

周方向応力作用下の RC ばりの破壊挙動に関する考察

遠藤典男*1・良川一斗*2

Consideration about RC Beams of Fracture Behavior Depending on Hoop Stress

ENDO H Norio and YOSHIKAWA Kazuto

When stresses occurred in structures, geometrical stiffness is added to structures as well as stiffness caused by material and section dimensions. Considering and evaluating for RC-beams working in hoop stress added to geometrical stiffness by being wound around aramid fiber sheets.

Now, many methods of construction were suggested for the purpose of reinforcing in concrete structure, and some methods have been already put to practical use. For the purpose of reinforcing to concrete structures and improving in stiffness of RC-beam, which are wound around aramid fiber sheets adding tensile stresses. In these state, compression stress is working in section of RC-beam, it seems that geometrical stiffness were given.

In this report, considering RC-beams added to geometrical stiffness and their fracture behavior.

キーワード：繊維シート補強 RC ばり，アラミドシート，破壊強度

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下 RC）構造物に対する補強，補修方法として，炭素繊維シート，アラミド繊維シート等をエポキシ樹脂等で接着する手法は，従前より行なわれてきた。このような手法は，貼り付けられるシートの性能が著しく向上し鋼材並みの引張強度を有するようになったこと，シートの軽量さに起因した施工の容易さもあいまって，施工実績も多くなりつつある。シート巻きつけによる補強方法は，RC 製の柱²⁾，床版，トンネルなどを対象とし，コンクリート表面にまず下地を塗布し，その上へ接着剤を塗布し，表面仕上げなどを行なうことになるが，コンクリート表面へ強度，引張剛性の大きなシートを貼り付けることによる剛性向上，および化学的抵抗性の増大が期待できる。

本研究では，繊維シートに張力を作用させたいえで，はり部材を補強する手法提起の前段階として，長方形断面の RC はりを対象とし，シートの定着と幾何剛性の向上を目的として，シートに引張力を作用させたいえで RC に接着し曲げ実験を行う。以上により RC 部材に対する幾何剛性の付与による剛性向上効果と，はりの破壊挙動に関して考察する。

コンクリート構造物に鋼材を配置し，鋼材に張力を作用させた後定着させ，鋼材の復元力によりコンクリートに圧縮応力を与え，外力の作用による引張応力に抵抗できるような構造は，プレストレストコンクリートとして周知の通りである。ここで，プレストレストコンクリートは，はりの軸方向に配置した鋼材を引っ張るため，はり軸方向に圧縮応力が発生し，また外力による曲げ応力もはり軸方向に生じるため，双方の応力は同一軸上で相殺されることになる。これに対し，本文で提起する補修法ははり軸直角断面で，シートに張力を作用させることによりコンクリートに圧縮応力を導入することになる。外

*1 環境都市工学科准教授

*2 JR 東海（平成 18 年度環境都市工学科卒業）
原稿受付 2007 年 5 月 21 日

力の作用による曲げ応力は、軸方向で発生するのに対し、シートの引っ張り応力に起因する圧縮応力は、はり軸直角方向に作用しているため、双方の応力が相殺されることはなく、また導入された応力、および応力による幾何剛性は、外力作用後も付与され続けることになる。さらに、シートに張力を作用させたことによる断面変形拘束効果も期待できると考えられる。

2. 使用材料、配合、RCはり作成

表1に粗骨材および細骨材の物理諸量を、表2に仕方配合を示す。コンクリートに配した骨材は千曲川水系の川砂利であり、粗骨材、細骨材ともに一般的な川砂利の性質を有している。

コンクリートの仕方配合を表2に示す。設計基準強度を28N/mm²、配合強度を30N/mm²とし、配合設計を行なっている。また、混和材は(株)ボゾリス物産製レオビルド SP8SE（ポリカルボン酸エーテル系）のAE減水剤をセメント重量の2%混入した。また、セメントは、普通ポルトランドセメント（比重3.15）を使用した。コンクリートは傾胴型ミキサーで5分練りまぜを行った後、型枠（圧縮試験用供試体はφ100mm×200mmの、曲げ試験用供試体は100mm×100mm×400mmの型枠を使用）へ打設し振動機で締め固めを行なった。鉄筋はかぶり厚さを30mmとし、D10の異径鋼棒（材質SD295A、鉄筋の断面積は143mm²）を2本配置した。配置した鉄筋はスパン全長にわたり直線状であり、折り曲げ鉄筋、スターラップによるせん断力に対する補強は行ななかった。なお、空気量の実測地は5.5%、スランプの実測地は20cm、コンクリートの圧縮強度は31.2N/mm²であった。

3. アラミド繊維シート

実験で使用したアラミド繊維シートは前田工織(株)製2方向アラミド繊維シート（呼称：CT714）であり、一般に高架橋剥落防止、鉄道トンネル覆工剥落防止等に使用されている。表3にアラミド繊維シ-

ートの物理諸量を示す。ここで、使用したアラミド繊維シートは2方向を平織りしたシートであり、また目付け量は単位面積あたりの重量である。シートの保障耐力、引張強度、引張弾性係数はRCの設計時に適用される鉄筋の降伏応力295N/mm²、引張強度440N/mm²、弾性係数2.0×10⁵と比較しても同等以上の性能を有していることがわかる。

4. シートの巻き付けと張力付加

張力を作用させたシートを巻き付けたはりの剛性を評価するにあたり、1)シートなしの曲げ供試体（以下 BEAM-1）、2)シートに張力を作用させずに巻きつけた曲げ供試体（以下 BEAM-2）、3)シートに張力を作用させた曲げ供試体（以下 BEAM-3）の3種類の供試体を作成し、比較を行なった。BEAM-2、BEAM-3の供試体へシートを巻きつけるにあたり、シートを幅50mmに形成したのち鉛直方向より15度傾斜させ、またシートの重なりがないように接着した。BEAM-3に対しては、シートの断面積が3.1mm²であるため、図1に示すよう

表1 骨材の物理諸量

	細骨材	粗骨材
表乾密度(g/cm ³)	2.60	2.62
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

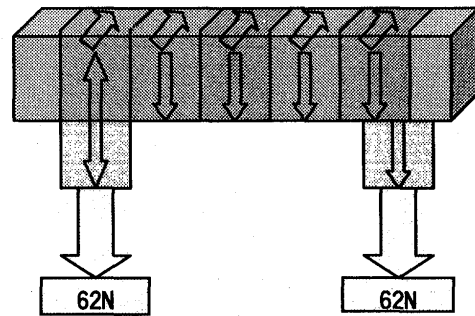


図1 引張力を作用させたシートの巻き付け

表2 コンクリートの仕方配合

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	混和材 A
20	15	47	6	45	165	351	777	956	7

表3 アラミド繊維シートの物理諸量

構造	保障耐力(N/m)	目付け量(g/m ²)	引張強度(N/mm ²)	引張弾性係数(N/mm ²)	設計厚(mm)
平織り	10×10 ³	180	2,060	1.2×10 ⁵	0.062

に 62N の重りをシート端に作用させることにより、 $20\text{N}/\text{mm}^2$ の初期張力を与えている。なお、各供試体とも材齢 60 日で曲げ試験を行なった。なお、コンクリートの表面処理剤とシートの貼り付け後の表面仕上げ材は、張力を作用させたシートの効果を評価する必要から供試体への塗布を行わず、コンクリート表面とシートへ直接接着剤を塗り双方を接着した。

5. 曲げ試験結果

図 2 に張力を作用させたシートを貼りつけた BEAM-3 のはり軸直角方向断面の初期状態（曲げモーメント作用前）における応力状態を示す。同図は平面ひずみ問題として有限要素解析より得られた結果であり、要素分割、境界条件、荷重条件は同図に示す通りである。荷重条件、拘束条件に関してはシートに作用させた張力、およびシートの応力状態を勘案し、水平方向、鉛直方向の一方を固定し他方に荷重 $P=1.2\text{N}$ を作用させた。同図において、コーナー部では $0.16\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮応力が作用し、はり中心部に移動するにしたがい圧縮応力は減少 ($0.02\text{N}/\text{mm}^2$) している。圧縮応力が最大となるコーナー部においても、コンクリートの圧縮強度（配合強度は $30\text{N}/\text{mm}^2$ ）と比較すると、1%以下であり、作用応力が小さいため、3次元の主応力を計算する場合においても、初期応力の影響は小さく、破壊に対する考慮は必要ないと考えられる。

以上のことを勘案し、BEAM-1、BEAM-2、BEAM-3 の曲げ試験を行なった。曲げ試験は「JIS A 1106-1999 コンクリートの曲げ強度試験方法」にしたがい、純曲げによる実験を行なった。なお、耐荷力が低下した時点で「はりが破壊」したとみなし載荷を中止した。

写真 1 は BEAM-1 の破壊状況である。ひび割れ幅が 3mm 程度で、変形量が大きくなり最大耐荷力となっている。

写真 2 は BEAM-2 の破壊状況である。BEAM-1 に比し変形量も大きく、ひび割れ幅が大きいと考えられる。シートを接着した状況ではひび割れ幅を観察することはできないが、シートを剥離させた後においても、ひび割れた箇所を観察すると、大きなひび割れが生じていたと思われる。

写真 3 は BEAM-3 の破壊状況である。BEAM-1、BEAM-2 に比し、非常に大きな変形をしているが、このような状況でも、耐荷力は減少せず荷重増加が可能であった。また、同写真より一部コンクリート部分の露出が確認できるが、これは接着したシート

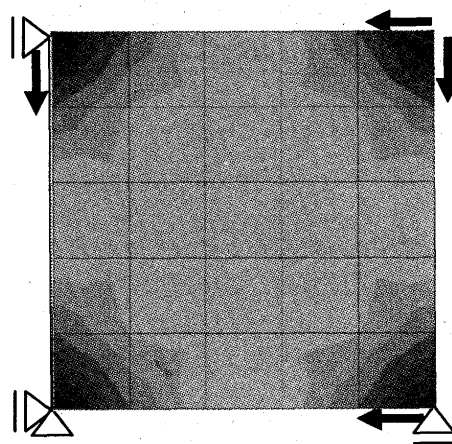


図 2 有限要素解析による RC 断面の応力状態

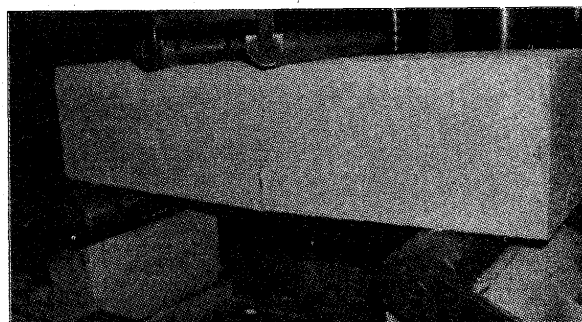


写真 1 BEAM-1 の破壊状況

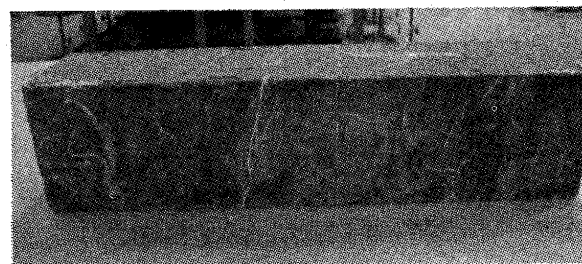


写真 2 BEAM-2 の破壊状況

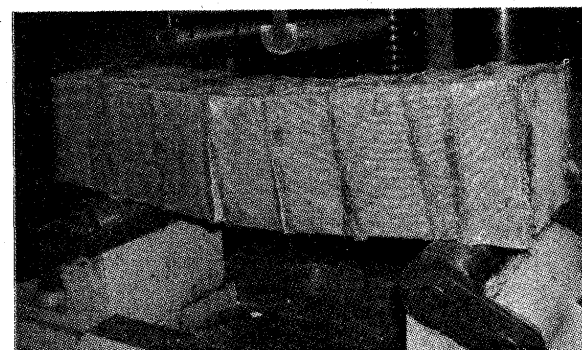


写真 3 BEAM-3 の破壊状況

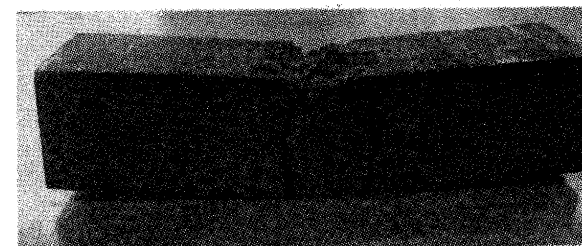


写真 4 BEAM-3 のコンクリート部分のひび割れ状況

とシートの接続部であり、この部分ではシートの一部を2重に接着することにより、更なる耐荷力向上が期待できると思われる。また、BEAM-1、BEAM-2と比較し著しく大きな変形量が生じていたことに関し、写真4のシートを剥離させた後のひび割れ状況で、大きなひび割れが確認でき、コンクリート部分が崩壊していたにもかかわらず対荷力が減少しなかったことは、シートの張力の影響が大きいと考えられる。すなわち、シートの初期張力は曲げが作用した後も継続して作用し続けるため、シートの幾何剛性が対荷力に大きく寄与したものと考えられる。

図3に各はりの曲げ強度の比較を示す。BEAM-1 (12.6N/mm^2)、BEAM-2 (14.7N/mm^2)、BEAM-3 (20.8N/mm^2)と徐々に曲げ強度が大きくなっている。BEAM-3に比し、BEAM-1、BEAM-2では曲げ強度にばらつき大きい。これは、シートに幾何剛性が付与されたことに伴う、シートの断面拘束効果に起因していると考えられる。

以上から、シートに張力を作用させ、はりに接着することにより、曲げ強度および靱性の向上、およびシートの幾何剛性付与による断面拘束効果が得られることが分かった。一方、シートの張力によりコンクリート部にも圧縮応力が作用することになるが、これによる幾何剛性付与は僅かなものであることが分かった。

6. おわりに

本文では、高性能繊維シートによるRCはりの補強法を提起し、有効性を検証した。その結果、シートに張力を作用させ、はりに接着することにより、

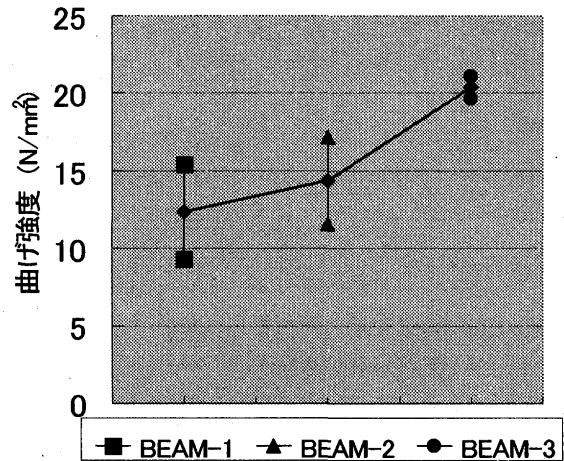


図3 曲げ強度の比較

曲げ強度および靱性の向上、およびシートの幾何剛性付与による断面拘束効果が期待できることが分かった。一方、コンクリート部分には圧縮応力が生じることになるが、はりの破壊に対する影響は小さいと考えられる。

参考文献

- 1) 中田, 山川, 森下, 舛田: 緊張アラミド繊維ベルトを用いた拘束コンクリート柱の圧縮性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.127-132, (2003.6).
- 2) 栗橋, 岸, 三上, 張: 引張剛性の等しい各種FRPシートを接着したRC梁の曲げ耐荷性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.1429-1434, (2002.6).