

九州大学 学生員 緒方紀夫

九州大学 正 員 太田俊昭

1. まえがき

吊橋の解析法としては、撓度理論、有限変形理論などがあり、その解法原理は既に確立されているが、いずれも弾性解析に止まるもので、弾塑性挙動を解明し得るまで拡張されたものは極めて少ない。本研究は、主塔ならびに補剛桁の降伏特性を考慮して、吊橋全体系が崩壊に至るまでの挙動を追跡し、既存あるいは計画中の吊橋の安全性を確かめ、今後の吊橋の合理的な設計法の一助にせんとするものである。

2. 基礎式の誘導

補剛桁の任意の点の曲げモーメントは、行列表示して次の式で与えられる。

$$M_s = \bar{M}_s - \sum_s H_s - H_s \eta - \eta \eta \quad (1)$$

ただし、 $\bar{M}_s$: 補剛桁の曲げモーメント M_s の列行列、

$\bar{M}_s$: 単純梁に換算したときのモーメント、 H_s : H_s 、

H_s , H_s の列行列、 H_s , H_s , H_s : 各スパンの活荷重による水平反力、 H_s : 死荷重による水平反力、 η : 補剛桁の任意点のたわみ η の列行列、 η : H_s , H_s , H_s を対角要素に持つ行列

次に、補剛桁のたわみ η は $Bilinear$ と仮定すれば、曲率は次のように表わされる。

$$\phi_s = \sum_s M_s + \phi_s^p \quad (2)$$

ただし、 ϕ_s : 補剛桁の曲率 ϕ_s の列行列、 $\sum_s$: $(1/EI)_s$ を対角要素に持つ行列、 ϕ_s^p : 塑性曲率 ϕ_s^p の列行列

また、任意の点の変位と曲率との関係は ϕ -法公式を用いれば次のように表わされる。

$$\eta = \alpha_s \phi_s \quad (3)$$

ただし、 α_s : η に関する係数行列

とす。Cable 方程式は、温度変化ケーブルの変形の前後における任意点の傾斜角 φ の変化を無視し、Cable の形状を双曲線と仮定すれば、Fig-1 を参照して次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} H_s &= \frac{E_c A_c}{L_s} (\Delta_s) + \frac{8 E_c A_c f_s}{L_s^2} \int_0^{L_s} \eta dx \\ H_s &= -\frac{E_c A_c}{L_s} (\Delta_s + \Delta_0) + \frac{8 E_c A_c f_s}{L_s^2} \int_0^{L_s} \eta dx \\ H_s &= \frac{E_c A_c}{L_s} (\Delta_0) + \frac{8 E_c A_c f_s}{L_s^2} \int_0^{L_s} \eta dx \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ただし、 E_c , A_c : Cable のヤング率と断面積、 Δ_s , Δ_0 : 左右の塔頂変位、 $L = \int_0^L \sec^3 \varphi dx$

(4) 式を行列表示すると、

$$H_s = C \Delta + E \eta \quad (5)$$

ただし、 Δ : 塔の任意の点の変位 Δ の列行列、 C : Δ に関する係数行列、 E : η に関する係数行列

ここで、(3) 式に (1), (2), (5) 式を代入のうえ整理すると、

$$J_s \eta + G_{ts} \Delta = A_s \bar{M}_s + a_s \phi_s^p \quad \text{----- (6)}$$

ただし、 $J_s = I + H_s A_s + A_s h_s + A_s z_s C$, $G_{ts} = A_s z_s C$, $A_s = A_s z_s$, I : 単位行列
次に、塔についても同様な手法で基礎式を誘導する。また、任意の点のモーメントは次式で表わされる。

$$M_t = -z_t (H_t - H_t) - V_t (\Delta_t - \Delta_t) \quad (\text{左塔, 右塔についても同様})$$

これを行列表示して、

$$M_t = -z_t H_t + X \Delta \quad \text{----- (7)}$$

ただし、 M_t : 塔の任意の点の曲げモーメント M_t の列行列, z_t : 塔頂から任意の点までの距離 z_t の行列,
 X : 塔にかかる鉛直力 V_t を要素に持つ行列
また、式 (4), 式 (5) と同様に塔についても次式が成り立つ。

$$\phi_t = z_t M_t + \phi_t^p \quad \text{----- (8)}$$

$$\Delta = a_t \phi_t \quad \text{----- (9)}$$

式 (7) に、式 (8), 式 (9) を代入のうえ整理すると次のように表わされる。

$$J_t \Delta + G_{tt} \eta = a_t \phi_t^p \quad \text{----- (10)}$$

ただし、 $J_t = I + A_t z_t - A_t X$, $G_{tt} = A_t z_t C$, $A_t = A_t z_t$
式 (6), 式 (10) を連立して、

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} J_s & G_{ts} \\ G_{tt} & J_t \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \eta \\ \Delta \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} A_s \bar{M}_s + a_s \phi_s^p \\ a_t \phi_t^p \end{Bmatrix} \\ \therefore \begin{Bmatrix} \eta \\ \Delta \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} J_s & G_{ts} \\ G_{tt} & J_t \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} A_s \bar{M}_s + a_s \phi_s^p \\ a_t \phi_t^p \end{Bmatrix} \quad \text{----- (11)} \end{aligned}$$

式 (11) によつて、任意の荷重に対する補剛桁および塔の任意の点の変位の関係が得られたわけであるが、演算は式 (11) の右辺に未知数 H_t は S の非線形関係が含まれているので、当然収束計算を必要とする。

3. 数値計算例

数値計算例は、現在計画中の因島大橋を参考にして、次のような諸元を用いた。 $l_1 = l_2 = 250 \text{ m}$, $l_3 = 770 \text{ m}$, $l_4 = 76 \text{ m}$,
 $l_5 = l_6 = 7.113 \text{ m}$, $A_c = 0.2426 \text{ m}^2$, $E_c = 2.0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, 補剛桁断面二次モーメント = $4.904 \text{ m}^4/\text{Br}$, 補剛桁高 = 9 m , 塔高 = 136 m , 塔断面積 = $0.7708 \text{ m}^2/\text{塔柱}$, 塔断面二次モーメント = $2.768 \text{ m}^4/\text{塔柱}$, 細長比 = 71.76 , 死荷重 = 21.315 kN/m/Br

なお、計算結果の一部を Fig-2 に示すが、詳細は講演時に説明する。

(参考文献)

- (1) 山崎徳也・太田俊昭・石川信隆: 補正エネルギーによる直線材構造物の弾塑性解析, 土木学会論文集, 第134号, 昭和71年
- (2) T. Ohta and T. Yamasaki: Elastic-Plastic Analysis of Steel Structures Considering the Effects of Residual Stress and Finite Deformation, Proc. of JSCE, No. 199, Oct. 1971.
- (3) 国広哲男・藤原徳・井川治久: 吊橋主塔の弾性解析と設計上の問題点, 建設省土木技術資料 14-4, 1972
- (4) 福本勝士・大森和史: 吊橋クロー静的挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第224号, 1977

