

V-34 アラミドテープ巻き付けによる拘束効果に関する実験的研究

三井建設(株) 正員 中島 規道
 開発土木研究所 正員 佐藤 昌志
 開発土木研究所 正員 谷本 俊充
 開発土木研究所 正員 西 弘明

1. はじめに

橋脚の補強に関する設計方法は未だ十分に確立されているとはいえないと思われるが、橋脚を合理的に設計するための手法として、帯鉄筋の拘束による効果を考慮した設計を行うことが提案されている。¹⁾ また、その考えを基に鉄板巻き立て工法などの補強設計が行われているのが現状である。特に鉄板巻き立て工法は、鉄板と既存コンクリート橋脚の界面において十分な付着抵抗が保持されない場合は、管体としての耐力を累加するか、コンクリートの体積がせん断変形によって膨張して鉄板に接触することによる横拘束を期待することになると考えられる。

一方、著者らは簡便で効率の良い橋脚の補強方法として高強度かつ耐食性に優れ、軽量の FRP テープの巻き付け工法を提案し、その補強効果の確認を行っている。従来、横拘束材料としては剛性の高い材料が有効であると考えられてきたが、アラミドテープなどは高引張強度かつ高弾性伸び率を有するため、最大圧縮応力時のひずみや破壊直前の終局ひずみを増加させ、コンクリートの圧縮じん性を向上させる材料としては適しているものと予想される。そこで本研究では、円形及び矩形の RC 柱模型にアラミドテープを補強割合を変えて巻き付けた実験を行ったのでその結果を報告するものである。

2. 実験の概要

試験体の一覧を表-1に示す。

表-1 試験体一覧

円柱試験体は直径が 30 cm で、試験体の高さは 60, 90 cm の 2 種類がある。角柱は断面寸法比が 1:1 と 1:2 の 2 種類で、試験体の高さはともに 1 m である。全ての試験体には軸方向筋として D13 を体積割合で 1% 程度配置した。アラミドテープの巻き付け方法は 37.5 mm 幅のテープを間隔 75 mm で 1 層または 2 層巻き付けたものと 200 mm 幅のテープを用いて全面を巻き付けたものの 2 種類がある。なお、75 mm 間隔で 2 層巻き付けた場合と全面巻付けの場合は同じ

試験体の名称	柱の形状及び寸法 (mm)	柱の高さ (cm)	軸方向筋の割合 (%)	補強方法	補強割合 (%)
A-1	円柱 φ300	90	D13×6本 1.08%	無補強	0
A-2				37.5mm幅@75mm×2層	0.44
A-3				37.5mm幅@75mm×1層	0.22
A-4				全面巻き	0.44
B-1	円柱 φ300	60	D13×6本 1.08%	無補強	0
B-2				37.5mm幅@75mm×2層	0.44
C-1	角柱 1:1 300×300	100	D13×8本 1.12%	無補強	0
C-2				37.5mm幅@75mm×2層	0.44
C-3				37.5mm幅@75mm×1層	0.22
C-4				全面巻き	0.44
D-1	角柱 1:2 250×500	100	D13×10本 1.01%	無補強	0
D-2				37.5mm幅@75mm×2層	0.39
D-3				37.5mm幅@75mm×1層	0.20
D-4				全面巻き	0.39

補強割合(体積%)となる。角柱のコーナー部は、長辺が 20 mm の直角三角形のスペーサーをコンクリート打設時に設置することによって面取りを行っている。また、軸圧縮力作用時の試験体と試験機が接触する部分の拘束を少なくするため 3 mm 厚のテフロンシートを挿入した。また、試験体の上下部から破壊が進行しないで中央の破壊が先行するように、無補強の試験体でもその上下端をアラミドテープで巻き付けた。実験は 500 トンジャッキを用いて行ったが、

Experimental Study on Confinement Effects of Winding Aramid Tapes of RC Column
 by Norimichi NAKAJIMA, Masashi SATO, Toshimitsu TANIMOTO and Hiroaki NISHI

荷重あるいは変位の制御は行っていない。本実験での計測項目は、バネ式の変位計による試験体の圧縮変位及び試験体上面に取り付けたひずみゲージ式のロードセルによる荷重、柱模型の表面に貼り付けたひずみゲージによる軸方向及び横方向のひずみである。図-1に試験体の形状寸法及びひずみゲージの貼り付け位置の例を示す。用いたアラミドテープ1層の引張強度は 29000 kgf/cm^2 、ヤング係数は 11100 kgf/mm^2 、厚さは 0.306 mm である。アラミドテープの巻き付けは、まずコンクリート表面をケレン仕上げし、プライマーを塗布し、テープを巻き付けた後にエポキシ樹脂を含浸硬化させて成形している。なお、実験に用いたコンクリートは設計基準強度が 240 kgf/cm^2 であり、実験時の材令における平均圧縮強度は 266 kgf/cm^2 である。計測データは

データレコーダで動的に記録し、それを A/D 変換して求めた。なお、本実験ではロードセルを取り付けた鋼板に鉄筋を溶接し、その変位を変位計で測定したが、鋼板自体が圧縮力の载荷によって変形したため、変位の計測結果は一部補正して示している。

3. 実験結果

3.1 応力-変位関係

図-2 に A シリーズ($\phi 300, H=900 \text{ mm}$)の応力-変位関係を示す。無補強の場合には、最大変位が 2 mm 弱で最大応力を示し、応力はピーク後急激に低下していることが分かる。ただし、最大応力時の変位をひずみに換算すると 2000μ 以下であり、基準等で採用されている 3500μ に比べてかなり小さくなっている。一方、アラミドテープで補強した場合は、無補強に比べて最大応力が大きくなり、体積割合が同一の2層巻と全面巻の最大応力はほぼ等しい。また、この場合の応力は無補強に比べて約1.4倍となっている。

アラミドで補強した場合は無補強と大きく異なり、最大応力近傍で変位が大きく増加する領域が見られることである。この領域の長さは全面巻の場合が最も長く、下降域に入る段階での変位を各々で比較すると、1層巻は 4.5 mm 、2層巻は 6.1 mm 、全面巻は 7.5 mm 程度を示し、無補強に比べて大幅に圧縮じん性が改善されていることが分かる。なお、本実験では応力下降域のデータを動的に処理したが、サンプリング間隔が全供試体で異なっているため、比較

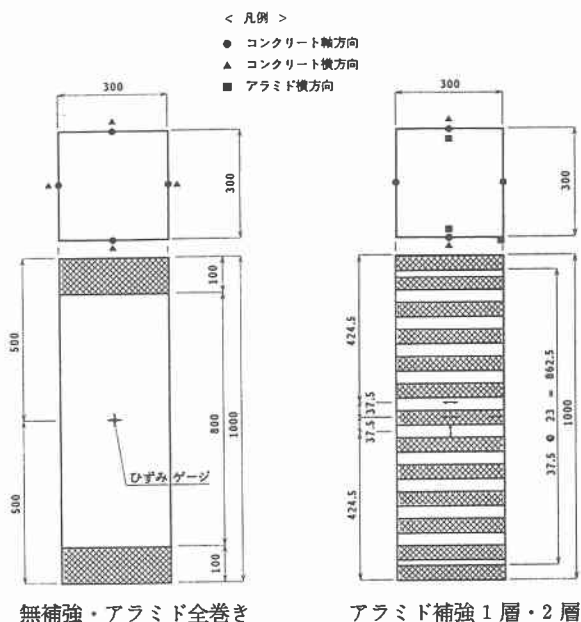


図-1 試験体の形状寸法等

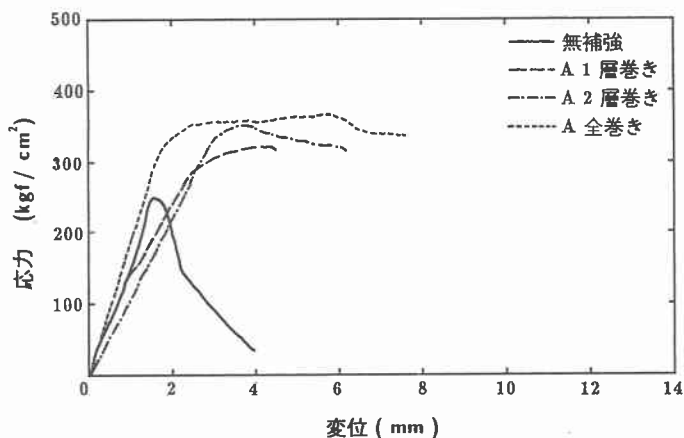


図-2 応力-変位関係 (A シリーズ)

検討することが不可能としてデータは示していない。

図-3にCシリーズ(角柱, 1:1)の応力-変位関係を示す。なお, 本図においては無補強及び1層巻において計測上の問題から変位のドリフトが見られたのでこの2体についてはドリフトの分を補正している。無補強の最大応力時の変位は約4.0mmでありひずみに換算すると約4000 μ である。一方, アラミドテープで補強した場合には, 1層巻の最大応力時の変位は約5.6mm, 2層巻は6.5mm, 全面巻は5.0mm程度である。明らかに無補強の場合に比べて最大応力時の変位は大きくなっているが, 全面巻では1層, 2層巻よりも小さくなっている。一方, 最大応力はアラミドテープの補強割合に影響されずば一定で無補強の場合の1.2倍程度である。また本図からも, アラミドテープで補強した試験体では最大応力後の応力低下が無補強ほど顕著でなく, 応力が比較的一定で変位が増加する安定した領域が出現することが分かる。

3.2 応力-軸方向ひずみ関係

図-4にAシリーズの試験体(ϕ 300, H = 900)の応力と試験体中央の軸方向のひずみの関係を示した。無補強の最大ひずみは約3500 μ であり, 1層巻きでは4300 μ , 2層巻きで6400 μ , 全面巻で8300 μ 程度であり, この値は応力が顕著に減少し始める段階での変位をひずみに換算した値に近い。

すなわち, 円柱の場合は最大の圧縮ひずみを無補強に比べて1層巻きで1.2倍, 2層巻きで1.8倍, 全面巻きでは2.4倍程度に向上させることができる。

図-5にCシリーズの試験体(角柱, 1:1)の応力と軸方向ひずみの関係を示す。無補強の場合にはひずみゲージが異常であったため計測結果は示していない。アラミド1層, 2層巻きでは初期の勾配

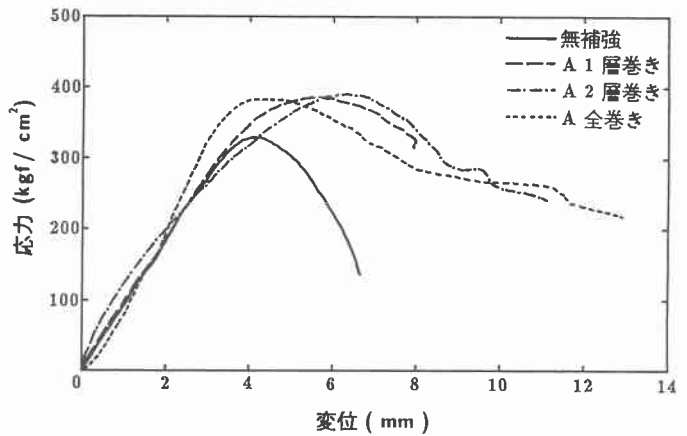


図-3 応力-変位関係 (Cシリーズ)

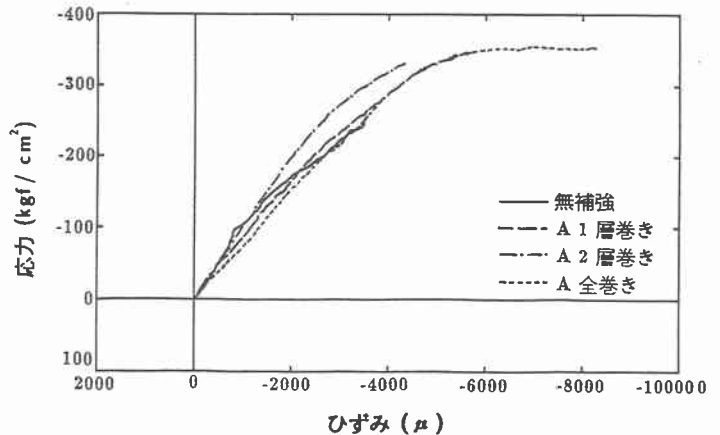


図-4 応力と軸方向ひずみの関係 (Aシリーズ)

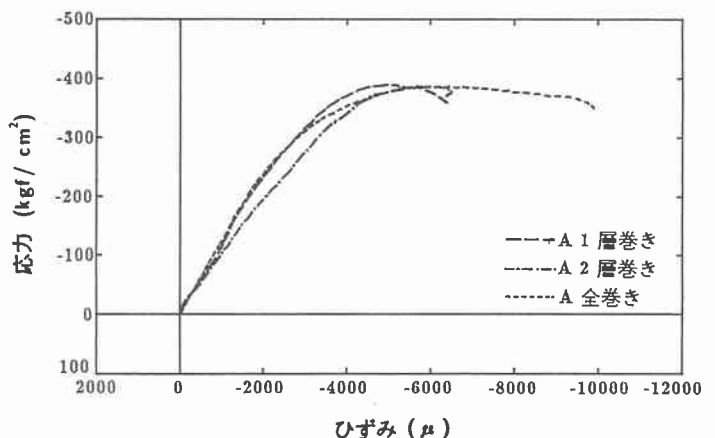


図-5 応力と軸方向ひずみの関係 (Cシリーズ)

が若干異なるものの最大応力時のひずみは1層巻きで5000 μ 程度、2層巻きでは6000 μ 程度である。

一方、全面巻きの最大応力時のひずみは6000 μ 程度であるが最終のひずみは10000 μ 程度を示している。また、ひずみが増加する領域での応力の低下は極めて少ない。このようにアラミド補強は角柱の試験体であっても終局のひずみを大幅に向上させる効果がある。

図-6にBシリーズ(ϕ 300, H=600mm)における応力と軸方向ひずみの関係を示す。無補強では最大応力が300 kgf/cm^2 程度、最大ひずみが2300 μ 程度までしか計測されていない。図-4と比較すると、H=600mmの場合は、無補強、アラミド補強ともに応力-軸方向ひずみの関係が極めて直線的であることが分かる。これは試験体の高さが円柱の直径の2倍と小さいことに関連するものと思われる。すなわち、試験体の高さが直径の2倍と小さく、載荷面での拘束の影響が試験体自身のひびわれや破壊性状に大きな影響を与え、破壊が極めて急激に生じやすいためと考えられる。

一方、アラミドで補強した試験体の応力-軸方向ひずみの関係も同様に直線的である。ただし、無補強に比べて最大応力は20%程度、最大ひずみは2倍以上大きくなっている。以上から、高さの低い円柱の場合にもアラミド補強による横拘束効果は期待できると考えられる。しかし、図-4, 6で応力-軸方向ひずみ関係が異なることから、断面の寸法に対して適切な試験体の高さを設定する必要があると考えられる。

図-7にDシリーズの試験体(角柱, 1:2)の軸方向応力とひずみの関係を示す。無補強では最大ひずみが2500 μ 程度であり、アラミド補強では巻き方に関わらず4100~4300 μ 程度を示している。すなわち、無補強に比べて1.6~1.7倍程度のひずみ増加を示している。一方、応力は初期勾配が異なるため若干ばらつきが大きく、320~400 kgf/cm^2 程度の範囲を示している。無補強に比べ2層巻きでは最大応力が8%ほど大きい、1層及び全面巻きでは無補強よりも小さくなっている。これは、試験体製作上の誤差によるものと思われ、また、1:2の角柱の最大応力の増加に対してはアラミド補強の効果はさして期待できず、拘束効果としては、主として最大応力時のひずみを無補強に比べて1.6~1.7倍程度に大きくすることが期待できる。なお、図-5の角柱1:1の試験体に比べて最大ひずみはいずれも小さく、拘束効果は1:1の方が1:2よりも大きいことが分かる。

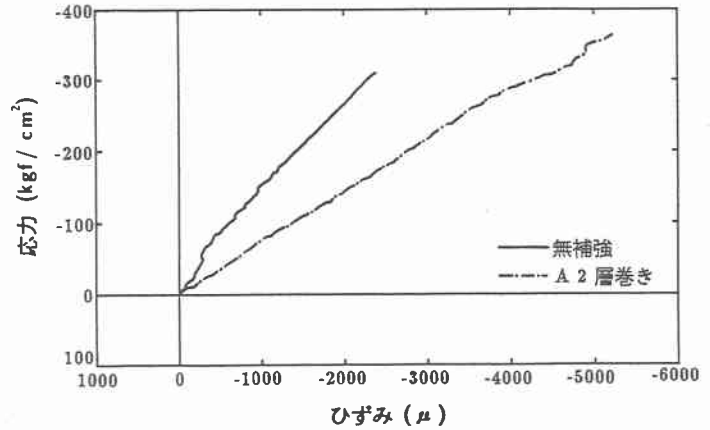


図-6 応力と軸方向ひずみの関係 (Bシリーズ)

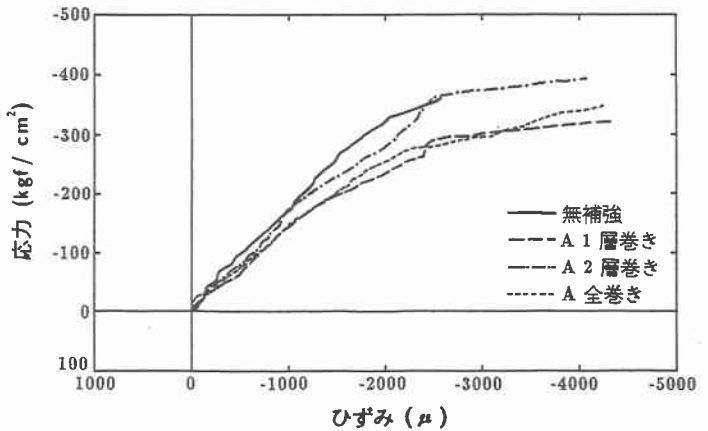


図-7 応力と軸方向ひずみの関係 (Dシリーズ)

3.3 応力-アラミドテープひずみの関係

図-8にC-3(角柱1:1, 37.5 mm @ 75 mm × 1層)における軸方向応力とアラミドテープのひずみの関係を示す。テープのひずみとして柱の中央高さの断面中心位置とコーナー部近傍を比較した。この図より、アラミドテープ1層の場合には、断面中心とコーナー部近傍ではほぼ同様なひずみレベルまでアラミドテープが引張力を負担していることが分かる。

図-9にC-3における応力とコンクリートの横方向ひずみの関係を示す。2測点ともに最大ひずみは15000 μ 程度を示し、アラミドテープのひずみと同程度であることが分かる。すなわち、テープを巻き付けた部分と巻いていない部分のコンクリートの横ひずみは同程度であり、軸方向にほぼ同様な横ひずみが生じている。

図-10にC-2(角柱, 1:1, 37.5 mm @ 75 mm × 2層)における軸方向応力とアラミドテープのひずみの関係を示した。この図より、テープ2層の場合には、断面中心のテープのひずみレベルはテープ1層の場合の約半分であることが分かる。すなわち、テープ1層と2層で最大応力が同程度であることから、テープは1層、2層でほぼ同等の引張力を負担しているものと考えられる。

一方、コーナー部においては、断面中心の1/3程度のひずみしか出現していない。この原因は特定できないが、テープ1層と2層でテープとコンクリートとの付着強度に差が生じたことが考えられる。

4. まとめ

簡便で効率的な橋脚の補強工法を提案するための一連の研究として、アラミドテープの拘束効果を確認するため比較的大型の試験体を用いて軸圧縮力載荷試験を行った。試験体は円柱、角柱とし、円

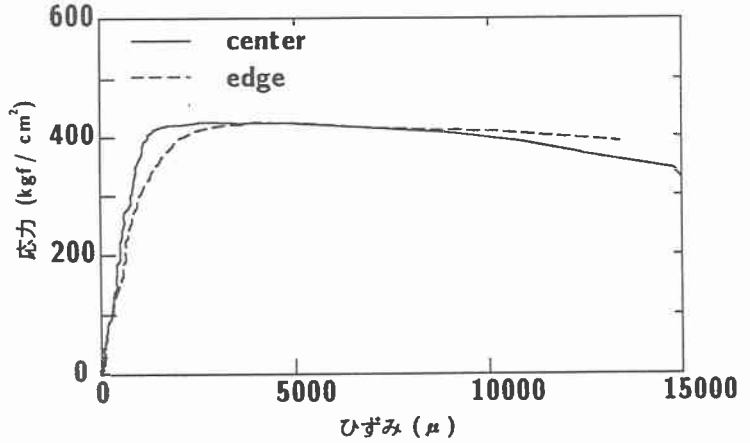


図-8 応力とアラミドテープのひずみの関係 (C-3)

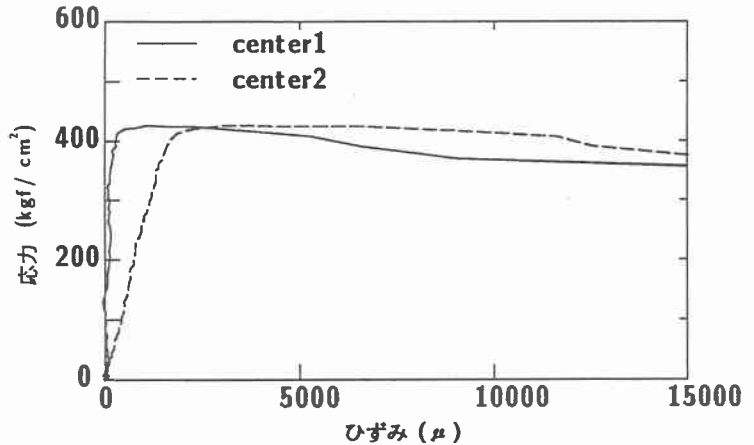


図-9 応力とコンクリートの横方向ひずみの関係 (C-3)

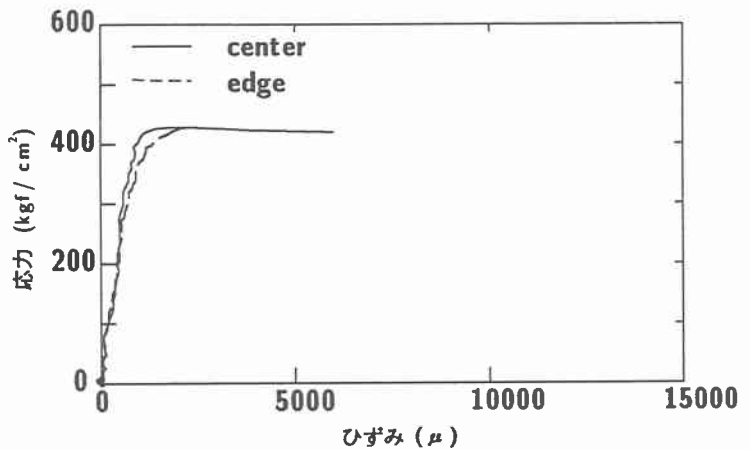


図-10 応力とアラミドテープのひずみの関係 (C-2)

柱では試験体の高さの影響、角柱では断面寸法比に着目して、アラミドテープの巻き付け方法を最大3種類として実験を行った。本研究の範囲内で得られた結論を要約すると、

- (1) $H = 900$ mm の円柱試験体の結果から、アラミドテープの巻き付けによる最大応力の増加は補強の体積割合が 0.44 % で 1.4 倍程度であった。
- (2) アラミドで補強した上記の試験体には、最大応力近傍で変位が大きく増加する領域が生じ、応力が下降する段階での変位量は無補強に比べて 2～3 倍程度以上と大きく、圧縮じん性を大幅に改善している。
- (3) 1:1 の角柱をアラミド補強した際の応力の増加は最大でも 1.2 倍程度であり、最大応力の増加割合は、円柱試験体に比べて小さい。一方、最大応力時の変位は無補強に比べて最大で 1.5 倍程度であり、最大応力時の変位の増加割合も円柱試験体に比べて小さくなっている。
- (4) $H = 900$ mm の円柱試験体の軸ひずみは無補強で $3,500 \mu$ 程度がアラミドで補強した試験体では最大で $8,000 \mu$ 以上となり、2 倍以上に大きくなっている。一方、 $H = 600$ mm では、無補強、アラミド補強ともに $H = 900$ mm に比べて最大ひずみが小さくなっている。また、応力と軸ひずみの関係は直線的であり、 $H = 900$ mm の様にアラミド補強しても応力の明瞭なピークが出現していない。このように、拘束の効果は円柱試験体では高さの影響を受けやすいと考えられる。
- (5) 角柱へのアラミド補強は最大応力を増加させる観点では余り大きな効果がないが、最大応力時のひずみは 1:1 の場合で $10,000 \mu$ 程度、1:2 の場合では無補強で $2,500 \mu$ を $4,300 \mu$ 程度に向上させる。このように、1:2 の方が 1:1 に比べて拘束効果が小さい。
- (6) 断面中心のアラミドテープに発生するひずみは、2 層の場合は 1 層の約半分である。断面中心とコーナー部のひずみの大小関係は 1 層と 2 層で異なり、テープとコンクリートとの付着強度に 1 層と 2 層で差があることが考えられた。

本研究では、試験装置、変位の計測方法などに改善、改良の余地が考えられた。今後、変位あるいは荷重制御の基、文献 1) と同様に変位の計測結果を基にした応力-ひずみ関係を求め、最大応力以降の下降領域、あるいは応力一定領域での応力-ひずみ関係をより精度良く求める予定である。

本研究を行うに当たり(株)日本製鋼所室蘭製作所、ショーボンド建設(株)にご支援を頂きました。また、論文の作成に当たり室蘭工業大学建設システム工学科の松岡健一教授、岸徳光助教授はじめ構造力学研究室の皆様にご支援を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川島一彦, 星隅順一, 長屋和宏: 帯鉄筋による拘束を取り入れたコンクリートの応力-ひずみ関係式の提案, 土木技術資料, 36-3, PP 46-51, 1994.