

短繊維混入吹付けコンクリートとAFRPメッシュによるRC梁のせん断補強法

Shear strengthening method for RC beams due to combining of short-fiber mixed shotcrete and AFRP mesh

北海道開発土木研究所
北海道開発土木研究所
室蘭工業大学
三井住友建設(株)

○正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
正会員 田口 史雄 (Fumio Taguchi)
フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)

1. はじめに

既設鉄筋コンクリート (RC) 部材のせん断補強工法の一つとして、アラミド繊維 (AFRP) シート巻付工法が用いられている¹⁾。しかしながら、橋梁上部工等の RC 梁をせん断補強する場合には、シートを梁上部で閉合する形で巻付補強することが不可能であるため、U字型に貼り付けることとなる。このような場合、過去の研究結果^{2),3)}では、1) 斜めひび割れの進展や変形量の増大に伴い梁上部のシートが面外方向に浮き上がる形で剥離を生じるため、シートの引張耐力が十分に活かされない場合があることや、2) アラミド補強研究会の「AFRPシートによるRC橋脚の補強工法設計・施工要領(案)⁴⁾」(以下、補強設計要領)により評価される補強効果が得られないこと、などが明らかになっている。そのため、シートの接着端部を種々の方法で定着する工法⁵⁾が提案されているものの、未だ設計法の確立には至っておらず、また工種が追加されるため工費の増大を招くことも考えられる。

一方、著者らはこれまで既設RC構造物の合理的な補修補強工法としてビニロン短繊維混入吹付けコンクリートとAFRPメッシュを組み合わせる工法(図-1参照)を提案し、その補強効果に関する種々の検討を行ってきた⁶⁾。本工法は、引張補強材であるAFRPメッシュが吹付けコンクリ

ートの内部に配置されているため、吹付けコンクリートと既設RC梁のコンクリートとの付着が十分確保されている条件下においては、前述のシート接着工法の場合のように補強材が面外方向に浮き上がる剥離性状を回避できるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、本補強工法によるRC梁のせん断耐力向上効果を検討することを目的として、本工法によりせん断補強したRC梁の静載荷実験を実施した。本実験では、コンクリートの吹付けやメッシュ補強量がRC梁のせん断耐力向上効果や破壊性状に及ぼす影響に着目して検討した。また、本工法によるせん断補強設計法の確立のため、実験により得られたせん断耐力を補強設計要領による計算せん断耐力と比較する形で評価検討した。

2. 実験概要

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は、無補強試験体を含め、AFRPメッシュの保証耐力およびメッシュ端部の定着処理の有無をパラメータとした全5体である。試験体名のNは、無補強試験体であることを意味している。また、補強試験体の場合には、Mとメッシュの保証耐力(kN/m)を100で除した数字の組み合わせにより示している。なお、試験体名の末尾にAを付し

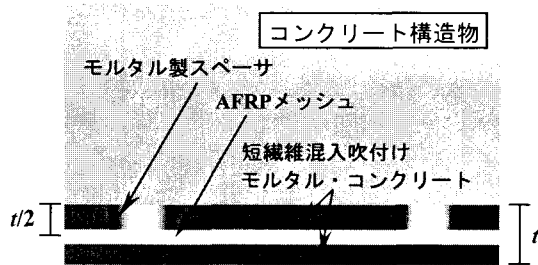


図-1 補強工法の概念図

表-1 試験体の一覧

試験体名	コンクリート吹付け厚さ (mm)	メッシュ保証耐力 (kN/m)	端部定着処理
N	-	-	-
M0	30	-	-
M1		100	なし
M1-A		100	あり
M2		200	なし

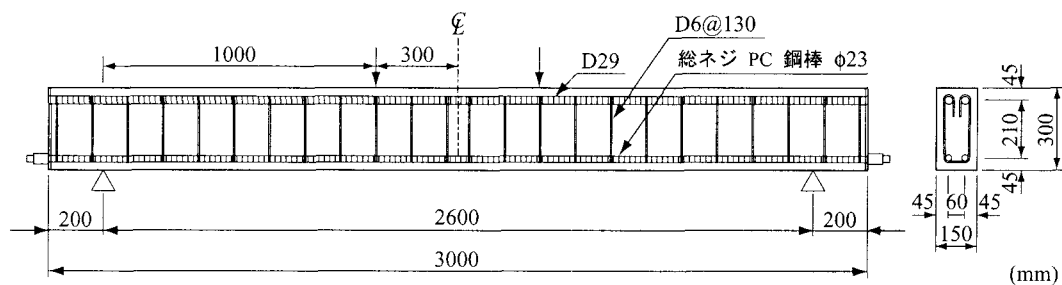


図-2 試験体の形状寸法および配筋状況

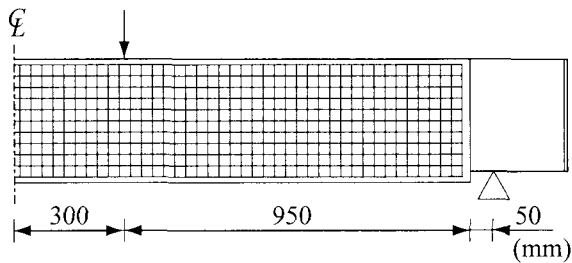


図-3 補強概要 (側面図)

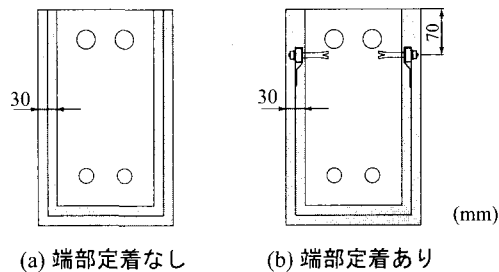


図-4 補強概要 (断面図)

表-2 吹付けコンクリートの配合

V_f (vol. %)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					SP (C × %)	スランプ (cm)	空気量 (%)
		W	C	SF	S	G			
1.5	43	185	387	43	1365	340	0.8	5.8	5.2

$B = C + SF$, V_f : 短繊維混入率, SP 高性能減水剤

表-3 吹付けコンクリートの力学性能試験結果

圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	曲げ強度 (MPa)	曲げ靱性係数 (MPa)
73.9	33.8	2.0	1.0

表-4 ビニロン短繊維の寸法および材料特性値

直径 (mm)	長さ (mm)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (GPa)	破断歪み (%)
0.66	30	29.4	0.88	7.0

表-5 AFRP メッシュの材料特性値

保証耐力 (kN/m)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (GPa)	破断歪み (%)
100, 200	118	2.06	1.75

た試験体は、メッシュ端部に定着処理を施していることを示している。試験体は無補強時においてせん断破壊により終局に至るように、せん断余裕度(せん断耐力/曲げ耐力)が1.0以下になるように設計している。

図-2には、試験体の形状寸法および配筋状況を示している。用いた試験体は、断面形状(縦×横)が30×15 cm、純スパン長が2.6 mの複鉄筋RC梁である。上下端鉄筋には、それぞれD29(SD345)およびφ=23 mmの総ネジPC鋼棒を2本ずつ用いている。せん断補強筋にはD6(SD295A)を用い、130 mm間隔で配置している。実験時におけるコンクリートの材齢は60日であり、圧縮強度および弾性係数は、それぞれ34.8 MPa、26.0 GPaであった。また、上下端鉄筋の降伏強度は、それぞれ380、1020 MPaである。

図-3, 4には、それぞれ補強概要に関する側面図および断面図を示している。図に示しているように、せん断補強は梁の両側面および底面にU字型に施し、部材軸方向の補強範囲は梁中央部から両支点の50 mm手前までとしている。コンクリートの吹付け厚は30 mmとし、AFRPメッシュは吹付け厚の1/2の位置に配置している。試験体の補強は、1) 吹付け補強するRC梁の表面にブラスト処理を施した後、2) モルタル製スペーサを介してAFRPメッシュを

配置し、3) ビニロン短繊維混入コンクリートを吹付けることにより実施している。ビニロン短繊維には、直径0.66 mm、長さ30 mmのものを用い、吹付けコンクリートに体積割合で1.5%混入している。

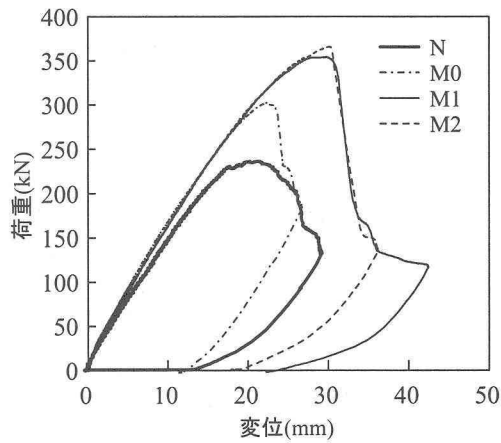
AFRPメッシュの端部に定着処理を施す場合には、図-4のように上端鉄筋の下部近傍に配置した鋼製のフラットバー($t=9$ mm, $B=25$ mm)にAFRPメッシュを巻き付ける形で定着させている。なお、フラットバーは梁上縁から70 mm下方の位置に配置し、コンクリートアンカーを用いて固定している。

表-2, 3には、短繊維混入吹付けコンクリートの配合および力学性能試験結果の一覧を示している。また、表-4には、ビニロン短繊維の寸法および材料特性値の一覧を示している。AFRPメッシュには、保証耐力が100もしくは200 kN/mのものを用い、その格子間隔はビニロン短繊維の長さ30 mmを考慮して40 mmとした。表-5には、メッシュの材料特性値の一覧を示している。

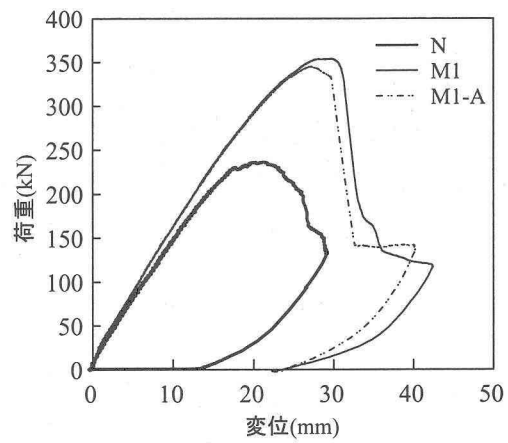
3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-5(a)には、無補強試験体およびメッシュ耐力の異なる3試験体の荷重-変位関係の実験結果を示している。図より、いずれの試験体も最大荷重到達後荷重が急激に低下して終局に至っていることが分かる。M0試験体の結果を見ると、短繊維混入コンクリートの吹付けによって初期剛性および耐力が無補強の場合よりも増大していることが分かる。これは、コンクリートの吹付けによって梁の断面積が増大するとともに、吹付けコンクリートに混入されているビニロン短繊維の架橋効果が出現したことによるものと推察される。また、メッシュを配置したM1/2試験体の場合には、ともにM0試験体の場合よりも最大荷重が大きく示されていることが分かる。ただし、メッシュの保証耐力を100 kN/mから200 kN/mとしたことによる耐力向上効果は小さい。これは、後述の破壊性状にも示しているように、M1/2試験体ともにAFRPメッシュが破断する前にRC梁の等せん断力区間におけるかぶりコンクリートが脱落し、吹付けコンクリートの一部がかぶりコンクリートを付着させた状態でRC梁から引き剥がれて終局に至ったためと考えられる。



(a) メッシュ耐力の影響



(b) 端部定着の影響

図-5 各試験体の荷重-変位関係の比較

図-5(b)には、メッシュ端部に定着処理を施した M1-A 試験体の実験結果を M1 試験体の結果と比較して示している。図より、M1-A 試験体の場合には、M1 試験体よりも最大荷重が多少小さく示されているものの、両試験体ともに最大荷重時までほぼ同様の耐荷性状を示していることがわかる。なお、M1-A 試験体の最大荷重が M1 試験体の場合よりも小さいのは、M1-A 試験体の場合にはメッシュの端部を上端鉄筋の下部近傍で定着させているため、梁高方向のせん断補強範囲が M1 試験体の場合よりも小さいためと推察される。

実験時には、両試験体ともに等せん断力区間のかぶりコンクリートが脱落して終局に至っている。従って、端部定着の有無にかかわらず、耐荷性能および破壊性状がほぼ同様であることより、吹付けコンクリートの母材コンクリートとの付着は極めて良好といえる。このことより、本実験に用いた吹付けコンクリートは、メッシュ端部に定着処理を施す場合と同等の定着性能を有するものと判断される。

3.2 破壊性状

図-6には、実験終了後における各試験体のひび割れ分布性状を示している。無補強の N 試験体の場合には、右側等せん断力区間において、載荷点位置から支点側に向かって斜めひび割れが進展し、下端鉄筋に沿う割裂ひび割れも発生している。また、上端鉄筋に沿った割裂ひび割れも見られ、載荷点近傍ではかぶりコンクリートの剥落が見られる。一方、短繊維混入コンクリートを吹付けた M0 試験体の場合には、左側等せん断力区間において2本の斜めひび割れが大きく開口している。ただし、N 試験体に見られたかぶりコンクリートの著しい剥落は見られない。これは、短繊維の架橋効果によりコンクリートの剥落が抑制されたことによるものと考えられる。

M1 および M1-A 試験体の場合には、それぞれ左側および右側等せん断力区間において多数の微細なひび割れが発生していることがわかる。また、M1-A 試験体の場合には、梁高方向のメッシュ補強範囲が上端鉄筋の下部近傍までであるため、梁上部のひび割れの発生は顕著ではないものの、両試験体のひび割れ分布性状は大略同様である。実験時には、メッシュが破断する前にかぶり部が脱落して吹付けコンクリートとともに梁から分離する形で終局に至っていることを確認している。写真-1には、M1 試験体の

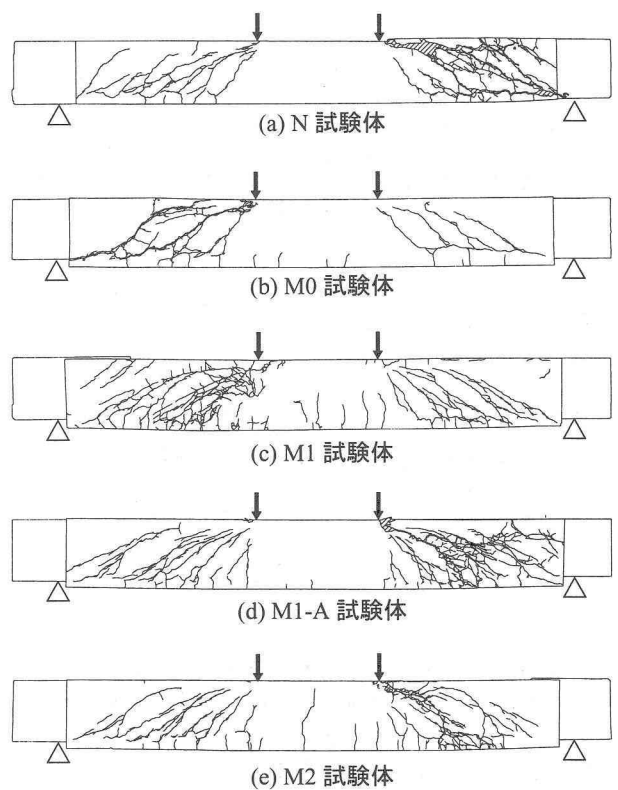


図-6 実験終了後におけるひび割れ分布性状

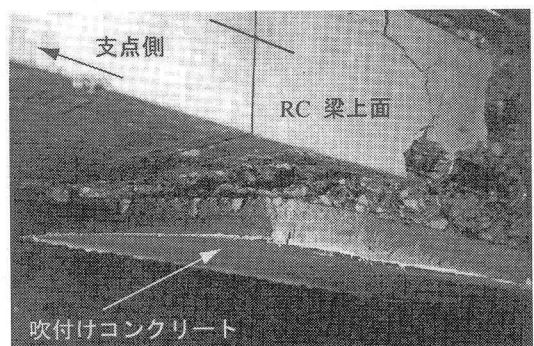


写真-1 M1 試験体の破壊状況

表-6 AFRP メッシュによるせん断耐力増分の評価

試験体名	実測耐力 (kN)	M0 に対する耐力増分 (kN) ①	メッシュによる耐力増分の計算値 V_{fd} (kN) ②	①/②	破壊形式
M0	302	-	-	-	せん断破壊
M1	355	53	51	1.04	かぶり部脱落
M1-A	345	43	42	1.02	かぶり部脱落
M2	366	64	102	0.62	かぶり部脱落

破壊状況を示している。写真より、吹付けコンクリートが RC 梁のかぶりコンクリートを伴って引き剥がれていることが分かる。

M2 試験体は、M1 や M1-A 試験体の場合よりもひび割れの発生が顕著ではない。これは、メッシュ補強量が多いにもかかわらず、M1 や M1-A 試験体とほぼ同様の荷重レベルでかぶりコンクリートが脱落して終局に至ったため、メッシュの引張性能が十分に発揮されていないためと考えられる。

4. AFRP メッシュによるせん断耐力増分の評価

表-6 には、各補強試験体の最大荷重および AFRP メッシュによる耐力増分の実験結果および計算結果の一覧を示している。なお、メッシュによる耐力増分の計算値は、せん断補強筋が分担する設計せん断耐力の算定法⁷⁾を準用して下式により算出した。すなわち、

$$V_{fd} = \alpha \cdot [A_f \cdot f_{fu} (\sin\theta_f + \cos\theta_f)/s_f] \cdot z \quad (1)$$

ここで、 α ：せん断補強に対する AFRP メッシュの補強効率(以後、補強効率)、 s_f ：メッシュの配置間隔、 A_f ：区間 s_f におけるメッシュの総断面積、 f_{fu} ：AFRP メッシュの設計引張強度、 θ_f ：せん断補強材が部材軸となす角度、 $z=d/1.15$ 、である。なお、M1-A 試験体の場合には、他の補強試験体よりもメッシュの梁高方向の補強範囲が小さい。そのため、せん断補強効果が低減されるものと考えられることより、補強範囲の減少分を考慮して A_f を換算し V_{fd} を算出することとした。また、補強効率 α は、アラミド補強研究会の補強設計要領を参考にして 0.6 と設定した。

表より、M1, M1-A 試験体の場合には、メッシュによる耐力増分の実測値は計算値と同程度となっていることがわかる。ただし、これらの試験体は、いずれも RC 梁のかぶりコンクリートの損傷が起因となって終局に至っているため、AFRP メッシュの有するせん断耐力向上効果は、本実験により得られた結果よりも大きいものと推察される。一方、M2 試験体の場合には、耐力増分の実測値は計算値を大きく下回っている。これは、M2 試験体は、メッシュ補強量が多いにもかかわらず M1 や M1-A 試験体と同様にかぶりコンクリートが脱落して、同程度の荷重レベルで終局に至っているためである。

このように、本実験では、RC 梁の断面積に対する吹付けコンクリート部の断面積の比が比較的大きく、コンクリートの吹付けのみによってもせん断耐力が大きく向上したため、AFRP メッシュを併用した場合にはかぶりコンクリートの脱落により終局に至る傾向が強く現れた。しかしながら、保証耐力 100 kN/m 程度の AFRP メッシュを用

いる場合には、梁上部を閉合せずに U 字型に補強しても、シートを巻付てせん断補強する場合の設計値と同等以上のせん断耐力向上効果が期待できることが明らかになった。

今後は、実構造物を想定した大型 RC 梁の荷重実験を実施し、AFRP メッシュのせん断補強効果を適切に評価する必要があるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、AFRP メッシュと短繊維混入吹付けコンクリートを併用した補強工法による RC 梁のせん断耐力向上効果を検討することを目的として、本工法によりせん断補強した RC 梁の静荷重実験を実施した。本実験で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 本実験に用いた吹付けコンクリートの母材コンクリートとの付着は極めて良好であり、メッシュ端部に定着処理を施す場合と同様の定着性能を有する。
- 2) 本工法を用いることにより、梁上部を閉合せずに U 字型に補強しても、シートを巻付てせん断補強する場合の設計値と同等以上の耐力向上効果が期待できる。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の補強指針(案)、コンクリートライブラリー 95, 1999.
- 2) 出雲健司, 浅水俊博, 佐伯 昇, 志村和紀：アラミドおよび炭素連続繊維シートの付着特性, コンクリート工学論文集, 第 9 巻, 第 2 号, pp.1-7, 1998. 7
- 3) 池田憲二, 今野久志, 岸 徳光, 三上 浩, 巽 治：AFRP シートで不完全閉合補強した RC 梁のせん断耐力, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, pp.752-755, 2002. 1
- 4) アラミド補強研究会：AFRP シートによる RC 橋脚の補強設計要領
- 5) 有留義朗, 金久保利之, 松井雅明, 藤田直人：繊維シートによる RC 構造物の耐震補強におけるシート端部定着に関する研究, コンクリート工学論文集, 第 10 巻, 第 2 号, pp.119-130, 1999. 5
- 6) 栗橋祐介, 田口史雄, 三上 浩, 岸 徳光：高靱性吹付けモルタルと AFRP メッシュの組み合わせにより曲げ補強した RC 柱の水平交番荷重実験, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 3 巻, pp.105-112, 2003. 10
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書(構造性能照査編), 2002