

# 高性能混凝土 Taicon 研究群-硬固混凝土力學行為

## TAICON 混凝土梁構件應力/應變性質之研究(III)

計畫編號：NSC 89-2211-E-019-019

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：楊仲家 國立台灣海洋大學材料工程研究所  
研究助理：許志男 國立台灣海洋大學材料工程研究所

### 一、中文摘要

本計劃主要是在 Taicon 混凝土之基本要求下探討高流動化混凝土之力學性質，以 S/A(細骨材體積/總骨材體積)、水膠比、波索蘭材料、為變數。實驗中固定水泥用量，以不同水膠比之水泥漿為水泥質材料之母材，置入不同之粗細骨材含量及變化水膠比，進行各配比之坍度、坍流度、V 型漏斗流下時間試驗、箱型填充試驗，根據試驗結果調整配比，分析符合流動化混凝土要求，並探討其力學性質及配比設計。研究結果顯示：在條件設定下，流動化混凝土能以簡單的配比方法得到。另外，用水量、S/A 及波索蘭材料均直接影響工作度。

關鍵字：S/A、配比設計、高流動性

### ABSTRACT

The mechanical properties of high fluidity concrete was investigated in this study under the basic requirement of TAICON (high performance concrete). In order to investigate the effect of w/b (water/binder) ratio, pozzolanic admixture on the fluidity of Taicon, cylindrical specimens with different pozzolanic admixtures (fly ash and slag), and various w/b ratios were cast and tested. Based on the results of this study, changing of any mix parameter, such as S/A(fine aggregate volume/total aggregate volume), pozzolanic admixtures, w/b (water/binder) ratio, and type of pozzolanic material had significant effect on the workability.

Keyword：S/A, mix design, fluidity.

### 二、緣由與目的

ASTM C1017<sup>1</sup> 對流動化混凝土的定義：「一種坍度大於 19 公分且具足夠內聚力的混凝土。」除此之外亦規定[1]，高坍度的流動化混凝土，於拌製、運送、與

澆置時，不應有析離現象產生。

日本東京大學岡村甫教授 (Okamura) 認為高性能流動化混凝土應具下列特性 [2]：(1) 混凝土工作度良好，於灌置時可以不使用震動設備，可自行通過鋼筋間距，流動填滿模版內部各個角落。(2) 混凝土於潛伏期水化時期，因水化熱所造成的裂縫較少，乾縮與潛變亦較小。(3) 硬固混凝土晚期抗壓強度較高，耐久性佳，抵抗劣化能力亦較強。對於流動化混凝土鋼筋間隙通過性，若粗骨材含量過高會影響通過性，欲得良好之通過性對單向鋼筋其淨間距至少為粗骨材粒徑  $(2 + \sqrt{3})$  倍，若是雙向鋼筋則淨間距需為  $(2 + 2\sqrt{2})$  倍粗骨材粒徑 [3] 一般而言骨材最大粒徑的須小於 2 公分 [4]。量測流度至 50 公分的時間，可評估膠結漿體是否具抵抗析離之特性 [5]，V 型漏斗試驗主要藉由量測混凝土由漏斗內流下的時間，以評估混凝土內膠結漿體的黏滯性、及抵抗材料析離的特性認定。混凝土由 A 室流入 B 室時，須自行通過障礙達到自動充填之功能藉由量測流入 B 室混凝土之高度，評估其流動性 [3]。在骨材部分粗細骨材混合比例會隨著 S/A 增加而增加，抗壓強度隨之增加，但超過一比例後會有強度降低情形 [6]，用水量增加對於工作性會有幫助，但水灰比變化會對混凝土硬固性質有相當影響 [7]。

### 三、試驗計劃

#### 3-1 配比設計

本研究配比設計方法以 TAICON 混凝土為配比設計基礎，參考日本土木學會 (JSCE) 配比設計方法。先改變 S/A (細骨材體積/總骨材總骨材體積)、將水泥量固定為  $300\text{kg/m}^3$ ，水膠比 (W/B，水重/膠結材重) 及波索蘭材料種類等變數作調整，以符合流動化混凝土之基本要求，並視工作度所測得結果對配比加以調整。本研究首先以 S/A 為實驗變數，在得一適當值後改變水膠比，最後變化波索蘭材料種類。試驗配比變數及組合如表一、表二所示。

表一 配比試驗變數

S/A(%)	W/B	P/C(%)	添加波索蘭材料種類
58、56	0.36	0, 37.5	Slag Fly ash
54、52	0.40		
50、48	0.45		
46	0.50		

表二 配比變數組合

添加波索蘭材料類	S/A(%)	W/B	P/C(%)
Slag	58、56	0.40	60
	54、52		
	50、48		
	46		
Slag	52	0.36	60
		0.40	
		0.45	
		0.50	
Fly ash	52	0.40	60
	50		
	48		
	46		
No	52	0.40	0
	50		
	48		
	46		

代號說明

S 1 A 1

W/B: 1=0.36 2=0.40  
3=0.45 4=0.50

S/A: A=46%、B=48%、C=50%、D=52  
C=54%、D=56%、E=58

波索蘭材料添加量: 1=0%  
2=60%

波索蘭摻料種類: S=爐石粉 F=飛灰  
C=純水泥(不添加)

分別使用飛灰及爐石水泥用量固定在  $300\text{kg/m}^3$ ，由水膠比計算用水量，根據絕對體積法的觀念，每方體積扣除漿體體積及假設之空氣體積  $0.02\text{m}^3$ ，剩餘體積為骨材體積，由 S/A 分別計算細骨材及粗骨材體積，即得完整配比。

### 3-2 試驗材料及方法

本研究採用波特蘭第一型水泥，飛灰來自深澳火力發電廠，符合 ASTM C618 之規定，屬 F 級飛灰，爐石係由日本進口，活性指數為 100 級，比重 2.9。粗骨材取自蘭陽溪的三分石，比重為 2.67；取粗砂為細骨材，來源同粗骨材，比重為 2.65，細度模數 2.72，粗細骨材級配分

佈符合 ASTM 規範。實驗中採用 Type G 之強塑劑，為茶磺酸鹽甲醛縮合物。

坍度之測定是依 ASTM C143 之規定來量測，坍流度測定則是在坍度量測後，直接量測混凝土試樣之直徑，採對角方式量測兩次，加以平均，視為坍流度 [8]。

漏斗流下時間試驗使用 V 型漏斗，將洗淨之漏斗垂直（上面水平）設置，關閉底蓋，排放口下設置受料盤，將試料慢慢灌進漏斗。蓋平完 10 秒內打開排放口底蓋，用碼表測全部排完時間  $t_0$ 。箱型充填性試驗使用箱型填充容器，裝好填充裝置隔間門的流動障礙格板，關閉隔間門後，將混凝土試料注入 A 室，靜置一分鐘後拉開隔間門，讓混凝土通過流動障礙至 B 室，充填至靜止流動，量測填充高度。上述二種試驗依 JSCE 日本土木學會規準量測。試體在拆模後，置於常溫下水中養生，直至 28 天齡期之抗壓試驗前。混凝土抗壓強度、彈性模數及梁構件抗彎試驗分別依據 ASTM C39、C469 及 C78 進行，新拌及硬固性質試驗結果列於表三及表四。

## 四、結果與討論

### 4-1 新拌性質

由表三可知在固定各配比參數下，S/A（細骨材體積/總骨材體積）變化對各新拌性質之影響，當 S/A 比例愈高時即表示粗骨材佔混凝土總體積愈低，相對的混凝土此時漿體量增加，對於工作性有幫助，尤其在箱型填充試驗、漏斗流下時間試驗有明顯益處，當然在坍度及坍流度試驗上也有助益，但當 S/A=56% 時其坍度及坍流度可能已至上限值，因為當 S/A=58% 時的表現較 S/A=56% 差。由表 3 中可知水膠比降低時，坍度、坍流度會隨之增加，當然在水膠比降低並要求混凝土不產生析離的同時，強塑劑也會因應混凝土流動性而增加用量，此時坍度、坍流度增加是由於添加強塑劑用量不同所致，因此與傳統混凝土有相當大的不同。不過就現場拌合時會發現水膠比若過低，雖然各項工作性能就數據看來似極佳，但實際上它的黏稠性會很高反而不利現場工作性。

由圖一~四及表三得知，雖飛灰與爐石比重不同，在相同 S/A（細骨材體積/總骨材體積）下，其漿體絕對體積不同，但若對照二組漿體量相近之配比，可發現其流動性差異並不顯著，但強塑劑用量上，添加飛灰之混凝土顯然需要多之強塑劑，可能是因為飛灰含碳量的問題，使得混凝土需水量增加，在用水量相同情況下，只有增加強塑劑才能達到目標值。此部分之研究即利用飛灰與爐石相互比較工作性，可看出若要有與添加爐石配比混凝土相同之工作性則飛灰需增加強塑劑用量。各配比參數值固定時，粗細骨材比例 (S/A) 愈

高，對 V 型漏斗流下試驗及箱型填充試驗會有明顯助益，對坍流度等工作度亦有幫助。在混凝土不析離及工作度的要求下，變化水膠比 (W/B) 時需要利用強塑劑來控制混凝土之流動性及材料分離的抵抗性，當 W/B 愈高時在混凝土漏斗流下試驗通過時間過快，表示抗離析性差，W/B 過低，通過時間又會過長，表示混凝土稠度過高工作性不佳。

#### 4-2 抗壓強度

由表三顯示混凝土中 S/A 的變化量不大，無法明顯看出 S/A 對抗壓強度的所造成之影響，但添加爐石及飛灰等波索蘭材料之混凝土，添加爐石之流動化混凝土強度較飛灰混凝土為高。可由圖 5 看出同為 28 天齡期之抗壓強度在相同膠結材用量下，不添加任何波索蘭材料之混凝土抗壓強度最高。添加飛灰波索蘭材料之混凝土大約在 28 天齡期後產生卜作嵐反應，此時應將飛灰當作取代細骨材之填充料。

#### 4-3 彈性模數

由表三中顯示出 S/A (細骨材體積/總骨材體積) 增減對彈性模數並無太大的影響，而在 S/A 的增或減上並不會對骨材佔整體體積總量有所變化，可能是由於骨材本身性質差異不大，致使 S/A 的改變並未對彈性模數有顯著影響，所以對彈性模數並無太大影響。由圖六可看出添加爐石、飛灰及不添加波索蘭材料之混凝土，彈性模數是以添加飛灰之混凝土最低，可能是由於飛灰比重較低，在相同膠結材重量下，添加飛灰之混凝土其整體骨材用量相對較低，所以彈性模數較其他二組為低。根據 ACI 規範所述之彈性模數與抗壓強度平方根成正比。

#### 4-4 梁構件抗彎強度及應力/應變性質

由表四可看出沒有添加任何波索蘭材料之混凝土在各項承載能力及抗彎強度表現上都較為優異，應該是同為 28 天齡期時雖然其水膠比均相同，但水灰比卻不同，在表中也看出在 28 天齡期時顯然添加爐石之混凝土已有卜作嵐反應出現，其應力/應變之關係也可由圖七~八，看出無添加任何波索蘭材料之混凝土在張力側的斜率上有相近趨勢，但無論在張力側或壓力側，所得之應力應變曲線斜率都以添加飛灰之混凝土較低，值得注意的是它的抗壓強度是最低的。

### 五、計劃成果自評

本次試驗中發現梁構件在抗彎強度上的表現與其在抗壓強度上相似情形，抗壓強度較高對應的抗彎強度亦較高。在應力應變上所反映出來的值可看出添加飛灰之混凝土有較低的斜率。

在新拌工作性發現高性能混凝土無論在 S/A、水膠比及有無添加波索蘭材料及其種類都會影響其工作性。粗細骨材之表面含水率亦需留意。

在混凝土中，主要提供強度者為水泥，波索蘭材料可視為取代細骨材或填充料，在強度無虞下增加漿體體積，相信能夠降低對於強塑劑的用量。在研究中發現添加飛灰之混凝土對於強塑劑的用量較添加爐石用量多，所以可使用爐石或二種波索蘭材料混合使用，降低強塑劑用量。

### 六、參考文獻

- [1] ASTM C1017, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete", 1992.
- [2] Okamura, H., "High Performance Concrete", Report Concrete Lab. Dept. of Civil Engineering, University of Tokyo, 1991.
- [3] 日本土木學會, "高流動化混凝土施工方針" 1998.
- [4] K. H. Khayat, "Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 3, pp. 346~353, 1999.
- [5] P. Bartos, "Fresh Concrete Properties and Tests" Elsevier, pp. 196~206, 1992.
- [6] A. F. Abbasi, Munir Ahmad, and Mohammad Wasim, "Optimization of Concrete Mix Proportioning Using Reduced Factorial Experimental Technique", ACI Materials Journal, pp. 55~63, January-February 1987.
- [7] A. M. Neville, "Properties of Concrete", Fourth edition, pp. 186~200, 1995.
- [8] JSCE-F503, Method of Test of the Slump flow of Concrete, Standard of Japan Society of Civil Engineers, 1990.

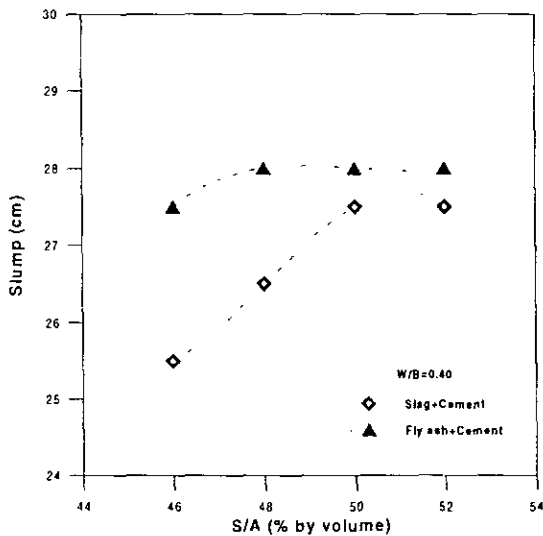
表三 混凝土新拌及硬固性質試驗結果

配比編號	坍度 (cm)	坍流度 (cm)	V-funnel test(sec)	Box-test (cm)	抗壓強度 (MPa)	彈性模數 (GPa)
S4D2	25.0	54.0	---	10.0	39.01	22.92
S4E2	26.5	67.0	50.1	17.0	39.40	22.19
S4F2	27.5	65.5	33.1	29.5	38.04	21.85
S4G2	27.0	64.5	23.0	31.0	37.51	22.08
S4F1	25.0	61.5	28.9	23.5	46.85	24.26
S4F2	27.0	65.5	13.11	30.0	39.04	22.55
S4F3	22.5	38.0	4.76	29.0	35.84	21.10
S4F4	21.0	34.5	3.02	25.0	30.20	19.87
S4A2	25.5	53.5	49.8	26.5	38.16	22.42
S4B2	26.5	69.5	19.6	32.0	37.43	22.16
S4C2	27.5	73.0	6.84	34.0	37.68	22.78
S4D2	27.5	74.0	7.21	34.0	36.87	21.31
F4A2	27.5	73.0	14.66	24.5	30.34	20.26
F4B2	27.5	74.0	12.74	31.5	30.26	20.15
F4C2	27.5	73.0	12.60	34.0	31.89	21.66
F4D2	27.5	72.5	10.68	34.0	31.93	20.92
C1A2	22.0	52.0	---	---	43.94	26.40
C1B2	23.5	59.5	63.21	---	43.79	26.98
C1C2	25.5	64.5	38.2	5.5	44.32	27.56
C1D2	26.0	66.5	25.8	10.5	44.64	27.06

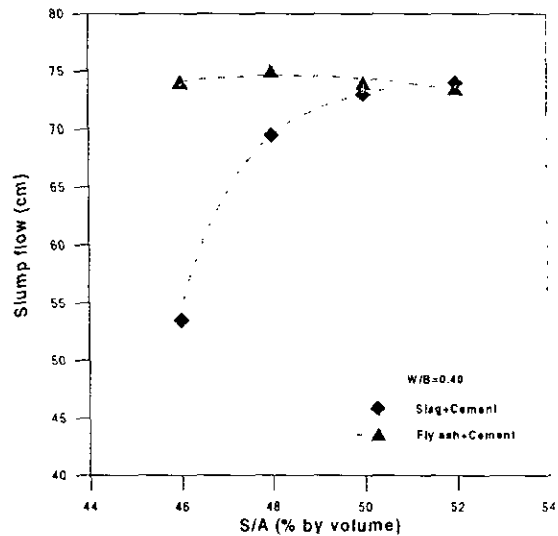
備註：--表有堵塞現象產生

表四 混凝土硬固性質試驗結果

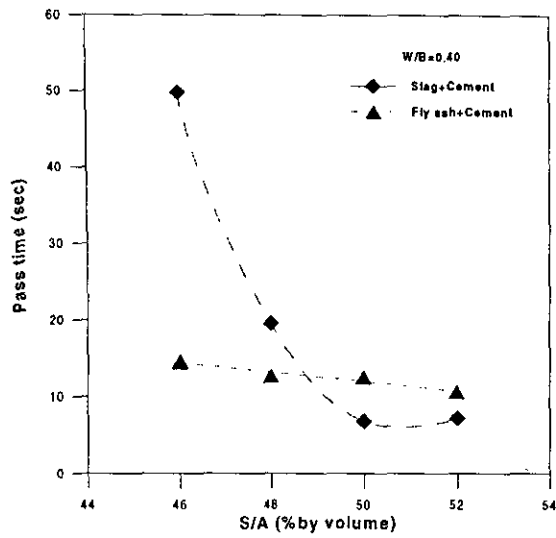
配比編號	抗壓強度(MPa)	彈性模數(GPa)	極限承載(KN)	抗彎強度 (MPa)
S4B2	37.43	22.16	32.39	4.32
F4B2	30.26	20.15	26.88	3.58
C1B2	43.79	26.98	37.38	4.98



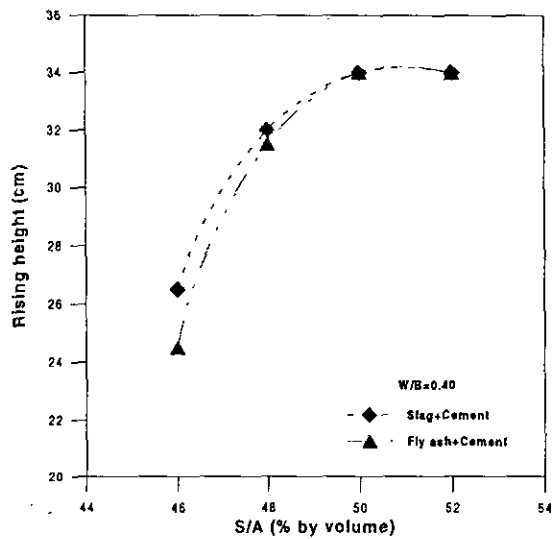
圖一 S/A 與坍度之關係圖



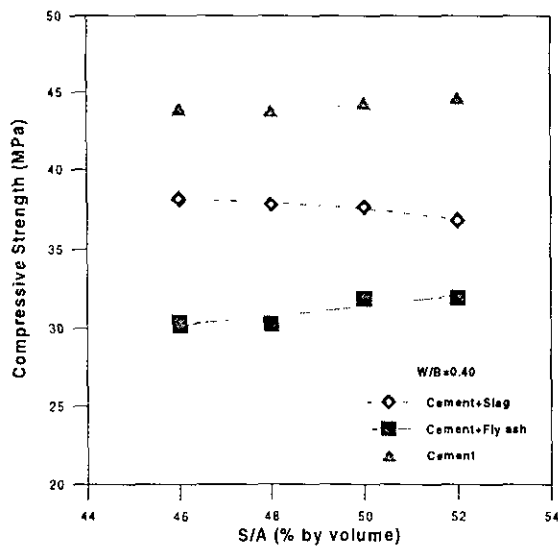
圖二 S/A 與坍流度之關係圖



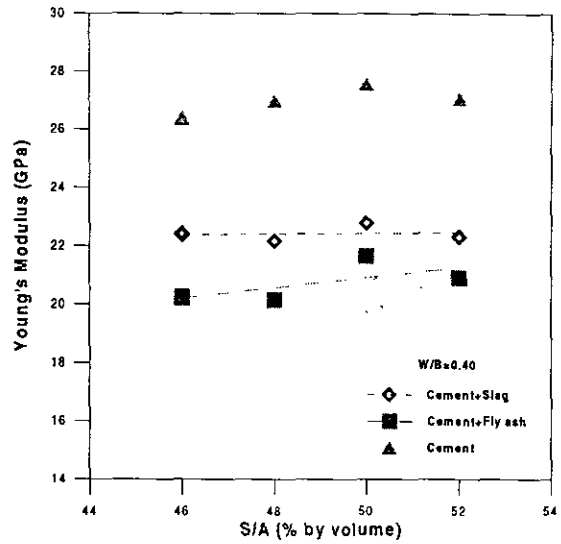
圖三 S/A 與 V-funnel test 之關係圖



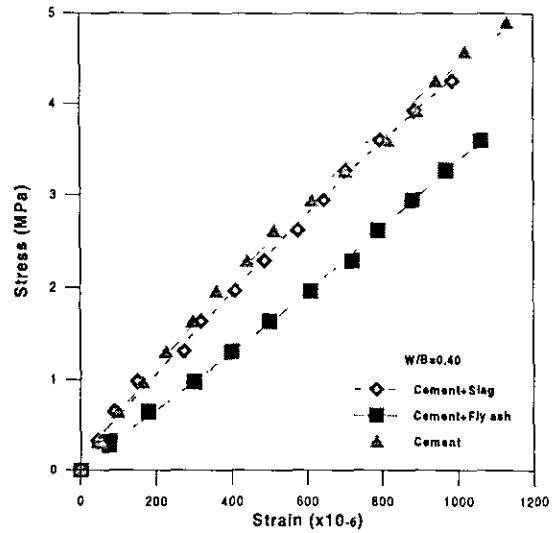
圖四 S/A 與 Box-test 之關係圖



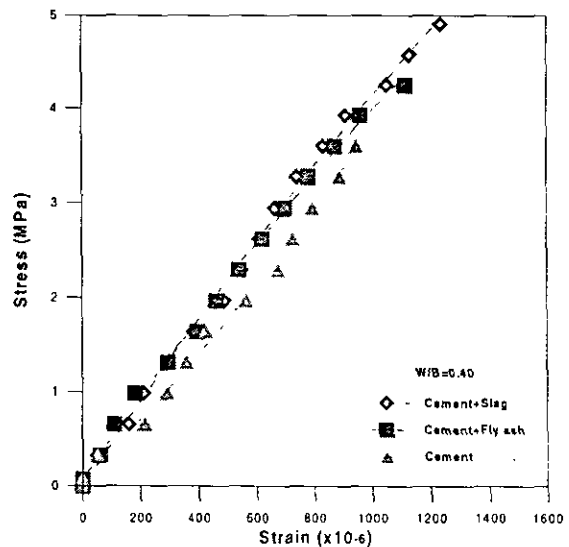
圖五 抗壓強度與 S/A 之關係圖



圖六 彈性模數與 S/A 之關係圖



圖七 壓力側之應力-應變之關係圖



圖八 張力側應力應變之關係圖