目付量の異なる AFRP シートで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝撃実験

Impact loading tests on flexural reinforced RC beam with various volumes of AFRP sheet

室蘭工業大学大学院	\bigcirc	学生員	佐藤元彦 (Motohiko Sato)
室蘭工業大学大学院		正 員	栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)
(独) 寒地土木研究所		正 員	今野久志 (Hisashi Konno)
三井住友建設 (株)		フェロー	三上 浩 (Hiroshi Mikami)
釧路工業高等専門学校		フェロー	岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年,既設鉄筋コンクリート(RC)構造物の耐力向上法 として,連続繊維(FRP)シート接着工法が広く採用され るようになってきた.一方で,最近では既設の耐衝撃用 途構造物の経年劣化や耐力不足も報告されており,衝撃 荷重に対する耐力向上法の確立も喫急の課題となってい る.著者らは,これまで耐衝撃用途 RC構造物の耐衝撃 性向上法として FRPシート接着工法を提案している.ま た,FRPシートには耐衝撃性に優れるアラミド繊維製 FRP (AFRP)シートを採用することとし,その適用性について も検討を行っている¹⁾.

その結果, AFRP シート曲げ補強により RC 梁の変形量 やひび割れ幅を低減可能であることや,シート目付量の 増加により RC 梁の耐衝撃性が向上することを明らかにし ている²⁾.

しかしながら、入力エネルギーが大きい場合には、AFRP シートが破断して終局に至る傾向にあることが明らかに なっている。AFRPシートを用いた RC 部材の適切な耐衝 撃性向上法を確立するためには、シートの破断メカニズ ムを解明し、その抑制法や予測法の提案に向けた検討を 推進することが重要である。

このような観点から、本研究では、AFRP シート曲げ補 強 RC 梁の耐衝撃性に及ぼすシート目付量の影響を検討す ることを目的に、既往の研究成果に加えてさらに目付量 の大きい AFRP シートで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝 撃実験を行った。

2. 実験概要

表-1には、本実験に用いた試験体を一覧にして示して

いる.表中,試験体名の第1項目は無補強の場合にはN と示し,シート補強の場合にはAとシート目付量(g/m²) の組合わせで示している.また,第2項目のHに付随す る数値は重錘落下高さ(m)を示している.

また,表には本実験に用いた各試験体のコンクリート 強度および主鉄筋の降伏強度も併せて示している.なお, 計算曲げ耐力とせん断耐力は,コンクリート標準示方書³⁾ に準拠し,前述の材料強度を用いて算出した.曲げ耐力 は AFRP シートとコンクリートの完全付着を仮定し,断 面分割法によって梁上縁が圧縮破壊(ひずみ3,500 µ) に 至った時点を終局として求めた.なお,せん断耐力には シートの補強効果は考慮していない.

重錘落下衝撃実験は、質量 300 kg,先端直径 200 mmの 鋼製重錘を所定の高さから一度だけ落下させる単一載荷 法により実施している.重錘落下位置はスパン中央部で ある.試験体の支点部は回転を許容し、浮き上がりを拘束 するピン支持に近い構造となっている.なお、衝撃載荷実 験における重錘衝撃力および支点反力は、各々重錘および 支点治具に内蔵された動的応答衝撃荷重測定用ロードセ ルによって計測した.また、既往の研究成果⁴⁾に基づい て、重錘落下衝撃実験の場合における終局状態は、残留 変位が梁の純スパン長の2%に達した状態になるか、ま たはシートが剥離もしくは破断した状態とした.

図-1には、試験体の形状寸法と配筋および補強状況を示している.本実験に用いた試験体の形状寸法(梁幅× 梁高×純スパン長)は200×250×3,000 mm であり、軸 方向鉄筋は上下端にそれぞれD19を各2本配置し、梁の 端面に設置した厚さ9 mm の定着鋼板に溶接している.ま た、せん断補強筋にはD10を用い、100 mm 間隔で配筋し

	AFRP シート	計算	計算	1411年	落下	コンクリート	主鉄筋	
試験体名	の目付量	曲げ耐力	せん断耐力	せんめ	高さ	圧縮強度	降伏強度	
	(g/m ²)	(kN)	(kN)	余裕度	<i>H</i> (m)	(MPa)	(MPa)	
N-H2.5	-	50.2	265.6	5.29	2.5	23.4	355	
A415-H2.5	415	72 7	265.6	3 60	2.5	22.0	260	
A415-H3.0	415	15.1	205.0	5.00	3.0	52.0	509	
A830-H2.5	820	08.2	274.2	2 70	2.5	22.0	260	
A830-H3.0	850	96.2	214.3	2.19	3.0	52.0	309	
A1245-H3.0	415 + 830	113.0	275 5	2 44	3.0	33 /	350	
A1245-H3.5	415 + 650	115.0	213.3	2.44	3.5	55.4	559	

表-1 試験体一覧



図-1 試験体の形状寸法, 配筋および補強状況

衣-2 AFRF ノードの力子的付任他(ム你他)								
目付量 (g/m ²)	保証 耐力 (kN/m)	設計厚 (mm)	引張 強度 (GPa)	弾性 係数 (GPa)	破断 ひずみ (%)			
415	600	0.286	2.06	110	1 75			
830	1,200	0.572	2.06	118	1.75			

表-2 AFRP シートの力学的特性値(公称値)

ている. AFRPシートは, 梁底面の補強範囲にブラスト処 理を施し, エポキシ系プライマーを塗布して指触乾燥状態 であることを確認の後, エポキシ系含浸接着樹脂を用いて 接着を行っている. また, A1245 試験体の場合には, 目付 量 415 および 830 (g/m²) のシートを重ねて接着し補強し た. 養生は気温が 20°C 程度の環境で7日間以上行った.

表-2には、本実験で用いた AFRP シートの力学的特性 値を示している.本実験の測定項目は、重錘衝撃力と支 点反力、スパン中央点変位(以後、変位)およびシート各 点の軸方向ひずみである.また、実験時には、RC 梁のひ び割れや AFRP シートの剥離および破断状況を高速度カ メラを用いて連続的に撮影している.

3. 実験結果および考察

3.1 各種時刻歴応答波形

図-2には、全試験体の各種時刻歴応答波形を示している.図-2(a)より、重錘衝撃力波形は、試験体の特性や落下高さHによらず振幅が大きく継続時間が1ms程度の第1波に振幅が小さい第2波目が後続する性状を示していることが分かる.最大振幅は、補強試験体の場合が、無補強の場合よりも大きい.

図-2(b)より,支点反力は継続時間が40~50 ms 程度 の主波動に継続時間の短い高周波成分が合成された性状 を示していることが分かる.最大振幅は,AFRPシート 補強し,かつ,シート目付量が大きい場合ほど大きい. また,主波動継続時間は,無補強およびシート破断した A415/830-H3.0 試験体の場合で50 ms 程度,シート破断し ていない A415/830-H2.5, A1245-H3.0/3.5 の場合では35 ms 程度である.従って,主波動継続時間は補強の有無やシー ト破断の有無に大きく依存することが明らかになった.

図-2(c)より,載荷点変位は、いずれの試験体においても最大振幅を示す第1波が励起した後,減衰自由振動状態に至っていることが分かる.また,最大振幅およびそ

の周期はシートが破断に至らなければ,目付量の大きい 試験体ほど小さい.これは,補強試験体のシート目付量 が大きいほど,曲げ剛性も大きくなるためと考えられる. なお,落下高さ H = 3.0 m において A415/830 試験体の載 荷点変位波形がほぼ同様の性状を示しているのは,経過 時間 10 ms 程度においてシートが破断したことによるも のである.

以上のことから、AFRP シート曲げ補強を施すことにより、衝撃載荷時の変形量を抑制できることや、その効果 はシート目付量の増加に伴って増大することが明らかに なった.

3.2 各種応答値と落下高さの関係

図-3には、(a) 最大重錘衝撃力、(b) 最大支点反力、(c) 最大変位および(d) 残留変位、と落下高さ H の関係を示し ている.図-3(a) より、最大重錘衝撃力は、補強試験体 の場合が無補強試験体の場合よりも大きく、かつ、落下 高さの増大とともに大きくなる傾向がある.また、シー ト破断がおよぼす影響は小さい.

図-3(b)より,最大支点反力は,概ね,重錘衝撃力と 類似の特性を示している.ただし,A415-H3.0 試験体の場 合のみ最大支点反力が大きく低下している.これは,RC 梁が著しく損傷し,支点部に伝達する衝撃力が減少した ことによるものと考えられる.

図-3(c)より,最大変位および残留変位は概ね同様の 傾向を示している.すなわち,H=2.5mでは,A415/830 試験体の変位はN試験体に比較して小さい.また,H= 3.0mでは,A415/830試験体はともにシート破断により終 局に至るため,変位が急激に増大している.ただし,H= 2.5m時のN試験体の場合と同程度の変位量であることか ら,シート破断によってある程度のエネルギーを消費し たものと推察される.また,A1245試験体はH=3.0,3.5 mにおいてシート破断に至ってないため,他の試験体よ りも変形量が小さい.

以上のことから、AFRPシート曲げ補強によって、RC 梁の変形量を大幅に低減可能であることが明らかになっ た.ただし、入力エネルギーが大きい場合にはシート破 断する場合があるため、シート破断予測法の確立に向け た検討を行う必要があるものと考えられる.

このことから,シート破断に至るまでは,シート目付 量によらずシート補強することによって変形を大幅に抑 平成26年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第71号



図-3 各種応答値と落下高さの関係

制可能であることが明らかになった.

4. 衝撃載荷時の破壊メカニズム

図-4には、シート破断に至る過程を検討するために、 (a) A830-H3.0 試験体および (b) A1245-H3.0 試験体に関す るシートの軸方向ひずみ分布と高速度カメラで撮影した ひび割れ性状を示している.図より、両試験体ともに経 過時間 t = 1.0 ms まではほぼ同様の性状を示していること が分かる.すなわち、せん断ひび割れが載荷点部から梁 下縁まで進展するとともに、載荷点近傍において0.5%程 度の引張ひずみが発生し、その両支点側では圧縮ひずみ が発生している.これは、重錘衝突による応力波が梁全 体に伝播する過程において、見かけ上の固定端が両支点 側に推移する状況を示している.

また, *t* = 4.0 および 8.0 ms では,両試験体ともにせん 断ひび割れが開口した後,その内部に微細なひび割れが 発生する. ただし, 斜めひび割れの発生・開口する範囲 は A1245 試験体よりも A830 試験体の場合が大きい. ま た, ひずみ分布を見ると, A830 試験体の場合には, 斜め ひび割れ先端部において大きなひずみが発生しているに 対し, A1245 試験体においてはこのような傾向は見受け られない.

その後, t=9.5 ms 以降において, A830 試験体の場合に は, せん断コーン内部のひび割れが開口して, スパン中 央部のひずみが急激に大きくなっている. これに対し, A1245 試験体の場合には, 斜めひび割れ先端部がシートを 下方に押し出してシートを引き剥がすピーリング作用に よる部分剥離が見られる. また, A1245 試験体のt=12.0 ms 時のひずみ分布を見ると, スパン中央部近傍のひずみ が大きくなるものの, 局所的な増加は見られない.

最終的には, A830 試験体 (t = 10 ms) の場合にはシート がスパン中央部で破断するのに対し, A1245 試験体 (t = 20



図-4 ひずみ分布と載荷点近傍のひび割れ性状

ms)の場合にはシートの部分剥離領域が両支点側に進展していることが分かる.

このように、シート目付量を大きくすることにより、 AFRPシート曲げ補強 RC 梁の載荷点近傍におけるせん断 コーン発生領域が拡大し、その結果シート破断が抑制さ れピーリング作用によるシートの部分剥離が顕在化する ことが明らかになった.

今後は,破壊性状が変化するシート目付量や入力エネル ギーについて検討していく必要があるものと考えられる.

5. **まとめ**

本研究では、AFRPシート曲げ補強 RC 梁の耐衝撃性に 及ぼすシート目付量の影響を検討することを目的に、既 往の研究成果に加えてさらに目付量の大きい AFRP シー トで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝撃実験を行った。本 実験で得られた知見を整理すると以下の通りである。

- AFRP シートで曲げ補強することにより RC 梁の変形 量を抑制可能であり、その効果はシート目付量が大 きい場合ほど高い。
- 2) シート目付量を大きくすることにより, AFRP シート

曲げ補強 RC 梁の載荷点近傍におけるせん断コーン 発生領域が拡大する傾向を示す.

 3) 2)の結果、シート破断せずにピーリング作用による シートの部分剥離が顕在化する.

参考文献

- 今野久志,西弘明,栗橋祐介,岸徳光:AFRPシート 接着補強による損傷 RC 梁の耐衝撃挙動,コンクリー ト工学年次論文集, Vol.35, pp.721-726, 2013.
- 三上浩,今野久志,栗橋祐介,岸徳光:AFRPシート曲 げ補強 RC 梁の耐衝撃挙動に及ぼすシート目付量の影 響,コンクリート工学年次論文集, Vol.36, pp.523-528, 2014.
- 3) 土木学会:コンクリート標準示方書[設計編],2012年 制定
- 4)岸徳光,三上浩:衝撃荷重載荷時に曲げ破壊が卓越するRC梁の性能照査型耐衝撃設計法に関する一提案,構造工学論文集,土木学会,Vol.53A,pp.1251-1260,2007.3