室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

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

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 日本コンクリート工学会 公開日: 2012-07-18 キーワード (Ja): RC梁, FRPシート, 主鉄筋降伏領域, 必要接着長, ピーリング作用 キーワード (En): 作成者: 栗橋, 祐介, 岸, 徳光, 三上, 浩, 松岡, 健一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1422

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

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

著者	栗橋　祐介，岸　徳光，三上　浩，松岡　健一
雑誌名	コンクリート工学年次論文集
巻	23
号	1
ページ	835-840
発行年	2001-06
URL	http://hdl.handle.net/10258/1422

論文　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

栗橋祐介[*1]・岸　徳光[*2]・三上　浩[*3]・松岡健一[*2]

要旨：RC 梁を FRP シートで曲げ補強する場合において，シートが有効に曲げ補強効果を発揮するために必要な接着長を検討するため，せん断スパン比，主鉄筋比およびシート補強量の異なる FRP シート曲げ補強 RC 梁を用い，シートの接着長をそれぞれ３種類に変化させた静的載荷実験を行った。その結果，1) 接着長が短い場合にはシートの接着端部でひびわれが開口し，この部分近傍の下縁かぶりコンクリートがシートとともに引き剥がれる場合があること，2) シートの必要接着長は片側等せん断力区間に対して，主鉄筋降伏領域と梁高との和により安全側で設計可能であること，が明らかとなった．

キーワード：RC 梁，FRP シート，主鉄筋降伏領域，必要接着長，ピーリング作用

1．はじめに

近年，既存鉄筋コンクリート (RC) 構造物を対象とした連続繊維シート (以後，FRP シートもしくは単にシート) による補修・補強工事が各地で盛んに行われている。また，FRP シートを用いた RC 部材の曲げ補強，せん断補強や靭性能向上に関する研究も数多く実施されている。一方で，FRP シートを用いて RC 部材を曲げ補強する場合には，シートの破断のみならず剥離によって部材が終局に至ることが想定されることより，シートの剥離特性を考慮した合理的な FRP シート曲げ補強設計手法の確立が強く求められている。

著者らは，これまで実挙動に即したシートの曲げ付着特性を検討するため，FRP シート曲げ補強 RC梁を対象とした静載荷実験を数多く実施してきた[例えば1)]。その結果，FRP シート曲げ補強 RC梁のシートが全面剥離する場合の破壊形式は，断面分割法に基づき圧縮破壊を想定して算出した計算終局時の変位よりも小さな変位でシートが剥離し終局に至る場合 (以後，剥離破壊型と呼ぶ) と，計算終局時の変位を上回り上縁コンクリートが圧壊した後にシートが剥離もしくは破断する場合 (以後，曲げ圧壊型と呼ぶ) に分類されること，これらの破壊形式は主に片側等せん断力区間における計算終局時の主鉄筋降伏領域 (以後，単に主鉄筋降伏領域 L_{yu}) とせん断スパン長 a を用いて推定可能であること，等を明らかにしている。しかしながら，これらの知見は十分に長い接着長を確保した状態下で得られたものであり，合理的な FRP シート曲げ補強設計手法確立のためには，シートが設計通りの曲げ補強効果を発揮するための必要接着長を明らかにすることが重要である。

このような観点より，本研究では RC 梁の曲げ補強設計におけるシートの必要接着長の算定法を確立することを目的として，せん断スパン比，主鉄筋比およびシート補強量の異なる RC 梁に関して，シートの接着長をそれぞれ３種類に変化させた静載荷実験を行った。なお，本研究ではシートの必要接着長に着目していることより，各試験体は，シートを全面接着 (両支点の 10 cm 手前までの範囲に接着) した場合に計算終局時までシートの破断や剥離が生じないことが予想される，曲げ圧壊型試験体に限定して検討を行った。

2．シートの必要接着長の考え方

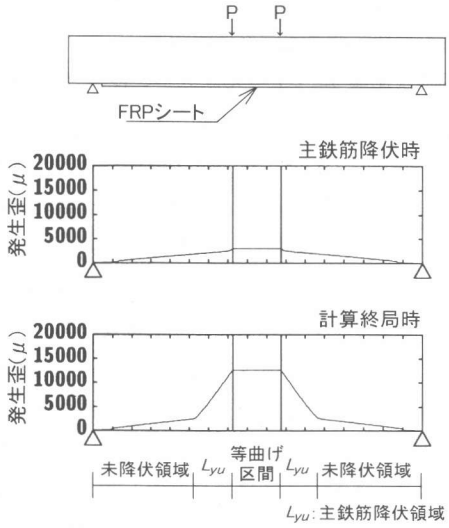
著者らのこれまでの研究成果より，RC 梁を F

*1 室蘭工業大学大学院　工学研究科　建設工学専攻　工修（正会員）
*2 室蘭工業大学教授　工学部建設システム工学科　工博（正会員）
*3 三井建設（株）技術研究所　主席研究員　工博（正会員）

表－1　試験体の一覧

試験体名	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 (‰)	主鉄筋降伏領域 L_{yu} * (cm)	シートの端部接着長 α **
S1-R5-1-0.5D	1.26	5.0	415	1.0	29	0.5D
S1-R5-1-1.0D						1.0D
S1-R5-1-2.0D						2.0D
S1-R7-1-0.5D	1.26	6.9	415	1.0	40	0.5D
S1-R7-1-1.0D						1.0D
S1-R7-1-2.0D						2.0D
S2-R5-1-0.5D	1.82	5.0	415	1.0	21	0.5D
S2-R5-1-1.0D						1.0D
S2-R5-1-2.0D						2.0D
S1-R5-0.5-0.5D	1.26	5.0	200	0.5	20	0.5D
S1-R5-0.5-1.0D						1.0D
S1-R5-0.5-2.0D						2.0D

* 計算終局時における片側等せん断力区間の値，** D は梁高 (= 25 cm)

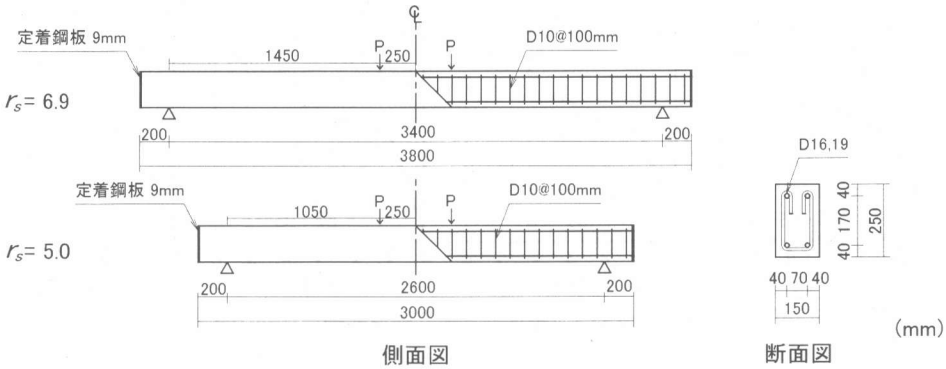


図－1　シートの軸方向歪分布の一例 (計算結果)

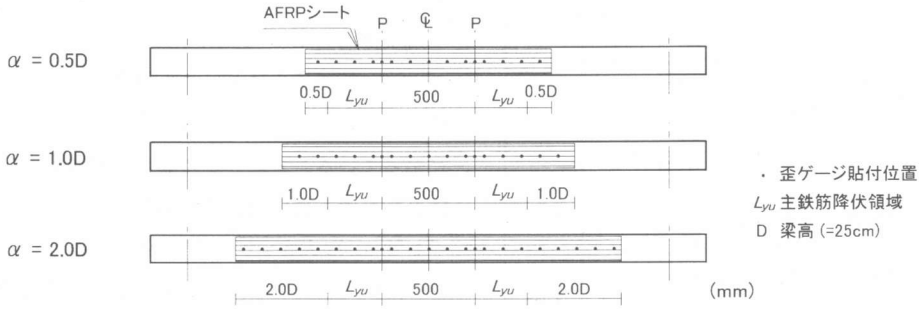
RP シートで曲げ補強した場合，シートの曲げ補強効果は主鉄筋降伏後に顕著に発揮されることが明らかとなっている。図－1には，断面分割法によって求めた主鉄筋降伏時および圧壊を想定した計算終局時における FRP シートの軸方向歪分布の一例を示している。計算終局時のシートの歪分布図において，等曲げ区間および主鉄筋降伏領域 L_{yu} では発生歪が主鉄筋降伏時よりも大きく示されていることより，曲げ補強効果は主にこれらの領域のシートによって発揮されることが推察される。一方，主鉄筋が降伏に至っていない支点側の領域は主鉄筋降伏領域に比較して歪レベルが小さく，いわば定着区間として作用するものと考えられる。従って，シートの接着長を主鉄筋降伏領域内に設定する場合には，梁が主鉄筋の段落しと同様の性状を示し，十分な耐力向上は期待できないものと考えられる。本研究では，このような段落し的な破壊を防ぎ，計算終局時までの耐力を保証するためのシートの必要接着長を明らかにするために，主鉄筋降伏領域 L_{yu} の外側に接着領域 (以後，端部接着長 α) を設定し，その最適長について実験的に検討した。

3．実験概要

表－1には，本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は，せん断スパン比，主鉄筋比およびシート補強量を変化させた4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 12 体である。試験体名の第1項目には p_t の小さい順に S1, S2 と示し，第2項目の R に付随する数値はせん断スパン比 r_s の概略値，第3項目はシートの体積補強割合 p_f (‰) を意味している。また，第4項目はシートの端部接着長 α を示しており，本実験では α を梁の断面高さ D (= 25 cm) の 0.5, 1.0, 2.0 倍として設定している。表中の主鉄筋降伏領域 L_{yu} は断面分割法に基づいて算出されたものであり，計算終局時にお



図－２　試験体の形状寸法および配筋



図－３　AFRP シートの接着概要 (底面図)

ける片側等せん断力区間での値として示している。

図－２には，本実験に用いた試験体の形状寸法および配筋を示している。試験体は断面寸法 25 × 15 cm，軸方向筋に D16 もしくは D19 を用いた複鉄筋 RC 梁である。梁の純スパン長は，せん断スパン比 r_s = 5.0, 6.9 の場合でそれぞれ 2.6, 3.4 m である。実験は載荷点間隔を一律 50 cm として静的２点載荷により行っている。

図－３には，RC 梁底面における FRP シートの接着概要を例示している。全試験体において片側等せん断力区間におけるシートの接着長は，断面分割法に基づいて算出した主鉄筋降伏領域 L_{yu} と各試験体ごとに設定した端部接着長 α の和としている。曲げ補強に用いた FRP シートは幅 13 cm，繊維目付量 200 もしくは 415 g/m^2 のアラミド繊維製 FRP (以後，AFRP) シートであり，シート上には検長 10 mm の歪ゲージをスパン中央部から支点側に向かって 10 cm 間隔および載荷点直下に貼り付けている。実験時におけるコンクリートの材齢は 40 日，平均圧縮強度は 25.2 MPa であった。鉄筋の降伏強度はスターラップに用いた D10(SD295) で 381 MPa，主鉄筋に用いた D16, D19(SD345) でそれぞれ 386, 389 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，スパン中央部変位 (以後，変位) および AFRP シート各点の軸方向歪である。

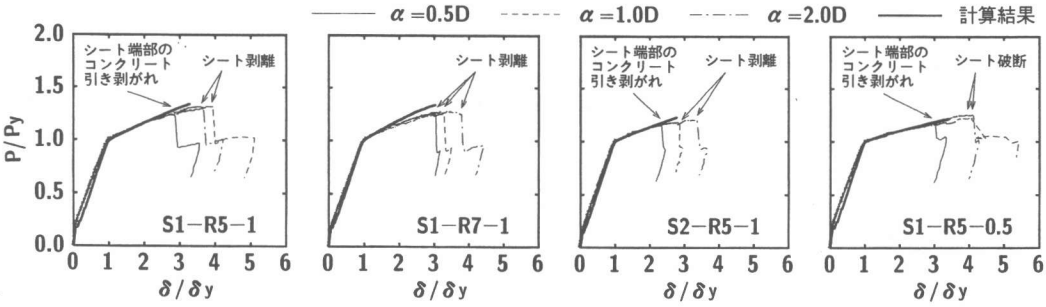
表－２　AFRP シートの力学的特性

繊維目付量 (g/m^2)	厚さ (mm)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (GPa)	破断歪 (%)
200	0.138	131	2.48	1.89
415	0.286			

4．実験結果

4.1　荷重－変位曲線

図－４には，各RC梁ごとに荷重－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



図－4　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	
	P_{ye} (kN)	δ_{ye} (cm)	P_{yc} (kN)	δ_{yc} (cm)
S1-R5-1-0.5D	60.6	1.14	58.1	0.97
S1-R5-1-1.0D	59.5	1.03		
S1-R5-1-2.0D	60.3	1.06		
S1-R7-1-0.5D	43.0	1.82	42.1	1.65
S1-R7-1-1.0D	43.6	1.67		
S1-R7-1-2.0D	45.0	1.71		
S2-R5-1-0.5D	83.4	1.21	80.0	1.05
S2-R5-1-1.0D	82.0	1.13		
S2-R5-1-2.0D	82.1	1.20		
S1-R5-0.5-0.5D	59.3	1.12	55.0	0.96
S1-R5-0.5-1.0D	59.3	1.02		
S1-R5-0.5-2.0D	59.0	1.04		

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。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 α = 0.5D の場合には S1-R7-1 梁を除いた全ての RC 梁において，計算終局時の耐力を 0.1 P_y 程度，変位を 0.5 δ_y 程度下回る状態で終局に至っていることが分かる。なお，これらの試験体は後述するようにシート接着端部のかぶりコンクリートがシートとともに引き剥がれて終局に至っている。一方，S1-R7-1 梁の α = 0.5D の場合には，計算終局変位を若干下回る状態で終局に至っているものの，他の RC梁と異なり α = 1.0D, 2.0D の場合とほぼ同程度の荷重でシートの剥離により終局に至っている。

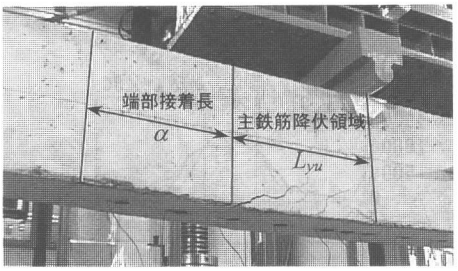
端部接着長 α = 1.0D, 2.0D の場合は，いずれの RC 梁の場合においても計算終局変位と同程度かもしくはそれを上回る変位を示した後で終局に至っている。また，この場合の終局耐力の実験値は計算値とほぼ同程度である。なお，せん断スパン比 r_s の大きい S1-R7-1 梁や主鉄筋比の大きい S2-R5-1 梁では α の大きい場合に終局変位が大きくなる傾向がみられる。また，シート補強量の少ない S1-R5-0.5 梁は α = 1.0D, 2.0D の場合ともに終局時の変位および荷重が同程度となっている。これは，両試験体ともにシートの破断により終局に至ったためと考えられる。

以上より，本実験の範囲内では，曲げ圧壊型の AFRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの曲げ補強効果を断面分割法による計算終局耐力程度まで発揮させるためには，せん断スパン比 r_s = 5.0, 6.9 の場合で，片側等せん断力区間におけるシートの接着長をそれぞれ L_{yu} + 0.5D，L_{yu} + 1.0D 以上に設定する必要があるものと判断される。

4.2　破壊性状

終局時近傍において端部接着長 α = 0.5D の場合はせん断スパン比 r_s の大きい S1-R7-1 梁を除き，1) シートの接着端部において曲げひびわれが発生し，2) 斜め上方にひびわれが進展した後，3) ひびわれが主鉄筋に沿う形でスパン中央部方向に進展して，4)瞬間的に端部接着長部分のかぶりコンクリートがシートとともに引き剥がれた。これに対して，α=1.0D, 2.0D の場合には，いず

(a) α = 0.5D



(b) α = 1.0D

写真－1　終局時におけるシートの剥離状況 (S1-R5-1 梁)

れの RC 梁も過去に実施した全面接着時の結果と同様に，主鉄筋降伏領域 L_{yu} の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わ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によって剥離した。**写真－1**には，S1-R5-1 梁を例に，α = 0.5D および 1.0D の場合の終局時におけるシートの剥離状況を示している。写真より，計算終局変位到達前に終局に至った α = 0.5D の場合と計算終局変位到達後に終局に至った α = 1.0D の場合では，上述したように破壊性状が大きく異なることが分かる。ただし，r_s の大きい S1-R7-1 梁では α = 0.5D の場合においても**写真－1**の α = 1.0D に類似した破壊性状を示している。

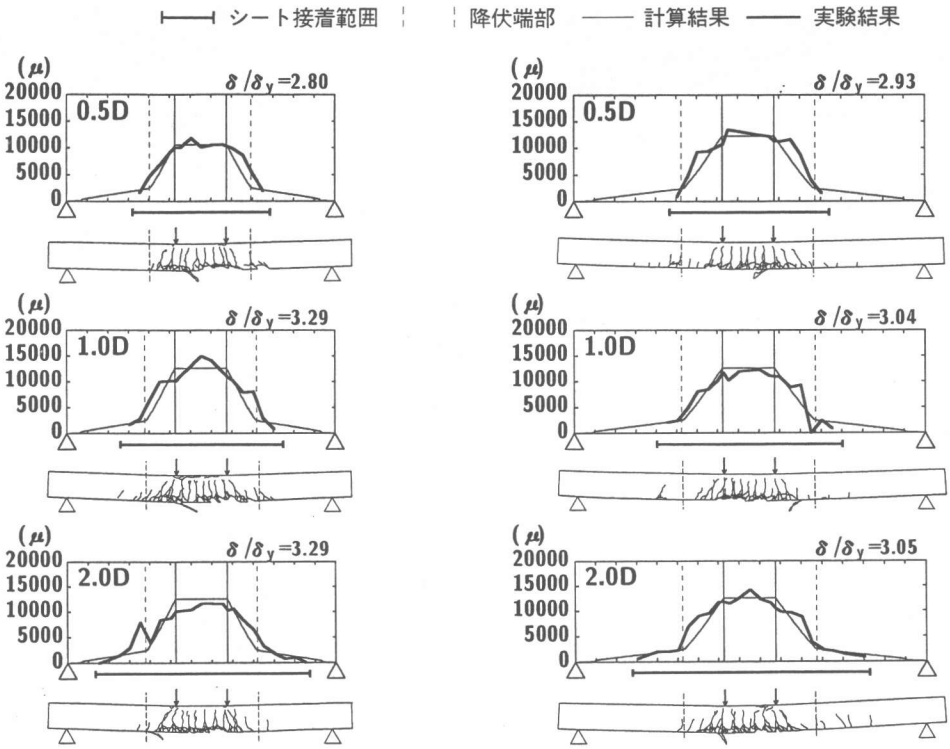
4.3　歪分布およびひびわれ分布性状

前述したように，せん断スパン比 r_s の異なる S1-R5-1 および S1-R7-1 梁では端部接着長 α = 0.5D の場合における破壊性状が大きく異なっている。この原因を検討するために，**図－5**には，両 RC 梁に着目して終局時におけるシートの軸方向歪分布に関する実験と計算結果の比較図，および実験終了後のひびわれ分布を整理している。計算結果の歪分布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。また，図中の破線は断面分割法の結果を参考にした主鉄筋降伏領域の最外縁点 (以後，降伏端部) を示している。なお，α = 1.0D および 2.0D の場合に関しては計算終局変位時の歪分布を整理しているが，0.5D の場合には計算終局変位到達前に終局に至っていることより，実測の終局変位時の歪分布を示している。

歪分布図より，各試験体において等曲げ区間の実測歪と計算歪はほぼ同程度であるものの，等せん断力区間では実測歪が計算歪よりも大きいことが分かる。また，S1-R5-1 梁では全般的に降伏端部 (破線部) において実測歪が計算歪よりも大きいのに対して，S1-R7-1 梁では両歪はほぼ同等である。一方，ひびわれ分布図を見ると，S1-R5-1 梁では，シートの引き剥がれの原因となるコンクリートブロックが主鉄筋降伏領域のほぼ全域に渡って形成されているのに対して，S1-R7-1 梁では主鉄筋降伏領域よりも狭い範囲に形成されていることが分かる。すなわち，歪分布とひびわれ分布の対比から，実測歪はコンクリートブロックの形成される領域で計算歪よりも大きくなる傾向にあることが分かる。

S1-R5-1 梁の場合には降伏端部において実測歪が計算歪よりも大きく示されていることより，この部分のシートには計算よりも大きな引張力が作用しているものと考えられる。従って，端部接着長が短い場合には，この作用引張力がシートの接着端部に曲げひびわれを発生させ，さらにこの部分のかぶりコンクリートを剥ぎ取るものと推察される。このような性状は，せん断スパン比 r_s = 5.0，端部接着長 α = 0.5D の場合において，主鉄筋比やシート補強量に拘わらずほぼ同様にみられた。なお，上述の下縁かぶりコンクリートの引き剥がれは，$\alpha \geq$ 1.0D とすることにより抑制されている。

一方，r_s の大きい S1-R7-1 梁の場合には，α =



(a) S1-R5-1 梁　　(b) S1-R7-1 梁

図－5　AFRP シートの軸方向歪分布と実験終了後のひびわれ分布

0.5D においても降伏端部の実測歪が小さく，この位置よりも支点側の領域には大きな引張力が作用していないため，シート接着端部のかぶりコンクリートの引き剥がれが生じなかったものと考えられる．以上のように，せん断スパン比によってかぶり部分におけるコンクリートブロックの形成範囲と降伏端部との位置関係の異なることが，シートの必要接着長がせん断スパン比によって異なる要因と考えられる。

5．まとめ

本研究では，AFRP シート曲げ補強 RC 梁のシートの必要接着長を検討するため，せん断スパン比，主鉄筋比およびシート補強量の異なる RC 梁を用い，シートの接着長を変化させて静的２点載荷実験を行なった。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)　シート必要接着長に与える主鉄筋比やシート補強量の影響は顕著ではない。一方，せん断スパン比はシートの必要接着長に影響を与え，せん断スパン比が小さい場合は同一の端部接着長でも下縁かぶりコンクリートが引き剥がれて計算終局耐力よりも小さな荷重で終局に至ることがある。

2)　AFRP シート補強 RC 梁が曲げ圧壊型で破壊するための必要接着長は，せん断スパン比 r_s = 5.0, 6.9 の場合でそれぞれ，片側等せん断力区間に対して L_{yu} + 1.0D, L_{yu} + 0.5D 程度であり，L_{yu} + 1.0D で安全側に設計可能である。

参考文献

1) 岸　徳光，三上　浩，佐藤昌志，栗橋祐介：FRP シートで曲げ補強した RC 梁の曲げ付着特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.45A, pp. 1399-1410, 1999.