

九州大学 学生員 明田敏郎
福岡大学 正員 黒木健実
九州大学 正員 太田俊昭

1. まえがき

著者らは、吊橋主塔と基礎一体構造の非線形解析法に関する一連の研究として、先に、地盤と基礎の相互作用に重点を置いたクイ基礎の横抵抗問題について論じたが¹⁾、続いて本論では、塔・クイ一体構造の弾塑性挙動に関する基礎理論式を導き、塔の不安定挙動に対する地盤の影響と理論的に考察しようとするものである。

2. 基礎式の誘導

図-1に示すような塔・クイ各節点の曲げモーメント M_i は、増分形式で次のように表わされる。ただし、クイ下端は固定支持とする。

$$\dot{\bar{M}} = E \bar{F} \dot{\bar{y}}_1 + \alpha \bar{F} \dot{\bar{y}} + (E \bar{y}_1 + \alpha \bar{y}) \dot{\bar{F}} + \beta \dot{\bar{H}} + K \dot{\bar{y}} \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 $\bar{M} = M/M_y$, $\bar{F} = F/N_y$, $\bar{H} = H/N_y$, $\bar{y}_1 = y_1/l_1$, $\bar{y} = y/l_1$, M : 曲げモーメント M_i の列ベクトル, F : 鉛直力, H : 水平力, y_1 : 塔頂の水平変位, y : 塔頂を除く各節点の水平変位 y_i の列ベクトル, E : F による y_1 に関する係数列ベクトル, α : F による y に関する係数行列, β : H に関する係数列ベクトル, l_1 : 塔の長さ, M_y, N_y : 塔もしくはクイの降伏曲げモーメントおよび降伏軸力を表わす。

式(1)の右辺第6項は地盤反力 P_i に関する付加モーメント項で次式で定義される。¹⁾

$$K \dot{\bar{y}} = \gamma k \dot{\bar{y}} = \gamma \dot{\bar{P}} \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 $\dot{\bar{P}} = k \dot{\bar{y}}$, $K = \gamma k$, $\bar{P} = P l_1 / N_y = k \bar{y}$, P : 地盤反力 P_i の列ベクトル, k : 各節点の地盤反力係数に関する対角行列(塔部については対角要素を零とする。), γ : P に関する係数行列を表わす。

次に、塔およびクイの応力-ひずみ関係を *Bilinear* 型と仮定すれば、曲率 ϕ は文献(2)より次のように表わ

$$\dot{\bar{\Phi}} = \dot{\bar{M}} + \dot{\bar{\Phi}}^p \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 $\bar{\Phi} = \phi/\phi_y$, $\bar{\Phi}^p = \phi^p/\phi_y$, ϕ : 曲率 ϕ に関する列ベクトル, ϕ^p : 塑性曲率に関する列ベクトル, ϕ_y : 塔もしくはクイの降伏曲率。

また、水平変位と曲率の関係は ϕ -法公式を台形法で書き改めれば次の2式のように表わされる。³⁾

$$\dot{\bar{y}}_1 = \nu_1 \dot{\bar{\Phi}} = \nu_1 (\dot{\bar{M}} + \dot{\bar{\Phi}}^p) \quad \text{----- (4)}$$

$$\dot{\bar{y}} = \nu \dot{\bar{\Phi}} = \nu (\dot{\bar{M}} + \dot{\bar{\Phi}}^p) \quad \text{----- (5)}$$

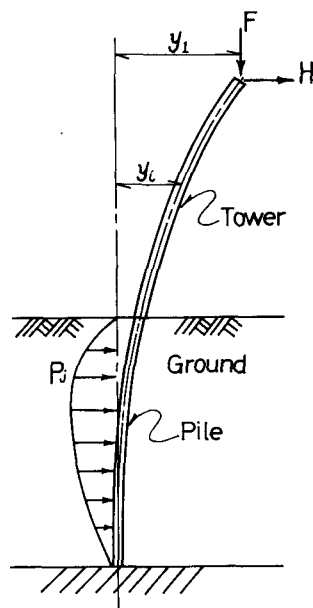


図-1

ただし、 $\mathcal{V}_1$: Φ に関する係数行ベクトル、 $\mathcal{V}$: Φ に関する係数行列。

そこで、式(1)を式(5)に代入のうえ、変形すると次式をえる。

$$\begin{aligned}\ddot{\mathbf{y}} &= \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} E \bar{F} \dot{\mathbf{y}}_1 + \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} (E \bar{\mathbf{y}}_1 + \alpha \bar{\Phi}) \dot{\mathbf{F}} + \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} \beta \dot{\mathbf{H}} + \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} \dot{\Phi}^p \\ &= A \dot{\mathbf{y}}_1 + B \dot{\mathbf{F}} + C \dot{\mathbf{H}} + D \dot{\Phi}^p\end{aligned}\quad \text{-----}(6)$$

ただし、 $A = \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} E \bar{F}$, $B = \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} (E \bar{\mathbf{y}}_1 + \alpha \bar{\Phi})$, $C = \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V} \beta$, $D = \mathcal{J}^{-1} \mathcal{V}$, $\mathcal{J} = \mathbf{I} - \mathcal{V} (\alpha \bar{F} + K)$, $\mathbf{I}$: 単位行列。

さらに、式(1)を式(4)に代入すれば、

$$\alpha \dot{\mathbf{y}}_1 = \mathcal{B} \dot{\Phi} + C \dot{\mathbf{F}} + d \dot{\mathbf{H}} + \mathcal{V}_1 \dot{\Phi}^p\quad \text{-----}(7)$$

ただし、 $\alpha = 1 - \mathcal{V}_1 E \bar{F}$, $\mathcal{B} = \mathcal{V}_1 (\alpha \bar{F} + K)$, $C = \mathcal{V}_1 (E \bar{\mathbf{y}}_1 + \alpha \bar{\Phi})$, $d = \mathcal{V}_1 \beta$ 。

よって、式(6)と式(7)に代入のうえ整理すれば、結局次の関係式をえる。

$$\dot{\mathbf{H}} = (\eta \dot{\mathbf{y}}_1 - \zeta \dot{\mathbf{F}} - \xi \dot{\Phi}^p) / \psi\quad \text{-----}(8)$$

ただし、 $\eta = \alpha - \mathcal{B} A$, $\zeta = \mathcal{B} B + C$, $\xi = \mathcal{B} D + \mathcal{V}_1$, $\psi = \mathcal{B} C + d$ 。

式(8)が水平力 H と塔頂の水平変位 y と関係付ける基礎式であり、不安定限界荷重は与変位 y_1 に対する $\dot{H}$ をくり返し試算によって逐次決定し、 η の極大値を見究めることにより求められる。なお、地盤の非線形反力係数は、実態にあわせて図-2のような各折線 curve で随時理想化するものとする。

3. 結 び

吊橋主塔の曲げ耐力や不安定限界荷重を見い出すには、 η の非線形要因である 1) 主塔およびクイ基礎の材料学的非線形特性、および 2) 地盤反力の非線形特性をより実態に即した形で導入する必要がある。ここでは、前者を応力-ひずみ履歴関係に Bilinear の形で含ませ、後者については図-2に示すような地盤反力とクイ変位に関する非線形曲線で与えた。その際、解析法として一貫した増分形式のくり返し試算を採用したため、解式表現が半線形化された簡単な行列表示式となり、しかも、作用外力も任意でよいなど、普遍性に富む実用解法がえられたと言える。なお、 $\dot{F}$ が y_1 の一次関数 $\dot{F} = \chi y_1$ で与えられる場合、式(8)を若干変形することにより同一手法で不安定問題を論ずることが可能となることを付言する。

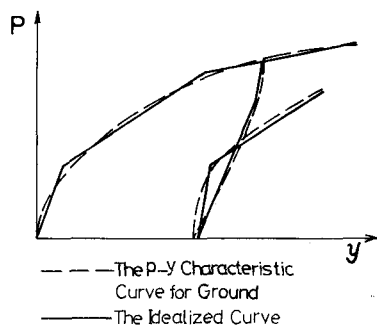


図-2

(参考文献)

- (1) 太田・明田: 吊橋主塔と基礎一体構造の非線形解析, 九州大学工学集報, 第47巻, 第3号, 昭和49年6月。
- (2) T. Ohta and T. Yamasaki: Elasto-Plastic Analysis of Steel Structures Considering the Effects of Residual Stress and Finite Deformation, Proc. of JSCE, No. 194, Oct. 1971.
- (3) 山崎徳也・太田俊昭・石川信隆・補正エネルギー法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49年。
- (4) 国本啓男・藤原格・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.
- (5) 橋本啓士・大森和史: 吊橋タワーの静的挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第224号, 1974.