

III-367

プレッシャーメーター試験の応力状態に関する解析的研究

名古屋市(元・名工大学生) 正会員 ○阿相 光徳
名古屋工業大学 " 中井 照夫

プレッシャーメーター試験の応力状態に関する研究は太田¹⁾、深川²⁾、飯塚³⁾らによって行われているが、ここでは、すでに提案されている移動硬化型の t_{ij} -clay model⁴⁾を用い、地盤内の間隙水の排水条件、載荷速度、初期応力、プローブ半径を変えたプレッシャーメーター試験の有限要素解析を行った。そして、プレッシャーメーター試験結果に及ぼすこれらの諸要因の影響を考察した。

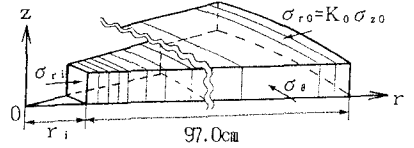


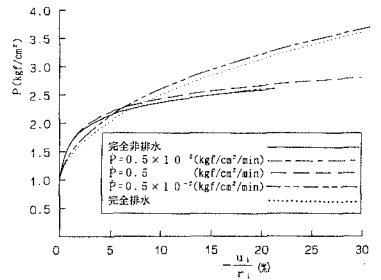
図-1 解析モデル

1. 解析の概要

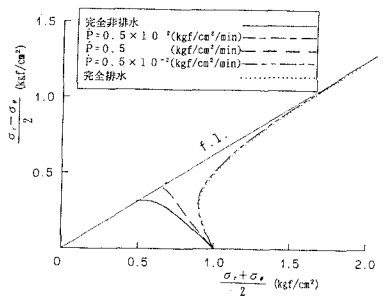
プレッシャーメーター試験の有限要素解析は飯塚³⁾の解析を参考に図-1に示す軸対称条件下の要素を用いて行った。ここに、半径方向に97cmの巾をもつドーナツ状の地盤(半径方向に40個の分割)を解析対象とし、プレッシャーメーターの半径を r_i としている。また、Z方向に変位を許さない平面ひずみ条件を想定し、地盤の外側は応力境界として常に $\sigma_{r0} = K_0 \sigma_{z0}$ を与えている。計算はプレッシャーメーターの内圧 σ_{ri} を一定速度で増やす増分法で行っている。地盤内の間隙水圧の消散については、間隙水の移動が全くない“完全非排水条件”、地盤の外側の境界で排水を許す“部分排水条件”、及び各境界では排水を許さないが要素間では水の移動が可能な“マイグレーション条件”の3つの条件下で検討した。なお、地盤は半径方向に97cmと十分な長さをとっており、部分排水条件とマイグレーション条件の解析結果に有為な差はみられなかったため、ここでは完全非排水条件とマイグレーション条件を中心に以後考察を行う。地盤材料としては藤の森粘土を想定し、移動硬化型の弾塑性モデル(kinematic t_{ij} -clay model)⁴⁾を構成モデルとして採用している(土質パラメーターについては文献⁴⁾参照)。このモデルはCam-clay modelと土質パラメーターがほぼ共通しているにもかかわらず、Cam-clay modelではむづかしい①中間主応力の変形、強度特性に与える影響、②塑性流動方向の応力経路依存性、③繰り返し載荷や主応力軸の回転つまり応力誘導異方性の表現等が可能となっている。粘土の初期透水係数は $k = 1.0 \times 10^{-5}$ cm/min. とし、間隙比の変化に対して常に c_v 一定となるように透水係数を変化させている。解析ではプレッシャーメーター試験の通常の載荷速度($\dot{\sigma}_{ri} = \dot{P} = 0.5$ kgf/cm²/min.)を中心に載荷速度を変えた解析、載荷前の地盤の応力状態(K_0 値の違いや応力開放の有無)を変えた解析、及びプレッシャーメーター膨張プローブの半径を変えた解析を行い、試験時の地盤の応力状態や試験から得られる強度(非排水強度と考えているもの)を中心に考察を行う。

2. 載荷速度($\dot{P}$)を変えたプレッシャーメーター試験の解析

図-2(a),(b)はプローブの半径 $r_i = 3$ cm, $\sigma_z = 1.0$ kgf/cm², $K_0 = 1.0$ の初期状態のもとで載荷速度を変えた時の解析結果((a)図: 載荷圧 $P = \sigma_{ri} \sim$ プローブ隣接要素の円周方向ひずみ $\epsilon_\theta = -u_i/r_i$ 関係、(b)図: プローブ隣接要素の $(\sigma_r + \sigma_\theta)/2 \sim (\sigma_r + \sigma_\theta)/2$ 関係)を示す。両図には載荷速度を $\dot{P} = 0.5$ kgf/cm²/min. とした時、載荷速度をその100倍および1/100倍とした時のマイグレーション条件下の結果および完全非排水条件($\dot{P} = \infty$ に相当)や完全排水条件($\dot{P} = 0$ に相当)の結果を示している。両図から $\dot{P} = 0.5 \times$

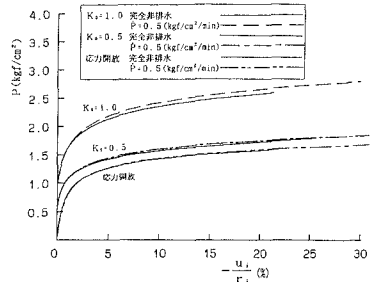


(a) 載荷圧～円周方向ひずみ関係



(b) 有効応力経路図

図-2 載荷速度を変えた試験の解析結果



(a) 載荷圧～円周方向ひずみ関係

10^2 ではほぼ完全非排水条件の結果に、 $\dot{P}=0.5 \times 10^{-2}$ ではほぼ排水条件の結果と一致するが、通常の $\dot{P}=0.5$ の載荷速度ではこれらの中間の状態となる。さらに、(b)図から $\dot{P}=0.5$ の載荷速度ではその得られた強度 $((\sigma_r - \sigma_\theta)/2)_f$ は非排水強度よりも大きくなるのがわかる。また、上述の載荷速度の変化で、プローブ側の要素では完全非排水条件から完全排水条件に近い応力状態まで変わり、完全排水と完全非排水状態の中間となる部分排水条件の載荷速度のレンジ幅はそれほど大きくないという浅岡⁶⁾の指摘とも対応している。通常の粘性土地盤における載荷速度 $\dot{P}=0.5$ はちょうどこの中間の状態にはいることになる。

3. 地盤の初期応力状態を変えたプレッシャーメーター試験の解析

図-3(a),(b)はプローブの半径 $r_i=3\text{cm}$ 、 $\sigma_{z0}=1.0\text{kgf/cm}^2$ のもとで K 値を変えた時の解析結果を示す。図中、応力開放の結果は、プレバリングタイプのプレッシャーメーター試験を想定し、 $K_\infty=0.5$ の応力状態から半径方向の内壁の全応力 σ_{ri} を一度 0.0kgf/cm^2 まで開放した後に載荷する試験を意味する。ここでは、すべての初期状態に対して、完全非排水条件と $\dot{P}=0.5(\text{kgf/cm}^2/\text{min})$ のマイグレーション条件の結果を示している。また、(b)図では○●印は初期の K 。圧密状態を表し、応力開放の△印は σ_{ri} をゼロに開放した時の応力状態を意味している。同図より、 K 。値だけでなく、載荷前の応力開放がプレッシャーメーター試験結果に大きく影響していることがわかる。

4. プローブの半径を変えたプレッシャーメーター試験の解析

図-4(a),(b)はプレッシャーメーターのプローブの半径を1/2倍あるいは2倍した時の解析結果を示す(初期状態 $\sigma_z=1.0\text{kgf/cm}^2$ 、 $K_\infty=1.0$)。理想的な完全非排水条件では、プローブの半径によらずこれらの関係は同じになるが、実際のマイグレーションを許す条件下では、たとえ載荷速度が同じであっても、プローブの半径によって(a),(b)図の関係が変化することがわかる。つまり、細い径のプレッシャーメーター試験であるほど非排水条件に近い応力状態は再現しにくいことが(これらの図から)理解できる。

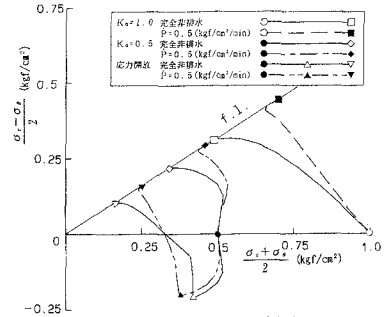
5. 各試験で得られる強度定数(非排水強度に相当)の比較

表-2に以上の解析で得られるプローブ隣接要素のせん断強度

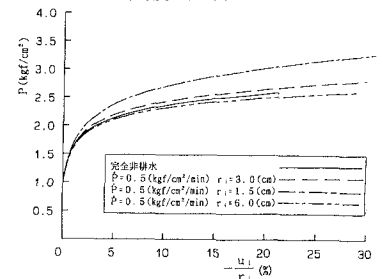
$((\sigma_r - \sigma_\theta)/2)_f$ と、 $P \sim u_i/r_i$ 曲線から求める太田の方法¹⁾や片対数法⁶⁾による強度の比較を示す。プレッシャーメーター試験から得られるせん断強度は上述したように条件によって変わることになる。太田の方法や片対数法では、完全非排水条件を仮定し、唯一的な非排水応力 $\sim$ ひずみ関係がどこでも成立するとして強度が求められている。

参考文献

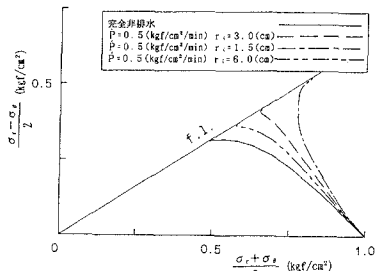
- 1)太田(1979):第14回土質工学研究発表会、457-460。
- 2)深川(1986):京大学位論文。
- 3)飯塚(1988):京大学位論文。
- 4)Nakai & Hoshikawa (1991): Proc. 7th IACMOG, Vol.1, 655-660。
- 5)浅岡・中野・松尾(1992):S & F, 32(1), 41-58。
- 6)太田・深川・西原(1984):土木学会論文集, Vol.346, 77-86。



(b)有効応力経路図
図-3 初期の応力条件を変えた試験の解析結果



(a)載荷圧～円周方向ひずみ関係



(b)有効応力経路図
図-4 プローブの径を変えた試験の解析結果

表-1 各種条件下の試験から得られるせん断強度の比較

$\dot{P}(\text{kgf/cm}^2/\text{min})$	K_∞	応力開放の有無	プローブの半径(cm)	$\left(\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2}\right)_f(\text{kgf/cm}^2)$	太田の方法 ¹⁾	片対数法 ⁶⁾
∞ (undrained)	1	x	3.0	0.31	0.33	0.32
0.5×10^2	1	x	3.0	0.32	0.33	0.32
0.5	1	x	3.0	0.41	0.36	0.35
0.5×10^{-1}	1	x	3.0	0.98	x	0.91
0 (drained)	1	x	3.0	1.08	x	1.05
∞ (undrained)	0.5	x	3.0	0.22	0.22	0.22
0.5	0.5	x	3.0	0.27	0.24	0.22
∞ (undrained)	0.5	○	3.0	0.10	0.21	0.23
0.5	0.5	○	3.0	0.15	0.21	0.25
0.5	1	x	1.5	0.49	0.46	0.49
0.5	1	x	6.0	0.36	0.33	0.30