I-22　閉リブ鋼床版の弾性挙動について

北大工学部　正員　能町純雄
北見工大　正員　○大島俊之

1．まえがき

鋼床版の床組としての研究はこれまで，大きく分けて直交異方性板としての研究と，格子構造としての研究に大別される。[1) 2) 3) 4) 5) 6) 7)] ここで述べる解法は閉リブ鋼床版を対象として，台形の縦リブとデッキプレートを平板要素に分割して，折板理論を適用して解く方法である。[8) 9) 10)] 実験的研究[5) 6)]から鋼床版の横リブ上に集中荷重を載荷した場合，横リブの腹板の座屈後，デッキプレートの張力場作用による剛性が残ることが報告されており，デッキプレートの平面応力に対する剛性の評価が重要と思われる。現在示方書では縦リブの最小板厚を8mm，デッキプレートでは12mmとしているが，縦リブの断面変形を考慮した解析によって，これに対する検討もすることができる。本論では横リブのない周辺単純支持の鋼床版について，理論式と計算結果を述べるが，この方法は横リブを有する場合にも適用でき，鋼床版の局部的破壊の検討に有効と思われる。

2．理論の概要 [8) 12)]

厚さ t の r, $r+1$ 間の要素について次式を用いる。

$$\dot{T}_{r,r+1} = \frac{N}{6}(2\dddot{u}_r + \dddot{u}_{r+1}) + \frac{1}{h}(S_{r,r+1} - S_{r+1,r}) \quad (1)$$

$$\frac{Gt}{2}(\ddot{v}_r + \ddot{v}_{r+1}) + \frac{Gt}{h}(\dot{u}_{r+1} - \dot{u}_r) = \frac{1}{h}(S_{r,r+1} - S_{r+1,r}) \quad (2)$$

$$\dot{T}_{r+1,r} = \frac{N}{6}(2\dddot{u}_{r+1} + \dddot{u}_r) - \frac{1}{h}(S_{r,r+1} - S_{r+1,r}) \quad (3)$$

$$S_{r,r+1} = \frac{N}{h^2}(v_{r+1} - v_r) + \frac{Gt}{2}(\dot{u}_{r+1} - \dot{u}_r) + \frac{Gth}{6}(2\ddot{v}_r + \ddot{v}_{r+1}) \quad (4)$$

$$S_{r+1,r} = \frac{N}{h^2}(v_{r+1} - v_r) - \frac{Gt}{2}(\dot{u}_{r+1} - \dot{u}_r) - \frac{Gth}{6}(2\ddot{v}_{r+1} + \ddot{v}_r) \quad (5)$$

$$M_{r,r+1} = 2K(2\theta_r + \theta_{r+1} - 3\Delta w_r/h) \quad (6)$$

$$M_{r+1,r} = 2K(2\theta_{r+1} + \theta_r - 3\Delta w_r/h) \quad (7)$$

$$X_{r,r+1} = X_{r+1,r} = -\frac{6K}{h}(\theta_r + \theta_{r+1} - 2\Delta w_r/h) \quad (8)$$

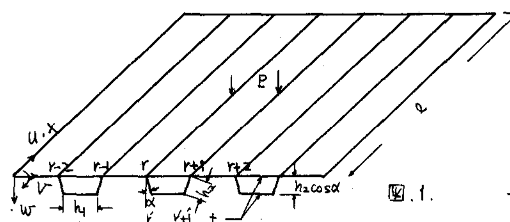

図.1.

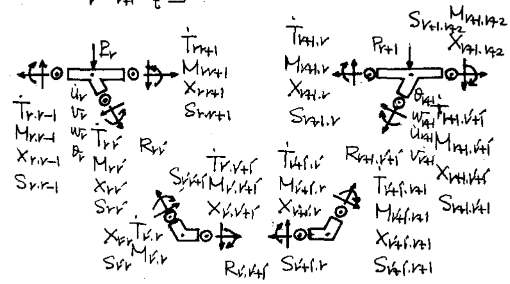

図.2.

ここで $N = Eth\ (\nu = 0)$, $K = \frac{Et^3}{12h}$, $\dot{f} = \frac{df}{dx}$,

$\Delta w_r = w_{r+1} - w_r$。他の要素についても同様の式を適用し，各節点でつりあいをとり，16本の式を得る。（図2参照）さらに部材回転角 $R_{r'r'}$, $R_{r+1,r+1'}$, $R_{r',r+1'}$ の3個の未知数について，2本の角方程式と1本の層方程式を求め，節点 r に関するつりあい式と節点 $r+1$ に関するつりあい式の和と差をつくって，さらに縦リブの下側 r', $r+1'$ に関する未知数と部材回転角を消去すれば，$\Delta v_r = 0$ を考慮して，次の7本の基本式を得る。これらを，橋軸方向にフーリエ変換し，橋軸直角方向に和分変換[13)]して各点の変形量が求められる。

$$2K(\Delta_r^2\nabla\theta_{r-1} + 6\nabla\theta_r) + (4K_2 - 12K_2\alpha_2 + 2K_2\gamma_1 - 12K_2\alpha_1\gamma_1)\nabla\theta_r + (2K_2\gamma_2 - 12K_2\alpha_1\gamma_2 - 12K_2\alpha_3 - \frac{24K}{h})\Delta w_r - \frac{6K}{h}\Delta_r^2\Delta w_{r-1} = 0 \quad (9);$$

$$2K(\Delta_r^2\Delta\theta_{r-1} + 6\Delta\theta_r) - \frac{6K}{h}\Delta_r^2\nabla w_{r-1} + 4K_2\frac{2K_1 + 3K_2}{2K_1 + 4K_2}\Delta\theta_r = 0 \quad (10);$$

$$\frac{Nh_2}{6}(\Delta_r^2\nabla\dddot{u}_{r-1} + 6\nabla\dddot{u}_r) + \frac{Gth_2}{2}\Delta_r\nabla\ddot{v}_r + \frac{Gth_2}{h}\Delta_r^2\nabla\dot{u}_{r-1} + \frac{N_2h_2}{2}\nabla\dddot{u}_r - \frac{N_2h_2^2}{6}\nabla\ddddot{w}_r + \frac{6K}{h\cos\alpha}(\Delta_r^2\Delta\theta_{r-1} + 4\Delta\theta_r) - \frac{12K}{h^2\cos\alpha}\Delta_r^2\nabla w_{r-1} = \frac{\nabla P_r}{\cos\alpha} \quad (11);$$

$$\frac{Nh_2}{6}(\Delta_r^2\Delta\dddot{u}_{r-1} + 6\Delta\dddot{u}_r) + \frac{Gth_2}{2}\Delta_r^2\nabla\ddot{v}_{r-1} + \frac{Gth_2}{h}\Delta_r^2\Delta\dot{u}_{r-1} + \frac{N_2h_2}{2}\Delta\dddot{u}_r - \frac{N_2h_2^2}{6}\Delta\ddddot{w}_r + \frac{6K}{h\cos\alpha}(\Delta_r^2\nabla\theta_{r-1} - \frac{2}{h}\Delta_r^2\Delta w_{r-1}) + \frac{12K_1}{h_1\cos\alpha}(\gamma_1 - 2\beta_1\gamma_1 - 2\beta_2)\nabla\theta_r + \frac{12K_1}{h_1\cos\alpha}(\gamma_2 - 2\beta_1\gamma_2 - 2\beta_3)\Delta w_r = \frac{\Delta P_r}{\cos\alpha} \quad (12);$$

$$\frac{N}{h^2}\Delta_r^2\nabla v_{r-1} + \frac{Gt}{2}\Delta_r\nabla\dot{u}_r + \frac{Gth}{6}(\Delta_r^2\nabla\ddot{v}_{r-1} + 6\nabla\ddot{v}_r) - \frac{6K}{h}\tan\alpha\cdot\Delta_r^2\nabla\theta_{r-1} + \frac{12K}{h^2}\tan\alpha\cdot\Delta_r^2\Delta w_{r-1} + \frac{6K_2}{h_2}\sec\alpha(1 + \gamma_1 - 4\alpha_1\gamma_1 - 4\alpha_2)\nabla\theta_r + \frac{6K_2}{h_2}\sec\alpha(\gamma_2 - 4\alpha_1\gamma_2 - 4\alpha_3)\Delta w_r = -\tan\alpha\cdot\Delta P_r \quad (13)$$

$$\frac{Nh_2}{6}(\Delta_r^2\nabla\dddot{u}_{r-1}+6\nabla\dddot{u}_r)+\frac{Gth_2}{2}\bar{\Delta}_r\nabla\ddot{v}_r+\frac{Gth_2}{h}\Delta_r^2\nabla\dot{u}_{r-1}+(N_2+\frac{N_1}{2})h_2\nabla\dddot{u}_r-(N_2+N_1)\frac{h_2^2}{2}\nabla\ddddot{w}_r=0 \quad (14)$$

$$\frac{Nh_2}{6}(\Delta_r^2\Delta\dddot{u}_{r-1}+6\Delta\dddot{u}_r)+\frac{Gth_2}{2}\Delta_r^2\nabla\ddot{v}_{r-1}+\frac{Gth_2}{h}\Delta_r^2\Delta\dot{u}_{r-1}+(N_2+\frac{N_1}{6})h_2\Delta\dddot{u}_r-(\frac{N_2}{2}+\frac{N_1}{6})h_2^2\Delta\ddddot{w}_r=0 \quad (15)$$

ただし $K_2=\frac{Et^3}{12h_2}$, $K_1=\frac{Et^3}{12h_1}$, $\alpha_1=(\frac{6K_2}{h_2}-\frac{12K_1}{h_1}\sin\alpha)/\bar{K}_1$,

$\alpha_2=24K_1\sin\alpha/h_1^2\bar{K}_1$, $\alpha_3=24K_1\sin\alpha/h_1^2\bar{K}_1$, $\bar{K}_1=\frac{24K_2}{h_2}+\frac{48K_1h_2\sin^2\alpha}{h_1^2}$,

$\beta_1=-2h_2\sin\alpha(\frac{6K_2}{h_2}-\frac{12K_1}{h_1}\sin\alpha)/h_1\bar{K}_1$, $\beta_2=-12K_2\sin\alpha/h_1\bar{K}_1$,

$\beta_3=\frac{1}{h_1}-\frac{2h_2\sin\alpha}{h_1\bar{K}_1}\times\frac{24K_1\sin\alpha}{h_1^2}$; $\gamma_0=12K_1\beta_1+12K_2\alpha_1-6K_1-4K_2$,

$\gamma_1=(2K_2-12K_1\beta_2-12K_2\alpha_2)/\gamma_0$, $\gamma_2=-(2(K_1\beta_3+K_2\alpha_3)/\gamma_0$,

$\Delta_x^2\nabla f(x-1)=\Delta_x^2 f(x)+\Delta_x^2 f(x-1)$, $\bar{\Delta}_x\nabla f(x)=\bar{\Delta}_x f(x+1)+\bar{\Delta}_x f(x)$,

$\bar{\Delta}_x f(x)=f(x+1)-f(x-1)$, $N_1=Eth_1$, $N_2=Eth_2$.

3. 数値計算と考察.

$E=2.1\times10^6$ kg/cm², $\nu=0.0$, $G=8.1\times10^5$ kg/cm²,
$l=150$ cm, $t=0.1$ cm, $h=10$ cm, $h_2=8.06$ cm,
$h_1=8$ cm, $\alpha=7.12°$, 縦リブの数 5本,
中央2点集中荷重 $\Sigma P=1$ t.

鋼床版の舗装の破壊の原因として，たわみ曲率の大きい部分に多いこと，縦リブとデッキプレートの取付部の剪断力の差などがあげられているが，[1)] その一例として図5のデッキプレートの曲げモーメントでは荷重点のとなりでは，荷重点の3倍近くの曲げモーメントが生じていることからわかる。

フーリエ級数は10項とっているが，荷重点の応力についてはさらに項数が必要である。数値計算の結果の絶対値についての妥当性は，同程度の閉縦リブ断面についての計算結果などとの比較から信頼性を得た。最大たわみが等しくなるような集中荷重を受ける等方性版の厚さを求めた所，1.42 cm となり，約縦リブ高さの 1/5 となった。

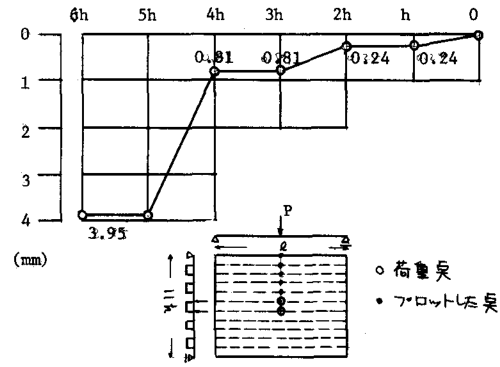

図3. たわみ w の橋軸直角方向の減衰

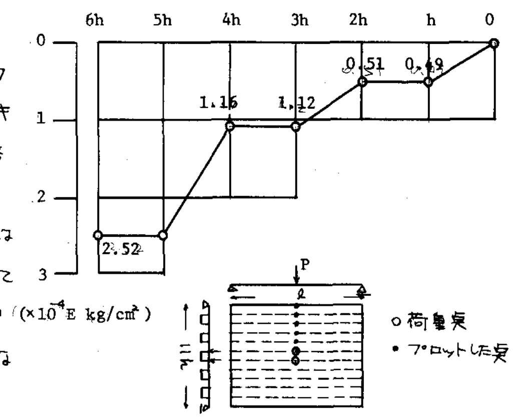

図4. デッキプレート内橋軸方向応力 $\sigma_x=E\dot{u}$ の橋軸直角方向の減衰.

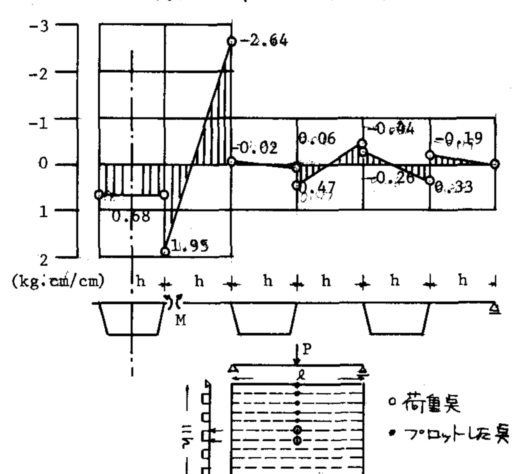

図5. 縦リブとデッキプレートの接合点における橋軸直角方向曲げモーメントの変化

参考文献

1) 城ケ島大橋設計計算書，技報堂 (1961)
2) 山田，大宮司：土木学会論文集 第233号 (1975)
3) 山田，大宮司：橋梁と基礎，No.5 (1974)
4) 国広，藤原：土木研究所報告 137号の1 (1969)
5) 渡辺，林川，高久：土木学会年次学術講演集 I-128 (1974)
6) 渡辺，佐藤，林川：土木学会北海道支部論文集 (1974)
7) 渡辺昇：格子げたの理論と計算，技報堂 (1966)
8) 尾崎訓：土木学会論文集 第179号 (1970)
9) 奥村，鈴木：土木学会論文集 第154号 (1968)
10) 奥村，坂井：土木学会論文集 第209号 (1973)
11) Y.K.Cheung：A.S.C.E. ST.12 (1969)
12) 能町，尾崎，大島，佐藤：土木学会北海道支部論文集 (1971)
13) Nomachi, Matsuoka：Proc. of the 20th. J.N.C.A.M. (1970)