

専修大学北海道短期大学 正員 三上 敬司
 日本大学生産工学部 正員 能町 純雄
 室蘭工業大学 正員 松岡 健一
 北海道開発局土木試験所 正員 吉田 紘一

1. まえがき

最近、各種構造物における衝撃力に関する研究は、多くの研究者によって実験及び理論解析が行われている。北海道開発局土木試験所では、図-1に示したように3090×1900×100mmの鉄筋コンクリート版上の載荷位置に緩衝材として100×100×3mmのゴム板を設置し、このゴム板上へ重量100kgfの重錘を落下高さ10～160cmまで10cm間隔で落下させ、衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の応答性状や破壊機構を解明するための基礎的実験¹⁾を行っている。

本研究では、図-2に示したようにゴムの緩衝効果を考慮した無限版上にバネを設けたモデルとして弾性理論の範囲以内でこの落下衝撃実験の理論解析を行い、本理論値、実験結果そしてHertzの接触理論^{2), 3)}を用いた理論値との比較検討を行った。

2. 理論解析

密度 ρ_1 、ポアソン比 ν_1 、弾性係数 E_1 、厚さ d の無限版上にバネ定数 k をもつバネを設置して、このバネ上へ質量 M の重錘を高さ H から落下させた場合の衝撃力を求める。ただし、Hertzの接触理論は考慮しない。半径方向 r 、円周方向 θ とし、無限版の中立軸の鉛直変位 δ とした場合の平板の振動方程式は、次式となる。

$$\rho_1 d \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} + D \left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right] \delta = P \quad \dots (1)$$

ただし、剛度： $D = E_1 d^3 / 12 (1 - \nu_1^2)$ 、 P ：衝撃力

(1) 式を時間 t についてラプラス変換を施し、 $\delta = r J_0(r\xi)$ と
 おいて r についてBessel変換をした式を ξ について逆変換をすること
 によって $r=0$ での無限版の中立軸の鉛直変位 δ_0 は次式となる。

$$L[\delta_0] = \frac{L[P]}{s a} \quad \dots (2) \quad (\text{ただし、} a = 8 \sqrt{\rho_1 D d} \text{、} s: \text{ラプラス演算子})$$

剛体が無限版上のバネへ落下した場合の運動方程式と力の釣合式は次式となる。

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} + P = 0 \quad \dots (3) \quad P = k(\delta_1 - \delta_0) \quad \dots (4)$$

(3)、(4) 式をLaplace変換し、さらに(2) 式を用いて Laplace 逆変換を施すことによって次式のような衝撃力が求められる。(ただし、初期条件として $t=0$ で初速度 $v_0 = \sqrt{2gH}$ 、 g ：重力加速度)

$$P = \frac{M v_0 \omega}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \exp(-\alpha \omega t) \sin(\sqrt{1 - \alpha^2} \omega t) \quad (5)$$

ところで、 $k/M = \omega^2$ 、 $a/M = \omega_0$ 、 $k/a = 2h\omega$ 、 $\alpha = \omega/2\omega_0$

3. 数値計算例

無限版に関しては、 $\nu_1 = 1/6$ 、 $E_1 = 3 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ 、 $\rho_1 = 2.5 \text{ t/m}^3$ 、 $d = 10 \text{ cm}$ として、剛体の質量 $M = 100 \text{ kg}$ 、バネ定数 $k = 4500 \text{ tf/m}$ を用いて数値計算を行った。

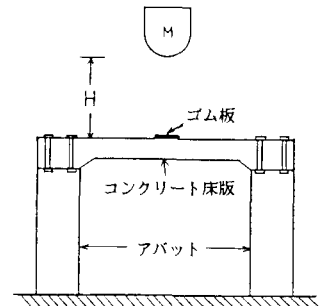


図-1 落下衝撃実験装置

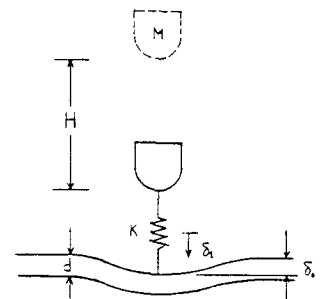


図-2 本理論におけるモデル

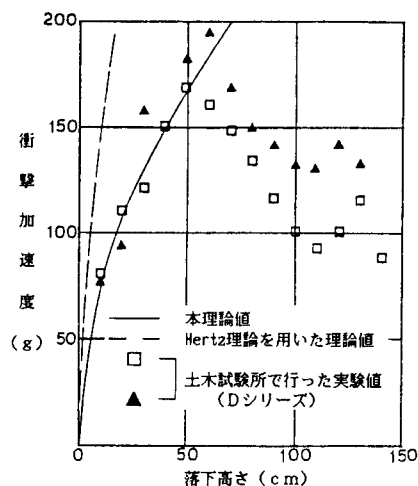


図-3 衝撃加速度と落下高さ

図-3は、衝撃加速度と落下高さとの関係を示している。実験結果に関しては、Dシリーズ（鉄筋比上面： $p_1=0.42\%$ 、下面 $p_2=0.84\%$ ）を用いていた。落下高さが50cmまでは高さが高くなるに従って衝撃加速度は大きくなっているが、50～100cmの間では鉄筋コンクリート床版は弾性限界を越えて裏面剝離が生じて鉄筋のみで剛性を保っているために衝撃加速度は徐々に減少する。100cmを越えると鉄筋コンクリートとしての機能は失われ破壊に至る。これに対して、本理論値は落下高さが50cmまでは実験結果と良く一致しているが、50cmを越えると実験に用いたコンクリート床版は破壊し始めるために本理論の弾性理論では成り立たなくなる。一方、Hertzの接触理論を用いた理論値では高さが高くなるほどに実験値よりもかなり大きな値を示している。

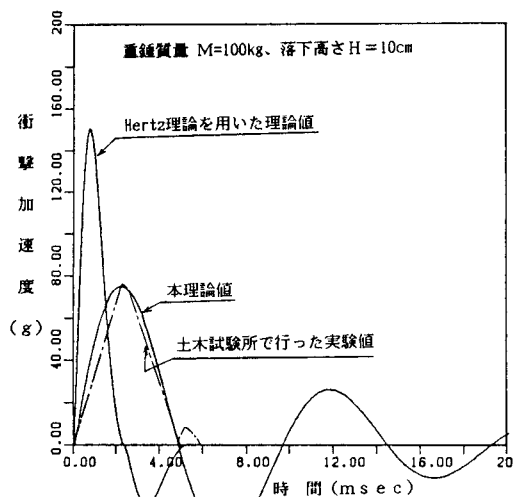


図-4 衝撃加速度と時間

図-4は、落下高さ $H=10\text{cm}$ での衝撃加速度と衝撃作用時間との関係を示している。実験結果は、最大衝撃加速度に達する時間 $t=2.2\text{msec}$ 、最大衝撃加速度 78g となり、その後は単調に減少するが、 4.7msec を過ぎたあたりではまた僅かな加速度が生じているが、非常に小さな加速度なので衝撃作用時間 $t_2=4.7\text{msec}$ とする。第一ピークの衝撃加速度が第2、3ピークよりも大きな加速度となることと早い時間に衝撃力が伝わることから、本論では第1ピークの衝撃加速度だけを考える。最大衝撃加速度に達する時間 $t_1=2.1\text{msec}$ 、最大衝撃加速度 74.9g 、衝撃作用時間 $t_2=4.7\text{msec}$ となり、実験値と非常に良く一致している。Hertzの接触理論を用いた理論値に関しては衝撃加速度に達する時間 $t_1=0.75\text{msec}$ 、最大衝撃加速度 150g 、衝撃作用時間 $t_2=2.3\text{msec}$ となり、落下高さが高くなるに従って実験値とかけ離れていく傾向にある。

4. あとがき

数値計算結果より、ゴム板の緩衝効果をバネと仮定した本理論は落下高さ40cmぐらいまでのソフト衝撃に関しては実験結果と良く一致した。一方、Hertzの接触理論を用いた理論値ではゴム板の緩衝効果を取り入れることが出来ないために実験結果とは全く一致しなかった。今後は、衝撃曲げモーメントに関して検討を行う。本研究の解析では、北海道大学大型計算機センターのHITAC-680Hを使用して計算を行った。

5. 参考文献

- 1) 佐藤・吉田・千葉：衝撃を受けるRC版の挙動に関する実験について、落石衝撃力及びロックシェッドの設計に関するシンポジウム、pp.21～27、1986、7
- 2) 岩崎：衝撃荷重を受ける平板の動的応答解析、岩手大学工学部研究報告、Vol.37、pp.127～138、1984
- 3) 三上・能町・松岡：コンクリート床版への落下衝撃力に関する評価、第41回年次報告講演概要集Ⅰ、pp.723～724、1986、11
- 4) 日本鉄道車両工業会：防振ゴム、現代工学社、1975