

AFRP 板水中接着曲げ補強 RC 梁の曲げ耐荷性状に及ぼす
せん断キー配置間隔の影響

Effects of intervals of shear-key on load-carrying capacity of flexural reinforced RC beams by means
of submerged AFRP plate bonding method

室蘭工業大学大学院 ○ 学生会員 河本 幸子 (Sachiko Kawamoto)
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、地震規模の拡大や走行車両の大型化などに起因する既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の耐力不足に伴い、その補修補強工事が盛んに行われている。補修補強を要する構造物には、河川橋脚等の水中構造物も含まれており、この種の構造物は、事前に補修補強対象部位を乾燥状態にするための仮締切工事を行う必要がある。このように、水中構造物の補修補強工事には陸上に比べ膨大なコストが必要となるため、施工が十分に進捗していないのが現状である。従って、仮締切が不要で水中での施工が可能な補修補強工法を開発することが急務となっている。著者らはこのことに着目し、予めアラミド製連続繊維シート (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た。

既往の研究では、提案の工法を用いて曲げ補強した RC 梁の静載荷実験を行っている¹⁾。その結果、提案工法により RC 梁の曲げ耐力を向上可能であるものの、鉄筋降伏後の比較的荷重の大きい領域における付着性能は気中接着補強の場合よりも劣ることが明らかになっている。このことより、付着性能改善のため、著者らはせん断キーを設ける方法により、付着性能が改善可能であることを明らかにしている²⁾。しかしながら、これまでの研究は「曲げ圧壊型」を対象に検討されており、計算曲げ耐力を下回る荷重で AFRP 補強材の剥離により終局に至る「剥離破壊型」の RC 梁を対象とした検討には至っていない。

このような観点より、本研究では水中接着補強工法の適切な付着性能改善策の提案を目的として、剥離破壊型の AFRP 板水中接着曲げ補強 RC 梁を対象に、せん断キー配置間隔を 7 種類に変化させた静的 4 点曲げ載荷実験を行った。

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、せん断キーの配置間隔および配置位置を変化させた水中接着曲げ補強 RC 梁全 7 体である。試験体名は英文字の S とせん断キー配置間隔 (mm) の組み合わせとして示している。また、試験体名末尾の A および B は、せん断キーをスターラップ位置に配置するケースとスターラップ間隔中央に配置するケースを示している。

図-1 には、試験体の形状寸法、配筋状況および補強概

表-1 試験体一覧

試験体名	せん断キー配置間隔	備考
S0	-	せん断キー無し
S50	50	-
S75	75	-
S100A	100	せん断キーをスターラップ位置に配置
S100B		せん断キーをスターラップ間隔の中央に配置
S150	150	-
S200	200	-

表-2 AFRP 板の力学的特性値 (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 (%)
415	588	0.286	2.06	118	1.75
830	1176	0.572			

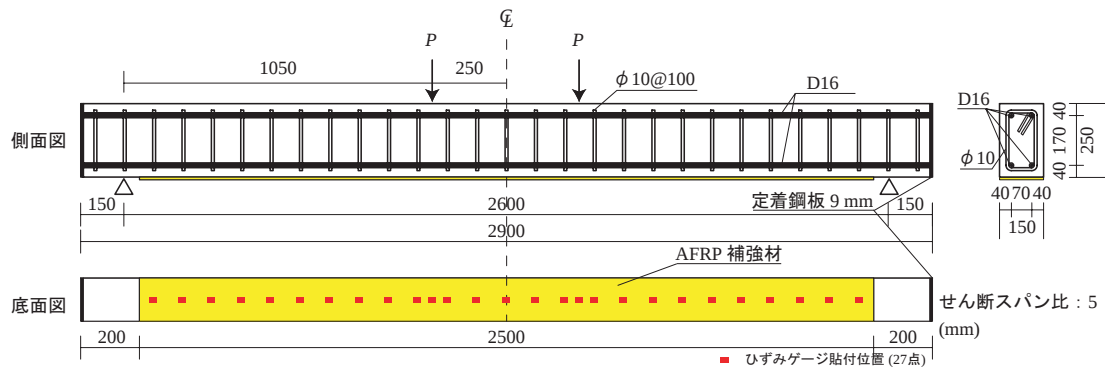
表-3 水中接着樹脂の力学的特性値

圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)	伸び率 (%)
74.4	33.1	16.4	1627	1.0

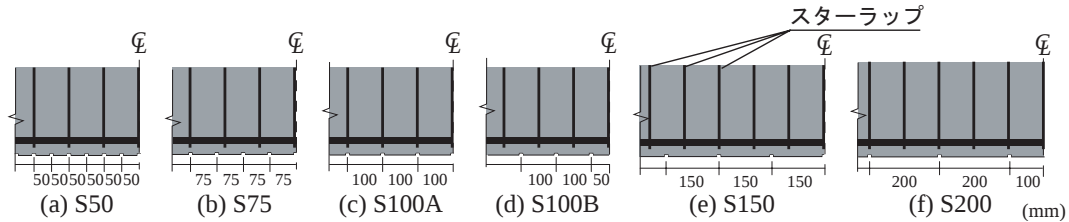
要を示している。本実験で使用した試験体は、断面寸法 150 × 250 mm、純スパン長 2.6 m の複鉄筋 RC 梁である。上下端鉄筋には SD345D16 を 2 本ずつ配置している。スターラップには SD345D10 を用い 100 mm 間隔で配置している。表-2 に、AFRP 板の力学的特性値を示す。使用した AFRP 板は、目付量 415 および 830 g/m² の AFRP シートを重ねて、エポキシ系樹脂を含浸硬化させ、1 枚の板状に成形したものである。AFRP 板の幅は 150 mm であり、梁軸方向の補強範囲はスパン中央部から両支点の 50 mm 手前までとしている。

図-2 には、コンクリート表面のせん断キーの配置状況を示している。せん断キーの幅および深さは、せん断キーの配置間隔や配置位置によらず、それぞれ 10 mm、5 mm と設定した。S50/75/150 試験体は、RC 梁の中央にせん断キーを配置し、中央から等間隔にそれぞれ 50、75 および 150 mm 毎にせん断キーを配置した。S100A 試験体は、スターラップ直下にせん断キーを 100 mm 間隔で配置し、S100B 試験体は、各スターラップの中間に配置している。S200 試験体は、試験体中央から左右に 100 mm の地点を起点として、200 mm 毎にせん断キーを配置した。

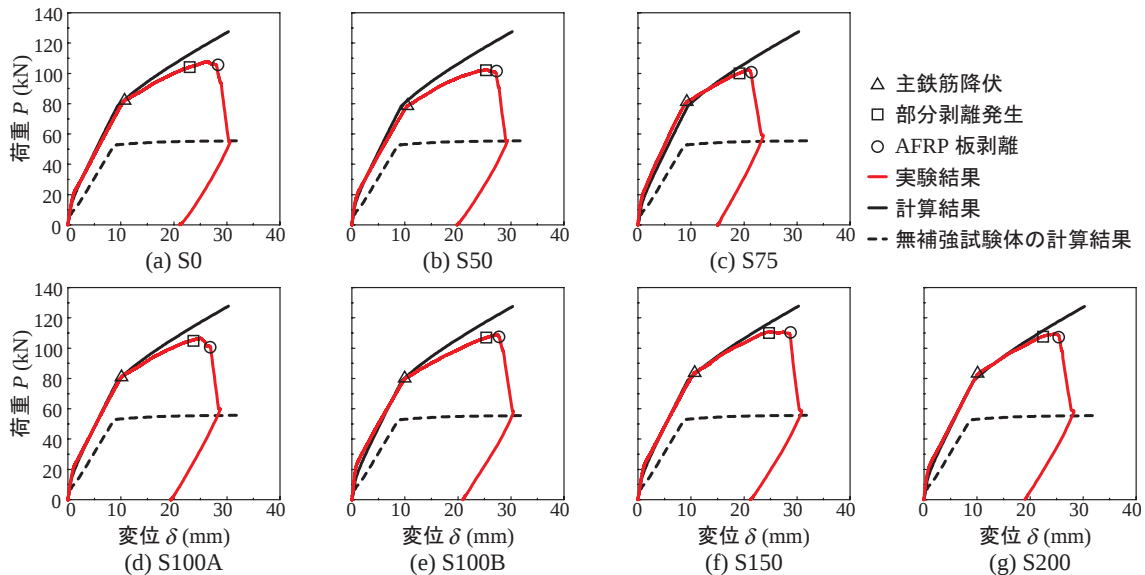
実験時におけるコンクリートの圧縮強度は $f'_c = 35.1$ MPa であり、軸方向鉄筋の降伏強度は $f_y = 380$ MPa であった。



図－1 試験体の形状寸法、配筋状況および補強概要



図－2 せん断キー配置状況



図－3 各試験体における荷重－変位関係の実験結果と計算結果の比較

表－3には、使用した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。また、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」³⁾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)」に準拠して評価しており、接着材料としての性能を満足していることを確認している²⁾。

2.2 RC梁の水中接着補強方法および実験方法

水中接着補強は、気中で一体化させたAFRP板との水中接着樹脂を大型水槽内に設置したRC梁の所定の位置に配置し、圧着した状態で5日間程度養生する工程で実施した。なお、AFRP板の接着面には、5号珪砂による砂付処理を施した。また、コンクリート表面にはショットブラスト処理(処理深さ1mm程度)を施している。

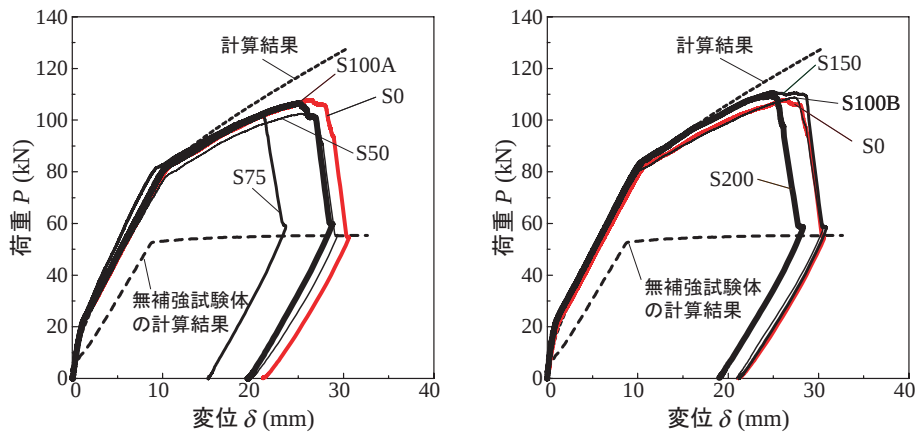
載荷実験は、RC梁を単純支持状態で設置し、容量200kNの油圧ジャッキを用いて4点曲げ載荷試験法により

行った。なお、載荷試験は、試験体を水から引き上げた後、直ちに行うこととしている。本実験の測定項目は、荷重、スパン中央点変位(以後、変位)、AFRP板ひずみである。また、実験時には、RC梁のひび割れやAFRP板の剥離状況を連続的に撮影し、実験終了後には、RC梁のひび割れを撮影した。

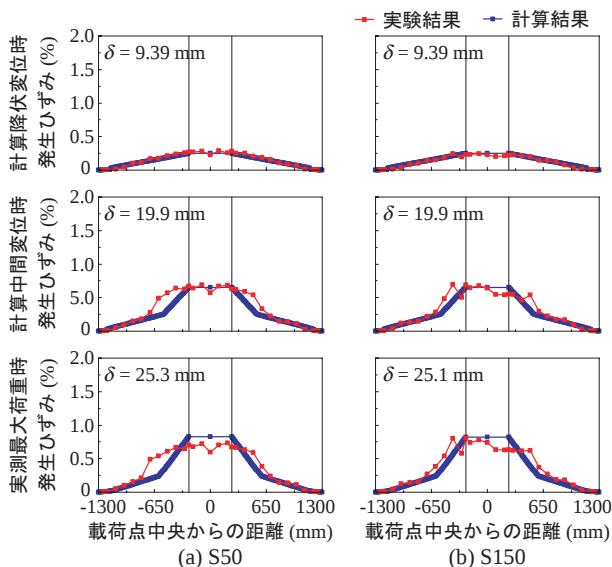
3. 実験結果と考察

3.1 荷重－変位関係

図－3には、各試験体の荷重－変位関係に関する実験結果と計算結果および無補強RC梁の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⁴⁾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板とコンクリートの完全付着を仮定している。水中接着樹脂は前述の弾性係数および引張強度を用いて完全弾性体と仮定した。なお、水中接着樹脂の厚さは実測平均値2.6mmとした。



図－4 各試験体における荷重－変位関係の実験結果と計算結果のまとめ



図－5 S50/150 試験体の AFRP 板軸方向ひずみ分布図

図より、各試験体の実験結果は、主鉄筋降伏時までは計算結果とほぼ対応しており、その後計算結果よりも小さな剛性勾配を示し、最終的には計算耐力を下回る荷重で AFRP 板の剥離により終局に至っていることが分かる。なお、終局時の破壊性状は、いずれの試験体も荷重点近傍の下縁かぶりコンクリート部で発生した斜めひび割れが AFRP 板を下方へ押し出し引き剥がすピーリング作用による AFRP 板の剥離破壊であった。

図－4 には、各試験体の実験結果を直接比較して示している。図は、実験結果が比較的類似の性状を示しているため、S50/75/100A 試験体と S100B/150/200 試験体に分けて示すこととした。また、これらの結果は、S0 試験体の実験結果と断面分割法による計算結果とを比較する形で示している。

図より、S50/75/100A 試験体の実測最大荷重は S0 試験体のそれを下回っていることが分かる。一方、S100B/150/200 試験体の実測最大荷重は S0 試験体の値を上回っている。これは、せん断キー配置間隔が大きい場合に AFRP 板水中接着樹脂による曲げ補強効果が大きいことを示している。

3.2 ひずみ分布性状

図－5 には、AFRP 板の軸方向ひずみ分布性状の一例として、S50 および S150 試験体に関する計算主鉄筋降伏時、中間変位時および最大荷重時における AFRP 板の軸方向

ひずみ分布性状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、計算主鉄筋降伏変位と計算終局変位の中間の変位である。なお、計算結果は AFRP 板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、計算降伏変位時の実測ひずみ分布は、計算ひずみ分布とよく対応していることがわかる。また、中間変位時では S150 試験体の実測ひずみは計算結果と比較的良好に対応しているものの、S50 試験体の実測ひずみは、等せん断力区間の荷重点近傍において計算ひずみよりも大きな値を示している。このような傾向は実測最大荷重時においてさらに顕著に示されている。これらのことから、S50 試験体の AFRP 板は、S150 試験体の場合に比べて、早期に部分剥離が生じているものと考えられる。

3.3 ひび割れ性状

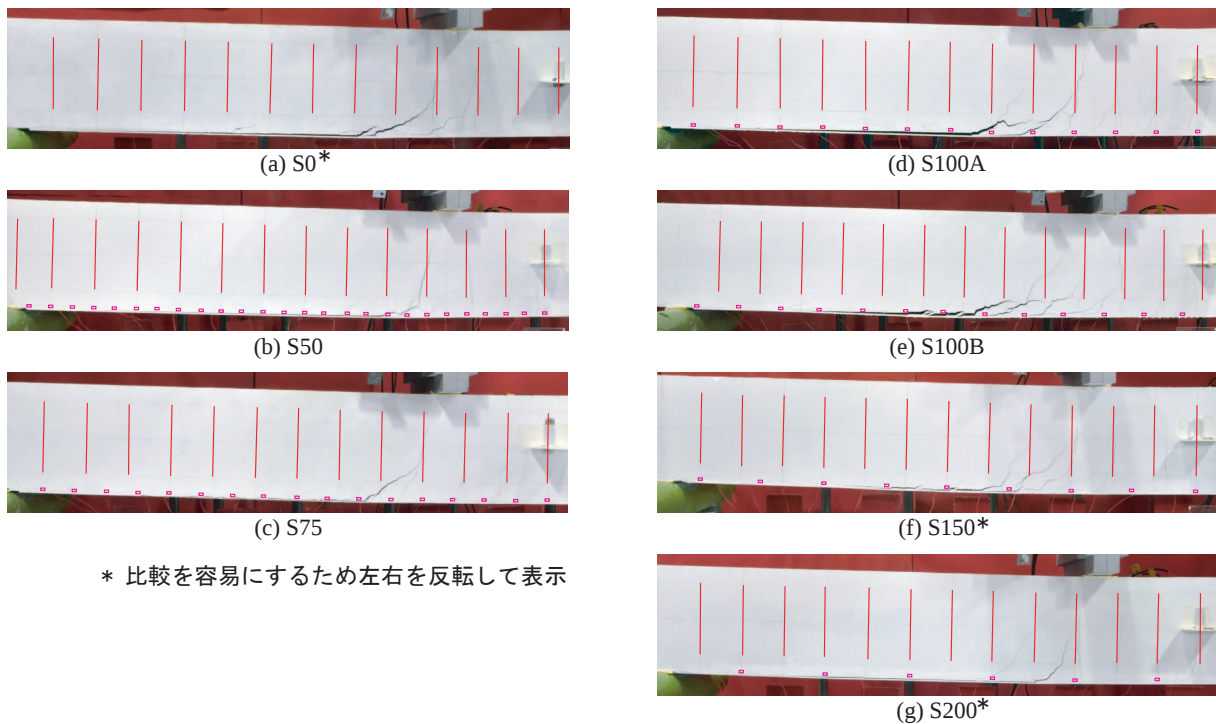
写真－1 には、各試験体の終局直前のひび割れ性状を示している。

写真より、いずれの試験体も下縁かぶりコンクリートに発生した斜めひび割れが AFRP 板を下方に押し出して引きはがすピーリング作用により部分剥離を生じていることがわかる。また、せん断キーを配置した試験体は、総じて荷重点近傍のせん断キー付近から斜めひび割れが発生していることがわかる。

S50/75 試験体の場合には、S0 試験体の場合と同様に、1 本の斜めひび割れが起点となって部分剥離が発生させている。これに対し、S100A/100B/150 試験体の場合には、2～3 本の斜めひび割れから部分剥離が発生している。これは、最も荷重点側の斜めひび割れの発生・開口により部分剥離が発生した後、せん断キー位置で剥離の進展が抑制され、全面剥離には至らず、支点側に新しい斜めひび割れが発生したことによるものである。

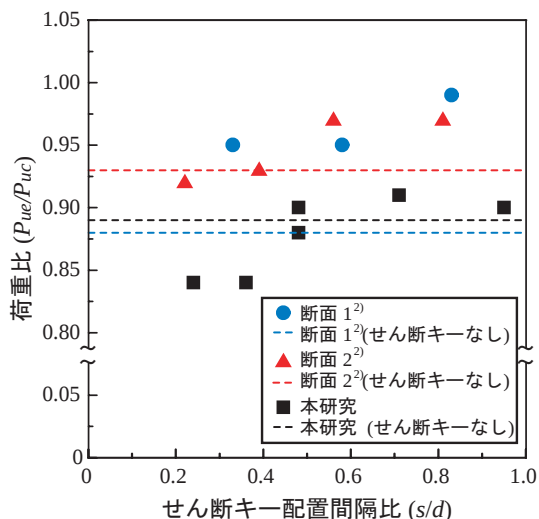
前述のように、S50/75 試験体において、斜めひび割れの分散効果が発揮されなかったのは、せん断キー間隔が小さいため、多数の曲げひび割れが誘発されて水中接着樹脂が損傷し、早期に全面剥離に至ったためと推察される。また、このことがこれらの試験体の耐荷性能が低いことに関連しているものと考えられる。

S200 試験体の場合には、S0 試験体と同様に 1 本の斜めひび割れが部分剥離の起点となっている。これは、せん断キーが有効に作用していないことを示唆しており、耐荷性能が S150 試験体よりも小さいことを裏付けるものと



* 比較を容易にするため左右を反転して表示

写真－1 終局直前における各試験体のひび割れ性状



図－6 荷重比とせん断キー配置間隔比との関係

推測される。

3.4 せん断キーによる耐荷性能向上効果

図－6には、各試験体の荷重比とせん断キー配置間隔比との関係を、既往の実験結果と合わせて示している。ここで、荷重比とは実測最大荷重 P_{ue} を計算最大荷重 P_{uc} で除したものである。また、せん断キー配置間隔比とはせん断キーの配置間隔 s を有効高さ d で除したものである。

図より、各試験体の荷重比は、梁の断面寸法によらずせん断キー配置間隔比が大きい場合に大きくなる傾向にあることがわかる。なお、本研究における荷重比が全般的に過去の実験結果よりも小さいのは、過去の実験では「曲げ圧壊型」のAFRP板水中接着曲げ補強RC梁を対象としていたのに対し、本研究では「剥離破壊型」の梁を対象としているためである。

以上の結果より、荷重比を向上させるための適切なせ

ん断キー配置間隔比はAFRP板補強後の破壊形式に関わらず0.6～0.9程度であると考えられる。

4. まとめ

本研究では水中接着補強工法における付着性能改善策の提案を目的として、「剥離破壊型」のAFRP板曲げ補強RC梁のコンクリート表面にせん断キーを設け、その補強効果を静荷実験により検討した。本研究により得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- 1) せん断キーがAFRP板の付着性能向上に有効に作用する場合には、部分剥離の起点となる斜めひび割れが分散して発生する傾向にある。
- 2) せん断キー配置間隔が小さい場合には多くの曲げひび割れが誘発されて接着樹脂が損傷し早期に全面剥離に至る。
- 3) 付着改善のための適切なせん断キー配置間隔比は0.6～0.9程度である。

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版を用いて水中補強したRC梁の静荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, pp.1327-1332, 2010.
- 2) 栗橋祐介, 三上 浩, 鹿嶋辰紀, 岸 徳光: AFRP板水中接着曲げ補強RC梁の耐荷性状に及ぼすせん断キー配置間隔の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, 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.