

I-6

端モーメントと等分布荷重を受けるはりの弾性横ねじれ座屈強度

名城大学大学院 学生員 北堀裕隆
名城大学 正員 久保全弘

1. まえがき

鋼曲げ部材の横ねじれ座屈に対する基準強度式もより精密な形で設計基準に採用されるようになってきた。この場合、細長比パラメータとして弾性座屈モーメント M_E を基本にしたパラメータが用いられるが、複雑な荷重状態や非対称断面形に対応するためには、 M_E の算定式の検討が不十分である。文献1)では、中間荷重と端モーメントが単独に作用する場合について報告した。本研究では、桁橋やラーメン構造で問題となる端モーメントと等分布荷重が同時に作用する場合を検討した。

2. 弾性横ねじれ座屈モーメントの算定式

座屈設計ガイドライン²⁾には、種々の荷重状態および支持条件を考慮した弾性横ねじれ座屈モーメントの算定式が与えられている。この一般化した座屈モーメントは、はりの最大曲げモーメント M_{max} の限界値を $M_E=(M_{max})_{cr}$ と置いて、次式で表される。

$$M_E = \frac{C_{b1} \pi^2 EI_z}{(k_v k_\phi) L^2} \left[(C_{b2} h_p + C_{b3} \beta_y) + \sqrt{(C_{b2} h_p + C_{b3} \beta_y)^2 + \frac{I_w}{I_z} \left(1 + \frac{(k_\phi L)^2 GJ}{\pi^2 EI_w} \right)} \right] \quad \text{----- (1)}$$

ここに、上式の説明記号は文献1), 2)を参照。

材端モーメントと中間等分布荷重を同時に受ける荷重状態として、左支点上の基準曲げモーメント M の正負によって図-1 (a), (b)に示す2種類を対象とする。両端単純支持($k_v=k_\phi=1$)の場合、座屈変形の関数としてsin曲線の半波長を仮定し、エネルギー法から式(1)に含まれる係数 C_{b1} , C_{b2} , C_{b3} を求めると次式が得られる。

荷重状態(a): M が負曲げの場合

$$C_{b1} = 1/\sqrt{F} \quad \text{----- (2a)} \quad C_{b2} = 0.405 \beta_q \sqrt{F} \quad \text{----- (2b)}$$

$$C_{b3} = (-0.5 - 0.5\beta + 0.464\beta_q) / \sqrt{F} \quad \text{----- (2c)}$$

$$F = 0.283(1 + \beta^2) + 0.434\beta - 0.868\beta_q(1 + \beta) + 0.780\beta_q^2 \quad \text{----- (2d)}$$

荷重状態(b): M が正曲げの場合

式(2c)と式(2d)にて、負符号のすべてを正符号にする。ここに、 β は材端モーメント比、 β_q は等分布荷重による最大曲げモーメントと基準曲げモーメントの比、 $\beta_q = (qL^2/8)/M$ である。

3. 有限要素法による解析結果

弾性横ねじれ座屈モーメント M_{cr} を有限要素法を用いて解析した。数値計算に用いたI形断面はプレートガーター断面で、次の3種類である。

断面- $d \times b_c \times b_t \times t_w \times t_c \times t_t$: 非対称度 $\rho = I_{zc}/I_z$

- 1) I-1300×300×300×9×22×22 : $\rho=0.5$ (対称断面)
- 2) I-1300×300×476×9×22×22 : $\rho=0.2$ (上フランジ小の断面)
- 3) I-1300×476×300×9×22×22 : $\rho=0.8$ (上フランジ大の断面)

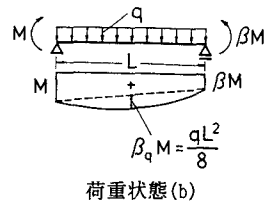
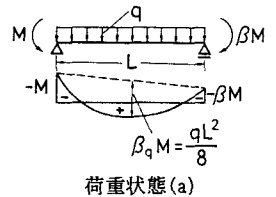


図-1

支持条件は両端単純支持($k_v=k_\phi=1$)とし、細長比 $L/r_z=50\sim 300$ 、等分布荷重の作用高さを上フランジ、せん断中心載荷について調べた。図-2は荷重状態(a)に対し、 $L/r_z=100$ で等分布荷重が上フランジに載荷した場合の計算結果である。縦軸に横ねじれ座屈モーメント M_{cr} と q がない($\beta_q=0$)ときの $M_{cr,0}$ の比をとり、横軸に端モーメント比 β をとって等分布荷重の大きさが $\beta_q=0.1, 0.5\sim 2.0$ に変化させてある。この荷重状態では β と β_q の大きさによって曲げモーメント分布形が複雑に変化するため、断面形の非対称度 ρ によって中間荷重の影響度が相当異なる。 β_q が小さく β が1に近い場合には、 q がない状態よりも座屈モーメントが大きくなる。

この性状は $\rho=0.8$ の断面形で顕著に認められる。図-3は荷重状態(b)に対する計算結果であり、等分布荷

重の大きさが $\beta_q = 0.1 \sim 0.5$ に変化させてある。中間荷重の影響度は $\beta \geq -0.2$ では断面形の非対称度 ρ が相違してもほとんど同様であり、 $\beta_q = 0.1$ で 11~20% の低下になる。これに対し、 $\beta < -0.2$ では ρ による差が生じる。

4. 算定式の精度

有限要素法による解析値 M_{cr} と式 (1) の算定値 M_E を比較し、その精度を調べた。荷重状態 (a) で等分布荷重の大きさを $\beta_q = 0 \sim 2.0$ に変化させた場合の結果を図-4 に示す。又、荷重状態 (b) で $\beta_q = 0 \sim 0.5$ に変化させた場合の結果を図-5 に示す。これらの図では、縦軸に M_{cr}/M_E をとり、横軸に端モーメント比 β が変化させてある。両荷重状態とも、対称断面形 ($\rho = 0.5$) では 3% 以内の算定精度を有している。しかし、非対称断面形

($\rho = 0.2, 0.8$) では $\beta < 0$ で β_q が小さいときには式 (1) は大きめの値を与え、近似度が悪くなる。以上のように、 $\beta \geq 0$ の範囲であれば、 ρ, β_q が変化しても算定値の最大 10% 以内の誤差で式 (1) が利用できる。

5. あとがき

桁橋の架設時において対傾構間隔で横ねじれ座屈を検討する場合、死荷重による等分布荷重の大きさ β_q は 0.1 以内であるが、端モー

メント比 β が小さいときには中間荷重の影響を無視できないこともあると思われる。この荷重状態に対しても式 (2) の係数を用いれば、 $\beta \geq 0$ の範囲で文献 (1) で提案した修正細長比の簡略式を適用できる。

参考文献

- 1) 土木学会 (福本編) : 座屈設計ガイドライン, 技報堂, 1987.
- 2) 久保・北堀 : 横ねじれ座屈に対する簡略化した細長比について, 第 1 回 S G S T 拡大研究会論文集, 1991.

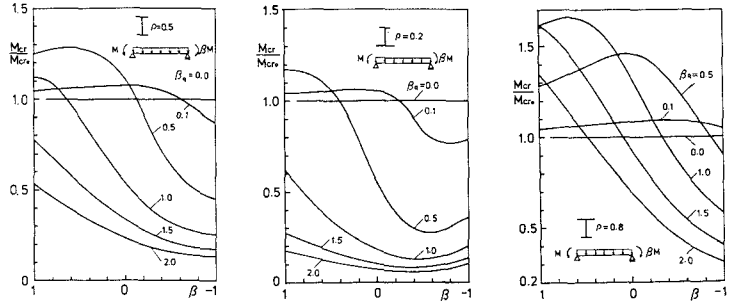


図-2 中間荷重の影響度 荷重状態 (a)

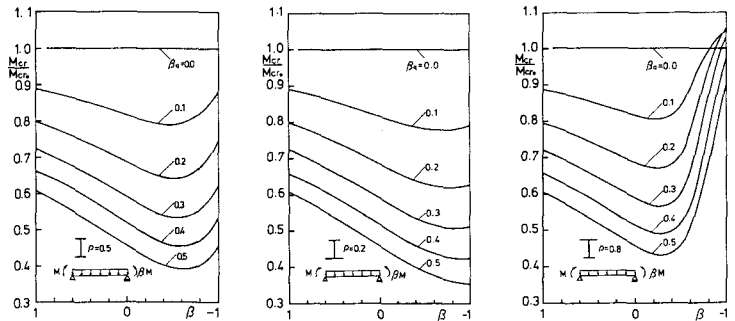


図-3 中間荷重の影響度 荷重状態 (b)

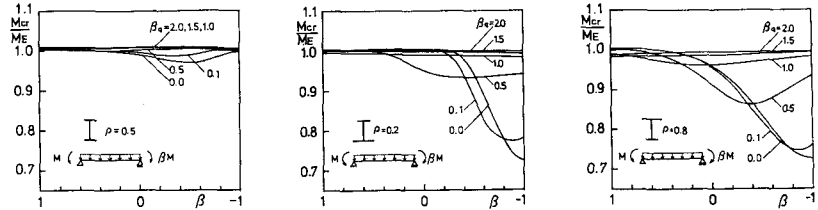


図-4 FEM解と式(1)との比較 荷重状態 (a)

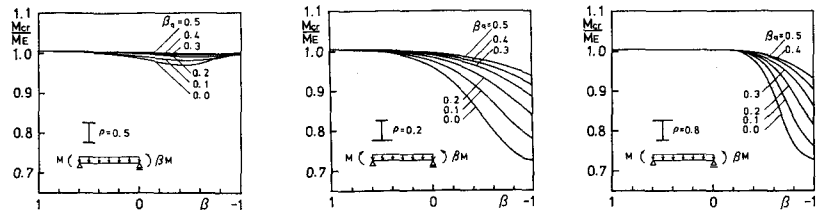


図-5 FEM解と式(1)との比較 荷重状態 (b)