

# せん断補強筋量およびせん断スパン比が FRP シート補強 RC 梁の 曲げ耐荷性状に与える影響

室蘭工業大学 学生員 栗橋 祐介  
三井建設㈱ フェロー 三上 浩

室蘭工業大学 正員 岸 徳光  
計測技販㈱ 正員 佐藤 良一

## 1. はじめに

本研究では、FRP シートを用いた RC 構造物の合理的な曲げ補強設計法の確立を目的として、FRP シート曲げ補強 RC 梁のせん断補強筋量やせん断スパン比がシートの曲げ補強効果に与える影響に着目して検討を行った。

## 2. 実験概要および実験終了後における破壊状況

表 - 1 には本実験に用いた試験体の一覧を示している。試験体はせん断スパン比  $a/d$  を 3 種類、せん断補強筋量を 4 種類に変化させた全 12 体である。試験体名の第 1 項には  $a/d$  の概略値を示し、第 2 項にはせん断補強筋量の少ない順に s0~s3 と示している。表には補強前および補強後におけるせん断余裕度（せん断耐力 / 曲げ耐力）も合わせて示している。図 - 1 には本実験に用いた試験体の概要として R5 試験体を一例に示している。試験体は上下端鉄筋に D16 を用いた複鉄筋 RC 梁であり、せん断補強筋を配置する場合にはそれぞれ D6, D10, D13 を 10 cm 間隔で配筋している。また、梁底面には保証耐力 600 kN/m 程度の AFRP シート（目付量；415 g/m<sup>2</sup>，厚さ；0.286 mm，弾性係数；126.5 GPa，引張強度；2.48 GPa）を 1 層接着している。シート上には歪ゲージを全長に渡り 10 cm 間隔および載荷点直下に貼付した。なお、本実験では等曲げモーメント区間長を一律 50 cm とし、試験体の  $a/d$  を 3.1, 5.0, 6.9 と変化させているため試験体の純スパンはそれぞれ 1.8, 2.6, 3.4 m となっている。試験体の破壊性状は s0 試験体では  $a/d$  に関わらず全てせん断破壊であり、その他は R7-s1 でシート破断したのを除くと、全てシートの剥離破壊となっている。

表 - 1 試験体の一覧

試験体名	$a/d$	せん断補強筋	$a_n$	$a_s$	破壊形式
R7-s0	6.9	なし	1.49	1.02	せん断破壊
R7-s1		D6	3.63	2.49	シート破断
R7-s2		D10	6.70	4.59	剥離破壊
R7-s3		D13	10.50	7.19	剥離破壊
R5-s0	5.0	なし	1.08	0.74	せん断破壊
R5-s1		D6	2.63	1.80	剥離破壊
R5-s2		D10	4.85	3.32	剥離破壊
R5-s3		D13	7.60	5.21	剥離破壊
R3-s0	3.1	なし	0.87	0.46	せん断破壊
R3-s1		D6	2.13	1.12	剥離破壊
R3-s2		D10	3.93	2.06	剥離破壊
R3-s3		D13	6.15	3.22	剥離破壊

$a_n$ : 補強前のせん断余裕度  
 $a_s$ : 補強後のせん断余裕度

## 3. 実験結果

### 3.1 荷重 - 変位関係

図 - 2 には荷重 - 変位関係の実験結果および断面分割法による計算結果を示している。本研究では試験体の製作誤差を除去した形で実験および計算結果を比較し、AFRP シートの曲げ補強効果を詳細に検討するため、実験と計算結果の下端鉄筋降伏荷重時におけるシートの歪分布がほぼ同様であることを確認した上で、両結果を各々の降伏荷重  $P_{ye}, P_{yc}$ ，降伏変位  $d_{ye}, d_{yc}$  で無次元化して整理することとした。表 - 2 には実験および計算結果の降伏荷重，降伏変位の一覧を示している。なお，R3-s0 は主鉄筋降伏前にせん断破壊したため無次元化による整理が不能であったことより，以下の考察では検討から除外している。図より，せん断補強筋を配置した s1~s3 試験体の荷重は主鉄筋降伏後も顕著に増大し，最大荷重到達後シートの破断もしくは剥離により急激に低下していることがわかる。ただし，R3-s1 は他に比して最大荷重および最大荷重時変位が小さく示されている。これは R3-s1 の補強後のせん断余裕度  $a_s$  が 1.12 と小さいことより，後述するように他の試験体よりも小さな荷重および変位レベルで多数の斜めひび割れが発生し，ピーリング作用によ

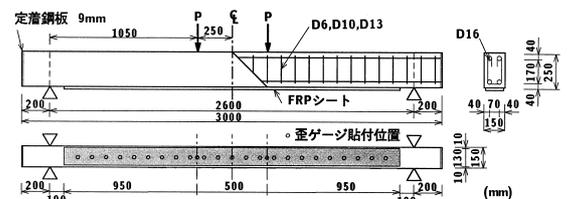


図 - 1 試験体の概要 (R5 試験体)

表 - 2 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 $d_{ye}$ (cm)	降伏荷重 $P_{yc}$ (kN)	降伏変位 $d_{yc}$ (cm)
R7-s0	46.2	1.92	40.9	1.51
R7-s1	44.5	1.92		
R7-s2	46.3	1.75		
R7-s3	45.6	1.85		
R5-s0	59.8	1.26	56.8	0.90
R5-s1	63.3	1.21		
R5-s2	64.3	1.15		
R5-s3	62.0	1.14		
R3-s0	( - )	( - )	91.5	0.47
R3-s1	106.2	0.77		
R3-s2	108.0	0.63		
R3-s3	100.4	0.61		

ただし，( ) は主鉄筋降伏前にせん断破壊

キーワード：RC 梁，FRP シート，曲げ補強，せん断補強筋量，せん断スパン比，ピーリング作用

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5226 FAX 0143-46-5227

る剥離破壊を生じたためと考えられる。その他の試験体では、実測の最大荷重は計算値とほぼ同程度であることから、せん断余裕度が十分大きい場合にはせん断補強筋量がシートの剥離発生荷重に与える影響は小さいものと考えられる。一方、せん断補強筋を配置していない s0 試験体は他の試験体に比して小さな荷重レベルでせん断破壊している。主鉄筋降伏後にせん断破壊した R7-s0 および R5-s0 のせん断余裕度は無補強時にはそれぞれ  $\alpha_n = 1.49, 1.08$  であるが、補強後にはそれぞれ  $\alpha_s = 1.02, 0.74$  と低下している。このことは、前述の R3-s1 の結果も含め、既存の RC 部材を FRP シートで曲げ補強することにより部材の破壊形式が曲げ破壊から脆性的なせん断破壊に移行する可能性があるため、FRP シートで曲げ補強する場合にはせん断余裕度の検討を十分に行わなければならないことを示している。

### 3.2 ひび割れ性状

図 - 3 には s0, s1, s3 試験体のひび割れ性状を示している。図より、s0 試験体では斜めひび割れが大きく開口し、明瞭なせん断破壊を呈していることがわかる。一方、s1, s3 試験体はシート破断もしくは剥離破壊により終局に至っている。せん断補強筋量の少ない s1 試験体では斜めひび割れが広い範囲で発生している。実験時には、剥離破壊した全試験体において、載荷点近傍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割れの交叉により形成されたコンクリートブロックが、シートを押し下げ引き剥がすピーリング作用による剥離の発生を確認している。

### 3.3 AFRP シートの歪分布性状

図 - 4 には s0, s1, s3 試験体に関する同一無次元変位時における AFRP シートの歪分布の実験結果および計算結果を比較して示している。図には主に計算最大変位時の結果を示しているが、s0 試験体および R3-s1 の場合、変位量が計算最大変位に到達しなかったため実測最大変位時の結果を示すこととしている。R7-s0 の歪分布は他に比して広く示されている。これはピーリング作用を受け剥離直前の状態であることを示している。また、R5-s0 の場合には小さな荷重レベルでせん断破壊したため発生歪が他の試験体よりも小さく示されていることから、シートの曲げ補強効果が十分に発揮されていないことがわかる。一方、s1, s3 試験体の等曲げモーメント区間の歪は実験および計算結果でほぼ同程度となっているが、等せん断力区間の歪分布範囲は実験結果の方が計算結果よりも広く示されている。これは、コンクリートブロックがシートを押し下げ引き剥がすピーリング作用が、この変位レベルで既に進行していることを示すものと考えられる。なお、せん断余裕度が十分に大きい場合、 $a/d$  が同様であればせん断補強筋量に関わらずほぼ類似した歪分布性状を示していることから、せん断補強筋量が AFRP シートの曲げ付着性状に与える影響は小さいものと判断される。

4. まとめ

- 1) RC 部材を FRP シートで曲げ補強することにより、部材の破壊形式が曲げ破壊からせん断破壊に移行する可能性がある。従って、曲げ補強する場合にはせん断余裕度の検討を十分に行うことが重要である。
- 2) せん断余裕度が十分に大きい場合、せん断補強筋量がシートの剥離荷重や歪分布性状に与える影響は小さい。

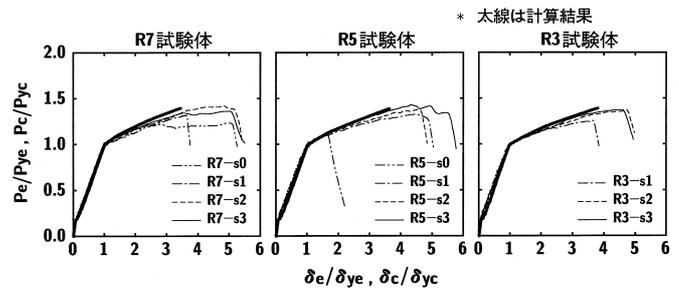


図 - 2 荷重 - 変位関係

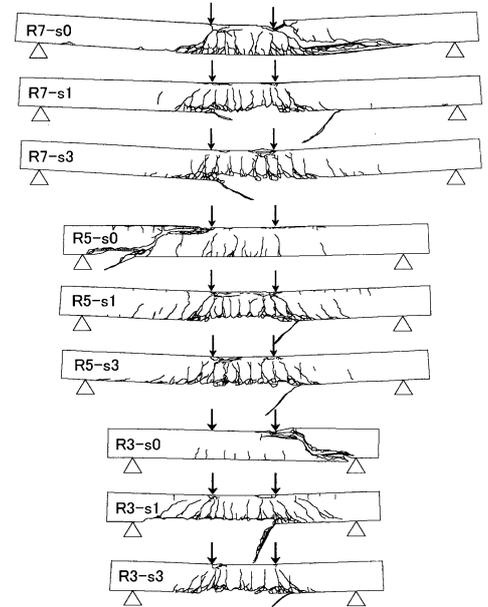


図 - 3 ひび割れ性状

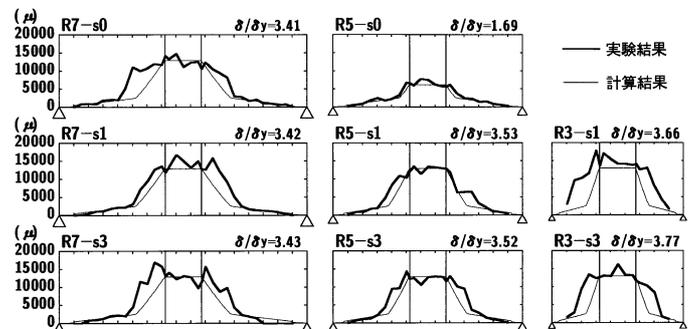


図 - 4 AFRP シートの歪分布性状