

建築廢棄物再生循環技術開發 與推廣應用計畫

內政部建築研究所補助研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

建築廢棄物再生循環技術開發 與推廣應用計畫

受補助單位：財團法人成大研究發展基金會

研究主持人：張祖恩

協同主持人：陳文卿

研究人員：蔡志達、龔東慶、陳盈良、蘇鈺荃

于 寧、車明道、蔡人傑、梁永瑩

內政部建築研究所補助研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

**Recycling Technology Development and Promotion
of Building Wastes
Terminal Report**

By

Juu-En Chang

Wen-Ching Chen

Chih-Ta Tsai, Grodon Tung-Chin Kung

Ying-Liang Chen, Yu-Chuan Su

Ning Yu, Ming-Daw Che

Jen-Chien Tsai, Yung-Ying Liang

December 2011

建築廢棄物再生循環技術開發與推廣應用計畫

內政部建築研究所補助研究報告

100
年度

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第二章 計畫目標與工作內容.....	3
第一節 計畫目標.....	3
第二節 工作內容.....	3
第三章 建築廢棄物再生循環技術開發.....	9
第一節 營建剩餘土石方概況.....	9
第二節 輕質隔熱再生綠建材開發.....	22
第三節 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發.....	33
第四章 建築廢棄物再生循環技術推廣應用.....	51
第一節 再生綠建材效益與市場競爭性分析.....	51
第二節 再生綠建材推廣與成果說明會.....	80
第五章 結論與建議.....	89
第一節 結論.....	89
第二節 建議.....	92
附錄一 2011 年再生綠建材成果發表會相關資料.....	95
附錄二 100 年度期初簡報評審意見與回應表.....	119
附錄三 100 年度期中簡報評審意見與回應表.....	123
附錄四 100 年度期末簡報評審意見與回應表.....	129
參考書目.....	135

表 次

表 2-1	近九年全國工程產出各類土質統計.....	4
表 3-1	國內營建剩餘土石方資源回收利用現況.....	10
表 3-2	營建剩餘土石方再生利用對策.....	12
表 3-3	剩餘土石方堆置處理場土石分類對照.....	13
表 3-4	土壤主要分類符號表.....	14
表 3-5	統一土壤分類法在工程性質應用判斷表.....	15
表 3-6	再生粒料應用之規範與標準.....	16
表 3-7	歷年全國土方供需統計表.....	18
表 3-8	近九年全國工程產出各類土質統計查詢.....	19
表 3-9	營建剩餘土石方 TCLP 試驗結果.....	21
表 3-10	營建剩餘土石方 XRF 分析結果.....	21
表 3-11	營建剩餘土石方統一土壤分類法結果.....	22
表 3-12	營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 之水分、灰分與燒失量.....	22
表 3-13	營建剩餘土石方之主要元素組成.....	23
表 3-14	營建剩餘土石方之重金屬含量.....	23
表 3-15	AAC 物理特性分類(CNS).....	28
表 3-16	營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 產製 AAC 之比重與抗壓強度.....	32
表 3-17	試驗用水泥、爐石及飛灰之化學成份及物理性質.....	35
表 3-18	強塑劑基本性質.....	36
表 3-19	營建剩餘土石方產製冷結型高壓地磚配比.....	40
表 3-20	冷結型高壓地磚比重、吸水率試驗結果.....	46
表 3-21	高壓地磚抗壓強度試驗上承壓塊之尺度.....	47
表 3-22	冷結型高壓地磚抗壓強度試驗結果.....	48
表 4-1	建築廢棄物再生循環技術開發現況調查表.....	54
表 4-2	再生綠建材生產業者訪查名單.....	55
表 4-3	近十年各類建築廢棄物產量重量估算表.....	66
表 4-4	工業廢棄物回收可利用製備再生建材之類別.....	67
表 4-5	99 年度可於工程粒料使用之公告再利用廢棄物產出情形.....	67
表 4-6	再生綠建材標章之再生材料使用規定.....	69
表 4-7	2011 年再生綠建材成果說明會議程.....	81

圖次

圖 2-1	計畫架構圖.....	3
圖 2-2	本年度輕質隔熱再生綠建材開發研究步驟流程.....	6
圖 3-1	營建剩餘土石方分類處理階段流程.....	11
圖 3-2	營建剩餘土石方分類處理步驟流程.....	11
圖 3-3	本研究所採用之營建剩餘土石方.....	20
圖 3-4	營建剩餘土石方之 XRD 圖譜.....	24
圖 3-5	AAC 原料乾基配比三相圖.....	25
圖 3-6	AAC 原料粒徑分布累計圖.....	26
圖 3-7	水固比(W/S)對成型漿體比重之影響.....	27
圖 3-8	鋁粉添加量對成型漿體比重之影響.....	27
圖 3-9	養護時間對 AAC 製品比重之影響(12 atm).....	29
圖 3-10	養護時間對 AAC 製品抗壓強度之影響(12 atm, SiO ₂ = 60 wt.%).....	29
圖 3-11	養護時間對 AAC 製品抗壓強度之影響(12 atm, SiO ₂ = 60 wt.%).....	30
圖 3-12	養護時間對 AAC 製品抗壓強度之影響(12 atm, SiO ₂ = 70 wt.%).....	30
圖 3-13	水泥、爐石及飛灰之粒徑分佈圖.....	36
圖 3-14	冷結型高壓地磚配比設計流程圖.....	37
圖 3-15	冷結型高壓地磚加壓成型時組成材料所產生之壓密排水現象.....	41
圖 3-16	加壓成型應力為 42.0 MPa 時各類營建剩餘土石方最適含水率.....	42
圖 3-17	組裝後冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片.....	43
圖 3-18	冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片(底模).....	43
圖 3-19	冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片(外模).....	44
圖 3-20	冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片(加壓模).....	44
圖 3-21	冷結型高壓地磚製作程序.....	45
圖 3-22	營建剩餘土石方冷結型高壓地磚成品照片.....	46
圖 3-23	冷結型高壓地磚抗壓強度試驗照片.....	47
圖 3-24	冷結型高壓地磚抗壓強度成長關係圖.....	48
圖 3-25	一般市售高壓凝土地磚價格.....	50
圖 4-1	再生綠建材產業體系架構.....	51
圖 4-2	再生綠建材市場競爭性分析架構.....	52
圖 4-3	艾鎂公司現場照片.....	56
圖 4-4	天九興業公司現場照片.....	58
圖 4-5	冠軍建材公司現場照片.....	59
圖 4-6	原料來源穩定性比較.....	61

圖 4-7	原料價格比較.....	62
圖 4-8	各廠使用回收原料原因.....	63
圖 4-9	提供再生綠建材使用之廢陶瓷及廢玻璃.....	70
圖 4-10	宏遠公司現場照片.....	72
圖 4-11	陶瓷面磚製程各階段之收縮變化.....	73
圖 4-12	廢玻璃纖維與廢陶瓷粒進行燒結之試驗.....	73
圖 4-13	回收玻璃燒結試驗結果.....	74
圖 4-14	再生纖維水泥板之生產製程.....	75
圖 4-15	未燒結之普通磚初胚與燒結後之普通磚成品.....	76
圖 4-16	普通磚生產工廠以廢棄土為原料.....	77
圖 4-17	普通磚生產工廠之破碎處理設備.....	77
圖 4-18	再生粒料之生產流程.....	78
圖 4-19	電弧爐渣製備細粒料.....	79
圖 4-20	廢陶瓷製備細粒料.....	79
圖 4-21	營建剩餘土石方製備細粒料.....	79
圖 4-22	鄭主秘致辭照片.....	81
圖 4-23	主席(張祖恩教授)致辭照片.....	81
圖 4-24	專題報告照片.....	82
圖 4-25	綜合討論與座談照片.....	82
圖 4-26	現場觀摩照片.....	83

摘要

關鍵詞：建築廢棄物、再生循環技術、推廣應用

一、研究緣起

本計畫乃配合行政院「生態城市與綠建築推動方案」之總目標：「因應全球暖化及都市熱島效應，積極推動生態城市及綠建築，以達國土永續建設目標」及次目標(六)：「發展營建減廢技術與機制，提升資源有效利用」。並以該方案實施項目分工表第十五項—「建築廢棄物再生利用技術研發、驗證及推廣產製，以加速再生建材產業化」為主要目的。

一般而言，使用營建資源所製成的再生綠建材，其品質通常比原生材料低，因此唯有加強其性能優點，降低生產成本才可能有市場競爭力，若能利用產業及營建資源作為原料，應該是降低生產成本之關鍵，並且所開發之再生綠建材兼具廢棄物減量，及環境保護的目標。本計畫將提出以下工作分項，各分項並另包含 2-3 個工作項目；

第一項工作分項：建築廢棄物再生循環技術開發

1. 輕質隔熱再生綠建材開發：蒸壓養護輕質混凝土（autoclaved aerated concrete，AAC）具有輕質、隔熱等優點，為一深具發展潛力之建材。本計畫擬針對目前利用率較低之 B2-3、B3、B4、B6 及 B7 類營建剩餘土石方，嘗試取代 AAC 原料進行再生綠建材開發。研究內容包含 AAC 原料配比設計、蒸壓養護參數修正、AAC 產品性質分析測試等，藉以建構 AAC 製造之技術基礎並探討營建剩餘土石方產製 AAC 之可行性。
2. 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發：本研究前期採用利用率較低之營建剩餘土石方所開發之冷結型再生粒料，經相關性能測試比較，結果顯示具有不錯之性能，且符合節能減碳之政策目標，今年度期望將此技術應用於：高壓地磚，並借重質輕、緻密、低熱傳導特性，期望增加營建資材再利用之多樣性。

第二工作分項：建築廢棄物再生循環技術推廣應用

1. 再生綠建材市場競爭性分析：已獲再生綠建材標章之產品類別，例如再生矽酸鈣板、再生纖維水泥板、再生石膏板、再生高壓混凝土磚、再生陶瓷面磚、再生紅磚、再生粒料、再生隔熱磚等，進行訪查，瞭解市場銷售使用情形，評估再生綠建材產業規模及與同類產品之市場競爭性分析，並邀集相關業者探討市場競爭策略。
2. 再生綠建材使用效益評估：針對再生綠建材之使用案例，分析其節能減碳、經濟效益，與使用者的滿意度等。另將辦理再生綠建材產品推廣說明會，針對技術成熟之再生綠建材，以及國內取得再生綠建材標章之產品辦理成果說明會。

二、研究方法及過程

本研究將分二大項展開，每一大項下另有分項工作。各大項與分項之研究方法及過程分述如下：

1. 建築廢棄物再生循環技術開發：

(1) 輕質隔熱再生綠建材開發

本年度研究首先建置蒸壓養護相關技術與設備設計與測試修正，並探討再利用營建剩餘土石方產製蒸壓養護輕質混凝土製造之原料配比、拌和水與起泡劑添加量、蒸壓養護條件等參數，透過材料特性分析結果探討影響因素、回饋修正各階段實驗參數，期能尋求最適參數控制範圍，以建立後續營建剩餘土石方再利用於蒸壓養護輕質混凝土（autoclaved aerated concrete, AAC）之基礎。茲將本年度研究方法與重點工作分項說明如下。

(a) 蒸壓養護設備設計與製造組裝：

藉由收集文獻資料研析並設計、修改高溫蒸氣養護設備之構造，並徵詢相關專家學者意見進行元件製造與組裝測試。考量蒸壓養護程序欲探討之溫度、壓力、溼度、時間等參數，設備須搭配精確電熱程式溫控、壓力與溼度調節、定時裝置等，以利探討養護條件對 AAC 材料特性之影響。腔體本身另需考量相關安全問題，結構須以精密加工製造並通過嚴格檢驗，操作人員亦需進行相關操作與安全教育訓練。

(b) 蒸壓養護輕質混凝土製備：

根據研究團隊近年來進行水泥及混凝土材料之相關研究基礎，並進一步收集相關文獻資料研析以瞭解製備 AAC 之重要條件及影響因素，完成原料調配、拌和水化、發泡鑄型等實驗。透過後續材料特性分析回饋修正實驗參數，尋求蒸壓養護輕質混凝土製造之最適原料配比與拌和發泡條件，並瞭解各參數對材料特性之影響。本年度研究另參考營建剩餘土石方相關研究文獻資料，設計不同成分配比，藉以瞭解後續應用營建剩餘土石方作為替代材料時，配比組成對 AAC 製作及材料特性可能造成之影響。

(c) 蒸壓養護程序控制

藉由高壓蒸氣養護提升 AAC 之水化程度與機械強度，探討溫度、壓力、溼度、時間等條件。溫度與壓力初步設定於 100-200°C 與 1-15 atm；溼度則以飽和水蒸汽為主，亦嘗試運用其他濕度條件；時間則以 6-24 小時為主要試驗範圍。

(d) 蒸壓養護輕質混凝土材料特性分析

分析蒸壓養護輕質混凝土製品之特性，主要包含密度、孔隙率、抗壓強度、表面結構等物理特性，以及水化程度、溶出特性等化學特性。透過材料特性分析結果回饋修正蒸壓養護輕質混凝土製備與蒸壓養護程序控制等參數，建立最適實驗參數範圍，並釐清產品物化特性與各程序參數調控之關係，以提供後續蒸壓養護技術應用之參考。

(2) 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發

根據前期研究中學者、專家的建議，可從較無安全顧慮之地磚著手，配合營建署已初步通過修訂建築技術規則，將綠建材使用比例之計算擴充至戶外，因此本研究期望將冷結技術應用可供戶外空間使用之高壓地磚再生綠建材，並借重質輕、緻密、低熱傳導特性，不僅可增加營建廢棄物再利用之多樣性與可供戶外空間使用再生綠建材之選擇性，亦可提高剩餘土石方經濟價值。

另本研究 99 年度冷結型再生粒料開發之試量產規劃工作項目中，由於冷結型再生粒料係屬新開發之技術，並無既有機械設備可以進行試量產試驗，而信義建材股份有限公司主要生產高壓水泥瓦、高壓水泥地磚，其生產之機械設備與製程，較接近冷結型再生粒料，因此 99 年度時本研究曾採用 88 風災清淤工程之剩餘土石方，依據營建剩餘土石方分類應屬於 B2-3 類營建剩餘土石方，與冷結型再生粒料 C200（水泥用量為 200 kg/m^3 ）配比，雖然信義建材之全自動高壓成型機，加壓成型應力約 11.1 MPa，僅為冷結型再生粒料成型應力（35 MPa）的 1/3，但經過含水率修正後仍可成功製成高壓地磚。

今年度本研究將依據前期所開發之冷結技術，將其應用至高壓地磚再生綠建材，首先採用較保守水泥量的配比-C200（即水泥用量 200 kg/m^3 ）並探討其最適成型應力與營建剩餘土石方之含水率，並根據再生綠建材評估基準進行相關性能測試，亦將測試其熱傳導係數，期望將 B2-3、B3、B4、B6 類等再利用率較低的營建剩餘土石方，透過冷結技術開發成兼具質輕、緻密、價廉、低熱傳導特性，且可供戶外空間使用之再生綠建材。

2. 建築廢棄物再生循環技術推廣應用：

(1) 再生綠建材市場競爭性分析

本計畫曾於 99 年度完成再生綠建材之產業化推動規劃，並建議建置營建資源循環供應中心，以廣納各種可再生利用之營建資源。配合 2010 年所修訂之「綠建材解說與評估手冊」中，對於可申請再生綠建材標章之產品與類別將大幅強化。預期再生綠建材標章產品類別、申請廠商家數將可倍增。但是獲得綠建材標章之綠建材，與替代性產品，產業規模及市場區隔性等，是否具競爭性，將是本計畫擬探討之重點。本工作項目中，將針對獲再生綠建材標章之產品進行訪查，瞭解市場銷售使用情形，評估再生綠建材標章對於提升建材產品市場競爭性之助益。

(2) 再生綠建材使用效益評估

再生綠建材具有減少廢棄物污染、減少原生材料開發及減少 CO_2 排放之「三減」效益，以及提高資源永續利用之積極效益。然而不同類別之再生綠建材，將有不同程度之效益。本計畫之前期研究中，皆以再生綠建材生產者為目標，評估及相關效益。本年度計畫中，將針對已取得再生綠建材標章之產品使用案例，進行現場之調查評估使用再生

綠建材在經濟性、環保性或功能性之效益。及業者使用之滿意度調查等。

此外，為加強業界使用再生綠建材，以達到節能減碳效益目標。將辦理「節能減碳與擴大再生綠建材使用成果說明會」邀請產業界、政府機關(環保、工業、營建等)、學術研究機構等參加。並展示國內研發生產，且獲綠建材標章之各種優質再生綠建材產品。辦理再生綠建材推廣成果說明會，會中將邀請業界、政府機關(環保、工業、營建...等)、學術研究機構等代表共同參與。

三、重要發現

1. 建築廢棄物再生循環技術開發：

(1) 輕質隔熱再生綠建材開發

蒸壓養護輕質混凝土(AAC)具有輕質、隔熱等優點，為一深具發展潛力之建材。今年度計畫針對目前利用率較低之 B2-3、B3、B4、B6 等類營建剩餘土石方，嘗試取代 AAC 原料進行再生綠建材開發。研究內容包含 AAC 原料配比設計、蒸壓養護參數修正、AAC 產品性質分析測試等，藉以建構 AAC 製造之技術基礎並探討營建剩餘土石方產製 AAC 之可行性。

研究結果發現，營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 經乾燥前處理後之基本物化特性近似，皆富含 Si 元素並以石英(SiO_2)為主要晶相組成，應具有作為 AAC 替代原料之潛力。AAC 漿體製備則可藉由調整拌合水量(水固比, W/S)與鋁粉劑量控制成型漿體之比重，其中以改變水固比方式有較為顯著的效果。而 AAC 製品比重大致不受蒸氣壓力與養護時間所影響，因此主要可藉由調整漿體製備條件加以控制 AAC 製品之比重。另由 AAC 製品之抗壓強度可歸納最適原料配比與高壓蒸氣養護程序。當原料組成 $\text{SiO}_2 = 70 \text{ wt.}\%$ 、 $\text{CaO} = 25 \text{ wt.}\%$ 、水泥 = 5 wt.% 之乾基配比於蒸氣壓力 12 atm、養護時間 16 小時條件下，所得之 AAC 製品具有最佳抗壓強度 6.59 MPa，可符合 G4(4.0 MPa)與 G6(6.0 MPa)規範之最低抗壓強度需求，且其比重為 0.673，兼具輕質特性。

以營建剩餘土石方產製 AAC 時，在低取代量下(10 wt.%與 20 wt.)，製成的產品比重略微增加，但抗壓強度大幅提升，可符合 G4、G6 或 G10 的標準。隨著營建剩餘土石方取代量提高，AAC 製品比重與抗壓強度皆下降。然而當各類營建剩餘土石方取代量達 30 wt.%時，其製品至少仍可符合一種 AAC 類別之規範。B4 取代量達 50 wt.%可使 AAC 製品符合最為輕質的 G2 類別之比重與抗壓強度需求。整體而言，營建剩餘土石方具有作為 AAC 原料之潛力，但營建剩餘土石方組成與粒徑分布之影響應深入研究，藉以提高營建剩餘土石方再利用比例並改善產品特性。

(2) 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發

根據前期冷結再生粒料研究中學者、專家的建議，可從較無安全顧慮之地磚著手，加上建築技術規則第 321 條新修訂之條文，已將綠建材使用比例之計算擴充至戶外：「建築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達 10 % 以上」，因此今年度本研究期望將冷結技術應用可供戶外空間使用之高壓地磚再生綠建材，並借重質輕、緻密、低熱傳導特性，不僅可增加營建廢棄物再利用之多樣性與可供戶外空間使用再生綠建材之選擇性，亦可提高剩餘土石方經濟價值。本年度現階段研究結果發現如下：

今年度採用較保守水泥量的配比-C200（即水泥用量 200 kg/m^3 ），其中營建剩餘土石方使用比率均大於 65 %，將近 70 %；根據再生綠建材評估基準其再生材料使用比率更達 100 %，遠超過再生綠建材評估基準中之 C 級高壓凝土地磚（50 % 以上）之規定，可有效增加資源再生材料之使用率。

冷結型高壓地磚係採用類似冷結型再生粒料之壓錠成型法開發，其加壓成型應力與營建剩餘土石方含水率之相互關係，影響冷結型高壓地磚性質甚鉅：因為加壓成型時，若營建剩餘土石方含水率太低，則不易成型，即使採用較高的成型應力，於解壓過程，將因毛細孔隙吸水產生張力作用，使得冷結型高壓地磚產生裂縫；反之當加壓成型，營建剩餘土石方含水率過高，於成型過程容易產生壓密排水現象，所排出的水，將使冷結型高壓地磚局部水膠比變高，而形成弱面，進而影響其相關性質。經相關測試，本研究建議使用 B2-3、B3、B4、B6 類營建剩餘土石方製作冷結型高壓地磚之加壓成型應力為 42.0 MPa；相對之營建剩餘土石方含水率分別為，B2-3：8.0 %、B3：10.0 %、B4：10.0 %、B6：10.0 %。

採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其烘乾狀態下比重介於 1.96~2.00；面乾內飽和狀態下比重介於 2.05~2.12；吸水率介於 6.85~7.95 %。而高壓地磚比重較冷結型再生粒料重，且吸水率較冷結型再生粒料低，另雖然高壓地磚比重較冷結型再生粒料重，但仍比一般凝土地磚比重（約 2.30~2.45）輕，對日後節省運輸成本有所助益。

於齡期 28 天時，採用 B2-3 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚抗壓強度可符合，CNS 13295—「高壓凝土地磚」與再生綠建材評估基準中 C 級抗壓強度（抗壓強度平均值應在 45 MPa 以上，且不得有任一試樣測試值低於 40 MPa）之要求，且冷結型高壓地磚抗壓強度隨著齡期成長，亦隨之成長。

經初步減碳效益評估分析，採用本研究所開發之冷結技術製作營建剩餘土石方高壓地磚，每 m^3 組成材料可較一般凝土地磚減少 117.7485 kg 之 CO_2 排放；另採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其比重較一般凝土地磚比重（約 2.30~2.45）輕，亦可減少日後因運輸所產生之 CO_2 排放量。

本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚組成材料成本約為 0.95 元/

塊，若加上機械設備折舊、人員管銷費用、及通路費用等，與大賣場一般混凝土高壓地磚售價（18 元/塊）相較，應該仍具相當之競爭性。另採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其比重較一般混凝土高壓地磚比重（約 2.30~2.45）輕，對日後節省運輸成本亦有所助益。

2. 建築廢棄物再生循環技術推廣應用：

(1) 再生綠建材市場競爭性分析

為推廣使用綠建材，內政部營建署已修定建築技術規則第 321 條內容，自 98 年 7 月 1 日 6 月，將建築物之室內裝修材及樓地板面材之綠建材使用率由百分之五增加至百分之三十。近年來由於綠建材之生產、使用皆已越來越普遍，故內政部營建署已另召開相關會議，將提高使用率至百分之四十五。而戶外部份，更增列「建築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達百分之十以上。」。此對於擴大再生綠建材之市場競爭性，將有極大的鼓勵誘因。此外，公共工程部份也應該是應積極努力的目標。本計畫已針對國內再生綠建材生產廠商對於原料取得以及再生綠建材之生產條件上，與使用原生材料的一般建材作比較分析。發現以目前最大宗的再生綠建材—高壓混凝土磚為例，使用再生材料不僅未增加生產成本，原料之使用亦更多樣性，且使用再生材料後，更能增加產品的特殊性。而如陶瓷面磚、普通磚等，使用再生原料已經是必然的趨勢。因此未來再生綠建材在市場上的使用比例將可越來越高。

而在市場競爭性方面，再生綠建材之最大競爭優勢在於降低生產成本與免於原料匱乏兩方面。

建築用普通磚業者最主要的收益為處理廢棄土可收取之代處理費，其收益甚至遠高於出售產品之利潤。而且由於山坡地依法限制開採，故磚瓦窯業所須之土料供應來源不足，以廢棄土作為再生材料，可解決料源供應問題。

高壓混凝土磚方面，以廢陶瓷、廢爐渣等替代原生砂石，原料價差約 500 元/噸，具經濟競爭性。扣除廢陶瓷、廢爐渣等之前處理費用，使用再生材料仍可較原生砂石之原料成本減少約每噸 100 元左右。此亦即為再生粒料業者之利潤來源。

陶瓷面磚業者，使用回收材料之比例目前僅 20%，減量效果尚有限，但由於瓷磚生產所需之黏土、長石等，目前皆由國外(中國大陸為主)進口。加強使用再生材料為未來不可避免之趨勢。

(2) 再生綠建材使用效益評估

再生綠建材具有減少廢棄物污染、減少原生材料開發及減少 CO₂ 排放之「三減」效益，以及提高資源永續利用之積極效益。然而不同類別之再生綠建材，將有不同程度之

效益。本計畫針對目前主要之再生綠建材進行綜合效益評估，及市場競爭性分析。綜合而言，再生綠建材在廢棄物減量上之效益十分明顯。以高壓混凝土磚、普通磚及再生粒料等為例，除可廣泛使用營建廢棄物(廢混凝土磚塊等)外，對產量十分龐大之廢玻璃、廢陶瓷、廢爐渣等，亦提供最主要的再利用途徑。

依據本計畫研究結果發現，再生綠建材在生產端普遍具競爭性。在使用端方面，目前所面臨較大的困難是建商、建築師、一般民眾，對於再生綠建材的接受度，尚有若干疑慮。因此，宜由再生綠建材使用端之效益分析，如加強其減廢、提高資源有效利用率，以及節能減碳等作訴求。而更重要的是，再生綠建材在產品品質性能上，皆經嚴謹的檢驗，確保品質性能與原生材料建材無異。另一方面在 98 年所召開之全國能源會議中，對於綠建材之推動有一項重要結論，就是「公有建築物規定應採用一定比例之節能減碳綠建材」。行政院在振興經濟方案中更要求公共工程委員會應「協調各部會就振興經濟擴大公共建設投資計畫中，有關公共工程分別訂定應採用綠色內涵及再生材料之比例」。配合上述政策，目前是推動再生綠建材之最有利契機。

ABSTRACT

Key words : Building wastes, Recycling Technology, Promotion and Application

Considering the stringent global warming, it is a critical issue for building and construction department to treat the construction wastes properly and encourage the recycling of construction resources. Architecture and Building Research Institute/ Ministry Of Interior (ABRI/MOI) has successfully promoted the Green Building Policy. Subsequently, the promotion of Green Building Material was promoted since 2004. The purpose of Green Building Material System is to encourage the public and government department to purchase the green building materials those are certified by the committee of GBM. Therefore, it is able to provide the user with Ecology, Healthy, High Performance and Recycling green building in construction and decoration. This project is one of the programs in Green Building Materials, and focus in the technology development and promotion of recycling green building materials. There are three major targets, includes :

1. Innovative technology development of cold-bonding recycling aggregates green building materials, therefore to improve the minimization of construction resource, and provide the high performance green building materials, so as to create the market incentive of recycling material.
2. Promotion of recycling building material : Cost and performance are most important factors for the market competitiveness of recycling building materials. This project will select 3 kinds of recycling material that have GBM label, to study the advantageous in using recycling building materials, include application and investigate the application in build and provide the planning of mass production, include economic, performance and CO₂ reduction efficiency.
3. Enhance the government department to use recycling material : Using recycling material is an important strategy to meet the policy of saving energy and reducing carbon dioxide. However, the individual ministry or administration has relative laws or regulations. This project will survey those regulations and propose a coordinate strategy to improve the application of recycling material in public department.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

台灣地區地狹人稠，廢棄物之處理長期以來皆為主管機關與社會大眾所關切之問題。國內重大工程施工，以及建築物裝修、重建拆除等，所產生之廢棄物數量十分龐大，而由於現有之棄土場已面臨飽和，而新掩埋場址不易取得，導致建築廢棄物遭隨意棄置之問題不斷發生，造成嚴重之環境污染，因此這些龐大量的建築廢棄物之去處乃值得十分注意。就資源永續利用之觀點而言，建築廢棄物中不乏可資再利用之材料，如能將其妥善回收，經適當之處理加工後，將可轉換成具再利用價值之再生材料或產品，而可減少原生資源之開採及避免開採過程所衍生之環境問題，因此加強推動建築廢棄物減量回收，及開發並使用再生綠建材為兼顧資源永續與環境保護之最佳策略。對各類型建築物在其生命週期之各階段，包括建材原料開採、建材製造、施工建造、日常使用及拆除廢棄等，評估其對環境所造成不同程度的污染，進而謀求減量控制及再生利用之途徑。

建築資源所涵蓋的範圍相當廣泛，就建築物的主結構而言，主要包括了砂石骨材、鋼筋、型鋼、水泥及混凝土；就建築物之次結構與裝修而言，則包括了紅磚、面磚、木材、石材、玻璃、鋁門窗、PVC管等數千種建材；就建築物的施工過程中，更包括了耗損量相當大的木質模板資源、以及基地整地可能所需之土方與級配料，由此可見，其所涵蓋的範圍十分廣闊。而從產生量與回收潛力而言，除經濟價值顯著之金屬材料，民間早已自然形成回收之市場機制外，混凝土塊、磚石及木質材料等廢棄物則應為應加強推動回收再利用之對象。因此建築廢棄物之減廢除著眼於龐大量建築廢棄物處理問題之解決外，對於紓解營建原料供應短缺之壓力亦有極大助益，因此加強建築廢棄物之減量回收，以確保資源之有效利用，除為推動綠建築之重要策略外，更將為國家永續發展之標竿。

行政院於民國九十年三月八日核定「綠建築推動方案」中，已揭示「促進建築廢棄物減量，減少環境污染與衝擊」，及「提昇資源有效利用技術，維護生態環境之平衡」為兩項重要之推動目標，且已獲良好成效。而97年更展開新階段的「生態城市與綠建築推動方案」。依據該方案，其總目標為：「因應全球暖化及都市熱島效應，積極推動生態城市及綠建築，以達國土永續建設目標」；次目標(六)為：「發展營建減廢技術與機制，提升資源有效利用」。而在實施方針第十條更明訂「建立循環型社會之營建廢棄物減量及分別訂定應採用永續工程綠色內涵與再生建材推廣機制」，朝向「零廢棄全回收資源循環社會」之永續發展遠景邁進。

基於以上緣由，本計畫乃配合行政院「生態城市與綠建築推動方案」之總目標：「因應全球暖化及都市熱島效應，積極推動生態城市及綠建築，以達國土永續建設目標」及次目標(六)：「發展營建減廢技術與機制，提升資源有效利用」。並以該方案實施項目分

工表第十五項—「建築廢棄物再生利用技術研發、驗證及推廣產製，以加速再生建材產業化」為主要目的。再配合「永續公共工程—節能減碳政策白皮書」之各項目標，涵蓋建築物源頭減廢、再生材料回收利用及再生綠建材之開發，以及強化再生材料之使用等層面，以達成建立永續循環社會之總體目標。包括以下之工作分項：

第一項工作分項：建築廢棄物再生循環技術開發

1. 輕質隔熱再生綠建材開發。
2. 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發。

第二工作分項：建築廢棄物再生循環技術推廣應用

1. 再生綠建材市場競爭性分析。
2. 再生綠建材使用效益評估。

第二節 研究目的

繼 90 年「綠建築推動方案」實施以來，從中央公部門以至地方政府公有建築納入綠建築推動範疇，並再推廣到獎勵民間參與。綠建築之推動成效十分顯著，在節能、減廢、節水等各方面，皆獲致卓越成效。而內政部建築研究所更於 93 年起推動「綠建材標章」，並於建築技術規則中將綠建材納入法制化。因此綠建材之推廣應用，已成為綠建築推動中極重要的一環。97 年起更擴大為「生態城市與綠建築推動方案」，將擴及公共工程及生態社區；行政院公共工程委員會亦於 97 年擬訂「永續公共工程—節能減碳白皮書」。因此從建築廢棄物減量、回收再利用，以及再生綠建材研發與推廣，皆為本方案之重點。本計畫乃配合此既定之政策目標，積極建立建築廢棄物從源頭減量回收到再生綠建材開發，以及再生材料市場使用，上、中、下游展開之完整體系。

本計畫乃配合此既定之政策目標，積極建立建築廢棄物從源頭減量回收到再生綠建材開發，以及再生材料市場使用，上、中、下游展開之完整體系，期望藉由建築物源頭減廢、再生材料回收利用及再生綠建材之開發，以及強化再生材料之使用等層面的努力，達成建立永續循環社會之總體目標，並邁向「零廢棄全回收資源循環社會」之永續發展遠景。本計畫將結合成大永續環境科技研究中心（SERC）之技術專長，以及財團法人環境與發展基金會之經驗能力，配合再生綠建材實驗室完整的試驗分析儀器之輔助，相信將可繼續擴大研發積效。

第二章 計畫目標與工作內容

第一節 計畫目標

本研究包括二大重點工作，架構如圖2-1所示。研究方法分別說明如下：

一、建築廢棄物再生循環技術開發：

1. 輕質隔熱再生綠建材開發。
2. 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發。

二、建築廢棄物再生循環技術推廣應用

1. 再生綠建材市場競爭性分析。
2. 再生綠建材使用效益評估。

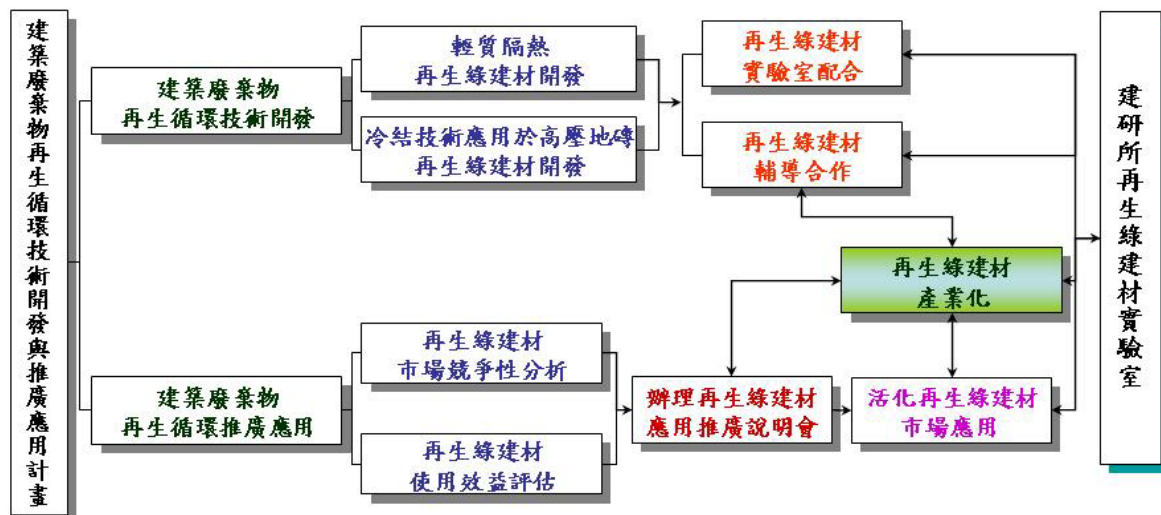


圖2-1 計畫架構圖

第二節 工作內容

依據計畫目標展開各項工作之研究方法分別說明如下：

一、建築廢棄物再生循環技術開發

1. 輕質隔熱再生綠建材開發

產業零廢棄與資源永續循環之觀點而言，營建剩餘土石方應積極拓展相關再利用途徑，取代填地、掩埋等消極處理。營建剩餘土石方多數富含鈣、矽化合物，成分近似蒸壓養護輕質混凝土（autoclaved aerated concrete, AAC）原料，故具有相關資材化之潛力。

另一方面，AAC 有別於一般混凝土材料，原料除需要少量水泥外，主要為氧化鈣及二氧化矽，並以少量金屬鋁作為發泡劑而產生輕質特性，且蒸壓養護輕質混凝土具有多項優良的工程性質與物理特性，另製程與回收方面兼具低能源需求與資源可循環特性，更被譽為 21 世紀的優良建築材料，值得進一步研究開發。有鑑於此，研究團隊擬採用目前利用率較低之 B2-3、B3、B4、B6 及 B7 類營建剩餘土石方，上述幾種營建剩餘土石方經統計調查均佔每年營建剩餘土石方總產出之 50 % 以上（見表 2-1 所示），故今年度本研究採用上述利用率較低之營建剩餘土石方替代 AAC 原料，進行輕質隔熱再生綠建材開發。

表 2-1 近九年全國工程產出各類土質統計（截至 99 年 07 月、單位：m³）

	B1	B2-1	B2-2	B2-3	B3	B4	B5	B6	B7
90	1,897,898	774,555	929,167	399,872	1,275,539	321,489	55,261	2,191	21,150
91	9,745,339	3,157,653	2,660,776	3,859,634	6,253,732	4,641,081	286,941	175,606	131,461
92	6,491,354	6,256,473	4,009,632	6,125,236	6,927,483	4,852,074	995,285	803,362	424,588
93	4,109,131	8,417,495	6,705,485	6,530,775	8,408,148	5,177,942	809,651	612,185	107,955
94	2,178,436	8,148,354	6,974,924	9,182,229	8,409,695	5,884,677	1,095,015	485,395	78,657
95	1,749,982	7,975,805	6,272,035	9,352,248	7,340,871	5,571,844	1,370,277	917,939	46,155
96	3,099,089	6,538,887	4,829,821	9,762,949	6,524,040	4,483,718	1,636,861	1,294,205	31,871
97	3,079,980	7,420,172	4,499,688	8,924,265	6,560,130	3,821,069	1,895,799	538,005	55,848
98	2,419,110	5,494,537	3,982,374	8,289,454	3,818,809	1,917,679	1,393,881	529,180	237,392
99	750,732	2,251,249	1,545,956	4,389,965	1,516,003	777,800	710,241	431,958	150,474
總計	35,599,866	56,631,046	42,514,338	67,037,904	57,323,059	37,501,059	10,267,768	5,790,027	1,285,550
百分比	11.34%	18.04%	13.54%	21.35%	18.26%	11.94%	3.27%	1.84%	0.41%

資料來源：營建剩餘土石方資訊服務中心

AAC 具備輕質、防火、隔熱、隔音、高強度等優良的物理特性，且在產品製造及回收上更具有高能資源效率與低環境負荷等優點。

- (a) 輕質特性：AAC 製品之密度與發泡過程有密切關係，主要受到發泡劑（鋁粉）與漿體之比例所影響。現今 AAC 製品之密度多介於 300-1000 kg/m³，遠低於一般混凝土之密度（約 2200-3000 kg/m³），因此可降低工程施作與搬運困難度、減少工時、節約材料及運輸成本等。
- (b) 高抗壓強度：與一般輕質材料相比，AAC 具有良好的抗壓強度，且可依據工程需求作彈性調整。AAC 塊材之抗壓強度多半介於 5.5~6.9 MPa 之間，另可配合鋼筋進行加勁（reinforcement）處理，形成複合材料強化其抗張性質。

- (c) 防火、隔熱及隔音：AAC 的多孔特性不僅使其具備輕質的優點，同時亦提供了良好的防火、隔熱與隔音的特性。Wittmann (1992) [1]指出 AAC 最高耐受溫度可達 1200 °C，而 100 mm 厚度的 AAC 牆面可耐火達 4 小時，而相同厚度的一般混凝土磚牆僅可支撐約 2 小時。以密度介於 500-650 kg/m³ 之 AAC 製品為例，其熱傳導係數約為 0.16 W/m°C，而 100 mm 厚度牆面之隔音能力約為 39 分貝。
- (d) 環境相關特性：AAC 的輕質特性除了可減少運輸時的能源消耗之外，其主要原料為石灰與砂等材料，單位體積所需耗用的原料較少，且整體製程的能源需求亦低於其他水泥材料與石造建材。此外，有別於一般混凝土，當 AAC 製品廢棄時，其材料研磨後具備回收再製之潛力，因此可促進材料循環利用並降低最終處置之環境負荷。

本年度研究首先建置蒸壓養護相關技術與設備設計與測試修正，並探討再利用營建剩餘土石方產製蒸壓養護輕質混凝土製造之原料配比、拌和水與起泡劑添加量、蒸壓養護條件等參數，透過材料特性分析結果探討影響因素、回饋修正各階段實驗參數，期能尋求最適參數控制範圍，以建立後續營建剩餘土石方再利用於 AAC 之基礎。茲將本年度研究方法與重點工作分項說明如下。

(1) 蒸壓養護設備設計與製造組裝：

藉由收集文獻資料研析並設計、修改高溫蒸氣養護設備之構造，並徵詢相關專家學者意見進行元件製造與組裝測試。考量蒸壓養護程序欲探討之溫度、壓力、溼度、時間等參數，設備須搭配精確電熱程式溫控、壓力與溼度調節、定時裝置等，以利探討養護條件對 AAC 特性之影響。腔體本身另需考量相關安全問題，結構須以精密加工製造並通過嚴格檢驗，操作人員亦需進行相關操作與安全教育訓練。

(2) 蒸壓養護輕質混凝土製備：

根據研究團隊近年來進行水泥及混凝土材料之相關研究基礎，並進一步收集相關文獻資料研析以瞭解製備 AAC 之重要條件及影響因素，完成原料調配、拌和水化、發泡鑄型等實驗。透過後續材料特性分析回饋修正實驗參數，尋求蒸壓養護輕質混凝土製造之最適原料配比與拌和發泡條件，並瞭解各參數對材料特性之影響。本年度研究另參考營建剩餘土石方相關研究文獻資料，設計不同成分配比，藉以瞭解後續應用營建剩餘土石方作為替代材料時，配比組成對 AAC 製作及材料特性可能造成之影響。

(3) 蒸壓養護程序控制：

藉由高壓蒸氣養護提升蒸壓養護輕質混凝土之水化程度與機械強度，探討溫度、壓力、溼度、時間等條件。溫度與壓力初步設定於 100-200°C 與 1-15 atm；溼度則以飽和水蒸汽為主，亦嘗試運用其他濕度條件；時間則以 6-24 小時為主要試驗範圍。

(4) 蒸壓養護輕質混凝土材料特性分析：

分析蒸壓養護輕質混凝土製品之特性，主要包含比重、孔隙率、抗壓強度、表面結

構等物理特性，以及水化程度、溶出特性等化學特性。透過材料特性分析結果回饋修正輕質混凝土製備與蒸壓養護程序控制等參數，建立最適實驗參數範圍，並釐清產品物化特性與各程序參數調控之關係，以提供後續蒸壓養護技術應用之參考。本年度輕質隔熱再生綠建材開發研究步驟流程如圖 2-2 所示。

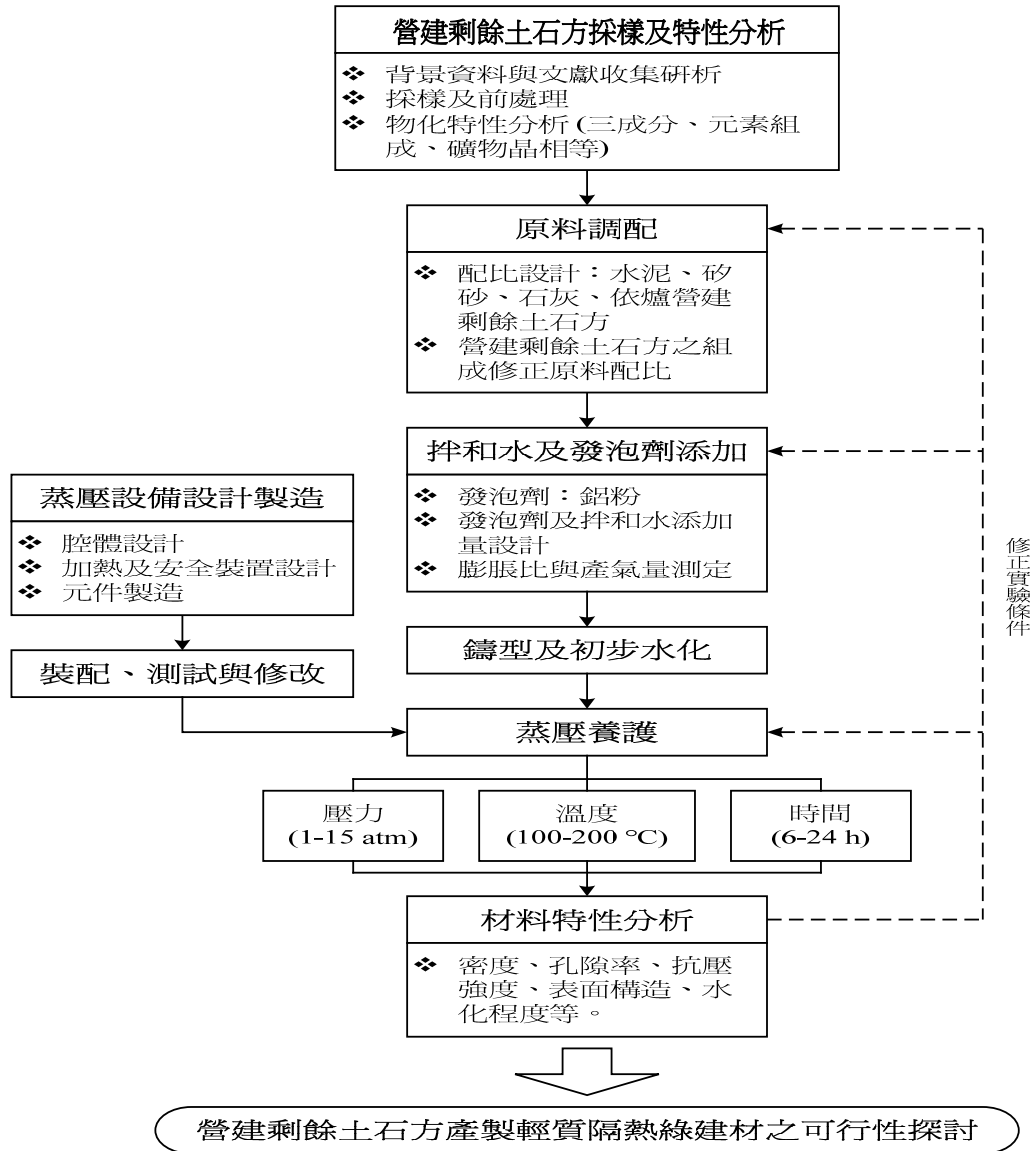


圖 2-2 本年度輕質隔熱再生綠建材開發研究步驟流程

2. 冷結技術應用高壓地磚再生綠建材開發

本研究前期採用上述利用率較低之營建剩餘土石方所開發之冷結型再生粒料，經相關性能測試比較，結果顯示冷結型再生粒料相關性能均符合 CNS 1240 與 ASTM C33—「混凝土用粒料」規範要求，配合 99 年建研所自行研究計畫-「再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例」，試驗結果顯示冷結型再生粒料具較低的熱傳導係數，而冷結型

再生粒料乃基於應用層面廣泛而開發。另前期研究中亦有專家、學者對於冷結型再生粒料這項新材料的長期耐久性存疑，並建議可從較無安全顧慮之地磚著手，因此今年度基於建材之功能性考量，加上營建署已初步通過修訂建築技術規則，將綠建材使用比例之計算擴充至戶外，期望將冷結技術應用可供戶外空間使用之高壓地磚再生綠建材，並借重質輕、緻密、低熱傳導特性，日後或許可將其開發成屋頂隔熱磚，不僅可增加營建廢棄物再利用之多樣性與可供戶外空間使用再生綠建材之選擇性，亦可提高剩餘土石方經濟價值，終止當前國內棄土惡意棄置，污染環境亂象。

另本研究 99 年度冷結型再生粒料開發之試量產規劃工作項目中，由於冷結型再生粒料係屬新開發之技術，並無既有機械設備可以進行試量產試驗，而信義建材股份有限公司主要生產高壓水泥瓦、高壓水泥地磚，其生產之機械設備與製程，較接近冷結型再生粒料，因此 99 年度時本研究曾採用 88 風災清淤工程之剩餘土石方，依據營建剩餘土石方分類應屬於 B2-3 類營建剩餘土石方，與冷結型再生粒料 C200（水泥用量為 200 kg/m^3 ）配比，雖然信義建材之全自動高壓成型機，加壓成型應力約 11.1 MPa，僅為冷結型再生粒料成型應力（35 MPa）的 1/3，但經過含水率修正後仍可成功製成高壓地磚。

本計畫將冷結技術應用於功能型再生綠建材，主要係開發高壓地磚，其產品性質不再另外修訂再生綠建材之規範，而是以再生綠建材評估基準為主要驗證之依據，因此主要研究部步驟為：

- (1) 採用 C200 冷結型再生粒料配比。
- (2) 設計並開發高壓地磚模具與製程。
- (3) 探討最適加壓成型應力與營建剩餘土石方含水率。
- (4) 高壓地磚製作。
- (5) 依據再生綠建材評估基準進行高壓地磚性能驗證。
- (6) 進行熱傳導係數測試。

二、再生綠建材推廣應用

1. 再生綠建材市場競爭性分析

本計畫曾於 99 年度完成再生綠建材之產業化推動規劃，並建議建置營建資源循環供應中心，以廣納各種可再生利用之營建資源。配合 2010 年所修訂之「綠建材解說與評估手冊」中，對於可申請再生綠建材標章之產品與類別將大幅強化。預期再生綠建材標章產品類別、申請廠商家數將可倍增。但是獲得綠建材標章之綠建材，與替代性產品，產業規模及市場區隔性等，是否具競爭性，將是本計畫擬探討之重點。本工作項目中，將針對獲再生綠建材標章之產品進行訪查，瞭解市場銷售使用情形，評估再生綠建材標章對於提升建材產品市場競爭性之助益。

本分項包括兩大部份，第一部份為針對再生綠建材業者(供應端)，強化其產品之市

場競爭能力，第二部份為針對公務部門(使用端)，研擬各部會使用再生材料之說帖，以擴大再生材料之市場性。在強化產品競爭力方面，將以再生高壓混凝土磚、再生陶瓷面磚、再生粒料等三種綠建材為主要對象。評估再生產品與同類型產品在價格、性能等之優劣勢。

2. 再生綠建材使用效益評估

再生綠建材具有減少廢棄物污染、減少原生材料開發及減少 CO₂ 排放之「三減」效益，以及提高資源永續利用之積極效益。然而不同類別之再生綠建材，將有不同程度之效益。本計畫之前期研究中，皆以再生綠建材生產者為目標，評估及相關效益。本年度計畫中，將針對已取得再生綠建材標章之產品使用案例，進行現場之調查評估使用再生綠建材在經濟性、環保性或功能性之效益。及業者使用之滿意度調查等。

此外，為加強業界使用再生綠建材，以達到節能減碳效益目標。將辦理「節能減碳與擴大再生綠建材使用成果說明會」邀請產業界、政府機關(環保、工業、營建等)、學術研究機構等參加。並展示國內研發生產，且獲綠建材標章之各種優質再生綠建材產品。辦理再生綠建材推廣成果說明會，會中將邀請業界、政府機關(環保、工業、營建...等)、學術研究機構等代表共同參與。

本研究將篩選兩件實際使用再生綠建材之建築物或公共工程，進行減碳效益及經濟效益之分析。綜合使用效益與成品競爭性分析結果，將可提出提升再生建材市場競爭力之策略，並將辦理示範推廣說明會。

第三章 建築廢棄物再生循環技術開發

台灣地區地狹人稠，天然資源有限，惟國內重大工程施工，以及建築物裝修、重建拆除等，所產生之廢棄物數量十分龐大，就資源永續利用之觀點而言，建築廢棄物中不乏可資再利用之材料，如能將其妥善回收，經適當之處理加工後，將可轉換成具再利用價值之再生材料或產品，而可減少原生資源之開採及避免開採過程所衍生之環境問題。一般而言，使用營建資源所製成的再生綠建材，其品質通常比原生材料低，因此唯有加強其性能優點，降低生產成本才可能有市場競爭力，若能利用產業及營建資源作為原料，應該是降低生產成本之關鍵，並且所開發之再生綠建材兼具廢棄物減量，及環境保護的目標。

有鑑於此，本計畫擬採用目前利用率較低之 B2-3、B3、B4 及 B6 類營建剩餘土石方，上述幾種營建剩餘土石方經統計調查均佔每年營建剩餘土石方總產出之 50% 以上，且營建剩餘土石方多數富含鈣、矽化合物，因此今年度本計畫建築廢棄物再生循環技術開發工作項目中有二個工作分項為：輕質隔熱再生綠建材開發，與冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發。

第一節 營建剩餘土石方概況

一、營建剩餘土石方定義

依內政部營建署九十六年三月頒訂實施之「營建剩餘土石方處理方案」定義為：「本方案所指營建工程剩餘土石方之種類，包括建築工程、公共工程及其他民間工程所產生之剩餘泥、土、砂、石、磚、瓦、混凝土塊等，經暫屯、堆置可供回收、分類、加工、轉運、處理、再生利用者，屬有用之土壤砂石資源」[2-4]。

目前國內建築拆除剩餘土石方（廢棄混凝土塊、磚瓦、土石）約有 50% 作為掩埋場之填料，20~30% 為路基填料，20~40% 作為空地回填料，其處理利用現況如表 3-1[5] 所示。隨著營建剩餘土石方產量逐年升高、棄土場所減少、加上隨意傾倒等問題日趨嚴重，促使中央與地方政府不得不正視營建剩餘土石方處理問題，加速推動剩餘土石方再利用方案。民國 86 年 1 月行政院內政部公佈之「營建廢棄土處理方案」，已明訂剩餘土方、磚塊、混凝土塊係屬有用之土石方資源，經加工處理可作為材料使用，初步確定其可再利用性，而在民國 88 年 9 月 21 日「集集大地震」發生後，龐大的廢棄混凝土、磚、瓦等之處置方式更引起各界的關注，除內政部於 96 年 3 月頒布「營建剩餘土石方處理方案」第柒條「配合措施」中第二項規定：營建剩餘土石方，可經多元化加工回收處理作為骨材產品使用，成為可再利用之土石方資源，環保署亦提出「九二一震災建築廢棄物再生利用計畫」，另有許多再利用之構想紛紛提出，藉以解決該等建築拆除剩餘土石方處理問題。

表 3-1 國內營建剩餘土石方資源回收利用現況[5]

利用方式	土石方種類	說明	利用率
粒料利用	礫石、砂礫、砂岩、安山岩、石英岩等	直接售予砂石場或供作級配料用	已接近百分之百
磚窯業利用	粘土、砂質粘土、沉泥等	經與其他原料摻配後，皆可利用	限於法令，利用率低
農業利用	砂質壤土、粉砂、粘土質砂等	少數土壤性質較佳者因局部地區的需要加以利用	所佔比率甚低
填方利用	除了沉泥或粘土外皆可	一般皆為直接利用	估計應超過 50 %
水泥副料用	粘土、一般風化土、頁岩等	必需根據土方的化學成分	僅較近水泥廠地區之土方少量利用

內政部頒布「營建剩餘土石方處理方案」，定義營建剩餘土石方之種類，「包括建築工程、公共工程及相關拆除施工所產生之剩餘泥、土、砂、石、磚、瓦、混凝土等，經暫屯、堆置可供回收、分類、加工、轉運、處理、再生利用者，屬有用之土壤砂石資源」。並期能透過減量（reduce）、重複使用（reuse）及再生利用（recycle）等手段來節省資源的開發，以達到保護環境及永續發展的目的。再生材料之應用必須以符合現有材料規範標準為原則，不因其為使用過的再生材料而降低品質要求，有關標準規範之擬訂即以此原則為基準，透過相關實際運用在公共工程上的標準施工規範，以期能落實兼顧材料品質及施工品質的可行性。

二、營建剩餘土石方分類

行政院公共工程委員會頒布之「公共工程施工綱要規範」中曾認定依 ASTM D2487 試驗結果屬於泥炭土（Pt），高低塑性有機質土壤（OH/OL）材質者皆為不適用的工程填方材料。依據內政部營建署將全國營建剩餘土石方分類中，B3、B4、B6、B7 是土資場較難處理之分類土石方，也是目前土資場不願收受之剩餘土石方，造成剩餘土石方違規棄置之要來源，因此需加強此類剩餘土石方的改良再利用方法，以減少其對環境之影響。

營建剩餘土石方大體上可初步予以分類成砂石粒料、混凝土塊及磚塊、土壤、粘土等。目前依產生階段、清運階段、中間分類處理階段及再利用階段，營建剩餘土石方分類處理階段流程如圖 3-1 所示。若依施工步驟拆除、開挖填築、興建階段、營建剩餘土石方分類處理步驟流程如圖 3-2 所示。營建剩餘土石方再生利用首要的工作，須仰賴剩餘土石方堆置處理場，做為營建剩餘土石方進行基本分類的基地，分類後的營建剩餘土石方再生利用對策分析如表 3-2，各剩餘土石方堆置處理場之剩餘土石方分類方式如表 3-3，依內政部所分類之各種類營建剩餘土石方來源及處理方式分項敘述如下。

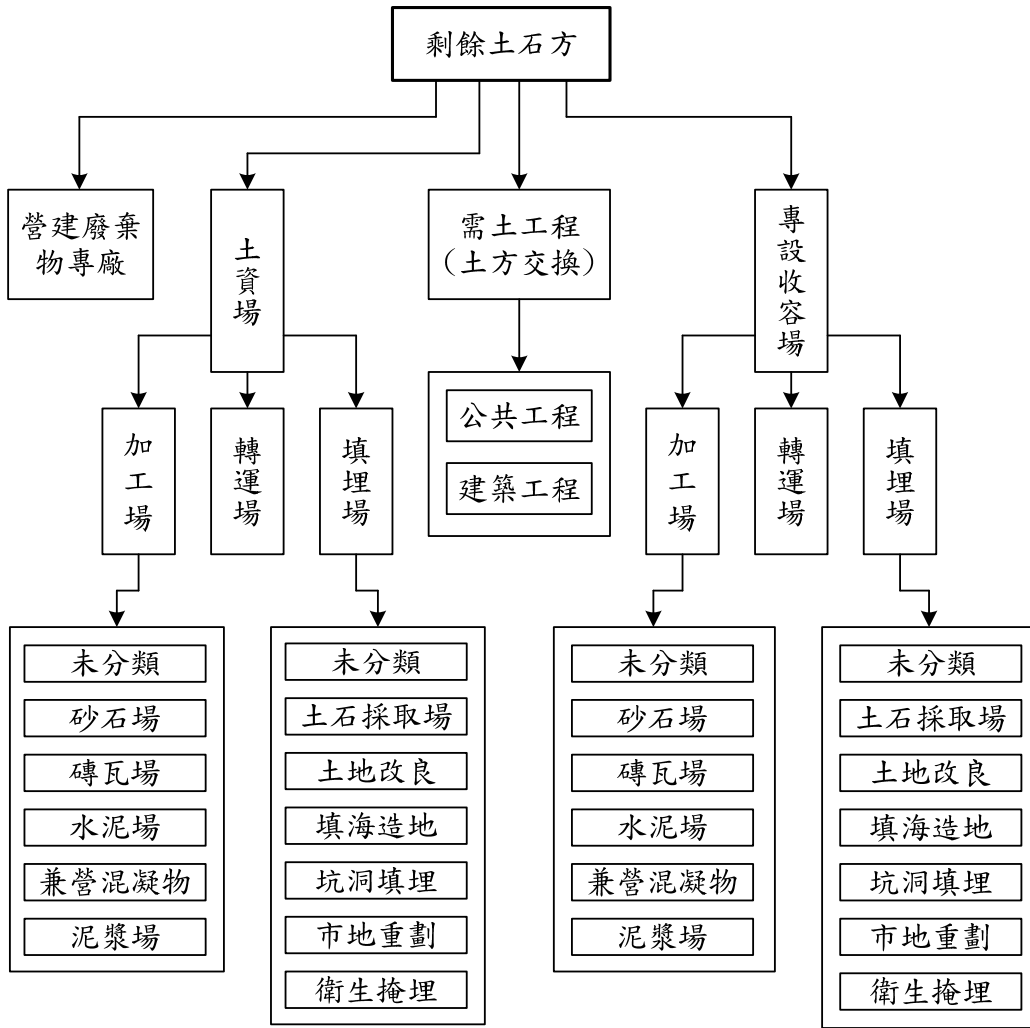


圖 3-1 營建剩餘土石方分類處理階段流程

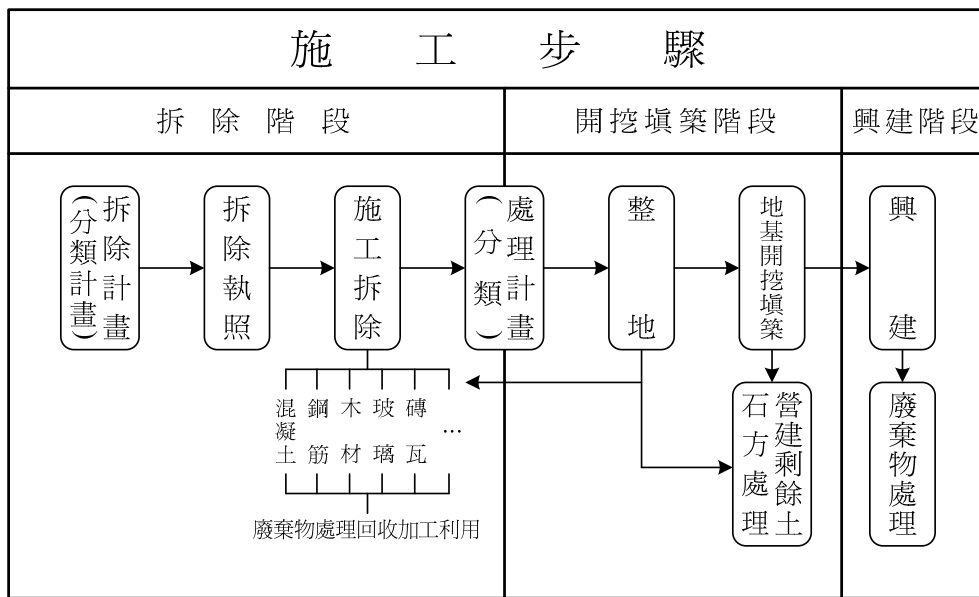


圖 3-2 營建剩餘土石方分類處理步驟流程

表 3-2 營建剩餘土石方再生利用對策

再生利用程序	剩餘土石方				
一、分類	各類型剩餘土石方進入資源堆置處理場加以分類				
	B1 岩塊、礫石、碎石、砂	B2-1、B2-2、B2-3 土壤	B3 粉土質土壤（沉泥）	B4 黏土質土壤	B5 混凝土塊、磚塊
二、分類項目			B7 連續壁產生之皂土	B6 淤泥或含水量大於 30% 土壤	
三、再生過程	1. 清洗 2. 軋製 3. 研磨 4. 篩分 5. 儲存	1. 曝曬 2. 混合 3. 堆置或包裝	1. 清洗 2. 篩分 3. 曝曬 4. 儲存	1. 成分分析 2. 造粒 3. 燒結 4. 封裝圍束成版狀	1. 軋製 2. 篩分 3. 儲存
四、產品型態	1. 碎石粒料級配 2. 機製砂粒料級配	1. 養分高，透水性良好的有機土壤	1. 剪力強度，普通至劣。 2. 夯實後半透水至不透水 3. 壓縮性為中、高	1. 具表面光澤玻璃化的輕質粒料 2. 不同粒徑 3. 不同比重 4. 尺寸標準規格化	1. 多角形塊狀 2. 輕級配料
五、應用場合	1. 營建混凝土粒料 2. 道路基層級配料 3. 背填級配料	1. 園藝盆栽 2. 美化工程 3. 農田土質改良	1. 磚瓦場料源 2. ML, OL 做為填方料源 3. MH, OH 目前尚無法作為構築材料	1. 結構用輕質混凝土 2. 隔熱、防火隔間材料 3. 園藝用途、花土 4. 河川坡面保護工使用	1. 受損鋪面緊急回填料 2. 背填或填充材料 3. 混凝土替代粒料
六、回收價值	高	高	中	高	中

資料來源：工研院能環所

1. B1 岩塊、礫石、碎石及砂

營建工程的整地作業、地下室開挖等作業或土石流的產生之土及砂石混合料，此混合料共同的特性為含泥量偏高，並不適合直接作為混凝土粒料或道路工程的填方材料，可將這些混合料運送至剩餘土石方堆置處理場或砂石處理工廠，先予以洗淨後初步分類成礫石及砂二大部份，礫石先經過篩網分離大小顆粒，再進入碎石機將礫石碎裂成不同粒徑的粒料，經過篩網分離大小顆粒再洗淨的過程，可製造出品質優良的礫石粒料，供應混凝土製造業者作為混凝土粒料，這種處理程序所得到的產品具有最高的附加價值，可有效解決國內砂石短缺的問題[6]。礫石級配料亦可供作道路填方的級配料，及擋土措施背填的濾層，利用價值頗高。初步分類後的砂，經過洗砂機清洗提升潔淨度後，只要

級配符合規定，可作為混凝土用砂，亦可用於道路、擋土牆等工程上，對國內砂石短缺問題，提供了最有效的解決途徑。回收淨化後的砂石粒料，性質必須符合中華民國國家標準（CNS）、美國材料試驗協會（ASTM）等規範需求，才可以應用於建築工程上。

表 3-3 剩餘土石方堆置處理場土石分類對照

合法收容處理場所類型	收容剩餘土石方之土質代號
土石方資源堆置處理場	1.B1, B2-1, B2-2, B2-3 2.B3, B4, B6, B7 3.B5
既有土石方再利用處理場所	磚瓦窯場 輕質粒料場 砂石堆置、儲運、土石碎解 洗選場（簡稱砂石場） 預拌混凝土場 水泥場 土石採取場回填土石方 窪地需土方整地填高者 填海築堤造地者 營建工程需借土方者 水庫、河川坡面保護工
經政府機關依法核准之處理場所	B3, B4, B6, B7 B3, B4, B6, B7 B1, B2-1, B5 B1, B2-1, B5 B3, B4, B6 B1, B2-1, B2-2, B2-3 B1, B2-1, B2-2, B2-3 B1, B2-1, B2-2, B2-3 B1, B2-1, B2-2, B2-3 B4, B6

2. B2-1、B2-2、B2-3 土壤

營建剩餘土石方中常挾雜大量具有黏性或無黏性的土壤成分，於室外曝曬一段時間較為乾燥後，土壤即易與礫石、碎石分離，分類較為容易。分類後的土壤除非含有大量的黏土，否則主要成份為砂質、沉泥、黏土及有機土的混合物，絕大部分被應用於園藝工程及植生綠化工程的用途上[7]。一般的做法是依土壤的黏稠性，依適當比例混合稻穀、甘蔗渣及木材屑，成為透水性較高的土壤後，並依土壤品質及植生種類，施加不同成分肥料及數量，以符合不同園藝需求；回收土壤也可供給公共工程或民間工程植生綠化用的土壤，使得有機土壤或土壤再加工處理後，變成有用的園藝之基礎材料。

3. B3 粉土質土壤（沉泥）及 B7 連續壁產生之皂土

統一土壤分類法係 Casagrande 於 1948 年為機場之建造而發展，而後於 1952 年略作修正以適合於土壤及其他構造物。本系統主要分類符號於表 3-4 中。該分類法所依據數據：1. 粒徑分佈曲線，2. 阿太堡限度與指數。統一土壤分類法要點說明如下[8]：

通過 200 號篩 50% 以上者為細粒土，50% 以下者為粗粒土。

粗粒土依通過 4 號篩百分比而分為礫石與砂兩類，通過 4 號篩在 50% 以上者為砂（以 S 表示），以下者為礫石（以 G 表示）

將粗粒土依通過 200 號篩百分比分為：

通過 200 號篩 5 % 以下者：依級配性區分

- (a) 砂石 $C_u > 6$ ，礫石 $C > 4$ ，而 C 在 1~3 之間者，以 W（級配優良）表之。
- (b) 不合 (i) 之條件者以 P（級配欠佳）表之。

通過 200 號篩 12 % 以上者：依塑性區分

- (a) 阿太堡限度在塑性圖表 A 線下方或 $PI < 4$ 者為泥質以 M 表示。
- (b) 阿太堡限度在 A 線上方或 $PI > 7$ 者以 C（粘土質）表示。
- (c) $4 < PI < 7$ 者以雙重符號表示之，如 SM-SC，GM-GC。

沉泥排水較砂土困難，惟透水性遠較黏土為大，其粒徑大小在 0.06 mm~0.002 mm 之間，Casagrande 利用阿太堡限度將細粒土壤分成八種，即高、中、低塑性之無有機質沉泥 (silt)，高、中、低塑性之無有機質粘土 (clay)，有機質粘土及有機質沉泥，統一土壤分類法也將不同典型分類土壤作成工程性質應用判斷表，如表 3-5 所列，可簡單判定分類符號代表土壤所具有之滲透性、壓縮性、剪力強度及材料使用性。

表 3-4 土壤主要分類符號表[8]

土壤型式	字頭	次群 (subgroup)	字尾
礫石	G	優良級配	W
砂	S	級配不良	P
沉泥	M	沉泥質	M
粘土	C	粘土質	C
有機質	O	低壓縮性	L
泥炭土	Pt	高壓縮性	H

4. B4 黏土質土壤及 B6 淤泥或含水量大於 30 % 之土壤

營建工程在整地、開挖、拆除過程中，可能產生數量龐大的剩餘黏土，其顆粒粒徑極小，凝聚性及可塑性均高、不易透水，回填過程夯實不易，又具有壓密沉陷的問題，回收再生利用的效益難以評估[9]。不過，黏土可製造多孔質的輕質粒料，不僅具有良好的防火、隔音、隔熱性能，質輕的特性，作為混凝土粒料可大幅降低混凝土自重，對位於地震帶的區域具有防震消能的功效[10]，台灣地區歷經 921 地震的重創，更突顯結構物減重抗震的重要性。歷年來國內用電量需求暴增，採用隔熱性能較佳的輕質混凝土，則有節省能源的環保意義；都市空間密集，火災頻傳，應用防火性能優異的輕質混凝土，有助於減少火災的危害性。目前黏土質淤泥經 1200 °C 高溫燒結後，可製作出表面玻璃化之輕質粒料，這項技術可用於回收處理具黏性的黏土，亦具有回收再生資源的永續利用意義[11-13]。

表 3-5 統一土壤分類法在工程性質應用判斷表[8]

分類符號	土壤典型名稱	夯實後之滲透性	夯實並飽和後之剪力強度	夯實並飽和後之壓縮性	作為構築材料的可使用性
GW	優良級配礫石	透水	極佳	可不計	極佳
GP	不良級配礫石	極透水	佳	可不計	佳
GM	沉泥質礫石	半透水至不透水	佳	可不計	佳
GC	粘土質礫石	不透水	佳至普通	很低	佳
SW	優良級配砂	透水	極佳	可不計	極佳
SP	不良級配砂	透水	佳	很低	普通
SM	沉泥質砂	半透水至不透水	佳	低	普通
SC	粘土質砂	不透水	佳至普通	低	佳
ML	沉泥，沉泥質或粘土質細砂	半透水至不透水	普通	中	普通
CL	沉泥質粘土	不透水	普通	中	佳至普通
OL	低塑性有機質沉泥或有機質沉泥粘土	半透水至不透水	劣	中	普通
MH	無機沉泥	半透水至不透水	普通至劣	高	劣
CH	高塑性無機質粘土	不透水	劣	高	劣
OH	中至高塑性有機粘土或有機沉泥	不透水	劣	高	劣
Pt	泥炭土及高有機土壤	-	-	-	-

5. B5 磚塊或混凝土塊

建築結構物或土木結構體拆除後，產生大量的混凝土塊及磚塊等剩餘土石方，這些混凝土塊及磚塊的品質穩定性不易控制，但已有研究證明混凝土加入部份回收料當作粒料，可符合 CNS 1240 混凝土粒料規範之需求，規範之試驗項目如附表 3-6 所示。使用回收材料之混凝土，透過礦物、化學摻料及配比控制技術，可達中高強度（46 MPa）、坍度 26 公分及坍流度 60 公分以上的高性能混凝土[14]，其應用範圍初步可以次要結構物為對象，如平面停車場鋪面，長期的應用範圍則應朝一般結構體的設計使用方向邁進。混凝土的性質與配比技術具有重要的關鍵性，運用摻料調配技術提升混凝土各項性質，可克服回收材料不足之處，提升其於混凝土中之使用量與應用範圍。

表 3-6 再生粒料應用之規範與標準

品管試驗		
試驗類別	試驗項目	試驗規範
粒料試驗	粒料取樣	CNS 485
	粗、細粒料篩分析試驗	CNS 486
	細粒料比重吸水率試驗	CNS 487
	粗粒料比重吸水率試驗	CNS 488
	細粒料表面含水率試驗	CNS 489
	粗粒料 (37.5 mm 以下) 洛杉磯磨損試驗	CNS 490
	細粒料小於試驗篩 0.075 mm (No.200) 試驗	CNS 491
	粒料單位質量與空隙試驗	CNS 1163
	細粒料中有機物含量試驗	CNS 1164
	粒料中土塊及易碎顆粒含量試驗	CNS 1171
	粒料硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗	CNS 1167
	含砂當量試驗	ASTM D2419 AASHTO T176
	粗粒料扁平、細長、扁長粒料含量試驗	ASTM D4791
再生粒料雜質含量試驗	RTA T276	

三、營建剩餘土石方產量

台灣地區由於老舊結構物汰舊換新及公共工程持續推行，產生了大量建築與公共工程剩餘土石方，衍生出剩餘土石方回收再利用的問題。根據「各縣市工程產出各類土質統計資料」，台灣地區九十六年產生剩餘土石方約 3,820 萬立方公尺，九十七年產生剩餘土石方則約 3,680 萬立方公尺，如表 3-7 所示，公共工程與建築工程所產出之土方量遠大於填土所需土方量，由於處理困難，造成大量營建廢棄物及剩餘土石方隨意棄置，嚴重污染環境、降低生活品質，致使社會成本大幅增加。

營建剩餘土石方再利用於國外已行之有年，美國 1970 年代即已開始再生材料之研究，且已成功的應用於道路工程，而日本針對拆除土石方之應用，除道路工程、填海造地外，亦朝向建築粒料方向發展，此外，香港、新加坡、荷蘭亦應用拆除土石方於填海造陸工程上，充分顯示營建剩餘土石方之可再利用性，若任意棄置不但影響環境、並浪費回收資源之經濟效益[15-17]。我國土地狹小、人口密集、資源有限以及國內各項公共工程建設陸續推動，對資源之需求亦日益增加，更凸顯資源有效再利用之重要性。

表 3-8 為近九年各類土質土方累計產出量，其中，B1 及 B5 類剩餘土方為處理較為簡單之再生粒料產品，並可直接用於營造工程中，所產生的經濟效益最高，而 B2-1 及 B2-2 類土石方雖含有少部份土壤，於加工處理後，亦可為品質優良之粒料級配。而再利用性較低且處理困難之 B2-3、B3、B4、B6 及 B7 類，便佔營建剩餘土石方總量的 54%，

而這些種類土壤受限於回收處理方式較為複雜、或所創造之經濟效益較低，處理方式多採其他工程填方或掩埋場掩埋方式處理，相較於其他回收再生粒料，對於紓解國內砂石供需失衡，平抑砂石價格上揚助益甚少，而採取掩埋之處理方式，亦對當地生態環境造成衝擊。

表 3-7 歷年全國土方供需統計表 (截至 100 年 11 月、單位：立方公尺)

年份	公共工程			建築工程			總計		
	產出量	需土量	可再利用物料	產出量	需土量	可再利用物料	產出量	需土量	可再利用物料
90	4,508,134.9	101,872.0	0.0	1,123,324.8	72.0	0.0	5,631,459.7	101,944.0	0.0
91	23,723,973.5	3,026,009.8	0.0	7,075,649.8	271,575.0	527.0	30,799,623.3	3,297,584.8	527.0
92	24,758,064.5	5,063,439.3	33,379.0	12,039,320.0	638,163.1	1.0	36,797,384.5	5,701,602.3	33,380.0
93	22,647,417.0	6,045,424.7	36,372.0	16,013,613.0	362,175.9	25,414.0	38,661,030.0	6,407,600.6	61,786.0
94	21,785,835.2	8,212,308.9	154,671.0	20,341,155.6	323,470.4	11,666.0	42,126,990.8	8,535,779.3	166,337.0
95	18,617,474.6	6,333,003.7	382,616.0	21,800,714.0	317,752.9	230,175.0	40,418,188.6	6,650,756.6	612,791.0
96	18,214,249.1	4,662,500.2	1,176,474.0	20,467,471.6	327,247.5	622,510.0	38,681,720.7	4,989,747.7	1,798,984.0
97	13,949,253.1	2,143,108.5	596,482.0	21,304,495.2	242,007.9	636,345.0	35,253,748.4	2,385,116.4	1,232,827.0
98	15,072,925.4	2,516,698.2	2,142,994.3	12,030,865.8	45,046.9	659,277.0	27,103,791.1	2,561,745.1	2,802,271.3
99	14,676,471.0	3,354,064.6	497,643.7	18,160,187.9	52,101.0	89,555.1	32,836,658.9	3,406,165.6	587,198.8
100	9,629,165.4	1,873,694.2	736,069.5	17,463,549.6	96,923.0	57,254.0	27,092,715.0	1,970,617.2	793,323.5
合計	187,582,963.7	43,332,124.1	5,756,701.5	167,820,347.3	2,676,535.6	2,332,724.1	355,403,311.0	46,008,659.6	8,089,425.6

資料來源：營建剩餘土石方資訊服務中心

表 3-8 歷年全國工程產出各類土質統計查詢 (截至 100 年 11 月、單位：立方公尺)

	B1	B2-1	B2-2	B2-3	B3	B4	B5	B6	B7	總 計
90	1,897,898	774,555	929,167	399,872	1,275,539	321,489	55,261	2,191	21,150	5,677,122
91	9,745,339	3,157,653	2,660,776	3,859,634	6,253,732	4,641,081	286,941	175,606	131,461	30,912,223
92	6,491,354	6,256,473	4,009,632	6,125,236	6,927,483	4,852,074	995,285	803,362	424,588	36,885,487
93	4,109,131	8,417,495	6,705,485	6,530,775	8,408,148	5,177,942	809,651	612,185	107,955	40,878,767
94	2,178,436	8,148,354	6,974,924	9,182,229	8,409,695	5,884,677	1,095,015	485,395	78,657	42,437,382
95	1,749,982	7,975,805	6,272,035	9,352,248	7,340,871	5,571,844	1,370,277	917,939	46,155	40,597,156
96	3,099,089	6,538,887	4,829,821	9,762,949	6,524,040	4,483,718	1,636,861	1,294,205	31,871	38,201,441
97	3,079,980	7,420,172	4,499,688	8,924,265	6,560,130	3,821,069	1,895,799	538,005	55,848	36,794,956
98	2,419,110	5,494,537	3,982,374	8,289,454	3,818,809	1,917,679	1,393,881	529,180	237,392	28,082,416
99	1,862,649	5,984,624	3,840,541	11,238,137	3,732,365	2,533,991	1,653,261	948,366	680,717	32,474,651
100	2,067,708	4,604,449	3,422,585	9,457,140	3,308,069	1,799,144	1,113,092	656,511	664,155	27,092,853
總 計	38,700,676	64,773,004	48,127,028	83,121,939	62,558,881	41,004,708	12,305,324	6,962,945	2,479,949	360,034,454
百分比	10.75%	17.99%	13.37%	23.09%	17.38%	11.39%	3.42%	1.93%	0.69%	100.00%

資料來源：營建剩餘土石方資訊服務中心

四、本計畫採用之營建剩餘土石方

本研究所採用之 B2-3、B3、B4 類營建剩餘土石方，係採自台南市淵南段公有土石方收容場；B6 類營建剩餘土石方採自台北環河路建築工地開挖土壤，取樣後裝袋並放入桶中密封，如圖 3-3 所示；TCLP 毒物溶出試驗結果如表 3-9 所示；XRF 分析結果如表 3-10 所示。根據統一土壤分類法分類，本研究所採用之 B2-3 類營建剩餘土石方屬不良級配砂土 (SP)，B3 類屬於低塑性粉土 (ML)，B4 類屬粉土質砂土 (SM)，B6 類則屬低塑性黏土 (CL)，如表 3-11 所示。

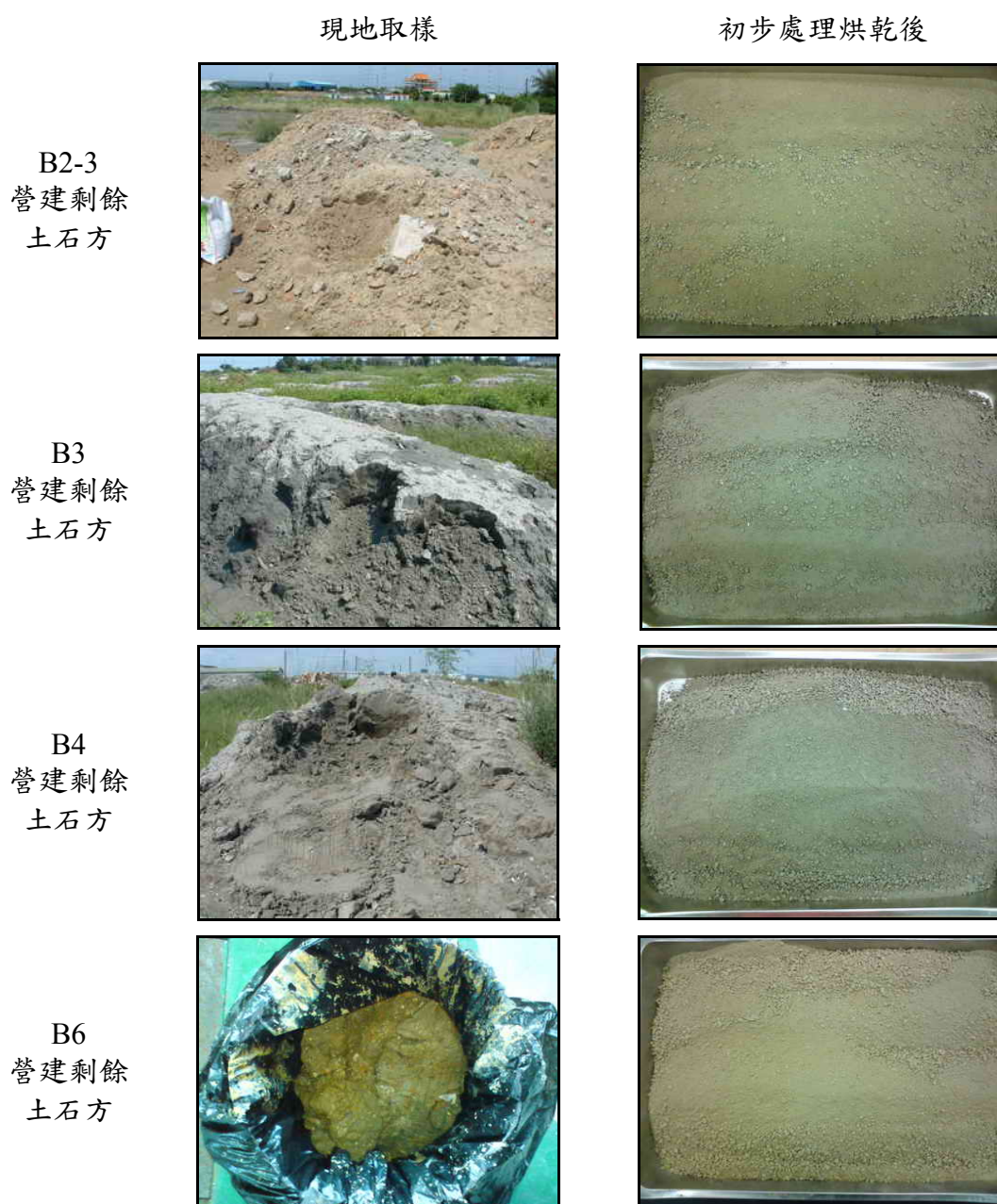


圖 3-3 本研究所採用之營建剩餘土石方

表 3-9 營建剩餘土石方 TCLP 試驗結果

營建剩餘 土石方	比重	TCLP 結果溶出試驗結果 (mg/L)					
		ICP-OE SR306.13C				AA R318.11C	AA R314.12C
		鉻	鎳	鉛	銅	砷	汞
B2-3	2.57	< 0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	0.0033	< 0.0005
B3	2.64	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.0005	< 0.0005
B4	2.54	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.0005	< 0.0005
B6	2.70	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.0015	< 0.0005
一般事業廢棄物 管制標準 (mg/L)		5.0	1.0	5.0	15.0	5.0	0.2
綠建材標章 管制標準 (mg/L)		1.5	0.3	0.3	0.15	0.3	0.005

表 3-10 營建剩餘土石方 XRF 分析結果

編號	B2-3	B3	B4	B6
成分	營建剩餘土石方	營建剩餘土石方	營建剩餘土石方	營建剩餘土石方
MgO	<0.50	<0.50	0.85	0.70
Al ₂ O ₃	14.83	16.77	18.68	21.29
SiO ₂	75.70	73.20	69.46	69.52
SO ₃	0.08	0.14	0.23	0.02
K ₂ O	2.65	2.92	3.43	3.17
CaO	1.96	2.29	2.16	0.27
TiO ₂	0.54	0.67	0.72	0.70
V ₂ O ₅	<0.00093	<0.00093	<0.00093	<0.00093
Fe ₂ O ₃	3.01	3.71	4.17	4.08
Total	98.76	99.70	99.70	99.74

表 3-11 營建剩餘土石方統一土壤分類法結果

項目	編號 B2-3 營建剩餘 土石方	B3 營建剩餘 土石方	B4 營建剩餘 土石方	B6 營建剩餘 土石方
塑性限度	NP	NP	NP	12
液性限度	NP	NP	NP	33
統一土壤分類	SP	ML	SM	CL

第二節 輕質隔熱再生綠建材開發

一、試驗材料之基本特性

1. 水分、灰分與燒失量

表 3-12 為營建剩餘土石方 (B2-3、B3、B4 與 B6) 之水分、灰分與燒失量分析結果。本研究取得之營建剩餘土石方已經過乾燥前處理，故各樣品之水分含量很低，大致介於 0.2~2.3 wt.% 之間。而營建剩餘土石方之灰分皆在 94.8 wt.% 以上，B2-3 更高達近 98 wt.%。燒失量則介於 2.01~3.48 wt.% 之間。燒失量除了有機成分之外，亦可能來自於營建剩餘土石方中礦物結晶水受熱脫除所致。由上述營建剩餘土石方之水分、灰分與燒失量分析結果而言，高灰分、低燒失量的特性可知其有機成分含量很低，主要組成應為穩定的無機礦物。

表 3-12 營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 之水分、灰分與燒失量

項目	B2-3	B3	B4	B6
水分 (wt.%)	0.19±0.01	0.25±0.02	2.28±0.05	0.41±0.03
灰分 (wt.%)	97.80±0.02	96.27±0.10	94.80±0.14	95.49±0.01
燒失量 ^a (wt.%)	2.01±0.03	3.48±0.09	2.92±0.09	2.41±0.01

^a 900°C 煅燒 3 小時

2. 化學元素組成

將乾燥後的營建剩餘土石方以 X 光螢光分析 (X-ray fluorescence, XRF) 測定其化學元素組成，分析結果如表 3-13 所示。由 XRF 分析結果可知，B2-3、B3、B4、B6 營

建剩餘土石方有相似的元素組成，皆以 Si 為主要的元素，含量約介於 392,000~422,000 mg/kg (39.2~42.2 wt.%) 之間，含量次高的元素為 Al，範圍約為 97,600~132,700 (9.76~13.27 wt.%)。各樣品間亦含有 K (26,000~36,000 mg/kg)、Fe (24,000~39,000 mg/kg)、Ca (~18,000 mg/kg) 等不等量的金屬元素。其他微量元素，如 Mg、S、Ti 等之含量則皆在 10,000 mg/kg 以下。

由上述營建剩餘土石方之化學組成可知，B2-3、B3、B4 及 B6 皆以 Si 為主要元素且含量高達約 40 wt.%，由於 SiO₂ 為本研究欲開發之蒸壓養護輕質混凝土 (autoclaved aerated concrete, AAC) 之主要原料之一，故可知營建剩餘土石方應具有再利用為 AAC 替代原料之潛力。

在重金屬方面，各類營建剩餘土石方之重金屬含量分析結果詳列於表 3-14。由表可知，B2-3、B3、B4 及 B6 之重金屬含量皆很低；Cr、Cu、Cd、Pb 皆低於 20 mg/kg，Ni 含量約為 21~34 mg/kg；Zn 含量約介於 52~93 mg/kg 之間；Ba 有較高的含量 (608~724 mg/kg)。上述重金屬含量對照「土壤污染管制標準」[18]，可知主要列管的毒性重金屬 Cr、Ni、Cu、Zn、Cd 與 Pb 含量遠低於管限制值，顯示各類營建剩餘土石方應無重金屬危害之虞。

表 3-13 營建剩餘土石方之主要元素組成

元素 (mg/kg)	B2-3	B3	B4	B6
Mg	<5000	6280	7790	6870
Al	97,620	103,100	110,100	132,700
Si	421,700	396,600	400,000	392,400
S	459	698	847	2240
K	26,360	29,080	30,330	35,990
Ca	17,790	18,190	18,130	17,930
Ti	4318	4501	4841	5622
Fe	24,240	27,600	29,020	39,130

表 3-14 營建剩餘土石方之重金屬含量

元素 (mg/kg)	B2-3	B3	B4	B6
Cr	<21	<22	<23	<25
Ni	21.6	21.0	22.0	34.1
Cu	11.4	8.7	10.6	17.1
Zn	60.6	52.5	54.8	93.2
Cd	<5.7	<5.9	<6.1	<6.2
Ba	629	608	608	724
Pb	20.6	13.7	15.2	21.7

土壤污染管制標準(2011年1月31日):Cr(250 mg/kg)、Ni(200 mg/kg)、Cu(400 mg/kg)、Zn(2000 mg/kg)、Cd(20 mg/kg)、Pb(2000 mg/kg)

3. 晶相組成

本研究以 X 光繞射 (X-ray diffraction, XRD) 分析營建剩餘土石方之晶相組成。圖 3-6 為 B2-3、B3、B4 與 B6 之 XRD 圖譜，由圖中可知各類營建剩餘土石方亦有相似的晶相組成，主要晶相皆為石英 (quartz, SiO_2)，其繞射強度遠高於其他晶相。其次則存在鈣鋁矽酸鹽 (calcium alium silicate, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) 與鋁矽酸鹽水合物 (hydrated alium silicate, $\text{H}_{18.9}\text{Al}_{18.9}\text{Si}_{173.1}\text{O}_{384}$) 等。晶相組成符合前述化學元素組成之分析結果，營建剩餘土石方主要以二氧化矽及含矽化合物為主要成分，應具有作為 AAC 替代原料之再利用潛力。

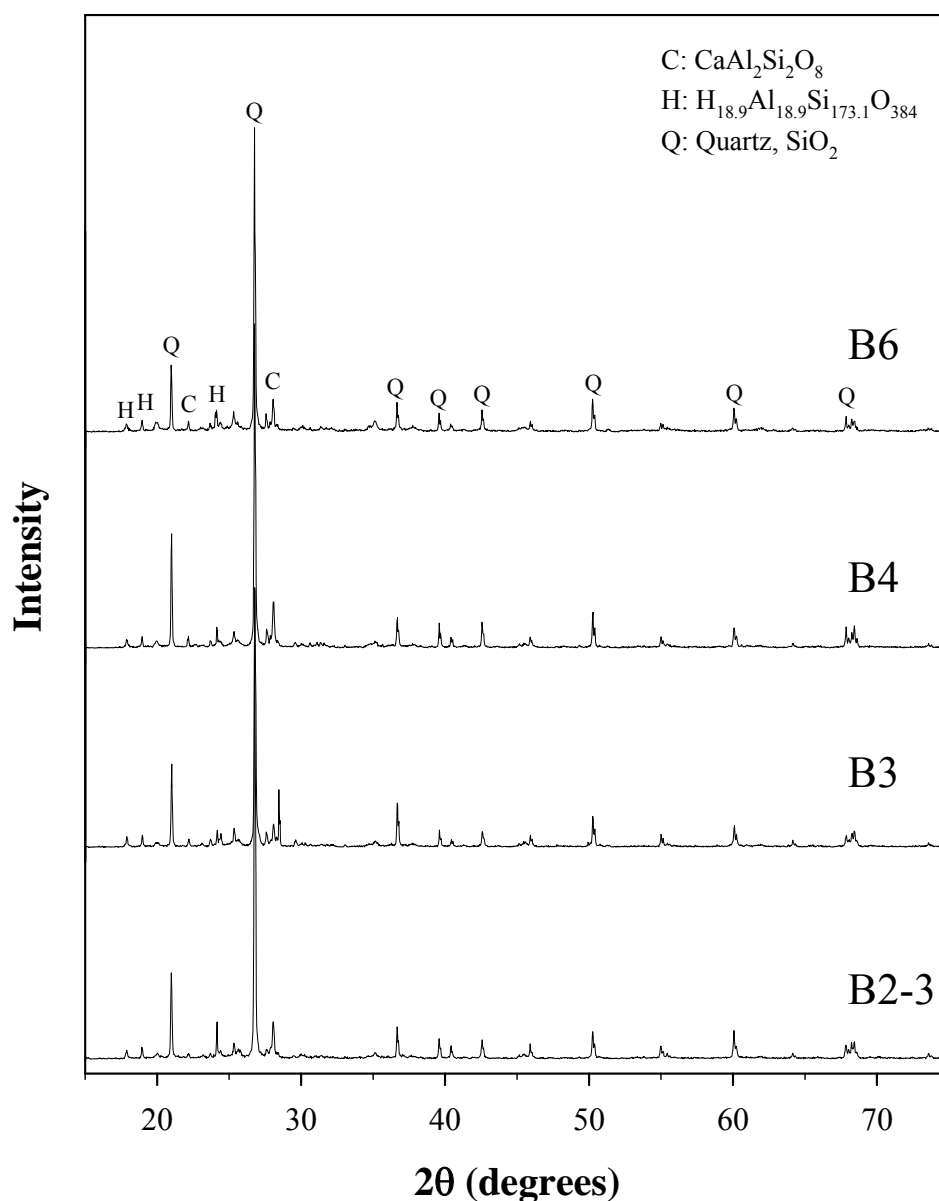


圖 3-4 營建剩餘土石方之 XRD 圖譜

二、蒸壓養護輕質混凝土 (AAC) 之製程條件探討

由相關文獻資料可知，AAC 製品特性受到原料組成、拌合水量、發泡劑量及高壓蒸氣養護條件所影響，其中拌合水量與發泡劑量與 AAC 製品比重有關，而原料組成與養護條件則對製品強度表現有所影響。因此，本研究利用不同原料配比，配合適當的拌合水量與發泡劑量進行 AAC 製作，探討原料組成與高壓蒸氣養護條件對 AAC 製品特性之影響，並分析製品之晶相組成與微觀結構，歸納出合適的原料配比與高壓蒸氣養護程序，以作為後續再利用營建剩餘土石方產製 AAC 之參據。

1. 原料配比及發泡程序

圖 3-5 為綜合整理文獻對於原料配比組成之三相圖[19-23]，由圖可知，AAC 原料調配時，SiO₂ 約佔乾基組成之 65 wt.% 以上，CaO 介於 5~25 wt.%，作為膠結劑之水泥約佔 10~30 wt.%。本研究所採乾基配比則考量相關文獻之條件，設定探討範圍涵蓋各文獻之配比組成，以 SiO₂ 介於 60~70 wt.%、CaO 佔 5~30 wt.%、水泥則以 5~35 wt.% 為主，嘗試歸納適當的乾基組成作為 AAC 製備原料。

本研究選用試藥級 SiO₂、CaO 及市售水泥為 AAC 製備原料，將上述原料以雷射粒徑分析儀 (laser particle size analyzer) 進行分析，粒徑分布結果如圖 3-6 所示。SiO₂ 顆粒平均粒徑為 3.05 μm，粒徑主要分布於 1~10 μm。CaO 顆粒平均粒徑為 39.90 μm，由圖可發現粒徑主要集中於 50~100 μm。而水泥粒徑分布範圍 1~100 μm，平均粒徑為 14.83 μm。

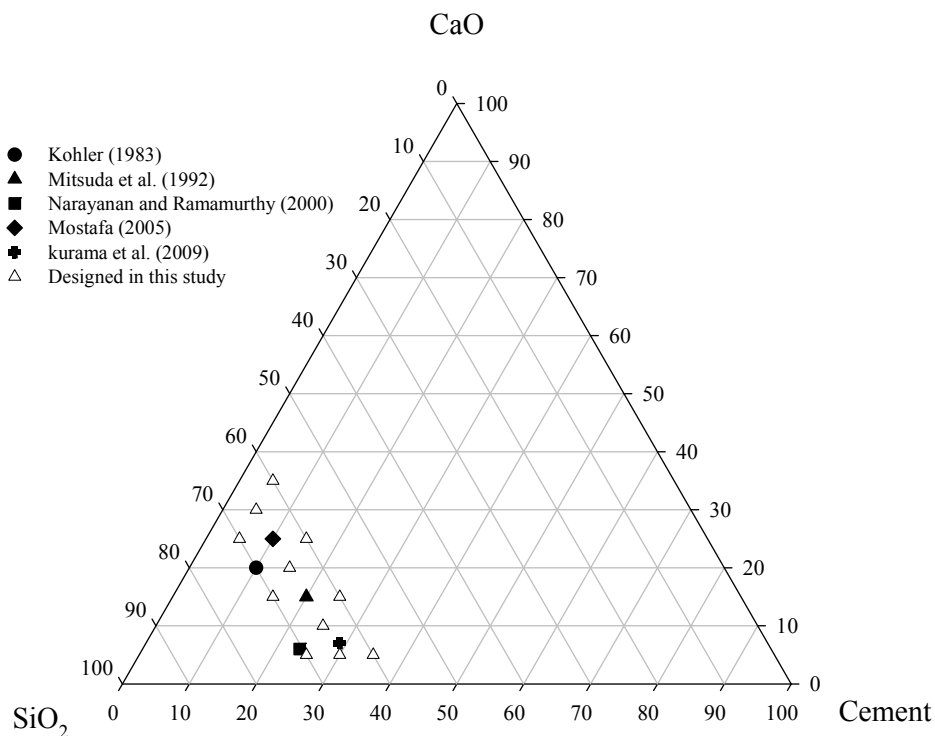


圖 3-5 AAC 原料乾基配比三相圖

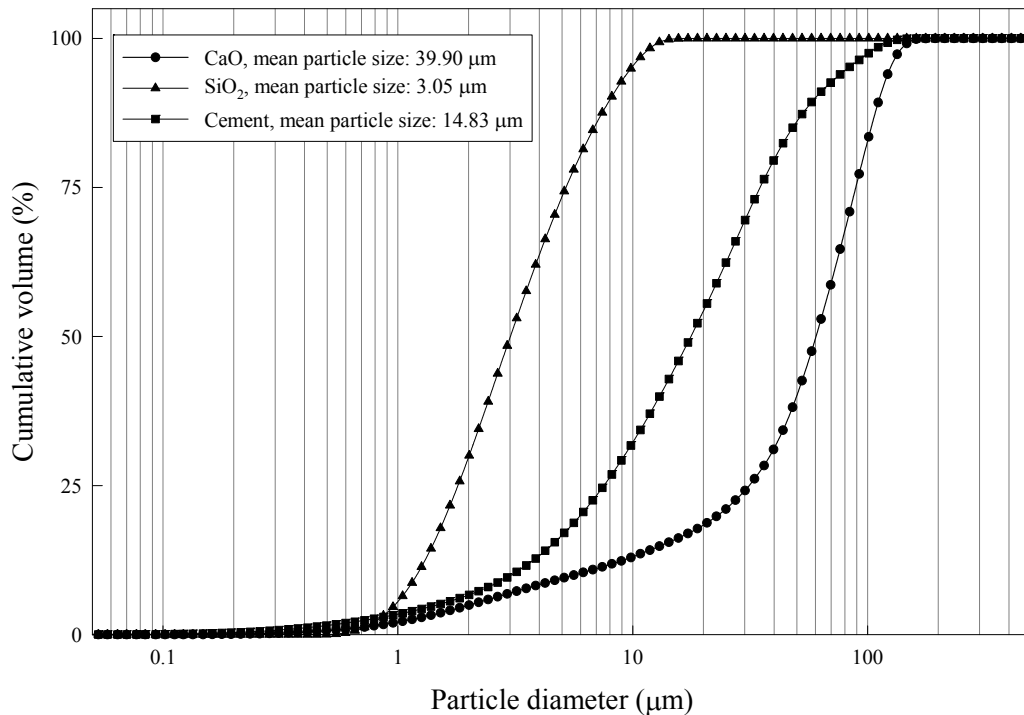


圖 3-6 AAC 原料粒徑分布累計圖

在 AAC 製備之發泡程序中，漿體膨脹程度受發泡劑量與漿體流動性影響，其中漿體流動性對漿體成型後之比重影響最甚，因此首先探討拌合水量對 AAC 製品比重之影響。圖 3-7 為成型漿體比重與水固比 (water to solids ratio, W/S) 之關係，使用鋁粉添加量為 0.5 wt.%，W/S 範圍則介於 0.6 0~1.00 L/kg。圖 3-7 顯示 AAC 製品比重隨 W/S 增加而下降。當 W/S 達 0.70 L/kg 時，因水分充足而有良好的發泡反應，故比重快速下降，平均比重由約 1.00 降至約 0.62。隨著水固比提高，漿體流動性上升，使得發泡反應更易進行，故比重隨之降低，當 W/S = 1.0 L/kg，平均比重小於 0.4，反之，若拌合水量過低，將使得漿體流動性不足，不利發泡膨脹，使整體比重偏高。依據中華民國國家標準 (Chinese National Standards, CNS) 總號 13480 「高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚」烘乾容積比重約介於 0.41~1.20，並參考美國材料試驗協會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) C1386 分類 AAC 製品密度介於 400~800 kg/m³，因此本節後續實驗將以 W/S = 0.70 L/kg 作為拌合水量之固定條件。

AAC 漿體膨脹程度除了受到流動性影響之外，發泡劑量多寡對氣體產生量則有直接關係，鋁粉添加量越多，反應產生之氫氣亦越多，因此接著改變鋁粉添加量，探討成型漿體比重與發泡劑量之關係，實驗結果如圖 3-8 所示，固定 W/S 為 0.70 L/kg 的條件下，當鋁粉添加量為 0.25 wt.% 時，AAC 製品平均比重在 0.75 以上。隨著鋁粉添加量增加至 0.5 wt.%，比重可降至 0.66~0.68；當鋁粉添加量分別為 0.75 wt.% 及 1.0 wt.% 時，比重則介於 0.62~0.65。

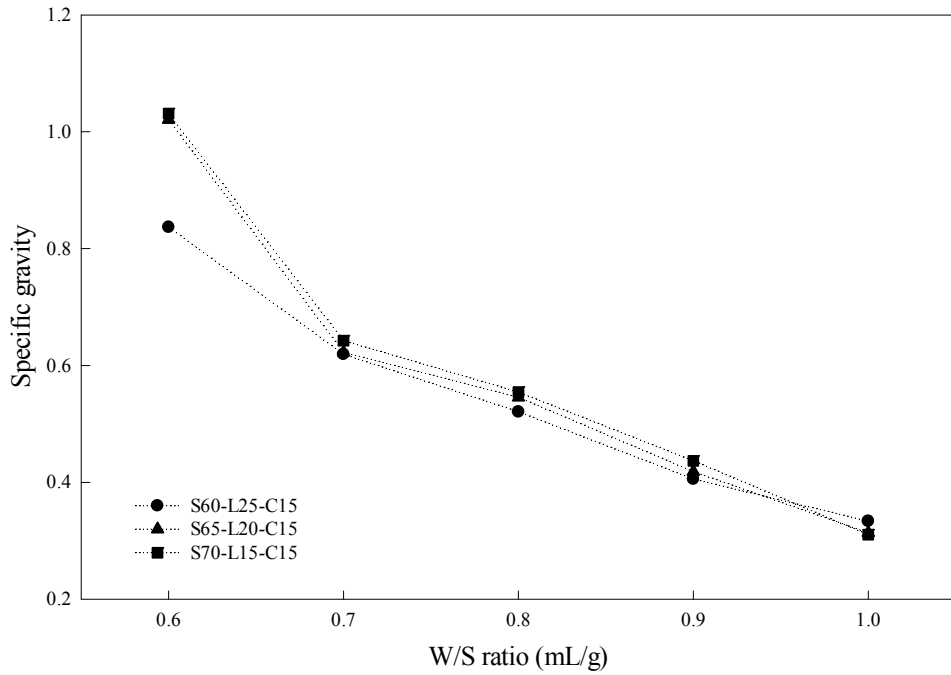


圖 3-7 水固比 (W/S) 對成型漿體比重之影響

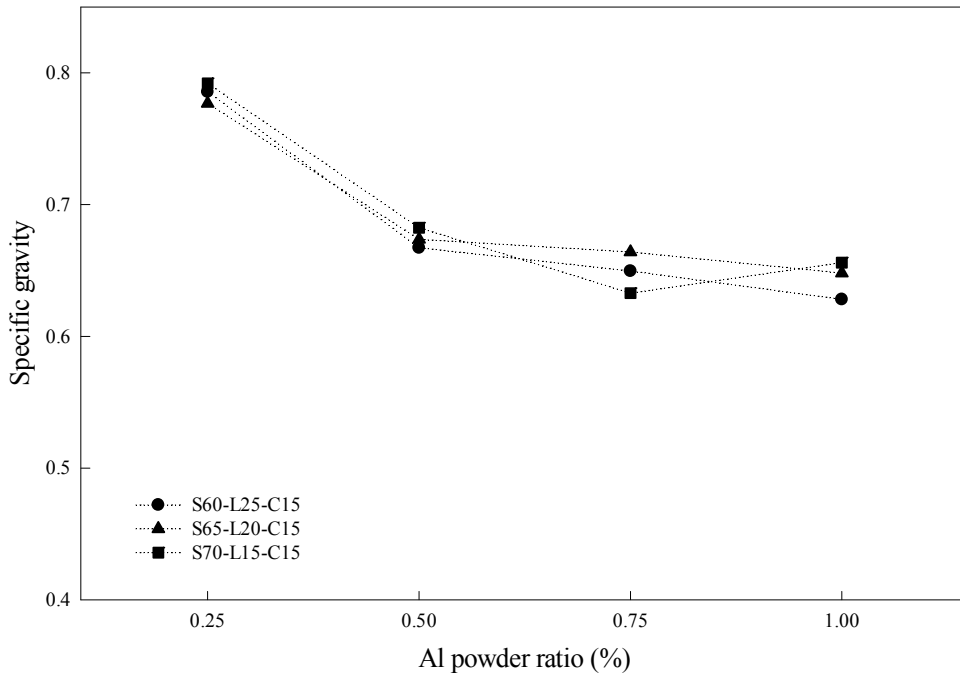


圖 3-8 鋁粉添加量對成型漿體比重之影響

上述結果顯示改變鋁粉添加量雖可降低成型漿體之比重，但由於成型的體積係於漿體自重與發泡體支撐力達平衡時所決定，過量發泡劑除了使反應速率過快造成發泡體結構不穩定之外，產生過量的氣體易使漿體形成連續孔洞，氣體隨表面孔洞逸散，無法對漿體膨脹有所貢獻，因此後續 AAC 製作時，鋁粉添加量以 0.5 wt.% 為固定條件。

2. 蒸氣壓力與養護時間對製品特性之影響

AAC 具備輕質、隔熱、隔音、高強度與防火等優良物理特性，且產品製造及回收上可進行資材化再利用，更具高能資源效率與低環境負荷等優點。AAC 屬於輕質混凝土的一種，質輕且強度高為其最大優點，其重量約為一般混凝土的四分之一，可作為樓板、屋頂、混凝土磚等，依據 CNS 標準總號 13480 分類 AAC 比重為 0.41~1.20，抗壓強度最小值規範為 2.0~10.0 MPa，如表 3-15。

表 3-15 AAC 物理特性分類 (CNS)

種類 ^a	抗壓強度 (MPa) (最小值)	烘乾容積比重 (最大值)	平均烘乾容積 比重
G2	2.0	0.50	0.41~0.50
G4	4.0	0.60	0.51~0.60
G6	6.0	0.80	0.61~0.80
G8	8.0	1.00	0.81~1.00
G10	10.0	1.20	1.01~1.20

^a 依據中華民國國家標準 (Chinese National Standards, CNS) 總號 13480 「高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚」之分級標準，G2、G4 與 G6 分別近似於 ASTM 規範中 AAC-2、AAC-4 與 AAC-6 之標準。

(1) 比重

AAC 製程中高壓蒸氣養護程序包括預養期、升溫期、養護恆溫期和冷卻期，其中養護恆溫期的蒸氣壓力是決定製品特性的重要過程，AAC 養護時一般選擇之蒸氣養護壓力條件為 10 atm 以上，養護時間 8 小時以上，本階段將探討養護恆溫期之壓力與時間對 AAC 製品特性之影響。

圖 3-9 為 12 atm 下，養護時間對 AAC 製品比重之影響，由圖可發現隨著養護時間的改變，各配比之 AAC 製品比重介於 0.58~0.67。其中水泥比例高者比重較小，反之石灰比例高者比重較高，然而比重並未隨養護時間而有明顯變化，係由於製品體積已於漿體膨脹階段決定，高壓蒸氣環境主要促進水化及卜作嵐反應，對 AAC 製品比重影響甚微。

(2) 抗壓強度

圖 3-10 與圖 3-11 為 12 atm 下，養護時間對 AAC 製品抗壓強度發展之影響，由圖可知抗壓強度隨著養護時間增加而提高，養護時間超過 12 小時其強度發展趨於平緩，再延長養護時間則無明顯增長，顯示強度發展大致於 12 小時完成。Narayanan [21]曾指

出 AAC 高壓蒸氣養護時間一般介於 8~16 小時。由圖亦可發現，石灰相較於水泥配比高者，其抗壓強度較大。

此外，可發現經過高壓蒸氣養護長時間達 24 小時，抗壓強度略微下降，Isu [24-25] 曾探討 SiO₂ 粒徑對 AAC 製品強度之影響，結果顯示使用粒徑 4.3~7.5 μm 的 SiO₂ 作為 AAC 原料，養護時間達 32 小時，tobermorite 會逐漸分解生成「白矽鈣石」(gyrolite, Ca₂Si₃O₇(OH)₂·H₂O)，因而降低 AAC 之抗壓強度，而本研究使用之 SiO₂ 平均粒徑為 3.05 μm，因此有相同現象。

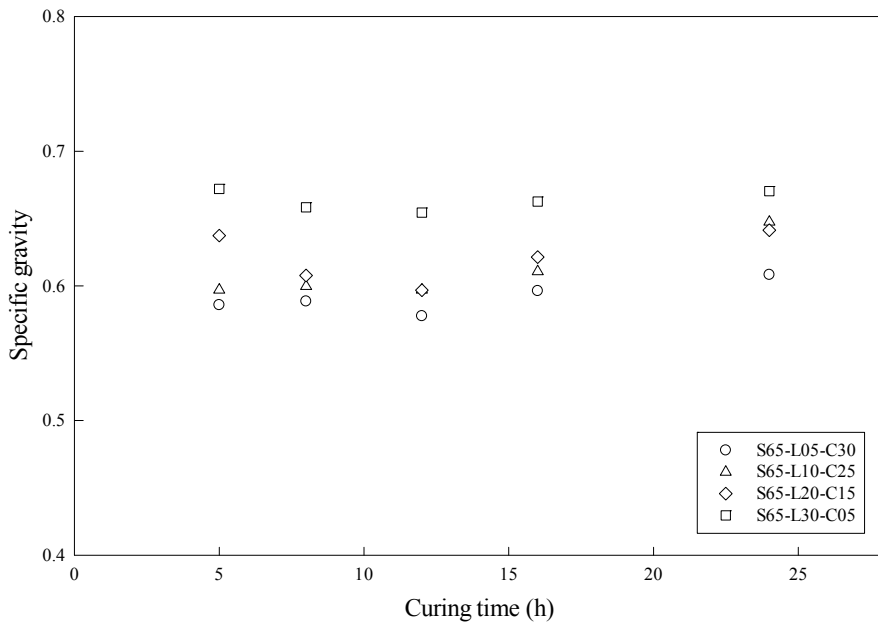


圖 3-9 養護時間對 AAC 製品比重之影響 (12 atm)

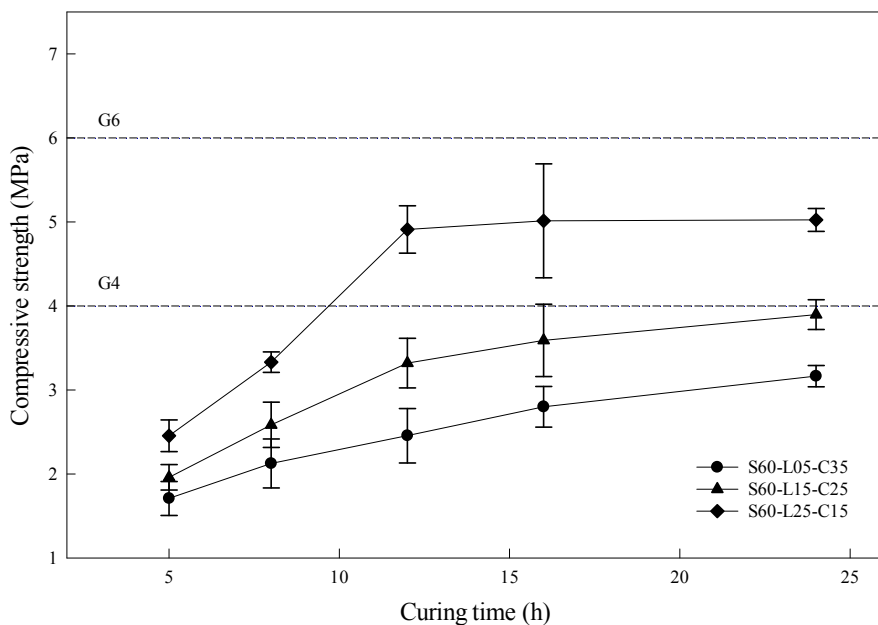


圖 3-10 養護時間對 AAC 製品抗壓強度之影響 (12 atm, SiO₂ = 60 wt.%)

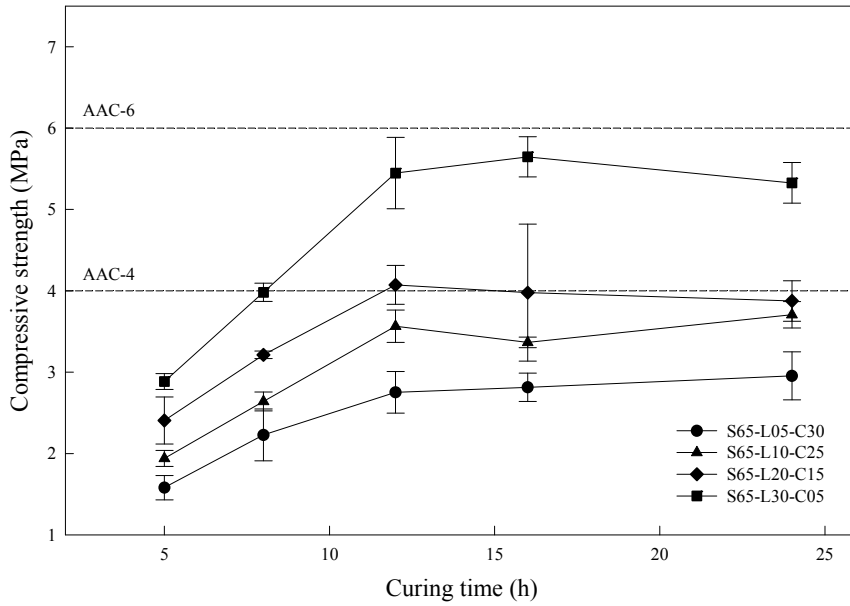


圖 3-11 養護時間對 AAC 製品抗壓強度之影響 (12 atm, SiO₂ = 60 wt.%)

當原料組成 SiO₂ 含量提高至 70 wt.%時, AAC 製品在不同養護時間下其抗壓強度之變化如圖 3-14 所示。由圖可發現當養護時間 12 小時, S70-L25-C05 與 S70-L15-C15 兩組配比之抗壓強度分別為 4.79 MPa 及 4.0 MPa, 可符合 G4 (4.0 MPa) 強度分級。進一步延長養護時間時, AAC 製品強度可持續增加, 抗壓強度於養護時間達 16 小時發展趨緩。此結果相較於 SiO₂ 含量 60 wt.% 及 65 wt.% 則需較長養護時間, 係由於 SiO₂ 比例較高, 需要足夠的養護時間使 SiO₂ 與 CaO 充分反應, 其中原料配比 S70-L25-C05 於養護 16 小時下, 抗壓強度可達 6.59 MPa, 更可符合 G6 (6.0 MPa) 分級標準。

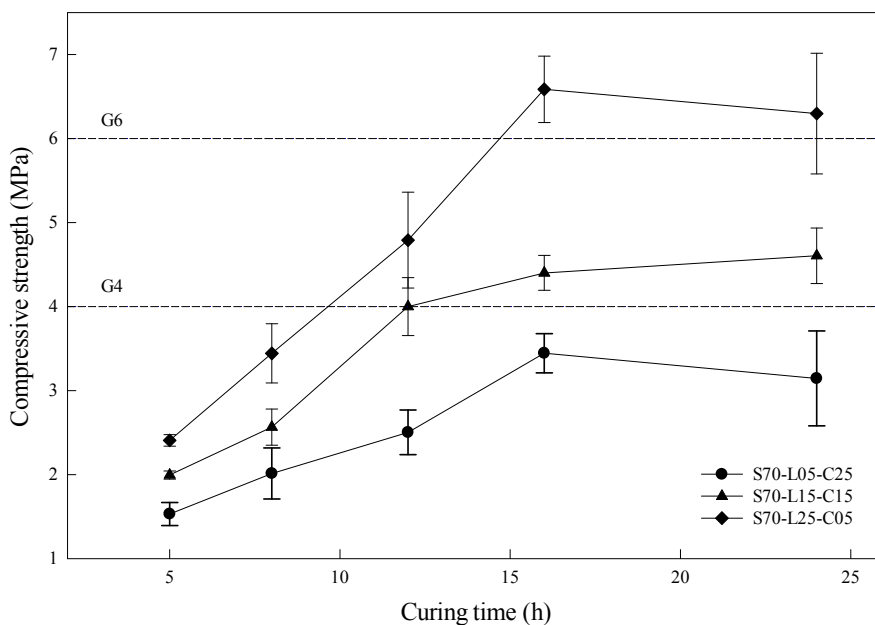


圖 3-12 養護時間對 AAC 製品抗壓強度之影響 (12 atm, SiO₂ = 70 wt.%)

三、營建剩餘土石方產製蒸壓養護輕質混凝土

由前述研究成果可知，選擇蒸氣壓力 12 atm 養護時間 12 小時之養護條件下，可符合 G4 規範之原料配比共有 5 組，分別為 S60-L25-C15、S65-L30-C05、S65-L20-C15、S70-L25-C05 與 S70-L15-C15。另 S70-L25-C5 於 12 atm 養護時間 16 小時下更可符合 G6 的規範需求。在歸納出適當的 AAC 製程條件後，本研究後續選擇原料配比 S70-L25-C5 ($\text{SiO}_2 = 70 \text{ wt.}\%$ 、 $\text{CaO} = 25 \text{ wt.}\%$ 、 $\text{Cement} = 5 \text{ wt.}\%$)，水固比等於 0.7 L/kg 為 AAC 製作條件，以營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4、B6 取代 AAC 原料之 SiO_2 進行再利用，並探討各類營建剩餘土石方可再利用之最高比例及對於產品特性之影響。當營建剩餘土石方取代量達 70 wt.% 時，即表示其完全取代 SiO_2 。

表 3-16 為營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 產製 AAC 之比重與抗壓強度試驗結果。由表可知，以營建剩餘土石方取代 SiO_2 產製 AAC 時，在低取代量下 (10 wt.%、20 wt.%)，製成的產品比重略微增加，但抗壓強度大幅提升。由前述 AAC 原料基本特性得知， SiO_2 粉末之粒徑小於 $38 \mu\text{m}$ ($< 400 \text{ mesh}$)，主要用於與 CaO 反應生成 tobermorite，而營建剩餘土石方之顆粒粒徑分布較廣，粒徑較大的顆粒在 AAC 漿體中可能扮演細骨材的角色，因此可提供較佳的抗壓強度。

另一方面，隨著營建剩餘土石方取代量增加，AAC 製品比重緩慢下降而抗壓強度快速衰減。此結果應可歸因於兩大因素：(1) 由於營建剩餘土石方之化學組成除了 SiO_2 以外，亦含有少量 Al、Fe 與 Ca 之化合物，因此隨著營建剩餘土石方取代量增加，其原料組成差異亦隨之加大，故導致製成的 AAC 特性產生顯著變化；(2) 在調配漿體的過程中可觀察到當營建剩餘土石方取代量逐漸增加時，漿體的流動度亦逐漸提高。此現象亦與營建剩餘土石方之粒徑大於 SiO_2 有關。然而過高的流動度會影響漿體發泡程序，使得 AAC 孔隙加大，甚而無法成型。

將上述 AAC 製品特性對照 CNS 對於不同 AAC 製品之比重與抗壓強度標準規範可知 (表 3-15)，營建剩餘土石方 B2-3、B6 在取代量為 10 wt.% 時，其製品可符合 G6、G8、G10 等三種 AAC 類別之需求。隨著營建剩餘土石方取代量增加，AAC 製品比重隨之下降，部分製品特性可符合 G4 與 G2 等較為輕質的 AAC 類別之標準。當各類營建剩餘土石方取代量達 30 wt.% 時，其製品至少仍可符合一種 AAC 類別之規範。對營建剩餘土石方 B4 而言，取代量達 50 wt.% 時可使 AAC 製品之比重低於 0.5 且抗壓強度仍大於 2.0 MPa，二項特性皆可符合 G2 類別之需求。

由上述結果可知，營建剩餘土石方主要含有 SiO_2 且具有作為 AAC 原料之潛力，但營建剩餘土石方亦含有其他成分，後續應深入研究其影響並透過適當的調質程序加以改善高取代量之 AAC 製品特性。另一方面營建剩餘土石方之粒徑分布範圍大，粒徑對於 AAC 製程條件 (拌合水量、漿體流動度等) 與製品特性有顯著的影響，且粒徑較大的顆粒可能在漿體中具有細骨材的作用可提高 AAC 製品之抗壓強度，值得後續深入研究

加以釐清，藉以尋求營建剩餘土石方再利用於此類輕質隔熱再生綠建材之最適製程條件。

表 3-16 營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 產製 AAC 之比重與抗壓強度

營建剩餘土石方 種類	取代量 (wt. %)	烘乾容積比重	抗壓強度 (MPa)	符合類別 (CNS)
B2-3	10	0.786	10.87	G6, G8, G10
	20	0.678	8.11	G6, G8
	30	0.595	5.09	G4
	50	0.515	2.11	—
	70	0.570	0.69	—
B3	10	0.706	7.49	G6
	20	0.665	6.46	G6
	30	0.599	4.80	G4
	50	0.510	2.56	—
	70	0.528	1.75	—
B4	10	0.713	7.74	G6
	20	0.678	9.05	G6, G8
	30	0.583	4.58	G4
	50	0.490	2.12	G2
	70	0.505	1.69	—
B6	10	0.678	11.38	G6, G8, G10
	20	0.726	9.60	G6, G8
	30	0.707	7.54	G6
	50	0.546	2.47	—
	70	0.581	1.49	—

第三節 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發

本研究前期採用上述利用率較低之（B2-3、B3、B4、B6類）營建剩餘土石方所開發之冷結型再生粒料，經相關性能測試比較，結果顯示冷結型再生粒料相關性能均符合 CNS 1240與ASTM C33—「混凝土用粒料」規範要求，配合99年建研所自行研究計畫-「再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例」，試驗結果顯示冷結型再生粒料具較低的熱傳導係數[26]，而冷結型再生粒料乃基於應用層面廣泛而開發。另前期研究中亦有專家、學者對於冷結型再生粒料這項新材料的長期耐久性存疑，並建議可從較無安全顧慮之地磚著手，因此今年度基於建材之功能性考量，加上建築技術規則第321條新修訂之條文，已將綠建材使用比例之計算擴充至戶外：「建築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達10 %以上」，因此期望將冷結技術應用可供戶外空間使用之高壓地磚再生綠建材，並借重質輕、緻密、低熱傳導特性，日後或許可將其開發成屋頂隔熱磚，不僅可增加營建廢棄物再利用之多樣性與可供戶外空間使用再生綠建材之選擇性，亦可提高剩餘土石方經濟價值，終止當前國內棄土惡意棄置，污染環境亂象。

本計畫將冷結技術應用於功能型再生綠建材，主要係開發高壓地磚，其產品性質不再另外修訂再生綠建材之規範，主要係以 CNS 13295—「高壓混凝土地磚」與再生綠建材評估基準為主要驗證之依據。其中冷結技術係以營建廢棄物為母材 (Matrix)，依據水泥化學及卜作嵐材料間材料互制特性，配合營建剩餘土石方的材料特性，改善界面鍵結性質，並基於材料基本原理（愈緻密強度等相關性質愈佳），再導入複合材料的觀念所開發而成。其中，水泥是由四個主要單礦物所組成，其中包括 C_2S 、 C_3S 、 C_3A 、 C_4AF 及少量次要成分如 MgO 、游離石灰等成分，加水後會產生水化作用而生成各種水化產物及晶體。一般而言，水泥中 C_2S 、 C_3S 為水泥主要強度發展來源，而其水化產物包括 $C-S-H$ 膠體及少量 CH ， C_3A 及 C_4AF 則對水化熱及凝結時間較有影響，但對水泥漿體基本強度影響不大[27-29]。

卜作嵐反應係指材料所含氧化矽及氧化鋁，能與水泥水化生成之 CH 或外加鹼性物質產生緩慢之水化反應。而能夠產生類似上述膠結性反應之材料均為卜作嵐材料，CNS 3036 之「天然或煨燒卜作嵐攪和物」等即是，卜作嵐反應之反應式可簡略表示如下式：



卜作嵐材料顆粒如較細且形狀呈圓形，對增加工作性及塑性有幫助，另因卜作嵐材料會消耗鹼性物質產生膠結反應，包括 $NaOH$ 、 KOH 等，因此，可清除水泥中之有害物質，如硫酸根離子及活性骨材的反應，故有助抗硫性質及抗鹼骨材反應作用，更由固

化易溶性之 CH ，使骨材與水泥漿界面更穩定，提升混凝土之抗滲能力。利用卜作嵐材料取代部分水泥，其固化作用產生之 $C-S-H$ 膠體，可填充水泥水化後剩餘空隙，可確保長期耐久性及提升強度，且在初期水解過程中，可因減少水泥用量而降低水化熱，對延長混凝土可工作時間及降低塑性裂縫有很大助益[30-32]。

台灣電力公司燃煤發電產生的燃燒廢料，因煤炭中黏土雜質被溶解，受到 N_2 及 H_2 膨脹作用，形成中空圓球，而台灣進口煤炭於石灰雜質含量較少，所產生之飛灰於 CaO 含量較少，因此屬於 F 級飛灰，本質上為燒結黏土[33]。中國鋼鐵公司煉鐵所產生之廢料爐石，其煉鐵過程採用 $CaCO_3$ 為清潔劑，清除鐵礦砂中之黏土，使爐石成分相當接近水泥，經水淬裂解後形成粒狀水淬爐石，其研磨而成之粉末被歸類為卜作嵐及膠結性材料[34-35]。

一、試驗材料

1. 膠結材料

本研究所使用之水泥為環球水泥公司所生產之第 I 型卜特蘭水泥，其性質符合 CNS 61 第一型卜特蘭水泥的規格，水泥於購入當日即以不透水塑膠袋密封，防止水氣侵入使水泥硬化；爐石係由中國鋼鐵公司所生產之水淬爐石粉，經中聯爐石資源化處理公司研磨成細粉狀；飛灰採用台電興達廠所生產之燃煤飛灰，其相關物化性質如表 3-17 所示，膠結材料之粒徑分佈，如圖 3-13 所示。

2. 強塑劑

本研究共採用二種強塑劑分別為羧酸系列及柰磺酸系列高性能減水劑，係購自優積企業有限公司與欣得實業有限公司，其相關性質如表 3-18 所示。

3. 玻璃纖維

為增加冷結型高壓地磚之抗彎、抗衝擊性能、韌性、耐磨性，及體積穩定性[36-38]，於配比中特添加亦屬再生產品之玻璃纖維，而本研究採用之玻璃纖維，係由福泰多科技股份有限公司再生製作而成，比重為 1.97。

4. 營建剩餘土石方

本研究所採用之 B2-3、B3、B4 類營建剩餘土石方，係採自台南市淵南段公有土石方收容場；B6 類營建剩餘土石方採自台北環河路建築工地開挖土壤，取樣後裝袋並放入桶中密封，如圖 3-3 所示；TCLP 毒物溶出試驗結果如表 3-9 所示；XRF 分析結果如表 3-10 所示。

表 3-17 試驗用水泥、爐石及飛灰之化學成份及物理性質

試驗項目	水泥 (第一型)		爐石		飛灰		台電興達廠
	CNS 61	環球	CNS 12549	中鋼	ASTM C678 (Type F)	ASTM C6118 (Type C)	
SiO ₂ (S)	-	22.16	-	35.56	-	-	49.86
Al ₂ O ₃	-	5.63	-	14.34	-	-	37.89
Fe ₂ O ₃ (F)	-	2.17	-	0.33	-	-	3.18
S+A+F	-	29.96	-	50.23	70	50	90.93
CaO	-	67.35	-	42.04	-	-	6.04
MgO	Max:6.0	-	-	5.66	Max:5.0	Max:5.0	-
SO ₃	Max:3.0	2.08	Max:4.0	0.95	Max:5.0	Max:5.0	0.66
f-CaO	-	0.08	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	0.25	-	0.44	-	-	1.2
Na ₂ O	-	0.31	-	-	Max:5.0	Max:1.5	-
K ₂ O	-	0.15	-	0.09	-	-	0.44
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-
燒失量	Max:3.0	0.51	-	0.31	Max:1.2	Max:6	6.08
不溶殘渣	Max:0.75	0.08	-	-	-	-	-
C ₃ S	-	-	-	-	-	-	-
C ₂ S	-	-	-	-	-	-	-
C ₃ A	-	-	-	-	-	-	-
C ₄ AF	-	-	-	-	-	-	-
細度 (cm ² /g)	Min:2800	2970	Min:2800	4350	-	-	3110
比重	-	3.15	-	2.90	-	-	2.14
初凝 (Vicat)	45	4:37	-	-	-	-	-
時間 (分:秒)		w/c=0.47					
終凝 (Vicat)	6:15	8:22	-	-	-	-	-
時間 (分:秒)							
#325 篩餘 (%)	-	-	Max:20	8.0	-	-	-

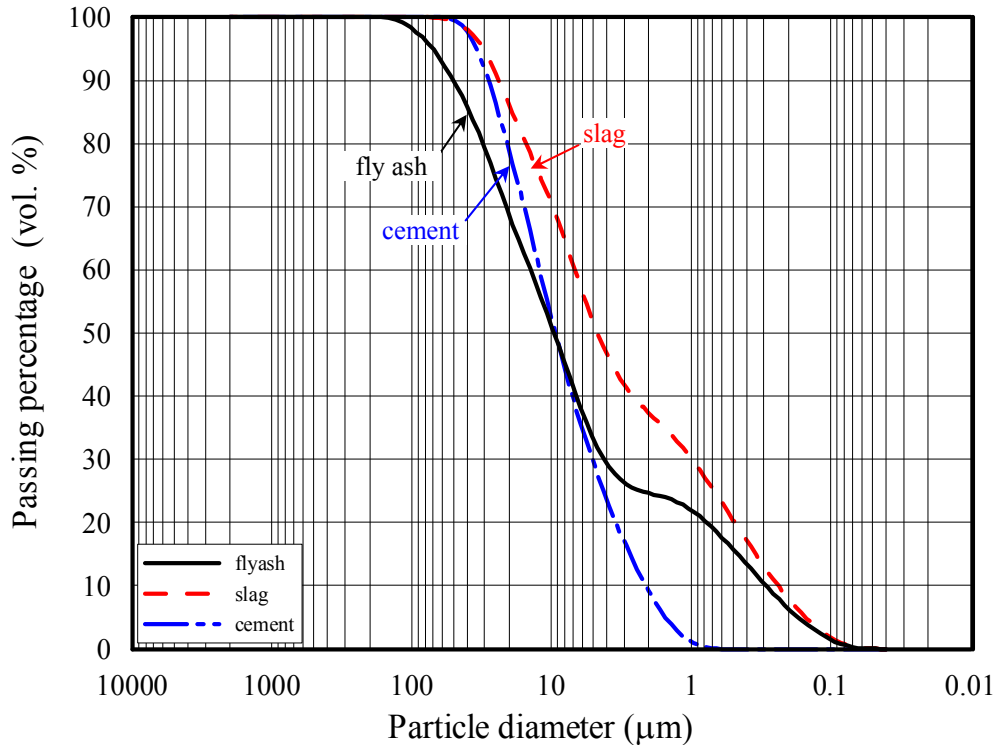


圖 3-13 水泥、爐石及飛灰之粒徑分佈圖

表 3-18 強塑劑基本性質

種類	羧酸系列	柰磺酸系列
比重	1.09	1.18
減水率 (%)	30	25
固溶物含量 (%)	25.7	42.95
pH 值	2.81	6.93

二、配比設計

本計畫冷結型高壓地磚配比係依據緻密配法[39-40]設計，其設計流程如圖 3-14 所示，係利用最小孔隙的觀念來進行配比設計，如此方能減少水泥用量、增加再生資源材料之使用量，以達節能減廢並同時兼具優良產品性能，配比之設計流程如下：

步驟一：選擇材料

蒐集水泥、摻料及剩餘土石方之物化性資料，以供配比計算參考之需。並求出最小空隙率（最大單位重），依最小空隙的原理，即探討顆粒材料最大堆積密度及最佳級配條件下的空隙。

步驟二：決定強度與工作性

依規範及製作試體需求，決定配比之工作性及設計強度。

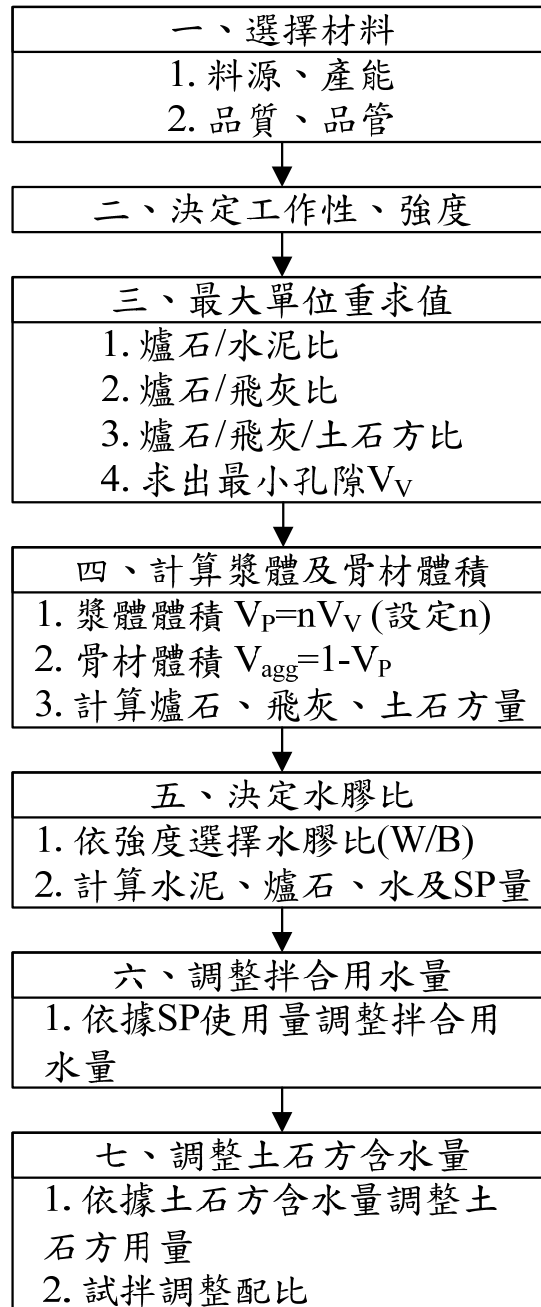


圖 3-14 冷結型高壓地磚配比設計流程圖

步驟三：求材料堆積之最大單位重

根據材料堆積之最大單位重求出最小空隙 V_v 。

1. 假設爐石填塞飛灰之最大單位重比例為 α 。

$$\alpha = \frac{W_{slag1}}{W_{slag1} + W_{flyash}} \quad (3-2)$$

2. (爐石+飛灰)填塞剩餘土石方之最大單位重比例為 β 。

$$\beta = \frac{W_{slag1} + W_{flyash}}{W_{slag1} + W_{flyash} + W_{Re}} \quad (3-3)$$

3. 最小空隙 V_v 。

$$V_v = 1 - \left(\frac{W_{slag1}}{\gamma_{slag}} + \frac{W_{flyash}}{\gamma_{flyash}} + \frac{W_{Re}}{\gamma_{Re}} \right) \quad (3-4)$$

式中， W_{slag1} : 爐石重 (kg/m^3) γ_{slag} : 爐石比重
 W_{flyash} : 飛灰重 (kg/m^3) γ_{flyash} : 飛灰比重
 W_{Re} : 剩餘土石方重 (kg/m^3) γ_{Re} : 剩餘土石方比重

步驟四：計算漿量及堆積材料用量

1. 各堆積材料之用量

水泥漿體 V_p 假設等於 nV_v ，即涵蓋空隙 V_v 及潤滑漿量 $S \cdot t = (n-1)V_v$ ：

$$V_p = nV_v \quad (3-5)$$

則堆積材料用量可依下式求出，

$$1 - V_p = \frac{W_{slag1}}{\gamma_{slag}} + \frac{W_{flyash}}{\gamma_{flyash}} + \frac{W_{Re}}{\gamma_{Re}} \quad (3-6)$$

由於爐石、飛灰、剩餘土石方之混合比例為最緻密點，屬於固定體積比率，故將式 (3-2) 及式 (3-3) 代入式 (3-6) 中，則可求出下式爐石、飛灰及剩餘土石方之材料用量。

$$W_{flyash} = \frac{1 - V_p}{\frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{1}{\gamma_{slag}} + \frac{1}{\gamma_{flyash}} + \frac{1 - \beta}{\beta(1 - \alpha)} \frac{1}{\gamma_{Re}}} \quad (3-7)$$

$$W_{slag1} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} W_{flyash} \quad (3-8)$$

$$W_{Re} = \frac{1 - \beta}{\beta(1 - \alpha)} W_{flyash} \quad (3-9)$$

2. 漿體組成材料用量（水泥、爐石及拌合水量）

$$V_p = n \cdot V_v = \frac{W_{water}}{\gamma_{water}} + \frac{W_{cement}}{\gamma_{cement}} + \frac{W_{slag2}}{\gamma_{slag}} \quad (3-10)$$

當爐石取代水泥重量比為 ξ 時，

$$\xi = \frac{W_{slag2}}{W_{cement} + W_{slag2}} \quad (3-11)$$

可將式 (3-10) 式改為

$$V_p = \frac{W_{water}}{\gamma_{water}} + \frac{W_{cement}}{\gamma_{cement}} + \frac{\xi}{1 - \xi} \frac{W_{cement}}{\gamma_{slag}}$$

$$V_p = \frac{W_{water}}{\gamma_{water}} + W_{cement} \left(\frac{1}{\gamma_{cement}} + \frac{\xi}{1 - \xi} \frac{1}{\gamma_{slag}} \right) \quad (3-12)$$

假設設計強度所需之水膠比為 λ

$$w/cm = \lambda = \frac{W_{water}}{W_{cement} + W_{fly} + W_{slag1} + W_{slag2}}$$

$$W_{water} = \lambda(W_{cement} + W_{fly} + W_{slag1} + W_{slag2}) \quad (3-13)$$

將式 (3-8) 及式 (3-11) 代入式 (3-13) 整理可得

$$W_{water} = \lambda \left(\frac{1}{1-\xi} W_{cement} + \frac{1}{1-\alpha} W_{fly} \right) \quad (3-14)$$

將式 (3-14) 代入式 (3-12) 中，整理可得

$$V_P = \frac{\lambda}{\gamma_{water}} \left(\frac{1}{1-\xi} W_{cement} + \frac{1}{1-\alpha} W_{fly} \right) + \left(\frac{1}{\gamma_{cement}} + \frac{\xi}{1-\xi} \frac{1}{\gamma_{slag}} \right) W_{cement}$$

$$\Rightarrow V_P - \frac{1}{1-\alpha} \frac{\lambda \cdot W_{flyash}}{\gamma_{water}} = \frac{1}{1-\xi} \frac{\lambda}{\gamma_{water}} W_{cement} + \left(\frac{1}{\gamma_{cement}} + \frac{\xi}{1-\xi} \frac{1}{\gamma_{slag}} \right) W_{cement}$$

$$\Rightarrow W_{cement} = \frac{V_P - \frac{\lambda}{1-\alpha} \frac{W_{flyash}}{\gamma_{water}}}{\frac{1}{1-\xi} \frac{\lambda}{\gamma_{water}} + \frac{1}{\gamma_{cement}} + \frac{\xi}{1-\xi} \frac{1}{\gamma_{slag}}} \quad (3-15)$$

式中， W_{water} : 水重 (kg/m^3) γ_{water} : 水比重
 W_{slag2} : 爐石取代水泥重 (kg/m^3) γ_{slag} : 爐石比重
 W_{cement} : 水泥重 (kg/m^3) γ_{cement} : 水泥比重

步驟五：SP 及最後之用水量

為保持水膠比不變，故需將 SP 之用量從最初所用水量扣回，即最後之用水量加上 SP 用量需和最初配比計算之用水量相等。

$$W_{final} = W_{water} - W_{SP} \quad (3-16)$$

式中， W_{final} : 最後用水重 (kg/m^3) W_{SP} : 強塑劑用量

步驟六：玻璃纖維用量及土石方含水率

依據玻璃纖維使用量修正土石方用量：

$$V_{Re} = \frac{W_{Re}}{\gamma_{Re}} = V_{Re}' + V_{fiber} \quad (3-17)$$

$$W_{fiber} = \gamma_{fiber} \times V_{fiber} \quad (3-18)$$

調整土石方之含水率，並使其調整後之總體積維持固定不變：

$$V_{MC} + V_{Re}'' = V_{Re}' \quad (3-19)$$

$$W_{MC} = \eta \times W_{Re}'' \quad (3-20)$$

$$\Rightarrow W_{Re}'' = \frac{W_{Re}'}{\frac{\eta \times \gamma_{Re}}{\gamma_{water}} + \frac{\gamma_{Re}}{\gamma_{Re}}} \quad (3-21)$$

式中， V_{Re}' ：扣除纖維用量後剩餘之土石方體積
 V_{fiber} ：纖維使用體積 (m^3/m^3) W_{fiber} ：纖維使用量 (kg/m^3)
 V_{MC} ：土石方含水體積 (m^3/m^3) W_{MC} ：土石方含水量 (kg/m^3)
 η ：土石方含水率 W_{Re}'' ：土石方最後用量 (kg/m^3)

今年度本研究將依據前期所開發之冷結技術[41-43]，將其應用至高壓地磚再生綠建材，首先採用較保守水泥量的配比-C200（即水泥用量 200 kg/m^3 ），經上述緻密配法所設計之配比如表 3-19 所示。表 3-19 中顯示冷結型高壓地磚組成材料中營建剩餘土石方使用比率均大於 65%，將近 70%；根據再生綠建材評估基準[44]其再生材料使用比率更達 100%，遠超過再生綠建材評估基準中之 C 級高壓凝土地磚（50%以上）之規定，可有效增加資源再生材料之使用率。

表 3-19 營建剩餘土石方產製冷結型高壓地磚配比 (kg/m^3)

土石方種類	水泥	爐石	飛灰	營建剩餘土石方		玻纖 2 vol. %	水 +SP	
				成型 含水率	土石方 用量 土石方 含水量			
B2-3	200 (10.13 %)	75 (3.80 %)	275 (13.91 %)	8.0 %	1389 (70.17 %)	111	39.4	110
B3	200 (10.08 %)	75 (3.78 %)	275 (13.85 %)	10.0 %	1398 (70.31 %)	140	39.4	110
B4	200 (10.58 %)	75 (3.97 %)	275 (14.53 %)	10.0 %	1304 (68.84 %)	130	39.4	110
B6	200 (9.80 %)	75 (3.68 %)	275 (13.46 %)	10.0 %	1455 (71.14 %)	146	39.4	110

三、冷結型高壓地磚成型測試

1. 拌合程序

本研究所採用之營建剩餘土石方相對於一般砂石材料來說粒徑分布較細，其粒料表面積也相對較大，且本研究冷結型高壓地磚之配比設計採低用水量，故配比並無流動性。於拌合配比時，應先將所有膠結料及土石方乾拌均勻，再添加拌合水、化學摻料及土石方含水率水量；若採用先拌合漿體或拌合土石方及其含水兩種方式，則先拌合部分會先結合成團塊狀態，後添加之固體材料附著於團塊表面，使膠結料無法均勻分布，減低其膠結效應，對試體各項性質產生不良影響。若持續或放大拌合能量，最終或可達到材料均勻性，但拌合時間過長可能破壞膠結料水化反應，亦浪費拌合能量並提高成本。

2. 最適加壓成型應力與營建剩餘土石方含水率

本研究所採用之營建剩餘土石方，其吸水特性與一般混凝土使用之天然粗、細粒料差異甚大，不適宜以 CNS 487 及 488 評估其吸水率，本研究所採用之營建剩餘土石方屬利用價值較差之土壤類材料，本研究所採用之 B3、B4、B6 類營建剩餘土石方，小於 $100\ \mu\text{m}$ 以下粒料含量大於 40 % 以上，因此粒料總表面積遠大於傳統混凝土中骨材的吸水速率。而 B2-3 類營建剩餘土石方性質則偏向一般土壤，粒徑分布小於一般混凝土細粒料，但大於 B3、B4、B6 類營建剩餘土石方，故其吸水率亦略小於 B3、B4、B6 類營建剩餘土石方。

根據本研究前期冷結型再生粒料[41-43]開發中發現於加壓成型過程中，組成材料易產生類似土壤力學中壓密排水現象[45]，如圖 3-15 所示。因此必須探討高壓地磚最適加壓成型應力與營建剩餘土石方含水率之相互關係，避免產生壓密排水，而影響冷結型高壓地磚性質。

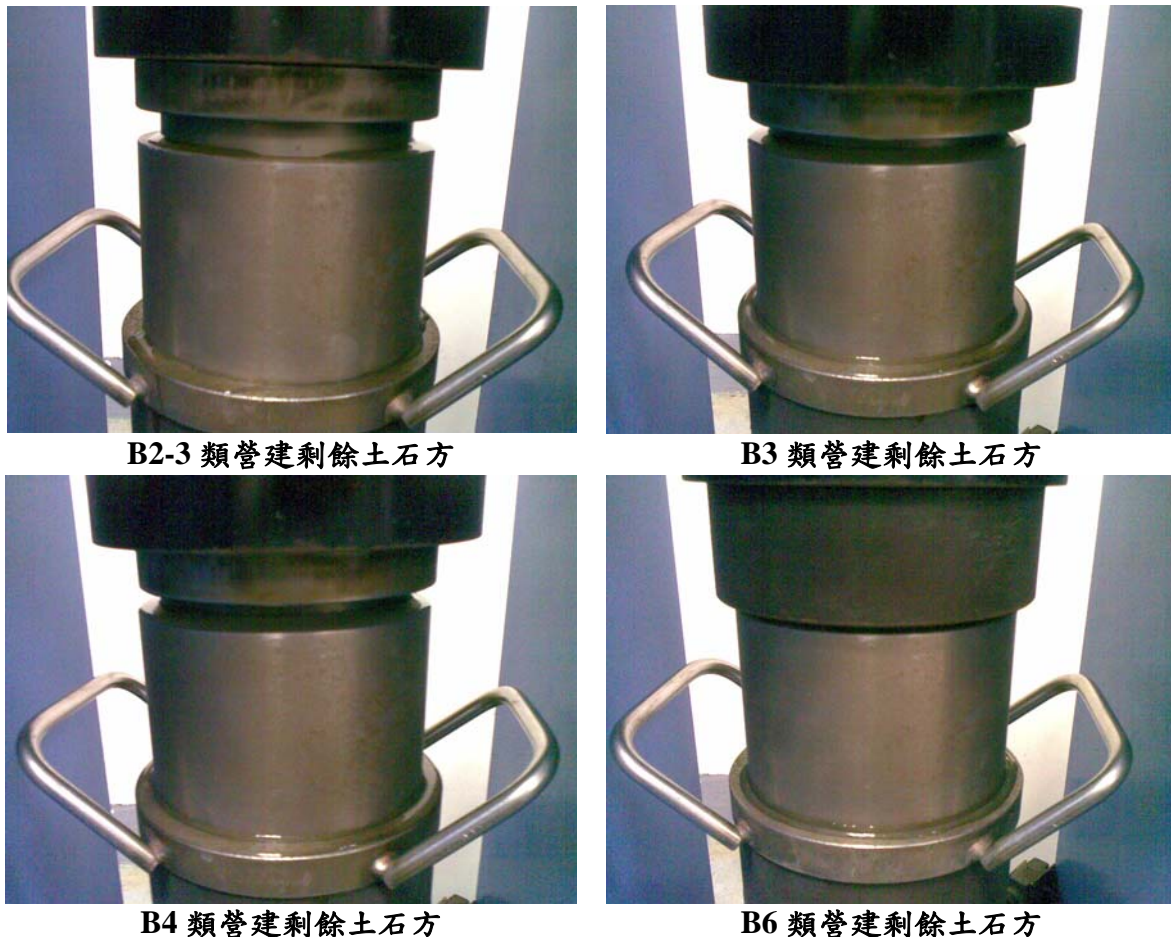


圖 3-15 冷結型高壓地磚加壓成型時組成材料所產生之壓密排水現象

本研究採用類似冷結型再生粒料之壓錠成型法開發冷結型高壓地磚，其加壓成型應力與營建剩餘土石方含水率之相互關係，影響冷結型高壓地磚性質甚鉅：因為加壓成型

時，若營建剩餘土石方含水率太低，則不易成型，即使採用較高的成型應力，於解壓過程，將因毛細孔隙吸水產生張力作用[27-29]，使得冷結型高壓地磚產生裂縫；反之當加壓成型，營建剩餘土石方含水率過高，於成型過程容易產生壓密排水現象，所排出的水，將使冷結型高壓地磚局部水膠比變高，而形成弱面，進而影響其相關性質。經相關測試，本研究建議使用 B2-3、B3、B4、B6 類營建剩餘土石方製作冷結型高壓地磚之加壓成型應力為 42.0 MPa；相對之營建剩餘土石方含水率分別為，B2-3：8.0 %、B3：10.0 %、B4：10.0 %、B6：10.0 %，如圖 3-16 所示。



B2-3 類營建剩餘土石方：8.0 %



B3 類營建剩餘土石方：10.0 %



B4 類營建剩餘土石方：10.0 %



B6 類營建剩餘土石方：10.0 %

圖 3-16 加壓成型應力為 42.0 MPa 時各類營建剩餘土石方最適含水率

四、冷結型高壓地磚模具設計與製作

本研究參考再生綠建材評估基準與生產業者製程，採用類似前期冷結型再生粒料[41-43]所開發之壓錠成型法製作冷結型高壓地磚，首先進行模具設計與開發，由於 CNS 13295—「高壓凝土地磚」對於高壓凝土地磚尺度僅要求長度與寬度不得超過 600 mm，而慣用之厚度為 30 mm、60 mm、80 mm、100 mm、120 mm 及 140 mm，其中長度 (L) 與寬度 (W) 許可差應為標示尺度之 ± 2 mm；厚度 (T) 許可差應為標示尺度之

±3 mm。因此本研究所設計之冷結型高壓地磚，採一般較常見之尺寸，長度 (L) 為 200 mm；寬度 (W) 為 100 mm，另最大厚度可達 80 mm，如圖 3-17，冷結型高壓地磚模具主要分為三個部分：底模 (見圖 3-18)、外模 (見圖 3-19) 及加壓模 (見圖 3-20)。由於今年度所開發之高壓地磚，其加壓成型應力為 42.0 MPa，較冷結型再生粒料之成型應力更高，為避免加壓成型時因側向應力過大，導致模具變形，甚至破壞，特在外模進行加固設計，見圖 3-19。

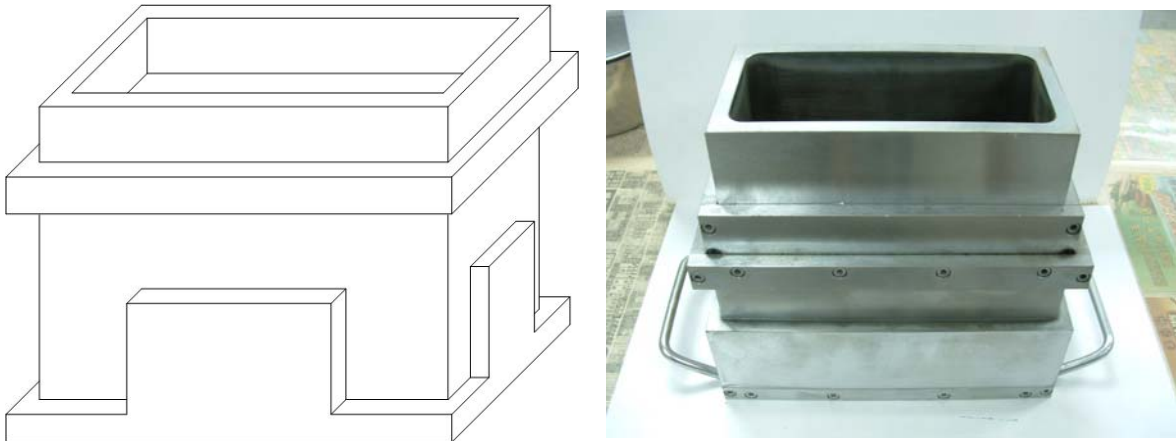
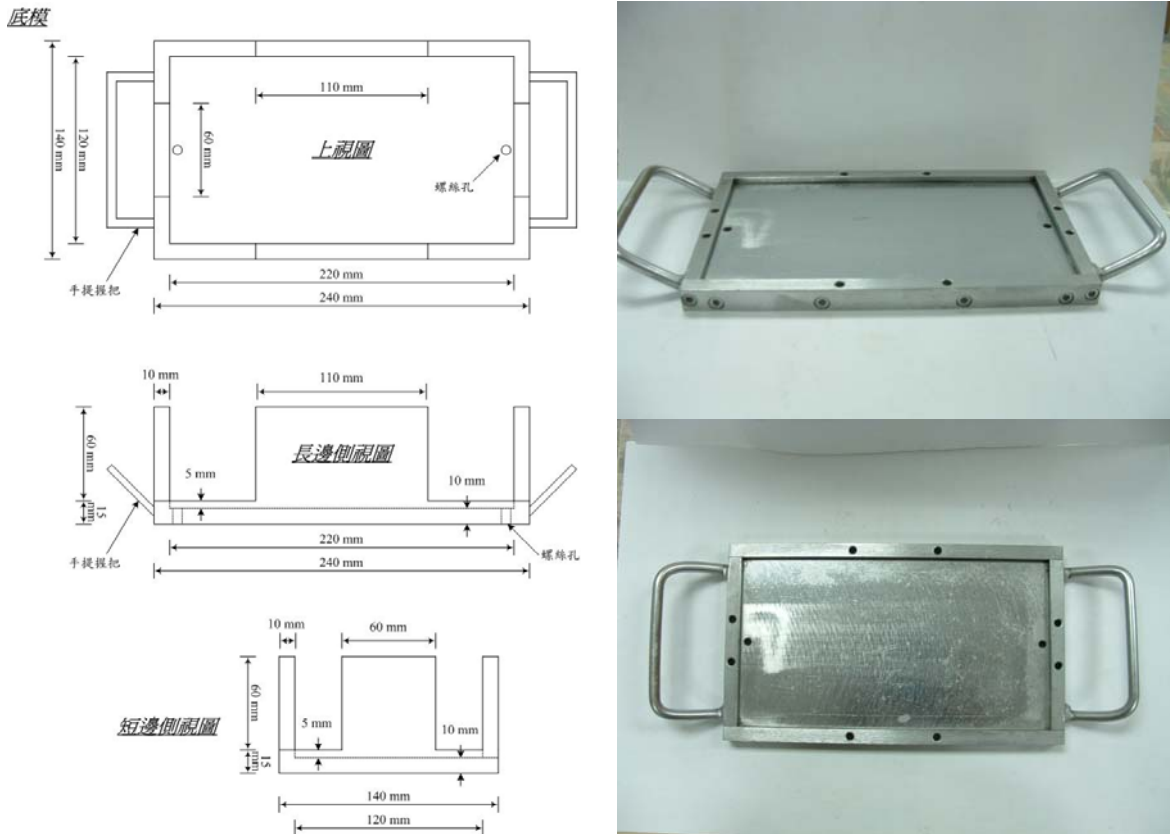
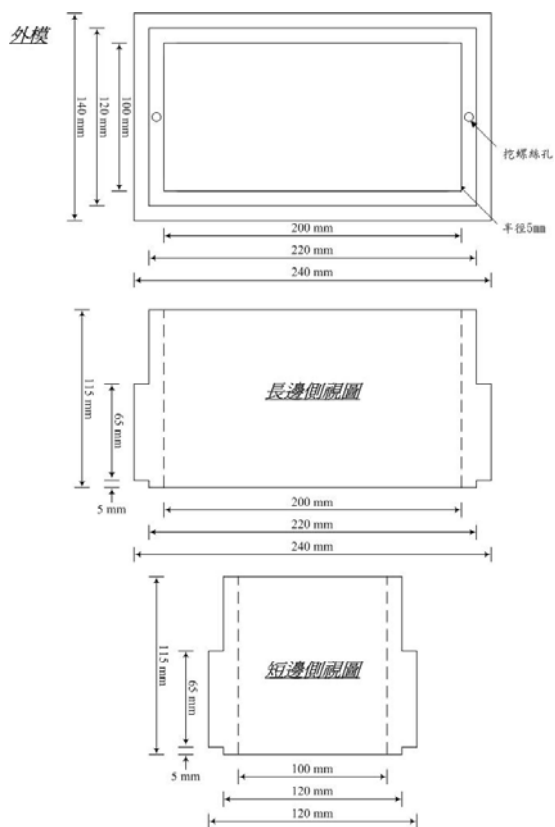


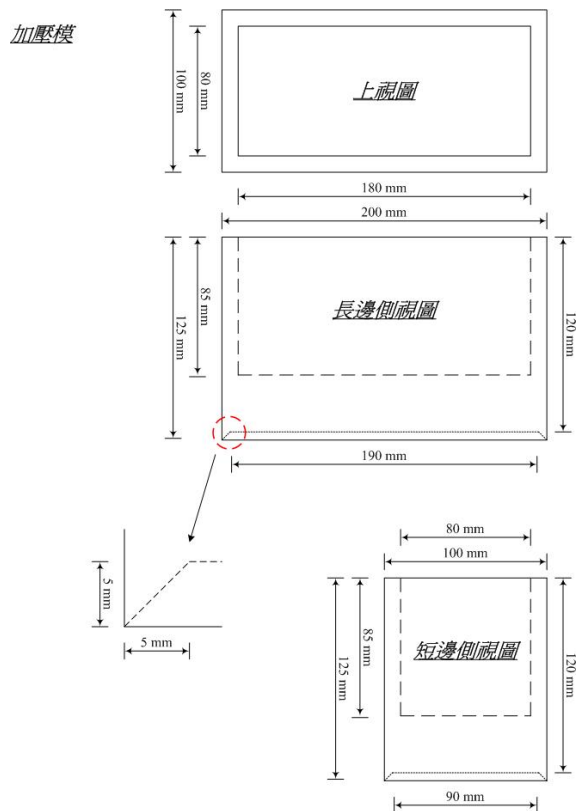
圖 3-17 組裝後冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片



模具設計圖
模具實際照片
圖 3-18 冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片 (底模)



模具設計圖 模具實際照片
圖 3-19 冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片 (外模)



模具設計圖 模具實際照片
圖 3-20 冷結型高壓地磚模具設計圖與實際照片 (加壓模)

根據 99 年冷結型再生粒料粒形精進工作項目經驗，模具係採用 CNC 自動車床製程所製作之，可簡單製作出圓弧形凹槽的模具，且模具表面較為平整光滑，較不會因模具內壁與粒料側向摩擦力較大，導致再生粒料於脫膜過程中產生斷裂。因此今年度冷結型高壓地磚模具亦採用自動車床製程所製作之，如圖 3-17 至圖 3-20 所示。

五、冷結型高壓地磚模具設計與製作

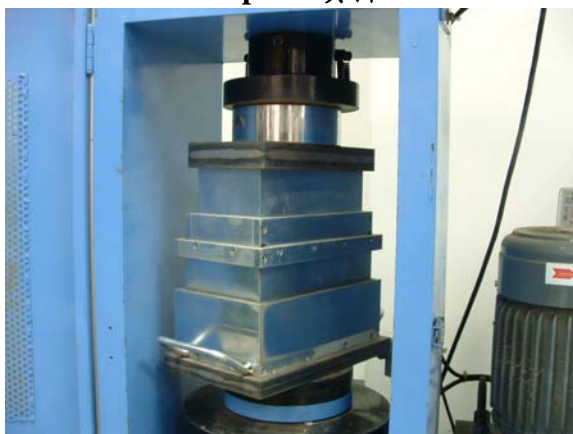
模具設計與製作完成後，使用表 3-19 所設計之配比，並依據最適加壓成型應力（42 MPa），與各類營建剩餘土石方加壓成型最適含水率（B2-3：8.0 %、B3：10.0 %、B4：10.0 %、B6：10.0 %），採壓錠成型法製作冷結型高壓地磚，經過簡單製作程序：Step 1) 填料、Step 2) 安裝加壓模、Step 3) 加壓成型、Step 4) 退模，如圖 3-21 所示。依據上述配比與製作程序，本研究共計製作 4 種（B2-3、B3、B4 及 B6 類）營建剩餘土石方冷結型高壓地磚，如圖 3-22 所示。



Step 1：填料



Step 2：安裝加壓模



Step 3：加壓成型



Step 4：退模

圖 3-21 冷結型高壓地磚製作程序

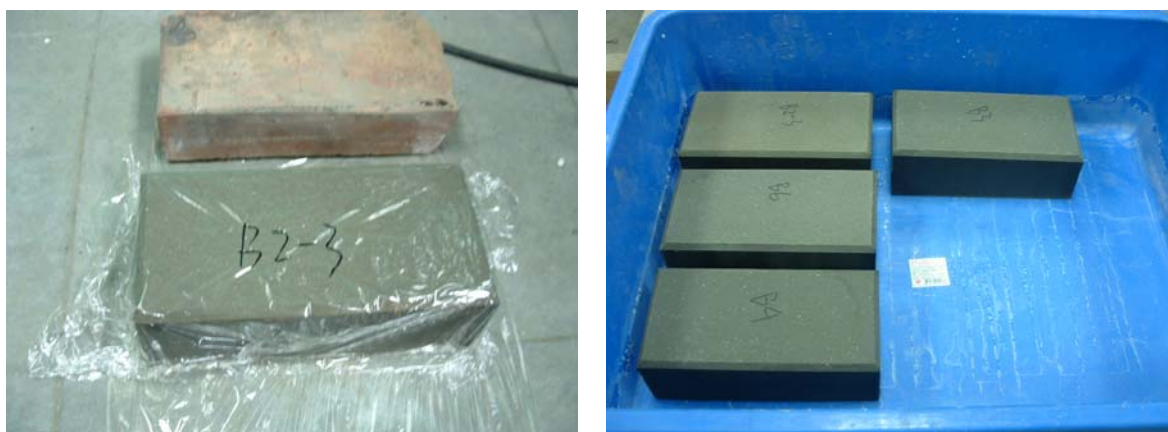


圖 3-22 營建剩餘土石方冷結型高壓地磚成品照片

六、冷結型高壓地磚基本性能測試

本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，於加壓成型完成硬固後，依據 CNS 1230 將其養護於 23 ± 2.0 °C 的飽和石灰水中。養護至齡期 28 天後，進行基本性能測試包含烘乾比重、面乾內飽和比重、吸水率；另分別於齡期 3、7、14、28 天，依據 CNS 13295 進行冷結型高壓地磚抗壓強度試驗。

1. 冷結型高壓地磚比重、吸水率試驗

本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其產品性質不再另外修訂再生綠建材之規範，主要係以 CNS 13295—「高壓凝土地磚」與再生綠建材評估基準為主要驗證之依據，雖然 CNS 13295 與再生綠建材評估基準並未規範高壓地磚比重、吸水率，本研究團隊仍進行相關基本性質測試，以作為日後量產品管，與實際設計應用之參考依據。本研究參考 CNS 488 規範實驗步驟，進行高壓地磚比重、吸水率試驗，試驗結果如表 3-20 所示，烘乾狀態下高壓地磚比重介於 1.96~2.00；面乾內飽和狀態下比重介於 2.05~2.12；吸水率介於 6.85~7.95 %。高壓地磚比重較冷結型再生粒料重，且吸水率較冷結型再生粒料低，係由於高壓地磚加壓成型應力為 42 MPa，較冷結型再生粒料加壓成型應力 35 MPa 高，使得高壓地磚內部較冷結型再生粒料緻密所致；另雖然高壓地磚比重較冷結型再生粒料重，但仍比一般混凝土高壓地磚比重（約 2.30~2.45）輕，對日後節省運輸成本有所助益。

表 3-20 冷結型高壓地磚比重、吸水率試驗結果

項目	B2-3	B3	B4	B6
烘乾狀態比重	2.00	1.96	1.96	1.98
面乾內飽和狀態比重	2.12	2.06	2.05	2.10
吸水率 (%)	6.85	7.95	7.94	7.02

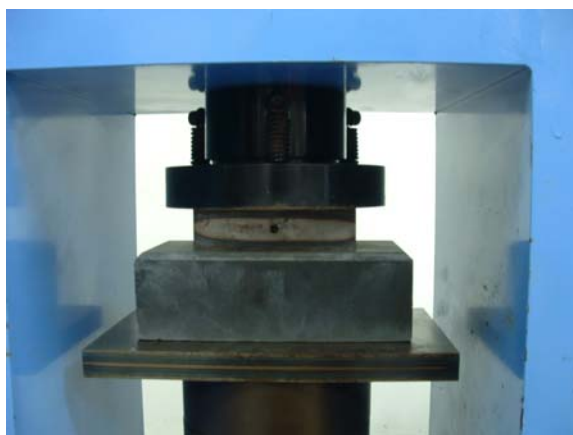
2. 冷結型高壓地磚抗壓強度試驗

本研究依據 CNS 13295，分別於齡期 3、7、14、28 天進行冷結型高壓地磚抗壓強度試驗，其中 CNS 13295—「高壓凝土地磚」規範中規定：

- 1) 高壓地磚抗壓強度試驗，須至於 $(24.0 \pm 8.0^\circ\text{C})$ ，相對濕度 80 % 之空氣中至少 48 小時。若急需獲得抗壓強度試驗結果時，得將試樣置於上述環境，以電扇吹乾至少 4 小時，且使其 2 小時間隔之質量損失率小於 0.2 %。
- 2) 高壓地磚抗壓強度試驗應以整塊高壓地磚，使用符合 CNS 9211 所規定之壓縮試驗機測試。若試驗尺度超過 30 cm 部分，以裁切成 30 cm 測試。
- 3) 高壓地磚抗壓強度試驗須藉助厚度至少 30 mm 之上承壓塊施壓，承壓塊之施壓面須淬硬達洛氏硬度 HRC55 以上，上承壓塊之尺度依試樣厚度選擇適當之長度與寬度，如表 3-21 所示，將試樣置於壓縮試驗機之承壓檯上，施壓面應儘可能與試樣表面平行使接觸面達最大程度。
- 4) 高壓地磚之兩個施壓表面應為平行之光滑平面，需用蓋平材料予以蓋平，緩慢穩定地施加壓力直至試驗破壞，加壓速率須維持在每秒鐘約 0.5 MPa 左右。

表 3-21 高壓地磚抗壓強度試驗上承壓塊之尺度

試樣厚度	上承壓塊	
	寬度 (mm)	長度 (mm)
超過 55、65 以下	60	120
超過 65、75 以下	70	140
超過 75、85 以下	80	160
超過 85、95 以下	90	180
超過 95、105 以下	100	200
超過 105、115 以下	110	220
超過 115	120	240



試驗中



破壞後

圖 3-23 冷結型高壓地磚抗壓強度試驗照片

本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚尺寸：長度 (L) 為 200 mm；寬度 (W) 為 100 mm，厚度 60 mm，依據 CNS 13295 規定，進行高壓地磚抗壓強度試驗須藉助厚度至少 30 mm 之上承壓塊，上承壓塊之長度為 120 mm；寬度 (W) 為 60 mm，如圖 3-23 所示。高壓地磚抗壓強度試驗結果如表 3-22 與圖 3-24 所示。

表 3-22 冷結型高壓地磚抗壓強度試驗結果

齡期	營建剩餘土石方類別			
	B2-3	B3	B4	B6
3 天	19.14 MPa	13.93 MPa	14.31 MPa	18.22 MPa
7 天	25.56 MPa	18.01 MPa	19.35 MPa	23.98 MPa
14 天	35.41 MPa	24.19 MPa	24.59 MPa	32.71 MPa
28 天	48.31 MPa	35.73 MPa	38.41 MPa	43.31 MPa

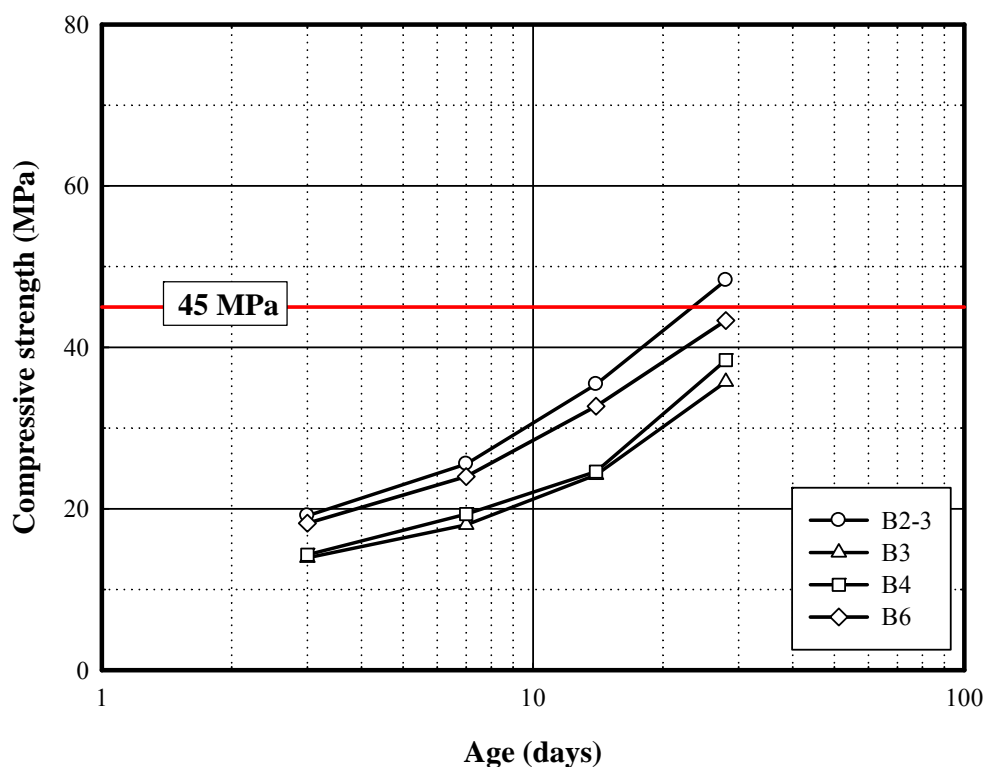


圖 3-24 冷結型高壓地磚抗壓強度成長關係圖

試驗結果顯示，於齡期 28 天時，僅採用 B2-3 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚抗壓強度符合，CNS 13295—「高壓混凝土地磚」與再生綠建材評估基準中 C 級抗壓強度（抗壓強度平均值應在 45 MPa 以上，且不得有任一試樣測試值低於 40 MPa）之要求，B6 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚抗壓強度非常接近規範值（45

MPa)，且圖 3-24 顯示冷結型高壓地磚抗壓強度隨著齡期成長，亦隨之成長，係由於其中添加大量卜作嵐材料（高爐石粉與燃煤飛灰），配合卜作嵐反應，可轉換水泥水化產物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，形成較低密度之 C-S-H 膠體，藉以填塞內部孔隙，使其更緻密化，並改善其介面性質[27-33]，進而使冷結型高壓地磚抗壓強度隨齡期的增長而持續提高。再依據冷結型再生粒料經驗，相信於齡期 56 天時，採用 B6 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚抗壓強度應可滿足規範要求。

至於採用 B3 與 B4 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚於齡期 28 天時，其抗壓強度與規範要求之 45 MPa 抗壓強度仍有明顯差距，係因本身材料性質較差所致(B3 屬低塑性粉土，ML；B4 屬粉土質砂土，SM)，但圖 3-24 亦顯示其抗壓強度亦隨齡期的增長而持續提高，或許於齡期 91 天或甚至 180 天時，其抗壓強度應可滿足規範要求。或建議於後續研究中適當提高水泥用量達 300 kg/m^3 ，如此採用 B3 與 B4 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚抗壓強度，應可滿足 CNS 13295 與再生綠建材評估基準中 C 級之抗壓強度要求；而採用 B2-3、B6 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其再生材料使用率可達 C 級（再生材料使用比率 50 % 以上）之要求，且抗壓強度或許可達 B 級抗壓強度（抗壓強度平均值應在 50 MPa 以上，且不得有任一試樣測試值低於 45 MPa）之要求。另針對 B3 與 B4 類營建剩餘土石方，於後續研究中，或許可考慮降低再生材料使用比率（目前本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其再生材料使用比率達 100 %）；或摻配其他符合再生綠建材評估基準要求的再生材料，例：石材、石灰污泥、B5 類營建剩餘土石方、廢陶瓷、廢玻璃...等。使其製作之冷結型高壓地磚抗壓強度可滿足規範要求。

七、初步減碳與經濟效益評估分析

由於目前採用營建剩餘土石方製作冷結型高壓地磚技術並未完全成熟穩定，雖然 B2-3、B3、B4、B6 類營建剩餘土石方冷結型高壓地磚再生材料使用比率均高達 100 %，惟僅採用 B2-3 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其抗壓強度可滿足規範要求，因此本研究目前僅初步針對組成材料之 CO_2 排放、組成材料價格、及產品售價進行效益評估分析。

1. 減碳效益評估分析

依據經濟部能源委員會「能源查核管理輔導計畫」，生產 1 公噸水泥將排放 409.57 公斤的 CO_2 ；生產 1 公噸水淬高爐石粉將排放 68.30 公斤（研磨之耗能）；生產 1 公噸燃煤飛灰將排放 0 公斤的 CO_2 。依據上述參數可計算本研究採用營建剩餘土石方所製作冷結型高壓地磚，每 m^3 組成材料 CO_2 排放約為：

$$200*0.40957 + 75*0.0683 + 275*0 = 87.0365 \text{ kg/m}^3$$

，而目前一般混凝土高壓地磚，其水泥用量大約 $500\text{-}600\text{ kg/m}^3$ ，由於目前本研究採用營建剩餘土石方製作冷結型高壓地磚，僅 B2-3 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其抗壓強度滿足 C 級之要求，故假設一般混凝土高壓地磚水泥用量為 500 kg/m^3 ，未採用其他卜作嵐材料（水淬高爐石粉、燃煤飛灰…等），則其每 m^3 組成材料 CO_2 排放約為：

$$500*0.40957 + 0*0.0683 + 0*0 = 204.785\text{ kg/m}^3$$

因此採用本研究所開發之冷結技術製作營建剩餘土石方高壓地磚，每 m^3 可減少 117.7485 kg 之 CO_2 排放。

另採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其比重較一般混凝土高壓地磚比重（約 $2.30\text{-}2.45$ ）輕，亦可減少日後因運輸所產生之 CO_2 排放量。

2. 經濟效益評估分析

目前水泥價格每公斤約為 2.2 元；水淬高爐石粉價格每公斤約為 1.3 元；燃煤飛灰價格每公斤約為 0.6 元；強塑劑價格每公斤約為 35 元，依據表 3-19 之配比，計算本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚每 m^3 組成材料成本約為：

$$200*2.2 + 75*1.3 + 275*0.6 + 2.6*35 = 793.5\text{ 元/m}^3$$

本研究所開發之冷結型高壓地磚尺寸：長度（L）為 200 mm ；寬度（W）為 100 mm ，厚度 60 mm ，每一塊冷結型高壓地磚體積為： 0.0012 m^3 ，而每 m^3 組成材料約可製作 833 塊冷結型高壓地磚，因此每塊冷結型高壓地磚組成材料成本約為：

$$793.5 / 833 = 0.95\text{ 元/塊}$$

圖 3-25 為一般市售高壓混凝土地磚之價格（ 18 元/塊），而本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚組成材料成本約為 0.95 元/塊，若加上機械設備折舊、人員管銷費用、及通路費用等，與一般市售混凝土高壓地磚價格（ 18 元/塊）相較，應該仍具相當之競爭性。另採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其比重較一般混凝土高壓地磚比重（約 $2.30\text{-}2.45$ ）輕，對日後節省運輸成本亦有所助益。



圖 3-25 一般市售高壓混凝土地磚價格

第四章 建築廢棄物再生循環技術推廣應用

第一節 再生綠建材效益與市場競爭性分析

一、再生綠建材產業體系

依據行政院核定之「生態城市與綠建築推動方案」之實施項目分工表第十五項中：「建築廢棄物再生利用技術研發、驗證及推廣產製，以加速再生建材產業化」。配合此政策目標，本計畫針對再生建材原料取得、生產階段、成品通路等問題進行研究分析，以建立再生綠建材產業化策略。

- 原料取得階段：再生料來源、數量、品質
- 生產階段：生產成本、技術、製程與設備
- 成品階段：品質、市場規模、市場競爭性

本計畫曾於 99 年度完成再生綠建材之產業化推動規劃，並建議建置營建資源循環供應中心，以廣納各種可再生利用之營建資源(如圖 4-1)。配合 2010 年所修訂之「綠建材解說與評估手冊」中，對於可申請再生綠建材標章之產品與類別將大幅強化。預期再生綠建材標章產品類別、申請廠商家數將可倍增。但是獲得綠建材標章之綠建材，與使用原生材料所製造之產品，在產業規模及市場區隔性等，是否具競爭性，則為再生綠建材未來是否能在市場上大量被接受應用的重點。

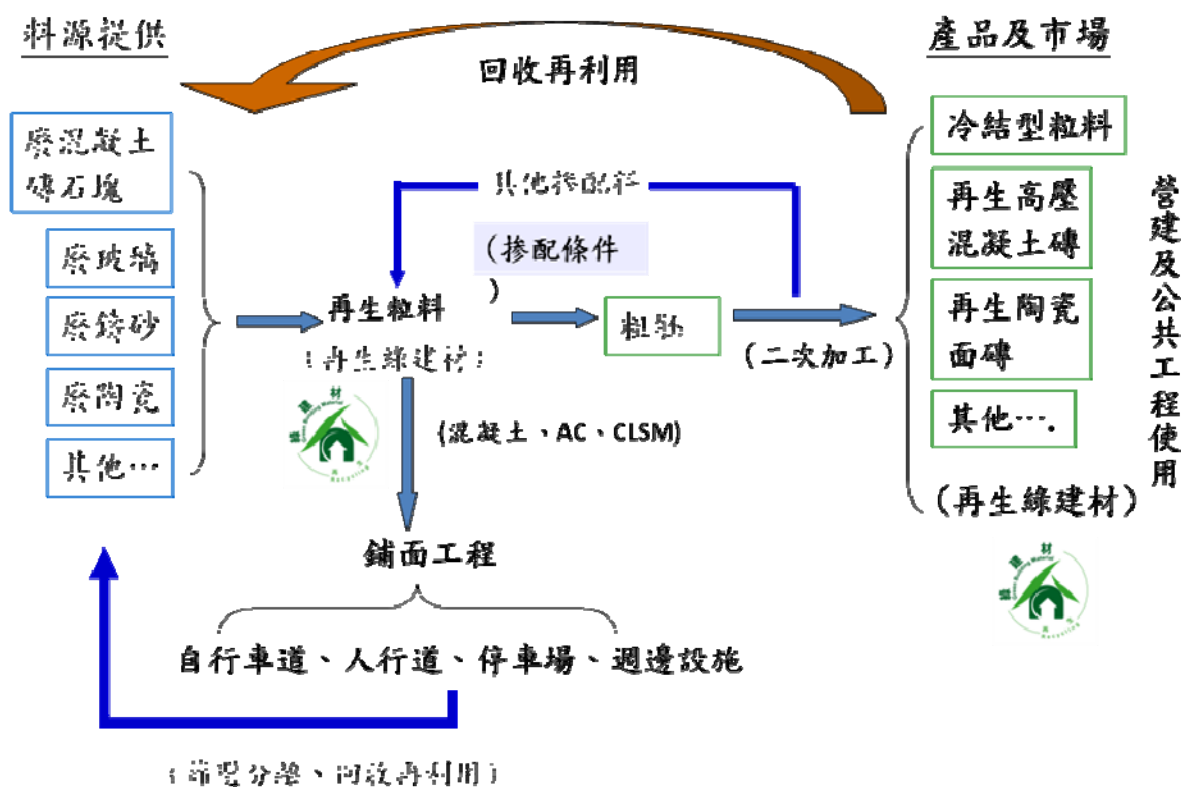


圖 4-1 再生綠建材產業體系架構

整體而言，本計畫針對獲再生綠建材標章之產品進行訪查，瞭解市場銷售使用情形，並評估再生綠建材標章對於提升建材產品市場競爭性之助益。分別從再生綠建材之供應端與使用端著手，探討其產品在市場上的競爭情形如圖 4-2 所示。

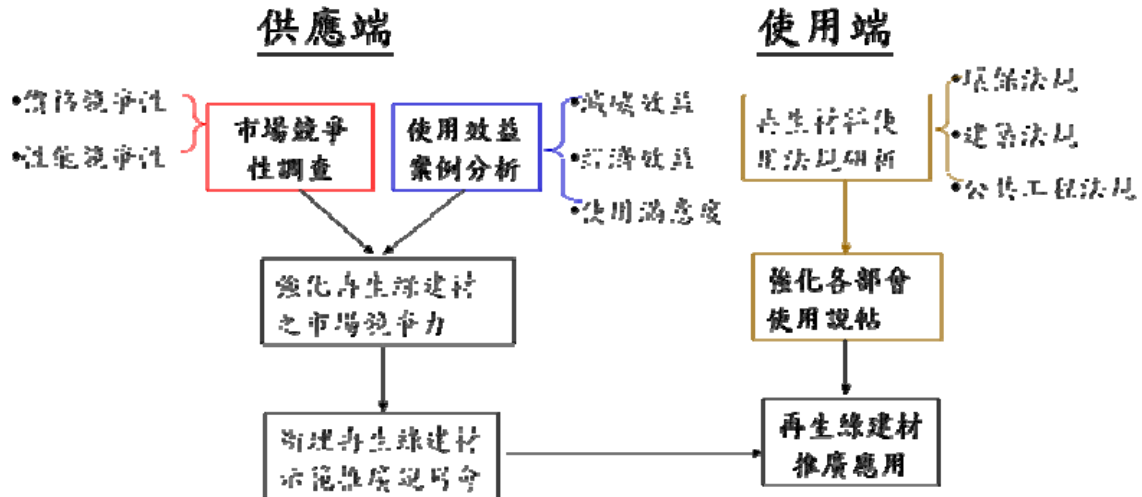


圖 4-2 再生綠建材市場競爭性分析架構

二、再生綠建材業者訪查

依據台灣建築中心之統計，截至 100 年 10 月，獲再生綠建材標章之廠商家數計有 21 家。再生綠建材產品計有 22 種纖維水泥板、98 種高壓混凝土地磚、19 種高壓混凝土空心磚、3 種石膏板、125 種陶瓷面磚、5 種普通磚，合計產品總數為 372 件。相對於目前四類綠建材標章合計 280 廠商數，1842 件產品數，廠商數佔約一成，產品數約 20 %。

為了解再生綠建材成效並收集相關業者意見，本計畫規劃對再生綠建材之生產廠商與使用業者進行訪查。於生產業者部分，訪查重點在於了解使用資源化原料生產再生綠建材之優點與效益，並比較使用資源化原料與使用一般原料於生產業者各階段作業之差異，含原料取得、生產、與產品銷售各階段。於完成生產業者訪查後，將執行使用單位訪查，其重點在於了解使用者選擇使用再生綠建材之原因、再生綠建材產品之售價接受度、產品施工狀況、實際使用狀況等。

為執行前述作業，本計畫設計再生綠建材生產與使用狀況問卷(如表 4-1)，就資源化原料來源、再生綠建材製程、再生綠建材產品、再生綠建材回收等各部分進行了解，並實地訪查各再生綠建材生產業者。此外，為收集業者對再生綠建材制度與執行現況意見，本計畫亦於問卷內增列廠商意見調查，了解現行計畫執行是否有其他應增加考量之事項，業者訪查對象如表 4-2。

整體而言，本次訪查發現大部分廠商使用資源化原料並申請綠建材之主要原因仍在於因應公共工程綠色採購需求，使用資源化原料造成之成本差異並不明顯，僅少數廠商

因可同時獲得廢棄物處理費用而提高獲利。而資源化原料與原生於料相較，雖然製程並無明顯差異，但由於使用資源化原料可能需進行額外之前處理作業，故每單位產品可能消耗較高之能、資源。此外，由於產品利經施工與廢棄後拆解過程，故廢棄後之綠建材產品同樣需經完整之分類處理過程後才可能再生利用，業者建議政府協助提升營建廢棄物再生處理之技術與能量，綠建材業者皆樂意使用經妥善再生處理後之資源化原料。

此外，本次訪查亦發現有業者長期主動推動資源化建材產品，透過技術開發，充分利用資源化原料特點生產具差異化特性之高價值產品，甚至願意為使用資源化原料而投入較高前處理成本，再透過高價值成品賺回成本差異，為推動再生綠建材產品之良好模式。

以下分就本次調查各業者概況與主要意見加以陳述：

(1) 佳大化工股份有限公司：

該公司為環保標章與綠建材標章雙重驗證公司，其主要產品包括各式防火建材與矽酸鈣板，獲得綠建材之產品為矽酸鈣板與纖維水泥板，其主要使用之資源化原料包含發電廠之排脫石膏、自身不良品、與廠外回收之自家產品，包含施工產生之下腳料與產品廢棄拆除後之廢棄物。

該公司所有生產之矽酸鈣板與纖維水泥板皆添加一定比例之資源化原料，故就該廠而言產品製程並無差異。該公司認為就原料來源與品質之穩定性而言，原生料仍佔優勢，但資源化原料價格較低，為一大誘因，然近期運輸成本不斷上升，而購買或取得資源化原料因來源分散，運輸成本較高，已相當程度抵銷資源化原料於價格上之優勢。對於應如何進行綠建材使用後回收作業，該公司意見並不強烈，僅表示若經銷商通知發現該公司產品即將拆除，則該公司皆願意派員予以回收，回收所得之廢料皆可投入製程再次利用，但由於該公司無法掌握所有產品流向，並不建議強制要求各綠建材業者回收自身產品。

(2) 艾鎂企業股份有限公司：

該公司為水泥製品廠商，產品包括高壓凝土地磚、緣石、透水性凝土地磚等產品，同樣為環保標章與綠建材標章雙重驗證公司。該公司取得綠建材之產品為透水磚與高壓凝土地磚，所使用之資源化原料為廠內不良品、碎石、與煤灰。如圖 4-3。

該公司認為原生原料雖然價格較高，但原料品質同樣較好，該公司亦以生產原生料產品為主，生產資源化產品之原因除滿足公共工程綠色採購需求外，處理去化廠內不良品亦為重要目的。

依據該公司實際生產經驗，認為以水泥產品而言，是否使用資源化原料對生產過程並無明顯影響，以該公司環保標章產品為例，其資源化原料摻配率可達 70~72%，產品品質同樣可以符合國家標準與廠內自定品管標準，不受影響。

而在產品回收方面，該公司並未自行回收產品，其理由與意見與羅德公司類似，都認為

廠商自行回收產品不具經濟價值，且公司無法提供人力持續追蹤產品流向與廢棄狀況，此外，該公司表示目前廠內不良品產生量，與現有之資源化原料來源已足數需求，即使市場可提供處理完畢之資源化原料，該公司亦無新增外購來源規劃。

表 4-1 建築廢棄物再生循環技術開發現況調查表

一、 受訪者基本資料：

公司/機關名稱：_____

地址：_____

訪問對象：_____ 性別：男性 女性

職務：_____ 工作年資：1~5年 5~10年 10~15年 15年以上

電話：_____ E-mail：_____

綠建材類別：(請註明) _____

公司員工人數：約_____人

二、 再生綠建材市場競爭分析情形：

考量指標	一般正常品			再生綠建材品			備註
	高	中	低	高	中	低	略述說明
一.原料來源 (穩定性)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
二.原料價格	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
三.原料品質 (穩定性)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
四.目前使用狀況	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
五.製程過程及差異							
(1).技術困難	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
(2).耗電量	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
(3).耗水量	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
(4).耗損產生量約	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
六.使用後之回收情形	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
考量指標				說明			
七.若未進行回收作業，其原因或困難為何							
八.對綠建材回收的目的							
九.綠建材回收之去處							
十.對綠建材回收工作之建議							
十一.其他							

表 4-2 再生綠建材生產業者訪查名單

廠商名稱	產品類別	綠建材標章產品
佳大化工股份有限公司	矽酸鈣板 纖維水泥板	矽酸鈣板(1.0FK) 纖維水泥板(1.0FPC) 纖維水泥板 1.0FPC 纖維水泥板 0.8FPC 矽酸鈣板 0.8FK
三得利興業股份有限公司	再生陶瓷面磚	窯燒花崗石面磚 瓷質地磚 石質地磚 瓷質壁磚 石質壁磚
冠軍建材股份有限公司	再生陶瓷面磚	瓷質地磚 石質地磚 瓷質壁磚 石質壁磚
晶泰水泥加工廠股份有限公司	高壓混凝土磚	高壓混凝土磚 A 級 透水磚本色
艾鎂企業股份有限公司高雄廠	高壓混凝土磚	高壓混凝土磚 B 級 高性能透水綠建材透水磚 植草磚 C 種磚
天九興業股份有限公司	高壓混凝土磚	圍牆磚 C 種磚 混凝土空心磚 C 種磚 高壓混凝土磚 B 級
俊行記實業股份有限公司	普通磚	建築用普通磚
惠普股份有限公司	矽酸鈣板 纖維水泥板	國浦矽酸鈣板 1.0FK 國浦纖維水泥板 國浦矽酸鈣板隔間牆
光聯興業股份有限公司	高壓混凝土磚	羅馬高壓混凝土磚 A 級
三惠製材所有限公司	高壓混凝土磚	高壓混凝土磚(C 級)
尚美實業股份有限公司	高壓混凝土磚	高壓混凝土磚
立順興資源公司	碎石級配料	細粒料
羅德應用材料股份有限公司	高壓混凝土磚	高壓混凝土磚
順欣資源有限公司	陶瓷面磚	輕質陶瓷面磚
元記股份有限公司	普通磚	建築用普通磚三種磚
明泰股份有限公司	普通磚	建築用普通磚三種磚
白馬窯業股份有限公司	陶瓷面磚	瓷質壁磚
晉大陶瓷股份有限公司	陶瓷面磚	陶瓷面磚

(3) 晶泰水泥加工廠股份有限公司：

該公司為本次訪查對象中對推動資源化產品最有熱忱亦最有實效者，其產品多元化具競爭性，有空心磚、磨石磚系列、崗石地磚系列、彩庭石系列、藝術拼花地磚系列、高壓混凝土磚系列、高壓結晶磚系列、抵石地磚系列、與人造石系列等。

該公司認為相對於原生原料，資源化原料在價格與來源穩定性部分皆優於原生原料，其主要理由在於原生原料之開採與銷售受原物料價格波動影響嚴重，但再生原料之

來原因環保意識抬頭，廢棄物資源化壓力逐漸升高，反而造成資源化原料之供給持續提高，供給充足且價格穩定。

在資源化原料品質部分，該公司認為只要詳細挑選並去除雜質，品質可達穩定，並不遜於原生原料。目前該廠所有產品皆會使用資源化原料，雖然因應客戶訂單要求而比率會有變動，但整體而言廠內仍以資源化原料使用量較大。

在製程差異部分，該公司認為使用資源化原料比率較高時，欲達成產品強度標準之難度稍高，但這也正是該公司技術優於同業之重點。

該公司目前若經業主通知，可以前往回收自家產品，並可以換料等方式折抵費用，另對於施工期間產生之下腳或廢棄物亦經常進行回收，回收所得之廢料皆可再次投入製程使用。雖然該公司已進行自身產品回收，但亦建議政府輔導設立大型建材回收處理中心，統一大規模處理營建廢棄物，並將再生後產出之資源化原料提供市場使用。



圖 4-3 艾鎂公司現場照片

(4) 光聯興業股份有限公司：

該公司產品主要為高壓混凝土地磚、滲水磚、隔間板與立體版...等，取得綠建材標章之商品為高壓混凝土地磚，所使用回收料主要為加工後之陶瓷廢料（粒料）。

該公司回收料來源主要為越南與菲律賓之陶瓷廢料。使用回收料之經驗上，認為回收料之價格較低，但成品偶而會產生黑點與雜質，且目前綠建材之產品正處於推廣階段，因此目前綠建材之生產比率低於 5%。實際生產狀況為一般正常品約 100 噸/天，再

生綠建材約 0.81 噸/天。

回收作業困難點為申請綠建材標章要使用回收料，該公司產生之廢料為大理石與水泥製品邊料，但若使用回收料則需再成立公司專門處理才能取得標章之認可(如交易發票)，因此該公司僅能向其他公司購買廢料回收再使用。因此希望標章認定上能放寬標準，不指定外部公司購買，若本身工廠有能力處理，可透過工廠生產投料紀錄與現場工廠查核，也可認定為其產品使用回收料。

(5) 三惠製材所有限公司：

該公司為綠建材標章之廠商，其產品為複木石、硬化耐磨材料、立體壓花地坪、紙模鏤花地坪、復古雲霓塗料、木紋、枕木、石材、欄杆、圍牆板，取得綠建材標章之產品為高壓混凝土地磚 C 級，所使用回收料主要為處理後之爐石與爐渣。

因 100 年 2 月才申請通過綠建材標章，透過行銷體系需半年才能到市面銷售，因此市面上尚無標章產品銷售情形，另業主表示市場上普遍認為使用回收料之產品品質較一般產品差。

該公司對綠建材之建議有兩點：1.因國家標準與商品開發不同步，造成無法所有產品申請綠建材。2.若僅有一間公司申請綠建材，則依照政府採購法而言，無法達到三家以上產品之比價，與現行法令相抵觸，因此往往拿到綠建材反而造成對手攻擊。

(6) 天九興業股份有限公司：

該公司為水泥製品廠商，產品包括高壓混凝土地磚、緣石、透水性混凝土地磚等產品，為環保標章與綠建材標章雙重驗證公司。該公司取得綠建材之產品為透水磚與高壓混凝土地磚，因該公司具備再利用業者資格，所使用之資源化原料為廢玻璃及電弧爐爐渣。如圖 4-4。

該公司回收料來源主要為一般的廢玻璃及煉鋼廠之電弧爐爐渣，在使用經驗上，認為該回收料之價錢較低，但因收受之廢棄物需經處理後才可使用，故需增加用電及水量。而在產品回收方面，該公司並未自行回收產品，認為廠商自行回收產品不具經濟價值，此外，該公司表示因所使用之資源化原料為廢玻璃及電弧爐爐渣並非回收之不良品，且目前所使用之資源化原料來源穩定，故不會考量於產品中添加其他資源化原料。

(7) 俊行記實業股份有限公司：

該公司為普通磚製造廠商，僅生產紅磚產品，該公司取得綠建材之產品為建築用普通磚所使用之資源化原料為營建剩餘土石方及自來水廠淨水污泥，但以營建剩餘土石方為主。

因產品需至電熱窯爐燒成故耗電量較一般水泥製品為高。依照廠商之生產經驗，雖然產品之原料均有使用資源化原料但廢品之產生率僅有 2.0 %，良率甚高，故廠內所生

產之產品均為再生綠建材產品，並無使用原生材料之產品。

產品回收方面，該公司並未自行回收產品，認為市面已有政府核可之營建廢棄物清除處理機構，且一般回收之營建廢棄物其原料之乾淨度無法達到該公司之品管要求，故不會使用一般之營建廢棄物做為原料。

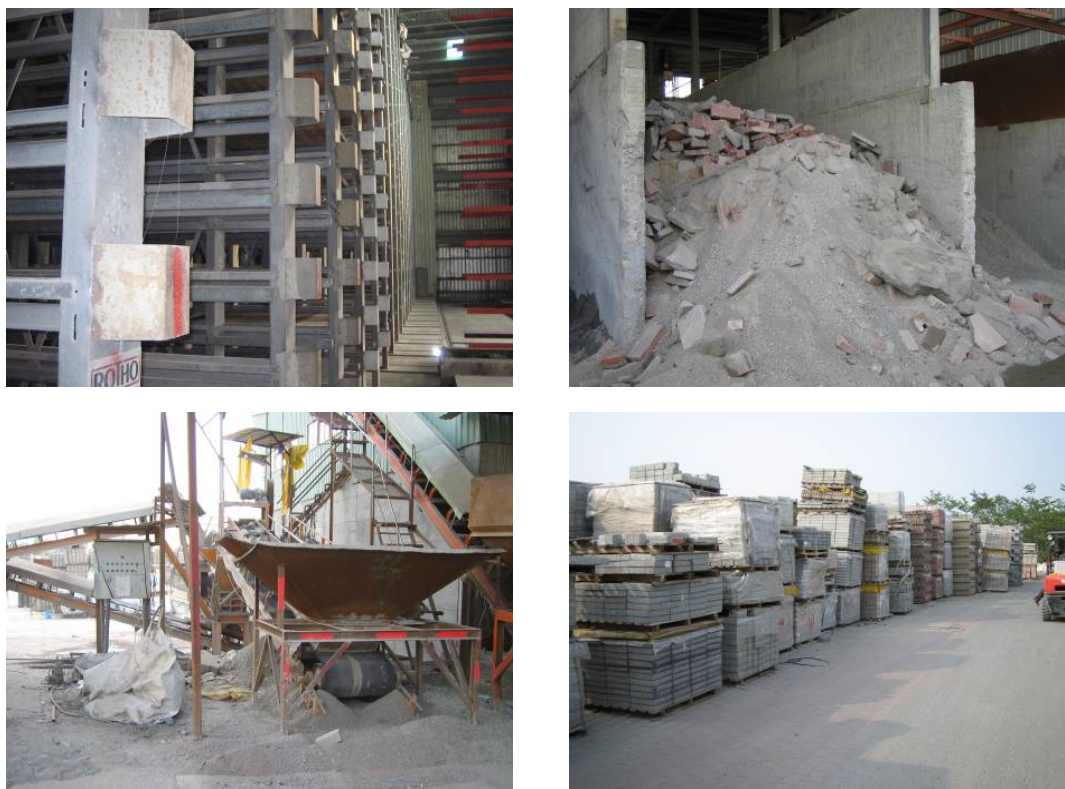


圖 4-4 天九興業公司現場照片

(8) 冠軍建材股份有限公司：

該公司為目前國內最大之陶瓷業者，擁有一定之技術能力及市場規模。對於環保及節能的議題，該公司不但領先於同業取得相關之環保驗證，如綠建材標章、環保標章、「MIT」微笑標章、BSI PAS 2050 碳足跡驗證等，另於 2010 年成立國內首座綠色磁磚觀光工廠「冠軍綠概念館」。

訪查位置為該公司苗栗縣竹南鎮廠區，廠內之環保產品以再生陶瓷面磚為主要生產產品，所使用之資源化原料主要為熟廢胚廢料，其來源為外購國內之回收材料，廠內並設有機具以破碎再生本身產出之不良品。

依據該公司說明，目前廠內使用之原生材料與資源化原料不論於品質、價格、取得穩定性等差異並不大，且廠內對於原料控管及生產製程均依 ISO 14001 環境管理系統持續進行管理，故該公司對於生產綠建材產品並未造成太大之困難，該公司為了維持良好的企業形象，也致力於進行資源化原料之回收再利用，如圖 4-5。

就資源化原料之來源與營建廢棄物之去化部分，該公司表示目前係交由經銷商進行

販賣，並無直接與客戶進行接觸，造成回收作業困難，若無政府相關配套措施，僅由各公司自行進行回收作業，所付出之成本極高，且難以達到預期之效果。

(9) 惠普股份有限公司：

該公司主要產品為國浦矽酸鈣板與國浦纖維水泥板，均已獲得綠建材及環保標章之認證，該產品之有害物檢測均符合綠建材標章規定，且添加一定比例之資源化原料於產品中，資源化原料包含台塑六輕廠發電鍋爐飛灰、廢觸媒及廠內集塵灰。

該公司所有生產之矽酸鈣板與纖維水泥板皆添加一定比例之資源化原料，比對該公司資源化原料與原生材料之差異，該公司認為原生材料無論品質、價格、取得性皆優於資源化原料，但兩者之差異性其實並不大，主要考量於公共工程綠色採購需求，故該公司仍會生產少量之綠建材產品。此外，就製造過程之困難度或耗損率部分，該公司認為使用原生料與使用資源化原料均使用相同製程進行生產，並無明顯之差異。

對於進行綠建材使用後回收作業，該公司表示對於有要求之經銷商或建商，該公司仍願意配合進行回收作業，但對於回收原料之品質仍有些許疑慮，因為其中含有大量之雜質，造成回收再利之困難度及處理成本增加，故傾向不建議強制要求各綠建材業者回收自身產品。



圖 4-5 冠軍建材公司現場照片

(10) 三得利興業股份有限公司：

該公司之窯燒花崗石面磚，因添加 20 %之廠內熟廢胚廢料於產品中，且能維持一定之產品品質，故分別獲得綠建材及環保標章之認證。

該公司表示，資源化原料之來源除了廠內之不良品外，不足的部分另需向國內合格之供應商購買，且對於外購原料之品質要求甚高，故資源化原料價格高於一般土料。

因添加資源化原料於產品中的比例高達 20 %，為了不影響產品品質，造成此生產製程作業較一般產品困難，綜合考量原料價格及製程困難度，故目前對於綠建材產品之產量也較一般產品少。

對於進行綠建材使用後回收作業，該公司表示因為通路商多為公共工程作業，對於回收作業困難度高，故目前並無針對產品至市場進行相關回收作業。

(11) 尚美實業股份有限公司：

該公司為水泥製品廠商，產品包括高壓混凝土地磚、緣石、植草磚等產品，為環保標章與綠建材標章雙重驗證公司。該公司取得綠建材之產品為高壓混凝土地磚，該公司所使用之資源化原料為廢陶瓷、廢石材、廢玻璃等。

廠商表示回收料之來源會因淡旺季之關係而影響其穩定度，另因供應商之不同其原料品質亦有差異，但均需廠商之品管要求，故產品之品質均有一定之品質。

對於產品之回收方面，廠商表示並不會主動進行回收，但會依客戶之需求進行，然目前依廠商販售至今之經驗提出此類要求之客戶比例並不高。

(12) 羅德應用材料股份有限公司：

該公司已取得資源回收再利用建材環保標章，目前正進行再生綠建材申請作業。該公司為本次訪查之首家業者，協助試填問卷並提供問卷改善意見。

訪查位置為該公司龍井廠區，該廠區以高壓混凝土磚為主要生產產品，所使用之資源化原料主要為再生玻璃砂及熟廢胚廢料，其來源為外購立順興公司再生處理後之營建廢棄物或他廠廢棄物，廠內並設有機具以破碎再生本身產出之不良品。

依據該公司意見，原生材料無論品質、價格、取得性皆優於資源化原料，該公司生產並申請綠建材標章之原因在於滿足公共工程綠色採購需求。此外，就製造過程之困難度或耗損率部分，該公司認為使用原生料與使用資源化原料並無明顯差別。

就資源化原料之來源與營建廢棄物之去化部分，該公司強烈建議運用並輔導市場上現有之營建廢棄物資源化公司，該公司認為若要求各業者自行回收銷售出之產品，由於數量難達經濟規模，各業者付出之投資難以收回，回收效率與再處理效果皆難以符合理想，而基於資源化價值，目前市場上已有專業營建廢棄物回收處理公司，建議政府輔導該類公司，而各綠建材業者僅須向其購料即可。

三、再生綠建材生產業者訪查結果分析

1. 回收材料取得之穩定性方面

在資源化原料與一般原生原料比較部分，首先，就原料來源之穩定性部分，有 8 家業者認為原生料之貨源供應較穩定，但亦有 3 家業者持不同看法，另 1 家因完全使用資源化原料故無從比較(圖 4-6)，經詳細訪談後發現認為再生料來源較穩定或與原生料相當之業者所持理由與原因如下：

- 原物料價格持續上升，而原生料之開採必定受資源價格波動影響，然再生原料因環保意識提升，廢棄物資源化壓力大，反而供給充足。
- 處理特殊廢棄物(如再利用廢玻璃、爐碴)之業者，由於可幫助上游業者減輕廢棄物清除處理之壓力，上游業者樂意配合，且購料競爭對手較少，故認為資源化原料來源相對穩定。

2. 回收材料之價格方面

有 5 家業者表示原生原料較貴，但也有 4 家業者認為資源化原料較貴，另認為二者相同者 2 家與無法比較者 1 家(圖 4-7)。此一結果相當不統一，即使再由業者生產之產品種類、或地理位置加以分類，仍難以發現特定趨勢，以本次訪查對象中最主要之高壓混凝土磚業者而言，7 家業者中有 3 家表示資源化原料價格較高，但另外 4 家卻表示原生原料價格較高，未來或可針對此一情形再行確認並設法了解其原因，以便提出對策以擴大鼓勵使用資源化原料。

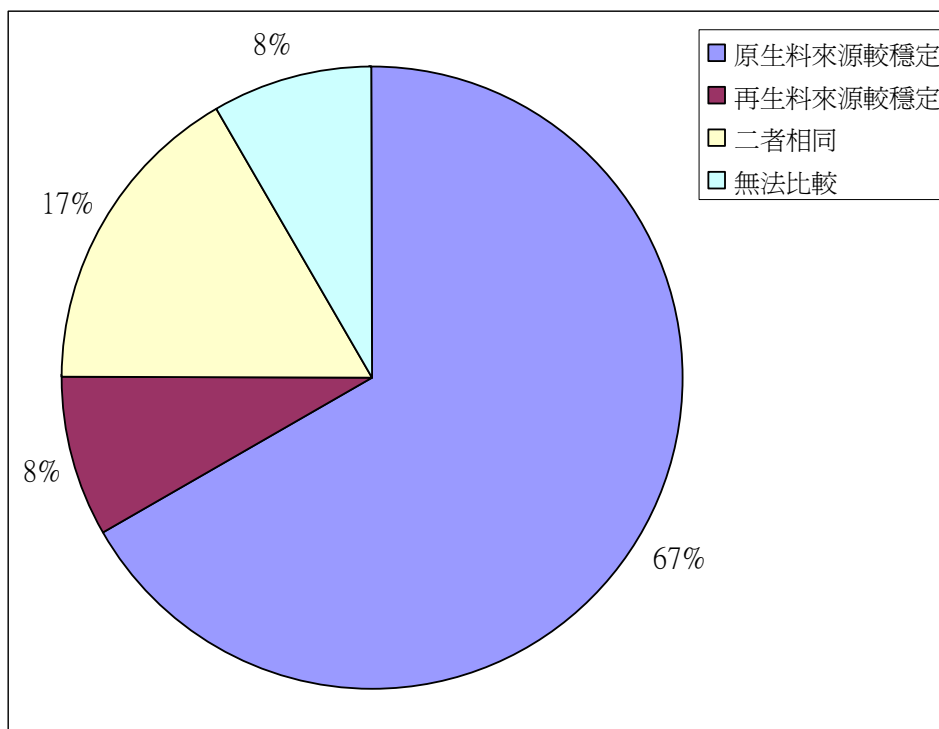


圖 4-6 原料來源穩定性比較

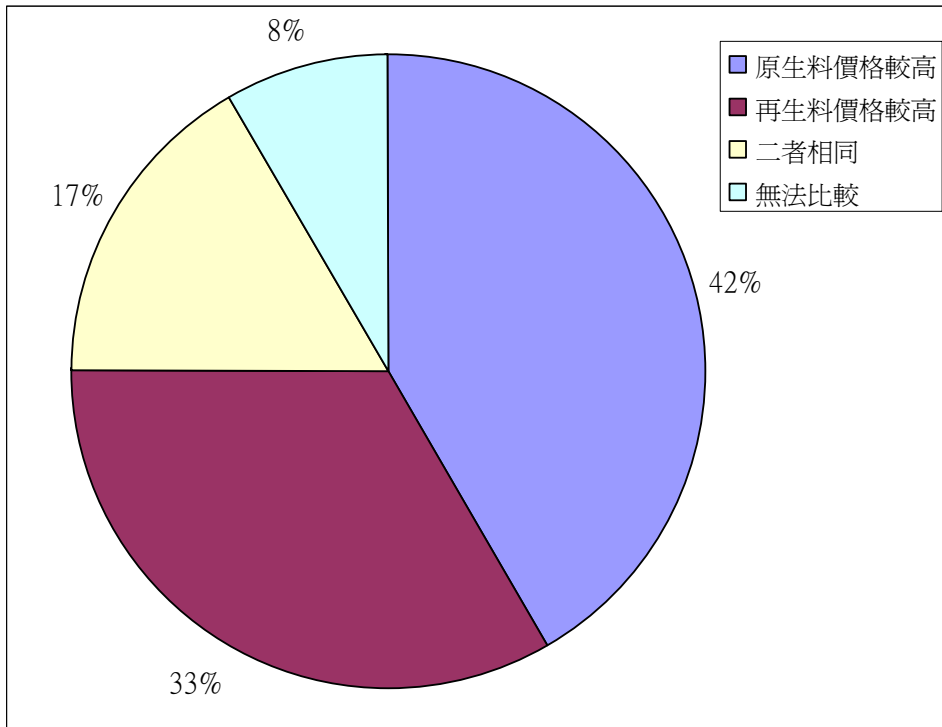


圖 4-7 原料價格比較

3. 原料品質方面

所有業者皆表示原生料品質較佳或二者約略相同，對資源化原料較明顯之抱怨來自於外觀顏色之雜點較多，較不利於製作高價位產品，然製程上之技術要求與不良品發生率差異並不明顯。訪查中亦發現有業者針對各式資源化原料開發專用製程，利用其特性製作高附加價值產品，一方面可提高產品價格，另一方面也因其特殊技術而可以確保資源化原料來源穩定，資源化原料之特殊性質反成為業者利基，此一觀念值得推廣。

4. 原生材料與資源化原料使用量

於本次訪查之 12 家業者中，有 7 家業者表示仍以生產原生產品為主，且表示資源化原料使用量遠低於原生原料使用量，使用資源化原料之原因多半為配合政府標案需求，顯示目前公共工程之綠色採購仍然是推動建材業採用資源化原料之重要原因。

於其他業者部分，有 2 家業者因長期配合產業處理去化事業廢棄物(如廢玻璃、電弧爐渣等)，故廠內資源化原料用量大於原生料用量，另有 2 家業者所有產品配方皆摻配使用資源化原料，故用量亦大。然另有 1 家業者長期推動資源化產品，除非訂單另有要求，否則主要生產資源化產品，整體而言資源化原料用量仍大於原生原料，各業者使用資源化原料之理由分析如圖 4-8。

5. 使用原生原料與資源化原料之製程差異

於本次訪查之業者中，除 2 家業者因所有產品皆摻有資源原料故無法比較製程差異

外，其餘業者皆表示原生料與資源化原料可採用完全相同或非常相似之製程生產，但有 3 家業者提及，因資源化原料可能於投入製程前須進行額外之前處理如清洗、粉碎、篩選分類等作業，故每單位產量所消耗之能、資源可能高於原生料製程，此為資源化原料較不利之處。

此外，如前節所述，有業者反應因資源化原料雜點較多，雖採用相同製程生產，但資源化成品之外觀略遜於原生產品，此為原料先天差異，單憑廠內製程調整難有成效，須由上游端提升篩選效率方有可能改善。

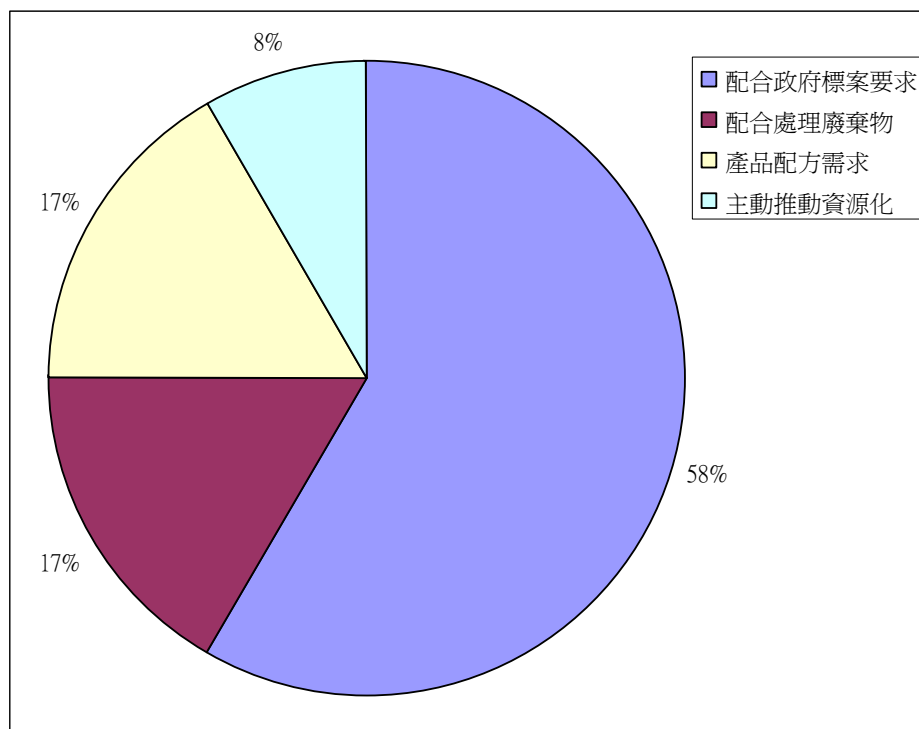


圖 4-8 各廠使用回收原料原因

6. 再生綠建材產品回收

為評估再生綠建材產品是否具有較高之再次利用可行性，本次亦一並訪查各再生綠建材廠商是否針對本身產品進行回收與再生，並請業者對後續回收之規畫提出建議。

於目前是否自行回收部分，12 家受訪業者中僅有 3 家曾經回收自家產品，其餘 9 家表示未規劃或不可行，而曾經回收之 3 家業者皆表示由於難以全面掌握自家產品流向，故不可能全面回收，但若經銷商或使用者前來通知，則可回收本身產品，並可經處理後再次投入製程。

而不願或未考慮自行回收業者之意見，經整理後可歸納如下：

- 不具經濟價值：由於對其他業者產品缺乏了解，各廠即使進行產品回收，亦僅針對自身產品為之，但如此則回收數量有限，為處理如此少量且來源不穩定之廢棄物而要求各廠自行建立處理設施以便進行再利用，不僅不符經濟效益，亦不具經

濟價值。

- 施工時間難以配合：工廠生產需持續穩定之原料來源供應，然工廠可使用之營建廢棄物產生時間不一定，若自行回收廢棄物作為原料，施工時間甚難配合。
- 戶外建材使用期甚長：產品生命週期甚長，回收時程難以估計並掌握，廠內亦難提供人力持續追蹤出廠產品之銷售與廢棄狀況。
- 雜質過多難以使用：產品經施工再拆除後，附著大量雜質，直接回收至廠內難以使用。此外，部分種類之營建廢棄物，國內完全缺乏適當之再處理機構，難以再次利用。

對於使用後之廢棄建材(無論是否為綠建材)，業者多半表示若經適當分類與處理後，可以接受作為產品原料，部分業者目前使用之資源化原料即如此取得。業者建議政府應輔導現有之資源化業者提升技術與處理量，或由政府設立大型營建廢棄物再生處理中心，並將其再生處理後產生之資源化原料提供市場循環使用。由於技術性與經濟性皆不可行，並不建議要求各綠建材廠商自行進行回收。

7. 對綠建材標章制度建議

本次訪查過程中絕大部分業者對綠建材標章皆表示滿意或無意見，僅 1 家業者提出口頭抱怨。然有部分業者對未來執行方式與推動方式提出建議，歸納如下以供參考：

- 請協助解決公共工程採購困難：業者表示目前綠建材標章產品販售之最大問題，在於若僅有一家廠商取得綠建材標章並前往投標，則採購單位常認為依政府採購法，若優先採購綠建材標章產品恐觸犯圖利業者罪嫌，導致綠建材標章無法發揮效用。
- 室內裝修材比例認定問題：業者建議室內裝修材應有 30 % 以上採用綠建材產品之規定，應就各項產品分項計算，而非目前採用之混合計算，以擴大推動效益。

四、再生綠建材之效益分析

再生綠建材產品類別不同，回收材料對於其市場競爭性亦有極大差異。依目前獲再生綠建材標章的產品區分，最大宗者為混凝土地磚與混凝土空心磚(含植草磚、圍牆磚等)；其次為再生陶瓷面磚；而矽酸鈣板(纖維水泥板)有兩家業者，普通磚亦有兩家業者。僅一家者為再生粒料與再生石膏。

各種再生綠建材中，最廣泛使用的回收材料依序為石質廢料、廢玻璃、廢陶瓷粒、廢爐渣、廢土石等。

冷結型(高壓混凝土磚、空心磚)、燒結型(陶瓷面磚、普通磚)、抄造(矽酸鈣板、石膏版、水泥粒片板)、粒料。

再生綠建材最主要之效益為減少廢棄物之環境污染、減少原素材開採，以及減少二

氧化碳排放。並且提高產品之附加價值。謹依研究調查結果分析之。

(一) 廢棄物減量效益

國內每年所產生的營建、事業廢棄物，數量十分龐大。若任意棄置造成嚴重的環境污染。而以現行的廢棄物處理方式，包括焚化、掩埋等，對於無機類廢棄物，很明顯的皆不符效益，且更增加二氧化碳之排放。

依據環保署之推估，礦石類廢棄物(混凝土磚石、陶瓷、玻璃等)若採掩埋處理，依掩埋場之生命週期估算，每噸將產生 0.2626 噸 CO₂，而木質廢棄物焚化則每噸產生 1.63 噸 CO₂。

1. 營建廢棄物產生量

就營建廢棄物而言，來源包括新建工程與拆除工程所產生的廢棄物。其中新建工程可依各年度所核發使用執照樓地板總面積按 0.10 m³/m² 核算廢棄物總產量(以體積計)，由營建署所統計之新建工程之建築廢棄物產量及拆除工程之建築廢棄物產量估算。並依體積百分比推算重量(廢混凝土塊為 2.2 噸/m³，廢磚石塊為 1.65 噸/m³，廢木料為 0.56 噸/m³，廢金屬料為 4.63 噸/m³，其他為 2.5 噸/m³)，推算全國營建廢棄物產生量。以近十年計，年平均約量均為廢混凝土塊約為 321 萬噸，廢磚石塊約為 196 萬噸，廢木料約為 58 萬噸。如表 4-3 所示。廢混凝土塊及磚石塊合計約 517 萬噸，若其中 50 % 提供作為再生粒料，假設單位體積重為 1.5 kg/m³，則約可產生 172 萬 m³ 之再生粒料以替代砂石。依據經濟部礦務局 99.3.15 公佈 99 年度預估砂石需求量約 5,855 萬 m³，因此需求量遠超過建築廢棄物可替代之砂石量。

2. 事業廢棄物產生量

事業廢棄物再利用包括公告再利用與個案再利用兩部份，而以公告再利用為最大宗。表 4-4 為經濟部工業局公告各類廢棄物中，可作為再生建材之種類。彙整 99 年度可於工程粒料使用之公告再利用廢棄物產出情形，總產出量每年約 554 萬公噸，如表 4-5 所示。

3. 各類再生綠建材之廢棄物檢量效益

依據「綠建材解說與評估手冊」之認定，再生綠建材標章之建材必須使用一定比例以上之回收材料，譬如普通磚須使用 40 % 以上；高壓混凝土磚則依等級差異而分別要求使用 20 %，30 % 與 50 % 以上之回收材料。而陶瓷面磚則要由使用 15 以上回收料；纖維水泥板則須使用 50 % 回收料。回收料範圍包括營建廢棄土、廢陶瓷、廢玻璃、爐渣、水庫淤泥等，各種無害性廢棄物皆可使用。故對於減少廢棄物之環境污染效果分宏大。表 4-6 顯示 2011 年版綠建材解說與評估手冊中，受理申請再生綠建材標章之各類別建

材，其回收料使用比例。

表 4-3 近十年各類建築廢棄物產量重量估算表

單位：噸

年度	類別	廢混凝土塊	廢磚石料	廢木料	廢金屬料	其他	總計
90	新建工程	2,036,512	1,301,105	340,354	1,933,720	942,829	6,554,519
	拆除工程	691,689	394,887	138,847	45,858	2,548	1,273,830
	合計	2,728,201	1,695,992	479,201	1,979,578	945,377	7,828,349
91	新建工程	1,593,399	1,018,005	266,298	1,512,973	737,685	5,128,359
	拆除工程	638,544	364,546	128,179	42,334	2,352	1,175,956
	合計	2,231,943	1,382,551	394,477	1,555,307	740,037	6,304,315
92	新建工程	1,731,331	1,106,128	289,350	1,643,943	801,542	5,572,295
	拆除工程	1,001,690	571,867	201,076	66,410	3,689	1,844,733
	合計	2,733,021	1,677,995	490,426	1,710,353	805,231	7,417,028
93	新建工程	1,821,204	1,163,547	304,370	1,729,280	843,150	5,861,550
	拆除工程	1,346,526	768,735	270,297	89,272	4,960	2,479,791
	合計	3,167,730	1,932,282	574,667	1,818,552	848,110	8,341,341
94	新建工程	2,027,340	1,295,245	338,821	1,925,011	938,583	6,525,001
	拆除工程	1,847,684	1,054,847	370,898	122,498	6,805	3,402,733
	合計	3,875,024	2,350,092	709,719	2,047,509	945,388	9,927,734
95	新建工程	2,365,454	1,511,262	395,328	2,246,059	1,095,117	7,613,220
	拆除工程	1,170,225	668,084	234,907	77,584	4,310	2,155,111
	合計	3,535,679	2,179,346	630,235	2,323,643	1,099,427	9,768,331
96	新建工程	2,353,833	1,503,838	393,386	2,235,025	1,089,738	7,575,820
	拆除工程	1,700,911	971,054	341,435	112,768	6,265	3,132,433
	合計	4,054,744	2,474,892	734,821	2,347,793	1,096,003	10,708,253
97	新建工程	2,137,738	1,365,777	357,271	2,029,836	989,693	6,880,315
	拆除工程	1,375,885	785,496	276,191	91,219	5,068	2,533,858
	合計	3,513,623	2,151,273	633,462	2,121,055	994,761	9,414,173
98	新建工程	1,733,792	1,107,701	289,761	1,646,280	802,682	5,580,216
	拆除工程	1,127,716	643,816	226,374	74,766	4,154	2,076,824
	合計	2,861,508	1,751,516	516,135	1,721,046	806,835	7,657,040
99	新建工程	1,569,064	1,002,458	262,231	1,489,866	726,418	5,050,037
	拆除工程	1,809,495	1,033,045	363,232	119,967	6,665	3,332,404
	合計	3,378,559	2,035,503	625,463	1,609,833	733,083	8,382,441
年平均	新建工程	1,936,967	1,237,506	323,717	1,839,199	896,744	6,234,133
	拆除工程	1,271,037	725,638	255,144	84,268	4,682	2,340,767
	合計	3,208,003	1,963,144	578,861	1,923,467	901,425	8,574,901

資料來源：內政部營建署及本研究整理

表 4-4 工業廢棄物回收可利用製備再生建材之類別

工業廢棄物種類	建材種類
煤灰、水淬爐石(渣)、廢鑄砂、石材廢料(塊、板)、石材污泥、電弧爐煉鋼爐渣(石)、感應電弧爐煉鋼爐渣(石)、化鐵爐渣(石)、廢石膏模、廢沸石觸媒、自來水淨水污泥、轉爐礦泥、熱軋礦泥、轉窯爐渣(石)等 14 種	水泥
煤灰、水淬爐石(渣)、廢玻璃、廢鑄砂、石材廢料(塊、板)、廢陶瓷磚瓦、電弧爐煉鋼爐渣(石)、感應電弧爐煉鋼爐渣(石)、化鐵爐渣(石)、預拌混凝土轉窯爐渣(石)等 10 種	
煤灰、電弧爐煉鋼爐渣(石)、感應電弧爐煉鋼爐渣(石)、化鐵爐渣(石)、漿紙污泥、紡織污泥、轉窯爐渣(石)、廢水泥桿等 8 種	級配粒料
廢玻璃、廢陶瓷磚瓦、廢鑄砂、廢橡膠等 4 種	瀝青混凝土
工業廢棄物種類	建材種類
水淬爐石(渣)、廢陶瓷磚瓦、廢石膏模等三種	陶瓷建材
煤灰、廢玻璃、廢陶瓷磚瓦、自來水淨水污泥、轉窯爐渣(石)等 5 種	磚瓦建材
漿紙污泥、紡織污泥	防火建材
煤灰、水淬爐石(渣)、廢鑄砂、石材廢料(塊、板)、電弧爐煉鋼爐渣(石)、感應電弧爐煉鋼爐渣(石)、化鐵爐渣(石)等 7 種	水泥製品
廢木材等 1 種	木質建材
廢橡膠、廢塑膠等 2 種	塑橡膠建材
電弧爐煉鋼爐渣(石)、感應電弧爐煉鋼爐渣(石)、化鐵爐渣(石)、轉窯爐渣(石)等 4 種	砂石

表 4-5 99 年度可於工程粒料使用之公告再利用廢棄物產出情形

項次	種類	產出量(噸/年)
1	煤灰	4,651,224
2	電爐渣(石)	1,395,926
3	廢玻璃	54,196
4	廢陶瓷磚瓦	58,177
5	廢鑄砂	134,046
總計		6,293,569

資料來源：經濟部工業局網站 <http://proj.moeaidb.gov.tw/riw/page2-3.asp>

(1) 再生粒料之廢棄物減量效益

各類再生綠建材中，對廢棄物減量效益最大宗的是再生粒料。以立順興公司為例，回收廢鑄砂、爐渣、廢陶瓷、廢玻璃、營建剩餘土石方等，以生產各種粒料，合計年產量約 27.5 萬噸。其中以廢爐石渣每年使用 15 萬噸，可產製粗砂再生綠建材，每噸售價約為 150~250 元；廢玻璃每年約 1 萬噸，可產製玻璃細砂再生綠建材，每噸約 150~250 元；廢陶瓷每年約 1.4 萬噸可產製陶瓷細砂再生綠建材，每噸售價約 250~300 元；營建剩餘土石方每年約 16 萬噸，可產製天然砂再生綠建材，每噸售價約 400~450 元。因此，生產再生粒料，對廢爐渣之減量比例為 10.7 %；廢玻璃之減量比例為 18 %。廢陶瓷減量比例為 24.1 %。

(2) 普通磚再生綠建材之廢棄物減量效益：

國內普通磚之生產量每年約 1,000,000,000 塊，每塊以 1.8 kg 計，約為 1,800,000 噸。目前普通磚之再生綠建材標章業者皆位於北部，如俊行記、元記、明泰、大勝公司等。其中俊行記公司每月生產約 3000 萬塊磚，元記公司每月生產約 500 萬塊磚，明泰公司每月生產約 600 萬塊磚，大勝公司每月生產約 300 萬塊磚。合計普通磚再生綠建材每月約生產 4,400 萬塊，每年約 5.3 億塊磚，約佔全國目前普通磚生產量之半，總重量約 1,000,000 噸。

依再生綠建材評定基準，普通磚之回收材料比例要求至少 40 %。但目前上述位於北部地區之業者，所使用之原料則 99 % 以上皆為回收料。依其生產狀況，所使用之原料全部都是回收料。

普通磚使用之回收料可包括：

- 黏土：營建剩餘土石方、自來水廠淨水污泥等
- 廢玻璃：營建廢玻璃、廢容棄玻璃、面板玻璃等
- 廢磚石粉、集塵灰等

目前除俊行記公司外，其餘業者則以營建剩餘土石方為主，並未使用其他的再生料。生產 1 噸之普通磚，約 2 立方米之土石方(比重約 1.6)。因此，每年 1,000,000 噸再生綠建材普通磚，約可消化 2,000,000 立方米之剩餘土石方(約 3,200,000 噸)。而俊行記公司之普通磚，除廢土石方外，更使用廢玻璃每年約 1,000 噸。佔全國廢玻璃(每年約 50,000 噸)之產生量約 2 %。

(3) 高壓混凝土磚(含空心磚)再生綠建材之廢棄物減量效益

高壓混凝土磚、空心磚為目前為獲綠建材標章之廠商數最多之類別。包括天九公司、三惠公司、晶泰公司、光聯公司、尚美公司、艾鎂公司、羅德公司、宏遠公司、西原公司等。

表 4-6 再生綠建材標章之再生材料使用規定

建材項目	可使用之再生材料	再生材料使用比率 (重量百分比)
1.粒片板	廢棄木材或製程廢木料等	90%以上
2.中密度纖維板	廢棄木材或製程廢木料等	90%以上
3.木製傢具及課桌椅	再生粒片板、再生中密度纖維板等，或自廢棄傢具或課桌椅等所拆解回收之材料	回收材料佔木質部份組成之60%以上
4.再生纖維水泥板	廢棄混凝土材料、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	回收材料除水泥外之比率佔50%以上
5.高壓混凝土地磚	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	回收材料除水泥外之比率如下： A級：20%以上 B級：30%以上 C級：50%以上
6.混凝土空心磚	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	回收材料除水泥外之比率如下： A級磚：20%以上 B級磚：30%以上 C級磚：50%以上
7.混凝土粒料	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	回收材料之比率如下： 細粒料應佔80%以上。 粗粒料應佔50%以上。
8.陶瓷面磚	廢棄混凝土材料、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	種類依吸水率區I類之再生材料使用比率應15%以上；II類之再生材料使用比率應15%以上；III類之再生材料使用比率應25%以上
9.石膏板	使用後回收之石膏、工廠製程中無害性之石膏副產品	再生材料乾重應佔產品中石膏重量之比率50%以上
10.普通磚	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	再生材料乾重比率40%以上(1種磚、2種磚、3種磚皆同)
11.輕質混凝土嵌板	營建剩餘土方、水庫淤泥、污泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	再生材料除水泥外之比率佔50%以上
12.水硬性混合水泥	廢棄高爐爐渣、高爐爐石粉、飛灰等	再生材料佔總重量40%以上
13.裝飾用珠狀粒料	回收廢玻璃、陶瓷廢料等。	再生材料佔總重量70%以上
14.透水性混凝土地磚	廢棄混凝土材料、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。	再生材料除水泥外之比率佔50%以上
15.橡膠地磚	回收橡膠及各種有機高分子材料等。	再生材料佔總重量80%以上
16.合成石	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質等。	再生材料佔總重量60%以上
17.水泥瓦	煤灰、爐石粉、再生粒料等	再生材料佔總重量25%以上
18.綠混凝土	回收高爐爐渣粉、飛灰、再生粒料等。	再生材料佔總重量50%以上

高壓混凝土磚依抗壓強度之等級分為 A、B、C 等三級，再生材料使用比例要求分別為扣除水泥外，A 級 20 % 以上；B 級 30 % 以上；C 級 50 % 以上。國內產量最大者為天九公司，有台南、新竹兩個廠，產量合計每月 24,000 噸，約佔全國總產量之 20 %。所使用之再生料分別為廢爐渣(約 55 %)、廢玻璃(約 25 %)與回收鑄造砂(約 20 %)等。其中爐渣可收取每噸 350 元之處理費，廢玻璃可自環保署回收基金管理委員會收取每噸 2000 元之處理費，廢鑄砂則需另支付每噸 350 元。

天九公司每月處理廢爐渣約 12,000 噸，每年約 144,000 噸。約為國內每年高達約 120 萬噸廢爐渣之 12 %。廢玻璃處理量約為每月 500 噸，每年約 6,000 噸，約為全國廢玻璃產生量之 11 %。

(4) 陶瓷面磚再生綠建材之廢棄物減量效益

國內瓷磚產業所需要之原料包括長石、黏土等，幾乎全部仰賴進口(以中國大陸為主)。不僅增加運輸成本及碳排放量，且無法掌控。因此藉由使用再生材料，可降低原料外購之風險。

瓷磚業可使用之再生材料較有限，較大宗的是廢陶瓷與廢玻璃。再生材料使用量 20 %。目前獲再生綠建材標章之業者有白馬、順欣、晉大、冠軍等。其中順欣公司具有廢玻璃、廢陶瓷之回收業務，除供應本身使用，生產再生輕質陶瓷面磚外，另供應其他業者之再生原料來源。每日回收廢陶瓷量約達 15,000 噸，約可減少全國廢陶瓷量之 25 %。



圖 4-9 提供再生綠建材使用之廢陶瓷及廢玻璃

(二) 再生綠建材之經濟效益與市場競爭性

1. 再生高壓混凝土地磚、再生混凝土空心磚

高壓混凝土磚與混凝土空心磚包括許多類別，如地磚、人行道磚、連鎖磚、透水磚、植草磚、圍牆磚等。依「綠建材解說與評估手冊」可知，可廣泛使用營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等，作為再生材

料之來源。目前業者較普遍使用者為回收混凝土粒料、廢玻璃、廢陶瓷、爐渣等為再生原料。

業者對於各種再生材料之使用，所考量之重點在於原料價格以及供應之穩定性。尤其是以使用再生材料與替代砂石等原生材料之相對成本為主要考量重點。

國內長期以來砂石短缺是極普遍之現象。砂石價格高昂，再生材料之使用自然較受重視。然而，國內自 2009 年八八水災之後，砂石供應量較無匱乏，價格也保持平穩，因此使用再生材料之意願將下降。

使用再生材料之另一目的再於提高產品之性能。如表層使用回收玻璃，提高視覺美感；細密之細粒料(如回收石材)可使基材均勻提高抗壓強度，降低吸水率等。由於混凝土磚係以水泥為膠結材料，將各種粒料（原生或再生材料）均勻混合後，採用高壓壓鑄成型。未經燒結等熱處理程序，因此對於原料混合比例，以及原料粒徑等之可容許範圍皆較寬鬆，因此對各種再生材料之使用並無太大限制。只要是無害性，可與水泥拌合之無機性回收材料，皆可能提供為高壓混凝土磚之再生料來源。

其中較特殊之業者為宏遠公司。該公司為紡織公司，工廠使用燃煤鍋爐產生大量之沒煤灰，緻密性極佳。因此該公司建立高壓混凝土磚之生產工廠，以回收紡織廠鍋爐之煤渣壓鑄圍牆磚、空心磚(如圖 4-10)。該公司之綠建材既以消化企業產生之廢棄物為主，依回收料(煤渣)之多寡而決定生產量。且其產品亦以供應關係企業本身之建築需求為主，故無市場通路問題。

因此，高壓混凝土磚(含空心磚)之再生綠建材業者，對於再生材料使用之考量為：

- 減少原材料之使用成本
- 減少廢棄物
- 獲得廢棄物處理之收入
- 提供產品品質、性能之附加功能

高壓混凝土磚與混凝土空心磚再生綠建材之品質性能必須符合國家標準(高壓混凝土磚 CNS 13295，混凝土空心磚 CNS8905)。再生材料之使用，則依國家標準之分級規定，而有不同之比例要求。如高壓混凝土磚中，對於抗壓強度標準最高的 A 級磚，要求使用 20% 以上之回收材料，B 級磚與 C 級磚則分別要求使用 30% 與 50% 以上的回收材料。混凝土空心磚亦依國家標準之分類，亦有相同的分級要求。

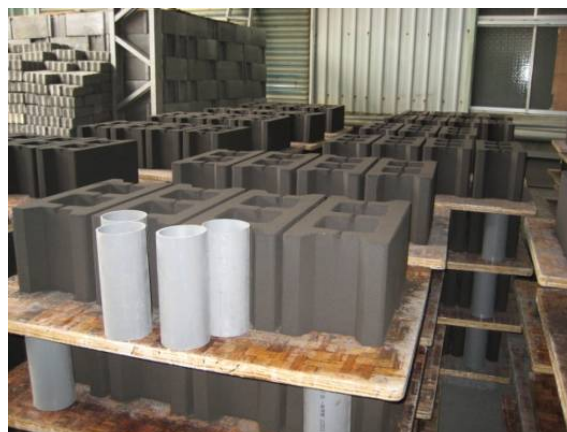
從成本競爭性來看，高壓混凝土磚之價格約 1500 元/噸。以國內產量最大的高壓混凝土磚業者一天九公司而言，依其成本分析發現，使用再生材料約可節省 25% 之成本。主要原因係因除水泥外(約 20%)，皆使用再生材料，其中：

- 爐渣可收取每噸約 350 元之處理費
- 回收砂：每噸較天然砂節省約 50 元
- 玻璃粒料：成本 0 元。

因此，價格上具市場競爭性。



煤渣



再生混凝土空心磚

圖 4-10 宏遠公司現場照片

2. 再生陶瓷面磚

陶瓷面磚為再生綠建材中技術層次較高之產品，國內業者的設備、技術水準皆遠高於亞洲地區各國，以往是國內極具競爭力之產業。但近年來因為中國大陸、東南亞各國挾其低價勞工之優勢，以價廉之劣質產品進入國內，嚴重打擊國內瓷磚產業之生機。(如中國時報本年7月16日之新聞報導)。因此推動綠建材標章，將可加強對建材品質之把關。尤其是再生綠建材對於回收材料之來源明文規定不得使用來自台灣地區以外之廢棄物，除維護國內環境外，並減少運輸過程之排碳。因此，再生綠建材標章為防止國外劣質瓷磚進口，保護國內產業之利器。

依據國家標準 CNS9737(陶瓷面磚總則)，陶瓷面磚原包括陶質、石質、瓷質等三大類別，並依用途再細分成地磚、壁磚、馬賽克磚等。但經濟部標準檢驗局於100年5月對於 CNS9737 國家標準另作大幅度之修正，已廢除陶質、石質、瓷質之分類，而另以有無釉藥、主要用途、成型方式、吸水率等作為區分。而在舊標準中，對於陶質面磚要求吸水率 8% 以下；石質面磚要求 6% 以下，瓷質面磚要求吸水率 1% 以下。相對於新標準則因吸水率之測定方式不同(CNS3299-3)，而依吸水率 3%、10%、50% 分別分類為 I 類、II 類與 III 類。I 類約與舊標準之陶質面磚相當，II 類約與舊標準之石質面磚相當，III 類約與舊標準之瓷質面磚相當。

陶瓷面磚工廠製程上為原料混拌均勻後，加壓成型，再進行高溫燒結。有兩段式高溫窯爐，第一段為乾燥(150-200℃)，第二段為高溫燒結成型(約 600-1200℃，依成品陶質、石質、瓷質各有差異)。燒結過程中面磚將收縮，依燒結溫度、時間之控制，影響成品之收縮率以及內部之密緻性。如圖 4-11 所示，最左邊為混拌成型後，中間為乾燥去除水分後，右邊為 1200℃ 高溫燒結後之成品，其收縮率約 6.0%。陶瓷面磚之表面性質以及各種抗彎、抗折強度、磨耗率、吸水率等，皆深受原料調配以及燒結條件之控制所影響。確保各種配料受熱均勻，燒結過程中不致龜裂、凸出(產生氣泡)。因此各種配料燒結時物理性質之變化，影響成品品質甚巨。



圖 4-11 陶瓷面磚製程各階段之收縮變化

陶瓷面磚可使用之回收料為廢棄混凝土材料、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等。目前較普遍使用者為廢陶粒、廢玻璃等。如前所述，不同類別之陶瓷面磚國家標準之品質性能要求亦不同。故 2011 年版綠建材評估基準中，已因應 CNS9737 之修訂，分別制定各類別陶瓷面磚質再生綠建材之回收比例要求。對於 I 類為回收材料使用比例 25 % 以上；II 類為回收材料使用比例 20 % 以上；III 類為回收材料使用比例 15 % 以上。

陶瓷面磚業者對於使用再生材料之考量重點為：

- 來源性質穩定，不影響燒結後成品之品性質
- 替代進口原料之價格差異
- 為取得再生綠建材標章，必須使用一定比例以上之回收材料。

其中回收材料之性質為最主要考量重點。為確保燒結後成品品質無虞，業者在品管方面已建立對於回收料進廠時先進行燒結試驗之管制措施。如圖 4-12 為廢玻璃纖維與廢陶瓷粒進行燒結之試驗情形。圖 4-13 中可發現，回收玻璃若含雜質太高，於燒結過程中將產生氣泡，右圖為合格之回收玻璃燒結情形，表面光滑，無氣泡，密緻性良好。

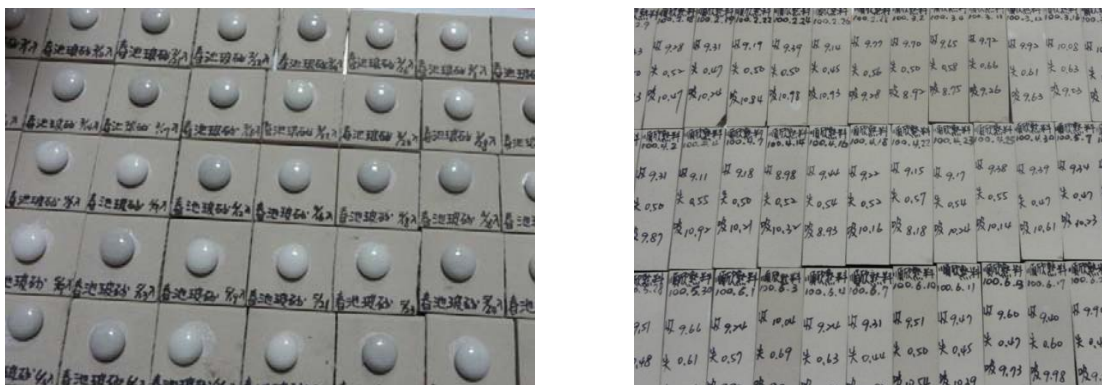


圖 4-12 廢玻璃纖維與廢陶瓷粒進行燒結之試驗



含不純物之燒結結果



合格之燒結結果

圖 4-13 回收玻璃燒結試驗結果

從成本競爭性來看，依據白馬窯業公司之訪查得知，該公司陶瓷面磚之生產成本中，原料成本約佔 20 %。使用再生材料可降低成本之 50 % 左右，整體生產成本可減少約 8 %。

白馬公司生產瓷質壁磚之成本約為每噸 1,200 元，而使用 21 % 之回收陶粒，可降低生產成本至約每噸 1,100 元。該公司目前每月產品達 13,500 噸，但再生材料使用比例符合綠建材標章評定基準(20 %)者，目前每月僅生產 500 噸，其餘產品約使用 10~15 % 再生材料。若依 2011 年版綠建材解說與評估手冊之評定基準，則每月約有 10,000 噸之產品可符合再生綠建材標章之要求。

故生產再生綠建建材陶瓷面磚可減少生產成本約每月 100 元×10,000 噸=1,000,000 元，相當於每年減少 12,000,000 元之原料成本。

大陸瓷磚「攻台」，「出生證明」有問題 中國時報 100 年 7 月 16 日



▲(警方查扣的大批大陸石材)

很多神通廣大的不肖業者，與菲律賓、印尼、越南等國官員勾結，讓大陸貨先到第三國靠個岸，就改掛「出生證明」進口台灣，打擊本土業者。

大陸瓷磚「攻台」，涉及巨額賄賂台灣海關！台灣陶瓷公會總幹事林進財昨天公開爆料指控，大陸瓷磚透過第三地轉入台灣，搭送賄賂台灣海關，導致不安全的大陸磁磚充斥台灣，估計去年非法磁磚登台達新台幣廿二億元，台灣海關一年收賄估計達

十億元，且去年國內陶瓷業者家數因而倒店一成五。

林進財指出，以去年來看，粗估非法出口赴台灣的大陸磁磚，約占台灣磁磚市場二至三成，即市場上約有廿二億元左右的非法大陸磁磚，目前大陸「一個省需要的磁磚用量就比整個台灣多」，大陸自己也不夠用，但台灣貿易商為賺取兩地磁磚差額，主動找中國大陸業者進貨，顯然是台灣貿易商打壓自己國家的產業。林進財強調，這些台灣貿易商主動赴各建築新案遊說、進口大陸便宜磁磚，且外表看起來和台貨一樣，只要建商下單，國內的貿易商就會去跟大陸取貨。

目前以拋光石英磚的陸貨地磚，最為猖獗。以六十乘六十公分的大小價格來看，台貨每塊賣一百至一百四十元新台幣，陸貨只要六十元新台幣。不過，由於陸貨品質堪慮，易出現磁磚爆裂、剝落狀況。

經濟部國貿局官員指出，大陸磁磚是禁止進口赴台灣的貨品項目之一。但陶瓷公會則表示，陸貨磁磚打亂國內市場，已持續五至六年之久，導致台灣陶瓷業者家數縮減，影響我國陶瓷產業發展甚鉅。

為保障消費者權益，林進財建議民眾，建商交屋時，可以要求看磁磚的 MIT (Made in Taiwan) 證明或是其他歐美國家的相關證明，目前國內約有二十二家企業、上百個品牌擁有 MIT 證明。

3. 再生纖維水泥板

依國家標準 CNS14890 可涵蓋纖維水泥板、纖維強化水泥板(矽酸鈣板)。纖維水泥板具防火、隔熱、隔音等功能。為可廣泛使用於天花板、隔間牆等室內空間之再生綠建材。

再生纖維水泥板之製程如圖 4-14 所示。可使用之回收料為廢陶瓷、廢石膏、廢觸媒、飛灰等。對再生材料之物理性質要求為必須粒徑均勻、無雜質。化學性質為必須要求與纖維、水泥等之良好結合力，否則在抄造過程將影響均勻性及外觀。

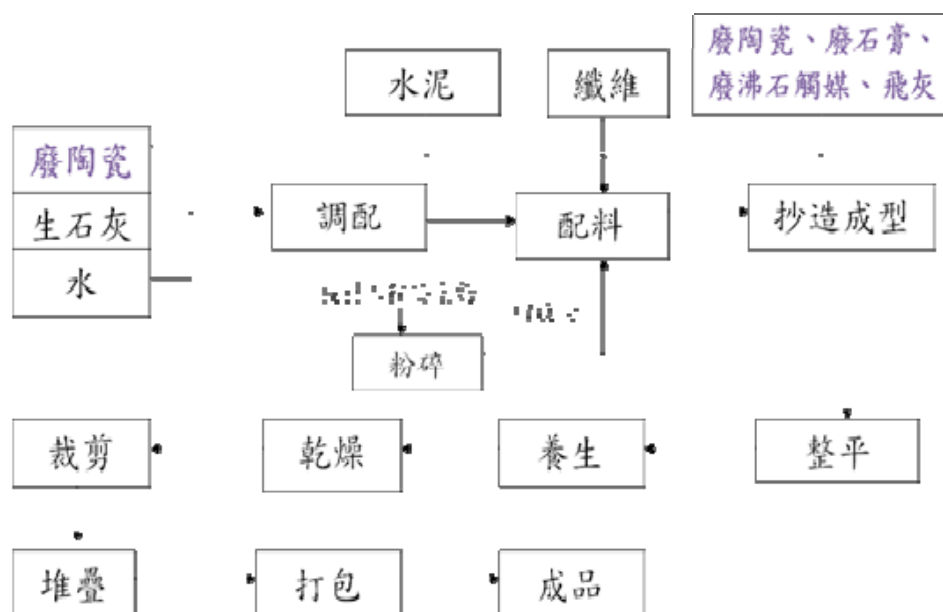


圖 4-14 再生纖維水泥板之生產製程

纖維水泥板為價位高之再生材料，原料成本佔可觀之比例。因此使用回收料之考量重點為：

- 回收料來源品質穩定。
- 替代進口原料之價格差異。
- 回收工程廢料。
- 為取得再生綠建材標章，必須使用一定比例以上之回收材料。

國內最大的纖維水泥板廠商為惠普公司，年生產量達 6,000,000 m²(厚度 6~16 mm)，年產值約 4 億元。所使用之再生材料台塑石化公司之煤灰與廢觸媒。其中煤灰成本約為每噸 750 元，而廢觸媒則為-400 元/噸(台塑公司支付)。

纖維水泥板售價約 9,700 元/噸，主要原料成本為進口纖維及水泥、矽灰。生產再生綠建材之每噸成品中，再生材料使用量約 350 kg，其中煤灰與廢觸媒使用量約相同。使用再生材料可節省原料成本每噸約 1,000 元。但依業者表示，再生材料增加前處理成本，以及配合之原生材料等級必須提高。故使用再生材料與原生材料之成本價格約相同。

4. 普通磚（紅磚）

建築用普通磚為歷史悠久的傳統建材，早期的建築物幾乎都是磚砌結構，磚瓦窯廠遍佈全國。但鋼筋混凝土興起後，紅磚逐件被取代，目前主要用途大多是隔間非結構牆。紅磚以往所使用的原料為開挖山上的黏土。但隨著環保要求越來越高，山坡地已全面禁止開挖，故紅磚的原料轉而由回收料替代。

可使用的回收料為營建剩餘土石方(B2、B3、B2-3)與事業機構之無機污泥。普通磚之生產製程極簡單，將土石拌合加壓成型後，即可送入高溫窯爐燒結(如圖 4-15)。工廠主要設備為窯爐，乾燥、燒結皆在同一隧道窯內完成，僅須控制前、後段之溫度。能源(煤、電)為主要的生產成本。隨著能源價格逐年上揚，對國內磚廠之營運造成極大的壓力。



壓鑄成型尚未燒結之普通磚初胚



燒結完成後之普通磚成品

圖 4-15 未燒結之普通磚初胚與燒結後之普通磚成品

普通磚之單位產品市場價格低廉，以每塊磚重約 1.8 kg，北部地區之售價每塊約 1.3 元(不含運費)。因此，若僅以出售產品為主要收入每噸產品販售價格約僅 600 元，無法維持營運。故目前磚廠主要的收入是由代處理廢棄物之處理費。依性質不同而處理費各有差異。

以剩餘土石方為原料者，業者大部份兼具有合法之廢棄土石方處理場資格(如圖 4-16)，且土石方之收受、進出廠皆必須向當地環保機關申報，且接受監督(每天 24 小時之監看錄影存證)。業者必須擁有廢棄土分類、破碎之相關機具(如圖 4-17)。

以回收事業單位之無機污泥為原料者，依來源不同而代處理費有差異，每噸處理費約 500-2,000 元間不等，此為磚廠最主要的收入來源。但是為了避免磚廠為謀收取處理費之利益，而不當收取含有害性之廢棄物。對於廢棄物來源之申報管制，十分重要。



圖 4-16 普通磚生產工廠以廢棄土為原料



圖 4-17 普通磚生產工廠之破碎處理設備

5. 再生粒料

目前可使用再生原料最大量的再生綠建材為「再生粒料」。回收料使用比例要求 80% 以上之，可使用之回收料包括營建廢棄物、廢陶瓷、廢鑄砂、廢爐渣等，十分廣泛。再生粒料生產工廠為砂石廠轉型，故主要生產設備包括破碎機、洗選機、篩選機等，與一般砂石廠無異。再生粒料之生產流程如圖 4-18 所示。

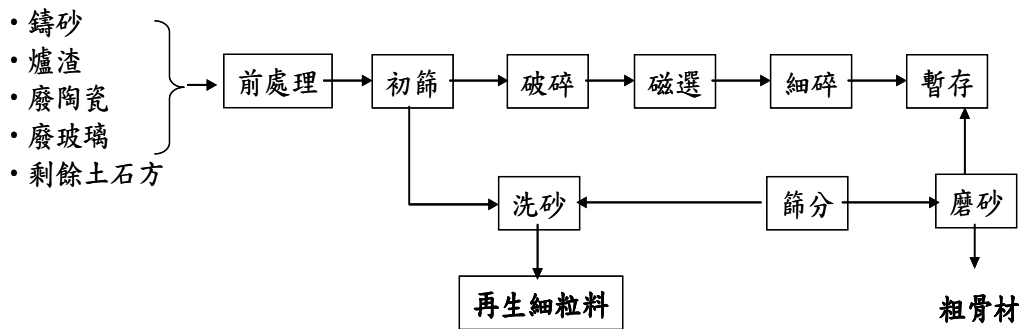


圖 4-18 再生粒料之生產流程

再生粒料之主要功能在替代砂石，作為混凝土粗粒料、細粒料之替代材料。利用各種回收料所產製之再生粒料基本上皆應符合 CNS1240 之品質標準，而可取得再生綠建材標章。但由於廢磁磚、廢玻璃、廢爐渣等之物性、化性與原生砂石皆有差異，經破碎篩分後，級配之細度模數將有別於以砂石破碎篩分後之細度模數。但考量再生材料之級配可依使用者之需求，藉由不同粒徑分佈之粒料來調整，故在新制定之再生綠建材評估基準中，對於「級配」之要求，依 CNS1240 第 2.2.2 與第 2.2.3 節中對於級配之篩分析規定，要求說明篩分析結果，以供使用者使用之參考。圖 4-19、圖 4-20、圖 4-21 分別為使用電弧爐渣、廢陶瓷、營建剩餘土石方等所製備之細粒料。

再生粒料之業者對於使用再生材料之考量重點為：

- 來源供應量充足。
- 可獲自廢棄物處理之利益。
- 市場導向，如供應再生高壓混凝主磚業者、再生陶瓷面磚業者等之再生材料使用來源。因此，再生粒料為再生綠建材產業之上游產業。
- 所使用之再生材料為以再生建材之業者為取得再生綠建材標章，必須使用一定比例以上之回收材料。

從成本競爭性來看，立順興公司收取爐石渣每噸可獲得約 350 元之處理費用，而製得之再生細粒料售價約為 150~250 元。不含加工處理成本，毛利約每噸 500~600 元。廢陶瓷每噸約可獲 100 元之處理費用，而製得之細粒料每噸售價約 250~300 元；營建剩餘土石方無償處理，可產製天然砂再生綠建材，每噸售價約 400~450 元。因此，再生粒料之價格具市場競爭性。



圖 4-19 電弧爐渣製備細粒料



圖 4-20 廢陶瓷製備細粒料



圖 4-21 營建剩餘土石方製備細粒料

整體而言，而在市場競爭性方面，再生綠建材之最大競爭優勢在於降低生產成本與免於原料匱乏兩方面。

建築用普通磚業者最主要的收益為處理廢棄土可收取之代處理費，其收益甚至遠高於出售產品之利潤。而且由於山坡地依法限制開採，故磚瓦窯業所須之土料供應來源不足，以廢棄土作為再生材料，可解決料源供應問題。

高壓混凝土磚方面，以廢陶瓷、廢爐渣等替代原生砂石，原料價差約 500 元/噸，具經濟競爭性。扣除廢陶瓷、廢爐渣等之前處理費用，使用再生材料仍可較原生砂石之原料成本減少約每噸 100 元左右。此亦即為再生粒料業者之利潤來源。

陶瓷面磚業者，使用回收材料之比例目前僅 20 %，減量效果尚有限，但由於瓷磚生產所需之黏土、長石等，目前皆由國外(中國大陸為主)進口。加強使用再生材料為未來不可避免之趨勢。

第二節 再生綠建材推廣與成果說明會

一、辦理成果說明會

在全球一致倡導節能減碳的今天，內政部建築研究所更積極強化綠建材的推廣工作。綠建材有兩大訴求點，包括「維護地球永續」與「促進人本健康」。其中「健康」與「高性能」直接呼應人本健康的訴求，因此能廣受消費者青睞。但「再生綠建材」與「生態綠建材」之使用，對於減少天然資源使用，維護生態環境有極大的貢獻，但是卻很難因為激發民眾環保意識而樂意主動使用該兩項綠建材產品。在缺乏市場誘因的情況下，造成業者裹足不前，此對於藉由推動綠建材以確保資源永續，並減少二氧化碳排放的目標不易達成。

再生綠建材具有以下「三減三增」的特性，是因應溫室氣體減量一項直接有效的利器，應值得克服困難，大力推動。

- 減廢：減少廢棄物之環境污染
- 減碳：減少能源消耗及 CO₂ 排放
- 減量：減少營建原素材開採量
- 增加：資源利用效益
- 增加：品質提升效益
- 增加：產業發展效益

為加強再生綠建材之使用，故本計畫於 9 月 2 日假新北市鶯歌陶瓷博物館，辦理「2011 年再生綠建材成果說明會」。邀請業界、政府機關(環保、工業、營建...等)、學術研究機構等代表共同參與。除針對本計畫所研發之成果作技術與應用說明外，並將配合 2011 年新修訂之綠建材解說與評估手冊中，關於再生綠建材評估基準之修訂內容，向各界說明。此外，更將針對再生綠建材在推廣應用上的問題，進行座談討論。技術推廣成果包括本計畫團隊所開發之產品以及業界配合綠建材政策所進行開發並取得再生綠建材標章之各種優質再生綠建材，議程如表 4-7。

本次說明會之特色為除再生綠建材之法規與技術交流外，另特別安排現場觀摩。觀摩對象為回收廢玻璃、廢陶瓷之順欣公司。除參觀該公司將各種廢棄物回收、破碎以製備陶粒、玻璃粉等再生材料之情形外，並實地瞭解使用廢陶瓷、廢玻璃產製輕質再生陶瓷壁磚成品，以及建築物使用該成品之隔熱效果。

成果說明會辦理之情形如所附相關照片如圖 4-22~圖 4-39，相關資料詳如附錄一。

表 4-7 2011 年再生綠建材成果說明會議程

時間	議程內容	主持(講)人
09:10~09:30	報到接待	
09:30~09:40	主席致辭 長官及貴賓致辭	國立成功大學張祖恩教授 內政部建築研究所長官
09:40~10:00	再生綠建材評估基準說明及 節能減碳效益	環境與發展基金會 陳文卿博士
10:00~10:20	冷結型再生粒料技術應用於 泥渣資源化說明	國立成功大學 永續環境科技研究中心 蔡志達博士
10:20~10:50	再生綠建材技術成果說明	俊行記實業股份有限公司、 晉大陶瓷股份有限公司、 順欣資源股份有限公司
10:50~11:10	座談	內政部建築研究所長官
11:10~11:30	休息(移動至順欣公司)	
11:30~12:30	順欣公司現場參觀 (回收廢陶瓷、廢玻璃 產製輕質再生陶瓷面磚)	順欣資源股份有限公司 劉明宗董事長
12:30	賦歸	



圖 4-22 鄭主秘致辭照片



圖 4-23 主席(張祖恩教授)致辭照片



圖 4-24 專題報告照片



圖 4-25 綜合討論與座談照片



圖 4-26 現場觀摩照片

二、擴大公共工程使用再生綠建材

基於節能減碳及保障國民居住生活品質之目的，內政部營建署已於《建築技術規則》中增列第十七章「綠建築專章」，其中第321條規定：「建築物之室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，其使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積百分之三十以上」，此為推廣綠建材使用最直接有效之政策工具。然而很遺憾的是，僅限於室內裝修材料及樓地板材料，得以依此規定要求使用綠建材，其他部位則無強制性之規定。此對於大部份皆使用於戶外空間之再生綠建材，顯然無法獲得嘉惠。因此再生建材業者，

持續藉由各種機會向營建署提出建議。歷經多次之協商討論，營建署有鑑於綠建材產品逐漸多樣性，趣建材之市場供應量亦可充份滿足需求，因此於本(100)年七月再度提出修正內容，俟完成法制化程序後，即可公告實施。

建築技術規則第321條新修訂之條文內容為：

建築物室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積百分之四十五以上。

建築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達百分之十以上。

該條文中，除將綠建材使用率自30 %再提高至45 %外，並擴大至建築物之戶外空間，要求亦必須使用綠建材。

依此修定後之條文內容，提供再生綠建材得以有更大的市場機會。然而僅限定於「地面材料」，未含外牆及屋頂，且使用率僅限於10 %，顯然有待積極努力。因此，再生綠建材之使用，除依建築技術規則之規定，於建築物使用外，公共工程將為更重要的使用機會。

行政院於98年訂頒「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，要求擴大公共建設投資計畫特別預算經費必須含有至少10 %之綠色內涵經費。所謂綠色內涵乃包括「綠色環境」、「綠色工法」與「綠色材料」。其中綠色材料，在建築工程方面，是以建築物應取得綠建築標章，配合「日常節能」與「二氧化碳減量」兩項指標所使用的材料。在道路橋樑方面，則以綠色瀝青混凝土、綠混凝土及光電節能產品為主。水利工程方面包括自然材料、耐久性材料、替代性材料與再生利用材料等。此為公共工程使用再生建材之利基。

此外，在行政院98年修訂之「生態城市與綠建築推動方案」，「實施方針」第10項中說明，應「建立循環型社會之營建廢棄物減量及分別訂定應採用永續工程綠色內涵與再生建材推廣機制」。在實施項目分工第14項中，明訂行政院公共工程委員會應「協調各部會就振興經濟擴大公共建設投資計畫中，有關公共工程分別訂定應採用綠色內涵及再生材料之比例」，說明公共工程使用再生材料的重要性。

公共工程可使用再生材料的範圍十分廣泛，包括建築物、橋樑、水利工程、道路工程、鋪面等。目前公告受理申請的再生綠建材中，除了再生粒料可用於回填、道路鋪面等用途之外，其他在公共工程上可應用的項目與用途，包括：

- 高壓混泥土磚：以廢棄混泥土材料或無害性之石質廢料為原料，破碎至適當的粒徑分佈，添加水泥後須以施以高壓方式製成，不得以燒結方式製造。成品用於停車場、車道、人行道、公園步道、廣場等。

- 混凝土空心磚：廢棄混凝土或無害性之石質廢料粉碎製成骨材，加入水泥及水量拌合後，經底層及表層強力震動後，高壓一體脫模成型（程序中不得應用燒結方式）。用於停車場、車道、人行道、公園步道、廣場等之植草磚或建築物的圍牆磚。
- 陶瓷面磚：廢棄混凝土材料、無害性無機材料加上坯土原料，經球磨粉碎、噴霧乾燥、高壓成型、生坯乾燥、施釉及印刷、最後經高溫燒成而製成陶瓷面磚。用於各種建築物的內、外部牆面或地面及其他裝飾如桌面、流理台等。
- 石膏板：以原生石膏為主要原料，與使用後回收之石膏或工廠製程中無害性之石膏副產物，一起粉碎後加入紙漿、纖維等漿製結合防火紙面而成。其中原生石膏用量不可大於回收石膏量。成品適用於建築物內，需考慮防火、隔音、防潮功能之天花板或隔間牆。
- 普通磚：營建剩餘土石方、污泥、淤泥、無害性之石質廢棄物、廢玻璃等，與原土摻配後，經粉碎研磨、加水混練、擠壓成型、乾燥、窯燒而成為磚塊，廣泛用於建築物內、外牆及磚砌構造物（如水池、池塘、步道、水溝）。
- 纖維水泥板及纖維強化水泥板（矽酸鈣板）：資源化回收的廢棄混凝土材料、無害性之石質廢料，經過篩除石綿，並添加石英粉、石灰、玻纖、矽藻土等材料，再經製漿、成型、蒸養、表面砂光等程序製成輕質板材，具有防火、隔音、隔熱、質輕等性質，適合用於室內隔間或天花板材料。

此外，配合再生綠建材標章評估基準之擴充，未來許多使用國內各種回收材料所製成之建材，包括工廠廢料、營建廢棄物以及各種公共工程所產生之廢棄物(如焚化灰渣等)，只要能達到一定之回收比例，將可納入為再生綠建材標章範圍內。茲研擬加強公共工程使用再生材料方案如下。

加強公共工程使用再生材料方案

壹、前言

因應節能減碳之國際趨勢，行政院於九十八年通過之「振興經濟案」中，明訂四年五千億的公共工程中應至少有10%以上之綠色內涵。」其中乃包括「綠色環境」、「綠色工法」與「綠色材料」。而「綠色材料」是指應優先採用再生能源、節約能源、低污染、省資源、再生利用、可回收、綠建材等綠色環保產品、設備，並應考量需求性及最佳化配置。此外，依據行政院99年修定的「生態城市綠建築推動方案」中，亦明訂行政院公共工程委員會應「協調各部會就振興經濟擴大公共建設投資計畫中，有關公共工程分別訂定應採用綠色內涵及再生材料之比例」。說明政府對於公共工程採用綠色材料的重視，這是十分值得可喜的事。

使用再生材料具有減少廢棄物、減少天然資源開採、減少二氧化碳排放的「三減」功能，更能促進資源永續利用，帶動建材產業之發展，是兼具環保效益與經濟效益的重要措施。

此外，為確保工程品質，公共工程所採用的各種再生材料必須以獲主管機關認證且獲標章者為準。為使各級機關推動各項公共工程建設使用獲標章的再生材料，應制定推動方案。

貳、目標

一、總目標：推動公共工程加強使用綠色再生材料，以保護環境、節約資源及促進經濟發展，以落實節能減碳理念。

二、分項目標

1. 全面檢討可使用再生材料的各項公共工程，要求使用一定比例以上國內供應能力無虞，且品質性能符合需求之再生材料，並納入招標規範中查要項。
2. 為確保公共工程之品質，所使用之再生材料應為獲主管機關認證且取得相關標章者，如綠建材標章、環保標章等。
3. 應推廣營建施工、工地現場減廢之設計，現地材料優先使用，以利就地回收。
4. 機關委託技術服務廠商評選及計費辦法中，明定機關徵選規劃設計廠商之評選項目中應提出使用再生材料之規劃目標及做法。
5. 辦理使用再生材料之優良公共工程選拔示範。

參、具體措施

1. 自民國 101 年七月一日起，中央機關或受其補助達二分之一以上，且工程總造價在新台幣五千萬元以上之營建或公有工程，其工程項目中所使用之營建材料產品必須至少 30 % 之再生材料；所使用之粒料必須道路級配料必須至少 20 % 之再生粒料。未達比例者課以代金，用於補助鼓勵再生綠建材之研發與生產。
2. 自民國 101 年七月一日起，中央機關所編列或受其補助達二分之一以上之公務預算，其採購之辦公傢俱或裝修材料中之總金額中，至少 10 % 必須為含再生建材者，且其所含比例不得低於 30 %。
3. 自民國 101 年七月一日起，強制要求新建建築工程之工地，必須達到營建廢棄物減量 5 % 的規定。並逐年提高 5 %。

肆、公共工程可使用之再生材料

各公共工程依其用途類別可使用之再生材料如下表所示。

對象	部位	再生綠建材
建築物	隔間	矽酸鈣板、水泥纖維板
	天花板	石膏板
	牆面	陶瓷面磚
	屋頂	陶瓷面磚、屋頂隔熱磚
	室內裝修	粒片板、矽酸鈣板
	鋪面(庭園、停車場等)	高壓混凝土磚、混凝土空心磚、橡膠地磚
	圍牆	高壓混凝土磚、空心磚
道路	公路	級配料(粒料)
	自行車道	級配料(粒料)、高壓混凝土磚
	人行道	級配料(粒料)、高壓混凝土磚
	路緣石	高壓混凝土磚、級配料(粒料)
公園、運動場	跑道	橡膠地磚、
	鋪面(庭園、停車場等)	高壓混凝土磚、空心磚、植草磚、橡膠地磚
水利、下水道工程河、川、海岸工程等	水泥涵管、水溝、填方、消波塊等	級配料(粒料)、水硬性混合水泥、
其他	土木工程基本材料	水硬性混合水泥(高爐水泥)、綠混凝土、級配料、普通磚

一、加強再生建材之研發與生產

1. 加強再生建材技術研發，輔導合法廠商建立相關生產技術。
2. 建立再生材料碳足跡標示，提供工程單位使用節能減碳材料之參考依據。
3. 提供資金及低利貸款，用於研發及改善產業營運模式。
4. 獎勵合法廠商投資設置再生建材之生產工廠。
5. 落實再生綠建材標章審查認證制度，並研訂國家標準。
6. 研訂再生建材使用之施工規範，辦理建築師、土木、營建業者及室內裝修業者之相關講習訓練。
7. 辦理教育宣導，推廣並教育一般大眾對再生建材之認識，提高接受度，並建立公共工程使用再生建材之示範計畫

二、加強再生材料之使用

1. 公有建築物、各種道路、公園運動場、水利、下水道工程河、川、海岸工程等，依其各種部位應強制使用一定比例之再生材料。
2. 公共工程委員會應隨時檢討可使用再生材料之公共工程類別、使用部位等，並明訂再生材料可使用比例、需求量等，
3. 各級公務機關所採購之辦公家俱應強制要求內含再生建材。
4. 中央機關應每年應提列下年度預估使用量及項次說明。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本計畫工作內容概分兩大部份，第一部份為建築廢棄物再生循環技術開發；第二部份為再生綠建材應用示範與推廣策略。

1. 建築廢棄物再生循環技術開發

(1) 輕質隔熱再生綠建材開發

本年度研究首先建置蒸壓養護相關技術與設備設計與測試修正，並探討再利用營建剩餘土石方產製蒸壓養護輕質混凝土製造之原料配比、拌和水與起泡劑添加量、蒸壓養護條件等參數，透過材料特性分析結果探討影響因素、回饋修正各階段實驗參數，期能尋求最適參數控制範圍，以建立後續營建剩餘土石方再利用於 AAC 之基礎。茲將本年度現階段研究結果歸納說明如下。

- 營建剩餘土石方 B2-3、B3、B4 與 B6 經乾燥前處理後之基本物化特性相似，皆富含 Si 元素並以石英 (SiO_2) 為主要晶相組成，應具有作為 AAC 替代原料之潛力。
- AAC 漿體製備藉由調整拌合水量 (水固比, W/S) 與鋁粉劑量可控制成型漿體之比重，其中以改變 W/S 的方式最具成效。比較高壓蒸氣養護前後 AAC 製品特性，可發現其比重幾乎不受此高溫高壓養護程序所影響，AAC 製品比重決定於漿體發泡鑄型之過程。
- AAC 之最適原料乾基配比为 $\text{SiO}_2 = 70 \text{ wt.}\%$ 、 $\text{CaO} = 25 \text{ wt.}\%$ 、水泥 = 5 wt.% (S70-L25-C05)，其製品具有最佳抗壓強度 6.59 MPa，可符合 G6 (6.0 MPa) 及 G4 (4.0 MPa) 標準，其比重為 0.673 具有輕質特性。
- 以營建剩餘土石方取代 SiO_2 產製 AAC 時，在低取代量下 (10 wt.%、20 wt.%)，製成的產品比重略微增加，但抗壓強度大幅提升，可能是營建剩餘土石方含有粒徑較大的顆粒，扮演細骨材的角色因此製品有較佳的抗壓強度。
- 隨著營建剩餘土石方取代量提高，其製品比重與抗壓強度皆下降。當各類營建剩餘土石方取代量達 30 wt.% 時，其製品至少仍可符合一種 AAC 類別之規範。B4 取代量達 50 wt.% 可使 AAC 製品符合最為輕質的 G2 類別之比重與抗壓強度需求。

(2) 冷結技術應用於高壓地磚再生綠建材開發

根據前期研究中學者、專家的建議，可從較無安全顧慮之地磚著手，配合營建署已

初步通過修訂建築技術規則，將綠建材使用比例之計算擴充至戶外，因此今年度本研究期望將冷結技術應用可供戶外空間使用之高壓地磚再生綠建材，並借重質輕、緻密、低熱傳導特性，不僅可增加營建廢棄物再利用之多樣性與可供戶外空間使用再生綠建材之選擇性，亦可提高剩餘土石方經濟價值。本年度現階段研究結果歸納說明如下：

- 今年度採用較保守水泥量的配比-C200 (即水泥用量 200 kg/m^3)，經緻密配比法設計之配比，營建剩餘土石方使用比率均大於 65 %，將近 70 %；根據再生綠建材評估基準其再生材料使用比率更達 100 %，遠超過再生綠建材評估基準中之 C 級高壓凝土地磚 (50 % 以上) 之規定，可有效增加資源再生材料之使用率。
- 冷結型高壓地磚之配比設計採低用水量，故配比並無流動性。於拌合配比時，應先將所有膠結料及土石方乾拌均勻，再添加拌合水、化學摻料及土石方含水率水量；若採用先拌合漿體或拌合土石方及其含水兩種方式，則先拌合部分會先結合成團塊狀態，後添加之固體材料附著於團塊表面，使膠結料無法均勻分布。若持續或放大拌合能量，最終或可達到材料均勻性，但拌合時間過長可能破壞膠結料水化反應，亦浪費拌合能量並提高成本。
- 本研究採用類似冷結型再生粒料之壓錠成型法開發冷結型高壓地磚，其加壓成型應力與營建剩餘土石方含水率之相互關係，影響冷結型高壓地磚性質甚鉅。經相關測試，本研究建議使用 B2-3、B3、B4、B6 類營建剩餘土石方製作冷結型高壓地磚之加壓成型應力為 42.0 MPa；相對之營建剩餘土石方含水率分別為，B2-3：8.0 %、B3：10.0 %、B4：10.0 %、B6：10.0 %。
- 採用本研究自行開發設計之模具與組成材料配比，依據最適加壓成型應力與各類營建剩餘土石方加壓成型最適含水率，採壓錠成型法，經過簡單製作程序：Step 1) 填料、Step 2) 安裝加壓模、Step 3) 加壓成型、Step 4) 退模，即可完成冷結型高壓地磚製作。
- 採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其烘乾狀態下比重介於 1.96~2.00；面乾內飽和狀態下比重介於 2.05~2.12；吸水率介於 6.85~7.95 %。而高壓地磚比重較冷結型再生粒料重，且吸水率較冷結型再生粒料低，係由於高壓地磚加壓成型應力為 42 MPa，較冷結型再生粒料加壓成型應力 35 MPa 高，使得高壓地磚內部較冷結型再生粒料緻密所致；另雖然高壓地磚比重較冷結型再生粒料重，但仍比一般混凝土高壓地磚比重 (約 2.30~2.45) 輕，對日後節省運輸成本有所助益。
- 於齡期 28 天時，採用 B2-3 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚抗壓強度可符合，CNS 13295—「高壓凝土地磚」與再生綠建材評估基準中 C 級抗壓強度 (抗壓強度平均值應在 45 MPa 以上，且不得有任一試樣測試值低於 40 MPa) 之要求，且冷結型高壓地磚抗壓強度隨著齡期成長，亦隨之成長，係由

於其中添加大量卜作嵐材料（高爐石粉與燃煤飛灰），配合卜作嵐反應，可轉換水泥水化產物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，形成較低密度之 C-S-H 膠體，藉以填塞內部孔隙，使其更緻密化，並改善其介面性質，進而使冷結型高壓地磚抗壓強度隨齡期的增長而持續提高。

- 經初步減碳效益評估分析，採用本研究所開發之冷結技術製作營建剩餘土石方高壓地磚，每 m^3 組成材料可較一般混凝土高壓地磚減少 117.7485 kg 之 CO_2 排放；另採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其比重較一般混凝土高壓地磚比重（約 2.30~2.45）輕，亦可減少日後因運輸所產生之 CO_2 排放量。
- 本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚組成材料成本約為 0.95 元/塊，若加上機械設備折舊、人員管銷費用、及通路費用等，與一般市售混凝土高壓地磚價格（18 元/塊）相較，應該仍具相當之競爭性。另採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其比重較一般混凝土高壓地磚比重（約 2.30~2.45）輕，對日後節省運輸成本亦有所助益。

2. 建築廢棄物再生循環技術推廣應用

(1) 再生綠建材市場競爭性分析

本計畫已完成國內現有再生綠建材標章生產廠商對於再生綠建材生產時，原料取得難易度、原料穩定性、生產製程之影響等進行探討分析。並針對五大類之再生綠建材，包括再生高壓混凝土磚、再生陶瓷面磚、再生纖維水泥板、再生普通磚、再生粒料等，探討使用再生原料的考慮要件，並針對相關之困難提出對策。配合即將實施之「2011 年綠建材評估基準」修訂，對於可申請再生綠建材標章之產品與類別將大幅強化。預期再生綠建材標章產品類別、申請廠商家數將可倍增。未來市場上，獲綠建材標章之產品將比未獲綠建材標章者多，將是可預期的趨勢。而建築物使用綠建材也將是必然考量的要件。

而在市場競爭性方面，再生綠建材之最大競爭優勢在於降低生產成本與免於原料匱乏兩方面。

建築用普通磚業者最主要的收益為處理廢棄土可收取之代處理費，其收益甚至遠高於出售產品之利潤。而且由於山坡地依法限制開採，故磚瓦窯業所須之土料供應來源不足，以廢棄土作為再生材料，可解決料源供應問題。

高壓混凝土磚方面，以廢陶瓷、廢爐渣等替代原生砂石，原料價差約 500 元/噸，具經濟競爭性。扣除廢陶瓷、廢爐渣等之前處理費用，使用再生材料仍可較原生砂石之原料成本減少約每噸 100 元左右。此亦即為再生粒料業者之利潤來源。

陶瓷面磚業者，使用回收材料之比例目前僅 20%，減量效果尚有限，但由於瓷磚生產所需之黏土、長石等，目前皆由國外（中國大陸為主）進口。加強使用再生材料為未來

不可避免之趨勢。

(2) 再生綠建材使用效益評估

再生綠建材具有減少廢棄物污染、減少原生材料開發及減少 CO₂ 排放之「三減」效益，以及提高資源永續利用之積極效益。然而不同類別之再生綠建材，將有不同程度之效益。本計畫針對目前主要之再生綠建材進行綜合效益評估，及市場競爭性分析。綜合而言，再生綠建材在廢棄物減量上之效益十分明顯。以高壓凝土地磚、普通磚及再生粒料等為例，除可廣泛使用營建廢棄物(廢凝土地磚塊等)外，對產量十分龐大之廢玻璃、廢陶瓷、廢爐渣等，亦提供最主要的再利用途徑。

為加強業界使用再生綠建材，以達到節能減碳效益目標。本計畫辦理「節能減碳與擴大再生綠建材使用成果說明會」邀請產業界、政府機關(環保、工業、營建等)、學術研究機構等參加。邀請業界、政府機關(環保、工業、營建...等)、學術研究機構等代表共同參與。並將辦理再生綠建材生產工廠之現場觀摩，使各界瞭解回收大宗陶瓷、玻璃等廢棄物後生產優質再生綠建材之現況。

為推廣使用綠建材，內政部營建署已修定建築技術規則第 321 條內容，自 98 年 7 月 1 日 6 月，將建築物之室內裝修材及樓地板面材之綠建材使用率由百分之五增加至百分之三十。由於使用狀況良好，故內政部營建署亦經討論，決定將使用比例提高至百分之四十五。而對於戶外空間之使用，亦將部份納入計算，此對於加強再生綠建材之使用，將有極大助益。此外，公共工程中也應該加強再生綠建材之使用為。在全國能源會議中，對於綠建材之推動有一項重要結論，就是「公有建築物規定應採用一定比例之節能減碳綠建材」。行政院在振興經濟方案中更要求公共工程委員會應「協調各部會就振興經濟擴大公共建設投資計畫中，有關公共工程分別訂定應採用綠色內涵及再生材料之比例」。配合上述政策，目前是推動再生綠建材之最有利契機。

第二節 建議

1. 歸納來說營建剩餘土石方具有作為 AAC 原料之潛力，但營建剩餘土石方亦含有其他成分，建議後續應深入探討其影響並配合調質程序，藉以提高取代量並改善 AAC 製品之特性。
2. 營建剩餘土石方之粒徑分布亦對 AAC 製程條件與成品特性有明顯影響，亦須加以研究以尋求營建剩餘土石方再利用於此輕質隔熱再生綠建材之最適製程條件。
3. 由於 B3 與 B4 類營建剩餘土石方，本身材料性質較差 (B3 屬低塑性粉土，ML；B4 屬粉土質砂土，SM)，建議於後續研究中適當提高水泥用量達 300 kg/m³，如此採用 B3 與 B4 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，抗壓強度應可達 CNS

13295 與再生綠建材評估基準中 C 級之抗壓強度要求。

4. 另針對 B3 與 B4 類營建剩餘土石方，於後續研究中，或許可考慮降低再生材料使用比率（目前本研究採用營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其再生材料使用比率達 100%）；或摻配其他符合再生綠建材評估基準要求的再生材料，例：石材、石灰污泥、B5 類營建剩餘土石方、廢陶瓷、廢玻璃...等，使其製作之冷結型高壓地磚抗壓強度可滿足規範要求。
5. 於今年度冷結型高壓地磚製作過程中，由於目前本研究所開發之冷結型高壓地磚模具各角隅係屬直角，於加壓成型過程中容易造成應力集中，而導致外模開裂破壞，故建議於後續研究中將冷結型高壓地磚模具各角隅修改成圓弧狀，以避免應力集中，而導致外模開裂破壞。
6. 於後續研究中，若適當提高水泥用量達 300 kg/m^3 ，則採用 B2-3、B6 類營建剩餘土石方所製作之冷結型高壓地磚，其再生材料使用率不僅可達 C 級（再生材料使用比率 50% 以上）之要求，且抗壓強度或許可達 B 級抗壓強度（抗壓強度平均值應在 50 MPa 以上，且不得有任一試樣測試值低於 45 MPa）之要求。
7. 綠建材標章制度推行以來，已獲建築業界(建築師、建商等)廣大之認同，一般民眾亦逐漸認識綠建材標章所代表之意義。因此，獲綠建材標章之建材產品，在市場上已廣為各界所接受，故業者申請綠建材標章之產品越來越多，此為值得肯定之現象。但是，相對於健康綠建材、高性能綠建材等兩項標章產品，再生綠建材在減廢與保護生態環境之訴求上，較不易獲民眾之青睞，此為再生綠建材在推廣應用上較困難之處。
8. 為突破此困境，必須業者與政府共同努力。在業者方面，藉由技術之改進，提供更具高性能之再生綠建材(如輕質、隔熱等)，以吸引消費者。另一方面，藉由使用再生材料，減少原物料之購入成本，以降低生產成本，而提高市場競爭性。
9. 在政府方面，因應節能減碳之國際趨勢，必須對於再生綠建材在「減廢」以及「減碳」上所發揮之重大貢獻予以實質之鼓勵。因此建議建立綠建材之碳足跡制度，對各種再生材料，可記錄其從原料取得到生產製造、運輸等各階段之碳足跡數據。相信是再生綠建材最具競爭性之優勢。
10. 然而在碳足跡制度的建立上，最重要的工作是必須先建立產品則別規則(Product Category Rule, PCR)，再依循 PCR 內容進行碳足跡盤查及宣告。故建議未來可針對使用較廣泛之再生綠建材產品建立 PCR，並逐步完成其碳足跡計算之方法，以提供工程單位使用節能減碳材料之參考依據。

附錄一

2011 年再生綠建材成果發表會相關資料

附錄一 2011 年再生綠建材成果發表會相關資料

壹、報名網站/網頁 (<http://www.edf.org.tw/rgb2011/index.asp>)

2011年再生綠建材與節能減碳成果說明會

一、主 題：再生綠建材成果發表及推廣

- 再生綠建材技術研發成果
- 再生綠建材節能減碳效益與市場推廣機制
- 再生綠建材廠現場觀摩

二、指導單位：內政部建築研究所

三、主辦單位：國立成功大學永續環境科技研究中心、財團法人環境與發展基金會

四、協辦單位：財團法人成大研究發展基金會、財團法人台灣建築中心

五、時 間：100年9月2日（星期五）上午9時30分

六、地 點：新北市鶯歌陶瓷博物館演藝廳（新北市鶯歌區文化路200號）

【接受報名人數130人，額滿後進場不保證有座位】

七、聯絡人：財團法人環境與發展基金會 嚴玉桂 小姐 ☎ (03)591-0008 #11

八、緣起及內容：

二十世紀末以來，氣候變遷已成共同關切之環境議題，節能減碳更是各行各業皆必須遵守的共同理念。在建築部門，內政部建築研究所長期以來即致力於「綠建築」與「綠建材」之推動。而行政院97年所頒佈之「生態城市與綠建築推動方案」中，將「提升室內環境控制技術，建立綠建材市場機制，創造舒適健康與優質居住空間」，列為重要目標。

基於維護環境生態，及確保建材品質以提供健康舒適居住空間之目的，內政部建築研究所於93年制定「綠建材標準制度」。歷經多年之宣導推廣，多數民眾及建築業界皆對「綠建材」有基本認識，且樂於使用綠建材標準產品。現行之綠建材標準包括「健康」、「生態」、「再生」與「高性能」等四大類別之綠建材標準。其中「再生綠建材」可發揮廢棄物減量及資源有效利用之雙重功效，且對於減少二氧化碳排放具有顯著貢獻。在內政部建築研究所的積極推動下，國內有許多業者已投入再生綠建材的開發，其產品品質良好並獲頒「再生綠建材標準」。

成大永續環境科技研究中心與財團法人環境與發展基金會本年度接受內政部建築研究所補助計畫，進行再生綠建材技術開發與推廣應用研究。為使社會各界瞭解再生綠建材之研發成果，及介紹業界具代表性之再生綠建材產品，故辦理本項成果發表會。除產品技術與綠建材標準評估基準之說明外，並將辦理現場觀摩活動，實地觀摩廢棄物回收再利用及所產製之優良再生綠建材。

九、邀請對象：建材業、建築業、室內裝修業者、土木營造業或學界等相關人士等。

十、名額及費用：報名免費，接受報名人數130人，額滿後進場不保證有座位。

十一、報名時間及方式：即日起至8月31日止，採網路報名，報名網址：<http://www.edf.org.tw/rgb2011/index.asp>。

2011年再生綠建材與節能減碳成果說明會			
縣市別：		單位：	
姓名：		職稱：	
E-mail：		電話：	
現場參觀 接駁車：	<input checked="" type="radio"/> 搭乘 <input type="radio"/> 不搭乘	餐飲種類：	<input checked="" type="radio"/> 一般 <input type="radio"/> 素食
<input type="button" value="確定傳送"/>			

*1. 說明會行程請自行前往鶯歌陶瓷博物館。

*2. 現場參觀行程於鶯歌陶瓷博物館備有接駁車輛至順欣資源股份有限公司（參觀後將原車返回鶯歌火車站及鶯歌陶瓷博物館），請於報名表中勾選是否搭乘接駁車。

十二、議程：

「2011年再生綠建材與節能減碳成果說明會」議程

時間	議程內容	主持(講)人
09:10~09:30	報到接待	
09:30~09:40	主席致辭 長官及貴賓致辭	國立成功大學張祖恩教授 內政部建築研究所長官
09:40~10:00	再生綠建材評估基準說明及 節能減碳效益	環境與發展基金會 陳文卿博士
10:00~10:20	冷結型再生粒料技術應用於泥渣資源 化說明	國立成功大學 永續環境科技研究中心 蔡志達博士
10:20~10:50	再生綠建材技術成果說明	晉大陶瓷股份有限公司 俊行記實業股份有限公司 順欣資源股份有限公司
10:50~11:10	座談	內政部建築研究所長官
11:10~11:30	休息（移動至順欣資源股份有限公司）	
11:30~12:30	順欣資源股份有限公司現場參觀 （回收廢陶瓷、廢玻璃產製輕質再生 陶瓷面磚）	順欣資源股份有限公司 劉明宗董事長
12:30	賦歸	

十三、交通：

搭乘臺鐵火車至鶯歌站下車，由文化路出口出站右轉，即進入文化老街商園，沿文化路步行約6分鐘可遇見鐵軌涵洞，持續沿文化路步行約3分鐘可達鶯歌陶瓷博物館。

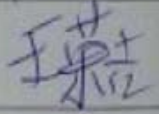
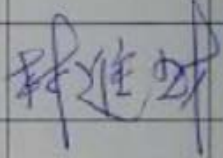
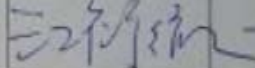
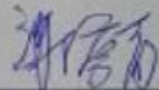
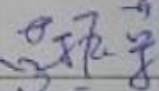
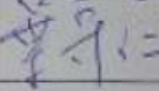


貳、與會人員簽到單

1. 長官與貴賓簽到



2. 業者與學界代表簽到

2011 年再生綠建材與節能減碳成果說明會 簽到單					
會議時間：100 年 09 月 02 日 (五)					
會議地點：新北市鶯歌陶瓷博物館演藝廳 (新北市鶯歌區文化路 200 號)					
序號	單位名稱	姓名	職稱	簽到	餐飲
1	台灣省建築材料商業同業公會聯合會	王榮吉	總幹事		素食
2	台灣區絲織公會	王能賢	顧問		一般
3	台灣陶瓷工業同業公會	林進財	總幹事		一般
4	台灣區木材工業同業公會	周攝民	顧問兼總幹事		一般
5	士林紙業	江衍徹	專員		一般
6	中台資源科技股份有限公司	葉俊顯	副總經理		一般
7	中聯資源股份有限公司	謝序青	經理		一般
8	中聯資源股份有限公司	翁聖博	工程師		一般
9	天九興業股份有限公司	范振榮	協理		一般
10	天九興業股份有限公司	葉守仁	課長		一般

序號	單位名稱	姓名	職稱	簽到	餐飲
11	台灣杜邦股份有限公司	白志清	經理	白志清	一般
12	台灣捷砌有限公司	陳碧玲	董事長特助		一般
13	立順興資源科技股份有限公司	呂東璇	經理		一般
13	光洋應用材料	姚慧怡		姚慧怡	一般
14	光洋應用材料	莊宜剛			一般
15	光洋應用材料科技	謝瓊嬉		謝瓊嬉	一般
16	光洋應用材料科技	王子文		王子文	一般
17	光洋應用材料科技	簡桓祺		簡桓祺	一般
18	全來成營造有限公司	林志龍	工務助理		一般
19	技佳工程顧問有限公司	陳泓諺	計畫經理	陳泓諺	一般
20	岳峰精密化學股份有限公司	黃循耕	副理		一般
21	昶昕實業股份有限公司	陳國山	副總經理		一般
22	盈科資通有限公司	莊鈞旭	Director	莊鈞旭	一般
23	挺秀有限公司	王俞翔	總經理特助		一般
24	晉大陶瓷股份有限公司	李寶珍		李寶珍	一般
25	晉大陶瓷股份有限公司	李慧琳		李慧琳	一般

序號	單位名稱	姓名	職稱	簽到	餐飲
26	退休	黃志民	工程師		一般
27	新世代能源科技股份有限公司	唐執中	副總經理		一般
28	義力營造	梁世賓	工程師		一般
29	綠電再生	程柏翰	環境管理師	程柏翰	一般
30	綠電再生	謝瑞裕	副廠長	謝瑞裕	一般
31	潤隆建設股份有限公司	李如傑	工程師	李如傑	一般
32	崑華實業股份有限公司	江得一	副總經理	江得一	一般
33	織羅實業有限公司	黃欣怡	規劃設計師	黃欣怡	一般
34	織羅實業有限公司	黃曉涵	規劃設計師	黃曉涵	一般
35	藍潔國際開發有限公司	黃鴻森	經理	黃鴻森	一般
36	顏蘇禎建築師事務所	顏蘇禎	建築師		一般
37	寶固實業股份有限公司	魏志謙	工程師		一般
38	成功大學永續環境科技研究中心	蔡志達	助理研究員	蔡志達	一般
39	成功大學永續環境科技研究中心	蘇鈺莖	計劃專任助理		一般
40	成功大學永續環境科技研究中心	陳盈良	助理研究員	陳盈良	一般

序號	單位名稱	姓名	職稱	簽到	餐飲
41	工研院南分院	陳清齊	研究員	陳清齊	一般
42	台灣建築中心	王義和	工程師	王義和	一般
43	明新科技大學	張家瑞	副教授	張家瑞	一般
44	淡江大學水環系	吳靜薇	博士班 研究生	吳靜薇	一般
45	淡江大學水環系	陳政綱	博士班 研究生	陳政綱	一般
46	淡江大學	林穎俊	研究生	林穎俊	一般
47	淡江大學	徐志緯	研究生	徐志緯	一般
48	國立中央大學	葉禮旭	博士後 研究	葉禮旭	一般
49	元培科技大學	陳文欽	助理 教授		一般
50	環境與發展基金會	陳文卿	執行 副總	陳文卿	一般
51	環境與發展基金會	車明道	技術 總監	車明道	一般
52	環境與發展基金會	梁永瑩	研究員	梁永瑩	一般
53	環境與發展基金會	李紀瑩	副管理 師	李紀瑩	一般
54	環境與發展基金會	劉修誠	副研究 員	劉修誠	一般
55	環境與發展基金會	嚴玉桂	助理研 究員	嚴玉桂	一般

序號	單位名稱	姓名	職稱	簽到	餐飲
56	中美漁業社	許慶德		許慶德	飯
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					

參、發表會簡報資料

**再生綠建材評估基準說明及
節能減碳效益**

陳文卿
財團法人環境與發展基金會
100年9月2日

再生綠建材之效益：三減三高

- 減廢：減少廢棄物之環境污染
- 減量：減少營建原素材開採量
- 減碳：減少能源消耗及CO₂排放
- 提高資源有效利用率
- 提高建材品質
- 提高產業發展效益

開發再生綠建材之動機分析

- 可減少原材料之使用成本
- 可減少廢棄物
- 可獲得處理廢棄物之利益
- 替代進口原料之價格差異
- 提供產品品質、性能之附加功能
- 取得綠建材標章之市場誘因

再生綠建材推動法規誘因

- 「生態城市與綠建築推動方案」
 - 次目標(四)：「提升室內環境控制技術，建立綠建築市場機制，創造綠建築與國際市場契機」。
 - 次目標(六)：「鼓勵營造綠建築與綠建築，提升資源有效利用」。
 - 實施方針第十條：「建立綠建築社會之營造與市場發展及再生綠建築市場機制」。
 - 實施項目(十)：「各部會訂定公共工程**應用再生材料比例**」。(公共工程處專案主辦)
 - 實施項目(十五)：「**鼓勵廢棄物再生利用技術研發、驗證及推廣應用，以加強再生綠建築應用**」。(內政部建築研究所主辦)
- 永續公共工程-節能減碳政策白皮書：推動永續公共工程，落實綠建築政策。
- 全國能源會議
 - 提供綠建築、節能減碳政策建議及相關工務推動機制
 - 公共建築地產應在採用50%以上之綠建築綠建材

行政院振興經濟方案

1. 最小包裝規格，資源最佳化利用。

2. 發揮創意，創造新綠建築。

3. 以「輕盈、減縮、構模」養生綠工程原則減少衝擊。

1. 因技制宜，選擇適當工法，優先採用可節省資材、減量減碳工法、減少廢棄物、施工自動化之工法及措施。

2. 拆除廢材再利用，土方平衡減少外運，廢棄土石方資源化。

1. 考慮耐久性及最佳化配置

2. 優先採用再生資源、節約能源、低污染、省資源、再生利用、可回收、綠建材等綠色建築政策，總量

總10%以上

公共工程可使用之再生材料

- 自行車道：再生粒料
- 人行道：再生高壓混凝土磚
- 公共空間：再生透水磚、透水鋪面
- 停車場：再生植草磚、圍牆磚
- 教室課桌椅：再生粒片板
- 再生陶瓷面磚
- 再生屋頂隔熱磚

再生材料之減碳效益(1)

- 減少廢棄物處理之CO₂排放量
 - 礦石類廢棄物掩埋：0.2626噸CO₂/噸垃圾
 - 木質廢棄物焚化：1.63噸CO₂/噸廢棄物
 - 塑膠廢棄物焚化：約3噸CO₂/噸廢棄物

再生材料之減碳效益(2)

- 減少原料開採之CO₂排放量
 - 砂礫：3.11kg CO₂/m³；
 - 原石：3.90kg CO₂/m³(僅計生產階段)
 - 木材：12.07kg CO₂/m³(生產階段)

61.43kg CO₂/m³(運輸階段)
合計：123.7kg CO₂/kg

工業廢棄物再利用1,122萬噸，減少CO₂排放483.3萬噸
=> 0.43噸CO₂/噸再利用廢棄物(工業局推估資料)

再生材料之減碳效益(3)

再生綠建材地磚與天然砂石地磚之CO₂排放比較

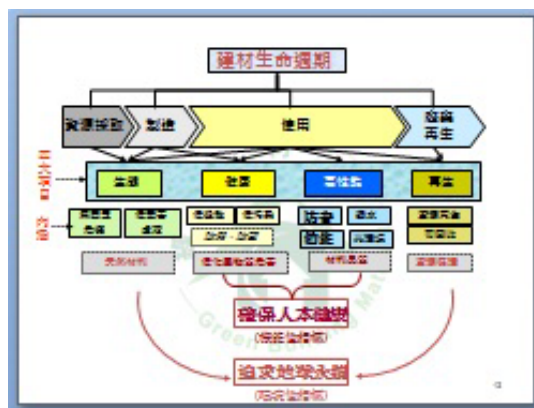
碳排放階段	再生綠建材地磚 (一噸)	天然砂石原生地磚 (一噸)
原料投入	26.17	30.01
原料運輸	14.74	39.2
產品製造	10.08	11.51
合計	50.99 kg-CO ₂	80.81 kg-CO ₂

再生材料之減碳效益(4)

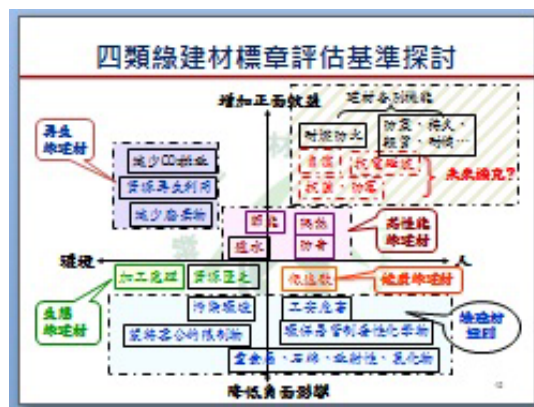
綠建築之再生綠建材CO₂減量評估

	單位面積減量		再生資源-地磚			再生地磚	其他再生材料
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
CO ₂ 排放量	CO ₂ = 0.12	CO ₂ = -0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	27
總減量	3.0						17

(資料來源：「綠建築經驗與評估手冊2007年版」)



- ### 綠建材標章具備之特性
- **無害性**
 - 人：健康無害
 - 環境：無污染、無匱乏
 - **有益性**
 - 人：舒適、健康
 - 環境：資源保育
- => 追求人本健康、地球永續





再生綠建材標章評估基準(1)

評定原則

再生建材應在兼顧健康、生態、性能等之基本要求下，以保持建材基本性能為前提，儘量提高其回收料之比例，並應避免於製程中過度添加如膠合劑等外來物質。

再生綠建材標章評估基準(2)

(1) 通則部份

- 無限制性物質
- 品質性能符合國際標準(註)；若無國際標準者，應另提出所符合之國際標準(註)；若無國際標準者，應說明其所符合之規格標準或標準，以供查驗。

(2) 個別性檢部份：再生材料(本國產生產者)使用這一章比例以上

再生綠建材評估要項

- 1 國內回收再生材料
- 2 基本產品性能規範
- 3 再生材料搭配比例
- 4 特殊性能要求

特殊性能要求包括：物理性、力學特性、耐候性、環境安全性、功能性、製程。

回收材料來源

- 回收材料應為國內所產生者，不得含有綠建材通則中之限制物質，且不得為來自國外之回收料。
- 廠內產生之廢棄物，如各種污染防治設施所回收之污泥、灰燼等，無通則中之限制性物質者，亦可視為回收料，但應以乾重(扣除水分後)計算。
- 產品製程所產生之邊料或不良品返送於同一製程再製相同之產品者，則不視為回收材料。

再生綠建材評定基準表說明

- 申請再生綠建材標章評定時應符合「再生材料使用比率」之規定。
- 性能應符合綠建材通則「一般要求」第二款之規定。
- 特殊要求部分，亦應提出符合之說明，品質試驗項目中，若有部分項目不適用所沿用之標準，但無礙於該再生材料之用途者，應提出說明，由綠建材標章評定小組審核認定，並應於「性能規格評定書」中載明。
- 若尚無完全一致之國家標準而採其它相關之標準或規範進行評定者，應依用途說明所具備之性能以進行試驗，並提出性能試驗報告書，由綠建材標章評定小組審核。

再生綠建材評定基準表(1)

項目	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材
1. 再生材料使用比率
2. 基本產品性能
3. 再生材料搭配比例
4. 特殊性能要求

再生綠建材評定基準表(2)

項目	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材
1. 再生材料使用比率
2. 基本產品性能
3. 再生材料搭配比例
4. 特殊性能要求

再生綠建材評定基準表(3)

項目	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材	再生綠建材
1. 再生材料使用比率
2. 基本產品性能
3. 再生材料搭配比例
4. 特殊性能要求

建築技術規則321條修訂

[目前]:
建築物之室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，其使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積百分之三十以上。

[修訂中]:

- 建築物室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積百分之四十五以上。
- 建築物戶外地面扣除車道、海軍出入通風空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達百分之十以上。

=>再生綠建材將有更大的市場機會。

**謝謝
敬請指教**

陳文卿
Tel : 03-5916266
Fax : 03-5820231
wencc@edf.org.tw

冷結型再生粒料技術應用於泥渣資源化

國立成功大學 永續環境科技研究中心
助理研究員 蔡志達博士

2011年09月02日 <http://serc.ncku.edu.tw>

一、冷結型再生粒料技術開發

冷結型再生粒料初始構想

將冷結型粒料視為一水泥系複合材料，營建剩餘土石方、石材污泥、石灰污泥、不銹鋼還原渣視為骨材；水泥、燃煤飛灰、水淬高爐石粉為膠結材料；廢玻纖為加強材。

營建剩餘土石方之分類

代號	土石方性質
B1	岩塊、礫石、碎石或砂
B2-1	土壤與礫石及砂混合物（土壤體積比例少於30%）
B2-2	土壤與礫石及砂混合物（土壤體積比例介於30%至50%）
B2-3	土壤與礫石及砂混合物（土壤體積比例大於50%）
B3	粉土質土壤（沉泥）
B4	黏土質土壤
B5	磚塊或混凝土塊
B6	淤泥或含水量大於30%之土壤
B7	連續壁產生之皂土

上述B1、B2-1、B2-2、B5類可經由簡單的破碎、篩離即可直接再生利用，故冷結型再生粒料係以B2-3、B3、B4、B6類為主要材料

營建剩餘土石方產量

年 份	B1	B2-1	B2-2	B2-3	B3	B4	B5	B6	B7
90	1,897,896	774,555	529,167	399,872	1,275,539	321,489	55,261	2,191	21,150
91	9,745,339	3,157,653	2,660,776	3,859,634	6,253,732	4,641,081	288,341	175,606	131,461
92	6,491,354	6,256,473	4,009,632	6,125,236	6,927,483	4,852,074	995,285	803,363	424,588
93	4,105,131	8,417,495	6,705,485	6,580,775	8,408,148	5,177,942	809,651	612,185	107,955
94	2,178,436	8,148,354	6,974,924	9,182,229	8,409,695	5,884,677	1,095,015	485,395	78,657
95	1,749,962	7,975,805	6,272,035	9,352,248	7,340,871	5,571,844	1,370,277	917,939	46,155
96	3,099,089	6,538,887	4,829,821	9,762,949	6,524,040	4,483,718	1,636,861	1,294,205	31,871
97	3,079,980	7,420,172	4,499,688	8,924,265	6,560,130	3,821,069	1,895,799	538,005	55,848
98	2,419,110	5,494,537	3,982,374	8,289,454	3,818,809	1,917,679	1,393,881	529,180	237,392
99	1,862,549	5,984,624	3,840,541	11,238,137	3,732,365	2,533,991	1,653,261	948,566	680,717
100	1,839,993	2,623,538	1,457,612	5,387,472	1,494,076	900,252	596,381	337,405	311,964
總 計	37,672,961	62,792,093	46,162,055	79,682,271	60,744,888	40,105,816	11,788,613	6,640,839	2,127,698
百分比	10.85%	18.09%	13.30%	22.70%	17.50%	11.55%	3.40%	1.91%	0.61%

B2-3、B3、B4、B6類營建剩餘土石方經調查統計皆佔每年營建剩餘土石方總產出之50%以上

營建剩餘土石方處理前後照片

營建剩餘土石方TCLP試驗結果

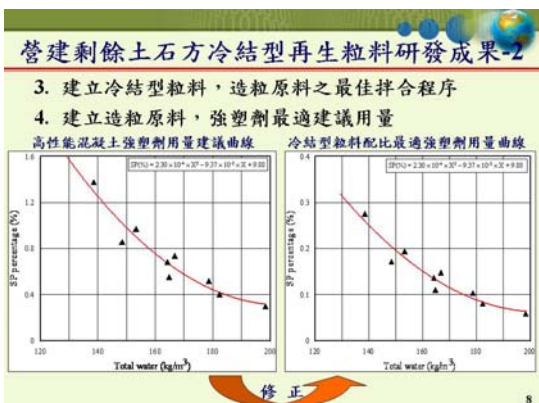
編號	類別	比重	TCLP溶出試驗結果(mg/L)					
			鎘	鉻	鉛	銅	砷	汞
1	B2-3	2.57	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.0033	< 0.0005
2	B4	2.46	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.0005	< 0.0005
3	B4	2.54	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.0005	< 0.0005
4	B3	2.64	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.0005	< 0.0005
5	B2-3	2.57	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.0018	< 0.0005
6	B6	2.70	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.0015	< 0.0005
一般事業廢棄物管制標準 (mg/L)			5.0	1.0	5.0	15.0	5.0	0.2
綠建材標準管制標準 (mg/L)			1.5	0.3	0.3	0.15	0.3	0.005

所採用之營建剩餘土石方TCLP溶出試驗結果符合一般事業廢棄物及綠建材標準管制標準

營建剩餘土石方冷結型再生粒料研發成果-1

- 完成5種(B2-3*2、B3*1、B4*1、B6*1)類營建剩餘土石方，不同水泥用量(50 kg/m³、100 kg/m³、200 kg/m³；C50、C100、C200)共計15組配比之冷結型再生粒料開發

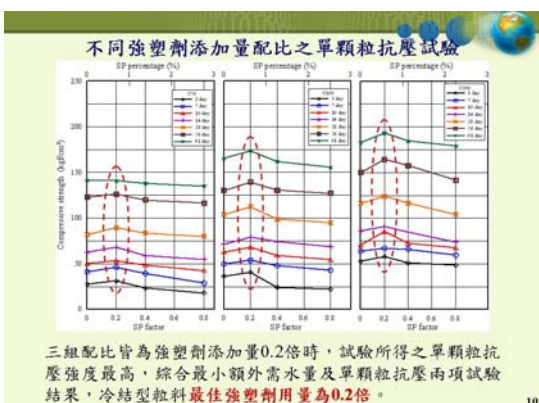
- 完成圓柱形冷結型粒料模具與製程開發



漿體流動時所需添加最小額外水量 (kg/m³)

編號	水泥	礫石	飛灰	SP factor	SP (%)	SP	拌合水	額外水	
C50	50	150	235	1	0.2	0.69	3.0	84	68.4
				2	0.4	1.38	6.0	81	59.6
				3	0.6	2.08	9.0	78	53.4
				4	0.8	2.77	12.1	75	48.8
				5	1.0	3.46	15.1	72	46.6
C100	100	110	255	6	0.2	0.63	2.9	90	74.4
				7	0.4	1.26	5.9	87	65.5
				8	0.6	1.89	8.8	84	57.4
				9	0.8	2.52	11.7	81	52.9
				10	1.0	3.15	14.6	78	50
C200	200	20	280	11	0.2	0.56	2.8	97	90.0
				12	0.4	1.12	5.6	94	73.2
				13	0.6	1.69	8.4	91	64.5
				14	0.8	2.25	11.2	89	59.0
				15	1.0	2.81	14.0	86	55.6

強塑劑劑量增加，減水量相對增加，但減水邊際效益降低



營建剩餘土石方冷結型再生粒料研發成果-3

- 完成冷結型粒料，造粒時各營建剩餘土石方之最佳含水率與造粒能量 (35 MPa) 探討

對於含水分的資料可直接摻配使用，無須再經過烘乾程序

造粒成型過程中易產生水壓排水現象，此壓排水將造成：
 > 粒料表面局部水膠比增高，進而影響其性能
 > 解壓吸水時，因毛細孔張力容易造成粒料產生裂縫

性能資料庫—CNS 1240規範驗證

試驗編號	上機底層材料	填石 (面粒) 內容和比重 (2.40以下)	上機易碎顆粒及填石 (面粒) 內容和比重 (2.40以下) 之總和	小於試驗篩 75 μm (C20) 500 μm 之重量	殘底 殘底	擊碎率 (用試驗篩5次) (殘底之殘底)	硬度
#1 C50 (B2-3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.45	N.D.	45.7	8.68
#1 C100 (B2-3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.56	N.D.	40.7	4.93
#1 C200 (B2-3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.42	N.D.	35.2	1.55
#3 C50 (B4)	N.D.	N.D.	N.D.	0.33	N.D.	46.7	11.66
#3 C100 (B4)	N.D.	N.D.	N.D.	0.42	N.D.	42.8	8.47
#3 C200 (B4)	N.D.	N.D.	N.D.	0.44	N.D.	38.8	4.94
#4 C50 (B3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.53	N.D.	48.9	11.36
#4 C100 (B3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.49	N.D.	44.3	8.12
#4 C200 (B3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.59	N.D.	39.2	4.62
#5 C50 (B2-3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.46	N.D.	44.4	10.78
#5 C100 (B2-3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.65	N.D.	41.5	4.51
#5 C200 (B2-3)	N.D.	N.D.	N.D.	0.39	N.D.	37.9	1.63
#6 C50 (B6)	N.D.	N.D.	N.D.	0.41	N.D.	43.8	8.23
#6 C100 (B6)	N.D.	N.D.	N.D.	0.41	N.D.	40.2	4.68
#6 C200 (B6)	N.D.	N.D.	N.D.	0.35	N.D.	34.5	1.47

管制標準: 2.0-10.0 8.0 10.0 10.0 1.0 0.5-1.0 50.0 12 = 無管制

性能資料庫—基本性質

試驗編號	比重 (OD)	比重 (SSD)	吸水率 (%)	單位重量 (kg/m ³)	空隙率 (%)	間隙強度 (MPa)	孔隙率 (%)
#1 C50 (B2-3)	1.80	2.07	14.9	1191	33.9	21.27	7.3x10 ⁻⁴
#1 C100 (B2-3)	1.81	2.07	14.2	1192	34.2	26.01	6.2x10 ⁻⁴
#1 C200 (B2-3)	1.81	2.08	14.9	1176	35.0	33.88	5.4x10 ⁻⁴
#3 C50 (B4)	1.77	2.05	15.8	1165	34.2	17.29	8.0x10 ⁻⁴
#3 C100 (B4)	1.79	2.06	15.3	1175	34.4	19.94	5.5x10 ⁻⁴
#3 C200 (B4)	1.80	2.08	15.5	1141	36.6	26.90	6.8x10 ⁻⁴
#4 C50 (B3)	1.73	2.02	17.0	1144	33.9	15.19	8.0x10 ⁻⁴
#4 C100 (B3)	1.73	2.01	16.4	1153	33.4	17.99	6.8x10 ⁻⁴
#4 C200 (B3)	1.73	2.02	16.7	1103	36.3	24.54	8.1x10 ⁻⁴
#5 C50 (B2-3)	1.82	2.09	14.7	1188	34.7	19.80	5.6x10 ⁻⁴
#5 C100 (B2-3)	1.84	2.09	14.0	1191	35.3	24.21	6.8x10 ⁻⁴
#5 C200 (B2-3)	1.84	2.10	14.2	1187	35.5	31.50	7.1x10 ⁻⁴
#6 C50 (B6)	1.84	2.13	15.8	1217	33.9	21.97	6.2x10 ⁻⁴
#6 C100 (B6)	1.83	2.11	15.2	1215	33.6	28.39	4.9x10 ⁻⁴
#6 C200 (B6)	1.83	2.11	15.2	1201	34.5	35.81	5.4x10 ⁻⁴

再生粒料: 2.53-2.67, 1.5-6, 1650-1830, 30-45, 60-500

營建剩餘土石方冷結型再生粒料建議適用範圍

適用範圍	C50	C100	C200	參考規範
預拌混凝土，如普通混凝土、SCC及HPC等 (工作性佳 耐蝕能力高)	抗磨損能力低 ≤280 kgf/cm ²	抗磨損能力中 ≤490 kgf/cm ²	抗磨損能力高 ≤700 kgf/cm ²	CNS 3691 CNS 1240 CNS 1232 CNS 6299
路基工程，如路堤構築、開挖回填等 (透水性佳 親水性)	抗磨損能力低	抗磨損能力中	抗磨損能力高	CNS 6298 CNS 15358 公路工程土工規範
鋪面工程 (透水性佳 親水性)	抗磨損能力低 劣質強度低	抗磨損能力中 劣質強度中	抗磨損能力高 劣質强度高	CNS 12382 公路工程土工規範
水泥製品，如高壓磚、水泥瓦、或預鑄混凝土產品，如路緣石、溝洩塊等 (耐蝕能力高)	抗磨損能力低 抗壓強度低 抗折強度低	抗磨損能力中 抗壓強度中 抗折強度中	抗磨損能力高 抗壓强度高 抗折强度高	CNS 8905 CNS 13295 CNS 10449 CNS 3930
矽工工程 (工作性佳 耐蝕能力高 ≥140 kgf/cm ²)	抗磨損能力低	抗磨損能力中	抗磨損能力高	CNS 2466 CNS 3001
植栽	親水性、保水性佳、透水性高			—
裝飾藝術	親水性、耐形可塑性高、可自由配色			—

不同粒形冷結粒料性能比較

試體編號	粒型改善前				粒型改善後			
	單位重 (kg/m ³)	空隙率 (%)	筒壓強度 (MPa)	磨損率 (%)	單位重 (kg/m ³)	空隙率 (%)	筒壓強度 (MPa)	磨損率 (%)
#1 C50 (B2-3)	1191	33.9	21.27	45.7	1205	32.9	25.13	39.7
#1 C100 (B2-3)	1192	34.2	26.01	40.7	1216	33.3	30.78	35.4
#1 C200 (B2-3)	1176	35.0	33.88	35.2	1219	33.4	40.52	28.5
#3 C50 (B4)	1165	34.2	17.29	46.7	1163	33.3	19.94	42.1
#3 C100 (B4)	1175	34.4	19.94	42.8	1182	32.9	22.78	36.6
#3 C200 (B4)	1141	36.6	26.90	39.8	1205	33.0	30.72	31.1
#4 C50 (B3)	1144	33.9	15.19	48.9	1153	33.3	17.88	44.2
#4 C100 (B3)	1153	33.4	17.99	44.3	1173	33.1	20.14	38.7
#4 C200 (B3)	1103	36.3	24.54	39.2	1182	32.9	27.74	31.7
#5 C50 (B2-3)	1188	34.7	19.80	44.4	1197	33.7	23.86	39.7
#5 C100 (B2-3)	1191	35.3	24.21	41.5	1221	34.0	28.87	35.6
#5 C200 (B2-3)	1187	35.1	31.50	37.9	1224	33.1	36.39	30.2
#6 C50 (B4)	1217	33.9	21.97	43.8	1199	33.4	24.79	38.2
#6 C100 (B4)	1215	33.6	28.39	40.2	1219	33.5	30.80	34.7
#6 C200 (B4)	1201	34.5	35.01	34.5	1250	32.8	42.62	27.0

粒形改善後冷結型粒料之單位重、空隙率、筒壓強度、磨損率皆有所改善

營建剩餘土石方產製高壓地磚配比

配比編號	水泥	礫石	灰度	營建剩餘土石方			乾重 (kg/m ³)	水+SP (2 vol.%)
				含水率	土石方用量	土石方含水量		
配比1	200 (10.74%)	20 (1.07%)	280 (15.03%)	15%	1363 (73.16%)	86	39.4	100
配比2	200 (12.12%)	20 (1.21%)	280 (16.97%)	25%	1150 (69.70%)	179	39.4	100

註：再生綠建材評估基準中C級高壓混凝土地磚再生材料使用比率須大於50%
另水泥用量不得高於30%
冷結型高壓地磚中，營建剩餘土石方使用比率約70%，
根據再生綠建材評估基準具再生材料使用比率更達100%，



配比調整前 (含水率15%)



配比調整後 (含水率25%)



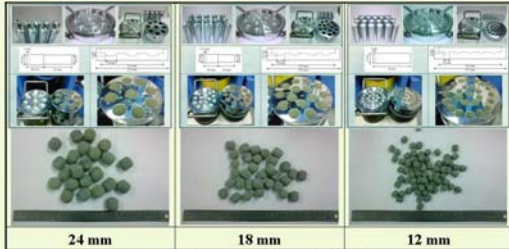
成品

註：15%為實驗室測試求得之土石方造粒含水率

冷結型、燒結型粒料及原生粒料性能比較

	原生粒料	燒結型再生粒料	冷結型再生粒料 (親型改良前)	冷結型再生粒料 (親型改良後)	CNS規定
比重 (OD)	2.53-2.67	0.6-1.6	1.73-1.84	1.73-1.84	—
吸水率 (%)	1.5-6.0	15-30	14.0-16.9	14.0-17.0	—
單位重 (kg/m ³)	1200-1750	300-900	1183-1217	1153-1210	—
筒壓 (MPa)	60-80	<7.0	15.19-35.81	17.88-42.62	—
磨損率 (%)	8-35	—	34.5-49.3	27.0-44.2	50
韌性 (%)	視粒料種類	—	1.47-11.66	12 or 無管制	—
耐水性	較冷結型耐性	最佳	較原生型耐性	—	—
成層性	無	中	高	—	—
CO ₂ 排放量 (kg/m ³)	最佳	62.89	28.59	—	—
技術門檻	低	高	中	—	—
機具設備	低	高	中	—	—
產能	視料源而定	約900 m ³ /天	約1500 m ³ /天	—	—
價格	800元/m ³	4500元/m ³	497、543、623元/m ³	—	—
實際適用性	品質管控不易	施工問題較多	無	—	—
再生性	—	低	中	—	—

冷結型再生粒料之粒形改善

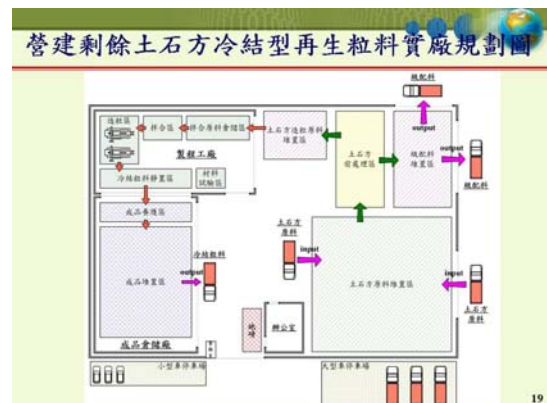


粒徑24 mm (D=12 mm) 模具之凹槽深度(t)為6.0 mm
粒徑18 mm (D=9 mm) 模具之凹槽深度(t)為4.5 mm
粒徑12 mm (D=6 mm) 模具之凹槽深度(t)為3.0 mm
進行造粒測試，三種不同粒徑粒料皆可成功造粒

營建剩餘土石方冷結型再生粒料試量產

合作廠商說明

項次	公司名稱	地點	主要產品	選擇原因
1	銳瑜有限公司	高雄旗山	預拌混凝土	88風災之大量清除資材
2	信義建材股份有限公司	彰化大城	水泥瓦 水泥製品	高壓機具設備
3	立順興資源科技股份有限公司	苗栗後龍	再生粒料 CLSM	再生粒料通路 顎碎、篩分選設備



二、冷結型再生粒料技術應用

冷結型再生粒料技術應用-石材污泥

石材污泥TCLP試驗結果

種類	比重	TCLP結果溶出試驗結果 (mg/L)					
		ICP-OE SR306.13C			AA R318.11C R314.12C		
		鎘	鎳	鉍	銅	砷	汞
石材污泥A (不含絮凝劑)	2.98	0.0873	0.180	0.0486	0.00517	0.002628	0.00001
石材污泥B (含絮凝劑)	2.70	1.27	0.0798	0.0319	0.006	0.009044	0.00004
一般事業廢棄物 管制標準 (mg/L)	5.0	1.0	5.0	15.0	5.0	0.2	
綠建材標準 管制標準 (mg/L)	1.5	0.3	0.3	0.15	0.3	0.005	

二種石材污泥均符合TCLP試驗結果均符合一般事業廢棄物及綠建材標準管制標準

石材污泥含水率與造粒壓力之關係

石材污泥A、含水率19.5% 造粒壓力35.0MPa
 石材污泥A、含水率17.5% 造粒壓力52.5MPa
 石材污泥A、含水率15.5% 造粒壓力70.0MPa
 石材污泥B、含水率20% 造粒壓力35.0MPa
 石材污泥B、含水率18% 造粒壓力52.5MPa
 石材污泥B、含水率16% 造粒壓力70.0MPa

石材污泥冷結型再生粒料單顆粒抗壓強度

冷結型再生粒料因卜作嵐反應，單顆粒抗壓強度隨齡期增加持續成長。
 另添加絮凝劑之石材污泥(B)產製的冷結型再生粗粒料，因絮凝劑於冷結型再生粗粒料中產生類似聚合物混凝土的作用機理，使其單顆粒抗壓強度較高。

石材污泥冷結型再生粒料水泥強度效益

傳統混凝土水泥強度效益約 10 psi/kg cement，高性能混凝土可達 20 psi/kg cement，使用石材污泥與冷結技術所開發之再生粒料，其混凝土水泥強度效益均大於 10 psi/kg cement，其中B50的配比甚至可高達 40 psi/kg cement。

石材污泥冷結型再生粒料基本性質

石材污泥	水泥用量 (kg/m³)	比重 (OD)	比重 (SSD)	吸水率 (%)	單位重 (kg/m³)	空隙率 (%)	筒壓強度 (MPa)
A	50	1.66	2.01	21.3	1084	34.7	18.94
	100	1.69	2.03	20.2	1101	34.9	22.91
	200	1.74	2.08	19.3	1133	34.9	33.64
B	50	1.55	1.89	22.1	1033	33.3	22.79
	100	1.58	1.91	21.2	1045	33.9	27.68
	200	1.65	1.99	20.0	1088	34.1	39.90

冷結型再生粗粒料烘乾狀態 (OD) 比重為1.55-1.74；而乾內飽和狀態 (SSD) 比重為1.89-2.08；吸水率介於19.3-22.1%；單位重為1,033-1,133 kg/m³；空隙率約為33.0-35.0%；筒壓強度介於19.0-40.0 MPa。

冷結型再生粒料技術應用-石灰污泥

土壤現地採樣及初步處理後照片
 石灰現地採樣及初步處理後照片

石灰污泥TCLP試驗結果

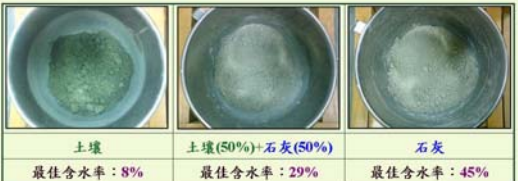
種類	比重	TCLP結果溶出試驗結果 (mg/L)					
		ICP-OE SR306.13C			AA R318.11C R314.12C		
		鎘	鎳	鉍	銅	砷	汞
石灰	2.62	0.313	0.001	0.026	0.007	0.079	< 0.0005
土壤	2.68	0.003	0.001	0.011	0.003	0.034	< 0.0005
一般事業廢棄物 管制標準 (mg/L)	5.0	1.0	5.0	15.0	5.0	0.2	
綠建材標準 管制標準 (mg/L)	1.5	0.3	0.3	0.15	0.3	0.005	

二種材料均符合TCLP試驗結果均符合一般事業廢棄物及綠建材標準管制標準

石灰污泥TG/DTA熱重分析

圖中顯示約在620-690°C出現比較明顯的熱解現象，推論石灰質材之存在型態應是屬較穩定的CaCO₃。

石灰污泥冷結型再生粒料造粒最佳含水率

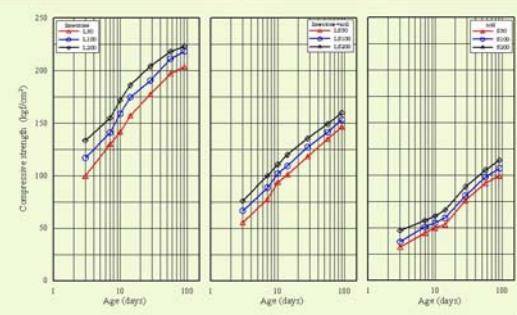


土壤	土壤(50%)+石灰(50%)	石灰
最佳含水率：8%	最佳含水率：29%	最佳含水率：45%

最佳造粒含水率：

- 造粒時，太乾粒料無法成型；太濕導致壓密排水形成弱面。
- 使膠結材料具有足夠水分進行水化反應，充分發揮膠結材料之固結作用。

石灰污泥冷結型再生粒料單顆粒抗壓強度



CNS 1258—卜特蘭水泥熱壓膨脹試驗法



石灰（編號L）、石灰加土壤（編號LS）及土壤（編號S）等配比之再生粒料其外觀尺寸如直徑、高度及體積之變化均非常小，因此推論石灰質材應不會衍生長期體積穩定性問題。

石灰污泥冷結型再生粒料CNS 1240規範驗證

試體編號	土壤及骨幹顆粒	碎石（面粒內飽和比重2.40以下）	土壤及骨幹顆粒及碎石（面粒內飽和比重2.40以下等之總和）	小於75μm CNS 386之物質	煤及煙灰	磨擦率	硬度（用連續5次循環之強度）
S50	N.D.	N.D.	N.D.	0.33	N.D.	48.9	5.78
S100	N.D.	N.D.	N.D.	0.36	N.D.	43.7	3.05
S200	N.D.	N.D.	N.D.	0.31	N.D.	41.1	1.32
LS50	N.D.	N.D.	N.D.	0.44	N.D.	44.8	6.95
LS100	N.D.	N.D.	N.D.	0.40	N.D.	42.0	6.99
LS200	N.D.	N.D.	N.D.	0.48	N.D.	40.3	9.64
L50	N.D.	N.D.	N.D.	0.53	N.D.	38.8	7.65
L100	N.D.	N.D.	N.D.	0.50	N.D.	37.4	9.87
L200	N.D.	N.D.	N.D.	0.48	N.D.	37.8	81.47

管制標準：2.0-10.0 5.0 or 無管制 10.0 or 無管制 1.0 0.5-1.0 50 12 or 無管制

以石灰污泥為母材之配比，若添加較多水泥反而產生劣化，石灰污泥本身具相當程度之膠結性能，故僅需添加少量水泥即可符合CNS 1240-粒料性能規範之要求。

石灰污泥冷結型再生粒料基本性質

	比重 (SSD)	比重 (OD)	吸水率 (%)	單位量 (kg/m³)	空隙率 (%)	筒裝強度 (MPa)
S50	2.10	1.82	15.0	1218	33.1	17.69
S100	2.11	1.86	14.0	1232	33.7	19.15
S200	2.13	1.89	13.0	1248	34.0	23.33
LS50	1.88	1.46	28.4	990	32.2	23.96
LS100	1.88	1.48	27.5	994	32.9	25.75
LS200	1.90	1.49	27.8	1013	32.0	28.87
L50	1.72	1.23	40.0	837	32.0	27.86
L100	1.72	1.21	41.6	827	31.6	33.75
L200	1.73	1.20	44.6	811	32.4	31.92
S土(土壤)	2.10-2.13	1.82-1.89	13.0-15.0	1218-1248	33.1-34.0	17.69-23.33
LS土(土壤+石灰)	1.88-1.90	1.46-1.49	27.5-28.4	990-1013	32.0-32.9	23.96-28.87
L土(石灰)	1.72-1.73	1.20-1.23	40.0-44.6	811-837	31.6-32.4	27.86-33.75
原生粒料	2.55-2.70	2.53-2.67	1.5-6.0	1650-1830	30-45	60-500

冷結型再生粒料技術應用-不銹鋼渣(先期)

水泥	卜特蘭材料	母材		破織 (2 vol%)	水 + SP
		母材含水率	烘乾母材用量		
100 (5.00)	365 (18.22)	14%	1499 (74.81)	210	39.4 (1.97)

註：()中係指各組成固體材料之重量百分比

單顆粒抗壓強度	Age=7 days (MPa)	Age=28 days (MPa)
冷結型再生粒料原料		
不銹鋼還原渣	14.11	19.06
石灰污泥	11.49	16.96
石材污泥B (含絮凝劑)	9.13	13.68
B2-3類管建剩餘土石方	5.38	11.27
B3類管建剩餘土石方	4.59	8.54

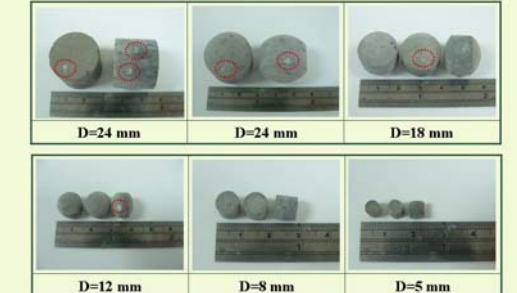
體積穩定性觀察-1

▶ 齡期7天前，不銹鋼還原渣冷結型再生粒料表面會有些許剝落，但7天之後至目前已將近一年，則未再發現其他剝落與膨脹，甚至崩解的現象

▶ 再生粒料表面剝落處，均有明顯不銹鋼還原渣白色顆粒存在，此白色顆粒尺寸均大於1.0 mm


▶ 粒徑D=24 mm的不銹鋼還原渣冷結型再生粒料表面最易發現有膨脹剝落現象，而粒徑D=8、5 mm的冷結型再生粒料表面則幾乎未發現有膨脹剝落現象。

體積穩定性觀察-2



體積穩定性觀察-3

> 可推測冷結型再生粒料係由35-42 MPa的應力壓錠成型，而顆粒尺寸需大於1.0 mm不銹鋼還原渣內含的游離CaO，所產生的膨脹應力才可造成表面剝落現象。
 > 白色顆粒尺寸約為3.0-4.0 mm，才可能導致再生粒料因膨脹導致崩解的情事。



根據粒料的特性，即使不銹鋼還原渣冷結型再生粒料，因游離CaO產生膨脹崩解，而崩解後的顆粒亦可視為粒徑較小的再生粒料，而此膨脹、崩解作用亦可當作一種不銹鋼還原渣安定化的過程。

38

結論與建議

1. 產製冷結型再生粒料之原料中：營建剩餘土石方、石材、石灰污泥、不銹鋼渣、水淬高爐石粉、燃煤飛灰、玻璃纖維等資源再生材料使用量達90%以上，可增加資源再生材料之使用率。
2. 製作冷結型再生粒料，建議之造粒壓力為35-42 MPa；造粒時最適含水率需視原材料種類調整。對於含水分的資料可直接拌配使用，無須再經過烘乾程序
3. 冷結型再生粒料內部孔隙較塊結型少，筒壓強度較高，性質接近原生粒料，級配較佳且可自行調配，工程應用可行性較高。
4. 根據CNS 1240規範，冷結型粒料適用於各種氣候地區，可應用於預拌混凝土、預結混凝土製品、鋪面工程、路基工程、圬工工程等各種公共工程及營建工程。
5. 冷結型再生粒料製程不僅較塊結型減少約65%的CO₂排放，且可降低能源消耗量，能有效達成節能減碳目標。

39

誌謝

本研究採用內政部建築研究所補助案-再生綠建材開發與推廣應用計畫(I-III)、經濟部科技研究發展專案-學研聯合研究計畫 98-EC-17-A-10-S2-0063所開發的冷結技術，並獲得邁向頂尖大學計畫與中國石油化學工業開發股份有限公司經費補助，研究期間內政部建築研究所性能實驗室-「綠色再生建材檢測實驗室」鼎力相助，並提供相關研究儀器設備，方使本研究得以順利完成，謹此致謝。

40

謝謝 敬請指教



Chuan Hsin Chi

再生綠建材- 建築用普通磚

俊行記實業股份有限公司
 報告人：黃立安

Chuan Hsin Chi

- 壹、公司簡介
- 貳、再利用實績
- 參、建築用普通磚
- 肆、再生材料
- 伍、經濟效益

Chuan Hsin Chi

壹、公司簡介

俊行記公司為台灣最大紅磚製造廠，日產紅磚最大設計量為一百萬塊磚。設有土石方資源堆置場，收受處理營建剩餘土石方做為製磚主要原料；並處理自來水淨水污泥及廢玻璃磚子資源化再利用，做為製磚摻配料。

本公司子廢棄物資源化再利用有十餘年實績經驗，目前產製紅磚產品獲得內政部再生綠建材標章。

Chuan Hsin Chi

貳、再利用實績

- (1)91年取得經濟部D-0902自來水淨水污泥個案再利用許可。
- (2)92年取得行政院環境保護署廢玻璃磚容器受補貼機構資格。
- (3)93年取得經濟部D-0902自來水淨水污泥通案再利用許可。
- (4)承攬百潭淨水場、公館淨水場、板新給水廠、大浦給水廠、平鎮給水廠等自來水淨水污泥餅清潔及再利用作業。
- (5)石門水庫沉澱池淤泥清潔及再利用作業。

參、建築用普通磚

(1)用途：普通磚俗稱紅磚，主要用於土木、建築用隔間牆或砌磚圍牆；傳統建築、公園或古蹟修築，或是紅磚砌築裝飾牆面及步道。

(2)性能：具防火、隔音、隔熱。

(3)綠建材標章證書字號：GBM0100065

參、建築用普通磚

(4)規格：長 $200 \pm 6.0\text{mm}$ × 寬 $95 \pm 4.0\text{mm}$ × 高 $53 \pm 2.7\text{mm}$
 吸水率：15%以下，
 抗壓強度：150kgf/cm²以上

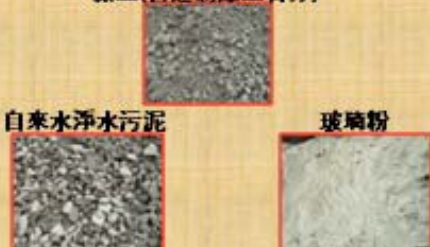
(5)符合CNS382普通磚3種磚品質規定，符合再生綠建材普通磚評估基準。

肆、再生材料

一、資源再生材料

黏土(營建剩餘土石方)

自來水淨水污泥 玻璃粉



二、資源化再利用技術

本公司將各回收廢棄物材料予資源化再利用，經處理破碎成細小顆粒後，依摻配比例均勻調配做為資源化製磚原料，再利用原理為燒結資源化，藉由熱處理的方式，將各回收材料利用高溫操作下，使磚坯原料的顆粒之間互相結合並產生緻密化，而達到高強度的行為。

三、資源化再利用流程

廢玻璃前處理流程

廢玻璃 → 破碎機 → 玻璃砂 → 玻璃粉

球磨機




伍、經濟效益

(1)資源化再利用處理營建剩餘土石方做為製磚原料，尤其是高含水率之黏土，有助營建產業正面發展。

(2)對事業端產生之廢棄物予資源化再利用，符合環境保護與資源再生再利用的方向。

(3)資源化再利用有助於社會與事業之永續經營發展。


簡報結束

謝謝指教

**再生綠建材-
再生陶瓷面磚**

晉大陶瓷股份有限公司
簡報人: 李錦國 特助

晉大陶瓷股份有限公司



設立時間：1986年迄今
廠房面積：5,000坪
員工人數：65人

公司簡介

- 自1986年起從事陶瓷原料加工、製造、銷售；於1989年起，陸續增購設備，以延伸生產線，專門生產建築用外牆二丁掛、方塊磚、馬賽克。
- 最高產能約12,000平方米/日。
- 主要產品為石質二丁掛、瓷質二丁掛、石質馬賽克及瓷質馬賽克，提供全省建設公司、建材行、量販店及直接客戶等。

企業標誌與精神



以本公司的英文品牌Gloria為底，紅色3/4圓代表英文字母『G』，即為Good；七條光芒代表希望一週七天，天天是好天氣。

主要產品簡介

主要產品規格如下：

- 50X230mm 平磚
- 52X240mm 平磚及山型磚
- 60X227mm 平磚及山型磚
- 45X 95mm 平磚及山型磚
- 45X145mm 平磚及山型磚
- 100X100mm 平磚

常用土料之基本性質

土料種類	主要成份	主要作用
501土	鉀、鈉	增加產品之塑性
長石	鉀、鈉	產品主要溶劑
陶石	鉀	產品主要骨架
滑石	鎂、鈣	產品主要助溶劑
玻璃砂	矽	助溶作用增加坯體密度


土料堆置場

- 土料堆置場地約300坪，置放土料。
- 皆在室內儲存，覆蓋烤漆板遮雨，以避免雨水沖刷後影響土料原有特性。



生產流程(1)--釉料研磨

- 釉料研磨機的規格依不同產量需求共有八種。
- 依據成條件不同的各類成釉，依配比外加色料及添加劑，加水研磨；研磨時間依研磨量不同，約8小時至20小時不等。



生產流程(2)--土料研磨

- 目前工廠計有8個可放乾料20噸的土料研磨機。
- 將不同種類的天然土類及石類，依照固定的配比入料，外加水及添加劑研磨約10小時後形成泥漿。



22

生產流程(3)--泥漿攪拌

- 將各個土料研磨機中研磨完畢的泥漿卸入泥漿槽中，充分混合攪拌。



23

生產流程(4)--噴霧造粒

- 將泥漿藉由高壓噴出霧化後，進入噴霧塔中，接觸700℃的熱空氣，變成圓形且中空的粉料顆粒。
- 粉粒含水率約6%。



24

生產流程(5)--成型壓製

- 將粉粒依不同生產規格需求均勻置入指定規格的模具，並藉由成型機的壓力壓製成生坯。
- 未燒製的瓷磚稱做生坯。
- 成型機壓力每平方公分約350公斤。



25

生產流程(6)--生坯乾燥

- 生坯進入150℃乾燥窯中，約15至20分鐘後烘乾，將多餘的水份排出。
- 此步驟是為避免在快速燒成的過程中因水分子的急速膨脹而爆坯。



26

生產流程(7)--生坯施釉

- 將預先磨好的釉漿，依照不同呈色要求的比重和施釉重量，用施釉機均勻鋪施在乾燥後的生坯上。



27

生產流程(8)--高溫燒成

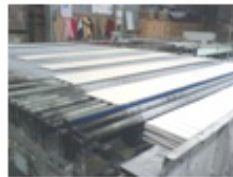
- 進入約85米的天然氣燒成窯後，依序經過預熱帶、燒成帶、冷卻帶後進入包裝區。



28

生產流程(9)--包裝出貨

- 採用半自動包裝；即自動整坯後人工裝箱再用自動封箱機封箱並打上產品編號、批號及生產時間。
- 每小時產量約210平方米至250平方米。



29



順欣資源股份有限公司
 設立日期：83年8月
 公司地址：台北縣鶯歌鎮二甲路9-3號
 一廠地址：台北縣鶯歌鎮二甲路9-3-3號
 二廠地址：台北縣鶯歌鎮七湖街曾厝巷50號
 自有廠面積一廠：2100M²，二廠7500M²
 登記資本額3500萬元
 主要產品：輕質節能面磚、玻璃粒、陶瓷粒、傳統外牆磚等...

- ◎ 民國79年開始研究廢陶瓷再利用。
- ◎ 81年技術與機器試產成功，開始鼓吹廢陶瓷再利用。
- ◎ 著手破碎機組增建。
- ◎ 85年與14家陶瓷生產廠商申請廢陶瓷再利用計劃。
- ◎ 86年再與另16家陶瓷生產廠商提出廢陶瓷再利用計劃獲準。

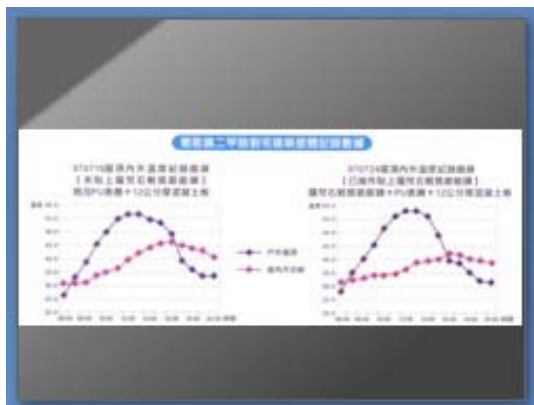
- ◎ 88年開始研究廢玻璃應用於陶瓷產業。
- ◎ 90年成立研發室研發輕質陶瓷。
- ◎ 92年申請台灣、大陸、韓國、美國專利。
- ◎ 93年購置現有陶瓷生產工廠，成立順欣資源鶯歌二廠，生產傳統外牆磚並進行輕質瓷磚之試量產。
- ◎ 97年突破窯燒技術瓶頸，生產成功為導入ISO-9001-2000。
- 11. 98年8月申請綠建材獲準。



傳統磁磚與輕質瓷磚主要性能比較表

項目/名稱	磁磚	輕質	綠磚	備註
比重	2.3	2.2	1.1	
吸水率	1	6	1.02	2%
抗折	183.6	122.4	61.2	kg/10cm
熱傳導	1.2	1.1	0.2	Kcal/m.h°C







業績實景

工程名稱	系統
交貨日期	2008年
產品規格	88x200(mm)
產品色號	88C01+8808
設計	業主



簡報結束
謝謝指教

順欣資源股份有限公司

附錄二

100 年度期初簡報評審意見與回應表

附錄二 100 年度期初簡報評審意見與回應表

評審	主要意見	回應情形
中華民國全國 建築師公會 江建築師星仁 劉建築師明滄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫預定辦理之再生綠建材示範推廣說明會，建議增加其詳細工作項目之說明。 2. 建議本計畫擬開發之產品應考量市場導向，鎖定市場容易接受之產品類型，其再利用效益應會更顯著。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，今年度再生綠建材示範推廣說明會係根據前二年經驗，現正積極規劃中，相關之細部工作項目將於期中報告中說明。 2. 謝謝指教與建議，研究團隊將參照辦理。
臺灣省建築 材料商業同業 公會聯合會 王總幹事 榮吉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫之研究依據、工作內容、再生循環推廣應用、材料開發及經濟效益分析等規劃內容，均符合本計畫之預期成果。 2. 若計畫之時間及經費許可，建議舉辦兩場以上再生綠建材示範推廣說明會。 3. 建議本計畫名稱之「建築廢棄物」略為調整，例如改為「建築拆卸物」或「再生循環式建材」等，俾與實質料源或技術開發內容一致。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝支持與肯定。 2. 將視經費及工作執行狀況酌情辦理。 3. 謝謝建議，本計畫乃配合行政院「生態城市與綠建築推動方案」之次目標(六)：「發展營建減廢技術與機制，提升資源有效利用」。並以該方案實施項目分工表第十五項—「建築廢棄物再生利用技術研發、驗證及推廣產製，以加速再生建材產業化」為主要依據。故取名為「建築廢棄物再生循環技術開發與推廣應用計畫」。
黃簡任技正 拯中	<ol style="list-style-type: none"> 1. AAC 與高壓地磚之開發，若 B2-3、B3、B4、B6 及 B7 均適合使用，建議將不同類別土石方製作過程之特別注意事項進行記錄。 2. 本計畫所採用剩餘土石方製成之地磚於使用過程中，是否容易受壓力以外之因素破裂（如溫差），建議可將耐候性測試納入。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，未來實驗過程將詳加記錄。 2. 謝謝指教與建議，本案所開發之高壓地磚，會將耐久與耐候性納入性能測試項目。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再生技術開發使用之剩餘土石方，建議能針對 B5、B6 及 B7 為主，因此三類在市場上去路較有困難；另未來配合政府 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝支持與建議，為使本計畫所開發之再生技術應用性較廣，故採用較多類別之營建剩餘土石方，而 B6、B7 類亦包

<p>黃教授 榮堯</p>	<p>都更政策，建築廢棄物數量勢必增加，宜針對其再利用技術開發有所著力。</p> <p>2. 建議能針對低強度（如 185 kg/cm² 以下）再生混凝土建立標準與規範。</p> <p>3. 建議增加再生利用示範推廣說明會之場次，並擴大辦理，以收推廣成效。</p>	<p>含在其中，未來將增加 B5 類營建剩餘土石方之再生循環技術開發。</p> <p>2. 謝謝指教，期望未來研究工作，可得到所方支持，完成相關工作。</p> <p>3. 將視經費及工作執行狀況酌情辦理。</p>
<p>鄭教授 明仁 (曾教授亮代)</p>	<p>1. 本案之蒸壓養護鍋爐容量為何？又如何進行量產？建議補充說明。</p> <p>2. 本案之製程條件其參數範圍頗大（如壓力 1~15atm），如何控制成品之物性，建議補充說明。</p> <p>3. 本案之研究人力配置中，同一名研究助理兼任及專任均有任職，是否有所誤植？建議補充說明或修正。</p>	<p>1. 本案之蒸壓養護鍋爐容量約為 100 L，屬實驗室研究用小型鍋爐。未來量產方面，目前市場上已有大型工業用之鍋爐可供選擇。</p> <p>2. 由於本材料仍屬開發階段，目前選擇之壓力等參數範圍係參考相關文獻後擬定之待測條件，未來研究結果將歸納出製程之最適條件，屆時應可妥善控制產品之特性與品質。</p> <p>3. 本案編列研究人員蘇鈺荃現係在學之碩士班二年級學生，故計畫第 1~5 月以兼任助理聘任，待畢業後第 6~10 月改以專任助理聘任。</p>
<p>廖組長 慧燕</p>	<p>1. 嚴苛氣候變化對於所研發之再生建材性能是否會有影響，宜請納入檢討評估。</p> <p>2. 本計畫預定開發之再生地磚，除耐磨性考量外，是否將防滑性納入評估，建議補充說明。</p>	<p>1. 謝謝指教，本案將開發的高壓地磚係採用前期計畫所開發之冷結型技術，而前期所開發之冷結型再生粒料相關性質均符合 CNS 1240-「混凝土用粒料」規範要求，經相關性能測試驗證可適用於各種氣候地區，今年度所開發之高壓地磚亦會遵照辦理。</p> <p>2. 謝謝指教，再生地磚將依據 CNS、ASTM 規範及再生綠建材評估基準進行相關性能測試驗證。</p>

<p>主席 陳副所長 瑞鈴</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案計畫雖已執行多年，惟推動規模似乎逐年縮小，宜請執行單位審慎檢討；尤其配合研發廠商遲未能將技術研發成果實際量產，成果無法落實到應用面。 2. 本計畫預計針對三件以上具再生綠建材標章之產品，進行市場競爭性調查，因其數量並不多，建議針對全部具再生綠建材標章之產品進行調查。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，研究團隊將遵照指示審慎檢討之，惟相關工作亦須視經費及計畫書已允諾之工作執行狀況酌情辦理。 2. 將針對已取得標章且使用對象廣之產品作調查。
---------------------------	---	--

附錄三

100 年度期中簡報評審意見與回應表

附錄三 100 年度期中簡報評審意見與回應表

評審	主要意見	回應情形
經濟部能源局 (張博文)	1. 對於計畫中輕質隔熱再生綠建材之技術開發，建議後續能提供使用效益分析，讓使用者能深入瞭解，進而願意使用。	1. 感謝委員的建議，未來俟輕質隔熱再生綠建材技術開發成熟後，產品品質穩定後，將進行使用效益分析。
中華民國全國 建築師公會 (江星仁)	1. 目前建築技術規則已修訂室內綠建材使用比例必須大於 45 %，建議未來使用率可達 100 %。	1. 感謝肯定與支持，研究團隊將繼續朝室內綠建材使用比例 100 % 目標努力。
台灣區照明 燈具輸出業 同業公會 (宋福生)	1. 本計畫研究，將營建剩餘土石方製作成蒸壓養護氣泡混凝土(AAC)，變成有用之建材，值得肯定，建議此產品配合有計畫之推廣應用，成效應可如預期。	1. 感謝委員肯定與指教，未來將加強蒸壓養護氣泡混凝土(AAC)之推廣應用。
台北市冷凍 空調技師公會 (王偉棟)	1. 本計畫中輕質隔熱再生綠建材之技術開發，建議除提供物理特性及製程說明之外，另請針對其耗能進行檢討，並提供相關熱傳特性，隔熱係數，隔音效果等，作為供設計綠建築之參考依據。 2. 另開發之輕質隔熱再生綠建材之吸水率較高，此是否會影響作為室內隔間材之適用性，請說明。	1. 謝謝指教，輕質隔熱再生綠建材之隔音、隔熱等功能特性量測將於技術開發完成後進一步試驗，以作為日後設計應用之依據。 2. 由於輕質隔熱再生綠建材本身有極高的孔隙率，故具有輕質隔熱的特性，因此不可避免地有較高的吸水率。若材料使用時須考量吸水性時，建議可搭配防水塗料加以改善。
臺灣省建築 材料商業同業 公會聯合會 (王榮吉)	1. 本計畫針對建築物「拆卸物」之再生利用技術研發、推廣產製、再生建材產業化等，立益良善目標明確，惟目前國內傳統建材生產製造業投資意願低落，故建議將相關之基準擬訂與技術轉移納入研究，以促進營造產業技術與落實公共工程領域中。	1. 感謝支持與肯定。 2. 謝謝指教，研究團隊會將「減碳」效益量化與經濟效益評估納入計畫進行相關研究探討之。 3. 謝謝建議，目前業者對綠建材標章申請意願皆很高，研究團隊將持續積極努力協助。

	<ol style="list-style-type: none"> 2. 鑑於「減碳」仍為目前國內外主流產業與目標，建議將其量化與經濟效益評估納入本計畫相關研究進行探討。 3. 另建議協助廠商取得綠建材（再生）標章或環保標章，一併納入本計畫推廣應用之工作內容。 	
<p>王教授 敏順</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫在廠商訪查中有部分業者使用爐渣等特定廢棄物製作再生綠建材，考量其在工程上之環保性及功能性之疑慮，建議能在後續成果說明會中增加說明澄清與交流討論機會。 2. 政府修法訂定綠建材使用率是有效率之做法，建議未來對於特定用途建築物如需高健康需求使時用，可再提高使用綠建材比例或全部使用之規定。 3. 計畫中，開發之蒸壓養護氣泡混凝土（AAC）如應用在主結構體時，建議能輕易管控其抗壓強度及耐久性之品質管控，不致影響主結構體，另開發完成後研訂相關技術規範，以供市場之應用。另針對 AAC 中文簡稱建議修正為「蒸氣混凝土」。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，研究團隊將於今年度成果說明會中，針對爐渣等特定廢棄物製作再生綠建材此議題進行說明澄清並交流討論之。 2. 感謝支持與肯定，研究團隊將繼續朝此目標努力，並於相關討論會上積極給予建議。 3. 感謝委員的建議，本研究開發的蒸壓養護氣泡混凝土（AAC）主要應用於非結構體的隔間材料。根據相關研究報告與應用案例可知，AAC 若搭配鋼筋使用，亦可應用於樓板等構件，惟強度仍無法符合建築主結構體之需求，而材料耐久性試驗則須進一步驗證，此將規劃於未來的研究工作中；針對 AAC 中文簡稱方面，CNS 使用之名稱為「高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土」，故本研究簡稱為「蒸壓養護氣泡混凝土」。「蒸氣混凝土」容易與一般蒸氣養護預鑄廠所生產的混凝土混淆，因此本研究仍沿用原來的簡稱。
<p>林教授 志棟</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鑑於目前營建剩餘土石方在台灣北部及中南部，已由土方平衡中由棄土轉換成需土，本計畫中擬開發之產品是否符合 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，目前營建剩餘土石方雖已由土方平衡中之棄土轉換成需土，惟計畫中亦曾使用 88 風災之淤泥，另未來研

	<p>合需求？建議考量並能朝節能減碳方向開發。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 有關計畫中冷結型高壓地磚開發，建議參考綠建材標章及生產業者製程，則該模具可行性評估可獲進一步探討。 3. 計畫中產品市場競爭性調查應具分析導向有效果，建議詳細分析研究。另針對減碳效益，建議考慮節能減碳之定量分析。 	<p>究團隊將繼續使用其他營建資材開發成為再生綠建材，並朝節能減碳方向進行研究。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 謝謝指教，研究團隊將依據委員建議，參考綠建材標章及生產業者製程，進行模具開發與產品製作。 3. 感謝委員的建議，研究團隊將於後續工作中針對再生綠建材市場競爭性作詳細分析研究，另亦將針對再生綠建材產品之節能減碳效益作定量分析研究。
<p>陳教授 海曙</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫中 AAC 再生建材之抗壓強度採 ASTM 分類推估，建議後續能實際進一步進行抗壓強度之驗證研究。 2. 另 AAC 再生建材如做用於地面或鋪面材料時，建議增加考慮其耐磨程度，並從耐磨性、隔熱性等方向進行探討研究。 3. 鑑於再生綠建材之市場競爭性是本計畫推廣之重點，建議將市場價格與一般建材進行比較，並納入政策制度之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究 AAC 之強度為實測之數值，並與 ASTM 之標準比較，並非推估之結果。期末報告時將修正以 CNS 為主要對照基準，ASTM 標準作為參考。 2. AAC 現今之應用以隔間材料為主，目前尚無應用於地面或鋪面材料的例子。未來可嘗試納入鋪面等應用及相關性質探討。 3. 謝謝指教，研究團隊已完成再生綠建材市場價格之相對比較分析。
<p>黃技師 克修</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫開發之再生建材雖屬環保，惟部分之再生綠建材（如磁磚）產生 CO₂ 甚高，為避免產生增碳影響，建議儘量降低其燃燒溫度及 CO₂ 產生量，可採定量描述製程進行控管。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員的建議，瓷磚生產製程控制為業者之專業技術與 know how，研究團隊僅能提出建議。
<p>張教授 又升</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建築廢棄物種類多，惟本計畫以廢棄土方為主，建議研究團隊能針對其他廢棄物進行探討，從中擇出最佳投資效益。 2. 鑑於土方構成十分複雜，計畫 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，研究團隊未來將針對其他營建資材開發再生綠建材，並探討擇出最佳投資效益朝。 2. 謝謝指教，雖然土方組成十分

	<p>中開發之再生建材商品化之品管控制是否能穩定？請說明。</p> <p>3. 建立良好的分類回收制度，方為建築廢棄物能否有效推廣之關鍵，請研究團隊考量納入探討。</p>	<p>複雜，仍以 CaO、SiO₂、Al₂O₃ 為主，再添加膠結材料，例：水泥、水淬高爐石粉、燃煤飛灰…等，未來研究團隊將試圖建立 CaO、SiO₂、Al₂O₃ 三相圖中之區域（似燒結之膨脹區域），以作為日後品管控制之參考依據。</p> <p>3. 謝謝指教，目前建築廢棄物從拆除至分類回收均已建立相當不錯之制度規範，未來研究團隊將依據相關規範制度進行研究探討。</p>
<p>蕭顧問 江碧</p>	<p>1. 本計畫開發之再生建材使用營建剩餘土石方佔 50 % 以上，可見其重要性，若水庫淤泥亦能大量使用，則除建築土石方可作經濟利用外，水庫淤泥亦可。</p> <p>2. 對於增進產品開發推廣應用效益，建議相關單位能成立育成中心如台灣建築中心，邀請有興趣廠商參與，使其能落實推廣與加快大量生產應用。</p> <p>3. 另建築技術規則應規定，建築多少比率使用再生建材，才能鼓勵投資生產，且室外結構部分應特別規定一定比例使用再生綠建材。</p> <p>4. 本計畫開發之再生粒料，建議除使用營建廢土外，另亦需使用廢棄之混凝土、磚、玻璃、陶瓷等，協助消化 921 大地震拆除之建築物廢棄物。</p>	<p>1. 謝謝指教，B6 類營建剩餘土石方，與 88 風災之淤泥，二種性質與水庫淤泥相似的資材，研究團隊均曾採用開發成再生綠建材，且均有不錯之性能，未來若經費允許，研究團隊會將水庫淤泥納入研究探討之。</p> <p>2. 感謝委員的建議，未來若相關法令制度許可與計畫需求，研究團隊將積極配合辦理。</p> <p>3. 建築技術規則已增列戶外空間使用綠建材之要求，但僅限地面部份，似尚不足。未來應再積極爭取擴大範圍。</p> <p>4. 謝謝委員指教，研究團隊將遵照辦理，相關之建築廢棄物亦為可採用之再生材料來源。</p>
<p>蕭教授 弘清</p>	<p>1. 計畫中再生建材開發很有意義，建議能加以產品化、產業化，並配合有計畫性之推廣，成效應可預期。</p>	<p>1. 感謝支持與肯定。</p> <p>2. 謝謝指教，研究團隊將依據委員建議，於日後研究中研擬更具體之推廣策略，或創意行銷</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 2. 另在推廣應用上，目前預期成果及研究內容仍是處於類似研究，可行性、經濟效益評估，不夠主動積極，建議能研擬更具體之推廣策略，或創意行銷計畫。 3. 關於本計畫報告書圖表排版格式，建議修正，圖表不宜分割於不同頁，以求完整。 	<ol style="list-style-type: none"> 計畫。 3. 謝謝指教，研究團隊將於期末報告中修正之。
<p style="text-align: center;">主席 陳副所長 瑞鈴</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫在推廣應用上，對於已取得再生綠建材標章業者之產品市場競爭性調查分析，請研究團隊量化並更深入研析。 2. 另輕質隔熱再生綠建材之開發，除請補充說明建築廢棄物之使用比率外，且需補充其相關性能如抗壓、隔熱、防火…等相關測試探討。 3. 計畫中9月再生綠建材成果說明會，請研究團隊多邀請相關業者共同參與，以加強宣導推廣。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，將遵照辦理。已針對各種主要再生綠建材之減廢效益與降低生產成本效益進行評估分析。 2. 謝謝指教，將遵照辦理。有關建築廢棄物之使用比例將於期末報告中詳細說明。另輕質隔熱再生綠建材之隔音、隔熱等功能特性量測將於技術開發完成後進一步試驗，以作為日後設計應用之依據。 3. 謝謝指教，已遵照辦理。

附錄四

100 年度期末簡報評審意見與回應表

附錄四 100 年度期末簡報評審意見與回應表

評審	主要意見	回應情形
<p>中華民國全國 建築師公會 (江建築師星仁)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案報告書中，有多處地方對 AAC 之中文描述略不同，如輕質隔熱或是蒸壓養護輕質混凝土，請統一。 2. 另報告書 P.65 中，對於建築廢棄物產生量之探討，並未將既有建築物裝修所產生之建築廢棄物是列入計算，建請考量納入，以提升該估算精準度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員的指正，有關報告中統一用詞已於成果報告中完成修正。 2. 裝修廢棄物大部份皆未申報，不易估算。依本計畫訪查之再生綠建材業者，所使用之原料極少裝修廢棄物，故暫不納入估算。
<p>臺灣省建築 材料商業同業 公會聯合會 (王總幹事榮吉)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案之輕質隔熱再生綠建材，是否符合再生、高性能或自薦綠建材標章之基準，建議研究團隊納入相關研究探討及協助相關產品成為綠色產業之一。 2. 本案中 AAC 如應用於隔間牆、隔熱牆效果顯著，惟該材料是否符合建築技術規則之相關規定，耐衝擊性？請說明。 3. 對於本案，建請研究團隊積極協助再生綠建材產業在地化，並加強推廣於公共工程領域，另在推廣說明會上宜分區舉行，以凸顯在地產業特色。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員的建議。本研究開發之輕質隔熱再生綠建材使用大量再生材料，且產品特性應具備防火、隔音等性能，故具有再生或高性能綠建材之潛力。然而本年度研究著重於產品製程條件開發，產品性質之驗證仍待後續進一步深入測試探討。依目前使用再生料之比例，應可符合再生綠建材評估基準之要求，待技術開發成熟後可移轉給廠商進行量產，並依據「再生綠建材評定基準增修訂自薦提案」方式申請綠建材標章。 2. 本研究現階段重點針對 AAC 之製程條件進行研發，未來在產品應用於隔間牆時，將進一步檢討牆壁規格設計、施作方式等是否符合建築技術規則中耐衝擊性等相關規定。 3. 謝謝建議，未來計畫若經費許可，將增加辦理技術推廣之場次，並俟機於中南部增加辦理。

<p>王教授 敏順 (書面審查)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案對於減碳效益雖已計算出單位體積可減少的二氧化碳排放量，惟建請研究團隊能以一般混凝土高壓地磚用量替代後，換算為每年可減少之二氧化碳排放量，如此效益上會更顯著。 2. 本案對於高壓混泥土地磚售價僅依單一賣場售價，即訂出市場售價，建請多家訪價以得平均市場售價，據此作為本案研發產品成本比較基準，另研發產品預估市場售價為何？請說明，若能核計，應可作一精確的比較。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝建議，今年度首次將冷結技術應用與高壓地磚之開發，相關技術與產品性能並未完全成熟與穩定，俟相關技術與產品性能成熟與穩定後，將依據委員建議，進行冷結型高壓地磚減碳效益分析評估。 2. 謝謝建議，俟冷結型高壓地磚相關技術與產品性能成熟與穩定後，將依據委員建議，進行冷結型高壓地磚成本分析評估與市場售價預估之工作。
<p>陳教授 海曙</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案符合預定之目標。 2. 有關本案所開發之輕質隔熱水泥 (AAC) 技術，鑑於技術轉移直接影響未來推廣應用之效益，故建請研究團隊能在技術轉移之方式與條件再補充說明，以利成功量產。 3. 本案在推廣應用上，除運用再生循環技術開發建材與法規面之使用比例提高外，另建請未來能採實際案例示範作為推廣之重點，則對於該推廣更能落實效益。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝支持與肯定。 2. 謝謝建議，俟輕質隔熱水泥 (AAC) 相關技術與產品性能成熟穩定後，將根據所內相關規定辦理專利申請與後續技術轉移之相關工作。 3. 謝謝建議，本年度計畫所辦理之推廣說明會已安排現場實例觀摩。未來計畫將儘量考量實例示範，以落實市場應用。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案開發之 AAC 製程探討中比重、抗壓強度分別為以 10 atm、蒸氣養護 8 小時，與 12 atm、蒸氣養護 12 小時，實際製造時將以何者為主，成本差異為何？請說明。 2. 對於冷結型地磚之成本計算，採用能源局資料與本研究是否一致，請說明。 3. 本案報告書 P.50 之 793.5 kg/m^3 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案開發之 AAC 製程歸納最適蒸壓養護條件為蒸氣壓力 12 atm、養護時間 16 小時。實際製造之養護時間可隨需求調整，一般養護時間約為 10~18 小時。成本差異方面，本研究現階段並無相關數據資料得以詳細評估。大致上養護時間延長將增加蒸氣製造成本(電能或燃料等)，以及出

<p>黃技師 克修</p>	<p>單位有誤及 P.60 之惠普公司之介紹重複出現，請補正。</p> <p>4. 關鍵字如 AAC，建議於文中首次出現時加註全英文對照即可。</p>	<p>貨時間及物料堆存等附加成本。</p> <p>2. 謝謝建議，本研究所開發的新型再生綠建材，其成本計算主要依據「營建物價指數」中之原料價格；而 CO₂ 排放計算則依據經濟部能源局所公告之相關參數。</p> <p>3. 感謝委員的指正，有關報告中誤植或錯誤的部分，已於成果報告中完成修正。</p> <p>4. 感謝委員的建議，有關報告中字首縮寫字之加註已於成果報告中完成修正。</p>
<p>張教授 又升</p>	<p>1. 本案開發之冷結型高壓混凝土磚其實際應用，鑑於產業與實驗室條件不同，建議直接以產業生產線來考量，包含拌合設備，含水率與穩定度等，俾利產業直接運用。</p> <p>2. 探討產業量產時，建請考慮成本，包括生產所需之設備、模具、養護、空間及產品銷售等效益。</p> <p>3. 建請提升本案開發之產品的抗壓強度。</p>	<p>1. 謝謝指教，目前冷結型高壓磚開發工作項目中所探討之相關參數(拌合程序、含水率等)雖然是在實驗室中完成，但是以產業實際生產線為主要考量依據。</p> <p>2. 謝謝建議，於後續研究中待冷結型高壓地磚相關技術與產品性能成熟與穩定後，將依據委員建議，進行冷結型高壓地磚更細部的成本分析評估之工作。</p> <p>3. 謝謝建議，今年度首次採用營建剩餘土石方開發成為 AAC 與高壓地磚之開發，因此相關技術與產品性能並未完全成熟與穩定，於後續研究中將持續進行 AAC 與高壓地磚相關技術與產品性能之精進改善工作。</p>
	<p>1. 本案開發之輕質隔熱再生建材用途廣泛，惟其成本如何，是否有競爭力？請說明。</p> <p>2. 另開發之冷結高壓地磚具有</p>	<p>1. 目前國內類似之輕質隔熱建材多自國外進口，材料成本較高。但此類輕質隔熱建材施作所需工期較短，可大幅降低人</p>

<p>蕭教授 江碧</p>	<p>成本競爭力，可使用於戶外，惟其耐久性如何？請補充說明。</p> <p>3. 目前本案再生綠建材廠商所列舉之產品是否符合需求？其產品是否為本研究案之成果？而本案研究產品占現有再生綠建材比例又如何？請說明。</p>	<p>力成本，故整體所需之工程費用與傳統磚材隔間相近。若未來此類建材可提高本地生產之比例，並應用再生原料，應可大幅降低材料成本，提高產品競爭力。</p> <p>2. 冷結型高壓地磚組成材料與前期冷結型再生粒料相同，前期研究中已依據 CNS 1240 完成冷結型再生粒料所有性能測試，其耐磨與耐久性能均符合規範要求，於後續研究中亦將針對冷結型高壓地磚之耐磨與耐久性能進行驗證。</p> <p>3. 本計畫係針對目前取得再生綠建材標章之產品，進行廣泛全面性之調查，不以本身所開發之產品為限。研究團隊皆曾對於高壓地磚、再生粒料等業者進行輔導。</p>
<p>廖組長 慧燕</p>	<p>1. 本案開發之輕質隔熱再生建材 (AAC)，若技術成熟後，是否可馬上商業化並進入量產，及在量產過程中是否需修正部分變因，如配比會因地區廢棄物原料不同而需修正等，請說明。</p>	<p>1. 本案開發之之輕質隔熱再生建材 (AAC) 待技術成熟後，應可進入量產階段。惟目前國內尚無製造 AAC 之實廠，技術轉移有待有意願之廠商投入設廠。部分製程變因於量產過程中可能需要修正，廢棄物等原料亦可依據其組成加以調配，應為工程實務上可克服之問題。</p>
	<p>1. 本案研究重點是透過再生利用方式進行建築廢棄物減量，惟由再生綠建材減廢效益評估資料中，發現再生綠建材業者實際採用建築廢棄物為原料使用者卻不多，請說明。</p> <p>2. 本案所開發之輕質隔熱再生建材、冷結型高壓地磚等產品</p>	<p>1. 謝謝指教。再生綠建材業者如高壓混凝土磚、普通磚、再生粒料等，所使用之再生材料皆以營建廢棄物為主，但仍可使用大量之事業廢棄物。以俊行記公司之再生普通磚為例，雖可使用廢玻璃、自來水廠污泥等，但整體而言，營建廢棄物</p>

<p>主席 陳副所長 瑞鈴</p>	<p>效益優異，如輕質隔熱再生建材除質輕且隔熱性能遠比其他建材顯著，惟是否有業者願意量產？請說明。</p>	<p>之使用比率仍高達 90 % 以上，減廢效益極高。</p> <p>2. 謝謝指教，將遵照辦理。今年度本案所開發之之輕質隔熱再生建材、冷結型高壓地磚均屬創新研究，於後續研究中將持續進行產品相關技術與產品性能之精進改善工作，俟相關技術與產品性能成熟與穩定後，必將與相關業者合作量產，並將其實際應用於相關工程，以落實開發後之推廣成效。</p>
---------------------------	---	--

參考書目

1. Wittman, F. H., "Advances in autoclaved aerated concrete," Proceedings of the 3rd RILEM international symposium on autoclaved aerated concrete, 1992.
2. 黃榮堯,「建築拆除污染及廢棄物產生現況與調查架構研究」,內政部建築研究所專題研究計畫成果報告,1998。
3. 章裕民、陳永成,「建築施工過程污染及廢棄物產生現況與調查架構研究」,內政部建築研究所專題研究計畫成果報告,1998。
4. 內政部營建署及工業技術研究院能源與資源研究所,「營建剩餘土石方資訊服務中心」網站,(<http://140.96.175.34/spoil/>)。
5. 周順安,「營建剩餘土石方資源再利用之探討」,營建剩餘土石方資訊服務中心,1998。
6. 黃兆龍,「再生混凝土應用於漁港工程的工程性質之分析」,再生粒料混凝土再利用於漁港工程研討會,2006。
7. 楊盛行、林正芳、王繼國,「廢棄物處理與再利用」,國立空中大學,台北,2003。
8. 施國欽,「大地工程學(一)土壤力學篇」,文笙書局,台北,2005。
9. 吳東昇,「地工織物疏浚淤泥之力學性質研究」,國立成功大學碩士論文,2002。
10. 顏聰、陳冠宏,「輕質骨材混凝土之力學性質」,輕質骨材混凝土會刊第一期,pp.27-41,2004。
11. 顏聰、陳冠宏,「輕質骨材混凝土之力學性質」,輕質骨材混凝土會刊第一期,pp.27-41,2004。
12. 洪盟峰、黃兆龍、顏聰、蕭江碧、陳豪吉、王和源、葉祥海,2005,「台灣水庫淤泥燒製輕質骨材可行性之探討」,中國土木工程學刊,Vol.17, No.3, pp.413-424, 2005。
13. Hung, M. F., Hwang, C. L., "Study of fine sediments for making lightweight aggregate," Waste Management & Research, Vol25, No5, pp449-456, 2007.
14. Tu, T. Y., Chen, Y. Y., Hwang, C. L., "Properties of HPC with recycled aggregates", Cement and Concrete Research, Vol.36, No.5, pp.943-950, 2005.
15. 林志棟、黃琮荏,「廢棄混凝土資源再利用推動策略」,再生粒料應用於預拌混凝土研討會,國立中央大學土木工程研究所,pp.1-20,2004。
16. 郭家祥,「營建廢棄物資源化再生材料市場建構與管制」,綠營建材料再利用再生系列研討會,國立中央大學土木工程研究所,pp.189-213,2005。
17. 劉佳鈞,「營建工程全回收零廢政策與展望」,綠營建材料再利用再生系列研討會,國立中央大學土木工程研究所,pp.27-44,2005。
18. 行政院環境保護署,「土壤污染管制標準」,2011。
19. Kohler, N., "Global energetic budget of aerated concrete," In: Wittmann, F. H. (Ed.)

- “Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties,” New York: Elsevier, 1983.
20. Mitsuda, T., Sasaki, K., and Ishida, H. “Phase evolution during autoclaving process of aerated concrete,” *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 75, No. 7, pp. 1858-1863, 1992.
 21. Narayanan, N. and Ramamurthy, K., “Microstructural investigation on aerated concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, No. 3, pp. 457-464, 2000.
 22. Mostafa, N. Y., Shaltout, A. A., Omar, H., and Abo-El-Enein, S. A., “Hydrothermal synthesis and characterization of aluminium and sulfate substituted 1.1 nm tobermorites”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 467, No. 1, pp. 332-337, 2009.
 23. Kurama, H., Topcu, I. B., and Karakurt, C., “Properties of the autoclaved aerated concrete produced from coal bottom ash”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, No. 2, pp. 767-773, 2009.
 24. Isu, N., Teramura, S., Ishida, H., and Mitsuda, T., “Influence of quartz particle size on the chemical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete (II) tobermorite formation”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 249-254, 1995.
 25. Isu, N., Ishida, H., and Mitsuda, T., “Influence of quartz particle size on the chemical and mechanical properties of autoclaved aerated concrete (I) tobermorite formation”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 243-248, 1995.
 26. 施文和、黃尊澤,「再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例」,內政部建築研究所自行研究報告,2010。
 27. Mindess, S. and J. F. Young, “Concrete,” Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1981.
 28. Mehta, P. K., “Concrete-Structure, Properties, and Materials,” Prentice-Hall Inc., Englewood-Cliffs, N.J., 1986.
 29. 黃兆龍,「混凝土性質與行為」,詹氏書局,台北,2002。
 30. Mangat, P. S., and J. M. Khatib, “Influence of Fly Ash, Silica Fume, and Slag on Sulfate Resistance of Concrete,” *ACI Material Journal*, Vol. 92, No. 5, pp. 542-552, 1995.
 31. Mehta, P. K., ”Pozzolanic and Cementitious By Products as Mineral Admixtures for Concrete A Critical Review,” *First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-products in Concrete*, pp. 1-46, Canada, 1983.
 32. Bouzoubaâ, N., and V. M. Malhotra, “Performance of Lab-Produced High-Volume Fly ash Blended Cements in Concrete,” *Concrete International*, Vol. 23, No. 4, pp. 31-35, 2001.
 33. Lea, F. M., *The Chemistry of Cement and Concrete*, Edward Arnold, London, 1980.
 34. 楊明恭,「中鋼公司高爐熟料之生產及品管狀況簡介」,卜特蘭水泥摻用高爐熟料研

- 討會論文輯，第 30-39 頁，台北，1984。
35. 黃兆龍、王和源、沈得縣、蘇南、林維明、林平全，「公共工程混凝土使用爐石水泥之可行性評估」，行政院公共工程委員會，國立台灣科技大學，1999。
 36. Balaguru, P., and V. Ramakrishnan, “Properties of Fiber Reinforced Concrete: Workability, Behavior Under Long-Term Loading, and Air-Void Characteristics,” *ACI Materials Journal*, Vol. 85, No. 3, pp. 189-196, 1988.
 37. Tsai, C. T., L. S. Li, C. C. Chang, and C. L. Hwang, “Durability Design Consideration and Application of Steel Fiber Reinforced Concrete in Taiwan,” *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 34, No. 1B, pp. 57-79, 2009.
 38. Tsai, C. T., G. T. C. Kung, and C. L. Hwang, “Use of high performance concrete on rigid pavement construction for exclusive bus lanes,” *Journal of Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 5, pp. 732-740, 2010.
 39. 黃兆龍，「高性能混凝土理論與實務」，台北，詹氏書局，2003。
 40. Tsai, C. T., L. S. Li, and C. L. Hwang, “The Effect of Aggregate Gradation on Engineering Properties of High Performance Concrete,” *Journal of ASTM International*, Vol. 3, No. 3, 2006.
 41. 張祖恩、陳文卿、蔡志達、龔東慶、陳宏達、張建智、于寧、廖錦聰、陳宏仁、吳志庭，「再生綠建材開發與推廣應用計畫（一）」期末報告，內政部建築研究所，2008。
 42. 張祖恩、陳文卿、蔡志達、龔東慶、陳宏達、張建智、龔佩怡、黃詠華、于寧、車明道、廖錦聰、吳志庭、梁永瑩，「再生綠建材開發與推廣應用計畫（二）」期末報告，內政部建築研究所，2009。
 43. 張祖恩、陳文卿、蔡志達、龔東慶、張建智、于寧、車明道、毛景超、梁永瑩、范牧民，「再生綠建材開發與推廣應用計畫（三）」期末報告，內政部建築研究所，2010。
 44. 「綠建材解說與評估手冊 2007 年更新版」，第 51-52 頁，台北，內政部建築研究所，2009。
 45. Holitz, R. D. and W. D. Kovacs, “An Introduction to Geotechnical Engineering,” Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1986.
 46. 內政部營建署，<http://www.cpami.gov.tw/>。
 47. 內政部營建署，「營建剩餘土石方處理政策」簡報資料，2009。
 48. 內政部營建署，「市區自行車道系統建置示範計畫」簡報資料，2008。
 49. 行政院環保署，<http://www.epa.gov.tw/>。
 50. 江哲銘，林慶元，「擴大綠建材標章制度推動補助計畫」，內政部建築研究所，台北，2006。
 51. 姚志廷，「綠建材市場調查與產業分析研究」，內政部建築研究所，台北，2006。
 52. 姚志廷，蕭良豪，「綠建材產業分析及管理機制之研究」，中華民國建築學會「建築

學報 66 期增刊(技術專刊)」，35-46 頁，2008。

53. 陳文卿等人，「再生綠建材技術開發與推廣應用補助研究報告」，內政部建築研究所，台北，2005。
54. 黃榮堯等人，「推動縣市執行營建資源回收再利用計畫期末報告」，行政院環境保護署，台北，2008。
55. 經濟部工業局網站，<http://www.moeaidb.gov.tw/>。