

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

含垃圾焚化底渣瀝青混凝土之工程與環境性質研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-216-025-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

計畫主持人：邱垂德

計畫參與人員：余振緯、劉嶺億

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 18 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

含垃圾焚化底渣瀝青混凝土之工程與環境性質研究 Physical and Environmental Properties of Asphalt Mixtures Containing Bottom Ash from MSW Incineration

計畫編號：NSC94-2211-E-216-025

執行期限：94年8月1日至95年7月31日

主持人：邱垂德 中華大學土木與工程資訊學系

電子郵件信箱(E-mail)位址：ctc@chu.edu.tw

一、中文摘要

焚化底渣經適當處理後，物理性質接近天然砂石粒料，國內外雖有以其取代瀝青混凝土部份細粒料之研究，但缺乏不同取代量瀝青混凝土工程性質之變化數據，也較少有環境相容性的分析探討。本研究參考國內外文獻，採用經處理後的焚化底渣 (treated ash aggregate)，以不同百分比替代瀝青混凝土骨材，用傳統馬歇爾試驗觀察相關工程性質之變化，並進行抗水侵害與輪跡車轍試驗等成效評估；在環境相容性方面則以實驗室及戶外兩種淋洗試驗，檢測溶出水樣之重金屬濃度和水蚤毒性，據以評估含垃圾焚化底渣瀝青混凝土對環境的可能影響。研究結果顯示，以處理過的焚化底渣取代部份骨材時，需提高瀝青用量，每增加 25% 底渣約需多加 1.0% 瀝青用量；因吸油率隨底渣添加量增加而提高，使有效瀝青量明顯降低，伴隨粒料顆粒遭夯錘夯碎，致出現馬歇爾流度值過高及粒料間孔隙不足等問題；抗車轍能力隨底渣用量增加而大幅降低。分析上述原因，可能受底渣中的鹼性鹽類影響，以 AASHTO T283 方法，求得之間接張力強度比值，反而有隨底渣含量增加而提高的趨勢。本研究進行焚化底渣戶外淋洗水樣之水蚤毒性判定為極毒性；經瀝青膠泥包裹之焚化底渣，其重金屬溶出濃度及水蚤毒性皆有降低趨勢；另，以馬歇爾試體進行 NCHRP 平板溶出試驗 (plate leaching)，經檢測 10 天內收集水樣，顯示重金屬濃度

則更低，水蚤毒性也降為無毒性。

關鍵詞：焚化底渣、瀝青混凝土、滲出液、重金屬濃度

Abstract

This study investigates both the physical and environmental properties of asphalt mixtures using different amount of incinerator bottom ash (IBA) as fine aggregate substitution. The Marshall mix design method was used to determine the design asphalt content and to evaluate the potential performance of these MSWIBA mixtures. Water sensitivity and wheel track rutting were also performed on these mixtures. Leachates, from both laboratory and outdoor leaching tests, were performed to measure the concentration of selected heavy metals and the level of daphnia toxicity. While the MSWIBA mixtures had adequate Marshall stabilities, the MSWIBA mixtures were shown to have excessively high Marshall flow and excessively low VMA. The results of the wheel tracking tests also indicated that the MSWIBA had low rutting resistance. The results of the water sensitivity test according to AASHTO T283 procedure showed that the MSWIBA mixtures had a higher tensile strength ratio (TSR) as compared with the conventional mixture. Outdoor leaching tests showed that MSWIBA had a high level of daphnia toxicity. However, after being mixed with

asphalt binder, the levels of heavy metals concentrations and daphnia toxicity were significantly reduced. The results of 10-day flat plate leaching tests on Marshall specimens containing MSWIBA indicated that the heavy metal concentrations were undetectable and the daphnia toxicity was ineffective.

Keywords: incinerator bottom ash, asphalt mixture, leachate, heavy metal concentration

二、緣由與目的

環保署於 2004 年提出「環境保護三年行動計畫-垃圾全分類零廢棄」政策，除了以垃圾分類促進資源回收外，亦加強推動焚化底渣再利用，使焚化底渣資源化，以達到零掩埋的目標；20 座運轉中垃圾焚化廠每年產出的 80 萬公噸焚化底渣的處理，未來將以資源化再利用為主。經適當篩分處理的焚化底渣已接近砂石粒料，以往雖有用以取代瀝青混凝土部份細粒料的研究，但缺乏不同焚化底渣含量之瀝青混凝土的工程性質變化數據，也較少與環境衝擊相關的重金屬滲出量或生物毒性數據，故垃圾焚化底渣再利用於瀝青混凝土是否符合工程經濟效益？又會否對環境造成二次污染？則尚未有明確的數據資料佐證。本研究參考國內外文獻，用具代表性的處理後垃圾焚化底渣，取代不同百分比的瀝青混凝土細骨材，以傳統馬歇爾試驗觀察相關性質的變化，並嚐試進行抗水侵害與車轍輪跡試驗等成效評估；在環境相容性方面則以實驗室及戶外兩種淋洗試驗，檢測溶出液之重金屬濃度及水蚤毒性，據以評估含垃圾焚化底渣瀝青混凝土對環境的可能衝擊，以便在擬訂焚化底渣資源再利用流向時，可以有相關資料進行工程經濟效益與環境風險間衡量評估。

有關垃圾焚化底渣於瀝青混凝土中取代部份骨材的研究，美國早在 20 幾年前，即有部份的試鋪案例在美國聯邦公路局 (Federal Highway Administration, FHWA) 主辦下執行(TFHRC, 1997)，根據報告顯

示，在這些試鋪案例中，大部份成效良好，僅有一案例在一年內即出現剝脫情形，對於某些燒失量較高的混合灰渣(燒失量超過 10%)，在瀝青拌合廠的生廠過程中，會有吸油不均產生的不均質現象(Collins et al., 1977; Haynes et al., 1975)，且因灰渣的含水量較高，拌合溫度不容易控制，又因吸油率較高，必需添加較多的瀝青，則有可能不經濟。一般建議值是，用於面層可取代 10~25%的天然骨材，用於底層可取代 50%的天然骨材(TFHRC, 1997)。因為底渣中含約 20%至 30%的玻璃，可能產生浸水剝脫等耐久性問題，底渣添加量較高的瀝青混凝土不宜用在高交通量道路的面層。

1992 年運輸研究報告中(Gress et al., 1992)，探討瀝青對底渣的包覆效果，經由批次溶出試驗驗證瀝青包裹對底渣中的鹽類具有抑制滲出的效果，且以底渣取代部份骨材拌製的瀝青混凝土，可以符合新罕布夏(New Hampshire)州運輸部之相關規範。美國雖在 20 年前就已進行應用垃圾焚化底渣於瀝青混凝土之研究，但現今卻沒有很大的進展，除了美國有較大的掩埋面積可供選擇外，由於大部份仍為混合灰渣，各工程單位對使用重金屬含量較高的焚化底渣，會有可能滲出產生對環境造成二次污染的顧慮也是主因，對於添加焚化底渣瀝青混凝土之重金屬溶出可能性，國內似乎尚無完整的研究。

評估固體廢棄物毒性之方法，除了以真實的環境長期蒐集可能污染物的流佈狀況外，尚可以試驗室內之溶出試驗或戶外的溶出試驗進行模擬，美國國家型公路研究計畫(National Cooperative Highway Research Program, NCHRP)建議在實驗室內以平板溶出試驗(Flat Plate Leaching Test)模擬瀝青混凝土面層材料中污染物的滲出潛勢 (Nelson et al., 2001)。平板溶出試驗是在固定面積時物質通過固/液界面固定流速下(以 $\text{mg}/\text{cm}^2\text{-hr}$ 為單位)求出的溶出率，該試驗之樣品建議採用 50 下之馬歇爾試體，試驗時間為 7 天。至於滲出水樣的毒性檢測方法，則除了以原子吸收光譜儀檢測污染物的濃度外，亦可採用生物毒性試

驗法進行。

本研究取自北部某底渣處理廠不加藥、不水洗的底渣，篩出通過#4 篩以下的部份，除了基本性質的檢測外，進行如圖 1 的工程性質檢測，及圖 2 的環境性質檢測，並進行試驗數據之分析與討論。

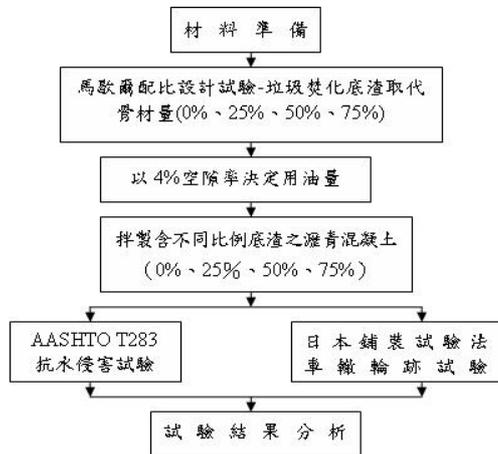


圖 1 本研究工程性質評估方法流程

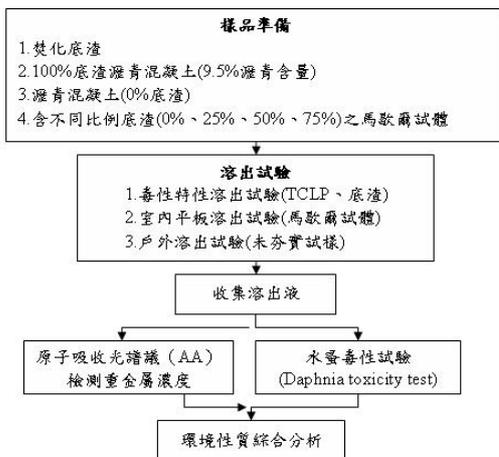


圖 2 本研究之環境性質評估方法流程

三、結果與討論

綜合本研究的成果，可歸納出下列八項結論供後續研究參考。

1、本研究之焚化底渣樣品符合 ASTM D1073 中瀝青混凝土用細骨材第四類之規定，但烘乾虛比重約為 1.85、吸水率高達 15%，#8 篩以上顆粒用肉眼可區分約有 50% 為玻璃質顆粒且有少許金屬，經檢測 pH 值約為 12。若經

水洗製程，則通過#200 號篩約為 3%，烘乾虛比重可提高至 2.28，吸水率約降至 6%，pH 值降至約為 10。

2、含焚化底渣瀝青混凝土之單位重、穩定值、流度值、孔隙率、粒料間孔隙等馬歇爾性質，與含油量間的關係與傳統瀝青混凝土類似，但欲達到每面夯打 50 下試體 4% 孔隙率所需之瀝青添加量，則由 0% 底渣含量之 6.5%，呈線性增加至 75% 底渣含量之 9.5%，亦即每加 25% 底渣約須多加 1.0% 瀝青量。

3、因底渣含有大量多孔顆粒，含底渣瀝青混凝土之吸油率隨底渣量增加而大增，故有效瀝青量則由 4.8% 降至 2.4%，且又伴隨有可能是粒料顆粒遭粉碎而使馬歇爾流度值過高及粒料間孔隙不足等問題，含底渣瀝青混凝土之車轍深度明顯高於控制組，且隨底渣含量增加而持續惡化，75% 底渣含量之瀝青混凝土則在輪跡試驗執行 30 分鐘內車轍深度超過 20mm 而必須停止試驗。

4、以 AASHTO T283 方法求得間接張力強度比值，反而有隨底渣含量增加而提高的趨勢，代表含底渣瀝青混凝土抗水侵害較佳，尚須現地實際鋪築之成效認定。

5、本研究之焚化底渣 TCLP 溶出液之重金屬濃度，皆低於「有害事業廢棄物認定標準」，經瀝青包裹之焚化底渣，pH 值降低情形並不明顯，但重金屬濃度則有明顯降低趨勢。以荷蘭焚化底渣使用之污染物釋出最大容許值評估，實驗室淋洗之重金屬鎘與鉻超出荷蘭之標準值。

6、焚化底渣戶外淋洗之水蚤毒性 LC₅₀ 約為 23%，屬於極毒性，但以瀝青包覆之焚化底渣之 LC₅₀ 則提高至 63%，降為中毒性；檢測以馬歇爾試體用平板溶出試驗 10 天之水樣，水蚤毒性 LC₅₀ 則都超過 100%，判定為無毒性。

7、處理底渣製程中如增加水洗程序，可大量降低底渣的 75 μ m 以下顆粒量及

吸水率，並大幅提高底渣的稜角性，以經水洗後底渣，用 20% 細粒料取代量拌製之瀝青混凝土，可以符合瀝青混凝土馬歇爾性質之規定，推論重金屬溶出及生物毒性的風險也將隨之降低，但處理廠將因而增加污水處理的問題。

- 8、綜合本研究環境性質檢測結果，在正常狀況下，只要是通過 TCLP 濃度管制標準而允許再利用的底渣，應用在瀝青混凝土路面，產生二次污染的機會不大。但若是工程性質未適當控制，則除了工程經濟效益打折外，路面破壞後底渣曝露的狀況下，則有造成環境危害的可能，建議後續研究進行評估。

四、計畫成果自評

本研究之執行，提供中華大學土木工程學系兩位碩士班研究生進行論文研究，並順利完成(蘇育立，含垃圾焚化底渣瀝青混凝土之工程性質研究，及高永駿，含垃圾焚化底渣之環境性質研究)；部份研究成果也發表在國內 2005 第十三屆鋪面工程學行研討會，及 2005 第二十屆廢棄物處理技術研討會，供國內工程及環保相關單位參考。本研究之成果經與臺大環工所的相關研究整合後，撰寫的論文 Physical and Environmental Properties of Asphalt Mixtures Containing Incinerator Bottom Ash 亦經 Journal of Hazardous Materials 接受發表，已達到申請人原欲達到的目的。

五、參考文獻

- [1] The Turner-Fairbank Highway Research Center- Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, <http://www.tfhr.gov>, "User Guidelines for Waste and By-Product Materials in Pavement Construction," pp.10-1~10-26 (1997).
- [2] Collins, R. J. and R. H. Miller, "Technology for Use of Incinerator Residue as Highway Material," Federal Highway Administration, Report No. FHWA/RD-77/151 (1977).
- [3] Haynes, J. and W. B. Ledbetter, "Incinerator Residue in Bituminous Base Construction. Federal Highway Administration," Report No. FHWA/RD-76-12 (1975).
- [4] David Gress, Xishun Zhang, Scott Tarr, Ingrid Pazienza, Taylor Eighmy, "Physical and Environmental Properties of Asphalt-Amended Bottom Ash," Transportation Research Record 1345, pp.10~18 (1992).
- [5] Peter O. Nelson, Wayne C. Huber, Neil N. Eldin, Kenneth J. Williamson, James R. Lundy, Mohammad F. Azizian, Pugazhendhi Thayumanavan, Marcus M. Quigley, E. Todd Hesse, Kristin M. Frey, Rita B. Leahy, "Environmental Impact of Construction and Repair Materials on Surface and Ground Waters," NCHRP Report 448, National Academy Press, Washington, D.C. (2001)
- [6] Chin-Ming Huang, Chui-Te Chiu, Kung-Cheh Li, and Wan-Fa Yang, "Physical and Environmental Properties of Asphalt Mixtures Containing Incinerator Bottom Ash," Journal of Hazardous Materials, Vol. 137, Issue 3, page 1742~1749, 11 October 2006. (SCI/EI)