

(株) 宮地鐵工所 正員 能登有愿

1. まえがき

I 桁の架設において、仮支点が設置できずかつクレーン能力またはクレーン反力点の強度上の理由等により、橋長分単独で架ける必要が生じることがある。この安定性の確認として、工場での実橋を使用した吊り上げ実験と解析を行った。本報告では主に解析について述べるものとする。

橋梁の I 桁は、薄板で構成されており自重も軽い、それにもまして横振れ座屈に抵抗する圧縮フランジの横曲げ剛性、全体の振れ剛性が非常に小さい。横振れ座屈の対象としていろいろ考えられるが、ここでは支持点の境界条件特に支持位置の変化と座屈補強について述べる。

2. 横振れ座屈の理論

初期不整のない理想状態の I 桁では、本来鉛直面内の曲げモーメントによって振れは生じない。しかし、製作、架設時に生ずる桁寸法の避けられない誤差、荷重の予期しえない小さい偏心により、実際には载荷の初期段階から断面に振りが生じる。荷重の増加と共に水平方向への面外曲げ変形が大きくなり、これにより桁の使用限界が決定されれば、横振れ座屈が生じたといえる。

桁の X-Y 面内に端モーメント M_{AZ} , M_{BZ} が作用する場合の横振れ座屈式は次の通りである。

$$EI_y \frac{d^4 w}{dx^4} + M_z \frac{d^2 \phi}{dx^2} + 2 \frac{dM_z}{dx} \frac{d\phi}{dx} = 0 \quad (1)$$

$$EI_w \frac{d^4 \phi}{dx^4} - (GJ + M_z \cdot \beta_z) \frac{d^2 \phi}{dx^2} - \frac{dM_z}{dx} \frac{d\phi}{dx} \beta_z + M_z \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \quad (2)$$

ただし、 $M_z = -M_{AZ} + (M_{BZ} + M_{AZ}) X/l$

$$\beta_z = \int_A Y (Z^2 + Y^2) dA / I_z - 2 Y_0$$

I_y, I_z : Y, Z 軸まわりの断面 2 次モーメント M_{AZ}, M_{BZ} : 梁の両端に作用する端モーメント

J : St. Venant の振り抵抗

E : ヤング係数

I_w : そり振りモーメント

G : セン断弾性係数

v, w : Y, Z 方向の変位

l : 支間長

ϕ : X 軸まわりの振り回転角

y_0 : セン断中心の Y 座標

本橋の端点支持の座屈モーメントは $(M_0)_{cr} = 68.27 \times 10^3$ となり、自重による曲げモーメントの約 68% である。

3. FEM 立体解析

2 点支持の I 桁はその形状から判断して、応力レベルが低い状態で不安定な挙動を生じやすい。そこで幾何学的非線形の大変形問題として取扱った。

(1) 構造のモデル化

メッシュ分割は図-2 に示す通りであり、節点は 369 個、1 節点当りの自由度は X, Y, Z 方向の変位、X, Y, Z 軸まわりの回転角の 6 自由度である。

(2) 支持点の境界条件

吊り支持点の高さ方向の位置は上フランジのウェブ直上で、橋軸方向位置は次の通りである。

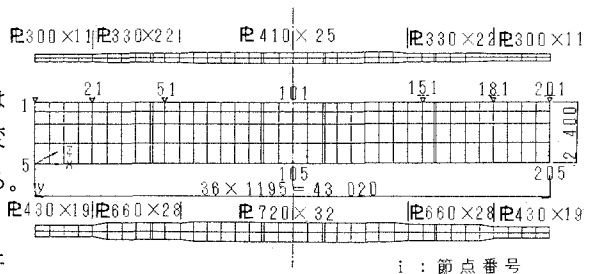


図-2 節点および要素図

- ① 端点支持 : CASE-A
- ② 1/9点支持 : CASE-B
- ③ 1/4点支持 : CASE-C

自由度の拘束条件

一方の支点 $u_1 = v_1 = w_1 = 0, \theta_{x_1} = 0$: 各軸方向および、X軸まわりの振れ回転角が零

他方の支点 $v_2 = w_2 = 0, \theta_{x_2} = 0$: Y, Z軸方向および、X軸まわりの振れ回転角が零

(3)荷重

鋼重を実際に則して分布荷重とし、荷重の大きさは構造物の不安定な挙動をみるために、自重の10%から400%までを各インクリメントで載荷している。

4. 解析結果と考察

(1)端点支持状態 CASE-A

荷重比（自重に対する比 P/P_0 ）と支間中央の水平変位（W）の関係を示す。圧縮側では P/P_0 の値が 0.525 (Inc. 8) で W が 1.4cm、その後荷重の変化をあまり伴わず 40cm位 (Inc. 33) へと大きくなっている。引張側ではその値が 1/4 位である。また鉛直変位についても同様な傾向を示しており、横振れ座屈現象を表している。

(2) 1/9 点支持状態 CASE-B

端点支持では自重の50%位の荷重で不安定状態になることが判明したので、端点から 1/9 の位置を支持点に設定した。不安定状態になるのは自重の 1.6倍位であった。

(3) 1/4 点支持状態 CASE-C

P/P_0 を増分 0.1 で 4.0 まであげたが、支間中央、張出し端とも W は殆んど零であり、鉛直変位（V）は線形に変化するだけである。そこで現実とは異なるが、鉛直上向きに載荷したところ P/P_0 が -0.86 位で不安定になった。これは、上側フランジが下側フランジに比べてかなり幅が狭いためである。

5. まとめ

支持点を支間中央へ移すことにより、支間が短くなりさらに張出し部を有することの相乗効果により座屈耐荷力が向上する。最も有効な支持位置は 1/4 点近傍と思われる。また現場での吊り位置も解析、施工の誤差を考えてこの位置とした。

また工場内での実橋を使用した吊り上げ実験でも、端点支持では、荷重を地切りするやいなや左右の衝立に倒れかかった。

1/9 点、1/4 点支持では横振れ座屈の現象がみられなかった。

6. あとがき

吊り点位置の制限条件から端点支持にする必要が生じることもある。そこで横振れ座屈に対する補強方法について検討した。これについては、ここでは省略するものとする。

<参考文献>

- 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン、昭和62年10月
- 2) 福本、西野共訳：鋼構造物材と骨組 一強度と設計一、昭和46年10月

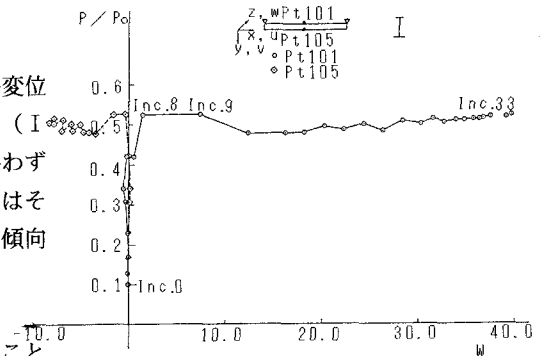


図-3 CASE-A P/P_0 -W

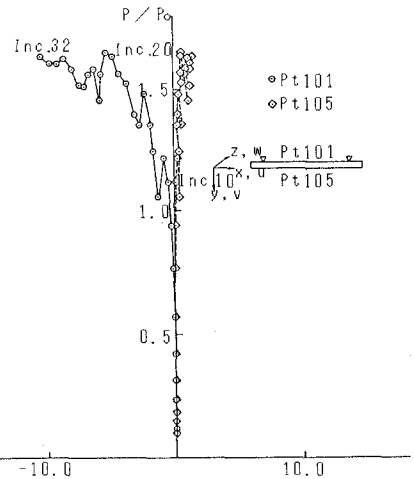


図-4 CASE-B P/P_0 -W