A - 10

AFRP 版を用いて水中接着曲げ補強した RC 梁の耐荷性状に及ぼす接着界面処理の影響

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

室蘭工業大学大学院 室蘭工業大学大学院 三井住友建設 (株) 室蘭工業大学大学院 ケイジーエンジニアリング (株) ○ 学生会員 池下 雄哉 (Yuya Ikeshita)
フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
正会員 小澤 靖 (Yasushi ozawa)

1. はじめに

1995年に発生した阪神淡路大地震を契機に我が国の耐震補強設計法が大きく改訂された^{1)、2)}. 現在,道路事業においては,大地震発生時における緊急輸送道路の確保に不可欠な橋脚から優先して,上記の耐震補強設計法に準拠した補強工事が行われている. しかしながら,河川橋脚の場合には,耐震補強工事に先立って橋脚基部周辺の仮締切工事を行い,施工部を乾燥状態にするのが一般的であるため,陸上での補強工事に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.

著者らは、このことを解決するため、アラミド繊維シートにエポキシ系樹脂を含浸硬化した AFRP 版を水中硬化型接着樹脂を用いて接着補強する方法を考案した。この工法が確立されると、水中での耐震補強工事が可能となるため、大規模な仮締切工事が不要となり、補強工事費が大幅に削減可能になるものと考えられる。

著者らはこれまで、提案の水中接着補強工法の補強効果や AFRP 版の付着性状を検討することを目的に、本工法で曲げ補強した RC 梁の静載荷実験を行っている³〕。その結果、既往の水中接着補強工法では、RC 梁の曲げ耐力を向上可能であるものの、その補強効果は気中接着補強した場合よりも小さいものとなっている。これらの実験では、AFRP 版が剥離して終局に至っていることより、AFRP 版とコンクリート表面との付着性能を改善することによって、本工法の補強効果は向上するものと考えられる。改善策としては、接着界面である AFRP 版およびコンクリート表面を異形化することが有効であるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、より補強効果の高い水中接着補強工法を確立することを目的に、AFRP版やコンクリートの接着界面処理法が異なる水中接着曲げ補強RC梁の静載荷実験を実施した。

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、気中接着補強試験体の他、接着界面処理を3種類に変化させた水中接着補強試験体の全4体である. 試験体名の内、第1項目は施工・養生環境(A:気中、W:水中)、第2項目は接着界面処理の種類を示しており、SはAFRP版に珪砂を付着させる砂付き処理、SBはAFRP版への砂付き処理に加えコンクリート表面にブラスト処理を施したことを示している.

表-1 試験体一覧

試験	接着界面処理		使用樹脂	施工・	
体名	AFRP 版	コンクリート	の種類	養生環境	
W	-	サンダー	L L. 7727 / L. 1711	水中	
W-S	砂付き	サンダー	水中硬化型		
W-SB	砂付き	ブラスト	接着樹脂		
A	-	ブラスト	汎用含浸接着樹脂	気中	

表-2 AFRP シートの力学的特性値 (公称値)

繊維	保証	e. ⊟	引張	弾性	破断
目付量	耐力	厚さ	強度	係数	ひずみ
(g/m ²)	(kN/m)	(mm)	(GPa)	(GPa)	(%)
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)

	物性値(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

図-1 には、試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要を示している。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。梁の下面には、保証耐力 588 kN/m の AFRP 版を接着している。AFRP版の幅は 100 mm であり、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 46.1 MPa であり、軸方向鉄筋の降伏強度は 402 MPa であった. 表-2 には、AFRP 版の力学的特性値の一覧を示している.

2.2 水中硬化型接着樹脂の力学的特性および接着性能

本研究に用いた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。表-3には、水中硬化型接着樹脂の力学的特性値の一覧を示している。また、水中硬化型接着樹脂の接着性能は、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」⁴⁾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)」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,既設コンクリートの補修補強用接着材料に関する一般的な照査値(1.5 MPa)を上回っている。従って,本実験に用い

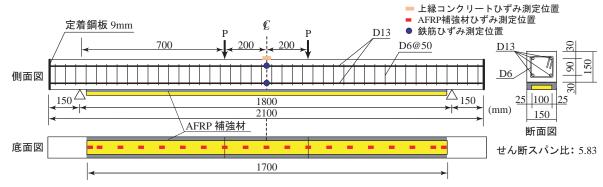
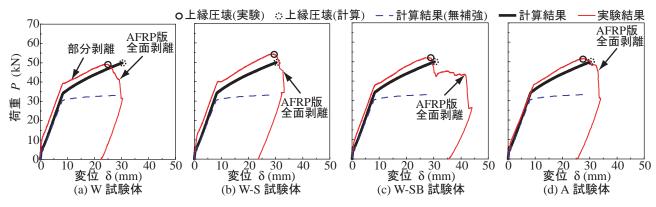


図-1 試験体の形状寸法,配筋状況および補強概要



図ー2 各試験体における荷重一変位関係の実験結果と計算結果の比較

表-4 実験および計算結果の一覧

	降伏荷重			最大荷重		
試験	計算值	実験値	荷重比	計算值	実験値	荷重比
体名	P_{yc}	P_{ye}	P_{ye} / P_{yc}	P_{uc}	P_{ue}	P_{ue} / P_{uc}
	(kN)	(kN)	ye - ye	(kN)	(kN)	uc uc
W		39.4	1.15		49.2	0.98
W-S	34.2	40.0	1.17	50.0	54.4	1.09
W-SB		38.2	1.12		52.0	1.04
A	34.0	38.3	1.13	49.2	51.7	1.05

た水中硬化型接着樹脂は接着材料としての性能を満足しているものと言える.

2.3 AFRP 版およびコンクリートの接着界面処理

前述の AFRP 版の砂付き処理は、AFRP 版表面に汎用の含浸接着樹脂を塗布し、その上に 5 号珪砂を振り掛けて行った。なお、珪砂の使用量は 950 g/m² 程度である。またコンクリート表面処理のうち、サンダー処理はコンクリート用サンダーを用いて表面のレイタンスを除去する程度の処理とし、ブラスト処理は専用のブラストマシンを用いて深さ 1mm 程度の処理とした。

2.4 RC 梁の水中接着補強方法および実験方法

RC 梁の水中接着補強は、大型の水槽を用い RC 梁を水没させた状態で行った。水中接着補強における施工手順は以下の通りである。すなわち、

- 1) 水中硬化型接着樹脂を混合し,厚さ3 mm 程度に成形 まる
- 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1週間程度水中養生する,

である. なお, 圧着は, 空気圧を利用した専用の圧着装置により, 50 kPa 程度で行った.

また、気中補強の場合には、プライマー処理を施した後、 含浸接着樹脂を用いて AFRP 版を接着した。

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 版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、実験終了後には、RC 梁のひび割れや接着界面を撮影した。

3. 実験結果と考察

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および計算結果を示している。計算結果は、コンクリート標準示方書 5) に準拠して断面分割法により算出したものである。なお、計算では AFRP 版とコンクリートの完全接着を仮定している。また、水中接着補強試験体の場合は、水中硬化型接着樹脂の厚さが 3 mm 程度であったことより、梁の断面高さが気中接着した試験体よりも 3 mm 大きいものと仮定して計算した。表-4には参考のために、降伏時および終局時における実験および計算結果を示している。

図-2より、各補強試験体の計算結果は、無補強の場合と異なり主鉄筋降伏後も荷重が増加しており、いずれの場合も上縁コンクリートの圧壊により計算上の終局に至っていることがわかる。実験結果を見ると、いずれの試験体も曲げひび割れ発生荷重および主鉄筋降伏荷重が計算値を上

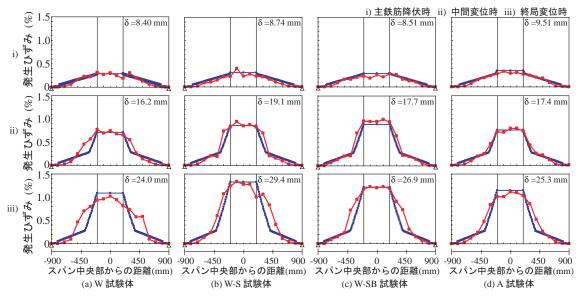


図-3 AFRP 補強材の軸方向ひずみ分布性状に関する実験結果および計算結果の比較

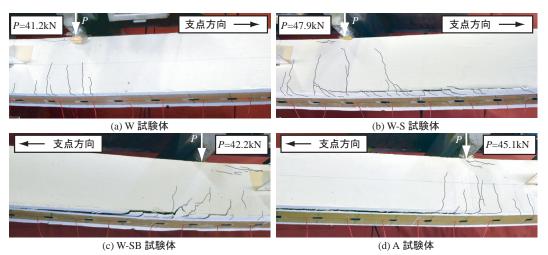


写真-1 各試験体の剥離直前におけるひび割れおよび剥離性状

回っていることがわかる. 特にこの傾向は, 水中接着補強 試験体の場合に顕著に現れている. これはコンクリートー AFRP 版間の水中硬化型接着樹脂 (厚さ 3 mm 程度) の引張 性能がコンクリートのそれよりも高いことなどによるものと推察される.

水中接着補強試験体の実験結果より、W試験体の場合には、計算耐力を下回る荷重レベルでAFRP版の部分剥離が生じ、その後上縁コンクリートが圧壊して、AFRP版が全面的に剥離していることがわかる。ここでAFRP版の部分剥離は、AFRP版の軸方向ひずみ分布より判断した。詳細は3.2節に示す。これに対し、接着界面処理を施したW-S/SB試験体は、計算耐力よりも大きな荷重レベルで上縁コンクリートが圧壊し、その後 AFRP版の全面剥離に至っている。また、これらの結果は気中接着したA試験体の実験結果とほぼ同様であることより、W-S/SB試験体に適用した水中接着補強工法は気中接着の場合と同程度の補強効果を発揮しているといえる。

なお、上縁コンクリート圧壊後の性状に着目すると、W-SB 試験体の AFRP 版の全面剥離は、W-S 試験体と異なり、荷重低下直後ではなく、変位が 10 mm 程度増大した後に発生している。このことより、AFRP 版とコンクリー

ト表面の付着性能は AFRP 版の砂付き処理のみならず、コンクリートのブラスト処理を併用することによりさらに改善されることが明らかになった.

3.2 AFRP 版のひずみ分布性状

図-3には、主鉄筋降伏時、中間変位時および終局変位時におけるAFRP版の軸方向ひずみ分布の実験結果を計算結果と比較して示している。ここで、中間変位とは、主鉄筋降伏時と終局時の中間の変位である。また、計算結果はAFRP版とコンクリートの完全接着を仮定して算出した断面分割法の結果に基づいて算出したものである。図より、主鉄筋降伏時におけるひずみ分布は、実験および計算結果ともに良く対応していることがわかる。従って、この時点ではAFRP版とコンクリートは完全付着に近い状態にあるものと考えられる。

中間変位時の結果より、W-S/SB および A 試験体の場合には、スパン全長に渡って実験結果が計算結果とほぼ対応していることがわかる。これに対し、W 試験体の場合には、等曲げ区間では実験および計算結果がよく対応しているものの、等せん断区間の載荷点近傍では、実験結果が計算結果を上回っていることがわかる。これは載荷点近傍において AFRP版の部分剥離が生じていることによるものと

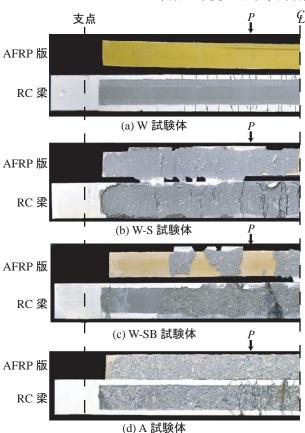


写真 - 2 実験終了後における AFRP 版および RC 梁底面 の接着界面の状況

考えられる. なお,この部分剥離の傾向は,変位 12 mm 程度の時点から徐々に顕在化している.

また、終局変位時の結果を見ると、W-S/SB, A 試験体の実験結果は主鉄筋降伏領域の両端部において計算結果よりも大きく示されており部分剥離の傾向を示しているものの、大略対応していることがわかる。これに対し、W 試験体の場合には、実験結果が計算主鉄筋降伏領域よりも広い範囲に渡り、 $5000~\mu$ 以上の大きな値を示している。従って、W 試験体の場合には、AFRP版の剥離領域が他の試験体よりも拡大していることより、その付着性能は低いものと判断される。

以上のことより、本実験においては、AFRP版に砂付き処理、コンクリート表面にブラスト処理を施すことにより、AFRP版とコンクリート表面との付着性能が改善され、気中接着の場合と同様のひずみ分布性状を示すことが明らかになった。

3.3 ひび割れ性状

写真-1には、シート剥離直前の梁側面のひび割れおよび AFRP 版の剥離性状を示している。写真より、いずれの試験体も AFRP 版の全面剥離時には、上縁コンクリートが圧壊に至っている。また、W-S/SB, A 試験体の場合には、等せん断力区間の載荷点近傍の下縁かぶり部に発生した斜めひび割れが AFRP 版を下方に押し出して引き剥がすピーリング作用による AFRP 版の剥離が見られる。

これに対し、W試験体の場合には等曲げ区間に曲げひび割れが発生しているものの、等せん断力区間にはひび割れはほとんど見られない。しかしながら、前述のAFRP版のひずみ分布性状から明らかなように、この時点において

AFRP版は広範囲に渡る部分剥離を生じている。このことは、ピーリング作用が顕在化する荷重レベルに到達する前に AFRP版の剥離が発生したことを示すものである。従って、W 試験体の場合には、AFRP版の面内方向の付着強度が他の試験体よりも小さいことによるものと推察される。3.4 接着界面の状況

写真-2には、実験終了時における AFRP 版および RC 梁底面の接着界面の状況を示している。写真より、W 試験体の場合には、AFRP 版が水中硬化型接着樹脂との界面で完全に分離していることがわかる。また、W-S/SB 試験体の場合には、コンクリート表面が部分的に引き剥がされているものの、大部分はコンクリートもしくは AFRP 版と水中硬化型接着樹脂との界面で剥離している。また、剥離した面を詳細に観察すると、コンクリートもしくは AFRP 版と水中硬化型接着樹脂が十分に密着していない部分が見られた。これに対し、気中接着した A 試験体の場合には、全域に渡って AFRP 版がコンクリート表面を伴って剥離している

以上のことより、AFRP版の砂付き処理やコンクリート表面のブラスト処理を施すことにより、AFRP版とコンクリート表面の付着性能を改善可能であるものの、気中接着の場合と同等の性能には至っていないものと考えられる。今後、更なる付着性能の向上に向けて検討を行う必要があるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、水中接着補強工法によるRC梁の曲げ補強効果の改善を目的に、AFRP版やコンクリート表面に異形化等の処理を施した水中接着曲げ補強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) 水中接着補強による RC 梁の曲げ補強効果は, AFRP 版の砂付き処理やコンクリート表面のブラスト処理を施すことにより, 気中接着補強の場合と同程度まで改善される.
- 2) ただし、接着界面に着目すると水中接着補強の場合には、接着界面処理を行う場合においても、気中接着補強に見られたコンクリート表面を伴う剥離には至っていない。今後、更なる付着性能の向上に向けた検討が必要である。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋協会示方書·同解説, V 耐震補 強編, 1996.
- 2) 日本道路協会:道路橋協会示方書·同解説, V 耐震補 強編, 2002.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 土木学 会, 2007.