

鹿児島大学工学部 正員 北村 良介
同 上 正員 春山 元寿
名古屋大学大学院 学生員 三隅 浩二

1. まえがき

Atkinsonらが著わした教科書¹⁾の中で Cambridge Modelの砂質土への適用が論じられている。本報告では、その1で得られた実験結果をもとに、Atkinsonらが述べている理論展開の妥当性を検討し、過圧密粘土や通常の拘束圧での砂質土の力学的挙動を弾・塑性論を用いた力学モデルによって表現する方法に関して考察を加える。

2. 砂質土への Cambridge Modelの適用

2.1 Cambridge Model

図-1は p - q - v 空間に示された状態曲面であり、Cambridge Modelを視覚的にあらわしたものである。正規圧密領域の応力状態の材料は図中の Roscoe 曲面上にあり、Cam-clay Model, Modified Cam-clay Model の場合 Roscoe 曲面はそれぞれ次式であらわされる。

$$\text{Cam-clay: } q' = \frac{M p'}{C_e - C_s} \left\{ 2.3 \Gamma + C_e - C_s - 2.3 (v + C_e \log p') \right\} \quad (1)$$

$$\text{Modified Cam-clay: } \frac{p'}{p_e} = \frac{N - v}{C_e \log p'} = \left\{ \frac{M^2}{1 + M^2 (q'/p')^2} \right\}^{1 - C_s/C_e} \quad (2)$$

ここに、 M : 限界状態での応力比 q'/p' , C_e : 圧縮指数, C_s : 膨潤指数,
 N, P : 単位 p' に対する正規圧密曲線, 限界状態線上の体積比 v 。
図-2は、図-1の状態曲面を p - q 面へ投影したものであり、Hvorslev 曲面は、 p - q 面上では図-2に示すように直線となる。Hvorslev 曲面は、限界状態において Roscoe 曲面と一致するものとする²⁾と、次式のようになる。
$$q'/p' = (M-h) \cdot 10^{\frac{P-v_e}{C_e}} + h \quad (3)$$

ここに、 h : 図-2における Hvorslev 曲面の傾き、

v_e : 単位 p' に対する体積比 (図-3.4中の v_h に相当)、すなわち、

$$v_e = v + C_e \log p' \quad (4)$$

粘性土の力学的挙動を整理する際、等価圧密圧力 p_e で正規化することによく行われる。砂質土の場合には、供試体の初期状態にバラツキが多く、正規圧密曲線の位置が明確でないことが多い。そこで、Atkinsonらは図-3に示すように単位 p' で図-1に示した状態曲面を切り、その断面(規準断面)へせん断過程での応力状態を投影している。図-4は規準断面での Roscoe 曲面, Hvorslev 曲面, 限界状態線の関係を図示したものである。本報告でも、この手法にのっとり、その1で得られた実験データを用い、砂質土への Cambridge Modelの適用について検討する。

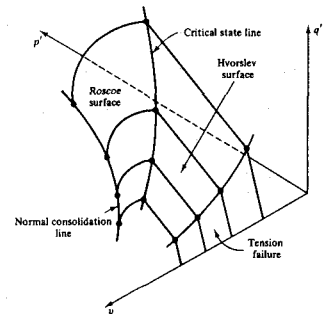


図-1 p - q - v 空間での状態曲面

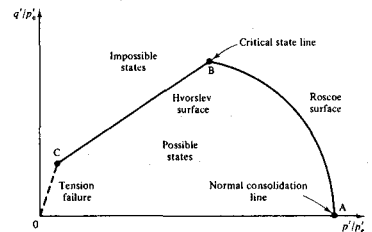


図-2 p - q 面での状態曲面

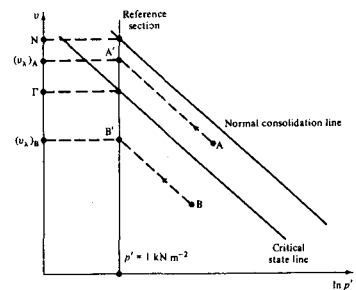


図-3 規準断面への投影

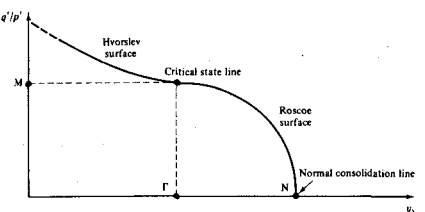


図-4 規準断面での Roscoe 曲面, Hvorslev 曲面の関係

2.2 土質定数の決定

i) C_c, C_s, Γ : 「その1」の図-1に示した $v \sim \log p$ 関係より正規圧縮曲面、膨潤曲線の傾きを求めると、 $C_c = 0.652, C_s = 0.025$ とする。三軸を求めた豊浦砂に対する C_c は $0.373, C_s$ は 0.041 であり、しらすは豊浦砂に比べると C_c は大きく、 C_s は小さい値になっている。また、同じ図に描かれた限界状態線より $p = 1 \text{ kg/cm}^2$ の v の値である Γ が 2.829 と求まる。

ii) M : Roscoe 曲面を誘導する際の基本式(エネルギー式)は、Cam-clay の場合次式であらわされる。

$$p' \cdot d\epsilon_v + q' \cdot d\gamma = M \cdot p' \cdot |d\gamma| \quad (5)$$

$$\text{ここに, } d\gamma = d\epsilon_a - \frac{1}{3} d\epsilon_v$$

三軸圧縮条件では、(5)式は次のように変形される。

$$\gamma/p' = -d\epsilon_v/dp' + M \quad (5')$$

図-5は、正規圧縮領域と考慮される側圧 $15 \text{ kg/cm}^2, 20 \text{ kg/cm}^2$ の実験データを(5')式の関係で整理したものである。 M は図の縦軸切片の値であり、 1.49 と定めた。限界状態の概念によれば、初期の応力状態によらず、限界状態では γ/p' は一定となり、体積変化はなくなる。ところが、実際の三軸試験では弾留状態での供試体の変形が一律でないことをこのため、その中の図-3, 4のように限界状態を得ることは困難である。砂質土の M も精度よく決定することは今後の課題であろう。

iii) h : 図-6は(5)式中の土質定数 h を決定するため OCR が $15, 5$ である供試体のせん断過程でのピーク強度の q/p' 状態を $\gamma/p' \sim p'/p'$ 関係で整理したものである。図中の直線の傾きが h の値であり、 $h = 1.353$ と求まる。

2.3 状態曲面

図-7は、「その1」で得られた実験データと2.2節で得られた土質定数を用いて誘導した状態曲面を規準断面上に描いたものであり、図-4と対応している。Roscoe 曲面としては(1), (2)式で示された Cam-clay, Modified Cam-clay が描かれている。図より、しらすのような砂質土の圧縮・せん断挙動を弾塑性モデルで表現しようとする場合には Cambridge Model が有用であることがわかる。

3. あとがき

側圧が 20 kg/cm^2 まで可能な三軸室によるしらすの三軸実験を行い、しらすのような砂質土に対する Cambridge Model の適用の可能性が明らかにされた。今後は、ここに示された結果をもとに具体的な構成式の誘導を試みる。本研究は、昭和56年度科研費(総合A)の援助を受けたことを付記し、謝意を表します。

(参考文献) Atkinson, J.H. and Bransby, P.L.: The Mechanics of Soils, McGraw-Hill, 1978, 2) 三浦: 土木試験報告集, 第22号, pp.127-130.

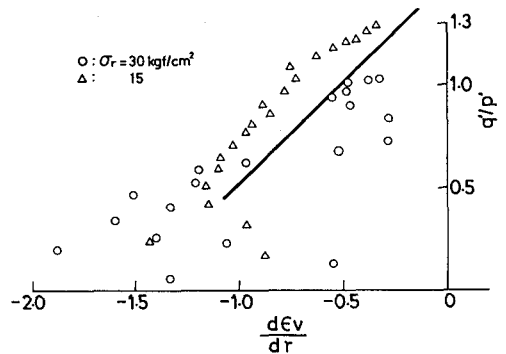


図-5 $\gamma/p' \sim d\epsilon_v/dp'$ 関係

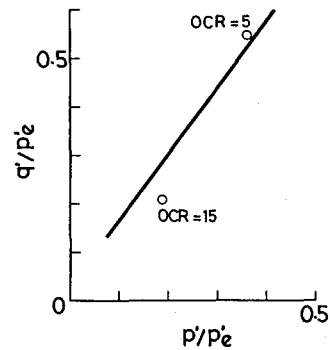


図-6 土質定数 h の決定

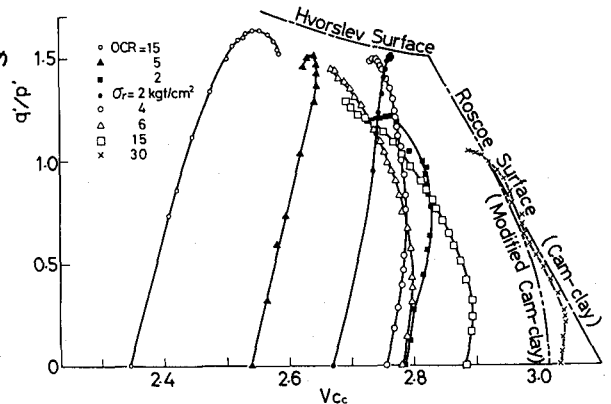


図-7 規準断面での理論関係と実験データ