

AFRPシートで不完全閉合補強したRC梁のせん断耐力

Shear Capacity of RC beams partially wound with AFRP Sheets

(独)開発土木研究所	正員	池田 憲二 (Kenji Ikeda)
(独)開発土木研究所	正員	今野 久志 (Hisashi Konno)
室蘭工業大学	正員	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
三井建設(株)技術研究所	正員	三上 浩 (Hirishi Mikami)
(株)KGE	○ 正員	巽 治 (Osamu Tatsumi)

1. はじめに

橋脚などの既設RC構造物補強において、アラミド繊維や炭素繊維などの軽量かつ高強度の新素材連続繊維シート貼付けによる補強は、構造物断面の拡大や重量の増加をほとんど伴わないため、有用な補強工法と考えられている。

新素材連続繊維シート補強工法は、床版下面の疲労損傷補強や橋脚の耐震補強などに多くの実績を持つ。補強対象の中で、せん断耐力補強は部材軸直角方向にシートを巻き付けて閉合することを基本としており、形状面から、シートを併合巻付けできないT桁、床版一体梁などでは、シート端部の定着仕様（定着の形態）などによって、所定の耐力補強効果の得られないことが報告されている。

今回、シートの貼付け形態、およびシート端部の定着仕様の差によるせん断耐力向上効果（補強効率）の違いを把握するため、アラミド連続繊維シート（以下、AFRPシート）を用いたシート補強RC梁のせん断破壊試験を実施し、その一部を報告する。

なお、AFRPには二方向アラミド連続繊維シート；AKM-10/10（アラミド1）を用いた。AFRPシートの設計上の諸数値は「アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法 設計・施工要領（案）」（H10年1月：アラミド補強研究会）によった。

2. 実験概要

実験梁の形状は、不完全閉合補強の基本的なせん断耐力特性の把握を目的とした矩形断面梁、およびT桁・床版一体梁などの断面を模擬したT形断面梁の2種類のRC梁とした。荷重は2点荷重とし、せん断破壊領域はスターラップを排し、上下の主鉄筋のみを配置した。図-1に梁寸法図を示す。

補強形態・仕様の違いによるせん断耐力の補強効率を把握するため、①AFRPシートの貼付け形状、②シートの補強量、③シート端部の定着仕様の3つを要素として変化した。

無補強試験体のせん断耐力を基本に、補強後のせん断耐力増加に着目して、それぞれのせん断耐力補強効率を求めた。なお、T形梁の1体（定着金物2方向固定）は繰返し載荷実験を行った。

2.1 試験体の要素概要

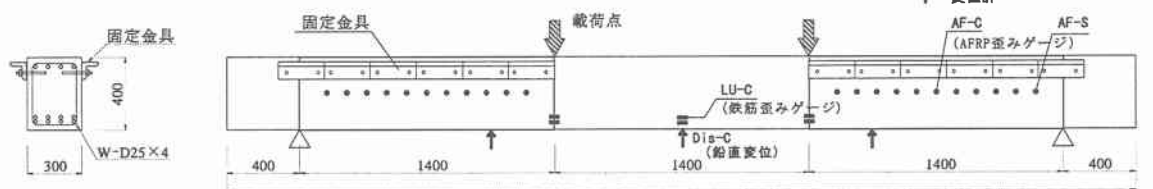
① AFRPシート貼付け形状

本実験では、T梁等を念頭に下面および側面の3面を1枚のAFRPシートでコ字形に連続的に貼り付け、上部を不閉合とした。また、矩形1体は下部も不閉合とし、左右別のシートを梁下面へ廻し込み接着とした。下面の接着長は主鉄筋被りの2倍とした。

② シート補強量

補強量の違いによる補強効率の変化を把握するため、

矩形断面梁 (No. 3 ; シート1層+金具固定タイプ)



T形断面梁 (No. 7 ; 側面金具固定タイプ)

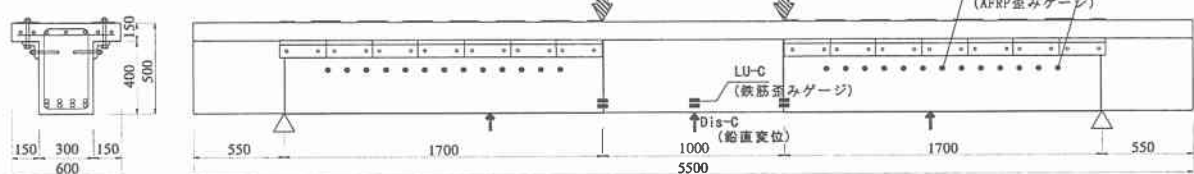


図-1 試験梁標準図

AFRPシート（AKM-10/10）の層数を標準の1層と、増強タイプの2層とした。

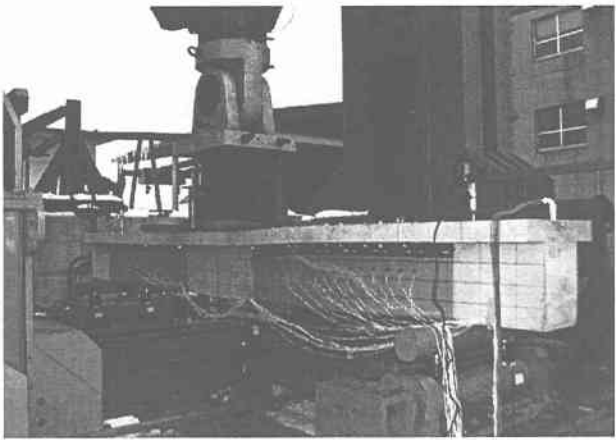
③ 端部定着仕様

上端不閉合部の定着方法を変化させた。定着金物をシート上端に接着し、アンカーボルトによってRC梁に固定して定着とした。金物で定着をした場合としない場合の耐力向上効率を把握する。また、T形断面梁では、定着金物の固定を側部にのみ場合と、側部+床版部に固定した場合の2ケースとした。

RC梁の仕様・実験ケースを表－1に、試験梁の断面を図－2に、また載荷実験の状況を写真－1に示す。

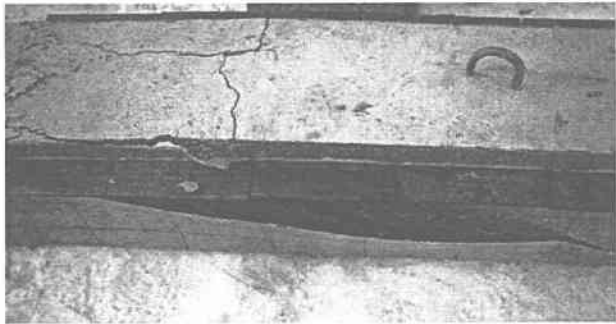
表－1 試験体ケース・仕様一覧

◆ 矩形断面梁：300(B)×400(h)×5000(L)					
設計曲げ耐力：694 kN					
設計せん断耐力：260 kN					
試験体番号	AFRPシート (AKM-10/10)	上端部金物定着	下部閉合	載荷方法	備考
No. 1	—	—	—	単調	無補強基準試験体
No. 2	1	—	○	— // —	AFRPシート接着のみ
No. 3	1	○	○	— // —	シート上端金物固定
No. 4	2	○	○	— // —	シート上端金物固定
No. 5	1	○	—	— // —	下部不完全閉合、2 d 接着
◆ T形断面梁：300(B)×500(h)×5500(L) 張出部150(b)×100(h)					
設計曲げ耐力：758 kN					
設計せん断耐力：347 kN					
試験体番号	AFRPシート (AKM-10/10)	上端部金物定着	下部閉合	載荷方法	備考
No. 6	—	—	—	単調	無補強基準試験体
No. 7	1	側部	○	— // —	シート上端側面固定
No. 8	1	側部+上部	○	— // —	シート上端2方向固定
No. 9	1	側部+上部	○	繰返し載荷	No. 8に同じ、繰返し載荷



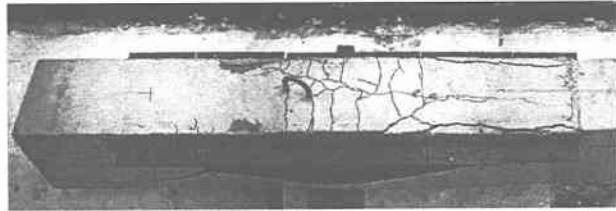
写真－1 載荷実験状況 (No. 8 試験体)

- ① No. 1 無補強梁は最大荷重349 kNでせん断破壊した。破壊は載荷点近くで発生しており、約45°の角度で下方にせん断破壊し、下部鉄筋の上面に沿って水平に破壊が進展している。
- ② No. 2 試験体の増加耐力は59 kNで、矩形補強梁4試験体の中で最も小さい。AFRPシートは支承部付近で部分的にな破断が見られるが、他は上端から側面部が全体的に剥がれている。
- ③ No. 3 試験体の増加耐力は119 kNであった。AFRPシートは、載荷点付近では定着金物の下部でほぼ水平に破断し、中央付近から、支承に向けて30度程度の角度で斜めに裂けた。梁腹部コンクリートに3条のせん断破壊面が確認された。

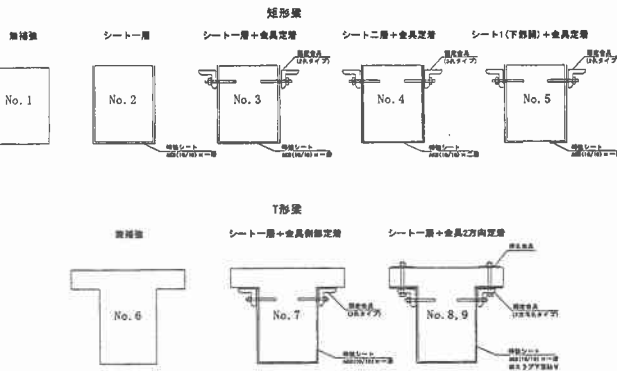


写真－2 No. 3 試験体

- ④ No. 4 試験体の増加耐力は199 kNと最も大きかった。AFRPシートは定着金物の下部で水平に全体にわたって破断した。梁上面と腹部のコンクリート破壊は相当進



写真－3 No. 4 試験体



図－2 AFRPシート補強断面図

3. 実験の結果および補強効率

3.1 矩形断面梁の実験結果

矩形断面梁の無補強せん断耐力は349 kNで、設計せん断耐力260 kNに対し35%程度高い値であった。

補強後の増加耐力は、シート端部をの不閉合部分を定着金物で十分拘束した場合110 kN程度、シートの接着のみの場合は約半分の59 kNであった。補強量については、2層に増加させた場合約200 kNの耐力増加で、1層時増加耐力の2倍よりも低い値であった。

んでいる。

- ⑤ No. 5 試験体の増加耐力は111 kNでNo. 3 試験体と同等である。AFRPシートは定着金物間で縦に破断し、金物下端から支承方向に破断した。下面コンクリートにシートの貼付け線に沿って梁軸方向のひび割れが認められた。

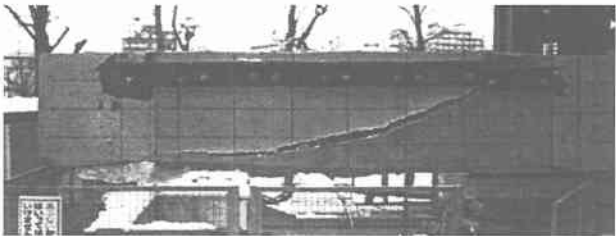


写真-4 No. 5 試験体 (AFRPシート破断状況)



写真-5 No. 5 試験体 (下面ひび割れ状況)

3.2 T形断面梁の実験結果

無補強せん断耐力は409 kNで、設計せん断耐力347 kNに対して18%程度高い値であった。

補強による増加耐力は固定法の異なる2試験体とも95 kNであり、金物の固定条件をより強固にしても同じであり、十分な固定であれば側面のみで良いことがわかった。

- ⑥ No. 6 無補強梁は最大荷重409 kNでせん断破壊した。梁の破壊位置は載荷点と支承のほぼ中間で、ひび割れ角度は約45度であった。
- ⑦ No. 7 試験体の増加耐力は95 kNであった。上部張出し部のコンクリートに載荷点から斜めにひび割れが入り、金物下部から支承に向かってAFRPシートが破断した。
- ⑧ No. 8 試験体の増加耐力はNo. 7 と同じ95 kNであった。シートの破断形状はNo. 7 と同様であるが、張出し部コンクリートにひび割れがみられず、金物固定の貫通ボルトが張出し部のせん断に対して拘束材として作用した可能性が考えられる。

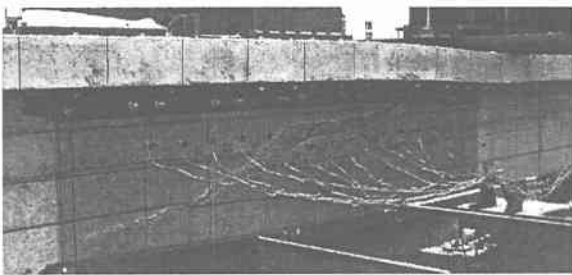


写真-6 No. 8 試験体

- ⑨ No. 9 試験体の増加耐力は81 kNであった。梁の破壊形態はNo. 8 と変わらず、増加耐力の低下は繰り返し載荷による影響と思われる。

3.3 せん断耐力補強効率

実験の結果、AFRPシートによる増加せん断耐力は設計値よりも低いものであった。設計計算値に対する実増加力の割合を補強効率として評価検討する。

AFRPシートの分担する設計増加せん断耐力 V_{af} は、コンクリート標準示方書に準じ(1式)により算定する。

$$V_{af} = K \cdot A_{af} \cdot f_{afu} \cdot (\sin \theta + \cos \theta) \cdot z / \gamma_b \quad \text{----- (1式)}$$

- k : AFRPシートの補正係数 ($k=0.6$)
 A_{af} : 単位幅当りのAFRPシートの断面積 (cm^2)
 f_{afu} : AFRPシートの設計用引張強度 (N/cm^2)
 z : $z = d/1.15$ (cm)
 θ : シートの補強角度 ($\theta = 0^\circ, 90^\circ$)
 γ_b : 1.0とする

矩形断面梁 $V_{af} = 140 \text{ kN}/1 \text{ 体}$

T形断面梁 $V_{af} = 182 \text{ kN}/1 \text{ 体}$

表-2 増加耐力および補強効率

	試験体番号	せん断荷重(kN)	増加耐力 (kN)		補強効率
			計測値	計算値	
矩形梁	No. 1※	349			
	No. 2	408	59	140	0.42
	No. 3	464	115	140	0.82
	No. 4	548	199	280	0.71
	No. 5	460	111	140	0.79
T形梁	No. 6※	409			
	No. 7	504	95	181	0.53
	No. 8	504	95	181	0.52
	No. 9	491	81	181	0.45

※) 印: 基準無補強梁

表-2から、矩形断面梁における補強効率は、AFRPシート (AKM-10/10) 1層で上部を定着金物固定した場合が最も高く、80%前後の数値が得られた。せん断耐力をあげるためにシートを2層とした場合、補強効率は若干低下し71%であった。また、金物固定を行わない場合、補強効率は42%と低かった。

この結果から、矩形断面梁においては、シート端部を定着金物で十分固定することにより70%程度の補強効率は得られることがわかる。また、No. 5から、補強面から直角に廻し込んで所定の定着長で接着固定すれば、金物定着とほぼ同程度の補強効率が得られることも確認できた。なお、No. 2から、補強面と同一面上で接着のみの定着では補強効果が低いことがわかった。

T形断面梁においては、シート端部を金物固定した場合の補強効率は50%程度で、矩形断面梁に比較して低い補強効果しか得られないことがわかった。

3.4 AFRPシートの応力（歪み）状況

歪みデータの代表値として、No. 3 梁実験時の載荷荷重—AFRPシート・鉄筋歪み、および梁中央変位グラフを図-3に示す。

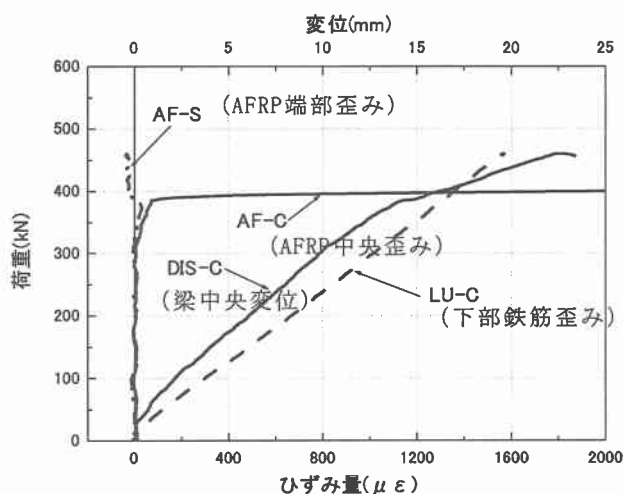


図-3 荷重—歪み・変位グラフ

梁変位(DIS-C)は荷重の増加にほぼ比例して増加しており、1度400 kN手前でたるみ傾向を示した後にまた増加して破壊に至っている。荷重の一時的たるみは、無補強コンクリートのせん断耐力が346 kNであることを考えると、たるみ現象時にコンクリートせん断破壊が始まり、梁剛性が低下したこのものと考えられる。

AFRPシートの多くの部分は荷重の増加によってもほとんど歪みが現れていない。AF-C点の歪みは荷重のたるみとほぼ同時に急激に増大しているが、端部のAF-S点では破壊に至っても歪みが確認できない。AF-C点の歪みの増大は、コンクリートのせん断破壊が始まり、シートとコンクリートが剥離し、力がコンクリートからシートに移行したためだと思われるが、ただ、この挙動はコンクリートのせん断破壊部付近に局部的にできるものと思われ、ほとんどの部分ではシートとコンクリートが健全に付着してほとんど応力が生じることなく、せん断破壊時のシート破断により応力が解放されている。

4. 考 察

矩形断面梁とT形断面梁の補強効率を比較すると、矩形断面梁70%、T形断面梁50%という値が得られた。また、矩形断面は補強効率のみならず補強耐力自体も高いという結果が出た。

試験体数が少なく確定的なことは言えないが、矩形断面梁の場合、せん断対象断面の全側面を補強しているのに対し、T形断面梁では、スラブに相当する張出部が補強されていない。T形断面への補強の場合には、スラブがあるために全梁背高に対してスラブ高さ分下がった範

囲でしか補強ができないため、荷重による腹部部材のはらみだしに対して、矩形断面梁よりも拘束効果が低いことや、あるいは無補強部分で生じたひび割れが起点となり、矩形よりも小さな荷重でひび割れが伸展した等が考えられる。

実構造物ではスラブが連続しており、荷重の伝搬範囲に限界があるとしてもスラブからのせん断進展は考え難いものがあり、さらに実験等により検証を進める必要がある。

補強シートの定着において、下面に直角に廻し込んでの接着固定は、従来から十分な定着がとれると考えられていたが、今回の実験により効果が確認された。今回巻き込み定着長は主鉄筋被りの2倍、10cmとしたが、シート定着付近のコンクリートにひび割れの発生が確認されており、定着長の妥当性については今後さらに検討を進める必要がある。補強面と同一面内での接着のみの定着は、補強効果は認められたものの増分は最も少なかった。コンクリートの破壊に伴って近傍のシートが順次剥離し、剥離の進展に伴い残部の定着力が不足し端部からの剥離に至ったと考える。AFRPシートは破断することなく母材から剥離しており、定着金物等により固定されないとシートの強度を有効に活用することができないことが確認された。

AFRPシートの補強量が多いと補強効率が低下する傾向がみられた。その際も70%の補強効率は得られたが、補強量の違いによる補強効率をさらに確認する必要があると考えられる。

5. まとめ

- ① 矩形梁のせん断補強において、不完全閉塞補強であっても定着金物で確実に固定した場合、70%以上の補強効率が得られることがわかった。
- ② 梁下面に廻し込み接着した場合、定着部付近のコンクリートにひび割れは生じるが、シートを連続した場合と同様の補強効果が得られることがわかった。
- ③ T形梁における補強効率は50%程度であり、固定方法を増強しても変わらないことがわかった。

以上は、限られた試験体数で得た知見であり、さらに研究を進める必要があると考える。

参考文献：

- 1) コンクリート標準示方書設計編；土木学会，1999
- 2) アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計施工要領案；アラミド補強研究会，1998
- 3) ケブラー繊維製シート工法；東レ・デュポン株式会社・ファイベックス株式会社，1998.6