

例題とその解答例（有効応力経路）

問題

飽和正規圧密粘土を圧密非排水三軸圧縮試験(CU 試験)を行った。

その結果が以下の表のようになった。

試験 No.	初期有効拘束圧 σ_3 (kPa)	破壊時軸差応力 q (kPa)
1	100	90
2	200	180

この粘土の破壊時の間隙圧係数 A が 0.8 であるとき，試験 1 と 2 の有効応力経路の概略を描きなさい。

また，この粘土の限界状態線の傾き（破壊時の q/p' ）を求めよ。

【解答例】

通常，三軸試験の結果といえば，特に断らない限り，暗黙にせん断過程のみ結果を示していることが多い。

まず，全応力の経路を求める。

等方圧密過程でせん断過程開始時の応力状態は， $\sigma_1 = \sigma_3 (= \sigma_1' = \sigma_3')$ であり，全応力も有効応力も等しく，また， $(p, q) = (\sigma_3, 0)$ である。せん断過程中的全応力での平均全応力増分は

$$\Delta p = \frac{1}{3}(\Delta \sigma_1 + 2\Delta \sigma_3) \text{ であるが，}$$

せん断過程では，拘束圧 σ_3 は一定のまま σ_1 のみを増加させていくので， $\Delta \sigma_3 = 0$ であり，

結局，平均応力増分は $\Delta p = \frac{1}{3} \Delta \sigma_1$ となる。

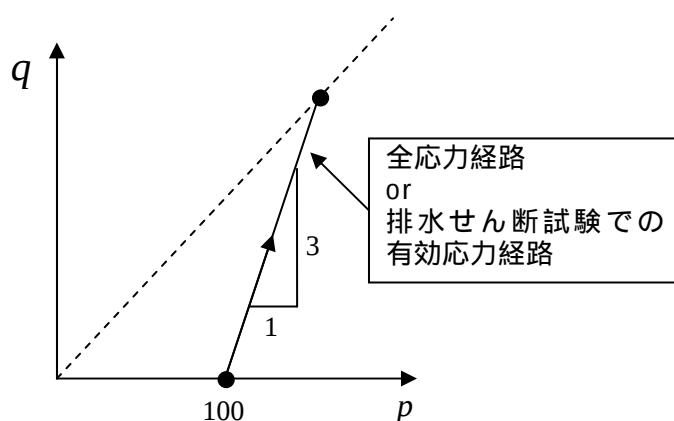
一方，軸差応力増分は $\Delta q = \Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3$ であるが，やはり $\Delta \sigma_3 = 0$ より $\Delta q = \Delta \sigma_1$ となる。

以上より， q と p の増加の割合は $\Delta q / \Delta p = 3$ となる。

試験 No.1 の場合の全応力の推移を図示すると右図のように，等方応力状態(100,0)からせん断につれて 1:3 の勾配の直線で上昇する経路を描くことができる。これを全応力経路と呼ぶ。

また，排水せん断条件の時は，常に間隙水圧はゼロと仮定するので，全応力 = 有効応力であり，排水せん断試験における有効応力経路もやはり，右図のような 1:3 の勾配の直線となる。

この問題は非排水せん断試験であるので，実際はせん断変形に応じてダイレイタンシーのために間隙水圧が発生することになる。（正規圧密粘土ならば，せん断変形によって体積は



間隙水圧は Skempton の間隙水圧係数によって予測することができる。すなわち、せん断過程における軸差応力の増加量 Δq より、

$$\Delta u = A \cdot \Delta q$$

となる。

試験 No.1 の場合には，破壊時の軸差応力を 90kPa としているので，破壊時の間隙水圧は

$$\Delta u = A \cdot \Delta q = 0.8 \times 90 = 72$$

となる。

破壊時の軸差応力が $q = 90$ であることより，破壊時の平均応力は

$$p = 100 + \frac{90}{3} = 130$$

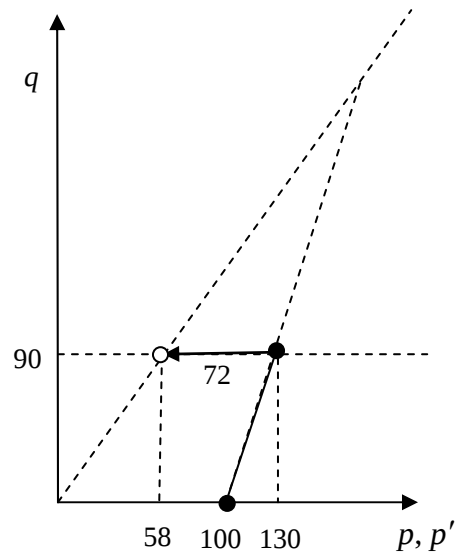
となる。

破壊時の平均有効応力は、この全応力の平均応力から間隙水圧を引けば良いから、

$$p' = 130 - 72 = 58$$

となる。

せん断中の有効応力の経路は、 $(p', q) = (100, 0) \rightarrow (58, 90)$ までの経路であるが、これは直線とはならず、上に凸な曲線となる。(その理由についてはここでは除外する)



最終的に、正規圧密粘土の三軸試験の非排水せん断試験（CU 試験）で得られる有効応力経路は、下図のようになる。

