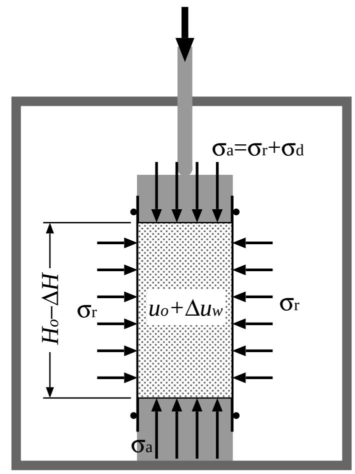
2007年度 地盤工学基礎演習課題　　[2007.12.5 出題]

問題

土供試体に，右下図の三軸試験装置で初期条件として，セル圧：$\sigma_a = \sigma_r = 200$kPa，間隙水圧：$u_0 = 100$ kPa を与えた。このあと水平応力 σ_r を一定にして非排水圧縮せん断試験 (CU 試験) を行ったところ，軸差応力 $\sigma_d = 240$kPa で破壊が生じ，このとき発生した過剰間隙水圧は $\Delta u_w = 20$kPa であった。
以下の問に答えよ。

(1) 破壊時の有効応力，σ'_r, σ'_a をそれぞれ求めよ。
(2) 破壊時の有効応力に関するモール円を描け。図は第一象限の上半円部のみで良い。
(3)$c' = 0$ を仮定し，有効応力に関する破壊包絡線を描き入れ，せん断抵抗角 ϕ' を計算せよ。
(4) 三軸供試体の初期高さが $H_0 = 100.0$ mm であり，破壊時の圧縮量は $\Delta H = 2.26$mm であった。このときの軸方向 (σ_a の作用方向) のひずみ ϵ_a と，水平方向のひずみ ϵ_r を計算せよ。

※ kPa $\equiv$ kN/m^2；
応力の単位は圧力の単位と本質的に等価であり，三軸試験では荷重を水圧や空気圧で制御するので圧力の単位を用いることが多い。



解答例

(1)
破壊時に作用している軸方向の全応力は,

$$\sigma_a = \sigma_r + \sigma_d = 200 + 240 = 440 \quad \text{(kPa)}$$

また，破壊時の間隙水圧は,

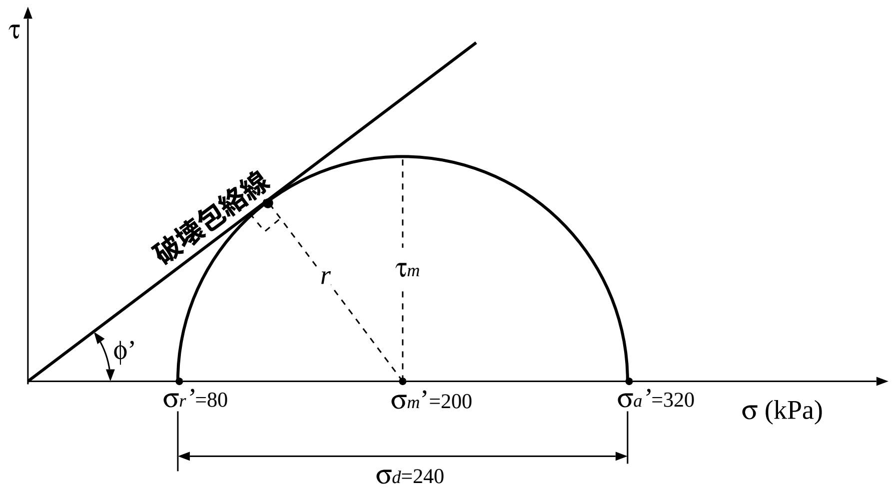
$$u_w = u_0 + \Delta u_w = 100 + 20 = 120 \quad \text{(kPa)}$$

したがって，有効応力はそれぞれ次のとおりである。

$$\sigma'_a = \sigma_a - u_w = 440 - 120 = 320 \quad \text{(kPa)}$$

$$\sigma'_r = \sigma_r - u_w = 200 - 120 = 80 \quad \text{(kPa)}$$

(2)
三軸圧縮試験では，σ'_r が最小有効主応力 σ'_3，σ'_a が最大有効主応力 σ_1 であり，軸差応力 σ'_d が円の直径になる。



(3)
円の中心は，

$$\sigma_m = \frac{\sigma'_a + \sigma'_r}{2} = \frac{320+80}{2} = 200 \quad (\mathrm{kPa})$$

また円の半径は，

$$r = \tau_m = \frac{240}{2} = 120 \quad (\mathrm{kPa})$$

モール円の幾何学的な関係より，

$$\phi' = \sin^{-1}\left(\frac{r}{\sigma'_m}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{120}{200}\right) = 36.9^\circ$$

(4) 直ひずみの定義より，

$$\epsilon_a = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{2.26}{100.0} = 2.26 \times 10^{-2}$$

三軸で非排水せん断 $\equiv$ 体積ひずみゼロの条件より，下式が成り立つ，

$$\epsilon_v = \epsilon_a + \epsilon_r + \epsilon_r = \epsilon_a + 2\epsilon_r = 0$$

したがって水平ひずみは，

$$\epsilon_r = -\frac{\epsilon_a}{2} = -\frac{2.26 \times 10^{-2}}{2} = -1.13 \times 10^{-2}$$

地盤工学では，負のひずみは伸張・膨張を意味しており，この場合は軸方向に圧縮し，水平方向にはらみだしている状態であることがわかる。

補足 1

(4) において，

$$\epsilon_v = \epsilon_a + \epsilon_r = 0$$

としてしまった間違いが多く見られた。水平方向は２成分 (２軸) あるので注意すること。

補足 2 参考までに，すべり面の傾きを調べてみよう。

今回の演習問題の三軸圧縮条件では，図 (a) のように極 P が最小主応力の点と同じ位置になり，ここから破壊包絡線の接点 A に結んだ直線がすべり面の傾きとなる。一方，水平・鉛直面が主応力面でない一般的な場合，たとえば前回の演習問題では図 (b) のようになる。ところが，図 (a) のように，最小主応力点から線を引いた解答が少なからず見られた。

すべり面の傾きを求めるポイントは，とにかくまず極を求め，その極から，求めたい面の応力点に直線を引くことである。

図 (c) のように，鉛直面に最大主応力が作用する場合は，極の位置が σ_1 の点に一致し，すべり面の傾きが緩やかになることがわかる。この議論は，このあと学ぶ土圧理論で重要となってくるのでよく理解しておくこと。

図 (b) の応力状態に対して，直応力が同じでせん断応力の方向が逆の場合を図 (d) に示す。極の位置が変わるため，すべり面の方向も変わってくる。

ところで，図 (d) は図 (b) を裏側から見ているだけだから，傾斜角が変化するのはおかしいのでという疑問をもつかもしれない。実は，破壊包絡線は負の象限にもう一本引くことができるので，そこからもう一つのすべり面が定義される。その傾きは大きさが図 (b) と同じで線対称の関係 (すなわち裏側から見ると同じ) になることがわかる。これらを図 (d) 内に破線で示す。