



高性能混凝土 Taicon 研究群-硬固混凝土力學行為

北部地區材料對 Taicon 硬固力學性質之影響(II)

計畫編號：NSC 88-2211-E-019-014

執行期限：87年8月1日至88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：曾鈞諺

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 混凝土之基本需求下探討高流動化混凝土之力學性質，以水膠比、波索蘭材料、S/A(細骨材體積/總骨材體積)及強塑劑用量為變數。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，使用北部地區之細粗骨材，置入不同之粗細骨材含量及強塑劑用量，進行各配比之坍度及坍流度試驗，根據試驗結果調整配比，分析符合 Taicon 混凝土之範圍，並探討其力學性質及配比設計。實驗中有幾組配比不使用強塑劑能符合 Taicon 要求，而研究結果顯示：在條件設定下，Taicon 混凝土能以較簡單的配比方法得到。另外，用水量、S/A、強塑劑用量及波索蘭材料均直接影響工作度。

關鍵字：S/A、Taicon 混凝土、配比設計、高流動性

ABSTRACT

The mechanical properties of high fluidity concrete is investigated in this study under the basic requirement of Taicon (Taiwan concrete). In order to investigate the effect of w/b (water/binder) ratio, pozzolanic admixture, and superplasticizer content on the fluidity of Taicon, cylindrical specimens with different superplasticizer contents, pozzolanic admixtures (fly ash and slag), and various w/b ratios were cast and tested. In this study, some mix proportions satisfy the requirement of Taicon with 0% of superplasticizer. Based on the results of this study, the relation between w/b and superplasticizer content was shown and used to predict the superplasticizer content of the mix design.

Keyword: S/A, Taicon concrete, mix design, fluidity.

二、緣由與目的

高流動性混凝土，主要是藉由流動性佳的特性，使混凝土能自行流動，降低人為所產生的失誤，一般須有 20cm 以上之坍度，但坍度試驗已經無法完全詮釋高流動性混凝土的狀態[1]，必須輔以流度試驗，而流度試驗種類繁多[2]，各國不一，其中以 Japanese Standard 的坍流度試驗(Slump flow test)[3]量測較為簡便，常為工程界所使用，Domone 的研究結果亦顯示兩試驗是有關聯性的[4]。在 ACI 配比設計中[5]，為了達到高坍度的要求，高水泥用量成為必然的結果，因此，在水泥量受限的情況下，輔以波索蘭材料以增加膠結材料用量[6, 7]；再者，使用強塑劑，增加工作性，但並非適用任何情形。在骨材方面，粗、細骨材混合比例對混凝土工程性質上有一定程度的影響，隨著 S/A 的增加，混凝土的抗壓強度隨之增加，超過一定比例後，強度有些微的降低[8, 9]。S/A 對坍度的影響與抗壓強度雷同，有一極值存在，超過一定比例後，坍度降低，但之後 S/A 若持續增加，坍度可能有再上升的現象[8]。骨材形狀以趨近圓形、表面平滑者為佳[5]，而用水量對於工作度有直接的幫助，但若水灰比未固定會對硬固性質造成負面影響[2]。

三、試驗計劃

3-1 配比設計

Taicon 高性能混凝土的基本要求如下：

1. 抗壓強度 4000 至 5000psi(27.6MPa 至 34.5MPa)。
 2. 初始坍度 220mm± 20mm，45 分鐘後坍度 ≥ 200mm。
 3. 初始坍流度 400mm 至 600mm，45 分鐘後坍流度 ≥ 40mm。
 4. 每立方混凝土之水泥用量 < 300kg。
 5. 水灰比 ≥ 0.42。
 6. 波索蘭材料 ≤ 30%(膠結材料重)。
- 配比分為 I 及 II 部分，其波索蘭材料分別使用飛灰及爐石，添加量為膠結物重量的 30%，水泥用量固定在 300kg/m³，由

表一 配比變數組合(I部分)

SP(%)	1	1.5	2	2.5	3
W/B	S/A(%)				
0.42			30	30	30
			35	35	35
			40	40	40
			45	45	45
0.45		35	30	30	
			35	35	
			40	40	45
0.5	35	30	30*		
		35	35*		
		40	40*		
		45	45		

*表嚴重析離

表二 配比變數組合(II部分)

SP(%)	0	0.2	0.3	0.35	0.4	0.6	0.65	0.7	
W/B	S/A(%)								
0.5	45	45			45	45	40	40	
							45	45	
							50	50	
							55	55	
0.55	45	45	40	40	45	45			
			45	45					
			50	50					
			55	55					
0.57	45	代號說明							
0.58	40	表 SP 用量，查下表							
	45	B42c35 ← 表 S/A=30-55%							
	50	W/B=0.42 ~ 0.61							
	55	B: 表 I 部分 C: 表 II 部分							
0.61	40	代號	a	b	c	d	e	m	n
	45	SP(%)	1	1.5	2	2.5	3	0	0.3
	50	代號	o	p	q	x	y	z	
	55	SP(%)	0.35	0.65	0.7	0.2	0.4	0.6	

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 0.02m³，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，強塑劑添加量原則上低於膠結材料重的 3%，而以坍度、坍流度能符合 Taicon 要求為主，其體積由用水量扣除，各配比變數組合如表一及表二所示。

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 3.2，粗細骨材級配分佈符合 ASTM 規範。實驗中採用 Type G 之強塑劑，為磷酸鹽甲醛縮合物。

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 [3]。初始坍度及坍流度量測完畢後，將混凝土靜置 45 分鐘，靜置期間，以麻布袋覆蓋，避免混凝土水分大量蒸發，45 分鐘後，再量測一次坍度及坍流度。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。混凝土抗壓強度及彈性模數試驗分別依據 ASTM C39 及 C469 進行，新拌及硬固性質試驗結果列於表三。

四、結果與討論

4-1 坍度及坍流度

圖一~四分別為 I 及 II 部分，其 S/A 對於坍度及坍流度之關係圖，由圖中可發現，S/A 對於坍度及坍流度均有極值存在，且兩極值相近，在 S/A 超過極值後，隨 S/A 增加，坍度及坍流度值降低，在 II 部分中，水膠比較 I 部分為高，強塑劑用量較低，其曲線較平緩，由於配比中膠結量固定，因此 S/A 的增加，即水泥砂漿的增加，可見得細骨材佔砂漿的比例應有其最佳值存在。

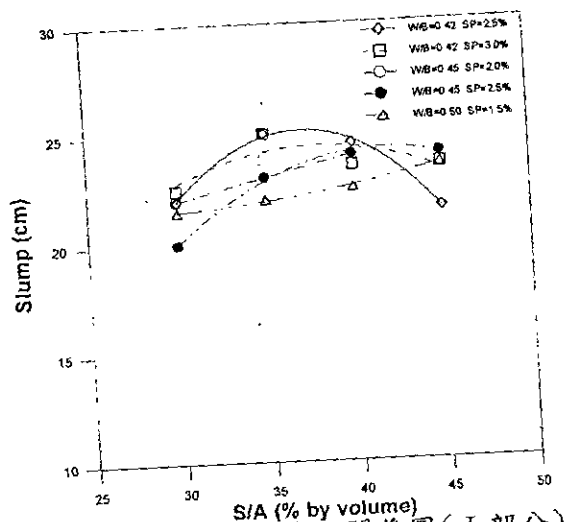
4-2 Taicon 混凝土範圍分析
表三中以灰色網底標示者表示能完全符合 Taicon 要求，由表三可發現隨著 W/B 增加，在符合 Taicon 要求下，所需的強塑劑用量降低，II 部分中，W/B 在 0.58 左右能不使用強塑劑而達到 Taicon 要求的範圍出現，但範圍相當狹窄，W/B 過低則坍度及坍流度可能不足(如 W/B=0.55)，W/B 過高則強度降低(如 W/B=0.61)。從 I 及 II 部分各水膠比與其強塑劑用量的關係來繪製關係圖，如圖五及圖六所示，圖中“○”及“x”分別為符合及未能符合 Taicon 基本要求的實驗點，再根據各點的試驗值以迴歸方式預測符合 Taicon 要求的範圍，由圖中範圍上下限的趨勢來看，可發現隨著水膠比的增加可降低強塑劑用量，同時強塑劑使用的範圍也縮小，說明兩點：1. 由於膠結量固定，因此用水量的增加，降低強塑劑用量；2. 用水量的增加使強塑劑在使用上的敏感度增加，同時也增加析離的危險。

由圖五及圖六配合條件的設定，可約略勾勒出 Taicon 混凝土的範圍：水泥用量固定為 300kg/m³，波索蘭材料添加量為 30%，添加飛灰時，水膠比需介於 0.4~0.5 之間，添加爐石時，水膠比需介於 0.42~0.58 之間，以水膠比計算用水量，再由圖五及圖六查出強塑劑用量，最後配合適當之 S/A，即可計算出接近 Taicon 混凝土之配比。

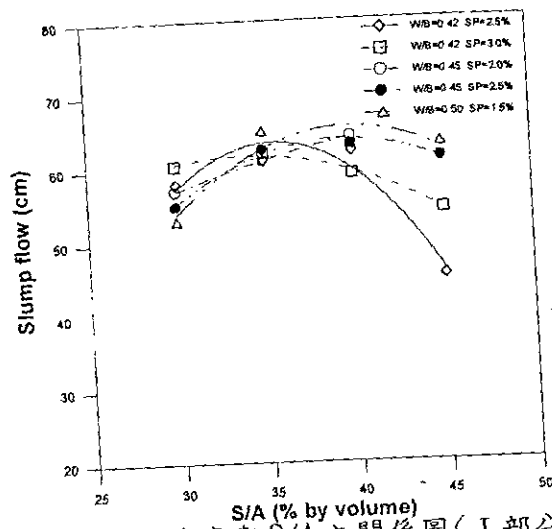
在本研究之基本材料性質下，使用 ACI 配比法再稍作修正，即可計算出接近 Taicon 混凝土之配比。粗骨材最大粒徑為 2cm(3/4 in)，先以傳統 ACI 配比法計算

表三 混凝土新拌及硬固性質試驗結果

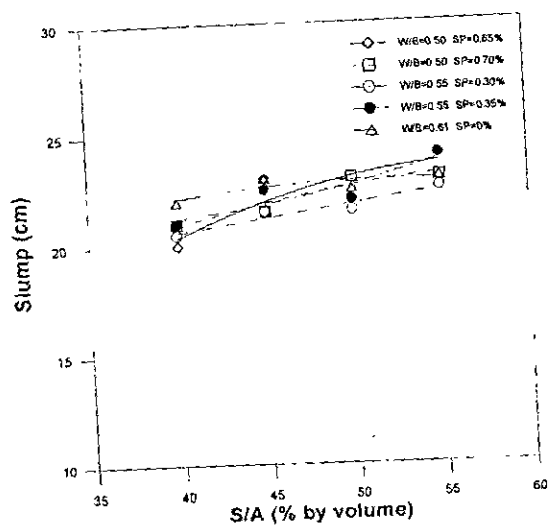
配比代號	初始坍度(cm)	45分鐘後(cm)	初始坍度(cm)	45分鐘後(cm)	抗壓強度(MPa)	彈性模數
B42c35	22.5	18.5	60	38	34.41	24.03
B42d30	22	20	58	47.5	32.03	23.20
B42d35	25	22	61	53	34.63	23.35
B42d40	24.5	23.5	62	59	33.86	22.04
B42d45	21.5	18	45	30	31.11	21.78
B42e30	22.5	20	60.5	48.5	29.22	21.57
B42e35	25	21.5	62	52.5	32.56	20.95
B42e40	23.5	22	59	55	30.86	20.74
B42e45	23.5	21.5	54	43	28.43	19.03
B45b35	24.5	18.5	60	32	32.24	22.32
B45c30	22	20	57	40	30.73	22.52
B45c35	23	22	61	48.5	31.23	22.34
B45c40	24	20	64	31.5	30.46	21.99
B45d30	20	20	55	53.5	29.43	21.53
B45d35	23	23	62.5	61	31.19	22.89
B45d40	24	23	63	63	27.95	20.25
B45d45	24	22	61	53.5	27.40	20
B50a35	22.5	20	53	36	28.16	20.88
B50b30	21.5	21	53	51	27.37	20.41
B50b35	22	22	65	54	29.82	20.32
B50b40	22.5	22.5	63	49	29.98	19.8
B50b45	23.5	22	63	37	28.30	18.66
B50c45	23	24	64	65	28.02	19
C50p40	20	18	50	43	33.42	20.09
C50p45	23	20	53	39	34.81	20.73
C50p50	22	19	50	38	36.65	21.80
C50p55	24	20	45	30	40.57	23.14
C50q40	21	20	50.5	43	31.86	21.59
C50q45	21.5	21	53	49	31.49	20.75
C50q50	23	22.5	59	52	32.48	22.15
C50q55	23	21	51	42.5	37.97	23.01
C55n40	20.5	20	50	40.5	29.82	18.57
C55n45	21.5	21	49	40	31.09	18.61
C55n50	21.5	20.5	50	39	33.53	19.81
C55n55	22.5	22	42	39	34.62	20.70
C55o40	21	20.5	52.5	47	28.38	17.44
C55o45	22.5	21	53	42	30.25	18.18
C55o50	22	21.5	54	45	30.45	19.03
C55o55	24	23.5	56	45.5	33.48	21.14
C57m45	21.5	18.5	45	40	29.76	20.03
C58m40	21	19	42	39	27.15	20.05
C58m45	22.5	22.5	44	42	27.22	19.98
C58m50	23	22	46	42	29.65	19.70
C58m55	23	22.5	46.5	42	30.09	19.51
C61m40	22	21	54	51	19.44	15.67
C61m45	23	21	53	45	22.85	17.31
C61m50	22.5	22	54	51	25.63	17.28
C61m55	23	23	55	51	25.77	17.29
C50m45	16	14	25	25	38.33	22.97
C50x45	20	18	36	31.5	36.41	22.17
C50y45	20	19	39	34	36.04	22.14
C50z45	20.5	17	45	35	35.86	22.97
C55m45	21	18.5	42.5	39	29.16	20.15
C55x45	21.5	21	46	40.5	30.72	20.26
C55y45	23.5	22.5	60.5	50.5	28.46	19.64
C55z45	21	21	60	56.5	26.57	20.03



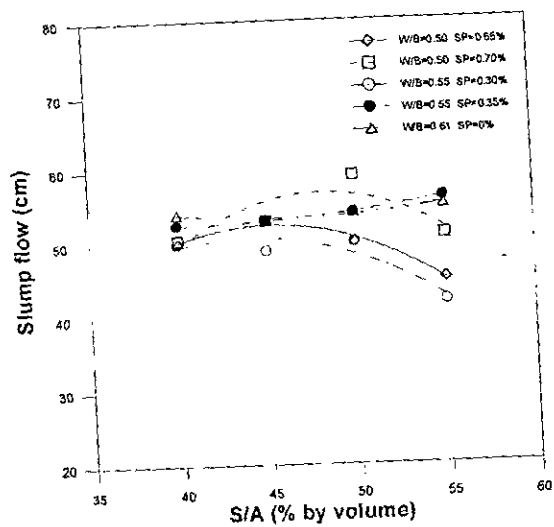
圖一 坍度與 S/A 之關係圖 (I 部分)



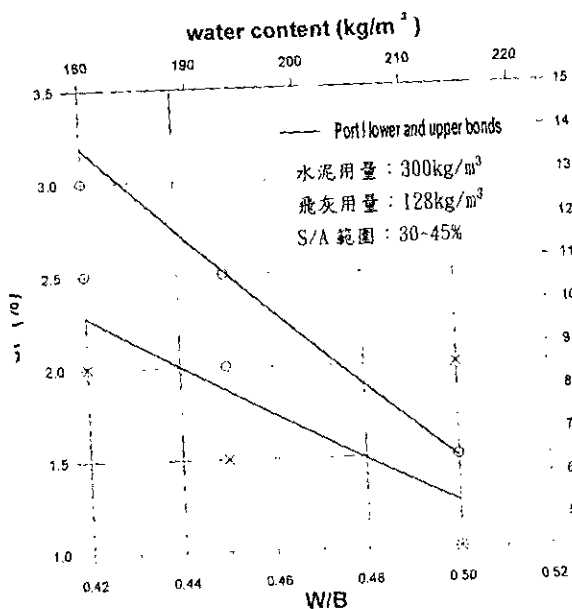
圖二 坍流度與 S/A 之關係圖 (I 部分)



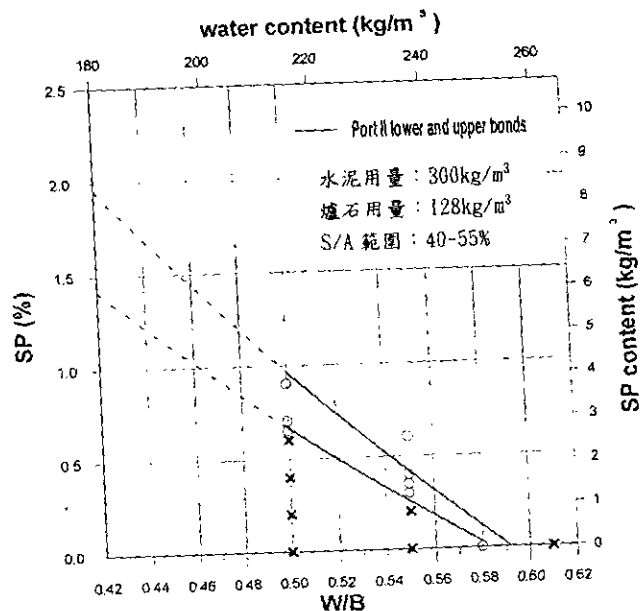
圖三 坍度與 S/A 之關係圖 (II 部分)



圖四 坍流度與 S/A 之關係圖 (II 部分)



圖五 W/B 與 SP 用量關係圖 (I 部分)



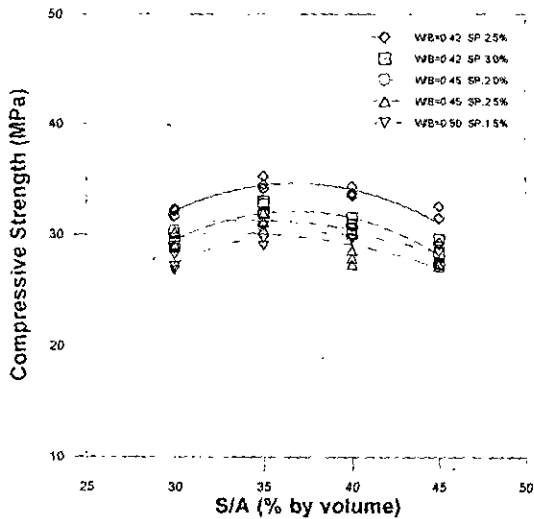
圖六 W/B 與 SP 用量關係圖 (II 部分)

表四 調整後 ACI 配比與試驗配比之比較(添加飛灰)

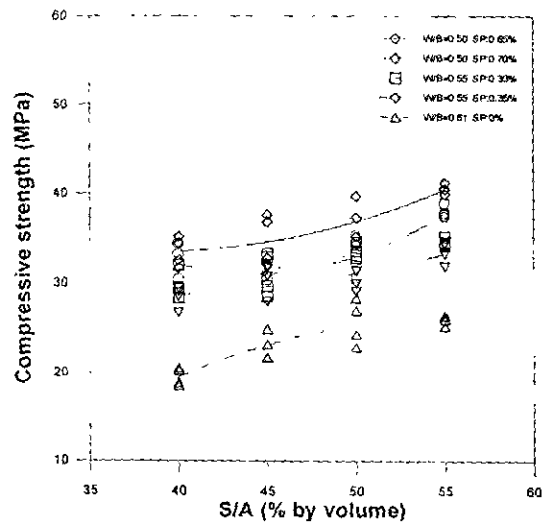
設計坍度 2.5-5cm	水	水泥	飛灰	細骨材	粗骨材	SP(%)	W/B	S/A(%)
ACI	187.1	328.3	-	885	947	-	0.57	48
設計 Taicon	187.1	300	128.6	746	947	2- 2.7	0.44	43
配比代號 B45d45	182	300	128.6	739	911	2.5	0.45	45
配比代號 B45d40	182	300	128.6	657	994	2.5	0.45	40

表五 調整後 ACI 配比與試驗配比之比較(添加爐石)

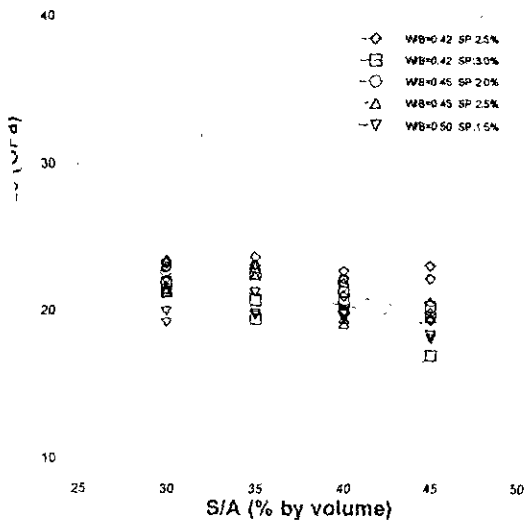
設計坍度 15-18cm	水	水泥	爐石	細骨材	粗骨材	SP(%)	W/B	S/A(%)
ACI	213.8	375	-	775	947	-	0.57	45
設計 Taicon	213.8	300	128.6	720.5	947	0.7- 0.9	0.5	43
配比代號 C50q45	211.3	300	128.6	747.3	920.3	0.7	0.5	45
配比代號 C50q40	211.3	300	128.6	664.3	1003.9	0.7	0.5	40



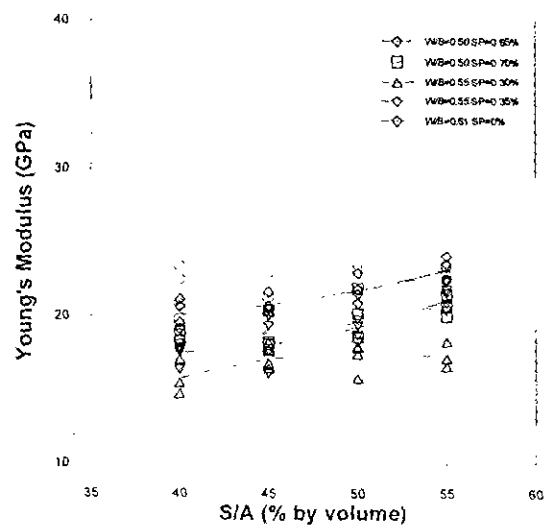
圖七 抗壓強度與 S/A 之關係圖(I 部分)



圖八 抗壓強度與 S/A 之關係圖(II 部分)



圖九 彈性模數與 S/A 之關係圖(I 部分)



圖十 彈性模數與 S/A 之關係圖(II 部分)

出各材料用量後，將 128kg 飛灰或爐石以等體積取代水泥用量高出 300kg 之部分，剩餘之飛灰以等體積取代細骨材，計算調整後配比之水膠比，配合圖五及圖六對照強塑劑用量範圍，用以調整坍度及坍流度至適當值，即可獲得接近 Taicon 混凝土之配比。亦可將小部分飛灰或爐石體積取代粗骨材，用以調整 S/A 至最佳值。表四及表五為調整後 ACI 配比與試驗配比之比較，調整後配比與試驗配比相差無幾，而試驗配比均能符合 Taicon 基本要求，因此調整後配比應能相當接近 Taicon 混凝土。

4-3 抗壓強度

圖七及圖八分別為 I 及 II 部分 28 天齡期抗壓強度與 S/A 之關係圖，經迴歸分析，在 I 部分中，S/A 在 35%-40% 間，抗壓強度達到最高，40% 後強度開始略為下降，但下降幅度小，II 部分之抗壓強度則隨 S/A 由 40% 增加至 55%，有些微增加的現象。I 部分在 S/A 超過 40% 後，強度開始下降，可能是由於本試驗中使用的飛灰是 F 級飛灰，大約在齡期 28 天以後才開始產生波索蘭反應，因此在 28 天齡期時，僅能將飛灰視為填充料如同細骨材般，致使界面增加，在抗壓強度屬低強度，破壞面多為骨材與漿體界面，可謂增加弱面，造成強度略為降低。

4-4 彈性模數

圖九及圖十分別為 I 及 II 部分 28 天齡期彈性模數與 S/A 之關係圖，大體上，隨 S/A 的增加，彈性模數沒有太大的增加或減少，本研究中，S/A 的增加並不影響總骨材所佔的體積，且粗細骨材來源相同，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。

五、計劃成果自評

本次研究中大致描繪出 Taicon 混凝土範圍，添加 30% 飛灰時，水膠比應低於 0.5，強塑劑 1.5~3% (視水膠比而定)，添加 30% 爐石時，水膠比應低於 0.58，強塑劑可低於 0.7%，而強塑劑用量與用水量有直接關係，隨用水量增加，強塑劑用量降低，且範圍縮小，增加析離的危險，於 W/B=0.58 時雖可不使用強塑劑達到 Taicon 要求，但範圍甚小，用水量掌控不易。若在本研究之條件設定下，則可配合圖五及圖六以較簡單的方式獲得接近 Taicon 混凝土的配比。

在 Taicon 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，因此，應不用侷限於 30% 取用量，可調整為 40% 或 50%，提高膠結量以降低強塑劑使用量，並可進行使用石灰粉

(LSP) 作為填充料的可行性研究，在強度無虞下增加漿體體積，相信能夠降低對於強塑劑的依賴。

六、參考文獻

- [1] BS1881 Testing Concrete: Part 102, Method for the determination of slump, British Standards Institution, 1983.
- [2] A. M. Neville, "Properties of Concrete", Fourth edition, pp.186~200, 1995.
- [3] JSCE-F503, Method of Test for the Slump flow of Concrete, Standards of Japan Society of Civil Engineers, 1990.
- [4] P. Domone, "The Slump Flow Test for High-Workability Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.28, No.2, pp.177~182, 1998.
- [5] P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro "Concrete-structure, properties, and materials", prentice hall, second edition, pp.296~304, pp.245~250, 1993.
- [6] R.O. Lane, "Effects of Fly Ash on Freshly Mixed Concrete", Concrete International, October, pp.50~52, 1983.
- [7] V. M. Malhotra, "Fly Ash, Slag, Silica Fume, and Rice-Husk Ash in Concrete: A Review", Concrete International, April, pp.23~28, 1993.
- [8] 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.
- [9] 郭一羽, 鍾朝恭, 葉春爐, 駱承利, "海砂混凝土配比與對抗壓強度之影響", 土木水利, 第 20 卷, 第 3 期, pp.35~49, 民國 82 年 11 月.