

薄肉箱ゲタの折板構造理論による解析(その2)

(Fritz Resinger の方法)

外 崎 忍*

第5章 数値計算例

これからの数値計算例は、箱ゲタとしての計算を行なう。そして荷重としては、ねじれを生ずるような鉛直荷重と水平荷重を考える。鉛直ねじり荷重はC-ゲタ荷重で、水平ねじり荷重は、b-ゲタ荷重となる。

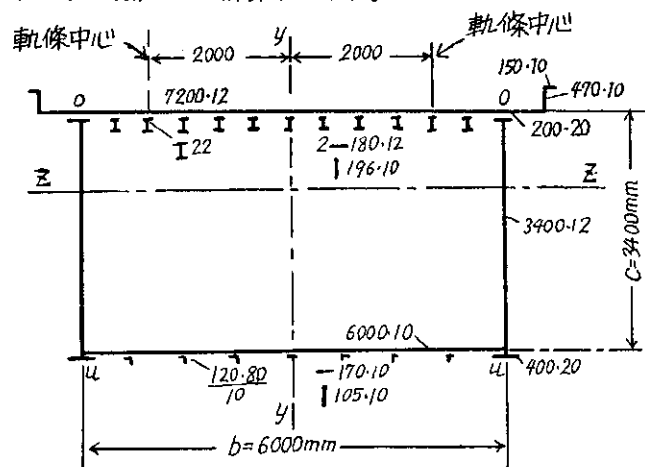
そして計算は、水平の場合と鉛直の場合とに分け、折板要素の荷重分布も同様に考えて行なうと便利である。

計算の中では、隔壁の間隔と柔性、変断面、外的に不静定な支承などの独特な影響を考慮し、ゲタ方向の構造的な状態を求める。これらの影響の計算もそれぞれのケースに分けて扱うことにする。

最初にC-ゲタ荷重について考察するが、荷重は等分荷重と、箱ゲタ端にそりモーメントが作用する場合について、隔壁の間隔の影響を計算する。このそりモーメントについてはまた、ゲタ軸方向の減衰の影響が現われる。

上の事項については、変断面の場合についても取扱い、それから連続ゲタについても計算する。

水平荷重については荷重の換算の計算まで、集中荷重については、D*の計算まで示す。



図—28

計算例は図—28に示すような複線の鉄道橋についてで、断面寸法も図—28に示す。

断面値

$$J_z = 74.85 \times 10^6 \text{ cm}^4 \quad W_o = \frac{J_z}{170 - 34.8} = 55.3 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$e = 34.8 \text{ cm} \quad W_u = \frac{J_z}{170 + 34.8} = 26.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

仮想Cゲタ

$$J_{yo} = 72.26 \times 10^6 \text{ cm}^4 \quad \bar{F}_o = \frac{2J_{yo}}{b^2} = 401.2 \text{ cm}^2$$

$$J_{yu} = 33.76 \times 10^6 \text{ cm}^4 \quad \bar{F}_u = \frac{2J_{yu}}{b^2} = 187.5 \text{ cm}^2$$

$$\bar{J} = 19.62 \times 10^6 \text{ cm}^4 \quad \bar{W}_o = \frac{\bar{J}}{170 - 36.4} = 14.7 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$\bar{e} = 36.4 \text{ cm} \quad \bar{W}_u = \frac{\bar{J}}{170 + 36.4} = 9.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$\lambda = E/G = 2.6 \text{ とする。}$$

$$f^* = \frac{\frac{3}{\lambda} c^2}{\frac{b}{d_o} + \frac{b}{d_u} + \frac{2c}{d_c}} = \frac{3.08 \times 340^2}{\frac{600}{1.2} + \frac{600}{1.0} + \frac{680}{1.2}} = 213.6 \text{ cm}^2$$

$$\bar{f} = \frac{\frac{8}{\lambda} c^2}{\frac{b}{d_o} + \frac{b}{d_u} - \frac{2c}{d_c}} = \frac{3.08 \times 340^2}{\frac{600}{1.2} + \frac{600}{1.0} - \frac{680}{1.2}} = 667.6 \text{ cm}^2$$

$$a^2 \rho = \frac{6\bar{J}}{f^*} = 55.3 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

$$\frac{6\bar{J}}{f} = 17.7 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

5—1 C-ゲタに等布なねじり荷重が作用するときの隔壁間隔の影響

支間40m、定断面箱ゲタでゲタ端においてその拘束がない場合について考察する。

計算を行なうケースは、中間隔壁のない場合、および柔な中間隔壁で間隔が20m、10m、4mの場合についてである。

隔壁の剛度は端部隔壁は無限大、中間隔壁は次表の仮想厚さをもつ剛度とする。

*構造研究室副室長

隔壁間隔	d^* (cm)
20m	0.50
10m	0.30
4 m	0.15

荷重強度10t/m, 衝撃係数0.32で全長にわたって単線荷重があるときのC-ゲタねじり荷重強度は次のようになる。

$$\bar{p} = 10.0 \times 1.32 \frac{2000}{6000} = 4.4 \text{ t/m}$$

曲げ荷重部によるゲタ中央部の応力

$$M_{max} = \frac{1.32 \times 10.0 \times 40^2}{8} = 2640 \text{ tm}$$

$$\sigma_o = -\frac{M_{max}}{W_o} = -0.477 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_u = \frac{M_{max}}{W_u} = 0.723 \text{ t/cm}^2$$

中間隔壁のないときのC-ゲタねじり荷重による応力
まず前面のC-ゲタの上, 下稜線のそり応力を求めるが, 向かい側のC-ゲタは符号が変わるだけである。

$$M_{max} = \frac{\bar{p} a^2}{8} = \frac{4.4 \times 40^2}{8} = 880 \text{ tm}$$

$$\sigma_o = -\frac{\bar{M}}{W_o} = -\frac{8.80}{14.7} = -0.600 \text{ t/cm}^2$$

$$\sigma_u = \frac{\bar{M}}{W_u} = \frac{8.80}{9.5} = 0.927 \text{ t/cm}^2$$

ここで単線載荷(偏心)と複線載荷とを比較すると, 単線載荷の場合のほうが応力が大きいことがわかる。

$$\text{複線載荷: } \sigma_u = 2 \times 0.723 = 1.446 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{単線載荷: } \sigma_u = 0.723 + 0.927 = 1.650 \text{ t/cm}^2$$

中間隔壁があるときの弾性方程式の係数(区画長が等しく, 端隔壁剛度無限大)を整理すると(88)(89)より次式のようになる。

$$E \delta_{r,r-2} = \frac{1}{a^2 d_{r-1}^*}$$

$$E \delta_{r,r-1} = \frac{a}{6J}(1-\rho) - \frac{2}{a^2} \left(\frac{1}{d_{r-1}^*} + \frac{1}{d_r^*} \right)$$

$$E \delta_{r,r} = \frac{a}{3J}(2+\rho) + \frac{1}{a^2} \left(\frac{1}{d_{r+1}^*} + \frac{4}{d_r^*} + \frac{1}{d_{r-1}^*} \right)$$

$$E \delta_{r,r+1} = \frac{a}{6J}(1-\rho) - \frac{2}{a^2} \left(\frac{1}{d_{r+1}^*} + \frac{1}{d_r^*} \right)$$

$$E \delta_{r,r+2} = \frac{1}{a^2 d_{r+1}^*}$$

$$E \delta_{r,D^*} = \frac{D_{r+1}^* - D_r^*}{f} = -\frac{p_c a}{f}$$

$$E \delta_{r,z} = \frac{p_c a^3}{J} + p_c \left(\frac{1}{d_{r-1}^*} - \frac{2}{d_r^*} + \frac{1}{d_{r+1}^*} \right)$$

$$a = 20 \text{ m}$$

中間隔壁のあるときには, (これによってねじりモーメントの導入が行なわれる。これは図-29に示すように1区画の中で一定なねじり横セン断力によるものである。) またこの場合の中間荷重は, $2 \times \frac{\ell}{2} = 2 \times 20 \text{ m}$ の長さの間で考え, そりモーメントはねじり横セン断力, 中間荷重の両方から生ずることになる。

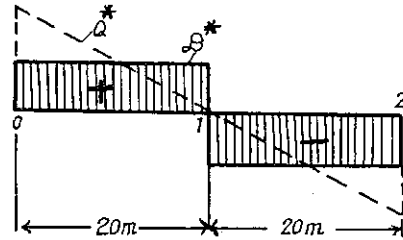


図-29

$$\rho = \frac{55.3}{20^2} = 0.138 \quad D_{*1} = \frac{20}{2} \times 4.4 = 44 \text{ t},$$

$$D_{*2} = -D_{*1} = -44 \text{ t}$$

$$E \delta_{11} = \frac{2000}{3 \times 19.62 \times 10^6} (2 - 0.138) + \frac{1}{2000^2} \times \frac{4}{0.50} = 74.5 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{1,D^*} = -\frac{1}{667.6} \times 0.044 \times 2000 = -0.132$$

$$E \delta_{1,z} = \frac{0.044 \times 2000^3}{12 \times 19.62 \times 10^6} - \frac{2 \times 0.044}{0.50} = 1.319$$

$$\therefore X_{1,D^*} = \frac{0.132}{0.00745} = 17.7 \text{ tm (18.2 tm)}$$

$$X_{1,z} = -\frac{1.319}{0.00745} = -177 \text{ tm (206 tm)}$$

() は, 中間隔壁の剛度無限大のときの値を示す。

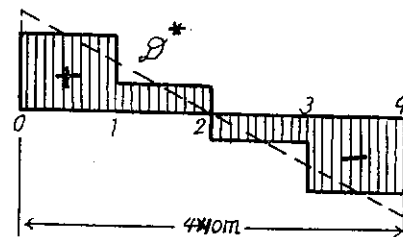


図-30

$$a = 10 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{55.3}{10^2} = 0.553$$

$$D_{*1} = 4.4 \times 15 = 66 \text{ t}$$

$$D_{*2} = 4.4 \times 5 = 22 \text{ t}$$

$$D_{*3} = -D_{*2} = -22 \text{ t}$$

$$D_{*4} = -D_{*1} = -66 \text{ t}$$

$$E \delta_{11} = \frac{1000}{3 \times 19.62 \times 10^6} (2 + 0.553) + \frac{1}{1000^2} \times \frac{5}{0.30} = 60.1 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{12} = \frac{1000}{6 \times 19.62 \times 10^8} (1 - 0.553) - \frac{2}{1000^2} \times \frac{2}{0.30} = -9.54 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{22} = \frac{1000}{6 \times 19.62 \times 10^8} (2 + 0.553) + \frac{1}{1000^2} \times \frac{3}{0.30} = 31.7 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{1,D^*} = -\frac{0.044 \times 1000}{667.6} = -0.066$$

$$E \delta_{2,D^*} = -\frac{0.044 \times 500}{667.6} = -0.033$$

$$E \delta_{1,Z} = \frac{0.044 \times 1000^3}{12 \times 19.62 \times 10^8} - 0.044 \frac{1}{0.30} = 0.04$$

$$E \delta_{2,Z} = \frac{0.044 \times 1000^3}{24 \times 19.62 \times 10^8} + 0.0 = 0.0935$$

$$\begin{bmatrix} 60.1 & -9.54 \\ -9.54 & 31.7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -66 \times 10^3 \\ -33 \times 10^3 \end{bmatrix} \cdots D^* \text{ に関するもの}$$

$$\begin{bmatrix} 60.1 & -9.54 \\ -9.54 & 31.7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40 \times 10^3 \\ 93.5 \times 10^3 \end{bmatrix} \cdots Z \text{ に関するもの}$$

これより解は

$$X_{1,D^*} = 13.3 \text{ tm (14.2)}$$

$$X_{2,D^*} = 14.4 \text{ tm (12.8)}$$

$$X_{1,Z} = -11.9 \text{ tm (-39.9)}$$

$$X_{2,Z} = -33.1 \text{ tm (-36.0)}$$

() は中間隔壁の剛度無限大のときの値を示す。

$$10^{-6} \times \begin{bmatrix} 120.3 & 75.0 & 16.7 & 0 & 0 \\ -75.0 & 137.0 & -75.0 & 16.7 & 0 \\ 16.7 & -75.0 & 137.0 & -75.0 & 16.0 \\ 0 & 16.7 & -7.0 & 137.0 & -75.0 \\ 0 & 0 & 16.7 & -75.0 & 68.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix} = 10^{-2} \times \begin{bmatrix} -2.64 \\ -2.64 \\ -2.64 \\ -2.64 \\ -1.32 \end{bmatrix} \cdots D^* \text{ に関するもの}$$

$$10^{-6} \times \begin{bmatrix} 120.3 & 75.0 & 16.7 & 0 & 0 \\ -75.0 & 137.0 & -75.0 & 16.7 & 0 \\ 16.7 & -75.0 & 137.0 & -75.0 & 16.7 \\ 0 & 16.7 & -75.0 & 137.0 & -75.0 \\ 0 & 0 & 16.7 & -75.0 & 68.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix} = 10^{-2} \times \begin{bmatrix} -28.2 \\ 1.2 \\ 1.2 \\ 1.2 \\ 0.6 \end{bmatrix} \cdots Z \text{ に関するもの}$$

$$a = 4 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{55.3}{4.0^2} = 3.45$$

$$D^*_1 = 79.2 \text{ t}$$

$$D^*_2 = 61.6 \text{ t}$$

$$D^*_3 = 44.0 \text{ t}$$

$$D^*_4 = 26.4 \text{ t}$$

$$D^*_5 = 8.8 \text{ t}$$

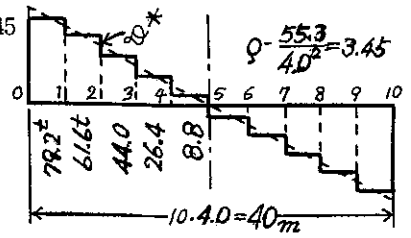


図-31

$$E \delta_{11} = \frac{400 \times 10^{-6}}{3 \times 19.62} \times 5.45 + \frac{1}{400^2} \times \frac{5}{0.15} = 120.3 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{12} = \frac{400 \times 10^{-6}}{6 \times 19.62} (1 - 3.45) - \frac{2}{400^2} \times \frac{2}{0.15} = -75.0 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{13} = \frac{1}{400^2 \times 0.15} = 16.7 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{22} = E \delta_{11} + \frac{1}{400^2 \times 0.15} = E \delta_{33} = E \delta_{44} = 137.0 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{23} = E \delta_{12} = E \delta_{34} = E \delta_{45} = -75.0 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{24} = E \delta_{13} = E \delta_{35} = 16.7 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{55} = E \delta_{11} - \frac{2}{400^2 \times 0.15} = 68.5 \times 10^{-6}$$

$$E \delta_{1 \sim 4, D^*} = -\frac{0.0044 \times 400}{667.6} = -0.0264$$

$$E \delta_{5, D^*} = \frac{E \delta_{1, D^*}}{2} = -0.0132$$

$$E \delta_{1,Z} = \frac{0.044 \times 4.0^3}{12 \times 19.62} - 0.044 \frac{1}{0.15} = -0.282$$

$$E \delta_{2 \sim 4, Z} = 0.012$$

$$E \delta_{5,Z} = 0.006$$

弾性方程式の解の表

荷重項	中間隔壁	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
D^*	柔性隔壁	8.00	13.14	17.21	21.23	20.98
	剛度無限大	10.0	12.4	12.8	12.9	12.9
Z	柔性隔壁	37.0	22.98	5.54	-4.65	-7.32
	剛度無限大	-4.47	-5.53	-5.78	-5.84	-5.85

計算の結果を比較すると隔壁の柔性はそりモーメントに大きな影響があることがわかる。したがって非常に隔壁が柔かい場合は前述の中間隔壁の無い場合に近づくことは明白である。

隔壁に生ずる力

隔壁のせん断力はこの場合は次のようになる。

$$t_r = t_{r,0} + t_{r,r}X_{r-1} + t_{r,r}X_r + t_{r+1}X_{r+1}$$

$$= \frac{1}{2ac} (p_c a^2 + X_{r-1} - 2X_r + X_{r+1})$$

隔壁として図-32のようなトラスを考えると斜材に作用する軸力を D_r とすると

$$D_r = t_r \cdot l_D$$

これまで求めた各ケースについての、せん断力 t_r と斜材軸力の計算結果は次のようになる。

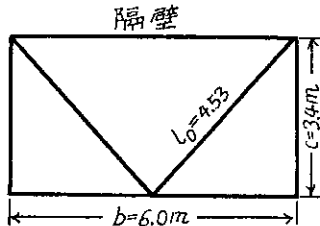


図-32

$a = 20\text{m}$	$t_1 = 15.3\text{t/m}$	$D_1 = 69.2\text{t}$	(71.1)
$a = 10\text{m}$	$t_1 = 6.16\text{t/m}$	$D_1 = 28.0\text{t}$	(31.2)
	$t_2 = 7.06\text{t/m}$	$D_2 = 32.0\text{t}$	(29.0)
$a = 4\text{m}$	$t_1 = 0.61\text{t}$	$D_1 = 2.8$	(11.1)
	$t_2 = 2.43\text{t}$	$D_2 = 11.0$	(11.6)
	$t_3 = 2.69\text{t}$	$D_3 = 12.2$	(11.7)
	$t_4 = 3.10\text{t}$	$D_4 = 14.0$	(11.7)
	$t_5 = 2.80\text{t}$	$D_5 = 12.7$	(11.7)

() 内は隔壁の剛度が無限大の場合の値である。

5-2 ケタ端にそりモーメント $X_n = 1\text{tm}$ が加わるときのそりモーメントの減衰

着目する箱ゲタについて、支承状態を拘束なしにして、ケタ端にそりモーメント $X = 1\text{tm}$ をかける。この場合すべての箱ゲタ区画は同じ断面とする。

隔壁の間隔は10mの場合のみについて計算するが、端部隔壁の剛度が無限大の場合と、換算厚 $d^* = 0.3\text{cm}$ の場合と両方を示す。

弾性方程式

$$\begin{pmatrix} 60.1 & -9.54 & 3.33 \\ -9.54 & 63.4 & -9.54 \\ 3.33 & -9.54 & 60.1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 333 \\ -288 \end{pmatrix} \dots\dots \text{隔壁剛度無限大}$$

$$\begin{pmatrix} 93.1 & -9.54 & 3.33 \\ -9.54 & 63.4 & -9.54 \\ 3.33 & -9.54 & 63.4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 333 \\ -954 \end{pmatrix} \dots\dots d^* = 0.3\text{cm}$$

弾性方程式の解

端 隔 壁	X_1	X_2	X_3	X_4	適用
剛度無限大	-0.99	-4.79	+4.09	100.00	b
$d^* = 0.3$	-1.26	-3.24	+14.63	100.00	c
	(-0.07)	(0.78)	(-8.82)	100.00	a

() はすべての隔壁の剛度が無限大の場合の値

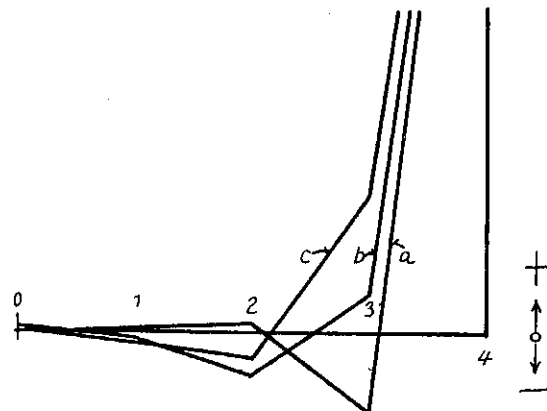


図-33

また $X_n = 1\text{tm}$ による回転変位は次のようになる。

ここで $D^* = 0$ であるから、(97) 式からねじり変位は

$$Eu_{n,0} = -\frac{X_n}{f} = -\frac{100}{667.6} = -0.15\text{ t/cm}$$

または $E = 2100\text{ t/cm}^2$ とすると。

$$u_{n,0} = -\frac{0.150}{2100} = -0.715 \times 10^{-4}\text{cm}$$

端そりモーメントによる回転は、非常に小さいことがわかる。

5-3 集中ねじり荷重

ここでは、隔壁間隔10m、支間40mで両端でねじりは拘束、そりモーメントには拘束のない箱ゲタを考え集中ねじり荷重 $p_c = \bar{p} = 40 \text{ t}$ が作用する2つの荷重状態に対し、ねじり横セン断力 D^* を示す(図-34参照)。

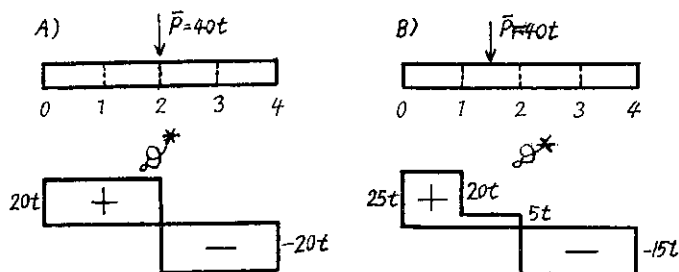


図-34

5-4 変断面箱ゲタ

隔壁間隔10m、支間40mで次の断面値を持つ箱ゲタを考える。

4番目の区画の断面値

$$J_z = 121.59 \times 10^6 \text{ cm}^4 \quad W_o = 80.3 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$e = 18.7 \text{ cm} \quad W_u = 64.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

仮想C-ゲタ

$$J = 36.44 \times 10^6 \text{ cm}^4 \quad W_o = 24.0 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$e = 21.6 \text{ cm} \quad W_u = 19.0 \times 10^4 \text{ cm}^3$$

$$f^* = 315.6 \text{ cm}^2, \quad a^2 \rho = \frac{6J}{f^*} = 69.3 \times 10^4 \text{ cm}^2, \quad \rho = 0.693$$

$$f = 957.1 \text{ cm}^2, \quad \frac{6J}{f} = 22.9 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

区画番1~3号は前述の断面を用いる。

一般論で述べたように等断面ゲタでは $D^{*(o)}$ の分布は、つり合い条件から静定系で求められるが、このゲタでは、端部0で差ねじり反力 Y を不静定量として求めなければならない。

端隔壁は $d^* = 0.60 \text{ cm}$ 、中間隔壁は $d^* = 0.30 \text{ cm}$ とし、端断面で鉛直に支持されるものとする。

そこでC-ゲタの端に導入されるベアな力を Y_1 と表示する。 $Y_1 = 1.0 \text{ t}$ の場合を考える。

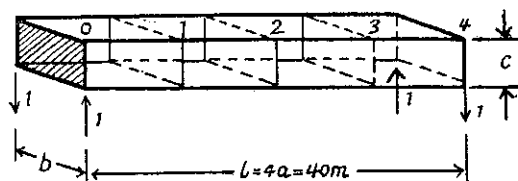


図-35

そりモーメントの弾性方程式で必要な δ 値は次のように計算される。

$$\left. \begin{aligned} E\delta_{11} &= 60.1 \times 10^{-6} + \frac{10^{-6}}{0.60} = 6.8 \times 10^{-6} \text{ [t, cm]} \\ E\delta_{12} &= E\delta_{23} = -9.54 \times 10^{-6} \\ E\delta_{13} &= 3.33 \times 10^{-6} \\ E\delta_{22} &= 63.4 \times 10^{-6} \end{aligned} \right\} \dots (5.1) \text{ 参照}$$

$$E\delta_{33} = \frac{1000 \times 10^{-6}}{6} \left(\frac{2.553}{19.62} + \frac{2.693}{36.44} \right) + (16.7 + 1.6) \times 10^{-6} = 52.3 \times 10^{-6}$$

$$D^* = 1 \text{ t}, \quad t_o = \frac{-1}{2c}, \quad t_4 = +\frac{1}{2c} \text{ を用いて,}$$

$$E\delta_{10} = -\frac{1}{2 \times 1000 \times 0.60} = -833 \times 10^{-6} \text{ [t, cm]}$$

$$E\delta_{20} = 0$$

$$E\delta_{30} = 1.0 \left(\frac{1}{957.1} - \frac{1}{667.6} \right) + \frac{1}{2 \times 1000 \times 0.60} = -378 \times 10^{-6}$$

弾性方程式の解は(そりモーメント)

$$X_1' = 0.1405 \text{ tm}$$

$$X_2' = 0.0092 \text{ tm}$$

$$X_3' = -0.0795 \text{ tm}$$

変位の大きさは

$$\begin{aligned} E\delta_{11}^* &= Ew'_{4,0} = E(u'_{4,0} + v_o + v_4) \\ &= a \sum_1^4 D_n^* \frac{1}{f^*} + X_1' \left(\frac{1}{f_4} - \frac{1}{f_3} \right) \\ &\quad - \frac{2Q'_o}{d_o^*} + \frac{2Q'_4}{d_4^*} \end{aligned}$$

$$Q'_o = -0.5 + \frac{0.1405}{2 \times 10.0} = -0.493 \text{ t}$$

$$Q'_4 = +0.5 - \frac{0.0795}{2 \times 10.0} = +0.496 \text{ t} \text{ を用いて}$$

$$\begin{aligned} E\delta_{11}^* &= 100 \left(\frac{3}{213.6} + \frac{1}{315.6} \right) - 7.95 \times \\ &\quad \left(\frac{1}{957.1} - \frac{1}{667.6} \right) + \frac{2 \times 0.493}{0.60} + \frac{2 \times 0.496}{0.60} \\ &= 20.54 \text{ t/cm} \end{aligned}$$

等分布ねじり荷重 $p_c = 4.4 \text{ t/m}$

その拘束がない箱ゲタで D^* の分布が静的に求められる場合は

$$\text{ねじり支承反力 } A = B = p_c \frac{1}{2} = 88 \text{ t}$$

ねじり横セン断力(端部区画)

$$D_{1(o)}^* = -D_{4(o)}^* = 66 \text{ t}$$

隔壁セン断力(図-36参照)。

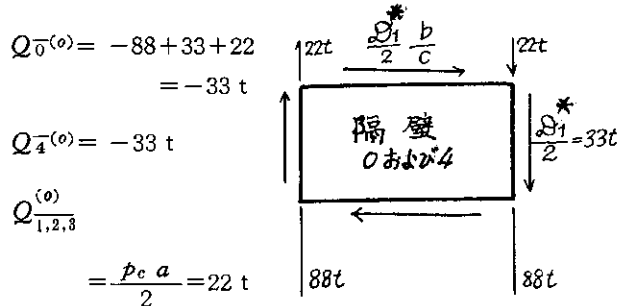


図-36

そりモーメント弾性方程式の荷重項は

$$E\delta_{10} = 0.187 - 0.147 - \frac{66}{1000 \times 0.60} = -0.070 \text{ [t, cm]}$$

$$E\delta_{20} = 0.0935$$

$$E\delta_{30} = \frac{44}{24} \left(\frac{1}{19.62} + \frac{1}{36.44} \right) - 0.147 - \frac{66}{1000 \times 0.60} = -0.114$$

静定系の断面力

$$X_1^{(0)} = +8.66 \text{ tm} \quad D_1^{*(0)} = -D_4^{*0} = 66 \text{ t}$$

$$X_2^{(0)} = -10.05 \text{ tm} \quad D_2^{*(0)} = -D_3^{*0} = 22 \text{ t}$$

$$X_3^{(0)} = +19.30 \text{ tm}$$

$$Q_0^{(0)} = -33.00 + \frac{8.66}{2 \times 10.0} = -32.57 \text{ t}$$

$$Q_4^{(0)} = -33.00 + \frac{19.30}{2 \times 10.0} = -32.03 \text{ t}$$

変位の大きさは

$$E\delta_1^* = E(u_{4,0} - v_0 + v_4) = 1000 \left(\frac{66}{213.6} - \frac{66}{315.6} \right) + 1930 \left(\frac{1}{957.1} - \frac{1}{667.6} \right) + \frac{2 \times 32.57}{6.60} - \frac{2 \times 32.03}{0.60} = 101 \text{ t/cm}$$

不静定量

$$Y_1 = -\frac{\delta_{10}^*}{\delta_{11}^*} = -\frac{101}{20.54} = -4.91 \text{ t}$$

不静定系の断面力

$$D_1^* = 66 - 4.91 = 61.09 \text{ t} \quad (60.15)$$

$$D_2^* = 22 - 4.91 = 17.09 \text{ t} \quad (16.15)$$

$$D_3^* = -22 - 4.91 = -26.91 \text{ t} \quad (-27.85)$$

$$D_4^* = -66 - 4.91 = -70.91 \text{ t} \quad (-71.85)$$

$$A = 88 - 4.91 = 83.09 \text{ t} \quad (82.15)$$

$$B = 88 + 4.91 = 92.91 \text{ t} \quad (93.85)$$

$$X_1 = 8.66 - 4.91 \times 0.1405 = 7.97 \text{ tm} \quad (-25.72)$$

$$X_2 = -10.05 - 4.91 \times 0.0092 = -10.55 \text{ tm} \quad (-22.92)$$

$$X_3 = +19.30 + 4.91 \times 0.0795 = 19.69 \text{ tm} \quad (-29.69)$$

() 内の値はすべての隔壁の剛度が無限大のときの値である。

ここでそりモーメントには著しい差があるが、 D^* 値には、それほど差が出てこないことがわかる。

そりモーメント $X_4 = 100 \text{ tm}$

静定系に対して、隔壁横せん断力 $Q_{0,1,2}^{(0)} = 0$,

$$Q_3^{(0)} = -Q_4^{(0)} = \frac{X}{2a} = 5.0 \text{ t} \quad \text{となりこのときの}$$

弾性方程式の荷重項は

$$E\delta_{10} = 0$$

$$E\delta_{20} = \frac{2 \times 5.0}{6 \times 36.44} = 333 \times 10^{-4}$$

$$E\delta_{30} = \frac{10.0}{6 \times 36.44} (1.0 - 0.693) - \frac{4 \times 0.5}{1000 \times 0.30} - \frac{2 \times 0.5}{1000 \times 0.60} = -544 \times 10^{-4} \quad \text{[t, cm]}$$

静定系に対するそりモーメントは

$$X_1 = -1.14 \text{ tm} \quad X_3 = +9.73 \text{ tm}$$

$$X_2 = -3.95 \text{ tm} \quad X_4 = 100.00 \text{ tm}$$

変位の大きさ

$$Q_0^0 = -\frac{1.14}{20.0} = -0.057 \text{ t}$$

$$Q_4^0 = -\frac{100 - 9.75}{20} = -4.512 \text{ t}$$

$$E\delta_{10}^* = E(u_{4,0} - v_0 + v_4) = -\frac{975}{667.6} - \frac{10000 - 975}{957.1} + \frac{2 \times 0.057}{0.60} - \frac{2 \times 4.512}{0.60} = -25.7 \text{ t/cm}$$

不静定量

$$Y_1 = -\frac{\delta_{10}^*}{\delta_{11}^*} = \frac{25.7}{20.54} = 1.25 \text{ t}$$

不静定系の断面力は最終的に次のようになる。

$$D_1^* \sim D_4^* = 1.25 \text{ t} \quad A = -B = 1.25 \text{ t}$$

$$X_1 = -1.14 + 1.25 \times 0.1405 = -0.96 \text{ tm}$$

$$X_2 = -3.95 + 1.25 \times 0.0092 = -3.94 \text{ tm}$$

$$X_3 = +9.75 - 1.25 \times 0.0795 = +9.65 \text{ tm}$$

$$X_4 = 100.00 \text{ tm}$$

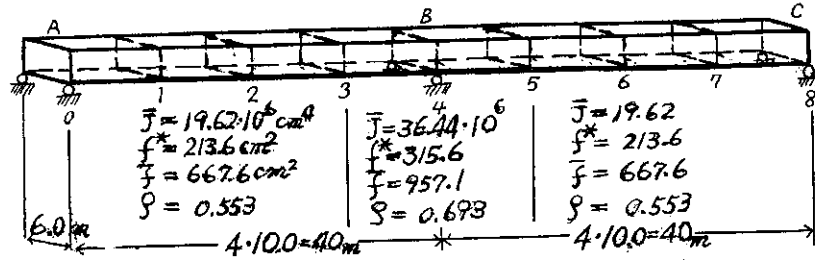
5—5 変断面連続ゲタ

図-37に示す2径間連続ゲタについて計算を行なうが、前の計算で使用した断面のものとする。

また、全支承の長さ方向の変位を考える。計算の方法は、支点Bでそりがつながる2つの静定系を考えて行なう。

それゆえB支点上のそりモーメント X_B が不静定量になる。そりを分離した静定系の計算はすでに5—4で扱ったがその結果を組み変えて行く。

荷重は $p_c = 4.4 \text{ t/m}$ の等分布荷重が、A~Bの間にあるとする。



図—37

静定系の断面力 (5—4 参照)

$X_B = 1 \text{ tm}$ によって生ずる力

$$\begin{aligned} D^*_{1 \sim 4} &= 0.0125 \text{ t} & X'_1 &= -0.0096 \text{ tm} = X'_7 \\ D^*_{5 \sim 8} &= -0.0125 \text{ t} & X'_2 &= -0.0394 \text{ tm} = X'_6 \\ A' &= 0.0125 \text{ t} & X'_3 &= +0.0965 \text{ tm} = X'_5 \\ B' &= -0.0125 \text{ t} & X'_4 &= 1.000 \text{ tm} \\ C' &= 0.0125 \text{ t} \end{aligned}$$

$$Q'_3 = \frac{1}{20} (-0.0394 - 0.1930 + 1.000) = 0.0384 \text{ t}$$

$$Q'_4 = 0.0125 + \frac{1}{20.0} (0.1930 - 2.000) = -0.0778 \text{ t}$$

$$Q'_5 = 0.0384 \text{ t}$$

A～Bの間の等分布荷重 $p_c = 4.4 \text{ t/m}$ による断面力

$$\begin{aligned} D^{o*}_1 &= 61.09 \text{ t} & A^{(o)} &= 83.09 \text{ t} & X_1 &= 7.97 \text{ tm} \\ D^{o*}_2 &= 17.09 \text{ t} & B^{(o)} &= 92.91 \text{ t} & X_2 &= -10.55 \text{ tm} \\ D^{o*}_3 &= -26.91 \text{ t} & C^{(o)} &= 0 & X_3 &= 19.69 \text{ tm} \\ D^{o*}_4 &= -70.91 \text{ t} & & & X_{4 \sim 7} &= 0 \\ D^{o*}_{5 \sim 8} &= 0. & Q^{(o)}_3 &= 19.50 \text{ t} \\ & & Q^{(o)}_4 &= -34.48 \\ & & Q^{(o)}_5 &= 0 \end{aligned}$$

変位の大きさ (Bにおける相対そり)

$$\begin{aligned} E\delta_{BB} &= -\frac{0.025}{957.1} + \frac{1000 \times 2.693 \times 100}{3 \times 36.44 \times 10^6} \\ &\quad + \frac{1000 \times 0.307}{3 \times 36.44 \times 10^6} \times 9.65 + \frac{4}{1000} \times \\ &\quad \left(\frac{0.0384}{0.30} + \frac{0.0778}{0.6} \right) = 3.515 \times 10^{-3} \text{ [t, cm]} \\ E\delta_{BO} &= +\frac{70.91}{957.1} + \frac{1000^3 \times 0.044}{24 \times 36.44 \times 10^6} + \\ &\quad \frac{1969 \times 1000}{6 \times 36.44 \times 10^6} \times 0.307 + \frac{2}{1000} \times \\ &\quad \left(\frac{19.50}{0.30} + \frac{34.48}{0.60} \right) = 0.389 \text{ [t, cm]} \end{aligned}$$

支点の不静そりモーメント

$$X_B = -\frac{\delta_{BO}}{\delta_{BB}} = -\frac{0.89 \times 10^3}{3.515} = -111.0 \text{ tm}$$

最終的な断面力の大きさは、次のようになる。

$$\begin{aligned} D^*_1 &= 61.09 - 1.11 \times 1.25 = 59.70 \text{ t} \quad (60.28) \\ D^*_2 &= 17.09 - 1.11 \times 1.25 = 15.70 \text{ t} \quad (16.28) \\ D^*_3 &= -26.91 - 1.11 \times 1.25 = -28.30 \text{ t} \quad (-27.72) \\ D^*_4 &= -70.91 - 1.11 \times 1.25 = -72.30 \text{ t} \quad (-71.82) \\ D^*_{5 \sim 8} &= +1.11 \times 1.11 = 1.39 \text{ t} \quad (+0.29) \\ A &= 83.09 - 1.39 = 81.70 \text{ t} \quad (82.28) \\ B &= 92.91 + 2 \times 1.39 = 95.69 \text{ t} \quad (95.69) \\ C &= -1.39 \text{ t} \quad (-0.29) \end{aligned}$$

$$Q_4 = \frac{1}{2} (22.0 - 95.69)$$

$$+ \frac{1}{2 \times 10.0} (9.00 + 222.00 - 10.69) = 26.5 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= 7.97 + 1.11 \times 0.96 = 9.04 \text{ tm} \quad (-25.7) \\ X_2 &= -10.55 + 1.11 \times 3.94 = -9.18 \text{ tm} \quad (-23.0) \\ X_3 &= 19.69 - 1.11 \times 9.65 = 9.00 \text{ tm} \quad (-27.8) \\ X_4 &= -111.0 \text{ tm} \quad (-49.5) \\ X_5 &= -10.69 \text{ t-m} \quad (+2.1) \\ X_6 &= +4.37 \text{ t-m} \quad (-0.2) \\ X_7 &= +1.07 \text{ t-m} \quad (+0.0) \end{aligned}$$

() 内は隔壁の剛度が無限大のときの値である。

5—6 水平ねじり荷重 (bゲタ載荷) の還元

b—ゲタ載荷の曲げの作用は、一般のハリの曲げ理論で求められるので、ねじれの作用は、仮想C—ゲタに対する荷重の変換により扱う。

ここで風荷重について考察することにし、C—ゲタ荷重を基礎にして考える。

風荷重は (図—38) に示すように曲げ荷重部とねじり荷重部に分ける。またこのために必要な β 値を (53) 式から計算する。

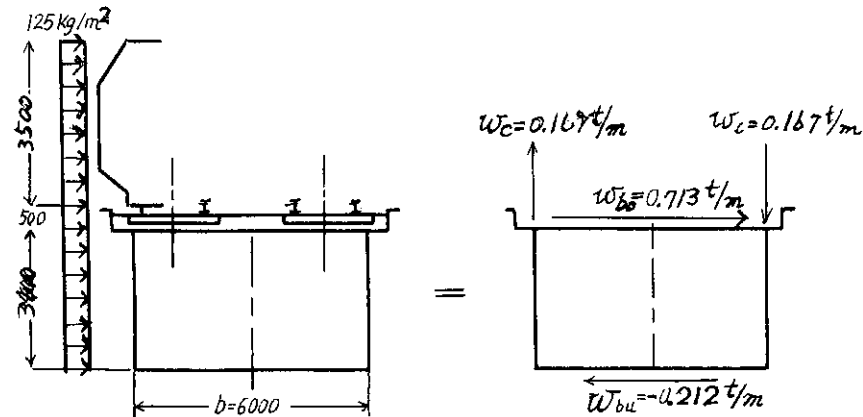
$$\beta_o = \frac{12J_{oy}}{b^2cd_c} = \frac{12 \times 72.26 \times 10^6}{600^2 \times 340 \times 11.2} = 5.90$$

$$\beta_u + \frac{12J_{uy}}{b^2cd_c} = \frac{12 \times 33.36 \times 10^6}{600^2 \times 340 \times 1.2} = 2.76$$

$$\beta_o + 3 = 8.90$$

$$\beta_u + 3 = 5.76$$

$$\beta_o + \beta_u + 6 = 14.66$$



図—38

$$w_c = 0.125 \times \frac{(3.50+0.5)^2}{2 \times 6.00} = 0.167 \text{ t/m}$$

$$w_{bo} = 0.125 \times \left(3.50 + 0.50 + \frac{3.40}{2} \right) = 0.713 \text{ t/m}$$

$$w_{bu} = -0.125 \times \frac{3.40}{2} = -0.212 \text{ t/m}$$

曲げ風荷重 $w_B = w_{bo} - w_{bu} = 0.925 \text{ t/m}$

ねじり風荷重 $w_c = 0.167 \text{ t/m}$

$$w_b = \frac{w_{bo} (\beta_u + 3) + w_{bu} (\beta_o + 3)}{\beta_o + \beta_u + 6}$$

$$= \frac{0.713 \times 5.76 - 0.212 \times 8.90}{14.66} = 0.152 \text{ t/m}$$

また、 w_b について仮想Cゲタの計算を行なうのにC-ゲタ荷重に変換しなければならない。

すなわち (56)(57) 式より純ねじり荷重、断面変形荷重を計算すると次のようになる。

$$w^* = w_c \left(1 + \frac{w_b}{w_c} \frac{c}{b} \right) = 0.167 \times \left(1 + \frac{0.152}{0.167} \times \frac{3.4}{6.0} \right) = 0.252 \text{ t/m}$$

$$w = w_c \left(1 - \frac{w_b}{w_c} \frac{c}{b} \right) = 0.167 \times \left(1 - \frac{0.152}{0.167} \times \frac{3.4}{6.0} \right) = 0.081 \text{ t/m}$$