

# 跨座型モノレール鋼製軌道桁の設計について

## DESIGN OF STEEL TRACK BEAMS OF THE STRADDLE TYPE MONORAIL BRIDGES

田村周平\*

By Shuhei TAMURA

The steel track beams of the straddle-type monorail bridges have been used for straight and curved long span bridges over wide rivers and roadways, and also for complicated curved bridges. In this paper, the numerical calculations of the stresses of steel track beams of various span lengths and curvatures are performed using equivalent uniform load, practical calculation formulas of the curved track beam, and practical calculation formulas to determine the section of the track beam, which are newly suggested. The technical characteristic properties of the steel track beams are clarified by the comparative stress values, such as the section forces on the bearing, vertical reactions, bending moments of the span center and thickness of the track beam elements.

### 1. ま え が き

跨座型モノレールは、1956年に西独で開発され、わが国では、1964年に、東京国際空港連絡線（羽田一浜松町間、13.1 km）で、本格的な交通機関として登場したが、現在、日本国内では、中量輸送を分担する、都市交通機関の花形となっている。北九州市モノレール小倉線（国鉄小倉駅前一南区志井間、8.7 km）は、1984年、年度末を完成目標にして建設中であり、大阪モノレール第一期工事（大阪国際空港一阪急電鉄南茨木駅間、13.5 km）、那覇モノレール（那覇市字赤嶺一首里汀良間、11.1 km）、東京都、多摩都市モノレール（多摩センター一立川駅一新青梅街道間、約16 km）なども建設中（大阪モノレール）、または、建設準備中である。

跨座型モノレールの軌道桁は、スパン20 mのPC桁（大阪モノレールではスパン22 m）を標準桁として建造されているが、道路との交差部分、河川横断部などで、長大スパンとなる場合や、複雑な曲線部などでは、鋼製軌道桁が多く用いられるのが現状である。

鋼製軌道桁の断面は、停留場、車庫内区間などで、単独の軌道桁を用いる場合を除けば、通常、箱桁幅0.58

～0.66 m、高さ2.4～3.5 mの幅の狭い軌道桁を両側に配置し、その間をI形横桁で連結する。

さらに、支間が大となれば、左右の箱桁を弦材とする平面トラスとしての横構が組まれる。両側軌道桁は鉛直荷重による応力を、横構トラスは水平荷重による応力を伝達する。また、両側軌道桁と横構とからなる平面格子構造が、鉛直荷重、ねじりモーメントなどの荷重分配作用をする。軌道桁の上フランジ部は、モノレール走行輪の走行面となり、軌道桁腹板両側の、案内面、安定面は、案内輪、安定輪を支持する。また、曲線区間では、断面内に作用する遠心荷重に対応させるため、軌道桁断面内

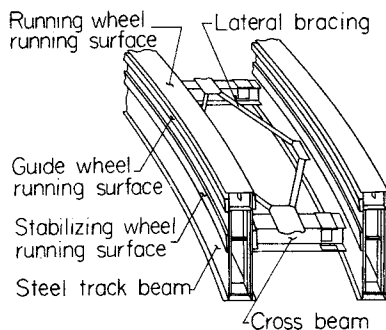


Fig. 1 General view of the curved steel track beam.

\* 正会員 日立造船株式会社橋梁技術担当部長

(〒636 奈良県生駒郡三郷町信貴ヶ丘 306-4)

に、最大12%程度の片勾配を設ける。Fig. 1に、鋼製曲線軌道桁の一般図を示した。

この研究では、モノレール鋼製軌道桁の解析に、直線軌道桁がねじり剛性を有する場合の、格子桁理論による実用計算法<sup>1),2)</sup>を用いるとともに、単純支持された軌道桁に、車両横荷重、遠心荷重などを載荷したときの、応力計算一般式を作成した。また、曲線軌道桁の解析方法として、曲線軌道桁がねじり剛性を有する場合の実用計算法を新たに提案し、計算方法の合理化、簡易化を図るとともに、同時に提案した、モノレール連行荷重に対応する等値等分布荷重、軌道桁断面決定のための実用計算式などを用いて、モノレール鋼製軌道桁の支間長と曲率半径を変化させたときの、支点上反力、断面力、支間中央曲げモーメントおよび上下フランジ所要厚などの数値計算を行って、鋼製軌道桁の、設計上の諸特性について、検討をした。

2. 直線軌道桁の計算

直線軌道桁の解析は、軌道桁のねじり定数比<sup>12)</sup>が30以上となる場合が多いので、主桁が曲げ剛性とねじり剛性を有し、横桁が曲げ剛性のみを有する場合の、格子桁理論による実用計算法<sup>1),2)</sup>を用いた。

また、 $n$ 本の分配横桁がある場合は、 $n$ 個の仮想格子剛度をもつ、一本横桁の格子桁をとけばよいとしている。さらに、近似計算法として、 $n$ 本の分配横桁がある場合に、 $n$ 個の仮想格子剛度の第1項の計算値のみを用いて、分配計算をする方法<sup>1),2),6)</sup>が提案されている。

曲げ格子剛度  $Z = \xi_{11} \cdot (l/2 a)^3 I_q / I$   
 ねじり格子剛度  $Z_r = \xi_{11} \cdot (l/8 a) EI_q / (GJ)$   
 $N_1 = 4 Z + 12 Z_r + (a_0/a)^3$   
 $N_2 = 4 Z_r + (a_0/a)$

ここで、

- $l$  : 軌道桁の支間長 (cm)
- $a$  : 両側軌道桁の腹板中心間隔 (cm)
- $a_0$  : 両側軌道桁の腹板内側間隔 (cm)
- $I$  : 軌道桁の断面二次モーメント (cm<sup>4</sup>)
- $J$  : 軌道桁のねじり抵抗モーメント (cm<sup>4</sup>)
- $I_q$  : 荷重分配用横桁の断面二次モーメント (cm<sup>4</sup>)

$N_1, N_2$  : 軌道桁断面力計算のための計算式

Table 1は、分配横桁数が $n$ 本の場合の、1本の場合に対する換算係数 $\xi_{11}, \xi_{11}$ の値を示した。

Table 1 The conversion coefficient values  $\xi_{11}, \xi_{11}$ .

n	1	6	7	8	9	10
$\zeta(1)$	1.000	3.450	3.942	4.435	4.928	5.421
$\xi(1)$	1.000	2.885	3.284	3.685	4.086	4.487

Fig. 2は、分配横桁を有する、格子桁としての軌道桁に、単位鉛直荷重およびねじりモーメントを載荷したときの、断面力、反力計算一般式を示した。

ここでは、軌道桁の任意断面における、二次元平面内のつり合いを考えた、計算一般式を示した。ここで、

- $d_{ik}$  : 軌道桁の断面力としてのねじりモーメント
- $k_{ik}$  : 軌道桁の断面力としての格点力
- $R_{ik}$  : 軌道桁の鉛直反力
- $\rho d_{ik}, \rho k_{ik}, \rho R_{ik}$  : 鉛直荷重載荷時の断面力, 反力
- $m d_{ik}, m k_{ik}, m R_{ik}$  : ねじりモーメント載荷時の断面力, 反力
- $i$  : 計算上の着目点  $k$  : 計算上の載荷点

Fig. 3は、北九州市モノレール、大阪環状モノレール等で用いられた、軸重 $P=11$ tのモノレール車両連行荷

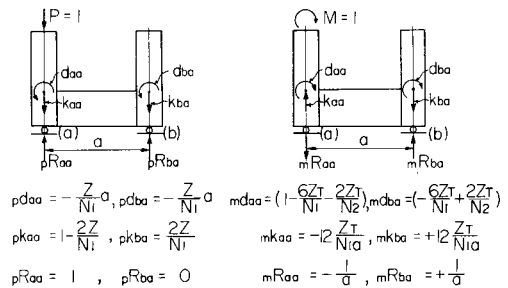


Fig. 2 Calculation formulas of section forces and reactions of the straight track beam.

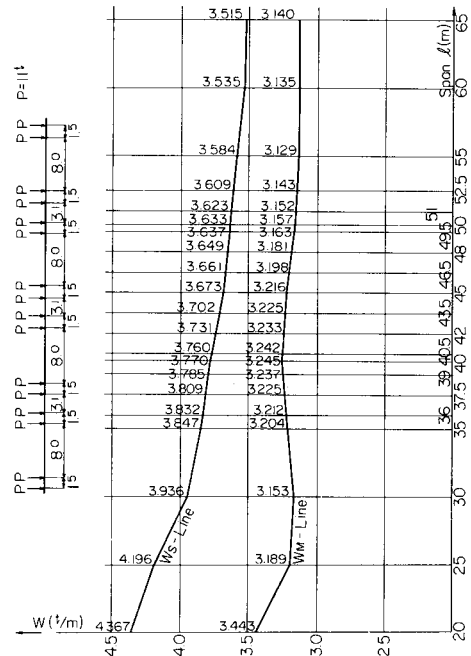


Fig. 3 Equivalent uniform load of the simple track beams.

重に対応する、等値等分布荷重を、単純軌道桁の支間長  $l=20\sim 65$  m の場合の、曲げモーメント計算用  $W_m$ 、支点上断面力計算用  $W_s$  等について計算し、図に示した。

Fig. 4 は、支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m の直線軌道桁に、単位鉛直荷重およびねじりモーメントを載荷したときの断面力としてのねじりモーメント  $d_{ik}(t\cdot m)$ 、格点力  $k_{ik}(t)$  の値を縦軸に示した。ここで、 $\rho k_{aa}=\rho k_{bb}=0.6$  であり、支間長  $l$  に関係なく、ほぼ一定の値となっているので、格子箱桁としての、直線軌道桁の荷重分配率は約 40% であるといえる。

Fig. 5 は、支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m の直線軌道桁に、

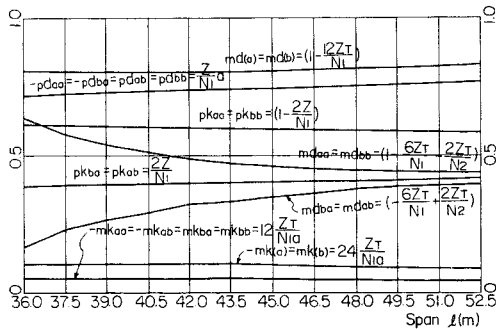


Fig. 4 Section forces diagram of the straight track beams.

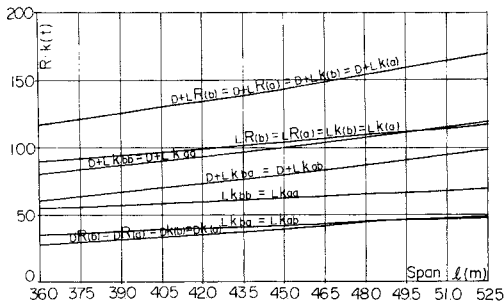


Fig. 5 Vertical reactions and panel point forces of the straight track beams.

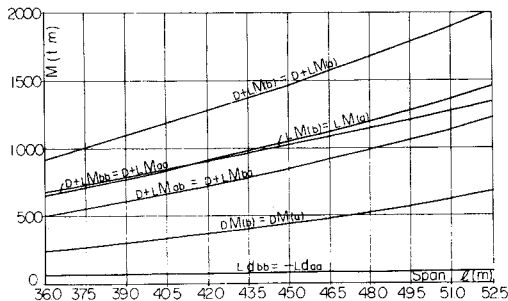


Fig. 6 Bending moments and torsional moments of the straight track beams.

死荷重 ( $D$ )、活荷重 ( $L$ ) を載荷したときの、支点上鉛直反力  $R(t)$ 、断面力としての支点上格点力  $k(t)$  を、Fig. 6 は、断面力としての支点上ねじりモーメント  $d(t\cdot m)$ 、支間中央曲げモーメント  $M(t\cdot m)$  等を縦軸に示した。ここで、 $d_{(i)}$ 、 $k_{(i)}$ 、 $R_{(i)}$ 、 $M_{(i)}$ などは、荷重を両側軌道桁に載荷したときの ( $i$ ) 桁応力を示した。

### 3. 車両横荷重、遠心荷重による応力計算

Fig. 7 は、横桁上端面に横構を有する軌道桁断面に、車両横荷重 ( $F_L$  および反対方向  $F'_L$ )、遠心荷重 ( $F_c$ ) などを載荷したときの、一般図を示した。

車両横荷重<sup>7),9)</sup>は、車両進行方向に直角かつ水平な力が、走行面に、一軸重の 25% の一軸集中移動荷重として作用する。曲線部における遠心荷重<sup>7)~9)</sup>は、車両進行方向に直角かつ水平な力が、車両重心位置に作用し、その大きさは、衝撃を考えない各軸重に、遠心荷重による係数を乗じた値となる。ここでは、遠心荷重の値を、

$$0 < r \leq 300 \text{ m のとき, } F_c = 0.17 P$$

$$300 \text{ m} < r \text{ のとき, } F_c = 51 P / r$$

とした。ここで、

$r$ : 軌道桁の曲率半径 (m)、 $P$ : 軌道桁の軸重 (t)

次に、軌道桁に車両横荷重、遠心荷重等を載荷したときの、支点上断面力、反力、支間中央曲げモーメント等の、応力計算一般式を式 (1)~(4) に示した。

計算式は、支間中央および支点上の値のみを示したが、任意点の応力を求める場合は、支間中央、支点上の影響線の縦距または面積と、任意点の影響線の縦距、面積、との比を求めて、計算式に乗ずれば、求められる。

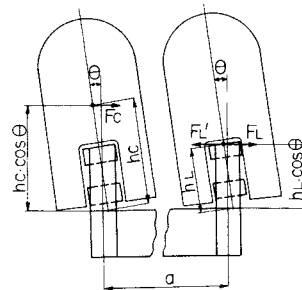


Fig. 7 Cross section of the track beam subjected to the centrifugal force and the lateral forces.

#### (1) 車両横荷重による応力計算一般式

$$m_L = F_L \times h_L \cos \theta$$

a) 支間中央曲げモーメント

$${}_{LF}M_{bb} = -{}_{LF}M_{ab} = \{3 Z_T l / (N_1 a)\} m_L$$

$${}_{LF}M_{(i)} = -{}_{LF}M_{(a)} = \{6 Z_T l / (N_1 a)\} m_L$$

} ... (1)

b) 支点上断面力、反力

$$\begin{aligned}
 {}_{LF}d_{bb} &= {}_{LF}d_{aa} = (1 - 6Z_T/N_1 - 2Z_T/N_2)m_L \\
 {}_{LF}d_{ab} &= {}_{LF}d_{ba} = (-6Z_T/N_1 + 2Z_T/N_2)m_L \\
 {}_{LF}k_{bb} &= -{}_{LF}k_{ab} = \{12Z_T/(N_1a)\}m_L \\
 {}_{LF}R_{bb} &= -{}_{LF}R_{ab} = (1/a)m_L \\
 {}_{LF}d_{(b)} &= {}_{LF}d_{(a)} = (1 - 12Z_T/N_1)m_L \\
 {}_{LF}k_{(b)} &= -{}_{LF}k_{(a)} = \{24Z_T/(N_1a)\}m_L \\
 {}_{LF}R_{(b)} &= -{}_{LF}R_{(a)} = (2/a)m_L
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

(2) 遠心力による応力計算一般式

$$c m_M = w_M \times k_c \times h_c \cos \theta$$

$$c m_s = w_s \times k_c \times h_c \cos \theta$$

$$\sum c m_s = (l/2) c m_s$$

a) 支間中央曲げモーメント

$$c M_{bb} = -c M_{ab} = \{1.5 Z_T l^2 / (N_1 a)\} c m_M$$

$$c M_{(b)} = -c M_{(a)} = \{3.0 Z_T l^2 / (N_1 a)\} c m_M$$

b) 支点上断面力, 反力

$$c d_{bb} = c d_{aa} = (1 - 6Z_T/N_1 - 2Z_T/N_2) \sum c m_s$$

$$c d_{ab} = c d_{ba} = (-6Z_T/N_1 + 2Z_T/N_2) \sum c m_s$$

$$c k_{bb} = -c k_{ab} = \{12Z_T/(N_1 a)\} \sum c m_s$$

$$c R_{bb} = -c R_{ab} = (1/a) \sum c m_s$$

$$c d_{(b)} = c d_{(a)} = (1 - 12Z_T/N_1) \sum c m_s$$

$$c k_{(b)} = -c k_{(a)} = \{24Z_T/(N_1 a)\} \sum c m_s$$

$$c R_{(b)} = -c R_{(a)} = (2/a) \sum c m_s$$

ここで,

$F_L, F'_L$ : 車両横荷重による横方向力

$h_L$ : 走行面から軌道桁横構面までの距離

${}_{LF}M_{ik}$ : 車両横荷重による, 支間中央曲げモーメント

${}_{LF}d_{ik}, {}_{LF}k_{ik}, {}_{LF}R_{ik}$ : 車両横荷重による, 支点上の断面力, 反力

$F_c$ : 遠心荷重による, 横方向力

$h_c$ : 車両重心位置から軌道桁横構面までの距離

$c M_{ik}$ : 遠心荷重による, 支間中央曲げモーメント

$c d_{ik}, c k_{ik}, c R_{ik}$ : 遠心荷重による支点上断面力, 反力

$k_c$ : 遠心荷重による係数

$w_M, w_s$ : 等値等分布荷重

$\theta$ : 案内安定面中心線と, 鉛直線との傾斜角度

Fig. 8 は, 支間長  $l=36.0 \sim 52.5$  m の単純軌道桁に,

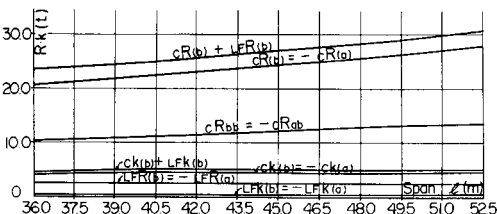


Fig. 8 Vertical reactions and panel forces subjected to the centrifugal and lateral forces.

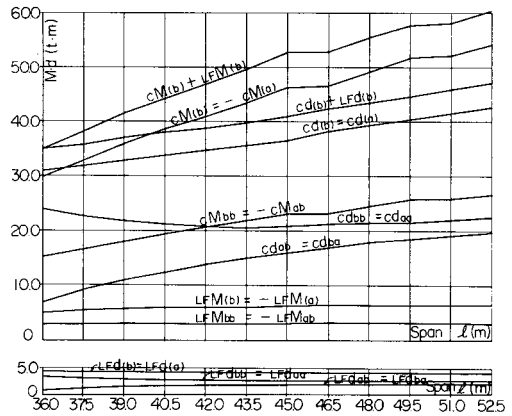


Fig. 9 Bending moments and torsional moments subjected to the centrifugal and lateral forces.

車両横荷重, 遠心荷重を载荷したときの, 支点上横構面の高さでの鉛直反力  $R(t)$ , 断面力としての格点力  $k(t)$  等を縦軸に示し, Fig. 9 は, 支間中央曲げモーメント  $M(t \cdot m)$ , 支点上ねじりモーメント  $d(t \cdot m)$  等を縦軸に示した. ここで,  $d_{(a)}, k_{(a)}, R_{(a)}, M_{(a)}$ などは, 荷重を, 両側軌道桁 a, b に载荷したときの, (i) 桁の, 支点上反力, 断面力, 曲げモーメント等を示す.

また,  $F_L=2.75t, h_L=1.93m, h_c=3.23m, k_c=0.17$ とし,  $\cos \theta=1$ として計算した.

4. 曲線軌道桁の計算

曲線軌道桁を, 主桁と横桁の連結点間を直線で結ぶ多角形の曲線桁であるとすれば, 連結点には, 鉛直荷重によって, 主桁曲げモーメントの横桁方向の成分であるねじりモーメントを生ずる.

曲線軌道桁が, ねじり剛性を有しない場合の解の一例として, 鉛直荷重および連結点に生じるねじりモーメントを, 横桁の曲げ剛性が  $\infty$  である主桁断面に载荷して格点反力を求め, その格点反力を, 曲線軌道桁と同一支間の, 格子分配作用をする直線軌道桁に载荷して, 曲線軌道桁としての断面力 (格点力), 反力, 曲げモーメントなどを求める, 著者らの実用計算法<sup>4)</sup>がある.

軌道桁がねじり剛性を有する場合は, 上述した方法では, 個々の軌道桁の断面力としてのねじりモーメントが求められないので, この研究では, 曲線軌道桁がねじり剛性を有する場合の解として, 主桁と横桁の連結点に生じるねじりモーメントを, 曲線軌道桁と同一支間の, ねじり剛性を有する直線軌道桁に载荷して, 断面力 (格点力およびねじりモーメント), 反力, 曲げモーメント等を求める実用計算法を提案した.

この場合, 曲線軌道桁にねじりモーメントを载荷したときの解は, 同一支間の直線軌道桁に载荷したときの解

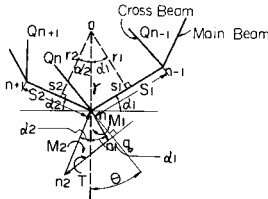


Fig. 10 Panel plane of the curved track beam.

と同様であるとして、計算をした。

(1) 応力計算式

Fig. 10 は、曲線軌道桁格点部の平面図を示す。

ここで、 $S_1, S_2$ : 主桁およびその部材長

$Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1}$ : 横桁の部材

$r_1, r_2$ : 主桁  $S_1, S_2$  の平面曲率半径

$M_1, M_2$ : 主桁  $S_1, S_2$  の、 $n$  点の曲げモーメント

$T$ :  $n$  点の、横桁方向のねじりモーメント

であるとすれば、力学的つり合い条件から、式 (5) および式 (6), (7) が得られる。

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= \phi M_1, T = \phi M_1 \\ \phi &= \cos(\theta - \alpha_1) / \cos(\theta + \alpha_2) \\ \phi &= \cos(\theta - \alpha_1) / \tan(\theta + \alpha_2) - \sin(\theta - \alpha_1) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

横桁が半径方向に等間隔に配置されたときは

$$\left. \begin{aligned} \theta &= 0, \alpha_1 = \alpha_2, r_1 = r_2 \\ \phi &= \cos \alpha_1 / \cos \alpha_2 = r_1 / r_2 = 1 \\ \phi &= 2 \cdot \sin \alpha_1 = S_1 / r \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

横桁が半径方向に任意間隔に配置されたときは、

$$\left. \begin{aligned} \theta &= 0, \alpha_1 \neq \alpha_2, r_1 \neq r_2 \\ \phi &= r_1 / r_2 \\ \phi &= \sin \alpha_1 [1 + (\tan \alpha_2 / \tan \alpha_1)] \\ &= S_1 / 2 r [1 + (S_2 / S_1) (r_1 / r_2)] \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

鉛直荷重および、連絡点に生じるねじりモーメントを、横桁の曲げ剛性が  $\infty$  である、2 本主桁の断面に載荷して、格点反力  $K_{ik}$  を求め、式 (8) に示した。

$$\left. \begin{aligned} K_{aa} &= P_a - (T_{aa} + T_{ba}) / a \\ &= P_a - (\psi_a M_{aa} + \psi_b M_{ba}) / a \\ K_{ba} &= + [T_{aa} + T_{ba}] / a \\ &= + (\psi_a M_{aa} + \psi_b M_{ba}) / a \\ K_{ab} &= - (T_{ab} + T_{bb}) / a \\ &= - (\psi_a M_{ab} + \psi_b M_{bb}) / a \\ K_{bb} &= P_b + (T_{ab} + T_{bb}) / a \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

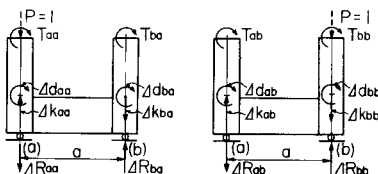


Fig. 11 Cross section of the curved track beam.

$$= P_b + (\psi_a M_{ab} + \psi_b M_{bb}) / a$$

ここで、

$P_k$ : 曲線軌道桁の、 $k$  点に加えられる鉛直荷重  
 $M_{ik}$ :  $P_k$  によって、曲線軌道桁の  $i$  点に生じる、主桁の曲げモーメント

$T_{ik}$ :  $P_k$  によって、曲線軌道桁の  $i$  点に生じる、横桁方向のねじりモーメント

$K_{ik}$ :  $P_k$  および  $T_{ik}$  を、横桁の曲げ剛性が  $\infty$  である、主桁断面に載荷したときの、 $i$  点の反力

Fig. 11 は、曲線軌道桁の断面図を示す。

格点ねじりモーメント  $T_{ik}$  によって、断面内に生じる、断面力としてのねじりモーメント  $\Delta d_{ik}$ , 格点力  $\Delta k_{ik}$ , 鉛直反力  $\Delta R_{ik}$  などの計算式を、次に示した。

$$\left. \begin{aligned} \Delta d_{aa} &= m d_{aa} \cdot T_{aa} + m d_{ab} \cdot T_{ba} \\ \Delta d_{ab} &= m d_{aa} \cdot T_{ab} + m d_{ab} \cdot T_{bb} \\ \Delta d_{ba} &= m d_{ba} \cdot T_{aa} + m d_{bb} \cdot T_{ba} \\ \Delta d_{bb} &= m d_{ba} \cdot T_{ab} + m d_{bb} \cdot T_{bb} \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta k_{ba} &= \{ (T_{aa} + T_{ba}) - (\Delta d_{aa} + \Delta d_{ba}) \} / a \\ \Delta k_{bb} &= \{ (T_{ab} + T_{bb}) - (\Delta d_{ab} + \Delta d_{bb}) \} / a \\ \Delta k_{ba} &= -\Delta k_{aa}, \Delta k_{bb} = -\Delta k_{ab} \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta R_{aa} &= -\Delta R_{aa} = (T_{aa} + T_{ba}) / a \\ \Delta R_{bb} &= -\Delta R_{bb} = (T_{ab} + T_{bb}) / a \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

(2) ねじりモーメントおよび曲げモーメント影響線  
 曲線軌道桁の横桁が、半径方向に等間隔に配置された場合について、曲線軌道桁の主桁と横桁の連結点に生じるねじりモーメント  $T_{ik}$  影響線および曲線軌道桁の  $T_{ik}$  による曲げモーメント影響線を作成した。

ねじりモーメント  $T_{ik}$  影響線は、曲線軌道桁の各格点に生じるねじりモーメントを、ねじりモーメント影響線

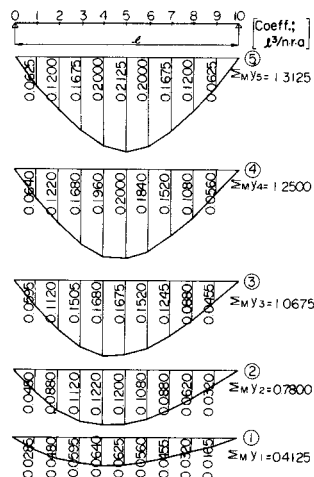


Fig. 12 Torsional moment  $T_{ik}$  influence line for the curved track beam.

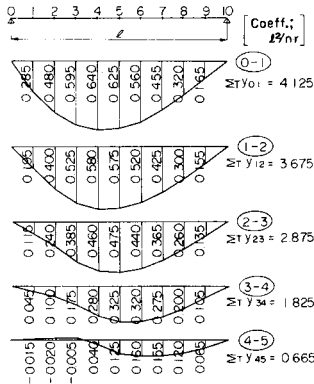


Fig. 13 Bending moment influence line due to the  $T_{ik}$  for the curved track beam.

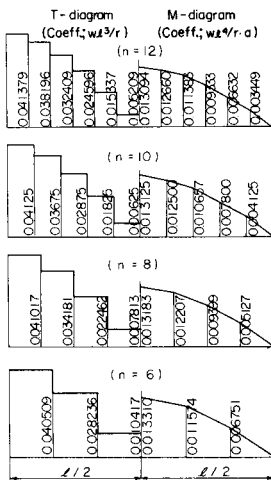


Fig. 14 Bending moments and torsional moments diagram subjected to the uniform load.

の各縦距に乗じて、その縦距を集計すれば求められる。

$T_{ik}$ による曲げモーメント影響線は、 $T_{ik}$ によって曲線軌道桁の各格点に生じる格点力を、曲げモーメント影響線に乗じて、その縦距を集計すれば求められる。

Fig. 12は、曲線軌道桁の格間数  $n=10$  の場合の、ねじりモーメント  $T_{ik}$  影響線を示し、Fig. 13は、曲線軌道桁の  $T_{ik}$  による曲げモーメント影響線を示した。

Fig. 14は、曲線軌道桁の格間数  $n=6\sim 12$  の場合に、等分布荷重を載荷したときの、 $T_{ik}$  によるねじりモーメント図および曲げモーメント図を示した。

Fig. 14中の、ねじりモーメントおよび曲げモーメントの比較係数  $C_1, C_2$  を Table 2 に示した。ここで、

$C_1 = (\text{各格点に載荷されるねじりモーメント } T_{ik} \text{ によって、支点上に生じるねじりモーメント}) / (\text{中央格点に載荷されるねじりモーメント})$

$C_2 = (\text{各格点に載荷される格点力 } \Delta k_{ik} \text{ によって、支間中央に生じる曲げモーメント}) / (\text{中央格点に載荷される格点力 } \Delta k_{ik} \text{ によって、支間中央に生じる曲げモーメント})$

(3)  $T_{ik}, \Delta d_{ik}, \Delta k_{ik}$  数値相互間の関係

曲線軌道桁の主桁と横桁の連結点に生じるねじりモーメント  $T_{ik}$  と、断面力としてのねじりモーメント  $\Delta d_{ik}$ 、格点力  $\Delta k_{ik}$  の値について、支間長  $l$ 、曲率半径  $r$  等が変化したときの、数値相互間の関係を、式 (8)~(11) の数値計算の結果から、図および式にまとめた。

支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m、曲率半径  $r=50\sim 400$  m の曲線軌道桁に、単位鉛直荷重を載荷したとき、Fig. 15は  $\alpha_a$  図を、Fig. 16は  $\beta_b$  図を、Fig. 17は  $r_{(b)}$  図を、Fig. 18は  $r_{(bb)}, \tau_{aa}$  図を示した。また、そのときの、 $\alpha, \beta, \gamma$  などの定義は、式 (12)~(15) に示した。Table 3は、 $T_{ik}, \Delta d_{ik}, \Delta k_{ik}$  および、集計値などの記号を示した。Fig. 15~18をみると、 $\alpha$  の値は曲率半径  $r$  に関係なく、支間長  $l$  によって決まり、 $\beta$  の値は、 $l$  に関係なく、 $r$  によって決まる。 $\gamma_{(a)}, \gamma_{(b)}, \gamma_{(bb)}, \gamma_{aa}$  などは、 $r$  と  $l$  の関数となっている。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_a &= \sum \Delta d_{ik} / \sum T_{ik} \doteq \sum \Delta d_{i(b)} / \sum T_{i(b)} \\ &\doteq \sum \Delta d_{i(a)} / \sum T_{i(a)} \\ \alpha_k &= \sum \Delta k_{i(b)k} \cdot a / \sum T_{ik} \doteq \sum \Delta k_{bb} \cdot a / \sum T_{i(b)} \\ &\doteq \sum \Delta k_{aa} \cdot a / \sum T_{i(a)} \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_a + \alpha_k &= 1 \\ \beta_b &= \sum T_{i(b)} / \sum T_{ik} \doteq \sum \Delta d_{i(b)} / \sum \Delta d_{ik} \\ &\doteq \sum \Delta k_{bb} \cdot a / \sum \Delta k_{i(b)k} \cdot a \\ \beta_a &= \sum T_{i(a)} / \sum T_{ik} \doteq \sum \Delta d_{i(a)} / \sum \Delta d_{ik} \\ &\doteq \sum \Delta k_{aa} \cdot a / \sum \Delta k_{i(a)k} \end{aligned} \right\} \dots (13)$$

Table 2 The comparison coefficient values  $C_1, C_2$ .

n	6	8	10	12
$C_1$	1.945	2.625	3.300	3.972
$C_2$	2.555	3.375	4.200	5.028

Table 3 Mark of the  $T_{ik}, \Delta d_{ik}, \Delta k_{ik}$ .

	i \ k	a	b	Total
$T_{ik}$	a	$T_{aa}$	$T_{ab}$	$\Sigma T_{i(a)k}$
	b	$T_{ba}$	$T_{bb}$	$\Sigma T_{i(b)k}$
	Total	$\Sigma T_{i(a)}$	$\Sigma T_{i(b)}$	$\Sigma T_{ik}$
$\Delta d_{ik}$	a	$\Delta d_{aa}$	$\Delta d_{ab}$	$\Sigma \Delta d_{i(a)k}$
	b	$\Delta d_{ba}$	$\Delta d_{bb}$	$\Sigma \Delta d_{i(b)k}$
	Total	$\Sigma \Delta d_{i(a)}$	$\Sigma \Delta d_{i(b)}$	$\Sigma \Delta d_{ik}$
$\Delta k_{ik}$	a	$\Delta K_{aa}$	$\Delta K_{ab}$	$\Sigma \Delta K_{i(a)k}$
	b	$\Delta K_{ba}$	$\Delta K_{bb}$	$\Sigma \Delta K_{i(b)k}$
	Total	0	0	0

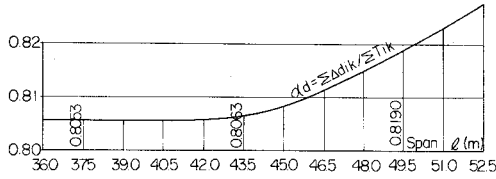


Fig. 15 Coefficient values  $\alpha_a$ .

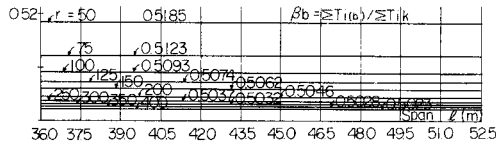


Fig. 16 Coefficient values  $\beta_b$ .

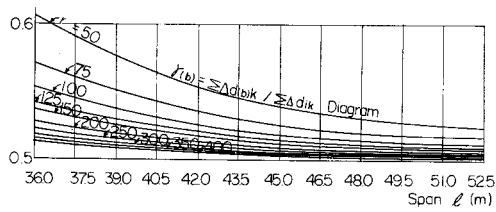


Fig. 17 Coefficient values  $\gamma_b$ .

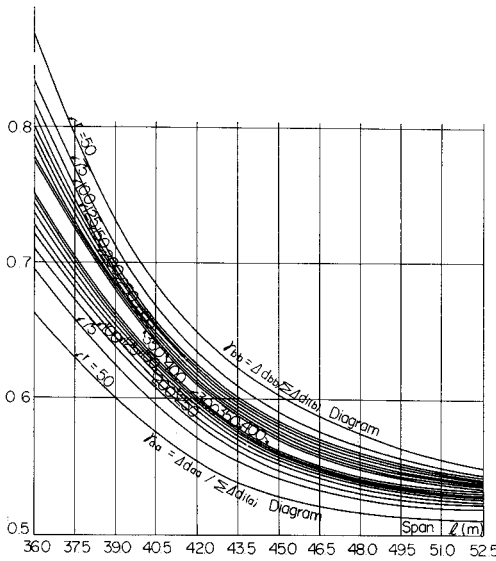


Fig. 18 Coefficient values  $\gamma_{bb}, \gamma_{aa}$ .

$$\left. \begin{aligned} \beta_a + \beta_b &= 1 \\ \gamma_{(b)} &= \sum \Delta d_{(b)k} / \sum \Delta d_{ik}, \gamma_{(a)} = \sum \Delta d_{(a)k} / \sum \Delta d_{ik} \dots (14) \\ \gamma_{(a)} + \gamma_{(b)} &= 1 \\ \gamma_{bb} &= \Delta d_{bb} / \sum \Delta d_{i(b)}, \gamma_{ab} = \Delta d_{ab} / \sum \Delta d_{i(b)} \\ \gamma_{aa} + \gamma_{bb} &= 1 \\ \gamma_{ba} &= \Delta d_{ba} / \sum \Delta d_{i(a)}, \gamma_{aa} = \Delta d_{aa} / \sum \Delta d_{i(a)} \dots (15) \\ \gamma_{aa} + \gamma_{ba} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

(4) 影響線を用いた実用計算式

曲線軌道桁の横桁が、半径方向に等間隔に配置された場合の、 $T_{ik}$ によって生じる、反力、断面力、曲げモーメントなどの計算を、より簡単にするために、4.(2), (3)を組み合わせて、曲線軌道桁の、影響線を用いた実用計算式を作成し、式(16)~(20)に示した。

a) 集中荷重を a 桁に載荷したとき

$$\left. \begin{aligned} [d_{aa}] &= (y/n)(l^2/r)\alpha_a \cdot \beta_a \cdot \gamma_{aa} \times 2P \\ [d_{ba}] &= (y/n)(l^2/r)\alpha_a \cdot \beta_b \cdot \gamma_{ba} \times 2P \\ [k_{ba}] &= (y/n)(l^2/r)\alpha_a \cdot \beta_a \times 2P/a \\ [R_{ba}] &= (y/n)(l^2/r)\beta_a \times 2P/a \\ [M_{ba}] &= (y/n)l^3/(r \cdot a)\alpha_a \cdot \beta_a \times 2P \\ [k_{bb}] &= -[k_{aa}], [R_{ba}] = -[R_{aa}], [M_{ba}] = -[M_{aa}] \end{aligned} \right\} \dots (16)$$

b) 集中荷重を b 桁に載荷したとき

$$\left. \begin{aligned} [d_{ab}] &= (y/n)(l^2/r)\alpha_a \cdot \beta_b \cdot \gamma_{ab} \times 2P \\ [d_{bb}] &= (y/n)(l^2/r)\alpha_b \cdot \beta_b \cdot \gamma_{bb} \times 2P \\ [k_{bb}] &= (y/n)(l^2/r)\alpha_b \cdot \beta_b \times 2P/a \\ [R_{bb}] &= (y/n)(l^2/r)\beta_b \times 2P/a \\ [M_{bb}] &= (y/n)l^3/(r \cdot a)\alpha_b \cdot \beta_b \times 2P \\ [k_{bb}] &= -[k_{ab}], [R_{bb}] = -[R_{ab}], [M_{bb}] = -[M_{ab}] \end{aligned} \right\} \dots (17)$$

c) 等分布荷重を a 桁に載荷したとき

$$\left. \begin{aligned} [d_{aa}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_a \cdot \beta_a \cdot \gamma_{aa} \times 2w \\ [d_{ba}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_a \cdot \beta_b \cdot \gamma_{ba} \times 2w \\ [k_{ba}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_a \cdot \beta_a \times 2w/a \\ [R_{ba}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\beta_a \times 2w/a \\ [M_{ba}] &= (\sum y/n^2)l^4/(r \cdot a)\alpha_a \cdot \beta_a \times 2w \\ [k_{ba}] &= -[k_{aa}], [R_{ba}] = -[R_{aa}], [M_{ba}] = -[M_{aa}] \end{aligned} \right\} \dots (18)$$

d) 等分布荷重を b 桁に載荷したとき

$$\left. \begin{aligned} [d_{ab}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_a \cdot \beta_b \cdot \gamma_{ab} \times 2w \\ [d_{bb}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_b \cdot \beta_b \cdot \gamma_{bb} \times 2w \\ [k_{bb}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_b \cdot \beta_b \times 2w/a \\ [R_{bb}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\beta_b \times 2w/a \\ [M_{bb}] &= (\sum y/n^2)l^4/(r \cdot a)\alpha_b \cdot \beta_b \times 2w \\ [k_{bb}] &= -[k_{ab}], [R_{bb}] = -[R_{ab}], [M_{bb}] = -[M_{ab}] \end{aligned} \right\} \dots (19)$$

e) 等分布荷重を a, b 桁に載荷したとき

$$\left. \begin{aligned} [d_{(a)}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_a \cdot \gamma_{(a)} \times 2w \\ [d_{(b)}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_b \cdot \gamma_{(b)} \times 2w \\ [k_{(b)}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r)\alpha_b \times 2w/a \\ [R_{(b)}] &= (\sum y/n^2)(l^3/r) \times 2w/a \\ [M_{(b)}] &= (\sum y/n^2)l^4/(r \cdot a)\alpha_b \times 2w \\ [k_{(b)}] &= -[k_{(a)}], [R_{(b)}] = -[R_{(a)}], [M_{(b)}] = -[M_{(a)}] \end{aligned} \right\} \dots (20)$$

ここで、

$l$ ：軌道桁の支間長  $a$ ：軌道桁の腹板中心間隔  
 $n$ ：軌道桁の格間数  $r$ ：軌道桁の平面曲率半径  
 $y$ ：影響線の縦距  $\Sigma y$ ：影響線の合計縦距

$[d_{ik}]$ ： $T_{ik}$ による支点上ねじりモーメント (t·m)  
 $[k_{ik}]$ ： $T_{ik}$ による支点上格点力 (t)  
 $[R_{ik}]$ ： $T_{ik}$ による鉛直反力 (t)  
 $[M_{ik}]$ ： $T_{ik}$ による支間中央曲げモーメント (t·m)

(5) 数値計算例

支間長  $l=43.5$  m, 曲率半径  $r=200$  m, 格間数  $n=10$  の曲線軌道桁と, 直線軌道桁について,  $w_a=1.710$  t/m,  $w_{s1+a}=4.692$  t/m,  $w_{m1+a}=4.087$  t/m 等を載荷したときの数値計算を, 式 (18)~(20) を用いて行った.

a) 基本数値の計算

$\Sigma r y_{01}=4.1250$  (Fig. 12 より)  
 $\Sigma n y_s=1.3125$  (Fig. 13 より)  
 $\alpha_a=0.806$   $\alpha_n=0.194$  (Fig. 15 より)  
 $\beta_b=0.505$   $\beta_a=0.495$  (Fig. 16 より)  
 $\gamma_{(b)}=0.511$   $\gamma_{(a)}=0.489$  (Fig. 17 より)  
 $\gamma_{bb}=0.593$   $\gamma_{ab}=0.407$  (Fig. 18 より)  
 $\gamma_{aa}=0.573$   $\gamma_{ba}=0.427$  (Fig. 18 より)

b) 死荷重と活荷重載荷時の, 直線軌道桁応力

$d_{bb}=75.49$  (t·m),  $k_{bb}=98.44$  (t)  
 $k_{ab}=77.99$  (t),  $R_{bb}=139.24$  (t)  
 $R_{ab}=37.19$  (t),  $M_{bb}=984.67$  (t·m)  
 $M_{ab}=790.95$  (t·m),  $M_{(b)}=1371.15$  (t·m)

c) 死荷重と活荷重を b 桁に載荷したときの曲線軌道桁の [ ] 内値の計算

式 (20) に  $w_a$  を, 式 (19) に  $w_{s1+a}$ ,  $w_{m1+a}$  を代入

$[d_{bb}]=23.92+38.44=62.36$  (t·m)  
 $[d_{ab}]=22.89+26.38=49.27$  (t·m)  
 $[k_{bb}]=3.04+4.21=7.25$  (t)  
 $[R_{bb}]=15.69+21.73=37.42$  (t)  
 $[M_{bb}]=42.05+50.74=92.79$  (t·m)

d) 死荷重と活荷重を a, b 桁に載荷したときの, 曲線軌道桁の [ ] 内値の計算

$w_s=6.402$  t/m,  $w_n=5.797$  t/m を式 (20) に代入  
 $[d_{(a)}]=85.71$  (t·m)  $[d_{(b)}]=89.56$  (t·m)  
 $[k_{(b)}]=11.38$  (t)  $[R_{(b)}]=58.75$  (t)  
 $[M_{(b)}]=142.62$  (t·m)

e) 死荷重と活荷重を載荷したときの曲線軌道桁の応力 {b)+c), b)+d)}

$d_{bb}=137.85$  (t·m)  $d_{ab}=124.76$  (t·m)  
 $k_{bb}=105.69$  (t)  $k_{ab}=70.74$  (t)  
 $R_{bb}=176.66$  (t)  $R_{ab}=-0.23$  (t)  
 $d_{(b)}=89.56$  (t·m)  $d_{(a)}=85.71$  (t·m)  
 $R_{(b)}=197.99$  (t)  $R_{(a)}=80.49$  (t)  
 $M_{bb}=1077.46$  (t·m)  $M_{ab}=698.16$  (t·m)

$M_{(b)}=1513.77$  (t·m)  $M_{(a)}=1228.53$  (t·m)

支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m, 曲率半径  $r=50\sim 400$  m の曲線軌道桁に, 死荷重, 活荷重, 車両横荷重, 遠心荷重等を載荷したときの数値計算を, Fig. 5~6, Fig. 8~9, 4. (1), 式 (5)~(11) を用いて行った.

Fig. 19 は, 支点上鉛直反力を, Fig. 20 は, 支間中央曲げモーメントの値を縦軸に示した. また, Fig. 19 中の負の反力値は, 実際的设计<sup>10)~12)</sup>では, 死荷重, 活荷重による反力値は, 安全係数を乗じた後, 加算されるので, Fig. 19 中の値より大となる. また, 直線軌道桁の応力値は, 死荷重と活荷重のみを載荷したときの値とした.

5. 鋼製軌道桁の断面決定

鋼製軌道桁の断面は, 軌道桁の上下フランジ, 腹板などのほかに, 走行面の縦リブ, 案内面, 安定面などが入るので, 断面決定のための計算は複雑になる.

Table 4 では, 軌道桁の断面を, 一定断面  $G_1$  と, 可変断面  $G_2$  について, 別々に計算をした後に, 組み合わせる. 与えられた曲げモーメント  $M$  (kg·cm), 桁高  $H$  (cm), 腹板厚  $t_w$  (cm) などに対して, 所要の上下フランジ許容応力度となるような, 上下フランジ所要厚  $t_u$  (cm),  $t_l$  (cm) を求める計算式を作成した. さらに, 断面決定後の, 断面二次モーメント  $I$  (cm<sup>4</sup>), 断面係数  $W$  (cm<sup>3</sup>) などを求める計算式も併せて示した. また, 上フランジ応力度は, 鋼床板縦リブ応力度を加算した場合にも, 許容応力度内でなければならないので<sup>10), 11)</sup>, 縦リブの上フランジ応力度を, (1) 250 kg/cm<sup>2</sup>, (2) 330

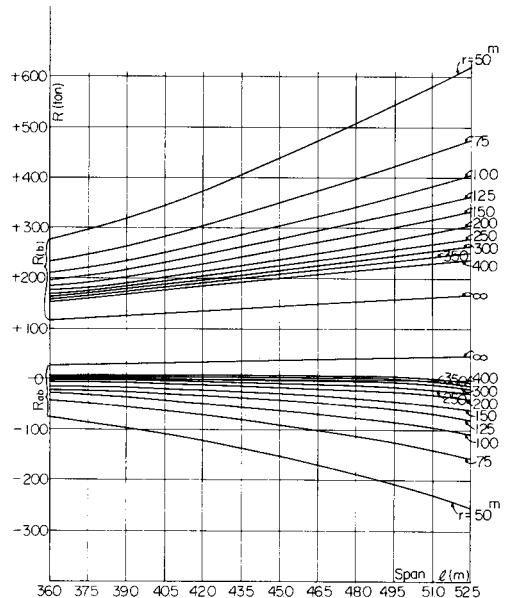


Fig. 19 Vertical reactions  $R(t)$  of the curved track beams.



kg/cm<sup>2</sup>と仮定して、軌道桁上フランジ部の許容応力度を定めた。

Fig. 21 は、支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m、曲率半径  $r=50\sim 400$  m の曲線軌道桁と、直線軌道桁の場合について、Table 4 (1) の計算式を用いて、支間中央における、所要上下フランジ厚を計算した。ここで、

$t_{bu(u)}, t_{bu(l)}$ : b 桁の上 (u), 下 (l) フランジ厚 (cm)  
 $t_{au(u)}, t_{au(l)}$ : a 桁の上 (u), 下 (l) フランジ厚 (cm)

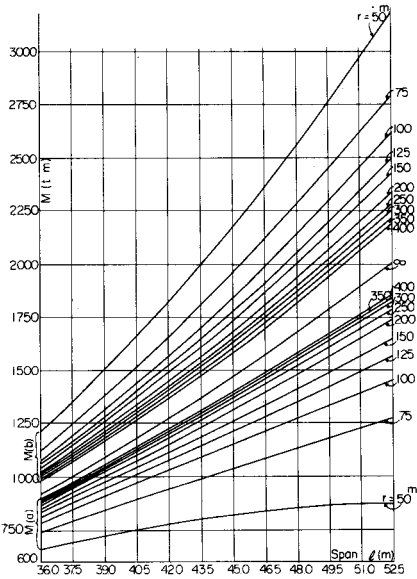
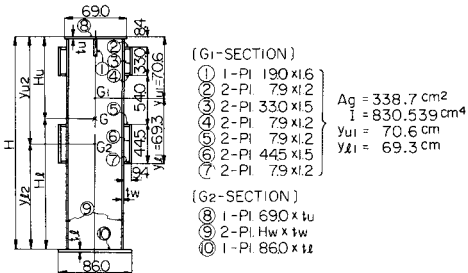


Fig. 20 Bending moments  $M$  (t·m) of the span center of the curved track beams.

Table 4 Practical calculation formulas to determine the thickness of sections.



(1)  $\delta_{100} = 1150 \text{ kg/cm}^2, \delta_{200} = 1400 \text{ kg/cm}^2$   
 $t_u = \frac{1}{79,356H} \left\{ M \cdot 300.059H^2 + w \cdot 389.58H + 88,527,600 - 6,427,193,000 \left( \frac{1}{H} \right) \right\}$   
 $t_l = 0.6591t_u + 3.236 - 506.7 \left( \frac{1}{H} \right) - 0.002076H \cdot w$   
 $I = 0.17469H^3 + w \cdot (4.0347H + 25.9205H + 68.8997)H^2 - 21,580.6H + 2,520,380$   
 $H_u = 0.4510H, H_l = 0.5490H, W_u = 1/H_u, W_l = 1/H_l$

(2)  $\delta_{100} = 1070 \text{ kg/cm}^2, \delta_{200} = 1400 \text{ kg/cm}^2$   
 $t_u = \frac{1}{73,830.0H} \left\{ M \cdot 246.669H^2 + w \cdot 362.485H + 84,695,660 - 6,225,351,000 \left( \frac{1}{H} \right) \right\}$   
 $t_l = 0.6132t_u + 3.010 - 490.8 \left( \frac{1}{H} \right) - 0.00274H \cdot w$   
 $I = 0.175592H^3 + w \cdot (2.9487H + 27.6296H + 63.5815)H^2 - 20,728.8H + 2,520,380$   
 $H_u = 0.4332H, H_l = 0.5668H, W_u = 1/H_u, W_l = 1/H_l$

また、この場合の軌道桁腹板高は、 $l/15$ とし、鋼材は SM 41 クラスを用いた場合を計算した。

ここで、 $t_{bu} \leq 5.0$  cm とすれば、 $r \geq 50$  m のとき  $l \leq 41.4$  m、 $r \geq 75$  m のとき  $l \leq 45.7$  m、 $r \geq 100$  m のとき、 $l \leq 49.0$  m となる。また、 $t_{au} \geq 1.6$  cm とすれば、 $r \geq 125$  m のとき  $l \leq 50.5$  m となる。

Table 5 は、支間長  $l=49.0$  m、曲率半径  $r=200$  m の曲線軌道桁と、直線軌道桁に、死荷重  $W_d = 2.04$  t/m、活荷重  $W_{s(1+l)} = 4.560$  t/m、 $W_{M(1+l)} = 3.969$  t/m 等を載荷したときの、支点上ねじりモーメント  $d$  (t·m)、格点力  $k(t)$ 、鉛直反力  $R(t)$ 、支間中央曲げモーメント  $M$  (t·m) 等について、4. で示した、実用計算法を用いて数値計算を行い、(変形法による精密計算値<sup>5)</sup>)との比較をしたが、

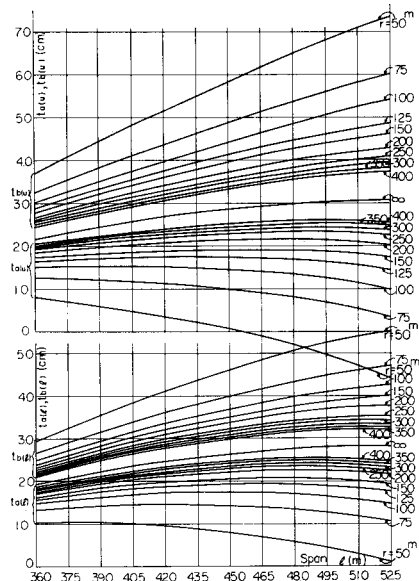


Fig. 21 Required flange thickness of the span center of the curved track beams.

Table 5 Comparative stresses table for the section forces, the reactions, and the bending moments.

$r$ (m)	$d(a)$ (t·m)	$K(a)$ (t)	$R(a)$ (t)	$d(b)$ (t·m)	$K(b)$ (t)	$R(b)$ (t)
$\infty$	0	161.7	161.7	0	161.7	161.7
	(0)	(161.7)	(161.7)	(0)	(161.7)	(161.7)
200	128.9	144.7	73.5	134.7	178.7	249.9
	(114.6)	(135.4)	(73.1)	(115.7)	(188.1)	(250.0)
$r$ (m)	$Maa$ (t·m)	$Mba$ (t·m)	$Mab$ (t·m)	$Mbb$ (t·m)	$M(a)$ (t·m)	$M(b)$ (t·m)
$\infty$	1325	1090	1090	1325	1804	1804
	(1318)	(1098)	(1098)	(1318)	(1804)	(1804)
200	1153	1240	936	1502	1560	2047
	(1158)	(1251)	(960)	(1493)	(1581)	(2049)

双方の値はよく一致した。

## 6. 結 語

(1) 支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m の、主桁がねじり剛性を有する直線軌道桁に、死荷重および、Fig. 3 に示す等値等分布荷重を用いた活荷重を載荷したときの、支点上反力、断面力、支間中央曲げモーメント等の値を計算し、Fig. 5~6 に示した。

(2) 支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m の、主桁がねじり剛性を有する直線軌道桁に、車両横荷重、遠心荷重などを載荷したときの、支点上反力、断面力、支間中央曲げモーメント等の値を、式 (1)~(4) を用いて計算し、Fig. 8~9 に示した。また、遠心荷重の計算には、Fig. 3 の等値等分布荷重を用いた。

(3) 曲線軌道桁が、ねじり剛性を有する場合の実用計算法は、4. (1) 中の、式 (5)~(7) によって、曲線形状の基本数値の計算をし、式 (8)~(11) 等によって、 $T_{ik}$  によって生じる、断面力としてのねじりモーメント  $\Delta d_{ik}$ 、格点力  $\Delta k_{ik}$ 、鉛直反力  $\Delta R_{ik}$  等の計算を行い、その値を、直線軌道桁としての断面力、反力、 $d_{ik}$ 、 $k_{ik}$ 、 $R_{ik}$  等の値に加算すれば、曲線軌道桁としての断面力、反力等を、求めることができる。

さらに、分配用横桁が曲率半径方向に等間隔に配置されている場合に、計算値をより簡単に求められるように、4. (2), (3) を組み合わせて、4. (4) を作成し、式 (16)~(20) に示した。また、4. (5) では、Fig. 5~6 を用いた直線軌道桁と、式 (16)~(20) を用いた曲線軌道桁の計算例を  $l=43.5$  m、 $r=200$  m の場合について示した。

また、支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m、曲率半径  $r=50\sim 400$  m の曲線軌道桁に、死荷重、Fig. 3 に示す等値等分布荷重を用いた活荷重、車両横荷重および遠心荷重等を載荷したときの支点上反力、支間中央曲げモーメント等の値を、Fig. 5~6、Fig. 8~9、および 4. (1) 式 (5)~(11) などを用いて計算し、その結果を、Fig. 19~20 に示した。

(4) 曲線軌道桁が、ねじり剛性を有しない場合の実用計算法の一例として、著者らの計算法<sup>4)</sup>があるが、この中で、他の方法との比較をするために、支間長  $l=35$  m、曲率半径  $r=170$  m の 4 本主桁曲線格子桁の、主桁の格点力、曲げモーメント、横桁の曲げモーメント等の数値計算を行い、文献<sup>3)</sup>の方法との比較をしたが、双方の値は、ほとんど一致した。

また、4. で示した、曲線軌道桁がねじり剛性を有する場合の実用計算法と、他の計算方法とを比較するために、支間長  $l=49.0$  m、曲率半径  $r=200$  m の曲線軌道桁と、直線軌道桁に、死荷重、活荷重を載荷したときの、支点上反力、断面力、支間中央曲げモーメント等の値を計算し、変形法を用いた精密計算値<sup>5)</sup>との比較をし、Table 5 に示したが、双方の値はよく一致した。

(5) Table 4 に示した、軌道桁の断面決定のための実用計算式を用いて、支間長  $l=36.0\sim 52.5$  m、曲率半径  $r=50\sim 400$  m の曲線軌道桁と、直線軌道桁の、支間中央における所要上下フランジ厚を計算して、Fig. 21 に示した。これらの結果と、Fig. 19~20 等の結果から、曲線軌道桁の場合に、曲率半径が小となり、支間長  $l$  が大となれば、軌道桁のフランジ断面構成、負の反力を受ける支承構造等に、構造上の制約を受ける場合があることがわかった。

最後に、この研究を行うに際して、貴重なご助言を賜った、名古屋大学名誉教授（現在、摂南大学工学部教授）成岡昌夫先生に、深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Homberg, H. und Weinmeister, J. : Einfluss-flächen für Kreuzwerke, Springer 1958.
- 2) Homberg, H. und Trenks, K. : Drehsteife Krezwerke, Springer 1962.
- 3) 倉西 茂 : 曲線格子げたの解法, 土木学会論文集, 第 76 号, 昭和 36 年 9 月.
- 4) 田村周平・坂田敦彦 : 任意形状を有する曲線橋の簡易計算法, 土木技術 18-10, pp. 23~35, 昭和 38 年 10 月.
- 5) 藤尾元成・植野芳雄 (JIP) : 変形法による任意格子げたの応力解析 (GRID/LOADNEW), 昭和 42 年 10 月, 昭和 52 年 2 月.
- 6) 高島春生 : 道路橋の横分配実用計算法, 前編, 後編, 現代理工学出版株式会社, 昭和 54 年, 50 年.
- 7) 日本道路協会 : モノレール構造基準調査報告書, 昭和 50 年 3 月.
- 8) 中量軌道システム及びモノレール構造物設計基準研究委員会 : 中量軌道システム及びモノレール構造物設計基準研究報告書, 昭和 53 年 2 月.
- 9) 北九州市 : 都市モノレール小倉線設計仕様書, 昭和 51 年 3 月, 昭和 53 年 9 月.
- 10) 土木学会 : 鋼鉄道橋設計標準解説, 昭和 49 年 4 月.
- 11) 土木学会 : 国鉄建造物設計標準解説 (鋼鉄道橋および鋼とコンクリートとの合成鉄道橋), 昭和 58 年 5 月.
- 12) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, II. 鋼橋編, 昭和 55 年 6 月.

(1984. 2. 23・受付)