

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以防火版材披覆提高碳纖維補強受損樑防火能力研究

計畫編號：NSC 89 – 2211 –E- 009 - 085

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：鄭復平

執行機構及單位名稱：國立交通大學

一、中文摘要

本研究之目的在研究防火版材應用於一般 FRP 補強樑之強度影響，進而探討版材披覆之施工法以歸納一經驗法則，做為日後防火版材披覆施工之參考依據。試驗主要分為兩個部份來進行：一是研究 FRP 補強對受損樑之強度補強的提昇效果；二是防火版材披覆 FRP 補強樑在經歷不同火害歷時後補強樑之強度影響。

研究過程分為三個階段來進行：一、採用時下常用之防火版材進行高溫試驗，並以小試體試驗以分析實體版材之施工性，進而求得一防火效能較佳的防火版材做為披覆 FRP 之用。二、以 FRP 補強受損樑，經抗彎試驗後分析其補強之效果。三、受損樑經 FRP 補強後加以防火版材披覆，分別經歷一小時、二小時和三小時之火害歷時後探討防火版材在火害過程中對補強樑之強度的影響。

研究結果包含了防火版材高溫試驗的溫度數據、結果分析與施工法比較之探討；FRP 補強樑在補強後極限強度的提昇與無受損但以 FRP 補強後之樑的強度提昇之比較；防火版材披覆 FRP 補強樑經歷不同火害歷時之耐溫試驗所得之強度影響。

關鍵詞：防火版材、纖維複合材料貼片、高溫、防火能力。

Abstract

The purpose of this research is to investigate the improving fire resistance capability of FRP strengthening damaged girder by fire insulation board. Experiments were conducted to study the behavior of the fire insulation boards in fire tests and the experience will be included in this study, too. The experiments include two parts: one is to study the improved strength of FRP strengthening damaged girder; and the other one is to discuss the effect of the strength of the FRP strengthening damaged girder using fire insulation board under different fire tests.

The results of this research include temperature measured during fire tests, final analysis and the investigation of the difference between working methods of the fire insulation board. We compared the improving strength between the girder with damage or not too. Finally, we explored the influence of strength of the FRP strengthening damaged girder using fire insulation board under different time duration of the fire tests.

Key words: fire insulation board, FRP, high temperature, the capability of fire resistance.

二、緣由與目的

緣由

台灣位於板殼的交界帶，加上台灣屬於海島型氣候，因此結構物受到地震力及潮溼腐蝕的影響嚴重，再加上本身設計不當、使用不善、施工品質不良的問題，常有結構物受到嚴重損壞而必須進行補強或修復，尤其是台灣在 921 大地震後有大量房屋受損，修補工作更是急切。

纖維複合貼片(Fiber Reinforced Plastic，簡稱 FRP)其本身具高拉力強度、質量輕且施工方便等優點，近年來常用來作為受損結構體之補強材料，而且在補強後皆顯示出很好的補強效果。然而台灣火災頻傳，每年平均發生上萬件的火災，造成嚴重的人員傷亡及財物損失，火災對建築物而言無疑是發生頻率最高的災害，造成的損失更不容輕視。FRP 雖有上述的各項優點，但其耐火性質卻不理想，尤其是其黏著材料(即其基材 纖維基材界面)。若以 FRP 補強後的結構物發生火災，其補強的效果可能完全消失，再加上結構物原本已受損壞，在承受火災後，其強度更大為降低，結構物的安全因而大大有疑慮。

因此 FRP 補強過後的結構物加以耐火的披覆是必需的。近年來防火材料的興盛，以防火版材來披覆 FRP 補強後之鋼筋混凝土，以達防火之要求，實為一個值得研究的課題，故其施工方式及其耐火性質、抗火能力對強度影響的探討都是本研究所要討論的項目。

目的

由於 FRP 在以往是應用於補強上的研究，因為材料的特性屬於抗拉材而無法承受壓力，故 FRP 大部分使用在樑的彎矩或剪力補強上，因此本計畫亦選擇以樑來研究，並就下列試驗因素進行探討：

1. 選擇適當之防火版材並探討其防火能力和做為披覆 FRP 補強樑之可行性。
2. 探討以防火版材披覆 FRP 補強鋼筋混凝土樑的施工方式及便利性。

3. 探討經 FRP 補強後之鋼筋混凝土樑以防火版做披覆的黏貼劑之有效性。
4. 探討鋼筋混凝土樑有裂縫時，有無 FRP 補強、有無防火版材做披覆的耐火性質、內部溫度變化及防火版材隔熱效果，進而歸納出經披覆後的補強受損樑抗火能力之提昇效果。
5. 探討在不同火害延時下，防火版材披覆 FRP 補強之鋼筋混凝土樑的耐火性質及補強效果受火害後之強度變化。

研究探討以防火版材披覆 FRP 補強受損樑在受火災侵襲後的行為及其抗火能力，對於已遭受損害的房屋結構物在補強後之安全性有很重要之需求，不僅可增加 FRP 補強後結構物的安全保障，並瞭解受損樑使用 FRP 補強後施以防火版材披覆，在火災時之危險性，進而評估防火版材做為披覆之可行性。

三、試驗方法與步驟

本研究計劃共計製作八支實尺寸樑(圖一)，試驗試驗以下列規劃方式進行(表一)：本實驗主要是模擬普通鋼筋混凝土樑(混凝土之 28 天抗壓強度為 280 kg/cm^2)，為配合本校多功能防火試驗爐及實際試體結構情況，試體設計成 T 形樑，其規格為：翼版寬 0.9m、版厚 0.12m、樑深 0.4m、樑長 3.8m、腹樑寬 0.25m。部份樑在樑中央之拉力側以塑膠板製造裂縫(圖二)，其中裂縫的設計主要是模擬樑受損的狀態。

八支試體中，三支樑不加 FRP 補強，其餘五支均做 FRP 補強。五支 FRP 補強樑中，兩支不做防火版披覆，設計之裂縫深度為 15 cm，並分別於樑中心距樑底 0、2.5、5、10、15cm 處分別埋置熱電偶計(圖三)以量測樑試體於高溫試驗時之溫度變化。同時每根樑利用同時澆置之混凝土製作 3 個圓柱試體，以供瞭

解試驗時混凝土之實際抗壓強度。

由於現場空間的關係和樑試體試驗安排之故，混凝土分兩次各四支樑澆置。第一次澆置，其中二支分別為有裂縫和無裂縫樑，不加以 FRP 補強也不施以高溫試驗，直接進行抗彎試驗，以探討受損樑與無受損樑強度之差異；另外二支亦分別為有裂縫和無裂縫樑，但多加以 FRP 補強，且不受高溫試驗，直接進行抗彎試驗，以探討使用 FRP 補強之效果對樑極限承载力之提昇狀況。此四支樑均不埋置熱電偶線。

第二次澆置，一支樑不以 FRP 補強，也不施以防火版材披覆，但埋置熱電偶線，置入多功能防火試驗爐中，以 ASTM E119 昇溫曲線加熱 2 小時，記錄溫度數據與其餘三支樑之試驗數據比較，探討防火版材披覆對 FRP 補強之影響程度。待試體冷卻後，再進行抗彎試驗以探討其受火害後之強度降低情形，做為其餘三支樑之比較標準。剩餘三支樑則施以 FRP 補強並於樑中埋置熱電偶線，且於 FRP 層之外加以防火版材披覆，再以 ASTM E119 昇溫曲線分別加熱 1 小時、3 小時，待試體冷卻後進行抗彎試驗，以探討受損補強樑以防火版材披覆經高溫試驗後對 FRP 補強之強度影響。

四、試驗結果

試驗結果大致可分為兩個方面，一是防火版材之選用，經高溫試驗結果的分析並探討防火版材作為披覆所考量的施工便利性，以選擇一合適之防火版材做為 FRP 補強受損樑的披覆之用。另一方面則是主試體以碳纖維補強後之強度提昇，並探討 FRP 補強受損樑使用所選擇出的防火版材披覆，經過不同歷時的高溫試驗後，分析強度之折減，藉此判斷防火版材保護 FRP 免於高溫侵害之防火能力。

防火版材之選用：

試驗所需要的防火版材是採用四種性質不同版材以供試驗選擇之用，由於版材本身材料性質的不同，所以隨著溫度的增加，材料受高溫後外觀上亦有相異而明顯的變化，不同的版材亦各有其相異的破壞模式。圖四中顯示，氧化鎂版與化學合成材料版之隔熱效果較為明顯，尤以氧化鎂版的表現最為定。

其次則考量版材之施工便利性。試驗之版材依施工方法大致可分為硬式搭接釘組和濕式貼覆兩類。由於乾式版材的自重過大，且無法便利地依所要披覆之範圍裁製版材，加上釘組材料耐溫性質不確定與因搭接所遺留的空隙再補強問題，明顯地增加施工的不便。相較於硬式版材的施工方法，濕式版材的直接貼覆方式顯得相當便利，版材乾燥後所遺留的空隙亦能塗以防火漆加以處理。

綜合以上的討論結果，研究試驗決定採用以濕式貼覆來進行披覆施工且高溫試驗中隔熱效果佳的化學合成材料版做為本試驗防火版材之用。

主試體試驗：

依試驗所需，主試體試驗之結果可獲得以下之結果：

(1) FRP 補強後強度提昇 -

圖四顯示試體經 FRP 補強後強度之提昇狀態。試驗中以設計裂縫模擬樑受損之情形並未明顯影響樑之原有強度，而施以 FRP 補強之樑的強度有明顯提昇，顯示以 FRP 做為受損結構之補強能有效提昇強度，達到補強之效果。

(2) 以防火版材披覆 FRP 補強樑高溫試驗 - 試驗中防火版材由於長跨度中無施以額外的支撐，因此高溫試驗中防火版材因自重而脫落，約略能提供一小時之防火效能。之後則逐漸掉落而使得 FRP 補強層燃燒損失。

(3) 以防火版材披覆 FRP 補強樑高溫試驗後

之強度折減 -

試驗結果表示於圖六，與圖五比較中可以看出明確看出，試體經歷二小時之高溫歷時後強度折減並未有大幅度的減少，顯示二小時之高溫歷時並未能使樑產生損害。

而施以防火版材披覆之補強受損樑在經歷三小時之高溫試驗後，強度的折減僅是些微部份，顯示防火版材提供了防火效能。再從高溫試驗歷時二小時與三小時之比較，試體之強度表現相當接近，顯示樑之耐火時效約為二小時。

五、結論

試驗得知，FRP 層之耐火性不佳，遇熱會引發燃燒，故施以防火版材為 FRP 層之披覆是必要的，而試體採用碳纖維貼片補強後的效果非常理想，是值得推廣使用的補強方法。2 小時之火害歷時對試體強度之影響不大，耐火時效約為 2 小時，可得知防火版材披覆 FRP 補強層之防火時效非常顯著。但是施工方法仍然必須進一步研究改良，使其於火害中不致於脫落，影響其效能。

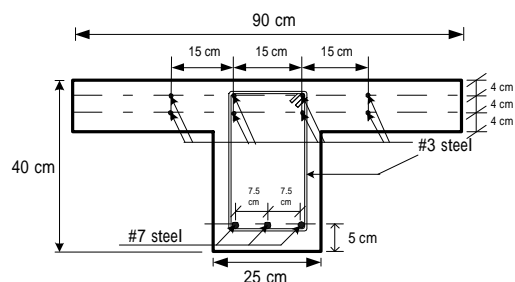
六、計畫結果與自評

在本研究之前並未有關於防火版材做為補強受損樑披覆之用的相關文獻，因此試驗所獲得結果相當寶貴，並且提供一施工方法做為日後相關研究試驗之參考憑據。

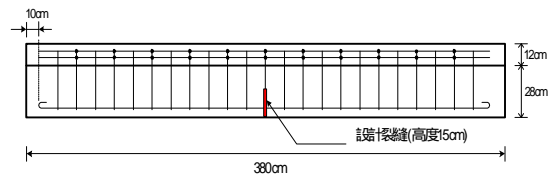
七、參考文獻

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)," American Concrete Institute, 1995.

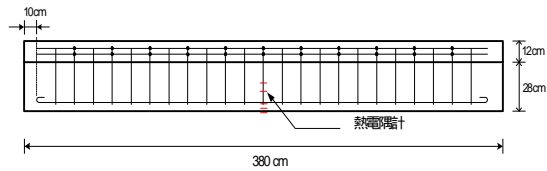
2. ASTM, "ASTM Standard," American Society for Testing Material, 1987.
3. Saadatmanesh, H., and Ehsani, M. R. "Fiber composite Plates Can Strengthen Beams," Concrete International, V.12, NO.3, March, 1990.
4. 莊毓蕙, 「複合材料補強之材料選用與施工製程介紹」, 橋樑結構修補技術研討會講義, 第 E8-E9 頁, 1998 年。
5. 中國國家標準, 「建築物構造部分耐燃檢驗法 CNS 12514」, 經濟部中央標準局, 台北, 台灣, 民國 78 年 5 月。
6. 高宗, 「貼片補強鋼筋混凝土梁受載行為研究」, 碩士論文, 國立交通大學土木工程研究所, 新竹市, 台灣省, 八十七年七月。
7. 陳順隆, 「版柱接頭以碳纖維貼片補強之貫穿剪力行為」, 碩士論文, 國立交通大學土木工程研究所, 新竹市, 台灣省, 八十九年六月。



圖一 樑試體斷面尺寸、配筋圖



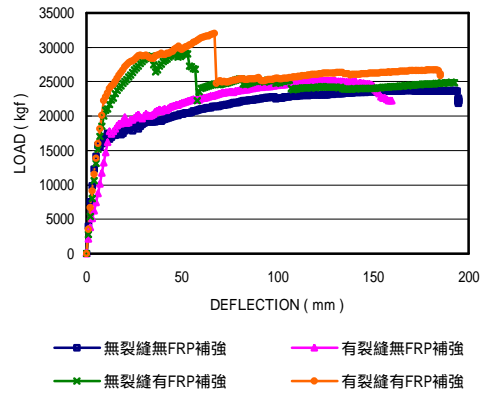
圖二 裂縫安排



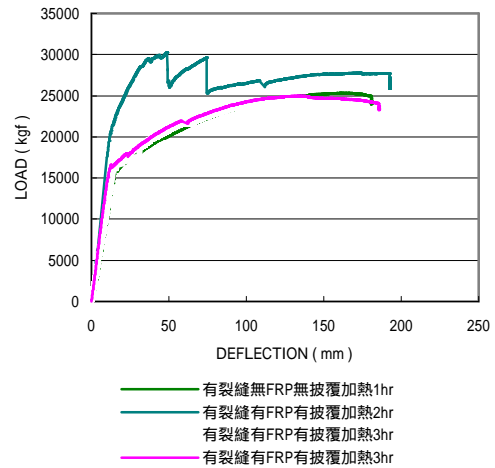
圖三 熱電偶計埋置圖

試體編號	FRP補強	披覆版材	ASTM E119加熱歷時	裂縫安排
RC01	無	無	無	無
RC02	無	無	無	有
RC03	有	無	無	無
RC04	有	無	無	有
RC05	無	無	2 hr	有
RC06	有	有	1 hr	有
RC07	有	有 cl <td>3 hr</td> <td>有</td>	3 hr	有
RC08	有	有	3 hr	有

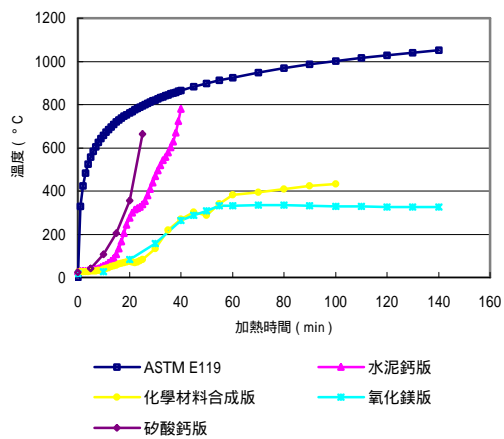
表一 主試體試驗安排



圖五 試體補強之強度提昇



圖六 高溫試驗後之強度維持



圖四 防火版材高溫試驗比較