

鋼製パイプ断面を有する柱杭一体構造の耐荷力曲線

(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

鋼管杭基礎などがフーチングを経ずにそのまま橋脚となる柱杭一体構造は、地形改変が小さいことや、施工工数が少ないことなど、経済性、施工性においてメリットがあり、過去¹⁾にはパイルベント基礎などの実績がある(図-1)。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} と基礎の特性値 β^2 、柱 h の関係について明らかにした³⁾。本論では、有効座屈長 l_{cr} と圧縮耐荷力 P_{cr} を用いて既往の基準耐荷力曲線との関係についての検討結果を報告する。

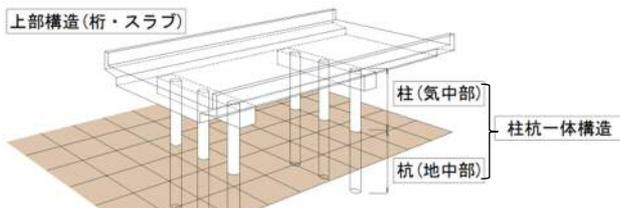


図-1 パイルベント基礎のイメージ

2. 研究対象

研究の対象は、下端がばね支持された単柱橋脚で、鋼管柱は標準的なサイズとなる外径 $D=500\text{mm}$ 、板厚 $t=9\sim 25\text{mm}$ 、材質はSKK490材を扱う。電縫鋼管の機械的性質は、降伏応力 315N/mm^2 とした完全弾塑性型バイリニアモデルとし、ヤング率 $E=200\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\mu=0.3$ とする。柱長は、最大細長比 $l/r=120$ 以下(l =柱長 h , r =断面二次半径)とし、細長比パラメータ λ^2 や径厚比パラメータ R_t^2 は道路橋示方書^{V2)}(以下、道示と称する)の適用範囲を満足する。

一方杭長は、半無限長の杭となる $\beta L_e > 3$ 以上(L_e は杭長)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-2、表-3に示す。杭先端部は変位固定回転自由のヒンジ端とし、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。

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4} \tag{1}$$

表-1 検討ケース

CASE	柱頂部境界条件		h(m)/L(m)			断面寸法(mm) Φ500				地盤剛性 $\alpha E_0(\text{MN/m}^2)$						
	自由端	固定端	1/10	5/10	10/10	t=9	t=14	t=19	t=25	10	50	100	150	200	250	300
PP1-9-*	○		○			○				○	○	○	○	○	○	○
PP1-14-*	○		○				○			○	○	○	○	○	○	○
PP1-19-*	○		○					○		○	○	○	○	○	○	○
PP1-25-*	○		○						○	○	○	○	○	○	○	○
PP5-9-*	○			○		○				○	○	○	○	○	○	○
PP5R-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

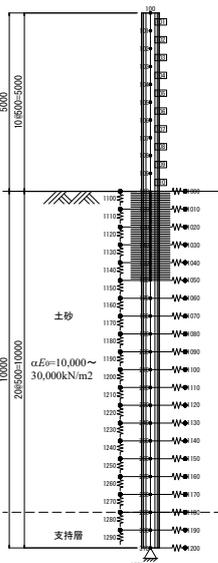


図-2 解析モデル図

キーワード 柱杭一体構造, 耐荷力曲線, 初期不整, 電縫鋼管, 残留応力, 鋼管杭

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

$$k_{H0} = 1/0.3 \alpha E_0 \quad (2)$$

$$B_H = \sqrt{D/\beta} \quad (3)$$

$$\beta = \sqrt[4]{k_H D / 4EI} \quad (4)$$

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. 初期不整

初期不整として残留応力と初期たわみを考慮する.

電縫鋼管の残留応力は, 青木ら⁴⁾により提案された等価残留応力分布 $\overline{\sigma_{req}}$ の定義式に基づき導入する. 定義式を式(5)に示し, 残留応力分布を図-3に示す.

$$\sigma_{ri} = \sum_{j=1}^n A_n \cos 2n\pi x_i + \sum_{j=1}^n B_n \sin 2n\pi x_i + C \quad (5)$$

ここで, σ_{ri} は円周上 36 点で与えられた残留応力の第 i 番目の値, 振幅を $A_n, B_n, x_i = 1/36, 2/36, \dots, 36/36$, とする. 式(5)は最小自乗フーリエ分解により級数各項の係数の大きさが求まり, $n=4, 8, 16$ として係数を求めると, それぞれ図-3の実線, 1点破線, 2点破線のようになる.

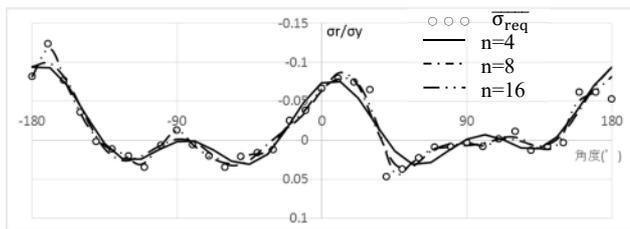


図-3 電縫鋼管の残留応力分布

初期たわみは, 対象モデルの固有値解析で得られた 1 次モードの変形状態に対し, 柱頭部に $(h+l)/1000$ の水平変位を与える.

5. 解析結果

解析は柱頭部の変位に着目し, まず荷重-変位関係を把握する. その後荷重-変位曲線のピーク値を構造の耐荷力とし, これを断面積で除した σ_{cr} と材料の降伏応力 σ_y , 細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を用いて耐荷力曲線を作成する. 図-4 に解析結果を示す. 図-4 の縦軸は σ_{cr}/σ_y , 横軸は $\bar{\lambda}$ を示し, Euler 曲線や道示II²⁾に規定された溶接箱形断面以外の耐荷力曲線(a)と溶接箱形断面の耐荷力曲線(b)も示している. いずれのケースにおいても柱杭一体構造の耐荷力は, 道示IIに示された曲線(a)や(b)よりも大きな耐荷力を有していることが確認できる. なお, 残留応力の有りと無しとの解析結

果はほぼ重なり, 本稿の解析条件においては, 影響がほとんどないことが分かった.

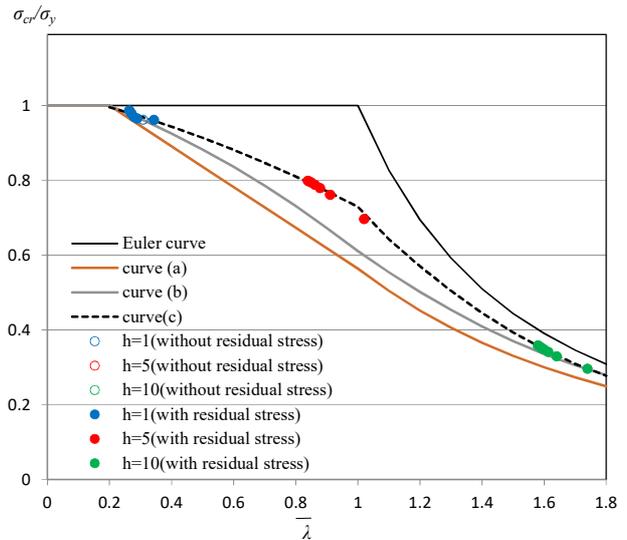


図-4 耐荷力曲線

6. 柱杭一体構造の耐荷力推定式

柱杭一体構造の耐荷力曲線を, 最小二乗法により簡易な二次式で近似的に表現すると, 以下の通り与えられる.

$$(0.2 < \bar{\lambda} \leq 1.0)$$

$$\sigma_{cr}/\sigma_y = 1.039 - 0.192\bar{\lambda} - 0.117\bar{\lambda}^2 \quad (6)$$

$$(1.0 < \bar{\lambda})$$

$$\sigma_{cr}/\sigma_y = 1.886 - 1.503\bar{\lambda} - 0.339\bar{\lambda}^2 \quad (7)$$

この時の曲線を curve(c) とすると, curve(c) は図-4 の通りとなる.

7. 結言

柱杭一体構造の圧縮耐荷力は, 道示II²⁾に示された溶接箱形断面と溶接箱形以外の場合の耐荷力と比べて高い耐荷力を示した. また, 残留応力の有無による差は本解析条件においてはほとんどなかった. さらに, 耐荷力曲線は簡易な二次式として定義できる.

今後は, 解析ケースを増やし, より精度の高い推定式の提案に努める.

参考文献

- 1) 解説・河川管理施設等構造令 第 62 条 橋脚
- 2) 道路橋示方書・同解説 H24. 3 I ~ IV
- 3) 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
- 4) 青木徹彦, 福元秀士: 小口径電縫鋼管の統計的材料強度特性と残留応力分布の評価, 土木学会論文報告集, 第 314 号・1981 年 10 月 pp39~51