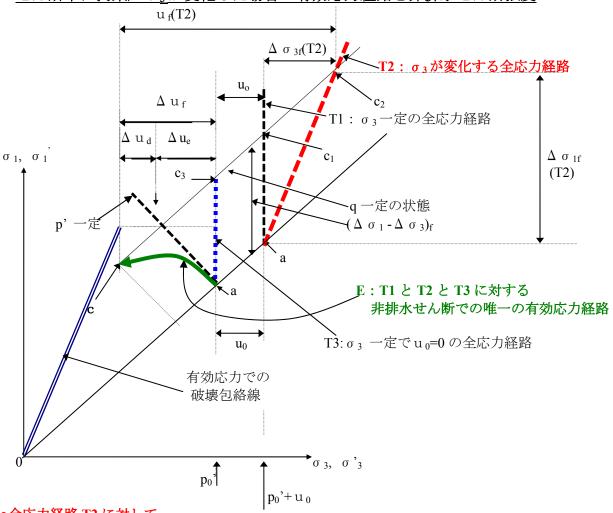
## せん断中に拘束圧σ₃が変化した場合の有効応力経路と非排水せん断強度



### ●全応力経路 T2 に対して、

点 
$$c_2$$
(せん断破壊時): 全応力で  $\sigma_{1f}=p_0$ '+  $u_0$ + $\Delta\sigma_{1f}$   $\sigma_{3f}=p_0$ '+  $u_0$ + $\Delta\sigma_{3f}$  (a: 7.22)

点 c の有効応力を求めると:  $\sigma_{lf}$ '= $\sigma_{lf}$ - $u_f$   $\sigma_{3f}$ '= $\sigma_{3f}$ - $u_f$  ただし、 $u_f$ = $u_0$ + $\Delta u_f$ + $\Delta \sigma_{3f}$ 

従って、

$$\sigma_{1f}' - \sigma_{3f}' = (\underline{\sigma}_{1f} - u_f) - (\sigma_{3f} - u_f) = \{(\underline{p}_0' + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{1f}) - (\Delta u_f + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{3f})\} - \{(p_0' + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{3f})\} - (\Delta u_f + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{3f})\} - \{(p_0' + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{3f})\} - \{(p_0' + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{3f})\} - \{(\underline{h}_0' + \underline{u}_0 + \Delta \sigma_{3f}$$

 $-\{(点 c_2 での全応力 \sigma_{3f}) - (点 c_2 と点 c の間での間隙水圧の差)\}$  これは、点  $c_2$  の全応力状態と点 c の有効応力状態の関係を示している。

次に(b)式から  $\Delta \sigma_{3f}$  を消去すると、

これは、点  $\mathbf{c}_1$  の全応力状態と点  $\mathbf{c}$  の有効応力状態の差を示していて、全応力経路が  $\mathbf{T}1$  である試験を意味する。

さらに、  $u_0$ を消去して、  $\sigma_{1f}'-\sigma_{3f}'=\{p_0'+(\Delta\sigma_1-\Delta\sigma_3)_f-\Delta u_f\}-(p_0'-\Delta u_f)$ 

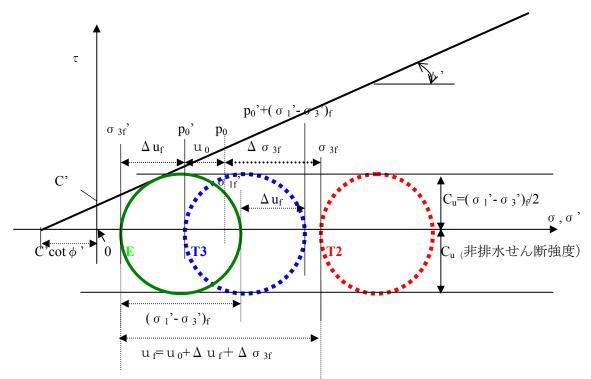
これは、 これは、点  $\mathbf{c}_3$  の全応力状態と点  $\mathbf{c}$  の有効応力状態の差を示していて、全応力経路が  $\mathbf{T3}$  である試験を意味する。

すなわち、*有効応力経路は、全応力経路に依存しない。* 

- すなわち、飽和土の非排水状態での破壊時の有効応力状態は、
  - ①初期間隙水圧 $u_0$ の大きさ、せん断時の $\sigma_3$ の変化量 $\Delta \sigma_{3f}$ に依存しない。

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{1f} = p_0 + \Delta (\sigma_1 - \sigma_3)_f - \Delta u_f \\ \sigma_{3f} = p_0 - \Delta u_f \end{array} \right.$$
 (7.24)

- ②異なる全応力経路 T1, T2, T3 に対して、有効応力経路 Eは一つだけ存在する。
- ③  $\Delta$   $u_f$ だけが、土の物性の関係している。 より正しくは、 $\Delta$   $u_f$ = $\Delta$   $u_e$ + $\Delta$   $u_d$  であり、 $\Delta$   $u_e$ = $\Delta$   $q_f$ /3 であるから、 $\Delta$   $u_d$ が土の物性(contractancy, dilatancy, 体積剛性率)に強く関係している。



■全応力で表した破壊時の Mohr 円T2とT3は、有効応力で表すと同一の Mohr 円Eになる。

# ■間隙水圧係数について。

 $\Delta u_f = A_f \cdot \Delta q_f$ 

A<sub>f</sub>: : 破壊時の過剰間隙水圧係数(教科書 191 頁、図 7.32 参照)

 $\Delta q = \Delta (\sigma_1' - \sigma_3')_f$ : せん断強度

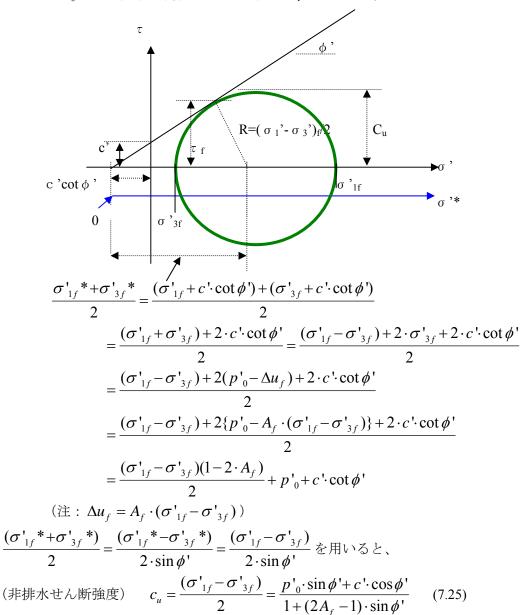
等方応力状態からのせん断に対しては、 $(\sigma_1' - \sigma_3')_f$ に等しい。

あるいは、 $\Delta u_d = (A_f)_d \cdot \Delta q_f$  と置くと

 $\Delta u_f = \{1/3 + (A_f)_d\} \cdot \Delta q_f$ 

の関係にあるので、 $A_f=1/3+(A_f)_d$ であり、 $A_f \ge (A_f)_d$  は相互に独立ではない。

- a) (A<sub>f</sub>)<sub>d</sub>がより本質的なパラメータ。
- b) 正規圧密 (過圧密比 n=1.0) の時、土はせん断により体積収縮(contractancy)を示すので、 $(A_f)_d$ は正となり、従って $A_f$ は1/3以上になっている。



- ●注意; せん断面のせん断強度  $τ \in C_u \cdot \cos \phi$  は  $C_u$  よりも小さい。
- ●粒子間に真の粘着力 c'がない場合(通常の砂礫や粘土)の場合は、

$$C_{\rm u}$$
 (非排水せん断強度) = 
$$\frac{p_0' \cdot \sin \phi'}{1 + (2A_f - 1)\sin \phi'}$$
 (7.26)

\*正規圧密粘土では、 $\phi$  'と  $A_f$ は圧密応力  $p_0$ 'にあまり依存しない。従って、

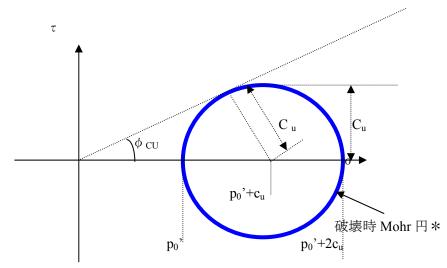
$$C_u = m \cdot p_0', \qquad m = \frac{\sin \phi'}{1 + (2A_f - 1)\sin \phi'}$$
 (7.27)

と表現することがある(図7.23)。

\* しかし、比例定数 m は $\phi$ 'と  $A_f$ の関数であり、これらの値を求めるためには、圧密非排水三軸圧縮試験中の間隙水圧uの値を絶えず測定する必要がある。

- $*C_u$ は $p_0$ 'の関数として分かれば良い、と考え三軸圧縮試験中の間隙水圧を測定しないで、あるいはその測定結果を利用しない方法がある。これは、かっては三軸圧縮試験中での間隙水圧の測定は、自動化されておらず非常に大変であったからである。
- \* すなわち、以下の図で示す「圧密非排水内部摩擦角  $\phi_{CU}$ 」が分かれば良いと考える。  $\phi_{CU}$ は、本質的な土の物性ではないが、便利なので実務で良く用いられている。

(7.25), (7.26)による表現方法を有効応力法(正しくは、破壊時有効応力法)と呼び、この方法を、全応力法(正しくは、圧密時有効応力法)と呼ぶ。



\*この Mohr 円は、破壊時の有効応力で表現されている訳ではないことに注意。

$$\sin \phi_{\text{CU}} = \frac{\frac{c_u}{p_0'}}{1 + \frac{c_u}{p_0'}} = \frac{m}{1 + m}, \qquad m = \frac{\sin \phi'}{1 + (2A_f - 1)\sin \phi'}$$

正規圧密粘土では、m=0.3-0.6 だから、 $\sin\phi_{CU}=0.23-0.375$ 、 $\phi_{CU}==13-23$  度である。

## 7. 4. 2 過圧密粘土の非排水せん断強度

正規圧密粘土; せん断時の体積収縮(contractancy)傾向が大きい(緩い土)。

→過剰間隙圧係数 A<sub>f</sub>が、正。

過圧密粘土; 過圧密比が大きくなるほど、せん断時の体積膨張(dilatancy)傾向が大

きくなる。

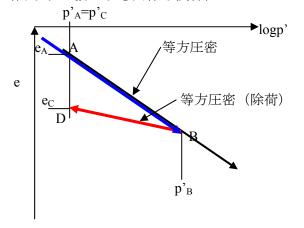
→過剰間隙圧係数 A<sub>f</sub>が小さいか、あるいは負になる。

→Cu がより大きくなる。

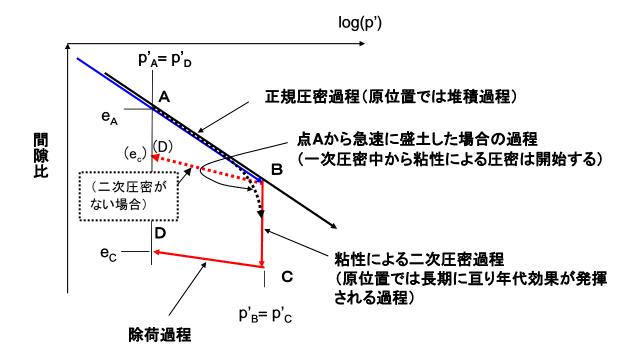
$$C_u$$
 (非排水せん断強度) = 
$$\frac{p_0' \cdot \sin \phi'}{1 + (2A_f - 1)\sin \phi'}$$
 (7.26)

### 正規圧密粘土と過圧密粘土の排水三軸圧縮試験

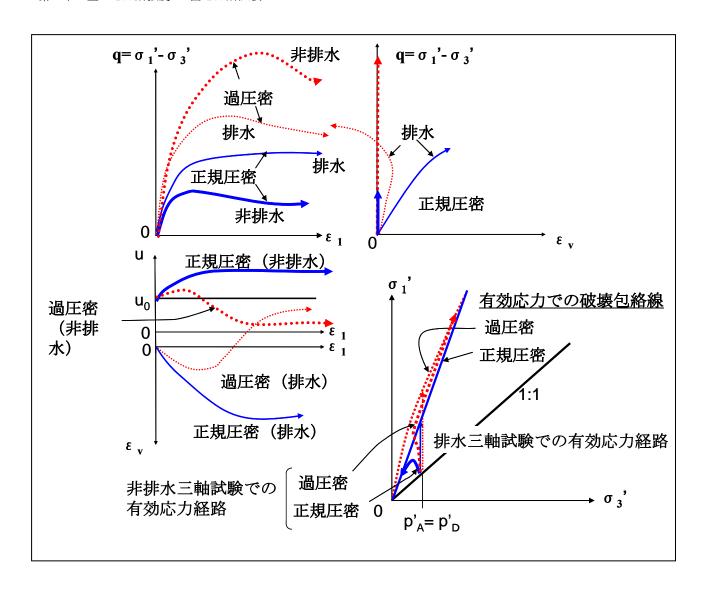
(密な砂と緩い砂も同様な関係)



- ■等方圧密でも、一次元圧密と 同様な圧密曲線が得られる。
- ■C での過圧密比= p'<sub>B</sub>/p'<sub>C</sub>
- e<sub>C</sub><e<sub>A</sub> なので、過圧密粘土の有効応力で 表した破壊包絡線は、正規圧密粘土の 破壊包絡線よりもやや上に位置する。

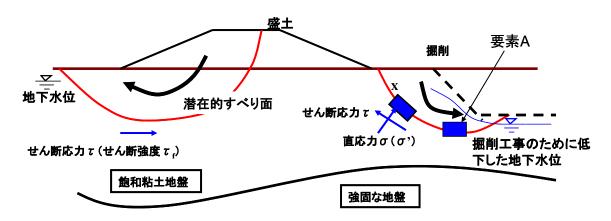


二次圧密をしない場合とした考慮した場合の正規圧密粘土と過圧密粘土の関係



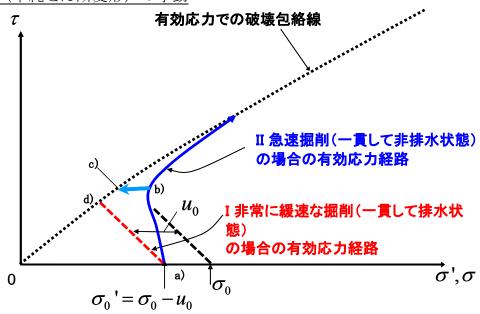
- ■過圧密の影響は、排水せん断の時よりも、非排水せん断の時の方が大きい。
- ■密度の影響は、排水せん断よりも、非排水せん断の時の方が大きい。

- ■過圧密粘土地盤の掘削
  - a) 急速に掘削した方が安全か? ゆっくり掘削した方が安全か?
  - b) 掘削斜面の長時間経過後の崩壊



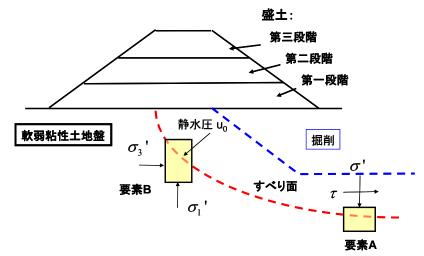
飽和粘土地盤で盛土・掘削工事の模式図

要素 A (単純せん断変形) の挙動

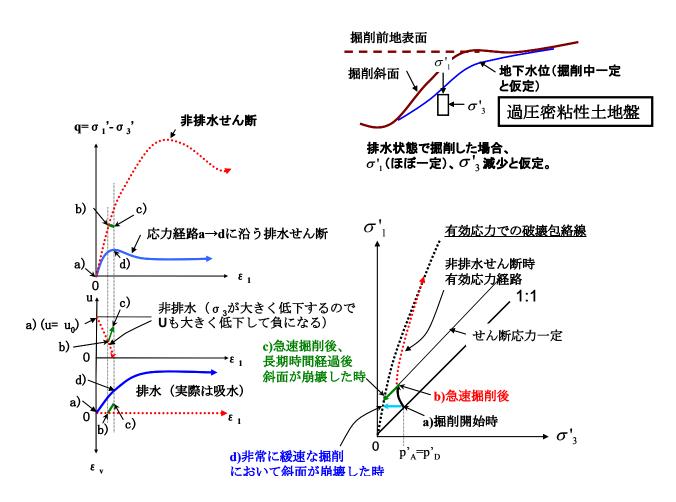


### ■過圧密粘土地盤の掘削

- 1) 地盤掘削によって生じる作用せん断応力=「b-c でのせん断応力」とする
- 2) ゆっくり掘削すると、排水状態でせん断される。 その時のせん断強度=「d)でのせん断応力」。従って、地盤は崩壊する。
- 3) 急速に掘削すると、非排水状態でせん断される。 その時のせん断強度は「b-c での作用せん断応力」よりも大きいから安全。
- ■しかし、掘削斜面を長時間放置すると、**次第に吸水膨張して**負の過剰間隙水圧は減少して、有効 応力経路は b)→c)のように移動して、有効応力状態は**破壊包絡線に達して**掘削斜面は崩壊する。
  - →過圧密粘性土地盤の掘削は、放置すると 50 年後、100 年後に崩壊することがある。
  - →過圧密粘性土地盤は、なるべく急速に掘削して、その後速やかに擁壁などの安定化処置をする べし。



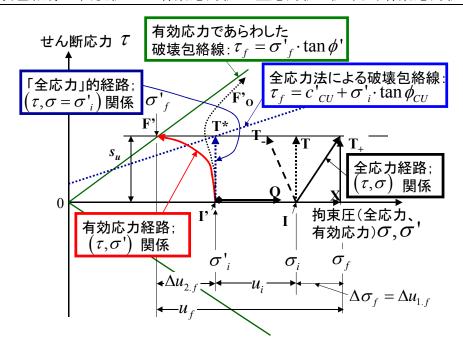
要素 B (三軸圧縮変形) の挙動



非常に緩速に掘削した場合の有効応力経路は $\sigma_1$ 'が一定で $\sigma_3$ 'が減少するa) $\rightarrow d$ )のようになり、d) で有効応力状態は破壊包絡線に達して、斜面は崩壊する。

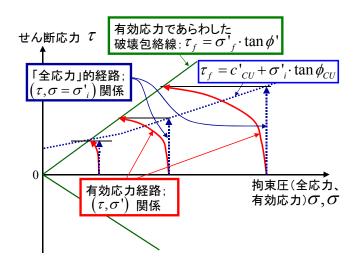
- ●透水性が悪い粘土地盤では、急速に掘削した場合、非排水状態でせん断が生じる。従って、過圧 密粘土ならば、非常に高いせん断強度を持つ。緩速掘削の場合よりも深く掘削して d)の状態より もせん断応力が大きな b)の状態になったとしても、この応力状態 b)は破壊包絡線の下にあり、斜面は安定である。
- ●しかし、長期に亘り放置しておくと、次第に吸水膨張してb) $\rightarrow c$ )のような応力経路を辿り、破壊包絡線に達して斜面は崩壊する。

破壊包絡線の表現法: 有効応力法と全応力法(圧密時有効応力法)

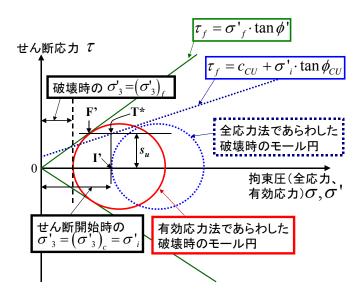


有効応力法:破壊時の有効応力を知らないと、使えない。

全応力法: 圧密時の有効応力を知っていれば、それで使える。便利。



三軸圧縮試験の結果を有効応力法と全応力法で整理すると、以下のようになる。



有効応力法:初期圧密応力状態や載荷応力経路・載荷時排水条件に依存しない破壊包絡線が得られる。 全応力法:破壊包絡線は、初期圧密応力状態や載荷応力経路・載荷時排水条件に依存して、一義的でない。例えば、圧密時に初期せん断応力がある場合。

