

接着樹脂の異なる AFRP シート曲げ補強 RC 梁の耐荷性状に関する実験的研究

Experimental study on load carrying capacity of flexural strengthened RC beams with AFRP sheet using various resinous bond

室蘭工業大学
三井住友建設 (株)
室蘭工業大学
(独) 北海道開発土木研究所
(株) ケイジーエンジニアリング

フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
○ 正 会 員 澤田 純之 (Sumiyuki Sawada)
正 会 員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
正 会 員 巽 治 (Osamu Tatsumi)

1. はじめに

近年、連続繊維シート (以後、FRP シート) を用いた土木構造物の補修・補強工法が採用されるようになり、現在も諸研究機関で様々な実験、検討が行われている。著者らも、FRP シートを RC 部材の引張り作用面に接着する曲げ補強を想定し、FRP シート曲げ補強 RC 梁に関する様々な実験を実施してきた。その結果、1) 曲げ補強シートの剥離は載荷点近傍の下縁かぶり部に発生する斜めひび割れの開口に伴うピーリング作用によって発生すること、2) FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、断面分割法に基づいて算出した計算結果の最大荷重および最大荷重時変位到達前にシート剥離を生じ終局に至る剥離破壊型と、計算最大変位を上回り、上縁コンクリートが圧壊した後に計算最大荷重と同程度の荷重レベルで終局に至る曲げ圧壊型に分類されること、3) これらの破壊形式は、降伏曲げ耐力と終局曲げ耐力の関係を基に予測可能であること¹⁾、等を明らかにしている。

表-1 プライマーおよび含浸接着樹脂の主な規格値

材料	試験項目	試験方法	規格値
プライマー	付着強度	JIS K5400	2.0 N/mm ² 以上
含浸 接着樹脂	曲げ強さ	JIS K7203	40.0 N/mm ² 以上
	引張強さ	JIS K7113	30.0 N/mm ² 以上
	引張 せん断強さ	JIS K6550	10.0 N/mm ² 以上

表-2 試験体一覧

試験 体名	主鉄筋	樹脂 タイプ	曲げ補強 範囲	予想 破壊形式
D-Ra	D13	樹脂 a	全面接着	剥離 破壊型
D-Rb		樹脂 b		
B-Ra	D19	樹脂 a	全面接着	曲げ 圧壊型
B-Rb		樹脂 b		
Bs-Ra		樹脂 a	必要 接着長	
Bs-Rb		樹脂 b		

ここで、FRP シートの曲げ補強効果は、シートとコンクリート間の接着樹脂を介して応力が伝達することにより発揮されるものである。そのため、コンクリート内部に浸透し、シートとコンクリートとの接着を確保する下地処理材としてのプライマーや、繊維シートに含浸され、シートを FRP 化し、さらにコンクリート表面と FRP シートの界面で応力を伝達する含浸接着樹脂 (ここでは、プライマーお

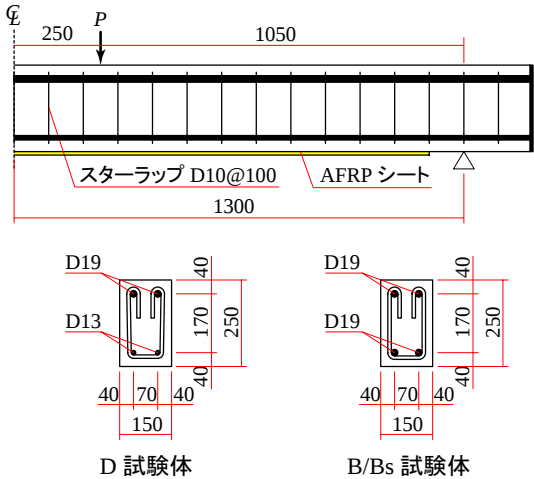


図-1 RC 梁の形状寸法および配筋状況

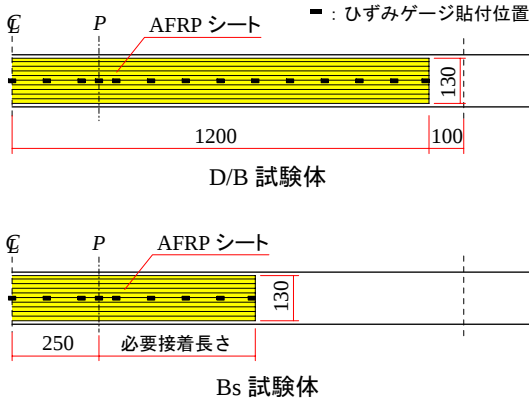


図-2 AFRP シートの補強概要

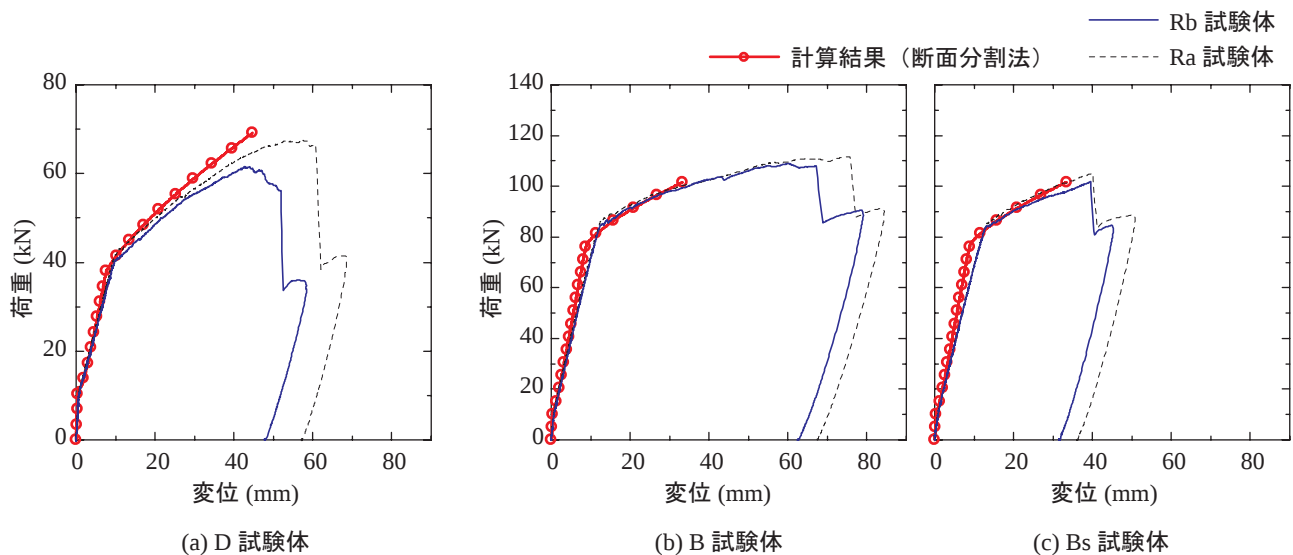


図-3 荷重-変位関係

表-3 実験および計算結果の一覧

試験体名	降伏時					最大荷重時					破壊形式
	計算値		実験値		耐力比 P_{ye}/P_{yc}	計算値		実験値		耐力比 P_{ue}/P_{uc}	
	荷重 P_{yc} (kN)	変位 δ_{yc} (mm)	荷重 P_{ye} (kN)	変位 δ_{ye} (mm)		荷重 P_{uc} (kN)	変位 δ_{uc} (mm)	荷重 P_{ue} (kN)	変位 δ_{ue} (mm)		
D-Ra	38.0	7.7	41.3	9.6	1.09	69.2	44.7	67.5	57.5	0.98	剥離破壊型
D-Rb			40.1	9.7	1.06			61.5	42.8	0.89	剥離破壊型
B-Ra	76.8	8.9	86.5	12.6	1.12	101.6	33.3	111.7	74.8	1.10	曲げ圧壊型
B-Rb			84.4	12.4	1.10			108.9	60.1	1.07	曲げ圧壊型
Bs-Ra	76.8	9.0	85.0	13.1	1.11	101.6	33.4	105.2	40.1	1.04	曲げ圧壊型
Bs-Rb			84.0	13.0	1.09			101.7	39.4	1.00	曲げ圧壊型

および含浸接着樹脂を併せて接着樹脂と称する)はシート補強にとって極めて重要な材料である。アラミド補強研究会²⁾においてもこれら材料の規格値を規定している(表-1参照)。本研究では、これら規格値を満足する2種類の接着樹脂を用いて接着したアラミド繊維シート(以後、AFRPシート)曲げ補強RC梁の静荷重実験を実施し、接着樹脂の違いが耐荷性状に与える影響を検討した。

2. 試験体の概要

表-2には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。表中、試験体名の第1項目は予想される破壊形式を示しており、Dは剥離破壊型(下端筋にD13使用)、Bは曲げ圧壊型(下端筋にD19使用)を示している。また、Bに付随する小文字sはシート接着長が計算耐力を保证するための必要接着長³⁾であることを示している。第2項目は、接着樹脂の種類を示しており、本論文ではRa, Rbとしている。なお、接着樹脂には一般に使用されている材料を用いており、いずれも使用材料として表-1の規格値を満足している。

図-1には、本実験に用いたRC梁の形状寸法および配筋状況を示している。試験体は、断面寸法(梁幅×梁高)

150×250 mm、上・下端に鉄筋を2本ずつ配筋した複鉄筋矩形RC梁である。上端筋にはD19を、下端筋にはD13もしくはD19を配筋した。純スパン長は、いずれの試験体も2,600 mmとし、せん断スパン比を5.0としている。

図-2には、本実験に用いた試験体の補強概要図を示している。曲げ補強シートには保証耐力が600 kN/mのAFRPシート(目付量:415 g/m², 厚さ:0.286 mm, 弾性係数:118 GPa, 引張強度:2.06 GPa, 破断ひずみ:1.75%)を1層用いることとした。また、その補強範囲はD試験体で梁中央から両支点の100 mm手前までの全面接着、B試験体では全面接着と計算耐力を保证可能な必要接着長の場合を含めた2種類とした。シート接着面にはFRPシートの付着性能の向上に有効であるショットブラスト処理(処理深さ1~2 mm)を施した。なお、曲げ補強シート上には、図-2に示されるように、ひずみゲージをスパン中央から100 mm間隔、荷重点直下およびシート接着端部に貼付している。

実験時におけるコンクリートの平均圧縮強度は40.6 MPa、主鉄筋の降伏強度はD13, D19でそれぞれ372, 370 MPaであった。

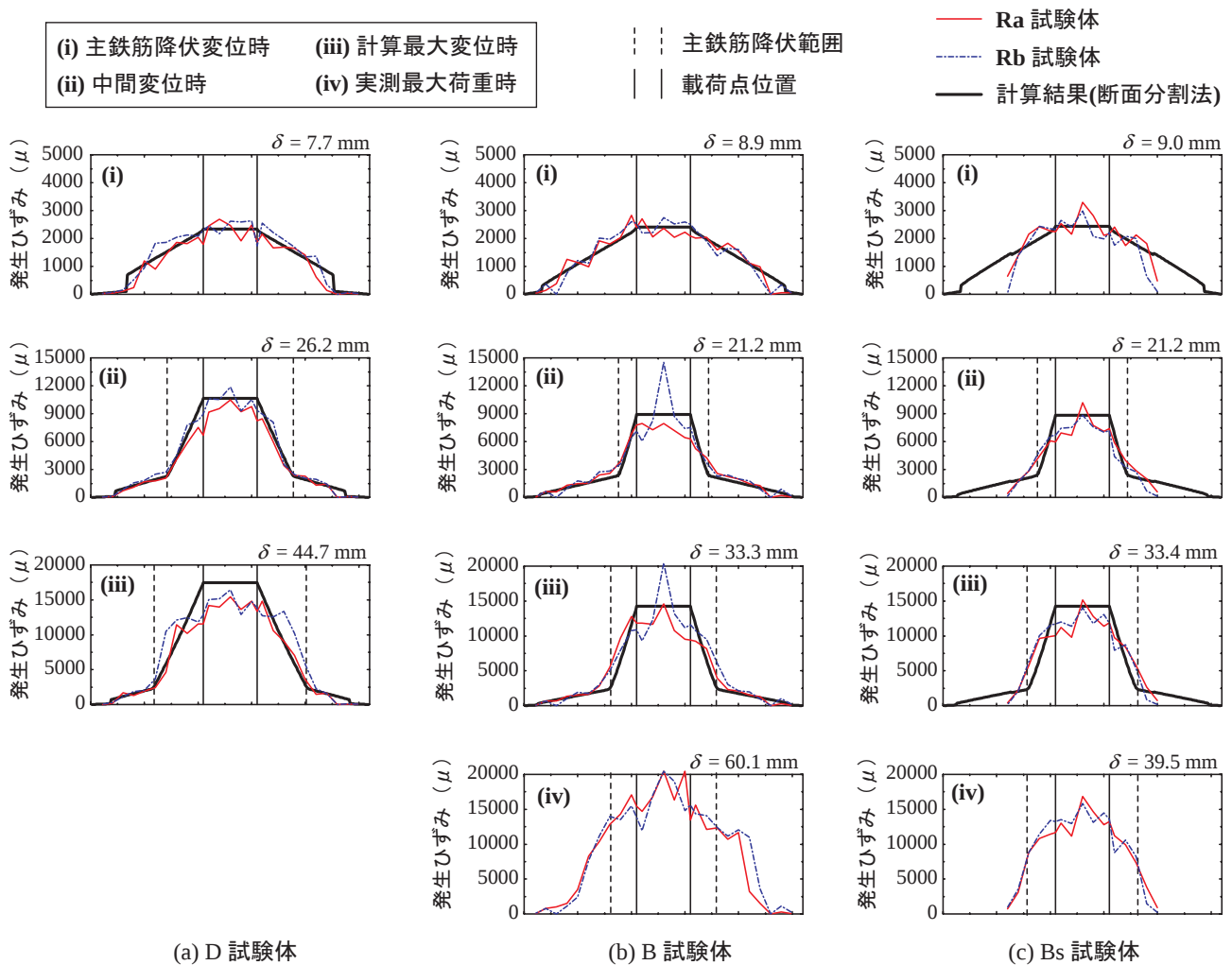


図-4 各変位時における実験および計算結果のひずみ分布の比較

3. 実験結果および考察

3.1 荷重-変位関係

図-3 には、各試験体の荷重-変位関係を計算結果と比較して示している。計算結果は、平面保持を仮定した断面分割法を用いて算出しており、圧縮ひずみがコンクリートの圧壊ひずみである $3,500 \mu$ を終局としている。なお、表-3 には 図-3 より得られる降伏荷重 P_{yc} , P_{ye} , 降伏変位 δ_{yc} , δ_{ye} , 最大荷重 P_{uc} , P_{ue} , 最大荷重時変位 δ_{uc} , δ_{ue} , 実測荷重を計算荷重で除した耐力比 P_{ye}/P_{yc} , P_{ue}/P_{uc} および破壊形式を一覧にして示している。なお、破壊形式は計算終局変位到達後、荷重が計算荷重と同程度以上となった場合を曲げ圧壊型、その他の場合を剥離破壊型としている。

図より、D 試験体は接着樹脂の種類にかかわらず、初期勾配から主鉄筋降伏までほぼ対応していることがわかる。しかし、主鉄筋降伏後の剛性勾配は計算値に比べて小さくなる傾向にあり、計算値の最大荷重に到達することなく、両者ともに終局に至っている。これは、いずれも剥離破壊が先行したためであるが、最大荷重や最大荷重時変位は Ra 試験体の方が大きい。

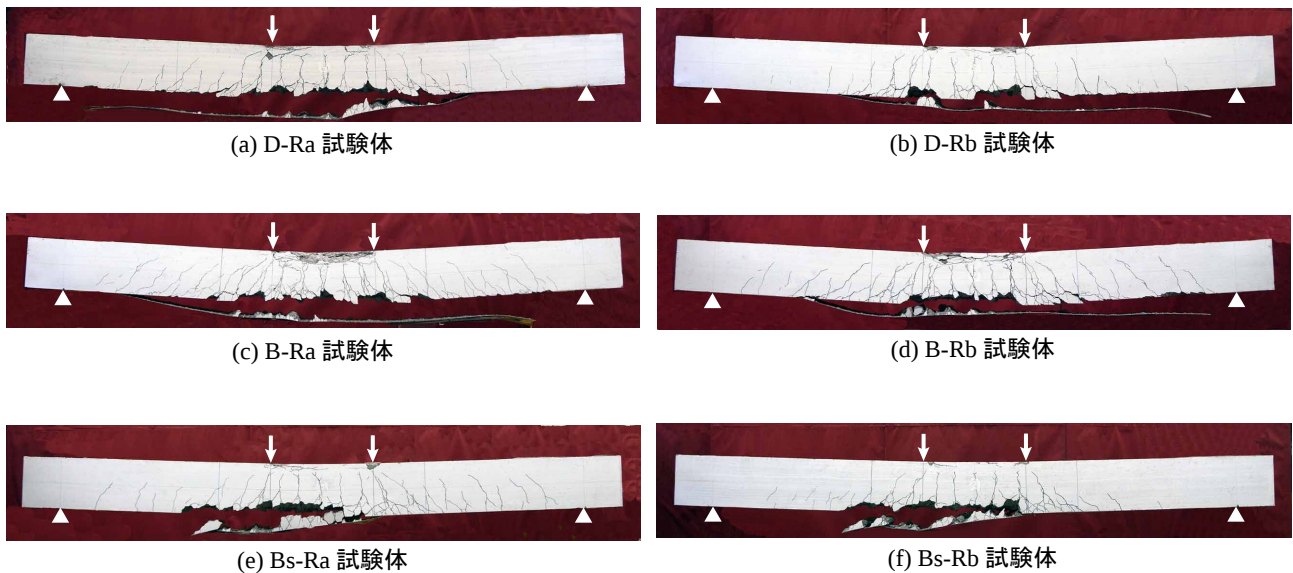
B/Bs 試験体では、いずれの場合も初期勾配が計算値よりも若干小さく示されているものの、計算終局時まで概ね

対応していることがわかる。また、いずれの接着樹脂を用いた場合も計算結果を上回った後にシートの剥離により終局に至っている。ここで、表-3 に示す耐力比に着目すると、降伏時の耐力比 P_{ye}/P_{yc} は破壊形式にかかわらず $1.06 \sim 1.12$ とよく対応し、接着樹脂の違いによる影響はほとんど見られない。また、最大荷重時の耐力比 P_{ue}/P_{uc} は、D 試験体は 1.0 を下回っていることより剥離破壊型を示しており、B/Bs 試験体では $1.00 \sim 1.10$ と曲げ圧壊型を示していることがわかる。これらの破壊形式は予測式から得られた破壊形式と合致していることから、接着樹脂が異なる場合においても表-1 に示す規格値を満足するものであれば、予測式の適用が可能であることが明らかになった。

3.2 ひずみ分布性状

図-4 には、各変位時におけるひずみ分布性状を試験体毎に比較して示している。なお、図には最大荷重時の変位が全般的に小さい Rb 試験体を基準に、(i) 主鉄筋降伏変位時、(ii) 降伏時と最大荷重時の中間変位時、(iii) 計算最大変位時、および (iv) 実測最大荷重時のひずみ分布を示している。なお、図の右上には各段階の変位を示している。

図より、(i) 主鉄筋降伏時はいずれの試験体も計算結果とよく対応したひずみ分布を示すことがわかる。また、(ii)



図－5 実験終了後におけるひび割れ分布性状

中間変位時，(iii) 計算最大変位時と変位が大きくなるとともに等せん断力区間において実験結果が計算ひずみを上回る部分が見受けられる．このことから，下縁かぶり部に発生する斜めひび割れの押し出しによるピーリング作用が顕在化し，シートの剥離が進展しているものと推察される．ここで，接着樹脂の違いに着目すると，いずれの変位時においても両者は非常に良く対応していることがわかる．

以上より，接着樹脂の違いに伴う大きな影響は見られず，ほぼ同様の補強効果および耐荷性状を有していると言える．

3.3 ひび割れ分布性状

図－5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．図より，シートを全面接着したD-Ra/Rb, B-Ra/Rb 試験体では，接着樹脂の違いにかかわらずいずれも梁全体に曲げひび割れが発生していることがわかる．また，載荷点近傍の下縁かぶりコンクリートにはピーリング作用の起因となる斜めひび割れが発生している．Ra と Rb 試験体を比較すると，Ra 試験体では主鉄筋降伏範囲内のかぶりコンクリートがシートに付着して剥落しているのに対して，Rb 試験体では等曲げ区間での剥落のみであり，範囲がRa 試験体に比べて狭いことがわかる．一方，シート接着長を必要接着長としたBs-Ra/Rb 試験体ではひび割れ性状に大きな違いは見られない．以上から，接着樹脂は全面接着時にシート剥離する際のかぶりコンクリートを伴う剥離領域の大きさに影響を与えるものの，その影響は必要接着長のみを貼り付けた場合には顕著に出現しないことが明らかになった．なお，これはD/B 試験体でRa 試験体の方がRb 試験体よりも最大荷重および最大荷重

時変位が大きくなっている要因であると考えられる．

4. まとめ

本研究では，シートの接着樹脂がFRPシート曲げ補強RC梁の耐荷性状に及ぼす影響を検討するため，規格値を満足する2種類の接着樹脂を用いてAFRPシートを接着したRC梁の4点曲げ載荷実験を実施した．本研究の範囲内で得られた結論を要約すると以下の通りである．

- 1) 規格値を満足する接着樹脂を用いることでAFRPシート曲げ補強RC梁の耐荷性状はほぼ同等となり，破壊形式予測式による予想結果と実験結果は合致する．
- 2) 接着樹脂は，全面接着時にシート剥離する際，かぶりコンクリートを伴う剥離領域の広がりに影響を与え，最大荷重や最大荷重時変位が多少変動する．ただし，シート剥離直前までのシートのひずみ分布にはほとんど影響を与えない．

参考文献

- 1) 岸 徳光，三上 浩，栗橋 祐介：AFRPシートで曲げ補強したRC梁の曲げ耐荷性状に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.47-64，2001.8
- 2) 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の設計・施工要領（案），1998.10
- 3) 岸 徳光，三上 浩，栗橋 祐介，澤田 純之：AFRPシート曲げ補強RC梁のシートの必要接着長評価に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.48A，pp.987-997，2002.3