

1. まえがき

杭が軸力を受けると、杭材のポアソン比に応じて杭径が変化する。その結果、杭-土境界面での水平応力が変化し、周面摩擦抵抗が図-1に示すような種々の载荷条件によって変化する原因となりうる¹⁾。このような杭体のポアソン比に起因する影響、すなわちポアソン比効果(Poisson's ratio effects)を、杭材および土を弾性体として仮定して解析した。本稿は、その結果と考察をまとめたものである。

2. ポアソン比効果に対する弾性解

図-2に示すように、内径 $2a$ ・外径 $2b$ ($0 \leq a < b$)の円筒または円柱状の杭が、ある断面において σ_z の部材応力を受けている時に、杭径の変化に対する地盤の抵抗に起因する側圧の変化 $\Delta\sigma_h$ を、以下に弾性理論によって算定してみる。なお、応力・ひずみは圧縮を正とする。

外周境界面における杭材の円周方向ひずみ ε_{pc} は、軸力および外圧を受ける円筒に対する弾性理論解²⁾により、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pc} &= -u_b/b \\ &= -\frac{\nu_p \sigma_z}{E_p} + \frac{\Delta\sigma_h}{E_p} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \nu_p \right) \dots (1) \end{aligned}$$

ここに、 u_b = 外周境界面での杭体の半径方向の変位、

ν_p = 杭材のポアソン比、

E_p = 杭材の弾性係数。

一方、杭-土境界面における土の円周方向ひずみ $\varepsilon_{sc}(=\varepsilon_{pc})$ と $\Delta\sigma_h$ との関係は、円筒空洞拡大問題における弾性理論解³⁾により、次式で与えられる。

$$\varepsilon_{sc} = -\frac{1+\nu_s}{E_s} \Delta\sigma_h \dots (2)$$

ここに、 ν_s = 土のポアソン比、

E_s = 土の弾性係数。

(1)(2)式より、次式を得る。

$$\Delta\sigma_h = \frac{\nu_p/E_p}{\frac{1+\nu_s}{E_s} + \frac{1}{E_p} \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} - \nu_p \right)} \sigma_z \dots (3)$$

3. ポアソン比効果に関する定量的考察

(1) 材料定数

(3)式によって $\Delta\sigma_h$ を定量的に評価するために、杭材(場所打ち杭および既成杭)および土の定数の概略の値を表-1にまとめて示す。

(2) 弾性体の仮定の妥当性

(3)式は、杭材だけでなく土も弾性体と仮定して求めたものである。そこで、土のひずみレベルの観点から、土を弾性体と仮定することの妥当性をチェックしてみる。

杭-土境界面での土の半径方向ひずみ ε_{sr} は、弾性体では $-\varepsilon_{sc}(=-\varepsilon_{pc})$ に等しいので³⁾、(1)式

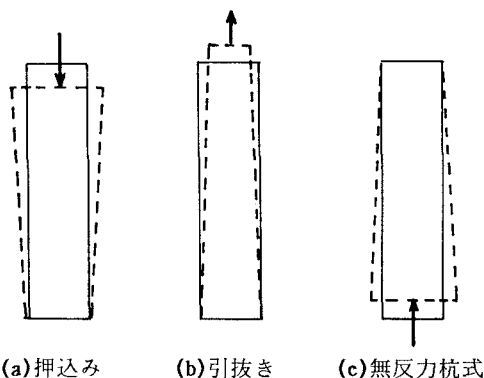


図-1 载荷に伴う杭径変化のパターン¹⁾

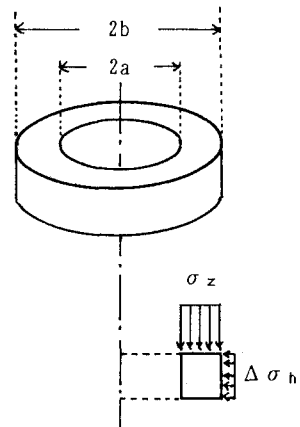


図-2 軸力・地盤抵抗による外圧を受ける杭体

表-1 (3)式における杭材・土の定数の概略値

(a) 杭材 ($E_p \cdot \sigma_z$ の単位: [kgf/cm²])

	場所打ち杭	既成コンクリート杭	鋼管杭
E_p	2.7×10^5	4.5×10^5	2.1×10^6
ν_p	1/6	1/6	0.3
$\frac{b^2+a^2}{b^2-a^2}$	1	2~3	50~100
σ_z	<100	<200	<1000

(b) 土 (E_s の単位: [kgf/cm²])

E_s	7N~140N [*]
ν_s	0.3~0.5

* プレッシャメーターの疑似弾性係数から不攪乱土の初期弾性係数の範囲⁴⁾

および表-1 から、

$$\varepsilon_{sr} \approx \nu_p \sigma_z / E_p < 1.4 \times 10^{-4} \quad \dots\dots(4)$$

となる。したがって、周辺の土のひずみレベルは、高々 10^{-4} のオーダーであるので、土を弾性体と見なすのは妥当な仮定といえる⁴⁾。

(3) 円筒状の杭に対する近似式

地盤が岩盤に分類されるようなきわめて強固なものでなければ、すなわち $E_s \ll E_p$ であれば、円筒状の杭に対しても(3)式は(5)式で近似しうる。

$$\Delta \sigma_h \approx \frac{E_s}{E_p} \frac{\nu_p}{1+\nu_s} \sigma_z \quad \dots\dots(5)$$

Stewart and Kulhawy⁵⁾ は、場所打ち杭のような円柱状の杭（すなわち $a=0$ ）の場合に対して(5)式を求め、円筒状の場合は(5)式に $(b-a)/b$ を乗じている⁶⁾。しかしながら、(3)式の近似式である(5)式は、円筒状の場合にもそのまま近似的に適用しうる。

(4) ポアソン比効果の定量的評価

周面抵抗に及ぼすポアソン比効果の程度を検討してみる。まず、鋼管杭を対象とすると、(5)式と表-1の数値から、

$$\Delta \sigma_h \approx 10^{-7} k N \sigma_z < 10^{-4} k N [\text{kgf/cm}^2] \quad \dots(6)$$

ここに、 $k=7\sim 140$ （地盤の乱れ等に依存する）。

となる。極限周面抵抗応力 f_{ult} は、経験的相関式によると概略次式で与えられる。

$$f_{ult} \approx N/3 [tf/m^2] = N/30 [\text{kgf/cm}^2] \quad \dots(7)$$

$\Delta f = \mu \cdot \Delta \sigma_h$ （ここに、 μ = すべり面での摩擦係数、0.6程度と仮定）とすると、(6)・(7)式より次の関係が得られる。

$$\frac{\Delta f}{f_{ult}} < \frac{10^{-4} k N \mu}{N/30} < 0.25 \quad \dots\dots(8)$$

場所打ち杭の場合を鋼管杭と比較すると、主に杭材のポアソン比 ν_p の関係で $\Delta \sigma_h$ の最大値は半分程度であり、掘削の影響で k は小さく、 μ と f_{ult} は同じ比率で大きいと考えられる。したがって、場所打ち杭では、 $\Delta f / f_{ult}$ の最大値は(8)式の値の半分以下になると考えられる。なお、Kulhawy⁷⁾ は、場所打ち杭の引抜き抵抗に関して、(5)式に基づいてポアソン比効果は無視しうるが、浅い部分でコーン状の地盤の抜け上がりが生じる場合に、押込みと引抜きの周面抵抗の大きさに違いが生じると指摘している。

以上より、 $\Delta f / f_{ult}$ は、一般的にはさほど大きくないと考えられる。しかし、周面支持力の大きい条件下での鋼管杭の場合には、 σ_z の値が正負ともに大きくなりうるので、ポアソン比効果は押込みと引抜きの周面抵抗の大ききの相違に無視しえない影響を及ぼす可能性がある。

謝辞： 文献⁵⁾とそのコメントを送っていただいたコハーイ教授 (Professor Kulhawy, of Cornell University) に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平山英喜：無反力杭式載荷試験における載荷位置・方向の影響，第28回土質工学研究発表会講演集，1993. (投稿中)
- 2) 例えば、日本機械学会編：機械工学便覧第6版，pp.4-98-4-99，1977.
- 3) Baguelin, F. et al.: The Pressuremeter and Foundation Engineering, Trans Tech Publications, Rockport, Mass., pp.346-351, 1978.
- 4) 平山英喜・福田悦治：土のひずみレベルを考慮したN値からの割線弾性係数の推定，第23回土質工学研究発表会講演集，pp.1247-1250, 1988.
- 5) Stewart, J.P. and Kulhawy, F.H.: Behavior of Drilled Shafts in Axial Uplift Loading, Geotechnical Engineering Report 80-2, Cornell University, Ithaca, NY, 1980.
- 6) Kulhawy, F.H. et al.: Transmission Line Structure Foundations for Uplift-Compression Loading, Report EL-2870, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1983.
- 7) Kulhawy, F.H.: Drilled shaft foundations, Foundation Engineering Handbook, 2nd Ed., H.-Y. Fang (Ed.), Van Nostrand Reinhold, NY, pp.537-552, 1991.