

シート接着長の異なる AFRP シート曲げ補強 RC 梁の破壊性状に関する実験的研究

Experimental study on influence of sheet length on failure mode of flexural strengthened RC beams with AFRPs

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

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・補強工事が盛んになるのに伴い、諸研究機関で様々な実験・検討が行われるようになってきた。著者らも、FRPシートを用いて梁部材に曲げ補強を施すことを想定し、FRPシート曲げ補強RC梁に関する様々な実験を実施している。その結果、シート接着長が十分に長い場合、1) 曲げ補強シートの剥離は荷重点近傍の下縁かぶり部に、曲げおよび斜めひび割れの交叉によって形成される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、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の最大荷重および最大荷重時変位到達前にシート剥離を生じ終局に至る剥離破壊型と、計算最大変位を上回り、上縁コンクリートが圧壊した後に計算最大荷重と同程度の荷重レベルで終局に至る曲げ圧壊型に分類されること、3) これらの破壊形式は、降伏曲げ耐力と終局曲げ耐力の関係を基に予測可能であること<sup>1)</sup>、等を明らかにしている。

曲げ圧壊型を示す試験体は、計算結果到達後に終局に至ることより、シート接着長が過剰であると判断される。このことより、著者らは、曲げ圧壊型を示す試験体に関する合理的なシート接着長の検討も実施してきた。その結果、シートの必要接着長は、斜めひび割れ余裕度  $R_c (= V_c / P_u, V_c$ : 斜めひび割れ発生荷重<sup>2)</sup>,  $P_u$ : 終局曲げ耐力)と密接な関係にあること<sup>3)</sup>を明らかにしている。また、シート接着長を短くした場合には、全面にシート接着した場合は異なり、シートが接着端部よりかぶりコンクリートごと引き剥がされる破壊性状となることが

確認された。本研究では、断面形状を同一とし、せん断スパン長を変化させた試験体を用いて、シート接着長が破壊性状に与える影響を詳細に検討した。

2. 試験体の概要

図-1には、本実験に用いた試験体の配筋概要および補強概要を示している。試験体の断面寸法は、梁幅×梁高が15×25cm、軸方向鉄筋にD16(SD345)を4本配置した複鉄筋矩形RC梁である。せん断スパン長はせん断スパン比を3.1~6.9に変化させるため、0.65~1.45mと変化させている。いずれの試験体もシートを全面に接着した場合は曲げ圧壊型となる様に設計している。なお、荷重点間隔はいずれの場合も50cmである。シートの曲げ補強範囲は、既往の研究<sup>2)</sup>と同様に等曲げ区間、計算終局時における主鉄筋降伏領域  $L_{yu}$  および定着部接着長  $\alpha D$  を加えた範囲としている。曲げ補強シートには、目付量415g/m<sup>2</sup>のアラミド繊維製FRPシート(以後、AFRPシート)を所定の範囲に1層接着している。

表-1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体数は、せん断スパン比を4種類、シート接着長を3もしくは4種類に変化させた全14体である。表中、試験体名の第1項目はせん断スパン比の概略値を示しており、第2項目はシートの定着部接着長  $\alpha D$  を示している。なお、実験時におけるコンクリートの平均圧縮強度は31.6MPa、主鉄筋の降伏強度は392.6MPa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を示している。

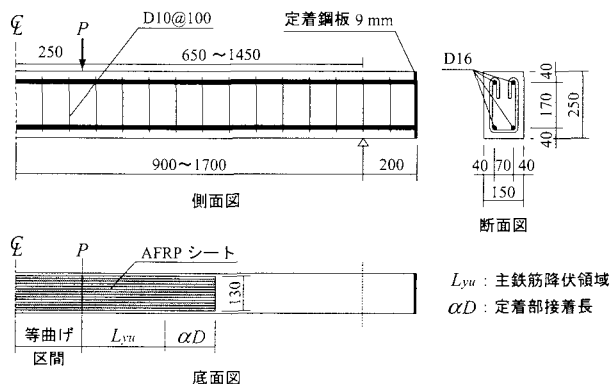


図-1 配筋状況および補強概要

表-1 試験体一覧

試験体名	せん断スパン比	主鉄筋降伏領域 $L_{yu}$ (cm)	定着部接着長 $\alpha D$
R3- $\alpha D$	3.1	18.3	0.90D, 0.60D, 0.30D, 0.01D
R4- $\alpha D$	4.0	24.0	0.80D, 0.50D, 0.34D, 0.04D
R5- $\alpha D$	5.0	29.6	0.68D, 0.38D, 0.07D
R7- $\alpha D$	6.9	40.9	0.47D, 0.31D, 0.14D

D: 断面高さ (25 cm)

表-2 AFRPシートの力学的特性

目付量 (g/m <sup>2</sup> )	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

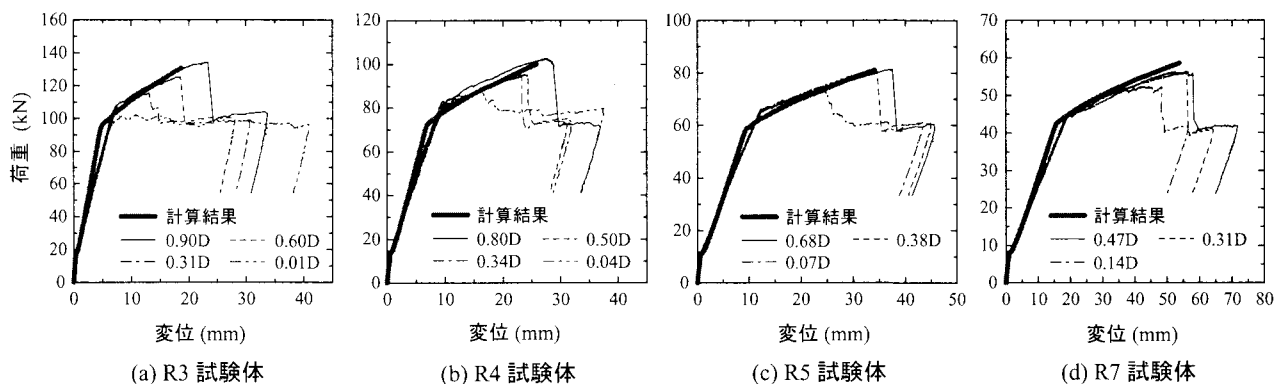


図-2 荷重-変位関係

表-3 結果一覧

試験体名	定着部接着長係数 $\alpha$	必要定着部接着長係数 $\alpha_c$	斜めひび割れ余裕度 $R_c$	実験結果(最大荷重時)		計算結果 (最大荷重時)	
				荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)
R3-0.90D	0.90	0.84	0.59	134.1	23.3	130.8	18.7
R3-0.60D	0.60			125.1	17.9	130.8	18.7
R3-0.31D	0.31			115.1	13.1	130.8	18.6
R3-0.01D	0.01			102.0	10.5	128.1	20.6
R4-0.80D	0.80	0.74	0.70	102.4	27.4	100.1	25.8
R4-0.50D	0.50			95.1	23.6	100.1	25.9
R4-0.34D	0.34			95.1	22.8	100.1	25.8
R4-0.04D	0.04			87.6	16.2	98.9	29.0
R5-0.68D	0.68	0.65	0.81	81.0	36.9	81.0	34.1
R5-0.38D	0.38			81.0	33.7	81.0	34.1
R5-0.07D	0.07			73.0	21.8	80.7	38.7
R7-0.47D	0.47	0.46	1.04	56.3	55.6	58.7	53.7
R7-0.31D	0.31			56.1	55.6	58.7	53.7
R7-0.14D	0.14			52.1	42.5	58.7	57.3

### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重-変位関係

図-2には、各試験体の荷重-変位関係を計算結果と比較して示している。計算結果は平面保持を仮定した断面分割法により算出しており、上縁コンクリートの圧壊ひずみである $3,500\mu$ まで行っている。なお、計算結果は図が煩雑になるのを防ぐため、各試験体の中でシート接着長の最も長い試験体の結果を示している。

図より、初期勾配は計算結果よりも若干緩やかであるものの、降伏後の第2勾配はR3-0.01D試験体を除いていずれも大略一致していることがわかる。なお、R3-0.01D試験体は主鉄筋降伏前にシート端部より剥離が進展していることより、無補強の場合と同様の性状を示したものと考えられる。各試験体の終局時に着目すると、いずれの試験体もシート接着長の増大とともに、最大荷重および最大荷重時変位が増大している。このことより、シート接着長は耐荷性状に大きな影響を与えていることがわかる。

表-3には、定着部接着長係数 $\alpha$ 、文献3)の提案式より得られる必要定着部接着長係数 $\alpha_c$ 、斜めひび割れ余裕度 $R_c$ および、荷重-変位関係より得られる実験、計算結果の最大荷重、最大荷重時変位を示している。表より、 $\alpha > \alpha_c$ となる場合は、計算終局変位到達後に計算耐力と同程度の耐力を示した後に終局に至っており、曲げ圧壊型を示していることがわかる。また、 $\alpha < \alpha_c$ となる場合には、R5-0.38DおよびR7-0.31D試験体を除き、計算終局耐力到達前に終局に至っていることより、剥離

破壊型を示していることがわかる。なお、R5-0.38DおよびR7-0.31D試験体は計算終局時の変位および荷重と同程度の値を示していることより、曲げ圧壊型と判断される。これは、 $R_c$ 値が1.0程度であることより、ピーリング作用の要因である斜めひび割れが発生しにくいとえられる。以上のことより、定着部接着長係数 $\alpha$ を必要接着長係数 $\alpha_c$ 以上と設定することで、曲げ圧壊型と同程度の耐力を確保できることが確認された。

#### 3.2 破壊性状

図-3には、実験終了後における試験体のひび割れ分布性状を示している。図には、R3, R5, R7試験体の3種類のシート接着長の結果について示している。試験体名の横には、曲げ圧壊型の試験体に(B)、剥離破壊型の試験体には(D)と示している。

図より、いずれの試験体もシート接着範囲内で損傷が著しく、下縁かぶりコンクリートを伴ってシート剥離していることがわかる。これは、シートの接着範囲内においてシートの補強効果が発揮されることより、接着範囲内で損傷が著しくなったためと考えられる。また、無補強部となるシート接着端部では段落し的な挙動を示すことより、シート接着部の外側ではほとんど損傷を受けないものと考えられる。

写真-1には、図-3に示す各試験体のひび割れ状況を示している。写真には、曲げ圧壊型(B)の場合には計算終局変位時、剥離破壊型(D)の場合には最大荷重時の状況を示している。なお、写真中のモニターに示されている数値は上段が載荷荷重(kN)、下段が梁中央部の変位

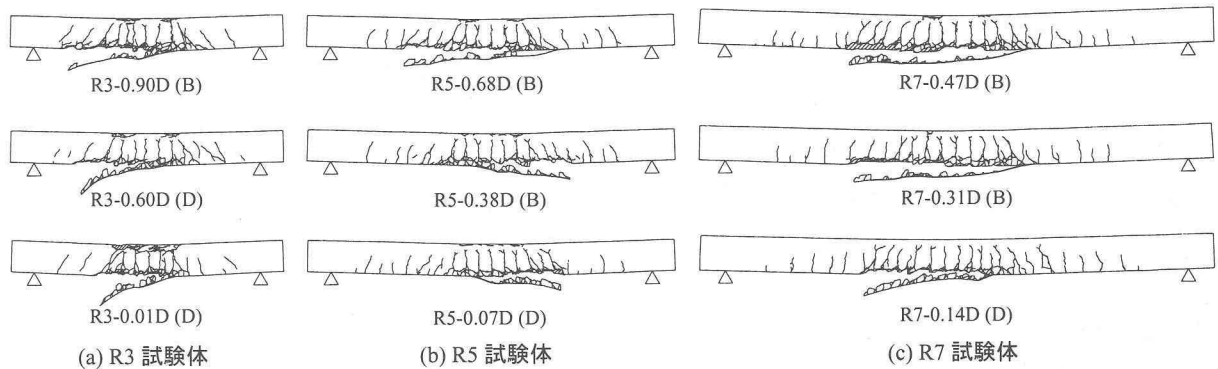


図-3 実験終了後のひび割れ分布性状

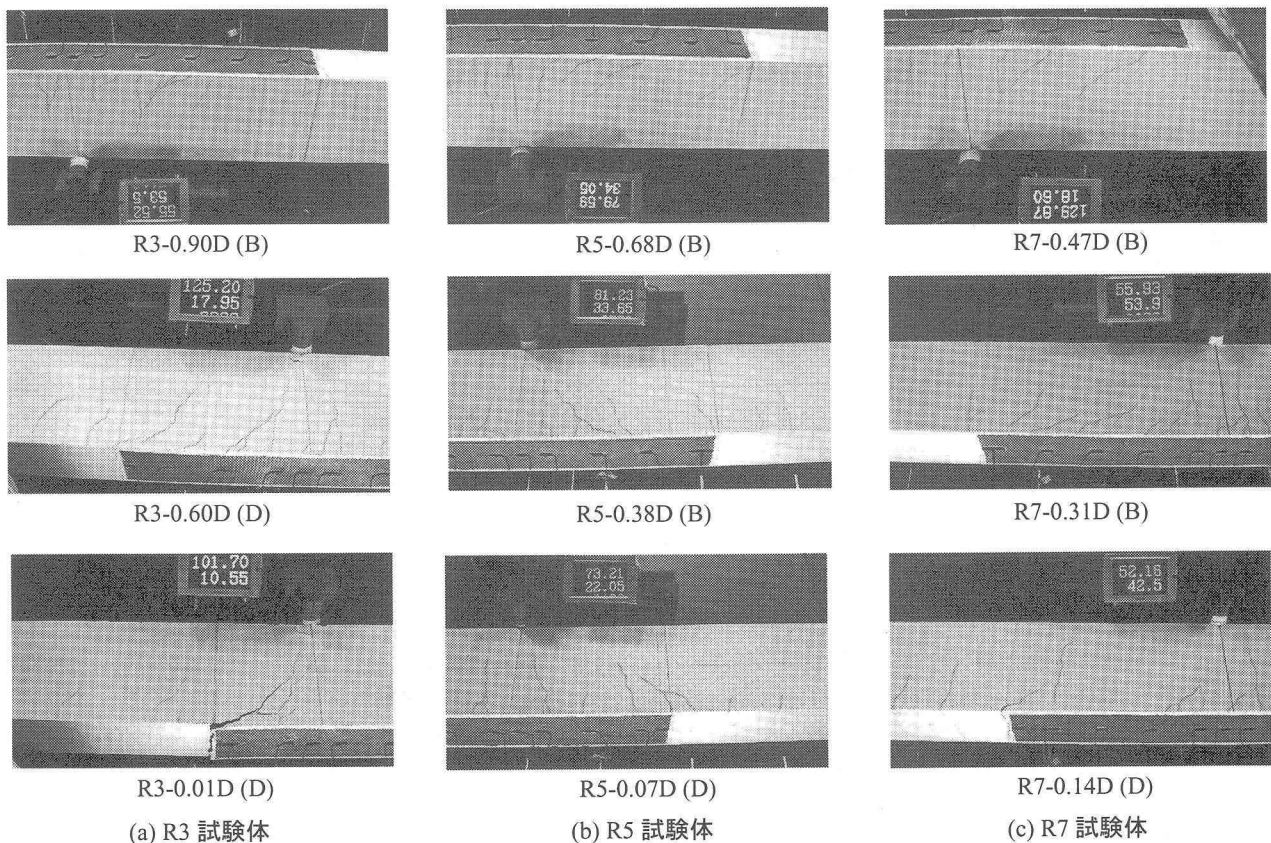


写真-1 終局直前におけるひび割れ状況の比較

(mm)を示している。

写真より、同一せん断スパン比の試験体を比較すると、シート接着長が長い場合には、荷点近傍の下縁かぶり部でコンクリートブロックの形成が確認できる。しかしながら、シート接着長が短くなるとともに、斜めひび割れの発生位置が荷点近傍のかぶり部から、シート接着端部に移行する傾向にある。このことは、シート接着長が短いほど、シート接着端部の無補強断面で早期にひび割れ発生耐力に達することに対応している。また、剥離性状は、シート接着長が長い場合にはピーリング作用によるシート剥離により終局に至るものの、シート接着長が短くなるに従い、端部からの引き剥がれにより終局に至る傾向にある。最もシート接着長の短い場合には、ピーリング作用が発生せず、シート端部に発生した曲げひび割れが主鉄筋に沿う割裂ひび割れと連結することにより、支点側から荷点方向に剥離進展する端部剥離の現象が見られた。これは、シート接着長の長い場合

め、シート接着端部で主鉄筋が早期に降伏し、シートの剥離進行とともにシート端部より主鉄筋の降伏が荷点方向に進展したことによるものと推察される。以上のことより、シート接着長により破壊性状が異なり、接着長が長い場合にはピーリング作用による剥離、短い場合にはシートの端部剥離により終局に至ることが明らかとなった。

### 3.3 終局時におけるシートひずみ分布性状

図-4には、写真-1と同一時におけるひずみ分布性状を示している。図より、ひずみ分布性状は、等せん断力区間において、(i) 計算結果を超えるひずみが発生する場合(図-4上、中段)と(ii) 計算結果と同程度のひずみが発生する場合(図-4下段)に分類される。(i)の場合には、荷点近傍の下縁かぶり部に発生するコンクリートブロックの押し出し作用によるピーリングが発生し、ひずみが局所的に増大したものと考えられる。なお、(i)の性状が見られる試験体のうち、シート接着長の長い場合

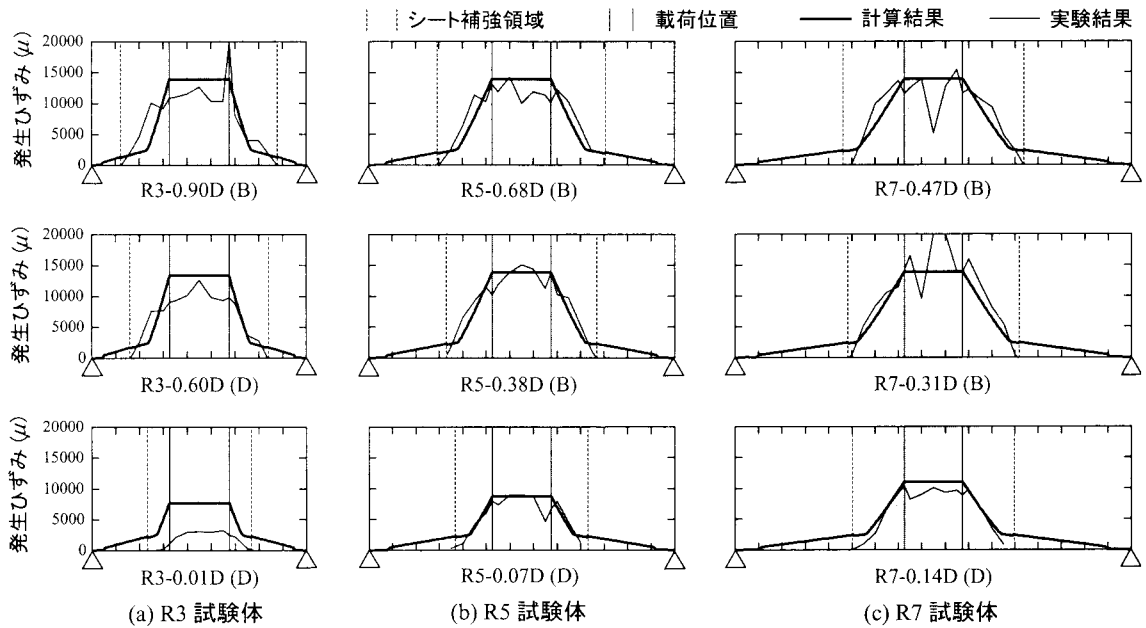


図-4 終局直前のひずみ分布性状

はピーリング作用により終局に至っており、短い場合にはシートの端部剥離が発生すると同時に全面剥離に至っている。(ii)の場合は、計算結果と同程度であることより、完全付着に近い状態にあり、ピーリングが生じていないことがわかる。しかしながら、写真からもわかるようにシート端部に曲げひび割れが発生し、大きく開口している。このひび割れの開口によりシートの補強効果が十分に発揮されないため、載荷荷重も小さく、ひずみも小さく示されている。なお、R3-0.01D試験体はシートの補強効果が発揮される前にシート端部のひび割れが大きく開口して端部剥離したため、発生ひずみが極端に小さいものと考えられる。

### 3.4 必要接着長割合とせん断スパン比の関係

図-5には、シート接着長係数 $\alpha$ を必要接着長係数 $\alpha_c$ で除した必要接着長割合とせん断スパン比 $a/d$ の関係を示している。

図より、いずれの試験体においても必要接着長割合が大きい場合にはピーリング作用によりシート剥離する傾向にあり、必要接着長割合が小さくなるとともに、シートの端部剥離に徐々に移行し、最終的にはピーリング作用が発生しない端部剥離により終局に至ることがわかる。また、図より必要接着長割合が0.4程度以下では、完全にシートの端部剥離に移行することがわかる。

## 4. まとめ

本研究では、曲げ圧壊型を示すFRPシート曲げ補強RC梁に接着した曲げ補強シートの接着長が破壊性状に与える影響を詳細に検討するため、同一断面形状でせん断スパン比の異なる4種類の試験体に対してシート接着長を変化させて静載荷実験を行った。本研究より得られた知見は以下の通りである。

- FRPシート曲げ補強RC梁の定着部接着長係数 $\alpha$ を既往の研究<sup>3)</sup>で提案された必要接着長算定式による $\alpha_c$ 以上と設定することで、曲げ圧壊型と同程度の耐力を保証可能であることが確認された。

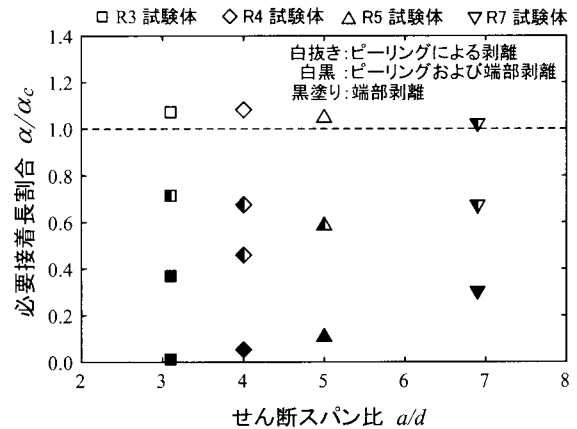


図-5 必要接着長割合とせん断スパン比の関係

- FRPシート曲げ補強RC梁の破壊性状はシート接着長に依存し、ピーリングによる剥離および端部剥離と両者の混在型に分けられる。

- 本研究の範囲内では、完全に端部剥離となる接着長は必要接着長割合が0.4程度以下の場合である。

## 参考文献

- 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
- 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, Aug.1980
- 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