論文 CFRPシート長及びU字補強がRCはりの曲げ補強効果に及ぼす影響

高橋 義裕^{*1}·佐藤 靖彦^{*2}

要旨:RCはり下面に曲げ補強として2層のCFRPシートを貼付し(1層目のコンクリートに 直接貼付されるシート長を変化させ、2層目のシート長は154mmで一定),さらに剥離防 止のためのU字補強量を変化させたRCはりに静的二点対称荷重を作用させた載荷試験を 行った。本研究では、1層目のCFRPのシート長を64cm、108cm、154cmと、シートの剥離 制御を目的とし下面からウェブに渡るU字状の巻上げ補強(以下「U字補強」と呼ぶ)量 を0、4、8、12、16本と変化させた。はりの最大荷重は、U字補強16本の場合、1層目シ ート長によらずほぼ同じ値を示した。また、U字補強量増加により終局変位が増加した。 キーワード:炭素繊維シート、曲げ補強、曲げ耐力、シート長、U字補強

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。 ここで、著者らは梁下面に貼付するCFRP シート長と梁側面に帯状CFRPシートを梁 全高さに渡りU字型に巻き上げる補強(以 下「U字補強」と呼ぶ)に注目し、静的対 象2点曲げ載荷を行い、はりの曲げ性状及 びCFRPシートのひずみ性状について実験 的に検討した。含浸接着樹脂は、CFRP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16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、U字補強に等については図-2 に示すように、U字シートの幅は5cmで5cm 間隔に配置した。U字補強量(U字の本数) は0, 4, 8, 12, 16と変化させた。U字本 数は16本を基準に、中央から支点に向か い対称に減らしていった。図-2には、U字 補強本数が8本の例とU字補強本数が4本 の例が示されている。下面の貼付CFRPシ ート層数は全供試体2層である。ここで, 直接コンクリートに接着される1層目のC FRPシート長を64cm, 108cm, 154cmと変化 させた(ただし2層目のCFRPシート長は全 て154cmで一定とした)。主鉄筋としてD1 9を2本, せん断補強鉄筋として, D10 (S D295A)を10cmピッチで配置した。実験 供試体は4つのグループに分けることが でき、グループAの供試体はCFRPシート を全く貼り付けていないRCはりで「基準 供試体」である。グループ Bは、下面に

*1 北海学園大学 工学部社会環境工学科教授 工博(正会員)*2 北海道大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻助教授 工博(正会員)



図一1 実験供試体

図-2 実験供試体U字補強

グルー プ	No	シート長 (cm) (1 層目+2 層目)	U 字補強 量 (本)	圧縮強度 (N/mm²)	最大荷重 kN	破壊状況
Α	00	無し	0	47.9	189.4	曲げ破壊
В	01	64+154	0	40.2	233.4	シート剥離
	02	64+154	4	46.3	239.3	シートずれ剥離
	03	64+154	8	39.7	246.1	シートずれ剥離
	04	64+154	12	41.3	256.0	シートずれ剥離
	05	64+154	16	45.9	274.6	シートずれ剥離
с	06	108+154	0	41.3	238.3	シート剥離
	07	108+154	4	43.3	270.1	シートずれ剥離
	08	108+154	8	46.9	284.4	シートずれ剥離
	09	108+154	12	49.6	283.4	シートずれ剥離
	10	108+154	16	41.8	273.6	シートずれ剥離
D	11	154+154	0	40.2	244.0	シート剥離
	12	154+154	4	41.5	272.6	シートずれ剥離
	13	154+154	8	37.1	281.4	シートずれ剥離
	14	154+154	12	43.3	279.5	シートずれ剥離
	15	154+154	16	46.3	279.0	シートずれ剥離

表一1 実験結果一覧

貼付した1層目のCFRPシート長を64cmと した供試体,グループCは,1層目のCFRP シート長を108cm,グループDは,1層目 のCFRPシート長を154cmとした供試体で ある。それぞれU字補強量(本数)を変化 させた。1層目のCFRPシート長は載荷点よ り45度での広がりを参考に最小長64cmを 決定し、順次44cm程度増加させ、最後の シート長を154cmとした。2層目の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。一 方、U字補強(使用CFRPシートの特性は下 面貼付CFRPシートと同じ)は、下面CFRP

繊維目付量 |300g/mm² 設計厚さ 0.167mm CFRPシート 引張弾性率 230kN/mm² 引張強度 3480N/mm² 破断ひずみ $1530 \,\mu$ D19 降伏強度 $371N/mm^2$ (SD345) <u>570N</u>/mm² 引張強度 鉄筋 D10 降伏強度 377N/mm² (SD295A) 引張強度 $537N/mm^2$

表―2 使用材料の特性値

シート貼付後,支点区間に渡り,CFRPシ ート幅5cmの5cm間隔で腹部全高に貼りつ けた。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、荷重載荷点での変位、主鉄筋 およびCFRPシートのひずみを測定した。 下面のCFRPシートには、スパン中央点よ り10cm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%,早強ポルトランドセメン ト,川砂及び川砂利を使用した。

以上の事により、ここでは下面曲げ補 強されたRC梁に対する1層目貼付のCFRP シート長とU字補強量の曲げ挙動に対す る影響について実験的に検討した。

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。U字補強が無い場合、1層目CFRP シート長の増加に伴いその最大荷重は、 ほぼ5kNづつ増加している。一方、支間を 16本のU字で補強した場合、1層目CFRPシ ート長の影響を殆んど受けていない。こ のことは、載荷点より支点側に45度の広 がりを持つ下面区間が2層CFRPシート補 強状態で、支間長に十分なU字補強が施さ れていれば、1層目のCFRPシート長の影



図—3 最大荷重-U字補強量

響はその最大荷重にほとんど影響しない ことを示している。さらに、このことは、 終局耐力がCFRPシートの剥離で決定され る場合、U字補強による剥離制御効果が十 分示されていることになる。U字補強がな い状態では、CFRPシート剥離で終局状態 に達していたが、U字補強を施した場合は、 下面に貼付したCFRPシートがコンクリー ト表面からの剥離ずれのような様相(こ こでは「シートずれ剥離」と呼ぶ)で終 局状態となっていた(**写真-1**参照)。

図-3は、最大荷重とU字補強本数の関係をグループ毎に示したものであり、基準供試体A00の値も示されている(本来的には、A00の値はU字補強ゼロの一点で示されることになるが、比較のため破線で示されている)。同図より、1層目CFRPシートが64cmのグループBの場合、U字補強の本数の増加に従いその最大荷重もほぼ直線的に増加するが、U字補強量の増加



写真-1 シートずれ剥離

割合ほどは増加しない。しかし、1層目の CFRPシート長が108cmと154cm (グループ CとD)の場合、1層目CFRPシート長の差 異による最大荷重の違いは殆ど見られな い。また、U字補強本数が8本以上になる とその最大荷重の増加は殆ど見られずほ ぼ一定値を示す。このことは,支点側よ り剥離が発生し終局状態に達しているこ とを示唆し、支点側からのCFRPシート剥 離を制御することによりその最大荷重が 一定になることが示唆されている。U字 補強の無い場合は、どちらか一方の支点 側からの急激なCFRPシートの剥離で終局 状態に達していた。一方, U字補強有り の場合は、コンクリートとCFRPシート間 でのシートずれ剥離で終局状態に達し, 一部供試体ではU字補強材の曲げ上げコ ーナ部での破断が確認された。

3.2 たわみ性状

図-4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 基準供試体 A00の たわみ曲線も示されている。図-4(a) は、U字補強が無い場合で、1層目CFRPシ ート長 (64cm, 108cm, 154cm) の影響に ついて、図-4(b)は、U字補強本数が 16本で一定とし、1層目CFRPシート長を 変化させた場合について、図-4 (c) は、1層目CFRPシート長が64cmで一定と し、U字補強本数(0,4,8,12,16本と 変化)の影響について示したものである。 図-4 (a) と (b) よりU字補強を施す ことにより最大荷重の増加と終局状態で の靭性的挙動が確認できる。また、CFRP シートの剥離後U字補強が無い場合は、基 準供試体の変形挙動に近づくが, U字補強 が施されているとある程度荷重が保持さ れ終局状態に移行していくのが確認でき る。さらに図-4(c)からもU字補強本 数の増加に伴い終局時における靭性挙動





図-5 荷重-鉄筋ひずみ関係

が確認できる。

3.3 鉄筋及びCFRPシートのひずみ性状 荷重と支間中央での鉄筋ひずみの関係 を図-5に示す。ただし、ここでは鉄筋 のひずみは5000µで打ち切ってある。図 -5 (a)は、U字補強16本で、1層目の CFRPシート長が64cm, 108cm, 154cmと変 化した時の荷重-鉄筋ひずみの関係を, 図-5(b)は、1層目のCFRPシート長を 154cmで一定とし、U字補強の本数を0から 4本づつ16本まで増加させた場合の荷重 一鉄筋ひずみの関係を示したものである。 図-5 (a) よりCFRPシート長が増加す るに従いひび割れ発生荷重が30から50kN 前後へと増加している。またひび割れ発 生後の鉄筋の応力勾配がCFRPシート長の 増加に伴い急になっている。このことは,



図-6 荷重-シートひずみ関係

見かけ上の鉄筋剛性が増加していること を示している。図-5(b)よりU字補強 本数が増加した場合も同様に鉄筋の見か けの剛性が大きくなっていることがわか る。これらのことより1層目CFRPシート 長の増加とU字補強本数の増加は,鉄筋の 見かけの剛性を増加させることが確認で きる。

図-6は、荷重と中央点でのCFRPシー トひずみの関係を示したものである。図 -6(a)は、U字補強本数が16本で一定 で、1層目のCFRPシート長が64cm、108cm、 154cmと変化した場合を、図-6(b)は、 1層目CFRPシート長を154cmと一定にし、 U字補強本数を0から4本ずつ16本まで増 加させた場合の荷重-CFRPシートひずみ の関係を示したものである。図-6(a)



図 – 7 シート軸方向ひずみ分布 (C10)

よりCFRPシートのひずみは終局時8000 μ 前後である。また、CFRPシート長が長く なるに従いひび割れ発生に伴う最初の変 曲点が滑らかになっている。これはCFRP シートに伝達される力が滑らかに伝達さ れたためと思われる。また、図-6(b) より、U字補強本数が増加すると見かけの CFRPシート剛性(グラフの傾き)が増加 傾向にあることが分かる。

図-7は、CFRPシート軸方向分布(荷 重50,100,200,270kN時,C10供試体, U字16本)が示されている。同図よりCFRP シートに伝達される応力が滑らかに伝達 され、CFRPシートの力の分担がスムーズ に行われていることが示されている。

4. まとめ

本研究は、貼付CFRPシート層数は2層 で、1層目CFRPシート長とU字補強本数を 変化させた補強鉄筋コンクリート部材に 対し、静的2点対称荷重を作用させ、破 壊性状、最大荷重、載荷点のたわみ、鉄 筋及びCFRPシートのひずみ分布について 実験的に検討した。本研究の範囲で得ら れた知見を以下に示す。

(1) 終局状態はCFRPシートの剥離,およ びコンクリートとCFRPシート間のシート 滑りにより決定していた。U字補強が無い 場合は,1層目CFRPシート長の増加に伴 い耐力の増加がみられた。しかし,U字補 強があり1層目CFRPシート長がある程度 確保されるとCFRPシート長増加による耐 力増加は殆ど見られなかった。 (2)荷重-たわみ関係よりCFRPシート貼付によりはりの剛性増加が確認できた。U 字補強を施すことにより最大荷重の増加と終局状態での靭性的挙動が確認できた。
(3)荷重-鉄筋ひずみの関係より,はりのひび割れ発生荷重は、CFRPシート長の増加により若干増加する。また、ひび割れ発生後の鉄筋の見かけの剛性がCFRPシート長増加により増加している。

(4) CFRPシートの荷重-ひずみ関係より,
 終局時でのCFRPシートひずみは8000µ前
 後でありまだ破断ひずみに達していない。
 CFRPシート長が長くさらにU字補強が併用された場合は、CFRPシートひずみの増加とCFRPシートへの力の伝達が滑らかになっていることが確認できた。

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社会環境工学科の学 生の協力を得た。

参考文献

- 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.1393-1 398, 2002
- 高橋義裕ほか:初期荷重を受けCFRPシ ート補強されたRC梁の曲げ挙動,コン クリート工学年次論文集,Vol.26,No.
 2, pp.1699-1704,2004
- 高橋義裕ほか:CFRPシートで曲げ補強 された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論 文集, Vol. 27, No. 2, pp. 1423-1428, 2005