

RC 梁に接着した曲げ補強シートの必要接着長に関する実験的研究

Experimental Study on Required Bonding Length of FRP for Flexural Strengthened RC Beams

室蘭工業大学
三井建設(株)
(独)北海道開発土木研究所
室蘭工業大学大学院

フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
フェロー 三上 浩 (Hiroshi Mikami)
正 員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
○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剥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、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荷重および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の交叉によって形成されるかぶり部のコンクリートブロックがシートを押し出して引き剥がすピーリング作用によって発生すること、等を明らかにしている。

一方、曲げ圧壊型を示す RC 梁を対象として、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 (以後、必要接着長) に着目した検討を行っている²⁾。その結果、等せん断力区間のシート接着長は、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} の支点側に定着部接着長 αD (α : 端部接着長, D : 梁高) を加えた長さとし、 α を α_c (α_c : 無次元ひずみ超過領域) 以上とすることで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。ここで α_c は、計算主鉄筋降伏領域よりも支点側の領域において実験結果のシートひずみが計算結果のそれよりも大きく示される範囲を D で除した値である。また、FRP シートを全面接着した曲げ補強 RC 梁を対象とした実験研究により、 α_c と斜めひび割れ余裕度 $R_c (= V_c / P_u, V_c$: 計算斜めひび割れ発生荷重³⁾, P_u : 計算曲げ耐力) の間に高い相関を見出し (図-1 参照)、これらの関係式を $R_c < 1.0$ の場合について提案している。

しかしながら、計算終局時までシート剥離の要因である斜めひび割れが発生しない $R_c > 1.0$ の場合の必要接着長に関しては未だ十分には検討されていない。

このような観点より、本実験では FRP シート曲げ補強 RC 梁の効率的なシート接着範囲の算定法を確立するこ

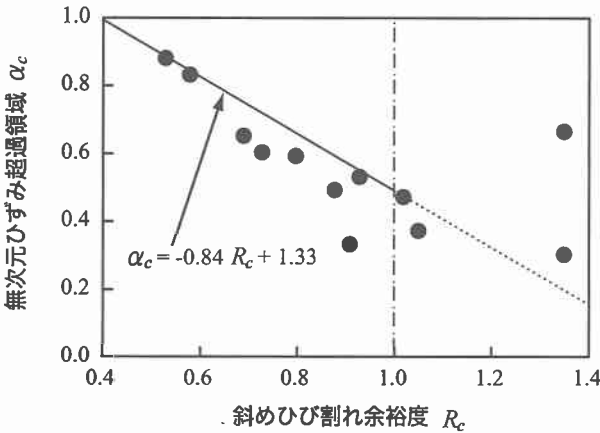
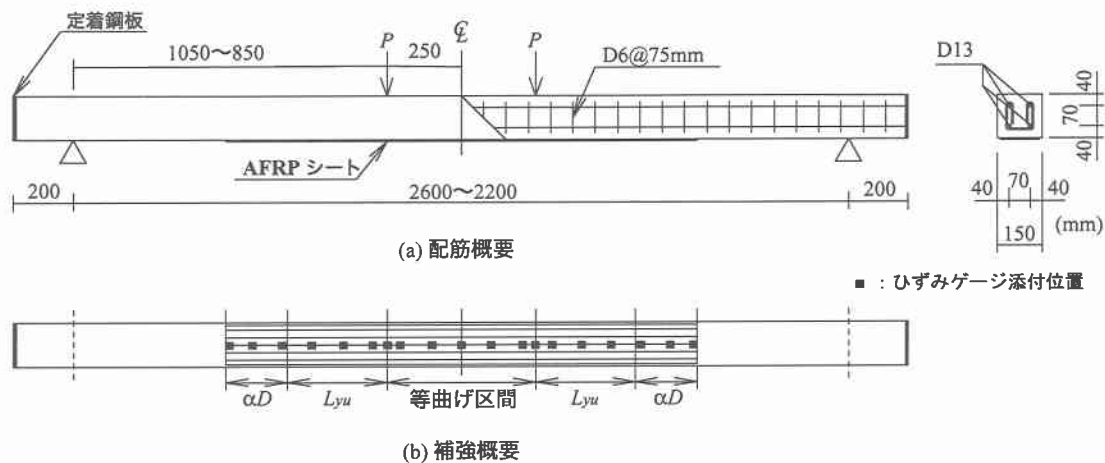


図-1 α_c - R_c 関係 (過去の実験結果²⁾)

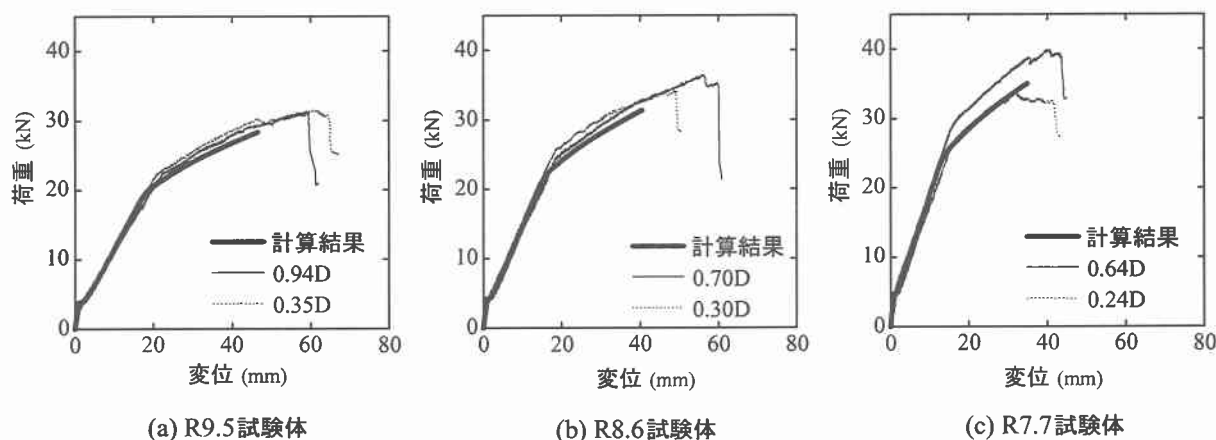
表-1 試験体の一覧

試験体名	せん断 スパン比 γ_s	無次元ひずみ 超過領域 α_c	端部 接着長 α	定着部 接着長 αD (cm)	主鉄筋 降伏領域 L_{yu} (cm)	計算斜めひび割れ 発生荷重 ³⁾ V_c (kN)	計算 曲げ耐力 P_u	斜めひび割れ 余裕度 R_c
R9.5-0.35D	9.5	0.21	0.35	5.3	33.3	37.8	28.4	1.33
R9.5-0.94D*		0.24	0.94	14.1	26.8	36.2	28.0	1.30
R8.6-0.30D	8.6	0.30	0.30	4.5	30.1	38.4	31.4	1.23
R8.6-0.70D			0.70	10.5				
R7.7-0.24D	7.7	0.39	0.24	3.6	26.9	39.2	35.1	1.12
R7.7-0.64D			0.64	9.6				

*: 文献4)より抜粋



図－2 試験体概要図



図－3 荷重－変位関係

とを目的として、 $R_c > 1.0$ となる試験体を対象にシート接着長を変化させた場合の曲げ耐力性状やシートの剥離性状に関する検討を行った。

2. 試験体概要

表－1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。本実験に用いた試験体は、せん断スパン比を3種類、シート接着長を各々2種類に変化させた全6体である。なお、R9.5-0.94D試験体は既往の文献⁴⁾より抜粋した試験体である。表中、試験体名の第1項目はせん断スパン比、第2項目は α を示している。本実験では、 α が0.3および0.7程度となるように設定している。なお、各試験体で α が若干異なるのは、設計時と実験時のコンクリート強度が異なるためである。

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したものであり、片側等せん断力区間の値として示している。また、 R_c 値はいずれの試験体においても1.12～1.33と1.0以上を示しており、計算終局時までシート剥離の要因である斜めひび割れが入らない設計となっている。

図－2には、本実験に用いたRC梁の配筋概要および補強概要を示している。本実験に用いた試験体は断面寸

法(幅×高さ)15×15 cm、主鉄筋にD13(SD345)を4本配置した複鉄筋RC梁である。また、純スパン長は2.6, 2.4, 2.2 mとしている。なお、載荷点間隔はいずれの試験体においても50 cmとしている。本実験では補強材料にアラミド繊維製FRPシート(以後、AFRPシート、目付量:415 g/m²、弾性係数:131 GPa、引張強度:2.48 GPa、破断ひずみ:1.89%)を使用している。シートは幅13 cmで所定の範囲(表－1参照)に一層接着している。なお、実験時におけるコンクリートの平均圧縮強度および主鉄筋降伏強度はR9.5-0.94Dの場合で23.9, 386 MPa、その他の試験体は33.7, 365 MPaであった。

3. 実験結果

3.1 荷重－変位関係

図－3には、各RC梁毎の荷重－変位関係を実験結果と計算結果を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ひずみを3,500 μ と仮定し算出している。なお、本実験では、FRPシートを全面接着した場合の計算耐力と同程度以上の耐力を保証する効率的なシート接着長の検討を目的としているため、図中の計算結果は曲げ補強シートを全面接着した場合の計算結果を示している。

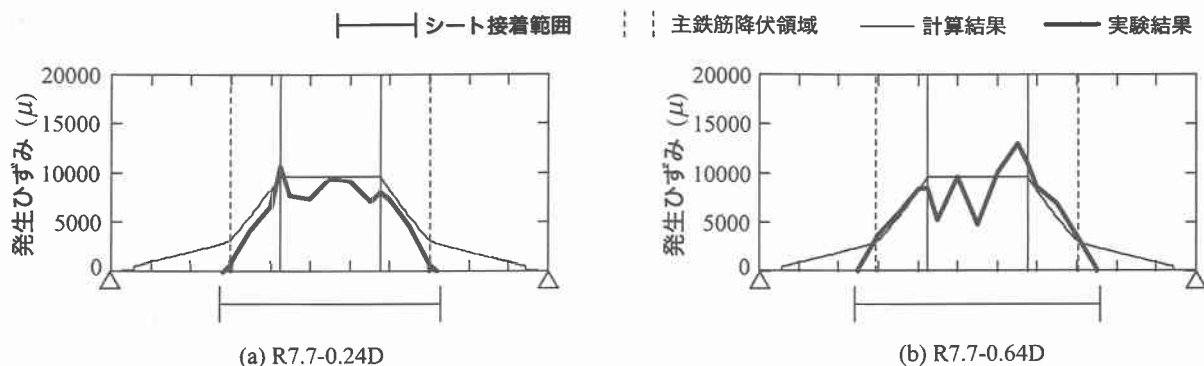
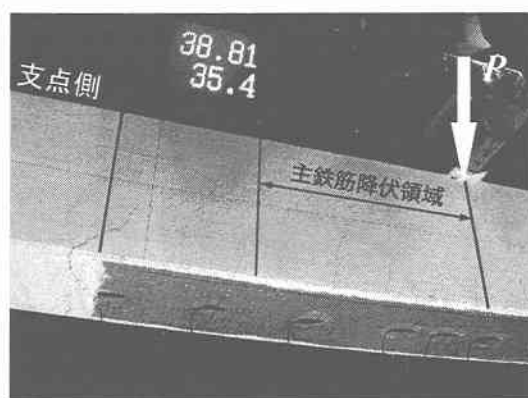


図-4 R7.7 試験体の AFRP シート軸方向ひずみの分布性状 (計算終局変位時)



(a) R7.7-0.24D



(b) R7.7-0.64D

写真-1 R7.7 試験体のシート端部の状況 (計算終局変位時)

図より、R9.5, R8.6 試験体は降伏時近傍で若干のばらつきが見られるものの、いずれの試験体も初期勾配から第2勾配まで実験結果と計算結果は良く一致していることがわかる。また、いずれの試験体も計算終局荷重および変位到達後、シート接着端よりかぶりコンクリートごと引き剥がされる状態で剥離し終局に至っている。一方、R7.7 試験体は、初期勾配は一致しているものの降伏荷重が -0.24D 試験体よりも -0.64D 試験体で多少大きく示されている。これは、試験体製作時および実験時の誤差によるものと考えられる。降伏後の剛性勾配は、シートの接着長さにかかわらずほぼ同様である。しかしながら、終局荷重は -0.64D 試験体で計算終局荷重および変位を上回っているのに対し、-0.24D 試験体は計算終局荷重に達する前に終局に至っている。なお、R7.7 試験体の終局はいずれの場合もシート端部よりかぶりコンクリートが引き剥がされて終局に至っている。

3.2 AFRP シートの軸方向ひずみ分布性状

図-4 には、R7.7 試験体の計算終局変位時におけるひずみ分布性状の実験結果を計算結果と比較して示している。また、写真-1 には計算終局変位時の左側スパンに関するひび割れ状況を示している。

図より、シート接着長の短い R7.7-0.24D 試験体は計算結果よりも全体的に小さいひずみ分布を示していることがわかる。これは写真-1 (a) に見られるように、シ

ト接着端に発生した曲げひび割れが斜め上方に進展、開口してシートの補強効果が十分発揮されていないためと考えられる。

一方、R7.7-0.64D 試験体のひずみ分布は、等曲げ区間で曲げひび割れの開口により若干乱れているものの、等せん断力区間では計算結果とほぼ同等の値を示している。このことより、コンクリートブロックの押し出しによるピーリング作用は発生していないことがわかる。また、写真-1 (b) よりシート接着端外側に曲げひび割れの発生が見られるものの、斜めひび割れへの進展およびひび割れの開口が見られないことがわかる。このことより、シートの補強効果は十分発揮されているものと推察される。なお、R9.5, R8.6 試験体においても R7.7-0.64D 試験体と同様、計算終局時にはシート接着端に発生した曲げひび割れの開口は見られないことを確認している。このため、上記試験体のシートは計算終局時まで十分な補強効果を発揮したものと考えられる。

3.3 ひび割れ分布性状

図-5 には、各試験体の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、いずれの試験体においても、剥離したシートにはかぶりコンクリートがほぼ全面に付着した状態で終局に至っていることがわかる。また、試験体のかぶり部にコンクリートブロックの形成が見られないことより、ピーリング作用によるシート剥離

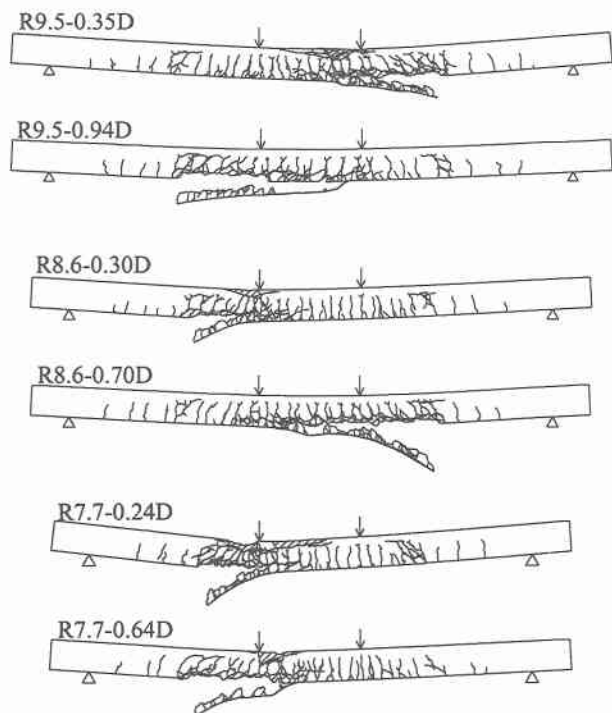


図-5 ひび割れ分布性状

は発生していないことがわかる。なお、シート接着端位置の圧縮側コンクリートには部分的に上端鉄筋に沿った割裂ひび割れが発生し、梁下縁では主鉄筋に沿う割裂ひび割れが大きく進展している。また、シート接着端では曲げひび割れが斜め上方に進展し、一部で上端鉄筋位置の割裂ひび割れと連結している。特に、R7.7-0.24D試験体では、左側荷点外側の圧壊が顕著であることがわかる。これは、シート接着端に発生した曲げひび割れが斜めひび割れに進展し、大きく開口したことに伴って曲率が局所的に著しく増大したためと考えられる。

上記のひび割れ性状やシートのひずみ分布性状から、本試験体のシート剥離は以下のように進展したものと考えられる。まず、シート接着端の無補強部で主鉄筋が降伏し、曲率が大きくなることでシート接着端の曲げひび割れが斜めひび割れへと進展する。次に、斜めひび割れの開口に伴って下端主鉄筋に沿う割裂ひび割れがシート端部から徐々に進展し最終的にはシートがかぶりコンクリートごと引き剥がされて終局に至る。

4. シートの必要接着長に関する検討

図-6には、本実験に用いた試験体の端部接着長 α と斜めひび割れ余裕度 R_c との関係を示している。図中には、既往の研究²⁾より得られた必要シート接着長の算定式を実線で示している。図中の白抜きの印は計算終局荷重を満足した試験体、黒塗りの印は計算終局荷重以下で破壊した試験体を示している。

図より、荷重-変位関係が計算終局耐力を上回った後に終局に至った試験体はいずれも提案式より上側に示されていることがわかる。一方、計算終局耐力を下回ったR7.7-0.24D試験体は提案式より下側に示されている。

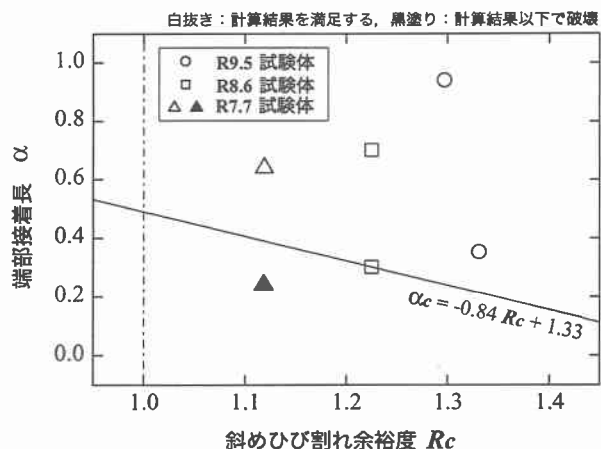


図-6 α_c と R_c の関係

以上のことより、 $R_c > 1.0$ を示す試験体においても提案式によるシート必要接着長の評価が可能であることが明らかとなった。

5. まとめ

本研究では、FRPシート曲げ補強RC梁の効率的なシート接着範囲の算定法を確立することを目的として、 $R_c > 1.0$ となるRC梁を用いてシート接着長を変化させた静荷重実験を行った。本研究の範囲内で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) $R_c > 1.0$ を示すFRPシート曲げ補強RC梁のシートの剥離はかぶりコンクリートごと引き剥がされる傾向にある。
- 2) FRPシート曲げ補強RC梁の耐力を計算終局耐力程度まで保証するために必要なシート接着長は、 $R_c > 1.0$ においても著者らが提案した算定式により算定可能である。

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梁の曲げ耐力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) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介, 澤田純之: AFRPシート曲げ補強RC梁のシートの必要接着長評価に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.987-997, 2002.3
- 3) Okamura, H., Higai, T.: Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement, *Proceedings of JSCE*, No.300, pp.131-141, 1980.
- 4) 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介, 澤田純之: 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, 土木学会北海道支部, 論文報告集, 第58号, pp.768-771, 2002.1