

圧密履歴を受けた砂の硬化特性について

山口大学大学院 学生員 中田幸男 ○神村 真

山口大学工学部 正 員 安福規之 村田秀一 兵動正幸

1. まえがき

Cam-Clayモデルと類似の構成式は、降伏曲面内部では土が弾性挙動を示すと仮定しており、正規圧密や軽く過圧密された土に対しては有効であるとされている¹⁾。しかし、地震、波浪、交通荷重等に起因した地盤内の応力変化を考えた場合、この構成式では応力・ひずみ関係を十分に評価できないと考えられる。そこで、本研究では、繰返し荷重を受けた土の挙動を表現できる実用性の高い構成式を確立するための第一段階として、降伏曲面内の砂の挙動を明確にすることを目的として、特に過圧密履歴を受けた砂に注目し、応力履歴がその後の変形特性、硬化特性に与える影響について実験的に検討する。

2. 試料及び実験方法

実験に用いた試料は山口県吉敷郡秋穂町より採取した秋穂砂で、 $0.075 \sim 2\text{mm}$ に粒度調整したものを用いた。供試体は直径 5cm 、高さ 10cm を標準とし、初期間隙比 $e_{in}=0.75 \pm 0.02$ （初期相対密度 $Dr=55\%$ ）を目標として空中落下法により作成している。試験機は応力制御型三軸試験機を使用している。

実験で対象とした過圧密履歴は、過圧密比（OCR）が1, 2, 4の3種類である。その有効応力経路を図-1に示す。これらの履歴を与えた後、図-2に示すような7種類の応力経路で三軸試験を行う。この三軸試験結果を比較することで過圧密履歴が応力・ひずみ関係や硬化特性に与える影響を把握することができる。

本研究で使用した応力とひずみのパラメーターは、平均有効主応力 $p = (\sigma_a + 2\sigma_r) / 3$ 、軸差応力 $q = 2/3 (\varepsilon_a - \varepsilon_r)$ 、応力比 $\eta = q/p$ 、軸差ひずみ $\varepsilon = 2/3 (\varepsilon_a - \varepsilon_r)$ 、体積ひずみ $v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_r$ であり、硬化を表すパラメーターとして、ここでは、諸戸の示した状態量 $k = \int (dv + \eta d\varepsilon)$ ²⁾を用いる。

3. 実験結果

(1) 応力・ひずみ関係

図-3(a)は、 p -一定三軸圧縮試験から得られたOCR=1, 2, 4の η - ε 関係を示しており、過圧密比の増加と共に軸差ひずみの生じ方は小さくなっていることがわかる。また、図-3(b)は、 p -一定三軸試験から得られたOCR=1, 2, 4の η - v 関係を示している。この図から、過圧密比の増加にともない体積ひずみの生じ方が小さくなっていることがわかる。さらに、図-3(a)、(b)では、 $\eta=1.4$ 付近からOCR=

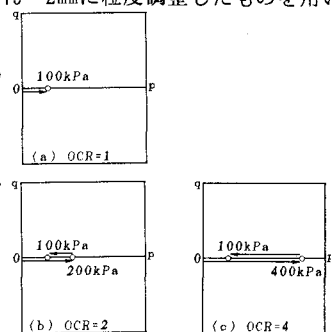


図-1 過圧密履歴の有効応力経路

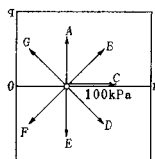
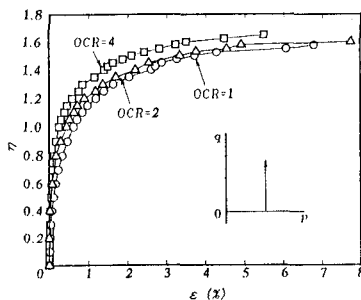
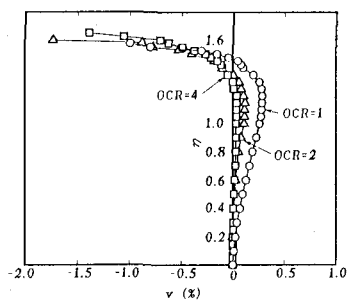


図-2 三軸試験の有効応力経路



(a) 応力比・軸ひずみ関係



(b) 応力比・体積ひずみ関係

図-3 応力・ひずみ関係

2, 4の場合の曲線の勾配がOCR=1の曲線の勾配に近づいており、履歴の影響が応力比の増加にともない消散していくことがわかる。

(2) 硬化特性

図-4は、過圧密履歴を受けた砂の応力と状態量の関係から求めた等状態量曲線を、 $p-q$ 平面上に表したものである。(a)には過圧密比が2の場合の等状態量曲線、(b)には過圧密比が4の場合の等状態量曲線をそれぞれ示す。また、●で降伏点、点線で降伏曲面を描いている。降伏点の決定方法には種々の方法が考え

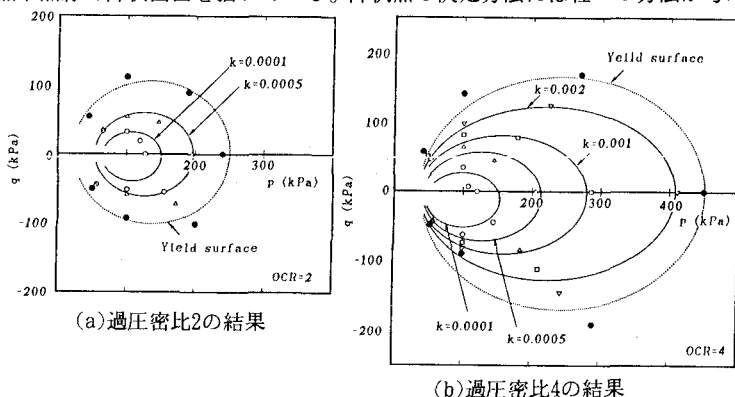


図-4 過圧密履歴を受けた場合の等状態量曲線

られるが、ここでは応力・状態量曲線の勾配が過圧密比が1の場合のものと一致する点を降伏点として定めている。もし一致しない場合は、図-5のような点を降伏点とする。これらの図から、等状態量曲線は過圧密比によらず降伏曲面と相似な楕円であることがわかる。また、OCR=2, 4の $k=0.0005$ の曲面の p 軸上の値を比較すると、OCR=2の時 $p=198\text{kPa}$ 、OCR=4の時 $p=220\text{kPa}$ となっており、履歴やその後の三軸試験中に硬化が生じうることが示唆される。

これらの図から、 p 軸上の降伏点 p_e で降伏曲面と $k=0.0001$ の等状態量曲線をそれぞれ正規化し、 $p/p_e-q/p_e$ 空間に示したものが図-6である。この図から、等状態量曲線は応力状態の変化にともなって、降伏曲面内で p 軸上を移動していくことがわかる。このことは、等状態量曲線の移動を考慮できるような構成式を検討することの重要性を示していると考えられる。

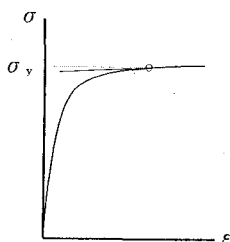


図-5 降伏応力の決定方法

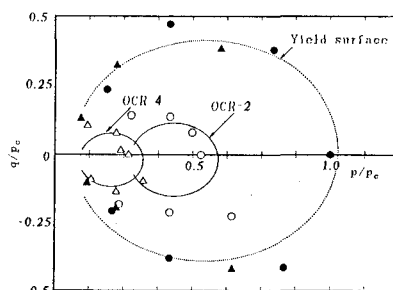


図-6 正規化した $k=0.0001$ の等状態量曲線と降伏曲面

4. あとがき

本研究で得られた知見をまとめると次のようになる。(1)過圧密履歴によってひずみの生じ方は小さくなる傾向にあり、その影響は応力比の増加に伴い消散する。(2)過圧密履歴を受けた砂の等状態量曲線は、過圧密比によらず降伏曲面に相似な形状を持つ。(3)一つの等状態量曲線に注目した場合、その曲面は応力変化に伴い降伏曲面内を移動する。今後は微小なひずみを測定する事で、降伏曲面内部の応力状態をさらに詳細に調べる予定である。

<参考文献>

- 1) Britto, A. M., Gunn, M. J. (1987): "Critical State Soil Mechanics Via Finite Elements"
- 2) Moroto, N. (1976): S & F, Vol. 16, No. 4, pp. 1-9.