補強量を変化させた AFRP シート下面接着曲げ補強 RC 梁の重錘落下衝撃実験

室蘭工業大学大学院	学生会員	○田野	順也	室蘭工業大学大学院	正会員	小室	雅人
室蘭工業大学大学院	フェロー	岸	徳光	三井住友建設(株)	フェロー	三上	浩

1. はじめに

本研究では、補強量を変化させた AFRP シート下面接着 曲げ補強 RC 梁を対象に重錘落下衝撃実験を実施し、RC 梁の耐衝撃挙動および終局時の破壊形式に及ぼす補強量 の影響等について検討を行った。

2. 実験概要

表1には、本実験に用いた試験体の一覧を示している. 試験体は、シート補強量および落下高さを変化させた全 14 体である.表中の試験体名のうち、第一項目のAに付 随する数値はシートの目付量 (g/m²)、第二項目のHに付 随する数値は設定重錘落下高さ (m) を示している.

図1には、シート補強試験体の概要を示している. 試験体の形状寸法(梁幅×梁高×スパン長)は、200×250×3,000 mm である. また、軸方向鉄筋 (D19) は4本、せん断補 強鉄筋 (D10) は 100 mm 間隔で配筋されている.

表2には、本実験で用いた AFRP シートの力学的特性 を示しており、補強量を 280,415,830,1660 (= 830×2) g/m² と 4 種類に変化させた実験を実施した. AFRP シー トは、梁底面にブラスト処理を施し、エポキシ系プライ

試験体名	設定重錘 落下高さ <i>H</i> (m)	実測重錘 衝突速度 <i>V</i> ′ (m/s)	実測人力 エネルギー <i>E_i</i> (kJ)	シート の破壊 性状
A280-H1.0	1.0	4.515	3.06	-
A415-H1.0	1.0	4.447	2.97	-
A415-H2.0	2.0	6.245	5.85	-
A415-H2.5	2.5	6.988	7.33	-
A415-H3.0	3.0	7.526	8.50	破断
A830-H1.0	1.0	4.447	2.97	-
A830-H2.0	2.0	6.245	5.85	-
A830-H2.5	2.5	6.988	7.33	-
A830-H3.0	3.0	7.724	8.95	部分剥離
A830-H3.5	3.5	8.153	9.97	破断
A1660-H1.0	1.0	4.447	2.97	-
A1660-H2.0	2.0	6.245	5.85	-
A1660-H2.5	2.5	6.988	7.33	剥離
A1660-H3.0	3.0	7 724	8.05	訓離

表1 試験体一覧



マーを塗布した後,底面が指触乾燥状態になるまで養生 し,エポキシ系含浸接着樹脂を用いて支点の 50 mm 手前 まで接着した.材料試験結果より,コンクリートの圧縮 強度 f'_c は 33.7 MPa,主鉄筋降伏強度 f_{ya} およびせん断補 強筋降伏強度 f_{ys} はそれぞれ 371 MPa,402 MPa である.

図3には、衝撃載荷実験状況を示している。衝撃載荷実 験は、質量300kg、先端直径200mmの鋼製重錘を所定の 高さから一度だけ自由落下させる単一載荷法に基づいて 行っている。また、試験体の両支点部は、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、本実験の測定項目は、重錘衝撃力、支点反力および 載荷点変位である。

3. 実験結果および考察

図2には、落下高さH=3.0mにおけるA415,830,1660 試験体に関する各種時刻歴応答波形を示している. (a) 図 より、 重錘衝撃力波形は、 いずれの補強量においても同様 な性状を示していることが分かる. これは, 重錘衝撃力 が重錘衝突部近傍の剛性にのみ依存し、補強量の大小に よる影響が小さいことを示唆している。(b)図より、支点 反力波形において、補強量が大きいほど梁の剛性も増大 するため、主波動の継続時間は短くなる傾向にあること が分かる.(c)図より、載荷点変位波形において、最大変 位は補強量の増大に対応して減少しているものの、残留 変位に着目すると、A830 試験体の場合が最も小さい。こ れは後述するように, A415, 1660 試験体の場合にはシー トが破断あるいは全面剥離に至っているものの, A830 試 験体の場合にはシートが完全には剥離しておらず、除荷 時以降もシートの補強効果が発揮されているためと考え られる. すなわち, AFRP シートの補強量が比較的大きい 場合であっても、その耐衝撃性向上効果が必ずしも顕著 に示されない可能性があると考えられる.

図4には, 落下高さ H = 3.0 m の A415, 830, 1660 試験 体に関する最大変位到達時刻のひび割れおよびシートの 破壊状況を示している. (a) 図に示す A415 試験体では載

表 2 AFRP シートの力学的特性値(公称値)

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 (%)		
280	392	0.193					
415	588	0.286	2.06	118	1.75		
830	1,176	0.572					

キーワード:RC 梁,AFRP シート,目付量,衝撃荷重載荷実験,耐衝撃挙動,破壊形式

連絡先:〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228



荷点部近傍のひび割れ領域が狭く,上縁載荷点部の圧壊が 顕在化し,梁が角折れの傾向を示してシート破断に至った と推察される.また,(b)図のA830試験体の場合には, 支点の手前付近まで剥離領域が進展したものの,シートの 全面剥離には至らなかった.(c)図のA1660試験体は補 強量が大きいことより,主鉄筋降伏領域も広くなり,斜 めひび割れの分布角度がより小さくなるため,斜めひび 割れ先端部のシートを剥がすピーリング作用が顕著に現 れ,全面剥離に至ったと考えられる.

図5には、A415,830,1660 試験体に関する実測入力エネルギー *E_i* と最大および残留変位の関係を示している. (a) 図より,最大変位はいずれの補強量においても入力エネルギーとほぼ線形関係にあることが分かる.また,シート補強量が大きいほど,傾き α_m が小さくなることから梁の変形が抑制される傾向が確認される.(b) 図より,残留変位はシートが破断あるいは剥離した場合を除き,最大変位の場合と同様に入力エネルギーとほぼ線形関係にあることが分かる.

図6には、静的耐力 P_{usc} と最大および残留変位係数 α_i の関係を示している.なお、静的耐力 P_{usc} は別途実施した静載荷実験の結果、変位係数 α_i は図5におけるシートが破断あるいは剥離したケースを除いた入力エネルギーと各変位の関係より算出した近似曲線の傾きである。また、既往の研究より提案されている無補強 RC 梁に関する耐衝撃設計式¹⁾(最大変位を用いる場合は $\alpha_m = 0.63/P_{usc}$,残留変位を用いる場合は $\alpha_r = 0.42/P_{usc}$)も合わせて示している.

図より,最大あるいは残留変位係数 α_i は,補強量(静的耐力 P_{usc})が大きくなるほど小さくなる傾向を示している.この傾向は,無補強 RC 梁に関する著者等の研究成果¹⁾と類似した特性を有していることより,最大変位あるいは残留変位を規定することによって,シート補強後の RC



図6 静的耐力と各種変位係数の関係

梁の静的耐力を用いた耐衝撃設計法の定式化の可能性を 示唆している.

- 4. まとめ
- (1) AFRP シート補強 RC 梁の衝撃荷重下における破壊形 式はシート補強量によって異なる.
- (2) シート補強量にかかわらず、実測入力エネルギーは 最大変位あるいはシート破断または剥離した場合を 除いた残留変位とほぼ線形関係にある。

謝辞

本研究は, JSPS 科研費 JP17K06527 の助成を受けたも のである.ここに記して感謝の意を表する.

参考文献

 Kishi, N., and Mikami, H.: Empirical formulas for designing reinforced concrete beams under impact loading, *ACI Struct. J.*, 109(4), 509-519. 2012.