
**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 3 之 3-植筋
錨栓施工性改良與防砂壩壩頂磨蝕補強延
壽示範工程**

**The applications of Screw Rebar system to
rehab or extend the service life of Soil and
Water Conservation concrete structures 3**

**– Improve the work ability of the
developed screw anchor and conduct a
rehabilitation project for an existing
abraded check dam top surface**

(成果報告書)

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：113 年 02 月 17 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：謝啟萬 特聘級研究員

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 年 12 月

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 3 之 3-植筋錨栓施工性改良與防 砂壩壩頂磨蝕補強延壽示範工程

摘要

近年來經由補強與延壽之管理措施以延長水土保持構造物服務之年限，已為農村發展及水土保持署近年之重要工作方針。雖然黏結式化學植筋錨栓已廣泛應用於水土保持混凝土構造物之延壽與補強工法中，然此種聯結構件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溫狀態等施工品質良好性，因此本系列研究計畫之目標為研究發展一種新型螺紋錨栓植筋具備可取代黏結式化學植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物延壽修復工程，並具備結構功能性、經濟性、與良好施工性。

本研究於第一期計畫中雖已評估一種新型螺紋錨栓植筋，該型錨栓已具備足以取代黏結式化學植筋錨栓為劣化混凝土溝造物補強與延壽之性能，及可避免黏結式化學植筋錨栓因需時間固化引起二次施工不便利性，但因此錨栓較長，施工性較不方便；系列研究第二期計畫中，另規劃採用中碳鋼開發另一新式螺紋錨栓搭配一鋼筋植筋段，錨栓主體為螺桿，且前端具備可切削入混凝土功能之螺牙，另一端製作為 M24 六角型含內牙之母錨頭，可與含 M16 螺牙鋼筋段相接，兩段元件結合可成為一組新式螺紋錨栓植筋，然此新式螺紋錨栓植筋抗張強度指數 k-value 足以符合歐美規範，代表其錨固性能適當，但植

入較高強度混凝土對應之植入扭矩過高，施工便利性不佳，有修改設計與製程之需求。

本系列研究第三期計畫，已經數次修改此新式螺紋錨栓植筋螺牙與螺桿設計，及調整後續鋼質定性製程，降低錨栓植入混凝土施工時之扭矩，顯著改善研發錨栓施工性，並依歐美錨栓規範評定其可靠性與應用條件之性能，已規劃採用此修改之螺紋錨栓植筋應用於一或二件水土保持劣化混凝土結構物延壽整修工程中。

本期研究現階段修改 Type C 雛型螺紋錨栓，於 C35/43 混凝土束制性握裹(5)性能評定結果顯示，此錨栓之握裹強度達 15.758 N/mm^2 ，已大於規範需求值 14.5 N/mm^2 ；採用 ACI 355.2 評估分析結果顯示，此雛型螺紋植筋錨栓於 C20/25 及 C35/43 二種未開裂與開裂混凝土抗拉試驗 k-value 分別為 11.557 及 11.565 與 7.703 及 7.474，符合規範要求；此雛型錨栓植入 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土之平均扭矩約為至 102 N-m 至 132 N-m，顯示錨栓施作於混凝土時扭矩已顯著下降，符合施工基本需求。且本研究已經農村發展及水土保持署台南分署安排，規劃採用研發錨栓應用於屏東縣春日鄉力里橋力里溪上游野溪整治工程所屬攔砂壩整治工程中，將現有攔砂壩整治為梳子壩已有助溪流魚蝦生態復育工作，研究執行錨栓試作與抗拉試驗及混凝土鑽心取樣，錨栓試作顯示可順利植入現場混凝土壩體，再與整治鋼筋連結後灌製修復混凝土，也搭配現場漿砌石護面，完成此野溪修復工作。目前也規劃農村發展及水土保持署台南分署安排於高雄市大樹區野溪護岸及溪底整修延壽工程現場踏勘，期望該案可為明年試作案例。

由於目前研發製造錨栓螺牙段與錨頭段須經由數次車銷、鋼材硬化熱處理、切銷段硬化、及表面處理，造價成本高，應用上售價無法

與黏結式化學錨栓植筋競爭，為改善應用可行性，現已規劃採用鍛造製作錨件段，可顯著降低 CNC 切銷成本，另如採量產製作，方可有效與黏結式化學錨栓競爭，也為下期研究工作項目之一。

關鍵詞：螺紋錨栓、後置式錨栓、混凝土緊固件、性能評定、混凝土結構物補強



The applications of Screw Rebar system to rehab or extend the service life of Soil and Water Conservation concrete structures 3 – Improve the work ability of the developed screw anchor and conduct a rehabilitation project for an existing abraded check dam top surface

Abstract

The developed anchor in this part 3 research is a new type of M16 mechanical threaded anchor made of medium carbon steel. One end features an M16 metal threaded rod with a length of approximately 160 centimeters, while the other end contains an M24 internal threaded hexagonal nut anchor cap. This threaded anchor head end can be connected to a steel bar segment with corresponding M20 threads, forming a threaded anchor reinforcement #6 suitable for use in reinforced concrete structures. The length of the steel bar segment of this structural reinforcement component can be adjusted according to the reinforcement design requirements.

To ensure the engineering performance of this new threaded anchor, the research underwent multiple iterations of prototype design, performance testing, product modification, and performance confirmation during the development process. The initial production materials and processes of this product were confirmed, and the characteristics were assessed according to the American Concrete Institute (ACI) 355.2 and European Organization for Technical Approvals (EOTA) EAD330232

evaluation criteria.

Concrete strength tests in the study included C20/25 and C35/43. The evaluation results showed that this new threaded anchor implanted in C35/43 high-strength concrete had an interface bond strength of 15.758 N/mm², meeting the strength requirements of European and American evaluation standards. To ensure the applicability of this developed threaded anchor under diverse engineering conditions, earthquake and cracked concrete conditions were also evaluated. The results showed that the prototype anchor implanted in C20/25 and C35/43 concrete had tensile strength indices (k-values) of 11.557, 11.565, 7.703, and 7.477 for un-cracked and cracked concrete, respectively, all meet the requirements of the standards. This new type of threaded anchor for reinforcing concrete structures has the characteristic design strengths required for application in structural reinforcement related to tensile characteristic, thereby enhancing the effectiveness of concrete structure retrofitting application.

Based on the testing and evaluation results of these three prototype anchor reinforcements, the Type C prototype anchor already possesses the engineering performance required for un-cracked and cracked concrete in both low-strength C20/25 and high-strength C35/43. It also demonstrates adequate torque performance as the test anchor casting into concrete during installation. In addition, a test run project is planning to use this developed anchor system to rehab an existing soil and water conservation concrete structure in Pingtung County or Kaohsiung city,

Taiwan. After the test run project, a technical training seminar will be conducted to share the results of this study in order to introduce the new product to industry. Currently, to manufacture process for the develop screw anchor includes several steps of CNC Lathe, steel hardening, anchor head hardening, and surface treatment, etc. These manufacture process is costly. Forging anchor screw and head sections before CNC Lathing the entire screw anchor was proposed for next step research task. This manufacture process could significantly reduce the producing price and increase the compatibility of developed anchor in the construction industry.

Keywords: Screw Anchor, Post Installed Anchor, Concrete Fastener, Assessment, Performance Evaluation, Concrete Structural Retrofitting.



目次

摘要.....	I
Abstract.....	IV
目次.....	VII
表次.....	VIII
圖次.....	XI
第一章 緒論	1-1
第一節 背景	1-1
第二節 研究目標	1-12
第二章 研究工作與方法步驟	2-1
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 錨栓設計與製程修改	3-1
第二節 修改後錨栓參考性能試驗與評定	3-2
第三節 示範工程與應用經驗分享說明會規畫	3-31
第四節 錨件段採鍛造製程降低製作成本研發	3-36
第四章 結論與建議	4-1
第一節 結論	4-2
第二節 建議	4-5
參考文獻.....	參-1

表次

表 1-1 ACI 355.2 TABLE 4.1B 機械式後置式錨栓應用於開裂與非開裂 混凝土評估試驗表	1-15
續表 1-1 ACI 355.2 TABLE 4.1B 機械式後置式錨栓應用於開裂與非開 裂混凝土評估試驗表	1-16
表 3-1 試驗用混凝土配比設計表	3-3
表 3-2 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 未開裂混凝 土參考性抗張試驗一覽表	3-7
表 3-3 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂混凝土參考性 抗張試驗(1/A1)分析計算	3-8
表 3-4 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土參考性 抗張試驗(2/A2)分析計算	3-8
表 3-5 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土 參考性抗張試驗一覽表	3-11
表 3-6 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土參考性抗 張試驗 3/A3 分析計算	3-11
續表 3-6 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土參考性 抗張試驗 3/A3 分析計算	3-12
表 3-7 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 開裂混凝土參考性抗 張試驗(4/A4)分析計算	3-12
表 3-8 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 未開裂混凝 土參考性抗張試驗一覽表	3-15
表 3-9 TYPE B 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 非開裂混凝土參考性抗張試 驗(1/A1)分析計算	3-15

表 3-10 TYPE B 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 非開裂混凝土(2/A2)參考性抗張試驗分析計算	3-16
表 3-11 TYPE B M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土參考束制性握裹(5/A5)性能試驗一覽表.....	3-18
表 3-12 TYPE B 植入 C35/43 未開裂混凝土參考束制性握裹(5/A5)性能試驗評定分析計算	3-18
表 3-13 TYPE C M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土參考束制性握裹性能試驗一覽表	3-21
表 3-14 TYPE C 植入 C35/43 非開裂混凝土(5/A5)參考束制性握裹性能試驗分析計算	3-21
表 3-15 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 未開裂混凝土參考性抗張試驗一覽表	3-25
表 3-16 TYPE C 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 非開裂混凝土參考性抗張試驗(1/A1)分析計算.....	3-25
續表 3-16 TYPE C 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 非開裂混凝土參考性抗張試驗(1/A1)分析計算.....	3-26
表 3-17 TYPE C 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 非開裂混凝土參考性抗張試驗(2/A2)分析計算.....	3-26
表 3-18 TYPE A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土參考性抗張試驗一覽表	3-29
表 3-19 TYPE 錨栓植入 C20/25 開裂混凝土(3/A3) 參考性抗張試驗分析計算.....	3-29
續表 3-19 TYPE 錨栓植入 C20/25 開裂混凝土(3/A3) 參考性抗張試驗分析計算.....	3-30

表 3-20 TYPE C 植入 C35/43 開裂混凝土參考性抗張試驗(4/A4)分析 計算.....	3-30
---	------



圖次

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)	1-2
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)	1-3
圖 1-3 RC 包覆補強示意圖 (水土保持局, 2019)	1-4
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)	1-4
圖 1-5 防砂壩基腳擴大補強示意圖 (水土保持局, 2019)	1-4
圖 1-6 物理性地質改良工法示意圖 (水土保持局, 2019)	1-5
圖 1-7 化學植筋錨栓的施作與承載因素	1-5
圖 1-8 化學植筋錨栓常見施工問題	1-6
圖 1-9 野溪混凝土防砂壩部份損劣案例	1-7
圖 1-10-A 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例	1-7
圖 1-10-B 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例	1-7
圖 1-11 台灣化學植筋錨栓應用現況	1-8
圖 1-12 試驗用#4 新型螺紋植筋錨栓基本資料	1-9
圖 1-13-A 螺紋植筋錨栓日本專利證書	1-10
圖 1-13-B 螺紋植筋錨栓中國專利證書	1-10
圖 1-13-C 螺紋植筋錨栓德國專利證書	1-10
圖 1-13-D 螺紋植筋錨栓中華民國專利證書	1-10
圖 1-14 不同鋼筋段長度之新型螺紋植筋錨栓	1-11
圖 1-15 新型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	1-11
圖 1-16 新式螺紋植筋錨栓設計圖	1-14

圖 1-17 以 ACI 355.2 為本研究評定法.....	1-14
圖 2-1 本研究之實施步驟流程圖	2-3
圖 3-1 修改設計及鋼質調整後之螺牙錨栓照片	3-1
圖 3-2 C20/25 混凝土齡期與抗壓強度對應關係及線性回歸線	3-4
圖 3-3 C35/43 混凝土齡期與抗壓強度對應關係及線性回歸線	3-4
圖 3-4 TYPE A 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗照片	3-6
圖 3-5 TYPE A 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗照片	3-6
圖 3-6 TYPE A 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗力量位移圖	3-7
圖 3-7 TYPE A 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗執行力量位移圖	3-7
圖 3-8 TYPE A 錨栓植入 C 20/25 開裂混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗照片	3-10
圖 3-9 TYPE A 錨栓植入 C 35/43 開裂混凝土(4/A4) 非束制抗張試驗照片	3-10
圖 3-10 TYPE A 錨栓植入 C 20/25 開裂混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗力量位移圖	3-10
圖 3-11 TYPE A 錨栓植入 C 35/43 開裂混凝土(4/A4) 非束制抗張試驗力量位移圖	3-10
圖 3-12 TYPE B 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗照片	3-14
圖 3-13 TYPE B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗照片	3-14

圖 3-14 TYPE B 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗力量位移圖	3-14
圖 3-15 TYPE B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗力量位移圖	3-14
圖 3-16 TYPE B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5) 參考束制性握裹性能試驗照片	3-17
圖 3-17 TYPE B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5) 參考束制性握裹性能試驗力量位移圖	3-17
圖 3-18 TYPE C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5)參考束制性握裹性能試驗照片	3-20
圖 3-19 TYPE C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5)參考束制性握裹性能試驗力量位移圖	3-20
圖 3-20 TYPE C 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗照片	3-23
圖 3-21 TYPE C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗照片	3-24
圖 3-22 TYPE C 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗執力量位移圖	3-24
圖 3-23 TYPE C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗力量位移圖	3-24
圖 3-24 TYPE C 錨栓植入 C 20/25 開裂混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗照片	3-28
圖 3-25 TYPE C 錨栓植入 C 35/43 開裂混凝土(4/A4) 非束制抗張試驗照片	3-28

圖 3-26 TYPE C 錨栓植入 C 20/25 開裂混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗 力量位移圖.....	3-28
圖 3-27 TYPE C 錨栓植入 C 35/43 開裂混凝土(4/A4) 非束制抗張試驗 力量位移圖.....	3-28
圖 3-28A 錨栓現場試作照片 A.....	3-33
圖 3-28B 錨栓現場試作照片 B.....	3-33
圖 3-29 屏東縣春日鄉力里溪攔砂壩生態整治為梳子壩工程現況	3-33
圖 30A 以扭力扳手將螺紋錨栓植入攔砂壩體中	3-34
圖 30B 植入壩體螺紋錨栓可供與延壽補強鋼筋連結用	3-34
圖 31 植入壩體螺紋錨栓與延壽補強鋼筋連結於灌製混凝土前照片	3-34
圖 32A 螺紋錨栓應用於力里溪攔砂壩生態延壽整治工程混凝土灌漿 前照片	3-35
圖 32B 螺紋錨栓應用於力里溪攔砂壩生態延壽整治工程混凝土灌漿 後照片	3-35
圖 3-33A 高雄市大樹區野溪整治右岸年久失修及溪底沖刷待維護現 址照片 A.....	3-35
圖 3-33B 高雄市大樹區野溪整治右岸年久失修及溪底沖刷待維護現 址照片 B.....	3-35
圖 3-34 螺紋錨栓鍛造機台照片	3-37
圖 3-35 螺紋錨栓鍛造模具草圖	3-37
圖 3-36 經鍛造機壓製完成之螺紋錨栓初步形狀.....	3-37

第一章 緒論

第一節 背景

農村發展及水土保持署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損或劣化，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（農村發展及水土保持署，2019）。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”（農村發展及水土保持署，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。

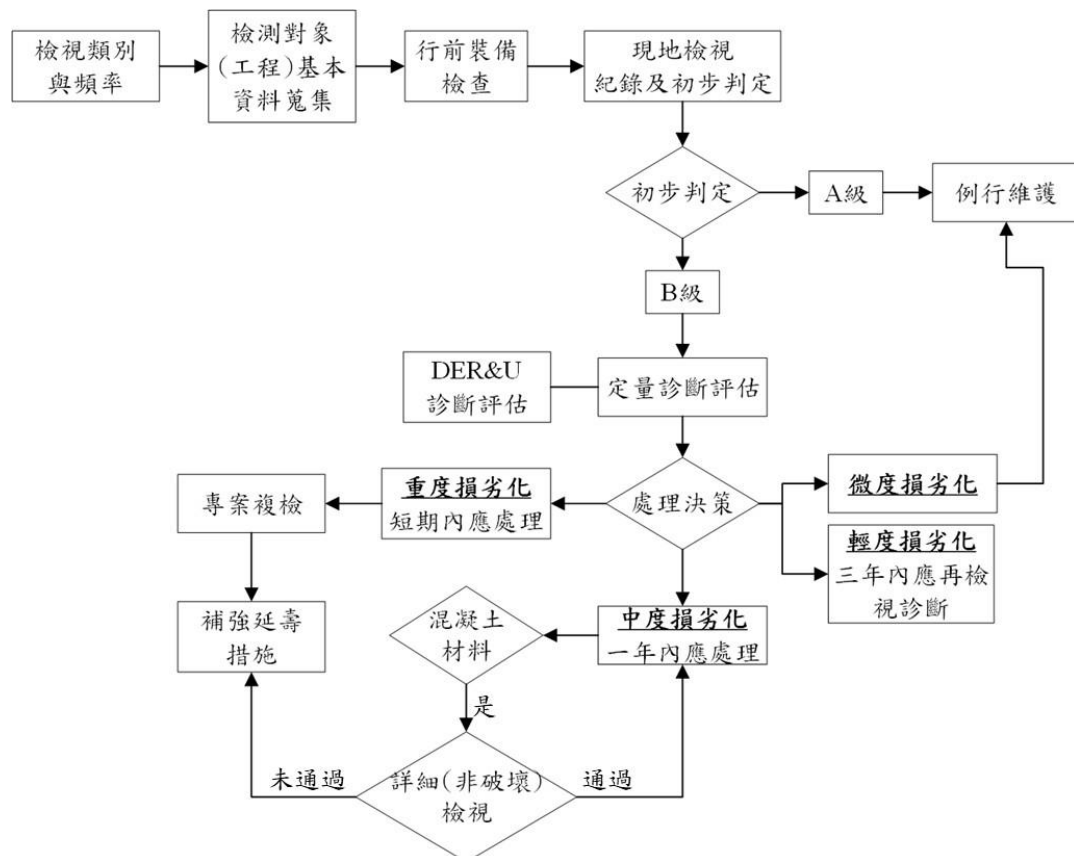


圖 1-1 水土保持主要防砂工程構造物辦理補強延壽之標準作業流程（水土保持局，2019）

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，為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，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。

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黏結性植筋膠為主，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溫狀態，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。

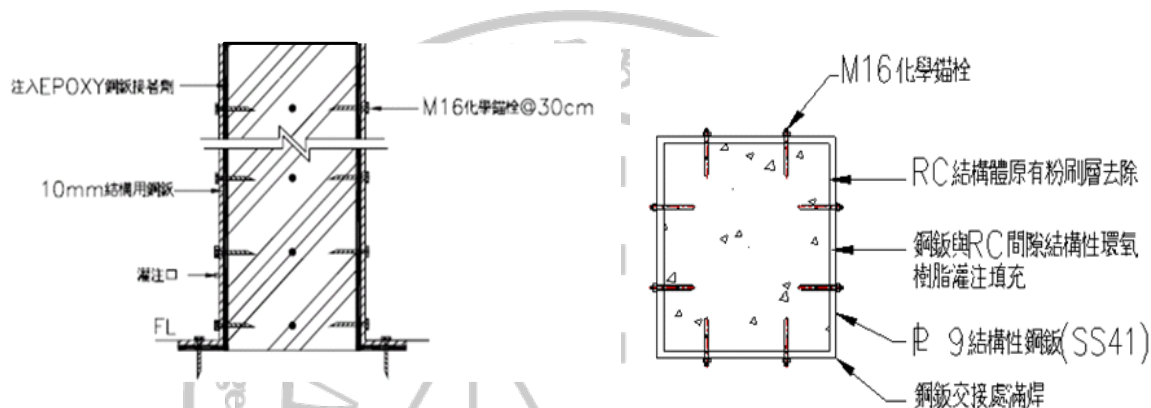


圖 1-2 鋼板包覆補強應用於梳子壩壩柱之示意圖

（水土保持局，2019）

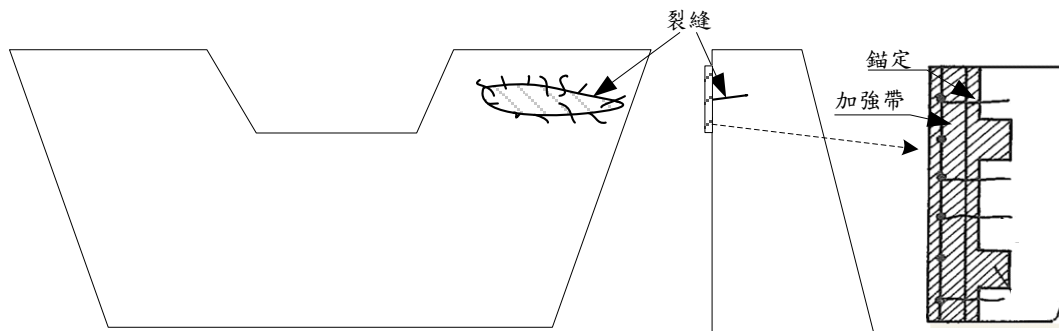


圖 1-3 RC 包覆補強示意圖（水土保持局，2019）

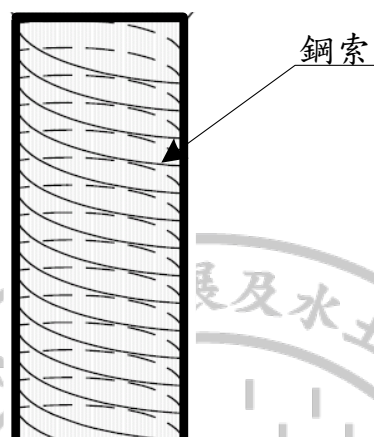


圖 1-4 鋼索圍束應用於梳子壩壩柱之示意圖
（水土保持局，2019）

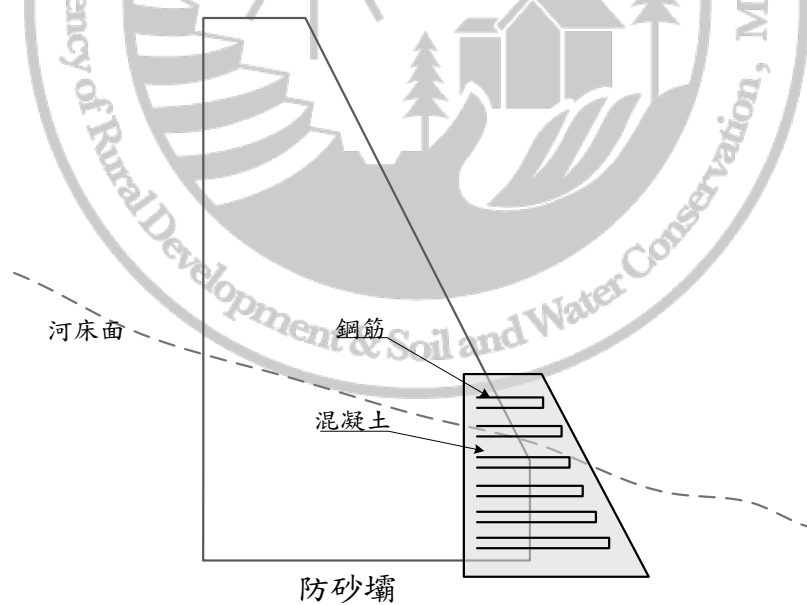


圖 1-5 防砂壩基腳擴大補強示意圖（水土保持局，2019）

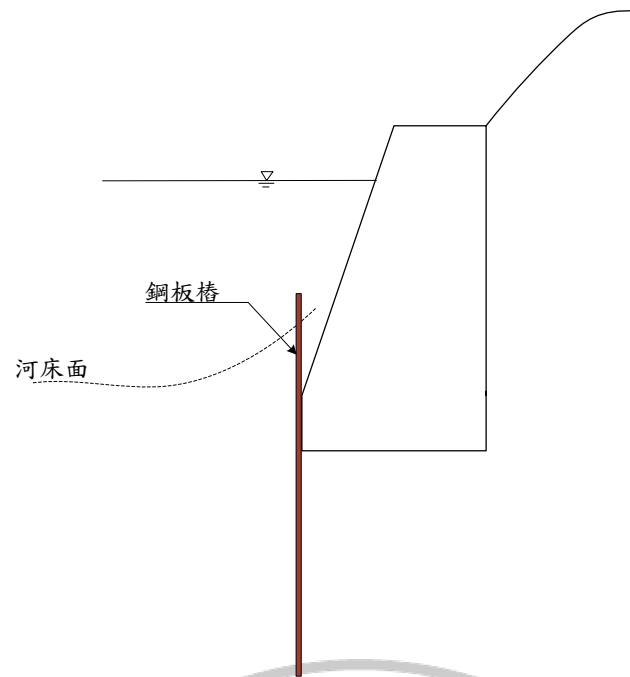


圖 1-6 物理性地質改良工法示意圖（水土保持局，2019）



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，中國土木工程

圖 1-8 化學植筋錨栓常見施工問題

由水土保持手冊工程篇以詳實說明防砂壩可用於攔蓄及調節溪流土砂，減緩溪床坡度，穩定流心、防止侵蝕、崩塌或抑止土石流之橫向阻水構造物，為野溪控制土砂流失與生產最主要工法。然防砂壩於應用期間為避免溢流口磨損或破壞，可採用高強度混凝土、花崗石、廢棄輪胎等材料保護，然於應用期間因土砂沖擊常會造成混凝土防砂壩損劣，如示圖 1-9，雖然部分損劣之混凝土防砂壩採取鋼板補強延壽作業，但因鋼板採不同機制固定於現有混凝土結構物上，由於野溪於洪水來臨時，水流帶動之土石衝擊性太大，鋼板無法有效固定於現有混凝土構造物上，也常出現補強鋼板破損情形(如示圖 1-10)，找尋適當快速補強破損混凝土防砂壩壩頂破損乃為當前維護水土保持工程構造物重要任務。



南投信義鄉-阿里不動溪



南投縣仁愛鄉-光復野溪



南投縣仁愛鄉-光復野溪



曾文水庫福山壩

圖 1-9 野溪混凝土防砂壩部份損劣案例



台中東勢雪山坑溪壩頂鋼版破損實況

圖 1-10-a 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例

圖 1-10-b 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例

由以上敘述黏結性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 1-11），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 1-11 台灣化學植筋錨栓應用現況

圖 1-12 所示為新型#4 螺紋錨栓植筋，此項產品目前已具備日本、中國、德國及我國等新型專利證書（如示圖 1-13），由圖 1-12 上顯示，此錨栓一端為螺紋錨栓，螺紋錨栓前端為切削端，螺牙可依需求而設計，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，鋼筋段亦可依需求而調整長短（如示圖 1-14），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旋轉切削植入混凝土中，即可產生適當抗拉強度，需露出混凝土之鋼筋端（如示圖 1-15），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。且此種新型螺紋錨栓植筋，其鋼筋段與螺紋錨栓段採磨擦焊接方式結合為一體，該銲接處的性能穩定性有不確定可能，也為此項產品需加強分析之項目。

Unit : mm

Size	Anchor length, L	Without thread, L1	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

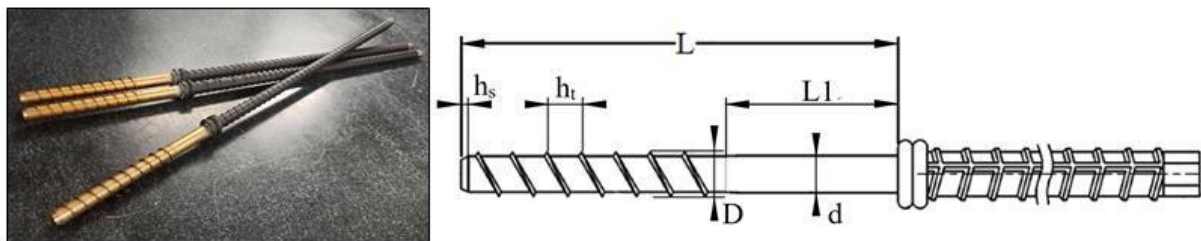


圖 1-12 試驗用#4 新型螺紋植筋錨栓基本資料

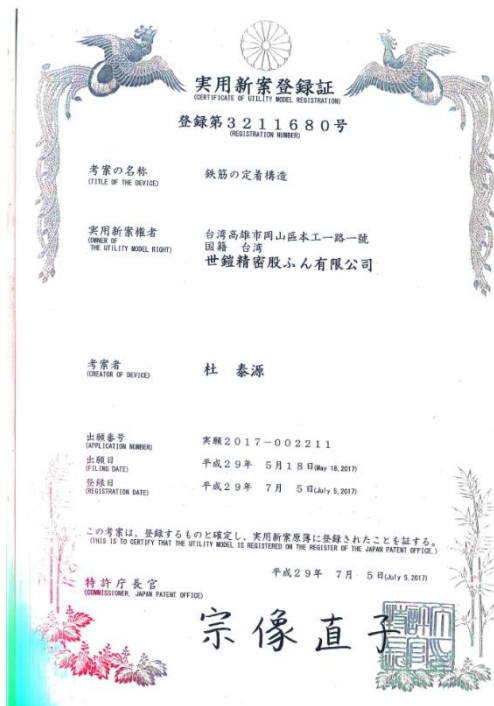


圖 1-13-a 螺紋植筋錨栓
日本專利證書

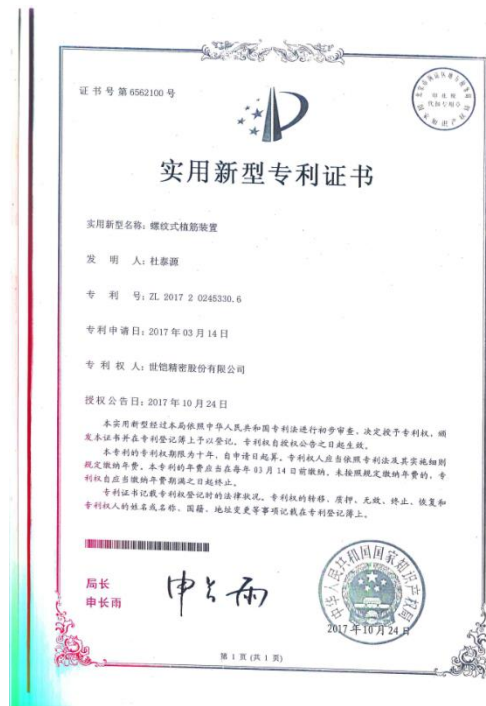


圖 1-13-b 螺紋植筋錨栓
中國專利證書



圖 1-13-c 螺紋植筋錨栓
德國專利證書



圖 1-13-d 螺紋植筋錨栓
中華民國專利證書



圖 1-14 不同鋼筋段長度之新型螺紋植筋錨栓



- 螺紋錨栓與建築用鋼筋高速熔接製成。
- 熔接處可能為結構之弱面。
- 焊接鋼筋長度可客製化製作。
- 螺紋錨栓尺寸與鋼筋號數對應。
- 室外應用可採用不銹鋼材質錨栓。



圖片來源：世鎡精密股份有限公司，2017

圖 1-15 新型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

第二節 研究目標

黏結性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，然化學植筋之功效除須仰賴良好施工外，另需較長養固時間及有二次施工之需求，間接增加施工之成本，因此研發經濟有效適當材料或元件，能以更快速有效施工方式，進行混凝土結構物補強延壽工法，將更有助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，研發過程中材料之施工便利性與經濟性亦為研發之重要環節。因此本系列研究計畫之目標為研究發展一種新型螺紋植筋錨栓具備可取代化學植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物延壽工程，並具備結構功能性、經濟性、與良好施工性。

本研究前二年期計畫，本研究於第一期計畫中已評估了解此二種新型螺紋植筋錨栓已具備足以取代化學植筋錨栓為劣化混凝土構造物補強與延壽之性能，及可避免化學植筋錨栓因需時間固化引起二次施工不便利性，及需仰賴較嚴格之施工過程及環境條件；雖了解此新型螺紋錨栓植筋具備適當補強延壽性能，然也發現其螺桿與鋼筋銲接處問題，因此於系列研究第二期計畫中，另規劃採用中碳鋼開發另一新式螺紋錨栓植筋，錨栓主體為螺桿，且前端具備可切削入混凝土功能之螺牙，另一端製作為 M24 六角型含內牙之母錨頭，可與含外牙公頭鋼筋段相接，兩段元件結合可成為一組新式螺紋錨栓植筋，如示圖 1-16，經數次修改新式螺紋錨栓植筋設計，且已執行此種螺紋植筋錨栓之參考性工程特性之評定，然水土保持工程構造物使用年限均很長，仍需依 ACI 評定規範 355.2(如圖 1-17)更完整評估其於使用生命週期之工程特性，如可靠性(Reliability tests)與服務條件(Service-condition tests)性評估試驗項目(如表 1-1)，經試驗已證明此錨栓螺牙

與螺桿段與植入之混凝土具備適當握裹性能，可提供符合歐美規範之抗張強度 k -value 指數，含內牙 M24 六角錨頭也可有效與鋼筋接合，提供與補強鋼筋搭接之功效，此新式螺紋錨栓植筋也成功應用於一件水土保持混凝土護岸基礎掏空補強延壽示範工程，然於此年度研究試驗與此示範工程施作中，發覺此新式螺紋錨栓植筋植入較高強度混凝土對應之植入扭矩有時高於 200N-m，或有超過 300N-m 的情況，施工便利性不佳，此新式螺紋錨栓植筋之螺牙與螺桿設計有修改之需求，乃為本期計畫此錨栓應用於混凝土結構物延壽工程重要步驟，且防砂壩壩頂磨蝕亦為水土保持混凝土構造物常見災害，研發之新式螺紋錨栓植筋是否可有效應用於此系列劣化混凝土構造物補強延壽工程，實有必要經由示範工程以確定其補強延壽之功效，因此本系列研究第三期計畫，擬以修改此新式螺紋錨栓植筋螺牙與螺桿設計，及調整後續鋼質定性製程，為改善其施工特性為主要目標項目，降低其植入施工時之扭矩低於 120N-m，並以至二件防砂壩壩頂磨蝕劣化案例，採用此新式螺紋錨栓植筋應用於補強延壽功能上，在進一步依歐美規範評定其可靠性與應用條件之性能。

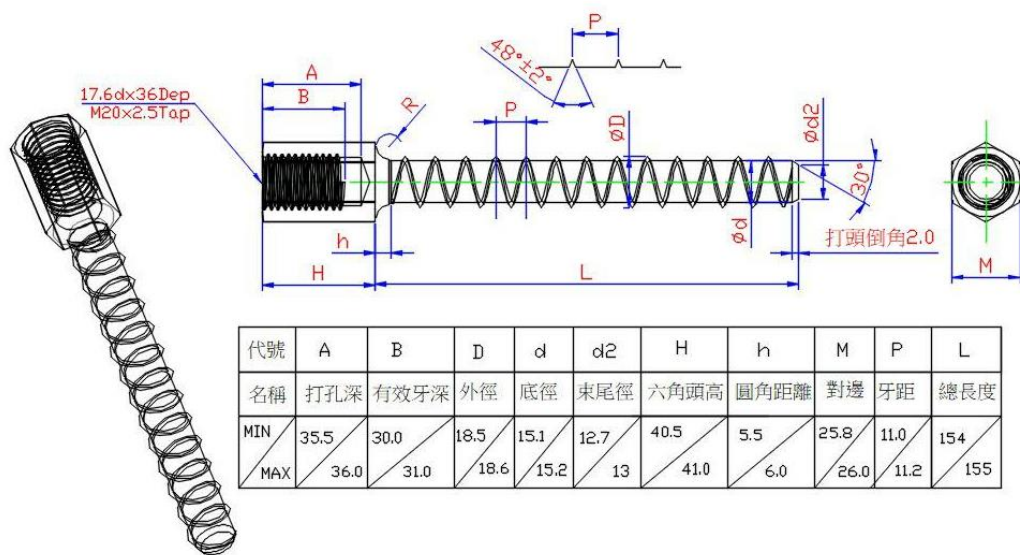


圖 1-16 新式螺紋植筋錨栓設計圖

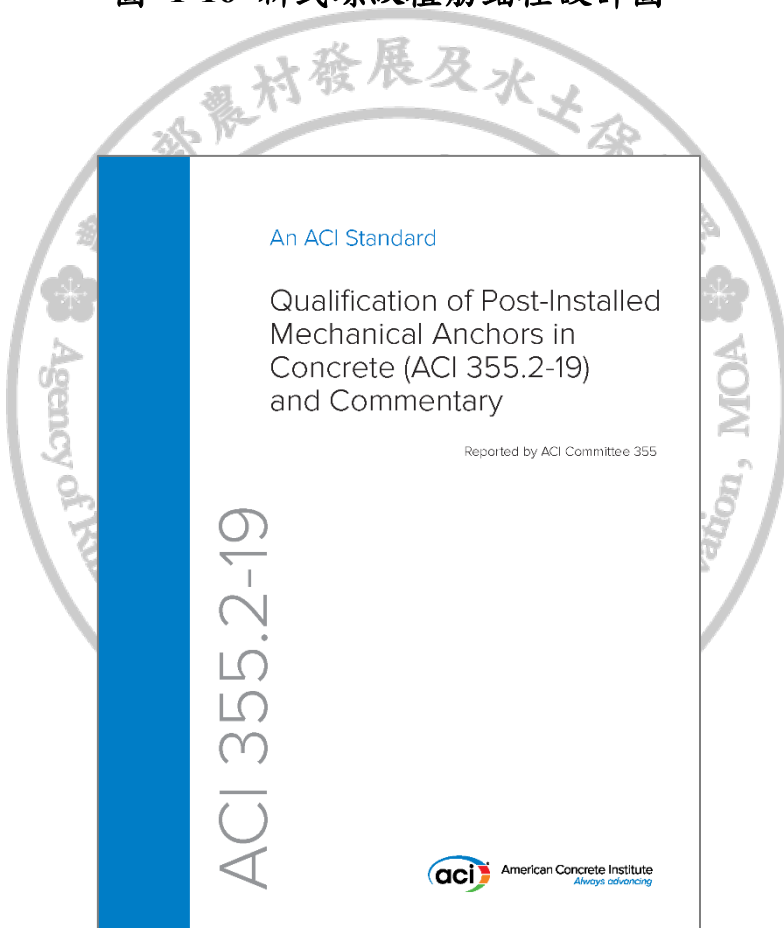


圖 1-17 以 ACI 355.2 為本研究評定法

**表 1-1 ACI 355.2 Table 4.1b 機械式後置式錨栓應用於開裂與非開裂
混凝土評估試驗表**

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

Test Number	Reference	Purpose	Description	Crack opening width, in. (mm)	Concrete strength	Member thickness	Drill bit diameter	Minimum sample size* n
Reference tests								
1	7.2.1	Reference test in uncracked low-strength concrete	Tension – single anchor with no edge influence	—	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
2	7.2.1	Reference test in uncracked high-strength concrete	Tension – single anchor with no edge influence	—	High	$\geq h_{min}$	d_m	5
3	7.2.1	Reference test in cracked low-strength concrete	Tension – single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
4	7.2.1	Reference test in cracked high-strength concrete	Tension – single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	High	$\geq h_{min}$	d_m	5
5	7.2.2	Reference test for screw anchors— Confined test in uncracked high-strength concrete	Confined tension – single anchor away from edges	—	High	$\geq h_{min}$	d_m	5†‡
Reliability tests								
6	8.2	Sensitivity to reduced installation effort	Tension – single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	Varies with anchor type	$\geq h_{min}$	$d_{m\S}$	5
7	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
8	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
9	8.6	Tests 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	$\geq h_{min}$	$d_{max\#}$	5
10	8.5	Reliability of screw anchors under repeated load	Repeated tension – single anchor away from edges, residual capacity	—	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
11	8.7	Reliability of screw anchors against brittle failure	Embrittlement test – single anchor away from edges	—	High	$\geq h_{min}$	d_m	5†‡
12	8.8.2	Reliability of screw anchors if set with impact screwdriver	Setting test – single anchor away from edges	—	Low	$\geq h_{min}$	d_{max}	15
13	8.8.3	Reliability of screw anchors if set with a torque wrench in low-strength concrete	Setting test – single anchor away from edges	—	Low	$\geq h_{min}$	d_{max}	10
14	8.8.4	Reliability of screw anchors if set with a torque wrench in high-strength concrete	Setting test – single anchor away from edges	—	High	$\geq h_{min}$	d_{min}	10
Service-condition tests								
15	9.2	Verification of full concrete capacity in corner with two edges located at $1.5h_{ef}$	Tension-single anchor with two edges located at $1.5h_{ef}$	—	Low	h_{min}	d_m	4
16	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
17	9.4	Shear capacity of anchor steel¶	Shear-single anchor with no edge influence	0.012 (0.3)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5

**續表 1-1 ACI 355.2 Table 4.1b 機械式後置式錨栓應用於開裂與非開
裂混凝土評估試驗表**

18**	9.5	Seismic tension	Pulsating tension, single anchor, with no edge influence	0.020 (0.5)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
19**	9.6	Seismic shear	Alternating shear, single anchor, with no edge influence	0.020 (0.5)	Low	$\geq h_{min}$	d_m	5
20**	9.7	Torque test (Optional)	Effect of torque on anchor tension force	—	High	$\geq h_{min}$	d_m	5

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

†Tests are not required if the conditions in 8.7.1.1 are fulfilled.

‡Perform tests to match those required in 8.7.2.1 or 8.7.2.2.

§Drilling diameters for undercuts are specified in Table 5.2.3.4.

#Test of undercut anchors use d_m .

|| Test all diameters at minimum embedment, h_{ef}

**These tests are optional and only apply to anchors that have been tested in accordance with Table 4.2, Test Numbers 1-17.

本期計畫擬更完整試驗評估此螺紋植筋錨栓工程特性，然此研究成果仍需以實際工程應用案例，方足以有效獲工程界認可，將此產品與技術得以有效推廣應用，因此本研究第三期計畫，擬推動一件野溪混凝土防砂壩壩頂磨蝕結構物補強延壽示範工程，並於完成此補強與延壽示範工程後，再推動一場推廣說明會，介紹此新式補強材料與補強延壽工法之應用給水土保持工程界主管單位技術人員、水土保持技師、及施工廠商工程人員，方足以有效推廣此新式補強延壽工法應用於後續水土保持混凝土構造物結構補強工程中。

第二章 研究工作與方法步驟

本期研究主要工作主軸包括四個項目，第一需修改此新式螺紋錨栓螺牙與植筋細部設計及後續生產製程，以確保其具備良好施工性，第二依 ACI 評定規範 355.2 更完整評估其於使用生命週期之工程特性；第三實際執行一件水土保持混凝土防砂壩壩頂磨蝕補強延壽示範工程案例，證明此新式螺紋植筋錨栓可以取代化學植筋錨栓應用於多項水土保持工程混凝土構造物補強延壽施工之施工材料；第四再推動現場推廣說明會，介紹此新式補強材料與補強延壽工法之應用給水土保持工程界主管單位技術人員、水土保持技師、及施工廠商工程人員。研究之實施流程圖如示圖 2-1，各項研究工作項目說明如下，現階段進行初步結果將於第三章討論。

- 一、由前一期研究資料顯示，研究之螺紋錨栓植筋之抗張強度指數k-value以符合歐美規範，但植入扭矩過高(常超過200N-m)，需研擬錨栓螺牙與螺桿細部設計修正及後續製程加工修正方案，再植入不同強度混凝土評估其施工扭矩低是否可接近120N-m，方可確保可改善其施工性。
- 二、目前研究之螺紋錨栓植筋已初步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，本期研究擬依ACI 355.2評定規範更完整評估其於使用生命週期之工程特性，如施工敏感性試驗、週期性荷載可靠性試驗、邊界與間距敏感性試驗，地震條件可靠度試驗等等。為完成上述評估試驗需灌置大量試驗混凝土試

塊，試驗設施架設以利執行後續特性評估試驗。執行新式螺紋植筋錨栓ACI 355.2 施工敏感性試驗、週期性荷載可靠性試驗、邊界與間距敏感性試驗，地震條件可靠度等試驗，試驗完成後也須執行大量混凝土試塊鑽心與抗壓試驗，及後續評估分析工作。因此也需仔細研讀規範細節以利執行後續評定工作。

三、研究第三項工作為規劃於農村發展及水土保持署管轄台灣南部地區範圍內，以實際一件水土保持混凝土防砂壩壩頂磨蝕結構補強延壽示範工程案例，壩頂寬約5-10公尺，長約1.5-2.0公尺，補強混凝土厚約20公分，因補強需求，規劃採用抗壓強度 $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ 之混凝土，採用#5新式螺紋錨栓植筋，植筋間距為25-30公分，縱橫向補強鋼筋面積比約各1.5%-2%，混凝土保護層7.5公分，期望可採預拌混凝土灌置補強體。

四、並於完成此補強與延壽示範工程後，再推動現場推廣說明會，介紹此新式補強材料與補強延壽工法之應用給水土保持工程界主管單位技術人員、水土保持技師、及施工廠商工程人員，方足以有效推廣此新式補強延壽工法應用於後續水土保持混凝土構造物結構補強工程中，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。

五、最後分析評估此採新式螺紋錨栓植筋應用於水土保持混凝土防砂壩結構補強延壽示範工程之可行性與經濟效益性分析，有助後續應用於水土保持混凝土構造物補強延壽工程。

六、最後將研究成果與心得撰寫研究報告書，評估提出新型錨栓專利之申請，並撰寫國內與國際論文，分享研究成果。

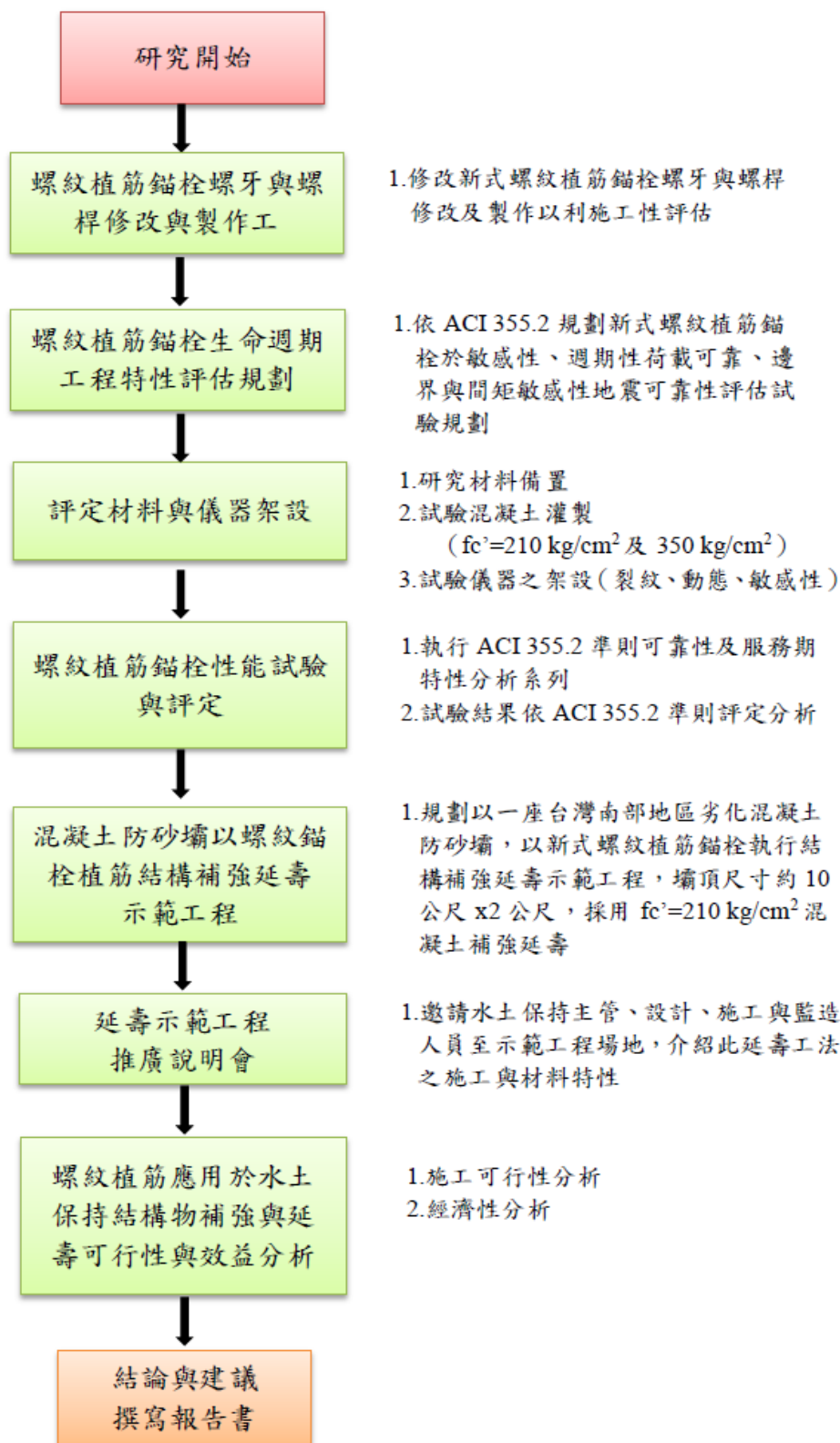


圖 2-1 本研究之實施步驟流程圖

第三章 工作進度與交付項目

本系列研究計畫之目標為研究發展一種新型螺紋植筋錨栓具備可取代化學植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物延壽工程，並具備結構功能性、經濟性、與良好施工性。於下分節討論新型螺紋錨栓設計製造修改成效及試驗性能評估結果，及示範工程規劃與工程應用經驗分享說明會規畫構想。

第一節 錨栓設計與製程修改

由前一期研究計畫資料顯示，研究之螺紋錨栓植筋之抗張強度指數 k-value 足以符合歐美規範，代表其錨固性能適當，但植入扭矩嘗過高(常超過 200N-m)，施工性能不佳，因此修改此新式螺紋錨栓螺牙與螺桿段細部設計及後續生產製程乃為必需之工作要項，以確保其具備良好施工性。目前本研究初期以進行數次修改此新式螺紋錨栓植筋螺牙與螺桿設計，及調整後續鋼質定性製程相關工作，修改設計及鋼質調整後之螺牙錨栓如示圖 3-1，期望可改善其施工特性，降低其植入混凝土施工時之扭矩可約低於 120N-m。



圖 3-1 修改設計及鋼質調整後之螺牙錨栓照片

第二節 修改後錨栓參考性能試驗與評定

本研究目標為研發可提供符合較高強度需求之機械式結構補強功能之螺紋錨栓植筋，錨栓尺寸參考目前結構補強較為廣泛應用之 16mm (#5)鋼筋為研究錨栓尺寸，並以我國施工上目前常用 20.6MPa (210 kg/cm^2)及 34.3MPa (350 kg/cm^2) 抗壓強度為之混凝土為研究範圍，鋼筋以降伏強度為 412MPa (4200 kg/cm^2)之國產鋼筋為試驗材料，並參考市售螺紋錨件樣品，初步擬定研發 M16 錨栓初步細部設計，並找尋鍛造、CNC 切割、熱處理、與表面處理等加工廠商協助生產，本期研究錨栓研發共經過多次雛型錨栓設計打樣、鋼質後處理、測試與性能評定過程，於下將三次主要設計打樣與鋼質後處理雛型錨栓，分別定名為 Type A、Type B、及 Type C 雛型錨栓，雛型錨栓依評定需求植入強度為 C20/25 及 C35/43 混凝土，並依 ACI 355.2 與 EOTA 330232 評定準則執行性能評定分析，於下將研發過程三組雛型錨栓植入兩種強度混凝土試驗塊相關試驗與性能技術資料依序於本章中討論。

一、混凝土試件強度特性

為確保錨栓系統得以應用於不同強度混凝土結構物，評定過程需包括以低強度與高強度混凝土執行評定試驗，本研究團隊依規範要求採購不含其他卜作嵐材料之純水泥預拌混凝土，於研究單位自行灌製

混凝土試驗塊及直徑為 100mm 圓柱形試體，低強度與高強度混凝土抗壓強度分別為 C20/25 (210 kg/cm^2)及 C35/43 (350 kg/cm^2)，其配比如示表 3-1，待混凝土抗壓強度達標稱強度 70%，通常齡期約 3~5 天，試驗塊得以拆模。由前期研究得知，混凝土強度隨齡期漸增，研究過程中二種強度混凝土，各組灌製混凝土強度與齡期之數據摘要如示圖 3-2 及圖 3-3，由圖上數據回歸分析顯示，抗壓強度與齡期呈現雙線性關係，二組數據回歸圖形資料顯示轉折點齡期為 21 天，由試驗數據顯示，混凝土 28 天抗壓強度會增加超過一個級別，錨栓抗拉強度要依混凝土抗壓強度正規化分析，為避免錨栓強度經正規化分析後強度變異太大，因此建議試驗用混凝土齡期介於 21 天至 90 天為較佳。

表 3-1 試驗用混凝土配比設計表

設計強度	210 kgf/cm^2 (C20/25)	350 kgf/cm^2 (C35/43)
目標強度	236 kgf/cm^2 (23.15 MPa)	450 kgf/cm^2 (44.145 MPa)
坍度	17±4.0 cm	18±2.0 cm
水膠比	0.58	0.40
最大粒徑	19 mm	
水質	地下水	
水泥使用量 (100%)	300 kg/m^3	450 kg/m^3
細骨材	879 kg/m^3	752 kg/m^3
粗骨材	1019 kg/m^3	1009 kg/m^3
水	171 kg/m^3	176 kg/m^3
配比設計重	2372 kg/m^3	2391.5 kg/m^3

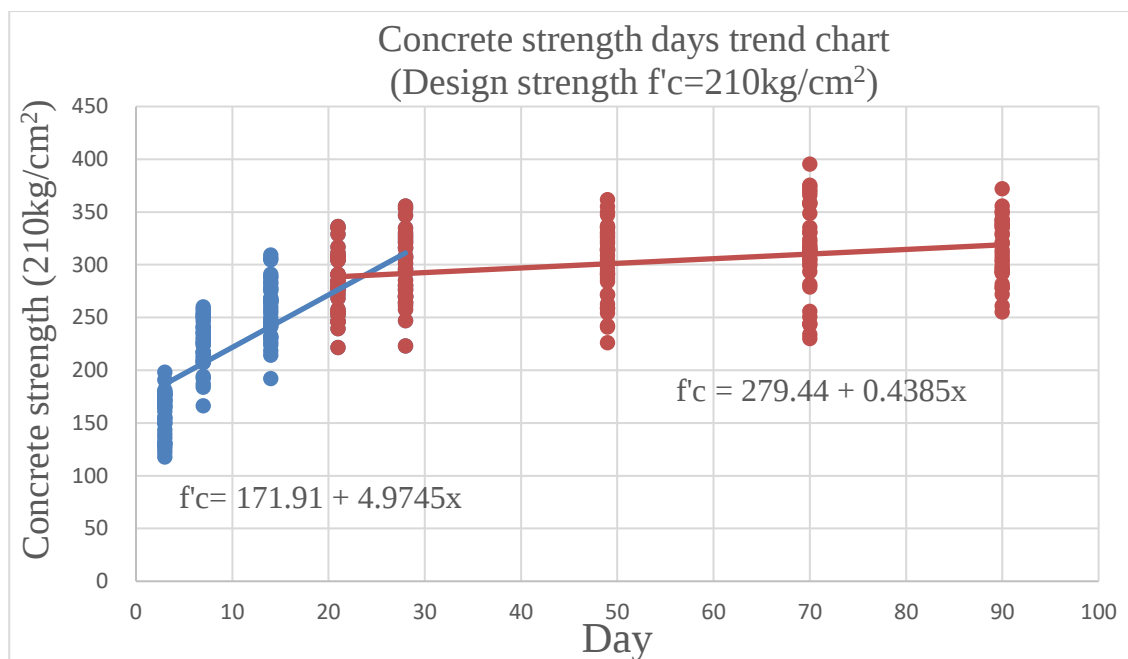


圖 3-2 C20/25 混凝土齡期與抗壓強度對應關係及線性回歸線

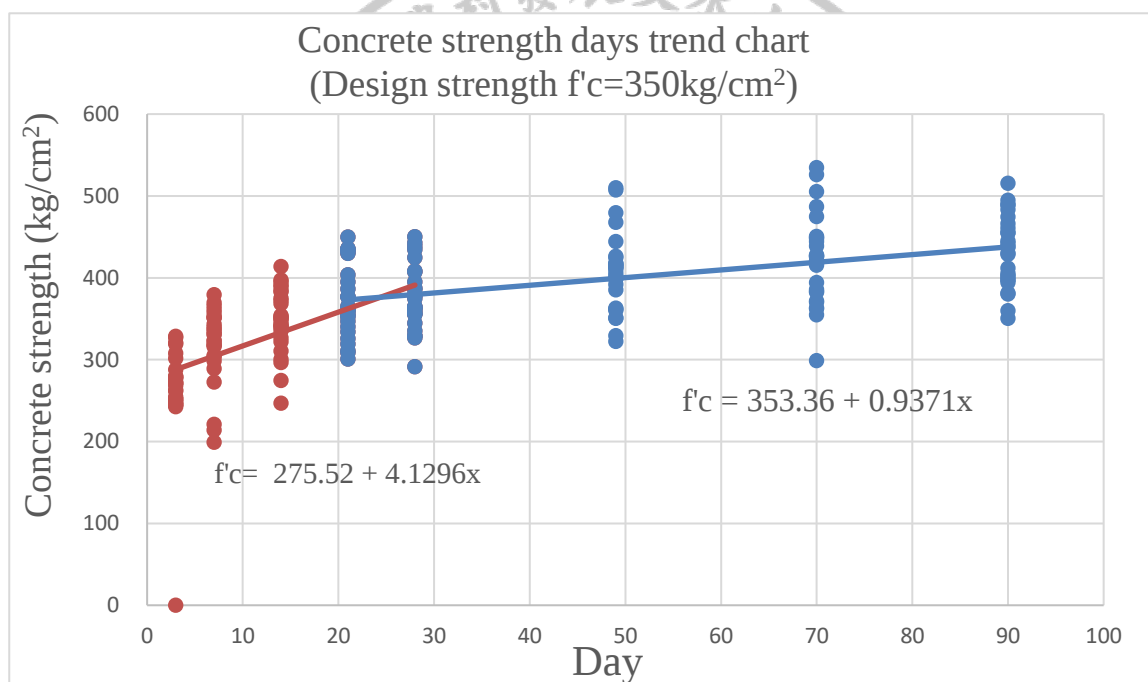


圖 3-3 C35/43 混凝土齡期與抗壓強度對應關係及線性回歸線

二、Type A 雛型錨栓性能

圖 1-16 為本研究參考市售錨栓樣品，擬定本研究研發 M16 螺紋錨栓植筋初步細部設計草圖，研發錨栓螺牙尺寸為 M16，螺牙段約為直徑 9-10 倍，錨栓鎖固端為 M24 六角螺帽，內部為 M20 螺牙，可與 #5 鋼筋擴頭車螺牙段連結，此初步階段錨栓依序執行 4 種 ACI 及 EOTA 參考性試驗及評定分析，於下分別討論分析結果。

(一)Type A 錨栓植入未開裂 C20/25(1/A1)及 C35/43(2/A2)混凝土試驗與評定

Type A 雛型螺紋錨栓植筋植入 C20/25 低強度及 C35/43 高強度未開裂混凝土參考性試驗照片顯示於圖 3-4 及圖 3-5，此二組試驗力量位移圖分別顯示於圖 3-6 圖及圖 3-7，二組試驗混凝土試驗塊尺寸為 800mm/800mm/250mm，試件植入深度為 143mm (9d)，且有效埋入深度(h_{ef})為 117.3mm，各試件均發生混凝土拉破錐狀破壞，二組試驗結果摘要於表 3-2，採用 ACI 355.2 評估分析結果顯示此雛型螺紋植筋錨栓於此二種未開裂混凝土抗拉試驗 k-value 分別為 13.327 及 10.141，均符合規範要求；另採用 ACI 與 EOTA 評估準則評定此二組試驗分析資料顯示於表 3-3 及表 3-4，由表上顯示，於錨栓植入此二種無開裂混凝土無束制抗張試驗正規化拉出破壞特徵抗張強度分別為 76.544 kN 與 68.48kN 及分別為 75.188 kN 與 66.999kN，一般而言，EOTA 之

分析結果較 ACI 為保守。然試驗錨栓植入此二組混凝土試驗扭矩稍微偏高，平均扭矩分別為 136 N-m 及 162 N-m，顯示此雛型錨栓施工性不佳，螺牙與螺桿設計仍有修改之需求。另由於螺紋錨栓植入混凝土鑽孔過程中，會有擠壓鑽孔周邊混凝土現象，如混凝土試驗塊厚度不足，或錨栓植入位置未有足夠邊距時，混凝土邊緣會產生劈裂破壞，由圖 3-4 及圖 3-5 上顯示，試驗塊有發現邊緣劈裂之現象，因此後續評定須加厚及加寬混凝土試驗塊。

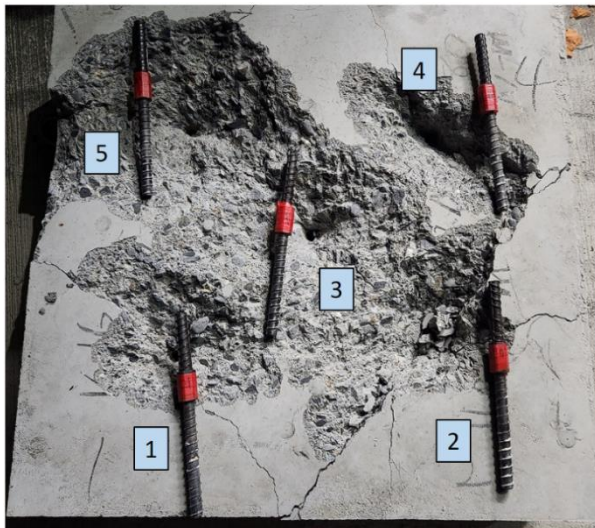


圖 3-4 Type A 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗照片



圖 3-5 Type A 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗照片

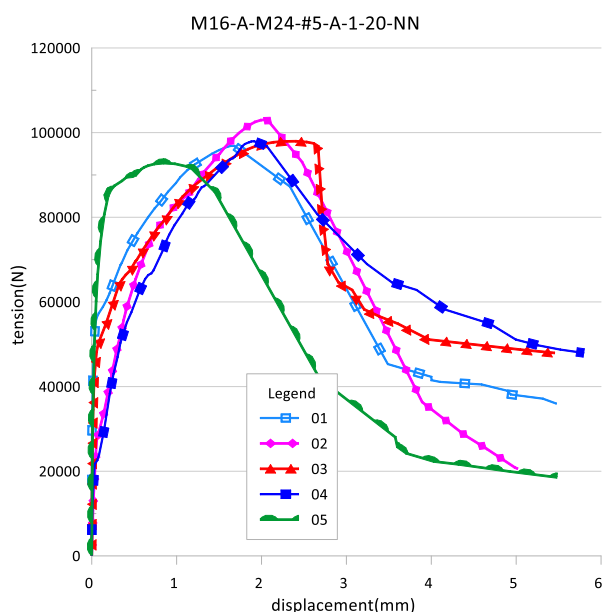


圖 3-6 Type A 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗力量
位移圖

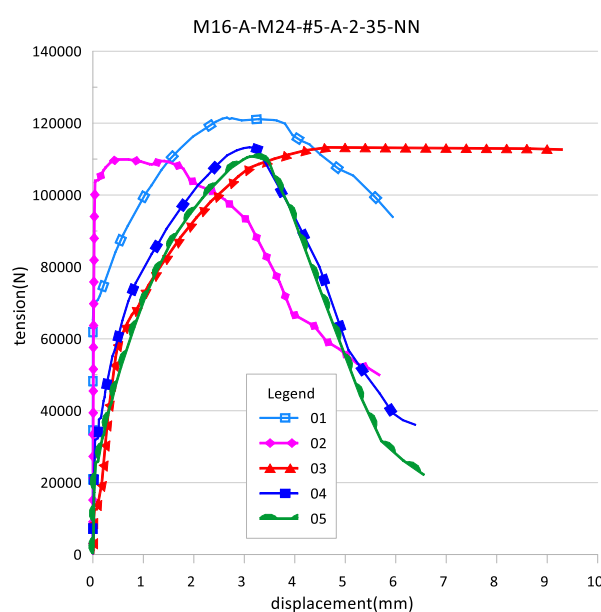


圖 3-7 Type A 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗執行力量
位移圖

表 3-2 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 未開裂混凝土參考性抗張試驗一覽表

Test item	1/A1 $f_{u,test,i}=25.428$ Mpa		2/A2 $f_{u,test,i}=42.556$ Mpa	
Number	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)
1	96.903	130.0	121.53	200.0
2	103.060	150.0	109.93	130.0
3	100.670	110.0	133.82	200.0
4	97.977	150.0	113.29	130.0
5	92.807	140.0	110.74	160.0
Average	98.282	136.0	117.86	164.0
Std. Dev.	3.887	16.73	10.03	35.07
Variation (%)	3.96	12.30	8.51	21.38
F_(5%) kN	85.060	NA	83.75	NA
正規化係數	0.900	NA	0.898	NA
ACI正歸化特性強度 N_p (kN)	76.560	NA	75.188	NA
k-value	13.277	NA	10.105	NA
EOTA 特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	68.048	NA	66.999	NA

表 3-3 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂混凝土參考性
抗張試驗(1/A1)分析計算

ACI分析計算： F_m = 平均抗張強度 = 98.282kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5，$K = 3.4$。 v = Variation(%) = $\frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{3.887}{98.282} = 3.95$。 $N_b = F_{5\%} = N_{Rk,0} = F_m(1 - K \times v) = 98.282(1 - 3.4 \times 0.0395) = 85.060 \text{ kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{25.428}} = 0.900$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 85.060 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{25.428}} = 76.560 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{85.060}{\sqrt{25.428 \cdot 117.3^{1.5}}} = 13.377$。
EOTA分析計算： $F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 98.282kN。 rad. α_1 = 於無開裂混凝土為 0.8。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha}}) \times \min(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha}}) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 68.048 \text{ kN}$。

表 3-4 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土參考性
抗張試驗(2/A2)分析計算

ACI分析計算： F_m = 平均抗張強度 = 117.86kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5，$K = 3.4$。 v = 變異係數 = 8.52(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 117.86(1 - 3.4 \times 0.0852) = 83.718 \text{ kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{42.556}} = 0.898$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 83.718 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{42.556}} = 75.188 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{83.718}{\sqrt{42.556 \cdot 117.3^{1.5}}} = 10.141$。
EOTA 分析計算： $F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 117.86kN。K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5，$K = 3.4$。v = 變異係數 = 8.52(%)。 $N_{Rk,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 117.86(1 - 3.4 \times 0.0852) = 83.718 \text{ kN}$。 rad. α_1 = 於無開裂混凝土為 0.8。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha}}) \times \min(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha}}) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 66.999 \text{ kN}$。

(二) Type A 錨栓植入開裂 C20/25(3/A3)及 C35/43(4/A4)混凝土試驗與評定

由於混凝土生命週期產生裂紋為不可避免現象，而且錨栓位於不具裂紋混凝土與位於混凝土裂紋上之力學行為極為不同，因此錨栓植於混凝土裂紋上為評定重要項目，於下將 Type A 離型螺紋錨栓植筋植入開裂 C20/25(3/A3)及 C35/43(4/A4)混凝土參考性試驗照片顯示於圖 3-8 及圖 3-9，此二組試驗力量位移圖分別顯示於圖 3-10 圖及圖 3-11，二組試驗試驗塊尺寸為 800mm/800mm/300mm，各試件均發生混凝土拉破錐狀破壞，此二組試驗條件結果經 ACI 及 EOTA 評定分析詳細結果摘要於表 3-5，採用 ACI 355.2 評估分析結果顯示 Type A 離型螺紋植筋錨栓植於二種開裂混凝土 k-value 分別為 8.028 及 7.836，符合規範要求；另採用 ACI 與 EOTA 評估準則評定此二組試驗分析資料顯示於表 3-6 及表 3-7，由表上顯示，於錨栓植入此開裂混凝土無束制抗張試驗正規化拉出特徵抗張強度分別為 46.102 kN 與 41.360kN 及分別為 58.073 kN 與 52.218kN。綜合 Type A 離型錨栓此 4 種參考性試驗結果，此錨栓性能已大致符合規範要求，然此離型錨栓植入 C35/43 開裂混凝土之平均扭矩也高至 170 N-m，顯示此離型錨栓於施作時須採用較高扭矩，方得以植入混凝土中，不利於現場工班施工，因此本研究須針對此離型錨栓螺牙與螺桿

進行修改，於下將 Type B 離型錨栓研究成果進行討論。

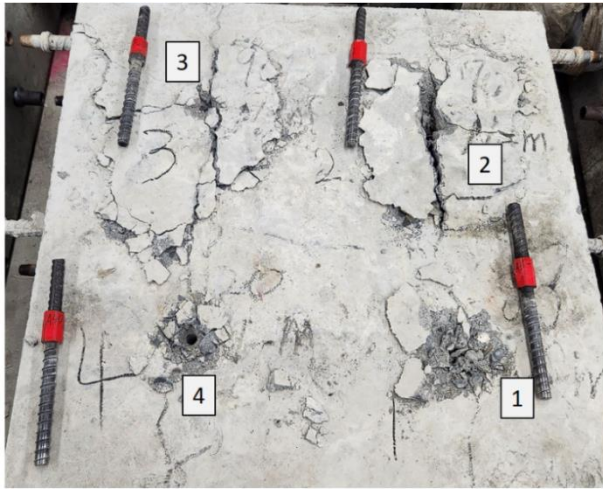


圖 3-8 Type A 錨栓植入 C 20/25 開裂
混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗照片

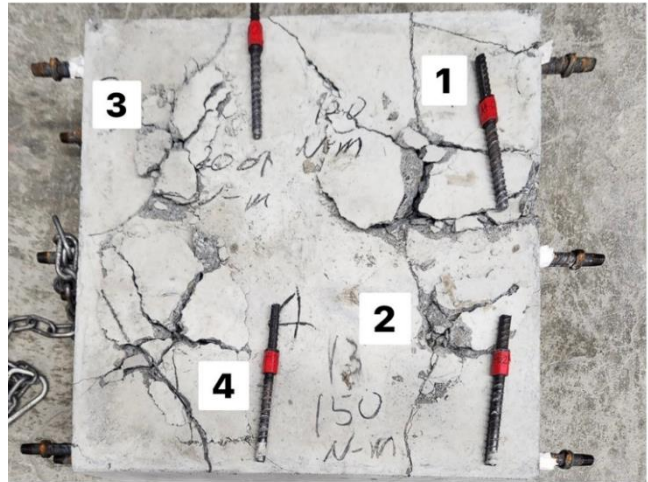


圖 3-9 Type A 錨栓植入 C 35/43 開裂混
凝土(4/A4) 非束制抗張試驗照片

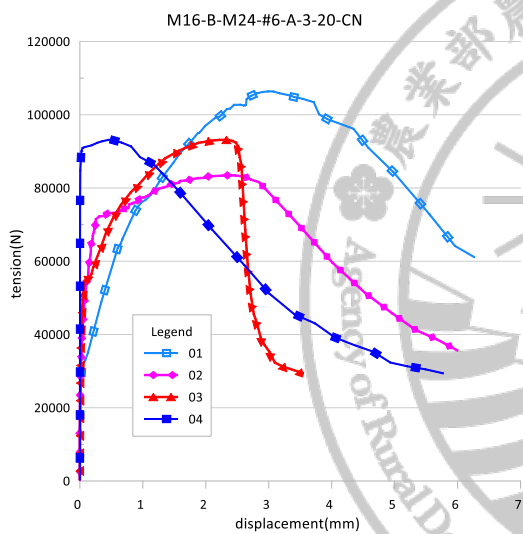


圖 3-10 Type A 錨栓植入 C 20/25 開裂
混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗 力量位
移圖

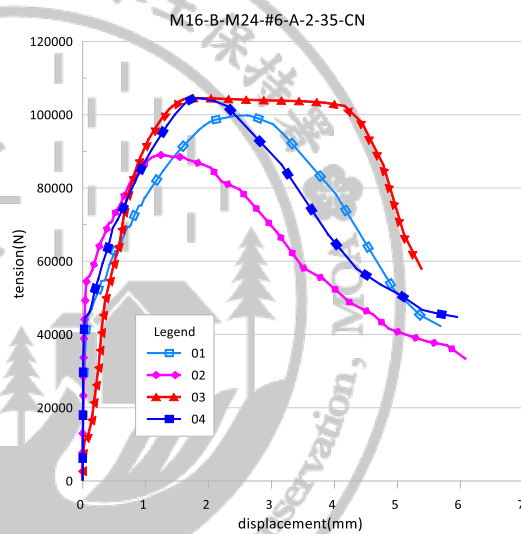


圖 3-11 Type A 錨栓植入 C 35/43 開裂混
凝土(4/A4) 非束制抗張試驗力量位移圖

表 3-5 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土

土參考性抗張試驗一覽表

Test item	3/A3 $f_{u,test,i}=25.913$ Mpa		4/A4 $f_{u,test,i}=43.331$ Mpa	
Number	Tensile strength(kN)	Torque (N-m)	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)
1	106.39	80.0	99.823	160.0
2	83.447	70.0	88.987	120.0
3	86.146	90.0	89.573	200.0
4	93.17	120.0	104.54	200.0
Average	92.29	90.0	95.73	170.0
Std. Dev.	10.26	21.6	7.70	38.3
Variation (%)	11.11%	24.00%	8.04%	22.53%
F_(5%) kN	51.707	NA	65.273	NA
正規化係數	0.892	NA	0.890	NA
ACI正歸化特性強度 N_p (kN)	46.102	NA	58.074	NA
k-value	7.995	NA	7.805	NA
EOTA特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	41.365	NA	52.218	NA

表 3-6 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土參考性抗張試驗 3/A3 分析計算

ACI 分析計算： F_m = 平均抗張強度 = 92.287kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4，K = 3.957。 v = 變異係數 = 11.11(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 92.287(1 - 3.957 \times 0.1110) = 51.707$ kN。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{25.913}} = 0.891$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 51.715 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{25.913}} = 46.102$ kN。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{51.707}{\sqrt{25.913 \cdot 117.3^{1.5}}} = 7.995$。
--

續表 3-6 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土參考性
抗張試驗 3/A3 分析計算

EOTA 分析計算：
$F_{u,t} = F_m$ =平均抗張強度 = 92.287kN。
K =以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957$ 。
ν = 變異係數 = 11.11(%)。
$N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 92.287(1 - 3.957 \times 0.1111) = 51.707 \text{ kN}$ 。
$rad. \alpha_1$ = 於開裂混凝土為0.7。
$N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha_1}) \times \min(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha_1}) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 36.195 \text{ kN}$ 。

表 3-7 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 開裂混凝土參考性抗
張試驗(4/A4)分析計算

ACI 分析計算： F_m = 平均抗張強度 = 95.73kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4，$K = 3.957$。 ν = 變異係數 = 8.041(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 95.73(1 - 3.957 \times 0.0804) = 65.273 \text{ kN}$。 正規化係數 = $\frac{\sqrt{f_{c,m,i}}}{\sqrt{f_{u,test,i}}} = \frac{\sqrt{34.3}}{\sqrt{43.331}} = 0.890$。 $N_p = N_b \cdot \frac{\sqrt{f_{c,m,i}}}{\sqrt{f_{u,test,i}}} = 65.273 \cdot \frac{\sqrt{34.3}}{\sqrt{43.331}} = 58.093 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{65.273}{\sqrt{43.331} \cdot 117.3^{1.5}} = 7.805$。
EOTA 分析計算： $F_{u,t} = F_m$ =平均抗張強度 = 95.73kN。K =以 90 % 信度評估特徵容量之常數； 測試件數量 = 4，$K = 3.957$。ν = 變異係數 = 8.04(%)。 $N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 95.73(1 - 3.957 \times 0.0804) = 65.273 \text{ kN}$。 $rad. \alpha_1$ = 於開裂混凝土為0.7。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha_1}) \times \min(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha_1}) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 45.691 \text{ kN}$。

三、Type B 雛型錨栓性能

依據 Type A 雛型錨栓參考性數據顯示，該雛型錨栓具備規範所需基本工程性能，但工作性較差，因此 Type B 雛型錨栓針對此需求，修改錨栓設計，也將鋼筋段改由#6 鋼筋車 M20 螺牙，於下探討修改

成效。

(一) Type B 錨栓植入未開裂 C20/25(1/A1)及 C35/43(2/A2)混凝土試驗與評定

為了解 Type B 離型螺紋錨栓植筋之參考性抗拉特性，將 Type B 錨栓植入未開裂 C20/25 及 C35/43 混凝土進行特性評估，植入 C20/25 低強度及 C35/43 高強度混凝土參考性試驗照片分別顯示於圖 3-12 及圖 3-13，此二組試驗力量位移圖分別顯示於圖 3-14 圖及圖 3-15，二組混凝土試驗塊尺寸為 800mm/800mm/300mm，試件植入深度為 160mm，且有效埋入深度(h_{ef})為 124.95mm，由於此離型錨栓最小間距大於 $1.5h_{ef}$ ，試驗塊只可執行 4 試件，各試件均發生混凝土拉破錐狀破壞，但混凝土試驗塊也發生邊緣擠破現象，各試驗條件結果經 ACI 及 EOTA 評定分析詳細結果彙整於表 4-8，採用 ACI 355.2 評估分析結果顯示，此離型螺紋植筋錨栓於此二種強度未開裂混凝土抗拉試驗 k-value 分別為 8.198 及 12.819，由於植入 C20/25 試件抗拉強度變異係數較高，k-value 稍低，錨栓性能大致符合規範要求；另採用 ACI 與 EOTA 評估準則評定此二組試驗分析資料顯示於表 3-9 及表 3-10，由表上顯示，於此二種無開裂混凝土無束制抗張試驗正規化拉出破壞抗張特徵強度分別為 59.09 kN 與

50.66kN 及分別為 104.87 kN 與 92.75kN，一般而言，EOTA 之分析較 ACI 為保守。然試驗錨栓植入此二組試驗扭矩以稍較 Type A 雛型錨栓改善，平均扭矩分別為 115 N-m 及 157.5 N-m，顯示此雛型錨栓施工性以改善些許施工性，仍有改善需求。

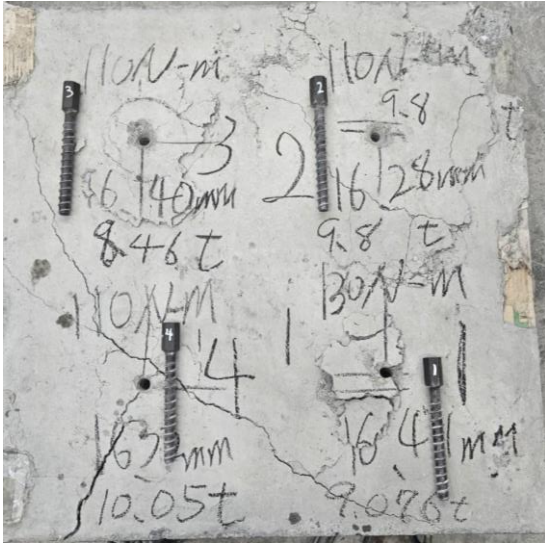


圖 3-12 Type B 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗照片



圖 3-13 Type B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗照片

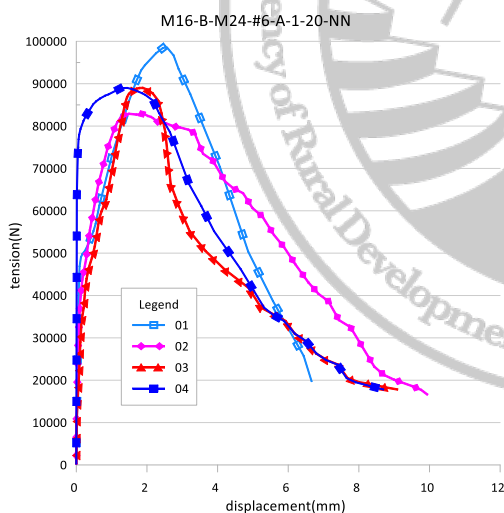


圖 3-14 Type B 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗力量位移圖

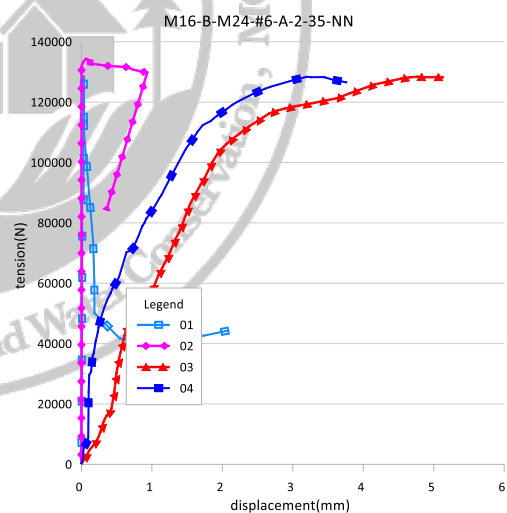


圖 3-15 Type B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗力量位移圖

表 3-8 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 未開裂混

凝土參考性抗張試驗一覽表

Test item	3/A3 $f_{u,test,i}=23.662$ Mpa		4/A4 $f_{u,test,i}=41.921$ Mpa	
Number	Tensile strength(kN)	Torque (N-m)	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)
1	98.56	2.559	127.336	0.035
2	82.93	1.888	134.346	0.073
3	96.57	1.854	134.636	5.278
4	89.01	1.444	128.390	3.205
Average	91.77	1.94	131.177	2.148
Std. Dev.	7.19	0.46	3.853	2.562
Variation (%)	7.83%	23.84%	2.94%	NA
F_(5%) kN	63.326	NA	115.932	NA
正規化係數	0.933	NA	0.905	NA
ACI正歸化特性強度 N_p (kN)	59.086	NA	104.865	NA
k-value	9.32	NA	12.820	NA
EOTA特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	50.661	NA	92.746	NA

表 3-9 Type B 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 非開裂混凝土參考性抗張

試驗(1/A1)分析計算

ACI分析計算：

 F_m = 平均抗張強度 = 91.77kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957$ 。 ν = 變異係數 = 7.83 %。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 91.77(1 - 3.957 \times 7.83\%) = 63.326\text{kN}$ 。正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{23.662}} = 0.933$ 。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 63.326 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{23.662}} = 59.086$ kN。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{63.326}{\sqrt{23.662 \cdot 124.95^{1.5}}} = 9.321$ 。

EOTA分析計算：

 $F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 91.77kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957$ 。 ν = 變異係數 = 7.83 %。 $N_{Rk,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 91.77(1 - 3.957 \times 7.83\%) = 62.326\text{kN}$ 。 $rad. \alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.8。 $N_{Rk,p} = N_{Rk,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha_1}) \times \min(\frac{\alpha_1}{rqd \cdot \alpha}) \times \min(\beta_p \leq N_{Rk,C}^0)$
= 63.326 $\times$ 0.8 = 50.661 kN

表 3-10 Type B 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 非開裂混凝土(2/A2)參考
性抗張試驗分析計算

ACI分析計算：

F_m = 平均抗張強度 = 131.177kN。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957$ 。

ν = 變異係數 = 2.94%。

$N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 131.177(1 - 3.957 \times 2.94\%) = 115.932\text{kN}$ 。

正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{41.922}} = 0.905$ 。

$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 115.932 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{41.922}} = 104.865 \text{ kN}$ 。

$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{115.932}{\sqrt{41.922} \cdot 124.95^{1.5}} = 12.820$ 。

EOTA分析計算：

$F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 131.177kN。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957$ 。

ν = 變異係數 = 2.94 %。

$N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 131.177(1 - 3.957 \times 2.94\%) = 115.932\text{kN}$ 。

$rad. \alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.8。

$N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min \left(\frac{\alpha_1}{r_{qd, \alpha_1}} \right) \times \min \left(\frac{\alpha_1}{r_{qd, \alpha}} \right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 92.746 \text{ kN}$ 。

(二) Type B M16 離型螺紋錨栓植筋於 C35/43 混凝土束制性握裹

(5)性能評定

ACI 參考性試驗相較於 EOTA，多了項目 5 錨栓植於高強度混凝土執行束制性抗張強度試驗，其目的為評估錨栓與混凝土界面單位面積握裹強度，以了解其是否符合規範要求強度，於下將試驗結果摘要討論於下。於此試驗項目共執行了 8 支試件，試驗照片及拉力位移圖分別顯示於圖 3-16 及提 3-17，試驗結果與評定分析分別摘要於表 3-11 及表 3-12，由試驗結果顯示，3 支試件因錨栓與混凝土握裹力超過 15 噸非常良好，錨件於螺

牙段上部斷裂，如僅將 5 支未斷裂錨栓抗拉強度分析，此錨栓之握裹強度為 14.768 N/mm^2 ，大於規範需求值 14.5 N/mm^2 ，由於此項試驗結果發生錨栓斷裂現象，因此需修改此雛型錨栓螺牙段上段，增強錨栓鋼件抗張強度，於下節討論 Type C 雛型錨栓試驗結果。

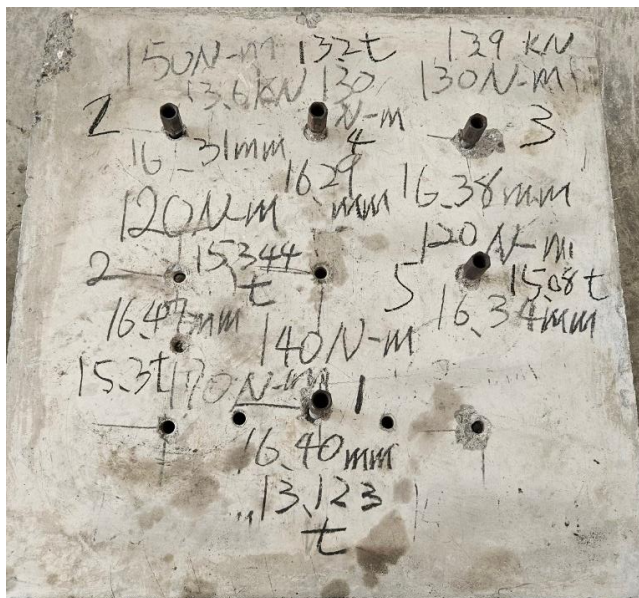


圖 3-16 Type B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5) 參考束制性握裹性能試驗照片

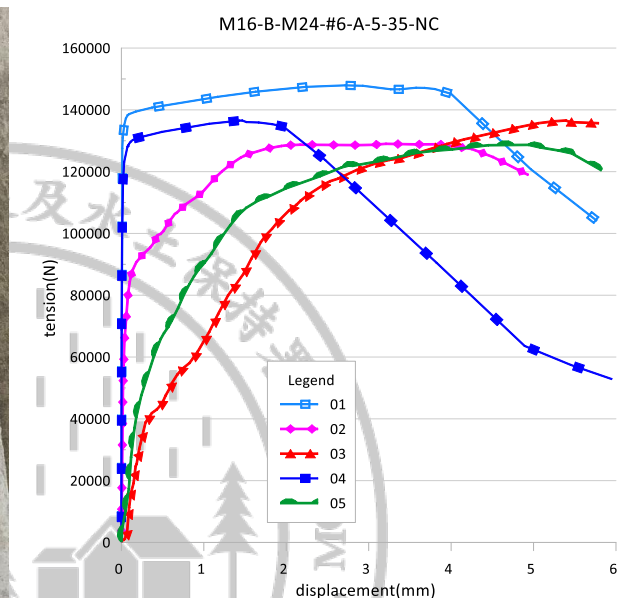


圖 3-17 Type B 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5) 參考束制性握裹性能試驗力量位移圖

表 3-11 Type B M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土參考束
制性握裹(5/A5)性能試驗一覽表

Test item	5/A5 $f_{u,test,i} = 45.445$ Mpa	
Number	Tensile strength(kN)	Torque (N-m)
1	147.936	140.0
2	129.006	150.0
3	139.398	130.0
4	136.557	130.0
5	128.699	120.0
Average	136.32	134.0
Std. Dev.	8.00	11.40
Variation (%)	5.87%	8.51%
F_(5%) kN	109.118	NA
正規化係數	0.869	NA
正規化特性強度(kN)	94.798	NA
單位握裹強度 τ (N/mm ²)	14.768	NA
EOTA特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	87.294	NA

表 3-12 TypeB 植入 C35/43 未開裂混凝土參考束制性握裹(5/A5)性
能試驗評定分析計算

ACI分析計算：

F_m = 平均抗張強度 = 136.32。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5， $K = 3.4$ 。

ν = 變異係數 = 5.87%。

$N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 136.32(1 - 3.4 \times 5.87\%) = 109.118 \text{ kN}$ 。

正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{45.445}} = 0.869$ 。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 109.118 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{45.445}} = 94.798 \text{ kN}$ 。

$\tau = \frac{N_b}{A_{se}} = \frac{109.118 \times 1000}{7389.026} = 14.768 \text{ N/mm}^2$

EOTA分析計算：

$F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 136.32kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；

測試件數量 = 5， $K = 3.4$ 。 ν = 變異係數 = 5.87 %。

$N_{Rk,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 136.32(1 - 3.4 \times 5.87\%) = 109.118 \text{ kN}$ 。

$rad. \alpha_1$ = 於非開裂混凝土為 0.8。

$N_{Rk,p} = N_{Rk,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{r_{qd, \alpha_1}}) \times \min(\frac{\alpha_1}{r_{qd, \alpha}}) \times \min(\beta_p \leq N_{Rk,C}^0)$

= 109.118 × 0.8 = 87.294 kN。

四、Type C M16 雛型螺紋錨栓植筋性能評定

由於 ACI 參考性試驗項目 5 顯示，Type B 雛型錨栓與高強度混凝土具備良好握裹強度，但螺桿上部強度不足會斷裂，因此修改錨栓設計再生產，於下探討試驗項目 5 及參考性試驗項目 1~3。

(一)Type C M16 螺紋錨栓於 C35/43 混凝土束制性握裹(5)性能評定

為評估修改錨栓螺桿段具備足夠抗張強度，於此試驗項目共執行了 9 支試件，試驗照片與力量位移圖分別顯示於圖 3-18 與圖 3-19，試驗結果及評定分析分別摘要於表 3-13 及表 3-14，由試驗結果顯示，錨栓與混凝土握裹強度良好，錨件均無發生螺牙段上部斷裂現象，以無束制錨栓抗拉強度納入分析，此錨栓之握裹強度為 15.758 N/mm^2 ，大於規範需求值 14.5 N/mm^2 ，可知錨栓螺牙段設計應可滿足工程性能需求，但由試驗數據顯示，錨栓平均植入扭矩仍高達 150 N-m ，應為錨栓螺桿段車工製作完後處理仍有改善空間，可再確認後序製程細節，於下討論 Type C 雛型錨栓參考性試驗項目 1~3 結果。

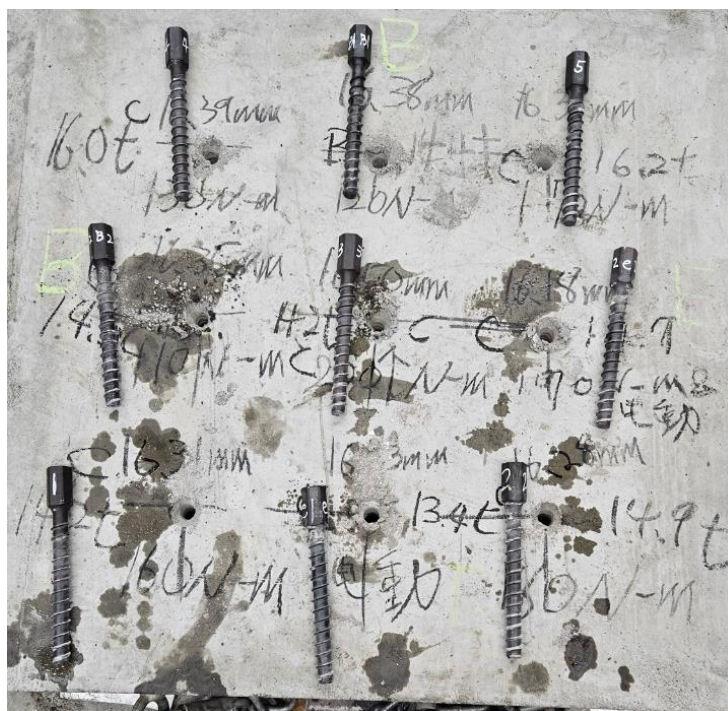


圖 3-18 Type C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5)參考束制性握裹性能試驗照片

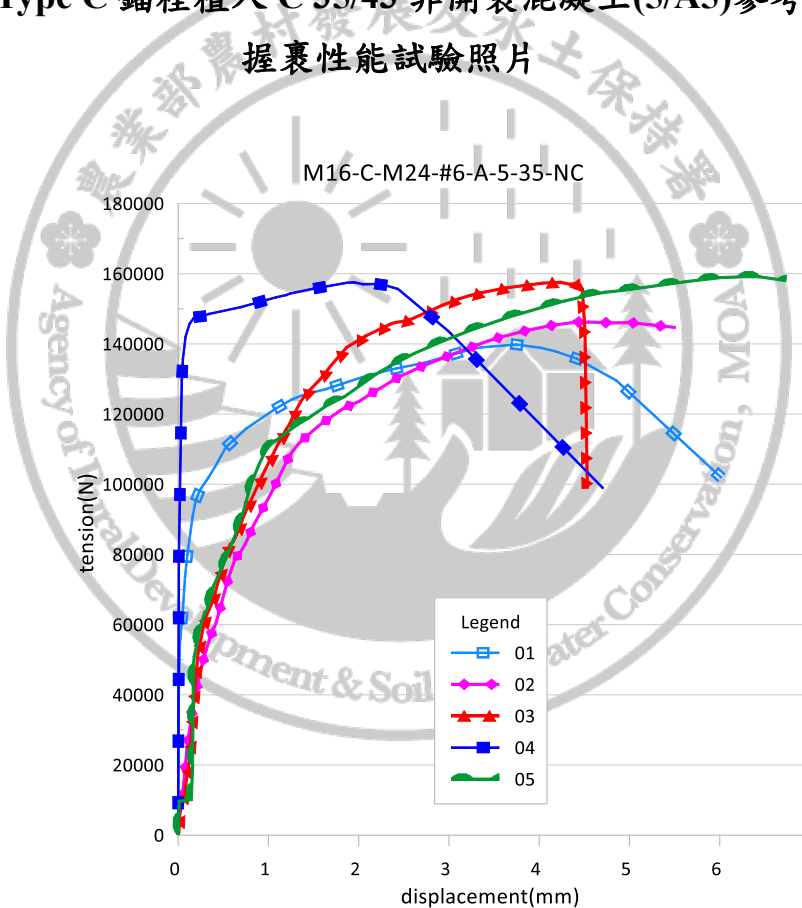


圖 3-19 Type C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(5/A5)參考束制性握裹性能試驗力量位移圖

表 3-13 Type C M16 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土參考
束制性握裹性能試驗一覽表

Test item	5/A5 $f_{u,test,i} = 42.446 \text{ Mpa}$	
Number	Tensile strength(kN)	Torque (N-m)
1	139.816	180
2	146.292	160
3	139.606	200
4	157.573	130
5	159.165	170
Average	148.49	168.00
Std. Dev.	9.43	25.88
Variation (%)	6.35%	15.41%
F_(5%) kN	116.440	NA
正規化係數	0.898	NA
正規化特性強度(kN)	104.671	NA
握裹面積(mm^2)	7389.026	NA
單位握裹強度 τ (N/mm^2)	15.758	NA
EOTA特性抗張強度 $N_{RK,p}$ (kN)	93.152	NA

表 3-14 Type C 植入 C35/43 非開裂混凝土(5/A5)參考束制性握裹性
能試驗分析計算

ACI分析計算：

F_m = 平均抗張強度 = 148.49kN。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5， $K = 3.4$ 。 ν = 變異係數 = 6.35 %。

$N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 148.49(1 - 3.4 \times 6.35\%) = 116.440\text{kN}$ 。

正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{42.446}} = 0.898$ 。

$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 116.440 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{42.446}} = 104.671 \text{ kN}$ 。 $\tau = \frac{N_b}{A_{se}} = \frac{116.440 \times 1000}{7389.026} = 15.758 \text{ N}/\text{mm}^2$

EOTA分析計算：

$F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 148.49kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；

測試件數量 = 5， $K = 3.4$ 。 ν = 變異係數 = 6.35 %。

$N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 148.49(1 - 3.4 \times 6.35\%) = 116.440\text{kN}$ 。

$rad. \alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.8。

$N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min(\frac{\alpha_1}{rad. \alpha_1}) \times \min(\frac{\alpha_1}{rad. \alpha_1}) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 93.152 \text{ kN}$ 。

(二) Type C 錨栓植入未開裂 C20/25(1/A1)及 C35/43(2/A2)混凝土試驗與評定

由上節試驗結果顯示，Type B 離型螺紋錨栓植筋已具備規範工程性能，但由於錨栓後續加工仍未理想，工作性仍有改善空間，於下將此 Type C 離形錨栓植入未開裂 C20/25 及 C35/43 混凝土之 2 項參考性抗拉試驗進行特性評估，結果討論於下，試驗照片顯示於圖 3-20 及圖 3-21，二組試驗力量位移圖顯示於圖 3-22 及圖 3-23，由於此離型錨栓最小間距大於 $1.5h_{ef}$ 間距需求，未開裂 C20/25 混凝土採用試驗塊尺寸為 1,500mm/600mm/300mm，試件植入深度為 160mm，且有效埋入深度(h_{ef})為 124.95mm，試驗塊只可執行 4 試件，各試件均發生混凝土拉破錐狀破壞，由於採用較大與較厚混凝土試驗塊，試驗未發生邊緣擠破現象；未開裂 C35/43 混凝土採用試驗塊尺寸為 800mm/800mm/300mm，試件植入深度為 160mm，且有效埋入深度(h_{ef})為 124.95mm，試驗塊只可執行 4 試件，各試件均發生混凝土拉破錐狀破壞，由採用較厚混凝土試驗塊，試驗未發生邊緣擠破現象；各試驗條件結果經 ACI 及 EOTA 評定分析詳細結果摘要於表 3-15，採用 ACI 355.2 評估分析結果顯示此離型螺紋植筋錨栓於此二種未開裂混凝土抗拉試驗 k-value 分別為 11.557 及 11.565，由於植入 C35/43 混凝土抗壓強度偏高，k-

value 稍低，錨栓性能大致符合規範要求；另採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析計算數據顯示於表 3-16 及表 3-17，於此二種無開裂混凝土無束制抗張試驗正規化拉出破壞抗張特徵強度分別為 73.260 kN 與 72.386 kN 及分別為 94.832 kN 與 90.312 kN，一般而言，EOTA 之分析較 ACI 為保守。然此 Type C 雛型錨栓因製程因素，試驗錨栓植入 C20/25 及 C35/43 二組試驗平均扭矩分別為 102.5 N-m 及 193.3 N-m，植入 C35/43 混凝土試驗組扭矩稍高，顯示此雛型錨栓設計與後續鋼質製程須調整以改善錨栓施工性。

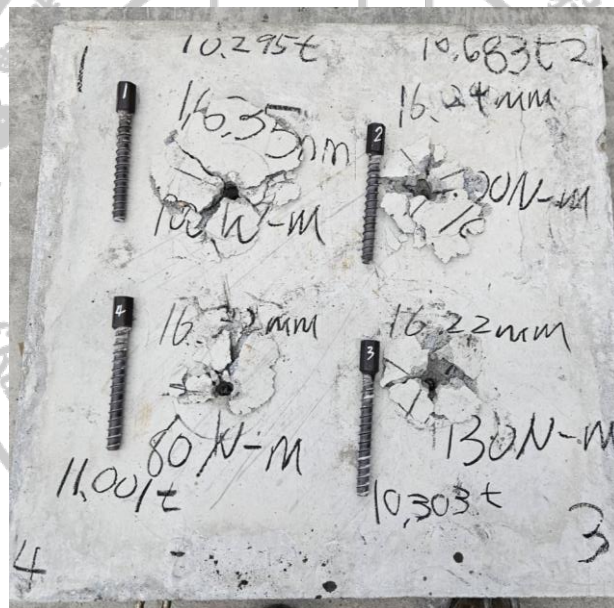


圖 3-20 Type C 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗照片

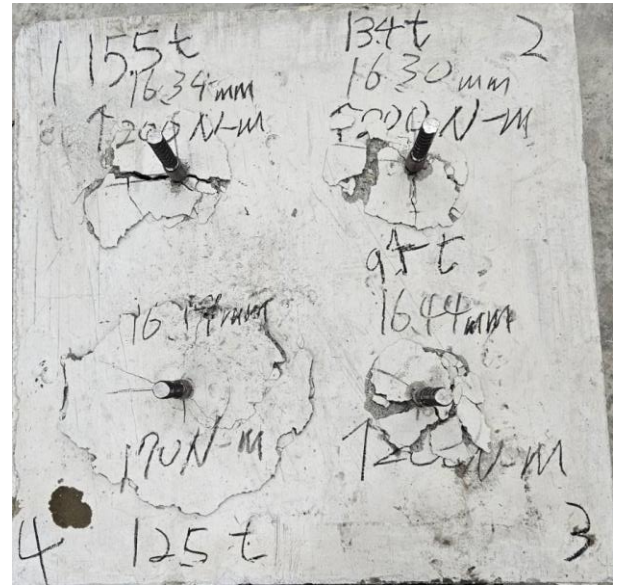
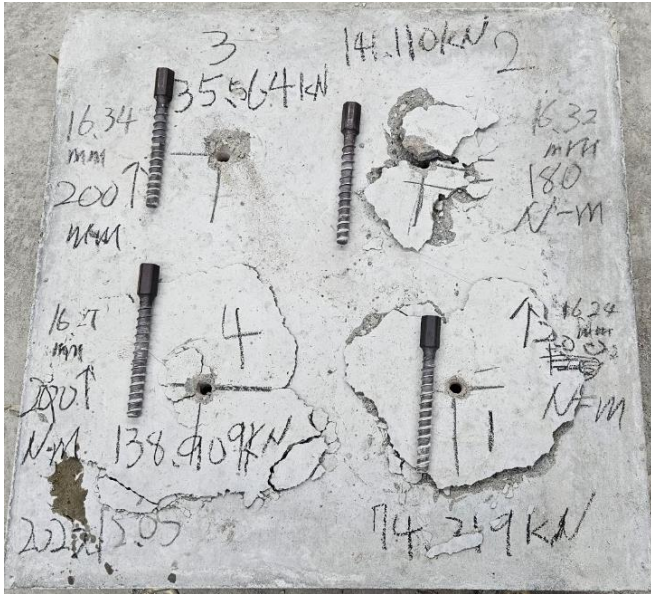


圖 3-21 Type C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗照片

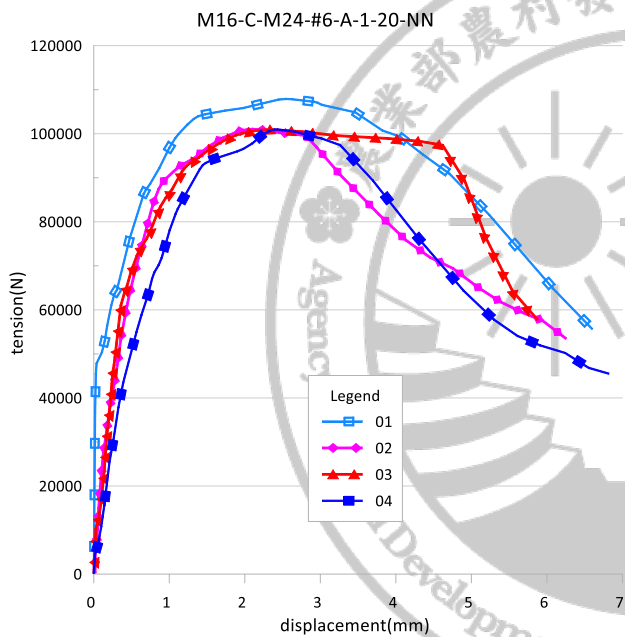


圖 3-22 Type C 錨栓植入 C 20/25 非開裂混凝土(1/A1) 非束制抗張試驗執力量位移圖

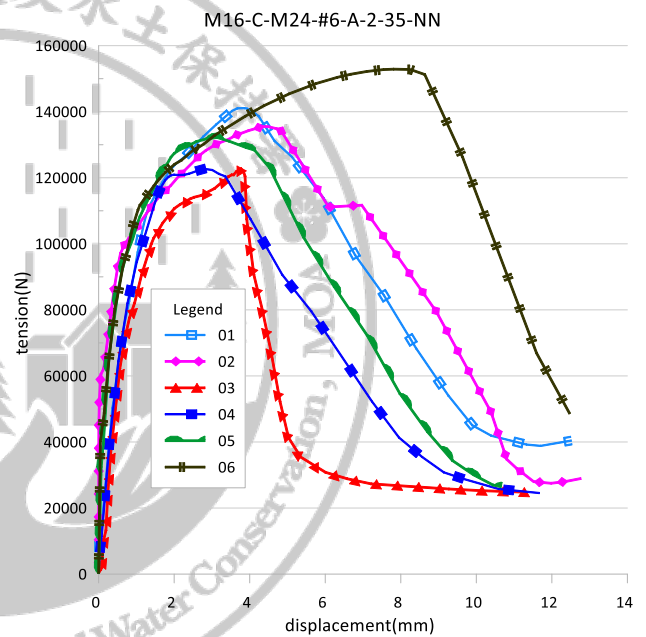


圖 3-23 Type C 錨栓植入 C 35/43 非開裂混凝土(2/A2) 非束制抗張試驗力量位移圖

表 3-15 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 未開裂混凝土參考性抗張試驗一覽表

Test item	1/A1 $f_{u,test,i}=31.425$ Mpa		2/A2 $f_{u,test,i}= 52.741、44.940$ Mpa	
Number	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)
1	107.890	100.0	141.110	180.0
2	101.039	100.0	135.564	200.0
3	104.764	130.0	138.909	200.0
4	100.958	80.0	152.881	200.0
5	NA	NA	132.239	200.0
6	NA	NA	122.711	180.0
Average	103.66	102.5	137.24	193.33
Std. Dev.	3.33	20.62	7.88	10.33
Variation	3.21%	20.11%	5.74%	5.34%
F_(5%) kN	90.483	NA	112.890	NA
正規化係數	0.810	NA	0.806、0.874	NA
ACI正歸化特性強度 N_p (kN)	73.260	NA	91.039、98.6244	NA
k-value	11.557	NA	11.565	NA
EOTA特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	72.386	NA	90.312	NA

表 3-16 Type C 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 非開裂混凝土參考性抗張試驗(1/A1)分析計算

ACI分析計算：

F_m = 平均抗張強度 = 103.66kN。

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4，K = 3.957。

v = 變異係數 = 3.21 %。

$N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 103.66(1 - 3.957 \times 3.21\%) = 90.493\text{kN}$ 。

正規化係數 = $\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}} = \sqrt{\frac{20.6}{31.425}} = 0.810$ 。

$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 90.493 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{31.425}} = 73.260 \text{ kN}$ 。

$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{90.483}{\sqrt{31.425} \cdot 124.95^{1.5}} = 11.557$ 。

續表 3-16 Type C 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 非開裂混凝土參考性抗張試驗(1/A1)分析計算

EOTA分析計算：

$$F_{u,t} = F_m = \text{平均抗張強度} = 103.66\text{kN}。$$

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量量 = 4， $K = 3.957$ 。

ν = 變異係數 = 3.21 %。

$$N_{Rk,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 103.66(1 - 3.957 \times 3.21\%) = 90.493\text{kN}。$$

$\text{rad. } \alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.8。

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha_1}}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha}}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{Rk,C}^0) = 72.386 \text{ kN}。$$

表 3-17 Type C 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 非開裂混凝土參考性抗張試驗(2/A2)分析計算

ACI分析計算：

$$F_m = \text{平均抗張強度} = 137.24\text{kN}。$$

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量量 = 6， $K = 3.091$ 。

ν = 變異係數 = 5.74 %。

$$N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 137.24(1 - 3.091 \times 5.74\%) = 112.890\text{kN}。$$

$$\text{正規化係數} = \frac{f_{c,m,i}}{\sqrt{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{(52.741+44.940)/2}} = 0.926。$$

$$N_p = N_b \cdot \frac{\sqrt{f_{c,m,i}}}{\sqrt{f_{u,test,i}}} = 112.890 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{(52.741+44.940)/2}} = 94.832\text{kN}。$$

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{112.890}{\sqrt{(52.741+44.940)/2} \cdot 124.95^{1.5}} = 11.565。$$

EOTA分析計算：

$$F_{u,t} = F_m = \text{平均抗張強度} = 137.24\text{kN}。$$

K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量量 = 6， $K = 3.091$ 。

ν = 變異係數 = 5.74 %。

$$N_{Rk,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 137.24(1 - 3.091 \times 5.74\%) = 112.890\text{kN}。$$

$\text{rad. } \alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.8。

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha_1}}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{r_{qd,\alpha}}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{Rk,C}^0) = 90.312 \text{ kN}。$$

(三) Type C 錨栓植入開裂 C20/25(3/A3)及 C35/43(4/A4)混凝土試驗與評定

由前項試驗結果為改善與降低 Type C 離型錨栓植筋植入混凝土扭矩，因此以熱處理方式提升錨栓前端螺牙處之硬度，再執行 Type C 離型螺紋錨栓植筋植入 C20/25(3/A3)及 C35/43(4/A4)開裂混凝土參考性試驗照片顯示於圖 3-24 及圖 3-25，二組試驗力量位移圖如示圖 3-26 及圖 3-27，試驗塊尺寸為 1000mm/1000mm/300mm，各試件均發生混凝土拉破錐狀破壞，各試驗條件結果經 ACI 及 EOTA 評定分析詳細結果彙整摘要於表 3-18，採用 ACI 355.2 評估分析結果顯示於表 3-19 及表 3-20，Type C 離型螺紋植筋錨栓拉於 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土 k-value 分別為 7.703 及 7.474，符合規範要求；另採用 ACI 與 EOTA 評估準則，於 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土無束制抗張試驗正規化拉出破壞抗張特徵強度分別為 48.831 kN 與 41.552 kN 及 61.139kN 及 51.755kN，然此離型錨栓植入 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土之平均扭矩為 128 N-m 及 132N-m，顯示此離型錨栓於施作時扭矩已顯著下降，符合施工基本需求。綜合此 4 種參考性試驗結果，此 Type C 離型錨栓性能已大致符合規範要求，然仍須執行幾件水土保持混凝土構造物現場延壽案例，證實其適用性，再研擬如何降低製造成本以利其經濟性足以後

續推廣應用。

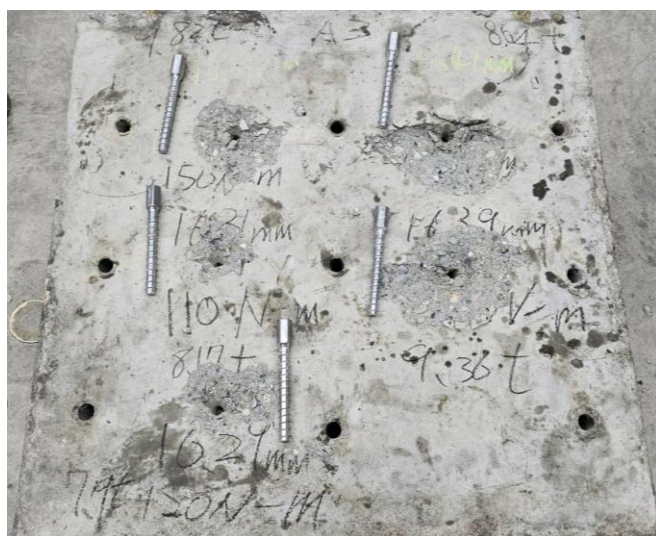


圖 3-24 Type C 錨栓植入 C 20/25 開裂混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗照片



圖 3-25 Type C 錨栓植入 C
35/43 開裂混凝土(4/A4) 非束制
抗張試驗照片

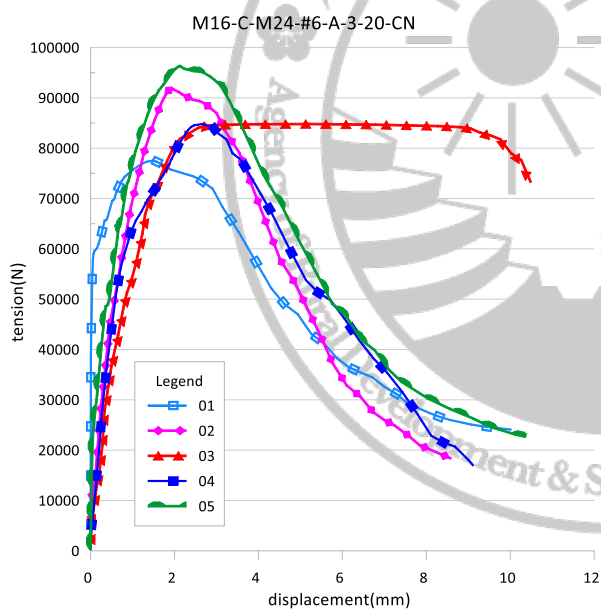


圖 3-26 Type C 錨栓植入 C 20/25
開裂混凝土(3/A3) 非束制抗張試驗
力量位移圖

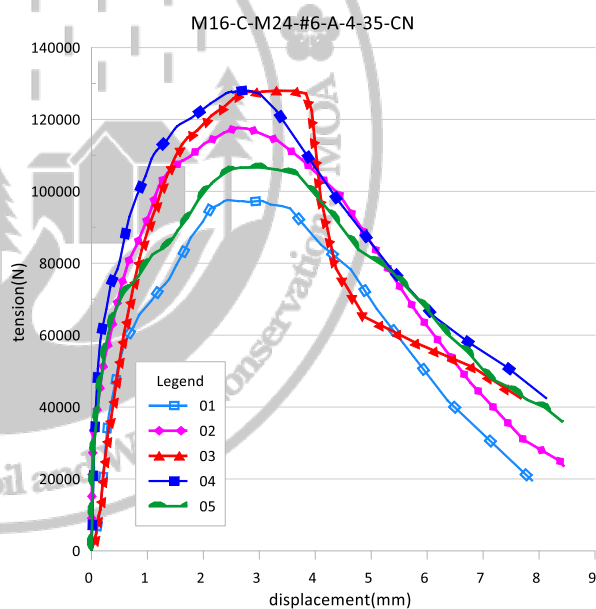


圖 3-27 Type C 錨栓植入 C 35/43
開裂混凝土(4/A4) 非束制抗張試驗
力量位移圖

表 3-18 Type A M16 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 開裂混凝土參考性抗張試驗一覽表

Test item	3/A3 $f_{u,test,i} = 30.442 \text{ Mpa}$		4/A4 $f_{u,test,i} = 50.160 \text{ Mpa}$	
Number	Tensile strength(kN)	Torque (N-m)	Tensile strength (kN)	Torque (N-m)
1	77.514	150.0	97.609	160.0
2	91.780	120.0	117.673	120.0
3	80.141	110.0	117.333	150.0
4	84.803	140.0	127.99	100.0
5	96.32	120.0	106.713	130.0
Average	86.11	128.0	113.464	132.0
Std. Dev.	7.87	16.43	11.626	23.87
Variation (%)	9.14%	12.84%	10.25%	18.09%
F_(5%) kN	59.360	NA	73.936	NA
正規化係數	0.823	NA	0.827	NA
ACI正歸化特性強度 N_p (kN)	48.831	NA	61.140	NA
k-value	7.703	NA	7.474	NA
EOTA特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	41.552	NA	51.755	NA

表 3-19 Type 錨栓植入 C20/25 開裂混凝土(3/A3) 參考性抗張試驗分析計算

ACI分析計算： F_m = 平均抗張強度 = 86.112kN。 K = 以 90 % 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5，$K = 3.4$。 ν = 變異係數 = 9.137%。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 86.112(1 - 3.4 \times 9.137\%) = 59.360\text{kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{30.442}} = 0.823$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 59.360 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{30.442}} = 48.831 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{54.978}{\sqrt{30.442} \cdot 124.95^{1.5}} = 7.703$。

續表 3-19 Type 錨栓植入 C20/25 開裂混凝土(3/A3) 參考性抗張試

驗分析計算

EOTA分析計算：

$$F_{u,t} = F_m = \text{平均抗張強度} = 86.112\text{kN}。$$

$$K = \text{以 } 90 \% \text{ 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 } = 5, K = 3.4。$$

$$\nu = \text{變異係數} = 9.137 \%。$$

$$N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 86.112(1 - 3.4 \times 9.137\%) = 59.360\text{kN}。$$

$$rad. \alpha_1 = \text{於開裂混凝土為} 0.7。$$

$$N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 41.552 \text{ kN}。$$

表 3-20 Type C 植入 C35/43 開裂混凝土參考性抗張試驗(4/A4)分析

計算

ACI分析計算：

$$F_m = \text{平均抗張強度} = 113.464\text{kN}。$$

$$K = \text{以 } 90 \% \text{ 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 } = 5, K = 3.4。$$

$$= \text{變異係數} = 10.25\%。$$

$$N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 113.464(1 - 3.4 \times 10.25\%) = 73.936\text{kN}。$$

$$\text{正規化係數} = \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{50.160}} = 0.826。$$

$$N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 73.936 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{50.160}} = 61.139 \text{ kN}。$$

$$k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{73.936}{\sqrt{50.160} \cdot 124.95^{1.5}} = 7.474。$$

EOTA分析計算：

$$F_{u,t} = F_m = \text{平均抗張強度} = 113.464\text{kN}。$$

$$K = \text{以 } 90 \% \text{ 信度評估特徵容量之常數；測試件數量 } = 5, K = 3.4。$$

$$\nu = \text{變異係數} = 10.25 \%。$$

$$N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 113.464(1 - 3.4 \times 10.25\%) = 73.936\text{kN}。$$

$$rad. \alpha_1 = \text{於開裂混凝土為} 0.7。$$

$$N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 51.755 \text{ kN}。$$

第三節 示範工程與應用經驗分享說明會規畫

為證實研發新型螺紋錨栓可適用於水土保持混凝土構造物延壽功能，本期研究規畫將此研發新型螺紋錨栓，應用於農村發展及水土保持署台南分署轄區內一件水土保持混凝土結構物補強延壽工程為試作案例，經農台南分署原先安排將此研發錨栓應用於力里橋力里溪上游野溪整治工程所屬攔砂壩整治工項中，將現有攔砂壩整治為梳子壩已有助溪流魚蝦生態復育工作，該整治工程須將攔砂壩整治調整為可通水之壩體，部分壩體需打除、部份壩頂需加高，因此需採用可植入現有混凝土錨栓，錨栓再連接一段，可經灌製混凝土達成連接新舊混凝土施工，為確保螺紋錨栓可有效植入現有混凝土壩體，且可提供試當抗拉強度，也經屏科大研究團隊與設計團隊專家至力里溪攔沙壩現場，執行試作與抗拉試驗，錨栓試作顯示，錨栓可順利植入現場混凝土壩體，經現場抗拉試驗顯示，錨栓抗拉強度可達 8-10 公噸，現場攔砂壩壩體混凝土為多年前現場拌合混凝土，經鑽心取樣至屏科大執行抗壓試驗，期平均抗壓強度約為 170kg/cm^2 ，現場試作照片如圖 3-28，該整治工程施工中現況如示圖 29，研究團隊於 12 月初至現場將研發中螺紋錨栓植入攔砂壩中，可提供後續與整治補強延壽混凝土鋼筋連結功能，現場植筋照片如示圖 30 及圖 31，螺紋錨栓應用於力里溪攔砂壩生態延壽整治工程混凝土灌漿前後照片如試圖 32，再搭

配現場漿砌石護面，完成此野溪修復工作。為有效評估研發螺紋錨栓植筋功能，目前也請農村發展及水土保持署台南分署其轄區找尋另一件混凝土結構物延壽修復工程，為後續示範工程，目前有一件高雄市大樹區野溪整治工程，該工址右岸護坡需整修，且野溪溝地沖刷嚴重，須以混凝土鋪底，確保修復延壽結構物完整性，可採螺紋植筋植入左岸現有混凝土護岸，以利與新灌製混凝土連結為一體，以增進修復延壽功效，大樹區野溪現況如示圖 3-33，該野溪工址須修復長度約 100 公尺，期望明年可通過審查發包施工。研究團隊並計畫於完成此補強與延壽示範工程後，擬請農村發展及水土保持署台南分署協助於計畫末期推動現場推廣說明會，介紹此新式補強材料與補強延壽工法之應用給水土保持工程界主管單位技術人員、水土保持技師、及施工廠商工程人員，方足以有效推廣此新式補強延壽工法應用於後續水土保持混凝土構造物結構補強工程中，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。



圖 3-28a 錨栓現場試作照片 A



圖 3-28b 錨栓現場試作照片 B



圖 3-29 屏東縣春日鄉力里溪攔砂壩生態整治為梳子壩工程現況



圖 30a 以扭距板手將螺紋錨栓植入攔砂壩體中



圖 30b 植入壩體螺紋錨栓可供與延壽補強鋼筋連結用

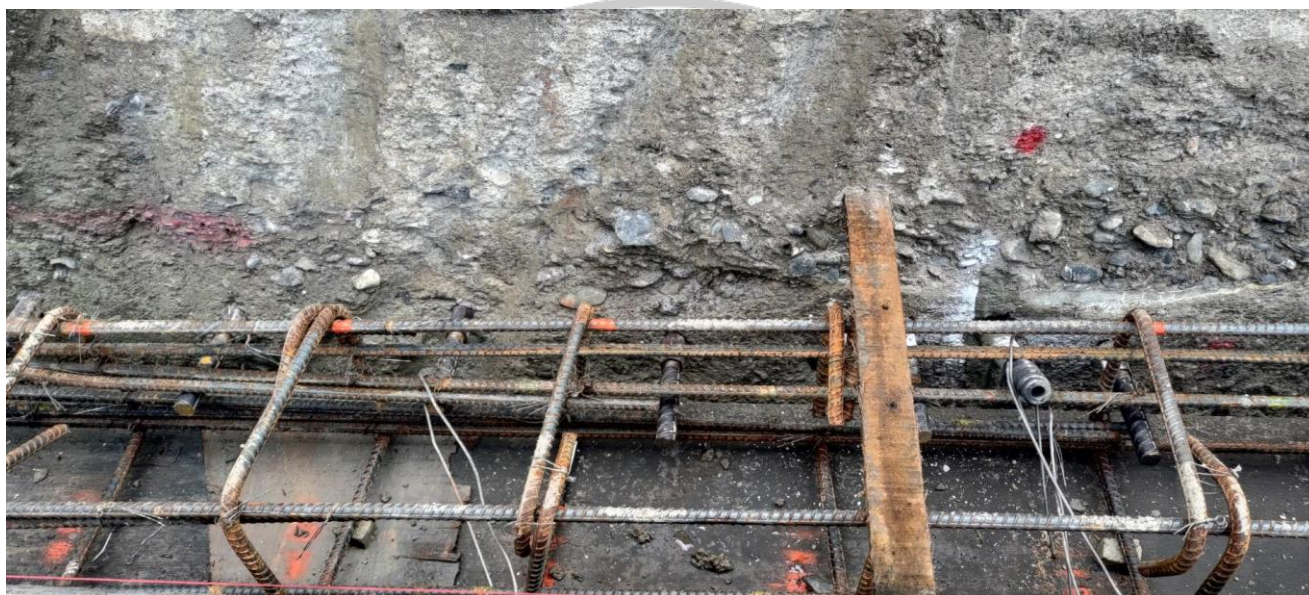


圖 31 植入壩體螺紋錨栓與延壽補強鋼筋連結於灌製混凝土前照片



圖 32a 螺紋錨栓應用於力里溪攔砂壩生態延壽整治工程混凝土灌漿前照片



圖 32b 螺紋錨栓應用於力里溪攔砂壩生態延壽整治工程混凝土灌漿後照片



圖 3-33a 高雄市大樹區野溪整治右岸年久失修及溪底沖刷待維護現址照片 A



圖 3-33b 高雄市大樹區野溪整治右岸年久失修及溪底沖刷待維護現址照片 B

第四節 錨件段採鍛造製程降低製作成本研發

由前兩期及本期研究結果顯示，此系列研究案研發之螺紋錨栓植筋已具備適當工程性能，可應用於混凝土結構物修復延壽工程，也經現場試作為混凝土結構物延壽補強之有效工程材料，該材料也已經改良具備良好施工性，然一項工法除具備適當功能與功效外，也需具備市場競爭性，以目前製造之螺紋錨栓，螺桿段螺牙段以鋼棒切銷成型，六角形螺帽端具備內螺牙也需切銷成型，為確保錨栓具備切銷入混凝土能力，錨栓除須經適度高溫硬化處理，螺桿前端螺牙更須經特殊硬化處理，方具適當切削入混凝土性能，為使錨栓具備適度防鏽性，表面處理也為其重要製作工序，因此目前製作之錨栓雖具備比黏結式化學植筋較佳之施工特性，但其造價仍無法與其競爭，為改善此情況，目前如僅以提高製作數量，仍無法有效降低切銷鋼材工序成本，為改善此不利之生產製作工序，目前擬研製鍛造模具，螺桿螺牙段以鍛造及滾壓工序改進製作方式，目前已與鍛造廠商擬定改善製造工序細節，錨栓鍛造機械照片如 3-34，螺紋錨栓鍛造模具草圖如示圖 3-35，預定經鍛造完成之螺紋錨栓初步形狀如示圖 3-36，將可大量減少 CNC 切削工序，明顯降低製造成本；為使錨栓性能穩定及降低製作成本，另需一次性購買一捆具材質性能證明鋼條生產，一次以生產至少五千支以上之錨栓，方可提供穩定性能與具價格競爭性之螺紋錨栓，此工作

也為下期研究重要工作項目。



圖 3-34 螺紋錨栓鍛造機台照片

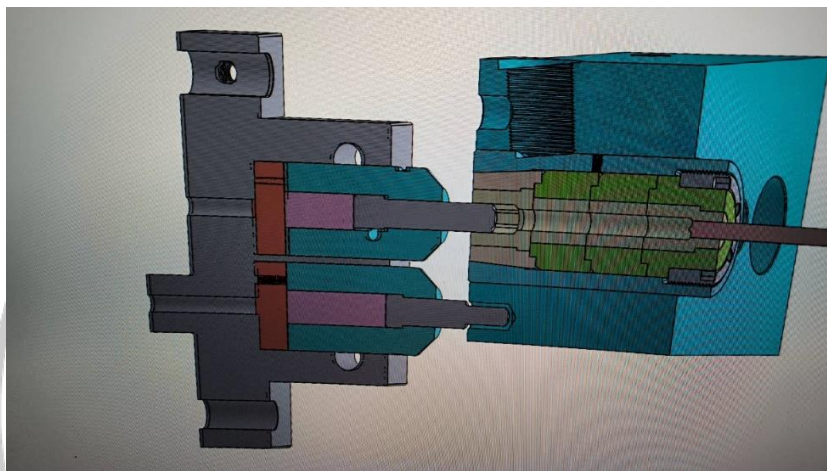


圖 3-35 螺紋錨栓鍛造模具草圖



圖 3-36 經鍛造機壓製完成之螺紋錨栓初步形狀

第四章 結論與建議

近年來經由補強與延壽之管理措施以延長水土保持構造物服務之年限，已為農村發展及水土保持署近年之重要工作方針。雖然黏結式化學植筋錨栓已廣泛應用於水土保持混凝土構造物之延壽與補強工法中，然此種聯結構件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等施工品質良好性，因此本系列研究計畫之目標為研究發展一種新型螺紋錨栓植筋具備可取代黏結式化學植筋錨栓應用於水土保持混凝土構造物延壽工程，並具備結構功能性、經濟性、與良好施工性。

本研究於第一期計畫中雖已評估一種新型螺紋植筋錨栓已具備足以取代化學植筋錨栓為劣化混凝土溝造物補強與延壽之性能，及可避免黏結式化學植筋錨栓因需時間固化引起二次施工不便利性，但因此錨栓較長，施工性較不方便；系列研究第二期計畫中，另採用中碳鋼開發另一新式螺紋錨栓搭配一鋼筋植筋段，錨栓主體為螺桿，且前端具備可切削入混凝土功能之螺牙，另一端製作為 M24 六角形含內牙之母錨頭，可與含 M16 螺牙鋼筋段相接，兩段元件結合可成為一組新式螺紋錨栓植筋，然此新式螺紋錨栓植筋抗張強度指數 k-value 足以符合歐美規範，代表其錨固性能適當，但植入較高強度混凝土對應之植入扭矩過高，施工便利性不佳，有修改螺桿段設計與製程之需

求。

本系列研究第三期計畫，已經主要三次(Type A、Type B、Type C)修改此新式螺紋錨栓植筋螺牙與螺桿設計，及調整後續鋼質定性製程，降低其植入施工時之扭矩及改善期施工性，並依歐美錨栓規範評定其可靠性與應用條件之性能，並規劃採用此修改之螺紋錨栓應用於至少一件水土保持功能防砂壩延壽整修工程中。於下將本期計畫結論與建議討論如下章節中。

第一節 結論

- 一、本研究錨栓性能評定採用低強度C20/25 (210 kg/cm^2)及高強度C35/43 (350 kg/cm^2)混凝土，研究團隊彙整試驗混凝土齡期與抗壓強度之資料顯示，試驗混凝土抗壓強度與齡期圖呈現雙線性關係，二組數據回歸圖形轉折點齡期為21天，研究灌製混凝土28天抗壓強度會增加至下一個級別混凝土強度。
- 二、前期研究顯示，研發之螺紋錨栓植筋之抗張強度指數k-value足以符合歐美規範，代表其錨固性能適當，但植入混凝土扭矩過高施工性能不佳，本期研究已數次修改此新式螺紋錨栓螺牙與螺桿段細部設計及後續生產鋼質調整製程，修改錨栓經試驗過程，已證實可有效降低其植入混凝土施工時之扭矩可約低於120N-m。
- 三、Type A雛型錨栓採用ACI 355.2四種參考性評估分析結果顯示，此雛型螺紋植筋錨栓於此二種未開裂與二種開裂混凝土抗拉試驗k-value分別為13.327及10.141與8.028及7.836，均符合規要求；

然試驗錨栓植入此四組混凝土試驗扭矩稍微偏高，平均扭矩仍介於136 N-m至170 N-m，顯示此雛型錨栓施工性不佳，錨栓設計與製程仍有修改之需求。

四、Type B雛型錨栓除修改錨栓設計，也將鋼筋段改由#6鋼筋車M20螺牙，此雛型螺紋植筋錨栓於此二種強度未開裂混凝土抗拉試驗k-value分別為8.198及12.819，因C20/25混凝土試驗塊發生邊緣擠破現象，試件抗拉強度變異係數較高，k-value稍低，錨栓性能大致符合規範要求；此雛型螺紋錨栓植筋於C35/43混凝土束制性握裹(5)性能評定，此錨栓之握裹強度為 14.768 N/mm^2 ，大於規範需求植 14.5 N/mm^2 ，但錨件於螺牙段上部斷裂，因此需修改此雛型錨栓螺牙段上段，增強錨栓鋼件抗張強度。

五、Type C雛型螺紋錨栓於C35/43混凝土束制性握裹(5)性能評定顯示此錨栓之握裹強度為 15.758 N/mm^2 ，大於規範需求植 14.5 N/mm^2 ；採用ACI 355.2評估分析結果顯示此雛型螺紋植筋錨栓於此二種未開裂與開裂混凝土抗拉試驗k-value分別為11.557及11.565與7.703及7.474，符合規範要求；然此雛型錨栓植入C20/25及C35/43開裂混凝土之平均扭矩約為至102 N-m至132 N-m，顯示此雛型錨栓於施作時扭矩已顯著下降，符合施工基本需求。

六、本研究已經農村發展及水土保持署台南分署安排，採用研發錨栓應用於屏東縣春日鄉力里橋力里溪上游野溪整治工程所屬攔砂壩整治工程中，為混凝土結構補強延壽示範工程案例，將現有攔砂壩整治為梳子壩已有助溪流魚蝦生態復育工作，屏科大研究團隊與劉盛顧問專家至屏東縣春日鄉力里橋上游攔沙壩現場，現場攔砂壩壩體混凝土為多年前現場拌合混凝土，執行錨栓試作與抗

拉試驗及混凝土鑽心取樣，錨栓試作顯示可順利植入現場混凝土壩體，錨栓抗拉強度可達8-10公噸，現場是體制屏科大執行抗壓試驗平均抗壓強度約為 170kg/cm^2 ，植入攔砂壩體螺紋錨栓再與整治鋼筋連結後灌製修復混凝土，再搭配現場漿砌石護面，完成此野溪修復工作。

- 七、研究團隊擬請台南分署協助於計畫末期推動現場推廣說明會，介紹此新式補強材料與補強延壽工法之應用給水土保持工程界主管單位技術人員、水土保持技師、及施工廠商工程人員，方足以有效推廣此新式補強延壽工法應用於後續水土保持混凝土構造物結構補強工程中，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。



第二節 建議

- 一、由本期初步研究結果顯示，此修正之TypeC螺紋錨栓植筋雖已可以適當扭矩植入高強度混凝土中，且其植入低強度與高強度混凝土也具備符合規範之抗張強度k-value，建議可後續完成更完整ACI與EOTA參考性、可靠生命週期應用性評定試驗與分析，以利後續推廣應用。
- 二、另也須選取一至二項水土保持損壞需延壽補強之混凝土構造物工程，將此修改之螺紋錨栓植筋，應用為後續修繕之材料，驗證其應用於補強延壽之功效。目前研究團隊也與農村發展及水土保持署台南分署其轄區找尋一件高雄市大樹區野溪整治延壽修復工程，該工址右岸護坡需整修，且野溪溝地沖刷嚴重，須以混凝土鋪底，因此可採螺紋植筋植入左岸現有混凝土護岸，以利與新灌製混凝土連結為一體，以增進修復延壽功效，期望明年可通過審查發包施工。
- 三、目前研發製作之錨栓雖具備比黏結式化學植筋較佳之施工特性，但其造價仍無法與其競爭，為改善此情況，後續錨栓螺牙段擬以鍛造及滾壓工序改進製程，將可大量減少CNC切銷工序，另一次以生產五千支以上之錨栓，方可提供穩定性能與具價格競爭性之錨栓。
- 四、然此新式螺紋錨栓植筋於應用推廣上仍有許多技術資料須建立，例如設計強度參數。施工作業程序(混凝土強度對應施工扭矩)、及產品驗證程序，也為後續計畫研究建議事項。

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.

