

# 廢陶瓷水泥混凝土之研究

林樹豪<sup>1</sup>，黃暉淇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>德霖技術學院土木工程系 助理教授

<sup>2</sup>台北科技大學土木工程系 學生

## 摘要

由於各種工程建設長期過度依賴天然砂石作為骨材料源，砂石資源已供不應求。如同許多已開發國家，台灣地區正逐漸呈現砂石資源枯竭之現象。為了減緩國內砂石漸趨不足的問題，本研究嘗試利用廢陶瓷代替細骨材，並探討其製成水泥混凝土之可行性，以作為國內未來進一步研究與推展的參考依據。由試驗結果顯示，廢陶瓷砂與傳統細粒料在物理性質方面相近，且廢陶瓷砂混凝土 28 日之抗壓強度亦與一般水泥混凝土差異不大，故建議可使用廢陶瓷砂取代部分細粒料於混凝土中，以達成促進營建資源永續使用的目標。

關鍵字：骨材、廢陶瓷、水泥混凝土。

## The Use of Waste Ceramics as Aggregate for Portland Cement Concrete

Shu-Hao Lin<sup>1</sup>, Hui-Qi Huang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Civil Engineering, DLIT

<sup>2</sup>Student, Department of Civil Engineering, NTUT

## Abstract

An absence of aggregate has led to environmental and cost issues in Taiwan. Moreover, as the volume of waste and by-product materials generated in our society and the cost of disposal continue to increase, there is increased pressure and incentive to recover and recycle these materials for use in secondary applications. When waste ceramics is crushed to sandlike particle sizes, similar to those of natural sand, it exhibits properties of an aggregate material. The objectives of this study are to evaluate the physical and engineering properties of waste ceramics and portland cement concrete (PCC) made with that aggregate; and to provide practical suggestion for the use of waste ceramics for PCC.

Keywords：aggregate, waste ceramics, portland cement concrete

## 壹、前言

近幾十年來國內工商業迅速發展，由於各種工程建設長期過度依賴河川砂石作為骨材料源，河川砂石資源已供不應求，甚或有些不肖廠商盜採砂石，更造成許多水土保持的問題。陸上砂石開採仍面臨環保、道路交通運輸、土地取得、都市計劃配合與土地二次利用等問題；海域砂石則有含鹽過高之「海砂屋」恐懼感。這些種種因素已經造成台灣地區如同許多已開發國家般，逐漸呈現砂石資源枯竭之現象。雖然目前國內基於環保意識及水土保持問題，政府已逐漸擴大河川禁採砂石範圍，但也使得營建砂石更是供不應求 [1]。

爲了減緩國土資源步向山窮水盡的窘境，本研究嘗試利用廢陶瓷來取代細骨材以製成廢陶瓷再生混凝土。假若經由配比設計程序使其工程性質能達到設計規格要求，應可解決部分砂石資源枯竭及其衍生之環境問題。本研究之主要目的在於：(1) 了解廢陶瓷混凝土試體與一般混凝土試體間之差異；(2) 評估廢陶瓷再生混凝土於工程應用上之可行性；(3) 建立本土化再生廢陶瓷混凝土的資訊，以提供未來產官學界使用之參考。

## 貳、廢陶瓷材料

一般廢陶瓷材料主要源自於建築物拆除工程及陶瓷工廠的不良品，其中以後者爲大宗。由全國陶瓷工廠統計可知 [2]，瓷磚不良品一天全國產量約 320 公噸，日用磁及衛浴瓷一天約 30 公噸。不良品在陶瓷工廠中的定義包括了：不潔、針孔、脫釉、流釉、缺損、括痕、厚度不齊、接縫不齊、色斑、色調不齊、圖案不對稱等等，不過這些缺陷對於陶瓷本身的力學性質幾乎沒有影響，加上各種產品間之差異有限、易於控制，因此廢陶瓷材料之再利用多以陶瓷工廠的不良品爲主。

鶯歌爲我國陶瓷工業的大鎮，全鎮工廠約 800 多家。本研究使用的廢陶瓷乃由順欣資源處理股份有限公司所提供。其係將鶯歌各陶瓷工廠產生之陶瓷廢棄物（主要爲廢棄建築面磚），清運至回收工廠再處理。由於各類陶瓷廢棄物形狀大小不一，最大者達 40 公分長寬，不利直接回料使用。因此回收場利用機器弄碎、研磨等方式製成 5 mm (#4 號篩) 以下，粒徑相當於細粒料之成品。

## 參、試驗材料及研究方法

由於骨材資源日益短缺，研究廢陶瓷是否可以取代砂石，一來符合環保理念，二來亦可解決資源不足之問題。因此本研究主要利用廢陶瓷砂取代水泥混凝土部分的細粒料，試驗項目及方法，如表 1 所示。本試驗先探討回收廢陶瓷砂的物理性質，再以不同重量百分比的廢陶瓷 (0、25、50、75、100%) 取代細粒料之用量，以製作相同流度 (108%) 的水泥砂漿試體，以及特定強度 (210、350 kgf/cm<sup>2</sup>) 的再生水泥混凝土。

表 1 試驗項目及方法

類別	試驗項目	試驗規範
水泥	水泥比重	CNS 61
粗粒料	比重與吸水率	CNS 483
	篩分析	CNS 486
	單位重	CNS 1163
細粒料和廢陶瓷砂	比重與吸水率	CNS 483
	篩分析	CNS 487
	健性試驗	CNS 1167
	氯離子含量試驗	CNS 13407
水泥砂漿	流度	CNS 1012
	抗壓強度	CNS 1010
	洛杉磯磨損試驗	CNS 3408
混凝土	坍度	CNS 1176
	抗壓強度	CNS 1230、1232
	超音波試驗	ASTM C805

本研究試驗所需試樣皆採用洋房牌水泥公司出產之品牌卜特蘭第一型水泥、取自大漢溪之天然粗、細粒料，混凝土中部分的細粒料則以順欣資源股份有限公司所提供的廢陶瓷來取代。廢陶瓷依粒徑大小分為粗廢陶瓷砂及細廢陶瓷砂二類。粗、細粒料和廢陶瓷砂相關的物理性質和級配篩分析，分別如表 2、表 3 所示。

表 2 粒料物理性質

	粗粒料	細粒料	廢陶瓷砂
比重 (SSD)	2.57	2.61	2.35
吸水率 (%)	1.41	2.52	3.35
氯離子含量試驗 (%)	—	0.0013	0.00016
硫酸鈉健性試驗 (%)	—	2.43	1.63

表 3 粒料級配

過篩百分比	粗粒料	細粒料	粗廢陶瓷砂	細廢陶瓷砂
1"	100	—	—	—
3/4"	95	—	—	—
1/2"	37.5	—	—	—
3/8"	7.5	100	—	—
#4	2.5	97.5	100	—
#8	—	90	75	100
#16	—	67.5	40	90
#30	—	42.5	25	56
#50	—	20	15	36
#100	—	6	11	19
細度模數	6.95	2.77	3.34	1.99

由表 2、表 3 可以看出除了細度模數外，所有試驗結果皆符合 CNS 規範 [3]。由於陶砂是以碎石機及研磨機破碎製成，不似天然河砂或海砂。但其細度偏高的問題可藉由製程改善，或是和細度模數較低的海砂混合使用，便可以達到規範的要求 [2, 4, 5]。表 2 亦顯示廢陶瓷砂的吸水率高於一般細粒料。雖然陶瓷料表面有上釉處理，似乎不易吸水，但在破碎過程後，破裂面多孔組織的裸露，卻大幅增加其吸水率。在水溶性氯離子含量試驗方面，因為陶瓷製品在製作過程中較不易受到氯離子侵入，所以其試驗值遠低於天然粒料。至於由健性試驗可知，廢陶瓷的耐久性亦較一般細粒料為佳。整體觀之，以廢陶瓷砂取代水泥混凝土中部分之細粒料應屬可行。

## 肆、試驗結果分析與討論

### 一、水泥砂漿抗壓強度試驗

本試驗所有水泥砂漿均由 1 份水泥及 2.75 份之砂按重量比組配而成，並調整水量以控制於相同流度值 (108 %)。由表 2 可知由於廢陶瓷的吸水率比一般細骨材大，廢陶瓷添加量愈多，試體相應之水灰比愈大，所以圖 1 顯示水泥砂漿抗壓強度隨著廢陶瓷取代比例的增加而下降。由試驗結果可知，廢陶瓷水泥砂漿之抗壓強度均可達普通水泥砂漿試體強度的 70% 以上或更高。初步上可以判斷只要謹慎控制用水量，使用一般的配比設計法即可使得廢陶瓷混凝土達到所需之設計強度。

## 二、洛杉磯磨損試驗

陶瓷材料硬度普遍較高，並且在製土及鍊土的過程中，各種成份已經拌合均勻，故在抗磨損能力上應較天然粒料為佳。為求進一步的驗證，本研究依前節方式製作水泥砂漿試體 (N=12) 後，進行洛杉磯磨損試驗。儘管廢陶瓷水泥砂漿之抗壓強度較標準水泥砂漿試體者為低，但由圖 2 可知，其磨損率與標準試體差異不大，甚至當細粒料完全由廢陶瓷砂所取代時 (100%)，廢陶瓷水泥砂漿試體的磨損率明顯小於一般標準水泥砂漿試體。

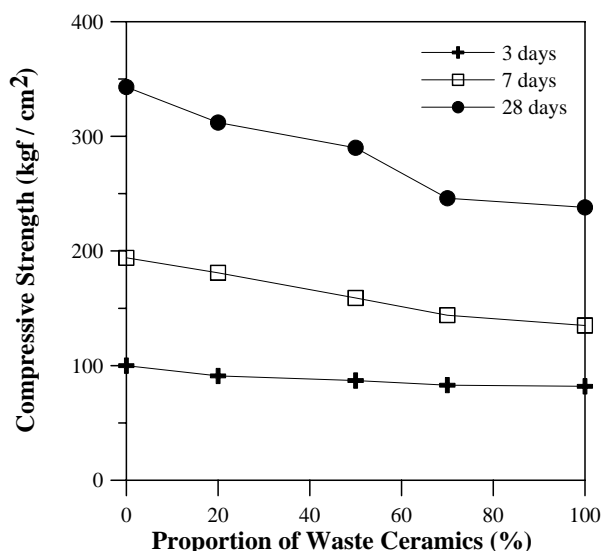


圖 1 水泥砂漿抗壓強度試驗結果

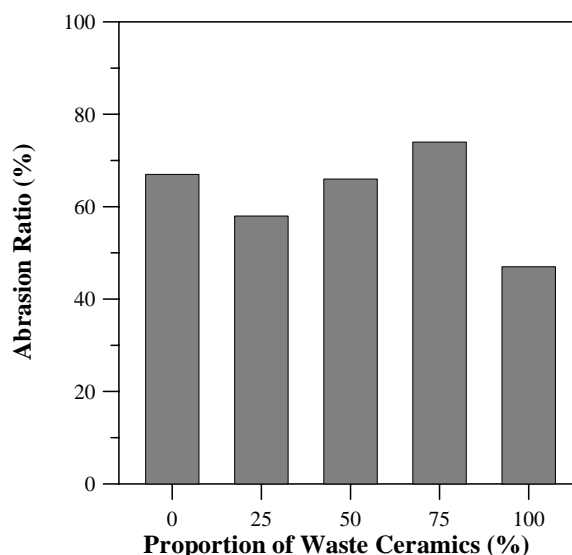


圖 2 洛杉磯磨損試驗結果

## 三、混凝土坍度試驗

表 4 為本研究各水泥混凝土之配比資料。所有廢陶瓷再生混凝土之配合設計均依照絕對體積法 (CNS 12891、ACI 211.1)，設計強度 ( $f'_c$ ) 為 210、350 kgf/cm<sup>2</sup> 兩種強度等級之混凝土。設計強度與水灰比 (w/c) 的關係，如式 1。每種強度等級之混凝土的抗壓強度試體，分成 3 天、7 天、28 天、56 天等四種齡期，每組齡期各製作 2 個 6"×12" 圓柱試體。

$$f'_c = \frac{856.5}{(8.1)^{w/c}} \quad (1)$$

圖 3 顯示不管設計強度是 210 kgf/cm<sup>2</sup> 或 350 kgf/cm<sup>2</sup>，其坍度都是隨著廢陶瓷砂取代量的增加而逐漸些微遞減。這或許是因為廢陶瓷砂之吸水率 (3.35 %) 較細粒料者 (2.52 %) 為高，在混凝土拌合時廢陶瓷吸收較多的水分，故使得混凝土流動性有下降的趨勢。值得注意的是，相較於配比設計時之選用坍度 7.5 cm，廢陶瓷混凝土的坍度尚控制在可接受之範圍內。

## 四、混凝土抗壓強度試驗

廢陶瓷再生混凝土在相同配比目標強度的配比設計下，早期之抗壓強度均可達到普通混凝土之 70 % 以上。圖 4、圖 5 顯示添加廢陶瓷之再生混凝土的早期強度會與標準混凝土相差稍大，但晚期強度則會逐漸與標準混凝土接近。經過 28 天以上的養護，廢陶瓷再生混凝土的抗壓強度雖低於一般混凝土，但強度比幾乎都維持在 90% 以上，且廢陶瓷砂添加量的多寡對混凝土抗壓強度的影響有限。

## 五、混凝土超音波試驗

超音波試驗結果類似於圖 4、圖 5 之抗壓強度試驗，試體養護的時間愈長，其反應之波速愈大，且廢陶瓷砂添加量的多寡對混凝土波速的影響有限。圖 6 顯示波速與抗壓強度間呈現正相關的關係。

表 4 混凝土配比設計資料

	廢陶瓷添加比例	0%	25%	50%	75%	100%
設計強度 210 kgf/cm <sup>2</sup>	設計坍度 (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	最大粒徑 (mm)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
	設計水灰比 (w/c)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	用水量 (kg/m <sup>3</sup> )	221	221	221	221	220
	水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	330	329	329	328	327
	含氣量 (%)	2	2	2	2	2
	細骨材用量 (kg/m <sup>3</sup> )	688	513	333.5	163	0
	廢陶瓷砂用量 (kg/m <sup>3</sup> )	0	171	333.5	490	643
	粗粒料比重	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
	粗骨材用量 (kg/m <sup>3</sup> )	1003	1003	1003	1003	1003
設計強度 350 kgf/cm <sup>2</sup>	設計坍度 (cm)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	最大粒徑 (mm)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
	設計水灰比 (w/c)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	用水量 (kg/m <sup>3</sup> )	221	221	221	221	221
	水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	518	516	517	515	514
	含氣量 (%)	2	2	2	2	2
	細骨材用量 (kg/m <sup>3</sup> )	531	397	258.5	127	0
	廢陶瓷砂用量 (kg/m <sup>3</sup> )	0	133	258.5	381	500
	粗粒料比重	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
	粗骨材用量 (kg/m <sup>3</sup> )	1003	1003	1003	1003	1003

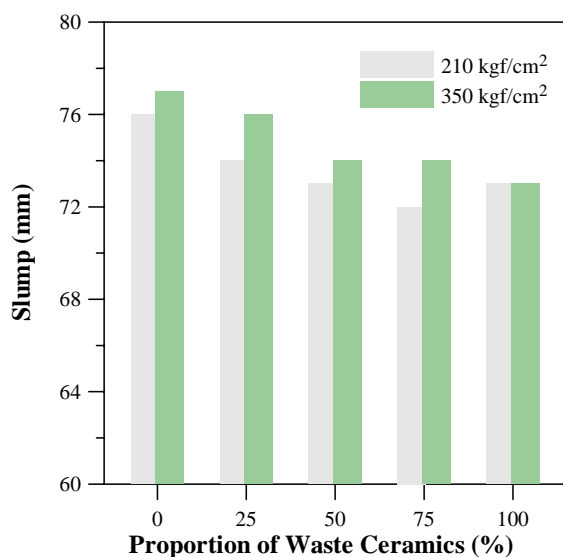


圖 3 混凝土坍度試驗結果

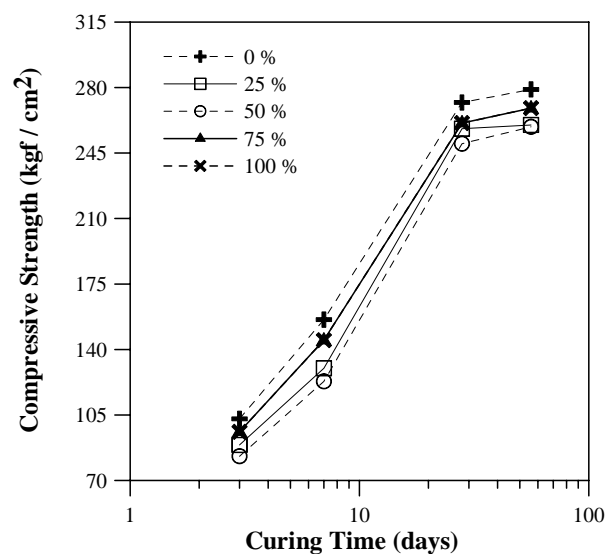


圖 4 混凝土抗壓強度試驗結果 (210 kgf/cm<sup>2</sup>)

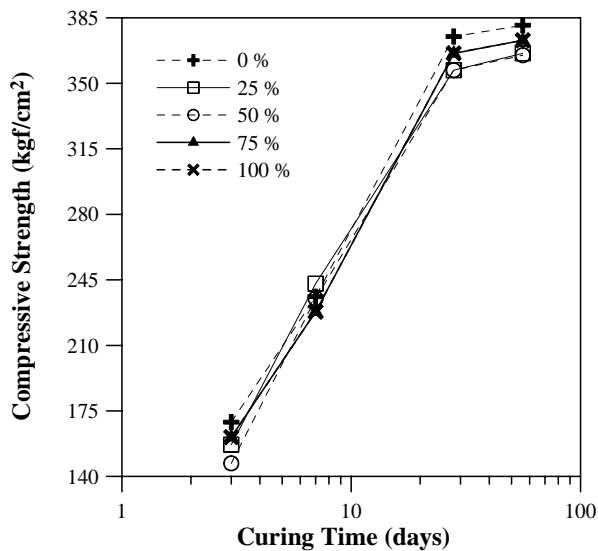


圖 5 混凝土抗壓強度試驗結果  
(350 kgf/cm<sup>2</sup>)

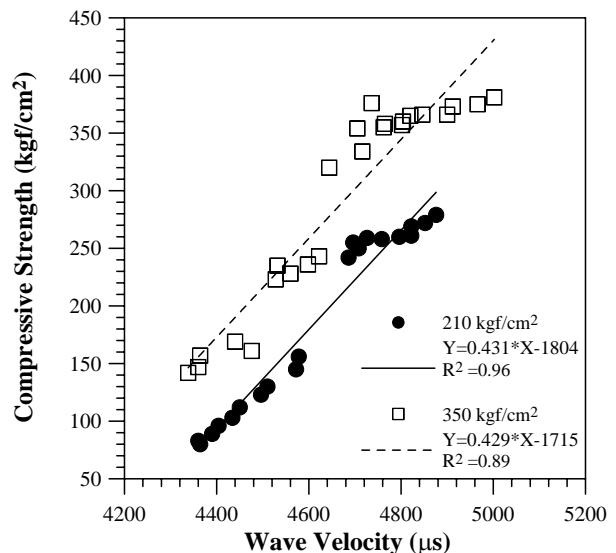


圖 6 超音波波速與抗壓強度之關係

## 伍、結論與建議

- (1) 由於廢陶瓷之吸水率比一般河川細粒料高，所以在配比設計時應注意其用水量，而不致因過分強調工作性而破壞原有之配比。
- (2) 骨材的健性試驗顯示，廢陶瓷砂的耐久性較天然砂為佳。
- (3) 當細粒料完全由廢陶瓷砂所取代時 (100%)，廢陶瓷水泥砂漿試體的磨損率明顯小於一般標準水泥砂漿試體。
- (4) 廢陶瓷混凝土早期抗壓強度可達普通混凝土 70% 以上，雖然廢陶瓷混凝土的早期強度會與標準混凝土相差稍大，但晚期強度則會與標準混凝土相近。
- (5) 如同抗壓強度試驗的結果，廢陶瓷砂添加量的多寡對混凝土波速的影響有限，且波速與抗壓強度間呈現正相關的關係。
- (6) 整體而言，廢陶瓷砂與傳統細粒料在物理性質方面相近，且廢陶瓷混凝土的 28 日抗壓強度亦與一般水泥混凝土差異不大。建議可使用陶砂取代部分細粒料於混凝土中，以達到環保減廢的目的。

## 陸、誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會補助經費，大專學生參與專題研究計畫：NSC 92-2815-C-237-006-E，謹此誌謝。

## 柒、參考文獻

- (1) 蘇南、王博麟，「廢混凝土回收粗粒料品質與再生混凝土工程性質之探討」，中國土木水利工程學刊，第十二卷，第三期，1990，第 436-444 頁。
- (2) 王睿懋、林秉祁、林沂賢、林志棟，「廢陶瓷應用於瀝青混凝土之初步研究」，第二屆鋪面工程師生研究成果聯合發表會論文集，中央大學，中壢，2001，第 32-41 頁。
- (3) CNS 預拌混凝土相關國家標準專輯，經濟部中央標準局，1995。

- (4) 黃榮堯、林志棟，「營建資源再利用於公共工程之研究」，營建材料資源回收再利用研討會專輯，國立中央大學創新育成中心，2000，第 1-43 頁。
- (5) User's Guidelines for Waste and By-Product Materials in Pavement Construction, FHWA, <http://www.rmrc.unh.edu/Partners/UserGuide/index.htm>, 1997.

