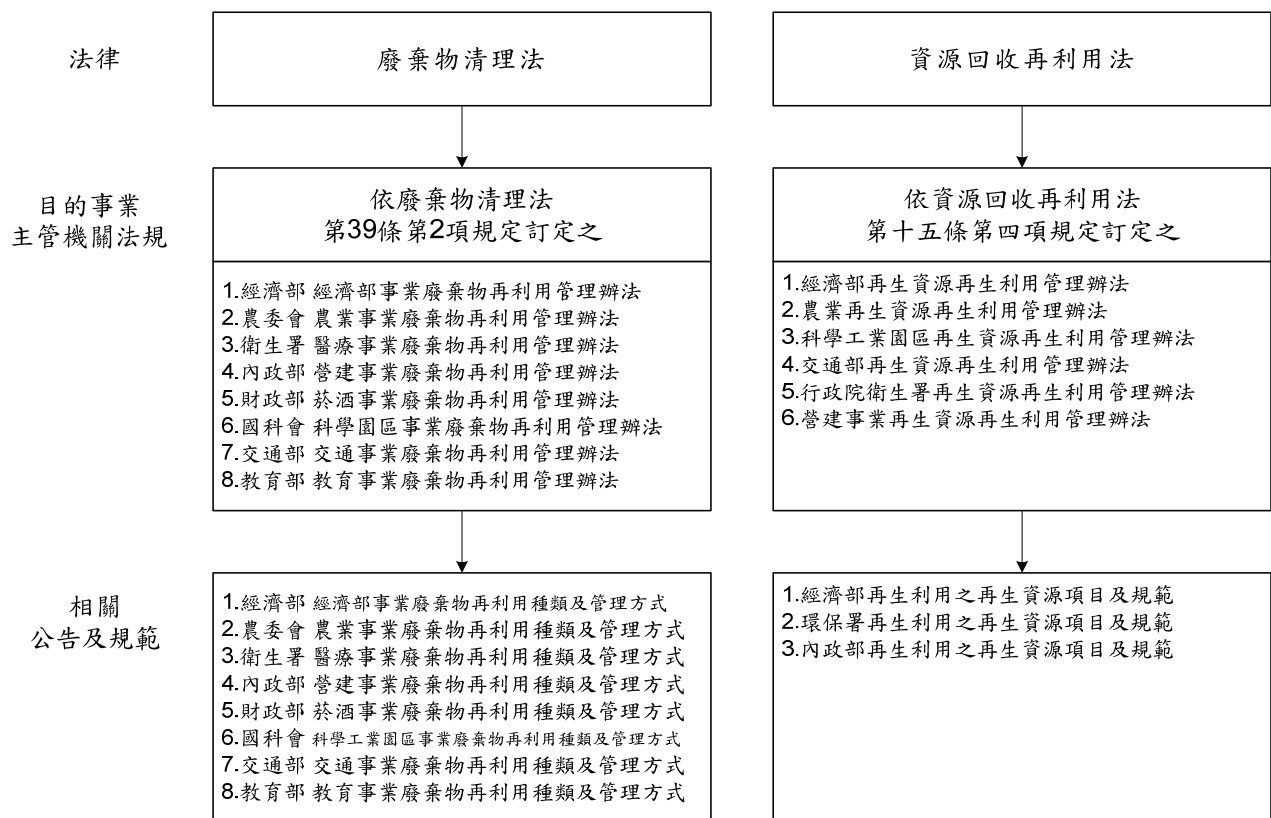


圖 2.4 各部會管理辦法及管理方式概況圖

96 年起，環保署為能達成「全回收、零廢棄」的終極目標，辦理廢棄物清理法與資源回收再利用法之整併工作，並訂定廢棄資源物再生與廢棄管理法草案，整合廢棄物清理法及資源回收再利用法之原有規定，並加強原有資源再生之規範及有效管理廢棄物有其必要性，爰合併原有之「廢棄物」及「再生資源」並予修正定為「廢棄資源物」，擬具「廢棄資源物再生與廢棄管理法」，全文共計十章，為：總則、綠色產品及消費、責任回收物之管理、廢棄資源物清理義務與管理、再生、廢棄資源物清理機構及檢驗測定機構、環境衛生管理、輔導與獎勵、罰則及附則；全文計一百二十八條。

在廢棄資源物再生與廢棄管理法草案裡對廢棄資源物重點敘述如下：

一、廢棄資源物定義：係包含下列可移動性之固態或液態物體：

- 1.被所有者拋棄、放棄或有意拋棄、放棄之物體。
- 2.所有者於產生該物體時本即不具效用或效用不明確之物體。
- 3.因其原始效用已減失致被所有者放棄其原始效用，或其原始效用並未減失但被所有者放棄其原始效用之物體。
- 4.於製造、處理、使用過程中，所產生並非前述各項行為所直接意欲產生者。
- 5.依其他法律規定必須拋棄者。

## 二、廢棄資源物之分類

### 1.廢棄資源物依其有害性分下列二種：

- (1)一般廢棄資源物：有害廢棄資源物以外之廢棄資源物。
- (2)有害廢棄資源物：具有毒性、危險性，其濃度或數量足以影響人體健康或污染環境之廢棄資源物。

### 2.廢棄資源物依其可再生性分下列二種：

- (1)可再生物：可再生之廢棄資源物。
- (2)廢棄物：無法再生之廢棄資源物。

### 3.廢棄資源物除責任回收物外，依其產生源分下列二種：

- (1)生活廢棄資源物：民眾在自宅、工作場所、教育場所、服役場所、監獄及其他中央主管機關認定場所之日常生活行為所產生之廢棄資源物；或政府機關為維護環境衛生所收集之廢棄資源物。
- (2)事業廢棄資源物：組織或個人除生活廢棄資源物外，為追求設立目的之行為所產生之廢棄資源物。

第 1 項有害廢棄資源物之指定或特性認定標準，由中央主管機關定之。

## 三、廢棄資源物處理基本原則

為達成資源永續利用，在可行之技術及經濟為基礎下，廢棄資源物應以避免產生為優先；不能避免者，則應依序考量再使用，其次為原料性再利用及能源性再利用；無法再生者始予中間處理及最終處置。

廢棄資源物避免措施，係指透過生產設備內部之原料再生，採用減少包裝或方便修繕之產品設計，及選購產生較少廢棄資源物或有害物質之商品等，以自始不產生廢棄資源物，及減少數量與有害性為目標之措施。

### 2.1.1 廢棄資源物的定義與特性【2】

本研究所探討之『廢棄資源物』，係指特定事業廢棄物經處理後，應用於道路鋪面工程者，其中主要包含了營建廢棄物、工業副產品及再生資源。

本研究所定義之營建廢棄物，係指建築與結構物在建造、維修、遷移、拆除過程中產生之固體廢棄材料，其種類涵蓋泥、土、砂、石、混凝土塊、磚瓦塊、金屬、玻璃、塑膠、竹片、木材、屋頂材料、裝飾廢料、鋪面材料、絕緣材料、電器材料、包裝材料及其他廢棄物等。

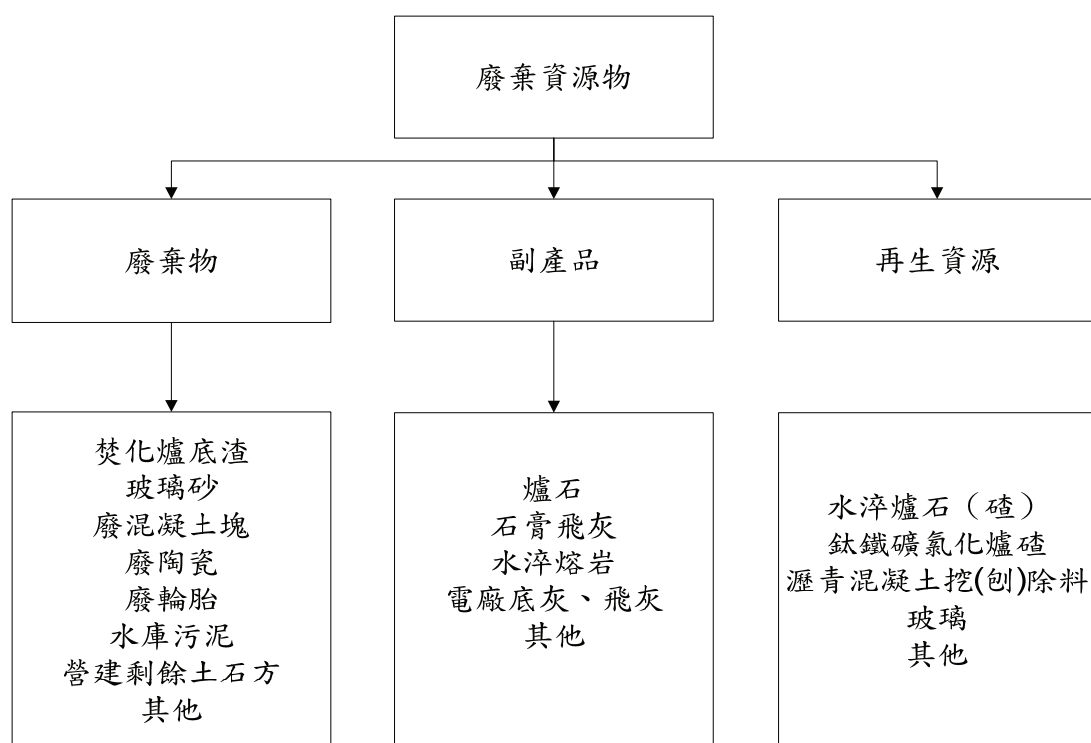


圖 2.5 廢棄資源物分類簡圖

工業廢棄物係指由製造業、發電廠及工業區公共設施所產生之事業廢棄物，其成分符合行政院環保署公告之「有害事業廢棄物認定標準」者，屬有害性之工業廢棄物，其餘屬一般性之工業廢棄物。而工業之副產品則指工業原料加工製造過程中，伴隨產生之產物，此類產物通常無法直接成為構件，需經過加工處理後，方可進行工程上的應用，如鋼鐵製程中的爐石。

隨著台灣經濟成長與產業升級，國家經濟型態已由農業經濟轉為工業經濟體制，因此國內廢棄物主要為事業廢棄物為主，其主要來源包含農業、工業、採礦、醫療、營造業等事業機構產生之廢棄物。種類成分複雜、型式與來源也無法統一，而且數量增加迅速，本身潛在的問題又比一般廢棄物複雜，是國家急需解決的環保問題。因此，國內目前推動資源回收再利用主要對象即是針對廢棄物中的一般事業廢棄物。此外，部分特殊的廢棄物屬於有害廢棄物，若帶有爆炸性、毒性、感染性或其他危害人體健康及居住環境的性質，則必須特別經過處理才可再生利用，此類廢棄物的減量亦是國內急於推動廢棄物再利用的主因之一。

目前環保署將廢棄物再利用的管理辦法交由相關主管事業機構，如經濟部、農委會、衛生署、營建署、及國科會等，均針對其所屬事業機構之廢棄物擬出一套再利用辦法，表 2.2 為經濟部公告四十三項一般事業廢棄物再利用類別，以先前環保署廢止之三十八項為基礎，將部分農業及醫療廢棄物改由農委會及衛生署等公告，而增加了高科技半導體業的事業廢棄物等，充分顯示了我國在經濟發展成高科技產業時，亦考量了環保問題。表中標示深色部分為目前常再利用於營造土木工程之廢棄物種類。

表 2.2 經濟部公告四十三項一般事業廢棄物再利用類別

編號	類別	編號	類別
1.	廢鐵	23.	釀酒汙泥
2.	廢紙	24.	漿紙汙泥
3.	煤灰	25.	紡織汙泥
4.	水淬高爐石（碴）	26.	廢矽藻土
5.	廢木材（板、屑）	27.	廢食用油
6.	廢玻璃（瓶、屑）	28.	廚餘
7.	廢白土	29.	廢橡膠
8.	廢陶、瓷、磚、瓦	30.	茶渣
9.	廢單一金屬料（銅、鋅、鋁、錫）	31.	咖啡渣
10.	廢酒糟、酒粕、酒精醪	32.	廢鈷錳觸媒
11.	廢塑膠（容器）	33.	鈷錳塵灰
12.	廢鑄砂	34.	印刷電路板製造業廢酸性蝕刻液
13.	石材廢料（板、塊）	35.	金屬工業及表面處理業製造業廢酸洗液
14.	石材汙泥	36.	廢活性碳
15.	電弧爐煉鋼爐碴（石）	37.	廢石膏模
16.	感應電爐爐碴（石）	38.	二甲基甲醯胺（DMF）粗液
17.	化鐵爐爐碴（石）	39.	廢沸石觸媒
18.	菸砂（骨、屑）	40.	水產下腳料
19.	蔗渣	41.	禽、畜產肉品加工下腳料
20.	蔗渣煙爐灰	42.	燃油鍋爐集塵灰
21.	製糖濾泥	43.	鋁二級冶煉程序集塵灰
22.	食品加工汙泥		

表 2.3 為內政部營建署針對營建業公告的八項再利用事業廢棄物，目前已經在國內著手推動其施工規範與應用準則，相關研究單位也已經進行研究與試驗一段時日，希望能夠廣泛地應用在營建工程上，成為廢棄資源物。

表 2.3 內政部營建署公告八項營建事業廢棄物再利用類別

編號	類別	編號	類別
1.	廢木材（板、屑）	5.	廢塑膠
2.	廢玻璃屑	6.	廢橡膠
3.	廢鐵	7.	廢瀝青混凝土
4.	廢單一金屬料（銅、鋅、鋁、錫）	8.	營建混合物

## 2.1.2 廢棄資源物的分類

廢棄資源物的分類必須追溯到源頭，亦即成為廢棄資源物之前的廢棄物或副產品來源，圖 2.6 為國內廢棄物分類簡圖，由於具放射性之廢棄物處理必須特別嚴格的管制，在此未將其列入可作為廢棄資源物的範圍裡。

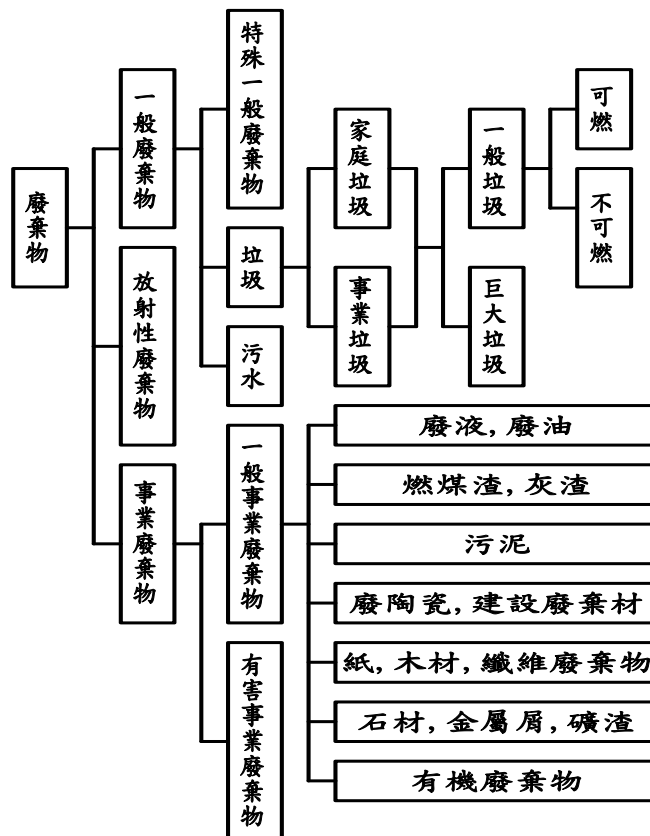


圖 2.6 國內廢棄物分類圖

在我國目前的情形，廢棄物主要還是分成一般廢棄物與事業廢棄物兩大類。一般廢棄物，簡單來說，就是人類日常生活所產生的垃圾與污水等生活廢棄物，可分為污水、垃圾、及特殊一般廢棄物。垃圾又可依其來源分為家庭垃圾與事業垃圾，依大小分為一般或巨大垃圾，並視其最終處理方式分可燃或不可燃。而特殊一般廢棄物，雖為日常生活所常見，但須先行分類，是考量到其性質具可回收性或有危害環境的疑慮時，需統一回收處理的廢棄物，例如：水銀電池。

一般的廢棄物，可由民眾協助自行處理，再以焚化、掩埋進行最終處理，而事業廢棄物中的產業廢棄物，便無法由民眾自行處置，必須透過製造該廢棄物的產業義務性的處理，降低其毒性、感染性、爆發性等影響人類生活環境的因素。因此，世界各國重要的環保法規與再利用均是以此類廢棄物的減量與資源回收再利用為出發點，力求國內經濟發展與環境生態達到平衡。

### 2.1.3 廢棄資源物適用用途

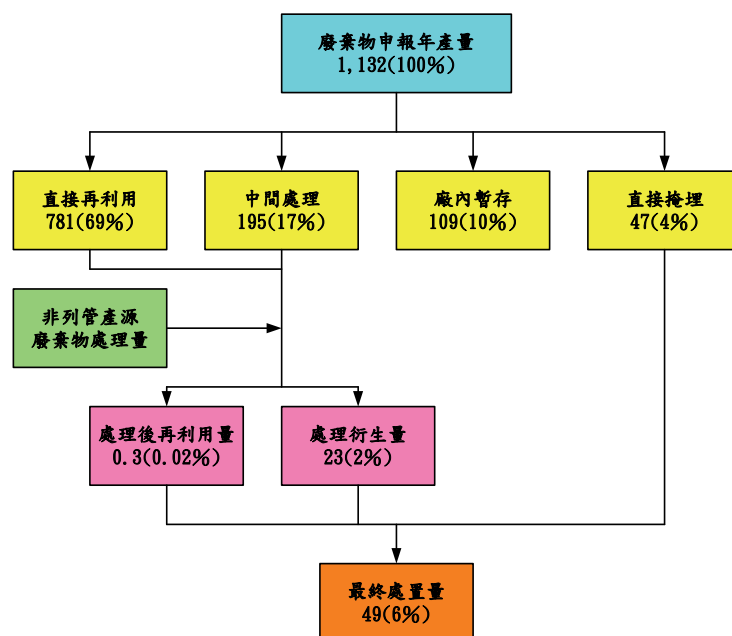
本研究主要探討範圍為道路鋪面工程，由於鋪面工程師在設計一段道路結構時主要考量的因子為：道路生命週期中的安全性、耐久性及成本效益。所以，這些尚未制訂明確規範的廢棄資源物，未來於道路鋪面工程的應用，勢必面臨相等的設計要求與規範標準。

由道路鋪面的結構分析，有以下六種應用方向可與廢棄資源物結合：瀝青混凝土、水泥混凝土、級配粒料基底層、築堤與回填、路基土壤固化處理、自充填材料等，這六項並非代表了廢棄資源物的全部用途，其他尚有許多應用方式，如透水磚、管溝等，但因本研究僅針對道路主體工程為主，後續探討的廢棄資源物應用方向則以此六大項為主。

## 2.2 廢棄資源物現況與未來發展【2】

近年來台灣經濟發展迅速，各相關事業機構所產生的廢棄物數量激增，如世界上工業先進國家相同，面臨到事業廢棄物及工業副產品無法再以掩埋堆置的問題點。鄰近台灣，同屬於地狹人稠的國家，日本，其營建廢棄物佔了全國事業廢棄物的 20%，一年約 8500 萬噸，相當於五十個東京巨蛋體育場的容量，這個產量將於 1.2 年後使東京首都圈的掩埋場達到飽和，於 3.7 年後讓日本全國廢棄物處理場達到飽和。同樣地，台灣目前亦面臨到處理處置場所有限，廢棄物無處可去的窘境。

廢棄物的產生與使用或生產流程有著密切的相關性，在生產線穩定或使用狀況不變的情形下，廢棄物的產生量定與其產品量有關連，因此單位產品所產生的廢棄物量，再與各類製程產品或原料的全國產量推估後，可預知該類廢棄物的產量。圖 2.7 為 90 年度國內廢棄物產量流向圖，事業廢棄物申報年產總量統計 1,132 萬公噸/年，其中有害廢棄物約有 160 萬公噸/年，佔 15% 左右；若依產業分類，台灣地區事業廢棄物產量前三名為：金屬工業（661 萬公噸/年）、食品加工業（217 萬公噸/年）、及非金屬礦物業（215 萬公噸/年）。



單位：萬公噸/年

圖 2.7 90 年度台灣廢棄物產量流向圖【2】

（資料來源：環保署事業廢棄物再利用網站）

由圖 2.2 事業廢棄物的處理處置現況及流向進一步分析，台灣地區事業廢棄物現階段的中間處理方式，大致可區分為：回收再利用、焚化處理及固化處理。

目前國內回收再利用方式如下：

#### 1.公告或自行申請再利用

經各事業主管機關所公告之再利用事業廢棄物等，如經濟部的四十三項，可逕行回收再利用；而自行申請再利用部分，依環保署資料，以爐渣、污泥、及廢酸類居多。

表 2.4 國內事業廢棄物公告及申請再利用現況【2】

產業別	事業廢棄物種類	方式或用途	年產量（萬噸/年）
鋼鐵業	一貫作業煉鋼廠水淬爐石、高爐石、轉爐石、脫硫渣	原料、土壤改良劑、填地材料	345.50
	合金鋼渣	再利用製成鋼粉	3.60
	石灰石泥餅	再利用	0.20
	煤灰	原料、添加物、工程填地	95.00
發電廠	集塵油灰	燃燒再利用	0.90
化學工業	有機污泥	有機肥料	4.50
石化工業	無機污泥	回收再利用	4.00
造船業	廢鐵砂	水泥之填充添加料	1.00
陶瓷製造業	陶瓷廢料	回收再利用	0.15
製糖及製酒業	蔗渣及酒糟渣	土壤改良劑	1.50
屠宰業	雞鴨內臟及羽毛	羽毛製品或有機肥料	0.12
電子印刷業	蝕刻廢液	再生回收氯化鐵	10.00
高科技產業	廢異丙醇	回收再利用	0.15
各行業	廢鐵	回收再利用	290.00
合計			756.00

#### 2.廠內回收

由事業機構自行回收處理處置、或製程循環使用。

#### 3.處理機構資源回收處理

由核准許可的廢棄物帶處理業者進行資源化回收處理。

#### 4.共同或聯合處理體系

收集同質性的事業廢棄物共同或聯合處理，目前核准成立的體系有：食品業、皮革業、金屬表面、印刷電路板、電弧爐煉鋼業、廢橡膠、蛇紋石業等聯合處理體系。

事業廢棄物在經妥善中間處理後便進入最終處置場，在國內缺乏事業廢棄物專用處置場的情形下，最終處置仍仰賴地方垃圾掩埋場。少數國營事業機構自設有最終處置場，而地方僅高雄縣、嘉義縣、雲林縣擁有最終處置場，合計年處置量約 100 萬公噸/年。有害廢棄物部分，國內僅有 2 座企業自行設置之封閉掩埋場，處理本身產出之有害廢棄物。

因此由表 2.5 可知，事業廢棄物總量假定為 100%，扣除回收再利用的 38.8%、工廠自行處理的 4.2%、共同或聯合處理體系 0.5%及處理機構處理的 22.1%後，尚有 34.4%的廢棄物亟待處理。

表 2.5 事業廢棄物處理處置現況【3】

處理方式		佔全部產量百分比（％）
委外回收再利用		38.8
事業機構自行處理		4.2
共同或聯合處理體系		0.5
	資源化利用	13.7
委託處理機構	焚化	1.4
	掩埋處理（含固化處理）	6.1
	其他處理方式	0.9
進入垃圾掩埋場或其他方式（含待處理）		34.4
總計		100.0

### 2.2.1 處理現況之問題點

目前國內對於廢棄物製成廢棄資源物的使用率普遍低於國外，且再回收利用比例偏低，探討其主要原因歸咎為國人對於廢棄資源物或產品接受度相當低，若將其應用於生活週遭環境，對構造物的安全性、使用性及耐久性都存在疑慮。相對國外的研究與推廣，國內並無一個專責單位針對這些使用廢棄資源物的構造物，辦理品質驗證及保證，以致目前這些在國外被視為相當重要的再生資源被隨意傾倒及丟棄，並造成環境的二次污染。

由表 2.5 得知國內目前事業廢棄物處理現況，有 30% 左右的高比例未進行再生利用，或直接進入垃圾掩埋場，無疑地對地球資源及社會成本形成一種浪費。探討其原因，可從民眾觀念、品質管理、市場經濟及規範標準來分析。

從民眾觀念上來看，『廢棄物』的名稱讓使用者望之卻步，致使廢棄資源物停留在次級品或替代品的等級。『廢棄物清理法』將可回收的有用的「材料」定義為「廢棄物」，再進行回收再利用；而『資源回收再利用法』則是將『廢棄物清理法』中所稱的「廢棄物」，具可回收再利用性質，且經環保署指定公告者，定義為「再生資源」，與「廢棄物」區隔，也可脫離『廢棄物清理法』的規範。

在市場經濟方面，國內相關的資源再生產業才剛起步，處理數量與技術穩定度均不足，無法普遍供應營建業充足的廢棄資源物，也因此難以建立穩定的市場。

而廢棄資源物的品質不一，容易讓使用者對安全性有疑慮，因為目前並無專責的第三者驗證機構及完整的規範標準，所以，具有保守特質的營建業，仍不敢貿然使用未經相當時間試用與驗證的廢棄資源物或產品，因此，研擬一套適用於國內廢棄資源物的品管制度與標準，實為當務之急。

### 2.2.2 國外廢棄資源物應用情形【4】【5】【6】【7】【8】【9】

廢棄物於國外的分類方法並不一致，按國情及國家發展各有特色，如美國僅依其有無毒性做主要區別；荷蘭則以是否可用於填海造地來分類，德國與丹麥特別將具能源回收價值的



廢棄物歸為一類；法國則強調能源回收與農業廢棄物的處置；日本係以廢棄物產源來分類。表 2.6 為目前國外一般廢棄物處理狀況表，相較之下可以發現，國土面積越大的，仍是以掩埋處理為主，其他如歐洲國家，一般廢棄物則傾向焚化與再利用。

表 2.6 各國一般廢棄物處理處置狀況

國別	廢棄物總量 (百萬噸)	處理方法			其他相關資料		
		焚化率 %	再利用率 %	最終掩埋處理率 %	人口 (百萬人)	面積 (千 k m <sup>2</sup> )	GDP (10 億美金)
美國	207.0	16.0	22.0	62.0	263.0	9 160	6 736
日本	50.2	74.3	10.7	14.9	125.0	378	4 630
德國	43.2	25.0	30.0	45.0	82.0	357	1 476
加拿大	33.8	14.2	1.9	83.9	29.0	9 980	548
荷蘭	12.0	17.0	22.0	61.0	15.0	42	263
瑞典	3.2	53.0	20.0	27.0	8.9	450	154
丹麥	2.3	58.0	22.0	20.0	5.2	43	96

資料來源：World Trends in Solid Waste Management, 1996.

從國外文獻分析，歐洲國家再利用率隨著工商業發展逐年提高，這裡的再利用率通常指的是事業廢棄物，而非表 2.6 所指的一般廢棄物，鑑於研究範圍及各國廢棄物分類法的限制，以下探討的再生利用率，均係以各國事業廢棄物或工業副產品為範疇。

深究歐洲國家等再生觀念起源較早的原因，係因地狹人稠，以致於最終掩埋場地普遍不足，對於環境的廢棄物負荷量較小，為了國家的永續發展，不得不朝向此一目標努力。所以，資源的再生利用與焚化減量是這些國家採行的重要環保策略。從這些國家的環保法規中發現，國外訂定環保政策的重點，以能源再生、廢棄物防制、廢棄資源物、再利用四大方向為主軸，推動方式則從廢棄資源物的標準化、產品化與市場化著手。

歐洲國家獎勵廢棄資源物的方法，是由政府機構邀集學術單位與工程部門，針對各種事業廢棄物處理後可作為廢棄資源物制訂明確的施工規範與檢驗標準，加速其審查的流程，並協助教育與推廣。對於廢棄資源物的定位上，歐洲國家將其定位於產品，與一般產品相同，必須經過第三者的品質保證或品質管制驗證機構認可，才能替代同等天然材料。而在經濟市場的誘因則是對掩埋、填海、開採砂石課以重稅，並提供再生產業輔導與補助津貼，在官方採購，尤其是公共工程上，規定天然粒料的最小使用量，使業者可以依經濟與品質需求衡量最佳效益，優先採用廢棄資源物於公共工程，其他方式尚有健全廢棄資源物市場銷售物流通路等措施。

由於歐洲國家的刺激，如荷蘭等國的事業廢棄物再生利用達 70% 以上，促使落後 30% 的美國，近年來大量推動各項再生策略於需要天然粒料數量龐大道路工程上。廢棄資源物應用在道路工程建設，在過去 20 年於美國已有大量的成功案例，尤其是老舊瀝青鋪面 (RAP)、回收水泥混凝土鋪面、飛灰、及氣冷爐石等。美歐這些工業先進國家對於廢棄資源物的應用

已頗具成效，再生利用率大部分已達到 60% 以上，部份國家（丹麥、比利時）已超過 80%，荷蘭亦於 2000 年達到 95% 之高度回收再生率，美國更已訂定 2030 年全面工程零廢料之政策目標。

根據日本學者的研究指出，目前現有的工業技術，對於許多廢棄物均可經過資源化完全回收再生利用。因此，日本於 1991 年訂定再利用法，由建設省訂定原則及規定推行之，如依據其 1995 年全日本調查資料訂定 2000 年日本各項營建廢棄材料再利用率為：

- 一、混凝土塊與瀝青混凝土塊目標為 90%（實際達成率接近 100%）
- 二、建設汙泥目標為 60%
- 三、建設發生木材目標為 90%
- 四、建設混合廢棄物目標為 50%
- 五、營建剩餘土石方目標為 80%
- 六、廢棄物零排放目標為 100%

除了營建產業廢棄物，歐美各國對於工業副產品或廢棄物更秉持著生產即資源、工業零污染的方針，對於各項廢棄資源物的用途不斷地進行研究試驗與用途推廣，據統計有五成以上用於各項道路工程，部份廢棄資源物更因為本身性質適合，而研發成為新材料或配合新工法，鋪設於規範標準更嚴苛的高速公路上，充分提供用路人的舒適與安全感。以下針對幾個推動資源化再利用有顯著成效或特殊作法的國家進行介紹：

#### 一. 中國

依中國「中華人民共和國國民經濟和社會發展『九五』計畫和 2010 年遠景目標綱要」及「中華人民共和國固體廢物污染環境防治法」兩份重要文件中指出，解決中國固體廢棄物污染問題的幾項原則有：貫徹可持續發展策略的原則，力求解決資源、環境與人口三大問題，以確保社會持續穩定的發展；盡力控制固體廢棄物的污染，並使其逐步轉化為新的資源，加以利用；堅決反對固體廢棄物的越境轉移。

中華人民共和國「固體廢物污染環境防治法」中規定：「（前略）對生產過程中產生的廢渣、廢水（液）、廢氣、餘熱、餘壓等進行回收與合理利用；對社會生產和消費過程中產生的各種廢棄物資，進行回收和再生利用」。

而對事業廢棄物再利用之規定為：「企業對其生產過程中產生的廢棄物應積極發展綜合利用；不具備利用條件的，應支持其他單位發展綜合利用，並對利用廢棄物的企業給予適當的裝運補助費。提供可利用廢棄物的企業之間應當簽訂長期的供需合同，並嚴格履行合同。對未經加工或廢棄堆存的工業固體廢棄物，提供可利用廢棄物的企業不得向利用廢棄物的企業收取費用；對經加工的工業固體廢棄物，提供可利用廢棄物的企業可根據加工成本和質量，

按照利用廢棄物的企業利益大於提供可利用廢棄物的企業利益的原則，向利用廢棄物的企業收取一定費用」。中國建立了資源綜合利用的獎罰制度，對做出顯著成績的單位和個人給予表彰和獎勵，對違反有關規定的給予處罰。

1999 年中國全國工業固體廢棄物產生量為 7.8 億噸，其中縣及縣以上工業固體廢棄物產生量為 6.5 億噸，佔總量的 83.3%；工業固體廢棄物的排放量為 3881 萬噸，鄉鎮工業的排放量為 2726 萬噸，佔了 70.2%；有害廢棄物產生量為 1015.5 萬噸，縣及縣以上工業產生量為 910.5 萬噸，佔總量的 89.7%。綜合利用率穩定增長，1999 年中國全國工業固體廢棄物綜合利用率為 45.6%，縣及縣以上工業廢棄物綜合利用率為 51.7%，比 1998 年高 3.4%。

據市場研究專家指出，廢棄物資源回收業將成為中國原料供應的主要來源。自 80 年代中國政府將「固體廢棄物資源化科技研究」列入國家科技機關的重點工作以來，十年內廢棄物回收利用總值將達 1770 億人民幣，1995 年回收總值是 290 億人民幣，比 1985 年增加了 7.2 倍。

資料顯示，中國之縣以上已登記的廢棄物再生產業，數目超過五萬家，回收據點近 16 萬個，從業人口約 80 萬人次，是該地一門新興行業。

據資料顯示，目前已開發國家的廢銅回收率都在 60% 以上，而中國現今只達 30%；已開發國家的廢紙回收約在 60% 至 70% 之間，而中國僅為 15%。此外，目前該地尚未回收的經濟資源，包括有廢銅鐵 300 多萬公噸、廢紙 200 多萬公噸、廢塑膠 80 多萬公噸、廢玻璃 100 萬公噸以上，這些廢棄物若能充份回收，將可帶來超過 300 億人民幣的經濟收益，市場潛力大有可為。

## 二. 日本

日本資源回收之觀念起源很早，1970 年時，日本政府已將生產者責任的觀念導入廢棄物清理法中，企業必須透過回收方式減少其產生之廢棄物。1972 年公告「東京都衛生命令」，開始要求生產者回收消費者使用其產品後所產生之廢棄產品。1991 年 4 月「促進資源再生利用法」公告，為日本廢棄物資源回收的法源基礎，該法將再生資源分為指定特定業別、第一類指定產品、第二類指定產品及指定副產品等四類，訂定資源回收的指導方針與目標，同時明定政府、企業及消費者對於資源回收之責任。

1993 年 6 月制定的「促進能源使用合理化及利用再生資源之事業活動臨時措施法」對於促進再生利用之特定事業活動、相關之設備設置及改善，給予債務保證及利息補助等課稅優待，並提供中小企業援助。1993 年 11 月公佈的「環境基本法」中規定：中央政府必須督促事業者於從事物資之製品、加工與販賣及其他事業活動時，事先就其事業活動相關之製品及其他物資，因使用或廢棄而造成環境負荷進行自我評估，憑以提供技術性支援等，俾能妥切

考量減低其物資相關之環境負荷，採行必要之措施。

日本「促進資源再生法」為綜合性及計畫性推動再生資源利用，在主管部長制定的「基本方針」下，因應促進再生資源利用的政策，對特定業者、第一種指定產品、第二種指定產品及指定副產品進行政令規定，各事業主管部長可要求業者達到主務省令所定的判斷或標示基準。

其再生資源定義為：經使用後、未經使用而收集或被廢棄的物品以及在產品製造、加工、修理或販賣、能源供給或土木建築相關工程(以下稱「營建工程」)的過程中產生之副產品中  
有用物品(以下稱「副產品」)，而可以成為原材料加以利用並具利用可能性者(放射性物質及受其污染者除外)。

日本「再生資源利用促進法」之分類標準與廢棄物不同，非依再生資源之出產源或材質，而是依管制手段作為分類標準，分類標準及主管機關如表 2.7 所示。其中，第一類及第二類原則上類似一般廢棄物，特定業別及指定副產品原則上類似事業廢棄物，詳細之分類標準定義如表 2.8 所示。

表 2.7 日本再生資源類別及主管機關

再生資源			主管機關
特定業別			該特定業別所屬事業之主管部長
第一類	製造	家庭用電子醫療器材以外之電子產品	通商產業大臣
		家庭用電子醫療器材	厚生大臣及通商產業大臣
	修理	機動車輛	運輸大臣
第二類	製造	鐵鋁罐及 PET 容器	農林水產大臣及通商產業大臣
		罐裝及 PET 容器裝酒類	大藏大臣及通商產業大臣
	輸入及販賣	鐵鋁罐及 PET 容器	農林水產大臣
		罐裝及 PET 容器裝酒類	大藏大臣
	製造、輸入及販賣	封閉式鹼性電池	通商產業大臣
指定副產品	熔爐製鐵及製鋼鑄鋼業、發電業		通商產業大臣
	營建業		建設大臣

資料來源：資源回收再利用法治之評估及立法建議，行政院環保署

表 2.8 日本再生資源利用促進法之分類標準

分類	特定業別	第一類再生資源	第二類再生資源	指定副產品
定義	在技術上及經濟上具有利用再生資源可能，而且其利用，在謀求該再生資源的有效利用上具有特別必要性，而根據政令指定之再生資源種類之不同，由政令指定之業別。	物品經使用後、未被使用而收集或被廢棄後，促進利用其全部或一部成為再生資源，在謀求該再生資源的有效利用上具有特別必要性，而由政令指定之產品。	物品曾經被使用、未被使用而收集或被廢棄後，以其全部或一部成為再生資源為目的而為有利分類回收(即將類似的物品分類而回收)之標示，在謀求該再生資源的有效利用上具有特別必要性，而由政令指定之產品。	某項副產品，促進利用其全部或一部成為再生資源，在謀求該再生資源的有效利用上具有特別必要性，而根據政令指定之業別之不同，由政令指定之產品。
特徵	以「特定事業種類」為管理對象，著重業者相關義務之執行。	著重相關物品在設計、製造或修繕階段，如何利於日後之分類回收。	著重相關物品之標示義務，以利於日後之分類回收。	以「特定副產品」為管理對象，著重如何促進副產品利用之措施。

資料來源：資源回收再利用法治之評估及立法建議，行政院環保署

### 三.美國

美國事業廢棄物問題於二次大戰後浮現，在種類與數量上日益嚴重。根據美國環保署 1997 年的統計，美國境內 12000 家主要的工廠全年「工業非有害性廢棄物」排放量為 76 億英噸，處理方式以現址表面封存、掩埋、土地處理及廠內堆積為主。

美國在 1965 年就通過「固體廢棄物處置法」，但固體廢棄物與有害廢棄物的問題依然層出不窮，因此在 1976 年「資源保育與回收法」(RCRA) 通過後，美國國會在 RCRA 中設定的目標包括「保護人類與環境之健康」、「減少廢棄物產量與能源消耗、及自然資源之保育」及「減少或終止有害廢棄物之產出」。

RCRA 法將廢棄物的處理，以「從搖籃到墳墓」的方式加以管理，意即已廢棄物的生命週期做管控，期待在工業廢棄物產生之時即進行處理減量處理等動作，因此 RCRA 已納入廢棄物減量的精神。

RCRA 法將「工業非有害性廢棄物」或「工業固體廢棄物」明確定義：凡廢棄物既非民生垃圾、也非於 RCRA C 節中所列舉之有害廢棄物皆屬之。由此看來，美國「工業非有害性廢棄物」與我國一般事業廢棄物相近，基本上為工業製程所產生的廢棄物，包括所排放之廢水、廢棄物、和污泥等。

RCRA 法對資源回收之推動責任，尤其是鼓勵具可行性資源回收技術之商品化有四項，包括「回收物質之明確規範」、「回收物質市場發展誘因」、「可行性技術之獎勵」及「舉行研討會以達成資源回收設備技術及經濟資訊之交流」。RCRA 法要求，凡政府部門採購經指定之項目，須含有回收物質的最高百分比，其他如使用能源，必須利用至由固體廢棄物衍生而成技術容量之最大實用範圍。

美國工業非有害性廢棄物管理和立法責任，由各州統籌辦理，而各州情形並不一致，故內容從設計標準、場內操作管理、位址監測，到資料記錄等分別都有涵蓋。

美國聯邦環保署積極研擬各類廢棄物策略，針對工業廢棄物減量、回收所做的努力，不只成效相當可觀，處理的效率也相對獲得改善，除可減少廢棄物產生者在廢棄物相關之財務負擔外，企業形象亦顯著提昇。

美國在事業廢棄物上，目前再處理或再利用面臨之難處包括：資訊取得不易、減量技術評估、市場競爭力、再製品品質穩定度等。因此，美國環保署強調，政府在廢棄物減量所能扮演的建設性角色，是鼓勵業者對廢棄物以自願性之態度進行減量，並互相提供資訊、技術轉移及協助的角色。

未來美國聯邦政府將對廢棄物回收事項，持續提供政策指引、標準建立、資料管理、監督、及國內各州廢棄物交流管道等，其方式包括「廢棄物回收政策宣導、執行」、「指引廢棄

物減量政策」、「廢棄物再利用市場推展」及「廢棄物管理技術支援及研發」等。

在應用實務上，美國是首先將廢棄資源物普遍應用於高速公路系統的國家。表 2.9 為美國廢棄資源物應用於道路工程統計資料表，其中以氣冷爐石與刨除料的再生利用比例較高，並且多用於骨材粒料或混凝土結構填充物，係因為材料條件適合與技術成熟之故。

表 2.9 美國廢棄資源物應用於道路工程統計表（單位：百萬公噸）

種類	產量	再利用量	應用
氣冷爐石	14.0	12.6	水泥骨材粒料
底灰	14.5	4.4	瀝青混凝土骨材、底層級配粒料
鍋爐渣	2.3	2.1	水泥產製、結構填充材料
飛灰	53.5	14.6	
廢鑄砂	9.0~13.6	---	大多數回收應用於原製程
水泥窯灰渣	12.9		
石灰窯灰渣	1.8~13.6	8.3	堆料、研磨、安定化材料
礦渣	1600.0	未統計	試驗階段，有 34 篇報告應用於道路
電廠飛灰	8.0	少量	部分應用於瀝青路面，大多數回填路基
非鐵爐石	8.1	未統計	基、底層級配粒料、熱拌再生瀝青
煉鋼爐石	未統計	7.0~7.5	骨材粒料、基、底層級配粒料
刨除料	41.0	33.0	骨材粒料、冷熱拌再生瀝青、瀝青或水泥黏結材料
廢混凝土塊	未統計	未統計	水泥處理底層骨材、貧級配、填充材

資料來源：FHWA International Technology Exchange Report, 2000.

#### 四.英國

英國 1999 年商業、工業及都市廢棄物總量為 1.06 億噸，大部分以掩埋方式處置。英國廢棄物管理具體目標包括：2010 年之前達成 45% 都市廢棄物再利用之目標，至少 30% 為回收再利用與堆肥處理。2015 年之前都市廢棄物再利用率之目標為 2/3。

為達成前述目標擬定之廢棄物管理策略，英國於 2000 年擬定下列擬定策略：

- 1.發展及強化廢棄資源物之市場。
- 2.綠色設計（尤其是回收再利用）要求增加。
- 3.廢棄物掩埋比例需降低（引進「掩埋稅」（Landfill Tax）制度藉以限制可分解廢棄物進入掩埋場）。
- 4.地方政府需明顯提昇廢棄物回收再利用與堆肥處理量中央制定績效評估準則。
- 5.廢棄物以能源或物質再利用方式需達成最佳化比例。
- 6.其他。

英國有害廢棄物之主要管理法規為配合執行歐盟有害廢棄物管理法（The Hazardous Waste Directive—91/689/EEC）與有害廢棄物列表（Hazardous Waste List—94/904/EC）訂定之「特殊廢棄物辦法」（The Special Waste Regulation 1996），目前此辦法所包含之廢棄物可約略分為以下三類：

- 1.為歐盟有害廢棄物列表者。
- 2.其他管制廢棄物(controlled waste)並具特定性質者。
- 3.醫藥廢棄物。

歐盟未來擬將家庭廢棄物具有害性質者，列入有害廢棄物列表，目前執行特殊廢棄物之管理單位為 Environment Agency (簡稱 EA)，違反相關法規者處罰甚重：一般最高可罰 5000 英鎊，若經 Crown Court 判決，罰金不受前述限制，另外最高可處二年以下拘役。

英國以類似國內聯單系統之方式管理「特殊廢棄物」，關於特殊廢棄物之減量、再利用、焚化與掩埋說明如下：

#### 1.特殊廢棄物之減量

特殊廢棄物管理，減量為第一優先考量，此方針在相關法規如「特殊廢棄物管理法」與歐盟之「整合污染防治與控制法」明確宣示，英國政府也配合「最適化環保技術計畫」(ETBPP)之推動。

#### 2.特殊廢棄物之再利用

對於某些特殊廢棄物而言，再利用未必合適，但相關研究仍持續不斷進行，如廢油、廢溶劑、碎金屬及化學品等之再利用。

#### 3.特殊廢棄物之焚化

基於環保及安全考量，焚化為至目前為止被視為農業化學殘餘、含 PCB 之廢油、廢溶劑與化學藥品等具高能量價值之特殊廢棄物最適處理方式。在符合歐盟及英國法規的前提下，焚化爐、水泥窯及石灰窯皆可處理限量的特殊廢棄物。

#### 4.特殊廢棄物之掩埋

目前英國存在以下三種型態之掩埋場可接收特殊廢棄物：(1)共同掩埋場(2)單一物種掩埋場(3)多物種掩埋場。1997/8 年與 1998/9 年資料顯示，特殊廢棄物之掩埋比例分別為 53% 與 47%。自英國掩埋法 (Landfill Directive) 修正後，部分特殊廢棄物如可燃物、許多有機溶劑、爆炸物、遇水或有機物質反應激烈者以及含 PCB 或 PCT 者，被視為不適合掩埋。其他特殊廢棄物進入亦需經過前處理，方可進入掩埋場。

### 五.德國

德國聯邦政府於 1975 年在其廢棄物再生計畫中，首次提出將原物料循環再生的構想。1994 年 9 月 27 日德國政府公告「循環經濟與廢棄物管理法」，執行機關以聯邦政府為主。

「循環經濟與廢棄物管理法」制訂目的，是促進自然資源循環再生，並確保生態環境不受廢棄物不當干擾。適用範圍有三種情況，包括避免產生廢棄物時、廢棄物再生時及廢棄物清除時。該法所指廢棄物共可分為 16 項，如表 2.10 所示。

表 2.10 「資源循環及廢棄物管理法」之廢棄物類別【10】

編號	項 目
1	各類產品及日常用品之衍生殘留物
2	不符合標準規格之各類製成品
3	超過有效日期之產品
4	由於意外或非預期因素而被污染之產品及設備等
5	由於刻意行為而形成污染物質，例如洗滌劑之殘渣、包裝材料、容器等
6	不能重覆使用之元素，例如耗損電池、催化物等
7	不能重覆使用之物質，例如放射性酸性物質、溶劑、硬鹽等
8	工業製程中所產生之殘留物，例如爐渣、蒸餾後的殘渣等
9	防治污染過程中所產生之殘留物 (例:氣體淨化後之沉澱物、空氣濾淨器之殘留物以及使用過的濾心)
10	用機械切削成型，例如旋轉或碾磨加工時所產生之殘留物
11	採挖及淨化原物料，例如 採礦或挖掘石油所產生之殘留物
12	污染物品，例如被 PCB 污染之原油等
13	法律明文規定不准重覆使用之各項物品
14	業者或持有者無法重覆使用之各項物質 (例如農場、住家、辦公室、賣場及工廠等所持有之物品)
15	消毒土地所產生之污染物質或污染品
16	不包含於上述分類中之各項物質或產品

資料來源：經濟部工業局，資源化工業輔導九十年度計畫成果報告，2001

「循環經濟與廢棄物管理法」中，定義廢棄物再生是將廢棄物再利用，至於廢棄物清除，則是將無法再利用的廢棄物加以清除。其基本原則如下：

- 1.避免產生廢棄物，特別應減少廢棄物的數量與傷害性。並做到物品再生或善用能源（即能源再生）。
- 2.採取避免產生廢棄物的各項措施，應養成購買不會製造垃圾、由廢棄資源物製造及環保產品的習慣。
- 3.物品再生包括用廢棄物的廢棄資源物取代原物料、廢物利用或從廢棄物中提煉能源以供他用；物品再生能充份發揮廢棄物的經濟利益，其主要用意為善用廢棄物，而非排除廢棄物可能帶來的危機。
- 4.能源再生包括將廢棄物直接當燃料使用，最優先處理的是使用焚燒方式清除之廢棄物，特別是家庭垃圾，須配合垃圾分類進行。
- 5.不論是再生或清除處理，都以單一廢棄物為基準，以便規範其污染的種類、程度及處理後的狀態。
- 6.廢棄物循環管理的範圍包括了備用、轉讓、收納、透過回收系統加以匯集、運輸、安置及再生處理等。

因應歐盟法令轉換，德聯邦政府在符合此法目的下，進行對環境無害的再生與清除工作。法令中明訂如何教育訓練之措施，但對業者而言，仍以自發性回收再利用為主，對於再利用之施行細則尚無明確內容。



雖然如此，但在強大工業技術的背景下，德國再利用於道路工程的技術仍然是處於領導地位，表 2.11 是德國聯邦交通部 2000 年國內廢棄資源物應用於道路工程統計表，從中發現許多我國目前仍屬於研究開發階段的廢棄資源物，如煉鋼爐渣或氣冷爐石，在德國已達到 90 % 以上的再利用率，部分更達到 100% 應用在道路工程上，整體廢棄資源物於道路工程的利用率高達 40% 左右。

表 2.11 德國廢棄資源物應用於道路工程統計表（單位：百萬公噸）

材料	年產量	應用在道路上數量	再利用百分比 (%)
氣冷爐石	8.3	8.3	100
煉鋼爐渣	4.8	4.4	92
煤渣	64.8	13.6	21
鍋爐爐渣	2.8	2.7	98
粗灰	0.4	0.3	74
飛灰	3.1	2.7	86
石膏	1.8	1.8	100
再生瀝青	12.0	6.0	50
道路碎塊	20.0	11.0	55
瓦礫	23.0	4.0	17
<b>總計</b>	<b>141.0</b>	<b>54.8</b>	<b>39</b>

資料來源：German Federal Ministry of Transport-BMV

## 六.法國

法國「廢棄物及資源回收法」的法律架構上，強調能源管理，設有「環境及能源管理局」（在我國，能源管理則屬於經濟部，核能由原子能委員會管轄），且法國厲行污染者付費制度，對於工程有污染清理保證金制度，隨工程完成之進度予以歸還。此外，我國「廢棄物清理法」與法國「廢棄物及資源回收法」在法律架構上接近。

法國「廢棄物及資源回收法」中規定，環境部長須針對行政院法令，依廢棄物損害程度或其儲存、處理等特性，訂定清除之國家性計畫，依擬清除之廢料量，由其產地、本質以及成分，作未來十年的規劃統計，包括廢料清除需使用之現行設備之狀況，以及為了達到前述目標所必須開發建立之各項設備，並考量經濟演變及預估技術，而擬定優先順序。

## 七.荷蘭

荷蘭於 1979 年，市政府開始主管廢棄物管理，而省政府的責任為規劃、許可、控制及執行。1990 年廢棄物管理委員會（Waste Management Council, AOO）成立，其工作為協調、執行、規劃區域及國家的計畫。

AOO 其工作主要為規劃全國性的廢棄物管理、規劃廢棄物管理十年計畫、商議省廢棄物管理計畫、規劃分別收集的計畫、協商跨省運送廢棄物、協商個人與公眾間的行為。於 1990 年代，荷蘭的廢棄物管理責任的階層分為國家階層(National)、省階層(Provincial)及市階層(Municipal)三種：

- 1.國家階層為環境部 (Ministry of Environment)負責，其工作為制定國家性的廢棄物政策及廢棄物管理相關立法。
- 2.省階層為 12 個省自行負責，其工作為規劃最後處置等相關工作、核發許可證及訂定廢棄物管理辦法。
- 3.市階層為 650 個自治市負責，其工作為分別收集廢棄物、都市垃圾的處置、核發許可及辦法。

2000 年後變更行動，將廢棄物管理計畫從區域提升至國家位階，新的責任劃分為：

- 1.國家階層亦為環境部負責，其工作為制定國家性的廢棄物管理計畫、規劃最後的處置、訂定環境法規。
- 2.省階層為 12 個省負責，其工作為廢棄物運送計畫、核發許可及執行。
- 3.市階層為 500 個自治市負責，其工作為收集廢棄物、運送計畫及許可。

荷蘭於 2001 年制定國家性廢棄物管理計畫，依廢棄物產源分類為八項，分別為：家庭廢棄物、巨大廢棄物、工業廢棄物、建築廢棄物、醫療廢棄物、掃街及都市垃圾、辦公室、零售商及服務部門的辦公垃圾、粉碎廢棄物。採用下列原則進行廢棄物預防、回收的目標與計畫，並作為基本考量：

- 1.嚴格的限制焚化容量。
- 2.嚴格的減少掩埋廢棄物。
- 3.提高廢棄物管理及處置公共設施彈性。
- 4.國家協調區域間自行處理廢棄物事宜。
- 5.國家自給自足：限制廢棄物輸出輸入項目與數量。

荷蘭減廢原則的順序為：預防、產品再使用、物質回收、再利用、熱能回收、除了掩埋的處置方法、與掩埋。預估荷蘭減廢後 2000 年及 2005 年其廢棄物量，如表 2.12 所示。

表 2.12 荷蘭廢棄物預防、再利用與最終處置預估量

產生量	1995		2000		2005	
	千噸	%	千噸	%	千噸	%
預防	—	—	52	5.2	98	9.1
再使用	161	17.5	172	17.1	179	16.7
物理/化學處理	231	25.1	238	23.6	243	22.6
焚化	266	28.9	279	27.7	278	25.9
掩埋	225	24.4	260	25.8	279	26.0
和預估報告的差異	41	4.4	8	0.8	9	0.8
總計（估計值）	922	100.0	1008	100.0	1074	100.0

資料來源：經濟部工業局，資源化工業輔導九十年度計畫成果報告，2001

由於實施國家十年整體計畫的緣故，使得廢棄物整體生命週期均有相當完善的規劃，也因此荷蘭成為歐洲國家中廢棄資源物應用率最高的國家，連美國也遠遠落後了將近 30%，其用途從著名的填海造地漸漸轉移到道路工程上，如表 2.13 所示，荷蘭的再生瀝青、電廠灰渣、各類爐石、建築廢棄物等均已達到百分之百的再利用率，甚至部分廢棄資源物更製成再生產品外銷到鄰近國家，是典型的資源再利用楷模。

表 2.13 荷蘭廢棄資源物應用於道路工程統計表（單位：百萬公噸）

種類	產量	再利用量	應用
瀝青混凝土	7.700	7.700	熱拌再生瀝青混凝土
刨除粗料	3.000	3.000	熱拌再生瀝青混凝土，部分用於水泥混凝土粗料
焚化爐底灰	0.800	0.800	基、底層級配料或築堤
焚化爐飛灰	0.080	0.020-0.030	水泥填充料
氣冷爐石	1.200	1.200	生產水泥產品，少量用於道路基、底層
煉鋼爐石	0.500	0.500	基、底層料或取代砂
電廠飛灰	0.850	0.850	水泥或瀝青填充料，部分充當細料級配
電廠底灰	0.080	0.080	輕質骨材，部分製成水泥塊外銷比利時
廢棄土	0.160	0.157	清潔後回填或填海造地
河川污泥	0.023	少量	--
含磷爐石	0.600	0.600	基、底層或瀝青材料
建築廢棄物	9.200	9.200	基、底層材料，少量為水泥混凝土粒料
廢混凝土細料	0.300	0.300	基層材料取代天然砂

資料來源：The Dutch Ministry of Transports, 2001.

### 2.2.3 國內廢棄資源物應用情形

我國環境保護法規可分為基本法、預防、管制、救濟及組織等五大項。在預防方面有環境影響評估法；管制方面以空氣污染防制法、噪音防制法、水污染防治法、廢棄物清理法、土壤及地下水整治法為主；救濟方面有公害糾紛處理法；組織則有行政院環保署組織條例等規定。

為了國家環境能夠永續發展，行政院國家永續發展委員會於一九九六年成立，將永續發展、能源節約、廢棄物減量與資源回收再利用列為四大目標。

國內廢棄物的主管機關為行政院環境保護署，依據廢棄物清理法等，除了先前公告的三十八項「一般事業廢棄物再利用類別及管理方式」解決事業廢棄物的污染問題外，更為節約自然資源使用，減少廢棄物產生，促進物質回收再利用，減輕環境負荷，及建立資源永續利用之社會，提出「資源回收再利用法」，日前已於立法院三讀通過，此法中將再生資源與廢棄物做一區隔，並明定主管機關應指定專責單位或人員，辦理再生資源回收再利用之政策制定、查核、宣導、訓練、輔導、評鑑及研究相關事宜；必要時，並得委託或委辦相關機關或機構辦理。法中亦規定政府機關、公立學校、公營事業或機構、軍事機關之採購，應優先採購政

府認可之環保產品、本國境內生產之再生資源或一定比例以上再生資源為原料製成之再生產品。

依廢棄物清理法第三十九條規定，事業廢棄物之再利用，應依中央目的事業主管機關規定辦理。目前經濟部、內政部、財政部、衛生署、行政院農業委員會及國家科學委員會等六部會，已發布所管事業之事業廢棄物再利用管理辦法，事業如以經濟部、內政部、財政部、衛生署、中央農業主管機關、或國科會為目的事業主管機關者，應依該再利用管理辦法規定辦理。所以，環保署已於民國九十二年廢止了「有害事業廢棄物再利用許可辦法」，未來以「資源回收再利用法」為主要依據，取消了對各事業主管機關三十八項事業廢棄物再利用的限制，改由各機關自行訂定公告之，以促進更多的廢棄物或副產品投入廢棄資源物的市場。

廢棄資源物目前於國內實際應用仍屬道路工程為多數，其項目有：熱拌瀝青混凝土、路基土壤、基底層、步道磚（空心磚、連鎖磚、植草磚）及一些結構強度較低的混凝土（如消波塊、路緣石、水溝蓋）等，但廢棄資源物的廣泛利用仍停留在研究試驗階段，各項廢棄物目前仍以消極的焚化與掩埋處理為主，僅部分可再利用於工廠製程中的副產品回收率較高，對於整體國家環境造成影響者，依然由社會支出成本處理之。整體的效益，因市場未具規模，且廢棄資源物處理後的質與量尚未穩定。

營建資源再生及再利用材料目前於國內實際應用仍屬道路工程為多數，其項目有：熱拌瀝青混凝土、路基土壤、基底層、步道磚（空心磚、連鎖磚、植草磚）及一些結構強度較低的混凝土（如消波塊、路緣石、水溝蓋）等，但再生材料的廣泛利用仍停留在研究試驗階段，各項廢棄物目前仍以消極的焚化與掩埋處理為主，僅部分可再利用於工廠製程中的副產品回收率較高，對於整體國家環境造成影響者，依然由社會支出成本處理之。整體的效益，因市場未具規模，且再生材料處理後的質與量尚未穩定。

因此，在行政院永續發展委員會國土資源組與生活生產組的行動計畫中均提到，推動資源化回收再利用產業發展及推動營建資源再生利用與再生建材產業化，為今後努力的目標。未來配合環保署資源回收再利用法及再生資源再利用國家標準；公共工程委員會將明訂公共工程使用再生材料項目與比例，開啟並誘發營建資源再生利用之市場通路。

再生材料適用於道路鋪面工程的哪些項目，可以從再生材料本身可以收集到的資料先行預估，或是與近似性質的鋪面材料做比較，再與一般工程的綱要規範進行設計，配合環境評估與經濟考量，來決定其最適當應用於道路鋪面工程上的方法。

這些材料並不代表國內所有再生材料的總稱，仍有許多廢棄物與副產品極具再生利用的潛力，上列材料僅為目前研究過或研究中，且本身性質變異較小可控制，產量達到一定程度足以應用於道路鋪面工程上者。圖 2.8 為上述 12 種材料在營建資源再生及再利用材料分類。

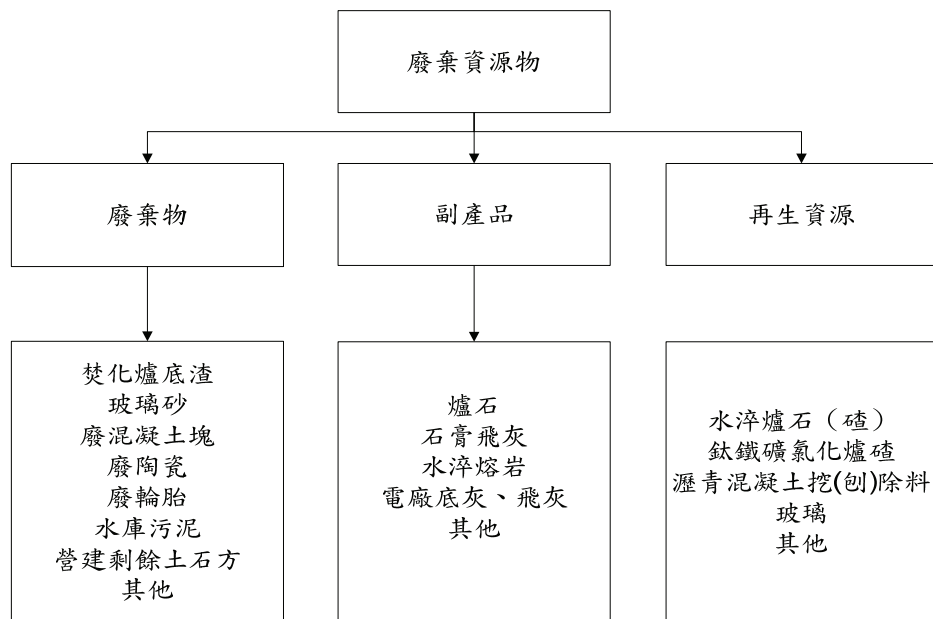


圖 2.8 國內常用營建資源再生及再利用材料分類

## 2.3 廢棄資源物處理方法【11】【12】

資源再生利用是環境永續發展的基礎，世界上工業先進國家針對資源的有效利用，是以廢棄物減量 (Reduce)、重複使用 (Reuse)、再生利用 (Recycle)、及能源回收 (Recovery) 等『4R』對策為基本原則，在此原則下推動各項廢棄資源物回收再利用的研究與實踐，以達永續發展之目標。

圖 2.9 為 Crowther(2000) 的材料回收再生四策略流程圖，清楚界定了 4R 對策之定義：

### 一、廢棄物減量 (Reduce)

廢棄物減量係指減少廢棄物的產生量或降低其有害性，為永續發展原則的最優先對策。廢棄物減量之重點在於保存天然資源、避免耗用更多能源、及減低污染，要達到此目標，須從減少資源使用或將現有材料循環再利用著手。

### 二、重複使用 (Reuse)

係指廢棄物不需經過加工處理即可當作材料或構件使用，如營建廢棄物中包含各種廢棄材料及建築構件，部分建築構件在拆解並切割成新尺寸後，不需經過太多處理就可當作新建築構件使用，此過程即為重複使用。

### 三、再生利用 (Recycle)

回收的廢棄材料需經過加工處理及製造過程，製成不同於原形式或原使用目的新構件使用，即屬再生利用。如廢混凝土塊及磚瓦塊，經破碎及篩選處理後，可作為天然砂石的替代材料拌製成再生骨材混凝土。

### 四、能源回收 (Recovery)

部分可燃的廢棄物，在做焚化最後處置過程中，可回收利用其附帶產生之熱能。

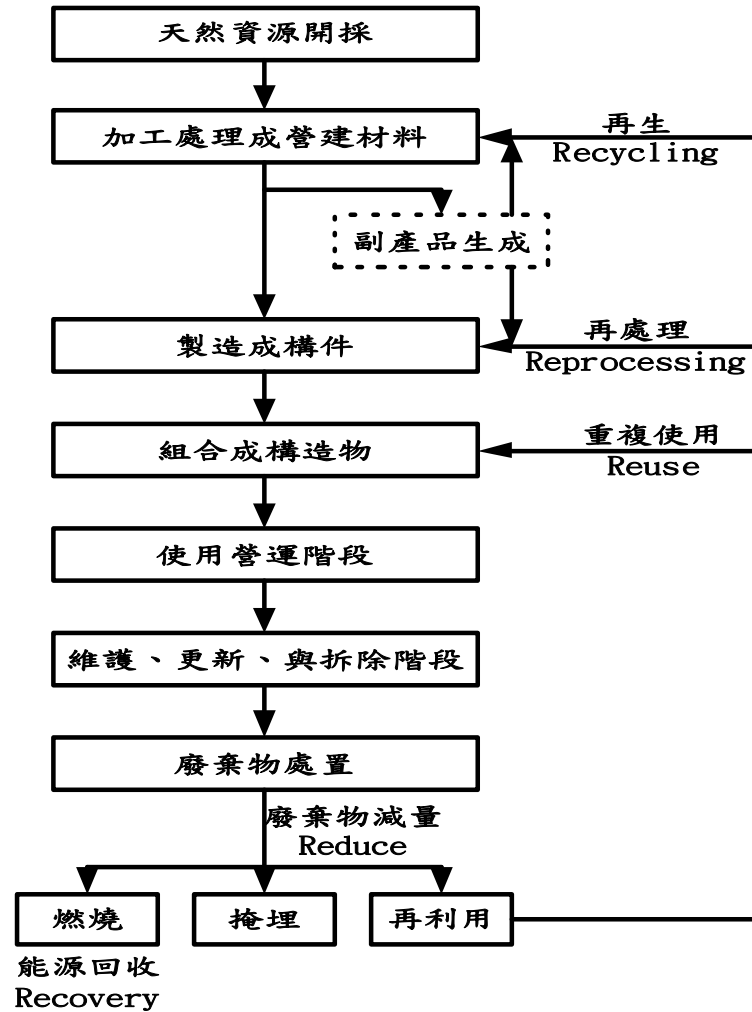


圖 2.9 再利用基本原則示意圖

資料來源：Crowther(2000)

### 2.3.1 改質之目的

從廢棄物到廢棄資源物的改質處理，其目的為衛生化、無害化、減量化、以及資源化。

#### 一、衛生化

廢棄物中，所含之有機物質，經腐化分解後，易產生臭味或衍生有害物質，故廢棄物處理必須使有機質能夠完全分解，不再產生變化。

#### 二、無害化

廢棄物內常有許多生物性或化學性的有害物質，需以各種處理方法，將有害物質安定化。例如焚化處理可消滅微生物、氧化分解有毒物質；水泥固化法，可將水銀廢電池的有害成分，固著於水泥塊中，避免環境污染。

#### 三、減量化

廢棄物一般多疏鬆膨脹、體積龐大，不但徒增搬運費，且縮短掩埋處理場使用年

限，因此廢棄物處理必須將其減量、減容，濃縮其體積或燒卻成灰燼，以利輸送或掩埋。

#### 四、資源化

廢棄物中，如有可用之物料，加以回收再利用，或焚化處理過程中，產生高熱能供發電，可做能源回收。

### 2.3.2 處理模式

為了達到材料改質的目的，一般採用的方法有破碎、選別、分離、脫水乾燥、熱分解、燒卻等。以下針對各項方法彙整說明。

#### 一、物理方法

以物理技術處理廢棄資源物使其符合工程需要的方法有破碎、選別、分離及脫水乾燥等。破碎的目的在於減少廢棄物的容積，使其易於施工及運送，常為處理固態廢棄物的前處理工作，此方法可以增加特定成分的分離效率，及提高燃燒效果。選別則是將廢棄資源物初步分類，常搭配破碎技術使用的前處理作業，除了一般所知的級配篩分外，還有磁選、浮選、比重選等方法，視廢棄物所具有的物化性而定。

材料利用溶解、離心、沈澱等原理，將其成分簡單化，以利進行再生利用的方法，稱為分離。分離技術有蒸發、蒸餾、吸附、溶劑、萃取、膜分離、晶析、沈澱、離子交換、逆滲透、觸媒轉換等。其目的常用於檢驗廢棄資源物內容物是否合於標準。如再生瀝青混凝土必須於鋪設前的配合設計中，進行瀝青的分離回收動作，以確保其材料品質。分離技術對於廢棄資源物佔有重要的地位，尤其是針對特定物質的濃縮精製。

脫水乾燥多用以處理污泥類等含水量較高廢棄物，藉由降低水分來達到減容與安定化之效果。過去常使用的天然曝曬法，由於天候及用地取得的限制，已漸漸改由機械的脫水方式，一般常用的有離心脫水法、加壓脫水法及添加劑脫水法。

#### 二、化學方法

化學方法最常用的即為固化處理，過去為了安定土質所發展的一種處理技術，多採用添加石灰，藉由土壤粒子、水、與石灰的作用，達到材料安定化，提升強度。特別適合石炭灰與燒卻灰類別的廢棄物再利用，化學手法主要目的在於對有害重金屬的固定，避免其溶出危害自然環境。

#### 三、熱學方法

以熱學為理論基礎發展的廢棄資源物處理方法有燒成和熔融兩種。燒成係以 800～1200℃ 的高溫，將廢棄資源物所含之有機物熱分解與脫水，並使其部分粒子結合，其方式類似製磚或陶瓷的燒結方法。而熔融則是將廢棄資源物置於 1200～1500℃ 環境下，將有機物完全燒卻，只殘留無機物質的方法，在冷卻凝固後再利用其殘留物（爐渣），依其

冷卻方式通常可分為水冷爐碴與氣冷爐碴，一般而言，水冷爐碴大多為細粒狀或砂狀，氣冷爐碴則為碎石狀，按其結晶的完整度而定。此法可改變有害物質之特性，將其安定於結晶內，製成的廢棄資源物對環境的適合度也較佳，然此法需要大量的熱能，且熔融過程中有害物質產成的飛灰處理，需特別注意。

除了上述方法，近年來急速發展的奈米技術亦可用於廢棄物改質及廢棄資源物製程上，其原理是以顯微粒子處理技術將  $10^{-7}\text{m}\sim 10^{-9}\text{m}$  大小的元素結構重整，使得廢棄物整體性質改變，降低廢棄物的有害性質，進而提高廢棄資源物可利用性。目前此方法仍於研究開發階段，由於涉及的技術層面與成本負荷較高，尚未能普遍運用於廢棄物改質處理上，然未來發展趨勢亦不可小覷。

## 2.4 廢棄資源物於工程市場之經濟考量【14】

廢棄物資源化再利用的成本效益分析與相關資料收集分析工作極為重要。因為技術可行的資源化產品，仍需具有市場可行性。廢棄資源物在成本效益分析方面可分為兩部份：產品製造費用與產品市場效益。在製造成本方面，直接材料、直接人工及製造費用為製造成本的三大要素，依成本及管理會計原則，將直接材料（包含分類處理成本）、直接人工、間接材料費、間接人工、機器折舊、保險費、稅捐、土地廠房租金、動力費、倉儲、運輸、管銷等項目進行評估，以分析製造所需的費用。

至於產品的市場成本效益，則需針對產品特性（工程結構性、非結構性等）、市場供需特性（相關草案、規範要求）、成本特性（原料成本、製造成本）銷售通路特性、競爭通路特性、競爭特性（替代品之價格、價格壟斷等）、法律上特性（消費者特性、環保法規、綠色標章），做整體的市場經濟效益評估。

以往民眾對於廢棄資源物的觀念，常侷限於低附加價值、低品質、與高危險性的狹隘觀念，因此對於廢棄資源物的接受度也隨之影響，加上法規限制及缺乏成本誘因亦是主要侷限廢棄資源物在鋪面工程的應用的因素。惟近年來環保意識的成長，使用環保產品已為趨勢，而隨著資源化技術的提升，廢棄資源物之品質亦得到控制。如何開拓未來廢棄資源物產業之市場，本研究於進行技術應用研究之同時，亦將對營建資源再利用之相關市場機制進行探討，並同時進行廢棄資源物分類及處理技術成本分析，以瞭解廢棄資源物之經濟效益。通常進行市場分析的項目有：

### 一、市場接受度

瞭解廢棄資源物於鋪面工程之市場接受程度，並探討其原因。



## 二、市場規模

瞭解鋪面工程材料市場需求量，並獲知市場中競爭產品的地位，然後探討廢棄資源物於同等品或替代品中所佔之份量與地位。

## 三、市場通路與機制

探討廢棄資源物於鋪面工程應用所需之市場通路與機制，並針對現有機制與法規提出建議。

圖 2.10 以荷蘭為例，歐洲國家針對市場機制與廢棄資源物應用之關係如圖示，由外層至內層考量，推動廢棄資源物的應用必須有完整的政策、技術、規範與製程，並輔以完善的經濟誘因，才能在兼顧公眾利益與再生產業利潤的雙贏策略下，有效推動廢棄資源物之應用。

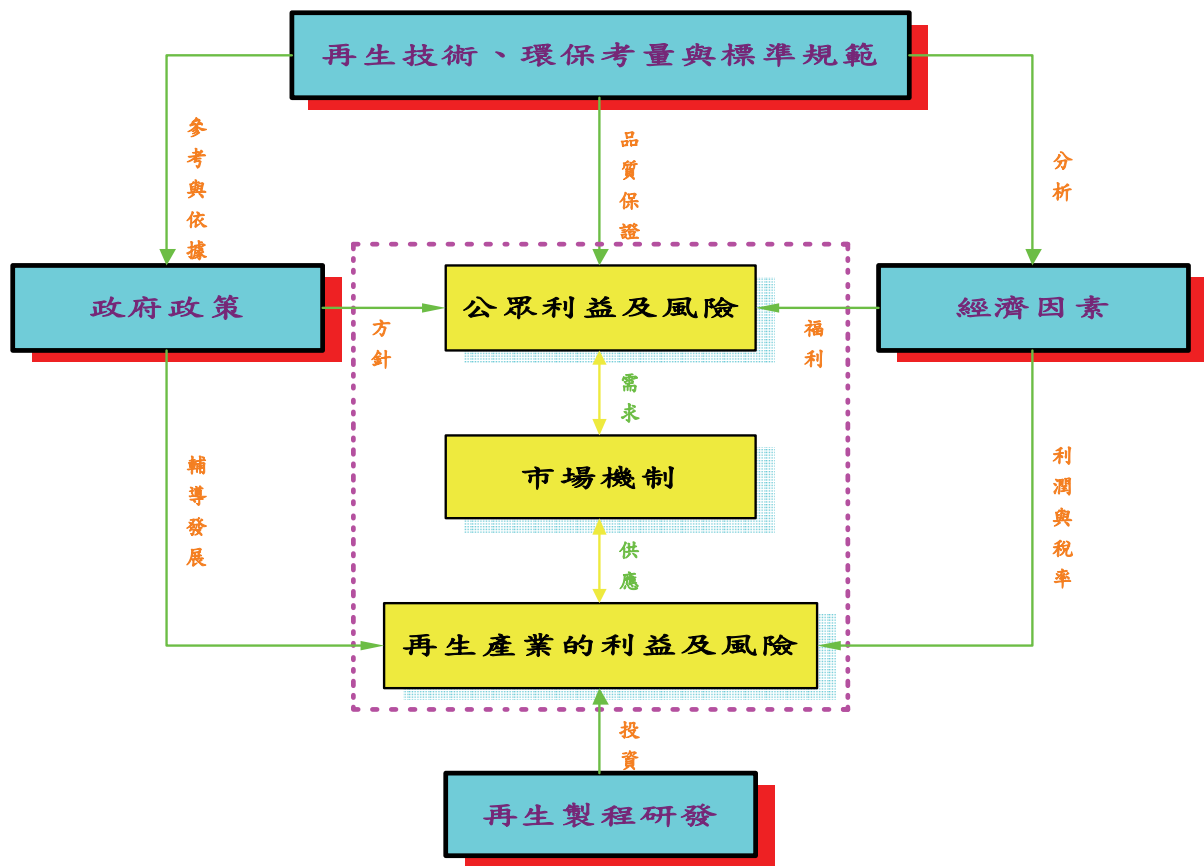


圖 2.10 市場機制與廢棄資源物應用關係圖

資料來源：FHWA International Technology Exchange Report, 2000.

## 2.5 國內外焚化底渣與混凝土塊再利用現況

### 2.5.1 焚化爐底渣【14】【15】【16】【17】

整理先進國家的灰渣再利用情形如下：

#### 一、日本

因為土地資源之不足，日本廢棄物處理現況亦以焚化為主；而有限的掩埋場亦無法滿足大量灰渣之需求，故近年來全力研發熱分解氣化熔融處理技術，及熔融再利用方式之評估，並積極推動熔渣建材，以期有效減少待掩埋灰渣量，俾延長掩埋場使用壽命。目前灰渣熔融處理後生成之熔渣製品之應用，在日本亦尚未普遍。至於再生利用方式，仍以作為道路骨材、混凝土製品（如下水道側溝蓋、路側緣石等）較為常見。

#### 二、新加坡

新加坡所面臨的狀況與台灣甚為接近，亦都面臨底渣掩埋難覓的窘境。使用垃圾底渣來造路是該國環境部加強工業廢料再循環量的一個新構想，此構想的源由，乃是因為垃圾焚化後總量不斷成長，掩埋場地不易尋覓之故。根據新加坡政府的統計數據顯示，新加坡人每天丟棄垃圾量約 7600 公噸，其中大約有 15% 不可被焚化。另外，垃圾焚化後，每天留下約 1600 公噸的垃圾焚燒爐底渣，累積起來，每年就有 58 萬公噸的灰爐。該灰爐若以掩埋方式處理，則每 25 至 30 年就需要一個有如新加坡旅遊熱點聖淘沙島般大的新掩埋場，此對地小人稠的新加坡而言，實是難以承擔之重，因而利用此一再生利用計畫，期利用該計畫以減廢甚或達到零廢棄物的目標，降低掩埋過程用地取得的衝擊，此與台灣所面臨狀況，更是非常雷同。

#### 三、美國

1994 年經美國最高法院判決，垃圾焚化灰渣適用於 RCRA Subtitle C 有害廢棄物管理規定，無論底渣、飛灰或混合灰，皆必須依據毒性特性溶出試驗 TCLP 測試，通過 TCLP 規定限值者，始可按一般事業廢棄物方式進行陸埋；否則必須以有害廢棄物方式掩埋。

美國已有底渣與飛灰混合物之應用以及單純底渣應用兩種資源再利用現況，但尚未有單獨利用飛灰之案例；僅有英屬哥倫比亞地區規定飛灰處理後，處置前必須經過相關的化學、工程、耐久性及溶出試驗；而底渣與飛灰混合物之再利用方式，大多以作為混凝土鋪面粒料、路底基材、混凝土級配粒料及其他使用等。其中，以美國聯邦高速公路局利用經分選獲取適當粒徑之灰渣做為道路鋪面及基底材料替代骨材之應用實例最多，且經長期實驗結果均證明對環境無不良影響。

#### 四、歐洲國家

歐洲地區垃圾採焚化處理已施行數十年，對於灰渣之管理均有相當明確的法令規範，且底渣之再利用率均大於美、日等地區，其應用均傾向於資源化方向，且以一般道路替代材料為主。

##### 1. 德國

德國在 1993 年間計有 53 座焚化爐運轉，底渣總產量約 300 萬噸及 30 萬噸飛灰，其中約有 60% 底渣回收再利用；再利用前需先經篩分及磁選去除鐵金屬，主要用途為當作道路工程路基、隔音牆及堤防建築之取代物；使用前至少須儲存熟化三個月以上。

此外，德國也有以飛灰添加於水泥拌合物中，再回填於煤坑道中，避免礦坑塌陷；亦曾使用五萬噸飛灰作為填埋及回填灌漿之先導試驗。另有集塵灰作為石灰取代物的案例，其做法為首先將集塵灰造粒後與水泥原料加水混合，再經旋窯鍛燒後再加以研磨，製成特殊水泥。目前德國正持續進行研究並開發更佳之灰渣處理及分離方法，以使得利用更具效益。

##### 2. 丹麥

在 1993~1994 年間，丹麥之底渣再利用率達到 40~45 萬噸，再利用率為 90%。除篩分及磁選後大約 10 % 金屬可回收使用外，底渣通常應用於相關土木工程，如一般道路、停車場路基、腳踏車道、覆土材料等，作為混凝土骨材取代材料，降低天然石材使用量。估計底渣掩埋每噸費用約為 150 美元，大量的資源回收再利用率，亦為丹麥節省龐大的處理費用。

##### 3. 荷蘭

荷蘭將飛灰列為有害廢棄物類，必須用 PE 塑膠袋包裝後，再棄置於有害廢棄物掩埋場，掩埋場需有襯底並具有溶出液收集系。1984 年後，約有 30~40% 的飛灰當作細骨材應用於瀝青混凝土中。荷蘭目前並致力於探討飛灰之玻璃熔融固化以及去除鹽類後投海拋棄之研究。

荷蘭由於天然骨材較為不足，且欠缺灰渣陸埋場所，因此政府大力推動灰渣再利用。在 1993 年，荷蘭 11 座焚化爐總共產生約 9 萬噸飛灰以及 65 萬噸底渣；其中，回收之鐵渣年產量約 7 萬噸，經磁選後回收使用於鋼鐵工業。於 1994 年，將近 95% 的底渣被回收再利用，為灰渣利用率最高的國家。

底渣一般應用在工廠地基、道路路基、堤防、隔音牆、防風牆材料，或是當為混凝土及瀝青混凝土骨材，底渣再利用已超過二百萬噸。

#### 4. 法國

法國於 1994 年間焚化處理之廢棄物量約為 18,000,000 噸，產生約 2,160,000 噸之底碴，再利用率有 64 %，有 45%左右的底碴被再利用於土木工程。法國法規規定，僅有底碴可進行再利用，飛灰則必須經固化處理，進行掩埋場棄置，法國是歐洲第一個如此要求的國家。

綜合整理上述各國實行資源化應用方法，如表 2.14 所示。

表 2.14 各國焚化底碴資源化應用方法

國 別	資源化應用方法
日 本	熔融作為道路骨材、步道用磚、無筋混凝土製品
新加坡	道路材料
美 國	道路基底層材料、結構用磚、人工漁礁、消波塊等。
加拿大	幾乎無再利用
德 國	土壤改良劑、高速公路隔音牆填充材料、道路路基底層鋪設。
丹 麥	基底層材料、混凝土骨材
荷 蘭	基底層材料、堤防、水泥骨材、瀝青骨材等。
法 國	回收玻璃、含鐵物質以及且他非鐵金屬、道路路基底層材料。

#### 五、台灣

目前國內對於灰渣的處理分別以飛灰及底碴分開處理，除了台北縣市、桃園縣產生之部分底碴經初級處理後以再利用的方式處理外，其餘大部分底碴還是送至掩埋場做最終的處理。而再利用的方向分別作為道路基底層級配料、管溝回填材料、控制性低強度材料（CLSM）、無筋混凝土製品、回填土以及瀝青混凝土粒料等，使用情況如表 2.12 所示。未來環保署將在台中、台南二地各興建一座「底碴再生利用廠」，當其開始運轉後將可使其周圍縣市之焚化底碴經初級處理後做再生利用，屆時將大幅提昇我國焚化底碴之再利用率。

由於底碴中的有害成分較飛灰少，較不易超出溶出標準而被認定為有害事業廢棄物，對於傳統掩埋已無法達到永續發展的目標，若能將底碴中的金屬部分回收以及底碴再利用，不僅可改善掩埋場空間不足，亦可降低灰渣對環境的二次污染問題。近年來國內外研究學者對於垃圾焚化底碴處理均著重於減量與再利用，以灰渣再利用的技術層次分類，將分為三類如表 2.16 所示，低技術層次即以最少的處理程序及費用，將底碴顆粒直接應用，一般可用於掩埋場覆土、路基材料等替代材料；中技術層次則須將底碴經過處理後再利用於水泥混凝土或瀝青混凝土中；高技術層次是將底碴中各種有價重金屬回收及利用高溫將底碴的基本結構產生變化，進而達到無害化、穩定化及材料化，再利用作為一次、二次製品。

表 2.15 國內底碴再利用用途統計

再利用用途	公噸/92 年	比率(%)	公噸/93 年	比率(%)
CLSM 管溝回填	18,783	22.6	30,143	35.73
道路基層級配	50,424	60.7	45,437	53.86
瀝青混凝土	4,059	4.9	1,262	1.50
其他級配粒料使用	264	0.3	-	-
廢鐵回收	8,516	10.3	6,365	7.54
廢銅回收	109	0.1	87	0.10
廢鋁回收	287	0.4	223	0.26
白鐵回收	64	0.1	64	0.08
未燃物	519	0.6	783	0.93
合 計	83,025	100.0	84,364	100.0

資料來源:本研究整理

表 2.16 焚化底碴再利用技術層次分類

技術層次	再利用方式
低技術	1.填充料 (fill material) 2.路基材料 (road base material) 3.掩埋覆土 (landfill cover)
中技術	1.瀝青應用 (bituminous application) * 熱拌瀝青 (hot bituminous application) * 冷拌瀝青 (cold bituminous application) 2.預拌混凝土 (portland cement ready mix) 3.混凝土塊 (portland cement block)
高技術	1.重金屬萃取 (heavy metal extraction) 2.玻璃化 (vitrification)

## 2.5.2 廢混凝土塊【18】【19】【20】【21】【22】

整理先進國家的灰渣再利用情形如下：

### 一、日本

日本每年產生之建築廢棄物約佔全國廢棄物總量之 20.6%，其中建築廢棄物部分佔 55%，依據日本 1995 年之統計資料顯示，其建築廢棄物混凝土塊再生利用率為 65%。其建築廢棄物再利用的市場管道，就混凝土塊而言，日本主要作為建築及級配骨材、工程填方及土質改良、填海造地等。若以國情及生活習性，我國應與日本較為相近。據此推斷，我國的混凝土塊再利用率應可達 65%。

日本有訂定回收混凝土用於建築物之規範，但因回收混凝土之吸水率大等等原因，使得一般民眾對於混凝土塊使用於建築物上信心不足，無法接受，因此日本的廢混凝土塊大約 20%使用於道路級配，其餘 80%為填方使用，很少使用於建築物之建造。

日本於 1991 年制訂再利用法，1994 年建設省制訂「混凝土副產物的再利用有關用

途別暫訂標準」，訂定再生骨材、路基材、襯材與回填材之用途與品質的相關基準；同年發表「建設廢棄物副產物對策行動計畫—Recycle Plan 21」，訂定於西元 2000 年須達成『最終處置量減半』之目標，使再生利用率達 90%，進而向零最終處置量邁進。

由於日本與我國同屬人口較為稠密之國家，在日本的再利用法中規定，營建廢棄物產出若於工地四十公里內有再生處理場，則必須送至該場再生處理，同時該工程之需土也必須向該場購買；而可直接交換之土石方，若五十公里內有其他工地需要，則強制交付，需求者亦比照辦理，若有因此衍生超出費用情形，則由國家補助，此乃日本與其他國家較為不同之處，也值得我國借鏡參考。

## 二、美國

美國的廢棄混凝土年產量約 3000 萬公噸，主要回收再利用於道路路基與路肩、碎石路路面鋪設或建築物基底及低窪地區之回填料使用。以洛杉磯、拉斯維加斯及達拉斯等城市的作法為例：

1. 洛杉磯將營建工程產生之磚、瓦及混凝土碎塊等視同一般垃圾來處理；對於工程開挖所產生之土石方則利用作為垃圾衛生掩埋場之覆土或工程填土。
2. 衛生掩埋場之填埋方式採用「三明治工法」，亦即以廢棄物和土石方交替覆蓋，以進行夯實、覆土及灑水，以確保場區穩定及避免滋生病媒。
3. 某衛生掩埋場在啟用之前先經周詳之規劃，填埋完成後以闢為高爾夫球場，並收集廢棄物產生之甲烷氣體出售，鄰近之山坡地則開發為高級住宅社區。
4. 達拉斯除公有掩埋場外亦設置了多處私有掩埋場，政府與民間通力合作，共同解決該市廢棄物處理問題。
5. 德州則用於填海，一方面解決其處置問題，另一方面兼可創造新生土地，此種填海造路方式亦值得國內參考採行。

## 三、加拿大

加拿大的廢棄混凝土與瀝青刨除料之再生利用率已達 84.8%，其主要回收方式為路基填料或瀝青混凝土之骨材；至於其他地區仍多以掩埋或填湖方式處理，因此中央政府預計處理方式若不加以改善，再過十年掩埋及填湖的處理容量將達飽和。

## 四、英國

英國每年產生約 7000 萬公噸的建築廢棄物，佔全國事業廢棄物總量 16%，其中混凝土塊約佔建築廢棄物總量之 11~15%。目前英國政府正試圖由建築廢棄物中取得混凝土塊，將其與磚瓦、玻璃等廢棄物混合製成新的混凝土製品。而在其最近的建研所未來能源效率辦公大樓工程中，便進行了一項回收再利用示範計畫，其中新建工程中所使用

之粗骨材便來自於拆除工程所產生之廢棄混凝土塊。藉此顯示出廢棄混凝土塊之較高層次的再生利用方式，完成廢棄混凝土塊成為再生骨材的目標。

## 五、荷蘭

荷蘭由於地處低海拔，全國有 27% 的土地低於海平面，因此非常重視「土」這方面的資源，積極進行營建廢棄物的再生利用，已訂出碎混凝土力料及碎石粒料之品質等兩項法規，詳細規定各種營建廢棄物的含量限制與密度等。因此，不論是營建污泥或營建廢棄土，全部回收利用在填海造路方面，從 1927 年至 1959 年已完成四塊新生地之填埋，計畫中的第五塊正在進行，共可產生 2050km<sup>2</sup> 之土地，約佔荷蘭國土面積的 5%。據統計有超過 90% 的廢棄混凝土塊運於道路底層之填充料與填海造陸工程。除此之外，荷蘭本身砂石資源缺乏，故也積極推動再生骨材的利用；1991 年荷蘭產生的 1400 萬公噸(約佔全國固體廢棄物的 26%)營建廢棄物之中，即有 1/3 作為再生骨材之利用。荷蘭政府並訂定政策目標，在 2000 年時，預定將 1600 萬公噸的營建廢棄物達成 90% 的回收率。最近荷蘭政府更進而輔導一些專業廠商，進行建築廢棄物再利用於公路隔音牆、公路填方和路堤等工程之研發，致力於再生市場的開發，以達到廢棄物減量的目的。

## 六、香港

香港政府的工務部門已就公務規格進行覆核和修訂，容許鋪築路底基層及低強度混凝土中使用循環再造石料，2001 年 11 月起，循環再造石料可再低強度混凝土中使用，且已有 1000 公噸循環再造石料經處理後做測試及實驗，在吐露港公路拓寬工程中，率先以循環再造石料鋪築路底基層作試驗，初步研究已於 2002 年年中備妥，並頒佈高強度混凝土中使用循環再造石料之相關規格。且預計廢棄物再利用率由 1997 年之 30% 提高至 58%，則堆填區之使用期限可由 2015 年延長至 2019 年，且預計成功落實時，廢棄物管理成本每年可減少 35 億元。

## 七、新加坡

新加坡對於破碎之混凝土塊與廢棄磚瓦等堅硬石塊的處理方式則是無償給予或以些許價格售予營造承包商，將其再生利用於施工建築之臨時道路、施工便道或凹地填方等工程上，而部分混凝土碎塊則經由不同加工手續，製成各式的路緣石。

## 八、台灣

有鑑於廢棄混凝土再利用尚屬示範推廣階段，各工程主辦機關對於廢棄混凝土製成之再生材料或再生產品接受相當低，觀念上對於再生材料或再生產品仍停留在次級品或替代品之等級而不敢採用，以避免遭受檢調單位質疑，故應儘速完成建置相規範或標準，並辦理相關推廣教育之訓練，以提升執行成效，同時針對廢棄混凝土再生利用將採取逐

年提高率之方式辦理，訂定各部會年度使用廢棄混凝土數量佔該年度產出廢棄混凝土數量之利用率目標值如表 2.17 所示。

表 2.17 各部會年度廢棄混凝土數量利用率

年度	再利用率
94	10 %
95	30 %
96	50 %
97	70 %

## 2.6 營建資源再生利用推動政策及執行績效之探討【23】

二十一世紀將為爭奪資源之世代，即主導人類經濟之活動除了資本與技術之外，最重要將是資源之擁有，故在「永續發展」之世界潮流下，先進國家對於處理廢棄物之趨勢，逐步以資源化為主，因此資源之有效利用，將維繫未來人類經濟活動之命脈，營建工程象徵國家進步發展及增進人類生活之重要工程建設，為避免過度開發製造大量營建廢棄物導致污染環境，將配合資源永續再利用原則，利用廢棄物減量（Reduce）、重複使用（Reuse）、再生利用（Recycle）以及能源回收（Recovery）等方式，俾使營建廢棄物成為有用之再生資源並作為達成永續發展目標之必要手段。

我國對於營建資源再生利用之推動目前尚處於萌芽階段，比起鄰近國家發展較緩慢，為帶動國人追求資源回收循環再利用之理念與行動，行政院永續發展委員會於 2002 年 9 月發布「國家永續發展行動計劃表」，邀集各委員及學者專家，設置八個工作分組，共同合作致力打造一個屬於全民之「永續台灣」，其中國土資源組以具體行動及目標期程，規劃三大工作任務及七大工作項目，針對營建資源再生利用部份，於工作任務參、推動綠營建項下之工作項目三、推動營建資源再生利用，擬定我國相關資源再生利用目標與能源永續發展策略，以落實國土資源之永續發展，圖 2.11 為「國家永續發展行動計畫表—國土資源組」之架構與內容。

台灣地區地狹人稠，自然資源有限且日趨枯竭，營建廢棄物再利用不但可減少天然資源使用，亦可減緩廢棄物處理數量及解決違規棄置等問題，國土資源組協調各部會包括交通部（規範擬訂）、經濟部（產業輔導）、內政部（管制申報）及環保署（綠色採購方案）等通力合作，透過適當機制及策略，研擬推動營建資源再生利用之執行目標及具體工作項目，以提昇國內資源回收再利用率及落實資源永續利用之目標。以下針對工作任務參、推動綠營建項下之工作項目三、推動營建資源再生利用，其推動具體內容詳述如下：



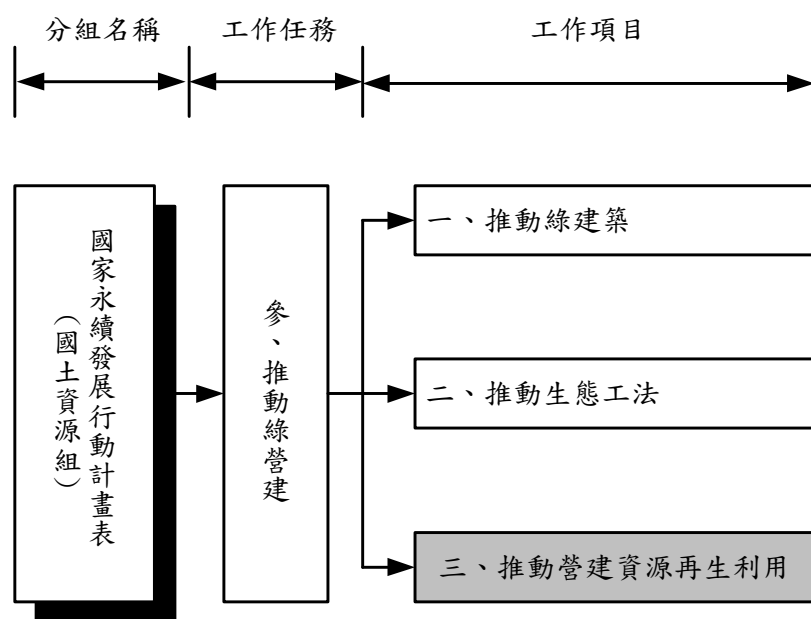


圖 2.11 「國家永續發展行動計畫表－國土資源組」架構內容

一、推動目標：健全營建資源再生利用機制，誘發再生利用之市場通路，促進資源之有效利用及降低環境污染

- 1.訂定公共工程使用再生材料項目與施工規範。
- 2.訂定公共工程使用再生資源比例。
- 3.推動政府機關率先使用再生建材。
- 4.研訂再利用營建事業廢棄物管理辦法及提昇營建事業廢棄物之再生利用。
- 5.推動營建事業廢棄物清除處理機制。
- 6.推動營建再生建材之輔導與獎勵。

二、執行措施

表 2.18 推動營建資源再生利用工作具體措施

國家永續發展行動計畫表（國土資源組）	
任務參、推動綠營建	
工作項目三：推動營建資源再生利用	
理 念：促進廢棄混凝土等營建資源再生利用	
具體工作內容	
一	建立再生營建資源料源供應及需求之申報及撮合機制
再生營建資源料源供需機制之配套作業	
二	A.促進營建資源技術研發及應用推廣，並研訂或檢討修訂相關作業要點及各公共工程主辦機關之施工規範
	B.輔導營建資源再生利用產業，並健全營建再生資源管理法規體系
三	推動示範工程案例，建立公共工程應用再生營建資源作業模式

## 2.6.1 營建資源再生利用之推動政策

台灣近年來由於社會經濟快速成長與都市建設蓬勃發展，逐步成為已開發國家之行列，於推動各項重大公共工程及興建民間建築工程之際，亦應顧及建設與環境共生共利之原則，行政院於 2002 年 5 月提出「挑戰 2008：國家發展重點計畫」，為期六年（2002-2007），以有願景、有方案及有策略，營造「綠色矽島」之建設願景。

行政院為貫徹「挑戰 2008：國家發展重點計畫」及執行「國家永續發展行動計劃表」之施政目標並嚴守團隊公約，積極協調各相關部會，縝密擘畫各項具前瞻及展望之因應對策，期能帶動國家永續發展之風潮。

公共工程委員會自民國 87 年陸續推動瀝青混凝土、飛灰、爐石及廢玻璃等四項營建資源再生利用於公路工程之中，其資源化成果相當豐碩如瀝青混凝土路面每年刨除量約 300 萬公噸、火力發電廠所產出之飛灰約 100 萬公噸、煉鋼廠所產出之爐石約 400 萬公噸、廢玻璃約 55 萬公噸，產出量皆 100 % 回收再生利用，藉此可節省工程成本外，亦可解決砂石料源短缺之問題，以提昇資源回收再利用價值與落實營建資源多元化處理。

隨著國內工商業之發展及生活品質之提升，許多公共工程正面臨使用年限屆滿需拆除或更新重建之問題，屆時將伴隨產生大量之營建廢棄物，依據內政部建築研究所之研究統計結果顯示，台灣每年經合法申請拆除之營建廢棄物數量據推估約 1 100 萬公噸，其中以廢棄混凝土數量佔最大宗，以重量百分比約佔 53%，若以體積百分比約佔 41%，若能將其妥善有效回收處理及再利用，提昇廢棄混凝土之再利用率，則有助於有限資源循環使用，減緩對環境之衝擊。

「他山之石，可以攻錯」，國外對於廢棄混凝土之回收再生利用工作已頗具成效，如美國聯邦政府將廢棄混凝土應用於道路工程中；英國政府將營建廢棄物中取得之混凝土塊與磚塊與廢玻璃混合製成新之混凝土製品；荷蘭、丹麥及比利時三國政府於建築法規中強制訂立回收建材之比率，使 90%之廢棄混凝土塊應用於道路底層之填充材料與填海造陸；日本於 1991 年制定「再生資源利用促進法」，將廢棄混凝土塊和磚塊應用於填海造陸工程，反觀國內對於廢棄混凝土回收再利用，僅止於推廣階段且缺乏較為具體可行之運作機制。

有鑑於此，公共工程委員會依據「行政院國家永續發展委員會國土資源組行動計劃表」工作任務參、推動綠營建項下之工作項目三、推動營建資源再生利用，擬定「推動營建資源再利用於公共工程行動計畫」，以協調輔導之立場，協助各相關部會訂定配套措施，以利推動廢棄混凝土等營建資源再生利用於公共工程。

「推動營建資源再利用於公共工程行動計畫」於 93 年納入「挑戰 2008：國家發展重點計畫」之「水與綠建設計畫」之「綠營建計畫」項下之子計畫，其相關部會權責分工之主要

內容如各工作項目之執行事項、預定完成時間、主（協）辦機關等，詳如表 2.19 所示。

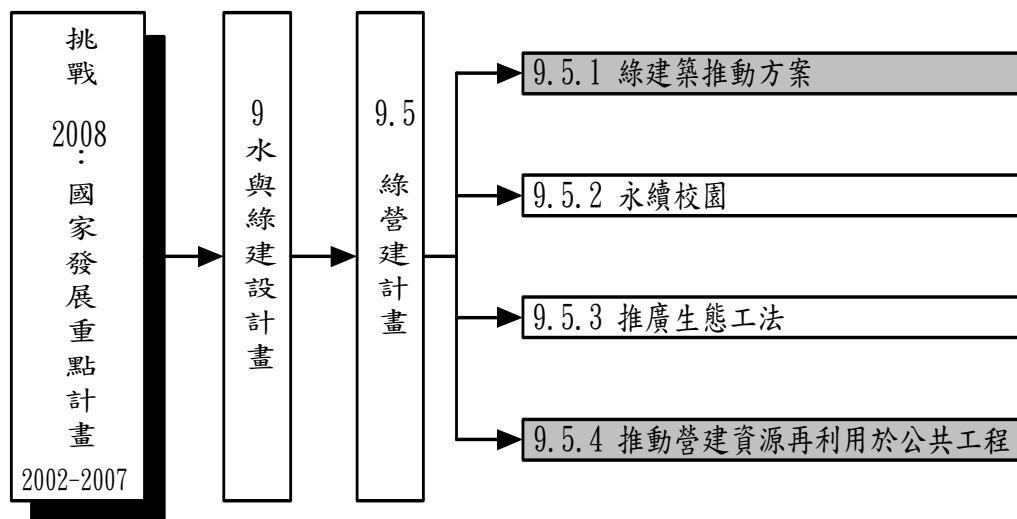


圖 2.12 「挑戰 2008：國家發展重點計畫」相關計畫架構內容

表 2.19 推動營建資源再利用於公共工程相關部會權責分工表

推動營建資源再利用於公共工程			
項次	工作項目	辦理機關	完成時間 備註
一	建立再生營建資料源供應及需求之申報及撮合機制	內政部	93.12.31 ◆內政部（營建署） 建置廢棄混凝土之申報系統
二	建置廢棄混凝土等營建資源相關參考單價	工程會、內政部 經濟部、交通部 農委會	93.12.31
三	訂定使用廢棄混凝土之工程種類、工項、使用比例及相關規範與標準	內政部、經濟部 交通部、農委會	94.06.30 ◆交通部研訂完成施工規範並供所屬機關參辦 ◆經濟部擬再生材料使用之施工規範納入工程契約
四	訂定使用廢棄混凝土等營建資源相關作業措施	內政部、經濟部 交通部、農委會	94.06.30
五	辦理廢棄混凝土等營建資源示範工程案例	內政部、經濟部 交通部、農委會 教育部、工程會 內政部	◆交通部、經濟部、農委會 於 93 年度提出 9 個使用營建再生資源示範工程案例 每年辦理
六	辦理公共工程主辦機關相關人員之教育訓練及應用推廣	經濟部、交通部 農委會、環保署 教育部	每年辦理
七	提供廢棄混凝土等營建資源供需資料上網	各部會 縣市政府	每年辦理

## 2.6.2 營建資源再生利用之執行績效

行政院公共工程委員會為落實國家永續發展政策，特擬定「推動營建資源再利用於公共工程行動計畫」，協調各相關部會訂定配套措施、規範、標準及推廣等事宜，推動營建資源廢棄混凝土再生利用於公共工程，以達成公共工程節能、減廢及資源再利用之目標。

目前廢棄混凝土再利用尚屬示範推廣階段，以中央各部會主辦之公共工程為對象，基於各工程主辦機關對於廢棄混凝土製成之再生材料或再生產品接受度相當低，除觀念上仍停留在次級品或替代品之等級外，另因缺乏廢棄混凝土使用之規範或標準手冊作為工程依據，致使基層工程人員無法適從，不敢貿然採用，避免遭受檢調單位質疑，故應儘速完成建置相規範或標準，並辦理相關推廣教育之訓練，藉此調整基層人員之心態，提昇廢棄混凝土再生利用執行成效。

廢棄混凝土再生利用於公共工程，將採取逐年提高率之方式，工程會訂定各部會年度使用廢棄混凝土之再利用率及協調交通部、經濟部及行政院農業委員會等機關提出九個使用廢棄混凝土資源再利用於公共工程之示範案例，加速達成廢棄混凝土減量逐年遞增之目標，表 2.20 為各年度使用廢棄混凝土再利用率之績效指標，表 2.17 為廢棄混凝土資源再利用於公共工程示範案相關資料。

$$\text{再利用率} = \frac{\text{目標年度使用廢棄混凝土數量}}{\text{目標年度產出廢棄混凝土數量}} \times 100 \%$$

表 2.20 使用廢棄混凝土再利用率績效指標

目標年度	再利用率（％）
94	10
95	30
96	50
97	70

表 2.21 營建廢棄混凝土資源再利用於公共工程示範案例相關資料

93-97 年度 營建廢棄混凝土資源再利用於公共工程示範案例						
單 位	案 例 名 稱	預 定 開 工 日 期	預 定 完 工 日 期	預 估 產 出 廢 棄 混 凝 土	預 估 需 求 廢 棄 混 凝 土	
國工局	國道六號南投段工程（台中縣－南投縣）	93.02.01	97.12.31	2 150	20 700	
	國道八號銜接西濱公路道路工程（台南市）	93.12.01	95.12.31	610	9 220	
	國道一號員林高雄拓寬第 532 標八掌溪橋工程	91.11.28	95.03.11	5 148	5 148	
	高公局 第 542A 標急水溪橋改善工程	91.11.28	95.11.06	9 923	10 283	
交通部	第 542B 標曾文溪橋改善工程	91.11.28	95.07.09	12 313	12 313	
	公路總局 台七乙線 7K+787~8K+100 彎道改善工程 （台北縣三峽鎮）	93.12.15	94.06.30	514	514	
經濟部	水利署 東埔蚶溪木屐寮一號水岸整理工程（南投縣竹山鎮）	93.05.15	93.12.10	0	770	
農委會	台中縣霧峰鄉北坑溪整治二期工程	93.06.29	93.10.15	0	300	
	南投市深坑野溪整治加強工程	93.07.10	93.09.10	0	293	
總 計（m <sup>3</sup> ）				30 658	59 541	

公共工程委員會為督促追蹤各部會推動營建廢棄混凝土資源再利用之執行情形，規定各中央目的事業主管機關於每季開始五日內，提報年度規劃執行事項及各季預定執行目標，便於爾後執行績效管考作業，以下分別為各部會針對「推動營建資源再利用於公共工程行動計畫」所提出之機制策略。



圖 2.13 「推動營建資源再利用於公共工程行動計畫」之績效管考單位

## 一、內政部營建署

### 1.建立再生營建資源供應及需求之申報及撮合機制

由於使用廢棄混凝土再生利用之工程主辦機關，無法獲得所有公共工程產出之廢棄混凝土數量、時程及單價等資訊，僅能就其有限資訊加以運用，致使執行成效有所限制，為瞭解廢棄混凝土相關資訊，營建署於 93 年 12 月建置「營建廢棄混凝土再利用管理申報系統」，有效提供廢棄混凝土再利用料源供應及需求之申報與撮合機制。

### 2.建置廢棄混凝土相關參考單價

目前工程主辦機關所建置之資料庫中，無廢棄混凝土之相關單價，致工程主辦機關辦理招標作業之估價時無相關參考準據，蒐集廢棄混凝土處理場之進場處理費及出場成品價格，並將公開於申報系統，提供各工程主辦機關上網查詢及參考使用。

### 3.訂定使用廢棄混凝土之工程相關規範與標準

廢棄混凝土大部使用於道路之基底層、護欄、鋪面及造景等非結構性之構造物，其主要原因於缺乏廢棄混凝土使用之規範與手冊做為工作依據，由於廢棄混凝土再生之骨材品質管制較困難，致使工程主辦機關望而卻步，營建署研訂營建再生材料相關施工規範（草案）經工程會審議後，於 92 年 12 月 2 日納入公共工程施工綱要規範之 02722 級配粒料基層及 02726 級配粒料底層，提供各相關機關參考使用。

### 4.訂定使用廢棄混凝土相關作業措施

- (1)工程主辦機關提報新興工程計畫時，應預估使用廢棄混凝土之工程種類、工項、使用比例與數量、料源之出處及使用時程，且需填報於「營建廢棄混凝土再利用管理申報系統」中，報請主管機關核備。
- (2)工程主辦機關完成工程設計，應將使用廢棄混凝土再生利用相關規範納入招標文件，並於合約文件中載明使用廢棄混凝土之工程種類、工項、使用比例與數量、料源出處、預估辦理時程及計費方式等資料。
- (3)工程主辦機關於完成工程決標後，依據得標廠商所提施工計畫，將合約文件中詳細資料填報於「營建廢棄混凝土再利用管理申報系統」中，報請主管機關核備。



## 二、內政部建研所

為確保廢棄混凝土再利用於次要結構之品質，建築研究所特研提「廢棄混凝土再利用於次要結構相關規範整體計畫」，此計畫針對廢棄混凝土之使用管制及施工規範等項目加以考量，其內容詳述如下：

表 2.22 內政部建研所推動廢棄混凝土再利用於次要結構相關具體措施表

廢棄混凝土再利用於次要結構相關規範整體計畫			
執行期程：94—98 年主辦單位：內政部建築研究所			
項次	工作內容	辦理單位	預定時程
一	研訂再生混凝土使用手冊	建研所	94.01-12
二	再生混凝土使用手冊之推廣應用	建研所 工程會	95.01 起
三	研訂廢棄混凝土再利用於次要結構相關規範	建研所 建研所	96. 01-12
四	相關中國國家標準之法制化程序	經濟部 (標準檢驗局) 建研所	97. 01-12
五	廢棄混凝土再利用於次要結構相關規範之推廣應用	工程會 各工程主辦單位	98.01 起

## 三、行政院農業委員會（水土保持局）

農業委員會為推動營建資源再利用於水土保持工程，訂定使用廢棄混凝土相關措施，其擬定措施及執行事項如下述：

- 1.產出廢棄混凝土之工程，將採用原地碎解作為該工程回填土方材料方式辦理，主管機關不定期邀集工程主辦機關檢討使用廢棄混凝土之再利用情形，若有供需失衡之現象，主動邀請相關機關協調解決。
- 2.選擇野溪治理工程為示範工程，採用再生粒料製成預鑄混凝土塊作為護岸施工材料。
- 3.再生混凝土粒料應用於非主要結構物（無筋混凝土）及作為回填土材料。

表 2.23 推動營建資源再利用於水土保持工程具體措施表

推動營建資源再利用於水土保持工程		
執行期程：94 年		
主辦單位：行政院農業委員會水土保持局		
項次	工作內容	執行事項
一	辦理示範工程	<p>◆再生粒料應用試驗工程</p> <p>1.北坑溪整治二期工程 (使用 509m<sup>3</sup> 再生粒料混凝土)</p> <p>2.深坑野溪整治加強工程 (使用 445m<sup>3</sup> 再生粒料混凝土)</p>
二	再生粒料混凝土塊之施工規範研訂 (含單價分析)	◆再生粒料應用施工技術規範研訂
三	研擬再生粒料混凝土塊之檢驗技術與品質	<p>◆開發再生混凝土預鑄塊產製技術 混凝土塊成品尺寸：</p> <p>◎ 20×30×40</p> <p>◎ 20×32×45</p> <p>◆再生混凝土預鑄塊量產作業測試</p>
四	再生粒料應用之相關研習與訓練	辦理三場教育訓練

#### 四、交通部

##### 1. 國道新建工程局

國工局為推動營建資源再利用於公共工程，於94年針對設計及施工部份，擬定執行措施、辦理時程等事項，如下詳述：

表 2.24 國道新建工程局推動營建資源再利用於公共工程具體措施表

執行事項	
設計 部份	1.訂定使用廢棄混凝土相關作業要點
	2.確立工程計畫中使用廢棄混凝土之工程種類、工項、使用比例
	3.訂定廢棄混凝土相關規範
	4.訂定廢棄混凝土相關參考單價
	5.預估產生及使用再生資源之數量
	6.上網申報預估產生及使用之再生資源
施工 部份	1.承包商尋覓工區附近可供使用之再生料源及可回收廢棄混凝土之收容處理場所
	2.研擬再生資源再生利用計畫
	3.上網申報核准產生之再生料
	4.填報可回收再利用資源之產生、使用及總使用率統計等紀錄表格
	5.辦理績效考評或成效評鑑

表 2.25 國道新建工程局執行廢棄混凝土再利用具體措施表

如何加速推動營建資源再利用於公共工程	
項次	執行事項
一	◆於公共工程價格資料庫中蒐集再生混凝土相關單價 ◆再生粒料使用比例於（25—40）%採均一單價編列
二	◆將廢棄混凝土應用於次要結構 ◆使用比例視工程及料源性質於契約中規定
三	◆預定 94.06 完成「營建資源回收再利用作業要點」
四	◆提出兩個工程示範案例 1.國道六號南投段工程 2.國道八號銜接西濱公路道路工程
五	◆辦理營建資源再利用於公共工程之相關人員教育訓練
六	◆於「營建資源回收再利用作業要點」中規定設計及施工單位需提供廢棄混凝土產生及使用再生材料之上網申報資料

##### 2. 高速公路局

高公局針對新建、拓寬及養護工程所產出之廢棄混凝土均辦理再利用給予追蹤列管並對

各工程主辦機關進行績效考評，其管考措施如下述：

- (1)主管（辦）機關將使用廢棄混凝土之情形納入工程評鑑項目，並不定期抽查使用情形。
- (2)主管機關於每年底針對所屬機關使用廢棄混凝土之執行考核結果良好之機關與人員予以獎勵。

表 2.26 高公局執行廢棄混凝土再利用具體措施表

國道高速公路局廢棄混凝土再利用計畫			
執行期程：94-97 年度			
工程類別	預估產出 廢棄混凝土 (m <sup>3</sup> )	預估再利用 廢棄混凝土 (m <sup>3</sup> )	備註
養護工程	8,240	3,300	◆剛性路面整修產出之廢棄混凝土再利用於排水溝墊層或道路底層
拓寬工程	78,317	25,407	◆RC 護欄、舊橋改建等產出之廢棄混凝土再利用於固床工程或道路底層
拓寬工程	5,100	4,670	◆廢棄混凝土再利用於路基等填方
總計 (m <sup>3</sup> )	91,657	33,377	

### 3.公路總局

公路總局為推動營建資源再利用於公共工程，訂定使用廢棄混凝土之工程種類、工項、使用比例之相關作業措施，利於列管追蹤將進行績效考評並針對工程規劃設計階段時填報廢棄混凝土產量與使用量不定期檢討使用廢棄混凝土之執行情形，擬定相關措施詳述如下：

#### (1)廢棄混凝土再利用之工程種類、工項訂定

道路或橋梁之水泥混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後符合再生粒料之要求，將作為回填材料、級配料底層、基層、透水砂層、地下排水、水泥混凝土及瀝青混凝土再生粒料等工程項目中使用。

#### (2)廢棄混凝土使用比例

拓寬或改建工程所產製之廢棄混凝土，將採全量回收使用於該工程，若其無法容納再調配他標工程使用，加速提昇資源回收再利用之比例。

## 五、經濟部水利署

水利署為推動營建資源再利用於公共工程，擬定使用廢棄混凝土相關措施及執行事項，

表 2.27 詳述：

表 2.27 經濟部水利署推動營建資源再利用相關具體措施表

項次	工作內容	執行事項
一	建立再生粒料水泥混凝土參考單價	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆水泥混凝土各原物料之單價成本</li> <li>◆再生粒料與一般水泥混凝土之成本分析</li> </ul>
二	使用廢棄混凝土之工程種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆再生粒料水泥混凝土應用於無筋混凝土之次要構造物</li> <li>◆再生碎石級配應用於道路底、基層</li> <li>◆再生瀝青混凝土應用於道路面層</li> </ul>
三	使用廢棄混凝土相關作業措施	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆訂定再生粒料水泥混凝土、級配粒料底層、基層等相關規範 (含再生粒料檢驗方法及標準)</li> <li>◆再生水泥混凝土配比</li> <li>◆辦理使用再生粒料水泥混凝土、級配粒料底層、基層等訓練</li> </ul>
四	辦理使用廢棄混凝土再利用 示範工程案例	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆再生瀝青混凝土工程</li> <li>◆再生碎石級配使用於道路工程</li> <li>◆再生水泥混凝土工程</li> </ul>
六	建立剩餘土石方撮合機制資訊網路	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆促進水利署內部剩餘土石方流通使用</li> </ul>

## 第三章 研究計畫

### 3.1 研究流程

本研究流程主要分為四個階段，如圖 3.1，第一階段首先蒐集國內外廢棄資源再利用於公路工程的相關技術與規範，國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討。經初步判斷後進行試驗規劃，以提供下階段研究之基礎。本研究將針對本團隊進行相關完成試驗道路來進行國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討，其內容如表 3.1 所示

在第二階段的實驗室試驗目的在於進行試驗材料的選定，從基本物理與化學性質分析開始，再與中國國家標準、公共工程施工綱要規範、交通部公路類規範等規範核對，確認符合各項標準規範要求後，進行取代天然級配面層、基底層之配合設計，並將各項配比所作試體進行成效試驗，從試驗結果預期未來試鋪之成效，針對須改善部份做調整，並回饋資料因應試鋪所需材料量產做施工品質控制，與研究計畫配合提出成果，針對欲進行試鋪之路段提出試鋪計畫，以利進行第三階段的實際應用。

在第三階段進行國內廢棄資源再利用於公路工程相關試驗道路，在完成第一階段及第二階段評估之後，已經完成國內廢棄資源再利用於公路工程之初步評估，由於第一階段及第二階段擬定的部分著重於實驗室之評估與資料收集分析與整理，而且公路工程最重要點即是在於現地的成效，而試驗室的研究成果與現地鋪面鋪設之情形通常有一定差異，因此通常都需現地的驗證來修正第一階段及第二階段所訂定的相關規範與研究內容。在實際鋪設完成後需針對試鋪路段，進行長期成效評估方式之建議，並實際觀測試鋪路段是否達到應有的服務水準，成效評估應於試鋪前、完工後一個月內、開放通車後每年進行多次檢測，以獲得最客觀之數據資料。唯此階段無法於研究時限內完成，於是本研究將針對本團隊進行中試驗道路來進行驗證。其進行中試驗道路如下表 3.2 所示

為了推廣廢棄資源再利用於公路工程，提升國內資源回收再利用的比例，本研究將於第四階段提出應用廢棄資源再利用於公路工程時，其維護管理或拆除時，挖除材料移動追蹤，或再利用之管理模式。利用廢棄資源再利用的權責劃分，述明各單位在廢棄資源再利用中所應扮演的角色，另外從如何設置廢棄資源再利用的軟硬體設備開始，及公路工程施工到完工驗收的品質查驗標準，做一完整之管理機制，以確保廢棄資源再利用鋪面品質。另外將對交

通部公路類規範進行檢視，提出本部公路類規範需修正輕重緩急之建議，以加速推動國內營建廢棄物之再生利用，以期有效節省自然資源之使用，減少廢棄物之產生，並積極促進資源回收再利用，以減輕環境負荷。

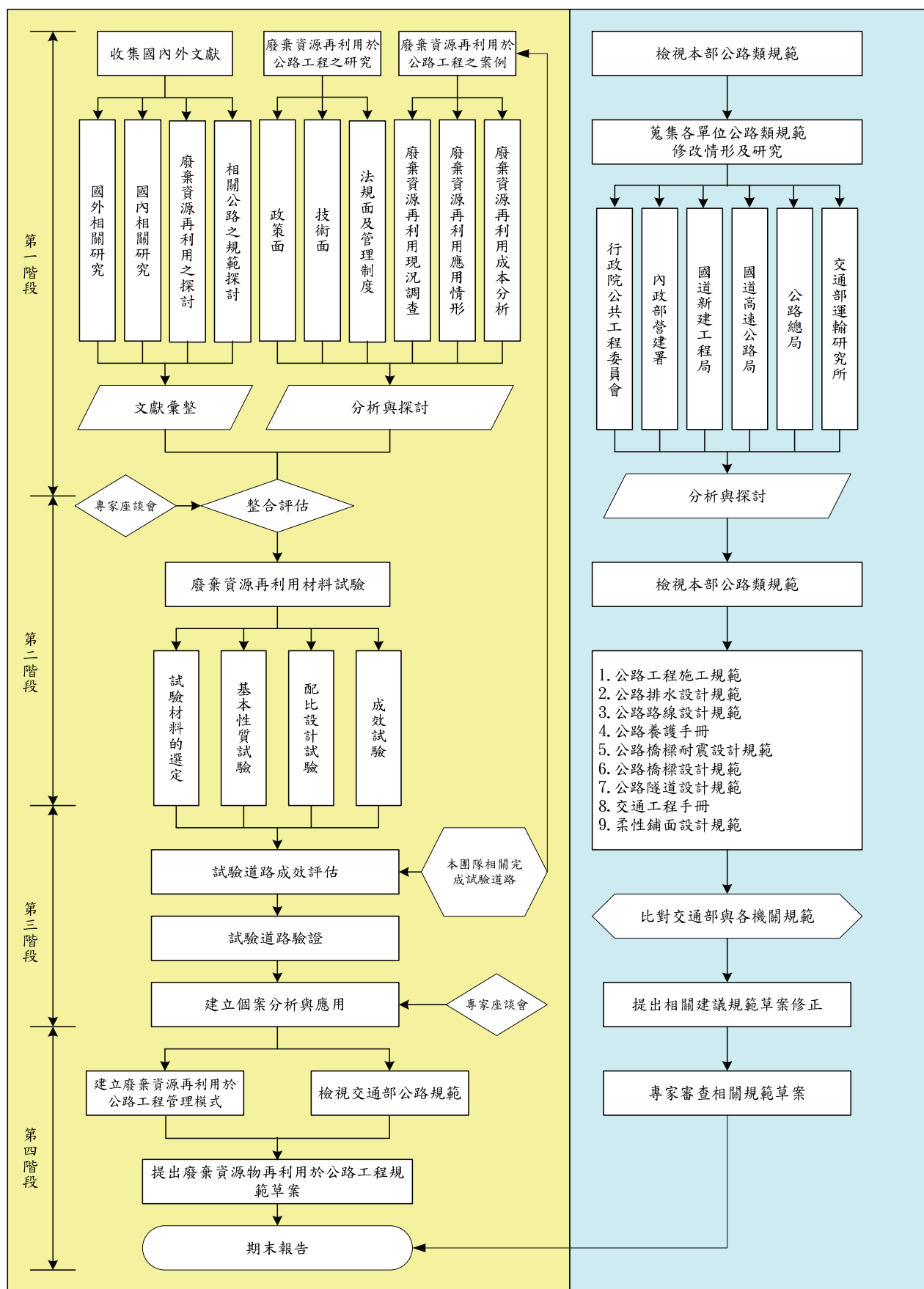


圖 3.1 研究流程



表 3.1 本團隊進行相關完成試驗道路

年份	計畫名稱	地點	使用材料	執行期間
91	三民路檢測及再生瀝青混凝土試鋪計畫	台北	刨除料	一年
91	南星計畫區○○轉爐石應用於道路工程試鋪計畫	高雄	轉爐石	二月
92	南星計畫區○○轉爐石應用於道路工程檢測	高雄	轉爐石	一年
93	雲林 154 線○○副產石灰應用於道路基底層試鋪計畫	雲林	副產石灰	二月
93	雲林 154 線○○副產石灰應用於道路基底層檢測	雲林	副產石灰	一年
93	新店○○焚化爐底碴應用於道路工程試鋪計畫	新店	焚化爐底碴	一年
93	新店○○焚化爐底碴應用於道路工程檢測	新店	焚化爐底碴	二月
94	萬里○○焚化爐底碴應用於道路工程試鋪計畫	萬里	焚化爐底碴	一年
94	萬里○○焚化爐底碴應用於道路工程檢測	萬里	焚化爐底碴	二月
96	三峽○○焚化爐底碴應用於道路工程試鋪計畫	三峽	焚化爐底碴	一年
96	三峽○○焚化爐底碴應用於道路工程檢測	三峽	焚化爐底碴	二月
96	○○廠區轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之長期評估	高雄	轉爐石	一年
96	竹北市 30 米外環道新闢工程廢棄混凝土檢測	新竹	廢棄混凝土	二月

表 3.2 本團隊進行中相關試驗道路

年份	計畫名稱	地點	使用材料	執行期間
96	三峽○○焚化爐底碴應用於道路工程檢測	三峽	焚化爐底碴	二月
96	○○廠區轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面之長期評估	高雄	轉爐石	一年
96	竹北市 30 米外環道新闢工程廢棄混凝土檢測	新竹	廢棄混凝土	二月
97	電弧爐時應用於鋪面工程之研究	將於 97 年進行 配合本研究進行		
97	底渣級配料運用於瀝青混凝土之示範計畫			
97	廢棄混凝土用於道路工程檢測			

## 3.2 國內外廢棄資源再利用於公路工程技術文獻彙整

本研究擬修針對廢棄資源再利用最多的幾個國家進行研究與分析資料，將收集之各國之資料與所發展之理論，供本研究後續研究使用。包括國外各地回收再利用現況及國內營建資源再利用現況。

### 一、國外部份

廢棄資源再利用於國外的分類方法並不一致，按國情及國家發展各有特色，如美國僅依其有無毒性做主要區別；荷蘭則以是否可用於填海造地來分類，德國與丹麥特別將具能源回收價值的廢棄物歸為一類；法國則強調能源回收與農業廢棄物的處置；日本係以廢棄物產源來分類。於是本研究將針對下列國家進行廢棄資源再利用於公路工程技術之工法特性、適用情形與成效等文獻蒐集

- 1.美國地區

- 2.日本地區

- 3.歐洲地區

### 二、國內部份

近年來廢棄物材料資源化已成為世界各國致力研究發展之方向，國內對於相關研究也不遺餘力，但是在開發資源、建設工程與環境保護、資源永續之間如何達到一個平衡，永遠是所有產官學界一致的努力目標。再生材料適用於道路鋪面工程的哪些項目，可以從再生材料本身可以收集到的資料先行預估，或是與近似性質的鋪面材料做比較，再與一般工程的綱要規範進行設計，配合環境評估與經濟考量，來決定其最適當應用於道路鋪面工程上的方法。其內容包括：

- 1.台灣地區之廢棄資源再利用於公路工程現況調查

- 2.台灣地區實施廢棄資源再利用於公路工程成效與問題點之探討

- 3.廢棄資源再利用於公路工程相關規範探討

## 3.3 國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討

針對 3.2 節當中國內廢棄資源再利用於公路工程技術文獻彙整之後。本研究將針對近五年常用的廢棄資源再利用進行技術問題分析與探討，其材料對象為：

一、焚化爐底渣

二、轉爐石

三、高爐爐石

四、廢棄混凝土塊

五、廢玻璃

六、瀝青混凝土挖(刨)除料

本研究初步歸納目前台灣地區廢棄資源再利用問題如下：

一、廢棄資源再利用之再利用途徑

目前國內對於廢棄資源再利用之再利用相關規定，因為對於公共工程並未強制要求使用下，除了專案使用外，其餘工程主辦單位都不敢貿然使用。

二、廢棄資源再利用之品質標準及作業要點

由於廢棄資源再利用在應用項目之品質標準不一，不易以通則規範定之，所以國內並無針對廢棄資源再利用制定相關的品質標準規範或作業要點，又因為這種再生材料品質又不比天然材料優良，所以無法適用於天然粒料之標準，造成工程主辦單位應用時之困擾。

三、廢棄資源再利用之成效評估

由於廢棄資源再利用與天然材料品質上之差異，除了特定相關之品質規範外，更應針對其現場試鋪方面做相關成效評估，在制定成效方面之規範標準，以確保應用之品質安全。

四、廢棄資源再利用缺乏再利用市場

目前國內對於建築廢棄物回收再利用市場仍未開發，雖然內政部營建署已公告「營建事業廢棄物再利用種類及管理方式」，並有提及再利用用途：營建工程材料、工程填地及道路工程級配料、工程填地材料、骨材及建材原料、混凝土添加材料、磚瓦原料等管理方式辦理，但因相關品質標準規範及施工規範並未訂定，所以造成回收再利用市場不易迅速開發。

五、僅限於事業單位產生之廢棄資源再利用

由於事業廢棄物再利用都是針對事業產出之廢棄物，但是目的事業主管機關對於實

際再利用並未考慮到實際執行面的問題，只認為公告即可再利用，例如：應用於營建工程上，但未考慮到營建工程再生材料所需要的基本物理及化學性質要求，所以往往都無法實際應用。

本研究將以這五點為出發點去探討國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析後，再來進行各方探討，其報告內容包括：

一、相關法令標準：

彙整國內相關環保與產品法規、相關規範。

二、國內再生利用再生資源產出現況與特性：

材料特性、產出量、分佈及用途。

三、國內再利用現況：

國內再利用方式與情形。

四、技術可行性評析：

再生利用技術說明及技術可行性分析。

五、經濟可行性評析：

收集與彙整再生利用再生資源及再生產品需求量說明、成本效益及經濟影響評估。

六、回收再利用影響因子分析：

再利用市場評析、瀝青混凝土廠商配合意願與公告後可能造成之影響及政府各部會可能需協商之事項。

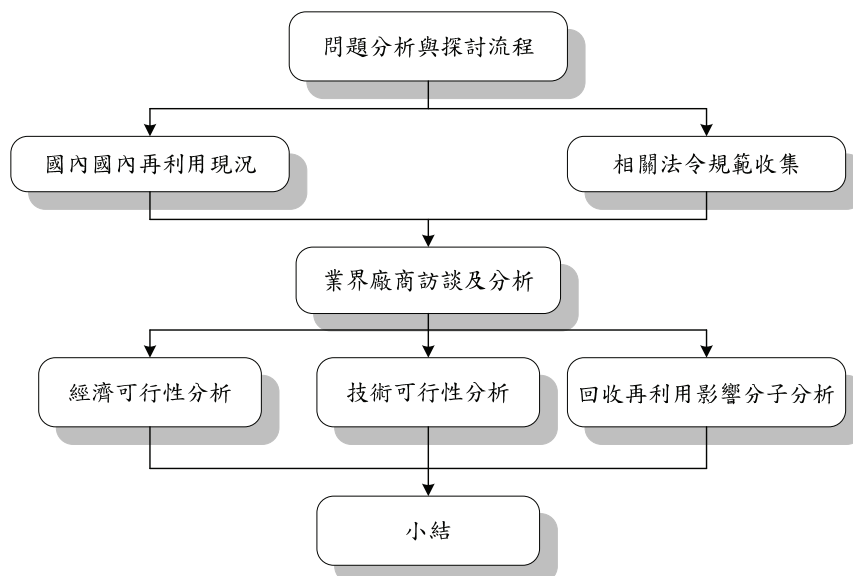


圖 3.2 國內廢棄資源再利用於公路工程技術問題分析與探討流程

### 3.4 國內廢棄資源再利用於公路工程事例集之編撰及驗證

本研究針對國內幾項已頗有成效的道路鋪面再生材料進行個案的分析，期望能夠提供應用的參考與方向。本節將以材料本身的性質及工程應用做主要介紹，協助使用者瞭解該項材料的各項特性與未來應用時應注意的要點。其大綱模式如下說明：會依材料特性調整大綱

- 第一章 總則
- 第二章 材料
- 第三章 廢棄資源再利用之性質
- 第四章 廢棄資源再利用之應用範圍及效益
- 第五章 配比設計
- 第六章 工程設計上應注意事項
- 第七章 廢棄資源再利用之產製與施工
- 第八章 品質管理

### 3.5 提出應用廢棄資源再利用於公路工程之管理模式

依資源回收再利用法第 15 條第 4 項規定，再生資源再生利用之清運、貯存方法、設施 規範、再生利用規範、紀錄及其他應遵行事項之管理辦法，由中央目的事業主管機關會商中央主管機關、再生利用用途目的事業主管機關定之。目前僅經濟部於 93 年 3 月公告 G-1201(水淬高爐石(碴))、 G-1202(鈦鐵礦氯化爐碴)二項為再利用資源、環境保護署業於 95 年 10 月以環署廢字第 0950079167 號公告，依廢棄物清理法第十八條第三項登記之廢資訊物品及廢電子電器物品處理業產生之鐵 (R-1301)、銅 (R-1302) 及鋁 (R-1304)、不含螢光粉或液晶之玻璃或面板玻璃 (R-0401)、廢塑膠(R-0201)五項再生資源再生利用項目及管理方式以及內政部於 96 年 04 月公告編號一瀝青混凝土挖(刨)除料為中央目的事業主管機關。然而本研究參與過此三項相關計畫如經濟部之水淬高爐石(碴)與鈦鐵礦氯化爐碴及內政部之瀝青混凝土挖(刨)除料，其中最近之內政部瀝青混凝土挖(刨)除料的管理模式制度建立由本團隊研究而成，本研究將以此經驗來建立提出應用廢棄資源再利用於公路工程之管理模式。其內容並檢附範例如下：

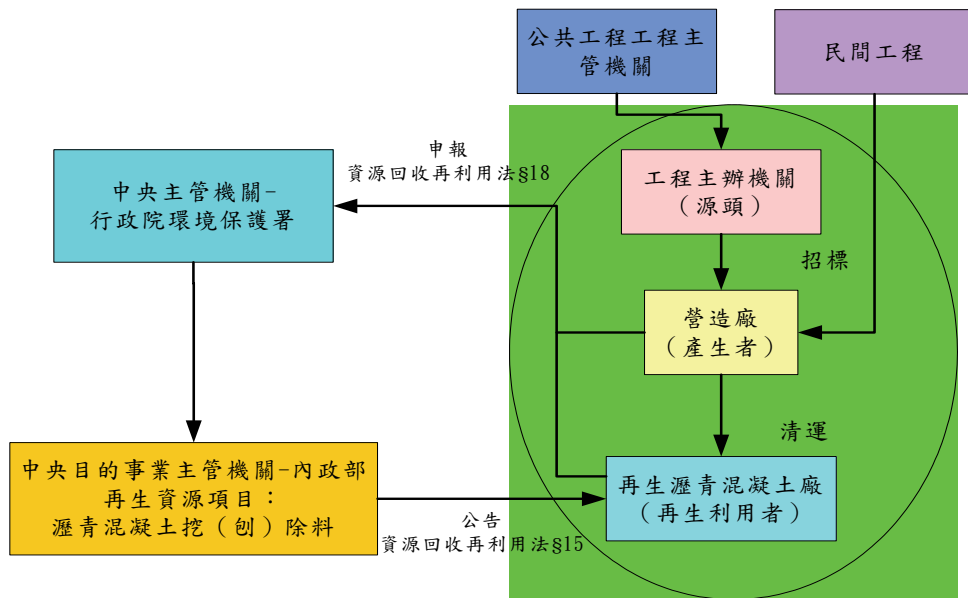


圖 3.3 產生及再利用者管理介面-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例



圖 3.4 公告後之申請流程圖-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例



圖 3.5 連線事業廢棄物管制資訊網-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例

**營建事業再生資源再生利用管理辦法  
「資源回收再利用法」第十五條第四項規定訂定  
訂定目的事業主管機關：內政部營建署**

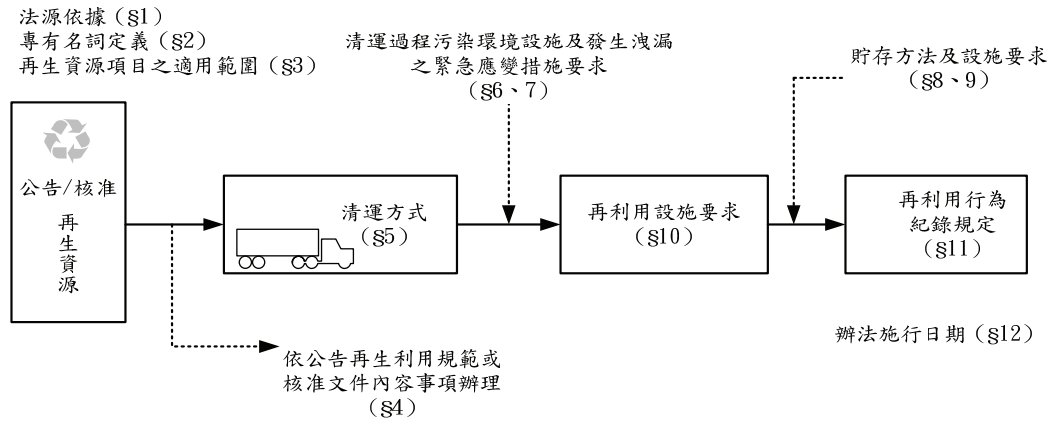


圖 3.6 營建事業再生資源再生利用管理辦法之相關要點-以瀝青混凝土挖(刨)除料為例

### 3.6 提出廢棄資源再利用材料相關試驗結果及建議事項

本研究主要試驗材料將針對焚化爐底渣、轉爐石、電弧爐石以及廢混凝土塊四種材料進行相關試驗，其試驗計畫及試驗方法、配置如下各節所述。研究實驗內容分為以下幾個部分如圖 3.7 所示：

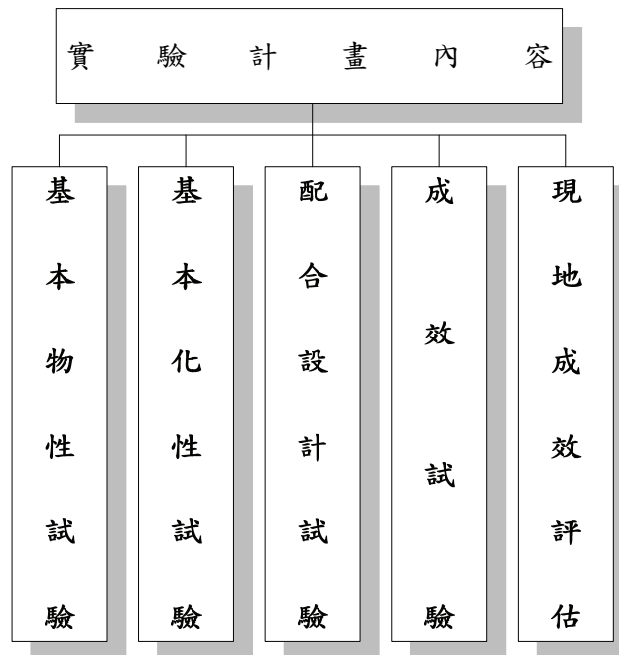


圖 3.7 材料實驗計畫

### 3.6.1 試驗材料

#### 一、焚化爐底碴

本研究所使用之焚化爐底碴，來源為北部某資源處理廠所提供，經過篩分、磁選、風選、及噴灑藥劑等處理後使用。由於破碎後焚化爐底碴粒徑分佈廣泛，其大小分佈由 1/2 號~200 號篩。

#### 二、廢混凝土塊

本研究所使用之廢混凝土塊，來源為北縣某處理場提供，經過破碎、磁選、篩分、風選、及人工撿拾等處理後使用。由於廢混凝土塊粒徑分佈廣泛，其大小分佈由 3/8 號~200 號篩。

#### 三、轉爐石

本研究所使用之轉爐石是將剛出渣之轉爐碴置於碴盤，待其冷卻至 200°C~300°C 後，將轉爐渣推入水坑中，放置 8~10 小時後隨即挖出，取粒徑 50mm 以下之粒料進行篩分，形成 6 分、3 分及 2 分之轉爐石。

#### 四、廢玻璃

本研究所使用之廢玻璃，經由特別破碎程序產生之較小玻璃顆粒，無尖銳之問題，而且細長顆粒之數量也會相對減少。廢玻璃經過適當之破碎程序即能除去較尖銳之邊緣，且較能符合法規之安全標準。

#### 五、廢輪胎

本研究所使用之廢輪胎，經由切割研磨粉末加入瀝青中，拌製成廢輪胎橡膠瀝青 (Asphalt Rubber，簡稱為 AR)，以中油及中塑之 AC-10 瀝青膠泥為基底瀝青，添加 10%、15%、20% 三種不同比例之廢輪胎粉拌製成廢輪胎橡膠瀝青。

#### 六、電弧爐石

本研究所使用之電弧爐石，係電弧爐煉鋼過程所產生之副產物，經由適當加工處理後（如磁選、破碎、篩分等程序）之爐碴，可取代混凝土中天然骨材或充當道路基、底層及面層粒料等。



### 3.6.2 基本性質試驗

基本性質試驗之目的在於檢驗試驗材料相關工程性質，包括篩分析、比重及吸水率、含砂當量、健性等試驗，以作為後續試驗及試體製作之參考依據，表 3.3 為之基本性質試驗項目、依據規範。

表 3.3 基本性質試驗項目及參照規範

試驗名稱	試驗規範
統一土壤分類法	ASTM D2487-83
篩分析試驗	CNS 386
粗粒料比重及吸水率試驗	CNS 488
細粒料比重及吸水率試驗	CNS 487
粗粒料（37.5mm 以下）磨損試驗	CNS 490
小於#200 篩含量試驗	CNS 1171
健性試驗	CNS 1167
含砂當量試驗	AASHTO T176
毒物溶出試驗（TCLP）	NIEA M103.00C
pH 值	NIEA R208.01C
細粒料水溶性氯離子含量試驗	CNS 13407

#### 一、物理性質試驗

##### 1. 土壤分類試驗(公路工程土壤粒料混合物之分類法)

###### (1) 試驗目的

本法依據試驗室試驗顆粒大小分配(篩分析)，液性限度及塑性指數之結果將土壤分成七大類之程序。每類之土壤在用「分類指數」來評價，分類指數係用經驗公式計算而得。用分類及分類指數來決定土壤之品質，作為路堤、路基、基層、底層之工程參考。但重要工程之詳細設計，需要工地土壤進一步的強度或成效特性數據。

###### (2) 試驗設備

蒸發皿、軟刀、液性限度儀、V型刮刀、含水量測定用具、篩網(No.10、No.40、No.200 號篩)。

###### (3) 試驗方法

依據AASHTO M145-82規範進行土壤分類試驗，土壤及土壤粒料混合物之分類如表 3.4所示。

表 3.4 土壤及土壤粒料混合物之分類

一般區分	顆粒性材料			沈泥-黏土材料			
	35%或以下通過 No.200 篩			35%以上通過 No.200 篩			
分類	A-1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
篩分析，過篩重量%	乙	丙	丁	戊	己	庚	辛
No.10 (2.00mm)	-	-	-	-	-	-	-
No.40 (0.425mm)	最大 50	最小 51	-	-	-	-	-
No.200(0.075mm)	最大 25	最大 10	最大 35	最小 36	最小 36	最小 36	最小 36
過 No.40 篩土壤之性質							
液性限度	-	-	-	最大 40	最大 41	最大 40	最大 41
塑性指數	最大 6	無塑性		最小 10	最小 10	最小 11	最小 11
新路基之優劣	最良至良好			尚可至劣			

#### (4)各分類土壤之說明

- a. A-1 類-代表性材料是由石塊或卵石、粗砂、細砂及無塑性或脆弱之土壤結合料之良好級配混合料。
- b. A-2 類-包括很大範圍之顆粒性材料，介於 A-1 及 A-3 及沈泥黏土材料 A-4，A-5，A-6，A-7。
- c. A-3 類-無沈泥或黏土細料，或有很少量之無塑性沈泥。
- d. A-4 類-代表性材料為無塑性或中塑性沈泥土壤，一般情形通過 No.200 篩為 75%或以上。
- e. A-5 類-代表性材料與 A-4 類材料相似。
- f. A-6 類-代表性材料為一塑性黏土土壤通常 75%或以上通過 No.200 篩，本類土壤通常在乾濕之間有大量體積變化。
- g. A-7 類-代表性材料為與 A-6 材料相似。

## 2.篩分析試驗

### (1)試驗目的

測定粗細粒料顆粒分佈情形，並據以分類。

### (2)試驗設備

搖篩機、電子秤、依照 CNS 386，Z5 試驗篩之規定。

### (3)試驗方法

依據為ASTM C136 (粗篩網篩分析)、ASTM D452-85 (細篩網篩分析) 及CNS 486 規範於粗篩網篩分析，其篩網組含2in、1.5 in、1in、3/4 in、1/2 in、3/8 in、#4 篩網與底盤；於細篩網篩分析，其篩網組包含：#4、#8、#10、#16、#30、#40、#50、#100、#200篩網與底盤。

先依四分法取適量試樣置入粗篩網組，以搖篩機震動約15 分鐘後，分別秤留於各篩網之試樣重量；接著，將過#4篩網之試樣再移至細篩網組，亦同上述步驟。將結果以粒徑為橫座標（對數刻度）、累積通過百分比為縱座標，繪出試料之粒徑分佈曲線。

### 3.比重與吸水率試驗

#### (1)試驗目的

測定粒料之粗、細粒徑面乾內飽和容積比重。

#### (2)試驗設備

烘箱、磅秤、取樣容器。

#### (3)試驗方法

依ASTM C-127 C-29 規範及CNS 488規範進行試驗計算粒料之比重及吸水率。

### 4.洛杉磯磨損率試驗

#### (1)試驗目的

測定粒料之抗磨損能力及其堅硬程度，並作為骨材品質評定之依據。

#### (2)試驗設備

電子秤、鋼球、洛杉磯磨損率試驗儀、符合CNS386之試驗篩。

#### (3)試驗方法

依據ASTM C131-69進行試驗，依照規範配出適當的級配重量 $W_1$ ，將底碴置於洛杉磯試驗機中，加入鋼球後，以每分鐘30轉，轉數500次後停止，取出樣品以#12(1.7 mm)標準篩篩之。取其停留在篩上之底碴，用水洗淨後置於烘箱烘乾，再秤其重量 $W_2$ 。

$$\text{磨損率 (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3-1)$$

### 5.小於#200 篩含量試驗

#### (1)試驗目的

得知粒料中粉塵等輕質物質含量。

## (2)試驗設備

篩網。

## (3)試驗方法

測定粗料含粘土塊及易碎顆粒之近似含量，以評定其潔淨程度；若其含泥量高會影響混凝土品質，故對於高含泥量之骨材需予以洗淨。當骨材的含泥量大於2%，混凝土或砂漿的強度將顯著下降，若含泥量大於3.5%時強度將減至40%以下。一般規範對於骨材含泥量亦有所限制。

a.CNS 387 規定，建築砌工用砂之泥塊含量須小於1.0%。

b.CNS 1240 規定，混凝土用細粒料之土塊含量須小於1.0%。

c.CNS 2466 規定，補強圬工灌漿用骨材之粘土塊含量須小於1.0%。

依CNS 1171 規範求骨材含泥量，以四分法取樣後烘乾秤重，亦烘乾秤重水洗後之潔淨骨材，再由以下方程式計算含泥量。

$$\text{含泥量(\%)} = \frac{\text{烘乾前為潔淨之骨材} - \text{烘乾後已潔淨之骨材}}{\text{烘乾後已潔淨之骨材}} \times 100\% \quad (3-2)$$

## 6.健性試驗

### (1)試驗目的

瞭解粒料對自然現象之風化分解的抵抗能力。

### (2)試驗設備

篩、容器、電子秤、烘箱、飽和硫酸鈉或硫酸鎂溶液。

### (3)試驗方法

依照ASTM C1288進行試驗。

- a. 將底碴依 CNS 386 試驗篩篩分，取留存於 #50 (0.3 mm)、#30 (0.6 mm)、#16 (1.18 mm)、#8 (2.36 mm) 等試驗篩上之底碴各 100 g，停留於 #4 (4.75 mm)、3/8 in (9.5 mm) 及 1/2 in (1.27 mm) 試驗篩網上之底碴 300±5 g、330±5 g 及 670±10 g 並置於不鏽鋼網籃內。
- b. 將網籃完全浸泡於飽和硫酸鈉或硫酸鎂溶液中 16~18 小時。
- c. 取出網籃並瀝乾 15 分鐘，然後放入 110 °C 烘箱中烘乾至恆重。
- d. 重複 2、3 共五次循環。

- e. 最後一次循環試樣以 40℃ 大量清水沖洗，並以氯化鉍鑑定試驗藥劑是否洗清，洗後放入 110 °C 烘箱烘乾至恆重。
- f. 取出試樣，待冷卻至室溫以各自留存之試驗篩篩分，並記錄殘留重量。
- g. 計算粒料磨耗率，將實驗數值代入以下公式

$$\text{損耗率} = \left( \frac{\text{試驗前試樣重} - \text{試驗後試樣重}}{\text{試驗前試樣重}} \right)$$

$$\text{總耗損率}(\%) = \sum 100 \times \text{各篩號磨耗率} \times \text{試樣粒徑分佈} \quad (3-3)$$

## 7. 含砂當量試驗

### (1) 試驗目的

決定級配料或土壤之細粉末與類似黏土相對含量。

### (2) 試驗設備

機械搖動機、氯化鈣溶液、甘油、甲醛、塑膠刻劃量筒、寬口漏斗、烘箱及直尺。

### (3) 試驗方法

- a. 將無水氯化鈣溶於0.5加侖蒸餾水中，加入甘油和甲醛後再稀釋至1加侖。
- b. 試樣準備：取通過4號篩部分，以氣乾或欲濕潤之方法，填滿3盎司的量罐。
- c. 以虹吸作用將工作液注入量筒中(約4吋高)，將試樣徐徐倒入量筒之中。
- d. 靜置十分鐘。
- e. 搖動：機械法或手動法，時間：45±1秒，次數：100次
- f. 注入工作液至15吋，並靜置20分鐘。
- g. 記錄黏土沈澱高度，此為黏土面讀數。
- h. 量取砂面讀數。
- i. 計算粒料含砂當量，將實驗數值代入以下公式

$$\text{含砂當量 (Sand Equivalent, S.E.)} = \frac{\text{砂面讀數}}{\text{黏土面讀數}} \times 100\% \quad (3-4)$$

## 二、化學性質試驗

### 1. 毒物溶出試驗 (TCLP)

本實驗量測之一般重金屬包括鉛、鎘、鉻、銅、鋅五種，其程序如下所述：

(1) TCLP 毒性特性溶出試驗流程為將完全固相的樣品粉碎使其能通過 9.5 mm 的標準篩，

取篩下樣品 5.0 g 進行固相 pH 值試驗，將樣品置於 500 ml 錐形瓶中，加入 96.5 ml 之蒸餾水，劇烈攪拌 5 分鐘，量測溶液之 pH 值，若  $\text{pH} < 5.0$ ，則使用萃取溶液 A（萃取液 pH 值為  $4.93 \pm 0.05$ ）。若  $\text{pH} > 5.0$ ，則加入 1.0N 的 HCl 3.5 ml，蓋以錶玻璃，加熱至  $50^{\circ}\text{C}$ ，持溫 10 分鐘，待冷卻至室溫後量測溶液之 pH 值，若  $\text{pH} < 5.0$ ，則使用萃取溶液 A（萃取液 pH 值為  $4.93 \pm 0.05$ ）。若 pH 仍大於 5.0，則使用萃取溶液 B（萃取液 pH 值為  $2.88 \pm 0.05$ ）。

(2)在 TCLP 萃取程序中，樣品重量應取大於 100 g，在加入 20 倍樣品重量之萃取液後，將萃取容器置於旋轉裝置上，調整旋轉頻率為每分鐘  $30 \pm 2$  轉，旋轉時間為  $18 \pm 2$  小時。萃取完成後再以  $0.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$  的玻璃纖維濾紙過濾，所得之濾液以 AA 分析重金屬濃度。

## 2. 氫離子濃度試驗（pH 值）

### (1) 試驗目的

測定固體（含飛灰、底渣或灰渣及固化物等）、底泥或非水性液體等廢棄物樣品之 pH 值。

### (2) 試驗儀器

a. pH 測定儀：如圖 3.8 附有溫度補償裝置。

b. 電極：玻璃電極

參考電極：銀-氯化銀或其他具穩定電位差之參考電極

c. 燒杯：100 ml

d. 溫度計及 / 或自動溫度補償感應器

e. 分析天平，可精稱至 0.1 g



圖 3.8 pH 值測定儀

### (3)試驗方法

#### a.校正：

(a)每組 pH 測定儀及電極至少需有二點校正，並應涵蓋欲測樣品之 pH 值，同時二校正點應相差三個 pH 值單位以上。重覆校正儀器直到實際測值與標準緩衝溶液的 pH 值相差在 0.05 個單位以內。當標準緩衝溶液 pH 值接近鹼的極限值（如  $\text{pH} \geq 11$ ）時，欲得到正確 pH 值（範圍在 pH 0 至 14 之間， $25^\circ\text{C}$ ）時，檢測人員必須控制溶液溫度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

(b)如 pH 測定儀僅能使用固定二點校正且未能涵蓋欲測樣品之 pH 值時，二點校正後應使用另一能涵蓋範圍之標準緩衝溶液查核測定值與緩衝液的 pH 值是否相差在 0.05 個單位以內。

#### b.樣品準備及 pH 值測定

(a)稱取 20 g 之樣品於 100 ml 之燒杯內，加入 20 ml 試劑水蓋上錶玻璃，並且持續攪拌懸浮液 5 分鐘。若含有吸水性的廢棄物或鹽類等其它複雜基質，可額外加入更多試劑水。

(b)靜置混合液約 15 分鐘，使混合液的大部分固體沉澱，必要時利用過濾或離心取得水相層，測定其 pH 值。

(c)如果樣品吸收所有加入之試劑水，重新稱取 20 g 樣品與 40 ml 試劑水混合後，再來測定其 pH 值。

(d)如果懸浮液是多相，倒出油相後再測定水相的 pH 值，如果電極被油相覆蓋，必須徹底清除之。

### 3.細粒料水溶性氯離子試驗

#### (1)試驗目的

瞭解材料之水溶性氯離子含量

#### (2)試驗設備

廣口瓶、吸量管、三角燒瓶、電子天秤、電位滴定

#### (3)試驗方法

a.秤取試樣 1000 g 放入廣口瓶，連瓶置於  $105 \sim 110^\circ\text{C}$  烘箱中烘乾至恆重，求出試樣之乾重  $W$  (g)。

b.步驟 1 之廣口瓶加入純水 500 ml 後，加蓋靜置 24 小時，然後每隔 5 分鐘，頂部及底部反轉搖振瓶子一次，共計 3 次以萃取出所含鹽分。

- c.靜置片刻，將瓶中上澄液以抽氣裝置抽至三角燒瓶中。
- d.加 1 ml 鉻酸鉀指示劑於燒瓶中，以 0.1 N 硝酸銀滴定，邊滴定邊搖燒瓶，直至溶液變紅褐色不消失為止，表示已達滴定終點，記錄硝酸銀消耗量 A (ml)。
- e.取 50 ml 純水，依步驟 4 之方法進行空白試驗，可求得 0.1 N 硝酸銀消耗量 B (ml)。
- f.由於硝酸銀溶液對光敏感，其濃度需定期或不定期以已知濃度氯化鈉溶液標定之。  
若硝酸銀溶液濃度標定之結果不為 0.1 N 時，其修正因子 f：

$$f = \text{標定所得硝酸銀溶液之當亮濃度} / 0.1 \text{ N}$$

g.結果計算

$$\text{水溶性氯離子含量 (\%)} = \frac{f \times 0.035 \times (A - B) \times 10}{W} \times 100 \quad (3-5)$$

h.測定試驗須做二次以上，並以其平均值作為測定結果。



圖 3.9 水溶性氯離子試驗

#### 4.岩性分析

(1)試驗目的：

藉由岩相分析方法鑑定粒料礦物種類及其相對含量，以觀察粒料之物理與化學性質。

(2)試驗儀器：

a.備製試樣設備：

岩石切割機、水平磨光機、砂紙、顯微鏡載玻片、保麗膠、SM、硬化劑、促進劑、熱熔膠。

b.試樣分析儀器：



偏光顯微鏡、顯微鏡照明燈、顯微照相設備及附件。

(3)試驗方法：(ASTM C295-90)

- a.將粒料以保麗膠、SM、硬化劑及藥品製模，硬化後拆模。
- b.利用岩石切割機將粗粒料與製模後之細粒料試樣切割出一平面，並以水平磨光機處理表面。
- c.以熱熔膠將粗、細粒料試樣分別黏結在載玻片上，再以岩石切割機切割載玻片上之試樣，使試樣成一薄片狀。
- d.以水平磨光機研磨此薄片，直至薄片可透光為止。
- e.將薄片置於偏光顯微鏡下觀察並照相。
- f.研判試樣之母岩性質、礦物成份與其相對含量。

### 3.6.3 實驗室成效試驗

#### 一、馬歇爾配合設計實驗

馬歇爾配合設計實驗方法係依據美國瀝青協會 AI MS-2 1993 版。馬歇爾配合設計法主要係進行密度-空隙分析及試體之穩定值-流度值試驗。穩定值(Stability)係指 60°C(140°F)試體所能承受之最大荷重，此時之應變量稱為流度 (Flow)，其單位重 0.25mm(0.01inch)。

當穩定值與流度值試驗完成後進行密度與空隙分析；由已知瀝青含量之試樣，求其平均虛比重、單位重與最大理論密度。用來計算乾粒料中之瀝青吸收量、空隙率、粒料間空隙率(VMA)與瀝青體積佔粒料空隙百分比(VFA)。混合料最佳含油量之決定應以滿足設計含油量為前提，但瀝青協會建議以馬歇爾設計之瀝青混合料配比性質應符合規範要求。該規範最大目的是以 ESAL 區別交通量並進而決定試體夯壓次數及各種性質之限制。

#### 二、回彈模數試驗 (ASTM D4123)

##### 1.試驗目的：

- (1)疲勞年限隨瀝青混凝土之回彈模數值增高而延長，太高的回彈模數對溫度龜裂較敏感，太低的回彈模數易引起路面車轍。
- (2)可用於評估不同材料間相對的品質及作為路面厚度設計評估與分析之資料，也可用以研究溫度、荷重大小、作用速率、加壓時間 (rest time) 對材料特性之影響。
- (3)本法即模擬路面受瞬時荷重時所引起之彈性變形，而測得其回彈模數。

##### 2.試驗儀器：如圖 3.10 所示。

- (1)壓力計：荷重極限 1000 kgf 之 Load Cell。
- (2)水平變位計：二支可量測精度為 0.00025 mm 之 LVDT。

- (3)試體固定框：固定試體使試體在荷重時不致造成偏心移動
- (4)試體夾頭。
- (5)加壓設備：可產生  $6 \text{ kgf/cm}^2$  以上壓力之空氣壓縮機。
- (6)控制與量測系統：可由電腦及控制箱控制氣壓加壓與解壓之時間頻率，並可同時量測荷重，變形之數據。為配合氣壓之工作性，其有效之工作頻率小於  $1 \text{ Hz}$ 。控制箱外可另接 X-Y 記錄器，記錄試驗其間之荷重變形曲線。
- (7)儲氣槽：平衡穩定氣壓之用。
- (8)轉換器 (Transducer)：位於控制箱內，用以放大 Load Cell 與 LVDT 之電壓訊號，並將之調整至所需之電壓，用以輸出並經此計算真正之荷重與變形量。連接於 PC 內 A/D 卡，可得電壓訊號轉換由 PC 代為計算 Mr 值。
- (9)氣壓控制閥：可調整加壓荷重之大小。

### 3.試驗方法：

- (1)製作試體，每組三個試體。
- (2)測定試體鬆比重（單位重），採置換法。
- (3)測定重覆荷重與回彈變形量。
  - a.由配置表上決定所欲測試之試體之變因，如荷重大小，頻率，溫度以及加壓與解壓之時間比例等。
  - b.試驗前先將所欲測試之試體置於恆溫烘箱或冷凍箱中養治，固定所欲測試之溫度，於試驗前最少養治 24 小時。
  - c.由恆溫箱中取出試體，置於 Mr 試驗儀上，調整所欲測試之條件，再行試驗。試體溫度與室溫相差很大時，於試驗時，為避先降溫發生，應儘速試驗。如試驗超過五分鐘時。應將試體取出再置於恆溫箱中養治半小時後，方可再行試驗。

### 4.試驗結果：

Mr 值之計算：先求出回彈變形量  $\delta h$  與重覆荷重之大小 P，再代入下式，即可計算 Mr 值：

$$Mr = \frac{P(\nu + 0.2734)}{(\delta h \times H)} \dots\dots\dots (3-3)$$

式中： Mr =回彈模數 ( $\text{kg/cm}^2$ ) ； P =垂直荷重 (kg)

$\nu$ =波松比 ；  $\delta h$  =水平回彈變形量 (cm)

H =試體厚度 (cm)



圖 3.10 彈性模數試驗

### 三、潛變試驗

#### 1. 試驗目的

- (1) 瀝青混凝土之潛變行為與車轍有相當的關聯，由於材料太過堅硬，當其受外力時，造成面層下的材料疲勞龜裂，而導致車轍的發生。
- (2) 以瀝青膠泥而言，其流變行為相當明顯，但以瀝青混凝土而言，粒料會因本身的互鎖力 (Interlock)，造成較大的內摩擦力，可減少潛變的發生。

#### 2. 試驗儀器：如圖 3.11 所示。

潛變試驗所使用之儀器與回彈模數試驗相同，但試體放置的方式不同。

#### 3. 試驗方法

- (1) 製作試體，每組三個試體。
- (2) 測定試體厚度。
- (3) 將試體放置於恆溫箱，調整所欲測試的溫度，恆溫 24 小時以上。
- (4) 將試體置於潛變試驗儀上，調整所欲測試之條件，進行加壓、解壓各 300 秒，由電腦記錄變形量。

#### 4. 試驗結果

潛變模數( $\text{kg} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ ) = 應力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) × 時間 (sec) / 最終應變量..... (3-4)

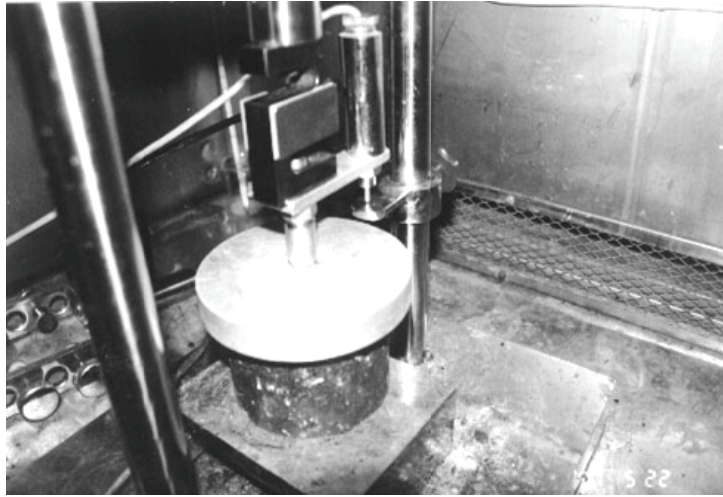


圖 3.11 潛變試驗

#### 四、殘餘強度試驗

本試驗利用間接張力試驗評估實驗室之瀝青混凝土在孔隙含有水分下冷熱循環而造成加速損壞之影響，亦可評估添加防剝劑或水化石灰之抗剝脫能力。

##### 1. 試驗儀器

- (1) 真空抽氣機
- (2) 恆溫水槽：溫度可保持在  $60\pm 1^{\circ}\text{C}$  及  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 冷凍室：溫度可保持  $-18\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- (4) 磅秤。
- (5) 密封袋。
- (6) 10ml 量筒。
- (7) 鋁盤：面積約  $75\sim 100\text{ in}^2$ ，深約 1 in。
- (8) 間接張力試驗儀。
- (9) 抽氣槽。

##### 2. 試驗方法 (AASHTO T283-89)

- (1) 瀝青混凝土混合料拌合完成後，鋪平攤置於鋁盤上，於室溫下冷卻  $2\pm 0.5$  小時，然後將混合物放入  $60^{\circ}\text{C}$  烘箱中養治 16 小時。
- (2) 養治完成後，將混合物放入  $135^{\circ}\text{C}$  烘箱 2 小時，之後製成孔隙  $7\pm 1.0\%$  或達現地預期孔隙率之試體兩組。
- (3) 試體製作完成後須於室溫下存放 72~96 小時。
- (4) 取一組試體（未凍融組）於  $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  的水中養治 2 小時後執行間接張力試驗。
- (5) 另一組試體（凍融組）放入抽氣槽中，如圖 3.12，注入蒸餾水至少高於試體面上 1cm，

以 10~26 in-Hg 之壓力抽氣 5~10min 後停止，並讓試體繼續浸置水中 5~10min。

(6)測定試體飽和度，須介於 55~80%，若小於 55%可繼續抽氣，若大於 80%，則試體已破壞，不可繼續使用。

(7)將飽和度合宜的試體裝入密封袋，袋內注入 10ml 蒸餾水。

(8)將裝有試體之密封袋置入 $-18\pm 3^{\circ}\text{C}$ 之冰凍室養治 16 小時後，儘速除去密封袋並將試體放入 $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恆溫水箱養治 $24\pm 1$  小時。

(9) $60^{\circ}\text{C}$ 養治後，將試體移至 $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 之水箱養治 $2\pm 1$  小時。

(10)試體養治完成後，使用間接張力試驗儀以 2in/min 的速度執行間接張力試驗。

### 3. 浸水殘餘強度計算

計算水之凍融對 SMA 瀝青混凝土不利影響之抵抗指數，凍融養治後殘留間接張力強度與未經凍融試體間接張力強度百分比如下：

張力強度比值 (TSR) =  $(S_2/S_1) \times 100$  ..... (3-5)

式中  $S_1$ ：未凍融試體之間接張力強度

$S_2$ ：凍融養治試體之間接張力強度



圖 3.12 TSR 抽氣槽

## 五、間接張力試驗

### 1. 試驗目的

(1)間接張力強度試驗又稱為圓柱劈張試驗，為測定材料張力強度的方法之一。

(2)可測得瀝青混凝土的抗張強度、波松比、抗張應變，彈性模數及勁度。以上諸參數對瀝青混凝土路面的彈性及黏彈性厚度設計非常重要。

(3)於圓形試體側面施加均勻的線載重，在直徑平面上會發生劈張破壞，依彈性理論可以計



算得到中心部位的張應力值。

## 2. 試驗儀器：如圖 3.13 所示。

(1) 間接張力試驗儀。

(2) 試體夾具：包括上下二片寬度 13 mm 承壓墊條，其與試體接觸面之曲率和試體圓周曲率相同，能使荷重均勻分布於試體。

## 3. 試驗方法

(1) 製作試體，每組三個試體。

(2) 測定試體鬆比重（單位重），採置換法。

(3) 測定最大張力強度與變形值。

(4) 試驗前先將試體置於恆溫烘箱中，固定所欲測試之溫度，於試驗前最少養治 2 小時。

(5) 由恆溫烘箱中取出試體，置於馬歇爾試驗儀中，加壓並記錄荷重與變形曲線，整個試驗於試體取出烘箱後 30 秒內完成試驗。

## 4. 試驗結果

下式為計算材料的張應力值公式：

$$St = 2Pt / \pi DH \dots\dots\dots (3-6)$$

式中：

$St$  = 間接張力強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$Pt$  = 極限加載荷重 (kg)

$D$  = 試體直徑 (cm)

$H$  = 試體高度 (cm)

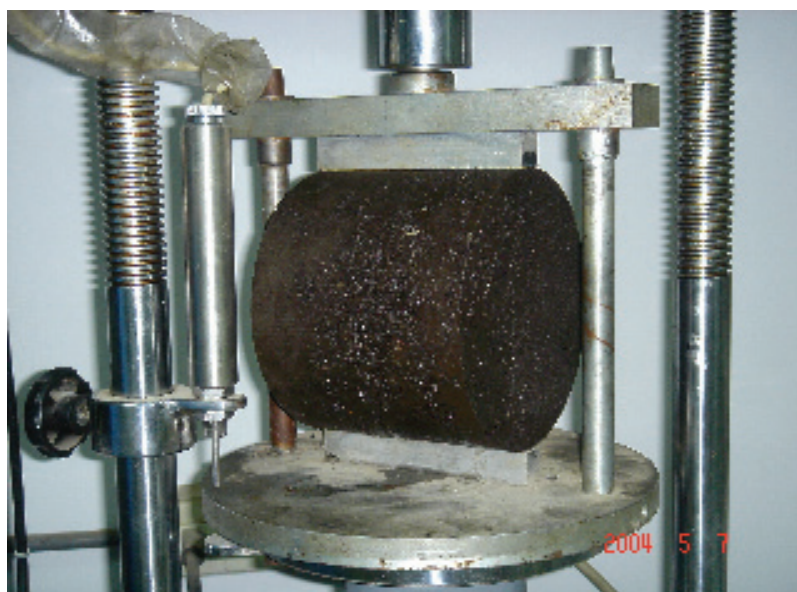


圖 3.13 間接張力試驗

## 六、車轍輪跡試驗

本研究參考英國道路試驗研究所發展，日本製編號 TR-322M 輪跡試驗儀，進行輪跡試驗，標準試體為 30×30×5 公分。本研究採用的試體為 30×30×5 公分，試驗模下層以 30×30×3.5 公分之橡膠塊，與上層之試體相接。主要的作用在橡膠墊片的勁度值與路基之性質相近，使底層較接近路面行為，而能模擬底層受張力作用的反應，即破裂行為。

### 1. 試驗目的：

模擬實際路面受交通荷重作用下，路面車轍變形之觀測。

### 2. 試驗儀器：

(1) 輪壓機：如圖 3.14 所示，模擬工地壓路機滾壓路面，本機可模擬滾壓荷重。滾壓速度及滾壓型態，可得與工地實際狀態相近的試體滾壓機可以控制的變數有：溫度、荷重應力、速度、線壓及反覆次數。滾壓荷重範圍為 0~1100kg，速度為 4.3~17 cm/sec，線壓為 0~36.7 Kg/cm<sup>2</sup>，視試體所要求的程度而定。本試驗分三階段進行：

a. 初壓：滾壓荷重為 240kg，速度為 5.0cm/sec，線壓為 8.4kg，滾壓次數 10 次。

b. 複壓：滾壓荷重為 760kg，速度為 15.0cm/sec，線壓為 26.7kg，滾壓次數 30 次。

c. 終壓：滾壓荷重為 900kg，速度為 30.0cm/sec，線壓為 37.0kg，滾壓次數 10 次。

(2) 輪跡試驗機：如圖 3.15 所示。主要是模擬實際路面在車輛重力荷重下，測定瀝青混凝土抵抗輪跡變形的模擬試驗。此試驗儀可控制因素有：溫度、荷重應力、速度、側向往返移動及反覆次數。使用測微表量測在輪跡中心位置下陷變形量，精度可達 0.01mm，量測範圍至 50mm，採用 D260\*W50mm 之表面附有橡膠的鐵輪。鐵輪接地壓力相當於 70±1kgf(686±10N)。前後往返速度在 0~42 次/min，模擬實際交通情形。

### 3. 試驗方法：

#### (1) 試體製作

a. 依配合設計之結果，決定最適合之配比。

b. 依選定之配比，稱量試體所需之粒料。

c. 拌合及滾壓溫度：拌合溫度採用瀝青膠泥動黏滯度 180±20cSt 時之溫度；滾壓溫度採用瀝青膠泥動黏滯度 300±30cSt 時之溫度。

d. 試體滾壓：將拌合均勻的混合料置入鐵模內，予以均勻分佈達到密度一致效果，滾壓次數共計 50 次，滾壓方式分為三階段進行。

e.將試體放置室內 24 小時，再將試體取出。

(2)於室溫下養治試體 7 天。

(3)將試體放入輪跡試驗儀中養治至試驗溫度(60℃)，並保持恆溫狀態。試驗時膠輪僅做單一方向運動，不做側向移動運動。

(4)試驗中記錄車轍變形量，直至所需觀測次數為止。



圖 3.14 輪壓機

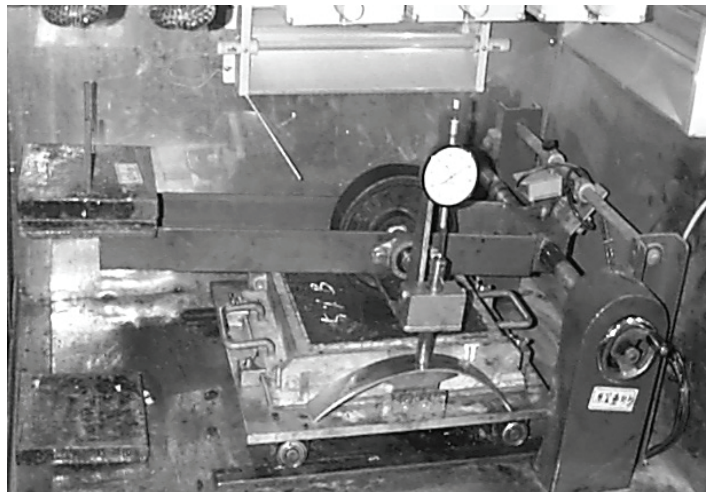


圖 3.15 輪跡試驗儀

(5)動穩定值 (D.S) 計算公式如下

$$D.S = \frac{(60 - 45)}{(d_{60} - d_{45})} \times 42 = \frac{630}{(d_{60} - d_{45})} \quad (3-7)$$

(6)變形率 (R.D) 計算公式如下

$$R.D = \frac{d_{60} - d_{45}}{15} \quad (3-8)$$



## 七、熱傳導係數之量測

針對實驗室試體的熱傳導係數量測，本研究使用的儀器為「攜帶式熱傳導係數與比容量測儀( ISOMET 2104 )」，根據原廠測試報告書所記載，此儀器係符合 ISO8302 標準之規範下所製造的，其測試的方法係使用保護熱板法( Guarded Hot Plate Apparatus )，而量測的過程是在平均溫度 28°C 的實驗環境下，針對標準樣本試片進行熱傳導係數之量測，其量測的時間持續 6 個小時。

### (1)量測定義與原理

本研究所使用之熱傳導測量儀，係符合ASTM D5334 標準規定所製造的儀器，故在回顧文獻時，必須先了解這部儀器的基本設計原理。此篇研究是美國材料試驗測試協會( American Society for Testing Materials, ASTM )，針對暫態熱探針法量測土壤及軟岩熱傳導係數所製定的規範D5334。

### (2)功能說明：

- a.此儀器可用來測量下列各數值：
- b.熱傳導係數值  $[W/m.K]$  ( 儀器之結果輸出代號為  $\lambda$  )
- c.體積熱容量值  $[J/m^3K]$  ( 儀器之結果輸出代號為  $\alpha$  )
- d.熱擴散值  $[m^2/s]$  ( 儀器之結果輸出代號為  $C_p$  )
- e.溫度  $[^{\circ}C]$

### (3)測試範圍：

攜帶式熱傳導係數與比容量測儀之量測範圍，依照探測計的不同其測量的範圍亦有所差異。探針式探測計之測量範圍可分為四種，而表面接觸式的探測計則有三種，故在量測試體的熱傳導係數與體積熱容量時，可依其材質特性選用最適的探測計與範圍測量。



圖 3.16 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀外觀



圖 3.17 探針式和表面接觸式探測計

### 3.6.4 現地成效試驗評估

本計畫進行鋪面成效評估方法，可分為破壞性與非破壞性檢測兩部份。破壞性檢測，主要為現場鑽心後，實驗室進行相關試驗，比對是否合乎原先試鋪計畫之配合設計；在非破壞性檢測部份，則可分為以下幾方面進行，如表 3.5：

表 3.5 鋪面成效評估項目及方式

評估項目	儀器	評估方式	評估週期
車轍調查	車轍儀	利用車轍儀進行車轍的量測，觀察開放交通後，試鋪路段的車轍量變化進而推估使用年限。	每 3 個月一次
平坦度	智慧型路面檢測車	進行平坦度的量測，作為鋪面服務能力的評估項目。	每 3 個月一次
路面破壞	人工目視調查或攝影器材	利用目視調查對鋪面進行路面破壞調查，以獲得鋪面的破壞狀況情形。	每 3 個月一次
安全性	英式擺錘	利用英式擺錘於車輪輪跡處進行摩擦能力的評估，評估鋪面的安全性。	每 3 個月一次
熱傳導係數之量測	攜帶式熱傳導係數與比容量測儀	探討路面熱傳導係數，來判別成效。	每 3 個月一次
掃描路面之斷面	透地雷達	掃描路面之斷面鋪設厚度及結構完整性。	每 3 個月一次

### 3.7 以試驗路段之材料生產與施工經驗，修改施工規範

本研究在第一階段完成之後，本研究依據下列之經驗來修訂相關規範：

- 一、相關材料檢驗
- 二、材料配合設計
- 三、工廠拌合生產
- 四、現地鋪裝與施工
- 五、驗收時之情形與成果
- 六、短期成效
- 七、易犯之錯誤

希望藉由現地試鋪道路的驗證可以找到逐步地真正符合現地需求、成效良好且確實可行之施工規範，提供產官學界未來參考使用。

### 3.8 全面檢視本部公路類規範

在我國逐步成為已開發國家，並大力推動各項重大公共建設振興經濟的同時，亦應兼顧生態環境之維護，以落實「綠色矽島」之既定政策，故公共工程之執行應考量建立資源再利用之相關機制，以預作國家永續發展之長遠準備；行政院環境保護署業於九十一年七月三日公佈「資源回收再利用法」，並於九十二年七月三日全面實施，且為配合行政院「綠建築推動方案」工作項目，交通部特將建築廢棄物回收再生利用規定納入公路工程施工規範中，以期有效節省自然資源之使用，減少廢棄物之產生，並積極促進資源回收再利用，以減輕環境負荷。本研究將針對交通部之公路工程施工規範(2002)進行檢視。

### 3.9 提出廢棄物資源再利用於公共工程規範修正草案研擬（含初審）

我國於再生粒料利用方面處於起步階段，應多吸取國外所累積之經驗；並以產、官、學等角度多方探討與研究，針對本國之產業環境與自然生態修訂適切之法規及規範，諸如獎懲條例、再生材料應用於各類工程之施工規範、再生材料之品質規範等，以加速推動國內營建廢棄物之再生利用，在確實達到經濟成長的同時並將環境的危害降至最低。

規範目的旨在提供一般性設計原則及應用方法，並儘量保持彈性，各單位及工程師應用

時仍須因地制宜，運用學識經驗對各項交通工程設施之技術性、經濟性與有效性等因素研判及評估，從而進行系統性與整體性之規劃。

### **3.10 辦理訪談、問卷、研討**

本研究在進行過程中，將辦理業者訪談、專家座談會、研討會及問卷等方式來聽取多方面意見及經驗來增強本研究的完整性，並制訂規範草案使用。其內容如下：

#### **一、訪談及專家座談會**

本研究將邀集的專家如下：

- 1.國道工程局、高速公路局、公路總局等北、中、南處現地工程司
- 2.從事鋪面研究之學者
- 3.專業廠商及材料供應商

#### **二、研討會**

本研究將針對研究中及研究成果辦理研討會，將廢棄物資源再利用於公共工程推廣業界廠商外，也提供承辦相關業務人員對此議題提升了解度。

#### **三、問卷**

- 1.確立實地參訪與問卷調查對象。
- 2.研擬問卷調查主題與分析項目。
- 3.問卷調查資料彙整與統計分析。



## 第四章 廢棄資源物之試驗結果與分析

本研究探討廢棄資源物之材料有：

一、焚化爐底碴:其試驗對象為路基與路面工程，試驗內容包含

- 1.面層
- 2.底層
- 3.密級配瀝青混凝土

二、轉爐石:其試驗對象為路基與路面工程，試驗內容包含

- 1.密級配瀝青混凝土
- 2.排水瀝青混凝土
- 3.石膠泥瀝青混凝土

三、廢玻璃:其試驗對象為路面工程，試驗內容包含

- 1.玻璃瀝青混凝土

四、電弧爐石:其試驗對象為路基與路面工程，試驗內容包含

- 1.取代混凝土中天然骨材

五、廢棄混凝土塊:其試驗對象為路基與路面工程，試驗內容包含

- 1.密級配瀝青混凝土
- 2.CLSM

六、廢輪胎:其試驗對象為路基與路面工程，試驗內容包含

1. 橡膠瀝青混凝土

### 4.1 焚化爐底碴

垃圾焚化爐底碴是目前產量最固定的再生材料之一，然而卻因為其工程性質及化學性質方面的不穩定尚未完全的推廣，針對於垃圾焚化廠燃燒後之底碴應用於道路基底層級配材料與替代瀝青混凝土細骨材上，於實驗室配合道路工程施工綱要規範並運用摻配的觀念，求其相關工程性質，以作為未來垃圾焚化底碴再利用於道路工程方面的參考，達到資源再利用的目的。

#### 4.1.1 焚化爐底碴各項物理試驗結果分析

為了瞭解底碴品質變化的情形，本部分研究採用管制圖做為分析方法，以正常製程平均數之 $\pm 2\sigma$ 為管制界線，以增加敏感程度。

## 一、篩分析試驗

本研究採用樹林焚化爐底碴，連續十個月進行取樣，由圖 4.1 可看出停留於 4 號篩以上的底碴約佔 30%，而約有 50% 的底碴停留於 4 號篩至 50 號篩之間，其餘的 20% 就為 50 號篩以下的細粒料。若以篩分析資料來計算骨材之細度模數，粗骨材細度模數約在 6~6.3，細骨材細度模數約在 3.0~3.5 之間，依 CNS 1240 規定砂之 FM 應在 2.3~3.1 間其級配才合乎要求，因此明顯可看出細粒料底碴其級配偏粗約屬於粗砂性質，若要用細粒料底碴做為取代一般水泥混凝土用砂，必需要經過摻配的方式，才可使級配較能符合規範上的要求。

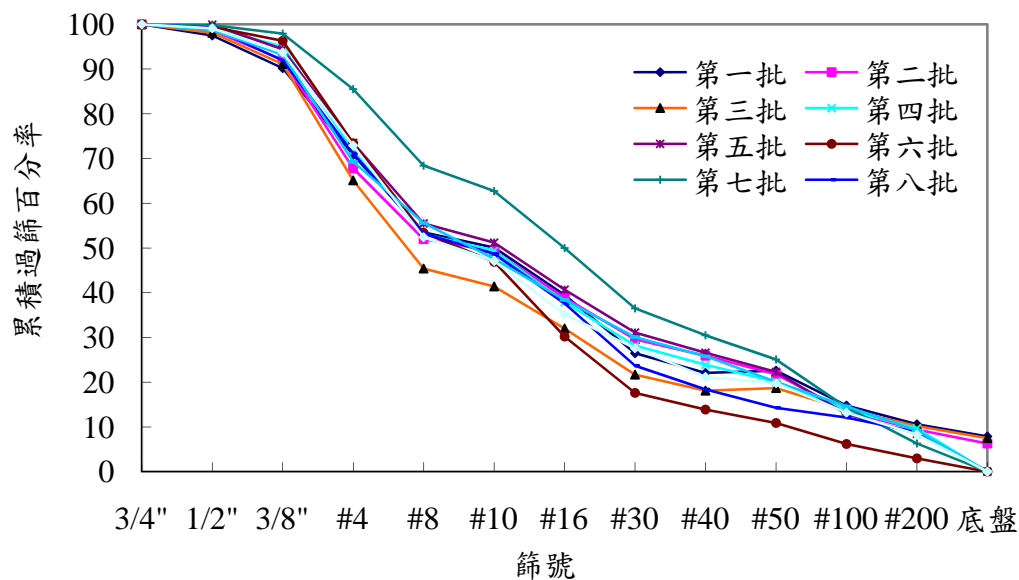


圖 4.1 焚化爐底碴篩分析曲線圖

## 二、比重及吸水率實驗

### 1. 粗底碴比重及吸水率

從圖 4.2~圖 4.4 可得知粗底碴的比重大致來說均介於 2.3~2.4 之間，比一般天然粒料 2.6 要低一些。如果再從吸水率的管制圖圖 4.5~圖 4.7 來看，粗底碴的吸水率約在 3%~9% 之間，而且其均勻性不如比重來的均勻，其主要影響原因可由水洗過後底碴發現，底碴內含有大量的玻璃陶瓷，由於玻璃陶瓷不易吸水，因此含量多的底碴其吸水率就會降低，含量少的底碴吸水率就會增加；另外從相關文獻也得知底碴顆粒含有較多的孔隙，所以底碴就容易有高吸水率、低比重的現象。

### 2. 細底碴比重及吸水率

細底碴比重從三個廠的觀測資料來看（圖 4.8~圖 4.10），均在 2.0~2.3 左右，與一般天然砂的比重 2.5~2.6 要低一些，而吸水率 8%~12% 比一般天然砂吸水率 1% 相差甚多，其原因與粗底碴相同，都是由底碴中含有過多孔隙為主要因素，因此未來在應用方面

有可能增加水泥混凝土的用水量，及瀝青混凝土的含油量，另外對於過多孔隙是否會影響底碴結構強度，在之後其他試驗將加以討論。

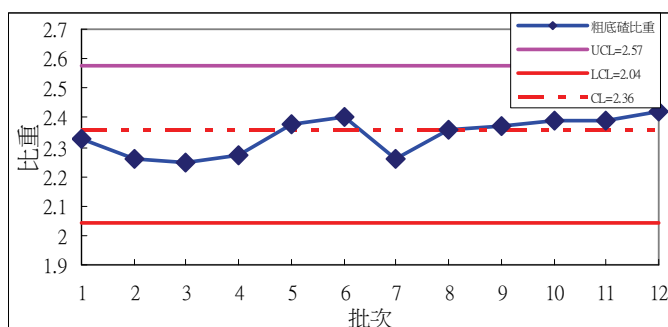


圖 4.2 樹林-粗底碴比重管制圖

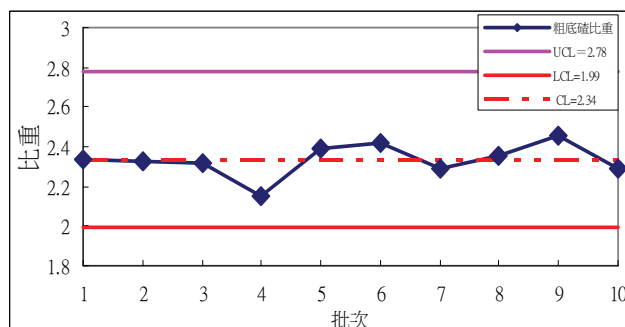


圖 4.3 新店-粗底碴比重管制圖

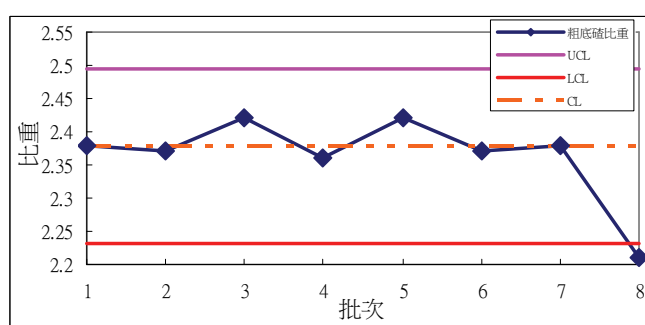


圖 4.4 八里-粗底碴比重管制圖

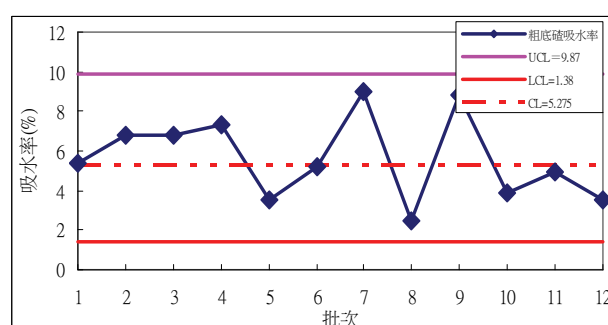


圖 4.5 樹林-粗底碴吸水率管制圖

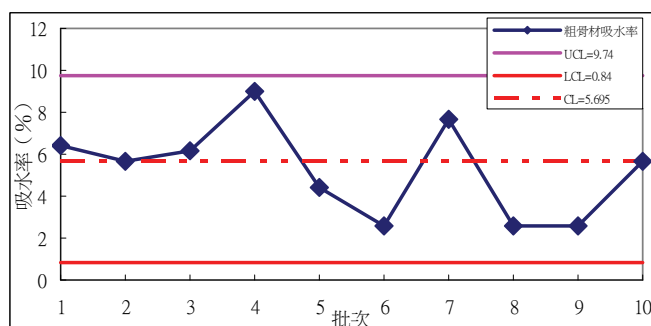


圖 4.6 新店-粗底碴吸水率管制圖

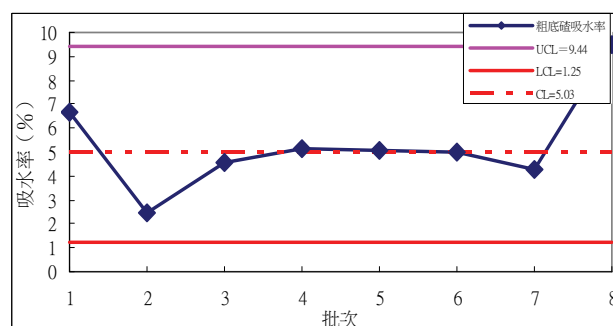


圖 4.7 八里-粗底碴吸水率管制圖

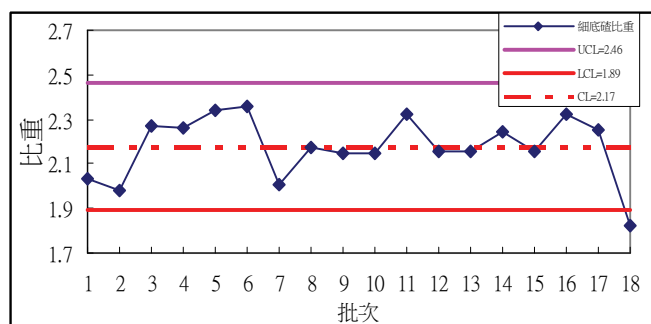


圖 4.8 樹林-細底碴比重管制圖

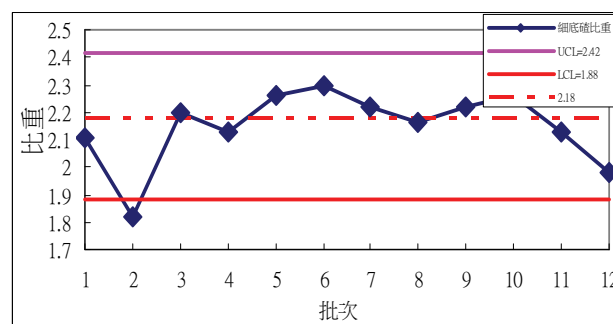


圖 4.9 新店-細底碴比重管制圖



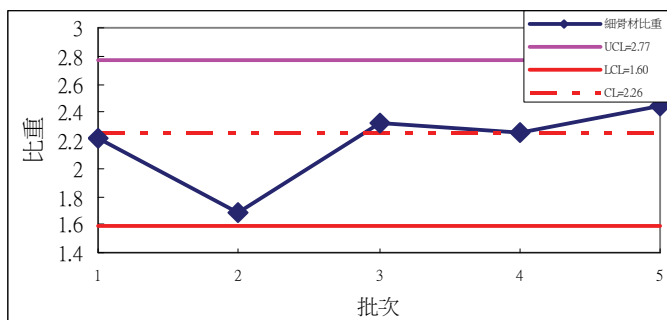


圖 4.10 八里-細底碴比重管制圖

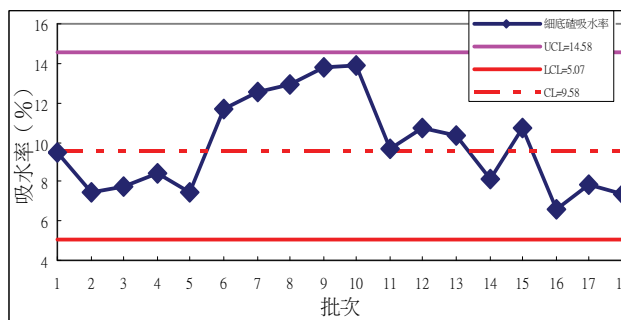


圖 4.11 樹林-細底碴吸水率管制圖

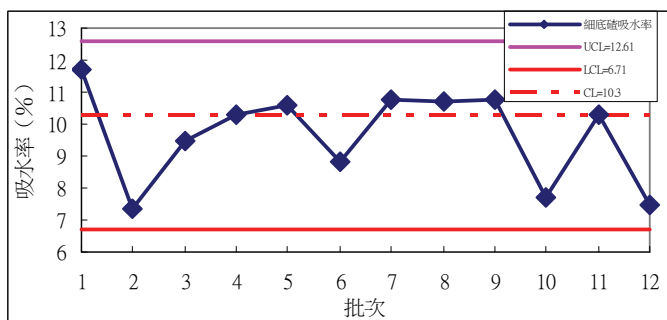


圖 4.12 新店-細底碴吸水率管制圖

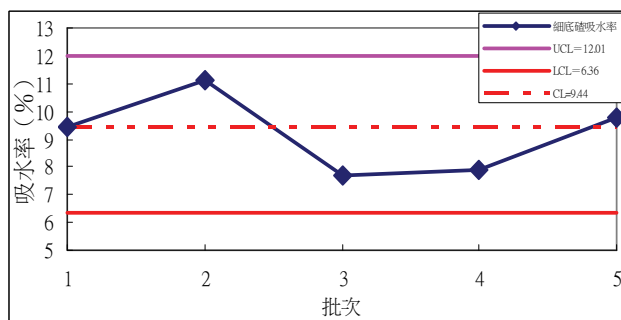


圖 4.13 八里-細底碴吸水率管制圖

### 三、單位重試驗

由圖 4.14 ~ 4.16 底碴單位重管制圖得知，底碴乾搗實單位重約  $1300 \text{ kg/m}^3 \sim 1400 \text{ kg/m}^3$  與一般天然骨材  $1646 \text{ kg/m}^3$  相比顯得較輕，所以對於瀝青混凝土配合設計，將使用體積法來做為材料配比用量的計算。

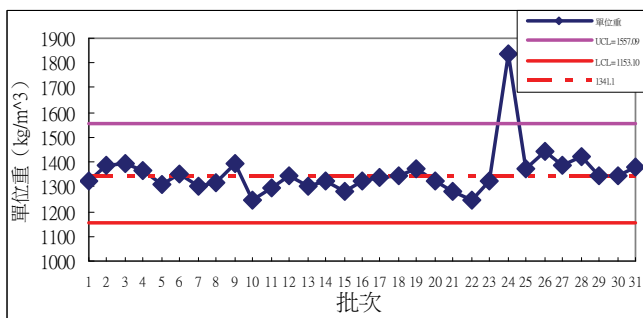


圖 4.14 樹林-底碴單位重管制圖

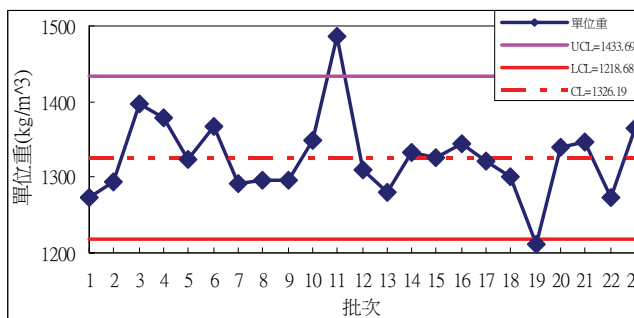


圖 4.15 新店-底碴單位重管制圖

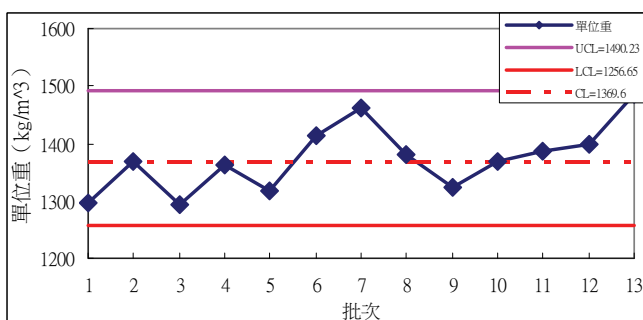


圖 4.16 八里-底碴單位重管制圖

#### 四、洛杉磯磨損試驗

洛杉磯磨損試驗主要的目的是在測定粗骨材之抗磨損力，因為骨材必須要具有堅硬性及強度，以抵抗磨損作用及衝擊，一般天然骨材之磨損率約為 20-25%之間，而底碴的磨損率大約在 35%~45%左右，與 CNS 02742 瀝青混凝土鋪面規範相較，用於底層、聯結層及整平層者不得大於 50%，用於磨耗層者不得大於 35%及面層者不得大於 40%，因此粗粒料要用於面層部分恐有困難，而趨向將細底碴用於面層，粗底碴用於瀝青處理底層。

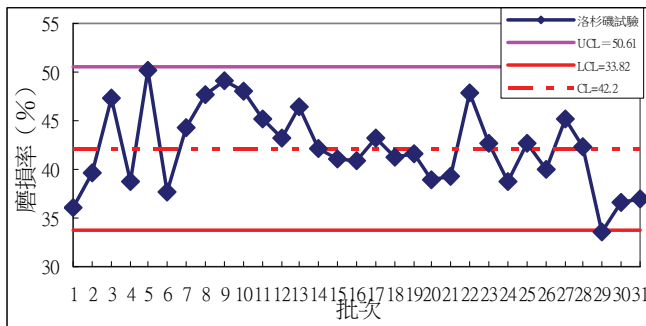


圖 4.17 樹林-底碴洛杉磯磨損率管制圖

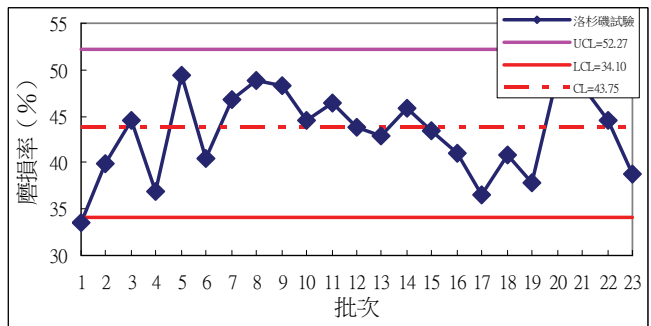


圖 4.18 新店-底碴洛杉磯磨損率管制圖

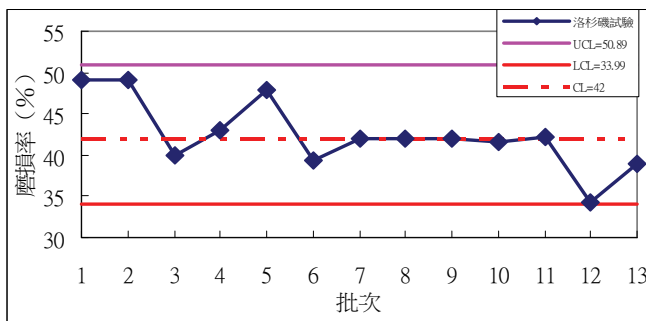


圖 4.19 八里-底碴洛杉磯磨損率管制圖

#### 五、健性試驗

骨材健性試驗是用以評估骨材受到各種風化作用如凍融循環、乾濕循環、溫度變化以及具侵蝕性的水侵襲時抵抗顆粒分解之能力。一般在五次循環硫酸鈉健性試驗規定粗粒料不得超過 12%，細粒料不得超過 15%。試驗結果顯示圖 4.20~圖 4.25 粗粒料底碴健性為 2%~8%，細粒料底碴健性為 4%~12%，雖然符合規範標準，但跟一般天然砂石來比較，顯然底碴的耐久性不像一般砂石來的好。另外從均勻性來看，由於底碴成份複雜，所以均勻性變化相當大，因此對於如何使底碴健性均勻性維持穩定是未來必須在製程上加強的。

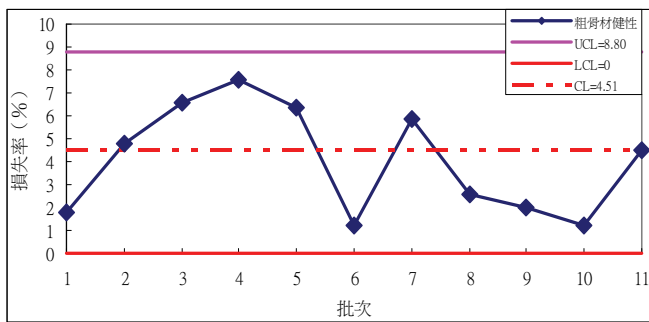


圖 4.20 樹林-粗底碴健性管制圖

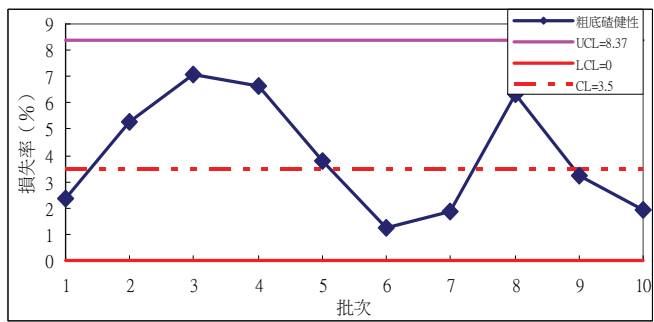


圖 4.21 新店-粗底碴健性管制圖

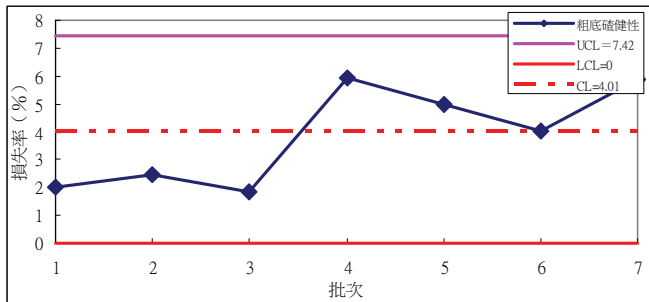


圖 4.22 八里-粗底碴健性管制圖

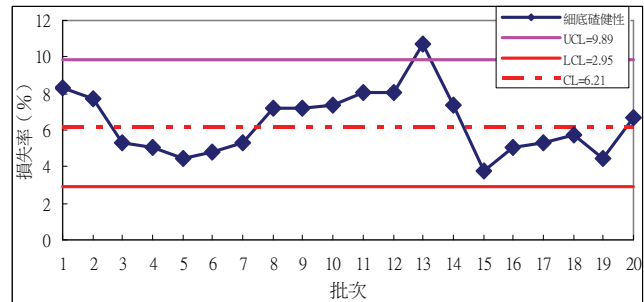


圖 4.23 樹林-細底碴健性管制圖

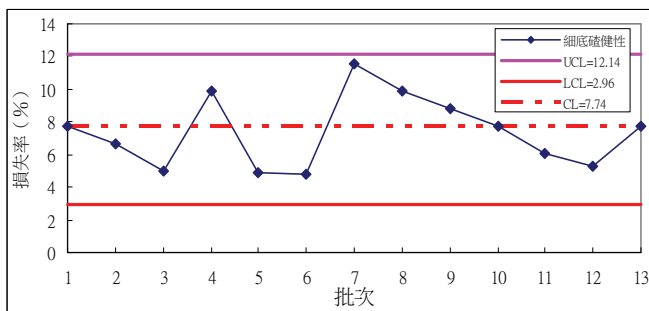


圖 4.24 新店-細底碴健性管制圖

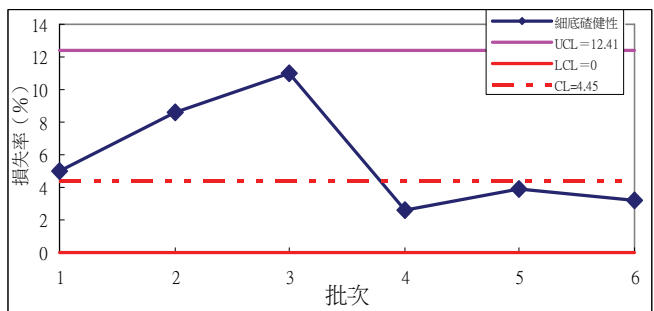


圖 4.25 八里-細底碴健性管制圖

## 六、含泥量試驗

一般混凝土天然級配料會不希望有過高的含泥量，由於台灣垃圾分類不佳再加上水淬處理的過程，因此底碴表面包裹了許多細小顆粒物質，從管制圖來看各廠的底碴含泥量皆偏高，而且材料的穩定性變異性很大，每批底碴資料尚未有一規律趨勢，如此用於水泥混凝土及瀝青混凝土將使得做為膠結顆粒的水泥漿及瀝青無法達到最佳的膠結效果，因此未來在再利用方面，可能必須對底碴前處理程序上做些適當改變，例如：水洗、篩分等。

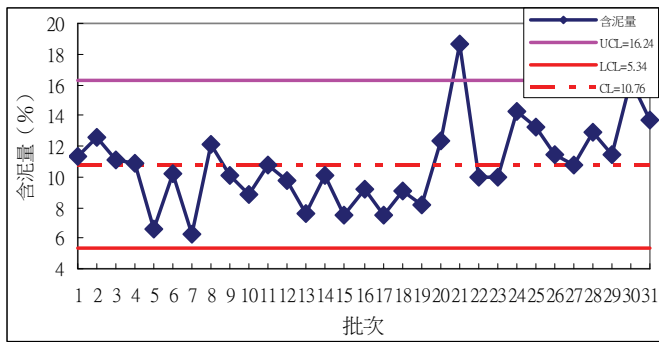


圖 4.26 樹林-底碴含泥量管制圖

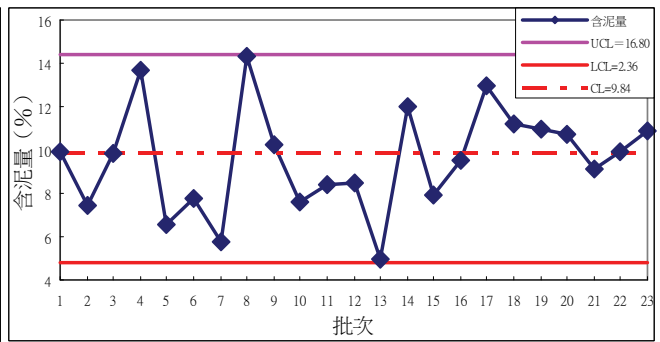


圖 4.27 新店-底碴含泥量管制圖

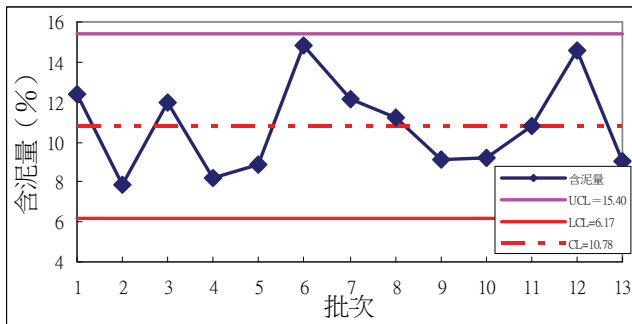


圖 4.28 八里-底碴含泥量管制圖

## 七、TCLP 試驗

底碴除了必須注意到其物理性質是否均勻，另外對於其重金屬溶出現象是否合乎法規上的標準更是主管單位及使用單位所在乎的，因此於研究中特別取連續 11 個月兩週一次做為分析。由表 4.1 及圖 4.29～圖 4.33 可看出，經過處理後的底碴除了鉛的含量偶有超出標準值外，其他如鎘、銅、鉻、六價鉻、砷、汞等重金屬，其含量皆遠低於標準值，甚至有時還無法偵測到。而對於鉛的部分，除了於製程中增加穩定劑的使用量，但如果要治本的話，還是得加強垃圾分類中電池的回收率，這樣才可完全的降低鉛的濃度。

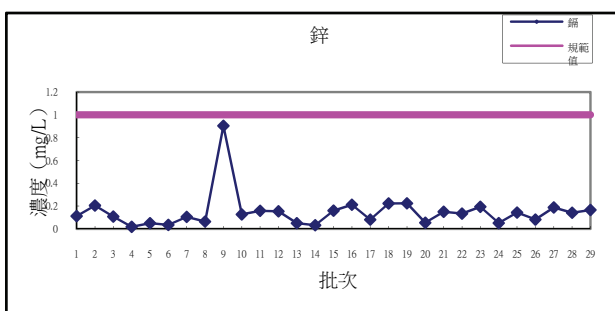


圖 4.29 鋅含量分析結果

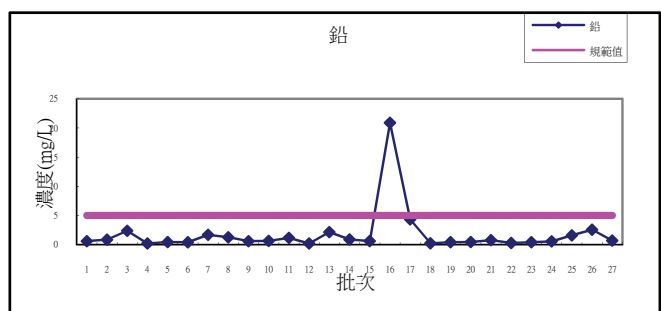


圖 4.30 鉛含量分析結果

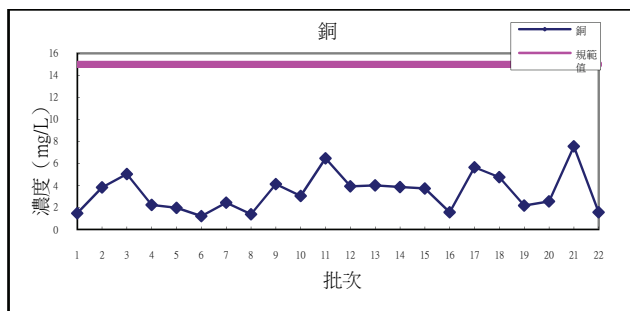


圖 4.31 銅含量分析結果

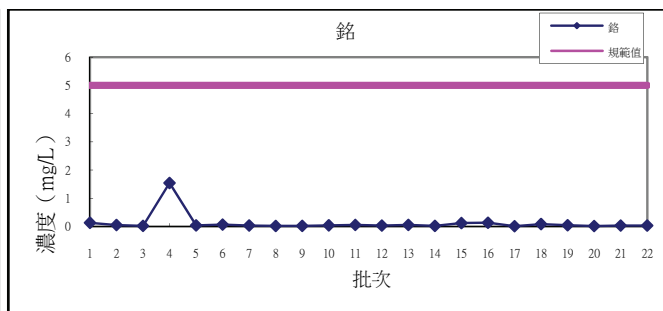


圖 4.32 鉻含量分析結果

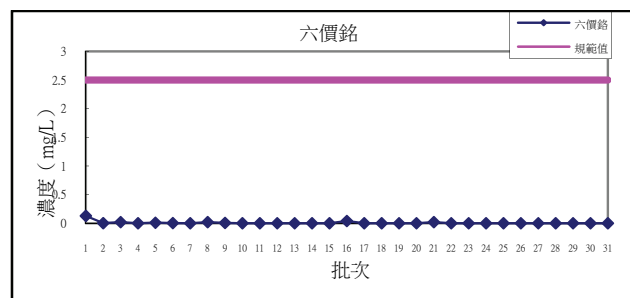


圖 4.33 六價鉻含量分析結果

表 4.1 TCLP 試驗分析結果

批次	鋅	鎘	鉛	銅	鉻	六價鉻	砷	汞
1	0.017	0.112	0.610	1.470	0.134	0.130	0.005	ND
2	52.000	0.205	0.860	3.820	0.055	0.002	0.008	ND
3	102.000	0.108	2.390	5.030	0.024	0.020	ND	ND
4	58.800	0.018	0.210	2.230	1.540	ND	0.010	ND
5	0.050	0.050	0.450	1.960	0.042	0.010	ND	ND
6	ND	0.035	0.420	1.210	0.070	0.003	0.008	ND
7	0.360	0.105	1.700	2.430	0.038	ND	ND	0.001
8	0.080	0.064	1.270	1.380	0.022	0.020	ND	0.006
9	53.200	0.904	0.610	4.120	0.025	0.006	0.009	0.001
10	46.600	0.127	0.660	3.040	0.044	ND	0.009	ND
11	155.000	0.159	1.180	6.460	0.057	ND	0.005	ND
12	77.200	0.154	0.210	3.920	0.037	ND	0.001	0.000
13	94.200	0.050	2.160	4.000	0.058	ND	0.002	0.001
14	27.900	0.032	0.900	3.850	0.026	ND	ND	ND
15	72.800	0.160	0.630	3.720	0.124	ND	0.013	0.001
16	0.100	0.212	20.900	1.560	0.135	0.040	ND	ND
17	51.000	0.081	4.340	5.640	0.013	ND	0.012	ND
18	51.800	0.223	0.250	4.750	0.089	ND	0.015	ND
19	29.200	0.224	0.441	2.170	0.046	ND	0.003	0.000
20	210.000	0.054	0.470	2.550	0.018	ND	0.001	0.100
21	109.000	0.150	0.780	7.550	0.038	0.020	ND	0.001
22	0.100	0.134	0.300	1.560	0.036	ND	ND	ND
規範值	-	<1.000	<5.000	<15.000	<5.000	<2.500	<5.000	<0.200

## 4.1.2 基底層試驗結果分析

### 一、阿太堡限度分析

阿太堡限度分析是藉由簡單的液塑限度分析，即可利用 AASHTO 土壤分類表，判斷出土讓是屬於何種性質。

由表 4.2 可得知，底碴在液性限度和塑性指數均屬於零，因此 G.I. 值也是等於零，另外再從篩分析資料上來分析，通過 No.10 的粒料約 47%，No.40 的粒料約 25%，No.200 的粒料約 10%，因此由 AASHTO 土壤分類表查知底碴屬於 A-1-a，表示是最佳～佳的路基土讓材料，若再加以分析描述，本類代表是由石塊、卵石、粗砂、細砂及無塑性或脆弱之土壤結合料等，亦即依物理工程性質來判斷，焚化爐底碴具有適用於道路基底層的潛能。

表 4.2 底碴土壤分類試驗結果

通過 No.10	47%
通過 No.40	25%
通過 No.200	10%
液性限度	N.P.
塑性指數	N.P.
G.I.	0
土壤分類	A-1-a

### 二、含砂當量試驗分析

由含砂當量試驗結果分析，底碴含砂當量約 35～40，與基底層施工綱要規範 02722、02726 的要求值是可以符合，但是由於底碴在焚化爐水淬處理過程中，往往造成含泥量及其他易碎物質含量增加，因此相對於含砂當量也會降低，所以以目前道路相關的規範來看，公路局、高速公路局對於面層含砂當量要求均要在 45 以上，而對於基底層則要求則在 30 及 35 以上，如果以數據來看，底碴只能適用於道路基底層，而且還必須時常注意是否有低於底層的標準。要使底碴能穩定的符合規範的要求則建議必須在後處理程序時，增加適當的水洗設備，不僅可使材料性質穩定，另外也可以使底碴應用的方向有更多的選擇。

表 4.3 底碴含砂當量試驗結果

批號	樹林廠	新店廠	八里廠
第一批	36.2	31.3	42.3
第二批	39.8	35.6	41.3
第三批	37.8	37.2	43.6
第四批	37.2	34.3	37.5
第五批	40.1	32.6	38.1

表 4.4 各種路面之含砂當量規定

路面結構層次	含砂當量規定值
瀝青混凝土	>55
廠拌瀝青底層及面層	>45
路拌瀝青底層及面層	>35
碎石級配底層	>30~50
天然級配底層	>25
路基	>10
混凝土用砂	>80

### 三、基底層試驗結果分析

#### 1. 材料基本性質試驗

本實驗所採用的級配為符合公共工程委員會施工綱要規範基層第 02722 章第三類型 B 級配、底層第 02726 章第二類型級配所要求的材料品質，而預備進行基層底碴摻配 100%、80%、60%，底層則進行 10%、20%、30%，其各篩分析曲線如圖 4.34、4.35 所示。

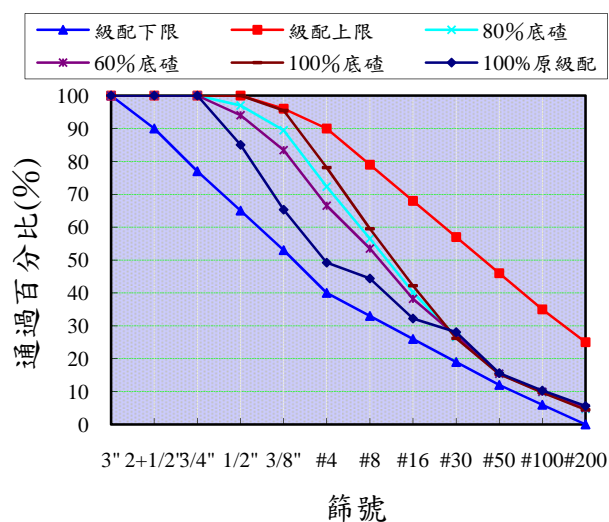


圖 4.34 基層級配調整圖

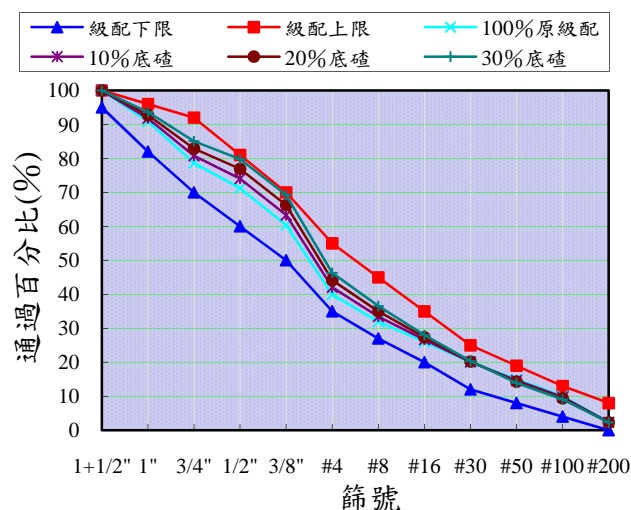


圖 4.35 底層級配調整圖

而含砂當量將隨著底碴添加量增加而逐漸降低，因此底碴用量也會受到規範所限制。

表 4.5 基層含砂當量變化情形

	0%	60%	80%	100%
基層	47.3	42.2	39.7	35.2

表 4.6 底層含砂當量變化情形

	0%	10%	20%	30%
底層	52.7	49.8	45.2	41.9

關於重金屬溶出試驗方面，由於天然級配本身就未含重金屬，因此用予摻配時可以減少底碴所含的重金屬濃度，減少的量就看摻配時的多寡而有影響，下表為基底層在各摻配不同比例下底碴，重金屬濃度變化情形。

表 4.7 摻配不同比例底碴重金屬濃度變化

批次	鎘	鉛	銅	鉻	六價鉻	砷	汞
基層 100%底碴	0.152	1.370	2.57	0.023	N.D.	0.003	N.D.
基層 80%底碴	0.060	0.797	4.07	0.020	N.D.	0.002	N.D.
基層 60%底碴	0.055	0.642	2.56	0.021	N.D.	N.D.	N.D.
基層 100%天然級配	N.D	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.002	N.D.
底層 100%天然級配	N.D	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
底層 10%天然級配	0.035	0.450	1.21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
底層 20%天然級配	0.105	0.550	1.93	0.022	N.D.	N.D.	N.D.
底層 30%天然級配	0.042	0.100	1.37	0.024	N.D.	N.D.	N.D.

## 2. 基層夯實試驗結果分析

由底碴之夯實曲線之結果，如表 4.8 與圖 4.36 至圖 4.39 所示，我們發現不論是底碴全級配或取代 20%~40%級配，最大乾密度均會隨添加之底碴增加而降低。對底碴全級配而言均會使最佳含水量增加，且比不添加底碴之級配約高出 4%~5%的含水量，而且每增加 10%底碴，約增加 0.5%的含水量。

表 4.8 焚化爐底碴夯實結果

	A (100%)	B (80%)	C (60%)	D (0%)
最大乾密度(kg/m <sup>3</sup> )	1890	1940	1970	2030
最佳含水量(%)	13.0	12.5	11.0	9.5



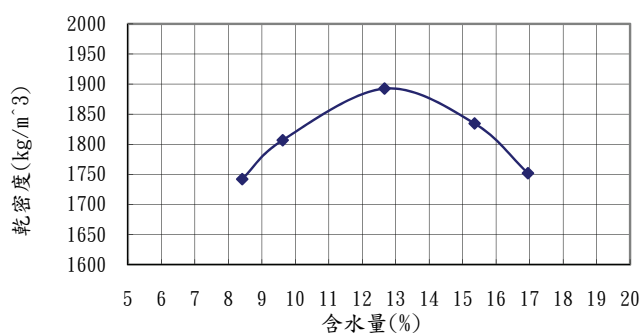


圖 4.36 100%底碴夯實曲線圖

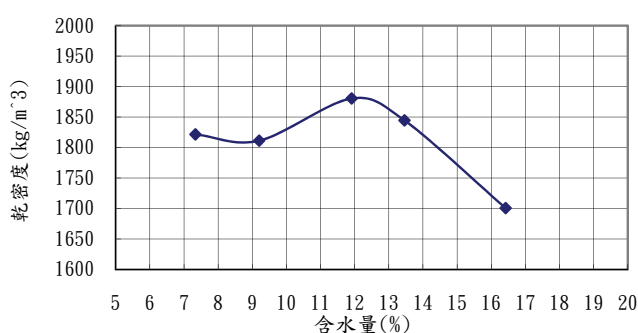


圖 4.37 80%底碴夯實曲線圖

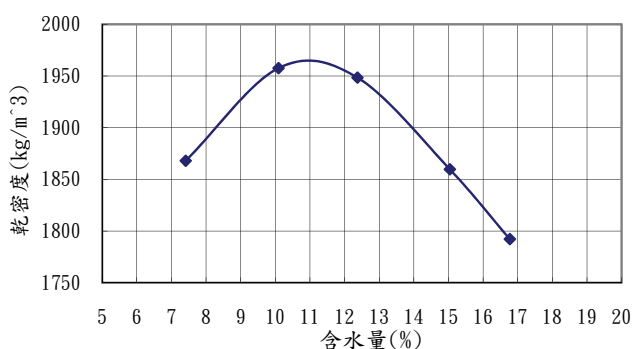


圖 4.38 60%底碴夯實曲線圖

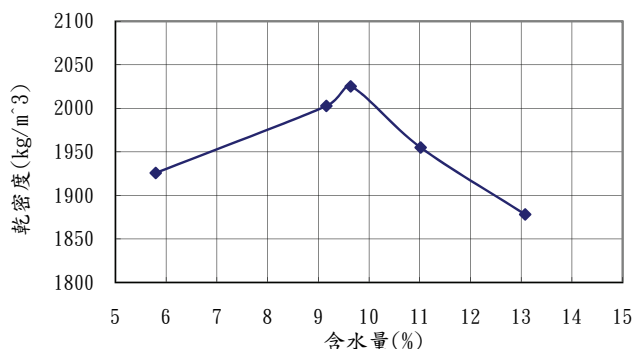


圖 4.39 原土級配夯實曲線圖

### 3. 基層 4 天之加州載重比

圖 4.40～圖 4.43 為夯打次數與 CBR 值之關係圖，從表 4.9 中，我們發現 CBR 值隨夯打次數之增加而上升。在夯打 10 次時，各配比之 CBR 值均無法符合規範規定，而當夯打提升到 30 次時，CBR 值均可符合規範 30 的要求，這表示當夯打次數提升至 30 下的夯實能量時就可符合規範要求，但如果必須符合 95% 乾密度時，則 30 下的夯實能量又顯得不足，唯有提升夯實能量至 65 下時，即可符合規範規定，尤其又以添加 80% 底碴的 CBR 值最高，整體來看添加 60%～100% 的底碴，均應可達到 CBR 值 50 以上。

表 4.9 基層各配比在不同夯實次數下之修正 CBR 值

配比	10次	30次	65次
100%	21.5	46.74	56.06
80%	18.46	55.76	82.65
60%	29.47	66.48	80.76
0%	25.01	42.37	87.71

表 4.10 基層各配比在 98% 乾密度下之修正 CBR 值

	100%	80%	60%	0%
98% 乾密度	1852.2	1901.2	1930.6	1999.2
CBR 值	52.5	70.1	72.2	85

表 4.11 基層各配比 4 天膨脹率

添加量	膨脹率 (%)		
	10下	30下	65下
100%	0.0237	0.0313	0.0316
80%	0.0237	0.0391	0.0237
60%	0.0237	0.0234	0.0316
0%	0.0158	0.0078	0.0158

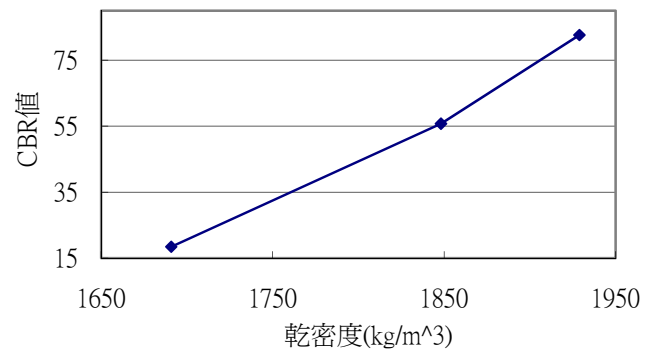
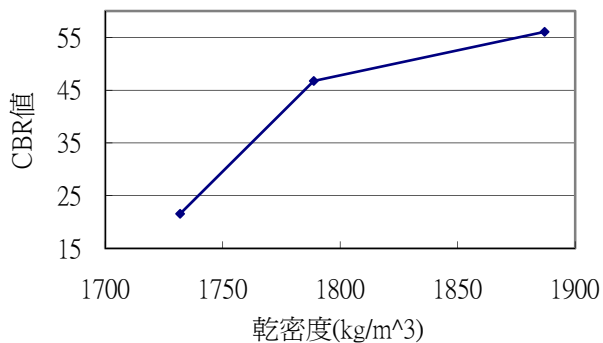


圖 4.40 修正 CBR 與乾密度關係(100%底碴)

圖 4.41 修正 CBR 值與乾密度關係(80%底碴)

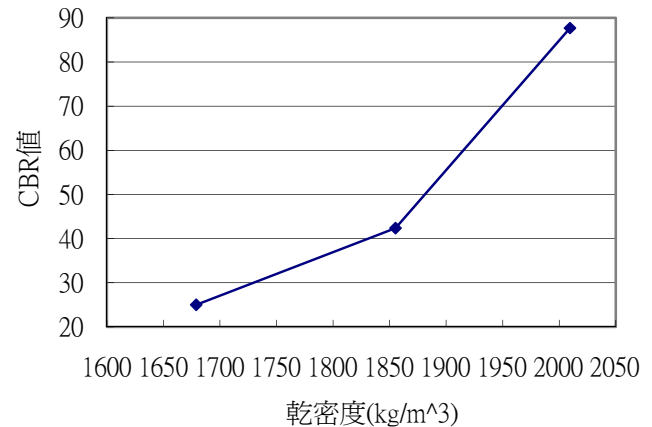
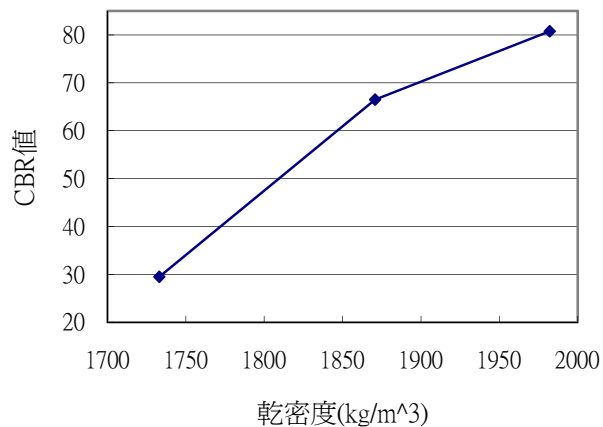


圖 4.42 修正 CBR 與乾密度關係(60%底碴)

圖 4.43 修正 CBR 與乾密度關係(碎石級配)

#### 4.底層夯實試驗結果分析

因公共工程施工網要規範對底層的級配要求較嚴格且 CBR 值要求也較高，因此底層的摻配量沒有像基層多，暫時以 10%~30% 為添加量，如果添加過多級配很難進入規範要求。由表 4.12 及圖 4.44~4.47 中可看出最大乾密度來看最大乾密度隨底碴增加而降低，但降低的幅度不大，而對於最佳含水量，也是隨底碴添加量而增加，而其增加的用水量也差不多在 0.5%~1.0% 左右。

表 4.12 焚化爐底碴底層夯實結果

	A (0%)	B (10%)	C (20%)	D (30%)
最大乾密度( $\text{kg/m}^3$ )	2060	2070	2045	2040
最佳含水量(%)	8	8.5	9.5	10.0

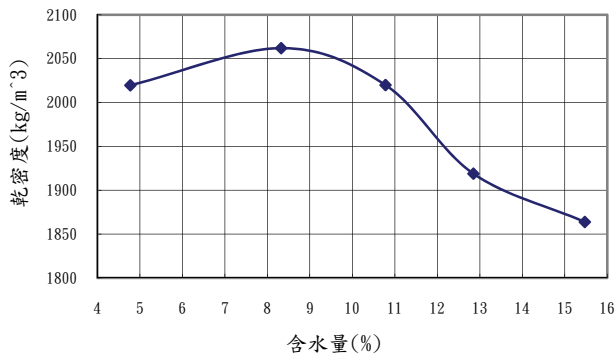


圖 4.44 0%底碴夯實曲線圖

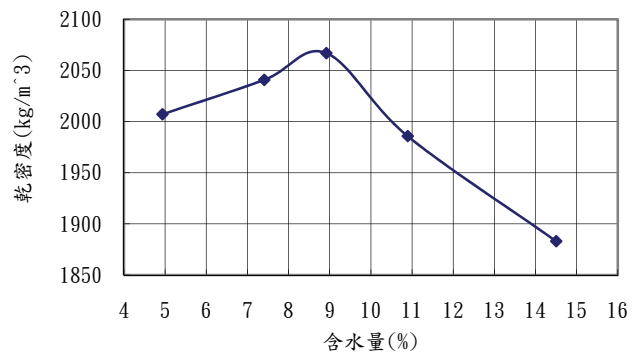


圖 4.45 10%底碴夯實曲線圖

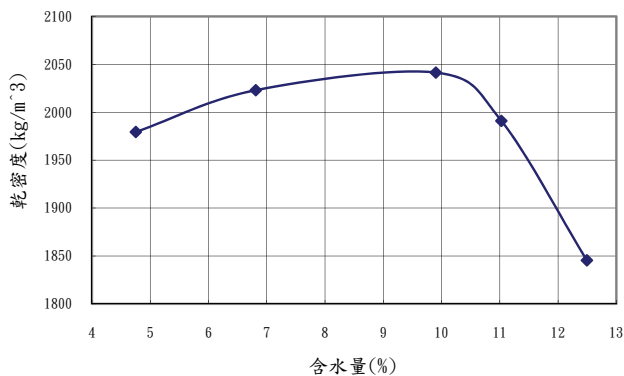


圖 4.46 20%底碴夯實曲線圖

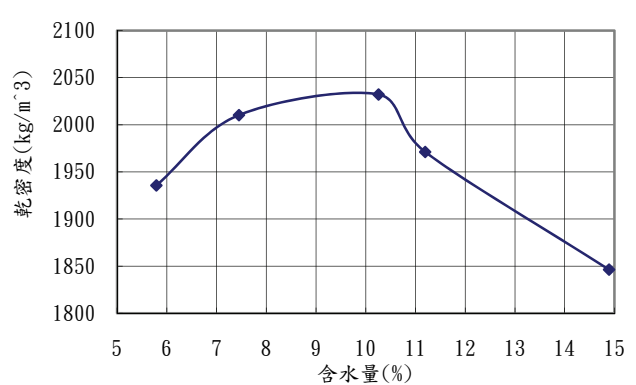


圖 4.47 30%底碴夯實曲線圖

## 5. 底層 4 天之加州載重比

由於底層規範較嚴，因此對於天然粒料的級配要求會比較窄，而且對於底碴的添加量要求在 30% 以內。從表 4.13 中就可看出必須要有足夠的夯實能量才可使 CBR 值達到規範的要求，如果以 95% 的壓密度來看，幾乎都尚未達到規範要求，一直到提升更高夯實能量才能達到 80 的規範要求值，因此未來在現地試鋪時最好要有足夠的滾壓，才可達到應有的強度。

另外從各配比的 CBR 值來看，當達到 98% 壓密度時，強度較弱的底碴可能早已破碎，造成強度不足，尤其替代越多，強度就呈反比表現。

表 4.13 底層各配比在不同夯實次數下之修正 CBR 值

配比	10次	30次	65次
0%	6.16	41.48	101.20
10%	3.09	40.68	96.53
20%	8.44	57.65	92.86
30%	26.90	65.09	102.19

表 4.14 底層各配比在 98%乾密度下之修正 CBR 值

	0%	10%	20%	30%
98%乾密度	2018.8	2028.6	2004.1	1999.2
CBR值	88	80	85	82

表 4.15 底層各配比 4 天膨脹率

添加量	膨脹率 (%)		
	10下	30下	65下
30%	0.0395	0.0313	0.0395
20%	0.0316	0.0234	0.0237
10%	0.0158	0.0234	0.0237
0%	0.0316	0.0313	0.0237

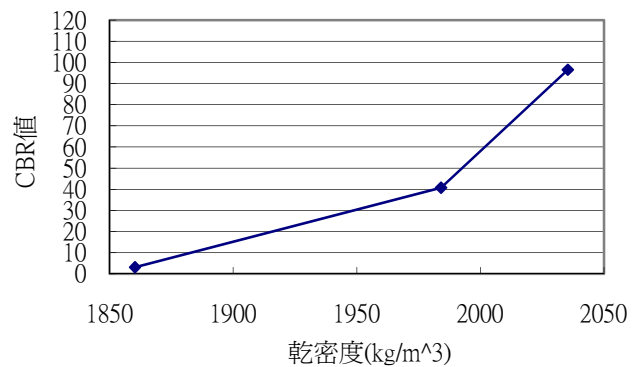
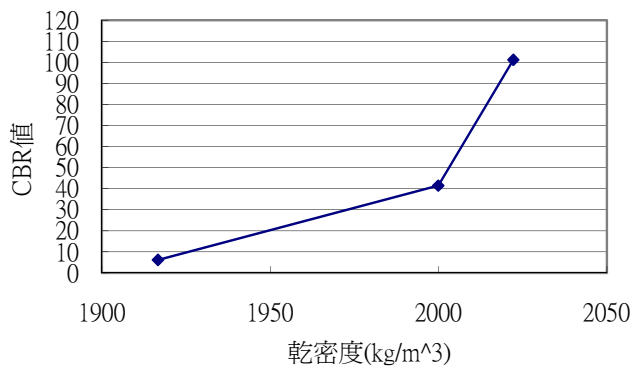


圖 4.48 修正 CBR 值與乾密度關係(碎石級配)

圖 4.49 修正 CBR 值與乾密度關係(0%底渣)

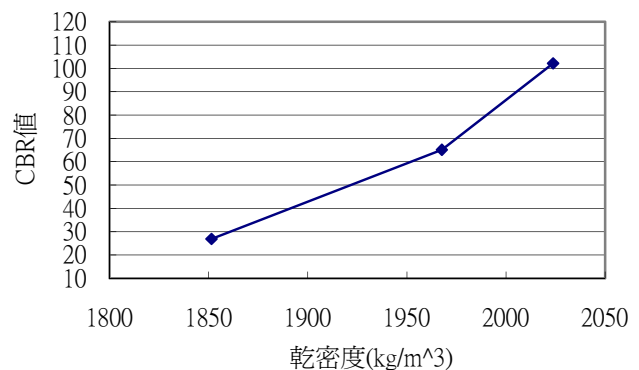
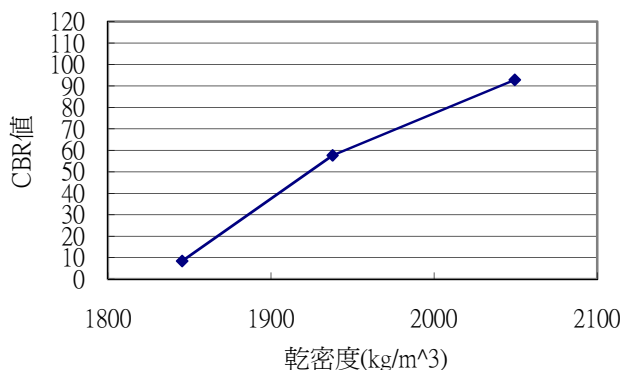


圖 4.50 修正 CBR 值與乾密度關係(20%底渣)

圖 4.51 修正 CBR 值與乾密度關係(30%底渣)

### 4.1.3 面層試驗結果分析

本研究於瀝青混凝土面層取代細粒料佔總料重 10%、20%，由於粒料特性品質將直接影響鋪面成效，因此會先對將使用的碎石級配、天然砂、底碴進行各項物性試驗，確認是否符合規範規定，以作為後續成效實驗之依據。而瀝青膠泥本研究採用與一般道路較常使用的 AC-10，以求所得研究結果更能讓底碴瀝青混凝土順利推動。

#### 一、粒料基本物性分析

基本性質包括比重、健性、洛杉磯磨損率，試驗結果如表 4.16。

表 4.16 粒料基本物性試驗結果

粒料性質	碎石級配	天然砂	粗底碴	細底碴
比重	2.58	2.61	2.42	2.21
洛杉磯磨損率(%)	22.7	-	39.2	-
健性(%)	2.87	4.03	5.32	8.67

#### 二、馬歇爾配合設計結果

本研究採馬歇爾法進行瀝青混凝土配合設計，在底碴取代量加以改變，以求出在不同替代量下其最佳含油量及相對應之單位重、穩定值、流度值、V.M.A、Va、V.F.A 及最大理論密度，如表 4.17 所示。

表 4.17 面層配合設計結果

組別	含油量	單位重	穩定值	流度值	VMA	VFA
0%	5.2	2.248	1960	10.5	18.0	73.5
10%	5.4	2.251	1785	11.3	15.8	74.5
20%	5.7	2.276	1790	12.2	14	71

使用天然粒料摻配底碴部份，其含油量有隨著添加比例提高而增加之趨勢，主要由於底碴的孔隙率較高原因所導致。其瀝青混凝土單位重與有無摻配底碴並沒有多大的影響。而在穩定值的數據結果上，使用底碴為摻配粒料部分，其穩定值均遠大於規範值 817.2kg，甚至達一倍以上之強度。

馬歇爾流度值主要代表的是瀝青混凝土承受壓力至產生破壞時之最大垂直變形量，通常流度值越低代表瀝青混凝土承受外在荷重時越能抵抗車轍變形，但流度值太低又容易有龜裂現象的產生。而本研究所針對三組摻配底碴部份，其試驗值皆符合規範值所要求之標準，再加上高穩定值，對於利用底碴來取代短缺的天然粒料有良好之成效。

### 三、回彈模數試驗結果分析

理想的瀝青混凝土，在低溫時應有較高的黏塑性以承受應力，同時能維持適當的柔韌性，以避免裂縫產生，即回彈模數值在低溫時不希望太高；而在高溫時則應有足夠之彈性以抵抗推擠變形，並保有適當的強度，即高溫時希望有較高的回彈模數值。

本研究分別進行各種不同底碴比例摻配時的 25℃ 及 40℃ 回彈模數試驗，試驗結果如表 4.18，各組 25℃ 及 40℃ 回彈模數比較如圖 4.52 所示。從圖 4.52 回彈模數比較圖可看出在 25℃，回彈模數明顯有隨底碴替代量增加而提高，而在 40℃ 時回彈模數則隨底碴添加而降低。

如果再從單因子變異數分析來進行檢定，以  $\alpha=0.05$  為檢定基準，當 P 值大於  $\alpha$  則表示，則表示同意虛無假設，由表 4.19、4.20 得知 25℃ 及 40℃ P 值均小於 0.05，即表示底碴添加量多寡有顯著差異，因此可推斷底碴添加量對回彈模數方面會造成影響，而且添加量增加對回彈模數會有不當影響。

表 4.18 回彈模數試驗結果

試驗組別	回彈模數 ( $\text{kg/cm}^2$ )	
	25℃	40℃
0%-1	15019	5950
0%-2	13258	6585
0%-3	14484	7079
平均	14254	6538
10%-1	14166	5461
10%-2	15824	6714
10%-3	15498	5468
平均	15163	5881
20%-1	14760	4884
20%-2	15659	4141
20%-3	16547	5075
平均	15656	4700

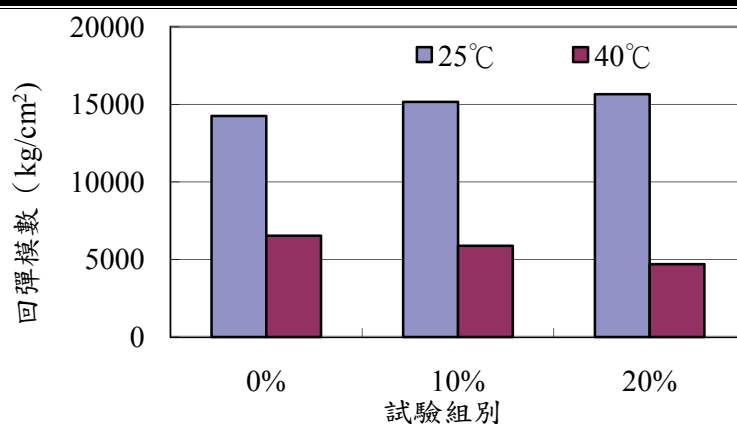


圖 4.52 回彈模數試驗結果比較圖

表 4.19 底碴各摻配量 25°C 回彈模數變異數分析

變異來源	平方和 SS	自由度	均方和 MS	F	P-值	臨界值
組間	104043.9	2	52021.93	6.411183	0.032391	5.143249
組內	48685.48	6	8114.247			
總和	152729.3	8				

表 4.20 底碴各摻配量 40°C 回彈模數變異數分析

變異來源	平方和 SS	自由度	均方和 MS	F	P-值	臨界值
組間	5206010	2	2603005	7.202224	0.025426	5.143249
組內	2168501	6	361416.9			
總和	7374511	8				

#### 四、潛變試驗結果分析

在本研究中，執行潛變模數試驗之前，都會如同前面回彈模數試驗的試體養治方法，在試驗溫度之下先恆溫 24 小時以上以確保瀝青混凝土內部均勻達到試驗溫度。潛變模數值會影響材料永久變形量的大小，因為潛變模數值在 Burger's model 中為線性假設，若時間愈長，所累積之變形量就愈大，而潛變模數值與變形量的大小成反比，潛變模數值愈小則變形就愈大，因此由潛變模數值的大小可以預估是否容易產生車轍。

試驗結果如表 4.21 所示，由試驗結果比較圖 4.53，很明顯可看出使用相同瀝青在相同應力時間下，使用底碴取代細粒料之瀝青混凝土抗變形能力較一般天然級配粒料低，取代 10% 與 0% 相比其潛變模數相差不多，而當取代 20% 時潛變模數值就有明顯差異，因此可得知少量取代可能造成影響不大，當取代超過一定量時其差異性就可明顯看出，這與其他實驗結果影響變因是非常相近的。若再由表 4.22、表 4.23 變異數分析結果得知無論在 25°C 及 40°C，在材料上使用底碴均會有明顯差異，因此使用底碴於瀝青混凝土中其對於變形方面是有一定的影響，相對於車輪跡試驗結果方面也應是有相同的呼應。

表 4.21 靜態潛變試驗結果

試驗組別	潛變模數 ( $\text{kg}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ )	
	25°C	40°C
0%-1	292491	141998
0%-2	289375	167000
0%-3	279522	161882
平均	287129	156960
10%-1	274825	141347
10%-2	297866	159629
10%-3	268365	141328
平均	280352	147435
20%-1	276376	129374
20%-2	264170	143171
20%-3	279727	156457
平均	273424	143000

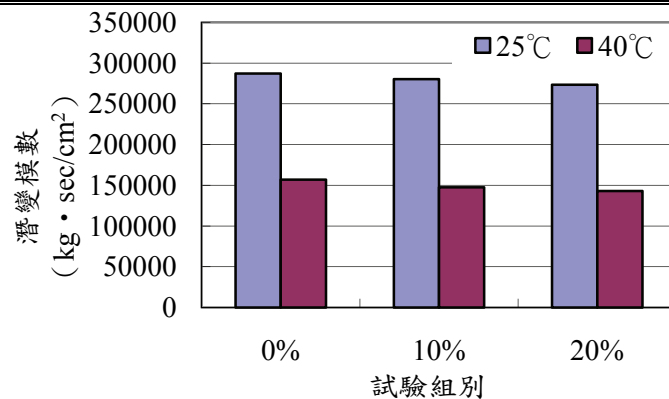


圖 4.53 潛變模數試驗結果比較圖

表 4.22 底碴各摻配量 25°C 潛變模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	2.82E+08	2	1.41E+08	1.196042	0.036546	5.143249
組內	7.07E+08	6	1.18E+08			
總和	9.88E+08	8				

表 4.23 底碴各摻配量 40°C 潛變模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	3.05E+08	2	1.53E+08	0.975634	0.04296	5.143249
組內	9.39E+08	6	1.56E+08			
總和	1.24E+09	8				



## 五、間接張力試驗結果分析

瀝青混凝土間接張力強度之物理意義為荷重作用時，造成壓力區壓應力未達極限應力，但材料張應力已先達極限應力而破壞，此破壞張應力值即為材料之極限張應力，而達到極限張應力時將產生之應變則稱為破壞應變。

本研究將分別進行 0%、10%、20% 等底碴替代量之密級配瀝青混凝土的 25℃ 及 40℃ 間接張力試驗，各組 25℃ 及 40℃ 間接張力強度及功試驗結果如表 4.24 所示，圖 4.54 及圖 4.58 分別為間接張力強度及間接張力強度-功比較圖。從圖 4.55 間接張力比較圖可看出不論在 25℃ 及 40℃，間接張力強度皆有緩慢減弱趨勢。間接張力-功的部分亦有類似此趨勢。以下分別就 25℃ 及 40℃ 間接張力強度及間接張力強度-功之試驗結果加以分析及說明。

表 4.24 間接張力試驗結果

試驗組別	25℃		40℃	
	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)
0-1	11.86	120.49	4.84	49.64
0-2	12.00	115.94	5.01	51.38
0-3	11.54	113.08	4.72	48.41
平均	11.80	116.50	4.86	49.81
10-1	10.15	115.40	3.82	39.18
10-2	11.42	119.70	4.43	45.43
10-3	11.08	115.28	4.12	42.25
平均	10.88	116.79	4.12	42.29
20-1	10.42	119.06	3.76	38.56
20-2	10.21	116.74	3.52	36.10
平均	9.57	107.75	2.55	21.38

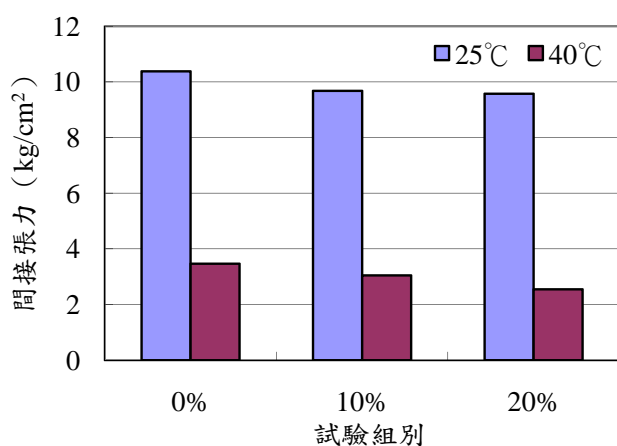


圖 4.54 間接張力強度比較圖

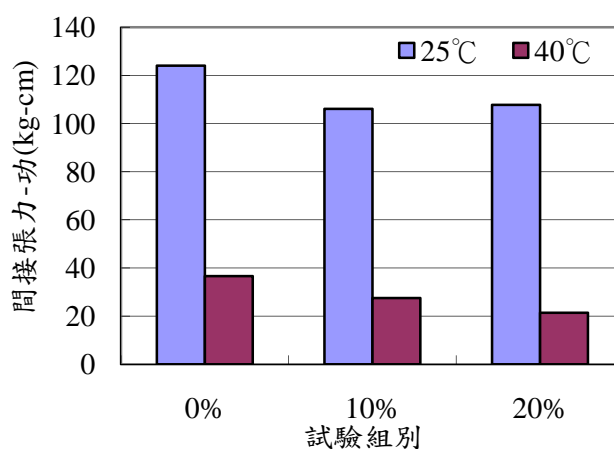


圖 4.55 間接張力-功比較圖

## 1.間接張力

由表 4.25 及表 4.26 可以得知 P 值均小於 0.05，顯示底碴添加量對間接張力的強度有影響，而且添加越多間接張力強度越弱，間接張力 0%>10%>20%，但數值上相差不大，主要原因還是底碴添加量不多，再加上有添加底碴的瀝青混凝土，瀝青膠泥含量較多，因此對於間接張力強度影響不致太高。

表 4.25 25℃ 間接張力變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	1.454433	2	0.727217	51.63669	0.004743	9.552082
組內	0.04225	3	0.014083			
總和	1.496683	5				

表 4.26 40℃ 間接張力變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.876933	2	0.438467	16.19951	0.024671	9.552082
組內	0.0812	3	0.027067			
總和	0.958133	5				

## 2.間接張力-功

間接張力-功主要用來評估瀝青混凝土破壞前所能吸收之功，即破壞前之強度乘上變形量。由表 4.27 及表 4.28 可以得知 P 值均小於 0.05，顯示不同底碴添加量對間接張力-功是有顯著的影響，由一般文獻得知間接張力-功的影響原因歸咎於不同瀝青混凝土的孔隙率不同、瀝青膠泥等級、瀝青膠泥含量、粒料的結構，而本次研究都使用同一批瀝青膠泥，因此主要原因還是來自於瀝青膠泥含量、級配不同及粒料差異。

表 4.27 25℃ 間接張力-功變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	409.1104	2	204.5552	625.5192	0.000117	9.552082
組內	0.98105	3	0.327017			
總和	410.0915	5				

表 4.28 40℃ 間接張力-功變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	243.3844	2	121.6922	1581.788	2.92E-05	9.552082
組內	0.2308	3	0.076933			
總和	243.6152	5				

## 六、浸水殘餘強度試驗結果分析

本試驗根據 AASHTO T283-89 試驗規範進行，在實驗室中利用部分真空抽氣將水份貫入試體內部，使試體達到 55~80%之飽和度，以模擬實際路面在各種作用力下，水份滲入其內部之情形，之後將預備好之試體置入 $-18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 冷凍室中養治 16 小時，再放入 $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恆溫水槽養治 24 小時，用以模擬冷熱循環下，孔隙水壓對試體之影響，進而造成瀝青與粒料剝脫之現象。試驗結果如表 4.29。

由表 4.29 浸水殘餘間接張力試驗結果得知添加底碴對瀝青混凝土抗剝脫能力是隨著添加量增加而逐漸降低，再由圖 4.56 TSR 比較圖、圖 4.57 間接張力-功比較圖 0%對照組與摻配 10%底碴實驗組 TSR 值相差約 4%，而當添加至 20%添加量時 TSR 值與未添加約 9%，但還是可滿足一般所要求的規範值 75%，探討降低可能是由於底碴中含有過多孔隙再加上材料本身結構強度較弱，因此添加量過多相對的抗剝脫能力可能也會降低，若未來底碴使用於一般瀝青混凝土，可以適當的添加少量石灰，增加瀝青的抗剝脫能力。

表 4.29 浸水殘餘間接張力試驗結果

試驗組別	未凍融試體		凍融試體		TSR%	功比%
	間接張力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	功 ( $\text{kg}\cdot\text{cm}$ )	間接張力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	功 ( $\text{kg}\cdot\text{cm}$ )		
0-1	8.97	98.20	8.18	84.32	91.19	85.87
0-2	9.26	101.87	8.69	89.63	93.84	87.98
0-3	9.52	104.12	8.34	86.75	87.61	83.32
平均	9.25	101.40	8.40	86.90	90.88	85.72
10-1	10.93	126.85	9.65	106.80	88.29	84.19
10-2	11.75	136.32	9.86	108.10	83.91	79.30
10-3	11.10	133.57	9.31	103.25	83.87	77.30
平均	11.26	132.25	9.61	106.05	85.36	80.26
20-1	9.86	107.31	8.16	84.28	82.76	78.54
20-2	9.88	108.20	7.96	81.32	80.57	75.16
20-3	10.03	109.63	8.21	86.94	81.85	79.30
平均	9.92	108.38	8.11	84.18	81.73	77.67

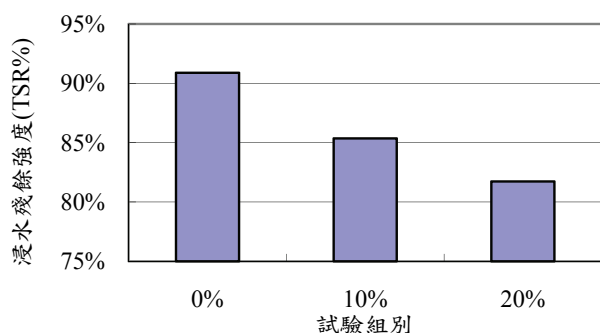


圖 4.56 TSR 比較圖

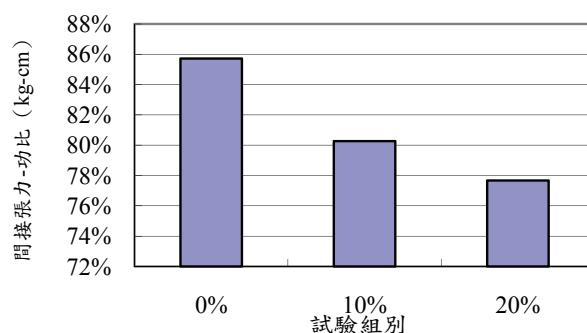


圖 4.57 間接張力-功比較圖

## 七、車轍輪跡試驗結果分析

本研究利用輪跡試驗儀模擬行駛中的車輛輾壓路面情況，以一特定胎壓在壓實後的瀝青混凝土試體上反覆滾動輾壓，觀測其變形情形並加以記錄。輪跡試驗除了觀測車轍之最終變形量外，並以滾動次數及相對之變形量繪製關係曲線，並以動穩定值 (Dynamic Stability) 及變形率 (Rate of Deformation, RD) 來評估瀝青混凝土試體抵抗高溫車轍變形的能力。所謂動穩定值乃是試體每單位減少量所需的輾壓次數 (次數/min)，而變形率則是單位時間內試體之垂直變形量 (mm/min)。

本研究分別對底碴摻配量 0%、10%、20% 等三組不同配比進行車轍輪跡試驗，並以試驗溫度 60℃ 做為模擬台灣夏天路面的溫度，以求得與現地路面相同的車轍現象。試驗結果如表 4.30 所示，變形量與輾壓次數關係曲線如圖 4.61 所示。

表 4.30 車轍輪跡試驗結果

配比組	車轍變形量 (mm)								動穩定值 (次/mm)	變形率 (mm/次)
	0	300	600	900	945	1200	1260	1500		
0%	0.00	3.58	5.23	6.03	6.59	7.06	7.34	7.69	840.00	0.05
10%	0.00	3.82	5.28	6.30	6.83	7.29	7.67	7.82	750.00	0.06
20%	0.00	3.78	5.61	6.40	6.98	7.77	8.02	8.59	605.77	0.07

由試驗結果及圖 4.58 車轍沉陷量變化曲線可看出經過添加底碴的瀝青混凝土其總車轍沉陷量均大於未添加的對照組，尤其添加 20% 的底碴其總沉陷特別明顯，在滾壓初期差異性並不大，而當達到 1200 次滾壓時差異性就特別明顯，會有此原因可能由於初期時底碴還可承受足夠的抵抗車轍變形能力，而當經過 1200 下滾壓後，底碴已無法承受或是都已破碎，因而車轍變形量逐漸增加。另外由於本次實驗瀝青膠泥採用 AC-10，因此抵抗變形能力不如一般採用其他黏滯度較高的瀝青，因此未來底碴在使用上亦可搭配黏滯度較高的瀝青膠泥，以增加抵抗車轍變形能力。

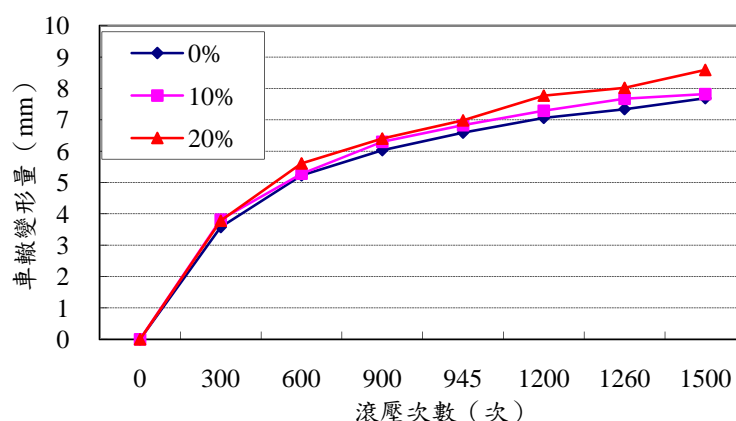


圖 4.58 變形量與輾壓次數關係曲線

車轍輪跡試驗結果對於總變形量之量測，已包含了再壓密變形、黏彈性變形及塑性變形。為能了解其變形趨勢趨向穩定時瀝青混凝土抵抗變形的能力，本研究同時加以計算穩定值 (DS) 及變形率(RD)。動穩定值愈大或變形率愈小，即代表抵抗變形的能力也愈高。本研究擷取滾壓最後階段的 945~1260 次間之直線段計算 DS 及 RD 。各組動穩定值及變形率比較如圖 4.59、4.60 所示。

動穩定值是以未添加底碴的對照組高於有添加底碴實驗組，而變形率則與動穩定值成反比，以未添加底碴對照組最低，添加 20%的實驗組為最高。

整體來說使用底碴來取代細粒料，可能會由於底碴本身結構強度不足，因此影響了瀝青混凝土抵抗車轍的變形能力，未來如果要改善此現象可朝使用較高黏滯度瀝青膠泥，並且搭配一定的底碴用量，應可減少車轍變形量。

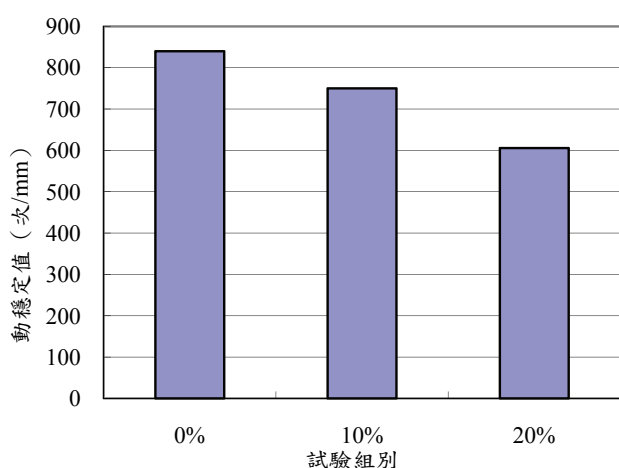


圖 4.59 動穩定值比較圖

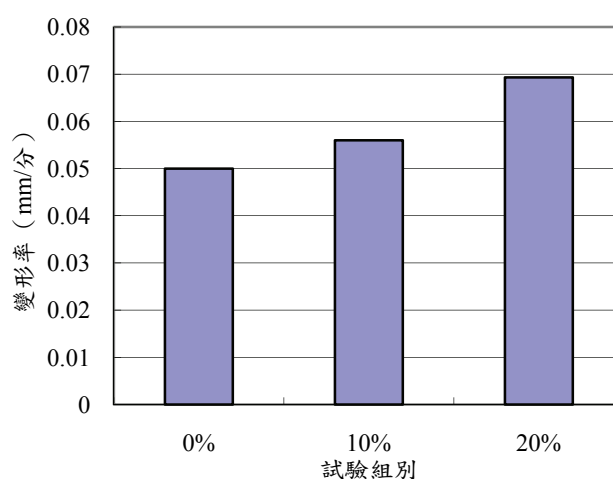


圖 4.60 變形率比較圖

#### 八、壓密性與級配分析之探討

由於底碴比重小吸水率較高，因此將底碴用於替代瀝青混凝土中的細粒料恐讓人有『級配降格』的疑慮，因此為了瞭解此情形本研究採用超級鋪面旋轉壓實機 (Suprepave Gyrotory Compactor, SGC) 製作不同級配之瀝青混凝土試體，對底碴之應用作一評估。

首先我們先利用由馬歇爾試驗所得之最佳含油量配合製作 SGC 試體與 Gmm 試樣，進一步求得壓實圈數與壓密度的關係即所謂的『壓實曲線』，如圖 4.61。由圖 4.61 可以明顯看當要使壓密度達到 96%所需要的壓實圈數，分別是 0%>10%>20%，因此有添加底碴的 SGC 試體需要更高的壓實能量才可達到所需求的壓密度。

由表 4.31 級配降格比較表中可看出，天然級配粒料在滾壓後級配降格情形並不是非常明顯，而當有添加細粒料底碴時，經滾壓之後其級配降格就非常明顯，其降格嚴重性隨底碴添加量增加而增加，再由圖 4.62、圖 4.63、圖 4.64 來比較更可明顯看出添加 20%的底碴在 0.30mm 的粒徑其通過百分比更超過規範值上限的標準，而整個底碴降格

情形均發生在細粒料部分，證明相關文獻對底碴物理性能方面較弱的說明，因此未來對底碴使用的添加量可能要控制在 30% 以下，並且整體級配必須由接近級配下限調整，以避免因級配降格情形而導致超出規範標準。

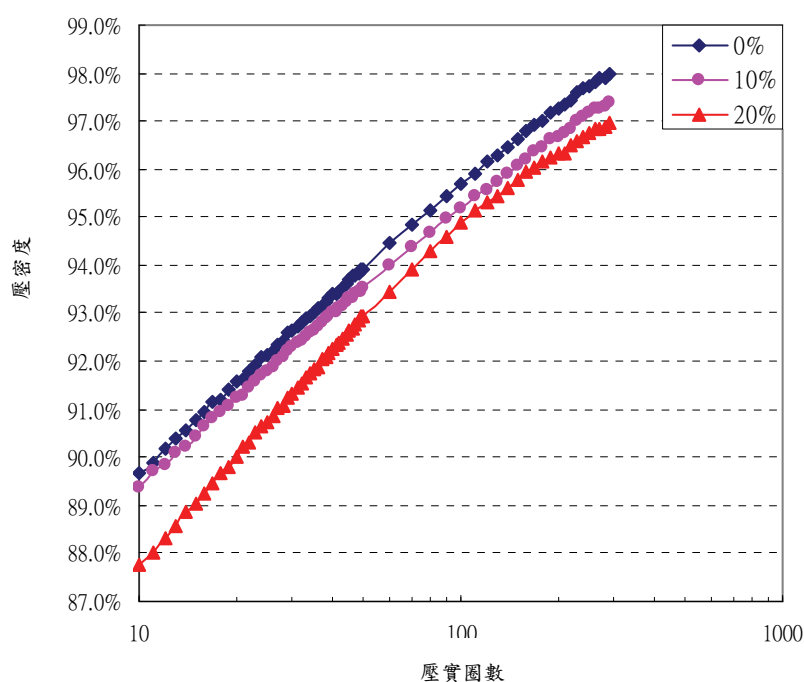


圖 4.61 壓密度與壓實圈數之關係

表 4.31 壓實後級配降格比較表

篩號	設計值	壓實後級配			規範值	
		0%	10%	20%	下限	上限
1+1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	95.9	96.0	96.4	96.8	80.0	100.0
1/2"	81.5	84.4	85.0	85.6	70.0	90.0
3/8"	75.2	75.1	77.4	75.7	60.0	80.0
#4	52.6	53.0	56.1	55.3	48.0	65.0
#8	42.2	42.1	46.4	46.7	35.0	50.0
#16	32.0	32.1	34.9	34.6	27.0	40.0
#30	27.3	27.7	30.0	28.9	19.0	30.0
#50	19.1	20.5	22.8	23.3	13.0	23.0
#100	8.4	9.4	13.9	13.6	7.0	15.0
#200	2.0	4.3	5.0	6.7	0.0	8.0

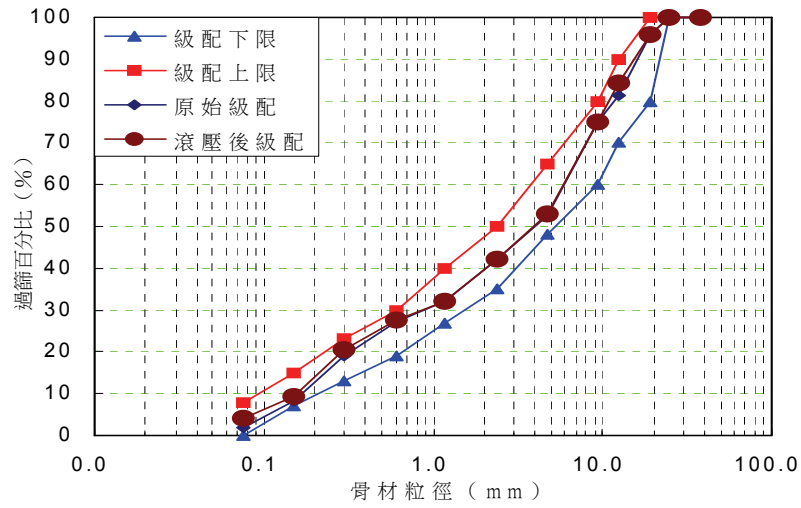


圖 4.62 對照組級配降格情形

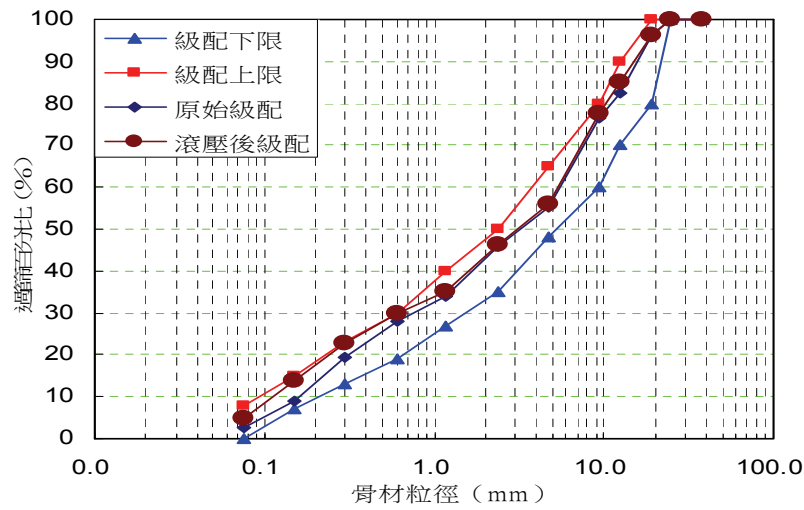


圖 4.63 添加 10%底碴級配降格情形

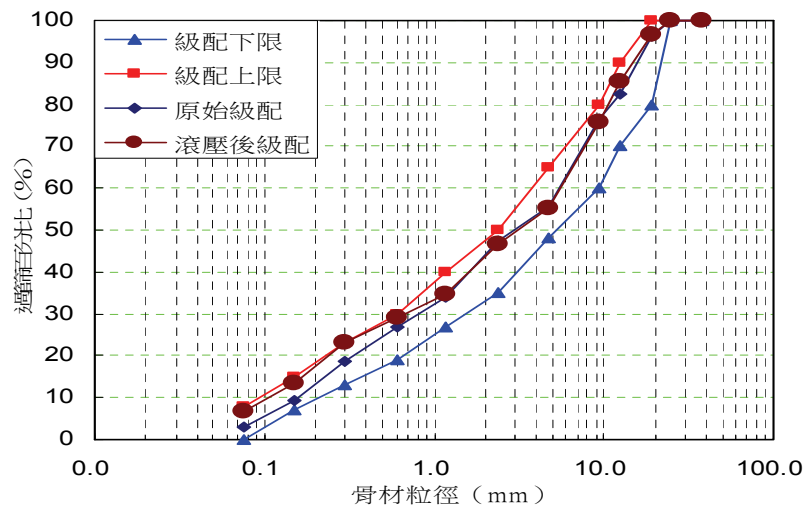


圖 4.64 添加 20%底碴級配降格情形

#### 4.1.4 瀝青處理底層試驗結果分析

一般在規範上對於瀝青處理底層的規定並無像面層來得嚴格，再加上瀝青處理底層上還有面層，可以避免掉色澤、鏽斑等問題，因此底碴於瀝青處理底層上的使用就較容易被接受，所以本研究也特別對底碴應用於瀝青處理底層做相關成效試驗，進一步瞭解底碴在此方面應用情形。

##### 一、馬歇爾配合設計結果

本研究採馬歇爾法進行瀝青混凝土配合設計，在底碴取代量上直接以替代 20% 細粒料，以求出在與面層相同的最大替代量下，其單位重、穩定值、流度值、V.M.A、Va、V.F.A 及最大理論密度，如表 4.32 所示。

表 4.32 瀝青處理底層試驗結果

組別	含油量	空隙率	穩定值	流度值	單位重
0%	4.5%	7.5%	1805	9.3	2.255
20%	4.57%	7%	1450	13.5	2.275
規範值	3%~5%	3%~10%	817	8~18	-

由試驗結果得知所有實驗值均可以滿足規範所要求的規定，而穩定值均高於 817 kg 的規定，但是添加底碴有下降的趨勢，顯示添加底碴會影響瀝青處理底層強度，至於流度值方面，添加底碴之後有增加流度值趨勢，顯示添加底碴之後的瀝青處理底層對於抵抗車轍變形的能力降低。以上兩個試驗結果均顯示底碴對瀝青處理底層有影響，但以添加 20% 底碴量而言，各項試驗結果均顯示與規範值還有一段距離，因此可再增加底碴使用量用於瀝青處理底層之中。

##### 二、回彈模數試驗結果分析

瀝青處理底層在回彈模數試驗方面與面層有相同的結果，都是有添加底碴的瀝青混凝土在 25℃ 時有較高的回彈模數，這表示在低溫時底碴瀝青混凝土其黏塑性會較低，而在高溫 40℃ 時底碴的瀝青混凝土其回彈模數又較低，因此對於抵抗推擠變形的能力也就較差。



表 4.33 瀝青處理底層回彈模數試驗結果

試驗組別	瀝青處理底層	
	25℃	40℃
0%-1	13731	6515
0%-2	12698	7051
0%-3	13339	6957
平均	13256	6841
20%-1	14549	4960
20%-2	13514	4598
20%-3	15584	6102
平均	14549	5219

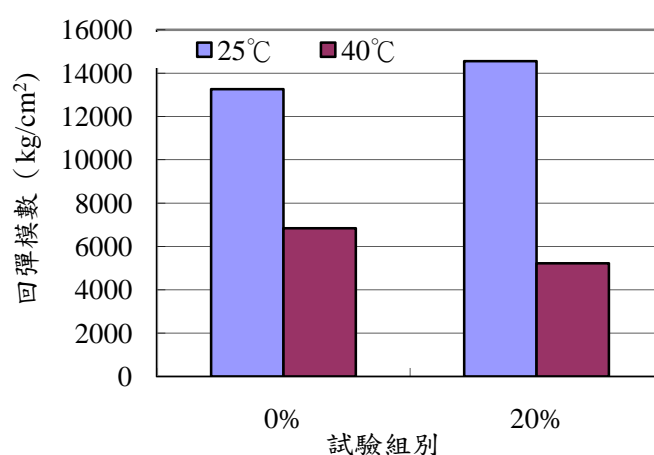


圖 4.65 瀝青處理底層回彈模數比較圖

如果再從單因子變異數分析來進行檢定，以  $\alpha=0.05$  為檢定基準，當 P 值大於  $\alpha$  則表示，則表示同意虛無假設，由表 4.34、4.35 得知 25℃ 及 40℃ P 值均小於 0.05，即表示底渣添加量多寡有顯著差異，因此可推斷底渣添加量對回彈模數方面會造成影響，而且添加量增加無論對於面層或是瀝青處理底層均有相同結果，對瀝青混凝土無論在高溫低溫會有不當影響。

表 4.34 瀝青處理底層 25℃ 回彈模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	7887538	1	7887538	11.73869	0.026629	7.70865
組內	2687707	4	671926.7			
總和	10575245	5				

表 4.35 瀝青處理底層 40℃ 回彈模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	3941462	1	3941462	11.28831	0.02831	7.70865
組內	1396652	4	349163.1			
總和	5338114	5				

### 三、潛變試驗結果分析

由表 4.36 瀝青處理底層靜態潛變試驗結果可以看出瀝青處理底層其靜態潛變模數不如面層來的高，如果添加底碴過後不管是在 25℃ 及 40℃ 其靜態潛變模數也是較未添加底碴對照組低，而再由變異數分析來看其所得的結果也是顯示添加底碴與未添加底碴有明顯差異性，因此底碴對於瀝青混凝土中抵抗變形的能力是有一定的影響，如果要使用底碴還是必須與面層一樣注意使用量。

表 4.36 瀝青處理底層靜態潛變試驗結果

試驗組別	瀝青處理底層	
	25℃	40℃
0%-1	151792	118047
0%-2	159694	129285
0%-3	157053	116734
平均	156180	121355
20%-1	134904	109574
20%-2	131612	107921
20%-3	143452	95115
平均	136656	104203

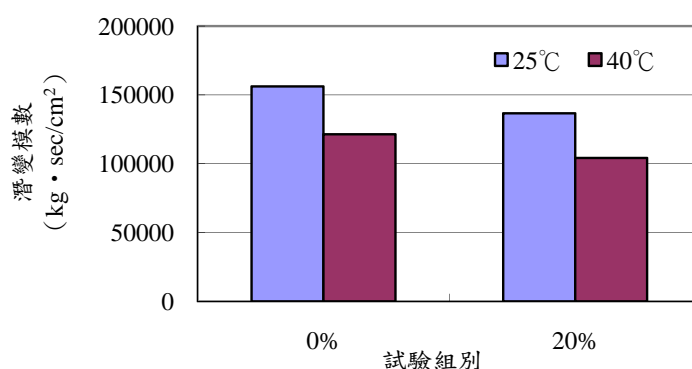


圖 4.66 瀝青處理底層潛變模數試驗結果比較圖

表 4.37 瀝青處理底層 25℃ 潛變模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	5.72E+08	1	5.72E+08	21.35947	0.009869	7.70865
組內	1.07E+08	4	26767618			
總和	6.79E+08	5				

表 4.38 瀝青處理底層 40℃ 潛變模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	4.41E+08	1	4.41E+08	8.007148	0.04736	7.70865
組內	2.2E+08	4	55109819			
總和	6.62E+08	5				

#### 四、間接張力試驗結果分析

由表 4.39 間接張力試驗結果顯示添加底碴瀝青處理底層間接張力低於未添加的對照組，但其所相差的間接張力並不多，但再從變異數分析之後得知，底碴於間接張力的影響無論是在 25℃ 或是 40℃ 都是非常顯著的。

表 4.39 間接張力試驗結果

試驗組別	25℃		40℃	
	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)
0%-1	9.76	97.29	2.32	20.87
0%-2	9.82	98.52	2.22	21.34
0%-3	9.15	91.68	2.86	21.58
平均	9.58	95.83	2.47	21.26
20%-1	8.35	86.38	1.97	19.87
20%-2	8.41	82.61	1.93	18.72
20%-3	8.91	83.33	2.17	20.13
平均	8.56	84.11	2.02	19.57

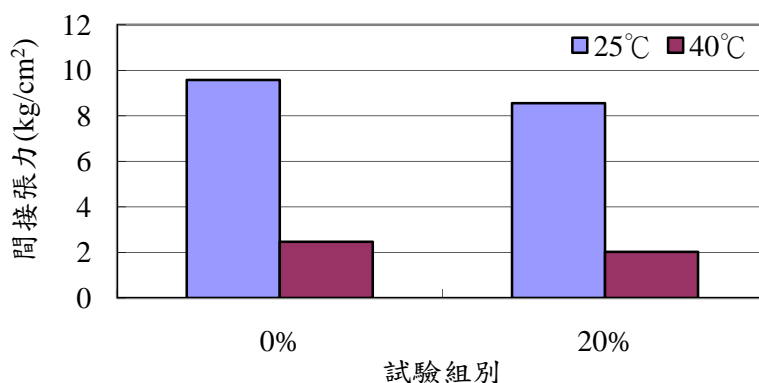


圖 4.67 間接張力強度比較圖

表 4.40 25℃ 間接張力變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	1.5606	1	1.5606	13.45538	0.021426	7.70865
組內	0.463933	4	0.115983			
總和	2.024533	5				

表 4.41 40℃ 間接張力變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.36015	1	0.36015	7.420673	0.042764	7.70865
組內	0.194133	4	0.048533			
總和	0.554283	5				

而再從間接張力-功變異數分析結果得知，底碴對於此方面的影響也是非常顯著的，而且底碴瀝青混凝土在破壞之前所能吸收的功無法向一般瀝青混凝土來的高。試驗結果如圖 4.68、變異數分析如表 4.42、表 4.43。

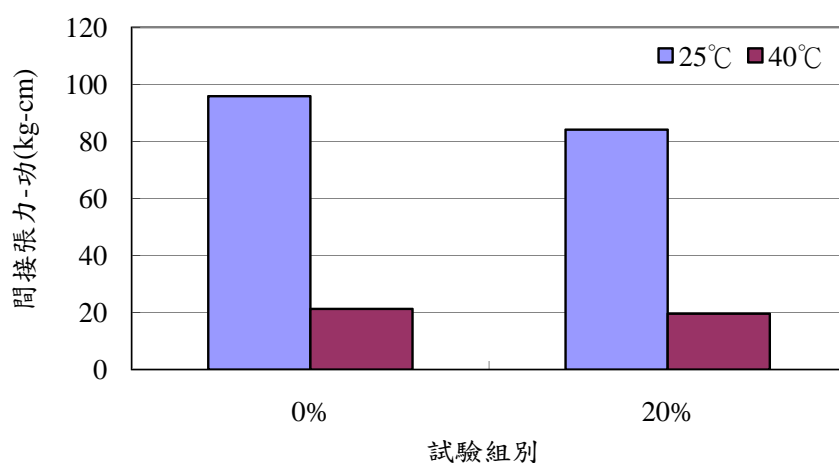


圖 4.68 間接張力-功比較圖

表 4.42 25°C 間接張力變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	206.1548	1	206.1548	23.83192	0.00815	7.70865
組內	34.60147	4	8.650367			
總和	240.7563	5				

表 4.43 40°C 間接張力變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	4.28415	1	4.28415	12.35575	0.024559	7.70865
組內	1.386933	4	0.346733			
總和	5.671083	5				

由上面幾項評估可發現，在使用相同瀝青膠泥下，底碴對於瀝青處理底層間接張力和功還是有一定程度的影響，而這影響則隨添加量增加而改變，所以如何調整最適當的用量還是得是其他成效試驗結果來決定，但若以間接張力部分來決定，20%的添加量對瀝青處理底層還是可已接受。

## 4.2 轉爐石

轉爐石係煉鋼過程中之副產物，根據聯合國 1979 年世界主要鋼鐵生產國家之煉鋼爐渣的利用情況資料，顯示煉鋼爐渣以利用在道路方面最多，其次是肥料用、再利用及少量作為水泥用，先進國家法國、日本、西德煉鋼爐渣之利用率皆達到 80% 以上，美國亦將煉鋼爐渣用在瀝青混凝土骨材、鐵路之道渣、道路的路基、土木工程填築料等其他用，充分做到資源回收再利用，使煉鋼爐渣不再是工業廢棄物反而具經濟價值。

### 4.2.1 粒料基本性質

本研究使用轉爐石添加於瀝青混凝土中，取代瀝青混凝土中之粗粒料，依不同摻配比例分別進行成效試驗，並加以分析轉爐石對瀝青混凝土之影響及成效提升；摻配比例分別為 0%、20%、40% 及 60%，本研究使用之轉爐石基本物理性質及篩分析資料如表 4.44 與表 4.45。

表 4.44 轉爐石物理性質

轉爐石	比重	吸水率%	磨損率%	扁平率%	破碎面%	健性%
1"	3.421	1.38	16.42	5.2	100	0.1
3/4"	3.438	1.59	16.63	4.7	100	0.2
3/8"	3.337	2.54	25.5	0.8	100	0.1

表 4.45 轉爐石篩分析表(%)

篩號	3/4"BOF	1/2"BOF	3/8"BOF
1"	100.0	100.0	100.0
3/4"	75.4	100.0	100.0
1/2"	3.5	63.7	100.0
3/8"	0.5	9.9	95.5
#4	0.3	0.5	27.9
#8	0.2	0.4	0.9
#16	0.2	0.4	0.7
#30	0.2	0.4	0.7
#50	0.2	0.4	0.7
#100	0.1	0.3	0.6
#200	0.1	0.3	0.5
底盤	0.0	0.0	0.0

本研究使用之轉爐石經岩性分析結果由○○公司提供，分析後所得之化學組成如表 4.46，與之前研究所使用之轉爐石相比，雖然製程不同，但其所產生之轉爐石化學成份相差不大。

表 4.46 轉爐石化學組成(%)

成份	新製程之轉爐石	轉爐石
CaO	39.47	42.9
FeO	21.05	20.7
SiO <sub>2</sub>	10.21	10.9
MgO	5.69	7.2
MnO	3.9	5.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62	1.5
TiO <sub>2</sub>	0.56	1.4

天然粒料部分，本研究因初期配合設計失敗，遂選擇使用苗栗地區之河床圓石，經離心式破碎後所得之粗細粒料，其物理性質與篩分析資料如表 4.47 與表 4.48。

表 4.47 天然粒料物理性質

天然粒料	比重	吸水率%	磨損率%	扁平率%	破碎面%	健性%
1"	2.626	0.78	14.4	0.5	98.7	0.1
3/4"	2.634	0.65	14.6	0.9	100	0.1
3/8"	2.617	0.88	22.7	0.8	100	0.1
砂	2.592	1.30	--	--	--	0.1

表 4.48 天然粒料篩分析表(%)

篩號	天然 6 分	天然 3 分	天然 2 分	砂
1"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	45.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	0.7	68.8	100.0	100.0
3/8"	0.2	10.0	100.0	100.0
#4	0.2	0.3	5.3	100.0
#8	0.2	0.3	0.2	57.6
#16	0.2	0.3	0.2	34.4
#30	0.2	0.3	0.2	23.0
#50	0.2	0.3	0.2	15.9
#100	0.2	0.3	0.2	10.7
#200	0.2	0.2	0.2	6.5
底盤	0.0	0.0	0.0	0.0

#### 4.2.2 瀝青材料與纖維基本性質

本研究所使用之瀝青材料為改質三型瀝青，是由民間廠商自行調製而成，其基本試驗結果如表 4.49；根據 60℃ 與 135℃ 之黏滯度試驗繪製黏滯度與溫度關係圖，並由圖中判斷拌合溫度與滾壓溫度分別為  $182\pm 5^{\circ}\text{C}$  與  $172\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

表 4.49 改質三型瀝青物理性質

試驗項目	單位	試驗值	規範值
60℃ 黏滯度	poise	15000	>8000
135℃ 黏滯度	poise	1606	<3000
25℃ 針入度	1/10mm	41	>35
25℃ 比重試驗	--	1.023	--
閃火點 COC	℃	超過 240	>232
三氯乙烯溶解度	%	99.5	>99
離析試驗	℃	1.5	--
RTFOT 彈性回復率	%	86	>70
RTFOT 針入度	1/10mm	17	>10

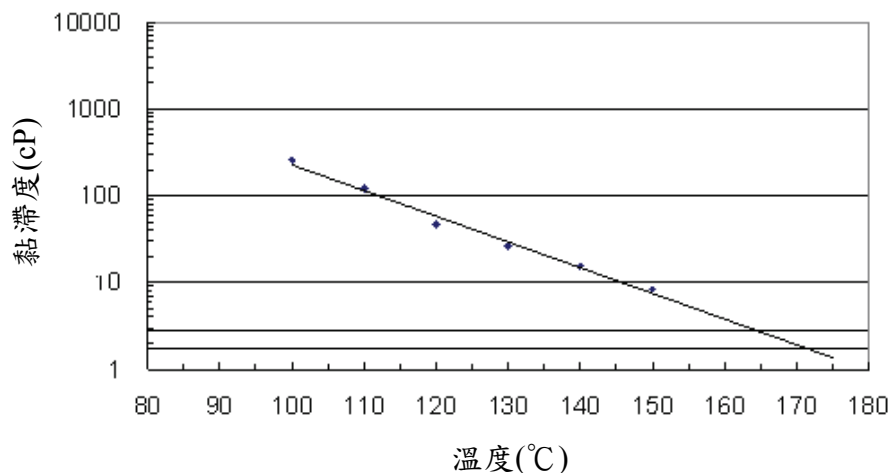


圖 4.69 改質三型瀝青黏滯度與溫度關係圖

纖維部份，使用瑞典進口之礦物纖維，經物性試驗後確定其符合規範要求，其基本物性檢驗結果如表 4.50

表 4.50 纖維物理性質

礦物纖維檢驗方法		單位	試驗值
纖維長度		mm	1.35
纖維直徑		μm	4.83
非纖維材料 (Shot Content)	通過 # 60	%	95.0
	通過 # 230	%	69.0

### 4.2.3 排水性瀝青混凝土配合設計

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 02797 章附錄所訂定之排水性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，並施作嘗試級配確定混合料級配曲線及目標孔隙率，再利用垂流與飛散試驗確定設計含油量，最後依所得之工作拌合公式與設計含油量製做成效試體。

本研究所得之配合設計結果，在含油量部分，所有摻配比例之設計含油量皆為 5.1%，而各摻配比例之工作拌合公式與配合設計結果如表 4.51 與表 4.52

表 4.51 各摻配比例之工作拌合公式

篩號	過篩百分比(%)			
	BOF 0%	BOF 20%	BOF 40%	BOF 60%
1"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	97.3	96.0	97.5	96.3
1/2"	76.3	72.5	72.2	70.9
3/8"	41.0	40.3	40.1	46.6
#4	21.0	19.3	18.6	19.2
#8	13.4	11.7	10.7	10.1
#16	9.7	8.7	8.1	7.8
#30	7.8	7.2	6.8	6.6
#50	6.7	6.2	5.9	5.8
#100	5.5	5.2	5.0	4.9
#200	4.0	3.8	3.7	3.7

表 4.52 排水性瀝青混凝土配合設計結果

試驗項目	配合設計結果				規範要求
	0%	20%	40%	60%	
含油量(%)	5.1	5.1	5.1	5.1	--
穩定值(kgf)	810.6	876.0	799.6	871.3	大於 350
流度值(0.1in)	19.7	33.5	21.6	19.0	20~40
飛散試驗 Cantabria(%)	4.24	7.23	5.04	7.36	25 以下
垂流試驗(%)	0.106	0.077	0.078	0.072	0.3 以下
孔隙率(%)	17.98	21.84	21.32	17.02	15-25%

### 4.2.4 排水性瀝青混凝土成效試驗分析

利用配合設計試驗所得到之各組工作拌合公式及瀝青添加量，製作成效試驗試體，進行回彈模數試驗、車轍試驗、滯留強度等相關成效試驗，以下各節將針對各成效試驗結果進行分析討論。



## 一、回彈模數試驗

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，利用電腦記錄每次試驗所得到之各項參數，利用公式計算各組試體之回彈模數值，各組試體之回彈模數試驗結果如表 4.53 及 4.54。

表 4.53 25℃ 回彈模數試驗結果

試體編號	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
1	16980	15872	20711	40555
2	17026	13222	21658	30808
3	15287	17533	17426	18524
4	14090	18571	16409	26568
5	16497	22984	12757	19067
6	14673	18379	17747	36835
7	23684	16889	25563	13925
8	15708	17031	19861	18625
9	15665	19485	18932	15077
10	19395	19672	15828	14666
平均	16900	17964	18689	23465

表 4.54 40℃ 回彈模數試驗結果

試體編號	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
1	3647	5698	7224	9221
2	1420	6518	5510	5329
3	1895	6822	4893	5460
4	2099	5098	4212	7238
5	6410	4645	4791	6051
6	5736	4659	5764	4308
7	5544	7135	6488	6328
8	6594	9515	6869	4845
9	8459	10855	6563	7951
10	3937	4666	4382	4596
平均	4574	6561	5670	6133

25℃ 試驗方面，經過變異數分析後發現，各組回彈模數沒有顯著差異，但檢定結果中 P 值趨近於 0.05，因此接受無顯著差異的信心略嫌不足，將試驗結果再進行迴歸分析，分析結果  $R^2$  為 0.155988，而相關係數 R 即為 0.394953 呈現低度正相關，表示添加轉爐石對回彈模數並無太大影響，變異數分析結果如表 4.55，迴歸分析結果如表 4.56。

表 4.55 25℃ 回彈模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	2.53E+08	3	84183656	2.796096	0.054016	2.866266
組內	1.08E+09	36	30107574			
總和	1.34E+09	39				

表 4.56 25℃ 回彈模數迴歸分析

迴歸統計		自由度	SS	MS	F	顯著值	
R 的倍數	0.394953	迴歸	1	2.08E+08	2.08E+08	7.023044	0.011663
R 平方	0.155988	殘差	38	1.13E+09	29683102		
調整的 R 平方	0.133777						
標準誤	5448.22						
觀察值個數	40	總和	39	1.34E+09			

40℃ 試驗方面，變異數分析結果與 25℃ 試驗相同，各組回彈模數無顯著差異存在，而迴歸分析的結果 R 值也僅 0.221704，相關性很低，因此本研究推論使用轉爐石取代天然粒料，對排水性瀝青混凝土回彈模數表現無顯著影響，40℃ 變異數分析與迴歸分析結果如表 4.57 與表 4.58。

表 4.57 40℃ 回彈模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	21925709	3	7308570	2.126087	0.113983	2.866266
組內	1.24E+08	36	3437569			
總和	1.46E+08	39				

表 4.58 40℃ 回彈模數迴歸分析

迴歸統計		自由度	SS	MS	F	顯著值	
R 的倍數	0.221704	迴歸	1	7160463	7160463	1.964352	0.169164
R 平方	0.049153	殘差	38	1.39E+08	3645204		
調整的 R 平方	0.02413						
標準誤	1909.242						
觀察值個數	40	總和	39	1.46E+08			

## 二、車轍輪跡試驗

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℃，所以本研究將試驗控制於 60℃ 執行，車轍

試驗試體依配合設計結果進行拌合，在試體壓實度方面，依照 SGC 試體製作過程中所得之試體虛比重作為控制，SGC 試體製作過程中可記錄每回旋轉壓實所造成之試體高度變化，再對應最大理論密度可得到孔隙率 20% 時之試體虛比重，將此試體虛比重資料對應試體模大小可得到每組試體所需使用之混合料重量，確保每組試體的孔隙相等，並減少試體製作所產生之變異。

車轍結果可繪製成滾壓次數與車轍深度關係圖，如圖 4.70，將試驗數據經公式計算後可得到各組試體之動穩定值(DS)，車轍試驗結果如表 4.59，將動態穩定值結果與轉爐石添加比例繪製成趨勢圖可發現，其中  $R^2$  為 0.6284，R 即為 0.7927 呈現高度正相關，表示轉爐石添加比例增加有助於排水性瀝青混凝土動態穩定值之提升，將添加百分比 20%~60% 之試體繼續滾壓至 6000 下，得到車轍深度各為 9.51mm、6.19mm 及 4.77mm。

表 4.59 車轍輪跡試驗結果

滾壓次數	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
600	2.68	2.31	2.3	2.9
1200	3.9	2.49	2.94	3.43
1800	4.51	3.17	3.69	3.69
1890	4.55	3.23	3.87	3.82
2400	5.01	3.88	4.16	3.97
2520	5.12	3.99	4.39	4.09
3000	5.43	4.44	4.72	4.26
動穩定值 (次/mm)	1105	829	1211	2300

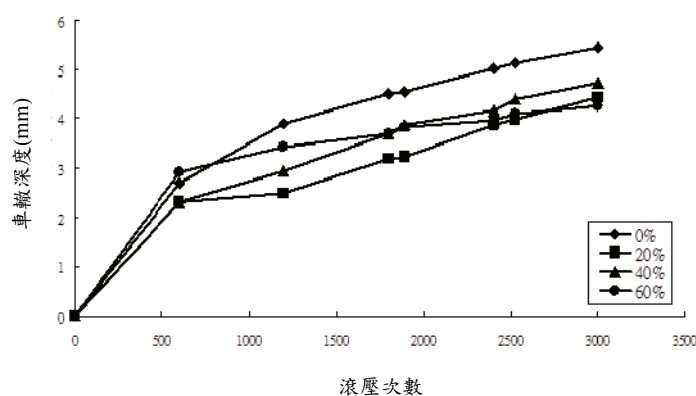


圖 4.70 滾壓次數與車轍深度關係圖

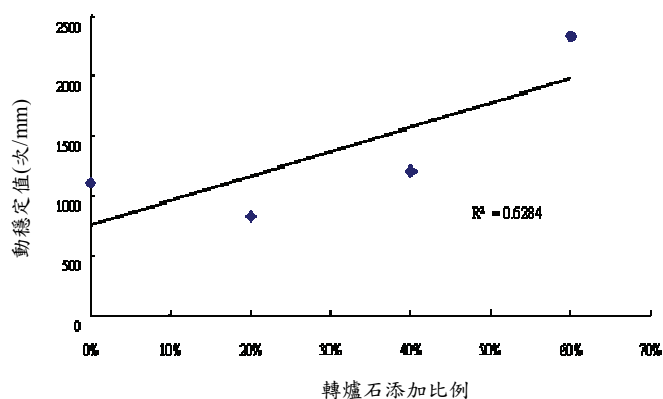


圖 4.71 轉爐石添加比例與動穩定值趨勢圖

### 三、滯留強度指數試驗

排水性瀝青混凝土在功能設計及使用上，須讓水分通過其內部結構，因此預期其受環境因素影響，進行滯留強度指數試驗，本試驗依據施工綱要規範第 02797 章所訂定之排水性瀝青混凝土試驗方法進行，其中規定滯留強度指數試驗依照 AASHTO T165 進行，表 4.60 為試驗結果。

表 4.60 滯留強度指數試驗結果

轉爐石添加比例	乾試體強度(kgf)	浸水後試體強度(kgf)	滯留強度指數(%)	平均
0%	3966.8	3795.5	95.68	96.02
	3591.0	3552.4	98.93	
	3069.9	2869.2	93.46	
20%	3958.8	3422	86.44	90.66
	3547.6	3216	90.65	
	3087.6	2929.8	94.89	
40%	3569	3068.5	85.98	89.42
	3153.9	2928.5	92.85	
60%	3332.9	3158.1	94.76	88.63
	3330.1	2817.7	84.61	
	3130.4	2708.3	86.52	

試驗結果利用變異數分析後發現，在  $\alpha=0.05$  的情形下，各組沒有顯著差異，再將各組滯留強度指數與轉爐石添加比例進行迴歸分析，其中  $R^2$  為 0.345888，相關係數 R 等於-0.588122 接近中度負相關，由以上分析可說明轉爐石添加可能會影響滯留強度指數的表現，但本研究中各組間均無顯著變化，推測原因為各組試驗數目僅 3 顆試體，無法呈現更有力之數據，建議後續研究可針對此一試驗進行更大樣本之測試。

表 4.61 滯留強度指數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	106.2351	3	35.41171	1.934062	0.212639	4.346831
組內	128.1665	7	18.3095			
總和	234.4017	10				

表 4.62 滯留強度指數迴歸分析

迴歸統計			自由度	SS	MS	F	顯著值
R 的倍數	0.588122	迴歸	1	79.2976	79.2976	4.759112	0.057031
R 平方	0.345888	殘差	9	149.9604	16.66227		
調整的 R 平方	0.273209						
標準誤	4.081944						
觀察值個數	11	總和	10	229.258			

#### 四、抗滑試驗

利用車轍試驗試體施作，試體表面溫度為 25℃，進行試驗後利用公式轉換為 20℃ 時之 BPN，再轉換為摩擦係數，本研究除在正常試體表面進行試驗外，另於車轍滾壓後之輪跡處進行抗滑試驗，藉以模擬排水性瀝青混凝土受車輛滾壓後，車轍處之抗滑能力；在進行車轍處抗滑試驗時，需將橡皮摩擦片裁切成約 5cm 寬度，而利用裁切後的摩擦片進行試驗所得之數據，與使用正常摩擦片之試驗數據，不需做任何換算，因為摩擦片裁切後的重量損失，會在試驗前的儀器歸零步驟中得到補償，所以試驗環境相同狀況下，不論摩擦片的大小，只要於試驗前確實執行儀器歸零動作，其所得之抗滑試驗值應相同，抗滑試驗結果如表 4.63。

表 4.63 抗滑試驗結果 (20℃BPN)

轉爐石添加比例			
0%	20%	40%	60%
57.3	72.9	70.3	65.1
57.3	70.3	70.3	65.1
62.5	70.3	72.9	65.1
57.3	72.9	67.7	62.5
62.5	67.7	62.5	62.5

表 4.64 摩擦係數結果

轉爐石添加比例			
0%	20%	40%	60%
0.63	0.85	0.81	0.74
0.63	0.81	0.81	0.74
0.70	0.81	0.85	0.74
0.63	0.85	0.77	0.71
0.70	0.78	0.70	0.71

將試驗結果換算所得之摩擦係數進行變異數分析，呈現顯著差異，再利用 t 檢定方法兩兩比對，並將比對結果彙整如表 4.66；經 t 檢定分析，轉爐石添加 20%與 40%兩組無顯著差異，反應於鋪面表面摩擦係數最高，亦指抗滑能力最好，轉爐石添加 60%次之，由此可知添加轉爐石之排水性瀝青混凝土與純天然粒料之排水性瀝青混凝土相比，在開放交通初期有較好的抗滑能力。

表 4.65 摩擦係數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.07764	3	0.02588	17.25199	2.87E-05	3.238872
組內	0.024002	16	0.0015			
總和	0.101642	19				

表 4.66 摩擦係數 T 檢定表

轉爐石 添加比例	0%	20%	40%	60%
0%	--	★	★	★
20%	★	--	☆	★
40%	★	☆	--	★
60%	★	★	★	--

★：有顯著差異      ☆：無顯著差異

根據 Toan, DV “Runway Friction Performance in NZ” 一文中指出，鋪面鋪設完成開放交通後三個月，鋪面抗滑能力會有上昇之趨勢，而後又慢慢衰減，而抗滑能力上升主因在於瀝青混凝土鋪設完成時，表面會有多餘的油膜產生，開放通車後車輛行駛會將油膜移除，顯現出鋪面該有之紋理狀態，再隨著交通量的累積，漸漸將表面瀝青帶走使粒料被磨損變的圓滑，而使抗滑能力降低；因此本研究將車轍試驗完成後之試體車轍處再進行一次抗滑試驗，試驗結果如表 4.67。

表 4.67 車轍處抗滑試驗結果 (20°C BPN)

轉爐石添加比例				
0%	20%	40%	60%	
65.1	88.5	93.8	72.9	
65.1	78.1	83.3	67.7	
65.1	83.3	88.5	62.5	
65.1	88.5	93.8	72.9	
67.7	72.9	88.5	62.5	

表 4.68 車轍處摩擦係數結果

轉爐石添加比例				
0%	20%	40%	60%	
0.74	1.10	1.19	0.85	
0.74	0.93	1.01	0.77	
0.74	1.01	1.10	0.70	
0.74	1.10	1.19	0.85	
0.78	0.85	1.10	0.70	

將試驗結果進行變異數分析，其結果與未滾壓前相同，存在顯著差異，而 t 檢定比較結果也與未滾壓前相同，本研究再將滾壓前後之摩擦係數相互比較，t 檢定結果發現轉爐石添加 60% 滾壓前後摩擦係數沒有顯著差異，其餘 3 組皆有顯著差異產生，平均數顯示 3 組滾壓後之摩擦係數均高於滾壓前。

表 4.69 車轍處摩擦係數 T 檢定分析

	0%	0%	20%	20%	40%	40%	60%	60%
	滾壓前	滾壓後	滾壓前	滾壓後	滾壓前	滾壓後	滾壓前	滾壓後
平均數	0.65852	0.74706	0.82060	0.99902	0.79059	1.11892	0.72696	0.77561
變異數	0.00149	0.000262	0.00099	0.011818	0.003165	0.005515	0.000347	0.005622
t 統計	-6.04536		-5.05767		-7.58505		-1.40682	
P(T<=t) 單尾	0.001888		0.003596		0.00081		0.116111	
臨界值：單尾	2.131847		2.131847		2.131847		2.131847	
P(T<=t) 雙尾	0.003777		0.007192		0.00162		0.232222	
臨界值：雙尾	2.776445		2.776445		2.776445		2.776445	

## 六、透水試驗

實驗室透水試驗必須紀錄透水時間、透水量與試體之有效面積等參數，利用公式計算透水係數，透水係數高低與試體的孔隙率有關，尤以試體內連續孔隙體積關係最大，利用定水頭原理於實驗室內進行透水量量測，試驗結果如表 4.70，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，均有良好透水性能，將試驗結果經變異數分析後發現，各組間無顯著差異存在，顯示轉爐添加對排水性瀝青混凝土透水性能無特殊影響。

表 4.70 透水試驗結果 (CM/SEC)

試驗編號	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
1	0.303	0.399	0.578	0.309
2	0.314	0.397	0.587	0.295
3	0.321	0.397	0.590	0.278
4	0.427	0.499	0.436	0.530
5	0.455	0.495	0.432	0.518
6	0.401	0.498	0.432	0.509
7	0.680	0.340	0.443	0.535
8	0.628	0.336	0.429	0.514
9	0.638	0.340	0.438	0.496
平均	0.463	0.411	0.485	0.443

表 4.71 透水試驗變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.029455	3	0.009818	0.975716	0.414912	2.866266
組內	0.362254	36	0.010063			
總和	0.391709	39				

#### 九、膨脹壓力試驗

轉爐石中 Ca、Mg 含量佔 45%~50%，與水接觸會有膨脹反應發生，這是轉爐石一直存在之問題，而排水性瀝青混凝土的設計目的，本為使水分通過其內部達到表面排水之效果，因此在排水性瀝青混凝土應用方面，應更加注意轉爐石添加後的膨脹反應。

本試驗利用 ASTM D2844 壓實土壤之阻力(R)值和膨脹壓力試驗法進行，利用其中膨脹壓力測定方法針對本研究中各組試體進行測試，在浸泡 24 小時後發現各組皆無膨脹發生，判斷轉爐石在受到瀝青包裹後隔絕與水分接觸之機會，且瀝青膠泥有穩定體積之效果，所以轉爐石添加於排水性瀝青混凝土中，在足夠瀝青包覆下應不需考慮膨脹影響。

#### 4.2.5 石膠泥瀝青混凝土配合設計

依中央大學土木工程研究所，「石膠泥瀝青混凝土(SMA)應用於高速公路之評估(I)」一書中附錄之石膠泥瀝青混凝土配合設計方法進行，依使用粒料之篩分析資料對應工程會施工綱要第 02743 章「石膠泥瀝青混凝土鋪面」中所規定之級配規範，進行工作拌合公式之設計，並施作嘗試級配確定混合料 VCAdrc 與 VCAmix 之關係，以及試體之 Va 與 VMA，再利用垂流與馬歇爾穩定值試驗確定設計含油量，最後依所得之工作拌合公式與設計含油量製做成效試體。

本研究所得之配合設計結果，轉爐石添加量越多，設計之最適含油量越低，各摻配比例之工作拌合公式與配合設計結果如表 4.72 與表 4.73

表 4.72 各摻配比例之工作拌合公式(%)

篩號	過篩百分比			
	BOF 0%	BOF 20%	BOF 40%	BOF 60%
1"	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	91.8	93.3	94.8	96.3
1/2"	67.9	66.9	66.3	65.7
3/8"	35.5	33.5	33.5	33.5
#4	23.6	24.6	24.7	24.6
#8	17.7	17.7	17.8	17.8
#16	14.6	14.7	14.7	14.7
#30	13.1	13.1	13.2	13.2
#50	12.0	12.1	12.1	12.1
#100	11.1	11.2	10.6	10.6
#200	9.6	9.6	8.0	8.0



表 4.73 石膠泥瀝青混凝土配合設計結果

試驗項目	配合設計結果				規範要求
	0%	20%	40%	60%	
含油量(%)	6.2	5.8	5.7	5.1	--
穩定值(kgf)	1127.1	1166.6	1219.8	1175.8	大於 630
流度值(0.1in)	9.228	9.722	10.198	8.334	8~16
VCA <sub>arc</sub>	41.256	35.789	39.160	36.915	>VCA <sub>mix</sub>
VCA <sub>mix</sub>	31.600	31.593	31.528	31.678	--
垂流試驗(%)	0.05	0.01	0.01	0.01	0.3 以下
孔隙率(%)	3.19	4.34	4.25	3.81	3%~4%
VMA	17.39	16.35	16.69	15.27	>17%
VFA	80.36	73.49	74.55	75.11	75%~85%

#### 4.2.6 石膠泥瀝青混凝土成效試驗分析

石膠泥瀝青混凝土各成效試驗執行方式與排水性瀝青混凝土相同，但石膠泥瀝青混凝土水分敏感度分析部份依規範要求改為 AASHTO T283，而透水試驗及噪音試驗因考慮石膠泥瀝青混凝土功能性的不同，將不做試驗分析，膨脹壓力試驗部份，經試驗結果發現與排水性瀝青混凝土試體相同，並無膨脹變化，所以在石膠泥瀝青混凝土成效試驗分析部份也不做討論。因此石膠泥瀝青混凝土成效試驗分析部份將針對回彈模數、車轍輪跡、抗水份侵害、抗滑、溫降及凝聚值等試驗進行。

##### 一、回彈模數試驗

轉爐石添加於石膠泥瀝青混凝土進行回彈模數試驗，試體處理方式及試驗方法與排水性瀝青混凝土進行試驗時相同，各組試體之回彈模數試驗結果如表 4.74 及 4.75。

表 4.74 25°C 回彈模數試驗結果

試體編號	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
1	18085	15638	16925	17049
2	16674	14179	16165	19652
3	16585	14321	14996	18115
4	23952	16218	27896	19276
5	20757	19815	15682	16937
6	14850	28240	16318	16293
7	15078	26579	17949	17752
8	16240	27801	27139	17480
9	15695	16596	28559	19119
10	13183	14528	24988	17598
平均	17110	19392	20662	17927

表 4.75 40℃ 回彈模數試驗結果

試體編號	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
1	4293	5903	7041	12708
2	3352	4930	8064	11896
3	3299	4757	8108	9731
4	6865	5373	6310	10438
5	4758	5112	8548	8924
6	6112	4953	8636	8092
7	4487	4392	6134	9897
8	4853	6379	7467	10506
9	5145	4331	6930	9001
10	3547	3536	7125	8427
平均	4671	4967	7436	9962

25℃ 試驗方面，經過變異數分析後發現，各組回彈模數沒有顯著差異，迴歸分析結果 R 值為 0.094454，相關度非常低，表示添加轉爐石對石膠泥瀝青混凝土 25℃ 回彈模數並無顯著影響，變異數分析結果如表 4.76，迴歸分析結果如表 4.77。

表 4.76 25℃ 回彈模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	74311775	3	24770592	1.27028	0.299173	2.866266
組內	7.02E+08	36	19500107			
總和	7.76E+08	39				

表 4.77 25℃ 回彈模數迴歸分析

迴歸統計		自由度	SS	MS	F	顯著值	
R 的倍數	0.094454	迴歸	1	6925898	6925898	0.342069	0.562095
R 平方	0.008921	殘差	38	7.69E+08	20247098		
調整的 R 平方	-0.01716						
標準誤	4499.678						
觀察值個數	40	總和	39	7.76E+08			

40℃ 試驗方面，變異數分析結果發現各組回彈模數存在顯著差異，而迴歸分析的結果 R 值為 0.859504，屬高度正相關，因此本研究推論使用轉爐石取代天然粒料，對石膠泥瀝青混凝土 40℃ 的回彈模數表現有明顯提升之效果，40℃ 變異數分析與迴歸分析結果如表 4.78 與表 4.79。

表 4.78 40℃ 回彈模數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	2.01E+08	3	67063218	59.86132	7.56E-15	2.838745
組內	44812387	40	1120310			
總和	2.46E+08	43				

表 4.79 40℃ 回彈模數迴歸分析

迴歸統計		自由度	SS	MS	F	顯著值	
R 的倍數	0.859504	迴歸	1	1.68E+08	1.68E+08	107.4534	1.25E-12
R 平方	0.738748	殘差	38	59490253	1565533		
調整的 R 平方	0.731873						
標準誤	1251.213						
觀察值個數	40	總和	39	2.28E+08			

## 二、車轍輪跡試驗

將石膠泥瀝青混凝土車轍試驗結果繪製成滾壓次數與車轍深度關係圖，如圖 4.72，經公式計算後得到各組試體之動穩定值(DS)，車轍試驗結果如表 4.80，將動態穩定值結果與轉爐石添加比例繪製成趨勢圖可發現，其中  $R^2$  為 0.7123，R 即為 0.8440 呈現高度正相關，表示轉爐石添加比例增加有助於石膠泥瀝青混凝土動態穩定值之提升。

表 4.80 車轍輪跡試驗結果(MM)

滾壓次數	轉爐石添加比例			
	0%	20%	40%	60%
600	1.72	1.65	1.2	1.2
1200	2.07	2.07	1.62	1.41
1800	2.34	2.34	1.8	1.57
1890	2.44	2.39	1.82	1.6
2400	2.62	2.46	1.89	1.68
2520	2.66	2.61	1.95	1.74
3000	2.7	2.66	2.01	1.78
6000	3.18	3.12	2.23	1.99
動穩定值 (次/mm)	2864	2864	4846	4500

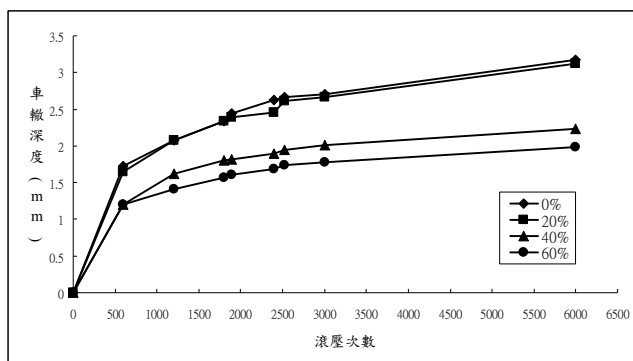


圖 4.72 滾壓次數與車轍深度關係圖

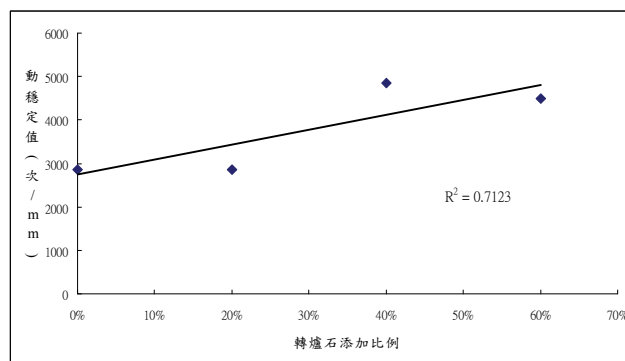


圖 4.73 轉爐石添加比例與動穩定值趨勢圖

### 三、抗水份侵害試驗

在水份敏感度分析中，石膠泥瀝青混凝土依據 AASHTO T283 抗水份侵害試驗進行，及一般常聽的 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，試驗結果如表 4.81，將試驗結果進行變異數分析，分析結果各組間無顯著差異存在，但試驗結果顯示添加轉爐石的組別其平均 TSR 值均高於轉爐石添加 0% 之平均 TSR，本研究再將試驗數據進行迴歸分析，分析結果 R 值為 0.347996 屬低度相關，說明轉爐石添加對石膠泥瀝青混凝土抗水份侵害能力無明顯影響。

表 4.81 TSR 試驗結果

轉爐石 添加比例	乾試體 間接張力(kg/cm <sup>2</sup> )	養治後後試體 間接張力(kg/cm <sup>2</sup> )	TSR(%)	平均
0%	8.21	6.09	74.18	77.54
	6.66	5.12	76.88	
	7.00	5.71	81.57	
	7.56	5.50	72.75	
20%	7.17	6.25	87.17	82.70
	6.60	5.82	88.18	
	7.12	5.55	77.95	
40%	6.60	5.77	87.42	82.69
	8.77	7.20	82.10	
	8.59	7.71	89.76	
60%	8.23	6.42	78.01	83.29

表 4.82 TSR 試驗變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	63.68085	3	21.22695	0.507171	0.689658	4.346831
組內	292.9757	7	41.85367			
總和	356.6566	10				

表 4.83 TSR 試驗迴歸分析

迴歸統計		自由度		SS	MS	F	顯著值
R 的倍數	0.347996	迴歸	1	43.19159	43.19159	1.240088	0.29431
R 平方	0.121101	殘差	9	313.465	34.82944		
調整的 R 平方	0.023446						
標準誤	5.901647						
觀察值個數	11	總和	10	356.6566			

#### 四、抗滑試驗

與排水性瀝青混凝土相同，利用車轍試驗試體施作，試體表面溫度為 24℃ ~ 28℃ 不等，抗滑試驗結果如表 4.84。

表 4.84 抗滑試驗結果(20℃ BPN)

轉爐石	試驗編號									
添加比例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0%	62.3	63.3	65.4	63.3	63.3	57.1	63.3	63.3	57.1	58.1
20%	75.2	75.2	74.1	74.1	77.3	75.2	74.1	73.1	73.1	73.1
40%	67.3	64.1	64.1	65.2	67.3	64.1	65.2	62.0	59.8	63.0
60%	85.6	80.3	78.1	85.6	84.5	83.5	81.3	81.3	78.1	76.0

表 4.85 摩擦係數結果

轉爐石	試驗編號									
添加比例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0%	0.70	0.71	0.74	0.71	0.71	0.63	0.71	0.71	0.63	0.64
20%	0.89	0.89	0.87	0.87	0.92	0.89	0.87	0.85	0.85	0.85
40%	0.77	0.72	0.72	0.74	0.77	0.72	0.74	0.69	0.66	0.71
60%	1.05	0.96	0.93	1.05	1.03	1.02	0.98	0.98	0.93	0.90

將試驗結果換算所得之摩擦係數進行變異數分析，與排水性瀝青混凝土相同呈現顯著差異，再利用 t 檢定方法兩兩比對，並將比對結果彙整如表 4.86；經 t 檢定分析，四組間均存在顯著差異，計算四組數據之平均值，轉爐石添加 60% 反應於鋪面表面摩擦係數最高為 0.98，亦指抗滑能力最好，轉爐石添加 20% 為 0.88 次之，其次為轉爐石添加 40% 為 0.72，最後為純天然粒料 0.69，由此可知添加轉爐石之石膠泥瀝青混凝土與純天然粒料之石膠泥瀝青混凝土相比，在開放交通初期有較好的抗滑能力。

表 4.86 摩擦係數變異數分析

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.559508	3	0.186503	122.5423	5.96E-19	2.866266
組內	0.05479	36	0.001522			
總和	0.614298	39				

表 4.87 摩擦係數 T 檢定表

轉爐石 添加比例	0%	20%	40%	60%
0%	--	★	★	★
20%	★	--	★	★
40%	★	★	--	★
60%	★	★	★	--

★：有顯著差異 ☆：無顯著差異

接著將車轍試驗完成後之試體車轍處再進行一次抗滑試驗，試驗結果如表 4.88。

表 4.88 車轍處抗滑試驗結果(20℃BPN)

轉爐石 添加比例	試驗編號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0%	89.2	92.3	89.2	89.2	90.3	89.2	88.2	91.3	84.0	88.2
20%	91.1	94.3	91.1	91.1	92.1	91.1	90.0	93.2	85.8	90.0
40%	63.0	64.1	63.0	63.0	58.8	62.0	53.4	53.4	53.4	58.5
60%	76.0	80.3	78.1	74.9	77.0	79.2	69.6	76.0	72.8	73.8

表 4.89 車轍處摩擦係數結果

轉爐石 添加比例	試驗編號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0%	1.11	1.17	1.11	1.11	1.13	1.11	1.09	1.15	1.03	1.09
20%	1.14	1.20	1.14	1.14	1.16	1.14	1.13	1.18	1.05	1.13
40%	0.71	0.72	0.71	0.71	0.65	0.69	0.58	0.58	0.58	0.65
60%	0.90	0.96	0.93	0.88	0.91	0.95	0.80	0.90	0.85	0.86

將試驗結果進行變異數分析，其結果與未滾壓前相同，存在顯著差異，而 t 檢定比較結果也與未滾壓前相同，四組互相存在顯著差異，再將滾壓前後之摩擦係數相互比較，t 檢定結果發現各組滾壓前後摩擦係數皆存在顯著差異，轉爐石添加 0%與 20%的部份滾壓後之摩擦係數高於滾壓前，而轉爐石添加 40%與 60%的部份則是滾壓前高於滾壓後。

表 4.90 車轍處摩擦係數 T 檢定分析

	0%	0%	20%	20%	40%	40%	60%	60%
	滾壓前	滾壓後	滾壓前	滾壓後	滾壓前	滾壓後	滾壓前	滾壓後
平均數	0.689	1.11	0.875	1.141	0.724	0.658	0.983	0.894
變異數	0.00158	0.00142	0.00052	0.00154	0.00114	0.00348	0.00285	0.00236
t 統計	-24.266		-18.5331		3.06986		3.900825	
P(T<=t) 單尾	1.67E-15		1.79E-13		0.0033		0.000524	
臨界值：單尾	1.73406		1.73406		1.73406		1.73406	
P(T<=t) 雙尾	3.34E-15		3.57E-13		0.0066		0.001047	
臨界值：雙尾	2.10092		2.10092		2.10092		2.10092	

## 4.3 玻璃砂

### 4.3.1 基本性質分析

#### 一、廢玻璃物理性質

經破碎之廢玻璃顆粒一般外形都較尖銳，且還包含一些較扁平且細長之顆粒；至於顆粒尖銳與否，則均取決於處理程序(視破碎程度)而定。另外經由特別破碎程序產生之較小玻璃顆粒，較無尖銳之問題，而且細長顆粒之數量也會相對減少。廢玻璃經過適當之破碎程序即能除去較尖銳之邊緣，且較能符合法規之安全標準。

玻璃經由材料回收機構依程序破碎後之比重大約為 2.5，變異程度則視樣品污染程度而定。碎玻璃之滲透係數約在 0.1~0.2 cm/sec 範圍之內，與粗顆粒之砂相似，可算是一高滲透性材料。但是其正滲透係數仍須視玻璃分選及處理過程(破碎及篩選)而定。在材料回收機構內玻璃粒徑分佈非常廣，其大小分佈由 1 吋至 200 號篩，玻璃級配與粒徑大小之關係密切。乾淨或未受污染之玻璃具有一定之性質，但由於回收時不可避免地含有一些非玻璃之物質混入，因此廢玻璃中之性質變化較大。廢玻璃其主要物理性質如下：

1.最大乾密度：1.8~1.9 t/m<sup>3</sup>。

2.比重：2.537。

3.含水量：0.3445%。

4.粒 形：鋪裝材料用之玻璃粒料的直徑宜在 13.2mm 以下。

5.熱膨脹係數： $88 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C} \sim 92 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ (依顏色不同而有所差異)。

6.軟化點： $718^\circ\text{C} \sim 738^\circ\text{C}$ (依顏色不同而有所差異)。

## 二、廢玻璃化學性質

玻璃的主要化學成份為  $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ ，尚會添加其他不同的成份，而在廢玻璃化學性質中所討論的部份包括有元素分析、發熱值及近似分析。

### 1.元素分析：

針對廢棄物中廢玻璃物質做元素分析時可得各元素之重量百分比為：碳(0.5%)、氫(0.1%)、氧(0.4%)、氮(<0.1%)、灰份(98.9%)，在其中可看到含有有機成份，此部份並非玻璃本身物質，而是來自表面處理物、標籤及其他附著物質。

### 2.發熱值：

發熱值(或熱值)為表示廢棄物燃燒時所放出的熱量，用以考慮計算焚化爐的能量平衡及評估補助燃料所需量。各種廢棄物的發熱值都不同，廢棄物的平均發熱值為 2,670 Kcal/Kg，玻璃的發熱值為 40 Kcal/Kg，遠低於平均發熱值，且其發熱量主要來自表面處理物、標籤及其他附著物。

### 3.近似分析：

近似分析包含水份、揮發份、灰份及固定碳四項，水份為 2~4%，而在無機類物質中(玻璃及金屬類)並無揮發份及固定碳此二類物質，灰份是指加熱至  $800^\circ\text{C}$ ，2 個小時後所剩餘的物質，在玻璃類物質中灰份佔 96~98%。

## 4.3.2 配合設計分析

本試驗主要是分析不同玻璃砂添加量，藉由成效分析，探討因不同玻璃砂添加量，所造成力學性質及成效性質之差異。其玻璃砂添加量分別為 0%、5%、10%、15%及 20%之比例，分別使用 AC-10 及 AC-20 瀝青，使用馬歇爾配合設計法進行設計，並進行成效評估。

試驗過程中，對瀝青混凝土進行單壓試驗，所測得之穩定值與(Va)與流度值(VMA)，可表示抵抗變形能力及變形量之大小。測量單位重、孔隙率及粒料間孔隙率，則可配合工地壓實度之要求，以達到壓實之目的。本研究之馬歇爾配合設計依玻璃添加量不同，其實驗配置如表 4.91 所示。



表 4.91 配合設計相關材料配置及用量

編號	瀝青		粒料				填充料	
	種類	添加量(%)	種類	添加量(%)	種類	添加量(%)	種類	添加量(%)
A	AC-10	5.6	天然料	90	玻璃砂	10	石粉	2
B	AC-10	5.7	天然料	85	玻璃砂	15	石粉	2
C	AC-20	5.5	天然料	100	玻璃砂	0	石粉	2
D	AC-20	5.6	天然料	95	玻璃砂	5	石粉	2
E	AC-20	5.7	天然料	90	玻璃砂	10	石粉	2
F	AC-20	5.8	天然料	85	玻璃砂	15	石粉	2
G	AC-20	5.9	天然料	80	玻璃砂	20	石粉	2

表 4.92 各瀝青級配之過篩百分率總表

篩號		A	B	C	D	E	F	G	規範	
mm									下限	上限
25	1"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
19	3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
12.5	1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
9.5	3/8"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	90	100
4.75	#4	83.1	83.1	83.1	83.1	83.1	83.1	83.1	55	85
2.36	#8	52.9	53.9	51.0	52.0	52.9	53.9	54.9	32	67
1.18	#16	31.0	32.1	28.8	29.9	31.0	32.1	33.2	24	52
0.6	#30	18.1	18.7	16.7	17.4	18.1	18.7	19.4	15	38
0.3	#50	10.7	11.0	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	7	23
0.15	#100	6.2	6.3	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	5	17
0.075	#200	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	2	10

表 4.93 瀝青混凝土配合設計結果

試驗項目	配合設計結果							規範要求
	A	B	C	D	E	F	G	
孔隙率(%)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3~5
單位重	2.290	2.293	2.293	2.293	2.295	2.29	2.305	-
穩定值(kg)	910	850	1000	1000	890	895	896	>816
流度值(0.25mm)	8.3	9.6	8.6	8.5	9.2	8.4	9.5	8~14
VMA (%)	16.6	16.3	16.7	16.8	16.4	16.3	16.5	16~18
VFA (%)	73	71	73	71	72	73	72	65~75

### 4.3.3 成效試驗結果

玻璃瀝青混凝土成效試驗結果經由以上配合設計結果進行馬歇爾試體之製作及車轍試體製作，進行相關力學性質及成效分析，以做為分析資料使用。

#### 一、回彈模數

在本研究中，執行回彈模數試驗之前都會在試驗溫度之下先恆溫 24 小時以上以確保瀝青混凝土內部均勻達到試驗溫度，本研究會針對各種瀝青在不同級配、在 25℃ 溫度的回彈模數加以比較。經本研究發現，高溫時不同瀝青混凝土間的差異影響瀝青混凝土的回彈模數的差異優於瀝青膠泥間的差異；在低溫時，瀝青的差異對回彈模數的影響較大。

表 4.94 回彈模數試驗結果

滾壓次數	1	2	3	平均值
A	6537	6244	6398	6393
B	5947	5082	5318	5449
C	5473	5807	5214	5498
D	6725	5421	5709	5951
E	5891	6613	6643	6382
F	8150	6710	6399	7086
G	7094	6134	6245	6491

#### 二、抗滑試驗

本試驗是以英式擺錘儀對車轍試體施作抗滑度試驗，記錄其 BPN (British Pendulum Number) 值，即 R 值，再以當時溫度換算成 20℃ 時之標準 R20 值，並計算其摩擦係數。試驗結果如表 4.95。

表 4.95 抗滑性試驗結果

滾壓次數	1	2	3	4	5	平均值
A	64	64	62	62	62	62
B	63	60	62	62	62	62
C	65	64	63	62	62	63
D	61	61	60	63	64	62
E	63	63	63	63	63	63
F	64	64	63	64	64	64
G	65	66	67	66	65	66

### 三、車轍試驗

本試驗的試驗溫度在 60℃ 下，由試驗結果表 4.96，車轍沈陷量變化曲線可看出各組瀝青混凝土在經過 1260 次（來回計為 1 次）的滾壓後，總車轍沈陷量在車轍方面大小為，車轍沈陷量隨使用不同瀝青混凝土而有不同的差異。

表 4.96 車轍試驗結果

滾壓次數	0	300	600	900	945	1200	1260
A	0.00	8.51	12.33	15.35	15.89	18.56	19.16
B	0.00	11.95	13.30	14.80	16.12	17.35	18.36
C	0.00	11.96	13.15	14.80	15.14	16.27	19.42
D	0.00	11.37	14.90	14.28	17.30	18.51	18.61
E	0.00	13.90	15.97	16.85	17.07	18.00	18.04
F	0.00	12.30	13.32	14.82	16.93	18.42	19.02
G	0.00	11.62	13.37	15.81	16.84	17.11	18.92

### 四、TSR 試驗

本試驗根據 AASHTO T283-89 試驗規範進行，在實驗室中利用部分真空抽氣將水份貫入試體內部，使試體達到 55~80% 之飽和度，以模擬實際路面在各種作用力下，水份滲入其內部之情形，之後將預備好之試體置入 -18℃±1℃ 冷凍室中養治 16 小時，再放入 60℃±1℃ 恆溫水槽養治 24 小時，用以模擬冷熱循環下，孔隙水壓對試體之影響，進而造成瀝青與粒料剝脫之現象。下表 4.97 為本研究 TSR 相關數據。

表 4.97 TSR 試驗結果

試驗組別	未凍融試體	凍融試體	TSR (%)
	間接張力(kg/cm <sup>2</sup> )	間接張力(kg/cm <sup>2</sup> )	
A	3.61	2.83	78.4
B	4.54	3.48	76.7
C	5.06	3.86	76.3
D	4.20	3.24	77.1
E	3.81	3.01	79.0
F	2.94	2.43	82.7
G	3.00	2.44	81.3

### 五、反光試驗

1. 使用儀器：檢測道路標線反光度之儀器

2. 原理：其原理是打出雷射光於鋪面，並計算其反射量，一般黃色標線其數值為 605；

黑色不反光之布為 0

### 3.原因分析：

(1)玻璃砂因拌合完畢，未經車輛碾壓帶走瀝青，使其玻璃顯露，故其反光度不佳（剛開始量測值皆為 0）。

(2)後經砂紙磨光，顯示添加比例愈高，愈具有反光效果，但與標線反光度（605）相比仍差距甚大。

表 4.98 室內反光試驗結果

滾壓次數	1	2	3	4	平均值
A	6	6	6	6	6
B	7	6	7	6	7
C	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0
E	7	7	7	7	7
F	8	7	8	8	8
G	11	12	12	11	12
玻璃砂	63	63	64	64	64

## 4.4 電弧爐碴

電弧爐氧化碴(以下簡稱電弧爐碴)係電弧爐煉鋼過程所產生之副產物，經實地調查及採樣，截至 2002 年 2 月底，臺灣地區計 23 家電弧爐煉鋼廠，32 座電弧爐，爐碴年產量甚為龐大(約達 100 萬噸)，目前多未善加利用而任意棄置，十分可惜。事實上經由適當加工處理後（如磁選、破碎、篩分等程序）之爐碴，可取代混凝土中天然骨材或充當道路基、底層及面層粒料等，均為爐碴資源化應用的方向。

### 4.4.1 化學性質

在礦物組成方面，氧化碴其礦物組成以橄欖石、薔薇輝石為主；而還原碴其礦物組成以  $C_3S$ (矽酸三鈣)、 $C_2S$ (矽酸二鈣)及  $RO$ (二價金屬氧化物固溶體)為主，表 4.99 為各式爐碴和天然岩石之化學成份比較表[2]。煉鋼爐碴從冶金化學角度上分析，主要是含鈣、鎂、鋁、鐵和矽等元素組成的  $CaO(MgO)-Al_2O_3(Fe_2O_3)-SiO_2$  三元系統(如圖 2 所示)，介於矽酸鹽水泥熟料和高爐爐碴間之產物。

表 4.99 各式爐碴和天然岩石之成份比較表

成份 (%)	高爐碴	轉爐碴	電弧爐碴		山土	安山岩	卜特蘭水泥
			氧化碴	還原碴			
SiO <sub>2</sub>	33.4	10.9	25.2	28.2	59.6	59.6	22.1
CaO	41.0	42.9	40.4	49.4	0.4	5.8	64.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.5	1.5	4.8	11.8	22.0	17.3	5.4
FeO	0.4	20.7	18.5	2.1	—	3.1	3.1
MgO	6.0	7.2	3.7	7.6	0.8	2.8	1.4
S	1.0	0.1	0.1	0.3	—	—	2.0
MnO	0.7	5.2	6.5	0.2	0.1	0.2	—
TiO <sub>2</sub>	1.5	1.4	0.3	—	—	0.8	—
鹽基度 Ca/SiO <sub>2</sub>	1.0-1.3	2.5-5.0	1.2-3.0	1.5-3.5	—	—	0.34

#### 4.4.2 物理性質

氧化碴的基本物理性質包括了比重、篩分析、乾搗單位重、吸水率、洛杉磯磨損試驗、孔隙率、健性試驗。

##### 一、比重與吸水率

就比重而言，整體的電弧爐碴比重介於 2.38~3.48 之間，平均值為 3.04。相較於一般天然骨材比重 2.55~2.70 高。主要原因為爐碴內鐵金屬含量高，和天然骨材以二氧化矽 (SiO<sub>2</sub>) 為主要成份不同。爐碴成份主要以二氧化矽 (SiO<sub>2</sub>) 及氧化鐵 (Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub>) 佔大部份，為爐碴比重偏高的原因。

爐碴的吸水率分佈於 1.44~8.92% 間，平均值為 3.51%，相較於天然骨材的 1.5~3% 為高。以爐碴多孔隙的特徵，和天然骨材相比會吸附更多的水。而目前國內 CNS 14602 「道路用鋼爐碴」規定用於瀝青處理底層及熱拌瀝青混凝土時，吸水率須在 3.0% 以下，而用於道路基底層之爐碴則未限制其吸水率。

##### 二、乾搗單位重

乾搗單位重的大小主要受粒料的比重高低、孔隙率大小及級配的優劣所影響。電弧爐碴之乾搗單位重介於 1477~1887 kg/m<sup>3</sup>，平均值為 1709 kg/m<sup>3</sup>，略高於天然骨材 1550~1850 kg/m<sup>3</sup>。雖然電弧爐碴之比重高於天然骨材，但因電弧爐碴之孔隙率高於天然骨材，因此在同體積下，兩者的乾搗單位重之值相近。

##### 三、洛杉磯磨損試驗

洛杉磯磨損試驗主要在於探討粒料之抗磨損能力，優良的骨材是堅硬、緻密且具有高強度。以電弧爐氧化碴而言，洛杉磯磨損率平均為 33.1%，磨損率最高的爐碴不超過 50%，可符合一般粒料的要求。圖 4.74 顯示電弧爐碴之吸水率與洛杉磯磨損率關係，由

圖中可見，洛杉磯磨損率與吸水率呈現正相關，吸水率可作為爐碴物理性質的指標。

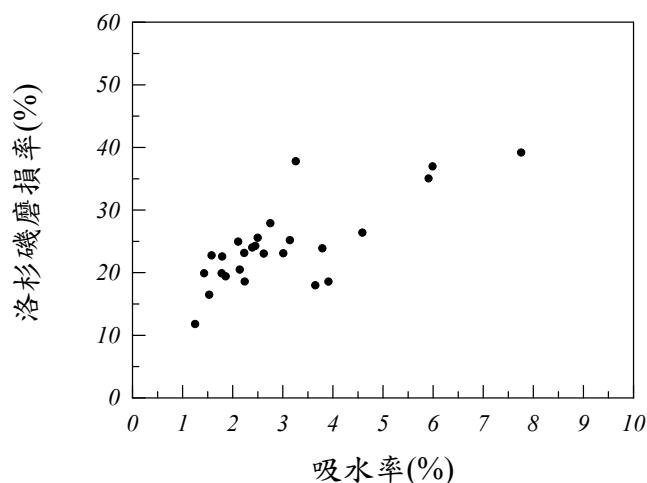


圖 4.74 洛杉磯磨損率與吸水率關係

#### 四、健性損失

採用 CNS 1167 之規範，使用硫酸鎂的過飽和溶液加以試驗，進行五次循環。由於電弧爐碴的多孔隙的特性，使得硫酸鹽溶液能在加速循環時自由的進出孔隙間，而使結構不致於被破壞，是爐碴之健性低於天然骨材的原因。電弧爐碴的健性實驗結果範圍介於 0.81~2.49% 間，平均值為 1.42%。

#### 五、電弧爐氧化碴浸水膨脹比

電弧爐煉鋼的過程中，須添加石灰石等附加劑以淨化鋼液，並調整鋼液之其它元素含量（碳、硫、磷等）。若加入的石灰石過量，在造碴時會以 CaO 相析出；且爐碴內含有氧化鎂、氧化鈣等造成爐碴體積不穩定的成份。文獻中指出游離的氧化鈣會與水反應生成氫氧化鈣並使體積膨脹大約 100~300%，所以為了瞭解電弧爐爐碴將來在應用時可能產生膨脹的情形，因此依據 ASTM D4792-95 試驗方法進行電弧爐氧化碴膨脹量之量測。

圖 4.75 為天然骨材和電弧爐氧化碴在 70°C 下的浸水膨脹情形，以膨脹量而言，電弧爐碴膨脹量為 0.094% ~0.083%；於 70°C 恆溫養生 15 日後，體積即保持穩定不再膨脹。目前國內 CNS 14602 「道路用鋼爐碴」規定用於道路基底層之爐碴浸水膨脹比須在 1.5% 以下，而用於瀝青處理底層及熱拌瀝青混凝土時，浸水膨脹比須在 2.0% 以下。

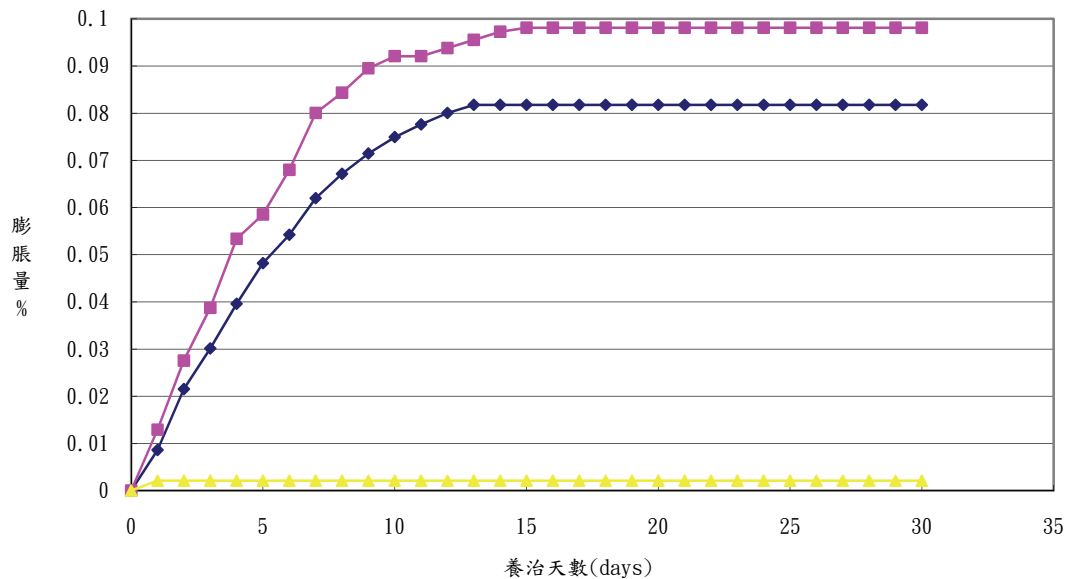


圖 4.75 溫度 70°C 養治下三廠電弧爐渣之浸水膨脹量

## 4.5 廢棄混凝土塊

### 4.5.1 廢混凝土塊基本性質試驗結果

以圖 4.76 篩分析資料來計算骨材之細度模數，廢混凝土塊細度模數為 2.91，依 CNS 1240 規定砂之 FM 應在 2.3~3.1 間其級配才合乎要求，因此明顯可看出焚化爐底渣為偏粗屬於粗砂性質，若要用焚化爐底渣作為取代一般水泥混凝土用砂，必需要經過摻配的方式，才可使級配較能符合規範上的要求。

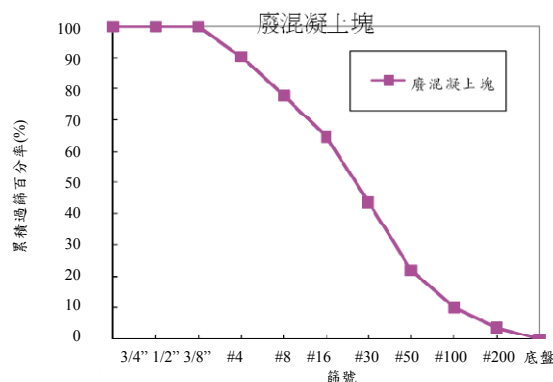


圖 4.76 廢混凝土塊粒徑分佈曲線

經過處理後的廢混凝土塊在各項重金屬溶出的測定值都遠低於規範值，因此廢混凝土塊在再利用上沒有重金屬溶出的疑慮。

從表 4.100 可以得知廢混凝土塊與天然粒料相比為低比重、高吸水率的材料。混凝土塊健性為 6.42 %，但與天然粒料相比仍比較差。廢混凝土塊因內涵許多黏土物質，因此含泥量

為偏高的 15.17%，如此用於水泥混凝土及瀝青混凝土將使得做為膠結顆粒的水泥漿及瀝青無法達到最佳的膠結效果，因此未來在再利用方面，可能必須對前處理程序上做些適當改變，例如：水洗、篩分等。廢混凝土塊含砂當量為 28.9；廢混凝土塊因為黏土質含量過高，使其含砂當量會降低，所以以目前道路相關的規範來看，公路局、高速公路局對於面層含砂當量要求均要在 45 以上，而對於基底層則要求要則在 30 及 35 以上，如果以數據來看，要使這種再生材料能穩定的符合規範的要求則建議必須在後處理程序時，增加適當的水洗設備，可使材料性質穩定。

表 4.100 廢混凝土塊基本性質試驗結果

試驗項目	天然碎石	廢混凝土塊	規 範
土壤分類	-	A-3	-
細粒料比重	2.66	1.98	-
細粒料吸水率	1.37	15.15	-
磨損率(%)	28.3	-	≤50
含泥量(%)	0.25	15.17	≤5
硫酸鈉健性試驗(細粒料)(%)	2.87	6.42	≤15
硫酸鈉健性試驗(粗粒料)(%)	1.02	-	≤12
含砂當量	-	28.9	-
細粒料氯離子濃度(%)	0.0017	0.014	≤0.024
pH 值	-	11.35	-

#### 4.5.2 廢混凝土塊均勻性、穩定性試驗結果

針對經初級資源化處理後的廢混凝土塊，所做的幾項基本物性試驗進行分析。試驗項目包括：粗細粒料比重及吸水率、洛杉磯磨損率、含泥量等。針對不同批次之廢混凝土塊取樣，進行以上各項試驗，並依據統計分析方法繪製統計管制圖之個別值管制圖：使用  $X \pm 2S$  為管制上、下限，目的為提高製程控管之靈敏度，並期望透過統計分析方法能進一步瞭解：

(一) 初級資源化處理程序，工廠製程是否穩定。

(二) 所取材料各項性質是否穩定，確定其具有代表性。

其試驗結果如下：

圖 4.77-4.79 分別為不同批次之各項物性試驗管制圖，由圖 4.80 可以得知，各批次篩分析結果之數據非常接近，顯示在分選、破碎的製程已相當成熟，使得粒料粒徑分佈相當均勻。但由於營建廢棄物來源很多，各料源間性質也不盡相同，所以導致各項性質都存在著變



異性，都有靠近上下管制界限的情形，但也都在管制界限內，如圖 4.77~圖 4.79，表示本研究使用之廢混凝土塊具有代表性。

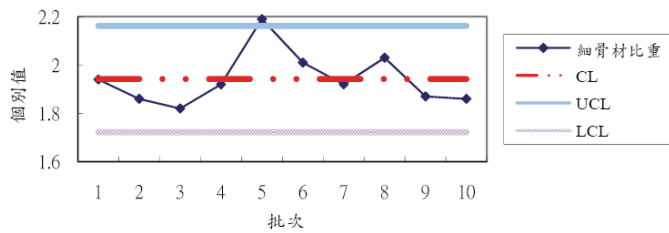


圖 4.77 廢混凝土塊細比重管制圖

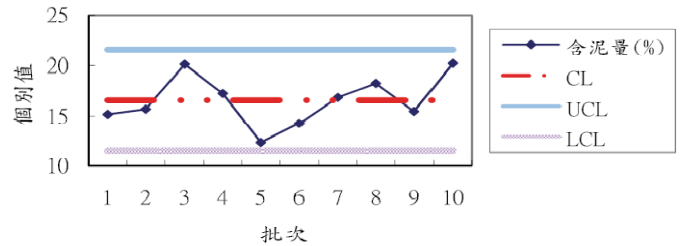


圖 4.78 廢混凝土塊含泥量管制圖

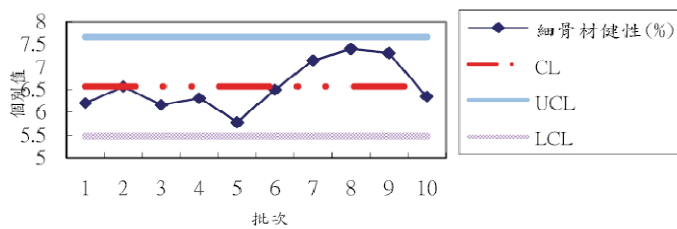


圖 4.79 廢混凝土塊健性管制圖

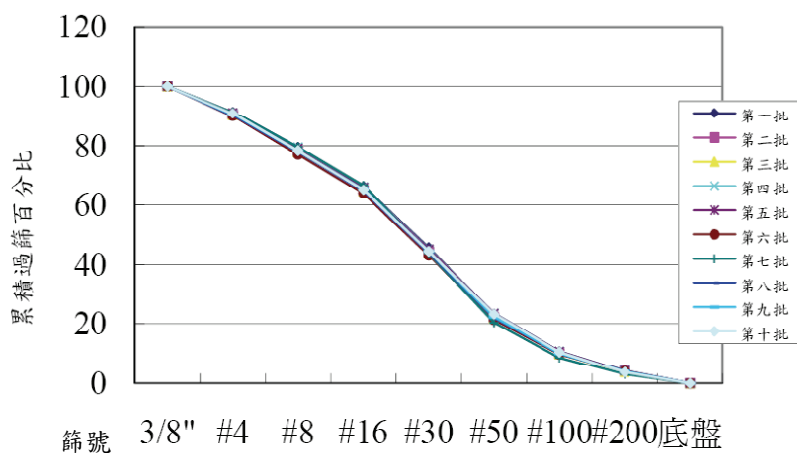


圖 4.80 廢混凝土塊各批次篩分析結果

### 4.5.3 廢混凝土塊應用於 CLSM 試驗結果

#### 一、管流度試驗結果

工作性試驗目的為測試 CLSM 之自填充性，流度值規範值為 15cm~20cm，CLSM 管流度值越高，自填充性越好，一般來說，流度值超過 15cm 時，CLSM 即具良好之流動性，流動性良好之 CLSM 可自動填充至管溝中所有孔隙，不需搗實。廢混凝土塊應用於 CLSM 管流度試驗結果中可以發現，添加 0 %、70 %、100 % 廢混凝土塊試驗組，皆可符合管流度之規範要求。隨著灰水比增加，管流度值呈現降低的情形，但廢混凝土塊添加比例增加，管流度有減少的趨勢；但整體試驗結果看出，灰水比的增加對於 CLSM 工作性影響較大。

## 二、凝結時間試驗

由於市區道路之車流量大，必須在夜間離峰時段進行管線回填施工，離峰時間大約為夜間 11 點至隔日清晨 6 點，扣除掉機具進出、安全設施架設等時間，只有大約 4 小時施工時間，台北市養工處對於 CLSM 凝結時間規定為 3.5 小時。而內政部營建署對於包含廢混凝土塊的非制式材料並沒有凝結時間的限制，對於制式材料的規定為 3~5 小時。工程會的可控制性低強度材料規範中對於凝結時間要求為使用天然粒料 3 小時、現場開挖土石方 4 小時，但對於再生材料則沒有規定。綜合上述規範要求本研究將凝結時間以 4 小時作為標準。廢混凝土塊凝結時間試驗結果，因為沒有含有大量有機物，所以在凝結時間上與天然粒料相當接近，甚至有更好的趨勢。另外，不隨著灰水比的增加，凝結時間也呈現降低的結果，但水灰比對凝結時間的影響沒有摻配量來的大。

## 三、抗壓強度試驗

不論是內政部營建署或是工程會對於 CLSM 1 天強度均沒有規定，因此參考 ASTM 與經濟部水利署之規定 1 天  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  之早期強度要求。此外，CLSM 除了對早期強度有要求外，對於晚期強度也有限制，以避免造成日後再開挖的困難，內政部營建署對於制式材料的規定為  $7\sim90 \text{ kg/cm}^2$ 、非制式材料為  $5\sim30 \text{ kg/cm}^2$ ，經濟部水利署為  $7.5\sim50 \text{ kg/cm}^2$ 。

由圖 4.81 一天抗壓強度試驗結果可以發現抗壓強度趨勢與凝結時間結果有相當大的關連性，早期強度發展的快，凝結時間就會比較短，而早期強度相對的也會比較高。而混凝土塊添加 0 % 試驗組可能因水泥量不足，無法與粒料形成有效的膠結作用，因此一天強度上並沒有比摻配混凝土塊試驗組來的高。且有隨著水灰比增加，一天抗壓強度增加的趨勢。

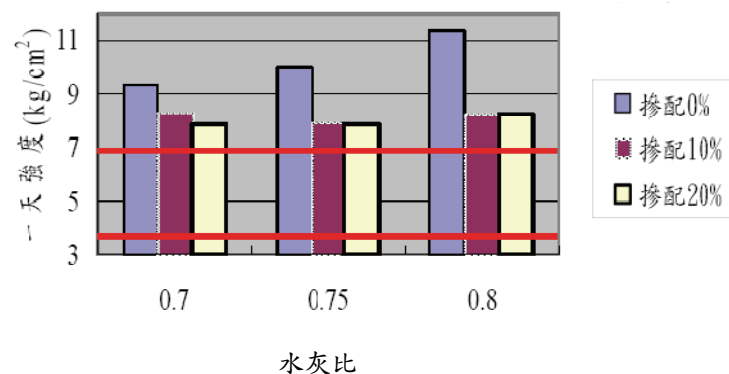


圖 4.81 一天抗壓強度試驗結果

## 4.6 廢輪胎

在處理廢輪胎的諸多技術中，以廢輪胎切割研磨粉末加入瀝青中，拌製成廢輪胎橡膠瀝青(Asphalt Rubber，簡稱為 AR)，可能達到改質瀝青的效果而增加路面的服務成效。國外應用於路面的鋪築上已行之有年，由多方面的資料顯示，使用廢輪胎改質的瀝青混凝土，因感溫性較低可能兼具有較佳的抗車轍變形與低溫龜裂能力，進而可延長路面壽命，節省養路經費，其它額外效益則可能有降低路面噪音及提升路面服務品質等。

### 4.6.1 廢輪胎橡膠添加於瀝青膠泥物性試驗

以中油及中塑之 AC-10 瀝青膠泥為基底瀝青，添加 10%、15%、20%三種不同比例之廢輪胎粉拌製成廢輪胎橡膠瀝青，並以 CNS14184 改質瀝青物性試驗項目進行試驗，其試驗結果如表 4.101 所示。

表 4.101 中油及中塑添加不同比例廢輪胎粉物性試驗結果

基底瀝青 輪胎粉添加量(%)	中油瀝青 AC-10			中塑油瀝青 AC-10			改質三型 規範值
	10	15	20	10	15	20	
黏滯度, 60°C, poise	13070	18730	64430	12170	27040	67120	>8000
黏滯度, 135°C, cst	---	---	---	---	---	---	<3000
針入度, 25°C, 1/10mm	70	59	51	76	60	50	---
閃點, °C	>240	>240	>240	>240	>240	>240	>232
三氯乙烯溶解度, %	8.9	12.1	17.4	8.8	13.4	20.7	>99.0
離析試驗, °C	52.3	44.5	35.6	55.7	46.8	37.1	---
RTFOT 彈性回復率, %	71	79	83	70	75	85	>70
RTFOT 針入度, 4°C, 1/10mm	54	43	36	51	47	34	>10

由試驗結果顯示，60°C 黏滯度在 12000poise 以上，閃火點試驗也符合改質瀝青要求超過 240°C 以上，RTFOT 後彈性回復率、4°C 針入度試驗也符合改質瀝青之要求。在三氯乙烯溶解度試驗中，因廢輪胎粉無法溶解於三氯乙烯中，故其試驗結果中包含廢輪胎粉之重量，其結果與接近於廢輪胎粉添加量。

### 4.6.2 廢輪胎橡膠瀝青混凝土配合設計結果

由馬歇爾配合設計法獲得最適含油量，廢輪胎粉添加量為含油量之 15% 重，其設計含油量為 7.9%（對混合料），配合設計結果如表 4.102 所示。

表 4.102 添加廢輪胎粉之泥瀝青混凝土配合設計結果

試驗項目	配合設計結果	規範要求
孔隙率(%)	4.0	3~6
VMA (%)	17.6	17.0 以上
VFA (%)	78	70 以上
單位重(g/cm <sup>3</sup> )	2.285	-
穩定值(kg)	625	-
流度值(0.25mm)	17.3	-

### 4.6.3 現地成效

#### 一、撓度檢測結果與分析

採用彭柯曼梁非破壞性檢測方式，檢測結果的撓度值，作為評估鋪面結構或路基承载力。由檢測結果如圖 4.82、圖 4.83 所示，原有瀝青混凝土鋪面撓度在施工前進行一次檢測，在廢輪胎橡膠瀝青混凝土鋪設完成後於進行兩次檢測，結果顯示剛鋪設完成之撓度值較低，其次為原有鋪面之撓度值，而廢輪胎橡膠瀝青混凝土在開放通車四個月後之撓度值為較高，顯示廢輪胎橡膠瀝青混凝土鋪設成效有顯著良好效果。

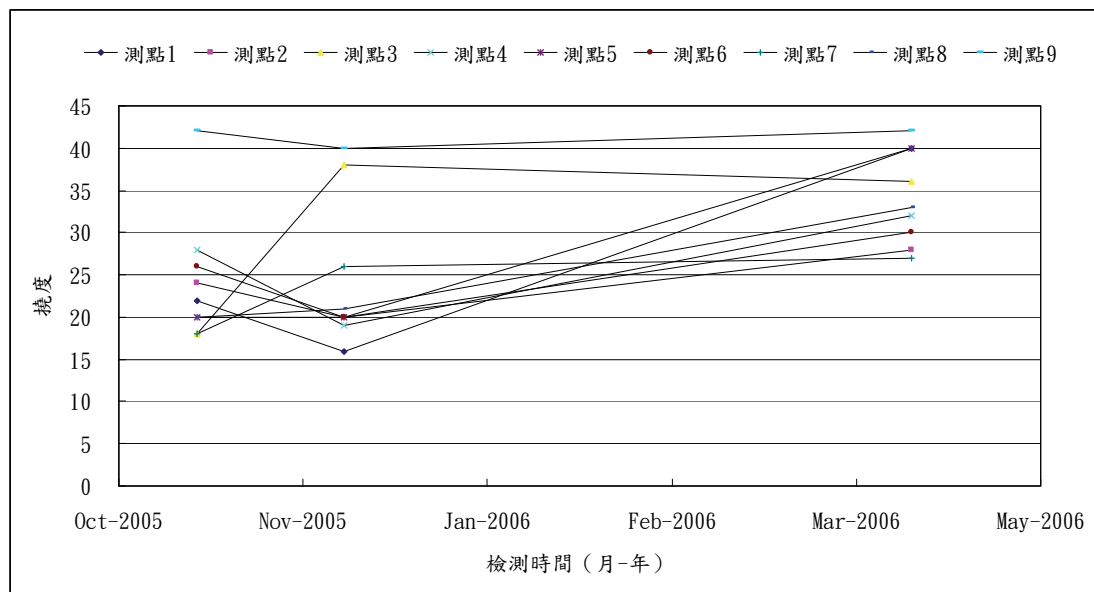


圖 4.82 左車道撓度檢測結果曲線圖

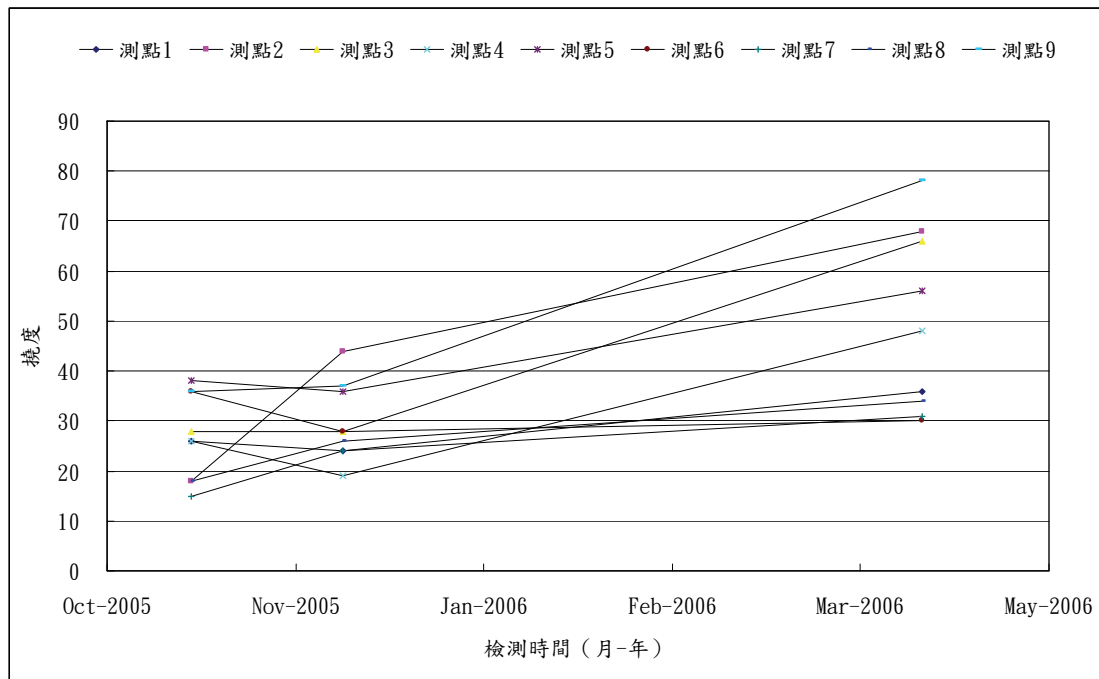


圖 4.83 右車道撓度檢測結果曲線圖

## 二、抗滑度結果分析

由檢測結果顯示，原有瀝青混凝土鋪面抗滑量測在施工前進行一次檢測，在廢輪胎橡膠瀝青混凝土鋪設完成後於進行兩次檢測，結果顯示原有鋪面抗滑量測結果之摩擦係數較高，因為原有鋪面以使用許久，原有鋪面表面瀝青已被車輪行經時帶走，或是經日曬雨淋等環境因素影響下表面瀝青漸漸減少，造成原有鋪面表面較粗糙，而使摩擦係數較高，但鋪面表面易產生粒料剝脫進而路面造成破壞。在廢輪胎橡膠瀝青混凝土鋪設完成後其抗滑結果之摩擦係數較低，其原因為剛鋪設完成之鋪面表面瀝青油膜還存在，使其摩擦係數較低；而在開放通車四個月後，因車輛行駛，輪胎與鋪面之接觸摩擦，將部分表面瀝青油膜帶走，使其摩擦係數有提高。

表 4.103 抗滑檢測結果總表

檢測時間(年、月)	摩擦係數 $\mu$								
	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	測點 5	測點 6	測點 7	測點 8	測點 9
95.11	0.95	0.99	0.78	0.89	0.86	0.78	0.86	0.83	0.87
95.12	0.75	0.70	0.58	0.49	0.62	0.55	0.69	0.80	0.56
96.04	0.78	0.72	0.59	0.50	0.63	0.58	0.72	0.83	0.61

## 4.7 小結

### 一、焚化爐底碴

焚化爐底碴吸水率及磨損率較一般天然砂高，且單位重較輕，依物理性質判定適用於道路基底層混合料，由試驗結果得知使用添加 60~80% 於基層 CBR 值皆可達 50 以上，但須提升其夯實能量才可達到規範要求值。

利用焚化爐底碴取代面層細粒料 10% 及 20%，其穩定值及流度值皆可達規範值以上，添加量增加對回彈模數、潛變、間接張力及浸水殘餘強度有明顯之差異(10% 為較佳)，由壓實曲線可知添加焚化爐底碴需較高之能量達到需求之壓實度，且其滾壓後級配降格隨底碴添加量而提昇，因此添加量需控制在 30% 以下以避免級配降格之問題。

於瀝青處理底層，馬歇爾配合設計相關試驗皆可符合規範要求，但於間接張力影響隨添加量增加而改變，本研究中添加量 20% 為可接受之範圍。

### 二、轉爐石

排水性瀝青混凝土配合設計的結果顯示，轉爐石添加百分比的增加，並不會造成使用油量的增加，且都能符合規範之要求，而排水性瀝青混凝土成效試驗結果顯示，隨著轉爐石添加百分比的增加，排水性瀝青混凝土抵抗車轍能力與增加表面摩擦力及噪音試驗方面，都有良好與顯著的成果，動穩定值由純天然粒料的 1105 次/mm，提升到轉爐石添加 60% 的 2300 次/mm，而抗滑試驗也有相當幅度的增加，由 0% 的摩擦係數 0.65 提升到轉爐石添加 40% 的 0.78，而添加 60% 的部份則大約 0.72，因為抵抗車轍能力的提升，使排水性瀝青混凝土能維持較高的孔隙率，孔隙率的維持能幫助排水性瀝青混凝土持續減低噪音污染的危害。

石膠泥瀝青混凝土的成效試驗結果顯示，轉爐石添加後對抵抗車轍及表面抗滑有提升成效的效果，動穩定值由純天然粒料的 2864 次/mm 提升至轉爐石添加 60% 的 4500 次/mm，表面摩擦係數也由 0.69 提升至 0.98，其他成效部分雖然沒有顯著的提升效果出現，但其試驗值都反應出高水準的成效表現。

### 三、玻璃砂

以固定光源下玻璃砂之反光程度隨添加量增加而提高，其反光程度與標線相比提升有限，但不會造成駕駛的影響。

為考量鋪面之耐久性，玻璃砂添加量不宜超過 15%，依據道路區域特性，避免駕駛因玻璃砂路面之不確定反光而產生顧慮，建議分為市區及山區道路兩類：

1.市區道路其添加量不超過 10%

2.山區道路其添加量不超過 15%

#### 四、電弧爐碴

台灣地區 23 廠電弧爐爐碴材料之化性、物性分析結果顯示，各廠爐碴之化學成分略有差異，物理性質方面，顆粒強度及耐磨損性甚佳，面乾飽和比重較一般碎石比重為高，吸水率及乾搗單位重與天然骨材相當，健度損失甚低，洛杉磯磨損率平均約 30%，適合於道路基底層粒料，同時符合 CNS14602「道路用鋼爐碴」之規定。

於煉鋼廠區內及廠外分別鋪設之爐碴試驗道路，其成效與傳統基底層材料相當，故應用於道路工程基底層確為可行。

#### 五、廢棄混凝土塊

廢混凝土塊含泥量皆比天然粒料高出許多，將使得其使用在水泥混凝土上受到限制，因此未來若要提升其使用層級可在初級處理的製程中加入採用水洗的程序。

廢混凝土塊目前磨損率以及健性損失率方面皆不是很穩定，這可能是因為所含物質複雜，廢混凝土塊木材、紙類等雜質所佔比例均不一定，因此要使得這兩方面趨於穩定，則必須在製程上加強各類物質的分離。

#### 六、廢輪胎

現地鋪設廢輪胎橡膠瀝青混凝土，在撓度檢測結果顯示，剛鋪設完成之撓度值較低，其次為原有鋪面之撓度值，而廢輪胎橡膠瀝青混凝土在開放通車四個月後之撓度值為較高，顯示廢輪胎橡膠瀝青混凝土鋪設成效有顯著良好效果。

在抗滑量測結果顯示，在開放通車四個月後，因車輛行駛輪胎與鋪面之接觸摩擦，將部分表面瀝青油膜帶走，使其摩擦係數有提高趨勢。

## 第五章 國內廢棄資源再利用於公路工程事例集編撰及驗證

### 5.1 焚化爐底碴

#### 5.1.1 焚化爐底碴試鋪道路

試鋪路線長 400 公尺，寬 6 公尺，每個斷面鋪設長度為 50 公尺，以評估在各種添加量組合下路面之成效。斷面由上而下分別為面層 5 公分、瀝青處理底層 5 公分、級配底層 15 公分、級配基層 25 公分。而依據實驗室內試驗結果求得各層較合適之底碴添加量，分別為面層的 10%、20%，瀝青處理底層 15%，底層 20% 以及基層的 80%、100% 底碴添加量，試鋪結構斷面如下圖 5.1、5.2 所示。

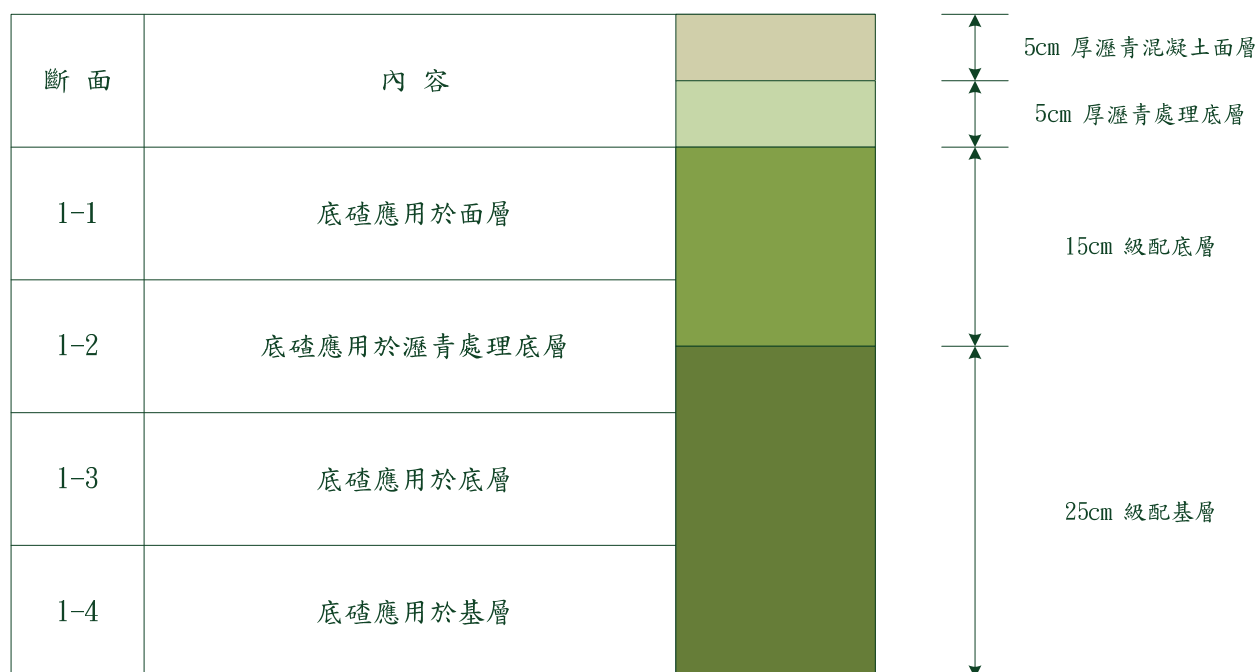


圖 5.1 試鋪道路斷面圖-1

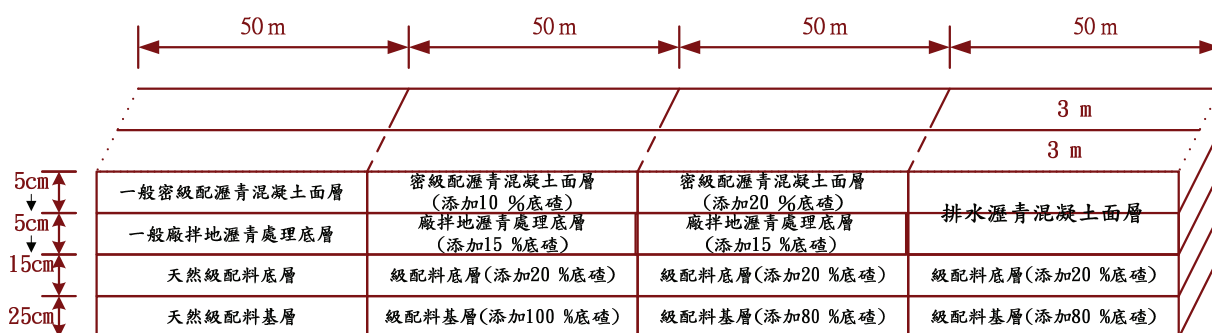


圖 5.2 試鋪道路斷面圖-2

成效評估計畫主要分為兩期，第一期為底碴道路施工中之施工成效，重點在於評估底碴



應用於道路面層、瀝青處理底層、基底層路面之初步成效，第二階段為底碴道路鋪築完成後之長期成效評估，此時重點在於長時間之成效發展過程以及觀測鋪設道路周邊土壤其化學性質變化，並藉由相關資訊的獲得底碴應用於道路工程成效性試驗方法及標準，以為後續研究及相關主管單位之參考。

一、各階段之成效評估流程分述如下：

### 1. 第一階段

施工中成效評估內容及方式如圖 5.3 所示：

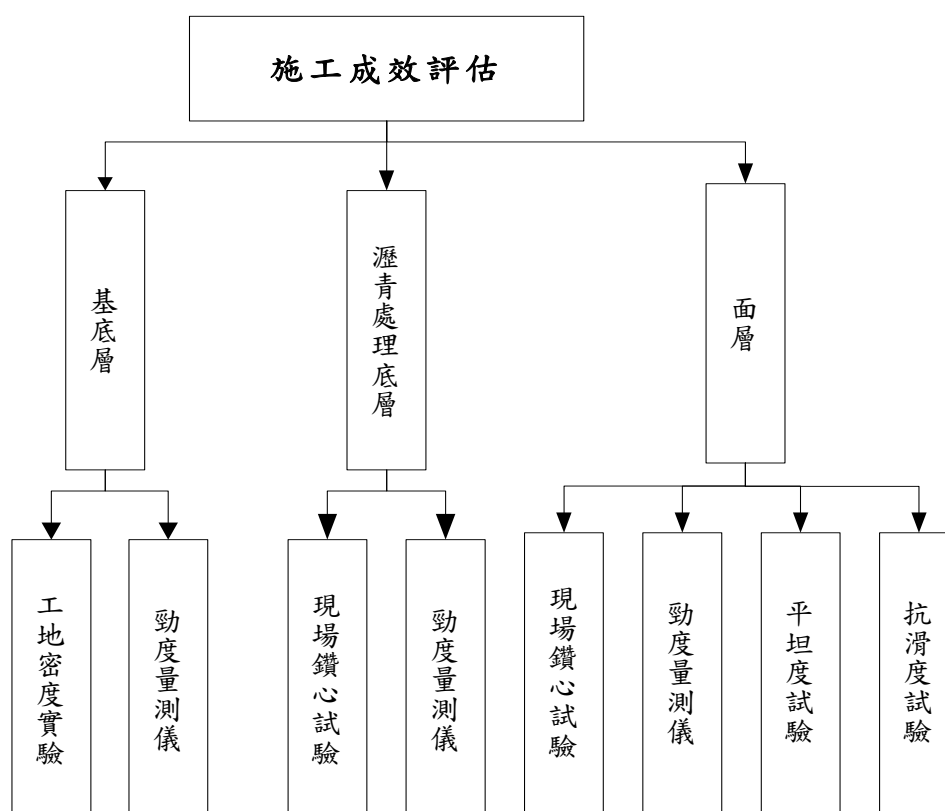


圖 5.3 施工中成效評估內容示意圖

### 2. 第二階段

本階段鋪面成效評估的重點於底碴道路開放交通後之長期成效評估，預計於施工完後 1 個月進行成效評估，並且每 6 個月進行成效評估，以瞭解開放通車後道路整體的變化。相關的評估內容與試驗如圖 5.4 所示而相關的評估工作計畫有：

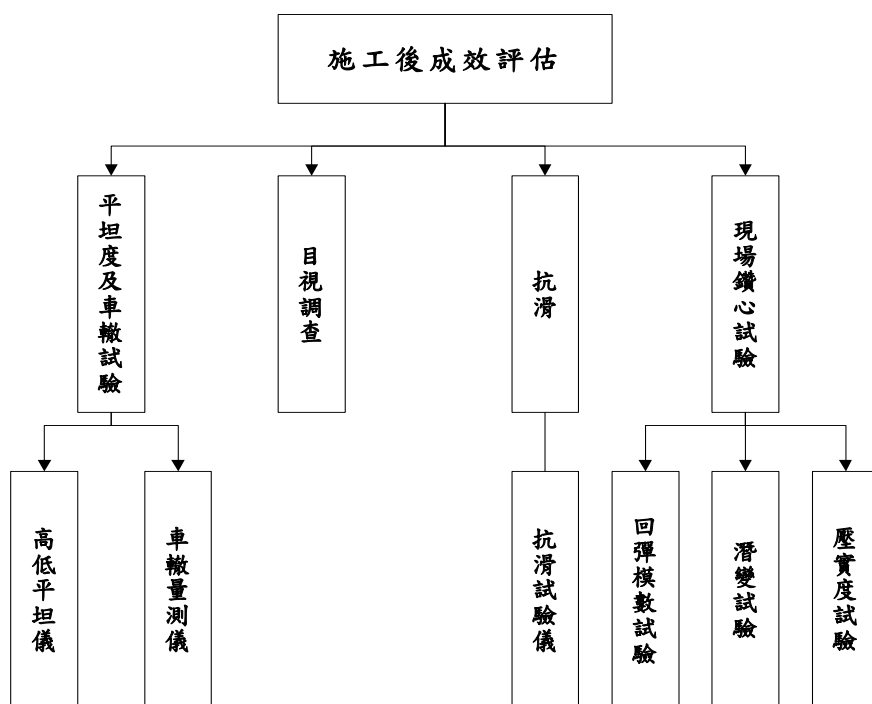


圖 5.4 長期成效評估內容示意圖

## 二、試驗結果

### 1. 工地密度試驗

為了控制基底層的壓實度，本團對於鋪設過程中進行工地密度試驗的控制，期中最佳含水量及最大乾密度前實驗室試驗所得，現地就以 98% 乾密度作為控制。表 5.1、5.2 為底層及基層各斷面工地密度。

表 5.1 底層各斷面工地密度

點位	實驗室		現地	
	98% 乾密度(kg/m <sup>3</sup> )	含水量(%)	乾密度(kg/m <sup>3</sup> )	含水量(%)
A-1	2050.0	6.8	2010.5	6.1
A-2	2050.0	6.8	2027.1	6.4
B-1	2010.9	9.0	2015.9	8.7
B-2	2010.9	9.0	2021.6	9.3
C-1	2010.9	9.0	1999.5	9.5
C-2	2010.9	9.0	2032.8	8.9
D-1	2010.9	9.0	2002.9	8.8
D-2	2010.9	9.0	2022.7	9.2

表 5.2 基層各斷面工地密度

點位	實驗室		現地	
	95%乾密度(kg/m <sup>3</sup> )	含水量(%)	乾密度(kg/m <sup>3</sup> )	含水量(%)
A-1	1960	8.1	1834.3	9.0
A-2	1960	8.1	1931.2	7.3
B-1	1787	12.0	1806.1	11.7
B-2	1787	12.0	1861.9	11.5
C-1	1710	12.5	1701.3	11.8
C-2	1710	12.5	1651.2	10.9
D-1	1787	12.0	1824.9	12.9
D-2	1787	12.0	1835.3	11.6

B 斷面各層現地工地密度，在底層部分 20 公分、40 公分處兩點，其含水量約在最佳含水量的左右，因此其乾密度均可符合要求。而對於基層部分含水量均為小於最佳含水量 0.5 %，但從乾密度來看已可符合要求。整體來說 B 斷面各層均可達到規範標準，基層與底層最佳含水量約差 3%，而且各層的含水量、乾密度均與實驗室試驗所得差不多，如果拿現地乾密度對回實驗室所得 CBR 值，均可達到基層 30%、底層 80%的要求，如表 5.3 各斷面 CBR 值所示。

C 斷面中對於基層部分採用 100%全級配底碴，但從現地施工時可觀察出含水量沒有如一般級配容易控制，因底碴中含有過多玻璃陶瓷不易吸水，很容易造成含水量不均勻現象，所以在添加水時僅添加接近至最佳含水量，乾密度因而會低於 95%乾密度要求值，但核對室內 CBR 值，仍可達到規範要求 CBR 值 30 的規定。至於底層部分含水量控制明顯較多了一點，因此乾密度值在濕側部分有些偏低現象。

對 C 斷面中基層採用 100%全級配底碴，其強度均可達設計上的要求，再加上用量可較底層多，因此若要完全用於基層是個很好的處理方向。

表 5.3 各斷面 CBR 值

點位	CBR 值	
	基層 (%)	底層 (%)
A-1	62	78
A-2	56	90
B-1	47	82
B-2	52	85
C-1	44	80
C-2	46	86
D-1	51	76
D-2	48	86

## 2. 勁度試驗

勁度為結構之工程特性用以決定抵抗彎曲或撓曲的能力，它用來確認自鋪面到路基或底層以下之荷重傳遞。

由表 5.4 試驗結果可以得知，未添加底碴的 A 斷面其勁度值都高於添加底碴的 B、C 斷面，另外藉由表 5.5 底層變異數分析的結果也得知，添加底碴的斷面與未添加的斷面有顯著的差異，究其原因應為材料影響到施工滾壓的品質，造成底層滾壓夯實度的不同，再加上各斷面添加含水量不同，因此直接會反應出添加底碴的斷面勁度會比較低。

表 5.4 施工後底層勁度試驗結果

點位	勁度(MN/m)		
	斷面 A	斷面 B	斷面 C
20cm	15.36	11.12	11.03
	15.53	11.32	11.16
	15.61	11.66	11.20
	15.51	11.83	11.28
	15.60	11.84	11.76
	平均 15.52	11.55	11.29
40cm	13.65	11.68	10.47
	13.98	11.99	11.61
	13.33	11.17	10.95
	13.36	11.25	11.05
	13.54	11.62	11.03
	平均 13.57	11.54	11.02

表 5.5 施工後底層勁度變異數分析結果

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	68.87229	2	34.43614	78.59468	5.53E-12	3.354131
組內	11.83001	27	0.438149			
總和	80.7023	29				

而相對於表 5.6 施工後基層勁度試驗結果，發現基層由於本身原始材料就不如底層高，再加上其底碴添加量更多因此其所得勁度就不如底層來得高。由數據結果顯示基層的原土勁度約與底層添加底碴的勁度相同，當添加 80%底碴的基層時，其勁度略微降低，而使用 100%底碴的基層其勁度更低於其他斷面，現地施工的時候也發現，採用全底碴來當基層材料，其施工必須要經過較多次的滾壓才可達到理想的壓密度，再加上其含水量必須添加很多，因此在做勁度量測時其實驗值是比較低的。

表 5.6 施工後基層勁度試驗結果

點位	勁度(MN/m)		
	斷面 A	斷面 B	斷面 C
20cm	10.85	10.16	9.36
	11.23	10.29	9.53
	11.58	10.22	9.61
	11.35	10.43	9.51
	11.6	10.53	9.6
平均	11.32	10.33	9.52
40cm	11.54	10.62	8.71
	11.64	10.69	9.07
	11.83	10.81	9.39
	11.29	10.05	9.76
	11.61	10.83	9.74
平均	10.85	10.16	9.36

### 3.鑽心試體成效試驗

為了比較施工前後路面性質的變化，本研究於檢測過程中，進行鑽心取樣，如圖所示，再利用鑽心試體進行成效試驗，包含了壓實度、回彈模數、潛變模數等試驗，以驗證施工前後，路面特性之改變。

#### 4.壓實度

壓實度檢驗部分依據 AASHTO T230-68 (1993)來進行，包含施工前及施工後兩部分，其試驗結果如表 5.7 所示。由實驗結果得知，與相對最大理論密度比較各斷面壓實度均可達 93%以上，而各點的差異，可能是來自於各斷面是否由足夠的滾壓，因此現場壓實度還是以施工影響較為明顯，而另外需特別注意的就是，避免過度壓密，因為在第四章節已有提到底碴容易破碎的問題，因此未來在施工時對於現場滾壓的程度必須好好掌控才行。

表 5.7 施工後鑽心試體壓實度試驗結果

點位	密級配		
	比重	相對最大理論密度	壓實度
A-1	2.22	2.33	94.30%
A-2	2.22		94.50%
A-3	2.22		94.30%
A-4	2.21		94.10%
A-5	2.17		92.50%
A-6	2.16	2.27	92.00%
平均	2.20		93.62%
B-1	2.17		93.10%
B-2	2.18		93.40%
B-3	2.17		93.30%
B-4	2.17		93.30%
B-5	2.17		93.10%
B-6	2.17		93.10%
平均	2.17	2.35	93.22%
C-1	2.23		94.80%
C-2	2.19		93.10%
C-3	2.21		94.20%
C-4	2.20		93.80%
C-5	2.20		93.70%
C-6	2.20		93.70%
平均	2.21		93.88%

## 5.回彈模數

### (1)瀝青面層：

由表 5.8 及圖 5.5 可以得知現地試鋪結果與實驗室配比設計所得的結果非常類似，其在 25℃ 及 40℃ 的實驗結果均顯示有添加底碴的性能均比未添加底碴的標準對照組差，而且經過變異數分析變異數分析比較的結果也是有明顯的差異，在此除了與實驗室所得結果相呼應，另外也說明了有添加底碴的瀝青混凝土在低溫時其黏塑性較一般差，高溫時抵抗車轍推擠能力也比較差。

表 5.8 施工後面層回彈模數試驗結果

試驗組別	現地取料面層 a (kg/cm <sup>2</sup> )		現地鑽心面層 b (kg/cm <sup>2</sup> )	
	25℃	40℃	25℃	40℃
0%-1	16152	7820	14528	6116
0%-2	19608	7980	12635	6468
0%-3	18415	8395	13975	7313
平均	18058	8065	13713	6632
10%-1	26608	7434	17265	4892
10%-2	23951	7817	16602	6234
10%-3	24507	7084	17861	5758
平均	25022	7445	17243	5628
20%-1	27747	6741	17087	4922
20%-2	26234	7036	18135	5101
20%-3	23869	6623	18654	5551
平均	25950	6800	17959	5191

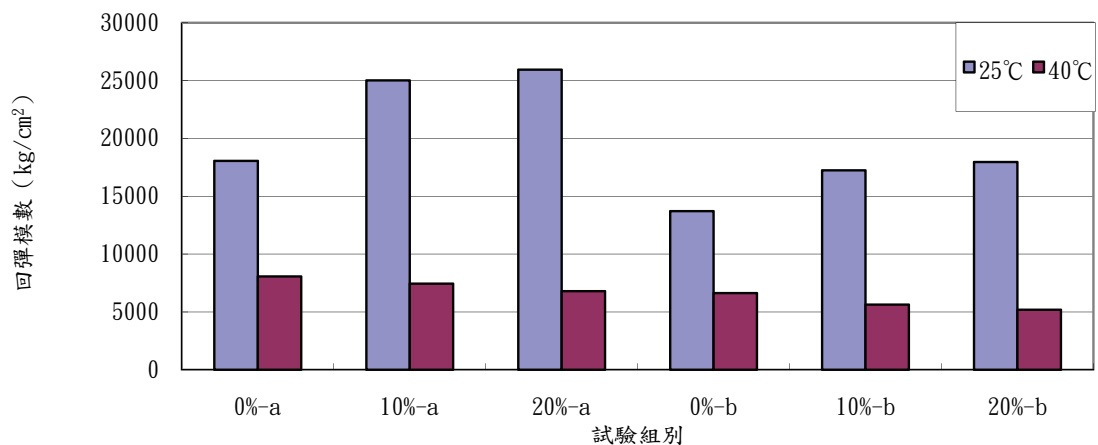


圖 5.5 現地取料與現地鑽心回彈模數試驗結果比較圖

(2)瀝青底層：

表 5.9 為瀝青處理底層回彈模數試驗結果，添加底碴的處理底層得知，其與面層結果相同，有添加底碴與未添加相比也是顯得比較差，由變異數分析檢定結果也是顯示無論在 25℃ 與 40℃ 對於回彈模數也是有顯著性的差異。而鑽心試體部分其所測得回彈模數與現地取料的試體非常接近，由此可知實驗室的模擬與現地的值應是非常接近的，而實驗室結果與現地試鋪結果是非常吻合的。

表 5.9 施工後瀝青處理底層回彈模數試驗結果

試驗組別	現地取料 a (kg/cm <sup>2</sup> )		現地鑽心 b (kg/cm <sup>2</sup> )	
	25℃	40℃	25℃	40℃
0%-1	17403	7506	15556	7204
0%-2	15349	8544	16355	6482
0%-3	17257	6410	16955	6901
平均	16670	7486	16288	6862
20%-1	15747	5846	17330	5379
20%-2	17760	5634	19148	6320
20%-3	17931	5461	18024	5863
平均	17146	5647	18167	5854

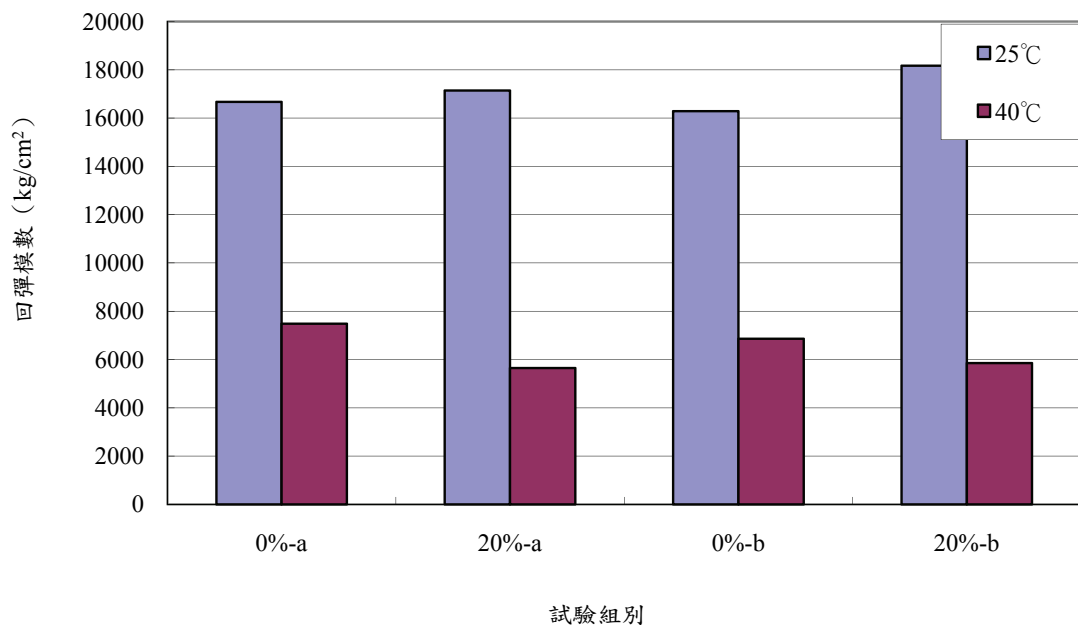


圖 5.6 現地取料與現地鑽心回彈模數試驗結果比較圖



## 6. 潛變試驗

### (1) 瀝青面層

由現地取料製作馬歇爾試體進行潛變試驗結果得知，有添加底碴的實驗組其發生變形的現象較大，圖 5.7 所示潛變模數大小依序是 0%>10%>20%，而 40℃ 與 25℃ 的實驗結果相當，都是以添加底碴所產生的變形較大，如果進行變異數分析，其結果也是顯示添加底碴對潛變模數的影響有明顯的差異。

表 5.10 現地取料面層靜態潛變試驗結果

試驗組別	潛變模數 (kg·sec/cm <sup>2</sup> )	
	25℃	40℃
0%-1	259200	160639
0%-2	335591	155794
0%-3	269258	175603
平均	288016	164012
10%-1	252084	139211
10%-2	244671	145712
10%-3	237253	142479
平均	244670	142467
20%-1	212422	126769
20%-2	230703	120469
20%-3	225468	112969
平均	222864	120069

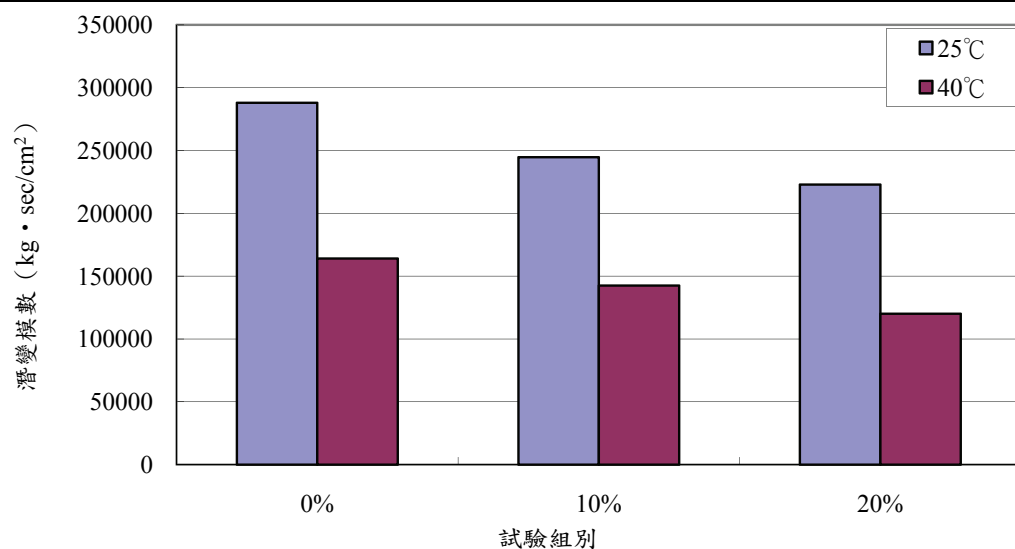


圖 5.7 現地取料面層潛變試驗結果比較圖

藉由現地鑽心試體來施測靜態潛變試驗，其與一般室內所製做馬歇爾試體實驗結果相同，如表 5.11 及圖 5.8 所示，都有相同的趨勢，均是以有添加底渣的抵抗變形能力較差，以現地取料潛變模數結果來說明，材料在這方面的影響應該還是主要原因。

表 5.11 現地鑽心面層靜態潛變試驗結果

試驗組別	潛變模數 ( $\text{kg}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ )	
	25°C	40°C
0%-1	257598	152164
0%-2	264905	164745
0%-3	286552	176298
平均	269685	164402
10%-1	257860	132952
10%-2	234344	144544
10%-3	245640	143491
平均	245948	140329
20%-1	198758	121741
20%-2	204646	112660
20%-3	214215	105118
平均	205873	113173

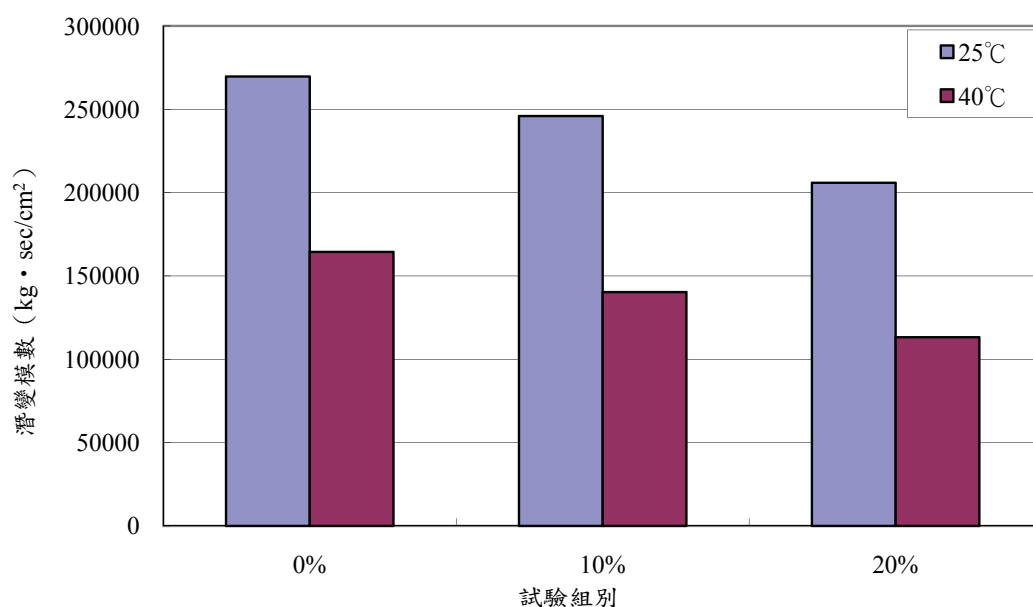


圖 5.8 現地鑽心面層潛變試驗結果比較圖

(2)瀝青處理底層:

底碴在添加入瀝青處理底層中後，其潛變模數還是以添加 20%>0%，表 5.13 也可看出實驗結果相差不大，會導致此項原因，可能是由於現地施工其他因素與材料性質交互影響下導致添加底碴的變異不明顯。

表 5.12 現地取料瀝青處理底層靜態潛變試驗結果

試驗組別	潛變模數 ( $\text{kg}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ )	
	25℃	40℃
0%-1	152585	121212
0%-2	142414	110657
0%-3	161069	133752
平均	152023	121874
20%-1	123663	97771
20%-2	133981	103346
20%-3	134427	99061
平均	130690	100059

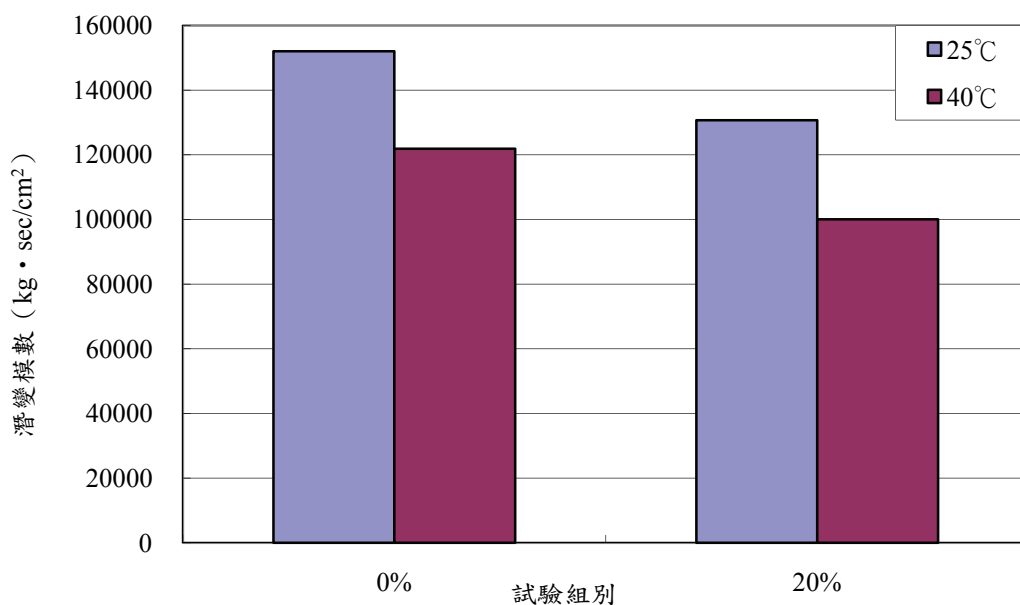


圖 5.9 現地取料瀝青處理底層潛變試驗結果比較圖

表 5.13 現地鑽心瀝青處理底層靜態潛變試驗結果

試驗組別	潛變模數 ( $\text{kg}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ )	
	25°C	40°C
0%-1	149059	93487
0%-2	135270	113417
0%-3	153124	124446
平均	145817	110450
20%-1	133555	91223
20%-2	148490	99360
20%-3	147728	90070
平均	143257	93551

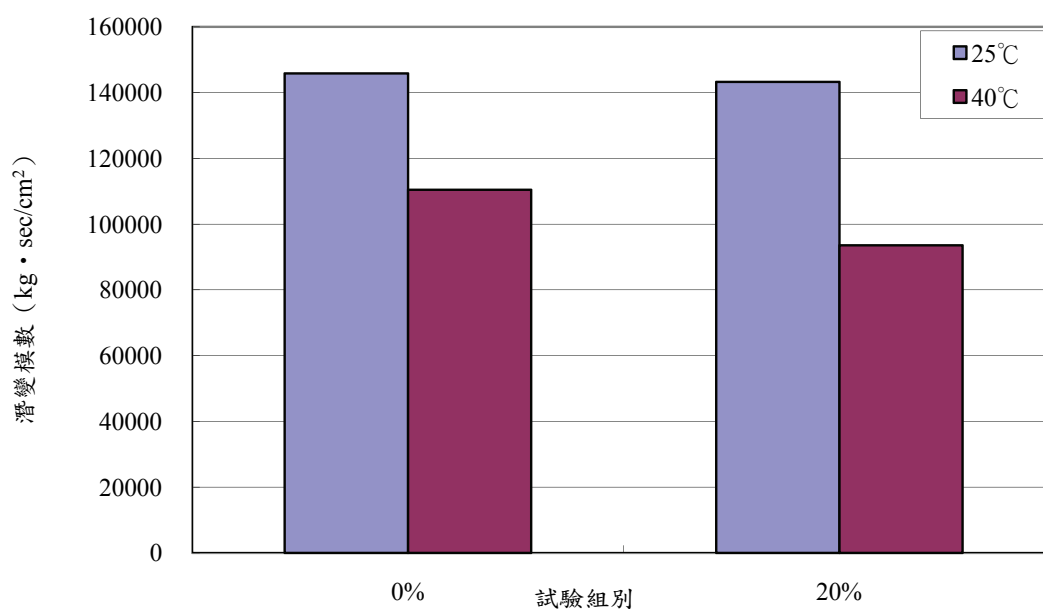


圖 5.10 現地鑽心瀝青處理底層潛變試驗結果比較圖

## 7. 瀝青混凝土平坦度檢驗

直規型高低平坦儀因構造簡單、操作容易、易於校正、精確度高、運送方便且造價低廉，故為世界各地施工單位廣泛採用。高低平坦儀之原理甚為簡單，為利用直規前後二固定輪和路面接觸為基準點，在直規中央裝上記錄輪或測定輪以測定路面之平坦程度，而測定輪對路面高低程度之顯示係以面板上之刻度表示，其放大倍數為 20 倍，故所測高低差之精確度可達  $1/24$  吋，如圖 5.11。



圖 5.11 高低平坦儀

本路段在各斷面交界處因為均有特別突起之人孔蓋，因此施測路段均避開，而各斷面從下表數據可以得知各段標準差均可符合公路局 4mm 以下的規定，表示試鋪完工之後有良好的平坦度。

表 5.14 平坦度試驗結果

路段別	統計長度(m)	觀測點數	凸 處		凹 處		平均值 R(mm)	標準差 S(mm)
			最大值 (mm)	> 6mm 之點數	最大值 (mm)	> 6mm 之點數		
A斷面 (順)	30	15	5.8	0	4.6	0	2.45	0.91
A斷面 (逆)	30	14	2.7	0	7.5	3	3.89	1.44
B斷面 (順)	40	24	6	1	4.5	0	3.50	1.36
B斷面 (逆)	40	24	8	14	1	0	2.30	0.89
C斷面	40	24	4.5	0	6	1	3.78	1.04

## 8.路面抗滑阻力

為了瞭解新工完成路段防滑度，本研究採用英式防滑度測定儀器於新公路段分成三段施測，施測結果顯示各路段防滑度均可符合規定，而且可能該路段目前較少車輛通行，開放通車一個月後，均可維持良好的防滑度。

表 5.15 抗滑試驗結果

點位	R20	摩擦係數
A-1	87.92	0.97
A-2	87.42	0.96
平均	87.67	0.96
B-1	83.48	0.92
B-2	82.28	0.91
平均	82.88	0.91
C-1	87.64	0.96
C-2	88.06	0.97
平均	87.85	0.97

由 5.35 試驗結果得知有添加底碴的瀝青混凝土面層其  $R_{20}$  均可符合幹道  $R_{20}=55$ 、一般道路  $R_{20}=45$  的規定，由於目前還算是新工的路段所以摩擦性能還是非常的好，另外由表 5.36、表 5.37 變異數分析結果得知這三個斷面的抗滑試驗值有明顯差異，這可能是由於 B 斷面所添加的含油量較高的以及粒料較細的原因所導致，所以抗摩擦的能力稍微較其他斷面低。

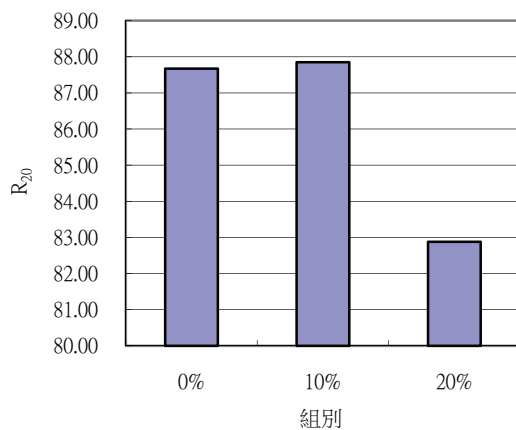


圖 5.12 抗滑試驗比較圖

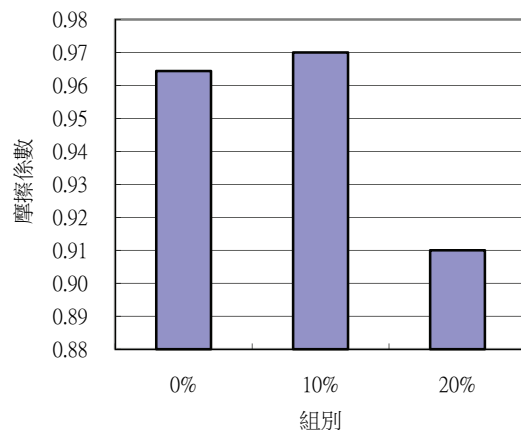


圖 5.13 摩擦係數比較圖

## 9. 勁度

表 5.38 為施工後面層勁度試驗結果，由結果可看出除了在 B 斷面 20 公尺處勁度較差外，其餘在各斷面的勁度都非常的接近，因此在此部分影響的因素應該是以施工壓實的影響較大，材料影響較小，如果再經變異數分析結果如表 5.16 可得知這三個斷面的勁度結果是有顯著的差異。

表 5.16 施工後面層勁度試驗結果

點位	勁度(MN/m)		
	斷面 A	斷面 B	斷面 C
20cm	44.81	36.01	46.30
	45.41	34.43	46.57
	45.73	36.80	47.32
	46.01	36.95	46.42
	46.21	37.66	46.21
平均	45.63	36.37	46.56
40cm	42.43	41.75	42.36
	43.25	42.27	43.25
	43.39	42.64	43.38
	43.55	42.61	44.03
	43.54	42.77	44.17
平均	43.23	42.41	43.44

## 10. 現地取料間接張力試驗結果

由現地取料於室內製作馬歇爾試體，其所得的結果，光看數據有添加底碴其間接張力與未添加相差不多，分別是 0%>10%>20%，而在間接張力—功的反應也是與間接張力相同。

表 5.17 面層間接張力試驗結果

試驗組別	25℃		40℃	
	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)
0-1	11.86	120.49	4.84	49.64
0-2	12.00	115.94	5.01	51.38
0-3	11.54	113.08	4.72	48.41
平均	11.80	116.50	4.86	49.81
10-1	10.15	115.40	3.82	39.18
10-2	11.42	119.70	4.43	45.43
10-3	11.08	115.28	4.12	42.25
平均	10.88	116.79	4.12	42.29
20-1	10.42	119.06	3.76	38.56
20-2	10.21	116.74	3.52	36.10
平均	10.32	117.90	3.64	37.33

表 5.18 瀝青處理底層間接張力試驗結果

試驗組別	25℃		40℃	
	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)	間接張力 (kg/cm <sup>2</sup> )	功 (kg-cm)
0%-1	10.74	105.80	3.81	39.07
0%-2	10.40	115.25	3.52	36.10
0%-3	10.58	107.19	3.78	38.77
平均	10.57	109.41	3.70	37.98
20%-1	9.57	93.65	2.53	25.95
20%-2	9.52	93.11	2.42	24.82
20%-3	9.15	94.19	2.43	24.92
平均	9.41	93.65	2.46	25.23



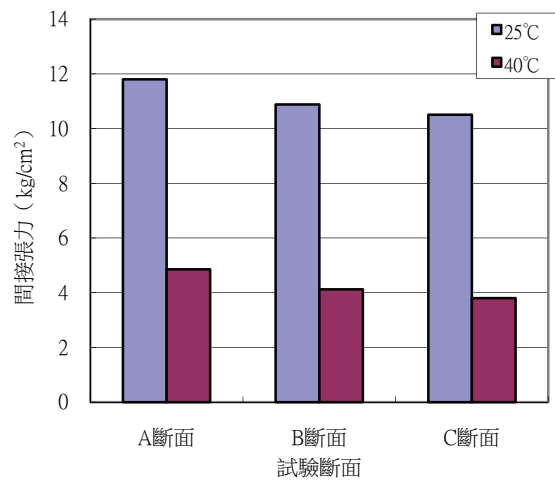


圖 5.14 面層間接張力比較圖

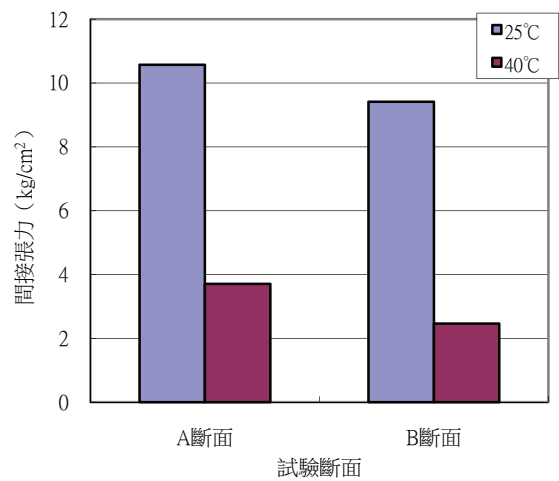


圖 5.15 底層間接張力比較圖

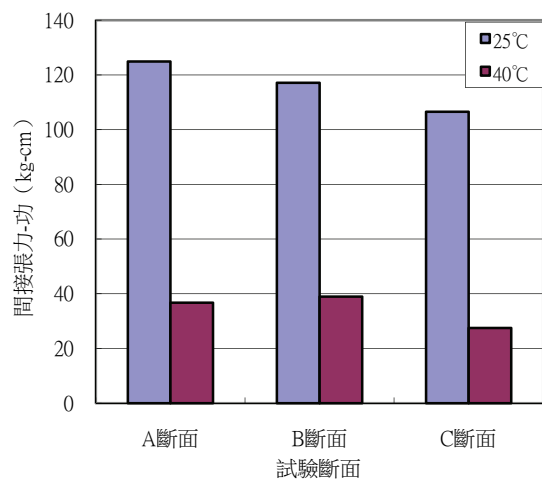


圖 5.16 面層間接張力一功比較圖

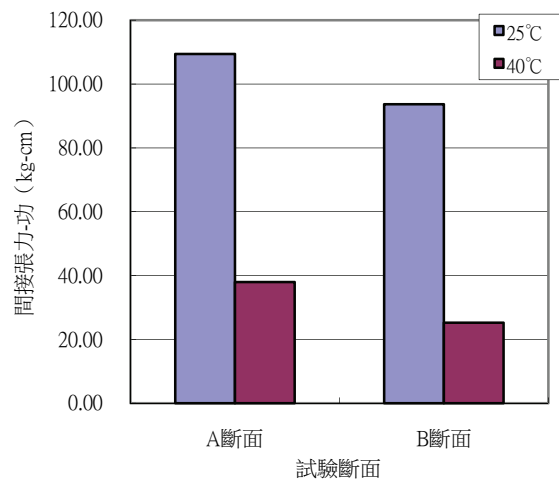


圖 5.17 底層間接張力一功比較圖

瀝青處理底層部分間接張力值比面層低，如果再添加底碴反應出的間接張力要再降低，在間接張力一功的表現也無法如面層高，因此瀝青混凝土材料的不同將影響間接張力一功的表現，尤其是間接張力，不同的孔隙率、瀝青膠泥含量均會影響。

## 5.2 轉爐石

### 5.2.1 ○○○南星計劃區試鋪道路

本計畫成效評估計畫重點於評估轉爐石路面之成效，藉以了解排水性路面與目前現有鋪面之間成效差異。

本計畫欲進行之評估計畫內容計有抗滑能力評估、目視調查、車轍量測、路面平坦度，鋪面厚度分析等試驗，相關內容與成效評估流程分述如下：

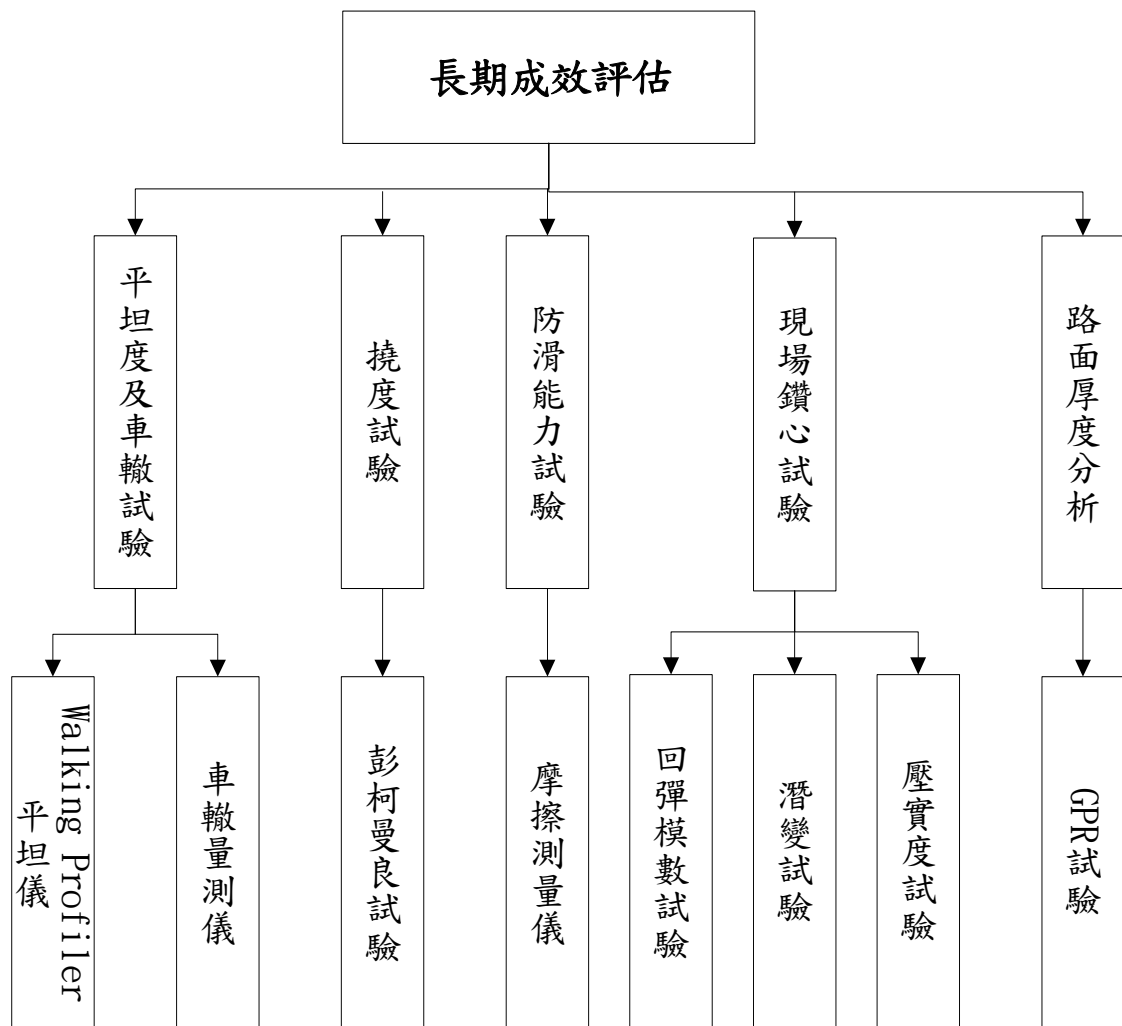


圖 5.18 成效評估流程圖

## 一、車轍試驗

針對南星計畫試鋪道路進行成效試驗，以了解使用摻配轉爐石之密級配瀝青混凝土之鋪面成效，車轍試驗分成為由西向東(順向)與東向西(逆向)兩部分進行探討，並每隔 50 公尺施測一次，詳細施測點為下圖 5.18 所示。由圖 5.19 之試驗結果顯示，順向 0~200 公尺處之車轍現象並不明顯，大致屬於良好的情形，但於 250 公尺處，車轍值為 1.4 公分較 0~200 公尺之車轍值來的差，初步判定可能原因為此處位於轉彎點，扭力產生之破壞效應所造成。而於 300 公尺處產生接近 3 公分之車轍，初步推斷可能為卡車常於此處煞車推擠所產生。圖 5.21 中顯示其車轍值大致介於 1~2 公分，係屬於尚可之成效，但明顯比順向之車轍值來的差，初步判定應為本路段前之車道未畫製車道分隔線，經觀察大部分卡車皆行駛於此車道，所以在重車不斷的輾壓下會導致車轍發生。除了幾處高低落差較大外，經比對試鋪前之鋪面可發現此破壞現象，可能為之前的基底層部分破壞所造成。除此之外，其餘面層部分皆屬於成效不錯的情形。

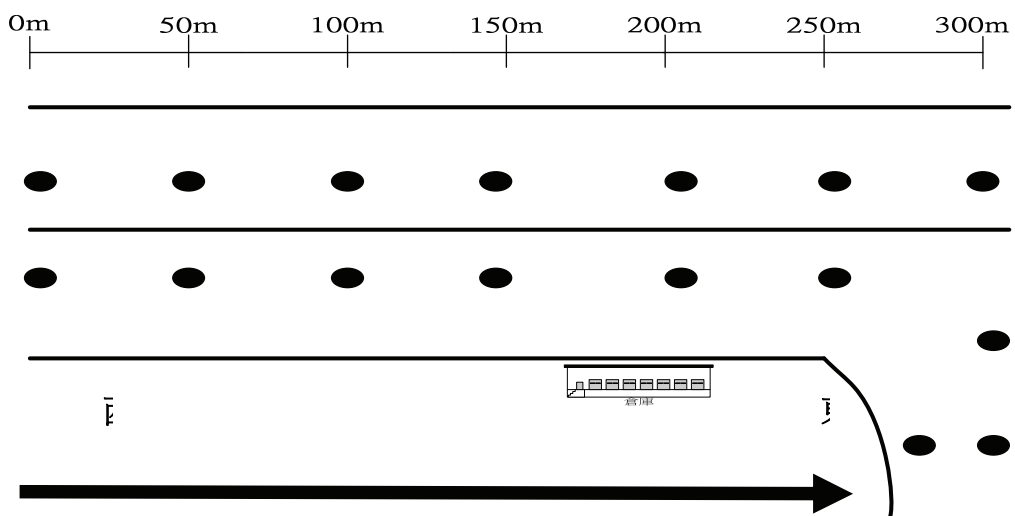


圖 5.19 車轍試驗點位圖

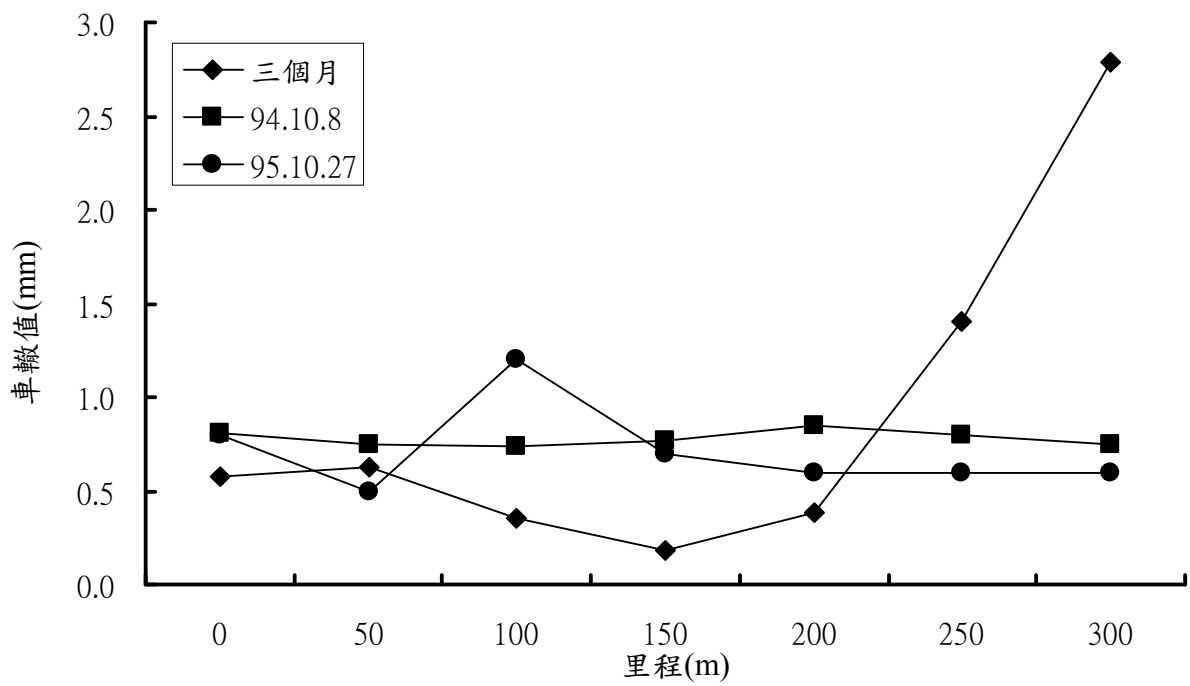


圖 5.20 順向車轍試驗結果

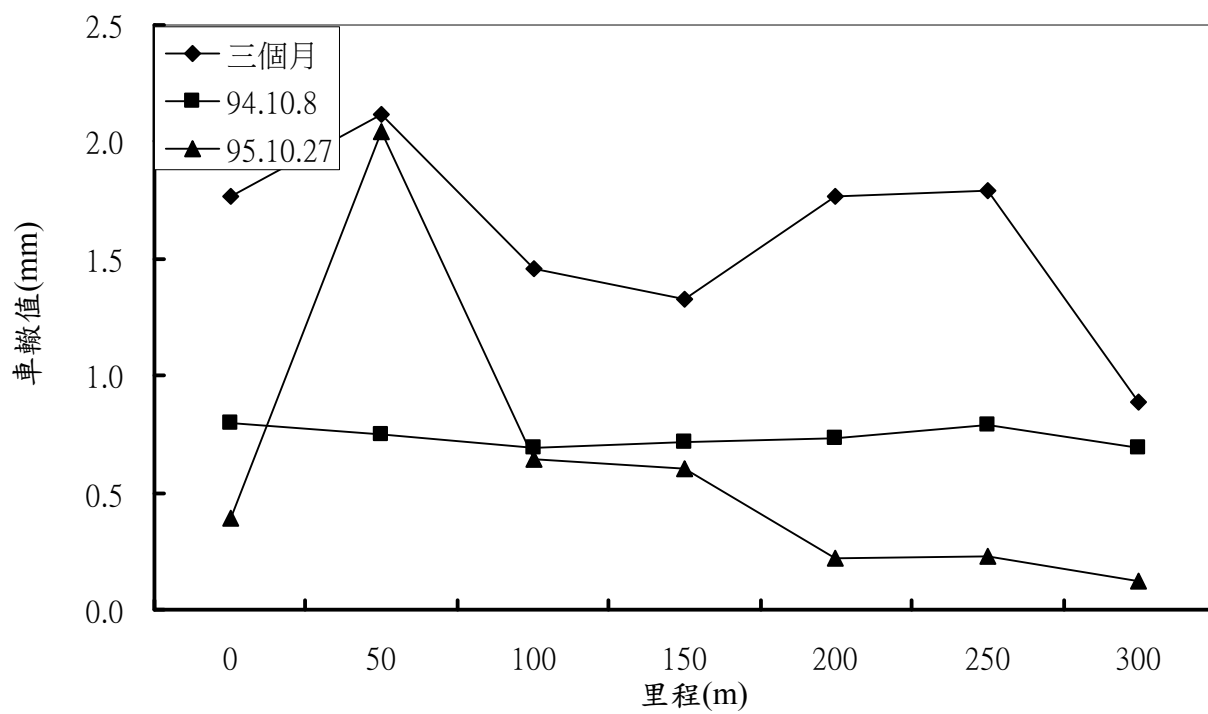


圖 5.21 逆向車轍試驗結果

## 二、抗滑試驗

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℃ 時之標準  $R_{20}$ ，並計算其摩擦係數，探討轉爐石瀝青混凝土鋪面經過三年後的成效。

檢測結果顯示，抗滑值與一般瀝青路面差異不大；再者，本研究利用統計平均數檢定分析方法，討論隨時間的增加對轉爐石瀝青混凝土鋪面的抗滑所產生之變化，根據圖 5.23 及圖 5.24 顯示，完工後三個月與 94 年（包括順向與逆向）之抗滑值具有顯著差異，完工後三個月之抗滑平均值在順向與逆向皆高於 94 年；94 年與 95 年檢測數據，根據表 5.5 兩次檢測結果無顯著差異，由上述可判斷，試鋪道路於開放通車後至 94 年抗滑值下降，94 至 95 年抗滑值沒有顯著變化，此一變化與鋪面抗滑值變化原理相同，鋪面開放交通使用一段時間後，表面粒料易被磨耗而趨於平滑，造成抗滑值下降，而後若無其他外來因素且面層材料良好，抗滑值將不會有太大之改變。

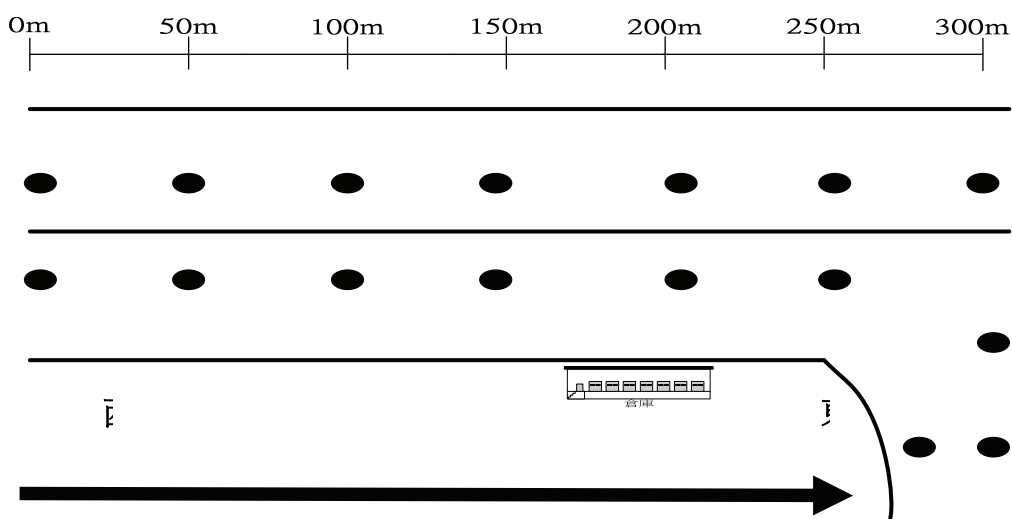


圖 5.22 抗滑試驗點位圖

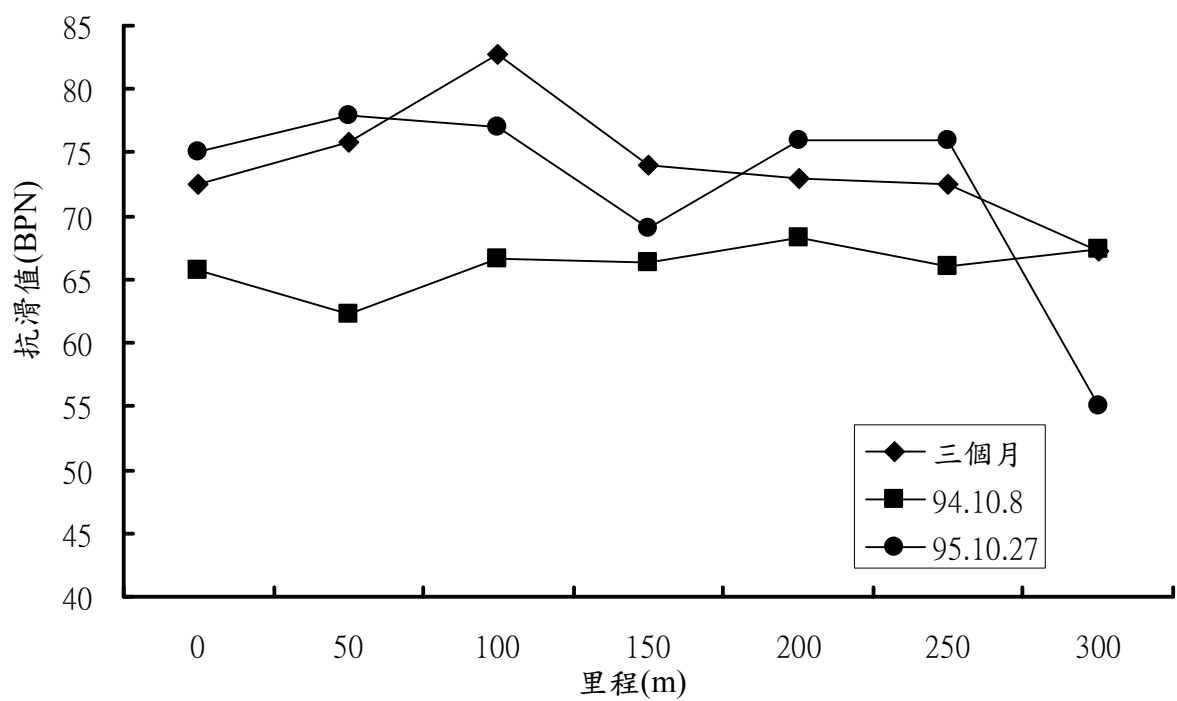


圖 5.23 順向抗滑試驗結果

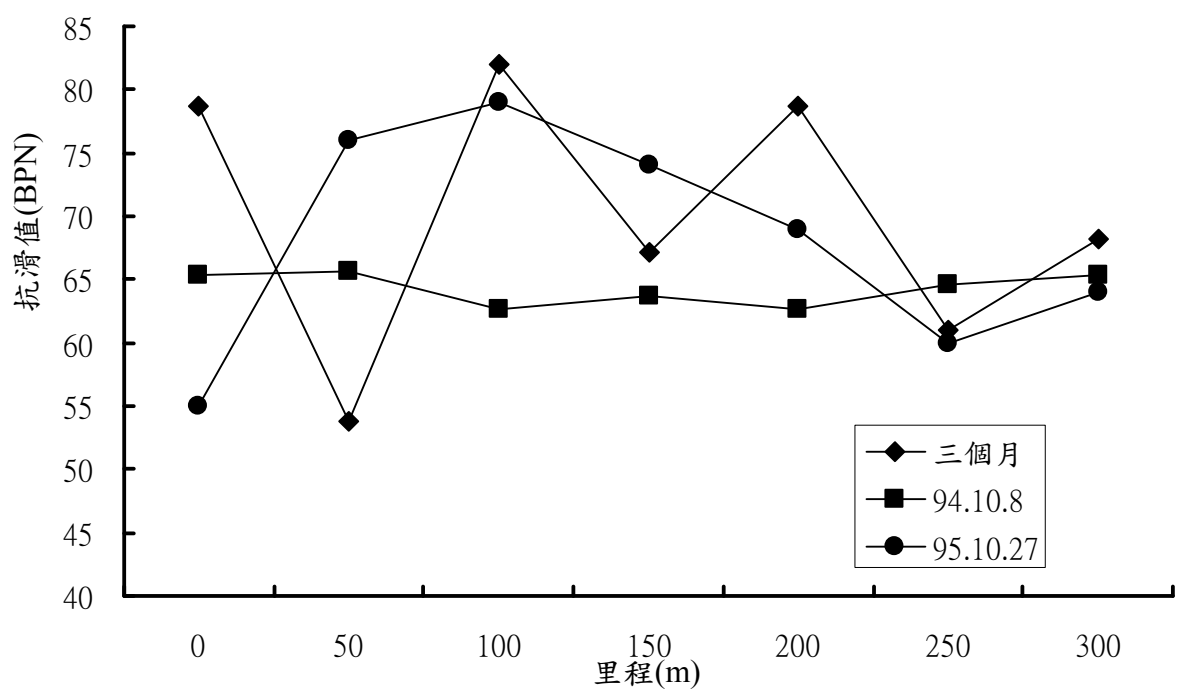


圖 5.24 逆向抗滑試驗結果

### 三、平坦度試驗

將 94 年與 95 年檢測所得之平坦度進行分析，如圖 5.25 及圖 5.26 顯示兩者並無顯著差異，說明 94 年至 95 年試鋪路段平坦度無顯著變化，檢測結果發現，除了在鋪面破壞附近的平坦度較差之外，其餘路段尚未到達修補的等級，試驗路段平坦度整體成效良好。

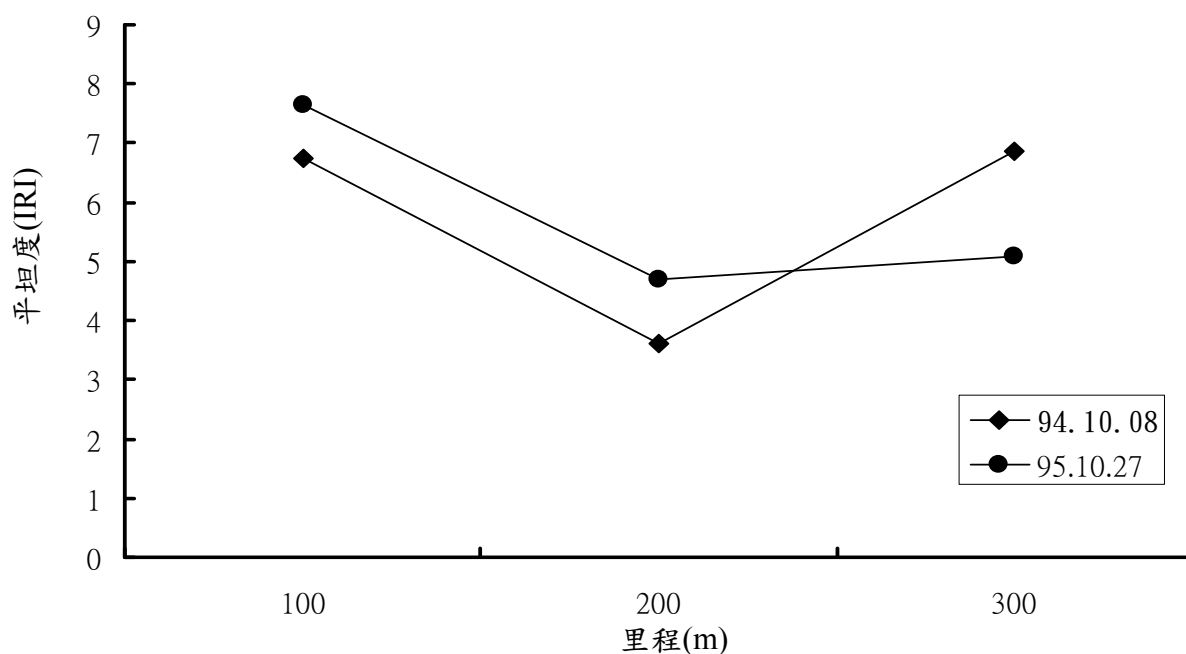


圖 5.25 順向平坦度試驗結果

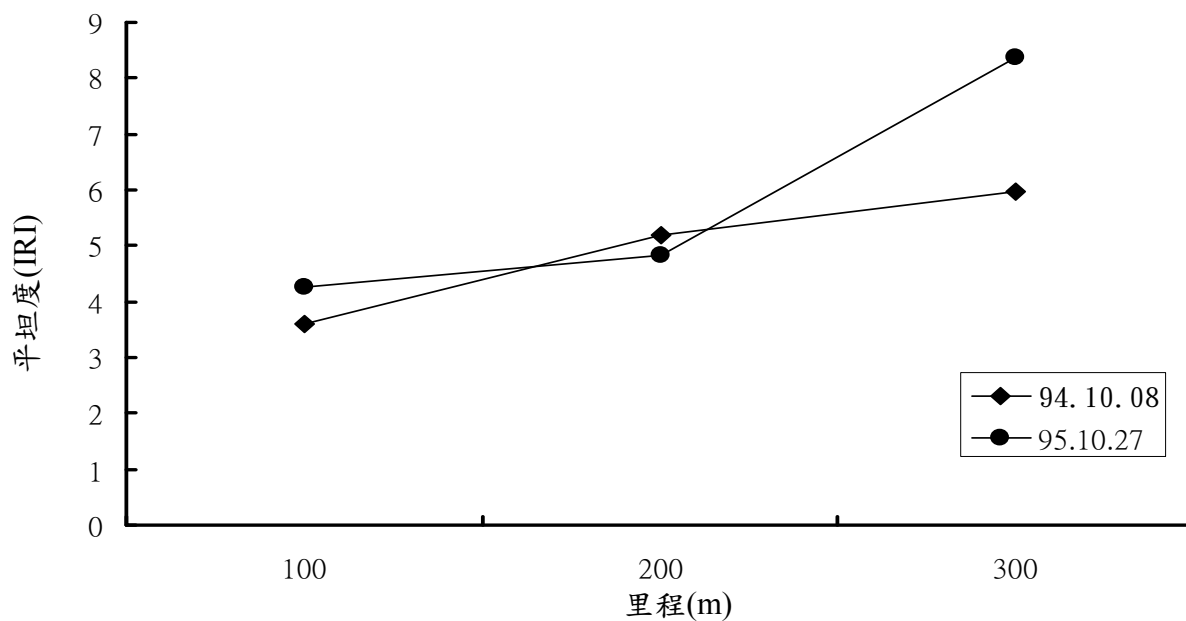


圖 5.26 逆向平坦度試驗結果

#### 四、撓度試驗

在撓度試驗部份，目前是以彭柯曼梁來進行撓度的檢測，檢測數據顯示，除已破壞的路段之外，其路基及鋪面的強度均屬良好，表 5.19 顯示出轉爐石瀝青混凝土的良好成效，已能夠抵抗南星計劃區每日的超重車輛來行駛。

表 5.19 95.10.27 彭柯曼梁試驗結果表(1/1000MM)

測點里程	點位	0.5	1	1.5	2	2.5	3	6	9	撓度值
順 50m	左輪跡	18	23	23	23	26	26	26	26	52
	右輪跡	17	29	33	33	33	33	33	33	66
順 150m	左輪跡	15	17	19	19	19	19	19	19	38
	右輪跡	5	5	5	5	5	5	5	5	10
順 250m	左輪跡	9	11	12	12	12	12	12	12	24
	右輪跡	7	8	8	8	8	8	8	8	16
逆 50m	左輪跡	20	30	34	34	34	34	34	34	68
	右輪跡	16	29	29	31	31	31	31	31	62
逆 150m	左輪跡	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	右輪跡	2	2	2	2	2	2	2	2	4
逆 250m	左輪跡	4	9	9	9	9	9	9	9	18
	右輪跡	3	11	11	11	11	11	15	15	30

#### 五、透地雷達試驗

南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面檢測，以測線 A1 車道中心施測，測線 A1 總長 87m，並進行兩點 CMP 法求得各層速率及一點鋪面隆起測線 A2 長度 1m，詳細示意圖如下圖 5.27 所示，施測參數如表 5.20 所示。

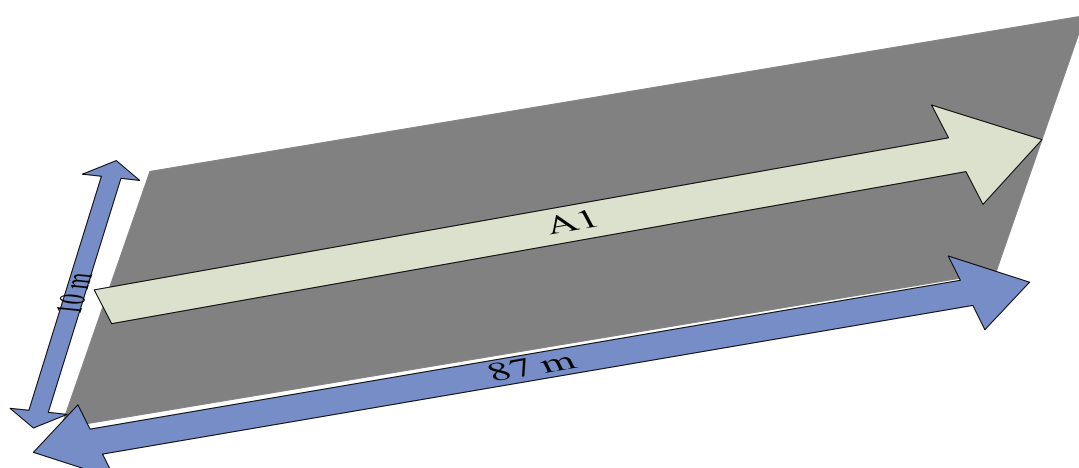


圖 5.27 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線示意圖



表 5.20 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線施測參數

編號	測線名稱	天線頻率 (MHz)	天線間距 (m)	測線長度 (m)	測點間距 (m)	紀錄時間 (ns)	疊加 次數	車速 (km/hr)
A1	051008-1	900	0.17	87	0.5	25	32	-
A2	051008-2	900	0.17	1	0.5	25	32	-
CMP	C05108-1	900	0.17	0.5	0.02	20	128	-
CMP	C05108-2	900	0.17	0.5	0.02	20	128	-

測線 A1 之檢測結果以 5m 之間距取點評估。於 CMP 法求得瀝青混凝土鋪面介質層速率為 0.1 m/ns，求得密級配厚度為 11.55cm ~ 8.8 cm 之間；相關計算分析如表 5.21 及厚度剖面如圖 5.28。

表 5.21 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面鋪面厚度分析

里程 m	面層時間 ns	BTB 時間 ns	波速 m/ns	面層厚度 cm	BTB 厚度 cm
0	2	4.3	0.11	11.00	23.65
5	1.9	3.6	0.11	10.45	19.80
10	2	4.1	0.11	11.00	22.55
15	2	3.9	0.11	11.00	21.45
20	2	3.8	0.11	11.00	20.90
25	2	3.9	0.11	11.00	21.45
30	1.8	3.5	0.11	9.90	19.25
35	2	3.6	0.11	11.00	19.80
40	1.9	3.8	0.11	10.45	20.90
45	1.6	3.5	0.11	8.80	19.25
50	1.9	4.1	0.11	10.45	22.55
55	1.7	3.7	0.11	9.35	20.35
60	1.8	3.8	0.11	9.90	20.90
65	1.8	3.7	0.11	9.90	20.35
70	2.1	3.8	0.11	11.55	20.90
75	2	3.6	0.11	11.00	19.80
80	2	3.5	0.11	11.00	19.25
85	1.8	3.5	0.11	9.90	19.25

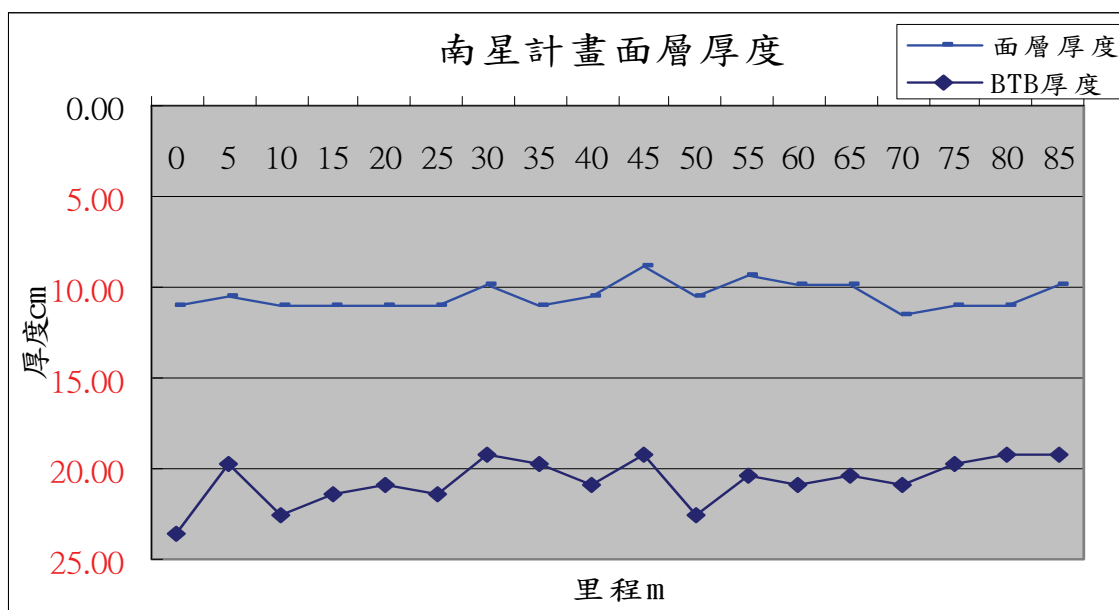


圖 5.28 南星計畫轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面厚度圖

透地雷達地下之剖面圖可判別地下狀態，如各界面層位置、地貌及管線...等地下異常狀況。下圖 5.29 中可見於膨脹區及破碎帶，由圖中可清楚看出於圈起處可看出類似繞射情形，由於現地空曠無建物，且與厚度圖對照下，因此判定該繞射情況可能為底層膨脹所造成之情形，皆須再進行驗證方可確認為管線或者為礫石膨脹所造成之繞射情形。而於圖中可見一崎嶇不平，訊號斷斷續續之區塊，於瀝青面層材料層斷面中，應為膨脹造成之破碎，而造成之不規則繞射情形。而於檢測時於道路表面看出不規則之凸起(如圖 5.30)，由於轉爐石具膨脹現象，而該路段之膨脹可明顯看出為基底層材料所引起。

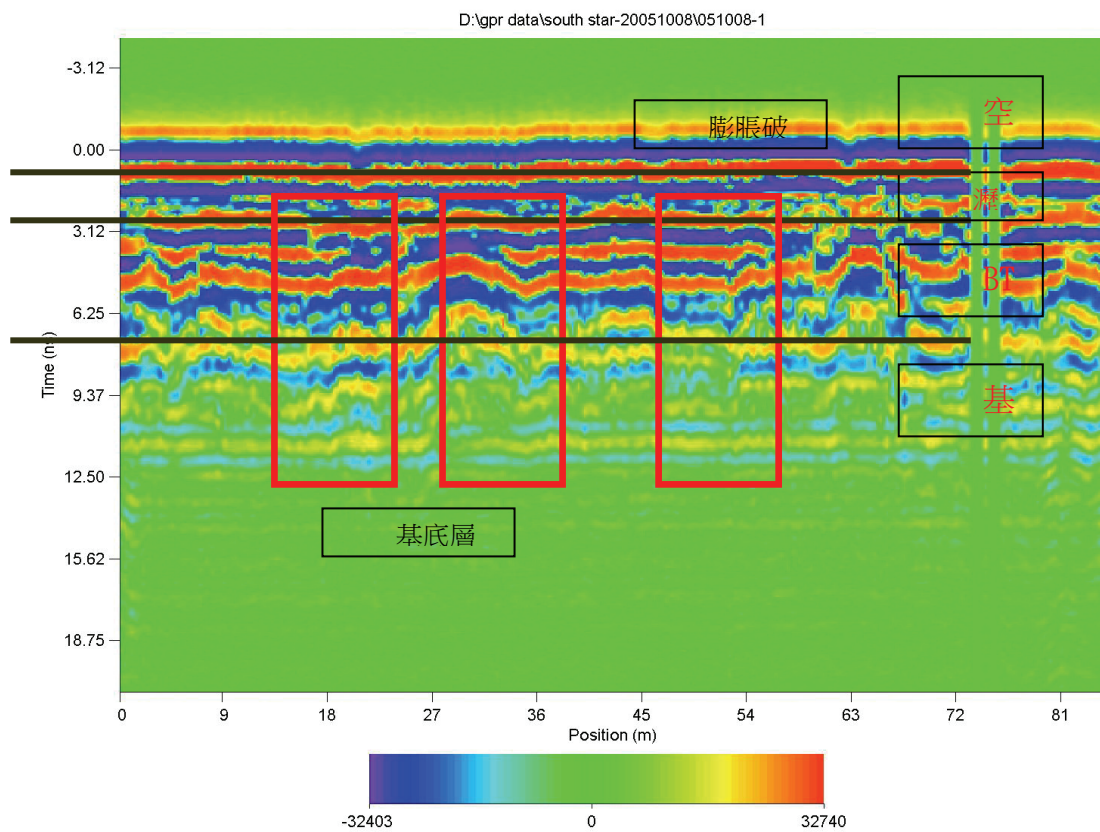


圖 5.29 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線 A1 雷達圖



圖 5.30 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面凸起照-測線 A1

現地道路壟起最嚴重處進行透地雷達檢測，測線 A2 施測方向為下圖 5.31 所示，而雷達施測時由於天線皆貼行路面檢測，因此雷達圖(如圖 5.32)表面顯示較為平整，但可明顯看出路面膨脹為基底層所造成。

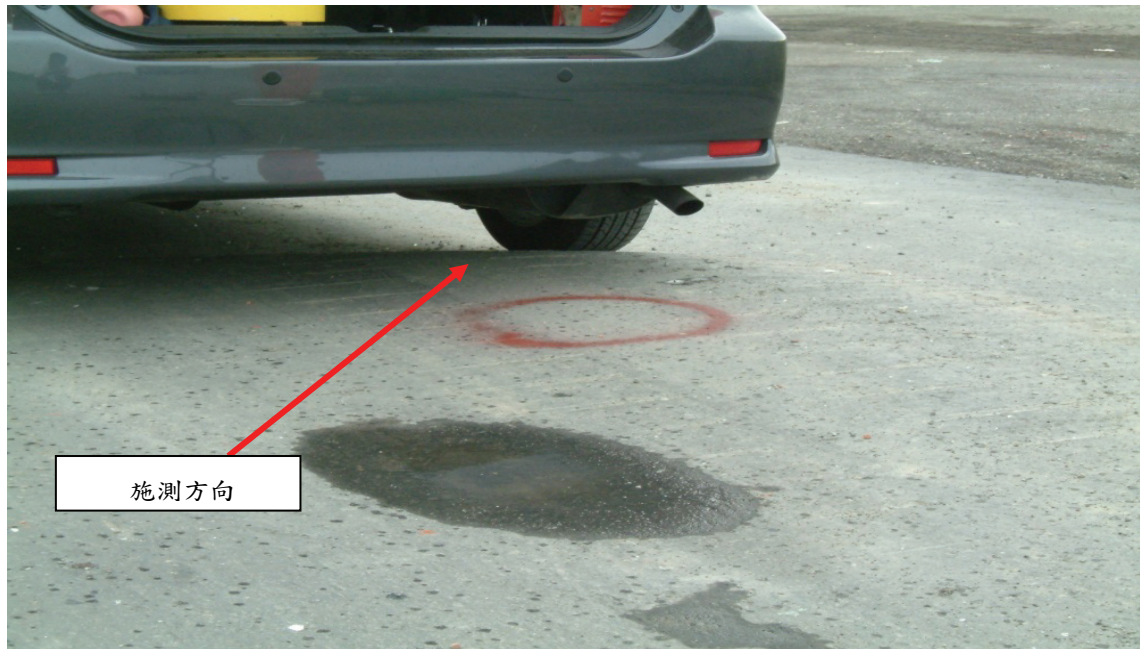


圖 5.31 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面凸起照-測線 A2

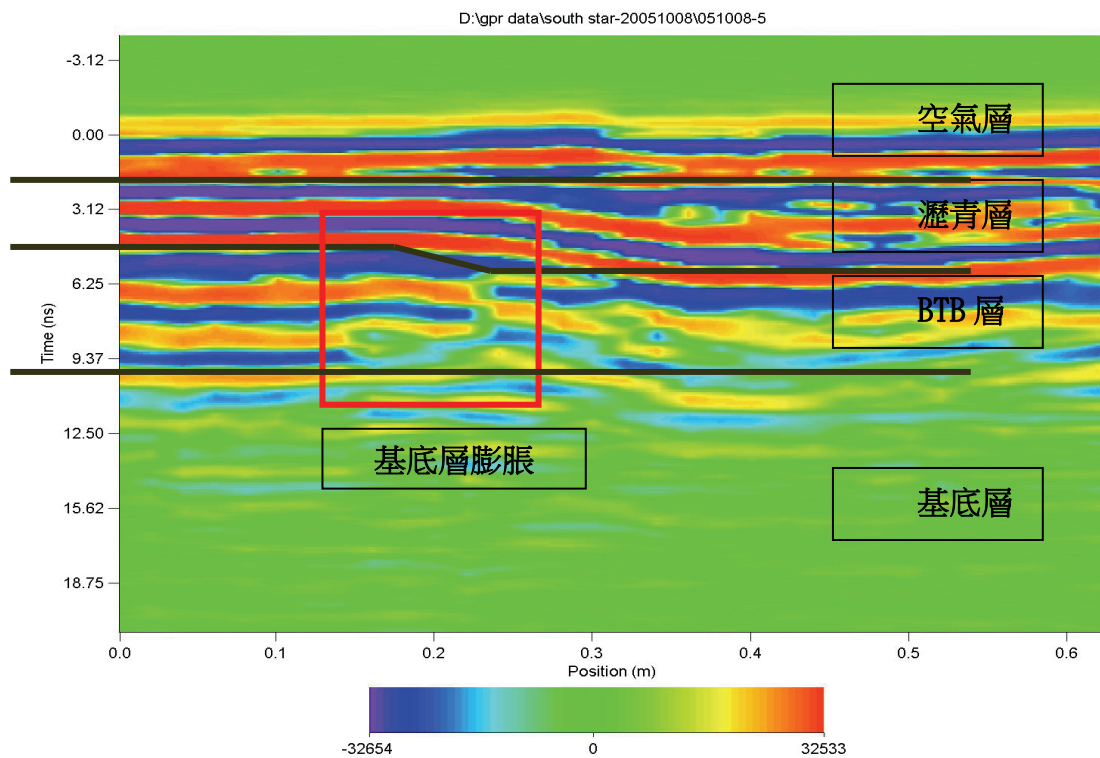


圖 5.32 轉爐石再利用瀝青混凝土鋪面測線 A2 雷達圖



## 六、路面破壞調查

在路面破壞調查部分，目前是以人工來評比路面破壞的等級，其中破壞最嚴重的部分，亦是車轍產生最嚴重的地點，其餘路段並無重大破壞發生，鋪面等級亦未達維修的情形。

表 5.22 試鋪路段 PCI 數據

測點里程	順向	逆向
100m	56	90
200m	57	93
300m	83	87



圖 5.33 順向鋪面狀況



圖 5.34 逆向鋪面狀況



圖 5.35 鋪面破壞積水處

綜合此五項成效評估試驗，驗證轉爐石瀝青混凝土的成效，不僅可以承受每日超重車輛的行駛，在安全性方面亦可兼具，雖然至今只有半年的成效可以加以評估、推斷，並不能很準確的預估出轉爐石瀝青混凝土的使用年限，但在南星計劃區每日超重車輛的行駛下，尚能有如此的成效，亦可為轉爐石應用在鋪面工程做一個最佳的佐證。

## 5.3 玻璃砂

### 5.3.1 雲科大廢玻璃試鋪道路

#### 一、雲科大廢玻璃試鋪道路內容

雲林科技大學首次進行廢玻璃瀝青混凝土現地試鋪，係將廢玻璃經破碎後取代瀝青混凝土中部分細粒料(砂)，分別以 0%、5%、10%及 15%之比例(對總粒料重量百分比)，經實驗室進行配比設計後實際鋪設於現有道路面層，期藉由工地試鋪路段，驗證廢玻璃應用在瀝青混凝土路面之可行性。由於玻璃瀝青路面在國內係屬首次試鋪。因此，該研究參考美、日施工之經驗，使用本土性之材料，在規畫籌備階段-從材料之準備、與瀝青拌和廠之配合作業及到工地施工試鋪，整整歷時半載之時間。此試鋪計畫採循序漸進之方式進行，依不同路段分別使用針入度 85/100(AC-10)及改質 II 型瀝青為黏結料，共計進行三次工地試鋪。

表 5.23 玻璃瀝青路面三次工地試鋪紀錄表

項目	第一次	第二次	第三次
試鋪時間	89 年 5 月 22 日	89 年 8 月 12 日	89 年 9 月 15 日
試鋪地點	二崙鄉間道路	縣道 156 線(崙背~麥寮間)	縣道 158 線(東勢街道)
配合廠商	○○瀝青拌合廠	○○瀝青拌合廠	○○瀝青拌合廠
試鋪面積	153 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>	510 m <sup>2</sup>
玻璃添加量	10% (對總粒料)	0%、5%、10%、15%	0%、5%、10%、15%
瀝青含油量	5.05% (對混合料)	5.32%、5.20%、5.05%、 5.00%	5.37%、5.35%、5.28%、 5.25%
瀝青種類	針入度 85/100 瀝青	針入度 85/100 瀝青	改質 II 型瀝青
玻璃砂粒徑	<4 號篩(4.75mm)	<4 號篩(4.75mm)	<4 號篩(4.75mm)

#### 二、雲科大試鋪道路現地試驗結果分析

該研究續工地試鋪之後，持續對後二次試鋪路段進行為期一年追蹤與成效評估。並藉由工地鑽心試體試驗(包括工地壓實度、透水、劈張及磨損等試驗)及鋪面檢測(包括抗滑、反光、平坦度、噪音、撓度及外觀等檢測)，以探討廢玻璃瀝青混凝土路面在國內推廣之可行性與具體做法。再綜合由「實驗室研究之成果」及「工地試鋪之經驗累積」與「鋪面成效評估結果」作為擬訂『玻璃瀝青混凝土施工技術規範』及『公共工程使用玻璃瀝青混凝土作業要點』，

供日後工程界與環保單位應用與推廣之參考。

由表 5.23 檢測數據顯示，156 線及 158 線在通車一年後反光強度均有增加之趨勢，主要原因為車胎與路面摩擦造成玻璃顆粒逐漸露出路面表面之故。在透水性方面則因通車後車輛輾壓，造成壓密效果，使瀝青混凝土空隙率相對減少，因而透水性亦相對降低；試鋪路段係採用密級配，故透水性極低。表 5.23 中壓實度及透水性之試驗項目係在試鋪工地進行現場鑽心取樣後，於實驗室進行試驗。壓實度隨路面通車後經車輛輾壓造成壓密現象；因此，通車一年後鑽心試體壓實度有微幅之增加。抗滑度及撓度檢測結果均十分良好。

表 5.24 玻璃瀝青混凝土鋪面通車一年後之工地檢測資料 (廢玻璃添加量 10%)

檢 測 項 目	156 線(使用 85/100 瀝青)		158 線(使用改質 II 型瀝青)	
	剛完工之路面	通車一年後之路面	剛完工之路面	通車一年後之路面
反光強度 ( mcd/Lux/m <sup>2</sup> )	16.23	18.77	14.90	18.74
透水性 ( 1.0*10 <sup>-3</sup> cm/sec )	4.77	2.08	3.91	1.02
抗滑度 (縱向濕潤)，R <sub>20</sub>	48.0	51.6	50.0	51.2
壓實度 ( % )	98.4	98.8	97.9	98.4
撓度(彭柯曼樑，1/1000 cm)	41	45	41	68
壓實度 ( % )	98.36	98.76	97.86	98.35
劈張強度 ( kgf/cm <sup>2</sup> )	10.17	12.86	13.07	14.02
模損率 ( % )	4.36	5.86	3.73	5.63

### 5.3.2 台北市廢玻璃鋪面試鋪道路

#### 一、台北市廢玻璃鋪面試鋪道路內容

民國九十二年度，由行政院環保署與台北市政府工務局合作，委託中央大學品保中心進行廢棄玻璃鋪路相關計畫，試鋪 12 條玻璃砂道路，如表 5.25 所示。

表 5.25 九十二年度玻璃砂道路統計表

	道路名稱	長度	寬度	面積	開工日期	完工日期	行政區
1	復興南路 (信義路至市民大道)	2,167.00	18.00	39,006.00	92.09.09	92.09.16	大安
2	中正路 (文林路至基河路)	470.00	23.00	10,810.00	92.12.10	92.12.12	士林
3	長春路 (中山北路至建國北路)	883.75	16.00	141,400.00	92.12.15	92.12.17	中山
4	八德路三段	850.00	16.40	13,840.00	92.09.19	92.09.23	松山
5	譚美街 (南湖大橋至安康路)	933.30	12.00	10,000.00	92.11.20	92.11.21	內湖
6	東山路 (德行東路至天母東路)	835.37	16.40	13,700.00	92.11.23	92.12.24	士林
7	敦化北路與南京東路口	67.14	70.00	4,700.00	92.11.21	92.11.22	中山
8	敦化北路與民生東路口	52.86	70.00	3,700.00	92.11.22	92.11.23	中山
9	新光路二段	550.00	20.00	11,000.00	92.01.24	92.01.27	文山
10	至善路三段	400.00	16.00	6,400.00	92.01.30	92.01.31	士林
11	忠孝東路五段巷內 8 處一般路口	125.00	8.00	1,000.00	92.12.24	92.12.26	信義
12	菁山路	2,000.00	8.00	16,000.00	91.12.29	92.12.30	士林
	總面積			144,296.00			

## 二、台北市試鋪道路現地試驗結果分析

由行政院環保署與台北市政府工務局合作，委託中央大學品保中心進行廢棄玻璃鋪路相關計畫試鋪 12 條玻璃砂道路，此研究現地檢測的項目主要為抗滑值檢測與反光試驗。

### 1. 抗滑值檢測

依據文獻顯示玻璃瀝青混凝土其摩擦係數較傳統瀝青混凝土路面約高出 10% 左右，因此本研究團隊採用英國製造-輕便抗滑度檢測儀(Portable Skid Resistance Tester)進行抗滑值測試，發現玻璃瀝青混凝土之摩擦係數並未較傳統瀝青混凝土路面為佳，其原因在於玻璃砂已經過去稜角過程，且玻璃之化學成分屬二氧化矽，其表面無孔隙產生，因此造成玻璃路面之摩擦係數未必優於傳統路面。另台北市政府級配規範係屬細料較多之材



料，因此本次試鋪之玻璃路面其摩擦係數仍較雲林地區所鋪設的為高，雖於鋪設初期在至善路下坡路段抗滑值有略嫌不足之現象，但於鋪設完成一個月後再次進行量測發現仍符合道路設計之標準。

表 5.26 新光路與至善路抗滑能力試驗值

測試路段	新光路		至善路			
檢測日期	2003/2/18		2003/2/18			
鋪面性質	傳統路面	玻璃路面	玻璃路面	玻璃路面	玻璃路面	玻璃路面
檢測區域	-	-	上坡段 外車道	上坡段 內車道	下坡段 外車道	下坡段 內車道
抗滑值 $R_{20}$	74.65	82.96	54.18	67.43	60.26	44.69
摩擦係數	0.82	0.91	0.60	0.74	0.66	0.49
檢測日期	2003/3/18		2003/3/18			
抗滑值 $R_{20}$	-	62.43	72.34	71.27	58.98	58.19
摩擦係數	-	0.69	0.8	0.78	0.65	0.64

## 2. 反光試驗

玻璃對於光線具有良好的折射效果，對於夜間駕駛者而言可提供良好之視線與週遭環境，降低肇事率。反光試驗主要是探討玻璃添加量多寡對路面的影響，以及不同光源的影響，使用的檢測儀器如圖 5.36 所示，用來檢測道路標線反光度其原理是打出雷射光於鋪面，並計算其反射量。下表 4.27 為室外反光試驗結果，其結果顯示玻璃砂之反光與傳統路面無差異，以目視判斷，玻璃砂路面並不會影響駕駛行為，其與標線之反光值仍有一段差距。

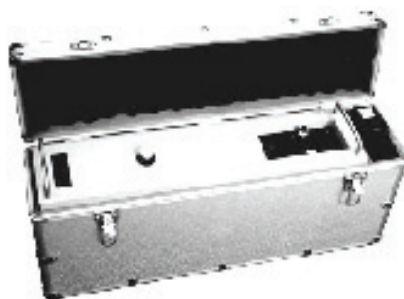


圖 5.36 檢測道路標線反光度之儀器

表 5.27 室外反光試驗結果

	量測值
玻璃砂路面	
復興南路（空軍活動中心前）	3
復興南路（仁愛路口）	0
八德路（台視）	0
傳統路面	
長春路	0
標線	
白色標線	35
黃色標線	131

註：試驗日期：93 年 08 月 05 日

台北市進行玻璃瀝青混凝土試鋪工程，因於事先參考國內外相關經驗，並考量台灣地區潮濕多雨的環境，故於配合設計當中納入殘餘穩定值不得小於 80% 之規定，另因玻璃為親水性物質，為避免於開放通車時產生剝脫現象，故在拌合料中參加添加 2% 石灰當作防剝劑與以較高黏滯度瀝青 AC-20 取代 AC-10，經壓實度與抗滑能力之評估，發現玻璃瀝青混凝土相較於傳統瀝青混凝土在施工方面並無明顯差異，僅因使用高黏滯度瀝青使滾壓溫度比往常為高。在抗滑能力方面，因台北市採用的級配規範較交通部公路局常用之級配其細粒料比例較多，故抗滑能力較雲林地區試鋪成果為佳，但相對於傳統鋪面則其摩擦係數就稍微差一點，但就總體而言，玻璃瀝青混凝土在穩定值、抗滑能力等方面較傳統瀝青混凝土略低，但基於環保與安全性考量，玻璃瀝青混凝土於台灣地區應極力推廣。



## 第六章 再生材料應用於道路鋪面工程之成本效益研究

當國家的廢棄物與副產品產量日益增加，處理成本不斷提高的時候，便是推動這些材料進行資源再生或回收利用的動力。由於道路鋪面工程的材料需求量相當大，自然就成為許多再生材料應用範圍的主要研究方向。

道路鋪面主要結構由上至下分別為面層、底層、基層及路基土壤，如圖 6.1。面層與摩擦層用以抵抗車輛之磨損，因此需要耐磨耐壓的硬緻骨材，並具有高度穩定性，能抵抗風化與雨蝕；底層位於面層之下方，一般採用碎石或礦渣等材料，若採用瀝青與品質較好的粒料拌和成瀝青處理底層，可提供鋪面結構部份承载力並降低瀝青混凝土面層所需之厚度，若採用開放級配粒料則提供較佳的排水性；而基層位於底層下方，路基土壤上方，通常採用較便宜的材料以降低鋪面之成本，同時基層採用之材料必須與底層材料配合，如底層採開放級配則基層必須採用較細粒料，以提供介於底層與路基間的濾層之功能。



圖 6.1 柔性鋪面結構示意圖

從柔性鋪面結構剖析，道路各層所需要的材料均有其要求的特性，廢棄物與副產品在成為鋪面工程可用的再生材料前，必先考慮彼此性質的差異性與適合性。

## 6.1 再生材料之成本分析

過去在決定是否應用再生材料於道路鋪面工程及再生材料使用量時，常會拿再生材料的使用成本與天然材料做比較，因此，再生材料在成本效益評估上須優於天然材料，才有利於應用推廣。在某些狀況下，若以法律或特定條款限制再生材料之最小用量或提供補助款等優惠策略，則此時的再生材料成本便往往優於天然材料，這也是增加使用者選擇再生材料的原因之一。

依照經濟學的理论來說，若是以條文明訂貨物或產品的使用量時，再生材料的使用就不算是完全取決於市場力量來決定，畢竟與天然材料的競爭，由於再生材料目前缺乏當地充分的試驗及評估數據，在使用者的認同度上必然略居弱勢，這也是各國針對再生材料的應用需先擬定輔導及獎勵策略的緣故。

本研究主要進行台灣地區再生材料應用於道路工程的技術與成本效益之探討，將以實際的案例並搭配國內經濟物價進行成本分析，擬求出適合推動再生材料的最佳模式。

### 6.1.1 分析方法

再生材料的成本分析流程如圖 6.2 所示，依照流程圖上的步驟，本研究將就先前所提到的十二種再生材料，以個案方式舉例進行成本分析，其應用方向即針對第二章所述之六大方向為範疇，依照材料本身所屬的性質，如岩性、吸水率、比重、洛杉磯磨損率、健性……等，參照目前的鋪面施工規範擬定適合材料發展的方向，再進行工程經濟分析。

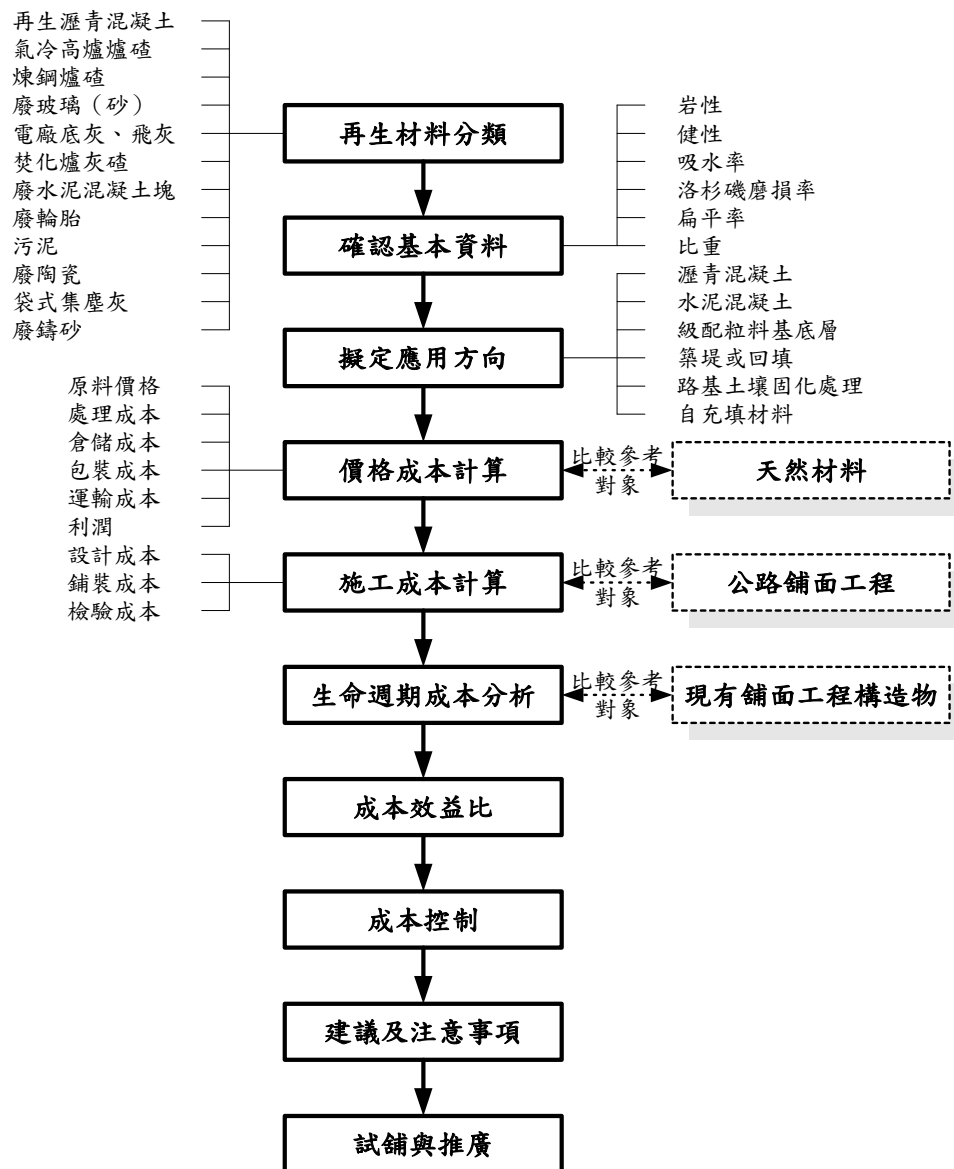


圖 6.2 成本分析架構圖

工程經濟分析，是為了完成某一項工程，並達到其目標或效益時，而擬定各項可行性方案，將這些方案加以分析、研判與評估後，選擇最適當的方案。其分析準則通常以「成本」為主要考量，此為工程經濟分析的「成本法」，另外尚有年收支比較法、投資報酬率等經濟分析方法，由於本研究論文探討的再生材料屬於工程材料，接近「產品」的角色，且鋪面工程多屬於政府每年必須投入資金的基礎建設，以年收支法或投資報酬率較難衡量比較，故本研究選定的經濟分析法以「成本法」為限，期望從再生材料的成本效益分析中找出替代天然材料的最佳方案，應用在鋪面工程上。

### 6.1.2 物價蒐集與整理

本論文所參考的各項工程材料、技術、人工、機具等價格，係參考台灣營建研究院所編列之營建物價，並以此為基準與再生材料之工程成本進行分析。

表 6.1 是台灣地區天然砂石的平均價格表，天然砂石在道路鋪面工程的材料需求量相當大，文前敘述的六個再生利用方向中，所需要的骨材級配來源目前幾乎是由天然砂石開採而來，然而台灣西部河川砂石已面臨枯竭，為了環境保育及永續發展，除台灣東部外，台灣西部北中南各區的河川目前幾乎都已經禁採砂石，但公共建設並未因此而停擺，所以北中南砂石價格高漲是顯而易見的。

台灣地區各縣市砂石的生產及需求情形差異很大，北部地區產量少，需求量大，料源匱乏；南部地區目前大部分仰賴高屏溪聯管計畫疏浚河川所提供砂石，料源不足；中部地區為台灣主要砂石產地，除自用外可供外運，東部地區因本身用量少，亦可提供外運北部及南部地區。

表 6.1 台灣地區天然砂石平均價格表（不含運費）

	北		中		南		東	
	元/m <sup>3</sup>	元/公噸	元/m <sup>3</sup>	元/公噸	元/m <sup>3</sup>	元/公噸	元/m <sup>3</sup>	元/公噸
卵石	576	377			560	386	154	101
粗骨材	798	539	261	169	617	411	132	85
粗砂	489	278	358	198	591	334	191	107
細砂	788	448			619	350	254	142

資料來源：營建物價網站 2003 年 2 月

調查台灣各地區的卡車運費如表 6.2 所示，卡車的運費亦需要考慮在材料成本的費用裡，將表 6.1 每噸材料的成本加上運費的話，即可得到天然材料的原始成本，以供接下來與再生材料的比較。從表 6.4 也不難發現，台灣東部的砂石價格明顯低於西部地區，連運費也相當低廉，這解釋了為何台灣的工程常有東砂西運的現象產生，也說明了價格的市場導向對工程使用者選擇材料的影響力相當大。所以，接下來在評估再生材料的成本效益時，本研究會必須特別注意價格成本的考量。

表 6.2 台灣地區卡車運輸費用平均價格表（30KM 內，單位：元）

卡車載重	北	中	南	東
20 噸	2 860	3 000	2 500	2 000
35 噸	3 560	3 200	3 000	2 500
價格（元/公噸）	123	121	106	86

資料來源：營建物價網站 2003 年 2 月

表 6.3 台灣地區天然砂石平均價格表（元/噸）

	北		中		南		東	
	原價格	含運費	原價格	含運費	原價格	含運費	原價格	含運費
卵石	377	500			386	492	101	187
粗骨材	539	662	169	290	411	517	85	171
粗砂	278	401	198	319	334	440	107	193
細砂	448	571			350	456	142	228

資料來源：營建物價網站 2003 年 2 月

表 6.4 是台灣地區的水泥平均價格，各地區差異不大，主要是因為全台灣生產水泥的工廠品牌並不多，因此價格較穩定。

表 6.4 台灣地區水泥平均價格表（該區含運費，單位：元/公噸）

項目名稱	北	中	南	東
第一型卜特蘭水泥	2 339	2 300	2 299	2 377
第二型卜特蘭水泥	2 610	2 601	2 576	2 569

資料來源：營建物價網站 2003 年 2 月

表 6.5 與 6.6 為鋪面工程中用量最大的兩種材料—水泥混凝土、瀝青混凝土的單價，將運費與工資加總在內所求得，從表中可以發現，主要的價差仍是天然砂石料的單價影響最大。在表 6.6 中，台灣地區瀝青的來源以中油供應為主，故為統一價格，而下方的再生瀝青則是因應公共工程委員會推動再生瀝青的工作已有多年成效，目前在遍缺砂石料的北部及南部地區，已大量使用添加刨除料的再生瀝青混凝土鋪面，在單價上約略低傳統新瀝青混凝土一成。



表 6.5 台灣地區預拌混凝土平均價格表（連工帶料含運費）

kg/m <sup>2</sup> (psi)	北		中		南		東	
	元/m <sup>3</sup>	元/公噸	元/m <sup>3</sup>	元/公噸	元/m <sup>3</sup>	元/公噸	元/m <sup>3</sup>	元/公噸
<b>I 型</b>								
140 (2000)	1 407	574	1 066	401	1 411	566	1 202	466
175 (2500)	1 524	618	1 137	428	1 508	603	1 302	502
210 (3000)	1 597	649	1 220	460	1 608	642	1 406	543
245 (3500)	1 724	695	1 322	504	1 715	682	1 489	573
280 (4000)	1 854	747	1 418	532	1 811	719	1 602	618
315 (4500)	1 980	790	1 585	582	1 921	777	1 736	666
350 (5000)	2 147	851	1 658	615	2 048	827	1 859	717
<b>II 型</b>								
245 (3500)	1 964	755	1 512	581	2 001	770	1 839	707
315 (4500)	2 174	836	1 742	670	2 135	821	2 056	791
350 (5000)	2 300	885	1 845	710	2 275	875	2 169	834

資料來源：營建物價網站 2003 年 2 月

表 6.6 台灣地區瀝青混凝土平均價格表（拌和後含運費，元/公噸）

項 目	北		中		南		東	
	原價格	含運費	原價格	含運費	原價格	含運費	原價格	含運費
<b>瀝青</b>								
AC-10				6400				
AC-20				6800				
<b>混合料</b>								
3-D 粗級配瀝青處理底層	998	1 121	900	1 021	905	1 011	863	949
4-A 密級配	1 143	1 266	993	1 114	964	1 070	960	1 046
4-B 密級配	1 090	1 213	998	1 119	959	1 065	954	1 040
4-C 密級配	1 097	1 220	993	1 114	950	1 056	950	1 036
<b>再生瀝青</b>								
3-D 粗級配 30%再生	922	1 045	---	---	939	1 045	---	---
4-C 密級配 30%再生	928	1 051	---	---	945	1 051	---	---

資料來源：營建物價網站 2003 年 2 月

在再生材料應用於鋪面工程進行的過程中，相當重要的檢試驗工作，亦需要考量在成本之內，由於再生材料的性質較有爭議，為了增加使用者信心，通常工程主辦單位均會在使用再生材料前附加但書，要求其通過各項應有的檢試驗規範，以確保其性質對工程無害。

### 6.2.3 成本分析

在推廣再生材料於道路鋪面工程的時候，一般使用者會考量的成本有材料成本、施工成本、及生命週期成本三大項，每一項都關係到未來再生材料鋪築鋪面的成本效益，所以本研究將針對此三項成本進行分析。附帶說明的是，本研究所提到的再生材料使用者包括了從業主、設計單位、承包商、及材料供應商等相關的施工單位。

#### 一、材料成本

再生材料引進營建業市場時，必然會產生一個價格，這個價格即為未來使用者最直接需要考量的經濟成本，與天然材料比較，再生材料在一般道路鋪面工程的設計施工要求中，若本身的材料價格較低，往往是推動使用者考慮使用再生材料的有利誘因。分析價格成本（CDP）的來源不外乎以下幾項：

##### 1.原料價格（ $P_{RM}$ ）

指的是一個單位再生材料的價值，通常以噸計。當廢棄物及副產品要成為再生材料前，再生材料的價值該如何訂定呢？在法規未確定之前，普遍的作法以廢棄時每單位的處理價值而定。例如，假設處理一噸的轉爐石需要支付費用 1,000 元，則相對的使用一噸轉爐石當再生材料的原料，應該具有同樣每噸 1,000 元的價值。

##### 2.處理成本（CPR）

幾乎所有的再生材料在應用前，必須進行改質處理，以符合設計與施工的要求，為進行改質處理而增加的儀器設備及人員技術，亦需要考量於未來訂定的價格成本內。

##### 3.倉儲成本（CST）

由於營建工程均具有獨特性，須依現場情況進行設計與施工，鋪面工程亦不例外。因此再生材料平時得妥善儲存，再視工程需求取出適當的質量進行鋪築，所以由倉儲的人力與設備等提升的成本，亦將反映至價格成本上。

##### 4.包裝成本（CLD）

為了運輸、計量、與使用的便利性，部分再生材料在穩定生產後會進行包裝，並註明使用方法及成分含量，相對地，經過包裝的再生材料，其價格成本必然會提升。

##### 5.運輸成本（CTR）

運輸成本往往是材料成本中相當重要的一環，主要關係到運具的選擇與運輸的距離，

由於運輸成本佔整體價格的重要性不容忽視，對於未來要推廣再生材料的應用必須注意。

## 6.利潤 (P)

當再生材料發展成為一種產業時，再生材料或產品必然會帶來利潤，利潤常隨著再生材料的用途而變動調整，進而影響價格，在使用者評估時，材料供應商的利潤亦含在價格成本裡。利潤通常是材料供應商控制價格的最便利手段，可利用此調整市場的供需。有時，再生材料的原料價格亦會被當成利潤，原因是原來須支付給最終處理的成本轉成產品的價格之故。所以，再生材料若在可被接受的情況下，其價格上的經濟優勢往往優於天然粒料，這也是推動其應用發展的最大誘因。

根據以上六個成本因子，可得出每單位再生材料定價，為原料價格、處理成本、倉儲成本、包裝成本、運輸成本、及利潤之總和，計算式如下：

$$CDP = PRM + CPR + CST + CLD + CTR + P。$$

## 二、施工成本

除了再生材料本身的單價外，在工程上的應用必先考慮到施工成本的問題，由於再生材料依本身的性質，造成施工過程中的影響，如提高施工便利性、增加處理機具、增加檢驗的項目等。此部分的成本是現場施工單位與承包工程的廠商最關切的部分，若能降低或等同於天然材料，則對再生材料的推廣則有相當助益。

既然成本的產生關乎施工過程，由此則可分析出，在道路鋪面施工過程中，再生材料的施工成本 (CI) 為設計、鋪裝及試驗成本之總和。

其關係式與影響因子如下述：

$$C_I = C_{DR} + C_C + T_{RP}。$$

### 1.設計成本 (CDR)

任何道路鋪面在鋪築前，必先進行配合設計，包括應用在路堤、面層、基層、處理底層、路基底層、及其他相關附屬工程。由於再生材料的性質與天然材料具有差異，所以，進行配合設計時，是否需要特別考量，如增減含油量等關係到未來施工估價的部分，則會影響工程設計單位使用再生材料的意願。

## 2.鋪裝成本（CC）

此部分為考慮再生材料在未來鋪設時，有無特殊技術要求，如增加壓實度或需要達到某溫度才可施工等。若有的話，鋪裝成本即會依需要的人工、機具技術做適當的調整，以達到設計要求。

## 3.檢驗成本（TRP）

大部分再生材料目前仍在試驗評估階段，應用於道路工程時，除了必須依照現有規範進行檢試驗外，常會增加幾項試驗來確保再生材料對環境安全無虞，如有毒物質溶出試驗、膨脹性試驗等，由於這些試驗必須委外執行，因此便會提高再生材料的施工成本。

### 三、生命週期成本

再生材料的價格與施工成本常常用來與天然材料做比較，然而，依據工程經濟的觀點，每個工程均具有一定的生命週期。因此，使用了再生材料的道路鋪面工程，是否增減了維修的花費或縮延了生命週期，亦是另一種可用與天然材料比較的成本考量。

由於生命週期成本並不如之前所提各項成本顯而易見，必須透過相關的經濟評估法則換算之，在本研究中，係採年金法的方式，將生命週期成本攤成每年所需支出之成本，以進行效益之比較。年成本（AEC）是將道路依有效使用年限，將其各年度所需要的鋪設、維修、養護等支持此道路提供有效服務的成本總和，依年利率攤分，每年所需支付的費用，其計算式如下：

$$AEC = CI \text{ CRF}(i,n) + CAM。$$

簡單說明，年成本為施工成本依固定之年成長因子  $\text{CRF}(i,n)$  攤平後，加上各年度平均維護費用之和。年成長因子計算式如下式，與一般工程經濟採用的計算方式相同，其中  $i$  為年成長利率， $n$  為工程生命週期的總年數。

$$\text{CRF} = (i (1 + i)^n) / ((1 + i)^n - 1)$$

年度工程的維修費用（CAM）通常視單位的不同而有所變動，但一般仍是以經驗法則估價編列，例如台北市公路每單位平方工程所需之維護管理經費約為 39 元／平方公尺。因此，再生材料若未來可提供良好的工程品質，則此部分成本可以降低；反之，若再生材料的耐久性不佳，勢必會增加養護單位的經費預算。

## 6.2 再生材料應用於道路鋪面工程之效益評估

經由成本的量化比較，可以評估再生材料的經濟價值，然而再生材料在工程應用上的效益，尚有工程效益、環境影響、安全性與經濟性評估等項目。除經濟分析易用成本量化外，其他的評估方式通常難以簡單數值來進行評估，必須透過試驗方法或指標參數來界定其效益。在尚未明訂再生材料的標準規範與使用準則之前，透過越完整的試驗評估與檢測所得到的數據，有助於再生材料的應用成效研判，並可提升使用者對此材料的信心。

再生材料的評估流程如圖 6.3 所示，可以看出在效益的評量上，試驗扮演著相當大的角色，以下將就評估流程分幾個步驟說明：

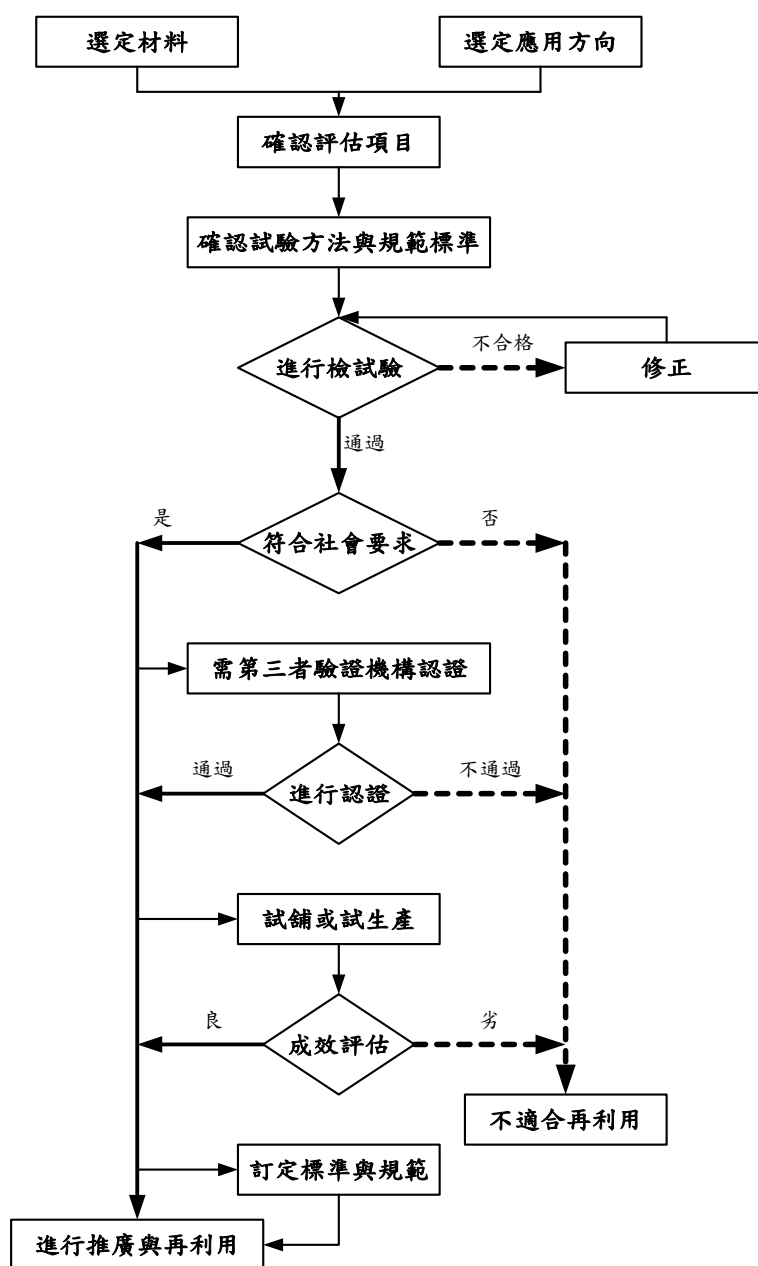


圖 6.3 再生材料應用於道路鋪面評估流程圖

首先選定一種再生材料或產品，同時依其性質決定其應用於鋪面工程的方式，確認該施工規範或設計要求中需考量的要素，如經濟性、工作性、循環性、環境影響、安全性等，並依據相關的施工規範或品質標準進行材料檢試驗，若再生材料或產品品質通過試驗，合乎該項工程要求，則可進行下一階段的評估；若出現不合於要求之情形，則需檢討其原因，並予以修正。修正的方法包括：更改製程、再改質、產品改變、變更應用方向等，修正後的材料與產品仍須依照工程要求進行檢試驗，若修正後仍無法通過檢試驗的材料，則視為不適合再利用於道路鋪面工程上。

進入第二階段的評估的材料，必須考量未來再生材料或產品大量推廣的可能性，符合社會的要求與否，是一項相當重要性的決定因素。社會要求，包括了環保法規、國家政策、社會福利、公共安全等與民眾福祉息息相關的條件，再生材料或產品若不能滿足社會要求、不符公眾利益或與現行法規政策抵觸時，再生材料的推廣便窒礙難行。然而，文前即曾提到，世界各國目前均致力於再生利用，因此，在政策與法規上對於此方面均屬於鼓勵認同的積極面，除了法規上限定部分特殊材料用途外，大部分的再生材料皆可符合社會的需求。

為滿足社會要求而發展的再生材料，依各主管機關規定，仍有其不同的條件限制。為增加使用者信心，有些再生材料經由第三者驗證機構長時間的測試實驗，取得具有公信力的標章，例如綠色環保標章、節能標章等；部分材料則是在實際應用於公路工程前，工程單位會要求其進行小範圍的試鋪工程，透過長期的成效檢測評估，確保其材料達到設計施工的品質要求並對未來實體工程不具危害；當然，若訂定了該再生材料的施工說明或檢驗標準，對於推廣再生材料的應用更加有利。



## 第七章 營建資源再生利用申報與流向管理制度之探討

公共工程、建築物新建及拆除等各項營建工程，所產生之營建剩餘土石方及營建混合物，具高度可回收再利用價值，若將其放在正確之位置，經適當分類處理並善加利用，進而點石成金轉變成營建資源，有助於有限資源循環使用並減緩資源不足等問題。

營建資源之生命週期包含生產、清運、中間處理及再生利用四個階段，生產階段係指營建資源產生之現場，清運階段係指生產階段運送至中間處理階段之運送過程，中間處理階段為營建資源收容或加以分類處理之過程，再生利用階段則為營建資源經分類處理後應用於其它工程項目之階段，圖 7.1 為目前國內營建資源處理現況。

營建工程開挖產生之營建剩餘土石方，主管機關為內政部營建署，屬工務管理系統，依「營建剩餘土石方處理方案」之規定，為有用之土壤砂石資源，將其送至合法收容處理場所如（1）土石方資源堆置處理場（簡稱土資場）（2）既有處理場所（3）土方銀行（4）其他經政府機關依法核准之場所，經 100% 資源化再利用處理，給予有效之出處，解決土石方之處理問題。

建築物新建及拆除或整地刨除地面與裝潢修繕等各項工程，所產生之營建混合物，主管機關為環保署，屬環保管理系統，依環保署「廢棄物清理法」及「資源回收再利用法」所規範，但營建工程所產生之混合物成分複雜，如於工地內經初步分類，屬乾淨之土石方、廢混凝土塊與磚、瓦部份，依循「營建剩餘土石方處理方案」送至合法收容處理場所予以處置。

營建事業廢棄物如廢木材、廢玻璃屑、廢鐵、廢金屬、廢塑膠及廢瀝青混凝土，依「廢棄物清理法」第三十九條之規定，由目的事業主管機關營建署依據「營建事業廢棄物再利用管理辦法」及「營建事業廢棄物再利用種類及管理方式」之規定，送至相關之再利用機構如（1）公民清除處理機構（2）共同清除處理機構（3）可兼收容營建混合物之土資場或回收再利用之處理場所（4）營建混合物資源分類處理場，進行分類加工再利用處理，至於剩餘之不可再利用物質，依「廢棄物清理法」之規定，送往合法掩埋場、焚化廠進行最終處理。



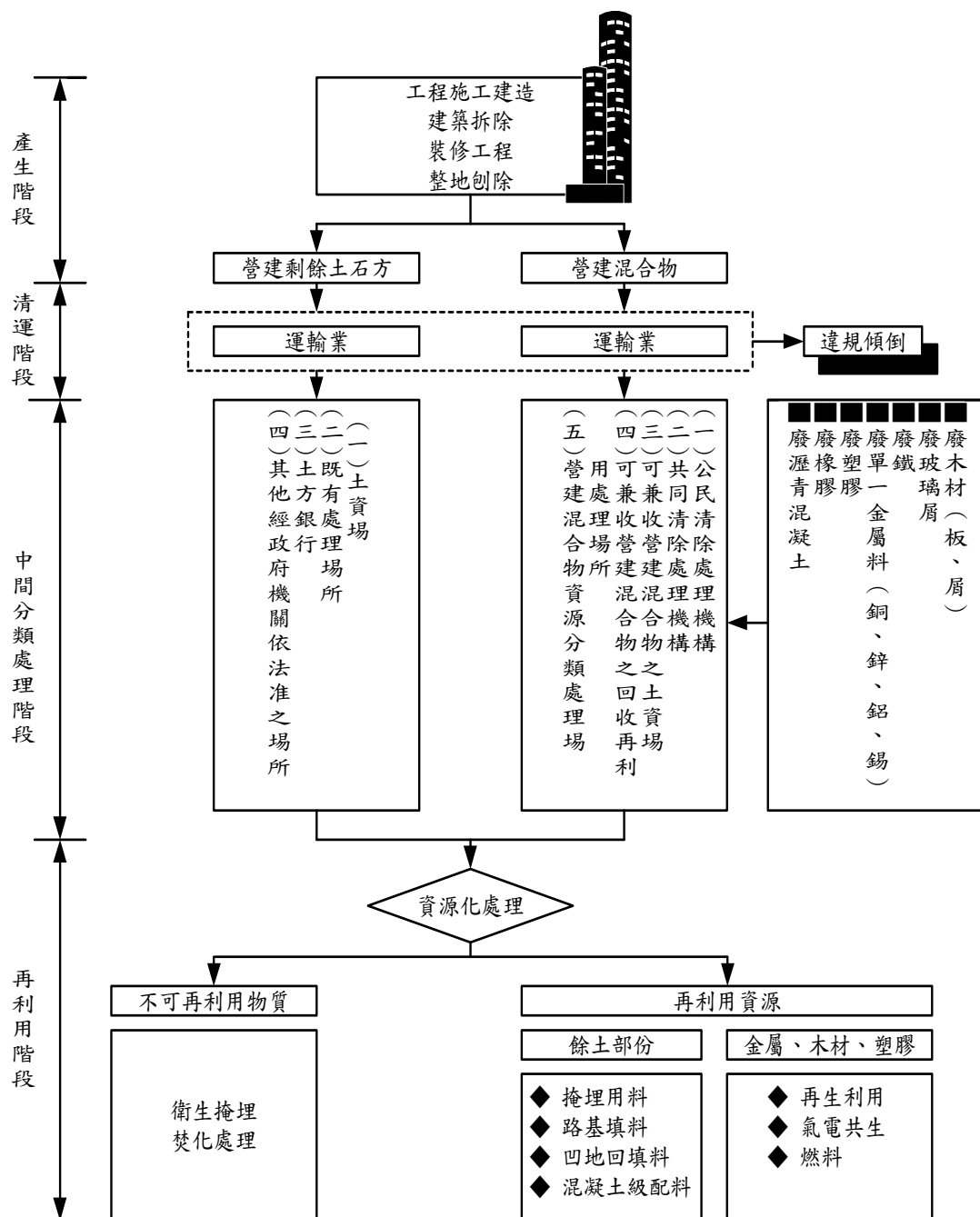
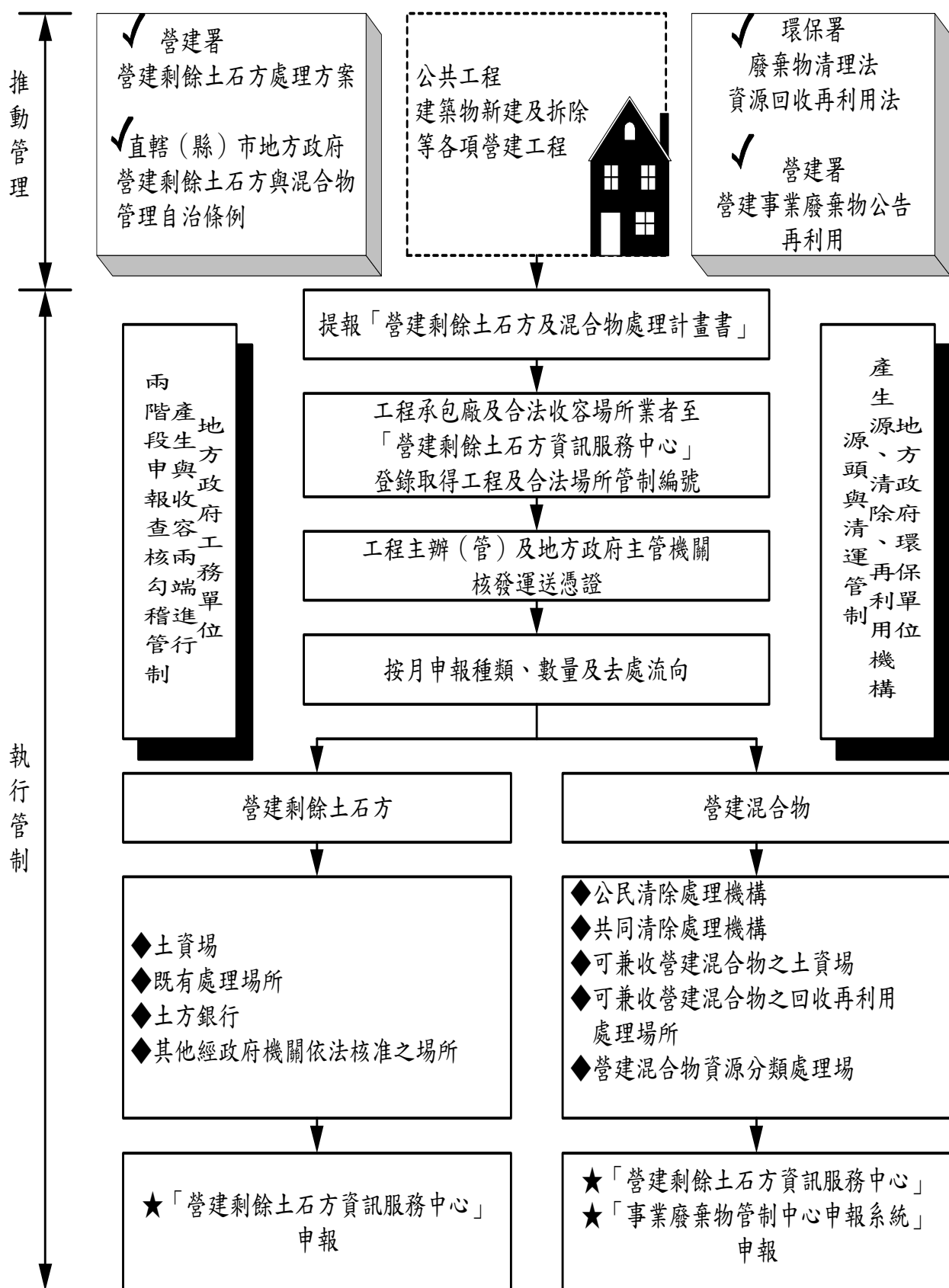


圖 7.1 現行營建資源處理架構

資料來源：本研究整理

綜觀上述，營建剩餘土石方及混合物之推動管理，主管機關分別為環保署與營建署，依「廢棄物清理法」、「資源回收再利用法」、「營建剩餘土石方處理方案」及相關子法予以管理。

執行管制方面，各直轄（縣）市地方政府為整體規劃土石方與混合物之管理與稽核機制，依據「地方制度法」訂定「營建剩餘土石方與混合物管理自治條例」，由地方工務單位為管理主體，地方環保單位為協助管理單位，圖 7.2 為目前國內營建資源執行管理架構。



資料來源：本研究整理

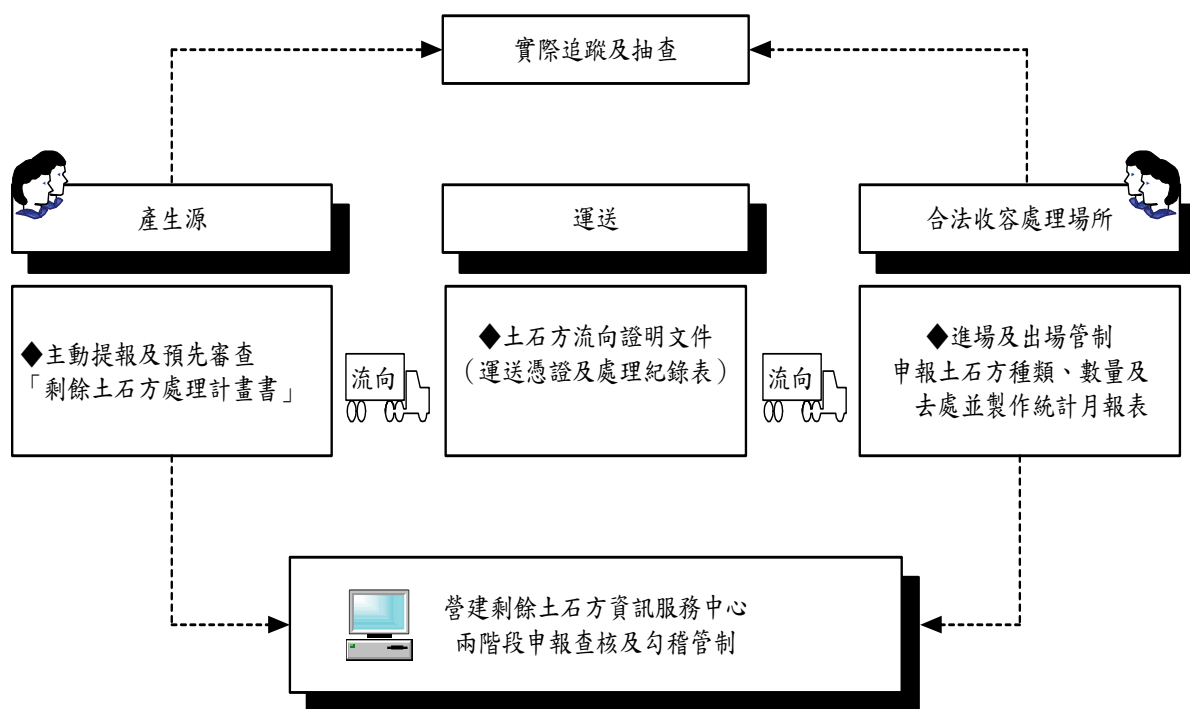
圖 7.2 現行營建資源執行管理架構

## 7.1 工務體系之兩階段申報查核勾稽管制

內政部營建署於「營建剩餘土石方處理方案」(90.10.19 第五次修正方案)，建立全國營建剩餘土石方流向管制兩階段申報查核勾稽制度，針對公共工程、建築工程及建築物拆除工程之土石方產生與收容兩端進行控管，以主動提報及預先審查「剩餘土石方處理計畫書」、核發流向證明文件、強制網路申報、流向追蹤及查核勾稽等措施，有效執行營建剩餘土石方流向及總量管制，減少因任意棄置造成環境污染及危害公共安全所花費龐大之人力及物力，圖 7.3 為營建剩餘土石方流向及總量管制架構。

營建剩餘土石方流向網路申報制度，採雙向兩階段申報查核勾稽，所謂「雙向」係指產出土石方工程之承包廠商與收受土石方之場所業者都需至網路系統申報，「兩階段」係指先由相關業者申報土石方種類、數量及去處等資料，再由主辦（管）機關「查核」該資料之正確性，「勾稽」係指雙向申報資料應該一致，若不一致必須予以處置，藉由雙管齊下方式並結合資訊化、公開化及透明化之網路申報系統，使土石方之管理機制更趨完善。

公共工程主辦機關及各直轄（縣）市地方政府為管理土石方流向及管制收容處理場所土石方總量，依兩階段申報查核勾稽制度，督促承包廠商與承造業者至營建署之「營建剩餘土石方資訊服務中心」，登錄取得管制編號並於每月底前按運送證明文件（運送憑證及處理紀錄表）製作統計月報表申報流向，主辦（管）機關負責每月五日前上網勾稽查核工程流向月報表與申報者提供之運送憑證、處理紀錄表及抽查紀錄是否相同，故此制度於工務管理系統扮演重要角色，作為管理營建剩餘土石方流向及合法收容處理場所之重要準則，圖 7.4 為營建剩餘土石方兩階段申報查核及勾稽管制作業流程。



資料來源：本研究整理

圖 7.3 營建剩餘土石方流向及總量管制架構

## 一、產源管理

### 提報及審查「營建剩餘土石方處理計畫書」

公共工程、建築工程及建築物拆除工程之承包廠商或承造業者，於工地產出剩餘土石方前主動提報「營建剩餘土石方處理計畫書」，由公共工程主辦機關及各直轄（縣）市地方政府工務單位審查核可，若涉及營建混物部份由地方政府環保局協助審查。

## 二、運送管理

### 1.核發運送證明文件

營建署為杜絕非法土石方收容處理場所開立棄土證明之陋習，取消工地實際產生剩餘土前，應取得合法收容處理場所出具之同意收容文件之規定，即廢除「棄土證明」，改為工地實際產出剩餘土石方前，將擬送往之收容處理場所之地址及名稱報直轄（縣）市政府備查，據以核發剩餘土石方流向證明文件（運送憑證及處理紀錄表），主辦（管）機關以運送憑證及處理紀錄表為基礎，結合「營建剩餘土石方資訊服務中心」兩階段申報查核勾稽制度，作為營建剩餘土石方流向與總量管制方法之一。

### 2.實際追蹤及查核

營建剩餘土石方於工地實際產出運送過程，依據「廢棄物清理法」第九條【廢棄物、剩餘土石方清除機具應隨車持有載明廢棄物、剩餘土石產生源及處理地點之證明文件，以供檢查】之規定，採不定期派環保稽查人員進行追蹤查核，若查獲違規棄置

或未攜帶證明文件及無故規避、拒絕攔檢等情事，依上開法源予以罰鍰處分。

### 三、合法收容處理場管理

#### 1.進場管制

新建工程基地開挖前皆會事先做地質鑽探，得知未來開挖之土質代碼，經土石方鑽探報告判別後符合進場條件，經合法清運業者載運至收容處理場內堆置暫存。

#### 2.出場管制

針對收容處理場所日處理量及總量處理量之管理，業者需至「營建剩餘土石方資訊服務中心」取得管制編號，並每月五日前填報「每月承諾量」、「每月進場處理量」、「每月轉運或再利用量」及「每月營運總表」，作為出土工程與收土工程申報資料勾稽比對及流向異常警示，若有疑義主辦（管）機關必須予以處理或處分。

### 四、兩階段申報查核及勾稽管制

#### 1.申報管制要項

##### (1)建築工程及建築物拆除工程

A.建築工程應於申報開工、放樣勘驗、提出剩餘土石方處理計畫及領取運送憑證前，需管制承造人是否已取得工程及處理場所之流向編號。

B.完成土方運送或基礎勘驗時，承造人應檢具工程餘土流向月報表及雙向勾稽資料以備查驗。

##### (2)公共工程

A.提出處理計畫或領取運送憑證前，出土工程承包商需取得工程及處理場所流向編號。

B.工程完成出土作業辦理土方估驗計價時，承商應提出工程餘土流向月報表及雙向勾稽資料以供查驗。

#### 2.網路申報單位

##### (1)產土工程承包業者

A.工程出土前上網申報基本資料並取得工程流向編號及領取運送憑證聯單。

B.餘土於工地出土經運送路線到達收土地點，各單位簽核完成運送憑證簽證作業。

C.定期將運送憑證內容彙整完成處理紀錄表，每月底上網將處理紀錄表內容申報至工程流向月報表以供查核。

##### (2)合法收容處理場所業者

A.收土前須先取得合法場所流向編號及告知土方來源工地應先取得工程流向編號始得收土。

B.餘土運送至收土場所經場所管理人員簽收並取得運送憑證副聯。

C.彙整運送憑證副聯於每月底前上網申報收土場所之承諾收容月報表、進場處理月報表、轉運回收利用月報表及每月營運總表，並等候查核確認。

### 3.查核及勾稽單位

#### (1)公共工程主辦（管）機關

##### A.查核

依據承包廠商報備之運送憑證副聯及處理紀錄表與其他相關之流向抽查紀錄，於每月五日前上網查核承包商申報餘土流向月報表之正確性。

##### B.勾稽

勾稽承包商申報出土流向月報表與收土場所申報之收土月報表內容是否一致。

C.若工程主辦機關核准之收容處理場所，其相關月報表查核及勾稽管制亦由工程主辦機關執行。

#### (2)直轄（縣）市地方政府主管機關

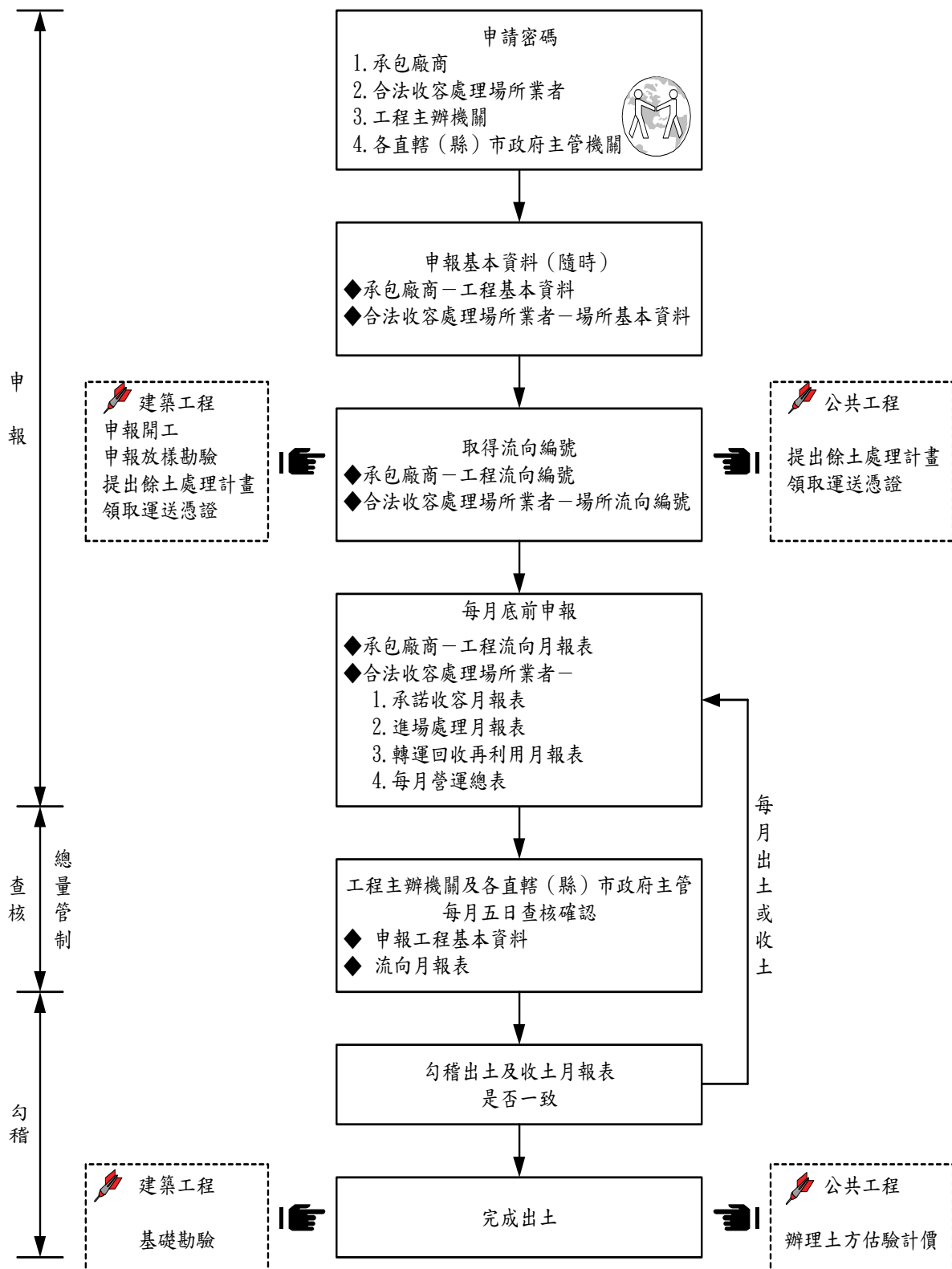
##### A.查核

每月五日前上網查核該轄區建築工程與拆除工程之流向月報表是否與承造人提供之運送憑證、處理紀錄表及抽查紀錄相符。

##### B.勾稽

勾稽承造人申報流向月報表與收土場所申報之月報表內容是否一致。

C.依據兩階段申報出土工程流向月報表總量，執行該轄區內合法收容處理場所之總量管制。



資料來源：本研究整理

圖 7.4 兩階段申報查核及勾稽管制作業流程

## 7.2 環保體系之源頭與清運管制

營建業所產生之廢棄物屬一般事業廢棄物，係指非屬公告應回收或再利用之土木或營建工程作業所產生之建築廢料或其他混合物，環保署事業廢棄物分類代碼為 D05（土木及建築廢棄物），其與「營建剩餘土石方資訊服務中心」土質代碼 B8 營建混合物（磚、混凝土塊、砂、木材、金屬、玻璃、塑膠等）主要差異於兩者之清除處理方式不同，但實際內容物並無不同為相同之物質。

依據「廢棄物清理法」第二十八條之規定，事業廢棄物之清除方式包含（1）自行清除處理（2）委託清除處理（3）共同清除處理（4）經中央主管機關許可（5）再利用等五種方式為之，前兩種處理方式可將營建混合廢棄物運送至可處理 D05 類之公民營廢棄物清除處理機構，進行清除處理，後三種處理方式依循內政部營建署頒布「營建事業廢棄物再利用種類及管理方式」公告編號八營建混合之公告再利用方式送至（1）可兼收容營建混合物之土資場（2）可兼收容營建混合物之回收再利用處理場所（3）地方自治法規許可設立之營建混合物資源分類處理場（4）「營建廢棄物共同清除處理機構管理辦法」許可設立之共同清除處理機構等再利用機構進行再利用。

表 7.1 D05 類（土木及建築廢棄物）與 B8 營建混合物之處理場所管理現況

處理場所類別	適用法規	主管機關
公民營廢棄物 清除處理機構	◆廢棄物清理法	◆環保署 ◆地方政府環保局
土資場	◆營建剩餘土石方處理方案 ◆地方自治法規 ◆營建事業廢棄物再利用種類及管理方式	◆內政部營建署 ◆地方政府工務局之 建管課、土石課
營建廢棄物 共同清除處理機構	◆營建廢棄物共同清除處理機構管理辦法	◆內政部營建署 ◆地方政府工務局
營建混合物 資源分類處理場	◆營建事業廢棄物再利用種類及管理方式 ◆地方自治法規	◆地方政府工務局 ◆地方政府環保局

資料來源：本研究整理



環保署為全面掌控事業廢棄物產量及源頭流向管制，依「廢棄物清理法」第三十一條第一項第二款【經中央主管機關指定公告一定規模之事業，以規定之格式、項目、內容、頻率，以網路傳輸方式需透過環保署之事業廢棄物管制中心連線申報系統，上網申報事業廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出、輸入、過境或轉口情形等資料】；92年7月17日廢字第0920051861號公告【應以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之事業】之規定，藉由經中央主管機關指定公告一定規模之事業，以網路傳輸方式連線申報產出之事業廢棄物申報資料之即時掌握，確保其進入合法回收與再利用場所，且循合法之程序進行事業廢棄物處理，讓不法情事無所遁形，杜絕違規棄置情事發生，表7.2為應以網路傳輸方式連線申報事業廢棄物流向之公告事業。

表 7.2 應網路傳輸方式申報事業廢棄物流向之公告事業

公告事業別（D05 類與 B8 營建混合物資源回收處理）	
公民營廢棄物清除、處理及清理機構	
事業廢棄物共同清除、處理機構	
中小型廢棄物焚化爐	1.設有中小型廢棄物焚化爐之事業
廢棄物清除處理設施機構	1.依「廢清法」第二十八條第一項第三款第三目至第六目設置廢棄物清除處理設施之機構
再利用機構—	1.取得目的事業主管機關再利用許可之事業
◎可兼收容營建混合物之土資場或回收再利用處理場所	2.依中央目的事業主管機關所定再利用管理辦法公告之管理方式收受有害事業廢棄物或每年收受三百公噸以上一般事業廢棄物進行再利用之事業
◎營建混合物資源分類處理場	
其他事業—營造業	1.一般事業廢棄物實際或設計最大月產量平均每日一公噸以上 2.一般事業廢棄物實際或設計產量每年三百公噸以上 3.有害事業廢棄物實際或設計最大月產量平均每日十公斤以上 4.有害事業廢棄物實際或設計產量每年三公噸以上

【資料來源：】本研究整理

營造業自營建工地產出之營建混合物量達列管標準(歸類為「其他事業」：一般事業廢棄物實際或設計最大月產量平均每日一公噸以上，或一般事業廢棄物實際或設計產量每年三百公噸以上)及 D05 類與 B8 營建混合物之清除處理或再利用機構(取得目的事業主管機關再利用許可或依中央目的事業主管機關所定再利用管理辦法公告之管理方式每年收受三百公噸以上一般事業廢棄物進行再利用)，須依相關規定向環保署之「事業廢棄物管制中心連線申報系統」連線申報事業廢棄物清除處理與再利用等相關資料。

部分直轄(縣)市地方政府將建築工程及舊有建築物拆除所產生之營建混合物納入管制，依據「營建剩餘土石方與混合物管理自治條例」，核准設立之營建混合物資源分類處理場屬工

務體系，除須向環保署之「事業廢棄物管制中心連線申報系統」連線申報外，亦須向營建署之「營建剩餘土石方資訊服務中心」申報，處理業者遵循兩套申報制度及申報系統。

環保署為妥善管理營建混合物使其成營建資源而非環境污染之來源，針對產生源、清除機構及處理、再利用機構與最終處置機構，進行源頭管理及流向管制，93年6月29日廢字第0930045670號公告【應以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之申報格式、項目、內容及頻率】，透過限時連線申報與確認三聯單內容並配合地方環保稽查人員嚴密查核，有效掌握營建混合物產生端源頭申報數量與流向追蹤管制，避免任意棄置造成環境與景觀髒亂，積極推動營建混合進入合法處理場所與再生利用機構，提昇其回收再利用率，落實營建工程全回收零廢棄之願景，圖7.5源頭管理與清運管制架構，圖7.6事業廢棄物網路申報管制作業流程，表7.3事業廢棄物源頭管理及流向管制作業要項。

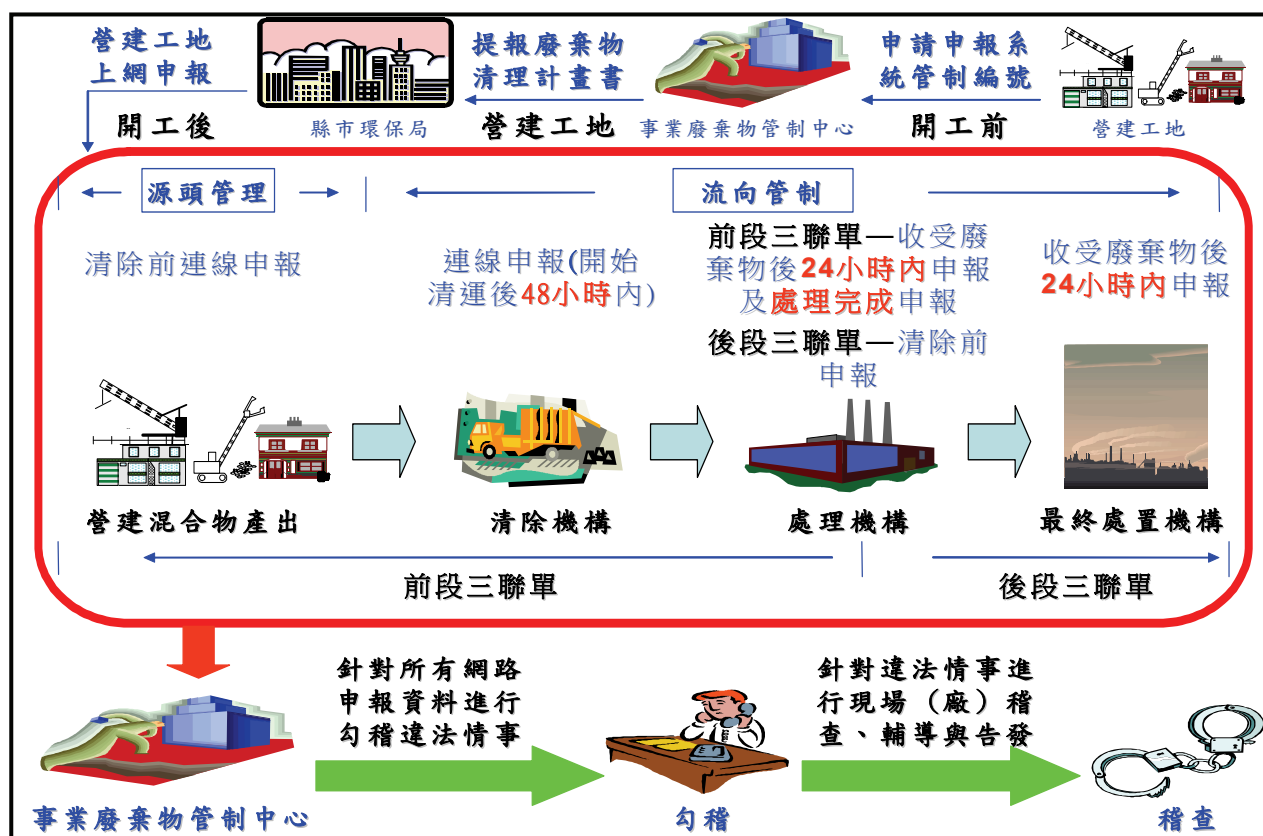


圖 7.5 環保署源頭理與清運管制架構

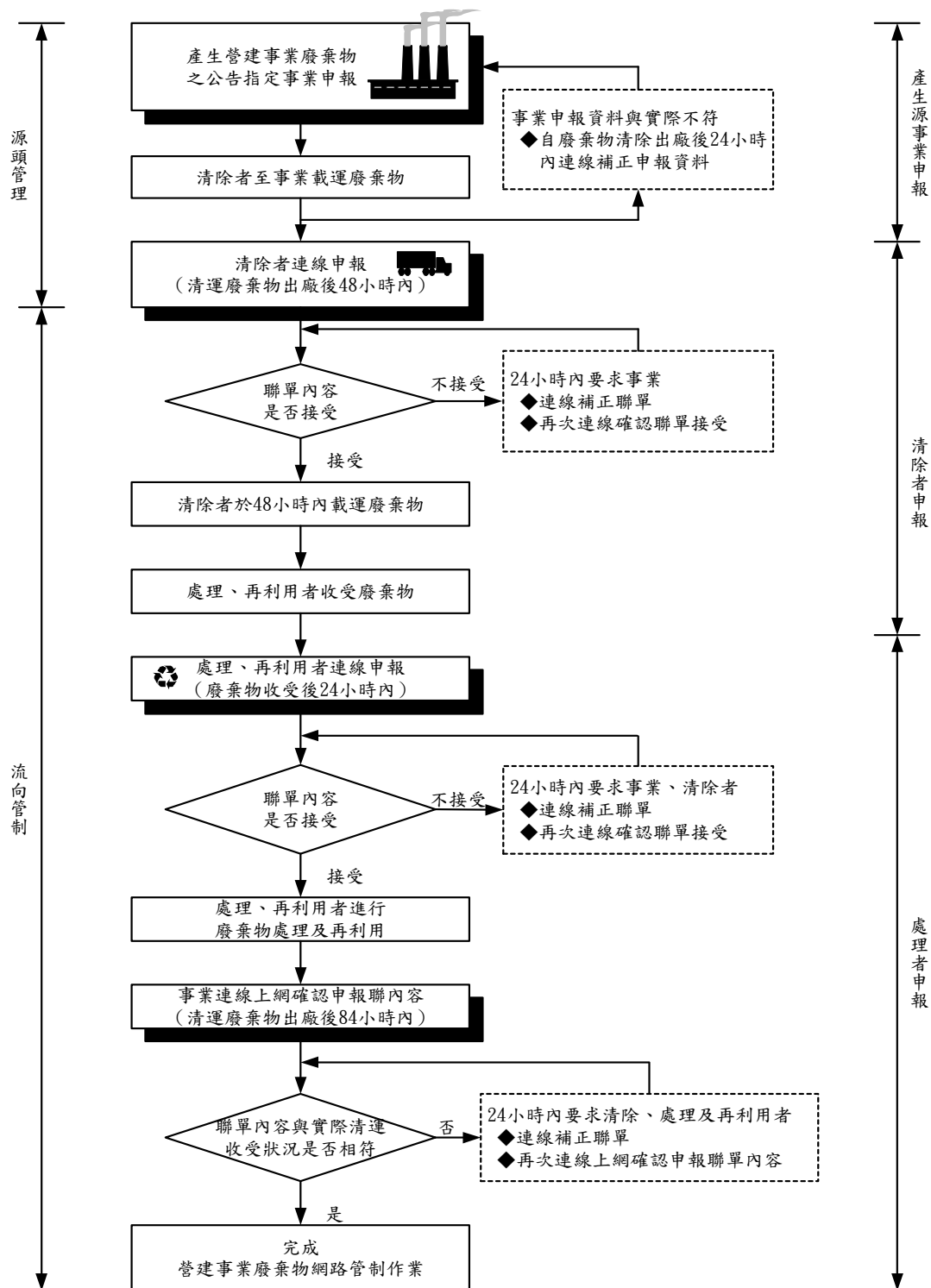


圖 7.6 事業廢棄物網路申報管制作業流程

資料來源：本研究整理

表 7.3 事業廢棄物源頭管理及流向管制作業要項

管制方式	管制對象	網路申報作業及管理要項	申報內容	稽核要點
源頭管理	產生源	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.開工前須向「廢管中心」申請管制編號及主管機關提報事業廢棄物清理計畫書審查核備</li> <li>2.產生源應分別與清除、處理機構簽訂書面契約</li> <li>3.廢棄物清運出廠前連線申報聯單</li> <li>4.廢棄物清運出廠後 84 小時連線確認聯單內容</li> </ol>	<p>聯單內容包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆清運日期時間</li> <li>◆清運車輛車號</li> <li>◆種類</li> <li>◆數量</li> </ul>	「事業廢棄物管制中心」及主管機關事先得知事業廢棄物之總量及流向去處，防止處理機構或再利用機構不實申報資料
流向管制	清除機構	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.清運機構依據產生源清理計畫書及聯單指定去處清運廢棄物</li> <li>2.廢棄物清運出廠後 48 小時連線確認聯單內容</li> <li>3.清運機構於 48 小時內將清運結果交代清楚</li> <li>4.每月十號前提上月份之營運紀錄報表至主管機關或「事業廢棄物管制中心申報系統」資訊登錄</li> <li>5.簽訂契約書次日起三十日內提報契約書至主管機備查</li> </ol>	<p>聯單內容包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆運送日期時間</li> <li>◆清運車輛車號</li> <li>◆運送重量</li> </ul>	僅負責 48 小時將廢棄物清運至處理機構，並於每月十號提報營運紀錄報表及簽訂合約後三十日內提報契約書
流向管制	處理、再利用及最終處理機構	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.處理機構收到廢棄物後 24 小時內連線確認聯單內容</li> <li>2.收到廢棄物之三十日內必須完成廢棄物之處理、再利用作業</li> <li>3.廢棄物處理完成後 24 小時內連線申報廢棄物處理完成日期時間、再利用產品名稱、數量及最終處理方式等資料</li> <li>4.每月十號前提上月份之營運紀錄報表至主管機關或「事業廢棄物管制中心申報系統」資訊登錄</li> <li>5.簽訂契約書次日起三十日內提報契約書至主管機備查</li> </ol>	<p>聯單內容包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆收受日期時間</li> <li>◆清運車輛車號</li> <li>◆收受重量</li> </ul>	處理機構或再用機構與清運機構因不同界面輸入其營運紀錄資料，由「事業廢棄物管制中心」及主管機關交叉比對資料是否有誤

資料來源：本研究整理

## 一、源頭管理

### 1.產生源

- (1)營建工地開工前須向「事業廢棄物管制中心申報系統」申請管制編號及向事業廢棄物產生源之直轄市、縣（市）主管機關或中央主管機關委託之機關提報事業廢棄物清理計畫書審查核備。
- (2)依據「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」第三十七條之規定，事業依「廢棄物清理法」第二十八條第一項第二款至第四款規定之方式清除、處理事業廢棄物者，應先與受託處理者簽訂書面契約或取得執行機關出具同意處理之證明文件，載明事業廢棄物種類、數量及期限，始得自行清除或委託清除至該廢棄物受託處理者處理，故產生源應分別與清除、處理機構簽訂書面契約。
- (3)營建工地開工後產生之廢棄物至營建工地外，應於廢棄物清除出廠前連線「事業廢棄物管制中心申報系統」申報聯單，其聯單內容包括清運廢棄物之日期時間、清運車輛車號、種類及描述、數量及清除、處理、再利用或輸出資料，同時列印一式三份聯單並在用印欄中簽名或蓋章；若申報資料與實際不符，則於廢棄物清除出廠後 24 小時內連線補正申報資料。
- (4)廢棄物清除出廠後 84 小時，產生源應上網確認申報聯單內容是否與清除者實際清運與處理、再利用、輸出者收受狀況相符，並於 35 日內主動連線查詢廢棄物流向及清除、處理、再利用情形，且向事業廢棄物產生源所在地主管機關報備。

## 二、流向管制

### 1.清除機構

- (1)清除者至廠將廢棄物清運出廠時與產生源確認實際清運情形，於遞送三聯單上書寫實際清運日期時間、實際清運機具車號、實際清運重量等資料，並於聯單上用印將第二、三聯單及廢棄物一併清運出廠。
- (2)清除者載運廢棄物清運出廠後 48 小時內連線「事業廢棄物管制中心申報系統」申報實際清運情形及確認是否接受該批廢棄物。
- (3)清除者必須在 48 小時內將廢棄物載運至聯單上所載明之處理、再利用、輸出者。
- (4)清除機構每月十號前提交上月份之營運紀錄報表至主管機關或「事業廢棄物管制中心申報系統」資訊登錄。
- (5)依據「公民營廢棄物清除處機構許可管理辦法」第十七條之規定，清除、處理或清理機構從事廢棄物清除、處理業務，應與委託人訂定契約書之次日起三十日內，檢

具該契約書副知雙方當事人所在地之直轄市、縣（市）主管機關，故清除機構與產生源簽訂契約書次日起三十日內提報契約書至主管機備查。

## 2.處理、再利用及最終處理機構

- (1)處理者收到廢棄物時與清運業者確認實際收受情形，於遞送三聯單上書寫實際收受日期時間、清運者至處理廠實際清運機具車號、實際收受重量等資料，並保存第三聯聯而第二聯單由清運者帶走。
- (2)處理者收到廢棄物後 24 小時內實際收受情形及確認是否接受該批廢棄物。
- (3)處理者於收到廢棄物之三十日內必須完成廢棄物之處理、再利用作業。
- (4)廢棄物處理完成後 24 小時內連線「事業廢棄物管制中心申報系統」申報廢棄物處理完成日期時間、再利用產品名稱、數量及最終處理方式等資料。
- (5)處理機構每月十號前提交上月份之營運紀錄報表及每週接受廢棄物貯存情形至主管機關或「事業廢棄物管制中心申報系統」資訊登錄。
- (6)依據「公民營廢棄物清除處機構許可管理辦法」第十七條之規定，清除、處理或清理機構從事廢棄物清除、處理業務，應與委託人訂定契約書之次日起三十日內，檢具該契約書副知雙方當事人所在地之直轄市、縣（市）主管機關，故處理機構與產生源簽訂契約書次日起三十日內提報契約書至主管機備查。

## 7.3 營建署與環保署管制系統差異整合分析

國內重大公共工程與民間建築工程每年產生大量之營建混合物，內政部建築研究所以歷年合法申請建築及拆除執照之工程樓地板面積，推估 90 至 93 年度營建混合物平均產生量約 1,100 萬公噸，若加上尚未納入法規管理之裝潢及修繕工程所產生混合物粗估量約 500 萬公噸，合計每年營建混合物產生量約有 1,600 萬公噸以上，依據環保署之「事業廢棄物管制中心連線申報系統」事業廢棄物申報代碼 D05（土木及建築廢棄物）統計資料得知，93 年度營建廢棄土與混合物之清除、處理與再利用申報總量約僅 8.84 萬公噸，其中營建混合物約 6.6 公噸，突顯目前對於營建混合物未能實際掌握其之產源數量及流向不清，以致發生任意違規棄置之情事時有所聞。

營建混合物總量及流向管制能否成功，先決條件在於產生、運送及收容處理場所是否確實執行勾稽查核，營建署於「營建剩餘土石方處理方案」中，建立兩階段申報勾稽及查核制度，並將土質代碼 B8 營建混合物納入「營建剩餘土石方資訊服務中心」管理，但不是管制

查核之重點，此外各主辦（管）機關因稽核人力不足及標準不一，導致混合物源頭流向管理實難收一定之成效。

環保署近年以工業廢棄物為主要管理對象，對於營建事業廢棄物因缺乏與工程建管證照核准機制結合，而無法兼顧管理，「事業廢棄物管制中心連線申報系統」規定以一定規模之營造業需上網即時申報營建混合物產出量，但非依營建工地案件為列管申報單位，故無法實際管控混合物之產生源與總量。

現今營建混合物未能有效管理與再利用，其因於工務與環保管理系統缺乏整合，其管理對象、方式及標準皆有顯著不同，導致源頭與流向管理機制不足，無法全面掌握營建工程產出物數量及流向，因此營建署與環保署積極規劃整合營建混合物之申報、清理及流向管制，健全管理系統以達營建工程全回收零廢棄之願景，表 7.4 為環保及工務單位管理體系之比較。

表 7.4 環保與工務管理體系之比較

項 目	環保管理體系	工務管理體系
法 源	廢棄物清理法 ◆專法 ◆具罰則	營建剩餘土石方處理法 ◆行政規則—法律位階低 ◆罰則較輕—缺乏強制力
管制方式	源頭與流向管制	兩階段申報查核勾稽管制
列管對象	◆產生源事業機構 ◆清除及處理機構 ◆再利用及最終處理機構	◆產生端—土工程承包業者 ◆收容端—合法收容處理場所業者
稽查單位	◆地方政府環保局	◆公共工程主辦（管）機關 ◆地方政府工務局
稽查方式	◆龐大稽查人力—環保警察、督察大隊 ◆建立營建工地現場稽查工作 ◆缺乏與工程建管機制結合	◆主辦（管）機關稽查人員不足且經驗短缺 ◆未建立現場稽查工作 ◆申報資料之勾稽查核無法有效落實 ◆各直轄（縣）市政府稽查標準不一
營建工地列管條件	公告一定規模營造業，非依核准營建工地案件	建管單位核准證照之營建工地
提報計畫書型式	事業廢棄物清理計畫書	營建剩餘土石方及混合物處理計畫書
運送階段管理	清運車輛及運輸業車輛種類繁多 無法有效管理	中間清運過程未進行管制
稽核範圍	◆D-05（土木及建築廢棄物）—營建廢棄土與混合物 ◆裝潢及整修工程之混合物尚未納入法規管理	◆營建剩餘土石方 ◆ B8 營建混合物（非查核重點）
申報系統	事業廢棄物管制中心申報系統	營建剩餘土石方資訊服務中心

資料來源：本研究整理



## 7.4 環保署之「事業廢棄物管制中心連線申報系統」

環保署依據「廢棄物清理法」第三十一條第一項第二款規定，經中央主管機關指定公告一定規模之事業，應於公告之一定期限，依中央主管機關規定之格式、項目、內容、頻率，以網路傳輸方式至「事業廢棄物管制中心連線申報系統」連線申報，事業廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出、輸入、過境或轉口情形等資料，其主要目的乃希望藉由上網申報資料之即時掌握，讓指定公告事業所產出之廢棄物皆能依循合法之程序進行事業廢棄物之處理，且讓不法情事無所遁形。

營建業所產生之事業廢棄物因符合總則中第二條第二項第二款規定「由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物」之定義，屬一般事業廢棄物，依據「廢棄物清理法」之子法「營建事業廢棄物再利用管理辦法」第五條之規定需至「事業廢棄物管制中心連線申報系統」申報，基於事業廢棄物種類繁多，為配合事業、清除者、處理機構與主管機關共同執行申報，將事業廢棄物分為六大類，其中 D05（土木及建築廢棄物）與「營建剩餘土石方資訊服務中心」土質代碼 B8 營建混合物（磚、混凝土塊、砂、木材、金屬、玻璃、塑膠等）為相同之物質，故收受營建混合物資源分類處理場，除須至「事業廢棄物管制中心連線申報系統」連線申報外，亦須至營建署之「營建剩餘土石方資訊服務中心」申報，表 7.5 為舊版事業廢棄物代碼分類。

表 7.5 舊版事業廢棄物代碼分類

廢棄物代碼	
1 A 類-製程有害事業廢棄物	4 D 類-一般事業廢棄物
2 B 類-毒性有害事業廢棄物	5 R 類-公告再利用或資源回收廢棄物
3 C 類-有害特性認定之廢棄物	6 G 類-再生資源

資料來源：本研究整理

廢棄物代碼為清理計畫書之基本資料與上網申報及核發各類許可證之依據，可作為主管機關針對各類申報資料統計及勾稽比對之作業，環保署為使事業廢棄物代碼更具實用性及擴充性，參考國外相關廢棄物管制資料，並配合國內實際需求及未來新管理政策，將現行廢棄物代碼加以修正及增訂再生資源代碼。

舊版事業廢棄物代碼因存有無法明確分類、辨識及定義不清等問題，故改變以往單一廢棄物代碼原則，而將廢棄物架構分為八大部份進行描述，其分別為（1）產生源行業別（2）製造程序（3）現行代碼（4）物種（5）物理性質（6）有害特性（7）主要有害成份（8）用途等，以此種方式所組成之廢棄物編碼，可掌握廢棄物相關之特性、產源與流向，以符合廢棄物管制之需求，相較於舊版事業廢棄物代碼，新版事業廢棄物代碼增加「物種」、「有害特

性」、「主要有害成份」及修正「物理性質」、「用途」之欄位，將補強舊版事業廢棄物代碼不足之處，表 7.6 為新、舊 D05 類廢棄物代碼物種修正差異。

表 7.6 新、舊 D05（土木及建築廢棄物）廢棄物代碼物種修正差異

舊版廢棄物代碼		新版廢棄物代碼		修正差異
代碼	分類名稱	代碼	分類名稱	
D-04	<u>廢玻璃、陶瓷、磚、瓦(粉、塊、屑等)及黏土廢棄物</u>	04 19	廢玻璃類 廢陶瓷、磚、瓦(粉、塊、屑等)	
D-10	<u>非有害廢集塵灰</u>	10 12	焚化爐飛灰及底灰(渣) 空污設備集塵灰	原廢棄物 物種細分
D-11	<u>灰渣</u>	10 13	焚化爐飛灰及底灰(渣) 燃料灰渣	
D-19	<u>廢物品</u>	25	其他事業廢棄物	原廢棄物 物種合併
D-24	<u>其他一般事業廢棄物</u>			
D-05	<u>土木及建築廢棄物</u>	05	廢土石料及水泥廢棄物	修正廢棄物 名稱
D-08	<u>廢纖維</u>	08	廢紡織品	
D-12	<u>礦渣或爐石</u>	11	爐石(碴)或礦渣	更動廢棄物 次序
D-13	<u>廢金屬</u>	15	廢金屬類	

資料來源：本研究整理

## 7.5 營建署與環保署網路申報系統差異整合分析

國內營建混合物之執行管理，目前僅九個縣市地方政府依據「地方制度法」訂定「營建剩餘土石方與混合物管理自治條例」納入管制，並依上開自治法或管理辦法核准設立營建混合物資源分類處理場，此分類處理場為工務體系核准設立之，依規定須向營建署之「營建剩餘土石方資訊服務中心」申報 B8 營建混合物之種類、數量及流向，亦須向環保署之「事業廢棄物管制中心連線申報系統」連線申報 D05（土木及建築廢棄物），處理場所業者遵循兩套不同層級及制度之申報系統，導致重複申報浪費行政成本及時間徒增困擾，表 7.7 為環保署與營建署申報系統之比較。

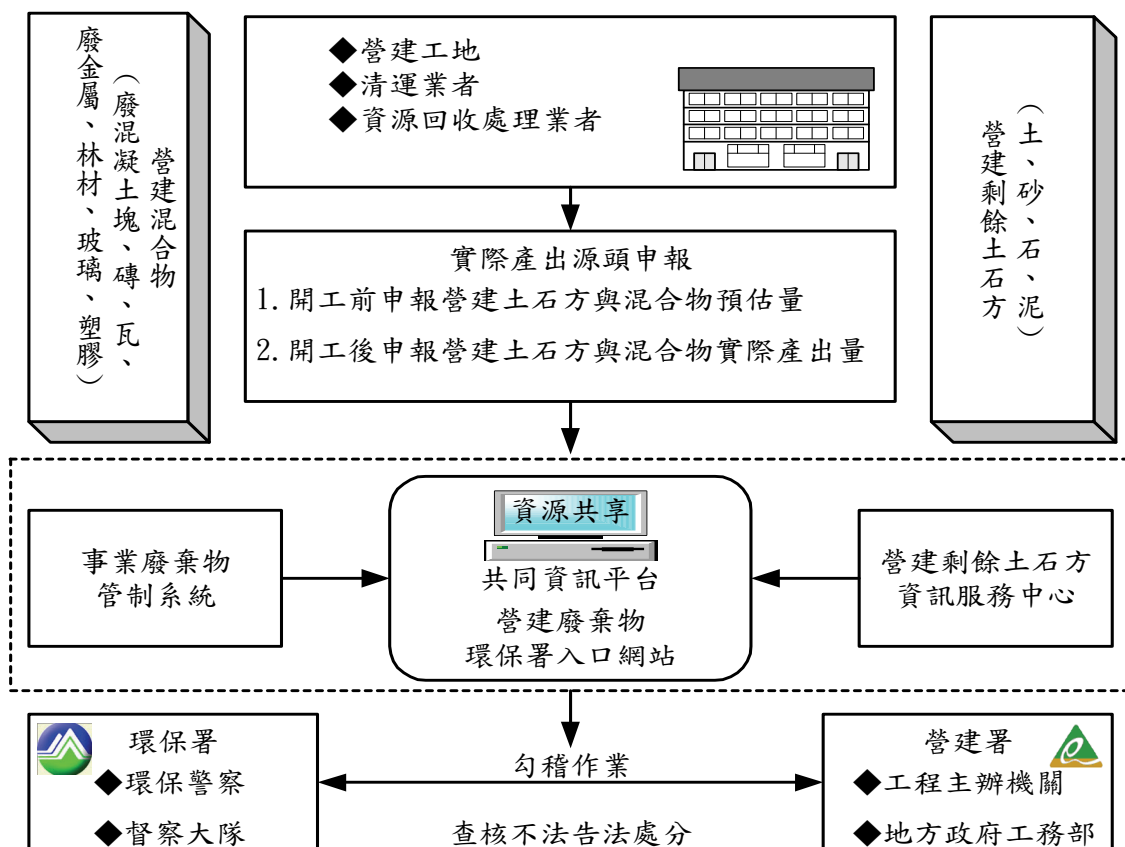
表 7.7 環保與工務申報系統之比較

項目	環保署系統	工務系統
系 統	事業廢棄物管制中心申報系統	營建剩餘土石方資訊服務中心
單 位	重量制—公噸	體積制—立方公尺
對 象	事業機構為主要對象 ◆產生源事業機構 ◆清除及處理機構 ◆再利用及最終處理機構	產生與收容兩端 ◆承包業者 ◆合法收容處理場所
時 效	即時網路申報	每月底前申報
代 碼	項目繁多且複雜	項目簡單且操作簡便
統計資料 資訊來源	◆營建空污費收費案件，獲知廢棄 土及混合物申報量 ◆事業、清除者及處理者連線申報 三聯單內容	◆流向月報表
資 料 公開化	只開放合法場所資料，不開放細部 流向資料	合法場所及流向資料皆開放民眾查詢
資料內容 完整性	不完整且有申報數量下限門檻	完整且不設申報門檻

資料來源：本研究整理

有鑑於此，營建署與環保署積極整合營建混合物之申報系統，共同建立一套便民及全方位整合性之營建資源共同資訊平台，透過資源共享及網路申報與勾稽查核，確實掌握營建混合物產生源與總量，94年8月1日起營建工程產出之營建廢棄物(營建剩餘土石方及混合物)，納入環保署網路申報管理系統，清除及處理業者至環保署建置之「營建廢棄物環保署入口網站」進行源頭申報管理，俾使申報窗口單一化，節省網路申報花費之行政成本及時間。

環保署結合營建空污費收費系統全面掌控列管對象，強化源頭流向勾稽查核作業，藉由環保警察及督察大隊不定期至營建工地、清除、處理及回收再利用機構進行勾稽查核，若有違規之情事予以告發處分，以儆效尤，赫阻有心之不肖業者，避免營建廢棄物違法流竄任意傾倒，圖 7.7 為環保署營建資源共同資訊平台之管制架構。



資料來源：本研究整理

圖 7.7 營建資源再利用資訊平台管理體系



## 第八章 個案分析與應用

在第六章提到，再生材料仍傾向應用於營建工程上，尤其是材料需求量大道路鋪面工程，本研究針對國內幾項已頗有成效的道路鋪面再生材料進行個案的分析，期望能夠提供應用的參考與方向。

### 8.1 材料簡介

以下將針對幾項再生材料進行個案說明與分析，本節將以材料本身的性質做主要介紹，協助使用者瞭解該項材料的各項特性與未來應用時應注意的要點。

本節列入介紹的再生材料有：1.高爐爐渣、2.轉爐渣、3.玻璃砂、4.焚化爐灰渣。

#### 8.1.1 市場價格

表 8.1 為再生材料市場資料表，可以預估再生材料的產量是否足夠因應道路鋪面工程的材料需求量。

表 8.1 再生材料市場資料表

名 稱	來 源	處 理 技 術	產量(噸/年)
高爐爐渣	煉鐵工業	水淬、破碎、磁選	2 500 000
轉爐渣	煉鋼工業	養生、破碎、磁選、篩分	1 300 000
玻璃砂	回收業	潔淨、破碎、去銳角	90 000
焚化爐灰渣	焚化爐	固化、高溫或化學處理	---

資料統計年份：民國 91 年

在研究再生材料市場競爭力的時候，必須瞭解市場的規模，才能對未來再生材料的通路與銷售機制做預測。依據礦務局 82~85 年砂土石產銷調查結果及水利處許可開採量報告，台灣地區河川砂石年採取量佔年生產量 90%，至 87 年後降至 80%，陸上砂石生產量提升至 20%，雖然主要砂石來源仍仰賴河川砂石，但因河川超採危及公共安全（橋樑）且可採量日益減少，將來砂石的生產勢必由河川移轉至陸上、坡地、海砂、進口砂及東砂西運等多元化料源的開發。

台灣地區砂石每年需求量依據台灣經濟研究院、礦業司、水利處及成功大學等單位的推估與礦務局實際調查結果顯示，台灣地區八十七年砂石年需求量約在 7,044~13,320 萬立方公尺之間，換算成公噸單位，則為 11,000~22,000 萬公噸之間。

砂石是營建業、公共工程、公路建設必要料源，對於國家的經濟成長有很大的貢獻，以 87 年為例，砂石產值約有 192 億元，雖只占 GDP（8 兆 7469 億元）的 0.22%，但砂石是經建基本料源，砂石短缺會連帶影響水泥、營建業產值，若砂石生產減少 10%，將直接影響此

三行業的產值約 1,018.2 億，佔 GDP 的 1.16%，而因砂石料源不足導致砂石風暴或工程停工待料的損失，更是難以估計。

再從道路工程的觀點探討，表 8.2 為交通部政策白皮書中所提供，台灣地區道路里程概況表，民國 89 年時台灣地區道路總長約 35,931 公里，至民國 93 年 3 月後龍汶水線東西向快速公路完成後，全台路網可謂大致底定。全台灣在路網建構完成後，公路建設已漸漸轉向為永續經營的維護修繕工程，假設全台灣的道路以雙向四車道為基準，每車道寬 6 米，年維護率為 20%，則每年將有 86,160 萬平方公尺的道路需進行養護維修的工作，若以刨除加鋪的工法來估計，不採用再生瀝青的情況下，刨除加鋪 5 cm 面層含油量 5% 的 4-C 級配，則需要新的天然砂石粒料 9,400 餘萬公噸，以 89 年砂石產量為 13,000 萬公噸來換算的話，道路鋪面養護維修工程用了七成左右的砂石產量，並產生近一億噸的道路刨除料及碎塊，數量不容小覷。

表 8.2 台灣地區道路里程概況表（單位：公里）

年度	都市道路	公路系統						道路總長
		國道	省道	縣道	鄉道	專用道路	小計	
84	12,167	447	4,209	2,531	12,454	390	20,031	32,197
85	12,660	484	4,246	2,533	12,465	390	20,118	32,778
86	12,463	528	4,321	2,461	12,465	390	20,165	33,628
87	12,469	538	4,376	2,451	12,467	390	20,222	34,901
88	15,453	593	4,424	2,446	12,466	390	20,319	35,775
89	15,556	608	4,447	2,455	12,475	390	20,375	35,931
新工路段								
91		106						
92		183	201.5					
93		31	342.8					

資料來源：交通部政策白皮書，91 年 1 月。

由以上的數字可發現，再生材料在取代天然粒料的市場上具有可行性，以下針對各材料的市場價格進行分析，價格分析整理如表 8.3 所示。表 8.3 為有條件限制之假設計算所得，價格成本係以再生處理業者為主要考量對象，運輸成本以該材料產地為優先考慮，再生材料價格成本尚未考慮利潤與稅率。

表 8.3 再生材料價格成本分析表（單位：元/公噸）

材料	原料價格 $P_{RM}$	處理成本 $C_{PR}$	倉儲成本 $C_{ST}$	包裝成本 $C_{LD}$	運輸成本 $C_{TR}$	補助 - P	價格成本 $C_P$
道路刨除料	126	170	20	---	120	---	436
高爐爐渣	300		28	40	100	---	468
轉爐渣	30		32	---	100	---	162
玻璃砂	2 000		126	---	120	1 560	686
陶瓷砂	250		152	---	120	---	522
電廠飛灰	---	128	20	40	120	---	308
焚化爐灰渣	---		1 753	---	120	1 600	153

## 一、水淬高爐石粉

九十一年水淬高爐石粉產量約有 200 萬噸，生產成本包括了土地、研磨機組、破碎機、磁選設備料倉、與爐石加工廠等。以二十年的生命週期與 6.5% 的年成長利率來攤平，年成長因子為 0.091，土地設備費用總值約 8 千 8 百萬，連帶隨後依環保需求增設的相關設備，如除塵設備、掃地車、噴灑水設備、防塵網、集塵器、地磅及相關設施等，水淬高爐石粉的處理成本如表 6.4，由於土地與機具部分與轉爐渣為共同處理設置，因此在成本上降低了不少，運費以南部為主，初步估計每噸水淬高爐石粉的處理成本為 128 元。

目前每噸水淬高爐石粉的原料價格約在 300 元左右，加上水淬高爐石粉係以部分取代為主，故考慮包裝及標示成本的話，每噸價格需再增加 40 元（每包 50 公斤含標示，每袋 2 元），總計價格成本為 468 元/噸。

表 8.4 每噸水淬高爐石粉處理成本分析表（南部）

項目	單位	單價	複價（元/噸）
運費	公噸	100.	100.
土地	年	41 000 000.	12.
機具	式/年	47 000 000.	14.
環保設備	式/年	6 500 000.	2.
小計			128.

## 二、轉爐渣

在部分土地、機具、及環保防制設備等成本上，均屬於共同使用，然由於轉爐石含金屬氧化物成分較高，且殘鋼回收後的經濟價值相當高，故於經濟考量上，在轉爐石處理線上增設了額外的磁選機、篩選機、電磁檢鐵器、及配套周邊機器設施等，增加了每噸轉爐石處理成本約 4 元，加上轉爐石的權利金每噸 30 元，總計價格成本為 162 元/噸，是相當低廉的再生材料。

表 8.5 每噸轉爐石處理成本分析表（南部）

項目	單位	單價	複價（元/噸）
運費	公噸	100.	100.
土地	2 筆/年	41 000 000.	12.
機具	組/年	47 000 000.	14.
增設磁選篩分安定化設備等	套/年	5 000 000.	4.
環保設備	式/年	6 500 000.	2.
小計			132.

## 三、廢玻璃（砂）

研究廢玻璃的處理成本前，需先探討玻璃的回收通路。廢玻璃瓶經由廢棄物處理相關業者或拾荒者收集後賣給各地資源回收站約 1.5 元/公斤，每噸即有 1,500 元的價格，中盤商再以每噸 1,700 元的價格向回收站收購，最後以 2,000 元/噸的價錢賣到玻璃廠做原料或



其他再利用處置。因此，由玻璃廠的觀點出發，每噸的廢玻璃成本係以 2,000 元來估算。依環保署 93 年的費率審議委員會審議通過之費率，每噸的廢玻璃可得到 1,560 元的回收處理補貼費，因此廢玻璃的原料價格才得以抑制下來，為 440 元/噸。

依照廢玻璃處理流程，廢玻璃到玻璃砂的產製過程中，需經過分色、潔淨、破碎、研磨（去銳角）、篩分等步驟，針對以上處理過程而設置的土地機具等成本分析如表 8.6，以一個需要 300 坪的處理廠，處理近 20,000 噸的廢玻璃（台灣地區廢玻璃 91 年回收量為 83 365 噸；92 年預估達 120,000 公噸），則每公噸玻璃砂生產成本約 237 元含運費，加上原料取得費用可得玻璃砂價格每噸在 677 元左右。

表 8.6 每噸玻璃砂處理成本分析表（北部）

項目	單位	單價	複價（元/噸）
運費	公噸	120.	120.
土地	筆/年	1 092 000.	55.
分色撿拾台	套/年	152 880.	8.
清洗設備	式/年	136 500.	7.
鉸碎機	套/年	455 000.	23.
篩選機	套/年	318 500.	16.
研磨機	套/年	182 000.	9.
輸送帶機組	組/年	169 260.	8.
小計			246.

#### 四、焚化爐灰渣

以台北縣一家焚化爐灰渣再利用處理廠的資料進行成本分析，如表 8.7 所示，該廠每年代台北縣處理 21,500 公噸焚化爐灰渣，每噸焚化爐灰渣的處理成本包括了運費、土地使用成本、人工、機械設備、營運及維護等，由於該廠係以藥劑來進行灰渣的穩定處理，故需要定期地進行品管檢驗的動作，加上研發及製程專利等費用，每噸灰渣的處理費用為 1,753 元，然台北縣目前以每公斤 1.6 元的灰渣處理費補貼，故折合每噸灰渣的價格應在 153 元上下。

表 8.7 每噸焚化爐灰渣處理成本分析表（北部）

項目	單位	單價	複價（元/噸）
運費	公噸	120.	120.
土地	年	60 000 000.	275.
人工	年	45 000 000.	209.
營運與維護	式/年	56 000 000.	260.
機械設備	式/年	21 000 000.	98.
藥劑處理	年	17 000 000.	79.
品管及其他	年	153 000 000.	712.
小計			1753.

## 8.2 工程應用

表 8.8 將再生材料的價格與目前台灣地區的天然砂石料價格做比較，可以發現再生材料在價格成本上的優勢，單從價格上來討論，目前道路刨除料於北部及南部的市場競爭力較佳；轉爐碴則適用於取代全省的粗細粒料；鶯歌生產的陶瓷砂在北部比天然細沙的價格低；中部電廠的飛灰則適合取代台灣西部的天然砂；北部焚化爐灰碴則適合當全省各地的天然砂替代品。表中僅水淬高爐石粉與玻璃砂無明顯競爭優勢，原因是其原料取得價格較高，若單純取代天然粒料，恐不敷成本，因此，找尋其他替代材料以提高其價格競爭優勢，是再利用的重要關鍵。

表 8.8 再生材料與天然砂石價格比較表（元/噸）

材料（價格）	運費基準	價格對應材料（價格）	用途取代	價格優勢地區
水淬高爐石粉（468）	南	南部細砂（456）	細料、水泥	---
轉爐碴（162）	南	東部粗骨材（171）	粗細料、防剝劑	北、中、南、東
玻璃砂（686）	北	北部粗骨材（662）	細料	---
焚化爐灰碴（153）	北	東部粗骨材（171）	細料	北、中、南、東

雖然部分材料在價格上無明顯優勢，但視其本身性質或工作特性，或能符合工程上的相關需求，以提高工程品質使得再生材料本身價值增加的案例有，水淬高爐石粉與飛灰因本身具卜作嵐性質而可取代部分水泥用量；轉爐碴的表面游離石灰可充當瀝青混凝土的防剝劑等，此時的再生材料便具有大力推動再利用的新價值。反之，縱然價格上具有優勢的材料，若在施工成本或未來成效檢測上出現造成重大影響的因子，如維修不易、二次污染、前處理費時耗能等，在工程的整體考量下反而會不利推動該材料的工程應用。

以下將由工程面的考量來探討再生材料的成本效益，並藉由實際案例了解未來施工的可行性，期望能以有最有利的方式推動再生材料的應用。

### 8.2.1 配合設計實例與預期成效

本節將介紹幾個配合設計案例供未來再生材料之應用參考，在面層有玻璃砂、陶瓷砂、轉爐石、水淬高爐石粉、及再生瀝青混凝土等；底層以轉爐石瀝青處理底層、飛灰底灰添加爐石之級配粒料底層為例；基層與路基土壤則以轉爐石與飛灰底灰應用於基層等做介紹。

#### 一、玻璃瀝青面層

料源為台北市養工處所提供，依照台北市工務局的道路施工規範進行配比後，決定摻配比例為：天然粗料 55%、天然細料 33%、玻璃砂 10%、石灰 2%，其級配分佈圖表如表 8.9、圖 8.1 所示。

表 8.9 摻配玻璃砂級配與台北市規範對照表

篩號	設計值	規範值			合乎 規範
		下限	中間值	上限	
1+1/2"	100.0	100	100	100	OK
1"	100.0	100	100	100	OK
3/4"	100.0	100	100	100	OK
1/2"	100.0	100	100	100	OK
3/8"	98.9	90	95	100	OK
#4	71.7	55	70	85	OK
#8	41.5	32	50	67	OK
#16	29.0	24	38	53	OK
#30	19.1	15	27	38	OK
#50	13.5	7	15	23	OK
#100	7.8	5	11	17	OK
#200	5.4	2	6	10	OK

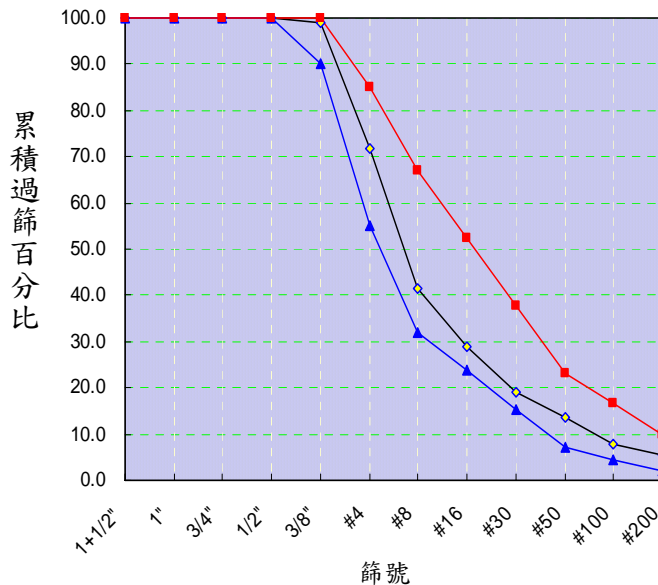


圖 8.1 玻璃瀝青級配曲線圖

以上述的比例進行馬歇爾配合設計並與天然砂石對照比較，發現玻璃瀝青在單位重及最大理論密度上與天然砂石配比十分接近，其他如流度值、V.M.A.、VFA 也都可以在規範內找出合適的含油量，但是在代表瀝青混凝土強度指標的穩定值一項，則略遜於天然砂石，主要是因為玻璃砂成分中  $\text{SiO}_2$  含量很高，屬於親水性材料，對於浸水抗剝脫的能力較差，因此配合設計中摻入 2% 的石灰也是針對此原因進行改善的作法。此外，本配合設計使用的瀝青為 AC-20，較一般市區道路使用的 AC-10 黏滯度高，也較容易握裹住不吸油的玻璃砂粒料。

將實驗數據套入設計規範，穩定值換算成 kg，應大於 817 kg 才合乎台灣重級交通量的需求；其他的設計要求還有，流度值（0.25 mm）應介於 8~14；VMA 依其設計含油量 4% 與最大粒徑決定應大於 15%；VFA 在重交通量下應介於 65~75% 之間。整理試驗結果後求出本玻璃砂配合設計合適含油量為 6.2~6.5%，較天然砂石的 5.7~5.9% 來的高，推斷可能是添加了易吸油的石灰所造成的影響。

表 8.10 玻璃瀝青混凝土與傳統瀝青混凝土配合設計結果

進行項目	玻璃瀝青混凝土 (含油量, %)					天然粒料瀝青混凝土 (含油量, %)				
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
穩定值kg	1069.3	1009.9	1014.0	923.5	899.2	1183.4	1121.9	1165.7	1141.0	1213.8
流度值 0.25 mm	10.2	9.1	12.9	12.2	13.8	12.0	12.3	12.2	13.5	14.2
空隙率%	8.4	7.1	5.8	4.3	3.2	8.2	6.8	5.2	3.9	1.8
V.M.A. %	15.8	15.7	15.4	15.2	15.2	15.7	15.5	15.1	14.9	14.1
VFA%	46.7	54.4	62.7	71.6	79.1	47.8	56.0	65.6	73.8	87.6
單位重	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4
最大理論密度	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4

為探討石灰對玻璃瀝青混凝土的強度是否真的有所助益，本研究由依此配比鋪設玻璃瀝青道路的台北市新光路取工廠現場拌和的試樣回來進行成效試驗，以公共工程委員會施工綱要規範第 02742 章-瀝青混凝土鋪面規定進行浸水殘餘強度測試，發現試鋪道路生產過程中，添加 2%石灰的玻璃瀝青殘餘強度達 88%，而添加 1%石灰的殘餘強度只有 73%，證明了石灰在協助玻璃瀝青混凝土抵抗浸水剝脫是有幫助的。

北部地區以上述配比進行生產，詳細單價如表 8.11 所示，含油量定 6.2%；添加石灰 2%；設計空隙率 4%；拌和廠每小時拌和生產 60 公噸；拌和用機械每日工作八小時，則生產玻璃瀝青每噸單價約為 1,312 元，較目前北部營建物價之 4-A 密級配瀝青混凝土價格每噸 1,143 元，高約兩成左右。對於推廣玻璃砂的再利用相當不利，目前除了降低玻璃砂的單價外，台北市政府環保局在推動玻璃再利用的政策上有獎勵措施，即玻璃再利用於道路工程上可獲得每公斤 1 元的補貼，因此上述的成本 1,312 元再扣除 100 元，實際成本為 1,212 元/噸，縮小了彼此的價格差異。

表 8.11 每噸玻璃瀝青混凝土單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
材料費	AC-20 瀝青膠泥	公噸	0.062	6 800	421.6	含運費
	石灰	公噸	0.02	5 000	100.	
	粗粒料	公噸	0.55	662	364.1	
	細粒料	公噸	0.33	401	132.3	
	玻璃砂	公噸	0.10	686	68.6	
小計		每噸			<b>1 086.6</b>	
合材費 60 噸/hr	拌和廠	小時	1	5 500	5 500.	
	裝載機	小時	1	1 000	1 000.	
	推土機	小時	1	1 073	1 073.	
	鍋爐油	公升	720	5	3 600.	
	領班	小時	1	270	270.	
	作業工	小時	5	286	1 430.	
	小工	小時	2	218	436.	
	機具磨耗	式	1		191.	
小計		每噸			13 500.	
					<b>225.</b>	
合計		每噸			<b>1 311.6</b>	廠交 不含運費

資料參考：營建物價指數，2003 年 5 月。

## 二、爐渣瀝青混凝土面層

爐渣經適當處理為粗、細骨材後，可應用於密級配、開放級配熱拌瀝青混凝土，亦可應用於冷拌或面層表面處理。在轉爐渣處理與品質管制程序方面，特別應重視的是其因游離石灰與氧化鎂而導致膨脹的可能性，若忽略會導致鋪面的龜裂破壞。轉爐渣骨材於鋪面上的應用應採粗、細骨材部分取代的方式，但不建議 100% 完全取代瀝青混凝土中的骨材，因其較高的稜角率會導致較高的孔隙與體積方面的問題，詳細說明於後。特別需注意的是，爐渣較高的孔隙及親油性的性質會導致含油量較高，容易造成開放交通後因車輛壓實導致路面滑溜的現象。

本研究依取代材料分為七組試驗，I～IV 組為全部使用再生材料之配合設計，分別為：I-全轉爐石級配；II-轉爐石加水淬高爐石粉；III-轉爐石加道路刨除料；IV-轉爐石加道路刨除料及水淬高爐石粉；V、VI、VII 三組則是由轉爐砂部分取代天然砂的比例區分，分別為取代 0%、10%、20%，詳細比例如表 5.44。由於轉爐石粒料比重平均約 3.0，較一般天然粒料為高；水淬高爐石粉為 2.4，較天然砂低，且粗細粒料間比重差異 > 0.2，依 AI (MS-2) 建議之方法，粒料配合比例需將重量比調整為體積比。

依表 8.12 的試驗結果看來，使用全再生的組別，其瀝青混凝土單位重均高於傳統瀝青混凝土單位重的 20%，對於生產及運輸的成本考量上十分不利。然在穩定值的數據結果上，使用轉爐石作為骨材粒料的各組，其穩定值均遠大於規範值的 817kg，部分甚至達一倍以上。

表 8.12 爐渣瀝青混凝土配合設計結果

	全再生				部分再生		
	I	II	III	IV	V	VI	VII
粗料 (比例%)	B (50)	B (50)	B (50)	B (50)	B (60)	B (50)	B (40)
	b (50)	b (40)	b (25)	b (10)		b (10)	b (40)
細料 (比例%)			r (25)	w (15)	s (40)	s (40)	s (20)
		w (10)		r (25)			
馬歇爾配合設計							
單位重	2.87-2.92	2.77-2.83	2.76-2.80	2.60-2.69	2.59-2.64	2.62-2.68	2.60-2.65
穩定值kg	1 128-2 100	1 268-1865	896-1627	1 186-1 274	1 001-1 171	1 384-1 620	1 739-1 916
流度值 0.25 mm	7.7-13.7	7.3-10.7	10.2-18.0	9.9-12.3	12.6-15.1	10.4-14.1	10.6-12.2
Va 空隙率%	3.0-6.0	2.6-8.4	3.1-7.0	4.3-10.8	2.9-8.3	3.0-8.5	3.8-9.0
VMA%	10.1-12.7	11.6-12.8	11.7-13.5	14.4-15.5	19.5-20.3	14.8-15.7	16.5-16.9
VFA%	41.2-76.6	34.3-79.5	42.8-77.0	30.7-70.2	58.1-85.1	45.1-80.5	46.5-77.6
合適含油量%	*5.7-6.3	*5.0-5.5	*5.0-5.2	5.7-6.0	5.7-5.9	5.7-6.2	6.0-6.4

註 1：B 為轉爐石粗料；b 為轉爐砂；r 為道路刨除料；w 為水淬高爐石粉；s 為南部地區河砂。

註 2：\*未考慮 VMA 的情況下。

由於前三組的合適含油量並未完全進入規範要求，原因出在其粒料間空隙體積 V.M.A. 未大於標稱最大粒徑 1/2 in 所規定的 14% 以上，追究其原因在於 V.M.A. 與混合料單位重及

混合石料之平均虛比重( $G_{sb}$ )有關，前三組使用了高比重的轉爐石粗細粒料達 75%~100%，造成整體的單位重皆偏高，將導致 V.M.A. 偏低。由 V.M.A. 偏低的結果，可得知瀝青多為粒料所吸收，故瀝青填充率(VFA)偏低，空隙率( $V_a$ )亦偏高。

然前三組並非完全沒有再利用優勢，由成效試驗數據發現，添加轉爐石及水淬高爐石粉於鋪面工程是可行的，因為其高穩定值與良好的流度值優於傳統瀝青，對於抵抗台灣地區的重交通量有較佳的成效，尤其是應用在已經歷載多年交通量破壞的再生瀝青路面，添加部分爐渣可提高加鋪面層的整體強度。以第IV組為例，以轉爐渣、水淬高爐石粉、及道路刨除料為骨材粒料組成的瀝青混凝土，在合適含油量下，完全符合施工規範的要求，可達到百分之百的再生利用率。

V、VI、VII代表的是部分再生的案例，V為轉爐石粗料加上 40%天然砂，以三料倉之配比設計；VI、VII則是模擬工廠生產的四料倉配比，以轉爐石粗細料來搭配天然砂，再生料的比例分別為 60%、80%。從試驗結果得知，轉爐石添加天然砂，整體的比重降低，含油量隨著轉爐石的添加量增加而提高，穩定值亦如此。故未來鋪設時，建議衡量交通量來取決轉爐石的添加用量，以節省成本。

將上列各組配比實際估算其生產成本後，可得表 8.13，由於轉爐渣材料本身單價較低，因此含油量高的部分可獲得補貼，整體生產成本與南部傳統 4-C 密級配混凝土的每噸 950 元相當接近，然其成效卻是遠優於傳統的 4-C 密級配混凝土。表中數據含油量以合適含油量之最低限度為例，僅舉出合乎規範的四組，相關物價依營建物價中南部區域單價估計。

表 8.13 每噸爐渣瀝青混凝土單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價（元）	複價（元）	備註
IV	AC-20 瀝青膠泥	公噸	0.057	6 800	387.6	含運費
	水淬高爐石粉	公噸	0.15	468	70.2	
	轉爐石粗粒料	公噸	0.5	162	81.	
	轉爐石細粒料	公噸	0.1	162	16.2	
	道路刨除料	公噸	0.25	416	104.	
IV 小計		每噸			<b>659.0</b>	
V	AC-20 瀝青膠泥	公噸	0.057	6 800	387.6	含運費
	轉爐石粗粒料	公噸	0.6	162	97.2	
	南部河砂	公噸	0.4	440	176.	
V 小計		每噸			<b>660.8</b>	
VI	AC-20 瀝青膠泥	公噸	0.057	6 800	387.6	含運費
	轉爐石粗粒料	公噸	0.5	162	81.	
	轉爐石細粒料	公噸	0.1	162	16.2	
	南部河砂	公噸	0.4	440	176.	
	VI 小計	每噸			<b>660.8</b>	
VII	AC-20 瀝青膠泥	公噸	0.06	6 800	408.	含運費
	轉爐石粗粒料	公噸	0.4	162	64.8	
	轉爐石細粒料	公噸	0.4	162	64.8	
	南部河砂	公噸	0.2	440	88.	
VII 小計		每噸			<b>625.6</b>	
合材費 60 噸/hr	拌和廠	小時	1	5 500	5 500.	
	裝載機	小時	1	1 000	1 000.	
	推土機	小時	1	880	880.	
	鍋爐油	公升	720	5	3 600.	
	領班	小時	1	313	313.	
	作業工	小時	5	229	1 145.	
	小工	小時	2	200	400.	
	機具磨耗	式	1		121.	
小計		每噸			13 150.	
					<b>219.</b>	
合計	IV				<b>878.</b>	廠交 不含運費
	V、VI	每噸			<b>880.</b>	
	VII				<b>845.</b>	

資料參考：營建物價指數，2003 年 5 月。

### 三、轉爐石瀝青處理底層

依照工程會第 02714 章「瀝青處理底層級配規範」D 類，將轉爐渣摻配天然砂的級配曲線如表 8.14、圖 8.2 所示。混合比例為轉爐石粗料 64%、轉爐砂 18%、天然砂 18%。

表 8.14 轉爐渣瀝青處理底層級配與規範對照表

篩號	設計值	D 類規範值			合乎 規範
		下限	中間值	上限	
1+1/2"	100.0	100	100	100	OK
1"	97.5	85	92.5	100	OK
3/4"	84.3	70	77.5	85	OK
#4	35.7	30	40	50	OK
#30	13.5	12	18.5	25	OK
#200	2.4	2	5	8	OK

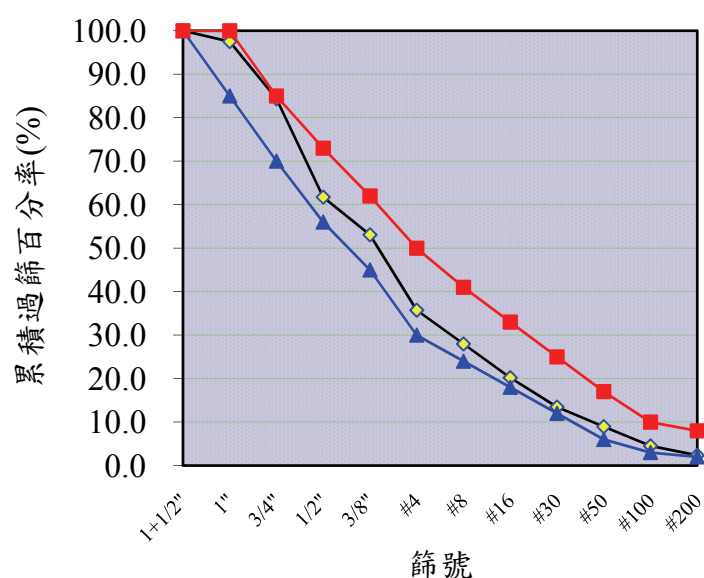


圖 8.2 轉爐渣瀝青處理底層級配曲線圖

依照工程會施工綱要規定，D 類瀝青處理底層進行馬歇爾配合設計時，試體上下每端各夯打次數為 75 次；穩定值應大於 1 800 磅 (817 kg)；空隙率介於 3~10% 之間；流度值介於 8~18 (0.25 mm)。由表 8.24 可知，轉爐渣於含油量 4.5~5.7 時，符合規範需求。估算此配比之生產成本，可得每噸轉爐渣瀝青處理底層單價為 737 元，低於營建物價中南部 3-D 粗級配瀝青處理底層的每噸 905 元。

表 8.15 轉爐渣瀝青處理底層配合設計結果

進行項目	轉爐渣瀝青混凝土 (含油量, %)					
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
穩定值kg	1 319.3	1 225.2	1 274.3	1 450.4	1 238.3	1 231.8
流度值 0.25 mm	12.2	13.1	15.8	20.0	23.1	14.4
空隙率%	7.7	5.5	4.5	3.4	2.4	2.3
單位重	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
合適含油量%	4.5~5.7					



表 8.16 每噸轉爐渣瀝青處理底層單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
材料費	AC-20 瀝青膠泥	公噸	0.045	6 800	306.	含運費
	轉爐石粗粒料	公噸	0.64	162	103.7	
	轉爐石細粒料	公噸	0.18	162	29.1	
	南部河砂	公噸	0.18	440	79.2	
小計		每噸			<b>518.0</b>	
合材費 60 噸/hr	拌和廠	小時	1	5 500	5 500.	
	裝載機	小時	1	1 000	1 000.	
	推土機	小時	1	880	880.	
	鍋爐油	公升	720	5	3 600.	
	領班	小時	1	313	313.	
	作業工	小時	5	229	1 145.	
	小工	小時	2	200	400.	
	機具磨耗	式	1		121.	
小計		每噸			13 150.	
					<b>219.</b>	
合計		每噸			<b>737.</b>	廠交 不含運費

資料參考：營建物價指數，2003 年 5 月。

#### 四、轉爐渣應用於基底層

本配比採用轉爐渣進行基底層的配合設計。轉爐渣未經養生安定化；砂石為大安溪河川砂石；土壤為中壢地區紅土。將試驗組同樣分為全再生及部分再生，配合設計結果如表 8.26。其中部分再生的組別為 98%最大乾密度下夯打次數 65 次，所求得之 28 天對應 CBR 值。

從試驗結果發現，灰渣與轉爐渣混合的級配粒料，除了全轉爐石級配僅符合底層要求外，其餘均可符合工程會基層與底層規範中的 CBR 值要求；而部分取代方面，轉爐渣添加碎石與天然砂可符合基層規範要求，添加土壤部分則僅能適用在 III-C 基層規範，推判為土壤凝聚性所造成之影響。

表 8.17 灰渣與爐渣基底層配比設計

	全再生				部分再生	
	I	II	III	IV	V	VII
粗料 (比例%)	B (50)	B (50)	B (50)	B (50)	B (12) 碎石 (40)	B (15)
細料 (比例%)	b (50)	b (20) 飛灰 (30)	b (20) 底灰 (30)	b (20) 飛灰 (15) 底灰 (15)	B (48) 天然砂 (50)	b (35) 土壤 (50)
C.B.R. 值%	74.9	134.8	132.2	125.1	69.6	49.1
膨脹率%	5.0	4.7	4.7	4.5	0.78	0.33

註：B 為轉爐石粗料；b 為轉爐砂

未安定養生的轉爐碴普遍潛在著膨脹性，因游離石灰與鎂的氧化物並未完全消解反應完全，在潮濕環境下會發生水化反應造成體積膨脹（體積膨脹近 10% 以上），此膨脹性質造成再利用的困難，若採用不適用或未經適當處理過的轉爐碴，則可能會因為地圖裂縫產生的破壞。

在上述配合設計結果中也可發現，全再生的組別其 28 天膨脹率約 4~5%。而轉爐石添加碎石、砂或土壤之試驗中，無論添加碎石、砂或土壤，齡期到達 28 天時之膨脹率皆低於日本 JIS 之規範（面層 1.5%，底層 2.0%），其膨脹率最高僅 0.78%，遠低於轉爐石添加飛灰與底灰試驗中 28 天膨脹率 4.5%。因此，作為基底層骨材，轉爐碴前處理需求除須充分破碎與過篩以符合級配需求外，特別須經過養生處理，以消除其潛在膨脹性反應。

以 IV V VI 三組進行單價分析與比較，發現添加灰碴比添加天然砂石成本低了約 45%，若可以改善其膨脹量，其單價有利於大量應用及推廣。

表 8.18 每噸灰碴與爐碴基底層級配單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價（元）	複價（元）	備註
IV	轉爐石粗粒料	公噸	0.5	162	81.	含運費
	轉爐石細粒料	公噸	0.2	162	32.4	
	電廠飛灰	公噸	0.15	308	46.2	
	電廠底灰	公噸	0.15	308	46.2	
IV 合計		每噸			<b>205.8</b>	
V	轉爐石粗粒料	公噸	0.12	162	19.4	含運費
	轉爐石細粒料	公噸	0.48	162	77.8	
	南部碎石	公噸	0.4	517	206.8	
V 合計		每噸			<b>304.</b>	
VI	轉爐石粗粒料	公噸	0.25	162	40.5	含運費
	轉爐石細粒料	公噸	0.25	162	40.5	
	南部河砂	公噸	0.5	440	220.	
VI 合計		每噸			<b>301.</b>	

資料參考：營建物價指數，2003 年 5 月。

由於前述六個案例均未考慮施工成本，從表 8.28 台灣地區北部南部的面層現場鋪裝施工成本比較，其差異並不大，顯示再生材料價格波動的敏感性，仍關係到再生材料本身的價格因素影響。

表 8.19 台灣南北面層鋪裝單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)
北部 施工費用 100 噸/hr	鋪裝機	小時	1	1 250	1 250.
	膠輪壓路機	小時	1	906	906.
	二輪鐵輪壓路機	小時	1	775	775.
	燃料油	公升	100	15	1 500.
	領班	小時	1	270	270.
	作業工	小時	3	286	858.
	小工	小時	5	218	1 090.
	機具磨耗	式	1		51.
小計		每噸			6700. <b>67.</b>
南部 施工費用 100 噸/hr	鋪裝機	小時	1	963	963.
	膠輪壓路機	小時	1	1 125	1 125.
	二輪鐵輪壓路機	小時	1	675	675.
	燃料油	公升	100	15	1 500.
	領班	小時	1	313	313.
	作業工	小時	3	229	687.
	小工	小時	5	200	1 000.
	機具磨耗	式	1		37.
小計		每噸			6300. <b>63.</b>

資料參考：營建物價指數，2003 年 5 月。

#### 五、焚化爐底碴應用於道路工程成本分析

底碴成本為在處理成本及倉儲成本之中，如果加上環保署每噸補助 1000 元及台北縣政府每噸補助 600 元，因此底碴處理公司所需負擔成本為 33 元，如果再扣除金屬資源的回收，基本上處理公司是無須負擔處理上的成本。以目前狀況未經過水洗處理底碴因為異味及品質穩定的問題，即使採用不收費方式提供再利用，一般瀝青廠使用還是無法全面推廣，造成倉儲成本增加，但經過水洗後底碴不但異味去除品質穩定，較多廠商會取用，然而卻增加處理廠處理費用，因此水洗底碴就無法採用免費提供，目前水洗底碴每噸約為 250 元/噸，約是北部砂石價格的 1/3。

表 8.20 底碴成本分析表（單位：元/公噸）

材料	原料價格 $P_{RM}$	處理成本 $C_{PR}$	倉儲成本 $C_{ST}$	包裝成本 $C_{LD}$	運輸成本 $C_{TR}$	補助 - P	價格成本 $C_{DP}$
焚化爐底碴	---	1633		---	---	1600	33

### 8.3 現地試鋪成本分析

本小節將針對本次研究所進行的試鋪工程面層部分進行成本分析，探討三種不同配比的面層及兩種不同配比瀝青處理底層在成本上的差異，已提供一般瀝青廠未來選擇使用底礫在成本上的參考。

表 8.21 為本次試鋪基本的單價分析，數量是以當天實際的工作人員計算，而單價則採用 2004 年 5 月份營建物價所刊登資料，平均鋪設每噸瀝青混凝土將花費 47 元。

表 8.21 鋪裝單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價（元）	複價（元）
施工費用 100 噸/hr	鋪裝機	小時	1	1250	1250.
	膠輪壓路機	小時	1	1125	1125.
	二輪鐵輪壓路機	小時	1	750	750.
	領班	小時	1	270	270.
	作業工	小時	3	286	858.
	小工	小時	2	200	400.
	機具磨耗	式	1		51.
小計					4704.
	每噸				47.

資料參考：營建物價指數，2004 年 5 月。

考慮施工成本時，除了鋪設的單價考慮外，材料的單位重往往也會影響到未來實際鋪設的施工成本，以此次試鋪天然砂石拌和而成的傳統面層瀝青混凝土，單位重在 2248 kg/m<sup>3</sup> 左右、摻配 10%底礫在 2251 kg/m<sup>3</sup> 左右、摻配 20%底礫在 2276 kg/m<sup>3</sup> 左右，三個配比單位重相差不多，不過在含油量方面添加 20%的底礫含油量就比較高，因此相對就會增加成本的支出。瀝青處理底層部分為添加的單位重為 2255 kg/m<sup>3</sup>，添加 20%底礫的單位重為 2275 kg/m<sup>3</sup>。

由表 8.7 可以得知一般瀝青廠如果生產底礫瀝青混凝土每噸可以減少約 8 元的材料材料成本負擔，而影響另一項材料成本主要是由於添加底礫後，反而會增加瀝青膠泥的用量，因此使得使用底礫的瀝青混凝土原本想降低生產成本的優勢變得比較少。

表 8.22 面層每噸底碴瀝青混凝土生產成本單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
0%	AC-10 瀝青膠泥	公噸	0.052	7370	383.2	含運費
	天然粗粒料	公噸	0.52	338	175.8	
	天然細粒料	公噸	0.48	340	163.2	
小計		每噸			<b>722.2</b>	
10%	AC-10 瀝青膠泥	公噸	0.054	7370	398.0	含運費
	天然粗粒料	公噸	0.52	338	175.8	
	天然細粒料	公噸	0.38	340	129.2	
	焚化爐底碴		0.10	123	12.3	
V 小計		每噸			<b>715.3</b>	
20%	AC-10 瀝青膠泥	公噸	0.057	7370	420.1	含運費
	天然粗粒料	公噸	0.52	338	175.8	
	天然細粒料	公噸	0.28	340	95.2	
	焚化爐底碴	公噸	0.20	123	24.6	
VI 小計		每噸			<b>715.7</b>	
合材費 60 噸/hr	拌和廠	小時	1	5500	5500.	
	裝載機	小時	1	1000	1000.	
	推土機	小時	1	1073	1073.	
	鍋爐油	公升	720	5	3600.	
	領班	小時	1	270	270.	
	作業工	小時	5	286	1430.	
	小工	小時	2	218	436.	
	機具磨耗	式	1		191.	
小計		每噸			13500	
					<b>225.</b>	
合計	0%				<b>1070.2</b>	成本
	10%	每噸			<b>1063.3</b>	
	20%				<b>1063.7</b>	

資料參考：營建物價指數，2004 年 5 月。

表 8.23 處理底層每噸底碴瀝青混凝土生產成本單價分析表

項目	名稱規格	單位	數量	單價（元）	複價（元）	備註
0%	AC-10 瀝青膠泥	公噸	0.045	7370	331.7	含運費
	天然粗粒料	公噸	0.65	338	219.7	
	天然細粒料	公噸	0.35	340	119	
小計		每噸			<b>670.4</b>	
20%	AC-10 瀝青膠泥	公噸	0.047	7370	330.4	含運費
	天然粗粒料	公噸	0.65	338	219.7	
	天然細粒料	公噸	0.15	340	51.0	
	焚化爐底碴	公噸	0.20	123	24.6	
VI小計		每噸			<b>625.7</b>	
合材費 60 噸/hr	拌和廠	小時	1	5500	5500.	
	裝載機	小時	1	1000	1000.	
	推土機	小時	1	1073	1073.	
	鍋爐油	公升	720	5	3600.	
	領班	小時	1	270	270.	
	作業工	小時	5	286	1430.	
	小工	小時	2	218	436.	
	機具磨耗	式	1		191.	
小計		每噸			13500	
					<b>225.</b>	
合計	0%				<b>1018.4</b>	成本
	20%	每噸			<b>973.7</b>	（含運費）

表 8.24 為本次試鋪面層採用底碴各配比所需基本費用與實際費用比較表，0%、10%、20%中的價格為廠商基本材料及施工費尚不包含利潤，如果需計算利潤則為將營建物價所公佈北部 4-C 新料需要經費扣除即可獲得。由表可得知此次試鋪於 20%替代量時，由於單位重及瀝青膠泥用量已完全把底碴所提供優勢減少，因此未來如果要採用必須注意添加量，以免增加負擔失去優勢。而在處理底層由於所添加瀝青量較少，則使用底碴的效益就可以明顯看出每噸底碴瀝青混凝土與未添加的約差 45 元。

表 8.24 面層鋪設費用比較表

細料取代率%	單位重 1000kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /噸	單價 (元/噸)	鋪設 50m 需要費用 (元)
0	2.248	0.445	1117.2	31382
10	2.251	0.444	1110.3	31258
20	2.276	0.439	1110.7	31626
北部新料 4-C	2.300	0.435	1247.0	35838

表 8.25 處理底層層鋪設費用比較表

細料取代率%	單位重 1000kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /噸	單價 (元/噸)	鋪設 50m 需要費用 (元)
0	2.255	0.445	1065.4	29927
20	2.275	0.439	1020.7	29063
北部新料 3-D	2.300	0.435	1147	32960

由於 CLSM 使用再生材料或天然粒料在施工上並無差異之處，因此可以加施工成本部分忽略不予比較。另外根據文獻回顧的結果，使用天然粒料的 CLSM 壽年可達 18 年，使用再生材料者大約 10 年，因此在使用再生材料時必須考量到生命週期成本的部分，探討使用再生材料在 CLSM 是否造成各年度所需要的鋪設、維修、養護的成本增加。

此外，目前國內的管線單位包括台灣電力公司、自來水公司、中華電信等，且管線單位之間並無協調機制，導致一個路段可能一年之中可能進行好幾次挖掘，因此本研究將只針對使用焚化爐底碴與廢混凝土塊於 CLSM 之材料成本作探討分析。

在材料成本分析部分，本研究假設一條十公里長挖掘道路，溝寬 0.6m、深 1.2m(7200m<sup>3</sup>) 做為案例，與第六章生命週期分析之功能單位呼應。

表 8.26 CLSM 摻配焚化爐底碴材料成本單價分析表

項目	名稱規格	數量 (公噸/m³)	單價 (元/公噸)	複價 (元/m³)	鋪設 10km 需要 費用(元)	備註
0%	水泥	0.135	2250	303.8	8,347,680	含運費
	天然粗粒料	0.400	458	183.2		
	天然細粒料	1.240	381	472.4		
	早強劑	0.010	20000	200		
小計				1159.4		
10%	水泥	0.143	2250	321.8	8,208,720	含運費
	天然粗粒料	0.400	458	183.2		
	天然細粒料	1.076	381	410.0		
	焚化爐底碴	0.164	153	25.1		
	早強劑	0.010	20000	200.0		
V 小計				1140.1		
20%	水泥	0.150	2250	337.5	8,052,480	含運費
	天然粗粒料	0.400	458	183.2		
	天然細粒料	0.912	381	347.5		
	焚化爐底碴	0.328	153	50.2		
	早強劑	0.010	20000	200.0		
VI 小計				1118.4		

由表 8.27 材料成本分析結果可看出焚化爐底碴由於有環保署補助，所以可以無償提供廠商使用，即使廠商還是必須有運輸費用上的支出，在成本上有很大的競爭力。但由於本研究將早強劑使用量上固定來探討摻配比例和灰水比對 CLSM 各項性質之影響，因此在早強劑這項藥劑成本上無法顯示出差異，但是由於焚化爐底碴內含相當程度有機物質，所以較不容易凝結，必須使用較多量的藥劑才能達到相同凝結時間和早期強度的要求。以摻配 0 %底碴和 20 %底碴為例，摻配 20 %焚化爐底碴組在配合設計上可能需要增加 5kg/m<sup>3</sup> 的早強劑含量才能達到相同程度的早期強度，以早強劑 20 元/kg 的價格計算，摻配 20 %焚化爐底碴組每 m<sup>3</sup> 將增加 100 元的成本，這些在藥劑費用上額外的支出幾乎使得焚化爐底碴原本價格上的優勢完全消失。

焚化爐底碴的基本性質不如天然粒料，使得藥劑成本上相對增加，這與將焚化爐底碴應用在瀝青混凝土中將增加瀝青膠泥使用量而使得成本與使用天然粒料相去不遠是相同的情況。而廢混凝土塊在初級處理上沒有得到補助，因此必須將處理費反映在價格上，使其價格與天然粒料差異並不大，但沒有像焚化爐底碴有機物質含量過高的問題，因此藥劑量並不需要加重，不會額外增加成本。

綜觀上述焚化爐底碴與廢混凝土塊材料成本分析可知，使用再生材料在工程成本上並不



會有顯著的降低，因此本研究將後續章節使用生命週期分析法評估使用再生材料在材料、能源、污染等方面之環境績效。

考慮施工成本時，除了鋪設的單價考慮外，材料的單位重往往也會影響到未來實際鋪設的施工成本，目前以天然砂石拌和而成的傳統面層瀝青混凝土，單位重約在  $2,300 \text{ kg/m}^3$  左右；若與個案中的再生材料面層配比整理成表 8.27，發現單位重較重的再生材料，在同樣鋪設 500m 長、寬 6 米的 5 cm 面層條件下，所需的材料費用較高，甚至原本在單價上的優勢亦會因為單位重而消失。

表 8.27 單位重與施工成本單價分析表(含運費)

材料	單位重 $1000\text{kg/m}^3$	$\text{m}^3/\text{噸}$	單價 (元/噸)	鋪設 500m 需要費用 (元)
玻璃瀝青	2.50	0.40	1 212	454 500
陶瓷瀝青	2.30	0.43	1 146	399 800
再生瀝青	2.45	0.41	1 051	384 500
北部新料 4-A	2.30	0.43	1 266	441 700
南部新料 4-C	2.30	0.43	1 056	360 000

從轉爐渣瀝青混凝土配比進行探討，表 8.37 是將吸油率高於天然料兩倍的轉爐渣依取代率計算其鋪設 500 公尺 6 米寬道路面層所需之費用。由表中發現，若轉爐渣添加比例增加，則拌和後的轉爐渣瀝青單位重亦會增加，而鋪設費用也會有所變動。雖然轉爐渣的材料價格成本較天然料低，但隨著轉爐渣用量越高，則其吸油率提高所造成的較適含油量增加，成本也抵銷掉價差的部分，甚至比純使用天然級配的成本更高。

由表 8.29 的結果看來，在使用 80% 的轉爐渣（粗細各半）取代天然料是成本最低的配比，雖然含油量高達 6.6%，單位重  $2 650 \text{ kg/m}^3$ ，然其效益較其他各組有利，可供未來應用之參考。也因此發現，轉爐渣瀝青混凝土在未來施工應用的方向考量上，應以部分取代為主，從圖 8.3 顯示，在紅線以下的點對拌和廠而言，是具有經濟效益的作法，而混合料的單位重與含油量亦為再生材料的成本敏感性因子。

表 8.28 轉爐渣取代率與成本分析表

粗料取代率%	細料取代率%	單位重 1000kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /噸	單價 (元/噸)	鋪設 500m 需要費用 (元)
0	0	2.30	0.43	1 056	364 320
	10	2.36	0.42	1 024	365 714
	20	2.39	0.42	1 010	360 714
	30	2.41	0.41	994	363 659
	40	2.44	0.41	980	358 537
	50	2.46	0.41	967	353 780
10	0	2.39	0.42	1 016	362 857
	10	2.41	0.41	1 002	366 585
	20	2.44	0.41	986	360 732
	30	2.46	0.41	973	355 976
	40	2.49	0.40	959	359 625
	50	2.52	0.40	945	354 375
20	0	2.44	0.41	995	364 024
	10	2.46	0.41	978	357 805
	20	2.49	0.40	965	361 875
	30	2.52	0.40	951	356 625
	40	2.54	0.39	934	359 231
	50	2.57	0.39	924	355 385
30	0	2.49	0.40	971	364 125
	10	2.52	0.40	957	358 875
	20	2.54	0.39	943	362 692
	30	2.57	0.39	930	357 692
	40	2.60	0.38	916	361 579
	50	2.63	0.38	900	355 263
40	0	2.54	0.39	950	365 385
	10	2.57	0.39	936	360 000
	20	2.60	0.38	922	363 947
	30	2.63	0.38	908	358 421
	40	2.66	0.38	892	352 105
	50	2.69	0.37	879	356 351
50	0	2.60	0.38	928	366 316
	10	2.63	0.38	917	361 974
	20	2.66	0.38	900	355 263
	30	2.69	0.37	885	358 784
	40	2.72	0.37	871	353 108
	50	2.75	0.36	857	357 083
南部新料 4-C		2.30	0.4	1 056	364 320

註：假設每添加 10%，較適含油量增加 0.2%，南部新料 4-C 含油量為 5.0%；已含運輸成本。

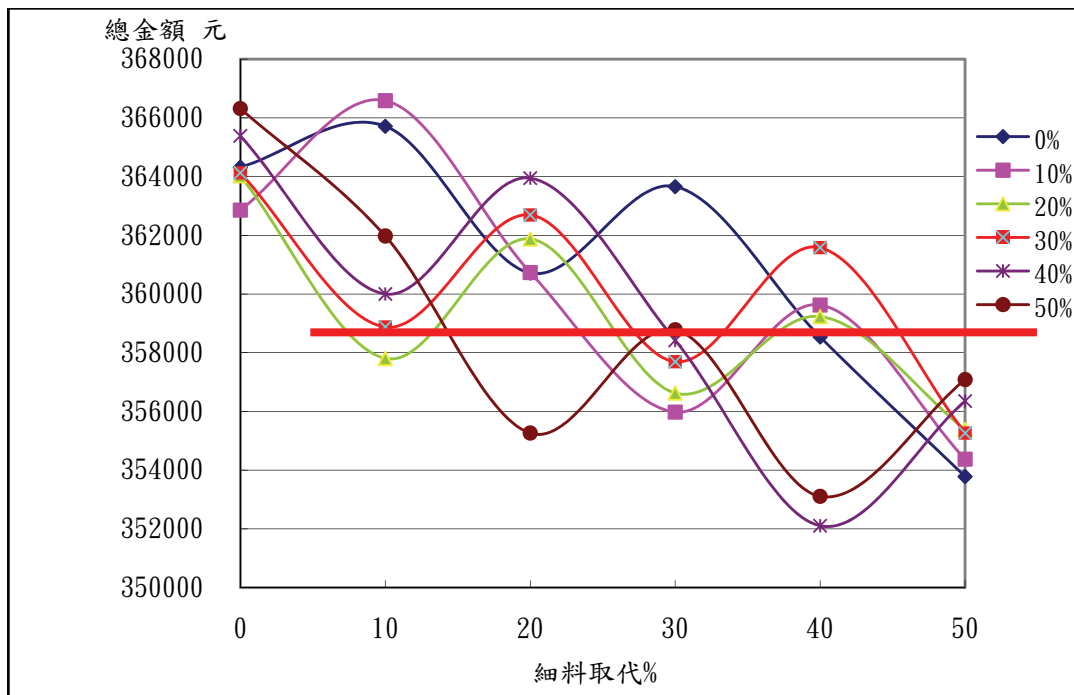


圖 8.3 轉爐碴取代量與成本關係圖

由圖 8.3 以趨勢線走向分析，由於轉爐碴原料價格相當便宜，遠低於天然粒料，因此隨著取代量增加應可預期其成本會隨之降低，然轉爐碴屬於高單位重且親油性之材料，取代量增加時，單位重與較適含油量亦隨之提高，從圖 8.4 到 8.9 中發現，趨勢線是呈階梯狀走向，這是因為當單位重高到某一程度時，新瀝青的需求量也提高，在此狀態下的配比，原先在價格成本所取得的優勢被單位重換算增加的體積及隨取代量提高的新瀝青用量抵銷，甚至高於一般傳統的瀝青混凝土。雖然各組在成本上互有高低，但由於價差均在 5% 以內，依採購法的規定，於未來工程實際發包及採購應用上，並無較大的困難。

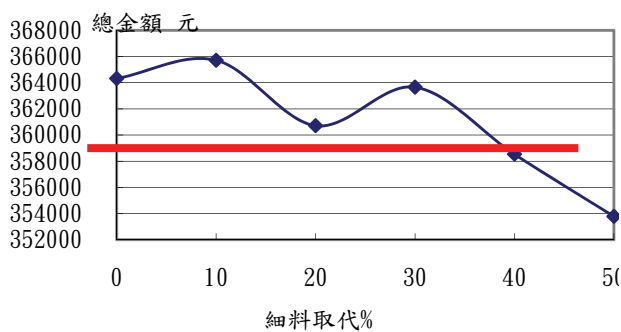


圖 8.4 轉爐碴粗料取代 0% 與成本關係圖

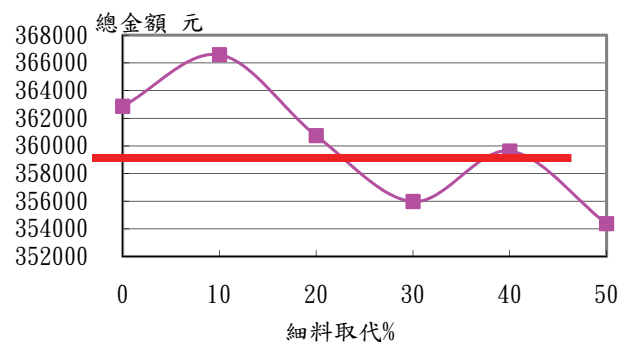


圖 8.5 轉爐碴粗料取代 10% 與成本關係圖

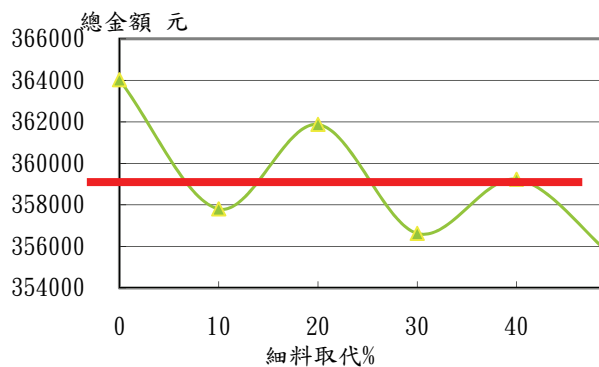


圖 8.6 轉爐渣粗料取代 20%與成本關係圖

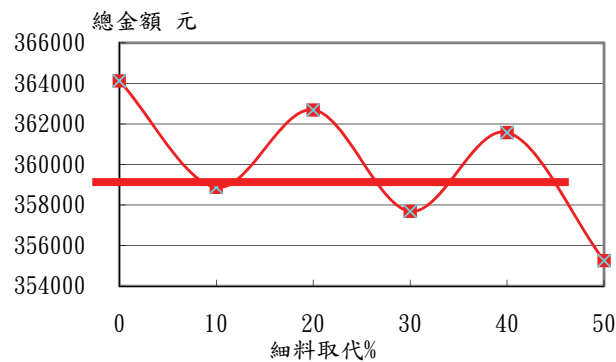


圖 8.7 轉爐渣粗料取代 30%與成本關係圖

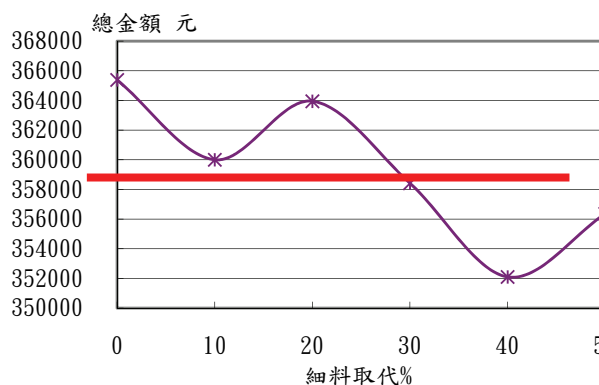


圖 8.8 轉爐渣粗料取代 40%與成本關係圖

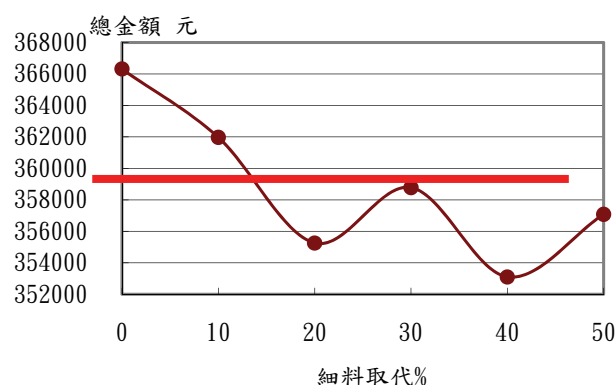


圖 8.9 轉爐渣粗料取代 50%與成本關係圖

## 8.4 小結

再生材料引進營建業市場時，必然會產生一個價格，這個價格即為未來使用者最直接需要考量的經濟成本，與天然材料比較，再生材料在一般道路鋪面工程的設計施工要求中，若本身的材料價格較低，往往是推動使用者考慮使用再生材料的有利誘因。

每單位再生材料價格，為原料價格、處理成本、倉儲成本、包裝成本、運輸成本、及利潤之總和；在道路鋪面施工過程中，再生材料的施工成本（CI）為設計、鋪裝及試驗成本之總和。

將再生材料的價格與天然砂石料比較，可發現再生材料的市場優勢，轉爐渣則適用於取代全省的粗細粒料；焚化爐灰渣則適合當全省各地的天然砂替代品。唯高爐爐渣與玻璃砂無明顯優勢，原因是其材料價格高，單純取代天然粒料，恐不敷成本，尋求其他替代材料以提高其價格競爭優勢或經由環保政策補貼，是再利用的重要關鍵。



## 第九章 檢視交通部頒公路類規範

### 9.1 問卷設計及統計資料

本研究為了瞭解各單位對交通部公路類部頒規範之建議，以問卷方式針對國內產、官、學之專家學者進行問卷發放，選定對部頒規範於實務及應用方面使用較為頻繁及熟悉之單位，其中問卷發放中央機關 8 份、工程顧問公司 7 份、學術研究單位 5 份，共計 20 份，總回收 20 份問卷回收率為 100%，分布情形如圖 9.1 所示。問卷內容包括各單位對規範引用之頻率、適用性及成效、是否進行修正以及修定年限，回收之問卷經統計後其結果如下所述。

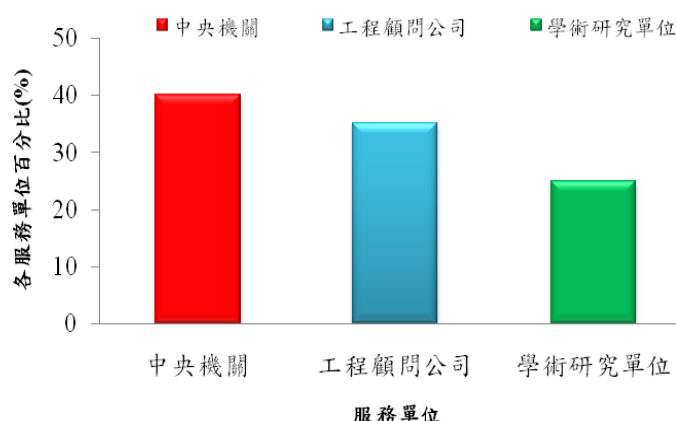


圖 9.1 問卷發放各單位百分比

#### 一、各單位引用頻率

各單位引用部頒規範之頻率依問卷統計結果，引用頻率普通以上達 85%(如圖 9.2 所示)顯示其廣泛使用或作為其他規範參考之依據，較少引用等級僅 15%，而較少引用之原因為問卷填寫者所屬單位已制定相關之規範標準，因而較少引用。

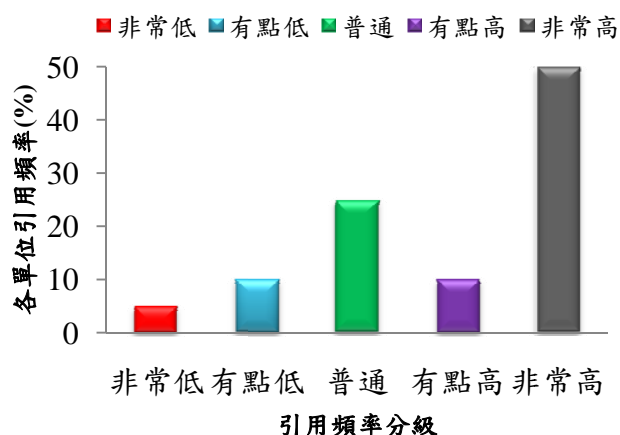


圖 9.2 各單位對交通部部頒規範引用頻率情況

## 二、適用性及成效

依問卷回收後統計資料以百分比進行計算，百分比愈高其適用性及成效為愈佳，結果顯示部頒公路類十本規範就適用性而言，達普通級以上者佔 80%以上，顯示交通部頒規範其適用性及成效達到一定水準之上。

表 9.1 各規範適用性及成效統計評分表

規範類別	適用性及成效評分					普通級以上總分
	非常低	有點低	普通	有點高	非常高	
公路橋梁耐震設計規範	6.3	0.0	18.8	50.0	25.0	93.8
公路排水設計規範	5.6	5.6	5.6	72.2	11.1	88.9
公路橋梁設計規範	6.3	0.0	12.5	43.8	37.5	93.8
公路隧道設計規範	17.6	0.0	17.6	41.2	23.5	82.4
公路養護手冊	0.0	18.8	31.3	31.3	18.8	81.3
公路工程施工規範	5.6	5.6	16.7	33.3	38.9	88.9
柔性鋪面設計規範	5.6	11.1	27.8	22.2	33.3	83.3
交通工程手冊	0.0	10.5	21.1	26.3	42.1	89.5
公路景觀設計規範	0.0	16.7	38.9	27.8	16.7	83.3
公路路線設計規範	0.0	5.6	5.6	44.4	44.4	94.4

單位：百分比(%)

## 三、進行修正之必要性

針對部頒公路類十本規範，依問卷回收後統計資料計算出各等級之百分比，並以評分等級分數為 1 至 5 分進行總分計算，總分為 0 至 100 分，分數越高其需修正性愈為急迫，而各規範修訂之評分皆達到四十分以上，其中公路橋梁耐震設計規範及公路工程施工規範達六十分以上，公路排水設計規範及公路橋梁設計規範亦達五十分以上。

結果顯示公路橋梁耐震設計規範分數為最高，其次為公路工程施工規範，最低者為公路路線設計規範。

表 9.2 各規範問卷統計修正評分

規範類別	是否進行修正評分					總分
	非常低	有點低	普通	有點高	非常高	
公路橋梁耐震設計規範	2.5	2.5	26.3	25.0	6.3	62.5
公路排水設計規範	3.3	0.0	40.0	8.9	5.6	57.8
公路橋梁設計規範	3.8	2.5	30.0	15.0	6.3	57.5
公路隧道設計規範	4.7	7.1	31.8	4.7	0.0	48.2
公路養護手冊	7.5	2.5	18.8	20.0	0.0	48.8
公路工程施工規範	3.3	2.2	23.3	26.7	5.6	61.1
柔性鋪面設計規範	6.7	8.9	16.7	8.9	5.6	46.7
交通工程手冊	6.0	6.0	21.0	16.0	0.0	49.0
公路景觀設計規範	5.3	14.7	9.5	16.8	0.0	46.3
公路路線設計規範	8.0	10.0	15.0	8.0	0.0	41.0

註：總分為 0 至 100 分，分數愈高期修正性愈為急迫。

#### 四、修訂年限

問卷設計針對交通部頒規範修訂年限定訂為 3、5、7、10 年及其他意見，依問卷分析結果可發現各委員對於柔性鋪面設計規範以七年修訂所佔百分比為最高，於公路路線設計規範修訂年限 5、7、10 年並無差異，其餘八本部頒規範皆為五年修訂所佔百分比為最高。

表 9.3 各規範問卷統計修訂年限意見百分比

規範類別	修訂年限				
	3 年	5 年	7 年	10 年	其他意見
公路橋梁耐震設計規範	6.3	50.0	25.0	12.5	6.3
公路排水設計規範	0.0	61.1	22.2	16.7	0.0
公路橋梁設計規範	0.0	47.1	23.5	17.6	11.8
公路隧道設計規範	17.6	35.3	23.5	23.5	0.0
公路養護手冊	12.5	50.0	31.3	6.3	0.0
公路工程施工規範	16.7	33.3	22.2	11.1	16.7
柔性鋪面設計規範	5.3	31.6	36.8	21.1	5.3
交通工程手冊	15.0	40.0	30.0	10.0	5.0
公路景觀設計規範	16.7	38.9	16.7	27.8	0.0
公路路線設計規範	0.0	33.3	33.3	33.3	0.0

單位：百分比(%)

## 9.2 交通部頒公路類規範修正之建議

本研究中針對各專家委員進行公路類十本部頒規範修訂意見之調查，於委員意見中主要針對國外之規範進行參考及修正，各委員對部頒公路類規範修訂之意見整理如表 9.4 所示。



表 9.4 各委員對部頒規範修訂之建議

部頒規範	修訂意見
公路橋梁耐震設計規範	第六章建議減低地震影響之構造，增加隔減震設計，參考資料建築物耐震設計規範之第九、十章。
	第六章建議增加「橋梁防震評估」與「耐震補強」相關內容
	建議規範中應增加「性能設計法」介紹
	地震分區係數是否考量檢討
	耐震設計於 84 年新頒，雖經 89 年部分增修，建議成立研究小組，專案研議。
公路排水設計規範	第二章基本資料蒐集調查及設計考慮宜加強對生態環境保育納入設計考量之說明
	第三章設計流量決定，因應近年降雨形態之變化，檢討降雨頻率分析資料
	第四章渠道設計，相關係數宜與水土保持規範一致。
	第七章橋梁水理設計，宜參照水利主管機關跨河構造物審議規範修正
公路橋梁設計規範	第一章建議參考 AASHTO 或日本道路橋示方書”通用篇”
	第二章建議參考 AASHTO 或日本道路工團”設計要領”
	第四章建議參考日本道路橋示方書”IV 下部構造篇”
	第五章 下部結構、箱涵及擋土牆，規定過於簡易，建議參考日本道路橋示方書”IV 下部構造篇”
	5.8.5 節，建議刪除「，不得大於八公分」。
	5.11 節，建議修正「...最低進水路渠底應高於出水路渠底三公分以上。」為「...最低進水路渠底應不低於出水路渠底。」
	5.12 節，建議放寬間距，並以「宜」取代「應」。
	6.14 節，建議放大表 6-1 之最小斷面值。
	7.3 節，建議修正「主要河川」為「中央管河川」；「次要河川」、「普通河川」等為「縣管河川」。
	8.3.6 節，建議毋須訂定。
	附錄資料內容宜依最新公告或統計值更新。
	建議增寫有關「水土保持」、「生態工程」及「最佳管理措施 BMPs」等基本設計改量內容。
	第八章鋼結構建議增加鋼橋墩設計，參考日本道路橋示方書”II 鋼橋篇”
	第九章建議增加功能性支承
	宜考量導入功能設計法，與國際接軌
	水害(沖刷)，土石流災變防治之相關規定宜增修
交通工程手冊	2.3.3 缺分析方法跟高科技，如車牌影像辨識方法
	2.4.2 路口延滯調查方法仍不夠明確
	3.2.7 可變性號誌 應大幅增加新的技術資料
	第五章建議應增加倒數計時裝置
	應隨時注意高科技可能帶來的應用與便利性，例如 LED 全彩動態顯示功能的應用，車牌自動辨識在 O/D 調查上的便利性。
	交通工程設施由於高、新科技的發展，材料與設備的快速更新，規範或手冊須能配合及施更新，以便使用者參用。
公路路線設計規範	2.17 公共設施帶，建議擴大為環境設施帶，並制定最小需求

表 9.4 各委員對部頒規範修訂之建議(續 1)

部頒規範	修訂意見
公路隧道設計規範	內容僅敘述土木部分，未包含照明、通風、消防、監控等機電，建議名稱修正為公路隧道設計規範(土木篇)。
	建議編排方式仿照其他設計準則或設計規範(例如建築物基礎構造設計規範)，於條文之後附解說之方式。
	第二章建議修正為地質調查與「試驗」，2.2 調查工作內容修正為「調查與試驗內容」，因設計時需要參考調查與「試驗」相關資料與參數。
	第三章設計考量，3.3 設計考量因素建議增列(7)生態與環境影響
	設計觀範解說第一章總則，p.1 倒數第四行隧道鑽鑿機，建議修正為隧道鑽掘機，以便與上一段文字隧道鑽掘機(tunnel boring machine, TBM)名詞相符。
	設計規範解說第四章支撐設計方法，pp.15 分析設計法依其性質可概分為三大類。(a)解析解法...(b)岩盤荷重法...(c)數值分析法...，(a)(b)(c)編排應一致對齊。
	第九章監測系統，建議改為實務上較常用之計測系統，並增加有害氣體之計測。
	第四章 基礎，建議增加沉陷量分析
	第六章 鋼筋混凝土設計，建議增加高性能混凝土設計
	第八章 鋼結構，建議增加防鏽工法之介紹與規定，參考資料防鏽學會出版品
	第九章增加隔震支承(LRB)，摩擦單擺支承(FPB)
公路養護手冊	第一章建議加入養護管理辦法之概念
	第二章巡查之頻率、方法與內容
公路工程 施工規範	瀝青黏層規範缺少油溶瀝青規定。
	第三章建議檢討材料與工法
	3.3 公路景觀，宜訂定設計區間之尺度，如何能獲致較佳之學理效果
	第四章公路構造之景觀考量
	4.1 建議增加「生態地」、「草披」對環境友善之排水設施，以留存水資源為出發點
	5.3.1 突出設備設置於路側時，及與道路間應保持足夠支植栽空間，建議量化訂地(地下化時亦同)
	第八章邊坡工程，檢討工法
	第九章交通設施及其他工程，配合法規培訓
	第十章工程安全衛生措施配合法規培訓
	第十一章環境保護措施配合法規培訓
柔性鋪面設計規範	建議納入或整合粗級配瀝青混凝土底層。
	廠拌地瀝青處理底層修改為瀝青處理底層。
	第九章修正最小加鋪厚度，參考資料 AI MS-17 2001 年版
	美國 AI ASSHTO 及加州規範約 10~20 年才改版一次，本規範係涵蓋上列三者，分章列述，故若美國有大幅改版，則宜配合修訂較妥。
	最小加鋪厚度宜由 2.5cm 修訂為 4cm
公路景觀設計規範	2.3 可增：規畫時應就數種路廊方案之景觀進行評比，以協助決定最佳路廊。
	4.4.5 邊坡不宜噴漿覆蓋，以維持景觀美感，並避免生態遭到破壞。檔土結構宜優先考慮可植聲律化之結構。
	本規範要求甚多景觀作業程序，然而若機關未編制足夠之景觀影響預算，則無法確實執行。故可考慮在第二章加註：公路主管單位應編列景觀影響作業預算，以利各階段(可行性研究、規畫、設計、施工)景觀作業之進行。

### 9.3 交通部公路類規範需修正輕重緩急之建議

針對交通部部頒規範進行檢視，其中公路類規範計有 10 本，其內容大綱如表 9.5 所示。本研究對部頒規範以問卷方式進行修訂調查，並提出各委員意見及統計資料，以供規範修訂之參考。

表 9.5 交通部部編公路類規範大綱

	規範項目名稱	大綱	備註
一	公路景觀設計規範	第一章 總則 第二章 公路規劃設計施工之景觀作業 第三章 公路線形及橫斷面之景觀考量 第四章 公路構造物之景觀考量 第五章 公路附屬設備之景觀考量 第六章 公路景觀相關設施及植栽之景觀設計	
二	公路工程施工規範	第一章 總則 第二章 路基工程 第三章 路面工程 第四章 橋樑工程 第五章 隧道工程 第六章 混凝土工程 第七章 排水工程 第八章 邊坡工程 第九章 交通設施及其他工程 第十章 工程安全衛生措施 第十一章 環境保護設施	
三	柔性鋪面設計規範	第一章 緒論 第二章 名詞解釋 第三章 柔性鋪面結構設計考量因子 第四章 AASHTO 設計方法 第五章 美國瀝青學會 (AI) 設計方法 第六章 美國加州設計方法 第七章 低交通量設計方法 第八章 台灣地區各級道路設計方法建議 第九章 簡要加鋪設計方法	
四	交通工程手冊	第一章 總則 第二章 交通調查 第三章 標誌 第四章 標線 第五章 號誌 第六章 交通島 第七章 道路照明 第八章 交通安全防護設施 第九章 停車設施 第十章 道路施工之交通安全管制設施	
五	公路隧道設計規範	第一章 總則 第二章 地質調查 第三章 設計考量 第四章 支撐設計方法 第五章 支撐構件 第六章 洞口設計 第七章 特殊考量 第八章 排水與防水設施 第九章 監測系統	

表 9.5 交通部部編公路類規範大綱(續 1)

	規範項目名稱	大綱	備註
六	公路排水設計規範	第一章 總則 第二章 基本資料蒐集調查及設計考慮 第三章 設計流量決定 第四章 渠道設計 第五章 路面排水設計 第六章 排水涵洞設計 第七章 橋樑水理設計 第八章 路基排水設計 第九章 地下道排水設計	
七	公路路線設計規範	第一章 總則 第二章 橫斷面 第三章 設計要素 第四章 公路交叉	
八	公路橋梁設計規範	第一章 設計概要 第二章 載重 第三章 載重之分佈 第四章 基礎 第五章 下部結構、箱涵及擋土牆 第六章 鋼筋混凝土設計 第七章 預力混凝土設計 第八章 鋼結構 第九章 支承 第十章 橋面防水	
九	公路橋梁耐震設計規範	第一章 通則 第二章 靜力分析方法 第三章 重力分析方式 第四章 構材之設計 第五章 構材之韌性設計 第六章 有關耐震其他規範	
十	公路養護手冊	第一章 通則 第二章 養路巡查 第三章 路基及邊坡 第四章 鋪面 第五章 橋梁 第六章 隧道 第七章 排水設施 第八章 交通安全設施 第九章 交控及通信設施 第十章 沿線路權內附屬建築物及機電設施 第十一章 景觀設施及植生 第十二章 養路車輛機械	

本研究針對部頒規範修訂順序以問卷調查資料進行總分計算，總分愈高列為優先修訂之規範，為符合實際應用之需，並考量現有規範頒布之日期，建議進行修訂之順序如表 8.6。

表 9.6 問卷調查部頒規範修訂順序

順序	頒布別	類別	規範項目名稱	頒布日期	備註
1	部頒	公路	公路橋梁耐震設計規範	89/01/07	已進行修訂階段
2	部頒	公路	公路工程施工規範	93/04/30	
3	部頒	公路	公路排水設計規範	90/01/12	
4	部頒	公路	公路橋梁設計規範	90/01/12	
5	部頒	公路	交通工程手冊	93/01/16	
6	部頒	公路	公路養護手冊	92/03	
7	部頒	公路	公路隧道設計規範	92/12/01	
8	部頒	公路	柔性鋪面設計規範	93/01/31	
9	部頒	公路	公路景觀設計規範	96/12/13	
10	部頒	公路	公路路線設計規範	97/01/16	

經由問卷調查結果依計分排序修正之先後順序，公路橋梁耐震設計規範為建議第一須修訂之規範，其現行版本頒布日期為八十九年一月，距今已經過約八年之時間，填答委員考量台灣地區位處於地震帶，國內地震防災設計之需求，因此將橋樑耐震設計規範之修訂列為第一優先。

排序列為第二須修訂之規範為公路工程施工規範，現行版本頒布日期為九十三年四月，為因應工程技術之演進及新材料、新工法之發展，建議公路工程施工規範列為修訂之第二順位，以符合工程現況所需。

公路路線設計規範於問卷調查結果修正順序為排名為第十，且現行版本頒布日期為九十七年一月，於調查之修訂年限意見 5、7、10 年並無差異，建議列為最後修訂之規範。而公路景觀設計規範之情況與公路路線設計規範相似，現行版本修訂於九十六年十二月，故同列為建議最後修訂之規範。其餘部頒規範建議修訂順序如表 9.6 所示。

部頒規範頒佈修訂之日期差距甚大，部份參考之資料國外已作變更，且為符合國情、工程設計、施工及養護，建議以週期性針對部頒公路類規範進行修訂。依問卷調查結果，各規範修訂頻率以五年為最高，因此建議以五年為一週期針對規範進行檢視與修訂。

## 9.4 小結

經問卷調查結果各單位使用頻率、適用性及成效皆呈現較高之比例，於修訂年限之調查各規範，以五年修訂一次之頻率為最高，因此建議以五年為時間單位進行週期性檢視與修訂。

針對部頒十本公路類規範修訂之順序，依問卷調查結果及頒佈日期顯示公路橋梁耐震設計規範為第一需修訂之規範，目前已進行修訂之階段，因此，依調查結果及因應工程技術之演進及發展，建議公路工程施工規範先行修訂，其他規範修定順序參考表 9.6 所示。



## 第十章 廢棄資源物納入本部頒布規範草案之研擬

### 10.1 廢棄資源物納入部頒規範修正原則及草案研擬

本研究以相關規範為依循，探討廢棄資源物能否納入部頒規範中，目前探討方向以取代路基級配粒料、路面級配粒料、再生再利用為主。對於經政府公告認可之廢棄資源物，其材料品質無虞且合乎力學試驗、工程性質試驗等品質試驗，予以納入規範，提供工程上使用參考的依據。

#### 10.1.1 部頒規範之檢視

針對交通部部編規範之進行檢視，其中對公路類的有 10 本，如表 10.1 所示，經過本研究團隊內部多次研討這 10 本部頒規範內容，剔除與廢棄資源物不相關的規範，僅選定四本部頒規範：

- 一、公路景觀設計規範
- 二、公路工程施工規範
- 三、柔性鋪面設計規範
- 四、公路養護手冊

表 10.1 交通部部編公路類規範

序號	頒布別	類別	規範項目名稱	頒布日期	建議修改
1	部頒	公路	公路景觀設計規範	96/12/13	○
2	部頒	公路	公路工程施工規範	93/04/30	○
3	部頒	公路	柔性鋪面設計規範	93/01/31	○
4	部頒	公路	交通工程手冊	93/01/16	×
5	部頒	公路	公路隧道設計規範	92/12/01	×
6	部頒	公路	公路排水設計規範	90/01/12	×
7	部頒	公路	公路橋梁設計規範	90/01/12	×
8	部頒	公路	公路橋梁耐震設計規範	89/01/07	×
9	部頒	公路	公路養護手冊	77/03/10	○
10	部頒	公路	公路路線設計規範	97/01/16	×

四本交通部部頒規範大綱如 10.2 所示。本研究團隊對此四本公路類規範進行研讀後，針對廢棄資源物納入規範裡有公路工程施工規範、柔性鋪面設計規範、公路景觀設計規範及公



路養護手冊為間接到材料部分，將針對材料部分進行審閱，而其他部分為設計規範，所以不建議修改。

表 10.2 建議修正交通部頒規範章節綱要

規範項目名稱	<u>綱要</u>
公路景觀設計規範	<u>第一章 總則</u> <u>第二章 公路規劃設計施工之景觀作業</u> 第三章 公路線形及橫斷面之景觀考量 第四章 公路構造物之景觀考量 第五章 公路附屬設備之景觀考量 第六章 公路景觀相關設施及植栽之景觀設計
柔性鋪面設計規範	第一章 總則 <u>第二章 路基工程</u> <u>第三章 路面工程</u> 第四章 橋樑工程 第五章 隧道工程 第六章 混凝土工程 第七章 排水工程 第八章 邊坡工程 第九章 交通設施及其他工程 第十章 工程安全衛生措施 第十一章 環境保護設施
公路工程施工規範	<u>第一章 緒論</u> <u>第二章 名詞解釋</u> <u>第三章 柔性鋪面結構設計考量因子</u> 第四章 AASHTO 設計方法 第五章 美國瀝青學會 (AI) 設計方法 <u>第六章 美國加州設計方法</u> 第七章 低交通量設計方法 第八章 台灣地區各級道路設計方法建議 第九章 簡要加鋪設計方法
公路養護手冊	<u>第一章 通則</u> 第二章 養路巡查 第三章 路基及邊坡 第四章 鋪面 第五章 橋梁 第六章 隧道 第七章 排水設施 第八章 交通安全設施 第九章 交控及通信設施 第十章 沿線路權內附屬建築物及機電設施 第十一章 景觀設施及植生 第十二章 養路車輛機械

(斜體底線是建議應修正部分)

### 10.1.2 修改公路類規範原則

本研究團隊將針對四本部頒規範中，有關粒料的部分進行使用上的修訂，針對廢棄資源物使用在鋪面做一合理規定，並由本研究團隊與委託單位達成共識，訂定若干修訂原則：

#### 一、廢棄資源物使用依循之法源或法令

因應政府相關廢棄資源物法規公告繁多且不斷推陳出新，交通部規範修訂無法有效的與時同進，所以將廢棄資源物使用依據，設定為符合中央目的事業主管機關規定及相關法令，當使用交通部頒規範時，應參考目前政府公告之廢棄資源物。

- 1.符合中央目的事業主管機關規定及相關法令，指工程上使用要符合該工程中央目的事業主管機關規定及相關法令，或該工程主管機關同意之政府所公告廢棄資源物。

#### 二、廢棄資源物的名稱定義

廢棄資源物在使用上恐有名稱上的疑慮，造成對此一資源物有質疑，故重新定義一名稱：再生資源物，符合再生再利用原則且降低廢棄一詞不好的觀感，再生材料係指再生資源物經處理符合工程使用的規定。

- 1.再生資源物(Renewable Materials)符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。
- 2.再生材料(Reused and Recycled Materials)再生資源物經處理後符合工程需求者。

#### 三、廢棄資源物種類

由於交通部頒規範具有法律效力，且修訂不易，正面表列恐造成與現況有出入，引起糾紛，特不正面表列廢棄資源物種類。

#### 四、廢棄資源物增減可配合政府增刪法條

符合中央目的事業主管機關規定及相關法令，係指工程上使用時要符合該工程中央目的事業主管機關規定及相關法令，或該工程主管機關同意之政府所公告廢棄資源物。故能配合當時施工時，政府機關所公告廢棄資源物，進行施工合約簽訂。

#### 五、廢棄資源物使用上受合約限制

- 1.本規範所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。
- 2.再生材料符合工程需求者，得做為各層鋪築材料。
- 3.再生材料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。
- 4.使用再生材料於施工前，施工廠商應提送相關供料計畫書，送監造單位審查同意後方可使用，計畫書內容至少陳述該供應材料之品質作業、供料稽核方式及相關試驗方法等。
- 5.使用再生材料於工程施工中，應依契約規定進行各項材料之檢驗。

## 10.2 初審會議結果及對照表

本研究團隊配合交通部指導，由內部先自行檢視交通部公路類部頒規範，和委託單位-交通部達成原則性共識，下一階段進行產、官、學三方面的初審會議審查，希望能藉由官方、產業、學者，來對於廢棄資源物納入部頒規範，所可能衍生的問題及困難，提供精闢且不同角度的看法。本研究團隊很榮幸能邀請到政府相關機構單位代表 4 位、產業界代表 3 位、專家學者 8 位來擔任部頒規範草案初審會議委員，感謝這些工程先進對三次部頒規範草案初審會議貢獻心力。表 10.3、表 10.4、表 10.5、表 10.6 為初審會議所提出部頒規範需增修部分。

### 第一次規範草案 初審會議

- 開會時間：
- 97年09月04日上午09時
- 地點：
- 交通部1609會議室

### 第二次規範草案 初審會議

- 開會時間：
- 97年09月18日上午09時30分
- 地點：
- 交通部1609會議室

### 第三次規範草案 初審會議

- 開會時間：
- 97年10月03日上午09時30分
- 地點：
- 交通部2001會議室



主持人簡報



與會人員



與會人員



與會人員審查規範



廖萬里教授發表意見



邱垂德教授發表意見



陳志修副局長發表意見



陳茂雄總工發表意見

表 10.3 交通部柔性鋪面設計規範草案

	原規範條文	增修及修正規範條文
第二章 2.1.22 再生資源物		增修： 2.1.22 再生資源物 (Renewable Materials)  <u>符合中央目的事業主管機關規定及 相關法令之再生資源或可再利用之 廢棄物。</u>
第二章 2.1.23 再生材料		增修： 2.1.23 再生材料 (Reused and Recycled Materials)  <u>再生資源物經處理後符合工程需求 者。</u>
第二章 2.1.23 粒料	1.凡堅硬之礦物質，未含有機物及易於風化之顆粒者，如砂、礫石（Gravel）、碎石（Crushed Stone）及爐渣（Slag）等謂之粒料。	修正： 2.1.24 粒料（Aggregate）  <u>1.天然粒料</u>  凡堅硬之礦物質，未含 <u>過量</u> 有機物及易於風化之顆粒，如砂、礫石（Gravel）及碎石（Crushed Stone）等。  <u>2.再生粒料</u>  <u>係指再生資源物經處理後適合做為工程粒料者。</u>
第三章 3.3.2 選擇材料原則		增修： 3.3.2 選擇材料原則  <u>5.再生材料符合工程需求者，得做為各層鋪築材料。</u>  <u>6.再生材料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u>  <u>7.如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u>

表 10.4 交通部公路工程施工規範草案

	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.2 定義與縮寫		<p>增修：</p> <p>1.2 定義與縮寫</p> <p><u>25.再生資源物(Renewable Materials)：</u> 符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。</p> <p><u>26.再生材料(Reused and Recycled Materials)：</u>再生資源物經處理後符合工程需求者。</p>
第一章 1.10 使用再生材料之規定		<p>增修：</p> <p><u>1.10 使用再生材料之規定</u></p> <p><u>1.本規範所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u></p> <p><u>2.再生材料符合工程需求者，得做為各層鋪築材料。</u></p> <p><u>3.再生材料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u></p> <p><u>4.使用再生材料於施工前，施工廠商應提送相關供料計畫書，送監造單位審查同意後方可使用，計畫書內容至少陳述該供應材料之品管作業、供料稽核方式及相關試驗方法等。</u></p> <p><u>5.使用再生材料於工程施工中，應依契約規定進行各項材料之檢驗。</u></p>
第二章 2.3.2 材料	<p>路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有樹根、殘幹、樹木、雜草、垃圾、淤泥及其他有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。</p>	<p>修正：</p> <p>2.3.2 材料</p> <p>路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有垃圾、淤泥及<u>過量</u>有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。</p>



	原規範條文	增修規範條文
第二章 2.3.2 材料	(4)由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築之再生材料，惟再生材料之使用百分比於設計時訂定之。	增修： <u>(4)使用再生材料時，應符合本規範1.10之規定。</u>  修正： <u>(5)再生材料經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築材料。</u>  增修： <u>(6)再生材料具水和膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> <u>(7)使用再生材料時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>
第二章 2.3.2 材料		增修： <u>3.本章所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u>
第三章 3.1.1 說明	級配粒料基層 (Aggregate Subbase) 及級配粒料底層 (Aggregate Base)，係將天然礫石級配料或軋製碎石級配料或再生級配粒料，依設計圖所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本節規範及特訂條款之規定，鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者。	修正： 3.1.1 說明  級配粒料基層 (Aggregate Subbase) 及級配粒料底層 (Aggregate Base)，係將天然級配料或軋製碎石級配料或摻配再生粒料之級配粒料（以下簡稱再生級配粒料），依設計圖所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本節規範及特訂條款之規定，鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者。

	原規範條文	增修規範條文
第三章 3.1.2.1 一般規定	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或底層者，其粗粒料[停留於 2 mm (10 號)篩上者]應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗結果，其磨耗率不得大於 50%。	修正： 3.1.2.1 一般規定 2.級配粒料須清潔、不含 <u>過量</u> 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或底層者，其粗粒料[停留於 2 mm (10 號)篩上者]應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗結果，其磨耗率不得大於 50%。  增修： 3. <u>本章所規定之材料，如契約無敘明採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u>
第三章 3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料	1.級配粒料基層所用之材料應為岩石、礫石或高爐爐渣軋製之碎石級配料或天然礫石級配料。	3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料 修正： 1.級配粒料基層所用之材料應為 <u>天然、碎石或再生級配粒料。</u> 增修： 2. <u>再生級配粒料之規定</u> (1) <u>使用再生級配粒料時，應符合本規範 1.10 之規定。</u> (2) <u>再生級配粒料符合本規範基層級配粒料之要求者，得作為基層級配粒料。惟再生級配粒料之品質要求，於設計時應針對其特性予以訂定。</u> (3) <u>再生級配粒料具水合膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> (4) <u>使用再生級配粒料時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>



	原規範條文	增修規範條文
第三章 3.1.2.2 級配粒料基層 所用之材料	3. 由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關基層級配粒料之要求者，得作為基層再生級配料，惟再生級配料之使用百分比於設計時訂定之。	刪除
第三章 3.1.2.3 級配粒料底層 所用之材料	1. 級配粒料底層所用之材料應為岩石、礫石或高爐石軋製之碎石級配料。	修正： 1. 級配粒料底層所用之材料應為 <u>天然、碎石或再生級配粒料</u> 。 增修： 2. <u>再生級配粒料之規定</u> (1) <u>使用再生級配粒料時，應符合本規範 1.10 之規定。</u> (2) <u>再生級配粒料符合本規範底層級配粒料之要求者，得做為底層級配粒料。惟再生級配粒料之品質要求，於設計時應針對其特性予以訂定。</u> (3) <u>再生級配粒料具水和膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> (4) <u>使用再生級配粒料時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>
第三章 3.6.1 說明	熱拌瀝青混凝土路面因設計所用粒料之級配及瀝青膠泥用量之不同，而分為連續級配(Continuous-graded)及殘缺級配(Gap-graded)兩大類。	增修： <u>熱拌瀝青混凝土使用再生材料時，需符合本章相關規定。</u> 修正： 熱拌瀝青混凝土因設計所用粒料之級配及瀝青膠泥用量之不同，而分為連續級配(Continuous-graded)及殘缺級配(Gap-graded)兩大類。

	原規範條文	增修規範條文						
第三章 3.6.2.2 粒料	細粒料〔通過 2.36 mm(8 號)篩者〕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、粘土、粘土質沉泥、有機物及其他有害物質，且導入拌和機時不得有結塊之情形。	修正：  細粒料〔通過 2.36 mm(8 號)篩者〕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、粘土、粘土質沉泥、 <u>過量</u> 有機物及其他有害物質，且導入拌和機時不得有結塊之情形。						
第三章 3.6.2.2 粒料		增修： 3. 再生粒料： <u>(1) 使用再生粒料應符合本規範 1.10 之規定。</u> <u>(2)再生粒料符合本規範瀝青混凝土粒料之要求者，得做為瀝青混凝土之粒料。惟再生粒料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u> <u>(3)再生粒料具水合膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u>						
第三章 3.6.2.5 配合設計	表 3-30 再生粒料之使用比例 上限(再生粒料佔混合粒料之重量比) <table><tr><td>種類</td><td>使用比例上限(%)</td></tr><tr><td>面層</td><td>25</td></tr><tr><td>底層</td><td>50</td></tr></table>	種類	使用比例上限(%)	面層	25	底層	50	刪除
種類	使用比例上限(%)							
面層	25							
底層	50							

	原規範條文	增修規範條文
第六章 6.1.2.5 再生粒料	<p>1.由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關混凝土粒料之要求者，得作為水泥混凝土再生粒料，惟除廢棄混凝土及陶瓷類材料外之雜質總含量不得超過 0.1%(重量比)。</p> <p>2.再生粒料用於水泥混凝土之使用比例，應依結構性質、重要性及粒料來源等，於設計時訂定之。</p>	<p>修正：</p> <p>1. <u>再生材料符合本規範有關混凝土粒料之要求者，得做為水泥混凝土再生粒料，惟再生粒料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u></p> <p>2. <u>再生粒料用於水泥混凝土之使用比例，應依結構性質、重要性及粒料來源，並考量養護、拆除等生命週期成本，於設計時訂定之。</u></p> <p>增修：</p> <p>3.<u>再生粒料具水合膨脹者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u></p> <p>4.<u>使用再生粒料時，應避免引致混凝土、鋼筋及埋設物等劣化。</u></p> <p>5.<u>本章所規定之粒料，如契約無敘明採用再生粒料時，以天然粒料為限。</u></p>

表 10.5 公路養護手冊草案

	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.3 再生材料使用規定		<p>增修：</p> <p>1.<u>再生材料係指再生資源物經處理後符合工程需求者。再生資源物為符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。</u></p> <p>2.<u>本規範所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u></p> <p>3.<u>使用再生材料為養護材料時，其品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u></p>

表 10.6 公路景觀設計規範草案

	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.2 目的		增修： <u>1.2.3 公路及其相關設施，依工程重要性及生態環境考量，得採用再生材料，惟應符合 1.3 節之規定。</u>
第一章 1.3 再生材料使用原則		增修： <u>1.再生材料係指再生資源物經處理後符合工程需求者。再生資源物為符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。</u> <u>2.使用再生材料為公路設施之材料時，其品質要求及使用方法應於設計時訂定之。</u>



# 第十一章 結論與建議

## 11.1 結論

1. 台灣近三年廢棄物防治費用每年高達600億元以上，工業廢棄物為台灣環境折耗最大宗，達500億元以上，佔80%，因此工業減廢及資源再利用是推動台灣永續發展的重要方針。
2. 由道路鋪面的結構分析，有以下六種應用方向可與再生材料結合：瀝青混凝土、水泥混凝土、級配粒料基底層、築堤與回填、路基土壤固化處理、自充填材料等。
3. 從廢棄物到再生材料的改質處理，其目的為衛生化、無害化、減量化、以及資源化，常用的改質方法有物理、化學、及熱學等處理技術。推動再生材料的應用必須有完整的政策、技術、規範與製程，並輔以完善的經濟誘因，才能在兼顧公眾利益與再生產業利潤的雙贏策略下，有效推動再生材料之應用。
4. 廢棄資源物經過適當處理後，可部分取代天然材料，唯成本較高的材料，需要依賴補助或其他可降低處理成本之新技術；然效益探討為多元需求，於經濟價格上較無優勢的再生材料，或許在環保或景觀等附加價值上有其出色的表現，如玻璃砂的照明與陶瓷砂的抗磨耗等均優於天然砂石，再利用更可以減少廢棄物帶來的問題。因此，再生材料的研究及推廣利用，對於未來台灣天然砂石的短缺，有相當大的助益。
5. 焚化爐底碴試驗結果得知使用添加60~80%於基層CBR值皆可達50以上，但須提升其夯實能量才可達到規範要求值。取代面層細粒料時，其穩定值及流度值皆可達規範值以上，由壓實曲線可知添加焚化爐底碴需較高之能量達到需求之壓實度，且其滾壓後級配降格隨底碴添加量而提昇，因此添加量需控制在30%以下以避免級配降格之問題。於瀝青處理底層，馬歇爾配合設計相關試驗皆可符合規範要求，但於間接張力影響隨添加量增加而改變，故焚化爐底碴應用於瀝青混凝土時，添加量20%為可接受之範圍。
6. 轉爐石添加於排水性瀝青混凝土配合設計結果顯示，隨添加百分比的增加，排水性瀝青混凝土抵抗車轍能力與增加表面摩擦力及噪音試驗方面，都有良好與顯著的成果；添加於石膠泥瀝青混凝土的成效試驗結果顯示，轉爐石添加後對抵抗車轍及表面抗滑有提升的效果。
7. 在固定光源下玻璃砂之反光程度隨添加量增加而提高，其反光程度與標線相比提升有限，不會造成駕駛的影響。但為考量鋪面之耐久性，玻璃砂添加量不宜超過15%。
8. 效益評估方式通常難以量化，必須透過試驗方法或指標參數來界定。在未明訂再生材料的標準規範與使用準則之前，透過越完整的試驗評估與檢測所得到的數據，有助於再生

材料的應用成效研判，並可提升使用者對此材料的信心，因此，第三者驗證機構-實驗室，在未來推動再生材料的應用上扮演重要的角色。

9. 由成效檢測及鋪面性能參數等，整理成鋪面效能評估指標，將結果以圖示法表示，可比較鋪設前後的道路品質狀況，作為使用者與用路者評估依據，對於難以量化的再生材料鋪面品質，得以簡單明瞭的指標顯示，供進行成本分析時效益評估的參考，且於獲得長期檢測數據後，可針對評估項目訂定未來鋪面的維修年限與養護基準。
10. 再生材料在一般道路鋪面工程的設計施工要求中，若本身的材料價格較低，往往是推動使用者考慮使用再生材料的有利誘因。每單位再生材料價格，為原料價格、處理成本、倉儲成本、包裝成本、運輸成本、及利潤之總和；在道路鋪面施工過程中，再生材料的施工成本（CI）為設計、鋪裝及試驗成本之總和。
11. 將再生材料的價格與天然砂石料比較，可發現再生材料市場優勢，轉爐碴則適用於取代全省的粗細粒料；焚化爐灰碴則適合當全省各地的天然砂替代品。唯高爐爐碴與玻璃砂無明顯優勢，原因是其材料價格高，單純取代天然粒料，恐不敷成本，尋求其他替代材料以提高其價格競爭優勢或經由環保政策補貼，是再利用重要關鍵。
12. 本研究於廢棄資源物納入規範草案之研究，經過初審會議後，針對四本交通部部編規範，包括公路景觀設計規範、公路工程施工規範、柔性鋪面設計規範及公路養護手冊，提出 38 項次修正，新增 25 項次，以為未來國公路工程使用廢棄資源物之依據。

## 11.2 建議

1. 政府為扶植國內資源回收再利用產業於「政府採購法」第九十六條納入綠色採購條款，允許政府機關優先採購取得政府認可之環境保護標章使用許可，而其效能相同或相似之產品，並得允許百分之十以下之價差等誘因，但執行效率不彰，迄今尚未有任何一項營建剩餘土石方與混合物經分類加工處理產生之資源化再利用產品，致使政府訂定優惠辦法與獎勵政策之美意大打折扣，故中央主管機關（行政院環保署）與中央目的事業主管機關（內政部營建署）應積極研訂廢棄混凝土等營建再生資源公告/核準為「再使用」與「再生利用」之再生資源，以提昇營建再生資源再利用率有助於有限資源循環使用並減緩對環境之衝擊。
2. 主管機關宜針對再生材料加速制定品質標準及技術規範，獎勵再生材料開發及利用，以提升其應用技術及品質。
3. 由於再生材料在現地鋪設後完整的效益評估無法在短期內得到驗證，為了加速推廣再生材料的應用，在此建議一套短期環境影響效益評估方法，稱為生態效益評估法。提供價格具有競爭力的商品和服務，以滿足人們需求、提高生活品質的同時，在商品和服務整個生命週期內，將其對環境的衝擊及天然資源的耗用，逐漸減少到地球能負荷的程度。
4. 營建再生資源市場尚未成熟階段，公共工程強制規定採購一定比例之資源化再利用產品，並推廣其成效，以建立穩定的需求市場，同時加強政策宣導與教育訓練，提高全民資源與環境意識，來凝聚社會共識。產品之品質須通過獨立、公正、客觀、專業之第三者檢驗機構，建議由通過 TAF 的實驗室擔任，並結合學術機構的研究能力與試驗儀器設備，使其具有一定品質保證於工程實際應用上無安全之虞。
5. 本研究所列舉之再生材料中，以轉爐渣的價格成本較低，且由於本身性質適合道路工程要求，每年的年產量達百萬噸，若考慮其單位重影響，以取代部分天然材料的方式，或添加其他單位重較輕的再生材料（如玻璃砂、陶瓷砂等），值得後續研究及推廣。
6. 目前資源回收處理場之處理技術與分類加工設備無一標準規範且資源化製程品質管理觀念嚴重缺乏，應成立營建再生資源技術輔導團，提供生產管理及品質管制之技術服務與諮詢，輔導處理場業者建立一套本土化之品質執行架構，且制訂嚴謹之理場審查制度，確保各處理場資源化處理能力與產品品質達一定水準。
7. 處理場應加強製程品管作業並落實自我評鑑制度與推動 ISO 國際標準驗證制度，改善經營體質以達全面品質管理 TQM 之執行。



8. 經問卷調查結果各單位使用頻率、適用性及成效皆呈現較高之比例，於修訂年限之調查各規範，以五年修訂一次之頻率為最高，因此建議以五年為時間單位進行週期性檢視與修訂。
9. 針對部頒公路類規範修訂之順序，依問卷調查結果及頒佈日期顯示公路橋梁耐震設計規範為第一需修訂之規範，目前已進行修訂之階段，因此，依調查結果及因應工程技術之演進及發展，建議公路工程施工規範先行修訂，其他順序為公路工程施工規範、公路排水設計規範、公路橋梁設計規範、交通工程手冊、公路養護手冊、公路隧道設計規範、柔性鋪面設計規範、公路景觀設計規範、公路路線設計規範。

## 參考文獻

- 1.蔡弦志，「再生材料應用於道路鋪面工程之成本效益研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2002。
- 2.環保署網站：<http://www.epa.gov.tw/>
- 3.行政院環保署，「我國事業廢棄物再利用管理技術」，行政院環保署事業廢棄物回收再利用速報第二十三期，台北(2000)
- 4.Noureldin, A. S., and R. S. McDaniel. "Evaluation of Steel Slag Asphalt Surface Mixtures. ", Presented at Transportation Research Board 69th Annual Meeting, Washington, DC, January, 1990.
- 5.Ahmed, I. "Use of Waste Materials in Highway Construction. ", Purdue University, FHWA/INJHRP-91/3, Washington, U.S.A., 1991
- 6.Egosi, N. G. "Mixed Broken Glass Processing Solutions. ", Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction. Editors H. Inyang and K. Bergeson, American Society of Civil Engineers, 1992.
- 7.Collins, R. J. and S. K. Ciesielski. "Recycling and Use of Waste Materials and By-Products in Highway Construction. ", National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 199, Transportation Research Board, Washington, DC, 1994.
- 8.Vincent E., "Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies, and Policies. ", Federal Highway Administration Report, FHWA-PL-00-025, Washington, U.S.A., 1-83, 2000
- 9.Dr. Warren H., P.C. Robert J. Collins, and Michael H. MacKay, "User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. ", Federal Highway Administration Report, FHWA-RO-97-148, Washington, U.S.A., 2001
- 10.經濟部工業局 <http://www.moeaidb.gov.tw/>
- 11.廖錦聰、徐文慶、張蕙蘭、黃契儒，「焚化灰渣資源化研究(研究報告)」，工業技術研究院計畫報告，(1996)。
- 12.謝錦松、黃正義，「固體廢棄物處理」，淑馨出版社，台北(1997)
- 13.陳家成，「工程經濟-成本效益分析之法」，華泰書局，台北(1987)
- 14.廖錦聰、徐文慶、張蕙蘭、黃契儒，「焚化灰渣資源化研究(研究報告)」，工業技術研究院計畫報告，(1996)。
- 15.國賓陶瓷工業股份有限公司，「焚化爐底渣之應用資源化研究」，(2003)。

- 16.陳迪華，「利用水泥以不同模擬工法固化垃圾焚化飛灰成效之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，(1997)。
- 17 陳毅明，「利用垃圾焚化底渣替代瀝青混凝土細粒料之研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，(2004)。
- 18 陳紹昀，「營建拆除廢棄物於公共工程再利用可行性初步研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，(2000)。
- 19.黃瑜婷，「營建廢棄物中混凝土回收可行性之初步探討」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，(2001)。
- 20.魏衍，「主要建材資源供需利用現況與調查架構研究」，內政部建築研究所報告，(1998)。
- 21.胡文山，「台北縣營建工程剩餘土石方處理問題之探討」，中華大學建築與都市計畫系碩士論文，(1999)。
- 22.黃榮堯、蕭江碧，「廢棄混凝土再生利用成本效益分析之研究」，中華大學建築與都市計畫系碩士論文，(1999)。
- 23 行政院永續發展委員會網站：<http://sta.epa.gov.tw/NSDN/index.asp>
- 24.黃琮荏，「綠營建材料資源化再利用產業製程品質管理之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文， 2005。
- 25.雷揚中，「焚化爐底渣應用於道路工程之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2004.6。
- 26.呂奇龍，「台灣地區綠營建資源回收再利用策略之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，(2003)。
- 27.王世賢，「焚化爐底渣及廢混凝土塊應用於控制性低強度材料工程與環境效益評估之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，(2003)。
- 28.經濟部礦物局，<http://www.mine.gov.tw/miner/index.php>，2004.05。
- 29.行政院公共工程委員會全球資訊網，<http://www.pcc.gov.tw>。
- 30.行政院環保署，<http://epa.gov.tw>。
- 31.經濟部工業局「資源化工業網」網站 <http://www.iw-recycling.org.tw/>
- 32.經濟部礦物局網站：<http://www2.mine.gov.tw/>
- 33.內政部營建署網站：<http://www.cpami.gov.tw>
- 34.行政院永續發展委員會網站：<http://www2.epa.gov.tw/nsdn/>
- 35.行政院環境保護署網站：<http://www.epa.gov.tw/>
- 36.營建剩餘土石方資訊服務中心網站：<http://140.96.175.34/spoil/>

- 37.全國法規資料庫網站：<http://law.moj.gov.tw/>
- 38.行政院公共工程委員會，「營建資源再利用於公共工程之研究」，2000.12。
- 39.行政院永續發展委員會，「行政院永續發展委員會工作分組行動計畫表」，2003.12。
- 40.行政院公共工程委員會，「推動國內可再生營建資源市場機制產業化之研究」，2003.12。
- 41.內政部建築研究所，「建築基地保水滲透技術設計規範與法治化之研究」，2003.12。



## 附錄一 期中報告意見回覆表

委員	委員意見	回覆意見
公路總局 陳式毅 所長	1. 相關資料蒐集豐富，建議加強蒐集各相關之成熟工程規範。	謝謝委員的意見。
	2. 各廢棄物均有其不同特性與限制，建議加強針對所需特性或限制設定安全及品質要求、檢測項目、檢測方法、檢測頻率、結果分析及不合格處理等，並要求其列入規範條文。	謝謝委員提供的意見，後續加入事例集部份已提供參考。
	3. 建議注意採用各廢棄物之可能負面影響，並將防治方法列入規範條文。	謝謝委員的意見。
	4. 簡報 P.59「減噪效果」並無因用轉爐石而來，值得探討。P.61「反光並未對駕駛者產生影響」、「替代細粒料 10%較佳」宜較明確交代，P.62 對廢輪胎評價與試驗結果有矛盾。	謝謝委員的意見。
中華大學 邱垂德 教授	1. 廢棄物在公路工程再利用受政府環保政策影響很大，文獻請注意時間序及相關名詞定義，以便能釐清政策方向重點，先進國家文獻好像停在 2000 年建議增加先進國家如歐盟 2000 年以後資料	謝謝委員的意見。
	2. 以往文獻大都建議有二次污染顧慮的再生材料，除了通過現行 TCLP 管制標準外，並應限制再利用規模及接近水準的程度，本研究提出的相關草案中所謂「透水材料」似乎容許有二次污染顧慮的再生材料，請研究團隊再考慮。	謝謝委員的意見。
	3. 再生粒料之定義問題，明顯不同來源性質顯然不同，若於再利用時應採用同一材料名詞，是否可以混在一起使用，優缺點建議應探討分析。	依委員建議釐清後修正。
國工局 方文志 副局長	1. 公路工程涵蓋橋樑、隧道...等，而本研究案以路面、路基工程為限，宜加以澄清或陳述。	謝謝委員的意見，為考量各結構之安全性，目前僅針對廢棄資源物應用於鋪面工程，後續可針對相關工程項目進行研究。
	2. 請於施工規範增修時，宜與一般施工情況差異者提醒施工者。例如使廢棄資源物者須增列之檢驗項目、方法與標準或加強滾壓...等。	謝謝委員的意見。

委員	委員意見	回覆意見
高工局 陳志修 副局長	1. 建議研究單位針對會議之工作項目盡速進行以免影響研究期程。	謝謝委員的意見。
	2. 對於規範修定草案之研擬，請研究單位參考各註規範形式處理之。	謝謝委員的意見。
中興大學 陳豪吉 教授	1. 文獻資料蒐集完整。	感謝委員肯定。
	2. 訂定規範草案前，是否針對整個市場通路情況多所著墨，如廢棄資源物之前端產出及後端應用部分，讓用戶端容易取得資訊以應用之。(如現今營建署之廢棄混凝土網路申報系統)	謝謝委員的意見。
	3. 標題 2.4 重覆，請修正。	感謝委員指正，後續進行修正。
	4. 再生粒料應依不同材質或來源，分別訂定不同規範，以利應用，且使用於次要結構體為主。	謝謝委員的意見。
	5. 目前交通部公路工程規範已納入廢棄混凝土再生粒料條文，可提供參考。	謝謝委員的意見。
公共 工程委會	1. 本案有關「廢棄資源物再利用於公路工程」之研究符合馬總統環境政策「建康、永續、顧台灣」其中「資源循環零廢棄」之主軸方向，本會肯定本項研究。	感謝委員肯定。
	2. 因廢棄資源物包含範圍廣，未來再利用於公路工程，甚至應用於其他公共工程，尚須許多研究工作，建議應提供材料基本性質(含水率、吸水率、膨脹性、塑性及耐磨性等)及無環境安全疑慮之充足資訊。	謝謝委員的意見。
	3. 建議本研究可選用廢棄資源物處理後，試行使用於某處公路工程(如鋪面或回填)並觀察其利學及環境安全之變化情形。如能提供更多實際使用案例及結果比較進行研究，將有助於本會未來研處廢棄資源誤再利用相關公共工程施工綱要規範編修之參考。	謝謝委員提供的意見，後續加入事例集部份已提供參考。

委員	委員意見	回覆意見
營建署	1. PP.221 交通部部公改為交通部部頒公...	感謝委員指正，並依委員意見修正。
	2. PP.221 進行跟新改為進行更新	感謝委員指正，並依委員意見修正。
	3. PP.223 表 8.3 之標題與表之內容不一。	感謝委員指正，並依委員意見修正。
	4. 營建署 96.5.31 係修改本署施工規範第 02726 章級配粒料底層第 2.1.4 節；修改內容主要增訂細粒料之含砂當量不得小於 30，通過 40 號篩之材料其液性限度不得大於 25，塑性指數不得大於 6。本署各區處累積於實際施工需要，不定時簽請修改條文；如最近反應第 03050 章混凝土基本材料及施工方法第 2.1.1 節混凝土抗壓強度 $245\text{kgf/cm}^2$ ，以振動式澆置時之水泥用量由原 $375\sim 400\text{kg/m}^3$ 修改為 $325\sim 400\text{kg/m}^3$ 。本署施工說明書於 90 年 4 月編制並於本署網站公佈後即未修正，而工程會網站 97 年 5 月已訂有完整版，有鑒於目前各區處對部分條文陸續提出修改意見，故擬彙整工程會網站完整版及本署網站之條文予以比較並修正。	謝謝委員的意見，本研究後續將參考相關規範。
	5. P43 再生材料應用於道路鋪面工程...六大類改為再生材料應用於道路工程項目者主要分為六項。 .水泥混凝土改為混凝土 .級配粒料基底層改為級配基底層 .築堤或回填改為路堤或回填方 .廢水泥混凝土塊改為廢棄混凝土	感謝委員指正，並依委員意見修正。
	6. 本研究案主要探討「廢棄資源物」應用於面層、底層或填方等之適用性，並了解各單位將廢棄資源物納入規範之辦理情形；受委辦之單位將參考工程會之綱要規範進行更新交通部編之柔性路面設計規範、公路養護手冊。前面第一章~第六章似為廢棄資源物適用性之探討，建請明確及重點闡述有幾種廢棄資源物(如刨除之瀝青料、廢棄混凝土、焚化爐底渣、玻璃砂等)可適用於道路。	謝謝委員的意見，後續針對各廢棄資源物進行說明。
	7. 建議將研究後更新之規範提供各單位參考	謝謝委員的意見。






## 附錄二 期末報告意見回覆表

委員	審查意見	回覆意見
中華大學 邱垂德委員	1. 期末報告的編碼，第三章編碼錯誤。	感謝委員指正。
	2. 第二章文獻應放入國內推動再生資源物的績效，其中文獻部分多為廢棄混凝土，研究內容與目的應該更完整，第二章適度的加入底碴的部分問題。	依委員意見修正。
	3. 彙整國內各單位廢棄資源物的應用方法。	謝謝委員的意見。
	4. TCLP 的單位有誤，焚化爐底碴的細粒料部分的吸水率應與製程做搭配，其數值偏低應該有經過水洗。	感謝委員指正，依委員意見更正及說明。
	5. 轉爐石部分做排水瀝青混凝土應做說明，經濟部已開放是可以用的資源，轉爐石的問題在於它會生鏽，實驗室的滯留強度短時間內看不太出來，整個應用為什麼轉到排水瀝青應做說明。	謝謝委員的建議，本研究嘗試運用排水瀝青進行試驗，若有後續追蹤成果，將於適當時機發表。
	6. 報告撰寫的方式稍顯混亂，應予適當的整理。	感謝委員指正，本研究於後續加強整理。
營建署	1. 營建署針對廢棄混凝土的再利用 95 年度開始規畫 14 條試驗道路，其中嘉義與竹北的試驗道路進行了成效評估，嘉義部分路面平坦度有異常現象，竹北有車轍現象，故目前營建署對這方面的使用態度趨向於保守。工程會在今年度七、八月份的時候也對廢棄混凝土這部分召開會議，立場是希望能繼續推廣應用但最後結論則是建議使用於道路工程附屬結構物上，如道路護欄、人行道面、腳踏車道。	謝謝委員的意見。
	2. 研究報告 44 頁針對營建署廢棄混凝土這一塊，希望再研究報告能做更新，並未在營建署施工綱要規範上公告。	感謝委員指正。
	3. 44 頁第五行文字修正	感謝委員指正。
國工局	1. 將來修改部頒規範草案時，廢棄資源物的使用是以合約做限制，建議是否以道路等級做限制或使用，將來在工程上比較容易執行。	本研究提供應用及成效數據供使用單位參考，道路主管機關可依各資源物工程特性自行評估適用之道路等級與使用限制。


委員	審查意見	回覆意見
公路總局	1. 報告引用的 ASTM 規範有些已經過時，建議更新。	感謝委員指正。
	2. P.192 圖的單位應註明	感謝委員指正。
	3. 垃圾底碴是否有區域性的不同造成金屬含量的差異	經過垃圾分類後，仍有少許差異。
	4. 結論與建議中未提到摻配比例的建議，有的話對使用單位幫助較大。	會對各鋪面層摻配比例做出建議。
高公局	1. 第 5~7 章試驗結果分析結論建議彙整放於後面，以後可以做為規範修正時去使用。例如 P.92 的洛杉機磨損率偏大彙整於規範內，可讓使用者了解什麼樣的材料比較適合使用在什麼地方，有這些量化的數據會比較方便去使用。	謝謝委員的意見。
	2. 第 177 頁提到底碴添加在基底層路面勁度會偏低，可將數據彙整於規範可讓後續使用單位可以了解什麼樣的材料比較適合使用在什麼地方。	謝謝委員的意見。
	3. 在 177 頁的試鋪道路點位似有錯誤，是否為 20 m 與 40 m 的深度，第 5.1 節只做了 50cm 的厚度與敘述內容不一致	依委員意見進行單位修正。
葉組長	1. 應注意報告內容的連貫性，從數據的彙整到結論、規範等，希望能前後相互呼應。	謝謝委員的意見。
	2. 簡報轉爐石應用的部分，平坦度試驗提到三個月做量測時部分路段平坦度較差且有車轍現象，是否顯示使用再生材料有耐久性不佳之疑慮？	南星計畫轉爐石試鋪道路是轉彎處的平坦度較差，主要因為重車作用的影響，整體來說試鋪並無問題。
	3. 簡報部分，在再生材料價格分析部分提到北部焚化爐底碴，可當全省的天然碴的替代品，會有質疑為何限於北部底碴，是否能有進一步資料能做說明。	焚化爐底碴於北部因品管作業較完整，產品均勻性屬尚可，但製程方面責可再評估改善。
主席 陳副局長	1. 橋梁耐震設計規範的修訂，在 95 年已完成初稿，目前複審也在最近完成，故已接近修訂完成定案階段。	感謝主席指正，後續於報告中說明目前修訂現況。
	2. 成果報告的內容編排應讓使用者容易查閱，故編排方面建議做些整理與調整。	感謝主席指教，依建議修訂報告內容。
	3. 廢棄物材料若對於工程、環境沒有負面影響，則應配合政策鼓勵使用。	感謝主席指教

## 附錄三 工作小組會議記錄


### 附錄 3.1 第一次工作小組會議

國立中央大學 工作會議記錄 廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究		
一、時	間：中華民國九十七年三月十二日 星期三 上午九點	
二、地	點：工一館 E-115	
三、主 持 人：	黃偉慶 教授	
四、出席人員：	許書王技正、李釗教授、林平全主任、白志清經理、范文彬經理、 廖萬里先生、林宏偉經理、莊英棠組長、黃大衛、周士勛	
五、記 錄：	周士勛	
會議內容：		
黃偉慶教授：今天會議主要在說明計劃執行內容和討論應做事項。		
許書王技正：主要希望將現行公告的廢棄資源物能納入這個規範草案中。		
廖萬里先生：焚化爐底渣性質太過複雜，不建議納入鋼筋混凝土規範中，另外交通部規範和工程會的施工綱要規範要以何者為主？		
林平全主任：廢棄資源物的使用對象，範圍太大，在生產品質掌控上問題較大，必須明確定義材料的物、化性質，確保品質。		
廖萬里先生：料源的物、化性規定，種類和規格會在施工綱要規範中以”設計規範”的標準去做材料抽驗，且資源再生物應運用在非主要構造物較適合。		
許書王技正：在引用如 AASHTO 等相關規範時，應該註明其訂定年份，以利後續作業。		
范文彬經理：焚化爐底渣在經處理後，用來鋪築試驗道路到目前的成效都良好，所以材料本身處理好都沒問題應該做材料在出廠進料時的檢驗。		
許書王技正：在工作內容中問卷及訪談的部分，應規劃、定議好問題較才比較有效果。 另外在規範修正草案的研擬之外，還要審查，這樣才能送交交通部審議。		
李 釗教授：廢棄資源物是由公共工程委員會還是交通部的規範來做相關定義？		
廖萬里先生：工程會的規範大多是參考其他部會如交通部、農委會等所頒布的規範來訂定，所以交通部先開始相關作業是沒問題的。		
黃偉慶教授：那在廢棄資源物應用上，重點放在可用做道路基底層和瀝青混凝土的材料。 另外在工程事例集的收集匯整必須持續進行，這點很重要，可以提供成功及失敗的相當原因來參考。		


## 附錄 3.2 第二次工作小組會議

<p style="text-align: center;">國立中央大學 工作會議記錄</p> <p style="text-align: center;">廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究</p>	
一、時 間：中華民國九十七年五月二十二日 星期四 上午十點	
二、地 點：工一館 E-115	
三、主 持 人：許書王技正	
四、出席人員：許書王技正、林宏偉、莊英棠、陳正倫、黃大衛	
五、記 錄：莊英棠	
<p style="text-align: center;">會議內容：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.進度檢討。</li> <li>2.要擬訂規範修訂架構。</li> <li>3.提供規範草案審查委員名單。</li> <li>4.下星期三(5/28)提送期中報告。</li> <li>5.期中報告審查會議會將提送期中報告後召開。</li> <li>6.期中報告廠商名單應去除。</li> </ol>	


### 附錄 3.3 第三次工作小組會議

國立中央大學 工作會議記錄		
廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究		
一、時	間：中華民國九十七年七月十六日 星期三 10:00	
二、地	點：E-115	
三、主 持 人：	許書王技正	
四、出席人員：	林宏偉 郭孟鑫 林志忠 潘建舜 葛亦良	
五、記 錄：	潘建舜	
會議內容：		
1. 初審委員名單建議由 6 名增為 11 名，至少要有九名，並考慮人員適當問題。		
2. 重新確認訪視專家學者名單。(ex:規範審查編定小組、中華顧問或工作相關性)		
3. 建議視專家學者可更改方式由通電寄資料，請委員在時限內回覆文件得到委員的意見、看法及修正，先設計訪談內容的問題，以利獲得寶貴意見。		
4. 將各類施工規範項目做"時間序列"及"急迫性"分類，找出最需要修訂的規範，並且能確認各規範中有無與廢棄資源物相關連，其中以設計規範為一大重點。		
5. 確認收集的規範項目、規範審查小組、規範編寫小組是否為最新版本，建議可以到交通部技監室了解最新版本規範，並可詢問相關規範問題。		
6. 可發公文至交通部科技顧問室		
為貴部委託本校研究案「○○○○○」因研究需要，特請貴部提供相關資料檔案○○○，請查照		
說明：1. ○○年○○月○○日與貴部簽訂○○案合約影本如附		
2. 所需電子檔包括○○○、○○○		
7. 專家座談時間改至八月中旬。〈視情況〉		
8. 專家座談會的會議紀錄可收至附錄裡面，以供參考。		
9. 規範主題要明確，以廢棄資源物為主，所挑出的問題：3.1.2.1-3→文意有問題，確認工程會規範，3.1.2.3-1，3.1.2.3-2→修改文字，加上依據，並補上但書 ex 經政府機關公告再利用廢棄資源物.，3.6.2.2-3→再生粒料與廢棄資源物何者較適用，3.6.2.3 表→第五類文意不順，3.6.2.5 表 30→合理性及延伸使用...等。		
10. 更新現行參考之國外規範 ex: ASTM		
11. 7/17 確認 7/21 開會，一週開 2-3 次審議規範會議。		
12. 找房性中委員確認台灣世曦參與規範人員。		

## 附錄 3.4 第四次工作小組會議


國立中央大學 工作會議記錄	
廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究	
	
一、時	間：中華民國九十七年七月二十四日 星期四 10:00 AM
二、地	點：中央大學 E-115 室
三、主 持 人：	黃偉慶教授
四、出席人員：	黃偉慶教授 林宏偉 徐震宇 郭孟鑫 林志忠 潘建舜
五、記 錄：	郭孟鑫
會議內容：	
<ul style="list-style-type: none"><li>● 與黃偉慶教授確定事項<ol style="list-style-type: none"><li>1. 確認需修改的公路類規範與章節。</li><li>2. 初審專家名單。</li><li>3. 訪視專家名單。</li><li>4. 修改規範草案</li></ol></li><li>● 規範草案內容建議修改部分<ol style="list-style-type: none"><li>1. 廢棄資源物分類不建議使用等級，直接用分類就可。</li><li>2. 修正條文對照表，不適用補充。</li><li>3. 每個章節的廢棄資源物重覆太多。</li><li>4. 廢棄資源物定義修正為，本章廢棄資源物係指符合目的事業主管機關之規定及相關法令，目的事業主管機關之規定及相關法令如下：</li><li>5. 廢棄資源物分類表內項目重覆部分如何定義。</li><li>6. 表標題修正為廢棄資源物分類及項目，等級刪除。</li><li>7. 公路工程施工規範 3.1.2.2 的(1)、(2)建議刪除。</li></ol></li><li>● 下週開會重點<ol style="list-style-type: none"><li>1. 廢棄資源物分類與項目表完成。</li><li>2. 廢棄資源物與表的定義需在總則內定義清楚。</li><li>3. 下週四找李釗教授與許書王技正一同參與開會，討論總則、定義、問卷的部分。</li></ol></li></ul>	

## 附錄 3.5 第五次工作小組會議

<p style="text-align: center;">國立中央大學 工作會議記錄</p> <p style="text-align: center;">廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究</p>	
<p>一、時 間：中華民國九十七年八月一日 星期五 10:00 AM</p>	
<p>二、地 點：土木系館 E115 會議室</p>	
<p>三、主 持 人：黃偉慶教授</p>	
<p>四、出席人員：林宏偉 李釗教授 許書王技正 徐震宇 郭孟鑫 潘建舜 林志忠</p>	
<p>五、記 錄：林志忠</p>	
<p>會議內容</p> <p>一、交通部柔性鋪面設計規範草案</p> <p>黃偉慶教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 納入規範之優先序位以嚴謹程度排列</li> <li>2. 對於廢棄資源物不要將之分類</li> <li>3. 將廢棄資源物全部表列簡單化，使用者回歸至相關法源</li> <li>4. 將問卷第二頁，參的表格左邊三項刪掉</li> </ol> <p>李釗教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對(G)環保法規，底渣的相關環保法規可直接寫明</li> <li>2. 可參考日本依材料的優劣來分類且有明確的分界或不要分類，將各法規允許的全部列表</li> <li>3. 使用時再去尋找法源，可避免法規一變動就必須再修改規範，使之可以隨著世代改變</li> <li>4. 問卷的對象由貴單位改成"您個人或貴單位"</li> </ol> <p>許書王技正：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 廢棄資源物於每本規範前先定義清楚</li> <li>2. 表 1-1 在底下加一行"未來若有新的增列項目，依法規辦理之"</li> <li>3. 下次工作會議可邀請白志清參與</li> </ol> <p>結論：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 公路橋梁設計規範、交通工程手冊、公路路線設計規範不予以修改</li> <li>2. 建立管理機制，讓廢棄資源物在規範中簡單化並且留下適當的窗口，使之可以靈活運用</li> </ol>	



## 附錄 3.6 第六次工作小組會議

<p style="text-align: center;">國立中央大學 工作會議記錄</p> <p style="text-align: center;">廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究</p>	
<p>一、時 間：中華民國九十七年八月二十日 星期三 10:00 AM</p>	
<p>二、地 點：中央大學工程一館 E-115 會議室</p>	
<p>三、主 持 人：黃偉慶 教授</p>	
<p>四、出席人員：李釗教授 廖萬里教授 許書王技正 林宏偉 徐震宇 郭孟鑫</p>	
<p>五、記 錄：郭孟鑫</p>	
<p>會議內容</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 檢視 AASHTO 規範是否還存在，做更新動作</li> <li>2. 初審專家部分主持人加列廖萬里老師，產業部分加入目前真正有從事相關產業的，例如國賓</li> <li>3. 廢棄資源物定義中央目的主管機關規定及相關法令，註明頒佈單位</li> <li>4. 廢棄資源物項目表增加一個欄位，來源，註明對應章節編號</li> <li>5. 各章節文字內容需與前後相互呼應</li> <li>6. 公路工程施工規範內各章節的適合再生材料項目列出，ex 路堤、基層、底層、面層，文字內容需依各章內容調整</li> <li>7. 各章節有提到有機物的部分要注意</li> <li>8. 在摻配比例部分能否在某一章節統一解釋，而不需要再一直重覆提到</li> <li>9. 養護手冊與景觀設計直接在總則部分做修訂加入廢棄資源物</li> <li>10. 在初審會議時，開宗明義指出本會議僅針對廢棄資源物做討論</li> <li>11. 針對本次會議修訂內容，將於這禮拜五修訂完再給老師看，請於下週二在將修訂後的意見回覆，於下週三或四寄出給初審委員</li> </ol>	

## 附錄四 專家座談會議記錄

時間：民國 97 年 3 月 14 日（星期五）

地點：中國工程師學會(地址：台北市仁愛路二段一號厚生大樓三樓)

時間	議程	講師	主持人
8:30 ~ 8:50	報到		
8:50 ~ 9:00	開幕典禮	於幼華教授【台灣大學環工所】	林志棟教授 【中華鋪面工程學會】
9:00 引 ~ 9:30 言	臺灣地區垃圾焚化爐底渣再利用政策及管理 垃圾焚化爐底渣再利用之策略及展望 焚化爐底渣納入公共工程施工網要規範 為再生材料之範圍探討	陳長裕副處長【行政院環境保護署 廢棄物管理處】 孫世勤經理【中興工程顧問公司】 廖萬里執行長【公共工程技術資料 庫整合中心】	徐景文副處長 【行政院公共工程委員會 技術處】
9:30 ~ 10:30	綜合討論		
10:30 ~ 10:40	休息		
10:40 引 ~ 11:10 言	不同焚化爐底渣熟化時間對其物化特性 之影響分析 焚化爐底渣應用於道路工程品質驗證 焚化爐底渣再利用健康及環境風險評估	林志棟教授【中華鋪面工程學會】 范文彬經理【國賓大地品保研發 部】 馬鴻文教授【台灣大學環工所】	廖萬里執行長 【公共工程技術資料庫 整合中心】
11:10 ~ 12:10	綜合討論		
12:10 ~ 12:30	閉幕典禮		林志棟教授

## 焚化爐底碴再利用論壇

### 會議記錄

會議主題：配合環保署焚化底碴再利用政策，藉由論壇方式邀請學術界、產業界及各單位相關人士，討論該項材料納入公共工程施工綱要規範再生材料之適用範圍。

時間：97 年 3 月 14 日(星期五)上午 9：00

地點：中國工程師學會會議室

主持人：於幼華教授、廖萬里執行長、林志棟教授

參加單位：行政院環保署廢管處、中華鋪面工程學會、中興工程顧問公司、國賓大地環保公司、台灣大學環工所、行政院公共工程委員會技術處、公共工程技術資料庫整合中心、桃園縣政府工務處、交通部公路總局

紀錄：蔡瑋倫

會議記錄：

壹、開幕引言

- 於幼華教授(台大環工所)

公工會希望透過該論壇與正在進行之焚化爐底碴再利用之推廣於工程環保單位或事業單位，並有利於工程。

貳、第一場綜合討論

- 於幼華教授(台大環工所)

未來近海或海岸工程是否可以成為解決焚化底灰出入的一個應用場所，但需作相關的生態試驗。另外固態廢棄物到了回收再利用為必然趨勢。

- 三個單位對於再生粒料應緊密配合：環保署、工程會及各工程目的主管機關。

- 林志棟教授(中央大學土木系)

辦理說明會說明底碴應用於鋪面上對於品質的控制為最好的方法，並將制度面、技術面、實務面整合，若利用的好，在已成效規範來執行驗收。

- 廖萬里執行長(公共工程技術資料庫整合中心)

前置作業方面，應協助相關單位就灰碴處理過程辦理座談會，其中最重要的單位為環保署及工程會。

- 於幼華教授(台大環工所)

再利用過程中，公私部門對敏感區塊，訂定可消除的規範。用於電信、管溝或鋪面等方面，其實有相當的成效在，因此政府及廠商應協助度過目前再利用的開發期。

參、第二場綜合討論

- 廖萬里(公共工程技術資料庫整合中心)

針對自來水、工業用水或地下水「汙泥」，目前已 100% 利用，但應用方向為何目前尚未公布。而固態廢棄物應由政府作為主導，私人企業可能不足以領導。

- 陳芳智(公路總局)

CLSM 回填管溝造成路面上拱現象產生，推估其原因可能是添加爐石，而爐石本身吸水會膨脹所致，且添加爐石比例不齊，因此道路回填上是否有限制之問題？另因瀝青材料價格上漲，使用如底碴等再利用材料是否能降低成本？

- 孫世勤經理(中興顧問工程)

有機物在處理時已被處理乾淨，經分選後也能符合 CNS 規範，除非 100% 摻配，否則應不致發生太大問題。底碴本身有熟化作用，放置越久越安全，因其可隨時間增長而減少有害物質存留。另目前市場並無獨佔情形，因天然粒料仍可利用。

- 桃園縣工務處

針對應用規範部分，回填材料 2 小時內達到假修復，在材料的供應上可能有疑慮存在，可考慮先使用於人行道或自行車道之類的結構物上

- 國賓

CLSM 應用部分，將會以環保署規定執行，而應用在 AC 路面上，目前有試辦道路的成效結果可供參考，但其車流量較少，且試辦道路都有作後續的監控作業，資料上若有需要皆可提供作為參考依據。

- 陳長裕副處長(環保署廢管處)

研究資料或數據應提供參考，再由環保署整合，以消除各類疑慮。

- 廖萬里執行長(公共工程技術資料庫整合中心)

應把試辦道路資料與規範作結合，看是否能合乎規範，並作為一事例集。

- 市場壟斷部分，會再去函各工會詢問是否有壟斷現象，並提出證明。

#### 肆、閉幕引言

- 林志棟教授(中央大學土木系)

- CLSM 分兩層澆置，下層為傳統 CLSM，上層為強度配比設計之 CLSM，此為未來推動的方向。

- CO<sub>2</sub> 減量為主要目的，因水泥用量每年達 1100 萬噸，相對帶來相當多 CO<sub>2</sub>。

- 配合國科會及環工所、交通部、營建署，將舉辦大型研討會。

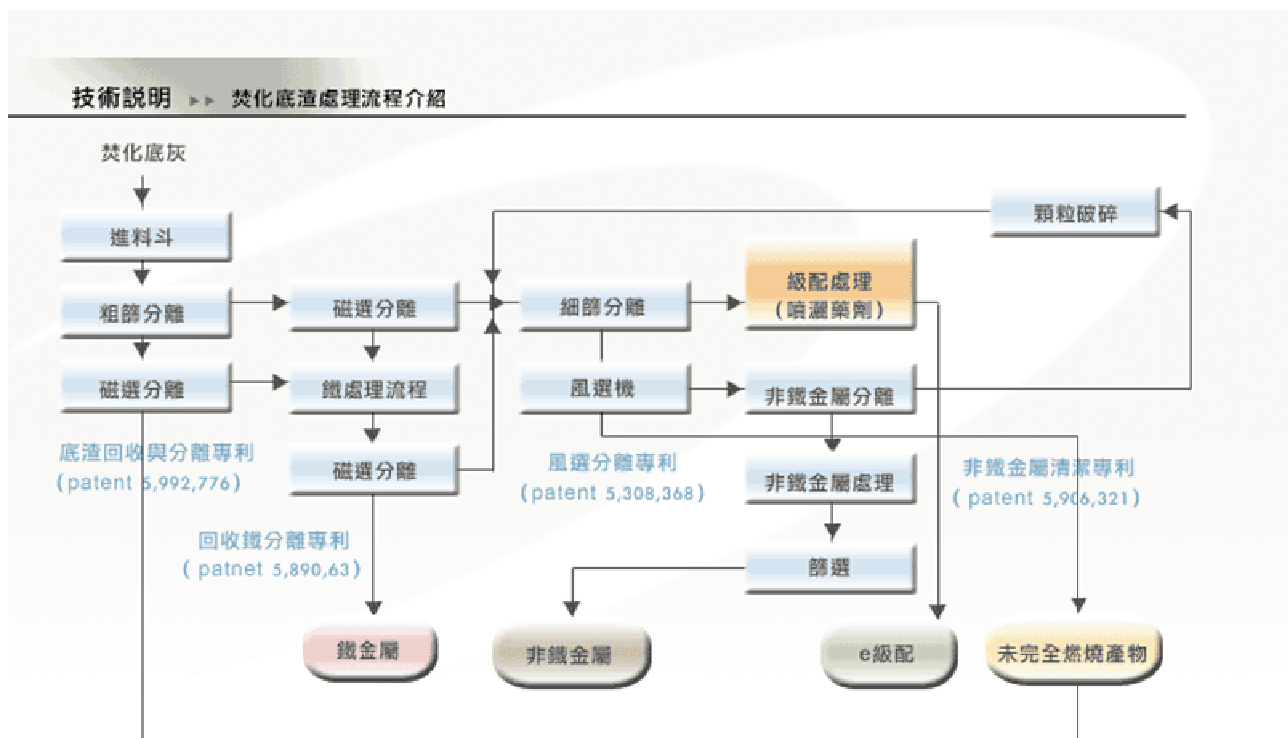


## 附錄五 訪談業者記錄

時間：97 年 05 月 26 日下午 1 時 30 分

地點：(239)台北縣鶯歌鎮德昌街 220 號

公司名稱	國賓大地環保事業股份有限公司
創立日期	民國 82 年
佔地面積	14900 平方公尺 (4500 坪)
生產產品	<p>► 回收鐵金屬 【年產能約3萬噸-廢五金回收（煉鋼）】</p> <p>► 回收非鐵金屬--銅，鋁，白鐵等 【年產出量約3仟噸】</p> <p>► e級配骨材</p> <p>年產能約25萬噸 (19萬立方)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 道路基層底層摻合級配</li> <li>2. 地下管溝回填材料，可控制性低強度回填材料CLSM</li> <li>3. 各式無筋水泥製品 <ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 消波塊</li> <li>◎ 回牆磚</li> <li>◎ 連鎖磚</li> <li>◎ 內牆空心條板</li> </ul> </li> <li>4. 大地復育工程回填覆土</li> <li>5. 瀝青混凝土摻合骨材</li> </ol>







時間：97 年 07 月 08 日下午 2 時 30 分

地點：(806)高雄市前鎮區一心一路 243 號 10 樓

公司名稱	中聯資源股份有限公司																	
創立日期	民國 80 年																	
公司簡介	<p>中聯資源股份有限公司創立於民國八十年五月二十五日，為中國鋼鐵公司轉投資事業之一；由中鋼、中鋼構、中碳及台泥、亞泥及嘉泥等公司共同合資設立，為國內規模最大之高爐水泥與爐石粉生產及廢棄物處理之專業公司。</p> <p>高爐水泥及爐石粉在歐、美、日先進國家已經是營建工程業界普遍使用之產品，中聯資源以專業生產高品質、高強度、高價值的高爐水泥及爐石粉，提供營建工程所需之最新建材，對抑制 CO2 排放量、減少用煤量、石灰石開採及節省電力上有極大助益。</p> <p>營業項目除了對水淬高爐石廢料處理資源化外，尚可處理鋼鐵業轉爐石、重金屬污泥、油泥固化中間處理、河川水庫污泥處理及工業廢棄物安定化處理，扮演國內環保工業之先驅與推動者之重要角色。中聯資源於民國九十年三月一日與聯鋼高爐水泥公司正式合併，聯鋼公司係由環球、東南、中華開發、宇部、川鐵、中鋼構、中碳等公司共同合資設立，與中聯同為高爐水泥及爐石粉之專業生產廠。兩家公司之合併，除可促進合理化經營，達成整合資源、降低成本、提昇營運績效的目標外，並成為臺灣爐石粉產業市佔率最高之領導廠商。</p>																	
生產產品	<table><tr><th>產品名稱</th><th>產品規格</th><th>產品用途</th></tr><tr><td>氣冷高爐石級配</td><td>符合 CNS11827 CS-40 級配規範</td><td>主要作為道路工程鋪設基層、底層用料，混凝土骨材。</td></tr><tr><td>氣冷轉爐石細料</td><td>0mm&lt;D(粒徑)&lt;50mm</td><td>主要作為道路工程施工便道材料、工程填地及地盤改良材料。</td></tr><tr><td>氣冷轉爐石粗骨材</td><td>50mm&lt;D(粒徑)&lt;300mm</td><td>主要作為道路工程施工便道材料、工程填地及地盤改良材料。</td></tr><tr><td>氣碎轉爐石</td><td>0mm&lt;D(粒徑)&lt;20mm D(95%)&lt;10mm</td><td>主要作為瀝青混凝土細骨材、水泥生料、噴砂材料。</td></tr></table>			產品名稱	產品規格	產品用途	氣冷高爐石級配	符合 CNS11827 CS-40 級配規範	主要作為道路工程鋪設基層、底層用料，混凝土骨材。	氣冷轉爐石細料	0mm<D(粒徑)<50mm	主要作為道路工程施工便道材料、工程填地及地盤改良材料。	氣冷轉爐石粗骨材	50mm<D(粒徑)<300mm	主要作為道路工程施工便道材料、工程填地及地盤改良材料。	氣碎轉爐石	0mm<D(粒徑)<20mm D(95%)<10mm	主要作為瀝青混凝土細骨材、水泥生料、噴砂材料。
產品名稱	產品規格	產品用途																
氣冷高爐石級配	符合 CNS11827 CS-40 級配規範	主要作為道路工程鋪設基層、底層用料，混凝土骨材。																
氣冷轉爐石細料	0mm<D(粒徑)<50mm	主要作為道路工程施工便道材料、工程填地及地盤改良材料。																
氣冷轉爐石粗骨材	50mm<D(粒徑)<300mm	主要作為道路工程施工便道材料、工程填地及地盤改良材料。																
氣碎轉爐石	0mm<D(粒徑)<20mm D(95%)<10mm	主要作為瀝青混凝土細骨材、水泥生料、噴砂材料。																

時間：97 年 08 月 18 日下午 2 時 00 分




地點：桃園縣觀音鄉觀音工業區成功路 2 段 566 號

公司名稱	台灣杜邦股份有限公司										
創立日期	民國 57 年										
公司簡介	<p>杜邦是一個以科學為基礎的公司，在橫跨食品營養、健康保健、紡織、家居建築、電子及運輸等領域，提供各種科學的解決之道，以改善人類生活品質。</p> <p>二氧化鈦是眾多產品的添白劑，廣泛地運用於油漆、塑膠、紙張等，與大眾生活有著密切的關係。為了滿足二氧化鈦市場日益擴增的需求，杜邦在 1990 年初斥資三億四千萬美元，於桃園縣觀音鄉興建亞洲最具規模的二氧化鈦製造廠，並以優良的品質，在 1996 年取得 ISO 9002 國際品質認證。</p> <p>觀音廠於建廠之初，即採用最新的環保設備及各項嚴密的監控措施，提供社區最佳保障；其中包括地下水、噪音、氣象等監測系統、污水處理系統、空氣污染防治系統及廢棄物管理系統等。</p> <p>觀音廠以務實的態度實施工安制度，嚴謹與高標準的安全管理，建廠至今從無任何損工事件，足為業界表率。長期的耕耘，使觀音廠在環保及工安上的成效屢獲肯定，不僅獲得環保署頒贈企業環保獎的殊榮，政府及民間單位也多次蒞廠參觀學習。</p> <p>為了回饋社區，杜邦觀音廠優先雇用在地人；物資、服務的採購也以當地為主；成立文教基金會嘉惠觀音鄉學子；組成社區督導委員會與社區代表溝通；參與社區民俗、體育及愛心活動等。這份誠懇踏實的態度，使觀音廠與社區居民相處融洽，成為當地的「好厝邊」。</p>										
生產產品	<table border="1"> <thead> <tr> <th>具體作為</th><th>效益</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>開發漿狀二氧化鈦漿料產品</td><td>減少客戶每年 39 噸廢紙產生 減少客戶每年 90 噸廢棧板產生</td></tr> <tr> <td>開發人工粒料(鈦鐵礦爐渣) 成為天然石材之替代品</td><td>減少天然石開採 97,929 噸/年</td></tr> <tr> <td>回收耐火磚</td><td>回收耐火磚 100 噸/年，提供作為製磚原料</td></tr> <tr> <td>使用高純度(95%)鈦鐵礦</td><td>從源頭使用高純度原料，每年減少 18,290 公噸金屬氯化物產生</td></tr> </tbody> </table>	具體作為	效益	開發漿狀二氧化鈦漿料產品	減少客戶每年 39 噸廢紙產生 減少客戶每年 90 噸廢棧板產生	開發人工粒料(鈦鐵礦爐渣) 成為天然石材之替代品	減少天然石開採 97,929 噸/年	回收耐火磚	回收耐火磚 100 噸/年，提供作為製磚原料	使用高純度(95%)鈦鐵礦	從源頭使用高純度原料，每年減少 18,290 公噸金屬氯化物產生
具體作為	效益										
開發漿狀二氧化鈦漿料產品	減少客戶每年 39 噸廢紙產生 減少客戶每年 90 噸廢棧板產生										
開發人工粒料(鈦鐵礦爐渣) 成為天然石材之替代品	減少天然石開採 97,929 噸/年										
回收耐火磚	回收耐火磚 100 噸/年，提供作為製磚原料										
使用高純度(95%)鈦鐵礦	從源頭使用高純度原料，每年減少 18,290 公噸金屬氯化物產生										

## 附錄六 初審會議記錄

### 附錄 6.1 第一次初審會議紀錄

再生資源物再利用於公路工程規範草案		
第一次初審會議紀錄		
一、時	間：中華民國九十七年九月四日 星期四 09:00 AM	
二、地	點：交通部 1609 會議室	
三、主 持 人：	黃偉慶 教授	
四、出席人員：	陳茂雄、陳式毅、陳志修(請假)、沈得縣、黃榮堯(請假)、邱垂德、謝啟萬、黃 然(請假)、陳建旭(請假)、陳豪吉(請假)、林平全、白志清、林冠嘉、許書王、李啟源、李 釗、中央大學研究團隊	
五、記 錄：	中央大學團隊	
會議結論		
本次會議針對再生資源物納入交通部頒布規範進行第一次初審，對於規範草案編寫原則與內容提出修正之建議。		
壹、研究單位報告（略）		
貳、討論（略）		
參、結論：		
一、「柔性鋪面設計規範」修訂草案通過條文，如附件一。		
二、「公路工程施工規範」修訂草案至第二章通過條文，如附件二。		
三、會議時間時間排程：		
第二次初審會議訂於中華民國九十七年九月十八日(星期四)上午 09:30，於交通部 1609 會議室舉行。		


## 附錄 6.1 .1 交通部柔性鋪面設計規範草案

	原條文	修改或增列條文
第二章 2.1.22 粒料	1.凡堅硬之礦物質，未含有機物及易於風化之顆粒者，如砂、礫石(Gravel)、碎石(Crushed Stone)及爐渣(Slag)等謂之粒料。	修改： 1.凡堅硬之礦物質，未含 <u>過量</u> 有機物及易於風化之顆粒 <u>謂之粒料</u> ，如砂、礫石(Gravel)、碎石(Crushed Stone)及經處理後符合 <u>相關法規規定之再生材料或再生資源物。</u>
第二章 2.1.22 粒料		增列： <u>(3) 再生資源物：</u> <u>係指符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生材料。</u>
第三章 3.3 鋪築材料因子		增列： 5. <u>再生資源物經處理後，符合 2.1.22 之要求者，得作為各層鋪築材料。如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u> 6. <u>再生資源物粒料級配料之再利用方式，應符合本規範 2.1.22 所列中央目的事業主管機關之相關再利用規定。</u> 7. <u>再生資源物級配料之摻配百分比應於設計時訂定之。惟其摻配比例若有規定者，應照其規定。</u>

## 附錄 6.1 .2 交通部公路工程施工規範草案

	原條文	修改或增列條文
第一章 1.2 定義與縮寫		增列： <u>25.再生資源物：</u> <u>係指符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生材料。</u>
第一章 1.10 使用再生資源物之規定		增列： <u>1.10 使用再生資源物之規定</u> <u>1.本規範所規定之材料，如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u> <u>2. 再生資源物，應符合本規範 1.2 第 25 項所列中央目的事業主管機關之相關再利用規定。</u> <u>3. 再生資源物之摻配百分比於設計時訂定之。惟其摻配比例若有規定者，應照其規定。</u> <u>4.使用再生資源物於施工前，施工廠商應提送相關供料計畫書，送監造單位審查同意後方可使用，計畫書內容至少陳述該供應材料之品管作業、供料稽核方式及相關試驗方法等。</u> <u>5.使用再生資源物於工程施工中，應依契約、供料計畫書或工程司指示，進行材料之檢驗。</u>
第二章 2.3 材料	路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有樹根、殘幹、樹木、雜草、垃圾、淤泥及有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。	修改： 路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有垃圾、淤泥及 <u>過量</u> 有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。
	(4)由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築之再生材料，惟再生材料之使用百分比於設計時訂定之。	增列： <u>(4) 使用再生資源物時，應符合本規範 1.10 之規定。</u> 修改： <u>(5)再生資源物</u> 經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築之 <u>再生資源物</u> 材料。
第二章 2.3 材料		增列： <u>3.本章所規定之材料，如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u>

## 附錄 6.2 第二次初審會議紀錄

<p style="text-align: center;"><b>再生資源物再利用於公路工程規範草案</b></p> <p style="text-align: center;"><b>第二次初審會議紀錄</b></p>	
<p>一、時 間：中華民國九十七年九月十八日 星期四 09:30 AM</p>	
<p>二、地 點：交通部 1609 會議室</p>	
<p>三、主 持 人：黃偉慶 教授</p>	
<p>四、出席人員：陳茂雄、陳式毅(請假)、陳志修、沈得縣、黃榮堯、邱垂德、 謝啟萬(請假)、黃 然、陳建旭(請假)、陳豪吉(請假)、林平全(請假)、 白志清、林冠嘉、許書王、李啟源、李 釗、中央大學研究團隊</p>	
<p>五、記 錄：中央大學團隊</p>	
<p style="text-align: center;"><b>會議結論</b></p> <p>本次會議針對再生資源物納入交通部部頒規範進行第二次初審，對於規範草案編寫原則與內容提出修正之建議。</p> <p>壹、研究單位報告（略）</p> <p>貳、討論（略）</p> <p>參、結論：</p> <p>一、「柔性鋪面設計規範」修訂草案通過條文，如附件一。</p> <p>二、「公路工程施工規範」修訂草案至第三章通過條文，如附件二。</p> <p>三、會議時間時間排程：</p> <p style="padding-left: 40px;">第三次初審會議訂於中華民國九十七年十月三日(星期五)</p> <p style="padding-left: 40px;">上午 09:30，於交通部 2001 會議室舉行。</p>	

## 附錄 6.2.1 交通部柔性鋪面設計規範草案

	原規範條文	新增或修訂條文
第二章 2.1.22 再生資源物		<p>增列：</p> <p><u>2.1.22 再生資源物(Renewable Resources Item)</u> 符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生材料。</p>
第二章 2.1.22 粒料	<p>2.1.22 粒料 (Aggregate)</p> <p>1.凡堅硬之礦物質，未含有機物及易於風化之顆粒者，如砂、礫石 (Gravel)、碎石 (Crushed Stone ) 及爐碴 (Slag) 等謂之粒料。</p>	<p>修改：</p> <p><u>2.1.23 粒料 (Aggregate)</u></p> <p><u>1.凡堅硬之礦物質，未含過量有機物及易於風化之顆粒，如砂、礫石 (Gravel) 及碎石 (Crushed Stone ) 等。</u></p> <p>增列：</p> <p><u>2.再生粒料</u> 係指再生資源物經處理後適合做為工程粒料者。</p> <p><u>3.粗細粒料之區分：粗細粒料因用途不同而區分為：</u></p>
第三章 3.3.2 選擇材料原則		<p>增列：</p> <p><u>3.3.2 選擇材料原則</u></p> <p><u>5.再生資源物經處理後符合工程需求者，得作為各層鋪築材料。</u></p> <p><u>6.再生資源物級配料之摻配百分比應於設計時訂定之。</u></p> <p><u>7.如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u></p>

## 附錄 6.2.2 交通部公路工程施工規範草案


	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.2 定義與縮寫		增列： 1.2 定義與縮寫 <u>25 再生資源物</u> <u>符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生材料。</u>
第一章 1.10 使用再生資源物之規定		增列： <u>1.10 使用再生資源物之規定</u> <u>1.本規範所規定之材料，如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u> <u>2.再生資源物經處理後符合工程需求者，得作為各層鋪築材料。</u> <u>3.再生資源物級配料之摻配百分比應於設計時訂定之。</u> <u>4.使用再生資源物於施工前，施工廠商應提送相關供料計畫書，送監造單位審查同意後方可使用，計畫書內容至少陳述該供應材料之品管作業、供料稽核方式及相關試驗方法等。</u> <u>5.使用再生資源物於工程施工中，應依契約規定進行各項材料之檢驗。</u>
第二章 2.3.2 材料	路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有樹根、殘幹、樹木、雜草、垃圾、淤泥及其他有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。	修改： 2.3.2 材料 路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有垃圾、淤泥及 <u>過量</u> 有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。

	原規範條文	增修規範條文
第二章 2.3.2 材料	(4)由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築之再生材料，惟再生材料之使用百分比於設計時訂定之。	<p>增列：  <u>(4)使用再生資源物時，應符合本規範 1.10 之規定。</u></p> <p>修改：  <u>(5)再生資源物</u>經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築材料。</p> <p>增列：  <u>(6)再生資源物具水和膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u>  <u>(7)使用再生資源物時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u></p>
第二章 2.3.2 材料		<p>增列：  <u>3.本章所規定之材料，如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然材料為限</u></p>
第三章 3.1.1 說明	3.1.1 說明 級配粒料基層(Aggregate Subbase)及級配粒料底層(Aggregate Base)，係將天然礫石級配料或軋製碎石級配料或再生級配粒料，依設計圖所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本節規範及特訂條款之規定，鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者	<p>修改：  3.1.1 說明  級配粒料基層(Aggregate Subbase)及級配粒料底層 (Aggregate Base)，係將天然級配料或軋製碎石級配料或<u>摻配再生粒料之級配粒料</u>(以下簡稱<u>再生級配粒料</u>)，依設計圖所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本節規範及特訂條款之規定，鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者。</p>



	原規範條文	增修規範條文
第三章 3.1.2.1 一般規定	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或底層者，其粗粒料[停留於 2 mm (10 號)篩上者]應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗結果，其磨耗率不得大於 50%。	修改： 3.1.2.1 一般規定 2.級配粒料須清潔、不含 <u>過量</u> 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或底層者，其粗粒料[停留於 2 mm (10 號)篩上者]應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗結果，其磨耗率不得大於 50 %。  增列： 3. <u>本章所規定之材料，如契約無特別敘明得採用再生資源物時，則以天然或碎石級配粒料為限。</u>
第三章 3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料	1.級配粒料基層所用之材料應為岩石、礫石或高爐爐渣軋製之碎石級配料或天然礫石級配料。	修改： 3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料  1.級配粒料基層所用之材料應為 <u>天然或碎石級配或再生級配粒料。</u> 增列： 2. <u>再生級配粒料之規定</u> (1) <u>使用再生資源物時，應符合本規範 1.10 之規定。</u> (2) <u>再生資源物經處理後，符合本規範基層級配粒料之要求者，得作為基層級配粒料。惟再生級配粒料之品質要求，於設計時應針對所使用再生粒料之特性予以訂定。</u> (3) <u>再生資源物具水和膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> (4) <u>使用再生資源物時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>

## 附錄 6.3 第三次初審會議紀錄

再生資源物再利用於公路工程規範草案		
第三次初審會議紀錄		
一、時	間：中華民國九十七年十月三日 星期五 09:30 AM	
二、地	點：交通部 2001 會議室	
三、主 持 人：	黃偉慶 教授	
四、出席人員：	陳茂雄、陳式毅、陳志修、沈得縣、黃榮堯、邱垂德、謝啟萬、 陳建旭 (請假)、陳豪吉(請假)、林平全(請假)、白志清(請假)、 林冠嘉、許書王、李 釗、中央大學研究團隊	
五、記 錄：	中央大學團隊	
會議結論		
本次會議針對再生資源物納入交通部頒布規範進行第三次初審，對於規範草案編寫原則與內容提出修正之建議。		
壹、研究單位報告（略）		
貳、討論（略）		
參、結論：		
一、「柔性鋪面設計規範」修訂草案通過條文，如附件一。		
二、「公路工程施工規範」修訂草案通過條文，如附件二。		
三、「公路養護手冊」修訂草案通過條文，如附件三。		
四、「公路景觀設計規範」修訂草案通過條文，如附件四。		
五、「公路工程施工規範」，針對 3.6 熱拌瀝青混凝土路面增列之 3.6.2.3 再生瀝青混凝土粒料，修訂後以書面方式寄給各位委員，並煩請各位委員將修正意見於期限內寄回。		

### 附錄 6.3.1 交通部柔性鋪面設計規範草案

	原規範條文	增修及修正規範條文
第二章 2.1.22 再生資源物		增修： 2.1.22 再生資源物 (Renewable Materials) <u>符合中央目的事業主管機關規定及 相關法令之再生資源或可再利用之 廢棄物。</u>
第二章 2.1.23 再生材料		增修： 2.1.23 再生材料 (Reused and Recycled Materials) <u>再生資源物經處理後符合工程需求 者。</u>
第二章 2.1.23 粒料	1.凡堅硬之礦物質，未含有機物及易於風化之顆粒者，如砂、礫石（Gravel）、碎石（Crushed Stone）及爐渣（Slag）等謂之粒料。	修正： 2.1.24 粒料（Aggregate） <u>1.天然粒料</u> 凡堅硬之礦物質，未含 <u>過量</u> 有機物及易於風化之顆粒，如砂、礫石（Gravel）及碎石（Crushed Stone）等。 <u>2.再生粒料</u> <u>係指再生資源物經處理後適合做為工程粒料者。</u>
第三章 3.3.2 選擇材料原則		增修： 3.3.2 選擇材料原則 <u>5.再生材料符合工程需求者，得做為各層鋪築材料。</u> <u>6.再生材料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u> <u>7.如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u>

## 附錄 6.3.2 交通部公路工程施工規範草案

	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.2 定義與縮寫		<p>增修：</p> <p>1.2 定義與縮寫</p> <p><u>25.再生資源物(Renewable Materials)：</u> 符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。</p> <p><u>26.再生材料(Reused and Recycled Materials)：</u>再生資源物經處理後符合工程需求者。</p>
第一章 1.10 使用再生材料之規定		<p>增修：</p> <p><u>1.10 使用再生材料之規定</u></p> <p><u>1.本規範所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u></p> <p><u>2.再生材料符合工程需求者，得做為各層鋪築材料。</u></p> <p><u>3.再生材料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u></p> <p><u>4.使用再生材料於施工前，施工廠商應提送相關供料計畫書，送監造單位審查同意後方可使用，計畫書內容至少陳述該供應材料之品管作業、供料稽核方式及相關試驗方法等。</u></p> <p><u>5.使用再生材料於工程施工中，應依契約規定進行各項材料之檢驗。</u></p>
第二章 2.3.2 材料	<p>路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有樹根、殘幹、樹木、雜草、垃圾、淤泥及其他有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。</p>	<p>修正：</p> <p>2.3.2 材料</p> <p>路堤填築用料及路幅開挖路段之路基，均不得含有垃圾、淤泥及<u>過量</u>有機物或有害物質，並應符合下列各項規定。</p>

	原規範條文	增修規範條文
第二章 2.3.2 材料	(4)由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築之再生材料，惟再生材料之使用百分比於設計時訂定之。	增修： <u>(4)使用再生材料時，應符合本規範1.10之規定。</u>  修正： <u>(5)再生材料經處理後，符合本規範有關路基土石方用料之要求者，得作為路堤填築材料。</u>  增修： <u>(6)再生材料具水和膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> <u>(7)使用再生材料時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>
第二章 2.3.2 材料		增修： <u>3.本章所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u>
第三章 3.1.1 說明	級配粒料基層 (Aggregate Subbase) 及級配粒料底層 (Aggregate Base)，係將天然礫石級配料或軋製碎石級配料或再生級配粒料，依設計圖所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本節規範及特訂條款之規定，鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者。	修正： 3.1.1 說明  級配粒料基層 (Aggregate Subbase) 及級配粒料底層 (Aggregate Base)，係將天然級配料或軋製碎石級配料或 <u>摻配再生粒料之級配粒料</u> （以下簡稱 <u>再生級配粒料</u> ），依設計圖所示之線形、坡度、高程及橫斷面，或依工程司之指示，按本節規範及特訂條款之規定，鋪築於已滾壓整理之路基或基層上者。

	原規範條文	增修規範條文
第三章 3.1.2.1 一般規定	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或底層者，其粗粒料[停留於 2 mm (10 號)篩上者]應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗結果，其磨耗率不得大於 50 %。	修正： 3.1.2.1 一般規定 2.級配粒料須清潔、不含 <u>過量</u> 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或底層者，其粗粒料[停留於 2 mm (10 號)篩上者]應質地堅韌及耐久，經洛杉磯磨損試驗結果，其磨耗率不得大於 50 %。  增修： 3. <u>本章所規定之材料，如契約無敘明採用再生資源物時，則以天然材料為限。</u>
第三章 3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料	1.級配粒料基層所用之材料應為岩石、礫石或高爐爐渣軋製之碎石級配料或天然礫石級配料。	3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料 修正： 1.級配粒料基層所用之材料應為 <u>天然、碎石或再生級配粒料。</u>  增修： 2. <u>再生級配粒料之規定</u> (1) <u>使用再生級配粒料時，應符合本規範 1.10 之規定。</u> (2) <u>再生級配粒料符合本規範基層級配粒料之要求者，得作為基層級配粒料。惟再生級配粒料之品質要求，於設計時應針對其特性予以訂定。</u> (3) <u>再生級配粒料具水合膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> (4) <u>使用再生級配粒料時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>

	原規範條文	增修規範條文
第三章 3.1.2.2 級配粒料基層所用之材料	3. 由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關基層級配粒料之要求者，得作為基層再生級配料，惟再生級配料之使用百分比於設計時訂定之。	刪除
第三章 3.1.2.3 級配粒料底層所用之材料	1. 級配粒料底層所用之材料應為岩石、礫石或高爐石軋製之碎石級配料。	修正： 1. 級配粒料底層所用之材料應為 <u>天然、碎石或再生級配粒料</u> 。 增修： 2. <u>再生級配粒料之規定</u> (1) <u>使用再生級配粒料時，應符合本規範 1.10 之規定。</u> (2) <u>再生級配粒料符合本規範底層級配粒料之要求者，得做為底層級配粒料。惟再生級配粒料之品質要求，於設計時應針對其特性予以訂定。</u> (3) <u>再生級配粒料具水和膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u> (4) <u>使用再生級配粒料時，應避免引致地下管線及周遭構造物劣化。</u>
第三章 3.6.1 說明	熱拌瀝青混凝土路面因設計所用粒料之級配及瀝青膠泥用量之不同，而分為連續級配(Continuous-graded)及殘缺級配(Gap-graded)兩大類。	增修： <u>熱拌瀝青混凝土使用再生材料時，需符合本章相關規定。</u> 修正： 熱拌瀝青混凝土因設計所用粒料之級配及瀝青膠泥用量之不同，而分為 <u>連續級配(Continuous-graded)</u> 及 <u>殘缺級配(Gap-graded)</u> 兩大類。

	原規範條文	增修規範條文						
第三章 3.6.2.2 粒料	細粒料〔通過 2.36 mm (8 號)篩者〕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、粘土、粘土質沉泥、有機物及其他有害物質，且導入拌和機時不得有結塊之情形。	修正：  細粒料〔通過 2.36 mm(8 號)篩者〕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、粘土、粘土質沉泥、過量有機物及其他有害物質，且導入拌和機時不得有結塊之情形。						
第三章 3.6.2.2 粒料		增修： 3. 再生粒料： (1) 使用再生粒料應符合本規範 1.10 之規定。 (2)再生粒料符合本規範瀝青混凝土粒料之要求者，得做為瀝青混凝土之粒料。惟再生粒料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。 (3)再生粒料具水合膨脹潛能者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。						
第三章 3.6.2.5 配合設計	表 3-30 再生粒料之使用比例上限(再生粒料佔混合粒料之重量比) <table><tr><td>種 類</td><td>使用比例上限(%)</td></tr><tr><td>面 層</td><td>25</td></tr><tr><td>底 層</td><td>50</td></tr></table>	種 類	使用比例上限(%)	面 層	25	底 層	50	刪除
種 類	使用比例上限(%)							
面 層	25							
底 層	50							



	原規範條文	增修規範條文
第六章 6.1.2.5 再生粒料	<p>1.由混凝土構造物拆除之廢棄混凝土與陶瓷類材料，經處理後，符合本規範有關混凝土粒料之要求者，得作為水泥混凝土再生粒料，惟除廢棄混凝土及陶瓷類材料外之雜質總含量不得超過0.1%(重量比)。</p> <p>2.再生粒料用於水泥混凝土之使用比例，應依結構性質、重要性及粒料來源等，於設計時訂定之。</p>	<p>修正：</p> <p>1. <u>再生材料符合本規範有關混凝土粒料之要求者，得做為水泥混凝土再生粒料，惟再生粒料之品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u></p> <p>2. <u>再生粒料用於水泥混凝土之使用比例，應依結構性質、重要性及粒料來源，並考量養護、拆除等生命週期成本，於設計時訂定之。</u></p> <p>增修：</p> <p>3.<u>再生粒料具水合膨脹者，應待其養生熟化完成性質穩定，並符合相關規定後方可使用。</u></p> <p>4.<u>使用再生粒料時，應避免引致混凝土、鋼筋及埋設物等劣化。</u></p> <p>5.<u>本章所規定之粒料，如契約無敘明採用再生粒料時，以天然粒料為限。</u></p>

### 附錄 6.3.3 公路養護手冊草案

	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.3 再生材料使用規定		增修： <ol style="list-style-type: none"> <li><u>1.再生材料係指再生資源物經處理後符合工程需求者。再生資源物為符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。</u></li> <li><u>2.本規範所規定之材料，如契約無敘明採用再生材料時，以天然材料為限。</u></li> <li><u>3.使用再生材料為養護材料時，其品質要求及使用方法於設計時訂定之。</u></li> </ol>

### 附錄 6.3.4 公路景觀設計規範草案

	原規範條文	增修規範條文
第一章 1.2 目的		增修： <ol style="list-style-type: none"> <li><u>1.2.3 公路及其相關設施，依工程重要性及生態環境考量，得採用再生材料，惟應符合 1.3 節之規定。</u></li> </ol>
第一章 1.3 再生材料使用原則		增修： <ol style="list-style-type: none"> <li><u>1.再生材料係指再生資源物經處理後符合工程需求者。再生資源物為符合中央目的事業主管機關規定及相關法令之再生資源或可再利用之廢棄物。</u></li> <li><u>2.使用再生材料為公路設施之材料時，其品質要求及使用方法應於設計時訂定之。</u></li> </ol>



## 附錄七 廢棄資源物項目

規定或法令	再生資源物種類	適用範圍	用途	相關辦法及章節
一、CNS 國家標準	高爐爐渣	道路用(不含面層)	底層、基層、路基	CNS 11827
	銅爐渣	道路用(路基、底層及熱拌瀝青混凝土)	面層、底層、基層、路基	CNS 14602
	水淬爐石(渣)	混凝土膠結性材料、工程填地材料。	路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部再生利用之再生資源項目及規範
二、再生資源再生利用管理辦法	鉍鐵礦氯化爐渣	道路工程粒料、工程填地材料、無筋混凝土粒料、CLSM 材料、地質改良材料。	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部再生利用之再生資源項目及規範
	玻璃	混凝土添加料、瀝青混凝土添加料	面層、水泥混凝土(次要工程)	環保署再生利用之再生資源項目及管理方式
	瀝青混凝土挖(刨)除料	瀝青混凝土原料或工程填方材料	面層、底層、基層、路基	營建再生資源再生利用管理辦法
三、事業廢棄物再生利用管理辦法	煤灰	非農業用地之工程填地材料、混凝土粒料或級配料。	面層、底層、基層、路基	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢玻璃	混凝土粒料、瀝青混凝土粒料	面層、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢陶、瓷、磚、瓦	瀝青混凝土粒料或非農業用地之工程填地材料。	面層、底層、基層、路基	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢鑄砂	混凝土粒料、瀝青混凝土粒料、道路工程粒料或非農業用地之工程填地材料。	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	石材廢料	道路工程粒料、非農業用地之工程填地材料	面層、底層、基層、路基	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	石材污泥	工程填地材料	路基	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢噴砂	混凝土粒料原料、混凝土粒料或瀝青混凝土粒料原料	面層、底層、基層、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	電弧爐煉銅爐渣(石)	混凝土粒料、道路工程粒料或非農業用地之工程填地材料。	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	感應電爐爐渣(石)	混凝土粒料、道路工程粒料或非農業用地之工程填地材料。	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	化鐵爐爐渣(石)	混凝土粒料、道路工程粒料或非農業用地之工程填地材料。	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢橡膠	瀝青混凝土粒料	面層	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	旋轉窯爐渣(石)	混凝土粒料、道路工程粒料或非農業用地之工程填地材料。	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢玻璃屑	混凝土添加料之原料、瀝青混凝土添加料。	面層	營建事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢橡膠	瀝青混凝土添加料	面層	營建事業廢棄物再利用種類及管理方式
	營建混合物	工程填地及道路工程級配料、混凝土添加材料	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	營建事業廢棄物再利用種類及管理方式
	廢玻璃(瓶、屑)	混凝土添加料之原料、瀝青混凝土添加料。	面層	交通部事業廢棄物再利用種類及管理方式
四、行政院公共工程委員會施工綱要規範	營建剩餘土石	回填材料、級配料、瀝青混凝土粒料	面層、底層、基層、路基、水泥混凝土(次要工程)	第 02319 章選擇性回填材料 第 02332 章營建剩餘土石方材料回填 第 02722 章級配料基層 第 02726 章級配料底層 第 02742 章瀝青混凝土鋪面
	廢棄混凝土	回填材料、級配料、瀝青混凝土粒料	面層、底層、基層、路基	第 02319 章選擇性回填材料 第 02722 章級配料基層 第 02726 章級配料底層 第 02742 章瀝青混凝土鋪面
	高爐爐渣或銅爐渣	回填材料、級配料、瀝青混凝土粒料	面層、底層、基層、路基	第 02319 章選擇性回填材料 第 02722 章級配料基層 第 02726 章級配料底層 第 02742 章瀝青混凝土鋪面
	石材污泥(造粒)	級配料	基層	第 02722 章級配料基層
	石材廢料	級配料	基層	第 02722 章級配料基層
	廢瀝青混凝土	級配料	基層	第 02722 章級配料基層
	廢磚瓦及廢陶瓷類	級配料、瀝青混凝土粒料	面層、底層、基層	第 02722 章級配料基層 第 02726 章級配料底層 第 02742 章瀝青混凝土鋪面
	鉍鐵礦氯化爐渣	級配料	底層、基層	第 02722 章級配料基層 第 02726 章級配料底層
	廢鑄砂	瀝青混凝土粒料	面層、底層、基層	第 02742 章瀝青混凝土鋪面
	廢玻璃	瀝青混凝土粒料	面層	第 02748 玻璃瀝青混凝土鋪面
	無機礦物灰渣(副產石灰)	級配料	基層	第 02722 章級配料基層
	再生瀝青混凝土粒料 (RAP)	瀝青混凝土粒料	面層、底層、基層、路基	第 02966 章再生瀝青混凝土鋪面
	焚化爐底渣	作為級配料基層、基地及路堤填築、控制性低強度回填材料、混凝土添加料、瀝青混凝土添加料、磚品添加料、無筋混凝土添加料及其他用途	面層、底層、基層、路基	一般廢棄物-垃圾焚化爐焚化底渣再利用管理方式



## 附錄八 辦理研討會

### 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

時 間：中華民國97年11月06、07日(星期四、五)      點：國立中央大學土木系館

日 期	時 間	程 序
11 月 06 日 (星期四)	08:30~11:00	中華鋪面工程學會年會
	11:00~11:20	開幕式及貴賓致詞
	11:20~12:20	<b>公共工程再生再利用－節能減碳論壇</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」 公共工程委員會      周筑昆      處長</li> <li>● 「再生資源應用於公共工程政策之推動」 內政部營建署      黃景茂      副署長</li> <li>● 「縣市政府工務機構落實綠營建材料再生再利用策略」 桃園縣政府工務處      古沼格      處長</li> <li>● 「瀝青路面再生技術在我國的應用」 中國公路學會道路分會      陳國靖      理事長</li> <li>● 「綠營建產業之永續發展」 國立中央大學      林志棟      教授</li> </ul>
	12:20~13:00	午餐
	13:00~14:20	論文發表(一)
	14:20~14:40	休息/ 茶敘
	14:40~16:00	論文發表(二)
	16:00~16:10	休息 / 茶敘
	16:10~17:30	2008 世界華人鋪面專家聯合學術論壇
11 月 07 日 (星期五)	08:40~10:00	論文發表(三)
	10:00~10:20	休息 / 茶敘
	10:20~11:40	論文發表(四)
	11:40~12:00	閉幕式

## 論文口頭報告詳細議程

廢棄資源物與污泥 13:00~14:20 第一場次 (E160-A) 主席: 李英豪 教授		
編號	論文題目	作者
D-012	分析焚化爐底渣添加回收料之瀝青混凝土工程性質	陳建旭、朱柏彥、簡志聰、劉韋廷
<b>D-014</b>	<b>廢棄資源物再利用於公路工程規範草案之研究</b>	<b>林志棟、林宏偉、陳正倫、何明杰</b>
D-017	不同細度之爐石配比對混凝土強度發展之影響	林志棟、羅文彥、黃大衛、蔡瑋倫
B-010	垃圾焚化灰渣流向控管及灰渣再利用品質管理機制之研究	林志棟、梁世賓、宋柏勛、蔡瑋倫
D-018	偏高嶺土應用於活性粉混凝土之力學性質探討	劉明仁、江佳如
廢棄資源物與污泥 14:40~16:00 第二場次(E160-A) 主席: 陳建旭教授		
編號	論文題目	作者
D-001	探討燒結溫度對微米級碳粉製成污泥道路面磚性質之研究	林登峰、羅煥琳、莊美玲、陳冠宇
D-002	鋁渣骨材混凝土作為道路基底層再利用之工程特性研究	王金鐘
E-029	道路齊平規劃準則之研擬-以人手孔為例	林志棟、宋柏勛、蔡瑋倫、林子傑
B-012	瀝青再生路面永續再生策略與工法研究	林志棟、王劍能、陳世晃、郭孟鑫
C-004	臺灣地區營建剩餘土石方物質流系統之研究	林志棟、葉禮旭、蘇泰源、王益翔

其他鋪面工程子題 8:40~10:00 第三場次(E160-A) 主席: 陳為溪 教授		
編號	論文題目	作者
E-007	混和資料採礦及基因規劃法預測岩盤深度	張家瑞、洪境聰
E-005	智慧型鋪面檢測機器人系統開發及檢測運動模式驗證	張家瑞、康仕仲、古凱元、劉寅春、謝尚賢
D-009	廢棄混凝土裹漿對瀝青混凝土工程性質影響之研究	沈得縣、李承劬、許文福
E-010	慣性式平坦儀認證內容及程序之研擬	周家蓓、蔡鎮宇、李美慧
B-002	柔性鋪面維護技術之研究	林志棟、陳建達、周士勛
其他鋪面工程子題 10:20:~11:40 第四場次(E160-A) 主席: 張家瑞 教授		
編號	論文題目	作者
E-016	知識地圖用於鋪面養護之研究	林志棟、陳浩賢、林恩德
E-004	八卦山隧道交通流量與防災管理之探討	陳為溪、廖美惠、曾森煌
E-008	建構鋪面工程委外招標線上決策支援平台	蔣子平
F-010	膠粉複合 (Domix) 改性瀝青的路用性能研究及其應用前景	彭慶躍、王 君
E-015	不同透水性鋪面材料溫度行為之探討	徐震宇、林志棟、姚志廷