

I-499

鋼・コンクリート合成梁の弾性衝撃応答

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

(株) 森本組

鹿島 光洋

【1】まえがき

筆者らは [1-3]、これまでに動弾性論に基づく固有関数展開法を用いて、衝撃荷重を受ける平面梁・円盤・矩形厚板の弾性応答解析を行い、これら構造要素内の応力波伝播特性を含む動的挙動を明らかにした。一方、岸ら [4] は多層合成梁の衝撃応答を取扱っている。本研究は、鋼・コンクリート合成梁の弾性衝撃解析を試み、その衝撃挙動を検討する。

【2】解析方法

図1に取扱う合成梁の座標系を示した。上層（コンクリート）、下層（鋼）ともに等方性平面応力状態を仮定すれば、本問題の支配式は、次式で与えられる。

$$G_i [\nabla^2 u_i + \beta_i \text{grad}(\text{div } u_i)] = \rho_i (\partial^2 u_i / \partial t^2) \quad (1)$$

上式中 $u_i = (u_i, v_i)$ は変位ベクトル、 G_i はせん断弾性係数、 $\beta_i = (1 + \nu_i) / (1 - \nu_i)$ 、 ν_i はポアソン比、 ρ_i は密度、 t は時間、 ∇^2 はラプラシアン、添字 $i=1, 2$ は各々上・下層を表す。

梁上辺に衝撃荷重 $f(t)q(x)$ が作用する場合、本問題の境界条件および層間の連続条件は次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} 1. \quad & \sigma_{y1} = -f(t)q(x), \tau_{xy1} = 0 \quad (y_1 = -h_1/2) \\ 2. \quad & u_1 = u_2, v_1 = v_2, \sigma_{y1} = \sigma_{y2}, \tau_{xy1} = \tau_{xy2} \\ & \quad (y_1 = +h_1/2, y_2 = -h_2/2) \\ 3. \quad & \sigma_{y2} = \tau_{xy2} = 0 \quad (y_2 = +h_2/2) \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

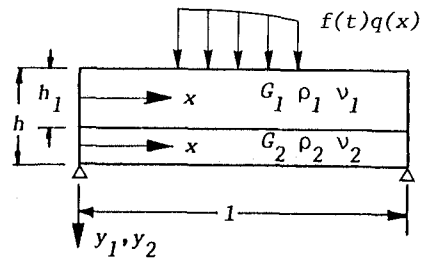


図 1 座標系

衝撃問題の解は、慣性項を無視した静的問題の解 $u_i^s = (u_i^s, v_i^s)$ と、それを考慮した擾乱解 $u_i^d = (u_i^d, v_i^d)$ の和として次のように与える。

$$u_i(x_i, t) = f(t)u_i^s(x_i) + u_i^d(x_i, t) \dots (3)$$

$$u_i^d(x_i, t) = \sum_m \sum_n Q_{mn}(t) U_{imn}(x_i) \dots (4)$$

ここに、 $x_i = (x, y_i)$ 、 $Q_{mn}(t)$ は未定の時間関数、 $U_{imn}(x_i)$ は mn 次の固有関数である [5]。

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。

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

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。

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

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梁は静止しているものとした。

【3】数値計算例

梁高/スパン比 $h/l=0.3$ 、層厚比 $h_1/h=0.9, h_2/h=0.1$ とし、鋼・コンクリートの材料定数は $\rho_1=2.3, \rho_2=7.85(\text{tf/m}^3)$ 、 $E_1=2.4 \times 10^6, E_2=2.1 \times 10^7(\text{tf/m}^2)$ 、 $\nu_1=0.167, \nu_2=0.3$ である。衝撃を受ける際の合成梁の応力変動に対する基礎的データを得るため、作用荷重 $f(t)q(x)$ には、正弦波形 $q(x)=q \cdot \sin(\pi x/l)$ とステ

ッブ関数 $f(t)=H(t)$ を用いた。なお級数の項数は $n=1000(m=1)$ とした。

図2は、中央断面上の4点：(a)上層 $y_1/h_1=-0.45$ 地点(b)上層中央(c)接合辺(d)下層中央での σ_y 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、 $c=\sqrt{2G_1/(1-\nu_1)}\rho_1$ は平面応力問題でのコンクリート内の縦波の速度である。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。また小刻みな変動は鋼板内で反射を繰り返した応力波による応答である。接合辺中央では、 $\tau=2.7$ 付近で引張応力が生じている。図3に、中央断面上の接合辺と下辺での σ_x の長期応答曲線を示した。他の結果は、当日発表する。

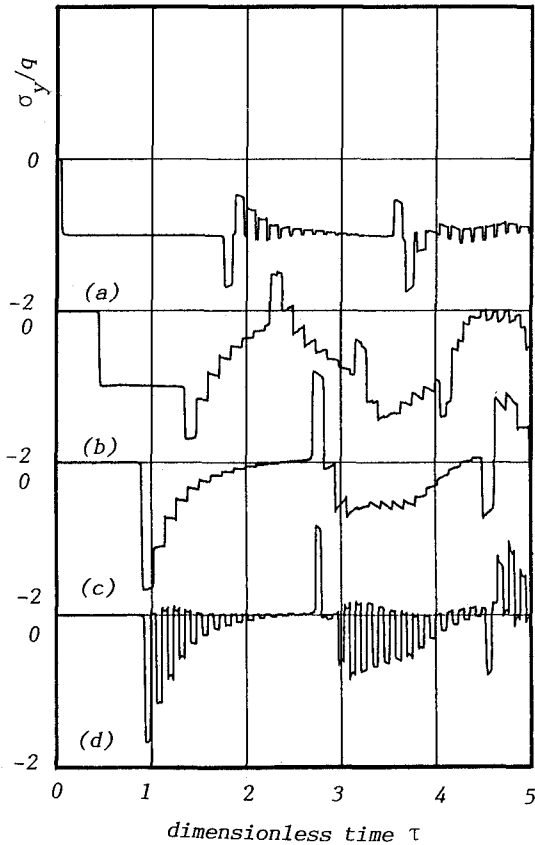


図2 中央断面の σ_y の初期応答曲線：(a)上層 $y_1/h_1=-0.45$ (b)上層中央(c)接合辺(d)下層中央

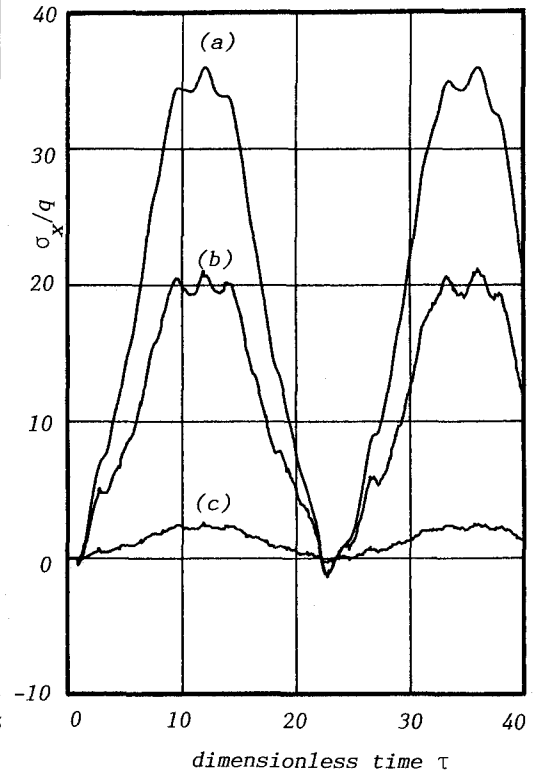


図3 中央断面の σ_x の長期応答曲線：(a)下辺(b)接合辺(鋼)(c)接合辺(コンクリート)

【4】参考文献 [1]奥田, 小林, 園田: 衝撃荷重を受ける平面梁の応力波伝播解析, 土木学会第43回年次学術講演会概要集, 1-424, 1988. [2]小林, 園田, 山本, 中岡: 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. [3]小林, 園田, 中岡: 衝撃荷重を受ける矩形厚板の応答解析, 土木学会関西支部年次学術講演概要集, 1-100, 1991. [4]岸, 松岡, 能町: 単純支持された多層複合成梁の横衝撃について, 材料, 第34巻, 第387号, pp. 1375-1381, 1985. [5]小林, 園田: 二層単純支持梁の振動モードについて, 土木学会第45回年次学術講演会概要集, 1-238, 1990.