

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

纖維貼片補強混凝土版貫穿剪力行為(一)

Punching Shear Behavior of Reinforced Concrete Slabs Strengthened with Fiber-Reinforced-Plastic (I)

計畫編號：NSC-88-2211-E-009-004

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：陳誠直 國立交通大學土木工程學系

一、中英文摘要

本研究為兩年期計畫，主要在探討以纖維貼片補強鋼筋混凝土版之貫穿剪力強度與破壞行為，第一年係以玻璃纖維貼片為補強材料，第二年則以碳纖維貼片為補強材料。第一年試驗結果顯示，玻璃纖維貼片確實能提升鋼筋混凝土版之貫穿剪力強度。貫穿剪力強度之預測分析乃以貼片補強斷面撓曲強度換算斷面之等值鋼筋比，套入規範之貫穿剪力設計公式，並與試驗值比較，發現建議之分析方法，能有效預測貼片補強版之貫穿剪力強度。

關鍵詞：玻璃纖維貼片、鋼筋混凝土版、貫穿剪力強度

Abstract

This research was conducted to investigate the punching shear strength and failure behavior of concrete slabs strengthened with GFRP sheets. Variables included were the concrete strength, ratio of the tensile reinforcement, and amount of GFRP sheets. Moreover, this study used an equivalent steel ratio to account for the increase of flexural strength of concrete slabs strengthened with GFRP sheets to predict the punching shear strength. Compared with experimental data, the calculated results show that proposal method can predict well the punching shear strength.

Keywords : GFRP sheets, punching shear strength, reinforced concrete slabs.

二、緒論

當混凝土結構物強度、勁度及韌性無法發揮應有功能時，需進行修復補強以維持結構物機能。由於纖維複合材料具有高強度、耐腐蝕性佳、非磁性、質量輕易施工及造形容易等優異之材料性能，近年來逐漸應用於混凝土結構物之修復補強上。目前之研究多集中於梁及柱之補強，對於版結構之補強則甚少，故本研究探討其對混凝土版貫穿剪力強度及行為之影響；並建立合理之貼片補強版貫穿剪力強度分析方法。

三、試驗規劃

本研究共製作十八組 $1000 \times 1000 \times 100$ mm 之正方形版，版正中心位置為一個 150×150 mm 之正方形柱頭，試體規劃如表一所示，試體之參數有混凝土抗壓強度、拉力鋼筋比、玻璃纖維貼片層數。混凝土抗壓強度為 16.9MPa 及 34.4MPa，拉力鋼筋比為 0.56% 及 1.23%，貼片之變數有一層與兩層。玻璃纖維貼片為四向度玻璃纖維編織席含浸環氧樹脂而成，材料試驗結果為：單層貼片之平均厚度為 1.31 mm，極限抗拉強度 $f_p=205$ MPa，彈性模數 $E_p=11,383$ MPa；雙層貼片之平均厚度為 1.93mm，極限抗拉強度 $f_p=278$ MPa，彈性模數 $E_p=13,504$ MPa。

試驗設置如圖一所示，四周以四根簡支承鋼棒為版試體之邊界條件。試驗所需集中力以油壓致動器以位移控制來加載。版試體上方皆架設位移感應器以量測各相

關點的位移變化，鋼筋和纖維貼片之應變狀況則以應變計量測。

四、試驗結果與討論

十八組版試體之載重-位移關係曲線如圖二至圖五所示，SR1-C1 及 SR1-C2 之試體為撓曲破壞，所以其曲線在達到極限載重後，會緩慢下降；其餘試體因破壞模式為貫穿剪力破壞，在達到極限載重後，曲線會驟降；唯當試體達貫穿剪力強度時，發出低沉的破裂聲響，此時貼片仍與混凝土充份黏結。

試驗結果如表二所示，有關參數對試體行為之影響：混凝土強度之提升，可以提升其貫穿剪力強度。隨著拉力鋼筋比的增加，強度與勁度皆增加，在相同的混凝土強度及貼片層數下，鋼筋比由 0.56% 提升至 1.23% 時，貫穿剪力最高可以提升 46.6%。當貼片層數增加時，版之貫穿剪力強度增加，受載階段勁度亦增加，但並沒有呈等比例的增加關係，一層貼片補強最高可以提升 45.4%，兩層貼片補強最高可以提升 94.5%。

五、貫穿剪力強度分析

本文之貼片補強版之分析方法，係針對現有鋼筋混凝土版之研究成果及設計規範，加入貼片補強機制。由試驗結果顯示，貼片補強對貫穿剪力提升的效果與補強版之撓曲強度有相當關係，故本文以 ACI 強度設計法為基礎，分析貼片補強版的撓曲強度，並以此換算貼片補強版之等值鋼筋比，代入規範之設計公式中，或計算撓曲破壞時的剪力強度，並代入 Moe 的分析模式中，以分析補強版的貫穿剪力強度。

計算貼片補強版之貫穿剪力強度之前，需對補強版斷面之等值有效深度加以定義，等值有效深度係將貼片面積依彈性模數比換算成等值鋼筋面積，再求出斷面鋼筋與貼片的形心位置，如式(1)所示：

$$d_{equ} = \frac{A_s \times d + n_{p/s} A_p \times h}{A_s + n_{p/s} A_p} \quad (1)$$

式中 $n_{p/s} = \frac{E_p}{E_s}$ 為貼片與鋼筋之彈性模數

比； A_s, A_p 為鋼筋及貼片斷面積， h 為版厚。

除計算等值有效深度外，由於玻璃纖維貼片的貢獻提升版之撓曲強度，利用 ACI 強度設計法的基本原理，再加入貼片材料的機制，由力平衡條件求得補強斷面的撓曲強度，再經由降伏線理論分析可計算版撓曲破壞時對應之剪力強度 V_{flex} ，

$$V_{flex} = 8 \left(\frac{b}{s-c} - 0.172 \right) M_n \quad (2)$$

式中， s 為版跨度中心距， b 為版寬， c 為方柱邊長，而後代入 Moe 公式中求得貫穿剪力強度。至於規範中之拉力鋼筋比，可由貼片補強斷面之撓曲強度換算成等值鋼筋比代入計算公式中，等值鋼筋比可依式(3)加以計算。

$$\tilde{n}_{equ} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} \quad (3)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_{equ}^2}$$

比較各公式之分析所得之貫穿剪力強度與等值鋼筋比的關係如圖六及圖七所示，由於 ACI 318 規範對貫穿剪力強度的計算並沒有考慮版內鋼筋比的影響，除反應等值有效深度外，無法看出貼片補強的效用，故無法用以評估貼片補強的成效。比較其餘規範計算結果顯示各公式試驗值比分析值高出的比例都相當接近，表示本研究建議之等值鋼筋比分析貼片補強版貫穿剪力強度的觀念可行。

六、結論

玻璃纖維貼片對鋼筋混凝土版之貫穿剪力補強確實有明顯功效，本研究之單層玻璃纖維貼片最高可提升版之貫穿剪力強度達 45.4%，雙層玻璃纖維貼片最高可提升貫穿剪力強度達 94.5%；且版內之鋼筋比及混凝土強度對玻璃纖維貼片補強版之

貫穿剪力強度亦有重要影響。

貼片補強版的貫穿剪力強度，可由貼片補強斷面標稱撓曲強度換算而得斷面之「等值鋼筋比」，並由等值鋼筋比代入規範求貫穿剪力強度；或由撓曲強度直接經由 Moe 公式求得貫穿剪力強度。將分析結果與試驗值比較，發現本文所建議將貼片補強版撓曲強度換算等值鋼筋比分析貫穿剪力強度的方法，所分析而得的貫穿剪力強度與試驗值變化的趨勢一致，且所得結果略較試驗值保守。

七、計畫自評

本計劃研究內容與原計畫相符，達預期完成之工作項目，且試驗之版試體數量較原計畫多，增加混凝土強度之試驗變數。

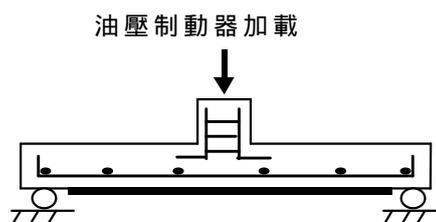
八、參考文獻

- [1] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)," American Concrete Institute, 1995.
- [2] Banthia, N., Al-Asaly, M., and Ma, S., "Behavior of Concrete Slabs Reinforced with Fiber-Reinforced-Plastic Grid," Journal of Materials in Civil Engineering, V.7, No.4, November, 1995, pp.252-257.
- [3] Marzouk, H., and Hussein, A., "Experimental Investigation on the Behavior of High-Strength Concrete Slabs," ACI Structural Journal, V.88, No.6, November-December, 1991, pp.701-713.
- [4] Moe, J., "Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings under Concentrated Loads," Development Department Bulletin, No. DD47, Portland Cement Assoc., 1961.

試體編號	鋼筋比 (%)	f'_c (MPa)	玻纖貼片層數
SR1-C1	0.56	16.9	N/A
SR1-C2	0.56	34.4	N/A
SR2-C1	1.23	16.9	N/A
SR2-C2	1.23	34.4	N/A
SR1-C1-F1LTa	0.56	16.9	1
SR1-C1-F1LTb	0.56	16.9	1
SR1-C1-F2LTa	0.56	16.9	2
SR1-C1-F2LTb	0.56	16.9	2
SR1-C2-F1LTa	0.56	34.4	1
SR1-C2-F1LTb	0.56	34.4	1
SR1-C2-F2LTa	0.56	34.4	2
SR1-C2-F2LTb	0.56	34.4	2
SR2-C1-F1LTa	1.23	16.9	1
SR2-C1-F1LTb	1.23	16.9	1
SR2-C1-F2LTa	1.23	16.9	2
SR2-C1-F2LTb	1.23	16.9	2
SR2-C2-F1LT	1.23	34.4	1
SR2-C2-F2LT	1.23	34.4	2

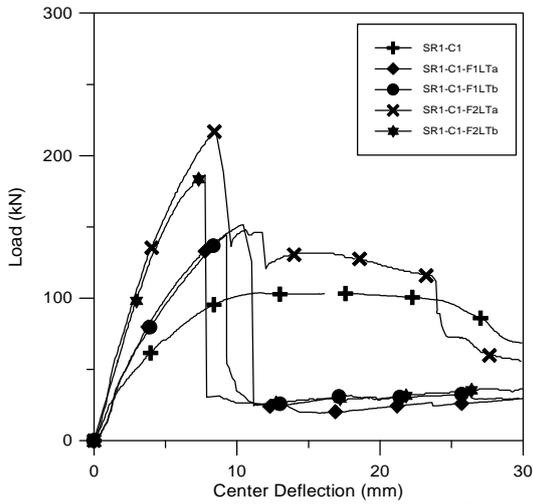
表二 試驗結果

試體編號	貫穿剪力強度(kN)	強度提昇比率%
SR1-C1	103.9	N/A
SR1-C2	123.8	N/A
SR2-C1	146.1	N/A
SR2-C2	225.7	N/A
SR1-C1-F1LT	148.0	42.4
SR1-C1-F2LT	202.1	94.5
SR1-C2-F1LT	180.0	45.4
SR1-C2-F2LT	218.8	76.7
SR2-C1-F1LT	189.6	29.8
SR2-C1-F2LT	224.2	56.5
SR2-C2-F1LT	263.9	16.9
SR2-C2-F2LT	289.4	28.2

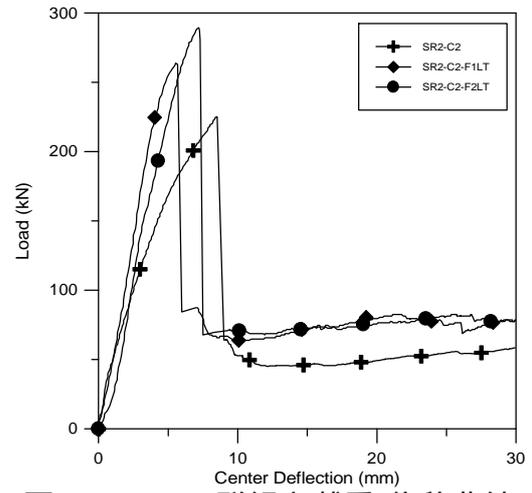


圖一 試驗設置示意圖

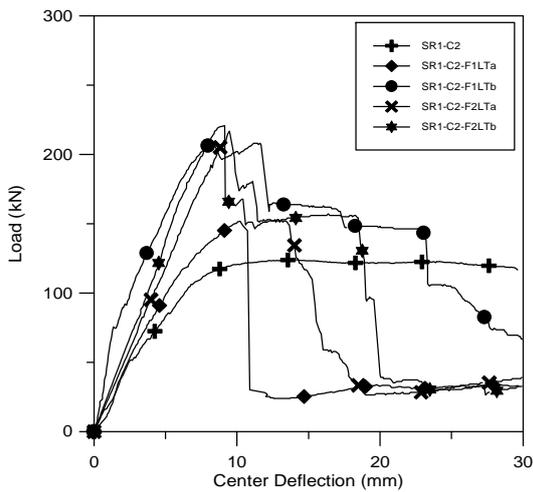
表一 試體規劃表



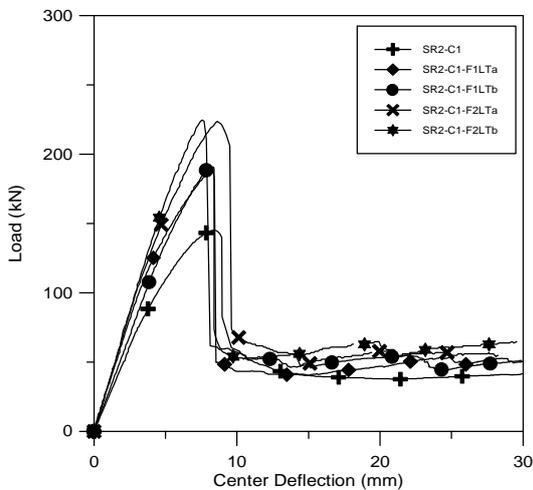
圖二 SR1-C1 群組之載重-位移曲線



圖五 SR2-C2 群組之載重-位移曲線



圖三 SR1-C2 群組之載重-位移曲線



圖四 SR2-C1 群組之載重-位移曲線

圖六 貫穿剪力強度與等值鋼筋比之關係
(混凝土強度 16.9MPa)

圖七 貫穿剪力強度與等值鋼筋比之關係
(混凝土強度 34.4MPa)