

I-784

低速衝撃荷重を受けるRCはり部材の応答性状に関する数値実験

(株)大林組 正員 ○井元 勝慶
防衛大学校 正員 佐々木 晃
同 上 正員 大野 友則

1. まえがき

衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート(RC)構造物やRC部材の非線形応答解析法は十分に確立されていない。その主な理由として、1)衝撃問題の範囲の広さと現象の生起確率の低さ、2)数値解析モデルの複雑さ、および3)シンプルな応答性状を示す実験データの不足等の点が考えられる。そのため、静的あるいは動的な非線形解析法の様な一般性に乏しく、特定の条件下においてのみ有効な解析が多い。そこで本研究は、破壊を伴うRC部材の衝撃挙動を求める応答解析の信頼性向上に関する検討の一つとして、最も基本的なデータが得られる重錘落下衝突を受けるRCはり部材の衝撃応答性状に関する数値実験を実施し、解析的観点から応答性状の定性的・定量的傾向を検討した。

2. 解析の概要

解析は、衝撃非線形解析汎用コードJ-DYNAと、2次元RC構造物の静的非線形解析コードFINALを用いた。J-DYNAはRC部材の局部破壊と全体破壊の解析に有効なものであり、また材料構成則のユーザールーチンの追加が容易なため、衝撃問題の非線形応答の解析に広く用いられているコードの一つである。本研究では次のような材料構成則ルーチンを追加した。コンクリートモデルは、山口ら¹⁾の圧縮非線形モデルと歪速度依存性モデル、3次元破壊曲面としてWillam-Warnkeの5パラメータモデル、圧縮破壊後の応力-歪関係モデル、および3方向ひびわれモデルを考慮したものであり、鋼材は等方弾塑性モデルで歪速度依存性を考慮したものである。

3. 解析モデルと各種パラメータ

解析は筆者らが実施した重錘落下衝突を受ける低速衝撃荷重を受けるRCはり部材の衝撃実験(32体)²⁾の試験体について行った。試験体の概要を図-1に示す。また衝撃解析用には図-2に示す1/4試験体の要素分割とした。試験体形状パラメータは表-1に示すように、コンクリート圧縮強度($F_c=240, 420$

kgf/cm²)、引張鉄筋比($P_t=1.38, 2.13\%$)とせん断補強筋比($P_w=0.83, 1.84\%$)である。コンクリートの引張強度は、 $F_t=1.07F_c^{0.566}$ 、弾性剛性は $E_c=2.1 \times 10^5 (\gamma/2.3)^{1.5} \sqrt{F_c/200}$ kgf/cm²により算定した。鉄筋は規格最小降伏強度、弾性剛性は、 $E_s=2.1 \times 10^6$ kgf/cm²、降伏後の剛性は $E_{s1}=E_s/200$ とした。数値実験の荷重パラメータと解析ケース数を表-2に示す。衝撃荷重条件として重錘落下衝突($H=1.3m$)と一定速度載荷($V=1.4m/sec$)の4種類を設定し合計40ケースの衝撃解析を実施した。重錘は鋼製で重量 $W=200kgf$ 、衝突面はフラットである。また2次元静的非線形解析は衝撃応答と比較するため8ケースとした。

4. 解析コードの検証解析

衝撃解析の検証として、文献²⁾の重錘落下試験体(L-T2W2-M1とL-T2

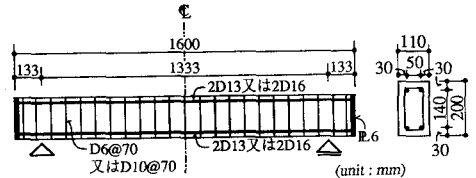


図-1 試験体形状

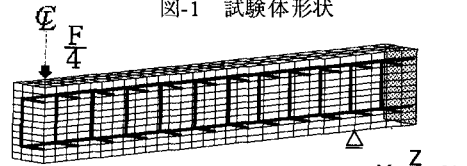


図-2 衝撃解析用要素分割

表-1 試験体形状パラメータ

コンクリート圧縮強度 (F_c)	$F_c = 240 \text{ kgf/cm}^2$
	$F_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$
引張鉄筋比 (P_t) (SD40)	$P_t = 1.38\%$
	$P_t = 2.13\%$
せん断補強比 (P_w)	$P_w = 0.83\%$ (SD35)
	$P_w = 1.84\%$ (SD30)

(組合せ8通り)

表-2 荷重条件と解析ケース

荷重条件	解析ケース	歪速度依存性		合計
		考慮	なし	
重錘落下衝突 ($W=200 \text{ kgf}$)	落下高 $H=1m$	8	4	12
	落下高 $H=3m$	8	4	12
一定速度載荷	$V=1m/sec$	8		8
	$V=4m/sec$	8		8
静的載荷 (2次元解析)			8	8
解析ケース 合計		32	16	48

W2-M3)を選んだ。これらは落下高さが1mと3mに対するもので、材料特性には素材試験結果($F_c=288$ 、 $E_c=2.44 \times 10^5$ 、 $F_t=24.8$ 、 $E_s=1.76 \times 10^6$ 、 $\sigma_{sy}=3440$ 、単位: kgf/cm^2)を入力した。図-3にL-T2W2-M1とL-T2W2-M3試験体中央の変位応答の比較を示す。

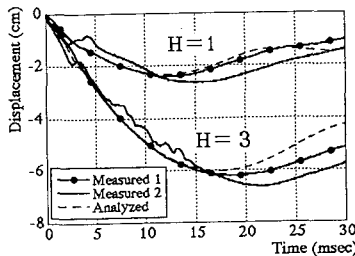


図-3 部材中央変位応答の比較

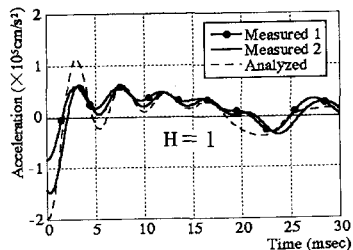


図-4 部材中央加速度応答

図-4と図-5にL-T2W2-M1の部材中央下端の加速度応答とロードセル位置での衝撃力応答をそれぞれ比較して示す。加速度応答と衝撃力応答は、実験測定値と解析値とも周波数250Hzのローパスフィルターで処理した。これらの図より解析値は実験の応答性状をかなり正確にシミュレーションしている。すなわち変位応答、加速度応答および衝撃力応答いずれも解析値は、同一実験結果のパラツキの範囲内といえる。

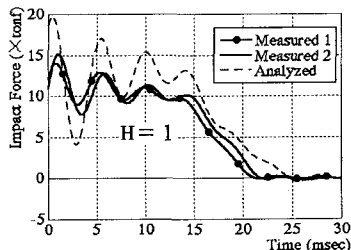


図-5 衝突位置の衝撃力応答

5. 各種パラメータによる定性的傾向

前述の表-1及び表-2の各種パラメータによる衝撃解析の数値実験を図-6～図-9に示す。これらの結果より次の事がいえる。

1) 衝撃荷重の種類による効果

図-6～9より衝撃力が大きくなると最大変位応答になる時刻が遅くなる傾向と、図-8の衝突あるいは定速載荷による衝撃力応答は変位応答が比較的小さい時(約0.75cm)に静的荷重に達し、以後これより低くなる事、及び支点反力応答(図-9)は始め下向きの力で引張られ、その後静的反力より大きな圧縮を経て静的荷重に収斂する。この傾向は衝撃力が小さい程顕著になる事、などの点が理解できる。

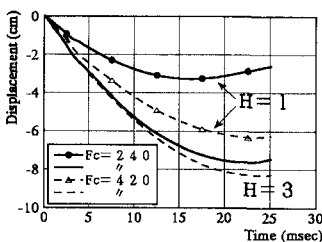


図-6 コンクリート強度による影響

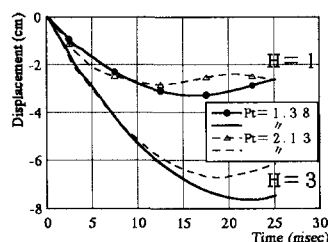


図-7 主筋量による影響

2) コンクリートの強度効果 衝撃力が小さい時大きく、衝撃力が大きくなるにつれて強度効果は小さくなる事が図-6よりわかる。

3) 主筋量による効果(図-7) 衝撃力が大きくなるにつれて主筋量による効果が著しくなる。一方、せん断補強筋量による効果はほとんどなかった。

6. まとめ

RC用材料構成則を組み込んだ衝撃解析汎用コードJ-DYNAを用いて数値実験した結果、RCはり部材の断面諸元及び材料特性が衝撃応答に及ぼす影響を定性的に理解できた。

参考文献

1) 山口、藤本、野村：高压3軸圧縮応力下におけるコンクリートの応力-ひずみ関係(その1、その2)、日本建築学会構造系論文報告集 第389号、昭和63年7月、第396号、1989年2月

2) 佐々木、井元、大野：低速衝撃荷重を受けるRCはり部材の衝撃実験、土木学会第49回年次学術講演会、1994年9月

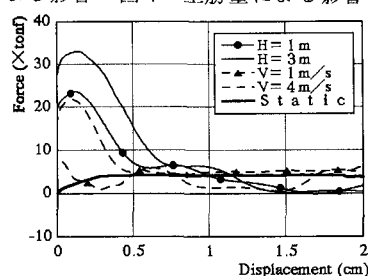


図-8 荷重-変位関係の比較

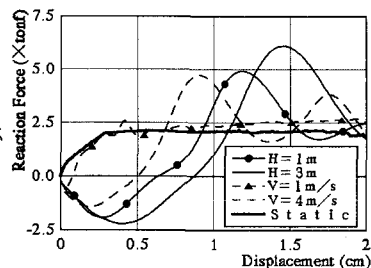


図-9 支点反力性状の比較