

初期荷重を受けたRCはりに対するCFRPシートの曲げ補強について

Strengthening of initially loaded RC beams with CFRP sheets

北海学園大学 ○正 員 高橋義裕 (Yoshihiro Takahashi)

北海道大学 正 員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)

1. はじめに

既存構造物の補強を行う上で重要なことは、曲げ及びせん断に対して十分な補強効果を有しているとともに、その施工性に優れていることであり、連続繊維シートはこの様な要求を十分に満たす新しい補強材料である。現在、連続繊維シート、特に炭素繊維（以下「CFRP」）シートは、高い引張強度を持ち軽量で耐食性に優れ、施工性に優れたシート状であるため実験的研究^{1), 2), 3)}、既存構造物の補強材に用いた事例が増えつつある。しかしながら、合理的な補強設計方法が確立されていない現時点では、適切な補強が行われているとは言えないものも多い。また、通常部材の補修補強を行う場合、その部材は何らかの初期荷重を受けた状態で補強補修を行うことになる。そこで著者らは初期荷重をRCはりに作用させ、ある程度はりに損傷を与えた後にCFRPシートをはり下面に貼付し、再度静的曲げ載荷試験を行い、はりの曲げ性状及びシートのひずみ性状について実験的に検討した。その際特にひび割れに対する樹脂注入等の補修は行っていない。含浸接着樹脂は、シート用の汎用エポキシ樹脂を使用した。

2. 実験概要

実験供試体は合計8体である。実験供試体の形状・寸法・鉄筋配置等については図-1に示す。主鉄筋としてD19を2本、せん断補強鉄筋として、D10 (SD295A) を10cmピッチで配置した。実験供試体は2つのシリーズに分けられ、シリーズIは、単調漸増載荷実験で、シリーズIIは、再載荷実験である。シリーズIの供試体F1は、シートを全く貼り付けていないRCはりで「基準供試体」として、単調漸増載荷実験をおこない、供試体F2, F3, F4はそれぞれCFRPシートを1層、2層、3層と供試体下面に貼付し、供試体F1同様の載荷を行った。一方、シリーズIIの、供試体F5は、供試体F1の最大荷重の約65% (=140kN近傍) まで1度載荷し、その後除荷し供試体下面に何も貼付せず、再度漸増荷重を終局状態まで作用させた。供試体F6, F7, F8は初期荷重として供試体F5と同様に、約140kN近傍まで載荷し除荷を行い、その後、それぞれ下面にCFRPシートを1層、2層、3層と貼付し再度漸増荷重を終局状態まで作用

させた。CFRPシートは支点区間に渡り（但し、支点部手前3cmで貼り止め、支点ではコンクリート表面を直接支持している）貼付した。

実験結果の一覧を表-1に、各実験供試体に用いた材料の力学特性値を表-2に示す。

測定は、シリーズIにおいては、荷重載荷点での変位、主鉄筋およびシートのひずみを、シリーズIIにおいても同様に初期載荷及びCFRPシート貼付後の再載荷の間、荷重載荷点での変位、主鉄筋およびシートのひずみを測定した。下面のシートには、スパン中央より5cmピッチで両支点までゲージ長5mmの一軸ひずみゲージを貼り付けた。

コンクリートは、水セメント比45%、細骨材率38%、早強ボルトランドセメント、海砂及び川砂利を使用した。

以上の事により、ここでは主として各実験供試体のたわみ性状及び破壊性状について述べる。

3. 実験結果

3. 1 破壊荷重及び破壊性状

表-1より、CFRPシートで補強することにより曲げ耐力が増加することが確認できる。一方、初期載荷により、コンクリートに損傷を与え、その後、はり下面にCFRPシートを貼付した供試体の場合（供試体F6, F7, F8）、確かに耐力の増加は期待できるが、ひび割れ等の損傷のないはりにCFRPシートを補強した供試体の場合（供試体F2, F3, F4）に比べて、若干低く目の耐力を示す。これは、今回の実験では、ひび割れに対する処理は何も行っていないことによる影響なのかも知れない。また、今回の実験では、初期荷重の設定値が若干低かった為に、それほど大きな差違が見られなかったのかもしれない。破壊性状としては、全てシートの剥離破壊であった。

3. 2 変形状

図-2は、荷重と載荷点直下のたわみ関係を示したものである。同図中には、CFRPシート貼付のない単調漸増載荷のたわみ曲線も示されている。図-2(a)は、CFRPシートの貼付がない場合の、単調漸増載荷と再載荷との関係を示したものである。同図より鉄筋降伏までは両者には殆ど違いは見られない。一方、図-2(b)～(d)は、CFRPシート

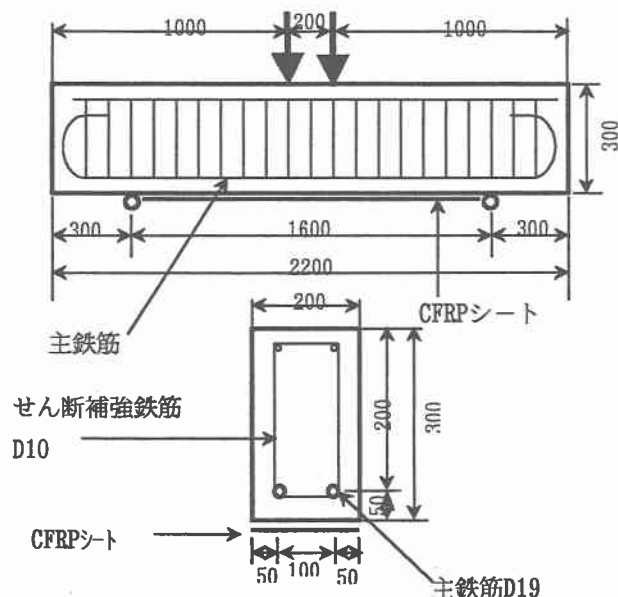


図-1 実験供試体

表-1 実験結果一覧

	No.	CFRP シート層 数	$f'_c (MP)$	$P_B (kN)$	備 考
I	F1	—	47.5	213	曲げ破壊
	F2	1	35.8	227	シート剥離
	F3	2	40.2	244	シート剥離
	F4	3	39.0	290	シート剥離
II	F5	—	42.1	194	曲げ破壊
	F6	1	43.0	214	シート剥離
	F7	2	46.3	227	シート剥離
	F8	3	48.2	260	シート剥離

をそれぞれ1層、2層、3層と貼付した場合につて、単調漸増載荷と再載荷とに關しての荷重-たわみ關係である。図-2 (b), (c) より、鉄筋降伏後のCFRPシート1層、2層に對する再載荷でのたわみ挙動は、「基準供試体」の挙動に近いものとなっている。一方、CFRPシート3層の場合は、図-2 (d) より、漸増載荷及び再載荷ともほぼ同様の挙動を示し、たわみに對する初期載荷の影響は殆ど見られない。供試体F5, F6, F7, F8の再載荷においては、40kN近傍でのひび割れ発生を示す変曲点は見られない。また、全体的

表-2 使用材料の特性

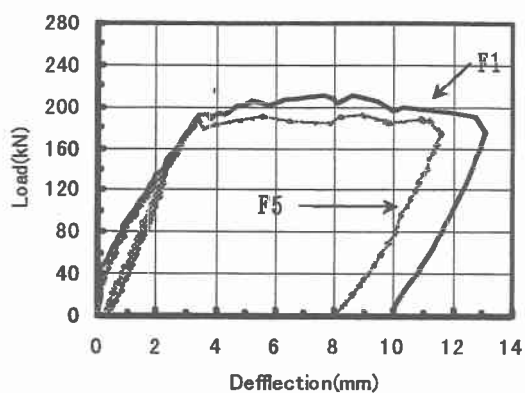
CFRPシート		纖維目付量	300g/mm ²
		設計厚さ	0.167mm
		引張弾性率	230GPa
		引張強度	3480MPa
		破断ひずみ	1530μ
鉄筋	D19 (SD345)	降伏強度	371MPa
		引張強度	3480MPa
	D10 (SD295A)	降伏強度	377MPa
		引張強度	537MPa

に各荷重段階に對するたわみは若干大きめである。このことは、初期載荷により生じたひび割れによる若干の曲げ剛性の低下が見られる。

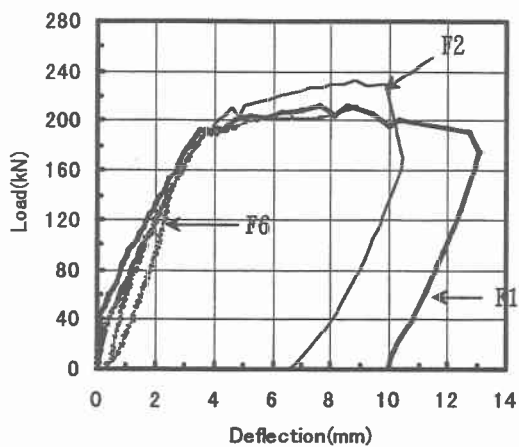
3. 3 CFRPシート及び鉄筋のひずみ性状

図-3 (a) ~ (b) は、それぞれCFRPシートが1層、2層、3層に關するスパン中央での荷重-CFRPシートのひずみの關係を示したものである。図中実線は、単調漸増載荷実験によるもの、丸線は、再載荷実験によるものである。再載荷の場合、実験供試体には、既にひび割れが発生しており、その為の40kN近傍での変曲点は見られない。しかし、CFRPシート1層の図-3 (a) より変曲点となっている190kN近傍は鉄筋の降伏荷重を示しているものと思われる。その後、CFRPシートのひずみは大きく増大し終局状態に至っている。CFRPシート2層の図-3 (b) より、130kN近傍若干のひずみの増大が見られる。これは、この荷重近傍でひび割れ進展が生じている可能性を示しているものと思われる。さらに次の変曲点となっている200kN近傍は鉄筋の降伏荷重を示しているものと思われる。CFRPシート3層の図-3 (c) よりほぼ110kN近傍で最初の変曲点が見られる。この点で若干のひび割れ進展が起きている可能性がある。その後ひずみは一様に増加し、220kN近傍で急激にひずみの増加が見られる。この点で鉄筋の降伏が一挙に進んだものと思われる。全体的に見て、初期荷重を受けたはりのひずみはある荷重段階までは、何も損傷を受けていないはりのひずみより小さいが、その後その荷重段階を超えるとひずみは大きくなる。これは、初期載荷によりはりにある程度のひび割れが生じているため、応力集中があまりおきていないのではないと思われる。終局時でのCFRPシートのひずみの値は、単調漸増載荷を受けたはりの場合のそれとほぼ同等の値を示している。

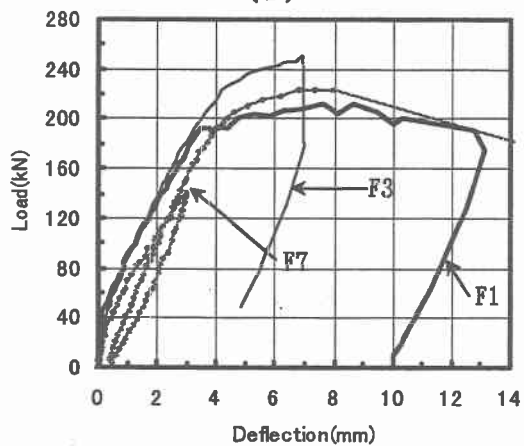
図-4 (a) と (b) は、スパン中央での鉄筋ひずみと



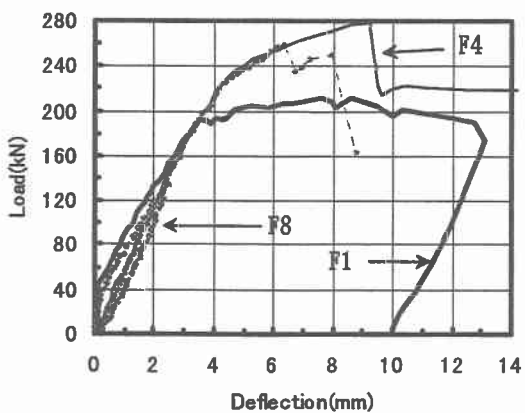
(a)



(b)

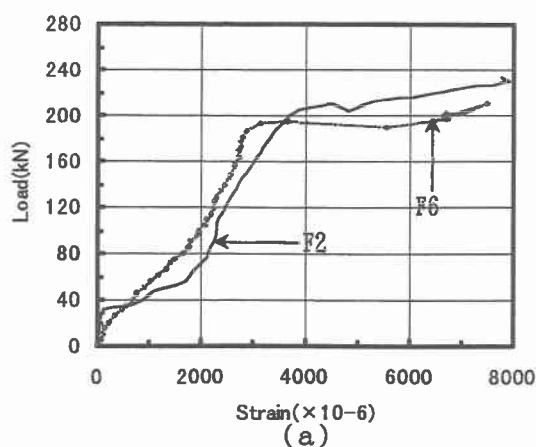


(c)

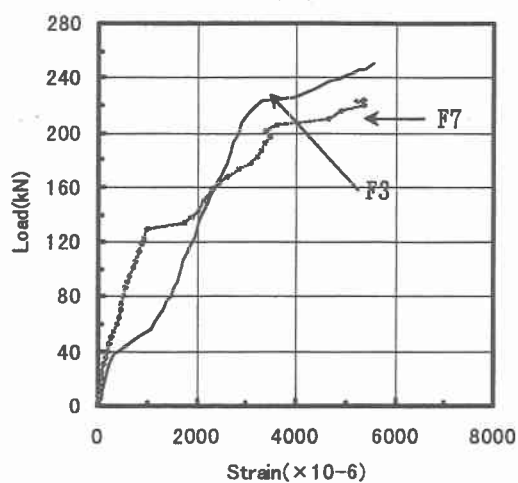


(d)

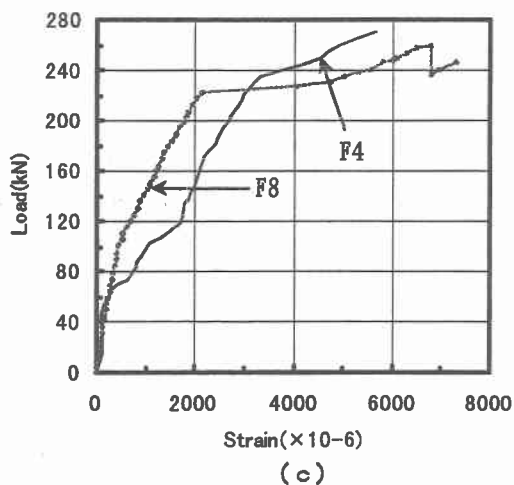
図-2 荷重-変位関係



(a)



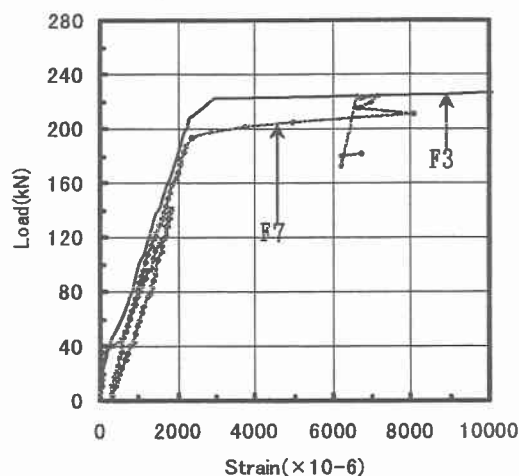
(b)



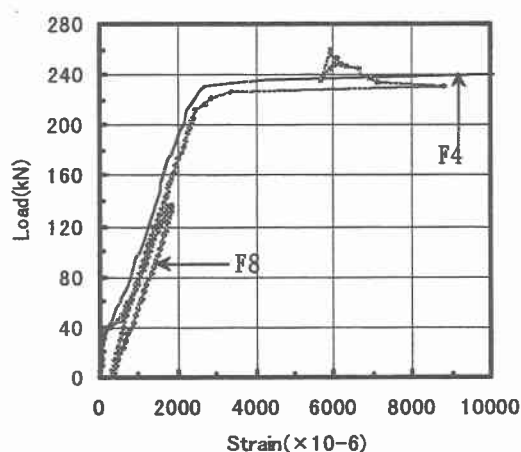
(c)

図-3 荷重-シートひずみの関係

荷重との関係を示したものである。図-4 (a) は、CFR Pシートが2層であり、(b) は3層である。各図に描かれている実線は単調漸増载荷を受けたはりの鉄筋ひずみであり、丸実線は、再载荷を受けたはりの鉄筋ひずみであ



(a)



(b)

図-4 荷重-鉄筋ひずみ関係

る。同図より約40kN近傍で両曲線とも最初の変曲点がみられるが、これは最初のひび割れ発生荷重を示している。しかし、再載荷における荷重経路においては、その様な変曲点は見られず、一様にひずみは鉄筋降伏荷重まで増加していく。また、鉄筋降伏荷重は再載荷の方が単調漸増載荷の場合に比べて若干低めである。また、全体的にみて鉄筋ひずみは再載荷の方が、単調漸増載荷に比べ大きめの値が示されている。これは初期載荷によるはりの損傷は影響しているものと思われる。(CFRPシートが1層の場合については、スパン中央でのデータがうまく計測されなかった。)

4. まとめ

本研究は、初期曲げ載荷によりRCはりは何らかの損傷を受け、その後そのRCはりの下面にCFRPシートを貼付し、静的二点対称荷重を終局状態まで作用させた場合の破壊性状、最大荷重、載荷点のたわみ、鉄筋及びシートのひずみ分布について実験的に検討したものである。今後さらに

検討すべき点もあるが本研究の範囲で得られた知見つうを以下に示す。

(1) 終局状態は全てCFRPシートの端部剥離により決定していた。

(2) 荷重-たわみ関係より初期載荷を受けたはりにCFRPシートを貼付した場合の曲げ剛性は若干低下することが確認できた。

(3) CFRPシートの荷重-ひずみ関係より再載荷を受けたはりの場合、載荷初期の段階ではひずみの値は単調漸増載荷のはりに比べ若干小さい。しかし、鉄筋降伏荷重を越えると逆転し再載荷はりの方が、より大きなひずみ状態となっている。これは、初期載荷によるはりの損傷により、鉄筋降伏後は多くの力がCFRPシートに作用しているものと

(4) 荷重-鉄筋ひずみの関係より、鉄筋降伏荷重は若干低下する。これも初期載荷によるはりの損傷の影響と思われる。初期載荷による、損傷により鉄筋とコンクリートとの付着にも何らかの影響が出ているのかもしれない。

謝 辞

本研究の遂行においてCFRPシート及び接着剤の提供を頂いた日鐵コンポジット(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。また、実験を進めるに当たっては、北海学園大学工学部土木工学科の学生諸氏の協力を得た。さらに、本研究の一部は、「平成14年度私立大学学術フロンティア参考文献

1)高橋義裕ほか:炭素繊維シートで曲げ補強したはりの曲げ性状に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.20, No. 1, pp.509-514, 1998

2)高橋義裕ほか:炭素繊維シートにより補強した鉄筋コンクリートはりの耐力及び変形,コンクリート工学年次論文集, Vol.19, No.2, pp.1611-1616, 1997

3)高橋義裕ほか:炭素繊維シートで曲げ補強したRCはりの耐力及び変形に関する実験的研究コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.1393-1398, 2002