

(株) 竹中土木 正員 ○福原拓平
竹中技術研究所 正員 山下 清

1. まえがき

場所打ち杭の先端支持力は、その施工に大きく関わることは周知のとおりである。施工上の問題としては、①掘削による孔底地盤の土被り圧の減少、②先端砂質地盤の被圧水によるボイリング、③掘削器による先端地盤の乱れ、④掘削孔底へのスライムの沈積などや、他に施工過程における地盤の応力履歴の違いが指摘されており¹⁾、結果として場所打ち杭の先端支持力は、打ち込み杭に比べて低い値を示すとされている。上記の要因のうち①～③が、杭先端地盤のゆるみに関するものと考えられる。本文では、このうち比較的定量化になじむと思われる①の土被り圧の減少の問題を取り上げ、これが先端支持力に与える影響を調べるための基本検討として、杭先端地盤のゆるみを、掘削による応力解放とせん断ひずみの発生にともなうせん断弾性係数の低下ととらえ、モデル解析を行い、結果について考察した。

2. 掘削時の先端地盤の挙動に関する数値解析

2.1 解析モデルと解析方法

図-1に示すように、直径 $D=2\text{m}$ 、長さ $40\text{m}(20D)$ の場所打ち杭の掘削を行うモデルを設定する。

上部を粘性土層、下部(支持層)を砂質地層と想定し、地下水位は $GL\pm 0\text{m}$ で、水中掘削とし、杭の支持層への根入れ長を 1m とした。また、比較検討のため、地下水位が無く空掘りを行った場合、地下水位が $GL\pm 0\text{m}$ の条件で杭長 $10\text{m}(5D)$ の場合の解析を行った。以下、各ケースを20W、20E、5Wと記し、解析に用いた地盤定数を図-1、2に示した。なお、上部層については強度定数を設定せず、弾性条件とした。

解析は、FEM軸対称弾塑性解析で、Mohr-Coulombの降伏条件と関連流れ則を用いたものであり、はじめに未掘削状態での初期応力解析を行い、つぎに掘削部分にあたる要素を取り除く方法を用いた。

2.2 解析結果

図-3に掘削後の支持層における塑性域を示す。塑性域は杭底部および側面の比較的せまい範囲に生じている。ケース20Wとケース20Eでは塑性域の大きさに著しい差はみられないが、ケース5Wでは杭底部における塑性域はかなり小さくなっている。

図-4に掘削後の最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}(=\varepsilon_1-\varepsilon_3)$ のコンターを示す。 $\gamma_{\max}$ の最大値は各ケースとも杭先端近傍に出現し、その値はケース20Wでは 2.3×10^{-3} 、ケース20Eでは 7.0×10^{-3} である。一方ケース5Wでは 3.8×10^{-4} と比較的小さい値となった。

3. 先端地盤のゆるみの指標

先端地盤のゆるみの程度を、より詳細に表わす指標として、せん断弾性係数の低下率(掘削前後のせん断弾性係

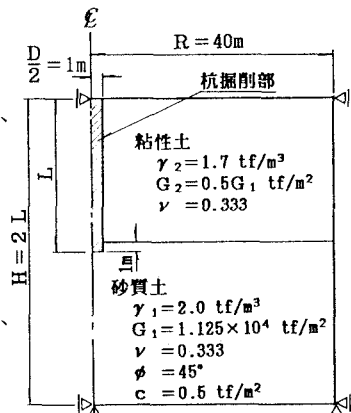
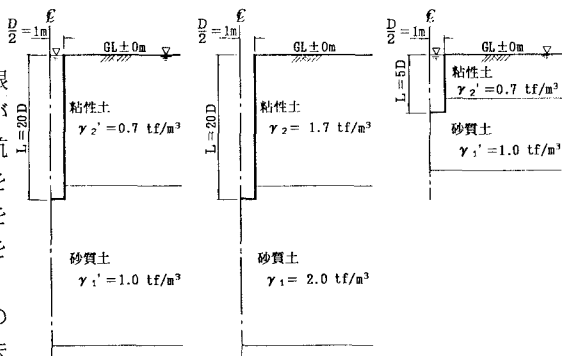
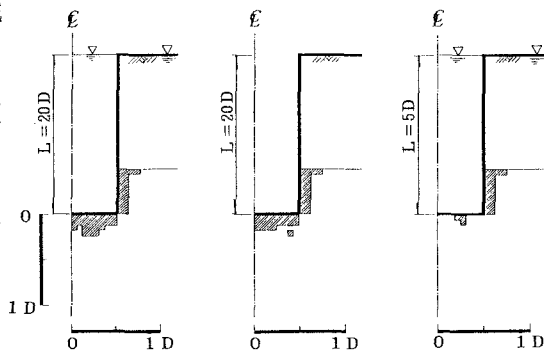


図-1 解析モデル



(a) ケース 20W (b) ケース 20E (c) ケース 5W

図-2 解析ケース



(a) ケース 20W (b) ケース 20E (c) ケース 5W

図-3 塑性域(支持層)

数の比)を導入し、解析結果の考察を行う。

杭先端地盤のせん断弾性係数が低下する主な要因として、平均有効応力 σ'_m の低下とせん断ひずみ γ の影響が考えられる。

一般に、微小ひずみレベルのせん断弾性係数 G と平均有効応力 σ'_m の間には(1)式の関係がある²⁾。

$$G = A \cdot \sqrt{\sigma'_m} \cdot F(e) \quad (1)$$

A: 定数、F(e): 間隙比 e の関数

ここで、掘削前後の e の変化を無視し、掘削前後の平均有効応力を σ'_{m0} 、 σ'_m 、微小ひずみレベルのせん断弾性係数を G_0 、 G' とすると、これらの間には(2)式が成り立つ。

$$\frac{G'}{G_0} = \sqrt{\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}}} \quad (2)$$

数値解析の結果から、杭先端付近の支持層における各要素の G'/G_0 を求めると図-5のようになる。これは平均有効応力の低下にともなうせん断弾性係数の低下を表わすもので、いずれのケースにおいても杭先端直下において低下の度合いが大きい。

つぎに、掘削後のせん断弾性係数を G' とすれば、(2)式より

$$\frac{G'}{G_0} = \sqrt{\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}}} \cdot \frac{G'}{G'_0} \quad (3)$$

ただし、 $\gamma \rightarrow 0$ のとき $G' \rightarrow G'_0$ 。

(3)式は平均有効応力の低下とせん断ひずみの双方がせん断弾性係数に及ぼす影響を含むもので、地盤のゆるみ指標となりうるものと考えられる。ここで、 $G' \sim \gamma$ 関係に、例えばRamberg-Osgoodモデルを適用すれば、 G'/G'_0 は解析から得られた γ_{max} を用いて算定できる。したがって G'/G'_0 と図-5に示す G_0'/G_0 を用いてせん断弾性係数の低下率 G'/G_0 の分布を求めると、各ケースについて図-6を得る。ちなみに G'/G_0 が0.5以下になる範囲に着目すると、ケース20W、20Eでは杭先端より1D程度の深さであるのに対して、ケース5Wでは0.3D程度であり、掘削深さによりゆるみの範囲が変化することがうかがえる。

ところで、場所打ち杭先端地盤のゆるみ域については、いくつかの実測データ^{4) 5)}があるが、これらに共通することとして、ゆるみ域が孔底中央部直下の地盤においてより深部に及ぶ傾向が指摘される。図-3の塑性域ではこの傾向は表現されていないが、図-6における G'/G_0 の分布は、この傾向を比較的良好に表現しており、ここで提案した G'/G_0 はゆるみの指標として有効なものと思われる。

4. あとがき

杭先端地盤のゆるみに関する基本検討として数値解析結果をもとに考察したが、今後は、実測データとの比較を通じて検討を進めていきたい。

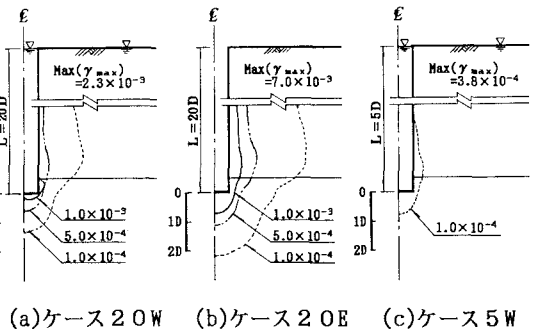
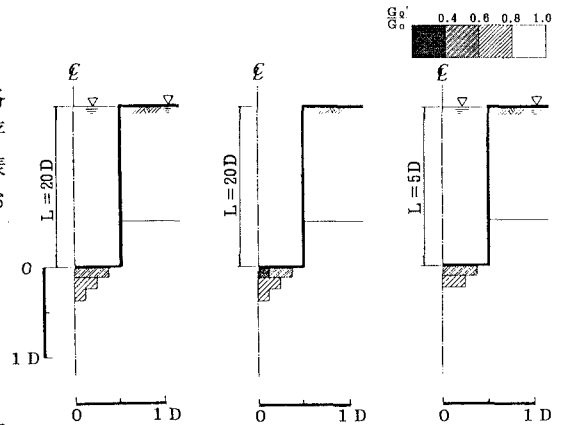
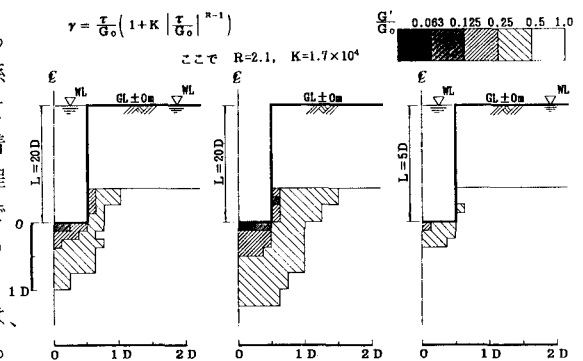


図-4 最大せん断ひずみ γ_{max} のコンター



(a)ケース20W (b)ケース20E (c)ケース5W

図-5 G'_0/G_0 の分布(支持層)



(a)ケース20W (b)ケース20E (c)ケース5W

図-6 せん断弾性係数の低下率 G'/G_0 の分布(支持層)

[参考文献]

- 1) 山岡邦男(1980): 大口径杭の現状と鉛直支持力に関する問題点、土と基礎、Vol. 28, No. 11.
- 2) 時松孝次(1989): 室内試験、原位試験及び地震記録から求めた土の動的性質、日本建築学会第2回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム。
- 3) 畑中宗憲他(1982): 粘性土の動的変形特性に及ぼす塑性指数の影響、第17回土質工学研究発表会。
- 4) 鈴木善雄他(1974): 場所打ち杭の沈下に関する一試算例、第9回土質工学研究発表会。
- 5) 筒井通剛他(1980): 場所打ち杭先端地盤のゆるみ、第15回土質工学研究発表会。