# AFRP 版を用いて水中接着した RC 梁の耐荷性状に及ぼす補強材幅の影響

Effects of width of AFRP plate on load-carrying behavior of flexural reinforced RC beams with submerged AFRP plate bonding method

室蘭工業大学大学院 学生会員 工藤 雅史 (Masashi Kudo)  $\bigcirc$ 室蘭工業大学大学院 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi) 三井住友建設(株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami) 室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi) ケイジーエンジニアリング(株) 正会員 小澤 靖 (Yasushi Ozawa)

### 1. はじめに

近年, 既設 RC 構造物の補修・補強工法として連続繊維 シート(以後, FRPシート)接着工法の適用事例が増加し ており, 橋脚等の耐震補強にも数多く採用されている. 一 方, 耐震補強を要する橋脚には河川橋脚も含まれているも のの, FRPシート接着工法を適用するためには, 仮締切工 事を行って橋脚周辺を乾燥状態にする必要があり, 陸上で の補強工事と比較して膨大なコストが必要となる. そのた め, 河川橋脚に関しては, その耐震補強がほとんど実施さ れていないのが現状である. 従って, 水中においても施工 可能な FRP シート接着工法を開発することにより, 河川 橋脚の耐震工事費用を大幅に削減可能であるものと考えら れる.

著者らはこのことに着目し、事前にアラミド連続繊維 シート(以後、AFRPシート)をエポキシ系樹脂で含浸硬 化(FRP化)したアラミド連続繊維製版(以後、AFRP版) を水中硬化型接着樹脂を用いて接着補強する工法(以後、 水中接着補強工法)を考案した.これまでの著者らの既往

-> #A	4-1-4-4-4	AFRP 補強材			年日年長	*** -**	
試験	佣强的	目付量	設計厚	幅	使用樹脂	施上・	
体名	の種類	$(g/m^2)$	(mm)	(mm)	の種類	養生環境	
W10-W		415	0.286	100	水中硬化型	I	
W15-W	AFRP 版	280	0.193	150	接着樹脂	水甲	
W10-A	シート	415	0.286	100	汎用含浸	左击	
W15-A	AFRP	280	0.193	150	接着樹脂	、王	

表-1 試験体一覧

の研究<sup>1)</sup>では,提案の水中接着補強工法を適用すること により、RC梁の曲げ耐力を一般的な気中接着工法の場合 と同程度まで向上可能であることを明らかにしている.一 方,水中接着補強に用いる接着材料や施工・養生環境は, 通常の気中接着補強の場合と全く異なるため,補強材の幅 や厚さ等の条件が補強効果や付着性状に及ぼす影響も大き く異なる可能性があるものと考えられる.

このような観点より、本研究では、AFRPシートもしく はAFRP版(以後、総称してAFRP補強材)を用いて気中 もしくは水中接着曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状に及 ぼす補強材幅の影響を検討することを目的に、AFRP補強 材の断面積一定の下、AFRP補強材幅および厚さを変化さ せて曲げ補強した RC 梁の静載荷実験を行った。

#### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体概要

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、AFRP 補強材の断面積一定の下、幅および厚 さを変化させて気中接着補強もしくは水中接着補強した全 4体である.表中、試験体名の第1項目のWに付随する 数値はAFRP 補強材幅を示し、第2項目は施工・養生環境 (A:気中,W:水中)を示している.また、水中接着補強 の場合はAFRP 版と水中硬化型接着樹脂を用い、気中接着 補強の場合はAFRPシートと汎用の含浸接着樹脂を用いて いる.

図-1には、試験体の形状寸法、配筋状況および補強概



図-1 試験体の形状寸法,配筋状況および補強概要



表--2 AFRP 材の力学的特性値 (公称値)

目付量 (g/m <sup>2</sup> )	保証 耐力 (kN/m)	設計厚 (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)
280	392	0.193	2.06	110	1 75
415	588	0.286	2.06	118	1.75

表-3 水中硬化型接着樹脂の力学的特性値 (公称値)

	物性值(MPa)	測定方法
圧縮強度	53.0	JIS K - 6911
曲げ強度	32.4	JIS K - 6911
引張強度	15.0	JIS K - 6911

要を示している. 試験体は, 断面寸法 150 × 150 mm, 純 スパン長 2.1 m の複鉄筋 RC 梁である. 上下端鉄筋には SD345D13 を 2 本ずつ配置している. スターラップには SD345D6 を用い 50 mm 間隔で配置している. AFRP 補強 材の梁軸方向の補強範囲はスパン中央部から両支点の 50 mm 手前までとしている.

実験時におけるコンクリートの圧縮強度は,水中および気 中接着補強試験体の場合でそれぞれ 28.5, 26.1 MPa であっ た.軸方向鉄筋の降伏強度は 394 MPa であった. 表-2 に は, AFRP 補強材の力学的特性値の一覧を示している.

表-3には、本研究に用いた水中硬化型接着樹脂の力学 的特性値を示している.なお、水中硬化型接着樹脂は、2 種混合型のエポキシ系接着樹脂であり、主剤、硬化剤とも にパテ状である.接着性能は、土木学会「連続繊維シート を用いたコンクリート構造物の補修補強指針」における 「連続繊維シートとコンクリートの接着試験方法(案)」<sup>2)</sup> に準拠して評価した.その結果、試験は母材コンクリート の引張破壊で終了し、破壊時の強度の平均値は 2.6 MPa で あった.この値は、本実験に用いたコンクリートの引張強 度 2.02 MPa よりも十分大きいことより、面外方向への引 張に対しては、十分な接着性能を有しているものと判断さ れる.

## 2.2 RC 梁の水中接着補強方法および実験方法

RC 梁への AFRP 版の水中接着は下記の手順で行った. なお, AFRP 版には5号珪砂を用いた砂付き処理, RC 梁 のコンクリート表面には処理深さ1mm 程度のブラスト処 理を施した.

- 1) 水中硬化型接着樹脂を混合し,厚さ4mm程度に成形 する,
- 2) 気中で AFRP 版を所定の位置に配置し,その上に成形 した接着樹脂を敷き並べて一体化させる,
- 3) 水槽内に設置された RC 梁の接着面に 2) を配置し, 圧 着する,
- 4) 圧着した状態で5日間水中養生する,

である. なお4)の工程では,は専用の圧着装置を用いて, 水中硬化型接着樹脂の厚さが3mm程度となるように施工 した.また,気中接着補強の場合には,コンクリート表面 にブラスト処理およびプライマー処理を施した後,含浸接 着樹脂を用いてAFRPシートを接着した.

載荷実験は, RC 梁を単純支持状態で設置し,容量 500 kN の油圧ジャッキを用いて行った.本実験の測定項目は, 荷重,スパン中央点変位(以後,変位)および AFRP 補強材 各点の軸方向ひずみである.また,実験時には, RC 梁の ひび割れやシートの剥離状況を撮影した.

#### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 荷重-変位関係

図-2には、各試験体の荷重-変位関係に関する実験結 果を、(a)補強材幅の影響および(b)施工条件の影響に着目 し比較して示している.なお、本実験では上縁コンクリー ト圧壊後においても、変位の増加に伴って荷重が漸増する ケースが見られた.従って、実測最大荷重の定義は、目視 による上縁コンクリートの圧壊が確認され、かつ荷重の一 時的な低下が見られた時点の荷重とした。

図-2(a)より,補強材幅が異なる場合の耐荷性状は,上 縁コンクリートの圧壊までほぼ同様であることが分かる. なお,補強材幅が大きい場合には,上縁コンクリート圧壊 後も荷重が急激に低下しない傾向を示している.また,こ のような傾向は施工条件によらず同様である.

なお、W10-W 試験体の場合には、上縁コンクリート圧 壊後、AFRP 補強材の全面剥離に至るまで変位が 66 mm ま で増大した.しかしながら、このような大変位時には、上 縁コンクリートの損傷のみならず、かぶりコンクリートの 損傷や AFRP 補強材の剥離状況も極めて著しい状況となっ ている.従って、本論文では W10-W 試験体の大変位時の 耐荷性状に関しては検討から除外することとする.

**図-2**(b)より,施工条件が異なる場合の耐荷性状は,上 縁コンクリート圧壊時までほぼ同様であることが分かる.

	降伏荷重						
試験	計算結果 実験	実験結果	荷重比	計算結果	実験結果	荷重比	実験結果の
体名	$P_{yc}$	$P_{ye}$	$P_{ya}/P_{yc}$	$P_{uc}$	$P_{ue}$	$P_{ug}/P_{ug}$	破壊性状
	(kN)	(kN)	- ye · - yc	(kN)	(kN)	- ue · - uc	
W10-W	$\frac{W}{A}$ $32.2$	36.9	1.15	42.6	42.8	1.00	上縁圧壊後剥離
W15-W		37.1	1.15	42.6	42.9	1.01	上縁圧壊後剥離
W10-A		34.3	1.07	43.0	44.0	1.02	上縁圧壊後破断
W15-A		35.2	1.09	43.0	46.8	1.09	上縁圧壊後破断
計算結果の破壊性状は全てコンクリート圧壊							

表-4 実験および計算結果の一覧



図-4 AFRP 補強材の軸方向ひずみ分布性状に関する実験および計算結果の比較



### 図-3 各試験体の何重-変位関係に関する実験 および計算結果の比較

なお,上縁コンクリート圧壊後においては,気中接着の場 合には水中接着の場合と異なり,荷重が急激に低下せずに 増加する傾向にある.

以上の結果より、AFRP 補強材を用いて水中および気中 接着曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状は上縁コンクリー ト圧壊時までほぼ同様であり、圧壊後においては、気中接 着および補強材幅が大きい場合で荷重が数 kN 程度増大す る傾向にあることが明らかになった。

図-3には、荷重-変位関係に関する全試験体の実験結 果を計算結果と比較して示している.なお、計算結果は、 土木学会コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>に準拠し、かつAFRP 補強材とコンクリートの完全付着を仮定して算出したもの である.また、**表-4**には実験結果および計算結果の一覧 を示している.図より、いずれの実験結果も計算終局時ま で計算結果とほぼ同様の耐荷性状を示していることが分か る.また、全試験体において実測耐力が計算耐力を上回っ ていることより、計算結果は実験結果を安全側に評価して いるといえる.

#### 3.2 AFRP 補強材のひずみ分布

図-4には、各変位時における AFRP 補強材の軸方向ひ ずみ分布に関する実験結果を計算結果と比較して示してい る.計算結果は前述した断面分割法の結果を基に算出して 得られたものである.なお、中間変位時は、計算主鉄筋降 伏時および計算終局時の中間の変位である.



(b) W15-W 試験体

(d) W15-A 試験体

写真-1 計算終局時におけるひび割れ性状

図より,計算主鉄筋降伏時および中間変位時における実 測ひずみ分布はいずれの試験体においても計算ひずみ分布 と概ね対応していることが分かる.計算終局変位時では, W15-W,W10/15-A 試験体の等せん断力区間において一部 の実測ひずみが,計算ひずみよりも最大で3,000 µ 程度大 きく示されており,また,W10-W 試験体の右側載荷点近 傍では,実測ひずみが計算ひずみよりも2,000 µ 程度小さ く示されている.しかしながら,全スパンに渡って実測お よび計算ひずみとほぼ対応していることから,各試験体に 接着された AFRP 補強材とコンクリートとの付着は計算終 局変位時まで十分に確保されているものと判断される.

### 3.3 梁側面のひび割れ性状

写真-1には、各試験体の計算終局変位時におけるひび 割れ性状を示している。写真より、W15-W 試験体の場合 には、梁側面に曲げおよび斜めひび割れの他、接着界面に 水平ひび割れが見られる。これは、水中硬化型接着樹脂と コンクリートの界面に発生している。また、W10-W 試験 体の場合には、左側載荷点周辺に発生した曲げおよび斜め ひび割れが梁底面の AFRP 版の近傍まで到達している。こ のように、水中接着試験体の場合には、計算終局時におい て AFRP 版が剥離に至る兆候が見られる。これに対し、気 中接着した W10/15-A 試験体の場合には、水中接着試験体 に見られた剥離の兆候はほとんど見られない。

このように本実験では、水中接着補強した場合において AFRP 補強材剥離の傾向が気中接着補強の場合よりも、若 干大きく見られた。

### 4. **まとめ**

本研究では、AFRP 補強材を用いて気中もしくは水中接

着曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状に及ぼす補強材幅の 影響を検討することを目的に、AFRP 補強材の断面積が一 定の下、AFRP 補強材の目付量と幅を変化させ接着補強し た RC 梁の静載荷実験を行った.本実験により得られた知 見をまとめると以下の通りである.

- 1) AFRP 補強材を用いて水中および気中接着曲げ補強した RC 梁の曲げ耐荷性状は上縁コンクリート圧壊時までほぼ同様であり、圧壊後においては、気中接着および補強材幅が大きい場合で荷重が数 kN 程度増大する傾向にある。
- 2) 水中および気中接着曲げ補強した RC 梁の実測耐力は 計算耐力を上回り、かつ AFRP 補強材の実測ひずみは 計算終局時まで計算ひずみとほぼ対応している。従っ て、AFRP 補強材幅に関わらず AFRP 補強材とコンク リートとの付着は計算終局時まで十分に確保されてい るものと判断される。
- 3) 水中接着補強した場合において AFRP 補強材剥離の傾向が気中接着補強の場合よりも,若干大きく見られた.

#### 参考文献

- 三上浩,岸徳光,栗橋祐介:水中硬化型接着樹脂 とAFRP版を用いて水中補強した RC梁の静載荷実験, コンクリート工学年次論文集,vol.32,pp1327-1332,2010.
- 2) 土木学会:連続繊維シートを用いたコンクリート構造 物の補修補強指針,コンクリートライブラリー101, 2000.
- 3) 土木学会:コンクリート標準示方書(設計編), 2007