

| | |
|------|--|
| タイトル | 曲げ補強材にCFRPストランドシートを用いたRCはりの曲げ耐力に関する実験的研究 |
| 著者 | 高橋, 義裕; TAKAHASHI, Yoshihiro |
| 引用 | 北海学園大学工学部研究報告(39): 1-8 |
| 発行日 | 2012-02-14 |

曲げ補強材にCFRPストランドシートを用いた RCはりの曲げ耐力に関する実験的研究

高橋 義裕*

Experimental Study on Flexural Strength of RC Beams Strengthened with CFRP Strand Sheets

Yoshihiro TAKAHASHI*

要 旨

CFRPストランドシート（以下「ストランドシート」と呼ぶ）で補強したRCはりの曲げ
載荷試験を行い、曲げ・せん断スパン比、ストランドシートの貼付け長さ、ストランドシ
ートを多層積層する場合のストランドシートの貼付け方法の影響が補強RCはりの耐荷性
状およびストランドシートの剥離性状に及ぼす影響について検討した。曲げスパンが短い
場合は、ストランドシート端部からかぶりコンクリートが剥離し、曲げスパンが長い場合
には接着面のコンクリートの表層が剥離する破壊モードとなった。ストランドシートを曲
げスパンの途中で定着した場合には、ストランドシートの端部からかぶりコンクリートが
主鉄筋にそって剥離した。ストランドシートを2層接着する場合、2層ともスパン全長に
接着した場合が最も剥離発生時のたわみが大きく、1層を短いストランドシートとして途
中定着する場合ストランドシートの積層順序により、剥離荷重が大きく異なった。1層目
を途中定着した場合、全長に貼り付けた場合の同等以上の剥離荷重となったが、2層目を
途中定着した場合は剥離発生時の荷重、たわみとも小さくなった。

1. はじめに

既設コンクリート構造物の曲げ補強工法として、連続繊維シート接着工法やCFRPプレート
接着工法が近年普及している。しかし、いままでの接着工法ではドライシートに施工現場で樹
脂を含浸させてFRPを形成するのと同時に鋼材表面に接着するため、作業時間が長くまた浮き
や膨れといった施工不良が生じることもある。また、現場含浸作業が必要なため繊維目付量を
高くすることができず、多積層が必要で工期が長くなるといった問題もある。

一方、引抜き成型した幅50mm程度のCFRPプレートを接着するCFRPプレート接着工法は、

* 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

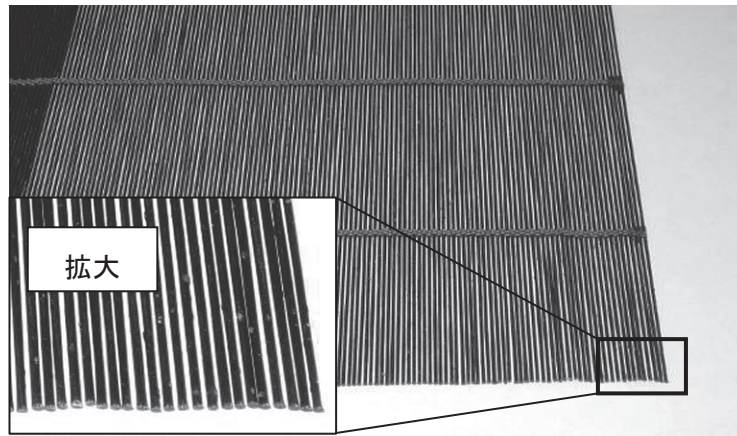


写真-1 CFRPストランドシート

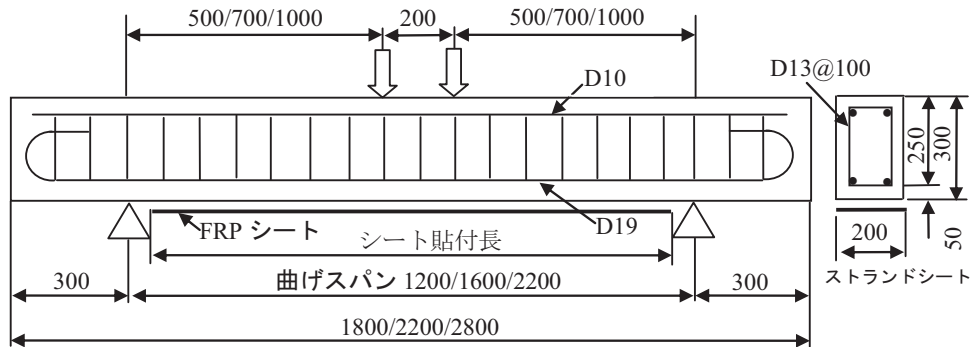


図-1 供試体

現場含浸工程がないので施工効率は高いが、通常の炭素繊維シートに比べて厚く細幅の板材を接着するので、接着面積が狭くプレート端部での付着せん断応力の集中により、低い鋼材応力で剥離する可能性があり、継ぎ手強度も低いことが問題となっている。

そこで近年、施工効率の向上を目的として写真-1に示すように、連続繊維ストランド1本ずつに樹脂を含浸・硬化させたFRP素線をすだれ状にシート化したCFRPストランドシートが開発された¹⁾。CFRPストランドシート（以下「ストランドシート」）は炭素繊維シート接着工法と同様に補強部材全面にシートを接着するので、接着面積が広く高い接着性が得られる。また、現場含浸工程を省略でき1層あたりの炭素繊維量を増加させることが可能で、施工効率が良く品質が高いといった特徴がある。

ストランドシートは、従来の現場含浸タイプの連続繊維シート²⁾と同様な曲げ補強効果が得られることは実験的に示されているが、曲げスパンやストランドシート貼付長の影響や最適な積層方法等の詳細な検討はされていない³⁾。そこで本研究では曲げスパンおよびストランドシート貼付長がストランドシートの補強効果および破壊状況に与える影響を検討した。また、多

層積層接着時の経済的な積層方法を検討するために、CFRPを2層積層する場合の積層方法を変化させて貼付し、補強効果および破壊状況の比較を行った。

2. 実験概要

RCはりは図-1に示すように、土木構造で一般的な引張鉄筋比が約1%で曲げ破壊先行型となるようにせん断補強鉄筋を配置した。曲げスパンの引張側に高強度タイプのストランドシートを貼付し、曲げ載荷実験を行った。RCはりは、早強ポルトランドセメントを用い、目標強度 40N/mm^2 として打設し、打設後約1週間でストランドシートの接着補強を行い、さらに試験まで1週間以上養生した。曲げ載荷試験は、二点对称集中載荷とし破壊まで単調に加力した。本試験に用いた各材料の物性を表-1, 2, 3に示す。供試体のスパン長、ストランドシートの貼付幅、積層数および積層方法は表-4に示す通りであり、無補強供試体を合わせて計11体とした。荷重点の間隔は 200mm として、支点間隔は $1200, 1600, 2200\text{mm}$ の3種類とした。このときの曲げせん断スパン比 a/d はそれぞれ $2.0, 2.8, 4.0$ となる。また、載荷試験時の各供試体のコンクリート圧縮強度は表-4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、主鉄筋およびストランドシートのひずみである。ストランドシートには、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。

3. 実験結果および考察

3.1 曲げスパンの影響

(1) 破壊状況と最大曲げモーメント

曲げスパンが破壊状況および最大モーメントに及ぼす影響を検討するために、ほぼ曲げスパン全長にストランドシートを1層接着したB1, B6, B8供試体および2層積層接着したB3, B8供試体をそれぞれ比較する。写真-2に各供試体の破壊状況を示す。また、表-4に

表-1 ストランドシートの材料物性

| | | 高強度型炭素繊維 |
|-------|------------------|----------|
| 比重 | g/cm^3 | 1.8 |
| 繊維目付量 | g/m | 640 |
| 厚さ | mm | 0.339 |
| 引張強度 | N/mm^2 | 4330 |
| ヤング係数 | kN/mm^2 | 259 |

表-2 樹脂の材料物性

| | | 試験値 |
|----------------|-----------------|------|
| 圧縮強さ | N/mm^2 | 71 |
| 圧縮弾性係数 | N/mm^2 | 3620 |
| 引張せん断強さ | N/mm^2 | 22.6 |
| コンクリート 接着強度 | N/mm^2 | 5.5 |

表-3 鉄筋の材料物性

| | | N/mm ² | |
|----------------|------|-------------------|--|
| D13 (SD345) | 降伏強度 | 387 | |
| | 引張強度 | 622 | |
| D19 (SD345) | 降伏強度 | 396 | |
| | 引張強度 | 570 | |

表-4 供試体一覧

| | | 支間長 | a/d | シート長 | 層数 | f _c (MPa) | P _{max} (kN) | M _{max} (kN・m) | Py _{ex} (kN) | Py _{ca} (kN) | Py _{ex} /Py _{ca} |
|----|-----|------|-----|----------|----|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1 | B0 | 1600 | 2.8 | 無し | 0 | 48.9 | 194.2 | 68.0 | 149.5 | 146.0 | 1.02 |
| 2 | B1 | 1600 | 2.8 | 1500 | 1 | 34.5 | 279.9 | 98.0 | 194.5 | 188.7 | 1.03 |
| 3 | B2 | 1600 | 2.8 | 900 | 1 | 43.5 | 217.4 | 76.1 | 191.2 | 188.7 | 1.01 |
| 4 | B3 | 1600 | 2.8 | 1500 | 2 | 38.7 | 319.9 | 112.0 | 240.8 | 231.7 | 1.04 |
| 5 | B4 | 1600 | 2.8 | 1500/900 | 2 | 46.8 | 289.2 | 101.2 | 227.0 | 231.7 | 0.98 |
| 6 | B5 | 1600 | 2.8 | 900/1500 | 2 | 44.8 | 321.8 | 112.6 | 232.6 | 231.7 | 1.00 |
| 7 | B6 | 1200 | 2.0 | 1100 | 1 | 43.9 | 368.1 | 92.0 | 268.9 | 264.2 | 1.02 |
| 8 | B7 | 1200 | 2.0 | 700 | 1 | 43.5 | 322.6 | 80.7 | 304.7 | 264.2 | 1.15 |
| 9 | B8 | 2200 | 4.0 | 2100 | 1 | 38.0 | 172.3 | 86.2 | 128.7 | 132.1 | 0.97 |
| 10 | B9 | 2200 | 4.0 | 1200 | 1 | 48.0 | 194.2 | 97.1 | 135.1 | 132.1 | 1.02 |
| 11 | B10 | 2200 | 4.0 | 2100 | 2 | 44.6 | 220.7 | 110.4 | 188.7 | 162.2 | 1.16 |

f_c: コンクリート強度, Py_{ex}: 降伏荷重 (実験), Py_{ca}: 降伏荷重 (計算), P_{max}: 最大荷重, M_{max}: 最大モーメント

各最大曲げモーメントを示す。

B1, B6, B8 供試体の破壊状況を比較すると、最もせん断スパンの短いB6 供試体はストランドシート端部からかぶりコンクリートがストランドシートに付着した状態で主鉄筋に沿って剥離している。スパン長1600mmのB1 供試体はストランドシート端部からスパン中央から200mm程度まではコンクリートが薄く付着した状態でストランドシートが剥離し、そこから中央にかけてはかぶりコンクリートがストランドシートに付着した状態で剥離した。また、最もせん断スパンの長いB8 供試体は、ストランドシート端部から中央までコンクリートが薄く付着した状態でストランドシートが剥離した。

B3, B10 供試体の破壊状況を比較する。B3, B10 供試体共にせん断スパンの途中までコンクリートが薄く付着した状態でストランドシートが剥離し、その後中央にかけてかぶりコンクリートがストランドシートに付着した状態で剥離した。ただし、かぶりコンクリートの剥離の開始位置が、B3 供試体では中央から450mmすなわち圧支点から概ね45°方向下の位置からであるのに対し、B10 供試体では300mmからとB3 供試体より中央寄りであった。

この剥離形態の違いは、せん断スパンが短いほど同じ曲げモーメント時にコンクリートに生じるせん断応力度が大きくなり主鉄筋とかぶりコンクリートの界面での剥離が生じやすくなる

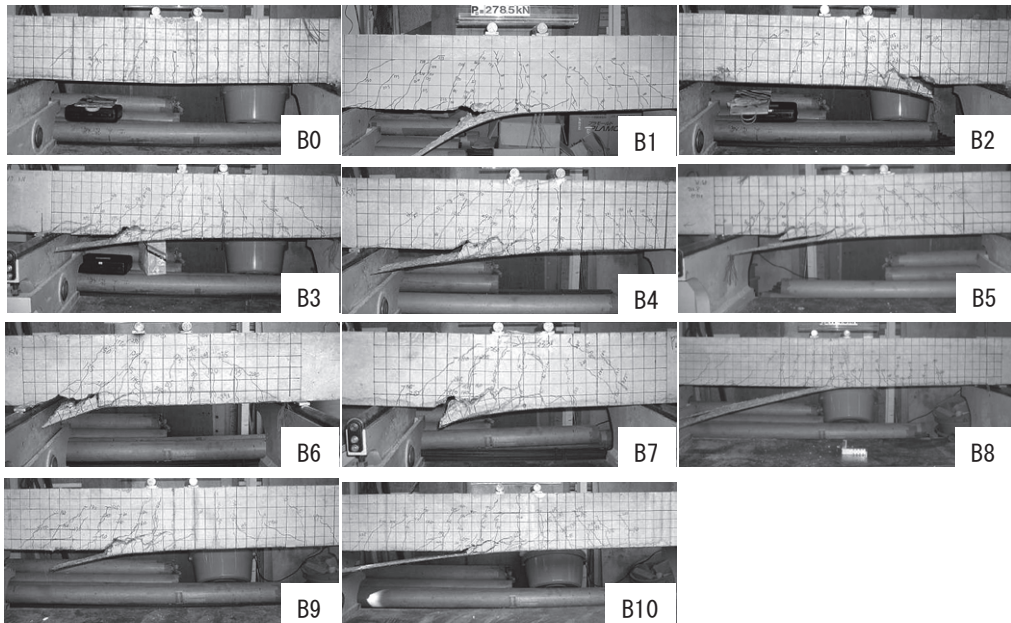


写真-2 破壊状況

ためと考えられる。

また、最大モーメントを比較すると、1層接着のB1、B6、B8供試体では曲げスパンが最大モーメントに及ぼす明確な影響は認められない。2層積層の場合B2供試体に比べてスパンの長いB10供試体の方が最大曲げモーメントが大きくなっている。

(2) 曲げモーメントとひずみの関係

図-2および図-3にB1、B6、B8供試体およびB3、B10供試体の曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係および、曲げモーメントとストランドシートひずみの関係を示す。鉄筋ひずみとストランドシートひずみはそれぞれスパン中央の値を用いた。

図-2 (a) より1層接着のB1、B6、B8供試体および図-2 (b) より2層接着のB3、B10供試体では主鉄筋降伏まではそれぞれ鉄筋ひずみと曲げモーメントの関係はほぼ一致しており、曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係がせん断スパンの影響をほとんど受けていないことがわかる。図-3はストランドシート剥離までのひずみを示しており、図-3 (a) の一層接着のB1、B6、B8供試体および図-3 (b) の二層接着のB3、B10供試体ともにスパンが長い供試体ほど剥離発生時のストランドシートひずみが大きくなっていることがわかる。特に2層積層の場合、せん断スパンが1000mmと長いB10供試体の剥離発生時のひずみが大きくなっている。

3.2 CFRPストランドシート貼付長の影響

(1) 破壊状況と最大荷重

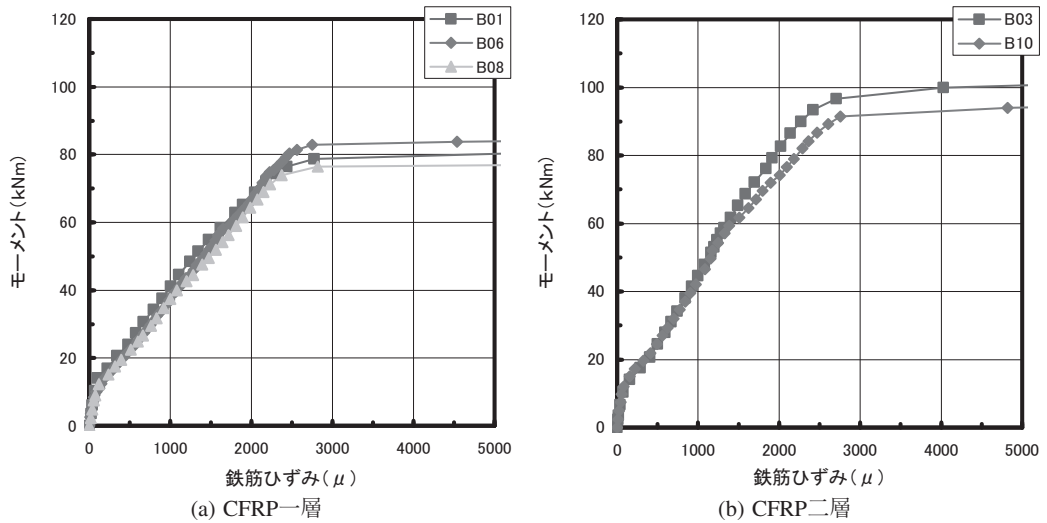


図-2 曲げモーメントと鉄筋ひずみの関係

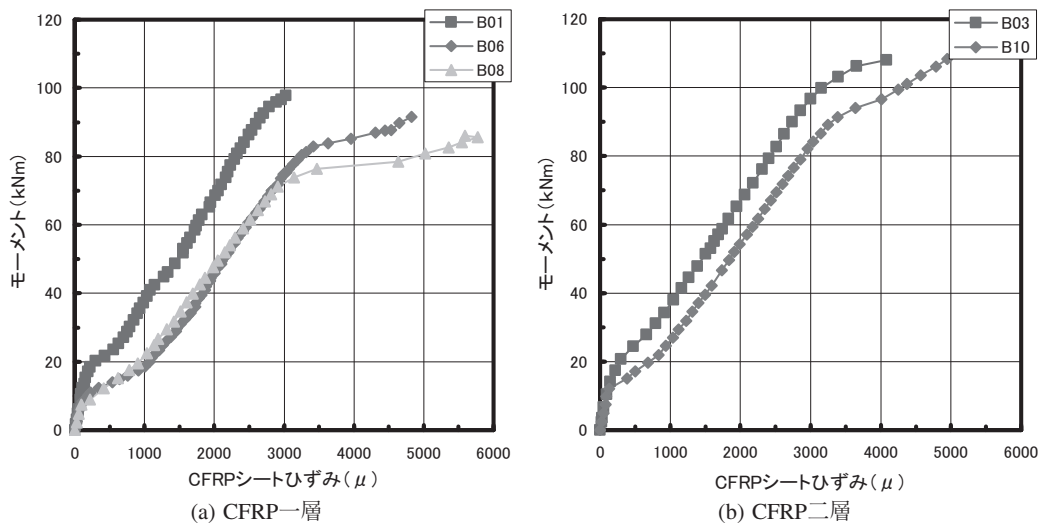


図-3 曲げモーメントとCFRPシートひずみの関係

せん断スパンが等しくストランドシート貼付長の異なる，B 1，B 2 とB 6，B 7 供試体およびB 8，B 9 供試体をそれぞれ比較する。破壊状況は写真-2 に示したように，B 2，B 6，B 7 供試体はストランドシート端部からかぶりコンクリートが破壊し，B 1，B 9 供試体はストランドシートがストランドシート端部から圧支点から45° 方向下の位置付近までコンクリートの表層で剥離し，それ以降は中央に向かってかぶりコンクリートが主鉄筋界面で剥離した。また，B 8 供試体はストランドシート端部から中央までコンクリートが薄く付着した状態でストランドシートが剥離した。

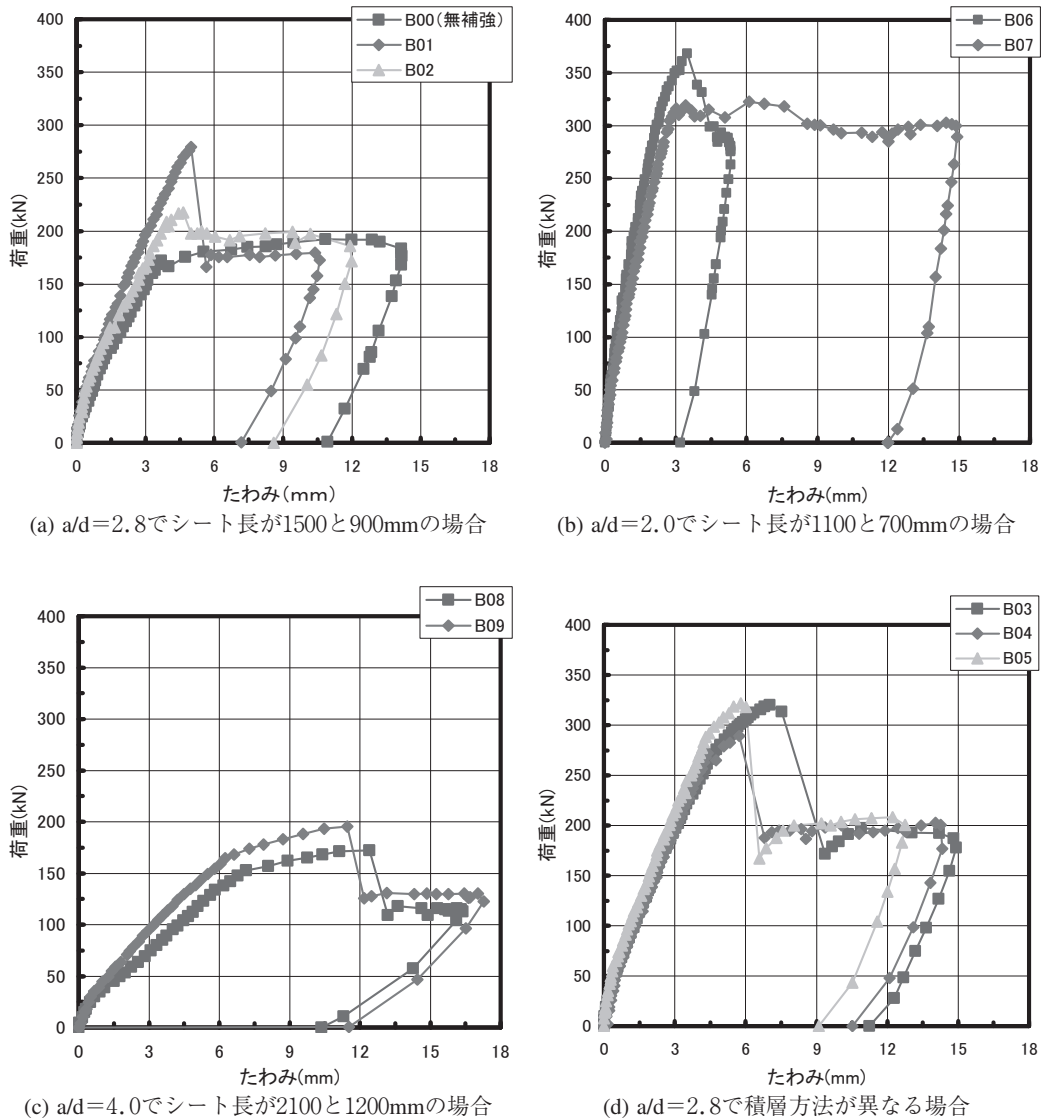


図-4 荷重とたわみの関係

表-4 に示した最大荷重を比較すると、 a/d が4.0のB8、B9 供試体以外はストランドシート貼付長が短い方が最大荷重が小さくなっている。ストランドシートをせん断スパンの1/2程度の位置で途中定着し、さらに a/d が小さい場合にはストランドシートの定着端部からせん断ひび割れが発生しやすく、これを基点としたかぶりコンクリートの破壊を伴った剥離が発生しやすくなるためと考えられる。

(2) 荷重とたわみの関係

図-4 (a) にB1、B2 供試体と (b) にB6、B7 供試体および (c) にB8、B9 供試体の

荷重とたわみの関係を示す。図-4よりB1, B2供試体とB5, B6供試体およびB8, B9供試体ともにストランドシート貼付長が長い供試体の方が、最大荷重発生時のたわみが大きくなっており、貼り付け長が長い方が補強後のはりの靱性が高いことを示している。

3.3 積層方法の影響

(1) 荷重とたわみの関係

図-4 (d) に2層積層し、積層方法が異なるB3, B4, B5供試体の曲げ荷重とたわみの関係を示す。破壊モードは3供試体ともストランドシート端部からの剥離および載荷点から斜め45°下方向の位置付近からのかぶりコンクリートの破壊を伴うストランドシート剥離であった。最大荷重はずらしなしのB3供試体が319.7kN、2層目を途中定着したB4供試体が289.2kNと最も低く、1層目を途中定着し、2層目を長く接着したB5供試体が、321.8kNで最も高い値となっている。

またストランドシート剥離時のたわみは、ストランドシートを2層とも支点近くまで接着したB3供試体が最も大きく、2層の内1層を途中定着したB4, B5供試体はこれより小さくなっている。特に2層目を途中定着したB4供試体は、剥離発生時の荷重およびたわみが他の2体よりも小さくなっている。

本実験の結果では、2層積層する場合、1層目をスパン全長に、2層目を途中定着した場合、もっとも剥離が発生しやすく、異なる長さのストランドシートを接着する場合は、コンクリート面に接する1層目を短く、2層目を長くした方が剥離抵抗が高くなった。

この原因としては、途中定着位置付近でのストランドシートの剛性変化および接着材の厚さの変化による、コンクリート界面との付着応力やコンクリートに生じる応力の分布の差異が原因として考えられ、詳細については解析的な検討もふくめ今後の検討課題である。

4. まとめ

以下に本実験により得られた、CFRPストランドシートを用いてRCはりの曲げ補強を行った場合の、スパン長の影響、CFRPストランドシート貼付長の影響および積層方法の影響に関する知見を述べる。

(1) スパン長の影響

等曲げ区間一定で曲げせん断スパン比 a/d を変化させて曲げ試験を行った結果、 a/d が小さいとCFRPストランドシートの剥離よりも先にかぶりコンクリートが破壊し、それとともにCFRPストランドシートも剥離してしまうことがわかった。スパン長が長いとせん断区間でのせん断力が小さくなり、かぶりコンクリートの破壊が起りにくく、CFRPストランドシートが剥離するまで補強効果が得られることが明らかとなった。

(2) CFRPストランドシート貼付長の影響

CFRPストランドシートの貼付長を曲げスパン全面とせん断スパンの半分までに変化させて曲げ試験を行った結果、CFRPストランドシートを斜めひび割れの発生しやすい載荷点から45°方向下の位置より十分に長くないと、かぶりコンクリートとともに剥離してしまうことがわかった。CFRPストランドシートは圧支点から45°方向の位置をこえて十分な接着面積を確保することで、より高い補強効果が得られることが明らかとなった。

(3) 積層方法の影響

CFRPストランドシートを2層積層し、積層方法を2層ともスパン全長に接着したずらし無し、1層目が長い順ステップ積層および1層目が短い逆ステップ積層の3種類に変えて曲げ試験を行った。2層とも端部まで接着したずらし無しが剥離発生時のたわみが最大となった。1層を短いCFRPストランドシートとし途中定着する場合は、順ステップより逆ステップの方が剥離発生時のたわみ、荷重ともに大きくなり剥離が起こりにくいことがわかった。

参考文献

- 1) 小林 朗, 佐藤靖彦, 高橋義裕: ストランドシート, CFRPプレート, 炭素繊維シートによるRCはりの曲げ補強効果, 土木学会第62回年次学術講演会講演概要集, V, pp.763-764, 2007. 9
- 2) 高橋義裕, 佐藤靖彦: 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報告集, Vol.24, No. 2, pp1393-1398, 2002
- 3) 小林 朗, 佐藤靖彦, 高橋義裕, 立石晶洋: FRPストランドシートの材料特性とRC梁の曲げ補強効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No. 3, pp.1561-1565, 2008. 7

謝 辞

本研究の遂行において「平成22年北海学園学術研究助成（一般研究）」の補助金を受けました。また、CFRPストランドシート及び接着樹脂は日鉄コンポジット(株)からそれぞれ提供を受けました。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。