

AFRP 板水中接着せん断補強による RC 梁の耐力向上効果

Upgrading effects of shear strengthening due to submerged AFRP plate bonding method on load-carrying capacity of RC beams

室蘭工業大学大学院 ○ 学生会員 杉本 成司 (Joji Sugimoto)
室蘭工業大学大学院 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
三井住友建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、耐震設計法の改定によって既設鉄筋コンクリート (RC) 橋脚を対象とした補強工事が盛んに行われている。また、地震の巨大化や発生頻度の増加に伴い、耐震補強工事が急速に進められている。最近では、耐震補強工法の1つとして連続繊維シート (以後 FRP シート) 接着工法が数多く採用されている。ここで、河川橋脚等の水中構造物の場合には、施工部を乾燥状態にするために構造物周辺の仮締切工事を行うことが通例である。このため、この種の構造物の耐震補強工事は陸上での補強工事に比較して膨大なコストを要することより、未だ限定的にしか実施されていないのが現状である。

これより、仮締切工事が不要な安価で効率的な工法の開発が喫緊の課題となっている。

著者らはこのことに着目し、予めアラミド繊維シート (以後、AFRP シート) にエポキシ系樹脂を含浸硬化した AFRP 板を水中接着樹脂を用いて接着補強する工法を考案し、検討を行って来た。

既往の研究では、提案の工法を用いて曲げ補強 RC 梁や巻付け補強したコンクリート円柱試験体に関する載荷実験を行い、気中接着とほぼ同程度まで向上可能であることを明らかにしている^{1), 2)}。しかしながら、RC 梁のせん断補強法の確立やその効果に関する研究は未だ行われていないのが現状である。

このような背景より、本研究では提案工法のせん断補強効果の検討を目的に AFRP 板を水中で巻付けた 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および各種

計算結果を示している。なお、表中の AFRP 板による計算せん断耐分担 V_{AF} はアラミド補強研究会の「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)」⁴⁾ に準拠し下式 (1) により算出した。

$$V_{AF} = A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) z / s \tag{1}$$

ここに、 A_w : せん断補強面における AFRP 板の総断面積、 f_{wyd} : AFRP 板の引張強度、 α : AFRP 板と部材軸とのなす角度、 z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離 ($= d/1.15$)、 d : 有効高さ、 s : AFRP 板の配置間隔である。なお、AFRP 板の引張強度は設計に準拠し表-2 に示す値に 0.6 を乗じて評価している。

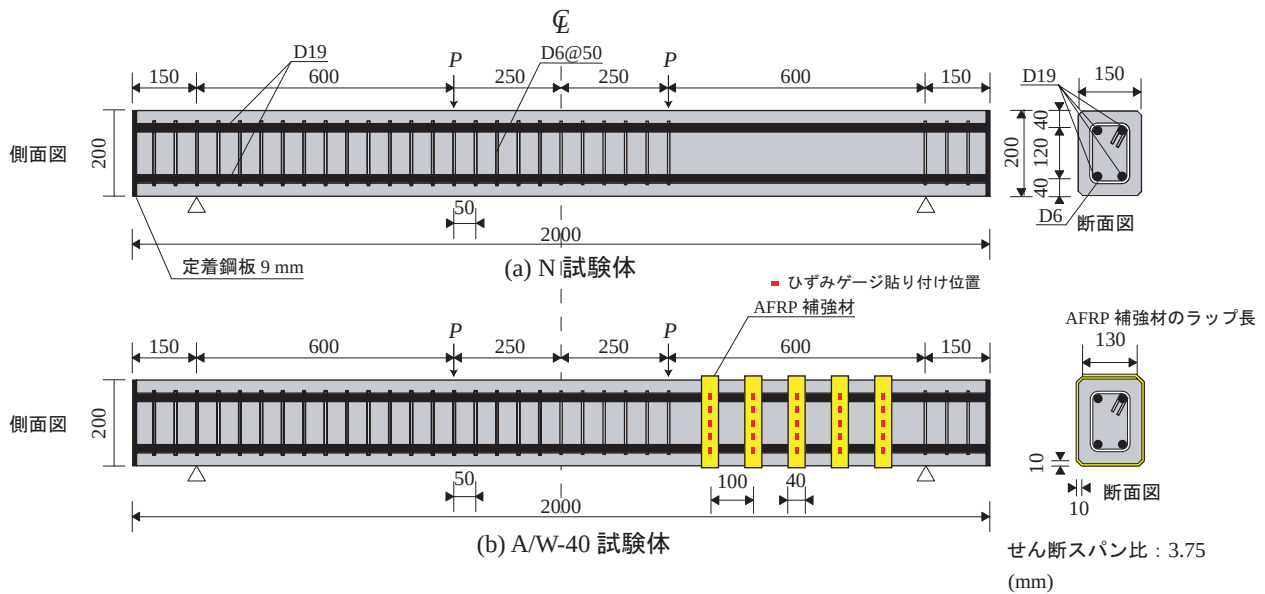
試験体数は、無補強試験体および施工・養生環境、AFRP 板の幅を変化させた全 7 体である。試験体名の内、第 1 項目は施工・養生環境 (A: 気中, W: 水中)、第 2 項目は AFRP 板幅 (単位: mm) を示している。

図-1 には、試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要の一例を示している。試験体は断面寸法 150 × 200 mm、純スパン長 1.7 m の複鉄筋 RC 梁である。上下端鉄筋には SD345D19 を 2 本ずつ配置している。スターラップには SD345D6 を用い片側の等せん断力区間を除き 50 mm 間隔で配置している。AFRP 板による巻付け補強位置はスターラップを配置していない等せん断力区間の 6 等分点とし、表-2 に示す保証耐力 392 kN/m の AFRP 板を接着している。

表-3 には、水中接着樹脂の力学的特性値の一覧を示している。本研究に用いた水中接着樹脂は 2 種類であり、いずれも 2 種混合型のエポキシ系接着樹脂である。AFRP 板とコンクリートの接着には主剤、硬化剤ともにパテ状のものを用い、AFRP 板のラップ部分には、液状の水接着

表-1 試験体一覧

試験体名	施工・養生環境	AFRP 板幅 (mm)	設計曲げ耐力 (1) (kN)	設計せん断耐力 (kN)			せん断余裕度 (2) / (1)
				コンクリート分担分	AFRP 板分担分 V_{AF}	合計 (2)	
N	気中	-	100.4	59.8	-	59.8	0.595
A-20		20			26.2	86.0	0.856
A-40		40			52.4	112.2	1.118
A-60		60			78.5	138.3	1.377
W-20	水中	20			26.2	86.0	0.856
W-40		40			52.4	112.2	1.118
W-60		60			78.5	138.3	1.377



図－１ 試験体の形状寸法，配筋状況および補強概要の一例

樹脂を用いた。なお，パテ状の水中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」²⁾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2.0 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，本実験に用いた水中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判断される。

液状水中接着樹脂については，継手長を10 cm 程度以上とすることでAFRP板の引張耐力以上の付着力を確保できることを確認している。従って，AFRP板の継手長はRC梁上面において13 cmとした。

2.2 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，大型の水槽を用いて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。

- 1) 水中接着樹脂を混合し，厚さ4 mm 程度に成形する。
- 2) 気中でAFRP板と接着樹脂を一体化させる。
- 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日間程度水中養生する。

なお，圧着は専用の圧着装置を用いて一面づつ圧着し，接着樹脂の硬化時間(30分程度)内にすべての面の接着を完了している。樹脂の厚さは3 mm 程度になるように施工した。なお，気中接着補強の場合には，AFRPシートを汎用の含浸接着樹脂を用いて接着した。

載荷実験は，RC梁を単純支持状態で設置し，容量200 kNの油圧ジャッキを用いて4点曲げ載荷試験法により行った。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板各点の巻付け方向ひずみである。また，実験時にはRC梁のひび割れを連続的に撮影し，実験終了時には破壊性状を撮影した。

表－２ AFRPシートの力学的特性値(公称値)

繊維 目付量 (g/m ²)	保証 耐力 (kN/m)	厚さ (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)
280	392	0.193	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)

接着材種類	材料特性	物性値 (MPa)	測定方法
パテ状 接着樹脂	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
液状 接着樹脂	曲げ強度	40.0	JIS K - 6911
	圧縮強度	35.0	JIS K - 6911

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，土木学会コンクリート標準示方書³⁾に準拠して断面分割法により算出したものである。

図より，無補強のN試験体の荷重は75 kN程度までほぼ線形に増加した後，急激に低下していることが分かる。実験時には，後述するようにスターラップを配筋していない片側におけるせん断破壊により終局に至っていることを確認している。

一方，補強試験体の場合には，いずれも荷重が75 kNに到達した後も増加していることが分かる。また，荷重 $P=100 \sim 110$ kN程度では剛性勾配が急激に低下していることから，主鉄筋降伏に至っていることがわかる。これより，AFRP補強材の幅や施工・養生環境によらず，せん断補強によりRC梁の破壊形式がせん断破壊型から曲げ破壊型に移行したことが分かる。

3.2 ひび割れ性状

写真－１には，各試験体の最大荷重時のひび割れ性状を示している。写真より，N試験体のひび割れは，載荷点か

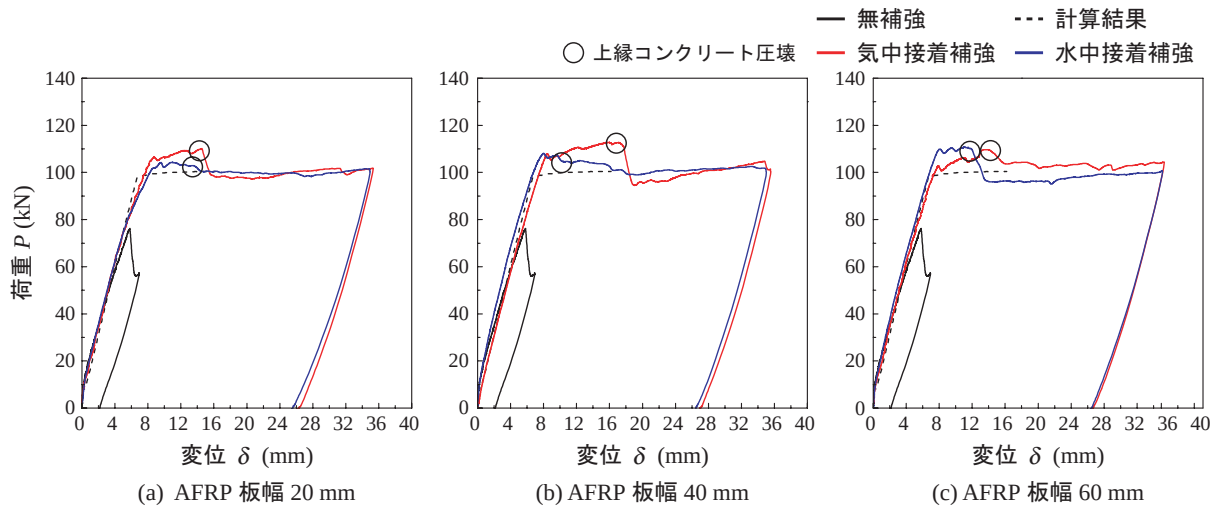


図-2 各試験体における荷重－変位関係の実験結果および計算結果の比較

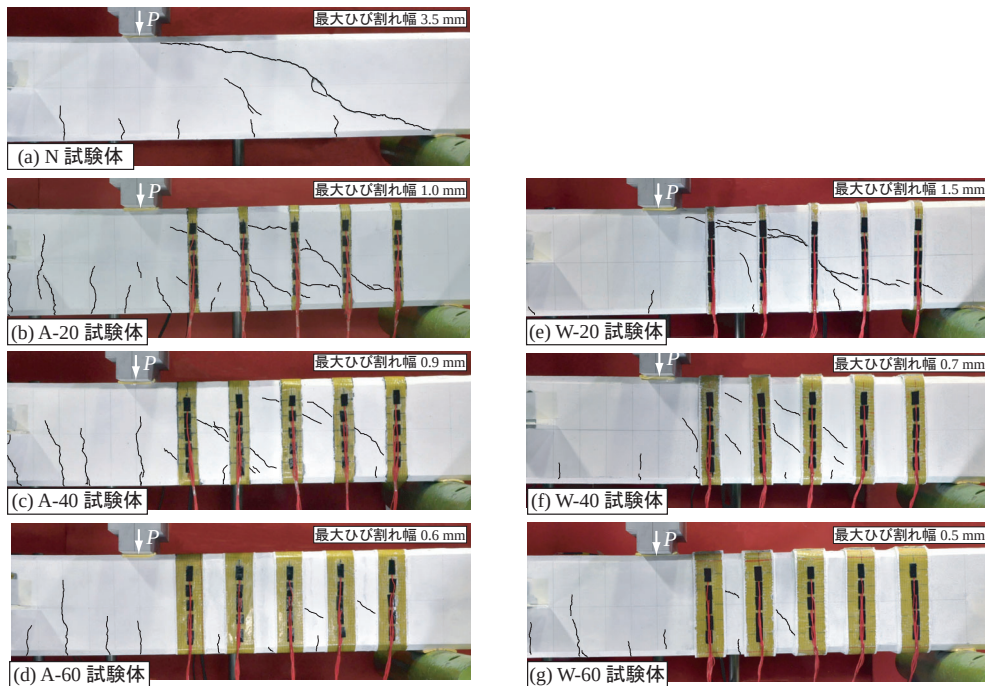


写真-1 各試験体の最大荷重時のひび割れ性状

ら下端鉄筋配置位置近傍までアーチ状に発生し、さらに支点部に直線的に進展しせん断破壊に至っていることが明瞭に示されている。実験時には最大荷重到達後これらのひび割れが急激に開口して終局に至った。一方、せん断補強した試験体のひび割れは載荷点から斜め下方に進展しているものの、ひび割れの数や開口幅はAFRP板幅が大きい場合ほど小さくなる傾向にある。なお、W-20試験体の場合には、斜めひび割れの開口に伴ってAFRP板が部分的に剥離したことを確認している。また、気中および水中接着補強した試験体の結果を見ると、両者はほぼ同様の破壊性状を示していることより、水中においても気中で施工した場合と同様の補強効果を発揮しているものと判断される。

3.3 ひずみ分布性状

図-3には、各補強試験体の最大荷重時におけるAFRP板のひずみ分布を示している。なお、ひずみ値には各AFRP板に貼り付けた5点のひずみゲージ出力の最大値を用いている。

図より、AFRP板の発生ひずみは施工・養生環境によらず、AFRP板幅が小さいほど大きく示される傾向にあることが分かる。また、AFRP板幅が20 mmの場合において、水中施工されたAFRP板ひずみが気中施工の場合よりも大きい。これは、W-20試験体の場合において1本の斜めひび割れが開口したことに対応している。

3.4 AFRP板の分担せん断力

図-4には、図-3に示した各AFRP板の発生ひずみ

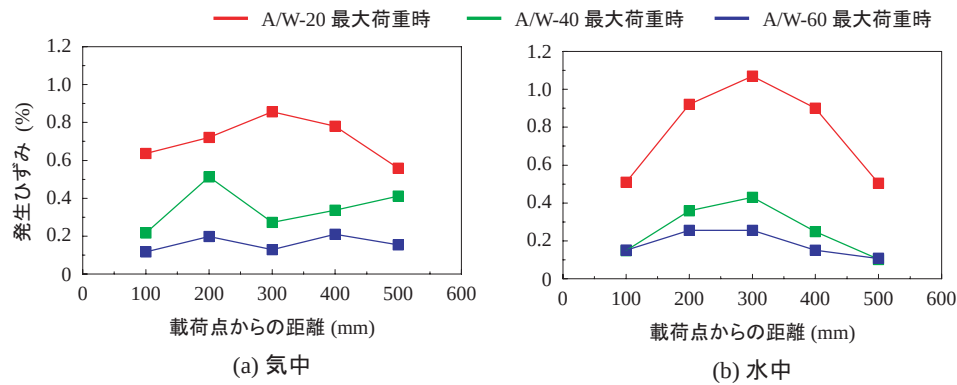


図-3 最大荷重時における AFRP 板のひずみ分布性状

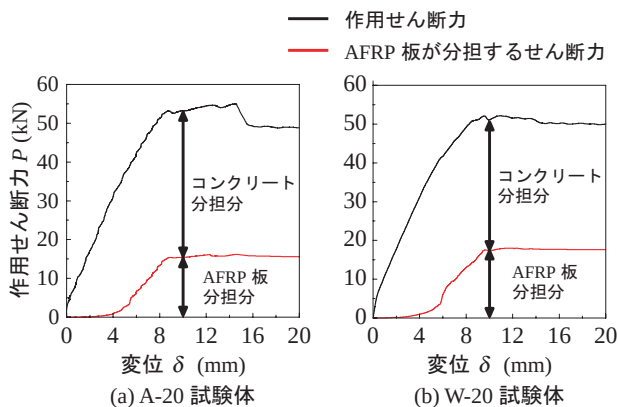


図-4 作用せん断力-変位関係

表-4 セン断補強による荷重増分と AFRP 板の分担せん断力

試験体名	N に対する荷重増分 (kN)	AFRP 板の分担せん断力 (kN)
A-20	17.0	15.4
A-40	18.3	14.8
A-60	16.8	11.5
W-20	14.1	17.5
W-40	16.0	11.7
W-60	17.3	11.5

から算出した AFRP 板の分担せん断力および作用せん断力と変位との関係を A/W-20 試験体について示している。なお、分担せん断力は、各 AFRP 板のひずみ出力から分担せん断力を算出し、AFRP 板 5 本の総和として算出している。

図より、両試験体ともに変位 4 mm 以降において AFRP 板が徐々にせん断力を分担していることがわかる。このような傾向は他の補強試験体においても同様であった。表-4 には各補強試験体の N 試験体に対するせん断力増

分と AFRP 板のひずみ出力から評価した分担せん断力を示している。表より、いずれの試験体においても両結果が同等であることより、施工・養生環境によらず AFRP 板はせん断耐力向上に適切に寄与していることがわかる。

4. まとめ

本研究では RC 梁の水中接着補強工法を確立することを目的として、水中接着樹脂と AFRP 板を用いて水中巻付けせん断補強した RC 梁の静載荷実験を行った。本研究の範囲内で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- 1) 水中せん断補強により、せん断破壊型 RC 梁の破壊形式を曲げ破壊型に移行可能である。
- 2) 水中せん断補強した RC 梁は気中接着の場合とほぼ同程度の耐荷性能を発揮する。
- 3) AFRP 板幅を広くすることで、ひび割れの開口や AFRP 板の発生ひずみを抑制可能である。

参考文献

- 1) 三上 浩, 岸 徳光, 栗橋祐介: 水中硬化型接着樹脂と AFRP 板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, pp.1327-1332, 2010.
- 2) 河本幸子, 栗橋祐介, 三上 浩, 岸 徳光: AFRP 板水中巻付け補強によるコンクリート円柱の耐荷性能向上効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.1315-1320, 2013.
- 3) 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.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 土木学会, 2007.
- 5) アラミド補強研究会: 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), 1998.