

內政部建築研究所



研究計畫成果報告

建築廢棄物之再利用技術開發

- 廢棄混凝土塊再利用

計畫主持人：陳文卿

共同主持人：陳志恆

研究單位：財團法人工業技術研究院

能源與資源研究所

委託單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS891012

執行期程：八十八年十月至八十九年十月

中華民國八十九年十月三十日

內政部建築研究所研究計畫成果報告

建築廢棄物之再利用技術開發

- 廢棄混凝土塊再利用

計畫主持人：陳文卿

共同主持人：陳志恆

研究單位：財團法人工業技術研究院
能源與資源研究所

委託單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS891012

執行期程：八十八年十月至八十九年十月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

**Development of Recycling Technology of
Construction Wastes**
-Re-utilization of Waste Concrete

BY

BIH-SHYONG HUANG

FONG-RU YANG

JYH-HERNG CHEN

WEN-CHING CHEN

October 30, 2000

摘要

關鍵詞：建築廢棄物、綠建築、高壓混凝土磚、骨材級配料

在建築物於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，均會對環境造成不同程度的污染。根據國外統計資料，建築廢棄物約佔一般都市廢棄物的 10%，以國內目前現況而言，這些廢棄物最後往往與都市垃圾同時進入都市垃圾處理系統(如掩埋、焚化等)，造成廢棄物處理體系的超荷負擔，因此必需尋求更妥善之處理方式，例如再利用等途徑，以解決建築廢棄物的處理問題。

就資源材料的觀點而言，建築廢棄物中有許多可回收再利用之材料，如能將其再利用，將可減少原生資源之開發，同時達到建築物永續利用之積極目標。本計畫即根據上述永續發展之理念以及綠建築的觀點來研究建築廢棄物再利用技術。根據綠建築之定義：在建築物生命週期中（例如：生產、規劃、施工、使用、管理及拆除過程），以最節約能源、最有效利用資源的方式，在最低環境負荷的情況下，提供最安全、健康、效率及舒適的居住空間，達到人及建築物與環境共生共榮、永續發展之目的。因此，綠建築的推動為迎合世界環保潮流，確保地球生態永續發展的具體作法之一。就建築廢棄物而言，其中所含之各種建築材料多為可再利用之資源，特別是混凝土塊與磚塊，如果能有效的再利用，將可以直接減少廢棄物對環境所造成之衝擊，同時可以間接減少新資源的開採及開採所衍生之環境問題。建築廢棄物再利用為建築材料，完全可符合綠建築之定義。

鑑於建築廢棄物之種類複雜，本計畫主要探討混凝土塊與磚塊之回收再利用技術，回收再利用之產品主要是將建築廢棄混凝土與磚塊開發應用於產製具商業性的高壓混凝土磚產品。營建廢棄混凝土物質，包含廢陶瓷面磚、破損紅磚以及廢混凝土等，這些廢棄物首先經

由粉碎、篩分製成各種適合的骨材級配料，再經由混凝土原料配比、高壓成型、養護處理、產品物性測試與改善等一系列的技術研發，將廢棄混凝土物開發製作成具有商業化特點的高壓混凝土磚塊，產品包括：外牆磚、庭園造景磚、植草磚、透水磚等。本研究並將與相關廠商進行各項新開發產品之實廠試製，暨藉由此評估新型產品之實際操作成本，並獲得放大實驗之重要經驗與操作參數。本計畫將針對所研發之資源化產品之市場定位與經濟效益進行評估，以促進所開發的營建混凝土廢棄物再資源化利用技術能具有商業化運作的可行性。

此外，由於本計畫執行伊始，不幸發生 921 大地震，一時之間在南投、臺中地區所產生的龐大建築廢棄物量即遠超過平常每年全國所產生之總量，更凸顯以往國內未建立良好的建築廢棄物機制之遺憾。故本研究團隊配合本計畫執行之便，於計畫執行期間走訪災區，瞭解各機關之做法，而完成 921 震災建築廢棄物資源化處理建議，以供各有關機關參考。

ABSTRACT

Keywords: Construction materials, green construction, high-pressured concrete, aggregate materials

The life cycle of construction creates substantial environmental impact in varied degrees in terms of resources exploitation and manufacturing of construction materials, construction work, its daily use and demolish to disposition, etc.. The concerned foreign data indicates that construction wastes account for 10% of industrial wastes. The said domestic wastes often end in municiple waste management system(e.g. landfill, incineration,etc.) together with industrial wastes, resulting into overbearing of waste management system. In light of this, looking for appropriate and better management of construction wastes, such as its re-utilization, will be our major concern.

As far as resources materials are concerned, construction wastes composes materials which can be recycled and re-utilized. It not only lessens the development of original resources, but also achieves sustainable re-utilization of construction materials. Based on such concept and green construction, this project aims at the re-utilization technology of construction materials. The definition of green construction: in terms of construction life cycle(e.g., production, planning, working, consumption, management and demolishing process), it is to apply the most energy-conservation approach and most efficient use of resources, under the least burden on the environment, to implement harmonious coexistence and sustainable development among humans, construction and the environment. As such, the launch of green construction is one of major means to cope with the worldwide uprising awareness of environmental conservation, and to ensure ecological sustainable development on earth. On the other hand, most construction materials can be re-utilized, i.e. concrete and bricks, and will

substantially decrease the negative impact on the environment; in the meantime, the exploitation of new resources and environmental problems created from it will be greatly reduced. As stated above, the re-utilization of construction waste materials could fully match the vision of green construction.

In view of various composition of construction wastes, the project focused on the recycling and re-utilization of waste concrete and brick, to the effect that the said waste can be developed into commercialized concrete brick product. Construction wastes, such as ceramic brick, broken red brick and waste concrete, undergo crushing and screening to make up standard aggregate materials, then develop it into commercialized high-pressured concrete brick via a series of technological development ratio count of concrete materials, high-pressured forming, aging treatment, product examination of physical property and improvements. The developed products include outer-wall brick, court brick, grass-planted brick, water-transparency brick, etc.. This research will also cooperate with concerned industries to develop and test products in factory in order to estimate operation costs as well as serve as an important experience and obtain operation parameter in large-scale experiment, with the hope that the resources-utilization technology of construction concrete wastes can be adapted for commercialized operation.

After 921 earthquake, the affected Nantou and Taichung areas generated large amounts of construction wastes, exceeding the total amount of annual production. In the wake of the lack of domestic construction-waste management mechanism, researchers working on this project will visit the distressed areas and gather handling measures adopting by concerned agencies in order to map out program of resources recycling of 921 post-earthquake construction wastes for the concerned authorities.

目次

摘要	I
ABSTRACT	III
圖目錄	VII
表目錄	VIII
照片目錄	IX
第一章 計畫緣起	1
1.1 建築廢棄物問題解析.....	1
1.1.1 九二一震災之影響.....	1
1.1.2 砂石原料之不足.....	2
1.1.3 綠色建築的趨勢與潮流	3
1.1.4 環境保護的問題.....	3
1.2 建築廢棄物之產生與現況	5
1.2.1 營建材料之種類與特性 ⁽⁶⁾	5
1.2.2 我國建築廢棄物之現況及組成	6
1.2.3 建築廢棄物回收再利用途徑	8
第二章 計畫目標	11
第三章 實施方法	12
第四章 結果與討論	18
4.1 建築廢棄物資源化之分類分選	18
4.2 各種資源化再利用之途徑	21
4.3 建築廢棄物混凝土物質製備高壓地磚	25
4.3.1 建築廢棄物混凝土塊與磚塊之破碎與粒徑分析	27
4.3.2 建築廢棄物作為骨材之性質探討	31
4.3.3 高壓混凝土磚之製備	34
4.4 建築廢棄物製備混凝土磚之實廠試製	47

第五章 921 震災建築廢棄物資源化處理建議	55
5.1 現況說明與問題分析:	55
5.2 各建築廢棄物堆置場之改善建議	56
5.3 建築廢棄物資源化工作推動之建議	59
5.5 建築廢棄物資源化範例	64
5.6 建議:.....	66
第六章 結論與建議	67
參考資料	69
期末報告審查意見	71
期中報告審查意見	74

圖目錄

圖一：建築廢棄物之組成.....	7
圖二：建築廢棄物回收再利用流程	12
圖三 建築廢棄混凝土塊產製高壓混凝土磚技術開發流程	15
圖四：業界配合工作架構.....	17
圖五、建築廢棄物資源化之處理流程	18
圖六 建築廢棄物分類處理面積配置圖	22
圖七、建築廢棄物應用於高壓混凝土磚製程流程圖	26
圖八 廢棄混凝土塊與磚塊磨碎成一公分骨材之粒徑分佈	29
圖九：添加飛灰及矽灰對抗壓強度的影響	45
圖十、分選設備主要流程.....	61

表目錄

表一：C&D 廢棄物回收之市場分析(美國) ⁽⁷⁾	10
表二：可直接回收再利用之 C&D 材料.....	10
表三、市售各種高壓混凝土磚規格表	14
表四、傳統窯燒陶瓷磚與高壓混凝土磚差異比較	14
表五、一般鋪築道路之瀝青混凝土骨材(2 公分以下)級配之規範	23
表六、混凝土製品骨材(小於 1.0 公分)級配之規範:	23
表七：國內高壓混凝土磚生產量預估統計表	27
表八、高壓混凝土磚(20L×10W×6Hcm)骨材成份	29
表九：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之比重(測試法 CNS488).....	33
表十：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之吸水率(測試法 CNS488).....	33
表十一：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之洛杉磯磨耗實驗(CNS490)	33
表十二：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之硫酸鈉健性損耗 (CNS-A3032 , 3034).....	34
表十三：建築廢棄物製磚技術開發實驗組成	37
表十四：高壓地磚混凝土水灰比對抗壓強度之影響	38
表十五：高壓混凝土磚.....	42
表十六：七天與二十八天養生期對抗壓強度之影響	42
表十七：各種濃縮矽灰的平均化學成份(%) ⁽¹⁶⁾	43
表十八：高壓混凝土磚配比	44
表十九：矽灰添加對抗壓強度之影響	44
表二十：添加紅磚最適合的配比及其強度	46
表二十二：實廠試製產品之測試	53
表二十三、高壓混凝土人行步道磚成本分析表	54
表二十四、國內外建築廢棄物資源再利用發展現況	67

照片目錄

照片 4.1：建築廢棄磚塊之破碎篩分	30
照片 4.2：建築廢棄物磚塊之破碎與粒徑分佈	30
照片 4.3：高壓地磚壓製情形	39
照片 4.4：高壓地磚壓製成型	39
照片 4.5：含磚塊及不含磚塊之高壓地磚成品養生情形	40
照片 4.6：高壓地磚成品.....	40
照片 4.7：岩石 200ton 油壓壓縮機	41
照片 4.8：經抗壓強度測試後之樣品	41
照片 4.9：骨材輸送情形.....	48
照片 4.10：骨材輸送情形（上視）	48
照片 4.11：骨材混拌情形.....	49
照片 4.12：以漏斗進料（骨材）情形	49
照片 4.13：高壓製磚情形.....	50
照片 4.14：成型磚輸送情形	50
照片 4.15：實廠製作情形.....	51
照片 4.16：成品養生情形.....	51
照片 4.17：再生高壓磚養生	52
照片 4.18：500 公斤高壓磚實品	52

第一章 計畫緣起

1.1 建築廢棄物問題解析

臺灣地區地小人稠，廢棄物的處理一直為政府主管機關與社會大眾所關切之問題。近年來更由於新的掩埋場址不易取得，舊有之掩埋場面臨飽和，使得建築廢棄物遭隨意棄置之問題更不斷發生，急待尋求解決方法。特別是去年921大地震之後，更突顯建築廢棄物如何有效處理之重要性與急迫性。依據環保署中部辦公室預估921大地震所產生之建築廢棄物總量高達三千萬噸，這些大量之建築廢棄物在政府主管機關與各界之努力下，大部份均已獲得妥善之處理。然而921大地震所彰顯之建築廢棄物處理問題，屬於偶發之緊急事件，其對於建築廢棄物的處理策略與模式，主要著重於如何快速有效的將建築廢棄物自災區中清除處理，此方面的研究已分別由臺灣營建研究院、工研院能資所及其他相關單位，研提出解決策略與方法⁽¹⁾⁽²⁾。至於因除了震災所衍生之建築廢棄物處理問題外，長期以來建築廢棄物的回收再利用，仍然由於國內砂石原料之不足、綠色建築的趨勢與潮流及環境保護的要求等，仍面臨著急待解決之問題。

1.1.1 九二一震災之影響

九二一大地震後災區因倒塌拆除之建築廢棄物數量龐大，根據環保署中部辦公室資料顯示約達3,000萬噸左右，相當於國內平常每年所產生量之兩倍左右。這些建築廢棄物，於震災發生後暫時堆置在93個堆置場中，目前已逐步的完成處理。對於具安全顧慮之臨時堆置場採取立即移除，並作為填方使用；而對於可暫時堆置之堆置場，由於無立即處置之壓力，因此採用逐步處理回收建築廢棄物的策略。921大地震所產生之建築廢棄物問題更彰顯「建築廢棄物的處理再利用」議題之重要性。在日本，由於過去就曾努力於建築廢棄物資源化工作

的推動，因此在阪神地震後對於善後的工作可以有條不紊的進行，而建築廢棄物資源化是各界所認同之主要處理途徑。反觀我國目前由於缺乏建築廢棄物再生利用之機制與作法，至使對於如921大地震之天然災害，缺乏妥善之應變作法，因此盼透過本計畫之執行，能建立建築廢棄物再利用之妥善處理模式。

1.1.2 砂石原料之不足

臺灣地區近年來由於經濟社會的快速發展，已邁入現代化國家的行列。由於人口集中與都市化的結果，一般營造建築工程及交通運輸等重大公共工程日益增加。這些重大工程的進行，對國內砂石資源的需求與分配，以及衍生出來的環保問題，均有重大的影響。根據統計⁽³⁾，國內每年砂石的需求量約有10,000萬立方公尺，由於中部主要河川已實施禁採，再加上南部的高屏溪進行全面整治，國內砂石的來源受到限制，因此國內營建工程對於砂石的需求十分殷切。如何尋求砂石資源的來源或砂石之替代方法，已成為刻不容緩的問題。由於砂石來源不足，近年來常常發生之違法案件層出不窮，例如盜採農地砂石後回填廢棄物，不僅造成農地生態的嚴重破壞，所回填之廢棄物甚而對土地資源造成永久污染問題。

建築廢棄物再利用與營建廢棄土再利用為解決砂石來源不足的途徑之一。國內重大工程施工所產生之廢棄土石數量十分龐大⁽⁴⁾，據估計台北都會區每年產出廢棄土方約一千萬立方米，高雄都會區每年產出約五百萬立方米，臺灣省地區每年產生廢棄土方約為二千三百萬立方米，合計為三千八百七十八萬立方米。這些龐大的廢棄土方的如能有效的再利用為建築資材，可有效解決國內砂石不足之問題。

1.1.3 綠色建築的趨勢與潮流

從綠建築之觀點，建築物在建築物生命週期中（生產、規劃、施工、使用、管理及拆除過程），應以最節約能源、最有效利用資源的方式，在最低環境負荷情況下，提供最安全、健康、效率及舒適的居住空間。綠建築的推動已成為世界環保潮流，亦已成為我國營建管理之重要政策。而建築廢棄物再利用為建築材料，完全可符合綠建築之定義。

建築資源所涵蓋的範圍相當廣泛，包括了建築材料、建築用地、施工機具、人力、設備、資金等等，均可以說是建築資源的一種。就建築物的主結構而言，建築資源所涵蓋的範圍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。

本研究以綠建築觀念為研究架構規劃藍圖，在建築資源範疇的界定方面，主要是從建築材料之觀點出發，並以建築物主結構中所不可或缺的砂石骨材、水泥、混凝土、磚塊為主要之研究範疇；至於利用科技之範疇，則將"有效利用"與"回收再生"兩個層次同時納入，探討各項主要的建築資源材料之使用現況與回收科技。

本計畫所研發之技術將從環境與資源的整體觀點來減低並預防建築開發過程對環境所造成污染，達成建築開發與環境共生之目標。

1.1.4 環境保護的問題

目前由於事業廢棄物之產生量十分龐大，每年保守估計約2000萬噸，其處理十分棘手，環保部門與工業部門早已體認其嚴重性，故

大力推動減廢與資源化工作，以期減少廢棄物之產生。建築部門之廢棄物雖大多屬於無害廢棄物，但其數量每年至少亦達1000萬噸以上(不含廢棄土)數量相當龐大，如果未能妥善規劃處理方式亦將加深環境的負荷。另一方面公共工程建設、都市更新與新建建築物，每年所需要的建築基本原料皆十分龐大，這些原料如果還是無止盡地取材於山林、溪谷，對於整體環境、生態的戕害將極深遠。因此儘量使用回收建材極為重要，也就是應推動建築廢棄物資源化，要求建築物儘量使用環保建材，降低建築物施工對於原材料的取用，因此加強環保建材之研發是極為重要的工作。

1.2 建築廢棄物之產生與現況

臺灣地區建築廢棄物的組成與產量，已有相關研究可供參考，本研究僅參考相關研究成果，不另行進行統計推估。現謹就本計畫相關議題說明於后。

1.2.1 營建材料之種類與特性⁽⁶⁾

一般而言，營建材料依照用途分類可以多種方式來分類；如果以用途來分類可以分為構造主體材料及裝修用材二類。所謂構造主體材料乃用來組構成結構物之主體，如鋼筋、混凝土、木材、石材等；而裝修乃用於非構成結構物主體但附著於主構造物構成裝飾、美觀、舒適之用，如薄石板、油漆、磁磚等。此外，建材又可依照產生之方式來分類，如天然及人造兩大類材料。而依照化學組成來分類，則又可分為有機及無機兩類；而無機材料又可再細分為金屬及非金屬材料。最後，建材又可依照其組成元素分類為三大類，即陶土類 (Ceramics)、金屬類 (Metals) 及有機物類 (organics)。

(一) 陶土類:

各類石材或土壤礦物的化合物。例如，岩石、黏土、砂、石灰、玻璃、水泥、混凝土等。陶土材料的原料皆來自地殼表面的岩石和土壤，所以取得容易，且相當便宜。這類材料有個明顯的特性，即非常堅硬且耐用，所以雖然目前已經出現了許多的人造材料，但相信本類材料在未來依然會被繼續選用。陶土材料的缺點則是具脆性高、且重量較大，所以對於材料的應用範圍會因此而有所限制，並只能做為承受壓力之用。

(二) 金屬類:

也是取自天然的礦石，將這類金屬氧化物或硫化物加以冶煉而

得。例如：鐵、銅、鋁、鉛、鋼及各種合金等。金屬是將礦石經過冶煉過程而取得，所以一般價格上較貴。但金屬卻有其獨特的性質，如高延展性、硬度大，也有相當的穩定性。金屬在空氣中易腐蝕，而將其還原到最初的礦石態。在先進技術的應用下，某些合金（如不鏽鋼）變得較不易引起腐蝕作用。

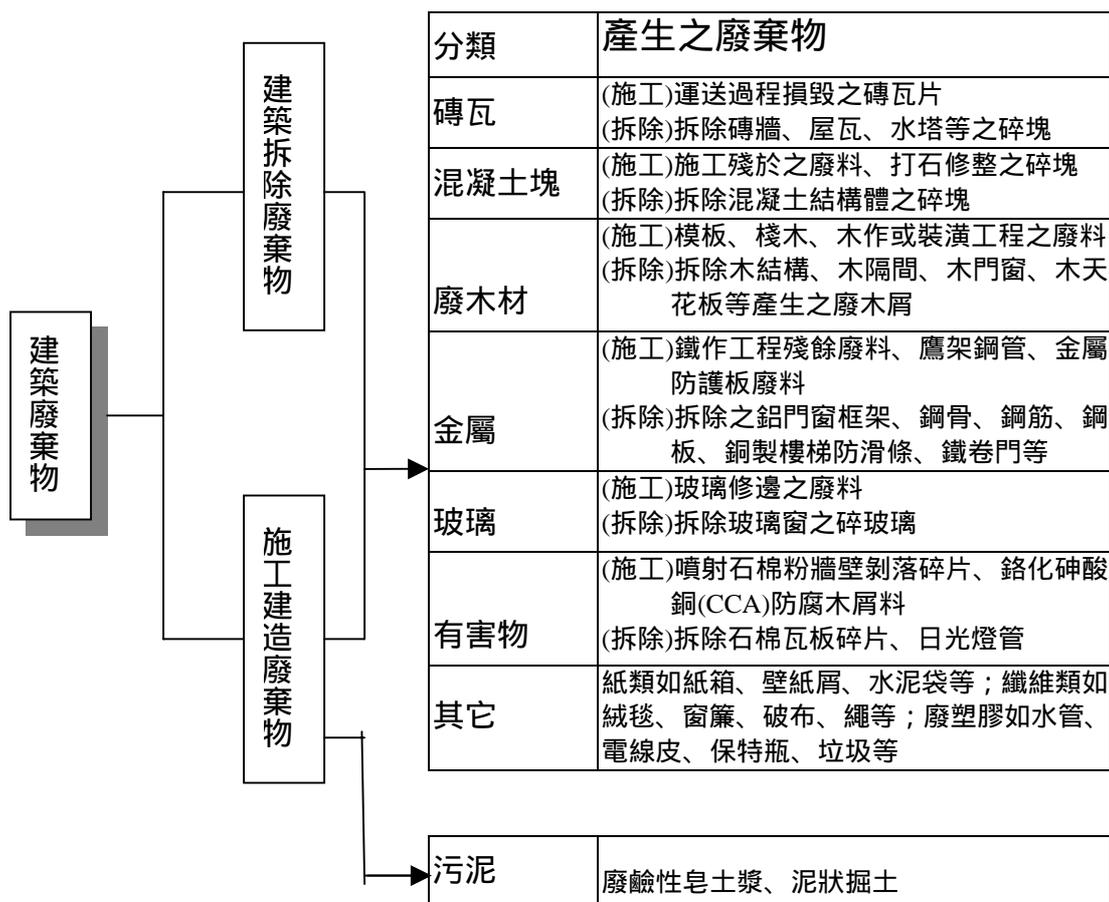
（三） 有機物類：

由各種不同的化學碳鍵合成的材料。例如：木材、瀝青、塑膠及橡膠等。有機物材料也可算是一種聚合材料，除了一般人們所熟悉的木材與瀝青外，大多有機材料是從二十世紀發展出來的。這類聚合材料具高延性、富變化性且質輕，所以新產品也不斷的研發並出現。然而，這類材料也有其缺點，如價格較高、強度低且穩定性差。

由以上分析資料可知，建築材料所涵蓋的範圍相當廣泛，包括砂石骨材、鋼筋、型鋼、水泥、混凝土、紅磚、面磚、木材、石材、玻璃、鋁門窗、PVC管等數千種建築材料。這些建築材料當建築物被拆掉重建時，也就成為建築廢棄物的組成。

1.2.2 我國建築廢棄物之現況及組成

建築廢棄物之分類基本上可分為建築拆除廢棄物與施工建造廢棄物兩類(圖一)，就組成而言包括：磚瓦、混凝土塊、廢木料、金屬、玻璃、有害物、其他等。根據國外統計資料顯示⁽⁷⁾，建築物中主要為混凝土(63.33%)、其次為木材(20%)、再其次為磚與黏土(15%)，至於金屬則約佔1.7%。



圖一：建築廢棄物之組成

至於國內目前建築廢棄物的產量與組成，根據財團法人臺灣營建研究所近期之研究資料(內政部建築研究所委辦計畫—建築物拆除污染物及廢棄物產生現況與調查架構研究)⁽⁸⁾，國內年產生之一般建築混凝土量約為639萬公噸，磚塊量約為347萬公噸。該研究報告指出，建築拆除廢棄物產生量，由於各縣市政府對該項資料並未有完善之資訊，僅高雄縣市之合法拆除資料較為完整，故上述之數量係依高雄縣市之統計資料加以推估臺灣地區建築廢棄物的產生量。其推估方法如下，高雄縣市之年建築廢棄物產生量及成分為：高雄市2,505,780公噸/年，其主要成份有混凝土塊1,211,604公噸/年、磚石類937,695公噸/年、廢銅鐵91,169公噸/年；高雄縣93,062公噸/年，主要有混

凝土塊58,478公噸/年、磚石類19,414公噸/年、廢鋼鐵9,961公噸/年。若以高雄縣市每人每年建築拆除廢棄物產生量分別依全國市級及縣級人口數推估，可推算出我國每年建築拆除廢棄物產生量約為11,622,433公噸/年，其中廢棄物之主要組成：混凝土塊為6,390,421公噸/年(約佔55%)、磚石類3,468,627公噸/年(約佔30%)、廢鋼鐵798,729公噸/年(約佔7%)。

至於這些廢棄物中有多少比例被再利用，則由於國內拆除業者，對拆除之建築廢棄物，一般均交由清運者處理，故對廢棄物流向不明。而清運者之處理方式，不外乎運往廢棄物處理場、需回填土地、垃圾場或掩埋場，這些處理方式於廢棄物之回收利用效益上，資訊較為缺乏。魏衍等人曾對建築廢棄物再利用現況做初步研究指出⁽⁹⁾，從資源有效利用角度比較高層建築中鋼材、混凝土與木模板的耗用，鋼骨鋼筋混凝土在三種資源使用量上皆比純鋼骨構造高，尤其混凝土與木模板的使用量分別是純鋼骨的3倍與24倍。而鋼筋混凝土構造在鋼材的使用量雖然略低於純鋼骨(93%)，但鋼材的回收利用體系較完備，且鋼筋混凝土構造的混凝土與木模板的使用量分別是純鋼骨的3倍與23倍。因此純鋼骨是效益最高且值得推廣的構造。至於混凝土再利用部份，根據本計畫實地訪查結果發現，目前砂石供應業者均有添加建築廢棄物所製之骨裁

1.2.3 建築廢棄物回收再利用途徑

建築拆除廢棄物之組成如前所述，包括瀝青、混凝土塊、廢磚瓦類、廢銅鐵（如銅筋、廢鐵、金屬）及其他裝潢建材（如木材類、塑膠類）等。根據國外研究資料之整理⁽⁷⁾，世界各國全年營建廢棄物產生量約佔所有廢棄物之比例之10%-30%左右。歐美日等先進國家對於建築廢棄物的回收再利用已推廣多年，由於建築技術、建築習慣與材質的偏好，資源回收再利用的情形略有差異。以美國為例，建築

廢棄物再利用的市場管道，就混凝土塊而言，主要回收作為建築骨材再利用(表一)⁽⁷⁾。而日本則主要作為建築及級配骨材、工程填方及土質改良、填海造地等。(表二)⁽⁷⁾為可回收材質之分析。相關研究指出⁽¹⁰⁾日本每年產生之建築廢棄物約佔全國廢棄物總量之20.6%，其中建築廢棄物部分佔55%，依據日本1995年之統計資料顯示，其建築廢棄物混凝土塊再生利用率為65%。若以國情以及生活習性，我國應與日本國較為相近。據此推論，依我國主要廢棄物之混凝土塊產生量6,390萬公噸/年之數據推估，則我國混凝土塊再生利用回收量可達4,154萬公噸。

混凝土回收部分，日本回收量約3700萬公噸，大約20%使用於道路級配，其餘80%為填方之用。雖然日本亦有訂定回收混凝土用於建築物之規範，但均因回收混凝土之吸水率變大，一般民眾對其使用於建築物上信心不足，無法接受，故回收使用情形並不良好。至於建築拆除廢棄物中回收之砂石，經以往實驗研究結果顯示，其使用再製之混凝土可能較原生混凝土差。例如同一配比下之彈性模數較小，孔隙率較大，膠結性較低以及強度及耐久性較差。

內政部建築研究所有關利用混凝土再生之研究⁽¹⁰⁾，係採用強度等級2000psi至5000psi之廢棄混凝土碎化後充當再生骨材，拌製成再生混凝土，並測試新拌混凝土性質與硬度，混凝土之各項工程或力學性質，與相同配比下之普通混凝土做比較。再生混凝土的配合設計大致與普通混凝土相同，根據國外相關研究結果顯示，若擬製造與普通混凝土相同坍度之再生混凝土，因骨材粒狀較差且表面粗糙，用水量須比同配比之普通混凝土增加10kg/m³或5%的用水量，且其製造之再生混凝土品質較粗糙，表面不易修飾。添加25%以上之天然砂將可改善其各項性質，完全使用天然砂之再生混凝土品質較好，工作性亦較佳。此外，相關試驗結果顯示，混凝土碎化後所得之再生骨材，粒型或各項物理性質皆符合一般混凝土骨材之要求，且在水灰比值介於0.5~0.7時，再生混凝土之各項工程或力學性質雖然較普通混凝土

差，但影響有限。足見採用再生骨材拌製混凝土，具有相當之可行性。

表一：C&D 廢棄物回收之市場分析(美國)⁽⁷⁾

材料	回收市場區隔
木材	1.燃料;2.新建材;3.裝璜;4.particle board
瀝青	鋪路材料
混凝土	1.建築骨材;2.築路骨材
粗石	1.建築骨材;2.築路骨材
紅磚	建築物面飾(decorative facades)
鋼筋、鋁	鋼品、鋁品

表二：可直接回收再利用之 C&D 材料

Material	原料
建築級原木	木材
金屬	鐵、非鐵
磁磚	黏土
紅磚	黏土
家電管線	銅鋁
水管線	銅

國外對再生混凝土之研究，自1970年即已開始，近年來又再度引起重視，可見其應仍具再生利用價值之潛力。而由以上結論得知，廢棄混凝土碎化後充當再生骨材，拌製成再生混凝土，具有相當之可行性。

第二章 計畫目標

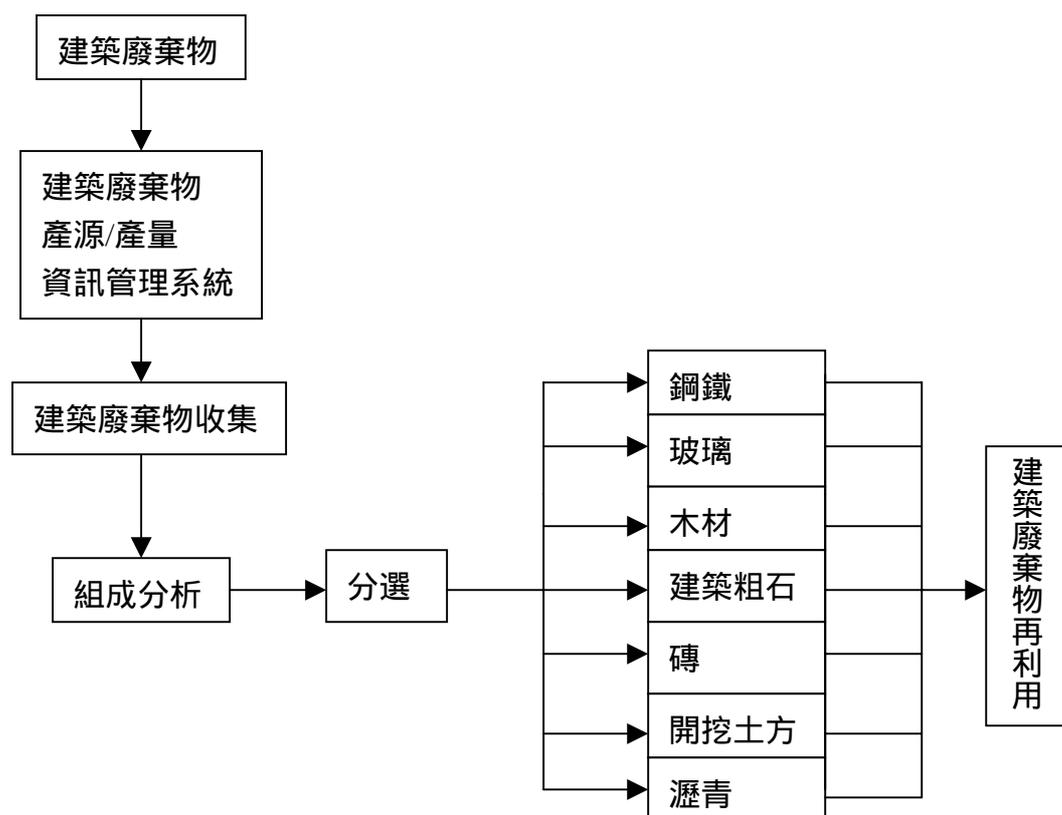
所謂環保建材廣義而言應為兼顧使用規範(如性能、美學及成本等)與環境關懷目的,以符合健康、生態、環保等要求之所有建築材料。也就是生命週期較長,可回收再利用,其生產、施工、使用、廢棄等各階段對於環境衝擊較小的建築材料。狹義而言是指建築物營建工程所使用來自廢棄物資源回收之材料(包括原素材及再製產品)。而此地所指的廢棄物其實更可包括建築業本身產生之廢棄物(如廢混凝土塊、磚石、廢金屬等物質)以及其他行業所產生之廢棄物經無害化、安定化及某種程度加工後的資源化產品。本計畫主要探討將建築廢棄物回收再利用為環保綠色建材的資源化技術。本計畫之目標為:

1. 推動並建立建築廢棄物資源化為環保建材之關鍵技術。
2. 解決建築廢棄物之處理問題。
3. 減少營建業對原材料之需求,降低對天然資源之開採,加強環境生態之保護。

此外,本計畫執行伊始,不幸發生921大地震,在南投、臺中地區所產生的龐大建築廢棄物量即遠超過平常每年全國所產生之總量,更凸顯以往國內未建立良好的建築廢棄物機制之遺憾。故本計畫特於原計畫目標之外另針對921震災建築廢棄物堆置場之現況研擬資源化處理之規畫,以供各有關機關參考。

第三章 實施方法

建築廢棄物回收再利用為一整合性的技術流程，為有效解決國內建築廢棄物的資源再利用問題，首先必需建立建築廢棄物的產源產量資訊管理體系，然後藉由技術開發，建立建築廢棄物之資源化技術，其實施步驟如圖二所示。



圖二：建築廢棄物回收再利用流程

建築廢棄物的資源再利用之完整流程包括：(1)建築廢棄物資訊管理系統(2)建築廢棄物清運收集系統(3)建築廢棄物組成分析(4)建築廢棄物分選(5)建築廢棄物再利用。本年度計畫主要研究廢棄混凝土塊進行資源化再利用之相關技術研究。

由內政部建築研究所先前針對混凝土廢棄料的回收研究結果顯

示⁽¹⁰⁾，廢棄混凝土經碎化後所得之再生骨材，其粒型或各項物理性質均能符合一般混凝土骨材之要求，本研究依據此結果進一步研擬將廢棄混凝土再生骨材應用於一般的混凝土產品，初步探討可能的市場應用包括：

- (一) 高壓混凝土磚
- (二) 預拌混凝土
- (三) 消波塊
- (四) 產業道路鋪設
- (五) 土方填補
- (六) 填海造地

在前述可能的再利用項目中，以高壓混凝土磚的附加價值最高(如下節所述)，且最符合營建廢棄物再循環利用於營建業的規劃，因此，本研究將著重於廢棄混凝土再生骨材應用於高壓混凝土磚相關產製技術的開發與可行性探討。

高壓混凝土磚塊材料，市場產品的應用範圍可包括外牆磚、庭園造景磚、植草磚、透水磚等產品。這些產品均屬於近年來新開發的室內外建築材料，主要著重於整體造型的美觀設計以及具有環保概念的實質用途，且隨著國內居住環境品質的日益提升，可以預期將會有相當良好的市場遠景。初步的訪查顯示，各項產品的市售規格相當繁多，典型的規格可概列如表三所示：

表三、市售各種高壓混凝土磚規格表

磚 別	典型規格 (L×W×H) 公分	物性規範	重量 公斤/塊	售價 元台幣 /塊
透水磚	24×12×6	抗壓強度:170Kg/cm ² 以上 透水系數:1*10 ⁻² cm/sec	4	12
外牆磚	39×9×9.5	抗壓強度:170Kg/cm ² 以上	7.5	15
植草磚	24×16×8	抗壓強度:210Kg/cm ² 以上	7	15
步道磚	22*11*6	抗壓強度:357Kg/cm ² 以上	3.3	10

由於高壓混凝土磚塊材料的產製過程並未經過高溫窯燒，其成本較一般經高溫燒成的陶瓷產品低廉甚多，就製程設備、能源耗用、原料使用、人力、環保特性等各方面而言，窯燒陶瓷磚與高壓混凝土磚的主要差異可概略分析比較如下。

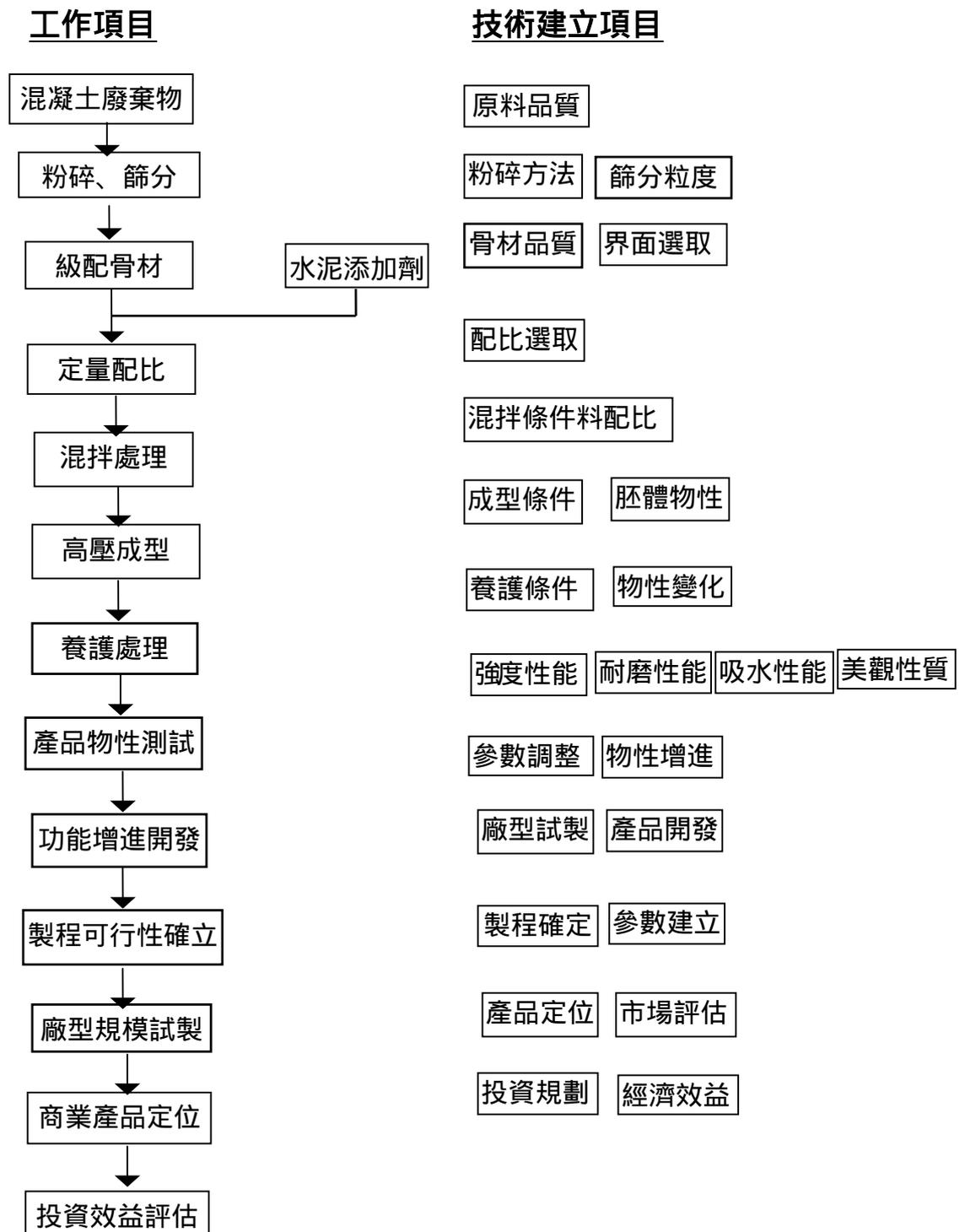
表四、傳統窯燒陶瓷磚與高壓混凝土磚差異比較

比較項目	窯業方式	混凝土磚方式
製程設備	破碎、球磨、篩分、噴霧乾燥、高壓成型、窯燒、切邊	破碎、篩分、混拌、高壓成型、熟成
能源	高溫窯燒	僅水泥部分較多
原料	較高成本的高嶺土、長石、黏土等	較低成本的水泥、沙石級配料
人力需求	製程繁雜人力需求大	製程簡單人力需求少
製程之環保問題	空氣污染問題	僅水泥部分較多

由上述的比較可明顯看出，就製程設備的簡單性、能源的耗用、原料的成本、人力的需求以及環保的污染防治等方面，高壓混凝土磚塊材料的產製均較窯燒方式的陶瓷磚具有較佳優勢。

本計畫研擬的營建廢棄混凝土產製高壓混凝土磚的技術開發工作架構如圖三所示，主要是將營建廢棄混凝土物質，包含廢陶瓷面磚、破損紅磚以及廢混凝土等，先經由粉碎、篩分製成各種的骨材級配料，再經由混凝土原料配比、高壓成型、養護處理、產品物性測試與改善等一系列的技術研發，將廢棄混凝土物開發製作成具有商業

化特點的高壓混凝土磚塊材料。



圖三 建築廢棄混凝土塊產製高壓混凝土磚技術開發流程

由於營建混凝土廢棄物的來源中，可能包含廢陶瓷面磚、破損紅磚以及廢混凝土等物質，在進行再資源化處理時，必需先就可能來源

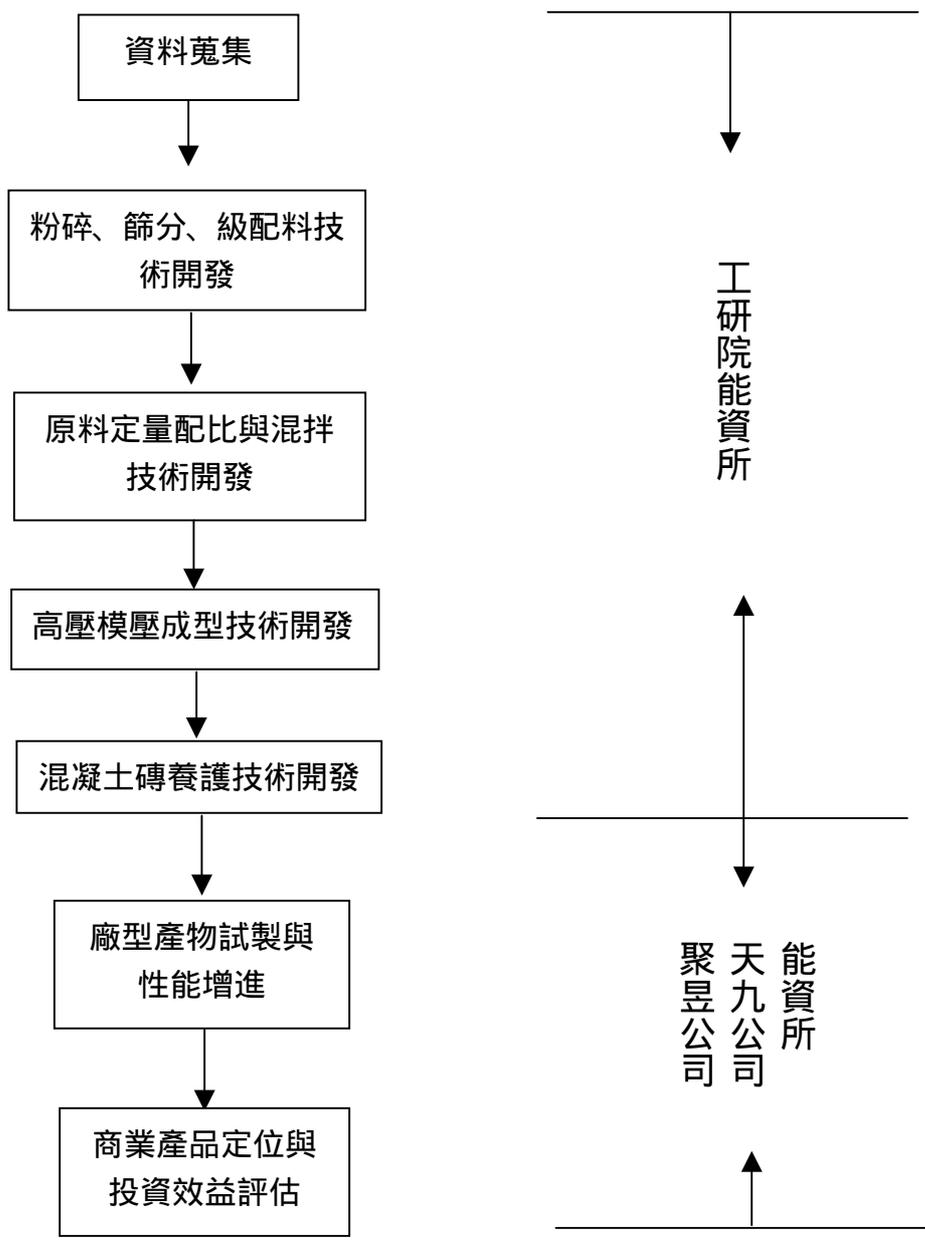
的品質差異作歸類研究，再經由粉碎、篩分等分選技術的開發處理製成各種尺吋的骨材級配料，以供進一步的配料混拌使用。

配比處理是使用前述的各種級配備料，與水泥(或水淬爐石)、水、其他界面添加劑等進行定量比率的配料試驗，再經由混拌處理製成均勻的混凝土胚料，以及高壓模壓成型處理與常溫或高溫混凝土養生處理等製程，製作成各種類型的混凝土磚塊，最後再經過物性的測試，確定所開發試製的混凝土磚產品的性能。高壓混凝土磚產品的物性測試項目包括：抗壓強度、體密度、吸水率、耐磨耗性等。

在開發過程中亦將著重於各種多樣化產品如外牆磚、庭園造景磚、植草磚、透水磚等高壓混凝土磚產品的廠型試製工作，以確立所開發的技術與產品能符合市場需求。同時亦針對各項試製產品的物性進行功能增進與製程參數的調整，以確保所開發的產品功能與品質能符合市場應用的規範。最後並進行各項開發試製產品的商業化產品定位與產製成本概估，以及進一步的投資規劃與經濟效益評估。

業界配合實廠試製工作

本技術之開發將於實驗室研發階段完成後，實際進行利用建築廢棄物製備高壓混凝土磚之實廠設備試製。為配合實廠試製，本計畫已獲業界相關廠商之配合與協助(天九興業股份有限公司及聚昱實業股份有限公司)。業界配合之工作與本計畫執行的架構如圖四所示。

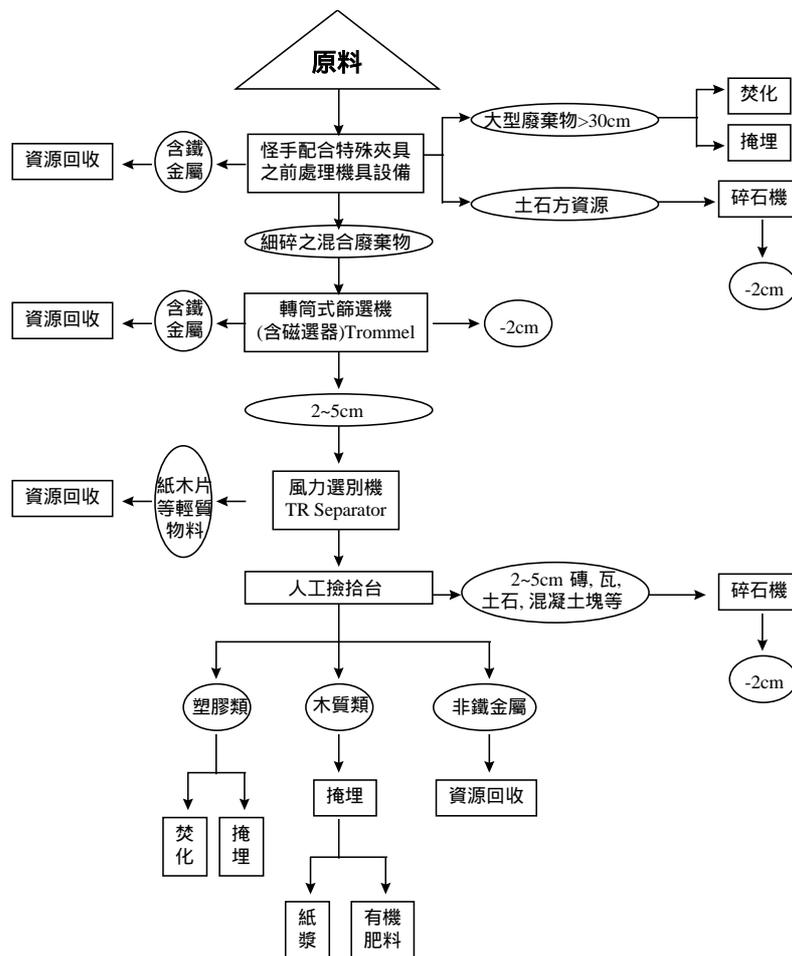


圖四：業界配合工作架構

第四章 結果與討論

4.1 建築廢棄物資源化之分類分選

一般說來建築廢棄物經拆除及現場初步分類後，可直接運往分類處理場進行篩選、粉碎等分類處理，另再根據需求用途如路基填方、填海造陸或再生骨材等進行各種再利用，其完整之處理流程如圖五所示。



圖五、建築廢棄物資源化之處理流程

為使建築廢棄物符合環保、工程時機、搬運效率與成本等因素，達到資源化為目標，有效妥善的配合各種中間處理方式可說是必要的，就分類儲存及破碎處理分述如下：

1. 分類的目的

分類亦稱為分選(separation)，即將廢棄物加以區別，依其所需資源化的性質要求予以分門別類，以提高處理效率與品質的控制，以減少二次污染的危害。

2. 分類之方式

在建築廢棄物中可能使用與較可行的方式，分述如下：

- (1) 篩選法(Screening)：係依篩網之不同大小來分選其粒徑大小之方法，較常用之機具有震動、迴轉、搖動、分級與固定篩等種類，而其效率受其振幅、篩網角度、振動方法與方向、網孔大小、粒徑形狀、含水量、處理量與顆粒之反撥力等條件影響。
- (2) 風力分離法(Air Separation)：係以廢棄物比重差異及對氣流抵抗能力之不同，於相對氣流中造成不同的落距，而加以分離。即使是同一類之廢棄物，不同的形狀與尺寸，落距皆不同，其應用上頗廣。
- (3) 磁力分離法(Magnetic separation)：係以磁力來回收鐵質廢棄物，可置於破碎、風力分選之間或之後。由使用目的不同約有四種方式：
 - (甲) 磁懸鐵式(magnetic pulley)
 - (乙) 磁滑輪式(magnetic pulley)
 - (丙) 磁懸筒式(magnetic drum)
 - (丁) 磁帶式(magnetic belt)

3. 破碎的目的

破碎依廢棄物及土石方，又分為破碎(Crushing)及粉碎(Shredding or Grinding)

(1)土石方部分因再利用之需求經破碎處理達需求單位之規格。

(2)一般事業廢棄物為了焚化或掩埋之減容需求亦需經粉碎處理。

4.破碎方式：

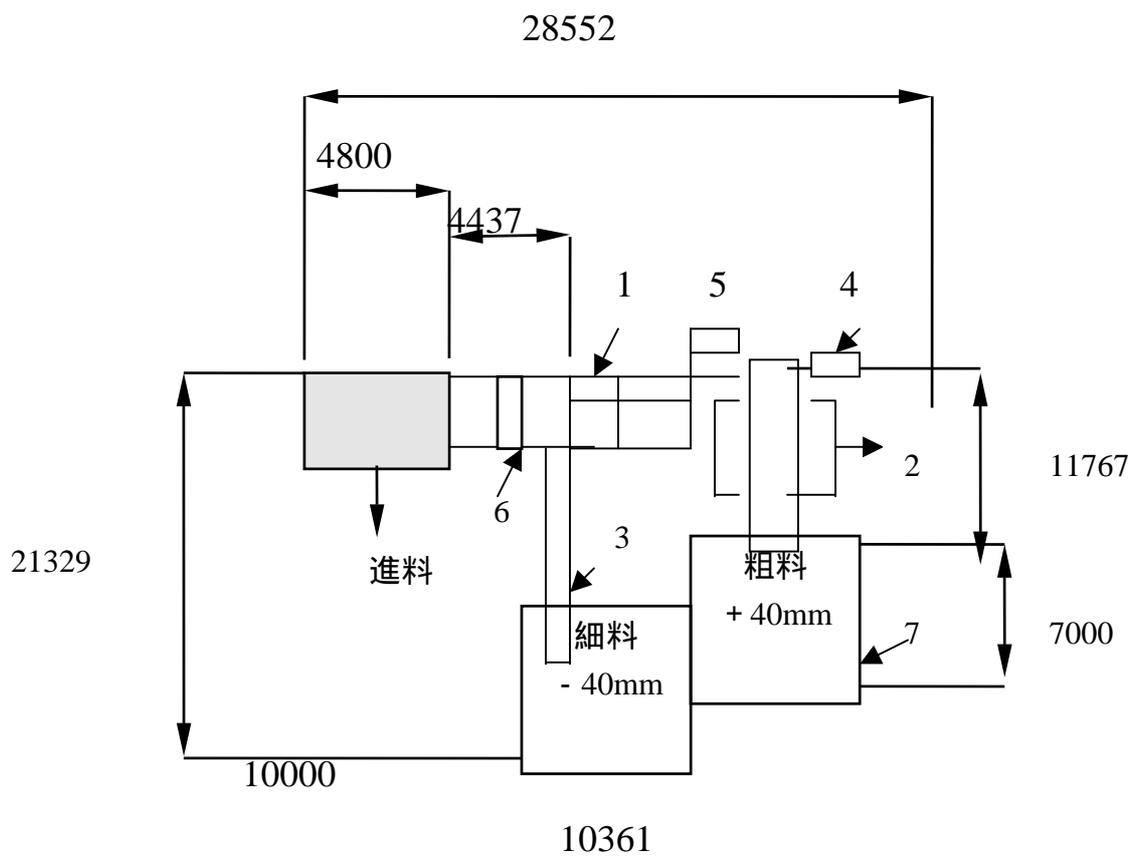
(1)依目前市面有鄂式破碎(Jaw Crusher)、錐式破碎(Con Crusher)及衝擊式破碎(Impact Crusher)。

(2)粉碎又可分為衝擊式(Grinding)及剪斷式(Shredding)。

4.2 各種資源化再利用之途徑

建築廢棄物資源化可提供如作窪地填方料、作成級配料以及各種水泥混凝土製品原料等用途。各種再利用途徑中，填方料消耗量最大，且僅須粗碎即可再利用，但是附加價值較低。

- (1) 填方利用：當廢棄物投入分類處理系統後先通過柵欄粗分篩，大於 30cm 之廢棄物先分選出來，粉碎後再送進迴轉式篩選機，經由迴轉式篩選機分選出 $< 2\text{cm}$ 粒徑、 $2\text{cm} <$ 粒徑 $< 5\text{cm}$ 兩部分。其中 $> 30\text{cm}$ 廢棄物被柵欄粗分篩後，可藉由人工或機械協助分選出土石類、金屬類、木材類、塑膠類等。通過迴轉式篩選機 $2\text{cm} <$ 粒徑 $< 5\text{cm}$ 之廢棄物，先經過磁選機分出含鐵金屬，再經由輸送帶送至人工分選作業平台，藉由人工檢拾分選出木材類、塑膠類、非鐵金屬類，之後利用風力分選機去除剩餘土石物料中之雜質，所得土石物料粒徑 $< 5\text{cm}$ 可提公共工程回填使用，如圖六為建築廢棄物分類處理面積配置圖，其中所須用面積約 6 公頃左右。木材及塑膠等可燃物則配合後續壓縮作業需求，經破碎機破碎至 5cm 以下並適度壓縮，以利清運及焚化。



單位：cm，所用面積約 6 公頃

- 1：轉筒篩選機
- 2：人工檢拾台
- 3：細料輸送堆料機
- 4：輕質廢棄物收集網
- 5：風力分選機
- 6：磁選機及金屬收集筒
- 7：RC 堆料場擋土牆

圖六 建築廢棄物分類處理面積配置圖

- (2) 作成級配料：如圖五所示之建築廢棄物利用公共工程之之填方及級配料流程圖，其中粒徑小於 2cm 者可利用輸送帶或卡車送至土石轉運站，可逕行作為級配料，級配料可依粒徑之分佈情形，分類為粗骨材、細骨材及砂等，並經測試後可提供各項營建工程所需之基本原料。一般而言，適當破碎後所獲得之級配料可使用於路基並取代原級配料約 40%，若使用於路面可取代約 20%，無法完全取代的原因是因骨材表面帶有舊水泥等雜質，對於強度有影響，故各種資源化產品皆須符合工程規範。表五與表六分別為粒徑 2 公分以下提供道路級配之粒徑分佈與粒徑 1 公分以下提供混凝土製品級配料之粒徑分佈。

表五、一般鋪築道路之瀝青混凝土骨材(2 公分以下)級配之規範

篩號尺寸 (#: mesh)	規範規定 (%)
3/4"~1/2" (19.0~12.7mm)	3~8
1/2"~#4 (12.7~4.76mm)	12~40
#4~#8 (4.76~2.38mm)	20~45
#8~#50 (2.38~0.297mm)	14~50
#50~#200 (0.297~0.074mm)	7~22
#200以下 (0.074mm以下)	2~9

表六、混凝土製品骨材(小於 1.0 公分)級配之規範:

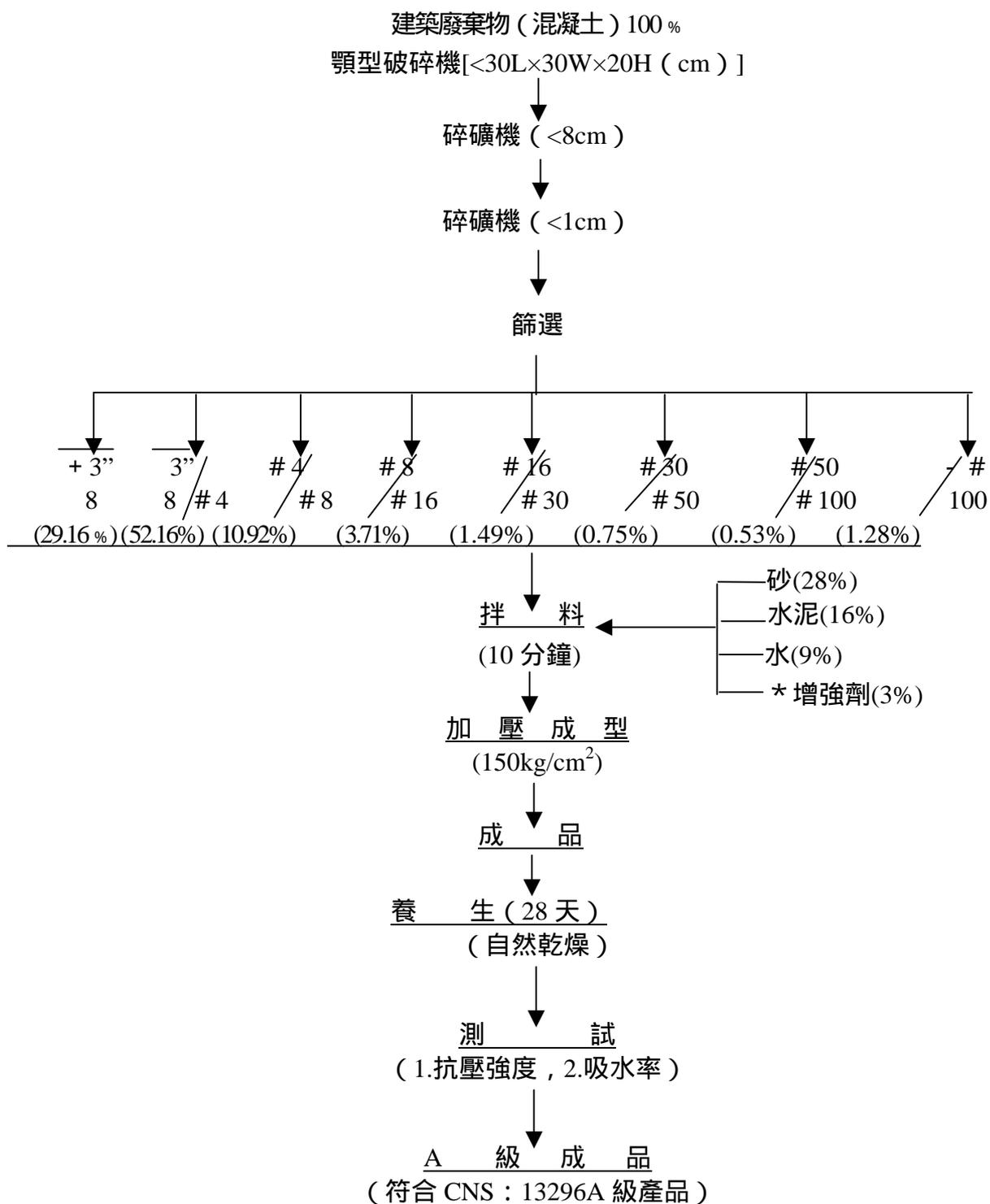
篩號尺寸 (#: mesh)	規範規定 (%)
3/8"	2.51
3/8"~#4	76.15
#4~#8	20.61
#8~#16	0.27
#16~#30	0.01
#30~#50	0.04

#50~#100	0.07
#100~#200	0.1
#200以下	0.24

(3) 再製混凝土製品：建築廢棄物經破碎篩選獲得再生骨材，粒徑 < 5 公分可作路基填方，粒徑 < 1 公分可作成混凝土製品，如路面埔築 30 %、建築物利用 20 %、水溝蓋板 50 %、分隔島 50 %、消波塊 50 %、各類型高壓地磚 100 %、水泥涵管 50 %、其它如電線桿混凝土製品。若製成地磚(含人行道磚、空心磚、植草磚、外牆磚等)、道路分隔島、人孔蓋、水泥涵管、消波塊...等，須小於 1.0 公分。其中高壓混凝土地磚之製造為本計畫技術研發之重點。與前之流程類似，建築廢棄物必須先經破碎與分類分選工作：先以人工方式將混凝土塊及廢磚瓦類與其他雜質分離，再經過初步碎化、過篩（3/8" 篩孔）、去除細雜質、顎型碎石機再碎化（調整開口大小），即可得到符合 ASTM C-33 規範之再生粗骨材，但細骨材則大部分無法符合 ASTM C-33 規範要求。

4.3 建築廢棄物混凝土物質製備高壓地磚

本研究中之研究目標，係以建築廢棄物中廢棄混凝土及磚塊為主要回收再利用資源化對象，研究製備之主要產品為高壓混凝土磚。首先是將營建廢棄混凝土物質，包含廢陶瓷面磚、破損紅磚以及廢混凝土等，先經由粉碎、篩分製成各種的骨材級配料，再經由混凝土原料配比、高壓成型、養護處理、產品物性測試與改善等步驟(如圖七所示)，可將廢棄混凝土物開發製作成具有商業化價值之高壓混凝土磚塊材料。表七為國內高壓混凝土磚生產量預估統計表(電話訪查資料)。



圖七、建築廢棄物應用於高壓混凝土磚製程流程圖

表七：國內高壓混凝土磚生產量預估統計表

廠商名稱	生產量 (m ² /天)	日產量 (噸/年)	備註
立泰	2000	90000	1. 1m ² ≒0.15 公噸 (35 塊×4.2 公斤) 2. 天九公司：新竹、台南兩廠 3. 國力公司：主要產品為溝蓋板 4. 國內高壓混凝土磚約 90%用於公共工程建設。 5. 本統計資料為電話實際訪查資料。
路亨	250	11250	
聚昱	200	9000	
天九(新竹)	1500	67500	
天九(台南)	4500	202500	
擘耀	3600	162000	
艾鎂	1000	45000	
蘭陽	1200	54000	
震偉	1200	54000	
佰歲	1600	72000	
華泰	1200	54000	
欣安	600	27000	
美莊	450	20250	
友昌	700	31500	
南台美	1200	54000	
共益	350	15750	
豐東	600	27000	
國力	20	900	
民峰	1600	72000	
台富	1200	54000	
亞麥	1000	45000	
宏禹	1500	67500	
總計	27470	1236150	

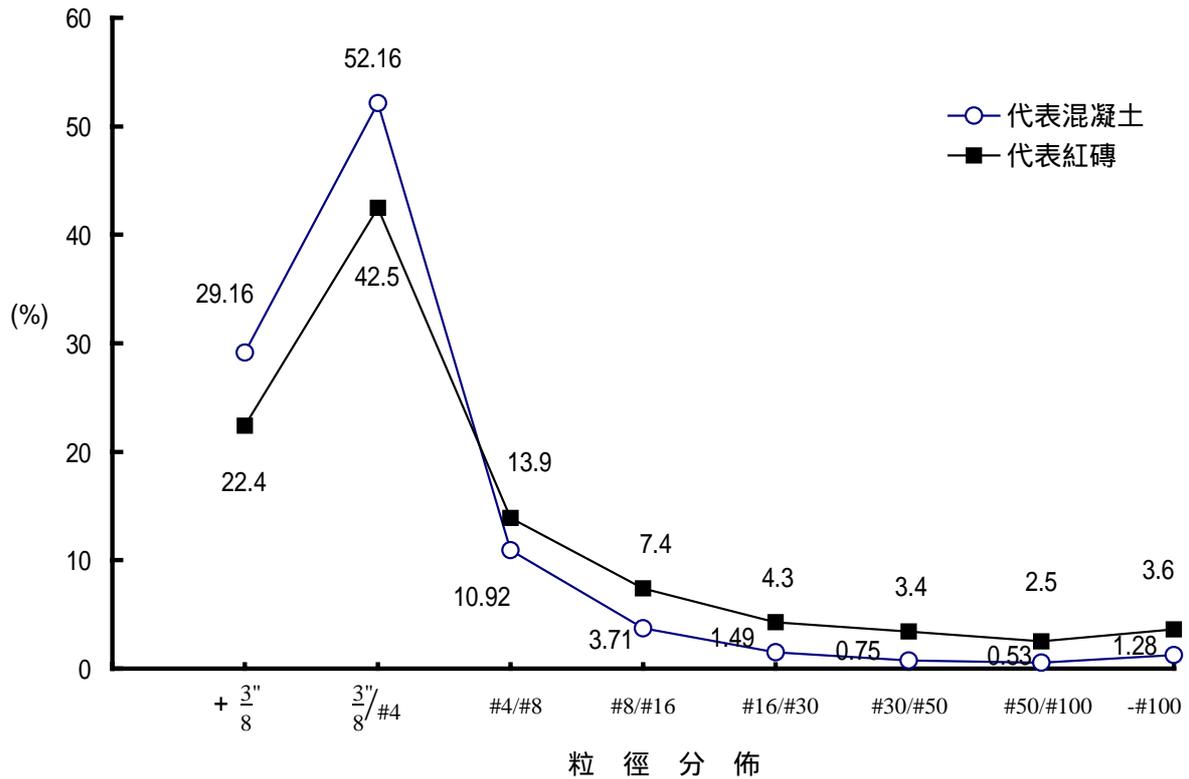
實驗用建築廢棄物樣品來源：本研究所試驗之樣品為新竹市光復路一棟約 30 年屋齡之拆除建築物；取樣日期為民國 88 年 12 月 15 日；取樣的方式為隨機取樣；總共取樣量為 2 公噸。

4.3.1 建築廢棄物混凝土塊與磚塊之破碎與粒徑分析

混凝土塊與磚塊首先進行破碎及粒徑分析。本研究首先將建築廢棄物(樣品來源如前節所述)，首先將顎式碎礦機開口定為8公分，以

顎式碎礦機粗碎，然後將顎式碎礦機開口定為1公分，再進行細碎，破碎後之混凝土碎片然後再依混凝土骨材的規範篩分。本研究中取建築廢棄物之混凝土塊與磚塊分別破碎至1公分以下得其粒徑分佈如圖八所示，比較表五(表五、一般舖築道路之瀝青混凝土骨材(2公分以下)級配之規範)及表六(表六、混凝土製品骨材(小於1.0公分)級配之規範)，建築廢棄物經此破碎流程，所得之粒徑分佈符合表六所示之要求，故可用於作為高壓混凝土磚產品之資源化製造。上述破碎實驗與粒徑分析，說明了將建築廢棄物製成基本砂石級配料之可能性。

混凝土塊經破碎後如前所示，在資源化利用之規劃中，有兩項主要之考量點，其一是可消耗最大量之廢棄物，其二是製得之高壓混凝土磚需具適當之強度。表八為商品化高壓地磚產品之參考規範。根據相關CNS標準，建築廢棄物在本研究中主要作為細骨材使用。至於磚塊部份，經過相同之破碎方式，碎磚塊之粒徑分佈與混凝土塊之粒徑分佈相類似。因此，磚塊與混凝土塊雖然具不同之物理材料性質，但其破碎行為卻相類似。此一行為有助於利用Rittinger定律來評估破碎混凝土塊與磚塊至適當粒徑，所需要之破碎能量。

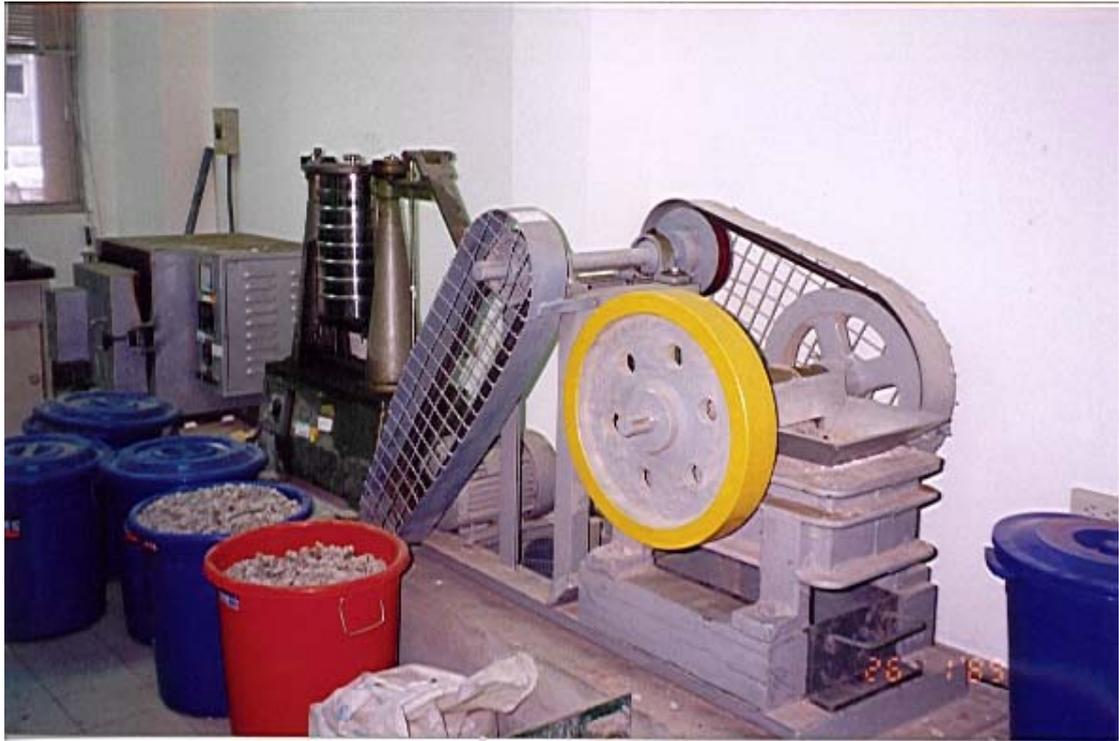


圖八 廢棄混凝土塊與磚塊磨碎成一公分骨材之粒徑分佈

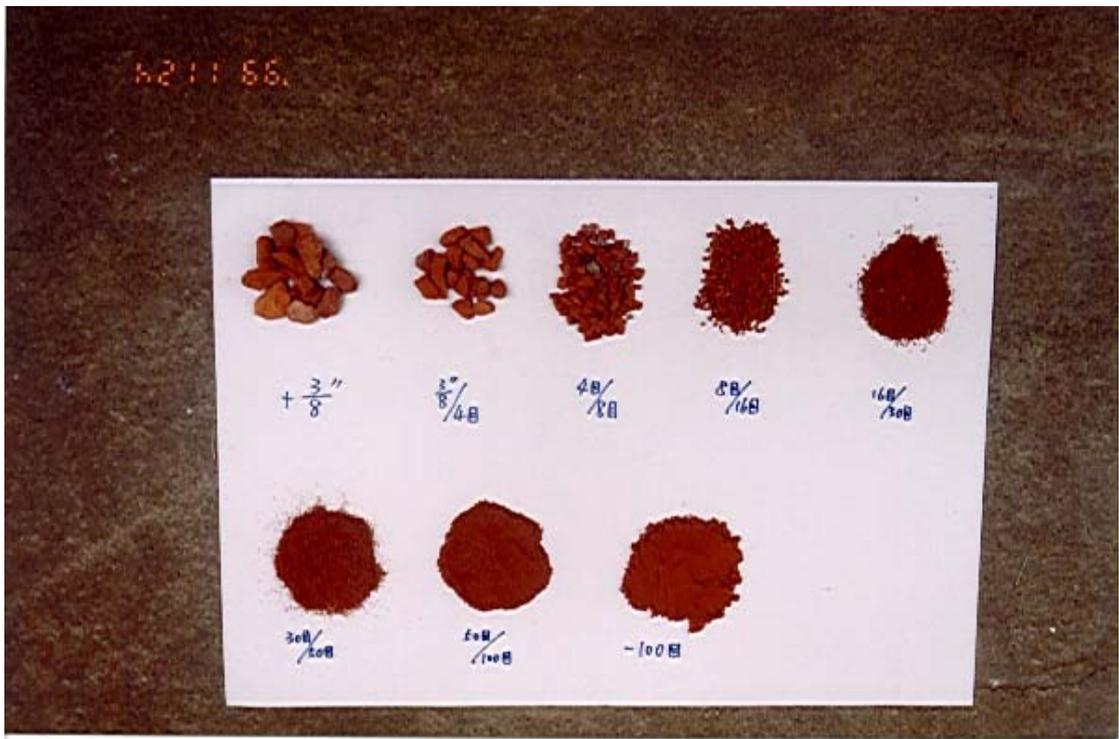
表八、高壓混凝土磚(20L×10W×6Hcm)骨材成份

骨材(44%)		
骨材篩分析	留篩量(g)	留篩百分比(%)
3/8''	33.13	2.51
#4	1005.20	76.15
#8	272.05	20.61
#16	3.56	0.27
#30	0.13	0.01
#50	0.53	0.04
%100	0.91	0.07
-100	4.49	0.34
	1320.00	100.00

註：天然砂(28%)，水泥(16%)，填充料(3%)，水(9%)



照片 4.1：建築廢棄磚塊之破碎篩分



照片 4.2：建築廢棄物磚塊之破碎與粒徑分佈

4.3.2 建築廢棄物作為骨材之性質探討

由前面粒徑分析可知，建築廢棄混凝土塊經破碎後可作為骨材使用。骨材(aggregate)由於較水泥便宜很多，因此，最經濟的混凝土是在儘可能使用較多骨材。骨材，也相當地改善混凝土的體積穩定性與耐久性。通常認為骨材是混凝土中完全惰性的充填料，這一點並非事實。它的物理性質，在某些情況下，連同其化學成分，均可對混凝土的塑性，與硬化後的諸性質，產生不同程度的影響。

良好的骨材，應能產生硬化後混凝土等所需的性質，由於建築廢棄混凝土塊本身為使用過之建材，因此必需瞭解其物理性質，以評估其再製作為骨材之可行性⁽¹¹⁾。在作骨材試驗時，先取得真具代表性的試材是很重要的。骨材對混凝土的性質諸如強度、耐久性、韌性、硬度、體積變化、孔隙率、比重以及化學反應等影響很大。唯有當其抗壓強度小於或與混凝土的設計強度相當時，骨材的強度才會限制達混凝土的可得強度。實用上，大部分使用的骨材強度均較混凝土為大。通常，火成岩較沉積岩與變質岩的強度大出很多。因骨材顆粒的大小與形狀不規則，故直接量度其強度性質是不可能的。通常自母岩中取出圓柱體樣品作抗壓強度試驗，或用容積骨材作壓碎法試驗求得其強度性質。較軟弱材料(壓碎值大於30)的壓碎值可能不大正確。應改用在壓碎試驗中產生10%細粒的荷重定出。這些骨材強度的試驗，只是骨材性質的一種指標，其性質也可由混凝土試體破壞時的骨材破碎強度得到。

骨材的孔隙率，也是一種重要性質，由其對骨材的強度、吸水性與透水性等的作用而影響到新澆及硬化混凝土的性質。由高孔隙率的骨材所製成的混凝土要比孔隙率低的骨材所製成者，特別是在遭受凍融作用時，其耐久性較差。直接量度孔隙率較為不易，實用上可利用其相對性質即吸水率 (water absorption)。吸水率被定義為：乾燥骨材到達面乾內飽和狀態時所吸收的水量，用乾骨材重量的百分比

表示之。一般說來，沉積岩的吸水率最高，與碎石的岩石學相近的卵石，由於風化較甚，故吸水也較多。已知一種岩石，吸水率依骨材顆粒的大小及其量度方法而異。

用來製造混凝土的骨材其總含水量，亦即吸收的水量與游離水或表面水的和，其變化很大。若欲維持混凝土的工作度與強度，而且游離水保持一定時，拌合機內所加的水量必需考慮此點予以調整。通常，混凝土的配合設計所用骨材的重量是依其面乾內飽和的情況而定。含水量有任何變化時，必需在拌合時調整其重量。

1.洛杉磯磨損試驗(測磨損率)：

CNS490對於粗骨材之耐磨損性質有所規定，係利用洛杉磯試驗機作試驗，方法如下

- (1)將粗骨材試樣在 100-110 °C 之烘箱中烘乾至恆重
- (2)將烘乾後之粗骨材，依規定之級配稱量 5000 克
- (3)將試樣與直徑為 47.6 公釐，重為 440 克之鋼球 12 個同時加入洛杉磯試驗機內並以每分鐘 30-33 轉，共轉 500 轉。試驗機轉動時，應注意平衡，俾能得到均勻之轉速。於達 500 轉後，將試樣傾出，再以 No.12 篩做篩分析，則通過 No.12 篩者，視為磨損量。通常骨材之磨損率不可超過 50%。

2.健度試驗(測定骨材在硫酸鈉內抵抗分解能力)

物理健性佳者對於溫度、濕度之變化及凍融作用不生破裂或分解現象。物理健性差者，其吸水性大，易破裂，受水飽和時，則發生膨脹，暴露於自然界中則極易風化而碎裂。所謂健性試驗，乃將骨材浸於硫酸鈉或硫酸鎂溶液中，而後烘乾如此反覆循環5次，對粗骨材而言，其損失重量在硫酸鈉溶液中不超過12%，而在硫酸鎂中不超過10%，而在硫酸鎂溶液中，則不得超過18%。至於細骨材而言，其損失重量在硫酸鈉溶液中不得超過10%，而在硫酸鎂溶液中則不得超過

15%。

表九至表十二為建築廢混凝土塊所製成之再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之性質分析結果。

表九：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之比重(測試法 CNS488)

骨材	比重(面乾內飽和)
再生粗骨材(3/8"~#4)	2.30
再生細骨材(#4~#100)	2.22
天然粗骨材(3/8"~#4)	2.36
天然細骨材(#4~#100)	2.30

表十：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之吸水率(測試法 CNS488)

骨材	吸水率(%)
再生粗骨材(3/8"~#4)	7.45
再生細骨材(#4~#100)	9.42
天然粗骨材(3/8"~#4)	1.11
天然細骨材(#4~#100)	1.50

由表九可知，再生骨材與天然骨材之密度變化不大。但由表十所顯示之吸水率，再生骨材具有較高之吸水率，因此利用再生骨材作為建材時，其所需之水量需較高。

表十一：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之洛杉機磨耗實驗(CNS490)

骨材	洛杉機磨耗(%)
再生粗骨材(3/8"~#4)	34.20
再生細骨材(#4~#100)	-----
天然粗骨材(3/8"~#4)	23.31
天然細骨材(#4~#100)	-----

表十二：再生骨材(廢混凝土/廢磚塊)之硫酸鈉健性損耗(CNS-A3032, 3034)

骨材	硫酸鈉健性損耗(%)
再生粗骨材(3/8"~#4)	3.81
再生細骨材(#4~#100)	8.64
天然粗骨材(3/8"~#4)	2.60
天然細骨材(#4~#100)	3.92

由表十一及表十二可知，由建築廢棄混凝土塊所製備之再生骨材，其物理性質與力學性質，明顯的低於天然之原生骨材。因此，在進行高壓混凝土磚設計時，更應考慮此一差異性對於高壓混凝土磚產品性質的影響。

4.3.3 高壓混凝土磚之製備

混凝土之配合法

混凝土配比設計的基本精神主要能夠深切瞭解配比設計中各項材料的，性質、作用、配比策略及材料改變之影響程度。因此配比設計包括選擇適當的材料，並恰當的將這些材料組合在一起。而優良的配比必需具有下列條件⁽¹²⁾：(1)經濟性(2)工作度(3)強度與耐久性。配比設計的原則基本上即在合理的平衡工作性、強度、耐久性何成本間之關係。

(1)經濟性：混凝土原料之選擇除了技術上可行以外，首先必需考慮原料使用之經濟性；亦即，選擇的材料必需為可達到最低品質要求的條件，且價格最便宜的材料。混凝土材料中以水泥的成本最高，因此為最主要之考量因素。一般觀念以為，水泥用量愈多對於混凝土的品質愈佳，然而事實並非如此，水泥用量過鉅，混凝土會產生

較大之收縮量(shrinkage)及潛變量(creep)和大量水化熱⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。所以經濟性的考量必須在不影響混凝土品質的前題下**使用最低量的水泥**。可採用的方法包括⁽¹²⁾:**採用具最佳性質之骨材，級配最大的骨材粒徑，最低粗細骨材比，最低坍度要求，摻加適當參料，採用較佳之震動器等**。另一種達到經濟性的方法為利用工業副產品如高爐熟料及飛灰等材料來取代一部份水泥的使用，而降低混凝土的成本，亦為近年來的趨勢；利用工業副產品做為混凝土之添加料，不僅可以減少生產的成本，同時就整體環境保護與資源永續利用而言，亦有正面之貢獻。

(2) **工作度**：適當的配比設計應是使得新拌混凝土(Fresh Concrete)容易施工，因為太乾的混凝土不僅將造成澆置、搗實的成本增加外，同時可能會因品質不勻而降低強度、耐久性及外觀⁽¹⁵⁾；但是若工作度過份，則可能泌水及析離而會損及耐久性，所以不佳的工作度會增加成本及損及耐久性。一般混凝土配比對工作度要求可考慮如下⁽¹²⁾：

- (a) 最低工作度需能滿足澆置、搗實及粉光作業；
- (b) 工作度受到骨材特徵及性質的影響，如要改變凝聚性及粉光性時應以增加砂/粗骨材比，不是僅加入細粒料而已；
- (c) 現場需要高流度混凝土等俱有特性之工作度時，應利用減水劑、緩凝劑及張塑劑來達成，而不應在現場加水，以免損及結構物安全性及耐久性。

(3) **張度與耐久性**(Strength and Durability)⁽¹²⁾：一般耐久性主要受透水係數的影響，孔隙率小且孔隙小，則透水係數小以致耐久性提高；此外，強度亦受到孔隙度影響而有相同的類似關係。水泥漿體(Paste)的張度及孔隙率主要受制於由水灰比(W/C)控制的毛細孔隙所決定。然而，除非惡劣暴露環境需特別強調耐久性者外，一般配比設計通常僅考慮工作度及強度而已。當考慮耐久性

時，一般僅利用控制骨材級配及減水摻料來降低水灰比而不宜增加水泥用量，其主要原因為避免高水化熱及乾縮形成龜裂。

混凝土配比設計之原則

配比設計的原則 (Principles of mix design)基本上即在合理的平衡工作性、強度、耐久性和成本間之關係。由混凝土組成材料來看，配比設計係在調配水泥漿體與骨材間之關係，其中水泥漿體之品質深受水灰比之影響，水泥用量的多寡會影響配比之經濟性、工作性。但骨材級配則不但會影響工作度，亦會影響經濟性及強度。通常配比設計的策略均考慮使用最少漿量系統來滿足工作度、強度、耐久性和成本之要求。

本研究之產品為高壓混凝土地磚，一般而言，混凝土的組成材料中包括了水、水泥、粗細骨材及摻料等成份，各種成份含量都會影響混凝土的性質，因此必需進行配比設計實驗，以決定各成份之最佳組成。配比設計的目的就是希望在經濟的成本下，製成符合需求又耐久的混凝土。其中28天的抗壓強度，為符合原設計之基本要求。為達此條件，本研究相關的設計參數包括：水灰比、水泥使用量及骨材配比等。

水灰比對高壓地磚強度之影響

本研究所採用之水灰比分別為如下：0.71、0.58、0.50、0.43及0.38等。水泥種類則為第一型波特蘭水泥。至於骨材的配比方面，混凝土最理想的配比就是能夠達到細骨材填滿各粗骨材的空隙，而水泥則填滿細骨材的空隙，以期混凝土得到最大密度、強度及耐久年限等。相關配比的理論大抵可以分為簡便配比法、例定配比法及設計配比法。本研究採用例定配比法，這方法是根據累積的經驗，依所需的情況的訂定。而水泥：砂：骨材之比例，則以高壓地磚之規格要求進行不同比例試驗。本研究所試驗之組成比例如表十三所示。表十三中所指之骨材即為建築廢棄物回收之骨材。所有樣品的成型壓力均為

150kgf/cm²。

表十三：建築廢棄物製磚技術開發實驗組成

組別	編號	水泥(g)	水(g)	砂(g)	骨材(g)	樣品重(g)
1	1	280	200	500	1300	2280
	2	280	200	500	1300	2280
2	3	380	220	500	1300	2400
	4	380	220	500	1300	2400
3	5	500	250	500	1300	2550
	6	500	250	500	1300	2550
4	7	650	280	500	1300	2730
	8	650	280	500	1300	2730
5	9	800	300	500	1300	2900
	10	800	300	500	1300	2900

上述樣品經28天之養生期後，依CNS：13296高壓混凝土連鎖地磚檢驗法測試強度。其結果如表十四所示。經各種拌合條件之測試，吾人發現，取來自廢料之骨材原料45%，並以水泥27%及17%之砂拌合，加壓(150kg/cm²)成型後，經28天之養生期，經依CNS：13296高壓混凝土連鎖地磚檢驗法測試強度為422 kgf/cm²。吸水率試驗結果顯示，吸水率約為5.5%。因此使用建築廢棄混凝土塊作為高壓地磚之原料，其吸水性、抗壓性等皆可符合B級之標準，故品質與市售商品無分無軒輊。(註：CNS：13296規定，高壓連鎖地磚之抗壓強度A級需>560kgf/cm²，B級>408kgf/cm²，C級>357 kgf/cm²；另吸水率：A級需<5%，B級<6%，C級<7%)。

表十四：高壓地磚混凝土水灰比對抗壓強度之影響

組別	編號	水灰比	抗壓強度 (kgf/cm ²)	平均值 (kgf/cm ²)
1	1	0.71	304	308
	2	0.71	312	
2	3	0.58	342	331
	4	0.58	319	
3	5	0.50	375	387
	6	0.50	398	
4	7	0.43	428	419
	8	0.43	410	
5	9	0.38	414	422
	10	0.38	430	

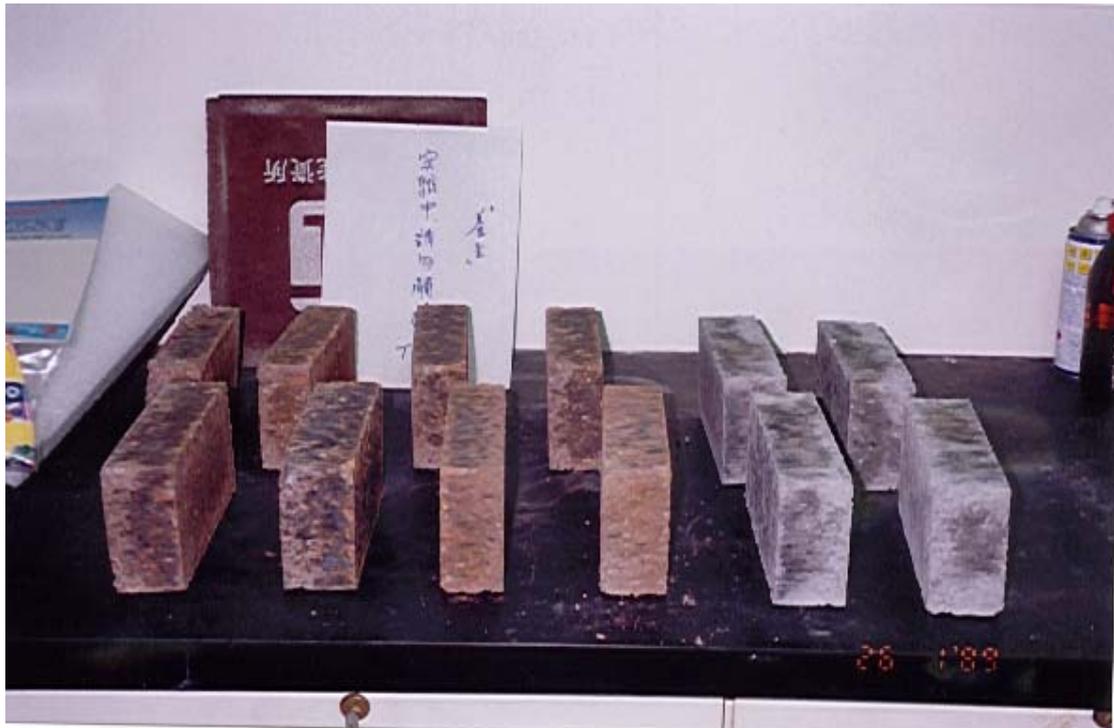
在製造過程中水泥係提供膠合最重要之成份，水泥量不足將嚴重影響抗壓強度，相對的降低產品之等級，但是若從經濟上的考量，可發現水泥佔產品之原料成本約50%。由表十四結果可知，如果要得到B級強度以上之產品，其水灰比(W/C)必需為0.43以下。



照片 4.3：高壓地磚壓製情形



照片 4.4：高壓地磚壓製成型



照片 4.5：含磚塊及不含磚塊之高壓地磚成品養生情形



照片 4.6：高壓地磚成品

左：混凝土塊再利用；中：含磚塊之高壓地磚成品；右：具表面顏色之高壓地磚。



照片 4.7：岩石 200ton 油壓壓縮機



照片 4.8：經抗壓強度測試後之樣品

養生期對高壓地磚強度之影響

為瞭解養生期對於利用建築廢棄物再生骨材製備高壓地磚強度之影響，本研究以七天與二十八天為養生期，並分別測試原生材料與再生材料對養生期之影響。其結果如表十五及表十六所示，表十五為高壓混凝土磚所使用之配比，依水灰比之實驗(表十四)本部份研究所採用之水灰比為0.4及0.5。表十六為七天與二十八天養生期對抗壓強度之影響。

表十五：高壓混凝土磚

類別 \ 項目	水灰比	水 (g)	水泥 (g)	骨材 (g)	天然砂 (g)
再生 混凝土	0.4	200	500	1300	500
	0.5	200	400	1300	500
一般 混凝土	0.4	200	500	1300	500
	0.5	200	400	1300	500

表十六：七天與二十八天養生期對抗壓強度之影響

類別 \ 項目	水灰比	7 天養生期 抗壓強度 (kgf/cm ²)	28 天養生期 抗壓強度 (kgf/cm ²)
再生 混凝土	0.4	248	414
	0.5	212	368
一般 混凝土	0.4	296	588
	0.5	271	585

由表十六可知，使用再生骨材之混凝土磚，其強度會受養生期及水灰比之變化而改變。

矽灰添加劑對高壓地磚強度之影響

矽灰對於混凝土之性質有許多正面之貢獻。矽灰為生產矽或各種矽合金之副產品，其物理及化學性質依產生的方式而異，目前最廣泛生產的濃縮矽灰的平均化學成分如表十七所示⁽¹⁶⁾。

表十七：各種濃縮矽灰的平均化學成份(%)⁽¹⁶⁾

成份	Si	FeSi-75%	FeSi-50	FeCrSi	CaSi	SiMn
SiO ₂	94	89	83	3	53.7	25
Fe ₂ O ₃	0.03	0.6	2.5	1.0	0.7	1.8
Al ₂ O ₃	0.06	0.4	2.5	2.5	0.9	2.5
CaO	0.5	0.2	0.8	0.8	23.2	4.0
MgO	1.1	1.7	3.0	7.0	3.3	2.7
Na ₂ O	0.04	0.2	0.3	1.0	0.6	2.0
K ₂ O	0.05	1.2	2.0	1.8	2.4	8.5
C	1.0	1.4	1.8	1.6	3.4	2.5
S	0.2					2.5
MnO		0.06	0.2	0.2		36.0
LOI	2.5	2.7	3.6	2.2	7.9	10.0
比重	2.23	2.21-2.23	2.30	2.42	2.55	3.13
平均直徑 μm	0.18	0.26	0.21	0.18	---	---

矽灰添加於混凝土中，其主要目的有二⁽¹⁷⁾：(1)在矽灰成本比水泥便宜時，為了經濟效益取代水泥，以減少水泥的使用量；(2)作為混凝土之添加物，以改善混凝土新拌與應固性質。矽灰為活耀之波索蘭，當用於水泥系中，在較低的水泥/矽灰比例時，其所產生之矽酸鈣水合物比水泥多，因此其對於鹼等之外來離子的包容能力較高⁽¹⁷⁾。矽灰亦有很好的填充作用，使用矽灰於混凝土中可使得水合物在混凝土中分佈更為均勻⁽¹⁷⁾。當矽灰加入水泥拌合時，填充作用及波索蘭反應等兩項因素，可以改善混凝土之孔隙構造，減少水泥的透水性，進而影響混凝土的機械性及耐久性⁽¹⁷⁾。本研究僅探討矽灰對建築廢棄混凝土建材之強度影響。

為瞭解矽灰對於利用建築廢棄物再生骨材製備高壓地磚強度之影響，本研究以矽灰作為添加劑，並分別測試矽灰對於原生材料與再

生材料之影響。其結果如表十八及表十九所示，表十八為高壓混凝土磚所使用之配比，依水灰比之實驗(表十四)本部份研究所採用之水灰比為0.4及0.5。表十九為矽灰對抗壓強度之影響。

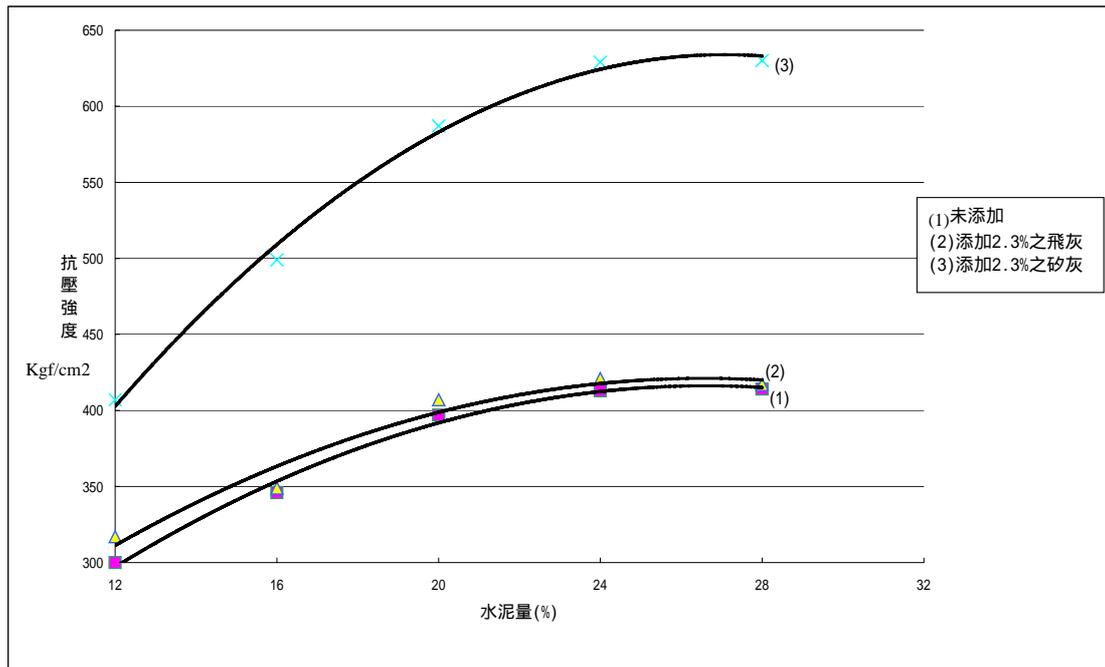
表十八：高壓混凝土磚配比

項目 類別	水灰比	水 (g)	水泥 (g)	骨材 (g)	矽灰 (g)	天然砂 (g)
再生 混凝土	0.4	200	500	1300	60	500
	0.5	200	400	1300	60	500
一般 混凝土	0.4	200	500	1300	60	500
	0.5	200	400	1300	60	500

表十九：矽灰添加對抗壓強度之影響

項目 類別	矽灰 (%)	水灰比	7 天養生期 抗壓強度 (kgf/cm ²)	28 天養生期 抗壓強度 (kgf/cm ²)
再生 混凝土	2.3	0.4	431	619
	2.3	0.5	405	591
一般 混凝土	2.3	0.4	483	723
	2.3	0.5	468	707

由表十九可知，使用再生骨材之混凝土磚，其強度會受養生期、水灰比及矽灰含量之影響。很明顯的矽灰的添加可以有效的增加混凝土磚之強度。本研究亦分別比較以再生骨材所製成的高壓混凝土磚，在添加飛灰及矽灰後，其抗壓強度的變化情形。圖九是在不同水泥含量下，添加同量飛灰及矽灰後，磚塊的抗壓強度變化情形。



圖九：添加飛灰及矽灰對抗壓強度的影響

惟整體而言，再生混凝土仍比一般原生材料混凝土之強度較低，但就高壓地磚之產品規範而言，本研究之產品已達A級以上之產品。

高壓地磚中廢棄磚塊之配比

根據調查⁽⁸⁾，國內年產生之一般建築混凝土量約為639萬公噸，磚塊量約為347萬公噸，磚塊約為混凝土產量之54.3%，因此本研究亦將探討，廢棄建築紅磚塊經破碎後的最適合的配比及其強度，結果如表二十。

表二十：添加紅磚最適合的配比及其強度

項目 類別	W/C	水 (g)	水泥 (g)	天然砂 (g)	再生骨材 紅磚(g)	抗壓強度 kgf/cm ²
再生混凝土磚塊	0.4	200	500	500	1000	310
	0.5	200	400	500	1000	298
一般紅磚	窯爐焙燒					282

4.4 建築廢棄物製備混凝土磚之實廠試製

本研究技術之開發，於完成實驗室研發階段完成後，實際進行利用建築廢棄物製備高壓混凝土磚之實廠設備試製。為配合實廠試製，本計畫執行單位獲得業界相關廠商天九興業股份有限公司之配合與協助。天九公司之相關基本資料如下：

公司名稱	: 天九興業股份有限公司
負責人	: 黃佐輔
地址	: 新竹市牛埔南路 376 巷 17 號
資本額	: 1 億 6 仟萬元
員工人數	: 150 人
主要產品	: 連鎖磚、植草磚、車道磚、圍牆磚...等

本計畫於民國89年7月21日前往天九公司頭份廠，進行500公斤建築廢棄物再利用為高壓地磚之實廠試製，總共進行5批實驗，共得高壓地磚192塊，以每塊重為2.7公斤計算，總共為518公斤。高壓混凝土磚的製作過程，主要係以骨材(3/8”~#100)與砂進入槽內，經皮帶輸送機至拌料筒內，加入色料(1%)混拌1分鐘，由鋼索車運送至攪拌槽，加入水泥(16%)，水(水灰比0.4)，混拌2分鐘，經過磅後傾入高壓成型機內，經電腦設定之配比，自動控制給料，經高壓強力震動，使耐磨層與底層緊密結合，一體成型，經脫模後即完成高壓混凝土之製作，照片4.9-照片4.17為實廠試製之情形。



照片 4.9：骨材輸送情形



照片 4.10：骨材輸送情形（上視）



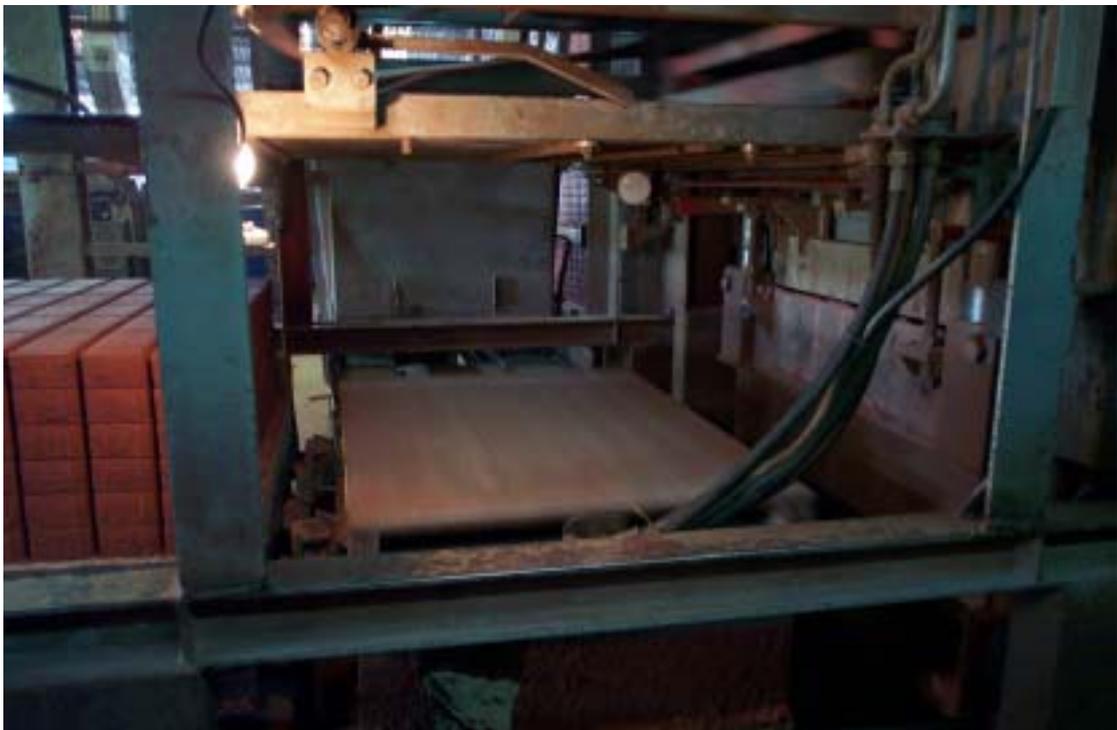
照片 4.11：骨材混拌情形



照片 4.12：以漏斗進料（骨材）情形



照片 4.13：高壓製磚情形



照片 4.14：成型磚輸送情形



照片 4.15：實廠製作情形



照片 4.16：成品養生情形



照片 4.17 : 再生高壓磚養生



照片 4.18 : 500 公斤高壓磚實品

將實廠試製之產品經7天、14天、21天及28天養生期後，分別採樣進行抗壓強度、吸水率與耐磨耗分析，其結果如表二十二所示。

表二十二：實廠試製產品之測試

養生期	7 天	14 天	21 天	28 天	備註
抗壓強度 (kgf/cm ²) CNS-13296	383	389	541	543	A 級>560 B 級>408 C 級>357
吸水率 (%) CNS-13296	6.16	5.06	5.06	5.06	A 級<5.0 B 級<6.0 C 級<7.0
耐磨耗 (cm ³ /50cm ²) CNS-13296	<15	<10	<7	<5	<15

經由上表得知，在相同操作條件之下，經適當配比的再生骨材，其高壓混凝土磚製品的品質，可達到相當之水準(B級)。

高壓地磚製造成本分析

本研究根據於天九公司實廠測試之結果，對於高壓地磚成品之製造成本進行分析，如表二十三所示。比較的基準是以B級人行步道磚(L20×W10×H6 cm)，使用材料分別為天然骨材與再生骨材。

表二十三、高壓混凝土人行步道磚成本分析表

(單位：元)

費用 名稱	項目 粗骨材 ($\frac{3"}{8}$ /#-1 00)	細骨材 (天然砂)	水泥	填充料 (矽灰)	雜項 (水電)	工資	合計
步道磚 天然骨材	0.6	0.4	1.2	0	0.2	0.3	2.7
步道磚 再生骨材 (廢混凝土/ 廢磚塊)	0.1	0.3	1.5	0.5	0.2	0.3	2.9
備註	1. 步道磚重量約 3 公斤/塊。 2. 天然骨材與再生骨材製成之步道磚均符合 CNS B295 B 級抗壓標準 (408kgf/cm ²)。 3. 再生骨材代工費 (碎礦費) : 140 元/m ³ (含運費)						

本成本估算分析僅針對工廠生產高壓地磚所需之製造成本進行分析，至於其他如舊屋拆除、分選、運輸、廢棄物暫存費用等，則因涉及未來建築廢棄物管理機制，無法有效的評估其成本，將列為未來相關計畫之工作項目。

結果顯示，再生骨材所製磚塊之製作成本較高，其原因是為達B級磚的水準要求，以再生骨材所製之高壓混凝土磚需添加矽灰或飛灰，此為其成本增加的主要因素。

第五章 921 震災建築廢棄物資源化處理建議

本計畫執行單位於計畫執行初期，適逢921大地震，因而接受委辦單位之要求針對921震災建築廢棄物資源化處理之建議，研提相關報告，謹將執行結果彙整報告如下：

921大地震為台灣近百年來所發生的重大震災，突顯建築廢棄物處理之重要性，但因震災所導致龐大廢棄物瞬間產生量可謂絕無僅有，因此其處理或資源化方式乃不以本研究原擬規畫之方式為限。本研究團隊曾於配合中興工程顧問公司於921震災後派6位同仁自台中、南投地區92個營建廢棄物堆置場現場勘察，勘察所得資料，彙整於本章報告，提供相關單位參考。

5.1 現況說明與問題分析:

由於震災後軍方緊急支援拆除工作，且為加速復建，故所有的建築廢棄物除可立即回收之鐵金屬等已為民間回收業者自行取走外，其餘都運往九十餘處之堆置場，其中有公有地、臺糖地、河川地及民間地等。民間願意提供作為堆置場者皆著眼於回填窪地後可獲再生之土地資源，且運輸費用為政府負擔，對其而言堪為一極大誘因，故擁有適當條件之民眾極踴躍提供棄土場。但一般較歡迎廢土，對於混凝土塊等較不喜歡，故若有適當窪地，無安全之虞者，將建築廢棄物打碎均勻後，作為填方材料，創造土地再利用價值不失為建築廢棄物再利用之理想途徑。但有部份堆置場條件欠佳需作改善，另若可利用之堆置場飽和，或條件欠佳之堆置場需全部或部份移除，以避免目前尚屬合法的堆置場日久變成一個又一個的(有害)事業廢棄物非法棄置場。因此將該建築廢棄物作資源化再利用為最佳策略。其主要考量為：

- 台灣地區砂石資源一向十分短缺，災後重建所需之砂石量更將十分龐大，故將建築廢棄物儘量作資源化利用一方面解決其廢棄物

處置問題，另一方面紓解重建之建材需求壓力

- 廢棄物資源化是重要的解決策略，以往對於建築廢棄物之資源化常認為成本太高，其實是未計算廢棄物處理之成本，另一個原因是市場不明確，未達量產規模。
- 即使是回填窪地再造新生地，廢棄物亦應作初步之破碎成大小均勻之粒徑，且垃圾須移除，不應將所有垃圾任意填塞
- 建築廢棄物可以作成多方面之再利用但應考慮投入成本、產品特性、市場需求..等 = > 將廢棄物堆置場轉換成建築基本材料提供場
- 應進行廢棄物資源化之對象包括兩類:1.既有具危害性之堆置場廢棄物須移除者及，2.未來即將拆除之建築物所產生之廢棄物
- 整合現有之機具設備，制定作業規範進行先期(現場)破碎，以及分選工作
- 資源化產物(砂石級配、各種地磚產品等)應符合一定之規範，並應經測試
- 公共工程單位應迅速完成各種建材原料需求，包括規格、數量、地點、時間..等，以利資源化規畫推動，故應先確認產品通路，以進行適當之資源化方式。
- 現場進行資源化工作應有合適之作業規範，在嚴密監督下作業，管制:如何做、在何處做、取什麼對象做、是否有二次污染、做出的產品品質如何、如何測試、產品何處去..等
- 不肖業者假藉資源化之名而行亂倒廢棄土之實

5.2 各建築廢棄物堆置場之改善建議

由於震災後軍方緊急支援拆除工作，且為加速復建，故所有的建築廢棄物除可立即回收之鐵金屬等已為民間回收業者自行取走外，其

餘都運往九十餘處之堆置場，其中有公有地、臺糖地、河川地及民間地等。民間願意提供作為堆置場者皆著眼於回填窪地後可獲再生之土地資源，且運輸費用為政府負擔，對其而言堪為一極大誘因，故擁有適當條件之民眾極踴躍提供棄土場。但一般較歡迎廢土，對於混凝土塊等較不喜歡，故若有適當窪地，無安全之虞者，將建築廢棄物打碎均勻後，作為填方材料，創造土地再利用價值不失為建築廢棄物再利用之理想途徑。

但有部份堆置場條件欠佳需作改善，而另有若干堆置場有明顯危害須全部或部份移除，故應規畫新堆置場、做好進場作業管理、堆置場監測；或對於應移除之建築廢棄物，作資源化處理。可以自走式破碎機在拆除現場預作破碎後，將可資源化之廢混凝土塊等建築廢棄物集中至處理場，結合砂石業者進行建築廢棄物之分類、分選等工作，以將建築廢棄物轉換成建築基本材料。

綜合而言，現有分散在各堆置場中之建築廢棄物部份為可長期堆置、應作改善、需部份移除及須全部移除者者，建議之處置對策為：

1. 可長期堆置者即可作就地處置，但應判定係全部就地處置或部分就地處置：各堆置場中有部份係填平窪地者，其中若無重大安全顧慮者且土地可供長期使用者，可將該廢棄物就地處置，但應建立完整資料，以利追蹤，包括：地籍資料/地形、地質、交通、環境資料/GPS地理資訊系統/掩埋之廢棄物種類性質、掩埋面積、掩埋量、掩埋層深度

應注意之事項為：

- 避免影響原有河川洩洪能力。
- 符合水土保持法規定，進行水保計劃編擬及審查。
- 做好廢棄物安定措施及沼氣排除設施或減少雨水滲出設施，避免造成二次污染。
- 加強排水設施，疏導雨水流量。

- 最終掩埋處理後，應進行表面復育、美綠化工程，使場址與附近環境協調。
 - 再生土地未來用途說明、限制。
 - 長期監測各再生地之變化，以瞭解對於環境生態之影響。
 - 擋土或護坡設施，需注意整體結構安全。
- 2.應作改善者：若無改善設施即有發生危險之虞者(如堆置邊緣臨近河川行水區，坡度超過 60 度或縱深超過 5 公尺)應即進行增設防護設施之工程設施規畫及工程費用估算，俟工程完工後依前項之原則管理之。
- 3.需部份移除者：部份侵佔河道，或距河道太近有立即崩塌之虞、部份高出地面易形成髒亂且招致其他垃圾入侵者，應覓地將有危險部份之廢棄物移除，但移除前應作分類
- 4.需立即全部移除者，包括有三種情形：
- 位於河床邊，崩塌後將阻斷溪流，雨季可能使河床水位暴漲，引起洪泛
 - 位於山谷鞍部，阻礙河道，雨季將可能使水流改道，造成土石流竄下游危害
 - 未填滿或在平地上任意堆置者，由於乏人管理將成為各種廢棄物任意棄置之場所

5.3 建築廢棄物資源化工作推動之建議

對於上述具危害性之廢棄物堆置場，應儘速將廢棄物移除，具資源化價值者可作再利用，其餘無法再生利用部分，應考慮予以安定化及減量化後再掩埋處置，或逕以垃圾衛生掩埋處置。資源化再利用之優點為：

- 將廢棄物堆置場改造成建築基本原料供應場，避免造成二次污染
- 減少堆置面積，早日將堆置場之土地回復正常用途
- 回收建材資源，避免浪費
- 提供再製資源化產品原料，創造產值
- 紓解未來災區重建所需之砂石級配料可能供應不足之困境
- 建立綠色建築之典範

因此，應針對現有之建築廢棄物堆置場進行以下工作：

1. 場址勘察：配合環保機關，對於廢棄物須移除之堆置場進行勘察，以選擇適合進行資源化工作之場址，其依據為：

- 平地向上堆積
- 建築廢棄物數量龐大
- 一般垃圾混雜量少
- 堆置場址不堪長時間堆置，包括具立即或潛在為險及業主將收回土地者

2. 針對已選定擬進行資源化之場址進行以下評估：

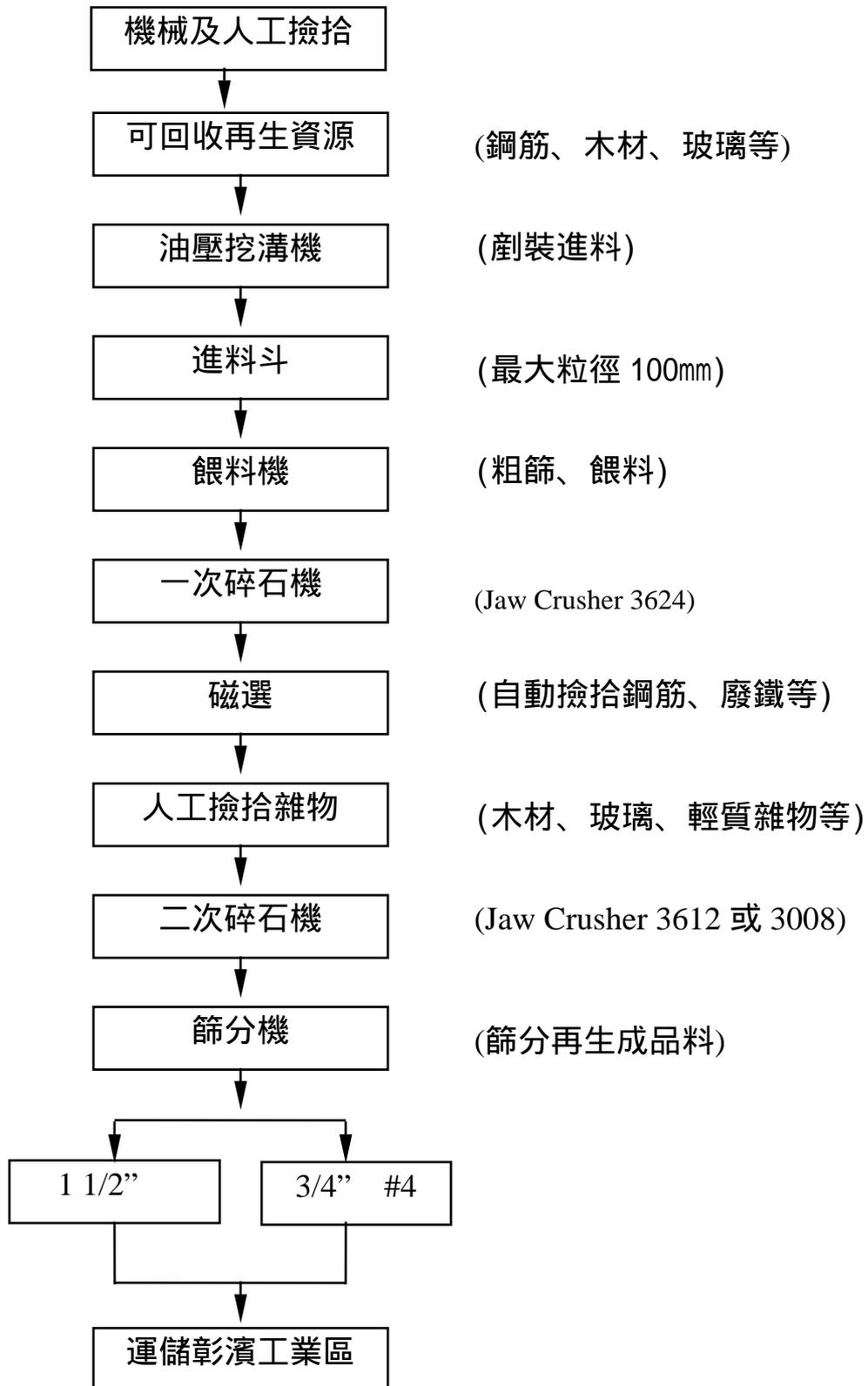
- 廢棄物數量估算(含磚石、混凝土塊種類數量之推估)
- 現場作業或須移至它處作業?應考慮現場空間與周邊環境是否適合作業。

3.經費估算

4.遴選廠商進場作業，但須做好進場作業管理、堆置場監測；對於即將拆除產生或尚未進場之建築廢棄物，儘量先預作破碎分離。應以自走式破碎機在拆除現場預作破碎後，將可資源化之廢混凝土塊等建築廢棄物集中至處理場，結合砂石業者進行建築廢棄物之分類、分選等工作：

- (1).建立「廢棄物堆置場功能評估表」，詳載現場資料
- (2).於現場規畫破碎作業區，及五個以上之分類堆置區、進出通路(含迴旋空間)..等。建築廢棄物經拆除、分類處理(粉碎、篩選、風選、磁選)、可作填方利用、級配料、再製混凝土製品。
- (3)「分類處理」後之不可回收之廢棄物，約佔總重量之 15~20%，由於體積蓬鬆，可由直接運送至環保單位指定地點堆存或處理，以免影響整體處理作業。
- (4).以怪手清理現場，將鋼鐵及一般垃圾清出並分離，鋼鐵直接回收，一般垃圾送往掩埋場。
- (5).進行初步破碎，過篩(3/8”篩孔)，篩上物為 1/2”可當粗骨材使用之再生級配料。
- (6).以顎型碎石機再碎化(調整開口大小)，獲得各不同細度磨數之粗細骨材(含細砂)，去除雜質後分類置放
- (7).取樣檢測各分選後粗細料之粒徑分佈，估算總量並記錄之
- (8).分類後之物料，可分別提供建築粗、細骨材使用，與製地磚原料之配比、強度等資料，並作成展示用之樣品。
- (9).約 4 個月可完成以上之破碎分選工作。
- (10)各粗、細骨材及製成地磚等之成份需求如附，可依建材原料之價格低若干比例(約 5 折)標售予建材業者

進行處理與資源化之分選所必需之設備及流程如圖十所示



圖十、分選設備主要流程

5.發包建議: 遴選廠商進場工作可採兩種方式:

甲案:由政府完全主導,雇工工作

對選定之堆置場,遴選合格之廠商,制定資源化作業規範,明確要求廠商依規範將廢棄物進行分類、分選工作,並驗收資源化產品分類情形。

本案之優點是目標明確,資源化產物品質合乎要求。

缺點是政府需確實負責資源化產品之產銷通路。

乙案:開放由民間廠商提規畫書,擇其優者進行工作委託,並嚴密監督其作業。廠商之規畫書包括:機具設備能力、工作經驗、擬進行之方法、預估之資源化成果及產品通路說明、經費估算等。

本案之優點是可視各不同廠商之能力(包括所掌握之市場通路),依不同堆置場之現況,作不同程度之資源化作業,彈性較大。

缺點是所需經費較無法掌握。

6.其他政府單位配合措施:

(1)公共工程單位:

- 提供公共工程所需之級配料數量、規格、地點、時間..等,以供資源化作業規畫之依據。
- 制定資源化建材再利用工程規範,資源化產品(砂石級配、各種地磚產品等)應符合一定之規範,並應經測試,以提供工程單位使用,不可為了響應資源化犧牲公共工程品質。
- 依政府採購法第九十六條規定,鼓勵工程單位採用資源化建材。

(2)工業區 (彰濱工業區)開發單位:提供可回填建築廢棄物、廢棄土量、規格需求

(3)環保機關:

- 對於進行建築廢棄物資源化工廠之用地與許可等申請給予協助。
- 協助清理堆置場之一般廢棄物至掩埋場或焚化場
- 資源化產品合乎環保建材規範者，鼓勵申請環保標章
- 嚴禁一般廢棄物混入堆置場

(4)財政機關:對於建築廢棄物資源化設備，視同環保設備予以賦稅優惠。

5.5 建築廢棄物資源化範例

經實地踏勘，建議選擇兩個方案進行分類處理，第一方案為自購分選設備，選擇適當之廠址，並設置臨時工地型移動或碎解分選設備機組依如前圖七所示之一般分選主要設備流程進行處理工作。第二方案為以發包方式，擇適當廠商承攬進行處理。

選擇廠商設備概略介紹如下，

<例>現有可能進行建築廢棄物資源回收之廠商說明：

1.台中縣某砂石廠

於大安溪畔有二十餘甲之用地可以提供建築廢棄物倒入，機械製砂。
每小時可製造 100 立方米砂

破碎 粗碎(顎型碎石機) 3 公分之碎石塊 多次細碎過篩(三階段以上，篩上物迴送再破碎) 砂(粒徑可達:0.1mm 以下) 水洗(除去微粉末) 機械製再生砂 強度測試

優點：

可以集中貯放數量龐大之建築廢棄物，以供長期使用之製砂原料

避免現地分類分選工作造成之空氣、噪音等污染

可以獲得品質、強度一致之砂，產品具競爭性及廣泛應用性

調整細碎次數可以獲得不同粒徑之碎石粗骨材，作為級配料使用

缺點：

水洗程序產生廢水，每噸砂約需一噸水洗(但水可回收 90%)

微粉末(磚粉、土等)經水洗後，另需作沉澱去除，產生之污泥

另需作處理

2.台中縣豐原某混凝土製品業者

從事混凝土產品製造(人孔蓋、涵管、道路分隔島...等), 鄰近有私有山谷地(約 5 公頃)可以填充土石。

廢棄物分離(除去一般家庭垃圾) 混凝土塊破碎 粗碎(顎型碎石機)
細碎 砂石粗骨材(2cm 以下) 加工製造各種混凝土產品

優點：

加工成本低

提供作為強度需求低之混凝土製品

廢棄料去處已作考慮(填自有山谷地)

缺點：

產品為較低價值者

廢棄物填充山谷是應另作環境影響說明

5.6 建議:

各種處理方式分別皆有其優缺點，可以多管齊下，如依地理位置、處理量之不同，開放讓民間業者參與解決問題，但應經嚴謹(但不繁瑣)之審核，其作業亦應有嚴密之監督。

拆除、清運與處理三者之應緊密配合，不可各行其事否則弊端突現。(拆者僅管拆，不分類；清運者只圖運到地點較近的地方，皆將增加回收處理之困難)

應協助業者克服法令障礙、舒通市場通路、提供經濟誘因。

- 法令:環境影響評估、用地取得、行政程序之簡化等

(註:但亦不應便宜行事，衍生後患)

- 市場:提供公共工程之供需資訊及制定產品工程規範，要求優先採用回收產品(但不應以單一產品為限)。
- 經濟:價差之補貼(必要時始為之，且應精算補貼費率，及進行嚴密稽核以杜絕業者僅以賺取補貼費為目的)。

最重要的是，環保與營建等各機關不論是中央或地方，事權皆應統一，避免各行其是而令有意投入之業者無所適從。

第六章 結論與建議

我國對於建築廢棄物的回收再利用近年來已獲得各界的重視。然而相較於其他先進國家，仍有努力改善的空間(表十一)。

表二十四、國內外建築廢棄物資源再利用發展現況

國家 項目	台灣	香港	日本	新加坡	美國加州
營建廢棄物 量 (t/年)	11,622,443 (僅包括建築 拆除)	12,045,000	76,000,000	336,200	11,000,000
營建廢棄物 再利用管制 法規	無	無	再生資源的利用 促進法律	無	無
再利用途徑	1. 廢棄土方與 混凝土塊、 磚瓦：填海 2. 瀝青混凝土 塊：再生瀝 青混凝土路面	惰性物料： 填海或平整 土地工程	1. 廢棄土方與混 凝土塊、磚 瓦：路基填 料、再生骨材 2. 瀝青混凝土：再 生瀝青混凝土 路面	廢棄土方與 混凝土塊 磚 瓦：臨時道路 與施工便道	道路路基，路 肩碎石路之 路面
目前再利用 率	無統計資料	80 %	81 % (1995)		
預期目標	無	84 %	90 % (2000)	無	50 % (2000)

營建廢棄物產生量極龐大，且無任何之危害性，是極值得資源化利用的物質，但是營建築廢棄物資源化之推動時最重要的是應考慮包括：地點、規格、成本、經濟、市場通路、法令與規範等要素。而公共工程單位提供對各種建材需求資訊，視需要作適當的資源化對象以避免因供需失調而將廢棄物轉製成另一類廢棄物，徒然耗費人力、金錢產品。適值921地震後，營建廢棄物之資源化再利用，冀望能喚起有識之士的重視，並納入法規加以推動。

國內營建混凝土廢棄物的產生量每年估計約達200萬噸，若高壓混凝土磚以50%廢料為原料，並在初期規劃提供16部壓型機組廠的營運，則每年營運產值可達到十億元/年以上，每年的營運毛利約可達到五億元/年。因此，經由本項廢棄物資源化技術的開發，預期的經濟效益將會非常顯著。

另方面,本計畫是開發營建混凝土廢棄物作為原料,並產製成國內具有非常龐大市場的商業化高壓混凝土磚產品,未來將可以有效消耗並解決國內營建混凝土廢棄物的最終處置問題,並發揮資源化的最大利用價值,同時,本項工業廢棄物的再生利用效益,尚可包括原先的廢棄物清運處置成本,以及廢棄物有效處置本身所具有的環保效率與社會成本的節省,因此,無形與有形效益均將非常顯著。

國內營建混凝土廢棄物的產生量每年估計約達693萬噸,若高壓混凝土磚以50%廢料為原料,並在初期規劃提供16部壓型機組廠的營運,則每年營運產值可達到十億元/年以上,每年的營運毛利約可達到五億元/年.因此,經由本項廢棄物資源化技術的開發,預期的經濟效益將會非常顯著。

另方面,本計畫是開發營建混凝土廢棄物作為原料,並產製成國內具有非常龐大市場的商業化高壓混凝土磚產品,未來將可以有效消耗並解決國內營建混凝土廢棄物的最終處置問題,並發揮資源化的最大利用價值,同時,本項工業廢棄物的再生利用效益,尚可包括原先的廢棄物清運處置成本,以及廢棄物有效處置本身所具有的環保效率與社會成本的節省,因此,無形與有形效益均將非常顯著。

此外,著眼於921大地震所產生之龐大量建築廢棄物,所面臨之緊急狀況,其處理或資源化當非如本計畫原所規畫之內容得以迅速解決,故應兼顧短期將大量廢棄物消化掉及堆置場安全之緊急需求作最完善之規畫。目前此部份之工作已由環保署委託臺灣營建研究院進行規畫,並已完成報告。本研究團隊有鑑於該項工作與本研究之主題關連密切,故特提出相關之建議以供有關單位參考,至於其採納實施,各級機關自有權宜衡量。

參考資料

中文部份

1. 「九二一震災建築廢棄物再生利用推動計畫」成果報告，財團法人臺灣營建研究院，行政院環保署委辦，民國 88 年 11 月。
2. 「臺中縣九二一震災建築廢棄物堆置場處置規劃」，工研院能資所，台中縣政府委辦，民國 89 年 2 月。
3. 經濟部礦務局資料整理。
4. 營建廢棄土處理方案，內政部營建署。
5. 建築研究所相關資料整理。
6. 劉福勳，營建材料，漢天下工程管理顧問有限公司。
7. 黃榮堯、莊威龍、陳俊傑、胡偉良，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，民國 87 年。
8. 魏 衍、李孝安、郭斯傑、江學文、許欽華，主要建材資源供需利用現況與調查架構研究，內政部建築研究所，民國 87 年。
9. 顏 聰、黃玉麟、陳豪吉，混凝土廢棄料回收再生利用之研究，內政部建築研究所，民國 86 年。
10. Jackson, N., Civil Engineering Materials, 劉惠德譯，乾泰圖書公司。
11. 黃兆龍，混凝土配比，混凝土施工技術，臺灣營建研究院，民國七十六年。
12. 黃兆龍，混凝土材料品質控制試驗，詹氏書局，台北，1986。
13. 林炳炎，飛灰、矽灰、高爐爐石用在混凝土中，三民書局，1993。
14. 魏忠堅，從資源減量使用與資源化層面探討主要建築材料之利用狀況，中國礦冶學會 87 年度礦冶年會論文集。
15. 章裕民、陳永成、林利國、陳文杰，我國建築施工廢棄物排放特

性研究。中國環境工程學會 87 年度年會論文集。

英文部份

1. von Stein, E., Construction and demolition debris, The McGraw-Hill Recycling Handbook, Lund, H.F. ed., McGraw-Hill, Inc., New York, 1993.
2. Mindess, S. and J.F. Young, Concrete, Prentice-Hall, Englewood Cliff, N.J., 1981.
3. Mehta, P.K., Concrete-Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, Englewood Cliff, N.J., 1986.
4. Malhotra, V.M., Ramachandran, V.S., Feldman, R.F. and Aitcin, P.C., Condensed Silica Fume in Concrete, CRC Press, Florida, 1987.

期末報告審查意見

評審意見	回覆意見
1. CH4 內所用的再生混凝之骨材為「廢磚石、混凝土」，建議用詞宜在結果（如圖、表）內澄清註明以免誤導。	遵照辦理，請參見第四章。
2. 請以材料化學觀點釐清本研究所測試出來的再生混凝土之物性（如吸水性、抗壓等），因此再生混凝土與一般混凝土只差在前表部份成份已「燒結」而已。	本研究報告係針對廢混凝土研製再生磚，其性質測試（吸水率 5.5%，p38 第五行），抗壓強度（p38 表 14）此再製品均未含燒結成份，與一般混凝土磚比較吸水率稍高，強度較弱。此乃由於再生骨材較一般骨材的物性差（請參考表九-表十二）。文內 p45 亦針對含燒結成份紅磚進行研究，結果如表 20 所示，含燒結骨材/混凝土再生磚較紅磚佳。
3. 研究考慮經濟性時應採回收、清除、破碎等成本納入。	本研究已納入“破碎成本”成本計算；但本研究僅探討以再生骨材代替天然骨材之可行性及比較，將建築廢棄物製成地磚廠所需之原料，其堆置、篩分、清除等製程成本，係上游廠商應負擔部分，不宜併計。（見期中評審陳組長瑞鈴意見 2）
4. 報告扉頁之「期末報告審查意見」應係「期初」或「期中」之誤。	已修正。
5. 表四比較表中，混凝土磚所用能源及空氣污染係轉給水泥業並非沒有。	已修正。

6. p43 作成水灰比無影響之結論有欠妥，該研究僅用水灰比為 0.4 和 0.5 可能無差距小，影響尚未顯著。	本研究亦針對水灰由 0.38-0.71 (p38 表 14) 進行探討，p43 所採用之水灰比為較佳的配比。
7. P.48-52 製程照片請逐一加註說明。	已說明。
8. 報告中引用 CNS 產品標準應係 CNS B295，而 CNS13296 為檢驗標準。	已遵照修正。
9. P.44-45 之圖表資料宜一致。	已遵照修正。
10. 高壓混凝土磚之產製技術相當成熟，可行性高。	謝謝指導。
11. 本計畫探討可能的市場應用包括： a.高壓混凝土磚 b.預拌渾凝土 c.消波塊 d.產業道路鋪設 e.土方塊鋪 f.增海造堤，而以高壓混凝土磚之附加價值論斷為最高？其計算基準並未包含分類處理、操作？設備費、土地成本 產銷機能、市場供需面等。	高壓磚、預拌土、消波塊及道路鋪築、磚塊或造堤階須經過分類、破碎等，其處理費用相同，至於土地成本產銷及供需面，建議後續計畫進行。
12. 本研究案實驗樣品來源僅為 30 年屋齡之拆除建築物，應考慮其他屋齡或廢棄之預鑄、預拌、場鑄混凝土製品加強立論基礎。（材料來源、材齡、強度不同時之分析）	意見極為寶貴，謝謝指導，將建議後續計畫進行。
13. 本研究案添加水泥種類為 I 型波特蘭水泥，若為考慮骨材鹼-矽反應時，僅用低鹼型水泥試驗結果為何？	本研究主要製備高壓混凝土磚，故與現有廠商相同採用 I 型水泥，並未考慮低鹼型水泥。

<p>14. 本研究案相關試驗結果廢棄混凝土應可再利用為高壓混凝土磚建材，惟仍應建立相關配合措施。</p> <p>(1) 法制面：蒐集國外經驗模式，研訂相關法令規章及配套措施。</p> <p>(2) 技術面：訂定最佳可行配合設計，如骨材化性(有毒物質限制標準)、物性(骨材篩選標準)。</p>	<p>意見極為寶貴，謝謝指導，將建議後續計畫進行。</p>
--	-------------------------------

期中報告審查意見

評審意見	回覆意見
交通部公路局陳所長式毅 15. 本研究案以混凝土再生產製高壓混凝土磚之可行性甚高，值得推廣應用。	謝謝指教。
16. 建議骨材級配改用過篩率表示，以方便分析及和規範一致。	已依評審意見修正。
17. 再生骨材在製程篩選，可由報告中之六號篩減為三至四篩號即可，8#以下篩網磨損率高，不利大量製程使用。	六個號篩為實驗室模擬骨材篩選之用，實際應用以四個號篩為主。
18. 報告中水泥成本採用每包 240 元，比市價偏高太多，建議修正。	已予更正。
19. 未來研議採用摻用「矽灰」乙節可能不實際，因矽灰價昂，且一般用於高強度混凝土。	原本研議之矽灰添加量不多，約 2.3% 左右，目前已改採添加飛灰，其製品抗壓強度增加約 2%。
20. 廢混凝土塊材質變異大，現行混凝土配比設計法可能不全適用，建議研擬「再生混凝土配比設計法」供業者使用。	本研究已提供相關方法，請參閱報告第四章。
21. 建議考慮採用蒸汽養生，提高產製速度。	目前業界尚未採用蒸氣養生，將建議業者考慮。
22. 廢混凝土塊用作地磚時，建議增加考慮耐磨性。	為提昇其耐磨性，可於磚表面層（0.6cm）採用天然砂與水泥即可達 CNS 13296（ $<15\text{cm}^3/50\text{cm}^2$ ）之耐磨標準。
賴教授榮平： 1. 廢混凝土塊再利用除了技術層面外，尚應探討經濟及產銷層面之困難點。	本研究僅探討以再生骨材代替天然骨材之可行性及比較。將建築廢棄物製成地磚廠所需之原料，其堆置、篩分、

難點。	粉碎等製程成本，係上游廠商應負擔部分，不宜併計。(見陳組長瑞鈴意見 2)
2. 再生工廠之環保條件，如噪音、用水、污泥、灰塵等之技術與投資應併入評估。	本研究僅探討以再生骨材代替天然骨材之可行性及比較。將建築廢棄物製成地磚廠所需之原料，其堆置、篩分、粉碎等製程成本，係上游廠商應負擔部分，不宜併計。
3. 目前初步的研究成果已具經濟性，惟對於骨材（含砂）每噸 500 兀的經濟分析之說明並不十分清楚。	一般天然骨材經實地訪查之市售價約 450-500 元/噸（包括運輸成本）。
4. 廢棄物資源化作業亦須工作成本，不知是否列入本研究 500 元/噸之假設條件之一。	未列入。
行政院工程會張科長振成	報告內已更改為 CNS。
1. ASTM 非屬採購法第二十六條之國際標準，需納入 CNS 才可使用。	
2. 成本應不只 4 元如此樂觀，可能是未考慮拆除費、堆置費等，建議應再將相關因素納入評估。	本研究只評估步道磚之物料成本，其餘因涉及建築廢棄物管理機制，不易估算。
內政部營建署林科長秉勳：	已更正。
1. 報告第二頁廢棄場不足問題(工研院能資所調查結果)，本署已解決。	
2. 可針對法規面、工程施工規範面及市場可行性來做具體評估。	本研究與天九公司進行實廠試作，在工程及市場可行性方面可提供評估資料，法規面則建議在後續計畫進行。
3. 購置成本，可參考營建署相關優惠規定。	謝謝指導。
王主任文伯：	謝謝指教。
1. 本計畫主動在工作範圍之外，參與九二一震災後建築廢棄物資源化探討，並提供具體之建議(第五章) 值	

得肯定。	
2. 依第二十六、二十七頁所述，本計畫已初步開發出符合 B 級之高壓混凝土磚，成本約市價之四成，頗具經濟效益，期望能在下半年度與廠商合作成功地開發商品化之產品，惟經濟分析仍需再加強。	再生骨材與天然骨材製成之步道磚成本相近，非市價之四成。（成本是指再生骨材碎磨至 $<3\frac{3}{8}$ ，加運費及添加料，其成本差別在正負 2% 內）。
陳院長振川： 1. 廢棄混凝土塊再生使用配製成混凝土時，細骨材之利用與作法，請再詳細說明。	已作補充說明。
2. 矽灰填加改進特性，在成本、資源與廢棄物再生使用上考量之可行性低，建議仍透過爐石，飛灰來改進。	遵照辦理，已考慮添加物的影響，見報告內容。
3. 成本估算時建議應考慮廢棄混凝土來源及堆置儲存時之土地使用費用。	本研究只評估步道磚之物料成本，其餘因涉及建築廢棄物管理機制，尚無法有效估算。
4. 第五章九二一震災建築廢棄物資源化、之寫法，請參酌實際情況與時程作些修正，可朝與研究主要課題之結合或納入為附錄。	921 震災廢棄物資源化處理為委辦單位要求列入工作內容，故以專章撰寫。
陳院長振川： 5. 高壓混凝土磚採用之再生材料，若有其他性質（如：原混凝土之抗應強度），請於報告中加註。	已加註。
江教授哲銘 1. 建築廢棄物來源（建築物）、之使用年齡，由於材料老化劣化之原因，是否有必要檢討其與再利用高壓混凝土、產品強度之影響。	骨材本身物性因老化/劣化之變化不大，主要再生骨材含雜物太多，才會影響其強度。
2. 廢棄物之輻射污染、化學污染，甚至生物(菌類)污染(台灣高濕氣候)之處理、淨化，建議亦應分析，並設定與檢定之安全極限。	本計畫主要針對廢棄物為廢建逐混凝土塊與紅磚塊，應用到人行步道磚上。有關遭受輻射、化學等污染之建築廢棄物

	應為特例，不在本研究範圍內。
郭教授斯傑：	已作修正。
1. 本研究報告中，出現許多統計數字(國內與國外)，但均未標示參考文獻之來源與出處，尤其第一章中，期初審查時已被提出，期中報告並未改善，請執行單位於期末報告時應確實改進。	
2. 第七頁上半頁 6390.421 公噸/年，下半頁卻成 6390 萬公噸/年，第四十二頁又成為 200 萬噸?統計數據請注意應前後一致。又此數字為以高雄縣市推估台灣地區，都會密集區與農業縣市差距極大，型態不同，推估是否合理?請加以說明。	已修正數據數字。請參閱相關引用文獻。
3. 第二十六、二十七頁採樣試驗製品，試驗個數每組只有二個，有無統計上之驗證，試驗結果如第二十六頁所述，若無統計論證其說服力不足，採樣 2 公噸，只有十個試體(共 30kg)，為什麼?	<ul style="list-style-type: none"> ● 試驗個數每組 3 個，取平均值。 ● 試製樣品約 150 個以上，均測其抗壓強度，並已進行 500 公斤的實廠製作。
4. 第二十七頁成本分析中，不含設備維修與折舊，太不合理。本研究更未考慮，廢棄物分類處理(土地費用、人工費用)及運輸成本，這兩項才是重大成本項目關鍵，這些都沒納入分析，即推論具有經、濟上之效益，似過於草率，此點期初審查時已提出，請執行單位確實改進。	<ul style="list-style-type: none"> ● 本研究主要探討以”廢棄物混凝土塊及紅磚試製步道磚之可行性”。 ● 再生骨材磚與天然骨材磚之比較物性及添加物料成本為主。 ● 土地、人工、運輸及設備等需分開另行評估。
5. 第二十九頁下二行開始，與上一頁重覆，第四十二頁類似情況，請修正。	已修正。
6. 第二十頁，需 6 公頃土地，台灣有多少地方可提供?運輸距離多遠!請	本研究僅對再生技術進行探討，至於將建築廢棄物製成地

仔細評估。	磚廠所需之原料，其堆置、篩分、粉碎等製程成本，係上游廠商應負擔部分，不宜併計。
7. 第三十三頁資料係從某報告中引用，卻未經消化整理，造成文句不通順，請修正。	遵照辦理。
8. 廢紅磚數量甚大，除拆除產生外，房屋裝修亦產生相當數量，建議應將研究範圍加以界定清楚。	本研究已將紅磚再生技術納入。
9. 第五章，震災之資源化處理建議，其內容寫法像是座談會會議紀錄，建議重新整理。	已作調整。
黃教授榮堯： 1. 報告中二十二頁(B)尾段提及「但細骨材則大部分無法符合ASTMC 33 規範要求。」，而於二十四頁尾段「，建築廢棄物在本研究中主要做為細骨材使用」，是否衝突?請說明。	已重作修正。
2. 本研究中再生骨材之取代僅使用廢棄混凝土塊，應可考慮加入磚塊混合取代之可行性及適當之混合比例。此外，亦應針對建築廢棄材料之均質性加以探討。	<ul style="list-style-type: none"> ● 再生骨材混凝土塊製成步道磚可達 B 級標準以上，抗壓$>408\text{kgf/cm}^2$。（砂以天然砂為主） ● 再生骨材混凝土亦考慮滲雜紅磚塊 50%，抗壓亦可達 C 級 357kgf/cm^2 以上。
3. 表十成本分析似乎未考慮建築廢棄物之分類與處理成本，且在不合設備維修、折舊費用情況下，恐怕不易與市售一般高壓磚之價格(\$10)進行經濟效益比較。	本研究成本由廢混凝土磨碎至 $<3''/8$ 開始評估，至於將建築廢棄物製成地磚廠所需之原料，其堆置、篩分、粉碎等製程成本，係上游廠商應負擔部分，不宜併計。
4. 加強第五章與其他章節之整合，維持報告之整體性。	已作調整。

5. 建議於研究題目次標後加入(高壓混凝土磚)。	依委辦單位意見辦理。
6. 表十一之資料來源出處?請標示。	已標示。
陳組長瑞鈞： 1. 本研究將磚塊加入一同研究，係於期初諮詢會時；部分委員有鑑於建築物拆除混凝土塊與磚石通常含在一起，不易拆分，且處理成本過高，不符經濟效益，因此建議納入。	再生骨材 1/2 為混凝土塊，1/2 為紅磚其抗壓強度亦可達 C 級 357kgf/cm ² 以上，估計成本與一般市售成本不相上下。（成本差約正負 2%）
2. 本案廢棄物之再生成本應就地磚廠商購入原料、生產、營運及運輸成本，各項加總估計：至於將建築廢棄物製成地磚廠所需之原料，其堆置、篩分、粉碎等製程成本，係上游廠商應負擔部分，不宜併計。	謝謝指導。
3. 期中報告各章節內容之文字及引用數據，上下又問常有矛盾之處，請注意研究內容之一致性。	已修正。
羅副研究員時麒： 1. 第一章國外文獻回顧，請加強蒐集先進國家之處理、處置方法，供未來政策規劃參考。	已補強。
2. 請計畫主持人在引用文獻資料時，特別注意資料來源之標示。	已作修正。
3. 高壓混凝土磚的研發，請依照期初諮詢會議結論二辦理，並述明相關試驗結果。	已作試驗項目：1.抗壓強度。2.吸水率。3.耐磨耗，結果參閱第四章。
4. 第七章結論之敘述，請以列點方式說明，部分內容重覆打字，請修正。另有營運成本分析請於報告中詳述。	已修正。

GPN : 002244890981

ISBN :

建築廢棄物之再利用技術開發

廢棄混凝土塊再利用

內政部建築研究所

(八十九年度)

建築廢棄物之再利用技術開發-廢棄混凝土塊再利用

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

出版年月：八十九年十月

版(刷)次：第一版

工本費：

GPN：002244890981

ISBN：