

多次元圧密プログラムを利用した透水係数変化の逆解析

鹿児島大学工学部 学 竹ノ内政宣 正 三隅浩二

1. はじめに 透水係数は粘性土地盤の変形解析において極めて重要なパラメータである。透水係数は室内試験であれば標準圧密試験で求めるのが一般的だが、標準圧密試験では部分排水せん断時における透水係数を求めることができない。そこで本研究では、現場の段階盛土工法を模擬した部分排水三軸試験を実施して、土が次第に強くなっていく等方圧密過程から土が次第に壊れていく部分排水せん断過程にかけての透水係数変化を逆算して、弾塑性圧密挙動のメカニズムを考察している。

2. 等方圧密～部分排水せん断時における透水係数変化の逆解析 部分排水三軸試験結果の解析は、標準圧密試験と同様に、圧密完了時点で得られる全段階データ（応力ひずみ曲線）の解析と、圧密挙動中の各段階データの解析からなる。前者は、応力ひずみ曲線に降伏曲線の形を未知とする一般的な弾塑性構成式をあてはめて行う¹⁾。後者の透水係数の逆解析は、すでに降伏曲線と弾塑性パラメータが既知なので、圧密挙動時のデータ（体積変化 ΔV ）にBiotの多次元圧密有限要素解析結果を一致させて行う。

図1は、部分排水試験の応力経路とタイムスケジュールを示している。 $p'=0.2\text{kgf/cm}^2$ に等方圧縮された状態を初期状態と考え、4段階の等方圧密とそれに続く13段階の平均主応力一定部分排水せん断を行った。応力経路図には参考のため初期降伏曲線ならびに等方圧密完了時の降伏曲線を記している。図中の黒丸は各載荷段階の観測の最終時点（24時間後）を表しており、時系列に従ってaからpまでの記号を付している。ただし、部分排水せん断の13段階目は、載荷中に供試体が破壊してしまったため記号を付していない。

図2は、上記の試験と方法により得られた透水係数変化を示している。点aは図1からわかるように初期降伏曲線の内側にあって過圧密状態にある。図2ではこのとき等方圧密により透水係数値が急激に減少していることがわかる。点aから点bの間に供試体は弾塑性域に突入し、いったんまた急激に透水係数値をもとのレベルに回復させるが、また再び減少傾向を示して点b、点c、点dへと徐々に小さくなっている。せん断は点d以降に始まり若干透水係数は減少するが、点eから点oまでは、黒丸だけに注目したとき透水係数はほとんど変化していない。透水係数の逆算は、等方圧縮時には、各段階の荷重放置過程における4点で行っているが、部分排水せん断時には、各段階の漸増載荷過程で2点、荷重放置過程で2点で行っている。図2より、等方圧密段階では荷重放置過程に透水係数が増加する傾向があるのに対して、部分排水せん断中は逆に荷重放置過程に透水係数が減少する傾向が見て取れる。

図3は、各載荷段階の圧密完了時点で得られた最終体積変化 ΔV_e と $\ln p'$ の関係を整理したものである。白丸は実験結果を示している。理論値の実線の一つは $p'=1.5\text{kgf/cm}^2$ と $p'=2.0\text{kgf/cm}^2$ における白丸を通るように引かれており、このラインの傾きより $\lambda/(1+e_0)$ を決めている。この値とせん断時に得られた弾塑性パラメータD、Mより $\kappa/(1+e_0)$ も得られる。実は、 $p'=0.2\text{kgf/cm}^2$ を通る直線の傾きが $\kappa/(1+e_0)$ となっている。従って、2本の理論曲線の交わる点で図1の初期降伏曲線の位置を決定することができる。さて、問題は実験結果と理論値とのギャップである。この程度のギャップでも透水係数の逆算に支障が生じることがわかっている。今回は、各圧密時点の ΔV のギャップをその時点の圧密度で評価しながら解析を進めていく方法を採用した。なお、白三角は有限要素法による計算値を表す。

図4は、体積変化 ΔV と逆解析で得られた透水係数の関係を示している。弾塑性領域にあって等方圧縮を受けている点b、点c、点dは半対数紙面上で一定の傾きのライン上に並んでいる。これが一般に知られている $e \sim \log k$ 直線性²⁾である。この図からも、せん断を受けている点e～点oの透水係数はほとんど変化していないことがわかる。また、部分排水せん断時の荷重放置過程で透水係数が減少する傾向は破壊に近づくにつれて顕著になっていることがわかる。

3. おわりに 応力ひずみ曲線の解析で得られている弾塑性パラメータの値を掲げる。M=1.3470, D=0.029, $\Lambda=0.6640$, $\lambda=0.13366$, $\kappa=0.0449$, $e_0=1.272$, $N'=0.659713$, $\nu'=0.35141$, $a=0.01802$, $b=1.10185$, $c=0.14084$ である。なお、多次元圧密プログラムには、DACSR³⁾を用いた。

参考文献 1) 三隅浩二：正規圧密粘土の降伏曲線および弾塑性パラメータの決定，土木学会論文集，No. 454/III-20, pp. 93-101, 1992. 9 2) 石原研而：土質力学，丸善株式会社，pp. 70-721, 1988 3) H. Ohta, A. Iizuka : Manual of DACSR F.E.M. Program, Kanazawa University, 1986

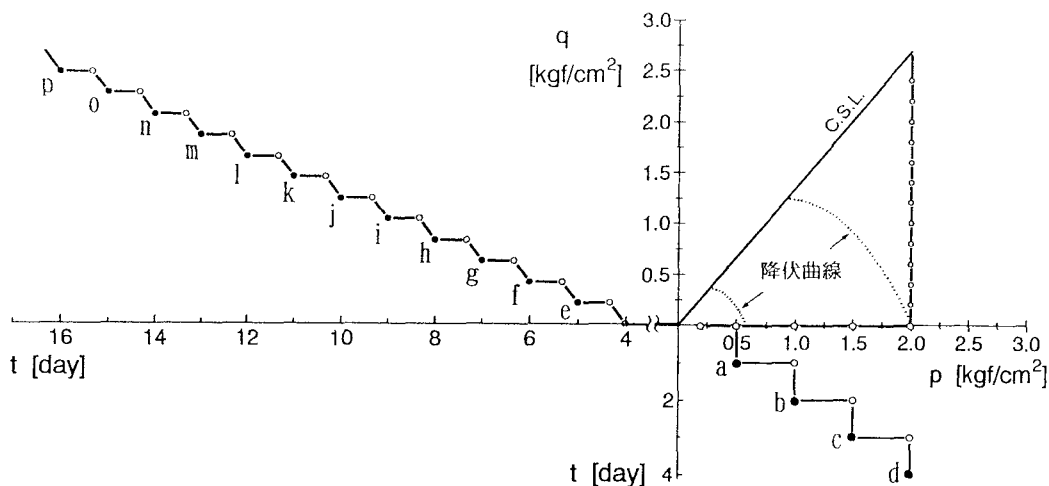


図1 部分排水試験の応力経路とタイムスケジュール

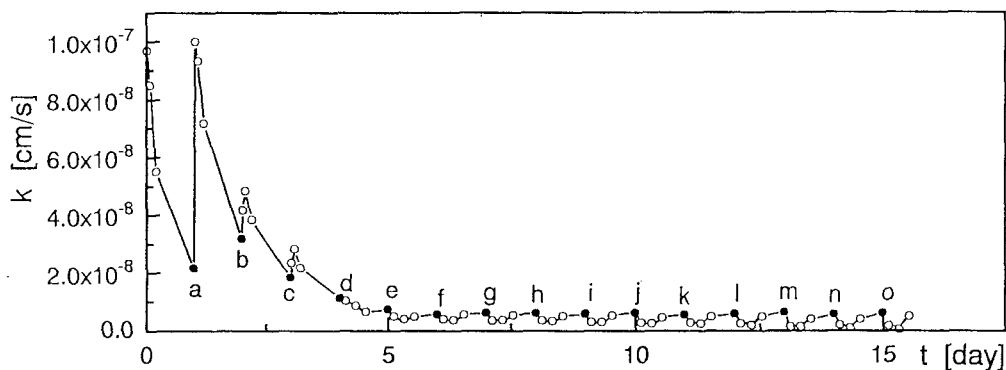


図2 等方圧密～部分排水せん断時における透水係数変化

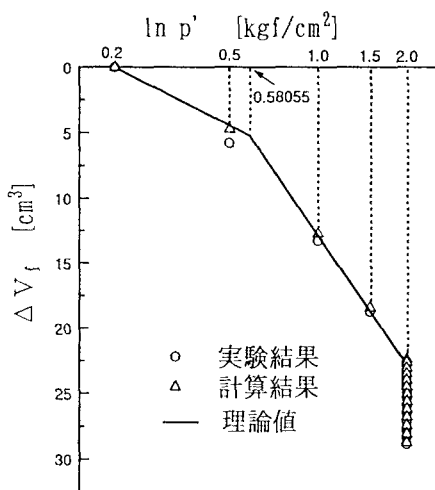


図3 最終体積変化 ΔV_f ～有効応力 p' 関係

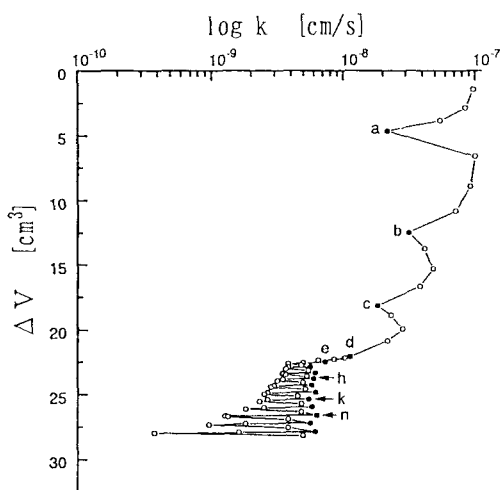


図4 体積変化 ΔV ～透水係数 k 関係