柱杭一体構造鋼管の圧縮耐荷力に関する一考察

熊本大学大学院　学生会員　○小原礼　正会員　葛西昭
㈱オリエンタルコンサルタンツ　正会員　大森貴行

１．緒言

パイルベント基礎(図-1)のような，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，施工上の地形改変や施工工数が少なく，経済性，施工性において大きなメリットを持つ．

しかしながら，柱杭一体構造は，地震時における抵抗特性や耐荷性能が地盤の剛性によって変化し，その定量的な相関は不明であるため，耐荷性能を評価するために必要な知見が十分に得られていない．たとえば，文献[1]に見られる程度である．

本論文では，この様な背景を受けて，数値解析を通じて下端がバネ支持された柱杭一体構造鋼管の圧縮耐荷力と，下端が固定された片持ち鋼管柱の圧縮耐荷力を比較する．

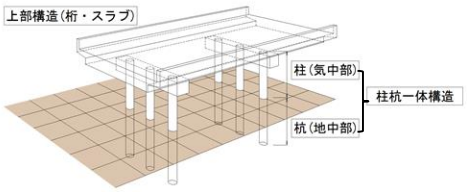

図-1　パイルベント基礎のイメージ

２．研究対象およびその諸元

研究対象は，下端がばね支持された柱杭一体構造の単柱橋脚と，下端が固定された片持ち鋼管柱とする．構造諸元は，標準的な鋼管柱のサイズとなる外径 D=500mm，板厚は t=9～25mm，材質は SKK490 材を扱う．鋼材のヤング率 E=200GPa とし，ポアソン比は μ=0.3 とする．柱長は，道示Ⅱ[2]における主要な圧縮部材の最大細長比 h/r=120(h=柱長，r=回転半径)以下とし，下式に示す細長比パラメータ$\bar{\lambda}$や径厚比パラメータ R_tの適用範囲を包括するように最大 h=10m とする[3]．

$$0.2 \leqq \bar{\lambda} = \frac{1}{\pi}\cdot\frac{1}{r}\cdot\sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \leqq 0.4 \qquad (1)$$

$$0.03 \leqq R_t = \frac{R}{t}\cdot\frac{\sigma_y}{E}\cdot\sqrt{3(1-\mu^2)} \leqq 0.08 \qquad (2)$$

一方，柱杭一体構造鋼管における杭長は道示Ⅳ[4]の杭基礎としての適用範囲を満足させるため，半無限長の杭となるβL_e＞3以上(L_eは杭長)となる10mとした．ここでβは道示Ⅳより基礎の特性値(式(6))である．地盤の剛性は，αE_0=4,000kN/m^2～200,000kN/m^{2}とする．

３．解析モデルと解析方法

3.1 柱杭一体構造鋼管モデル

柱杭一体構造鋼管の解析モデルを図-2に示し，諸量を表-1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Ⅳに基づき次式より算定する．

$$k_H = k_{H0}\left(\frac{B_H}{0.3}\right)^{-3/4}, \quad k_{H0} = \frac{\alpha E_0}{0.3} \qquad (3),\ (4)$$

$$B_H = \sqrt{\frac{D}{\beta}}, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}} \qquad (5),\ (6)$$

ここに k_Hは水平方向地盤反力係数で基礎のバネ値として使用した値，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]．なお，鉛直摩擦バネは道示Ⅳに記載のケーソン基礎に関する鉛直摩擦バネの規定に準拠し，水平バネの 0.3 倍と仮定した[2]．

3.2 片持ち鋼管柱モデル

また，片持ち鋼管柱の解析モデルは，柱杭一体構造モデルにおける柱部と同様の諸元で作成する．杭部はないものとし，境界条件は柱頂部を自由端，柱基部を完全固定とする．柱長は，細長比パラメータ$\bar{\lambda}$の値が 0~2.0 を包括するように設定する．

3.3 解析方法

これらの解析モデルに軸圧縮力を作用させて、弾塑性有限変位解析を行う．その際，初期不整として最大値が$(h+l)/1000$ となるように一次座屈モードに沿って初期水平たわみを導入する．なお一次座屈モードは，座屈固有値解析によって算出する．

本研究で対象とする検討ケースを表-2，表-3 に示

キーワード　柱杭一体構造鋼管，片持ち鋼管柱，圧縮耐荷力
連絡先　〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39-1　TEL096-342-3579

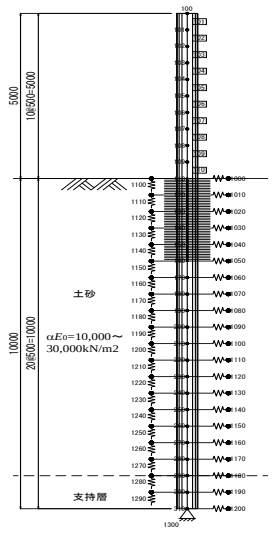

図-2 柱杭一体構造鋼管の解析モデル

表-1 断面諸元

部材名	規格	断面積 (m^2)	断面二次モーメント(m^4)	ヤング率 (GPa/m^2)	曲げ剛性 (GN・m^2)	ポアソン比
鋼管	φ500, t=9mm	0.01388	0.000418	200	0.0836	0.3
	φ500, t=14mm	0.02138	0.000632	200	0.1264	0.3
	φ500, t=19mm	0.02871	0.000832	200	0.1664	0.3
	φ500, t=25mm	0.03731	0.00106	200	0.2120	0.3

表-2 柱杭一体構造の検討ケース

CASE	h/L	板厚t(mm)	地盤剛性α E_0(MN/m^2)		
			4	90	200
PP 1-9-*	1/10	9	○	○	○
PP 1-25-*	1/10	25	○	○	○
PP 5-9-*	5/10	9	○	○	○
PP 5-25-*	5/10	25	○	○	○
PP 10-9-*	10/10	9	○	○	○
PP 10-25-*	10/10	25	○	○	○

表-3 片持ち柱の検討ケース

CASE	柱長h(m)	板厚t(mm)
P 1.2-9	1.2	9
P 2.4-9	2.4	9
P 3.6-9	3.6	9
P 4.8-9	4.8	9
P 6.0-9	6	9
P 7.2-9	7.2	9
P 8.4-9	8.4	9
P 9.7-9	9.7	9
P 10.9-9	10.9	9
P 12.1-9	12.1	9
P 13.3-9	13.3	9

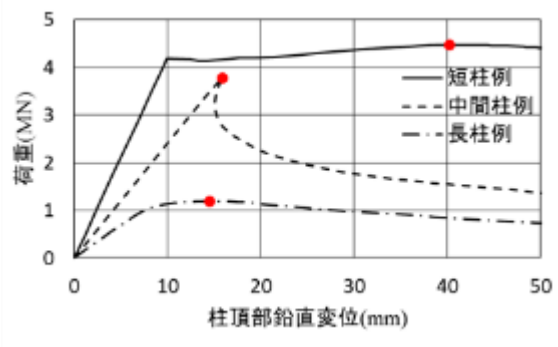

図-3 荷重－変位関係

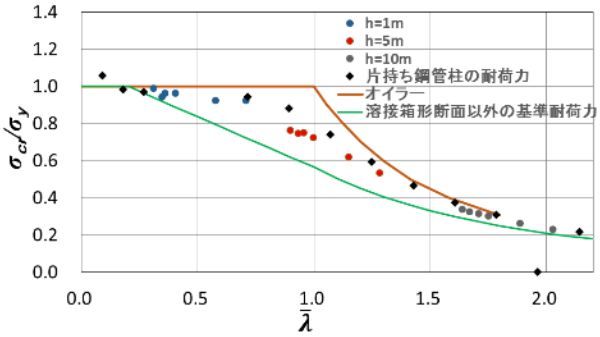

図-4 基準耐荷力－細長比パラメータ関係

す.

4．解析結果

弾塑性有限変形解析によって得られた荷重－変位曲線を図-3 に示す．これから読み取れる荷重のピークを，対象とするモデルの耐荷力 P_{cr} とする．

図-4 に，耐荷力の比較図を示す．縦軸は σ_{cr} を鋼材の降伏応力 σ_y で除した値，横軸は細長比パラメータ $\bar{\lambda}$である．図上には、オイラー座屈における耐荷力の理論値，道示Ⅱで用いられている溶接箱形断面以外の基準耐荷力曲線(以下耐荷力曲線)[3]，柱杭一体構造鋼管における耐荷力の解析結果，片持ち柱の耐荷力の解析結果を示す．

柱杭一体構造の耐荷力は片持ち鋼管柱の耐荷力よりわずかに小さい．今回の解析では，$\bar{\lambda}$=0.9 のとき，15%の差がある．また，鋼管形成時の残留応力などを考慮している耐荷力曲線と比較すると，0.02～30%ほど大きな耐荷力を有す.

6．結言

①柱杭一体構造鋼管の耐荷力は，道示Ⅱの基準耐荷力曲線より最大 30%ほど大きい.

②今回の解析においては，柱杭一体構造鋼管の耐荷力は，地際部固定の片持ち鋼管柱の耐荷力と同程度もしくは若干小さい.

今後は，残留応力を導入した解析による圧縮耐荷力のさらなる検討や，地震を想定した水平力を与える解析を行う.

参考文献

1) 小原礼 大森貴行 葛西昭，鋼製パイプ断面を有する柱杭一体構造の圧縮強度に関する解析的研究，第 2 回 KABSE シンポジウム 2015

2) 道路橋示方書・同解説 H24.3Ⅱ鋼橋編

3) 道路橋示方書・同解説 H24.3 Ⅴ耐震設計編

4) 道路橋示方書・同解説 H24.3 Ⅳ下部構造編