

剥離破壊型 FRP シート曲げ補強 RC 梁の側面接着法を用いた剥離抑制法に関する一検討

An applicability of debond controlling method of FRP sheet using side-surface bonding for debonding-failure type 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)
室蘭工業大学 正会員 澤田 純之 (Sumiyuki Sawada)
室蘭工業大学 ○ 学生員 作田 大幸 (Hiroyuki Sakuta)

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・補強工事が多く施工されるようになり、諸研究機関で様々な実験・解析が行われている。著者らも、FRPシートを梁部材の引張り側底面に接着する曲げ補強を想定し、様々な研究¹⁾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を起因とする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を満足する前にシート剥離を生じて終局に至る剥離破壊型と、計算結果を満足する曲げ圧壊型の2種類に分類され、その予測も著者等の提案式で可能であること、等を明らかにしている。剥離破壊型と判定される場合、計算終局耐力に到達するまで曲げ補強シートの定着を確保する必要があり、著者らは、FRPシートを梁側面に接着することによりピーリング作用を抑制し、シート剥離を遅延させる工法(以後、側面接着法)を提案している。側面接着法に関する検討を行った結果、1) 側面接着シートの繊維強化方向は梁軸方向または2方向とすること、2) 補強範囲は梁軸方向に計算終局時の主鉄筋降伏領域とすること、3) 梁下縁から梁高さ

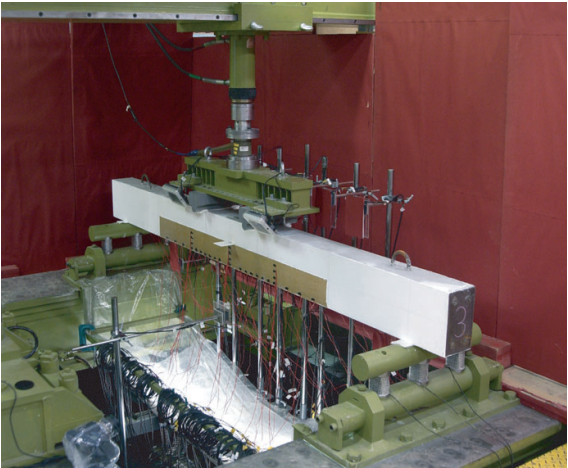


写真-1 実験状況

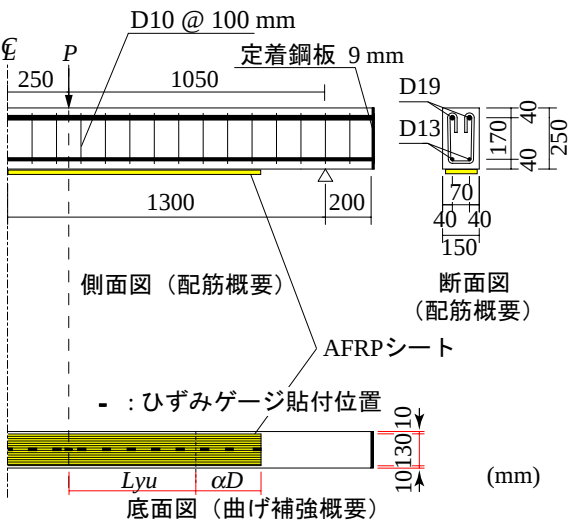


図-1 RC梁の形状寸法および配筋状況

表-1 試験体一覧

試験 体名	L_{yu} (cm)	曲げ補強シート		側面接着シート		
		シート 目付量 (g/m ²)	補強 範囲	シート 目付量 (g/m ²)	接着高さ	接着長さ
N	53.5	830	$L_{yu} + \alpha D$	-	-	-
S280	55.9			280 / 280	梁高の 1/2	L_{yu}
S415	57.5			415 / 415		L_{yu}
S415-L						$L_{yu} + \alpha D$
S830	57.0			830 / 830		L_{yu}

L_{yu} : 計算終局時の主鉄筋降伏領域

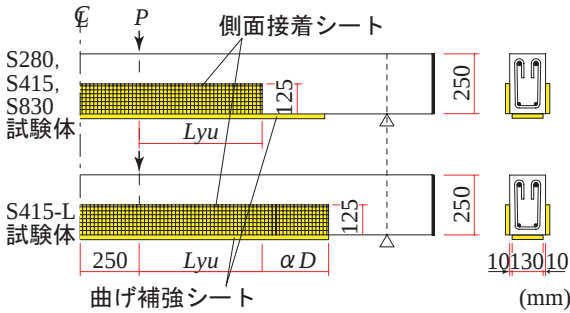


図-2 側面接着シートの補強概要

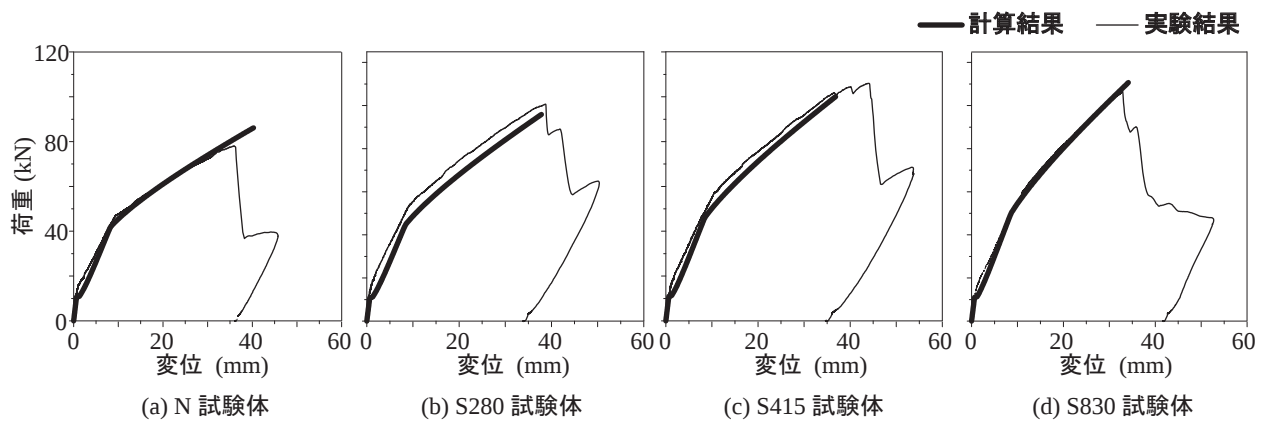


図-3 荷重-変位関係(側面接着シートの目付量の影響)

表-2 AFRP シートの力学的特性値(公称値)

繊維 目付量 (g/m ²)	厚さ (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)
280	0.193	2.06	118	1.75
415	0.286			
830	0.572			

方向に梁高の1/2程度の範囲に接着すること、によって曲げ補強シートの剥離抑制効果が得られることを明らかにしている。また、側面接着シートの目付量が多い場合には、比較的小さい変位レベルで側面シートが剥離する傾向にあることも明らかにしている。

一方、曲げ圧壊型を示すFRPシート曲げ補強RC梁の曲げ補強範囲は、断面分割法による計算終局時の主鉄筋降伏領域 L_{yu} と定着長 αD (α : 定着部接着長係数, D : 梁高)を加えた長さとする事で計算耐力を保証可能であることを明らかにしている。

本実験では、剥離破壊型FRPシート曲げ補強RC梁を側面接着法を用いて、曲げ圧壊型と同程度の耐荷性状を示すまで曲げ補強シートの剥離を抑制する合理的な補強法の確立を目的に、側面接着シートの目付量と側面接着シートおよび曲げ補強シートの合理的な補強範囲に関する検討を実施した。写真-1には、本実験の状況を示している。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

図-1には、本実験に用いたRC梁の形状寸法、配筋状況および曲げ補強シートの補強概要を示している。RC梁は断面寸法(梁幅×梁高)150×250 mm、上端および下端鉄筋にそれぞれD19, D13を2本ずつ配筋した複鉄筋矩形RC梁である。純スパン長はいずれの試験体も2,600 mm、載荷幅を500 mmとし、せん断スパン比を5.0としている。曲げ補強シートには、目付量830 g/m²(保証耐力1,176 kN/m)、幅130 mmのアラミド繊維製FRP(以後、AFRP)シートを1層用いることとした。曲げ補強シート上には、図-1に示しているように、ひずみゲージをスパン中央部から両支点側に100 mm間隔および載荷点直下に貼付けている。

曲げ補強シートの補強範囲は、既往の研究で提案した必

要接着長算定式により算出している。以下に、必要接着長算定式を示す。

$$L_{req} = L_{yu} + \alpha D$$

$$L_{yu} = a (1 - M_y/M_u) \quad (\text{mm})$$

$$\alpha = -0.84R_c + 1.33$$

$$R_c = V_c/P_{uc}$$

ここに

L_{req} : 必要接着長さ, L_{yu} : 主鉄筋降伏領域, D : 梁高

a : せん断スパン長, M_y : 計算降伏曲げモーメント

M_u : 計算終局曲げモーメント

α : 定着部接着長係数, R_c : 斜めひび割れ発生余裕度

V_c : 計算斜めひび割れ発生荷重, P_{uc} : 計算終局荷重

本試験体では、 $L_{yu} = 53.5 \sim 57.0$ (cm), $\alpha = 0.80 \sim 0.92$, $D = 25$ (cm)であることから、 $L_{req} = 73.5 \sim 79.9$ (cm)となっている。

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。表中、試験体名は側面接着シートの有無を示しており、Nは側面接着シートの無い試験体、Sは梁側面にシートを接着した試験体を示しており、付随する数値は側面接着シートの目付量を示している。試験体名の第二項目の-Lは側面接着シートを曲げ補強シートの補強範囲と同等にまで延長した試験体を示している。

図-2には、側面接着シートの補強概要を示している。側面接着シートの接着高さは梁高の1/2で統一している。なお、側面接着シートは梁の両側に接着し、一方向シートを縦・横に直交して接着している。実験時におけるコンクリートの平均圧縮強度は28.5 MPa、主鉄筋の降伏強度はD13で375 MPaであった。また、表-2には、本実験に用いたAFRPシートの力学的特性値一覧を示している。

3. 実験結果および考察

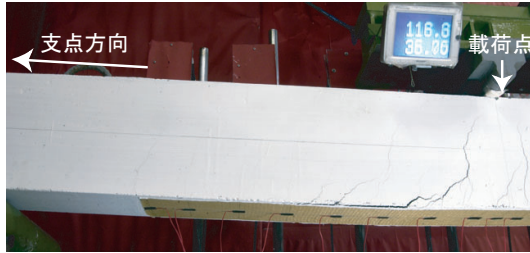
3.1 側面接着シートの目付量の検討

(1) 荷重-変位関係

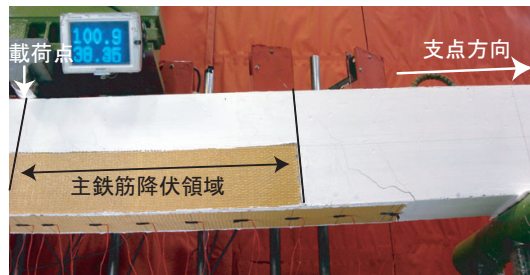
図-3には、側面接着シートの目付量の影響を検討するため、N, S280, S415およびS830試験体の荷重-変位関係を各々の計算結果と比較して示している。図中の計算結果は、コンクリート標準示方書²⁾に準拠し、平面保持を仮定した断面分割法により上縁コンクリートの圧壊ひずみ(3,500 μ)に到達するまで算出している。本計算結果に

表-3 実験および計算結果の一覧

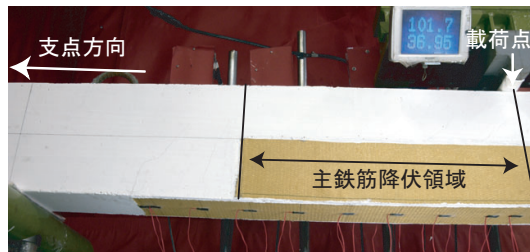
試験 体名	計算結果				実験結果				破壊形式
	降伏時		最大荷重時		降伏時		最大荷重時		
	荷重 P_{yc} (kN)	変位 δ_{yc} (mm)	荷重 P_{uc} (kN)	変位 δ_{uc} (mm)	荷重 P_{ye} (kN)	変位 δ_{ye} (mm)	荷重 P_{ue} (kN)	変位 δ_{ue} (mm)	
N	42.3	8.4	86.2	40.2	46.9	9.1	78.2	35.7	剥離破壊型
S280	44.9	8.4	95.8	37.8	44.9	8.4	100.8	38.7	曲げ圧壊型
S415	45.6	8.4	100.0	36.8	57.2	10.5	106.1	44.2	曲げ圧壊型
S415-L					56.3	9.8	118.3	53.2	曲げ圧壊型
S830	50.6	8.7	110.6	34.1	60.2	11.1	106.8	32.9	シート引き剥がれ



(a) N 試験体 (実測最大荷重時近傍)



(b) S280 試験体 (計算終局変位)



(c) S415 試験体 (計算終局変位)



(d) S830 試験体 (実測最大荷重時近傍)

写真-2 終局近傍におけるひび割れ性状

は側面接着シートの曲げ補強効果も考慮している。なお、表-3には図-3より得られる降伏時、最大荷重時の荷重、変位および破壊形式を一覧にして示している。

図より、N試験体では実験および計算結果の剛性勾配が

初期から主鉄筋降伏後までほぼ対応していることが分かる。また、終局時には、急激な荷重の低下が見られることから曲げ補強シートの剥離によって終局に至ったことがうかがわれる。破壊形式は、実測値が計算耐力および変位を下回った状態で終局に至っていることから、剥離破壊型であることが分かる。一方、側面接着シートを接着した試験体の計算終局耐力は、側面接着シートの目付量の増加に伴い増大している。しかしながら、実験結果はS280、S415試験体で計算値を上回っているもののS830試験体では計算結果到達前に終局に至っている。ここで、S830試験体が計算終局耐力を下回ったのは、側面接着シートにより曲げ耐力が増大して曲げ補強シート接着端部が段落し部となり、接着端部近傍の主鉄筋が降伏して曲げ補強シートが引き剥がされたためと考えられる。

以上のことより、本研究の範囲内では、側面接着シートの目付量が曲げ補強シートの目付量の1/3程度以上の場合、側面接着シートの曲げ補強効果を考慮した計算終局時における主鉄筋降伏領域に側面接着することにより、十分な剥離抑制効果を発揮できることが明らかとなった。

(2) 試験体のひび割れ性状

写真-2には図-3に示した試験体のひび割れ性状を示している。写真には、計算結果到達前に曲げ補強シートが剥離したN、S830試験体はシート剥離直前の実測最大荷重時近傍、計算結果を満足したS280、S415試験体では計算終局変位時を示している。

写真-2(a)よりN試験体は、荷重点近傍の下縁かぶり部に斜めひび割れが発生し、ピーリング作用による曲げ補強シートの剥離進展が見受けられる。一方、写真-2(b)、(c)よりS280、S415試験体では曲げ補強シートの接着端部近傍に曲げひび割れの発生が見られるものの、曲げ補強シートの剥離は見られない。写真-2(d)よりS830試験体の実測最大荷重時近傍では、曲げ補強シート接着端部に斜めひび割れおよび鉄筋に沿う割裂ひび割れが見られる。これは、前述したように曲げ補強シート接着端部が段落しとなり端部近傍の主鉄筋が降伏したためと考えられる。

以上のことより、側面接着シートの目付量が比較的大きい場合には、曲げ補強シート接着端部における無補強断面が段落し部とならないように留意する必要がある。

3.2 側面接着シートの補強範囲に関する検討

(1) 荷重-変位関係

図-4には、S415、S415-L試験体の荷重-変位関係を計

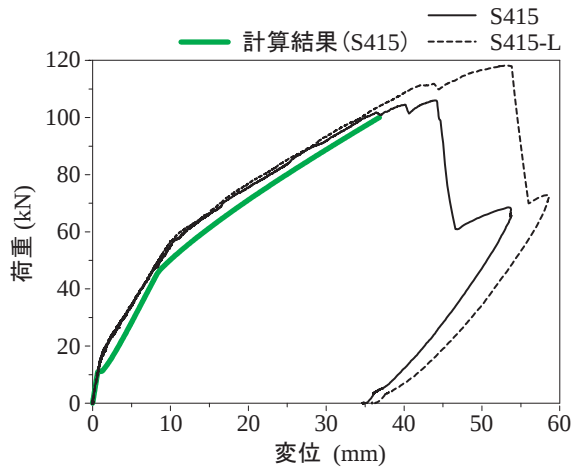


図-4 荷重-変位関係（補強範囲の比較）



(a) S415 試験体（計算終局変位）



(b) S415-L 試験体（計算終局変位）

写真-3 計算終局変位時におけるひび割れ性状

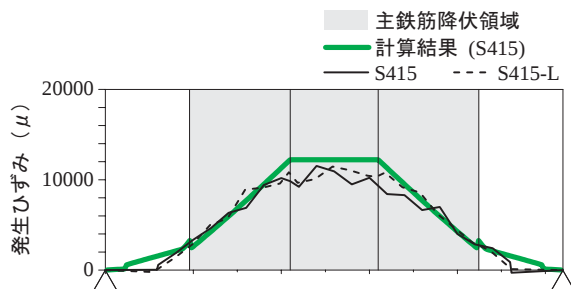


図-5 ひずみ分布性状（計算終局変位時）

算結果のそれと比較して示している。なお、図中の計算結果は S415 試験体の計算結果を示している。図より、側面接着範囲を主鉄筋降伏領域とした S415 試験体の荷重-変位関係は、計算終局時まで計算結果とほぼ対応し、十分な

補強効果を発揮していることが分かる。一方、側面接着範囲を曲げ補強シートと同じ範囲にまで延長した S415-L 試験体は途中まで S415 試験体とほぼ一致した荷重-変位関係を示し、S415 試験体以上の耐荷性能を有することが分かる。

以上のことから、側面接着シートの延長によって耐荷性能は向上するものの、曲げ補強シートの剥離を計算終局時まで抑制する接着範囲としては主鉄筋降伏領域で十分であることが明らかとなった。

(2) 破壊性状

写真-3 には、S415 試験体および S415-L 試験体の計算終局変位時における載荷点近傍のひび割れ性状を示している。また、図-5 には写真-3 と同様に計算終局変位時におけるひずみ分布性状を示している。なお、図中の計算結果は S415 試験体の計算終局変位時における結果である。

写真より、計算終局変位時にはいずれの試験体も明瞭なひび割れは確認されず、ピーリング作用による曲げ補強シートの剥離も見られない。また、図-5 のひずみ分布性状から、S415、S415-L 試験体ともに同様のひずみ分布性状を示し、計算結果とよく対応していることが分かる。以上のことから、S415、S415-L 試験体ともに S415 試験体の計算終局変位時にはピーリング作用に伴う曲げ補強シートの剥離が生じていないことが分かる。

4. まとめ

本研究では、剥離破壊型 FRP シート曲げ補強 RC 梁を側面接着法を用いて曲げ圧壊型と同程度の耐荷性状を示すまでシートの剥離を抑制する合理的な補強方法の確立を目的に、側面接着シートの目付量や補強範囲に着目して実験的検討を実施した。本研究の範囲内で得られた結果は以下の通りである。

- (1) 側面接着法によって、剥離破壊型 FRP シート曲げ補強 RC 梁が曲げ圧壊型の耐荷性状を示すまでシートの剥離を抑制するためには、側面接着シートの目付量を曲げ補強シートの 1/3 程度以上とし、側面接着シートの補強範囲を側面接着シートの曲げ補強効果を考慮した計算終局時における主鉄筋降伏領域とすることで十分である。
- (2) 側面接着法により曲げ圧壊型と同程度の耐荷性状を示すまでシート剥離を抑制するためには、曲げ補強シートの補強範囲を必要接着範囲とすることが必要である。ただし、側面接着シートの目付量が大きい場合には、曲げ補強シート端部で段落的な破壊性状を示すことがあることに留意する必要がある。

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, 2001.8.
- 2) コンクリート標準示方書 (2002 年制定) 構造性能照査編, 土木学会, 2002.