

[illegible]

執行期間：88年8月1日至89年10月31日

- ☐赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

中 華 民 國 90 年 1 月 5 日

以新拌 TAICON 混凝土自動化澆置 RC 構件試驗研究

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-063

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 10 月 31 日

主持人：高健章 執行單位：台灣大學土木所

計畫參與人員：陳漢屏

中文摘要

本實驗涵蓋三部分：1.以 TAICON 為材料，從柱底泵送混凝土，變化坍度與柱內流速，研究鋼筋籠和模板所受的上揚力與柱底壓應力；又考慮坍損對逆打影響嚴重，故針對二次添加 SP 進行探討。2.以 OPC 與 TAICON 為材料，逆打實尺寸柱，拆模後觀察表面狀況，進行非破壞與破壞試驗求其力學性質。3.在國家地震中心，以順打和逆打施作三支帽樑，比較其力學性質。試驗結果顯示：1.混凝土流速快，拖曳力大。2.混凝土坍損後，拖曳力增大。3.逆打柱柱表充實完整，柱體均勻性佳。

關鍵詞：上揚力、逆打、坍損、二次添加強塑劑

Abstract

This paper covers 3 parts: 1. We pumped TAICON from column bottom, changing slump and concrete velocity to investigate the uplifted force on steel cage and formwork. 2. Using OPC and TAICON as materials, we constructed 2 full-scaled columns and study their mechanical properties by non-destructive and destructive methods. 3. In NCREE, we constructed 3 capped beams by conventional and Sachauchi methods to compare their mechanical properties. The results show: 1. The faster concrete velocity, the greater uplifted force was. 2. After slump loss, the uplifted force increased. 3. The column, which was constructed by Sachauchi

Keywords: uplifted force, Sachauchi Method, slump loss, 2nd SP dosage

一、前言

以往垂直構件（牆、柱等）拆模後，容易在柱底、障礙物下方、排筋緊密處形成蜂窩。其原因為骨材析離、混凝土流動性差、鋼筋過密及振動深度有限，對柱抗壓、抗彎、抗剪及韌性皆有負面影響。排筋緊密的樑柱接頭，傳統施工方式與振動棒均難以確保混凝土填充確實，遑論結構物耐震或強柱弱樑等設計理念。

近年來，隨著民間財力增加，以及台灣地狹人稠的缺點，超高層建築陸續出現。目前國內有越來越多的 SRC 工程採用鋼柱內逆打灌漿。不過，逆打(Sachauchi Method)固然有助於填充孔隙，但對鋼筋籠、柱內壁所產生的上揚力及柱底動態壓應力，對多數工程師而言，並不瞭解。為確保高樓施工安全，有必要確認力量大小。

台灣夏季炎熱，裝載台灣混凝土(TAICON)之預拌車倘交通延誤，必致 TAICON 嚴重坍損，造成泵送塞管。對順打而言，混凝土必須從出廠到下模這段期間保持流動性。對逆打而言，不只下模不可坍損，還必須在柱內上升到柱頂前保持流動性。反循環樁及全套管樁，使用特密管逆打混凝土，混凝土出特密管後上升，這段期間也必須保持流動性。所以，坍損對逆打有嚴重之潛在影響。因此，分析新拌混凝土流動性質在坍損中的變化情形，進而提出因應之策，實為燃眉之急。

綜合前述，實尺寸逆打 TAICON、普通混凝土(Ordinary Plain Concrete, OPC)試驗正可求得施工問題的答案。並從施工至硬化階段，逐一研究混凝土流動性質與力學性質，探討其作用機理與柱體品質均勻度。

高健章教授於民國 86 年研發混凝土流動性量測裝置[1]，改良後可對二次添加

強塑劑(Superplasticizer, SP)的 TAICON 流動性作一解析，此套設備將用於監測二次添加 SP 前後，混凝土的流變能力，期能對坍損問題提供實務面解答。

二、研究方法

本研究包含三試驗，試驗略述如下：

2.1 柱底澆置基本試驗

柱底澆置基本試驗包含兩部份：一是柱底循環泵送試驗，利用研發的柱模具[2-4]，將 TAICON 自柱底打入，俟其自柱頂溢流後，導流回泵送車，循環泵送。其目的在研究 TAICON 坍損過程中，改變柱內混凝土流速對鋼筋籠、模板上揚力及底模壓應力的影響。另一是混凝土流動性量測試驗，內裝 40kgw 混凝土的滾筒[5]，浸於設定的水溫中持續滾動攪拌混凝土，俟其坍損，二次添加 SP。其目的在研究二次添加 SP，對降伏應力指標及塑性黏度指標的影響。

2.2 柱底混凝土充實性試驗

藉由逆打過程，我們製作一支 OPC 實尺寸柱及一支 TAICON 實尺寸柱，皆不使用振動棒。旨在觀察柱表面性質，並藉由非破壞和破壞試驗，研究逆打下，不同材料對硬固後柱體性質的影響。澆置過程中，亦記錄鋼筋籠、模板上揚力及底模壓應力。

2.3 實柱澆置試驗

在國家地震中心，配合捷運帽樑實體模型試驗，以 OPC 進行三支實柱澆置試驗。A 帽樑之柱身採順打，柱頂以振動棒搗實。B 帽樑之柱身採順打，柱頂不以振動棒搗實。C 帽樑之柱身採逆打，柱頂不以振動棒搗實。三隻帽樑樑體部分皆為順打澆置。試驗旨在觀察柱表面性質，並藉由非破壞和破壞試驗，研究同一材料下，不同澆置方法對硬固後柱體性質的影響。

三、結果與討論

高健章教授曾於民國 84 年[6]、87 年[7]、88 年[8]進行有關混凝土泵送之現地試驗。分析所有資料後，發現輸送引起的阻力或上揚力大小，受內、外兩因素控制。內在因素：混凝土本身性質，即賓漢模式

(Bingham Model)中 τ_0 、 μ ，以及本身溫度和坍損發生的快慢。

外在因素：試驗段混凝土的流速、流動型式和是否循環泵送。

以本試驗為例，當柱斷面設計確定後，就確定混凝土的流動型式。當確定泵送機型號時，就確定試驗段混凝土的流速。欲研究坍損對上揚力的影響時，就確定循環泵送。剩餘無法事前肯定的，幾乎是內在因素。

3.1 柱底澆置基本試驗結果討論

圖 1 是 TAICON 循環逆打裝置示意圖。表 1 是循環逆打試驗結果。由表 1 顯示，壓送速率越快，鋼筋籠、模板所受上揚力就越大。混凝土約在 20 分鐘坍損，坍損後，鋼筋籠上揚力及底模壓應力皆增加，模板上揚力增加百分比最大。

圖 2~圖 5 是流動性試驗結果。SP 二次添加量應考慮不使混凝土浮水、析離，也不可以少到沒有作用，經反覆試驗後，決定以 0.1%(SP/B)作為二次添加量。

圖 2、圖 3 中，試驗水溫 20℃，在 110 分鐘，大部分混凝土已不流動，且滾筒內擋板刮過混凝土時，傳來清晰結塊撞擊的聲音，於是在 111 分鐘打入 0.1%SP，攪拌後，混凝土恢復流動性，撞擊聲不見， τ_0 與 μ 均下降。到 190 分鐘，再度坍損，爾後平衡值沒有重大改變，乃因此時混凝土狀況已接近儀器靈敏界線。實驗中顯示，二次添加有一「臨界時機」，過此時機才添加，為時已晚。在實驗中，曾三次添加 SP，但對坍損恢復不如二次添加明顯，且「臨界時機」更短，更難掌握。圖 6~圖 8 顯示循環泵送時，鋼筋籠及模板所受上揚力及底模壓應力變化情形；其特徵是混凝土流速快，受力皆變大。

3.2 柱底混凝土充實性試驗結果討論

從表 2 密度來看，TAICON 比 OPC 大自屬合理，因配比中，水空間被膠結料取代之故。柱下方密度均較上方大，TAICON 比 OPC 更明顯。因拆模後，柱即平躺養護，重力壓實的機會不大，較有可能是初凝前粗骨材沈降。從 E_c 來看，OPC 柱表現皆小於 TAICON 柱，與 OPC 柱密度較小有直接關係。從 E_c 與 f'_c 來看，設

280kgf/cm²，但 TAICON 之 f'_c 變異太大，顯然預拌廠對中強度 TAICON 品質控制能力仍不穩定，品質上下差異大並非好事。若代 f'_c 進入 ACI 之 $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$ 公式 (kgf/cm²)，發現 TAICON 之 E_c 實測值比 OPC 之 E_c 實測值更低於公式計算值。此因 HPC 粗骨材少，進行抗壓試驗時，彈性段變形量大，導致相對過低的 E_c 值。將兩支柱均計算 E_c/E_d 值，結果在 0.5 到 0.6 間變化，破壞試驗時，試體齡期 190 天。

2.3 實柱澆置試驗結果討論

帽樑 A、B、C，從密度來看 (表 3)，C 柱體密度，均較 A、B 高，歸咎於施工中，混凝土不落下，沒包陷額外空氣。A 和 B 比較，A 有振動的緣故，密度整體表現比 B 大。從抗壓強度來看，A 柱頂因振動， f'_c 大幅提昇，但若考慮整體均勻性，振不到之處， f'_c 表現又相對太差。

從 E_c 來看，C 柱變異性最小。根據 ACI 之 $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$ (kgf/cm²)，可求出此齡期時 (711 天)，本土試驗值 E_c 約等於於 ACI 公式計算值。將三支柱均計算 E_c/E_d 值，結果在 0.6 到 0.8 間變化。此結果與國外文獻相符，即齡期越久，或 E_c 越大，比值就越近 1。

帽樑在齡期 305 天時進行極限載重試驗後立即鑽心，試體進養護室養護。進行破壞試驗時，柱鑽心試體齡期 711 天。

四、結論

1. 流速快，拖曳力大：根據試驗結果顯示，鋼筋籠、模板及底模均在流速增快時受力增大，流速變慢時受力減小。流速與柱斷面大小及泵送機單位時間推送量有關。若斷面有特別狹窄處，如橫膈板或其他裝置，將造成拖曳力增加。泵送機單位時間推送量大者，拖曳力大。

2. 坍損後，拖曳力增大：坍損造成泵送啟動困難，柱內部分混凝土失去流動性，柱流有效斷面積減少。由柱底澆置基本試驗結果顯示，第 2 分鐘和第 29 分鐘相比，坍度由 21cm 降至不足 15cm，後者鋼筋籠上揚力增加 10%，底模壓應力增加 17%，模

板上揚力增加 100%。

3. 箍筋量大，鋼筋籠上揚力大：箍筋與繫筋所在位置，減少該位置柱流有效面積。倘箍筋量大，則整支柱處處流動斷面積減少，直接導致上揚力增大。主筋引發的拖曳力比箍筋小，因為在流場中，主筋更具「流線型」。

4. 保護層小，模板上揚力大：狹窄斷面處容易妨礙流動，缺乏觸變性 (Thixotropy) 的刺激下，造成的惡果就是率先硬化，將原先表面拖曳機制轉為互鎖作用控制上揚力，互鎖作用隨水化反應逐漸增強，上揚力因此增大。

5. TAICON 對鋼筋籠上揚力大，OPC 對模板上揚力大：漿體的黏稠度控制鋼筋籠的上揚力，在柱流流場中，因 TAICON 黏稠度較大，故拖曳鋼筋籠的力量較大。但對 OPC，其過量的粗骨材在保護層擠軋、卡阻、破壞潤滑層，對模板摩擦阻力因而增大。

6. 二次添加 SP，存在一「臨界時機」：在本試驗條件下，即將坍損的混凝土欲二次添加 SP 存在一「臨界時機」 (Critical Moment)，過此臨界時機，二次添加 SP 效果便打折扣，甚至無效。不論 20、28、36℃，在臨界時間內添加 0.1% SP，添加後流動性持續擴大，於添加後 20 分鐘達最佳點，於添加後 60~80 分鐘再度坍損。

7. 多次添加 SP，效果宛如「吸毒」：在試驗中發現，第二次、第三次添加 SP，再度坍損的發生時間愈來愈短，此因水化反應持續進行，未水化的水泥分子愈來愈少，強塑劑的靜電排斥 (Electrostatic Repulsion)、立體障礙 (Steric Hindrance) 對流動性的幫助愈來愈小。想要回復一樣的流動性，要加更多 SP。如果只加同劑量 SP，效果一次比一次差。

8. 逆打有助於表面完整、 E_c 均勻性之提升：由本試驗的結果證明，不論泵送材料，逆打柱表均無蜂窩。對於柱底死角，高流動性混凝土比傳統混凝土，更能確實填充。雖然逆打柱的柱底 E_c 較柱頂大，但與順打柱比較，逆打柱 E_c 的變異係數較小。在比較同時發現，ACI 公式 $E_c = 15100\sqrt{f'_c}$ (kgf/cm²) 之適用性與齡期

有關，公式中卻無齡期因子。

9. 振動能大幅改善 f'_c 與 E_c 。

由試驗資料顯示，經過振動的柱頂， f'_c 與 E_c 均顯著提高，也因為提得過高，振過柱體的變異係數均較未振動的柱體大。

五、參考文獻

- 1] 陳俊宇(高健章指導)，「高性能混凝土流動特性受溫度之影響」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，民國 86 年 6 月
- 2] Peurifoy, Formwork for concrete structures, 2nd edi., McGraw-Hill Inc., (1976), pp.17
- 3] Hurd, M.K., Formwork for Concrete, 5th edi., American Concrete Institute Publication, Detroit,(1989) , pp.5-10 - 5-14
- 4] Ricouard, M. J. Formwork for concrete

construction, English edi., The Macmillan Press Ltd., (1982), pp.9-10

- [5] 蕭景槐(高健章指導)，「高性能混凝土流動性之研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，民國 85 年 6 月
- [6] 高健章、張阿本、黃木源等，「高性能混凝土流動特性及其施工管理之研究」，內政部建築研究所籌備處專題研究計畫成果報告，民國 84 年 8 月
- [7] 關兆良(高健章指導)，「高性能混凝土由模底灌注之基本研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，民國 87 年 6 月
- [8] 廖健堯(高健章指導)，「中強度 HPC 特性實驗與柱底灌漿初步實驗」，碩士論文，國立台灣大學土木工程研究所，民國 88 年 6 月

表 1 循環逆打試驗結果

時間(Time)	壓送速率 (Stroke/min)	鋼筋籠上 揚力(kgf)	模板上揚力 (kgf)	底模壓應力 (kgf/cm ²)
2 分	13.5	1090	200	1.30
6 分	9.0	880	90	1.20
11 分 40 秒	13.5	1000	125	1.30
15 分	13.5	1100	190	1.40
21 分	17	1150	300	1.45
29 分	13.5	1180	400	1.52

表 2 OPC 柱與 HPC 柱鑽心試體密度與 E_d 值

Elevation Percent	Sample NO.	ρ g/cm ³	E_d kgf/cm ²	f_{cr} kgf/cm ²	E_c kgf/cm ²	E_c/E_d	E_c/E_{ACI}
91%	H1	2.33	438000	283	243000	0.55	0.95
79%	H2	2.34	443000	416	237000	0.53	0.77
57%	H3	2.37	441000	453	269000	0.61	0.84
36%	H4	2.36	453000	481	270000	0.59	0.81
14%	H5	2.38	450000	513	270000	0.60	0.79
---	Average	2.35	445000	429	258000	---	---
---	C.O.V.	0.87%	1.5%	20.7%	6.4%	---	---
91%	O1	2.33	411000	272	241000	0.59	0.97
79%	O2	2.33	407000	296	243000	0.60	0.94
57%	O3	2.34	420000	320	244000	0.58	0.90
36%	O4	2.33	409000	350	252000	0.62	0.89
14%	O5	2.35	434000	412	264000	0.61	0.86
---	Average	2.34	416000	330	249000	---	---
---	C.O.V.	0.49%	2.7%	16.5%	3.8%	---	---

Column Height = 350 cm

Elevation Percent = Sample Elevation / Column Height

H means HPC. O means OPC.

$$\nu_d = 0.18 \quad E_{ACI} = 15100\sqrt{f'_c} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

表 3 帽樑柱體力學性質相對比較表

---	---	A 柱體	B 柱體	C 柱體	---	A 柱體	B 柱體	C 柱體	
ρ	上層	99	99	100	f_{cr}	100	95	100	
	中層	99	98	100		85	95	87	
	下層	99	99	100		92	106	100	
	Average (g/cm ³)	2.35	2.33	2.36		Average (kgf/cm ²)	453	488	475
	C.O.V.	0.6%	0.6%	1.2%		C.O.V.	12.8	6.3	10.9
E_d	上層	97	98	90	E_c	104	98	99	
	中層	95	90	88		97	94	98	
	下層	92	98	100		97	100	100	
	Average (kgf/cm ²)	439000	440000	455000		Average (kgf/cm ²)	32300	314000	318000
	C.O.V.	5.3%	5.5%	3.0%		C.O.V.	10.4%	7.55	7.0%

雙線內數據以 C 住下層爲 100 做比較基準。Average 和 C.O.V.由該柱體全部鑽心試體計算得。A 柱體順打，柱頂振動擣實。B 柱體順打，不振動。C 柱體逆打，不振動。

雙線內數據以 C 柱下層為 100 做比較基準。Average 和 C.O.V. 由該柱體全部鑽心試體計算得。A 柱體順打，柱頂振動擣實。B 柱體順打，不振動。C 柱體逆打，不振動。

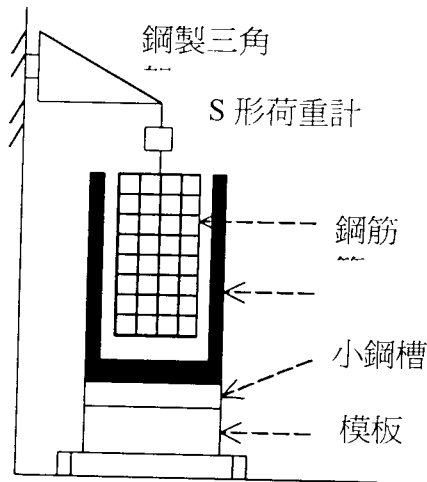


圖 1 循環逆打裝置示意圖

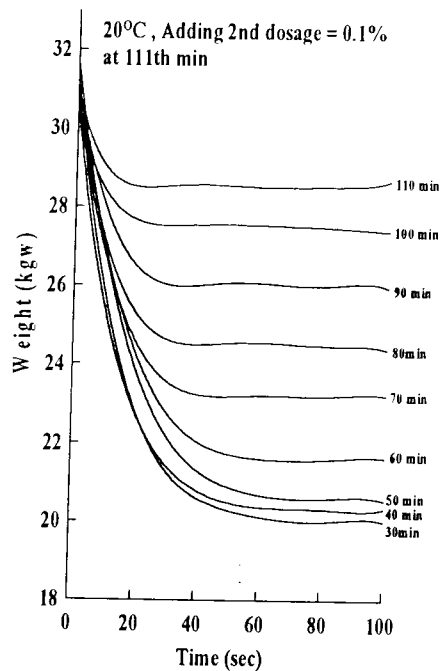


圖 2 荷重計重量變化圖

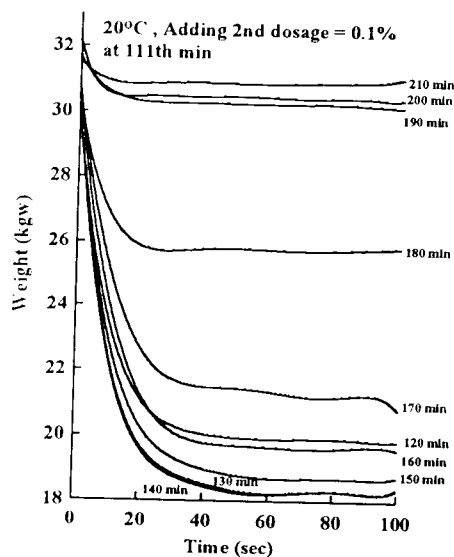


圖 3 荷重計重量變化圖（續）

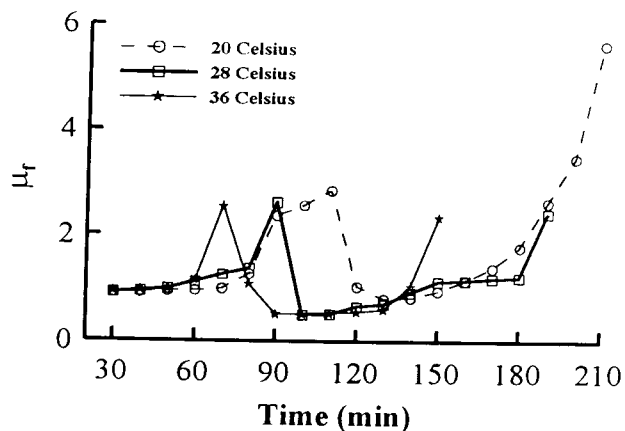


圖 4 塑性黏度指標歷時圖

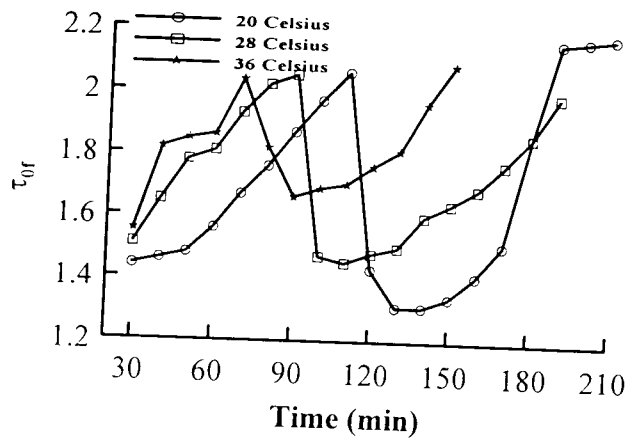


圖 5 降伏應力指標歷時圖

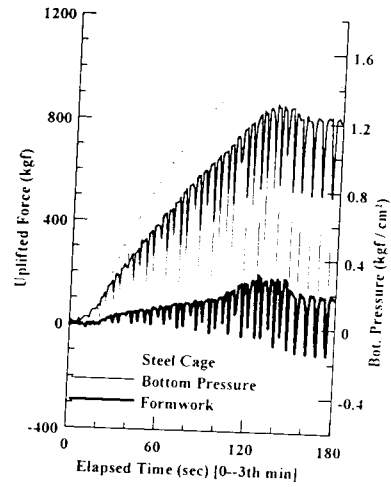


圖 6 上揚力、壓應力變化圖

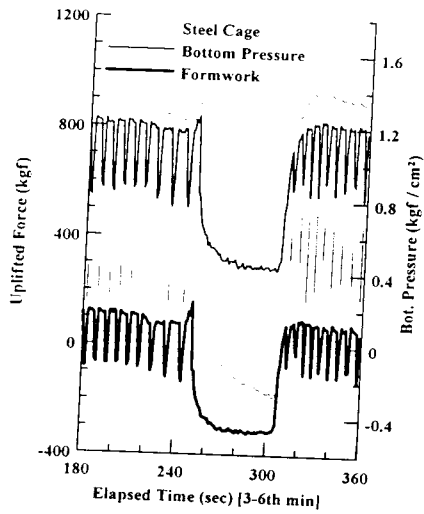


圖 7 上揚力、壓應力變化圖

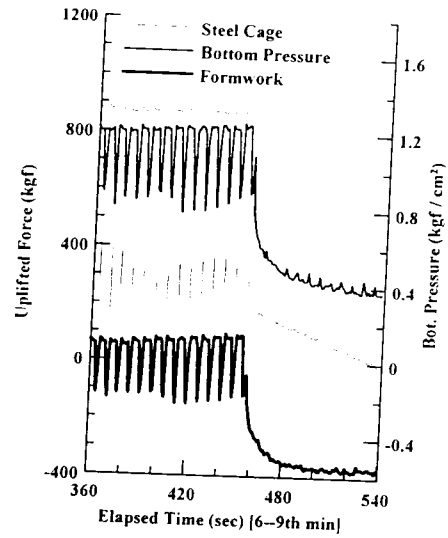


圖 8 上揚力、壓應力變化圖