

再生混凝土使用手冊之研擬

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

PG9403-0691

094-30170000G1-006

「再生混凝土使用手冊之研擬」

受委託者 ： 國立台灣科技大學
研究主持人 ： 張 大 鵬
協同主持人 ： 黃 兆 龍
研 究 員 ： 洪 盟 峰
 ： 江 奇 成
 ： 詹 雅 竹

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE

MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

Proposing A User's Manual for Recycled Concrete

BY

TA-PENG CHANG

CHAO-LUNG HWANG

CHU-CHAN CHIANG

MENG-FENG HUNG

YA-CHU CHAN

December, 2005

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
英文摘要.....	XI
第一章 緒論	1
第一節 計畫緣起及目的	1
第二節 國外研究及應用情況	2
第三節 國內研究及應用情況	11
第二章 再生粒料及再生混凝土性質	15
第一節 再生粒料與河川砂石的比較	15
第二節 再生混凝土工程性質之探討	22
第三節 再生混凝土耐久性質之探討	31
第三章 研究方法及步驟	35
第一節 研究方法	35
第二節 研究步驟	38
第四章 完成之工作項目及具體成果	39
第一節 再生粒料生產設備與流程訪談	40
第二節 專家座談會議	41
第三節 期中報告說明會	43
第四節 初步成果發表會	44
第五章 結論與建議	47
第一節 結論	47
第二節 建議	48

附錄一 第二章部分國外文獻內容摘要	51
附錄二 專家座談會會議記錄	65
附錄三 再生粒料生產設備及流程訪談記錄	121
參考書目	127
附件 再生混凝土使用手冊(草案)	133

(共 64 頁)

表次

表 1-1 拆除廢棄物之分類.....	5
表 1-2 再生材料品質系統摘要.....	6
表 1-3 再生混凝土和圬工骨材之型態及應用性.....	7
表 1-4 RCA 污染量限制.....	7
表 1-5 再生混凝土配比要求.....	8
表 1-6 德國再生混凝土應用範圍.....	8
表 1-7 再生粒料性質要求.....	9
表 1-8 建築廢棄物產量.....	11
表 1-9 一般事業廢棄物產量.....	11
表 2-1 再生粒料比重及吸水率試驗結果.....	17
表 2-2 再生粒料洛杉磯磨損試驗結果.....	19
表 2-3 再生粒料健度試驗結果.....	20
表 2-4 再生粒料與天然粒料基本性質.....	21
表 2-5 粒料中有害物質及檢驗規範.....	21
表 2-6 再生粒料與天然粒料混凝土磨耗試驗.....	28
表 2-7 日本再生混凝土種類及用途.....	28
表 2-8 再生粒料混凝土綜合比較結果表.....	29
表 4-1 再生混凝土使用手冊研擬初步成果發表會議程表	45

圖次

圖 1-1 日本營建剩餘土石方再利用申請流程.....	3
圖 1-2 日本立石建設(株)之再生粒料製造工廠 之製作流程	4
圖 1-3 (株)京星之製作再生粒料之流程	4
圖 2-1 紅磚與瓷磚含量與彈性模數之關係.....	30
圖 3-1 研究流程圖.....	38
照片 AII-1 入口報到情況.....	83
照片 AII-2 主席致詞.....	83
照片 AII-3 會議進行情況(一).....	84
照片 AII-4 會議進行情況(二).....	84
照片 AII-5 會議進行情況(三).....	84
照片 AII-6 綜合討論情況.....	84
照片 AII-7 第一次專家座談會討論情形(一).....	117
照片 AII-8 第一次專家座談會討論情形(二).....	117
照片 AII-9 第二次專家座談會討論情形(一).....	118
照片 AII-10 第二次專家座談會討論情形(二).....	118
照片 AII-11 第三次專家座談會討論情形.....	119
照片 AII-12 第四次專家座談會討論情形(一).....	119
照片 AII-13 第四次專家座談會討論情形(二).....	120
照片 AIII-1 砂石車進料.....	122
照片 AIII-2 大塊再生料大破顎碎	122
照片 AIII-3 再生料沖洗及過篩	123
照片 AIII-4 錐碎	123

照片 AIII-5	出料之粒料情況	124
照片 AIII-6	再生粒料中之廢棄物	124
照片 AIII-7	再生廢棄物	125
照片 AIII-8	再生粗粒料	125

摘 要

關鍵詞：再生混凝土、再生粒料、品質管制、手冊

一、研究緣起

鑑於國內天然砂石料源日漸枯竭，使得營建工程的砂石材料之取得日益困難，另一方面，國內營建業每年產出的營建廢棄物中的混凝土廢棄物數量也極為龐大，因此，如能將這些混凝土廢棄物加以妥善回收處理，製成再生混凝土粒料，重新與一般細粒料、水泥、水及摻料等材料拌和製成再生混凝土，再行使用於營建工程中，將可減少對天然砂石料源之破壞開採，完成資源再生利用的處理機制，也將是未來國內營建工程施工必然之趨勢，這也是執行與完成本研究計畫的主要理念。

二、研究方法及過程

本項為期一年研究主要進行再生混凝土使用手冊之研擬，研究內容共有七大項如(1)包括調查瞭解再生混凝土適用主要、次要結構物之範疇與機會、機制，及國內外研究使用情形與規定。(2)研擬再生混凝土使用之原則及方式(3)再生粒料之品管作業規定與要求內容(4)再生混凝土配比設計方法與基本要求(5)再生混凝土產製技術與問題之研究(6)再生粒料應用於鋼筋混凝土設計作業要點之研擬(7)再生混凝土施工品質控制技術要點之研訂。

在研究過程中，除了以文獻研究法閱讀分析國內外再生混凝土之使用情況外，更進一步分析外國相關法規與資料，比較各國法規與國內再生混凝土使用現況，並參酌與現有產官學各界專家學者對再生混凝土推廣使用的意見，以完成本研究成果報告及使用手冊草案。

三、重要發現

經過本研究蒐集國內外相關文獻以瞭解再生混凝土粒料及再生混凝土與普通粒料混凝土的差異，以及參考現有國外相關再生混凝土的規範及國內現有再生混凝土的研究成果，並參酌與現有產官學各界專家學者對再生混凝土推廣使用的意見，基於「再生粒料及再生混凝土非次級品」的信念與原則，完成本研究成果報告及使用手冊草案，期能藉此提供國內再生混凝土正確使用之參考資料，提昇使用者對再生混凝土的信賴，利於推廣應用混凝土構造物的資源再生利用。

四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對再生粒料使用手冊之研擬研究案，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

立即可行之建議 – 再生混凝土之推廣使用

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

再生粒料混凝土，即便僅用於次要結構物，但由於其變異性較大，品質不穩定，於送至工地時，仍宜建立維持品質之查核方式，降低失敗機率。建議主辦機關及相關單位建造再生粒料示範結構物，提高業者、施工單位及民眾使用上的信心，並請相關單位積極推廣再生混凝土之使用。

長期性建議 – 再生混凝土 CNS 規範之建立

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本使用手冊屬參考之性質，日後若需落實應用，仍宜訂定 CNS 相關規範或納入目前現有之相關 CNS 規範中；建議可將再生粒料混凝土之相關注意條文納入普通混凝土使用規範當中，令使用者降低疑慮。

長期性建議 – 建立再生混凝土使用獎勵辦法

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

建議相關單位提供獎勵辦法或將再生粒料定為綠色營建材料，增加再生粒料使用誘因及附加利益。

ABSTRACT

Keyword : Recycled Aggregate, Recycled Concrete, Quality Control, Manual

Accounted for the scarcity of domestic natural resource of quarries, it is becoming more difficult to obtain the required aggregates for the construction project. On the other hand, the amount of concrete debris from construction waste disposal produced by the construction industries has reached a huge quantity, Thus, if these concrete debris can be recycled and treated properly to produce recycled aggregates such that they can be mixed with the normal fine aggregate, cement, water and admixtures, etc. to yield the recycled concrete for utilization in the construction again, it is anticipated that the scale of destruction and deprivation of natural resource of quarry will be alleviated. A mechanism of recycling the natural resource can then be well established and becomes the trend in the future construction project. This is main principle to proceed and complete this research project.

This one-year project is mainly aimed at proposing a preliminary User's manual for the recycled concrete. The contents of the project include the following seven items: (1) Investigate and understand its applicability, feasibility and mechanism to major and minor structures and the scope of domestic and oversea application relevant regulations;(2) Propose the principle and approach of application for recycled concrete;(3) Propose the operational regulations and required provisions for the quality control of recycled aggregate; (4) Propose the proportional mixing methods and basic requirements for the recycled concrete; (5) Study the problem and techniques associated with the production of recycled concrete; (6) Propose an operational guideline of reinforced concrete design incorporated with the recycled aggregate; (7) Propose a technical guideline of quality control in construction with recycled concrete.

During the process of research, we have collected the domestic and oversea

research papers and understand the difference between the normal concrete and recycled concrete with recycled aggregate, and also considered the related foreign engineering standards and research results and included the opinions coming from the societies of current industries, governments and academics. Basing the primary concepts of “the recycled aggregate and recycled concrete are not the second-class products” to ensure the confidence of users with the recycled concrete and feasible extension of its utilization, we complete this project with one project report and one volume of User’s manual (draft). It is hoping that both documents can be served a reference source for the correct usage of domestic recycled concrete and raise the confidence of user using the recycled concrete. As a result, promoting the application of recycling resource of concrete structures becomes feasible and promising.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起及背景

目前世界各國為達到永續發展共識，各個國家均逐漸發展廢棄物再利用之機制，由於台灣地區土地狹窄資源有限，近年來，台灣經濟快速發展，在不斷充實各項公共建設與各大民營工程興辦蓬勃下，建設及開發密集造成大量的建築廢棄物，鑒於國外發展及國內天然砂石料源日漸枯竭，使得營建工程材料取得日益困難。

另一方面，國內營建業每年產出的營建廢棄物中的混凝土廢棄物數量也極為龐大，根據統計，台灣每年混凝土廢棄量達三百五十萬噸[1]，加上台灣地處環太平洋地震帶，天然災害頻繁，災區建物的清除重建，廢棄物數量十分龐大，若無妥善處理，將會造成多環保問題。因此，如能將這些混凝土廢棄物加以妥善回收處理，製成再生混凝土粒料(Recycled Concrete Aggregate, RCA)，重新與一般細粒料、水泥、水及摻料等材料拌和製成再生混凝土(Recycled Concrete, RC)，再行使用於營建工程中，將可減少對天然砂石料源之破壞開採，完成資源再生利用的處理機制，也將是未來國內營建工程施工必然之趨勢，這也是執行本研究計畫的緣起與目的。

國外將回收廢棄混凝土所製成之再生產品再回收使用，已被證明足以節省材料及能源[2]，但將廢棄混凝土粒料回收作為再生混凝土之用，於國內之發展情形正處起步，本土化之研究成果略顯不足；目前使用廢棄混凝土粒料較常見之工程大多為道路工程，其他可適用工程項目仍需先予界定後，以提供各界使用，作為後續訂定規範之基礎；因此，本研究計畫探討各國之再生混凝土的發展應用，以及國內既有之規範，並參考國內外之相關研究文獻，用以訂定再生混凝土使用手冊，提供業界參考應用，鑑於國內使用再生混凝土在混凝土構造物之經驗仍嫌不足，本研究計畫內容以「次要構造物」為適用範圍。

第二節 國外研究及應用情況

聯合國世界環境與發展委員會於 1987 年提出「永續發展」(Sustainable Development)的理念與政策，強調地球發展與環境共生共存之重要性及必要性，促進世界各國積極從事相關之作業，也因此永續發展已成為二十一世紀國際環保工作之重點與趨勢[3]，國外對於營建拆除廢棄物回收再利用已行之多年，建築及拆除廢棄物主要包含：混凝土塊、瀝青、磚瓦、紙張、木材、金屬、玻璃等，日本也於 1994 年發表「建設廢棄物副產物對策行動計劃-Recycle Plan 21」，預定於 2000 年達到「最終處理量減半」的目標[3]；美國與英國則分別制定「固體廢棄物處置法」與廢棄物再利用白皮書「Making Waste Work」，來將建築廢棄物中之廢棄混凝土塊再生利用於道路工程以及建築工程；歐洲的荷蘭、比利時與丹麥三國則成立回收處理體系，並於建築法規中強制訂立回收建材比例，使其回收率達 80% 以上，其中超過 90% 的廢棄混凝土塊皆運用於道路底層之填充材料與填海造陸上[3]；各國在處理營建廢棄物的情形概要說明如下：

1. 日本

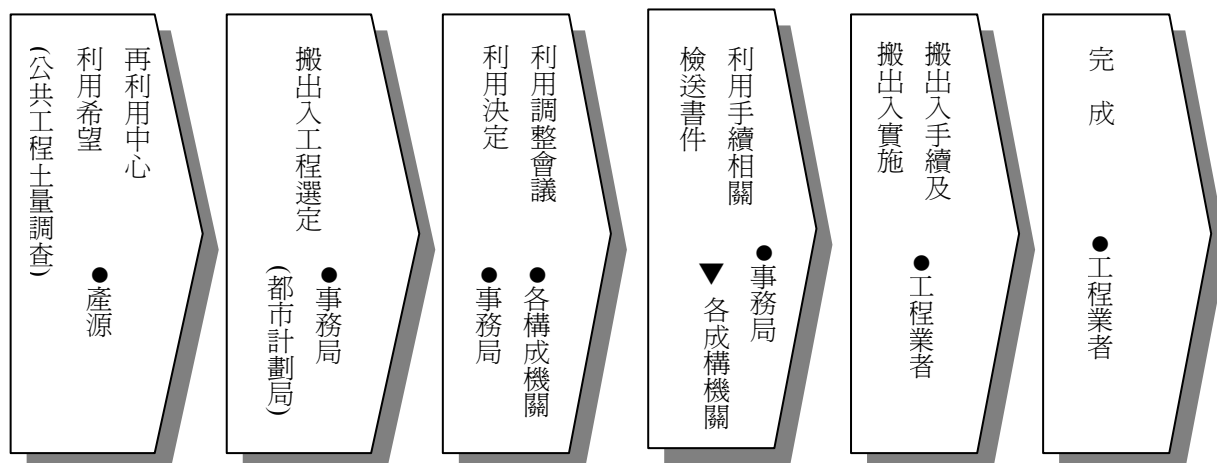
日本[4, 5]針對營建拆除廢棄物製作成為再生粒料並用於混凝土工程已有相當的歷史，在 1995 年時廢混凝土塊之再生利用率約為全國之 65%。日本建設副產物包括建設發生土及建設廢棄物，建設發生土即營建剩餘土石方。早期建設發生土又稱為建設殘土，與國內稱為廢棄土一樣，因易聯想為廢棄不用的垃圾，故於 89 年 5 月將「廢棄土」改名為「營建剩餘土石方」，「棄土場」改名為「營建剩餘土石方資源堆置處理場」，簡稱為「土資場」[5]，圖 1-1 為東京剩餘土石方再利用之申請流程。圖 1-2~1-3 為再生粒料製造工廠之製作流程，1996 年 3 月，於東京臨海副都心「世界都市博覽會-東京新開拓地」之建築部分結構體即使用該工廠所生產之再生混凝土，其製作流程運用數次的破碎、磁選、振動篩選、水洗及分級以製作出再生粗、細粒料，而後直接投入拌合槽拌合成再生粒料混凝土，再生粒料製造系統

為濕式磨礦機與利用選煤原理所開發，應用比重選別機方式之濕比重選別為其特長。而再生粗粒料製造能力為比重選別機方式，係由機械式改良為空氣式，並將處理槽擴大，每小時可製造 150 噸，其生產比率為 20~30% 為再生粗粒料，50% 以上為再生細粒料。所製造出來的粗粒料，平均密度 2.51g/cm^3 、吸水率 2.3%，細粒料平均密度 2.21g/cm^3 、吸水率 6.5% [5]。

在粒料堆置及處理方面，日本有制定規範[4，5]如下：

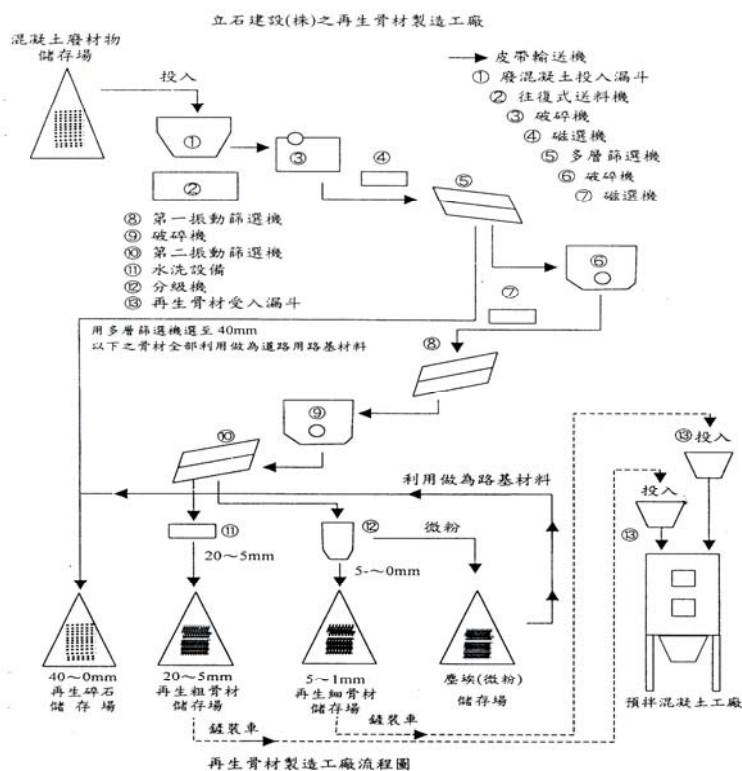
- (1)欲碎化成再生粒料之舊混凝土，因其品質不同或碎化方式不同時，須隔離存放。
- (2)再生粗粒料與再生細粒料分開存放。
- (3)再生粒料在存放、運送時，應避免造成粒料破損或使粒度分配不均勻的情形發生，而導致粒料品質上的變化。
- (4)再生粗粒料的吸水率較高，因此這類粒料在使用之前應處理成面乾內飽和。基於此一理由，再生粒料堆置場地須提供灑水設備，使粒料保持在濕潤狀態。再生細粒料因含有較多尚未水化之水泥和已水化之石灰石，放置過久易風化成為塊狀，應避免長時間存放。
- (5)再生粒料不得和其他類粒料混和堆放。

圖 1-1 日本營建剩餘土石方再利用申請流程



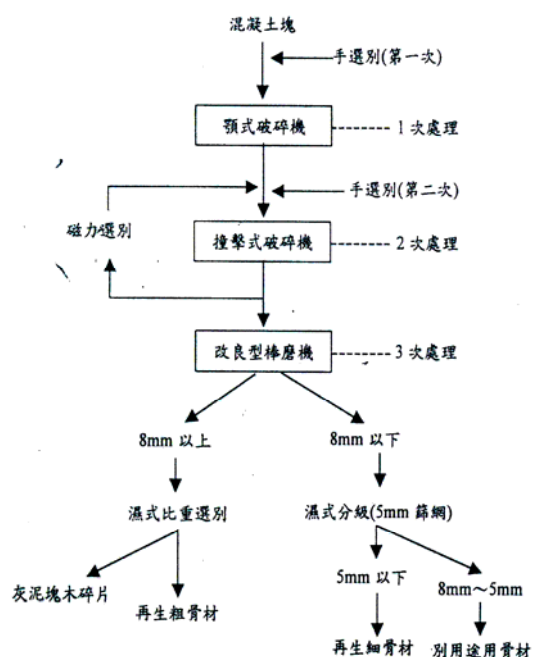
資料來源：[5]

圖1-2日本立石建設(株)之再生粒料製造工廠之製作流程



資料來源：[5]

圖 1-3 (株)京星之製作再生粒料之流程



資料來源：[5]

2.美國[6]

由美國 CMRA (Construction Materials Recycling Association)，William Turley 所做的估計，美國每年約有 1 億噸的混凝土回收，生產再生粒料；而由回收混凝土所生產之再生粒料，約佔 5% 的粒料市場（每年超過 20 億噸），1997 年，約有 68% 的再生粒料使用於路基，6% 的再生粒料用於新拌混凝土中，9% 作為熱拌瀝青使用，3% 用為高值 (high-value) 石基，7% 作為低值 (low-value) 產品，如一般填料，剩下的 7% 則為其他產品。目前美國再生粒料之使用大多仍是道路工程為主，有部分的州已制定當地之規範。

ACI 委員會針對營建再生材料編寫研究報告[7]，其中再生混凝土方面，從再生粒料製造與工廠設計，粒料的品質、尺寸、粒型、抗磨損能力、吸水率、密度，再生混凝土的新拌性質、硬固性質、耐久性等都将完整的整理與比較，其中也包含針對再生混凝土配比以及拌和程序的建議，也因此看出世界各國對於再生材料的使用，都積極之推廣。

3.澳洲 [6, 8]

澳洲則是將營建廢棄物分成兩類：一是建築廢棄物、一是拆除廢棄物 (C&D waste) 根據 CSIRO[6] 之研究指出，若可以加強再生粒料之品質管控，則可將使用再生粒料之混凝土用在需要更高品質之構造，而目前大部分的研究仍是將再生混凝土用在非結構之構造上。表 1-1 為澳洲拆除廢棄物之分類。

表 1-1 拆除廢棄物之分類

分類	廢棄物性質
1	清潔之鋼筋或無筋混凝土
2	略為污染的混凝土
3	含磚瓦之混凝土
4	未篩選混合拆除廢棄物

資料來源：[8]

澳洲也為了再生混凝土之使用訂定了再生混凝土使用手冊，HB 155-2002[8]，內容共分五大章，第一章為再生混凝土及圬工材料之材料與製程需求回顧，第二章及第三章分別為第一類和第二類再生混凝土骨材之使用規範，第四章為再生骨材混凝土施工案例，第五章處理一些副產品如玻璃柏油類，最後並附有相關之澳洲和道路規範。

再生混凝土粗骨材（顆粒密度 $> 2100 \text{ kg/m}^3$ ）含至少 95 % 是清洗過的廢混凝土。污染物量少於 1% 其他出現在 RCA 之材料包括卵石、碎石及水力水泥混凝土等。大多數再生骨材有 20 ~ 65 % 之舊有水泥漿體附著在骨材顆粒上，特別是粒徑 $< 4.5 \text{ mm}$ 之細粒料有大量的水泥漿體量。表 1-2 為再生材料品質系統摘要。

表 1-2 再生材料品質系統摘要

製程需求	品質需求
原料來源	拆除廢棄物
原料接受度	藉由選擇拆除物，篩選和門檻檢查而避免污染
材料貯存	預先或後處理貯存：
材料舉類	再生材料必須依其特定用途而加以舉類
工程性質測試	工程性質及測試頻率必須根據特定規範執行
異質材料含量	有機或無機污染物
環境	可稀釋

資料來源：[8]

有關再生混凝土粒料(Recycled Concrete Aggregate, RCA)在混凝土中之應用性，最關鍵性之考慮要項是其中所含污染物對混凝土之耐久性和服務性可能造成之負面效果。表 1-3 為再生混凝土和圬工骨材之型態及應用性。使用手冊中也建議再生骨材取代量可達 30%，不會對混凝土性質造成很大的差異，雖然也有 100% 取代量而獲成功之實例。

表 1-3 再生混凝土和圬工骨材之型態及應用性

再生混凝土 性質	用途			使用場合	
	填土	排水/過濾	鋪路	結構混凝土	鋪面混凝土
壓碎拆除塊	適用	通常適用	不適用	不適用	不適用
級配的拌和塊	適用	通常適用	某些情況適用	不適用	某些情況 適用
清潔的級配磚塊 /混凝土	極適用	適用	通常適用	某些情況 適用	經常適用
清潔級配混凝土	極適用	極適用	適用	可能適用	經常適用

資料來源：[8]

手冊中也將再生粒料分為兩類：(1)其抗壓強度大於 40 MPa 之 1A RCA 類，均勻級配骨材（粒徑 4-32 mm）其污染物小於 1%，(2)1B RCA 為使用 1A 類骨材與不超過 30%之碎磚塊拌和之混合物。同時也將混凝土分為兩級，限制其使用量，第一級 RC 使用 RCA 骨材最大量為 30%所製作之無筋和鋼筋混凝土，第二級 RC 使用 RCA 骨材量達 100%所製造之混凝土，其抗壓強度為 25Mpa 適用於非結構混凝土應用。表 1-4 為 RCA 污染量限制，表 1-5 為再生混凝土配比要求。

表 1-4 RCA 污染量限制

RCA 性質	粒料規格		試驗方法
	1A RCA	1B RCA	
磚塊含量(最大量)	0.5%	30%	
卵石類材料 < 1950 kg/m ³	1%	5%	
易碎料(最大量)	0.1%	0.1%	
顆粒形狀;比例 2:1	35%	35%	AS1141.14
顆粒密度 SSD (最低)	2100 kg/m ³	1800 kg/m ³	AS1141.6
體積密度(最低)	1200 kg/m ³	1000 kg/m ³	AS1141.4
吸水率(最大)	6%	8%	AS1141.6
骨材壓碎值(最大)	30%	30%	AS1141.21
總不純量(最大)	1%	2%	-
燒失量(最大)	5%	5%	-
清洗之物質損失量(最大)	1%	1%	-
健度損失(最大)	9%	-	AS1141.24
篩分析粒徑分布		-	AS1141.11

資料來源：[8]

表 1-5 再生混凝土配比要求

配比參數	1 級 RC 之限制量	2 級 RC 之限制量
抗壓強度(MPa)	40	25
RCA 取代量(%)(最大)	30	100
砂與總骨材比(最小)	0.4	0.4
飛灰含量%(最少)	20	20
空氣含量%(輸氣劑)(最大)	6	6
水泥含量kg/m ³ (最少)	270	225

資料來源：[8]

4. 德國

德國在 1998 年 11 月根據德國規範 DIN 1045 中使用再生粒料之混凝土制定了「再生粒料混凝土使用手冊」[9]，內容分為兩部分，一是對於再生混凝土應用範圍如表 1-6、配比(再生粗細粒料之使用量、水量控制)、製作、性質及監測等作要求，其中也特別提到再生粒料需要特別注意其吸水率及乾單位密度，另一部分則是規定再生粒料的製作、工廠要求、再生粒料的性質以及再生粒料組成的比例，如表 1-7，其中也要求再生粒料處理工廠需經由第三單位認證後才可製作再生粒料，且每一批再生粒料均要標明處理工廠以及來源，未來德國也研擬擴大再生粒料之定義，希望將其他礦物建築材料加入，如紅磚等，以達到廢棄物減量的目標。

表 1-6 德國再生混凝土應用範圍

應用場合	限制
室內構件	-
一般室外構件	能抵抗鹼矽反應
不透水構件	
抵抗普通化學侵蝕構件	

資料來源：[9]

表 1-7 再生粒料性質要求

性質	要求	
成分	碎石/砂及天然粒料	$\geq 95 \text{ M-}\%$
	礦物成分(輕質混凝土及磚...等)	$\leq 5 \text{ M-}\%$
	非礦物成分 (植物木頭紙金屬玻璃塑膠等)	$\leq 0.2 \text{ M-}\%$
乾單位密度		$P \geq 2.0 \pm 0.15$
吸水率	碎石/砂 $> 2 \text{ mm}$	$W \leq 10 \text{ M-}\%$
	碎砂 $\leq 2 \text{ mm}$	$W \leq 15 \text{ M-}\%$
環境限制	大多與德國其他規範相同	

資料來源：[9]

5. 歐盟

歐盟方面，營建和拆除廢棄物（簡稱 C&D waste）已有相當多的研究與發展舉行在 RILEM 組織的技術委員會 [10]，並且被發表在三個國際討論會，如 1985 年比利時、1988 年日本，和 1993 年丹麥。以營建和拆除廢棄物的趨勢而言，大多數歐盟成員國已建立了回收目標，他們的營建和拆除廢棄物產品範圍從 50 %到 90%，為了替代自然資源譬如木材、鋼和粒料，再生材料通常比天然材料較便宜，且回收在德國、荷蘭和丹麥一般處置較不昂貴，並且在 1990 年統計營建和拆除廢棄物平均 28 %被再生利用，在荷蘭 95 % 被再生利用，且在丹麥 90 % 被再生利用，且在 2000 年估計每年產生營建和拆除廢棄物大約是 2~3 億公噸。

在歐盟方面廢棄物以預防和減少為原則，其方向有 4 大原則：清潔技術、R3（廢棄物之回收、再利用和重新獲得）、營建和拆除廢棄物之管理和規劃、處罰污染者條款。未來影響營建和拆除廢棄物有三個主要因素：人口密度、天然材料的產出和使用、工業化程度，這三者因素都與營建和拆除廢棄物成正相關的關係，例如人口密度越高所造成的廢棄物也隨之提高；運用過多的天然材料也：會造成對環境的衝擊；工業化程度越高所產生的廢棄物也越多。以經濟方面考量再生混凝土有以下三點：1. 以混凝土品質而言，再生粒料之混凝土品質

也能像天然粒料一樣，因此選擇再生材料或自然材料取決於價格和品質。2. 有些國家在回收上規定特別稅及其費用，例如 1986 年丹麥政府規定，若在垃圾場裡不回收的廢棄物，也要增加其稅收。3. 對社會而言，成本效益分析的兩項評估是支付對環境的衝擊以及許可對環境的衝擊。

第三節 國內研究及應用情況

1. 國內研究及應用情況

台灣目前主管建築廢棄物的機關為「內政部營建署」及「行政院環保署」，處理建築廢棄物主要依照「營建剩餘土石方處理方案」及「廢棄物清理法」，目前政府為健全整體廢棄物回報系統，也於網路上架設三個相關網站，「營建剩餘土石方再利用申報」、「營建廢棄混凝土再利用申報」、「營建廢棄物申報」，以此建立完整之全國營建資源再利用管理申報系統[1]。而建築廢棄物之產量，如表 1-8 及表 1-9 所示，其中一年較一年多之廢棄物產量除了因為廢棄物申報系統漸趨完整之外，如何減少營建廢棄物以及營建廢棄物再利用也是政府努力的目標，因此行政院也通過了公共工程廢棄物再利用之計畫，預計在未來公共工程之廢棄物再利用可達 80%~90%。

表 1-8 建築廢棄物產量 (公噸)

	公共工程		建築工程		總計		餘土量
	產出量	需填量	產出量	需填量	產出量	需填量	
民國 85 年	1,416.5	132.5	1,031.8	9.0	2,448.3	1,334.4	1,113.9
民國 86 年	2,081.3	1,980.3	1,898.4	98.5	3,979.7	2,078.9	1,900.8
民國 87 年	1,730.0	2,381.7	1,238.0	5.8	2,968.0	2,387.5	580.5
民國 88 年	1,903.0	2,427.5	1,761.8	57.4	3,664.8	2,485.0	1,179.8
民國 89 年	1,807.5	1,702.3	1,491.5	46.3	3,299.0	1,748.6	1,550.4
民國 91 年	1,958.6	230.8	473.2	22.5	2,431.8	253.0	2,178.5
民國 92 年	2,764.5	701.3	1,062.7	49.6	3,827.2	750.9	3,076.3
民國 93 年	2,584.3	580.6	1,461.6	44.4	4,045.9	625.0	3,420.9
民國 94 年	2,214.0	766.9	1,992.8	32.2	4,206.7	799.1	3,407.6
總計	18,459.7	10,903.9	12,411.8	365.7	30,871.4	12,462.4	18,408.7
平均	2,307.5	1,363.0	1,551.5	45.7	3,858.9	1,557.8	2,301.1

資料來源：[1] (本研究整理)

表 1-9 一般事業廢棄物產量 (公噸)

一般事業廢棄物	民國 90 年	民國 91 年	民國 92 年	民國 93 年
土木或建築廢棄物混合物	6971.22	14699	21511.9	69470.79

資料來源：[1] (本研究整理)

國內目前對於建築廢棄物再利用之研究也積極的再進行，除了本案針對再生混凝土使用手冊做研擬外，交通部也通過了廢棄混凝土應用於公路構造物之規範，其他學術單位也有研究案同時進行，如建築物拆除計畫...等。

關於再生混凝土目前國內應用情況，仍是以道路工程為主，尤其在國道及公路方面，如公路總局第二區養護工程處之 119 黃泥崎段彎道改善工程就將再生混凝土應用於 140 kgf/cm^2 、 175 kgf/cm^2 及 210 kgf/cm^2 擋土牆、護坡[11]，國道新建工程局二高後續計畫快官草屯路段也將再生粒料作為路堤填築之材料[12]，除此之外，國道新建工程處也將使用再生之要求放入其內部建立之工程要求手冊中，其中提到再生混凝土適用於回填或基礎墊層之 80 kgf/cm^2 級混凝土及串方塊之 175 kgf/cm^2 級混凝土，再生粗粒料之使用量不得超過全部粗粒料重量之 40%，且比重大於 2.2，吸水率小於 10%，最大磨損百分比小於 50%，長扁片（長或寬大於寬或厚之 3 倍者）不得大於總重之 30%。

2. 國內再生粒料生產情況

一般國內土資場收容營建拆除廢棄物，在經破碎、篩選後，質料較好之砂石可作為粒料使用，較差之砂石則作為填料用。國內營建拆除廢棄物當中，廢混凝土塊及紅磚為最大量者(約占 70%~80%)，若將破碎後的廢混凝土塊作適當處理以生產再生粒料，則需相當得技術。因此國內在處理營建拆除廢棄物以製造再生粒料之流程大致上可分為篩選、破碎、磁選、錐碎、研磨、再篩選、級配與洗淨等程序。經過上述程序所製造出的再生粒料，可用以拌製再生粒料混凝土或是用於道路底層。其處理機具及設備，茲簡述如下[1, 4, 13]。

1. 轉筒式篩選機：由轉筒式篩選機將破碎後之廢棄混凝土塊分離。
2. 破碎：廢棄混凝土塊或是磚石類經初步分類後，製入顎式壓碎機 (Jaw Crusher)，經破碎後依所需求粒徑或尺寸分離。

- 3.磁選：藉磁力作用將鐵金屬物質篩選分離，可置於破碎機之後。
- 4.錐碎：廢混凝土塊經顎式壓碎機破碎後，通常會造成粒料形狀外觀有較多的尖銳稜角，造成工作性不佳。若再生粒料在經過錐式破碎機(Cone Crusher)破碎後，能將表面部分稜角去除，以改善再生粒料基本性質。
- 5.磨砂機：依所需尺寸，將錐碎後的再生粒料以研磨的方式，可造出粒型較佳且表面較為潔淨之再生粒料。
- 6.清洗：廢棄混凝土塊或是開挖土方經破碎及錐碎的處理程序後往往含有大量粉塵及其它雜質，藉由洗砂機作初步的清洗，以降低再生粒料含泥量。
- 7.拌合：破碎後的再生粒料，在經由適當比例拌合後，可產生所需細度模數之級配，以利後續級配級配使用。

第二章 再生粒料及再生混凝土性質

第一節 再生粒料與河川砂石的比較

一般廢混凝土塊在經過破碎時，其表面會殘存水泥漿及水泥砂漿，根據文獻指出[4~20]，再生粒料表面含有大量水泥漿(約 17%)，而在文獻指出，附著於再生粒料上之水泥砂漿所佔體積比例，隨著粒料粒徑愈小，所附著之砂漿比例愈高，通常再生粒料之砂漿附著量約在 25%~60%間。根據文獻[4,5,14,15,16,17,18,19,20]再生粒料與天然粒料的主要差異有下列幾點：

- (1)來自廠鑄混凝土的再生粒料粒徑大於預鑄混凝土之再生粒料。
- (2)來自基礎或建築物樑柱的再生粒料所含有毒物質高於暴露者。
- (3)與天然粒料相較，再生粒料之表面多角粗糙。
- (4)再生粒料因混合紅磚且表面含有水泥砂漿的特性，因而造成再生粒料比重較低，粗粒料約 2.2~2.5，細粒料約為 2.0~2.3。
- (5)再生粒料乾比重(O.D)愈低其吸水率愈高，另外再生粒料表面水泥砂漿附著量與吸水率呈正比之關係。再生粒料的比重及單位重較低而吸水率及含泥量較高。
- (6)再生粒料小於 #200 號篩之含量較天然粒料多。

有關再生粗細粒料的特性與河川砂石特性相關研究分析如下：

1. 比重及吸水率

材料之重量與同體積之水量(4°C)之比，稱為比重，或稱材料絕對堅密之單位體積重量，因係比較值，故無單位。一般河川粗粒料比重約為 2.63；再生粗粒料比重約為 2.40~2.43[18]，再生粒料比重與其顆粒大小成正比[21]。

一般河川粗粒料吸水率約為 1.04%；再生河川粗粒料吸水率約為 5.65~6.50%[18]。再生粒料較原生粒料的吸水率來的高[7]，其吸水

率通常高出 3%~10%，且與混凝土回收過程有關[21, 22]。

多數人認為，附著的砂漿是導致再生粒料的比重較原生粒料低，且吸水率較高的主要原因，由於水泥漿體較河川粗粒料具有多孔性與比重較小的特性，故再生粗粒料具有比重較小及吸水率較大的性質[7, 23, 24]。

Nagataki 等人[26]則認為，黏附的砂漿（AM, adhered mortar）並不一定是決定再生粗粒料品質的主要變數；由於砂岩粗粒料顆粒原本就具有部分約 30 μm 厚的細微裂縫，其所進行的實驗當中，脆弱顆粒約佔所有顆粒重量比的 8%，這些脆弱顆粒具有高達 2.4% 的吸水率（一般顆粒吸水率約為 0.9%），一些脆弱顆粒當中甚至含有獨立且易碎，直徑約 50 μm 的孔洞。Nagataki 等人發現，在回收前，原料混凝土裂縫發生的來源主要來自於粗粒料；除了極微小的收縮裂縫之外，在原料混凝土核心所裁切的平面下，並無漿料或界面轉換區（ITZ）的裂縫發生。

一般工程規範常規定混凝土粒料的比重不得小於 2.50；吸水率不得大於 3%，依此準則再生粗粒料不符合規範要求。Hansen & Narud [19] 指出再生粒料粒徑 4~8 mm，吸水率為 8.7%；再生粒料粒徑 16~32 mm，吸水率為 3.7%。

李佳彬等[25]指出再生粗粒料比重及單位重分別降低 12% 及 13%，原因主要為其表面水泥砂漿的含量較高。再生粗粒料吸水率達 6.25%~9.25%，遠高於天然粗粒料的 0.4%。一般河川細粒料比重約為 2.56；再生粗粒料比重約為 2.25~2.28[18]。一般河川細粒料吸水率約為 2.38%；再生河川粗粒料吸水率約為 7.92~10.2%[18]。

目前交通部「廢棄混凝土應用於公路構造物中規範草案」中，廢棄混凝土及陶瓷類材料再生粒料品質標準規定，再生粗粒料比重需大於 2.2，吸水率需小於 7%，再生細粒料比重需大於 2.0，吸水率需小於 10%。民國 92 年，公路局以交通部「廢棄混凝土應用於公路構造

物中規範草案」為依循，進行廢棄水泥混凝土應用於再生粒料水泥混凝土之工程（119 黃泥崎段彎道改善工程），該工程範例中，再生粒料吸水率及比重之試驗方法，主要參考交通部「公路工程施工規範」之增修草案及國內其他相關規範，依照「CNS 488 粗粒料比重與吸水率試驗法」操作，該工程以再生粗粒料取代一般粗粒料（不含再生細粒料），取代量為 37.8%，拌成 210 kgf/cm^2 以下之再生混凝土，使用於擋土牆，試驗結果結果如表 2-1，再生粗粒料平均比重為 2.27，滿足於規範草案中針對再生粒料比重需大於 2.2 之規定；吸水率平均值為 9.51%，雖滿足規範中吸水率小於 10% 之規定，卻接近上限值。

表 2-1 再生粒料比重及吸水率試驗結果

項目	SSD 比重	乾比重	吸水率 (%)
試樣 1	2.27	2.07	9.37
試樣 2	2.24	2.05	9.61
試樣 3	2.31	2.11	9.56
平均	2.27	2.08	9.51

資料來源：[11]

2. 粒形與級配

粒料之粒形與級配對混凝土的品質影響甚鉅。粒形即粒料之外觀形狀，而級配則表示粒料中各種不同尺寸顆粒之組成百分比，即大小顆粒分佈之情形；粒料之粒形最好接近球形或立方體，且具有符合規範之級配，具有良好粒形與級配之粒料，其所拌成之混凝土工作性較佳。

再生粒料顆粒具有較多凌角，表面較為粗糙，且通常含有外來的雜質如金屬、木材、塑膠、紙板...等，因此必須採用一個有計畫的程序，在壓碎混凝土前，利用機械或人工的方式，有效的去除這些雜質，並在壓碎後將產物完全清潔 [24, 26]。

回收程序對於粒料的性質有重要的關係，粗細粒料的再生比（reclamation ratio）亦與回收程序相關[22]。破碎設備與處理流程會影響再生粗粒料的級配，若能先以顎式碎石機再加上錐式碎石機去除再生粗粒料之尖銳稜角，發現其粒形接近方圓，並不差於河川粒料。經此方式處理的再生粒料的級配可符合 ASTM C33 之需求，不需再經級配調整[18]。此外，根據許多學者的研究指出，混凝土可以利用兩次的壓碎過程，生產出符合 BS 882 規範的再生粒料[24]。以廢混凝土塊進行破碎篩分結果顯示，粗粒料約佔 73~84%；細粒料約佔 16~27%[18]。但有些報告指出，再生粒料不一定符合 ASTM C33 之需求[27]。目前交通部出版之廢棄混凝土及陶瓷類材料再生粒料使用手冊中建議，應用於水泥混凝土之再生粗細粒料，其級配需符合 CNS 1240 之規定。

3.磨損率

一般河川粗粒料磨損率(洛杉磯磨損試驗 500 轉)為 18%；再生粗粒料磨損率約為 30.0% ~ 33.8%[18]。ASTM C33 指出使用在混凝土結構的粒料對一般結構應該磨損率小於 50%，使用再鋪面的破碎岩石應該小於 40%。根據有效數據，Hansen 認為由最差品質的回收混凝土製作的再生混凝土粒料仍可以通過 ASTM 對混凝土的要求[28]。Sagoe 及 Crentsil 等人[29]研究結果則指出，再生混凝土磨損率高出普通混凝土約 12%。

民國 92 年，公路局進行之 119 黃泥崎段彎道改善工程中[11]，依據「CNS 490 粗粒料磨損試驗法」進行洛杉磯磨損試驗，試驗結果如表 2-2 所示，經 500 轉磨損試驗後，損失百分率為 37.35%，遠大於天然粒料 18%~25%，但仍可滿足規範規定小於 40%之要求。

表 2-2 再生粒料洛杉磯磨損試驗結果

篩號	試樣重量 (g)	規定重 (g)	
1/2''~ 3/4''	2501.0	2500	
3/8''~ 1/2''	2500.6	2500	
總重 (g)	5001.6		
		百分率(%)	損失百分率(%)
100 轉後重 (g)		90.65	9.35
500 轉後重 (g)		62.65	37.35
鋼球個數	11		
級配種類	B		

資料來源：[11]

4. 破碎值

利用抗壓機對容器內粗粒料施加一定力量，以了解其破碎情況，河川粗粒料破碎值為 26.4%；再生粗粒料破碎值為 38.6% ~ 46.9% [18]。

5. 健度

健度，又稱為安定性。混凝土拌和材料中，若有游離石灰、氧化鎂、無水硫酸...等呈健度不安定時，在拌製混凝土時，將在水泥已經凝結後，方開始產生水化作用，故形成異常膨脹或畸變，使混凝土產生龜裂，引起結構物之破壞。

一般河川粗粒料飽和硫酸鈉重量損失率為 3.4%；再生粗粒料飽和硫酸鈉重量損失率為 11.6% ~ 15.4% [18]。硫酸鹽抵抗試驗 (ASTM C88) 以 ASTM C33 規範為依據，再生粒料對凍融的抵抗則依 ASTM C88 試驗去確定 [7]。

目前交通部「廢棄混凝土及陶瓷類材料再生粒料使用手冊」中對於再生粒料健度的要求為：硫酸鈉溶液方法重量損失不得大於 12%，硫酸鎂溶液之方法重量損失不得大於 18%。民國 92 年，公路局進行之 119 黃泥崎段彎道改善工程中，依據「CNS 1167 A3031」、「AASHTO

T104」進行再生粗粒料健度試驗，試驗結果如表 2-3 所示，經硫酸鈉五次循環後，其重量損失百分率為 11.7%，雖遠大於天然粒料，但仍符合規範要求。

表 2-3 再生粒料健度試驗結果

篩號	試驗前重 (g)	試驗後重 (g)	規定重 (g)
1/2''~ 3/4''	670.0	581.1	670
3/8''~ 1/2''	330.0	294.8	330
#4 ~ 3/8''	300.1	272.1	300
總重 (g)	1300.1	1148.0	
損失百分率 (%)		11.70	

資料來源：[11]

6.扁平率

一般河川粗粒料扁平率為 3.1%；再生粗粒料扁平率為 2.2%~4.8%，且再生粗粒料與河川粗粒料的形狀因子相似。此因再生粗粒料處理程序為先以顎式碎石機再加上錐式碎石機去除再生粗粒料之尖銳稜角。但是若僅以顎式碎石機處理，則易造成扁平率過大的問題[18]。

7.孔隙率

再生粗粒料的孔隙率為 0.043 ~ 0.899 μm ，河川粗粒料的孔隙率為 0.0396 μm ，經由壓汞試驗儀可驗證再生粗粒料的孔隙較大且較多，直接影響再生粗粒料的強度與吸水率[18]。

其他相關文獻研究及規範如表 2-4 及表 2-5。

表 2-4 再生粒料與天然粒料基本性質

	再生粒料		一般粒料	
	細粒料	粗粒料	細粒料	粗粒料
表乾比重	2.26	2.54	2.57	2.68
粗粒率(FM)	2.92	6.72	2.63	6.64
吸水率(%)	11.15	4.40	1.88	0.57
單位容積質量	1.36	1.45	1.68	1.62
洗淨試驗(%)	2.5	0.4	1.8	0.9
黏土塊量(%)	0.7	0.1	0.1	0.0

資料來源：[18, 20]

表 2-5 粒料中有害物質及檢驗規範

有害物質種類	許可值(%)	對混凝土的影響	依據規範	
			ASTM	CNS
有機物		影響凝結及硬固時間，可能造成惡化	C40 C87	11153
通過#200 號篩 (75mm)細料	<1.0(粗) <3 細(磨耗) <5 細(一般)	影響粘著性，增加用水量	C117	491
煤或褐煤或其他輕質物	<0.5(外觀) <1.0(一般)	影響耐久性，可能造成污染及爆開	C123	1164 1172 10990
柔軟顆粒	<10	用水量增加影響耐久性	C851	1173
土塊與易碎顆粒($\gamma < 2.40$)	<3	影響工作及耐久性，可能造成爆開	C142	1171
角 岩 ($\gamma_{SSD} < 2.40$)	<8	影響耐久性，可能造成爆開	C295	—
氯化物	<0.1	不正常凝結，造成混凝土中鋼筋鏽蝕爆裂	—	1240 12891
磨損率	<50	造成較大之磨耗結果	C131 C295 C536	3048 490
硫酸鎂健性(5循環)	<18	影響耐久性，造成表面粉化分解	C88	1167
粒料鹼性反應 膨脹	<0.05(3個月) <0.1(6個月)	不正常膨脹，淵生「地圖狀」爆裂	C289 C229 C342 C441	

資料來源：[18, 20]

第二節 再生混凝土工程性質之探討

再生粒料變異性大，若使用於製造再生混凝土，即使取代量相同，由於來源的差異，亦可能造成再生混凝土在各種性質上極大的差異；本研究報告為忠實呈現此一現象，故將各文獻資料上之結果均列出，提供使用者參考及注意。

1. 坍度

由於回收粗粒料表面較河川粗粒料粗糙且沾有硬固水泥砂漿，且有高吸水率之特性，會在混凝土拌合時吸收少許水，導致使用回收粗粒料之再生混凝土的坍度較普通混凝土坍度小，再生混凝土的坍度為普通混凝土之 67%~100%，文獻[30]之再生混凝土的坍度比普通混凝土稍差之研究結果一致。Limbachiya[24]認為，再生混凝土之坍度隨著再生粒料含量增高而降低，Topçu 等人[23]則指出，再生混凝土的工作度較普通混凝土差，特別是取代量超過 50%的情況下。

再生混凝土的配比拌合程序與使用天然粒料的混凝土非常相似，必須修正含水量以獲得適當的工作性，但水灰比的改變要相對較小，這是由於吸水率較高，使用再生粒料必須添加更多的水，使混凝土達到同樣的工作性及坍度[21, 31]。

Poon 等人[32]將再生粒料的含水狀態控制在氣乾 (AD)、爐乾 (OD) 與面乾內飽和 (SSD) 後，拌製成再生混凝土進行試驗，試驗結果發現，再生混凝土之初始坍度值受到配比中自由水含量決定，而坍度損失則與粒料含水狀態有關，其中坍度損失最嚴重為摻加 100% 氣乾或爐乾狀態之再生粒料。

2. 坍流度

再生混凝土之坍流度為普通混凝土之 80~103%，即再生混凝土之流動性較普通混凝土稍差；此係回收粗粒料表面較粗糙且多孔隙，拌合時混凝土中的部分自由水會被回收粗粒料吸收所致，但也發現由於再生粗粒料之比重較河川粗粒料小且多孔隙，故在坍流度試驗上較

不會有粗粒料下沉現象。

3.單位重

再生混凝土之單位重為 $2215.8 \sim 2259 \text{ kg/m}^3$ ，較普通混凝土之 $2344.5 \sim 2360 \text{ kg/m}^3$ 稍低；即再生混凝土的單位重為普通混凝土的 94%，日本學者所提出之再生混凝土單位重 $2120 \sim 2430 \text{ kg/m}^3$ 的值相近 [21, 30]。推究混凝土單位重差異的原因，主要係因回收粗粒料的來源與分類程度不同所致。

2005 年，Poon 等人[33]使用四種污染物（粘土磚塊碎片、碎瓦片、碎玻璃及木屑）製作鋪面塊，探討再生粒料所含污染物量多寡對混凝土之影響；研究結果顯示，加入污染物，密度平均降低 5%。

4.含氣量

普通混凝土之含氣量一般介於 1.5%~2.0%之間。2003 年監察院的研究報告中指出，再生混凝土空氣含量較普通混凝土高，變動性亦大[30]。

日本 Nagataki 等人[22]以再生粗粒料完全取代粗粒料進行試驗，所拌製之再生混凝土，其含氣量為 4.5%~4.7%，以色列 Katz [34]將再生粗粒料完全取代粗粒料進行試驗，所獲得的含氣量為 4.1%，此二者結果與文獻[30]之看法一致。

5.抗壓強度

再生混凝土在相同配比目標強度的配比設計下，其抗壓強度均可達到普通混凝土之 89%以上，且不會因齡期而有降低的現象，所指出之同為以廢混凝土圓柱試體回收粗粒料而拌合時，再生混凝土強度約為普通混凝土之 85%~99%的結果很接近。

Hansen 及 Narud 與 Bernier, Malier 及 Mazars [19, 35] 發現，再生粒料混凝土與其製作的原生混凝土有差不多的強度，但若以低強度再生粗粒料製作高強度混凝土，則發現其與使用高強度再生粒料製作

的高強度混凝土比較之下，抗壓強度降低約 39%。Hansen 及 Narud [19] 認為再生混凝土抗壓強度視其原生混凝土的強度而變，其主要控制為原生混凝土水灰比及再生混凝土水灰比的組合。但 Chen 等人[36]則認為，在高水灰比（低強度水泥砂漿）時，再生混凝土抗壓強度與普通混凝土相似；在低水灰比（高強度水泥砂漿）時，再生混凝土抗壓強度與低於普通混凝土強度，透過高強度水泥砂漿及增加水泥量下，可產生高強度的再生混凝土，但此為不經濟的配比。

日本 S. Nagataki 等人[22]研究指出，當原料混凝土之品質較高時，再生混凝土所獲得之抗壓及劈裂張力強度均高於控制組之混凝土；反之，原料混凝土的品質較低時，再生混凝土所獲得的抗壓及劈裂張力強度則低於一般混凝土，波蘭 Afdukiewicz 等人[31]則認為，再生混凝土中，不使用再生細粒料，可得到較佳的再生混凝土性質。但多數研究均指出，以再生混凝土粗粒料與天然細粒料製成的再生混凝土具有足夠的抗壓強度[21, 22, 31, 37, 38]。

多數研究再生混凝土的學者發現，當混凝土同時由粗及細兩種再生粒料製作，其抗壓強度與天然材料相比，將減少 15-40%；而若混合 50%天然砂與 50%再生砂製作的混凝土，則其抗壓強度較完全天然砂混凝土比較降低約 10-20%。更進一步調查顯示，部分的再生細粒料的確會抑制再生混凝土的性能；研究指出，強度損失大多是因為部分再生粒料小於 2 mm [7]。此外，土耳其學者 Topçu[23]認為，相同的水灰比下，再生混凝土的抗壓強度與再生粒料取代量成反比的關係。以色列學者 Katz 研究[34]指出，以 100%取代量拌成之再生混凝土，在相同條件及齡期下，強度約低於原強度 25%。Chen 等人[36]認為，添加再生細粒料在水泥砂漿中將降低水泥砂漿的強度，再生細粒料在水泥砂漿內的數量大於水灰比的影響。

混凝土由不同來源混凝土的再生粒料製作與僅由一種來源製作的混凝土比較有較大的差異。De Pauw [39]發現，當混凝土配比相同但由不同回收來源時，28 天抗壓強度的差異約為 4600-7100 psi

(31.7-49.1 MPa)。

澳洲學者[29]以澳洲業者生產之再生粗粒料與天然細粒料拌製成混凝土，試驗結果顯示，對無摻加高爐熟料之再生混凝土，在相同容量、工作度之條件下；其抗壓與抗拉強度相較於以天然玄武岩碎石、細粒料之普通混凝土差距在 5% 以下，此外，Oliveira 等人[40]在 1996 年提出了再生粒料含水量對再生混凝土抗壓強度的影響，混凝土中再生粒料自乾燥至飽和狀態，抗壓強度是輕微的降低，亦即飽和狀態時對再生混凝土有略低的抗壓強度。2004 年，C. S. Poon 等人[32]以不同含水狀態之再生粒料拌製再生混凝土進行試驗，研究結果顯示，摻加不超過 50% 的氣乾狀態再生粒料，其拌製成的再生混凝土，可產生最佳的抗壓強度。

2003 年，Otsuki 等人[41]以混凝土介面轉換區 (ITZ) 來評估再生粒料對混凝土強度之影響。研究結果顯示，在高水膠比混凝土情況下，舊有 ITZ 較新的 ITZ 為強，所以再生混凝土之強度與一般混凝土之強度相等；然而在低水膠比情況下，由於舊有 ITZ 較新的 ITZ 為弱之故，故與之相反。

2005 年，Xiao 等人[42]探討再生粒料混凝土在單軸抗壓負荷下之力學性質的試驗結果。研究發現，再生混凝土的破壞模式為剪力破壞模式，其破壞過程相當地短，破壞面和垂向負荷鉛錘線之傾角約為 63~79°；抗壓強度測試顯示再生混凝土的稜柱及方體抗壓強度通常是隨取代量之增加而遞減，但其稜柱和方體的抗壓強度比值較一般混凝土為高。

Chen 等人[36]則認為，使用未洗的再生混凝土粒料，對抗壓強度的影響將高於水灰比對強度的影響。在水灰比為 0.38 時，再生混凝土的抗壓強度與普通混凝土的強度比為 60%；在水灰比為 0.6 時，強度比可增加至 75%。

6. 抗拉強度及抗彎強度

波蘭 Afdukiewicz 等人[31]研究指出，使用天然粒料配比的抗拉強度較高，但 28 天混凝土的變化不會超過 10%；以再生粗粒料完全取代天然粗粒料配比之混凝土，28 天抗拉強度約介於 3.4~3.8 MPa 之間，摻料對抗拉強度的影響大於再生粒料的影響。另有墨西哥學者研究指出，再生混凝土的抗拉強度，隨再生粒料的取代量增加而降低，但變化量不大，其 28 天抗拉強度介於 3.3~3.6 MPa 之間[38]。此外，再生粒料於飽和狀態時，將降低再生混凝土抗彎強度[40]。

目前研究指出，使用再生粗粒料及天然細粒料製成混凝土有幾乎相同或是最多減少 10% 的抗拉強度。一般來說，混凝土由再生粗及細粒料製成減少的抗拉強度最小 10%，最大 20% [7]。Poon 等人[33]認為，使用碎粘土磚塊及碎瓦片可改善劈裂抗拉強度，然而若有碎玻璃加入，則其有利效果將可能抵銷，因為廢玻璃顆粒與水泥糊體之鍵結力相當地低；加入木屑，將顯著地減少劈裂抗拉強度。

Chen 等人[36]認為，當再生粒料洗過，可提升再生混凝土的性質，尤其對於抗彎強度更為明顯。

7. 磨耗試驗

比較同強度等級與同齡期試體之磨耗率，再生混凝土為普通混凝土的 122%~392%；說明再生混凝土的抗磨耗性遠不如普通混凝土，故用於樓版、鋪面或受水流沖蝕之構造物時應特別注意其抗磨耗性是否能達設計要求。

2005 年，de Brito 等人[43]提出，當混凝土中之陶瓷粒料數量增多時，其強度將隨之減少，但耐磨能力較高。

8. 彈性模數

回收粗粒料的再生混凝土，彈性模數(E 值)有略低於普通混凝土；即再生混凝土 E 值約為普通混凝土的 81%~98%，平均為 87%。故以再生混凝土作結構混凝土時，在結構設計時須特別注意撓度控

制。指出之在相同配比下，再生混凝土之 E 值可維持在普通混凝土的 85% 以上之結論有一致性[18]。

Building Contractors Society of Japan [44]研究使用再生粒料的混凝土其彈性模數的改變中指出，使用再生粗及細粒料其彈性模數減少約 25-40%；用再生粗粒料則彈性模數減少 10-33%。Chen 等人[36]認為，再生混凝土的彈性模數約為普通混凝土的 70%，改變水灰比或磚瓦含樣對彈性模數影響不大，如圖 2-1 所示。

Xiao 等人[42]研究指出，再生混凝土之彈性模數比一般混凝土為低，其減少量與再生粒料含量成反比，取代量 100%情況，則其彈性模數減少 45%。

9. 卜松比

28 天齡期之五種強度等級的普通混凝土，卜松比(v 值)為 0.109~0.271，平均值為 0.157；再生混凝土的值為 0.105~0.231，平均值為 0.149。當試體齡期延長為 56 天，則普通混凝土的 v 值為 0.116~0.243，平均值為 0.154；再生混凝土的 v 值為 0.102~0.239，平均值為 0.145；故再生混凝土的卜松比與普通混凝土很接近。此結果與文指出之再生混凝土之 v 值落在 0.16~0.21 間，與普通混凝土很相近的結果有一致性。如表 2-6 至表 2-8 為再生粒料對混凝土工程性質之影響[18]。

表 2-6 再生粒料與天然粒料混凝土磨耗試驗

種類 設計強度	普通混凝土(%)			再生混凝土(%)			再生/普通混凝土 之比值(%)		
	7 天	28 天	56 天	7 天	28 天	56 天	7 天	28 天	56 天
6.9 MPa	5.85	2.44	2.12	12.18	8.29	8.30	208	340	392
13.7 MPa	5.35	4.80	4.26	13.62	8.12	8.36	255	169	196
20.6 MPa	3.88	1.65	1.70	9.16	5.50	5.20	236	333	306
27.5 MPa	3.15	3.47	3.56	11.30	4.49	4.98	359	129	140
34.3 MPa	2.64	2.56	2.58	5.74	3.12	3.02	217	122	117

資料來源：[18]

表 2-7 日本再生混凝土種類及用途

再生混凝土 種類	第 I 型混凝土	第 II 型混凝土	第 III 型混凝土
用途別	鋼筋混凝土 無筋混凝土	無筋混凝土	打底用混凝土
使用粗粒料	再生粗粒料 1 種	再生粗粒料 2 種	再生粗粒料 3 種
使用細粒料	普通粒料	普通粒料 再生細粒料 1 種	再生細粒料 2 種
合理使用 強度	180~210 kg/cm ²	160~180 kg/cm ²	160 kg/cm ² 以下
適用構造物	橋樑構造物 擋土牆 隧道襯砌	道路附屬基礎 側溝、集水渠基 礎、重力式擋土 牆、重力式橋 台、攔砂壩、消 波塊	打底用混凝土 非結構體混凝土 堤防

資料來源：[5]河野廣隆，再生粒料，1996。

表 2-8 再生粒料混凝土綜合比較結果表

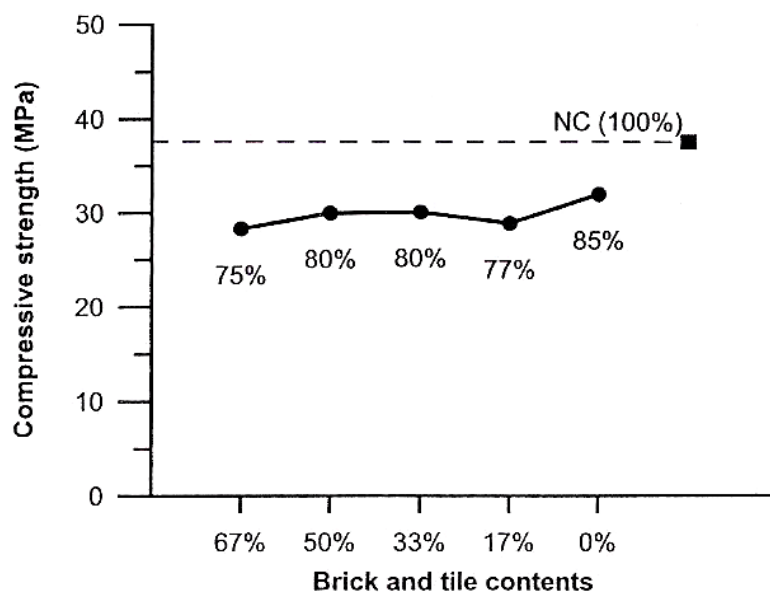
	新拌性質		硬固性質 (Age 91 days)							微觀性質
	工作性	塑性收縮 (mm)	抗壓強度(Mpa)	超音波(m/s)	水泥效益	乾縮($\mu\text{m}/\text{m}$)	硫酸鹽侵蝕 (10 循環)	表面電阻 ($\text{k}\Omega\text{-cm}$)	氯離子電滲(Qs)	電子顯微鏡驗
DR	高流動性	0.21~0.29	34.53~43.95	4089~4218	0.12~0.15	-252 ~ -308	1.00 ~ 2.85	43.0 ~ 50.1	1346 ~ 1871	空氣含量較低，界面鍵結良好
DN	高流動性	0.10~0.21	33.55~46.21	4486~4591	0.13~0.16	-140 ~ -223	0.25 ~ 1.23	72.1 ~ 80.6	803 ~ 1498	空氣含量較低，界面鍵結良好
AR	低流動性	0.34~0.41	38.26~42.67	4066~4157	0.06~0.08	-332 ~ -367	-6.21 ~ -7.72	8.7 ~ 10.3	6046 ~ 7194	空氣含量高孔隙多，漿體粒料間有微裂縫
AN	低流動性	0.28~0.37	40.02~46.70	4329~4389	0.07~0.08	-313 ~ -335	-4.33 ~ -7.11	13.3 ~ 15.8	4102 ~ 5516	空氣含量高孔隙多，漿體粒料間有微裂縫
設計值或規範值		≤ 1	ASTM C39	≥ 4000 ASTM C39	≥ 0.14			≥ 20	≤ 2000 ASTM C1202	

D：緻密配比，R：再生粗細粒料。

A：ACI配比，N：再生粗粒料+天然砂。

資料來源：[4]

圖2-1 紅磚與瓷磚含量與彈性模數之關係



資料來源：[36]

第三節 再生混凝土耐久性之探討

1. 乾縮及潛變

以目前對再生混凝土的研究，由再生粒料製作的再生混凝土其潛變大於原生材料製成之混凝土約 30~60%，這是由於包含再生粒料混的凝土有高於 50% 的漿體體積，且混凝土的潛變與混凝土中漿體或砂漿的含量成比例的關係[7]。

波蘭學者 Afdukiewicz 等人[31]認為，使用再生粗粒料及天然砂所拌製之再生混凝土，與相似強度但使用天然粒料之一般混凝土相較之下，有較高的乾縮及輕微減少的潛變。加拿大水泥協會（Cement Association of Canada）則表示，再生混凝土的乾縮與潛變可能超過原生混凝土的 100%，特別是使用再生細粒料時；因此為了使乾縮值降低，應使用再生粗粒料與天然砂較佳[21]。

此外，用天然砂及再生粗粒料製成的混凝土，其乾縮量亦大於用天然粒料製成的混凝土約 20~50%，而使用再生粗及細粒料製成的混凝土，乾縮量則大於 70~100%；Hansen[45]發現較高強度的混凝土乾縮量會高於低強度的混凝土。Sagoe 等人[29]研究指出，一年齡期之再生混凝土，其乾縮率高出普通混凝土約 25%。

2. 滲透及擴散

再生粒料混凝土的滲透性受配比設計、養護情況及試體乾燥影響；滲透性與混凝土物理性質（如吸水率等）有關 [46]。

南非學者 Olorunsogo 等人[47]指出，在特定的養護期間內，再生粒料的存在將使得混凝土的氧氣滲透指標下降，若混凝土中含有一定再生粒料的含量時，其滲透指標將隨著齡期增加而增加；再生混凝土之氯離子擴散指標，則隨著再生粒料的取代量增加而增加，且在某個特殊的再生粒料取代量下，養護期間越長，氯離子擴散指標則越低。

水灰比 0.5~0.7 由再生粒料製作的混凝土，與天然粒料製作的混凝土相較之下，其滲透率為 2~8 倍，Rasheeduzzafar [48]發現再生混凝土的低強度及高吸水率可以用較低的再生混凝土水灰比(0.05~0.1)來補償。

2003 年，Otsuki 等人[41]探討再生粒料對氯離子滲透之影響，研究結果指出，再生骨材混凝土之氯離子滲透和中性化阻擾比一般混凝土略差，但在高水膠比混凝土施工使用雙拌合方法可以改善再生混凝土的強度、氯離子滲透和中性化阻擾之性質。

3.鹼粒料反應

混凝土之化學分解最常見者為水泥之鹼質與含有大量矽質成分之粒料發生化學作用所導致。所謂鹼粒料反應 (Alkali aggregate reaction, AAR)，係指某些粒料中之活性矽酸鹽和水泥中之鹼(N 和 K)作用，產生表面網狀裂縫或圓形裂縫，伴隨著膠體滲出，表面爆開和破片剝落。

以再生粗粒料所拌製之新混凝土，若製成再生粒料之老舊混凝土本身具有鹼粒料反應之粒料時，則具有鹼粒料反應之潛在危機。這是由於附著在再生粒料上的含鹼水泥，在鹼粒料反應發生時，具有一些膨脹的影響，因此在使用再生粒料時，必須特別注意鹼矽反應 (ASR) 的控制；即使舊混凝土並沒有鹼粒料反應發生，亦不能假設新的再生混凝土不會有這個情況發生[21]。

4.孔隙

粒料的總孔隙體積會影響混凝土的抗壓強度、拉力強度、彈性模數。一般情況下，再生粒料取代量越多則總孔隙體積越高，且取代量增加時，會有較大的孔隙，以早期最為明顯，比表面積也是相同的趨勢[38]。

日本學者 Nagataki 等人[22]，以天然細粒料及再生粗粒料拌製再生混凝土，研究結果顯示，與一般混凝土相比，再生混凝土之總透水

孔隙體積約增加了 20~52%。

巴西學者 Levy 等人[37]研究指出，當再生粒料取代量提高時，孔隙率亦上升；此外，再生粗粒料取代量為 20%時，可獲得最小孔隙體積及最低吸水率；這可能是因為級配的改變與完善的卜作嵐反應導致。

Moriconi 等人[49]則認為，使用再生粒料當作天然粒料的總取代，會造成孔隙率增大，此可由填加飛灰加以克服。分析孔隙水中之鈣、鈉和鉀離子，顯示有不同稀釋製程機理運作，再生粒料之出現可增加非反應性離子 (Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-) 等之釋出可能性，而取代鈣成為較低之淨稀釋；即使用再生粒料，不管其微結構的孔隙率較大，皆可降低鈣離子之釋出率。此結果顯示，相應於可溶解之鈣離子而言，CH 量少；由此觀點，再生粒料若加以適當的處理，則對環境之影響性是正面的。

5. 碳化程度

碳化程度與混凝土之化學成分關係較大，而不僅與混凝土之物裡性質有關；使用再生粒料取代原生粒料，在取代量為 20%~50%的情況下，碳化程度降低[37]。

2000 年，Dollimore 等人[50]利用熱差分析 (TG) 及 X 光繞射分析 (XRD) 對再生混凝土粒料進行分析，實驗結果指出，在舊混凝土試樣中，卜特蘭產物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 可能已部分碳化。

The Building Contractors Society of Japan [44]認為原再生混凝土粒料已遭受到碳化達 65%則以其製成的混凝土與普通混凝土比較有較高的碳化率；同時再生混凝土中的鋼筋較普通混凝土腐蝕較快，此加速腐蝕可以被較低的水灰比補償。

6. 凍融抵抗

許多凍融抵抗的研究指出，對於混凝土使用原生粒料或再生粒料之間幾乎沒有差別。Building Contractors Society of Japan [44]指出由

再生粗及細粒料製作之混凝土有減少凍融抵抗的危害，他們也發現要是細粒料取代原生材料，凍融抵抗與原生混凝土差不多。

日本學者 Gokce 等人[51]指出，由非輸氣混凝土所獲得之再生粒料，使用於輸氣混凝土上時，對於抗凍融反應十分不利。這是由於每個獨立的粒料顆粒皆具有不適當的空氣孔隙系統，使得整體的孔隙系統轉變成一個非輸氣系統，導致了不良的抗凍融性質；然而，若輸氣混凝土中含有由亦為輸氣混凝土所獲得之再生粒料時，則這種再生混凝土具有完整的輸氣孔隙系統，因此暴露於凍融環境下時，可以有良好的抗凍特性。只要粒料中含有少量的非輸氣再生粒料，則混凝土抵抗凍融的能力就會大幅的降低，因此，當再生混凝土需要足夠的抗凍耐久性時，混凝土配比中，只能使用品質優良，且為純輸氣混凝土之再生粒料。

法國學者 Zaharieva 等人[26]提出，一般而言，飽和的再生混凝土抗凍性不足，因此，在暴露於劇烈環境的情況下，不建議使用再生混凝土，主要的理由是由於再生混凝土之高水灰比，造成的高孔隙率，及較不良的力學性質。不但如此，再生粒料本身亦具有較差的抗凍性：首先，再生粒料可能含有不健全的顆粒，這些不健全的顆粒在凍融循環中，將不斷地惡化。第二，再生粒料可能在結冰的時候，把水驅往其四周的水泥漿，造成危害。實驗發現，只有 W/C 低於 0.55，未經飽和的配比 (RAC1)，可以使用於中度的寒冷氣候下。1996 年，Oliveira 等人[40]研究再生粒料含水量對再生混凝土抵抗凍融性質之影響，研究結果顯示，乾燥及飽和再生粒料有不良的抗凍融性，而半飽和狀態再生粒料之抵抗效果較佳，這應可解釋為不同含水條件之再生粒料與漿體介面的形成結果會影響再生混凝土的品質。

波蘭學者 Afdukiewicz 等人[31]則表示，利用 HPC 製造再生粒料，與使用天然粒料的混凝土相較之下，當遭受到凍融現象時，有相似或更好的耐久性。

第三章 研究方法及進行步驟

第一節 研究方法

1. 再生混凝土使用手冊研擬方面：

採用方法如下：

- (1) 透過文獻蒐集及歸納整理。
- (2) 擬定使用手冊大綱。
- (3) 研訂國內再生粒料及再生混凝土性能指標。
- (4) 舉辦各項專家座談會。
- (5) 擬定初步內容與原則。
- (6) 舉辦綜合專家座談。
- (7) 檢討與修正。

以上述方式完成下列各項工作內容：

- (1) 進行調查瞭解再生混凝土適用次要結構物之範疇與機會、機制，及國內外研究使用情形與規定。
- (2) 研擬再生混凝土使用之原則及方式。
- (3) 再生粒料之品管作業規定與要求內容。
- (4) 再生混凝土產製技術與問題之研究。
- (5) 再生粒料應用於鋼筋混凝土設計作業要點之研擬。
- (6) 再生混凝土施工品質控制技術要點之研訂。

2. 文獻蒐集及法令探討

- (1) 蒐集國內外有關再生粒料在混凝土上應用之既有研究成果，作為訂定手冊、規範之參考。
- (2) 蒐集世界各先進國家有關混凝土需使用再生粒料之規定，作為

訂定規範之參考。

- (3) 國內有關再生粒料產量及應用現況調查，以使規範之訂定能合理，並符合產業界需求。

3. 再生粒料處理方式及性能要求

- (1) 訂定再生粒料處理方式及性能指標要求。
- (2) 訂定再生混凝土性能指標要求。
- (3) 提供再生粒料之產製過程管制要求。

4. 混凝土產製

由於再生粒料與天然粒料性質與品質之不同，參照中國土木工程學會 混凝土工程施工規範(土木 402-88a)，針對再生粒料之特性，對混凝土產製之方法及流程加以修訂。

- (1) 機械設備之規格性能。
- (2) 拌合之程序步驟。
- (3) 拌合之時間與均勻性。
- (4) 再生混凝土之施工品管檢驗與驗收。

5. 再生混凝土配比設計方法與基本要求

- (1) 配比設計參數限制。
- (2) 改良 ACI 配比設計方法。
- (3) 再生混凝土性能指標要求。
- (4) 試拌及調整決定配比參數。
- (5) 參照中國土木工程學會 混凝土工程施工規範(土木 402-88a)，針對混凝土品質之要求、設計安全係數之考慮，對再生混凝土設計之方法及流程加以修訂。

6. 鋼筋混凝土設計規範之修訂

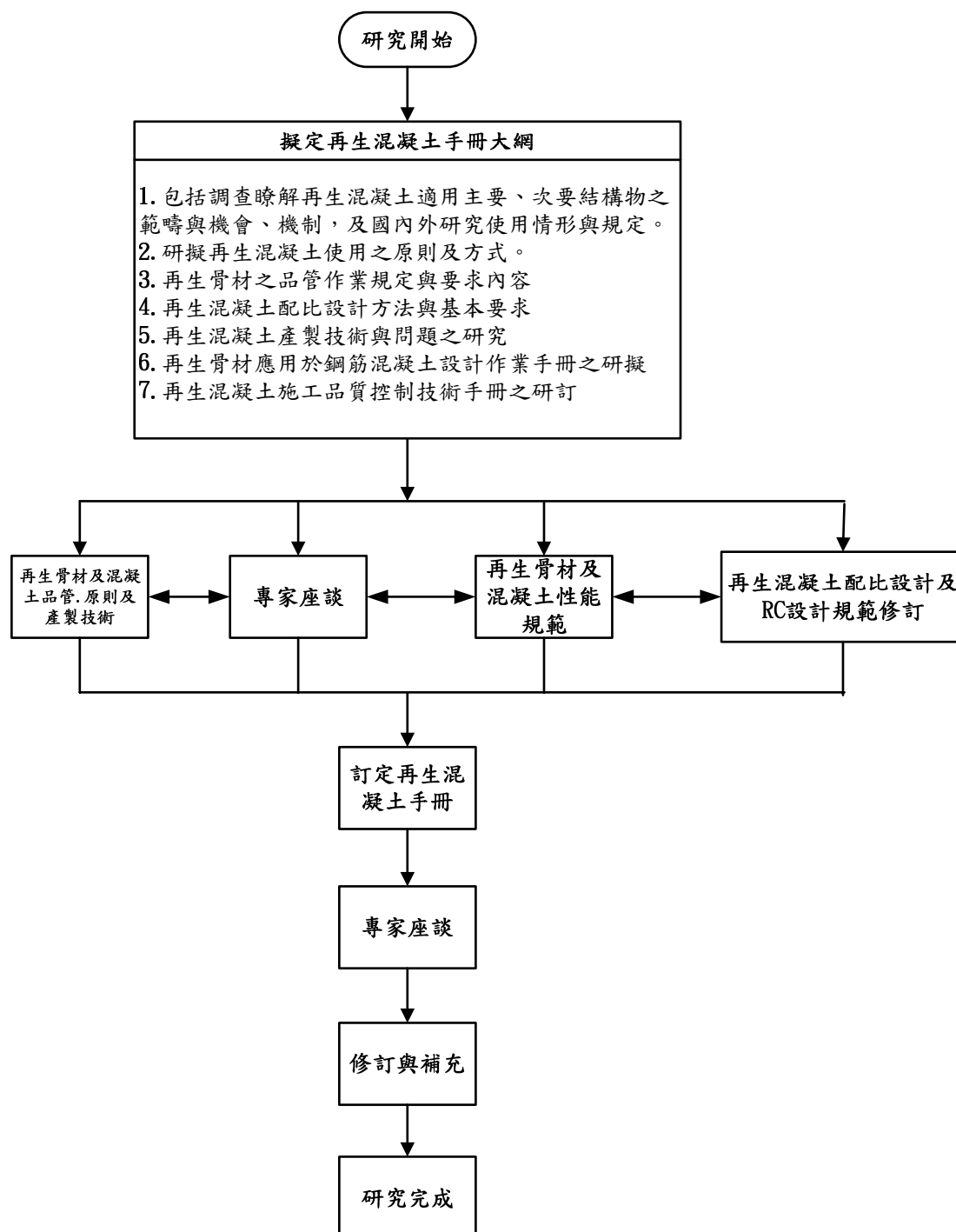
用於結構物之混凝土不論是否為再生粒料之混凝土，其品質均須符合設計規範與施工規範之要求。由於再生粒料混凝土品質之穩定可靠性無法與天然粒料混凝土相比，因此在鋼筋混凝土設計上，應採取一些適當考慮，以確保結構物之性能符合設計要求。

本計畫考慮修訂重點如下：因再生混凝土其各方面性能介於輕質混凝土與常重混凝土之間，故係以混凝土工程設計規範(土木 401-93)中與輕質混凝土相關之條文加以修改，並配合專家座談會之意見後，進行調整。

第二節 研究步驟

本研究計畫研究步驟如圖 3-1 研究流程圖所示：

圖 3-1 研究流程圖



資料來源：本研究整理

第四章 完成之工作項目及具體成果

本研究計畫主要完成之工作項目包括下列兩項：

1. 「再生混凝土使用手冊之研擬」研究成果報告書(期末研究報告)計一冊。
2. 「再生混凝土使用手冊(草案)」計一冊。

本研究過程中除了定期與不定期進行內部研究團隊討論會議，檢討、修訂研究內容與進度外，有外界產官學界人士參與的主要完成工項目計有下列八項：

1. 國內「正和土資場」再生粒料生產設備與流程參觀訪談。
2. 舉辦五次國內專家學者座談會。
3. 依合約規定進行期中報告，並針對期中報告審查意見進行答覆與說明。
4. 舉辦一次研究計畫「初步成果發表會」。

本章說明此八項完成工作項目的過程與內容。

第一節 再生粒料生產設備與流程參觀訪談

1. 時間：民國九十四年六月三十日(星期四)
2. 地點：苗栗縣卓蘭鎮正和土資場
3. 參與人員：張大鵬、洪盟峰、詹雅竹、溫凱翎、王金圳、孫詠明、陳柏存、李金輝、吳漢儒、陳俊村、黃偉翔、廖御吟、高進驊。
4. 活動內容摘要：

參觀與聽取說明國內土資場再生混凝土粒料生產程序。
5. 相關製程及再生粒料照片詳見附錄三。

第二節 專家座談會議

本研究計畫共舉行五次專家座談會議，分別邀請學術單位學者、拌和廠及砂石處理廠業者、政府機關、政府工程機關以及顧問工程公司業者...等不同機構代表，並將各方意見統合彙整，以期經過多次討論及修正後之再生混凝土使用手冊，以期符合學術學理及工程實用性，各次會議之出席人員及會議記錄請詳見附件二。

五次專家座談會討論議程與參與參加人員之族群類別概述如下：

(一) 第一次專家座談會：邀請學術單位參加。

議題：

1. 再生混凝土使用手冊之大綱及章節編排。
2. 再生混凝土使用手冊第一~五章之內容討論(手冊中共六章)。

(二) 第二次專家座談會：邀請學術單位及工程單位參加。

議題：

1. 再生混凝土使用手冊之大綱討論。
2. 再生混凝土使用手冊之第六章內容討論。

(三) 第三次專家座談會：邀請拌合廠及砂石處理廠業者。

議題：

1. 再生混凝土使用手冊之第二章再生粒料性質進行討論(手冊中共五章)。
2. 再生混凝土使用手冊之第四章再生混凝土之產製進行討論。

(四) 第四次專家座談會：邀請政府機關及工程單位參加。

再生混凝土使用手冊之研擬

議題：再生混凝土使用手冊之內容綜合檢討。

(五) 第五次專家座談會

議題：再生混凝土使用手冊之內容綜合檢討。

第三節 期中報告及期末報告說明會

本研究計畫依合約之規定，於九十四年八月二日下午二點半舉行一次期中報告，會議主持人為內政部建研所丁所長育群，報告地點在內政部建築研究所會議室，總共參與人員包括行政院公共工程委員會、營建署、經濟部標準檢驗局、技師公會...等五個單位，三位專家學者及主辦單位建築研究所相關人員。

依據內政部建築研究所九十四年八月十一日建研工字第0940003979 號函所附期中簡報會議記錄，將會議中各單位及專家學者所提出之綜合討論意見，答覆如附錄二 會議紀錄所示。

本研究計畫依合約之規定，於九十四年十一月十四日下午舉行一次期末報告，會議主持人為內政部建築研究所葉祥海組長，報告地點在國立台北科技大學建築所，審查委員為沈進發教授，蔡得時教授，張振成科長。

依據內政部建築研究所所附之期末報告紀錄，將會議中審查委員所提出之意見，答覆如附錄二 會議紀錄所示。

第四節 初步成果發表會

本研究計畫依內政部建築研究所九十四年八月十八日建研工字第 0940004109 號函，於九十四年八月二十四日將期中報告內容進行初步成果發表會，會議地點為國立台灣科技大學國際會議廳 (RB-102)，由內政部建研所丁育群所長主持，參與貴賓包括內政部建築研究所丁育群所長，工程組葉祥海組長，郭建源研究員等人國內各界參與人員共有 78 人，詳細發表會內容如下，會議簡介與流程如表 4-1 所示。

表 4-1 再生混凝土使用手冊研擬初步成果發表會議程表

緣起			
為配合「行政院國家永續發展委員會」永續行動計畫表中， 促進廢棄混凝土營建資源再利用之理念而辦理			
主旨			
促進各界認識再生混凝土之性能與品質控制的方法，並了解其適用性，進而提升再生混凝土之使用率，達到營建資源再利用之目標。			
主辦單位			
內政部建研所 國立台灣科技大學營建系			
議程			
時間	主題	主講人	主持人
9:00~9:30	報到		
9:30~9:40	開幕致詞	丁育羣所長	
9:40~10:40	再生混凝土產製、 輸送與品質控制即 再生粒料應用於鋼 筋混凝土設計	張大鵬教授	丁育羣所長
10:40~10:50	茶敘		
10:50~11:50	再生混凝土粒料處 理程序及品質控制	黃兆龍教授	丁育羣所長
11:50~12:20	綜合討論		

資料來源：內政部建築研究所

附件

內政部建築研究所委託研究計畫
[再生混凝土使用手冊之研擬] 研究成果報告
(094-30170000G1-006)

再生混凝土使用手冊 (草案)

(共 64 頁)

附錄一 第二章部分國外文獻內容摘要

Title	Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregate [2-12]
作者	S. Nagataki, A. Gokce, T. Saeki, M. Hisadas
年份出處	2004 Cement and Concrete Research
摘要	<p>本文評估再生混凝土粒料因回收過程所生之危害靈敏度。在一般的標準粒料分析後，以微結構分析技術進一步探討。使用實驗室所生產的再生混凝土粒料進行研究，並以螢光顯微 (fluorescent microscopy) 及圖像分析。相對於一般的意見，經由微觀結構顯示，黏附的砂漿 (AM, adhered mortar) 並不一定是決定再生粗粒料品值的主要變數。砂岩粗粒料本身即具有空隙及裂縫的缺陷。再者，生產再生粗粒料改變了材料的微結構，並增強了他們的性質。由再生粒料混凝土的實驗所獲得之不尋常的結果，可以因微觀面的研究而得到解釋。</p> <p>OCA 的微觀分析可以發現，砂岩顆粒含有明顯的原生裂縫，極少部分的顆粒甚至具有孔隙缺陷。由微觀分析顯示，回收過程對於再生粒料結構的完整性並沒有損失。Level 3 的壓碎過程使得 AM 含量降低，增進了再生粒料的物理性質。再生混凝土的物理特性及孔隙關係，可以因為微結構的分析而獲得解釋。</p>

Title	Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development [2-28]
作者	Salomon M. Levy, Paulo Helene
年份出處	2004 Cement and Concrete Research
摘要	<p>本文分析再生混凝土的三個性質：吸水率、總孔隙體積、及碳化程度。實驗之再生混凝土分別使用 0、20、50 及 100% 之再生粒料。研究結果顯示，在相同的強度下 (20、30、40MPa)，再生混凝土具有較高的孔隙含量，且通常碳化程度較高。實驗結果同時指出，混凝土中某些成分的性質對其物理方面的耐久性而言，具有較多的影響。</p> <p>當 28 天抗壓強度需求在 20-40MPa 時，再生混凝土與原生混凝土可以具有相同的工作性，並達到相同的抗壓強度。當取代量為 20% 時，CRCA 及 CRMA 可獲得最小孔隙體積及最低吸水率；這可能是因為級配的改變與完善的卜作嵐反應導致。而本研究中的其他組別，吸水率則與取代量成正比。</p> <p>而取代量為 20%-50% 時，碳化程度下降，CRMA 在取代量為 100% 時，碳化程度仍然下降。這個結果顯示，碳化程度與混凝土之化學成分關係較大，而不僅與混凝土之物裡性質有關。本研究結果顯示，當再生粒料取代量為 20% 時，所製成之再生混凝土性質與原生混凝土性質最為接近，有時甚至具有較好的性質。</p>

Title	Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate : The role of air content in demolished concrete [2-43]
作者	A. Gokce, S. Nagataki, T. Saeki, M. Hisada
年份出處	2003 Cement and Concrete Research
摘要	<p>本文旨在獲得回收輸氣混凝土或非輸氣混凝土所生之再生粒料，使用於輸氣混凝土時，其抵抗凍融現象的資訊。</p> <p>實驗室以輸氣及非輸氣混凝土（W/C 為 0.45），1 年後壓碎獲得之再生粗粒料進行研究；回收過程分三階段，生產出三種不同附著砂漿（adhered mortar, AM）含量之再生粒料。</p> <p>實驗結果顯示，由非輸氣混凝土所獲得之再生粗粒料，抗凍融的能力較差，甚至在新的再生混凝土已具有適當的輸氣情況下亦然。</p> <p>微觀結構研究下指出，經過特定的凍融循環次數後，非輸氣混凝土所獲得之再生粒料，其附著的砂漿（AM）導致再生粒料的破碎，並使得圍繞在再生粒料四周的新砂漿亦崩碎。暴露在長期的凍融循環下，將非輸氣混凝土再生粒料之 AM 含量降至最低，或者提高圍繞在再生粒料四周的新砂漿之性質，並沒有辦法獲得令人滿意的結果。</p>

Title	Frost resistance of recycled aggregate concrete [2-17]
作者	Rouminana Zaharievea, Francois Buyle-Bodin, Eric Wirquin
年份出處	2004 Cement and Concrete Research
摘要	<p>本文研究再生粒料（RA）的特性，及其對混凝土之影響。再生粒料抗凍性之變數為再生粒料之取代量，及其水飽和度。將再生粒料混凝土（RAC）與控制組之天然粒料混凝土相比較，並探討不同變數對於 RAC 之抗凍性的影響。</p> <p>一般而言，飽和的 RAC 抗凍性不足，因此，在暴露於劇烈環境的情況下，不建議使用 RAC。主要的理由是由於 RAC 之高水灰比，造成的高孔隙率，及較不良的力學性質。不但如此，RA 本身亦具有較差的抗凍性：首先，RA 可能含有不健全的顆粒，這些不健全的顆粒在凍融循環中，將不斷地惡化。第二，RA 可能在結冰的時候，把水驅往其四周的水泥漿，造成危害。實驗發現，只有 W/C 低於 0.55，未經飽和的配比（RAC1），可以使用於中度的寒冷氣候下。</p> <p>水飽和程度對於 RAC 的抗凍性十分重要，同時使用粗細 RA 之 RAC（RAC2、RAC3），及 Hirschwald 水飽和，在 300 個凍融循環下，仍不會造成危害。因此，在決定抗凍規範時，應考量暴露之氣候環境。</p>

Title	Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC [2-22]
作者	Andrzej Afdukiewicz 等
年份出處	2002 Cement and concrete composites
摘要	<p>利用高強或高性能混凝土作再生粒料製造再生混凝土並與使用花崗岩及玄武岩之混凝土作機械性質上的比較。試驗結果發現，再生粒料混凝土的機械性質對於原始混凝土的性質有重要的影響，可能用較高於原始混凝土的抗壓強度去獲得再生混凝土。再生混凝土的配比拌合程序與使用天然粒料的混凝土非常相似，必須修正含水量以獲得適當的工作性，但水灰比的改變要相對較小。</p> <p>利用 HPC 製造再生粒料，當遭受到凍融現象時，有相似或更好的耐久性與使用天然粒料的混凝土比較。長期試驗表現方面，再生混凝土與有相似強度使用天然粒料的混凝土相較之下，有較高的乾縮及輕微減少的潛變。</p>

Title	Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate [2-26]
作者	K.K. Sagoe – Crentsil, T. Brown, A.H. Taylor
年份出處	2001 Cement and Concrete Research vol.31 707-712
摘要	<p>本研究是以商業產生之回收粗粒料與天然細粒料拌製成混凝土，進而試驗其新拌與硬固性質。結果顯示摻用再生粒料之混凝土，其新拌、硬固性質與採用天然粒料配比混凝土之差異不大。對無參加高爐熟料及相同容量、工作度之條件下；再生混凝土之抗壓與抗拉強度相較於以天然玄武岩碎石、細粒料之普通混凝土差距在 5% 以下，並且再生混凝土之吸水率及碳化性質與普通混凝土相似且適用。然而再生混凝土磨損率高出普通混凝土約 12%，一年齡期之乾縮率亦高出普通混凝土 25%。但再生混凝土之劈裂強度/抗壓強度比值則與常重天然粒料混凝土一致。</p> <p>對一年的試驗結果，再生混凝土若使用高爐水泥可有效改善耐久性能。而若需增加再生混凝土的新拌及硬固性質，策略上應自改善再生粗粒料之製成品質與等級著手。</p>

Title	Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes [2-39]
作者	F.T. Olorunsogo, N. Padayachee
年份出處	2002 Cement and Concrete Research
摘要	<p>耐久性指標如：氯離子傳遞、氧氣滲透、吸水性。三種混凝土配比為：RA 取代量 0%、50%、100%。齡期 3、7、28、56 天。實驗結果顯示，RA 取代量上升時，耐久性下降；養護齡期越長，混凝土品質越高。RA 的不良性能，因其在回收過程中所生的裂縫使得粒料對於液體的滲透、擴散、及吸收較為敏感所致。</p> <p>在特定的養護期間內，RA 的存在將使得混凝土的滲透指標下降，若混凝土中含有一定的 RA 含量時，其滲透指標將隨著齡期增加而增加。氯離子擴散指標隨著 RA 的取代量增加而增加。然而，在某個特殊的 RA 取代量下，養護期間越長，氯離子擴散指標則越低。</p>

Title	Porosity of recycled concrete with substitution of concrete aggregate An experimental study [2-29]
作者	Jose M.V. Gomez-Soberon
年份出處	2002 Cement and Concrete Research
摘要	<p>本文主要為利用 MIP 壓汞孔隙試驗來探討用再生粒料取代天然粒料之混凝土機械性質的變化，其中包括理論孔隙之範圍，臨界孔隙尺寸，表面積。再生混凝土及原生混凝土之性質比較。</p> <p>混凝土早期總體積及孔隙尺寸受取代係數 r 的影響，此影響會隨著齡期減少，此影響歸因於新產生的結晶體會減少孔隙的尺寸及數量。增加用 RCA 取代 NA 的量會有較大的孔隙。r 值的影響不只在孔隙尺寸，這個參數只使用在混凝土結構組成的變化(粒料的不同)，他的改變導致將修改混凝土物理性質(如水灰比)。</p> <p>用比表面積與總孔隙來描述及比較混凝土的各種性質是一個很好的方法，然而，需要增加透氣實驗資訊，可將微孔隙區之比表面積量化，而且因此可能得到其他性質與這個實驗的較佳的關係(例如乾縮和潛變)。</p> <p>最後，RC 的性質及總孔隙量的關係是很難去決定的，然而，要是包含孔隙尺寸的影響，此影響必須靠合理的介面分級去確定。(介面位於不同尺寸孔隙之間)</p>

Title	Properties of concretes produced with waste concrete aggregate [2-13]
作者	İlker Bekir Topçu, Selim Şengel
年份出處	2004 Cement and Concrete Research
摘要	<p>本文研究再生混凝土之物裡性質、力學性質，及抵抗凍融之耐久性。以摻入 30、50、70、及 100%之廢棄混凝土粒料（WCA）的新拌與硬固混凝土進行試驗。結果顯示，C16 之混凝土與 C14 的混凝土相較之下，可以使用少於 30%的 WCA。此外，再生混凝土之單位重、工作性、及耐久性與其抗凍之耐力成反比的關係。</p>

Title	A thermal analysis study of recycled Portland cement concrete (RPCC) aggregate [2-42]
作者	D. Dollimore, J.D. Gupta, S. Lerdkanchanaporn, S. Nippani
年份出處	Thermochimica Acta 357-358 (2000)
摘要	<p>本研究是以熱量分析及光繞射分析（XRD）資料鑑定回收卜特蘭水泥混凝土可能之水化水泥或爐渣（考量作為粒料）效應，而粗粒料是參照可能為卵石或石灰岩，細粒料通常則對照石英質或石灰岩質。天然石灰岩可能存在於白雲母石或方解石之中。熱差分析（TG）顯示，試樣中水泥作用產物 Ca(OH)₂ 數量、碳酸鈣數量及白雲母石數量。而 XRD 分析亦證實含有這些成分。在老混凝土試樣中；卜特蘭產物 Ca(OH)₂ 可能已部分碳化，這是因 TG 資料允許以 CO₂ 鑑定白雲母的成分。</p>

Title	The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete [2-31]
作者	M.B.d. Oliveira, E. Vazquez
年份出處	Waste Management, Vol.16, Nos1-3 pp.113-117 (1996)
摘要	<p>本研究以實驗上及分析方法決定再生粒料含水量（率）對再生混凝土力學與耐久性的影響，期中是比較三種不同含水條件之再生粒料之效應（乾燥、飽和及半飽和狀態），試驗結果顯示；再生粒料自乾燥至飽和狀態應用於混凝土中，抗壓強度是輕微的降低，亦即飽和狀態時對再生混凝土有略低的抗壓強度，尤其是再生粒料於飽和狀態對再生混凝土抗彎強度減低最為明顯。</p> <p>另外對混凝土凍融的抵抗試驗結果；乾燥及飽和再生粒料有不良的抗凍融性，而半飽和狀態再生粒料之抵抗效果較佳，這應可解釋為不同含水條件之再生粒料與漿體界面的形成結果會影響再生混凝土的品質。</p>

Title	An examination of recycled Portland cement concrete rich in dolomite and low in calcite obtained from various location in Ohio
作者	D. Dollimore, S. Lerdkanchanaporn, J. D. Gupta, S. Nippani
年份出處	Thermochimica Acta 367-368 (2001) 311-319
摘要	<p>利用熱分析方法研究 30 年齡期混凝土試樣，在這研究中，採取熱分析與 X 光繞射分析結合一併分析回收卜特蘭水泥混凝土，其中主要分析回收混凝土試樣中之 Ca(OH)_2、方解石、石灰質、石膏及石英等。無論如何，碳酸鈣是從以回收粗及細粒料調和於混凝土中之 Ca(OH)_2 碳化作用而形成，但也是於第二階段熱分解過程中由石灰質轉換而出現。研究結果顯示，回收卜特蘭水泥混凝土試樣中具有低量的方解石 (calcite) 及高量的石灰質 (dolomite) 含量。而再生混凝土原含有爐石粉在試樣中，顯現出長期的潛在西出，而析出物經試驗分析結果，以鈣及鎂離子為主。</p>

Title	Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete [2-23]
作者	C. S. poon, Z. H. Shui, L. Lam, H. Fok, S.C. Kou
年份出處	Cement and Concrete Research 34 (2004) 31-36
摘要	<p>本研究主要探討天然及再生粒料含水狀態對再生混凝土新拌及硬固性質的影響，混凝土配比中是以不同比例摻加天然及再生粒料為原則，而粒料的含水狀態是控制在氣乾 (AD)，爐乾 (OD) 與面乾內飽和 (SSD) 後，使用於混凝土中，在配比中水泥與自由水的比例控制為固定值，各不同再生混凝土配比中之新拌狀態以量測其坍度損失為主，硬固階段之抗壓強度則量測養護後之 3、7、28 天齡期。</p> <p>試驗結果顯示，再生混凝土的初始坍度值受到配比中自由水含量決定，而坍度損失則與粒料含水狀態有關，其中坍度損失最嚴重為摻加 100%AD 或 OD 狀態之再生粒料，值得注意的是，再生粒料之含水狀態效應以添加 OD 及 SSD 狀態粒料對初期強度 (3 天及 7 天) 最為明顯，整體上摻用 AD 狀態粒料之混凝土，在 3 天及 28 天齡期可獲得最高的平均抗壓強度，然而在齡期 28 天的各不同形式再生粒料混凝土具有相同的抗壓強度。依此結果，建議摻加不超過 50% 的 AD 狀態再生粒料，其拌製成的再生混凝土，可產生最佳的抗壓強度。</p>

Title	Seismic performance of frame Structures with recycled aggregate concrete
作者	Jianghuaug xiao Yuedcng Sun, H · Falknev
年份出處	Engineering structures (2005,June)
摘要	<p>本文是一篇 RAC 骨架結構耐震行為的實驗研究報告，根據四組縮尺比例為 1:2 的骨架結構在低頻率往復側向負荷在固定的垂向作用下所作之耐震測試，研究 RAC 骨架結構的破壞型態，歇斯底里型曲線，骸骨形曲線，能量消散容量及勁度退化定律等特性，在鋼筋 RAC 骨架中使用不同的再生粒料替代量（例如 0，30%，50%及 100%）對耐震行為之影響作詳細之分析。測試結果發現其耐震性能隨再生粒料取代量之增加而遞減。然而以高取代量之 RAC 所製成之骨架結構仍可耐震。</p>

Title	Leaching and Mechanical behavior of concrete manufactured with recycled aggregate[2-41]
作者	D · Sani G · Moriconi ,G Fava 及 V · Corinaldesi
年份出處	Waste Management 期刊 25 期（2005）pp.177-182
摘要	<p>使用拆除建物之廢棄物增加大眾之興趣，因其可減少廢置填土量。本研究專注於混凝土製作時，使用從營建拆除廢棄物再生之粒料替代天然粒料的可行性評估。</p> <p>在諸應用上，水泥基材料被使用於建築營建上係由於其經費有效性及性能之故，然而其對周遭環境之衝擊須先偵察。混凝土中之孔隙水係由出現 C-S-H, C-H 和鹼性離子反應所得之持續性之鹼性 pH 值所特徵，因此提出調查混凝土結構性質與在水溶液下釋出鹼性離子關係的試驗計畫。結果顯示再生粒料之出現可增加非反應性離子（Na⁺、K⁺、cl⁻）等之釋出可能性，而由於鈣取代導致為較低之淨稀釋，此種廢棄混凝土，雖其力學阻抗能力低（小於 40%），因此建議可作為較持續環境之材料。</p>

Title	Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete [2-32]
作者	Nobuaki Otsuki, Shin-ichi Miyazato, and Wanchai Yodsudjai
年份出處	Journal of Materials in Civil Engineering ASCE September/ October 2003 pp.443-451
摘要	本研究在探討再生粒料對混凝土界面區 (ITZ)、強度、氯離子滲透和中性化之影響及提出使用再生粒料對改善強度及耐氯離子滲透和中性化的方法。使用四種再生粒料形態和四種水膠比。根據抗壓強度、抗拉強度、氯離子滲透深度和中性化深度等評估再生粒料混凝土，在再生粒料混凝土的 ITZ 的特性亦可測試，並用以解釋對上述性質之影響性。除外，本研究使用雙拌合方法以利改善再生粒料混凝土之強度及耐氯離子滲透和中性化之策略，亦加以評估。

Title	Recycled Concrete aggregate
作者	Nik. D. Oikonomou
年份出處	Cement and Concrete Composites Vol.27 pp.315-318(2005)
摘要	一般追求永續發展之前提下，混凝土再生之專題被認為是非常重要的。換言之，它與拆除已失去功能時間的結構物量增多、新建結構需用材料及結果等有直接之關聯，特別在希臘受天災（如地震等）之破壞頻繁地區更甚。本文言及混凝土再生專題，而較特別的是參考國際工程經驗與實務提出希臘之再生混凝土粒料之規範建議，現有之希臘的 RCA 規範—歐洲的將晚出現—如此將有助於 2004 年奧林匹克世界運動會場將盡可能綠化。

Title	Mechanical behaviour of non-structural concrete made with recycled ceramic aggregates [2-34]
作者	J. de Brito, A.S. Pereira, and J.R. Correia
年份出處	Cement and Concrete Composites Vol.27 pp.429-433(2005)
摘要	為了減少營建工業中陶瓷廢棄物之數量，在許多其他應用上可能可使用它在生產非結構上混凝土加工品中當作粒料用。本文中呈現此種粒料和以此材料製作之新拌及硬固混凝土之主要特性，以及與使用傳統性材料作比較。在較多之試驗調查中，力求營建廢棄物之再利用量增多。結果顯示再生陶瓷粒料可使用在主要需求非為抗壓強度，而是抗拉強度及耐磨耗之構件，例如混凝土鋪面版之情況下較具潛力。

Title	Concrete with ceramic waste aggregate
作者	RM. Senthamarai, P. Devadas Manoharan
年份出處	Cement and Concrete Composites (2005)
摘要	<p>使用有害的工業廢棄物於混凝土中將可使得環境變為更綠色。在陶瓷工業中，約有 30% 產品將作為廢棄物，截至目前為止，尚未被回收。本研究企圖發現使用適當的陶瓷工業廢棄物取代傳統性碎石混凝土的可行性。進行諸多試驗以決定其抗壓、劈裂、抗拉和抗彎強度及彈性模數，並與使用碎石粗粒料之傳統性混凝土作比較，粒料之性質亦作對比，試驗結果顯示其工作品質佳，且其強度特性可與傳統性混凝土相比擬。</p>

Title	Effects of contaminants on the properties of concrete paving blocks prepared with recycled concrete aggregate [2-24]
作者	Chi-Sun Poon, Dixon Chan
年份出處	Construction and Building Materials (2005)
摘要	<p>使用再生粒料於混凝土，在實作上已成功，且受大眾之接受。然而粒料在某些現有規範中，由於嚴謹的品控標準，經常取自天然粒料純潔材料之規範，所以其所含污染物（如粘土磚塊碎片、碎陶瓷瓦片、廢棄玻璃渣、木屑等）的容許量很低（<1%）。本文呈現混凝土鋪面塊使用再生混凝土粒料受不純物材料（磚瓦片、玻璃及木屑）所污染。這是一般在營建和拆除廢棄物常見的現象。工程性質的最新研究結果顯示，由試驗試體在實驗室量測所得的密度、抗壓強度、劈裂抗張強度、吸水率、耐磨耗、滑行阻抗和一些耐久性參數等，這些測試結果顯示污染物含量可提高，因此建議規範應如何修正以利其應用性更廣。</p>

Title	Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick
作者	Chi Sun Poon, Dixon Chan
年份出處	Construction and Building Materials (2005)
摘要	<p>由營建地點所產生之粘土磚塊通常運至填土區棄置。在香港，由於填土空間受限，因為有急需開拓使用粘土磚碎塊當作一種新的工程材料的可能性。香港政府規範，為了便於營建廢棄物再生利用，允許使用 70-100%再生混凝土粒料製作鋪面塊。本文發表香港多技術大學在製作鋪面塊使用拌合再生混凝土粒料和壓碎粘土磚塊之研究結果。</p> <p>測試結果顯示摻加壓碎粘土磚塊可使鋪面塊之密度抗壓抗拉強度減少。由於壓碎粘土磚塊的吸水率高，故其鋪面塊之吸水率較未填加者為高。雖然發現使用此材料對鋪面塊會略有影響，而使用 50%之碎粘土磚塊所製作之鋪面塊可達到香港對人行道區域 ETWB (B 級) 和 AS/NZS4455 所規範的最小需求；而對交通區則可使用 25%。</p>

Title	CDW recycled aggregate renderings: Part I – Analysis of the effect of materials finer than 75 μ m on mortar properties
作者	Leonardo F.R. Miranda, Silvia M.S. Selmo
年份出處	Construction and Building Materials (2005)
摘要	<p>天然砂或營建廢棄物再生粒料所製造的混凝土，主要由於砂的品質不一，缺乏建制良好之水泥砂漿配比設計，或其他如外觀設計底層品質和堆置技術等因素之故。所以據經驗顯示，表現出來之性能有不良傾向。本文注意這些因素中的某些要項，特別是對水泥砂漿性質和所表現之性能具有影響的再生粒料組成的控制與分析的有效配比設計方法。亦研究所表現的均一化時間。使用陶瓷塊，混凝土塊和研磨之水泥砂漿等材料製成再生砂，再與天然砂和卜特蘭水泥作適當的配比。配比設計方法已在先前之研究論著中定義過。水泥砂漿配比設計方法中考慮兩大參數一為粒料及水膠比，另一為在乾的水泥砂漿中粒徑小於 75 μ m 之總量。本研究分析第二個參數對水泥砂漿之性能控制及其表現的影響性，在第一篇論文中結果顯示為解釋水泥砂漿性質，當水泥量維持一定量之情況下，例如河川之地質，營建廢棄物再生砂和粒徑小於 75 μ m 之材料量等參數如何的關聯。所需水量及水泥砂漿之物性和力學性質（例如乾縮量抗壓抗強度及彈性模數等）都加以分析。而在本研究的下一篇文章將會討論所表現之工程性能。</p>

Title	Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate
作者	J.M. Khatib
年份出處	Cement and Concrete Research 35 (2005) 763-769
摘要	<p>本文為研究摻入再生細粒料的混凝土性質。再生粒料包括壓碎混凝土(CC)或壓碎磚塊(CB)其粒徑小於 5mm。所有配比設計之水灰比保持為一定值，細粒料之取代量分別為 0%、25%、50%及 100%。一般而言，混凝土中含有 CC 的強度會減少 15-30%，而 CB 則為 50%，其所顯現的長期強度與控制混凝土相似。即使應用 CB 之細粒料取代量達 100%，其強度僅減少 10%在含有 CB 或 CC 的混凝土，在其養護期間 28 天以後的強度發展率較之控制混凝土為高。此現象表示摻入再生細粒料含有更進一步的水泥反應現象，另外亦發現體積有收縮和膨脹之較不穩定事實。</p>

Title	Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading [2-33]
作者	Jianzhuang Xiao, Jiabin Li, Ch. Zhang
年份出處	Cement and Concrete Research 35 (2005) 1187-1194
摘要	<p>本文進行試驗研究不同之再生粗粒料(RCA)取代率下之再生混凝土(RAC)抗壓強度和應力應變曲線。製作取代率為 30、50、70 及 100%的 RAC 試體並加以測試。在試驗上應用單軸抗壓強度載重，在分析上特別注意各種取代量對 RAC 的破壞行為和抗壓強度彈性模數，最大和極限應變等影響。本文中發表 RAC 的最大應變和應力應變關係之分析結果，顯示其可直接使用於理論和數值分析及 RAC 的實際工程設計。</p>

Title	Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach
作者	Vivian W.Y. Tam, X.F. Gao, C.M. Tam
年份出處	Cement and concrete Research 35 (2005) 1195-1203
摘要	<p>由於香港之新生地空間短缺，很難拋棄每日營建工程所產生之大量廢棄物。因此由混凝土廢棄物中取作再生粒料變為被熱烈討論的專題。香港 SAR 政府單位，已在 Tuen Mun 38 區設立一個再生工廠，其目的在轉混凝土廢棄物為再生粒料，以實務注意事項及規定專題控制再生粒料之品質。然而由於再生粒料混凝土(RAC)的抗壓強度低和力學行為的變化性高之故，所以很少報導可在高等級上應用。本文指出一種混凝土拌合新方法稱為兩階段拌合法，預期可改善 RAC 之抗壓強度。因而可減少其強度之差異變化。根據試驗結果發現可改善 RAC 的抗壓強度，此效果可歸因於再生粒料的多孔特性，因此預先混合製程可填補一些孔隙和裂縫，而形成緊密性混凝土。改善再生粒料周遭之介面區，使達可與傳統性拌合技術相比較具有較高之強度。</p>

Title	Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio
作者	Seung Bum Park, Dae Seuk Seo, Jun Lee
年份出處	Cement and Concrete Research (2005)
摘要	<p>本研究進行多孔性混凝土物性，力學性和吸音特性的評估，依據標的孔隙率和再生粒料含量作配比設計。其目的為減少在公路、鐵路、住家和商業區等所產生之噪音，以及利用再生廢棄混凝土粒料。測試結果顯示標的孔隙率與量測值間之差異小於 17%。當標的孔隙率和再生粒料量分別超過 25%及 50%之情況下，則其抗壓強度迅速減低。使用再生粒料的多孔性混凝土的吸音特性顯示當孔隙比為 25%情況下，其噪音減少率(NRC)為最佳。但是再生粒料的含量對 NRC 之影響性很少，因此最佳的孔隙比為 25%，而再生粒料為 50%。</p>

Title	An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates
作者	Yong-Huang Lin*, Yaw-Yauan Tyan, Ta-Peng Chang, Ching-Yun Chang
年份出處	Cement and Concrete Research 34 (2004) 1373–1380
摘要	<p>由於再生混凝土的工程性質具有較大範圍變異性，一般而言，大量試驗通常可決定適當的再生混凝土配比（由再生粗粒料/細粒料製造）。本文採用實驗計畫法和兩水準因子以降低試驗數量。五控制因素和四個反應（slump and compressive strengths at 7, 14, and 28 days）採用分析變異性(ANOVA)和 F 統計的試驗計畫法驗證彼此交互影響關係，和計算其結果的貢獻率。透過簡易的再生混凝土粒料試驗，最適化的混凝土配比可決定所欲求的工程性質。</p>

Title	Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete [2-25]
作者	Amnon Katz
年份出處	Cement and Concrete Research 33 (2003) 703– 711
摘要	<p>混凝土 28 天強度達到 28 MPa，分別壓碎在 1,3,28 天齡期的新鮮混凝土，此再生粒料來自新鮮混凝土，以接近 100 % 的取代量進行試驗，壓碎其對於粒料尺寸性質幾無影響。再生粒料混凝土性質低於未經處理的原混凝土性質。混凝土於 3 天壓碎的再生粒料性質優於其它齡期壓碎的具有較高水泥漿強度的再生粒料。有相反的趨勢當水泥漿的強度較弱時。在早期齡期壓碎的混凝土再生粒料，其水泥漿量較潛而未見。</p>

Title	Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete [2-38]
作者	Roumiana Zaharieva a, Franc_ois Buyle-Bodin b*, Freedeeric Skoczylas, Eric Wirquin
年份出處	Cement & Concrete Composites 25 (2003) 223–232
摘要	<p>本文比較再生粒料混凝土與普通混凝土的透水性、透氣性及表面滲透性質。本研究顯示再生粒料混凝土的滲透性受配比設計、養護情況及試體乾燥影響。滲透性與混凝土物理性質，如吸水率等有關，根據現有普通混凝土標準，再生粒料混凝土定義為中等品質而非低等品質。</p>

Title	Use of building rubbles as recycled aggregates [2-27]
作者	How-Ji Chen*, Tsong Yen, Kuan-Hung Chen
年份出處	Cement and Concrete Research 33 (2003) 125–132
摘要	<p>應用受損或拆卸的建築物之建築物破碎石，經過壓碎及篩選後，此材料可作為再生混凝土粒料。經由一系列再生粒料試驗變數組成，試驗結果顯示，建築物破碎石經由適當的處理可轉成有用的再生混凝土粒料。使用未洗的再生混凝土在混凝土中，將對強度造成影響，此影響將大於水灰比的影響。當再生粒料經洗過，不良的影響將大為改善，對於再生混凝土的抗彎強度影響更為重大。再生混凝土粗粒料是弱相，在低水灰比時，並支配再生混凝土的強度。</p>

附錄二 各項會議紀錄及意見回覆

期中報告內容摘要及意見回覆

期中報告內容摘要及意見回覆		
發言人	意見	答覆意見
沈教授進發	1 請於報告中說明手冊與參考中國土木工程學會出版之「混凝土工程施工規範與解說」。	感謝建議，已在使用手冊加註說明。
	2 再生粒料之品質變化極大，請加強其品質之規範。	再生粒料品質之規範已在手冊第二章加強再生粒料之品質規定，並附錄再生粒料建議產製方式。
黃教授然	1 期中報告完整詳實，研究進度符合要求。	感謝審查評語。
	2 有關再生粒料來源及使用範圍，建議於手冊中酌予補強。	本手冊已將再生粒料的來源限制為混凝土構造物拆除之廢混凝土，經適當處理所製成之材料（詳見手冊第 1.1 節再生混凝土粒料定義）。另再生粒料之使用範圍已補充，請參閱手冊第一章第 1.2 節。
	3 骨材及粒料名稱請統一。	名稱已統一為「粒料」。
	4 目前國內再生粒料使用在次要結構，請再酌次要結構為何，並請明列。	次要結構之定義及列舉已補充，請參閱手冊第一章第 1.2 節之說明。
高教授健章	1 日本之再生粒料分三級，其吸水率、健性均有不同規定。本手冊僅做一種等級的規定，應說明理由。	目前已修正為將再生粗粒料分為三級，如手冊第 2.1 節，惟考慮國內環境，與日本分類方式不同。
	2 用水沖洗再生粒料染泥，其沖洗水之處理問題及對環境之衝擊性，亦應考慮與說明。	沖洗可確保再生粒料之品質，故欲使用再生粒料於混凝土中，有沖洗之必要性；對於環境之衝擊，確實應考量，避免環境之污染。

	<p>1 營建廢棄物之管理及再利用為行政院國家永續發展委員會之重點工作，本署業已於 93 年 12 月完成「營建廢混凝土再利用管理申報系統」建置，並於 94 年 1 月函請各部會工程主辦機關配合上網申報。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>內政部營建署（建築管理組）</p>	<p>2 目前工程主辦機關對於再生材料或產品接受度相當低，除觀念上對於再生材料仍停留在次級品或替代品的等級外，另因無相關之規範或標準，致使基層工程人員無法適從。「再生混凝土使用手冊之研擬」計畫案將有助於提升營建材料廢棄物再生材料使用。</p>	<p>感謝審查評語。</p>
	<p>3 有關本案再生混凝土使用手冊之成果資料，屆時請貴所提供本署參考。</p>	<p>請委辦單位協助辦理。</p>
<p>中華民國土木技師工會全國聯合會</p>	<p>1 本案進度及內容皆合乎預期。另有關於再生混凝土之處理成本宜稍加說明。</p>	<p>再生混凝土成本之考量，需包括粒料處理、環境需求、運輸距離...等，影響因素甚廣，限於經費與合約規定，無法包含在本手冊之範圍內。</p>
	<p>2 第六章為「設計」部分亦納入是否合宜，建請考量。</p>	<p>「設計」部分屬合約要求，故納入手冊當中。</p>

中華民國 建築 師工 會 全國 聯合 會	1	建議用具體方式列出再生混凝土使用範圍，供設計者採用時參考。	再生混凝土之使用範圍已補充，請參閱手冊第一章第 1.2 節，及手冊第二章第 2.2 節各級再生粒料使用範圍。
	2	生產再生混凝土之廠商甚少，關於材料運輸時間與動線如何與施工地點配合，建請考量。另有關價格方面，如價格過高將影響推廣成效。	關於材料運輸時間與動線如何與施工地點配合，及價格等問題，在日後再生混凝土推廣時，確實應特別加以注意，唯限於經費與合約規定，無法包含在本手冊之範圍內。

經濟部 標準 檢驗 局	1	報告中第 2-1 頁第二文字框內的第 2.2.1.1 節排序有誤，建請修正。	已修正，感謝審查意見。
	2	第 3-2 頁第一文字框的「解說」內容，有關 CNS 1230、CNS 1231 及 CNS 1232 標題名稱有誤，建議查明修正。(第 33 頁倒數第及第 2 行亦有相同情形)	已查明修正，感謝審查意見。
	3	第 4-3 頁第一文字框內之文字，其前後兩句所述文意不明，建請修正。	第四章之內容均已改寫，請參閱手冊第四章，感謝審查意見。
	4	第 4-3 頁第二文字框中第 4.3.2 節之節次在第 4-4 頁第一個文字框重複出現，類似情形有多處，建請一併修正。	手冊中各節次之編輯已重新修正，感謝審查意見。

	5	由於本研究成果之「手冊」係為提供業者使用，其文字內容以精確易懂為目標，建請再審酌修正。	手冊文字內容已盡可能以朝向精確易懂之方式重新修正，感謝審查意見。
行政院公共工程委員會	1	有關本手冊之應用範疇宜說明清楚，並將使用限制敘明，俾供各界參考應用。	再生混凝土之使用範圍已補充，請參閱手冊第一章第 1.2 節，及手冊第二章第 2.2 節各級再生粒料使用範圍。
	2	手冊第六章之應用宜考量再生混凝土與輕質混凝土間之差異。	由於目前對於再生混凝土相關各種實驗數據及驗證均不足，與輕質混凝土間之差異缺乏足夠的現成資料作為比對，唯學理上，兩者間性質極為相似，故暫以混凝土工程施工設計規範[土木 401-93]中輕質混凝土規定之修正係數作為設計依據，設計時採用之修正係數，仍宜以實際實驗數據所得結果加以適當修正較為合理。

期末報告內容摘要及意見回覆

審查委員	意見摘要	回覆
沈進發教授	1. 資料蒐集及研究主題之探討相當深入詳實，使用範圍適當限制亦合宜。	謝謝鼓勵。
	2. 最大挑戰在於如何使在提昇混凝土品質穩定，及施工之品管，以確保施工之品質。	本手冊中第四章、第五章內容有建議施工及混凝土品質之要求，在台灣仍屬少見，故未來宜依實際使用情況，斟酌調整。
蔡得時教授	1. 本報告資料蒐集豐富，架構內容完整，並另訂有使用手冊，可供再生混凝土使用參考。	謝謝鼓勵。
	2. 由各相同文獻之了解，經由適當處理、配比、再生混凝土與一般混凝土之各種工程性質幾乎相同，故期望於規範所規定使用於次要結構之限制能延伸至使用於主要構造物。	列為未來努力之目標，並於手冊建議中提出。
	3. 為使再生混凝土使用更具說服力，建議能以列表方式比較其與一般混凝土之異同。	謝謝提醒，已在手冊中之附錄一提出。
	4. 建議對於再生混凝土之生產成本稍作說明，以供業者評估成本。	再生混凝土之粒料回收及生產過程複雜，成本估計不易，較難提出準確之數字。

	<p>5. 本報告中以下誤繕處建議修正：第 11 頁表 1-8、表 1-9 缺單位；第 13 頁後 5 行與第 16 頁前 5 行重複，建議前者刪除；第 20 頁中表 2-2 表示方法建議修正；第 31 頁圖 2-1、圖 2-2 於報告內似未提及，建議修正或補充；第 16 行「[本生]」改成「本身」。</p>	<p>謝謝指教，已修正。</p>
<p>張振成科長</p>	<p>1. 請補充先進國家近年來使用再生混凝土之現況，並進行相關之分析。</p>	<p>本報告第一章已依目前世界各國之現行法規及準則進行分析；然國外再生混凝土之使用現況資料取得不易，本報告中已盡可能列出所能搜尋得知之資料，提供使用者參考。</p>
	<p>2. 有關本報告中表 1-8，請補充該表使用之單位。</p>	<p>感謝張科長提出指正，已補充於報告中。</p>
	<p>3. 本研究案收集所多先進國家之研究資料，惟部分資料之研究成果有差距過大（甚至相反）之現象，為利閱讀者瞭解，請於中文說明造成前述現象之緣由。</p>	<p>再生粒料變異性大，若使用於製造再生混凝土，即使取代量相同，由於來源的差異，亦可能造成再生混凝土在各種性質上極大的差異；本研究報告為忠實呈現此一現象，故將各文獻資料上之結果均列出，提供使用者參考及注意。</p>
	<p>4. 鑑於使用手冊係屬於參考性質，為使業界在使用時於法令上有所依循，請 貴所於 96 年前完成相關規範與標準。</p>	<p>謝謝提供意見，已將其列於本研究報告之建議當中。</p>

內政部建築研究所

94年度研究計畫聯合研討會第二場次「公共工程(含建築物)拆除施工規範之研擬」、「輕質骨材混凝土牆板之開發應用與經濟效益評估」、「再生混凝土使用手冊之研擬」研究計畫審查會議

一、時間：94年11月14日(星期一)下午

二、地點：國立台北科技大學建築系設計館8樓國際會議廳(台北市忠孝東路三段1號)

三、主持人：葉組長祥海

記錄：郭建源、簡媿媿

四、出席人員：

與談人：

蔡教授得時

蔡得時

沈教授進發

沈進發

張科長振成

張振成

報告人：

黃教授榮堯

黃榮堯

陳教授豪吉

陳豪吉

張教授大鵬

張大鵬

再生混凝土使用手冊之研擬初步成果發表會會議記錄

- 一、 開會時間：中華民國 94 年 8 月 24 日 上午 9:00 至 12:30
- 二、 開會地點：國立臺灣科技大學 RB-102
- 三、 會議主席：內政部建研所 丁育羣所長
- 四、 會議記錄：詹雅竹

五、 主席致詞：

丁育羣所長：

本次由台科大承辦「再生混凝土使用手冊之研擬」研究案所舉辦的初步成果發表會，希望能藉此將再生混凝土的使用順利推廣與應用到國內工程界，本人在擔任建研所所長之前，於營建署服務，在營建署服務時，也曾主辦營建剩餘土石方處理方法之成果發表會，從政策上希望混凝土使用量能夠遞減，對既有構造物能妥善處理廢棄混凝土，尤其目前在推動都市更新時，對未來拆除之構造物所產生的廢棄混凝土，更應事先規劃如何善加再利用；環保署就剩餘土石方及回收再利用已訂定許多規範，針對再生材料使用技術之研發與推廣，將來也可配合建築法，對拆除執照申請要件更為嚴謹。

未來配合執行廢棄混凝土再生利用時，可配合考慮下列幾項要點：
(1) 對於拆除建築物時，規定在第一現場即應將各拆除部份予以分類處理及紀錄；(2) 目前所訂的剩餘土石方管理條例，對暫存廢棄物及回收再利用材料分別堆置，且分別許可，業者普遍意願不高，因此許可內容可考慮擴大，提升經濟規格，但前提是須要求剩餘土石方及廢棄混凝土在第一現場即予以分類。

營建廢棄物若無法有效管理，將造成任意棄置，破壞環境及浪費資源，這部分的觀念在產官學界可達到共識而訂定適宜的基本規範，但細部實施規定則需因應業者需求及管理上方便，希望本研究針對再生混凝土製成及再使用上，可以做更明確的界定，利於工程界使用，希望在座各位專家學者針對本使用手冊各項內容提供寶貴意見，供承辦單位參考。(致詞內容摘要)

六、簡報說明：

1. 張大鵬教授對「再生混凝土產製、輸送與品質控制及再生粒料應用於鋼筋混凝土設計」進行簡報。
2. 黃兆龍教授對「再生混凝土處理程序及品質控制」進行簡報。

七、綜合討論摘要：

提問：

工研院能資所 郭烈銘先生：

- (1) 行政院推動本計畫的目的，在於要求日後各部會廢棄混凝土回收再利用率達 10%，工研院本次也接受委託，建立一個申報系統，本申報系統將回收材料大致分為下列幾類：
 1. 混凝土再生粒料：需要與一般粒料區隔，如有環保標誌等加以區分。
 2. 瀝青混凝土
 3. 水泥製品：希望可與再生紙一樣在水泥製品上加上環保標誌，以便與一般水泥製品區隔。
 4. 路基基底：目前申報情況最多，大約 55%。
 5. 坑洞回填：目前這部分在現有法令中須再檢討，因為以往的的觀念認定廢棄混凝土不乾淨，因此，再現有法令中是禁止使用廢棄混凝土塊進行坑洞回填。
 6. 不外運之廢棄混凝土：此部分為直接在工地內進行回填。
- (2) 以上六項中，與本研究案有密切關係之第一項再生混凝土粒料，目前了解，一般預拌混凝土廠並不能使用，主要限於營建物剩餘土石方方案以及地方法規，一般處理流程為先到土置廠後才可賣給預拌混凝土廠，但目前預拌混凝土廠所要求之品管方式不能有再生粒料，營建混合物部分更是無法使

用，造成預拌混凝土廠沒有合法料源，以及再生混凝土是否與原生混凝土一樣使用，因此這部分還需要調整及檢討。

答覆：

葉祥海組長

目前法令仍有許多不一致，但現行之政策依舊是朝著垃圾減量及廢棄物再利用

黃兆龍教授

對於再生材料為達到良好的品質，除了獎勵使用外，ISO 的管制以及建立預拌廠之再生粒料獨立料倉，ISO 之管制並非僅達到書面控制，另可將整體處理流程統一，達到品質均一的目的。

張大鵬教授

本研究計畫將建立粒料分級，目前初步將再生混凝土強度限定使用於抗壓強度低於 210 kgf/cm^2 (3000 psi) 的次要構造物，未來若有土資場有設備與能力生產趨向精緻型之高品質再生粒料，可考慮將再生粒料使用範圍放寬，提昇使用於較高強度要求的混凝土構造物；若再生粒料可完全符合 CNS1240 要求 (CNS 中也有條文可使用再生粒料)，即可當作一般混凝土粒料使用，在澳洲規範內也說明，若良好品質之再生粒料取代一般粒料之數量少於 30%，並不會影響混凝土其他的性質。贊成設立綠色標章，配合嚴格要求訂定拆遷計畫，使營建廢棄物在拆遷時就加以分類。

提問：

台科大 沈得縣教授

- (1) 目前政府積極推廣再生粒料的使用，但再生粒料目前因缺乏法源依據且一般普遍認為品質略低於一般混凝土，而無法使用在主結構上。但可建議在不影響品質下，可摻用，而非全盤使用。
- (2) 在公共工程委員會施工綱要規範內已明定再生粒料可使用在 CLSM 中，因此預拌混凝土廠已有法源依據。
- (3) 再生瀝青混凝土使用之經驗，在不降低品質原則下使用，此

部分可提供參考，但對於再生混凝土方面，可能還需針對耐久性進行後續研究。

答覆：

葉祥海組長

謝謝沈教授意見及指教。

提問：

內政部營建署 戴昌毅

- (1) 關於再生混凝土，誠如工研院能資所報告是屬於營建剩餘土石方，而非營建廢棄物，若屬於營建廢棄物就可依照資源回收再利用法推動使用，
- (2) 瀝青混凝土本署正朝往再生資源方面進行，若公告為再生資源需經經濟及可行性評估。

答覆：葉祥海組長

謝謝內政部營建署代表之補充說明。

提問：

天九興業(股)公司 楊晟欣

- i. 因為再生粒料較原生粒料貴，政府有沒有對此有獎勵措施，否則廠商無利可圖，如何刺激廠商使用。
- ii. 以上規範有無綁標問題？
- iii. 假設再生製品有獎勵，單價較高，如何防制廠商以原生粒料生產產品替代再生材料製品，而壞了政府美意，對於綠色標章之檢核方式也須審慎評估，以免濫用。
- iv. 再生混凝土製品其內含再生材料之多寡(10%或是 100%)無法從表面區分。

答覆：

葉祥海組長

對混凝土來說，營建研究院會特別針對優良廠商先進行輔導，對於公共工程之使用率要求，是以用在更有價值處為目標為大方向，在許多規定上已有獎勵措施，部分廠商已開始進行再生粒料處理。針對綠色標

章部分，目前也推動綠建材，可進行後續推動。因為目前行政院要求公共工程回收使用廢棄混凝土，故對未來再生混凝土的使用有正面的幫助，因此，在有需求的情況下，應不會產生所謂綁標問題；摻入再生材料的比率問題確需要再研究。

黃兆龍教授

使用再生粒料如有獎勵，可造成投機意願與利益，但較需要擔心的是再生混凝土使用管制上的問題，若因管制不好而造成再生混凝土可能在日後產生及使用安全上的問題，對於這一部分應該更加以明確規定。

提問：

亞利預鑄公司 苗厲青

- (1) 日本對於廢棄混凝土使用方式上，有一部分直接丟於海中當作魚礁，預鑄製品方面路緣石，或是地下管溝，目前台灣遇到的問題是，天然材料的取得困難度仍不很高，且在價格上較再生粒料便宜許多，若未來天然粒料之供應有問題時，未來再生粒料的使用才會變成趨勢，屆時再生材料才会有更正面的效應。

答覆：

葉祥海組長

謝謝鼓勵，對於天然粒料未來的管制需要更嚴格管理，減低目前因砂石亂採而造成環境上的破壞。

張大鵬教授

歡迎業者提供可使用再生混凝土的工程項目，以便我們能列在再生混凝土使用手冊中，一方面可更明確的使用，一方面也可確保再生混凝土品質，也歡迎業者提供相關的品管資料及流程，畢竟目前國內對於這方面經驗非常缺乏，歡迎各界提供國內使用上的相關資料以供參考。

提問：

環保署廢管處 呂正期

- (1) 因為近來石油價格不斷上漲，連帶著節能方面更被重視，目前許多技術都可以達到節能及資源再利用。

- (2) 目前相關的法令有二，一部分是由營建署交由各縣市政府管理的營建剩餘土石方管理辦法，另一部分則是由環保署管理的營建廢棄物管理辦法，廢棄混凝土塊是屬於後者，目前這部分的處理分為兩種，一是直接清除(可自行清除或交由合格機構清理)，另一種則為資源再利用，至於資源再利用方面，則依照資源再利用管理辦法必須要像營建署提出申請。

答覆：葉祥海組長

謝謝環保署廢管處針對環保署負責之部分進行說明。

八、散會

以下所附「再生混凝土使用手冊研擬初步成果發表會」簽到表影印資料上各與會者名單之身份證號，均經電腦圖形軟體特意加以消除。

單位	姓名	身分證號	簽名	備註
公共工程委員會	莊欽登			公
內政部營建署	戴昌毅		戴昌毅	公
交通部高速公路局	林生發		林生發	公
台北市府工務局	丁仲仁		丁仲仁	公
台灣鐵路管理局	林永昌		林永昌	公
台灣鐵路管理局	林建隆			公
台灣檢驗科技公司	張志欽			
台灣檢驗科技公司	黃任賢		黃任賢	
	鍾明錚		鍾明錚	
經濟部水利署南區水資源局	張政豐		張政豐	公
交通部國道新建工程局三區處材料所	張天成		張天成	公
營建署中區工程處	林裕通		林裕通	公
營建署中區工程處	陳俊雄		陳俊雄	公
國產實業建設公司	楊志強		楊志強	技
國產實業建設公司	鄭聰明		鄭聰明	
國產實業建設公司	陳永松		陳永松	
台電營建處(退)	許泰雄		許泰雄	技
水利署	李朝晉			

「再生混凝土使用手冊之研擬」初步成果發表會簽到表					
單位	姓名	身分證號	技師積分	公務員終身學習證明	備註
南投縣政府	尚益新				
內政部建研所	郭建瑋				
台科大	吳漢儒				
台科大	黃貴翔				
營建署中工處	黃世揚				
榮公司	西學偉				
榮公司	林祿哲				
中國科大	邱瑞澤			✓	
台北水源局	鄭博濤			✓	
交通部民航局中區 暨航空處	張國燦			✓	
中原大學	歐虹蘭				
台科大	潘采潔				
"	羅詠玲				
"	冷曉惠				
"	謝靈君				
北科大	羅勝財		✓		
車經研	林子明				
台科大	林信介				

「再生混凝土使用手冊之研擬」初步成果發表會簽到表

單位	姓名	身分證號	技師積分	公務員終身學習證明	備註
台科大	傅柏榮				
天九興業	楊崑欣				
宏圖永安	李立國			✓	
營建署中區分處	林佳龍			✓	
樺福建設	曹國琪				
台科大	林坤德		✓	✓	
榮大	褚味南				
中興	王榮光				
金龍					
亞利預鑄	楊渭				
亞利預鑄	高銘志		✓	✓	
亞利預鑄	黃勵青				
台科大	陳俊村				
台科大	林廷訓				
台科大	陳靖江				
德霖技術學院	洪盟璋				
台鐵	林建隆			✓	
內政部營建署	張賢德			✓	

「再生混凝土使用手冊之研擬」初步成果發表會簽到表					
單位	姓名	身分證號	技師積分	公務員終身學習證明	備註
成大建築系	姚昭育				
輔大技學院	江奇成				
工研院能資所	郭烈金				
台科大	李金輝				
台科大	高道驊				
台科大	廖御吟				
台科大	李慧娟				
台科大	溫凱翔				
台科大	吳宗聖				
台科大	詹雅竹				
內政部建研所	厲煥熾			✓	
台科大	雷良琴				
國子科大	湛淵源				
台科大	陳柏存				
台科大	黃君隆		建築師		
台科大	甘聖賜			☞	
榮茂工程公司	許坤煜				
營建署 南區工程處	林櫻花			✓	

↓

18.11

「再生混凝土使用手冊之研擬」初步成果發表會簽到表				
單位	姓名	身分證號	簽名	備註
經濟部礦務局	許慶源		許慶源	公
經濟部水利署南區水資源局	黃益昌		黃益昌	公
東南技術學院	孫詠明		孫詠明	
台灣科大	阮世賢		阮世賢	公
捷運局	葉蕙霞		葉蕙霞	公
美化環境基金會	葉樂美			
聯管處	呂正軒		呂正軒	公
村協研公會 全國聯合會	李春元			
台灣科技大學	洪偉勳		洪偉勳	
台灣科大	邱榮岳			

照片 AII-1 入口報到情況



照片 AII-2 主席致詞



照片 AII-3 會議進行情況(一)



照片 AII-4 會議進行情況(二)



照片 AII-5 會議進行情況(三)



照片 AII-6 綜合討論情況



「再生混凝土使用手冊之研擬」第一次專家座談會之會議記錄

九、開會時間：中華民國 94 年 6 月 6 日 下午 2:00 至 5:00

十、開會地點：國立臺灣科技大學 營建系 E2-222

十一、出席人員：沈得縣、邱昌平、黃榮堯、葉春爐、葉祥海、陳豪吉、高健章、林維明、洪盟峰、江奇成、詹雅竹、溫凱翎（詳簽到表）

十二、會議主席：張大鵬、黃兆龍 會議記錄：溫凱翎

十三、主持人說明摘要：

2. 再生混凝土使用手冊中第七章的部分，由於涉及到鋼筋混凝土的設計作業要點，還有部分問題尚未釐清，將會在往後的專家座談會中補齊。本次專家座談會，主要針對初稿，其他各章節架構及內容之適宜性，若有衝突之處或不妥之處，請在場各位貴賓提出寶貴的意見。
3. 國內對於再生粒料的研究已有相當好的成果，未來使用再生粒料是一個政策，再生粒料的處理，如果只經過錐碎的程序，形狀會扁平多角，若要將再生粒料的使用成為政策，就要好好處理再生粒料，處理程序必須經過水洗，經過良好的處理程序，可以去除再生粒料上附著的水泥漿與紅磚，可以達到原先粒料的品級。
4. 再生混凝土使用手冊研擬之初稿（第一章至第六章），進行簡報說明。

十四、綜合討論（略）

十五、結論以及意見回覆：

1. 手冊中「再生粒料」、「再生骨材」、「再生廢棄物」...等，名詞將統一訂為「再生粒料」。
2. 「再生粒料」及「再生混凝土」在使用手冊第一、二章即說明確地予以定義。
3. 「再生粒料」主要成分係以舊有混凝土構造物拆除後之廢棄混凝土碎塊（主要為石塊及硬固水泥砂漿）經適當處理後的塊粒，

其中內所摻雜的瓦片、紅磚、陶瓷器等含量比率最高值有一定的限制；其餘所有的有機物、易腐壞材料、垃圾、廢物及其他不適用的物料均需完全去除。

4. 「再生粒料」是否透過嚴格處理程序而僅產生單一粒型高品質再生粒料，或依含水率、比重等粒料物理性質，予以分為數個等級的粒料，目前暫不做定論。
5. 「再生粒料混凝土」是否宜依不同強度而列舉規定使用於各種不同適合用途的構造物，目前亦暫不做定論。
6. 「水洗過程」為再生粒料所有良好品質的重要處理程序。
7. 「再生粒料」佔全部使用粒料之使用比率，會依應用場合不同而有所不同，不宜明文限制其最高摻用比率。
8. 引用「再生混凝土物化性質」之參考文獻或研究報告時，應明確區別與說明其所使用的再生粒料係以實驗室中的圓柱混凝土試體打碎後產製，或實際由現有混凝土構造物廢棄混凝土塊產製而成，兩者所得的「再生粒料物化性質」會有相當大的差距。

十六、附件：

1. 出席人員發言單。
2. 出席人員簽到單。

『再生混凝土使用手冊研擬』之第一次專家座談會之發言單

日期 94 年 6 月 6 日

姓 名	內 容	備註
林維明	敬請葉春爐副主任提供再生粒料應用於鋼筋混凝土設計作業要點國外已發表之規模以供本研究參改。	
沈得縣	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再生混凝土之性質要求可依工程應用範圍分級表列，再生混凝土品質原則上應符合工程品質要求不得折減，但在組成材料上例如再生粒料則可放寬其品質要求。 2. 再生混凝土之粒料原則上應採用再生粒料取代部分粒料較為可行，取代量應以試拌或配比設計決定。 3. 在總則中應先針對廢棄混凝土再生粒料及再生混凝土作原則性定義，並規範磚瓦陶瓷材料含量。 4. 再生混凝土之適用範圍可依循日本依據抗壓強度及其使用工程等級分級規範，以使再生混凝土適材適所。 5. 第二章再生混凝土性質最好能具體列出適用之數據範圍。 6. 第三章再生粒料之品質要求偏高值得斟酌修正。 	
邱昌平	<p>I.部分內容之修改建議</p> <p>第一章總則</p> <p>1 適用範圍</p> <p>本使用手冊適用於再生混凝土之產製、輸送及再生混凝土構造物之設計要點及施工。</p> <p>1.2 再生混凝土粒料之定義(須含 4.24 之限制 20%)，內有 4.1 定義之再生粒料。(再生粒料與再生混凝土粒料之區隔)</p> <p>1.3 再生混凝土構造物之內容。</p> <p>宜依使用再生混凝土之次要結構物種類，規定目標抗壓強度及再生粒料之含量。</p> <p>建築法中所言之次要構造物含剛性道路鋪面、球</p>	

	<p>場鋪面、駁坎、景觀構造物、蛇籠用人造卵石、可列舉出相當多之次要構造物或非構造物用途。</p> <p>第二章 2.3 節坍度較坍流度要常用(本手冊中亦多見之)如 p. 6-1 及 p. 4-5 中</p> <p>第二章 3.2.6 配合第一章次要構造物之用途，依目標強度 210 kgf/cm^2 以下及以上強度討論一下。</p> <p>第三章</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ①3.3.1.1 第二行後仍有文字才對 ②3.3.1.1 第三行用「原則上」但 3.2.1.1 及 3.3.1 中卻言「應」符合 CNS 1240。 2. 原 1.1 及 3.1.1 再生粒料(第三章 之標題宜為再生粒料)皆言再生粒料可含廢棄混凝土及磚瓦陶瓷類材料，但對後者所佔之百分比未明定之。(日本是否有相關規定可供參考?) 3. 再生粒料之生產必須經過水洗，故使用時有無要求係在面乾飽和狀態? <p>第六章 內容較像在建物主體之施工，若以次要構造物，大小預鑄構件如混凝土磚(Concrete block)之施工是否皆如此?若做透水性強之混凝土磚時又如何?</p> <p>第七章 不宜用於 RC 結構物，故標題及內容宜慎重。</p>	
<p>黃榮堯</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議先將「再生混凝土」明確定義，並將本手冊功能定位清楚。 2. 手冊內容應針對使用廢棄混凝土於再生混凝土中時於粒料處理、產製、貯存、運送等過程應注意事項加以規範，尤其針對再生粒料吸水率高、多孔隙、磨損率高、鹼化等特性。 3. P.4-1、P.2-4 加入量 20% 上限是否必要，請再考量。 	
<p>葉春爐</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議增加「再生混凝土之分級(適用範圍)」章節「再生粒料製品管制度之建立」 2. 「再生粒料」或「再生骨材」之名稱應統一。 3. 再生粗粒料的比重若定為 2.5，吸水率定為 3%， 	

	<p>似乎太嚴。</p> <p>4. 3.4 節中建議增列「堆置場地須提供灑水設備，以保持粒料在 SSD 狀態」。</p> <p>5. 4.2.4 加入量 20% 以太低，以不超過 50% 為原則。</p>	
<p>陳豪吉</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 增加再生混凝土「適用範圍」建議，包含建議使用之結構物、包含建議使用之強度、包含建議之再生粒料品質規定可配合所需強度而加以限制，可增列於第二章。(此部分可參考日本規範) 2. 2.6 抗壓及抗彎強度敘述建議，「再生混凝土強度較普通混凝土」改為「再生混凝土強度約為普通混凝土之 50%~80%」 3. 文獻引用需注意，有些文獻係將採用純廢棄混凝土塊進行之研究，非一般再生粒料，及結果不能直接引用。 4. 就第三點建議可知，3.3.4.2 粗粒料比重小於 2.5(建議 2.2-2.3 之間)，3.3.4.3 吸水率不得大於 3%(建議 7-10%)，需放寬。 5. 4.2.4 再生粒料用量限制 20%，建議去除，但可於「適用範圍」內建議，依不同工程或結構物限制再生細粒料之使用。 6. 5.8 輸送距離「水準」應可達 400m，是否應為「水平」。 7. 表 6.5 洛杉磯磨損試驗 <40%，與 3.3.4.1 <50% 不同請取一值。 8. 雜質含量試驗方法未定，建議可參考澳洲規範。 9. 6.3.1 採樣法應為 6.4.1 內容部份建議增加「磁磚」二字，或直接改為陶瓷類材料。 	
<p>高健章</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再生混凝土之推廣使用，在於資源的再利用，源自資源保護與能源之節省，故應用範圍應擴大，包羅所有可用之資源，不論品質高低，盡量使用，惟應加以區分規範，達到適材之地步。好有好的用途，劣質也有低質的用途。 	

	<p>2. 再生骨材之主要成分為再生混凝土粒料，其他雜料為紅磚，磁磚、木材等有粒低整體再生混凝土工程性質，故應對此等雜料含量及其成分之試驗方法及標準加以規範訂定。</p>	
<p>葉祥海</p>	<p>1. 再生混凝土相關用語，建議予以定義。 2. 本手冊已呈現研究計畫之需求重點，研究文件中能介紹國外實用再生混凝土成功案例、方法、技術，以利宣導。</p>	

『再生混凝土使用手冊研擬』之第一次座談會

一、時間：94年6月6日(星期一)下午2點整

二、地點：台灣科技大學 E2-222 會議室

三、主持人：

張大鵬 教授

張大鵬

黃兆龍 教授

黃兆龍

四、出席人員：

高健章 教授

高健章

邱昌平 教授

邱昌平

蘇南 教授

<請假>

陳豪吉 教授

陳豪吉

沈得縣 教授

沈得縣

林志棟 教授

黃榮堯

黃榮堯 教授

葉春爐 副主任

葉春爐

郭建源 先生

林維明 博士

林維明

葉祥海 組長

葉祥海

構物，如打底用混凝土、擋土牆、填充材料、女兒牆、樓梯、隔間牆...等。

4. 再生混凝土使用鋼筋之設計，暫可參照土木 401-93 中輕質混凝土條款使用；但若用於涉及結構設計之構件中，則確實需要將所有條款全部加以驗證後，方可使用。

黃世建：

1. 建議將再生粒料分級處理。
2. 混凝土只要摻入再生粒料，則無論添加量為何，皆宜視為再生混凝土，須符合再生混凝土之相關規定。
3. 建議將次要結構物定義為抗壓強度低於 3000 psi (210 kgf/cm²)之構造物，且再生混凝土不得用於耐震構件、預力構件、扭力、剪力...等主要結構當中，再生混凝土的使用，不一定要以鋼筋混凝土為主，亦可使用於透水磚、空心磚等材料當中。
4. 在允許的使用範圍內，可將再生粒料使用於鋼筋混凝土中，但在目前各項再生混凝土試驗數據不足之情況下，可考慮暫以土木 401-93 中，當使用輕質混凝土時之修正條文作為設計考量。
5. 再生混凝土中適當的再生粒料使用比率，目前宜暫規定容許較保守之較低使用比率，日後進行更多的試驗數據後，斟酌實際使用情況考慮放寬。

方文志：

1. 以實務作業來說，主要結構物一般認知為「需要進行結構計算之構件」，次要結構物則為「在結構分析時，不列入考慮之構件」；建議再生混凝土作為 210 kgf/cm²以下之構造物。
2. 與人造輕質粒料相較之下，再生粒料品質較不均勻，不應用於耐震、預力構件當中。目前再生混凝土的使用上，大多用於墊底混凝土 (80 kgf/cm²) 或透水磚、水溝壁 (水溝蓋板

需承重，不在此項中)、消波塊...等非結構物中，以標準方式製作，不進行結構計算。

3. 實務上，建議將再生混凝土作為預鑄構件使用。

七、結論及意見回覆：

1. 混凝土只要摻入再生粒料，則無論添加量為何，皆宜視為再生混凝土，須符合再生混凝土之相關規定。
2. 再生粒料依抗壓強度可分三級使用，第一級再生粒料需與天然粒料有近乎相同之品質要求標準(CNS1240)，不具備上述要求者，作為第二級或第三級使用。
3. 再生混凝土僅限使用於抗壓強度為 210 kgf/cm^2 以下之構造物，且不得用在耐震構件、預力構件、扭力、剪力...等主要結構當中。
4. 符合第一級規定之再生粒料中，與天然粒料具有完全相同之性質者，可使用於抗壓強度小於 210 kgf/cm^2 之非結構RC構件當中，其設計可參考土木 401-93 之規定；與天然粒料有些微差異者，暫使用土木 401-93 中輕質混凝土設計方法修正之，其中之修正係數因目前實驗數據不足，亦暫使用輕質混凝土修正係數修正之。
5. 再生混凝土與輕質混凝土之差異性，需再另行進行後續研究。

八、附件：

第二次專家座談會簽到單。

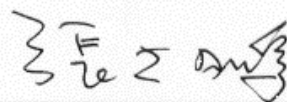
『再生混凝土使用手冊研擬』之第二次座談會

一、時間：94年6月29日(星期三)下午2點整

二、地點：台灣科技大學 T2-206 會議室

三、主持人：

張大鵬教授




黃兆龍教授

四、出席人員：

黃世建教授



林英俊教授



黃震興教授

蘇南教授

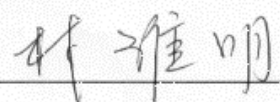
林志棟教授

方文志 副^{局長}主任



吳江富 經理

林維明 博士



下；因此，若材料本身並不是用在重要工程上，例如使用於道路基層等地方時，是否有必要水洗還可以再討論，且水洗六可能會造成許多處理廠無法得到認證的問題。建議營建混合物先交由處理廠初步以乾式處理後，若有品質上的需要，再由砂石廠進行水洗的程序較為恰當，或考慮以分級處理方式來達到此需求。

3. 品質控制方面，建議可在手冊中要求，使用再生混凝土品質必須交由學術單位之檢驗機構檢驗合格方可使用，並且因為再生混凝土料源複雜，對於料源的檢驗方式及頻率也可以一併加入。

呂東璇：

1. 手冊之制定要兼顧來源、技術、市場，三者通路順暢才可順利推動再生混凝土之使用。
2. 再生混凝土材料可加上綠營建之認證，藉此提高建物使用再生混凝土之附加價值，且贊成初期先以第三認證機構加以認證，來確保再生混凝土品質以及增加民眾使用上的信心。

王振滄：

1. 此再生混凝土使用手冊若是以次級之再生粒料混凝土為主，其內容之訂定不需太過嚴謹。
2. 預拌廠對於生產次級混凝土之意願不高，且不合乎目前對於混凝土品質要求越來越高之趨勢，既然如此可考慮加入一些現場拌和所需之注意事項。

王國華：

1. 天然砂石的變異性其實已經很大，再生粒料的變異性更大，以預拌廠的角度而言，若要使用再生粒料，再生粒料的管控是一個很大的問題；因此，建議在使用手冊中加入管控上調整之方式。

2. 若再生粒料完全沒有其他雜質(如紅磚、瓷磚...等)，且符合 CNS 混凝土粒料之規定，可否視為與一般粒料相同。

邱志彥：

1. 再生混凝土使用的範圍宜予明定。
2. 再生粒料有害物的檢驗方法予明定。

黃文俊：

1. 再生粒料來源複雜，各方面的性質均較差，各國使用上大多在道路工程之基底層，且均禁止使用再生細粒料，此再生混凝土使用手冊中並沒有限制細粒料的使用，是否為疏漏或是有其他考量。
2. 再生混凝土使用手冊因為一使用手冊，所以其內容不可違背 CNS 規定，需考慮到國家標準的相容性。

劉榮盛：

1. 製造成本之影響：
 - (1) 回收及處理成本需低於現有粗細骨材成本
 - (2) 配比設計中之膠結材料的使用(再生料的品質穩定度)
2. 市場接受度之推廣

黃建榮：

1. 再生粒料使用手冊，應考量與現行法規的相容性，不可互相抵觸。
2. 再生粒料市場通路之問題亦需考量。

七、 結論及意見回覆：

1. 關於檢驗機構的確有必要以第三具公信力之檢驗單位或是學術單位加以檢驗，以確保再生混凝土品質。
2. 若再生粒料中確實無其他雜質(包含紅磚、瓷磚、玻璃...等)，並且完全符合 CNS1249 中對於混凝土粒料之要求的再生粒料，可考慮以相等於天然粒料之使用及處理方式辦理。
3. 本手冊所規定的再生混凝土使用在次要結構物上，對此盡可能列出適用在此範圍之工程項目。

八、 附件：

1. 出席人員簽到表。

『再生混凝土使用手冊研擬』之第三次座談會

一、時間：94年8月11日(星期四)下午2點整

二、地點：台灣科技大學 T2-222 會議室

三、主持人：

張大鵬教授 張大鵬

黃兆龍教授 _____

四、出席人員：

朱明義先生 _____

陳顯童先生 陳顯童

呂東璇先生 呂東璇

王振滄協理 王振滄

吳良材董事長 王國華代

李坤炎總經理 李坤炎 董文俊

劉榮盛總經理 劉榮盛

黃建榮總經理 黃建榮

林維明

江奇成

5. 本手冊之相關標準是否有相關試驗（實驗）加以佐證，以及其試驗數目是否足夠？
6. 基於廢棄混凝土塊與一般粒料之特性不一致，然本手冊大部分將使用一般粒料之 CNS 直接套用，應用於公共工程時，變異性高，是否合宜？能否達到 CNS 之要求？
7. 本手冊第六章之設計要點係採用輕質混凝土之依據，在沒有龐大的實驗作支撐時，是否合宜？
8. 廢棄混凝土塊除了回收處理再利用之外，亦可朝「再使用（reuse）」的方向著手研究，減低回收處理時可能造成的二度污染。

廖同柏：

1. 若手冊旨在推廣再生混凝土在次要夠造物之應用，似可考慮酌予放寬部分 CNS 有關粒料之規定。此外，表面電阻大於 20k Ω 或資深工程師駐廠監督之規定，亦可考慮予以刪除。
2. 手冊用語宜統一：「回收粒料」應改稱為「再生粒料」，「再生混凝土塊」應改稱為「廢棄混凝土塊」。
3. 第 3.2.4 節所述之第三章應為第二章之誤。
4. 宜建議政府儘速建立「再生混凝土粒料」國家標準（類似 CNS 1240 之規範）
5. 建議將次要夠造物之定義結合混凝土強度，如 175 kgf/cm² 以下之低強度次要構造物。

張廷榮：

1. 手冊內相關規定有無事務應用上之困難，製造廠商是否可生產符合規定之產品。是否會有造價過高的問題？
2. 第二章之「解說」為求一致性，建議修正為同其他章之「說明」。
3. 第 3.2.4 節再生粒料品質應符合本手冊「第二章」再生混凝土粒料之規定，非第三章。
4. 第 3.5.2 之條文於實務應用上較難執行，建議是否可改由其他

方式如以強度或保護層厚度限制取代之。

5. 第 5.2.4 條文排版有誤，「說明」應移出條文內文外。
6. Page 5-7 圖 R5.1 合格與不合格之流程標示不清楚。
7. Page 5-14 表 56 試體製作，建議加註：大於 200m³ 時，每增加 100m³，加取一組。
8. Page 6-2，6.4 (1) fct1.8 應修正為 fct/1.8。

陳式毅：

1. Page 1-1，第 1.1 節本文及說明：建議將「剛性路面」改為「混凝土鋪面」；刪除「三類塊」三字。
理由：以材料別區分較適合本手冊之目的，鋪面範圍包括機場、道路、停車場等表面。
2. Page 1-1，第 1.2 節本文：後段建議修正為「以次要構造物且與人非長期密切接觸者為其使用範圍」。
理由：宜注意人性因素。
3. Page 1-1，第 1.2 節說明：
 - 1) 刪除「隔間牆」。
 - 2) 「道路路基」可用再生粒料，但「道路路基」非本手冊所指之「再生混凝土」，若要列入可考慮改為「鋪面結構」。
 - 3) 刪除「電線桿」。
理由：1 與人接觸多。 2.電線桿通常需施預力，強度及耐久要求高。
4. Page 1-4，表 R1.1：建議對「再生細粒料之 2 種型」及「再生粗粒料之 3 種型」加以說明，是否即為 Page 2-4 表 R2.2 及 Page 2-8 表 25 之、3 類，若是請統一名稱且加以引述。
5. Page 2-1，第 2.2.1.2 節本文：「若該粒料細度模數與規定值相差 02 以上時，此粒料不得使用」此段文字與 CNS 1240 用意相差很大，且與前段相衝突，宜再商榷。
6. Page 2-6 第 2.3.2.1 節本文：
 - 1) 「各種有害物質之數量檢定試驗所用樣品必須單獨抽選」

意義為何？是否可修正為「分類及分類 2 有害物質數量檢驗應分別以兩份樣品辦理」。

- 2) 表中附註對比重之定義，建議參考日本表 R2.4 用確定語氣。
7. Page 2-7 第 2.3.4.4 節本文：「長或寬大於寬或厚」建議修正為「長大於寬或寬大於厚」。
8. Page 2-9 表 R2.6：粒料磨損率試驗方法建議刪除 CNS 3408。
理由：CNS 490 與 CNS 3408 試驗轉數不同，不宜並列。
9. Page 3-1 第 3.2.3 節本文及說明：「其性質應符合 CNS 之相關規定」一詞過於開放，在技術文件不宜使用，建議將說明內容移到本文逐一列舉。
10. Page 3-1 第 3.2.4 節本文：「第三章」建議修正為「第二章」。
11. Page 3-2 第 3.3 節說明：「1. 抗壓強度必須符合設計強度 $f'c$ 之要求」與 CNS 3090、CNS 12891、土木 402-88a 及本手冊 Page 3-3 第 3.6 之說明不一致。3.4.1 節本文及說明亦有相似問題。本點相當重要，建議再商榷。
12. Page 3-2 第 3.4.1 節說明：建議刪除 CNS 320。
理由：該法是實驗室用，本節應是指工地試驗。
13. Page 3-3 第 3.5.2 節本文及說明：本手冊訂位為適用於「次要構造物」，防蝕耐久性有需要如此強調嗎？
14. Page 3-4 第 3.6 節說明 3：土木 402-88a「第 4.10 節」為「第 3.8 節」之誤，該規範正在修正，節號可能會改，建議不必引出節號。
15. Page 3-4 第 3.7.2 節說明 4：「相差應在 5°C 以內」為指明與何基準比較。
16. Page 3-5 第 3.8 節說明：
 - 3) 建議修正為「根據第 3.4 節及強度對水膠比關係選擇水膠比。」
 - 4) 建議修正為「計算粗粒料用量(可為全部或部分在生租粒料)。」

- 5) 建議修正為]「計算粗粒料用量(可為全部，部分或無再生粗粒料)。」
17. Page 4-5 第 4.3.4 節本文：(1)與(2)對調，原(1)句前加入「未辦理均勻性測試時。」
18. Page 5-5 第 5.2.1 節本文：(3)要求「承包商派資深工程師駐廠」立意佳，很難辦到。
19. Page 5-5 第 5.2.2 節本文(2)：「坍度不合格即整批拒用」可能過於嚴苛，可考慮採「每天開工時每車均試驗，若連續三車均合格，放寬為每五車試抽一車，若有任一車不合格，恢復為開工條件時。坍度過低者，得經監造者同意加水或摻料再拌至合格後使用，坍度過高者不得使用。」
20. Page 5-5 第 5.2.6 節說明 6：液膜養護劑有 CNS 2178。
21. Page 5-6 第 5.2.7 節說明：表 R5-3 內容全為重要結構，與本手冊定位為適用於「次要構造物」不一致。
22. Page 5-7 第 5.3.2 節說明：圖 R5-1 流程圖中對於合格之路徑不明。
23. Page 5-10 第 5.3.5 節說明：(6)鑽心試驗 CNS 1241 修正為 CNS 1238。
24. Page 5-12 表 R5.4：「破碎面」建議修正為「破碎率」，只有 2 個破碎面顆粒之質量比。列上限很奇怪。
25. Page 5-13 表 R5.5：坍度要求標準建議修正為 Page 5-2 表 R5.1 內容。
理由：目前所列為 Page 4-7 均勻度許可差。
26. 再生混凝土應秉持「品級要限制，品質不降低」的原則辦理。

翁勝得：

1. 若再生骨材含有硬故水泥砂漿塊者，對其本身之強度及健全性，是否能符合規定。
2. Page 2-6 第 2.3.2.2 節粒料對水泥中之鹼類發生反應，若再生混凝土用於海邊需使用第 V 型水泥（附 C3A 含量），則應規

定使用低鹼抗硫之水泥。

3. 建議公布合格且具有相關設備之廠商，以方便廠商購買再生混凝土。請訂定再生粒料之生產程序，以利工地現場驗廠動作及品質管制。

楊祐民：

1. 表 2.2 與表 2.3 之引用處不同，是否不適當？
2. 表 2.2 前半段參考日本規範，後半段則參考 CNS 規範，是否適宜？

黃一平：

1. 目前國公局進行中，使用再生混凝土之工程，包含國道 6 號南投路段共三標；皆保守使用於不屬於結構安全之工程，如回填、基礎墊層、預鑄橋台串方塊...等處，邊溝、排水溝仍未使用。這些再生混凝土工程，級配與鹼粒料反應依照 CNS 1240 之規定辦理，且不使用再生細粒料。建議手冊中適用範圍可增列「護坡混凝土塊」。
2. 目前再生混凝土之工程，最高強度為 175 kgf/cm^2 ，RCA 佔粗粒料之比例約為 40%，比重限制為 > 2.2 ，吸水率則需低於 10%。
3. 以人性因素作為考量，將「再生混凝土」稱為「再生粒料混凝土」。
4. 以國公局目前所參與之再生混凝土工程為例，有供料困難、單價過高的問題。

楊仲家：

1. 建議再考量第 3.4.2 節、第 3.5.2 節之需求性。
2. 請考量第 5.2.7 節、第 5.2.8 節之需求性。
3. 請考量再生粗、細粒料分類之必要性，分級後是否造成品管困難的情形？

黃然：

1. 再生混凝土粒料來源是否應限制？
2. 再生混凝土的分級依據？

七、結論及意見回覆：

1. 次要構造物在手冊中已列舉出 18 項(手冊第 1.2 節說明)，其中，地磚、防波塊、邊溝等項目應可行；另參照本次座談會中專家學者之意見，將「擋土牆」改為「重力式擋土牆」，增列「護坡混凝土塊」，並刪除「電線桿」、「隔間牆」兩項目。
2. 次會議各位專家學者的意見，將於會後再行討論，並依循這些意見，將手冊予以適度修正，使其手冊更為完整，並符合實務上的需求。

八、附件

1. 第四次座談會簽到單

『再生混凝土使用手冊之研擬』第四次專家座談會

會議簽到單

一、時間：94年8月25日(星期四)下午2點整

二、地點：台灣科技大學 T2-222 會議室

三、主持人：

張大鵬教授

張大鵬

黃兆龍教授

四、出席人員：

張廷榮

張廷榮

廖同柏

廖同柏

林初旺

林初旺

張德偉

張振成

張振成

廖肇昌

黃一平代

黃然

黃然

楊仲家

楊仲家

張宏義

陳式毅

葉春爐

魏錦銘

台北市政府捷運工程局

昭凌顧問公司

林維明

江奇成

洪盟峰

陳式毅

魏錦銘

翁勝得

江奇成

洪盟峰

再生混凝土使用手冊之第五次專家專家座談會會議記錄

一、開會時間：中華民國 94 年 9 月 30 日 下午 2:00 至 4:00

二、開會地點：國立臺灣科技大學 營建工程系 E2-222

三、出席人員：張大鵬、黃兆龍、戴昌毅、謝建民、蘇宏修、周子劍、林國材、蘇茂豐、陳柏端、李有豐、詹添全、蔡得時、張東源、洪盟峰、詹雅竹、溫凱翎（詳簽到表）

四、會議主席：張大鵬、黃兆龍 會議記錄：詹雅竹

五、主持人說明摘要：

本研究之目標係利用再生混凝土使用手冊之制定，除了提供再生混凝土使用上之參考資料外，亦可促進再生混凝土之使用，本持著分級但不降級，且以提高品質，符合永續綠色材料之原則。本次專家座談會目的為使本再生混凝土使用手冊之內容完善，請與會之專家學者提供意見以供參考與修正。

五、綜合討論摘要：

蔡得時：

1. 本手冊制定架構及內容完整，則供再生混凝土施工使用參考。
2. 第六章之設計作業要點是否須納入本手冊內，請考量。
3. 再生粒料混凝土、再生粒料、再生混凝土及再生混凝土粒料等名詞皆出現於本手冊內，是否須對這些名詞作區別。
4. 骨材、粒料名詞請統一使用為粒料。

李有豐：

1. 計畫內容與成果，相當務實，可以應用於新建工程，在此與以肯定。
2. 請簡要的於附錄中或本文中說明，再生混凝土之使用注意事項，再生混凝土與一般混凝土之最大差異分析比較表，再生混

凝土使用用途之界定。

3. 再生混凝土之前置準備之材料選擇，於報告中似乎比較少談及，如何取得較不需要後續過濾及篩選之再生材料，應該是後續品質管制之重要因素。

蘇宏修：

1. 為避免消費者使用之疑慮，建議再生混凝土之相關粒料，強度等要求，能符合新拌混凝土之相關規定。
2. 第 2-7 頁 “CNS 490(粗粒料 38 mm 以下)磨損試驗法”煩請修正為“CNS 490 (粗粒料 37.5 mm 以下)磨損試驗法”。
3. 本手冊第二章再生混凝土粗粒料原則上需符合 CNS 1240 混凝土粒料，為本手冊第 2.3.2.2 節中 “ $\text{Na}_2\text{O}+0.65\text{K}_2\text{O}$,”與 CNS 1240 中“ $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$,”略有不同，可否查明是否誤繕或 0.65 之值係為再生混凝土之規定。

詹添全：

1. 手冊之建議增料性質比較圖表及強度、耐久性等工程實務上之試驗比較，以收使用之方便性。
2. 1.2 “先”字建議刪除。
3. 2.2 再生粗粒料分類最高含陶瓷磚瓦率及最高容許取代一般粗粒料用量之比例建議在後續“說明”再予釐清。
4. 2.5.2 取樣頻率 600 m^3 偏低，建議予以調整。
5. 3.3 抗壓強度 $f'_c < 210 \text{ kgf/cm}^2$ ，無下限之規定。
6. 3.11.2 經驗法 84 kgf/cm^2 與 3.10 之 $+70 \text{ kgf/cm}^2$ 根據予以釐清。
7. 第六章建議加列“次要構造務”之限制文字，避免與 1.2 適用範圍衝突。
8. 文字部分需要修正。

戴昌毅：

1. 本研究“再生混凝土使用手冊研擬”結果，有助於本署建立營

建廢棄混凝土再利用申報系統及廢棄混凝土之再利用率之提升。

2. 目前公共工程主辦機關，對於再生混凝土粒料純化處理及相關產品之品質控管存有疑慮，且使用再生混凝土粒料級產品之使用為有強制性，爰此，再生混凝土粒料及其產品之推廣，產生阻力。
3. 市場機制，政府是否有補貼或財稅之減免等經濟誘因的措施與再生混凝土粒料是否符合綠建材標章的條件，都影響民間投資意願。建議本研究可提供相關論點，以利本署推動再生混凝土粒料的使用。

周子劍：

1. 再生粒料比重若無法提高，可摻入高比重之材料。
2. 再生混凝土製品之成本考量及市場競爭性，必須在品質與一般材料相等，價格差異小的情況下，才較有被市場接受的可能。

林國材：

1. 未來可實踐在綠建築中。
2. 使用上需要市場具有完整的機制，且耐久情況目前仍在發展中。

謝建民：

1. 再生粒料製成再生混凝土，宜有無氯離子的檢查或是氯離子之排除等。
2. 新拌混凝土之工作度是否可達到工作之要求。
3. 手冊內 2 週內盡量不承重，與實務需求差異太大。
4. 合約責任問題，可能會產生後續問題，風險太大。

蘇茂豐：

1. 再生粒料之市場推廣與再生粒料處理場之普及及認證有極大關

係。

2. 再生粒料之驗證程序宜考量。
3. 再生粒料或再生混凝土與一般粒料或一般混凝土如何區分，宜考量。

張東源：

1. 再生粒料及再生混凝土規格規定明確，廠商之設備機具皆可配合。
2. 政府仍需要有良好的制度法令，以利再生粒料及再生混凝土之推廣。

六、結論及意見回覆：

1. 關於內容需要修正或是有誤之處，會查明後修正。
2. 有關再生粒料之補貼措施或是獎勵辦法，會考量後在本研究案中提供建築研究所參考。
3. 再生粒料及再生混凝土與天然粒料及天然混凝土之差異，考慮在本手冊附錄中列表比較，提供使用者對再生粒料及再生混凝土一個基本之認識。
4. 關於本手冊中之各項規定，皆為建議事項，2週內盡量不承重之要求，若結果符合現場之各項需求，也可根據現場之試驗結果加以調整。

附件：

- (1) 第五次專家座談會簽到表。

『再生混凝土使用手冊研擬』之第五次座談會

一、時間：94年9月30日(星期五)下午2點整

二、地點：台灣科技大學 T2-222 會議室

三、主持人：

張大鵬教授

張大鵬

黃兆龍教授

黃兆龍

四、出席人員：

內政部營建署

戴昌毅

營造公會

謝建民

捷運局南工處材試所

標準檢驗局

蘇宏修

台灣省土木技師公會

周子劍

台北市土木技師公會

台北市建築師公會

林國財

台灣省建築師公會

經濟部工業局

解芳光

建研所

陳柏瑞代

台北科技大學李有豐教授

李有豐

中國科技大學詹添全教授

詹添全

中國科技大學蔡得時教授

蔡得時

洪盟峰 先生

洪盟峰

江奇成 先生

江奇成

林維明 先生

中聯爐石處理
資源化(股)公司

張喜信

座談會照片集

照片 AII-7 第一次專家座談會討論情形(一)



照片 AII-8 第一次專家座談會討論情形(二)



照片 AII-9 第二次專家座談會討論情形(一)



照片 AII-10 第二次專家座談會討論情形(二)



照片 AII-11 第三次專家座談會討論情形



照片 AII-12 第四次專家座談會討論情形(一)



照片 AII-13 第四次專家座談會討論情形(二)



附錄三 再生粒料生產設備及流程參觀訪談紀錄

1. 時間：民國九十四年六月三十日(星期四)
2. 地點：苗栗縣卓蘭鎮正和土資場
3. 參與人員：張大鵬、洪盟峰、詹雅竹、溫凱翎、王金圳、孫詠明、陳柏存、李金輝、吳漢儒、陳俊村、黃偉翔、廖御吟、高進驊。
4. 活動內容摘要：

參觀與聽取說明國內土資場再生混凝土粒料生產程序，該廠生產再生粒料之過程大略如下：

- (1) 將含在廢棄混凝土物中，大塊之鋼筋、紅磚、塑膠、紙屑...等雜物清除。
- (2) 將初步清除後之廢棄混凝土倒入進料口。
- (3) 以顎碎機將大塊廢棄混凝土進行第一次破碎(大破)成較小尺寸再生粒料，通過篩網時，以水清洗。
- (4) 將再生粒料第二次以粗錐機破碎，第二次清洗篩選，進行第一階段人工檢拾雜物。
- (5) 將再生粒料第三次以細錐機破碎，第三次清洗篩選，進行第二階段人工檢拾雜物。
- (6) 將再生粒料篩選，第三次人工檢拾雜物，出料。
- (7) 清洗後之廢水，經處理後，篩出可用之細粒料作為再生細粒料，剩餘水經沉澱池後再循環使用。

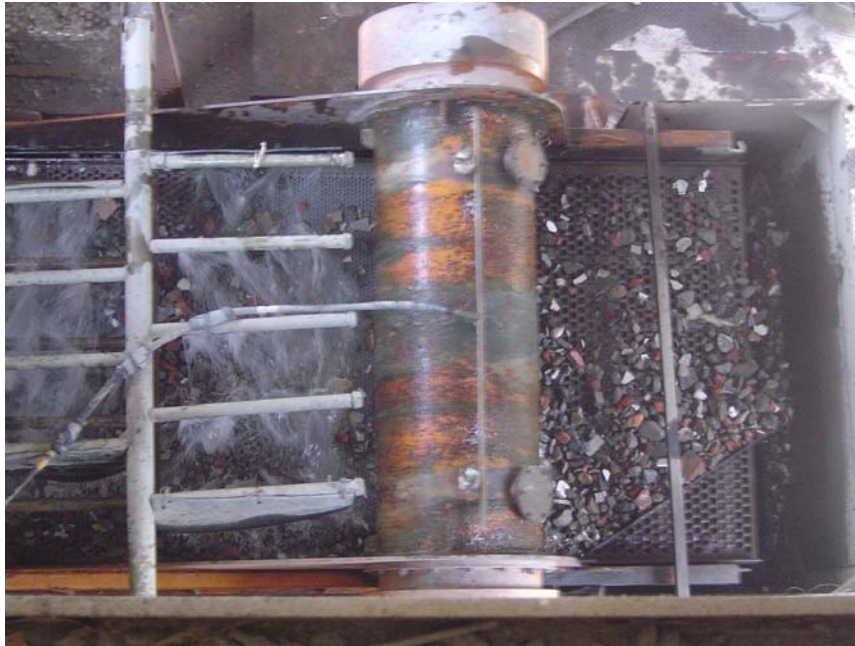
照片 AIII-1 砂石車進料



照片 AIII-2 大塊再生料大破顎碎



照片 AIII-3 再生粒料沖洗及過篩



照片 AIII-4 錐碎



照片 AIII-5 出料之粒料情況



照片 AIII-6 再生粒料中之廢棄物



照片 AIII-7 再生廢棄物



照片 AIII-8 再生粗粒料



