

第三章

試驗計畫與試驗方法

3-1 試驗計畫

本研究針對不同尺寸及不同埋置長度之纖維強化複合材料加強筋 (Fiber Reinforced Polymer Bar, FRP bar) 應用於一般強度混凝土內在不同的溫度環境下對其握裹力之影響為研究主題，研究纖維強化複合材料加強筋在一般強度之混凝土內部於不同加熱溫度下其握裹力及拉拔滑動變位之變化。

本研究主要考量的因子包括加熱溫度、纖維強化複合材料加強筋之尺寸、埋置長度、握裹力及握裹破壞模式間之相互關係。預期的研究結果包括 (1) 探討纖維強化複合材料加強筋應用於一般強度混凝土作為抗拉構材受高溫之可行性。(2) 建立纖維強化複合材料加強筋尺寸、埋置長度、加熱溫度、握裹力與破壞模式及滑動變位間之關係。




3-2 試驗變數

本研究中所使用之試驗變數分為纖維強化複合材料加強筋之尺寸、埋置長度以及加熱溫度。為了要瞭解纖維強化複合材料加強筋於一般強度混凝土中在高溫的環境下是否適合使用，所以本研究將環境溫度的變數設為常溫、100°C、200°C、300°C 四種狀況，至於纖維強化複合材料加強筋部分，為了得到在各種纖維強化複合材料加強筋尺寸及埋置長度之間因為溫度因素而造成的衰減情況，所以預計使用 10mm ϕ 、13mm ϕ 、16mm ϕ 、20mm ϕ 及 25mm ϕ 五種尺寸的纖維強化複合材料加強筋以三種深度 4 ϕ 、8 ϕ 、12 ϕ 埋置於混凝土圓柱試體中，如表 3-1 所示。

3-3 試驗材料

1. 混凝土：採用台北水泥製品廠新竹分廠之預拌混凝土，詳細配比資料如表 3-2 所示。
2. 纖維強化複合材料加強筋：由 Pultrall Inc. 製造，是由連續的纖維並使用 Vinyl ester resin 經過高溫處理而成，在纖維棒的光滑表面上加以噴砂處理以增加與混凝土間的接觸面積進而增加握裹力。本研究使用直徑為 10mm、13mm、16mm、20mm、25mm 之纖維強化複合材料加強筋，其詳細資料如表 2-2~表 2-5 所示。
3. 電熱耦線：採用三杰公司之 K Type 電熱耦線。
4. 防火棉：由玻璃纖維所製之隔熱且不燃燒之防火隔熱棉。
5. 蓋平石膏：採用仲輝公司之型號為 S-420 之蓋平石膏。

3-4 試體規劃



本研究針對纖維強化複合材料加強筋埋置於混凝土內進行實驗。試體為設計抗壓強度 4000PSI 之混凝土圓柱試體，試體尺寸分別為直徑 20cm 高 30cm 及直徑 20cm 高 35cm，使用 10mm ϕ 、13mm ϕ 、16mm ϕ 、20mm ϕ 及 25mm ϕ 等五種尺寸的纖維強化複合材料加強筋，分別以三種埋置長度 4 ϕ 、8 ϕ 及 12 ϕ 埋置於混凝土圓柱試體中心，如[圖 3-1]所示，依照四種加熱溫度室溫、100°C、200°C 及 300°C 共有 60 組試體，每組試體各做 3 個共有 180 個試驗試體。同時製作 6 個直徑 10cm 高 20cm 之圓柱試體做抗壓試驗，以供瞭解混凝土之實際抗壓強度。

3-4-1 試體製作

預計製作 180 個纖維強化複合材料加強筋拉拔試驗試體及 6 個抗壓試體。首先準備 180 個長寬各為 30cm 之方形壓克力底板、6 個直徑 10cm 高 20cm 之圓柱型模具及 180 個直徑 20cm 之圓柱型 PVC 模具，其中圓柱型 PVC 模具規格分為 30cm 高共 168 個及 35 cm 高共 12 個，因為在纖維強化複合材料加強筋直徑為 25mm 及埋置長度為 12ϕ 這一組試驗試體中，纖維強化複合材料加強筋埋置的長度為 30cm，所以在此組試體中將混凝土圓柱試體的高度改為 35cm，故需使用 35cm 高的圓柱型 PVC 模具共 12 個。使用清水將圓柱型 PVC 模具及方形壓克力底板擦拭乾淨，等其風乾後，將圓柱型 PVC 模具平放於方形壓克力底板的中央，然後使用 Silicone 將圓柱型 PVC 模具的底部跟方形壓克力底板間的縫隙填滿以防灌注試體時混凝土從縫隙間滲漏。將 180 個圓柱型 PVC 模具跟方形壓克力底板黏好後，於內部塗上一層薄油脂來增加潤滑性，以避免在搗實時試體底部因漿體的流動性不夠而有小孔洞的產生，也可利用其潤滑性來減輕拆模與清模的困難。然後便是製作纖維強化複合材料加強筋固定器，為了確保纖維強化複合材料加強筋固定器在架設時不會發生傾倒的現象，所以纖維強化複合材料加強筋固定器的材料是選擇稍有重量的鐵，而不是工作性較佳的鋁合金。本實驗所用的纖維強化複合材料加強筋的直徑為 10mm、13mm、16mm、20mm 及 25mm，為了使纖維棒表面噴砂形成之不均勻斷面能順利通過固定器，纖維強化複合材料加強筋固定器中心鑽孔的直徑分別為 12mm、15mm、18mm、22mm 及 27mm，而固定器的高度設計為 20cm 也是在計算出最大偏心接受度後所決定之高度，接著依照每組纖維強化複合材料加強筋的埋置長度 L 如[圖 3-1]加上固定器的高度 20cm，在每組纖維強化複合材料加強筋距離端點 $L+20\text{cm}$ 處以雙面泡棉膠纏

上兩圈以作為架設在纖維強化複合材料加強筋固定器上確保埋置長度之輔助裝置。

準備工作完成後開始進行灌注試體，分為兩部分，一為抗壓試體，另一則是埋置纖維強化複合材料加強筋之混凝土試體。抗壓試體部分為直徑 10cm 高 20cm 之圓柱試體，將其分為 3 層搗實，每層搗實 25 下，搗實完成後將其表面以鏟刀鏟平，至於直徑 20cm 高 30cm 及高 35 cm 之纖維強化複合材料加強筋握裹力拉拔試驗試體則將之分成 3 層搗實，每層搗實 25 下，將試體表面鏟平後在圓柱型 PVC 模具上架上纖維強化複合材料加強筋固定器，並將纖維棒從固定器中心孔緩慢插入，在插入纖維棒的時候，需注意的是應該將纖維棒穿過固定器中心孔輕放於尚未乾的混凝土上然後輕輕敲擊圓柱型 PVC 模具的周圍使纖維棒自行緩慢的陷入混凝土中達到所需的埋置長度為止，如此一來可避免若直接將纖維棒插入到混凝土時，在圓柱試體表面纖維棒周圍處會產生混凝土凹陷的現象。完成後之試體如[圖 3-1]及[圖 3-2]所示。

3-4-2 試體養護、烘乾

澆製試體 48 小時內拆模取出試體，並在 $23\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 溫度下濕治，在最初 48 小時濕治時間內應不受震動。拆模後試體濕治之意是指試體全部表面應經常保有游離水。之後可將試體浸於飽和石灰水中或儲於合乎 CNS 3037 水硬性水泥及混凝土試驗用濕養櫃及濕養室規定之濕養室中。試體不可置於水滴下或流動之水中。

本研究是討論纖維強化複合材料加強筋應用於一般強度混凝土在高溫中之握裹力，因為當中有牽涉到溫度的問題，所以烘乾便成為一個相當重要的步驟，試驗的試體必須在適當的溫度下（ 100°C ）持

續烘乾一段時間（約一週），以將試體內部大部分的水分逼出，而使得之後在加熱混凝土試體時不至於因為試體內部含有水分而造成壓力過大及發生爆炸的現象，烘乾後之試體應放置在乾燥的環境中並儘速將其進行試驗，以免混凝土試體又將水分吸入。所以烘乾的步驟在安全上是相當重要且需特別注意的項目。

3-4-3 抗壓試驗

進行抗壓試驗的直徑 10cm 高 20cm 之圓柱試體於養護 28 天後取出放置乾燥的環境中，之後送至材料實驗室進行抗壓試驗。試驗時要將試體準確的放置在試驗機的中心，以防止有偏心的現象，加壓時應連續地增加，不得有震動現象發生，加壓的速率應維持在每秒鐘 1.41kgf/cm^2 (0.14MPa) 至 3.52kgf/cm^2 (0.34MPa) 之間視混凝土強度而定，在預估最大抗壓強度之上半段加壓時間內可用稍高之加壓速率，當試體即將破壞前發生快速降服現象時，試驗機之加壓速率不得再予以調整。

3-5 試驗設備

1. 直徑 20cm 高 30cm 及高 35cm 之圓柱型 PVC 模具：用以澆製纖維強化複合材料加強筋握裹力試驗試體。
2. 長寬各為 30cm 之方形壓克力底板：用以澆製纖維強化複合材料加強筋握裹力試驗試體。
3. 烘箱：試體於加熱前先行將其烘乾以防加熱過程中發生爆炸。
4. 100 噸容量之油壓缸：施作拉拔試驗時加壓的工具[圖 3-3]。
5. 手動式油壓機：將油打入油壓缸之工具[圖 3-4]。
6. 電熱式圓桶高溫爐：用以將試體加熱至所需之溫度[圖 3-5]。

7. 夾具：為經過熱處理之鋼材料設備，共使用 16 顆螺絲，中間與纖維棒接觸面使用平行四邊形刮花。此夾具固定在纖維棒之最上方，以將油壓缸之上推力轉變為拉拔力之設備[圖 3-6]。
8. LVDT：容量為 6 公分之位移量測計為架設在試體表面之上方處，用以量測拉拔實驗時纖維棒之變位。
9. 反力鐵架：支撐油壓缸並提供拉拔力之反力。
10. LVDT 套圈：裝置在混凝土圓柱試體頂面與纖維強化複合材料加強筋之交界處上，以作為 LVDT 量測纖維棒變位之參考位置。
11. 資料擷取器：使用三聯公司所代理的型號 UCAM10B 之擷取器及型號 USB20A 之擴大器，在實驗過程中負責資料的收集及紀錄。

3-6 試驗設置及步驟

由於本實驗所製作之纖維強化複合材料加強筋拉拔試驗試體之高度為 30cm 及 35cm，但是電熱式圓桶高溫爐的高度達到 50cm，所以在澆製拉拔試驗試體時另外再分別澆製高度為 23cm 及 18cm 之混凝土墊塊以作為拉拔試驗試體底部之墊塊。並將此墊塊包上防火棉以增加使用壽命，將纖維強化複合材料加強筋拉拔試驗試體放上混凝土墊塊後，試體表面的高度會略高於電熱式圓桶高溫爐，如此設計是為了避免纖維強化複合材料加強筋直接受到高溫爐加熱導致纖維棒產生力學性質變化。將一塊厚度適中且平整之防火棉裁成直徑稍大於 20cm 之圓片，在圓片的中心挖出直徑略大於纖維強化複合材料加強筋的孔洞以利纖維強化複合材料加強筋在架設時可以順利伸出，同時也可以防止防火棉在加熱時所升高的溫度影響纖維強化複合材料加強筋的力學性質。以上準備工作完成後即開始進行拉拔試驗。

首先將混凝土墊塊放置於電熱式圓桶高溫爐的內部中，再將埋置

纖維強化複合材料加強筋的混凝土圓柱試體放置在混凝土墊塊之上並且在混凝土圓柱試體的周圍綁上一條電熱耦線，此條電熱耦線連接到加熱器上以探測圓桶式高溫爐內的溫度，然後將已裁好的防火棉穿過纖維強化複合材料加強筋平整的放置於混凝土圓柱試體之上確保溫度隔絕，此時要特別注意因為拉拔試驗會牽涉到相當大的力量，所以在進行隔熱的動作上要格外小心，要確實使整個試體連同混凝土墊塊保持平穩，而試體上下接觸面的隔熱棉要盡可能的保持平坦，以免在實驗操作時因為接觸面不夠平坦造成力量偏心進而發生傾倒的危險。再來是架設反力鐵架的部分，使用大型結構實驗室的天車吊掛設備將反力鐵架吊起後小心穿過纖維棒平穩的放置於拉拔試體的上方，要確認纖維棒恰好通過 LVDT 保護架的中心。接下來是油壓缸的架設部分，也是使用天車吊掛設備將油壓缸吊起小心的穿過纖維棒而不發生碰撞及推移放置於反力鐵架之上，之後再穿過纖維棒放上 LOAD CELL 並墊上一塊墊片以使得待會 LOAD CELL 與夾具的接觸面能較為平整使力量較為平均。然後是夾具的組裝，先將夾具放置於墊片的上方用手稍微將夾具夾緊固定，然後使用氣動扳手將夾具上的 16 顆螺絲輪流鎖緊，這裡要注意的是夾具上的 16 顆螺絲必須以對角的方式鎖緊，而且不可在第一輪就將所有的螺絲鎖到最緊，必須要鎖個幾輪後，使每一顆螺絲彼此間的鬆緊非常均勻，夾具本身沒有夾合不均的現象出現，否則一旦試驗開始拉拔的力量過大會使得夾具鬆脫造成實驗失敗。實驗設備設置到這個步驟後，必須要觀察油壓缸及 LOAD CELL 的中心點是否與整個設備的中心點對齊，而纖維棒本身有無偏心產生，一旦產生偏心會造成本實驗的誤差及儀器的傷害。最後是架設用來量測在拉拔時纖維強化複合材料加強筋所產生的位移變化的 LVDT，先將 LVDT 套圈盡量架設在接近混凝土圓柱試體的表面，以消

除纖維強化複合材料加強筋在拉拔時所造成之軸向變形影響了滑動變位的量測，然後再架上 LVDT，需注意的是 LVDT 本身支承軸的穩定，否則若是在實驗中發生晃動則會影響試驗結果準確性。全設備的架設如[圖 3-7]所示，[圖 3-8]為全設備的實體圖。

當所有設備以架設完成之後，即開始進行加热的程序。使用電熱式圓桶高溫爐依照 ASTM E-119 耐火標準加熱速率升溫，以預先綁在混凝土圓柱試體周圍的電熱耦線來探測高溫爐內目前的溫度以避免加熱器因無法確知目前溫度而持續增加電流造成意外發生。本實驗共有常溫、100°C、200°C 及 300°C 四種溫度，除常溫不需加熱外，其餘依照不同的溫度設定會有不同的加熱時間，待各試體中心溫度達到所設定的目標溫度之後即開始操作手動式油壓機來進行拉拔的動作，以每分鐘上升 2 噸的拉拔速率持續加載歷時來進行拉拔的動作，直到發生握裹失敗或是纖維強化複合材料加強筋的抗拉破壞而停止。在進行拉拔的動作時要注意本身所處的位置與試體的位置之相對關係，因為在拉拔破壞時，有可能是握裹失敗，但也有可能是纖維強化複合材料加強筋本身的抗拉破壞，而後者有突然性的斷裂危險，所以實驗者本身與試體的相對位置是需要特別注意的。