

日立造船株式会社 正員 竹村雅人

名古屋工業大学 正員 長谷川彰夫

名古屋工業大学 正員 松浦 聖

近年の都市高速道路の発達に伴い、過密地帯等の立地条件の難しさの中で、鋼曲線橋の需要が高まっている。曲線橋の力学は直線橋の力学に比べ、定式化の上ではるかに難しく、理論的な厳密解を実用設計に直接用いるのはほとんど不可能に近い。曲率の存在が解析に与える影響としては、(1)中立点や断面2次モーメント等の断面量に及ぼす影響、(2)断面力を算定する際の骨組構造解析に及ぼす影響、に大きく分けることができる。(2)の骨組構造解析は(1)の断面量評価が確定しておれば、支配方程式系もさほど複雑にならず、実用設計での適用も困難ではない。(1)の断面量の評価に及ぼす曲率の影響は解析的な表現としては非常に複雑に關与し、実用設計において厳密に評価計算するのはほとんど不可能に近い。実用設計で用いられる曲率は相対的に小さく、断面量評価に及ぼす曲率の影響は定量的には小さいであろうことは十分に予測が可能であるが、曲線橋としての厳密な断面量が直線橋の断面量に比べどの程度違っているか定量的には不明である。本報告では、曲線橋としての厳密な断面量と応力分布を評価計算し、直線橋の場合と比較して、実用曲線橋での取り扱い方について検討した。

検討の対象とした断面は、I形・C形・箱形である。検討を加えた断面量は、中立点、せん断中心、両主軸回りの断面2次モーメント、そり2次モーメント、サン・ブナソンのねじれ定数である。応力分布については、両主軸回りの曲げ、そりねじりによるせん断流分布及びせん断中心でのそり関数を調べた。計算の対象に選んだ断面の座標系と幾何学的諸量をFig.1に示す。ここで、Cは中立点、Sはせん断中心である。Dは各断面の基準点で図に示す通りI形・箱形では幾何学的図心、C形ではウェブ軸上にとる。Oは曲率中心で、 r_c , r_s , r_b はそれぞれ点C, S, Dの曲率半径を示す。 $\bar{x}_c$, $\bar{x}_s$ は、 $\bar{x}$ 軸(原点D)での点C, Sの座標を示す。計算結果は汎用的に理解できるように、断面形、フランジの幅厚比 b/t_f 、ウェブの幅厚比 t_w/t_f 、ウェブと圧縮フランジの面積比 $h/t_w/b$ 、及び点Dの曲率半径とウェブ高の比 r_b/h を実用的と思われる範囲で変化させて整理した。

各断面の中立点、せん断中心の位置と曲率半径の関係をTable 1に示す。各点の位置は表に示すように、フランジ幅またはその半分で無次元化されており、位置の左右はFig.1に示す通りである。 $r_b/h = \infty$ の場合は、直線橋の結果である。箱形断面のせん断中心において、曲率の影響がある程度見られるが量的には小さく、実用設計に用いる曲率半径の範囲が $15 < r_b/h < 100$ 程度であることを考えると、実用設計では直線橋の場合の中立点、せん断中心を用いても大きな問題はないと言える。

断面量の例として、各断面のそり2

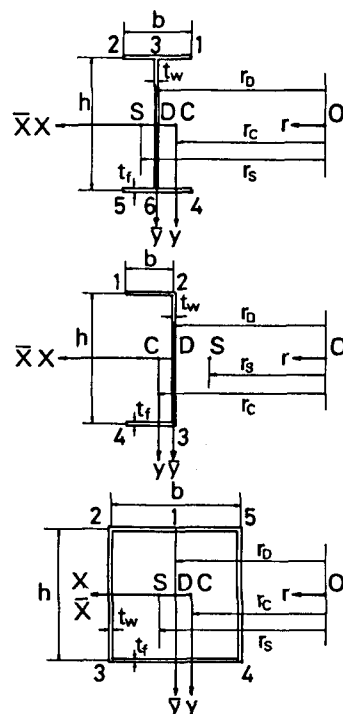


Fig. 1 座標系と幾何学的諸量

Table 1 中立点・せん断中心の位置と曲率半径の関係

	r_b/h	10	15	20	40	60	80	∞	
I形 2	e_c	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0	$e_c = \frac{ \bar{x}_c }{b/2}$
	e_s	0.005	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0	$e_s = \frac{\bar{x}_s}{b/2}$
C形 1	e_c	0.331	0.332	0.332	0.333	0.333	0.333	0.333	$e_c = \bar{x}_c/b$
	e_s	0.422	0.424	0.425	0.428	0.428	0.428	0.429	$e_s = \bar{x}_s /b$
箱形 3	e_c	0.034	0.023	0.017	0.009	0.006	0.004	0	$e_c = \frac{ \bar{x}_c }{b/2}$
	e_s	0.098	0.065	0.049	0.024	0.016	0.012	0	$e_s = \frac{\bar{x}_s}{b/2}$

次モーメントと曲率半径の関係をFig.2~4に示す。 $\bar{I}_{\omega\omega} = I_{\omega\omega}^c / I_{\omega\omega}^s$ なる無次元量を用いて表示する。 $I_{\omega\omega}$ はそり2次モーメントで、上添字cは曲線桁としての厳密値、sは直線桁としての値を示す。Fig.2(I形断面)の場合、実用的な幾何学量の範囲では、曲率の影響を実用上全く受けないと考えてよい。Fig.3(□形断面)では、曲率半径の小さい場合曲率の影響を受ける。これは非対称断面でねじりに関する性質が敏感なためである。Fig.4(箱形断面)では、曲率半径の小さい場合曲率の影響が存在するが量的に小さく剛性を高める方に作用しており、実用設計では直線桁の値を用いても問題ないと判断できる。ここに示した計算例を含む全ての断面と断面量に関する数値的な検討の結果から、I形・箱形での全ての断面量及び□形での曲げに関する断面量は、実用設計上曲率の影響はほとんど無く、直線桁での断面量を用いて設計すればよい。□形断面でのねじりに関する断面量については、曲率の存在によりねじれ剛性が低下するので曲率半径の小さな曲線桁の設計においては注意する必要がある。

曲率を考慮した場合のI形断面での、x軸回りの曲げ及びそりねじりによるせん断流分布 Q_x, Q_y, Q_ω と直応力分布に関するせん断中心でのそり関数の分布 ω をFig.5に示す。 Q_y では、曲率の影響は全く無い。 Q_x 及び Q_ω, ω では、中立点及びせん断中心が曲率の存在により幾何学的図心にないため、ウェブ上に分布しているが量的には無視できるほど小さい。□形・箱形断面についても、同様に曲率の影響はほとんど無い。

以上の検討より、箱形断面のせん断中心の位置及び□形断面のねじりに関する断面量のように若干の例外はあるが、実用設計に用いられる幾何学量の範囲に限れば、一般に断面の幾何学的特性値として、曲線桁の場合にも直線桁での値を用いて問題は無い。

〈参考文献〉 西野文雄：薄肉断面部材の基礎理論，岡本舜三編，鋼構造の研究，技報堂，pp 381~462，昭52。

〈Fig.5の記号〉 $q_5 = \frac{b^2 t_f}{8} + \frac{(b t_f + h t_w)}{2} \bar{x}_c, q_6 = -\frac{b h t_f}{4}$
 $q_3 = \frac{b^2 t_f}{8} - \frac{b t_f \bar{x}_c}{2}, q_6 = \frac{b t_f}{8} - \frac{(b t_f + h t_w)}{2} \bar{x}_c, q_7 = \frac{b h t_f}{2} + \frac{h^2 t_w}{8},$
 $q_4 = \frac{b^2 t_f}{8} + \frac{b t_f \bar{x}_c}{2}, q_7 = -\frac{(b t_f + h t_w)}{2} \bar{x}_c, q_{12} = \left(\frac{b h t_f}{2} + \frac{h^2 t_w}{8}\right) \frac{r_s}{r_0} \bar{x}_s, q_{10} = \frac{b^2 h t_f}{16} \left(1 + \frac{4 \bar{x}_s}{b} + \frac{\bar{x}_s}{r_0}\right) \frac{r_s}{r_0},$
 $q_{11} = \frac{b^2 h t_f}{16} \left(1 - \frac{4 \bar{x}_s}{b} + \frac{\bar{x}_s}{r_0}\right) \frac{r_s}{r_0},$
 $q_8 = -\frac{b h t_f}{4}, q_9 = \frac{b h}{4} \left(1 + \frac{2 \bar{x}_s}{b} + \frac{\bar{x}_s}{r_0}\right) \frac{r_s}{r_0},$
 $q_{12} = \frac{b h}{4} \left(1 - \frac{2 \bar{x}_s}{b} + \frac{\bar{x}_s}{r_0}\right) \frac{r_s}{r_0},$

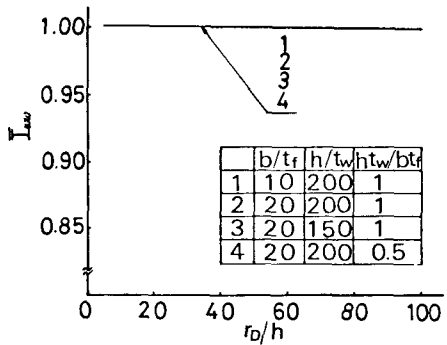


Fig. 2 I形断面での $\bar{I}_{\omega\omega}$ と r_0/h の関係

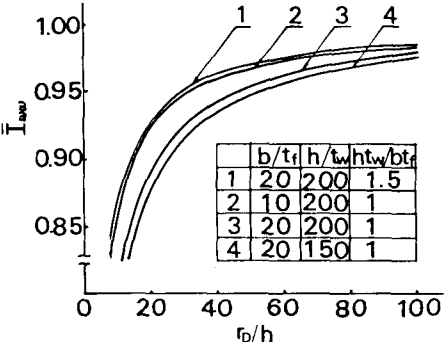


Fig. 3 □形断面での $\bar{I}_{\omega\omega}$ と r_0/h の関係

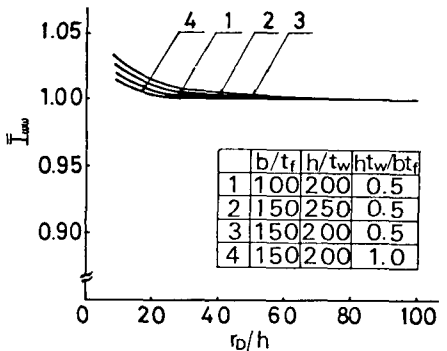


Fig. 4 箱形断面での $\bar{I}_{\omega\omega}$ と r_0/h の関係

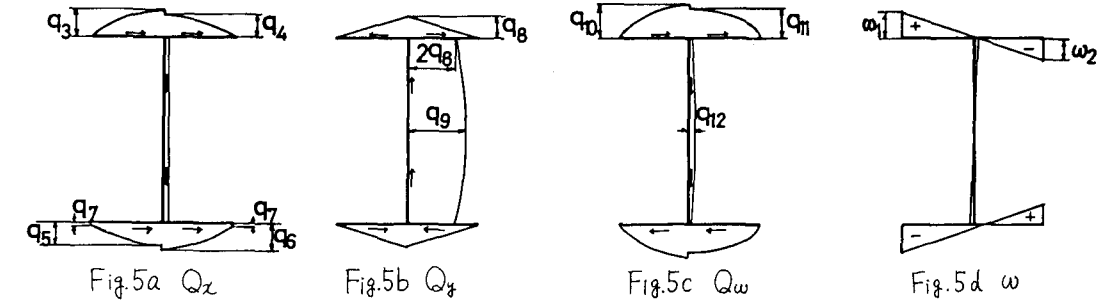


Fig.5a Q_x

Fig.5b Q_y

Fig.5c Q_ω

Fig.5d ω