

武蔵工業大学 学生員 ○中野達人 金丸裕秀
 武蔵工業大学 正会員 末政直晃 片田敏行
 東急建設(株) 正会員 中村和之

1. はじめに

杭が地震力などの繰り返し载荷を受けると、杭周りには隙間が生じ、杭-地盤系の挙動は極めて複雑なものとなることが知られている。この影響をバリエーションにより表現する算定法も提案されているが、パラメータの決定が経験的であることが多く十分とはいえない。そのため、地盤の強度、剛性などをパラメータとし、隙間等の影響を考慮できる地盤反力-変位関係の定式化が必要である。そこで本研究では、杭に繰り返し変位が生じたときの杭周辺地盤の変形に円筒押し抜け理論¹⁾を適用し、粘土地盤における地盤反力-変位関係の定式化を試みた。また、粘土地盤における杭の繰り返し水平载荷実験を実施し、解析結果との比較により、式の適用性について検討した。

2. 円筒の押し抜け解を用いた地盤反力-変位関係

円筒押し抜け理論は、杭が水平変位した時に杭に作用する土圧を、荷重が増加する方向で円筒の押し抜け、減少方向を円筒の収縮で表現する。また、この二つを独立として考えることで、隙間や付着力の考慮も可能となる。図-1に解析モデルを示す。杭に水平変位が生じると、その周辺地盤には初期に弾性変形が生じる弾性領域と、その後、変位が大きくなるにつれて塑性的

な挙動を示す塑性領域が発生する。これらをふまえて、杭の繰り返し過程を各過程において検討した。

(1) 押し抜け過程

半径方向に r 座標をとり、半径方向の変位を ξ とする。弾性的な応力-ひずみ関係より、半径方向の応力と変位の関係は次のように表すことができる。

$$\sigma_r = \frac{2G}{r} \xi \quad (G = E/(2(1+\nu))) \quad (1)$$

塑性領域下の地盤内における初期応力状態は、 $\sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_{r0}$ であり、ここでトレスカの降伏条件を適用する。降伏は杭表面付近の地盤ではじまり、杭の水平変位に伴い、塑性領域は半径方向外側へ拡大していく。ここで、半径方向のつり合い式をたてると

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2c_u}{r} = 0 \quad (2)$$

と与えられる。これを境界条件により解いた一般解は

$$\psi_c = \sigma_{r0} + c_u \left[1 + \ln \left[\frac{\{R_0 / (R_0 + \xi)\}^2 - 1}{\exp(-1/I_r) - 1} \right] \right] \quad (3)$$

である。 I_r は剛性指数であり、 G/c_u で表される。

(2) 収縮過程

円筒の収縮側は、圧縮側と同様に式を誘導できる。但し、周辺地盤の降伏時の地盤内におけるつりあい、式(2)における c_u の負号が変わり、また、(3)式を導く際に円周方向ひずみが $1/I_r$ となること、 $R_c = R_0 - \xi$ であることを考慮すれば、以下の式を得る。

$$\psi_c = \sigma_{r0} - c_u \left[1 + \ln \left[\frac{\{R_0 / (R_0 - \xi)\}^2 - 1}{\exp(1/I_r) - 1} \right] \right] \quad (4)$$

以上は、単調载荷における定式化であり、実験結果とよく一致することが確認されている²⁾。

(3) 押し抜け-収縮過程

ここでは円筒を押し抜け、地盤に降伏が生じた後、

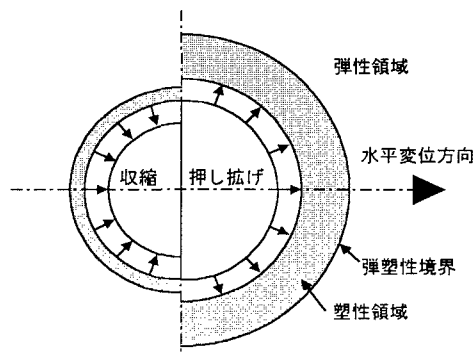


図-1 解析モデル

キーワード : 杭, 粘土, 繰り返し荷重, 模型実験

連絡先 : 武蔵工業大学(世田谷キャンパス) 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL&Fax 03-5707-2202

円筒を収縮する過程についての定式化を行なう。円筒の半径が R_e に達した後、円筒を収縮させ始めると、地盤は弾性的な挙動を取り戻す。その挙動が終わると円筒表面付近の地盤は再び塑性化し、 $\sigma_r - \sigma_\theta = -2c_u$ を満足するようになる。折り返し点における円筒表面のひずみを ε_e とおくと、塑性化したひずみは $\varepsilon_e - 1/I_r$ である。さらに変位が進むと塑性領域は外側に広がって行き、そのつり合い式は収縮過程のそれに等しい。

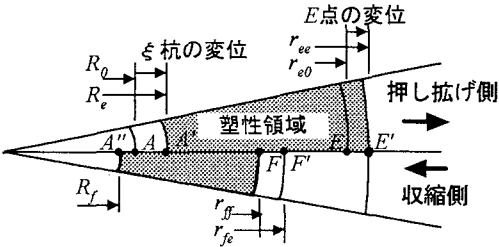


図-2 解析過程の模式図

図-2に示す杭表面上の任意点 A' および弾塑性境界上に位置する点 F の2点について考えると、 F 点における半径方向応力は $\psi_e - 2c_u - 2c_u \ln[r_{fe}/R_e]$ であり、つり合い式を用いるとこの時の円筒圧力は(5)式で与えられる。

$$\psi_f = \psi_e - 2c_u - 2c_u \ln \left[\frac{r_{fe}}{R_e} \right] - 2c_u \ln \left[\frac{r_f}{R_f} \right] \quad (5)$$

ここで $A'F$ 間領域の体積が不変であると仮定し、弾塑性境界面で(6)式が成り立つ。

$$-\frac{1}{I_r} = \ln \left[\frac{r_{e0}}{r_{ee}} \right] \quad (6)$$

このことより、円筒の表面圧力と変位の関係は、次のように表わすことができる。

$$\psi_f = \psi_e - 2c_u \left[1 + \frac{1}{I_r} + \ln \left\{ \frac{(2R_e + \xi + \xi)(\xi - \xi)}{(R_e + \xi)(R_e + \xi) \{ \exp(2/I_r) - 1 \}} \right\} \right] \quad (7)$$

(4) 収縮-押し上げ過程

収縮-押し上げ過程では押し上げ-収縮側と同様に誘導できる。但し、折り返し点における円筒表面のひずみは ε_e であり、塑性化したひずみは $\varepsilon_e + 1/I_r$ である。つり合い式は押し上げのそれに等しい。弾塑性境界面での半径方向応力は $\psi_e + 2c_u + 2c_u \ln[r_{ge}/R_e]$ であることより、式(8)を得る。

$$\psi_g = \psi_e - 2c_u \left[1 - \frac{1}{I_r} - \ln \left\{ \frac{(2R_e - \xi - \xi)(\xi - \xi)}{(R_e - \xi)(R_e - \xi) \{ \exp(-2/I_r) - 1 \}} \right\} \right] \quad (8)$$

(3) 地盤反力

地盤反力は上記した方法により押し上げ面、収縮面それぞれの土圧を算定した後、押し上げ面土圧から収縮面土圧を減じたものから求める。

3. 模型実験概要

図-3に実験システムを示す。地盤試料にはカオリン粘土にベントナイトを重量で5%配合したものを用い、 1.0 kgf/cm^2 の圧力で圧密を行った。圧密終了後、地盤内に杭を埋め込み、地盤の両端には、地盤の変形を拘束しないためのウレタンパを設置した。載荷実験は、地盤に拘束圧 1.0 kgf/cm^2 を作用させた状態において、杭を載荷速度 0.027 cm/s で変位させ、杭の両面に作用する土圧、ロードセルに作用する荷重および杭の変位量を測定した。

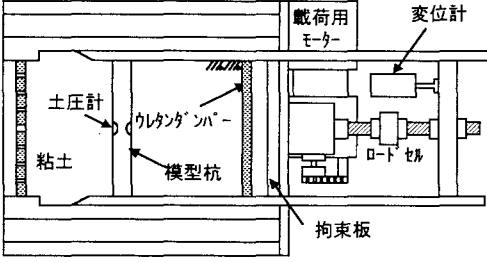


図-3 実験システム

4. 実験結果との比較

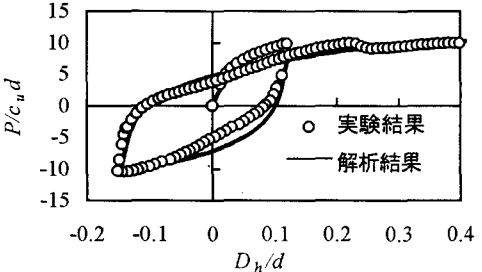


図-4 地盤反力の比較

図-4は、縦軸に地盤反力 P を非排水せん断強度 c_u で除したものを、横軸に杭の変位 D_h を杭幅 d で除したものでとりまとめた、実験値と解析値である。地盤反力は実験値のそれに良く一致しているのが確認された。これより、今回の定式化が繰り返し載荷を受ける地盤において、妥当であると考えられる。

【参考文献】

1) G.T.Houlsby(1988): Analysis of the cone pressuremeter test in clay, Geotechnique. 2) 金丸裕秀, 橋本理, 第24回関東支部技術研究発表会講演概要集, 1997