

AFRP シートあるいはロッドで曲げ補強した RC 梁の耐衝撃性状に関する実験的研究

Experimental Study on an Impact Resistant Behavior of Flexural Strengthened RC Beams with AFRP Sheet and/or Rods

室蘭工業大学	フェロー	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	フェロー	松岡 健一	(Ken-ichi Matsuoka)
室蘭工業大学	○学生員	安藤 宏	(Hiroshi Ando)

1. はじめに

近年、既存鉄筋コンクリート(RC)構造物の補強法として各種連続繊維シート(以後、FRPシート)を用いた工法が盛んに採用されるようになってきた。FRPシート接着工法は、施工の簡便性、工期短縮、高耐久性の特徴を有し、補強性能を有する。しかしながら、この工法は、コンクリート表面を完全に被覆してしまうため、コンクリートの劣化に伴うひび割れ進展状況を目視できない欠点がある。これに対し、梁下面にアラミド繊維製ロッド(AFRPロッド)を埋設して補強する工法も考えられる。このような工法を採用することにより、上述の欠点を改善可能となる。

本研究ではFRPシートあるいはロッドで曲げ補強した場合のRC梁の耐衝撃性状を検討するため、FRPシートあるいはロッドで曲げ補強したRC梁の重錘落下衝撃実験を行った。なお、本実験で用いた試験体は、補強後も静載荷時に曲げ破壊が卓越する、4種類、全12体のRC梁である。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

表-1には試験体一覧を示している。本実験に用いた試

験体は無補強、AFRPロッド(以後、ロッド)径を5, 9 mmとする場合、ロッド径9 mmの場合と引張剛性が類似のAFRPシート(以後、シート)補強した場合の計4種類である。シートの目付量は615 g/m² (415, 200 g/m²のシートを2層貼り)とした。試験体名は試験体の種類(N:無補強, R5:ロッド径5 mm, R9:ロッド径9 mm, S9:R9と引張剛性が同等)を示している。

図-1には、本実験に用いたRC梁の断面寸法の配筋状況、シートおよびロッド位置を示している。試験体は形状寸法(梁幅×梁高×純スパン長)がいずれの梁も150×250×2000 mmの複鉄筋矩形RC梁である。なお、主鉄筋にD13を用い、せん断補強筋にはD10を用いこれを100 mm間隔で配筋している。試験体の底面の補強に関しては、R5, R9梁は2本のロッドを主鉄筋に沿う形でロッドの直径分を試験体に埋め込むことにより補強している。また、補強範囲は、梁中央部から支点の100 mm手前までとしている。ロッドの埋め込みの際には、一般的なパテ状のエポキシ樹脂で空隙を充填して行った。S9梁に関しては、幅142 mmのシートを2層貼りしてR9梁と同範囲に補強している。なお、シート接着においては、ショットブラスト処理を行い、かつプライマーを2度塗りしてシートの接着が良好に行われるようにした。

表-1 試験体一覧

試験体名	補強方法	補強材料	補強量	衝突速度 V (m/s)		引張剛性 (GN)
				繰返し載荷	単一載荷	
N	-	-	-	1~4	3, 4	-
R5	ロッド	RA5	2本	1~4	3, 4	2.46
R9	ロッド	RA9	2本	1~4	4, 5	7.88
S9	シート	A415 + A200	幅: 142mm	1~4	4, 5	7.89

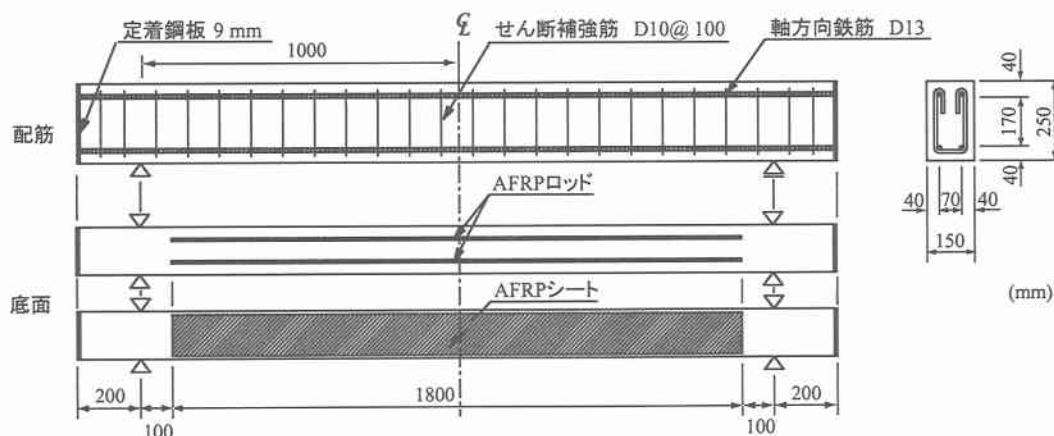
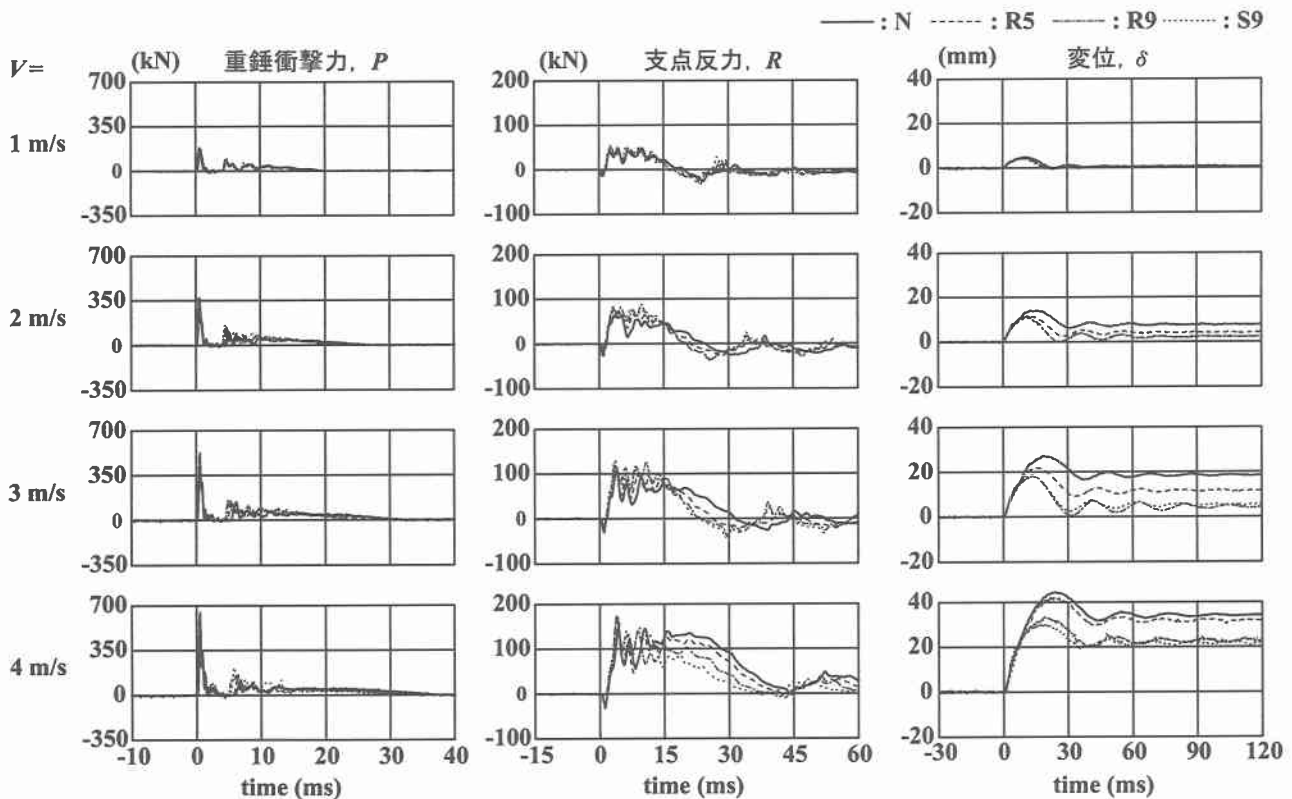


図-1 試験体概要図

表－2 材料の力学的特性値

(a) コンクリート				(b) 鉄筋				
材令 (日)	圧縮強度 f'_c (MPa)	弾性係数 E_c (GPa)	ポアソン比 ν_c	鉄筋 名称	材質	降伏強度 σ_y (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s
120	31.0	26.8	0.22	D13	SD295A	362	206	0.3
				D10		419		

(c) ロッド					(d) シート				
補強 材料	ロッド径 (mm)	公称断面積 A (mm ²)	弾性係数 E (GPa)	引張強度 (GPa)	補強 材料	シート目付量 (g/m ²)	シート厚さ t (mm)	弾性係数 E (GPa)	引張強度 (GPa)
RA5	5.0	19.6	62.5	1.45	A200	200	0.138	131	2.48
RA9	9.0	63.0			A415	415	0.286		



図－2 各応答波形（繰り返し載荷）

表－2には、材料の力学的特性値を示している。

2.2 実験方法

RC梁はリバウンド防止用治具付の支点治具上に設置している。支点治具全体は、RC梁の回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている。実験は、重錘をRC梁のスパン中央部に所定の高さから自由落下させることにより行っている。用いた重錘は、質量が300 kg、荷重点部の直径が150 mmの円柱状鋼製重錘である。重錘底部は、衝突時の片当たりを防止するために、曲率半径が1,407 mmで高さが2 mmの球面状となっている。

実験は、荷重方法として漸増繰り返し載荷（以後、繰り返し載荷）と単一載荷の2種類を採用している。前者は、処女載荷および速度増分を1 m/sに設定し、RC梁が終局に至るまで繰り返し重錘を落下させる方法であり、後者は各試験体に対して一回のみ重錘を落下させる方法である。本論文では、単一載荷実験用の試験体を各2体用意した。1体目は、繰り返し載荷実験における最終衝突速度で実験を行うものであり、他の1体に関しては、1体目が終局に至った場合には1 m/sだけ減速した速度

にすることとし、未だ終局に至らない場合には1 m/sだけ加速した速度で実験を行うこととした。梁の終局は、N梁の場合には、既往の研究¹⁾から累積残留変位が純スパン長の2% (4 cm)程度に達した時点、ロッドあるいはシートRC梁の場合には、それらが剥離した時点を目安とした。

測定項目は、重錘衝撃力 P 、合支点反力（以後、支点反力 R ）および荷重点変位（以後、変位 δ ）の各応答波形である。また、実験終了後には梁側面に生じたひび割れを記録している。

3. 実験結果および考察

3.1 重錘衝撃力、支点反力および変位波形

図－2には、各RC梁の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 δ に関する繰り返し載荷時の各応答波形を衝突速度 V 毎に示している。図中、各波形は重錘衝突時を0 msとして整理している。

N, R5, R9梁において、重錘衝撃力波形 P は、補強量にかかわらず類似の波形性状を示している。すなわち、

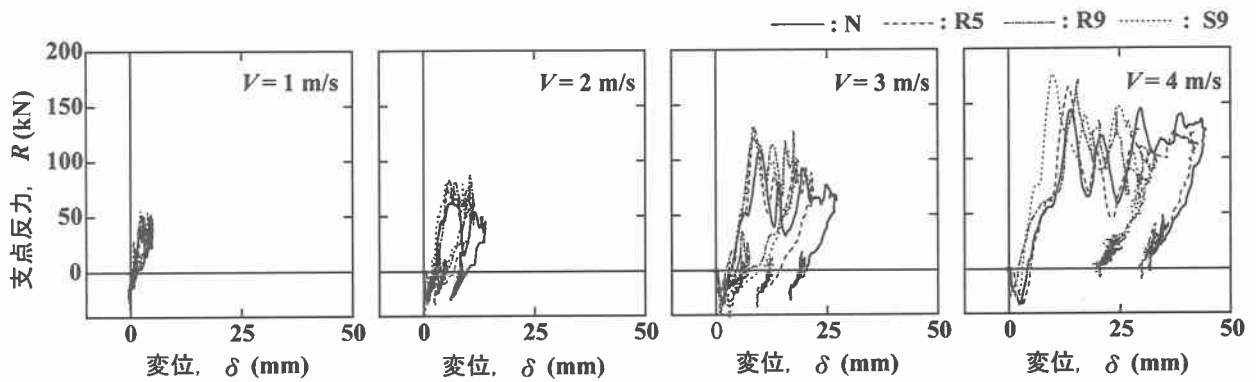


図-3 $R-\delta$ 履歴曲線 (繰返し载荷)

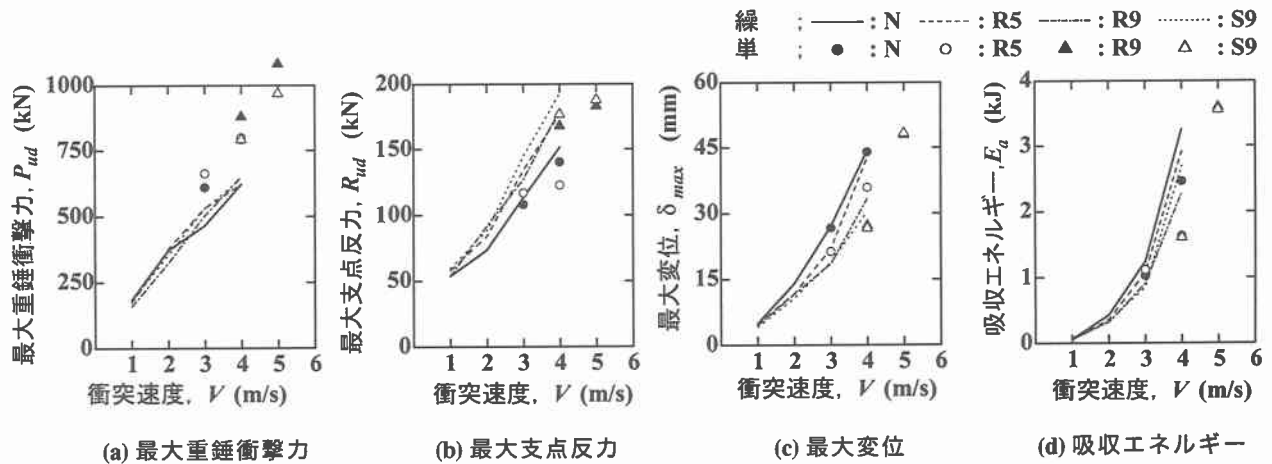


図-4 各種応答値

衝撃初期に振幅が大きく継続時間の短い(第1波)と後続の周期が数msの波形成分を含んだ継続時間の比較的長い(第2波)からなる分布性状を示している。また、第2波目の立ち上がりは衝突速度 V の増加と共に遅延していることが分かる。これは、繰返し载荷によって損傷が蓄積され、固有振動周期が長くなるためと推察される。

支点反力波形 R を見ると、衝突速度 V が小さい場合には各梁で同様に5ms程度で最大値を示し、その後主波動は継続時間が15～20ms程度の正弦半波状の波形を示している。支点反力波形 R も重錘衝撃力波形 P と同様に衝突速度 V の増加に対応して、劣化の進行により主波動の継続時間が延びていることが分かる。また、 $V=4$ m/sにおける分布を見ると、主波動の継続時間はS9, R9, R5, Nの順に延びており、シート補強の場合が最も劣化の程度の小さいことが推察される。

変位波形 δ に関しては、重錘衝撃力波形 P や支点反力波形 R のような高周波成分はみられず、いずれも正弦波状の分布を示し、最大応答値を除き類似の分布性状を示している。 $V \leq 3$ m/sまでは、ロッドあるいはシートの補強量に対応した補強効果が現れていることが分かる。すなわち、N梁の変位が最も大きく、次いでR5梁であり、R9とS9梁は補強量が類似で最も変位が小さい。しかしながら、 $V=4$ m/sでは、N, R5梁がほぼ同様の変位波形を表していることが分かる。これは、 $V=3$ m/s終了時にR5梁のロッドの剥離が確認されていたことから、この

時点で補強効果が低減したものと推察される。また、 $V=3$ m/s終了時に剥離の傾向を示していないR9, S9梁に関しては、 $V=4$ m/s時にも十分な補強効果が発揮されていることが分かる。

3.2 支点反力-変位履歴曲線

図-3には、各RC梁の繰返し载荷時の支点反力-変位履歴曲線($R-\delta$ 履歴曲線)を衝突速度 V 毎に示している。

図より、 $V=1, 2$ m/sの場合には、 $R-\delta$ 履歴曲線のループ内の面積で評価される吸収エネルギー量が小さいことから各梁ともほぼ弾性的な挙動を示していることが分かる。 $V=3$ m/sの場合には補強量に対応して吸収エネルギー量も大きくなっている。 $V=4$ m/s場合には、前述のようにR5梁において既にロッドの剥離が進行しているためN梁と類似の履歴曲線を示している。全体的には静载荷時に曲げ破壊で終局に至るRC梁と同様に平行四辺形状の履歴曲線を呈していることが分かる。

3.3 各種応答値の比較

図-4には、最大重錘衝撃力 P_{ud} 、最大支点反力 R_{ud} 、最大変位 δ_{max} および吸収エネルギー E_a を、衝突速度 V 毎に示している。

最初に繰返し载荷時の結果に着目すると、最大重錘衝撃力 P_{ud} の増分は、衝突速度の増大と共に低減の傾向にあるものの、ロッドの補強量やシートとロッドの差異に依存せず全梁でほぼ同様の分布を示していることから、ロッドの補強量やシートとロッドとの差異による影

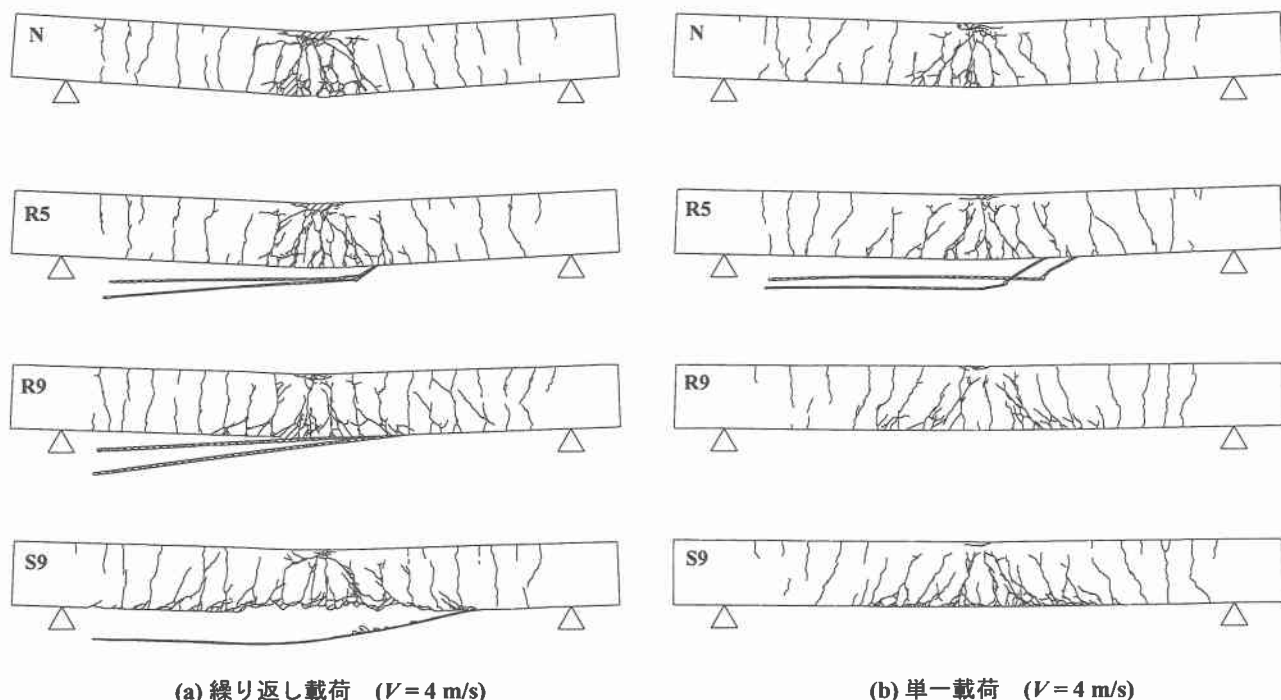


図-5 ひび割れ図

響は小さいものと判断される。最大支点反力 R_{ud} 、最大変位 δ_{max} は衝突速度の増加と共に各梁間で差異がより顕著になっていることから、ロッドあるいはシート補強による効果は、その補強量に対応した応答値が発生していることが分かる。吸収エネルギー E_a はいずれの梁においても衝突速度 V の増加と共に二次放物線的に増大している。また、同一衝突速度に着目すると、ロッド補強量の増大と共に吸収エネルギー量が減少傾向にあることから、補強量に対応して耐衝撃性が向上していることが分かる。

次に単一載荷時の結果を見ると、最大重錘衝撃力値 P_{ud} は繰り返し載荷の場合と異なり、損傷が蓄積されていないことにより衝突速度 V に対応してほぼ線形に増加していることが分かる。最大支点反力 R_{ud} の分布を見ると、ロッドあるいはシート補強量と対応して分布している状況は繰り返し載荷時と同様である。但し、 $V=4\sim 5\text{ m/s}$ に対する増分は繰り返し載荷時の $V=3\sim 4\text{ m/s}$ におけるそれに比較して、大幅に低減していることが分かる。 $V=5\text{ m/s}$ においては、ロッドあるいはシート剥離に伴う終局に近い状況であることが推察される。最大変位 δ_{max} に関しては、いずれの梁も繰り返し載荷時と同様の値を示しており、繰り返し載荷による劣化の蓄積による影響の小さいことが分かる。また、R9、S9梁の分布はほぼ同一の値を示しており、補強割合が等しい場合にはロッドとシートの差異はないと考えられる。吸収エネルギー E_a に関しては、いずれの梁も繰り返し載荷時より小さい値を示しており、単一載荷時には繰り返し載荷時よりも耐衝撃性に優れていることが確認できる。

3.4 ひび割れ分布

図-5には、各RC梁の衝撃実験終了後の繰り返し載荷の最終速度と単一載荷 $V=4\text{ m/s}$ のひび割れ分布を示している。

(a) 図より、いずれの梁も上下縁から真っ直ぐに進展する曲げひび割れが発生している。詳細に見るとN、R5梁は載荷点近傍も含め類似の分布性状を示しているが、R9、S9梁の場合には下縁かぶり部に曲げひび割れに継がる斜めひび割れが発生している。その発生範囲はR9梁よりもS9梁の方が広い。これは、シートとコンクリートとの付着が健全であることや、それら補強材の分担力が大きいことに起因しているものと推察される。

一方、(b) 図の単一載荷時の結果より、繰り返し載荷時と同様に曲げひび割れが発生し、かつ載荷点から下縁に向かう斜めひび割れが発生している。これは、図-4(a)からも明らかなように、単一載荷時には梁が劣化していないことにより繰り返し載荷時に比較して大きな重錘衝撃力が発生するものに起因しているものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、AFRPシートあるいはロッドで曲げ補強したRC梁に関する重錘落下衝撃実験を行い、ロッドの補強量の影響や、シートとロッドとの差異の影響について検討した。検討結果、以下のことが明らかになった。

- 1) ロッド補強したRC梁に関しては、補強量に対応して耐衝撃性は向上する。
- 2) 引張剛性を同等とした場合には、シートとロッドとの差異が各種応答波形やひび割れ分布等を与える影響は小さい。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 三上 浩, 松岡健一, 安藤智啓: 静載荷時に曲げ破壊が卓越するRC梁の耐衝撃設計法に関する一提案, 土木学会論文集, No647/I51, pp.177-190, 2000.