

水～土連成有限変形解析による地中杭に作用する地盤反力の検討

名古屋大学 (正) ○中井健太郎, 野田利弘
 中部電力㈱ (正) 河村精一, 白鳥洋平

1. はじめに

地盤に長尺の杭が打設されている場合、地盤変位やひずみが大きく発生する大地震時には、杭の地中部での損傷が懸念される。地盤と杭が一体となって挙動する際には杭に大きな曲げモーメントが作用するが、杭と地盤の剛性は大きく異なることから両者が一体で挙動することは考えにくく、地盤の変形量が大きくなると地盤と杭間で変位の乖離が生じると考えられる。これまでに、地盤の降伏および杭周面地盤の回り込みの影響を確認するために、土層内に配置された杭に強制変位を与える模型実験が実施され¹⁾、杭に作用する抵抗力と粘性土のせん断強度の関係を把握することを試みている(図1)。本報では、3次元の挙動を示す実現象を横断面に着目した2次元平面ひずみ問題と捉え、上記、模型実験のシミュレーションを実施した。用いた解析コードは、砂から中間土、粘土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式²⁾を搭載した静的/動的な水～土骨格連成有限変形解析コード³⁾⁴⁾である。

2. 解析条件

模型地盤は、液性限界の1.5倍に含水比調整したスラリー状のトクレイ試料を模型土層に投入後、予備圧密圧力 $\sigma_v = 50 \text{ kN/m}^2$ で一次元圧密して作成している。解析に用いる弾塑性定数の一覧を表1に示す。これらは、模型土層から採取した不攪乱試料の力学試験をSYSカムクレイモデルで再現することによって決定した。有限要素メッシュを図2に示す。左右対称性を仮定した半断面を解析対象とし、2次元平面ひずみ条件のもとで解析を実施した。境界は全て非排水条件とし、土槽周面に付した摩擦軽減用のテフロンシートを考慮して角のみ固定境界として残りはスライド境界とした。解析では、杭部分の下半分のみを所定のひずみ速度 0.002 cm/s で等しく変位させた。

3. 解析結果

図3と図4に、せん断ひずみ分布と速度ベクトル分布の経時変化を示す。せん断ひずみは杭前面で大きく、次第に杭の背後に向かって円弧状に広がっており、杭背面に土が回り込んでいく様子がわかる。変位量が小さいときは、杭周辺でのみせん断ひずみが卓越して

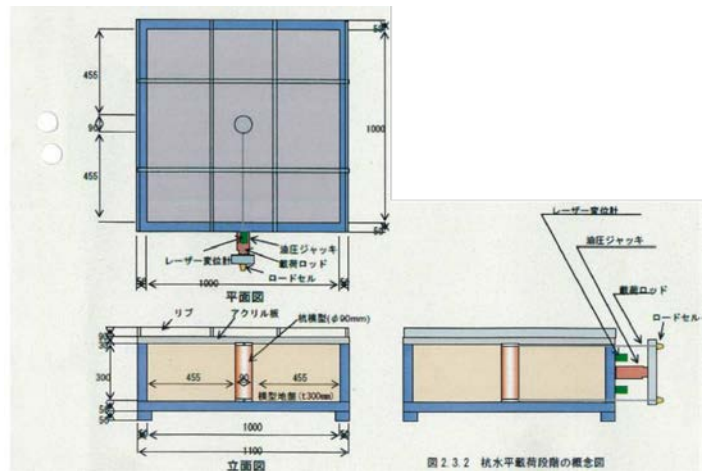


図1 模型実験の概要

表1 解析に用いた弾塑性性状

弾塑性	限界状態定数 M	1.2
	NCLの切片 N	1.62
	圧縮指数 λ	0.07
	膨潤指数 $\bar{\kappa}$	0.01
	ポアソン比 ν	0.3
発展則	構造劣化の塑性尺度 (IREV)	4
	$-D_v^p$ と $\ D_s^p\ $ の割合 c_s	0.6
	構造劣化指数 a ($b=c=1.0$)	0.13
	正規圧密土化指数 m	2.0
	回転硬化指数 b_r	1.0
物性	回転硬化限界面 m_b	0.5
	土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	2.717
	透水係数 k (cm/s)	2.0×10^{-6}
	初期平均有効応力 p'_0	24.5
	初期比体積 v_0	1.77
	初期応力比 η_0	0.0
	初期構造の程度 $1/R'_0$	3.88
初期値	初期過圧密比 $1/R_0$	1.0
	初期異方性の程度 ϵ_0	0.0

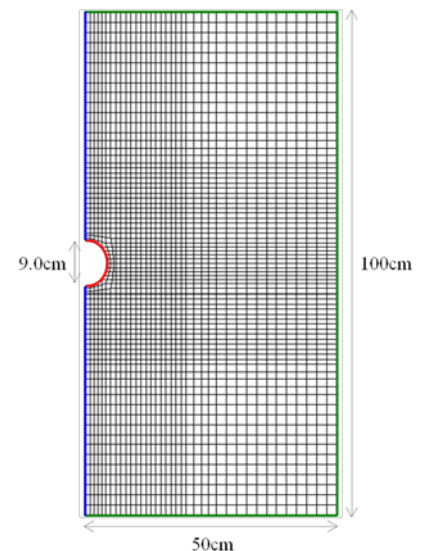


図2 有限要素メッシュ

粘土, 杭, 有限変形解析, 地盤反力

いるが、変位量が大きくなるにつれて杭の前面や背面でせん断ひずみの局所化が進んでおり、非常に広い範囲でせん断ひずみが発生していることがわかる。速度ベクトルを見ると、杭の前面から背後に向かって渦を描くように進展している。杭に作用する地盤反力を図5に示す。実験と同様に杭前面に作用する荷重を投影断面で除して算出している。地盤反力は約 300kN/m^2 となり、実験結果と近い値となった(結果省略)。変位量が大きくなると载荷方向の壁面と杭の距離が近いので、地盤反力は再度増加する。図5中には、ひずみ速度を変えた時の結果も併記してある。载荷速度で比較してみると、载荷速度が大きいほど地盤反力は小さくなっている。模型土層は、境界非排水とは言え、境界内では水の移動が生じている。载荷速度が遅いほど、地盤内では間隙水のマイグレーションが生じやすいので、杭前面は载荷中に密度が増加して地盤反力が大きくなったためである(载荷速度が遅いと間隙水のマイグレーションが生じずに、地盤内が等体積条件を保つ)。なお、せん断ひずみや速度ベクトルの分布は、载荷速度による違いはほとんど見られなかった。

4. おわりに

動的/静的水～土骨格連成有限変形解析プログラムを用いて、地中杭を一定速度で移動させる模型実験の数値シミュレーションを実施し、杭に作用する地盤反力と载荷速度の関係について検討した。その結果、

1) 杭の移動に伴い、広範囲に変形が生じること、2) 载荷速度が遅いと、杭前面は载荷中に密度が増加して地盤反力が大きくなること、を示した。なお、模型地盤から採取した不攪乱試料の一軸圧縮強度 q_u と本解析結果から得られた地盤反力との関係は $12.6 q_u$ であった。

- 1) 河村他 (2011): 軟弱粘性土地盤中の杭基礎水平挙動に関する研究 その 1~3, H23 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM).
- 2) Asaoka et al. (2002): An elasto-plastic description of ..., S&F, 42(5), 47-57.
- 3) Asaoka et al (2007): All soils all states all round..., Int. Workshop on Constitutive Modelling, 11-27
- 4) Noda et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis..., S&F, 48(6), 771-790.

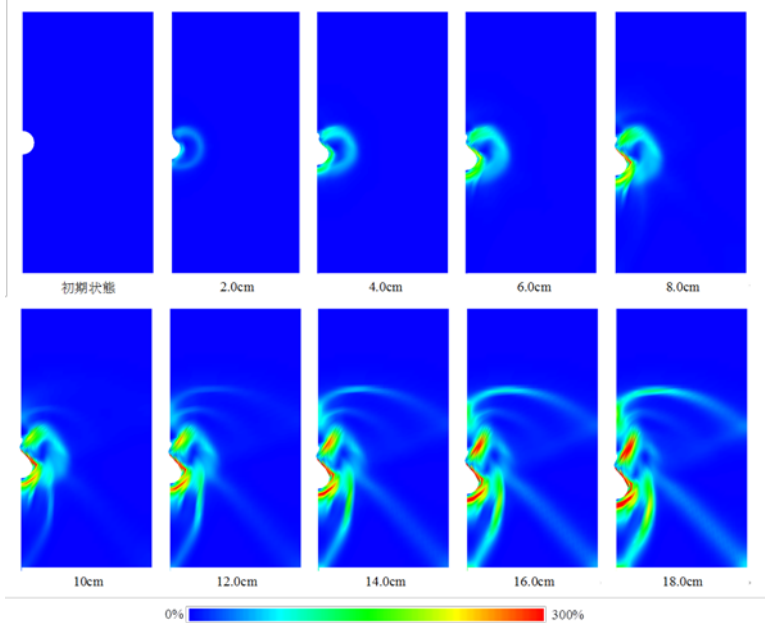


図3 せん断ひずみの経時変化

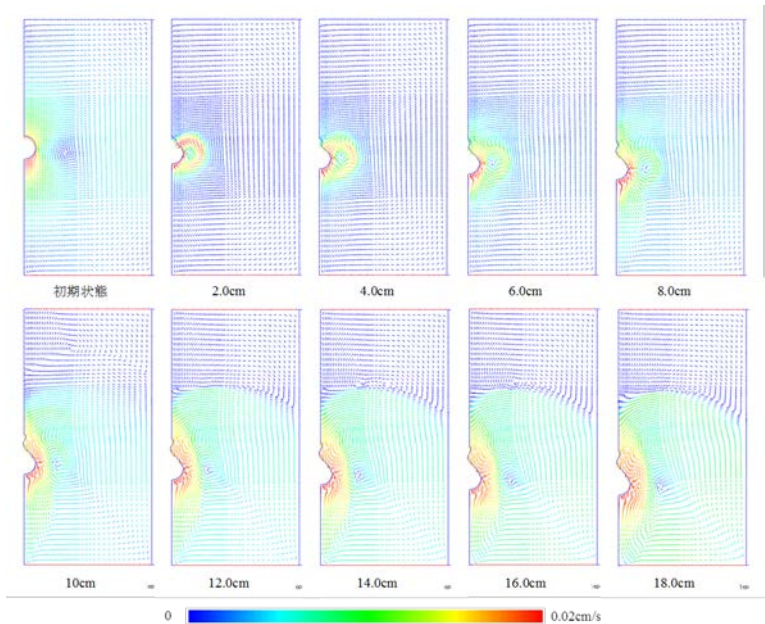


図4 速度ベクトルの経時変化

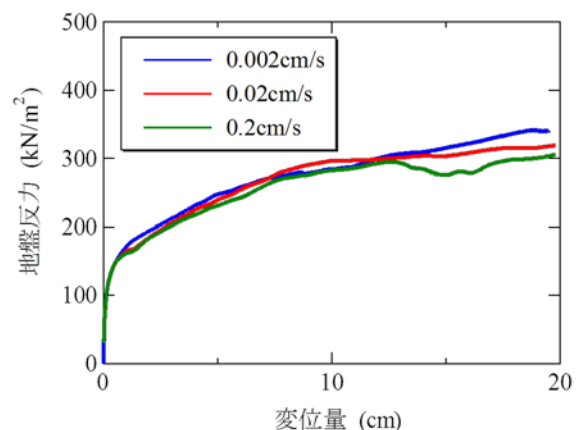


図5 地盤反力と変位の関係