

AFRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの必要接着長に及ぼす梁高の影響

Effects of beam depth on required sheet length for RC beam flexural strengthened with AFRP sheet

室蘭工業大学 正会員 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 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
室蘭工業大学 学生員 澤田 純之 (Sumiyuki Sawada)

1. はじめに

近年、既設鉄筋コンクリート (RC) 構造物の早期劣化の抑制や耐震耐荷性能の向上を目的として、施工性に優れる連続繊維シート (以後、FRP シート) 接着工法による補修・補強工事が盛んに行われている。著者らは、これまで FRP シート接着による RC 梁の曲げ補強効果やシートの剝離挙動に関する検討を種々の載荷実験により実施してきた¹⁾。その結果、FRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊形式は、断面分割法による計算終局荷重および計算終局変位に到達する前にシートが剝離して終局に至る場合 (以下、剝離破壊型と呼ぶ) と、計算終局変位到達後上縁コンクリートの圧壊を伴ってシートが剝離して終局に至る場合 (以下、曲げ圧壊型と呼ぶ) に分類されること、等を明らかにしている。

また、シートが計算結果と同程度の曲げ補強効果を発揮するために必要な接着長さ (以下、必要接着長) に着目した検討も行っている²⁾。その結果、シート全面接着時に曲げ圧壊型を示す FRP シート曲げ補強 RC 梁は、等せん断力区間のシート接着長を $L_{yu} + 1.0 D$ (L_{yu} : 計算終局時の主鉄筋降伏領域、 D : 梁高) 程度とすることにより、計算結果と同程度の耐力が保証されることを明らかにしている。しかしながら、この実験結果は RC 梁の断面形状 (幅 × 高さ) を $15 \times 25 \text{ cm}$ とした場合のみについて検討されたものであり、梁高 D が異なる場合に関する必要接着長評価の妥当性は検討されていない。

このような観点より、本研究では FRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの必要接着長に及ぼす梁高の影響を

検討するため、梁高の低い FRP シート曲げ補強 RC 梁を対象として、シート接着長を種々変化させた静載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 シート接着長の設定

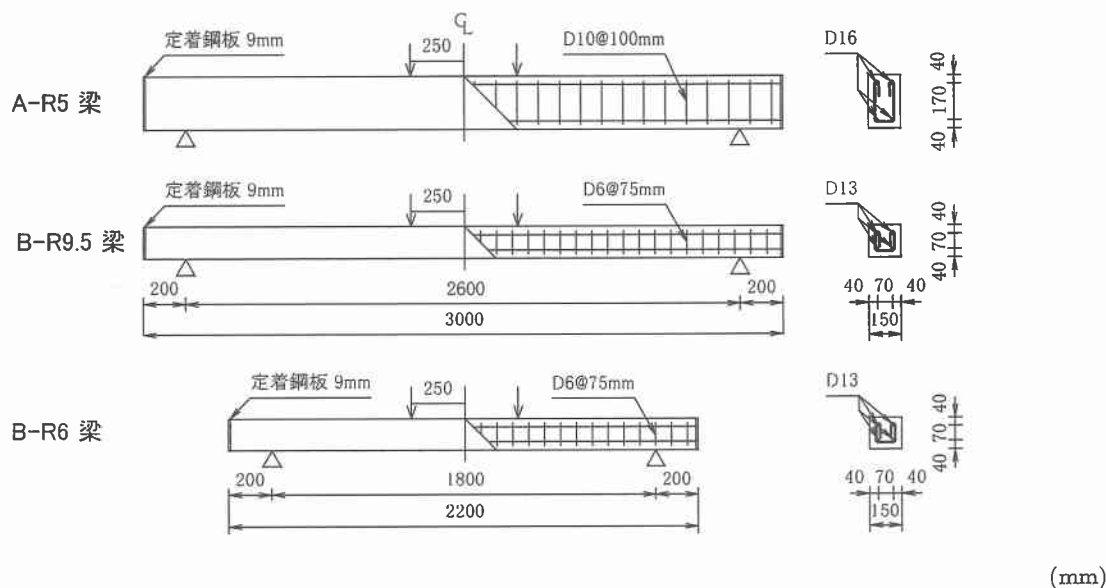
著者らによって実施されたシート接着長に関する過去の研究²⁾では、シートの曲げ補強効果が主に主鉄筋降伏領域で発揮されることに着目し、シートの必要接着長は計算終局時の主鉄筋降伏領域 L_{yu} の長さを基本長として、 L_{yu} の支点側に定着長 (以後、端部接着長 α) を考慮して決定することとし、 α を梁高 D の 0.5、1.0、2.0 倍に変化させた実験を行っている。従って、本実験においても過去の実験と同様の手法でシートの必要接着長に関する検討を行うこととし、等せん断力区間におけるシートの接着長を $L_{yu} + \alpha$ と設定し、端部接着長を 3 種類に変化させて実験を行うこととした。

2.2 試験体の概要

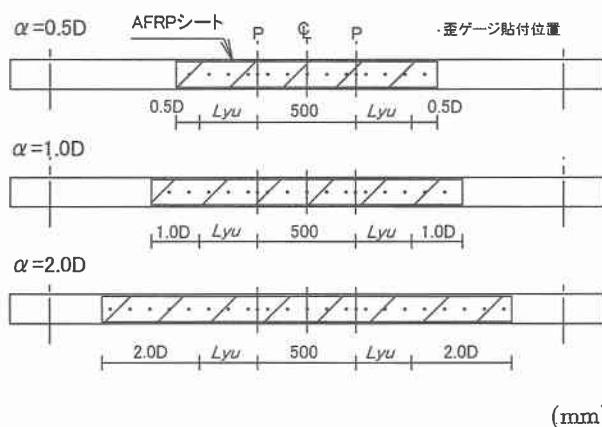
表-1 には、各試験体の諸元を一覧にして示している。本実験に用いた試験体は、断面形状タイプおよびせん断スパン比を変化させた 3 種類の RC 梁に対して、シートの端部接着長 α を 3 種類に変化させた全 9 体である。このうち、A 梁の場合は、著者らによる既往の文献²⁾より抜粋したものである。表中、試験体の第 1 項目は後述する断面タイプ、第 2 項目の R に付随する数値はせん断スパン比の概略値、第 3 項目は端部接着長を示し、梁

表-1 試験体の一覧

試験体名	RC 梁 の 種類	梁高 D (cm)	軸方向 鉄筋の 呼び径	主鉄筋 比 p_t (%)	せん断 スパン比 r_s	繊維 目付量 (g/m ²)	繊維の体積 補強割合 p_f (%)	計算終局時の 主鉄筋降伏領域 L_{yu} (cm)	シートの 端部接着長 α (cm)
A-R5-0.5 D	A 梁	25	D16	1.26	5.0	415	0.99	29	12.5 (0.5 D)
A-R5-1.0 D									25.0 (1.0 D)
A-R5-2.0 D									50.0 (2.0 D)
B-R9.5-0.5 D	B 梁	15	D13	1.53	9.5	415	1.65	26	7.5 (0.5 D)
B-R9.5-1.0 D					5.9				15.0 (1.0 D)
B-R9.5-2.0 D									30.0 (2.0 D)
B-R6-0.5 D					16			7.5 (0.5 D)	
B-R6-1.0 D								15.0 (1.0 D)	
B-R6-2.0 D								30.0 (2.0 D)	



図－１ 試験体の配筋概要



図－２ AFRP シートの接着概要とゲージ貼付位置の例

高 D の倍数として表している。なお、表中の計算終局時の主鉄筋降伏領域 L_{yu} は断面分割法によって算出されたものであり、片側等せん断力区間での値として示している。

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。試験体は全て複鉄筋配置の矩形 RC 梁であり、断面寸法（幅 × 高さ）は、A 梁の場合は 15×25 (cm)、B 梁の場合は 15×15 (cm) である。また、純スパン長は 2.6 m もしくは 1.8 m (B 梁のみ) を設定し、いずれの場合も載荷点の間隔を 50 cm として実験を行っている。図－２には RC 梁底面における AFRP シートの接着状況を例示している。全試験体の片側等せん断力区間のシート接着長は、前述のとおり L_{yu} を基本長とし、その支点側に端部接着長 α を設定して、 α を梁高 D の 0.5 、 1.0 、 2.0 倍と変化させている。曲げ補強に用いたシートは、いずれ場合も目付量 415 g/m^2 の AFRP シートである。A および B 梁の実験時におけるコンクリートの平均圧縮強度 f'_c はそれぞれ 25.2 、 29.7 MPa であった。また、主鉄筋の降伏強度は、

表－２ AFRP シートの力学的特性

繊維目付量 (g/m^2)	厚さ (mm)	引張強度 (GPa)	弾性係数 (GPa)	破断歪 (%)
415	0.286	131	2.48	1.89

D13 および D16 でそれぞれ 412 、 386 MPa であった。表－２には材料試験により得られた 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－３には、各 RC 梁毎に荷重－変位曲線の実験結果を計算結果と比較して示している。計算結果は断面分割法を用いて上縁コンクリートの終局圧縮歪を $3,500$ μ と仮定し算出している。なお、各 RC 梁の計算結果は、 $\alpha = 0.5D$ 、 $1.0D$ 、 $2.0D$ の場合でいずれも全面接着の場合と同様であることより、ここでは、シートを全面接着とした場合の計算結果を示している。図中、実験および計算結果は、主鉄筋降伏後における AFRP シートの曲げ補強効果を同一の尺度で検討するため、主鉄筋降伏時の荷重 P_y および変位 δ_y で無次元化して整理している。表－３には、参考のために実験および計算結果の降伏荷重 P_{ye} 、 P_{yc} および降伏変位 δ_{ye} 、 δ_{yc} を一覧にして示している。

図より、端部接着長 $\alpha = 0.5D$ の場合には、A-R5- $0.5D$ および B-R9.5- $0.5D$ 梁において計算終局荷重を $0.1 \sim 0.2 P_y$ 、計算終局変位を $0.5 \delta_y$ 程度下回る状態で下縁かぶりコンクリートとともにシートが剝離して終局に至っていることがわかる。また、B-R6- $0.5D$ 梁は他の梁よりも無次元最大荷重および無次元最大荷重時変位が大きく、計算終局荷重および変位を上回る状態でシートとともに

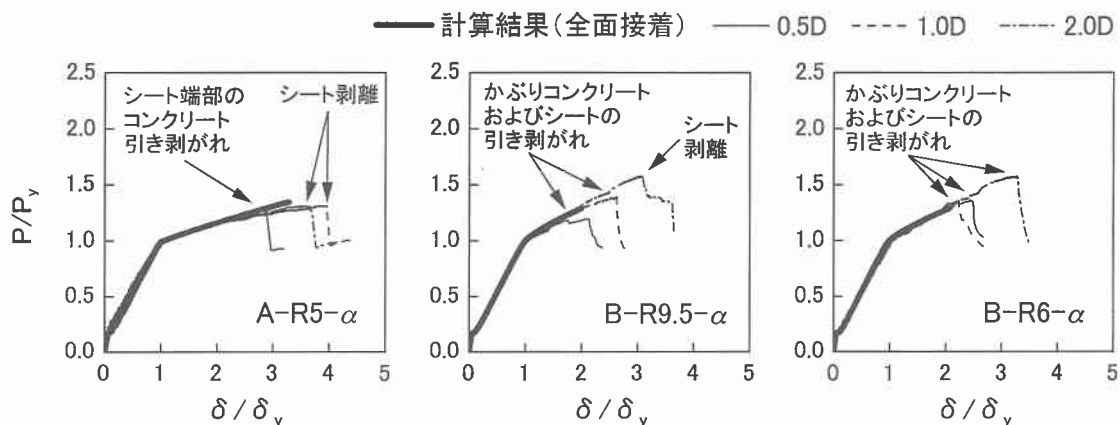


図-3 無次元荷重-変位曲線

表-3 降伏荷重および降伏変位の一覧

試験体名	実験結果		計算結果	
	降伏荷重 P_{ye} (kN)	降伏変位 δ_{ye} (mcm)	降伏荷重 P_{yc} (kN)	降伏変位 δ_{yc} (mm)
A-R5-0.5D	60.6	1.14	58.1	0.97
A-R5-1.0D	59.5	1.03		
A-R5-2.0D	60.3	1.06		
B-R9.5-0.5D	22.2	23.5	19.6	19.0
B-R9.5-1.0D	22.4	22.6		
B-R9.5-2.0D	22.8	23.4		
B-R6-0.5D	34.7	11.6	31.6	9.7
B-R6-1.0D	37.3	11.9		
B-R6-2.0D	36.1	11.4		

かぶりコンクリートが剥落して終局に至っている。

$\alpha = 1.0D, 2.0D$ の場合の結果に着目すると、いずれの場合も計算終局荷重および変位を上回った後、終局に至っていることが分かる。ここで、A 梁の場合は、下縁かぶりコンクリート部に形成されたコンクリートブロックがシートを下方に押し出して引き剥がすピーリング作用によってシートが剥離して終局に至っている。一方、B 梁の場合には A 梁に見られたピーリング作用によるシートの部分剥離が生じていないためシートの接着長が長い場合ほど耐力および変形能ともに顕著に増大している。最終的な破壊は、B-R9.5-2.0D 梁の場合を除き、かぶりコンクリートとともにシートが端部より剥離している。また、B-R9.5-2.0D 梁は過度の曲げ変形により等曲げ区間の断面が欠損した後、シートが剥離した。

以上より、FRP シート曲げ補強 RC 梁の耐力を断面分割法による計算耐力まで保証するために必要なシートの接着長は、梁高にかかわらず片側等せん断力区間に対して $L_{ps} + 1.0D$ 程度であることが明らかとなった。また、計算終局時到達後のシートの剥離破壊性状は梁高によって異なることが明らかとなった。

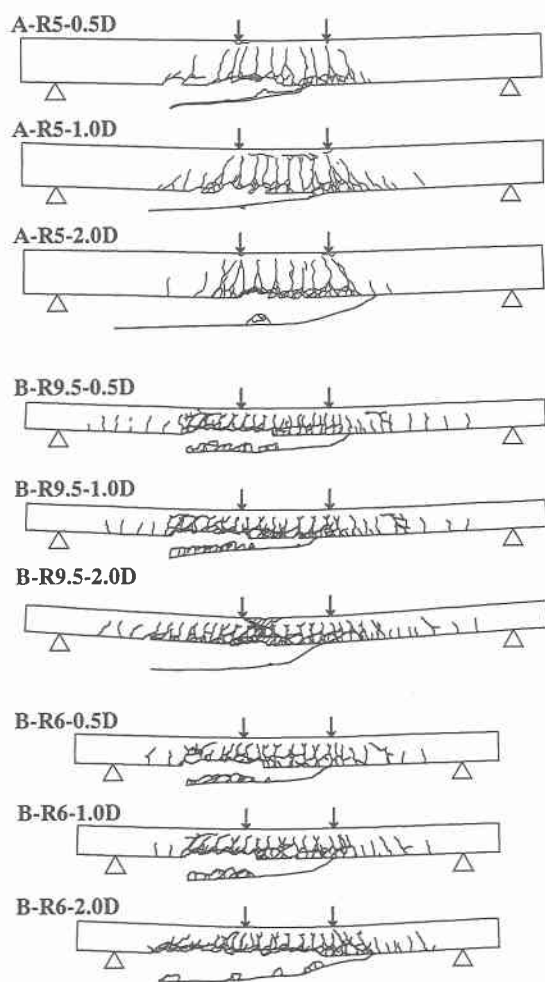


図-4 実験終了後のひびわれ分布性状

3. 2 破壊性状

図-4には、各試験体の実験終了後のひびわれ分布性状を示している。図より、梁高が小さい B 梁は、総じて A 梁よりもひび割れや下縁かぶりコンクリートの損傷が著しいことが分かる。これは、B 梁の梁高が A 梁

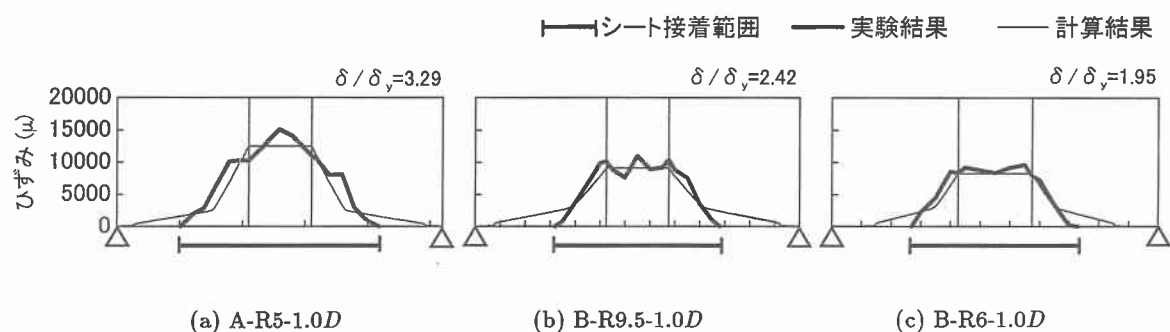


図-5 終局変位時における歪分布性状

のそれよりも小さく、かつかぶり厚が両梁で同等であるため、梁高に対するかぶり厚の割合が大きく、従って剛性も小さく変形曲率が大きくなることによるものと推察される。また、B 梁の下縁かぶりコンクリートには曲げひび割れその他、主鉄筋配置位置における付着割裂ひび割れも発生し、かぶりコンクリートがシートとともに剝落しているケースも多く見られる。

ここで、B-R6 梁の破壊状況を見ると、 $\alpha = 0.5D$ 、 $1.0D$ の場合においてかぶりコンクリートの剝落範囲がほぼ同程度となっていることが分かる。実験時には、B-R6-0.5D 梁のシートの接着端部よりも 5 cm 程度支点側の下縁部に斜めひび割れが開口し、この部分が起点となって下縁かぶりコンクリート部の剝落が進行した。この起点は B-R6-1.0D 梁の場合のシート端部と同程度の位置に生じている。このことは、前述の図-3のように B-R6-0.5D 梁と B-R6-1.0D 梁が類似の耐荷性状を示すことの原因であるものと推察される。なお、これらの試験体はともに計算終局時到達前に終局に至っている。

一方、A 梁の場合はコンクリートのひび割れが主として梁下縁部に発生し、この部分には曲げおよび斜めひび割れの交叉によるコンクリートブロックの形成が見られ、この部分がシートを押し下げて引き剥がすピーリング作用が生じていることを暗示している。

3.3 歪分布性状

図-5には、各 RC 梁のうち端部接着長 $\alpha = 1.0D$ の場合に関する計算終局変位の AFRP シート軸方向歪分布の実験結果を計算結果と比較して示している。計算結果は断面分割法による結果を基にスパン方向に 1 cm 間隔で算出したものである。

図より、各試験体の等曲げ区間の実験結果は、A-R5-1.0D 梁のスパン中央部を除き計算結果とほぼ対応しているが、等せん断力区間では A-R5-1.0D 梁の実験結果が計算結果を上回っていることが分かる。これは、下縁かぶりコンクリート部に発生した曲げおよび斜めひび割れが交差して形成されたコンクリートブロックがシートを押し下げて引き剥がすピーリング作用の兆候が現れていることを意味するものと考えられる。これに対して、A-R5-1.0D 梁よりも梁高の低い B-R9.5-1.0D、B-R6-1.0D 梁は、等せん断力区間においても実験結果が計算

結果と良く対応している。これは、A-R5-1.0D 梁に見られたピーリング作用によるシートの押し下げが未だ生じていないためと考えられる。このように、梁高の低い RC 梁の場合にはコンクリートブロックの形成が抑制され、従ってピーリング作用によるシート剝離も制御されることより、実測のシート歪は計算歪分布と類似な分布性状を示す傾向にあることが明らかになった。

また、各試験体の歪分布性状とシートの接着範囲の関係を見ると、シートは計算結果と同様の補強効果を発揮していることが分かる。以上より、FRP シート曲げ補強 RC 梁の耐力を計算耐力程度まで保証するために必要なシートの接着長は、梁高にかかわらず片側等せん断力区間に対して $L_{yu} + 1.0D$ 程度であることが分かる。

4. まとめ

本研究では FRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの必要接着長に及ぼす梁高の影響を検討するため、梁高の低い FRP シート曲げ補強 RC 梁を対象として、シート接着長を種々変化させた静載荷実験を行った。本実験で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 梁高の低い場合には、ピーリング作用によるシートの剝離現象は明確には示されず、シートはかぶりコンクリートを伴ってシート端部より剝離する傾向にある。
- 2) FRP シート曲げ補強 RC 梁の耐力を計算耐力程度まで保証するために必要なシートの接着長は、梁高にかかわらず片側等せん断力区間に対して $L_{yu} + 1.0D$ 程度である。

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.
- 2) 栗橋祐介, 岸 徳光, 三上 浩, 松岡健一: FRP シートの必要接着長に着目した曲げ補強 RC 梁の静載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 23, No. 1, pp. 835-840, 2001.