

計畫編號：ARDSWC-112-034

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 2/2 - 防砂壩延壽示範工程

**The applications of Screw Rebar system to rehab or extend
the service life of Soil and Water Conservation concrete
structures 2/2 – Rehabilitation project for an existing concrete
check dam**

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：112 年 02 月 08 日 至 112 年 12 月 31 日

計畫主持人：謝啟萬 特聘教授級研究員

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 112 年 11 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 2 之 2- 防砂壩延壽示範工程

摘要

近年農村發展及水土保持署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施工品質，因此本研究目的為憑股與評估螺紋植筋錨栓是否具備相同補強功能，且可避免化學植筋錨栓工法之缺點，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。

此研究計畫為第二期執行研究計畫，第一期研究結果顯示，以我國生產之化學植筋膠採用#4 及#5 鋼筋，於 C20/25 混凝土未開裂與開狀態下植入，執行束制性參考性抗拉試驗，以建立比對試驗數據；由#4 及#5 化學植筋依 ACI 及 EOTA EAD 評估準則，分析其於未開裂混凝土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，然需更完整試驗數據評估。#4 新型螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂混凝土束制式抗張試驗握裹強度為 18.3 N/mm^2 ，大於規範要求值；#4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂與開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 分別為 10.4 及 7.29，

均符合規範要求值。

本研究第二期計畫研究目標為研發#5 新型螺紋植筋錨栓以應用於水土保持混凝土構造物補強延壽工程，及以水土保持混凝土構造物維修整治工程，示範應用確認此新型螺紋植筋錨栓之適用性。此期計畫研究成果顯示，#5 新型螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂及開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 分別為 13.33 及 8.11，k 均符合規範要求值；而植入 C35/43 未開裂及開列混凝土特性強度 k-value 分別為 10.14 及 7.84，也符合規範要求值，然後徐宜於執行更多組試驗以利完成美洲 ACI 與歐盟 EOTA 性能評定準備工作。

本研究案也獲農村發展及水土保持署台南分署，同意於新化林場推動虎源溪混凝土擋土護岸基礎掏空補強延壽案例為示範工程，採用新式#5 螺紋錨栓與化學植筋植入劣化護岸混凝土結構物中各 10 公尺，連結現有混凝土與補強新建混凝土基礎構造物，達到結構物補強延壽功效，植筋尺寸為#5(15.6mm)，植筋深度為 150mm，植筋間距為 25 公分、平均每平方公尺可植 16 支植筋。由現場破壞性抗拉試驗顯示，#5 新式螺紋錨栓植筋與#5 化學植筋抗拉強度分別介於 5.6~10.82 噸及 8.0~9.9 噸，符合補強功效。新型#5 螺紋錨栓可先植筋，可後續續接鋼筋與補強鋼筋一同作業，再灌製補強混凝土，各工班可依序進場施工，施工性佳。然#5 新式螺紋錨栓植筋之設計雖能提供適當抗張強度，然於植入 C35/43 教高強度混凝土時之植入扭力須達 200N-m，經研究計畫後半段經數度修改螺牙與螺桿設計，此螺紋植筋錨栓植入 C20/25 及 C35/43 混凝土之如入扭

距已可降至 100N-m，符合目前市面上#5 螺牙錨栓植入扭距範圍。

本研究另於今年 6 月 26 日，受水土保持局台南分局邀請至分局，舉行一場推廣說明會，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，此次說明會也以視訊連接至其他水保分局，成效良好，有助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。然此螺紋植筋錨栓後續推廣應用上仍有許多技術資料須建立與改善，例如施工設備、施工步驟，施工條件(混凝土強度對應施工扭力)等施工作業程序技術資料與手冊、補強強度設計建議參數、及產品驗證程序申請與獲得等，均為後續努力的方向。

關鍵字：混凝土結構物、延壽、結構補強、化學錨栓、機械式錨栓。

**The applications of Screw Rebar system to rehab or extend the service
life of Soil and Water Conservation concrete structures 2/2 –
Rehabilitation project for an existing concrete check dam**

Abstract

Currently, chemical bonding anchors are commonly used in local projects. However, the engineering properties of chemical bonding anchors are significantly influenced by several factors, such as cleaning process of the drill hole, mixture condition of bonding gel, moisture condition of concrete, curing temperature and duration. Therefore, the objective of this project is to develop a new type rebar screw anchor was developed for concrete structure rehabilitation recently.

A #5 screw anchor is made from a piece of carbon steel rod. The screw anchor is designed having one side with screw teeth and the other side having a M24 hexagonal head with inner teeth. The screw section design will similar to current existing screw anchor and the tip is harden to ensure the anchor is able to cut in concrete. The screw teeth and section length is designed to meet the require bonding strength. The total anchor length can be selected based upon construction needs. The tensile strength of the development screw anchor was evaluated based upon the ACI and EOTA EAD assessment guidelines. The bonding strength k-values are all met the guideline for both un-cracked and cracked conditions. The screw teeth and anchor rod were both redesigned to ensure the installation torque was satisfied the current market expected value. The development of screw anchor was used successfully to replace the chemical anchor for an aging river revetment rehabilitation project try out project. The results of the assessment program indicated the developed screw anchor is able to meet the ACI and EOTA reference condition engineering characteristics and to be

used for aging concrete structure retrofitting.

Keywords: Reinforced concrete structure, Rehabilitation, Retrofitting, Bonded anchor, Anchor.

目次

摘要	I
Abstract.....	IV
目次	VI
圖目錄	IX
表目錄	XIV
第一章 緒論	1
第一節 背景與研究目的	3
第二節 研究材料	10
第二章 執行目標與方法步驟	16
第一節 全程目標	16
第二節 本(第二)年度目標與方法步驟	16
第三節 研究項目與流程	21
第四節 試驗規劃與設備	24
第三章 計畫成果與討論	28
第一節 研究試驗鋼筋與混凝土	28

第二節 化學植筋試驗與評定.....	35
一、#4 化學植筋植入 C20/25 及 C35/43 混凝土無開裂與開裂狀態圍 束抗張試驗.....	35
二、#5 化學植筋植入 C20/25 及 C35/43 混凝土無開裂與開裂狀態圍 束抗張試驗.....	36
第三節 #4 及#5 新型螺紋錨栓植筋試驗與評定	57
一、 #4 新型螺紋錨栓植筋試驗與評定結論.....	57
二、 #5 新型螺紋錨栓植筋植入 C20/25 混凝土試驗與評定	57
三、 #5 新型螺紋錨栓植筋植入 C35/43 混凝土試驗與評定	63
第四節 #5 新式螺紋錨栓植筋植入 C20/25 混凝土初期試驗與評定	68
一、C20/25 無開裂混凝土(1/A1)試驗	68
二、C20/25 開裂混凝土(3/A3)試驗	73
第五節 #5 新式螺紋錨 栓植筋植入 C35/43 混凝土初期試驗與評定	77
一、C35/43 無開裂混凝土(2/A2)試驗	77
二、C35/43 開裂混凝土(4/A4)試驗	82
第六節 修改#5 新式螺紋錨栓植筋植入 C20/25 與 C35/43 混凝土試驗與評	

定	86
一、於無開裂 C20/25 混凝土(1/A1)試驗	86
二、於無開裂 C35/43 混凝土(2/A2)試驗	90
第四章 劣化混凝土結構物補強延壽示範工程及推廣講習	95
第五章 結論與建議	101
第一節 化學植筋束制性抗張試驗結果小結	101
第二節 #5 新型螺紋錨栓植筋試驗結果結論	101
第三節 #5 新式螺紋錨栓植筋試驗結果結論	102
第四節 示範工程及推廣說明會結論	102
第五節 建議	103
參考文獻	105
附錄：112 年度期中審查意見回覆辦理情形	108

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	5
圖 1-5 防砂壩基腳擴大補強示意圖.....	5
圖 1-6 物理性地質改良工法示意圖.....	6
圖 1-7 化學植筋錨栓的施作與承載因素.....	6
圖 1-8 化學植筋錨栓常見施工問題.....	7
圖 1-9 野溪混凝土防砂壩部份損劣案例.....	8
圖 1-10-a 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例	9
圖 1-10-b 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例	9
圖 1-11 台灣化學植筋錨栓應用現況.....	10
圖 1-12 試驗用#4 螺紋植筋錨栓基本資料.....	11
圖 1-13-a 螺紋植筋錨栓日本專利證書	12
圖 1-13-b 螺紋植筋錨栓中國專利證書	12
圖 1-13-c 螺紋植筋錨栓德國專利證書	12
圖 1-13-d 螺紋植筋錨栓中華民國專利證書	12
圖 1-14 不同鋼筋段長度之螺紋植筋錨栓.....	13

圖 1-15 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 ...	13
圖 1-16 新式螺紋錨栓植筋設計草圖.....	14
圖 2-1 以 ACI 355.2 及 ACI 355.4 為本研究評定法	17
圖 2-2 ACI 355.2 機械錨栓評估流程及特性強度分析公式	18
圖 2-3 ACI 355.4 化學錨栓評估流程及特性強度分析公式	18
圖 2-4 本研究之實施步驟流程圖.....	23
圖 2-5 混凝土試驗塊模具.....	25
圖 2-6 預鑽孔鑽機.....	25
圖 2-7 鑽頭.....	25
圖 2-8 扭力板手	25
圖 2-9 試驗用油壓伺服系統.....	26
圖 2-10 侷限式拉伸試驗架設備.....	26
圖 2-11 開裂混凝土反力架油壓系統.....	26
圖 2-12 靜動態剪力試驗機構.....	27
圖 3-1 C20/25 試驗混凝土強度對應養護期齡分布與迴歸分析圖.....	32
圖 3-2 C35/43 試驗混凝土強度對應養護期齡分布與迴歸分析圖.....	34
圖 3-3 #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)	37
圖 3-4 #4 二組化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片	37

圖 3-5 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 3/1b 試驗照片 (2023)	39
圖 3-6 #4 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 試驗照片	42
圖 3-7 #4 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 1d/5 試驗照片	44
圖 3-8 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1a/1 試驗照片	47
圖 3-9 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 4/1b 試驗照片 (7 samples).....	49
圖 3-10 #5 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 試驗照片	52
圖 3-11 #5 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 1d/6 試驗照片	55
圖 3-12 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(1/A1)無束制抗張試驗照片	58
圖 3-13 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參 考性(3/A3)無束制抗張試驗照片	60
圖 3-14 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(2/A2)無束制抗張試驗照片	64
圖 3-15 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參 考性(4/A4)無束制抗張試驗照片	66
圖 3-16 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(1/A1)無束制抗張試驗照片 .	69

圖 3-17 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d) 且有效埋入深度 117mm 於參考性(3/A3)無束制抗張試驗照片	73
圖 3-18 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(2/A2)無束制抗張試驗照片	78
圖 3-19 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) 且有效埋入深度 117mm 於參考性(4/A4)無束制抗張試驗照片	82
圖 3-20 修改螺牙與螺桿後之 M24 母頭新式螺紋植筋錨栓	86
圖 3-21 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24remake)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗照片	87
圖 3-22 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深 度 143mm(9d)參考性(2/A2)無束制抗張試驗照片	91
圖 4-1 新化林場虎源溪混凝土護岸基礎掏空概況.....	96
圖 4-2 植筋鑽孔與清孔作業.....	96
圖 4-3 螺紋錨栓與化學錨栓植筋作業.....	97
圖 4-4 混凝土護岸基礎掏空狀況及植筋與鋼筋綁紮補強作業後灌製混凝土前概 況	97
圖 4-5 混凝土護岸基礎補強混凝土模板組立與混凝土澆置	98
圖 4-6 混凝土護岸基礎補強施工前與施工完成後照片	98
圖 4-7 新化林場入口混凝土路面補強新式螺紋錨栓植筋安裝與鋼筋網鋪設作業	

.....	99
圖 4-8 新式螺紋錨栓植筋與化學植筋現地試驗鑽孔與植筋作業.....	99
圖 4-9 新式螺紋錨栓植筋與化學植筋現地抗拉試驗作業.....	100
圖 4-10 2023 年 6 月 26 日於台南分署舉行新示螺紋錨栓植筋推廣說明會照片	100

表目錄

表 2-1 ACI 355.2 Table 4.1b 機械式後置式錨栓應用於開裂與未開裂混凝土評估 試驗表.....	19
表 3-1 化學植筋試驗用#4 及#5 鋼筋性能表.....	29
表 3-2 試驗用混凝土配比設計表.....	30
表 3-3 C20/25 試驗混凝土強度與養護期齡總表.....	31
表 3-4 C35/43 試驗混凝土強度與養護期齡總表.....	33
表 3-5 #4 二組化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 束制性抗張 試驗摘要表.....	38
表 3-6 #4 二組化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a 試驗彙 整表.....	39
表 3-7 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 1b/3 試驗摘要 表(2023).....	40
表 3-8 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度 ACI 參考性 1b/3 試驗 彙整表.....	41
表 3-9 #4 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 試驗摘要表	42
表 3-10 #4 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 2/1c 試驗彙整 表.....	43
表 3-11 #4 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 1d/5 試驗摘要	

表	45
表 3-12 #4 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1d/5 試驗 彙整表	46
表 3-13 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1a/1 試驗摘要表 ..	47
表 3-14 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a/1 試驗彙整 表	48
表 3-15 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1b/4 試驗摘要表	50
表 3-16 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度 ACI 參考性 1b/4 試驗 彙整表	51
表 3-17 #5 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 試驗摘要表 ..	53
表 3-18 #5 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1c/2 試驗彙整 表	54
表 3-19 #5 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度試驗摘要表(G2)	55
表 3-20 #5 化學植筋植入 C35/43 開裂混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1d 試驗彙 整表	56
表 3-21 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(1/A1) 無束制抗張試驗彙整表 $f_c'=28.042\text{MPa}$	59
表 3-22 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析彙整表	60

表 3-23 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(3/A3)無束制抗張試驗彙整表 $f_c'=28.76\text{MPa}$	61
表 3-24 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(3/A3)無束制抗張試驗分析彙整表	62
表 3-25 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(2/A2) 無束制抗張試驗彙整表 $f_c'=37.18\text{MPa}$	64
表 3-26 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析彙整表	65
表 3-27 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(4/A4)無束制抗張試驗彙整表 $f_c'=46.624\text{MPa}$	66
表 3-28 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(4/A4)無束制抗張試驗分析彙整表	67
表 3-29 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(1/A1)無束制抗張試驗數據彙整表	70
表 3-30 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(1/A1)無束制抗張試驗可行性數據彙整表	70
表 3-31 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度	

143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果.....	71
表 3-32 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果.....	72
表 3-33 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(3/A3)無束制抗張試驗數據彙整表....	74
表 3-34 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(3/A3)無束制抗張試驗可行性數據彙整表	74
表 3-35 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(3/A3)無束制抗張試驗分析結果.....	75
表 3-36 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(3/A3)無束制抗張試驗分析結果.....	76
表 3-37 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(2/A2)無束制抗張試驗數據彙整表	79

表 3-38 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(2/A2)無束制抗張試驗可行 性數據彙整表.....	79
表 3-39 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24 未熱處理)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深 度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(2/A2)無束制 抗張試驗分析結果.....	80
表 3-40 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(2/A2) 無束制抗張試驗分析結果.....	81
表 3-41 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) 且有效埋入深度 117mm 於參考性(4/A4)無束制抗張試驗數據彙整表....	83
表 3-42 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) 且有效埋入深度 117mm 於參考性(4/A4)無束制抗張試驗可行性數據彙整 表	83
表 3-43 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) 且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(4/A4)無束制抗張試驗分析 結果.....	84
表 3-44 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) 且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(4/A4)無束制抗張	

試驗分析結果.....	85
表 3-45 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗數據彙整表	88
表 3-46 #5 修改螺牙與螺桿新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗可行性數據彙整表	88
表 3-47 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)ACI 355.2 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果	89
表 3-48 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d) EOTA EAD 330232 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果	90
表 3-49 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(2/A2)無束制抗張試驗數據彙整表	92
表 3-50 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(2/A2)無束制抗張試驗可行性數據彙整表	92
表 3-51 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)ACI 355.2 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析結果	93
表 3-52 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) EOTA EAD 330232 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析結果	94



第一章 緒論

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）。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。

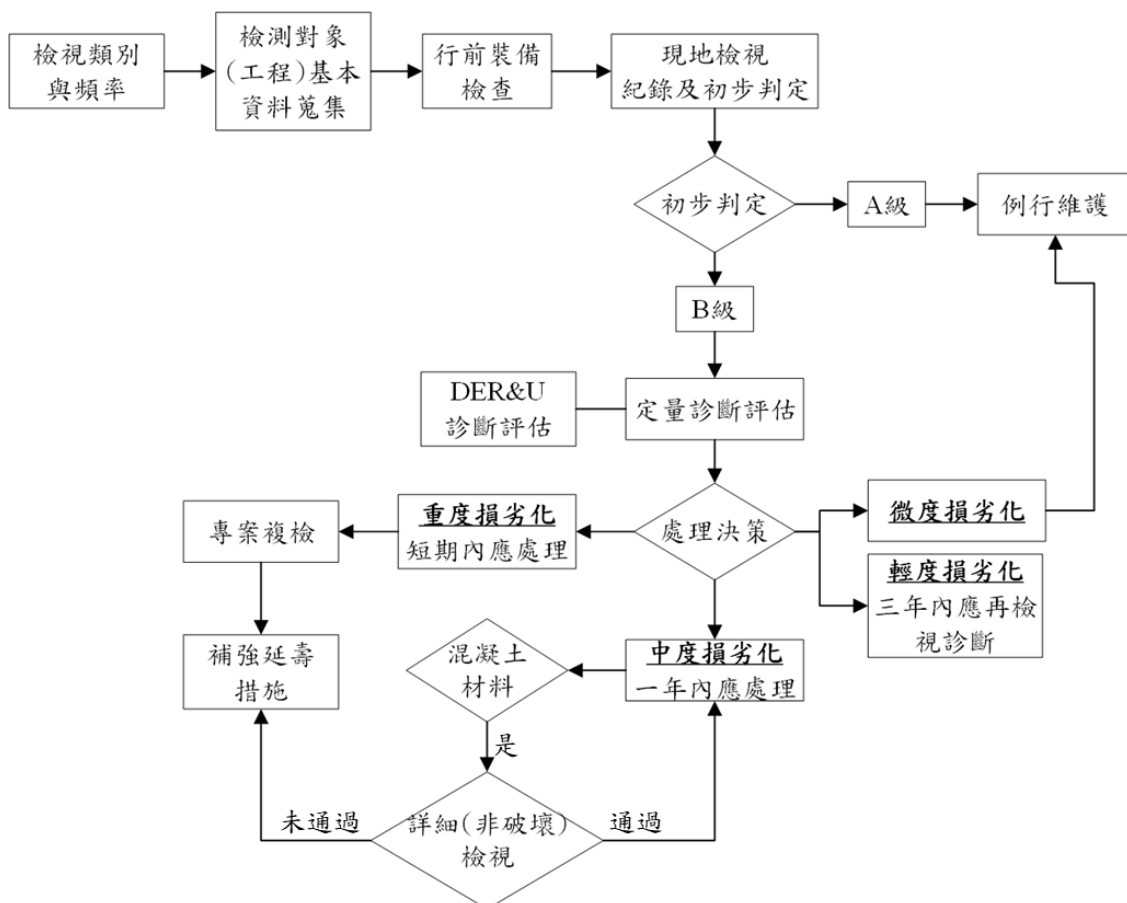


圖 1-1 水土保持主要防砂工程構造物辦理補強延壽之標準作業流程

(水土保持局，2019)



第一節 背景與研究目的

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，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。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。

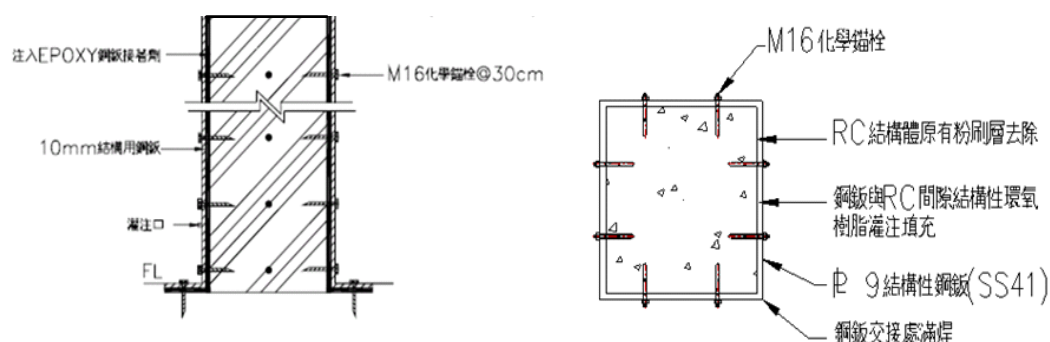


圖 1-2 鋼板包覆補強應用於梳子壩壩柱之示意圖

（水土保持局，2019）

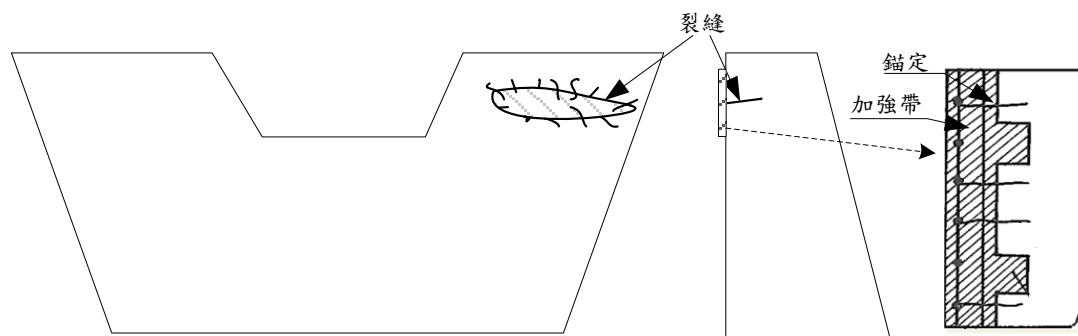


圖 1-3 RC 包覆補強示意圖

(水土保持局，2019)

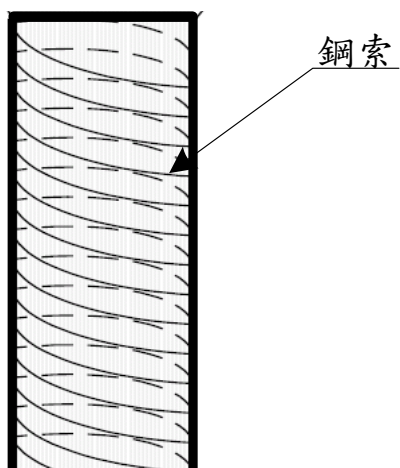


圖 1-4 鋼索圍束應用於梳子壩壩柱之示意圖

(水土保持局，2019)

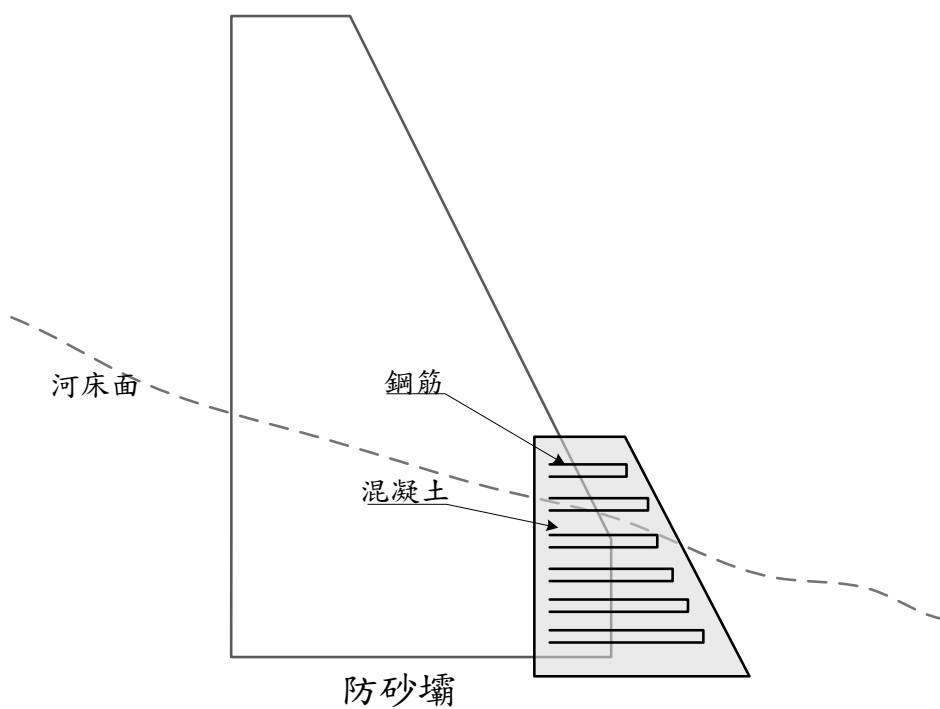


圖 1-5 防砂壩基腳擴大補強示意圖

(水土保持局，2019)

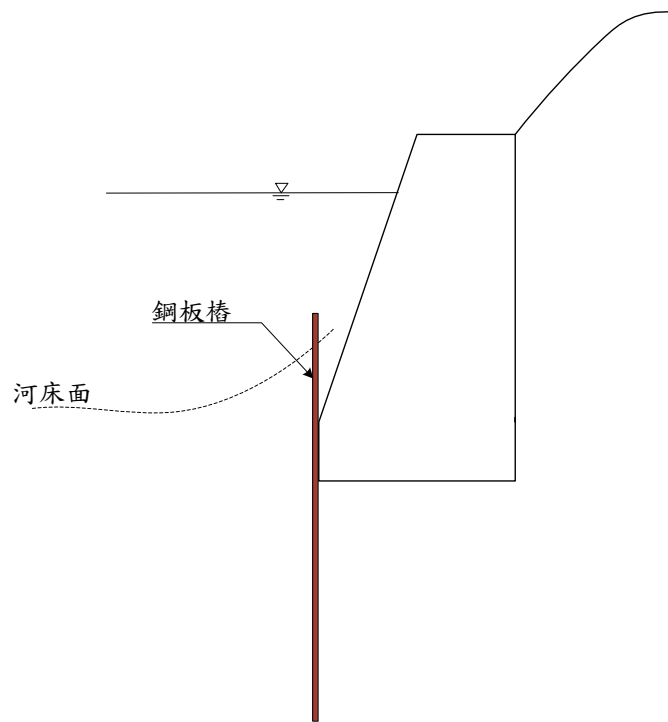
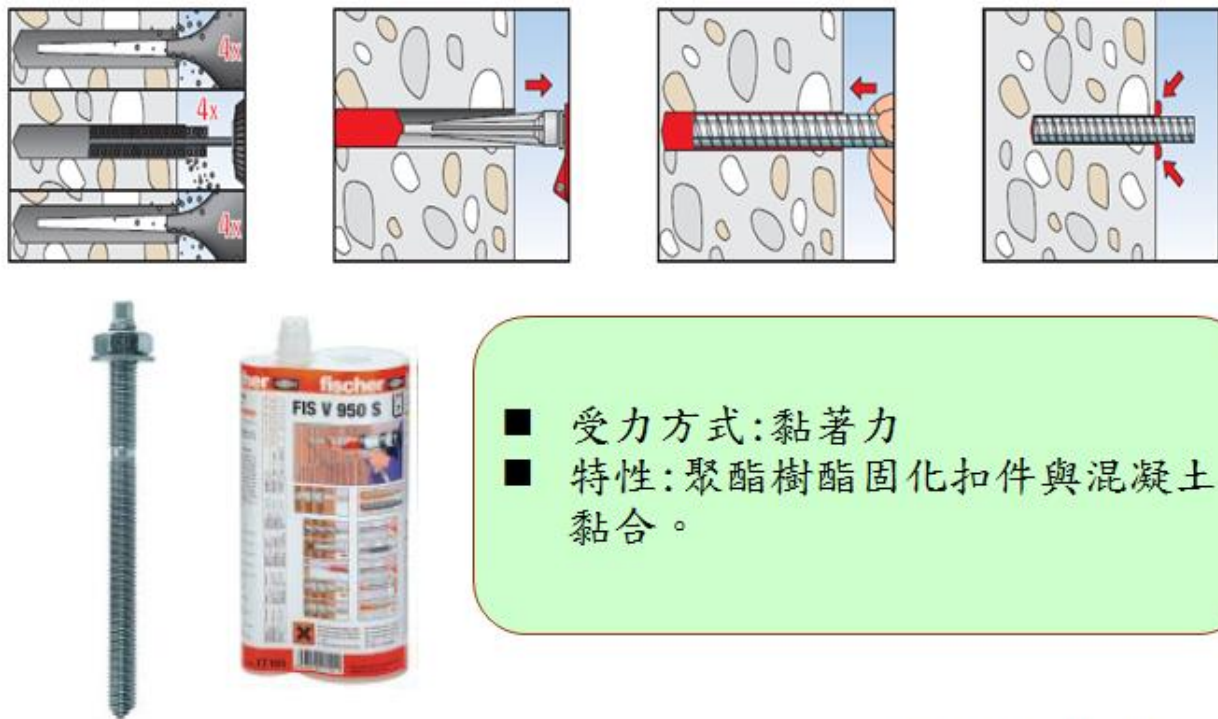


圖 1-6 物理性地質改良工法示意圖

(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

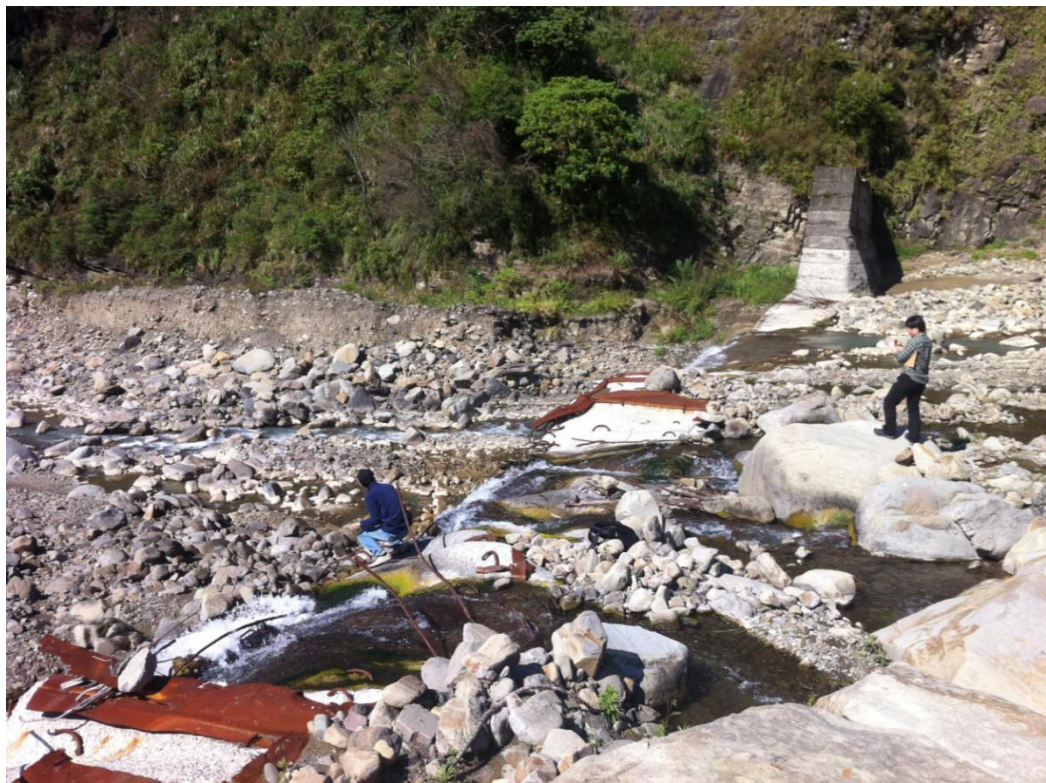


圖 1-10-b 野溪混凝土防砂壩以鋼板補強延壽損劣案例



第二節 研究材料

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 1-11），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#4 螺紋植筋錨栓，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，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 1-14），鋼筋段尾端設計為六角型螺帽；方便此新型螺紋錨栓植筋施作可先採用適當尺寸鑽頭先行於混凝土預鑽導孔，再採用六角扳手將螺紋錨栓植入混凝土中，即可使此錨栓植筋產生適當抗拉強度，而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。且此種新型植筋螺栓其鋼筋段與螺紋錨栓段採磨擦焊接方式結合為一體，該銲接處的特性也為此項產品需加強評估確認之項目。

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

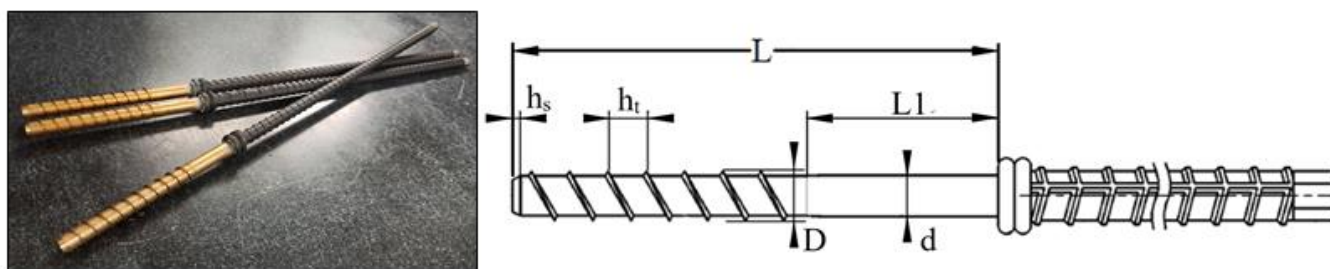


圖 1-12 試驗用#4 螺紋植筋錨栓基本資料

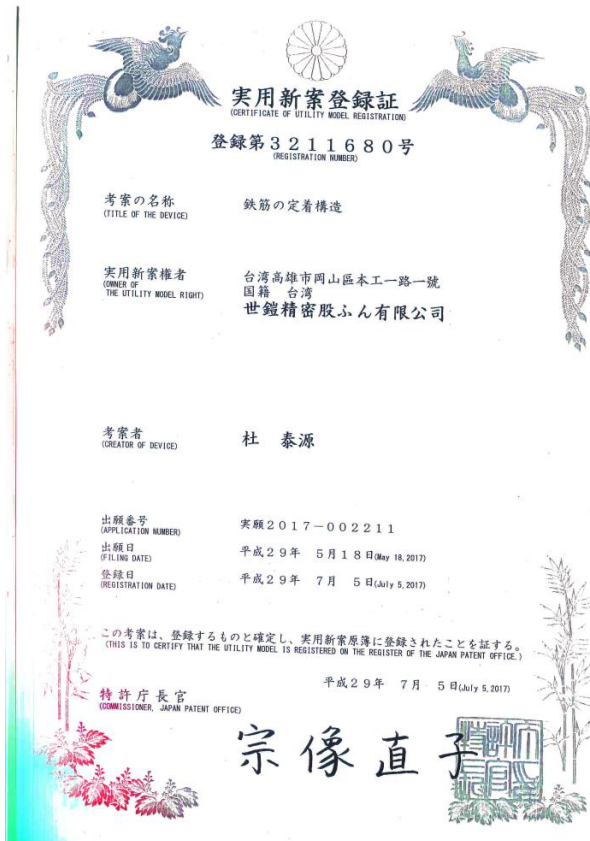


圖 1-13-a 螺紋植筋錨栓日本專利證書

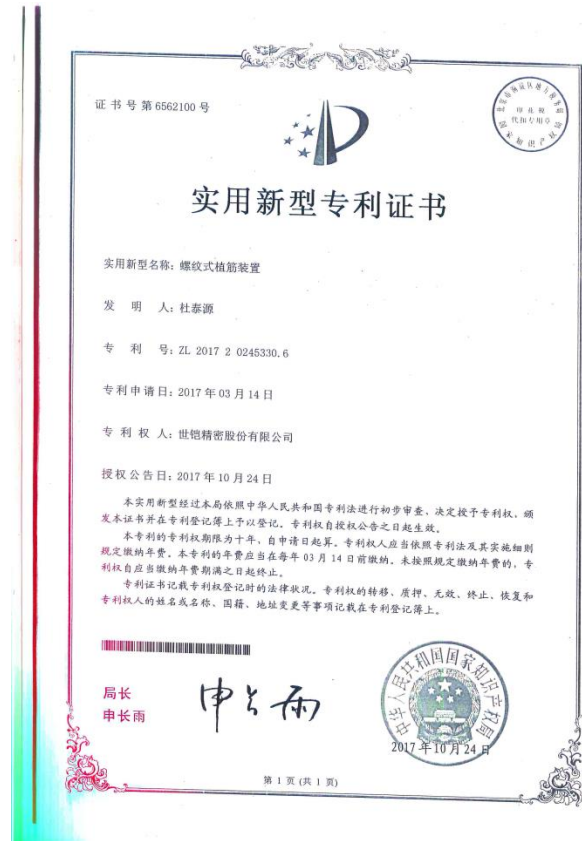


圖 1-13-b 螺紋植筋錨栓中國專利證書



圖 1-13-c 螺紋植筋錨栓德國專利證書

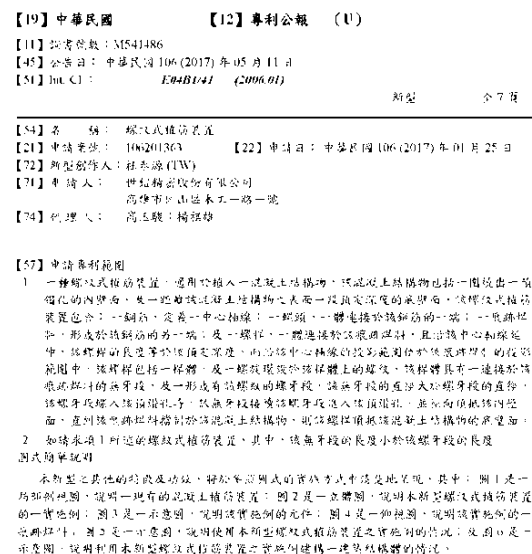


圖 1-13-d 螺紋植筋錨栓中華民國專利證書

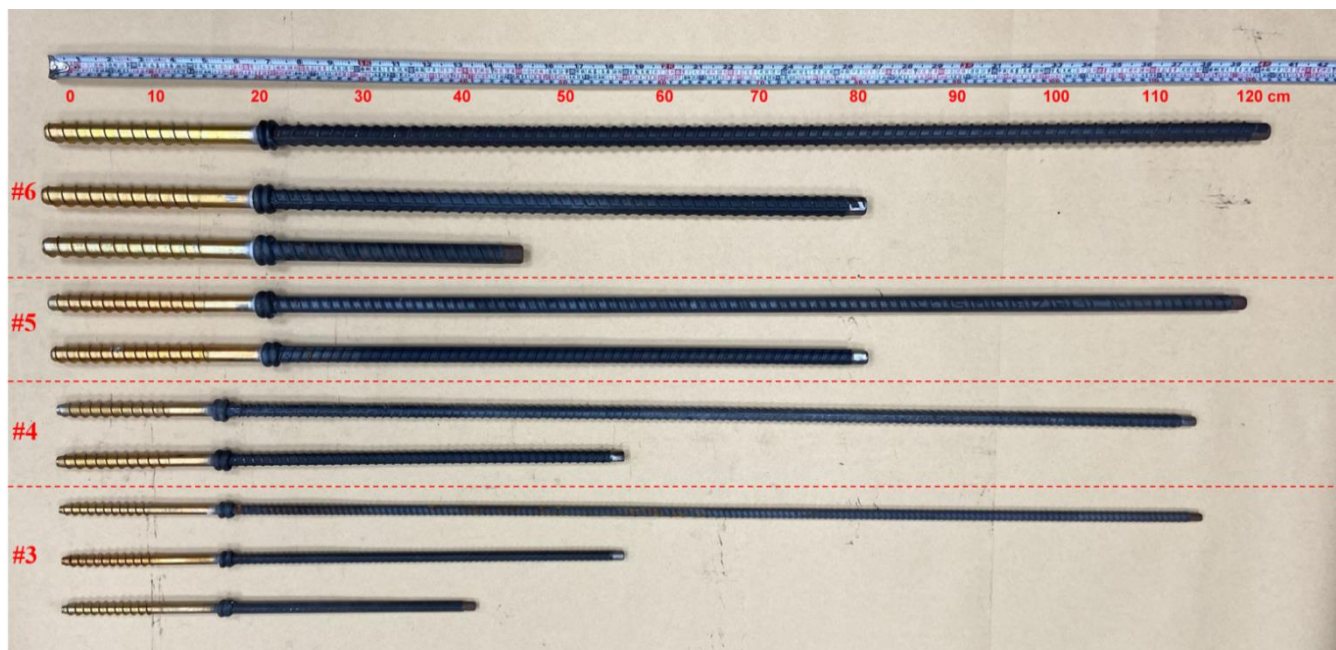


圖 1-14 不同鋼筋段長度之螺紋植筋錨栓



- 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：世鎰精密股份有限公司，2017

圖 1-15 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



因此本研究於第一期計畫先擬以新型#4 及#5 螺紋錨植筋為此研究主要材料(如試圖 1-14)，應用於水土保持混凝土結構物補強延壽功能中，但因考慮此新型專利螺紋錨植筋之摩擦焊接處之性能不確定性，於第一期計畫中後期乃另規劃開發另一新式螺紋錨植筋，新開發之#5 新式機械式植筋將含二組建，組件依為一具內牙錨頭之螺紋錨栓，其一端具有錨栓切削入混凝土功能，另一端製作為含內牙母錨頭，如示圖 1-16，第二組件為一具外螺牙之#5 公頭鋼筋段，螺牙尺寸與間距應配合螺紋錨栓之內牙母錨頭，相接成為一組新式螺紋錨植筋，然較成熟研究成果，於第二期計畫中探討。

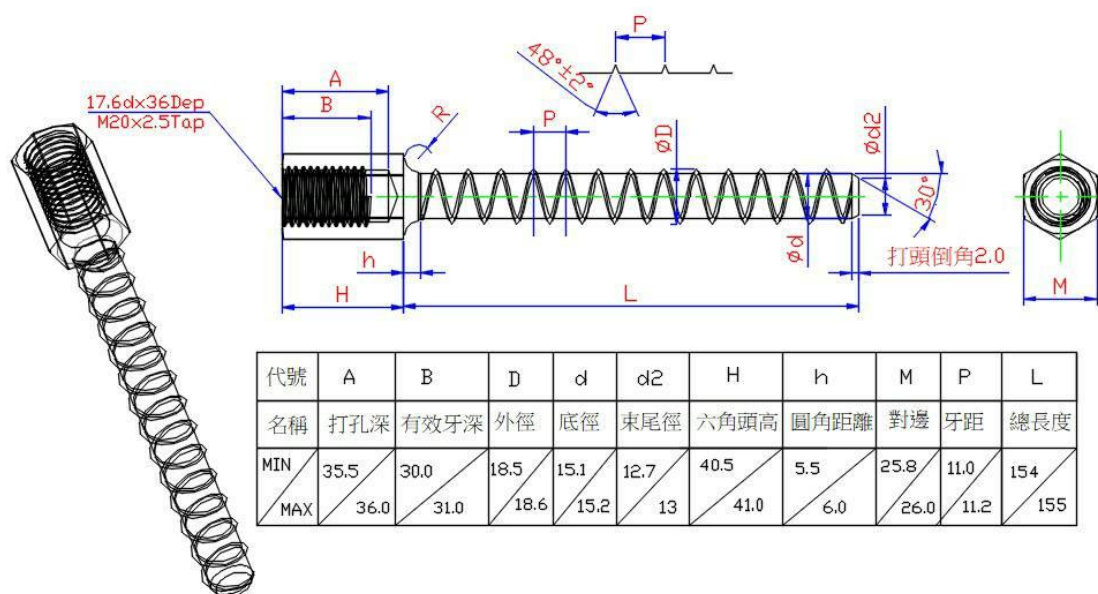


圖 1-16 新式螺紋錨植筋設計草圖

目前此二類型螺紋錨植筋軍仍未能廣泛推廣應用，本研究第一期計畫主旨在於研究與評估我國新型研發之螺紋植筋錨栓，是否可代替化學植筋應用於目前我國水土保持工程已劣化之混凝土構造物所需之補強與延壽作業之可行性研究。於第一期計畫中，乃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



筋化學植筋及相對應此新型螺紋植筋錨栓產品進行錨栓抗拉性能進行參考性評估研究，以確保此新型螺紋植筋錨栓產品，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。於第一期計畫中依美國混凝土學會（ACI）評估準則評定比對螺紋植筋錨栓與化學植筋錨栓之參考性性能，已初步了解於特定條件下，此新型錨栓具備等同化學錨栓抗拉性能，應可採用此新型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。

且考量新型螺紋錨栓植筋焊接點性能穩定性及施工時凸出於混凝土表面之不便利性，於第一期計畫後期執行期間，另開發出新式螺紋錨栓植筋，由於此新式植筋於植筋為兩組件構造，於植筋作業與後續鋼筋工作業施工時更具備便利性，然此項新研發產品新式螺紋錨栓植筋相關之研發生產與性能研究為第二期計畫之主要工作，並執行相關性能評定工作，及執行此項新式螺紋錨栓植筋應用於水土保持混凝土結構物延壽示範工程中，以確保此新式螺紋錨栓植筋可應用於水土保持混凝土構造物補強延壽作業。



第二章 執行目標與方法步驟

第一節 全程目標

本計畫由原一年期計畫修改期程為二年度計畫，第一年計畫目標在於評估我國新型螺紋植筋錨栓是否可以為水土保持混凝土構造物補強延壽之施工材料，以避免化學植筋錨栓因需時間固化，需以二階段施工方式，造成結構補強作業之施工不便利性，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；如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。

由於新型螺紋錨栓植筋之摩擦焊接處性能之可靠性，及施工時凸出於混凝土表面之不便利性，於是於此研究研發新式螺紋錨栓植筋，而第二年期計畫目標含更完整評估此新式螺紋植筋錨栓於使用生命週期之工程特性，以確保研究使用之新型螺紋植筋錨栓除具備短期抗拉強度即可適用因應長期各項條件所需之工程特性，並期望以實際工程案例，證明此新式螺紋植筋錨栓可以取代化學植筋錨栓應用於水土保持工程混凝土構造物補強延壽施工之施工材料，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。並於完成此補強與延壽示範工程後，再推動現一場推廣參訪示範說明會，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。

第二節 本(第二)年度目標與方法步驟

本年期計畫目標期望以第一年期計畫評估成果為依據，由於新型螺紋錨栓植筋之摩擦焊接處性能之可靠性，及施工時凸出於混凝土表面之不便利性，因此第二年計畫需研發新式螺紋植筋錨栓為混凝土構造物補強延壽功能用。依研究評估結果顯示研究之新式螺紋植筋錨栓符合 ACI 評定規範要求，具備等同化學植筋之握裹強度，且符合 ACI 機械錨栓評定規範要求之抗拉強度，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，然此新型研發之螺紋植筋錨栓工程評定僅限制於參考特性(Reference tests)，仍需依 ACI 評定規範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(如試圖 2-1 及表 2-1)，ACI 355.2 及 ACI 355 評定分析計算是如試圖 2-2 及圖 2-3，本期計畫擬更完整試驗評估此螺紋植筋錨栓工程特性，在規劃以實際一件水土保持劣化混凝土結構物補強延壽示範工程案例為研究主軸，證明此新式螺紋植筋錨栓可以取代化學植筋錨栓應用於水土保持工程混凝土構造物補強延壽施工之施工材料，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。並於完成此補強與延壽示範工程後，再推動現一場推廣說明會，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，增進補強延壽工程之可靠性。於下將計畫執行期中成果逐項討論於下。

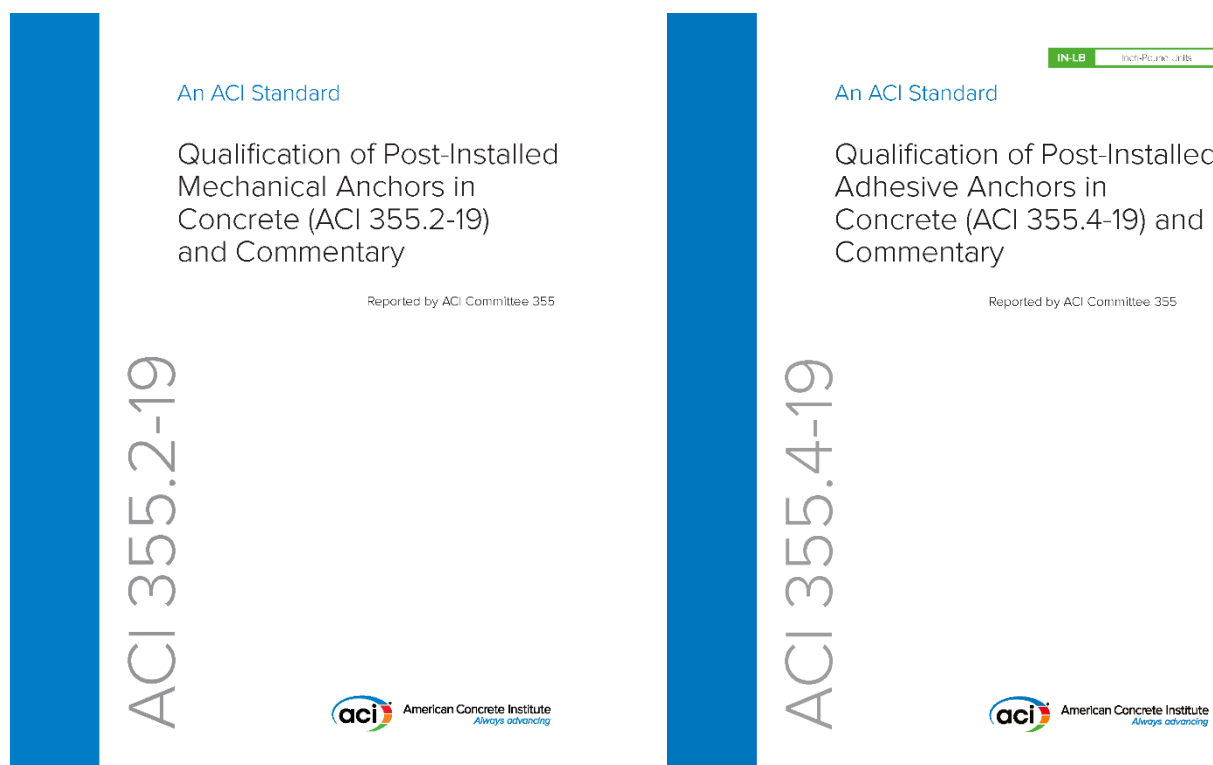


圖 2-1 以 ACI 355.2 及 ACI 355.4 為本研究評定法



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

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/mm^2
 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 2-2 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(%)。

$$F_{u,test,x} = F_i \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{c,test,x}}}$$

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 $f_{c,test}$ 。

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

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。

圖 2-3 ACI 355.4 化學錨栓評估流程及特性強度分析公式



表 2-1 ACI 355.2 Table 4.1b 機械式後置式錨栓應用於開裂與未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* <i>n</i>
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 §	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
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	—	High	$\geq h_{min}$	d_m	5



			tension force					
--	--	--	---------------	--	--	--	--	--

*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.



第三節 研究項目與流程

本期研究主要工作項目共包括數個項目，第一需要研發改良新式螺紋錨栓植筋，使其具備良好性能及工作性，更需注意其生產成本，使其具備市場價格競爭性；第二項目再將化學植筋與研發改良之新式螺紋錨栓植筋，依 ACI 355.4 及 355.2 與 EOTA 評定規範，評估其於應用生命週期之參考性工程特性，除建立性能數據外，亦可經有二種植筋性能比對，確定新式植筋具備補強與延壽功能；第三項目為以實際一件水土保持混凝土劣化結構物，以化學植筋及新式螺紋錨栓植筋執行補強延壽示範工程案例，證明此新式螺紋植筋錨栓可以具備化學植筋等同延壽功能，可應用為水土保持工程混凝土構造物補強延壽施工之施工材料；第四項目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。研究之實施流程圖如示圖 2-4，各項實施步驟項目討論如下。

1. 為建立化學植筋與機械式植筋性能比對試驗數據，本其研究亦需執行 ACI 與 EOTA 性能評定試驗，以建立化學植筋參考性、可靠性與生命週期參考性能評定性能數據。
2. 由前期研究資料顯示，研究之新型螺紋錨栓植筋符合 ACI 參考性評定規範要求，具備等同化學植筋之握裹強度，且符合 ACI 機械錨栓參考性評定規範要求之抗拉強度，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，如施工敏感性試驗及週期性荷載可靠性試驗等等，然此新型螺紋錨栓植筋之構造含一磨擦焊接點，其性能具備不確定性，因此本研究擬研發一新式螺紋錨栓植筋，以改善此項性能不確定性之疑慮。
3. 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。
4. 因此本研究很重要工作為研發改良此新式螺紋錨栓植筋，再執行此新式螺紋植筋錨栓 ACI 355.2 參考性試驗，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。

5. 研究第三項工作為規劃於水土保持局管轄屏東、高雄或台南地區範圍內，以實際一件水土保持混凝土劣化結構補強延壽示範工程案例，此初期示範案預計補強混凝土面積約 5-10 平方公尺，補強混凝土厚約 20-30 公分，並配合設計補強需求，規劃採用抗壓強度 $f_c'=210$ 或 280 kg/cm^2 之混凝土，採用 #5 新型螺紋植筋，植筋間距為 25 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製補強體。
6. 並於完成此補強與延壽示範工程後，再推動現一場推廣說明會，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，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。
7. 最後分析評估此採新型螺紋植筋錨栓應用於水土保持劣化混凝土結構物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。
8. 最後將研究成果與心得撰寫研究報告書，評估提出可研提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。

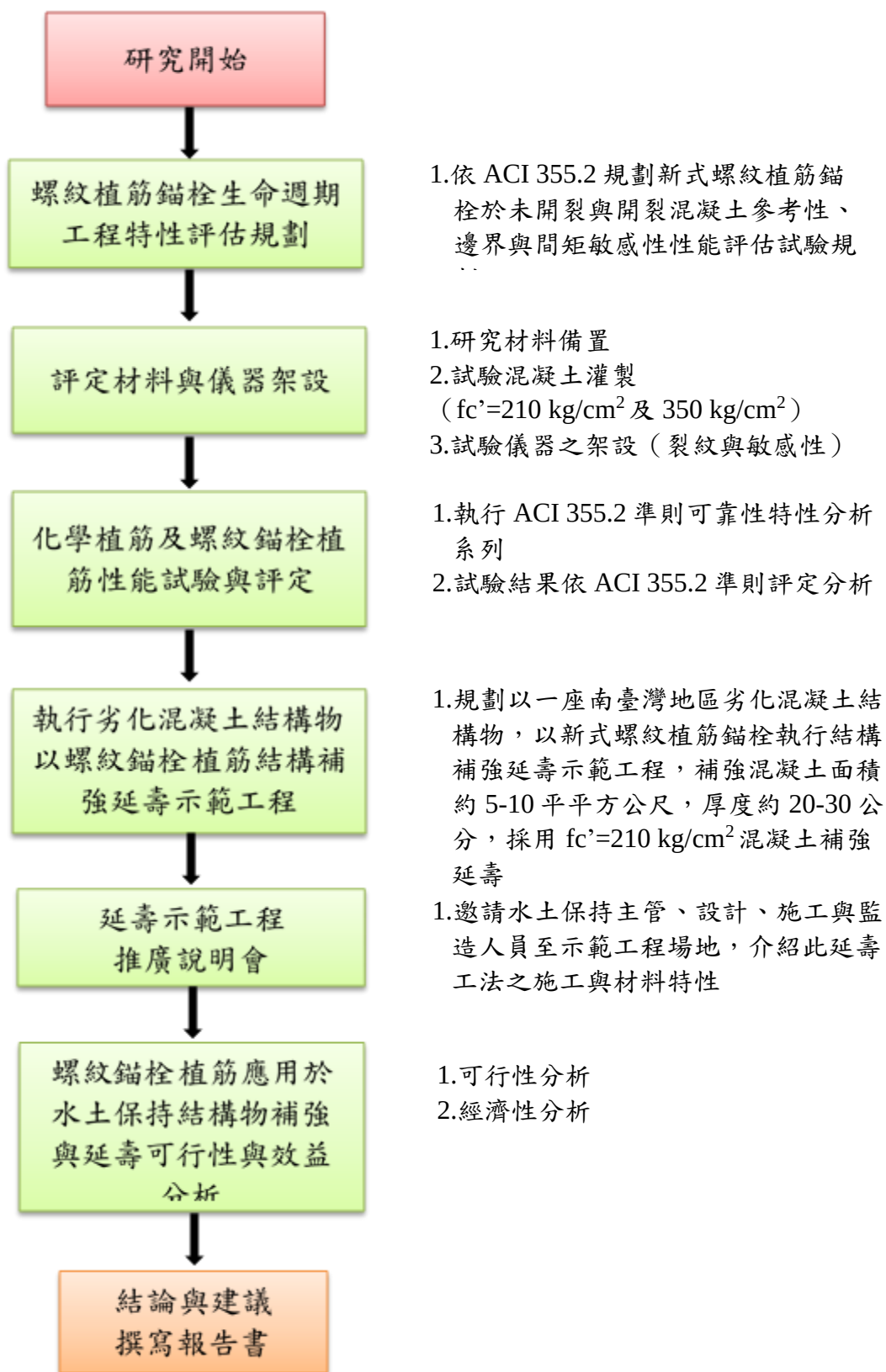


圖 2-4 本研究之實施步驟流程圖



第四節 試驗規劃與設備

研發鋼筋植筋植入端同時，可灌製抗壓強度為 20.6MPa 混凝土試驗塊與適當數目圓柱型試體，採用工地養護程序養護至少 21 天 [4]，方可用於執行植筋植入評估與抗張試驗，執行試驗當日需執行圓柱型試體抗壓試驗，以了解執行植筋試驗時混凝土實際抗壓強度，執行雛型植筋植入試驗前參考 ACI 355.2 評定準則選定對應之鑽頭尺寸，執行植入評估前，採用選定鑽頭於混凝土試驗塊先執行預鑽導孔，在執行雛型植筋是否可切割入混凝土以有效具備植入性能，植筋植入過程可採扭力扳手評定植入扭力之大小，經由植入試驗結果判定雛型植筋螺牙設計是否適當，如雛型植筋無法植入混凝土則需修改螺牙設計、調整植入端硬化處理細節或調整鑽頭尺寸，反覆此項程序直至植筋可有效植入混凝土試驗塊中，再依完成之雛型植筋設計草圖製作後續研究用之鋼筋植筋。雛型植筋設計草圖如示圖 1-16，混凝土試驗塊模具、預鑽孔鑽機與鑽頭如示圖 2-5、圖 2-6、圖 2-7，扭力扳手如示圖 2-8，試驗用油壓伺服系統如示圖 2-9，侷限式拉伸試驗架設備如示圖 2-10，開裂混凝土反力架油壓系統如示圖 2-11，剪力設施配置如示圖 2-12。。



圖 2-5 混凝土試驗塊模具



圖 2-6 預鑽孔鑽機



圖 2-7 鑽頭



圖 2-8 扭力板手



圖 2-9 試驗用油壓伺服系統



圖 2-10 侷限式拉伸試驗架設設備



圖 2-11 開裂混凝土反力架油壓系統



圖 2-12 靜動態剪力試驗機構



第三章 計畫成果與討論

本研究之材料包括 420Mpa 鋼筋、C20/25 及 C25/43 混凝土、本土化學植筋膠、#4 及#5 新型螺紋錨栓植筋、及#5 新式新型螺紋錨栓植筋等。於下分段討論研究成果。

第一節 研究試驗鋼筋與混凝土

本研究植筋試驗之鋼筋段將採用東和鋼鐵生產之#4 及#5 (420 N/mm^2)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/mm^2 及 474 N/mm^2 。由於國內工程單位用混凝土強度常介於 $210 \sim 350 \text{ kg/cm}^2$ ，本研究低強度混凝土將採用 210 kg/cm^2 之混凝土，高強度混凝土將採用 350 kg/cm^2 之混凝土，此兩強度混凝土配比如示表 3-2。本研究近期共灌製多組試驗用混凝土，本研究前期數據顯示試體直徑對混凝土強度無明顯影響，因此採用 10 公分直徑圓柱型試體於後續研究中，其中 C20/25 及 C35/43 混凝土抗壓強度與期齡對應數據顯示於表 3-3、表 3-4 及圖 3-1 與圖 3-2，由表上與圖上顯示研究使用混凝土於期齡大於 21 天候，其迴歸分析顯示抗壓強度隨期齡增加而線性漸增，其迴歸線性函數如示圖上。



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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
單據編號 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)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
採用規範 STANDARD		CNS 560_A2006_2018_鋼筋混凝土用鋼筋										合計捆(支)數 BUNDLES (PIECES)		2(50)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
註 REMARKS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
產品尺寸 (PRODUCT DIMENSIONS)				物理及機械性質 (PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES)										化學成份 (CHEMICAL ANALYSIS)																		鋼材 檢驗 RACI TEST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
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	肋距 PITCH	高度 HEIGHT	間隙 GAP	C	SI	Mn	P	S	CE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

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

PAGE(S): 1



表 3-2 試驗用混凝土配比設計表

設計強度	210kgf/cm ² (C20/25)	350kgf/cm ² (C35/43)
目標強度	236kgf/cm ² (23.15MPa)	450 kgf/cm ² (44.145MPa)
坍度	18±2.0cm	
水膠比	0.40	
最大粒徑	19mm	
砂細度模數	2.81	
砂面乾內飽和比重	2.63	
預估空氣含量	1.5%	
水質	地下水	
藥劑廠牌	榮標	
水泥廠牌(卜特蘭)	1 型	
水泥比重	3.15	
水泥使用量	100%	
砂佔全料百分率	42.9%	
水泥	159kg(2.943kN)	450kg(8.307kN)
爐石粉	0kg(0)kN	0kg(0)kN
飛灰	0kg(0)kN	0kg(0)kN
細骨材	466kg(8.623kN)	752kg(13.881kN)
粗骨材	541kg(9.996kN)	1009kg(18.625kN)
水	91kg(1.678kN)	176kg(3.249kN)
配比設計重	1257kg(23.23kN)	2391.5kg(44.197kN)

備註:

- 1.粗、細粒料採集地:里港、鹽埔、來義。
- 2.粗粒料比重 1”~#4 碎石及 3/4”~#4 碎石平均值(3 分=605KG；6 分=404KG)；X(砂石用量計算常數)=46。
- 3.空氣含量為 1.5%*(15L)。
- 4.CNS12891A1045 規定配合設計需要強度 100Kg/cm²核計。
- 5.附加劑用量(膠結材*1.0%)；保持水膠比不變其坍度可提高至 20.0 公分。
- 6.CNS3090A2042 規定坍度 10.0cm 以上±4cm(2014 修訂)。
- 7.水泥配比率是依據國家工程委員會第 03050 章(V11)第 2.1.1 設立；水泥用量 100%。
- 8.每立方淨水量 175.5kg；加入藥劑 180kg。



表 3-3 C20/25 試驗混凝土強度與養護期齡總表

Unit : MPa							
Date : 2022/05/27 Nominal strength : C20/25							
Test date	Age	Sample	1	2	3	Average	Variation (%)
2022/05/30	3	Y	165.739	177.074	171.407	171.407	3.31
2022/06/03	7		231.028	212.206	217.281	220.172	4.42
2022/06/10	14		230.727	244.129	241.566	238.807	3.15
2022/06/17	21		254.938	257.790	279.043	263.924	4.99
2022/06/24	28		269.060	270.410	223.120	254.197	10.59
2022/07/15	49		254.272	259.081	256.678	256.677	0.94
2022/08/05	70		278.997	324.011	299.373	300.794	7.49
2022/08/25	90		313.796	255.178	271.792	280.255	10.78
2022/11/15	174	C1	323.006	285.347	270.219	292.857	9.28
2022/11/15	174	C2	256.036	249.878	250.630	252.181	1.33
Date : 2022/02/08 Nominal strength : C20/25							
Test date	Age	Sample	1	2	3	Average	Variation (%)
2023/02/11	3	Y	130.868	125.591	128.456	128.305	2.06
2023/02/15	7		239.970	226.676	229.437	232.028	3.02
2023/02/22	14		241.940	232.506	265.654	246.700	6.92
2023/03/01	21		303.988	306.575	308.199	306.254	0.69
2023/03/08	28		353.360	330.376	334.868	339.535	3.59
2023/03/29	49		336.726	325.287	320.218	327.410	2.58
2023/04/19	70		317.208	314.094	335.448	322.250	3.58
2023/05/09	90		319.871	321.262	293.562	311.565	5.01
2023/05/24	105	C1	273.903	313.024	239.568	275.498	13.34
2023/05/24							
2023/06/10	122	C3	230.173	242.850	257.938	243.654	5.70
Date : 2022/04/06 Nominal strength : C20/25		Sample Y					
Test date	Age		1	2	3	Average	Variation (%)
2023/04/09	3		117.766	121.931	131.525	123.741	5.70
2023/04/13	7		166.384	184.013	192.554	180.984	7.37
2023/04/20	14		218.407	230.952	192.265	213.875	9.23
2023/04/27	21		239.464	245.972	246.110	243.849	1.56
2023/05/04	28		280.199	270.315	257.531	269.348	4.22
2023/05/25	49		240.824	242.144	290.848	257.942	11.05
2023/06/10	65	C1	184.579	209.389	203.272	199.08	6.49
Note : ID = Serial number ; Y = Cylinder ; C = Drilled core							

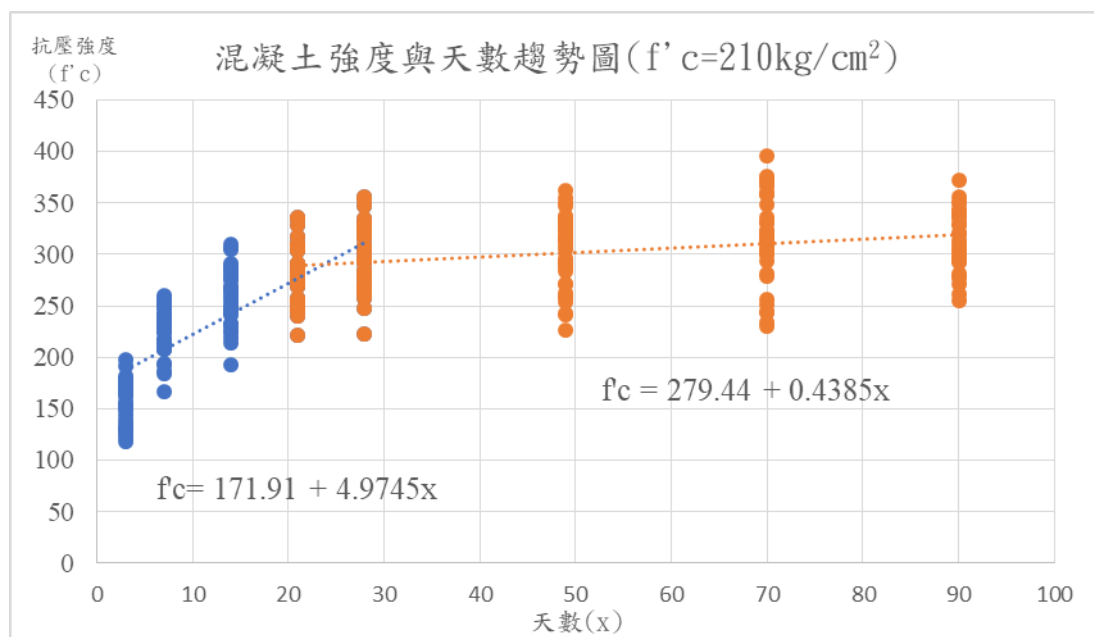


圖 3-1 C20/25 試驗混凝土強度對應養護期齡分布與迴歸分析圖



表 3-4 C35/43 試驗混凝土強度與養護期齡總表

Date : 2022/07/08 Nominal strength : C35/43							
Test date	Age	Sample	1	2	3	Average	Variation (%)
2022/07/11	3	Y	263.122	278.588	307.897	283.202	8.03
2022/07/15	7		318.616	334.957	331.812	328.462	2.64
2022/07/22	14		322.073	343.623	326.765	330.820	3.43
2022/07/29	21		346.871	356.977	360.386	354.745	1.98
2022/08/05	28		378.061	395.305	355.116	376.161	5.36
2022/08/26	49		406.564	398.488	322.248	375.767	12.38
2022/09/16	70		363.035	394.157	425.774	394.322	7.96
2022/10/06	90		405.801	381.468	381.468	395.969	3.61
2022/11/15	131	C1	406.592	424.117	423.924	418.211	2.41
Date : 2022/10/06 ; Nominal strength ; C35/43							
Test date	Age	Sample	1	2	3	Average	Variation (%)
2022/10/09	3	Y	272.094	272.014	276.455	273.521	0.93
2022/10/13	7		337.788	343.416	322.830	334.678	3.17
2022/10/20	14		353.022	354.234	372.325	359.860	3.00
2022/10/27	21		376.685	365.320	354.086	365.364	3.09
2022/11/03	28		385.854	364.602	374.662	375.039	2.83
2022/11/24	49		402.600	411.061	413.684	409.115	1.42
2022/12/15	70		487.031	427.657	420.563	445.084	8.2
2023/01/04	90		430.149	460.926	397.611	429.562	7.37
2023/06/10	247	C1	316.062	281.998	304.191	300.750	5.75
Date : 2022/10/18 Nominal strength : C35/43							
Test date	Age	Sample	1	2	3	Average	Variation (%)
2022/10/21	3	Y	327.262	328.691	320.785	325.580	1.29
2022/10/25	7		379.631	369.669	365.879	371.726	1.91
2022/11/01	14		375.201	395.601	397.543	389.448	3.18
2022/11/08	21		429.894	450.006	435.870	438.590	2.35
2022/11/15	28		450.265	442.638	438.551	443.818	1.34
2022/12/06	49		479.613	507.437	510.229	499.093	3.39
2022/12/27	70		525.929	534.719	505.221	521.956	2.90
2023/01/16	90		515.562	483.522	489.363	496.149	3.44
2023/04/21	186	C1	489.756	401.593	480.561	457.303	10.6
2023/04/26	191	C2	493.046	529.255	459.069	493.790	7.11
2023/05/10	205	C3	408.041	476.060	486.143	456.748	9.30

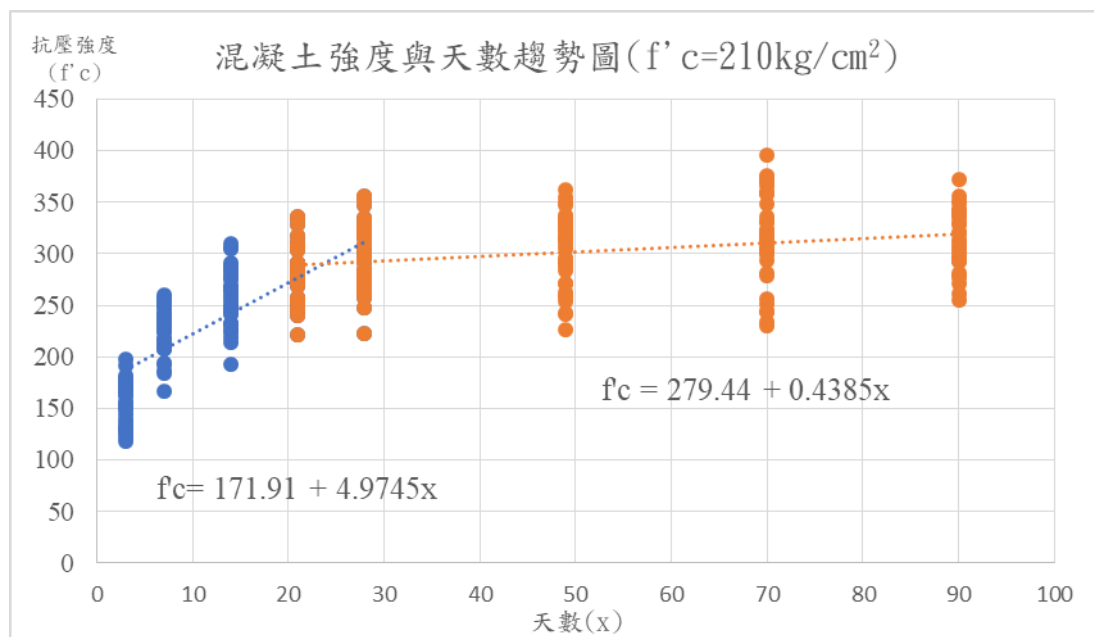


圖 3-2 C35/43 試驗混凝土強度對應養護期齡分布與迴歸分析圖



第二節 化學植筋試驗與評定

目前本研究現階段已完成#4 及#5 化學植筋依據 ACI 355.4 評定規範執行參考性評定試驗分析，試驗包括將化學植筋植入 C20/25 及 C35/43 無開裂與開裂混凝土，執行圍束抗張試驗，以分析化學植筋單位面積黏結強度(bonding strength)。於下討論初步試驗結果。

一、#4 化學植筋植入 C20/25 及 C35/43 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 3-3，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；因此另執行二組植入深度為 8 倍直徑圍束抗張試驗，試驗結果顯示於圖 3-4 及表 3-5，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 評估準則分析結果如示表 3-6，其單位面積黏結強度分別為 14.405N/mm^2 及 15.474N/mm^2 ，此植筋單位面積黏結強度採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 3-5 及表 3-7 中，由試驗數據顯示為鋼筋拉出，裂縫明顯影響化學植筋特性抗張強度約 24%，單位面積黏結強度採 ACI 評估準則分析結果如示表 3-8，其單位面積黏結強度為 7.152N/mm^2 ，由此次試驗數據顯示，裂紋對單位面積特性黏結強度降低約為 52%，此植筋單位面積黏結強度採 ACI 準則分析結果，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。

#4 化學植筋植入 C35/43 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 3-6、表 3-9 及表 3-10，由試驗數據顯示為鋼筋拉出，其單位面積黏結強度為 16.129N/mm^2 ，此植筋單位面積黏結強度採準則分析結果均大於規範要求強度 14.5N/mm^2 ，顯示此化學植筋符合美洲規範之要求；#4 化學植筋植入開裂狀態 C35/43 混凝土於植入深度



為 7 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 3-7 及表 3-11 中，由試驗數據顯示為鋼筋拉出，單位面積黏結強度採 ACI 評估準則分析結果如示表 3-12，其單位面積黏結強度為 11.831N/mm^2 ，且也未符合規範要求強度 14.5N/mm^2 ，由此次試驗數據顯示，裂紋對單位面積特性黏結強度降低約為 27%，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。

二、#5 化學植筋植入 C20/25 及 C35/43 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 8 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 3-8、表 3-13 及表 3-14，其單位面積黏結強度 12.857N/mm^2 ，此植筋黏結強度大於規範要求強度 10N/mm^2 ，顯示此化學植筋符合美洲規範之要求，但較#4 化學植筋相對數據為低些；#5 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 3-9、表 3-15 及表 3-16 中，其單位面積黏結強度為 6.086N/mm^2 ，也未符合規範要求強度。#5 化學植筋植入 C35/43 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 3-10、表 3-17 及表 3-18，其單位面積黏結強度為 19.776N/mm^2 ，符合美洲規範之要求；#5 化學植筋植入開裂狀態 C35/43 混凝土於植入深度為 7 倍直徑圍束抗張試驗結果顯示於圖 3-11、表 3-19 及表 3-20 中，其單位面積黏結強度為 10.672N/mm^2 ，需更完整試驗數據評估此化學植筋。

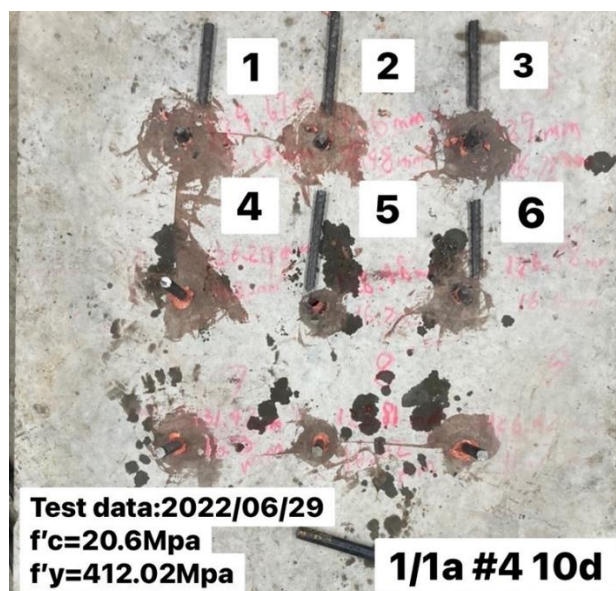


圖 3-3 #4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片
(2022/06/29)

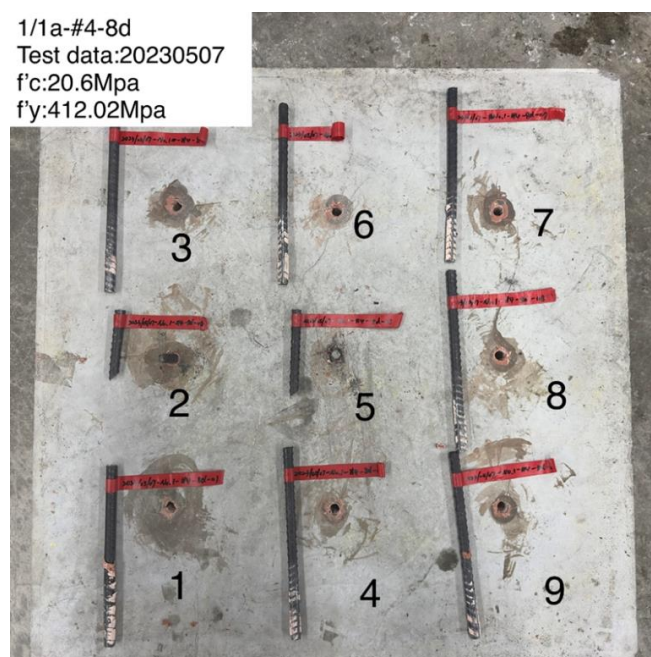
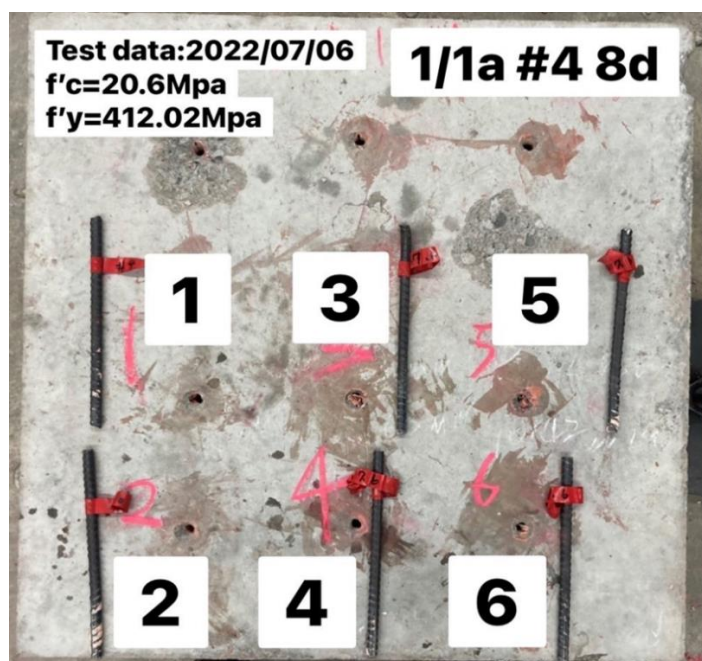


圖 3-4 #4 二組化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 試驗照片



表 3-5 #4 二組化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 束制性抗張試驗
摘要表

#4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 束制性抗張試驗摘要表 (#1 2022.7.6)

Test ID No.or Item	Ultimate load, N_u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ	F.M.	Concrete strength(MPa)
1/1a-#4-8d-01	79.371	7.838	0.9234	PF	26.177
1/1a-#4-8d-02	79.821	7.91	0.2257	PF	
1/1a-#4-8d-03	83.367	6.771	-0.325	PF	
1/1a-#4-8d-04	76.922	5.594	-0.3707	PF	
1/1a-#4-8d-05	85.032	24.612	2.8366	PF	
1/1a-#4-8d-06	71.58	6.806	1.4264	PF	
Average	79.349	9.922	0.786		
Standard deviation	4.376	6.615	1.120		
Variation (%)	5.52%	66.67%	142.42%		

Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, $h_{ef} = 102\text{mm}$, $A_{se}=4053.660$

#4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1/1a 束制性抗張試驗摘要表 (#2 2023.5.7)

Test ID No.or Item	Ultimate load, N_u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, $\delta 0.5 N_u$ (mm)	F.M.	Remark	Concrete strength(MPa)
No.5-#4-8d-01	75.7	8.045	0.4286	PF	Delete	34.788
No.5-#4-8d-02	85.841	15.194	0.0227	SF		
No.5-#4-8d-03	84.751	15.179	0.2192	PF		
No.5-#4-8d-04	85.362	16.341	0.0545	PF		
No.5-#4-8d-05	84.899	15.548	0.0839	SF		
No.5-#4-8d-06	85.85	15.637	0.1130	PF		
No.5-#4-8d-07	83.25	11.375	0.0543	PF		
No.5-#4-8d-08	85.287	15.004	0.0221	PF		
No.5-#4-8d-09	83.927	10.983	0.0307	PF		
Average	84.896	14.408	0.075	Age(day)		116
Standard deviation	0.855	1.905	0.062			
Variation (%)	1.01%	13.22%	82.49%	uncark		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, $h_{ef} = 101.6\text{mm}$, $A_{se}=4053.660\text{mm}^2$						



表 3-6 #4 二組化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a 試驗彙整表

#4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a 束制性抗張試

驗彙整表 (#1 2022)

ACI 355.4 Test program No.	20220706 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

#4 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a 束制性抗

張試驗彙整表 (#2 2023)

ACI 355.4 Test program No.	No.1-#4-8d
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)	34.788
特性強度 N_b (kN)	81.514
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test, f_c}$ (kN)	62.728
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
正歸化係數	0.770
$\bar{\tau}_{ref, f_c}$ (N/mm ²)	15.474
k value	13.495(N.A.)

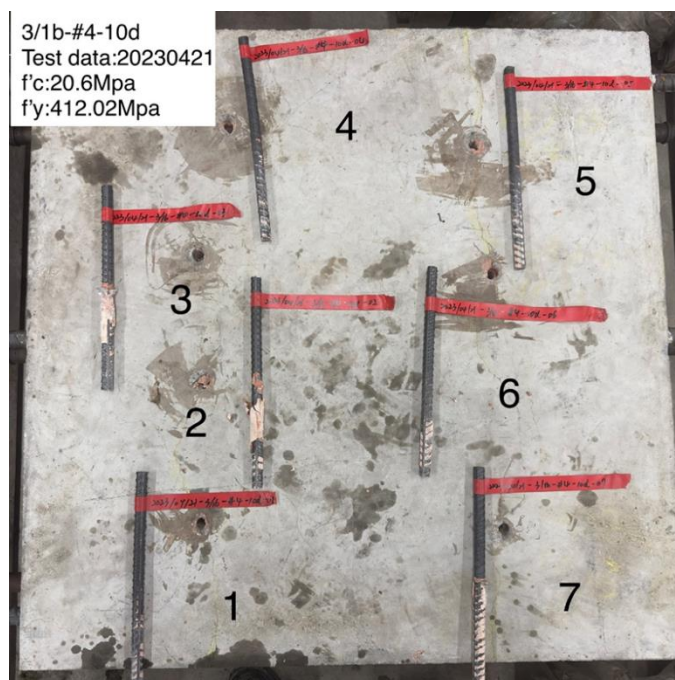


圖 3-5 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 3/1b 試驗照片
(2023)



表 3-7 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 1b/3 試驗摘要表
(2023)

Test ID No.or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displaceme nt @ failure load, δ(mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ0.5 Nu (mm)	F.M.	Remark	Concrete strength(MPa)
No.3-#4-10d-01	67.543	10.049	0.1612	PF		33.512
No.3-#4-10d-02	53.537	1.911	0.0613	PF	Delete	
No.3-#4-10d-03	54.682	2.528	0.2884	PF		
No.3-#4-10d-04	62.459	5.798	0.0780	PF		
No.3-#4-10d-05	62.386	4.023	0.2752	PF		
No.3-#4-10d-06	66.666	18.721	0.1123	PF		
No.3-#4-10d-07	62.707	4.289	0.0425	PF		
Average	62.741	7.568	0.160	Age(day)		106
Standard deviation	4.156	5.514	0.094			
Variation (%)	6.62%	72.85%	58.65%	crack		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 127mm, Ase=5067.075mm ²						



表 3-8 #4 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度 ACI 參考性 1b/3 試驗彙
整表

ACI 355.4 Test program No.	No.3-#4-10d
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)	33.512
特性強度 N_b (kN)	46.296
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	36.299
錨栓外徑 d_a (mm)	12.7
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	127.2
A_{se} (mm ²)	5075.054
正歸化係數	0.784
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	7.152
k value	5.575(N.A.)



圖 3-6 #4 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 試驗照片

表 3-9 #4 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 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. [Ⓟ]	Remark [Ⓟ]	Concrete strength(MPa) [Ⓟ]	
No.2-#4-7d-01 [Ⓟ]	83.003 [Ⓟ]	10.044 [Ⓟ]	0.0140 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]	42.863 [Ⓟ]	
No.2-#4-7d-02 [Ⓟ]	75.089 [Ⓟ]	6.351 [Ⓟ]	0.0490 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
No.2-#4-7d-03 [Ⓟ]	79.763 [Ⓟ]	8.394 [Ⓟ]	0.0680 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
No.2-#4-7d-04 [Ⓟ]	70.764 [Ⓟ]	5.318 [Ⓟ]	0.0060 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
No.2-#4-7d-05 [Ⓟ]	74.836 [Ⓟ]	6.061 [Ⓟ]	0.0340 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
No.2-#4-7d-06 [Ⓟ]	79.661 [Ⓟ]	8.519 [Ⓟ]	0.0330 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
No.2-#4-7d-07 [Ⓟ]	84.054 [Ⓟ]	11.524 [Ⓟ]	0.3230 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
No.2-#4-7d-08 [Ⓟ]	81.746 [Ⓟ]	8.67 [Ⓟ]	0.0060 [Ⓟ]	PF [Ⓟ]	[Ⓟ]		
Average [Ⓟ]	78.615 [Ⓟ]	8.110 [Ⓟ]	0.067 [Ⓟ]	Age(day) [Ⓟ]		239 [Ⓟ]	
Standard deviation [Ⓟ]	4.322 [Ⓟ]	1.970 [Ⓟ]	0.099 [Ⓟ]				
Variation (%) [Ⓟ]	5.50% [Ⓟ]	24.29% [Ⓟ]	148.54% [Ⓟ]	uncrack [Ⓟ]			
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, h _{ef} = 88.9mm, A _{se} = 3546.952mm ² [Ⓟ]							



表 3-10 #4 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 2/1c 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	No.2-#4-7d
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (Mpa)	34.3
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (Mpa)	42.863
特性強度 N_b (kN)	63.921
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	57.210
錨栓外徑 d_a (mm)	12.7
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	88.9
A_{se} (mm ²)	3546.952
正歸化係數	0.895
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	16.129
k value	11.648(N.A.)

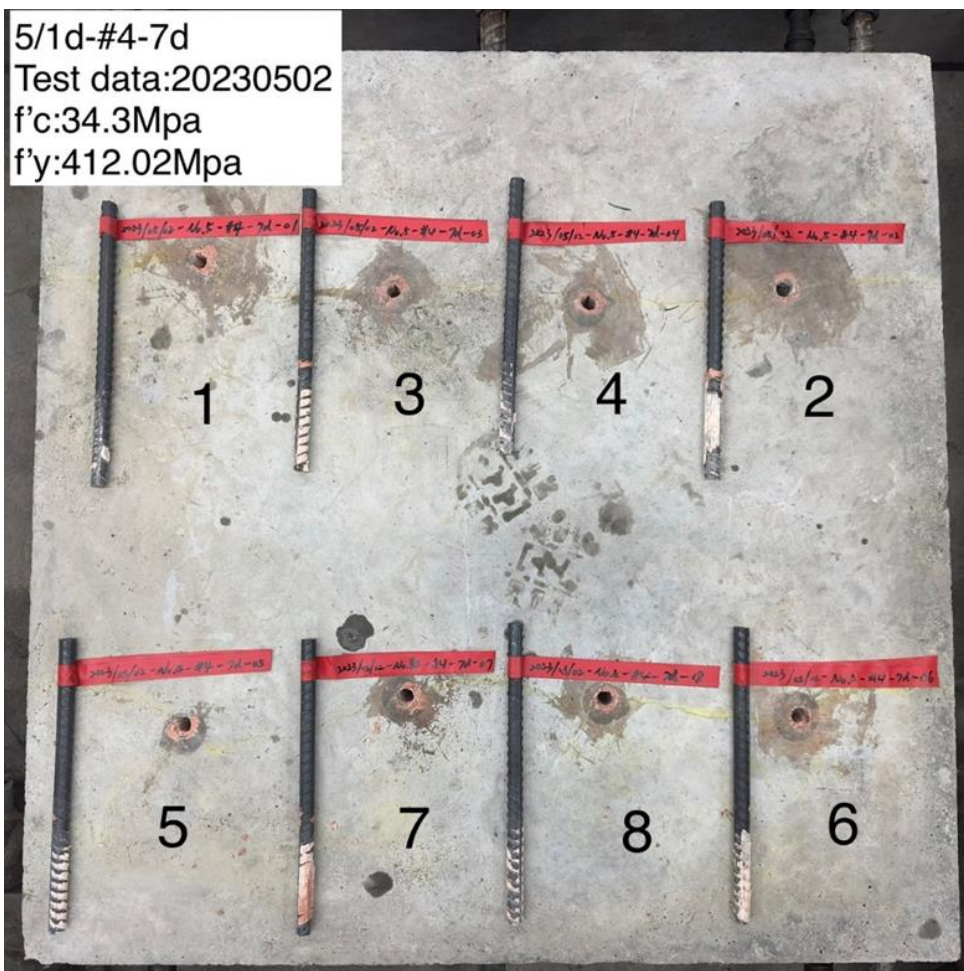


圖 3-7 #4 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 1d/5 試驗照片



表 3-11 #4 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 1d/5 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.	Remark	Concrete strength(MPa)
No.5-#4-7d-01	64.944	4.008	0.018	PF		43.031
No.5-#4-7d-02	50.178	3.87	0.0149	PF	delete	
No.5-#4-7d-03	71.106	6.591	0.4852	PF		
No.5-#4-7d-04	60.925	4.092	0.1058	PF		
No.5-#4-7d-05	59.568	3.519	0.0681	PF		
No.5-#4-7d-06	64.585	4.406	0.1766	PF		
No.5-#4-7d-07	57.715	3.717	0.0637	PF		
No.5-#4-7d-08	65.957	4.239	0.0135	PF		
Average	63.543	4.367	0.133	Age(day)		220
Standard deviation	4.187	0.949	0.153			
Variation (%)	6.59%	21.74%	114.82%	crack		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 88.9mm, Ase=3546.952mm ²						



表 3-12 #4 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1d/5 試驗彙
整表

ACI 355.4 Test program No.	No.5-#4-7d
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (Mpa)	34.3
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (Mpa)	43.031
特性強度 N_b (kN)	46.976
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	41.962
錨栓外徑 d_a (mm)	12.7
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	88.9
A_{se} (mm ²)	3546.952
正歸化係數	0.893
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	11.831
k value	8.544 (N.A.)

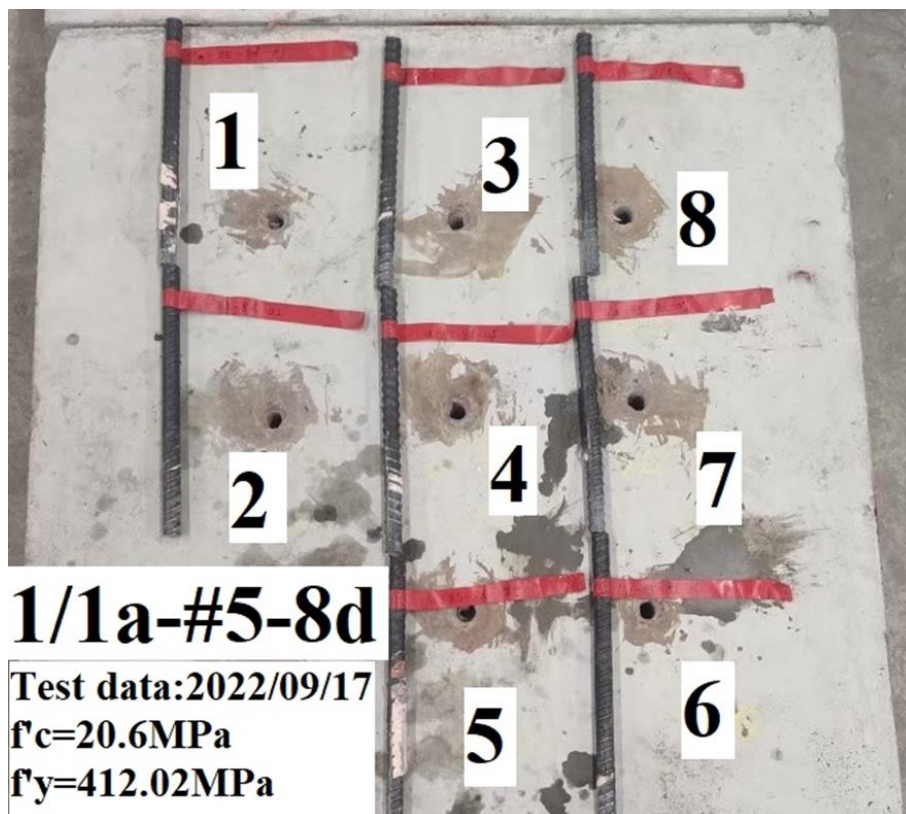


圖 3-8 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1a/1 試驗照片

表 3-13 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度參考性 1a/1 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, 80.5 Nu (mm)	F.M.	Remark	Concrete strength (MPa)
1/1a-#5-8d-01	112.785	4.2275	0.5109	PF		30.604
1/1a-#5-8d-02	130.247	7.901	0.5015	PF		
1/1a-#5-8d-03	129.925	7.9025	0.5795	PF		
1/1a-#5-8d-04	136.033	9.7615	0.7792	PF		
1/1a-#5-8d-05	119.904	6.3385	0.44136	PF		
1/1a-#5-8d-06	119.841	8.09	0.55955	PF		
1/1a-#5-8d-07	121.097	6.828	0.55655	PF		
1/1a-#5-8d-08	114.604	3.914	0.4339	PF		
Average	123.055	6.870	0.545	Age(day)		55
Standard deviation	7.651	1.870	0.102			
Variation (%)	6.22%	27.22%	18.63%	uncrack		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 127mm, Ase=6353.808mm²						



表 3-14 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 8d 植入深度 ACI 參考性 1a/1 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	1a-#5-8d
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)	30.614
特性強度 N_b (kN)	99.582
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	81.689
錨栓外徑 d_a (mm)	15.9
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	127.2
A_{se} (mm ²)	6353.808
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	12.857
k value	12.545(N.A.)



圖 3-9 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度參考性 4/1b 試驗照片(7 samples)



表 3-15 #5 化學植筋植入 C20/25 混凝土 10d 植入深度參考性 1b/4 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, 80.5 Nu (mm)	F.M.	Remak	Concrete strength(MPa)
No.4-#5-10d-01	126.618	27.727	0.1152	PF		32.613
No.4-#5-10d-02	91.658	19.07	0.2432	PF		
No.4-#5-10d-03	80.152	12.388	0.0396	PF	Delete	
No.4-#5-10d-04	107.712	4.693	0.0498	PF		
No.4-#5-10d-05	104.667	33.797	0.0584	PF		
No.4-#5-10d-06	122.013	26.392	0.7788	PF		
No.4-#5-10d-07	70.837	0.998	0.0157	PF	Delete	
Average	110.534	22.336	227.146	Age(day)		106
Standard deviation	12.563	9.988	25.425			
Variation (%)	11.37%	44.72%	11.19%	crack		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 159mm, Ase=7942.260mm ²						



表 3-16 #5 化學植筋植入 C20/25 裂紋混凝土 10d 植入深度 ACI 參考性 1b/4 試驗彙
整表

ACI 355.4 Test program No.	No.4-#5-10d
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)	32.613
特性強度 N_b (kN)	60.822
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	48.340
錨栓外徑 d_a (mm)	15.9
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	159
A_{se} (mm ²)	7942.260
正歸化係數	0.795
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	6.086
k value	5.312(N.A)



圖 3-10 #5 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 試驗照片



表 3-17 #5 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度參考性 1c/2 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.	Remark	Concrete strength(MPa)
No.2-#5-7d-01	126.32	10.464	0.0590	PF		43.245
No.2-#5-7d-02	127.556	10.375	0.2890	PF		
No.2-#5-7d-03	130.185	11.604	0.0250	PF		
No.2-#5-7d-04	131.453	12.164	0.0630	PF		
No.2-#5-7d-05	129.575	11.489	-0.0050	PF		
No.2-#5-7d-06	128.227	10.279	0.0120	PF		
No.2-#5-7d-07	128.136	10.045	0.1910	PF		
No.2-#5-7d-08	130.956	12.24	0.3090	PF		
Average	129.051	11.083	0.118	Age(day)		239
Standard deviation	1.665	0.833	0.119			
Variation (%)	1.29%	7.52%	100.63%	uncrack		
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef =111.3mm, Ase=5559.582mm ²						



表 3-18 #5 化學植筋植入 C35/43 混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1c/2 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	No.2-#5-7d
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (Mpa)	34.3
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (Mpa)	43.245
特性強度 N_b (kN)	123.391
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	109.948
錨栓外徑 d_a (mm)	15.9
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	111.3
A_{se} (mm ²)	5559.582
正歸化係數	0.891
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	19.776
k value	15.980

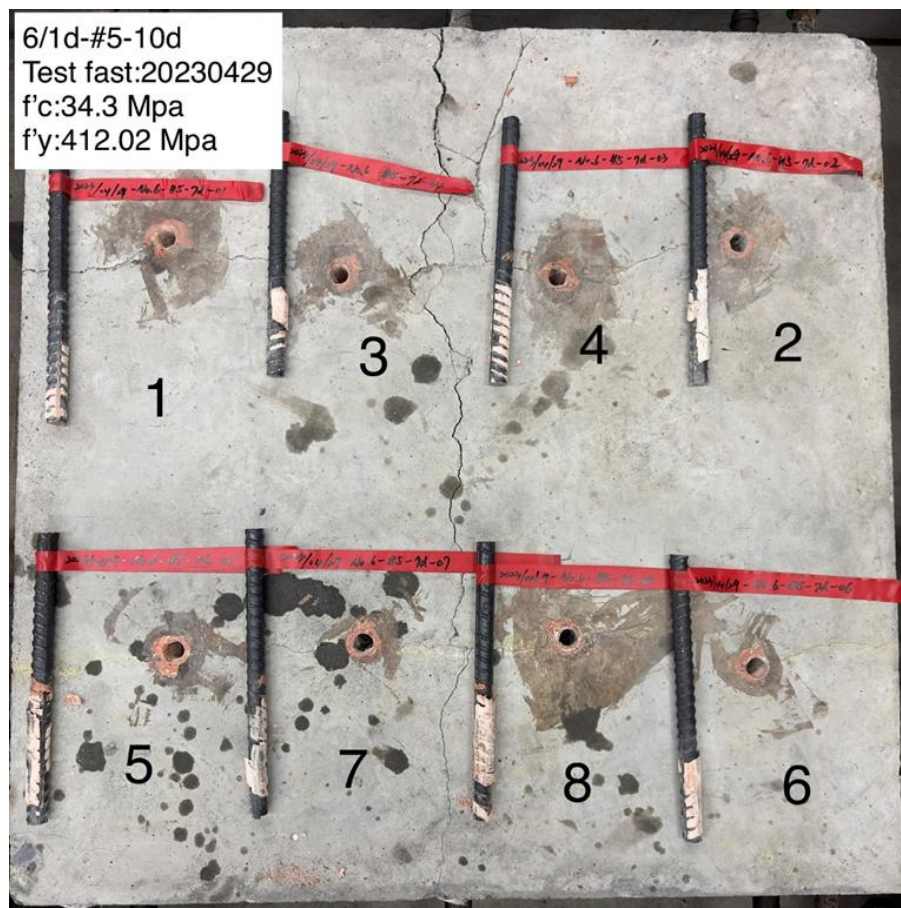


圖 3-11 #5 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度參考性 1d/6 試驗照片

表 3-19 #5 化學植筋植入 C35/43 裂紋混凝土 7d 植入深度試驗摘要表(G2)

Test ID No. or Item	Ultimate load, N_u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, $80.5 N_u$ (mm)	F.M.	Remark	Concrete strength(MPa)
No.6-#5-7d-01	94.271	5.852	0.0333	PF		43.669
No.6-#5-7d-02	93.418	4.696	0.3108	PF		
No.6-#5-7d-03	82.319	8.865	0.17	PF		
No.6-#5-7d-04	52.145	0.725	0.0223	PF	Delete	
No.6-#5-7d-05	94.201	20.541	0.1143	PF		
No.6-#5-7d-06	107.817	13.527	0.6045	PF		
No.6-#5-7d-07	69.766	16.292	0.3663	PF	Delete	
No.6-#5-7d-08	61.323	1.011	0.0622	PF	Delete	
Average	94.405	10.696				
Standard deviation	8.087	5.792				
Variation (%)	8.57%	54.15%				
Notes: PF = pullout failure, WF = welding point failure, hef = 111mm, Ase=5559.582mm ²						



表 3-20 #5 化學植筋植入 C35/43 開裂混凝土 7d 植入深度 ACI 參考性 1d 試驗彙整表

ACI 355.4 Test program No.	2023/04/29 6/1d-#5-7d
$F_{u,test,i}$ (kN)	66.910
混凝土平均標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	34.3
混凝土試驗構件平均強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	43.669
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	111.3
正歸化係數	0.887
正歸化特性強度 $\bar{F}_{test,f_c}$ (kN)	59.329
A_{se} (mm ²)	5559.582
$\bar{\tau}_{ref,f_c}$ (N/mm ²)	10.672
特性強度 N_b (kN)	66.910
k value	8.623 (N.A.)



第三節 #4 及#5 新型螺紋錨栓植筋試驗與評定

前期計畫已探討過#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與評定分析結果，於下先將#4 新型螺紋植筋錨栓結果摘要於下；由於本研究主軸為研發#5 螺紋錨栓植筋，因此於下再將#5 新型螺紋植筋錨栓試驗與評定分析結果逐項討論。

一、#4 新型螺紋錨栓植筋試驗與評定結論

- #4 新型螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂混凝土束制式抗張試驗握裹強度為 18.3 N/mm^2 ，大於規範要求值，且大於國產植筋錨栓握裹強度。
- #4 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂與開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 分別為 10.4 及 7.29，均符合規範要求值。

二、#5 新型螺紋錨栓植筋植入 C20/25 混凝土試驗與評定

於下將討論#5 新型螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂與開裂混凝土無束制抗張試驗與評定分析結果，本研究執行#5 螺紋植筋錨栓一系列 C20/25 未開裂混凝土無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 3-12 及表 3-21，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 3-22；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 9.8，接近符合規範要求植 10.0；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 78.794kN 與 76.698kN，束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。#5 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 3-13 及表 3-23，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 3-24；評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 6.635，非常接近規範要求植 7.1；由試驗結果顯示，此研發植筋仍有改善需求，且混凝土試驗塊裂紋穩定性，仍要改善。

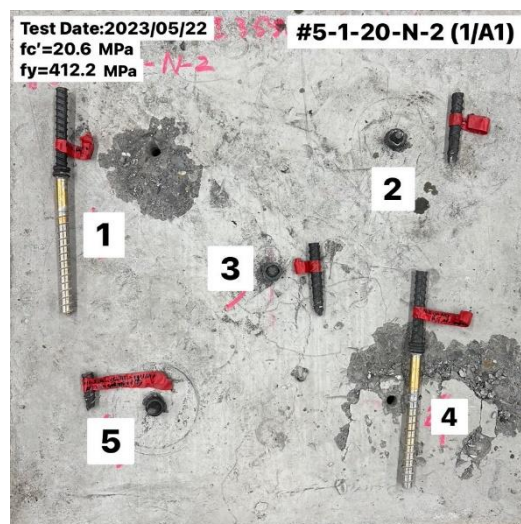
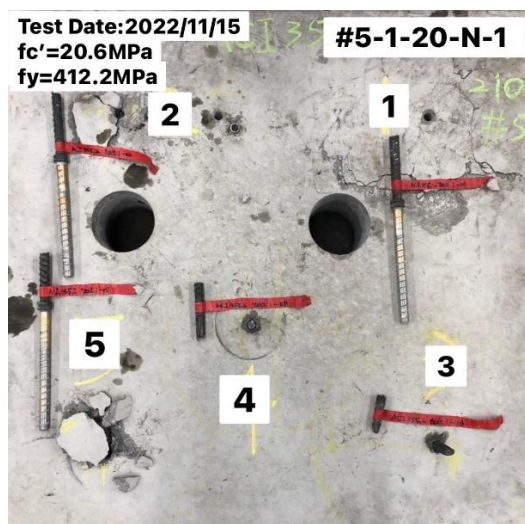


圖 3-12 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗照片



表 3-21 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(1/A1) 無束制抗張試驗彙整表 $f_c' = 28.042\text{MPa}$

Test ID No. or Item	Ultimate load, Nu (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, $\delta_{0.5N_u}$ (mm)	F.M	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
						Length	Width	Depth
#5-1-20-N-1-1	133.802	6.827	0.357	CF	28.719	428	378	46.1
#5-1-20-N-1-2	115.423	7.206	0.490	CF		129	118	28.5
#5-1-20-N-1-3	132.705	14.482	0.381	SF		--	--	--
#5-1-20-N-1-4	136.883	6.039	0.296	SF		--	--	--
#5-1-20-N-1-5	123.514	4.039	-0.004	CF		152	121	26.5
#5-1-20-N-2-1	119.34	4.394	0.6573	CF	27.026	159	156	40.79
#5-1-20-N-2-2	100.88	6.976	0.5998	SF		--	--	--
#5-1-20-N-2-3	100.24	7.912	0.9355	SF		--	--	--
#5-1-20-N-2-4	115.71	5.623	0.9379	CF		308	244	12.46
#5-1-20-N-2-5	99.894	8.930	0.7426	SF		--	--	--
Average	117.839	7.243	0.539	Note: ACI 355.2 TEST1 / EOTA EAD 330232 A1 #5 / 210 / uncrack concrete / unconfined test $h_{nom} = 201mm, h_{ef} = 150.5mm$ #5-1-20-N-1 fc'=28.719MPa concrete age=173days(111/05/27-111/11/16) #5-1-20-N-2 fc'=27.026MPa concrete age=105days(112/02/08-112/05/24) *CF = cone failure *SF = steel failure				
Standard deviation	14.153	2.951	0.296					
Variation(%)	12.01	40.75	54.93					



表 3-22 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2		EOTA EAD 330232	
Test program No.	#5-1-20-N	Test program number	5-A1-20-N
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6	標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	20.6
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	28.042	試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	28.719
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	150.5	初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	121.558
特性強度 N_b (kN)	95.748	初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	95.748
正歸化係數	0.857	rqd. α_1	0.8
正歸化特性強度 N_p (kN)	78.794	拉出破壞特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	76.698
k value	9.793		

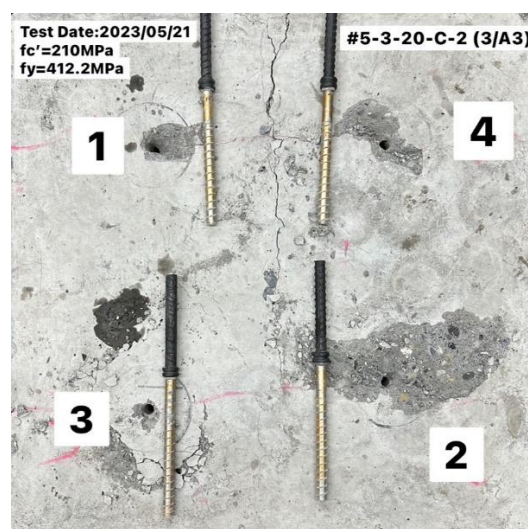
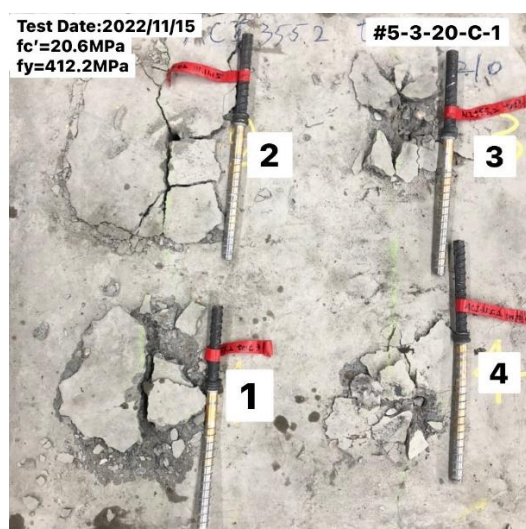


圖 3-13 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(3/A3)無束制抗張試驗照片



表 3-23 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考
性(3/A3)無束制抗張試驗彙整表 $f_c' = 28.76\text{MPa}$

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
						Length	Width	Depth
#5-3-20-C-1-1	98.358	4.214	0.603	CF	24.739	288	242	53.3
#5-3-20-C-1-2	114.097	4.564	0.159	CF		381	314	54.1
#5-3-20-C-1-3	119.274	7.360	2.560	CF		192	181	33.4
#5-3-20-C-1-4	134.138	7.641	0.505	CF		218	213	41.3
#5-3-20-C-2-1	91.799	3.754	0.9076	CF	32.78	106	63	36.67
#5-3-20-C-2-2	89.719	3.313	0.0525	CF		325	158	26.37
#5-3-20-C-2-3	102.064	4.844	1.0076	CF		278	211	12.35
#5-3-20-C-2-4	64.197	3.459	0.0015	CF		308	244	12.46
Average	102.552	4.675	0.882	Note: ACI 355.2 TEST3 / EOTA EAD 330232 A3 #5/210/crack concrete / unconfined test $h_{nom} = 201mm, h_{ef} = 150.5mm$ #5-3-20-C-1 fc'=24.739MPa concrete age=173days(111/05/27-111/11/16) #5-3-20-C-2 fc'=32.78MPa concrete age=105days(112/02/08-112/05/24) *CF = Concrete cone Failure				
Standard deviation	5.726	1.426	0.908					
Variation(%)	11.63	14.01	48.71					



表 3-24 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性
(3/A3)無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2		EOTA EAD 330232	
Test program No.	#5-3-20-N	Test program number	5-A3-20-C
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	20.6	標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	20.6
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	28.759	試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	25.858
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	150.5	初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	102.064
特性強度 N_b (kN)	65.691	初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	65.691
正歸化係數	0.846	rqd. α_1	0.7
正歸化特性強度 N_p (kN)	55.598	拉出破壞特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	45.984
k value	6.635		



三、#5 新型螺紋錨栓植筋植入 C35/43 混凝土試驗與評定

於下將討論#5 新型螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂與開裂混凝土無束制抗張試驗與評定分析結果，本研究執行#5 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土系列無束制抗張試驗顯示於圖 3-14 及表 3-25，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 3-26；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 10.583，符合規範要求植 10.0；另螺紋植筋錨栓於 C35/43 混凝土正規化拉破壞特性抗張強度，分別為 114.498kN 與 97.285kN，EOTA 之分析較 ACI 為保守。#5 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 開裂混凝土無束制抗張試驗，試驗結果顯示於圖 3-15 及表 3-27，採用 ACI355.2 與 EOTA EAD330232 評估準則分析結果顯示於表 3-28；評估準則分析結果顯示螺紋植筋錨栓拉出 k 植為 6.046，非常接近規範要求植 7.1；由試驗結果顯示，此研發植筋仍有改善需求，且混凝土試驗塊裂紋穩定性，仍要改善。

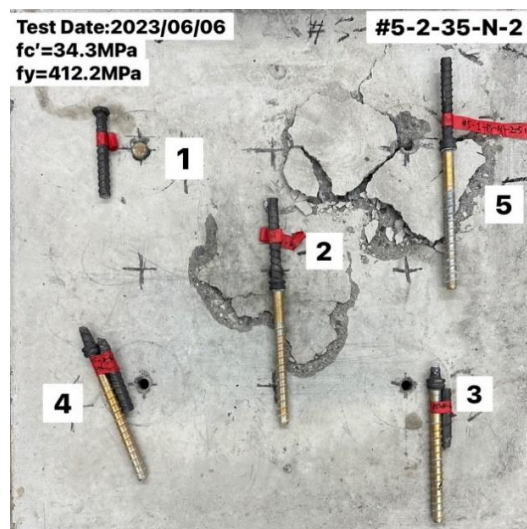
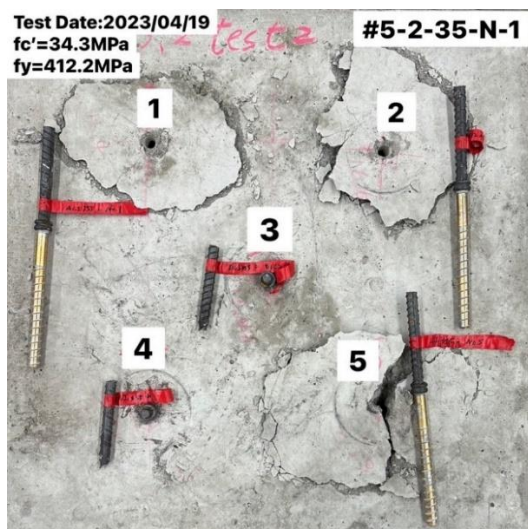


圖 3-14 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(2/A2)無束制抗張試驗照片

表 3-25 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(2/A2) 無束制抗張試驗彙整表 $f_c' = 37.18\text{MPa}$

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
						Length	Width	Depth
#5-2-35-N-1-1	132.725	5.817	1.1001	CF	44.855	292	238	45.18
#5-2-35-N-1-2	132.900	6.542	1.0326	CF		251	284	45.07
#5-2-35-N-1-3	137.825	7.457	0.7020	SF		--	--	--
#5-2-35-N-1-4	135.267	8.372	0.8464	SF		--	--	--
#5-2-35-N-1-5	127.968	6.618	0.8445	CF		341	257	44.10
#5-2-35-N-2-1	134.447	6.325	0.521	SF	29.504	--	--	--
#5-2-35-N-2-2	130.668	4.704	0.279	CF		252	249	11.34
#5-2-35-N-2-3	99.646	7.481	0.155	SF		--	--	--
#5-2-35-N-2-4	98.646	9.000	0.582	SF		--	--	--
#5-2-35-N-2-5	135.440	5.239	0.019	CF		351	319	39.09
Average	126.553	6.756	0.608	Note: ACI 355.2 TEST2 / EOTA EAD 330232 A2 #5/ uncrack concrete / unconfined test $h_{nom} = 201mm, h_{ef} = 150.5mm$ #5-2-35-N-1 fc’ =44.855MPa concrete age=185 days(111/10/18-112/04/21) #5-2-35-N-2 fc’ =29.504MPa concrete age=121 days(112/02/08-112/06/09) *SF = steel failure *CF = cone failure				
Standard deviation	14.698	1.346	0.367					
Variation(%)	11.61	19.93	60.36					



表 3-26 #5 新型螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2		EOTA EAD 330232	
Test program No.	#5-2-35-N	Test program number	#5-A2-35-N
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	34.3	標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	34.3
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	38.714	試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	38.712
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	150.5	初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	133.054
特性強度 N_b (kN)	121.581	初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	121.581
正歸化係數	0.942	reqd. α_1	0.8
正歸化特性強度 N_p (kN)	114.498	拉出破壞特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	97.285
k value	10.583		

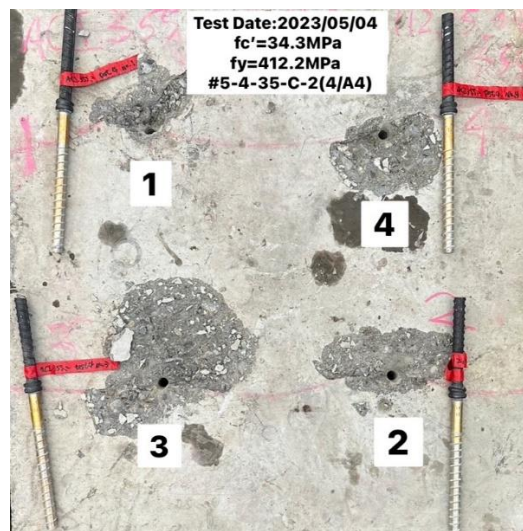
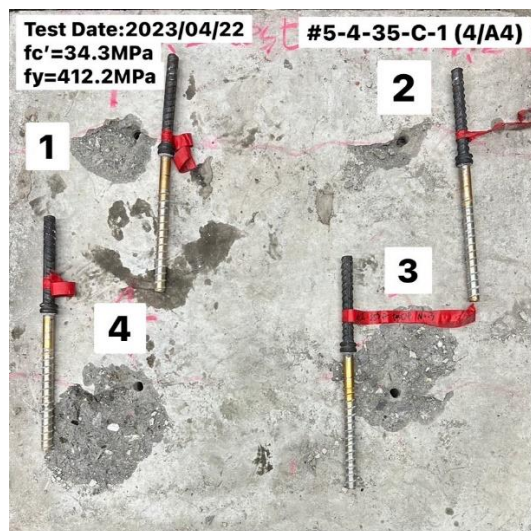


圖 3-15 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(4/A4)無束制抗張試驗照片

表 3-27 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性(4/A4)無束制抗張試驗彙整表 $fc' = 46.624 \text{ MPa}$

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
						Length	Width	Depth
#5-4-20-C-1-1	77.029	2.205	0.0028	CF	48.441	106	132	29.26
#5-4-20-C-1-2	103.715	5.266	1.6296	CF		129	81	26.67
#5-4-20-C-1-3	88.227	4.052	1.0776	CF		197	184	32.35
#5-4-20-C-1-4	76.538	1.699	0.0333	CF		184	183	32.81
#5-4-35-C-2-2	89.106	3.325	0.5254	CF	44.807	189	123	33.68
#5-4-35-C-2-2	103.610	5.112	0.7322	CF		222	111	22.68
#5-4-35-C-2-3	96.946	4.492	0.4638	CF		258	241	28.77
#5-4-35-C-2-4	100.030	4.089	0.0841	CF		172	121	29.68
Average	91.934	3.78	0.596	Note: ACI 355.2 TEST 4 / EOTA EAD 330232 A4 #5/350/crack concrete / unconfined test $h_{nom} = 201mm, h_{ef} = 150.5mm$ #5-4-35-C-1 $f_c'=48.441MPa$ concrete age=170days(111/10/18-112/04/26) #5-4-35-C-2 $f_c'=44.807MPa$ concrete age=204days(111/10/18-112/05/10) *CF = Concrete cone Failure				
Standard deviation	11.027	1.292	0.569					
Variation(%)	11.99	34.17	95.33					



表 3-28 #5 新型螺紋植筋錨栓植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 201mm (13d) 參考性
(4/A4)無束制抗張試驗分析彙整表

ACI 355.2		EOTA EAD 330232	
Test program No.	#5-4-35-C	Test program number	5-A4-35-C
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	34.3	標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	34.3
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	46.261	試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	46.261
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	150.5	初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	95.659
特性強度 N_b (kN)	75.918	初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	72.457
正歸化係數	0.862	rqd. α_1	0.7
正歸化特性強度 N_p (kN)	65.404	拉出破壞特性抗張強度 $N_{Rk,p}$ (kN)	50.720
k value	6.046		

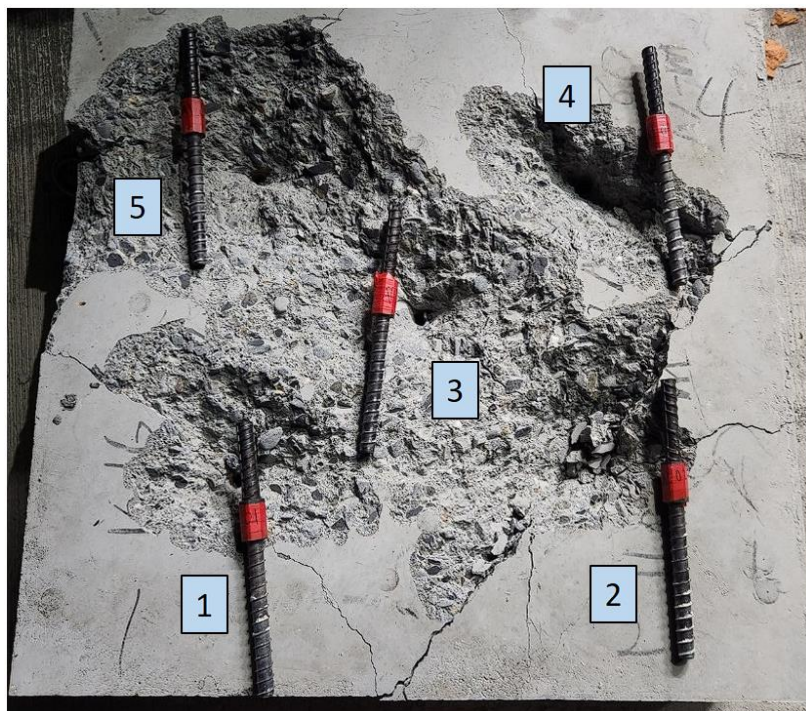


第四節 #5 新式螺紋錨栓植筋植入 C20/25 混凝土初期試驗與評定

為確保此新式螺牙植筋錨栓具備可應用於混凝土結構物補強之功能，須將研製作之雛形錨栓，先參考美洲 ACI 及歐盟 EOTA 評定準則，評定其符合規範要求，因此將錨栓先植入 C20/25 (20.6MPa) 混凝土中，且須分別針對無開裂及開裂混凝土狀態評定其性能，完成無束制抗張之參考性試驗與評定分析結果，於下將此新式螺牙植筋錨栓於此二種混凝土條件下結果分別討論於下，除探討植筋錨栓特性抗張強度外，ACI 抗張性能指數 k ，與錨栓植入工作性相關之植入扭距也為討論重點。

一、C20/25 無開裂混凝土(1/A1)試驗

本研究執行#5 新式機械式螺紋植筋錨栓一系列 C20/25 (20.6 MPa) 無開裂混凝土無束制抗張試驗，經(1/A1)試驗結果顯示植入 143mm (9d) 埋入深度，且有效埋入深度為 117mm，依規範 5 筆試驗中，5 次均發生為混凝土拉破錐狀破壞，試驗結果顯示於圖 3-16、表 3-29 及表 3-30，採用 ACI 355.2 與 EOTA EAD 330232 評估準則分析結果顯示於表 3-31 與表 3-32 中；採用 ACI 355.2 評估準則分析結果顯示#5 新式機械式螺紋植筋錨栓拉出 k -value 為 13.332；另#5 新式機械式螺紋植筋於 C20/25 混凝土正規化拉出破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 76.579 kN 與 68.065kN，於無開裂混凝土，此新式機械式螺紋植筋錨栓於無束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。然此組試驗錨栓植入扭距稍微偏高，平均扭距為 136N-m，顯示螺牙與螺桿設計有修改之需求。



試驗編號	扭力(N-m)
No.1	130
No.2	150
No.3	110
No.4	150
No.5	140

平均扭力值: 136N-m

圖 3-16 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)
且有效埋入深度 117mm 於參考性(1/A1)無束制抗張試驗照片



表 3-29 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度

143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(1/A1)無束制抗張試驗數據彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Torque (N-m)	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
							Length	Width	Depth
#5-M24-1-20-NN-1-1	96.903	1.673	0.024	CF	130	25.428	341	100	43
#5-M24-1-20-NN-1-2	103.06	2.034	0.330	CF	150		403	86	57
#5-M24-1-20-NN-1-3	100.67	2.189	0.069	CF	110		409	90	53
#5-M24-1-20-NN-1-4	97.977	1.909	0.324	CF	150		342	76	67
#5-M24-1-20-NN-1-5	92.807	0.849	0.026	CF	140		411	72	71
Average	98.282	1.731	0.096	Note: 灌漿日期:2023/04/06 試驗日期:2023/06/21 鑽心日期:2023/06/28 混凝土齡期:83 天 錨栓未經熱處理 無開裂/無束制抗張試驗					
Standard deviation	3.887	0.528	0.132						
Variation(%)	3.95	0.305	1.375						

表 3-30 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度

143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(1/A1)無束制抗張試驗可行性數據彙整表

TEST ID NO. OR ITEM	ASSESS THE FEASIBILITY OF THE DATA(KN)
#5-M24-1-20-NN-1-1	96.903
#5-M24-1-20-NN-1-2	103.06
#5-M24-1-20-NN-1-3	100.67
#5-M24-1-20-NN-1-4	97.977
#5-M24-1-20-NN-1-5	92.807
Average	98.282
Standard deviation	3.887
Variation(%)	3.95
K	3.4
$F_{5\%}$	85.082
計算: F_m = 平均抗張強度 = 98.282 kN。 $\text{Variation}(\%) = \frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{3.887}{98.282} = 3.95。$ K = 以 90%信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5， $K = 3.4。$ $F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 98.282(1 - 3.4 \times 0.0395) = 85.082 \text{ kN}。$	



表 3-31 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)
且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果

ACI 355.2	
TEST PROGRAM NO.	#5-M24-1-20-NN-1-1
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)	25.428
有效埋入深度 h_{ef} (MM)	117
特性強度 N_b (kN)	85.085
正歸化係數	0.900
正歸化特性強度 N_p (kN)	76.579
K-VALUE	13.332
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，$K = 3.4$。 ν = 變異係數 = 3.95(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 98.282(1 - 3.4 \times 0.0395) = 85.082 \text{ kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{25.428}} = 0.900$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 85.082 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{25.428}} = 76.579 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{85.082}{\sqrt{25.428 \cdot 117^{1.5}}} = 13.332$。	



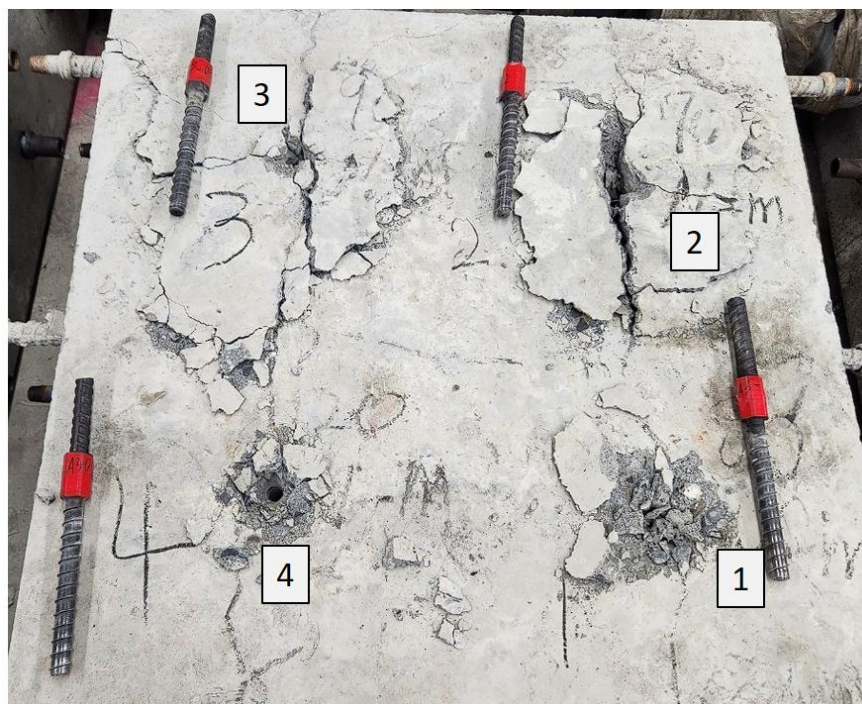
表 3-32 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)
且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結
果

EOTA EAD 330232	
TEST PROGRAM NUMBER	#5-M24-1-20-NN-1-1
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)	25.428
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	98.282
初始正規化抗張特性強度 $N_{Rk,0}$ (kN)	85.082
$RQD. A_1$	0.8
拉出破壞特性抗張強度 $N_{RK,P}$ (kN)	68.065
計算： $F_{u,t} = F_m$ = 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，$K = 3.4$。 ν = 變異係數 = 3.95(%)。 $N_{Rk,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 98.282(1 - 3.4 \times 0.0395) = 85.082 \text{ kN}$。 $rad.\alpha_1$ = 於無開裂混凝土為 0.8。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 68.065$ kN。	



二、C20/25 開裂混凝土(3/A3)試驗

本研究也執行#5 新式機械式螺紋植筋錨栓一系列 C20/25 (20.6 MPa)開裂混凝土無束制抗張試驗，經(3/A3)試驗結果顯示植入 143mm (9d)埋入深度，且有效埋入深度為 117mm，研究共執行 4 筆開裂混凝土試驗，四組試驗結果都為混凝土拉破破壞，試驗結果顯示於圖 3-17、表 3-33 及表 3-34，採用 ACI 355.2 與 EOTA EAD 330232 評估準則分析結果顯示於表 3-35 與表 3-36 中；採用 ACI 355.2 評估準則分析結果顯示#5 新式機械式螺紋植筋錨栓拉出 k-value 為 8.11；另#5 新式機械式螺紋植筋於 C20/25 混凝土正規化拉出破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 46.609 kN 與 36.593kN，如開裂混凝土無束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。由於試驗錨栓植入具裂紋混凝土中，此組試驗錨栓植入扭距稍微偏低，平均扭距為 90N-m。



試驗編號	扭力(N-m)
No.1	80
No.2	70
No.3	90
No.4	120

平均扭力值: 90N-m

圖 3-17 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(3/A3)無束制抗張試驗照片



表 3-33 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(3/A3)無束制抗張試驗數據彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Torque (N-m)	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
							Length	Width	Depth
#5-M24-3-20-CN-1-1	106.39	3.025	0.415	CF	80	25.913	153	133	18
#5-M24-3-20-CN-1-2	83.447	2.397	0.0452	CF	70		384	296	47
#5-M24-3-20-CN-1-3	86.146	2.439	0.0481	CF	90		423	180	46
#5-M24-3-20-CN-1-4	93.17	0.476	0.0008	CF	120		111	97	38
Average	92.287	2.0843	0.1271	Note: 灌漿日期:2023/01/13 試驗日期:2023/06/21 鑽心日期:2023/06/28 混凝土齡期:166 天 錨栓未經熱處理 開裂/無束制抗張試驗					
Standard deviation	10.253	1.1098	0.1931						
Variation(%)	11.10	53.25	151.928						

表 3-34 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(3/A3)無束制抗張試驗可行性數據彙整表

TEST ID NO. OR ITEM	ASSESS THE FEASIBILITY OF THE DATE(KN)
#5-M24-3-20-CN-1-1	106.39
#5-M24-3-20-CN-1-2	83.447
#5-M24-3-20-CN-1-3	86.146
#5-M24-3-20-CN-1-4	93.17
Average	92.287
Standard deviation	10.253
Variation(%)	11.11
K	3.957
$F_{5\%}$	52.275
計算: F_m = 平均抗張強度 = 92.287 kN。 $\text{Variation}(\%) = \frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{10.253}{92.287} = 11.10。$ K = 以 90%信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957。$ $F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 92.287(1 - 3.957 \times 0.1111) = 52.275 \text{ kN}。$	



表 3-35 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(3/A3)無束制抗張試驗分析結果

ACI 355.2	
TEST PROGRAM NO.	#5-M24-3-20-CN-1-1
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)	25.913
有效埋入深度 h_{ef} (MM)	117
特性強度 N_b (KN)	52.275
正歸化係數	0.891
正歸化特性強度 N_p (KN)	46.609
K-VALUE	8.11
計算： F_m = 平均抗張強度 = 93.287kN。 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 = 11.10(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 93.287(1 - 3.957 \times 0.1110) = 52.275 \text{ kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{25.913}} = 0.891$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 52.276 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{25.913}} = 46.609 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{52.276}{\sqrt{25.913 \cdot 117^{1.5}}} = 8.11$。	



表 3-36 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(3/A3)無束制抗張試驗分析結果

EOTA EAD 330232	
TEST PROGRAM NUMBER	#5-M24-3-20-CN-1-1
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)	25.913
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	93.287
初始正規化抗張特性強度 $N_{RK,0}$ (kN)	52.275
$RQD. A_1$	0.7
拉出破壞特性抗張強度 $N_{RK,P}$ (kN)	36.593
計算： $F_{u,t} = F_m$ = 平均抗張強度 = 93.287kN。 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 = 11.10(%)。 $N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 93.287(1 - 3.957 \times 0.1111) = 52.275$ kN。 $rad.\alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.7。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times min\alpha_p \times min(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}) \times min(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}) \times min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 36.593$ kN。	

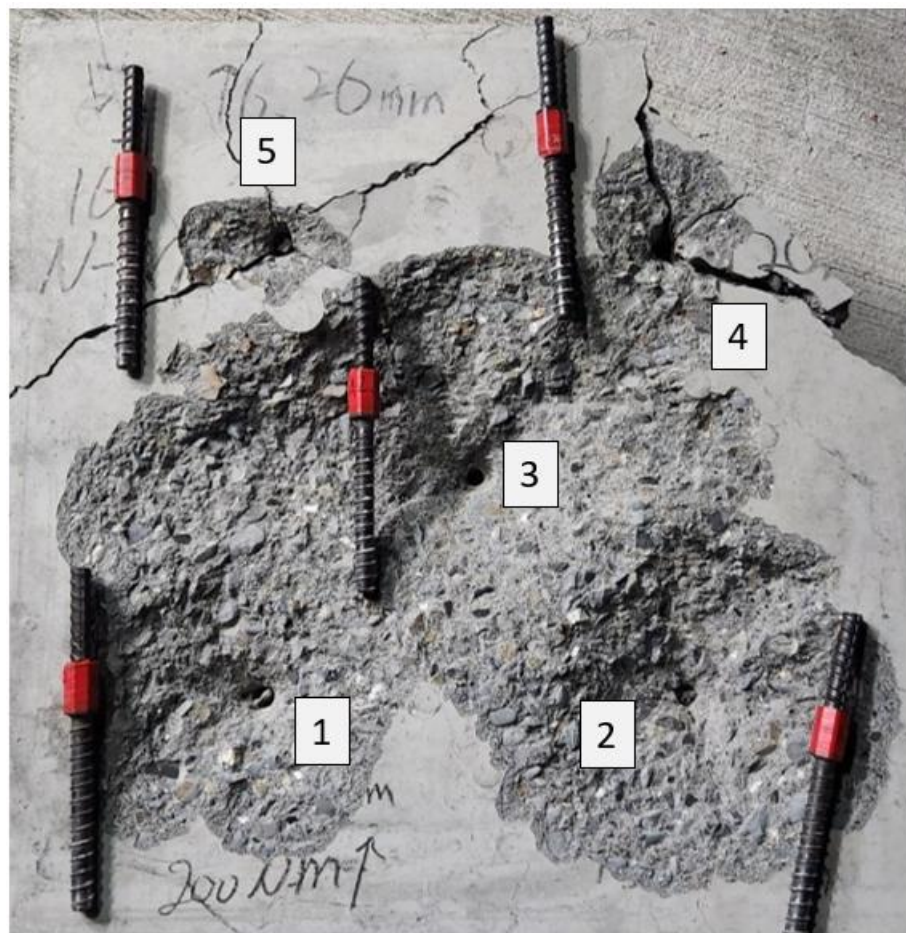


第五節 #5 新式螺紋錨 栓植筋植入 C35/43 混凝土初期試驗與評定

此#5 新式螺紋錨栓植入 C35/43 (34.3MPa)混凝土中，餘下分別針對此錨栓植入無開裂及開裂混凝土狀態下，評定其性能結果討論於下。

一、C35/43 無開裂混凝土(2/A2)試驗

本研究也執行#5 新式機械式 M24 螺紋植筋錨栓一系列 C35/43 (34.3 MPa)無開裂混凝土無束制抗張試驗，經(2/A2)試驗結果顯示植入 143mm (9d)埋入深度，且有效埋入深度為 117mm，依規範 5 筆試驗中也發生 5 次混凝土拉破破壞，試驗結果顯示於圖 3-18、表 3-37、表 3-38，採用 ACI 355.2 與 EOTA EAD 330232 評估準則分析結果顯示於表 3-39 與表 3-40 中；採用 ACI 355.2 評估準則分析結果顯示此#5 新式機械式螺紋植筋錨栓拉出 k-value 為 10.141；另#5 新式機械式螺紋植筋於 C35/43 混凝土正規化拉出破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 75.179 kN 與 66.974kN，如無開裂混凝土無束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。然此組試驗錨栓植入扭距稍微偏高，平均扭距為 162N-m，此扭力數據顯示螺牙與螺桿設計有修改之需求。



試驗編號	扭力(N-m)
No.1	200
No.2	130
No.3	200
No.4	120
No.5	160

平均扭力值: 162N-m

圖 3-18 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)

且有效埋入深度 117mm 於參考性(2/A2)無束制抗張試驗照片



表 3-37 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)
且有效埋入深度 117mm 於參考性(2/A2)無束制抗張試驗數據彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Torque (N-m)	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
							Length	Width	Depth
#5-M24-2-20-NN-1-1	121.53	2.664	0.010	CF	200	42.556	29.5	23.7	4.0
#5-M24-2-20-NN-1-2	109.93	0.580	0.015	CF	130		34.7	29.4	5.3
#5-M24-2-20-NN-1-3	133.82	4.673	0.518	CF	200		59.5	34.0	7.2
#5-M24-2-20-NN-1-4	113.29	3.122	0.413	CF	130		14.9	8.9	2.0
#5-M24-2-20-NN-1-5	110.74	3.154	0.010	CF	160		13.6	12.6	3.5
Average	117.86	2.834	0.197	Note: 灌漿日期:2022/10/18 試驗日期:2023/06/21 鑽心日期:2023/06/28 混凝土齡期:253 天 錨栓未經熱處理 非開裂/無束制抗張試驗					
Standard deviation	10.036	1.4728	0.255						
Variation(%)	8.52	51.88	129.76						

表 3-38 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)
且有效埋入深度 117mm 於參考性(2/A2)無束制抗張試驗可行性數據彙整表

TEST ID NO. OR ITEM	ASSESS THE FEASIBILITY OF THE DATE(KN)
#5-M24-2-35-NN-1-1	121.53
#5-M24-2-35-NN-1-2	109.93
#5-M24-2-35-NN-1-3	133.82
#5-M24-2-35-NN-1-4	113.29
#5-M24-2-35-NN-1-5	110.74
Average	117.68
Standard deviation	10.036
Variation(%)	8.52
K	3.4
$F_{5\%}$	83.718
計算: F_m = 平均抗張強度 = 117.86 kN。 $\text{Variation}(\%) = \frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{10.036}{117.86} = 8.52。$ K = 以 90%信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 5， $K = 3.4。$ $F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 117.86(1 - 3.4 \times 0.0852) = 83.718 \text{ kN}。$	



表 3-39 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24 未熱處理)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析結果

ACI 355.2	
TEST PROGRAM NO.	#5-M24-2-35-NN-1-1
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	34.3
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	42.556
有效埋入深度 h_{ef} (MM)	117
特性強度 N_b (kN)	83.718
正歸化係數	0.898
正歸化特性強度 N_p (kN)	75.179
K-VALUE	10.141
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 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{42.556}} = 0.898$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 83.718 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{42.556}} = 75.179 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test}} h_{ef}^{1.5}} = \frac{83.718}{\sqrt{42.556} \cdot 117^{1.5}} = 10.141$。	



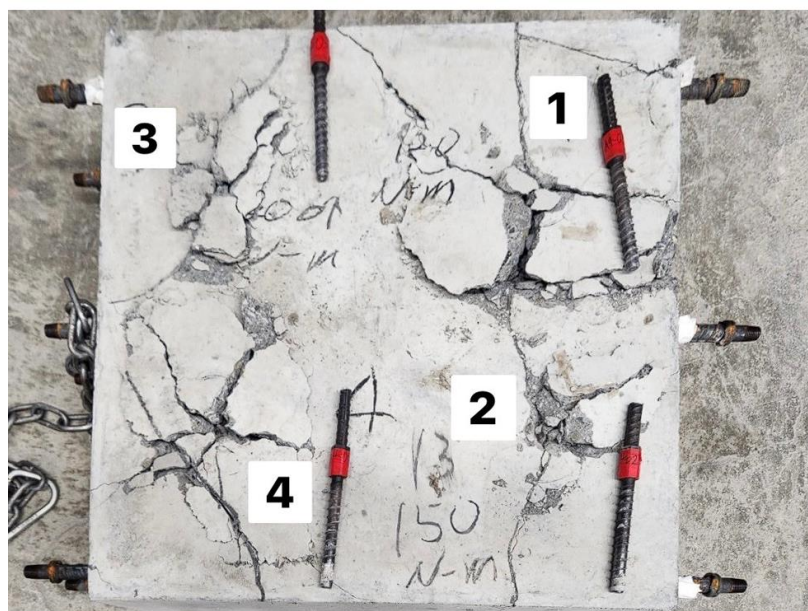
表 3-40 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)
且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析結
果

EOTA EAD 330232	
TEST PROGRAM NUMBER	#5-M24-2-35-NN-1-1
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	34.3
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (MPa)	42.556
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	117.862
初始正規化抗張特性強度 $N_{RK,0}$ (kN)	83.718
$RQD. A_I$	0.8
拉出破壞特性抗張強度 $N_{RK,P}$ (kN)	66.974
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，$K = 3.4$。 ν = 變異係數 = 8.52(%)。 $N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 117.86(1 - 3.4 \times 0.0852) = 83.718$ kN。 $rad.\alpha_1$ = 於無開裂混凝土為 0.8。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 66.974$ kN。	



二、C35/43 開裂混凝土(4/A4)試驗

本研究執行#5 新式機械式螺紋植筋錨栓一系列 C35/43 (34.3 MPa)開裂混凝土無束制抗張試驗，經(4/A4)試驗結果顯示植入 143mm (9d)埋入深度，且有效埋入深度為 117mm，此組試驗共執行 4 筆試驗，結果顯示 4 次皆為混凝土拉破破壞，如示於圖 3-19、表 3-41、表 3-42，採用 ACI 355.2 與 EOTA EAD 330232 評估準則分析結果顯示於表 3-43 與表 3-44 中；採用 ACI 355.2 評估準則分析結果顯示#5 新式機械式螺紋植筋錨栓拉出 k-value 為 7.836；另#5 新式機械式螺紋植筋於 C35/43 混凝土正規化拉出破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 58.094kN 與 45.692kN，如開裂混凝土無束制抗張試驗分析結果，EOTA 之分析較 ACI 為保守。由於試驗錨栓雖植入具裂紋混凝土中，此組試驗錨栓植入較高強度混凝土之扭距稍微偏高，平均扭距為 170N-m，顯示螺牙與螺桿設計有修改之需求。



試驗編號	扭力(N-m)
No.1	160
No.2	120
No.3	200
No.4	200

平均扭力值: 170N-m

圖 3-19 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(4/A4)無束制抗張試驗照片



表 3-41 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(4/A4)無束制抗張試驗數據彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Torque (N-m)	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
							Length	Width	Depth
#5-M24-4-35-CN-1-1	99.823	2.58	0.2035	CF	160	43.331	403	388	103
#5-M24-4-35-CN-1-2	88.987	1.231	0.0196	CF	120		193	122	39
#5-M24-4-35-CN-1-3	89.573	1.66	0.4335	CF	200		298	131	59
#5-M24-4-35-CN-1-4	104.54	1.82	0.1942	CF	200		446	310	93
Average	95.73	1.8228	0.1202	Note: 灌漿日期:2023/04/13 試驗日期:2023/06/21 鑽心日期:2023/06/28 混凝土齡期:76 天 錨栓未經熱處理 開裂/無束制抗張試驗					
Standard deviation	7.6962	0.5628	0.0927						
Variation(%)	8.04	30.876	77.121						

表 3-42 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於參考性(4/A4)無束制抗張試驗可行性數據彙整表

TEST ID NO. OR ITEM	ASSESS THE FEASIBILITY OF THE DATA(KN)
#5-M24-4-35-CN-1-1	99.823
#5-M24-4-35-CN-1-2	88.987
#5-M24-4-35-CN-1-3	89.573
#5-M24-4-35-CN-1-4	104.54
Average	95.73
Standard deviation	7.6962
Variation(%)	8.04
K	3.957
$F_{5\%}$	65.274
計算: F_m = 平均抗張強度 = 95.73 kN。 $\text{Variation}(\%) = \frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{7.6962}{95.73} = 8.04。$ K = 以 90%信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957。$ $F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 95.73(1 - 3.957 \times 0.0804) = 65.274 \text{ kN}。$	



表 3-43 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 ACI 355.2 參考性(4/A4)無束制抗張試驗分析結果

ACI 355.2	
TEST PROGRAM NO.	#5-M24-4-35-CN-1-1
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	34.3
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	43.331
有效埋入深度 h_{ef} (MM)	117
特性強度 N_b (kN)	65.274
正歸化係數	0.890
正歸化特性強度 N_p (kN)	58.094
K-VALUE	7.836
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，$K = 3.957$。 v = 變異係數 = 8.07%。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 95.73(1 - 3.957 \times 0.0804) = 65.274\text{kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{43.331}} = 0.890$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 65.274 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{43.331}} = 58.094 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{65.274}{\sqrt{43.331 \cdot 117^{1.5}}} = 7.836$。	



表 3-44 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24)植入開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)且有效埋入深度 117mm 於 EOTA EAD 330232 參考性(4/A4)無束制抗張試驗分析結果

EOTA EAD 330232	
TEST PROGRAM NUMBER)	#5-M24-4-35-CN-1-1
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	34.3
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (MPa)	43.331
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	95.73
初始正規化抗張特性強度 $N_{RK,0}$ (kN)	65.274
RQD, A_I	0.7
拉出破壞特性抗張強度 $N_{RK,P}$ (kN)	45.692
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，$K = 3.957$。 v = 變異係數 = 8.04(%)。 $N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 95.73(1 - 3.957 \times 0.0804) = 65.274\text{kN}$。 $rad.\alpha_1$ = 於開裂混凝土為 0.7。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 45.692 \text{ kN}$。	



第六節 修改#5 新式螺紋錨栓植筋植入 C20/25 與 C35/43 混凝土試驗與評定

由採用初期製作之新式螺牙植筋錨栓執行試驗顯示，試驗錨栓螺牙雖可提供與混凝土間適當握裹力，其於未開裂混凝土抗拉強度 k-value 指數，可達規範要求值 10.0，然其植入施作扭距過高，因此本研究將先前製作之錨栓修改與調整螺牙與螺桿，於下將此修改後新式螺牙植筋錨栓如示圖 3-20，並將修改後之羅錨栓植筋植入未開裂 C20/25 與 C35/43 混凝土評估其施工性與性能，於下將此二種混凝土強度條件下試驗結果分別討論於下章節。



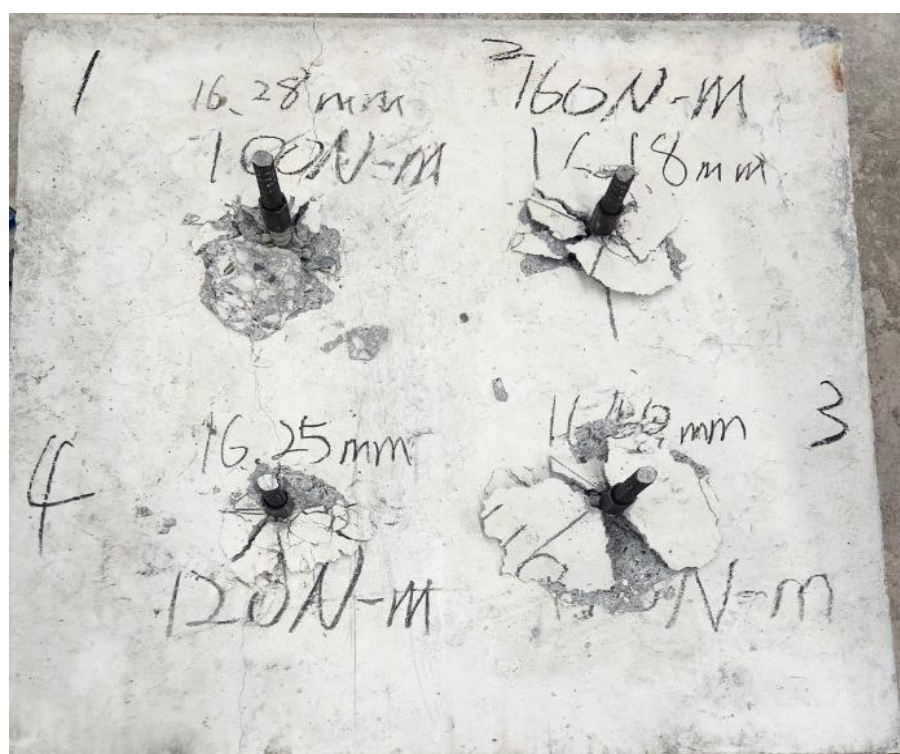
圖 3-20 修改螺牙與螺桿後之 M24 母頭新式螺紋植筋錨栓

一、於無開裂 C20/25 混凝土(1/A1)試驗

修改螺牙與螺改之#5 新式機械式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 (20.6 MPa)裂混凝土無束制抗張試驗如示圖 3-21，植入深度為 143mm (9d)，由於試件不足如示圖中，僅執行 4 支試驗，4 筆試驗中皆為混凝土拉出錐狀破壞，試驗數據與分析資料如示表 3-45 與表 3-46，錨栓植入扭距已顯著



下降，主要介於 100N-m 與 160N-m 之間。採用 ACI 355.2 與 EOTA EAD 330232 評估準則分析結果顯示於表 3-47 與表 3-48 中；採用 ACI 355.2 評估準則分析結果顯示#5 新式機械式螺紋植筋錨栓拉出 k-value 為 9.89，後續需執行更多事件之試驗；另#5 新式機械式螺紋植筋於 C20/25 混凝土正規化拉出破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 56.784 kN 與 51.042kN，EOTA 規範分析之結果較 ACI 規範分析之特性強度為保守。



試驗編號	扭力(N-m)
No.1	100
No.2	160
No.3	110
No.4	120

平均扭力值:122.5N-m

圖 3-21 #5 新式螺紋植筋錨栓(M24remake)植入無開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗照片



表 3-45 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度
143mm(9d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗數據彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Torque (N-m)	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
							Length	Width	Depth
#5-M24-1-20-NN-remake01	124.655	2.767	0.0486	CF	110	25.979	16.1	11.5	2.2
#5-M24-1-20-NN- remake02	98.240	3.724	0.2863	CF	160		17.1	16.4	4.3
#5-M24-1-20-NN- remake03	110.373	3.489	0.0198	CF	120		21.0	19.8	2.9
#5-M24-1-20-NN- remake04	103.355	3.380	0.6016	CF	110		13.8	13.6	2.8
Average	109.156	3.340	0.239	Notes: Day of produce:2021/09/15 Day of test:2023/11/06 Day of Coring:2023/11/08 Concrete age:784 天 錨栓未經熱處理 無開裂/無束制抗張試驗					
Standard deviation	11.468	0.408	0.270						
Variation(%)	10.5	0.122	1.128						

表 3-46 #5 修改螺牙與螺桿新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度
143mm(9d)參考性(1/A1)無束制抗張試驗可行性數據彙整表

Test ID No. or Item	Assess the feasibility of the data(kN)
#5-M24-1-20-NN remake01	124.655
#5-M24-1-20-NN remake02	98.240
#5-M24-1-20-NN remake03	110.373
#5-M24-1-20-NN remake04	103.355
Average	109.156
Standard deviation	11.468
Variation(%)	10.5
K	3.957
$F_{5\%}$	63.803
計算: F_m = 平均抗張強度 = 109.156 kN。 $\text{Variation}(\%) = \frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{11.468}{109.156} = 10.5。$ K = 以 90%信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957。$ $F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 109.156(1 - 3.957 \times 10.5\%) = 63.803 \text{ kN}。$	



表 3-47 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d)ACI 355.2 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果

ACI 355.2	
Test program No.	#5-M24-1-20-NNRP
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)	25.979
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	117
特性強度 N_b (kN)	63.803
正歸化係數	0.890
正歸化特性強度 N_p (kN)	56.784
k-value	9.89
計算: F_m = 平均抗張強度 = 109.156kN。 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 = 10.5(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 109.156(1 - 3.957 \times 10.5\%) = 63.803\text{kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{20.6}{25.979}} = 0.890$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 109.156 \cdot \sqrt{\frac{20.6}{25.979}} = 56.784 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{63.803}{\sqrt{25.979 \cdot 117^{1.5}}} = 9.89$。	



表 3-48 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C20/25 混凝土植入深度 143mm(9d) EOTA EAD 330232 參考性(1/A1)無束制抗張試驗分析結果

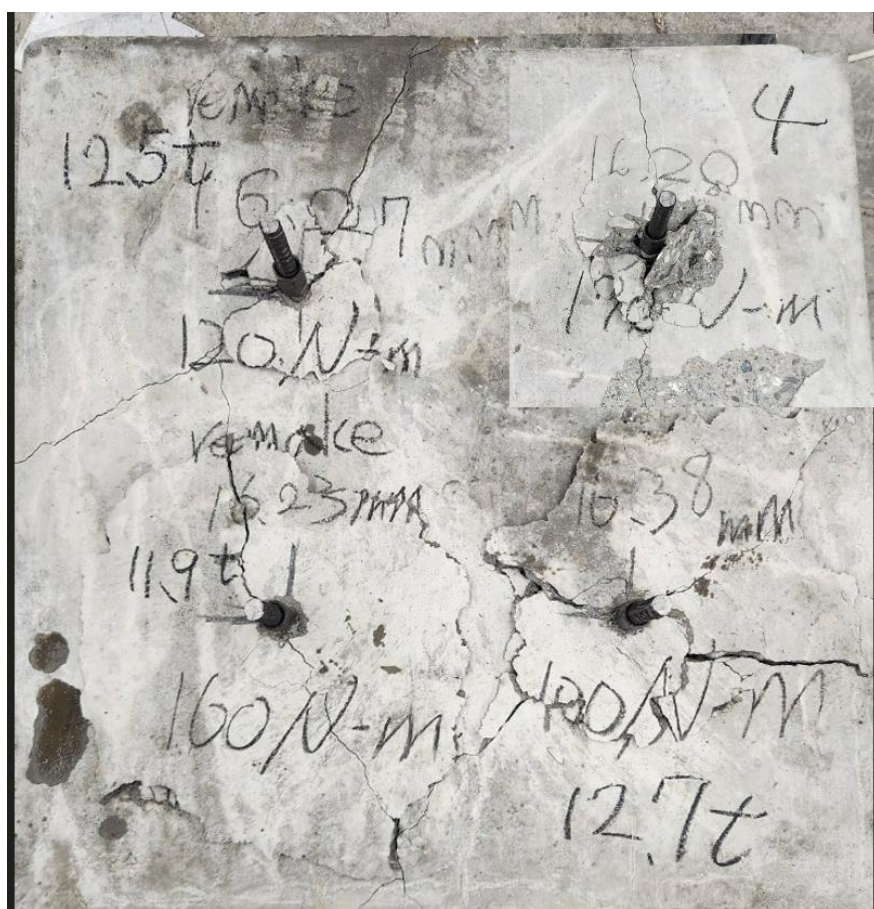
EOTA EAD 330232	
Test program number	#5-M24-1-20-NNrp
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	20.6
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	25.979
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	109.156
初始正規化抗張特性強度 $N_{RK,0}$ (kN)	63.803
$rqd. \alpha_1$	0.8
拉出破壞特性抗張強度 $N_{RK,p}$ (kN)	51.042
計算： $F_{u,t} = F_m = \text{平均抗張強度} = 109.156 \text{ kN}。$ $K = \text{以 } 90 \% \text{ 信度評估特徵容量之常數；測試件數量} = 4, K = 3.957。$ $\nu = \text{變異係數} = 10.5(\%)。$ $N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 109.156(1 - 3.957 \times 10.5\%) = 63.803 \text{ kN}。$ $rad.\alpha_1 = \text{於無開裂混凝土為 } 0.8。$ $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 51.042 \text{ kN}。$	

二、於無開裂 C35/43 混凝土(2/A2)試驗

修改螺牙與螺改之#5 新式機械式螺紋植筋錨栓植入未開裂 C35/43 (34.3 MPa) 裂混凝土無束制抗張試驗如示圖 3-22，植入深度為 143mm (9d)，如試圖中 4 筆試驗中皆為混凝土拉出錐狀破壞，試驗數據與分析資料如示表 3-49 與表 3-50，錨栓植入扭距已顯著下降，主要介於 100N-m 與 170N-



m 之間。採用 ACI 355.2 與 EOTA EAD 330232 評估準則分析結果顯示於表 3-51 與表 3-52 中；採用 ACI 355.2 評估準則分析結果顯示#5 新式機械式螺紋植筋錨栓拉出 k-value 為 10.653；另#5 新式機械式螺紋植筋於 C20/25 混凝土正規化拉出破壞特性抗張強度，採用 ACI 與 EOTA 評估準則分析結果分別為 78.958 kN 與 70.117kN，EOTA 規範分析之結果較 ACI 規範分析之特性強度為保守。



試驗編號	扭力(N-m)
No.1	120
No.2	160
No.3	100
No.4	170

平均扭力值: 137.5N-m

圖 3-22 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d)參考性(2/A2)無束制抗張試驗照片



表 3-49 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度
143mm(9d)參考性(2/A2)無束制抗張試驗數據彙整表

Test ID No. or Item	Ultimate load, N _u (kN)	Displacement @ failure load, δ (mm)	Displacement @ 50% mean failure load, δ _{0.5N_u} (mm)	F.M	Torque (N-m)	Mean concrete strength (MPa)	Concrete failure cone dimensions(mm)		
							Length	Width	Depth
#5-M24-2-35-NN-1-1	122.64	3.592	0.2179	CF	120	42.246	181	163	45
#5-M24-2-35-NN-1-2	119.43	3.248	0.3971	CF	160		411	340	70
#5-M24-2-35-NN-1-3	124.67	3.938	0.3232	CF	100		418	23.8	7.7
#5-M24-2-35-NN-1-4	107.26	1.880	0.1880	CF	170		183	171	30
Average	118.50	3.16	0.24	Note: 灌漿日期:2023/09/15 試驗日期:2023/11/06 鑽心日期:2023/11/08 混凝土齡期:54 天 錨栓未經熱處理 無開裂/無束制抗張試驗					
Standard deviation	7.80	0.90	0.17						
Variation(%)	6.58	0.28	0.72						

表 3-50 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度
143mm(9d)參考性(2/A2)無束制抗張試驗可行性數據彙整表

Test ID No. or Item	Assess the feasibility of the data(kN)
#5-M24-2-35-NNremake-1	112.64
#5-M24-2-35-NNremake-2	119.43
#5-M24-2-35-NNremake-3	124.67
#5-M24-2-35-NNremake-4	107.26
Average	118.50
Standard deviation	7.80
Variation(%)	6.58
K	3.957
$F_{5\%}$	87.646
計算: F_m = 平均抗張強度 = 118.50 kN。 $\text{Variation}(\%) = \frac{\text{Standard deviation}}{F_m} = \frac{7.80}{118.50} = 6.58\%$ K = 以 90%信度評估特徵容量之常數；測試件數量 = 4， $K = 3.957$ 。 $F_{5\%} = F_m(1 - K \times v) = 118.50(1 - 3.957 \times 6.58\%) = 87.646 \text{ kN}。$	



表 3-51 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度
143mm(9d)ACI 355.2 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析結果

ACI 355.2	
Test program No.	#5-M24-2-35-NN-remake
混凝土標稱設計強度 $f_{c,m,i}$ (MPa)	34.3
混凝土試驗構件強度 $f_{u,test,i}$ (MPa)	42.264
有效埋入深度 h_{ef} (mm)	117
特性強度 N_b (kN)	84.646
正歸化係數	0.901
正歸化特性強度 N_p (kN)	78.958
k-value	10.653
計算: F_m = 平均抗張強度 = 118.50kN。 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 = 6.58(%)。 $N_b = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 118.50(1 - 3.957 \times 6.58\%) = 87.646 \text{ kN}$。 正規化係數 = $\sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = \sqrt{\frac{34.3}{42.264}} = 0.901$。 $N_p = N_b \cdot \sqrt{\frac{f_{c,m,i}}{f_{u,test,i}}} = 87.646 \cdot \sqrt{\frac{34.3}{42.264}} = 78.958 \text{ kN}$。 $k = \frac{N_b}{\sqrt{f_{c,test} h_{ef}^{1.5}}} = \frac{87.646}{\sqrt{42.264 \cdot 117^{1.5}}} = 10.653$。	



表 3-52 修改螺牙與螺桿#5 新式螺紋植筋錨栓植入無開裂 C35/43 混凝土植入深度 143mm(9d) EOTA EAD 330232 參考性(2/A2)無束制抗張試驗分析結果

EOTA EAD 330232	
Test program number	#5-M24-2-35-NN-remake
標稱混凝土抗壓強度 f_{ck} (MPa)	34.3
試驗混凝土抗壓強度 $f_{c,t}$ (Mpa)	42.264
初始抗張特性強度 $F_{u,t}$ (kN)	118.50
初始正規化抗張特性強度 $N_{RK,0}$ (kN)	87.646
$rqd. \alpha_1$	0.8
拉出破壞特性抗張強度 $N_{RK,p}$ (kN)	70.117
計算： $F_{u,t} = F_m = \text{平均抗張強度} = 118.50\text{kN}$。 $K = \text{以 } 90\% \text{ 信度評估特徵容量之常數；測試件數量} = 4, K = 3.957$。 $\nu = \text{變異係數} = 6.58(\%)$。 $N_{RK,0} = F_{5\%} = F_m(1 - K \times \nu) = 118.50(1 - 3.957 \times 6.58\%) = 87.646 \text{ kN}$。 $rad.\alpha_1 = \text{於無開裂混凝土為 } 0.8$。 $N_{RK,p} = N_{RK,0} \times \min \alpha_p \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha_1}\right) \times \min\left(\frac{\alpha_1}{rqd.\alpha}\right) \times \min(\beta_p \leq N_{RK,C}^0) = 70.117 \text{ kN}$。	



第四章 劣化混凝土結構物補強延壽示範工程及推廣講習

本期計畫擬更完整試驗評估此螺紋植筋錨栓工程特性，在規劃以實際一件水土保持劣化混凝土結構物補強延壽示範工程案例，採用此新式螺紋植筋錨栓及國產化學植筋膠，為此混凝土結構物補強延壽施工材料，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。

本研究案申請於農村發展及水土保持署台南分署，年度災害緊急處理工程之新化林場虎源溪混凝土護岸基礎掏空及農路修復，執行採用此新式螺紋植筋錨栓及國產化學植筋膠為補強與延壽示範工程，示範工程混凝土護岸基礎掏空概況如示圖 4-1，示範工程採用新式螺紋錨栓植筋與化學植筋，植入現有混凝土護岸，兩種植筋各補強劣化混凝土護岸基礎各 10 公尺，使用#5 植筋，植筋直徑為 15.6mm(#5)，植筋深度為 150mm，植筋間距為 25 公分、平均每平方公尺護岸可植 16 支植筋，植筋鑽孔施作照片如試圖 4-2 及圖 4-3，混凝土護岸基礎掏空狀況及植筋與鋼筋綁紮補強作業後灌製混凝土前概況如示圖 4-4，如示圖 4-5，混凝土護岸基礎補強混凝土模板組立與混凝土澆置，混凝土護岸基礎補強施工前與施工完成後照片如示圖 4-6，新化林場入口混凝土路面補強新式螺紋錨栓植筋安裝與鋼筋網鋪設作業如示圖 4-7。為了解現場施作新式螺紋錨栓植筋與之抗拉強度，也於現場旁防砂壩壩頂執行破壞性抗拉試驗，現場施作照片如試圖 4-8 及圖 4-9，由現場抗拉試驗，新式螺紋錨栓植筋抗拉強度約為 5.6~10.8 公噸，化學植筋強度約為 8.0~9.9 公噸。

本研究另於今年 6 月 26 日，受農村發展及水土保持署台南分署邀請至分局，舉行一場推廣說明會，講習照片如試圖 4-10，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，此次說明會也以視訊連接至其他水保分署，藉由此說明會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，增進補強延壽工程之可靠性。於下將計畫執行期中成果逐項討論於下。



新化林場虎源溪混凝土護岸基礎掏空概況

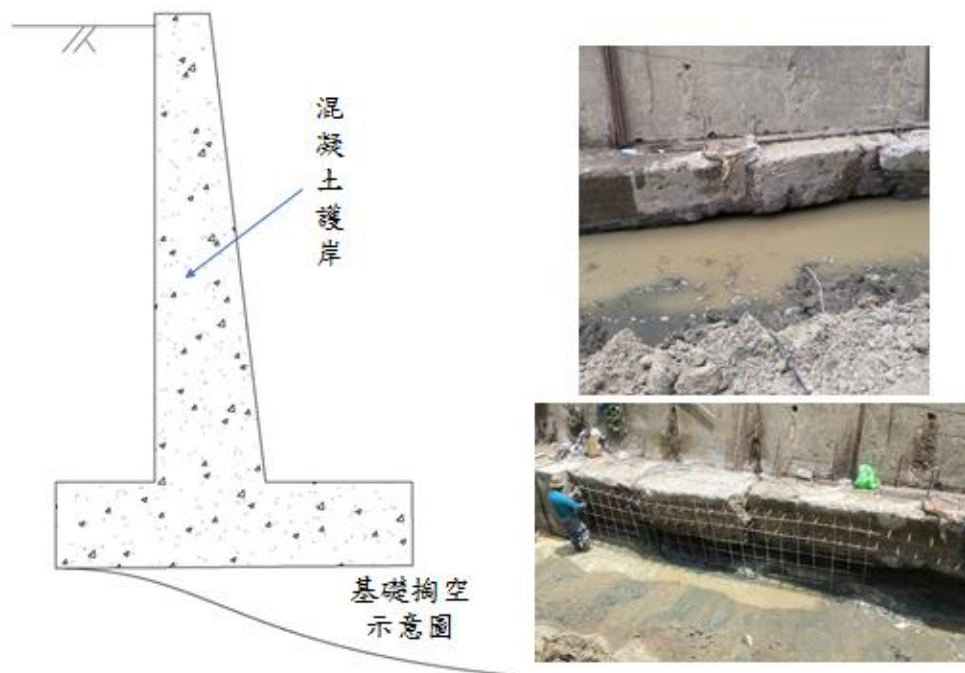


圖 4-1 新化林場虎源溪混凝土護岸基礎掏空概況



圖 4-2 植筋鑽孔與清孔作業



圖 4-3 螺紋錨栓與化學錨栓植筋作業



圖 4-4 混凝土護岸基礎掏空狀況及植筋與鋼筋綁紮補強作業後灌製混凝土前概況



圖 4-5 混凝土護岸基礎補強混凝土模板組立與混凝土澆置



圖 4-6 混凝土護岸基礎補強施工前與施工完成後照片



圖 4-7 新化林場入口混凝土路面補強新式螺紋錨栓植筋安裝與鋼筋網鋪設作業



圖 4-8 新式螺紋錨栓植筋與化學植筋現地試驗鑽孔與植筋作業



圖 4-9 新式螺紋錨栓植筋與化學植筋現地抗拉試驗作業



圖 4-10 2023 年 6 月 26 日於台南分署舉行新式螺紋錨栓植筋推廣說明會照片



第五章 結論與建議

第一節 化學植筋束制性抗張試驗結果小結

- #4 及#5 化學植筋植入 C20/25 未開裂混凝土束制式抗張試驗握裹強度分別為 15.474 N/mm^2 及 12.857 N/mm^2 ，均大於規範要求值(10.0 N/mm^2)。
- #4 及#5 化學植筋植入 C20/25 開裂混凝土束制式抗張試驗握裹強度分別為 7.152 N/mm^2 及 6.086 N/mm^2 ，#4 及#5 化學植筋於 C20/25 開裂混凝土是否符合規範要求值，宜再確認。
- #4 及#5 化學植筋植入 C35/45 未開裂混凝土束制式抗張試驗握裹強度分別為 16.129 N/mm^2 及 19.776 N/mm^2 ，均大於規範要求值(14.5 N/mm^2)。
- #4 及#5 化學植筋植入 C35/43 開裂混凝土束制式抗張試驗握裹強度分別為 11.831 N/mm^2 及 6.966 N/mm^2 ，#4 及#5 化學植筋於 C35/43 開裂混凝土是否符合規範要求值，宜再確認。
- #4 及#5 化學植筋植入 C20/25 及 C35/45 未開裂混凝土具備符合規範要求握裹強度，然植入開裂混凝土之束制式抗張試驗握裹強度，因混凝土強度與開裂試驗裂縫尺寸之變異影響性，宜再加強試驗條件穩定性管理，以確保建議特性強度之可靠性。

第二節 #5 新型螺紋錨栓植筋試驗結果結論

- #5 新型螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 9.793，接近符合規範要求值。
- #5 螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 6.635，接近符合規範要求值。
- #5 新型螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 10.583，大於 10，符合規範要求值，可應用於結構補強用途。
- #5 螺紋植筋錨栓植入 C35/43 開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 6.046，仍須執行更多組試驗確認其特性值。



第三節 #5 新式螺紋錨栓植筋試驗結果結論

- #5 新式螺紋植筋錨栓植入 C20/25 未開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 13.332，符合規範要求值。
- #5 新式螺紋植筋錨栓植入 C20/25 開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 10.141，符合規範要求值。
- #5 新螺紋植筋錨栓植入 C35/43 未開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 8.11，未能符合規範要求值。
- #5 新式螺紋植筋錨栓植入 C35/43 開裂混凝土無束制式抗張試驗特性強度 k-value 為 7.836，符合規範要求值。
- 此#5 新式螺紋植筋錨栓雖植入於 C20/25 及 C35/43 抗張性能 k-value 多能符合規範要求值，然此植筋錨栓植入高強度混凝土時，須採用較高扭距(有時大於 200N-m)施作，施工性須改善，此螺牙錨栓經羅牙硬化與調整羅桿處理後，此組試驗錨栓植入 C20/25 強度混凝土之施工扭距明顯降低，平均扭距由未處理前 136N-m，降為為 86N-m，顯示錨栓螺牙修改設計為正確方向。
- 採用經修改設計之#5 新式螺紋植筋錨栓植入於 C20/25 及 C35/43 未開裂混凝土之抗張性能 k-value 分別為 9.29 及 10.423，大致符合規範值，然目前僅執行少數試件數，後續需執行更多事件，以確認其特性，且其植入於 C20/25 及 C35/43 混凝土之平均扭距分別為 123N-m 及 137N-m，適合廣泛施工條件。

第四節 示範工程及推廣說明會結論

- 本案獲農村發展及水土保持署台南分署同意於新化林場推動虎源溪混凝土擋土護岸基礎掏空補強延壽示範工程，將採用新式#5 螺紋錨栓與植筋植入劣化混凝土結構物中，連結現有混凝土與補強新建混凝土基礎構造物，達到結構物延壽功效。
- 植筋示範工程為新化林場混凝土護岸基礎掏空補強延壽工程及林場入口鋪



面補強工程，此工程為台南分署 112 年度臺南(一)定期預約災害緊急處理與維護工程之一部分。

- 新式螺紋錨栓植筋與化學植筋混凝土護岸補強工程各 10 公尺，植筋尺寸為#5(15.6mm)，植筋深度為 150mm，植筋間距為 25 公分、平均每平方公尺可植 16 支植筋。
- 示範工程現地混凝土強度介於 $190 \text{ kg/cm}^2 \sim 365 \text{ kg/cm}^2$ 。
- 示範工程#5 新式螺紋錨栓植筋抗拉強介於 5.6~10.8tons。
- 示範工程#5 化學植筋抗拉強介於 8.0~9.9tons。
- 新式#5 螺紋錨栓可先植筋，可後續續接鋼筋與補強鋼筋一同作業，再灌製補強混凝土，各工班可依序進場施工，施工性佳。
- 示範工程#5 新式螺紋錨栓植筋與化學植筋均可提供混凝土結構補強與延壽功能，然#5 新式螺紋錨栓植筋於應用推廣上仍需改善其施工性及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力)、及產品驗證程序，有待下年度 貴署繼續支持本創研計畫，以利完成此項新工法之創作完成。

第五節 建議

- 由第二期研究結果顯示，依據修正之新式#5 螺紋錨栓已可以適當扭距(低於 120N-m)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，建議採用修正之新式#5 螺紋錨栓設計為藍圖，可後續完成完整 ACI 與 EOTA 參考性、可靠性與生命週期應用性評定試驗與分析，以利後續推廣應用。
- 也須選取一至二項水土保持防砂壩，壩頂損壞需延壽補強之工程，將此修改之#5 新式螺紋錨栓植筋，應用為修繕之材料，驗證其應用於補強延壽之功效。
- 然#5 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力)、及產品驗證程序，



也為後續研究建議事項。



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.



附錄：112 年度期中審查意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	貴校所提期中報告書，經書面審查通過，同意撥付第2 期款，審查意見請納入期末報告書回應，並於112 年11 月13 日前函送期末報告書5 份，俾利辦理期末審查作業。	依審查意見辦理。
二	研究目標為[防砂壩延壽示範工程]，目前僅進行混凝土護岸基礎掏空補強延壽，請加速進行切合研究目標之補強研究。	經與 貴署台南分署討論，以台南分署年度災害緊急處理工程之新化林場虎源溪混凝土護岸基礎掏空及農路修復工程，執行採用此新式螺紋植筋錨栓補強與延壽示範工程案例，已經成功將新式螺紋錨栓植筋應用於該案例補強延壽中，也與 貴署台南分署於今年十月討論，請求找尋適當防砂壩劣化案例應用此新式螺紋錨栓植筋為補強延壽材料，也申請明年度創新研究計畫，期望可於明年計畫中完成此項目目標。
三	#5 新型螺紋錨栓經試驗結果多有未符規範要求值，於期末若經改良設計可符規範要求值，另請與 #4、#5 化學植筋，做施作便利性、經濟性、強度比較，尋求較	已詳實核對 C20/25 及 C35/43 未開裂與開裂混凝土試驗數據與採 ACI 355.2 規範評估，#5 新式螺紋錨栓抗張強度 k-value 指數分別為 13.332 與 10.583(大於 10.0)，符合規範值。另



項次	審查意見	回覆辦理情形
	佳方案。	計畫緒論章節中曾敘述，化學植筋是否能達到預期成效，有賴良好施工程序及採用具認證程序保證產品，及也需經由試驗證明程序證明其性能，方能保證其功效，且也須植筋完須至少等 8 小時，方可後續綁紮鋼筋等工序，施工便利性不好，且目前由於補強延壽工程植筋數量有限(數百支)，無法由專業廠商施工，無法保證施工品質，且如採專業廠商報價施工，期費用也很高(可達 250NT/支)，因此本研究案，研發之新式螺紋錨栓可解決施工性與產品保證之問題，且如能大量生產新式螺紋錨栓，其經濟性應可與具認證保證之化學植筋競爭，且其施工性較佳，也好掌握工期與效率。
四	本計畫研究成果已與本署台南分署合作實際應用於現地補強修復，並可使構造物延壽，建議持續巡查防砂壩延壽示範工程追蹤成效並推廣其他分署參採。	期望與其他分署分享推廣此新式螺紋錨栓植筋應用於其他水土保持劣化混凝土構造物補強延壽工程中。



項次	審查意見	回覆辦理情形
五	表目錄有尚未定義書籤,請重新設定格式。	已修改。
六	建議期末成果報告請參考署內報告書格式排版裝訂。	已依署內報告書格式排版裝訂。
七	為因應機關組織改造，機關名稱修正為「農業部農村發展及水土保持署」，報告書封面及內文等請依本署最新範本格式撰寫，相關範本檔案請至本署電子圖書管理中心下載 (https://elibrary.ardswc.gov.tw/)。	已依 貴署規定辦理。