

佐賀大学 理工学部 学○梅崎健夫

同 正 三浦哲彦

山口大学 工学部 正 兵動正幸

1. まえがき

先の研究において、砂中杭の先端支持力は粒子破碎の影響を強く受けることを明らかにし杭周辺の粒子破碎量を求めた¹⁾。また、粒子破碎領域における砂の応力ひずみ関係は、筆者らが提案している弾塑性構成式によって予測可能なことも示した²⁾。これらの研究成果をもとに、本報は、提案構成式を用いて砂中杭の先端付近における応力～変形解析を行い、模型杭載荷実験の結果と照合して構成式の適合性ならびに解析法の有用性を検討したものである。

2. 実験方法

模型杭実験は図1の装置を用いて行った。実験試料は秋穂海砂であり、その諸特性は間隙比 $e_0=0.60$ 、材料定数 $\lambda(=0.435Cc)=0.095$ 、 $\kappa(=0.435Cs)=0.012$ 、 M (限界状態線の勾配)=1.49であった。解析に当たり砂の弾性定数の拘束圧依存性が問題となったので、同試料に対する高圧三軸試験の結果に基づいて図2の $\sigma_3 \sim E_i$ (初期接線係数)、 $\sigma_3 \sim \nu_i$ (同ボアソン比)の関係を定め、計算過程においてこれを用いることとした。

3. 解析の準備

杭周辺を図3のようにモデル化し、軸対称問題として解析した。提案している構成式はCam-clay式を修正したものであり、以下の諸式を用いて弾塑性マトリックスを定めた。

降伏関数

$$f = p \exp \left[\int_0^{\eta} \frac{(2+M^2)\eta}{M^2\eta^3 + \eta^2 + M^2} d\eta \right] = p_0 \quad (1)$$

関連流れ則

$$\{d\epsilon^p\} = \Lambda \left[\frac{\partial f}{\partial \sigma} \right] \quad (2)$$

降伏関数の適合条件

$$\left[\frac{\partial f}{\partial \sigma} \right] \{d\sigma\} = \frac{\partial f}{\partial p_0} dp_0 \quad (3)$$

硬化パラメータ p_0

$$\frac{dp_0}{p_0} = \frac{1+e}{\lambda-\kappa} dv^p \quad (4)$$

弾塑性マトリックス

$$[D^p] = 2G \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & C_2 & 0 \\ C_2 & C_1 & C_2 & 0 \\ C_2 & C_2 & C_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix} - \frac{4G^2}{2G(B^2q^2+3A^2C_3)+3Ap\frac{1+e}{\lambda-\kappa}} \begin{pmatrix} X_z^2 & & & \\ X_r X_z & X_r^2 & & \text{Sym} \\ X_\theta X_z & X_\theta X_r & X_\theta^2 & \\ X_{rz} X_z & X_{rz} X_r & X_{rz} X_\theta & X_{rz}^2 \end{pmatrix}$$

ここに、 $C_1 = \frac{1-\nu}{1-2\nu}$ 、 $C_2 = \frac{\nu}{1-2\nu}$ 、 $C_3 = C_1 + 2C_2$ 、 $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ 、 $A = \frac{1}{3} \frac{M^2 - \eta^2}{M^2 \eta^3 + \eta^2 + M^2}$ 、 $B = \frac{1}{q} \frac{(2+M^2)\eta}{M^2 \eta^3 + \eta^2 + M^2}$ 、 $X_r = A C_3 + B S_r$ 、 $X_\theta = A C_3 + B S_\theta$ 、 $X_{rz} = B \tau_{rz}$ 、 p =平均主応力 $=J_1/3$ 、 η =応力比 $=q/p$ 、 M =摩擦性材料定数、 S_z, S_r, S_θ =偏差応力、 $q=\sqrt{J_2}$ である。

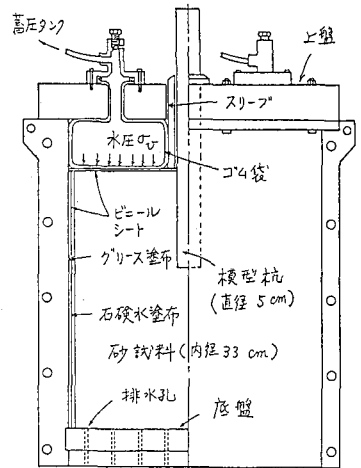


図1：模型杭実験装置

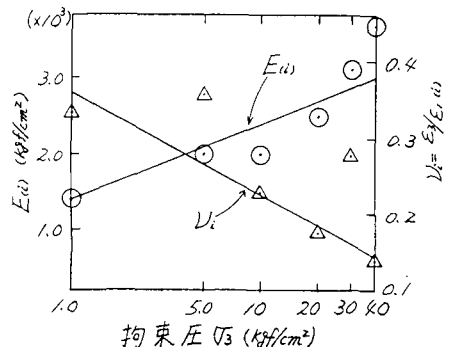


図2： E_i, ν_i の拘束圧依存性

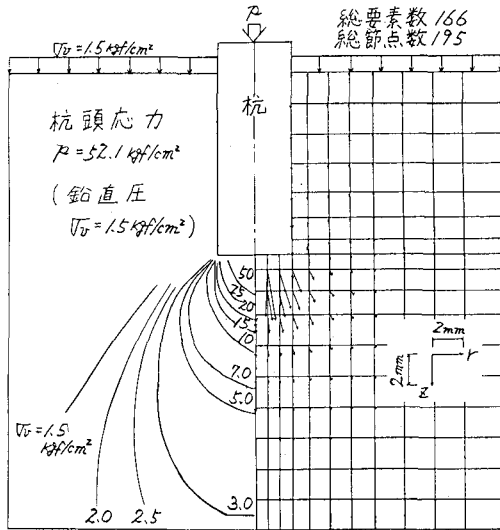


図3：解析結果

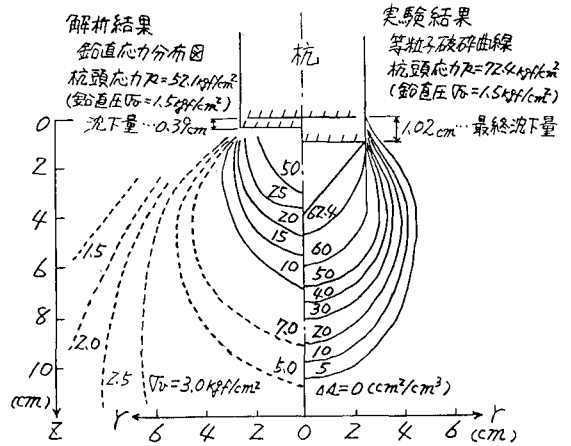


図4：解析結果と実験結果の比較

4. 解析の方法と結果

杭直下の4接点に荷重を与えニュートン・ラプソン法による非線形収束計算を15回繰り返すという方法で実行した。図3は解析結果であり、杭頭応力 $p = 52.1 \text{ kgf/cm}^2$ 時の鉛直応力分布と各節点の変位ベクトルを示している。何れの場合もやや縦長の球根状に広がる分布を見せており、また、杭先端から下方約 45° に広がる線上に鉛直応力の影響限界が現れているようである。杭側方にテンション領域が発生したが、本解析プログラムではテンションカットは行わず初期拘束圧に相当する弾性係数を与えて計算を続けるという方法で処理したためである。図4は、先の研究で実験的に定めた等粒子破碎曲線と前述の鉛直応力分布図との比較である。杭の沈下量が解析結果と実測値とで異なっているので正確な照合はできないが、粒子破碎が生じる応力レベルは $10 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ であると考えて両図を比較すると、両者の形状はよく類似しているのがわかる。図5は、杭頭応力～沈下量曲線である。

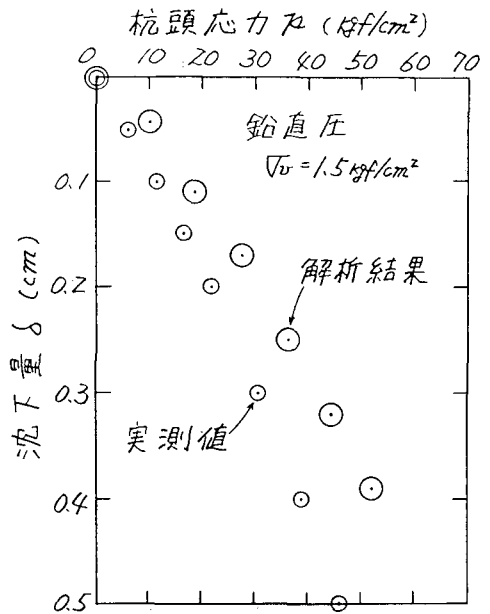


図5：杭頭応力～沈下量曲線

解析結果によれば、提案構成式は実測値より小さめの沈下量を与えているものの、定性的には砂中杭の応力～沈下特性をうまく表し得たと考える。沈下量が小さめにでたのはテンションカットや強制変位入力を行っていない解析上の問題によるものと思われる。

5. 結論

- ・ 解析結果は実測値より小さめの沈下量を与えるが定性的な傾向は表している。
- ・ 今後、テンションカット、ジョイント要素、強制変位入力等のプログラムの改良が必要である。
- ・ 解析結果は検討の余地は残しているが提案している弾塑性構成式の適合性及び本解析手法の妥当性に明るい見通しが得られた。

文献 1)三浦：杭先端付近における砂の粒子破碎と杭の支持力機構，土と基礎，No.313,1984.2, 2)Miura et al., Stress-strain Characteristics of Sand in a Particle-Crushing Region, S&F, Vol.24, No.1, 1984,