

國立交通大學

工學院專班營建技術與管理組

碩士論文

地下連續壁採用自充填混凝土施工之實務面探討
【以臺北市內湖區市民運動中心新建統包工程為例】



The Application of Self-Compacting Concrete to
Underground Diaphragm Wall [Take the Project of
Neihu district's public sport center, Taipei as example]

研究生：馮天明

指導教授：趙文成 博士

中華民國九十六年七月

地下連續壁採用自充填混凝土施工之實務面探討
【以臺北市內湖區市民運動中心新建統包工程為例】

The Application of Self-Compacting Concrete to
Underground Diaphragm Wall [Take the Project of
Neihu district's public sport center, Taipei as example]

研究生：馮天明

Student : Tien-Ming Feng

指導教授：趙文成 博士

Advisor : Dr. Wen- Chen Jau



A Thesis

Master Degree Program of Construction Technology and Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Program of Construction Technology and Management

July 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十六 年 七 月

地下連續壁採用自充填混凝土施工之實務面探討 【以臺北市內湖區市民運動中心新建統包工程為例】

研究生：馮天明

指導教授：趙文成 博士

國立交通大學工學院碩士專班營建技術與管理組

摘 要

隨著科技日新月異，工程材料及工法亦隨著推陳更新，期望獲得更優良的施工性、工程品質及最大利益。目前國內土木工程推廣自充填混凝土(Self-Compacting Concrete 簡稱 SCC)已有初步成效，然而地下連續壁則較少採用；茲針對本工程連續壁採用 SCC 澆築過程與結果彙整統計及比對，期望對爾後類似工程提供參考價值。

本研究除對 SCC 單一強度配比之基本試驗(抗壓強度、抗彎強度、劈裂抗張強度、乾縮和潛變及握裹力等)外，主要探討 SCC 澆置於地下連續壁過程的問題(施工性、品質管理等)及開挖後的壁體變形、強度檢測、壁體表面平整度、公母單元界面滲水檢測以及成本比較等，期以實務面作一序列檢測及紀錄，以建立相關數值資料供參。

關鍵字：自充填混凝土、地下連續壁

The Application of Self-Compacting Concrete to Underground Diaphragm Wall [Take the Project of Neihu district's public sport center, Taipei as example]

Student : Tien-Ming Feng

Advisor : Dr. Wen- Chen Jau

Master Degree Program of Construction Technology and Management College
of Engineering
National Chiao Tung University.

Abstract

Similar to the development of technology, materials and construction methods of civil engineering have also become innovative. Because of this, engineers have obtained better workability, quality of construction and benefits. At present, domestic civil and architectural engineering promote the use of Self-Compacting Concrete (SCC) and seem to be very successful. However, SCC seems to be used less in underground diaphragm walls. Therefore, in our project, we use SCC in underground diaphragm walls and show the pouring process and the results of collections and the comparison analysis. We hope to provide valuable references for similar projects.

In addition to the basic tests of strength and mixture of SCC, (such as the strength of compression, bending and splitting, and the characteristics of shrinkage, creep and bonding), this study mainly discusses several problems of the process of pouring SCC into underground diaphragm walls, (such as workability and the quality management), wall deformation after digging, strength detection, leaking examination of diaphragm wall units and cost comparison. By providing a series of examinations and records, we hope to develop the related practical data for reference.

Key Words : SCC 、 Diaphragm Wall

誌 謝

在職場上努力工作了數十寒暑，有幸重回學校充電學習新知，特別感謝恩師 趙文成博士，兩年多來提供理論與實務上的指導，得以順利完成本論文。

記得在數年前趙文成老師在臺北市府工務局新建工程處莊武雄處長邀請演講「自充填混凝土」相關議題，獲得處內同仁熱烈回響；在此非常敬佩莊前處長武雄的遠見與魄力，在市府公共工程率先採用自充填混凝土，更創新使用於地下連續壁工程，本論文即以該工程為研究背景；寫作期間特別感謝皇昌營造公司陳世澤經理、連家佑副理全力配合提供場地、人力及材料試驗等資源，另外非常感謝和昌預拌混凝土廠黃皇都主任、中華顧問工程司材料試驗室陳裕新主任、富國技術工程公司鄺興邦副董事長、王大慶工程師、偉銓營造公司羅員霖總工程師、偉大建設公司謝金珍主任及新工處李四川處長及長官、陳益鴻學長以及提供資料之工程前輩們之鼎力相助及專業技術指導，謹致衷心感謝。

論文審查口試期間承蒙海洋大學黃 然教授、張建智教授、交通大學林昌佑教授及中國科技大學蔡得時教授，對論文提供許多精闢的建議與見解，使學生獲得更深層的理论與實務內涵，衷心感謝。

最後感謝我摯愛的家人明琪、晨甄、承澤及兄姊們的關懷體恤，以及所有朋友、同事的支持陪伴與鼓勵，得以順利完成本論文，亦對我個人而言留下一頁色彩最豐富的人生旅程；再一次衷心感謝大家。

馮 天 明

謹誌於國立交通大學工學院 2007.07

目 錄

中文摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	viii
圖目錄	x
照片目錄	xi
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究範圍與方法	1
第二章 文獻回顧	3
2.1 SCC 概述	3
2.2 SCC 工作性能測試	5
2.2.1 混凝土相關準則	5
2.2.2 混凝土管制水準評估	6
2.2.3 自充填混凝土之工作性試驗	11
2.2.4 自充填混凝土產製	11
2.3 地下連續壁工程	13
2.3.1 優點	15
2.3.2 缺點	15
2.3.3 問題探討	16
2.4 施工品質三級品管制度	17
2.5 契約與規範	18

第三章 案例研究計劃與內容	19
3.1 SCC 單一強度配比工地工作性能測試	19
3.1.1 坍流度試驗	19
3.1.2 V 型漏斗流出試驗	20
3.1.3 箱型充填試驗	22
3.2 SCC 單一強度配比基本力學性質試驗	23
3.2.1 抗壓強度試驗	23
3.2.2 抗彎強度試驗	24
3.2.3 劈裂強度試驗	25
3.2.4 握裹力試驗	25
3.2.5 乾縮試驗	27
3.2.6 潛變試驗	28
3.3 SCC 澆置時間分析	29
3.4 連續壁體監測	29
3.5 連續壁體非破壞性試驗—反彈錘試驗	32
3.6 其他案例比較	33
3.6.1 工時成本分析比較	34
3.6.2 完成面平整度分析比較	35
3.6.3 滲水情形分析比較	35
第四章 案例施工實務探討	36
4.1 案例工程簡介	36
4.1.1 工程概述	36
4.1.2 地下連續壁工程概述	37
4.1.3 基地地質概述	37



4.1.4	連續壁工程施工流程	38
4.2	SCC 單一強度配比試拌	41
4.3	地下連續壁相關計劃書	43
4.3.1	品質計劃書	44
4.3.2	施工計劃書	45
4.3.3	監測計畫	46
4.4	地下連續壁 SCC 施工問題與處置	48
4.4.1	母單元端版設計	48
4.4.2	母單元鋼筋籠側面帆布設置	48
4.4.3	母單元端版外側背回填碎石設置	49
4.4.4	漏漿問題	50
4.4.5	坍孔問題	51
4.5	施工品質一級自主檢查	52
4.5.1	穩定液檢查	53
4.5.2	鋼筋籠檢查	58
4.5.3	壁體超音波檢查	62
4.5.4	SCC 預拌混凝土澆置記錄	64
第五章 研究結果與討論		68
5.1	SCC 單一強度配比工地工作性能測試	68
5.2	SCC 單一強度配比基本力學性質試驗	69
5.2.1	抗壓強度試驗結果	69
5.2.2	抗彎強度試驗	73
5.2.3	劈裂強度試驗	75
5.2.4	握裹力試驗	76
5.2.5	乾縮試驗	78

5.2.6	潛變試驗	82
5.3	澆置時間分析與結果	85
5.3.1	SCC 澆置時間分析	85
5.3.2	一般混凝土澆置時間分析	86
5.4	連續壁體監測	91
5.5	連續壁體非破壞性試驗—反彈錘試驗結果	93
5.6	其他案例比較分析結果	97
5.6.1	工時成本分析比較	97
5.6.2	完成面平整度	102
5.6.3	滲水情形分析比較	105
5.7	連續壁採 SCC 澆築之品質管理	112
第六章	結論與建議	116
6.1	結論	116
6.2	建議	118
	參考文獻	120



表目錄

表 2-1	ACI 214R-02 混凝土管制水準評估準則	10
表 2-2	計量許可差	12
表 3-1	三案工程地下連續壁工程比較表	34
表 4-1	鑽探深度內土層分佈情況簡表	38
表 4-2	SCC 粗粒料使用量之參考值	41
表 4-3	SCC 相關性能要求之參考值	42
表 4-4	SCC 配比表	42
表 4-5	其他工程案例 SCC 配比表	43
表 4-6	分項施工計畫管制表	46
表 4-7	觀測儀器項目數量表	47
表 4-8	常見連續壁開挖面崩坍(坍孔)施工事故防範及處置	52
表 4-9	地下連續壁檢查項目表	53
表 4-10	超泥漿檢驗標準表	56
表 4-11	穩定液(超泥漿)檢測自主檢查表	56
表 4-12	鋼筋籠施工自主檢查表	60
表 4-13	壁體超音波檢測自主檢查表	63
表 4-14	SCC 預拌混凝土工地現場澆置記錄表	65
表 4-15	SCC 混凝土品質控制表	66
表 5-1	工地取樣 SCC 充填能力等級—R1	69
表 5-2	各單元 28 天圓柱試體抗壓強度統計表	70
表 5-3	不同期齡的圓柱試體抗壓強度統計表	72
表 5-4	與其他文獻 SCC 各齡期抗壓強度與 28 天抗壓強度比較表	73
表 5-5	SCC 抗彎強度統計表	74
表 5-6	SCC 劈裂抗張強度統計表	76

表 5-7	SCC 握裹強度統計表	78
表 5-8	乾縮量統計表	80
表 5-9	參考文獻乾縮量比較表	80
表 5-10	潛變量統計表	83
表 5-11	參考文獻潛變量比較表	84
表 5-12	案例工程每單元澆置時間記錄統計表	88
表 5-13	參考甲案工程部分單元澆置時間記錄統計表	89
表 5-14	參考乙案工程部分單元澆置時間記錄統計表	90
表 5-15	傾斜儀觀測管安全監測管理值及對應狀況處理措施表	92
表 5-16	各施工階段傾度管最大側向位移及發生位置統計表	92
表 5-17	測試 56 天齡期之反彈鎚試驗強度統計表	95
表 5-18	測試 91 天齡期之反彈鎚試驗強度統計表	96
表 5-19	案例工程每 m^3 混凝土材料成本比較表	100
表 5-20	案例工程每一母單元施工成本比較表	101
表 5-21	參考甲案工程每 m^3 混凝土材料成本比較表	101
表 5-22	三案工程連續壁規模比較表	107
表 5-23	案例工程單元壁面滲水程度統計表	107
表 5-24	參考甲案工程單元壁面滲水程度統計表	107
表 5-25	參考乙案工程單元壁面滲水程度統計表	108
表 5-26	地下連續壁採用 SCC 與一般混凝土之優缺點比較表	111
表 5-27	地下連續壁 SCC 現場澆置記錄表	113
表 5-28	SCC 進場品質管制記錄表	114
表 5-29	SCC 圓柱試體 28 天抗壓強度統計表	115

圖目錄

圖 3-1	SCC 試驗用坍流度儀	20
圖 3-2	SCC 試驗用 V 型漏斗	21
圖 3-3	SCC 試驗用箱型槽	22
圖 3-4	間隙通過試驗充填高度示意圖	22
圖 3-5	連續壁體內之傾度儀觀測管裝置示意圖	31
圖 4-1	連續壁工程施工流程圖	39
圖 4-2	母單元超音波測試位置示意圖	63
圖 4-3	公單元超音波測試位置示意圖	63
圖 4-4	第 31 單元連續壁 SCC 現場澆置曲線圖	67
圖 5-1	每單元平均抗壓強度平均值曲線圖	70
圖 5-2	不同期齡的圓柱試體抗壓強度平均值曲線圖	72
圖 5-3	不同齡期之各組平均乾縮量曲線圖	81
圖 5-4	各組平均乾縮量與參考文獻乾縮量曲線圖	81
圖 5-5	不同齡期之各組平均潛變量曲線圖	84
圖 5-6	各組平均潛變量與參考文獻比較潛變量曲線圖	85
圖 5-7	56 天齡期之反彈錘試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較圖	95
圖 5-8	91 天齡期之反彈錘試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較圖	96
圖 5-9	預留鋼筋周圍滲水處理方法	110
圖 5-10	壁面裂縫滲水處理方式	110

照片目錄

照片 3-1	坍流度儀及裝填 SCC	20
照片 3-2	坍流度試驗-量測坍流度	20
照片 3-3	V 型試驗-鋼製 V 型漏斗儀器及試驗	21
照片 3-4	箱型槽試驗-器具	22
照片 3-5	箱型槽試驗-量測 B 槽之高度及時間	22
照片 3-6	抗彎強度試驗-長條矩形試體	24
照片 3-7	抗彎強度試驗-中心點載重法	24
照片 3-8	抗彎強度試驗-試體破裂情形	25
照片 3-9	抗張強度檢驗裝置	25
照片 3-10	抗張強度試驗-試體破裂情形	25
照片 3-11	拉拔試驗-試體模具	26
照片 3-12	拉拔試驗儀器	27
照片 3-13	拉拔試驗-試體破裂情形	27
照片 3-14	乾縮試驗-長條矩形試體模具	28
照片 3-15	乾縮試驗-長度比較測微器	28
照片 3-16	潛變試驗-彈簧基座潛變架	28
照片 3-17	潛變試驗-加預載力儀器	28
照片 3-18	反彈錘試驗-混凝土強度錘	33
照片 4-1	連續壁工程相關施工照片	40
照片 4-2	端版凹型鋼板	48
照片 4-3	端板接縫應滿焊	48
照片 4-4	母單元帆布裝置	49
照片 4-5	SCC 漏漿之狀態	51
照片 4-6	坍孔造成牆面不平整	51

照片 4-7	黏滯度檢測	57
照片 4-8	比重檢測	57
照片 4-9	pH 值檢測	57
照片 4-10	含砂量檢測	57
照片 4-11	鋼筋籠施工相關照片	61
照片 4-12	超音波孔壁測定儀	64
照片 4-13	測定結果	64
照片 5-1	案例工程局部呈現參雜石粒、泥漿流失現象	103
照片 5-2	案例工程塑膠帆布當壁面時則呈現非常光滑平整之表面	103
照片 5-3	參考甲案工程 SCC 壁體表面	104
照片 5-4	參考乙案工程一般水中混凝土壁體表面	104
照片 5-5	參考甲案工程 SCC 與一般水中混凝土壁體表面	104
照片 5-6	一般地下室以複壁方式處理，可以導水且牆面平整美觀	104
照片 5-7	參考甲案工程 SCC 與一般水中混凝土壁體粒料分佈情形	105
照片 5-8	壁面包泥造成滲水	110
照片 5-9	預留鋼筋周圍滲水	110
照片 5-10	壁面裂縫滲水	111
照片 5-11	公母單元交界面滲水	111

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

SCC 具有高流動性、免搗實、耐久性亦佳，粒料分布均勻、上下層品質一致之特色，澆置過程中完全藉由自身流動充填至鋼筋間隙及模板之各角落，將可大幅提昇工程品質。引進國內已有初步成果，然而在臺北市政府新建工程處承辦之公共工程尚無先例，追究原因不外是業主、設計單位、監造單位、承包廠商及預拌混凝土廠商對 SCC 缺乏實務經驗與配套措施，恐致失敗與財務損失而裹足不前。

任何優良產品仍有待各單位積極推廣實踐，新工處在莊前處長武雄任內即積極推廣 SCC 運用於承辦之公共工程，除邀請專家學者辦理講習，並擇數案工程率先採用 SCC，更運用於地下連續壁工程；鑒於傳統混凝土施做之連續壁常發生滲水問題，故藉此難得機會探討 SCC 運用於地下連續壁工程之實務面，檢視 SCC 施工成果，建立資料以資後續工程施工參考。

1.2 研究範圍與方法

傳統地下連續壁工程施工經驗已相當豐富，然而採用 SCC 材料施做之工程尚屈指可數，故針對案例工程之 SCC 地下連續壁體性質及施工性，以現場試驗與施工成果分析比較方式，大致分下列四項研究探討並佐以表格及照片說明之。

- (1) SCC 單一設計強度基本性質：探討 SCC 在單一設計強度下不同齡期之抗壓強度、抗彎強度、抗張強度、乾縮、潛變及握裹力等試驗方式與結果以及壁體反彈錘強度試驗結果等數值記錄與照片說明。
- (2) SCC 連續壁開挖階段之壁體行為：本研究案例工程因連續壁係採用 SCC 澆築有別於一般水中混凝土澆置之工程，故本計畫僅針對連續壁之變形及傾斜觀測部分進行觀測，以記錄壁體於各階段開挖過程中之變形情

形，供爾後工程設計之參考。

- (3) 連續壁施工成果比較：以案例工程為主軸，並比較參考甲案及參考乙案，針對澆置時間分析比較、工時成本分析比較、完成面平整度及滲水情形分析比較。
- (4) 連續壁 SCC 施工實務探討：案例工程簡介、SCC 單一強度配比試拌、地下連續壁相關計畫書（施工計畫書、品質計畫書、監測計畫等）、地下連續壁 SCC 施工問題與處置（漏漿、坍孔、母單元端版設計、側面帆布設置、端版外側背回填碎石設置等）、施工品質一級自主檢查（穩定液檢查、壁體超音坡檢查、鋼筋籠檢查、SCC 預拌混凝土澆置記錄等）。



第二章 文獻回顧

本章主要參考相關文獻，概述 SCC 的緣起、發展及相關準則，並針對地下連續壁工程的緣起、發展及相關優缺點等問題簡要介紹，另外對地下連續壁工程施工過程的品質管制及契約規範簡要說明，以為本論文後續研究之方向指引。

2.1 SCC 概述

自充填混凝土(Self-compacting Concrete，以下簡稱 SCC)，依據行政院公共工程委員會於民國 91 年 6 月完成「自充填混凝土」(第 03315 章)之施工綱要規範定義為係指具有「澆置過程不需施加任何振動搗實，完全藉由自身流動性與充填性能填充至鋼筋間隙及模板之各角落」能力之混凝土。適用於因(1)需要自充填性(2)不適合振動搗實(3)單位時間澆置量大等之工程【1】。

SCC 之發展歷程，1986 年由日本東京大學研發，由岡村甫(Okamura)首次提出 SCC 解決了混凝土結構缺乏耐久性及逐漸減少工人的問題【2】，Ozawa 又在 1988 年成功完成第一個原始 SCC 配比型式，並在 1997 年實際應用於明石(Akashi-Kaikyo)海峽大橋【3】及地上液化天然瓦斯儲架槽等大型結構物。在其他國家如瑞典之 NCC 營造、水泥混凝土研究院、法國 GTM 營造、國家橋梁道路中央研究院、泰國、南韓等，均已積極參與開發及引用，且在應用實績上均已得良好評價【4】。約於 1988 年實際應用在工程上，至 1997 年可說在技術面已達到成熟地步，1998 年日本土木學會頒布自充填混凝土規範。

1998 年引入國內工程界，推廣至 2000 年以後已有可觀的成功實務案例，例如國工局中二高烏日穿越橋(上部結構) (1999)、南投縣府中心辦公

大樓 (2001)、永樂國小之 921 重建工程 (2001)、台北國際金融中心(柱內充填灌漿) (2001)、長庚復建醫院 (2001)、宏碁資訊中心 (2002)、國道六號 (基樁) (2004)、鐵工局南港地下化工程 (2004)、台大兒童醫院 (2004~2005)、高雄捷運工程 (2004~) 等等【5】，目前政府仍續積極推廣，如台灣營建研究院為推廣自充填混凝土，結合國內產官學界之專家，共同組成 SCC 工作小組，針對工程主管單位、顧問公司、營造廠、預拌廠提出專案輔導計畫，行政院公共工程委員會制定 SCC 之施工綱要規範以及經濟部標準檢驗局頒定 SCC 相關試驗法之國家標準(CNS)，另外如臺北市政府工務局新建工程處興建中之內湖區市民運動中心新建統包工程 (地下連續壁)、廢鐵道廣場附建地下停車場新建統包工程等。

SCC 之特色，由於粉體材料托住粗、細粒料，所有組成材料皆懸浮於拌合水中，稠度高、不析離、表面保水性佳，粒料分佈均勻層間品質均一，粗粒料間摩擦力降至最低，使 SCC 達到高流動性具有自充填的能力，自行填充至鋼筋間隙及模板之各角落，則施工免振動搗實，適用於結構型式複雜、搗實非常困難或使用巨積混凝土之結構體，由於充填密實，拆模後表面平整，有效避免產生蜂窩現象，延長模板壽命，減少搗實、修補之人力及物力，縮短工期，更提昇結構之可靠性、耐久性及工程品質，減少工地噪音，合乎環保要求，達到混凝土施工自動化、合理化。文獻將 SCC 之工程效益歸納為下列五項：

- (1) 用於混凝土搗實非常困難之結構體。
- (2) 混凝土充填密實，可有效提昇結構之可靠性。
- (3) 用於巨積混凝土，以減少勞力，縮短工期。
- (4) 減少工地噪音，合乎環保要求。
- (5) 達到混凝土施工自動化、合理化。

為求達到 SCC 的特性，其混凝土本身必須提升流動性及充填能力，所以 SCC 將粗粒料用量減少，約為傳統混凝土之 85~90%，且提高粉體量，

並增加強塑劑用量至臨界析離狀態，而為避免高流動性造成之析離，SCC 大量使用飛灰、爐石粉等礦物摻料，以增加漿體比重及稠度【6】。

2.2 SCC 工作性能測試相關準則

2.2.1 混凝土相關準則

有關 SCC 基本之材料規範仍依一般混凝土相關準則辦理，茲將本研究案相關試驗規範及工程契約之施工規範第 03315 章內訂有關之中國國家標準(CNS)表列如下：

- (1) CNS 14840 自充填混凝土障礙通過性試驗法 (U 型或箱型法)
- (2) CNS 14841 自充填混凝土流下性試驗法 (漏斗法)
- (3) CNS 14842 高流動性混凝土坍流度試驗法
- (4) CNS 61 卜特蘭水泥
- (5) CNS 1174 新拌混凝土取樣法
- (6) CNS 1176 混凝土坍度試驗法
- (7) CNS 1230 混凝土試體在試驗室模製及養護法
- (8) CNS 1231 工地混凝土試體之製作及養護法
- (9) CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法
- (10) CNS 1237 混凝土拌和用水試驗法
- (11) CNS 1240 混凝土粒料
- (12) CNS 3036 卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或鍛燒卜作嵐攪和物
- (13) CNS 3090 預拌混凝土
- (14) CNS 3654 卜特蘭高爐水泥
- (15) CNS 9661 新拌混凝土空氣含量試驗法(壓力法)
- (16) CNS 9662 新拌混凝土空氣含量試驗法(容積法)
- (17) CNS 11151 混凝土單位重、拌和體積及含氣量(比重)試驗法

- (18) CNS 11270 卜特蘭飛灰水泥
- (19) CNS 12549 混凝土及水泥壘料用水淬高爐渣粉
- (20) CNS 12833 流動化混凝土用化學摻料
- (21) CNS 12891 混凝土配比設計準則
- (22) CNS 13407 細粒料中水溶性氯離子含量試驗法
- (23) CNS 13465 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
- (24) CNS 13961 混凝土拌和用水
- (25) CNS 1234 混凝土抗彎強度試驗法—中心點載重法
- (26) CNS 3801 混凝土圓柱試體抗張強度檢驗法
- (27) CNS11152 根據鋼筋混凝土握裹力比較混凝土性能試驗法
- (28) CNS 1236 水泥砂漿及混凝土的體積變化檢驗法
- (29) CNS 1238 鑽心試驗
- (30) CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法
- (31) ASTM C512-87 潛變試驗



2.2.2 混凝土管制水準評估

(1) 工程品質之集中趨勢與離散程度概述

在相同條件下所生產或施工之工程品質特性，大都會出現在某一中心值附近，離開中心值越遠，出現機率越少，這種現象稱「集中趨勢」，工程品質管上常用平均數（亦稱平均值）表示該中心值【7】。

工程品質必有若干程度之不均勻性，以平均數為中心，上下分布，其散佈之寬窄稱「離散程度」，品質越不均勻，離散程度越明顯。工程品質管上常以標準差、變異係數及全距等來表示離散程度。

(2) 平均數 (\bar{x})

統計上有數種平均數，通常未特別指明時，平均數(mean)係指算術

平均數(arithmetic mean)，亦稱之為平均值。平均數(\bar{x})係由樣本數據求得，稱為「樣本平均數」，一般簡稱「平均數」。

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中， \bar{x} = 平均數

x_i = 數據個別值， $i = 1 \sim n$

n = 樣本大小(數據個數)

而母體中所有數的平均數稱之「母體平均數」以 μ 表示，母體平均數以 (1) 式計算，式中 N 為母體之總個數，其餘符號之定義與 (1) 式相同。

$$\mu = \frac{1}{N}(x_1 + x_2 + \dots + x_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

工程實務上，甚少作 100% 檢驗，故通常母體平均數(μ)為未知值，必須採用抽樣檢驗，計算樣本平均數，再利用樣本平均數估計母體平均數。工程品管上也常取連續若干數之移動平均數 (\bar{x}_m)，以顯示品質之變動趨勢。所謂「移動平均數」係由第一個數開始，連續取幾個數之平均數，然後逐次往下推進一數，每前進一數同時放棄最後一數。

(3) 標準差 (S)

標準差(standard deviation)用於表示資料之離散程度，若由母體中抽取 n 個樣本，其值分別為 x_1, x_2, \dots, x_n ，其樣本標準差計算如下：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中， S = 樣本標準差（單位與個別值相同）

x_i = 數據個別值， $i = 1 \sim n$

\bar{x} = 平均數

n = 樣本大小（數據個數）

標準差（ S ）係由樣本數據求得，完整名稱為「樣本標準差」，一般簡稱「標準差」。若測得母體中之每一個別值，則可據以計算母體標準差（ σ ）如下：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \dots\dots\dots (4)$$

式中， σ = 母體標準差（單位與個別值相同）

x_i = 數據個別值， $i = 1 \sim N$

μ = 母體平均數

N = 母體中之個體數（批量）

工程實務上，甚少作 100% 檢驗，母體標準差（ σ ）無法得知，而必須採用抽樣檢驗，計算樣本標準差（ s ），再利用樣本標準差估計母體標準差（ σ ）。

標準差用以表示一群數據之離散程度，標準差愈大表示各數據互相差異愈大，即表示品質愈不均勻。教育部公布【統計學名詞】及 CNS 2579 【品質管制詞彙】均將 standard deviation 譯為「標準差」，部份土木建築類 CNS 及社會人士則依日本用語稱「標準偏差」【7】。

統計分析雖可獲得客觀品質量化指標，但作業等級標準則賴人為制定，其制定應考慮生產能力及消費者滿意度，我國尚無正式之混凝土管制水準評估準則，依據 ACI 214R-02 之混凝土管制水準評估準則表如

【表 2-1】【8】，其評估準則亦為土木水利學會「混凝土工程施工規範」（土木 402-94）所引用。茲以上述各式計算混凝土試體試驗結果之標準差，對照表 2-1，即可判定該工程之混凝土品質均勻性屬何種等級。

(4) 變異係數 (V)

變異係數 (coefficient of variation) 為標準差對平均數之比值。工程品管上常以標準差或變異係數表示工程品質之不均勻性，其值愈大均表示愈不均勻。至於採用標準差或變異係數表示，需視所應用之情況下何者較能反應品質水準而定。標準差可視為離散程度之絕對值，而變異係數則為離散程度對平均數之相對值，若變異係數保持一定，平均數大者其相對應之標準差亦大。

依照 ACI 214R-02 建議用以評估混凝土均勻性之準則，分全面變異及組內變異兩部分，各分工地檢驗（適用於評估工程施工水準）及試驗室試拌（適用於評估試驗室作業水準）兩種標準，每種分 5 等級如【表 2-1】，其全面變異及組內變異說明如下：

- A. 全面變異 (overall variation)：為各次試驗結果之差異，以標準差表示，用於評估混凝土品質之均勻性。標準差愈大，表示混凝土品質愈不均勻，管制水準愈差，其值太大，應檢討改進混凝土製程。
- B. 組內變異 (within-test variation)：為同一次試驗中各試體強度間之差異，以變異係數表示，用於評估試驗之精密度 (precision)。其變異係由於各試體之製作、養治及試驗等差異而引起，組內變異與試驗操作及試驗儀器穩定性有關，組內變異係數大表示從取樣至試壓之過程不穩定，其值太大應檢討改進取樣至試驗之各階段作業。組內變異係數僅為同組試體強度間互相比較，為同一樣品之重複試驗間差異，與混凝土品質無關。

表 2-1 ACI 214R-02 混凝土管制水準評估準則

	全面變異 (overall variation)				
	標準差 , psi (kgf/cm ²)				
作業等級	最佳 Excellent	很好 Very Good	可以 Good	尚可 Fair	不良 Poor
工地	<400 (<28.1)	400-500 (28.1-35.2)	500-600 (35.2-42.2)	600-700 (42.2-49.2)	>700 (>49.2)
試驗室	<200 (<14.1)	200-250 (14.1-17.6)	250-300 (17.6-21.1)	300-350 (21.1-24.6)	>350 (>24.6)
	組內變異 (within-test variation)				
	變異係數 , %				
作業等級	最佳 Excellent	很好 Very Good	可以 Good	尚可 Fair	不良 Poor
工地	<3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	>6.0
試驗室	<2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	>5.0

註：本表僅適用於 $fc' \leq 350 \text{kgf/cm}^2$ ，若 $fc' > 350 \text{kgf/cm}^2$ 於 ACI 214R-02 另有標準。

(5) 全距 (\bar{R})

全距(range)為一組數據中最大值與最小值之相差，計算公式如全距亦用於表示數據之離散程度，其計算容易，日常生活及品管實務上常用以表示品質之離散程度，數據量少時 ($n \leq 10$)，採用全距較方便。

標準差和平均全距 (\bar{R} ，由數組資料分別計算全距，再取其平均數) 有相當良好的統計關係，在一組樣本數較少之情況下 ($n \leq 10$)，常以數組樣本之平均全距 (\bar{R}) 估計標準差，公式如下：

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} \dots\dots\dots (5)$$

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} \dots\dots\dots (6)$$

式中， R_i = 第 i 組之全距

k = 樣本組數，通常要求 $k \geq 10$ ，使推估結果較理想

s = 樣本標準差 (亦用於估計母體標準差)

d_2 = 統計係數， d_2 和每組之樣本大小(n)有關，若為計算
混凝土之組內標準差， n 即為一組試體之個數。

2.2.3 自充填混凝土之工作性試驗

高流動混凝土增強材料析離抵抗性的方法分為3種：

- (1) 使用增黏劑。
- (2) 採用多量的水泥高爐石粉及飛灰等微粉末粉體材料。
- (3) 使用多量的水泥高爐石粉及飛灰等微粉末粉體材料，同時併用增黏劑。通常比作推薦的(價)值，相對地高的水/水泥比例(0.43到0.45)的高強度混凝土混合設計的可行性這個考驗【9】。

自充填混凝土之工作性以坍流度表示之。設計坍流度值規定為55~75cm，工地檢驗時之坍流度值不得小於55cm及大於70cm。自充填混凝土之工作性除坍流度外，尚經間隙通過性試驗(箱型或U型填充高度試驗)，其填充高度應達30cm以上，經V型漏斗流下試驗，通過時間標準為7~20秒【10】，SCC相關性能要求之參考值如表4-3。

2.2.4 自充填混凝土產製

- (1) 混凝土拌和廠：此預拌廠資格審查首重合法性，廠商之設立是否符合法令規定，可要求提送下列證照加以判別【11】。
 - 1.經濟部核發的「公司執照」及「工廠(事業)登記證」。
 - 2.地方政府核發的「營利事業登記證」及「工廠使用執照」。
 - 3.預拌混凝土工業同業公會之會員證書。
 - 4.勞工保險證。
 - 5.納稅證明(含統一編號、稅籍編號及最近一期的繳稅紀錄)。
 - 6.查詢該廠商有無遭到其他工程單位的停權處分(例如目前可在行

政院公共工程委員之網站中查詢該供料商是否列名於「政府採購資訊公告系統」的拒絕往來廠商名單中)。

7.審核上述證照應注意該公司營業項目是否包含「預拌混凝土」，此外，對證照之有效期限及登記地址是否與現址相符亦應加以注意。廠商若提供證照之影本送審，應要求加蓋公司及負責人印鑑以示負責，以防不肖廠商塗改影印後送審，造成審核人員蒙受無謂的行政疏失。

(2) 配比廠(產)拌：依據設計需求強度選定配比後，須於混凝土預拌廠內進行廠(產)拌試驗，以確認採用此配比之混凝土在正式生產時，其品質均能符合規範之規定。

(3) 拌和廠：拌和廠之料倉、計量器、校正用標準砝碼、給水之計量設備等須符合 CNS 3090 之規定。水、水泥、粗細粒料、礦物摻料及化學摻料，須使用各別的自動計量器計量其質量。而且水之計量器，須能分一次水計量及二次水計量，並能在個別之水量任意設定時間內自動放出。計量之許可差如表 2-2 所示。

表 2-2 計量許可差

材料	水	膠結料	礦物摻料	粗細粒料	化學摻料
許可差%	1	1	3	3	1

(4) 拌和機及攪拌機：拌和機及攪拌機須符合 CNS 3090 第 10 節拌和機及攪拌機之規定，均勻性試驗項目之「坍度」應改為「坍流度」，最大許可差為 50mm (2in)。且抗壓強度試驗之試體製作可一次製入試模內（不分層、不搗實）【12】。

(5) 送貨單：混凝土出廠時應附送貨單，單內填應寫送貨車號、混凝土規定強度、出廠坍度及坍流度、化學摻料、溫度及設計單位重、工程名

稱、送達地點、出廠時間等資料，若有業主駐廠代表在場應由其簽證【13】；SCC 運抵工地時，應先核對送貨單上資料，並確認為本工程所需混凝土，以免錯用。

(6) 強度：SCC 28 天規定抗壓強度 $f'c$ 須依 CNS 1230 或 CNS 1231 之規定製作試體，試樣應採一次置入試模內(不分層、不搗實)，並按 CNS 1232 之規定進行抗壓強度試驗【1】。

1. 配比設計之要求平均抗壓強度，應依 CNS 12891 規定。

2. 使用三種不同水膠比進行配比設計試驗，使所產生之強度範圍能涵蓋要求平均抗壓強度。

3. 配比設計之每一試驗齡期，至少須製作三個試體，其製作及養護應按 CNS 1230 之規定辦理，惟試樣應採可一次(不須分三層)置入試模內、不予搗實。圓柱試體抗壓強度試驗應按 CNS 1232 之規定辦理。

4. 由所繪製之抗壓強度與水膠比之關係曲線，決定所需之混凝土水膠比。

(7) 彈性模數及乾縮、潛變：為確認並充分瞭解 SCC 之彈性模數、乾縮及潛變性質，設計者可依構造物特性之需要，由承包商在決定配比之同時，製作試體進行不同齡期之彈性模數、乾縮係數及潛變係數等試驗，取得相關數據進行確認【1】。

2.3 地下連續壁工程

地下連續壁工法歐美稱為 Concrete Diaphragms, Slurry Wall, 在日本稱為地下連續壁或連續地中壁，而國內則稱為地下連續壁；此種工法為地下深開挖作為擋土、止水設施最常見的一種型式，亦可作為建築物地下室的外牆，為永久結構體的一部分。此種工法係以特殊機具在地中開挖某一長度、寬度之深槽，深槽內使用穩定液保護壁體防止坍塌，深槽內插入鋼筋籠，再以特密管澆灌預拌混凝土，構築一連串密合之鋼筋混凝土牆壁之工法【14】。

穩定液之運用始於 19 世紀末石油鑿井工程上，1932 年開始適用於營建工程上，1950 年至 1960 年間技術更加精進，其中柏林大學之 H.Lorenz、C.Veder 與義大利 ICOS 等專門性公司共同研究完成第一個試驗性地下連續壁；尤其 ICOS 公司將此種工法成功的運用到各種不同領域。隨著現場施工技術不斷進步，亦發展出各種不同之開挖方式，例如 BW、OWS、ICOS、EARTH WALL、SOLETANCHE、KCC、ELSE 及 KELL 式 SOLETANCHE 等工法；從 1950 年義大利正式採用以來，1954 年歐洲其他國家，1956 年南非，1957 年加拿大，1959 年日本，1962 年美國等皆相繼採用，我國則於 1971 年引進帶動營建業使用地下連續壁工法之風潮【14】，尤其適合臺北市區沉泥地質，目前新建工程處興建之公共建築工程，地下擋土牆或地下結構體外牆皆採連續壁方式施工，一般水中混凝土澆築作業之技術、資料已發展相當完備，以 SCC 澆築連續壁工程之個案不多，仍屬嘗試階段，仍有待政府機構大力研究推廣，期許獲得成本最低、品質最佳的連續壁材料。

連續壁壁體單元之規劃，係由於開挖長度愈長，閒置時間愈久，發生嚴重坍塌的機率愈高，所以無法一次全部開挖完成，而且鋼筋籠加工吊放亦無法一次全面完成；故應依據挖掘機具寬度及土質狀況、鋼筋籠加工場所等條件，將連續壁分割為較小適當之單元，依序施築。為了達到壁體內鋼筋籠搭接效果，一般將連續壁規劃分割為公單元、母單元及公母單元等三種單元；施工時先行開挖構築之兩端有端版及預留筋之單元，一般稱為母單元，完成後再挖掘構築接續之單元，一般稱為公單元，一般而言，母單元原則以不超過 4.5m 為準，公單元原則上以不超過 6.5m 為準；由於母單元鋼筋籠須預留搭接鋼筋長度，須先行挖掘部分公單元溝槽，所以在母單元左右兩側須設置擋版（亦稱端版）作為公、母單元之分界面，以防止母單元先澆灌之混凝土流入公單元，預留搭接鋼筋必須穿過端版，與公單元鋼筋搭接；另外由於端版側邊與壁體無法完成密合，為防止母單元混凝土由端版側邊流入公單元溝槽，一般以帆布固定於端版兩側並延伸包裹母

單元鋼筋籠兩側，形成一封閉的壁體單元，故施築母單元壁體較為繁複耗工費時；當兩端母單元完成後，再開挖構築中間之公單元，則簡單許多。

2.3.1 連續壁工法之優點

- 1.因係低振動、低噪音之工法，壁體剛性大，變形小，故周圍地盤不致下陷，地下埋設物不致受損，適用於市區內之施工。
- 2.壁厚及配筋均不受限，對任何強度均可設計，因而可適用於較深之擋土牆。
- 3.若作為止水壁時，相較其他工法之止水效果更佳。
- 4.施工範圍幾可達基地境界線，故可提高基地使用面積。
- 5.地下壁與樑、柱之結合，可採用多角基礎工法。
- 6.適用於所有地盤。
- 7.可作為建築物地下室的外牆，為永久結構體的一部分。
- 8.現場施工技術已臻成熟，可有效縮短工期，提高施工安全。【14】

2.3.2 連續壁工法之缺點

- 1.因係使用皂土溶液而開挖，故混合而成之開挖泥土分離困難。
- 2.開挖泥土之分離，需要具備有沉澱設備及分離設備。
- 3.開挖機具大型，欠缺移動性，基地面積狹小施工困難。
- 4.開挖作業準備日數長，開挖單元須事先規劃妥善。
- 5.混凝土澆置時，需徹底實行控制管理，以免造成特密管阻塞及不連續面產生。
- 6.水平方向之連續性不很完整，公母單元界面容易滲水。【14】

2.3.3 連續壁工法之問題探討

1.地質與施工性

由於地盤條件複雜，必需事前細密之地質調查，因此選擇工法與開挖機具時，需要相當高度之技術與經驗，對於適合於地質之穩定液管理與造成障礙時之補助措施等亦應事前加以充分檢討。

地質若屬粘土層，因粘土本身具有粘滯性與凝聚力，穩定液不易流失，壁面不易崩塌，故壁面的穩定性最佳；地質若屬卵礫石或砂土層，均屬顆粒狀土壤，不具粘滯性與凝聚力，壁面自立性差，顆粒間孔隙大，穩定液較無法形成防護膜，穩定液較易流失，故壁面較容易崩塌。【14】

2.開挖壁面崩塌

開挖中孔壁之穩定主要仰賴地盤之穩定液，除因地質條件造成穩定液流失導致壁面崩塌外，大致還有地下水急速上升、穩定液性質之不當或劣化等原因；所以細密之地質調查，良好的穩定液管理以及適當之開挖方法為安全施工之前提條件，因此，具有施工管理與地盤穩定液管理之充分知識，並且實際加以靈活運用才是防止崩塌之唯一手段。【14】

3.經濟性

一般而言，此種工法之工程費用較一般工法為高，但若將其優點合併檢討，則此工法可能較其他工法更具經濟性。【14】

4.設計上問題

目前工程界已廣泛採用此種工法，設計上已有相當成果，惟施工與設計間之回饋尚存許多問題，例如施工廠商素質不佳造成災害或品質不良失敗案例原因未徹底檢討改進【14】；另外，連續壁採用SCC 案例屈指可數，追究原因不外是業主、設計單位、監造單位、承包廠商及預拌混凝土廠商對自充填混凝土(SCC)缺乏實務經驗與

配套措施，恐致失敗與財務損失而裹足不前。

5.廢泥、廢液處理

穩定液對於地盤及地下水之污染，劣化後穩定液之處理等問題，應確實檢討處理方案，以符合環保要求。【14】

2.4 施工品質三級品管制度

混凝土工程於公共工程中扮演舉足輕重之角色，由於混凝土材料、施工等品質控制優劣將決定工程結構安全與否及使用壽命，例如”海砂屋”(如臺北市南港區修德國宅)造成建築物混凝土剝落、鋼筋銹蝕裸露，強度降低，終至難逃危樓拆除命運，95 年初即已拆除至今仍為平地，重建完成日期遙遙無期，不僅造成個人生命財產損失，也增加社會成本負擔。

為加強公共工程品質之管理，提升工程建設之品質、建立有效之品質管理系統，期使參與實際工程施工任務之所有成員，均能體認工程品質之重要性，在施工過程中，即當以系統化之管理，有效之管制步驟，注意施工品質，使完成之工程建設品質完善，達到規範標準與要求。行政院公共工程委員會於 82 年推動公共工程三級品質管理制度，即分為三階段管控，第一級品質管制由廠商負責全面性自主品管，第二級品質保證由主辦機關（包括監造單位）負責督導及查核廠商落實自主品管，第三級品質評鑑及查核由上級機關（即各工程主管機關）組設「施工品質評鑑及查核小組」對所屬相關單位新興之公共工程進行評鑑及查核。

公共工程三級品質管理制度，經過多年來的推展、執行，已有初步的成效；如臺北市政府工務局新建工程處依行政院公共工程委員會中華民國 92 年 7 月 23 日工程管字第 09200305600 號函、中華民國 93 年 4 月 9 日工程管字第 09300140070 號函及臺北市政府中華民國 93 年 4 月 15 日府工一字第 09309819100 號函訂定「臺北市政府工務局新建工程處落實公共工程三級品管制度及施工查核作業規定」，並納入工程契約據以執行，以落實三

級品管機制及提昇執行績效。

本研究計畫係探討地下連續壁結構採自充填混凝土澆築之實務面，其三級品質管理制度亦為重要一環，茲以本案例工程地下連續壁結構施工應具備之一級品質管理制度，建立品質管理相關品質計畫書、作業流程、自主檢查表格、施工注意事項，以及常見的缺失項目及因應對策，期使施工廠商建立完備之品質管理制度，確實執行施工、品質管制作業，提升工程品質。

2.5 契約與規範

契約與規範為施工準則之依據，歸納相關法規、施工規範及建立品質管制相關作業流程、表格、施工注意事項，以及常見的缺失項目及因應對策，期使新進同仁即可了解品質管制要領，確實執行施工、監造品質管制作業，提升工程品質。

各機關單位依據工程性質與需求訂定不同之規定，在本研究案之工程契約內之施工規範第 03315 章特別訂定說明使用自充填混凝土之混凝土材料、配比設計、拌和、輸送、設備、施工、生產標準及檢驗等相關規定，作為工程施工品質之要求依據。

第三章 案例研究計劃與內容

本研究案例工程「臺北市內湖區市民運動中心暨科技園區服務中心新建統包工程」係新工處首次將 SCC 運用於地下連續壁工程，本章係說明針對工程設計強度需求為 280kgf/cm^2 的單一配比設計之 SCC 工地試驗、基本性質試驗，以及工程實際施工過程中對壁體監測、SCC 澆置時間、工時成本及開挖完成後之整體成果，規劃研究之方式及內容，期以建立實際相關數值，以為後續設計施工之參考。

3.1 SCC 單一強度配比工地工作性能測試

本案例地下連續壁工程之 SCC 材料部分由和昌國際工業股份有限公司之內湖預拌混凝土廠供應，經廠內進行試拌試驗以選定配比（詳細配比表詳見表 4-4），並送經監造單位審定採用，另於每單元連續壁現場澆置 SCC 前，施工廠商必須於預拌車卸料時，取料進行坍流度試驗、V 型漏斗流出試驗、箱型充填試驗等三種工地現場試驗，以確定預拌廠運至現場之混凝土材料是否符合 SCC 特性，本研究計畫擬取連續壁編號 2、20、24、31、35 共 5 單元澆置前之 SCC，進行上述三種工地現場試驗，以確認是否符合 SCC 之規範要求，茲將三種試驗之目的、方法等分述如下。

3.1.1 坍流度試驗

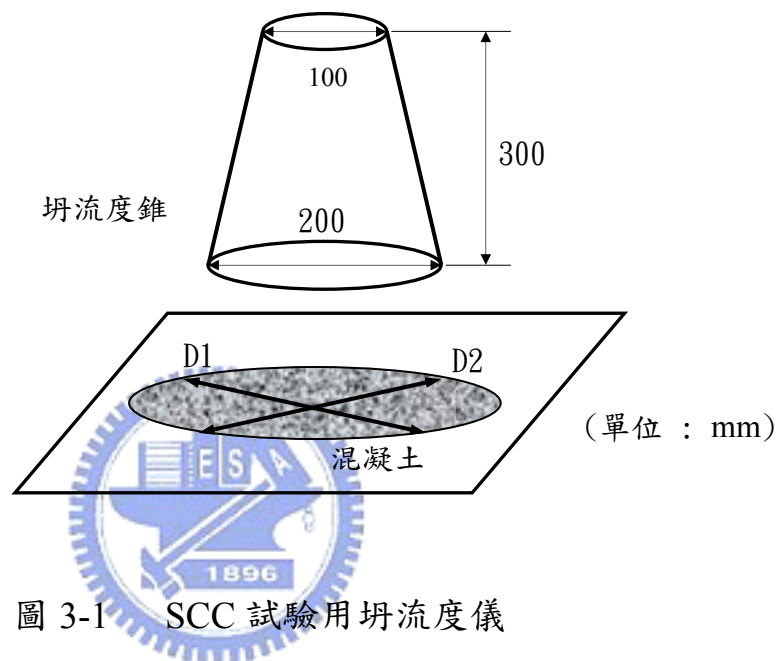
- (1) 試驗目的：試驗新拌 SCC 流動能力。
- (2) 試驗器具：坍流度儀為使用 CNS1176【混凝土坍度試驗法】規定之坍度錐如【圖 3-1、照片 3-1、照片 3-2】、厚度 2.0mm 以上且表面大於 $0.8\text{m}\times 0.8\text{m}$ 並足以於其表面繪設 50cm 圓形之鋼製平板、坍流度用縮尺或讀數為 1mm 之量尺及測定用輔助器具、馬錶（使用能測到 0.1

秒的馬錶)。

(3) 試驗項目：坍流度(D1+D2 之平均值)、坍流度達 50cm 所需時間(秒)。

(4) 試樣依 CNS1174【新拌混凝土取樣法】規定。

(5) 試驗方法與步驟：依 CNS 14842【高流動性混凝土坍流度試驗法】辦理。



照片 3-1 坍流度儀及裝填 SCC



照片 3-2 坍流度量測

3.1.2 V 型漏斗流出試驗

(1) 試驗目的：試驗 SCC 稠度、析離性。

- (2) 試驗器具：容量 10 公升之鋼製 V 型漏斗如【圖 3-2、照片 3-3】、投料用容器(5 公升左右塑膠杯)、受料容器(12 公升左右)、上端蓋平用直尺、能測到 1/10 秒之馬錶、濕布等。
- (3) 試驗項目：新拌 SCC 完全流出 V 型漏斗下方出口所需時間。
- (4) 試樣依 CNS 1174【新拌混凝土取樣法】之規定。
- (5) 試驗方法與步驟：依 CNS 14841 自充填混凝土流下性試驗法【漏斗法】辦理。

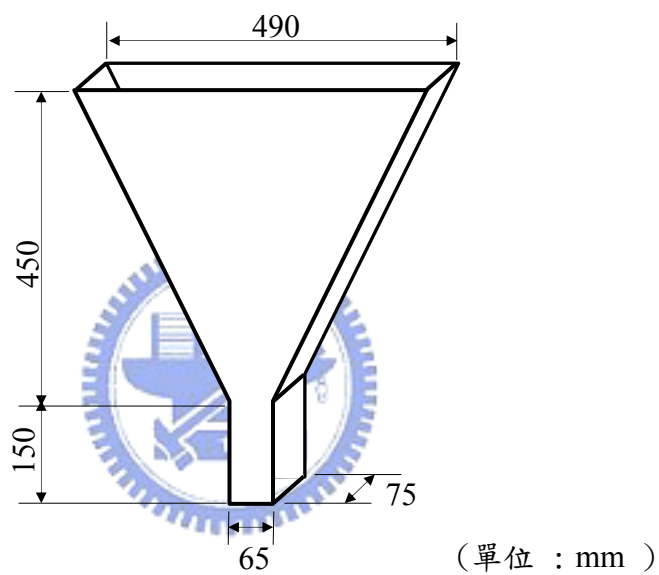


圖 3-2 SCC 試驗用 V 型漏斗



照片 3-3 鋼製 V 型漏斗儀器及試驗

3.1.3 箱型充填試驗（間隙通過試驗）

- (1) 試驗目的：試驗新拌 SCC 通過鋼筋間隙及自行充填至模板角落之能力。
- (2) 試驗器具：鋼筋障礙共有三種，本案工程僅採其中箱型槽試驗器具，如【圖 3-3、照片 3-4、照片 3-5】。
- (3) 試驗項目：新拌 SCC 由 A 槽靜置 1 分鐘後流至 B 槽之高度及停止填充時間。
- (4) 試樣依 CNS 1174【新拌混凝土取樣法】之規定。
- (5) 試驗方法與步驟：依 CNS 14840【自充填混凝土障礙通過性試驗法（箱形法）】辦理。

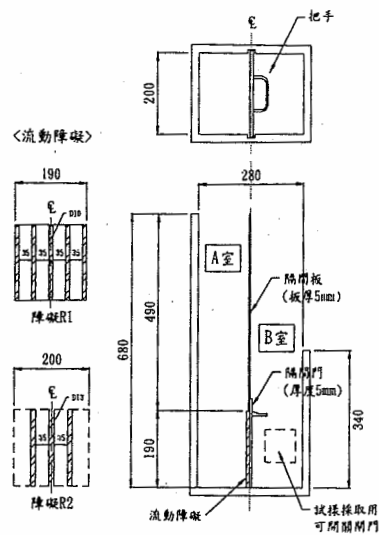


圖 3-3 SCC 試驗用箱型槽

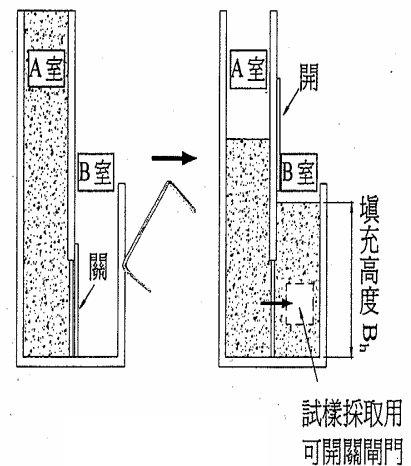


圖 3-4 充填高度示意圖



照片 3-4 箱型槽儀器



照片 3-5 量測 B 槽之高度及時間

3.2 SCC 單一強度配比基本力學性質試驗

依契約規定於每單元連續壁現場澆置 SCC 時，施工廠商必須於預拌車卸料時，取料進行圓柱試體（試體尺寸為 15cm×30cm）製作，養護 28 天後進行圓柱試體抗壓強度試驗，以確定預拌廠運至現場之混凝土材料抗壓強度是否符合契約設計強度要求，以及統計分析預拌混凝土廠商生產之 SCC 品質的穩定性。

本研究另取編號 2、20、24、31、35 共 5 單元連續壁澆置前之 SCC，分別測試 24 小時、36 小時、2 天、3 天、7 天、14 天、21 天、28 天、56 天、91 天及 180 天等不同齡期的圓柱試體（試體尺寸為 12cm×24cm）抗壓強度，以觀測 SCC 隨時間變化的強度伸展情形。

本研究另取 2 單元、31 單元、35 單元等三單元連續壁 SCC，每單元取樣依規定製作試體，分別測試 28 天、56 天、91 天等三種齡期之抗彎強度試驗、劈裂抗張強度試驗及握裹力試驗，以觀測 SCC 隨時間變化的強度伸展情形；另取樣依規定製作試體，分別進行乾縮試驗、潛變試驗。

3.2.1 抗壓強度試驗

本案例工程連續壁 SCC 設計強度為 280 kgf/cm²，依 CNS 1232【混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法】之規定辦理。

- (1) 28 天圓柱試體抗壓強度試驗：試體為 15cm×30cm，每單元連續壁每 100m³ 取一組(5 顆)試體（每單元 1~3 組），經一般養護 28 天後，進行抗壓強度試驗，據以判斷是否符合設計強度。
- (2) 不同齡期的圓柱試體抗壓強度試驗：試體尺寸為 12cm×24cm 之圓柱鋼模試體，每組 2 顆，取編號 2、20、24、31、35 共 5 單元連續壁澆置前之 SCC，經一般養護後分別測試 24 小時、36 小時、2 天、3 天、7 天、14 天、21 天、28 天、56 天、91 天及 180 天等齡期試體抗壓強度，以觀測 SCC 隨時間變化的強度伸展情形。

3.2.2 抗彎強度試驗

本案例工程連續壁 SCC 設計強度為 280 kgf/cm^2 ，於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元連續壁澆置 SCC 時，每單元各取 3 顆試體，試體尺寸為 $15\text{cm}\times 15\text{cm}\times 53\text{cm}$ 之長條矩形試體如【照片 3-6】，經一般養護 28 天、56 天、91 天齡期後，分別測試三種齡期之之抗彎強度試驗，試驗依 CNS 1234（混凝土抗彎強度試驗法—中心點載重法）如【照片 3-7、照片 3-8】之規定辦理，當試體破裂時，記錄最大載重（kgf），然後依下列公式求得混凝土破裂模數（ kgf/cm^2 、MPa），以觀測 SCC 隨時間變化的強度伸展情形。

$$R = 3PL / 2bd^2$$

R = 破裂模數 kgf/cm^2 (MPa)

P = 試驗機所示最大載重 kgf (N)

L = 跨度 cm

b = 破裂處試體之平均寬度 cm

d = 破裂處試體之平均厚度 cm

※破裂模數單位換算： $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.0980665 \text{ Mpa}$ 。



照片 3-6 長條矩形試體



照片 3-7 中心點載重法



照片 3-8 試體破裂情形

3.2.3 劈裂抗張強度試驗

本案例工程連續壁 SCC 設計強度為 280 kgf/cm^2 ，於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元連續壁澆置 SCC 時，每單元各取 3 顆試體，試體尺寸為直徑 15cm×高 30cm 之圓柱試體，經一般養護 28 天、56 天、91 天齡期後，分別測試三種齡期之劈裂強度試驗，試驗依 CNS 3801【混凝土圓柱試體抗張強度檢驗法】如【照片 3-9、照片 3-10】之規定辦理，



照片 3-9 抗張強度檢驗裝置



照片 3-10 試體破裂情形

3.2.4 握裹力試驗

本案例工程連續壁 SCC 設計強度為 280 kgf/cm^2 ，於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元連續壁澆置 SCC 時，每單元各取 3 顆試體，試體

尺寸為直徑 15cm×高 30cm 之圓柱試體，並於底部放置銅製圓形中心空洞之底盤，以使 D19 竹節鋼筋固定於底盤中心且不搖動，試體模具上方套上鋼筋固定架，鋼筋埋入深度為 29 cm 如【照片 3-11】，經一般養護 28 天、56 天、91 天齡期後，利用萬能油壓千斤頂試驗機分別測試三種齡期之拉拔試驗如【照片 3-12】，試驗機以 2,245 kgf/min 的速率進行，當試體破裂致使鋼筋鬆動不再承受握裹力時如【照片 3-13】，記錄最大加載拉力，然後依下列公式求得混凝土握裹應力，此種依 CNS11152【根據鋼筋混凝土握裹力比較混凝土性能試驗法】試驗方法，只測得混凝土的平均最大握裹應力，僅將所得結果供爾後工程參考。

$$\mu = F_{\max} / l\pi db$$

μ ：混凝土握裹應力 kgf/cm^2

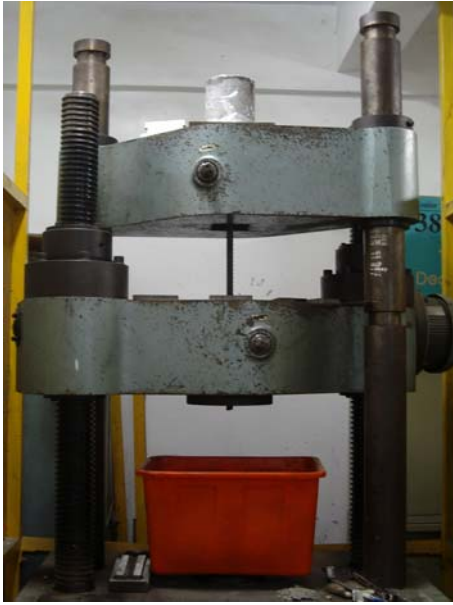
F_{\max} ：最大拉力 kgf

l ：鋼筋埋設深度 cm

d_b ：鋼筋直徑 cm



照片 3-11 試體模具



照片 3-12 拉拔試驗



照片 3-13 試體破裂情形

3.2.5 乾縮試驗

本案例工程連續壁 SCC 設計強度為 280 kgf/cm^2 ，依 CNS 1236【水泥砂漿及混凝土的體積變化檢驗法】之規定辦理；於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元連續壁澆置 SCC 時，每單元各取 3 顆試體，試體尺寸為 $10\text{cm} \times 10 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$ 之長條矩形試體如【照片 3-14】，經一般養護 28 天後置於恆溫恆濕室內（維持溫度於 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度於 50%），置於長度比較測微器如【照片 3-15】上開始試驗後連續記錄乾縮量，至 91 天止，以觀測 SCC 隨時間變化的體積變化情形。

試驗開始後連續 12 小時內每 1 小時記錄 1 次量測值，12 小時至 72 小時（3 天）每 1 小時記錄 1 次量測值。



照片 3-14 長條矩形試體模具



照片 3-15 長度比較測微器

3.2.6 潛變試驗

本案例工程連續壁 SCC 設計強度為 280 kgf/cm^2 ，依 ASTM C512-87 (Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression) 之規定辦理；於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元連續壁澆置 SCC 時，每單元各取 2 顆試體，試體尺寸為直徑 15 cm×高 30 cm 之圓柱試體，經養護 7 天後置於恆溫恆濕機內（維持溫度於 $23\pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度於 50%），俟達 28 天後移置潛變室做潛變試驗，將各個試體於長軸方向黏貼混凝土表面應變計，將兩顆試體堆疊至彈簧基座潛變架如【照片 3-16】上並加預載力如【照片 3-17】，加載荷重應依規定辦理，開始試驗後連續記錄應變 ϵ 值，至 91 天止，以觀測 SCC 隨時間變化的應變伸展情形。



照片 3-16 彈簧基座潛變架



照片 3-17 加預載力儀器

3.3 SCC 澆置時間分析

SCC 與一般混凝土澆築地下連續壁之流程與方法相同，特密管吊放完成後，由預拌車直接傾洩至特密管中澆置，特密管底端混凝土流出將受上層約 1.5 公尺厚之混凝土重量及隨深度變化之連續壁溝體中水壓之影響；在一般混凝土澆置過程中已有相當認知，但 SCC 以特密管澆置地下水中連續壁個案有限，承辦及施工人員大部分均無經驗，為了解 SCC 在特密管中流動是否順暢，以及連續壁溝體中之水壓是否造成 SCC 澆置速率降低等問題，本研究計畫將記錄每車 SCC 及一般混凝土澆置過程的時間，以分析澆置每立方公尺所須平均時間，與一般混凝土澆置每立方公尺所須平均時間，作一比較，以了解使用 SCC 的時間差異，以及 SCC 以特密管澆置地下水中連續壁的適用性。

3.4 連續壁體監測

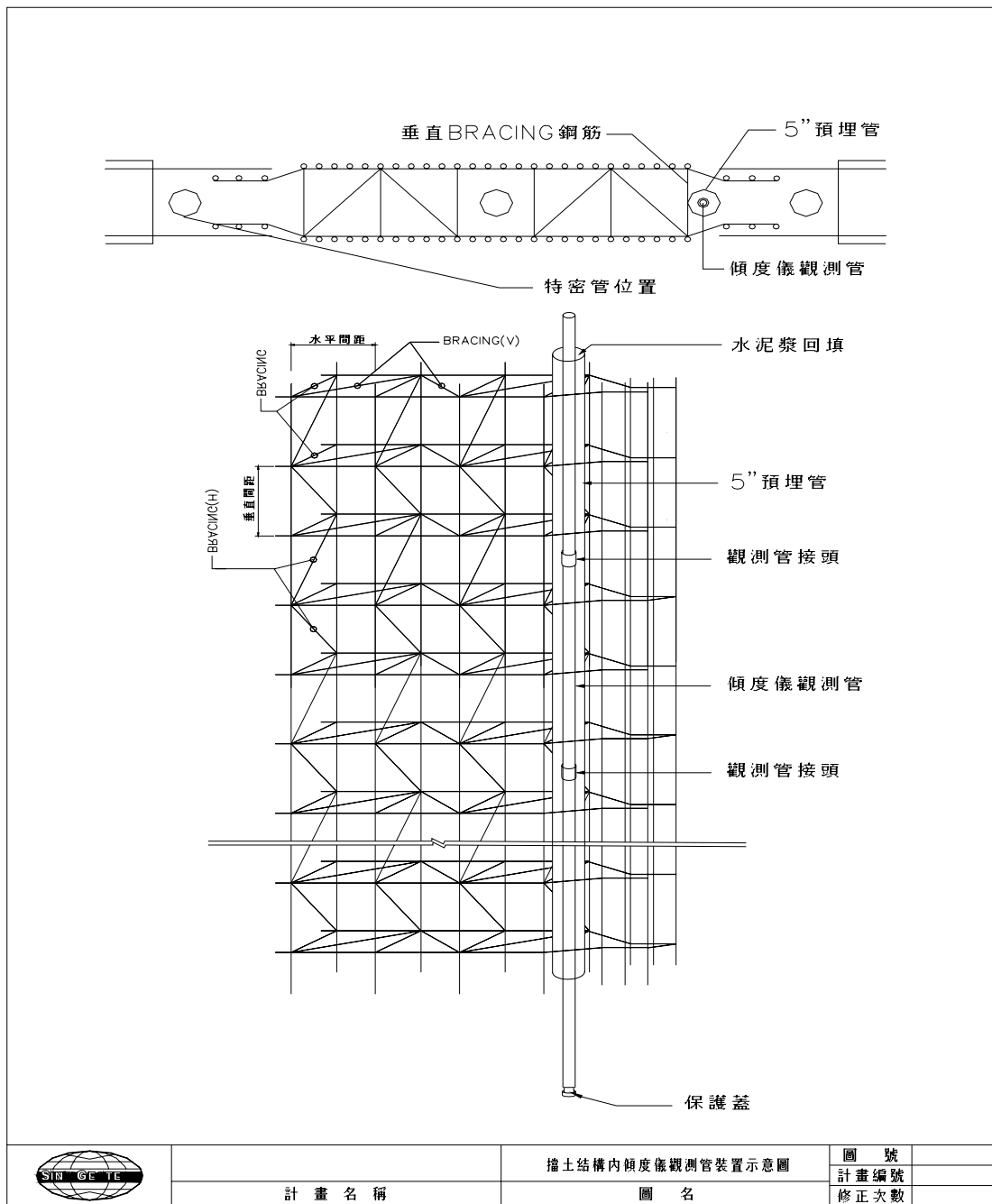
連續壁監測系統主要目的在於隨時掌握壁體挖掘過程及地下室各階段開挖作業與鄰近構造物之安全，並同時在各階段施工過程中之量測數據資料可以回饋檢討，以做為下一階段施工或其他工程設計之參考依據，使工程的進行能達到安全及經濟之目的。

為了確保整體工程開挖作業安全進行，施工廠商除依據契約「工程採購廠商投保注意事項」規定於施工前應委託具有能力之公正第三者進行鄰屋調查，詳細載明房屋現況，其結果應報請招標機關核備。並得提供予屋主及相關單位（區公所、里長、主辦單位）、人員留作查考外；並須提送監測計畫書，詳述監測系統裝設儀器項目、裝設位置與施作方法，以瞭解連續壁變形、鋼筋應力及支撐軸力變化情形、鄰近建物及道路可能沉陷情形，俾使施工期間及對於可能之變化，而對施工安全有顧慮時，能及時採取適當之應變措施。

一般監測系統包含連續壁之變形及傾斜觀測、連續壁鋼筋應力觀測、

支撐軸力觀測、建物傾斜計、基地四週及道路沉陷觀測、中間柱隆起觀測、地下水位及水壓觀測、自動觀測系統等項目。本研究案例工程因連續壁係採用 SCC 澆築有別於一般水中混凝土澆置之工程，故本計畫僅針對連續壁體內之傾斜觀測部分進行觀測變形量，以記錄壁體於各階段開挖過程中之變形情形，供爾後工程設計之參考。另其他兩參考案例工程由於壁體厚度、開挖深度不同，故不記錄討論。本案例工程其他監測項目裝設位置與施作方法，另於第四章敘述之。

連續壁之變形傾斜觀測，一般安裝於連續壁體內，本項觀測目的在量測擋土結構體之側向傾斜變位及變形撓曲之程度，以變位之方向、速率和最大側向變位及變形來研判擋土結構之安全程度【15】。於連續壁第 2、8、14、20、24、31 等 6 單元各埋設 1 組連續壁內傾度觀測管（共 6 處），參照傾度儀觀測管裝置示意圖如【圖 3-5】，確定傾斜管埋設位置後，於鋼筋籠組立之同時，先預埋裝設與連續壁同深之內徑 150mm PVC 固定於鋼筋籠內，底部則以厚質 PVC 管帽阻封，事先預埋在連續壁內。連續壁施工完成後，再於預埋管內鑽孔裝設傾斜管至深度 47 公尺。施工中以傾度儀觀測連續壁之變形與傾斜度。觀測方法將雙軸感應器，以滑輪組件放入套管內，以電纜連接雙軸感應器及指示器。自管底往上，每隔 50cm 記錄量測讀數，待一方向測讀結束後，將感應器轉 180°，重覆前述動作，以消除測讀之系統誤差，將此次之觀測值與初始量測值（一般為開挖前之量測值）根據儀器之原理，由每次測值與初始值相比較，可求得變位量及位移方向。



F:\DWG\安裝示意圖\壁內傾度儀觀測管裝置示意圖(預埋管).DWG
DATE: 20040414

(1.0版)

*由富國技術工程股份有限公司提供

圖 3-5 連續壁體內之傾度儀觀測管裝置示意圖

3.5 連續壁體非破壞性試驗—反彈錘試驗

預拌混凝土除由預拌工廠保證其品質強度外，於澆鑄施工過程中取樣進行圓柱試體抗壓強度試驗 (CNS 1232)，若有特殊因素則依契約規定辦理鑽心試驗 (CNS 1238)；惟本研究案因考量避免地下連續壁壁體進行鑽心試驗強度檢測而增加滲水之可能性，則採反彈錘試驗 (CNS 10732—硬化混凝土反彈數試驗法) 方式進行非破壞性強度試驗，即以彈簧驅動鋼錘，撞擊於硬化混凝土表面，以測定其反彈數值之試驗方法，所測定之反彈數，可用於評估混凝土之均勻性及其概略之強度，以做為決定拆模時間之參考，但本試驗法不得作為評定混凝土強度之替代法。

在本案例工程之連續壁第 2、20、24、31、35 等 5 個單元，配合開挖時程，分別測試 56 天及 91 天齡期反彈錘數值，以評估 SCC 連續壁壁體之均勻性及其概略之強度。

(1) 儀器：義大利 MATEST 公司 C380 之混凝土強度錘如【照片 3-18】。

(2) 一般事項及試驗步驟：

- A. 反彈錘每半年 (不常使用者) 或一年須校正一次。
- B. 本試驗法不得作為評定混凝土強度之替代法。
- C. 所測試混凝土構材厚度至少需要有 10cm 厚 (連續壁壁體厚度 70cm)。
- D. 所測試之表面積，其直徑至少為 15cm。
- E. 所測試之表面應用碳化矽 (即金鋼砂) 製成之磨石，將混凝土表面磨平。
- F. 將試錘持牢，於試驗位置，使撞頭垂直於試驗表面，緩緩增加壓力，直至撞頭撞擊混凝土表面。
- G. 撞擊後記錄其反彈數至二位有效數字，並比對強度對照表，判定出混凝土的概略之強度。
- H. 每次試驗面積，採取 10 次試驗讀數，任何兩個撞擊點，均應相距

25mm 以上；撞擊後，檢視其撞痕，若撞擊時，發現撞擊點表面有破碎現象時，其讀數應作廢不計。

- I. 計算上剔除與 10 次讀數平均數相差在 7 以上之讀數，再求其剩下之各讀數之平均數。若有 2 個讀數以上，被上述方法剔除時，則全組之讀數應作廢。



照片 3-18 混凝土強度鎚

3.6 其他案例比較

本研究計畫藉由新工處同時期辦理之三案建築工程，其地下連續壁工程分別以下列三種模式辦理，其連續壁工程規模比較如【表 3-1】，針對工時、成本及完成面平整度與滲水情形統計分析，以比較三種模式之差異性，作為爾後連續壁使用材料之參考採用。

第一種：公母單元均採 SCC 澆置（案例工程）。

第二種：公單元均採 SCC 澆置、母單元均採一般傳統混凝土澆置（參考甲案）。

第三種：公母單元均採一般傳統混凝土澆置（參考乙案）。

表 3-1 三案工程地下連續壁工程比較表

案例		案例工程	參考甲案	參考乙案
工程名稱		台北市內湖區 市民運動中心 統包工程	廢鐵道廣場附 建地下停車場 新建統包工程	臺北市大同區 大同國小運動 中心新建工程
承建廠商		皇昌營造	偉銓營造	偉大建設
基地面積 (m ²)		3,559	8,897	3,080
混凝土 材料	公單元	SCC	SCC	一般混凝土
	母單元	SCC	一般混凝土	一般混凝土
SCC 使用數量(m ³)		6,470	6,868	-
設計強度(kgf/cm ²)		280	280	245
壁 厚 (cm)		90	70	70
深 度 (m)		35~37	26.5	27
開挖深度 (m)		17(6 挖 5 撐)	13.3	11.9
地下水位		GL 以下 3 m	GL 以下 3 m	GL 以下 3 m
公單元數		17	60	22
母單元數		17	60	22
公母單元數		1	12	4

3.6.1 工時成本分析比較

地下連續壁採用一般水中混凝土與 SCC 之施工流程皆相同，惟採用 SCC 澆築時，對母單元鋼筋籠加工製作、端版背填料、側邊塑膠帆布、材料現場試驗等以及挖掘困難度，對整體工時、成本而言，藉由實際施工成果，分析比較兩者程成本之差異性。

3.6.2 完成面平整度分析比較

SCC 具有高流動性及充填孔隙之特性，對於地下連續壁壁體是由軟弱土壤組成而非一般結構體之模板或鋼版之堅硬面組成，壁體的平整度因土壤成份不同、穩定液(皂土)濃度的控制等因素，以及施工過程中機具碰撞壁面、挖掘及吊放鋼筋籠等人為操作技術、挖掘後至澆置混凝土前放置時間等等，藉由實際施工成果，目測檢視分析比較三種模式之差異性。

3.6.3 滲水情形分析比較

地下連續壁壁體滲水為長久以來亟欲改善之難題之一，尤其是公母單元交界面端版部分接頭清理作業往往無法清除乾淨，附著泥屑、泥層，或澆置混凝土時漏漿形成破碎面，致滲水情形最為常見；另外地下連續壁體也有因鋼筋位移或澆置面不連續之情形發生，導致局部壁面滲水現象。

本研究計畫藉由 SCC 具有高流動性及充填孔隙之特性，檢視施做於地下連續壁之實際施工後滲水情況，採每單元滲水影響範圍面積與單元面積比方式以顯現滲水程度，並與其他案例比較滲水之情形，作為爾後連續壁使用材料之參考採用。

第四章 案例工程施工實務探討

本研究案例工程係新工處主辦臺北市內湖區市民運動中心暨科技園區服務中心新建統包工程，首次將 SCC 運用於地下連續壁工程，設計要求強度為 280 kgf/cm^2 ，由於本案例工程係為統包工程，所以主辦機關僅訂定基本需求，其餘均由承攬廠商規劃設計及分包各專業廠商施築；本章主要針對連續壁工程實際施工過程中，簡要敘述公共工程執行相關規定及施工過程紀錄，以供後續施工參考；至於 SCC 運用於地下連續壁工程之施工成果，將於第五章分述之。

4.1 案例工程簡介

4.1.1 工程概述

- 工程名稱：臺北市內湖區市民運動中心暨科技園區服務中心新建統包工程。
- 起造人：臺北市政府體育處、臺北市政府建設局
- 主辦單位：臺北市政府工程局新建工程處
- 監造單位：昭凌工程顧問股份有限公司、王正源建築師事務所
- 專業管理：昭凌工程顧問股份有限公司、王正源建築師事務所
- 統包廠商：皇昌營造股份有限公司
- 協力廠商：同豐營造工程股份有限公司(地下連續壁工程)。
- 基地面積： $3,559.13 \text{ m}^2$ (建築面積： $1,382.27 \text{ m}^2$)
- 樓層狀況：地上 11 層、地下 3 層、屋突二層
- 總樓地板面積： $17,882.83 \text{ m}^2$ (建築物高度：49.9 m)
- 工程期限：決標次日起 825 天 (94.05.26~96.08.28)。

4.1.2 地下連續壁工程概述

- 四面周長：187.4m 、壁厚：90cm 。
- 深 度：東側 35m、西側 37m、南北側 36m。
- 開挖深度：17 m (6 挖 5 撐) 。
- 單 元：母 17 單元、公 17 單元、公母 1 單元；共計 35 單元。
- 材料強度：SCC、 280 kgf/cm² 。
- 施 工：95.04.05~95.05.13
- 地 中 壁：壁厚：60cm、共計 7 單元。(GL：-16.5m~-27m)
- 地下水位：GL-3 m。
- 施工機械：MHL 油壓長臂型掘削機 (Masago Hydraulic Long Bucket)

4.1.3 基地地質概述

基地面積約為 3,559m²，根據規範所需之鑽孔數為 6 個鑽探孔，鑽探孔深度約 60m，基地鑽探深度內土層分佈情況，主要以盆地邊緣之壓密未完成粘土及砂土為主。根據本次現場鑽探結果得知，鑽探深度內土層分佈情況可概略分為幾個層次，簡述如【表 4-1】：

表4-1 鑽探深度內土層分佈情況簡表

層別	深度 (m)	層次	土層 分類	N 值 Blows/ft	土質 屬性
第一層 回填層	3.6~3.8	SF1	CL	6	回填粘土、砂土夾磚塊及水泥塊等雜物，具中等堅實稠度。
第二層 灰色沉 泥質粘 土層	3.8~15	C1-1	CL	2	地表下 8.0~11.0 公尺間夾腐木等有機物。 具極軟弱稠度
	15~21	C1-2	CL	3	具軟弱稠度
	27~32.7	C1-3	CL	3	具軟弱至中等堅實稠度
第三層 黃灰色 沉泥質 細砂層	31.6~34	S1	SM	24	具中等緊密之緊密度
第四層 崩積岩 塊層	34~40	R1	S.S/SM	>50	岩心品質指標(RQD)約介於0~25%
第五層 灰色沉 泥質細 砂層	40~45.3	S2	SM	34	具中等緊密至緊密之緊密度
第六層 灰色沉 泥質粘 土層	45.3~60	C2	CL	19	具堅實至堅硬稠度

註：依工程所在基地鑽探報告彙整資料。

4.1.4 連續壁工程施工流程

地下連續壁不論採用 SCC 或一般水中混凝土材料施築，其連續壁工程整體施工流程均相同，本案例工程施工步驟流程簡要說明如【圖 4-1】所示，另外連續壁工程施工相關照片如【照片 4-1】。

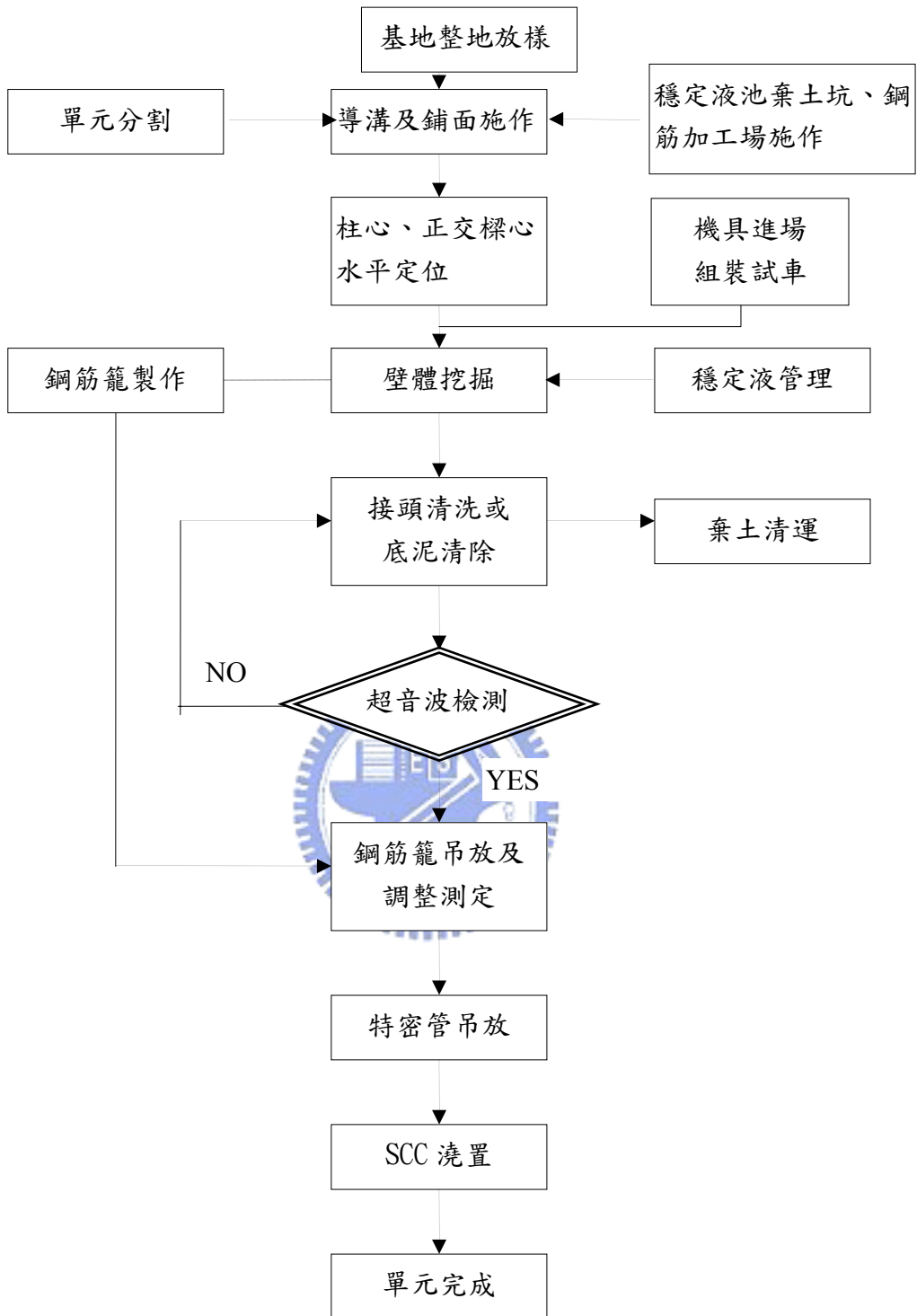


圖 4-1 連續壁工程施工流程圖



1.連續壁挖掘作業



2.連續壁挖掘作業



3.鋼筋籠加工組立



4.公單元鋼筋籠吊放



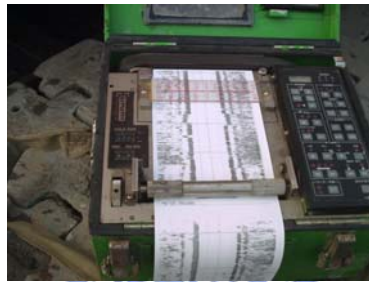
5.監測儀器安裝測試



6.特密管吊放



7.穩定液相關檢測



8.超音波檢測



9.圓柱抗壓試體製作



10.氯離子含量檢測



11.坍流度檢測



12.箱型檢測



13.V型檢測



14.SCC 澆築作業



15.SCC 澆築記錄作業

照片 4-1 SCC 連續壁相關施工照片

4.2 SCC 單一強度配比試拌

本研究案例工程連續壁工程部分係依工程招標文件中設計需求書之設計準則規定，混凝土採自充填混凝土，混凝土充填能力等級為 1 級，混凝土設計強度為 28 天齡期 $280\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

依據工程契約第 03315 章自充填混凝土配比廠(產)拌規定，配比選定後，須於混凝土預拌廠內進行廠(產)拌試驗，以確認採用此配比之混凝土在正式生產時，其品質均能符合本規範之規定【16】。工程契約第 03315 章 SCC 相關規定如下：

(1) SCC 粗粒料使用量應參照下列【表 4-2】之規定；

表 4-2 SCC 粗粒料使用量之參考值*

混凝土充填能力等級		1	2	3
構造條件	鋼筋最小間距 (mm)	30~60	60~200	200 以上
	單位體積鋼筋用量 (kg/m^3)	350 以上	100~350	100 以下
粗粒料之絕對體積 (m^3/m^3)		0.28~0.31	0.30~0.33	0.30~0.36

*日本土木學會「高流動混凝土施工指針」，1998 年 7 月

(2) 相關性能：

- A. 相關性能要求之參考值如【表 4-3】，使用時須先依構造物條件決定 SCC 充填等級，以獲得各項性能之要求值。
- B. SCC 之相關性能分別以坍流度、V 型漏斗流出時間、間隙通過性及現場全量通過性表示之。
- C. 相關性能試驗之目的、器具及試驗方法參考 CNS 14840 (U 形或箱形法)、CNS 14841 (漏斗法)、CNS 14842 (高流動性混凝土坍流度試驗法)。

表 4-3 SCC 相關性能要求之參考值

混凝土充填能力等級		1	2	3
構造條件	鋼筋最小間距 (mm)	30~60	60~200	200 以上
	單位體積鋼筋用量 (kg/m ³)	350 以上	100~350	100 以下
鋼筋間隙通過(箱型或 U 型)試驗 充填高度 (mm)		300 以上 (R1 障礙)	300 以上 (R2 障礙)	300 以上 (無障礙)
流動性	坍流度 (mm)	550~700		550~650
抗析離性	V 漏斗流出時間 (sec)	10~20	7~20	7~20
	坍流度達 50cm 所需時間(sec)	5~25	3~15	3~15

*日本土木學會「高流動混凝土施工指針」，1998 年 7 月

本案例工程採用之 SCC 配比表 (280kgf/cm²)，係由預拌廠負責試拌並出具配比表如【表 4-4】【17】，送業主（主辦工程機關）審核後據以執行。另外本案例工程與國內相關工程之 SCC 配比表如【表 4-5】【18】【4】，顯示各工程使用配比膠結材用量不同，仍能獲致相同之設計強度(280kgf/cm²) 要求及優越性能。

表 4-4 SCC 配比表

預拌混凝土廠商：由承包廠商提供合格之預拌混凝土廠商	
1. 設計強度：280 kgf/cm ²	16.每立方公尺各材料所使用量如下： ● 淨用水量：171.5 kg ● 水泥用量：220 kg ● 粗粒料用量：807 kg ● 細粒料用量：926 kg ● 爐石用量：110 kg ● 飛灰用量：110 kg ● SCC 附加劑用量：3.52 kg <u>每立方公尺總重：2349 kg</u>
2. 充填等級：R1	
3. 坍流度：55~70cm	
4. 水泥廠牌：信大 II 型	
5. 飛灰廠牌：台塑	
6. 爐石廠牌：晉瑜	
7. 水膠比：0.398	
8. 最大粒徑：19mm	
9. 砂細度係數：2.80	
10. 砂比重：2.64	
11. 石比重：2.70	17.配合比例： 膠結量：砂：石 = 1：2.11：1.83
12. 水泥比重：3.15	18.SCC 附加劑廠牌：MP-4000 19.附加劑用量為水泥用量之 0.8%；減水率為 25%；空氣含量：15 L。
13. 爐石比重：2.90	
14. 飛灰比重：2.1	
15. 水質：自來水	

*本表內容係由預拌混凝土廠商提出並經監造單位審核之配比資料

表 4-5 其他工程案例 SCC 配比表

工程名稱	強度 kgf/cm ²	水泥 kg/m ³	爐石 kg/m ³	飛灰 kg/m ³	W/B	藥劑 kg/m ³	備註
臺北地鐵松山~南港 延伸段	280	200	100	100	0.46	6.3	文獻 【18】
中山高速公路員林~ 高雄段拓寬工程 531 標	245	250	123	82	0.41	6.8	
海洋博物館	280	220	70	115	0.45	7.0	
高雄捷運 R12 車站工 程	280	300	--	100	0.44	6.8	
臺北市內湖區市民運 動中心暨科技園區服 務中心新建統包工程	280	220	110	110	0.398	3.52	僅地下連 續壁工程
臺北市廢鐵道廣場附 建地下停車場新建統 包工程	280	250	105	65	0.40	3.99	地下連續 壁工程公 單元及地 上建築物

註：【18】為參考文獻

4.3 地下連續壁相關計劃書

行政院公共工程委員會為提升公共工程施工品質，於 85 年訂定「公共工程施工品質管理作業要點」，對於公共工程三級品管制度的實施方式加以規範，嗣配合政府採購法之相關規定及實務上需要，分別完成多次修正。

依據工程契約之臺北市政府所屬各機關辦理公共工程施工品質管理作業要點及其補充要點等規定，廠商應依工程之特性與合約要求擬定施工計畫並提出品質計畫，設立品管組織，以確保工程的施工成果能符合設計及規範。

4.3.1 品質計畫書

依據工程契約等相關規定，廠商應依工程之特性與合約要求擬定施工計畫並依規定期限內提送地下連續壁分項品質計畫書；即希望施工廠商針對工程設計規範要求，自行擬訂工程品質管理機制及作業標準並落實執行，以確保工程的施工品質。

廠商提送之地下連續壁分項品質計畫書，其內容應包括：

- 一、前言。
- 二、計畫範圍：依據、工程概要、工程主要施工項目及數量、適用對象。
- 三、管理責任：品管組織、工作職掌、管理審查。
- 四、施工要領：放樣、挖掘、穩定液管制、鋼筋加工吊放、監測設備安裝、混凝土澆置作業等項目施工要領之訂定。
- 五、品質管理標準：放樣、挖掘、穩定液管制、鋼筋加工吊放、監測設備安裝、混凝土澆置作業等項目品質管理標準之訂定。
- 六、材料及施工檢驗程序：材料設備檢驗程序、施工檢驗程序。
- 七、自主檢查表：放樣、挖掘、穩定液管制、鋼筋加工吊放、監測設備安裝、混凝土澆置作業等項目自主檢查表之訂定、自主檢查表之執行。
- 八、不合格品之管制：不合格材料及設備之管制、施工不合格品之管制。
- 九、矯正與預防措施：矯正措施、預防措施。
- 十、內部品質稽核：品質稽核權責、品質稽核範圍、品質稽核頻率、品質稽核流程。
- 十一、文件紀錄管理系統：文件管理系統、紀錄管理作業程序、紀錄移轉及存檔。

4.3.2 施工計劃書

依據工程契約等相關規定，廠商應依工程之特性與合約要求擬定施工計畫並依工程施工項目及契約要求，配合整體施工預定時程，檢討訂定分項施工計畫項目與其預定提送時程（可參考如【表 4-6】），並對施工計畫送審情形訂定管制程序。

廠商應依規定期限內提送地下連續壁分項施工計畫書，其內容應包括：

- 一、 工程概述：工項概要、內容及數量等。
- 二、 基地概述：環境分析暨初步動線概述、基地地層地質概述。
- 三、 人員組織：施工人員組織、協力廠商人力安排。
- 四、 施工前準備：電力配置、水量需求。
- 五、 施工方法與步驟：連續壁作業流程、導溝及鋪面、場地配置、穩定液、單元劃分、壁體開挖、接頭清理、超音波檢測、鋼筋籠加工組立、鋼筋籠吊放、混凝土澆灌及界面整合。
- 六、 工程管制計畫：抽水計畫、排水計畫、棄土計畫、災害應變計畫。
- 七、 施工機具：使用機具及供電設備。
- 八、 使用材料：材料規格、材料數量、儲放及搬運。
- 九、 預定作業進度：施工規劃進度檢討、預定作業進度表。
- 十、 安全衛生管理：勞工安全衛生管理及勞工安全衛生設施設置。
- 十一、 施工圖說：施工圖說係指必要之計算書或施工大樣詳圖等文件。

表 4-6 分項施工計畫管制表

分類	提送項目	預定提送 時 程	實際提送 時 程	修正提送 時 程	審查核准 日期及文號
基礎工程 (含深開 挖工程)	連續壁工程				
	基樁工程				
	地質改良工程				
	安全支撐工程				
	土方工程				
	監測工程				
	:				
結構工程	放樣作業				
	鋼筋工程				
	模板工程				
	混凝土工程				
	鋼構工程				
	:				
裝修工程	磁磚工程				
	門窗工程				
	粉刷工程				
	油漆工程				
	:				
:	:				

*相關提送項目應參照契約規定內容辦理。

4.3.3 監測計畫

監測系統之首要目的在維護開挖工程與鄰近構造物之安全，同時在各階段施工過程中之量測數據資料可以回饋檢討，以做為下一階段施工或其他工程設計之參考依據，使工程的進行能達到安全及經濟之目的。本工程之監測系統裝設儀器項目數量簡介如【表 4-7】【17】，詳細之裝設位置與施作方法應於提送之安全監測計畫書中詳述；安全監測計畫書內容應包括下列項目：

- (1) 前言
- (2) 監測項目：
- (3) 監測儀器安裝及量測：儀器規格、安裝及量測、施工進度、觀測頻率

- (4) 監測紀錄及結果處理：量測記錄日報表和週報表（包括溫度、晴雨、觀測儀器執行項目表、觀測日期及時間、觀測位置、作業人員姓名、監測器材之型式及序碼、干擾或延誤監測作業時間與原因、結構物之任何裂縫或損壞或其它事故、接近監測系統的施工載重或其它活動等。）、監測工作報告（包括基地狀況及施工概況、觀測系統儀器配置及其目的、觀測結果及分析研判、結論與建議等。）。
- (5) 觀測資料回饋之應變計畫

表 4-7 觀測儀器項目數量表

觀測項目	使用儀器	儀器廠牌	儀器數量	說明
連續壁側位位移	傾度儀觀測管	美國 SINCO	6 處	壁體內,深度 L=47m 深入連續壁底 10 公尺
鋼筋應力觀測	鋼筋計	美國 GEOKON	72 支	6 個連續壁單元,每單元裝設 12 支鋼筋計,裝設深度為 5.5、9 公尺處內外側
支撐軸力觀測	支撐應變計	美國 GEOKON	40 只	五層支撐,每層各裝設 4 處,每處於支撐之兩側各裝設 1 只應變計
建物傾斜量測	建物傾斜計	國產品	2 處	依現地狀況設置於鄰近建物上
沉陷點觀測	沉陷觀測釘	國產品	42 處	四周道路及建築物
中間柱隆起觀測	中間柱隆起標點(尺)	國產品	5 處	中間柱上
地下水位觀測	水位觀測井	國產品	1 處	基地外埋設深度 10 公尺
地下水壓觀測	豎管式電子式水壓計	美國 GEOKON	2 處	基地外埋設深度 33 公尺
筏基底版水壓觀測	電子式水壓計	美國 GEOKON	2 處	埋設深度筏基底版下 0.5 公尺
自動量測系統*	Data Logger	美國 CAMPBELL	1 套	

註：摘自【17】施工計畫書之安全監測計畫章節

4.4 地下連續壁 SCC 施工問題與處置

4.4.1 母單元端版設計

地下連續壁採用一般水中混凝土澆築者，其母單元端版一般採用 4.5mm 厚度平直鋼板施做，然而本案例工程採用 SCC 澆築，由於一般認為 SCC 初凝時間較長且具高流動性，其端版底部勢必承受較大之側壓力，故端版採用厚度 6mm 之凹型鋼板如【照片 4-2】，水路長度加長，增強防水效果。鋼筋籠之組立，應先立好端板使之平直，再逐一與鋼筋連結端板與端板間之焊接，其接縫應滿焊，並以#4 以上鋼筋補強如【照片 4-3】，確保吊放之平衡及增加端版勁度。另外每一單元挖掘時不宜超挖，同時應使端版能灌入原土層 30~50cm(一般為 20~30cm)，以避免混凝土從端版底端上擠。



照片 4-2 端版凹型鋼板



照片 4-3 端板接縫應滿焊

4.4.2 母單元鋼筋籠側面帆布設置

由於地下連續壁壁體是由軟弱土壤組成而非一般結構體之模板或鋼版之堅硬面組成，壁體的平整度因土壤成份不同而略為不同；母單元鋼筋籠兩端因有鋼版設置，混凝土轉由左右兩側土壤壁面滲漏，故端版兩側帆布之安裝，應安裝螺絲並鎖緊，於電焊時不可燒破。繫帆布之範圍內，不可裝設護耳以防止鋼筋籠吊放時因擠壓導致護耳戳破帆布造成漏漿。

地下連續壁採用一般水中混凝土澆築者，一般母單元均採單層帆布施

做即可達到防止漏漿之效果，而本案例工程為因應 SCC 高流動性，則採雙層帆布施做，並於交接面特別加強固定，其母單元帆布裝置如【照片 4-4】，期以雙重防護以有效防止漏漿之情事發生；經實際施工過程中仍有部分單元發生漏漿之情事，檢討原因可能有下列幾種情況：

- (1) 鋼筋籠吊放疏失（下墜速度過快、偏斜）致碰觸土壤壁面造成帆布破損。
- (2) 浮力造成帆布固定點鬆弛、破損。
- (3) 鋼筋鬆動穿透帆布破損。
- (4) 端版固定帆布處鬆動造成漏洞。
- (5) 電焊時不慎燒破帆布。



照片 4-4 母單元帆布裝置

4.4.3 母單元端版外側背回填碎石設置

連續壁體開挖擾動深層土壤造成部份混凝土從單元接頭處湧出端板外，漏漿造成後續單元連續壁施工之困難。每一單元挖掘時不宜超挖，同時應使端版能灌入原土層 20~30cm，以避免混凝土從端版底端上擠；灌漿前先於端板外側回填碎石約 50cm 高，以增加端版勁度並阻擋混凝土從端版底端上擠或側邊滲漏，灌漿過程中若有漏漿情形，則再以碎石或土回填後，繼續灌漿，此為解決漏漿問題之對策之一。

本案例工程為考量 SCC 高流動性及初凝時較長，恐造成端版底部極大側壓力，為安全起見，將背填碎石增加至約 200cm 高，在施工過程中已有效阻止上述漏漿情事發生，惟增加 10 倍回填碎石成本。

4.4.4 漏漿問題

地下連續壁於母單元澆築混凝土作業中，發生漏漿情形，一般係因端版插入土層深度不足且外側背填碎石級配不足以抵擋混凝土由端版下端滲漏至外側，另外可能端部帆布破損或端版固定不牢變形造成混凝土由端版兩側滲漏，其中帆布破損原因一般係因鋼筋電焊作業燒毀破損、吊放鋼筋籠作業碰撞壁面造成破損及帆布裝置作業未確實等人為疏失造成。

一般實務上避免漏漿處置作為有下列幾點：

- (1) 連續壁底部屬砂土或黏土層之地質，其端版可設計比鋼筋籠長約 50 cm 以上，使端版貫入土壤中，類似鋼版樁效應以減少混凝土滲漏。
- (2) 端版加工製作及帆布設置應力求確實牢固，吊放鋼筋籠作業中亦應隨時檢查確保牢固。
- (3) 端版外側回填碎石級配，作為端版支撐及減少混凝土滲漏。
- (4) 澆築混凝土作業中，隨時量測並記錄澆置面高程，如有澆置面高程不增反降或持平等異常現象，即表示有漏漿情形發生，應立即暫停澆置，並於漏漿端外側回填碎石級配至改善為止。
- (5) 如有漏漿情形發生後次日，於漏漿處先行以衝錘衝擊，以減少混凝土凝結成塊，增加公單元挖掘困難及施工成本。

本研究案例中，因 SCC 具有粒料均勻性及高流動性，在母單元漏漿情形發生後，SCC 在公單元超泥漿水中堆積過程中，並未產生粒料稀離現象，如同結構體一般成塊堅固如【照片 4-5】，充分顯示 SCC 在水中擁有不易稀離之特色；造成公單元挖掘困難及施工成本，故地下連續壁採用 SCC 澆築時，應特別加強端版及帆布等設置妥善。



照片 4-5 SCC 漏漿之狀態

4.4.5 坍孔問題

連續壁施工中較常發生的問題有開挖面崩坍、逸流現象及於地下室開挖中單元接頭滲漏水，一但有事故發生時，應立即採取應變措施，防止災害擴大，通常在警覺有崩坍徵兆時，首先應即時抽離開挖機具，以防埋沒，並儘速檢討因應對策，並於崩坍地點採取回填、地質改良等補救措施。以下就常見連續壁開挖面崩坍(坍孔)施工事故防範及處置加以略述如【表 4-8】，坍孔情況常造成牆面不平整如【照片 4-6】，亦增加改善措施施工時成本。



照片 4-6 坍孔造成牆面不平整

表 4-8 常見連續壁開挖面崩坍(坍孔)施工事故防範及處置

坍孔發生前之異常現象	坍孔的防範	坍孔處置
1. 導溝穩定液面發生異常波動並伴隨氣泡。 2. 導溝與土壤接觸之接縫逐漸變大。 3. 挖掘或鑽掘中突然呈現與挖掘地層不同之土層。	1. 落實穩定液品質管制及開挖中單元之穩定液液面高程量測。 2. 視地質建物之相關條件適當變更穩定液配比。 3. 密切監視開挖單元附近之觀測系統。 4. 現地存放適量土方以應緊急回填需用。	1. 造成壁溝大崩坍必定伴隨穩定液大量流失，緊急處理狀況為穩定液之加強補給填注，並配合回填開挖部分溝槽直至導溝面。 2. 崩坍單元附近地質改良後再行施築連續壁。

4.5 施工品質一級自主檢查

公共工程委員會積極推動之公共工程三級品管制度，即一級品質管制（廠商）、二級品質保證（主辦機關、監造單位）、三級品質評鑑（公共工程委員會、直轄市政府），為落實公共工程三級品管制度，於工程契約中明訂相關品質管制規定，如「臺北市政府所屬各機關辦理公共工程施工品質管理作業要點」、「臺北市政府工務局新建工程處工程施工期間品管作業程序」等，要求施工廠商應落實一級自主品管以確保工程品質；茲針對連續壁施工過程中，主要檢查項目有如穩定液檢查、鋼筋籠檢查、壁體超音波檢查、SCC 預拌混凝土澆置記錄等，敘述檢查要點及相關表格並佐以照片說明，俾利作業人員即時掌控施工過程之品質。

另外依臺北市政府工務局及所屬工程處辦理公共工程施工品質管理作業補充要點中各類工程重要工作項目參考表，亦將地下連續壁檢查項目列入管制；茲將工地實務上有關地下連續壁檢查項目歸納如下表【表 4-9】。

表 4-9 地下連續壁檢查項目

工程項目	停檢點	檢查項目	說明
地下連續壁工程	連續壁穩定液試驗	穩定液試驗紀錄,現場試驗儀器包括:漿密度天平、漏斗黏滯性儀、過濾壓試器、PH 值顯示儀、200 號篩等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制穩定液品質主要是增進掘削之精確安全及確保壁面穩定避免坍塌。 2. 管制:穩定液自主檢查表(如表 4-11)
	超音波檢測	鑽掘深度、垂直度、坍孔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢核鑽掘深度達設計值、壁體垂直度、厚度及是否坍孔。 2. 管制:壁體超音波檢測自主檢查表(如表 4-13)
	鋼筋籠吊放	鋼筋籠加工製作、配筋情形、護耳、搭接、監測設備預留、吊車設備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鋼筋籠加工製作是否依設計圖施做,影響結構安全 2. 鋼筋籠之續接以採用搭接電焊為原則,吊放時不得有變形或鬆散,避免碰撞壁體,產生壁面坍塌或鋼筋插入必壁體內。 3. 管制:鋼筋籠自主檢查表(如表 4-12)。
	混凝土澆置紀錄	預拌廠出貨單、工地現場品質檢驗(包括坍流度檢測、V 型檢測、箱型檢測、氯離子含量檢測、圓柱試體)、澆置情形紀錄	<ol style="list-style-type: none"> 1. 除了設計及施工因素外,混凝土品質決定了整體結構安全及壽命,故在混凝土澆置過程中必須確實執行品質管制,以確保工程品質及降低成本。 2. 管制:SCC 澆置記錄表(如表 5-17)、SCC 進場品質管制記錄表(如表 5-18)、SCC 圓柱體 28 天抗壓強度統計表(如表 5-19)。

4.5.1 穩定液檢查

水中掘削施工中穩定液被普遍使用，亦是連續壁施工中最難掌握的項目。良好之穩定液控制不但有益掘削之精確安全及壁面穩定避免坍塌，可讓混凝土達到設計強度。

根據附近相關工地之施工經驗，施工初期擬先採用高分子超泥漿為穩

定液，施工中若遇大量逸水現象發生，則將改用清水混合天然泥漿穩定液，攪拌後之穩定液放入沉澱池內，掘削中利用沉水泵配合自動補水系統，抽至導溝內，以維持水位之高度。其使用計劃【17】分述如下：

(1) 高分子超泥漿穩定液簡介

超泥漿是一種 Polyacrylamide 高分子聚合物所組成之高濃縮性穩定液材料，用於連續壁或基樁施工時，具有穩定溝槽之功能，可完全取代傳統皂土。其分子量為 18,000,000~25,000,000，分子與分子間藉著交鍊彼此連接，遇水之後產生膨脹作用，如此可提高水的黏滯度，其可在壁面形成一層富有強韌性的膠合薄膜，以防止開挖壁面之崩塌，達到穩定溝槽的效果。

(2) 超泥漿穩定液調配方法

首先以水處理劑將水之酸鹼度調整至 8-12 間，隨即將超泥漿顆粒以 1:3000 之配比加入水中，並測試黏滯度在 32-40 秒間，若黏滯度不足，則必須再添加超泥漿顆粒。

(3) 超泥漿穩定液之施工檢驗項目

使用超泥漿穩定液施工時，現場需配合之檢驗項目有下列四項

- ① 黏滯度：使用馬氏漏斗器 (Marsh Funnel)，黏滯杯(Viscosity Cup)，計秒錶(Stop Watch)等儀器檢驗。
- ② 比 重：使用 Mud Balance 儀器檢驗。
- ③ 含砂量：使用 Sand-Content Set 儀器檢驗。
- ④ 酸鹼值：使用電測錶或檢測紙帶。

(4) 超泥漿穩定液之檢驗方法

- ① 馬式漏斗黏滯度(Marsh Funnel Viscosity)測定如【照片 4-7】

美國 API 規格 946cc/1500cc

- a. 將漏斗及黏滯杯清洗乾淨。
- b. 以手壓住漏斗容器的孔口，再將穩定液試樣從漏斗容器上方之 0.25mm 金屬網篩孔倒入，直到穩定液液面達到金屬網篩孔之底

線 1500cc 為止。

- c. 移開手指並且同時按下馬錶，測量穩定液流入黏滯杯至刻度 946cc 所花費的時間，即為馬式漏斗黏滯度。
- d. 一般清水所測出之馬式漏斗黏滯度為 26sec。

② 比重(Specific Gravity)測定如【照片 4-8】

- a. 將泥漿比重計放置於水平的桌面上。
- b. 測量穩定液試樣的溫度並記錄之。
- c. 將容器杯洗淨擦乾，在將穩定液試樣填滿容器杯，加蓋旋轉使多餘的穩定液由蓋上小孔流出。
- d. 擦乾溢出之穩定液後，將容器杯置於泥漿比重基座上，沿著臂桿移動游碼，當氣泡居中時，即為平衡狀態。
- e. 記錄游碼靠近容器杯端之刻度讀數至小數點下三位，即為穩定液之比重。

③ pH 值測定如【照片 4-9】

將石蕊試紙放入穩定液中，將此石蕊試紙所呈現之顏色與 pH 值各標準色對照即可讀出 pH 值各標準色對照即可讀出 pH 值係氫離子濃度之倒數對數。pH=7 為中性，7 以下為酸性，7 以上為鹼性，超泥漿穩定液通常在鹼性情況下活性最佳。

④ 含砂量(Sand Content) 測定如【照片 4-10】

- a. 將穩定液灌注到 75cc 刻度上，其次加水到 250 cc 刻度，塞住瓶口，振動攪拌。
- b. 將測定器之穩定液灌注篩(74 μ)上，同時用水清洗測定器，使其內不殘留任何穩定液，而能完全倒入篩內。
- c. 將篩倒轉插入漏斗中，漏斗之前端插入測定器頭部，整體慢慢搖轉。在篩之裡側加入少量水，使篩上之砂量能沖洗入測定器內。以此種狀態使砂沉澱到測定器內。

d. 沉澱在測定器內者稱為含砂量，讀取測定器之刻度，以容積之百分率來表示，則為砂量含有率。

(6) 超泥漿檢驗標準如【表 4-10】。

(7) 穩定液（超泥漿）試驗自主檢查表如【表 4-11】

表 4-10 超泥漿檢驗標準表

項次	檢 驗 項 目	檢 驗 標 準	檢 驗 時 機 與 次 數
1	黏滯度	32sec ~ 40sec	每日早晚 2 次 (2 回/天)
2	比重	1.0 ~ 1.1	
3	pH 值	8~12	
4	含砂量	< 7%	

表 4-11 穩定液（超泥漿）檢測自主檢查表

廠商名稱						
工程名稱						
檢測單元				檢測日期		
檢測項目	檢 測 基 準			檢 測 結 果		
黏 滯 度	黏滯度是否大於 32~45 秒					
比 重	比重是否介於 1.00~1.005 之間					
PH 值	PH 值是否介於 8.0~12.0 之間					
含 砂 量	含砂量是否小於 1% (使用中)					
備 註	一般高分子聚合物穩定液含砂量均小於 1%，無需檢測。					
試 驗 者		品 管 工 程 師		工 地 主 任		



照片 4-7 黏滯度檢測



照片 4-8 比重檢測



照片 4-9 pH 值檢測



照片 4-10 含砂量檢測

4.5.2 鋼筋籠檢查

在地下連續壁工程中，每單元之鋼筋必須於工地現場以人力加工製作，完成後之鋼筋組(一般稱為鋼筋籠)再以吊車吊放至導溝內沉入溝渠內如【照片 4-11】，故鋼筋籠的檢查除核對是否依設計圖說製作外，對鋼筋籠是否牢固而吊放過程中是否順利，將是影響工程進度最主要因素之一，茲將實務上對鋼筋籠的檢查項目及填寫之檢查表格彙整如下幾點供參，其中鋼筋籠的自主檢查表，除有效掌控施工品質外，亦將是施工廠商提供公共工程委員會或各機關施工查核作業中對品質自主檢查管制之重要佐證資料。

1. 連續壁工程之鋼筋籠加工製作，均依設計圖再繪製公母類型施工圖，以為施工之依據。主筋依規範採可焊鋼筋。
2. 本研究案例工程連續壁深度 35~37m 深之單元，每一鋼筋籠之加工製作配合吊車設備，以三段式之方式來進行，主筋採於鋼筋床上搭接乙次，再於導溝上搭接一次之方式處理。依單元之長度加工，裁剪所需之橫筋、預留筋、直撐筋、浪型筋、吊點鋼筋等。
3. 鋼筋籠製作必需確定牢固，因吊裝之需要並做適當之補強。鋼筋籠吊放時，使用錘球及經緯儀輔助，在 X、Y 兩方向控制垂直度，同時於導溝上以鋼釘噴漆標示鋼筋籠吊筋之位置，以控制鋼筋籠頂端之高程並保持水平位置，即能確保鋼筋籠之正確位置，若鋼筋籠之吊筋移位不成水平，鋼筋籠即呈向左或向右方向之傾斜，將造成下單元掘削及吊放鋼筋籠之困難。更將造成地下構造之預留筋位置不正確之施工困難。
4. 鋼筋籠之組立以電焊點焊進行，點焊應確實完整，焊點不可小於 3/16”，但以不傷及主筋為原則。
5. 鋼筋籠電焊採用高張力焊條，符合中國國家標準 CNS E5816 或 AWS E60 之標準。電焊時，平焊電流應以 160~220 Amp 之範圍為限。
6. 鋼筋工電焊時，因操作不當致使鋼筋受損，斷面積不足時，則以相

同號數之鋼筋彌補之。

7. 為確保混凝土保護層之厚度，鋼筋籠之二側應裝設間隔墊塊。
8. 鋼筋籠吊放橫向許可誤差不得超過 7.5 公分，頂部豎向許可誤差不得超過 5 公分，誤差太大時，必須重新吊放。
9. 鋼筋籠之組立，應先立好端板使之平直，再逐一與鋼筋連結端板與端板間之焊接，其接縫應滿焊，並以#4 以上鋼筋補強，確保吊放之平衡。
10. 鋼筋籠之製作焊點須牢固不可損及主筋，為減少受應力之斷面積，原則上採跳點焊之方式進行焊接。
11. 鋼筋籠之電焊作業係為組立及吊放所需，電焊之強度與壁體應力傳遞無關。
12. 鋼筋籠製作時，應先預留本單元之特密管預留孔，不可有斜拉筋或其他預留筋，避免鋼筋籠吊放完成後，發現特密管吊放有所障礙，嚴重影響施工品質。
13. 母單元帆布之安裝，應安裝螺絲並鎖緊，於電焊時不可燒破。繫帆布之範圍內，不可裝設護耳以防止鋼筋籠吊放時因擠壓導致護耳戳破帆布，造成漏漿。
14. 吊點補強於三點吊處應加補強筋。起吊時，人員應疏散到吊車作業半徑以外。補強筋不可使用高拉力鋼筋以防止斷裂造成危險。
15. 鋼筋籠之製作應於連續壁開挖及超音波檢測完成前即完成，不可有開挖完成後尚需等鋼筋籠之現象。
16. 鋼筋籠頂端高程為 GL+40cm，為混凝土澆灌及高程控制之便，鋼筋籠必須吊掛於導溝上，每單元鋼筋籠吊掛以四組吊耳施作。
17. 吊放前先丈量深度，應先檢測槽溝內之沉澱情形，並採取距溝底部附近深度之穩定液樣品，並檢定其含砂量，含砂量超過 7%時，應重新清除溝底沉泥，以便吊放工作能順利完成。

18. 鋼筋籠吊放後，如因沉泥過多時，將以特密管循環方式，將壁底沉泥吸除。

19. 鋼筋籠施工自主檢查表如【表 4-12】、施工相關照片如【照片 4-11】

表 4-12 鋼筋籠施工自主檢查表

廠商名稱				檢查日期	
工程名稱				檢查單元	單元
單元厚度	cm	單元寬度	m	單元深度	m
檢查項目	檢 查 基 準			檢 查 結 果	
鋼筋材料	是否已檢驗合格、核准日期文號、是否為可焊鋼筋				
主筋	號數、支數、間距、長度是否符合				
副筋	號數、支數、間距、長度是否符合				
護耳	尺寸、水平垂直間距、牢固否				
端版	位置、厚度、牢固否、帆布安裝螺絲鎖緊牢固否				
預留筋	鋼筋號數尺寸、位置、保護設施、牢固否				
監測系統	型式、數量、位置、牢固否				
電焊部分	焊條、電焊機電擊防護裝置、焊點是否牢固、有否損主筋				
吊裝作業	吊車	是否有定期安全檢查紀錄			
	人員	是否有吊車執照、吊掛手執照、安全管理及指揮系統是否完成			
	吊掛裝置	吊掛點(吊耳)是否正確牢固、纜線狀況、補強筋是否正確牢固			
	搭接點	鋼筋搭接長度是否足夠、電焊牢固否、監測系統搭接是否完備、			
	位置	深度、垂直度是否符合設計要求			
備 註					
檢 查 者		品管工程師		工地主任	



1. 鋼筋籠加工組立



2. 鋼筋籠吊放作業



3. 鋼筋籠搭接作業

照片 4-11 鋼筋籠施工相關照片

4.5.3 壁體超音波檢查

對地下連續壁工程而言，壁體挖掘過程中主要靠穩定液來穩定壁面，溝壁深度往往深達 30~50m 加上土質的變異性及施工機具、工人熟練度等等因素，為知曉溝面的平整性及垂直度，一般係透過超音波孔壁測定儀來檢視壁體完整性及垂直度；超音波孔壁測定儀如【照片 4-12】係由導溝將探測子往下吊放，再以超音波測定掘削孔壁之垂直精度與坍方情形如【照片 4-13】。故第一單元開挖完成後，即應以超音波來測定孔壁之垂直度及坍方程度，測定結果必須經工程師簽名並註明壁體垂直精度，做為後續施工及穩定液配比之參考。

一般設計要求之測定精度及位置如下：

1. 連續壁垂直度許可差不得大於 1/300。若垂直度未達規定標準時，即應以 MHL 抓斗再行掘削修正，若有不可克服之垂直度誤差時，必須於地下室土方開挖時再以人工打石作業修整之。
2. 挖掘深度除非有不可克服之障礙，無法繼續施工者外，不得少於設計深度。
3. 挖掘深度不得大於設計深度 50cm 以上。
4. 測定位置：每單元均須檢測，公單元選定一位置如【圖 4-2】，母單元選定兩位置辦理超音波檢測如【圖 4-3】。

表 4-13 壁體超音波檢測自主檢查表

廠商名稱				檢測日期	
工程名稱				檢測單元	
單元厚度	cm	單元寬度	m	單元深度	m
檢測項目	檢 測 基 準			檢 測 結 果	
超音波儀器	名稱、校正日期				
挖掘深度	是否達設計深度且未超過 50cm 以上。				
垂直度	垂直度許可差不得大於 1/300				
其他	坍孔情形、測定結果簽名及判定				
備 註	測定結果(如照片 3-13)必須經工程師簽名並註明壁體垂直精度後，黏貼於本檢查表背面存參。				
檢測者		品管 工程師		工地 主任	

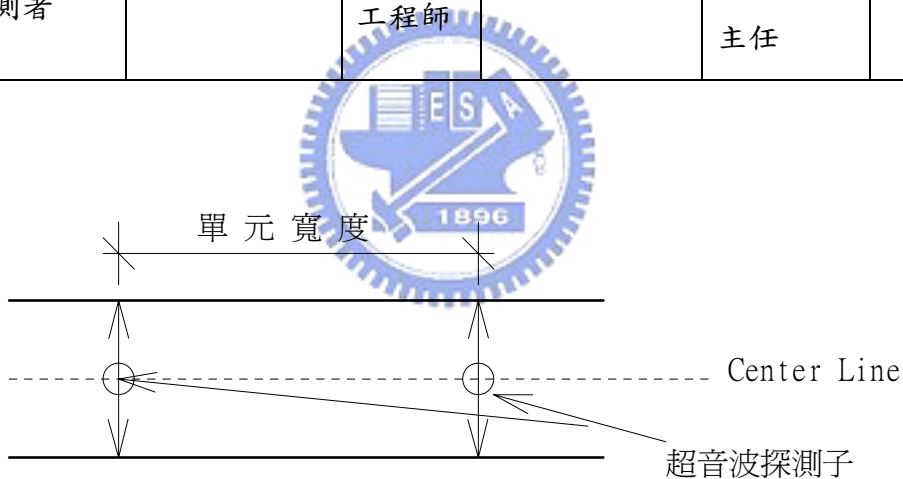


圖 4-2 母單元超音波測試位置示意圖

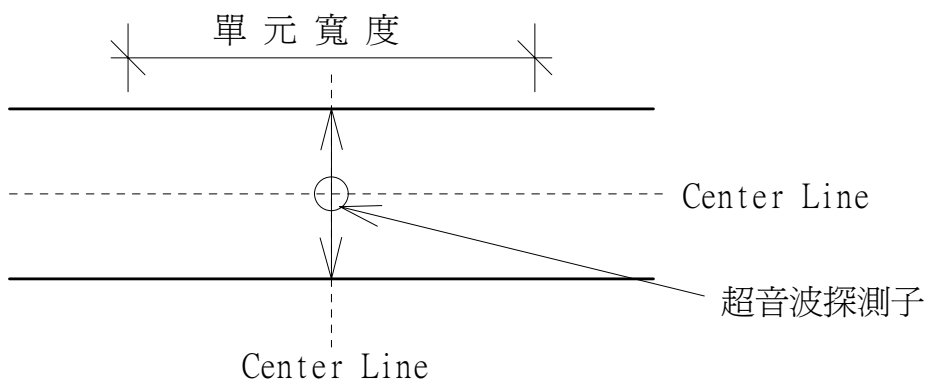


圖 4-3 公單元超音波測試位置示意圖



照片 4-12 超音波孔壁測定儀



照片 4-13 測定結果

4.5.4 SCC 預拌混凝土澆置記錄

公共工程三級品質管制的落實執行攸關公共工程品質至鉅，其中第一層級之廠商品質管制是為關鍵。所以當 SCC 預拌車到達工地現場時，即隨機抽樣進行坍流度、V 形、箱型、氯離子含量等檢測，符合設計規範要求方可進行澆置作業；在地下連續壁混凝土澆置過程中，尤其須特別記錄每車次澆置面以水尺檢測混凝土實際上升深度及特密管埋入深度，特密管埋入深度應保持 1.5m 左右，避免埋入深度不足造成斷樁或埋入深度過深造成鋼筋籠浮起，以及漏漿時未能立即發現處理或造成澆置面不連續，另外母單元澆置最可能發生漏漿，澆置中應隨時以水尺量測端版外側深度，若測知漏漿跡象時應暫停澆置，俟處理穩定後再行澆置，以免影響品質及增加工時成本。

本案例工程依原品質計畫之相關品質管理表格實際執行情形以第 31 單元為例，其 SCC 預拌混凝土工地現場澆置記錄表如【表 4-14】、連續壁 SCC 現場澆置曲線圖如【圖 4-4】、SCC 混凝土品質控制表【表 4-15】。

表 4-14 SCC 預拌混凝土工地現場澆置記錄表

連續壁工程混凝土澆置記錄

單元編號： 31	單元壁厚(m)： 0.9	單元壁深GL(m)： 37	單元寬度(m)： 6.5	單元淨寬(m)： 6.59
灌漿日期： 95.05.09	單元類別： 公單元	外導牆高程GL(m)： 0.6	壁頂高程GL(m)： 0.2	量測基點GL(m)： 0.4
設計用量(m ³)： 220.6	實際用量(m ³)： 218	估計用量(m ³)： 220.0	差異量(m ³)： -2.0	差異量(%)： -0.9%

預估曲線	
灌漿量	深度
0	37.3
220.0	0.2

混凝土強度 (psi)	車次	混凝土量(m ³)		預估深度 (m)	實際澆置深度(m)			上升高度(m)				特密管長度(m)			碎石高度(m)		備註			
		本車	累計		平均	左	中	右	預估	實際	差異%	差異m ³	左	中	右	左		右		
4000	0	0	0	37.3	37.30	37.3		37.3				0.00	0.0	0.0%	0.0	36		37		
4000	1	0	0									0.00	0.0	0.0%	0.0	36		37		
4000	2	10	10	35.6	35.40	35.6		35.2	1.69	1.9	12.7%	1.3	36		37					
4000	3	5	15	34.8	34.50	34.4		34.6	0.84	0.9	6.7%	0.3	36		37					
4000	4	5	20	33.9	33.45	33.5		33.4	0.84	1.1	24.5%	1.2	36		37					
4000	5	5	25	33.1	32.80	32.7		32.9	0.84	0.7	-22.9%	-1.1	36		37					
4000	6	5	30	32.2	31.95	32.1		31.8	0.84	0.8	0.8%	0.0	36		37					
4000	7	5	35	31.4	31.00	31.0		31.0	0.84	1.0	12.7%	0.6	36		37					
4000	8	5	40	30.6	30.10	30.0		30.2	0.84	0.9	6.7%	0.3	36		37					
4000	9	5	45	29.7	29.30	29.2		29.4	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	36		37					
4000	10	5	50	28.9	28.40	28.5		28.3	0.84	0.9	6.7%	0.3	33		34					
4000	11	5	55	28.0	27.40	27.5		27.3	0.84	1.0	18.6%	0.9	33		34					
4000	12	5	60	27.2	26.60	26.5		26.7	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	33		34					
4000	13	5	65	26.3	25.55	25.6		25.5	0.84	1.1	24.5%	1.2	33		34					
4000	14	5	70	25.5	24.80	24.7		24.9	0.84	0.8	-11.0%	-0.6	33		34					
4000	15	5	75	24.7	23.85	23.9		23.8	0.84	0.9	12.7%	0.6	27		28					
4000	16	5	80	23.8	23.05	23.0		23.1	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	27		28					
4000	17	5	85	23.0	22.20	22.3		22.1	0.84	0.8	0.8%	0.0	27		28					
4000	18	5	90	22.1	21.30	21.2		21.4	0.84	0.9	6.7%	0.3	27		28					
4000	19	5	95	21.3	20.45	20.5		20.4	0.84	0.8	0.8%	0.0	27		28					
4000	20	5	100	20.4	19.65	19.6		19.7	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	27		28					
4000	21	5	105	19.6	18.70	18.8		18.6	0.84	0.9	12.7%	0.6	27		28					
4000	22	5	110	18.8	17.75	17.7		17.8	0.84	1.0	12.7%	0.6	27		22					
4000	23	5	115	17.9	17.00	16.9		17.1	0.84	0.8	-11.1%	-0.6	21		22					
4000	24	5	120	17.1	16.10	16.2		16.0	0.84	0.9	6.7%	0.3	21		22					
4000	25	5	125	16.2	15.30	15.2		15.4	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	21		22					
4000	26	5	130	15.4	14.50	14.6		14.4	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	21		22					
4000	27	5	135	14.5	13.65	13.7		13.6	0.84	0.9	0.8%	0.0	21		22					
4000	28	5	140	13.7	13.10	13.2		13.0	0.84	0.5	-34.8%	-1.7	21		22					
4000	29	5	145	12.8	12.30	12.4		12.2	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	21		16					
4000	30	5	150	12.0	11.50	11.4		11.6	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	15		16					
4000	31	5	155	11.2	10.65	10.7		10.6	0.84	0.9	0.8%	0.0	15		16					
4000	32	5	160	10.3	9.65	9.6		9.7	0.84	1.0	18.6%	0.9	15		16					
4000	33	5	165	9.5	8.75	8.8		8.7	0.84	0.9	6.7%	0.3	15		16					
4000	34	5	170	8.6	8.45	8.4		8.5	0.84	0.3	-64.4%	-3.2	15		16					
4000	35	5	175	7.8	7.05	7.1		7.0	0.84	1.4	66.0%	3.3	15		16					
4000	36	5	180	6.9	6.30	6.2		6.4	0.84	0.7	-11.1%	-0.6	15		16					
4000	37	5	185	6.1	5.40	5.5		5.3	0.84	0.9	6.7%	0.3	9		10					
4000	38	5	190	5.3	4.55	4.6		4.5	0.84	0.9	0.8%	0.0	9		10					
4000	39	5	195	4.4	4.10	4.0		4.2	0.84	0.5	-46.6%	-2.3	9		10					
4000	40	5	200	3.6	3.53	3.4		3.7	0.84	0.6	-32.4%	-1.6	9		10					
4000	41	5	205	2.7	2.70	2.5		2.9	0.84	0.8	-1.6%	-0.1	6		7					
4000	42	5	210	1.9	1.75	1.7		1.8	0.84	1.0	12.7%	0.6	6		7					
4000	43	5	215	1.0	0.95	1.0		0.9	0.84	0.8	-5.1%	-0.3	6		7					
4000	44	3	218	0.5	0.40	0.4		0.4	0.51	0.6	8.7%	0.3	6		4					

表 4-15 SCC 混凝土品質控制表

日期：94.05.09

工程名稱	臺北市內湖區市民運動中心暨科技園區服務中心新建統包工程	混凝土供應商		單元編號	第 31 單元
統包商	皇昌營造股份有限公司	協力廠商		混凝土規格	SCC 280

車次	車號	混凝土量 (m ³)	出廠 時間	進場 時間	澆灌時間		坍流度 (mm)	箱型試驗 充填高度 (mm)	氯離子檢測 (kg/m ³)	試體 編號	備註
					開始	結束					
1	501-BK	5	0820	0850	0900	0907	60,61	33.5			V:11.9
2	096-BBL	5	0830	0900	0910	0917					
3	092-BL	5	0836	0910	0913	0920					

21	091-BL	5	1023	1035	1045	1048	57,59	32			V:12.7
22	098-BL	5	1028	1040	1047	1054					
23	093-BL	5	1033	1055	1056	1101					

41	097-BL	5	1236	1250	1254	1301	59,60	33		1	V:12.2
42	501-BK	5	1313	1325	1329	1335					
43	078-BL	5	1318	1336	1337	1352					
44	428-BH	3	1342	1400	1403	1427					

現場工程師：

品管人員：

工地主任：

連續壁工程混凝土澆置曲線圖

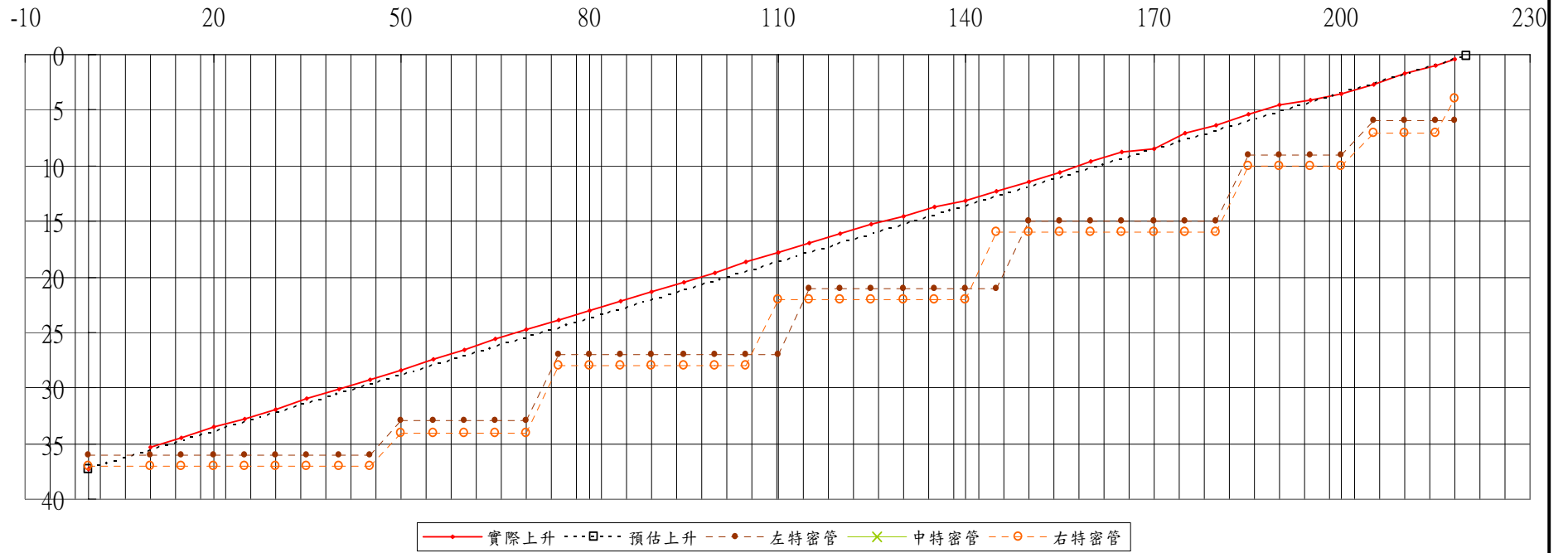


圖 4-4 第 31 單元連續壁 SCC 現場澆置曲線圖

第五章 研究結果與討論

本研究係以案例工程之地下連續壁工程採用 SCC(280kgf/cm²)單一配比設計澆築之實務面探討為主，本章即呈現 SCC 工地試驗、基本性質試驗結果，以及工程實際施工過程中對壁體監測、SCC 澆置時間、工時成本及開挖完成後之整體成果記錄與討論，期以建立實際相關之數值，以為後續設計施工之參考。

5.1 SCC 單一強度配比工地工作性能測試

本研究經取連續壁編號 2、20、24、31、35 共 5 單元澆置前之 SCC，進行坍流度試驗、V 型漏斗流出試驗、箱型充填試驗，每單元於預拌車到達工地現場隨機抽取 3 車次（每車次 1 組）共 15 組之工地現場試驗，經現場試驗記錄結果如【表 5-1】，其中坍流度介於 57.5cm~62cm 間（平均 59.9 cm），坍流度達 50 cm 時之秒數介於 5.8 秒~8.2 秒間（平均 6.8 秒），箱型試驗之 A 流至 B 槽之高度介於 32 cm~34 cm 間（平均 32.8 cm），V 型試驗之秒數介於 10.7 秒~15.7 秒間（平均 12.6 秒），每組之量測值均在規範範圍值內【1】，顯示預拌廠生產 SCC 已有相當穩定品質。

表 5-1 工地取樣 SCC 充填能力等級—R1

試驗項目	坍流度 cm		達 50cm 秒數	箱型試驗	V 型試驗
規範值	(55~70 cm)		5~25 秒	>30 cm	10~20 秒
單元	(D1/D2)	平均 cm			
2	60/63	61	6.5	34	11.7
	57/59	58	7.6	33	12.8
	60/59	59.5	6.8	33	12.6
20	59/60	59.5	7.1	33	13.2
	61/62	61.5	6.7	32	12.3
	57/58	57.5	7.9	32	15.6
24	66/64	65	6.1	34	11.1
	60/58	59	7.2	33	13.2
	57/55	56	8.2	32	15.7
31	60/61	60.5	7.3	33.5	11.9
	57/59	58	6.9	32	12.7
	59/60	59.5	6.5	33	12.2
35	63/61	62	5.9	33	10.7
	61/59	60	6.1	32	12
	62/62	62	5.8	33	11.3
小計	15 組	899	102.6	492.5	189
平均		59.9	6.8	32.8	12.6

5.2 SCC 單一強度配比基本力學性質試驗

5.2.1 抗壓強度試驗結果

(1) 28 天圓柱試體抗壓強度試驗結果

在案例工程連續壁 35 個單元中，每單元取 1~3 組圓柱試體（試體尺寸為 15cm×30cm），養護 28 天後進行圓柱試體抗壓強度試驗，經試驗結果其每單元平均抗壓強度平均值如【表 5-2】及【圖 5-1】所示。其中抗壓強度平均最低值為 368kgf/cm²、最高值為 494kgf/cm²，均已大於契約設計強度 280kgf/cm² 要求，約為 131%~176%，係因預拌混凝土廠針對 SCC 材料目前尚未普遍使用於地下連續壁結構體之特殊條件下，為確保強度均能達設計規定值，一般於配比設計上略為提高配比強度，與一般普通混凝土配比

設計理念一致的。

雖然我國尚無正式之混凝土管制水準評估準則，為評估案例工程使用量產之 SCC 品質均勻性，依照 2.2.2 節計算方式，對 35 組（單元）抗壓強度平均值計算標準偏差得 $S=33.9 \text{ kgf/cm}^2$ ，對照【表 2-1】ACI 214R-02 混凝土管制水準評估準則【8】，可判定顯示該混凝土廠生產品質屬「很好」等級（ $S=28.1\sim35.2 \text{ kgf/cm}^2$ ），顯見預拌混凝土廠商已有足夠能力生產符合設計強度及均勻性「很好」之 SCC，針對連續壁整體結構強度而言，採用 SCC 澆築呈現之成果均能符合設計要求。

表 5-2 各單元 28 天圓柱試體抗壓強度統計表 (kgf/cm^2)

單元	平均強度	單元	平均強度	單元	平均強度	單元	平均強度	單元	平均強度
1	455	8	438	15	470	22	455	29	431
2	392	9	425	16	447	23	466	30	402
3	483	10	466	17	438	24	393	31	377
4	408	11	434	18	461	25	449	32	392
5	447	12	370	19	454	26	397	33	440
6	453	13	494	20	394	27	449	34	418
7	457	14	368	21	418	28	386	35	385

各單元 28 天圓柱試體抗壓強度平均值(kgf/cm^2)

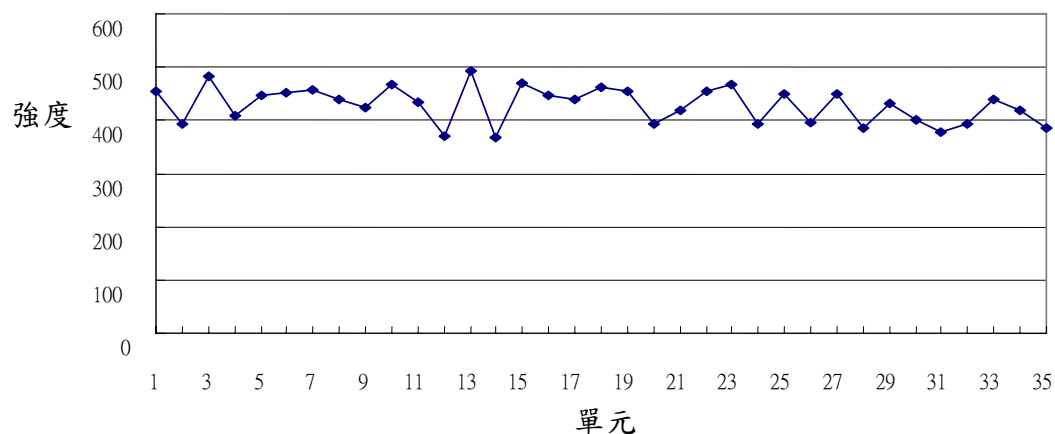


圖 5-1 各單元平均抗壓強度平均值曲線圖

(2) 不同齡期的圓柱試體抗壓強度試驗結果

取編號 2、20、24、31、35 共 5 單元連續壁澆置前之 SCC，分別測試 24 小時、36 小時、2 天、3 天、7 天、14 天、21 天、28 天、56 天、91 天及 180 天等不同齡期的圓柱試體（試體尺寸為 12cm×24cm）抗壓強度，其每單元平均抗壓強度平均值如【表 5-3】及【圖 5-2】。

依抗壓強度總平均值顯示，SCC 強度發展在 24 小時強度僅為 28 天強度之 11.2%，7 天強度為 28 天強度之 59.6%，當達 180 天強度則為 28 天強度之 134%（即 1.34 倍），符合一般 SCC 澆置半年後強度發展約為 28 天強度之 1.2~1.4 倍【5】，之後仍應有持續增加之空間。

本案例膠結材料比例（水泥：爐石(含飛灰)=1：1），經選取膠結材料比例相當之文獻【18】平均值、文獻【19】（編號 NO.1）、文獻【20】（編號 NO.3）、文獻【6】（編號 NO.3）水中自充填混凝土及文獻【21】6000psi 之自充填混凝土等 5 組，各組不同齡期的圓柱試體抗壓強度試驗值與其 28 天圓柱試體抗壓強度試驗值比較結果，依比對結果均相當接近其他案例 SCC 各齡期發展強度如【表 5-4】，顯示工地現場取樣試驗結果與實驗室取樣試驗結果相當，可見混凝土預拌廠足以生產品質穩定可靠之 SCC，如同其他案例二高快官草屯段烏日交流道連絡道穿越橋北上線採用 SCC 澆置，橋樑完工後獲致 SCC 已能商業化生產，且澆置速率可加快，表面浮水較少，惟預拌廠應注意材料及摻料之品質穩定性，以維其優越性能【22】。

表 5-3 不同齡期的圓柱試體抗壓強度統計表

單元	時間	試驗強度 (kgf/cm ²)										
		1天	36H	2天	3天	7天	14天	21天	28天	56天	91天	180天
20	試體 1	39	64	89	164	254	306	362	418	463	520	578
	試體 2	38	76	89	162	267	350	379	405	446	514	566
	平均	39	70	89	163	261	328	371	412	455	517	572
2	試體 1	53	87	109	163	252	348	377	422	476	518	570
	試體 2	54	85	111	165	260	336	362	430	488	509	568
	平均	54	86	110	164	256	342	370	426	482	514	569
24	試體 1	41	90	110	152	234	371	402	424	518	543	583
	試體 2	41	88	111	148	231	361	403	429	507	548	580
	平均	41	89	111	150	233	366	403	427	513	546	581.5
31	試體 1	49	80	107	162	254	340	378	411	446	482	516
	試體 2	54	82	109	168	266	338	375	408	436	478	520
	平均	52	81	108	165	260	339	377	410	441	480	518
35	試體 1	49	82	110	162	236	323	378	418	478	512	563
	試體 2	50	84	112	160	240	331	388	416	468	538	576
	平均	50	83	111	161	238	327	383	417	473	525	569.5
總平均	47	82	106	161	249	340	380	418	473	516	562	
與 28 天 強度比例		0.11	0.19	0.25	0.38	0.59	0.81	0.90	1.00	1.13	1.23	1.34

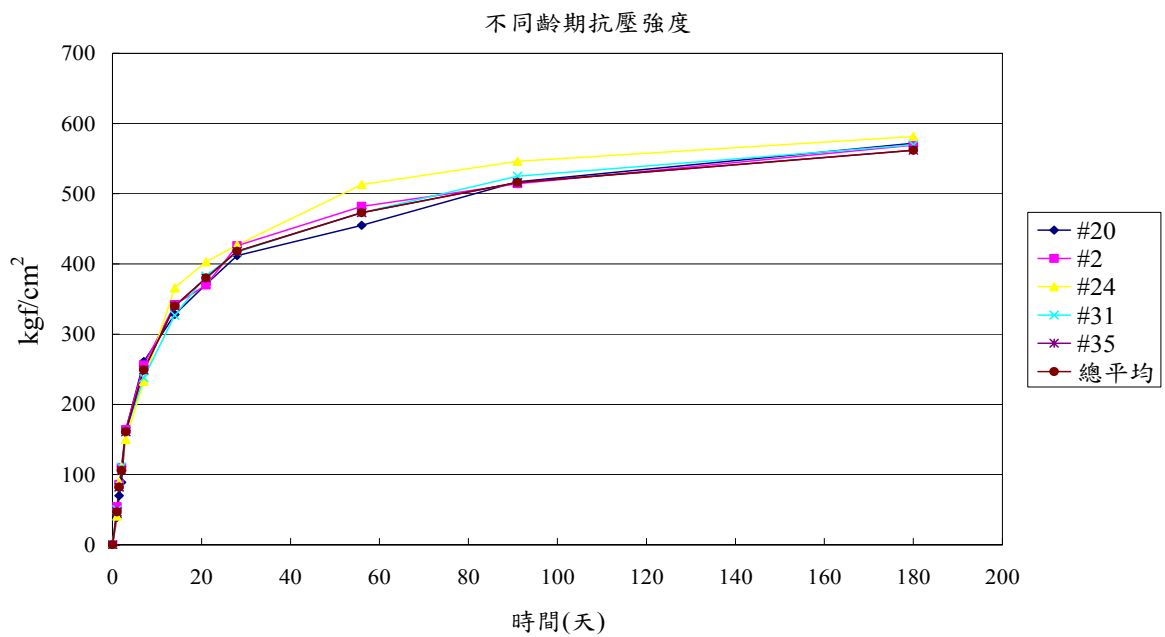


圖 5-2 不同齡期的圓柱試體抗壓強度平均值曲線圖

表 5-4 與其他文獻 SCC 各齡期抗壓強度與 28 天抗壓強度比較表

組別	3 天	7 天	14 天	28 天	56 天	91 天	180 天
案例平均值	0.38	0.59	0.81	1.00	1.13	1.23	1.34
【5】平均值	0.29	0.61	0.70	1.00	-	-	-
【19】NO.1	-	0.37	-	1.00	-	-	1.50
【20】NO.3	-	0.61	-	1.00	1.19	-	-
【6】NO.3	-	0.58	-	1.00	-	1.37	-
【21】6000psi	0.31	0.56		1.00			
*各組膠結材料比例%如下：							
組別	水泥	爐石	飛灰	W/B	備註		
案例平均值	50%	25%	25%	0.398	預拌廠工地取樣		
【18】平均值	75%	--	25%		預拌廠工地取樣		
【19】【20】【6】	50%	50%	--		實驗室		
【21】	--	--	--		實驗室		
【24】	50%	25%	25%	0.46	實驗室		

註：1. 【】為參考文獻比較組

2. 【21】：6000psi (即 420kgf/cm²) 之 SCC

5.2.2 抗彎強度試驗

於本案例工程第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元，分 3 組各取 3 顆試體，經一般養護 28 天、56 天、91 天齡期後，分別依 CNS 1234 (混凝土抗彎強度試驗法—中心點載重法) 測試三種齡期之之抗彎強度試驗，當試體破裂時，記錄最大載重 (kgf)，然後依 $R=3PL/2bd^2$ 公式求得 SCC 破裂模數 (kgf/cm²) 如【表 5-5】所示。

依試驗結果顯示，28 天、56 天、91 天齡期之各組及平均之 $R/\sqrt{f_c}$ 值介於 2.74~3.9 間，均已符合 ACI 規定「抗彎強度/該齡期抗壓強度值開根號」需大於或等於 2.0 之標準。

本案例膠結材料比例 (水泥：爐石(含飛灰)=1：1)，經選取膠結材料比例相當之文獻【19】(編號 NO.1) 及文獻【20】(編號 NO.3) 水中自充填

混凝土 28 天、91 天齡期抗彎強度試驗結果以及文獻【6】(編號 NO.3) 水中自充填混凝土 28 天、56 天齡期抗彎強度試驗結果比對之，其比對結果均相當接近如【表 5-5】，顯示工地現場取樣試驗結果與實驗室取樣試驗結果相當，可見混凝土預拌廠足以生產品質穩定可靠之 SCC。

由抗彎強度試驗試體破裂情形如【照片 3-8】，顯示 SCC 粒料均勻緻密。經與 3 組相對齡期 (28 天、56 天、91 天) 之平均抗壓強度比較，其中 28 天抗彎強度為 14.1%，56 天抗彎強度為 13.6%，91 天抗彎強度為 13.4% 如【表 5-5】。

表 5-5 SCC 抗彎強度統計表

	28 天				56 天				91 天			
	最大載重值 P (kgf)	破裂模數 R (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$R/\sqrt{f'_c}$	最大載重值 P (kgf)	破裂模數 R (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$R/\sqrt{f'_c}$	最大載重值 P (kgf)	破裂模數 R (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$R/\sqrt{f'_c}$
第 1 組	3610	56.7	20.64	2.75	4285	67.3	21.95	3.07	4393	69.0	22.67	3.04
第 2 組	3623	56.9	20.25	2.81	3667	57.6	21.0	2.74	4030	63.3	21.91	2.89
第 3 組	4005	62.9	20.42	3.08	4107	64.5	21.75	2.97	4502	70.7	22.91	3.09
平均 (A)	3746	58.8	20.44	2.88	4020	63.1	21.57	2.92	4308	67.7	22.50	3.01
【19】	3654	48.7	16.1	3.0	-	-	-	-	3941	52.5	19.7	2.7
【20】	3997	53.29	18.30	2.91	-	-	-	-	4817	64.23	21.42	3.00
【6】	3800	59.7	18.8	3.2	3981	62.5	20.5	3.1	-	-	-	-
相對齡期之平均抗壓強度 (B)		418				465				506		
A/B (%)		14.1				13.6				13.4		

註：1. 【】為參考文獻比較組

2. (B)：依【表 5-3】取 2、31、35 單元 3 組平均抗壓強度之平均值。

5.2.3 劈裂抗張強度試驗

本案例工程於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元，分 3 組各取 3 顆試體，經一般養護 28 天、56 天、91 天齡期後，分別依 CNS 3801（混凝土圓柱試體劈裂抗張強度檢驗法）測試三種齡期之劈裂抗張強度試驗，經計算結果如【表 5-6】。

同 5.2.2 所述，經選取文獻【19】NO.1 及文獻【20】NO.3 水中自充填混凝土 28 天、91 天齡期普通澆置劈裂抗張強度試驗結果以及文獻【6】之編號 NO.3 水中自充填混凝土 28 天、56 天齡期一般澆置劈裂抗張強度試驗結果比對之，其比對結果均相當接近如【表 5-6】，顯示工地現場取樣試驗結果與實驗室取樣試驗結果相當。

由劈裂強度試驗試體破裂情形如【照片 3-10】，顯示 SCC 粒料均勻緻密。經與 3 組相對齡期（28 天、56 天、91 天）之平均抗壓強度比較，其中 28 天劈裂抗張強度為 8.14%，56 天劈裂抗張強度為 7.97%，91 天劈裂抗張強度為 7.88%，如【表 5-6】。

表 5-6 SCC 劈裂抗張強度統計表

	28 天				56 天				91 天			
	最大載重值 P (kgf)	破裂模數 f_{sp} (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$f_{sp}/\sqrt{f'_c}$	最大載重值 P (kgf)	破裂模數 f_{sp} (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$f_{sp}/\sqrt{f'_c}$	最大載重值 P (kgf)	破裂模數 f_{sp} (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$f_{sp}/\sqrt{f'_c}$
第 1 組	10267	32.7	20.64	1.58	11775	37.5	21.95	1.71	12905	41.1	22.67	1.81
第 2 組	10299	32.8	20.25	1.62	10676	34.0	21.0	1.62	12811	40.8	21.91	1.86
第 3 組	11492	36.6	20.42	1.79	12528	39.9	21.75	1.83	11869	37.8	22.91	1.65
平均 (A)	10686	34.0	20.44	1.67	11659	37.1	21.57	1.72	12528	39.9	22.50	1.78
【19】	8460	26.9	16.1	1.7	-	-	-	-	9773	31.1	19.7	1.6
【20】	8837	28.13	18.30	1.54	-	-	-	-	12148	38.67	21.42	1.81
【6】	10163	32.3	18.8	1.7	10821	34.4	20.5	1.7				
相對齡期之平均抗壓強度 (B)		418				465				506		
A/B (%)		8.14				7.97				7.88		

註：1. 【】為參考文獻比較組

2. (B)：依【表 5-3】取 2、31、35 單元 3 組平均抗壓強度之平均值。

5.2.4 握裹力試驗

握裹力試驗係依 CNS11152 試驗方法(根據鋼筋混凝土握裹力比較混凝土性能試驗法)來測定,文獻【5】顯示握裹力與強度成正比, α 值($\alpha = \mu/\sqrt{f'_c}$)約為 4.0~6.0,略大於 ACI-318-95 建議值【23】。

本案例工程於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元,分 3 組各取 3 顆試體,經一般養護 28 天、56 天、91 天齡期後,經試驗結果記錄最大加載拉力,然後依公式 $\mu = F_{max}/l\pi db$ 求得混凝土握裹應力,經計算結果如【表 5-7】,此試驗方法只測得混凝土的平均最大握裹應力,僅將所得結果供爾後工程參考。

同 5.2.2 所述,經選取文獻【19】NO.1 及文獻【20】NO.3 水中自充填

混凝土 28 天、91 天齡期普通澆置握裹強度試驗結果以及文獻【6】NO.3 水中自充填混凝土 28 天、56 天齡期一般澆置握裹強度試驗結果比對之，其比對結果均相當接近如【表 5-7】，顯示工地現場取樣試驗結果與實驗室取樣試驗結果相當，可見混凝土預拌廠足以生產品質優良之 SCC。

經與 3 組相對齡期（28 天、56 天、91 天）之平均抗壓強度比較，其中 28 天握裹強度為 17.96%，56 天握裹強度為 20.76%，91 天握裹強度為 20.11%，如【表 5-7】。另外試驗結果 28 天之 α 平均值為 3.67，略低於文獻之 4.1~4.3，56 天之 α 平均值為 4.48，則與【6】之 4.3 相當，91 天之 α 平均值為 4.53，則與文獻之 4.6 及 4.82 相當；除 28 天之 α 平均值低於 4.0 外，56 天、91 天之 α 平均值亦介於文獻【5】之範圍內，其中 91 天之 α 平均值為 4.53 約等於文獻【5】之 α 平均值為 4.52；顯示 α 值隨時間增長而增加。



表 5-7 SCC 握裹強度統計表

	28 天				56 天				91 天			
	最大載重值 F (kgf)	破裂模數 μ (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$\mu/\sqrt{f'_c}$	最大載重值 F (kgf)	破裂模數 μ (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$\mu/\sqrt{f'_c}$	最大載重值 F (kgf)	破裂模數 μ (kgf/cm ²)	$\sqrt{f'_c}$	$\mu/\sqrt{f'_c}$
第 1 組	11633	67.2	20.64	3.26	16179	93.5	21.95	4.26	17265	99.7	22.67	4.40
第 2 組	14133	81.6	20.25	4.03	17446	100.8	21.0	4.80	18541	107.1	21.91	4.89
第 3 組	13179	76.1	20.42	3.73	16556	95.6	21.75	4.40	17048	98.5	22.91	4.30
平均 (A)	12982	75.0	20.44	3.67	16727	96.6	21.57	4.48	17618	101.8	22.50	4.53
【19】	12229	69.3	16.1	4.3	-	-	-	-	15847	89.8	19.7	4.6
【20】	13793	78.17	18.30	4.27	-	-	-	-	18227	103.29	21.42	4.82
【6】	13312	76.9	18.8	4.1	15199	87.8	20.5	4.3	-	-	-	-
相對齡期之平均抗壓強度 (B)		418				465				506		
A/B (%)		17.96				20.76				20.11		

註：1. 【】：為參考文獻比較組

2. $\alpha = \mu/\sqrt{f'_c}$

3. 【5】之 $\alpha = 4.23 \sim 4.71$ (SCC Avg: $\alpha = 4.52$)

4. (B)：依【表 5-3】取 2、31、35 單元 3 組平均抗壓強度之平均值。

5.2.5 乾縮試驗

混凝土的體積變化收縮 (Shrinkage) 是由於水泥漿體喪失所造成的變形，其中水化作用所造成的自生收縮，普通混凝土的自體收縮約從一個月後的 40×10^{-6} 到五年後的 100×10^{-6} ，與乾燥收縮比較，其值甚小是可忽略的；但對 SCC 而言，由於使用高量粉體 (爐石粉與飛灰等)，造成其自體收縮較一般普通混凝土大許多，其效應不可忽視【24】；新拌混凝土失水造成的塑性收縮及硬化混凝土失水所致的乾燥收縮，則是非常重要的部分；另有一種特例即為與 CO₂ 之反應的碳酸化收縮【25】；但由於本案例 SCC 係運用於水中結構物，長期與水接觸，所以在乾燥收縮問題上較不是關鍵。

本案例工程於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元各取 3 顆試體，經一般養護 28 天後依 CNS1236(水泥砂漿及混凝土的體積變化檢驗法)進行乾縮試驗，置於長度比較測微器上開始試驗後連續記錄乾縮量，至 91 天止，經節取 1~7 天及 7 天倍數天期之乾縮量如【表 5-8】，並將結果轉變成曲線圖如【圖 5-3】。

由表 5-8 及圖 5-3 所示，3 組齡期不同所量測的平均乾縮值，其曲線之發展走向極為相近，顯示 SCC 乾縮值隨養護齡期的增加其乾縮量也隨之減少，比較其他研究結果獲致相同結論。

另與其他文獻研究的結果如【表 5-9】作一比較，獲致上述相同結論如【圖 5-4】，其中文獻【26】SCC 水中組，雖 $W/C=0.4$ 接近案例之 $W/B=0.398$ ，由於膠結材料（水泥及爐石、飛灰）用量不同，兩者用量各為 500 (kg/cm^3) 及 400 (kg/cm^3)，在同一齡期比較，文獻【26】水中組 ($W/C=0.4$) 之平均乾縮量均大於案例組及其他比較組，顯見粉體量較高則乾縮量越大。研究顯示工地現場取樣試驗結果與實驗室取樣試驗結果相當，可見混凝土預拌廠足以生產品質優良之 SCC。

表 5-8 乾縮量統計表($\times 10^{-6}$)

齡期	第 1 組				第 2 組				第 3 組			
	試體 1	試體 2	試體 3	平均	試體 1	試體 2	試體 3	平均	試體 1	試體 2	試體 3	平均
1 天	18	27	27	24	64	72	72	69	45	45	36	42
2 天	45	45	36	42	72	81	81	78	81	81	72	78
3 天	82	91	91	87	108	117	118	114	118	118	99	112
4 天	108	108	117	111	126	136	126	130	136	136	126	133
5 天	126	145	136	136	136	145	136	139	172	181	154	169
6 天	163	163	154	160	163	172	172	169	199	208	172	193
7 天	181	199	199	193	181	190	190	187	245	227	208	226
14 天	236	290	272	266	290	299	317	302	327	317	299	314
21 天	308	308	326	314	371	362	362	365	399	390	344	377
28 天	345	354	363	353	417	435	426	426	453	453	390	432
35 天	371	390	390	383	453	462	453	456	507	507	453	489
42 天	444	426	444	438	489	498	498	495	571	571	507	550
49 天	489	498	507	498	535	535	535	535	607	598	535	580
56 天	562	571	562	565	553	580	580	571	671	634	589	631
63 天	625	643	634	634	589	616	607	604	707	689	598	665
70 天	662	671	680	671	616	643	653	637	743	707	653	701
77 天	725	725	743	731	653	689	680	674	789	743	698	743
84 天	770	770	780	773	689	698	690	695	825	780	743	783
91 天	798	789	798	795	713	725	707	716	879	825	798	834

註：齡期係指混凝土經養護 28 天後開始起算

表 5-9 參考文獻乾縮量比較表($\times 10^{-6}$)

齡期	案例第 1 組	案例第 2 組	案例第 3 組	文獻【19】第 1 組	文獻【26】水中組	文獻【24】第 5 組
1 天	24	69	42	--	--	40 (1)
3 天	87	114	111	86	--	90 (2.5)
7 天	193	187	226	395	--	229 (6)
14 天	266	302	314	--	--	456 (16)
28 天	353	426	432	855	302	563 (25)
56 天	565	571	631	989	431	760 (54)
91 天	795	716	834	1170	--	783 (90)

註：1. 【】為參考文獻比較組

2. ()：齡期天數

3. 文獻【26】水中組：W/C=0.4

膠結材料為水泥=300kg/cm³、石灰石粉=200kg/cm³

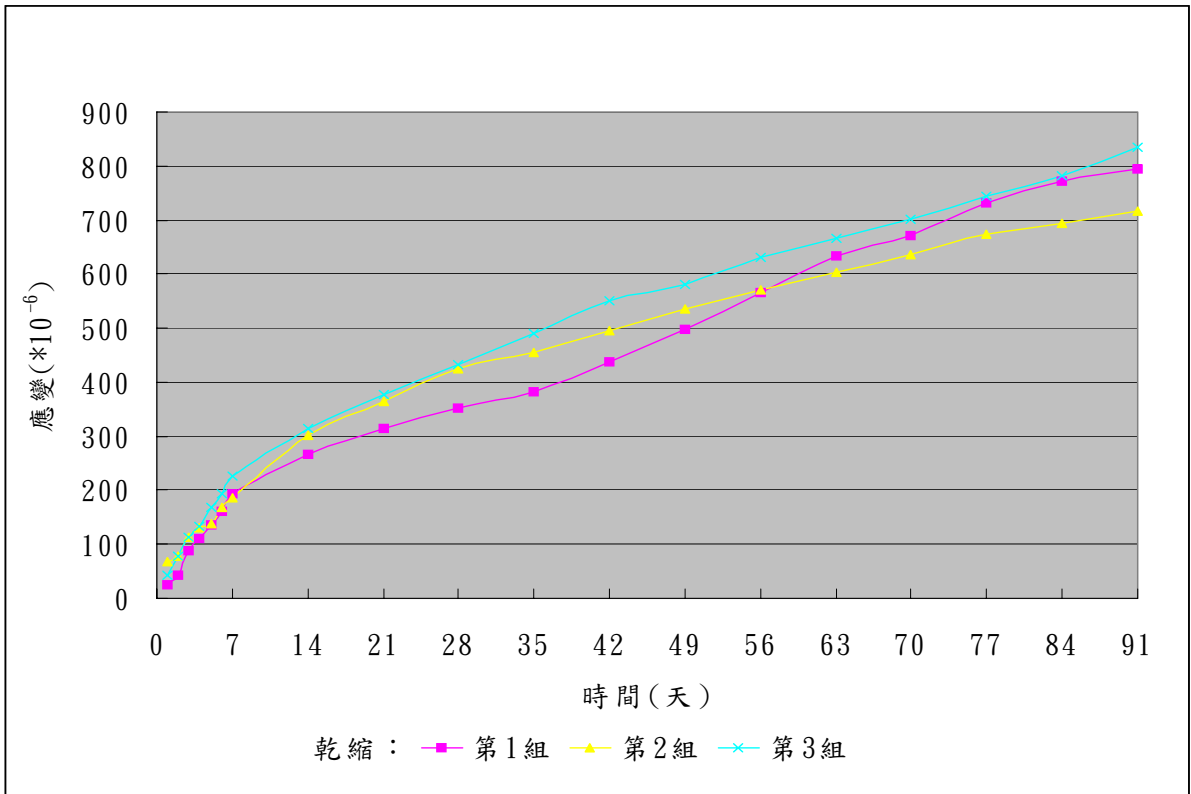


圖 5-3 不同齡期之各組平均乾縮量曲線圖

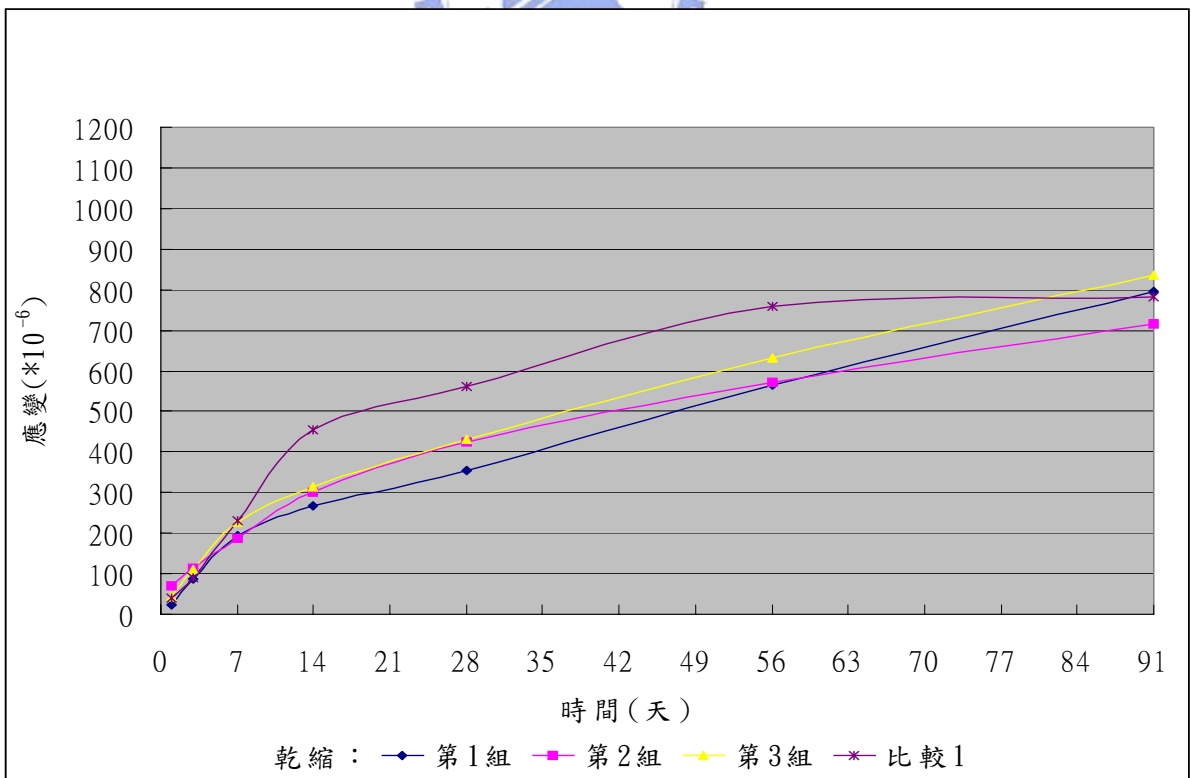


圖 5-4 各組平均乾縮量與參考文獻【24】乾縮量曲線圖

5.2.6 潛變試驗

潛變 (Creep) 即在載重作用下材料依時間變化以致應力鬆弛，亦即舒解作用應力的反映【25】。SCC 基本潛變是指混凝土在常溫下，試體內部與外界環境無溫度交換，混凝土本身承受荷重隨時間所產生的體積變形；SCC 乾燥潛變是指混凝土在常溫及試體內部與外界環境有溫度交換的情況下，混凝土本身承受荷重隨時間所產生的體積變形【24】。

本案例工程於第 2 單元、第 31 單元、第 35 單元等三單元各取 2 顆試體，經一般養護 28 天後依 ASTM C512-87 進行潛變試驗，開始試驗後連續記錄應變 ε 值，至 91 天止，經節取 1~7 天及 7 天倍數天期之潛變量如【表 5-10】，經將結果轉變成曲線圖如【圖 5-5】，顯示 SCC 隨時間變化的潛變情形，三組發展曲線類似，顯示預拌廠生產 SCC 已有相當穩定之品質。

由表 5-9 及圖 5-4 所示，3 組齡期不同所量測的平均潛變值，其曲線之發展走向極為相近，顯示 SCC 潛變值隨混凝土加載時的齡期愈大其潛變量愈小，其原因係因為混凝土的水化作用較完整，抗壓強度亦較大之故【24】。

本案例膠結材料比例 (水泥：爐石(含飛灰))=1：1)，經選取膠結材料比例相當之文獻【19】之編號 NO.1、文獻【20】及文獻【6】之編號 NO.3 之水中自充填混凝土，比較 1~7 天、14 天、21 天、28 天、56 天、91 天等齡期之潛變量如【表 5-11】，其發展走向曲線如【圖 5-6】；比較結果顯示雖然膠結材料比例相當接近，尚有其他配比不同，致 91 天齡期之潛變量不盡相同應屬合理，然其曲線之發展走向符合上述加載時的齡期愈大其潛變量愈小之相同結論，顯示工地現場取樣試驗結果與實驗室取樣試驗結果相當，顯示 SCC 量產之品質已達一定水準。

表 5-10 潛變量統計表($\times 10^{-6}$)

齡期	第 1 組		第 2 組		第 3 組	
	配比					
1 天	57	43	119	115	131	115
	30		112		99	
2 天	94	84	188	180	194	175
	74		173		157	
3 天	117	108	240	239	260	238
	99		238		216	
4 天	149	124	295	288	342	313
	100		281		284	
5 天	220	200	339	327	375	352
	180		315		329	
6 天	270	269	381	371	389	379
	269		362		370	
7 天	303	281	429	417	465	444
	260		405		423	
14 天	455	434	634	622	677	641
	414		611		605	
21 天	566	513	761	750	771	764
	460		739		757	
28 天	640	640	835	826	870	837
	640		818		805	
35 天	690	678	905	893	957	925
	667		881		893	
42 天	740	729	976	961	1037	1004
	718		947		972	
49 天	770	760	1038	1019	1124	1095
	750		1000		1066	
56 天	826	814	1097	1076	1180	1146
	802		1056		1113	
63 天	868	866	1154	1128	1209	1187
	865		1103		1165	
70 天	910	905	1213	1183	1268	1239
	900		1154		1210	
77 天	970	961	1261	1235	1288	1268
	952		1210		1249	
84 天	1010	1002	1310	1280	1351	1316
	994		1250		1282	
91 天	1024	1023	1340	1309	1384	1351
	1023		1279		1319	

註：齡期係指混凝土經養護 28 天後開始起算

表 5-11 參考文獻潛變量比較表($\times 10^{-6}$)

齡期	案例 第 1 組	案例 第 2 組	案例 第 3 組	文獻【19】 NO.1	文獻【20】 NO.3	文獻【6】 NO.3
1 天	43	115	115	78	69	66
2 天	84	180	175	218	121	144
3 天	108	239	238	312	226	199
4 天	124	288	313	391	263	218
5 天	200	327	352	465	297	235
6 天	269	371	379	537	311	255
7 天	281	417	444	607	334	273
14 天	434	622	641	835	372	376
21 天	513	750	764	1034	408	465
28 天	640	826	837	1153	429	519
56 天	814	1076	1146	1600	511	--
91 天	1023	1309	1351	1819	629	--

註：【】為參考文獻比較組

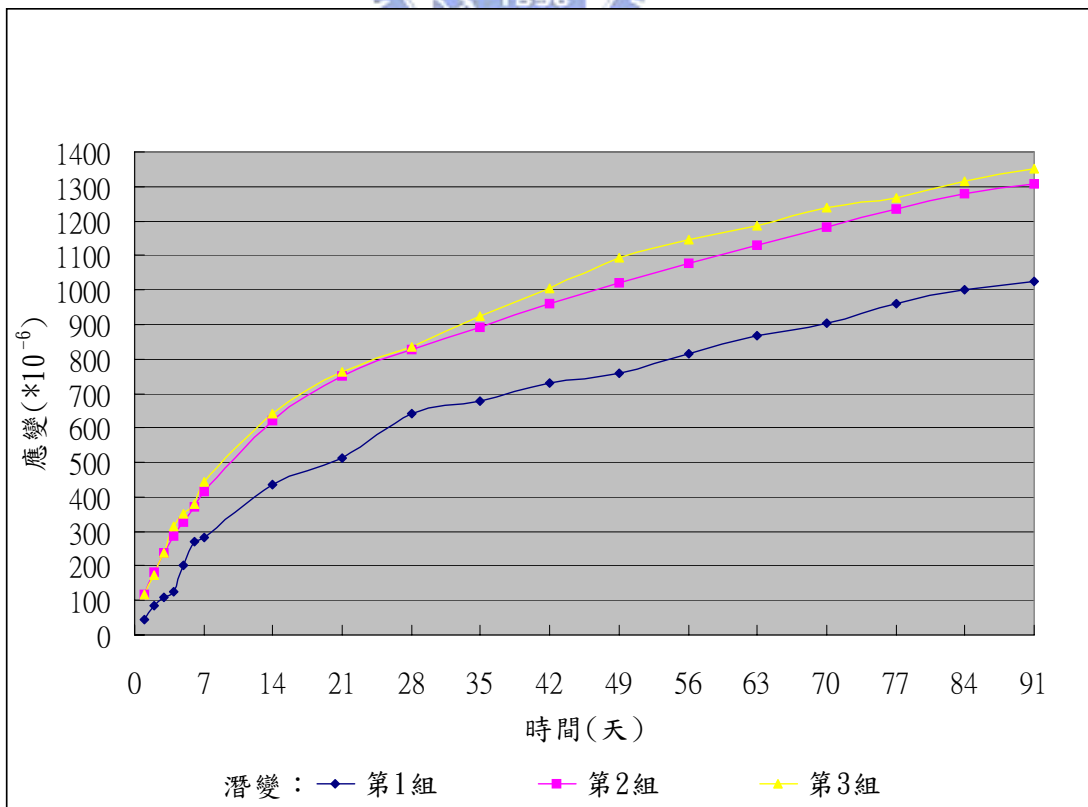
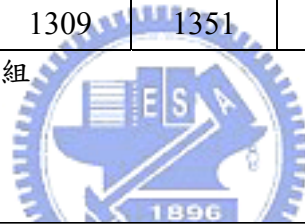
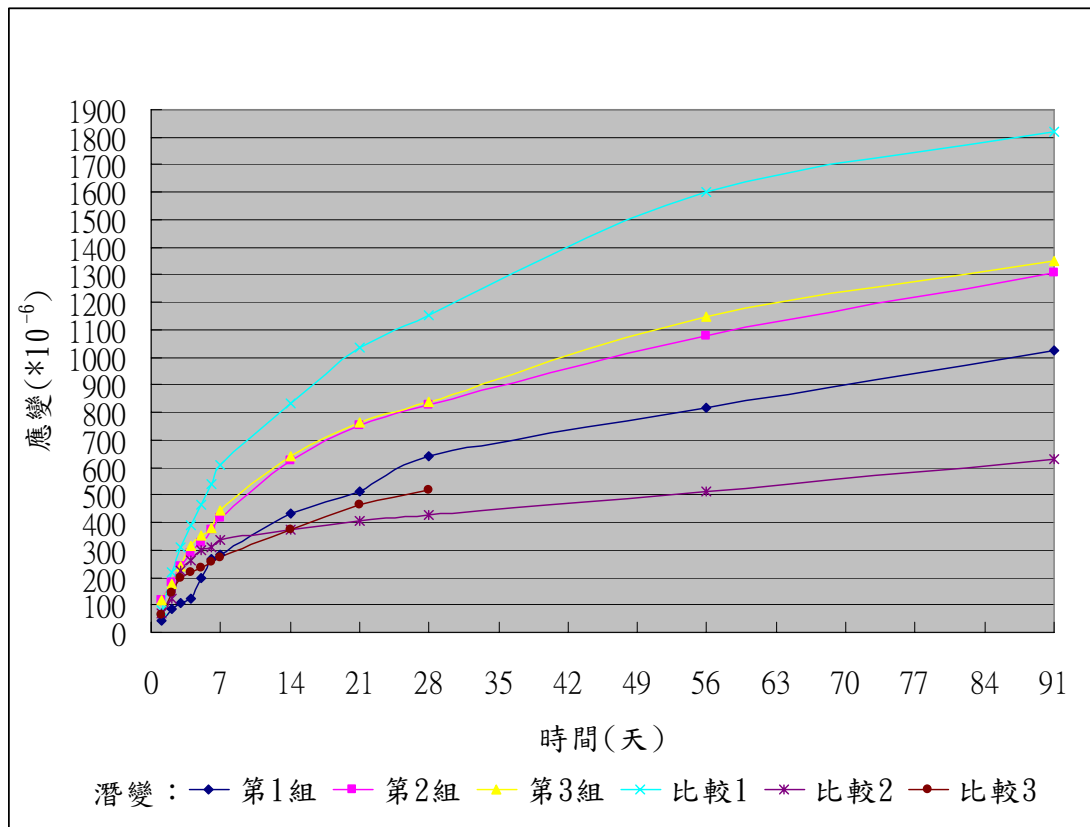


圖 5-5 不同齡期之各組平均潛變量曲線圖



註：比較 1：文獻【19】
 比較 2：文獻【20】
 比較 3：文獻【6】



圖 5-6 各組平均潛變量與參考文獻比較潛變量曲線圖

5.3 澆置時間分析與結果

5.3.1 SCC 澆置時間分析

在案例工程(內湖運動中心工程)連續壁 35 單元(其中公單元 17 單元、母單元 17 單元、公母單元 1 單元)均採用 SCC 混凝土澆置，將每單元澆置時間記錄分析結果如【表 5-12】，其中母單元(含公母單元)平均澆置每 m^3 需 1.69 分鐘，公單元平均澆置每 m^3 則需 1.49 分鐘，總平均為 1.57 分鐘；若扣除異常部分(>20 分鐘表示有漏漿現象)時，則母單元(含公母單元)平均澆置每 m^3 需 1.60 分鐘，公單元平均澆置每 m^3 則需 1.41 分鐘，總平均為 1.49 分鐘；顯示母單元澆置時間稍長，但於端版增厚加強勁度及背填碎石增加、帆布安裝加強牢固措施下，已減少漏漿情形。

另外，本案例工程使用之預拌混凝土車每車裝載 5 m^3 佔約 74%，將每車(裝載 5 m^3) 澆置時間記錄分析結果，其中母單元(含公母單元)平均每車澆置 6~8 分鐘佔 45%、超過(\geq)10 分鐘佔 28%，公單元平均每車澆置 5~7 分鐘佔 48%、超過(\geq)10 分鐘佔 18%；顯示母單元澆置時間係隨施工困難度較高而稍長，即端版及背填碎石、帆布安裝牢固等因子影響；公單元則無上述考慮因子，則澆置時間較短。

在參考甲案工程(廢鐵道地下停車場工程)僅公單元採用 SCC 混凝土澆置，採計 17 單元之澆置時間記錄分析結果如【表 5-13】，平均澆置每 m^3 需 1.18 分鐘。

上述兩案工程連續壁施做深度不同，案例工程連續壁施做深度為 35~37m、寬度 0.9m，參考甲案工程連續壁施做深度為 26.5m、寬度 0.7m，在設計強度 (280kgf/cm^2) 相同下，雖然 SCC 混凝土供應廠商不同、施築廠商工班不同及澆置深度、寬度不同情形下，SCC 混凝土於地下連續壁施工性顯示澆置時間已趨穩定。



5.3.2 一般混凝土澆置時間分析

在參考甲案工程(廢鐵道地下停車場工程)母單元採用一般傳統混凝土澆置，採計 20 單元之澆置時間記錄分析結果如【表 5-13】，平均澆置每 m^3 需 2.09 分鐘；顯示多於案例工程母單元平均澆置每 m^3 需 1.69 分鐘及參考甲案工程公單元 SCC 平均澆置每 m^3 需 1.18 分鐘。由此可見，在兩案工程實務澆置作業中，顯示於相同條件地下連續壁工程採用 SCC 混凝土將可縮短澆置作業時程。

在參考乙案工程(大同國小運動中心工程)公母單元均採用一般傳統混凝土澆置，各採計 15 單元之澆置時間記錄分析結果如【表 5-14】，其中公單元平均澆置每 m^3 需 1.25 分鐘，雖較案例工程公單元 SCC 平均澆置每 m^3 需 1.49 分鐘為少，仍比參考甲案工程公單元 SCC 平均澆置每 m^3 需 1.18 分

鐘為多；母單元平均澆置每 m^3 需 1.87 分鐘，顯示多於案例工程母單元 SCC 平均澆置每 m^3 需 1.69 分鐘，少於參考甲案工程母單元一般混凝土平均澆置每 m^3 需 2.09 分鐘。

由案例工程、參考甲案、參考乙案等三案工程單元澆置時間統計資料，顯示母單元澆置過程必須謹慎並隨時注意端版、帆布等設置是否妥善，故母單元澆置時間多於公單元澆置時間至為合理。另參考乙案工程連續壁施做深度為 27m、寬度 0.7m，比案例工程連續壁施做深度為 35~37m、寬度 0.9m 之規模小，顯示連續壁施做深度越深影響澆置速度、困難度越大。

另外一些工程採用 SCC 施築而節省工期之著名案例，如日本明石跨海大橋工程錨碇基礎（約使用 29 萬 m^3 ）施工期由 2.5 年縮短為 2 年，日本大阪瓦斯之液化天然氣儲存槽（約使用 1.2 萬 m^3 ）施工期由 22 個月減為 18 個月【22】。另依文獻【27】研究結果模擬建築物以混凝土澆置每單元 $175 m^3$ 之作業循環上，一般傳統混凝土約需 207 分鐘（約 1.18 分鐘/ m^3 ）而，SCC 僅需 177 分鐘（約 1.01 分鐘/ m^3 ），顯示 SCC 在澆置速率上佔有快速優勢。

由上述文獻及三案工程實務澆置作業中分析可見，顯示於相同條件地下連續壁工程採用 SCC 混凝土將可縮短澆置作業時程。

表 5-12 案例工程每單元澆置時間記錄統計表

類別	SCC 混凝土		類別	SCC 混凝土	
	母單元	數量		時間	公單元
1	135	193	2	258	670
3	165	277	4	218	384
5	131	218	6	194	289
7	130	267	8	205	281
9	125	270	10	280	450
11	130	315	12	230	239
13	144	96	14	220	319
15	140	249	16	225	454
17	99	229	18	216	387
19	125	292	20	258	252
21	155	267	22	248	184
23	165	246	24	237	337
25	155	226	26	210	279
27	155	201	29	244	355
28	132	185	31	218	310
30	148	210	33	255	378
32	151	305	35	240	310
34	135	219	小計	3956	5878
小計	2520	4265			
	每 m ³ 平均時間 (分)	1.69		每 m ³ 平均時間 (分)	1.49

表 5-13 參考甲案工程部分單元澆置時間記錄統計表

類別	一般混凝土			SCC 混凝土		
	編號	母單元	數量	時間	公單元	數量
1	26	72	205	27	107	169
2	109	68	167	108	108	150
3	28	54	107	29	107	120
4	107	70	165	106	110	115
5	105	70	121	110	120	121
6	111	68	131	104	116	114
7	103	73	195	31	107	144
8	32	68	154	112	116	122
9	113	68	115	25	107	100
10	24	68	121	114	101	175
11	155	70	111	116	102	128
12	22	54	118	21	104	118
13	117	55	130	15	119	138
14	20	68	123	17	107	116
15	16	54	124	19	107	139
16	14	68	132	10	99	95
17	18	68	147	8	95	106
18	9	68	112	小計	1832	2170
19	7	68	128			
20	119	68	158			
	小計	1320	2764			
	每 m ³ 平均時間 (分)		2.09	每 m ³ 平均時間 (分)		1.18

表 5-14 參考乙案工程部分單元澆置時間記錄統計表

類別	一般混凝土			一般混凝土		
	母單元	數量	時間	公單元	數量	時間
1	38	57	111	42	116	135
2	20	64	112	37	99	142
3	3	63	107	35	96	121
4	41	65	121	39	112	138
5	1	63	115	29	94	124
6	28	64	125	23	111	137
7	22	66	134	21	100	125
8	30	64	128	46	102	136
9	26	68	132	18	127	148
10	32	66	126	33	128	142
11	45	65	109	16	95	134
12	10	66	117	31	109	129
13	17	58	104	27	108	136
14	43	72	146	4	110	132
15	5	64	118	2	97	124
	小計	965	1805	小計	1604	2003
	每 m ³ 平均時間 (分)		1.87	每 m ³ 平均時間 (分)		1.25

5.4 連續壁體監測

本案例工程因連續壁係採用 SCC 澆築有別於一般水中混凝土澆置之工程，故本研究計畫僅針對連續壁體內之傾斜觀測部分進行觀測變形量，以記錄壁體於各階段開挖過程中之變形情形。在開挖階段每 2 天觀測 1 次，地下層構築期間每 1 週觀測 1 次，由專業監測公司以人工及自動化觀測，觀測結果之數據均採用電腦專業軟體處理後，依安全監測施工計畫書所規定之傾斜儀觀測管安全監測管理值及對應狀況處理措施如【表 5-15】研判後，提送施工廠商作為施工之依據及因應措施。

本案例工程自 95.6.13 第一階段開挖開始至 96.2.7 之 1FL 施作完成期間，依每施工階段觀測結果並彙整統計各施工階段傾度管最大側向位移及發生位置如【表 5-16】。由監測結果顯示在第二階段開挖後，其最大變位量已接近警戒值，因應措施則於第二層及以後各層支撐 H 型鋼加大號數，並於中間柱部分加強牢固 X 及 Y 軸向支撐 H 型鋼，以增加支撐勁度，另外對開挖面減少抽水程度，並嚴密監控變形變化；經妥慎處理後，後續開挖至 1FL 施作完成，雖然變位量大於行動管理值，仍然保持安全至開挖完成。

本案例工程壁體變位最大值位於 GL-16.5m~19.5m 間，已低於開挖深度 GL-17m，緊僅造成壁體底部複壁間距縮小一些，且連續壁放樣時即放大 7 cm 預留壁體變形所需，故不影響整體結構安全；其變位量大之成因，可能係地層土質過於軟弱且地下水豐沛，開挖過程土質呈現泥沼現象，由開挖機械深陷其中施工困難即可見之。

表 5-15 傾斜儀觀測管安全監測管理值及對應狀況處理措施表

管理階段	管理值	可能狀況	預防措施
警戒階段	原定 39mm 修正 81mm	1.連續側向位移大 2.工地四周路面沉陷(隆起)，造成行車不便	1.加強檢查支撐系統並注意盲點 2.控制開挖深度 3.管制施工品質及流程 4.拆除斜撐時，加設暫代斜撐 5.路面修補 6.交通警告標誌
行動階段	原定 48mm 修正 97mm	1.連續壁變形過大導致壁體應力超過容許值，危及壁體結構之安全。 2.地下管線受損 3.交通事故	1.加強內支撐系統 2.地質改良或增設內撐牆 3.避免持續外加荷重 4.基地外暫時抽水 5.檢查地下管線受損情形並通報修復 6.檢討造成原因並預測未來破壞狀況 7.加密觀測

表 5-16 各施工階段傾度管最大側向位移及發生位置統計表*

編號\ 日期	施工 階段	SID_1		SID_2		SID_3		SID_4		SID_5		SID_6	
		最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度
		(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)
06/24/06	第一階段 開挖後	21.05	3.5	30.63	1.0	16.01	1.0	-	-	9.69	9.0	-	-
06/28/06	第一層支 撐架設	20.49	5.5	30.48	1.0	20.06	1.0	26.25	1.0	11.90	8.0	23.65	1.5
07/04/06	第二階段 開挖後	28.98	6.5	31.90	7.0	25.48	8.0	32.37	9.5	22.26	10.5	28.02	7.5
07/06/06	第二層支 撐架設	32.35	6.0	34.55	7.0	27.23	10.5	33.60	9.5	24.72	9.5	31.20	6.5
07/10/06	第三階段 開挖後	47.71	11.5	46.94	10.0	55.09	16.0	40.58	10.0	29.21	11.0	39.98	11.5
07/18/06	第三層支 撐架設	58.05	12.0	55.87	11.0	53.33	16.0	55.83	14.0	55.12	13.0	43.43	12.0
07/28/06	第四階段 開挖後	51.40	15.0	46.63	16.0	64.34	16.5	46.17	14.5	39.99	14.0	35.24	15.5
08/03/06	第四層支 撐架設	71.31	16.0	54.32	17.0	82.47	16.5	62.78	17.5	53.83	15.5	58.70	16.0
08/11/06	第五階段 開挖後	101.57	16.5	90.01	18.0	109.36	17.5	82.03	18.0	80.97	17.0	97.41	16.0
08/19/06	第五層支 撐架設	138.55	18.5	107.74	18.5	135.88	17.5	97.53	18.0	87.98	18.0	104.09	17.0
08/23/06	第六階段 開挖	142.93	18.0	107.80	18.5	134.59	18.0	97.54	18.0	93.34	17.0	112.34	17.5

表 5-16 續

編號\ 日期	施工 階段	SID_1		SID_2		SID_3		SID_4		SID_5		SID_6	
		最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度	最大 位移	深度
		(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)
08/29/06	第六階段 開挖及分 區澆置工 作 PC	156.49	19.0	127.64	19.0	150.44	18.0	109.36	18.5	94.67	19.0	120.42	17.5
10/03/06	第六階段開 挖完成及階 段性分區構 築地樑	181.80	19.5	143.29	20.0	168.48	19.0	121.75	19.0	109.77	19.0	149.33	19.0
10/05/06	澆置 FS 版	179.46	19.5	142.77	20.5	168.56	19.5	121.28	19.0	110.40	19.0	149.01	19.0
10/17/06	拆第五層 支撐	183.71	19.5	146.55	20.5	173.00	18.5	122.23	19.0	110.94	20.0	147.51	19.0
10/26/06	B3FL 施 作	188.04	19.5	146.18	20.5	172.14	18.5	122.07	19.0	110.51	19.5	148.21	19.0
11/10/06	拆第四層 支撐	181.55	20.0	147.40	20.0	174.07	18.5	120.63	19.0	111.56	19.5	154.90	19.0
12/11/06	B2FL 施 作	182.60	19.5	144.70	20.5	177.69	18.5	124.43	19.5	109.84	19.5	158.94	19.0
12/18/06	拆第三層 支撐	179.73	20.0	147.22	20.5	172.55	18.5	122.56	19.5	107.06	20.0	154.84	19.0
01/06/07	B1FL 施 作	178.59	19.5	147.52	20.5	172.23	18.5	121.00	19.5	107.28	20.5	152.45	19.0
01/12/07	拆第一、二 層支撐	178.85	20.0	147.65	20.5	174.01	18.5	121.44	19.5	104.94	20.0	152.38	19.0
02/02/07	1FL 施作	178.13	20.0	146.65	20.5	173.42	18.5	121.89	19.5	103.07	20.0	152.68	19.0
最大側 位移量		188.04	19.5	147.65	20.5	177.69	18.5	124.43	19.5	111.56	19.5	158.94	19.0
施工階段		B3FL 施作		拆第一、二層 支撐		B2FL 施作		B2FL 施作		拆第四層支撐		B2FL 施作	

註:-表示無法量測

*由富國技術工程股份有限公司提供

5.5 連續壁體非破壞性試驗—反彈錘試驗結果

本研究於案例工程之連續壁第 2、20、24、31、35 等 5 個單元，分別測試 56 天及 91 天齡期反彈錘數值；惟為配合開挖時程及支撐型鋼阻擋等因素，所以測試 56 天齡期之位置介於 GL-20 cm~-70 cm 處範圍內，測試 91 天齡期之位置則介於 GL-5 m-5.7 m 處範圍內，每單元取左、中、右三處測

試，經判讀數據並經計算轉換以強度 (kgf/cm^2) 表示之，測試 56 天齡期之反彈錘試驗強度平均值統計如【表 5-17】，其反彈錘試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較之曲線圖如【圖 5-7】，測試 91 天齡期之反彈錘試驗強度平均值統計如【表 5-18】，其反彈錘試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較之曲線圖如【圖 5-8】。

顯示除 31 單元強度偏低外，整體強度尚數均勻發展，與相對齡期之圓柱試體抗壓平均強度發展類似，其中 56 天齡期之反彈錘試驗強度平均值約為相對齡期之圓柱試體抗壓平均強度之 86.5%，91 天齡期之反彈錘試驗強度平均值約為相對齡期之圓柱試體抗壓平均強度之 90.6%；雖然反彈錘試驗存在人為偏差因素，如試驗儀器校正、測試表面狀況、測試角度、試驗數據判讀結果等等，故反彈錘試驗所得強度僅供參考；然而 SCC 施築於地下連續壁後浸泡於地下水中，獲致良好之養護環境，依試驗結果顯示反彈錘試驗強度可達相對齡期之圓柱試體抗壓平均強度之 86.5~90.6%之成果，顯示以 SCC 施築於地下連續壁可獲致優良之結構強度且符合設計需求。

雖然依 CNS 10732 硬化混凝土反彈數試驗法進行之非破壞性強度試驗，所測定之反彈數，不得作為評定混凝土強度之替代法；但由【圖 5-7】及【圖 5-8】顯示，56 天與 91 天兩者齡期之反彈錘試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較曲線走向非常相似，且依【表 5-17】及【表 5-18】顯示其 56 天概略之強度為相對齡期圓柱試體平均抗壓強度之 86.5%，91 天概略之強度為相對齡期圓柱試體平均抗壓強度之 90.6%，足以說明 SCC 澆築之連續壁體具有相當優良的均勻性及結構強度。

表 5-17 測試 56 天齡期之反彈鎚試驗強度統計表

單元	反彈鎚試驗強度 kgf/cm^2				圓柱試體平均抗壓強度 kgf/cm^2
	點 1	點 2	點 3	平均	
2	428	450	428	435.3	482
20	412	435	422	423.0	455
24	428	478	489	465.0	513
31	308	300	306	304.7	441
35	408	438	406	417.3	473
總平均				409	472.8
與相對齡期圓柱試體平均抗壓強度比				0.865	1

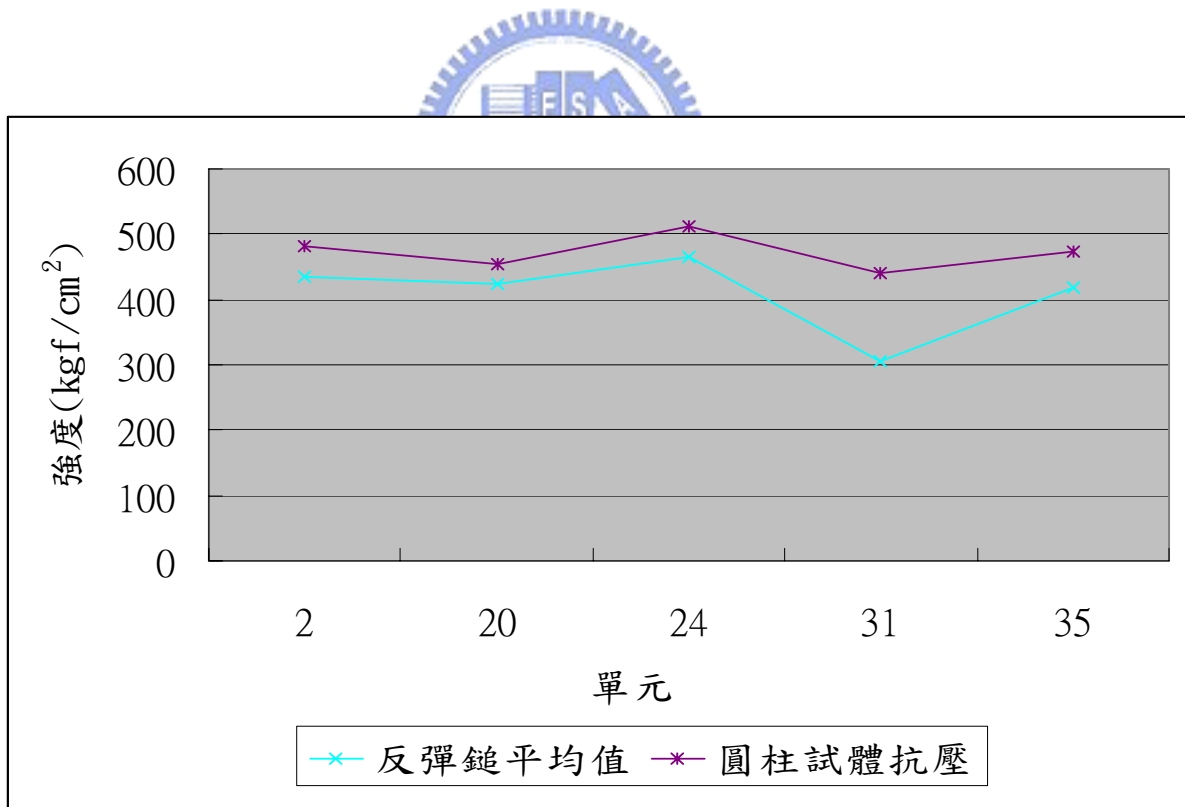


圖 5-7 56 天齡期之反彈鎚試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較圖

表 5-18 測試 91 天齡期之反彈鎚試驗強度統計表

單元	反彈鎚試驗強度 kgf/cm^2				圓柱試體平均抗壓強度 kgf/cm^2
	點 1	點 2	點 3	平均	
2	499	490	498	495.7	514
20	460	460	448	456.0	517
24	478	504	519	500.3	546
31	386	408	420	404.7	480
35	468	496	486	483.3	525
總平均				468	516.4
與相對齡期圓柱試體平均抗壓強度比				0.906	1

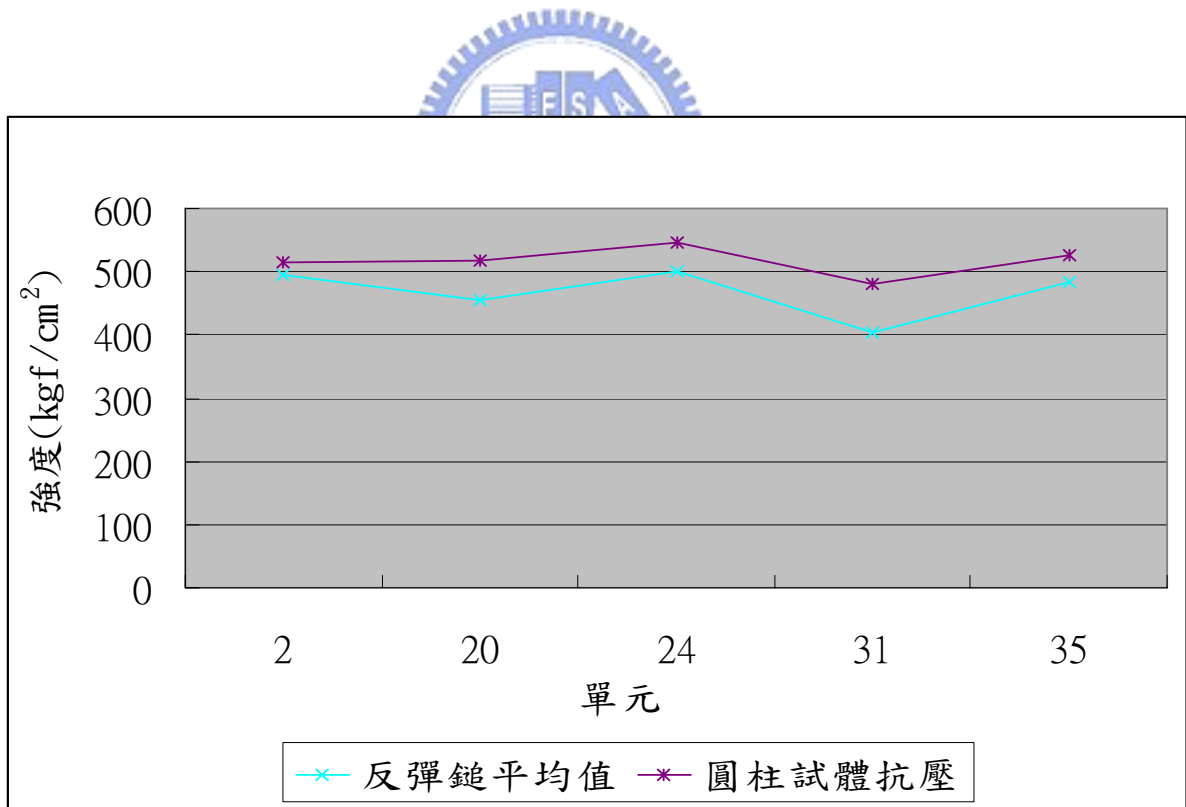


圖 5-8 91 天齡期之反彈鎚試驗強度與圓柱試體平均抗壓強度比較圖

5.6 其他案例比較分析結果

5.6.1 工時成本分析比較

一般地下連續壁的施工流程大致為：導溝放樣→導溝製作→機具挖掘→鋼筋籠加工製作→穩定液（皂土）濃度等檢測→壁體垂直度超音波檢測→吊放鋼筋籠→吊放特密管→混凝土材料現場取樣檢測（坍度、氯離子含量、抗壓試體製作）→澆築（記錄澆置高度）→特密管拔除→澆置完成，如【圖 4-1】。

地下連續壁採用一般混凝土與 SCC 之施工流程皆相同，惟採用 SCC 澆築時，對母單元鋼筋籠加工製作、端版背填料、側邊塑膠帆布、材料現場試驗等須特別加強，增加工料之耗損外，同單位體積與設計抗壓強度之 SCC 價格比一般混凝土價格略高；在公單元部分，若母單元端版外側有漏漿情況時，則因 SCC 不易稀離特性，造成挖掘困難耗時費資，故對連續壁整體工時、成本而言，略高於採用一般混凝土。

在案例工程採用同一家預拌廠於混凝土強度 280kgf/cm^2 相同條件下，針對 SCC 每 m^3 材料費與一般水中混凝土（同一家預拌廠報價）比較而言，經分析 SCC 成本略高於一般水中混凝土 18.37% 如【表 5-19】，其中生產管理費用一項，由於預拌廠生產一般水中混凝土產量為每小時 180m^3 ，當改生產 SCC 時，除須清洗拌合設備外，尚須完成試拌及坍流度、V 型試驗、箱型試驗等 3 種試驗，且預拌廠之產量降為每小時 60m^3 ，故本項目 SCC 成本增為 2 倍。

在參考甲案工程係採取母單元以一般水中混凝土澆築及公單元以 SCC 澆築之混合方式施築之連續壁工程，其為同一家預拌廠於混凝土強度 280kgf/cm^2 相同條件下，針對 SCC 每 m^3 材料費與一般水中混凝土（同一工程）比較而言，經分析 SCC 成本略高於一般水中混凝土 19.37% 如【表 5-21】，高出成本百分比與案例工程雷同；另外，因母單元為一般水中混凝土澆築，且規模與案例工程不同，所以在施工成本上未做分析比較。

雖然文獻【28】顯示 $280\text{kgf}/\text{cm}^2$ 之 SCC 每 m^3 成本略低於一般混凝土，約為一般混凝土之 98.6% (1,594 元：1,616 元)，由文獻【29】研究結果顯示水泥、爐石、飛灰之粉體成本相差不大，用量不同則影響成本，但化學摻料影響混凝土材料成本甚大。

在用人成本方面而言，依文獻【27】研究模擬結果，SCC 每 m^3 成本低於一般混凝土，僅約為一般混凝土之 22.4% (11.3 元：50.5 元)，分析原因此結果係因建築物上部結構澆置混凝土需用人力兩者不同所致，在許多文獻研究顯示 SCC 具有高流動性、自平性及其粒料均勻等特性，均使得人力需求減少降低用人成本得以驗證；然而地下連續壁澆置混凝土與一般普通混凝土澆置作業人力相同，雖然 SCC 澆置時間較短，但在實務作業上用人成本幾乎相同。

依照案例工程以一母單元(寬 3.5m ×深 37m ×厚度 0.9m)採用 $280\text{kgf}/\text{cm}^2$ 之 SCC 施工成本(不含混凝土)與一般水中混凝土(以往施工經驗)比較而言，SCC 成本則高於一般水中混凝土 84.35%如【表 5-20】，在公單元部分，僅為混凝土每 m^3 材料費之差異。由於一般認為 SCC 初凝時間較長且具高流動性，其端版底部勢必承受較大之側壓力，故端版採用厚度 6mm 之鋼板(一般用 4.5mm 厚度)，且外側回填約 20m 高之碎石(一般回填約 2m 高)，以防止端版底部變形外移造成嚴重漏漿，另外牆面部分採用 2 層帆布以降低漏漿情形發生，上述加強措施在人力成本亦無形中增加約 25% 成本。

另外依據 5.3 澆置時間分析結果顯示，採用 SCC 澆置作業時程較一般水中混凝土節省澆置時間，然而一般連續壁工程係以每 m^3 單價發包給予連續壁專業廠商施做且每單元澆置作業機具設備、人力大致相同，故此項在成本上並無明顯差距。

針對 SCC 初凝時間方面，依據文獻【5】顯示 SCC 常使用羧酸作為高流動化劑，且大量使用爐石粉與飛灰，因此初凝時間大幅延長，大約為 8~12 小時左右，而一般普通混凝土大約則在 4~7 小時；另依文獻【30】研究顯

示 SCC 初凝時間約在 9 小時左右，終凝時間約在 11 小時左右，而膠結材料採用純水泥時，初凝時間約在 4~5 小時左右，終凝時間約在 5.5~6.5 小時左右，說明 SCC 初凝時間較一般普通混凝土遲緩；一般認知上混凝土初凝時間越長，認為將增加模板或地下連續壁底部端版側向壓力，實務上施工廠商往往為了確保工程施工順利圓滿，均自行加強各項安全措施，例如端版增加厚度、端版與鋼筋間隙滿焊、帆布採雙層施築等等措施，此項一般未列入契約預算單價中，故無形中增加工程成本。

依上述分析比較顯示案例工程地下連續壁採用 SCC 成本高於一般水中混凝土成本，其中母單元每 m^3 單價約高於 34.95%，公單元每 m^3 單價約高於 18.37%。然而由於地下連續壁採用 SCC 尚未普及且潛在不確定因素（如坍塌、漏漿、材料品質、施工人員素質等等），導致營造廠商怕失敗及提高成本而不願嘗試，例如參考甲案工程即是經過開會討論後，採取母單元以一般水中混凝土澆築及公單元以 SCC 澆築之混合方式處理；在其他建築案例如安碁資訊高科技廠房工程，為考量梁柱接頭及鋼筋用量很多，為確保混凝土灌漿品質，雖然 SCC 價格稍高但為確保結構強度基於技術原因仍採用【22】；然而新工處係為推廣 SCC 運用於連續壁工程，於招標需求上即已指定採用 SCC，期望改進連續壁滲水及施工性等其他作為，且案例工程係採統包方式（即設計+施工）執行，可由承包廠商以整體成本分析設計，連續壁採用 SCC 對整體工程亦可獲得最佳經濟效益。

為推廣 SCC 運用公共工程，促使 SCC 普及化，現階段可提供相關措施，有如政府機關興建公共工程主動提高混凝土單價、積極推廣 SCC 運用於各項結構體，讓需求量增加促使預拌混凝土廠商願意投入研發（縮短初凝時間等）、生產，降低 SCC 材料成本，在施工改進方面有如 SCC 配比改良縮短初凝時間，端版固定改良、加長深入泥土層等加強勁度措施，即可減少回填碎石材料及開挖運棄費用，相對減少人力支出；若施工成果品質優良，連續壁即可作為建築物永久結構體，另滲水情況減少時亦將可節省處理滲

水之作業成本(例如免做止水樁);另外針對於 SCC 材料均質性良好及強度偏高方向,考量降低配比設計強度以減少用料,對整體工程成本而言,或許是相當經濟的;另當經驗累積足夠、技術成熟後,應可降低成本並確保工程品質、建築物安全。

表 5-19 案例工程每 m³ 混凝土材料成本比較表

項次	項目	單位	單價	一般水中混凝土		SCC	
				數量	複價	數量	複價
1	水泥	kg	2	265	623	220	517
2	爐石	kg	1.45	55	80	110	160
3	飛灰	kg	0.8	55	44	110	88
4	砂石	出口方	1,200	1	1,200	1	1,200
5	附加劑(G-TYPE)	kg	17	3	55	0	0
6	附加劑(羧酸)	kg	45	0	0	3.52	158
7	生管費	式	320	1	320	2	640
8	運銷費	式	80	1	80	1	80
	合計【A】				2,402		2,843
	兩者比較%				100.00		118.37

表 5-20 案例工程每一母單元施工成本比較表

項次	項目	單位	單價	一般水中混凝土		SCC	
				數量	複價	數量	複價
1	端版(鋼板)	kg	25	2,614	65,350	3,485	87,125
2	帆布	m ²	25	266	6,660	533	13,325
3	回填碎石	m ³	720	7.2	5,184	72	51,840
4	人力	工時	280	60	16,800	75	21,000
	合計				93,994		173,290
換算成每 m ³ 成本 (3.5*37*0.9=116.55 m ³)【B】					806.5		1,486.8
兩者比較%					100.00		184.35
表 5-19【A】與表 5-20【B】 兩項總計每 m ³ 成本					3,208.5		4,329.8
兩者比較%					100		134.95

表 5-21 參考甲案工程每 m³ 混凝土材料成本比較表

項次	項目	單位	單價	一般水中混凝土		SCC	
				數量	複價	數量	複價
1	水泥	kg	2.1	270	567	250	525
2	爐石	kg	1.65	60	99	105	173
3	飛灰	kg	0.9	45	41	65	59
4	砂石	出口方	1,210	1	1,210	1	1,210
5	附加劑 (C TYPE)	kg	16	3.2	51	0	0
6	附加劑(羧酸)	kg	48	0	0	3.99	192
7	生管費	式	325	1	325	1.8	585
8	運銷費	式	85	1	85	1	85
	合計				2,378		2,829
	兩者比較%				100.00		119.37

5.6.2 完成面平整度

由於地下連續壁壁體是由軟弱土壤組成而非一般結構體之模板或鋼版之堅硬面組成，壁體的平整度因土壤成份不同、穩定液(皂土)濃度的控制等因素，以及施工過程中機具碰撞壁面、挖掘及吊放鋼筋籠等人為操作技術、挖掘後至澆置混凝土前放置時間等等，均為造成壁面坍塌或凹凸不平之原因，且位於地底深處(約 15m~40m)無法預防改善，僅能以超音波儀器判斷壁面的垂直度及壁面的平整度。

在案例工程以 SCC 施築連續壁工程，因 SCC 具有高流動性及充填孔隙之特性，在一般結構體之模板或鋼版之堅硬面完成之完美表面，已有相當成果報告不再贅述。然而在水中及軟弱土壤表面澆置完成後之表面，經開挖後外觀上的確較不光滑並參雜石粒、局部呈現泥漿流失現象如【照片 5-1】，若有塑膠帆布當壁面時則呈現非常光滑平整之表面如【照片 5-2】，而在參考甲案工程之公單元部分，雖無塑膠帆布當壁面其整體牆面仍呈現非常光滑平整之表面如【照片 5-3】，顯然 SCC 表面之平整及外觀係隨圍束之材質、土質而有所不同。

在參考甲案工程之母單元及參考乙案工程係以一般水中混凝土施築連續壁工程，一般水中混凝土之流動性、充填性與 SCC 比較則較差，澆置地下連續壁時，在設計強度不變下調整坍度（一般坍度為 18cm）以利配合特密管澆築，在水中及軟弱土壤表面澆置完成後之表面，經開挖後外觀上包泥情況較少，於黏土層開挖面整體性較平整美觀，參考甲案工程如【照片 5-5】，參考乙案工程如【照片 5-4】；實際現場檢視開挖面平整度，案例工程連續壁壁面整體外觀平整度不及參考甲案工程及參考乙案工程來得美觀，當然土質成份、地下水因素、施工場地、施工人員作業經驗與觀念等亦是造成差異之因子。

在本研究案例工程連續壁整體外觀平整度而言，似乎與許多文獻呈現表面平整成果不盡相同，畢竟地下連續壁兩側模板係由軟弱土牆替代，且

於水中以特密管澆置，品質管控較為困難，當土層壁面良好仍有平整美觀的壁面，如參考甲案工程【照片 5-3】；然而連續壁之重點不在外觀之平整美觀，主要仍是壁體強度與止水性，由參考甲案工程中母單元採用一般傳統混凝土澆置，公單元採用 SCC 混凝土澆置，由【照片 5-7】可以明顯呈現 SCC 澆置之壁體粒料分佈均勻性較一般傳統混凝土澆置之壁體粒料分佈來得優良，且在案例工程亦有相同之成果，佐證其他文獻研究說明 SCC 具有粒料均勻性之特性，更證明 SCC 為地下連續壁可採用之優良混凝土材料。目前連續壁不論採 SCC 或一般混凝土施築，壁體仍作為擋土牆或結構牆使用居多，壁體滲水及不平整仍無法全面避免，一般地下室仍以複壁方式處理，除可以導水外亦可使地下室外牆面平整美觀【照片 5-6】。



照片 5-1 案例工程局部呈現參雜石粒、泥漿流失現象



照片 5-2 案例工程塑膠帆布當壁面時則呈現非常光滑平整之表面



照片 5-3 參考甲案工程 SCC 壁體表面

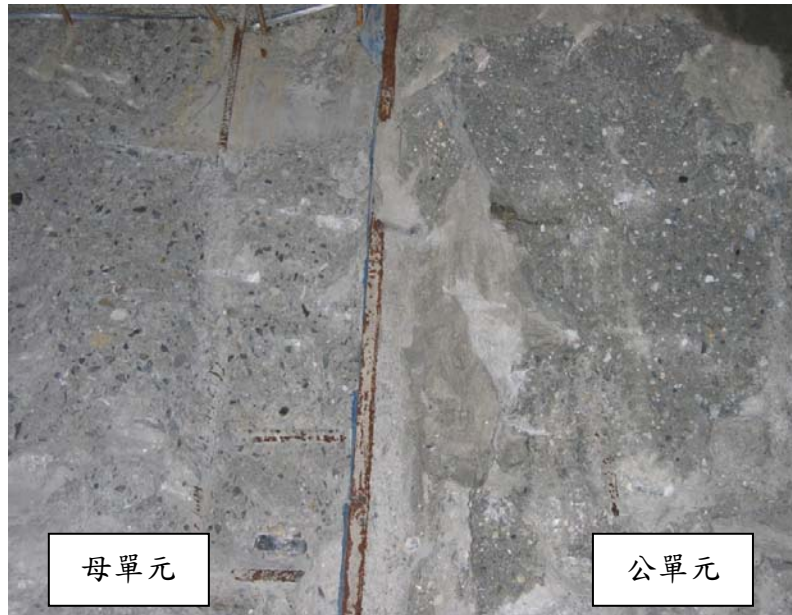


照片 5-4 參考乙案工程一般水中混凝土壁體表面



照片 5-5 參考甲案工程 SCC 與一般水中混凝土壁體表面

照片 5-6 一般地下室以複壁方式處理，可以導水且牆面平整美觀



照片 5-7 參考甲案工程 SCC 與一般水中混凝土壁體粒料分佈情形

5.6.3 滲水情形分析比較

在地下連續壁工程最常見滲水現象大部分出現於單元交界面，因為前一單元預留筋及端版之表面均因鄰接單元開挖後空置於泥漿穩定液中，隨時間而附著泥屑、泥層，或澆置混凝土時漏漿形成破碎面，接頭清理作業往往無法清除乾淨，不僅降低鋼筋握裹力，且將導致交界面滲水現象；另外地下連續壁體也有因鋼筋位移或澆置面不連續，導致局部壁面滲水現象。

(1) 在案例工程與參考甲案、參考乙案等三案工程連續壁規模比較如【表 5-22】，開挖後壁體滲水情形仍然局部存在，經現場檢視結果分述如下：

A、案例工程：公、母單元均採 SCC 施築。

本案工程連續壁單元分割共計 35 單元（公單元 17、母單元 17、公母單元 1），深度 35m~37m，厚度 0.9m，開挖深度 17m，地下水位約 GL-2.5m~-3m，公母單元界面外側未施做止水樁；因配合支撐及開挖時間分 2 階段檢視，其中 GL-6.9m~9.6m 部分，計有 8 單元壁面滲水、公母單元界面滲水計 12 處（約佔總界面數 33%）；當位於 GL-9.6m~12m 部分，單元壁

面滲水增為 13 單元、公母單元界面滲水則 19 處（約佔總界面數 53%），單元壁面滲水程度經分析統計如【表 5-23】。分析原因可能因連續壁深度越深混凝土澆灌施工較困難，開挖後外側水壓越大且公母單元界面外側未施做止水樁，另外端版及鋼筋表面包裹之超泥漿等於混凝土澆灌中是否殘留，均造成滲水增加之因素。

B、參考甲案工程：公單元採一般混凝土施築、母單元採 SCC 施築。

本案工程連續壁單元分割共計 132 單元，壁體深度 26.5m，厚度 0.7m，開挖深度 13.3m，地下水位約 GL-2m~-3m，公母單元界面外側施做 3 支直徑 30cm 深度 13m 並排止水樁；因採逆打工法及分區分段施工，所以僅針對 51 單元至 86 單元共計 36 單元（18 母單元、18 公單元），配合支撐及開挖時間分 2 階段檢視，其中 GL 0m~5.8m 部分，母單元壁面滲水 1 處，屬輕微滲水（<5%）程度，公單元壁面無滲水現象，公母單元界面滲水約 2 處（約佔總數 7.6%）；當位於 GL-5.8m~9.1m 部分，母單元壁面滲水 4 處、公單元壁面滲水 3 處、均屬輕微滲水（<5%）程度，公母單元界面滲水約 5 處（約佔總數 18.5%），單元壁面滲水程度經分析統計如【表 5-24】。

C、參考乙案工程：公、母單元均採一般水中混凝土施築。

本案工程連續壁單元分割共計 48 單元（公單元 22、母單元 22、公母單元 4），深度 27m，厚度 0.7m，開挖深度 12m，地下水位 GL-2.6m~3.1m，公母單元界面外側施做 3 支直徑 30cm 深度 13m 並排止水樁；因配合支撐及開挖時間分 2 階段檢視，因配合支撐及開挖時間分 2 階段檢視，其中 GL-0m~4.8m 部分，計有 13 單元壁面滲水、公母單元界面滲水計 13 處（約佔總界面數 26%）；當位於 GL-4.8m~9.6m 部分，單元壁面滲水增為 21 單元、公母單元界面滲水則 19 處（約佔總界面數 38%），單元壁面滲水程度經分析統計如【表 5-25】。

表 5-22 三案工程連續壁規模比較表

工程	深度 (m)	厚度 (cm)	開挖 深度 (m)	地下 水位 (m)	觀察單元數			單元界 面止水 措施
					公	母	公母	
案例 工程	37	90	17	2.5~3	17	17	1	無
參考 甲案	26.5	70	13.3	2~3	18	18	0	3支 止水樁
參考 乙案	27	70	12	2.6~3.1	22	22	4	3支 止水樁

表 5-23 案例工程單元壁面滲水程度統計表

觀察深度 (GL 以下)	滲水程度區分及單元數量					
	輕微滲水 <5%	輕度滲水 5%~15%	中度滲水 15%~30%	嚴重滲水 30%~50%	公母單元界面滲水	
					處	佔總界面 數%
6.9m~9.6m	6	2	0	0	12	33
9.6m~12m	8	4	1	0	19	53

備註：滲水程度百分比為每單元滲水影響範圍面積與單元面積比

表 5-24 參考甲案工程單元壁面滲水程度統計表

觀察深度 (GL 以下)	滲水程度區分及單元數量					
	輕微滲水 <5%	輕度滲水 5%~15%	中度滲水 15%~30%	嚴重滲水 30%~50%	公母單元界面滲水	
					處	佔總界面 數%
0m~5.8m	公：0 母：1	0	0	0	2	7.6
5.8m~9.1m	公：3 母：4	0	0	0	5	18.5

備註：滲水程度百分比為每單元滲水影響範圍面積與單元面積比

表 5-25 參考乙案工程單元壁面滲水程度統計表

觀察深度 (GL 以下)	滲水程度區分及單元數量					
	輕微滲水 <5%	輕度滲水 5%~15%	中度滲水 15%~30%	嚴重滲水 30%~50%	公母單元界面滲水	
					處	佔總界面 數%
0m~4.8m	11	2	0	0	13	26
4.8m~9.6m	16	5	0	0	19	38
備註：滲水程度百分比為每單元滲水影響範圍面積與單元面積比						

由以上案例工程與參考甲案、參考乙案工程觀察結果顯示，開挖面越深則壁體或公母單元界面滲水情形越嚴重，畢竟連續壁深度越深混凝土澆灌施工越困難，開挖後外側水壓越大，均造成滲水增加之因素；然而以上 3 案例連續壁工程，由於基地位置不同（案例工程位於內湖區內湖花卉市場、參考甲案位於國父紀念館西側廢鐵道上及參考乙案位於大同區大同國小內），預拌混凝土廠商不同，施工工班素質經驗不同，壁體厚度、土質屬性不同及公、母單元界面止水樁設置等等原因，對以上 3 種模式施工之連續壁實難以比較何者有絕對優異，然而案例工程公母單元界面在未設置止水樁之滲水現況來看，SCC 施築之連續壁止水效果可屬中等水準。

(2) 滲水原因及處置方式：預拌混凝土廠商不同、混凝土品質不穩定、施工工班素質經驗不同、澆築作業疏失、端版型式不同、壁體厚度及土質屬性不同等等都將造成壁體滲水的因素，略舉下列 4 種滲水原因及處置方式供參。

A、壁面包泥造成滲水：

連續壁混凝土澆灌過程中有因孔壁臨時坍塌、造成泥土包裹於混凝土壁

體內，形成壁面包泥現象，造成壁面孔洞或孔隙滲水如【照片 5-8】；壁面包泥之處理，應先以棒狀物為探針，先行調查包泥之範圍與深度，如深度過深，應採小面積快速修補原則進行，如若情形較嚴重，有造成壁外泥砂湧入之虞時，應先行於壁外側實施止水灌漿。

①先行以人工清除包裹之泥土及鋼筋之附著物。

②以人工配合手提破碎機清除包泥區域周邊之劣質混凝土及混入之回填碎石料。

③以 1:1 之配比將防水劑與水泥拌合，將防水水泥分層塗覆於包泥區域，直至完全覆蓋平整為止。

B、預留鋼筋周圍滲水：

連續壁鋼筋籠吊放過程中，有時因鋼筋籠偏移或預留筋、箍筋鬆動而插入溝壁土層中，混凝土澆灌過程中則造成泥土包裹於預留筋等表面，造成預留鋼筋周圍滲水如【照片 5-9】；處理方式可於滲水之預留鋼筋周圍打一深約 5cm 之凹洞，再以快乾防水水泥填補，達成防堵滲水之效果，如【圖 5-9】。

C、壁面裂縫滲水：

開挖後之溝渠底部沉泥及溝渠中充滿泥砂及穩定液之泥漿水，澆灌過程中有因特密管管制不當（如塞管、抽拔過多）、造成沉泥或劣質混凝土包裹於壁體內，形成類似斷樁現象，造成壁面裂縫滲水如【照片 5-10】；處理方式可於滲水之壁面裂縫周圍打一深約 5cm 之凹槽，再以 1:1 之配比將防水劑與水泥拌合成快乾防水水泥填補，防水水泥應分層塗覆於滲水區域，直至完全覆蓋平整為止達成防堵滲水之效果如，如【圖 5-10】。

D、公母單元交界面滲水：

公母單元交界面滲水一般發生於端版處如【照片 5-11】；處理方式比照上述方式處置外，一般設計上於交界面外側再施做高壓止水樁，除達止水效果外，亦增加交界面強度；故於交界面接頭清潔作業雖耗工費時，但清理愈徹底，接頭混凝土水密性愈佳，愈無漏水之虞，而接頭鋼筋握裹效果愈佳，強度愈能傳遞，連續壁更不易發生龜裂。

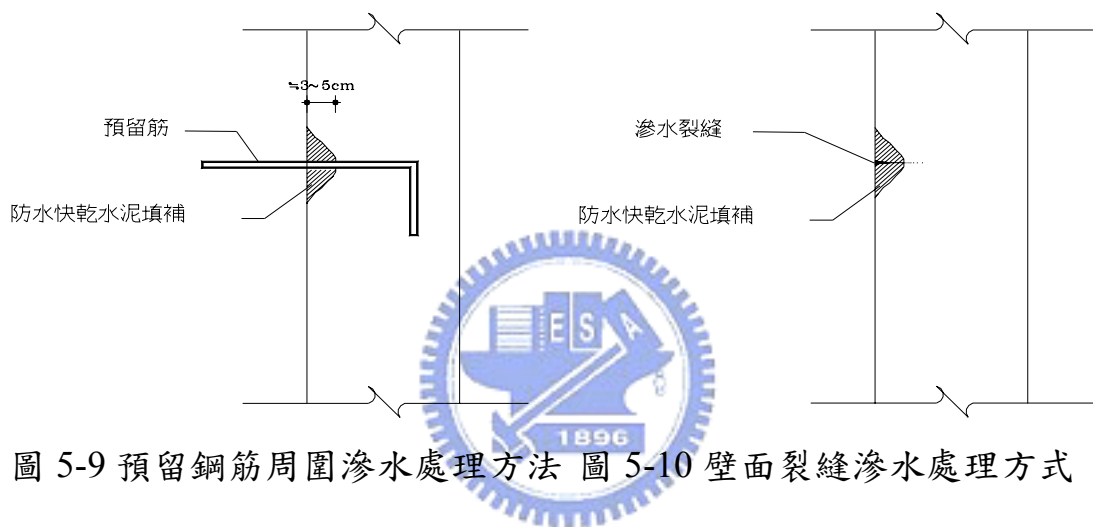


圖 5-9 預留鋼筋周圍滲水處理方法 圖 5-10 壁面裂縫滲水處理方式



照片 5-8 壁面包泥造成滲水



照片 5-9 預留鋼筋周圍滲水



照片 5-10 壁面裂縫滲水



照片 5-11 公母單元交界面滲水

綜合案例工程與參考甲案、參考乙案工程等三案工程，依據上述各章節研究分析比較，地下連續壁採用 SCC 與一般混凝土之優缺點，大致歸納幾點如【表 5-26】，若能針對待加強改進項目配合施工過程之品質管理，除可確保穩定優良之 SCC 品質，對整體工程亦可獲得最佳經濟效益。

表 5-26 地下連續壁採用 SCC 與一般混凝土之優缺點比較表

項目	SCC	一般混凝土
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 流動性佳，澆置速度較快，塞管情況少。 2. 粒料不稀離，分佈緻密均勻。 3. 整體強度表現較均勻高，結構安全 4. 公、母單元界面止水性較佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 施工人員經驗豐富，較不易出現人為疏失。 2. 現階段每 m^3 材料成本較低。 3. 母單元材料成本、工時較少。
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 現階段每 m^3 材料成本較高。 2. 母單元材料成本、工時較高。 3. 預拌廠量產品質管控不易。 4. 使用尚不普遍，經驗資料較少。 5. 施工人員較不熟練施工要領。 6. 壁面平整度受土質影響大。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工作度較差，塞管情形較常發生。 2. 公、母單元界面常有滲水情況，一般以背面增做止水樁，增加成本。 3. 壁面滲水現象普遍較嚴重。 4. 施工不當時，常造成粒料析離。

5.7 連續壁採 SCC 澆築之品質管理

地下連續壁採用一般混凝土與 SCC 之施工流程皆相同，對導溝放樣、導溝製作、機具挖掘、穩定液（皂土）濃度等檢測、壁體垂直度超音波檢測、鋼筋籠加工製作檢查等等過程，業界實務上已有相當務實標準作業流程及檢查表格；針對本研究案擬定之穩定液自主檢查表如【表 4-11】、鋼筋籠自主檢查表如【表 4-12】、壁體超音波檢測自主檢查表如【表 4-13】，已於第四章說明，在此不再贅述。

混凝土材料及施工品質控管良窳，將實質影響建築結構物之安全。近年來公共工程委員會積極推動公共工程三級品管制度，落實施工廠商自主品管以確保工程品質；本研究即依 SCC 進入工地現場開始至澆置完成離場止，針對此階段過程中應注意事項及檢驗、檢查項目，建議製成表格化之項目有地下連續壁 SCC 現場澆置記錄表如【表 5-27】、SCC 進場品質管制記錄表如【表 5-28】、SCC 圓柱體 28 天抗壓強度試驗統計表如【表 5-29】及等 3 種表格，俾利作業人員即時掌控施工過程之品質。

針對連續壁工程整體施工過程中，進行之各停檢點自主檢查表格等，建議以每單元依檢查順序如穩定液（超泥漿）檢測自主檢查表、壁體超音波檢測自主檢查表、鋼筋籠施工自主檢查表、SCC 進場品質管制記錄表、SCC 澆置記錄表、SCC 圓柱體 28 天抗壓強度試驗報告、氯離子含量檢測報告等彙集成每一單元資料，併同整體之檢查試驗項目，如現場整地放樣自主檢查表、導溝施工自主檢查表、鋼筋材料進場自主檢查表及試驗報告、挖掘及土方運送自主檢查表（含稽核作業）及 SCC 圓柱體 28 天抗壓強度試驗統計表等，彙集成冊管理，除作為爾後結算資料外，更提供驗收或施工查核之完整詳細資料及爾後工程設計之參考資料，並藉以提昇工程品質。

表5-27

○○○公司

地下連續壁 SCC 現場澆置漿記錄表

工程名稱：
 連續壁施工廠商：
 預拌混凝土廠商：

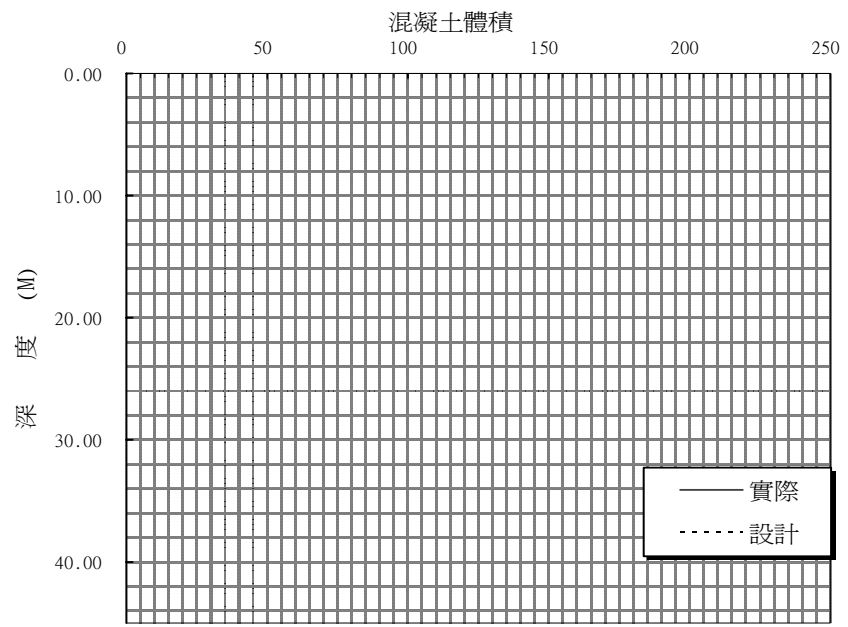
日期：
 天氣： 溫度：
 總車次： 單元編號：

車次	特密管長 (M)			混凝土量 (M3)		深度變化 (M)				
	L	M	R	本次	累積	設計	實際			平均
							L	M	R	
合計										

現場工程師：

品管人員：
113

版長 (M)	版寬 (M)	版深 (M)	開挖時間		吊放時間		澆置時間	
			開始	結束	開始	結束	開始	結束



混 凝 土 用 量			
估計用量	實際用量	用量比較 (%)	使用規格 (kg/cm2)

工地主任：

表 5-28

○○○公司
SCC 進場品質管制記錄表

工程名稱：	澆置日期： 年 月 日	天氣：	溫度：
混凝土供應廠商：	單元編號：	SCC 規格： kgf/cm ²	
協力廠商：	SCC 等級：	實際澆置數量： M ³	

車次	車號	混凝土 數量 M ³	出廠 時間	到場 時間	坍流度試驗		箱型試驗		V 型試 驗秒數	澆置時間		氯離子 含量	試體 製作	備註
					坍流度 cm	達 50 cm 秒數	B 槽高度 cm	停止時 秒數		開始	結束			

現場工程司：

品管人員：

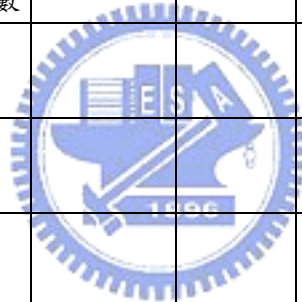
工地主任：

表 5-29

○○○公司

SCC 圓柱試體 28 天抗壓強度統計表

工程名稱										監造單位								
試體製作日期	141 kgf / cm ²		210 kgf / cm ²		280 kg f / cm ²		kg f / cm ²		試驗日期	試驗單位	試驗值 (kgf / cm ²)					判讀結果		混凝土供應廠商
	代表數量	次數	代表數量	次數	代表數量	次數	代表數量	次數			1	2	3	4	5	平均強度	合格	



115

編製：

品管人員：

工地主任：

第六章 結論與建議

SCC 引進國內發展至今，民間建築業者或許考量成本與技術前提下，僅有少數個案採用於地下連續壁工程，公共工程則在政府積極推動下已有相當成果；量產之 SCC 已具穩定、優良之品質。茲綜合前述實務面探討結果提出下列幾點結論與建議供參。

6.1 結論


- (1) 對於 SCC 單一強度配比工地工作性能測試經現場試驗記錄結果，其中坍流度平均 59.9 cm 及 6.8 秒，箱型試驗之 A 流至 B 槽之平均高度為 32.8 cm，V 型試驗之平均秒數為 12.6 秒，且每組之各項量測值均已達到 SCC 充填能力等級—R1 規範範圍值內。
- (2) 對於 SCC 單一強度配比(280kgf/cm²)所作 28 天圓柱試體抗壓強度及其他相關試驗數據統計分析顯示，其中抗壓強度平均最低值為 368 kgf/cm²、最高值為 494 kgf/cm²，均已達到契約設計強度 280 kgf/cm² 要求，另外以 35 組抗壓強度平均值計算標準偏差得 $S=33.9 \text{ kgf/cm}^2$ ，對照 ACI214 混凝土管制水準評估準則，可判定 SCC 生產品質屬「很好」等級 ($S=28.1\sim35.2 \text{ kgf/cm}^2$)，顯見 SCC 量產已有穩定的生產品質。
- (3) 在不同齡期的圓柱試體抗壓強度平均值曲線圖顯示，5 組強度發展於 56 天齡期略為差異外，其他齡期強度發展均相當；另與其他文獻 SCC 各齡期抗壓強度與 28 天抗壓強度比較結果，各齡期抗壓強度發展結果亦相當接近，亦可見量產之 SCC 已有相當穩定品質。
- (4) 對於 SCC 單一強度配比膠結材料比例(水泥：爐石(含飛灰))=1：

- 1) 所作 28 天、56 天、91 天齡期之抗彎強度試驗及劈裂抗張強度試驗結果，經與相關文獻試驗室相當之膠結材料比例試驗結果比較之，各強度值已相當接近；其中抗彎強度試驗結果，均已符合 ACI 規定「抗彎強度/該齡期抗壓強度值開根號」需大於或等於 2.0 之標準。顯示大量生產實際澆置於工程之 SCC 品質，已與試驗室取樣試驗值相當接近，對爾後工程採用 SCC 之品質建立可靠參考資料。
- (5) 在單一強度配比之 SCC 乾縮值隨養護齡期的增加其乾縮量也隨之減少，與其他文獻研究結果獲致相同結論。
- (6) 乾縮與潛變試驗結果顯示，當 W/B 接近之配比，若膠結材料用量多，則乾縮與潛變量越大，齡期愈長則乾縮與潛變量越小。
- (7) 由抗彎強度試驗及劈裂抗張強度試驗之試體斷面顯示 SCC 粒料具有良好之均勻性，且由實地檢視 SCC 澆築之連續壁壁體表面亦呈現均勻之粒料分布；又由反彈錘試驗結果，顯示壁體強度均勻且達設計要求，另外根據現場敲鑿作業施人員表示及破碎機具施工狀況來看，SCC 結構體確實堅固，顯示 SCC 非常適合使用於地下水中連續壁工程。
- (8) 壁體變位監測結果顯示最大值達 111mm~188mm 位於 GL-16.5m~19.5m 間，已低於開挖深度 GL-17m，應係地層土質過於軟弱且地下水豐沛影響所致。
- (9) 經分析比較每 m^3 混凝土材料成本及每一母單元施工成本，顯示地下連續壁採用 SCC 成本略高於一般水中混凝土成本。
- (10) 在完成面平整度方面，依現場檢視結果並未如預期之平整美觀，在地下連續壁兩側模板係由軟弱土牆替代所致。
- (11) 在案例工程壁體顯示粒料分佈均勻，在參考 B 案工程現場比對 SCC 與一般混凝土壁面，可以明顯呈現 SCC 澆置之壁體粒料分

佈均勻性較佳，足以佐證其他文獻研究說明 SCC 具有粒料均勻性之特性，更證明 SCC 為地下連續壁可採用之優良混凝土材料。

- (12) 連續壁壁體滲水狀況，因地質條件、工程規模、止水措施及施工經驗等等而有所差異；在案例工程單元界面處未設置止水樁的條件下，SCC 連續壁具有相當水密性。

6.2 建議

- (1) 參考甲案工程地下連續壁採 SCC (公單元) 與一般混凝土 (母單元) 混合施工之模式，在 SCC 使用於地下連續壁尚不普遍、經驗資料不足等條件下，實為另一種有效可靠之施工方式，惟對相鄰兩壁體強度是否均勻一致，是否影響整體結構安全，仍有待長期追蹤監測。
- (2) 母單元鋼筋籠端版可採  型式或其他可增加延長水路之型式施作，增加公母單元介面止水功效。
- (3) 母單元鋼筋籠端版及兩側帆布施工仍應特別注意緊密及牢固，或可帆布外側加設 3 分夾板，以避免、減少漏漿情形發生，因依案例顯示漏漿後 SCC 水中不分離而成塊狀，造成公單元挖掘困難，增加工時及成本。
- (4) 本案例工程規定 SCC 充填能力等級為 1 級，鋼筋最小間距為 30~60mm，然而連續壁之鋼筋籠之鋼筋間距一般均大於 150mm 以上，爾後設計單位可依實際設計圖說鋼筋間距而採用 2 級或 3 級規格，仍有待後續研究比較之。
- (5) 連續壁工程各項試驗、儀器費用龐大，若需深入、長期觀測及試驗，則建請主辦機關編列預算執行或邀請、委託學術研究單位進一步研究。
- (6) 在分析比較成本方面，若在設計階段即考慮 SCC 設計強度的調

整及地下連續壁壁體的用途、止水樁施做與否，對整體成本而言，或許採用 SCC 成本較為經濟，有待後續進一步分析比較之。

(6) 在目前 SCC 使用於地下連續壁尚不普遍、經驗資料不足等條件下，建請主辦機關編列工程預算時，增加聘請專案學者顧問經費乙項，指導預拌廠 SCC 配比設計、施工人員正確施工方式、建立品質管理系統，以期工程施工順利、品質保證及降低成本。

(7) 施工廠商應加強施工人員在職教育，灌輸 SCC 特性及施工方式、注意事項，以及建立完善適宜的管理系統、自主品管表單等等，期使施工人員熟練作業，以降低工時成本。

綜觀上述顯示，SCC 運用於地下連續壁，除外觀較不平整外，水密性、粒料分佈均勻性、強度表現均非常優良，極適合水中連續壁工程；若能調整配比以縮短初凝時間、調整設計要求混凝土充填能力等級（由一級改為三級）以及詳細分析整體成本效益，並由公共工程持續推動普及民間工程，必能獲致品質優良、成本低廉的 SCC 連續壁工程。

參考文獻

- 【1】「施工綱要規範」(第 03315 章自充填混凝土)，行政院公共工程委員會，2002 年 6 月。
- 【2】 Okamura, H. and Ozawa, K.(1994), Self-compatible high performance concrete in Japan, International Workshop on HPC, November, ACI SP-159,Bangkok,pp.31~44。
- 【3】 Steven Loh and Jiang Jiabiao，High Performance Concrete，台灣營建研究院叢書「強塑劑於混凝土應用」p43~p47，90 年 4 月。
- 【4】 趙文成，「簡易化、自動化一般強度自充填混凝土之工程應用與產製技術」，自充填混凝土在營建工程之應用研討會，90 年 8 月。
- 【5】 趙文成、「SCC 起源及特性介紹、使用注意事項」，自充填混凝土系列—國家標準講習會，經濟部標準檢驗局，2005 年 10 月。
- 【6】 汪坦祥（趙文成指導）、「高性能水中自充填混凝土」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2006 年 7 月。
- 【7】「公共工程品質管理訓班教材」，第二單元上冊，行政院公共工程委員會，2-19~2-28 頁，2006 年 1 月。
- 【8】 ACI 214-02,2002,"Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete"。
- 【9】 M.Sari，E.Prat and J.-F.Labastire，High strength self-compacting concrete Original solutions associating and inorganic admixtures，Cement and Concrete Research，1999，2。
- 【10】 廖肇昌、陳志超，「自充填混凝土之特訂條款」，台灣營建研究院，2000 年。

- 【11】夏道明、「慎選預拌混凝土供應商（一）」，營建知訊，pp30~31，20003年4月。
- 【12】陳松堂、林建宏，「自充填混凝土之適用性介紹」，臺灣公路工程，pp2~14，20003年。
- 【13】廖肇昌、邱建滄，「自充填混凝土施工規範（上）」，營建知訊，pp46~55，20003年3月。
- 【14】林耀煌，「高層建築基礎開挖施工法與設計實例」，長松出版社，397~399頁，1984年8月。
- 【15】倪至寬，「基礎施工與品管」，詹氏書局，pp79~100，2004年2月。
- 【16】「臺北市內湖區市民運動中心暨科技園區服務中心新建統包工程」工程契約，臺北市政府工程局新建工程處，2005年5月。
- 【17】「臺北市內湖區市民運動中心暨科技園區服務中心新建統包工程」施工計畫書，皇昌營造股份有限公司，2006年3月。
- 【18】李海銘、「自充填混凝土在高雄捷運之運用-高雄捷運 R12 標之車站主體工程」，混凝土工程系列研習—自充填混凝土工程實務與案例研習會，財團法人中興工程顧問社，2005年8月。
- 【19】黃進華（趙文成指導）、「水中自充填混凝土」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2004年8月。
- 【20】戴維屏（趙文成指導）、「水中施工不分離水中自充填混凝土」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2005年7月。
- 【21】陳金剛（林建宏指導）、「自充填混凝土之力學性質」，國立中興大學土木工程學研究所碩士論文，2003年7月。
- 【22】詹穎雯、高健章、廖肇昌、「自充填混凝土簡介、施工與應用」，土木水利，pp86~91，2003年6月。

- 【23】黃嘉昌（趙文成指導）、「自充填混凝土結構行為監測與研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2002年。
- 【24】陳育聖（詹穎雯指導）、「自充填混凝土之工程性質」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，2000年6月。
- 【25】黃兆龍，「混凝土性質和行為」，1993年9月。
- 【26】杜方祥（趙文成指導）、「自養護混凝土」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2005年7月。
- 【27】林宏毅（曾惠斌、詹穎雯指導）、「自充填混凝土施工效益評估與分析」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，2002年。
- 【28】蔡顯助（王弘祐指導）、「自充填混凝土配比通用設計法則探討」，國立屏東科技大學土木工程研究所碩士論文，2004年6月。
- 【29】許翰丞（詹穎雯指導）、「自充填混凝土應用於連續壁工程之研究」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，2004年。
- 【30】高富銓（葉為忠指導）、「SCC 自充填混凝土膠結材料組合之研究與應用」，國立臺灣海洋大學河海工程研究所碩士論文，2003年。