

III-169 正規圧密粘土の部分排水三軸試験の数値解析

名古屋大学 学○三隅 浩二
学 堤 清
正 浅岡 顕

1. はじめに 端面マサツその他の全くない理想的な三軸試験機で、飽和粘土の部分排水セン断を考察する。これは排水コックをあけたままで有限な載荷速度によるセン断だが、載荷速度が非常に遅ければ非排水セン断、逆に、非常に遅ければ排水セン断とみなされる。部分排水の程度は、したがって、載荷速度と圧密速度の相対的な関係で決まる。部分排水条件下での供試体の極限荷重を考えると、これは排水・非排水セン断強度の中間に値をとり、したがって、この値は部分排水効果を表わす一つの指標となりうる。

ところで、従来、排水セン断試験においては十分にゆっくりと、一軸圧縮試験においてはある程度速くセン断することがいわれているが、これらの速さについて定量的に必ずしも明らかになっているわけではない。本報告では、載荷速度一定で部分排水セン断される三軸供試体の挙動を解析し、特に、強度（供試体の極限荷重）の載荷速度依存性について考察する。

2. 破壊の定義 供試体の部分排水挙動の解析は、弾塑性圧密の区分線形近似^{1,2)}による。Biotの多次元圧密理論によれば、定率で漸増載荷中の供試体の軸変位 d は、等時間間隔 Δt による差分形式 d_j を用いれば、次式で支配される。

$$d_j = \alpha_d + \sum_{s=1}^r \alpha_s d_{j-s} + (1 - \sum_{s=1}^r \alpha_s) d_{j-r-1} \quad (1)$$

ここに、 α_s , $s=1, 2, \dots, r$ は荷重条件（大きさ, 速度）によらない定数で、供試体の境界条件、透水係数と試料の弾性定数およびその分布だけに依存する。 α_d は上記に加え載荷速度 $\dot{q}$ に比例する。さて、漸増載荷の途中で載荷をやめて荷重一定のまま圧密変形させれば、圧密の最終状態では、すべての載荷々重が有効応力タームで平衡な状態となる。このとき、最終変形量に対する荷重強度の比は有効応力に関する骨格変形係数 K_d を与える。具体的には、

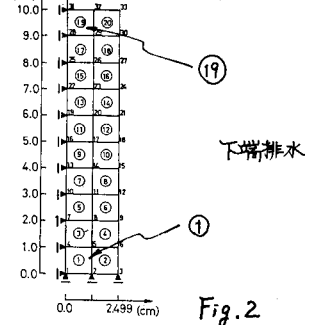
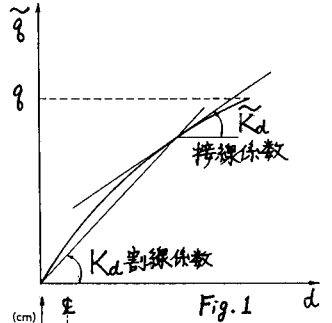
$$K_d = \dot{q} \Delta t \left\{ \gamma + 1 - \sum_{s=1}^r (\gamma + 1 - s) \alpha_s \right\} / \alpha_d \quad (2)$$

これは観測値に式(1)をあてはめることによって、刻々に求められる。供試体が弾性体であれば K_d は荷重レベル q と圧密経過時間 t によらず一定値をとるが、実際には供試体の弾性定数は q および t に対して変動する。特に、漸増載荷中では K_d は劣化しつづける。なお、解析では二階モデル($r=2$)を用いた。

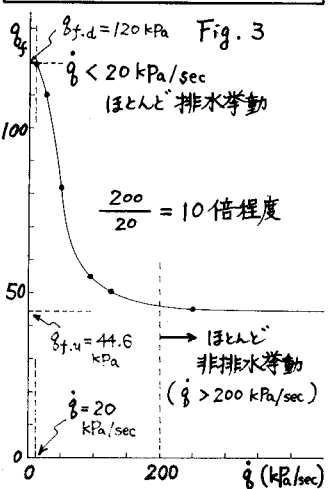
次に、部分排水セン断をうけるときの破壊の定義を行う。破壊はヒズミの量によって定義せず、骨格変形係数に注目して行う。 K_d が割線係数であることに注意して、まず次式により有効荷重 $\tilde{q}$ を定義する。 $\tilde{q} = K_d \cdot d$ (3) 二に、 d は K_d の決定に用いられた代表的観測値とする。荷重一定の条件で考えれば圧密の最終状態において $q = \tilde{q}$ となるが、一般的には $q > \tilde{q}$ である。次に、 $\tilde{q}$ の d に関する微分値を求めて、これを接線変形係数と名づける。

$$\tilde{K}_d \equiv d\tilde{q}/dt = K_d + d \cdot (dK_d/dt) \quad (4)$$

この関係をFig.1に示す。したがって、供試体の破壊は $\tilde{K}_d \rightarrow 0$ で定義する。



圧縮指数	λ	0.250
膨潤指数	κ	0.130
限界状態 q/p	M	1.2
有効ポアソン比	ν'	0.2
初期間隙率	e_0	2.057
透水係数	k	$1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$



$\tilde{K}_d \rightarrow 0$ のときの荷重(極限荷重, 部分排水供試体の「強度」)は, 圧密変形解析から得られる $\tilde{K}_d \sim \dot{\epsilon}$ 関係の外挿によって求める。

3. 解析条件 解析に用いた有限要素モデル (Fig. 2) は円柱供試体の半分を表わしており, 端面マサツは全くなく, 排水は下方向のみに許されている理想的なモデルである。 $p'_0 (=60 \text{ kPa})$ で等方圧密された供試体を排水コックは開いたまま, 有限な載荷速度 $\dot{\epsilon}$ で一定の条件のもとにセン断するわけだが, $\dot{\epsilon}$ は Fig. 3 に示す大小6つを選定した。弾塑性圧密FEMプログラムには DACSAR³⁾ を用いた。試料は完全飽和の正規圧密粘土を対象とするが, その骨格の構成式はカムクレイモデルを用いた (Table 1 参照)。

なお, このときの排水セン断強度 $\dot{\epsilon}_{f.d}$ および非排水セン断強度 $\dot{\epsilon}_{f.u}$ ($=2C_u$) は以下となる。

$$\dot{\epsilon}_{f.d} = 3M p'_0 / (3-M) = 120.0 \text{ kPa} \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon}_{f.u} = M p'_0 \exp(-1 + \frac{1}{2}\lambda) = 44.6 \text{ kPa} \quad (6)$$

4. 解析結果と考察 与えられた載荷速度 $\dot{\epsilon}$ に対しての解析結果は, Fig. 2 に示す有限要素番号①, ⑩の応力経路図, $\tilde{K}_d, \dot{\epsilon}, d$ の経時変化図にまとめた。典型例として $\dot{\epsilon} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ kPa/sec}$ (Fig. 4) および $\dot{\epsilon} = 9.0 \times 10^{-3} \text{ kPa/sec}$ (Fig. 5) の場合を示した。Fig. 3 は $\dot{\epsilon}_{f.d}, \dot{\epsilon}_{f.u}$ および $\tilde{K}_d \rightarrow 0$ の外挿によって求めた部分排水セン断強度 $\dot{\epsilon}_t$ を $\dot{\epsilon}$ のパラメータとして示している。この図で最も注意すべき点は $\dot{\epsilon}_t$ の $\dot{\epsilon}_{f.d}$ から $\dot{\epsilon}_{f.u}$ までの変化がきわめて狭い $\dot{\epsilon}$ の範囲で起きていることである。すなわち, この載荷速度レンジをはずして実験を行うならば, どのような載荷速度であっても十分に排水的または非排水的になってしまう。逆にいえば, セン断強度の載荷速度依存性を調べるための実験は, きわめて慎重に選ばれた載荷速度レンジで行われるのでなければ, ほとんど意味のないことを示している。関口⁵⁾ は定ヒズミ速度による部分排水三軸試験を解析し, 供試体がほとんど排水試験的挙動を示すヒズミ速度と, ほとんど非排水的挙動を示すヒズミ速度の比率が約200倍程度であると述べている。一方, 定率載荷速度で部分排水セン断を行うときは, Fig. 3 に示すようにこの比率は10倍程度になり, 部分排水条件はより狭いレンジでしか実現しない。定ヒズミ速度のときの式(1)~(2)に対応する解析手法は, ここでは割愛する。

参考文献 1) A. Asaoka, K. Kodoi, K. Misumi: the proceedings of 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics Nagoya, 1985 pp. 1613~1620 2) A. Asaoka: proceedings of the 11th international conference on soil mechanics and foundation engineering San Francisco, 1985 pp. 2159~2162

3) H. Ohta and A. Itzuka: DACSAR FEM Program Manual Dept. of Civil Engineering, Kyoto University, 1983

4) J. H. Atkinson: Foundations and Slopes, McGRAW-Hill, 1981 pp 1~82

5) H. Sekiguchi, Y. Nishida and F. Kanai: Soils and Foundations, Vol. 21, No. 3, 1981, pp. 53~66

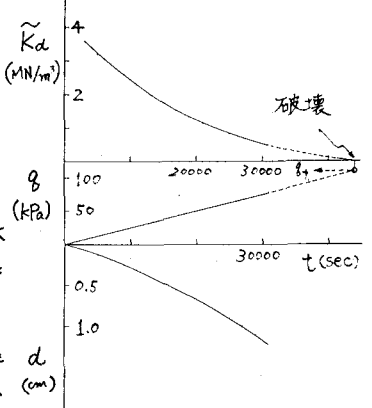
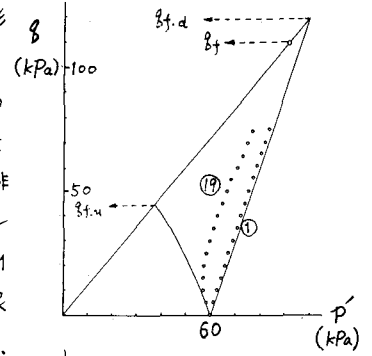


Fig. 4 $\dot{\epsilon} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ kPa/sec}$

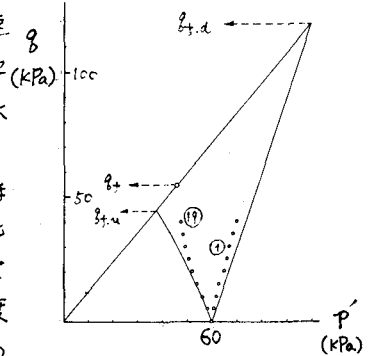


Fig. 5 $\dot{\epsilon} = 9.0 \times 10^{-3} \text{ kPa/sec}$