

部分的な弾性床上に支持された柱要素の有効座屈長と簡易算定式

(株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○大森貴行
 熊本大学准教授 大学院自然科学研究科 正会員 葛西 昭
 熊本大学 大学院自然科学研究科 学生会員 小原 礼

1. 緒言

部分的な弾性床上に支持された柱要素は、パイルベント基礎(図-1)や港湾施設、海外における歩道橋など柱杭一体構造¹⁾として多くの実績を有する。しかし、地震時における抵抗特性や耐荷性能を考えたとき、地盤の相対的な剛性の変化により変形モードが異なるなど、耐荷性能を評価するための知見は十分ではない。著者らはこれまで、下端がバネ支持された柱杭一体構造の有効座屈長 l_{cr} について、基礎の特性値 β との関係¹⁾を明らかにした。本論文では部分的に弾性床上に支持された柱要素について、境界条件を踏まえた有効座屈長の算定簡易式を提案する。

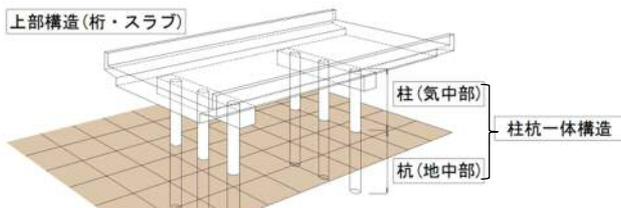


図-1 パイルベント基礎のイメージ

2. 研究対象

研究の対象は、部分的な弾性床上に支持された柱要素として、鋼管で構成された柱杭一体構造を想定

する。鋼管は外径 $D=500\text{mm}$ 、板厚 $t=9\sim 25\text{mm}$ 、材質はSKK490材を扱う。鋼材のヤング率 $E=200\text{GPa}$ とし、ポアソン比 $\mu=0.3$ とする。気中部は、最大細長比 $l/r=120$ 以下(l =気中部 h , r =断面二次半径)とし、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ や径厚比パラメータ R_t は以下の範囲を満足する。

$$0.2 \leq \bar{\lambda} = 1/\pi \sqrt{\sigma_y/E} l/r \leq 0.4 \quad (1)$$

$$0.03 \leq R_t = R/t \sigma_y/E \sqrt{3(1-\mu^2)} \leq 0.08 \quad (2)$$

一方地中部は、半無限長の長さとなる $\beta L_e > 3$ 以上(L_e は地中部の長さ)となる10mとし、地盤の剛性は $\alpha E_0=10\text{MN/m}^2\sim 300\text{MN/m}^2$ とする。本研究で対象とする検討ケースは、 $PP\ h(\text{m})-t(\text{mm})-\alpha E_0(\text{MN/m}^2)$ の形式で表-1に示す。

3. 解析モデルと解析方法

解析モデルを図-2に示し、諸定数を表-1、表-2に示す。地中部先端部は変位固定回転自由のヒンジ端とし、気中部上端は自由端と回転を拘束した2ケースを考える。地盤内には水平方向と鉛直方向の地盤バネを設け、道示IV²⁾に基づき下式により算定する。

表-1 検討ケース

CASE	$h(\text{m})/L(\text{m})$			柱頂部の境界条件		径と厚さ				地盤のばね剛性 αE_0 (MN/mm ²)						
	1/10	5/10	10/10	自由	回転固定	$D\ 500$				10	50	100	150	200	250	300
						$t=9$	$t=14$	$t=19$	$t=25$							
PP1-9-*	○			○	○	○				○	○	○	○	○	○	○
PP1-14-*	○			○	○		○			○	○	○	○	○	○	○
PP1-19-*	○			○	○			○		○	○	○	○	○	○	○
PP1-25-*	○			○	○				○	○	○	○	○	○	○	○
PP5-9-*		○		○	○		○			○	○	○	○	○	○	○
PP5-14-*		○		○	○			○		○	○	○	○	○	○	○
PP5-19-*		○		○	○				○	○	○	○	○	○	○	○
PP5-25-*		○		○	○					○	○	○	○	○	○	○
PP10-9-*			○	○	○		○			○	○	○	○	○	○	○
PP10-14-*			○	○	○			○		○	○	○	○	○	○	○
PP10-19-*			○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○
PP10-25-*			○	○	○					○	○	○	○	○	○	○

表-2 断面諸元

部材名	規格	断面積 (m ²)	単位重量 (kN/m)	断面二次モーメント I (m ⁴)	ヤング率 E (GN/m ²)	曲げ剛性 EI (GN·m ²)	ポアソン比
鋼管	φ500, t=9mm	0.01388	1.09	0.000418	200	0.0836	0.3
	φ500, t=14mm	0.02138	1.68	0.000632	200	0.1264	0.3
	φ500, t=19mm	0.02871	2.25	0.000832	200	0.1664	0.3
	φ500, t=25mm	0.03731	2.93	0.00106	200	0.2120	0.3

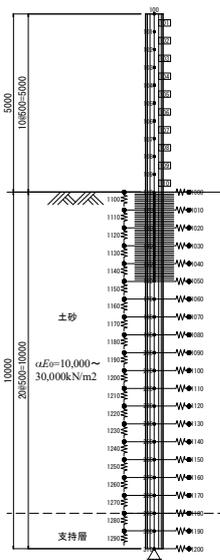


図-2 解析モデル図

キーワード 弾性床上の柱, 柱杭一体構造, 有効座屈長, 杭の特性値, 部分係数, チャンス式

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6号館 (株)オリエンタルコンサルタンツ TEL 03-6311-7890

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} \tag{3}$$

$$k_{H0} = 1/0.3 \alpha E_0 \tag{4}$$

$$B_H = \sqrt{D/\beta} \tag{5}$$

$$\beta = \sqrt[4]{k_H D / 4EI} \tag{6}$$

ここに k_H は水平方向地盤反力係数, D は杭径, k_{H0} は平板載荷試験の値に相当する水平方向地盤反力係数, B_H は基礎の換算載荷幅である.

4. 有効座屈長と杭の特性値 β との関係

解析は軸力 $N=1\text{kN}$ を気中部上端に作用させ, 得られた固有値 ω の内, 1 次の固有値 ω を下式に導入し, 有効座屈長 l_{cr} を求める.

$$l_{cr} = \pi \sqrt{EI / \omega N} \tag{7}$$

ここで EI は鋼管の曲げ剛性, π は円周率である. 地盤と地中部の剛性差が有効座屈長 l_{cr} に与える影響を確認するために, 縦軸に有効座屈長 l_{cr} を下端固定としたときの有効座屈長 l_{cr}' で除して無次元化した値, 横軸に地盤の特性値 β に気中部の長さ h を掛け合わせ無次元化した値を図-3 に示す. ここで有効座屈長 l_{cr}' は, 下端が固定された地中部の有効座屈長の理論値とし, 気中部上端自由モデルについては $2h$, 気中部上端回転固定モデルについては h とする.

図-3 より, 境界条件に関係なく βh が大きくなるごとに, すなわち相対的に地盤の剛性が大きくなるごとに有効座屈長 l_{cr} が気中部下端を固定とした有効座屈長の理論値 l_{cr}' に近づくことが確認できる. また, 有効座屈長 $l_{cr} - \beta h$ の関係は, 気中部の長さや板厚に依存することなく連続した曲線として表される. 以上から部分的な弾性床上に支持された柱の有効座屈長 l_{cr} は, 境界条件に関係なく βh の関数で表される.

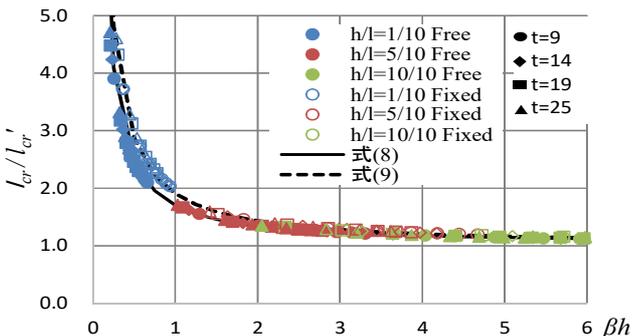


図-3 有効座屈長と βh の関係

5. 有効座屈長の簡易推定式

著者らは気中部の上端を自由としたときの有効座屈長について, 座屈モードが M_{max} の位置近傍で凸となる形状と仮定し, 部分的な弾性床上に支持された柱の有効座屈長は, チャンの式 ${}^2)l_m$ に h を加えた長さの 2 倍に近づくと想定した. さらに, 解析の精度 α_1 と変形モードに影響する無次元量 βh との相関関係 α_2 という二つの部分係数からなる推定式(8)を提案し, 解析結果と一致することを確認した.

$$k = \frac{l_{cr}}{h} \cong 2\alpha_1 \left\{ 1 + \frac{1}{\beta h} \tan^{-1} \left(\frac{1}{1+2\alpha_2\beta h} \right) \right\} \tag{8}$$

図-3 に示す式(8)の曲線は, $\alpha_1=1.05$, $\alpha_2=0.1$ と設定し, 相関関数は 0.999, 標準偏差は 0.042 である.

次に気中部上端の回転が拘束された推定式を考える. 気中部上端の回転が固定され, 気中部の下端が拘束された柱の有効座屈長は上端自由モデルの 1/2 であることから, 式(8)を 2 で除す. さらに図-3 より, 気中部上端の回転拘束モデルは, 地盤の剛性が小さくなるごとに上端自由モデルよりも気中部下端が固定された有効座屈長の理論値よりも差異が大きくなり, 弾性床の剛性の影響が大きくなることを確認できる. これを新たに地盤の影響係数 α_3 として部分係数を設定すると, 式(8)は式(9)に修正される.

$$k = \frac{l_{cr}}{h} \cong 1\alpha_1 \left\{ 1 + \frac{1}{\alpha_3\beta h} \tan^{-1} \left(\frac{1}{1+2\alpha_2\beta h} \right) \right\} \tag{9}$$

$\alpha_1=1.05$, $\alpha_2=0.1$, $\alpha_3=0.85$ としたときの推定線は図-3 の通りとなり, 解析値と一致することが確認できる. なお, 相関関数は 0.999, 標準偏差は 0.062 である.

6. 結言

部分的に弾性床上に支持された柱要素の有効座屈長 l_{cr} は, 基礎の特性値 β に気中部の長さ h を掛け合わせた無次元量 βh の関数で表され, 簡易式で定義することができる. また無次元量 βh は当該要素の有効座屈長に与える影響指数であり, 有効座屈長係数の新しいコンセプトになり得る.

参考文献

- 1) 大森貴行, 葛西昭, 小原礼 (2016): 鋼製パイプ断面を有する柱杭一体構造の有効座屈長, 第 71 回年次学術講演会講演概要集, I -291
- 2) 道路橋示方書・同解説 H24. 3 IV 下部構造編