

以田口法規劃再生粒料混凝土超音波性質之研究

蔡得時

中國科技大學建築研究所副教授

邱義宏 楊天鵬

中國科技大學室設系應屆畢業生

蕭添進

中國科技大學室設所副教授

歐麗君 倪同珊

中國科技大學室設系研究生

摘要

本研究主要以緻密配比法拌製再生粒料混凝土超音波性質製程，應用田口實驗計劃法，配置因子A水膠比(0.37、0.40及0.43)、並以因子B因子再生粒料混凝土細粒料取代天然細粒料，其取代率三種水準分別為(45 %、15 %及30 %)、C因子再生粒料混凝土粗粒料取代天然粗粒料，取代率三種水準分別為(0 %、50 %及100 %)及D因子爐石取代水泥，取代率三種水準分別為(0 %、20 %及40 %)作為製程輸入因子，研究上述四種控制因子對超音波之影響，以評估再生粒料混凝土超音波性質的最佳製程；實驗結果影響再生粒料混凝土超音波方面與因子A水膠比為0.37、因子B再生細粒料取代率為45 %、因子C再生粗粒料取代率為0 %、因子D爐石取代水泥比率為0 %有關，其中以因子C及因子D為較重要的控制因子；超音波的最佳製程為4433 m/sec。

關鍵詞：田口法、再生粒料混凝土、超音波

Study on pulse-velocity of Recycled aggregates concrete Using The Taguchi Method

Abstract

Taguchi method is applied to four factors, water-to-cementitious-material ratio (W/C), recycled fine aggregate, recycled coarse aggregate and slag. Experimental variables include different W/C (water-cementitious material) ratios (0.37, 0.40 and 0.43), replacements of recycled coarse aggregate (RCA) (0%, 50% and 100%), replacements of recycled fine aggregate (45%, 15% and 30%) and three replacement ratios of slag (0%, 20% and 40%) for the evaluation of pulse-velocity of Recycled aggregates concrete. The results show that, the optimal mixture pulse-velocity is found to be 0.37 of W/C, 45% of recycled fine aggregate, 0% of recycled coarse aggregate and 0% of slag that has the pulse-velocity of 4433 m/sec.

Keywords : Taguchi method, Recycled aggregate concrete, pulse-velocity

一、前言

混凝土一直是公共工程及房屋建築上的主要材料，雖然它是使用壽命頗長的一種耐久性材料，但是混凝土結構物在經過一段長時間的使用後，會因各種原因，如受外力破壞而損毀、使用年限已到或都市更新等，迫使結構物必須被拆除，因此產生了大量的混凝土廢棄物。這類混凝土廢棄物，正因經濟發展與建物更新的加速，而有日益增加的趨勢。若能有效的回收、利用建築廢棄混凝土碎化後充當骨材，將可使有限的資源再利用，並且可以同時解決廢棄混凝土的處理問題。混凝土是所有建設中最普遍、最重要的材料，但國內天然資源有限，主要的材料如水泥、砂石、鋼鐵等在國建計畫大力進行下以漸形短缺，影響所及不容忽視；另一方面，台灣本島土地狹小、資源有限，廢棄物減量及再利用不再是處理成本的問題，而必是成為國土資源在未來規劃環境保護及資源運用時的重要政策。

二、文獻回顧

目前政府積極推動綠建築的永續發展，其中廢棄物減量指標為重要之課題，依[1]張清雲研究指出台灣地區平均每年產生約726萬 m^3 (1,162萬公噸)之建築拆除廢棄物，其中廢棄混凝土塊約為639萬噸，而[2]詹雅竹研究指出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；由[3]邱建豪亦指出台灣每年產生大量營建廢棄物，其中以廢混凝土塊及磚瓦類佔大多數；又依[4] Di Maio, A.A.研究指出應用超音波方法評估傳統混凝土和再生混凝土抗壓強度的誤差。試驗在標準實驗室執行，傳統混凝土包含天然粗粒料以及包含75%體積再生粗骨料(壓碎混凝土)的再生混凝土，以相同材料製造的混凝土及使用的相關程式估計這兩種混凝土的強度-超音波速及抗壓強度之間關係；試驗結果顯示指出，在可接受的技術上估計兩種混凝土強度的誤差，在技術上是可接受的。

依[5]琮研究指出再生高性能混凝土之水灰比為0.3及強塑劑添1.2%時有最佳表現，因此選定水膠比分別為0.37、0.40及0.43三種水準；由[6]二階段混合方法可改善再生粒料混凝土的抗壓強度和減小強度變異性，當再生粗粒料替代比例為0%至30%之間，30%再生粗粒料替代量時，由於再生粒料既有孔隙和預先混合的配比過程，使粒料堆積體內一些孔隙被填滿，形成一個較密集的混凝土，在28天的抗壓強度可提高31%；由[7] Khatib, J.M.研究指出再生砂的調查包含直徑小於5公厘的壓碎混凝土和壓碎磚塊粒料，養護28天之後，含有壓碎混凝土或壓碎磚塊的混凝土的強度發展率比控制組高些，因此選定再生細粒料取代量分別為再生粗粒料量的45%、15%、30%三種水準；添加飛灰能夠改善混凝土工作性、耐久性 & 長期性質，添加爐石能夠改善混凝土流動性，提高再生粒料混凝土工作性依[8]研究再生粒料亦可用來製作具有高流動性(坍流度大於500 mm)之高性能再生混凝土(High-performance recycled concrete)。

依[9、10]李輝煌及徐世輝研究指出一般俗稱的田口品質工程方法，主要是指穩健設計(Robust Design)，採用田口玄一博士在1949年提出運用直交表作實驗設計，此法可以最少的實驗，在有限的資源下進行製程最佳化。田口法的統計實驗設計係以系統方法，同時改變許多因子，以確認有關因子的主效果與交互效果，他將平均數視為信號，變異數視為雜音，而其比值信號雜音比（Signal to Noise Ratio，簡稱 S/N 比）做為分析改善的對象，用來衡量產品品質特性的一種統計量度，它可以表示製程或產品的水準及其雜音因素的影響程度，作為整合最佳化品質特性與最小化變異為單一指標。S/N 比根據品質特性之望小、望大與望目特性三種，本研究 S/N 比採用望大品質特性，亦即 S/N 比大的設計就是最佳參數設計，當品質特性為越大越好時，如產品的壽命、強度、汽油每公升公里數等；S/N 比望大品質特運算式如下[9]

$$S/N \text{ 比} = -10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

其中y為每一種實驗組合的n個實驗數據

三、實驗結果與分析

本研究以田口實驗計劃法規劃，配合緻密配比法拌製再生粗粒料混凝土製程，所採用的試驗材料有天然粗粒料、天然細粒料、再生粗粒料、天然細粒料、及飛灰、爐石、水泥、強塑劑等如表1至表3所示；其中並以水膠比及再生細粒料取代天然細粒料比率、再生粗粒料取代天然粗粒料比率、爐石粉取代水泥比率作為的輸入因子，如表4所示；而以超音波結果作為輸出因子，運用田口法的直交表作實驗設計，如表5所示，並以雜音因子S/N比最大的實驗組合設計就是最佳設計。

3.1 輸入因子的選擇

製程輸入因子有(1). 因子A水膠比具有三種水準分別為0.37、0.40及0.43；(2). 並以因子B因子再生粒料混凝土細粒料取代天然細粒料，其取代率三種水準分別為45 %、15 %及30 %；(3). 而C因子再生粒料混凝土粗粒料取代天然粗粒料，取代率三種水準分別為0 %、50 %及100 % (4). D因子爐石取代水泥，取代率三種水準分別為(0 %、20 %及40 %)作為製程輸入因子，研究上述四種控制因子，對超音波之影響、以評估再生粒料混凝土超音波質的最佳製程。

3.2 輸出因子的選擇

本研究為評估再生粒料混凝土的超音波，以量測再生粒料混凝土超音波為主要依據作為評估製程的輸出因子，以探討輸入因子對輸出因子的影響，並尋求超音波最佳化的製程組合。

3.3 以超音波為輸出因子的望大特性分析

以再生粒料混凝土超音波為實驗的輸出因子，應用田口法的望大特性，計算

各製程條件的信號 / 雜音比(S/N 比)結果，如表 6 最右欄所示。緊接著計算各輸入因子(製程因子)的各水準的 S/N 平均值，數值愈大，表示該製程因子對超音波的影響越大，其中以 A1、B2、C1 及 D1 水準組合的 S/N 比值影響較大，A、B、C 及 D 各輸入因子 S/N 比差異範圍值，如表 7 所示，依次分別為 0.14 dB、0.23 dB、0.49 dB 及 0.28 dB，而表 7 中最後一列標示各輸入因子之 S/N 比影響程度，各輸入因子影響程度由大到小依序排名分別為 C、D、B 及 A。

依田口方法建議，選取較重要之一半控制因子 (即其中兩個因子)，亦即挑選可使 S/N 比值影響較大的前兩名水準 C、D，以進行交互影響分析，由表 7 觀察得知兩個 C、D 因子中，使得 S/N 比較高的水準分別為 C1 (72.78 dB)及 D1 (72.72 dB)，為識別 C、D 兩個別因子之間的交互作用影響程度，如表 8 中因子 C1 及 D1 交互影響 S/N 比最大為 72.93 dB，比因子 C1 及 D1 分別增加 0.15 dB 及 0.21 dB，故因子 C1 及 D1 彼此有輕微交互影響，可確認 C、D 兩因子間存在著交互作用；綜合上述

1. 表 7 分析得知影響再生粒料混凝土超音波的主要因子分別為因子 C1、D1，其 S/N 比最大分別為 72.78 dB 及 72.72 dB。
2. 經表 8 因子 C 再生細粒料取代量與因子 D 爐石取代量交互影響分析得知，因子 C1 及 D1 交互影響 S/N 比最大為 72.93 dB，較表 7 分別增加了 0.15 dB 及 0.21 dB，因子 C1、因子 D1 彼此有交互影響。
3. 經表 7、表 8 因子交叉分析，因子 C1、D1 各出現 2 次，表示因子重要性一致。
4. 至於剩餘因子水準之選擇，以製程方便性為原則，分別選擇因子 A 水膠比之水準為 A1；因子 B 再生細粒料取代天然細粒料比率之水準為 B1。

綜合上述得知影響再生粒料混凝土超音波配比的因子有(A1)水膠比為0.37、(B1)再生細粒料取代天然細粒料比率為45%、(C1)再生粗粒料取代天然粗粒料比率為0%、(D1)爐石粉取代水泥比率為0%，此配比因子組合與表6的實驗編號1一樣，不必進行確認驗證實驗，超音波為4433 m/sec。

四、結論

以超音波為輸出因子值採用望大特性分析，顯示再生粒料混凝土超音波與因子(A1)水膠比為0.37、因子(B1)再生細粒料取代天然細粒料比率為45%、因子(C1)再生粗粒料取代天然粗粒料比率為0%、因子(D1)爐石粉取代水泥比率為0%為再生粒料混凝土超音波質的最佳製程，其中以因子(C1)再生粗粒料取代天然粗粒料比率為0%及因子(D1)爐石粉取代水泥比率為0%為較重要的控制因子，超音波的最佳製程值為4433 m/sec。

表 1 試驗材料表

材料	比重	吸水率(%)	細度模數	添加(取代)比例 (%)
水泥(Cement)	3.15	1	—	—
天然粗粒料	2.70	0.73	6.48	—
天然細粒料	2.68	1.30	3.12	$\alpha=0.186$; $\beta=0.672$ [緻密配比法] 求出
飛灰(Fly)	2.21	—	—	
爐石(Slag)	2.85	—	—	0 %、20 %、40 %
再生粗粒料	2.43	5.24	7.09	0 %、50 %、100 %
再生細粒料	2.53	10.04	2.57	45 %、15 %、30 %
強塑劑(SP)	1.19	—	—	—

表2 再生細粒料篩分析表

篩號	各篩上粒料殘留量		殘留於篩上粒料累積百分比(%)
	(Kg)	%	
3	0	0	0
3 / 2"	0	0	0
3 / 4"	0	0	0
3 / 8"	0	0	0
#4	0	0	0
#8	0.044	4.4	4.4
#16	0.166	16.6	21
#30	0.300	30	51
#50	0.346	34.6	85.6
#100	0.090	9	94.6
底盤	0.054	5.4	100
總計	1	100	細度模數(FM)=2.57

表3 再生粗粒料篩分析表

篩號	各篩上粒料殘留量		殘留於篩上粒料累積百分比(%)
	(Kg)	%	
3"	0	0	0
3 / 2"	0	0	0
3/ 4"	0.288	14.4	14.4
3 / 8"	1.596	79.8	94.2
#4	0.116	5.8	100
#8	0	0	100
#16	0	0	100
#30	0	0	100
#50	0	0	100
#100	0	0	100
底盤	0	0	100
總計	2	100	細度模數(FM)=7.09

表 4 製程因子與水準的設定

	因子 A	因子 B	因子 C	因子 D
	水膠比	再生細粒料取代率	再生粗粒料取代率	爐石粉取代率
水準 1	0.37	45%	0%	0%
水準 2	0.40	15%	50%	20%
水準 3	0.43	30%	10%	40%

表 5 田口法製程因子的水準的配置直交表

實驗編號	實驗順序	水膠比	再生細粒料取代率	再生粗粒料取代率	爐石粉取代率	配比內容
1	9	0.37	45%	0%	0%	A1B1C1D1
2	5	0.37	15%	50%	20%	A1B2C2D2
3	1	0.37	30%	100%	40%	A1B3C3D3
4	6	0.40	30%	0%	20%	A2B3C1D2
5	4	0.40	45%	50%	40%	A2B1C2D3
6	8	0.40	15%	100%	0%	A2B2C3D1
7	3	0.43	15%	0%	40%	A3B2C1D3
8	2	0.43	30%	50%	0%	A3B3C2D1
9	7	0.43	45%	100%	20%	A3B1C3D2

表 6 28 天超音波的平均值與 S/N 比

單位：m/sec & dB

實驗 編號	實驗 順序	配比編號	超音波 UPV (m/sec)				S/N 比 (dB)
			試驗(1)	試驗(2)	試驗(3)	平均值	
1	9	A1B1C1D1	4415	4487	4398	4433	72.93
2	5	A1B2C2D2	4301	4405	4253	4320	72.71
3	1	A1B3C3D3	4080	4169	4033	4094	72.24
4	6	A2B1C2D3	4158	4112	4136	4135	72.33
5	4	A2B2C3D1	4264	4317	4173	4251	72.57
6	8	A2B3C1D2	4328	4306	4262	4299	72.67
7	3	A3B1C3D2	3976	3968	4099	4014	72.07
8	2	A3B2C1D3	4372	4318	4324	4338	72.75
9	7	A3B3C2D1	4254	4294	4317	4288	72.65
平均						4224	72.54

表 7 28 天超音波望大特性的 S/N 比及影響順序

單位：dB

因子 水準	A 水膠比	B 再生細粒料取代量	C 再生粗粒料取代量	D 爐石取代量
水準 1	72.63	72.44	72.78	72.72
水準 2	72.52	72.67	72.56	72.48
水準 3	72.49	72.52	72.29	72.44
差異	0.14	0.23	0.49	0.28
排序	4	3	1	2

表 8 製程因子 C 及 D 間的交互影響

單位：dB

	D1 爐石取代量 0%	D2 爐石取代量 20%	D3 爐石取代量 40%
C1 再生粗粒料 取代量 0%	72.93	72.67	72.75
C2 再生粗粒料 取代量 50%	72.65	72.71	72.33
C3 再生粗粒料 取代量 100%	72.57	72.07	72.24

五、參考文獻

1. 石曉蔚，(1996)，室內照明設計，淑馨出版社。
2. Berman, S.M., Fein, Jewett.D.L., Ashford, F.(1993) Luminance-controlled pupil size affects landolt C task performance, Journal of the Illuminating

Engineering Society, Vol.22, No.2: 150-165.

3. Berman, S.M., Fein, Jewett.D.L., Ashford, F. (1994) Landolt-C recognition in elderly subjects is affected by scotopic intensity of surround illuminants, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol.23, No.2:123-130.
4. 詹慶旋, (1996), 建築光環境, 淑馨出版社, P10、P15、P32。
5. 王為, (2006), 應用良導絡量測評估照度與色溫度對人體生理反應之影響, 國立成功大學建築學系博士論文。
6. <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%89%E5%8E%9F%E8%89%B2%E5%85%89%E6%A8%A1%E5%BC%8F>。
7. 謝光浩, (1983), 工廠牆壁寒暖色運用對生產力之影響—以印刷廠為例之實證研究, 文化大學造紙印刷研究所碩士論文。
8. 顏兆詩, (2009), LED 照明環境光源色溫度對辦公空間閱讀心理影響之研究, 國立清華大學國立清華大學碩士論文。