

(42) RCはり部材の積層はり要素による弾塑性衝撃応答解析

ELASTO-PLASTIC IMPULSIVE RESPONSE ANALYSIS OF RC BEAM USING LAYERED TIMOSHENKO BEAM ELEMENT

岩崎英治¹・林 正²

Eiji IWASAKI and Masa HAYASHI

¹工博 長岡技術科学大学助手 工学部環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²工博 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

キーワード：弾塑性衝撃応答解析, RCはり部材, 積層Timoshenkoはり要素
(elasto-plastic impulsive response analysis, RC beam member, layered Timoshenko beam element)

1. まえがき

鉄筋コンクリート(RC)構造やRC部材の衝撃挙動の解明の重要性が増しているが、十分には解明されていない。これは、短時間の現象であり、実験的に検討するには、特殊な装置やセンサーが必要なこと、解析的に検討するには、波動伝播や塑性域の進展を考慮した解析を行う必要がある、パラメトリック解析に向かないためである。そこで、本報告では、簡易な衝撃解析法の開発を目的として、重錘による低速衝撃荷重を受け、曲げ破壊の生じるRCはり部材を対象に、はり要素による弾塑性衝撃解析を行う。また、鉄筋量を変えた時の応答の違いについて調べる。

表-1 材料諸元

鉄筋	
ヤング係数 E	$1.8 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
密度 ρ	$7.85 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
降伏応力 σ_Y	3500 kgf/cm^2
コンクリート	
ヤング係数 E_c	$1.2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
亀裂発生後の剛性係数	$10E_c$
密度 ρ_c	$2.4 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
降伏応力(圧縮) σ_c	-210 kgf/cm^2
亀裂の発生する応力 σ_t	$-0.1\sigma_c$
重錘	
ばね係数 k	$3.46 \times 10^6 \text{ kgf/cm}$
質量 m	200 kg

2. RCはりのモデル化

単純支持されたRCはりとし、対称性を考慮し、図-1のようにモデル化する。また、構造緒元は表-2のように、コンクリートの断面は、高さ18cm、幅15cm、鉄筋は、D13を上下に各1本の場合、2本の場合、4本の場合について解析を行う。また、重錘の衝突による重錘とはりの局部変形を簡易に考慮するために、これらの変形を質点ばね系で表す。鉄筋とコンクリートを、図-2のように、それぞれはり要素(2節点Timoshenkoはり要素)で表し、腹鉄筋は考慮しない。有限要素分割数は、はりの長さ方向に115分割、塑性域での剛性変化を考慮するために、一つのはり要素をさらに、コンクリートでは高さ方向に、18分割、鉄筋は、上下それぞれ1分割する。

応力ひずみ関係は、図-3のように、鉄筋は完全弾塑性体とし、コンクリートは、圧縮側は完全弾塑性体、引

表-2 構造緒元

	Case-1	Case-2	Case-3
コンクリート断面	高さ18cm, 幅15cm		
鉄筋上下各	D13×1	D13×2	D13×4

張側はある値に達すると亀裂が発生したものと、それ以降応力ひずみ関係を負の関係にして、応力の開放を行い、亀裂が閉合するときには、応力ひずみ図の原点に向かうものとする。重錘については、完全弾性体とする。また、接触と分離の判定を行う。

減衰は、Rayleigh減衰を仮定し、RCはりの第1固有周期において、減衰率 $h = 0.05$ 、 $T \rightarrow \infty$ において $h \rightarrow 0$ となるように、Rayleigh減衰のパラメータを決めると、減衰マトリックスは、それぞれのケースについて表-3のように表される。また、重錘については、重錘の系が振動しないように、重錘の第1固有周期 $T=0.17\text{ms}$ で、減衰率 $h = 1$ となるように減衰パラメータを決めると、 $c = 4.85 \times 10^{-4}k$ となる。

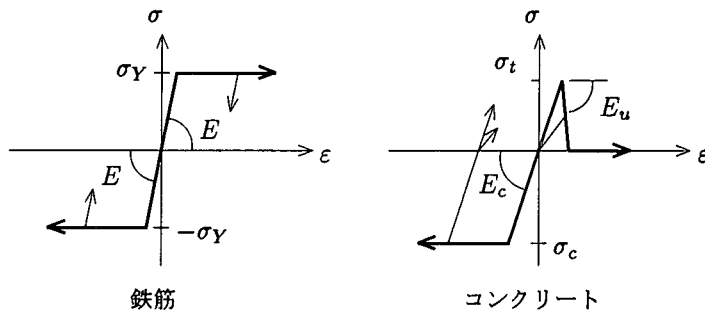


図-3 応力ひずみ関係

表-3 減衰マトリックス

	Case-1	Case-2	Case-3
第1固有周期 (T)	21.4ms	20.5ms	19.2ms
減衰マトリックス (C)	$3.41 \times 10^{-4} K$	$3.28 \times 10^{-4} K$	$3.06 \times 10^{-4} K$

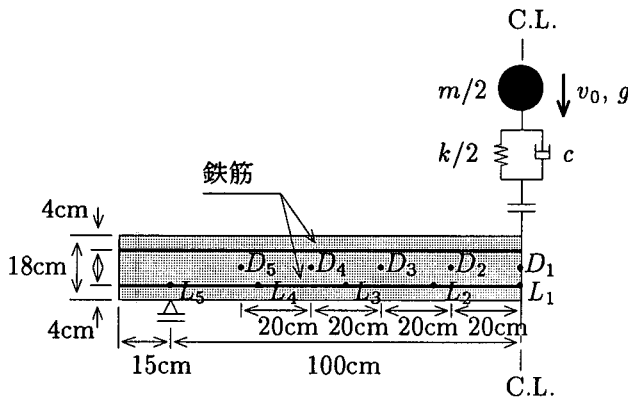


図-1 解析モデル

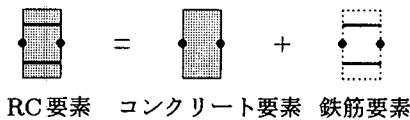


図-2 はり要素

時間積分には、Newmark の β 法を用い、パラメータは $\beta = 0.25, \gamma = 0.5$ とする。また、重錘が接触したときを基準にして 1 秒間を解析し、時間間隔は、弾性から塑性、あるいは逆に塑性から弾性に移行する際には、時間間隔を細かくし、最大 0.1 msec とする。

3. 解析結果

重錘の衝突速度が $v_0 = 500 \text{ cm/sec}$ の場合の Case-1, Case-2, Case-3 の変位を図-4,5,6 に示し、RC はりに作用する荷重、支点反力の時刻歴応答を図-7,8,9 に示す。なお、重錘に取り付けられたばねに作用する力を RC はりに作用する荷重としている。なお、変位時刻歴図中

の $D_1 \sim D_5$ は、図-1 中に示しているように、はり中央から支点側に 20cm 間隔の点での値を表わしている。

これらの変位図の残留変位に注目すると Case-1 から Case-2, Case-3 と鉄筋の断面積が 2 倍、4 倍になると、残留変位はほぼ 1/2 倍、1/4 倍になっていることが分かる。すなわち、残留変位は、鉄筋量に依存することが分かる。また、最大変位と残留変位を比べると、残留変位の多い Case-1 に比べて、Case-2 や Case-3 の方が最大変位/残留変位の割合は大きくなっている。これは荷重や反力についても見られる傾向で、RC はり部材の剛性が高いほど応答時間は短くなるが、変位、荷重や反力の値は大きくなっている。

ところで、荷重時刻歴図には、重錘がリバウンドによりはりと接触する瞬間に非常に大きな値が生じているが、これははり部材をはり要素でモデル化し、断面は剛体と考えているため生じたものであり、重錘とはりの局所的な変形を正しく考慮できれば生じないものである。

図-10 から図-13 は、それぞれ重錘落下速度と最大変位、残留変位、最大荷重、最大反力の関係を表わしている。

これらの図には重錘の落下速度が 50, 100, 200, 300, 400, 500 cm/sec の場合について示しているが、最大変位と落下速度の関係図から、Case-1, 2, 3 それぞれ落下速度に対して同じ傾向になっていることが分かる。また、落下速度と残留変位の関係図から、Case-3 では、 $v_0 = 200 \text{ cm/sec}$ 付近で、Case-2 では 100 cm/sec 付近で傾向が異なっていることが分かる。図-14 に Case-3 の鉄筋のひずみ時刻歴応答を示しているが、これより $v_0 = 300 \text{ cm/sec}$ では、はり中央の鉄筋 L_1 が降伏していることが分かる。したがって、残留変位と落下速度の

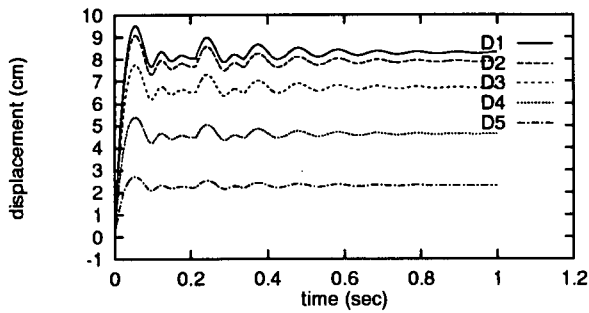


図-4 変位時刻歴応答 (Case-1)

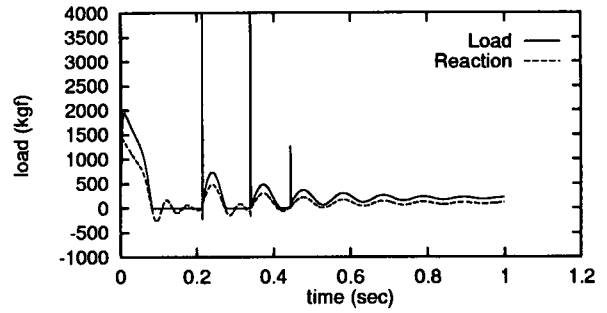


図-7 荷重, 反力時刻歴応答 (Case-1)

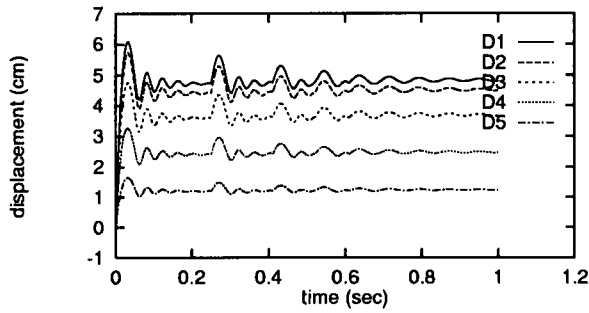


図-5 変位時刻歴応答 (Case-2)

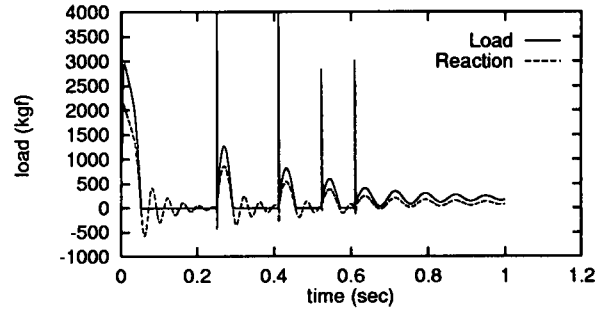


図-8 荷重, 反力時刻歴応答 (Case-2)

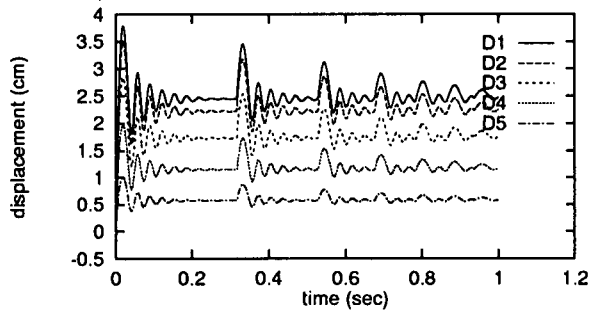


図-6 変位時刻歴応答 (Case-3)

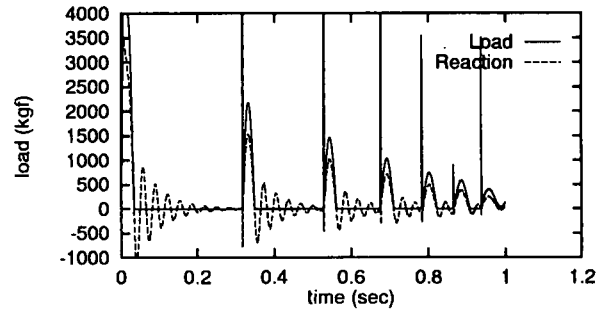


図-9 荷重, 反力時刻歴応答 (Case-3)

関係図で挙動がことなるのは、鉄筋の降伏のためであることが分かる。

最大荷重と落下速度の関係、最大反力と落下速度の関係はいずれも同じ傾向を示しており、剛性が高いほど大きな値を示し、また落下速度が速くなるほど、剛性変化による最大にの変化は大きくなっていることが分かる。

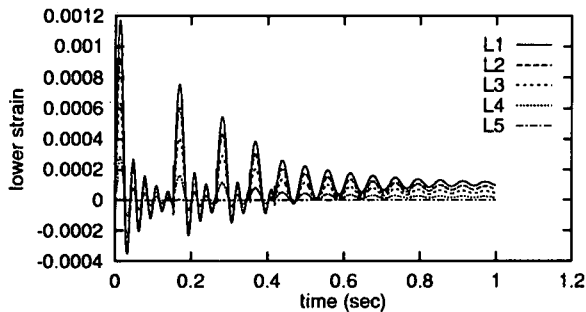
4. あとがき

本報告では、重錘落下によるRCはり部材の曲げ衝撃破壊について、簡便に断面内での塑性域の進展を考慮した弾塑性衝撃解析することを目的として、積層 Timoshenko はり要素を用いた。また、重錘とはり部材との局所的な変形を簡便に考慮するために、重錘とはりの間にバネやダッシュポットを挿入したが、荷重時刻歴応

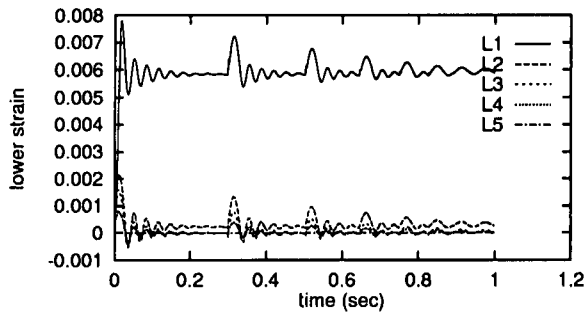
答には重錘が接触する瞬間に非常に大きなパルス状の応答が生じている。また、減衰率は $\delta = 5\%$ を用いているが、はり要素では断面内は剛体として扱っているため、断面内での減衰は考慮されていない。したがって、断面内での変形を考慮した解析に比べて、実際には少なめの減衰になっている可能性がある。ここでの解析結果は、曲げ衝撃破壊の定性的な現象を再現していると思われるが、落下速度が速く、また剛性が高い時に、せん断衝撃破壊が支配的になってくるが、そのような破壊現象は再現できないので、適用限界などを実験を通して把握する必要がある。

参考文献

- 1) Owen, D.R.J. and Hinton, E. : *FINITE ELEMENT IN PLASTICITY: Theory and Practice*, Pineridge Press,



(a) $v_0 = 100\text{cm/sec}$



(b) $v_0 = 300\text{cm/sec}$

図-14 下鉄筋ひずみ時刻歴応答 (Case-3)

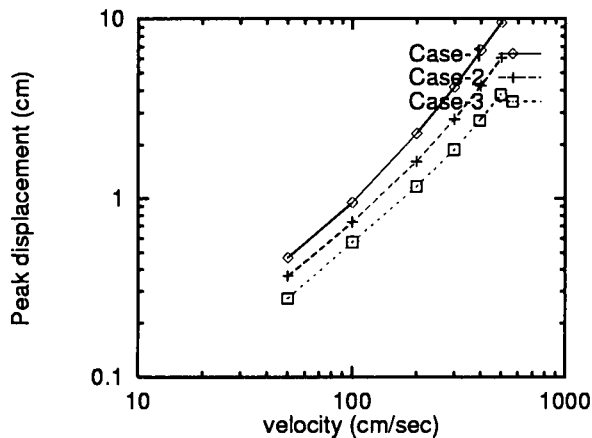


図-10 最大変位

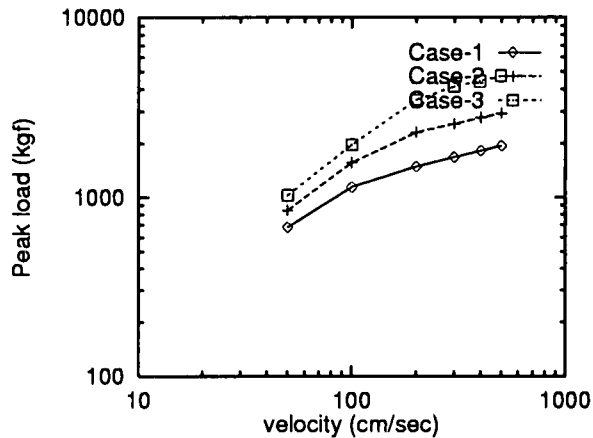


図-12 最大荷重

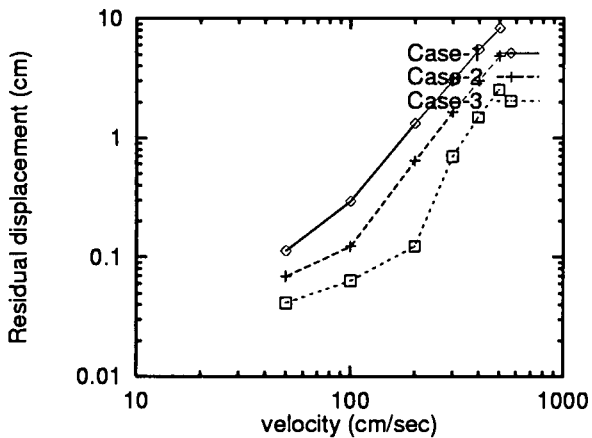


図-11 残留変位

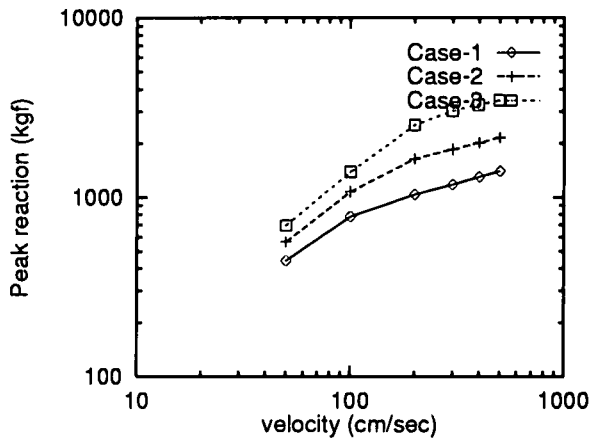


図-13 最大反力

- 1980.
- 2) 岸徳光, 三上浩, 佐藤昌志, 松岡健一, 長谷川康司: LS-DYNA3DによるRC梁の衝撃応答解析, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, 1996.5.

- 3) 田村富雄, 三上浩, 岸徳光, 松岡健一: AFRPロッドを用いたPC梁の衝撃荷重実験, 第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, 1993.6.