

弾塑性構成式による砂中杭の鉛直支持力解析

佐賀大学理工学部 学生員 梅崎 健夫

同 正 員 三浦 哲彦

東海大学 正 員 兵動 正幸

1. まえがき 先の研究¹⁾において、砂中に設けた支持杭の先端支持力は粒子破砕の影響を強く受けることを明らかにし、また、粒子破砕領域における砂の応力ひずみ関係は、Cam-clay式を修正した弾塑性構成式によっておおむね予測できることも示した²⁾。本報は、この構成式を用いて杭の支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、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。実験試料ならびに実験方法については文献¹⁾に詳述しているので省略する。解析に当って弾性定数の拘束圧依存性が問題となったので、実験データを整理して図2の $\sigma_3 \sim E_{(1)}$ (初期接線係数)、 $\sigma_3 \sim \nu$ (同ポアソン比)を求め、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。粒子破砕領域における砂の降伏関数は提案した弾塑性構成式²⁾に基づき次式で表わされる。

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

ここに、 p = 平均主応力、 η = 応力比 q/p 、 M = 摩擦性材料定数である。関連流則を適用すると塑性ひずみ増分式は、

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

係数 λ は降伏関数の適合条件式である次式より求められる。

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

硬化パラメータ p_0 は塑性体積ひずみ-二次的な次の関係で与えられる。

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

以上より弾塑性マトリックスは次式で表わされる。

$$[D^{EP}] = 2G \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & C_2 & 0 \\ C_2 & C_1 & C_2 & 0 \\ C_2 & C_2 & C_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix} -$$

$$\frac{4G^2}{2G(B^2g+3A^2g)+3Ap} \frac{1+e}{\lambda-k} \begin{pmatrix} X_2^2 & & & & & & & \text{Sym.} \\ X_r X_g & X_r^2 & & & & & & \\ X_g X_z & X_g X_r & X_g^2 & & & & & \\ X_{rz} X_z & X_{rz} X_r & X_{rz} X_g & X_{rz}^2 & & & & \end{pmatrix}$$

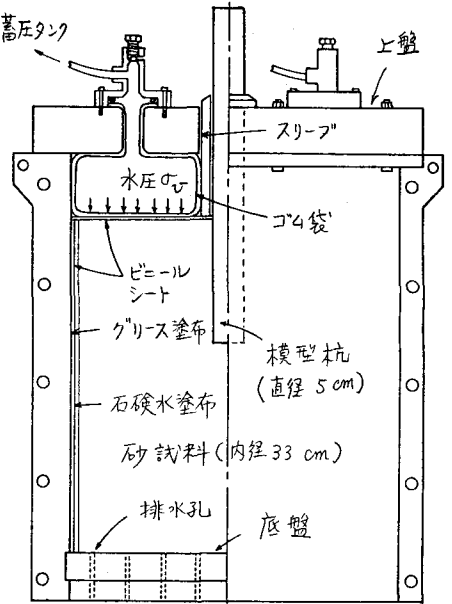


図1 模型杭実験装置

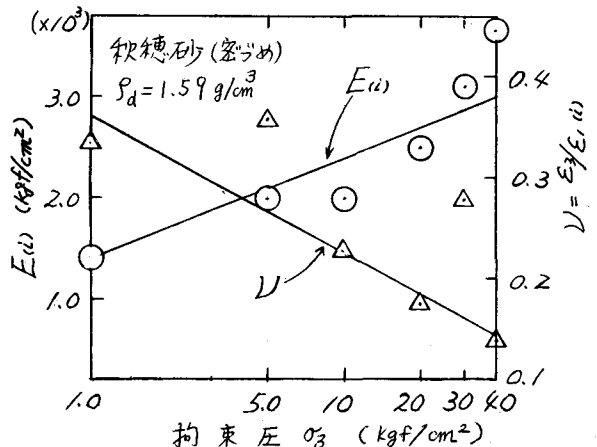


図2 実験試料の弾性定数の拘束圧増加に伴う変化

2212,

$$C_1 = \frac{1-\nu}{1-2\nu}, \quad C_2 = \frac{\nu}{1-2\nu}, \quad C_3 = C_1 + 2C_2,$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad A = \frac{1}{3} \frac{M^2 - \eta^2}{M^2 \eta^3 + \eta^2 + M^2},$$

$$B = \frac{1}{8} \frac{(2 + M^2 \eta) \eta}{M^2 \eta^3 + \eta^2 + M^2}, \quad X_s = AC_3 + BS_s,$$

$$X_r = AC_3 + BS_r, \quad X_\theta = AC_3 + BS_\theta, \quad X_{r2} = B\tau_{r2},$$

$$S_z, S_r, S_\theta = \text{偏差応力}, \quad p = I_1/3, \quad q = \sqrt{2J_2}.$$

4. 解析結果 材料定数の中で E および ν は、現荷重段階における各要素の平均主応力 p を計算し、この値を図2の σ_3 に読みかえて E 、 ν を求め、これらの値を用いて次ステップの計算を行った。間隙比 $e = 0.82$ 、 λ (圧縮指数 C_c の0.435倍) $= 0.141$ 、 κ (膨張指数 C_s の0.435倍) $= 0.009$ を用いた。

計算に当っては、ニュートン・ラフソン法による非線形収束計算法を15回繰返すという方法で実行した。抗側方にテンション領域が発生するが、その大きさは小さいものであったので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。

本解析で得られた結果のうち各節長の変位ベクトルを示したのが図3である。杭下方における等変位ベクトル線はやや縦長の楕円状に広がっているようであり、先の研究¹⁾で実験的に求めた粒子破砕領域の形状と類似しているのが注目される。

杭直下における各要素の鉛直変位成分を加えることにより杭の沈下量 δ が求められる。図4は、 δ と杭頭応力との関係を示したものであり、弾塑性解析による値は(計算ステップがまだ不十分であるが)実験値と比較的よく合っていると見えよう。

5. 結論 筆者らが提案した粒子破砕領域における砂の弾塑性構成式を用い、砂中杭の応力場解析を行った。その結果と実験結果とを比較すると、計算した範囲では両者はよく一致するという結果を得た。未だ計算が十分に進んでいないが、少なくとも上述の結果から、提案弾塑性式の適合性と本解析手法の各節長について明るい見通しが得られたと考える。

文献 1) 三浦: 杭先端付近における砂の粒子破砕と杭の支荷機構, 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, 1984.3

総要素数166, 総節点数195

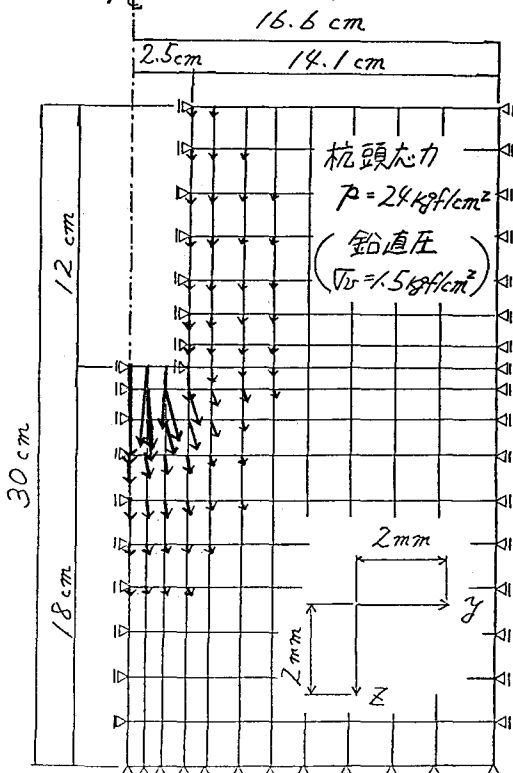


図3 弾塑性解析による変位ベクトル

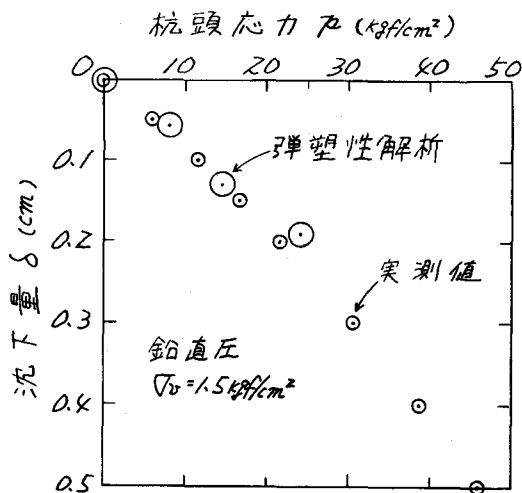


図4 解析結果と実験結果との比較