

I-362

コンクリート床版への落下衝撃力に関する評価

専修大学道短期大学 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

1. まえがき

土木構造物における衝撃問題は、ロックシェッドへの落石衝撃、原子炉構造物への飛来物による衝撃、海洋構造物への船舶、さらに流水による衝撃などが上げられる。これらの問題に関する研究は多くの研究者によって行われている。衝撃実験では、吉田らが落石覆工の衝撃荷重特性を求めている。藤井¹⁾は、コンクリート構造物の耐衝撃性に関する研究を行っている。さらに、北海道開発局土木試験所²⁾では、鉄筋コンクリート版が衝撃荷重を受ける場合の応答性状や破壊機構を解明するための基礎的研究を行っている。

本研究では、土木試験所が行った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10~180cmまで10cm間隔で落下させた弾性範囲内の衝撃実験に対する理論解析をして、実験値と比較検討を行っている。

2. 理論解析

開発局土木試験所における実験を図-1に示したようなモデル化を行った。密度 ρ_1 、ポアソン比 ν_1 、弾性係数 E_1 、厚さ d の無限板とし、この上へ質量 M の重錘(1)半径 R の弾性球(2)底が2次放物面が高さ H から落下した場合の衝撃力を求める。半径方向 r 、円周方向 θ とし、無限板の中立軸の変位 w とした場合の平板の曲げ振動方程式は、次式となる。

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

ところで、 $D = E_1 d^3 / 12(1 - \nu_1^2)$: 剛度

(1)式を時間 t についてLaplace変換を施し、

$w = r J_0(r\xi)$ とおいて、 r について、Bessel変換した式を ξ について逆変換を施し、さらに、 $r = 0$ での無限板の中立軸の鉛直方向変位を w_0 とすると、次式となる。

$$L[w_0] = L[P] / s a \cdots (2) \quad (\text{ただし、} a = 8\sqrt{\rho_1 D d}, s : \text{Laplace演算子})$$

剛体が、板に衝突した場合の板の局部変位 δ とした場合の重錘の運動方程式は、次式となる。

$$M(\frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2}) + P(t) = 0 \cdots (3)$$

ところで、 δ は、Hertzの接触理論を用いると、

$$\delta = K P^{2/3}(t) \cdots (4)$$

ところで、1)重錘が弾性球の場合³⁾ $K = 3\sqrt{9\pi^2(k_1 + k_2)^2 / 16R}$, $k_1 = (1 - \nu_1) / \pi E_1$

$k_2 = (1 - \nu_2) / \pi E_2$, (ν_2 :弾性球のポアソン比, E_2 :弾性球の弾性係数)

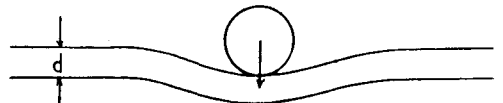
2)ゴム板の緩衝材を考慮すると、重錘の底を2次放物面と仮定した場合⁴⁾ $K = 3\sqrt{(1 - \nu_2) / A(\kappa E_1)^2}$
(ただし、 A は放物面の係数, $\kappa = 0.942$)

(4)式をLaplace変換をし、(2)、(3)式を代入した式を逆変換すると、次式のような衝撃力 $P(t)$ に関する積分方程式となる。ただし、 $v_0 = \sqrt{2gH}$:初速度, g :重力加速度)

$$K P^{2/3}(t) + 1/a \int_0^t P(\tau) d\tau + 1/M \int_0^t P(\tau)(t - \tau) d\tau = v_0 t \cdots (5)$$

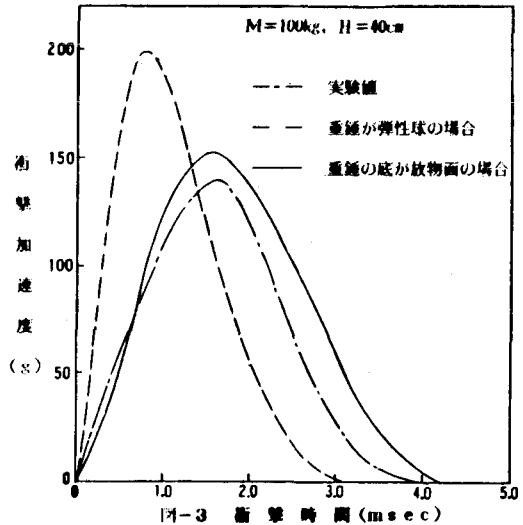
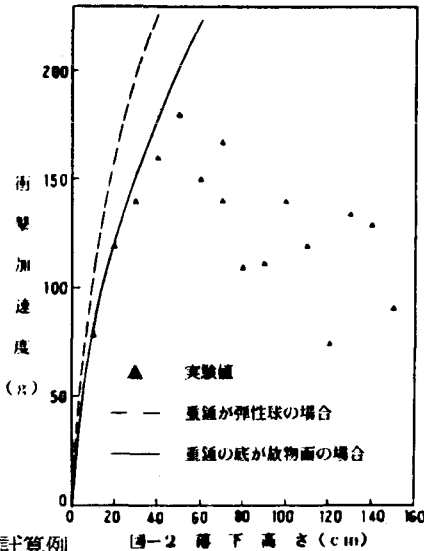


図-1



落下高さ	40 cm以下	50～60 cm	70～120 cm	130 cm以上
床版の状態	微小クラック発生	円形状のクラック発生	コンクリートの割縫	破壊

表-1 落下高さとコンクリート床版の破壊過程



3. 数値計算例

1] 重錘を弾性球とした場合は $M=100\text{kg}$, $\nu_2=0.333$, $E_2=2.1 \times 10^3 \text{tf/cm}^2$, $\nu_1=1/6$, $\rho_1=2.5 \times 10^{-6} \text{t/cm}^3$, $E_1=150 \text{tf/cm}^2$, $d=10\text{cm}$ として計算を行った。(ただし、載荷位置にゴム板の緩衝材として使用しているので、コンクリート床版はかなり柔くなっているため、弾性係数の低い値を用いた。)

2] 重錘の底を2次放物面と仮定した剛体の場合は、 $M=100\text{kg}$, $A=1.0$, $\nu_1=1/6$, $\rho_1=2.5 \times 10^{-6} \text{t/cm}^3$, $E_1=170 \text{tf/cm}^2$, $d=10\text{cm}$ として計算を行った。

表-1で示したように、実験によると、RC床版は、弾性範囲以内と考えられるのは落下高さが40cmまでぐらいである。50cm以上になると、塑性域に入り、 $H=130\text{cm}$ 以上になると破壊する。

図-1は、落下高さに対する衝撃加速度を示している。40cm以内であれば、1)の理論値と比較すると2)の理論値の方が実験値によく一致している。しかし、60cm以上になると、コンクリート床版にかなり大きなクラックが発生するので、1)と2)の理論値は一致しなくなる。

図-2は、落下高さ40cmから質量100kgの重錘を落下させた場合の衝撃時間に対する衝撃加速度を示している。1)の理論値と比較すると2)の理論値の方が、最大衝撃加速度、最大衝撃加速度に達するまでの時間、衝撃作用時間が実験値とかなりよく一致している。

4. あとがき

数値計算結果より、ゴム板の緩衝効果を考慮に入れると、重錘を弾性球とした場合はかなり低いコンクリート床版の弾性係数を用いないと実験値に近付かない。しかし、重錘の底を放物面と仮定した場合は、実際のコンクリートの弾性係数よりも若干低い弾性係数を用いることによって、実験値と理論値とがよく一致した。

5. 参考文献

- 1) 藤井・宮本：衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動，コンクリート工学，Vol.21，No.9，1983
- 2) 吉田・佐藤，etc：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の実験的研究について，土木試験所月報，1986
- 3) 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.37，1984
- 4) J. A. ガーリン著（佐藤常三訳）：弾性接触論，現代工学社，pp136～147，1974