I-33 隔壁で等区画に区切られた曲線箱桁の応力解析について

北海道開発局 正員 吉田紘一

1. まえがき

薄肉閉じ断面桁が捩り荷重を受ける場合，桁の断面形状が変化し，これがそり応力に大きな影響を与える事が知られている。一方，曲線桁の場合は単なる鉛直荷重によっても大きな捩り荷重を生じ，しかも曲げと捩れが連成して生じる。このような構造物では断面形状の変化がそり応力に与える影響は直線桁の場合よりさらに大きく表われる事が予想される。ここでは補剛ダイアフラムで等区画に区切られた薄肉曲線箱桁に鉛直荷重の作用している場合の応力解析を行なう。解析方法は曲線箱桁を「曲率のある帯板」と「扇形帯板」に分離し，それぞれに変位せん断公式[2,3]を適用して，隔壁位置でのそり応力の差分方程式を誘導する。

2. 基本公式

図-1，2のように座標 r，θ，z をとりそれぞれの方向の変位を u，v，w とする。又帯板に作用するせん断力，法線方向力を図のように定める。さらに θ 方向歪を $\epsilon = \dot{v} + u/r$ とし，θ の一度微分，一度積分を $\dot{\epsilon} = \partial\epsilon/\partial\theta$，$\bar{\epsilon} = \int \epsilon\, d\theta$ と書くと，変位せん断公式等は次のように書ける。

a). 曲率のある帯板：力のつり合式で $r\theta$ 方向のせん断力を無視すると

$$\left.\begin{aligned} T_{AB} &= \frac{Eth}{6}\frac{1}{r}(2\dot{\epsilon}_A + \dot{\epsilon}_B) + r\frac{\bar{S}^{AB} - \bar{S}^{BA}}{h} + C^{AB}_{\cdot} \\ T_{BA} &= \frac{Eth}{6}\frac{1}{r}(2\dot{\epsilon}_B + \dot{\epsilon}_A) + r\frac{\bar{S}^{BA} - \bar{S}^{AB}}{h} + C^{BA}_{\cdot} \end{aligned}\right\} \quad (A)$$

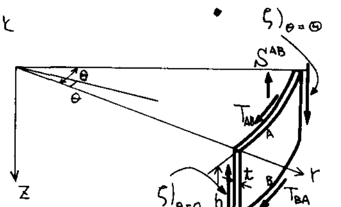


図-1

変位 w は

$$Gth\,\ddot{w}/r^2 = Gt\left\{\bar{\epsilon}_A - \bar{\epsilon}_B - (\bar{u}^A - \bar{u}^B)/r\right\} + \bar{S}^{AB} - \bar{S}^{BA} + hC^{AB}_{\cdot} \quad (B)$$

帯板の両端における深さ方向のせん断力 ς は力のつり合式 $\dot{q}_{\theta z}/r + \partial p_z/\partial z = 0$ を考慮して

$$\left.\begin{aligned} \varsigma_{\theta=0} &= \int_0^h q_{\theta z}\,dz = \int_0^h (-r\,\partial \bar{p}_z/\partial z)\,dz = r(\bar{S}^{AB}_0 - \bar{S}^{BA}_0) + hC^{AB} \\ \varsigma_{\theta=\Theta} &= r(\bar{S}^{AB}_\Theta - \bar{S}^{BA}_\Theta) + hC^{AB}_{\cdot} \end{aligned}\right\} \quad (C)$$

b). 扇形帯板：変位せん断公式は

$$\left.\begin{aligned} T_{AB} &= \frac{Etb}{6}\frac{1}{\rho_a}(2\dot{\epsilon}_A + \dot{\epsilon}_B) + Et\frac{\rho_b}{\rho_a}\frac{\bar{\epsilon}_A + \bar{\epsilon}_B}{2} + \frac{\rho_b}{\rho_a}\left(\frac{\rho_a\bar{S}^{AB} - \rho_b\bar{S}^{BA}}{b} + C^{AB}\right) \\ T_{BA} &= \frac{Etb}{6}\frac{1}{\rho_b}(2\dot{\epsilon}_B + \dot{\epsilon}_A) - Et\frac{\rho_a}{\rho_b}\frac{\bar{\epsilon}_A + \bar{\epsilon}_B}{2} + \frac{\rho_a}{\rho_b}\left(\frac{\rho_b\bar{S}^{BA} - \rho_a\bar{S}^{AB}}{b} - C^{AB}\right) \end{aligned}\right\} \quad (D)$$

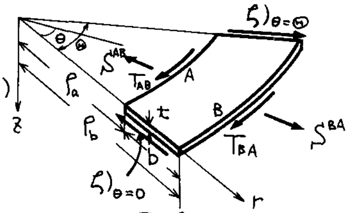


図-2

変位 u は

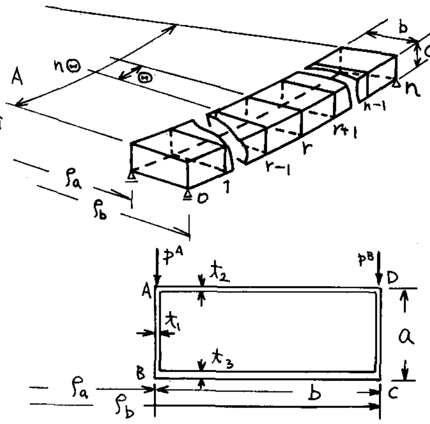
$$Gt\frac{\ddot{u} + u}{\rho} = Gt\frac{\bar{\epsilon}_A - \bar{\epsilon}_B}{b} + \frac{Et}{\rho}\frac{\rho_a}{\rho_b}\frac{\bar{\epsilon}_A + \bar{\epsilon}_B}{2} - \frac{\rho_b\bar{S}^{BA} - \rho_a\bar{S}^{AB}}{b} + C^{AB} \quad (E)$$

帯板の両端における深さ方向のせん断力 ς は，$\dot{q}_{r\theta} + \partial(rp_r)/\partial r - p_\theta = 0$ より

$$\left.\begin{aligned} \varsigma_{\theta=0} &= \int_{\rho_a}^{\rho_b} q_{r\theta}\,dr = -\int_{\rho_a}^{\rho_b}\partial(r\bar{p}_r)/\partial r\,dr + \int_{\rho_a}^{\rho_b}\bar{p}_\theta\,dr = \rho_a\bar{S}^{BA}_0 - \rho_b\bar{S}^{BA}_0 + bC^{AB} - \frac{Etb}{1-\nu^2}\frac{\bar{\epsilon}^A_0 + \bar{\epsilon}^B_0}{2} \\ \varsigma_{\theta=\Theta} &= \rho_a\bar{S}^{AB}_\Theta - \rho_b\bar{S}^{BA}_\Theta + \frac{Etb}{1-\nu^2}\frac{\bar{\epsilon}^A_\Theta + \bar{\epsilon}^B_\Theta}{2} \end{aligned}\right\} \quad (F)$$

3．一軸対断面箱桁

今，図－3のような断面形状の曲線箱桁を考え荷重は頂点AとBに作用しているものとすると，各頂点での力のつり合は



図－3.

鉛直方向

$$S^{AB}=-p^A,\ S^{DC}=-p^B,\ S^{BA}=S^{CD}=0. \qquad (1)$$

水平方向（側壁のθ方向力のr方向分力が作用する故）

$$\left.\begin{aligned} S^{AD}&=\frac{Eat_1}{6\rho_a}(2\epsilon^A+\epsilon^B), & S^{BC}&=\frac{Eat_1}{6\rho_a}(2\epsilon^B+\epsilon^A), \\ S^{CD}&=-\frac{Eat_1}{6\rho_b}(2\epsilon^C+\epsilon^D), & S^{DA}&=-\frac{Eat_1}{6\rho_b}(2\epsilon^D+\epsilon^C), \end{aligned}\right\}(2)$$

せん断力

$$T_{AB}+T_{AD}=0,\ T_{BA}+T_{BC}=0,\ T_{CB}+T_{CD}=0,\ T_{DC}+T_{DA}=0. \quad (3)$$

ϵ^oを曲げ歪，ϵ^wをそり歪とすると各頂点の歪は，軸力と水平方向の曲げが無い事より

$$\epsilon^A=\epsilon^o+\epsilon^w,\ \epsilon^B=-\alpha\epsilon^o-\beta\epsilon^w,\ \epsilon^C=-\alpha\epsilon^o+\beta\epsilon^w,\ \epsilon^D=\epsilon^o-\epsilon^w. \qquad (4)$$

ただし $\alpha=\dfrac{at_1+bt_2}{at_1+bt_3}$，$\beta=\dfrac{3at_1+bt_2}{3at_1+bt_3}$，

変位せん断公式（A），（D）に式（1）（2）の関係を適用し，式（3）に代入する．さらに式(4)の関係を用いると結局，せん断力のつり合式は次の二つの式に整理される。

$$\left.\begin{aligned} &\left\{\frac{Et_2b}{2}+\frac{Et_1a}{6}(2-\alpha)\right\}\left(\frac{\dot\epsilon^o}{\rho_a}+\frac{2\rho_b}{\rho_a b}\bar\epsilon^o\right)+\left\{\frac{Et_1a}{6}(2-\beta)+\frac{Et_2b}{6}\right\}\frac{\dot\epsilon^w}{\rho_a}-\rho_a\frac{\bar p^A}{a}+C^{AB}+\frac{\rho_b}{\rho_a}C^{AD}=0. \\ &\left\{\frac{Et_3b}{2}\alpha+\frac{Et_1a}{6}(2\alpha-1)\right\}\left(\frac{\dot\epsilon^o}{\rho_b}+\frac{2\rho_a}{\rho_b b}\bar\epsilon^o\right)-\left\{\frac{Et_1a}{6}(2\beta-1)+\frac{Et_3b}{6}\right\}\frac{\dot\epsilon^w}{\rho_b}-\rho_b\frac{\bar p^B}{a}+C^{CD}+\frac{\rho_a}{\rho_b}C^{BC}=0, \end{aligned}\right\}(5_{1,2})$$

上の二式より$\dot\epsilon^w$を消去して（6），$\dot\epsilon^o$を消去すると式（7）を得る。

$$K_o(\dot\epsilon^o+\bar\epsilon^o)-(\rho_a^2\bar p^A+\rho_b^2\bar p^B)/a+\rho_a(C^{AB}+C^{BC})+\rho_b(C^{AD}+C^{DC})=0. \qquad (6)$$

$$2\frac{\rho}{b}K_o\bar\epsilon^o+2K_2\dot\epsilon^w+(\rho_b^2p^B-\rho_a^2p^A)/a+\rho_a(C^{AB}-C^{BC})+\rho_b(C^{AD}-C^{DC})=0. \qquad (7)$$

上式中 $K_o=Et_2b+Et_1a(2-\alpha)/3$．　$K_2=\{Et_2b+Et_1a(2-\beta)\}/6$，$\rho=(\rho_a+\rho_b)/2$.

式（6）を一度微分して二度積分すると．

$$K_o(\epsilon^o+\bar{\bar\epsilon}^o)-(\rho_a\bar{\bar p}^A+\rho_b\bar{\bar p}^B)/a-K_o(\epsilon^o_{r-1}+\bar{\bar\epsilon}^o_{r-1})\frac{\Theta-\theta}{\Theta}-K_o(\epsilon^o_r+\epsilon^o_r)\frac{\theta}{\Theta}=0. \qquad (8)$$

ϵ^o_r，$\bar\epsilon^o_r$ は節点rにおける値である。式（6）と式（8）を一度微分したものをくらべると

$$\rho_a(C^{AB}+C^{BC})+\rho_b(C^{AD}+C^{DC})=-K_o(\Delta\epsilon^o_{r-1}+\Delta\bar{\bar\epsilon}^o_{r-1})/\Theta. \qquad (9) \qquad (\Delta f_{r-1}=f_r-f_{r-1})$$

式（8）をさらに二度積分すると，

$$K_o(\bar{\bar\epsilon}^o+\bar{\bar{\bar\epsilon}}^o)-\frac{\rho_a\bar{\bar{\bar p}}^A+\rho_b\bar{\bar{\bar p}}^B}{a}+K_o\Bigg[(\epsilon^o_{r-1}+\bar{\bar\epsilon}^o_{r-1})\frac{\Theta^2}{6}\left\{\left(\frac{\theta}{\Theta}\right)^3-3\left(\frac{\theta}{\Theta}\right)^2+2\frac{\theta}{\Theta}\right\}+(\epsilon^o_r+\bar{\bar\epsilon}^o_r)\frac{\Theta}{6}\left\{\frac{\theta}{\Theta}-\left(\frac{\theta}{\Theta}\right)^3\right\}$$
$$-(\bar{\bar\epsilon}^o_{r-1}+\bar{\bar{\bar\epsilon}}^o_{r-1})\frac{\Theta-\theta}{\Theta}-(\bar{\bar\epsilon}^o_r+\bar{\bar{\bar\epsilon}}_r)\frac{\theta}{\Theta}\Bigg\}\Bigg]=0.$$

前式を一度微分して区間(r−1，r)と(r，r+1)の$(\bar{\bar\epsilon}^o_r+\bar{\bar{\bar\epsilon}}^o_r)$を求めて，これを消去すると．

$$\frac{\Theta}{6}K_o(\Delta^2\epsilon_{r-o}+6\epsilon^o_r+\Delta^2\bar{\bar\epsilon}^o_{r-1}+6\bar{\bar\epsilon}^o_r)=\frac{K_o}{\Theta}\Delta^2(\bar{\bar\epsilon}^o_{r-1}+\bar{\bar{\bar\epsilon}}^o_{r-1})+(\rho^2\bar{\bar{\bar p}}^o_{r,r+1}-\rho^2\bar{\bar{\bar p}}^o_{r,r-1})/a. \qquad (10)$$

上式中 $\rho^2p^o=\rho_a^2p^A+\rho_b^2p^B$，$\bar{\bar{\bar p}}_{r,r+1}$ はr点におけるr－1方向区間の荷重による値を示す．また積分定数は$\bar p$，$\bar{\bar p}$ がθ＝0，Θで0となるように定める。

一方，式(6)を一度微分して微分方程式を解くと

$$\epsilon^\circ = \epsilon^\circ_{r-1}\frac{\sin(\Theta-\theta)}{\sin\Theta} + \epsilon^\circ_r\frac{\sin\theta}{\sin\Theta} - \frac{1}{aK_0}\rho^2\int p^\circ g(\theta,c)\,dc. \qquad (11)$$

上式中 $g(\theta, c)$ は Green 函数で

$$g(\theta,c) = \begin{cases} \dfrac{\sin(\Theta-c)\sin\theta}{\sin\Theta}. & \theta\le c \\ \dfrac{\sin(\Theta-\theta)\sin c}{\sin\Theta}. & \theta > c \end{cases}, \qquad \bar g(\theta,c) = \begin{cases} -\left\{\dfrac{\cos\theta}{\sin\Theta}\sin(\Theta-c) - \left(1-\dfrac{c}{\Theta}\right)\right\}. & \theta\le c \\ \left\{\dfrac{\cos(\Theta-\theta)}{\sin\Theta}\sin c - \dfrac{c}{\Theta}\right\}. & \theta > c \end{cases}$$

式(11)を二度積分して，一度微分して区間$(r-1, r)$と$(r, r+1)$の$\bar\epsilon^\circ_r$を作りこれを消去すると．

$$-\Delta^2(\epsilon^\circ_{r-1}+\bar\epsilon^\circ_{r-1})/\Theta + \{\Delta^2\epsilon^\circ_{r-1} + 2\epsilon^\circ_r(1-\cos\Theta)\}/\sin\Theta - \frac{\rho^2}{aK_0}\left\{\int p^\circ_{r-1}\bar g(\Theta,c)\,dc - \int p^\circ_r\bar g(0,c)\,dc\right\} = 0. \quad (12)$$

式(7)を一度微分して，二度積分すると．

$$\frac{\rho}{b}K_0\bar\epsilon^\circ + K_2\epsilon^w + \frac{\rho^2\bar p^T}{2a} - K_0\frac{\rho}{b}\left(\bar\epsilon^\circ_{r-1}\frac{\Theta-\theta}{\Theta} + \bar\epsilon^\circ_r\frac{\theta}{\Theta}\right) - K_2\left(\epsilon^w_{r-1}\frac{\Theta-\theta}{\Theta} + \epsilon^w\frac{\theta}{\Theta}\right) = 0. \qquad (13)$$

上式中 $\rho^2 p^T = \rho_b^2 p^B - \rho_a^2 p^A$，上式を一度微分したものと(7)をくらべて，

$$\rho_a(C^{AB} - C^{BC}) + \rho_b(C^{AD} - C^{DC}) = -2\left(\frac{\rho}{b}K_0\Delta\bar{\bar\epsilon}^\circ_{r-1} + K_2\Delta\epsilon^w_{r-1}\right)/\Theta. \qquad (14)$$

式(8)から(10)を導いたのと同様，式(13)を二度積分して，一度微分し区間$(r-1, r)$と区間$(r, r+1)$での$\frac{\rho}{b}K_0\bar{\bar\epsilon}^\circ_r + K_2\bar\epsilon^w_r$を求めてこれを消去すると

$$\frac{\rho}{b}K_0\frac{\Theta}{6}(\Delta^2\bar{\bar\epsilon}^\circ_{r-1} + 6\bar{\bar\epsilon}^\circ_r) + K_2\frac{\Theta}{6}(\Delta^2\epsilon^w_{r-1} + 6\epsilon^w_r) = \frac{K_2\rho}{b\Theta}\Delta^2\bar{\bar{\bar\epsilon}}^\circ_{r-1} + \frac{K_2}{\Theta}\Delta^2\bar{\bar\epsilon}^w_{r-1} - \frac{\rho^2\bar{\bar{\bar p}}^T_{r,r+1} - \rho^2\bar{\bar{\bar p}}^T_{r,r-1}}{2a}. \qquad (15)$$

4. 節点における力のつり合

隔壁の変形抵抗せん断力Z_rと帯板端部せん断力ςと外力のつり合は

$$\varsigma^{AB}_{r,r-1} - \varsigma^{AB}_{r,r+1} = aZ_r + P^A_r, \qquad \varsigma^{DC}_{r,r-1} - \varsigma^{DC}_{r,r+1} = -aZ_r + P^B_r.$$
$$\varsigma^{AD}_{r,r-1} - \varsigma^{AD}_{r,r+1} = bZ_r. \qquad \varsigma^{BC}_{r,r-1} - \varsigma^{BC}_{r,r+1} = -bZ_r.$$

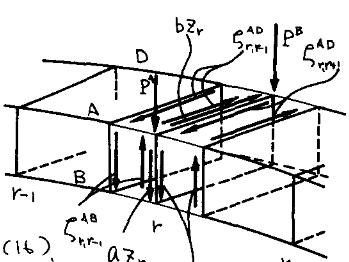


図-4.

基本式(C),(F)を用いると上式は

$$\left.\begin{aligned} a\Delta C^{AB}_r &= -(\rho_a\bar P^A_{r,r-1} - \rho_a\bar P^A_{r,r+1} + P^A_r) - aZ_r. & b\Delta C^{AD}_r &= -bZ_r. \\ a\Delta C^{DC}_r &= -(\rho_b\bar P^B_{r,r-1} - \rho_b\bar P^B_{r,r+1} + P^B_r) + aZ_r. & b\Delta C^{BC}_r &= bZ_r. \end{aligned}\right\} (16).$$

式(9),(14)に式(16)を用いると

$$\frac{K_0}{\Theta}\Delta^2(\epsilon^\circ_r + \bar\epsilon^\circ_r) = \frac{\rho P^\circ_r}{a}. \quad (17) \qquad \frac{1}{\Theta}\left(K_0\frac{\rho}{b}\Delta^2\bar{\bar\epsilon}^\circ_{r-1} + K_2\Delta^2\epsilon^w_{r-1}\right) = -\frac{\rho P^T}{2a} + 2\rho Z_r. \quad (18)$$

ただし
$$\rho P^\circ_r = \rho_a(\rho_a\bar P^A_{r,r-1} - \rho_a\bar P^A_{r,r+1} + P^A_r) + \rho_b(\rho_b\bar P^B_{r,r-1} - \rho_b\bar P^B_{r,r+1} + P^B_r).$$
$$\rho P^T_r = \rho_b(\rho_b\bar P^B_{r,r-1} - \rho_b\bar P^B_{r,r+1} + P^B_r) - \rho_a(\rho_a\bar P^A_{r,r-1} - \rho_a\bar P^A_{r,r+1} + P^A_r).$$

5. 断面の変形度とそり歪

各帯板の深さ方向変位を$w^{AB}, w^{DC}, u^{AD}, u^{BC}$で表わし，断面の回転角を$\varphi$，変形度を$\gamma$とすると，

$$\left.\begin{aligned} w^{DC} - w^{AB} &= b\cdot\varphi^{AD} = (\varphi + \gamma/2)\cdot b. \\ u^{AD} - u^{BC} &= a\cdot\varphi^{AB} = (\varphi - \gamma/2)\cdot a. \end{aligned}\right\} (19)$$

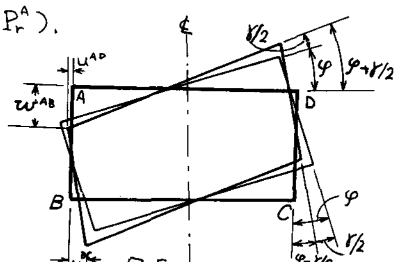


図-5

上式に基本式(B)(E)を代入して，

$$\dot{\varphi}+\frac{\dot{\gamma}}{2}+\bar{\varphi}-\frac{\bar{\gamma}}{2}=\frac{2\rho}{a}(1+\alpha)\bar{\epsilon}^{o}-\frac{2\rho^2}{ab}(1+\beta)\bar{\epsilon}^{w}-\frac{1}{Gt_1 b}\left\{\frac{\rho^2 p^T}{a}+\rho_a C^{AB}-\rho_b C^{DC}\right\}.$$

$$\dot{\varphi}-\frac{\dot{\gamma}}{2}+\bar{\varphi}-\frac{\bar{\gamma}}{2}=\rho\frac{K_o}{Gab}\left(\frac{1}{t_2}+\frac{1}{t_3}\right)\bar{\epsilon}^{o}+\frac{2\rho^2}{ab}(1+\beta)\bar{\epsilon}^{w}+\frac{\rho}{Ga}\left(\frac{C^{AD}}{t_2}-\frac{C^{BC}}{t_3}\right).$$

上式の差をとり0からΘまで積分し，これを一度差分し$\Delta^2\gamma_{r-1}$を作り，式(16)を代入すると．

$$\Delta^2\gamma_{r-1}=\left\{\frac{2\rho}{a}(1+\alpha)-\frac{K_o\rho}{Gab}\left(\frac{1}{t_2}+\frac{1}{t_3}\right)\right\}\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^{o}_{r-1}-\rho^2\frac{4(1+\beta)}{ab}\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^{w}_{r-1}-\frac{\Theta}{Gt_1 b}\frac{\rho P_r^T}{a}+\frac{\rho\Theta}{Gab}\left(\frac{2a}{t_1}+\frac{b}{t_2}+\frac{b}{t_3}\right)Z_r. \quad (20)$$

Z_rとγ_rの関係はt_dを隔壁厚とすると　$Z_r=Gt_d\gamma_r.$ (21).

6. 基本微分方程式

式(10)と式(15)より$\bar{\bar{\epsilon}}_r^o$を消去し，式(20)と式(21)を用いて$\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^w_{r-1}$，$Z_r$を消去すると。

$$\Delta^2\gamma_{r-1}-\rho\Theta\frac{t_d}{ab}C_1\cdot\gamma_r+\frac{2(1+\beta)}{3ab}\rho^2\Theta^2(\Delta^2\epsilon_r^w+6\epsilon_r^w)=-\frac{4(1+\beta)}{ab}\frac{\rho^2\Theta}{K_2}\frac{\rho^2\bar{\bar{p}}^T}{a}-\frac{\Theta}{Gt_1 b}\frac{\rho P_r^T}{2a}$$
$$+\left\{\frac{2\rho}{a}(1+\alpha)-\frac{K_o\rho}{Gab}\left(\frac{1}{t_2}+\frac{1}{t_3}\right)\right\}\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^o_{r-1}+\frac{4(1+\beta)}{ab}\frac{\rho^3\Theta}{bK_2}\left\{\frac{K_o\Theta}{6}(\Delta^2\epsilon^o_{r-1}+6\epsilon^o_r)-\frac{K_o}{\Theta}\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^o_{r-1}-\frac{\rho\bar{\bar{p}}^o}{a}\right\}. \quad (22)$$

式(21)と式(18)よりZ_rを消去し，式(22)に代入しγ_rを消去すると．

$$K_2\cdot C_d\frac{\Delta^4\epsilon^w_{r-2}}{(\rho\Theta)^4}-\left\{K_2\cdot C_1-\frac{4}{3}G(1+\beta)(\rho\Theta)^2\right\}\frac{\Delta^2\epsilon^w_{r-1}}{(\rho\Theta)^2}+8G(1+\beta)\epsilon_r^w=C_2\frac{1}{\rho^2}\left\{\frac{\rho P_r^T}{2a}\frac{1}{\Theta}-K_o\frac{\rho^3}{b}\frac{\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^o_{r-1}}{(\rho\Theta)^2}\right\}$$
$$-C_d\frac{1}{\rho^2}\left\{\frac{\Delta^2 P^T_{r-1}}{2a(\rho\Theta)^2}\frac{1}{\Theta}+K_o\frac{\rho^3}{b}\frac{\Delta^4\bar{\bar{\epsilon}}^o_{r-2}}{(\rho\Theta)^4}\right\}-\frac{8G(1+\beta)}{K_2}\frac{\rho^2\bar{\bar{P}}^T_{r,r+1}-\rho^2\bar{\bar{P}}^T_{r,r-1}}{2a}\frac{1}{\Theta}+4Gb(1+\alpha)\rho\frac{\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^o_{r-1}}{(\rho\Theta)^2}$$
$$-\frac{8G(1+\beta)}{bK_2}\rho\left\{\frac{K_o}{6}(\Delta^2\epsilon^o_{r-1}+6\epsilon^o_r)-\frac{K_o}{\Theta^2}\Delta^2\bar{\bar{\epsilon}}^o_{r-1}-\frac{\rho^2(\bar{\bar{P}}^o_{r,r+1}-\bar{\bar{P}}^o_{r,r-1})}{a}\frac{1}{\Theta}\right\}. \quad (23)$$

ただし　$C_1=\dfrac{2a}{t_1}+\dfrac{b}{t_2}+\dfrac{b}{t_3}$，　$C_2=\dfrac{b}{t_2}+\dfrac{b}{t_3}-\dfrac{2a}{t_1}$，　$C_d=\dfrac{ab}{t_d}\rho\Theta$，

式(23)はそり歪ϵ_r^wの差分方程式で，式中$\bar{\bar{\epsilon}}_r^o$，ϵ_r^oは式(12)と式(17)より求める。

$$K_o\left(\Delta^2\epsilon^o_{r-1}\frac{1}{\sin\Theta}+2\epsilon_r^o\frac{1-\cos\Theta}{\sin\Theta}\right)=\frac{\rho P_r^o}{a}+\frac{\rho^2}{a}\left\{\int p^o_{r-1}\bar{g}(\Theta,c)\,dc-\int p^o_r\bar{g}(0,c)\,dc\right\}. \quad (24)$$

7. あとがき

式(23)はρを無限大にすると直線桁の式[4]と一致する．最後に桁のスパン中央に荷重が作用した場合の計算例を右に示す。($\sigma^w=E\cdot\epsilon^w$)．

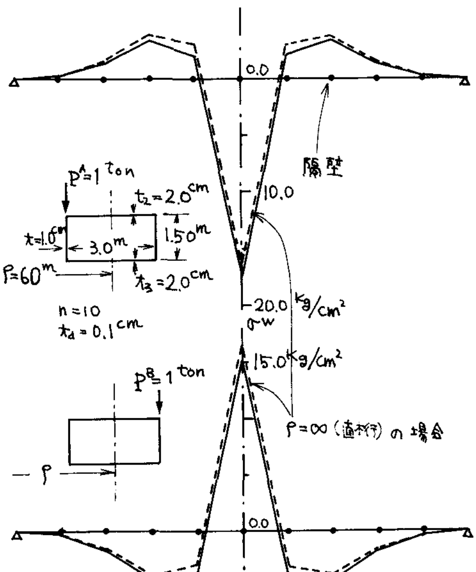


図-6．そり応力．

参考文献：

1)．能町純雄：剛なダイアフラムで等区画に分けられる薄肉長方形箱桁の曲げねじれについて，土木学会論文集，146号，1967年．

2)．能町，吉田：断面変形を考慮した曲線箱桁の曲げについて，第23回年次学術講演会概要－I，1968年

3)．能町，松岡，吉田；曲線折板による門形曲線桁の解法　土木学会北海道支部研究発表論文集，1969年

4)．吉田紘一：隔壁の変形を考慮した薄肉箱桁の応力解析について，土木学会　北海道支部研究発表論文集　1970年．