

I 形断面はりの非対称性と終局曲げ強度の関係

名城大学 正員 ○ 久保全弘
 東京エンジニアリング(株) 正員 北堀裕隆
 名城大学大学院 学生員 杉山宜央
 名城大学 学 生 河戸貴善

1. まえがき

鋼 I 形はりの曲げに対する断面構成は、対称断面と上下フランジを変えた非対称断面が考えられる。桁橋にはフランジ幅と板厚を断面応力に応じて変えた非対称断面が一般的であったが、近年、工場製作および架設工程の省力化の点から板厚のみで断面変化することが実施されている。本研究は、既往の溶接はりの実験データに基づき提案された基準強度式を用いて、鋼 I 形断面の非対称性と終局曲げ強度の関係を検討する。

2. 曲げの基準強度

曲げに対する限界状態として局部座屈と横ねじれ座屈を考え、著者らが提案した全塑性モーメント M_p ベースの基準強度式¹⁾を用いる。

(1) 面内曲げ強度

局部座屈によって決まるはりの面内曲げ強度 M_n は、断面の板要素の相互作用を考慮して、断面の等価幅厚比 λ_s を用いて次式で与える。

$$Q_s = M_n/M_p = 0.88/(0.2 + \lambda_s) \leq 1 \quad (1); \quad \lambda_s = \sqrt{\lambda_{pf} \lambda_{pw}} \quad (2)$$

そして、 λ_{pf} 、 λ_{pw} は板要素の無次元幅厚比であり、図-1 に示す I 形断面に対し、圧縮フランジの半幅 $b_c/2$ と腹板の圧縮応力を受ける高さ h_c で表す。

$$\lambda_{pf} = 1.604(b_c/2t_c) \sqrt{F_{yc}/E} \quad (3); \quad \lambda_{pw} = 0.215(2h_c/t_w) \sqrt{F_{yw}/E} \quad (4)$$

(2) 曲げ耐力

はりの局部座屈を考慮した横ねじれ座屈強度は、面内曲げ強度 $M_n = Q_s M_p$ を基準にとり、Perry-Robertson 型の次式で与える。

$$M_u/M_n = 1/[Y + \sqrt{Y^2 - \bar{\lambda}_b^2}] \quad (5); \quad Y = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_b - \bar{\lambda}_{b0}) + \bar{\lambda}_b^2] \quad (6)$$

ここに、はりの修正細長比 $\bar{\lambda}_b$ は、弾性横ねじれ座屈モーメント M_e を用いて

$$\bar{\lambda}_b = \sqrt{M_n/M_e} = \sqrt{Q_s M_p/M_e} \quad (7)$$

$\bar{\lambda}_{b0}$ は M_n に到達する限界細長比、 α は初期不整係数であり、溶接はりを対象に、 $\bar{\lambda}_{b0} = 0.4$ 、 $\alpha = 0.25$ を用いる。

3. 数値計算

次式で表す断面の非対称度 ρ を 0.05~0.95 に変化させて、式(5)からはりの曲げ耐力を求める。

$$\rho = 1/[1 + (b_t/b_c)^3(t_c/t_t)] \quad (8)$$

本報告では、数値計算と実験結果²⁾を比較するために、単純ばりのスパン中央に集中荷重が作用した場合について検討する。実験に用いた 2 種類の対称断面 (1) I-250x84x3.2x6 : $b_c/2t_c = 7$, (2) I-250x120x3.2x6 : $b_c/2t_c = 10$ を基準に、はり高さ d と腹板厚 t_w を一定にして、(a) 圧縮フランジの板幅 b_c , (b) 圧縮フランジの板厚 t_c , (c) 引張フランジの板幅 b_t , (d) 引張フランジの板厚 t_t をそれぞれ変えた場合について考察する。

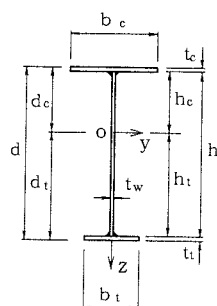


図-1 はり断面

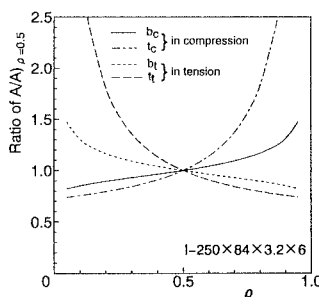


図-2 断面積

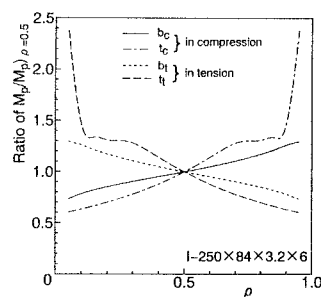


図-3 全塑性モーメント

4. 数値計算と実験結果との比較

図-2は、横軸に非対称度 ρ をとり、縦軸に断面積 A の変化を対称断面 $\rho=0.5$ の値との比で表してある。フランジの板幅よりも板厚で ρ を変化させた方が A の増減が大きい。断面の全塑性モーメント M_p の増減も、図-3のように板厚変化の方が大きい。圧縮フランジの板厚を大きくした場合、 $\rho=0.71$ から中立軸がフランジ内に入り、 $\rho>0.9$ になると、急激に増加する。

図-4は、対称断面(1)を基準にし、はり長さ $L/d=9$ の場合の曲げ耐力 M_u の変化を $\rho=0.5$ の値との強度比で表してある。図中には、はり長さ $L/d=6, 8, 10, 12$ (平均値9)の実験から得られた平均強度比が4種類の非対称断面形に対しプロットしてある。圧縮フランジの板幅または板厚を大きくすると対称断面に比較して強度は著しく増加し、逆に小さくすると強度は著しく減少する。これに対し、引張フランジの板幅変化による増減は20%以内で少ないが、板厚を大きくすると著しく増加する。

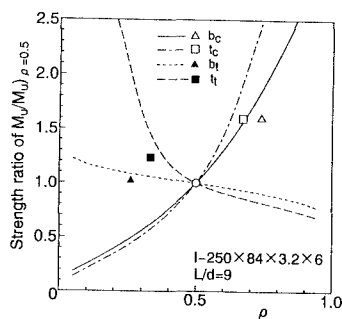


図-4 極限モーメント

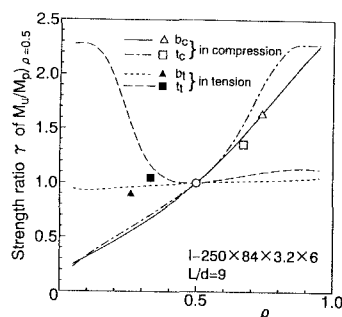


図-5 無次元耐力荷力

局部座屈は、圧縮フランジの板幅を大きく ($\rho \geq 0.95$) した場合及び板厚を小さく ($\rho \leq 0.35$) した場合で関係しているが、強度比における急激な減少は認められない。実験値は、計算曲線とよい対応関係にある。

図-5は、無次元曲げ耐力 M_u/M_p を用いた場合の強度比を示す。図-4に比べ変化が小さくなるほか、引張フランジを小さくしてもある程度の強度増加が得られる。この図においても、実験値と計算値の傾向は一致している。

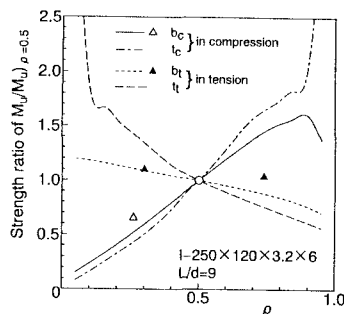


図-6 極限モーメント

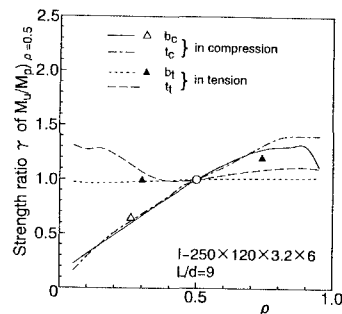


図-7 無次元耐力荷力

図-6, 7は、対称断面(2)を基準にした場合の結果である。図中には、3種類の板幅を変えた場合の非対称断面形に対する実験値がプロットしてある。図-4, 5より基準断面のフランジの幅厚比($bc/2tc=10$)が大きいため、圧縮フランジの板幅を大きく ($\rho \geq 0.75$) した場合及び板厚を小さく ($\rho \leq 0.45$) した場合、引張フランジの板幅を大きく ($\rho \leq 0.1$) した場合及び板厚を大きく ($\rho \leq 0.3$) した場合のそれぞれで、局部座屈が関係している。とくに、圧縮フランジの幅を大きくした場合の強度減少が顕著である。これらの図においては、引張フランジの板幅を小さくし ρ を大きくした実験値を除いて、計算曲線とよい対応関係にある。

5. あとがき

はりの終局曲げ強度に対しては、フランジの板幅より板厚を増加させた非対称断面が有利であることがわかったが、実用断面構成は非対称度が $0.3 < \rho < 0.7$ 程度になると思われる。さらに、断面積一定の場合、等曲げモーメントを受けるはりやプレートガーダー断面についての検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 久保・小川：薄肉鋼はりの極限強度の簡単な評価法，構造工学論文集，Vol. 37A, pp. 145-154, 1991.
- 2) 杉山・久保・北堀・菱川：コンパクトな非対称 I 形断面はりの横ねじれ座屈，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，第1部(A)，1996.