

タイトル	連続繊維シートで補強されたRCはりの曲げ強度に関する実験的研究
著者	高橋，義裕
引用	北海学園大学工学部研究報告，34：1-9
発行日	2007-02-20

# 連続繊維シートで補強されたRCはりの曲げ強度に関する実験的研究

高橋 義裕\*

## Experimental Study on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Fiber Reinforced Plastic Sheets

Yoshihiro TAKAHASHI\*

### 要 旨

RCはりの下面に炭素繊維 (CFRP) シートを貼付し曲げ試験を行った。実験供試体は全部で10体である。CFRPのシート層数をパラメータとし、シートの貼付方法としてコンクリートとシートとの間の緩衝材の有無とU字巻き上げ補強の有無について実験的に検討した。緩衝材を設けた供試体では、その最大荷重は緩衝材を設けなかった供試体に対し最大で46%増加した。また、供試体にU字巻き上げ補強を併用することにより、終局変位の増加と若干の最大荷重の増加が確認できた。

### 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である。現在、連続繊維シート、特に炭素繊維 (CFRP) シート (以下「シート」と呼ぶ) 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、既存構造物の補強材に用いた事例が増加している。この様な現状を踏まえて現在合理的な補強設計方法の確立に向けての積極的な検討が行われている。しかし、シートで補強された部材の耐力及び変形は、部材に巻き付けた場合を除き、シートの剥離により決定されることが多く、この場合、シートの大きな引張強度を十分に活用することができない<sup>1),2)</sup>。これらを改善するために、側面に帯状のシートをけたの全高さに渡りU字に巻き上げることによる補強 (以下「U字補強」と呼ぶ)、およびシートとコンクリート面との間に变形能力の大きい緩衝材 (層厚を0.5mmとした) をプライマーを塗布した後に塗布した実験供試体を用いて静的

\* 北海学園大学工学部社会環境工学科

\* Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

曲げ試験を行い、はりの曲げ性状及びシートの性状について実験的に検討した。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10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。供試体F0は、シートを全く貼り付けてないRCはりで基準供試体である。供試体F1は下面にシートを1層、F2は2層、F3は3層それぞれ支点区間に渡り貼付（但し、支点部手前3cmで貼り止め、支点はコンクリート表面を直接支持している）した。供試体F4, F5, F6は、シート層数はそれぞれ供試体F1, F2, F3と同じであるが下面貼付シートとコンクリートとの間に緩衝材を塗布し、貼付した供試体である。供試体F7, F8, F9は、供試体F4, F5, F6に対し左右対称に5cm幅のシートを供試体下面から側面へと供試体の全高さ(30cm)に渡り1層のU字状補強を施した（図-2参照）。

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。

本実験では、はりに二点对称集中荷重を作用させ、荷重を約5kNずつ単調に増加させ破壊に至らしめた。なお測定は、はりの荷重載荷点での変位、主鉄筋およびシートのひずみである。下面のシートには、スパン中央より10cmピッチで両支点までゲージ長5mmの一軸ひずみ

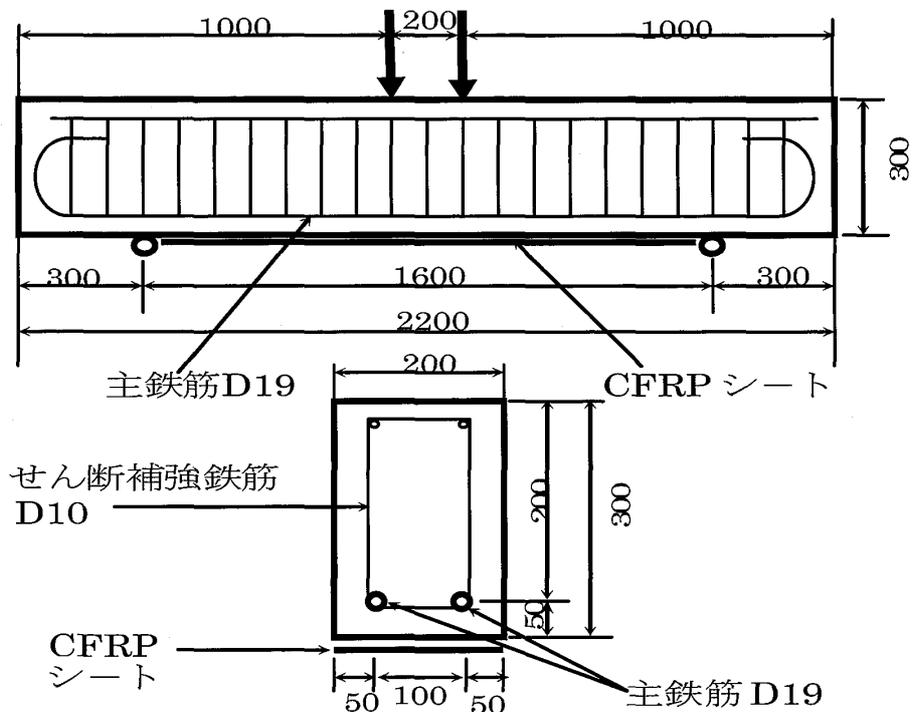


図-1 実験供試体

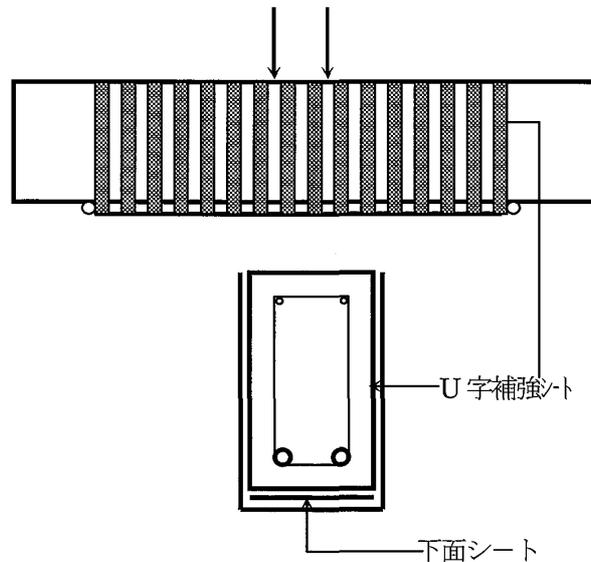


図-2 U字補強供試体

ゲージを貼り付けた。

供試体コーナー部は $r=15\text{mm}$ の面取りを行った。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。

以上の事により各実験供試体の破壊性状、主鉄筋のひずみ及びシートのひずみを測定した。また、比較検討の為、断面分割法による解析も試みた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊荷重及び破壊性状

先に示した表-1より、シートで補強することにより曲げ耐力が大きくなることが明らかで

表-1 実験結果一覧

No	シート層数	緩衝材	U字巻上	$f_c$ (MPa)	最大荷重 (kN)	備考
F0	0	—	—	47.5	213	曲げ破壊 (基準供試体)
F1	1	—	—	35.8	227	シート剥離
F2	2	—	—	40.2	244	シート剥離
F3	3	—	—	39.0	270	シート剥離
F4	1	有り	—	50.3	254	シート中央で破断
F5	2	有り	—	50.3	278	一部かぶりコンクリートの剥離
F6	3	有り	—	49.5	311	一部かぶりコンクリートの剥離
F7	1	有り	有り	50.1	249	シート中央で破断
F8	2	有り	有り	40.4	291	一部U字シート破断
F9	3	有り	有り	46.3	330	一部U字シート破断

表-2 使用材料の特性値

CFRPシート		繊維目付量	300g/m <sup>3</sup>
		設計厚さ	0.167mm
		引張弾性率	230GPa
		引張強度	3480MPa
		破断ひずみ	15130 $\mu$
鉄筋	D19 (SD345)	降伏強度	371MPa
		引張強度	570MPa
	D10 (SD295A)	降伏強度	377MPa
		引張強度	537MPa
緩衝材		引張強度	1 MPa
		伸び率	70%以上

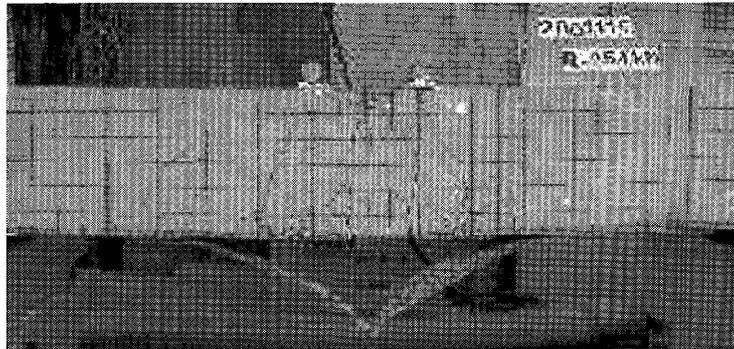


写真-1 F4 供試体

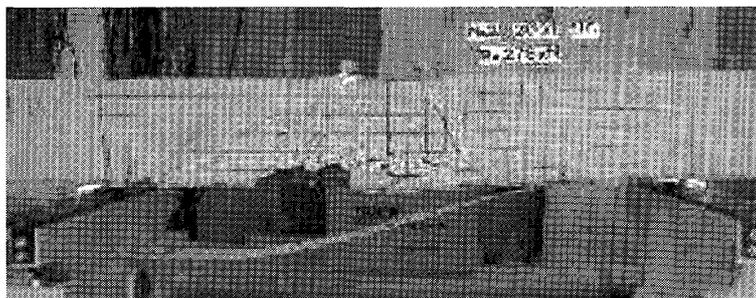


写真-2 F5 供試体

ある。ただし下面にシートを貼付した場合は、全てシートの剥離破壊であった。一方、コンクリート面とCFRPシートとの間に緩衝材を用いたシート1層貼りのF4 供試体はスパン中央でのシート破断での破壊であった（写真-1 参照）。緩衝材を用いたシート2層、3層のF5、F6 供試体は、載荷点と支点との中間部付近でのかぶりコンクリートの剥離であった（写真-2 参照）。U字補強を施した供試体では、下面シートが剥離した後、シート巻き上げ部のうち、中央部より15cm及び25cmのシートが巻き上げコーナー部で水平に破断し破壊に至った。シート層数を増加させ緩衝材を用いることによりその破壊形状がシート破断からかぶりコンクリート

の剥離破壊へと変化している。また、その最大荷重は基準供試体に対し平均で32%ほど増加し、U字補強を併用することによりさらにその最大荷重は、平均で36%増加した。

### 3.2 変形性状及び主鉄筋ひずみ

図-3は、荷重と載荷点直下のたわみ関係を示したものである。図-3(a)は、シート層数が2枚で緩衝材の有無とU字補強の有無による荷重-たわみ関係を、図-3(b)は、緩衝材を有する供試体でシート層数の違いによる荷重-たわみ関係を示したものである。図-3(a)の方には、比較のため断面分割法による計算値も示してある。本解析では、コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係としてコンクリート標準示方書<sup>3)</sup>によるものを用いた。コンクリートの引張応力-ひずみ関係は、テンションスティフニングモデル<sup>4)</sup>を用いた。解析における鉄筋比は、鉄筋

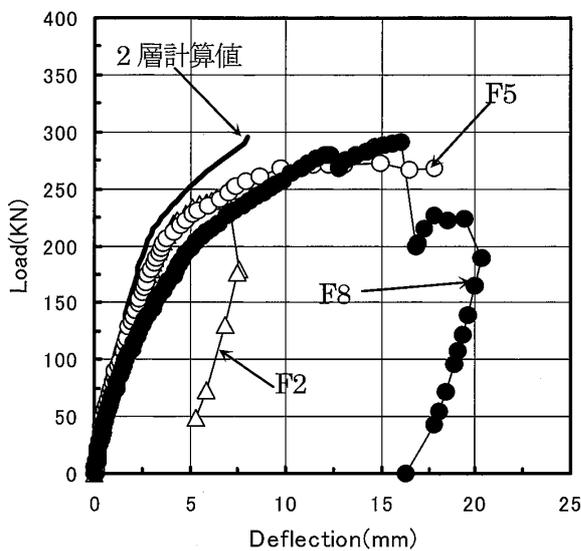


図-3(a) 荷重-変位関係

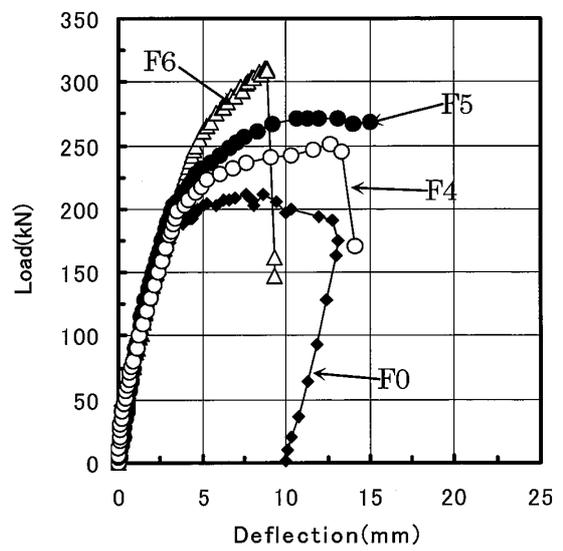


図-3(b) 荷重-変位関係

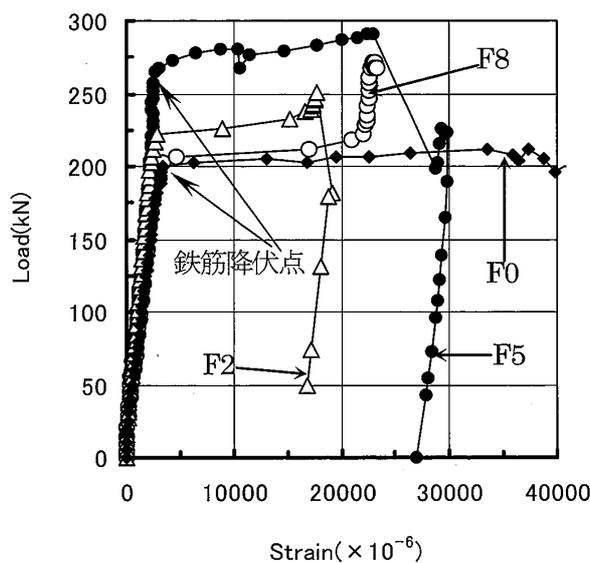


図-4 荷重-鉄筋ひずみ関係

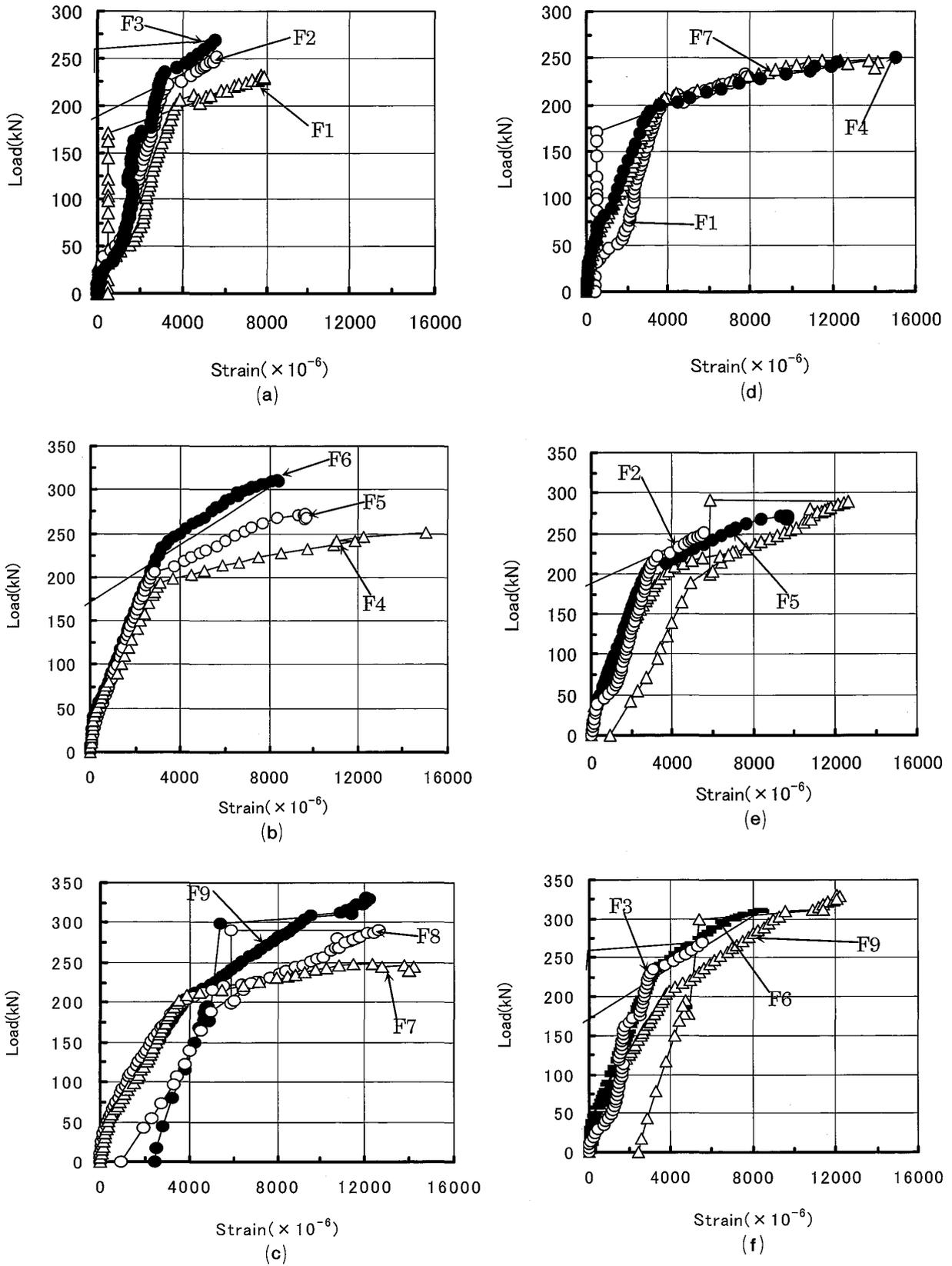


図-5 荷重-シートひずみ関係

断面積をかぶりの2倍を掛け合わせた面積で除したものをを用いた。また、はりの変形は、部材断面を0.5cmピッチで60分割、部材軸方向には1cmピッチで160分割し、それぞれの位置での曲率を数値積分することにより求めた。図-3(a)より、緩衝材を塗布することにより最大荷重及び終局変位も増加しており、さらにU字補強することにより最大荷重はそれほど大きな増加は見られないが、終局変位には大きな増加が見られる。本計算値では、200kN近傍までは、かなり良く追跡しているが、その後の荷重増加に対しての計算値たわみは実験値より小さめである。これは計算過程での剛性低下がうまく考慮されていないためと思われる。また、図-3(b)より、シート層数の増加によりその最大荷重も増加している。しかし、その終局変位はシート層数の増加に対し、小さくなる傾向にある。すなわち、靱性が落ちる傾向にある。一方、図-3(a)よりU字補強をすることによりこの靱性低下はかなり改善されることが分かる。

図-4は、載荷点直下の鉄筋ひずみと荷重との関係を示したものである。同図は、シート層数は2枚で、緩衝材の有無とU字補強の有無との関係を示したものである。緩衝材が無い場合でも有る場合でも大体220kN前後で鉄筋が降伏しているが、U字補強することによりその降伏荷重は275kN前後までに増加する。これは、後述のシートひずみの分布からシートが十分に作用荷重を受け持っているためであると思われる。

### 3.3 CFRPシートのひずみ性状

図-5は、スパン中央でのCFRPシートのひずみと荷重との関係を示したものである。図-5(a)は緩衝材のないシート層数が1層、2層、3層に対する荷重-ひずみ関係を、図-5(b)は、緩衝材を有する供試体でシート層数が1、2、3層に対する荷重-ひずみ関係を、図-5(c)は、U字補強でのシート層数に対する荷重-ひずみ関係を示したものである。図-5(d)は、シート層数が1層、図-5(e)は、シート層数が2層、図-5(f)は、シート層数が3層に対する、緩衝材の有無とU字補強の有無に関する荷重-シートひずみ関係を示したものである。図-5(a)より、緩衝材が無い場合は5,000から8,000 $\mu$ で最大荷重に達している（この場合の破壊はシートのピーリング）。一方、緩衝材を塗布することによりシートのひずみは8,000から15,000（ほぼ破断ひずみ）に達している。これは、緩衝材を塗布することによりコンクリート面とシート面との力の伝達が緩衝材を塗布しない場合に比べて滑らかとなり、シートに一樣に荷重が作用している為と思われる。さらにU字補強供試体に関しての荷重-ひずみ関係の図-5(c)よりシートひずみは、シートの破断ひずみ近傍にまで達している。このことは、緩衝材を塗布しさらにU字補強を施すことにより、シートの破断でその部材の耐力が決定される可能性を示唆している。図-5(d)より、シート層数1層の場合は、緩衝材の有無、U字補強の有無による荷重-ひずみ挙動はほぼ同様であるが、緩衝材がある場合はそのシートひずみはシート破断近傍まで達していることが分かる。図-5(e)と図-5(f)のシート層数が2層、3層になると、緩衝材の塗布、さらに緩衝材塗布とU字補強の組み合わせにおいてもシートひずみは、最

大で12,000 $\mu$ 近傍にまでしか達しておらず、シート破断近傍までには達していない。しかしU字補強によりシートのひずみは他の供試体に比べ増加している。このことは、前述の鉄筋降伏荷重の増加にも対応している。

#### 4. まとめ

本研究は、単純支持されたRCはりの下面にCFRPシートを貼付した実験供試体を用い、静的二点对称荷重が作用した場合の破壊性状、最大荷重、載荷点のたわみ、スパン中央での鉄筋及びシートのひずみ分布について、緩衝材の有無、ゼブラ状のU字補強の有無についてシート層数を変化（1層から3層まで）させ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を以下に示す。

(1) 破壊形式としては、緩衝材の無い場合はシートのピーリング破壊、緩衝材がある場合でシート層数が1層の場合はシート破断（U字補強の有る場合も）、2、3層の場合は、かぶりコンクリートを剥ぎ取る剥離破壊、さらにU字補強を併用した場合はシートの剥離と一部のU字補強帯巻上げ部の破断破壊、であった。

(2) シート層数を増加（緩衝材無し）させても終局変位の増加は期待できないが、緩衝材を塗布しU字補強を施すことによりこの処理を施さない場合に比べ終局変位は約2.8倍まで増加した。

(3) 荷重－鉄筋ひずみの関係より、緩衝材とU字補強を併用することによりその鉄筋の降伏点荷重が増加した。

(4) 荷重－シートひずみ分布から、緩衝材とU字補強を併用することにより、シート破断でその部材の最大荷重が決定される可能性を示唆した。

#### 謝 辞

本研究の遂行において「平成17年北海学園学術研究助成（一般研究）」の補助金を受けた。また、CFRPシート及び接着樹脂は日鉄コンポジット(株)から、緩衝材は日石三菱(株)からそれぞれ提供を受けた。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卒業研究の学生の協力を得た。ここに付記し謝意を表します。

#### 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報告集，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曲げ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報告集，Vol.19，No. 2，pp.1161—1616，1997
- 3) コンクリート標準示方書・設計編（平成8年制定），土木学会
- 4) 岡村 甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991