

三径間連続曲線箱桁設計計算簡易化について

函館ドック 室蘭製作所 瀬谷 拓治

1. 概 要

近年我国の道路情勢の変遷にともない、橋梁の一部分としての認識も高まり、道路と一体化したのとして曲線橋並びに斜橋としての型式が増大しつつある。これに伴い曲線橋の理論的研究が盛んに行なわれ、それぞれ特長ある理論解析が発表されています。

しかしながら我々が橋梁を設計する場合、同傾向の難解な計算が重複する場合でも全般にわたり計算を行なっているのが現状で、か様な折今般当社に於いて設計、製作、並びに架設を行なった首題の橋梁設計に際して、最少限度の計算簡易化を行なったのでその方法について述べる。

曲線橋と直線橋との力学的性質の相違点は支配的に主桁軸線の曲率に基因することであり、曲線橋の設計には当然曲率の影響を考慮せねばなりません。

実際各断面変化位置において曲率を考慮した精密計算を行なうことは、相当の労力と時間を費すことになりそれ故

我々が設計する今回の曲線橋の曲率であれば、

- (1) 曲げモーメント及び剪断力は直線橋として計算した数値と僅少の差よりない。
- (2) 曲げモーメントに依る応力比はほぼ一定値を取り各点間の応力比は直線的変化をする。
- (3) 曲げ捩りモーメントに依る応力は全橋を通じてほぼ一定。

上記の仮定が概略、成立するであろうということで、

- (i) 曲線及び直線橋としての支間中央、支点上の曲げモーメント、剪断力の算出。
- (ii) 1) 項の応力計算(曲げ応力、曲げ捩り応力)
- (iii) 曲線橋の支間中央、支点上の半載荷重に依る応力、及び満載荷重に依る応力との比算出。

かくの如く主要点のみ精密計算を行ない、簡易計算との比を求め中間点は、両点の直線の変化数値を簡易計算数値に乗ずることにより断面決定を行ない、最後に仮定の真寔を確認する意味で中間点の精密計算を行なった。

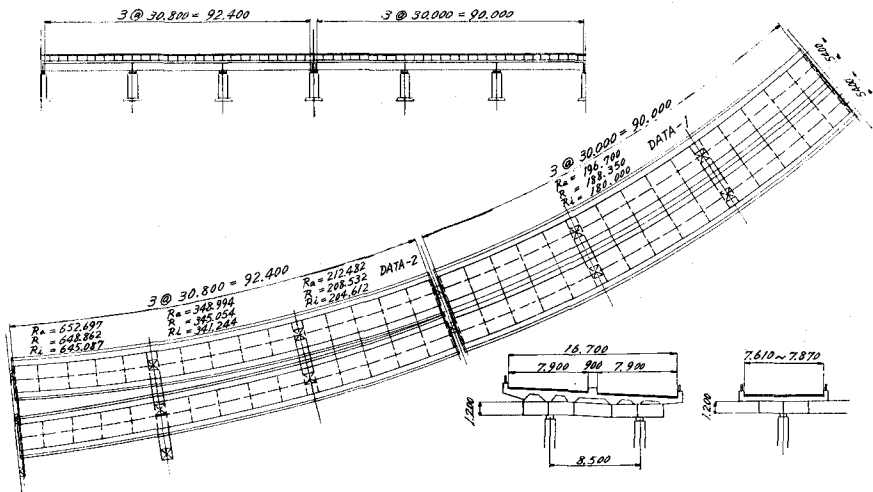


図-1

2. 設計データ

DATA-1

型 式 三径間連続曲線2箱桁(非合成)

支 間 30.0 m × 30.0 m × 30.0 m

幅 員 16.7 m

荷 重 TL-20

曲線半径 $R_a = 196.70$ m (地覆線外側)

$R = 188.35$ m (桁 中 心)

$R_i = 180.00$ m (地覆線内側)

DATA-2

型 式 三径間連続曲線箱桁 (非合成)

支 間 30.8 m×30.8 m×30.8 m

幅 員 7.61 m~7.75 m~7.87 m

荷 重 TL-20

曲線半径 1-SPAN

$$R_a = 652.697 \text{ m} \quad R = 648.862 \text{ m} \quad R_i = 645.087 \text{ m}$$

2-SPAN

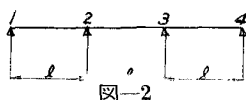
$$R_a = 348.994 \text{ m} \quad R = 345.054 \text{ m} \quad R_i = 341.244 \text{ m}$$

3-SPAN

$$R_a = 212.482 \text{ m} \quad R = 208.532 \text{ m} \quad R_i = 204.612 \text{ m}$$

曲線理論 曲げ振り理論 (小西, 小松)

3. 計 算 式



(1) 不静定算出式

(M : 曲げモーメント m : 曲げ振りモーメント)

$$\left. \begin{aligned} a_{22}M_2 + a_{23}M_3 + b_{22}m_2 + b_{23}m_3 &= -L_2 \\ b_{22}M_2 + b_{23}M_3 + d_{22}m_2 + d_{23}m_3 &= -N_2 \\ a_{32}M_2 + a_{33}M_3 + b_{32}m_2 + b_{33}m_3 &= -L_3 \\ b_{32}M_2 + b_{33}M_3 + d_{32}m_2 + d_{33}m_3 &= -N_3 \end{aligned} \right\}$$

ここに $M_1 = M_2 = 0$ & $m_1 = m_4 = 0$

(2) 曲げモーメント影響線

$$1\text{-SPAN} \quad M_{y_1} = M_{10} + M_2 \frac{\sin\varphi_1}{\sin\theta_1}$$

$$2\text{-SPAN} \quad M_{y_2} = M_{20} + M_2 \frac{\sin\varphi'_2}{\sin\theta_2} + M_3 \frac{\sin\varphi_2}{\sin\theta_2}$$

$$3\text{-SPAN} \quad M_{y_3} = M_{30} + M_3 \frac{\sin\varphi'_3}{\sin\theta_3}$$

但し M_m : 不静定曲げモーメント

M_{m_0} : 静定曲げモーメントの項

$$M_{m_0} = P\bar{R}_m \frac{\sin\varphi'_m}{\sin\theta_m} \sin\varphi_m \quad 0 \leq \varphi \leq \Psi$$

$$= P\bar{R}_m \frac{\sin\varphi'_m}{\sin\theta_m} \sin\Psi_m \quad \Psi \leq \varphi \leq \Phi$$

(3) 曲げ振りモーメント影響線

1-SPAN

$$M_{w_1} = m_{10} + m_2 \frac{\sinh\alpha_1\varphi_1}{\sinh\alpha_1\theta_1} + \frac{R_1}{\alpha^2+1} M_2 \left(\frac{\sin\varphi_1}{\sin\theta_1} - \frac{\sinh\alpha_1\varphi_1}{\sinh\alpha_1\theta_1} \right)$$

2-SPAN

$$M_{w_2} = m_{20} + m_2 \frac{\sinh\alpha_2\varphi'_2}{\sinh\alpha_2\theta_2} + m_3 \frac{\sinh\alpha_2\varphi_2}{\sinh\alpha_2\theta_2} + \frac{R_2}{\alpha^2+1} \left\{ M_2 \left(\frac{\sin\varphi'_2}{\sin\theta_2} - \frac{\sinh\alpha_2\varphi'_2}{\sinh\alpha_2\theta_2} \right) + M_3 \left(\frac{\sin\varphi_2}{\sin\theta_2} - \frac{\sinh\alpha_2\varphi_2}{\sinh\alpha_2\theta_2} \right) \right\}$$

$$- \frac{\sinh\alpha_2\varphi_2}{\sinh\alpha_2\theta_2} \Bigg\}$$

3-SPAN

$$M_{w_3} = m_{30} + m_3 \frac{\sinh\alpha_3\varphi'_3}{\sinh\alpha_3\theta_3} + \frac{R_3}{\alpha^2+1} M_3 \left(\frac{\sin\varphi'_3}{\sin\theta_3} - \frac{\sinh\alpha_3\varphi'_3}{\sinh\alpha_3\theta_3} \right)$$

但し m_m : 不静定曲げ振りモーメント

M_m : 不静定曲げモーメント

m_{m_0} : 静定曲げ振りモーメント

$$\begin{aligned} m_0 &= PR \left\{ \left(\frac{\bar{R}}{\alpha^2+1} - \frac{R_0}{\alpha^2} \right) \alpha \frac{\sinh\alpha\Psi'}{\sinh\alpha\theta} \sinh\alpha\varphi \right. \\ &\quad \left. + \frac{\bar{R}}{\alpha^2+1} \cdot \frac{\sin\Psi'}{\sin\theta} \sin\varphi \right\} \quad 0 \leq \varphi \leq \Psi \\ &= PR \left\{ \left(\frac{\bar{R}}{\alpha^2+1} - \frac{R_0}{\alpha^2} \right) \alpha \frac{\sinh\alpha\varphi'}{\sinh\alpha\theta} \sinh\alpha\Psi \right. \\ &\quad \left. + \frac{\bar{R}}{\alpha^2+1} \cdot \frac{\sin\varphi'}{\sin\theta} \sin\Psi \right\} \quad \Psi \leq \varphi \leq \Phi \end{aligned}$$

(4) 剪断力及び反力の影響線

剪断力 S_m

$$S_m = S_{m_0} + \frac{1}{R_0\theta} \left(M_{m+1} - M_m + \frac{m_m - m_{m+1}}{R} \right)$$

$$\text{但し } S_0 = P \frac{\Psi'}{\theta} \quad 0 \leq \varphi \leq \Psi$$

$$= -P \frac{\Psi}{\theta} \quad \Psi \leq \varphi \leq \Phi$$

(5) 振りモーメント及び反力

St. venant の振りモーメント T_s と 2 次振りモーメント

T_w との和

$$T = T_s + T_w$$

$$T_m = T_{m_0} + M_m \left(\frac{\cos\varphi'_m}{\sin\theta_m} - \frac{1}{\Psi_m} \right)$$

$$+ M_{m+1} \left(\frac{1}{\theta_m} - \frac{\cos\varphi_m}{\sin\theta_m} \right) + \frac{m_m - m_{m+1}}{R_m\theta_m}$$

但し

$$T_{m_0} = P \left(-\bar{R} \frac{\sin\Psi'}{\sin\theta} \cos\varphi + R_0 \frac{\Psi'}{\theta} \right) \quad 0 \leq \varphi \leq \Psi$$

$$= P \left(\bar{R} \frac{\sin\Psi}{\sin\theta} \cos\varphi' - R_0 \frac{\Psi}{\theta} \right) \quad \Psi \leq \varphi \leq \Phi$$

計算に先きだち

1) 各径間同一断面と仮定する。

2) 直線橋に於ける曲げモーメントの計算は“Anger”表を用いる。

3) 下記計算はすべて電子計算機による。

曲げモーメント影響値

剪断力影響値

曲げ振りモーメント影響値

振りモーメント影響値

C_W : 曲げ振り剛性係数

W : 反り値

4. 数値計算

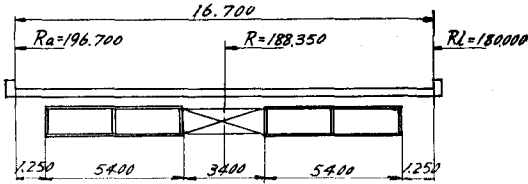


図-3

DATA-1

相似断面 (a&i 桁同一) 1-Flg PL 5400×12

3-Web PL 1200×9

1-Flg PL 5400×12

$$I_y = 5,148,378 \text{ cm}^4 \quad I_z = 47,186 \text{ cm}^4$$

$$I_{yz} = 0 \quad J = 1.4622714 \times 10^7 \text{ cm}^4$$

両箱桁の諸数値

$$C_w = 1.993452 \times 10^{12} \text{ cm}^6$$

$$E_s C_w = 4.18625 \times 10^{18} \text{ kg} \cdot \text{cm}^4$$

$$J = 2.9245428 \times 10^7 \text{ cm}^4$$

$$G_s J = 2.36888 \times 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$\alpha = 44.8048016$$

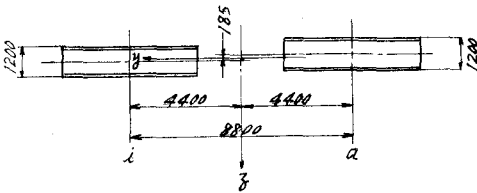


図-4

重心軸

$$y \text{ 軸方向 } a = i = 440 \text{ cm}$$

$$z \text{ 軸方向 } a = +9.25 \text{ cm} \quad i = -9.25 \text{ cm}$$

$$I_y = 1.0563978 \times 10^7 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 7.216375 \times 10^8 \text{ cm}^4$$

$$I_{yz} = 1.31868 \times 10^7 \text{ cm}^4$$

$$I = 1.032301 \times 10^7 \text{ cm}^4$$

$$E_s I = 2.16783 \times 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$\phi = 0.1592779 \text{ (Rad.)}$$

$$R \& R_0 = 1.8835 \times 10^4 \text{ cm}$$

$$R_i = 1.8000 \times 10^4 \text{ cm}$$

$$R_a = 1.967 \times 10^4 \text{ cm}$$

DATA-2

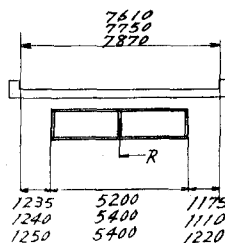


図-5

	1-SPAN (m)	2-SPAN (m)	3-SPAN (m)
R	648.862	345.054	208.532
l	30.800	30.800	30.800
ϕ	0.0474677	0.0892614	0.1476992
R_i	645.087	341.244	204.612
R_a	652.697	348.994	212.482

相似断面

	1-SPAN	2-SPAN	3-SPAN
	1-Flg PL 5200×13 3-Web PL 1200×9 1-Flg PL 5200×13	1-Flg PL 5400×12 ⁵ 3-Web PL 1200×9 1-Flg PL 5400×12 ⁵	1-Flg PL 5400×13 ² 3-Web PL 1200×9 1-Flg PL 5400×13 ²
J	1.4847 $\times 10^7 \text{ cm}^4$	1.50979 $\times 10^7$	1.574975 $\times 10^7$
C_w	3.1707695 $\times 10^{10}$	3.8191604 $\times 10^{10}$	3.7041575 $\times 10^{10}$
$E_s I$	1.12623 $\times 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$	1.12329 $\times 10^{13}$	1.18209 $\times 10^{13}$
$E_s C_w$	6.65862 $\times 10^{16} \text{ kg} \cdot \text{cm}^4$	8.02024 $\times 10^{16}$	7.77873 $\times 10^{16}$
$G_s J$	1.20261 $\times 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{cm}$	1.22293 $\times 10^{13}$	1.27573 $\times 10^{13}$
α	8.72012 $\times 10^2$	4.26083 $\times 10^2$	2.67053 $\times 10^2$
$R \& R_0$	6.48862 $\times 10^4 \text{ cm}$	3.45054 $\times 10^4$	2.08532 $\times 10^4$

(1) 曲げモーメント計算

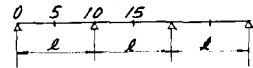


図-6

a) 曲線桁橋として計算

DATA	POINT		
	$M_5 \text{ t-m}$	$M_{10} \text{ t-m}$	$M_{15} \text{ t-m}$
DATA-1	2082	-2332	1118
DATA-2	1138	-1271	666

b) 直線桁橋として計算

DATA	POINT		
	$M_5 \text{ t-m}$	$M_{10} \text{ t-m}$	$M_{15} \text{ t-m}$
DATA-1	2068	-2343	1098
DATA-2	1139	-1267	636

c) 曲げモーメントの比較

	DATA-1			DATA-2		
	曲線橋としての M t-m	直線橋としての M' t-m	M/M'	曲線橋としての M t-m	直線橋としての M' t-m	M/M'
M_5 (側径間中央)	2082	2068	1.0067	1138	1139	1.0000
M_{10} (支 点)	-2332	-2343	0.9953	-1271	-1267	1.0031
M_{15} (中央径間中点)	1118	1098	1.0182	666	636	1.0471

(2) 曲げモーメント及び曲げ振りモーメントによる応力計算及び簡易計算による応力との比

DATA-1

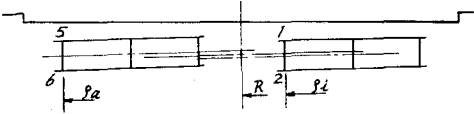


図-7

点	着目点	曲線桁としての応力 (kg/cm ²)			直線桁としての力応 (kg/cm ²)	直線×応力 曲線×応力
		σ_b	σ_w	σ	σ'	σ/σ'
5	1	-907	-31	-938	-1003	0.935
	2	1227	36	1263	1153	1.095
	5	-906	-39	-945	-1003	0.942
	6	1117	45	1224	1153	1.061
10	1	888	48	936	975	0.960
	2	-901	-40	-941	-811	1.160
	5	881	47	928	975	0.951
	6	-827	-39	-866	-811	1.067
15	1	-653	-42	-695	-713	0.974
	2	876	46	922	781	1.180
	5	-653	-49	702	-713	0.984
	6	807	54	861	781	1.102

DATA-2

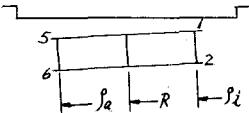


図-8

点	着目点	曲線桁としての応力 (kg/cm ²)			直線桁としての力応 (kg/cm ²)	直線×応力 曲線×応力
		σ_b	σ_w	σ	σ'	σ/σ'
5	1 & 5	-1050	-22	-1072	-1050	1.021
	2 & 6	1135	23	1158	1139	1.017

点	着目点	曲線桁としての応力 (kg/cm ²)			直線桁としての力応 (kg/cm ²)	直線×応力 曲線×応力
		σ_b	σ_w	σ	σ'	σ/σ'
10	1	1017	31	1048	1005	1.042
	2	-884	-35	-919	-874	1.051
	5	1001	31	1032	1005	1.027
	6	-870	-35	-905	-874	1.035
15	1	-882	-26	-908	-825	1.100
	2	960	28	988	904	1.092
	5	-868	-26	-894	-825	1.084
	6	945	28	973	904	1.076

(3) 半載荷重と満載荷重に依る応力比

DATA-1

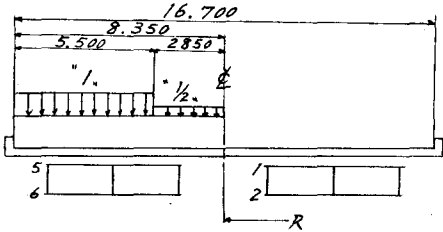


図-9

点	荷重状態 着目点	曲線桁応力 (kg/cm ²)				応力比
		半載荷重			満載荷重	
		σ'_b	σ'_w	σ'		
5	1	-770	-72	-842	-938	0.897
	2	1084	83	1167	1263	0.924
	5	-769	-74	-843	-945	0.892
	6	1000	85	1085	1224	0.886
10	1	775	100	875	936	0.934
	2	-786	-83	-869	-941	0.923
	5	769	96	865	923	0.937
	6	-722	-80	-802	-866	0.926
15	1	-503	-99	-602	-695	0.866
	2	675	107	782	922	0.848
	5	-503	-96	-599	-702	0.853
	6	622	104	726	861	0.843

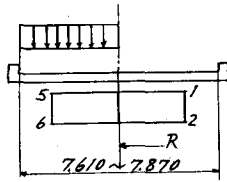


図-10

点	荷重状態 着目点 応力	曲 線 桁 応 力 (kg/cm ²)				応力比
		半 載 荷 重		満 載 荷 重		
		σ'_b	σ'_{to}	σ'	σ	
5	1 & 5	-847	-50	-897	-1072	0.836
	2 & 5	915	54	969	1158	0.836
10	1	865	71	936	1048	0.893
	2	-753	-80	-833	-919	0.906
	5	852	71	923	1032	0.894
	6	-741	-80	-821	-905	0.907
15	1	-620	-55	-675	-908	0.743
	2	674	59	733	988	0.741
	5	-610	-55	-665	-894	0.743
	6	664	59	723	973	0.743

5. 結 論

当橋の如く曲線半径が大なるものであれば、曲げモーメント値は直線橋として計算しても何ら差支えないことが判る。又、2主桁の場合には曲率の影響により上下フランジの応力にある程度の差異が生じているが、主要点の精密計算を行ない、応力比を求め中間点は直線的に変化するものとして計算を行なっても概略的に一致しているので実用上充分であると思う。しかし我々の目的である簡易化という事は唯単に精密計算をやっても大して変わらないという推察に立ち曲線理論を葬るということではなく、主要点は正規に計算を行ない中間点の傾向を知り最少限の簡易化をすることです。

なお、現在曲線半径の少ないものについて設計計算中であるのでいずれ報告出来るものと思う。

参 考 文 献

- 1) 小西一郎・小松定夫・大橋昭光：土木学会論文集 第25号
- 2) 小西一郎・小松定夫：薄肉連続曲線桁橋の立体的解析
- 3) 小松定夫：曲線橋の理論と設計
- 4) 小松定夫：曲線並列桁橋の実用計算式
- 5) 小松定夫：連続曲線桁橋