



質問 2) 過圧密(OC)状態の粘土地盤での掘削工事は、急速に行った方が安全か、ゆっくり行った方が安全か？(掘削後直ちに擁壁のような法面防護工を建設するとして、掘削後は崩壊しないとする)。

Figure 10 is a graph showing the relationship between void ratio (e) and the logarithm of effective vertical stress ($\log(\sigma')$). The graph illustrates the compression behavior of normally consolidated clay (正規圧密粘土) and overconsolidated clay (過圧密粘土). The normally consolidated clay curve is a solid red line starting from the NC (Normally Consolidated) point on the horizontal axis. The overconsolidated clay curve is a dashed blue line starting from the OC (Overconsolidated) point, which is above the NC point. The OC point is labeled with a green arrow. The current effective vertical stress (現在の有効上載圧 σ') is indicated by an upward arrow from the x-axis.

ない。

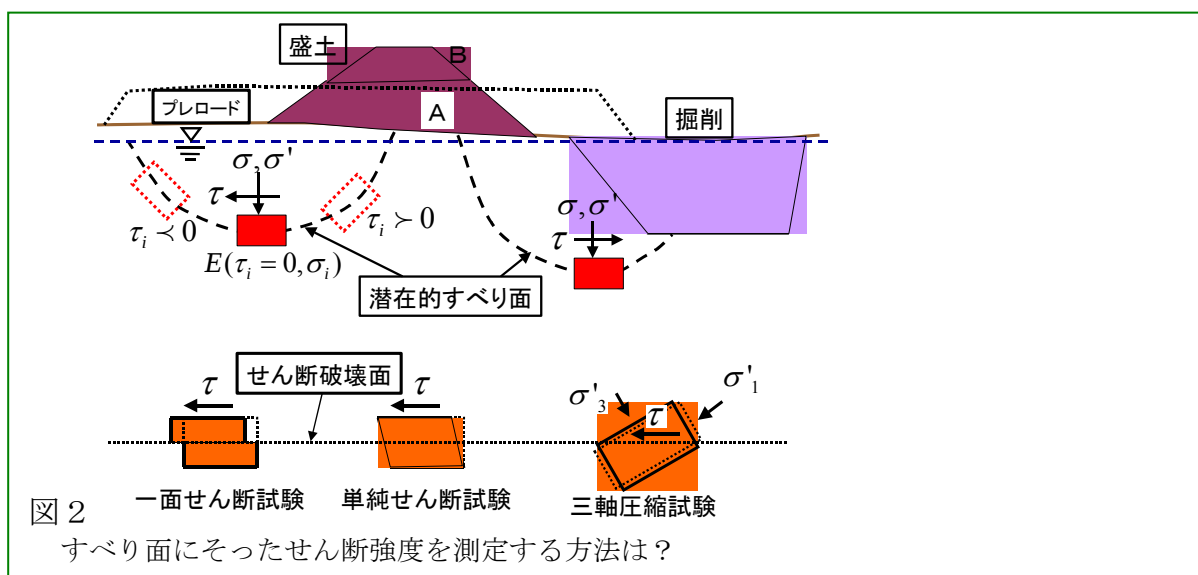


図2に示すように、水平地盤上に盛土をする場合を考える。

●現場の地盤内の土の変形・強度特性を求めるための室内試験を実施するためのポイント

例えば、図1の要素Xの変形・強度特性を求めるために、図2のように一面せん断試験を実施するとする。この一面せん断試験では、同一の载荷荷重に対しても、異なる排水条件（非常にゆっくり盛土建設をした場合での完全排水条件、不完全排水条件、急速に建設した場合での非排水条件等）では間隙水圧の変化が異なり（つまり過剰間隙水圧が異なり）、異なる有効応力 σ' の値となる。従って、現場と同じ変形強度特性を室内試験で求めるためには、室内試験でも地盤内と同一の**応力経路**、**排水条件**を辿る必要がある。

排水せん断(draind)と非排水せん断(undraind)の区別

- 砂のように透水係数が大きいと、通常の盛土建設では排水状態となる。しかし、地震時のように急速にせん断する場合は非排水になる。
- 盛土建設等による载荷が数週間程度のゆっくりでも、粘土のように透水係数が低い場合は非排水になる。

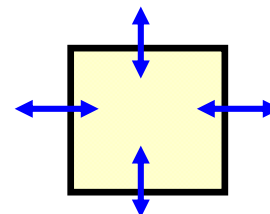
ある程度厚い地盤の場合

载荷速度	早い (地震)	ゆっくり (盛土建設)	非常にゆっくり (数年以上の長期)
飽和砂	非排水	排水	排水
飽和粘土	非排水	非排水	排水

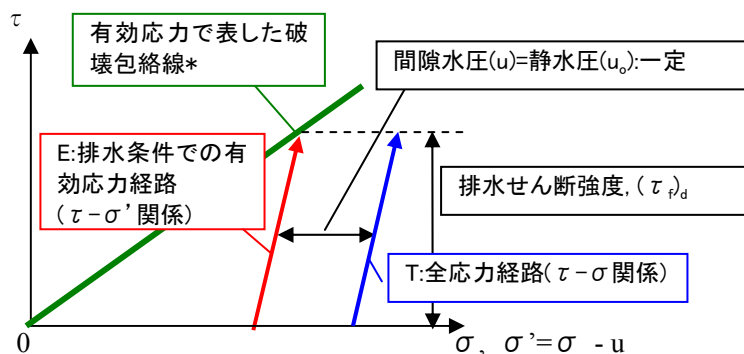
排水せん断(draind)

土の要素が非常にせん断変形する時に、体積が自由に变化できる状態。すなわち、要素内の間隙水が要素から自由に出入りできる状態。

- 土が緩くて、その要素がせん断変形に伴って体積収縮したい場合は、間隙水は要素内から排水される。
- 土が密であり、その要素がせん断変形に伴って体積膨張したい場合は、要素は外部から間隙水を吸水する。



この場合、間隙水圧(u)は常に静水圧(u_0)と一致していて一定である。従って、外部からの载荷条件によって与えられた拘束圧 σ とせん断応力 τ の状態の変化を表す全応力経路(total stress path)と、要素内のせん断に伴う有効拘束圧 $\sigma' = \sigma - u$ とせん断応力 τ の関係を表す有効応力経路(effective stress path)は平行となる。



*Coulomb の破壊規準： $\tau_f = \sigma' \cdot \tan \phi' = (\sigma - u) \cdot \tan \phi'$

図3

非排水せん断(undrained)

せん断変形に伴って体積変化をしようとしても、飽和土の要素の内部から間隙水が出入りできないため、体積変化できない状態

[せん断をすると体積収縮する緩い状態の粘性土の場合、正規圧密粘土の場合]

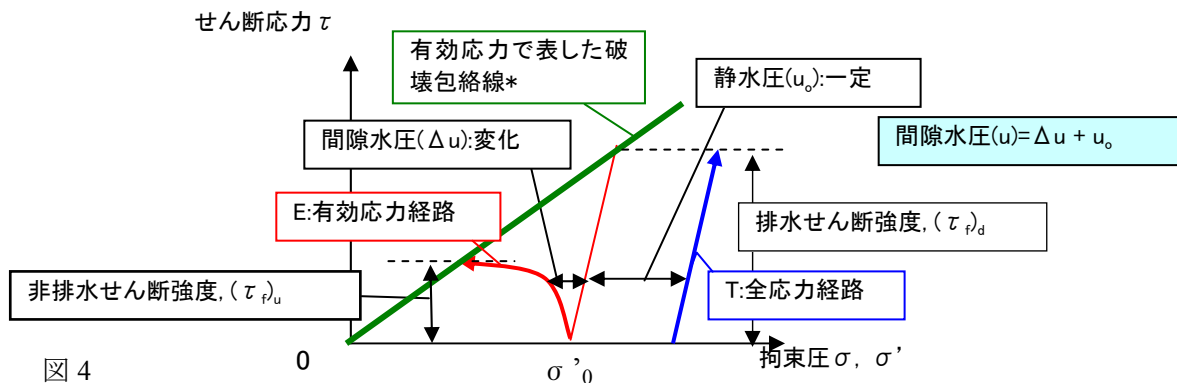


図 4

*Coulomb の破壊規準: $\tau_f = \sigma' \cdot \tan \phi' = (\sigma - u) \cdot \tan \phi' = (\sigma'_0 - u_0 - \Delta u) \cdot \tan \phi'$

非排水せん断時では、载荷中の間隙水圧 u の変化がせん断強度に影響する。即ち、

- 1) せん断変形に伴って間隙水圧 u が変化する。変化分の間隙水圧を過剰間隙水圧 Δu と呼ぶ。図-4 の非排水せん断の場合、 Δu は正である(排水されたい間隙水を排水させないのであるから正となる)。
- 2) せん断に伴って Δu が生じると、有効応力経路と全応力経路の関係は変化する。一方、有効応力 $\sigma' = \text{全応力 } \sigma - \text{間隙水圧 } u$

は常に成り立っている。この場合、 u が増加すると有効拘束圧 σ' が減少する。また、土の変形・強度特性は、有効応力 σ' に支配される。従って、非排水せん断強度 $(\tau_f)_u$ の方が排水せん断強度 $(\tau_f)_d$ よりも小さくなる。

- 3) 同一の全応力経路に対して、非排水状態で過剰間隙水圧 Δu が異なると異なる有効応力経路となる。即ち、非排水状態でのせん断強度は Δu が大きいほど小さい。

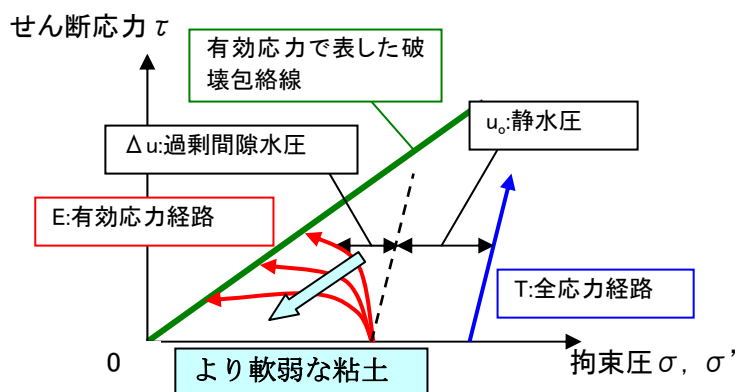


図 5

非排水せん断の場合の有効応力経路の説明

初期せん断応力 τ_i が無い場合とある場合の有効応力経路と全応力経路を模式的に示す。

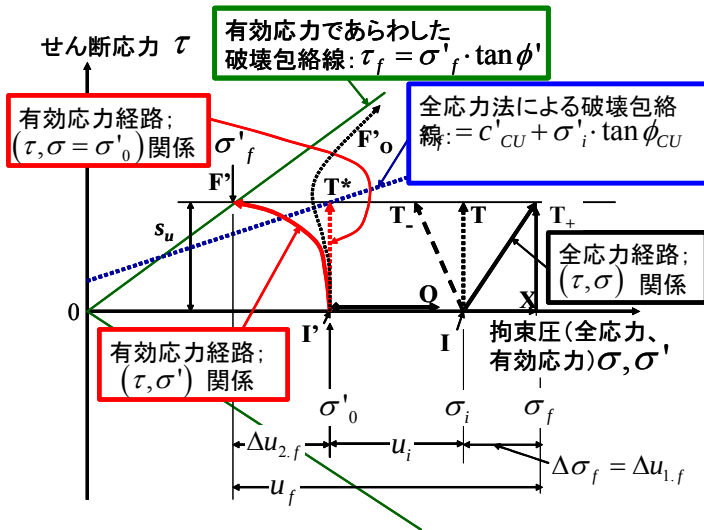


図 6a (初期せん断応力 τ_i が作用していない要素の場合)

異なる全応力経路 IT_+ , IT , IT_- 等に対して、唯一の有効応力経路 $I'F'$ が存在する。なぜならば、

- 1) 全応力経路 IT_+ は、 $IT_+ = IX + XT_+$ のように分解できる。
- 2) 非排水条件で IX のように応力変化しても、有効応力は変化しない。
- 3) 従って、非排水条件では、上記の全応力経路 IT_+ での土の要素の変形は、全応力経路 XT_+ での変形と同一である。全応力経路 XT_+ での変形は、全応力経路 IT での変形と同一である。
- 4) 以上から、非排水条件では、全応力経路 IT_+ での変形は、全応力経路 IT での変形と同一である。さらに、これは有効応力経路 $I'T^*$ での変形と同一である。
- 5) 同様に、非排水条件では、全応力経路 IT での土の要素の変形は、有効応力経路 $I'T^*$ での変形と同一である。
- 6) 有効応力経路 $I'T^*$ に沿って排水せん断すると、せん断変形に伴う体積変化だけが生じる（この場合、体積収縮）。従って、非排水せん断では正の過剰間隙水圧 Δu が発生して、有効応力経路は $I'F'$ となる。

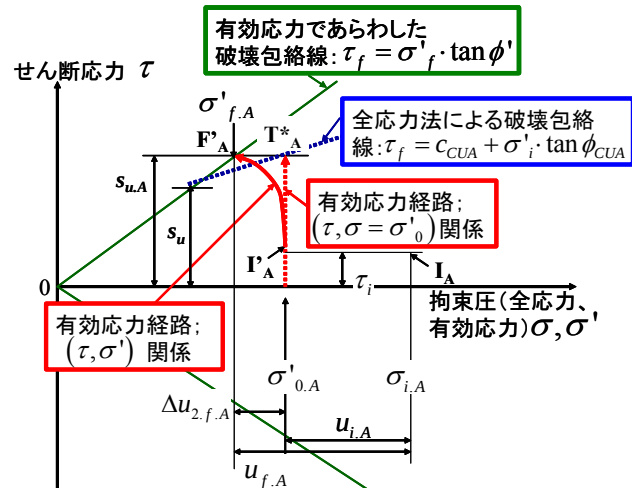


図 6b (初期せん断応力 τ_i が作用している要素の場合)

第7章 土のせん断強度-一面せん断試験

上記のように、室内での試験を出来るだけ原位置の応力経路や排水条件に沿って行う必要があるのは、現場での変形・強度特性は、

- a) 原位置とは異なる応力経路・排水条件で行った室内試験によって求めた結果とは一致せず、
- b) また、そのような室内実験の結果から正確に推定するのが困難であるからである。

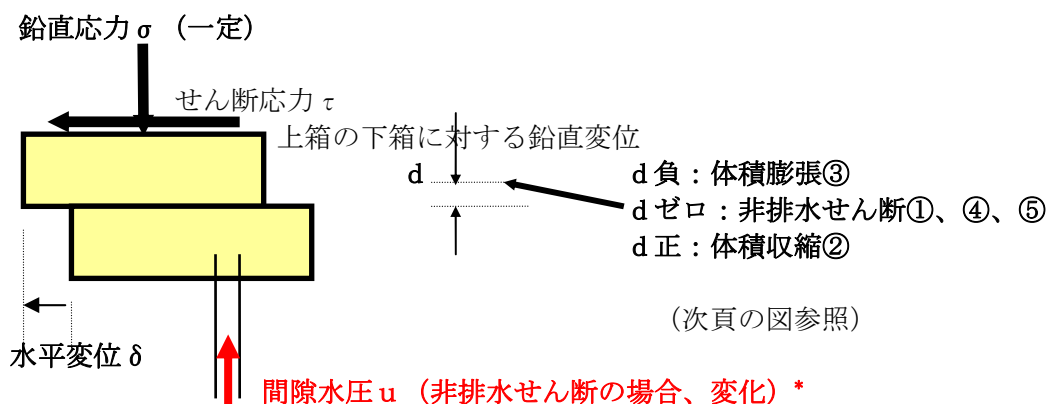
＊どのように困難であるか？ なぜ困難であるか？

→土の変形・強度特性が、単純な線形弾性体ではなく、複雑な粘弾塑性体であり、任意の土に対して、その変形・強度特性を正確に記述できるモデルが存在していないから。これは、現在の研究課題。

粘土の一面せん断試験

●飽和粘性土のせん断試験

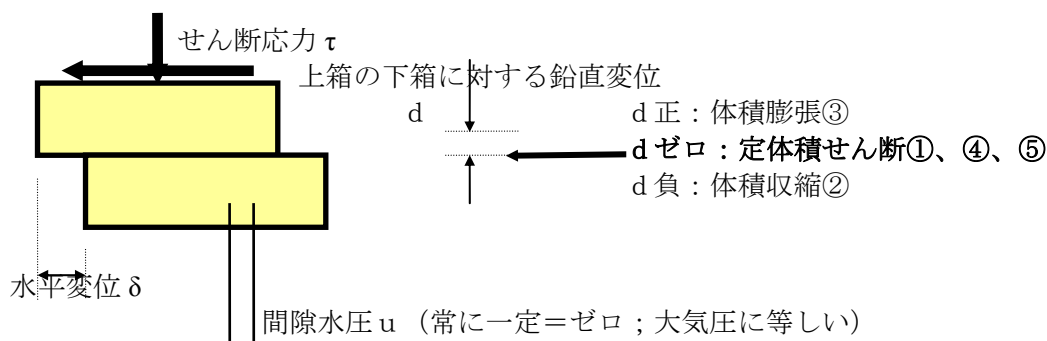
鉛直応力 σ (一定) の場合



* しかし、通常の一面せん断試験では、せん断面の周囲は大気に解放されていて、その付近では常に「間隙水圧 u = 大気圧」なので、供試体全体を非排水条件にするのは困難である。従って、下記のような等体積せん断試験を飽和した土の非排水試験の代用としている。

供試体高さを一定にした等体積試験 (原位置の飽和粘土の非排水せん断条件と同等)

鉛直応力 σ (等体積せん断の場合は、変化する)



原位置での「体積一定でのせん断」の条件は満足させてあるので、

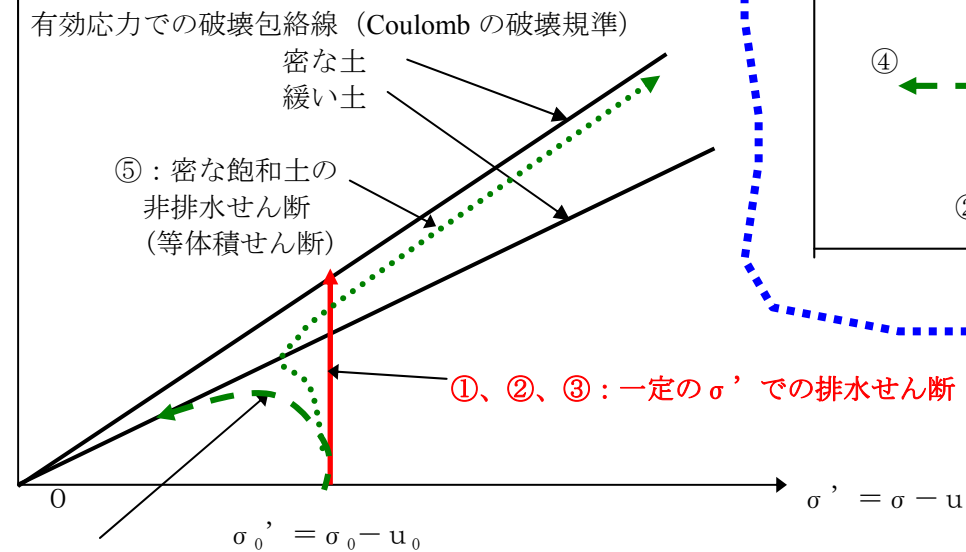
a) 従って、有効応力条件 ($\sigma' = \sigma - u$ の変化の仕方、 $\tau \sim \sigma' \sim$ せん断ひずみ γ 関係) は上記の非排水せん断試験の場合と一致している。

b) しかし、 σ (全応力) と u (間隙水圧) の変化の仕方は異なる。

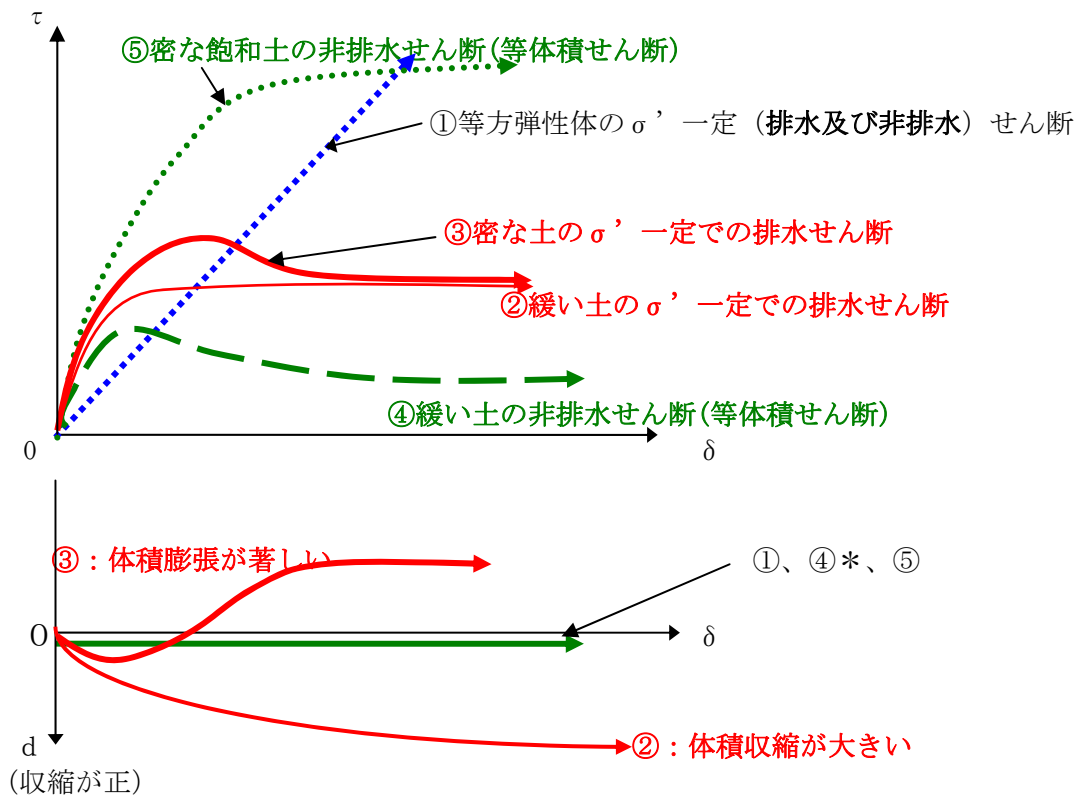
	$\sigma' =$	$\sigma -$	u
σ 一定非排水せん断	変化 ($\Delta\sigma'$) ↑ 同じ	一定	変化 (Δu)
等体積せん断	↓ ($\Delta\sigma'$) 変化	変化 ($\Delta\sigma = -\Delta u$)	一定

排水状態での定体積試験の説明は複雑なので、飽和供試体の非排水試験は定体積試験と説明して、定体積試験の結果を説明する

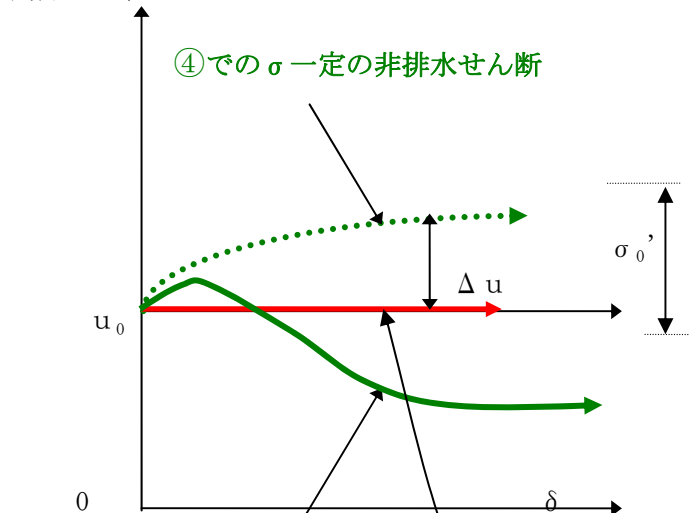
第7章 土のせん断強度-一面せん断試験
せん断応力 τ



④：緩い飽和土の非排水せん断 (等体積せん断)



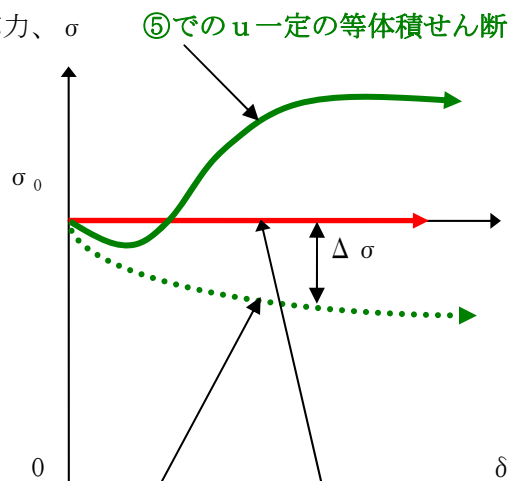
間隙水圧、 u



④での σ 一定の非排水せん断

⑤での σ 一定の非排水せん断

全応力、 σ



⑤での u 一定の等体積せん断

①、②、③ (排水せん断) と
④と⑤での σ 一定
の非排水せん断

④での u 一定の等体積せん断*

①、②、③ (排水せん断) と
④と⑤での u 一定の等体積せん断

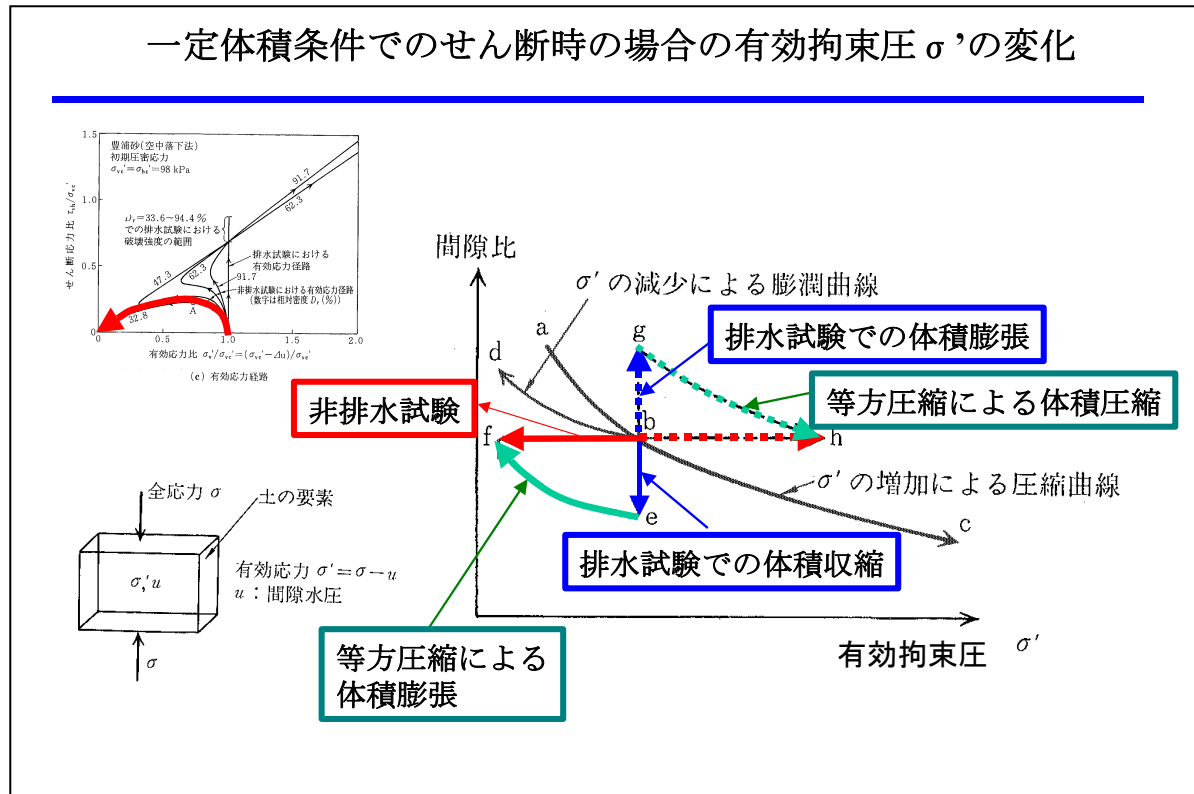
この部分は別途説明

⑤での u 一定の等体積せん断と非排水せん断
有効応力 σ'

④での u 一定の等体積せん断と非排水せん断

①、②、③ : 排水せん断

- すなわち、
「 σ 一定の下での非排水せん断試験での間隙水圧の変化量＝過剰間隙水圧 Δu 」と
「 u 一定の下での等体積せん断試験での σ の変化量の負値＝ $-\Delta \sigma$ 」は、
同じ意味を持つ。



a→b 及び b→c : 有効上載圧 σ' の増加による一次元圧縮

b→d : 有効上載圧 σ' の減少による一次元除荷

b→e : 緩い砂の有効応力 σ' 一定の排水せん断 (せん断変形に伴い体積収縮する)

b→f : 緩い砂の等体積条件での排水せん断

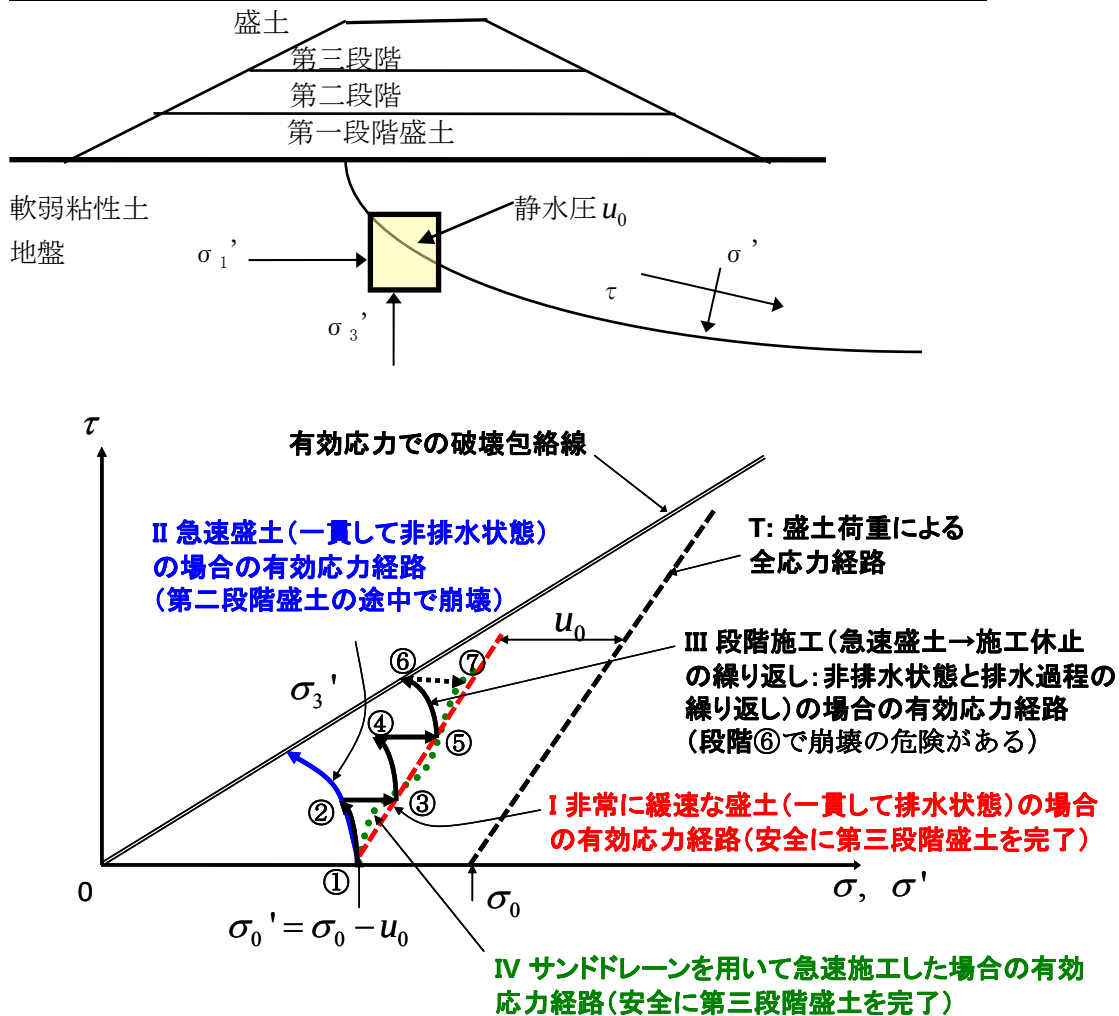
= [b→e : 緩い砂の σ' 一定の排水せん断] + [e→f : σ' の減少による一次元除荷]
(従って、せん断変形に伴い有効応力 σ' が減少する)

b→g : 密な砂の σ' 一定の排水せん断 (せん断変形に伴い体積膨張する)

b→h : 密な砂の等体積条件での排水せん断

= [b→g : 密な砂の σ' 一定の排水せん断] + [g→h : σ' の増加による一次元圧縮]
(従って、せん断変形に伴い有効応力 σ' が増加する)

軟弱粘性土地盤上の盛土工事における段階施工と sand drain の意味



→ : IIIでの施工休止期間での有効応力経路。過剰間隙水圧 Δu が時間とともに消散する。

説明 :

- I : 江戸時代の施工。急速に盛土出来ないから能率は悪いが、安全。
- II : 今日における土質力学を知らない施工業者による急速機械施工。
この場合の等体積せん断時の有効応力経路は、全応力経路の形に拘わらず τ の大きさと土の物性に支配されて、唯一一つしかない (図3参照)。大変危険な施工。
- III : 今日における近代的機械施工による段階施工。安全だが、時間が掛かる。
①→②、③→④、⑤→⑥ ; 急速施工時、
②→③、④→⑤、⑥→⑦ ; 休止による排水時 ($\Delta u = 0$ になるのを待つ)。
- IV : 今日における近代的機械による急速施工。地盤改良に費用がかかるが、安全で、時間が掛からない。(Iの場合の有効応力経路を、急速載荷で実現)。時は金なり

