各種 FRP シートを下面接着した RC 版の耐衝撃性状

室蘭工業大学　正　員　○岸　徳光　　三井建設（株）　フェロー　三上　浩
室蘭工業大学　正　員　松岡　健一　　室蘭工業大学　正　員　安藤　智啓

１. はじめに

本研究では，FRP シートで補強した RC 版の耐衝撃性状を検討するため，各種 FRP シートを下面接着した RC 版に関する重錘落下衝撃実験を行った．用いたシートは，アラミド繊維製（AFRP）と炭素繊維製（CFRP）の１方向シート（引張剛性 $E\,t$ がほぼ同等）および AFRP２方向シート（$E\,t$ が１方向シートの約２倍）である．

２. 実験概要

表－１には各試験体の補強方法と重錘の衝突速度を示している．表－２には本実験に用いた各種 FRP シートの材料特性を示している．A1, C1 試験体は各々AFRP および CFRP の１方向シートを直交して１層ずつ，A2-1, A2-2 試験体は AFRP の２方向シートを各々１層および２層接着した RC 版である．

表－１　試験体の補強方法と衝突速度の一覧

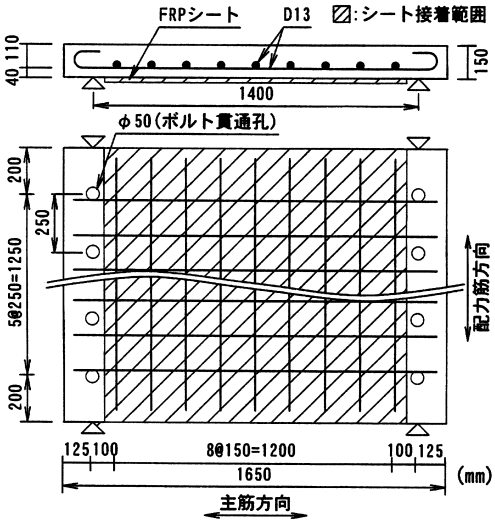
試験体名	補強方法	衝突速度
N	無補強	1, 2, 3, 4
A1	AFRP１方向シート直行	1, 2, 3, 4, 4.5, 5
C1	CFRP１方向シート直行	1, 2, 3, 4, 4.5, 5
A2-1	AFRP２方向シート１層	1, 2, 3, 4, 4.5, 5
A2-2	AFRP２方向シート２層	1, 2, 3, 4, 4.5, 5, 5.5

表－２　各種 FRP シートの材料特性

名称	目付量 (g/m^2)	厚さ t (mm)	引張強度 (GPa)	弾性係数 E (GPa)	引張剛性 $E\cdot t$ (KN/mm)
AFRP１方向	415	0.286	2.48	126.5	36.2
CFRP１方向	300	0.167	4.07	230.5	38.5
AFRP２方向	435/435	0.3/0.3	2.48	126.5	38.0/38.0

図－１は，用いた試験体の形状寸法と配筋状況およびシートの接着範囲を示している．RC 版の寸法は 1,650×1,650×150 mm である． RC 版の一対辺は支持間隔が 1,400 mm であり，その支点部は試験体の浮き上がりを防止し，かつ回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている．また，他対辺は自由支持としている．実験時のコンクリートの圧縮強度は 16.7 MPa，鉄筋（SD295A）の降伏強度は 354.5 MPa であった．

実験は，鋼製重錘（質量 300 kg，先端部直径 60 mm）を所定の高さから自由落下させることにより実施した．載荷方法は，第１回目の衝突速度を 1 m/s，増分速度を 1 m/s（終局時近傍では 0.5 m/s）として，版中央点に終局に至るまで載荷する繰り返し載荷法を採用した．なお，終局状態は，最大累積残留変位が支点間距離の 1/50 (28 mm) に達した時点と設定した．測定項目は重錘衝撃力，合支点反力（以後，支点反力）および RC 版の載荷点変位（以後，変位）の各応答波形であり，実験終了後には主筋方向に版中央部を切断して破壊面を観察した．



図－１　試験体の概要

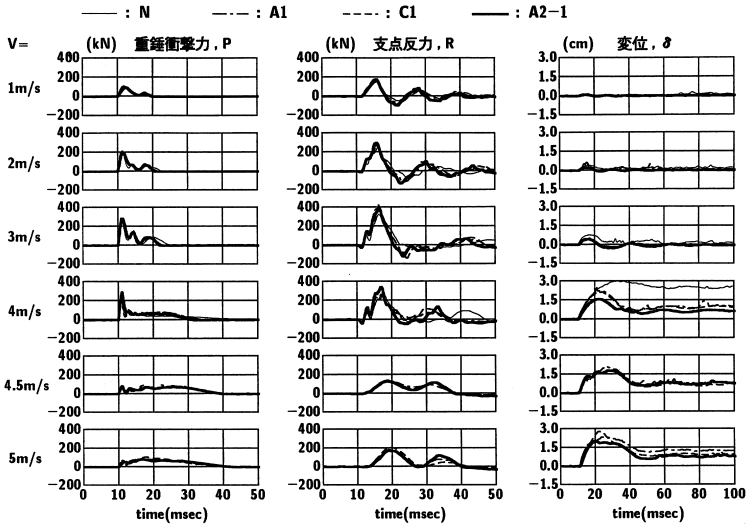
３. 実験結果および考察

３.１　各種応答波形

図－２には，A2-2 試験体を除く試験体の重錘衝撃力，支点反力および変位に関する応答波形を衝突速度毎に比較して示している．図より，重錘衝撃力波形の波形性状は各試験体で大差なく，載荷初期に急激に立ち上がる第１波目の振幅は V=3 m/s まで衝突速度の増加に対応して増大していることがわかる．V=4 m/s では第１波の振幅が減少に転じ，その後，継続時間が 20 ms 程度の低振幅の波形が生じている．V≧4.5 m/s では，載荷初期の急激な立ち上がりが消失し，継続時間が 30 ms 程度で低振幅のほぼ正弦半波状の波形を示している．支点反力波形は N 試験体と FRP シート補強試験体で若干振幅の大きさに差異がみられるものの，全試験体でほぼ同様の波形性状を示している．また，支点反力の第１波目の振幅は，重錘衝撃力波形の場合と同様に V=3 m/s までは衝突速度の増

キーワード　FRP シート，RC 版，耐衝撃性状，裏面剥離
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

加に比例して大きくなるものの，V=4 m/s の場合には減少し，V≧4.5 m/s では継続時間が 25 ms 程度の正弦波的な分布を示している．変位波形に関しては，V=3 m/s までは最大振幅が衝突速度の増加に対応して増大している．また，波形性状は N 試験体の場合で若干振幅が大きく示されているものの，全試験体で大略同様である．V = 4 m/s では，各試験体の応答変位が大幅に増加し，かつ残留成分も示されている．特に，N 試験体では最大応答変位程度の変位が残留して終局に至っている．V≧4.5 m/s では，各 FRP シート補強試験体の変位波形性状は大略同様である．

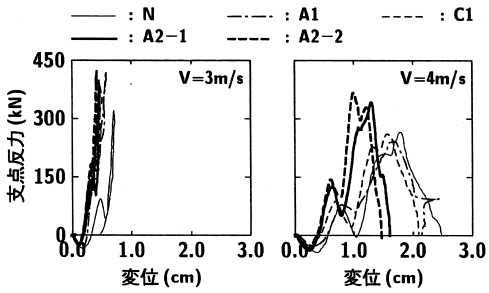


図－２　重錘衝撃力，支点反力および変位に関する応答波形

以上より，全試験体とも変位波形の残留成分が増大している V =4 m/s 以上の衝突速度において，塑性応答が支配的になるものと考えられる．

３.２　支点反力－変位曲線

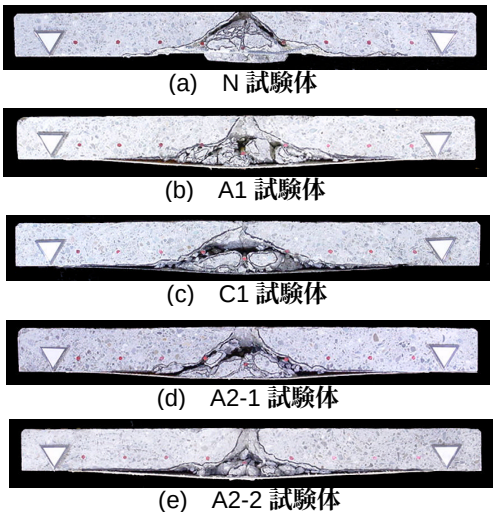
図－３には，弾性限界と考えられる V=3 m/s と塑性化が進行する V=4 m/s における各試験体の支点反力－変位曲線を示している．図より，変位レベルは V=3 m/s では N 試験体で若干大きく，V=4 m/s では A2-1,-2 試験体で小さく示されているものの，各試験体の分布性状は大略類似していることがわかる．すなわち，V=3 m/s では各試験体の支点反力はほぼ線形的に増大し，最大支点反力到達後にほぼ同じ経路で除荷される弾性的な挙動を示している．一方，V=4 m/s の場合には，いずれの試験体も大略三角形状の分布性状を示しており，押し抜きせん断面の形成が進行していることが推察される．



図－３　支点反力－変位曲線

３.３　押し抜きせん断性状

写－１には，実験終了後の RC 版の中央部切断面におけるひび割れ性状を示している．写真より，N 試験体では版上面から約 45°の押し抜きせん断面が形成され終局に至っている．一方，FRP シート補強を施した試験体の押し抜きせん断面の形状は，シートの引張剛性がほぼ同等である A1, C1, A2-1 試験体間で類似である．また，それらの押し抜きせん断面は版厚中心付近から下方に緩やかな角度で形成されている．一方，引張剛性の大きい A2-2 試験体の場合には，押し抜きせん断面の形成される位置がさらに下方に推移し版下面に接近している．このように，FRP シート補強した試験体では，押し抜きせん断面がシートの引張剛性に対応して版下方に推移して形成され，裏面剥離に近い状態となることが明らかになった．



(a)　N 試験体
(b)　A1 試験体
(c)　C1 試験体
(d)　A2-1 試験体
(e)　A2-2 試験体

写－１　中央部切断面のひび割れ性状

４. まとめ

本研究では，FRP シートで補強した RC 版の耐衝撃性状を検討するため，各種 FRP シートを下面接着した RC 版に関する重錘落下衝撃実験を行った．その結果，1) 引張剛性のほぼ等しい FRP シートで補強した RC 版の重錘衝撃力，支点反力，変位波形の分布性状は大略類似であること，2) いずれの試験体も V=3 m/s までは弾性応答が支配的であり，V=4 m/s において塑性化が著しく進行すること，3) 押し抜きせん断破壊面の形成は補強の有無や補強材の引張剛性に大きく影響され，引張剛性が大きいほどその形成される位置が下方に推移すること，等が明らかになった．