

I-294 ロードセルによる衝突衝撃力の測定に関する一考察(平板構造物)

岩手大学工学部 正員 岩崎 正二
日本大学生産工学部 正員 能町 純雄

1. ま え が き

衝撃荷重を受ける構造物の動的挙動を明らかにするためには、まず衝突によって構造物表面に生ずる衝撃力を求めなければならない。著者らは先に剛球、平底円柱剛体などが、はりや平板構造物に直接衝突するとき生ずる衝撃力を積分方程式により求める方法について報告してきた^{1), 2), 3), 4)}。しかし実際の衝撃载荷試験では、直接試験体に重錘を落下させる方法の他に、試験体上に入力波検知用の丸鋼棒あるいはロードセルを設置し、その上に重錘を落下させる方法をとっている。後者の方法によれば、鋼棒のひずみ等を測定することにより衝撃力を推定することも可能である。しかしながらこのような方法をとるためには試験体上に設置するロードセルなどの剛体が衝突衝撃力にどのような影響を与えるかを明確にしておかなければならない。従って本報告では、载荷点に剛体を有する平板上に、異なる重量の剛体を落下させる問題を考え、それらの剛体の重量比によって衝突衝撃力がどのように変化するかを明らかにしようとしたものである。

2. 解 析 理 論

衝撃点で質量 M_1 の剛体(ロードセル)を有する無限平板上に、質量 M_0 の剛体が衝突する問題を考える。無限平板のたわみの曲げ振動方程式は極座標を用いて表すと、次式ようになる。

$$(D \nabla^4 + \rho h \frac{\partial^2}{\partial t^2}) W = P \quad (1)$$

ここで、 $\nabla^4 = (\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r})^2$, $D = \frac{E_1 h^3}{12(1-\nu^2)}$

E_1 は板の弾性係数、 ν_1 は板のポアソン比、 h は板厚、 ρ は板の単位体積質量、 w は任意点のたわみを表す。

$r=0$ に集中衝撃荷重 $P(t)$ が作用する場合には、上式にハンケル・ラプラス変換を行う。

$$H_m[\bar{W}] = \frac{1}{2\pi\rho h} \frac{\bar{P}(s)}{s^2 + C_b^2 m^4} \quad (2)$$

ここで、 $H_m[w(r)] = \int_0^\infty r w(r) J_0(mr) dr$, $C_b^2 = \frac{D}{\rho h}$

$$\bar{W} = \int_0^\infty w e^{-st} dt, \quad \bar{P}(s) = \int_0^\infty P(t) e^{-st} dt, \quad J_0: 0 \text{ 次のベッセル関数}$$

式(2)を逆変換すると、任意点のたわみは

$$W(r, t) = -\frac{C_b}{4\pi D} \int_0^t P(\tau) \operatorname{Si}\left(\frac{r^2}{4C_b(t-\tau)}\right) d\tau \quad (3), \quad \operatorname{Si}(x) = -\int_x^\infty \frac{\sin u}{u} du$$

$r=0$ でのたわみ w_0 は

$$W_0(t) = -\frac{C_b}{8D} \int_0^t P(\tau) d\tau \quad (4)$$

次に質量 M_0 の剛体が V_0 の初速度で質量 M_1 の剛体上に衝突する場合(図1-(a))、剛体の板へのくいこみ深さを δ とするとそれぞれの剛体の運動方程式は次のようになる(図1-(b))。

$$M_0 (\ddot{W}_0 + \ddot{\delta}) = -P' \quad (5)$$

$$M_1 (\ddot{W}_0 + \ddot{\delta}) = P' - P \quad (6)$$

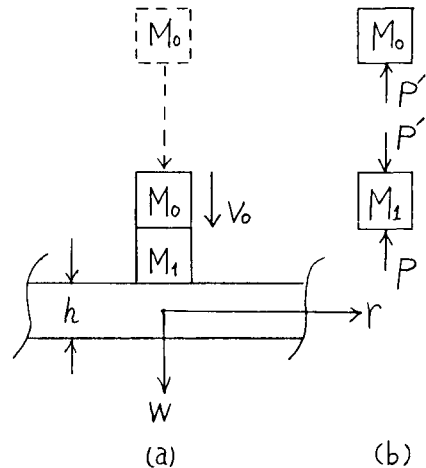


図-1

一方、 P と δ の関係は半径 a の平底円柱剛体を仮定すると弾性論より次式ようになる。

$$P(t) = K \delta(t) \quad (7)$$

ここで、
$$K = \frac{2E_1 a}{1-\nu_1^2}$$

式(4)、(5)、(6)、(7)にラプラス変換を施し、整理すると

$$\bar{P}(s) = \frac{V_0 K}{1+\alpha} \frac{1}{s^2 + 2\beta\omega s + \frac{\omega^2}{1+\alpha}} \quad (8)$$

ここで、
$$\beta = \frac{C_b \sqrt{M_0 K}}{16D}, \quad \omega^2 = \frac{K}{M_0}, \quad \alpha = \frac{M_1}{M_0}$$

式(8)をラプラス逆変換すると、衝撃力 $P(t)$ は次式ようになる。

$$P(t) = \frac{V_0 K}{\omega \sqrt{1+\alpha} \sqrt{1-\beta^2(1+\alpha)}} e^{-\beta\omega t} \sin \frac{\omega}{\sqrt{1+\alpha} \sqrt{1-\beta^2(1+\alpha)}} t \quad (0 \leq t \leq t_E) \quad (9)$$

$$P(t) = 0 \quad (t \geq t_E), \quad t_E = \frac{\sqrt{1+\alpha} \pi}{\omega \sqrt{1-\beta^2(1+\alpha)}}$$

半無限平面に剛体が衝突する問題($K \rightarrow \infty$)では、衝撃力は次のようになる。

$$P(t) = \eta M_0 V_0 e^{-\eta t} \quad (10)$$

ここで、
$$\eta = \frac{1}{1+\alpha} \frac{8D}{C_b M_0}$$

3. 数値計算例

数値計算例はコンクリート無限平板の中央に剛体が自然落下する問題を取り扱った。

なお計算にあたっては次のような数値を用いた。

板厚	: $h = 15.0, 30.0$ (cm)
ヤング率	: $E_1 = 3.0 \times 10^5$ (kg/cm ²)
ポアソン比	: $\nu_1 = 0.167$
密度	: $\rho g = 2.2932 \times 10^{-3}$ (kg/cm ³)
落体重量	: $M_0 g = 70.0$ (kgf)
剛体の重量比	: $\alpha = 0.0 \sim 1.0$
接触半径	: $a = 5.0$ (cm)
初速度	: $V_0 = 5$ (m/sec)

図-2は P_{max}/P_h (最大衝撃力/ $\alpha=0$ の最大衝撃力)と剛体の重量比 α との関係を表したものである。

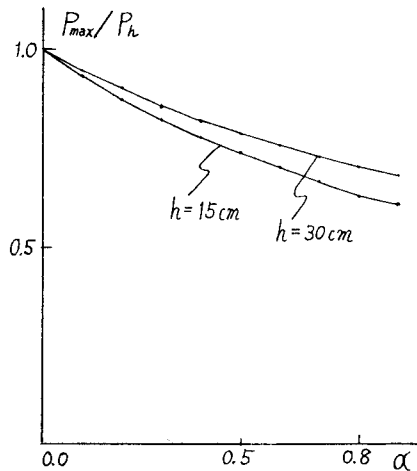


図-2

【参考文献】

- 1) 岩崎正二: 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第37巻、昭和59年12月、p127-138
- 2) 岩崎正二、能町純雄: 弾性球による無限長梁の横衝撃について、第37回土木学会全国大会講演概要集、昭和57年10月、p405
- 3) 岩崎正二、秋庭 司: 衝撃荷重を受ける平面骨組構造物の動的応答解析、岩手大学工学部研究報告第38巻、昭和60年12月、p75-88
- 4) 秋庭 司、岩崎正二、能町純雄: 平底剛体により衝撃された梁の動的応答について、東北支部技術研究発表会講演概要、昭和61年3月、p25