

衝撃力による RC 梁の一次元弾性解析

北海道大学大学院工学研究科 学生員 柴田俊文
北海道大学大学院工学研究科 フェロー 三上 隆
(株)地崎工業土木部技術課 正会員 須藤敦史
株式会社ピー・エス 正会員 村井伸康

1. はじめに

衝撃荷重の作用する土木構造物の力学的挙動特性の把握は設計上重要である。衝撃問題の解析的研究においては、有限要素法等を用い、実験結果との比較によりその数値妥当性の検討を行っている^{1),2)}。しかし衝撃現象は複雑な挙動を伴うため解析モデルの構築は容易ではなく、汎用性のあるモデル作成のためには、簡易なモデルの解析結果による基本的応答特性の把握が重要であると思われる。そこで本研究では RC 梁に対する重錘落下の衝撃問題を考え、RC 梁と重錘をそれぞれ一次元の有限要素法で離散化し、両物体間に接触ばねを考慮して弾性解析を行う。また衝撃力波形、応答変位、支点反力に着目して実験値との比較を行い、適用性の検討を試みる。

2. 解析モデル及び基礎方程式

単純支持された RC 梁（両端に張り出し部あり）の中央に重錘が初期速度 v_0 で衝突する場合を考える。梁は弾性の範囲で適用可能であるとし、本研究では Timoshenko 梁理論を用いて解析を行う。ここで、コンクリートの引張を無視し、引張、圧縮両鉄筋を考慮に入れて、梁の剛性に対する断面二次モーメント I と断面積 A を計算する。梁の高さを h 、幅を b 、梁の長さを L 、弾性係数を E 、ポアソン比を ν 、そして密度を ρ とする。また重錘と梁の間に接触ばね k_c を考慮し、重錘先端部の変位を u_1 、梁中央部の変位を u_2 とすると、衝撃力 f は次式で評価することができる。

$$f = k_c (u_1 - u_2) \quad (1)$$

梁には一次元のはり要素、重錘には一次元の棒（トラス）要素を使用した。ここで、重錘の断面積は一定であるとし、重力の影響は重錘にのみ考慮した。なお、初期条件として重錘各節点に初期速度を付加した。減衰は梁のみに作用するものとし、運動方程式の時間に関する離散化には、Newmark β 法を採用した。

3. 数値解析例

ここで数値解析結果を示すが、梁の分割数は $N=50, 100$ 、重錘の分割数は $N=10, 20$ としてその結果が変わらなかったため、以下のすべての例でそれぞれ $N=50$ 、 $N=10$ を使用して解析を行った。また時間刻みは解析対象である梁の基本周期の $1/1000$ 以下となるように設定した。横軸に無次元化時間 $t c / h$ を示し、縦軸に無次元化した衝撃力 f / Eh^2 、反力 R / Eh^2 及び変位 u / h （それぞれ図の(a)、(b)及び(c)）を示した。なお、全ての結果において実験値の波形は破線で示した。

表-1 に解析に用いた諸元を示す。ここで L の大括弧内の数字は純スパン長を表す。なお L_s 、 W_s 及び E_s はそれぞれ重錘の長さ、重さ及び弾性係数を表す。

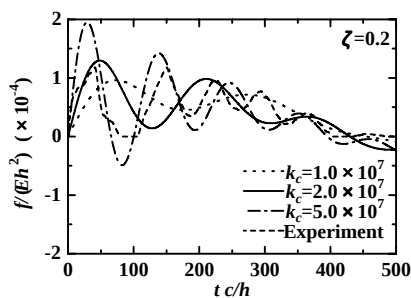
図-1 は接触ばねの影響を検討するため、値を $k_c = 1.0 \times 10^7, 2.0 \times 10^7$ 及び 5.0×10^7 (N/m) と変化させ（それぞれ結果を点線、実線及び一点鎖線で示す）、減衰定数を $\zeta = 0.2$ とし解析を行った。

表-1 解析諸元

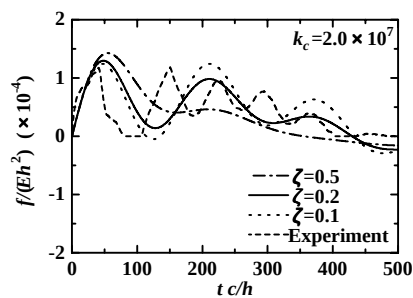
E (GPa)	ρ (kg/m ³)	ν	L (m)
19.3	0.25×10^3	0.19	2.5 [2.0]
h (m)	b (m)	A (m ²)	I (m ⁴)
0.16	0.16	0.22×10^{-1}	0.36×10^{-4}
v_0 (m/sec)	L_s (m)	W_s (kN)	E_s (GPa)
2.0	1.6	1.96	206

キーワード：衝撃力, RC 梁, 弾性解析, 一次元解析

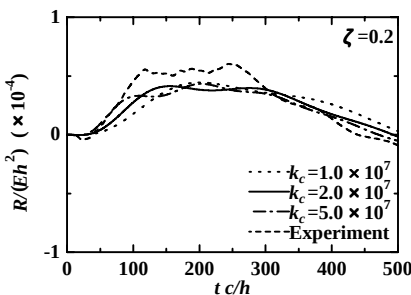
連絡先：〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL：011-706-6176 FAX：011-726-2296



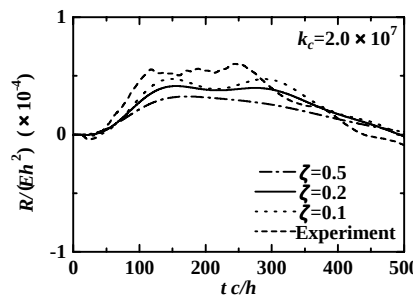
(a) 衝撃力波形



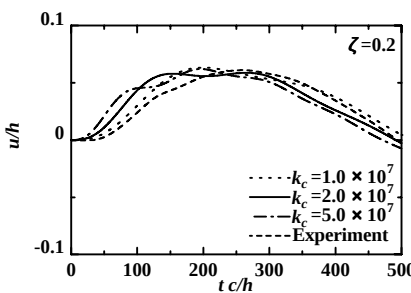
(a) 衝撃力波形



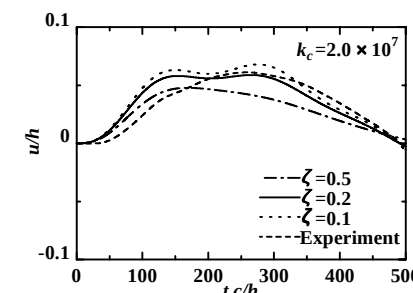
(b) 反力波形



(b) 反力波形



(c) 変位波形



(c) 変位波形

図-1 接触ばねを変化させたときの各応答波形

図-2 減衰定数を変化させたときの各応答波形

た結果である。これによると、反力及び変位波形では接触ばねに関係なくほぼ同じ応答値を示している。しかし衝撃力波形においては、接触ばねを大きくすると高次の振動が発生し、かつ最大衝撃力は大きくなっており、その値によって波形に大きな差が生じているのがわかる。後半部で波形の周期にやや差が見られるものの、 $k_c = 2.0 \times 10^7$ (N/m) を用いた場合に良好な結果が得られていることが確認できる。

図-2 は減衰の影響を検討するため、減衰定数を $\zeta = 0.1, 0.2$ 及び 0.5 (それぞれ結果を点線、実線、及び一点鎖線で示す) の三種類に変化させて解析した結果である。ここで、接触ばねは先の解析で結果が良好であった $k_c = 2.0 \times 10^7$ (N/m) を使用した。反力、変位波形では減衰定数による大きな差は見られないが、衝撃力に関しては、減衰を大きくするに従い、振幅が小さくなっているのがわかる。この結果からは、 $\zeta = 0.1$ から 0.2 で良好な結果が得られているのがわかる。

以上の結果からもわかるように、衝撃力は接触ばねと減衰定数、特に前者によって大きく変化している。

しかし、両者とも適切な値を導出する理論的な裏付けに欠けており、今後の課題として、これらの値の導出方法を考案することが必要である。

4. まとめ

- (1) 弾性の範囲内における一次元のはり要素、棒要素を用いたモデルの適用性が示された。
- (2) 接触ばねと減衰定数は衝撃力波形に大きな影響を及ぼすが、これらの値の理論的な導出方法については今後の研究課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、室蘭工業大学の岸徳光教授、安藤智啓氏に多大なるご支援を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 岸徳光, 三上浩, 松岡健一, 安藤智啓: 静載荷時に曲げ破壊が卓越する RC 梁の弾塑性衝撃応答解析, 土木学会論文集, No.619, pp.215-233, 1999.
- 2) 衝撃問題研究小委員会: 構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法, 土木学会, 1993.