

大阪大学大学院 学生員 矢野一範
大阪大学工学部 正員 小松定夫
大阪大学工学部 正員 西村宜男

1. まえがき 筆者らは 弾塑性有限変形解析により スパン幅比の大きい側道トラス桁の耐荷力特性と調べてきた。^(1,2) この種のトラス桁や橋梁架設用のトラス桁、クレーントラス桁はスレンダーな平行弦トラス桁の横倒れ座屈強度と簡易に計算すること、および横倒れ座屈特性を一般的に表現することと目的として、薄肉はりモデルによる座屈方程式と専ら、代表的荷重状態に対する座屈強度の近似計算式を与えた。

2. 薄肉断面桁の横倒れ座屈方程式 ここで上下弦桁の高さに横構を有する単断面トラス桁を考える。

図-1 に示すような等分布鉛直荷重 P_y も受ける 2 軸対称断面桁のせん断変形および断面変形を含む横倒れ座屈に関する基礎方程式は次式で与えられる。

$$EI_y u'''' + \{M_x(\varphi - \theta)\}'' - \frac{EI_y}{GA_x} \{M_x(\varphi - \theta)\}'' = 0 \quad (1)$$

$$\frac{a}{b_1} \{M_x u''\}'' + M_x u'' + a \varphi'' - GJ \varphi'' + B e \left(\frac{a}{b_1} \varphi'' - \varphi \right) + a \frac{b_2}{b_1} \theta'' - B e \left(\frac{a}{b_1} \theta'' - \theta \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{a}{b_1} \{M_x u''\}'' - M_x u'' + a \frac{b_2}{b_1} \varphi'' - B e \left(\frac{a}{b_1} \varphi'' - \varphi \right) + a \theta'' + (-B e + r) \left(-\frac{a}{b_1} \theta'' + \theta \right) = 0 \quad (3)$$

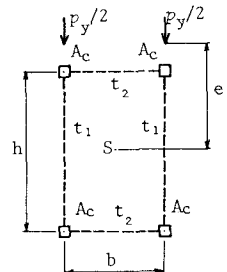


図1 トラス桁断面

ここに $EI_y = EAcb^2$, $GA_x = 2Gt_1b$, $a = EAcb^2h/4$, $b_1 = Gbh(tb - t_1b)/2$, $b_2 = Gbh(tb - t_2b)/2$, $GJ = (b_1^2 - b_2^2)/b_1$, u : 水平横方向変位, φ : ねじれ角, θ : すり角

3. 代表的荷重状態に対する座屈強度算定式 等断面単純桁の代表的荷重に対する座屈強度の簡易算定式を示す。

純曲り ($M_x = M_0$, $P_y = 0$) に対して、断面変形を無視

でよい場合は中間対傾構を有する場合 ($r = \infty$)

$$\frac{(M_0 l)_{cr}}{\sqrt{EI_y GJ}} = \pi \sqrt{\frac{1 + \frac{a\pi^2}{GJl^2}}{(1 + \frac{a\pi^2}{b_1 l^2})(1 + \frac{EI_y}{GA_x l^2} \pi^2)}} \quad (4)$$

中間対傾構を省略した場合 ($r = 0$)

$$\frac{(M_0 l)_{cr}}{\sqrt{EI_y GJ}} = \pi \sqrt{\frac{1}{\{2(1 + \frac{b_2}{b_1}) + \frac{GJ}{a\pi^2 l^2}\} (1 + \frac{EI_y}{GA_x l^2} \pi^2)}} \quad (5)$$

等分布鉛直荷重がせん断中心に作用するとき、 $r = \infty$ の場合

$$\frac{(P_y l^3)_{cr}}{\sqrt{EI_y GJ}} = \pi^3 \sqrt{\frac{1 + \frac{a\pi^2}{GJl^2}}{(1 + \frac{a\pi^2}{b_1 l^2})(1.15 + 5.44 \frac{EI_y}{GA_x l^2} \pi^2)}} \quad (6)$$

$r = 0$ の場合

$$\frac{(P_y l^3)_{cr}}{\sqrt{EI_y GJ}} = \pi^3 \sqrt{\frac{1}{\{2(1 + \frac{b_2}{b_1}) + \frac{GJ}{a\pi^2 l^2}\} (1.15 + 5.44 \frac{EI_y}{GA_x l^2} \pi^2)}} \quad (7)$$

等分布鉛直荷重がせん断中心より上方 e に作用するとき、 $r = 0$ の場合

$$\frac{(P_y l^3)_{cr}}{\sqrt{EI_y GJ}} = \frac{\pi^3}{0.732 + 3.46 \frac{EI_y}{GA_x l^2} \pi^2} \left\{ -\frac{e}{l} \sqrt{\frac{EI_y}{GJ}} + \sqrt{\frac{e^2 EI_y}{l^2 GJ} + \frac{0.466 + 2.20 \frac{EI_y}{GA_x l^2} \pi^2}{2(1 + \frac{b_2}{b_1}) + \frac{GJ}{a\pi^2 l^2}}} \right\} \quad (8)$$

4. 有限変形解析との比較 以上の簡易算定式の精度を調べるために

表1 比較計算モデルの諸元 (中間対傾構省略)

NO.	l (m)	h (m)	b (m)	A_{G1}^2	A_{G2}^2	A_{G3}^2	A_{G4}^2
1	40	4	2	.005	.007	.002	.002
2	40	6	2	.005	.008	.002	.004
3	60	4	2	.010	.008	.003	.003
4	60	6	2	.008	.010	.004	.004
5	80	4	2	.018	.010	.005	.005
6	80	6	2	.015	.015	.006	.007
7	100	4	2	.030	.020	.008	.008
8	100	6	2	.030	.015	.008	.010

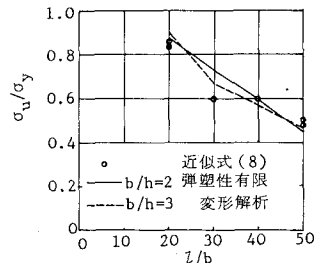


図2 中間対傾構を省略したトラス桁の耐荷力 等分布荷重満載

変形法によるトラスの有限変形解析により求めた極限強度との比較を行う。に、解析モデルの諸元は表1に示す通りである。なお、弾塑性有限変形解析では部材内の溶接残留応力 ($\sigma_{rt} = \sigma_y$, $\sigma_{rc} = 0.4\sigma_y$ の分布) と含む材料非線形も考慮している。弾塑性有限変形解析では微小の初期変形 (スパン長の $1/10000$ の水平変位) を与えている。図2に横倒れ座屈時の弦材応力度 σ_{cr} と降伏応力度 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) の比とスパン幅比 l/b の関係を示しに、 $l/b > 40$ の範囲では弾性座屈、それ以下では弾塑性座屈となっている。弾性領域では式(8)で与えられる座屈強度と、また弾塑性領域では式(8)の座屈強度に近似的に上弦材の持線弾性係数で補正した値を σ_{cr} でプロットした。

5. 弾性横倒れ座屈強度特性 基礎式(1)~(3)に Galerkin 法を適用して対傾構の弾性変形も含む単純トラス桁の弾性横倒れ座屈の一般式を導き、以下の力学パラメータに対する座屈特性と調べた。

$$\mu l = \sqrt{GJ/al}, \quad r l = \sqrt{r/2GJl}, \quad (\kappa = GJ/EI_y, \quad \rho = GJ/b_1), \quad \delta = e/l$$

図3は等モーメント M_0 と両端に作用させてこの弾性横倒れ座屈係数とわける定数比 μl および中間対傾構のすべり剛性に関係したパラメータ $r l$ の関係と表わしている。また図4は等分布鉛直荷重に対する横倒れ座屈係数と μl , $r l$, および荷重の作用点に関するパラメータ δ の関係と表わしている。これらのパラメータ解析よりトラス桁の弾性横倒れ座屈についての以下の結論を得た。

- (1) 断面変形の横倒れ座屈に対する影響はパラメータ $r l$ で評価できる。 $r l \geq 10$ の領域では横断面変形の影響は無視でき、座屈係数は周知のように純曲げに対して π , セン断中心に作用する等分布鉛直荷重に対して 28.6 となる。また断面変形も無視できる場合には μl の影響は μl が極く小さい領域でのみ現われる。
- (2) $r l$ 値が10より小さい場合には断面変形の影響が強く現われて座屈強度の低下が著しい。また μl は10以下50以下の範囲で座屈強度に影響を与えている。
- (3) $r l$ 値が10より大きい場合には、閉じた断面のわける剛性が有効と作用するから鉛直荷重の作用位置に関するパラメータ δ の座屈荷重に対する影響は僅少である。 $r l$ が小さい場合には δ の影響は重要である。
- (4) 比較計算例で用いたようなスレンダーなトラス桁で、中間対傾構を省くと、弾性範囲内で横倒れ座屈を生ずる場合でも、中間対傾構を設置すると横倒れ座屈強度は顕著に向上し、弾性域内での座屈は生じなくなる。

なお、弾塑性座屈に関する詳細は当日申し上げる。

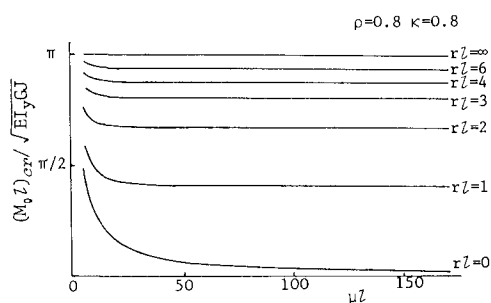


図3 純曲げに対する弾性横倒れ座屈

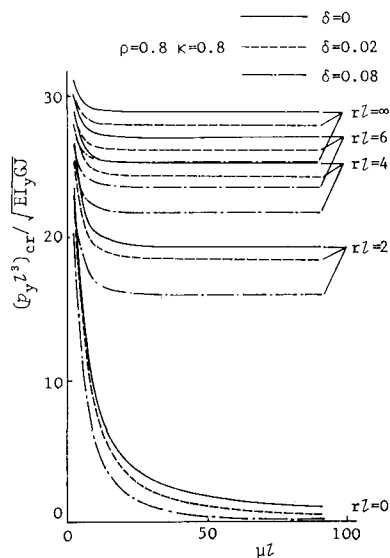


図4 等分布鉛直荷重に対する弾性横倒れ座屈

- 参考文献 1) 小松, 西村, 山本: トラス橋の弾塑性面外崩壊に関する理論的研究, 土木学会関西支部年次講演会, I-20, 1979.
- 2) 西村, 小松: トラス橋の弾塑性面外崩壊に対する横たがひ材の補剛効果, 土木学会年次学術講演会, I-141, 1979.