

## 水平力を受ける杭の挙動解析

京都大学 工学部 正会員 足立 紀尚, 木村 亮  
 京都大学 大学院 学生員 ○森本 輝

### 1. はじめに

構造物の支持杭の設計では、杭の水平抵抗に対する考え方が重要なポイントとなる。杭の水平抵抗の挙動を解明するためには、地盤と杭の相互作用により、杭が地盤から受ける地盤反力、杭周辺地盤の応力分布と弾性・塑性域、地盤と杭の変形状態とその非線形性等を解析的に解明する必要がある。本研究では、3次元弾塑性有限要素法(GPILE3D)<sup>1)</sup>を用いて、地盤のヤング率の分布形状が杭の水平抵抗に与える影響について、ケーススタディーを行った。

### 2. GPIL3Dの概要

本研究で用いるGPIL3Dの概要をまとめると以下ようになる。

- 1) 反復法的一种である共役傾斜法を用いて、記憶容量と演算量の縮小化を図る。
- 2) 塑性構成式はDrucker・Pragerの破壊規準を降伏関数としAssociated Flow Ruleを適用して求める。
- 3) 杭要素はビーム要素ではなく、弾性係数の大きい要素を用いる。
- 4) 杭周辺地盤に引張応力を発生させないNo-Tension解析を行う。

### 3. ケーススタディーの方法

解析杭は杭長が25m、杭径が1.2mの場所打ち鉄筋コンクリート杭(ヤング率 $E_p = 2.95 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ , ポアソン比 $\nu = 0.2$ )を想定した。図-1に示すように、モデル地盤は、深さ20mまでの平均N値を10, それ以深ではN値を50とし、A, B, Cの3つのケースを設定した。N値とヤング率Eとの間には $E = 200N \text{ (tf/m}^2\text{)}$ なる関係が成り立つものと仮定し、N値から地盤のヤング率を決定した。また、塑性計算に必要なパラメータは単位体積重量 $\gamma$ , 粘着力 $c$ , 内部摩擦角 $\phi$ であるが、図-1に示す値を用い、各ケースで一定とした。対称性を考慮した有限要素メッシュを図-2に示すが、杭の断面は正八面体とした。水平力は杭中心部へ集中荷重として作用させ、弾塑性解析では1ステップ4tfずつ計16ステップで64tfを載荷し、 $K_0$ 値を1.0と0.5に変化させて比較計算を行った。

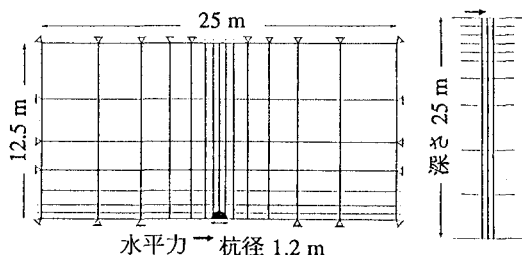


図-2 有限要素メッシュ

(節点数1200, 要素数980)

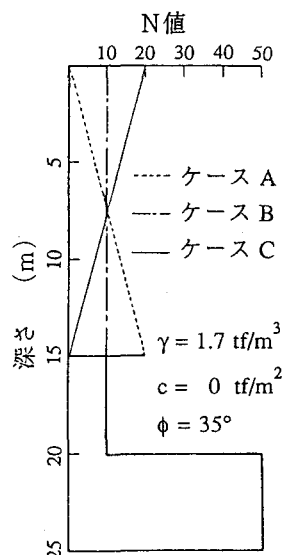


図-1 解析ケースとN値の分布

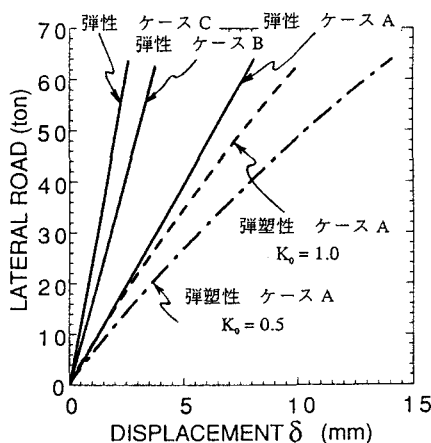


図-3 水平荷重～杭頭水平変位関係

Toshihisa ADACHI, Makoto KIMURA and Akira MORIMOTO

#### 4. ケーススタディーの結果と考察

##### (1) 水平荷重～杭頭水平変位曲線

図-3に水平荷重～杭頭変位関係を示す。この図から、ケースCからAと地表面付近のヤング率が小さくなるにつれて、同一荷重に対する杭頭変位は大きくなる。また、 $K_g = 1.0$ のときよりも0.5のときの方が杭頭変位が大きく、非線形性が卓越することがわかる。平均N値が同じでも、その分布形状が違えば杭の変形挙動に大きな差がでる。

##### (2) 杭周辺地盤の応力経路と塑性領域

図-4に杭周辺地盤の応力経路（正八面体応力）を示す。塑性状態になると、杭前面の地盤は $\sigma_{oct}$ 、 $\tau_{oct}$ ともに降伏曲線に沿って増加し、杭背面地盤の $\sigma_{oct}$ 、 $\tau_{oct}$ は降伏曲線に沿って減少する。また、ケースA、B、Cの順に勾配が大きくなり、小さい荷重ステップで降伏曲線に到達しやすくなる。このことは、表層地盤のヤング率が大きいほど、同じ载荷重でも地盤の受け持つせん断力が大きいのことを意味する。図-5に、対称面における64tf载荷時の塑性領域と引張領域を示す（ $K_g = 0.5$ ）。ケースAではケースCに比べて、表層における塑性領域は小さく、特に杭前面には塑性領域の発達が見られない。これは応力経路からわかるように、杭前面の要素ではせん断応力が急激に増加せず、降伏に図-5 杭周辺地盤の塑性領域（水平力64tf、 $K_g = 0.5$ ）

##### (3) 杭周辺地盤の変位

図-6に64tf载荷時の、杭前面（地表面）の節点の水平変位の割合を示す。図では、杭頭水平変位量を1として各節点の水平変位を基準化している。ケースAでは、杭周辺地盤の変位はケースB、Cに比べてはるかに小さい。この理由は、杭頭の変位が増加するにつれて、周辺地盤のひずみは大きくなるが、ヤング率の値が小さいために杭周辺の地盤だけで変形が吸収されるためである。

#### 5. おわりに

平均ヤング率が等しい地盤でも、その分布形状によって杭の水平抵抗に大きな違いが生じる。特に、表層地盤のヤング率の違いは水平抵抗に対して大きな影響をもつ。

#### \*参考文献

- 1) 木村ほか：第45回土木学会概要集，pp. 1028-1029

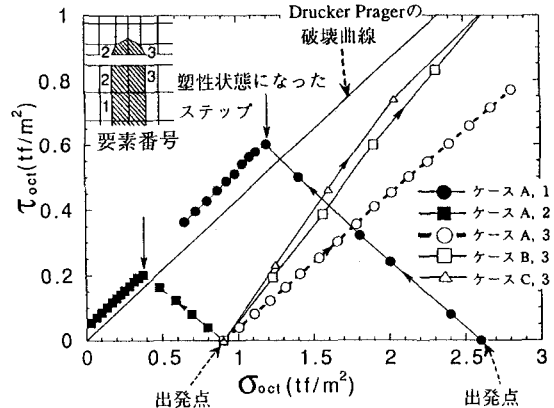
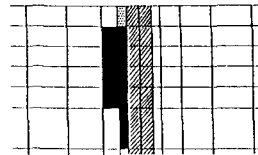


図-4 杭周辺地盤の応力経路  
( $K_g = 1.0$ , 正八面体応力)

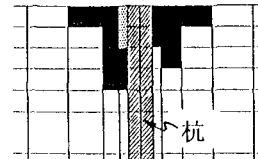
ケース A → 水平力



$K_0 = 0.5$

■ 塑性領域  
▨ 引張領域

ケース B →



ケース C →

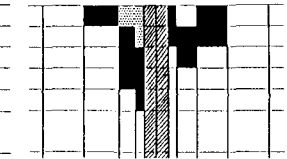


図-5 杭周辺地盤の塑性領域（水平力64tf、 $K_g = 0.5$ ）

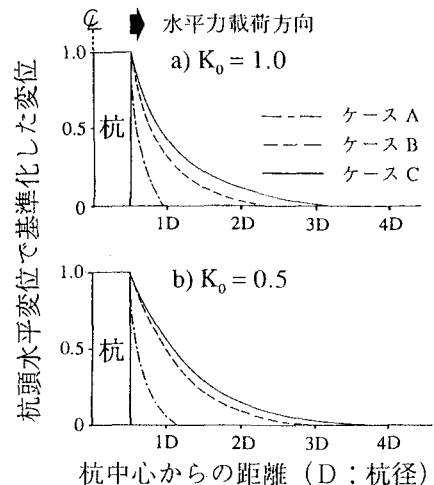


図-6 杭頭変位で基準化した地表面変位