

AFRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの剥離性状に及ぼすコンクリート強度の影響

Effects of strength of concrete on debonding behavior of AFRPs for flexural strengthened RC beams

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

1. はじめに

平成7年に発生した阪神・淡路大震災を教訓に、既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物を対象とした耐震補強工事が盛んに行われている。特に、軽量で施工性・耐久性に優れた連続繊維シート (以後、FRPシート) を用いた接着工法が数多く採用されるようになった。著者らは、これまでFRPシート補強したRC部材の合理的な曲げ補強設計手法の確立を目的に、シートの耐力向上効果やその剥離挙動に関する検討を数多く行ってきた。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の圧壊を伴ってシートが剥離し終局に至る曲げ圧壊型に分類されること、2) シートの剥離は、曲げひび割れと斜めひび割れによって梁下縁かぶり部に発生したコンクリートブロックが、シートを下方に押し出す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、断面分割法によって算出された終局曲げモーメントに対する降伏曲げモーメントの比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コンクリート強度が30 MPa程度の場合を対象に得られたものである。通常、構造物に使用されるコンクリートの圧縮強度が20~60 MPaであることを考えると、合理的な設計手法を確立するために、シートの剥離性状に及ぼすコンクリート圧縮強度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コンクリート圧縮強度の影響を検討するため、コンクリート圧縮強度の異なる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も行った。

2. 試験体の概要

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) 15×25 cm, 純スパン長 2.6 m, 下端および上端鉄筋にD16を2本ずつ配置した複鉄筋矩形RC梁である。

RC梁の底面には、幅13 cm, 目付量415 g/m²のアラミド繊維製FRP (AFRP)シートを、1層もしくは2層接着している。補強範囲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附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間隔および載荷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、コンクリート圧縮強度を3種類、シート層数を2種類に変化させた全6体のRC梁である。表中、試験体名の第一項目のSに付随する数値は補強層数、第二項目のFに付随する数値はコンクリート圧縮強度の概略値を示している。また、表には破壊形式予測法¹⁾より

表-1 試験体の一覧

試験体名	補強層数	コンクリート圧縮強度 (MPa)	破壊形式
S1-F20	1層	21.9	剥離破壊型
S1-F50		46.3	
S1-F80		78.6	
S2-F20	2層	21.9	
S2-F50		46.3	
S2-F80		78.6	

表-2 コンクリートの力学的特性値

圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
21.9	1.88	2.39	0.38
46.3	3.21	3.24	0.30
78.6	4.01	3.87	0.19

表-3 AFRPシートの力学的特性値

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

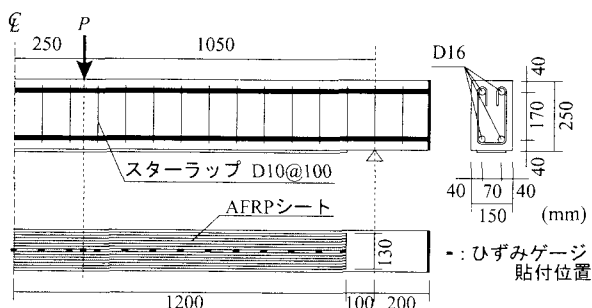


図-1 RC梁の形状寸法および配筋状況

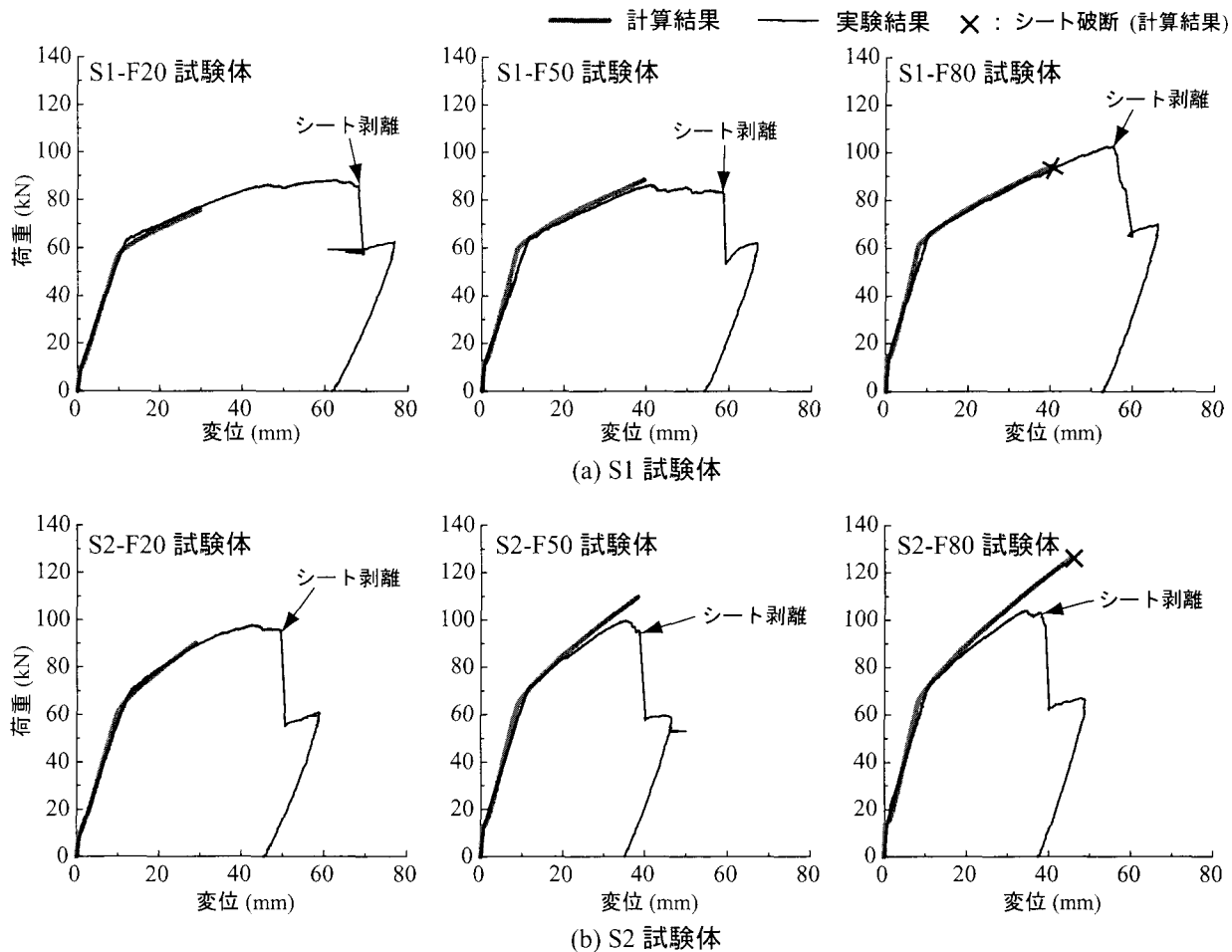


図-2 荷重-変位関係に関する実験および計算結果の比較図

表-4 実験および計算結果の一覧

試験体名	降伏荷重		降伏変位		最大荷重			最大荷重時変位			計算における 終局状態
	実験値 P_{ye} (kN)	計算値 P_{yc} (kN)	実験値 δ_{ye} (mm)	計算値 δ_{yc} (mm)	実験値① P_{ue} (kN)	計算値② P_{uc} (kN)	①/②	実験値③ δ_{ue} (mm)	計算値④ δ_{uc} (mm)	③/④	
S1-F20	63.4	57.7	12.0	10.1	88.3	75.5	1.17	62.2	29.9	2.08	上縁コンクリートの 圧壊
S1-F50	64.6	60.1	11.9	8.9	86.2	88.3	0.98	41.0	39.5	1.04	
S1-F80	66.9	62.2	11.1	8.5	102.5	94.5	1.08	54.9	50.6	1.35	
S2-F20	71.5	63.5	13.9	10.8	97.6	90.1	1.08	42.5	29.0	1.47	上縁コンクリートの 圧壊
S2-F50	71.6	64.4	11.7	8.9	99.4	109.5	0.91	35.2	38.1	0.92	
S2-F80	72.7	67.0	10.9	8.5	103.9	126.0	0.82	34.3	50.2	0.76	シート破断

予測された破壊形式を示している。

表-2には、コンクリートの力学的特性値を示している。実験時のコンクリートの材齢は82日、平均圧縮強度はそれぞれ21.9、46.3、78.6 MPaであった。また、主鉄筋の降伏強度は392.6 MPaであった。なお、表-3には、AFRPシートの力学的特性値の一覧を示している。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AFRPシート各点のひずみである。

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

図-2には、各試験体の荷重-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、平面保持を仮定した断面分割法により

AFRPシートとコンクリートの完全付着を仮定し、上縁コンクリートの圧壊もしくはシート破断まで算出している。参考のため表-4には、各試験体の実験および計算結果に関する主鉄筋降伏荷重、降伏変位、最大荷重、最大荷重時変位および計算における終局状態を一覧にして示している。

図-2より、いずれの試験体も、実験結果と計算結果は初期勾配から降伏後の第2勾配までほぼ対応していることが分かる。図より、終局時に着目すると(a)図のS1試験体では、いずれの試験体も実験結果は計算終局変位を上回った後、計算終局耐力と同程度かそれ以上でシートが剥離して終局に至っていることから曲げ圧壊型を示していることが分かる。また、S1-F80試験体はシート破断を想定した計算耐力よりも大きな荷重で終局に

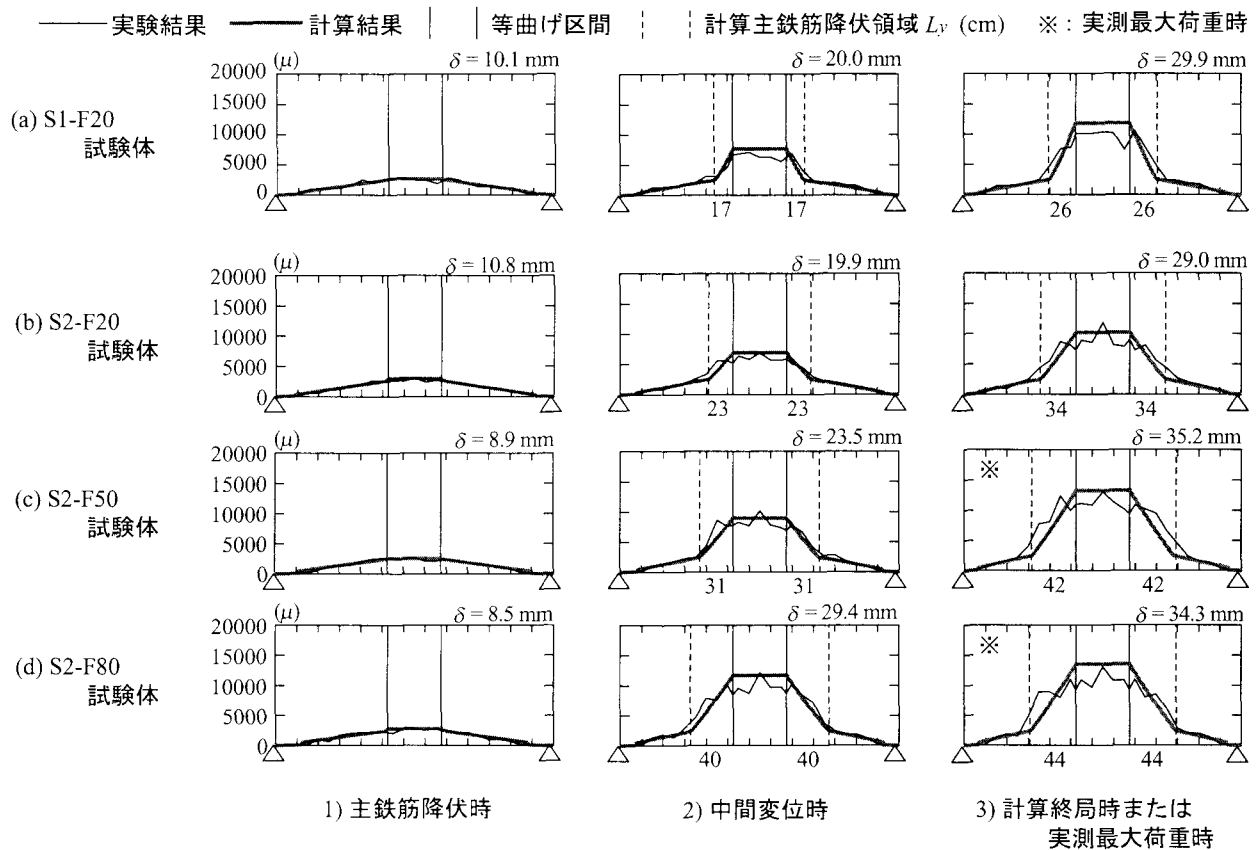


図-3 ひずみ分布性状に関する比較図

至っていることが分かる。一方、(b)図よりS2試験体の終局時では、F20試験体で計算耐力を上回り、曲げ圧壊型を示しているものの、F50/F80試験体では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若干下回り、計算終局変位および耐力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。ここで、前述の破壊形式予測結果との比較を行うと、S1-F50/F80およびS2-F20試験体は剥離破壊型と予測されたものの、曲げ圧壊型の性状を示していることから、安全側に評価していることが分かる。従って、本実験の範囲内では、コンクリート圧縮強度が異なる場合においても破壊形式予測法¹⁾が安全側に適用可能であることが明らかとなった。

表-4の最大荷重時変位の実験値と計算値を比較すると、S2試験体ではコンクリート圧縮強度が大きいほど実験値が計算値を下回る傾向にあり、剥離破壊型の傾向が強いことが分かる。また、計算での終局状態は、S1/S2-F80試験体でシート破断、それ以外の試験体ではシート剥離であるが、いずれの試験体もシート剥離によって終局に至っている。これは、計算ではシートとコンクリートは終局まで完全付着であると仮定しているのに対し、実験では部分剥離が発生したためと考えられる。

3.2 AFRPシートの軸方向ひずみ分布性状

図-3には、シートのひずみ分布性状をS1-F20試験体およびS2試験体について示している。S1試験体は、いずれの試験体も曲げ圧壊型で終局に至っており、ひずみ分布性状が同様の性状を示したためS1-F20試験体のみを示している。ひずみ分布は、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)計算終局時または

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。参考のため図の右上には各時点の変位を、図中の点線は計算主鉄筋降伏領域 L_y (cm) を示している。

図より、1)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、シートとコンクリートが完全付着に近い状態にあることが分かる。2)中間変位時では、曲げ圧壊型であるS1-F20試験体の場合、実験結果と計算結果が大略一致している。従って、未だシートとコンクリートは完全付着に近い状態にあると考えられる。一方、S2試験体では、等せん断力区間の主鉄筋降伏領域内で実験結果が計算結果よりも部分的に大きく示されている。これは、梁下縁かぶりコンクリートが曲げおよび斜めひび割れの交叉によりブロック化し、シートを下方に押し出すピーリング作用が発生しているためと考えられる。3)計算終局時または実測最大荷重時では、S1-F20試験体のひずみはS2試験体の中間変位時と類似の性状を示している。すなわち、ピーリング作用が発生し、シートの部分剥離が生じているものと考えられる。一方、S2試験体を見ると、中間変位時よりも大きなひずみ発生領域が支点側に拡大しており、ピーリング作用が顕在化して、シートの部分剥離領域が支点側へ進展している。以上より、曲げ補強シートの剥離はコンクリート圧縮強度にかかわらず、等せん断力区間内の主鉄筋降伏領域に発生するピーリング作用が起因となって剥離が発生し、全面剥離に進展するものと考えられる。

3.3 シート剥離時のひび割れ性状

写真-1には、シート剥離時におけるひび割れ進展状況を示している。写真より、いずれの試験体も載荷点近傍の下縁かぶりコンクリートに発生した曲げひび割れと

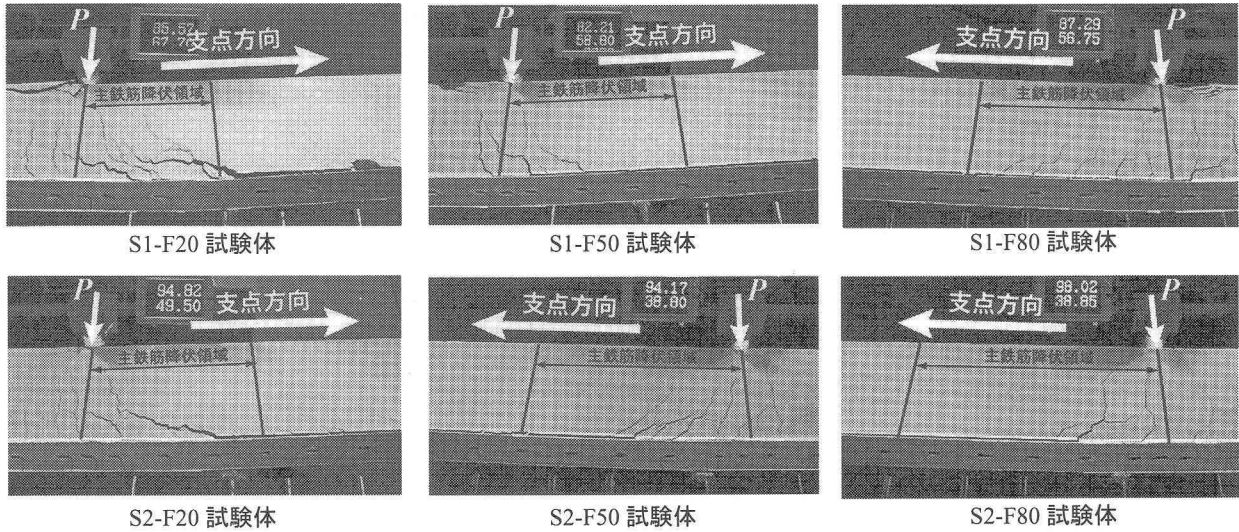


写真-1 シート剥離時におけるひび割れ進展状況

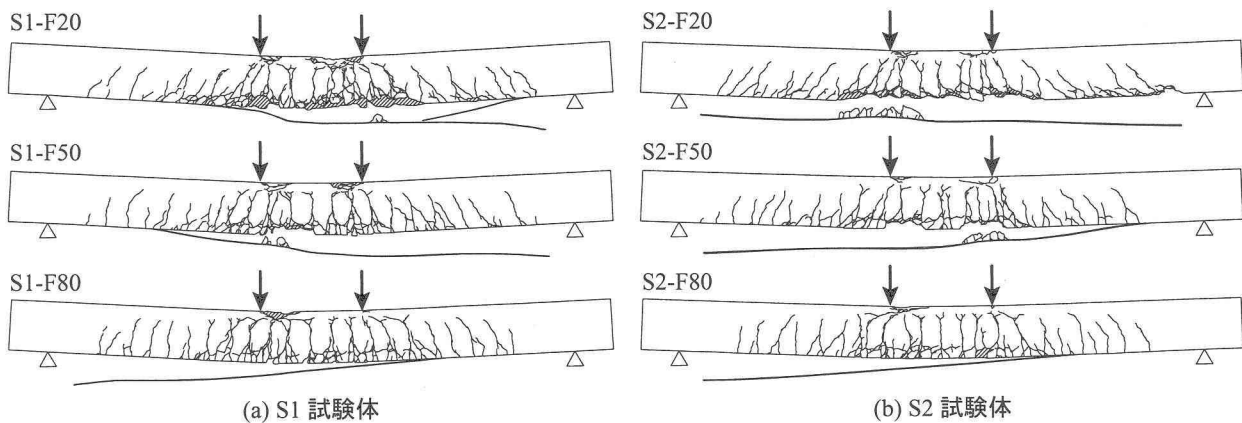


図-4 実験終了後のひび割れ分布性状

斜めひび割れの交叉によりコンクリートブロックが形成され、その押し出しによりピーリング作用が顕在化してシート剥離が支点方向に広がっていることが分かる。また、コンクリートブロックはコンクリート圧縮強度により発生位置が若干異なるものの、計算終局時における主鉄筋降伏領域内で生じている。これらのことより、コンクリート圧縮強度にかかわらず、ピーリング作用発生位置は等せん断力区間の主鉄筋降伏領域内で発生することが明らかとなった。

3.4 ひび割れ分布性状

図-4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。図より、いずれの試験体も荷重点近傍の下縁かぶり部にコンクリートブロックが形成され損傷が集中していることが分かる。また、この損傷はS1/S2試験体ともにコンクリート圧縮強度が低くなるほど著しくなり、下縁かぶり部の剥落も見られる。この相違はコンクリートの引張強度に関連するものと考えられることから、試験体の損傷はコンクリート圧縮強度が低いほど著しくなる傾向にあると考えられる。

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コンクリート圧縮強度の影響

を検討するため、コンクリート圧縮強度の異なるRC梁の静荷重実験を実施した。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もあわせて行った。本実験より得られた知見は以下の通りである。

- 1) RC梁に接着した曲げ補強シートの剥離は、コンクリート圧縮強度にかかわらず、主鉄筋降伏領域内で発生するコンクリートブロックのピーリング作用によって生じる。
- 2) コンクリート圧縮強度が低いほど損傷は著しくなるものの、耐荷性状に与えるコンクリート圧縮強度の影響は小さいものと考えられる。
- 3) 本実験の範囲内では、コンクリート圧縮強度にかかわらず著者らによるFRPシート曲げ補強RC梁の破壊形式予測法¹⁾は安全側に適用可能である。

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