

神戸大学 正員 藤井 学
 神戸大学 正員 宮本文徳
 神戸大学 学生員 鮎子多浩一
 鳥取市役所 正員 ○岡 和弘

1. まえがき 衝撃作用によるRC構造物の破壊は、衝撃体の有する運動エネルギーの構造物の内部エネルギーへの変換過程で生ずるものと考えられ、静的荷重下での破壊に比べて現象が複雑で取り扱いも困難となる。このため、衝撃作用下での破壊性状の評価、予測手法が十分に確立されていないのが現状と考える。本研究では、RC構造物の衝撃破壊挙動推定の基礎として、種々のRC版の単一衝撃（一回で破壊）下における破壊領域での挙動を明らかにしようとするものである。この目的のため、3種類、12体の供試体について静的及び衝撃破壊試験を行い、挙動の比較、検討を行うと共に有限要素解析でのモデル化を検討し、コンクリート版の破壊時衝撃力、破壊エネルギーの推定を試みた。

2. 実験概要 供試体は、普通強度RC版、鋼繊維混入RC版、高強度RC版（以下RC版、FRC版、HRC版と略記）の3種類とし、寸法は全て130×130×13cmで、スパン長120cmの二辺単純支持とした。図1に版の配筋図を示す。各種供試体は静的試験用に各1体、衝撃試験用に各3体ずつの計12体を作製した。鉄筋はD13鉄筋(SD30)、鋼繊維は異形ファイバー(φ0.6×50mm)をコンクリート体積の1.33%の割合で混入し、コンクリートの高強度化には高強度用混和剤を用いた。なお、FRC版、HRC版には、目標スランプの達成と施工性の改善のために高性能減水剤を使用した。設計基準強度はRC版、FRC版で $\sigma_{ck}=300\text{kg/cm}^2$ 、HRC版で $\sigma_{ck}=900\text{kg/cm}^2$ とした。なお、各版の許容応力度法による設計荷重は、RC、FRC版で4.9tf、HRC版で5.6tf；降伏線理論に基づく曲げ破壊荷重は、RC、FRC版で18.3tf、HRC版で18.9tf；押し抜きせん断破壊荷重は、RC、FRC版で26.5tf、HRC版で35.8tfとなった（鋼繊維の効果は計算上無視している）。

荷重は、静的試験では、RC版と門型ラーメン荷重装置の水平材の間にロードセル、油圧ジャッキを設置し、載荷鋼板(15×15×1cm)を介して荷重を与え、破壊に至るまで連続漸増載荷とした。一方、衝撃試験では、大型振り子式衝撃試験装置を使用し、ソフトな衝撃作用とするためにゴム板(15×15×1cm)を、版上面中央に設置した鋼板(15×15×1cm)上に接着させた。コンクリート版の衝撃挙動解析には、二次元平面ひずみによる非線形動的有限要素解析プログラム¹⁾を用い、実際には幅130cmの版の中央載荷版に部分集中荷重が作用するが、解析モデルでは、配筋方向の有効幅を考慮したはりと考えた。なお、コンクリートと鉄筋の材料一軸特性及び衝撃力～時間関係は、実験より得たものを入力した。単一衝撃下で丁度破壊する落下高さ推定の際には、衝撃力～時間関係（接触時間 $t_2=16\text{ms}$ 、立上がり時間 $t_1=8\text{ms}$ ）の最大衝撃力を適時仮定して入力し、破壊が重錘の持つ運動エネルギーが全て、版の破壊エネルギーに変換される時起こると仮定して、解析より得られる衝撃力～中央変位関係より加力エネルギーJ（図2参照）を求め、 $J = m g H$ （J：加力エネルギー，m g：重錘重量，H：落下高さ）の関係より落下高さを推定した。ただし、衝撃作用下ではコン

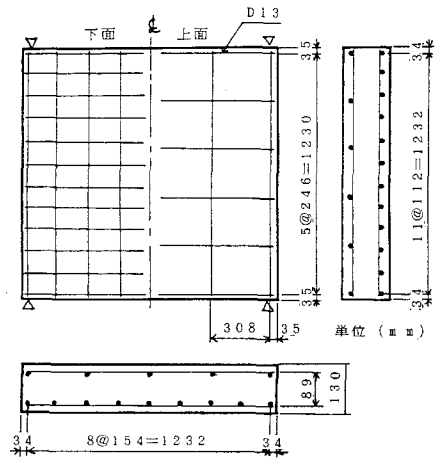


図1 RC版の配筋図

表1 初載荷時の落下高さ

	RC	FRC	HRC
D1	3.0	5.0	4.0
D2	4.0	7.0	6.0
D3	6.0	9.0	8.0

単位 (cm)

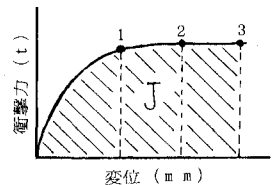


図2 破壊エネルギーの概念

クリート版の破壊の定義が確立していないため、ここでは各種3体の衝撃試験用供試体を、それぞれ破壊する少し前(D1)、丁度破壊(D2)、激しい破壊(D3)を目標にし、図2に示す点1、点2、点3に相当する加力エネルギーを用いて、落下高さを表1に示すように決定した。

3. 結果と考察

3. 1 破壊の定義 衝撃試験では、表1のように設定した落下高さより最初の単一衝撃を与え、その後2～4回繰り返し载荷を行ったが、繰り返し载荷時の最大衝撃力に着目し、落下高さを上げてても初载荷時の衝撃力より確実に小さい場合を破壊と定義する。表2に、各落下時の最大衝撃力とそれに基づく破壊の判定を示す。ここで、RC-D2-40-1とは、RC-D2版における落下高さ40cmでの一回目の衝撃を表す。表2の結果より、鋼繊維混入及びコンクリートを高強度化した各版普通強度RC版に比べて破壊時衝撃力がかかなり大きくなっている。また、最初、解析により落下高さを決定する際に目標とした破壊状況をほぼ満足するものとなっており、各種コンクリート版の破壊挙動の推定が可能となるものと考えられる。

3. 2 破壊エネルギー 表3は、衝撃試験における最大変位までの衝撃力(荷重)～変位曲線で囲まれる面積から算出した、全エネルギーと、それと同一変位での静的荷重下の全エネルギーとの比較を示したものである。これより破壊程度が大きくなる(落下高さが大きくなる)と、静的荷重下と同一変位を生じさせるのに必要なエネルギーは衝撃作用下の方が大きくなることがわかる。表4は繰り返し载荷を含めた各衝撃における全エネルギー比と重錘の持つ位置エネルギー(m g H)に対する初载荷時の全エネルギー比を示したものである。これより、劣化が進むと同じエネルギーを与えても変位が大きくなり、吸収エネルギーは増えるが、D3のように劣化が激しくなり過ぎるとエネルギー吸収能力が低下してくるようである。また、重錘の持つ位置エネルギーとの比がRC版で小さいのは、破壊形式で見ると、FRC版、HRC版は曲げ破壊を生ずるのでエネルギー吸収が大きく、RC版はせん断破壊を起こすためエネルギー吸収が少ないものと考えられる。

4. あとがき 本研究は、単一衝撃を受ける各種版の破壊挙動推定を2次元有限要素解析を適用して試みたものであるが、配力筋方向のモーメント分布が考慮できなかったため破壊形式の推定までには至らなかった。今後はこれらを含めて更に研究していく予定である。

参考文献 1) 藤井 学, 他: 衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの力学的挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集、第360号、V-3、1985.8

表2 各版の破壊の判定結果

項目 供試体	最大衝撃 力 (t)	破壊判定
RC-D1-30	1.98	未破壊
35	2.1.1	
D2-40-1	2.2.3	未破壊
2	2.1.1	
50	2.2.7	破壊
D3-60-1	2.6.9	
2	2.4.9	破壊
3	2.2.4	
FRC-D1-50-1	3.0.8	未破壊
2	2.7.9	
60	2.9.7	破壊
D2-70-1	3.5.1	
2	3.1.3	破壊
80-1	3.1.6	
2	3.0.8	破壊
D3-90-1	3.6.7	
2	3.2.3	破壊
100-1	3.2.8	
2	3.1.1	未破壊
HRC-D1-40-1	2.4.0	
2	1.9.5	未破壊
50-1	2.2.6	
2	2.3.3	破壊
D2-60-1	3.6.9	
2	3.2.2	破壊
70-1	3.3.3	
2	3.1.8	破壊
D3-80-1	3.5.0	
2	3.0.7	破壊
90-1	3.3.4	
2	3.2.0	

表3 全エネルギー比

項目 供試体	衝撃 (kg・cm)	静的 (kg・cm)	衝撃 静的
RC-D1	11264	12662	0.89
D2	12790	14547	0.88
D3	20748	19163	1.08
FRC-D1	21068	18986	1.11
D2	29366	23003	1.28
D3	37226	24518	1.52
HRC-D1	13710	13923	0.98
D2	24550	19203	1.28
D3	30038	25359	1.18

表4 全エネルギー比及び加力エネルギー比

項目 供試体	全エネルギー (kg・m)	エネルギー比	位置エネルギー との比
RC-D1-30	11264	1.00	0.75
35	12485	1.11	
D2-40-1	12790	1.00	0.84
50	14102	1.10	
2	15714	1.23	0.69
D3-60-1	20748	1.00	
2	20924	1.01	0.84
3	20006	0.96	
FRC-D1-50-1	21068	1.00	0.84
2	22288	1.06	
D2-70-1	29366	1.00	0.84
2	27100	0.92	
80-1	29060	0.98	0.83
2	30174	1.03	
D3-90-1	37226	1.00	0.83
2	30432	0.82	
100-1	33746	0.90	0.75
2	32962	0.89	
HRC-D1-40-1	13710	1.00	0.69
2	12168*	0.89	
50-1	14632	1.07	0.82
2	15444	1.13	
D2-60-1	24550	1.00	0.82
2	24756	1.01	
70-1	25424	1.04	0.75
2	23736	0.97	
D3-80-1	30038	1.00	0.75
2	25602*	0.85	
90-1	28682	0.95	0.75
2	29428	0.98	

* 変位が1回目より小さい