

I-507 鋼・コンクリート合成円版の衝撃応答

大阪市立大学工学部 正 員 小林 治俊
 大阪市立大学工学部 正 員 園田恵一郎
 大阪市立大学大学院 学生員 ○石丸 和宏

1. まえがき

異種材料からなる合成板は種々な用途に使用されているが、衝撃荷重を受ける際の動的挙動は十分には明らかにされていない。本研究は、合成板の例として鋼板が下面ないしは上下両面に接着された円形コンクリート合成版の弾性衝撃解析を試みたものであり、数値結果よりその動特性を比較検討する。解析には3次元動弾性論に基づく固有関数展開法 [1, 2]を用いた。

2. 解析方法

解析方法は参考文献[1]で示した一層円版の場合に従えば良く、以下にその概略を記述する。図1に三層円版の座標系を示した。等方性軸対称問題の運動方程式は、 $\mu_i \nabla^2 \mathbf{u}_i + (\mu_i + \lambda_i) \text{grad}(\text{div } \mathbf{u}_i) = \rho_i (\partial^2 \mathbf{u}_i / \partial t^2)$ (1)で与えられ、ここに、 $\mathbf{u}_i = (u_i, w_i)$ は変位ベクトル、 μ_i , λ_i はラメの定数、 ρ_i は密度、 t は時間、 ∇^2 はラプラシアン、また添字 $i=1, 2, 3$ は各々上層(鋼)、中層(コンクリート)、下層(鋼)を表す。

円版上面に衝撃荷重 $f(t)q(r)$ が作用するものとすれば、本問題の周辺支持条件および各層間の連続条件は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & \textcircled{1} \sigma_{z1} = -f(t)q(r), \tau_{rz1} = 0 (z_1 = -h_1/2) \quad \textcircled{2} u_1 = u_2, w_1 = w_2, \\ & \sigma_{z1} = \sigma_{z2}, \tau_{rz1} = \tau_{rz2} (z_1 = +h_1/2, z_2 = -h_2/2) \quad \textcircled{3} u_2 = u_3, \\ & w_2 = w_3, \sigma_{z2} = \sigma_{z3}, \tau_{rz2} = \tau_{rz3} (z_2 = +h_2/2, z_3 = -h_3/2) \\ & \textcircled{4} \sigma_{z3} = 0, \tau_{rz3} = 0 (z_3 = +h_3/2) \dots \dots \dots (2.abc) \end{aligned}$$

衝撃問題の解は、慣性項を無視した静的問題の解 $\mathbf{u}_i^s = (u_i^s, w_i^s)$ と、それを考慮した擾乱解 $\mathbf{u}_i^d = (u_i^d, w_i^d)$ の和として与える。すなわち、

$$\mathbf{u}_i(\mathbf{x}_i, t) = f(t)\mathbf{u}_i^s(\mathbf{x}_i) + \mathbf{u}_i^d(\mathbf{x}_i, t) \dots \dots \dots (3) \quad \mathbf{u}_i^d(\mathbf{x}_i, t) = \sum_m \sum_n Q_{mn}(t) U_{imn}(\mathbf{x}_i) \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $\mathbf{x}_i = (r, z_i)$ 、 $Q_{mn}(t)$ は未定の時間関数、 $U_{imn}(\mathbf{x}_i)$ は mn 次の固有関数である。

式(3)(4)を式(1)に代入し、固有関数の直交性を利用すると $Q_{mn}(t)$ に関する2階の微分方程式(5)を得る。

$$(\partial^2 Q_{mn} / \partial t^2) + p_{mn}^2 Q_{mn} = -Z_{mn} (\partial^2 f / \partial t^2) \dots \dots \dots (5)$$

ただし、 p_{mn} は固有円振動数、係数 Z_{mn} は次式で与えられる。

$$Z_{mn} = \left\{ \sum_i \int_{V_i} \rho_i u_i^s U_{imn} dV_i \right\} / \left\{ \sum_i \int_{V_i} \rho_i U_{imn}^2 dV_i \right\} \dots \dots \dots (6)$$

式(5)の解はデュハメル積分で与えられ、初期条件を与えることにより解が確定する。本解析では衝撃を受ける前には円版は静止しているものとした。

3. 数値計算結果

円版厚/直径比は $h/2b=0.3$ 、層厚は三層版の場合 $h_1/h=h_3/h=0.1$, $h_2/h=0.8$ とし、二層版では $h_2/h=0.9$, $h_3/h=0.1$ とした。鋼、コンクリートの材料定数は $\rho_s, \rho_c=7.85, 2.3(\text{tf/m}^3)$, $E_s, E_c=2.1 \times 10^7, 2.4 \times 10^6(\text{tf/m}^2)$, $\nu_s, \nu_c=0.3, 0.167$ である。衝撃を受ける際の合成円版の応力変動に対する基礎的データを得るため、

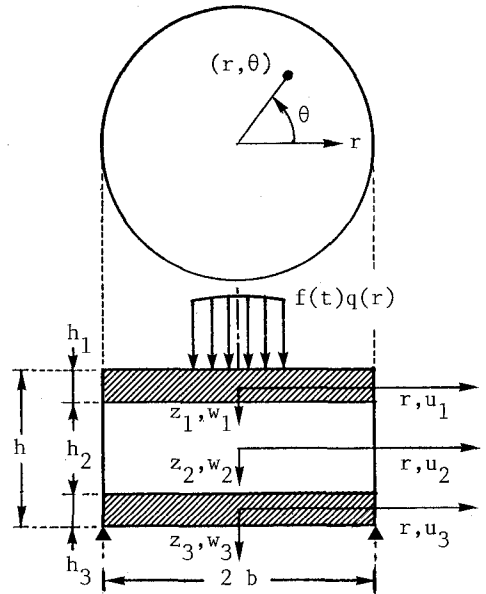


図1 三層合成円版の座標系

作用荷重としては、余弦波形とはほぼ等しい $q(r)=J_0(\alpha_1 r)$ で表される荷重形とその時間関数にはステップ関数 $f(t)=H(t)$ を用いた。 α_1 は $J_0(\alpha b)=0$ の最初の根である。級数の項数は $n=1000(m=1)$ とした。

図2,3に接合面中央での σ_r の長期応答曲線を示した。図4は、二層円版の中央断面の3点(a)上層中央(b)接合面(c)下層中央での σ_z の初期応答曲線であり、図5は、三層円版の中央断面の5点(a)上層中央(b)上層中間層間の接合面(c)中間層中央(d)中間層下層間の接合面(e)下層中央での σ_z の初期応答曲線を示している。横軸は無次元時間 $\tau (=ct/h)$ を表し、 $c=3344(\text{m/sec})$ はコンクリートの縦波の速度で、鋼のそれは $6001(\text{m/sec})$ である。図において応力が不連続的に変動している箇所は、応力波の波面が到達したことを示している。小刻みな変動は鋼板内で反射を繰り返した応力波の波面の到達を示している。二層円版では、接合面と鋼板中央では最初の応力波によって最大圧縮応力 σ_z が発生しているが、三層円版では、鋼板内部で何回か反射を繰り返した後に最大圧縮応力が発生している。

他の結果は、当日発表の予定である。

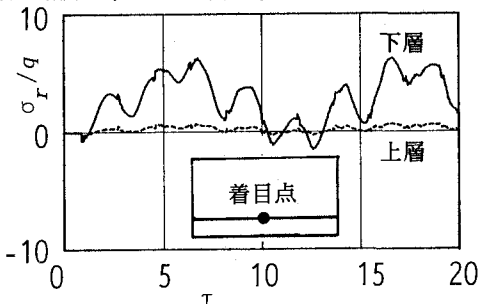


図2 二層円版接合部での σ_r の長期応答曲線

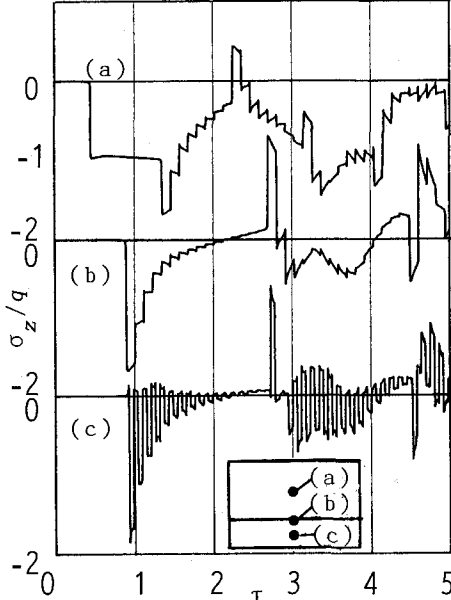


図4 二層円版の中央断面の σ_z の初期応答曲線

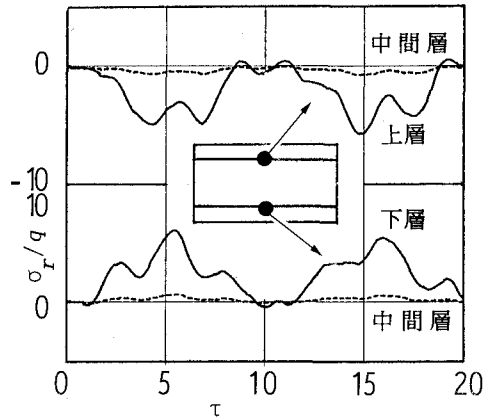


図3 三層円版接合部での σ_r の長期応答曲線

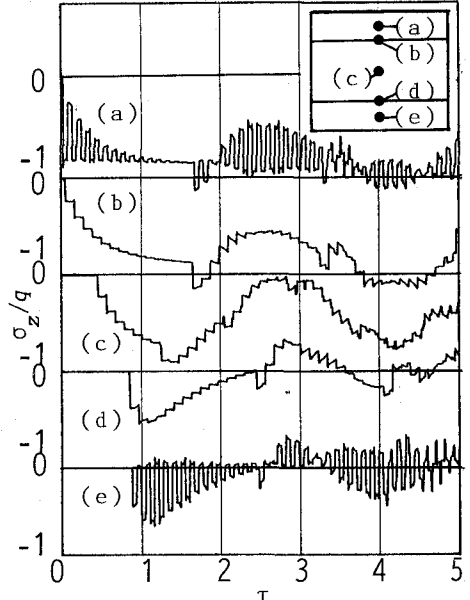


図5 三層円版の中央断面の σ_z の初期応答曲線

4. 参考文献 [1]小林治俊, 園田恵一郎, 山本新, 中岡健一: 衝撃荷重を受ける厚円盤の応力波伝播解析, 第14回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, pp. 275-280, 1990. [2]Lee, Y. C and Reismann, H.: Dynamics of Rectangular Plates, Int. J. Engng. Sci., Vol. 7, pp. 93-113, 1969.