

せん断破壊型 AFRP シート補強 RC 梁の耐荷性状に及ぼす主鉄筋降伏の影響

Influence of rebar yielding area on load carrying capacity of shear-failure type RC beams flexurally strengthened with AFRPs

三井住友建設(株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
北海道開発土木研究所 正会員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
室蘭工業大学 ○ 学生員 三浦 敬 (Takashi Miura)

1. はじめに

近年、既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物を対象にした補修・補強工事に連続繊維シート (以後、FRP シート) を用いた接着工法が採用されている。これまで FRP シートを用いて RC 部材を補強する際の合理的な補強設計手法の確立を目的に、諸研究機関において FRP シートで補強した RC 部材を用いた数多くの実験検討が行われてきた。それらの中で、押し抜きせん断破壊で終局に至る RC 版を FRP シートで下面接着補強する場合は、三次元的な挙動を示すため、シートの耐荷性状に与える影響は十分には把握されていないのが現状である。著者らは FRP シート下面接着 RC 版を用いて FRP シートの押し抜きせん断耐力向上効果に関する検討を行ってきた^{1),2)}。その結果、1) FRP シートの引張剛性と耐力増分は線形比例関係になく、補強効果には上限があること、2) たわみ性が高く、下端鉄筋が降伏しやすい RC 版ほど FRP シートの補強効果は大きく出現する

こと、等を明らかにしている。しかしながら、RC 版を用いた場合には、ひび割れの進展状況等の確認が不可能であるため、耐荷性状やシートの剥離性状は未だ十分には明らかになっていない。

そこで本研究では、AFRP シートで曲げ補強した後にせん断破壊によって終局に至る主鉄筋量の異なる RC 梁に着目し、主鉄筋の降伏がシートの補強効果に与える影響を実験的に検討した。

2. 試験体概要

図-1 には、本実験に用いた RC 梁の形状寸法、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 (梁幅×梁高) 15×25 cm、純スパン長 2.4 m、軸方向鉄筋に D13 または D22 を上・下端に 2 本ずつ配置した複鉄筋矩形 RC 梁である。なお、試験体にはせん断破壊先行とするため、せん断補強筋を配置していない。

曲げ補強シートの補強範囲は、梁幅方向に 13 cm、梁軸方向には梁中央部から両支点の 10 cm 手前までとしている。なお、シート接着部のコンクリート表面には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) を施している。また、シート上には、検長 10 mm のひずみゲージをスパン中央部から両支点側に 10 cm 間隔お

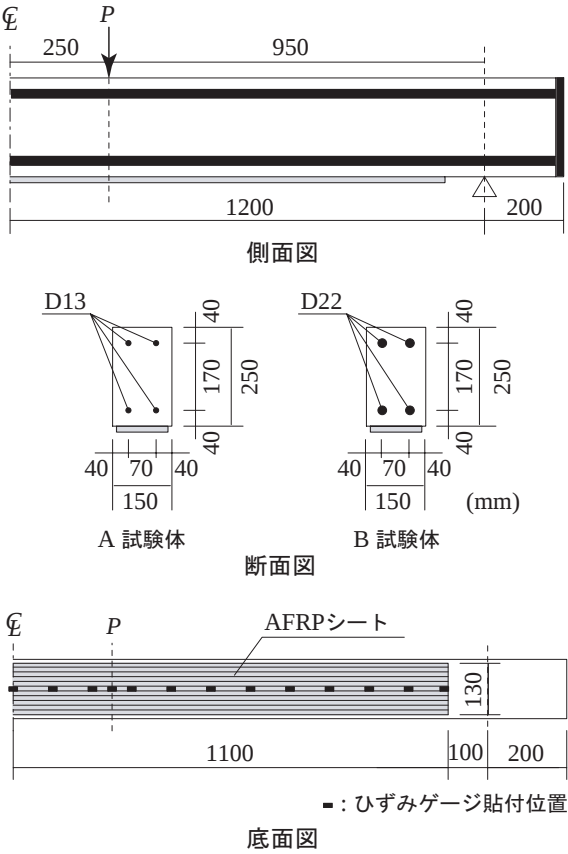


図-1 RC 梁の形状寸法、配筋状況および補強概要

表-1 試験体一覧

試験体名	軸方向鉄筋	補強層数	体積補強割合 (%)	曲げ耐力 (kN)	せん断耐力 (kN)	せん断余裕度
A-S0	D13	無補強	0	40.3	51.4	1.27
A-S1		1層	1.14	68.5		0.75
A-S2		2層	2.29	86.6		0.59
A-S3		3層	3.43	100.0		0.51
A-S4		4層	4.58	110.4		0.47
B-S0	D22	無補強	0	112.4	74.5	0.66
B-S1		1層	1.14	133.0		0.56
B-S2		2層	2.29	149.3		0.50
B-S3		3層	3.43	162.7		0.46
B-S4		4層	4.58	173.9		0.43

表-2 AFRP シート力学的特性値一覧

目付量 (g/m ²)	厚さ (mm)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (GPa)	破断ひずみ (%)
415	0.286	118	2.06	1.75

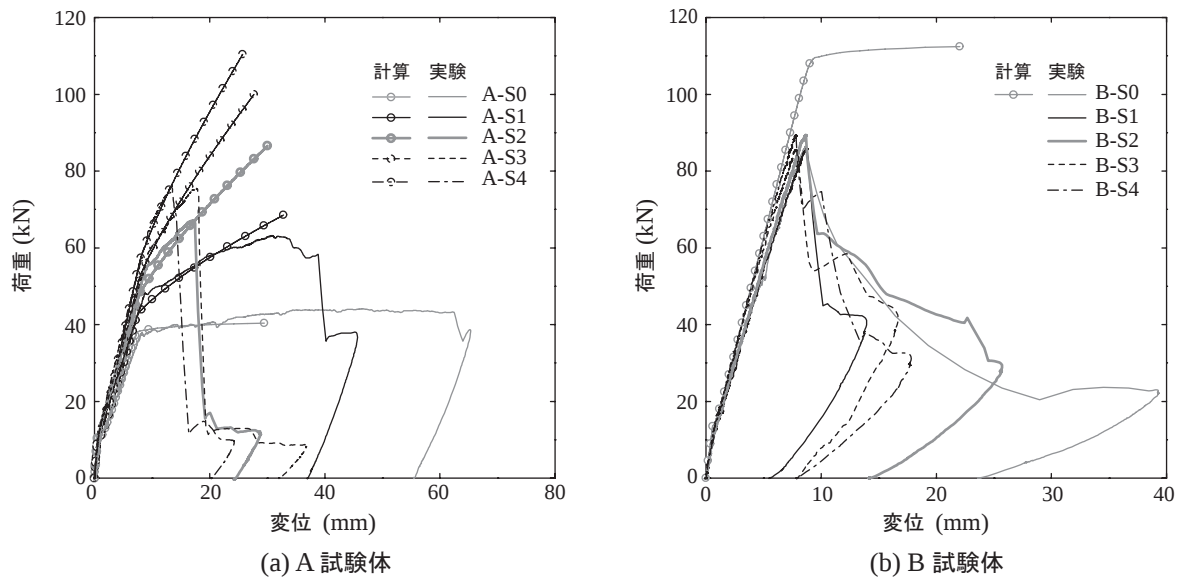


図-2 荷重-変位関係

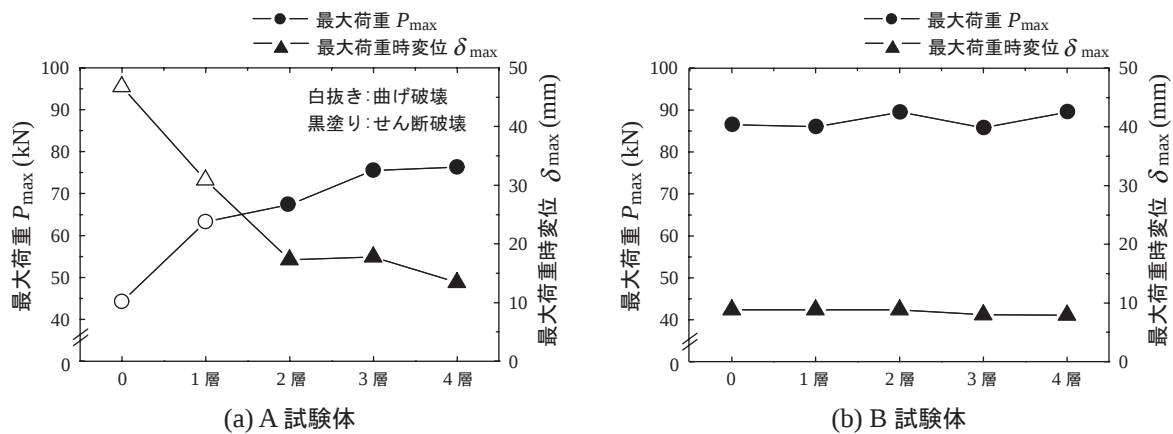


図-3 シート層数と最大荷重および最大荷重時変位の関係

よび荷重点直下に貼り付けている。

表-1 には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体は、軸方向鉄筋を2種類、シート層数を無補強を含む5種類に変化させた全10体のRC梁である。表中、試験体名の第一項目は軸方向鉄筋の種類(A: D13, B: D22)、第二項目のSに付随する数値は補強層数を示している。また、表には曲げ耐力、せん断耐力およびせん断余裕度を示している。せん断余裕度は、せん断耐力を曲げ耐力で除した値であり、1.0を下回る場合には計算上せん断破壊することを示している。なお、曲げ耐力は平面保持を仮定した断面分割法を用いて、上縁コンクリートの圧壊ひずみを $3,500\mu$ として算出した。また、せん断耐力はコンクリート標準示方書³⁾に準拠して算出している。本実験に用いた試験体は、無補強時に曲げ破壊しFRPシートで曲げ補強を行うことによりせん断破壊に移行する試験体(A試験体)と、無補強時および補強後もせん断破壊する試験体(B試験体)の2種類である。

実験時のコンクリートの材齢は56日、平均圧縮強度 $f'_c = 26.1\text{ MPa}$ であった。また、軸方向鉄筋D13, D22の降伏強度はそれぞれ $f_y = 386\text{ MPa}$, $f_y = 384\text{ MPa}$ であった。表-2 には、AFRPシートの力学的特性値の一覧を示している。

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-2 には、各試験体の荷重とスパン中央変位(以後、単に変位)の関係断面分割法を用いて算出した計算結果と比較して示している。図中の計算結果はA試験体では全試験体について示しているが、B試験体では、いずれも主鉄筋降伏前にせん断破壊していることより、B-S0試験体の結果のみを示している。なお、図-3 には図-2より得られる最大荷重 P_{max} および最大荷重時変位 δ_{pmax} と補強層数の関係を示している。

図-2 (a) より、A-S0試験体は計算結果とほぼ対応し、計算終局変位を大きく上回り、上縁コンクリートの圧壊が先行して曲げ破壊によって終局に至ったことがわかる。A-S1試験体では、せん断余裕度が0.75であるにもかかわらず、主鉄筋降伏後も荷重および変位が線形に増加し、計算終局変位と同程度の変位でシート剥離により終局に至っている。一方、A-S2/S3/S4試験体はいずれも主鉄筋降伏後も計算結果と同様の勾配を示しているものの、67~76 kN程度でせん断破壊により終局に至っている。ここで、図-3 (a) より、シートの補強量が増加するに伴い最大荷重が増加し、最大荷重時変位が減少する傾向にあることがわかる。

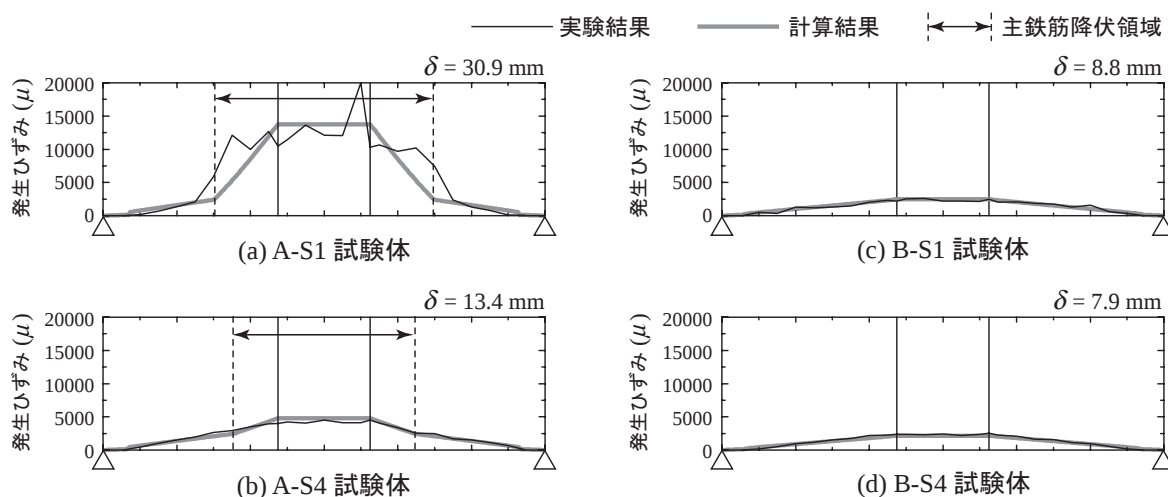


図-4 実測最大荷重時におけるシートのひずみ分布性状

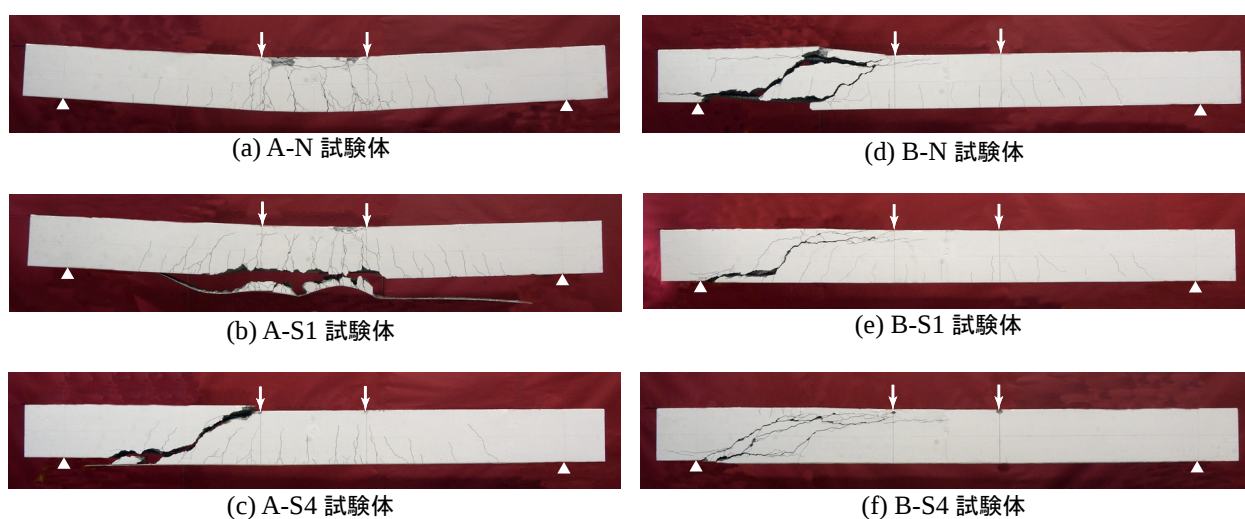


写真-1 ひび割れ分布性状

このことより、シート下面接着後においても主鉄筋が降伏する場合には、シート補強によって梁の剛性低下が抑制され、せん断耐力が増加することが明らかになった。また、曲げ破壊に比べてせん断破壊の場合は、層数の変化による最大荷重および変位の変動が少ないことがわかる。

図-2 (b) より、B-S0 試験体は、計算結果より若干小さな剛性勾配を示し、計算時の降伏点に到達する前に急激な荷重低下を示していることより、せん断破壊で終局に至っていることがわかる。また、下面接着補強を施した B-S1/S2/S3/S4 試験体は、補強量を増加させることにより剛性は若干上がるものの、ほぼ同様の荷重および変位でせん断破壊している。図-3(b) から、最大荷重および最大荷重時変位は補強量にかかわらず同様の値を示していることがわかる。これらのことより、主鉄筋が降伏する前にせん断破壊する場合には、シートの補強効果はほとんど発揮されないことが明らかになった。

3.2 シートのひずみ分布性状

図-4 には、実測最大荷重時におけるシートのひずみ分布を同一変位時の計算結果と比較して示している。図には、A-S1/S4、B-S1/S4 試験体の結果を示している。シート

剥離により終局に至った A-S1 試験体では、著者らの既往の研究と同様、等せん断力区間の主鉄筋降伏領域内で計算結果よりも大きなひずみが発生している。このことより、ピーリング作用によって部分剥離が進展し、シートが全面剥離して終局に至ったことがわかる。A-S4 試験体では、実験結果と計算結果が概ね一致している。しかしながら、発生ひずみは最大でも 5,000 μ 程度であり、シートの補強効果を十分に発揮する前にせん断破壊したものと考えられる。一方、主鉄筋降伏前にせん断破壊した B-S1/S4 試験体では、主鉄筋が弾性域内であるため、シートの発生ひずみは 2,000 μ 程度と小さい。これらのことより、主鉄筋降伏前にせん断破壊により終局に至る試験体はシートの補強効果がほとんど発揮されずに終局に至ることが明らかになった。

3.3 ひび割れ分布性状

写真-1 には、実験終了後におけるひび割れ分布性状を示している。写真には、A-S0/S1/S4 試験体および B-S0/S1/S4 試験体の結果を示している。写真より、A-S0 試験体は梁の下縁より曲げひび割れが発生し、上縁コンクリートが圧壊していることから曲げ破壊していることがわかる。一方、

表-3 実験結果一覧

試験体名	降伏荷重 P_y (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	最大荷重 P_{max} (kN)	最大荷重時変位 δ_{max} (mm)	耐力 増加割合	破壊形式
A-S0	36.9	7.9	44.3	46.8	-	曲げ破壊
A-S1	48.7	8.8	63.3	30.9	1.43	
A-S2	55.5	9.2	67.4	17.3	1.52	せん断破壊
A-S3	58.9	9.4	75.6	17.8	1.71	
A-S4	64.5	9.5	76.3	13.4	1.72	
B-S0	-	-	86.6	8.8	-	せん断破壊
B-S1	-	-	86.1	8.8	0.99	
B-S2	-	-	89.5	8.8	1.03	
B-S3	-	-	85.8	8.0	0.99	
B-S4	-	-	89.6	7.9	1.04	

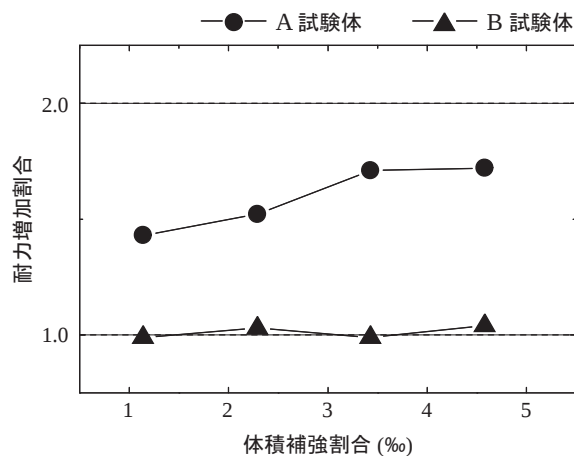


図-5 体積補強割合と耐力増加割合の関係

A-S1 試験体は荷点近傍下縁かぶり部において斜めひび割れの発生およびかぶりコンクリートの剥落が見られることより、ピーリングにより全面剥離に至ったことがうかがわれる。またシートを4層としたA-S4試験体は、荷点近傍の下縁かぶり部に斜めひび割れが見られるものの、荷点より斜め45°の角度でせん断ひび割れが大きく開口し、シートが端部で剥がれていることがわかる。一方、B-S0試験体は、荷点近傍より発生する45°のせん断ひび割れのほか、上端鉄筋に沿う割裂ひび割れが発生してせん断破壊によって終局に至っている。また、B-S1/S4試験体の場合も、上端、下端鉄筋に沿う割裂ひび割れおよび斜めひび割れが開口していることから、せん断破壊で終局に至っていることは明らかである。

3.4 補強効果の検討

表-3には、本実験より得られた結果を一覧にして示している。表には、降伏荷重 P_y 、降伏変位 δ_y 、最大荷重 P_{max} 、最大荷重時変位 δ_{max} 、無補強試験体に対する耐力増加割合および終局時の破壊性状を示している。なお、耐力増加割合はA/B-S1～S4補強試験体の最大荷重をA/B-S0試験体の最大荷重で除した値である。また、図-5には、体積補強割合と耐力増加割合との関係を示している。図より、無補強時に曲げ破壊するA試験体では、体積補強割合の増

加とともに耐力増加割合がほぼ線形に増大していることがわかる。しかしながら、体積補強割合が3.5程度以上の場合には増加割合は1.7程度とほぼ一定である。一方、無補強時にせん断破壊するB試験体では、シートの補強割合にかかわらず、シートの耐力向上効果は出現しないことがわかる。このように、主鉄筋の降伏を伴ってせん断破壊する場合はシートの補強効果は出現するが、主鉄筋が降伏しないでせん断破壊する場合はシートの補強効果はほとんど出現しない。これは、シートを下面接着したRC版の押し抜きせん断耐力が、主鉄筋が降伏する場合に大きく、降伏しない場合は小さいことと対応している。

4. まとめ

本研究では、FRPシートで下面接着補強した後にせん断破壊することが予測されるRC梁の補強効果を検討することを目的として、主鉄筋が降伏する場合としない場合に対してシートの補強量を変化させたRC梁を用いて静荷重実験を行った。本研究より得られた結果を整理すると以下の通りである。

- 1) 主鉄筋が降伏する場合には、補強量の増加と共に耐力が増加する傾向にある。また、その耐力増加割合の上限は本研究の範囲内では無補強試験体の耐力の1.7倍程度である。
- 2) 主鉄筋が降伏しない場合には、補強量にかかわらず、耐力はほとんど増大しない。

参考文献

- 1) 三上 浩，岸 徳光，栗橋祐介，松岡健一：FRPシートを下面接着したRC版の押し抜きせん断性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1, pp.847-852，2001
- 2) 三上 浩，岸 徳光，田口史雄，松岡健一：2方向AFRPシートを下面接着した各種RC版の押し抜きせん断性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.1435-1440，2002
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書（構造性能照査編），2002