

I-27 横構を有するI型断面桁の横倒れ座屈の実験について

北海道開発局土木試験所

正員

井藤昭久

1. まえおき

本文は前回に引続いて2点荷重におけるI型断面桁の横倒れ座屈について横方向と棒により拘束された場合と検討したものである。

一般に桁の横倒れ座屈荷重値の計算にはフランジ固定支間として横桁や横構取付支間とし、これら横桁や横構の断面性能で剛性およびこれらの支持する桁の剛性と考慮に入れ、横方向力を拘束するものとしている。

ここでは2点荷重による横倒れ座屈を起す桁に横方向力の作用する横桁およびこれを支持する桁などの横倒れ荷重にあおぼすことの関連性を検討しあわせて支間4mのI型鋼を用いて実験した。

2. 横倒れ座屈荷重の計算

計算の仮定として横構は矢向中央に1本とした。横構は桁の横倒れ座屈による横方向力によって降伏しない。かつ横構は主桁に対して対称に配置されているため主桁の横倒れ座屈により一方向座屈を起す。即ち圧縮力は抵抗しないとした。また主桁は等断面で上下フランジの厚さは等しいとした。座屈状態と荷重状態を表すと、図1, 2である。

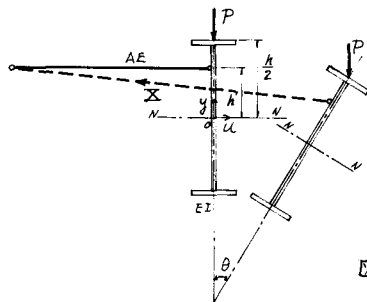


図1 横倒れ座屈状態

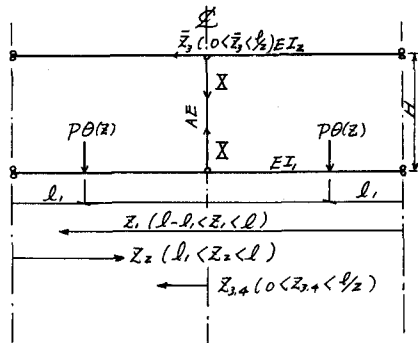


図2 荷重状態と座標軸

座屈波形は次式で近似した。

$$\theta_{1,2}(z_{1,2}) = a \left\{ 1 - \left(1 - \frac{2z_{1,2}^2}{l^2} \right)^2 \right\}, \quad \theta_{3,4}(z_{3,4}) = a \left(1 - \frac{4z_{3,4}^2}{l^2} \right) \quad (1)$$

横荷重の分布は等しいポテンシャルエネルギーの減少と歪エネルギー $-V$ が等しい。これを支間と l , 図2に示すように座標軸をとり各エネルギーは次式となる。

$$T = 2 \int_{l-l_1}^l P \theta_1(z_1) \ddot{u}_{z_1} (l-z_1) dz_1 + 2 \int_{l_1}^l P \theta_2(z_2) \ddot{u}_{z_2} (l-z_2) dz_2 + \frac{Pa^2 h}{2} - Pa^2 h' \alpha + \frac{\Delta^2 H}{2AE} - 2 \left(1 - \frac{l_1}{l_2} \right) \left\{ \int_0^{l_2-l_1} \Delta \theta_3(z_3) \ddot{u}_{z_3} \left(\frac{l}{2} - z_3 \right) dz_3 + \int_{l_2-l_1}^{l_2} \Delta \theta_4(z_4) \ddot{u}_{z_4} \left(\frac{l}{2} - z_4 \right) dz_4 \right\} \quad (2)$$

$$V = EI_1 \left\{ \int_{l-l_1}^l (\ddot{u}_{z_1})^2 dz_1 + \int_{l_1}^l (\ddot{u}_{z_2})^2 dz_2 + \frac{l_2}{l_1} \int_0^{l_2-l_1} (\ddot{u}_{z_3})^2 dz_3 \right\} + GJ \int_0^{l_2-l_1} (\ddot{u}_{z_3})^2 dz_3 + EC_{\omega} \int_0^{l_2-l_1} (\ddot{u}_{z_3})^2 dz_3 \quad (3)$$

(2), (3) 式に X , α はそれぞれ

$$X = 2\gamma \cdot \frac{3 - 4\gamma^2}{1 + \frac{\gamma}{I_2} + \frac{48HI_1}{Al^3}} P, \quad \alpha = 2\gamma \cdot \frac{3 - 4\gamma^2}{1 + \frac{\gamma}{I_2} + \frac{48HI_1}{Al^3}} \quad \therefore \kappa \gamma = l_1/l \text{ である。}$$

また EI , GJ , EC_{θ} はそれぞれ主析(載荷析)の曲げ・ねじり・曲げねじり剛性を表し、 A , E は構構の断面積、弾性係数である。

また $\ddot{u}_{z_1} \sim \ddot{u}_{z_4}$, $\ddot{u}_{z_2}$, はそれぞれ次式で表わされる。

$$\ddot{u}_{z_1} = \frac{Pl}{EI} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \theta_1(z_1) \left(1 - \frac{z_1}{l}\right),$$

$$\ddot{u}_{z_2} = \begin{cases} = \frac{Pl}{EI} \theta_2(z_2) \left(1 - \frac{\alpha}{2} \frac{z_2}{l}\right), & l_1 < z_2 < l/2, \\ = \frac{Pl}{EI} \theta_2(z_2) \left\{1 - \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{z_2}{l}\right)\right\}, & l/2 < z_2 < l - l_1, \\ = \frac{Pl}{EI} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \theta_2(z_2) \left(1 - \frac{z_2}{l}\right), & l - l_1 < z_2 < l, \end{cases}$$

$$\ddot{u}_{z_3} = \frac{Pl}{EI} \theta_3(z_3) \left\{1 - \frac{\alpha}{4} \left(1 - \frac{z_3}{l}\right)\right\}$$

$$\ddot{u}_{z_4} = \frac{Pl}{2EI} \theta_3(z_3) \left(\frac{l}{2} - \bar{z}_3\right)$$

$$\ddot{u}_{z_4} = \frac{Pl}{EI} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \theta_4(z_4) \left(1 - \frac{z_4}{l}\right)$$

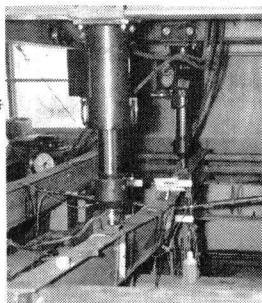
(1), (4) 式と (2), (3) 式に代入すると P に関する 2 次方程式を得る。(2) 式の 3 項は微小なため無視し、 $T - V = 0$ とおけば次式を得る。

$$P^2 \left[\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) \int_{l_1}^l \theta_1(z_1)^2 \left(1 - \frac{z_1}{l}\right)^2 dz_1 + \gamma \int_{l_1}^{l/2} \theta_2(z_2)^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2} \frac{z_2}{l}\right) \left(1 - \frac{z_2}{l}\right) dz_2 + \gamma \int_{l/2}^{l-l_1} \theta_2(z_2)^2 \left\{1 - \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{z_2}{l}\right)\right\} \left(1 - \frac{z_2}{l}\right) dz_2 \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \int_{l-l_1}^l \theta_2(z_2)^2 \left(1 - \frac{z_2}{l}\right)^2 dz_2 - \alpha \left(1 - \frac{\gamma}{I_2}\right) \left\{ \gamma \int_0^{l-l_1} \theta_3(z_3)^2 \left\{1 - \frac{\alpha}{4} \left(1 - \frac{z_3}{l}\right)\right\} \left(1 - \frac{z_3}{l}\right) dz_3 + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \int_{l/2-l_1}^{l/2} \theta_4(z_4)^2 \left(1 - \frac{z_4}{l}\right) \left(1 - \frac{z_4}{l}\right) dz_4 \right\} \right. \\ \left. - \frac{\alpha^2}{32} \left(\frac{l}{I_2}\right)^3 \int_0^{l/2} \theta_3(z_3)^2 \left(1 - \frac{z_3}{l}\right)^2 dz_3 \right] - \frac{4A^2 EI GJ}{3l^3} \left(1 + \frac{12 EC_{\theta} d}{l^2 GJ}\right) = 0 \quad (5)$$

(5) 式は結局次式となすからここに $F(\alpha)$ は γ が定まれば α のみの関数として表わされる。

$$P = \frac{2.667}{l^2 F(\alpha)} \sqrt{EI GJ \left(1 + \frac{12 EC_{\theta} d}{l^2 GJ}\right)} \quad (6)$$

(6) 式の $F(\alpha)$ に関して $\gamma = 1/4$ の場合について座層荷重の倍率を図 3 に示す。



模型実験

3. 実験結果と考察

実験は $l = 400^{\text{mm}}$, $H = 175^{\text{mm}}$, $\gamma = 1/4$,

$A = 0.2642^{\text{cm}^2}$ と $I/I_2 = 0.254$, 1.622

について行ない、それぞれ座層荷重 6.70, 3.15 を得た。前者はソリ性座層荷重(計算値は座層荷重 ∞)で後者は計算値 3.02 である。座層荷重は γ と共に I/I_2 に左右され構構断面積にあまり影響されない。

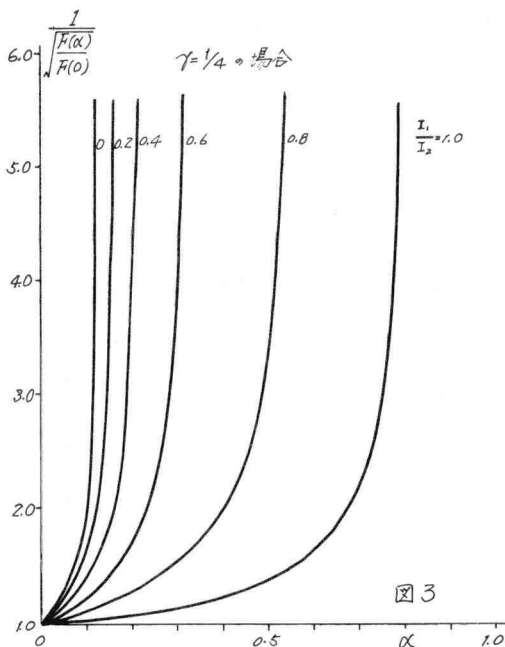


図 3