

杭頭に塑性ヒンジを考慮した杭基礎の安定計算法

九州共立大学 前田 良刀

建設省 土木研究所 木村 嘉富

(株) 建設技術研究所 松井 謙二

(株) 建設技術研究所 横田 康行

1. はじめに

阪神大震災の経験により、極めて稀に生じるような巨大地震動に対しても構造物の壊滅的な崩壊を防止するための設計の方針が示され、例えば、橋脚では構造体の塑性的挙動を考慮した保有水平耐力照査が義務付けられることとなった。

一方、杭基礎では従来から、本数や断面の決定に当たり杭体の弾性的挙動を前提とした変位法が採用されているが、現行の変位法では巨大地震動に対する安全性を保证するには無理がある。このため、現在、杭体と地盤が弾性挙動領域を超えた場合にも適用できる合理的な計算法が求められている。

本文では、現行の変位法を拡張して、杭頭に塑性ヒンジを考慮した場合の安定計算法を提案する。

2. 杭頭部に等価弾塑性挙動を考慮する方法

これまでの多くの実験によれば、橋脚躯体では下端付近に塑性領域が集中的に形成される局所的な破壊メカニズムを示す。杭基礎においても、一般の地盤条件では杭頭に最大モーメントが生じるため破壊メカニズムは橋脚と同様と考えられ、本文ではフーチングとの結合部付近に塑性ヒンジ領域を考慮する。

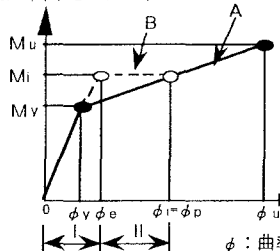
なお、阪神大震災の被害調査でも、杭頭付近に塑性領域が集中していることが報告されている。¹⁾

2・1 弾性的挙動の評価

図.1 は杭体の曲げモーメント M 、曲率 ϕ 関係を示したものである。本文では、杭の変形を弾性曲げ変形と塑性回転という二つの変形量に分けて考え、さらに塑性領域では一定の回転バネ抵抗を考慮する等価な力学モデルを仮定するため、図.1 中の線Bの M 、 ϕ 関係となる。

弾性領域では、一般の弾性床土上の梁理論から横方向変位と回転角が得られる。また、塑性領域では、厳密には、曲げモーメント、曲率関係は深さ方向に変化するが、この塑性領域が杭頭付近の極く浅い箇所に形成されるならば、杭頭の最大モーメント M_i を用いて曲率 ϕ_i が一定の領域を仮定できる。

M: 曲げモーメント

 M_u, ϕ_u : 終局モーメント、曲率 M_v, ϕ_v : 降伏モーメント、曲率 M_i, ϕ_i : 作用モーメント、曲率 ϕ_e : 仮定する弾性限界の曲率

I: 弾性曲げ変形領域

II: 塑性回転領域

A: 実際の M, ϕ 関係B: 弾性曲げ変形と塑性回転を考慮した M, ϕ 関係

図.1 仮定する杭体の曲げモーメント、曲率関係

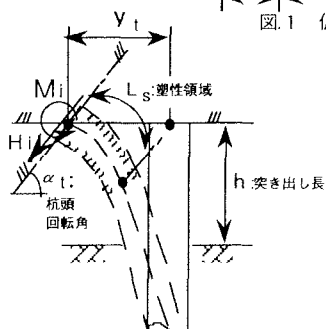


図.2 弾塑性領域の仮定

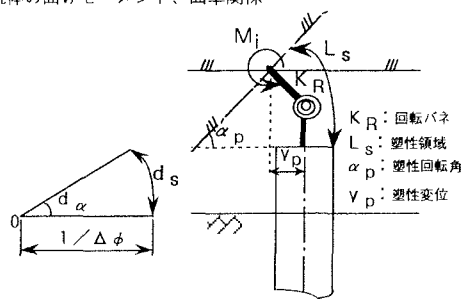


図.3 塑性領域の力学モデル

これから、弾塑性挙動を考慮した杭頭での変位量 y_i と回転量 α_i は (1) 式で表わされる。

$$\begin{aligned} y_i &= y_e + y_p \\ \alpha_i &= \alpha_e + \alpha_p \end{aligned} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 y_e 、 y_p および α_e 、 α_p はそれぞれ弾性領域、塑性領域での変位量と回転量である。

2・2 塑性ヒンジ領域での力学特性

図.3は仮定する塑性領域での力学モデルである。図.1、図.3から曲率の増分 $\Delta \phi$ は次式で求められる。

$$\Delta \phi = \phi_i - \phi_e \quad \text{----- (2)}$$

曲率が一定とすると、 $\Delta \phi$ 、 α_p と塑性ヒンジ領域 L_s の関係は次式となる。

$$\alpha_p = \int_0^{L_s} \Delta \phi \cdot ds = \Delta \phi \cdot L_s \quad \text{----- (3)}$$

この時の、等価回転バネ K_R と横方向変位 y_p および回転量 α_p は次式で求められる。

$$K_R = \frac{M_i}{\alpha_p} = \frac{M_i}{\Delta \phi \cdot L_s} \quad \text{----- (4)}$$

$$y_p = L_s \cdot \sin \frac{\alpha_p}{2} = \frac{L_s \cdot M_i}{2 \cdot K_R} \quad \text{----- (5)}$$

$$\alpha_p = \frac{M_i}{K_R} \quad \text{----- (6)}$$

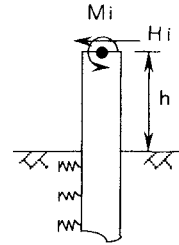


図.4 弾性領域の力学モデル

3. 安定計算のための杭の横方向バネ定数

3.1 弾性領域

弾性領域での荷重と変位の関係は図.4を参考にして次式で表わされる。

$$\begin{aligned} H_i &= K_1 \cdot y_e - K_2 \cdot \alpha_e \\ M_i &= -K_3 \cdot y_e + K_4 \cdot \alpha_e \end{aligned} \quad \text{----- (7)}$$

ここで、バネ定数 $K_1 \sim K_4$ は、現行の道路橋示方書と同じである。

$$K_1 = \frac{12EI \beta^3}{(1 + \beta h)^3 + 2}, \quad K_2 (=K_3) = K_1 \cdot \frac{1 + \beta h}{2\beta}, \quad K_4 = \frac{4EI \beta}{1 + \beta h} \cdot \frac{(1 + \beta h)^2 + 1}{2} \quad \text{-- (8)}$$

3.2 弾塑性領域

弾塑性領域での変形は弾性領域と塑性領域を重ね合わせて求められる。

(1)、(5)、(6) 式を (7) 式に代入して、多少展開すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} H_i &= K_1^* \cdot y_i - K_2^* \cdot \alpha_i \\ M_i &= -K_3^* \cdot y_i + K_4^* \cdot \alpha_i \end{aligned} \quad \text{----- (9)}$$

ここで、 K_1^* 、 K_2^* 、 K_3^* 、 K_4^* は、杭頭に塑性ヒンジを考慮した場合の杭頭バネ定数であり、次式で示される。

$$\begin{aligned} K_1^* &= K_1 - \frac{K_3 (K_1 \cdot L_s - 2K_2)}{K_3 \cdot L_s - 2K_4 - 2K_R}, \quad K_2^* = K_2 - \frac{K_4 (K_1 \cdot L_s - 2K_2)}{K_3 \cdot L_s - 2K_4 - 2K_R} \\ K_3^* &= -\frac{2K_3 \cdot K_R}{K_3 \cdot L_s - 2K_4 - 2K_R}, \quad K_4^* = -\frac{2K_4 \cdot K_R}{K_3 \cdot L_s - 2K_4 - 2K_R}, \quad K_R = \frac{M_i}{\Delta \phi \cdot L_s} \end{aligned} \quad \text{-- (10)}$$

4. 安定計算手順

本文で新たな杭頭バネ定数を提案したがこの安定計算手順を以下に示す。

- (1) 杭頭部の M 、 ϕ 関係図を作成し、作用モーメント M_i が許容塑性モーメント M_a より小さく ($M_i < M_a$) 降伏モーメント M_y より大きい ($M_i > M_y$) ことを確認
- (2) 曲率の増分 $\Delta \phi$ の計算 ($\Delta \phi = \phi_i - \phi_e$)
- (3) 塑性領域 L_s の指定と回転バネ K_R の計算 (一般に、 $L_s = 1.0D$ 程度に塑性領域が発生している)
- (4) K_1^* 、 K_2^* 、 K_3^* 、 K_4^* を計算し、変位法による安定計算を行なう
- (5) 上記のバネ定数には、地盤反力係数の非線形性を考慮する、 $k_{Hi} = k_H \cdot \left(\frac{y_i}{y_0}\right)^n$

参考文献：1) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会；兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書

平成7年12月