

弾塑性理論に基づく地盤の変形解析(その1)

—砂の応力～ひずみ関係—

信州大学 大学院 学生員 大谷 和弘

信州大学 工学部 正会員 小西 純一

1 まえがき 地盤の応力、変形解析に関する数値解析手法として、Duncanらによる双曲線表示法、あるいはそれに類似した非線型解析が行なわれている。しかし、土質材料はダイレタンシーや応力経路依存性を示し、これらが地盤の応力、変形特性に及ぼす影響が大きいことなどを考えると、これら土質材料固有の諸特性を考慮した応力～ひずみ関係式を考えてゆく必要がある。このような観点から、本研究は土質材料固有の諸特性を考慮する砂の応力～ひずみ関係について弾塑性論的立場から、若干の考察を加え、三軸圧縮試験結果との比較、検証を行うものである。

2 応力～ひずみ関係 砂の降伏について多くの研究者が塑性論に基づき検討をしている。Roscoe¹⁾らは降伏条件式に対する Normality rule は成立するとしているが、龍岡²⁾、西³⁾らは降伏条件式に対する Normality rule は成立しないというのが、一致した結論の様である。また、西はせん断、圧密に関する塑性ポテンシャル及び降伏条件式はそれぞれ独立に存在するとしている。従って本研究では、現式に基づき理論計算を進めた。 $\{d\epsilon\}^P = \{d\epsilon_s\}^P + \{d\epsilon_c\}^P = \rho_s \{ \partial g_s / \partial \sigma \} d\sigma + \rho_c \{ \partial g_c / \partial \sigma \} d\sigma$ ここで $\{d\epsilon\}^P$ は塑性ひずみ増分、 g は塑性ポテンシャル関数、 f は降伏条件式、 ρ はひずみ硬化に関する比例定数であり、 σ はせん断、 σ_m はせん断、圧密を意味している。図-1に実験で求めたせん断に関する降伏曲線の断片及び塑性ひずみ増分ベクトルを示し、あわせて龍岡²⁾らが提案する降伏関数及び Roscoe¹⁾らによるエネルギー式からの塑性ポテンシャル関数を示したが、降伏関数と断片はよく一致しており、塑性ひずみ増分ベクトルは塑性ポテンシャル関数に直交している。さらに図-1より Normality rule が成立していないのがわかる。従って砂の降伏条件式として $f_s = \tau_{0\alpha} / \sigma_m + m \ln \sigma_m$ ……(1)、 $f_c = \sigma_m$ 、塑性ポテンシャル関数として $g_s = \tau_{0\alpha} / \sigma_m + M_m \ln \sigma_m$ ……(3)、 $g_c = \sigma_m$ を採用した。また、西³⁾らによって提案されている降伏条件式

$f_s = \tau_{0\alpha} / \sigma_m$ ……(2) を使って比較の意味で計算を行った。ここにおいて $\tau_{0\alpha} = (2J_1 J_2)^{1/2}$ 、 $\sigma_m = J_2 / 3$ であり、 J_1, J_2 は応力の不変量である。 M_m は critical state の $\tau_{0\alpha} / \sigma_m$ である。さらに ρ_s 及び ρ_c の具体的表示のため硬化関数の定式化が必要であるが、ここでは $\tau_{0\alpha} / \sigma_m \sim \tau_{0\alpha} / \sigma_m^P$ 曲線と初期接線勾配 G 及び破壊時の $\tau_{0\alpha} / \sigma_m$ (M_f で表示) を用いた双曲線を表示し、 $\sigma_m \sim \epsilon$ 関係と

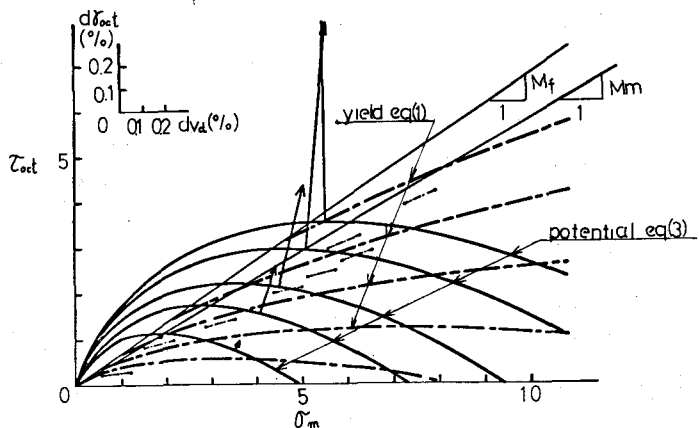


図-1

して $e \sim \log \sigma_m$ の直線性を仮定する。すなわち

$$f_s = 3\sigma_m \left\{ M_s / (M_s - \tau_{oct}/\sigma_m) \right\}^2 d(\tau_{oct}/\sigma_m) / 2G df_s$$

 $f_c = \lambda / (1 + e)\sigma_m$ であり、 λ は最大圧密時での $e \sim \log \sigma_m$
 の勾配である。なお作積ひずみ ϵ_p はすべて塑性成方として扱っている。

3 試料及び実験装置 用いた試料は、 $G_s = 2.632$ 、
 $e_{max} = 0.988$ 、 $e_{min} = 0.642$ 、粒径 $0.84 \text{ mm} \sim 0.2 \text{ mm}$ の
 屏川砂である。プライン中央部には、径 10 mm の排水用
 ポーラスストーンを設け、供試体端面にはシリコングリ
 ーを塗布した薄いゴム膜をおき端面摩擦の除去に努め
 た。軸方向載荷はひずみ制御方式を用い、実験はすべて
 排水条件で行なった。実験に用いた試料の相対密度は
 $0.92 \sim 0.96$ である。なお、側圧が変化するとゴム膜がワ
 ン入して真の体積変化を示さないため、あらかじめ体積
 変化補正を行なうため補正曲線を作成しておいた。

4 応力ひずみ関係式の検証 応力ひずみ関係式と
 実験結果との対比を示したのが図-2, 3, 4である。
 どの図においても対応が良いと言える。 τ_{oct}/σ_m の値

(図2, 3)において、実験結果は大きくワン曲している
 すが、計算結果はゆるいカーブを描いて
 いる。また、 $\tau_{oct}/\sigma_m \sim \epsilon_1$ 、 $\tau_{oct}/\sigma_m \sim \epsilon_3$
 (図-4)では、実験結果よりも、計算
 結果の方がひずみの小さいところで、立
 ちあがりが入きい。これは塑性ひずみ増
 分に大きく影響する f_s , f_c の仮定に問題
 があると思われる。今回採用した式(1)と
 西らによって提案された式(2)とを用いた
 結果を比較すると差が小さいようである。

5 あとがき 今回の実験に用いた供試
 体は非常にゆるみがあるので、得ら

れたパॅラメータには若干の差があった。今後は密実供試体について実験を行い、有限要素法を用いて
 地盤の変形解析を実施する方針である。なお、実験に協力してくれた本学4年生、宇野、萩原両君に
 感謝します。

参考文献 Roscoe et al.: Yielding of clays in states wetter than critical: Geotechnique (1963)
 龍岡, 石原: Yielding of sand in triaxial compression: Soils and Found Vol 14 (1974)
 西, 江刺: 軟弱地盤における基礎の支持力と変形: 電研報告 376014 (1977)

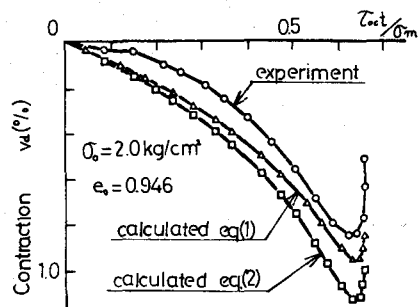


図-2

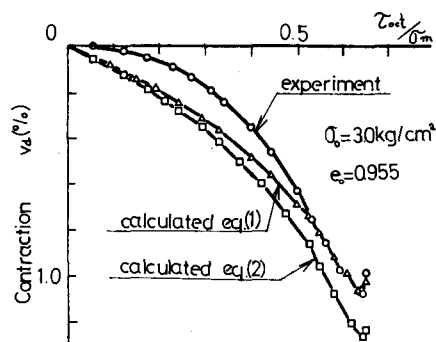


図-3

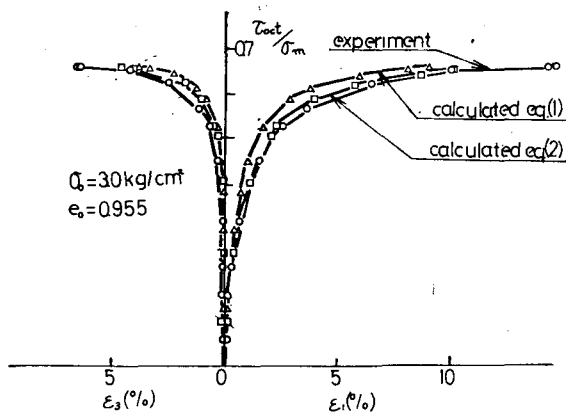


図-4