

緊張力を作用させたシートによる RC 梁の補強効果に関する考察

遠藤典男^{*1}・小林信太郎^{*2}・小林清^{*3}

Consideration about Fiber Reinforcement Effects of RC-beams by Stretching Sheets

ENDO H Norio, KOBAYASHI Shintaroh, KOBAYASHI Kiyoshi

In failure properties of RC-beams, shear failure are brittle failure, and these phenomena make structures to collapse rapidly. RC-bridges, which were constructed based on old specification and are offering open now, are in the case of shortage on shear strength. In this research, applying fiber reinforcement to RC-beam in order to improve shear strength, and making reinforcement sheets stretches by proposing jigs to the across direction of a beam-axis after bonding fiber reinforcement sheets to bottom of beam.

In order to evaluate a proposed reinforcing method for shear strengthening, manufacturing RC-beams which are small shear capacity compared with bending capacity, and performing bending experiments. The results of these experiments, reinforcing RC-beam by proposed method is decreased shear fractures compared with RC-beam by general fiber reinforcing, and is not occurred detachment sheets form concrete surface.

キーワード：長繊維補強，せん断補強，破壊性状

1. 緒 言

わが国の社会資本整備において，財政的理由から新規構造物の建設は減少傾向にある．これに対して構造物の維持管理，保守補修を綿密に行うことによる，既設構造物の長寿命化が社会的なニーズになっている．また，設計指針の変更に伴い，耐力不足な構造物に対しても，種々な補強工法が提案され，実用化されるに至り，新工法での施工実績も多くなりつつある．

一方，旧道路示方書（昭和年代）に設計され，現在も供用している RC 橋において，現行示方書を基準とした場合に曲げ，せん断に対する強度が不十分な RC 橋も多い．また，耐震設計基準の変化に伴い，RC 造の建築物も，現行設計基準では耐震性能が不十分とされる既設建築物も多い．ここで曲げ耐力の不足した RC 部材に対する補強方法^{1,2)}は，種々提案され既に多くの施工実績もある．これに対し，せん

断耐力の不足した RC 部材に対しては，コンクリート増し打ちと，鋼板貼り付けによる補強が有効と言われている．

ここで，RC 部材の破壊性状の中でも，せん断耐力の不足による破壊は脆性的な破壊形態であり，破壊の開始から崩壊に至るまでの時間が短いため危険である．

本研究では，RC 構造物に対する補強工法として，近年施工実績も多い連続繊維シート補強工法に注目し，補強用シートを補強部材に接着後，部材軸直角方向に緊張させることにより，せん断力に対する補強効果向上を目指すものである．現在施工されている連続繊維シートによる補強工法は，主として引張力が作用する部材面に補強シートを接着することにより，曲げ耐力の向上を期待するものである．また，施工後の荷重変動も小さく，さらに重機なしの施工が可能であり狭い空間での施工に適するという利点もある．このような観点から，本研究で提案する補強工法は，引張力が作用する部材面へ接着することにより曲げ耐力の向上を計るとともに，部材軸直角方向の緊張力を補強シートに作用させることにより，断面拘束効果が得られることになり，この効果より

*1 環境都市工学科准教授

*2 平成 21 年度特別研究生(現 JR 東日本)

*3 技術室第二技術班

原稿受付 2010 年 5 月 20 日

せん断力に対する耐力も向上すると考えられる。また、上述の補強手法を実現させるため、簡単な治具の提案を行うとともに、緊張力の制御手法をも提案している。

2. 試験体の作製

2-1 使用材料および配合

試験体作成のために使用した骨材の物性値を表1に、アラミド繊維の物性値を表2に示す。骨材は千曲川水系の川砂利を用いた。また、補強用の高強度繊維シートは、(株)前田工織製の2方向平織りFFシートであるCT714を用い、また部材への接着としてエポキシ樹脂を用いた。ここで、本文で提案する補強手法において補強用シートへは、部材軸方向には曲げによる引張力が、軸直角方向には緊張力を作用させることを想定しており、RCはり底面では2軸応力状態が発生すると考え、2方向織りの繊維シートを用いた。

試験体作成に用いたコンクリートの配合を表3に、試験体の形状寸法と配筋状態を図1に示す。試験体の断面は、高さ h を200[mm]、幅 b を150[mm]、有効高さ d を160[mm]とした。また、表3に示すように部材断面が小さいため、設定したスランプも21と大きい値とした。また、水セメント比は0.47とし、設計基準強度 σ'_{ck} を32[N/mm²]とした(圧縮強度は35[N/mm²]であった)。

2-2 試験体の耐力

図1に示すように、曲げ実験で使用する試験体は提起する補強手法のせん断に対する有効性を検証するため、シート接着後の曲げ耐力に比し、せん断耐力が小さくなるよう、スターラップ配置間隔を300[mm]に設定した。ここで、シート補強を行わない場合、計算上の曲げ耐力とせん断耐力を以下に示す。

まず、曲げ耐力： T_b を計算する。終局状態における力の釣り合いより、中立軸： x は、

$$x = (\sigma_{sy} \cdot A_s) / (0.85 \cdot \sigma'_{ck} \cdot a \cdot b) = 23 \text{ [mm]} \quad (1)$$

と計算できる。ただし、 σ_{sy} (=295[N/mm²])は鉄筋の降伏応力、 A_s (=253[mm²])は主鉄筋量、 σ'_{ck} (=32[N/mm²])はコンクリートの設計基準強度、 a (=0.8 $\cdot x$)はコンクリート破壊時における等価応力ブロック高さである。試験体の終局曲げモーメント M_u は、スパン長 l (=1200[mm])と載荷距離 l_b (=150[mm])を考慮し、式(1)で計算された中立軸の値を次式に代入することにより

$$M_u = \sigma_{sy} \cdot A_s \cdot (d - (a/2)) = 11.3 \text{ [kN} \cdot \text{m]} \quad (2)$$

が得られ、最終的に終局耐力は

$$T_b = 2M_u / ((l/2) - (l_b/2)) = 43.0 \text{ [kN]} \quad (3)$$

と計算される。

一方、せん断耐力 T_{yd} は次式で計算される。

$$T_{yd} = T_{cd} + T_{sd} \quad (4)$$

表1 骨材の物性値

	細骨材	粗骨材
表乾密度 [g/cm ³]	2.60	2.62
絶乾密度 [g/cm ³]	2.56	2.57
吸水率 [%]	2.4	0.8
単位容積質量 [kg/l]	1.63	1.78
実績率 [%]	62.7	67.9
粗粒率	2.4	6.4

表2 アラミド繊維の材料特性

構造	2方向平織り
保障耐力 [kN/m]	100
目付け量 [g/m ²]	180
引張強度 [N/mm ²]	2060
引張弾性係数 [N/mm ²]	1.18 $\times 10^5$
設計厚さ [mm]	0.062

表3 配合

粗骨材 最大寸法 [mm]	スランプ [cm]	水セメント比 W/C [%]	空気量 [%]	細骨材率 s/a [%]	単位量[kg/m ³]				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	21	47	4	40	155	330	728	1101	3

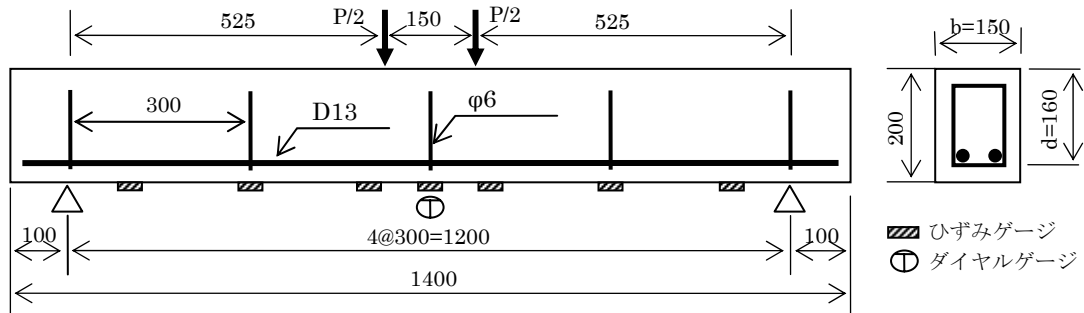


図1 試験体と曲げ試験概要

ここで、 T_{cd} はコンクリートにより受け持たれるせん断耐力であり、 T_{sd} はせん断補強鋼材により受け持たれるせん断耐力である。まず T_{cd} は次式により計算される。

$$T_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \sigma'_{vcd} \cdot b \cdot d = 23.3 \text{ [kN]} \quad (5)$$

ただし、 σ'_{vcd} は設計曲げ圧縮強度で 以下のように与えられる。

$$\sigma'_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{\sigma'_{ck}} = 0.635 \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (6)$$

また、せん断耐力算出時の係数を $\beta_d = 1.5$ 、 $\beta_p = 1.018$ 、 $\beta_n = 1.000$ とした。次に T_{sd} は、せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度を α ($=(\pi/2)$) とすると、

$$T_{sd} = A_w \cdot \sigma_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{z}{s} \quad (7)$$

で与えられる。ここで、 A_w は配置する一組のスターラップの断面積 ($A_w = 56.6 \text{ [mm}^2\text{]}$) であり、 σ_{wyd} はスターラップの降伏応力 ($\sigma_{wyd} = 295 \text{ [N/mm}^2\text{]}$)、 z は内力間距離であり、また s はスターラップの配置間隔 ($=300 \text{ [mm]}$) である。さらに、一般的な終局状態における有効高さ： d と z の関係は、

$$z = d / 1.15 = 160 / 1.15 = 139 \text{ [mm]} \quad (8)$$

であるため、本計算でもこの値を適用した。以上より T_{sd} は

$$T_{sd} = 7.7 \text{ [kN]} \quad (9)$$

と計算でき、最終的なせん断耐力は

$$T_{yd} = T_{cd} + T_{sd} = 23.3 + 7.7 = 31.0 \text{ [kN]} \quad (10)$$

となる。ここで、図 1 に示す載荷状態のせん断力分布図より、せん断破壊時の載荷重を T_s とすると

$$T_s = 2 \cdot T_{yd} = 2 \times 31.0 = 62.0 \text{ [kN]} \quad (11)$$

となる。式(3)と式(11)を比較すると、シート補強を行わない状態においても、せん断耐力の方が、曲げ耐力よりも 40%ほど大きい。特に曲げモーメントに対する補強効果を発揮するシート接着前の曲げ耐力を計算したものであり、シート接着後は曲げ耐力とせん断が同等であると予想し、後述する曲げ試験を実施した。

3. 緊張力を作用させたシート補強

本研究で提起する補強手法は、図 2 に示すようにはり底部に高強度の繊維シートを接着し硬化した後以下により補強シートに緊張力を作用させている。すなわち、はり上部に設置する高剛性の板（鋼板）と、補強シート端部に接着した高剛性の棒（鋼棒）の、鉛直方向同一軸線上に孔を設け、孔中にボルトを貫通させ、鋼板と鋼棒をボルトナットにより締結することにより、補強シートにはり軸直角方向の緊張力を生じさせるものである。

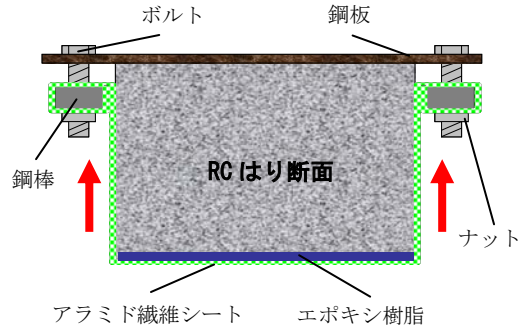


図 2 補強シートへの緊張力導入

ここで一般的な繊維シート補強工法は、図 2 に示すはり底部、あるいははり底部と側面部に高強度のシートを接着するのみであり、主としてはり底部において曲げに対する抵抗力が向上するものである。

一方、提起する手法では、はり底部に補強シートを接着することにより、従来の補強方法と同様に曲げに対する抵抗力は向上することになる。さらに、はり底部の接着剤が十分硬化した後に、前述したように補強シートへ、はり軸直角方向の緊張力を作用させることにより、せん断ひび割れに対する断面拘束効果が期待でき、また自動車、列車等の通行による繰り返し荷重が作用する場合の、シートと部材表面の剥離に対する抵抗力向上が期待できるものである。ここで、シートに作用させる緊張力はボルトへ作用させるトルクをトルクレンチで制御している。ボルトに作用させるトルクとシートの幅は、予めシートにひずみゲージを接着し、作用させるトルクと緊張力の関係进行评估し決定している。今回はシート幅を 400[mm]とし、ボルトには 2.5[N・m]のトルクを作用させ緊張力を作用させたが、事前の評価³⁾によりシートには 50[N/mm²]程度の応力が作用している。なお、RC表面の下地処理として、補強シート接着面を十分グラインダーで研磨後、プライマーを塗布し、その後シートとはり表面をエポキシ樹脂により接着した。

4. 曲げ試験結果

図 1 に示す曲げ試験を行った。曲げ試験に際して、スパン中央にダイヤルゲージを、左端の支点より 100,300,500,600,700,900,1100[mm]の位置にひずみゲージを設置した。

図 3 に荷重－変位関係を示す。ここで、BEAM 1 は本文で提起する緊張シートにより補強した RC はりであり、BEAM 2 は RC はりの底部と、両側面のはり高さの半分程度を、補強シートと接着したものである。載荷重が 20~70[kN]程度まで、BEAM 2 に

比し BEAM 1 のほうが、同一荷重における変位量が大きい。これは BEAM 2 ではシートを側面まで接着したことが影響していると考えられる。

図 4 に、載荷重が 79[kN]におけるはり底部の曲げ応力分布を示す。シートの応力は、ひずみゲージで計測された値と表 2 に示す引張弾性係数の積とした。図中、BEAM 2 において圧縮応力が発生しているが、載荷重が 35[kN]付近で既に発生している。これは図 3 において、載荷重 20[kN]付近で最初のひび割れが発生し荷重－変位関係の傾きが変化したと考えられる。さらに載荷重を増加させることにより、ひび割れが進展し、補強シートの一部がコンクリート表面から剥離したことが原因と思われる。一方、BEAM 1 では載荷を終了（79[kN]）まで曲げ圧縮ひずみは発生しなかった。これらのことより、本文で提起する補強方法により、コンクリート表面と補強シートの結合が十分効果を発揮したと考えられる。なお、圧縮ひずみが発生した場合の補強シートの応力は、接着剤であるエポキシ樹脂の剛性に依存すると考えられるが、現段階ではエポキシ樹脂の物性値が十分でないため、引張応力の場合と同様に計算した応力値の(1/10)を圧縮応力とし図示した。

写真 1、2 は各々、BEAM 1、BEAM 2 の載荷終了後における支間中央部付近の RC はりの側面である。BEAM 1 では、曲げモーメントが最大となる載荷位置の間にひび割れが発生したのに対し、BEAM 2 では載荷位置の両支点側においてもひび割れが発生している。写真 2 におけるひび割れ発生角度を鑑みるにせん断ひび割れと推察される。以上より、本文で提起する補強手法は、せん断ひび割れ抑制効果が期待できると考えられる。

5. 結 論

本研究で得られた知見を以下に記す。

本文で提起した、補強シートを接着した後に緊張力を作用させた試験体と、補強シートを接着したのみの試験体を比較すると、曲げ応力度、ひび割れ発生状況を鑑みるに、せん断に対して有効であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針，丸善(2000.7)
- 2) 高橋 茂治・福山 洋・鈴木 英之・中村 洋行：定着金物を用いた連続繊維シートによる劣化ス

ラブの補強効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.3(2008.7)

- 3) 小林信太郎：連続繊維シートによる RC はりの補強効果に関する研究，平成 21 年度長野高専専攻科特別研究論文(2002.3)

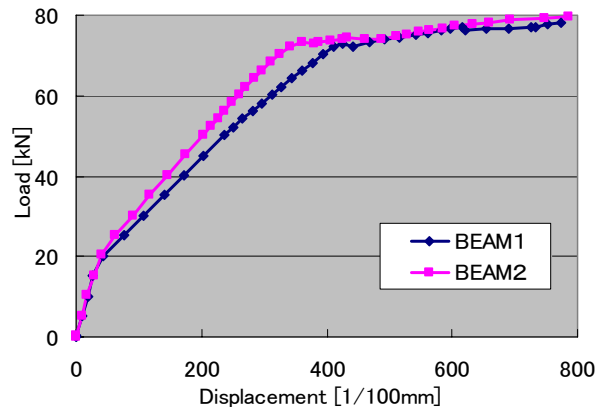


図 3 荷重－変位関係

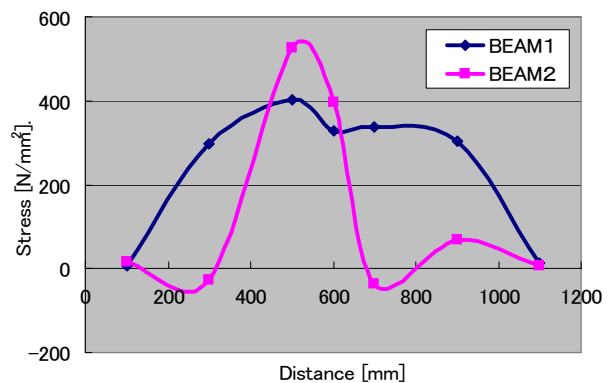


図 4 はり底部の曲げ応力度分布 (P=79[kN])

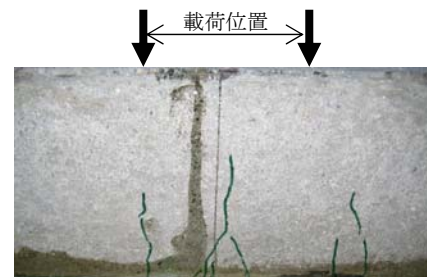


写真 1 BEAM 1 のひび割れ状況

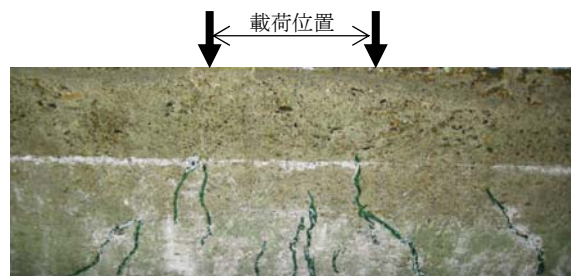


写真 2 BEAM 2 のひび割れ状況