

# 行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：參加技術研討會)

## 參加土木工程營造回收技術研討會

### 報告書

行政院研考會/省(市)研考會 編號欄
H5/ C09105667

服務機關：交通部公路總局

材料試驗所

出國人 職 稱：所長  
姓 名：陳式毅  
出國地區：新加坡  
出國期間：91.11.17~91.11.21  
報告日期：92.2.17

系統識別號:C09105667

公 務 出 國 報 告 提 要

頁數: 29 含附件: 是

報告名稱:

土木工程營造回收技術研討會

主辦機關:

交通部公路局

聯絡人/電話:

/

出國人員:

陳式毅 交通部公路局 材料試驗所 所長

出國類別: 其他

出國地區: 新加坡

出國期間: 民國 91 年 11 月 17 日 -民國 91 年 11 月 21 日

報告日期: 民國 92 年 02 月 17 日

分類號/目: H5/公路道路 H5/公路道路

關鍵詞: 材料再生,土壤穩定處理,瀝青老化,焚化爐底灰

內容摘要: 公路工程耗用大量土壤及級配料等天然資源,先進國家已採用穩定處理土壤及級配料提高附加價值,減少級配料需求量。垃圾焚化爐底灰可加以處理,作為道路基底層材料,但需控制底灰品質,並應注意其重金屬含量及溶出物毒性等。工程規範常限定使用新品,必須調整策略改採「適材適用」,只要效能合用不必限用新品。營建廢棄物經過適當軋碎處理,可作為道路基底層材料或混凝土骨材,具相當經濟價值。再生材料可以達到與新料之相似品質水準,但需更高之技術水準及更嚴謹管理。新加坡各捷運站採用英文及數字編號系統,在圖面及車站標示容易,乘客能輕易記憶及搭乘,可以快速預估需經站數,相當方便,我國各火車站及捷運站若能比照採行編號,必然有相當助益。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

## 目錄

壹、目的	2
貳、過程	2
參、心得	6
肆、建議	23
伍、附錄	26

## 壹、目的

土木工程通常體積龐大，新建工程需用大量工程材料及可能產生大量不適用之土石方，改建工程則尚會產生大量之拆除營建廢棄物，其處置常帶給社會相當嚴重之困擾。傳統上，土木工程規範常要求使用新料，以致於一方面耗用新資源，另一方面所棄置之營建廢棄物佔用空間。近年來資源永續利用之觀念逐漸普及，在營建領域中已蓬勃發展，形成「綠營建」活動，主要在盡量減少耗用新資源並盡可能再生使用舊資源。新加坡 CPG 試驗公司，鑑於新加坡及鄰近國家地區，都具有如何加強土木工程材料之再生使用問題，特舉辦本次土木工程營造回收技術研討會，針對東南亞國家狀況，邀請相關單位代表參與，提供發展經驗互相交流。我國目前亦面臨此項土木工程材料再生使用相同問題，本局負責之公路工程需用工程材料數量甚鉅，亦經常面臨拆除廢棄混凝土及不適用土石方等之處置問題，需要吸收其他國家之處理經驗及收集相關資料，遂指派報告人前往參加本項研討會。

## 貳、過程

本項研討會訂於 91 年 11 月 19~20 日舉行，配合大會時間需提前一日（18 日）出發前往，因本人前數次出國經過新加坡僅匆匆過境轉機，對新加坡之印象上僅止於文字及

媒體報導，故請休假再提前一日（17日）出發，控留一日自由時間以便稍作參觀。

過程如下：

11月17日：

下午搭乘長榮航空班機由中正機場出發，晚上抵達新加坡並住進研討會舉辦地點 Amara Hotel。

11月18日：

休假自費參觀，首先步行參觀飯店附近之辦公大樓群，辦公大樓外觀整齊且各有特殊造型現代感十足，大樓附近設置公園綠地及部分公共藝術景觀，設計與維護頗為用心。另外，也徒步參觀傳統住宅區及市場，雖然不如辦公大樓現代化，但也相當整潔。然後，遊覽新橋路及烏節路等商業區，商業大樓甚多平面成回字形，中間為挑空天井，各樓天井周圍設走道，各種零售及服務業店面向內設置，在側面設置裝卸貨區，此種設計因商店不臨街開設除有利街容整齊外，也減少路邊停車影響交通。最後搭乘大眾捷運系統快速瀏覽街景及郊區風光，到處建築與樹林花木相稱，正如新加坡人所謂花園城市，捷運系統分東西及南北兩線，捷運各站均有編號，如 EW01 及 NS01 等，辨識與記憶均非常容易。

11月19日：

研討會在 Amara Hotel 之會議廳舉行，九點報到，接著舉行開幕式，由 CPG 公司總經理致詞，然後為

專題報告，上下午共四場，內容如下：

題目一：新加坡之廢棄物最少化-朝向零掩埋(Waste Minimisation in Singapore-Towards Zero Landfill)

講員：Dalson Chung

職位：新加坡國家環境局資源保護處主任工程師

題目二：再生施工法-國際透視 (Construction Process for Recycling, An International Perspective)

講員：Mr. Tom Willmot

職位：澳洲鋪面穩定處理國際公司總裁

題目三：土木工程之以化學摻料作土壤穩定處理與再生 (Soil Stabilisation/Recycling with Chemical Admixtures for Civil Engineering)

講員：Dr. Wu Dong Qing

職位：新加坡 Instek Holding 公司執行長

題目四：道路維修之現地再生工法-汶萊經驗 (In-situ Recycling Method of Construction For Rehabilitation of Road-Brunei Experience)

講員：Mr. Yong Teck Chin

職位：汶萊 Jurusy Perunding Sdn Bhd 顧問公司合夥人

11月20日：

上午三場專題報告，內容如下：

題目五：焚化爐底灰用於營建工程 (The Use of Incineration Bottom Ash for Construction)

講員：Dr. Iow Boon Hwee

職位：新加坡 Hanson 建築材料公司技術及研究部經理

題目六：再生工法之瀝青品質觀 (Binder Quality Aspects in Recycling)

講員：Dr. Christne Desmazes

職位：新加坡 Shell Global Solutions 公司瀝青部資深專案主管

題目七：再生工程之品保與品管 (QA & QC for Recycling)

講員：Mr. Kevin Quan

職位：新加坡 CPG 公司實驗室高級經理

下午舉行現場參觀，對象為聯合木業公司之木材再生工廠，該工廠業務為收集各種工業廢棄木料（如包裝箱、棧板等木料）加以再生處理生產出該公司所稱之「環保技術木」（一種人工合成木材），可經裁切成角材或板材，供房屋建築、家具、裝潢等使用。其生產流程及主要過程照片如圖 1 製圖 5 所示。

11 月 21 日：整理行李，束裝返國。

## 參、心得

本次出國主要為參加技術研討會，聽取專題演講及討論，茲將心得整理如下：

### 一、新加坡之營建廢棄物與焚化爐底灰在土木工程之應用

新加坡為高度社區化及工業化之城市國家，面積 680km<sup>2</sup>，人口 4 百萬。過去三十年，經濟高度成長，1970 年廢棄物日產量為 1,260 噸，2001 年為 7,700 噸，成長六倍。因地狹人稠，必須特別注重廢棄物管理，包括廢棄物減量、收集、再生及處置。

新加坡已發展出高效率之廢棄物處理系統，廢棄物之處理方法為焚化及衛生掩埋。在 1979 年以前，所有固體廢棄物均採用衛生掩埋，基於對土地之保護，新加坡決定減少廢棄物體積之 90%，焚化廠所產熱量用於發電，鐵金屬回收再利用。

目前國家環境局（the National Environment Agency，NEA）運轉四座焚化廠，焚化廢棄物量之 90%，燒後之底灰及不燃性廢棄物，運往 Pulau Semakau 掩埋場掩埋。掩埋場面積 350 公頃，容積 63 百萬 m<sup>3</sup> 估計可用 25 年。以目前之固體廢棄物成長率估計，每 5~7 年需新增一座焚化廠，每 25~30 年需新增一處掩埋場，這並不實際，新的作法是廢棄物減量及再生，此為廢棄物處理之長期解決方案。



環境部 (the Ministry of the Environment, ENV) 及 NEA 訂出處理固體廢棄物之三項策略：

- a) 減少運往焚化廠之廢棄物量。
- b) 再利用底灰以減少掩埋量。
- c) 減少直接掩埋之廢棄物量。

新加坡目前之廢棄物再生率為 44%，已設定 2012 年目標為 60%。

新加坡每天焚燒 7,000 噸廢棄物，產生 1,600 噸之底灰，以往底灰運往掩埋場掩埋，佔掩埋量的三分之二，若能再利用底灰可顯著減少掩埋量。鑑於部分歐洲國家及美國，已成功地將底灰作為道路工程之填土、基層材料及瀝青底層，在荷蘭幾乎 100% 之底灰全用於道路工程及填土。新加坡已結合政府單位與民間公司成立一專案小組處理底灰用於道路工程問題，鋪築一試驗道路並追蹤觀測其環境品質及工程績效。

新加坡掩埋場掩埋量的三分之一為不燃廢棄物，而其主要成分為營建及拆除廢棄物 (construction and demolition, C&D) 及爐渣，新加坡正進行移作道路路面材料。

營建工程在規劃及設計階段之詳細考慮可減少或避免產生營建廢棄物，施工階段之適當管理亦可減少廢棄物產量，新加坡採用方法包括：

- (1) 預鑄化、標準化及重複使用，減少廢棄物產量。
- (2) 木模改用金屬模，減少廢木料。

(3) 環境管理度，包括在工地作廢棄物分類及工人教育等。

2001 年，新加坡產生 351,300 噸之 C&D，其中有 85% 經再生利用，主要作為施工便道材料，2012 年之再生率目標為 90% 用於生產高附加價值營建材料之骨材。作法如下：

(1) 設置 C&D 再生設備：已核准在 Sarimbun 再生園區設置四所再生工廠。其中一所已開始再生處理混凝土預拌廠之廢棄混凝土，有二所即將開始再生處理 C&D，另一所亦將於明年開始再生處理 C&D。

(2) 以二手骨材製造預鑄件：以再生骨材製造產品將閉合再生環圈，目前已開始試用二手骨材 (secondary aggregate) 生產預鑄混凝土排水鑄件。

(3) 沈泥再利用：營建工地常挖出大量軟弱沈泥，目前正執行一先驅計畫，將軟弱沈泥作穩定處理，轉化成有用材料。

## 二、營建再生施工法之發展現況

### 2.1 土壤穩定處理

此次研討會把土壤穩定處理列為營建再生施工法之一部分，把傳統工程上歸列為需運棄之「劣質土壤」改良提升成「可用土壤」，為一種減少廢棄物方法。

土壤穩定處理工法係在土壤中添加摻料，以增進土壤之工程性質，可適用於土壤、碎石及卵石等大部分材料。土壤

穩定處理通常在工地施作，亦可在中央處理廠作業。穩定處理係直接將工地現成之不良材料變成可用，而不需由別處運進符合要求之材料。穩定處理工法可應用於新建工程及養護工程，鋪面採用穩定處理工法再生可比傳統翻修施工節省約 40% 成本。

穩定處理工法具以下效益：

- 經濟。
- 對廣泛材料有效。
- 施工快速。
- 節省能源。
- 環保。
- 減少對水之敏感度。
- 施工可靠。

穩定處理工法考慮之基本因素如下：

(一) 材料面

1. 土壤：級配、性質、含水量、有機質含量。
2. 水：品質、量。
3. 摻料：設計準則、使用種類、添加量。

(二) 施工面

1. 準備：平整控制、標示、耙鬆。
2. 添加摻料：添加方法、添加量、均勻度。
3. 拌和：設備、深度、均勻度、加水量。
4. 壓實：含水量、密度、設備、滾壓方式。
5. 整平：平整控制、橫斷面、平坦度。

6. 養治：依需要辦理。

穩定處理可增進土壤以下性質：

1. 體積穩定性：穩定處理可使土壤較不受含水量影響其體積變化。
2. 強度：穩定處理可使土壤粘結及減少對水之敏感度，因而增進承載力。
3. 水密性：穩定處理可使土壤透水率降低，減少水份滲入路基。
4. 耐久性：穩定處理可使土壤少受環境影響及粘結土粒，因而提升耐久性。

## 2.2 穩定處理設備

土壤穩定處理已經發展出各種專用設備，可以快速大量施工，常用設備如下：

1. 摻料搬運及灑布機：分乾粉、漿體及液體摻料三種。
2. 拌和機：馬力分 250HP 以下、350HP 以下及 500HP 以上三級，最深可一次拌和 400mm 厚度。
3. 刮平機。
4. 壓實機。
5. 洒水車。

## 2.3 穩定處理劑

有以下穩定處理劑可供選用：

1. 級配粒料：用於改善級配不良之現地材料。
2. 石灰：可用生石灰或熟石灰，用於處理黏性土壤，添加少量可使土壤易於打碎及略增強度，大量添加

可增進彈性模數及強度。

3. 水泥：使用最廣，可凝聚土壤顆粒增進強度，常用於顆粒性材料，亦可與石灰合用於黏性土壤。需謹慎決定添加量，若僅一薄層而強度太高反而有害於路面。
4. 爐渣粉（爐石粉）：為一種卜作嵐材料，需要石灰促進反應，其效用類似水泥，但水合速度緩慢很多，也因此適合於厚層之穩定處理。
5. 飛灰：其效用類似爐渣粉，亦需要石灰作為促進劑。
6. 乳化瀝青：適用於低塑性土壤、級配粒性及砂土。瀝青可粘結土壤、防水及增進強度。
7. 泡沫瀝青：泡沫瀝青係添加少量水於熱瀝青，在發泡機中發泡，並立即與土壤拌和，泡沫瀝青可適用於低塑性土壤、級配粒料及砂土，比乳化瀝青有利之條件為可立即滾壓，且不需養治即可開放交通。
8. 聚合物（polymer）：聚合物在土壤中產生物理作用，因無粘結作用，故以聚合物穩定處理之土壤可保持柔性且隨時可再工作，聚合物可減少土壤對水之敏感度，進而增加強度。

常用穩定處理劑之選擇可參考表 1。

表 1. 穩定處理劑之選擇原則

土壤 PI	25%以上通過 75 $\mu$ m 篩			小於 25%通過 75 $\mu$ m 篩		
	PI<10	PI = 10~20	PI>20	PI<6	PI=6~10	PI>10
水泥	V	?	X	V	V	V
石灰	?	V	V	X	?	?
瀝青	V	?	X	V	V	?
乾粉聚 合物	V	V	V	X	?	V

符號說明：V-通常適用，?-不確定，X-通常不適用

#### 2.4 水泥穩定處理

水泥穩定處理為最成熟方法，可低成本改善現地材料提高承载力，可用卜特蘭水泥或混合水泥，水泥穩定處理可減低土壤對水之敏感度及粘結顆粒材料增加抗張強度，進而提高承载力。水泥穩定處理分改善 (modified)、輕粘結 (lightly bound) 及重粘結 (heavily bound) 三等級。改善 (modified) 係添加少量水泥，主要用於減低土壤對水之敏感度及增加抗剪強度，對彈性模數及強度之增加不明顯。粘結材料 (bound material) 要添加較大量水泥，分輕量與重量，其七天無圍抗壓強度 (UCS) 可達 1.7Mpa。

#### 2.5 石灰穩定處理

黏土之施工常感困難，石灰穩定處理可快速使黏土乾燥、降低塑性、提高工作性及方便滾壓，經處理之路基黏土可升格為基層用料，減少運進材料。石灰穩定處理可適用於

有機質含量少於 3% 之黏土，PI 小於 10 之黏土通常效果不佳。石灰穩定處理之七天（持續濕治）之無圍抗壓強度（UCS）要求為 0.7~1.5Mpa，CBR（七天濕治，四天泡水）>50，大部分之黏土添加 4.5% 之石灰可符合要求。石灰穩定處理路基可用一般柔性鋪面設計法，處理厚度不宜少於 150mm 最大厚度決定於拌和及滾壓設備之能量。

## 2.6 土壤之化學摻料穩定處理

土壤之化學穩定處理可以適用於大部分種類之土壤及營建廢棄物，加以改進使其具有較高技術標準而可用於工程。土壤穩定處理及再生採用化學穩定劑（化學摻料）具有以下優點：

1. 化學穩定材料具較高強度，且強度可調整到符合不同之設計要求。
2. 穩定材料具良好之體積穩定性及低透水性。
3. 大部分土壤及營建廢棄物均具適用之化學穩定劑。
4. 化學穩定處理施工簡單快速，穩定材料品質可靠。

化學穩定劑之化學反應包括膠結作用（cementation）、水合作用（hydration）、離子交換作用（ion exchange）、結塊作用（flocculation）、沈澱作用（precipitation）、聚合作用（polymerisation）、氧化作用（oxidation）、碳化作用（carbonation）等，其中膠結作用為工程技術上最廉價且最容易之方法。最常使用之化學穩定劑為水泥、改良膠結化學品、石灰、瀝青、樹脂、飛灰等。其中之改良膠結化學品為東南亞區域新引進材料且已相當成

熟應用，Chemilink SS-108（土壤穩定劑）及 Chemilink SS-111（石子穩定劑）較普遍使用，分別進一步說明。

Chemilink SS-108：為係粉狀，適用於穩定處理熱帶地區及環境之砂土及粉土，其主要作用如下：

1. 可粘結土壤顆粒，改進土壤吸水後之強度，增進路基承載力。
2. 構成半固體版具相當抗張強度，可減少沈陷量。
3. 可減少壓縮性及透水性，降低膨脹、收縮及滲流。
4. 改進長期性能。

Chemilink SS-111：為粉狀，適用於穩定處理碎石及礫石，除具 Chemilink SS-108 功能外，尚具三項額外功能：改進柔性、增進強度到中等程度、及具抗收縮龜裂能力。表

2. 為代表性試驗結果。



表 2. 聚合物穩定處理代表性試驗結果

產品	UCS (MPa)		工地 CBR (%)	壓實 度(%)	平版載重 K (MPa/m)
	泡水 4 日	不泡水			
基層砂土摻 2.5 %Chemilink SS-108	1.3	1.62	81.25	97	784
底層碎石摻 1.5 %Polyroad	1.19	1.52	184.2 6	99	544

### 三、芟萊道路維修之現地再生工法

芟萊道路工程司常須面臨處理軟弱路基土壤及不適用路基土壤之問題，採用穩定處理改進軟弱土壤為一種可行方法，拌入適當之化學摻料可改善土壤使之適用於道路工程，採用穩定處理需兼顧所設計鋪面之成本、強度及耐久性。穩定處理可使用於，改善路基、基層及底層，可因而減少所需碎石底層之厚度，化學摻料可拌入不良之骨材中，提高承载力、增加勁度及提高抵抗疲勞破壞之能力。穩定處理劑分液體及粉體兩大類，最常使用者為粘結劑，如卜特攔水泥、蕭石灰、石灰-飛灰及瀝青。改良型聚合物粘結劑亦逐漸普及，相對於其他粘結劑，聚合物粘結劑具無龜裂及增加鋪面柔性之優點。

在艾萊除使用水泥作穩定處理外，Chemilink SS108 之化學粘結劑已普遍使用於穩定處理路基材料，另外三種聚合物粘結劑（Chemilink SS111、Polyroad 及 Renolith）使用於穩定處理道路底層。

在艾萊，由於土壤帶酸性，土壤水泥混合物有耐久性問題，石灰及飛灰-石灰不易取得，自 1995 年起引進 Chemilink SS108 之化學粘結劑以穩定處理路基土壤。在艾萊，缺乏品質良好之底層用石材，故常以當地可取得之礫石，拌以水泥或聚合物改進承载力，以作為底層或基層之用。1995 年開始第一件試鋪計畫，採用水泥穩定處理路基，其設計無圍抗壓強度（UCS）為  $5.0 \pm 0.5 \text{Mpa}$ ，至今尚無結構性破壞，但完工後 6-12 個月，瀝青混凝土面層出現收縮及膨脹龜裂。尚無簡單方法可完全消除水泥穩定處理之收縮龜裂，但適當之設計與施工可以減少此項問題。濕治時間越長，收縮量越小。水泥用量高，龜裂之間距較長。

穩定處理劑之製造與應用均需適當之品管，穩定處理劑應按製造商之要求正確儲存，以工地實際材料樣品及穩定處理劑作配比設計。鋪築時須定期辦理托盤試驗(tray test)以確認穩定處理劑均勻灑布。托盤試驗係以尺度約  $50 \times 40 \times 5 \text{cm}$  之金屬淺盤置於預定灑布穩定處理劑之地面，與地面一齊灑布，稱取灑布前後之淺盤重量，即可換算出單位面積之灑布量。每一層處理需確認其處理深度，以確認全層均經處理。處理完後，需適當取樣確認其強度。應

特別注意須待足夠強度才能開放交通，通常在處理完成後在經養治七天開放交通。

在艾萊，已有數條道路採用水泥穩定處理現地材料以整修道路，相對於傳統工法，這種現地再生工法可節省成本約30~50%，但常在完工後6~12個月出現縱向或橫向裂縫，或縮收龜裂。有以下方法可減少龜裂之產生：

1. 減少水泥用量，水泥穩定處理路基及基層之 UCS 由 3.0-6.0MPa 調整為 1.5-3.0Mpa。
2. 處理層給予預設裂縫 (pre-cracking) 可減少龜裂線。
3. 採用複合層設計 (composite layers design)，例如在水泥處理之基層上鋪築無處理之底層，該底層可提供緩衝作用，使基層之裂縫不致貫穿路面。

#### 四、焚化爐底灰用於營建工程

垃圾焚化爐燃燒固體垃圾後會在底部產生固體殘留物稱為焚化爐底灰 (Incineration Bottom Ash, IBA)，新加坡所產 IBA 成分如下：

1. 含水量 > 25%。
2. 玻璃。
3. 陶瓷。
4. 骨材、磚塊、混凝土。
5. 灰燼。
6. 鐵金屬。
7. 非鐵金屬。

### 基本物理性質：

統體比重：細料 1.5~2.2，粗料 1.9~2.4。(相對於一般砂石料之 2.6~2.8 為質輕)

吸水率：細料 5~17%，粗料 4~10% (相對於一般砂石料之 <2% 為高吸水率)。

含水量：>20% (老化前)

級配：50~60% 通過 4.75mm 篩。2~15% 通過 0.075mm 篩。

### 化學成分：

矽：16~21%。

鈣：7.15~7.69%。

鐵：2.11~9.35%。

鎂：1.05~1.18%。

鉀：0.84~1.02%。

鋁：4.77~5.55%。

鈉：3.51~4.10%。

### 工程性質：

CBR：90~155% (CBR 值高，可作道路基底層用)。

摩擦角：40~45°。

最高乾密度：1710~1760kg/m<sup>3</sup>。

細料含量高。

性質類似石灰處理之底層材料。

### IBA 之處理：

1. 分離飛灰與爐灰，減少細料含量。
2. 移除金屬成分。

3. 減少有機質含量。

4. 老化處理使其提前完成水合作用之化學反應，減少體積膨脹。

IBA 在瀝青混凝土之應用：

取代 AC 之部分骨材，主要為係骨材部分，曾有用到 50% 之紀錄，為一般單位限制 15~25%。1970~1996 年間，美國聯邦公路總屬曾辦過數件試驗道，變數包括 IBA%、添加與未添加石灰、底層與面層。

面臨之問題：

1. 高有機質含量。
2. 高吸瀝青率。
3. 高含水量。
4. 易阻塞 AC 廠之吸塵袋。
5. AC 路面易鬆散及剝離（玻璃含量高）

IBA 在預鑄混凝土之應用：

IBA 可取代預鑄混凝土及預鑄磚之部分骨材，已有研究成果顯示所生產預鑄磚之抗壓強度可達 4.8 N/mm<sup>2</sup>，抗彎強度可達 0.8 N/mm<sup>2</sup>，取代砂量可達 30%。若 100% 用 IBA，其單位重約 1900kg/m<sup>3</sup>，相當輕質。研討會場亦展出混凝土再生骨材及再生混凝土製品之樣品。

IBA 之應用現況：

美國：大部分做為掩埋場之覆蓋材料。計畫做為道路工程材料。

歐洲：大部分用於營建工程，主要做為道路底層材料。

荷蘭：由於缺乏天然骨材及掩埋空間，自 1988 年起，幾乎所有 IBA 都用於營建工程。

丹麥：有 50% 用於營建工程。

法國：已成功的將 IBA 用於營建工程。

英國：1998 年設立 IBA 處理廠，主要作為掩埋場之覆蓋材料或道路底層。

日本：研究將 IBA 用於 AC、PCC 及道路底層。

新加坡：以往 100% 運棄於掩埋場，配合環境局之零掩埋計畫，正轉移用途，正試辦做為道路基層及底層。

## 五、再生工法之瀝青品質

瀝青路面經使用一依段時間後會逐漸損壞，損壞的因素很多，但都和瀝青之老化有密切關係，所謂瀝青老化 (ageing) 為瀝青經加熱拌和及鋪築於路面受陽光照射及氧化等環境影響，使瀝青逐漸變硬變脆失去彈性。其主要因素如下：

1. 氧化變硬 (oxidation hardening)：瀝青因空氣、陽光和溫度產生氧化作用而逐漸變硬。
2. 揮發變硬 (evaporative hardening)：瀝青因較輕質部分揮發喪失而逐漸變硬。
3. 滲出變硬 (exudation hardening)：瀝青因較輕質部分被骨材吸收而逐漸變硬。

在施工過程之加熱拌和及鋪築程序中，瀝青亦會變硬，這是必須的過程，其變硬之程度與拌和溫度及瀝青含量有關，以下資料可供參考：

拌和溫度（針入度 40/50 瀝青）：

1. 以 160°C 拌和：針入度殘留 66%。
2. 以 200°C 拌和：針入度殘留 59%。

瀝青含量（針入度 40/50 瀝青，拌和溫度 160°C）：

1. 瀝青含量 5%：針入度殘留 66%。
2. 瀝青含量 6%：針入度殘留 72%。

瀝青在路面之老化與混合料狀況及環境有關，其相對關係如下：

1. 氣候影響：高溫度-老化快。
2. 混合料空隙：高空隙率-老化快。
3. 瀝青性質：高 RTFOT-老化慢。
4. 瀝青含量：高瀝青含量-老化慢。
5. 骨材孔隙率：高孔隙率-老化快。

瀝青主要由 saturates、aromatics、resins 及 asphaltenes 四種成分組成，在老化過程中各成分之比例及膠狀體平衡（colloidal balance）產生改變，主要為增加 asphaltenes 之含量比例（參見圖 7.）

瀝青老化後之再生目標如下：

1. 恢復瀝青之適當粘彈性，實務上為恢復針入度。
2. 恢復瀝青之膠狀體平衡（colloidal balance）

瀝青再生工法分類如下：

熱拌再生	拌和廠再生	
	現地再生	厚度<60mm
冷拌再生	拌和廠再生	
	現地再生	厚度<300mm

現地再生工法之優缺點如下：

● 優點：

1. 可 100% 再生。
2. 一次作業完成。
3. 有些設備可同時加鋪一新層。
4. 與底層粘結良好。

● 缺點：

1. 僅能處理表面瑕疵，厚度小於 6cm。
2. 品管比較困難。

拌和廠再生工法之優缺點如下：

● 優點：

1. 可再生所需之厚度。
2. 各層均可再生，不侷限於表面。

缺點：

1. 拌和廠需重新改裝使適合再生作業。

## 六、再生工程之品保與品管

再生工程必須建立適當之品保與品管制度，考慮之因素如下：

1. 再生材料之性質。



2. 再生產品之性質。
3. 再生產品之應用。
4. 不良品質之影響。

再生材料之試驗應考慮以下因素：

1. 瞭解原材料特性與性質。
2. 瞭解其規範要求。
3. 瞭解其效能要求。
4. 測試對象應包括再生半成品及完成品。

典型之品保與品管作業如下：

1. 基本特性試驗。
2. 效能試驗：短期試驗、長期試驗及工地追蹤觀測。
3. 特殊考慮：環境污染及安全性。

瀝青再生：

瀝青之特性由針入度、軟化點及粘度聯合展現，老化、環境條件及再生作業過程均會影響其性質。再生前後均應加以試驗，以顯示其變化及作必要之調整。再生瀝青應經檢測以確保符合規範，通常試驗項目包括馬歇爾試驗、間接抗張試驗及回彈模數試驗等。

採用再生材料除一般材料性能之外，應加強注意毒性、溶出液性質、短期及長期效能。

## 肆、建議

一、台灣天然資源及空間相當有限，公路工程之鋪面工程

部分必須耗用大量土壤及級配料等天然資源，這些天然材料已非常短缺。路基土壤承载力不足時通常採用鋪築數十公分厚之級配料基層或底層，這些材料目前大多未經穩定處理直接使用，其效能較低，宜推廣採用穩定處理土壤及級配料提高強度及其他品質特性，以增加附加價值、經濟利用次級品及減少級配料需求量，將生產級配料之高品質石材留供生產需要較高品質之混凝土骨材之用。

二、土木工程強調「就地取材」及「經濟使用」，尤其如土壤及骨材等天然材料更是如此，國內為求方便，甚少自行研發材料規範，而多參採國外規範（係配合國外當地狀況所發展），常有水土不服狀況，今後宜多注意本土材料調查，據以制訂合用規範，以便工程單位能有效使用。

三、國內垃圾普遍採焚化爐為未來趨勢，焚化爐底灰目前仍運往掩埋，新加坡已參考歐美先進國家將底灰加以處理，提供作為道路基底層材料，國內將來勢必採行。由資料顯示國內目前所產焚化爐底灰之燒失量偏高（達 10% 以上），顯示燃燒不完全，若要作工程使用需要控制其品質，並應注意其重金屬含量及溶出物毒性等之控制。

四、以往工程規範常限定使用新品，在講究資源永續利用之今天必須調整策略，應該改採「適材適用」，只要效能合用不必限用新品。營建廢棄物（包括拆除之混凝

土、磚塊)經過適當軋碎及除塵，可作為道路基底層材料或混凝土骨材，具相當經濟價值，國內已有若干研究在進行，但推廣速度相當緩慢，且多僅止於研究單位進行，宜擴大至工程單位參與較能實用化。再生材料可以達到與新料之相似品質水準，生產及運用再生材料需有比傳統用新料更高之技術水準及更嚴謹管理，工程單位宜注意採用再生材料趨勢，盡早準備相關規範及培養相關技術。

五、新加坡各捷運站採用英文及數字編號系統，在圖面及車站標示容易，乘客不知站名亦能輕易記憶及搭乘，並且可以快速預估需經站數，相當方便，我國正在推動觀光客倍增計畫，各火車站及捷運站若能比照採行編號，必然有相當助益。

# Process of Production

## 再生木材生產流程

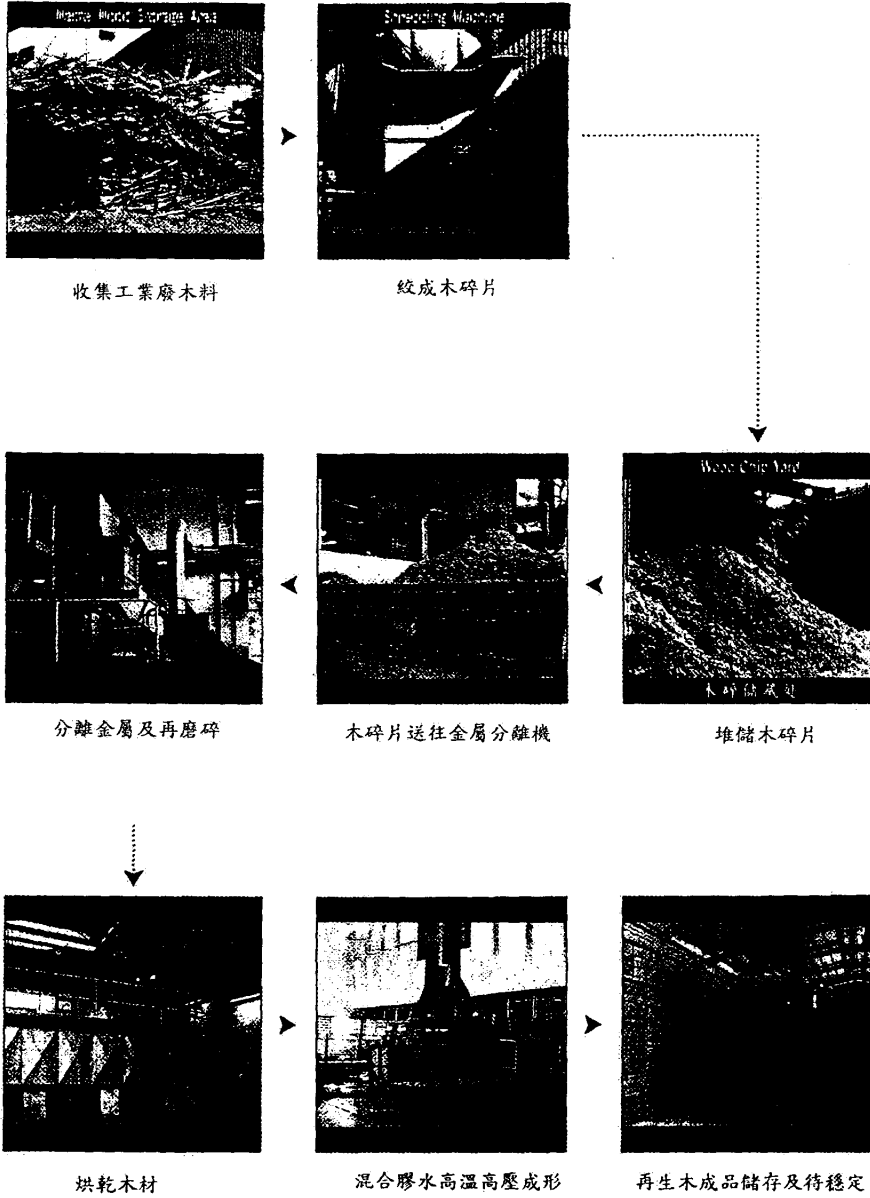


圖 1. 再生木材生產流程圖

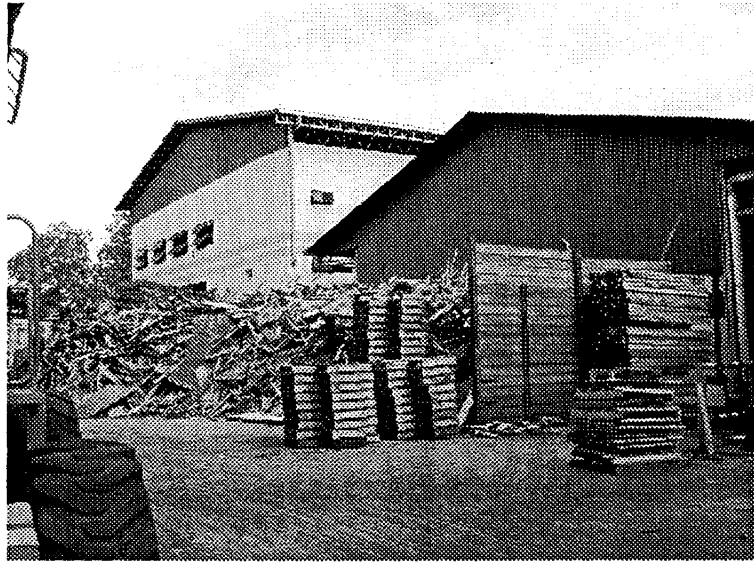


圖 2. 廢木料堆

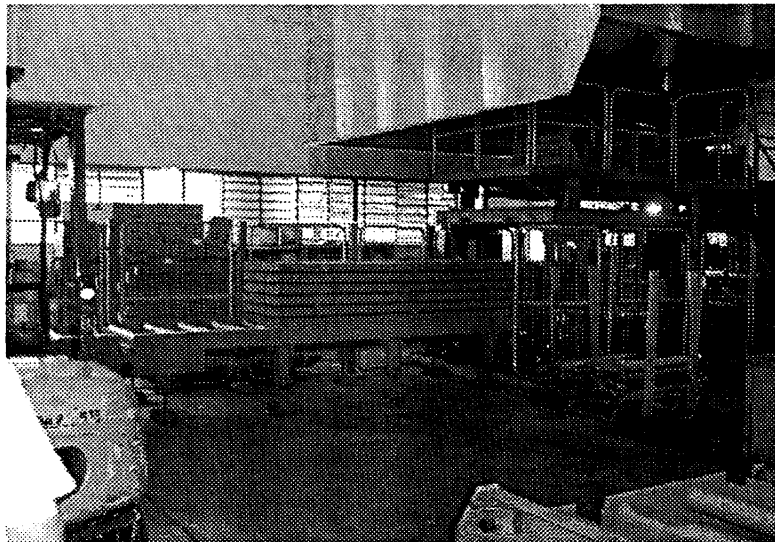


圖 3. 再生木料機

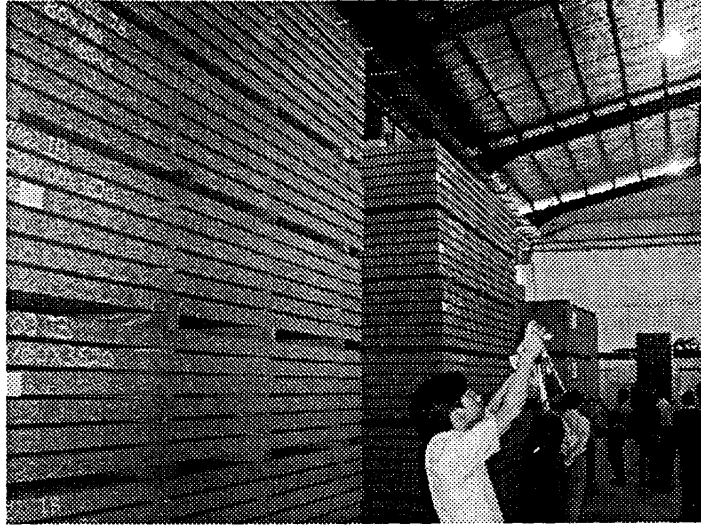


圖 4. 再生木料成品

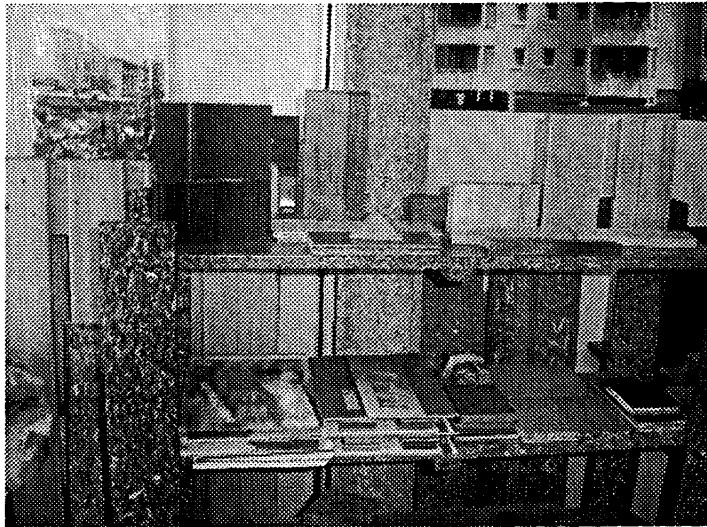


圖 5. 再生木料製品

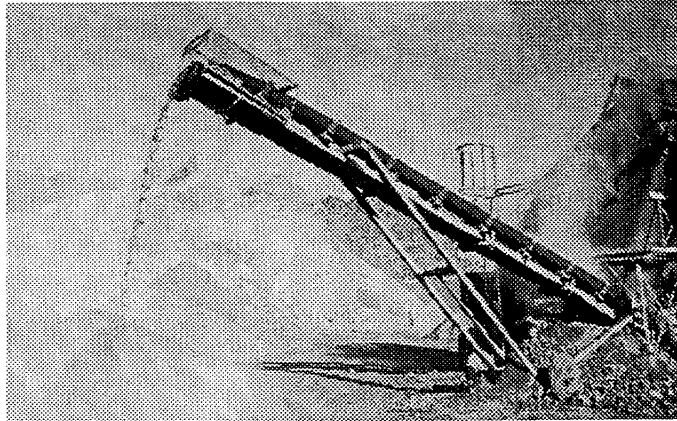


圖 6. 焚化爐底灰篩分處理

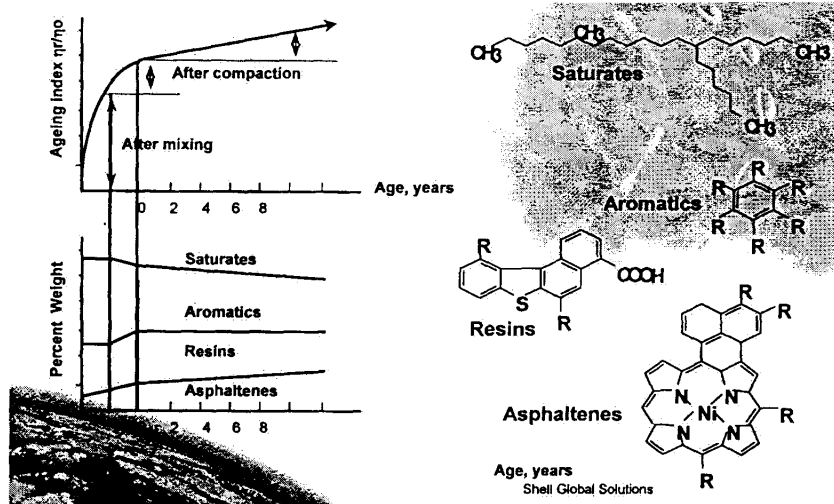


圖 7. 瀝青老化過程

## 同意書

本人同意九十一年十一月十七日執行因公出國計畫「赴新加坡參加土木工程營造回收技術研討會」所完成出國報告書，其著作財產權歸屬中華民國（代表機關：行政院研考會）

立同意書人：陳式毅

身分證統一編號：J100143161

地址：台北縣新莊市新泰路211號

中華民國九十二年二月十七日