

I-421

低速度落下によるRC床版の衝撃力に関する評価

専修大学北海道短大
稚内開発局
専修大学北海道短大

正 員 三上敬司
正 員 吉田紘一
正 員 金子孝吉

日本大学生産工学部
室蘭工業大学工学部

正 員 能町純雄
正 員 松岡健一

1. まえがき

北海道開発局土木試験所¹⁾では、図-1に示したように、両端固定、他端自由である 3090×1900×100mm (スパン長: 2000mm) の鉄筋コンクリートの長方形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、このゴム板へ重錘を落下高さ 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を行っている。

一方、この実験の理論解析として、著者ら²⁾は無限版上にゴムの緩衝効果を考慮したバネを設けて、その上に剛体を落下させ場合の衝撃力及び衝撃曲げモーメントを求めている。しかし、鉄筋コンクリート床版を無限版として解析しているために境界の影響を受けていないので、ある程度時間が経過したところでは実験値と異なっている挙動を示している。そこで、本理論では、歪速度効果及び歪の蓄積はないものと仮定して、図-2に示したように実験と同様な支持条件である両端固定(スラッシュ部分)、他端自由な板とし、その上の緩衝材のゴム板を Voigt モデルとして質量 M の重錘を高さ H から自然落下させた場合について理論解析を行い、上述した実験データさらに、無限版の理論解との比較検討を行う。

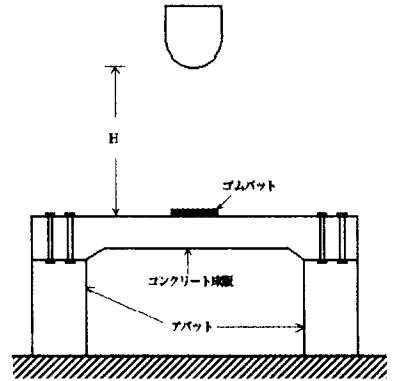


図-1 衝撃実験装置

2. 理論解析

1) 自由振動モード: 板の自由振動に関する変位解は、Gorman³⁾によって、図-3のように境界条件が両端固定、他端自由であり、 ξ, η 軸に関して対称な長方形板 ($2a \times 2b$) をちょうど 1/4 区分の板 ($a \times b$) として Levy-type の解を用いて、図(III)と図(IV)のように分解してそれぞれ求めた変位モードを重ね合わせることによって、図(II)の変位モードを求めている。ただし、図中の $\circ$ は、板の端に沿って端反力が 0 であり、さらに板の傾きが 0 であるスリップせん断条件を表している。F は、自由辺を表し、s は、単純支持または分布曲げモーメントを伴う単純支持を表している。

2) モーダル・アナリシス: 1) で求めた固有角振動数と振動モードを用いて、モーダル・アナリシス法によって、密度 ρ 、ポアソン比 ν 、弾性係数 E、厚さ h の長方形版上の中心 (a, b) に衝撃力 P が作用した場合の変位 w は、次式となる。

$$L[w] = \frac{L[P]}{\rho h} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\phi_n(\xi, \eta) \phi_n(a, b)}{s^2 + \omega_n^2} \quad (1)$$

$\phi_n(\xi, \eta)$ 、 $\phi_n(a, b)$: 任意の点と荷重点の固有モード、 ω_n : 固有角振動数 s: ラプラス演算子

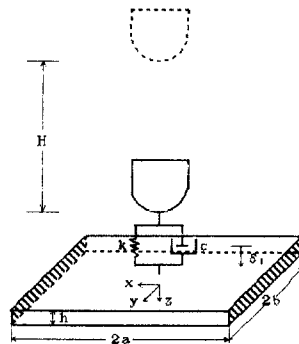


図-2 本論のモデル

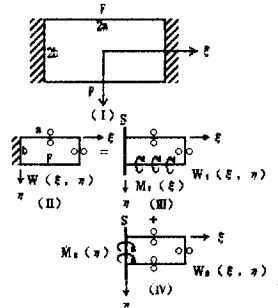


図-3 両端固定、他端自由な長方形板

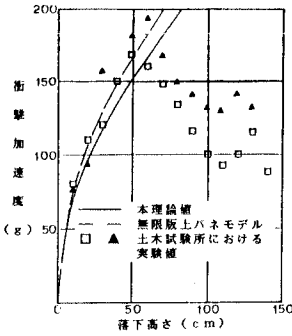


図-4 衝撃加速度と落下高さ

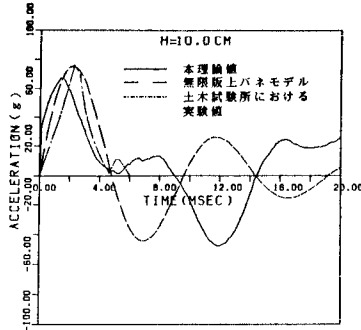


図-5 (a) 衝撃加速度と時間

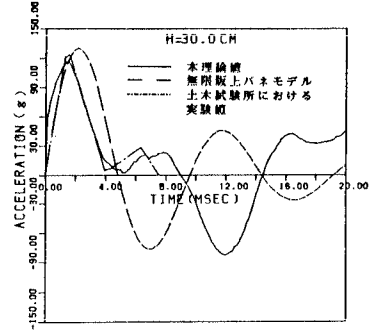


図-5 (b) 衝撃加速度と時間

3) 衝撃力: 1)、2)を用いて、図-2のように、質量Mを高さHから板上のVoigtモデルへ落下させた場合の衝撃力を求める。運動方程式と力の釣合式は次のようになる。

$$M\ddot{\delta} + P = 0 \quad \dots\dots\dots (2) \quad P = k(\delta - w) + c(\dot{\delta} - \dot{w}) \quad \dots\dots (3)$$

(1)、(2)、(3)式を用いて、初期条件 $t=0$ で初速度 $v_0 = \sqrt{2gH}$ としてラプラス変換を施し、逆変換に関しては、数値ラプラス逆変換を用いて数値計算を行った。

3. 数値計算例

本論では、実験データより、コンクリート床版に関して $\rho=2.5\text{t/m}$ 、 $\nu=1/6$ 、 $E=3.0 \times 10^6 \text{tf/m}$ 、 $h=10\text{cm}$ 、 $2a=200\text{cm}$ 、 $2b=190\text{cm}$ であり、重錘の質量 $M=100\text{kg}$ である。無限版で用いた動的バネ定数 $k=4500\text{tf/m}$ であり、Voigtモデルの動的バネ定数 $k=5000\text{tf/m}$ 、減衰定数 $\alpha=0.15$ として数値計算を行った。ただし、本論では、文献4)で求めた40個のモードを用いて計算を行った

図-4は、落下高さに対する最大衝撃加速度を表している。本論は、無限版上にバネモデルを設けた場合、実験値と比較して若干低い値を示しているが、 $H=10 \sim 50\text{cm}$ までは実験値と比較的良く一致している。

図-5(a)、(b)は、それぞれ落下高さ $H=10, 30\text{cm}$ に対する衝撃加速度と時間との関係を示している。図(a)に関して、無限版の場合は、最大衝撃加速度と最大衝撃加速度に達する時間に関して実験値と比べて非常に良く一致しているが、境界での反射波の影響を受けていないために加速度はピーク後単調減少してマイナス側へ移行している。一方、本論は、実験値に比べて衝撃作用時間に関しては若干長い、実験値と同様に4msecを過ぎたところで自由端での反射波の影響を受けて再び衝撃加速度が生じている。(b)に関して、本理論は、(a)よりもなお一層実験値の傾向を良く表している。

4. あとがき

両端固定、他端自由の版上にVoigtモデルを設けた本理論は、無限版上にバネモデルを設けた理論と比較して、実験値の傾向を良く表していると思われる。今後は、衝撃曲げモーメントに関しても検討を行うつもりである。尚、数値計算に関しては、北海道大学大型計算機センターのHITAC-682Hを使用して計算を行った。

参考文献

- 1) 佐藤睦治、吉田紘一、千葉利則：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、7月、1986
- 2) 三上敬司、吉田紘一、松岡健一、能町純雄：低速度衝撃力によるコンクリート床版の動的応答、構造工学論文集、pp.767~778、Vol.34A、3月、1988
- 3) Gorman, D.J.: Free Vibration Analysis of Rectangular Plates, Elsevier, pp.1~227、1982
- 4) 三上敬司、能町純雄、吉田紘一、松岡健一：コンクリート床版の動的応答について、土木学会北海道支部論文報告集、pp.187~190、第44号、2月、1988