

## V-33 アラミドテープを巻き付けた RC 橋脚模型の水平交番加力実験

三井建設(株) 正員 篠崎裕生  
 開発土木研究所 正員 佐藤昌志  
 三井建設(株) 正員 三上 浩  
 室蘭工業大学 正員 松岡健一

### 1. はじめに

近年、各種の高分子材料で造られた連続繊維がコンクリート等の補強材として用いられるようになっており、これに関する研究も多く行われている。高分子材料は、軽量、高強度で耐食性に優れていることから厳しい環境条件下での施工も可能であり、今後の発展が期待される材料である。著者らも、主としてアラミド繊維製の連続繊維補強材 (AFRP ロッド) を鉄筋および PC 鋼材の代替として用いた RC 梁や PC 梁の静的動的力学特性を明らかにしてきた。<sup>1)~3)</sup> 一方連続繊維は、軽量で加工し易く、施工性も良いことから布状に織られた連続繊維は既設構造部材の補強材としての用途にも注目されるようになってきている。特に、平成 7 年 1 月の阪神大震災における RC 橋脚のようなせん断破壊型のぜい性破壊の補強法として繊維巻き付け工法が注目されている。本研究は連続繊維のなかでも、靱性があり柔軟性や強度に優れたアラミド繊維を対象として RC 橋脚のせん断補強材としての適用性を、RC 橋脚模型を用いた水平交番加力実験により検討したものである。実験では、実物橋脚の 1/3 ~ 1/5 模型を用い、これにアラミド繊維テープ巻き付けによる補強を施し、水平交番載荷を行い変形挙動を観測した。また比較の意味で炭素繊維補強模型に対して同様の実験を行っている。実験のパラメーターは軸方向鉄筋の段落しの有無、テープ巻き付け補強材料等である。実験項目は、水平荷重及び水平変位であり、荷重-変形関係を中心に検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体

本実験に用いた試験体は、断面寸法 40 cm × 40 cm 柱部の高さが 150 cm の RC 橋脚模型である。試験体の寸法、配筋等を図-1 に示す。試験体の軸方向の鉄筋は D13 を用い、鉄筋比は柱下部で約 2%、スターラップは D10 を 20 cm 間隔で配筋している。また軸方向鉄筋は抵抗曲げモーメントを考慮して、基部から 1/2 又は 1/3 以上の範囲で鉄筋量を半分に減少させる段落しを行なっている。試験体の一覧を表-1 に示す。表中の各試験体の記号は先頭文字 N、A、C で無補強、アラミド補強、炭素補強を示し、- 以下の数字は段落しの状態を示している。アラミド繊維テープ及び炭素繊維テープによる補強は、幅 37.5 mm のテープを中心間隔 75.0 mm で

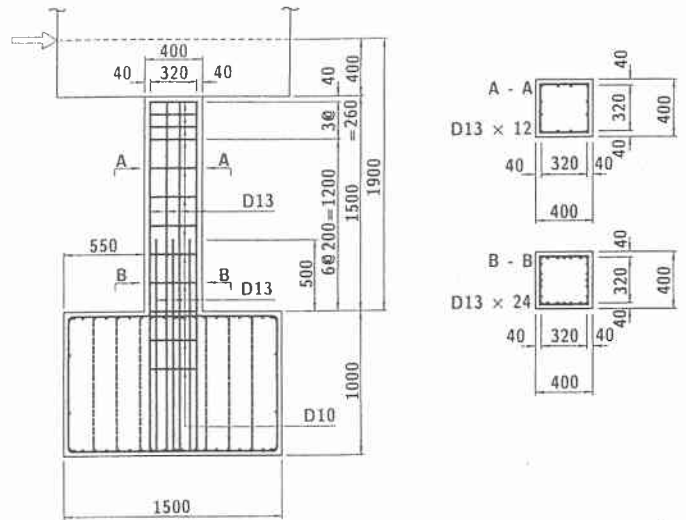


図-1 試験体寸法及び配筋図

(mm)

9 段巻き付けている。ただし、アラミド繊維テープは 2 層巻き、炭素繊維テープは 4 層巻きとして試験体を製作している。試験体に用いたアラミド繊維と炭素繊維の特性を表-2 に示す。またテープ巻き付け補強状況を図-2 に示す。

Cyclic Lateral Load of Test of RC-Pier Model Winded by Aramid Tapes  
 by Hiroo SHINOZAKI, Masashi SATOU, Hiroshi MIKAMI and Kenichi MATSUOKA

表-1 試験体一覧

実験ケース	補強種類	段落とし
N-0	無補強	無し
N-1/2		1/2
N-1/3		1/3
A-1/3	アラミド繊維	1/3
C-1/3	炭素繊維	1/3

表-2 材料特性

補強材 (37.5 mm 幅)	弾性係数 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	巻き付 け層数	E×A (tf)	引張耐力 (tf)
炭素テープ	23,500	50,000	0.165	4層	581.6	12.4
アラミドテープ	11,100	29,000	0.306	2層	254.7	6.7

なお本試験体に用いたコンクリートの圧縮強度は設計基準強度が 240 kgf/cm<sup>2</sup>であり、実験時の材令における圧縮強度は約 260 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

### 2.2 実験方法

実験は北海道開発局 開発土木研究所の水平荷重装置を用い、水平荷重載荷用の圧縮、引張り両用油圧ジャッキにより載荷する方法で行った。試験体上には上部工からの重量を模擬した総重量 20 tf の重りを載せ、これに水平荷重を与えている。載荷荷重は、荷重計により検出し載荷側に対して反対側に取り付けた変位計により水平変位を検出している。なお、柱基部にも変位計を取り付け、柱の固定状況を検討しているが、完全固定状態に近いことを確認している。載荷は、交番載荷であるが、ここでは初めに引張力を与えているので便宜的にこれを正載荷とし、圧縮力を与える場合を負載荷とする。また載荷の初期の段階、すなわち最初に軸方向鉄筋が降伏するまでは、段階的に載荷している。具体的には、初め正載荷によって、引張側鉄筋ひずみが 500 μ になるまで載荷する。次に負載荷によって、反対側の引張鉄筋が 500 μ になるまで載荷する。さらにこれを鉄筋ひずみ 1,000 μ、1,300 μ、1,500 μ とくり返す。鉄筋ひずみが 1,500 μ で引張鉄筋は降伏したものとみなし、この応力レベルで正負載荷を 5 回くり返す。この時の平均変位を δy とする。このような操作を行ったのは、正負の変形条件をできるだけ均等にするように配慮したためである。その後、δy、2δy、3δy … の各変位段階毎に交番載荷を行っているが、くり返し回数は各段階毎に 5 回としている。これを耐力が急激に減少することが確かめられるまで行っている。

### 3 実験結果及び考察

各試験体の荷重-変位関係を図-3~7 に示した。図は縦軸に荷重計で検出された水平力を、横軸に変位計で検出された水平変位を示している。この荷重-変位関係について各試験体毎に結果を示し、考察する。

#### a) N-0 (段落しのない無補強試験体)

図-3 に結果を示す。鉄筋降伏時の水平荷重 (Py) は平均約 7.5 tf、水平変位 (δ) は約 24.2 mm である。その後の繰返し載荷では、2δy で僅かに耐力の増加がみられ、約 9.8 tf となっている。3δy、4δy と僅かだけ耐力が低下し、4δy 3 回目正載荷で耐力を失っている。最大水平変位は約 96.8 mm である。

#### b) N-1/2 (基部から 1/2 で段落し、無補強試験体)

図-4 に示すように、この場合 δy は約 17.0 mm であ

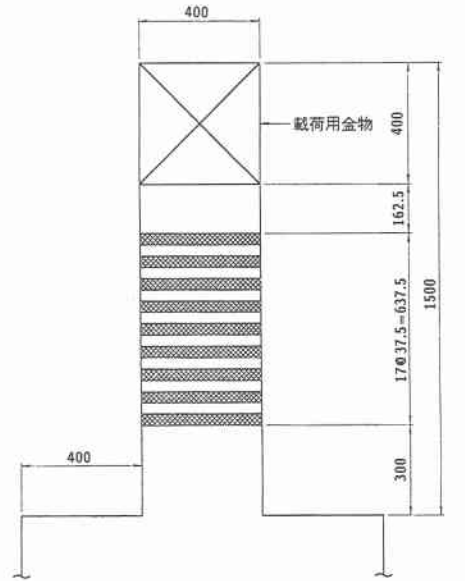


図-2 補強状況図

(mm)

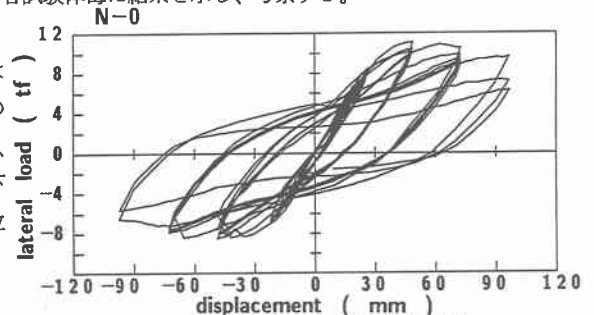


図-3 N-0 試験体の荷重-変位曲線

り、 $P_y$  は約 7.5 tf である。その後の繰返し載荷では、やはり  $2\delta_y$  で僅かに耐力が増加し約 9.5 tf を示している。 $3\delta_y$ 、 $4\delta_y$  と僅かな耐力低下を示しながら、 $4\delta_y$  3 回目負載荷で耐力を失っている。この時の最大水平変位は約 85.0 mm である。

c) N-1/3 (基部から 1/3 で段落し、無補強試験体)

この時の結果を図-5 に示す。 $\delta_y$  は約 21.9 mm であり、 $P_y$  は約 7.0 tf である。その後  $2\delta_y$  で最大耐力約 8.1 tf を示し、 $3\delta_y$  4 回目正載荷により耐力を失っている。この時の最大変位は約 65.7 mm である。

d) A-1/3 (基部から 1/3 で段落し、アラミド繊維補強試験体)

この試験体の降伏荷重および水平変位はそれぞれ  $P_y =$  約 7.6 tf、 $\delta_y =$  約 13.6 mm であった。図-6 に示すようにこの場合も繰返し載荷によって僅かに耐力が増加し  $2\delta_y$  で約 8.3 tf となっている。その後  $5\delta_y$  4 回目正載荷で耐力を失っている。この時の最大変位は約 90.0 mm である。なお、終局でもアラミドテープには損傷は生じていない。

e) C-1/3 (基部から 1/3 で段落し、炭素繊維補強試験体)

図-7 に示すように傾向は A-1/3 と同様であり、 $P_y =$  約 7.3 tf、 $\delta_y =$  約 7.4 mm である。 $2\delta_y$  で最大耐力を示し約 8.5 tf となっている。その後  $5\delta_y$  5 回目負載荷で耐力を失っている。最大水平変位は約 90.0 mm である。なお、段落し近くの炭素繊維テープには亀裂が生じていた。

以上の結果をまとめたものを表-2 に示す。耐力は載荷の正負により値が異なる。上で述べた  $P_y$ 、 $P_u$  (最大耐力) はいずれも正負の平均である。載荷にあたっては正負で条件が異なるように配慮しているが、RC 部材はひび割れの問題があり、同一条件にはならずいずれも正載荷で大きな値となっている。

f) 段落しの影響

無補強試験体 N-0、N-1/2、N-1/3 について段落しの影響を考察する。段落しのない試験体と 1/2 段落し試験体では、1/2 段落しのほうが僅かに最大耐力、最大変位が減少しており、エネルギー吸収も少ないことが分かる。しかし、1/2 段落しでも十分な靱性を有している。一方、1/3 段落し試験体は最大耐力が段落しのないものに比べ約 20% 減少し、水平変位もかなり減少し、段落しなしに比べ約 2/3 である。従って、エネルギー吸収も小さく靱性が著しく低下していることが分かる。このことから段落しをする場合、段落しの位置には十分注意する必要があることが分かる。

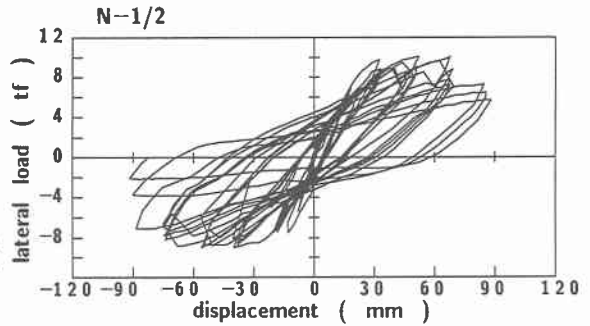


図-4 N-1/2 試験体の荷重-変位曲線

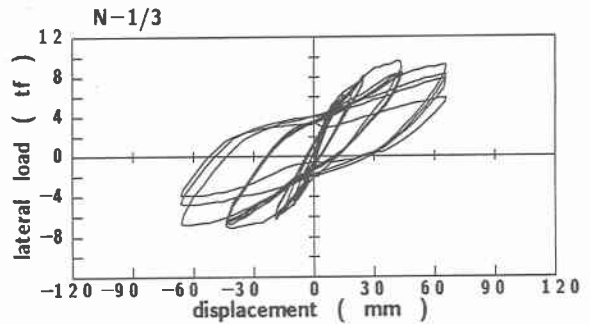


図-5 N-1/3 試験体の荷重-変位曲線

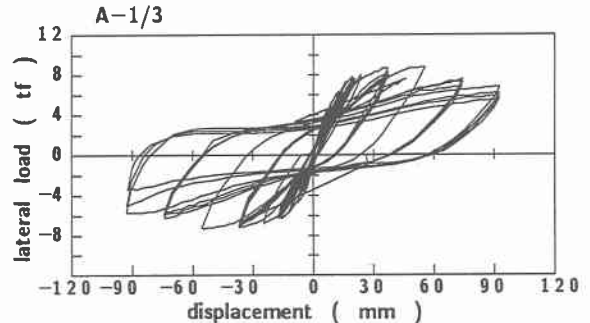


図-6 A-1/3 試験体の荷重-変位曲線

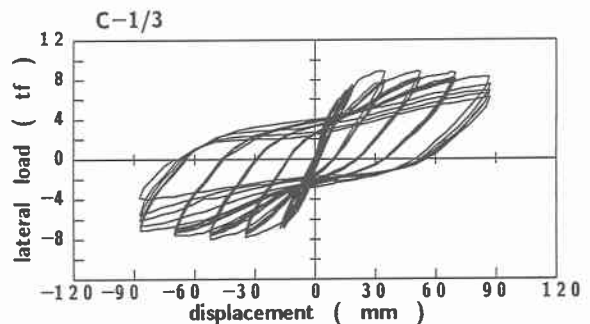


図-7 C-1/3 試験体の荷重-変位曲線

#### g) テープ巻き付け補強の効果

N-1/3、A-1/3、C-1/3 試験体と比較すると、降伏荷重  $P_y$  は N-1/3 が約 7.0 tf であり A-1/3、C-1/3 はそれぞれ約 7.6 tf、約 7.3 tf である。また最大耐力  $P_u$  は N-1/3 が約 8.1 tf であり、A-1/3、C-1/3 はそれぞれ約 8.0 tf、約 8.5 tf である。補強試験体は無補強に比べいづれも降伏荷重及び最大耐力はそれ程増加しない。これに

対して変位で比較すると、降伏時の水平変位  $\delta_y$  は N-1/3 が約 21.9 mm、A-1/3、C-1/3 はそれぞれ約 18.5 mm、及び 17.4 mm であり、補強試験体は無補強試験体より約 15 ~ 20 % 減少し、補強によって見かけの剛性が大きくなっているようである。また、最大変位は N-1/3 が約 65.7 mm であるのに対し A-1/3、C-1/3 とともに約 90 mm と約 40 % 増加している。これらのことから RC 橋脚模型へのテープ巻き付けによって、耐力の増加は見込めないものの変形性能が大きくなることにより、エネルギー吸収も増大し、靱性率を大きく改善していることが分かる。また、A-1/3 と C-1/3 を比較すると最大変位はほぼ同じであり、降伏荷重は A-1/3 の方が若干大きく、繰返し載荷回数、最大耐力は C-1/3 の方が若干大きい。しかし、炭素テープが 4 層で、アラミドテープが 2 層であり、その時の全テープの剛性や引張耐力を考慮すると、アラミドテープは炭素テープよりも補強効率が高いものと考えられる。

#### 4. まとめ

RC 橋脚のせん断耐力向上工法として、アラミド繊維テープ巻き付け工法を提案し、RC 橋脚模型を用いた水平交番加力実験によって、その有効性を検討した。実験に用いた試験体は数が少なく、本試験から一般的な結論を見いだすことは難しいが、本実験で得られた知見は以下のようである。

- (1) 軸方向鉄筋のいわゆる段落としては、その位置を十分に検討する必要がある。
- (2) 段落としを行った橋脚に対して、高分子材料で作られたテープによる巻き付け補強を行うことは、橋脚の変形性能を増大させ靱性の向上に効果が大きい。特に補強効率はアラミド繊維が炭素繊維よりも高い。

今後、さらにパラメータを変えた実験を行いアラミド繊維巻き付け工法の効果を検討する予定である。

なお、本研究の遂行に当たり、室蘭工業大学大学院建設システム工学科専攻の、大山高輝君、亀石暁君をはじめ構造力学研究室の諸君の多大なる御協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 三上浩、田村富雄、岸徳光、松岡健一：組紐状 AFRP ロッドで補強した RC 梁の耐衝撃挙動、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.2、pp.923 ~ 928、1993
- 2) 中島規道、三上浩、岸徳光、松岡健一：PC 桁の衝撃変形挙動におよぼす緊張材の特性と配置位置の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、NO.2、pp.1111 ~ 1116、1994
- 3) 松岡健一、三上浩、岸徳光：低補強筋比 RC 梁の耐衝撃性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.2、pp.929 ~ 934、1995

表—3 実験結果

実験ケース	変位 (mm)		耐力 (tf)					
	$\delta_y$	$\delta_u$	$P_y$			$P_u$		
			正	負	平均	正	負	平均
N-0	24.2	96.8	8.2	6.8	7.5	11.0	8.5	9.8
N-1/2	17.0	85.0	7.0	7.0	7.0	10.0	9.0	9.5
N-1/3	21.9	65.7	8.0	6.0	7.0	9.2	7.0	8.1
A-1/3	18.5	90.0	8.9	6.2	7.6	8.8	7.2	8.0
C-1/3	17.4	90.0	7.5	7.0	7.3	9.0	8.0	8.5