

# 一般面上の土の応力・ひずみ関係式のパラメーターの推定法

名古屋工業大学 正員 松岡元  
 学生員 ○奥野直己、 鷲野 淳治

ここでは、新たに提案した一般面(任意面)上の土の応力・ひずみ関係式(本講演概要集 III-18参照<sup>1)</sup>)中のパラメーター( $k_s, k_c, K, \phi, C_c/(1+e_0)$ )の推定法について述べる。推定法としては、標準圧密試験( $C_c/(1+e_0), C_s/(1+e_0)$ を求める)の他に、1)  $\phi (= \phi')$  の値だけがわかっている場合(例えば、N値などから推定)と、2) 非排水三軸(CU)試験(特に粘土に対して)、あるいは側圧一定の排水三軸(CD)試験(特に砂に対して)が行なわれている場合の2通りを考える。代表試料として藤の森粘土(LL=41%, PL=23%,  $G_s=2.67$ )と豊浦砂( $D_{50}=0.2mm, U_c=1.3, G_s=2.65$ )について説明するが、他の種々の現場採取試料についても適用性を検討している。なお、本文では応力は全て有効応力を表わすものとする。

### 1. $C_c/(1+e_0)$ と $\phi$ だけが与えられた場合の推定法(推定法-I)

図一1, 2は、粘土(藤の森粘土)および砂の非排水せん断時の有効応力経路の実測値(プロット)とそれを近似した楕円を示している( $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3, q = \sigma_1 - \sigma_3$ )。さて、非排水有効応力経路は1つの等含水比線であるので、点AからCへ至るときのせん断による体積ひずみ $\epsilon_v^S$ と点AからBへ至るときの圧密による体積ひずみ $\epsilon_v^C$ は等しいと置くことができる。せん断による体積ひずみ $\epsilon_v^S$ は、本講演概要集III-18を参考にし「複合滑動面の概念<sup>2)</sup>」を適用して3次元化を行なえば、次式のように求められる。

$$\epsilon_v^S = \frac{2 \cdot k_s \cdot \sin^2 \phi}{\{(K+1) - (K-1) \sin \phi\}} \left[ \frac{\{(K-1) - (K+1) \sin \phi\} \sin \phi \cdot m_0}{\sin \phi (\sin \phi - \sin \phi_{m_0})} \right] + \frac{4 \cdot K}{\{(K+1) - (K-1) \sin \phi\}} \cdot \log_e \frac{\sin \phi \{(K+1) - (K-1) \sin \phi\} \cdot m_0}{(K+1) (\sin \phi - \sin \phi_{m_0})} \quad (1)$$

また、点A→B間の圧密による体積ひずみ $\epsilon_v^C$ は次式で与えられる。

$$\epsilon_v^C = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \log_{10} \left( \frac{p_1}{p_0} \right) \quad (2)$$

式(1), (2)の体積ひずみを等しいと置くことにより、 $k_s$ を次のように定めることができる。

$$k_s = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot \log_{10} \left( \frac{p_1}{p_0} \right) \left/ \left[ \frac{2 \sin^2 \phi}{\{(K+1) - (K-1) \sin \phi\}} \cdot \left[ \frac{\{(K-1) - (K+1) \sin \phi\} \sin \phi \cdot m_0}{\sin \phi (\sin \phi - \sin \phi_{m_0})} \right] + \frac{4 \cdot K}{\{(K+1) - (K-1) \sin \phi\}} \cdot \log_e \frac{\sin \phi \{(K+1) - (K-1) \sin \phi\} \cdot m_0}{(K+1) (\sin \phi - \sin \phi_{m_0})} \right] \right] \quad (3)$$

ここで、KはRoveのストレス・ダイレイタンス関係の係数<sup>3)</sup>であって次式で表わされる。

$$R \equiv \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = K \cdot \left( -\frac{d\epsilon_3}{d\epsilon_1} \right), \quad K = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi_f}{2} \right) \quad (4)$$

ここに、 $\phi_f$ は実測値に適合(fit)するような値であって、 $\phi_u \leq \phi_f \leq \phi_{CV}$ (限界間隙比での $\phi$ )と言われている<sup>3)</sup>。以下、粘土の場合と砂の場合に分けて推定法を述べる。

#### a) 粘土の場合

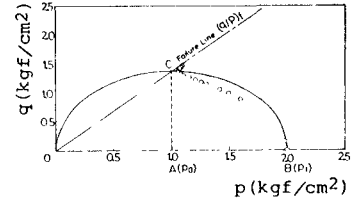
粘土の場合には、破壊時に体積ひずみ増分 $d\epsilon_v = 0$ となり、非排水有効応力経路が楕円の頂点まで達することが多い(図一1参照)。しかし、式(1)のせん断による体積ひずみ $\epsilon_v^S$ は破壊時に土無限大となるので、ここでは便宜上破壊時の主応力比の8割までせん断したときの体積ひずみと、そのときの同一等含水比線までの圧密による体積ひずみが等しいとして $k_s$ を算定した。また、破壊時には $d\epsilon_v = d\epsilon_1 + d\epsilon_3 = 0$ より $-d\epsilon_3/d\epsilon_1 = 1$ となるので、式(4)よりKは破壊時の主応力比 $R_f = (\sigma_1/\sigma_3)_f$ に等しくなる(すなわち、 $\phi_f = \phi$ )。

#### b) 砂の場合

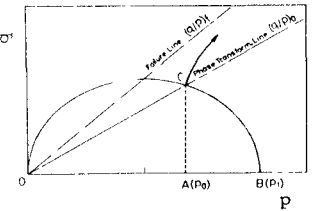
砂の場合には、 $d\epsilon_v = 0$ となる変相線に至るまでについて粘土の場合と同様に考える。すなわち、 $\phi_f = 0.7\phi$ と仮定して式(4)よりKを定め、図二の変相線の応力比 $(q/p)_0$ を決定する。また、破壊時の応力比 $(q/p)_f$ は $\phi$ から求めることができる。このとき、 $(p_1/p_0)$ は非排水有効応力経路を楕円に近似すると次式で表わされる。

$$p_1/p_0 = \{(q/p)_0^2 + (q/p)_f^2\} / (q/p)_f^2 \quad (5)$$

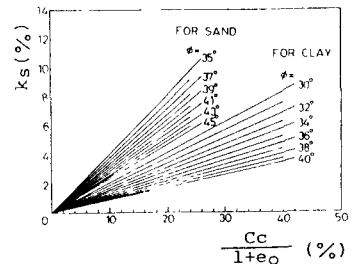
以上より、変相線までのせん断による体積ひずみ $\epsilon_v^S$ (図二のA→C)と、そのときの同



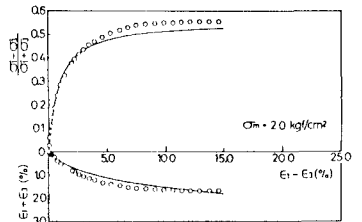
図一1 粘土の非排水せん断時の有効応力経路の実測値(藤の森粘土)とそれを近似した楕円



図一2 砂の非排水せん断時の有効応力経路を近似した楕円



図一3  $C_c/(1+e_0)$ と $\phi$ だけから推定される粘土と砂のパラメーター $k_s$ の値



図一4 2次元に変換した藤の森粘土の平均有効主応力一定試験結果と図一3により推定されたパラメーターによる解析値

一等含水比線までの圧密による体積ひずみ  $\epsilon_V^C$  (図-2のA→B) (式(5)を式(2)へ代入して算定)を等値すれば、式(3)より  $k_s$  を求めることができる。図-3は、以上のようにして  $C_c/(1+e_0)$  と  $\phi$  の値だけから算定された粘土と砂の  $k_s$  の推定値を示したものである。なお、 $k_s$  は概観的な考察よりえられた次式によって推定するものとする(説明省略)。

$$k_c = 0.44 \times \frac{C_c}{1+e_0} \quad (6)$$

なお、式(6)を用いて静止土圧係数  $K_0 = 1/(1+2\sin\phi)$  なる式が得られるが、この式は妥当な  $K_0$  値を与えるようである。

図-4, 5は、藤の森粘土と豊浦砂の平均有効主応力一定試験結果と、図-3および式(4) ( $\phi_f = \phi$  又は  $\phi_f = 0.7\phi$ ) によって推定した  $k_s$ ,  $K$  を用いた解析値の比較を示したものである。なお、三軸圧縮条件下の実測値を2次元へ変換するため、実測値の  $\epsilon_1$  を半分にして整理している。 $C_c/(1+e_0)$  と  $\phi$  だけから推定したのに対しては、解析値は実測値の傾向をよく説明している。

2. 圧密試験の他に、非排水三軸(CU)試験又は側圧一定排水三軸(CD)試験が行なわれた場合の推定法(推定法-II)

a) 粘土の場合

図-6は、藤の森粘土の非排水三軸試験結果を2次元に変換して( $\epsilon_1$ の実測値を半分にして)整理したものである。まず縦軸のピーク値を  $\sin\phi$  として  $\phi$  を求める。そして、主応力面から  $45^\circ$  をなす面 ( $\alpha \approx 45^\circ$ ) 上の構成式の形から、非排水せん断時には図-6の初期接線勾配をもって  $k_s$  の値とすることができる。ここで  $K$  は粘土の場合  $\phi_f = \phi$  として式(4)より定める。そして、 $k_c$  は式(6)より求めるものとする。なお、図-6中の実線は上記の推定法で定めたパラメーターによる本試験の解析値を示している。

b) 砂の場合

図-7, 8は、豊浦砂の側圧一定排水三軸試験結果を2次元に変換して、それぞれ  $\alpha = 45^\circ$  面上の応力比~せん断ひずみ~体積ひずみ関係、および主応力比~主ひずみ増分比関係で整理したものである。まず図-7の縦軸のピーク値を  $\sin\phi$  として  $\phi$  を求める。このとき側圧一定排水せん断時には、( $\epsilon_1 - \epsilon_3$ ) の中に圧密によるひずみも加わるが、近似的に図-7の初期接線勾配をもって  $k_s$  の値とすることができる。また破壊時には主ひずみ増分比が平均有効主応力の変化の影響を受けないことを考慮して、 $K$  は図-8の破壊点と原点を結んだ直線の勾配として定めることができる。そして  $k_c$  は式(6)より求めるものとする。なお、図-7中の実線は上記の推定法で定めたパラメーターによる本試験の解析値を示している。

最後に、 $k_c$  を推定する式(6)の妥当性を検討するために、藤の森粘土と豊浦砂の異方圧密試験結果 ( $R = \sigma_1/\sigma_3 = \text{一定}$ ) と解析値の比較を、それぞれ図-9, 10に示す。粘土と砂の異方圧密時の構成式については、紙面の都合で説明を省略する。

謝辞

日頃御援助頂いている本学山内利彦教授、有益な助言を頂いた中井照夫助教授に感謝致します。

参考文献

- 1) 松岡・岩田・榎原・鈴木(1986): 昭和60年度土木学会中部支部講演概要集, III-18
- 2) 松岡・中井(1985): 土と基礎, Vol.33, No.4, pp.15-23.
- 3) Rowe(1971): Proc. Roscoe Memorial Symposium, pp.143-194.
- 4) 松岡・藤井(1985): 第20回土質工学研究発表講演集, 113, pp.271-274.

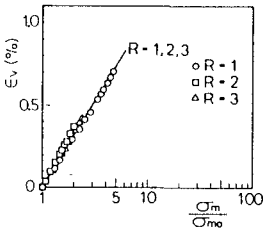


図-9 藤の森粘土の異方圧密試験結果と解析値

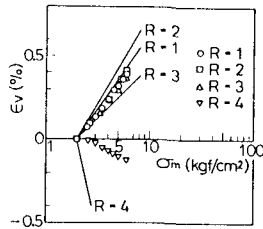


図-10 豊浦砂の異方圧密試験結果と解析値

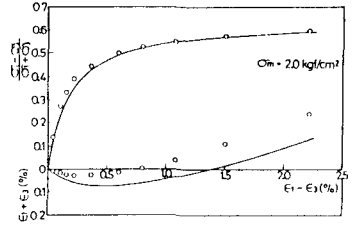


図-5 2次元に変換した豊浦砂の平均有効主応力一定試験結果と図-3により推定されたパラメーターによる解析値

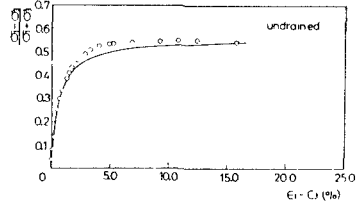


図-6 2次元に変換した藤の森粘土の非排水三軸(CU)試験結果によるパラメーターの推定

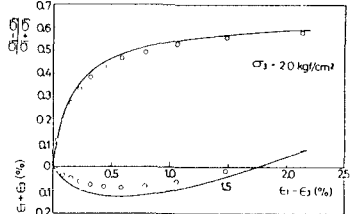


図-7 2次元に変換した豊浦砂の側圧一定三軸(CD)試験結果によるパラメーターの推定

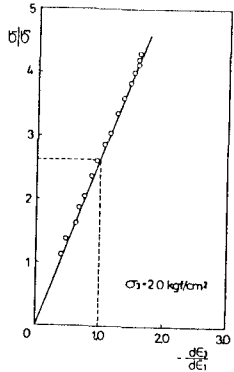


図-8 2次元に変換した豊浦砂の側圧一定三軸(CD)試験結果における主応力比~主ひずみ増分比関係