

トラスラーメンをダイヤフラムとする 箱形断面の特性について

正員 能 町 純 雄*

正員 ○松 岡 健 一**

正員 小 針 憲 司***

はじめに

箱桁は、その断面が変形しないように、多くのダイヤフラムで補強されているが、細長い形断面の場合、ダイヤフラムをどのような形式にするかということは、落論のあるところであろう。

ダイヤフラムにトラスラーメンを用いた箱桁の実例は、橋梁についてはあまり多くはないが、ここではこの形式について、1) ラーメンとトラスの結合はピン結合である。2) ラーメンの軸方向変形は無視する。3) ダイヤフラムは橋軸方向に連続的に取付けられている。という仮定をし、変位せん断方程式を適用して解析を行なった。

1. 変位せん断公式

図-1に示す折板要素の変位せん断公式は

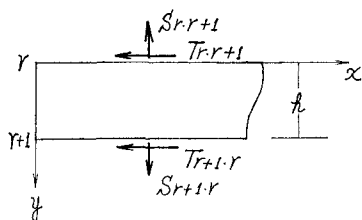


図-1

$$T_{r,r+1} = N(2\bar{u}_r + \bar{u}_{r+1}) + (\bar{S}_{r,r+1} - \bar{S}_{r+1,r})/h \quad (1)$$

$$T_{r+1,r} = N(\bar{u}_r + 2\bar{u}_{r+1}) + (\bar{S}_{r+1,r} - \bar{S}_{r,r+1})/h \quad (2)$$

$$G\lambda t \bar{v}_{r,r+1} = Gt(\bar{u}_r - \bar{u}_{r+1}) + S_{r,r+1} - S_{r+1,r} \quad (3)$$

$$G\lambda t \bar{v}_{r+1,r} = Gt(\bar{u}_{r+1} - \bar{u}_r) + S_{r+1,r} - S_{r,r+1} \quad (4)$$

上式中、 u, v はそれぞれ x, y を方向の変位、 T, S は、せん断力および法線力である。また t, h は折板要素の厚さおよび幅であり、 $N = Eht/6(1-\nu^2)$ 、 $\bar{u}, \bar{S}$ は、それぞれ x についての微分と積分を表わす。

2. フーリエ定和分変換公式

関数 $f(x)$ のフーリエ定和分変換を次のように記す。

$$S_i[f(x)] = \sum_{x=1}^{n-1} f(x) \sin \frac{\pi i}{n} x \quad (5)$$

$$H_i \left[f \left(x + \frac{1}{2} \right) \right] = \sum_{x=0}^{n-1} f \left(x + \frac{1}{2} \right) \sin \frac{\pi i}{n} \left(x + \frac{1}{2} \right) \quad (6)$$

この逆変換は

$$f(x) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} S_i[f(x)] \sin \frac{\pi i}{n} x \quad (7)$$

$$f \left(x + \frac{1}{2} \right) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} H_i \left[f \left(x + \frac{1}{2} \right) \right] \sin \frac{\pi i}{n} \left(x + \frac{1}{2} \right) + (-1)^x H_n \left[f \left(x + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (8)$$

また、上の公式を用いると

$$S_i[D^2 f(x-1)] = -\sin \frac{\pi i}{n} \left\{ (-1)^i f(n) - f(0) \right\} - D_i S_i[f(x)] \quad (9)$$

$$\sum_{x=1}^{n-2} D^2 f \left(x - \frac{1}{2} \right) \sin \frac{\pi i}{n} \left(x - \frac{1}{2} \right) = -\sin \frac{\pi i}{2n} \left\{ Df \left(\frac{1}{2} \right) + (-1)^i Df \left(n - \frac{3}{2} \right) \right\} + 2 \sin \frac{\pi i}{2n} \left\{ f \left(\frac{1}{2} \right) - (-1)^i f \left(n - \frac{1}{2} \right) \right\} - D_i H_i \left[f \left(x + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (10)$$

ただし、 $Df(x) = f(x+1) - f(x)$ 、 $Df \left(x - \frac{1}{2} \right) = f \left(x + \frac{1}{2} \right) - f \left(x - \frac{1}{2} \right)$ 、 $D_i = 2(1 - \cos \pi i/n)$ である。

3. 力のつり合式

トラスラーメンをダイヤフラムとする箱桁の断面を、図-2のようにモデル化する。

節点 r における力のつり合いは(図-3 参照)

$$T_{r,r+1} + T_{r,r-1} = 0 \quad (11)$$

$$X_{r,r+1} - X_{r,r-1} + (S_{r,r'+\frac{1}{2}} + S_{r,r'-\frac{1}{2}}) \cos \theta = -P_r \quad (12)$$

* 室蘭工業大学 教授 工博

** 室蘭工業大学 助教授 工修

*** 函館ドック KK 橋梁鉄構設計課

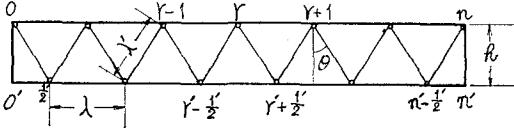


図-2

$$S_{r,r+1} - S_{r,r-1} + (S_{r,r'+\frac{1}{2}} - S_{r,r'-\frac{1}{2}}) \sin \theta = 0 \quad (13)$$

節点 $r' + \frac{1}{2}$ では

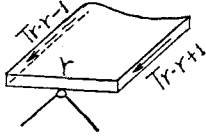


図-3 a

$$S_{r,r'+\frac{1}{2}} = (EA/\lambda') [(v_{r'+\frac{1}{2}} - v_r) \sin \theta + (w_{r'+\frac{1}{2}} - w_r) \cos \theta] \quad (17)$$

$$S_{r,r'-\frac{1}{2}} = (EA/\lambda') [(v_{r'-\frac{1}{2}} - v_r) \sin \theta + (w_{r'-\frac{1}{2}} - w_r) \cos \theta] \quad (18)$$

$$X_{r,r+1} = X_{r+1,r} = (M_{r+1} - M_r)/\lambda \quad (19)$$

$$M_{r-1} + 4M_r + M_{r+1} = (6EI/\lambda^2) \Delta^2 w_{r-1} \quad (20)$$

また, $\frac{1}{2}$ 点では

$$T_{\frac{1}{2},r'+\frac{1}{2}} + T_{\frac{1}{2},r'} = 0 \quad (21)$$

$$X_{\frac{1}{2},r'+\frac{1}{2}} - X_{\frac{1}{2},r'} - (S_{0,\frac{1}{2}} + S_{1,\frac{1}{2}}) \cos \theta = 0 \quad (22)$$

$$S_{\frac{1}{2},r'+\frac{1}{2}} - S_{\frac{1}{2},r'} + (S_{1,\frac{1}{2}} - S_{0,\frac{1}{2}}) \sin \theta = 0 \quad (23)$$

(11)~(16) 式に, (1)~(4) 式および (17)~(19) 式を代入すると

$$N(6\ddot{u}_r + \Delta^2 \ddot{u}_{r-1}) + \frac{Gt}{\lambda} \Delta^2 \dot{u}_{r-1} = 0 \quad (24)$$

$$N'(6\ddot{u}_{r'+\frac{1}{2}} + \Delta^2 \ddot{u}_{r'-\frac{1}{2}}) + \frac{Gt'}{\lambda} \Delta^2 \dot{u}_{r'-\frac{1}{2}} = 0 \quad (25)$$

$$\left\{ N \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 (6 - D_\ell) + \frac{Gt}{\lambda} D_\ell \right\} \mathbf{S}_\ell [\dot{\mathbf{u}}_{r,m}] = \left\{ \frac{Gt}{\lambda} - N \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right\} \sin \frac{\pi \ell}{n} \left\{ \dot{\mathbf{u}}_{0,m} - (-1)^\ell \mathbf{u}_{n,m} \right\} \quad (30)$$

$$\left\{ N' \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 (6 - D_\ell) + \frac{Gt'}{\lambda} D_\ell \right\} \mathbf{H}_\ell [\dot{\mathbf{u}}_{r'+\frac{1}{2},m}] = \left\{ \frac{2Gt'}{\lambda} - \frac{N'}{2} \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \right\} \sin \frac{\pi \ell}{2n} \left\{ \dot{\mathbf{u}}_{0',m} - (-1)^\ell \dot{\mathbf{u}}_{n',m} \right\} \quad (31)$$

$$\frac{1}{\lambda} D_\ell \mathbf{S}_\ell [M_r] + \frac{1}{\lambda} \sin \frac{\pi \ell}{n} \left\{ (-1)^\ell M_n - M_0 \right\} - \frac{2EA}{\lambda'} \cos^2 \theta \left\{ \cos \frac{\pi \ell}{2n} \mathbf{H}_\ell^* [w_{r'+\frac{1}{2}}] - \mathbf{S}_\ell [w_r] \right\} = P_\ell \quad (32)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\lambda} D_\ell \mathbf{H}_\ell [M_{r'+\frac{1}{2}}] - \frac{2EA}{\lambda'^2} \cos^2 \theta \cos \frac{\pi \ell}{2n} \mathbf{S}_\ell [w_r] \\ & + \frac{2EA}{\lambda'} \cos^2 \theta \mathbf{H}_\ell [w_{r'+\frac{1}{2}}] + \sin \frac{\pi \ell}{2n} \left[2 \left\{ M_{0'} - (-1)^\ell M_{n'} \right\} + \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta \left\{ w_0 - (-1)^\ell w_n \right\} \right] \end{aligned} \quad (33)$$

$$(6 - D_\ell) \mathbf{S}_\ell [M_r] - \frac{6EI}{\lambda^2} D_\ell \mathbf{S}_\ell [w_r] = \sin \frac{\pi \ell}{n} \left[(-1)^\ell M_n - M_0 + \frac{6EI}{\lambda^2} \left\{ (-1)^\ell w_n - w_0 \right\} \right] \quad (34)$$

$$(6 - D_\ell) \mathbf{H}_\ell [M_{r'+\frac{1}{2}}] - \frac{6EI'}{\lambda'^2} D_\ell \mathbf{H}_\ell [w_{r'+\frac{1}{2}}] = \sin \frac{\pi \ell}{2n} \left[\frac{1}{2} \left\{ (-1)^\ell M_n - M_{0'} \right\} + \frac{12EI'}{\lambda'^2} \left\{ w_0 - (-1)^\ell w_n \right\} \right] \quad (35)$$

ここで

$$\dot{\mathbf{u}}_r = \frac{4}{nl} \sum_{\ell=1}^{n-1} \sum_{m=1}^{\infty} \mathbf{S}_\ell [\dot{\mathbf{u}}_{r,m}] \sin \frac{m\pi}{l} x \sin \frac{\pi \ell}{n} r \quad (36)$$

$$T_{r'+\frac{1}{2},r'+\frac{1}{2}} + T_{r'+\frac{1}{2},r'-\frac{1}{2}} = 0 \quad (14)$$

$$X_{r'+\frac{1}{2},r'+\frac{1}{2}} - X_{r'+\frac{1}{2},r'-\frac{1}{2}} - (S_{r',r'+\frac{1}{2}} + S_{r'+1,r'+\frac{1}{2}}) \cos \theta = 0 \quad (15)$$

$$S_{r'+\frac{1}{2},r'+\frac{1}{2}} - S_{r'+\frac{1}{2},r'-\frac{1}{2}} + (S_{r'+1,r'+\frac{1}{2}} - S_{r',r'+\frac{1}{2}}) \sin \theta = 0 \quad (16)$$

ここで, 節点における Z 方向変位を w , x 軸回りの曲げモーメントを M とし, トラスの間隔を λ , 斜材の長さを λ' , 断面積を A , ラーメン部材の上板, 下板, 腹板の厚さおよび断面 2 次モーメントを I, I', I_0 とすると

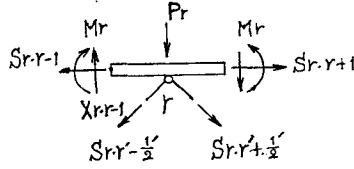


図-3 b

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\lambda} \Delta^2 M_{r-1} + \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta (w_{r'+\frac{1}{2}} - 2w_r + w_{r'-\frac{1}{2}}) \\ & = -P_r \end{aligned} \quad (26)$$

$$\frac{1}{\lambda} \Delta^2 M_{r'-\frac{1}{2}} + \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta (w_{r+1} - 2w_{r'+\frac{1}{2}} + w_r) = 0 \quad (27)$$

ただし, ここでは 2) の仮定を用いて $v_0, v_1, \dots, v_n = v$, $v_{0'}, v_{\frac{1}{2}'}, \dots, v_{n'-\frac{1}{2}'}, v_{n'} = v'$ としている。

(20) 式から

$$6M_r + \Delta^2 M_{r-1} + \frac{6EI}{\lambda^2} \Delta^2 w_{r-1} = 0 \quad (28)$$

$$6M_{r'-\frac{1}{2}} + \Delta^2 M_{r'-\frac{1}{2}} + \frac{6EI'}{\lambda'^2} \Delta^2 w_{r'-\frac{1}{2}} = 0 \quad (29)$$

4. u, w, M の和分変換式

(24)~(29) 式に (5)~(8) 式を適用して, (21), (22) の関係を用いると

$$\dot{u}_{r'+\frac{1}{2}'} = \frac{4}{n \cdot l} \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \sum_{\ell=1}^{n-1} \mathbf{H}_{\ell} [\dot{u}_{r'+\frac{1}{2}',m}] \sin \frac{\pi \ell}{n} \left(r + \frac{1}{2} \right) \right. \\ \left. + (-1)^r \frac{1}{2} \mathbf{H}_n [\dot{u}_{r'+\frac{1}{2}',m}] \right\} \sin \frac{m\pi}{l} x \quad (37)$$

$$w_r = \frac{2}{n} \sum_{\ell=1}^{n-1} \mathbf{S}_{\ell} [w_r] \sin \frac{\pi \ell}{n} r \quad (38)$$

$$w_{r'+\frac{1}{2}'} = \frac{2}{n} \sum_{\ell=1}^{n-1} \mathbf{H}_{\ell} [w_{r'+\frac{1}{2}'}] \sin \frac{\pi \ell}{n} \left(r' + \frac{1}{2} \right) \\ + \frac{(-1)^r}{n} \mathbf{H}_n [w_{r'+\frac{1}{2}'}] \quad (39)$$

$$M_r = \frac{2}{n} \sum_{\ell=1}^{n-1} \mathbf{S}_{\ell} [M_r] \sin \frac{\pi \ell}{n} r \quad (40)$$

$$M_{r'+\frac{1}{2}'} = \frac{2}{n} \sum_{\ell=1}^{n-1} \mathbf{H}_{\ell} [M_{r'+\frac{1}{2}'}] \sin \frac{\pi \ell}{n} \left(r' + \frac{1}{2} \right) \\ + \frac{(-1)^r}{n} \mathbf{H}_n [M_{r'+\frac{1}{2}'}] \quad (41)$$

また上式中、 $\dot{u}_{0,m}$, w_0 , M_0 , ... 等は、境界条件より決まるものである。

5. 境界条件

境界における力のつり合を図-4に示す。したがって境界条件式は

0点で

$$T_{0,1} + T_{0,0'} = 0 \quad (42)$$

$$X_{0,1} + S_{0,0'} + S_{0,\frac{1}{2}} \cos \theta = -P_0 \quad (43)$$

$$S_{0,1} - X_{0,0'} + S_{0,\frac{1}{2}} \sin \theta = 0 \quad (44)$$

$$-\frac{h}{I_0} M_0 + 2 \left(\frac{h}{I_0} + \frac{\lambda}{2I'} \right) M_{0'} + \frac{\lambda}{2I'} M_{\frac{1}{2}'} + 6E \left\{ \frac{2}{\lambda} (w_{\frac{1}{2}'} - w_{0'}) + \frac{v-v'}{h} \right\} = 0 \quad (49)$$

(42), (46) 式に、(1)~(4) 式および (17)~(19) 式を代入する。

$$N_0 (2\ddot{u}_0 + \ddot{u}_{0'}) + Gt_0 \ddot{w}_0 - \frac{Gt_0}{h} (\dot{u}_0 - \dot{u}_{0'}) + N (2\ddot{u}_0 + \ddot{u}_1) + Gt \ddot{v} - \frac{Gt}{\lambda} (\dot{u}_0 - \dot{u}_1) = 0 \quad (50)$$

$$N_0 (2\ddot{u}_{0'} + \ddot{u}_0) - Gt_0 \ddot{w}_0 + \frac{Gt_0}{h} (\dot{u}_0 - \dot{u}_{0'}) + \frac{N'}{2} (2\ddot{u}_{0'} + \ddot{u}_{\frac{1}{2}'} + Gt' \ddot{v}' - \frac{2}{\lambda} Gt' (\dot{u}_{0'} - \dot{u}_{\frac{1}{2}'})) = 0 \quad (51)$$

上式をフーリエで変換すると

$$-\left\{ 2(N+N_0) \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \left(\frac{Gt_0}{h} + \frac{Gt}{\lambda} \right) \right\} \dot{u}_{0,m} \\ - \left\{ N_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - \frac{Gt_0}{h} \right\} \dot{u}_{0',m} - \left\{ N \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - \frac{Gt}{\lambda} \right\} \dot{u}_{1,m} = Gt_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 w_{0,m} + Gt \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 v \quad (52)$$

$$\left\{ N_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{Gt_0}{h} \right\} \dot{u}_{0,m} + \left\{ (2N_0 + N') \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{Gt_0}{h} + \frac{2}{\lambda} Gt' \right\} \dot{u}_{0',m} \\ + \left\{ \frac{N'}{2} \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - \frac{2}{\lambda} Gt' \right\} \dot{u}_{\frac{1}{2}',m} = Gt_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 w_{0,m} - Gt' \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 v_m' \quad (53)$$

(43), (47) 式から

$$\left\{ Gt_0 h \ddot{w}_0 - \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta w_0 \right\} - \frac{EA}{\lambda'} \sin \theta \cos \theta (v-v') \\ - Gt_0 (\dot{u}_0 - \dot{u}_{0'}) + \frac{1}{\lambda} (M_1 - M_0 + 2M_{\frac{1}{2}'} - 2M_{0'}) + \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta w_{\frac{1}{2}'} = -P_0 \quad (54)$$

(13), (44), (3), (4) 式から

$$\sum_{r=0}^{n-1} (\mathbf{S}_{r,r+1} - \mathbf{S}_{r+1,r}) = \sum_{r=1}^{n-1} (\mathbf{S}_{r,r+1} - \mathbf{S}_{r,r-1}) + \mathbf{S}_{0,1} - \mathbf{S}_{n,n-1}$$

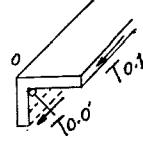


図-4 a

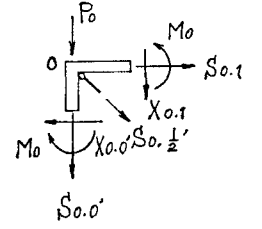


図-4 b

変位と曲げモーメントの関係は

$$\frac{\lambda}{I} M_1 + 2 \left(\frac{\lambda}{I} + \frac{h}{I_0} \right) M_0 - \frac{h}{I_0} M_{0'} \\ + 6E \left(\frac{w_1 - w_0}{\lambda} - \frac{v - v'}{h} \right) = 0 \quad (45)$$

0'点で

$$T_{0',0} + T_{0',\frac{1}{2}'} = 0 \quad (46)$$

$$X_{0',\frac{1}{2}'} - S_{0',0} = 0 \quad (47)$$

$$X_{0',0} + S_{0',\frac{1}{2}'} = 0 \quad (48)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{EA}{\lambda'} \cos \theta \sin \theta (\tau_0 - \tau_n) + \frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta (v - v') + \frac{1}{h} (M_0 + M_0' - M_n - M_n') = nGt \lambda \ddot{v} + Gt (\dot{u}_n - \dot{u}_0) \\
&nGt \lambda \ddot{v} - \frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta (v - v') - \frac{EA}{\lambda'} \cos \theta \sin \theta (\tau_0 - \tau_n) - \frac{1}{h} (M_0 + M_0' - M_n - M_n') - Gt (\dot{u}_n - \dot{u}_0)
\end{aligned} \quad (55)$$

(16), (23), (48) 式から同様に

$$nGt' \lambda \ddot{v}' + \frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta (v - v') - \frac{EA}{\lambda'} \sin \theta \cos \theta (\tau_n - \tau_0) + \frac{1}{h} (M_0 + M_0' - M_n - M_n') + Gt' (\dot{u}_{n'} - \dot{u}_{0'}) = 0 \quad (56)$$

(54)~(56) 式をフーリエ変換すると

$$\begin{aligned}
&\left\{ Gt_0 h \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta \right\} w_{0,m} + \frac{EA}{\lambda'} \sin \theta \cos \theta (v_m - v_{m'}) - Gt_0 (\dot{u}_{0,m} - \dot{u}_{0',m}) \\
&+ \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta w_{\frac{1}{2},m} + \frac{1}{\lambda} (M_{1,m} - M_{0,m} + 2M_{\frac{1}{2},m} - 2M_{0',m}) = -P_{0,m}
\end{aligned} \quad (57)$$

$$\begin{aligned}
&\left\{ nGt \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta \right\} v_m - \frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta v_{m'} \\
&+ \frac{EA}{\lambda'} \cos \theta \sin \theta (w_{0,m} - w_{n,m}) + \frac{1}{h} (M_{0,m} + M_{0',m} - M_{n,m} - M_{n',m}) + Gt (\dot{u}_{n,m} - \dot{u}_{0,m}) = 0
\end{aligned} \quad (58)$$

$$\begin{aligned}
&\frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta v_m - \left\{ nGt' \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{2nEA}{\lambda'} \sin^2 \theta \right\} v_{m'} \\
&- \frac{EA}{\lambda'} \sin \theta \cos \theta (w_{n,m} - w_{0,m}) + \frac{1}{h} (M_{0,m} + M_{0',m} - M_{n,m} - M_{n',m}) + Gt' (\dot{u}_{n',m} - \dot{u}_{0',m}) = 0
\end{aligned} \quad (59)$$

節点 n, n' についても同様に

$$\begin{aligned}
&-\left\{ 2(N+N_0) \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{Gt_0}{h} + \frac{Gt}{\lambda} \right\} \dot{u}_{n,m} \\
&-\left\{ N_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - \frac{Gt_0}{h} \right\} \dot{u}_{n',m} - \left\{ N \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - \frac{Gt}{\lambda} \right\} \dot{u}_{n-1,m} = Gt_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 w_{n,m} + Gt \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 \dot{u}_m
\end{aligned} \quad (60)$$

$$\begin{aligned}
&\left\{ N_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{Gt_0}{h} \right\} \dot{u}_{n,m} + \left\{ (2N_0 + N') \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{Gt_0}{h} + \frac{2}{\lambda} Gt' \right\} \dot{u}_{n',m} \\
&+ \left\{ \frac{N'}{2} \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 - \frac{2}{\lambda} Gt' \right\} \dot{u}_{n'-\frac{1}{2},n} = Gt_0 \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 w_{n,m} - Gt' \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 v_{m'}
\end{aligned} \quad (61)$$

$$\begin{aligned}
&\left\{ Gt_0 h \left(\frac{m\pi}{l} \right)^2 + \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta \right\} w_{n,m} - \frac{EA}{\lambda'} \sin \theta \cos \theta (v_m - v_{m'}) + Gt_0 (\dot{u}_{n,m} - \dot{u}_{n',m}) \\
&+ \frac{1}{\lambda} (M_n - M_{n-1} + 2M_{n'} - 2M_{n'-\frac{1}{2}}) - \frac{EA}{\lambda'} \cos^2 \theta w_{n'-\frac{1}{2},m} = -P_{n,m}
\end{aligned} \quad (62)$$

$$\frac{\lambda}{I} M_{n-1} + 2 \left(\frac{\lambda}{I} + \frac{h}{I_0} \right) M_n - \frac{h}{I_0} M_{n'} + \frac{6E}{h} (v - v') - \frac{6E}{\lambda} (\tau_n - \tau_{n-1}) = 0 \quad (63)$$

$$\frac{\lambda}{2I'} M_{n'-\frac{1}{2}} + 2 \left(\frac{h}{I_0} + \frac{\lambda}{2I'} \right) M_{n'} - \frac{h}{I_0} M_n + \frac{6E}{h} (v - v') - \frac{6E}{\lambda} (\tau_n - \tau_{n'-\frac{1}{2}}) = 0 \quad (64)$$

ここで

$$w_{0,m} = \int_0^l w_0 \sin \frac{m\pi}{l} x dx,$$

$$w_{n,m} = \int_0^l w_n \sin \frac{m\pi}{l} x dx$$

$$w_{1,m} = \frac{2}{n} \sum_{\xi=1}^{n-1} S_\xi [w_{r,m}] \sin \frac{\pi \xi}{n}$$

$$w_{n-1,m} = -\frac{2}{n} \sum_{\xi=1}^{n-1} (-1)^\xi S_\xi [w_{r,m}] \sin \frac{\pi \xi}{n}$$

$$w_{\frac{1}{2},m} = \frac{2}{n} \sum_{\xi=1}^{n-1} H_\xi [w_{r'+\frac{1}{2},m}] \sin \frac{\pi \xi}{2n}$$

$$+ \frac{1}{n} H_n [w_{r'+\frac{1}{2},m}]$$

$$w_{n'-\frac{1}{2},m} = -\frac{2}{n} \sum_{\xi=1}^{n-1} (-1)^\xi H_\xi [w_{r'+\frac{1}{2},m}] \sin \frac{\pi \xi}{2n}$$

$$- \frac{(-1)^n}{n} H_n [w_{r'+\frac{1}{2},m}]$$

$$M_{0,m}, M_{0',m}, M_{n,m}, M_{n',m}, M_{1,m}, M_{n-1,m}, M_{\frac{1}{2},m},$$

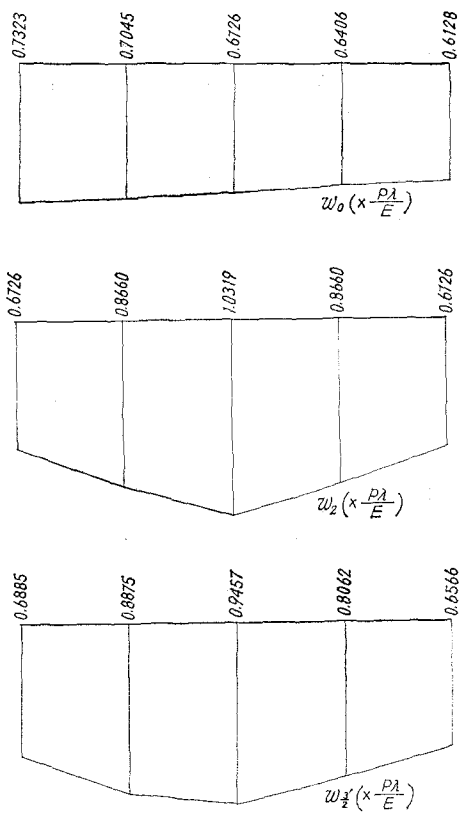
$M_{n'-\frac{1}{2}}, \dot{u}_{0,m}, \dot{u}_{0',m}, v_m, v_{m'},$ 等は同じように導かれる。

以上 (30)~(35) 式, (52), (53), (57)~(62) 式を解くことにより各点の変位等が得られる。

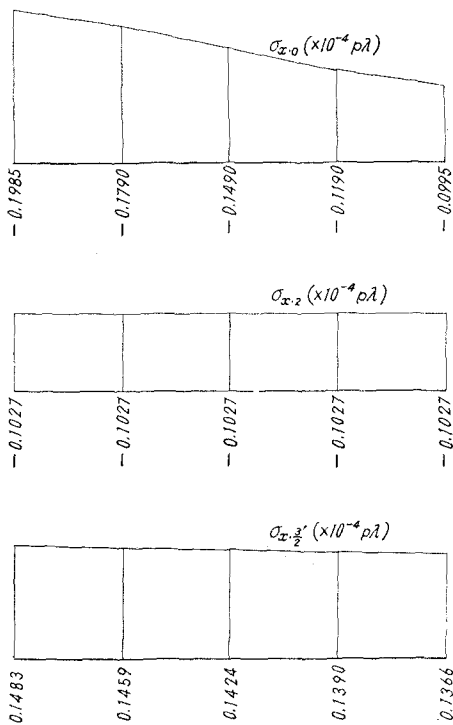
5. 数値計算例

数値計算例として、現在建設中である石狩河口橋の断面により、三径間連続斜張橋、支間 288 m をこれと眺みの等価な、支間 70 m の単純梁としたものの計算を行なった。

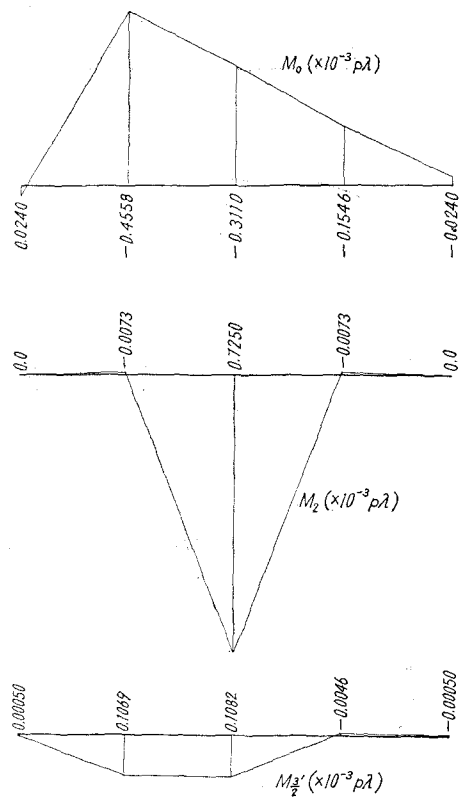
断面の数値は $n=4$, $t=2.12$ cm, $t'=1.5$ cm, $t_0=1$ cm, $\lambda=283.75$ cm, $h=193.4$ cm, $A=0.0666111$ cm² であり、その計算結果を図-5, 6, 7, 8 に示す。結果は一部しか示していないが、この場合、たわみ、曲げモーメント影響線等から、ダイヤフラムとして取付けたトラス部材はかなり良く荷重を分散させていることがわかる。



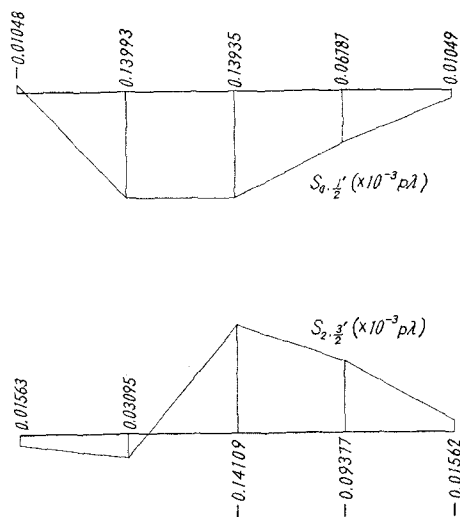
図—5 たわみ影響線図



図—6 σ_x 影響線図



図—7 曲げモーメント影響線図



図—8 斜材応力影響線図

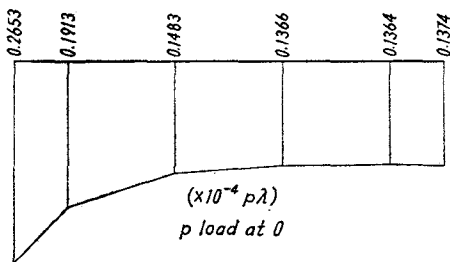


図-9a $\sigma_{x'}$ 分布図

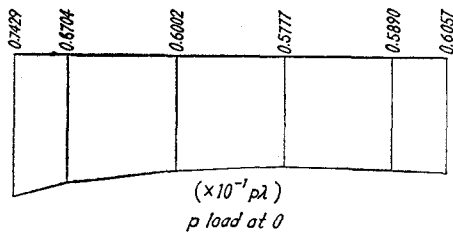


図-9b $\sigma_{x'}$ 分布図

また、腹板付近のフランジでは shear lag の影響ははきり出て来ており、とくに、集中荷重については当然のことながらかなり大きい値を示している (図-9 参照)。

6. 結 び

以上、複雑な構造のダイヤフラムをもつ箱桁について検討したが、この解析でも定和分変換を用いると、連立方程式の元数をへらすことが出来る。すなわち、トラスを n 等分点に取付けると一般には、 $(2n+1) \times 3 + 4$ 元の連立方程式となるが、ここでは定和分変換を行なうことにより、分割数にかかわらず 16 元連立方程式を解くことに帰結出来る。

この型のダイヤフラムの優劣について論ずるには、まだ

計算例も十分でなく、また他の型式との比較も行なっていないので、このことについては、また後の機会に発表する予定である。

参 考 文 献

- S. G. Nomachi: On Bending of Multi-Equi-Cell Plate, Memoirs of the Muroran Institute of Tech Vol. 6, No. 2, 1966.
- S. G. Nomochi: On Finite Fourier Sine Series with respect to Finite Differences. Memoirs of the Muroran Institute of Tech Vol. 5, No. 7, 1965.