

平成21年度土質力学第二 期末テスト(2010.2.10)解答例

1. 土の強度に関する以下の英語を和訳せよ。(10)

i) void ratio, ii) angle of internal friction, iii) cohesion, iv) triaxial compression test, v) sampling disturbance

解答:i)間隙比、ii)内部摩擦角、iii)粘着力、iv)三軸圧縮試験、v)サンプリング時の乱れ

2. 以下の用語を英訳し、簡単に説明せよ。尚、その説明には、カッコ内の用語を用いること。(15)

- i) モール・クーロンの破壊規準(最大主応力、最小主応力)、
- ii) 土のダイレイタンス(粒状体、せん断、体積変化)
- iii) クイッククレイ(溶脱、鋭敏比)

解答:

i) Mohr-Coulomb failure criteria :

土要素の直応力 $\sigma$ とせん断力 $\tau$ を変数としたCoulombの破壊基準( $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ ,  $\tau_f$ は破壊面上のせん断力、 $c$ ,  $\phi$ は粘着力と内部摩擦角)を最大、最小主応力( $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ )をとって書き換えたもので、以下の式で与えられる。

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = c \cos \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi$$

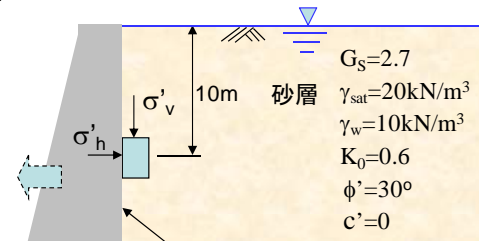
ii) Soil Dilatancy :

粒状体特有のせん断を受けた場合の体積変化特性。密に詰まった土では、正のダイレイタンス(体積膨張)、緩く詰まった土では、負のダイレイタンス(体積圧縮)を示す。もし、体積変化を許さない非排水条件のせん断が飽和とに対してなされると、ダイレイタンス特性によって前者(著しい過圧密粘土)では、負の過剰間隙水圧が、後者(軽い過圧密、正規圧密粘土)では、正の過剰間隙水圧が発生する。

iii) Quick clay:

海中で堆積した粘土地盤が地殻変動、海水面の低下などで陸地化し、長年にわたる地下水流の影響で粒子に吸着していた陽イオン( $\text{Na}^+$ 等)が溶脱し、粘性を有していた吸着水層が自由水となり、極めて不安定な骨格構造を保ったままで堆積した粘土。液性指数は1を大きく上回り、非常に乱れやすく、鋭敏比が極めて大きく100を超えることがある。言い換えると繰り返すと、強度がほぼゼロの液体状になる。

3. 図-1に示すような滑らかな壁面の鉛直擁壁で支えられた飽和砂地盤(地下水位:地表面)を考える。砂は $K_0$ 状態で堆積しており、 $K_0$ 値は0.6である。また、この砂の物理特性、強度定数は図に示す通りである。水の単位体積重量を $10\text{kN/m}^3$ として、以下の問いに答えよ。(25)



滑面:せん断力ゼロ  
図-1

(1) この砂の間隙比はいくらか?

以下では壁に面した深さ5mの土要素について考える。

(2) 深さ10mにおける土要素の全応力、有効応力に関するモールの円を描き、有効応力のモール円には極の位置を示せ。(6)

(3) この擁壁を前方にゆっくり移動させることにより水平応力を減少させ、壁面直近の土を破壊させる。この時の深さ10mの土要素の有効水平直応力( $\sigma'_{hf}$ )はいくらか?(5)

(4) (3)における深さ10mの地点の有効応力のモール応力円を描き、更に破壊条件を満足する面の傾きを求めよ。(5)

解答:

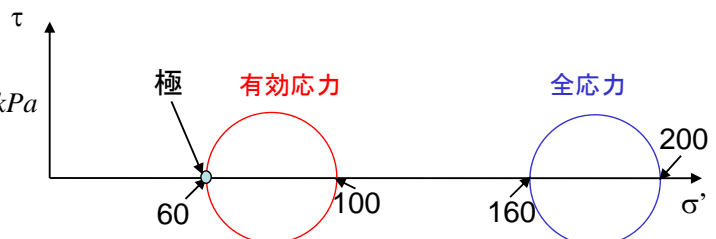
(1)  $\frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w = \gamma_{sat} \Rightarrow \frac{2.7 + e}{1 + e} = 2 \therefore e = 0.7, w = \frac{e S_r}{G_s} = \frac{0.7 \times 100}{2.7} = 25.9(\%)$

(2) 深さ10mにおいて

$u = 10\gamma_w = 100\text{kPa}$

$\sigma_v = 10\gamma_{sat} = 200\text{kPa}, \sigma'_v = 10\gamma_{sat} - u = 100\text{kPa}$

$\sigma'_h = K_0\sigma'_v = 60\text{kPa}, \sigma_h = \sigma'_h + u = 160\text{kPa}$



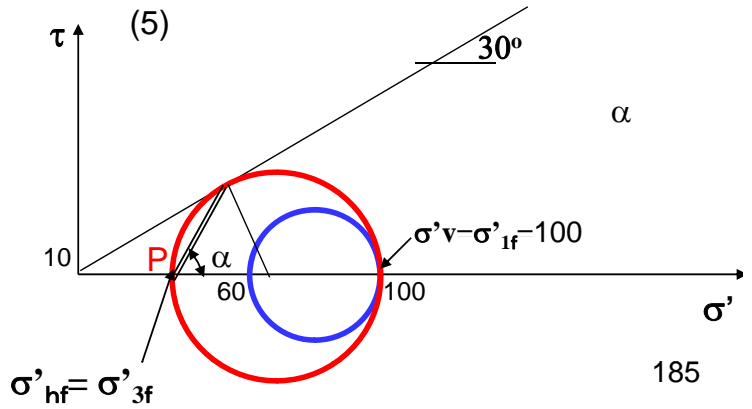
(4) モール・クーロン式

$$\frac{\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f}}{2} = c' \cos \phi' + \frac{\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f}}{2} \sin \phi'$$

$\sigma'_{1f}=100\text{kPa}, c'=0\text{kPa}, \phi'=30^\circ$ を代入

$$\sigma'_{hf} = \sigma'_{3f} = 100 \left( \frac{1}{3} \sigma'_{1f} \right) = 33.3\text{kPa}$$

(6)  $\alpha = 45^\circ + \phi'/2 = 60^\circ$



4. 最大先行圧密圧力が100kPaの飽和粘土供試体に対して三軸セル内で以下のような試験を行った。

i) まずセル圧400kPaで等方圧密する。ii) 圧密終了後、B値を求めるために、非排水条件で等方的にセル圧を100kPa上昇させる。iii) B値測定後、セル圧を400kPaに戻し、セル圧( $\sigma_3$ )一定の下で非排水圧縮せん断試験を行う。この粘土の有効粘着力 $c'=0$ 、有効摩擦角 $\phi'=30^\circ$ 、壊時間隙水圧係数 $A_f=0.8$ であった。以下の問いに答えよ。(20)

- (1) この粘土供試体が完全に飽和しているとすると、ii)において生じる間隙水圧( $\Delta u$ )およびB値はいくらか。
- (2) この粘土の破壊時過剰間隙水圧 $\Delta u_f$ はいくらか。
- (3) 破壊時の鉛直有効応力( $\sigma'_{1f}$ )、側方有効応力( $\sigma'_{3f}$ )はそれぞれいくらか。
- (4) この供試体の破壊面の有効直応力( $\sigma'_i$ )とせん断力( $\tau_i$ )は、それぞれいくらか。

(1) B値は1で、 $\Delta u=100\text{kPa}$

モール・クーロン規準式

(2)  $\frac{\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f}}{2} = c' \cos \phi' + \frac{\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f}}{2} \sin \phi'$  ←  $c'=0, \phi'=30^\circ$

$\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f} = \frac{\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f}}{2} = \frac{2\sigma_{3f} + \sigma_{1f} - \sigma_{3f} - 2u_f}{2}$  ← 初期:  $\sigma_1 = \sigma_3, \sigma_3 = \text{const.}$ より

$\Delta u = B[\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$  ←  $u_f = A_f(\sigma_1 - \sigma_3)$   
 $= \sigma_{3f} + (1/2 - A_f)(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})$

$\therefore \sigma_{1f} - \sigma_{3f} = \frac{\sigma_{3f}}{1/2 + A_f} = \frac{400}{1.3} = 308\text{kPa}$

$u_f = A_f(\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) = 246\text{kPa}$

(3)  $\sigma'_{3f} = \sigma_{3f} + u_f = 154\text{kPa}$

$\sigma'_{1f} = \sigma'_{3f} + (\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) = 462\text{kPa}$

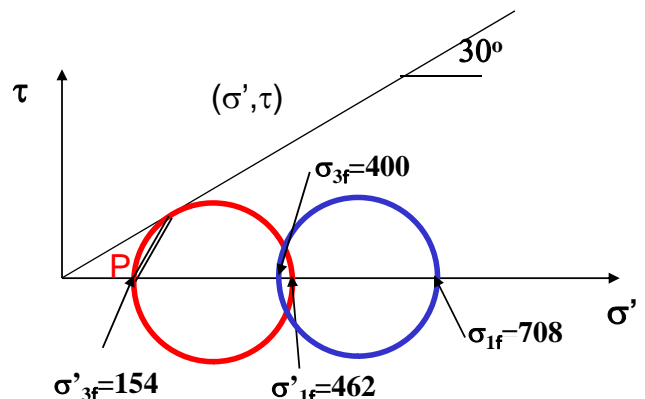
$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} + (\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) = 708\text{kPa}$

(4)  $(\sigma'_f, \tau_f) =$

$\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi', \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos \phi'$

$= 231, 133$

$\sigma'_f = 231 \text{ kPa}, \tau_f = 133 \text{ kPa}$



5. 等方正規圧密および限界状態線が以下の式で与えられる粘土試料がある。

限界状態線:  $v = e + 1 = 3.0 - 0.2 \ln p'$ ,  $q' = 1.4 p'$       等方正規圧密線:  $v = 3.2 - 0.2 \ln p'$ ,  $q' = 0$

等方正規圧密線: 図2に示すようなこの粘土試料のA,B二つの初期状態について、以下の問いに答えよ。  
ここでA点は等方正規圧密線上の $p' = 400 \text{ kPa}$ の点、B点はA点と比体積が同じで $p' = 50 \text{ kPa}$ の点 (25)

- (1) A試料有効摩擦角( $\phi'$ )はいくらか?
- (2) A, Bから三軸排水圧縮せん断をすると、ピーク強度付近でどのような体積変化を示すか。理由も説明せよ。
- (3) Aから三軸排水せん断試験をした場合、最大軸差応力( $q'_f$ )はいくらになるか。
- (4) A,Bから三軸非排水圧縮せん断をすると、非排水せん断強度はそれぞれいくらになるか。
- (5) この時のAの破壊時間隙水圧係数( $A_f$ )はいくらになるか。

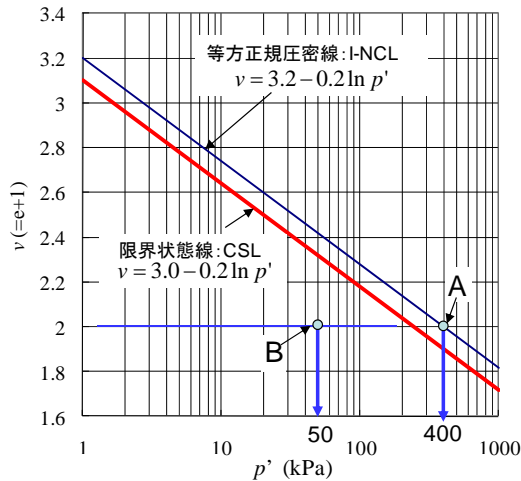


図-2(1) 限界状態線と等方正規圧密曲線の $v-p'$ 関係

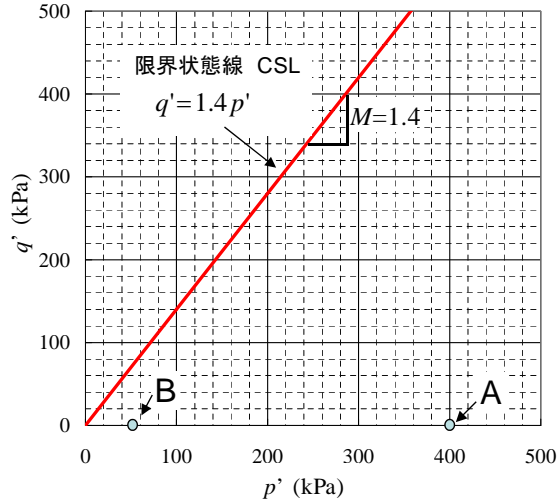


図-2(2)  $p'-q'$ 面の限界状態線

(1)  $\sin \phi' = \frac{3M}{6+M} = \frac{3 \times 1.4}{6+1.4} = 0.603$ ,  $\phi' = 34.6^\circ$

(2) Aは、正規圧密状態で、湿潤側にあり、せん断と共に体積圧縮するが、破壊(ピーク強度時)が限界状態と一致するので、体積変化はなくなる。Bは過圧密状態でしかもCSLの左側(乾燥側)に位置する。従ってせん断により正のダイレイタンス、即ち、体積膨張を示す。

(3) A点からの三軸排水圧縮試験の応力パスは、図2(2)のA点(400,0)から傾き $q'/p' = 3$ の直線となる。破壊点軸差応力は、この直線とCSL( $q' = Mp'$ )の交点の $q'$ 。

$p' = 400 + \frac{q'}{3}$ を $q' = 1.4 p'$ に代入

$3q'_f = 3 \times 560 + 1.4q'_f$ ,  $\therefore q'_f = 1680/1.6 = 1050 \text{ kPa}$

図から求めても可。

(4)  $p' = 400 \text{ kPa}$ における正規圧密線上の間隙比 $e$ は

$v = 3.2 - 0.2 \ln(400) = 2.002$

この間隙比におけるCSLの $p'$ は

$p'_f = \exp\left(\frac{\Gamma - v}{\lambda}\right) = \exp\left(\frac{3.0 - 2.002}{0.2}\right) = 147 \text{ kPa}$

$\therefore q'_f = Mp'_f = 1.4 \times 147 = 206 \text{ kPa}$ ,  $\therefore c_u = \frac{q'_f}{2} = 103 \text{ kPa}$

A,Bとも間隙比が同じであるので非排水強度は同じとなる。

(5) 破壊時の過剰間隙水圧は $\Delta u_f$ は

$p_f = p_i + \Delta p = 400 + (\Delta \sigma_1 + 2\Delta \sigma_3)/3 = 400 + q_f/3 = 469 \text{ kPa}$

$\Delta u = p - p' \Rightarrow \Delta u_f = p_f - p'_f = 469 - 147 = 322 \text{ kPa}$ ,  $\therefore A_f = \Delta u / (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) = 1.56$

6. 砂地盤の液状化対策の一つに締固め工法がある。なぜ砂を締固める液状化対策となるかを液状化のメカニズムと関連して説明せよ。(10)

飽和した緩く詰まった砂が、地震等により繰り返しせん断を短時間に受けると、ほぼ非排水が満足される条件でのせん断となるため、ダイレイタンスーによる体積圧縮が生じる代わりに、正の過剰間隙水圧が発生し、有効応力が低下する。これにより土の強度、剛性も低下し、粘着力がない砂の場合、有効応力がゼロになると、強度ゼロの状態となる。

#### 締め固め工法

土を締め固めることにより、密にし、せん断に伴うダイレイタンスーを負(体積圧縮)から正(体積膨張)に変え、繰り返しせん断により発生する過剰間隙水圧の上昇を抑える。(具体的な工法としては、SCP、サンドコンパクションパイル工法、動圧密工法、バイブロフォローテーション工法などがある)