

AFRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの剥離性状に及ぼすかぶり厚の影響

Effects of cover concrete thickness on sheet debonding behavior of flexural strengthened RC beams with AFRP sheet

室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

三井建設(株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)

室蘭工業大学 学生員 澤田 純之 (Sumiyuki Sawada)

室蘭工業大学 ○学生員 鈴木健太郎 (Kentaro Suzuki)

1. はじめに

既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の補強工法として連続繊維シート (以後、FRP シート) を用いた接着工法が数多く採用されている。著者らは、これまで FRP シートを用いた RC 部材の合理的な曲げ補強設計手法の確立を目的として、シートの曲げ耐力向上効果やその剥離挙動に関する検討を行ってきた¹⁾。その結果、1) 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終局耐力および変位を下回る状態でシートが剥離し終局に至る場合 (以後、剥離破壊型) と、計算終局変位を上回った後上縁コンクリートが圧壊し、計算終局耐力とほぼ同等の荷重レベルでシートが剥離する場合 (以後、曲げ圧壊型) に分類されること、2) シートの剥離は、梁下縁かぶり部に形成されたコンクリートブロックがシートを押下げるピーリング作用によって発生すること、3) FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、断面分割法により算出された終局曲げモーメント M_u に対する降伏曲げモーメント M_y の比 M_y/M_u を用いて予測可能であること、等が明らかになっている。

しかしながら、これらの知見は主にかぶり厚 c が 40

mm 程度の場合を対象に得られたものである。前述のように、シートの剥離がかぶり部のひび割れに大きく影響されることを考慮すると、合理的な補強設計手法を確立するためにはシートの剥離性状に及ぼすかぶり厚の影響を検討する必要があるものと考えられる。

このような観点より、本研究では、FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式やシートの剥離性状に及ぼすかぶり厚の影響を検討するため、かぶり厚およびせん断スパン比の異なる RC 梁の静載荷実験を実施した。また、著者らが既に提案した FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式予測法¹⁾の適用性に関する検討を行った。

2. 試験体の概要

表-1 には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体は、せん断スパン比およびかぶり厚をそれぞれ 3 種類に変化させた全 9 体の FRP シート曲げ補強 RC 梁である。表中、試験体名の第一項目の R に付随する数値はせん断スパン比の概略値を示し、第二項目はかぶり厚 (mm) を示している。また、表には著者らが提案した破壊形式予測法¹⁾に用いる M_y/M_u 値を各試験体について示している。この予測法に基づく、いずれの試験体も $M_y/M_u < 0.65$ となっていることから、剥離破壊型を示すものと予想される。

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、いずれも軸方向鉄筋に D16 (SD345) を用いた複鉄筋矩形 RC 梁である。また、断

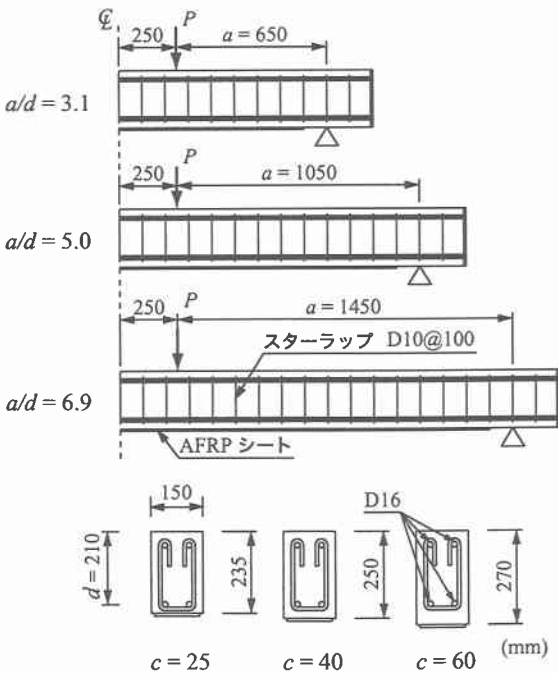


図-1 RC 梁の形状寸法および配筋状況

表-1 試験体の一覧

試験体名	せん断 スパン比 r_s	かぶり厚 c (mm)	M_y/M_u
R3-C25	3.1	25	0.60
R3-C40		40	0.58
R3-C60		60	0.56
R5-C25	5.0	25	0.60
R5-C40		40	0.58
R5-C60		60	0.56
R7-C25	6.9	25	0.60
R7-C40		40	0.58
R7-C60		60	0.56

表-2 AFRP シートの力学的特性

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	131	2.48	1.89

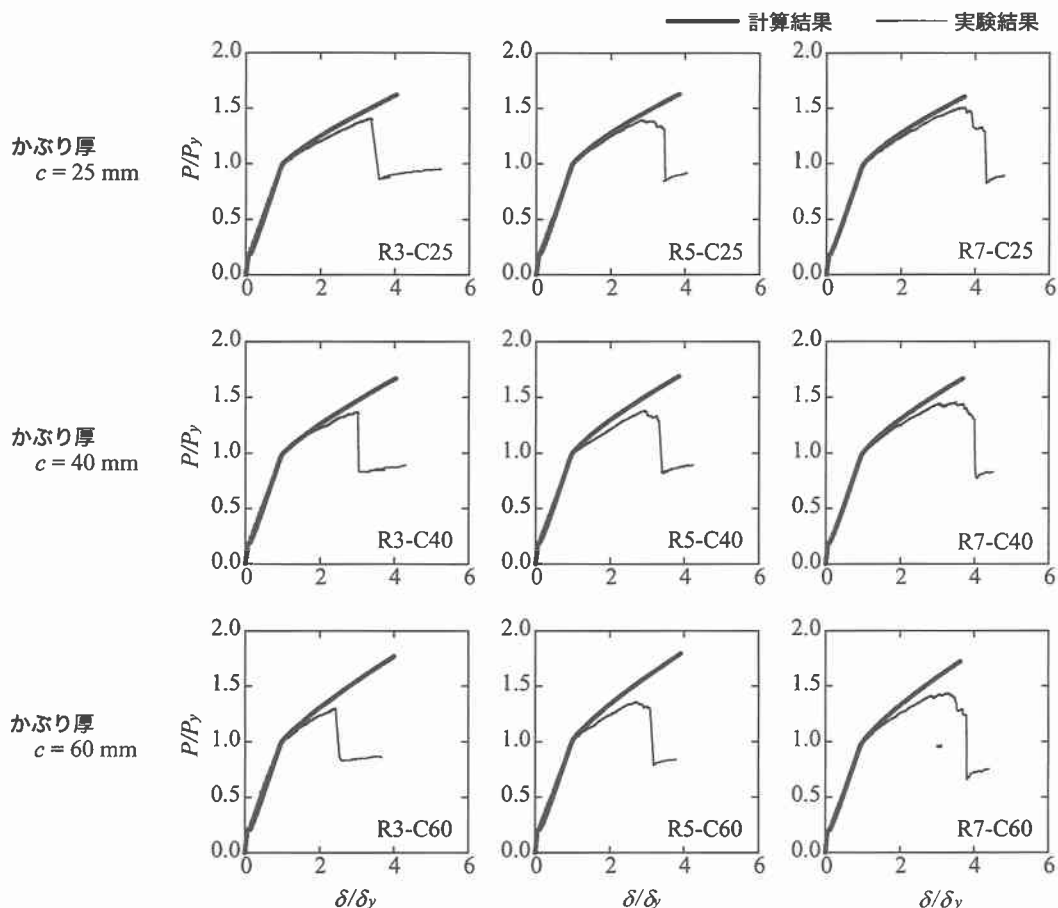


図-2 無次元荷重－変位関係に関する実験および計算結果の比較図

面の有効高さ d はいずれも 21 cm であり、かぶり厚 c を 2.5, 4 および 6 cm と設定している。なお、せん断スパン比 $r_s (=a/d : a = \text{せん断スパン長}, d = \text{有効高さ})$ は、3.1, 5.0 および 6.9 と変化させている。

RC 梁の底面には、目付量 415 g/m^2 のアラミド繊維製 FRP (AFRP) シートを幅 13 cm で梁中央部から両支点の 10 cm 手前までの範囲に貼り付けている。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、曲げ補強シート上には、ゲージ長 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 間隔および載荷点直下に貼り付けている。

表-2 には、AFRP シートの力学的特性値の一覧を示している。実験時のコンクリートは材齢が 82 日、平均圧縮強度は $f'_c = 33.7 \text{ MPa}$ であった。また、主鉄筋の降伏強度は 365.4 MPa であった。本実験における測定項目は、載荷荷重、スパン中央変位 (以後、単に変位) および FRP シート各点のひずみである。

3. 実験結果

3.1 無次元荷重－変位関係

図-2 には、各試験体の無次元荷重－変位関係の実験結果を計算結果と比較して示している。計算結果は既往の研究¹⁾と同様に、AFRP シートとコンクリートの完全付着を仮定し、断面分割法によって算出している。な

お、実験および計算結果は各試験体の主鉄筋降伏後における AFRP シートの曲げ補強効果およびシートの剥離性状を同一の尺度で比較検討するため、各々の主鉄筋降伏荷重および降伏変位で無次元化して整理している。

図より、いずれの試験体も、主鉄筋降伏後における実験結果の剛性勾配が計算結果のそれを下回り、計算最大荷重および最大変位に到達する前にシートが剥離して終局に至る剥離破壊型の性状を示していることが分かる。従って、本実験の範囲内では、かぶり厚が異なる場合においても前述の FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式予測法が適用可能であることが分かる。ただし、かぶり厚 $c = 25 \text{ mm}$ の場合には、 $c = 40, 60 \text{ mm}$ の場合に比較して、主鉄筋降伏後の剛性勾配が実験結果と計算結果で比較的良好に対応する傾向にあり、特にせん断スパン比 r_s が大きい R7-C25 試験体の場合には、曲げ圧壊型に近い性状を示している。

3.2 最大荷重比および最大変位比

図-3 には、(a) 無次元最大荷重の計算結果に対する実験結果の比 (以後、最大荷重比) および、(b) 無次元最大荷重時変位の計算結果に対する実験結果の比 (以後、最大変位比) とかぶり厚との関係を整理して示している。

図より、いずれの試験体も最大荷重比および最大変位比が 1.0 以下であることより、剥離破壊型に分類されることが分かる。また、R5 試験体の実験結果にばらつきが見られるものの、最大荷重比および最大変位比はとも

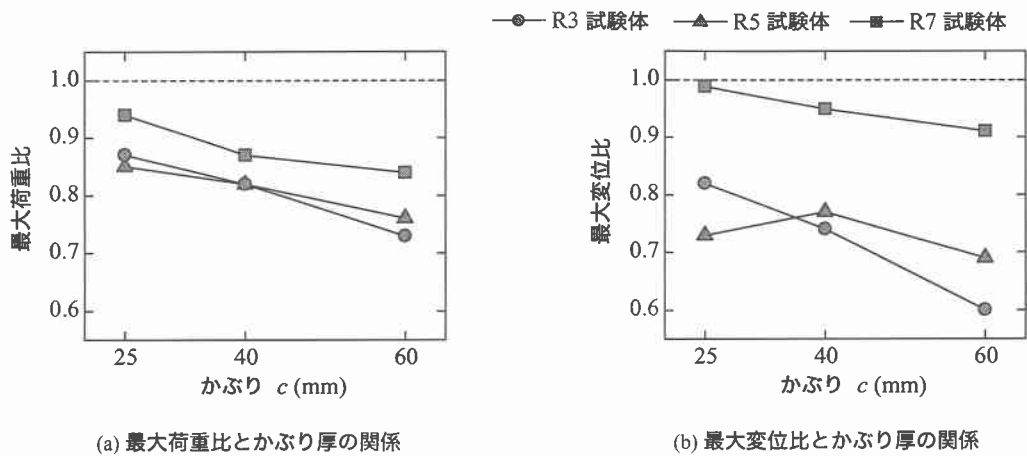


図-3 最大荷重比および最大変位比とかぶり厚の関係

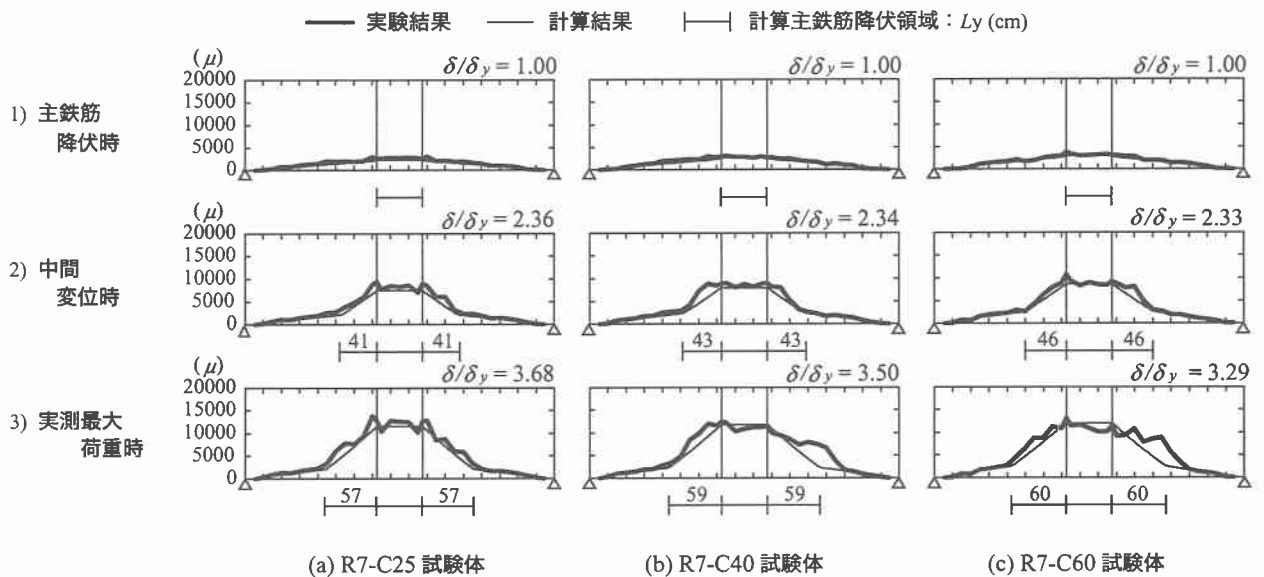


図-4 ひずみ分布性状に関する実験および計算結果の比較図 (R7 試験体)

にかぶり厚が大きいほど小さくなる傾向にあることが分かる。これは、かぶり厚が大きいほど実験結果が計算結果を下回り、剥離破壊型の傾向が強いことを示している。また、この傾向はせん断スパン比 r_s が小さい場合に顕著である。

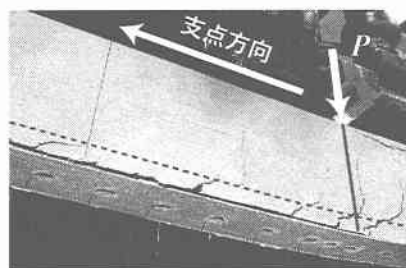
3.3 AFRP シートの軸方向ひずみ分布性状

図-4 には、R7 試験体の曲げ補強シートのひずみ分布性状を、1) 主鉄筋降伏時、2) 主鉄筋降伏時と計算終局時の中間変位時、3) 実測最大荷重時に関して実験結果と計算結果を比較して示している。図には、参考のため各時点における計算結果の主鉄筋降伏領域 L_y (cm) を併せて示している。

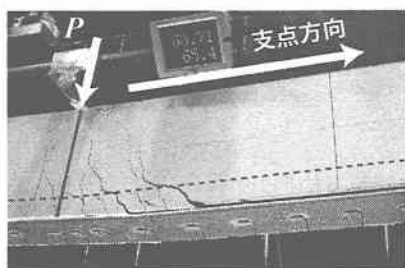
図より、主鉄筋降伏時では、いずれの実験結果も計算結果のひずみ分布とほぼ対応しており、シートが完全付着に近い状態にあることが分かる。中間変位時では、いずれの試験体も等曲げ区間の実験結果は計算結果とほぼ対応しているのに対し、等せん断力区間では計算主鉄筋

降伏領域 L_y における実験結果が計算結果よりも大きく示されていることが分かる。これは、かぶり部のコンクリートが曲げおよび斜めひび割れによりブロック化して、シートを下方に押し出すピーリング作用によるものと考えられる。なお、この性状はかぶり厚 $c = 40, 60$ mm の場合において顕著に示されている。実測最大荷重時には、大きなひずみの分布範囲がさらに支点側に拡大している。これは、ブロック化したコンクリートによるピーリング作用が顕在化し、シートの部分剥離が支点側に進展していることを示している。なお、この傾向もかぶり厚 $c = 40, 60$ mm の場合で特に著しい。

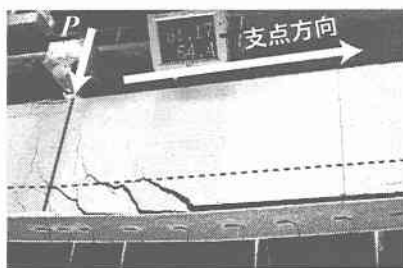
図中に示すように、実測最大荷重時における無次元変位 (δ/δ_y) は、かぶり厚が大きいほど小さくなる傾向にある。一方、中間変位時の無次元変位 (δ/δ_y) はかぶり厚にかかわらずほぼ同様である。以上から、シートの部分剥離はかぶり厚にかかわらず中間変位時近傍で生じるものの、かぶり厚が大きいほど早期にシート剥離が進展して



(a) R7-C25 試験体



(b) R7-C40 試験体



(c) R7-C60 試験体

写真-1 シート剥離時におけるひび割れ進展状況 (R7 試験体)

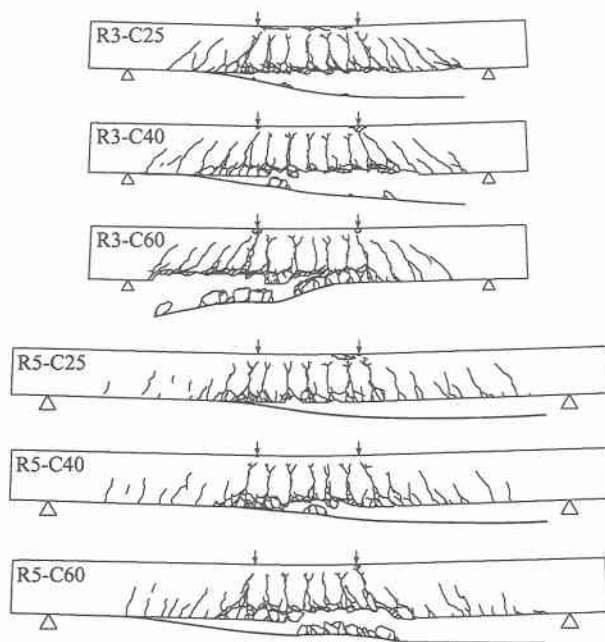


図-5 実験終了後のひび割れ分布性状

全面剥離に至りやすいことが分かる。

3.4 シートの剥離挙動

写真-1には、シートの剥離挙動に及ぼすかぶり厚の影響を検討するため、シート剥離時におけるひび割れ状況をR7試験体について示している。なお、図中の破線は主鉄筋位置を示している。写真より、かぶり厚が大きいほどかぶりコンクリートに発生した斜めひび割れが大きく開口し、この部分に形成されたコンクリートブロックによるシートの押し下げが顕著に示されていることが分かる。

前述した実験結果より、かぶり厚が大きいほど剥離破壊型の傾向が強く示され、シートの部分剥離発生後、早期に全面剥離に至る傾向にあることが明らかになっている。これは、本実験に用いた試験体は全て剥離破壊型試験体であり、主鉄筋降伏後ピーリング作用によるシートの部分剥離が生じるものの、写真-1のようにかぶり厚が大きいほど、かぶり部に形成されたコンクリートブロックが下方に大きくずれ、シートを押し出して引き剥がす傾向にあるためと考えられる。これに対してかぶり厚が小さい場合には、コンクリートブロック形成後も大きなずれが生じにくく、かぶり厚の大きい場合に比較し

てより曲げ圧壊型に近い性状を示すためと考えられる。

3.5 ひび割れ分布性状

図-5には、R3/5試験体の実験終了後におけるひび割れ分布図を示している。図より、等曲げ区間では曲げひび割れと主鉄筋に沿う割裂ひび割れが発生して、かぶりコンクリート部が剥落していることが分かる。等せん断力区間では、かぶり部にシート剥離の起因となるコンクリートブロックが形成され、載荷点近傍ではかぶり部が剥落している。また、かぶり厚が大きいほどコンクリートブロックの形成範囲およびかぶり部の剥落範囲が広がっていることが分かる。

4. まとめ

本研究では、FRPシート曲げ補強RC梁の破壊形式やシートの剥離性状に及ぼすかぶり厚の影響を検討するため、かぶり厚およびせん断スパン比の異なるRC梁の静載荷実験を実施した。また、著者らが既に提案したFRPシート曲げ補強RC梁の破壊形式予測法¹⁾の適用性に関する検討を行った。本実験より得られた知見は以下の通りである。

- 1) かぶり厚が大きい場合ほど無次元最大荷重および無次元最大荷重時変位の実験結果が計算結果を下回り、剥離破壊型の傾向が強く示される。また、この傾向はせん断スパン比 r_s が小さい場合に特に顕著である。
- 2) 主鉄筋降伏後、いずれの試験体もかぶり部に形成されたコンクリートブロックのピーリング作用によるシートの部分剥離が生じる。特に、かぶり厚が大きい場合はコンクリートブロックが下方に大きくずれるため、早期にシートの剥離が進展して全面剥離に至りやすい。
- 3) 本実験の範囲内では、かぶり厚が異なる場合においても著者らによるFRPシート曲げ補強RC梁の破壊形式予測法¹⁾が適用可能である。

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