

I形梁の吊り上げ時の安定

名古屋大学 正員 福本 秀士

○ 学生員 山崎 康嗣

1. はじめに

本研究は、鋼構造物の製作・架設などとともに、I形桁を吊り上げる時の桁の横倒れ安定について扱ったものである。構造物の大型化や、それに伴う架設の大アロウ化が進むにつれて、大スパンの桁を吊り上げる機会も多くなり、そのため桁の吊り上げ時の安定性の検討が求められるようになった。製作・架設時の桁の横方向強さは、完成時のそれと比べて弱点が多く、桁全体としての死荷重による横倒れ不安定が生じやすくなる。また、桁の横倒れ座屈についての研究は古くから多くなされているが、吊り上げという境界条件のもとの研究はあまり見当たらない⁽¹⁾。

本研究は、このような状況のもとに、桁の吊り上げ時における横倒れ座屈の問題について、数値解析を行ない、吊り位置及び吊り方と座屈強度との関係を明らかにしようとしたものである。

2. 基礎微分方程式

I形2軸対称断面桁の変形前の位置をX-Y-Zで表わせ、荷重はX面内に作用するものとする。荷重が作用するとき、桁は鉛直下方に V_0 だけ変位した後に座屈し、水平方向に U 、鉛直方向に V 変位し、中回転する。そして、この時の桁の基礎微分方程式は次式のように表わせる⁽²⁾。

$$EI_x K_x' = N_y$$

$$EI_y K_y' = N_x + EI_x K_x \phi'$$

$$GJ \phi'' - EI_w \phi''' = -EI_x K_x k_y$$

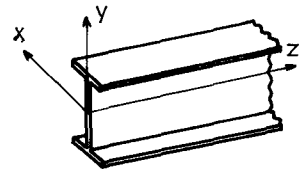


図-1. 一般図

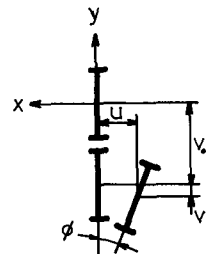


図-2. 断面の座屈前と座屈後の位置

3. 境界条件

吊り上げ時に桁が横倒れ変形し、吊り上げ点において桁があるねじり角 ϕ_0 だけ回転するとき、ねじり角 ϕ_0 に施した撓ねじりモーメントが生じる。したがって、吊り上げ点における桁断面のねじれに対する境界条件は次式のようになる。

$$GJ \phi_0' - EI_w \phi_0''' = T \bar{\phi}_0$$

ここに、 $T \bar{\phi}_0$ は撓ねじりモーメントである。(記号は図-3参照)

4. 数値解析

数値解析は、有限差分法(F.I.M.)⁽³⁾を用いて行なった。この解析方法は、横倒れ座屈を支配する微分方程式を有限差分表示により、2同次の連立一次方程式に置換し、その係数行列式を零にするようにして固有値すなわち座屈荷重を求める方法であり、次のように行なった。

桁を左右対称の任意の点で吊り上げようとするとき、桁の左半分について

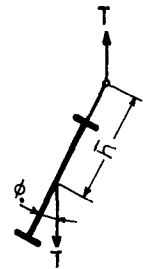


図-3. 吊り上げ点の断面の境界条件

2. 吊り上げ点の左右に、基礎微分方程式より同じに関する支配方程式を導くと次式のようなものである。

$$GJ\phi'' - EI\omega\phi''' = -\frac{1}{EI_2} \left(\frac{\delta l}{2}\right)^2 \phi \dots \dots \text{吊り上げ点の左側}$$

$$GJ\phi'' - EI\omega\phi''' = -\frac{1}{EI_2} \left(\frac{\delta l}{2}(2-\alpha L) - \frac{\delta l}{2}\right) \phi \dots \dots \text{吊り上げ点の右側}$$

ここに、 δl は桁の単位自重である。次に、同じりに関する境界条件

$$\text{at } z=0, GJ\phi'_2 - EI\omega\phi'_2 = 0 \quad \phi'_2 = 0$$

$$\text{at } z=\alpha L, \phi_2 = \phi_n \quad \phi'_2 = \phi'_n \quad \phi''_2 = \phi''_n \quad (GJ\phi'_2 - EI\omega\phi'_2) + \frac{\delta l}{2} \phi_{2,n} = (GJ\phi'_n - EI\omega\phi'_n)$$

$$\text{at } z=\frac{\delta l}{2}, GJ\phi'_n - EI\omega\phi'_n = 0 \quad \phi'_n = 0$$

を用い、 $\phi'' = \phi$ とし $\phi'' \cdot \phi' \cdot \phi$ を有限積分表示により ϕ の積分として表わすと、支配方程式は次式のように行列表示できる。

$$GJ[A][\phi] - EI\omega[\phi] = -\frac{1}{EI_2} \left(\frac{\delta l}{2}\right)^2 [B][\phi]$$

ここで、上式の係数行列式を零にすることにより、 $\frac{GJ \cdot \delta l^2}{EI\omega}$ をパラメーターとして、次式の座屈強度を求めることができる。

$$\delta l = \gamma \sqrt{\frac{GJ \cdot EI_2}{L^2}}$$

5. 数値計算例

図-5は、桁を上フランジ面のフックによ、2. 左右対称の任意の点で吊り上げたときの座屈係数 γ を、任意の $\frac{C \cdot \delta l^2}{EI\omega}$ ($\frac{GJ \cdot \delta l^2}{EI\omega}$) にプロットしたものである。ここで破線は、吊り上げ点の外側を一端自由・他端固定の片持梁とし、内側を単純支持梁としたときの、両者の座屈係数の小さい方の値を示したものである。

図-6は、桁を両端で吊り上げるとき、吊り上げ点を上フランジの上方にし、撓曲ねじりモーメントを大にした場合の座屈係数を示したものである。ここで、 γ を桁高の1~100倍の任意の値にとった。

6. あとがき

吊り上げ時の桁の横倒し安定にプロット、弾性範囲内で検討を行ひ、結果、経験に基き、211に吊り上げ時の吊り方と撓方向安定にプロットの解明を行なうことができた。さらに、複雑な吊り方にプロットは今後の課題にした。

参考文献

- (1), Johansson, B., "Lateral Stability of I Beam during Lifting", Building Statics and Structural Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm
- (2), Trahair, N.S., and Woolcock, S.T., "Effect of Major axis Curvature of I Beam Stability", Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 99 No. 611, Feb. 1973 pp 9548-9552
- (3), Brown, P.T., and Trahair, N.S., "Finite Integral Solution of Differential Equations" Civil Engineering Association, Institute of Engineers, Australia, Vol. CE10, No 2, Oct. 1978, p. 173

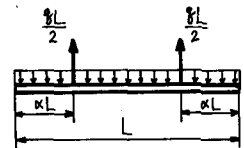


図-4 左右対称の点で桁を吊り上げ

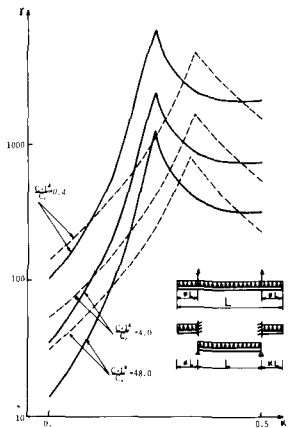


図-5 任意点吊り上げの桁の座屈強度

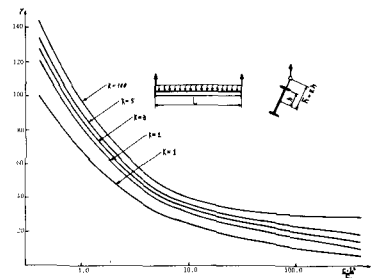


図-6 両端吊り上げの桁の座屈強度