

部分排水繰返しせん断に関する解析的検討

佐賀大学理工学部 正会員 ○坂井 晃

1. まえがき

交通や波浪などの長期の繰返しせん断が作用する軟弱地盤内では、過剰間隙水圧の発生と消散が同時に起こる部分排水状態にあると考えられる。このような状態にある軟弱粘性土の長期間にわたる変形挙動を議論するためには、繰返し非排水せん断特性と排水特性を連成させた解析モデルの作成が必要である。兵動ら¹⁾は、部分排水繰返しせん断の概念を導入した解析モデルを提案し、排水繰返し三軸試験を対象にしたFEM解析によってその有用性を確認している。本報告は、この兵動らの解析モデルを基に、同じ解析対象を使用して圧密定数の設定と間隙水圧発生に及ぼす排水の影響について検討を行ったものである。

2. 部分排水繰返しせん断の考え方と解析モデル

兵動らは、粘土の部分排水繰返しせん断時の間隙水圧と体積ひずみの変化過程を表すモデルとして図-1の概念を用いている。時刻 t から $t+\Delta t$ までの間隙水圧の挙動は、同時刻域での非排水における間隙水圧発生量に加えられ、かつ一部が消散される経路 $A \rightarrow C \rightarrow B$ をたどるとしている。また、その間の体積ひずみ増分 $\Delta \varepsilon_v$ は、 $m_v \Delta u_d$ で表わされるとしている。間隙水圧の発生と消散の解析は、Bookerら²⁾が砂の液状化問題に用いた次式を用いている。

$$\partial u / \partial t - \phi = c_v \partial^2 u / \partial z^2 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 ϕ は非排水繰返しせん断による単位時間当たりの間隙水圧発生分である。兵動らは、 ϕ として非排水における同一の間隙水圧上昇量を用いて、 $\phi = \partial u_g / \partial t = F(\Delta \sigma_s / \sigma_c, N, f)$ を与えている。本文では、部分排水時の間隙水圧上昇に及ぼす水圧勾配と体積ひずみの影響を考慮して、次式の ϕ を用いることにする。

$$\phi = \partial u_g / \partial t = (1 + \beta |1 / \gamma_w \cdot \partial u / \partial z|) / (1 + \alpha \varepsilon_v) \cdot F(\Delta \sigma_s / \sigma_c, N, f) \quad \text{---- (2)}$$

ここに、 α は体積ひずみに関わる係数、 β は水圧勾配に関わる係数である。

3. 排水繰返し三軸試験を対象にしたFEM解析

上述の解析モデルの適用性を調べるために、兵動らは排水の繰返し三軸試験を対象にしたFEM解析を実施している。繰返し三軸試験は、再圧密有明粘土(直径3.5cm・高さ8.75cm)の供試体に周波数1Hzの片振り軸応力 $\Delta \sigma_s$ を周面排水条件にて载荷しており、間隙水圧は下部ペダスタル中央部において測定されている。

解析のための要素分割は、半径方向の軸対称流れが対象であるので、半径方向に一の要素(要素数5, 高さ0.5cm, 各幅0.35cm)を用いている。

(1) 圧密定数の設定

兵動らは、解析に必要な体積圧縮係数 m_v と透水係数 k を再圧密過程における間隙水圧と体積ひずみの時間的変化($\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$)から算出し、全拘束圧に対して同じ値を用いている。しかし、本文では、表-1に示すように $m_{v0} = 0.434 c_v / (1 + e) \sigma'_v$ を用いて、 m_v / m_{v0} と圧密係数 c_v の値が一定となる圧密定数を設定した。

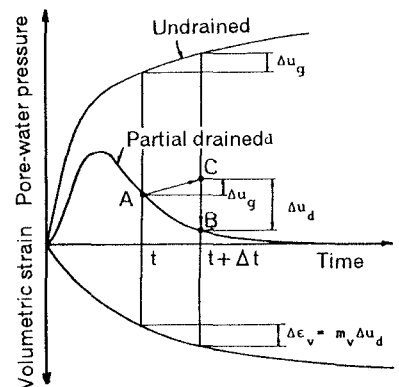


図-1 部分排水条件における u と ε_v の模式図(兵動ら)

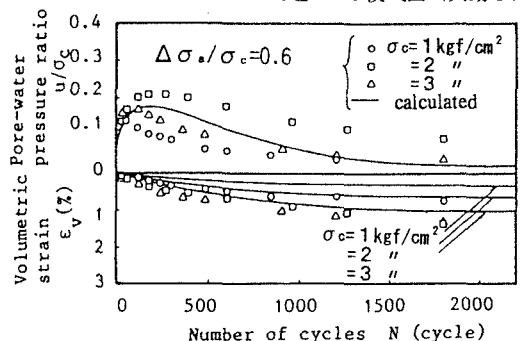


図-2 u/σ_c と ε_v の実験値と解析値の比較(兵動ら)

表-1 圧密定数の設定

σ_c (kgf/cm ²)	e_c	m_{v0} (cm ² /kg)	m_v/m_{v0}	m_v (cm ² /kg)	k (cm/s)	c_v (cm ² /s)
1.0	2.017	0.1007	0.238	0.0240	3.68×10^{-8}	(1.53×10^{-3})
2.0	1.868	0.0530	0.238	(0.0126)	(1.93×10^{-8})	(1.53×10^{-3})
3.0	1.712	0.0373	0.238	0.0089	1.36×10^{-8}	(1.53×10^{-3})

()の値は兵動ら設定、 — の値は今回設定

(2)解析結果

図-2は、兵動らによって得られた供試体中央における実測値(ただし、体積ひずみは全体積ひずみ)と解析結果である。間隙水圧は、圧密係数が同じ値であるので同一の曲線となるが、体積ひずみはほぼ良好な結果が得られている。これに対して、図-3(a)(b)(c)が今回の解析結果である。(a)図($\alpha=\beta=0$, 兵動らと同じ ϕ)では、体積ひずみにもあまり差異は認められないが、水圧勾配に関わる係数 β が0.005の(b)図の場合には間隙水圧と体積ひずみが拘束圧に依存して大きくなっている。また、間隙水圧の上昇に及ぼす体積ひずみの影響を考慮した(c)図($\alpha>0$)では、(b)図に比べて間隙水圧の消散傾向が早くなり、かつ体積ひずみが減少している。一方、図-4は、間隙水圧の排水方向における間隙水圧分布の経時変化を示しているが、 $\beta=0.005$ の場合には载荷初期の段階において、排水面に近い領域で大きな間隙水圧の発生が認められる。

4. あとがき

今回の解析モデルは、各サイクルの残留値に対する間隙水圧と体積ひずみを対象としており、载荷時と徐荷時の挙動を直接取り扱っていないが、今回の解析結果からもわかるように、繰返し载荷中の m_v と k および間隙水圧発生分 ϕ の設定を工夫することによって長期間にわたる部分排水挙動を表現することが可能である。

参考文献

1)兵動正幸他：長期繰返しせん断を受ける粘土の間隙水圧および変形予測、土木学会論文集、第400号／III-10、pp.151-160、1988。2)Booker, J. R., Rahman, M. S. and Seed, H. B. :GADFLEA - A

computer program for the analysis of pore pressure generation and dissipation during cyclic or earthquake loading, Report No. EERC 76-24, Univ. of Calif. Berkeley, 1976.

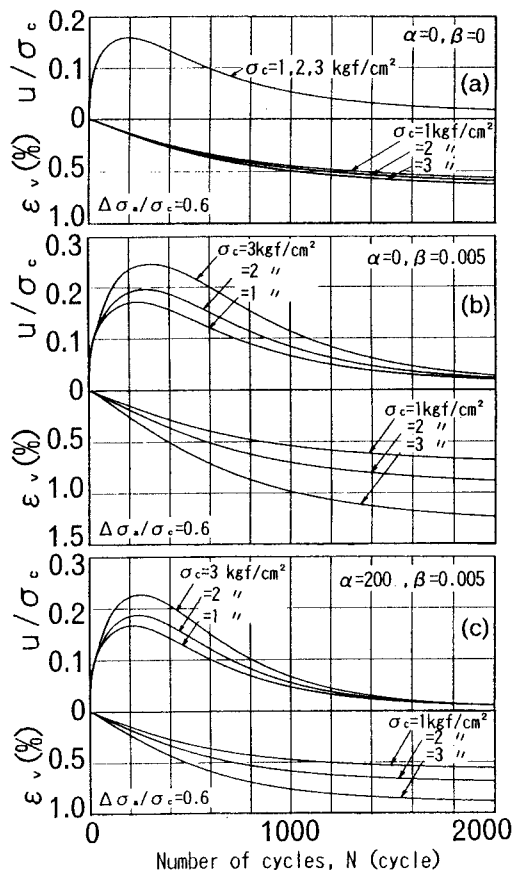


図-3 u/σ_c と ε_v の経時変化(今回の解析結果)

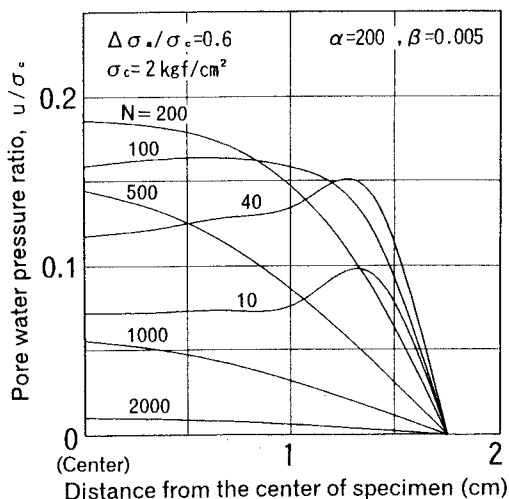


図-4 間隙水圧分布 ($\alpha=200, \beta=0.005$)