

行政院農業委員會水土保持局 111 年度細部計畫
成果報告

111 保發-8.1-保-01-06-001(11)

螺紋植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物補強
延壽作業可行性之研究

The applications of Screw Rebar system to rehab
or extend the service life of Soil and Water
Conservation concrete structures

國立屏東科技大學
中華民國 111 年 12 月

行政院農業委員會水土保持局 111 年度細部計畫成果報告

一、計畫名稱及經費

- (一) 中文名稱：螺紋植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物補強延壽作業可行性之研究
- (二) 英文名稱：The applications of Screw Rebar system to rehab or extend the service life of Soil and Water Conservation concrete structures
- (三) 計畫經費：水保局 723 千元，配合款 0 千元，合計 723 千元

二、計畫性質及編號

- (一) 計畫性質：細部計畫
- (二) 本年度計畫編號：111 保發-8.1-保-01-06-001(11)
- (三) 去年度計畫編號：新提計畫

三、提送機關

- (一) 機關名稱：國立屏東科技大學
- (二) 計畫主持人：謝啟萬 教授
- (三) 計畫總聯絡人：國立屏東科技大學

姓名：謝啟萬

電話：08-7740427

電子信箱：cwh@mail.npust.edu.tw

職稱：特聘教授級研究員

傳真：08-7740477

四、計畫執行機關、執行人及計畫主辦人：

計畫執行機關	執行人	執行人職稱	計畫主辦人	計畫主辦人職稱	電 話
國立屏東科技大學	謝啟萬	特聘教授級研究員	謝啟萬	特聘教授級研究員	08-7740427

五、執行期限

全程計畫：自 111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

本年度計畫：自 111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

目錄

摘要	1
(一) 背景與研究目的：	2
1.1 研究目的：	3
(二) 混凝土用錨栓應用概況：	9
2.1 混凝土錨栓之分析與評定	10
2.2 混凝土錨栓之抗拉破壞型式	11
2.3 錨栓抗剪破壞型態	12
2.4 混凝土用錨栓試驗法	14
2.5 混凝土用錨栓性能評定準則	14
2.6 混凝土用錨栓常見問題	17
2.7 新型螺紋錨栓應市	19
(三) 研究主題：	21
(四) 研究規劃與成果：	29
4.1 試驗準備成果	30
4.2 試驗結果	33
4.2.1 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土無開裂與開裂狀態圍束抗張試驗	33
4.2.2 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土無開裂與開裂狀態圍束抗張試驗	41
4.2.3 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土束制抗張試驗	47
4.2.4 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 無開裂混凝土無束制抗張試驗	51
4.2.5 #4 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 無束制抗張試驗	56
4.2.6 #5 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 無開裂混凝土無束制抗張試驗	61
4.2.7 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 無束制抗張試驗	66
4.2.8 新式#5 螺紋植筋錨栓開發與初步試驗	71
(五) 結論與建議	72
(六) 參考文獻	74

圖目錄

圖 1-1 水土保持主要防砂工程構造物辦理補強延壽之標準作業流程	2
圖 1-2 鋼鈹包覆補強應用於梳子壩壩柱之示意圖	3
圖 1-3 RC 包覆補強示意圖	4
圖 1-4 鋼索圍束應用於梳子壩壩柱之示意圖	4
圖 1-5 防砂壩基腳擴大補強示意圖	4
圖 1-6 物理性地質改良工法示意圖	5
圖 1-7 化學植筋錨栓的施作與承載因素	5
圖 1-8 化學植筋錨栓常見施工問題	6
圖 1-9 台灣化學植筋錨栓應用現況	6
圖 1-10 本研究之實施步驟流程圖	8
圖 2-1 錨栓種類 (ACI 318 (2008)、fischer, 2010)	9
圖 2-2 錨栓抗拉破壞型態示意圖 (Fischer, 2010)	12
圖 2-3 錨栓抗剪破壞型態示意圖 (Fischer, 2010)	13
圖 2-4 群錨在不同間距混凝土剪破破壞面影響示意圖 (Fischer, 2010)	13
圖 2-5 抗拉與抗剪試驗組裝示意圖 (ASTM E488, 2015)	14
圖 2-6 往覆抗拉及抗剪荷載與週期示意圖	14
圖 2-7 ACI 355.2 機械錨栓評估流程及特性強度分析公式	16
圖 2-8 ACI 355.4 化學錨栓評估流程及特性強度分析公式	17
圖 2-9 波士頓隧道頂板掉落事件	18
圖 2-10 波士頓隧道頂板掉落事件	18
圖 2-11 亞特蘭大化學錨栓失效倒塌案	18
圖 2-12 亞特蘭大化學錨栓失效倒塌案	18
圖 2-13 我國外牆掉落事件	18
圖 2-14 我國外牆掉落事件	18
圖 2-15 新型專利植筋錨栓	19

圖 2-16 規劃開發新式螺紋錨栓	20
圖 3-1 試驗用#4 螺紋植筋錨栓基本資料.....	21
圖 3-2 不同鋼筋段長度之螺紋植筋錨栓	22
圖 3-3 螺紋植筋錨栓可應用結構補強施工中解決化學錨栓施工之不利條件	22
圖 3-4 研究團隊研發之新型螺紋植筋錨栓草圖	23
圖 3-5 10 公分與 15 公分直徑圓柱型試體不同期齡抗壓數據.....	26
圖 3-6 5/27 210 混凝土不同期齡抗壓試驗數據	26
圖 3-7 6/17 350 混凝土不同期齡抗壓試驗數據	27
圖 3-8 07/01 350 混凝土不同期齡抗壓試驗數據	27
圖 4-1 以 ACI 355.2 及 ACI 355.4 為本研究評定法	29
圖 4-2 圍束抗張設備	30
圖 4-3 化學錨栓圍束抗張試驗設備.....	31
圖 4-4 無開裂混凝土試驗構件示意圖與灌製模具	31
圖 4-5 開裂混凝土試驗構件示意圖與灌製模具.....	32
圖 4-6 裂紋混凝土試驗構件與反力架組裝示意圖與成品	32
圖 4.7 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片(2022/06/29).....	34
圖 4.8 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗代表性拉力位移圖.....	34
圖 4.9 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片	35
圖 4.10 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗代表性拉力位移圖.....	36
圖 4.11 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 3/1b 試驗照片	38
圖 4.12 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 8d 植入深度參考性 3/1b 試驗拉力位移圖	39
圖 4.13 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片(9 samples).....	41
圖 4.14 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度參考性 1/1a 試驗拉力位移圖.....	42
圖 4.15 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 3/1b 試驗照片(2 samples)...	44
圖 4.16 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 3/1b 試驗拉力位移圖	45
圖 4-17 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張 試驗照片	47

圖 4-18 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張試驗拉力位移圖.....	48
圖 4-19 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張試驗代表性拉力位移圖.....	49
圖 4-20 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗照片.....	52
圖 4-21 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞).....	53
圖 4-22 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞).....	53
圖 4-23 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗照片.....	56
圖 4-24 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞).....	58
圖 4-25 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞).....	58
圖 4-26 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗照片.....	61
圖 4-27 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞).....	63
圖 4-28 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞).....	63
圖 4-29 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗照片.....	66
圖 4-30 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞).....	68
圖 4-31 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞).....	68
圖 4-32 新型#5 螺紋植筋錨栓成品與試驗後照片.....	71
圖 4-33 新型#5 螺紋植筋錨栓試驗組裝照片.....	71

表目錄

表 2-1 錨栓分類優缺點摘要表	10
表 2-2 歐美錨固件設計、檢測與評估文件	11
表 2-3 ACI 355.2 非開裂(Table 4.1)混凝土之評估項目	15
表 2-4 ACI 355.2 開裂(Table 4.2)混凝土之評估項目	16
表 3-1 化學植筋試驗用#4 及#5 鋼筋性能表.....	24
表 3-2 試驗用混凝土基本資料與特性	25
表 4-1 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗摘要表	35
表 4-2 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗摘要表	36
表 4-3 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a 試驗彙整表.....	37
表 4-4 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 EAD 參考性 1 試驗彙整表	38
表 4-5 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 3/1b 試驗摘要表	39
表 4-6 #4 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 10d 植入深度 ACI 參考性 1b 試驗彙整表	40
表 4-7 #4 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 10d 植入深度 EAD 參考性 3 試驗彙整表	40
表 4-8 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度試驗摘要表	43
表 4-9 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1a 試驗彙整表.....	43
表 4-10 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度 EAD 參考性 1 試驗彙整表	44
表 4-11 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 7d 植入深度試驗摘要表	45
表 4-12 #5 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1b 試驗彙整表	46
表 4-13 #5 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 7d 植入深度 EAD 參考性 3 試驗彙整表	46
表 4-14 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張 試驗彙整表.....	48
表 4-15 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 ACI 355.4 1a 束 制抗張試驗分析彙整表.....	50
表 4-16 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm EOTA 參考性 R1 束制抗 張試驗分析彙整表.....	51
表 4-17 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張	

試驗彙整表.....	52
表 4-18 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mmACI355.2 參考性 No.1 無束制抗張試驗分析彙整表.....	54
表 4-19 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 1/A1 無圍束抗張試驗分析彙整表.....	55
表 4-20 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗彙整表.....	57
表 4-21 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mmACI355.2 參考性 No.2 無束制抗張試驗分析彙整表.....	59
表 4-22 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無圍束抗張試驗分析彙整表.....	60
表 4-23 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗彙整表.....	62
表 4-24 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mmACI355.2 參考性 No.1 無束制抗張試驗分析彙整表.....	64
表 4-25 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無圍束抗張試驗分析彙整表.....	65
表 4-26 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗彙整表.....	67
表 4-27 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mmACI355.2 參考性 No.2 無束制抗張試驗分析彙整表.....	69
表 4-28 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無圍束抗張試驗分析彙整表.....	70



螺紋植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物補強延壽作業 可行性之研究-成果報告

摘要

近年水土保持局已將水土保持工程構造物補強與延壽對策列為重點工作項目，其中混凝土構造物補強工法常採用化學植筋錨栓為聯結材，植入原混凝土構造物中，以完成該項補強工法，然此項工法之有效性高度仰賴施工條件與品質，因此本研究目的為評估螺紋植筋錨栓是否具備相同補強功能，且可避免該項工法之缺點，應用於水土保持混凝土構造物補強延壽功能，達到延長使用年效及改進其特性強度之目標。

研究結果顯示，以我國生產之化學植筋交植入 C20/25 混凝土，於無開裂狀態下，#4 及 #5 化學植筋依 ACI 及 EOTA EAD 評估準則分析其單位面積黏結強度可符合規範要求，然此化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土試驗結果顯示，裂紋顯著影響與降低抗張強度，此植筋錨栓是否於混凝土開裂狀態下大致符合規範需求需更完整試驗數據評估。



(一) 背景與研究目的：

水土保持局為確保我國丘陵地區坡地及河川流域之安全，已於 105 年度委託專家團隊針對水土保持工程構造損劣情況檢視、評估及延壽對策進行研究，並提出補強延壽對策。該研究報告主要防砂構造物包括：防砂壩、整流工程及擋土設施，當構造物超過 5 公尺以上時，多為（鋼筋）混凝土構造物，當構造物受到外力作用或環境變異而產生的破壞或劣化，對此情況下可經由補強工程措施達成延壽之成效。研究報告中敘述可經由工程手段，改善或增進構造物之強度及系統改進以延長構造物服務之年限，並於適當時機執行此項補強與延壽之管理措施。研究報告並建議實施此項指施之標準作業流程如示圖 1-1（水土保持局，2019）。

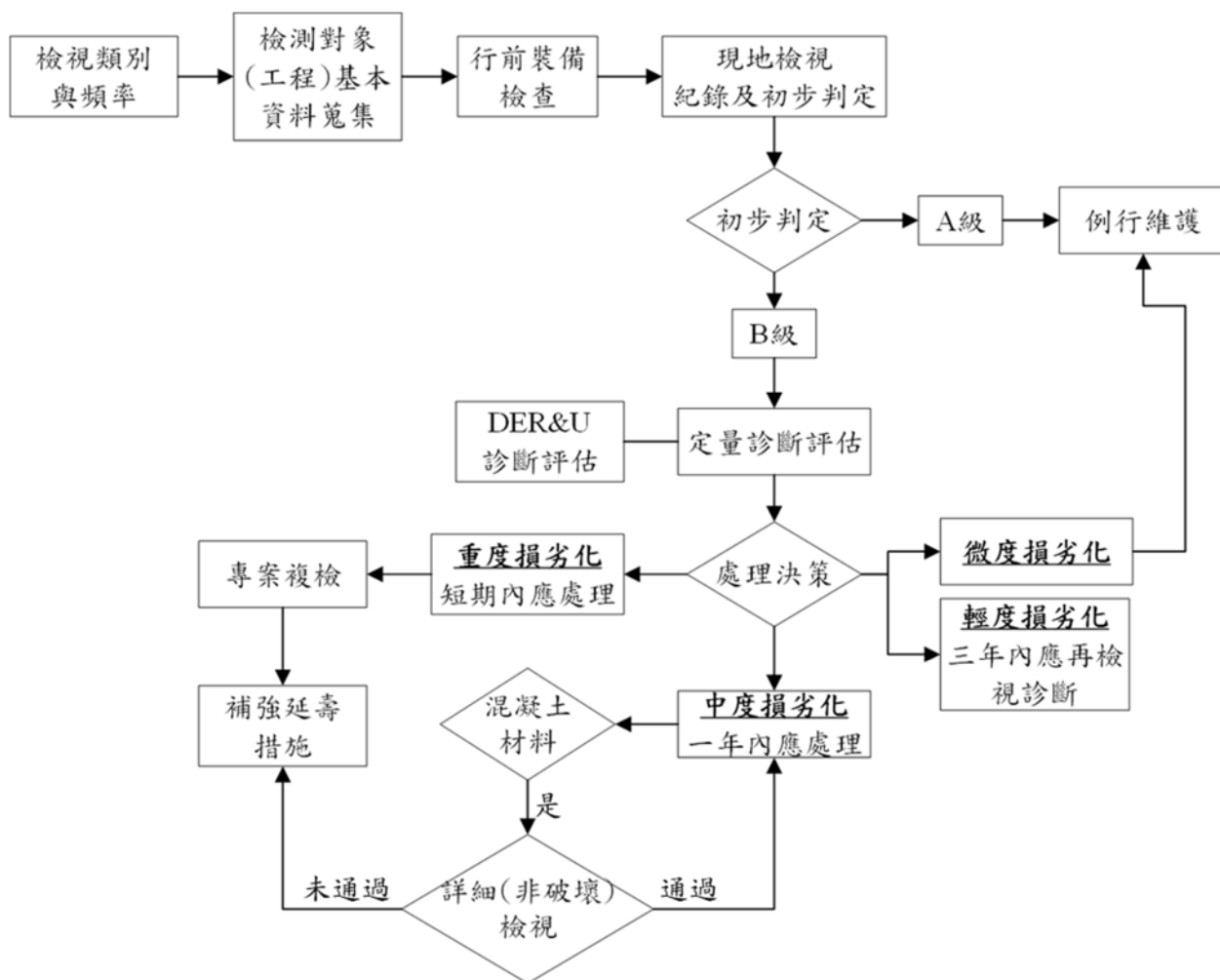


圖 1-1 水土保持主要防砂工程構造物辦理補強延壽之標準作業流程
(水土保持局，2019)



目前水土保持工程常用之構造物材料包括混凝土、鋼結構、箱籠及砌石等，本研究將探討混凝土構造物劣化之補強與延壽之工程措施，以改善混凝土構造物於應用期間產生裂縫、磨蝕、淘空、傾倒、沈陷、錯動、裂開、變形、位移等劣化或破壞之情形。為有效了解混凝土結構劣化情況，常需藉由非破壞檢測技術為評估之工具。該研究報告亦介紹一套工程構造物外觀劣化程度評估系統”DER&U”（水土保持局，2019），該系統為昭凌顧問工程公司與南非 CSIR 公司共同發展之橋樑目視檢視評估法，可依評分方式應用於評估構造物劣化之等級，研究報告亦針對水土保持工程構造物補強與延壽提供適當建議之對策。

依據前述之評估診斷結果，以設定構造物補強與延壽復原與補強範圍，及選擇補強材料與工法，報告中亦提醒也需注意施工性、工期與經濟性、耐久性、安全法規與週邊施工環境。也需考量構造物之重要性，設定復原工程目標為永久性、暫時性或延壽為目的。

1.1 研究目的：

本研究主要目的為現有混凝土構造物延壽與補強工法，當混凝土構造物經檢測評估結果依結構型式、損傷部位、程度、原因及隣近條件，決定補強工法材料與方式，常用之工法包括鋼板包覆補強工法（如示圖 1-2）、鋼筋混凝土包覆補強工法（如示圖 1-3）、鋼索圍束補強工法（如示圖 1-4）、擴大基礎補強工法（如示圖 1-5）、填土區輕量化工法及地質改良工法（如示圖 1-6）。由圖 1-2、圖 1-3 及圖 1-5 中顯示，此三種補強工法均需採用適當聯結構件植入與錨栓於原混凝土構造物中，以完成該項補強工法，然此項聯結構件，目前以化學植筋錨栓為主（施作示意圖如示圖 1-7），此項構件乃採用鋼筋或螺桿配合植筋膠為主，鋼筋或螺桿植入混凝土深度通常為其直徑 9 倍以上，然此項工法之有效性高度有賴混凝土鑽孔之清孔作業完整性，施工時溫度、混凝土鑽孔是否含水與潤濕狀態，且水平與倒置鑽孔亦容易產生垂流，以致使混凝土與錨固件錨固效果折減（如示圖 1-8），對於混凝土構造物延壽工程作業成效會顯著降低。

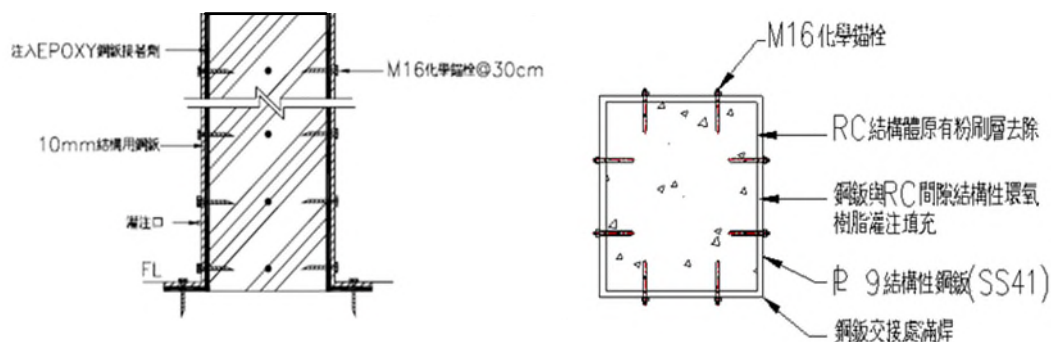


圖 1-2 鋼板包覆補強應用於梳子壩壩柱之示意圖
（水土保持局，2019）

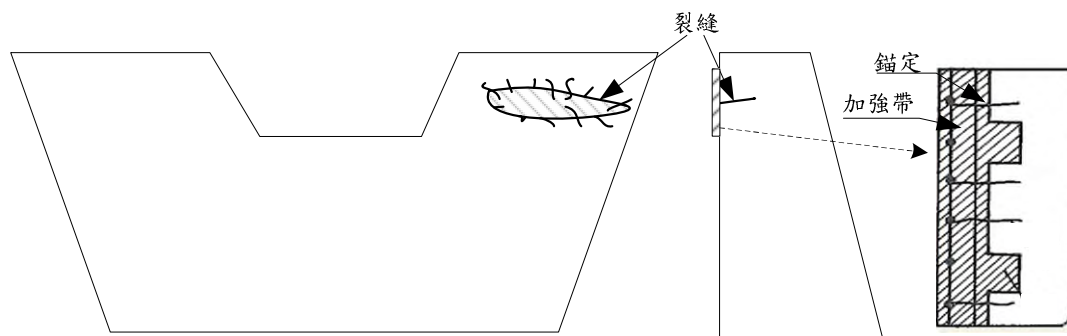


圖 1-3 RC 包覆補強示意圖
(水土保持局，2019)

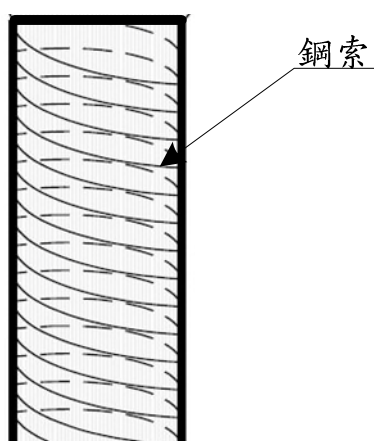


圖 1-4 鋼索圍束應用於梳子壩壩柱之示意圖
(水土保持局，2019)

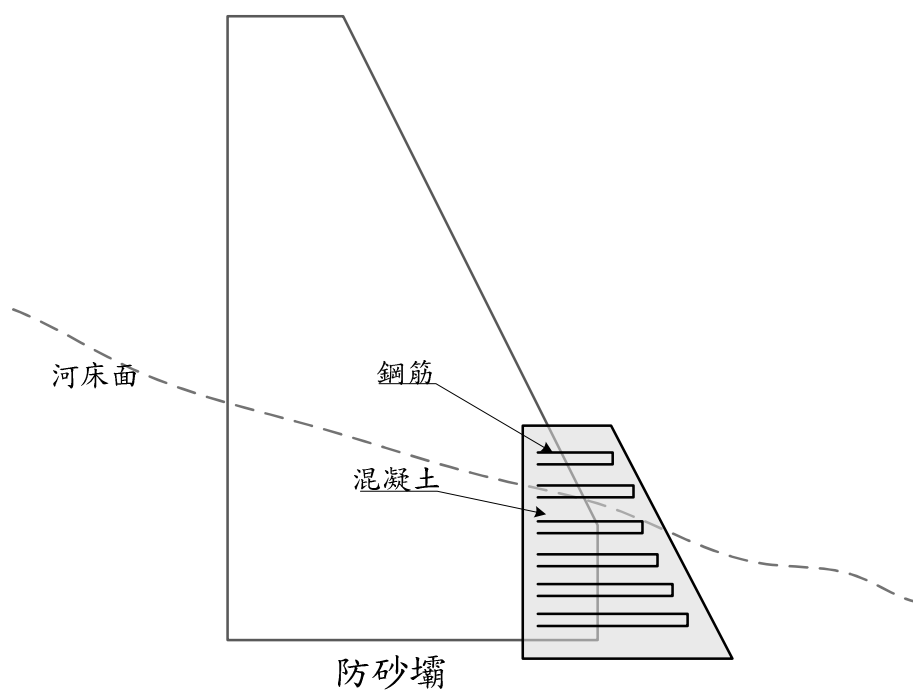


圖 1-5 防砂壩基腳擴大補強示意圖
(水土保持局，2019)

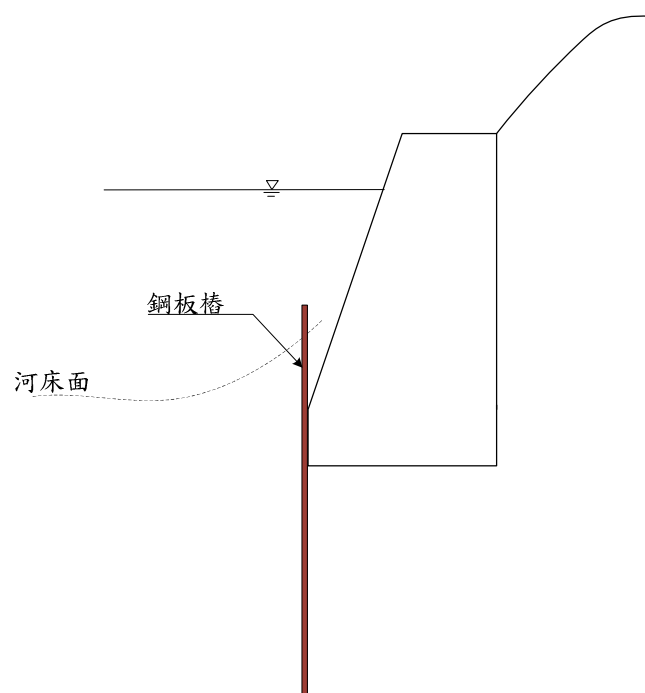
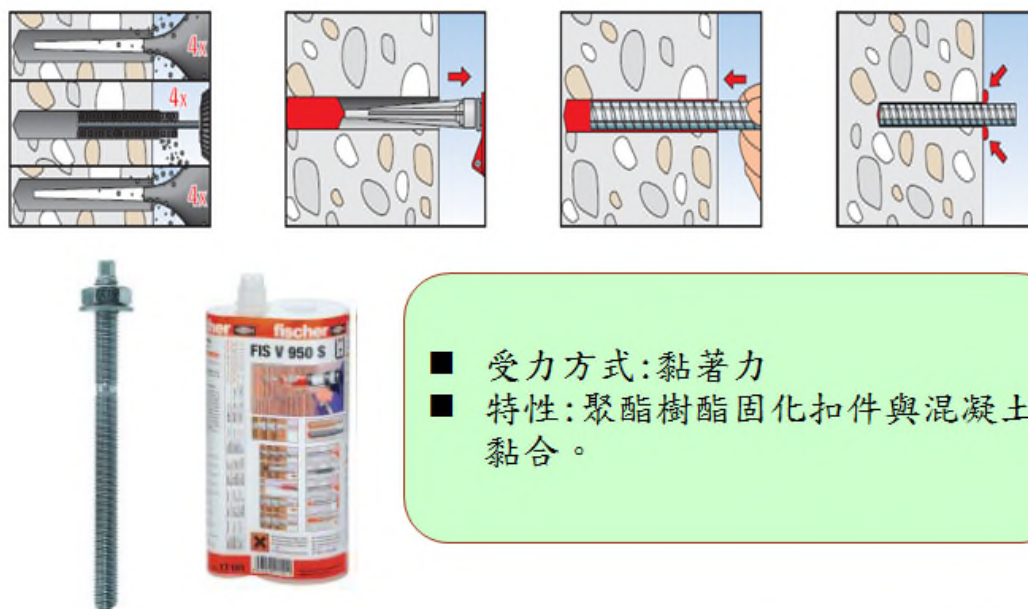


圖 1-6 物理性地質改良工法示意圖
(水土保持局，2019)

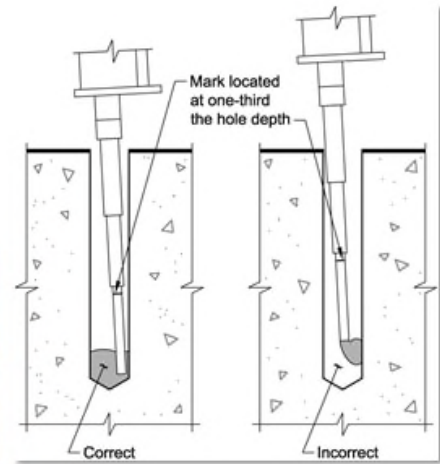
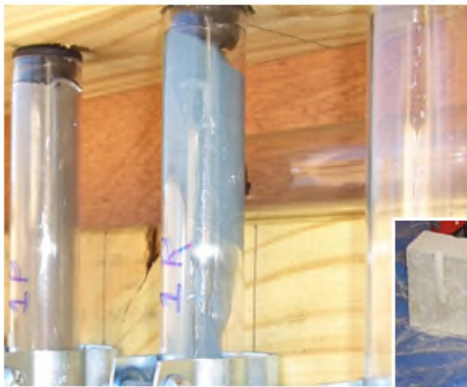


資料來源：[fischer](#)，2010

圖 1-7 化學植筋錨栓的施作與承載因素



化學植筋錨栓因鑽孔深度較深，則易產生清孔不易、注膠不完全、注膠偏心及倒掛注膠垂流等問題。



資料來源：混凝土與鋼材聯繫技術論壇，中國土木水利，2017

圖 1-8 化學植筋錨栓常見施工問題

由以上敘述化學植筋雖廣泛應用於水土保持混凝土構造物之延壽與補強功能，然化學植筋是否足以發揮其功效與其施工品質相關性非常高，另一項施工不便利性為其化學植筋錨栓於施工完成後需 8~12 小時內方可以固化（如示圖 1-9），在此期間不可碰觸，因接觸會影響其養護與錨碇效果，因此，化學錨栓有二次施工之需求，亦為施工人員需再次回至現場施作，增加工程施工人員移動往返之工時，間接增加施工之成本。

➤臺灣常用品牌：Hilti, Fischer, Powers 及固特優。

➤植筋膠養護時間：

Hilti, 8~12 h

Fischer, 10 h

Powers, 0.75~10 h

GoodUse (固特優), 1.5~22 h

• 需二次施工造成施工之不便性及二次施工人工費用。

圖 1-9 台灣化學植筋錨栓應用現況



除此之外，此類補強工程常會發生於潮濕狀況與水中，在此情況下清孔與水中施工不易，且於水中或潮濕狀況下施工，需選用經認證之特殊植筋膠，通常均較貴，如未於合約規範清楚，施工廠商常會以一般性植筋膠施作，結構補強性能延壽成效將顯著降低。另由前述可知化學植筋施作完成，通常施作完成後需一天養護時間，於養護期間不可碰觸，而且化學植筋後，需隔天以二次施工過程再由施工班底至現場再執行綁鋼筋作業後，方可澆灌補強混凝土，完成補強延壽工作。增加施工之不便利性及二次施工成本。

為增進水土保持工程混凝土構造物補強延壽之可靠性與降低施工成本，本研究擬採用新型螺紋植筋錨栓產品取代化學植筋錨栓，以避免化學植筋錨栓因需時間固化引起之二階段施工之不便利性，及降低化學植筋錨栓功效需仰賴較嚴格之施工過程及環境條件，以期望能提升水土保持混凝土構造物補強延壽功效，達到延長使用年效及改進其特性強度之目標。目前本研究研究之實施步驟流程如示圖 1-10。

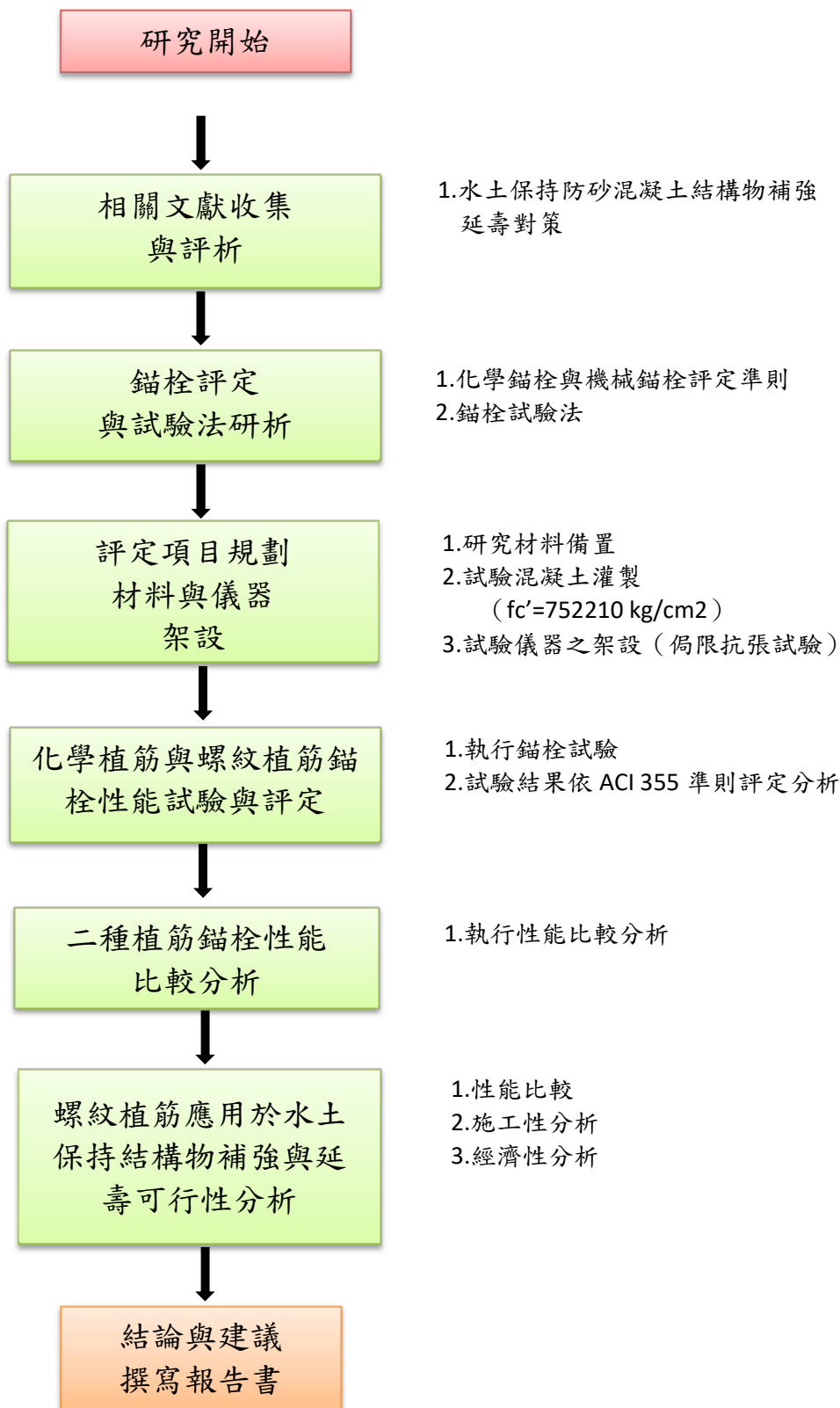


圖 1-10 本研究之實施步驟流程圖



(二) 混凝土用錨栓應用概況：

1960 年代由於鑽孔技術發展，帶動錨栓應用於土木工程各項工程中，包括結構體及非結構體之應用，但由於其應用於不當已造成部分嚴重事故，因此於歐洲、德國工程研究院 (DIBT) 組成了錨栓技術委員會進行此項技術之研究，其中又以斯圖加特大學(The University of Stuttgart)對此項技術專注研究較有成效，研究項目包括各式機械錨栓應用於非開裂及開裂混凝土錨固之用途，研究成果已協助歐盟設定歐盟 ETAG 機械錨栓(Part 1-3)與化學錨栓(Part 5 & TR 023)標準，及歐盟錨固設計規範(EN 1992/EC2)，同期間美國 ACI 及 ASTM 亦同時發展相近之規範與設計法，因歐美二方學者經常性相互交流，雙方之技術規範相似無顯著差異性，並且於技術發展之同時，歐美地區亦建立了 ETA 及 ICC 產品評估與認證體系，然歐美不同之處，歐洲技術體系多需經由官方發行與發證，美國多為民間技術組織，但其具備良好之公信力。

錨栓的種類以安裝順序分為兩大類，分為預埋式錨栓和後置式錨栓(圖 2-1)。預埋式錨栓為混凝土澆置前，將擴頭錨栓、擴頭錨釘或彎鉤錨栓安裝固定設計位置；後置式錨栓為固化混凝土，鑽孔後植入化學錨栓、膨脹錨栓或切底錨栓(表 2-1)。補強工法所指的錨栓通常為後置式錨栓，因後置式錨栓能在既有混凝土上鑽孔錨定，且安裝位置也能自由調整設計，然而後置式錨栓可能因為種類繁多，施工操作程序繁雜和施工不確實，而造成錨栓安裝瑕疵或失敗，那可能導致工安意外發生。

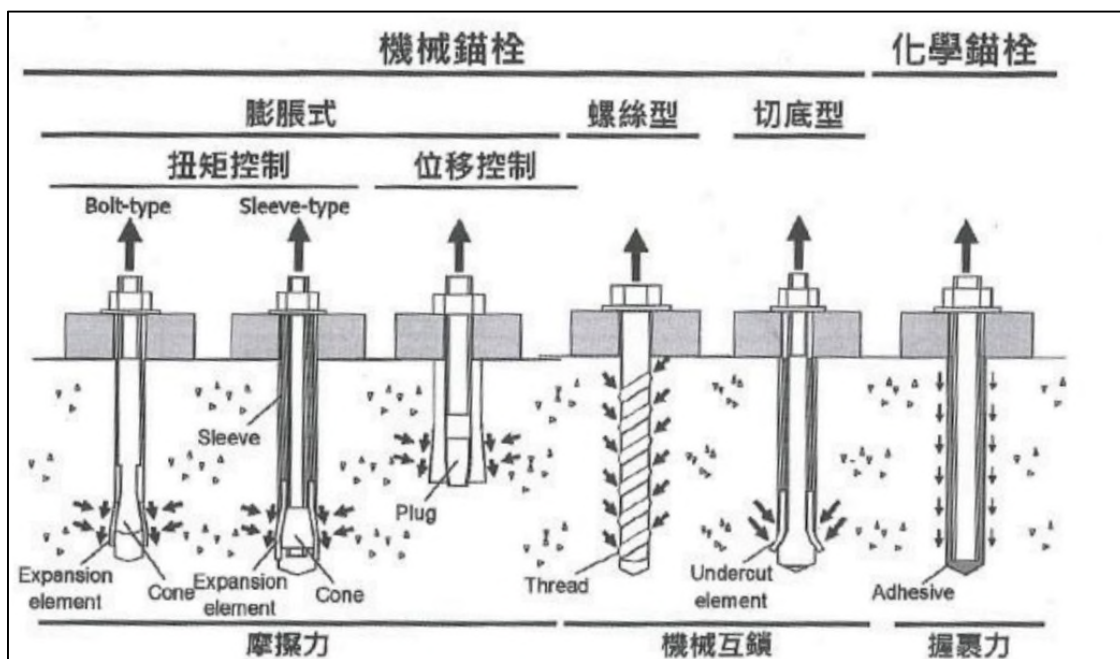


圖 2-1 錨栓種類 (ACI 318 (2008)、fischer, 2010)



表 2-1 錨栓分類優缺點摘要表

錨栓種類	錨栓形式種類	錨定方式	優缺點
後置式	機械金屬錨栓	敲擊膨脹式 	通用產品，產品及工具容易取得，受限混凝土強度 $f_c' > 560 \text{ kgf/cm}^2$ ，錨栓在高強度混凝土中膨脹有難。
		扭緊螺栓膨脹式(切底式) 	錨栓端部膨脹設計成錐狀，抵抗拉力時可同時後續膨脹，各廠家錨定形式有專利，價格較貴。
		螺旋切削式 	螺旋切削鑽孔壁產生握裹力，改善膨脹式錨定使混凝土內產生擠壓應力裂紋現象。
	化學錨栓	EPOXY 及其他合成樹脂基材	隨時調整埋設深度及錨栓尺寸增加設計強度
			不具膨脹性可使用在高強度混凝土中，混凝土不會因膨脹擠壓產生壓力。 錨定部份包覆植筋膠劑抗腐蝕 施工容易產生垂流造成錨栓包覆不完整。
預埋式	J 型、U 型、T 型 彎鉤形式 	混凝土澆置前預埋	在混凝土澆置之前完成安裝作業，具備高強度，置結構物時即須規劃預埋，機動性差。

2.1 混凝土錨栓之分析與評定

錨固技術大致於 1970 年代起源於歐洲及美洲，開始時僅考慮非開裂混凝土，再進一步發展考慮開裂混凝土之應用，再發展化學錨栓及抗震及設計規範等，由於錨栓之應用廣泛，且常與安全性息息相關，因此有效產品認證非常重要，因此對工程品質會要求之國家及工程項目，均會採用具備良好應用實例與具備良好認證之材料，目前歐盟及美國相關標準及品保體系摘要如下。我國土木水利工程學會參考美國 ACI 318-14 第 17 章編譯成中文版混凝土結構用錨栓設計規範。然目前產品認證仍以歐盟 ETA 及美國 ICC 為二大系統，我國則未有評估制度與對應測試方法。目前 ETA 及 ICC 認證體系乃依據送驗材料經評估單位之評估結果，歐盟各國可提供 EAD 評估文件，美國多由 ICC 提供 ICC-ESR 評估文件為該項產品之特性資



料。於下表摘要歐美混凝土錨栓設計規範、性能評定準則、與試驗規範，本研究將參考此類評定準則與試驗標準，執行本研究各型式錨栓特性試驗及分析各錨栓之特性，做為本研究植筋錨栓後續推廣應用之參考。

表 2-2 歐美錨固件設計、檢測與評估文件

	編號	用途	名稱
歐盟	EN 1992-part 4-2017	設計	混凝土用緊固件設計
	EOTA TR-048-2016	測試	混凝土用後制式緊固件測試細節
	EAD 330232-00-0601-2016	評估	混凝土用機械式緊固件
	EAD 330087-00-0601-2018		後制式鋼筋聯接黏結材系統
	EAD 330499-00-0601-2017		混凝土用黏結式緊固件
美洲	ACI 318-19	設計	結構混凝土建築規範(土木 401 綱要，2021)
	ASTM E488-18	測試	錨栓於混凝土結構強度試驗法(CNS 13975,1997)
	ACI 355.2-19	評估	後置式於混凝土內機械錨栓性能評估法與註解
	ACI 355.4-19		後置式於混凝土內化學錨栓性能評估法與註解

2.2 混凝土錨栓之抗拉破壞型式

錨栓抗拉力過程，破壞型態分為錨栓拉出、錨栓崩解、混凝土錐狀破壞等，分述如下(圖 2-2)：

- (1) 錨栓拉出：錨栓從基材中拉出，混凝土只有表面些許的破損，此現象較常出現於膨脹錨栓，由於錨定膨脹力太過於低，造成握裹力失效破壞拉出。
- (2) 錨栓崩解：當錨栓從基材拉出時，膨脹錨栓的膨脹塊或膨脹片與錨栓本體分解，膨脹片停留於孔洞內。
- (3) 混凝土錐狀破壞：錨栓受到拉力時，混凝土因抗拉強度到達開裂破壞極限值，而混凝土沿錨栓周圍應力錐狀破裂。
- (4) 群錨混凝土錐狀重疊：群錨在受到拉力時，相鄰錨栓於混凝土錐狀破壞面重疊，造成承载力降低。
- (5) 邊距不足之混凝土錐狀破壞：錨栓於混凝土邊緣距離不足，再受到拉力作用時，造成承载力降低。
- (6) 劈裂破壞：此現象較常發生於群錨之間所形成的劈裂現象。或混凝土本體厚度不足所沿著錨栓的劈裂，當錨栓距混凝土邊距過近也容易造成此現象。
- (7) 錨栓鋼材斷裂：錨栓埋設深度愈深握裹力越大，當埋設深度使得混凝土強度大於錨栓



鋼筋強度，就會發生錨栓鋼材斷裂。

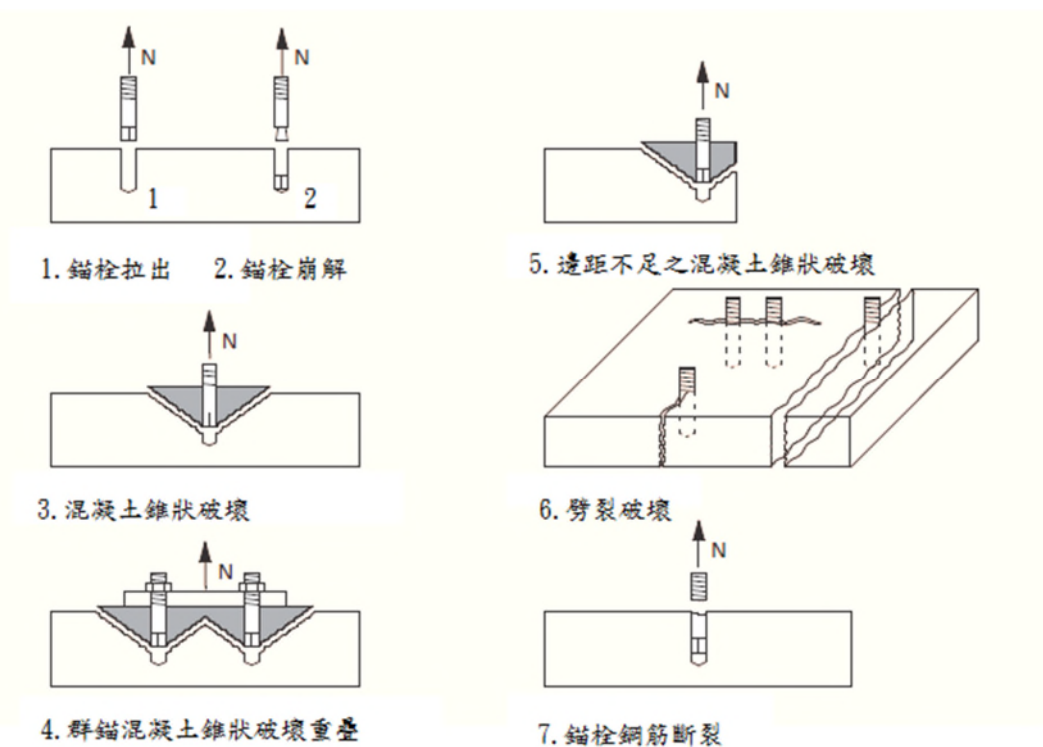


圖 2-2 錨栓抗拉破壞型態示意圖 (Fischer, 2010)

2.3 錨栓抗剪破壞型態

錨栓抗剪力過程，破壞型態分為錨栓鋼材剪斷、混凝土撬破、混凝土邊緣剪破等，分述如下(圖 2-3):

- (1) 錨栓鋼材剪斷:在足夠的邊距與混凝土埋設深度，通常受剪力作用時錨栓會鋼材剪斷，而在剪斷前錨栓附近混凝土會貝殼狀剝落，此種破壞為錨栓最高承載型態。
- (2) 混凝土撬破:錨栓受剪力作用時，埋設深度過淺，使短而堅硬的錨栓將混凝土撬破。
- (3) 混凝土邊緣剪破:錨栓受到剪力作用時，因錨栓距邊距(c_1)太近，混凝土抗剪強度小於錨栓鋼材剪斷，造成混凝土邊緣剪破。
- (4) 群錨混凝土邊緣剪破:以上面幾點破壞型態考慮，錨栓在足夠大的邊距的剪荷載下，較有可能形成錨栓鋼材剪斷破壞，當然錨栓埋設深度需足夠，才不會形成錨栓翹破。而群錨在較近邊距(c_1)時，受到剪應力形成混凝土剪破的型態，群錨在不同的間距條件，在足夠的間距($>3c_1$)下錨與錨之間破壞面，較不受鄰近錨栓影響(圖 2-4)；而間距小於 $3c_1$ 時，錨栓破壞面教會相互影響，讓極限承載力降低。
- (5) 混凝土雙面邊緣剪破:錨栓位置在靠近結構的角落，受到剪力作用時，因兩邊距(c_1 、 c_2)不足的情況下，造成混凝土剪破。

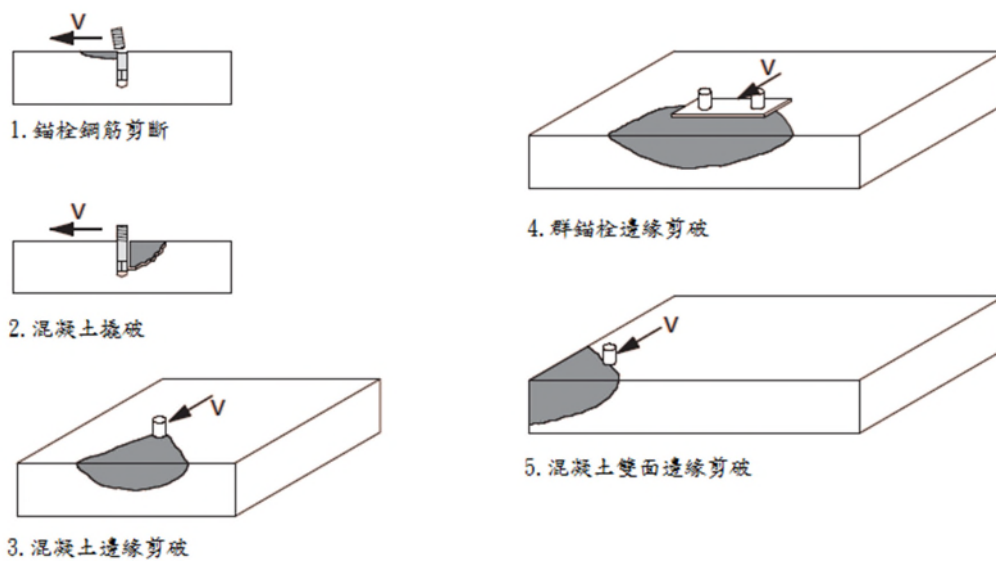


圖 2-3 錨栓抗剪破壞型態示意圖 (Fischer, 2010)

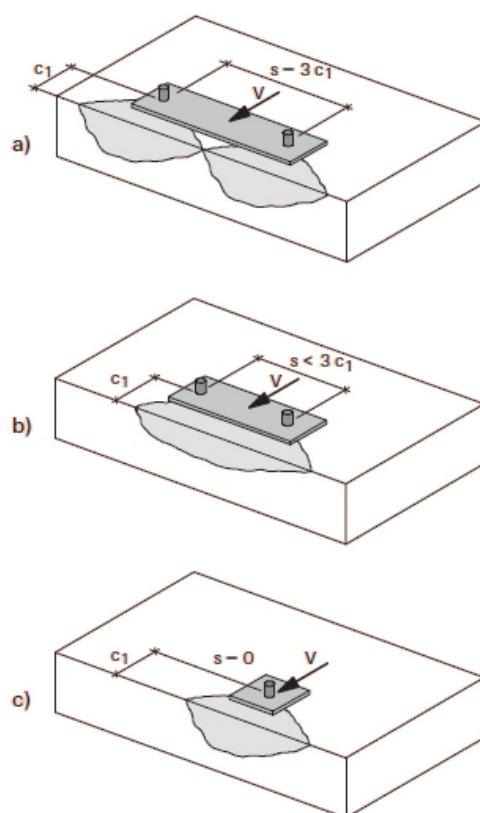


圖 2-4 群錨在不同間距混凝土剪破破壞面影響示意圖 (Fischer, 2010)



2.4 混凝土用錨栓試驗法

為評估錨栓之工程特最主要及常見之試驗項目包括抗拉試驗、抗剪試驗及往覆抗拉及抗剪試驗，於下以圖形介紹 ASTM E488 標準抗拉及抗剪試驗設施配置，及 ACI 往覆抗拉及抗剪週期荷載示意圖。(圖 2-5 及圖 2-6)

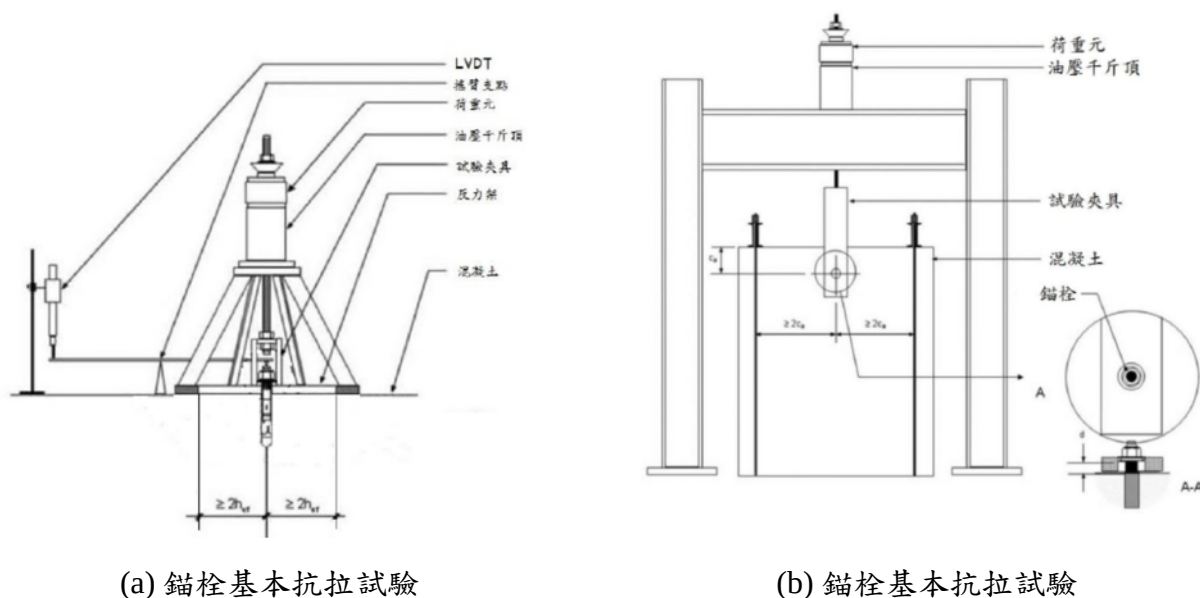


圖 2-5 抗拉與抗剪試驗組裝示意圖(ASTM E488, 2015)

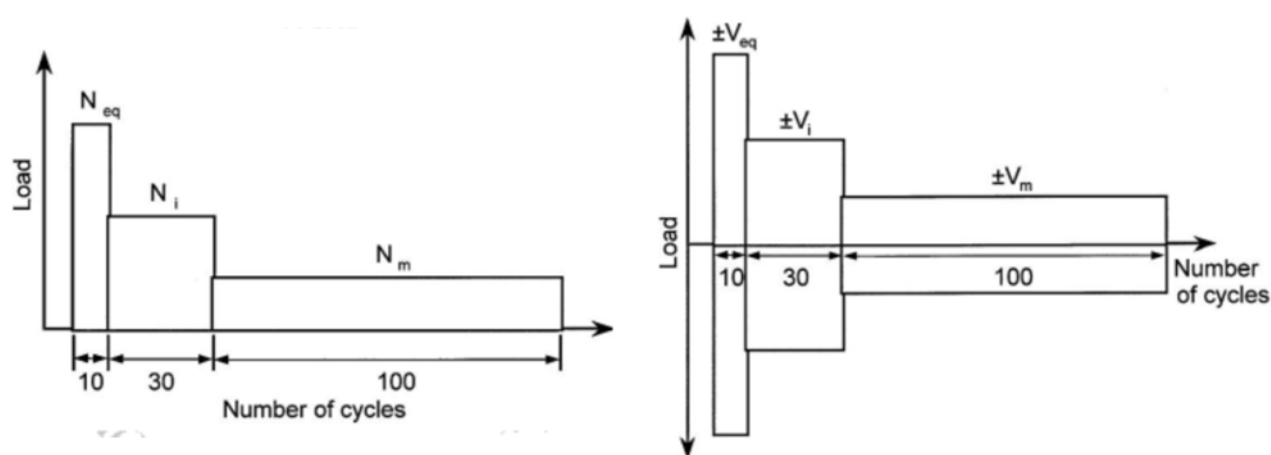


圖 2-6 往覆抗拉及抗剪荷載與週期示意圖

2.5 混凝土用錨栓性能評定準則

目前歐盟 EOTA 與 ACI 均有針對混凝土用化學錨栓及機械式錨栓建立性能評定準則，將有助確保錨栓於生命週期內之性能足以滿足其設計之功能，性能評估試驗項目除考慮混凝土不同強度及錨栓植入為未開裂與植入裂紋條件等不同參考性條件外，錨栓評定也需包括可



靠性與生命週期之各種可能出現之狀況所對應之試驗條件，ACI 355.2 機械式錨栓非開裂 (Table 4.1)及開裂(Table 4.2)混凝土之評估項目共有 9 項及 13 項之多，如示附表 2-3 及表 2-4。本研究將著重於參考性條件之評估，於下將美洲 ACI 化學錨栓應用於鋼筋及螺桿與機械式錨栓評定分析公式摘要如下圖 2-7 及圖 2-8：

表 2-3 ACI 355.2 非開裂(Table 4.1)混凝土之評估項目

Table 4.1—Test program for evaluating anchor systems for use in uncracked concrete

Test number	Section	Purpose	Description	Concrete strength	Member thickness	Drill bit diameter	Minimum sample size [*] <i>n</i>
<i>Reference tests</i>							
1	7.2	Reference test in uncracked low-strength concrete	Tension—single anchor with no edge influence	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
2	7.2	Reference test in uncracked high-strength concrete	Tension—single anchor with no edge influence	High	$\geq h_{min}$	d_m	5
<i>Reliability tests</i>							
3	8.2	Sensitivity to reduced installation effort	Tension—single anchor with no edge influence	Varies with anchor type	$\geq h_{min}$	$d_m^{\dagger}$	5
4	8.3	Sensitivity to large hole diameter	Tension—single anchor with no edge influence	Low	$\geq h_{min}$	d_{max}	5
5	8.4	Sensitivity to small hole diameter	Tension—single anchor with no edge influence	High	$\geq h_{min}$	d_{min}	5
6	8.5	Reliability under repeated load	Repeated tension—single anchor with no edge influence, residual capacity	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5 [‡]
<i>Service-condition tests</i>							
7	9.2	Verification of full concrete capacity in corner with two edges located at $1.5h_{ef}$	Tension—single anchor in corner with two edges located at $1.5h_{ef}$	Low	h_{min}	d_m	4
8	9.3	Minimum spacing and edge distance to preclude splitting on installation	High installation tension (torque or direct)—two anchors near edge	Low	h_{min}	d_m	5
9	9.4	Shear capacity of anchor steel [§]	Shear—single anchor with no edge influence	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5

^{*}Minimum sample size for each anchor diameter, unless otherwise noted.

[†]Drill bit diameters for undercuts are specified in Table 5.6.

[‡]Tests are not required for each anchor diameter. Test smallest, middle, and largest anchor diameter.

[§]Required only for anchors whose cross-sectional area, within five anchor diameters of the shear failure plane, is less than that of a threaded bolt of the same nominal diameter as the anchor, or for sleeved anchors when shear capacity of the sleeve will be considered.



表 2-4 ACI 355.2 開裂(Table 4.2)混凝土之評估項目

Table 4.2—Test program for evaluating anchor systems for use in cracked and uncracked concrete

Test number	Section	Purpose	Description	Crack opening width w , in. (mm)	Concrete strength	Member thickness	Drill bit diameter	Minimum sample size* n
<i>Reference tests</i>								
1	7.2	Reference test in uncracked low-strength concrete	Tension—single anchor with no edge influence	—	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
2	7.2	Reference test in uncracked high-strength concrete	Tension—single anchor with no edge influence	—	High	$\geq h_{min}$	d_m	5
3	7.2	Reference test in low-strength, cracked concrete	Tension—single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
4	7.2	Reference test in high-strength, cracked concrete	Tension—single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	High	$\geq h_{min}$	d_m	5
<i>Reliability tests</i>								
5	8.2	Sensitivity to reduced installation effort	Tension—single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	Varies with anchor type	$\geq h_{min}$	$d_m^\dagger$	5
6	8.3	Sensitivity to crack width and large hole diameter	Tension—single anchor with no edge influence	0.020 (0.5)	Low	$\geq h_{min}$	d_{max}	5
7	8.4	Sensitivity to crack width and small hole diameter	Tension—single anchor with no edge influence	0.020 (0.5)	High	$\geq h_{min}$	d_{min}	5
8	8.6	Test in cracks whose opening width is cycled	Sustained tension—single anchor with no edge influence, residual capacity	0.004 to 0.012 (0.1 to 0.3)	Low	$\geq h_{min}$	$d_{max}^\ddagger$	5
<i>Service-condition tests</i>								
9	9.2	Verification of full concrete capacity in corner with two edges located at $1.5h_{ef}$	Tension—single anchor in corner with two edges located at $1.5h_{ef}$	—	Low	h_{min}	d_m	4
10	9.3	Minimum spacing and edge distance to preclude splitting on installation in uncracked concrete	High installation tension (torque or direct)—two anchors near edge	—	Low	h_{min}	d_m	5
11	9.4	Shear capacity of anchor steel [§]	Shear—single anchor with no edge influence	—	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
12	9.5	Seismic tension	Pulsating tension, single anchor, with no edge influence	0.020 (0.5)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
13	9.6	Seismic shear	Alternating shear, single anchor, with no edge influence	0.020 (0.5)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5

*Minimum sample size for each anchor diameter, unless otherwise noted.

[†]Drilling diameters for undercuts are specified in Table 5.6.[‡]Test of undercut anchors use d_m .[§]Required only for anchors whose cross-sectional area, within five anchor diameters for the shear failure plane, is less than that of a threaded bolt of the same nominal diameter as the anchor, or for sleeved anchors when shear capacity of the sleeve will be considered.^{||}These tests are optional.

$$F_{5\%} = F_m(1 - Kv)$$

其中： $F_{5\%}$ = 初始特性抗張強度，由測試強度之5%分位點決定之。 K = 以 90% 信度評估特徵容量之常數。 F_m = 平均抗張強度。 v = 變異係數(%)。

$$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}}$$

其中： N_p = 依混凝土強度修正之拉出破壞特性抗張強度。 N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5%分位點決定之， $F_{5\%}$)。 $f_{c,m,i}$ = 混凝土標稱設計強度。 $f_{u,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度(試驗時)。同有效因子 k 計算試中 $f_{c,test}$ 。

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}}$$

其中： k = 有效性因子，數值由錨栓類型決定。 N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5%分位點決定之， $F_{5\%}$)。(N) $f_{c,test}$ = 混凝土試驗構件平均強度。
N/mm² h_{ef} = 有效埋入深度。(mm)

Min. and max. permissible effectiveness factor k (SI)		
Type of test	Minimum permissible value of k	Maximum reportable value of k
	SI	SI
Cracked concrete	7.1	10.0
Uncracked concrete	10.0	12.6

圖 2-7 ACI 355.2 機械錨栓評估流程及特性強度分析公式



$F_k = F_{test}(1 - Kv_{test})$ 其中： F_k = 初始特性抗張強度，由測試強度之5%分位點決定之。
 K = 以 90% 信度評估特徵容量之常數。
 F_m = 平均抗張強度。
 v_{test} = 變異係數(%)。

$F_i = F_{u,test,x} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{c,test,x}}}$ 其中： $F_{u,test,x}$ = 依混凝土強度修正之拉出破壞特性抗張強度。
 F_i = 初始特性抗張強度(由測試強度之5%分位點決定之， F_k)。
 $f_{c,i}$ = 混凝土標稱設計強度。
 $f_{c,test,x}$ = 混凝土試驗構件平均強度(試驗時)。同有效因子 k 計算試中 $f_{c,test}$ 。

$k = \frac{N_u}{\sqrt{f_{c,test,i}} h_{ef}^{1.5}}$ 其中： k = 有效性因子，數值由錨栓類型決定。
 N_u = 平均極限抗張強度(由非侷限羅賓試驗決定之)。
 $f_{c,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度。
 h_{ef} = 有效埋入深度。

Min. and max. permissible effectiveness factor k (SI)		
Type of test	Minimum permissible value of k	Maximum reportable value of k
	SI	SI
Cracked concrete	7.1	10.0
Uncracked concrete	10.0	12.6

圖 2-8 ACI 355.4 化學錨栓評估流程及特性強度分析公式

2.6 混凝土用錨栓常見問題

化學植筋目前廣泛應用於結構補強與修繕工程，雖為一有效之施工產品，但仍有因施工與材料問題而發生嚴重工安事件，造成生命與財產重大損失，如下摘要數項化學錨栓應用失敗案例。

其中以 2006 年 7 月美國波士頓 I-90 及 I-93 州際公路海底隧道入口處 3 英噸重、尺寸為 4 m × 2 m × 0.15 m 頂混凝土板墜落砸中一輛行經汽車，造成一死一傷事件最為引人注意，經調查墜落混凝土頂板由於使用過早強環氧樹脂植筋膠，以致未能提供適度長期抗拉強度供支撐頂板，而造成此嚴重工安事件(如圖 2-9 及 2-10)。

2011 年美國亞特蘭大市公路 60 公尺長頂蓋，因固定座化學錨栓失效倒塌案，經分析此失效案例乃因使用不當化學植筋及施工不當造成，使用化學植筋膠未能提供適當長期抗潛變功效所造成(如圖 2-11, 2-12)。

綜合以上化學植筋工安事件可知，化學植筋雖已廣泛應用於結構補強與新舊結構聯結之用途，但化學植筋其長期有效功能之品保。乃有賴慎選化學植筋產品及正確施工程序，這些工序包括藥劑是否充分混合及鑽孔是否清潔等重要工作。因此機械錨栓乃為另一項可選擇之施工條件。

我國於都會區，因濕熱氣候，常採用石板為建築外牆，並以錨栓固定，目前我國最常見之後置式機械錨栓乃為扭矩控制膨脹型錨栓，由於此類錨栓重要靠環片擠壓混凝土壁體提供



阻抗，因此部分膨脹式錨栓於地震時承受往復荷載時，無法承受設計荷載，另及於混凝土結構生命週期中，許多結構部位會出現裂紋，因此部分錨栓也無法承受設計之荷載，(如圖 2-13,2-14)，所示結構外牆膨脹錨栓引起石板掉落工安事件。

綜合以上因素，近年具備可切割入混凝土之螺紋型錨栓乃因應而生。

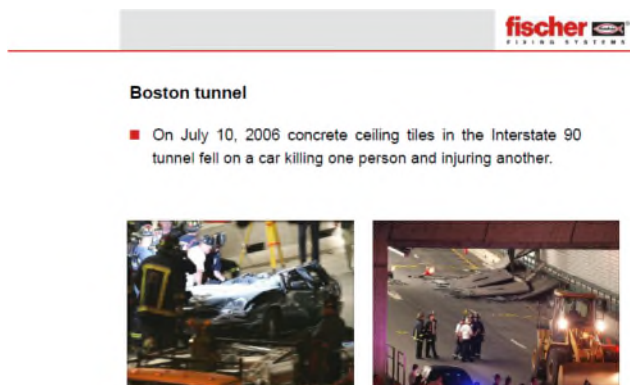


圖 2-9 波士頓隧道頂板掉落事件

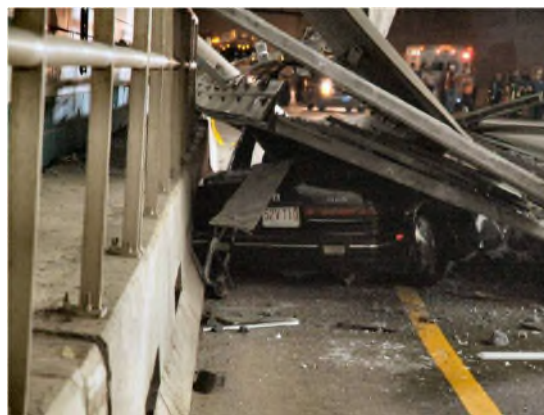


圖 2-10 波士頓隧道頂板掉落事件



圖 2-11 亞特蘭大化學錨栓失效倒塌案



圖 2-12 亞特蘭大化學錨栓失效倒塌案



圖 2-13 我國外牆掉落事件

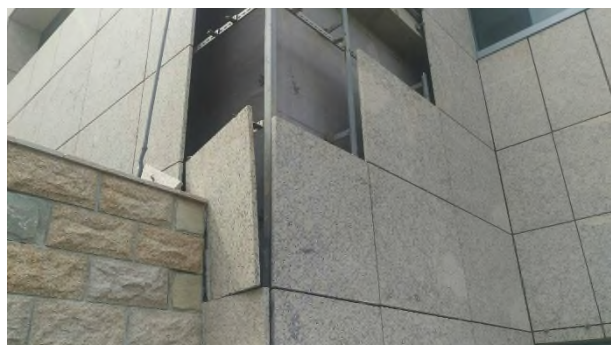


圖 2-14 我國外牆掉落事件



2.7 新型螺紋錨栓應市

然目前化學植筋工法為結構補強與混凝土新舊結構聯結最廣泛應用之工法，但該工法有賴有效刷清鑽孔、藥劑充分混合及良好之注入鑽孔等步驟。綜合以上因素，近年具備可切割入混凝土之螺紋型錨栓乃因應而生，如示圖 2-15，此項螺紋錨栓生產技術之特點，研發結合鋼筋與螺紋錨栓之專利產品，以其得以應用於混凝土結構補強與新舊混凝土結構聯結之用途。此項專利產品將傳統施工鋼筋與螺紋錨栓焊接為一體，一頭具備螺紋錨栓切削入混凝土功效，改善化學錨栓清孔與養護工序之缺點，同時具備鋼筋應用於結構補強之優點，目前該產品已獲得 CNS、中國、日本及德國等國家之專利，然此項新式專利產品補強性能評估方法及其特性有待本研究探做討，但其鋼筋段與螺紋錨栓段之焊接特性亦需加強分析。

因此本研究計畫乃規劃開發新式螺紋錨栓，一端具有錨栓切削入混凝土功能，另一端製作為含內牙母頭，可與含外牙公頭鋼筋段相接，成為一組新型螺紋植筋，如示圖 2-16。本研究先行針對我國目前結構補強較為廣泛應用之#4 及#5 等號數鋼筋化學植筋之對應此二項螺紋植筋錨栓產品進行錨栓抗拉性能進行評估研究，以確保此二項螺紋植筋錨栓產品，能否替代化學植筋應用於聯結混凝土結構與補強材，適用於水土保持工程混凝土構造物補強與延壽之功能。



圖 2-15 新型專利植筋錨栓

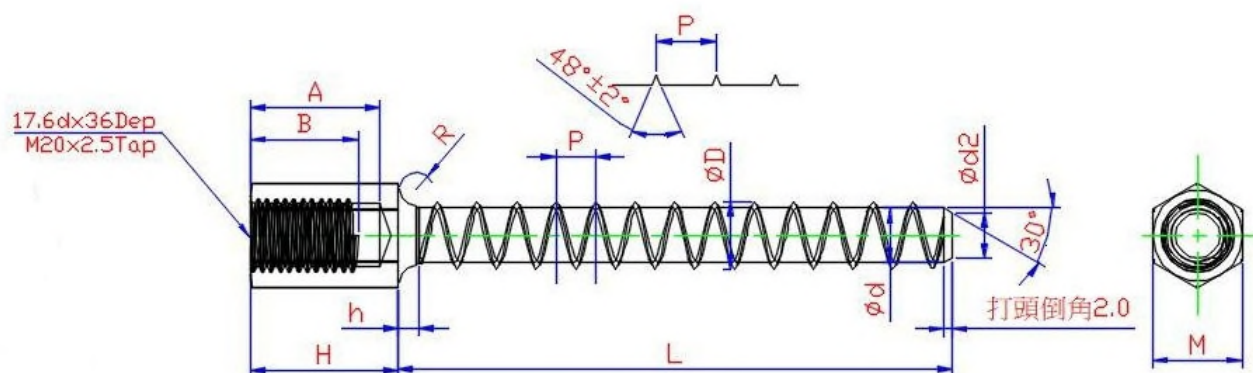


圖 2-16 規劃開發新式螺紋錨栓



(三) 研究主題：

本研究主旨在於研究與評估我國先前研發新型螺紋植筋錨栓及本研究團隊自行開發之新型螺紋植筋錨栓，是否可代替化學植筋應用於目前我國水土保持局混凝土構造物辦理補強與延壽作業之可行性研究，本研究將仍以本研究團隊自行開發之新型螺紋植筋錨栓為研究重點。

如圖 3-1 所示為#4 螺紋植筋錨栓，由圖 3-1 上顯示，此錨栓一端為螺紋錨栓，另一端為錨栓尺寸相對應之鋼筋，此二端元件經由磨擦焊接為一體，螺紋錨栓前端為切削端，可於預鑽孔切削入混凝土以利引導後續螺紋錨栓植入，螺牙可依需求而設計，鋼筋段亦可依需求而調整長短（如示圖 3-2），鋼筋段尾端設計為六角型螺帽；方便此新型錨栓施作可先採用適當尺寸鑽頭先行於混凝土預鑽導孔，再採用六角板手將錨栓植入混凝土中，即可產生適當抗拉強度，需露出混凝土之鋼筋端（如示圖 3-3），即可立即綁接鋼筋，進行混凝土構造物補強工作，省去二階段施工之程序，減少工時，且降低化學錨栓施工不利情況，然此螺紋植筋錨栓中間熔接段之特性仍不明確，有進一步了解需求。另本研究團隊乃規劃開發新式螺紋錨栓，一端具有錨栓切削入混凝土功能，另一端製作為含內牙母頭，可與含外牙公頭鋼筋段相接，成為一組新型螺紋植筋，如示圖 3-4。

Unit : mm

Size	Anchor length, L	Without thread, L ₁	Thread pitch, h _t	Anchor tip, h _s	Thread diameter, D	Shaft diameter, d
#4	152.924	44.504	10.016	3.290	15.551	12.550
#5	203.250	52.323	10.226	1.790	18.710	15.613

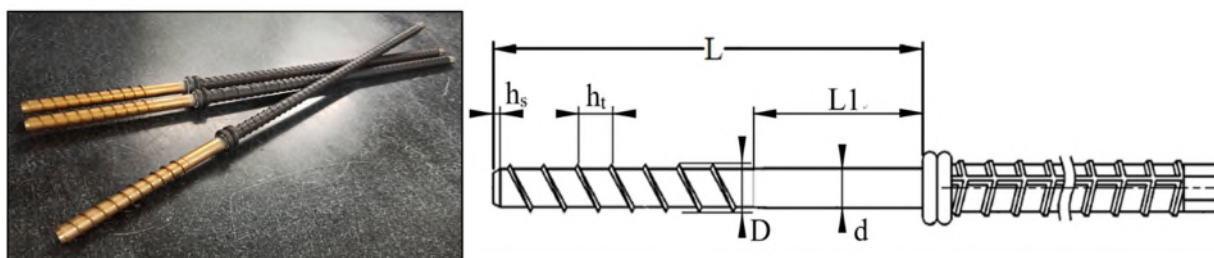


圖 3-1 試驗用#4 螺紋植筋錨栓基本資料

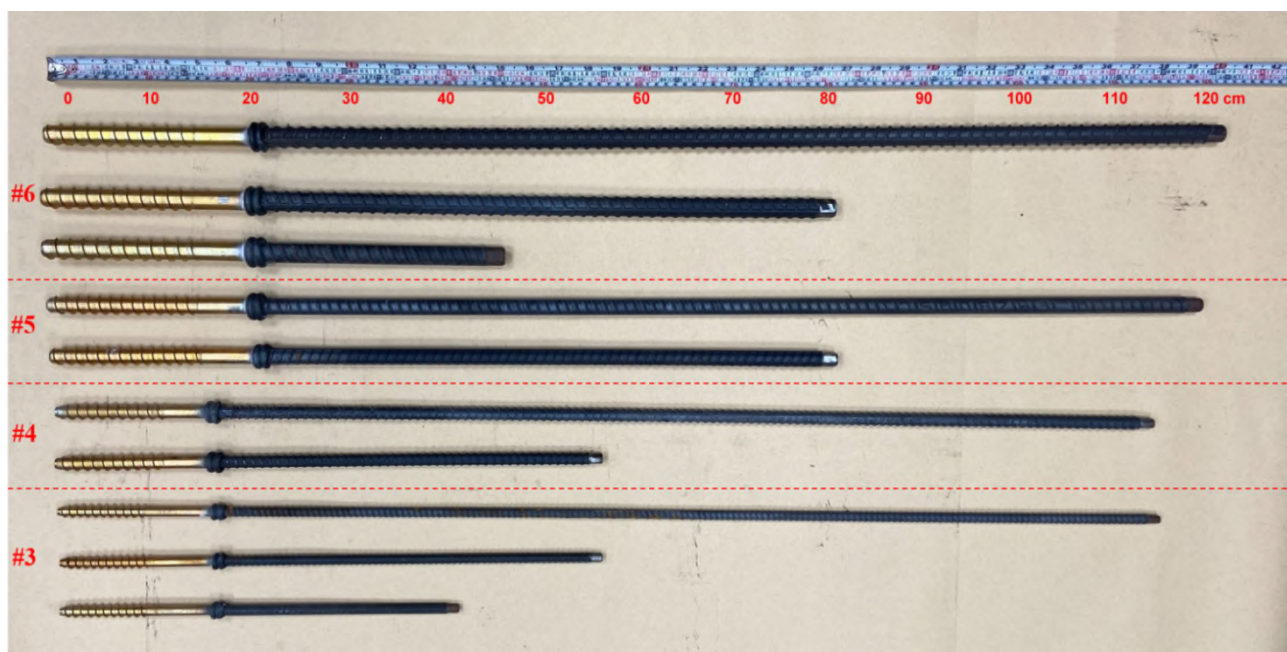
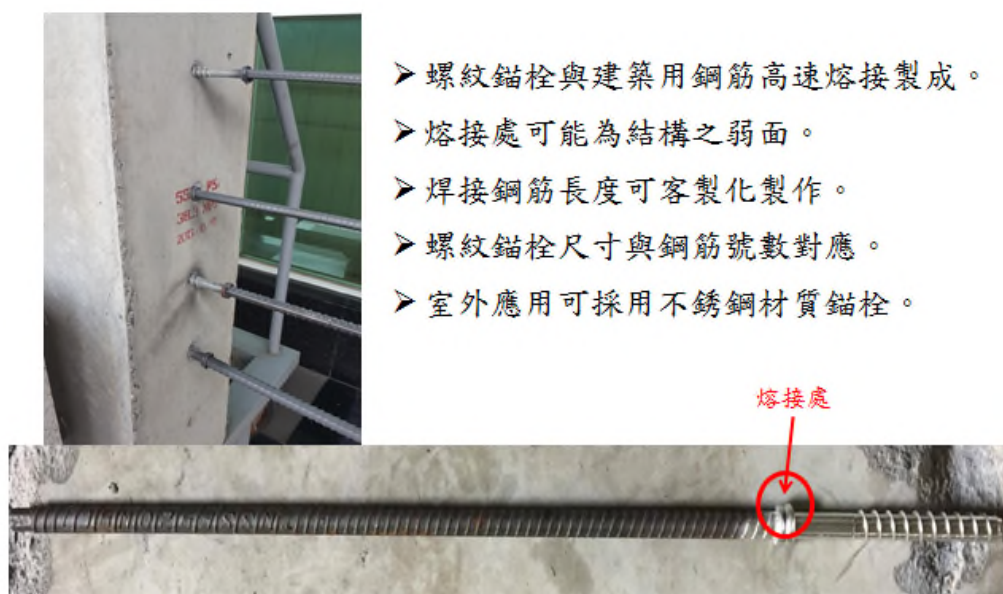


圖 3-2 不同鋼筋段長度之螺紋植筋錨栓



圖片來源：世鎚精密股份有限公司，2017

圖 3-3 螺紋植筋錨栓可應用結構補強施工中解決化學錨栓施工之不利條件

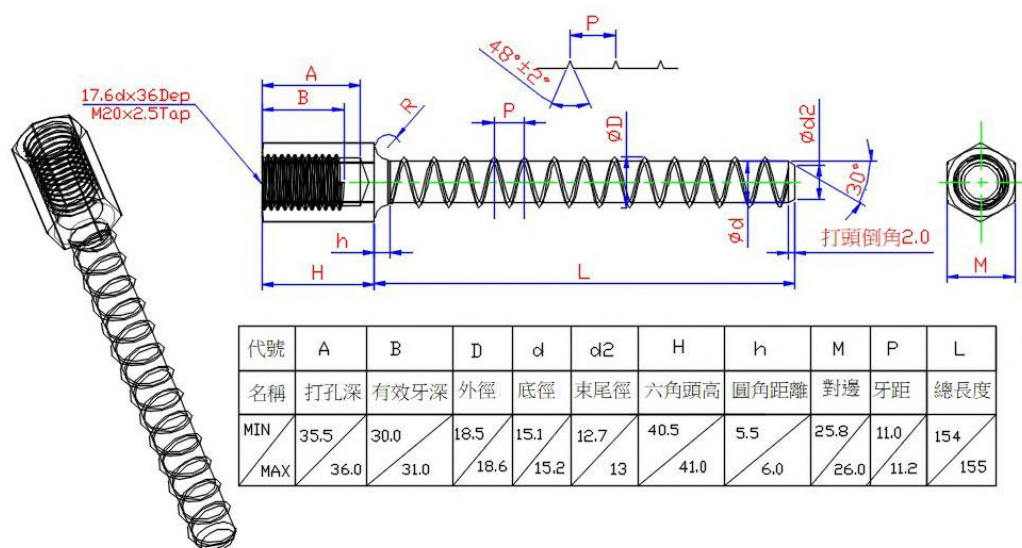


圖 3-4 研究團隊研發之新型螺紋植筋錨栓草圖

本研究先行針對我國目前結構補強較為廣泛應用之#4 及#5 等號數鋼筋化學植筋之對應此二項螺紋植筋錨栓產品進行錨栓抗拉性能進行評估研究，以確保此二項螺紋植筋錨栓產品，能否替代化學植筋應用於聯結混凝土結構與補強材，適用於水土保持工程混凝土構造物補強與延壽之功能。因此擬申請本計畫依美國混凝土學會（ACI）評估準則評定比對螺紋植筋錨栓與化學植筋錨栓之性能，以利確認此新型錨栓等同或優於化學錨栓性能，方可確保採用螺紋植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物補強延壽作業。化學植筋特性研究將採用固特優公司生產之純環氧樹脂(植筋)化學植筋膠執行研究，於常溫(20~29 °C)養護 (固化)時間約 18 小時。化學植筋試驗之鋼筋將採用東和鋼鐵生產之#4 及#5 (420 N/mm²)鋼筋，鋼筋基本性能如示表 3-1，#4 及#5 鋼筋對應之降伏強度分別為 456 N/mm²及 474 N/mm²。由於國內工程單位用混凝土強度常介於 210~350 kg/cm²，本研究低強度混凝土將採用 210 kg/cm²之混凝土，高強度混凝土將採用 350 kg/cm²或職 560 kg/cm²之混凝土。本研究近期共灌製 5 組試驗用混凝土，其基本資料統計於表 3-2，並建立混凝土不同期齡抗壓試驗數據，圖 3-5 為 10 公分與 15 公分直徑圓柱型試體不同期齡抗壓數據，由圖上顯示抗壓強度隨期齡增加而漸增，但試體直徑對混凝土強度無明顯影響，因此後續將採用 10 公分直徑圓柱型試體於後續研究中，其他批混凝土不同期齡抗壓試驗數據則依序統計於圖 3-6 至圖 3-8 中。



表 3-1 化學植筋試驗用#4 及#5 鋼筋性能表



東和鋼鐵企業股份有限公司
TUNG HO STEEL ENTERPRISE CORPORATION
台北市 10441 長安東路一段 9 號 6F
6F, No. 9, Sec. 1, Chang-an E. Rd., Taipei City 10441, Taiwan
Tel: +886-2-2551 1100 Fax: +886-2-2562 6620

Kaohsiung Works
No. 8, Jiasing St., Siaogang District,
Kaohsiung City 81257, Taiwan

材質證明書 (出廠證明書)

MILL CERTIFICATE

證明書日期 DATE OF ISSUE	June 17, 2022
證明書編號 CERTIFICATE NO.	K11106001

客戶名稱 CUSTOMER				屏東科技大學										交貨日期 SHIPPING DATE				June 17, 2022							
單據號碼 CONTRACT NO.														產品名稱 COMMODITY				DEFORMED STEEL BARS							
重量(工程)編號 WEIGHT LIST NO.														合計重量 TOTAL WEIGHT				128(KG)							
適用規範 TANDARD				CNS 560_A2008_2018_鋼筋混凝土用鋼筋										合計捆(支)數 BUNDLES (PIECES)				2(50)							
註 EMARKS																									
產品尺寸 (PRODUCT DIMENSIONS)				物理及機械性質 (PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES)										化學成份 (CHEMICAL ANALYSIS)											
規格 SPECIFICATION	長度 LENGTH	捆(支)數 BUNDLES (PIECES)	重量 WEIGHT	爐號 HEAT NO.	降伏點 YIELD POINT	抗拉強度 TENSILE STRENGTH	伸長率 ELONGA- TION	彎曲試驗 BEND TEST DIA.	單位重量 UNIT WEIGHT	許可差 TOLERANCE	節距 PITCH	高度 HEIGHT	間隙 GAP	C	SI	Mn	P	S	CE	X	1000	輻射 檢查 RAD. TEST			
(mm)	M		KG		N/mm ²	N/mm ²	%		Kg/m	%	mm	mm	mm	X 150	X 150	X 150	X 1000	X 1000	X 1000						
Max. SD420W/D13	2	1 (25)	50	U104450	540 420 456	550 673	13.0 20.0	180° OK	1.050 0.934 0.965	6.0 -6.0 -2.92	8.9 8.00	1.00 0.50 0.75	5.0 3.10	30 29	50 15	150 104	35 38	45 28	550 503			OK			
Min. SD420W/D16	2	1 (25)	78	U103731	540 420 474	550 687	13.0 19.0	180° OK	1.640 1.480 1.550	5.0 -5.0 -0.64	11.1 10.10	1.40 0.70 1.00	6.2 3.30	30 29	50 15	150 115	35 30	45 37	550 520			OK			
• 本材質證明書不得被錄複製，數據更新無效。 This mill certificate report contents neither can be duplicated nor extracted. If duplicated, amended, or extracted, all data and the certified material test report are therefore invalid. • 茲證明本表所列產品，均依材料規格製造及試驗，並符合規格要求。 We hereby certify that the material herein described has been manufactured in accordance with the standards and specification specified by you and that it satisfies the requirements.																									
														品質管制主管 QUALITY CONTROL MANAGER											
														東和鋼鐵 企業股份 有限公司 材質證明專用章 王嘉斌											

This certificate is invalid without the steel seal of Tung Ho Steel Enterprise Corp.

PAGE(S): 1



表 3-2 試驗用混凝土基本資料與特性

		齡期(天)	1(kgf/cm ²)	2(kgf/cm ²)	3(kgf/cm ²)	平均值(kgf/cm ²)	抗壓日期
1	灌漿日期	3	165.082	177.383	172.091	171.519	2022/5/16
	2022/5/13	7	241.000	236.000	246.000	241.000	2022/5/20
	設計強度(kgf/cm ²)	14	267.498	283.630	247.179	266.102	2022/5/27
	210	21	295.739	328.916	316.932	313.862	2022/6/3
		28	320.023	321.906	346.998	320.115	2022/6/10
		49	341.127	327.105	304.361	324.198	2022/7/1
	圓柱高度(cm)	70	未壓				2022/7/22
	20	90					2022/8/11
2	灌漿日期	3	161.058	170.589	168.127	166.591	2022/5/16
	2022/5/13	7	217.000	258.000	217.000	230.667	2022/5/20
	設計強度(kgf/cm ²)	14	260.540	254.336	266.725	260.534	2022/5/27
	210	21	284.876	304.998	277.466	289.113	2022/6/3
		28	328.105	324.012	308.227	320.115	2022/6/10
		49	313.785	271.572	271.728	285.695	2022/7/1
	圓柱高度(cm)	70	未壓				2022/7/22
	30	90					2022/8/11
3	灌漿日期	3	165.739	177.074		171.407	2022/5/30
	2022/5/27	7	231.028	212.206	217.281	220.172	2022/6/3
	設計強度(kgf/cm ²)	14	230.727	244.129	241.566	238.807	2022/6/10
	210	21	254.938	257.790	279.043	263.924	2022/6/17
		28	269.060	270.410	223.120	254.197	2022/6/24
		49	未壓				2022/7/15
	圓柱高度(cm)	70					2022/8/5
	20	90					2022/8/25
4	灌漿日期	3	249.747	261.612	252.446	254.602	2022/6/20
	2022/6/17	7	213.968	199.098	221.010	211.359	2022/6/24
	設計強度(kgf/cm ²)	14	335.235	300.592	310.474	315.434	2022/7/1
	350	21	377.158	340.270	325.956	347.795	2022/7/8
		28	未壓				2022/7/15
		49					2022/8/5
	圓柱高度(cm)	70					2022/8/26
	20	90					2022/9/15
5	灌漿日期	3	242.704	254.913	244.817	247.478	2022/7/4
	2022/7/1	7	351.311	352.893	330.756	344.987	2022/7/8
	設計強度(kgf/cm ²)	14	未壓				2022/7/15
	350	21					2022/7/22
		28					2022/7/29
		49					2022/8/19
	圓柱高度(cm)	70					2022/9/9
	20	90					2022/9/29

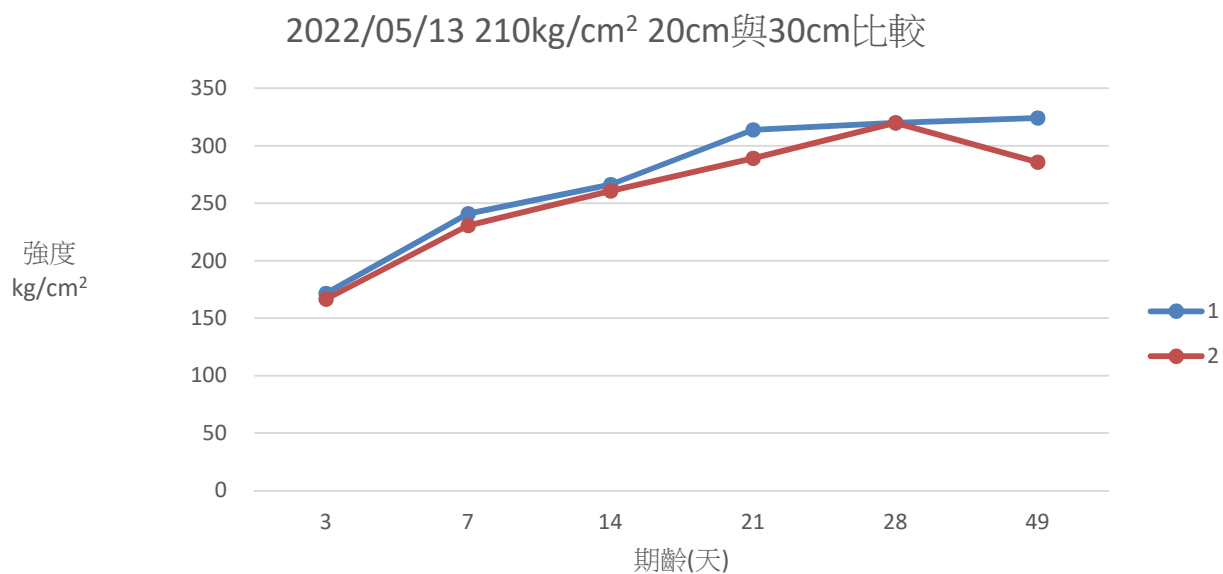


圖 3-5 10 公分與 15 公分直徑圓柱型試體不同期齡抗壓數據

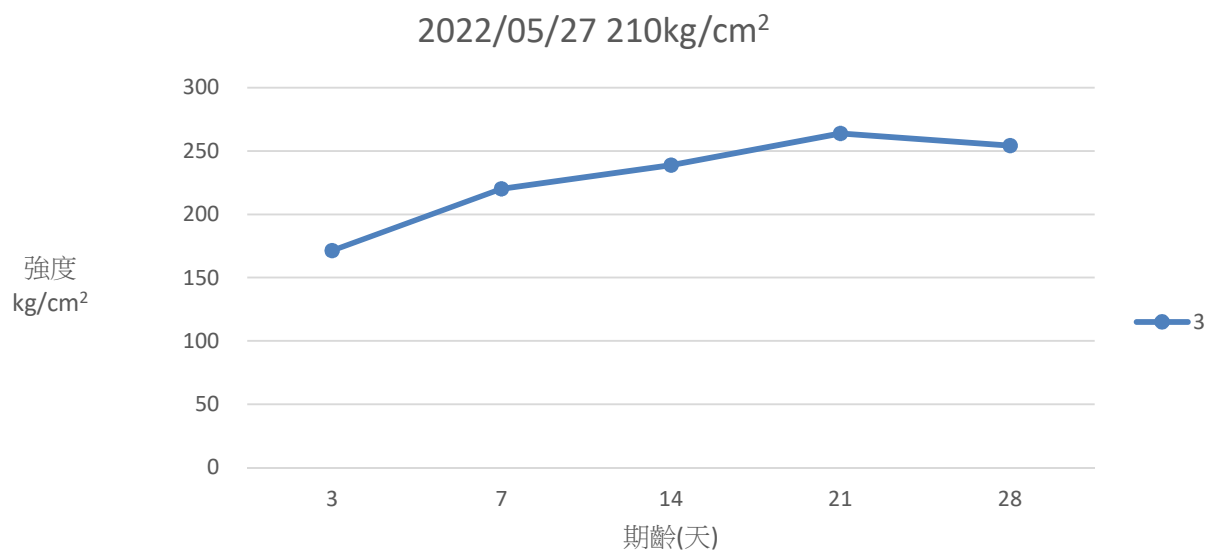


圖 3-6 5/27 210 混凝土不同期齡抗壓試驗數據

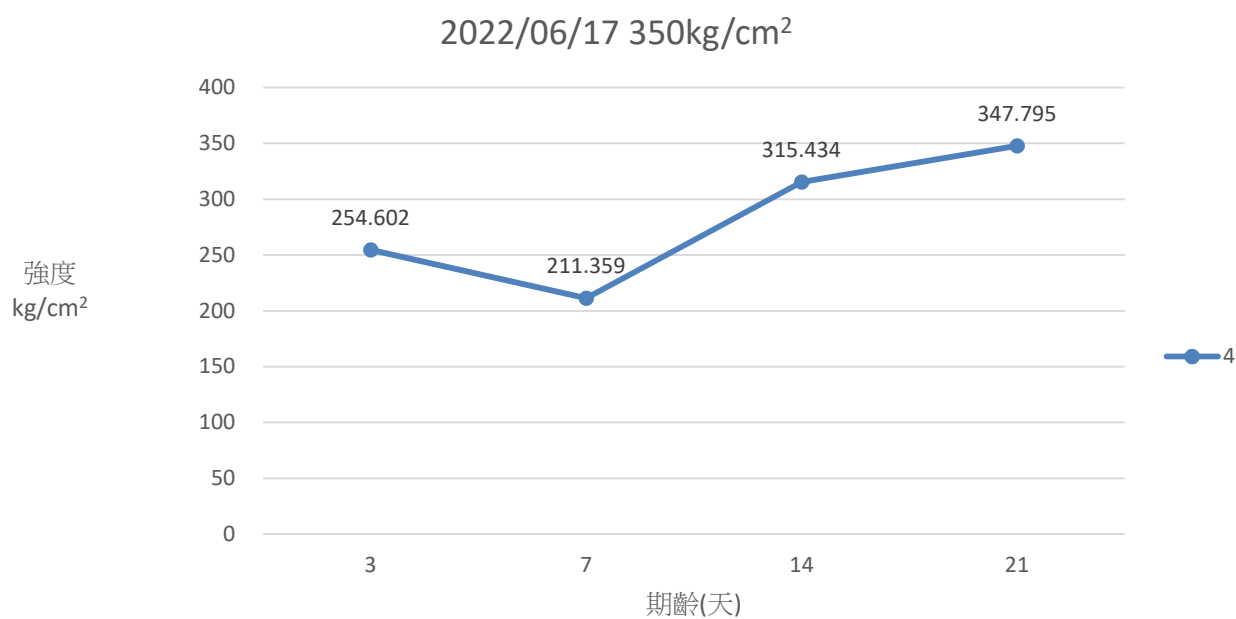


圖 3-7 6/17 350 混凝土不同期齡抗壓試驗數據

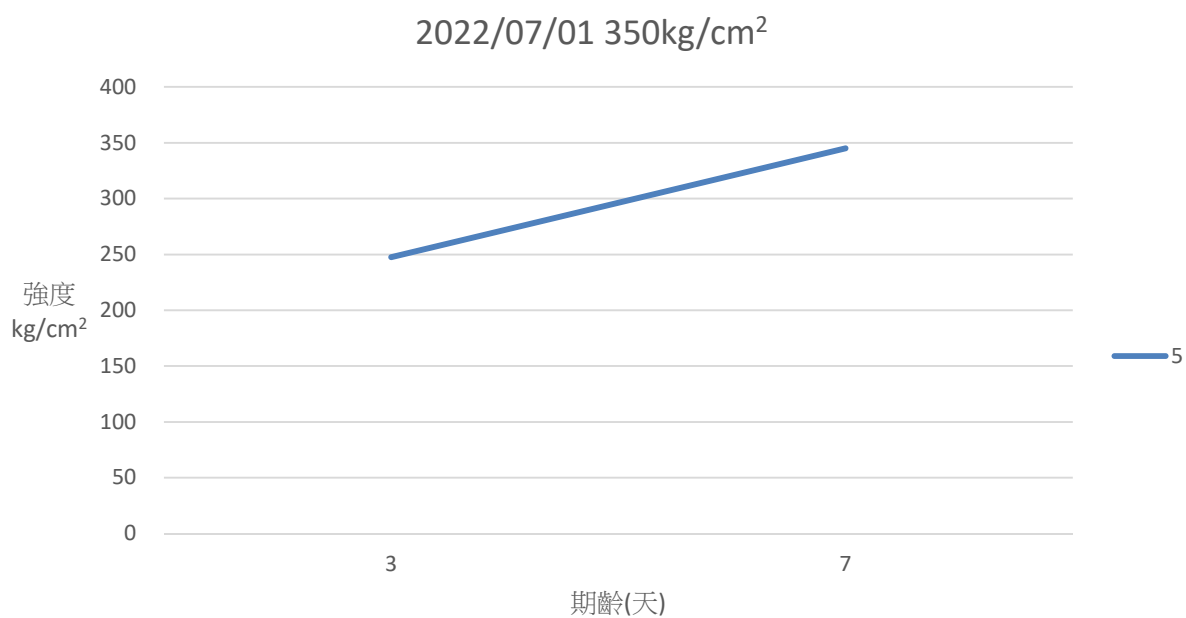


圖 3-8 07/01 350 混凝土不同期齡抗壓試驗數據



本研究主題將著重於評估我國產業研發之新型螺紋植筋錨栓，是否可應用於水保持局公告之混凝土結構物補強延壽三種工法中，如示圖 1-2、圖 1-3 及圖 1-5，以替代化學植筋應用於水土保持工程混凝土構造物結構補強延壽之可行性。



(四) 研究規劃與成果：

本計畫期程為一年期，計畫目標在於評估我國新型螺紋植筋錨栓是否可以取代目前水土保持混凝土構造物補強延壽施工之化學植筋錨栓，並且可以明顯降低化學植筋施工失敗之風險，以期望間接增加補強延壽構造物之成功機會，為達成此研究目標，本研究擬採用美國混凝土學會（ACI）化學錨栓及機械式錨栓之評定準則（ACI 355.2 及 ACI 355.4）如示圖 4-1，採用國內常用於結構補強之#4 及#5 化學植筋，與同尺寸#4 與#5 螺紋植筋錨栓， $f_c'=210 \text{ kg/cm}^2$ 之混凝土雖為我國最為常用之施工材料，另考慮部分較高強度之混凝土構造物，(及考量混凝土部份已經劣化其抗壓強度已降低，)因此亦考量採用 $f_c'=175 \text{ kg/cm}^2$ 、 $f_c'=210 \text{ kg/cm}^2$ 及 $f_c'=350 \text{ kg/cm}^2$ 或 $f_c'=560 \text{ kg/cm}^2$ 之混凝土執行評估試驗，且依規範評估準則中參考試驗項目（Reference Test），於非開裂及開裂混凝土二種混凝土條件下（un-cracked concrete and cracked concrete），採用規範建議 $7d \sim 10d$ 植入深度，再採用 ASTM E488 試驗法第 8.1 節中圓束抗拉試驗機制（如示圖 4-2），試件數至少 5 支，再採用 ACI 化學錨栓與機械錨栓評估準則，評估錨栓之特性強度及單位面積握裹強度，評估此新型螺紋植筋錨栓是否足以符合 ACI 規範評定要求強度及 ACI 318 設計強度，並與同等條件下評估化學植筋之特性強度與握裹強度比較分析，以利確定此新型螺紋植筋錨栓性能足以與化學植筋錨栓相當或更優於它，以印證其可替代化學植筋錨栓應用於混凝土構造物補強延壽功能，亦可因此新型錨栓之施工便利性與安全可靠性，增加水土保持混凝土構造物補強延壽成功之機會。



圖 4-1 以 ACI 355.2 及 ACI 355.4 為本研究評定法

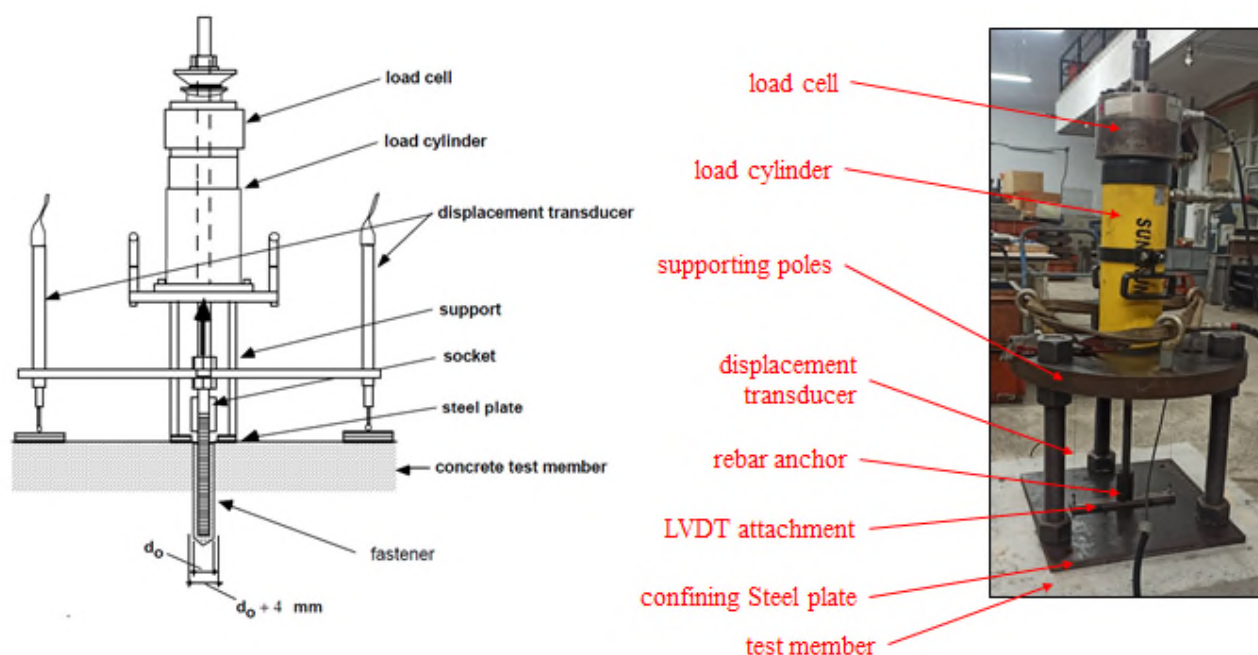


圖 4-2 圍束抗張設備

4.1 試驗準備成果

本研究擬以採用美國混凝土學會（ACI）後置式化學錨栓與機械式錨栓評定準則（ACI 355.4 及 ACI 355.2）分別評估化學植筋錨栓與新型螺紋植筋錨栓之抗拉特徵強度與單位面積握裹強度，經由比較分析過程確認此新型螺紋錨栓具備或更優於化學植筋錨栓之施工性與工程特性，以確保可應用於水土保持混凝土構造物補強延壽工程，增進補強延壽工程之可靠性。目前本研究已完成研究相關之文獻收集與評析，也彙整研究所需二種錨栓美國 ACI 錨栓特性評定準則 ACI 355.2 及 ACI 355.4 之研讀，有助執行後續評定工作。研究將採用參考性試驗法，以非開裂混凝土及開裂混凝土二種情況評估其特徵強度與單位面積握裹強度，依 ASTM E488 第 8.1 節規範架設之侷限抗張試驗設備如示圖 4-3。混凝土試驗塊模具如示圖 4-4 及圖 4-5。開裂混凝土試驗反力架已架設完成如示圖 4-6，開裂混凝土試驗將依 ASTM E488 第 8.2 節執行，各項評估試件至少 5 支，試驗之結果再依 ACI 355.2 及 ACI 355.4 評定其特性值。

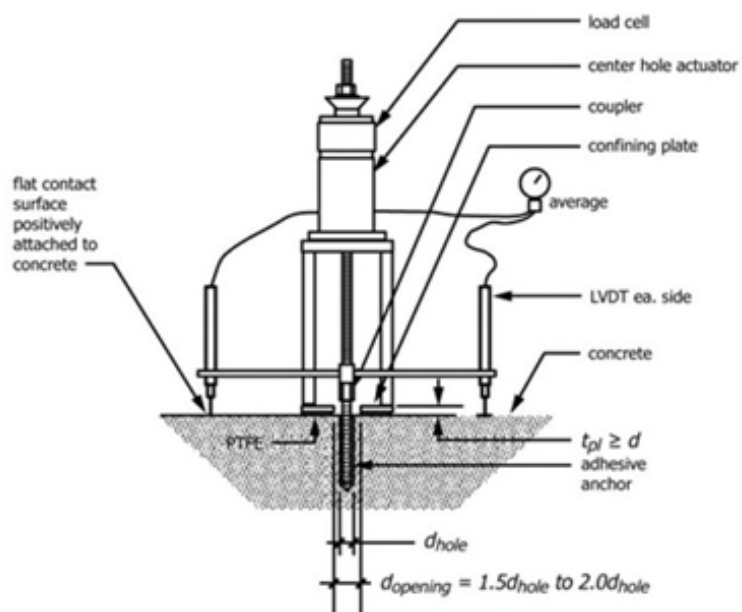


圖 4-3 化學錨栓圍束抗張試驗設備



圖 4-4 無開裂混凝土試驗構件示意圖與灌製模具

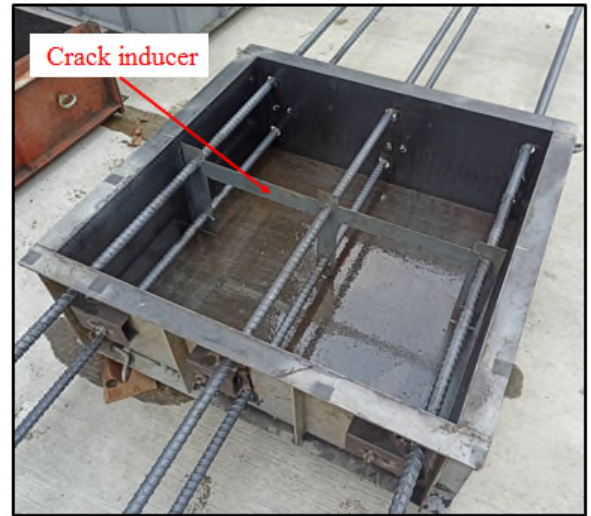
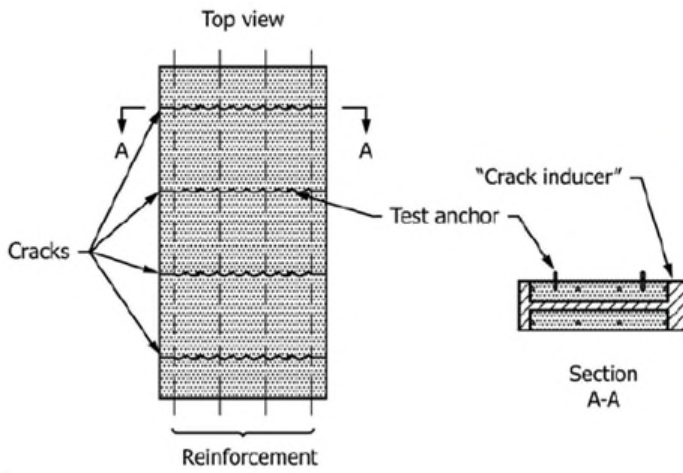


圖 4-5 開裂混凝土試驗構件示意圖與灌製模具

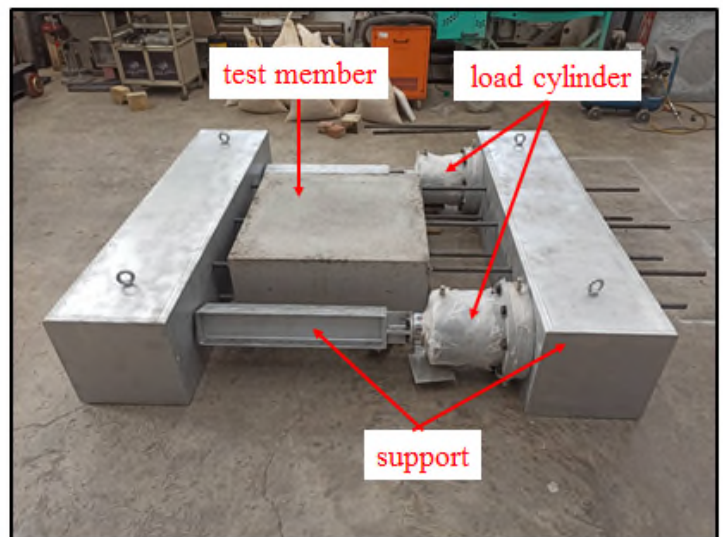
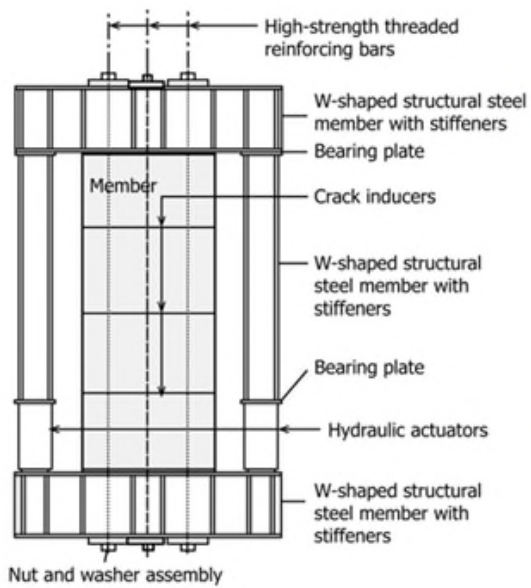


圖 4-6 裂紋混凝土試驗構件與反力架組裝示意圖與成品



4.2 試驗結果

目前本研究現階段已完成部份#4 及#5 化學植筋植入 C20/25 混凝土於混凝土無開裂與開裂狀態圍束抗張試驗，以分析化學植筋單位面積黏結強度(bonding strength)，分析工作仍在執行。另也完成#4 新型螺紋植筋錨栓植入 C20/25 混凝土於混凝土無開裂與開裂狀態圍束與無圍束抗張試驗，於下討論初步試驗結果。

4.2.1 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土無開裂與開裂狀態圍束抗張試驗

#4 化學植筋植入 C20/25 混凝土於混凝土無開裂狀態植入深度為 10 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 4-7、圖 4-8 及表 4-1，由試驗數據顯示為鋼筋斷裂，無法計算化學植筋單位面積黏結強度；因此另執行一組植入深度為 8 倍直徑圍束抗張試驗，試驗結果顯示於圖 4-9、圖 4-10 及表 4-2，由試驗數據顯示為鋼筋拉出，化學植筋單位面積黏結強度採 ACI 及 EOTA 評估準則分析結果如示表 4-3 及 4-4，其單位面積黏結強度分別為 14.405N/mm^2 及 12.178N/mm^2 ，此植筋單位面積黏結強度採二準則分析結果均大於規範要求強度 10N/mm^2 ，顯示此化學植筋符合美洲與歐洲規範之要求；為了解植筋於生命週期中混凝土開裂後對化學植筋抗張特性之影響，#4 化學植筋植入開裂狀態 C20/25 混凝土於植入深度為 10 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 4-11、圖 4-12 及表 4-5 中，由試驗數據顯示為鋼筋拉出，裂紋對抗張強度降低約為 35%，但抗拉強度變異係數達 16.55%，明顯影響化學植筋特性抗張強度至 17.833kN，單位面積黏結強度採 ACI 及 EOTA 評估準則分析結果如示表 4-6 及 4-7，其單位面積黏結強度分別為 2.96N/mm^2 及 2.64N/mm^2 ，此植筋單位面積黏結強度採二準則分析結果均無法滿足規範要求強度 10N/mm^2 ，此植筋錨栓是否於混凝土開裂狀態下符合規範需求需更完整試驗數據評估。

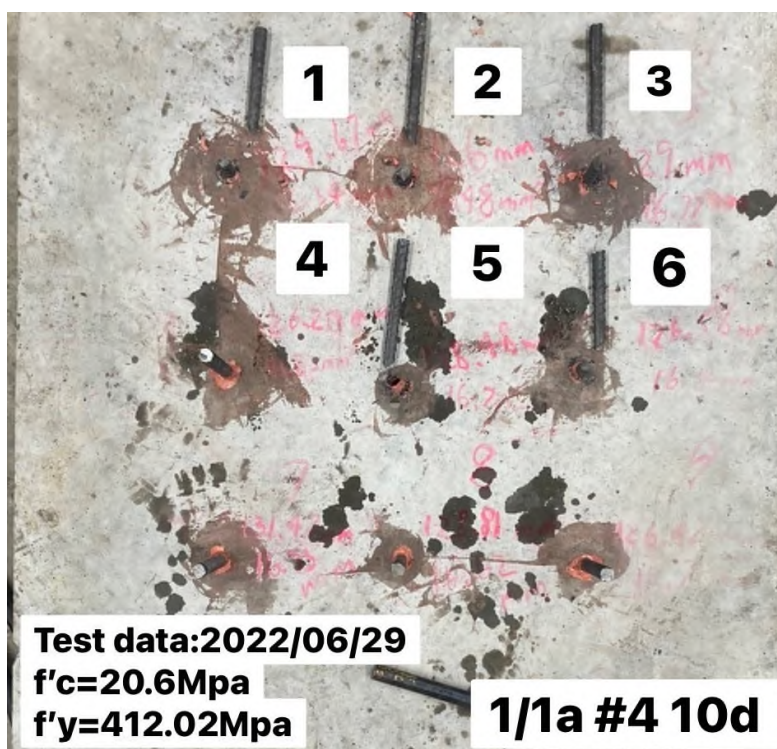


圖 4.7 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片(2022/06/29)

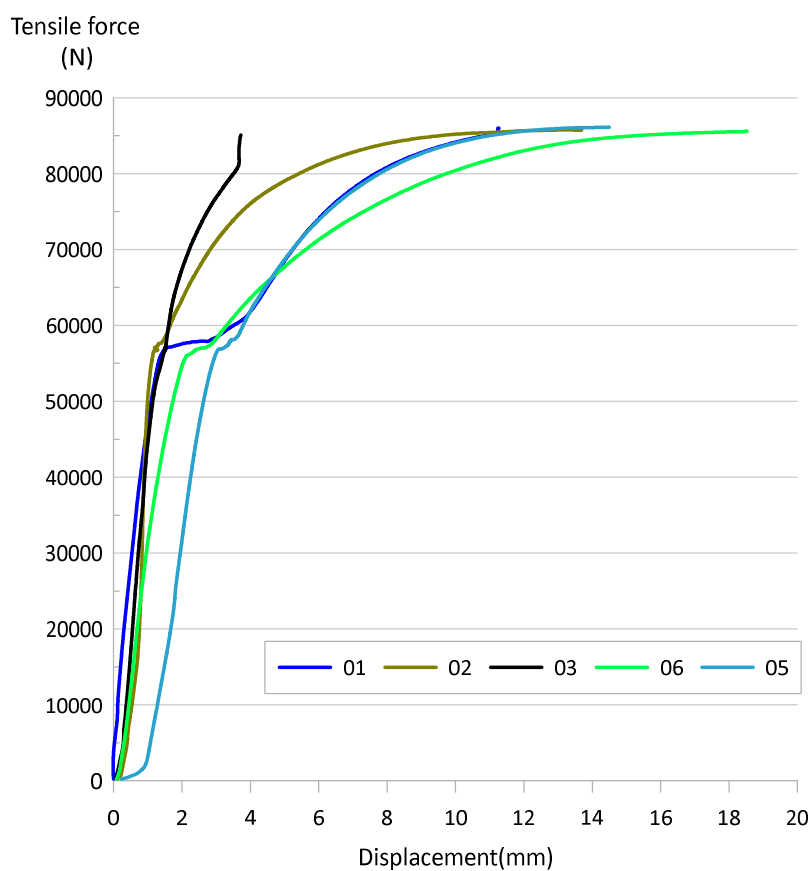


圖 4.8 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗代表性拉力位移圖



表 4-1 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗摘要表

Test ID No.or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ(mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5 Nu} (mm)	F.M.	Concrete strength(MPa)
1/1a-#4-01	85.995	11.246	0.8695	SF	29.148
1/1a-#4-02	85.779	13.468	0.912	SF	
1/1a-#4-03	85.091	3.38	0.9551	SF	
1/1a-#4-06	85.592	18.501	1.4075	SF	
1/1a-#4-05	86.091	14.499	2.2532	SF	
Average	85.710	12.219	1.279		
Standard deviation	0.354	5.006	0.524		
Variation (%)	0.41%	40.97%	40.95%		
Notes: PF = pullout failure, SF = steel failure, h _{ef} = 127mm, A _{se} =5067.075mm ²					

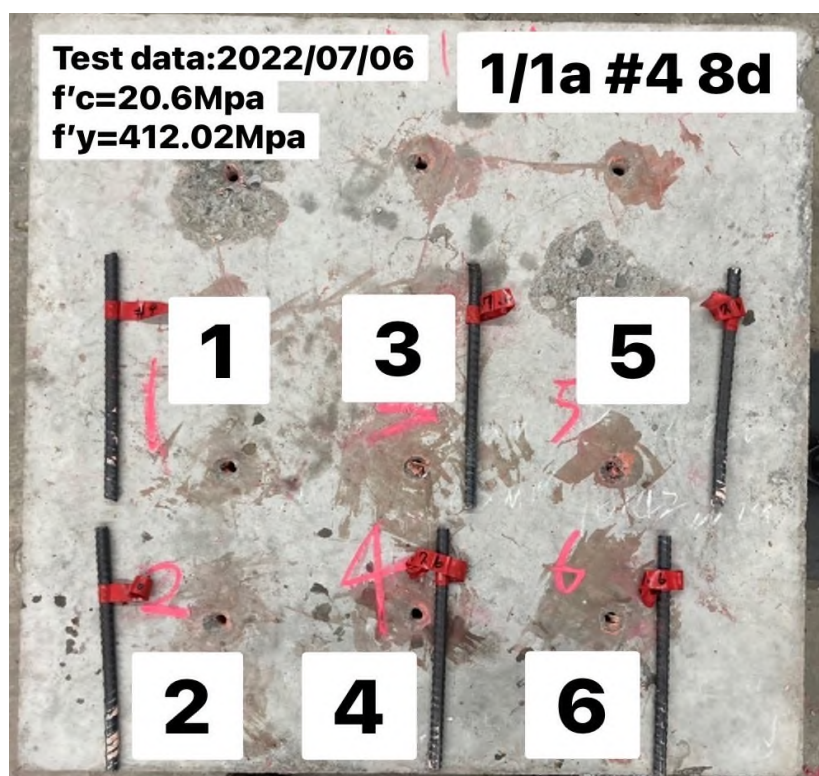


圖 4.9 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片

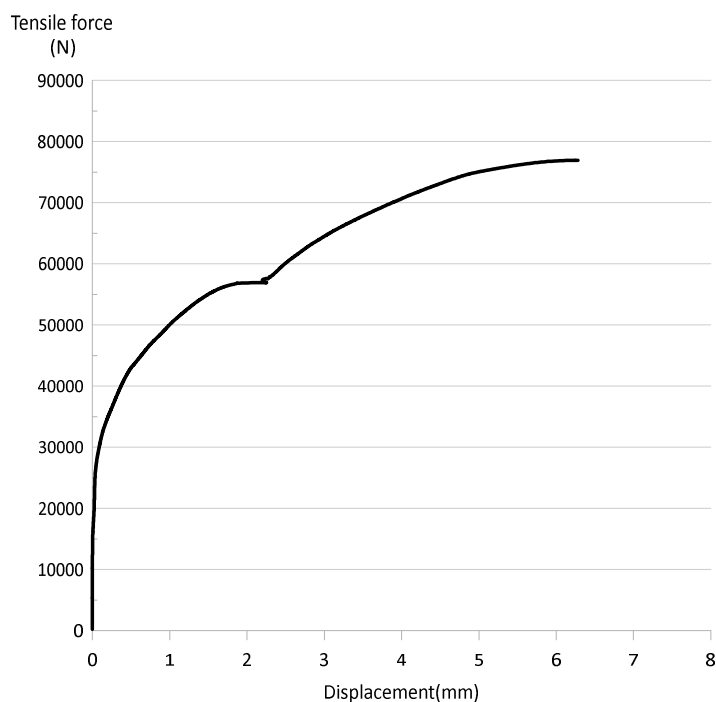


圖 4.10 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗代表性拉力位移圖

表 4-2 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗摘要表

Test ID No.or Item	Ultimate load, Nu(kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	F.M.	Concrete strength (MPa)
1/1a-#4-8d-01	79.371	7.838	PF	26.177
1/1a -#4-8d-02	79.821	7.910		
1/1a -#4-8d-03	83.367	6.771		
1/1a -#4-8d-04	76.922	5.594		
1/1a -#4-8d-05	85.032	24.612		
1/1a -#4-8d-06	71.580	6.806		
Average	79.349	9.922		
Standard deviation	4.794	7.246		
Notes: SF = steel failure, PF = pullout failure, d = 12.7 mm, h _{ef} = 88.9 mm, d _a =12.7mm, A _{se} = 3546.952 mm ²				



表 4-3 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	1/1a-#4-8d
$F_{u,test,i}$ (kN)	65.822
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	26.177
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	102
正歸化係數	0.887
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	58.392
A_{se} (mm ²)	4053.660
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	14.405
特性強度 N_b (kN)	65.822
k value	12.562



表 4-4 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 EAD 參考性 1 試驗彙整表

EOTA EAD 330087 Test program No.	1/1a-#4-8d
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (Mpa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	26.177
初始特性抗張強度 $N_{Ru,t,5\%}$ (kN)	65.822
初始正規化抗張特性強度 $N_{Ru,b,5\%}$ (kN)	55.557
錨栓外徑 d_a (mm)	12.7
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	101.6
A_{se} (mm ²)	4053.660
$\tau_{5\%}$ (N/mm ²)	16.238
α_{setup}	0.75
τ_{Rk} (N/mm ²)	12.178

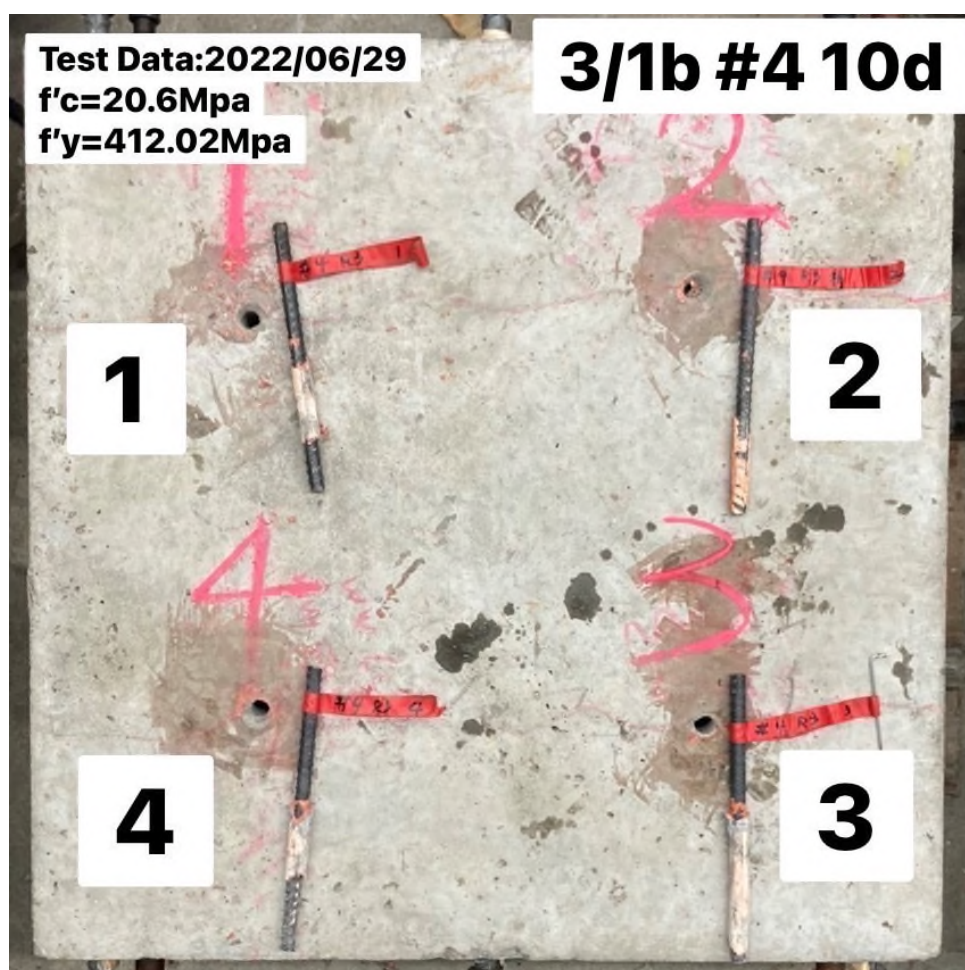


圖 4.11 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 3/1b 試驗照片

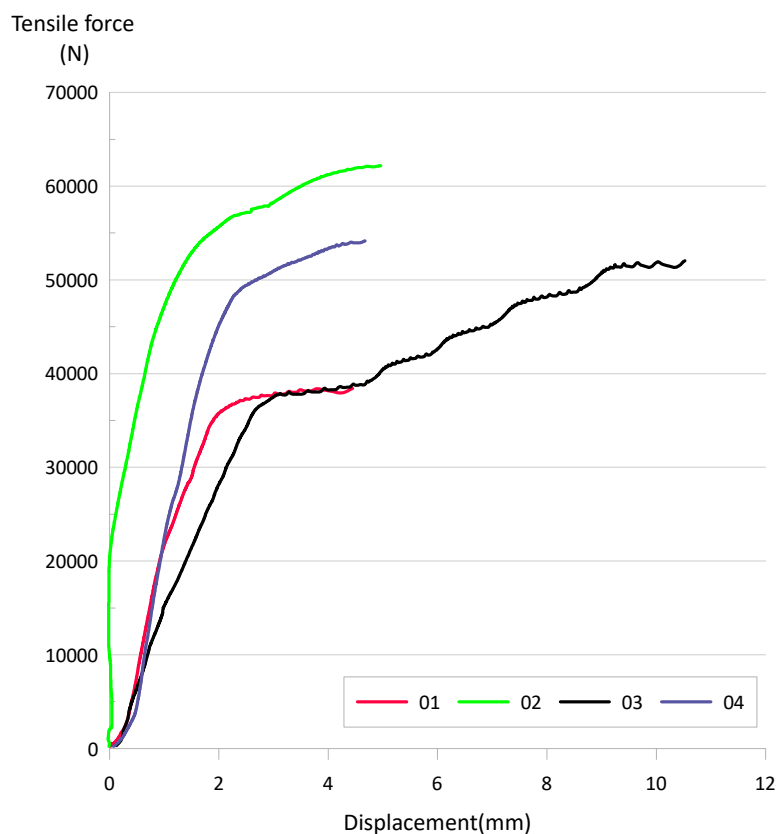


圖 4.12 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 8d 植入深度參考性 3/1b 試驗拉力位移圖

表 4-5 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 3/1b 試驗摘要表

Test ID No.or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ(mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5 Nu} (mm)	F.M.	Concrete strength(MPa)
3/1b-#4-10d	38.411	4.448	0.8857	PF	29.103
3/1b-#4-11d	62.201	4.958	0.3261	PF	
3/1b-#4-12d	52.032	10.524	1.8396	PF	
3/1b-#4-13d	54.157	4.672	1.1983	PF	
Average	51.700	6.151	1.062	---	
Standard deviation	8.559	2.532	0.547		
Variation (%)	16.55%	41.16%	51.47%		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 127mm, Ase=5067.075mm ²					



表 4-6 #4 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 10d 植入深度 ACI 參考性 1b 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	3/1a-#4-10d
$F_{u,test,i}$ (kN)	17.833
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	29.103
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	127
正歸化係數	0.841
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	15.004
A_{se} (mm ²)	5067.075
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	2.961
特性強度 N_b (kN)	17.833
k value	2.310

表 4-7 #4 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 10d 植入深度 EAD 參考性 3 試驗彙整表

EOTA EAD 330087 Test program No.	3/1b-#4-10d
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (Mpa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	29.103
初始特性抗張強度 $N_{Ru,t,5\%}$ (kN)	17.833
初始正規化抗張特性強度 $N_{Ru,b,5\%}$ (kN)	15.052
錨栓外徑 d_a (mm)	12.7
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	127
A_{se} (mm ²)	5067.075
$\tau_{5\%}$ (N/mm ²)	3.519
α_{setup}	0.75
τ_{Rk} (N/mm ²)	2.640



4.2.2 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土無開裂與開裂狀態圍束抗張試驗

#5 化學植筋植入 C20/25 混凝土於混凝土無開裂狀態植入深度為 7 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 4-13、圖 4-14 及表 4-8，由試驗數據顯示為鋼筋拉出，抗拉強度變異係數達 13.99%，化學植筋單位面積黏結強度採 ACI 及 EOTA 評估準則分析結果如示表 4-9 及 4-10，其單位面積黏結強度分別為 11.913N/mm^2 及 10.780N/mm^2 ，此植筋單位面積黏結強度採二準則分析結果均大於規範要求強度 10N/mm^2 ，顯示此化學植筋符合美洲與歐洲規範之要求：為了解植筋於生命週期中混凝土開裂後對化學植筋抗張特性之影響，另#5 化學植筋植入 C20/25 混凝土於混凝土開裂狀態植入深度為 7 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 4-15、圖 4-16 及表 4-11，由試驗數據顯示均為鋼筋拉出，且一隻試件為非有效件，於分析中剔除，裂紋對抗張強度降低約為 60%，但抗拉強度變異係數達 4.06%，明顯影響化學植筋特性抗張強度至 35.52kN，單位面積黏結強度採 ACI 及 EOTA 評估準則分析結果如示表 4-12 及 4-13，其單位面積黏結強度分別為 6.315N/mm^2 及 4.792N/mm^2 ，此植筋單位面積黏結強度採二準則分析結果均無法滿足規範要求強度 10N/mm^2 ，此植筋錨栓是否於混凝土開裂狀態下符合規範需求需更完整試驗數據評估。

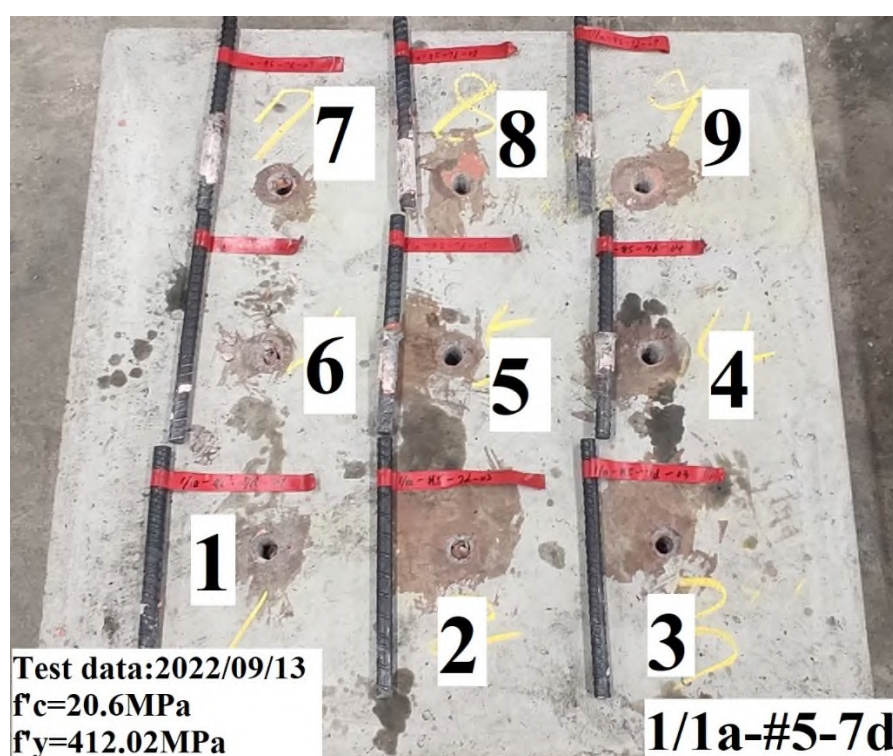


圖 4.13 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片(9 samples)

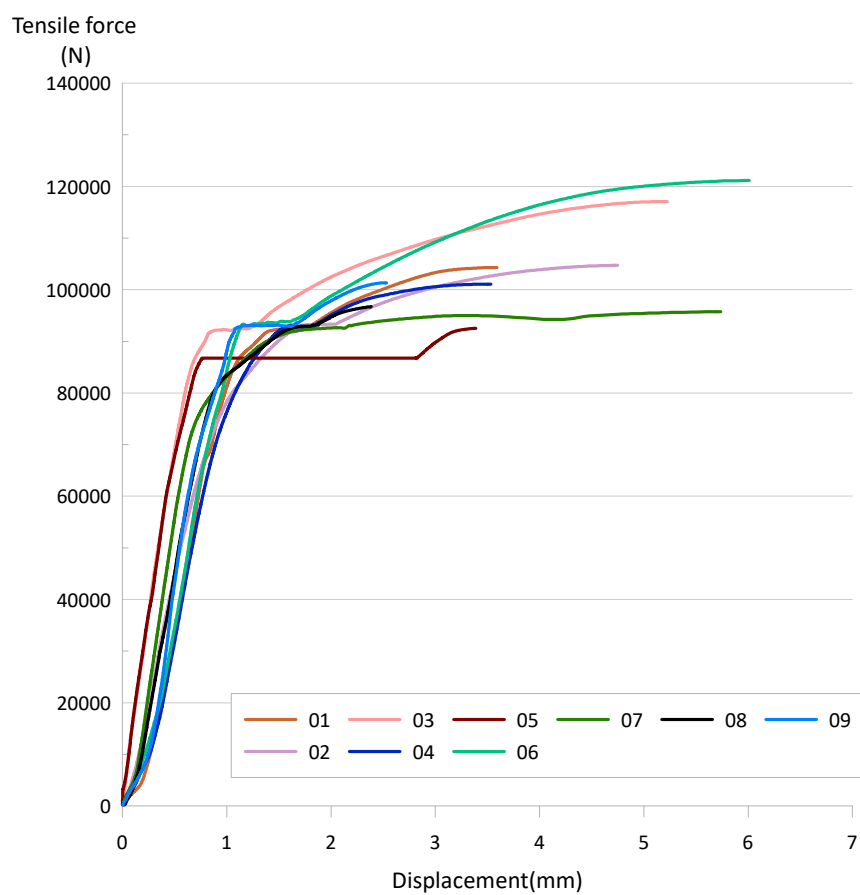


圖 4.14 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度參考性 1/1a 試驗拉力位移圖



表 4-8 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度試驗摘要表

Test ID No.or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ(mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5} N _u (mm)	F.M.	Concrete strength(MPa)
1/1a-#5-7d-01	104.306	3.5905	0.6608	PF	29.117
1/1a-#5-7d-02	104.706	4.7485	0.7667		
1/1a-#5-7d-03	117.1	5.224	0.4087		
1/1a-#5-7d-04	101.092	3.532	0.677		
1/1a-#5-7d-05	92.52	3.389	0.3206		
1/1a-#5-7d-06	121.145	6.012	0.7186		
1/1a-#5-7d-07	95.745	5.7365	0.44		
1/1a-#5-7d-08	96.715	2.386	0.5263		
1/1a-#5-7d-09	101.342	2.532	0.5536		
Average	103.852	4.128	0.564		
Standard deviation	9.034	1.269	0.144		
Variation (%)	8.70%	30.74%	25.60%		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, h _{ef} = 111mm, A _{se} =5559.582mm ²					

表 4-9 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1a 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	1/1a-#5-7d
$F_{u, test, i}$ (kN)	78.739
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c, m, i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u, test, i}$ (MPa)	29.117
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	111
正歸化係數	0.841
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test, f_c}$ (kN)	66.231
A_{se} (mm ²)	5559.582
$\bar{\tau}_{ref, f_c}$ (N/mm ²)	11.913
特性強度 N_b (kN)	78.739
k value	12.427



表 4-10 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 7d 植入深度 EAD 參考性 1 試驗彙整表

EOTA EAD 330087 Test program No.	1/1a-#5-7d
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (Mpa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	29.117
初始特性抗張強度 $N_{Ru,t,5\%}$ (kN)	79.913
初始正規化抗張特性強度 $N_{Ru,b,5\%}$ (kN)	72.033
錨栓外徑 d_a (mm)	15.9
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	111
A_{se} (mm ²)	5559.582
$\tau_{5\%}$ (N/mm ²)	14.374
α_{setup}	0.75
τ_{Rk} (N/mm ²)	10.780

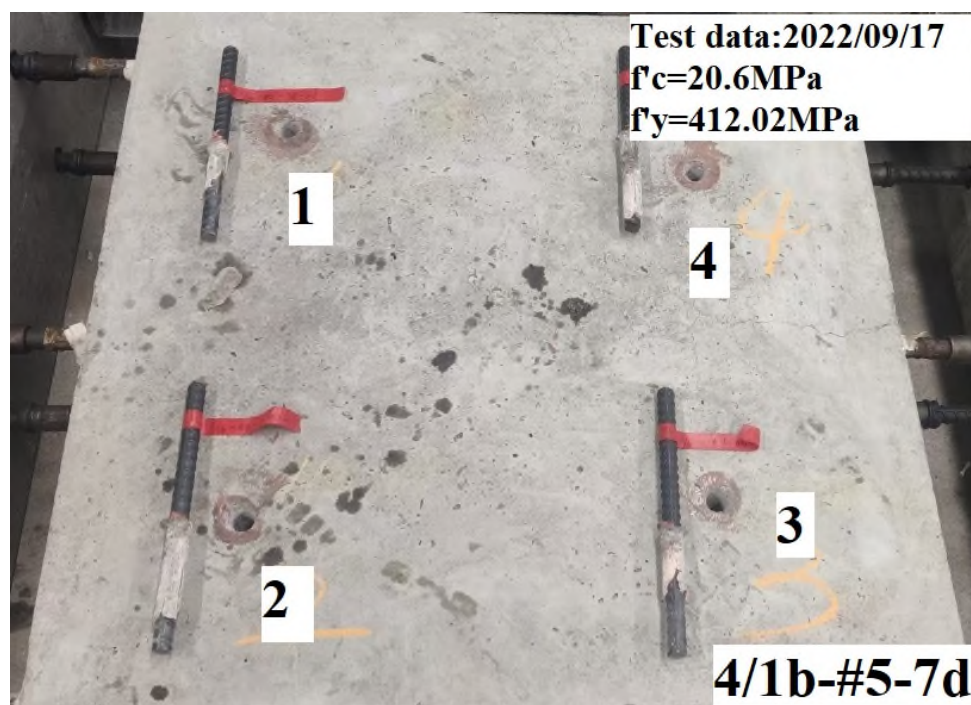


圖 4.15 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 3/1b 試驗照片 (2 samples)

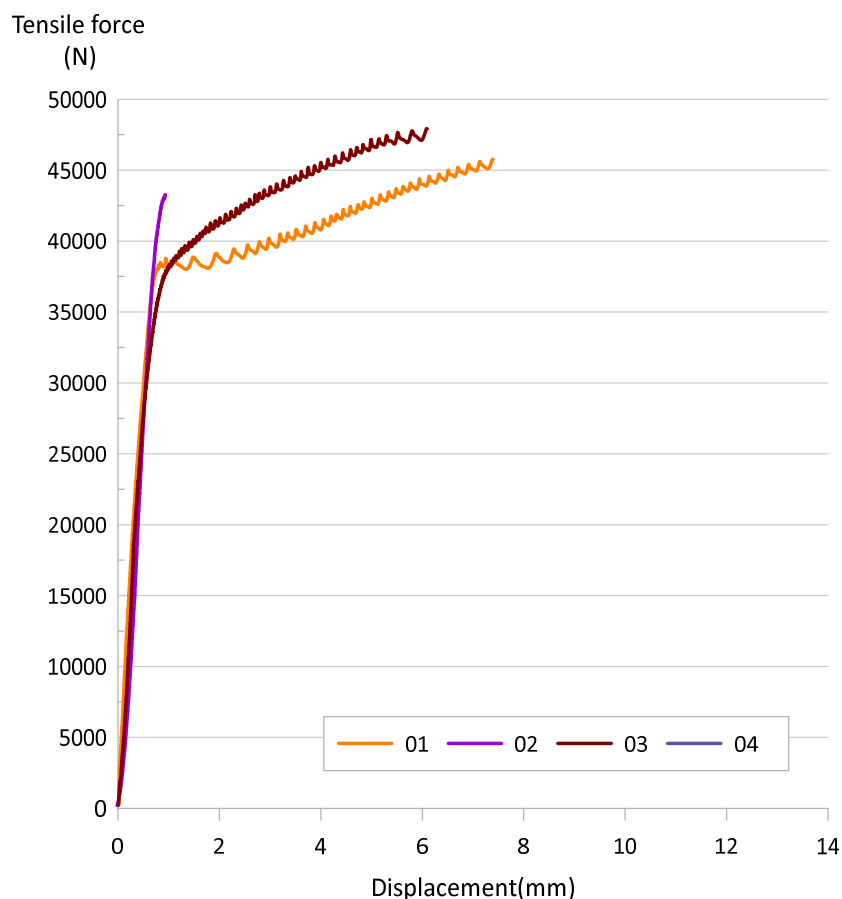


圖 4.16 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 3/1b 試驗拉力位移圖

表 4-11 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 7d 植入深度試驗摘要表

Test ID No.or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ(mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ0.5 Nu (mm)	F.M.	Concrete strength(MPa)
4/1b-#5-7d-01	45.75	7.394	0.35105	PF	22.342
4/1b-#5-7d-02	43.254	0.931	0.41795		
4/1b-#5-7d-03	47.918	6.095	0.41845		
Average	40.892	6.957	0.341	---	
Standard deviation	1.906	4.440	0.098		
Variation (%)	4.06%	63.83%	28.80%		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 111mm, Ase=5559.582mm ²					



表 4-12 #5 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1b 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	4/1b-#5-7d
$F_{u,test,i}$ (kN)	35.520
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	22.342
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	111
正歸化係數	0.960
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	34.108
A_{se} (mm ²)	5559.582
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	6.315
特性強度 N_b (kN)	35.520
k value	6.400

表 4-13 #5 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土 7d 植入深度 EAD 參考性 3 試驗彙整表

EOTA EAD 330087 Test program No.	4/1b-#5-7d
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (Mpa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	22.342
初始特性抗張強度 $N_{Ru,t,5\%}$ (kN)	35.520
初始正規化抗張特性強度 $N_{Ru,b,5\%}$ (kN)	34.665
錨栓外徑 d_a (mm)	15.9
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	111
A_{se} (mm ²)	5559.582
$\tau_{5\%}$ (N/mm ²)	6.389
α_{setup}	0.75
τ_{Rk} (N/mm ²)	4.792



4.2.3 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土束制抗張試驗

為比對螺紋植筋錨栓及化學植筋與混凝土界面之握裹強度，本研究也需執行螺紋植筋錨栓一系列束制抗張試驗，#4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 束制抗張試驗結果顯示於圖 4-17、表 4-14、圖 4-18 及圖 4-19；採用 ACI355.4 與 EOTA EAD330499 評估準則分析結果顯示於表 4-15 與表 4-16 中；採用 ACI355.4 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓 k 植為 14.21，大於 10，符合規範要求；另螺紋植筋錨栓與混凝土界面之握裹強度採用 ACI355.4 與 EOTA EAD330499 評估準則分析，其強度分別為 18.342N/mm^2 與 11.257N/mm^2 ，該數值均大於 ACI 與 EOTA 規範要求植 10.0，顯示#4 螺紋植筋錨栓於無開裂 C20/25 混凝土之握裹強度均符合 ACI 與 EOTA 規範要求，且 EOTA 之分析較 ACI 為保守。

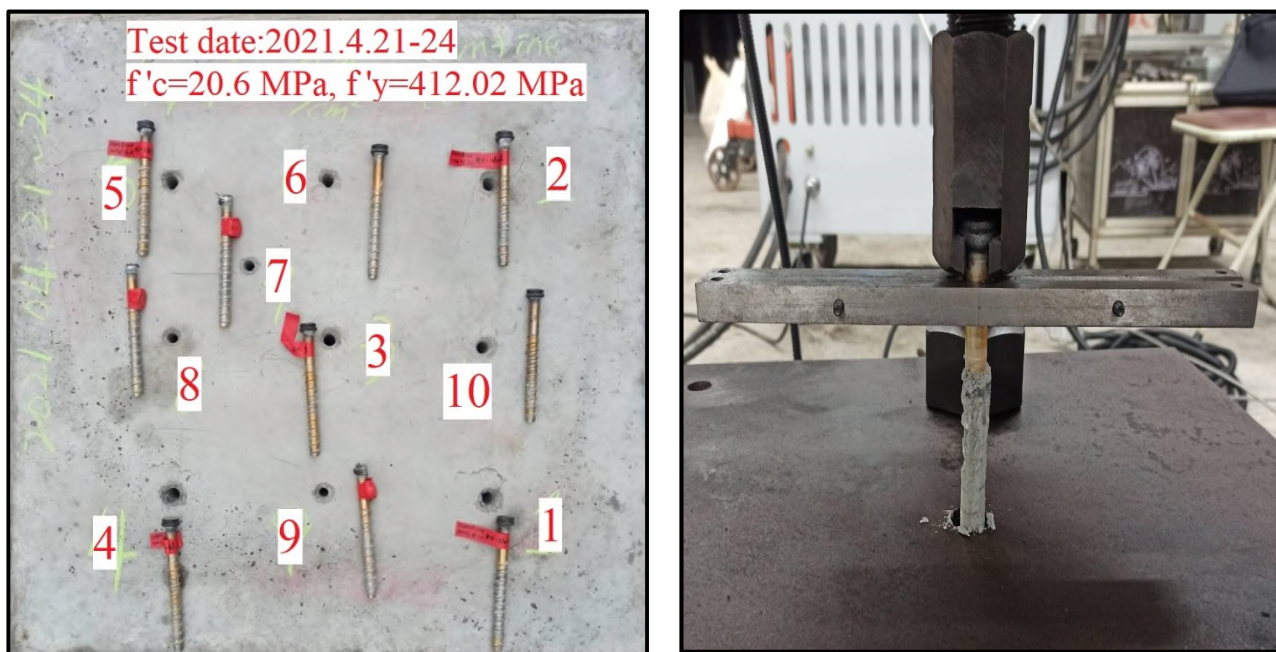


圖 4-17 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張試驗照片



表 4-14 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張試驗彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5 Nu} (mm)	F.M.	Concrete strength (MPa)
R1S II 040C2-01	74.758	3.198	0.871	PF	30.377
R1S II 040C2-02	69.974	2.925	0.969		
R1S II 040C2-03	74.216	3.016	0.954		
R1S II 040C2-04	73.376	2.529	0.779		
R1S II 040C2-05	64.531	2.919	0.705		
R1S II 043C2-06	74.178	3.107	0.892		
R1S II 043C2-07	78.018	1.994	1.006	WF*	
R1S II 043C2-08	80.745	1.983	0.914		
R1S II 043C2-09	82.491	1.879	0.708		
R1S II 043C2-10	75.171	2.663	0.708	PF	
Average	74.746	2.621	0.851		
Standard deviation	5.126	0.502	0.116		
Variation (%)	6.86	19.15	13.63		

Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, $h_{nom} = 108.49$ mm, $h_{ef} = 85.17$ mm, $A_{se} = 3357.997$ mm²

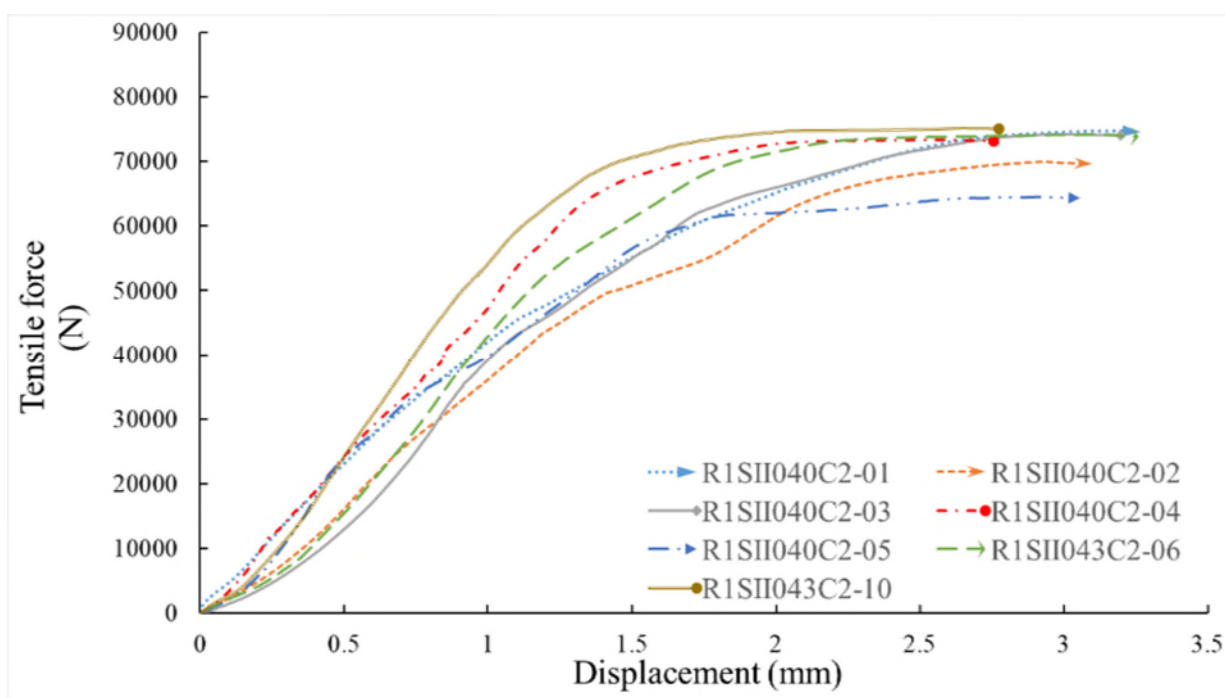


圖 4-18 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張試驗拉力位移圖

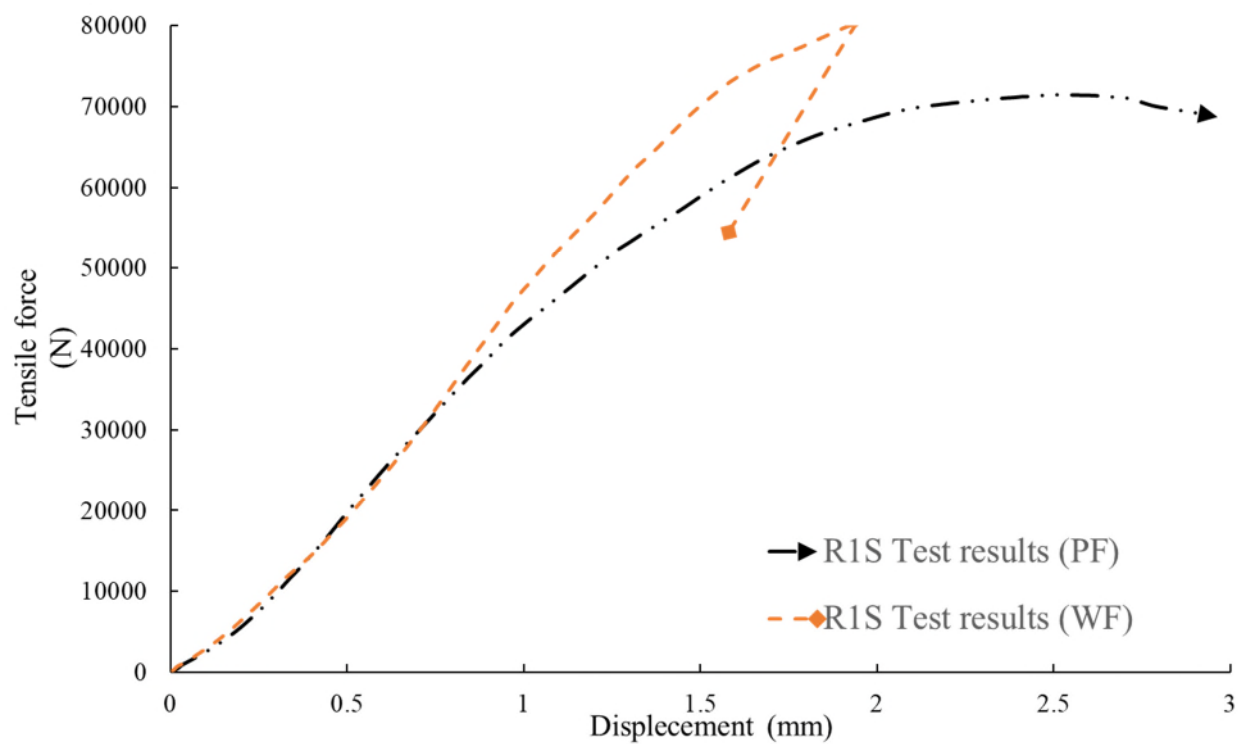


圖 4-19 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 1a/R1 束制抗張試驗代表性拉力位移圖



表 4-15 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm 參考性 ACI 355.4 1a 束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.4 Ref. 1a 束制抗張參考性試驗評估結果

$$\bar{F}_{test,fc} = F_{u,test,i} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}}$$

$$\bar{\tau}_{ref,fc} = \frac{\bar{F}_{test,fc}}{A_{se}}$$

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}}$$

其中： $F_{u,test,i}$ = 由 i 系列試驗平均強度。

$f_{c,m,i}$ = 混凝土平均標稱設計強度。

$f_{u,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度。(於試驗時)

其中： $\bar{\tau}_{ref,fc}$ = 正歸化平均界面黏結應力。

$\bar{F}_{test,fc}$ = 依混凝土抗壓強度正規化係數推算之特性強度。

A_{se} = 有效影響黏結面積。

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之 5% 分位點， $F_{5\%}$)。

$f_{c,test}$ = 混凝土試驗構件平均強度。(於試驗時)。

h_{ef} = 有效埋入深度。

ACI 355.4 Test program No.	1a
$F_{u,test,i}$ (kN)	74.746
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	30.377#
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	85.17
正歸化係數	0.824
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,fc}$ (kN)	61.519
A_{se} (mm ²)	3357.997
$\bar{\tau}_{ref,fc}$ (N/mm ²)	18.342
特性強度 N_b (kN)	61.578
k value	14.21



表 4-16 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 109mm EOTA 參考性 R1 束制抗張試驗分析彙整表

EOTA EAD 330499 Test program No.	R1
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (Mpa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	30.377
初始特性抗張強度 $N_{Ru,t,5\%}$ (kN)	61.202
初始正規化抗張特性強度 $N_{Ru,b,5\%}$ (kN)	50.400
錨栓外徑 d_a (mm)	12.55
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	85.17
A_{se} (mm ²)	3357.997
$\tau_{5\%}$ (N/mm ²)	15.009
α_{setup}	0.75
τ_{Rk} (N/mm ²)	11.257

4.2.4 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 無開裂混凝土無束制抗張試驗

本研究執行#4 螺紋植筋錨栓一系列無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 4-20、表 4-17、圖 4-21 及圖 4-22，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 4-18 與表 4-19 中；採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 10.3，大於 10，符合規範要求；另螺紋植筋錨栓於 C20/25 混凝土政規化拉破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 64.401kN 與 51.525kN，如束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。

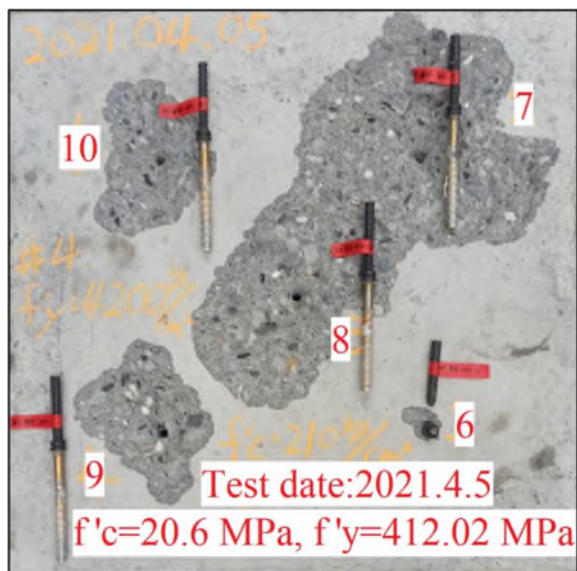
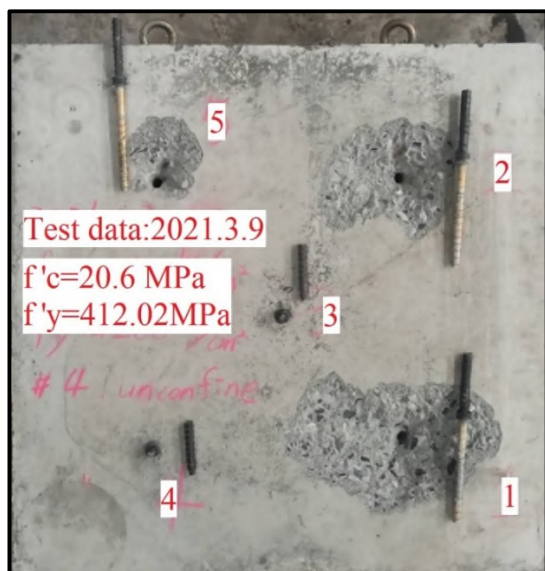


圖 4-20 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗照片

表 4-17 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5 Nu} (mm)	F.M.	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions (mm)		
						Length	width	Depth
A1 I 286C1-01	79.487	3.087	0.441	CF	27.731	325	200	42.2
A1 I 286C1-02	86.826	3.079	0.606			225	140	37.4
A1 I 286C1-03	88.385	2.636	0.51	SF		--	--	--
A1 I 286C1-04	87.945	2.477	0.644			--	--	--
A1 I 286C1-05	89.153	2.403	0.454	CF		110	110	31.86
A1 II 024C1-06	88.328	2.965	0.778	SF	27.460	--	--	--
A1 II 024C1-07	86.884	3.178	0.826	CF		345	290	57.26
A1 II 024C1-08	88.161	3.098	0.457			317	180	43.42
A1 II 024C1-09	80.702	3.646	0.634			237	230	40.72
A1 II 024C1-10	86.488	3.226	0.706			211	144	38.66
Average	86.236	2.980	0.606					
Standard deviation	3.352	0.378	0.138					
Variation (%)	3.89	12.68	22.77					

Note: SF = steel failure, CF = cone failure, $h_{nom} = 153$ mm, $h_{ef} = 123$ mm.

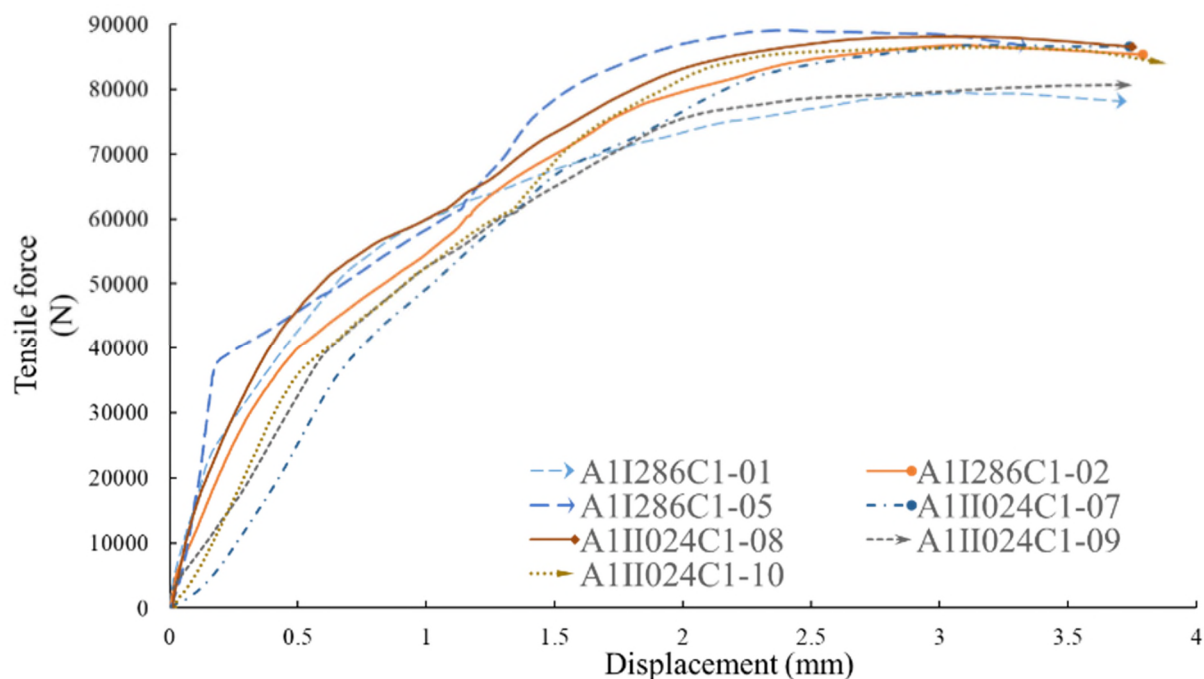


圖 4-21 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞)

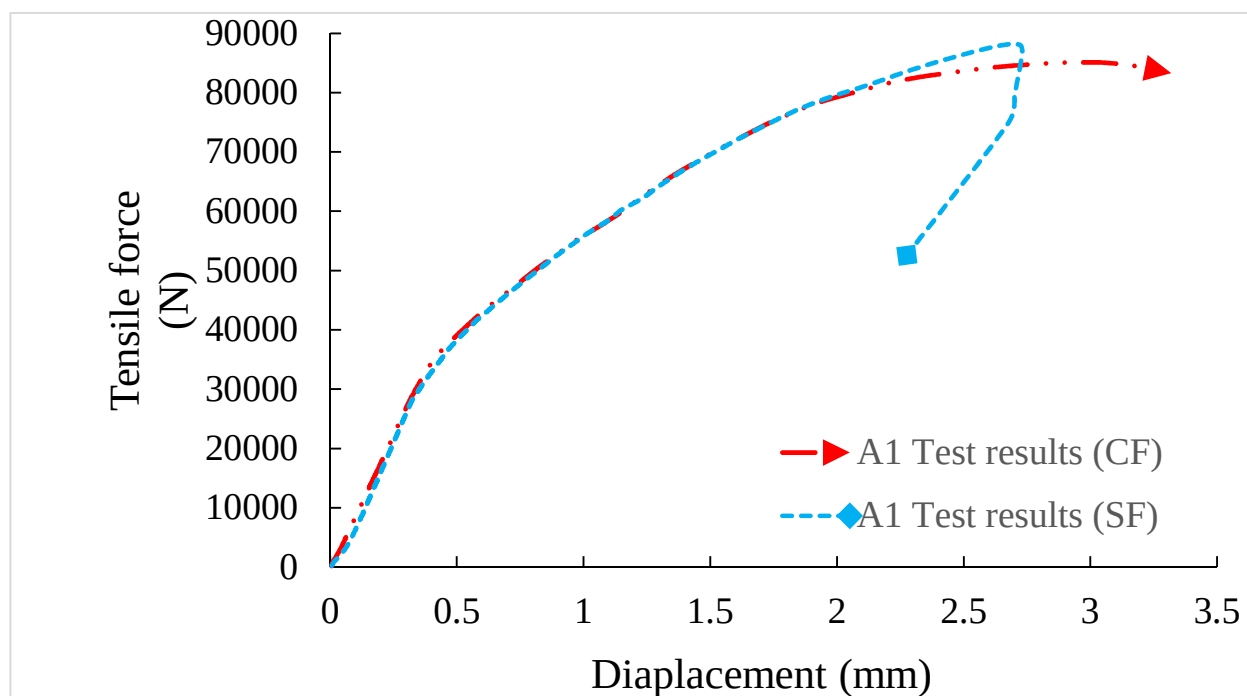


圖 4-22 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞)



表 4-18 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mmACI355.2 參考性 No.1 無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2 無束制抗張參考性 No.1 試驗評估分析結果

$$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5%分位點決定之， $F_{5\%}$)。
 $f_{c,m,i}$ = 混凝土平均標稱設計強度。
 $f_{u,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度(圓柱型試體)。

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5%分位點決定之， $F_{5\%}$)。
 $f_{c,test}$ = 混凝土試驗構件平均強度(於試驗時)，本分析同 $f_{u,test,i}$ 。
 h_{ef} = 有效埋入深度。

ACI 355.2 Test program No.	No.1
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	27.596
正歸化係數	0.864
特性強度 N_b (kN)	74.538
正歸化特性強度 N_p (kN)	64.401
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	123
k value	10.4



表 4-19 #4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 153mm 參考性 1/A1 無圍束抗張
試驗分析彙整表

EAD 無束制抗張參考性試驗 90 % 信度特性強度評估結果(A1)

$$F_{5\%} = F_m(1 - Kv) = N_{Rk,0}$$

其中： $F_{5\%}$ = 原始特性抗張強度，由測試破壞強度之 5 % 分位點決定之。

F_m = 平均抗張強度。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 7， $K = 2.894$ 。

v = 變異係數(%)。

Test program number	A1
平均抗張強度 F_m (kN)	85.386
K	2.894
變異係數 v (%)	4.39
原始特性抗張強度 $F_{5\%}$	74.538

EAD 330232 A1 無圍束抗張參考性試驗評估結果

$$F_{u,c} = F_{u,t} \cdot (f_{ck} / f_{c,t})^{0.5}$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,0} \cdot \min \alpha_p \cdot \min \left(\frac{\alpha_1}{rqd. \alpha_1} \right) \cdot \min \left(\frac{\alpha}{rqd. \alpha} \right) \cdot \min \beta_{cv} \leq N_{Rk,c}^0$$

其中： $F_{u,t}$ = 初始抗張特性強度，由測試強度之 5 % 分位點決定之(試驗組)； $F_{u,c}$ = 初始正規化抗張特性強度(nominalized base upon concrete strength or batch influence)； $f_{c,t}$ = 試驗混凝土抗壓強度； f_{ck} = 標稱混凝土抗壓強度。

$N_{Rk,p}$ = 拉出破壞特性抗張強度； $N_{Rk,0}$ = 初始正規化抗張特性強度； α_p = 未執行反覆荷載，未帶入分析； α_1 = 未發生無法控制之滑脫現象，未帶入分析； $rqd. \alpha_1$ = 於非開裂混凝土為 0.8，開裂混凝土為 0.7； α = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； $rqd. \alpha$ = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； β_{cv} = 試驗結果變異係數小於 15 %，則無需折減，係數為 1.0。

EOTA EAD 330232 Test program item No.	A1
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	27.596
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	74.538
初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	64.400
$rqd. \alpha_1$	0.8
拉出破壞特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	51.520



4.2.5 #4 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 無束制抗張試驗

本研究執行#4 螺紋植筋錨栓一系列 C20/25 開裂混凝土無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 4-23、表 4-20、圖 4-24 及圖 4-25，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 4-21 與表 4-22 中；採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 7.29，大於 7，符合規範要求；另螺紋植筋錨栓於 C20/25 混凝土政規化拉破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 44.722kN 與 46.633kN，由以上數據顯示，此#4 螺紋植筋錨栓於 C20/25 開裂混凝土抗張試驗強度，依 EOTA 與 ACI 準則分析之結果均能符合規範之需求，且於 C20/25 開裂混凝土抗張試驗強度約為非開裂混凝土抗張試驗強度之 72%，由於混凝土開裂因數其抗張強度降低約 30%為合理之範圍。

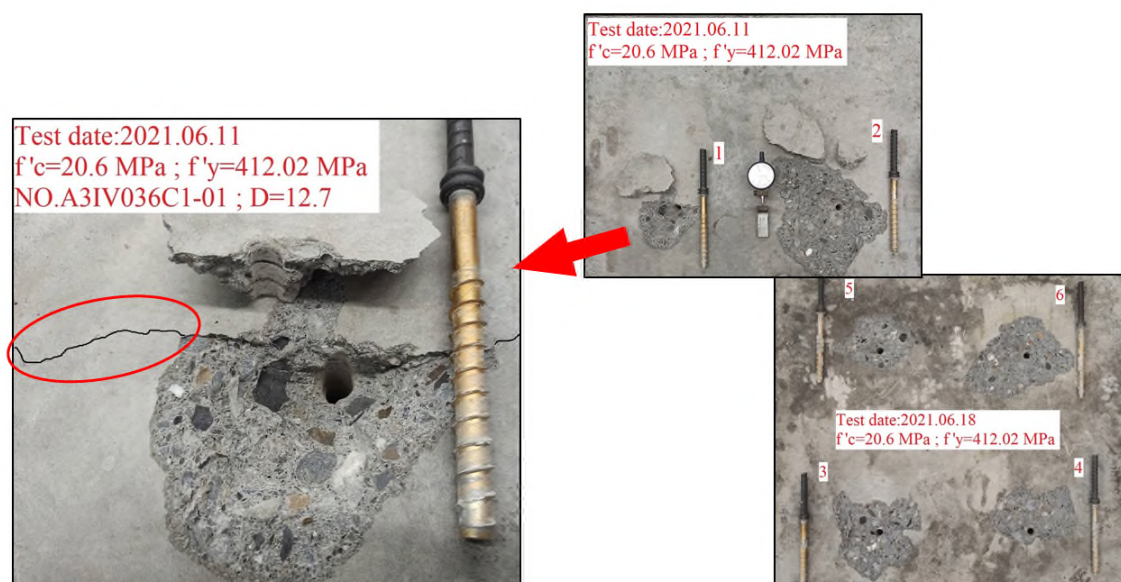


圖 4-23 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗照片



表 4-20 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張
試驗彙整表

EAD 330232 A3 C20/25 Unconfined Tension test results in cracked concrete (5 samples)

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5 N_u} (mm)	F.M	Concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions (mm)		
						Length	Width	Depth
A3IV036C1-01	61.730	3.581	0.896	CF	27.390	144	105	37.63
A3IV036C1-02	61.615	3.076	0.696			255	205	38.15
A3 V 021C1-03	58.098	3.491	0.591		23.337	210	200	36.61
A3 V 021C1-04	65.185	3.724	0.610			184	125	34.61
A3 V 021C1-05	56.987	3.373	0.374			240	155	37.01
Average	60.723	3.449	0.633					
Standard deviation	3.262	0.245	0.189					
Variation (%)	5.37	7.10	29.80					

Notes: CF = cone failure, $h_{nom} = 153$ mm, $h_{ef} = 123$ mm.

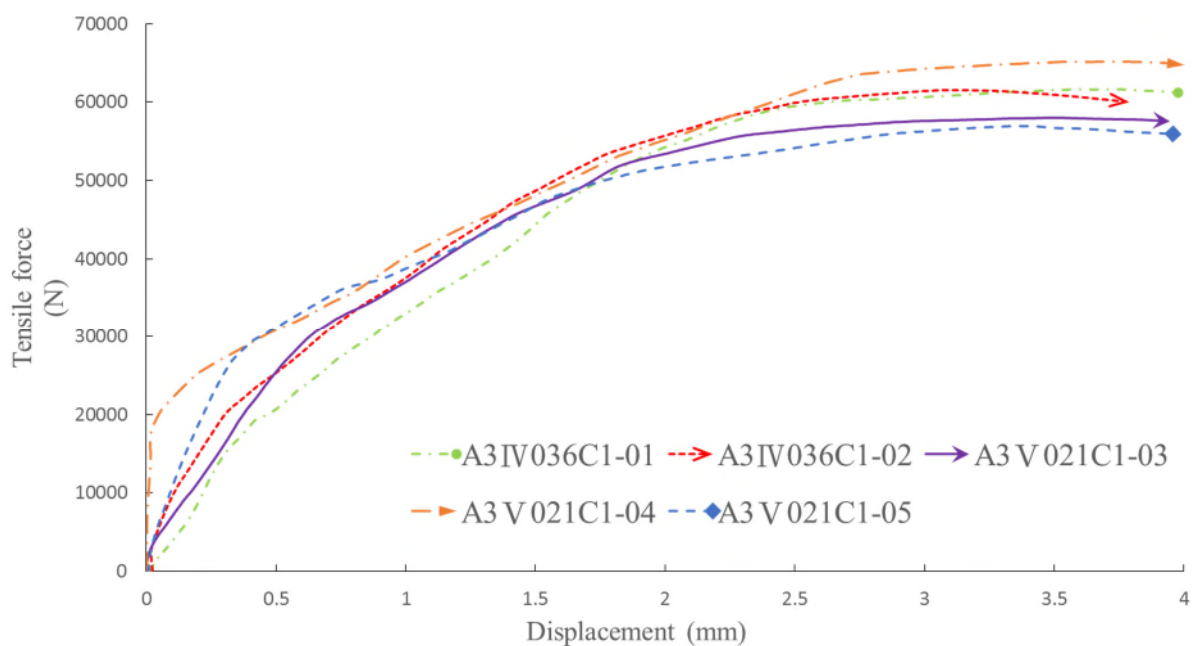


圖 4-24 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞)

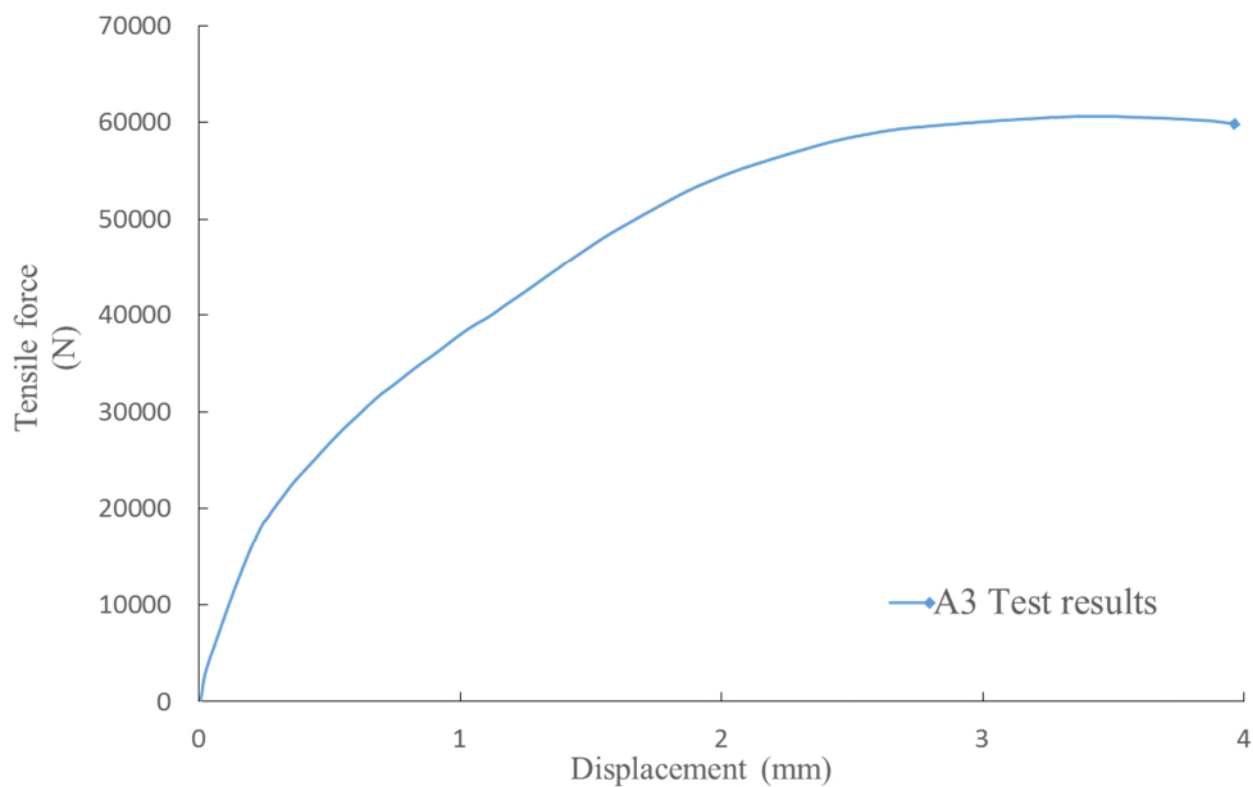


圖 4-25 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞)



表 4-21 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mmACI355.2 參考性 No.2 無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2 無束制抗張參考性 No.2 試驗評估分析結果

$$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}}$$

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5 %分位點決定之， $F_{5\%}$)。

$f_{c,m,i}$ = 混凝土平均標稱設計強度。

$f_{u,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度。(圓柱型試體)

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5 %分位點決定之， $F_{5\%}$)。

$f_{c,test}$ = 混凝土試驗構件平均強度。(於試驗時)

h_{ef} = 有效埋入深度。

Test program No.	A3
混凝土設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗塊強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	25.364
正歸化係數	0.901
特性強度 N_b (kN)	49.636
正歸化特性強度 N_p (kN)	44.722
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	123
k value	7.29



表 4-22 #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土植入深度 153mm 參考性 A3/2 無圍束抗張試驗分析彙整表

EAD 無束制抗張參考性試驗 90 % 信度特性強度評估結果(A3)

$$F_{5\%} = F_m(1 - Kv) = N_{Rk,0}$$

其中： $F_{5\%}$ = 初始特性抗張強度，由測試強度之 5 % 分位點決定之。

F_m = 平均抗張強度。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5， $K=3.40$ 。

v = 變異係數(%)。

Test program No.	A3
平均抗張強度 F_m (kN)	60.723
K	3.40
變異係數 v (%)	5.37
初始特性抗張強度 $F_{5\%}$ (kN)	49.636

EAD 330232 A3 無圍束抗張參考性試驗評估結果

$$F_{u,c} = F_{u,t} \cdot (f_{ck} / f_{c,t})^{0.5}$$

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,0} \cdot \min \alpha_p \cdot \min \left(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha_1} \right) \cdot \min \left(\frac{\alpha}{rqd \cdot \alpha} \right) \cdot \min \beta_{cv} \leq N_{Rk,c}^0$$

其中： $F_{u,t}$ = 初始抗張特性強度，由測試強度之 5 % 分位點決定之(試驗組)； $F_{u,c}$ = 初始正規化抗張特性強度(nominalized base upon concrete strength or batch influence)； $f_{c,t}$ = 試驗混凝土抗壓強度； f_{ck} = 標稱混凝土抗壓強度。

$N_{Rk,p}$ = 拉出破壞特性抗張強度； $N_{Rk,0}$ = 初始正規化抗張特性強度； α_p = 未執行反覆荷載，未帶入分析； α_1 = 未發生無法控制之滑脫現象，未帶入分析； $rqd \cdot \alpha_1$ = 於非開裂混凝土為 0.8，開裂混凝土為 0.7； α = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； $rqd \cdot \alpha$ = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； β_{cv} = 試驗結果變異係數小於 15 %，則無需折減，係數為 1.0。

Test program item No.	A3
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	25.364
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	49.636
初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	44.732
$rqd \cdot \alpha_1$	0.7
拉出破壞特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	31.312



4.2.6 #5 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 無開裂混凝土無束制抗張試驗

本研究執行#5 螺紋植筋錨栓一系列 C20/25 無開裂混凝土無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 4-26、表 4-23、圖 4-27 及圖 4-28，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 4-24 與表 4-25 中；採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 10.0，剛符合規範要求；另螺紋植筋錨栓於 C20/25 混凝土政規化拉破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 83.396kN 與 66.716kN，如束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。

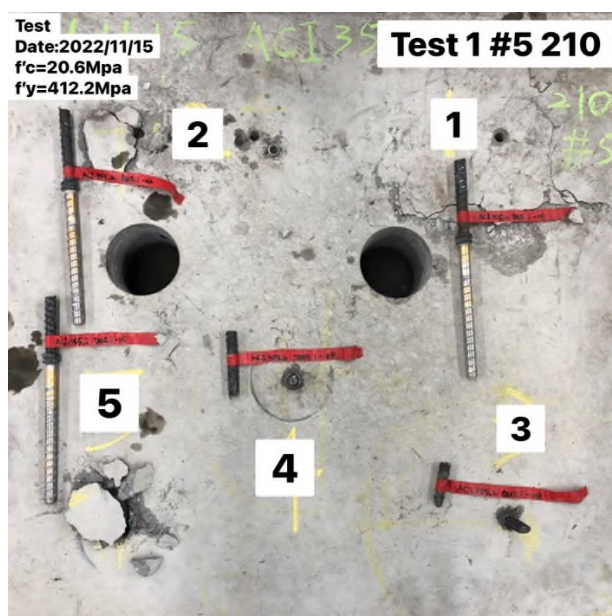


圖 4-26 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗照片



表 4-23 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗
張試驗彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5 Nu} (mm)	F.M.	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions (mm)		
						Length	width	Depth
1-01	133.802	6.827	0.357	CF	28.719	428	378	46.1
1-02	115.423	7.206	0.490			129	118	28.5
1-03	132.705	14.482	0.381	SF		--	--	--
1-04	136.883	6.039	0.296			--	--	--
1-05	123.514	4.039	-0.004	CF		152	121	26.5
Average	128.465	7.719	0.304					
Standard deviation	8.831	3.974	0.186					
Variation (%)	6.87	51.48	61.16					

Note: SF=steel failure, CF=cone failure, $h_{nom} = 201mm$, $h_{ef} = 150.5mm$.

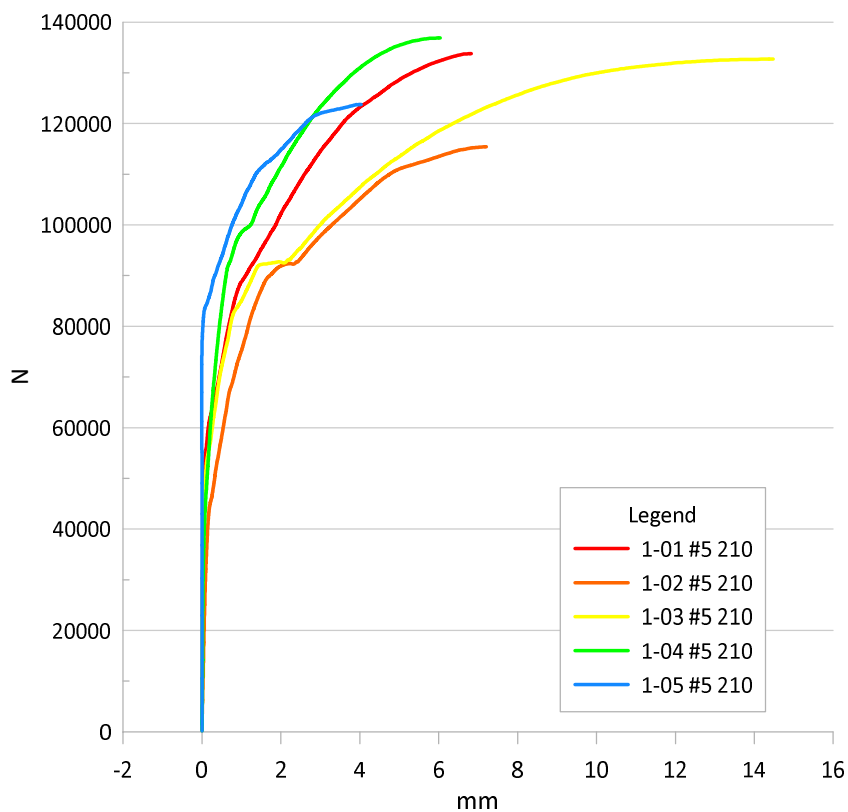


圖 4-27 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞)

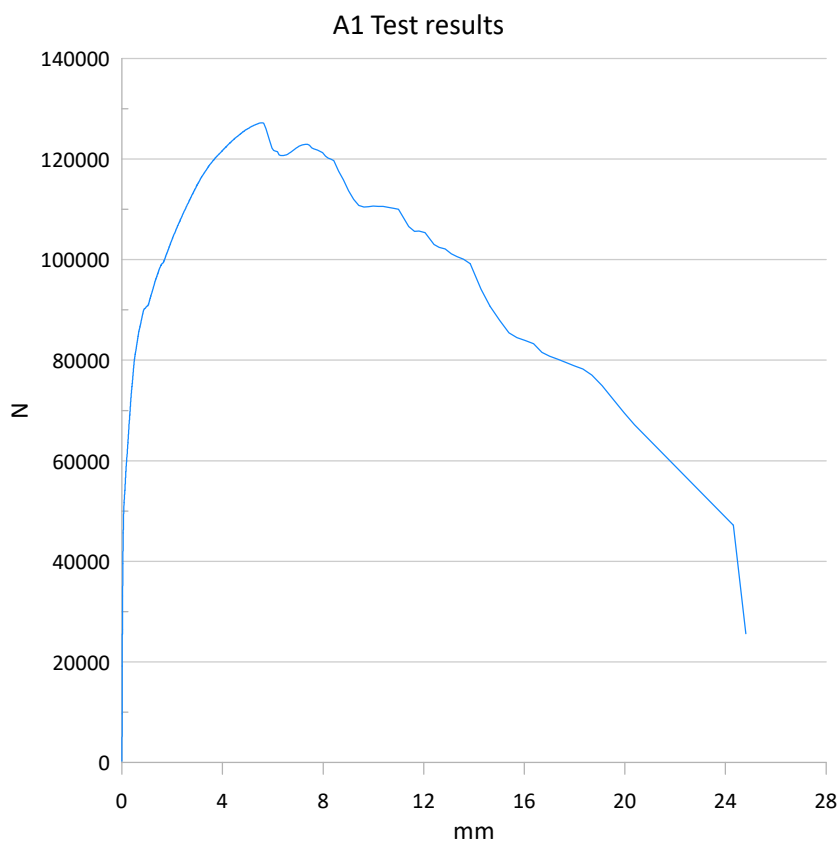


圖 4-28 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞)



表 4-24 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mmACI355.2 參考性 No.1 無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2 無束制抗張參考性 No.1 試驗評估分析結果

$$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5 %分位點決定之， $F_{5\%}$)。
 $f_{c,m,i}$ = 混凝土平均標稱設計強度。
 $f_{u,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度(圓柱型試體)。

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5 %分位點決定之， $F_{5\%}$)。
 $f_{c,test}$ = 混凝土試驗構件平均強度(於試驗時)，本分析同 $f_{u,test,i}$ 。
 h_{ef} = 有效埋入深度。

Test program No.	A1
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	28.729
正歸化係數	0.847
特性強度 N_b (kN)	98.460
正歸化特性強度 N_p (kN)	83.396
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	150.5
k value	10



表 4-25 #5 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A1/1 無圍束抗張試驗分析彙整表

EAD 無束制抗張參考性試驗 90 %信度特性強度評估結果(A1)

其中： $F_{5\%}$ = 初始特性抗張強度，由測試強度之 5 %分位點決定之。

F_m = 平均抗張強度。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量= 5， $K=3.40$ 。

v = 變異係數(%)。

Test program number	A1
平均抗張強度 F_m (kN)	128.467
K	3.40
變異係數 v (%)	6.87
原始特性抗張強度 $F_{5\%}$	98.460

EAD 330232 A1 無圍束抗張參考性試驗評估結果

其中： $F_{u,t}$ = 初始抗張特性強度，由測試強度之 5 %分位點決定之(試驗組)； $F_{u,c}$ = 初始正規化抗張特性強度(nominalized base upon concrete strength or batch influence)； $f_{c,t}$ = 試驗混凝土抗壓強度； $f_{c,k}$ = 標稱混凝土抗壓強度。

$N_{Rk,p}$ = 拉出破壞特性抗張強度； $N_{Rk,0}$ = 初始正規化抗張特性強度； α_p = 未執行反覆荷載，未帶入分析； α_1 = 未發生無法控制之滑脫現象，未帶入分析； $rqd.\alpha_1$ = 於非開裂混凝土為0.8，開裂混凝土為0.7； α = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； $rqd.\alpha$ = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； β_{cv} = 試驗結果變異係數小於15 %，則無需折減，係數為1.0。

Test program & Item	A1
特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	83.396
$rqd.\alpha_1$	0.8
評估特性強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	66.716



4.2.7 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 無束制抗張試驗

本研究執行#5 螺紋植筋錨栓一系列 C20/25 開裂混凝土無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 4-29、表 4-26、圖 4-30 及圖 4-31，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 4-27 與表 4-28 中；採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 6.324，小於 7，未能符合規範要求；另螺紋植筋錨栓於 C20/25 混凝土政規化拉破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 53.023kN 與 40.653kN，由以上數據顯示，此#5 螺紋植筋錨栓於 C20/25 開裂混凝土抗張試驗強度，依 EOTA 與 ACI 準則分析之結果未能完全符合規範之需求，且於 C20/25 開裂混凝土抗張試驗強度約為非開裂混凝土抗張試驗強度之 90.7%，由於混凝土開裂因數其抗張強度降低約 10%應為合理之範圍。

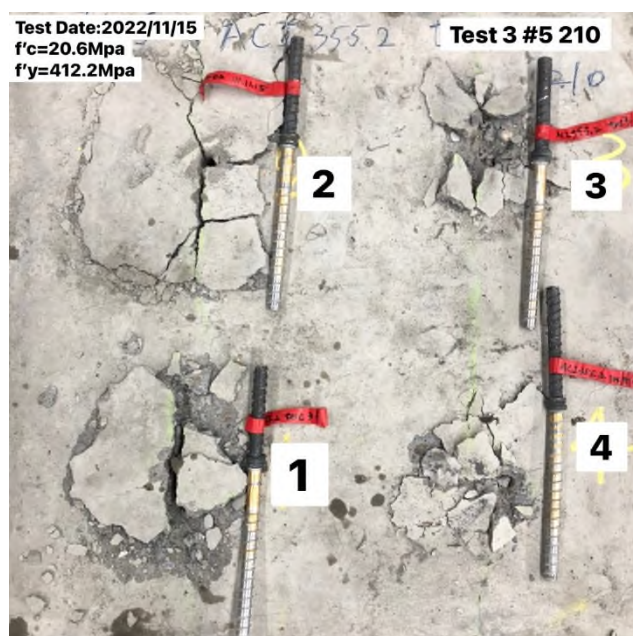


圖 4-29 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗照片



表 4-26 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張
試驗彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5} N _u (mm)	F.M.	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions (mm)		
						Length	width	Depth
3-01	98.358	4.214	0.603	CF	24.739	288	242	53.3
3-02	114.097	4.564	0.159			381	314	54.1
3-03	119.274	7.360	2.560			192	181	33.4
3-04	134.138	7.641	0.505			218	213	41.3
Average	116.467	5.945	0.957					
Standard deviation	14.761	1.806	1.086					
Variation (%)	12.67	30.38	113.47					

Note: SF=steel failure, CF=cone failure, $h_{nom} = 201mm$, $h_{ef} = 150.5mm$.

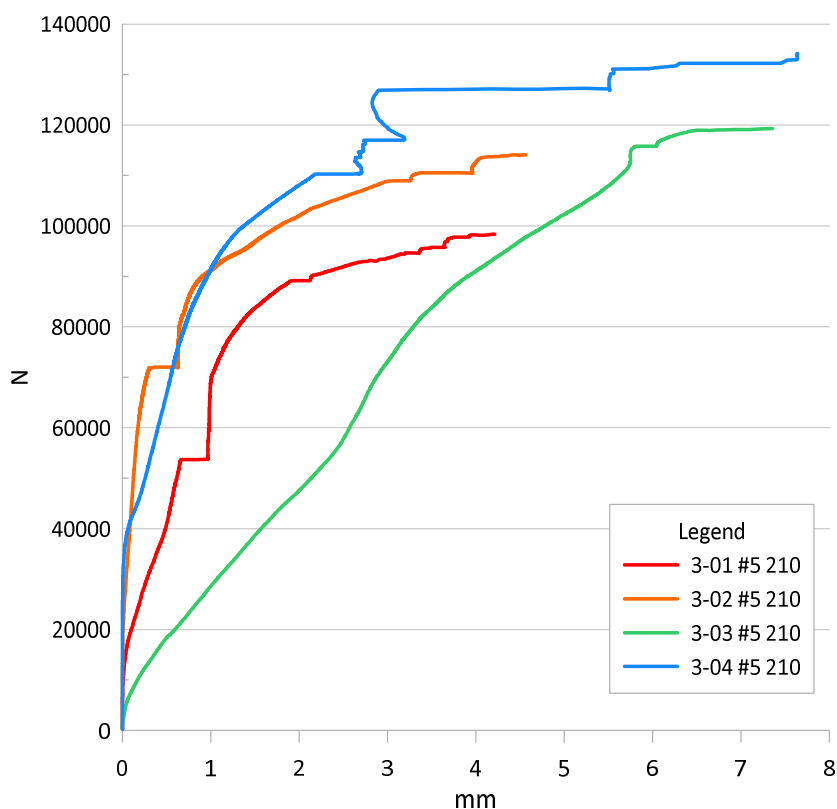


圖 4-30 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗拉力位移圖(拉出破壞)

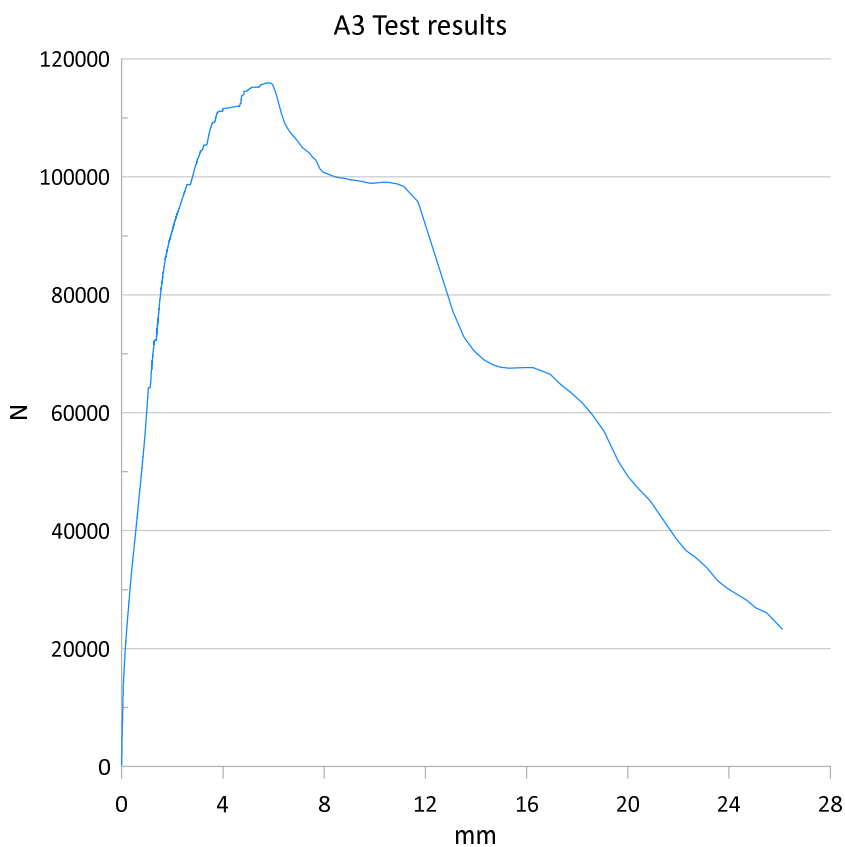


圖 4-31 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無束制抗張試驗代表性拉力位移圖(拉出破壞)



表 4-27 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mmACI355.2 參考性 No.2 無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2 無束制抗張參考性 No.2 試驗評估分析結果

$$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5 %分位點決定之， $F_{5\%}$)。

$f_{c,m,i}$ = 混凝土平均標稱設計強度。

$f_{u,test,i}$ = 混凝土試驗構件平均強度(圓柱型試體)。

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}}$$

其中： N_b = 初始特性抗張強度(由測試強度之5 %分位點決定之， $F_{5\%}$)。

$f_{c,test}$ = 混凝土試驗構件平均強度(於試驗時)，本分析同 $f_{u,test,i}$ 。

h_{ef} = 有效埋入深度。

Test program No.	A3
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	24.739
正歸化係數	0.913
特性強度 N_b (kN)	58.076
正歸化特性強度 N_p (kN)	53.023
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	150.500
k value	6.324



表 4-28 #5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm 參考性 A3/2 無圍束抗張試驗分析彙整表

EAD 無束制抗張參考性試驗 90 %信度特性強度評估結果(A3)

其中： $F_{5\%}$ = 初始特性抗張強度，由測試強度之 5 %分位點決定之。

F_m = 平均抗張強度。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5， $K=3.957$ 。

v = 變異係數(%)。

Test program number	A3
平均抗張強度 F_m (kN)	116.467
K	3.957
變異係數 v (%)	12.67
原始特性抗張強度 $F_{5\%}$	58.076

EAD 330232 A3 無圍束抗張參考性試驗評估結果

其中： $F_{u,t}$ = 初始抗張特性強度，由測試強度之 5 %分位點決定之(試驗組)； $F_{u,c}$ = 初始正規化抗張特性強度(nominalized base upon concrete strength or batch influence)； $f_{c,t}$ = 試驗混凝土抗壓強度； $f_{c,k}$ = 標稱混凝土抗壓強度。

$N_{Rk,p}$ = 拉出破壞特性抗張強度； $N_{Rk,0}$ = 初始正規化抗張特性強度； α_p = 未執行反覆荷載，未帶入分析； α_1 = 未發生無法控制之滑脫現象，未帶入分析； $rqd.\alpha_1$ = 於非開裂混凝土為 0.8，開裂混凝土為 0.7； α = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； $rqd.\alpha$ = 參考性試驗無此項目，未帶入分析； β_{cv} = 試驗結果變異係數小於 15 %，則無需折減，係數為 1.0。

Test program & Item	A3
特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	58.076
$rqd.\alpha_1$	0.7
評估特性強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	40.053



4.2.8 新式#5 螺紋植筋錨栓開發與初步試驗

計畫研究團隊自行開發之新型螺紋植筋錨栓設計圖已顯示於圖 3-4，研製之成品與採用手板安置於混凝土試驗塊則呈現於圖 4-32，為評估此新式#5 螺紋植筋錨栓工程特性，本研究先行已束制式抗張試驗評估此錨栓基本特性，試驗組裝如示圖 4-33，由試驗結果顯示該示生產之錨栓因太脆，於抗拉試驗過程中達 9 公噸時發生錨栓斷裂現象，現已進行製程修改作業，其試驗特性會於成果報告說明，並於結案報告中呈現。

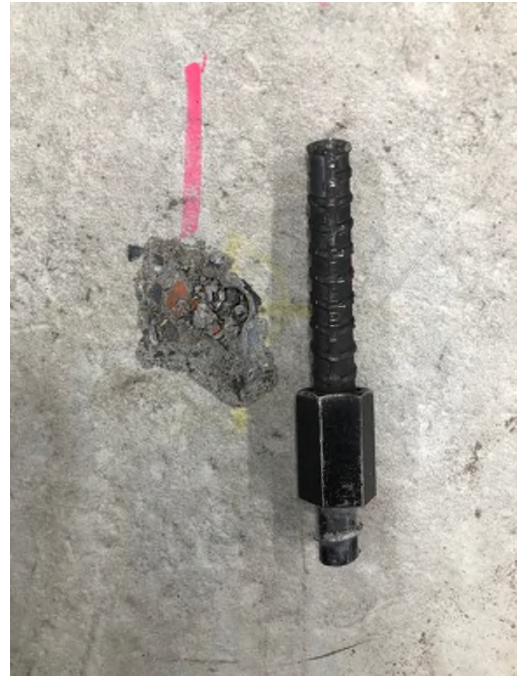


圖 4-32 新型#5 螺紋植筋錨栓成品與試驗後照片



圖 4-33 新型#5 螺紋植筋錨栓試驗組裝照片



(五) 結論與建議

近年水土保持局為確保我國丘陵地區坡地及河川流域之安全，已將損劣水土保持工程構造物補強與延壽對策列為重點工作項目，目前常用之工法包括鋼板包覆補強工法、鋼筋混凝土包覆補強工法、擴大基礎補強工法等，此三種補強工法均需採用適當聯結構件植入與錨栓於原混凝土構造物中，以完成該項補強工法，然此項聯結構件，目前以化學植筋錨栓為主，然此項工法之有效性高度仰賴混凝土鑽孔之清孔作業完整性，施工時溫度、混凝土鑽孔是否含水與潤濕狀態，且水平與倒置鑽孔亦容易產生垂流，以致使混凝土與錨固件錨固效果折減，對於混凝土構造物延壽工程作業成效會顯著降低，因此是否有適當材料與工法可具備相同功能，且可避免該項工法之缺點為工程界有興趣之議題。

本研究擬以螺紋植筋錨栓產品取代化學植筋錨栓，以避免化學植筋錨栓因需時間固化引起之二階段施工之不便利性，及降低化學植筋錨栓功效需仰賴較嚴格之施工過程及環境條件，以期望能提升水土保持混凝土構造物補強延壽功效，達到延長使用年效及改進其特性強度之目標。研究之材料包括二種螺紋植筋錨栓產品，其中一項產品為將傳統施工鋼筋與螺紋錨栓焊接為一體，一頭具備螺紋錨栓切削入混凝土功效，但其鋼筋段與螺紋錨栓段之焊接特性亦需加強分析；因此本研究計畫乃規劃開發新式螺紋錨栓，一端具有錨栓切削入混凝土功能，另一端製作為含內牙母頭，可與含外牙公頭鋼筋段相接，成為一組新型螺紋植筋。

本研究主旨在於研究與評估我國先前研發新型螺紋植筋錨栓及本研究團隊自行開發之新型螺紋植筋錨栓，是否可代替化學植筋應用於目前我國水土保持局混凝土構造物辦理補強與延壽作業之可行性研究。

5.1

本研究先行針對我國目前結構補強較為廣泛應用之#4 及#5 等號數鋼筋化學植筋之對應此二項螺紋植筋錨栓產品進行錨栓抗拉性能進行評估研究，並主要依美國混凝土學會（ACI）評估準則評定比對螺紋植筋錨栓與化學植筋錨栓之性能，以利確認此新型錨栓等同或優於化學錨栓性能，方可確保採用螺紋植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物補強延壽作業。歐盟 EOTA 評估準則也會參考應用於分析中。化學植筋特性研究將採用我國廠家生產之純環氧樹脂(植筋)化學植筋膠執行研究，於常溫(20~29 °C)養護(固化)時間約 18 小時。化學植筋試驗之鋼筋將採用東和鋼鐵生產之#4 及#5 (420 N/mm²)鋼筋。本研究主要採用低強度 210 kg/cm²之混凝土，高強度混凝土 350 kg/cm² 或 560 kg/cm²之混凝土會於後續研究在評估。重點研究結果摘要如下。



1. #4 及#5 化學植筋植入 C20/25 混凝土無開裂狀態混凝土圍束抗張試驗結果，依 ACI 及 EOTA EAD 評估準則分析其單位面積黏結強度分別為 12.562N/mm^2 及 12.178N/mm^2 ，其結果均大於規範要求強度 10N/mm^2 ，顯示此化學植筋符合美洲與歐洲規範之要求；但此
1. #4 及#5 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土試驗結果顯示，裂紋對抗張強度降低約為 35%至 45%，此植筋植入開裂混凝土單位面積黏結強度採二準則分析結果均無法滿足規範要求強度 10N/mm^2 ，此植筋錨栓是否於混凝土開裂狀態下符合規範需求需更完整試驗數據評估。
2. 由本研究執行#4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土束制抗張試驗結果顯示，螺紋植筋錨栓與混凝土界面之握裹強度採用 ACI355.4 與 EOTA EAD330499 評估準則分析，其強度分別為 18.342N/mm^2 與 11.257N/mm^2 ，該數值均大於 ACI 與 EOTA 規範要求值 10.0N/mm^2 ，顯示#4 螺紋植筋錨栓於無開裂 C20/25 混凝土之握裹強度均符合 ACI 與 EOTA 規範要求，具備適當握裹強度。
3. 由#4 螺紋植筋錨栓植入無開裂 C20/25 混凝土無束制抗張試驗結果顯示，採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 10.3，大於 10，符合規範要求，應可應用於補強用途；另螺紋植筋錨栓於 C20/25 混凝土政規化拉破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 64.401kN 與 51.525kN ，如束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。
4. 由#4 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土無束制抗張試驗結果顯示，採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 7.29，大於 7，符合規範要求；另螺紋植筋錨栓於 C20/25 混凝土政規化拉破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 44.722kN 與 46.633kN ，於 C20/25 開裂混凝土抗張試驗強度約為非開裂混凝土抗張試驗強度之 72%，由於混凝土開裂因數其抗張強度降低約 30%為合理之範圍。
5. 由#5 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 無開裂混凝土無束制抗張試驗結果顯示，採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 10.0，剛符合規範要求。
6. 由#5 螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 無束制抗張試驗結果顯示，採用 ACI355.2 評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 6.324，無法符合規範要求，需再行確認。
7. 綜合以上依 ACI 評估準則分析結果顯示，#4 螺紋植筋錨栓於無開裂 C20/25 混凝土具備適當握裹強度；且#4 及#5 螺紋植筋錨栓植入無開裂與開裂 C20/25 混凝土之拉出破壞強度大致符合 ACI 評估準則，應可適用於混凝土結構補強之應用。



(六) 參考文獻

1. ACI 318-19, 2019, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, ACI Committee 318, Detroit, Michigan.
2. ACI 355.2-19, 2019, Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete and Commentary, American Concrete Institute, ACI Committee 355, Detroit, Michigan.
3. ACI 355.4-19, 2019, Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary, American Concrete Institute, ACI Committee 355, Detroit, Michigan.
4. ASTM E488, 2018, Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements, American Standard of Tests and Material.
5. EN 1992-4, 2017, Eurocode 2: Design of concrete structures — Part 4: Design of fastenings for use in concrete, European Organization for Technical Assessment.
6. EOTA EAD 330087-00-0601, May 2016, Systems for Post-Installed Rebar Connections with Mortar, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
7. EOTA EAD 330232-00-0601, October 2016, Mechanical Fasteners for Use in Concrete, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
8. EOTA EAD 330499-00-0601, July 2016, Bonded Fasteners for Use in Concrete, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
9. EOTA EAD 330747-00-0601, May 2018, Fasteners for use in concrete for redundant non-structural systems, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
10. EOTA TR 023, November 2006, Assessment of post-installed rebar connections, European Organization for Technical Assessment, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
11. EOTA TR 048, August 2016, Details of test for post-installed fasteners in concrete”, European Organization for Technical Assessment, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
12. EOTA TR 049, August 2016, Post-installed fasteners in concrete under seismic action”, European Organization for Technical Assessment, European Organization for Technical Assessment, Brussels.
13. 行政院農業委員會水土保持局-延壽需求標準作業手冊與後續配套措施-2019。
14. 中國土木水利工程學會，混凝土與鋼材聯繫技術論壇，2017。
15. 中國土木水利工程學會，2014，「混凝土工程設計規範與解說(第 17 章)」。
16. 中國土木水利工程學會，2011，「混凝土工程設計規範與解說(土木 401-100)」。
17. 世鎧精密股份有限公司，2016，「Concrete Screw Anchors」電子型錄。



18. 喜得利(股)公司，2000，「安卡錨栓技術手冊」，台北。
19. CNS 560，2018，「鋼筋混凝土用鋼筋」，中華民國國家標準。
20. CNS 1230，2005，「試驗室混凝土試體製作及養護法」，中華民國國家標準。
21. CNS 1231，2005，「工地混凝土試體製作及養護法」，中華民國國家標準。
22. CNS 1232，2002，「混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法」，中華民國國家標準。
23. CNS 1238，2005，「混凝土鑽心試體及鉅切長條試體取樣法」，中華民國國家標準。
24. CNS 9211，2016，「壓縮試驗機」，中華民國國家標準。
25. CNS 11297，2005，「混凝土圓柱試體蓋平法」，中華民國國家標準。
26. WJE, 17TH Street Bridge Canopy Failure Investigation, Final Report, 2011, Atlanta, Georgia.
27. National Transportation Safety Board, 2007, Ceiling Collapse in the Interstate 90 Connector Tunnel Boston, Massachusetts, July 10, 2006, Highway Accident Report NTSB/HAR-07/02, Washington, DC.
28. Fischerwerke GmbH & Co. KG，2010，Technical Handbook International，Germany.