

1 軸対称断面はりの横ねじれ座屈強度特性

大阪大学工学部 正 員 西村宣男

大阪大学大学院 学生員○石井 晃

1. まえがき これまでの鋼はりの極限強度に関する研究は、2軸対称断面に対する検討が数多く行われてきたが、1軸対称断面に対してもその適用性を検証しておく必要がある。本研究では、弾塑性有限変位解析により求めた1軸対称断面はりの横ねじれ座屈強度と座屈実験データおよび2軸対称断面はりの極限強度と比較検討した。

2. 弾性座屈強度式 文献1) では、1軸対称断面はりにも適用できる一般的な弾性横ねじれ座屈モーメントの算定式を次式で与えている。

$$M_E = \frac{C_{b1} \pi^2 E I_z}{K_v K_\varphi L^2} \left[(C_{b2} h_p + C_{b3} \beta_y) \pm \sqrt{(C_{b2} h_p + C_{b3} \beta_y)^2 + \frac{I_w}{I_z} \left(1 + \frac{(K_\varphi L)^2 GJ}{\pi^2 E I_w} \right)} \right] \quad (1)$$

C_{b1} : 曲げモーメント分布に関する換算係数 K_v, K_φ : 境界条件に関する有効長さ係数

C_{b2} : 横荷重作用位置に関する換算係数 h_p : 荷重作用位置とせん断中心との距離

C_{b3} : 断面形状に関する換算係数 $\beta_y = \int_A z(z^2 + y^2) dA / (2I_y) - z_s$

また、1軸対称の度合いを示すパラメータとして、

$$\rho = \frac{I_{zT}}{I_{zT} + I_{zB}} \quad \left[\begin{array}{l} I_{zT} : \text{上フランジの弱軸回り断面2次モーメント} \\ I_{zB} : \text{下フランジの弱軸回り断面2次モーメント} \end{array} \right]$$

を用いた。

3. 弾塑性有限変位解析によるはり強度特性

(1) Roberts-Naranayan の実験データ²⁾との比較

図-1に、ECCSはり強度曲線 ($n=2.0$:溶接はり平均値相当) およびRoberts-Naranayan の実験モデルを対象とした弾塑性有限変位解析による計算値をプロットした。対象断面のパラメータを表-1に示す。なおモデルの初期不整が明確に与えられていないので、解析値には2軸対称断面はりについて用いてきた平均値相当の初期たわみおよび残留応力を用いた。

Roberts らの実験の荷重状態はスパン中央集中荷重(上フランジ載荷)であるが、細長比パラメータ λ を式(1)で求めて実験値と解析値をプロットしてみると、解析値は福本・久保によって指摘されたように、ほぼ溶接はりの平均値曲線 ($ECCS:n=2.0$) に対応していることが明らかになった。 λ が小さい範囲で平均値曲線より若干解析値が大きいのはモーメント分布形状の影響で、2軸対称断面はりについても同様の傾向が明らかにされている。これに対して、実験値が λ の大きいSlenderな領域で解析値や $n=2$ 曲線より若干大きいのは、モデルの初期たわみ量、端部支持条件などに関係していると思われる。

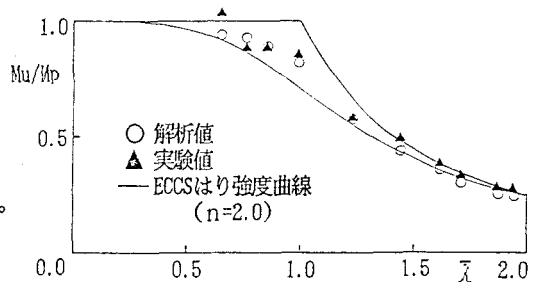


図-1 実験値および解析値の極限強度の評価

表-1 実験モデルの断面諸量 (単位: mm)

	B_1	t_1	B_2	t_2	h	t_h	l
M1	25	1.53	15	1.53	60	1.0	1200
M2	25	1.51	15	1.53	60	1.0	1500
M3	25	1.52	15	1.50	60	1.0	800
M4	25	1.51	15	1.52	60	1.0	1000
M5	25	1.52	15	1.51	60	1.0	1300
M6	25	1.51	15	1.53	60	1.0	1600
M7	35	2.09	20	2.09	60	1.53	500
M8	35	2.09	20	2.10	60	1.53	600
M9	35	2.11	20	2.15	60	1.53	700
M10	25	1.56	15	1.64	60	1.0	600

$(B_1, t_1$: 上フランジの断面諸量)
 $(B_2, t_2$: 下フランジの断面諸量)

Nobuo NISHIMURA, Akira ISHII

(2) 2軸対称断面はり強度との比較 図-2に、文献3)より得られた2軸対称断面はりの基本強度曲線と1軸対称断面はりの解析結果を平均値相当の初期不整を持つ場合について示す。荷重状態は中央集中荷重(せん断中心载荷)と等曲げで、対象断面のパラメータを表-2に示す。

ρ の小さな断面については2軸対称断面はりの極限強度特性とほぼ一致するが、 ρ の大きな断面、すなわち下フランジの小さな断面については、 $\bar{\lambda}$ の小さな短いはりでは2軸対称断面はりより強度が低くなっている。これは短いはりでは断面強度によって極限強度が支配され、 ρ の大きな断面では図-3に示すように下フランジで塑性域が広がるために、有効断面を考えると重心とせん断中心との距離が大きくなり、せん断中心の位置が上フランジ側によって、強度が他の断面に比べて小さくなると考えられる。すなわち、弾性座屈理論に基づいた式(1)の細長さの評価があてはまらなくなる。

極限強度特性に差異のみられた $\rho=0.8$ の断面について、 $\bar{\lambda}=0.4, 0.6, 0.8$ の等曲げを受けるはりのスパン中央での荷重-水平変位関係を図-4に示す。 $\bar{\lambda}=0.4, 0.6$ については、 M_u/M_p が0.7を超えると急激に変位が増加している。これは極限状態での塑性域が、 $M_u/M_p \geq 0.7$ で下フランジ全体へと広がって行くためと考えられる。

4. あとがき 1軸対称断面はりの極限強度特性を調べた結果、 ρ が小さく下フランジの大きな断面については2軸対称断面はりと同様な特性を示すことが確認された。しかし ρ が大きく下フランジの小さな断面については、 $\bar{\lambda} < 0.8$ の領域で極限強度が頭打ちになる傾向がみられ、弾性座屈理論に基づいた式(1)では強度の評価が適切に行えないことがわかった。

《参考文献》 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン(福本嘸士編) 第4章 構造物の材料強度と初期不整, 技報堂, 1987.

2) Roberts, T.M. and Naranayan, R.: Strength of laterally unrestrained monosymmetric beams, Thin-Walled Structures, 6, 1988.

3) 西村宣男, 久保全弘, 西井学, 福本嘸士：鋼はり部材の横ねじれ強度の統一評価, 土木学会論文集, No.416, 1990.

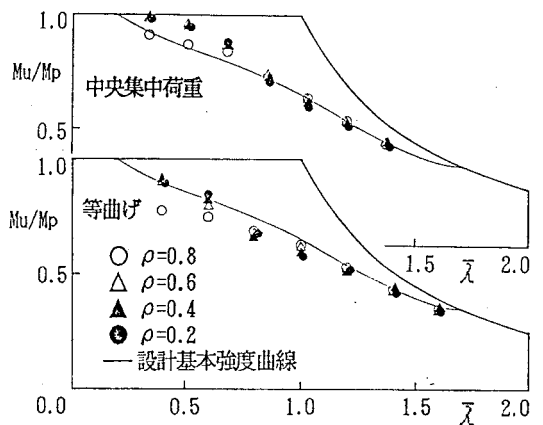
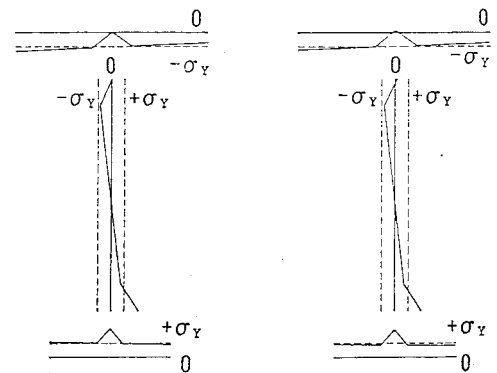


図-2 1軸対称断面はりの極限強度の評価

表-2 解析モデルの断面諸量(単位: cm)

ρ	B_1	t_1	B_2	t_2	h	t_h
0.8	30	2.0	19	2.0	120	2.0
0.6	30	2.0	26	2.0	120	2.0
0.4	26	2.0	30	2.0	120	2.0
0.2	25	2.0	30	2.0	120	2.0



(a) $\rho=0.8, \bar{\lambda}=0.6$ (b) $\rho=0.8, \bar{\lambda}=0.8$

図-3 極限状態での応力分布

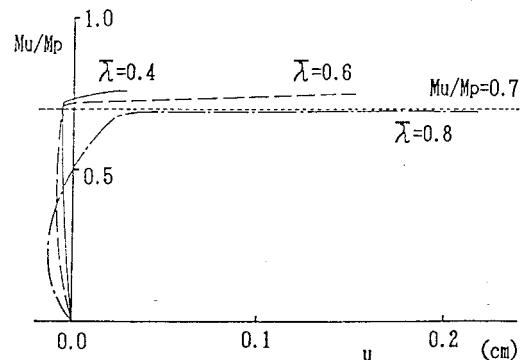


図-4 荷重-水平変位関係($\rho=0.8$)