神戸大学工学部市民工学科

土質力学Ⅱ

金曜１＆２限（8:50-12:10）
授業資料_04

これまでのおさらい

地盤に力（外力）が作用する　→　地盤内には応力が発生する

ある位置に注目・・・面の採り方によって応力成分（垂直・せん断応力）は異なる

モール円　＝　面の採り方によって変化する応力成分を図示

主応力面　＝　垂直応力のみが作用する面の採り方

主応力　　＝　主応力面に作用する垂直応力

主応力面は直交する。主応力の内，大きい方が最大主応力，小さい方が最小主応力。

主応力に差があるとき，モール円は大きさを持つ，つまり，せん断応力が作用する面が存在する。

応力の分布・・・力のつり合い式（微分方程式）に従う

限られた荷重条件では応力分布の弾性解が得られる

点荷重に対する応力分布・・・ブシネスク解

線荷重・帯荷重に対する応力分布・・・ブシネスク解の積分

ほとんど幾何学的に理解できる弾性解の性質（主応力円など）

この資料の内容

- 土のせん断特性：せん断応力が作用する時の応答

  せん断とは？

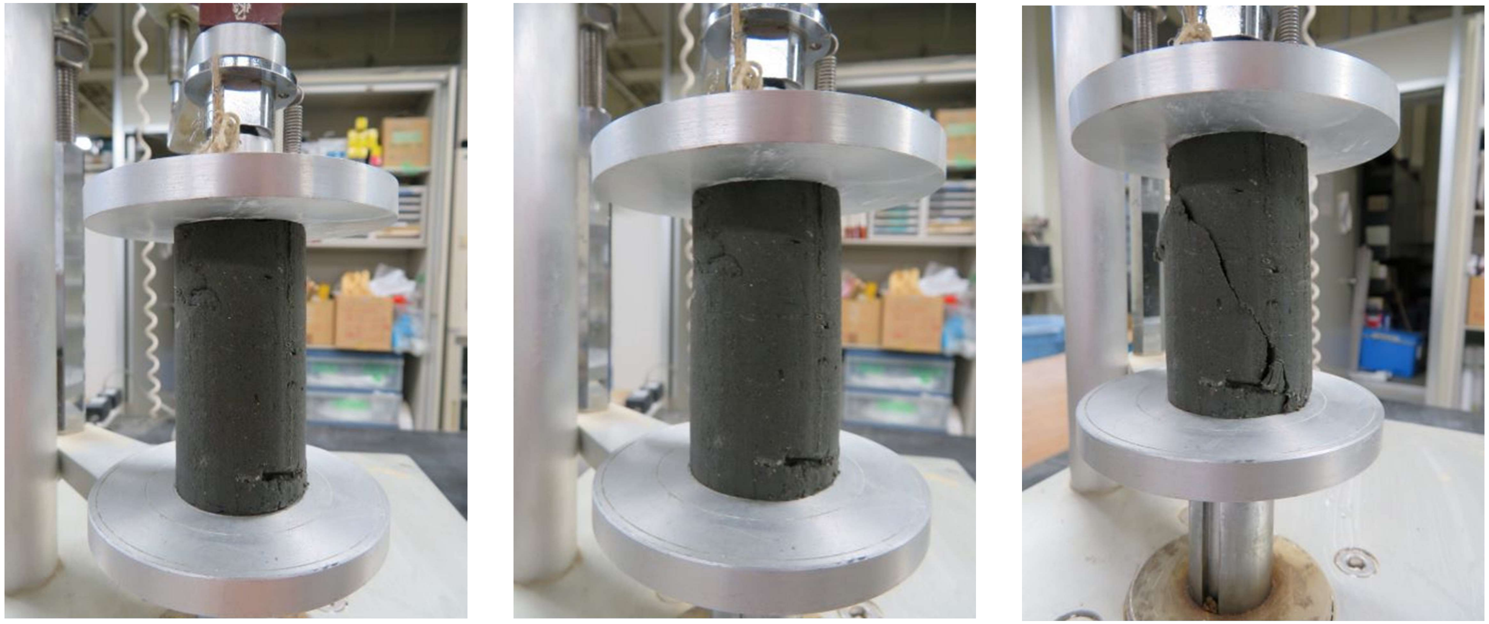
  直接せん断と間接せん断

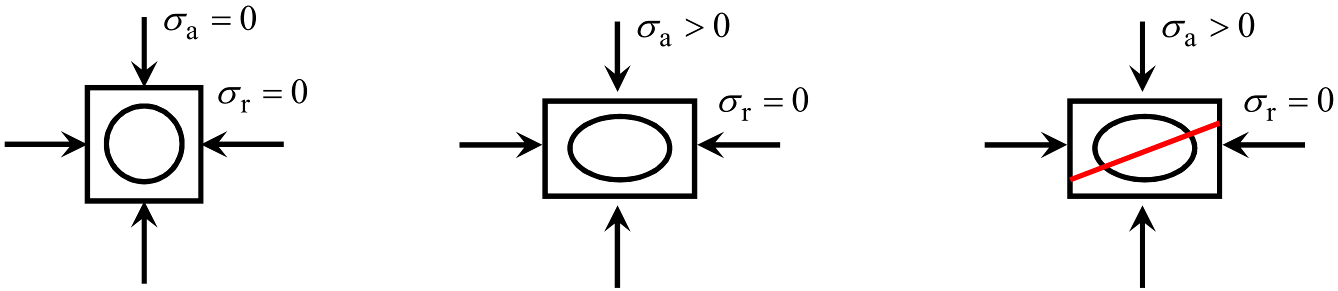
  一面せん断（直接せん断）に見る土のせん断特性

  三軸せん断（間接せん断）に見る土のせん断特性

せん断とは（1）

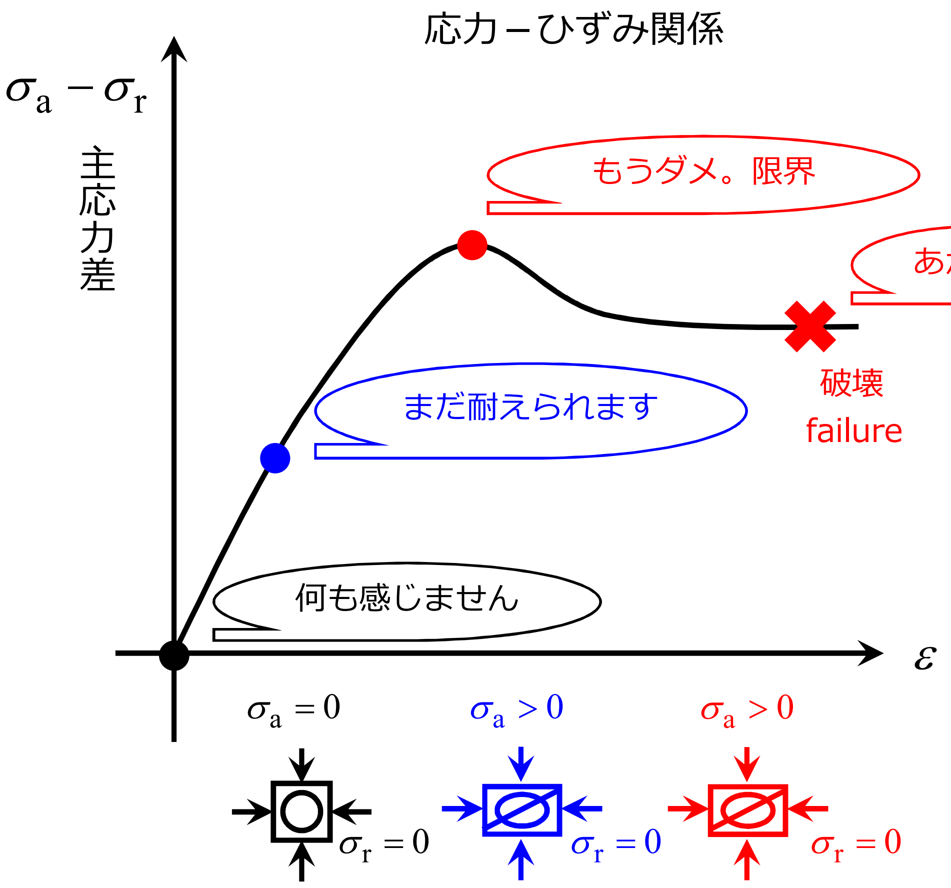
- 地盤（あるいは土塊・供試体）内に「せん断応力」が作用することを「せん断」という
  shear
- せん断によって地盤に生じる変形を「せん断変形」と呼ぶ
- せん断が進行するに伴って顕在化するズレを「せん断面」「すべり面」と呼ぶ

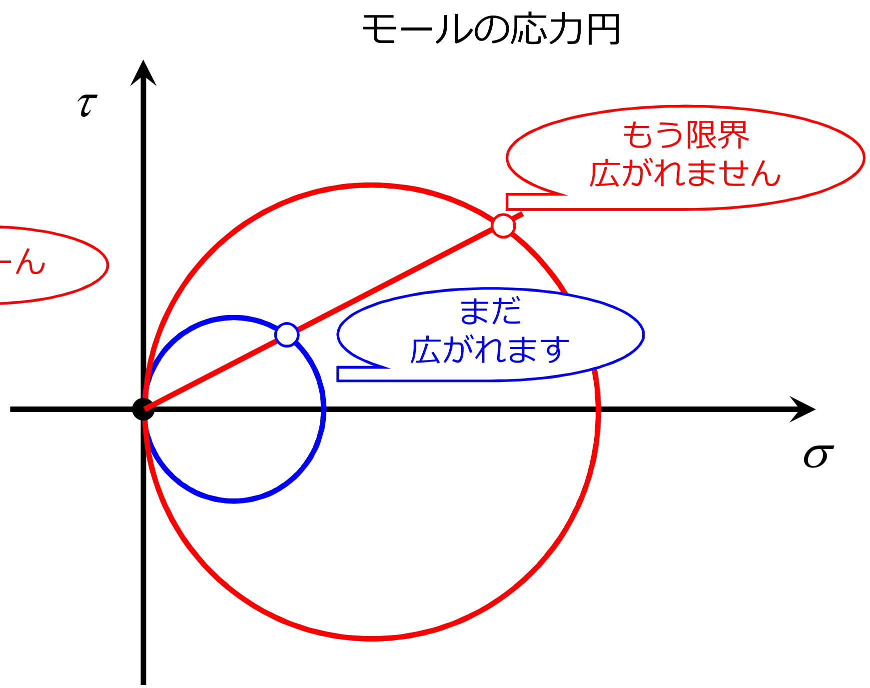




せん断とは（2）

- せん断に対して土は変形しつつも耐える（抵抗する）＝「せん断抵抗」 shear resistance
- やがて抵抗の限界がやってくる＝「せん断強度」 shear strength





主応力差の増加

＝　モールの応力円の拡大

＝　任意面に作用するせん断応力の増加

2007年新潟県中越沖地震による斜面崩壊

2008年岩手宮城内陸地震による地すべり

2008年岩手宮城内陸地震による胆沢ダムの崩壊

2008年岩手宮城内陸地震による胆沢ダムの崩壊

2008年岩手宮城内陸地震による胆沢ダムの崩壊

平成30（2018）年7月豪雨による斜面崩壊・広島県下蒲刈島

平成30（2018）年7月豪雨による斜面崩壊・広島県下蒲刈島

平成30（2018）年7月豪雨による斜面崩壊・広島県下蒲刈島

せん断とは（3）

- せん断による変形の生じ方や土が発揮するせん断強度を総じて「せん断特性」と呼ぶ
- せん断特性は、土の種類によって異なる（粒径，粒度，etc.）
- 同一の土であっても，せん断特性（強度や剛性）は

含水状態（湿っているか乾いているか）

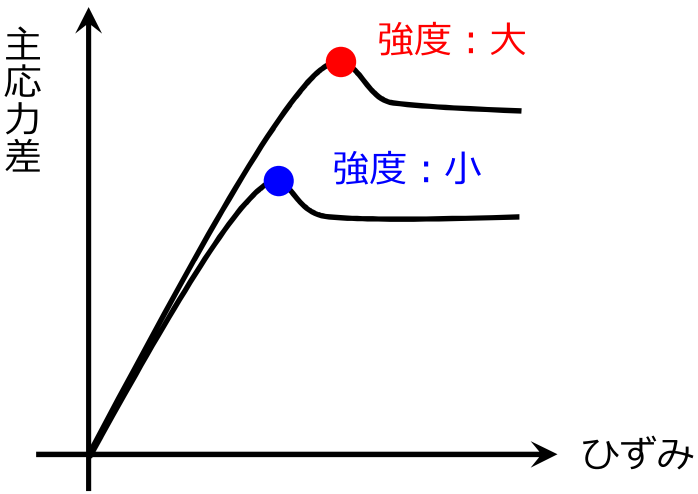
密度状態（密か緩いか）

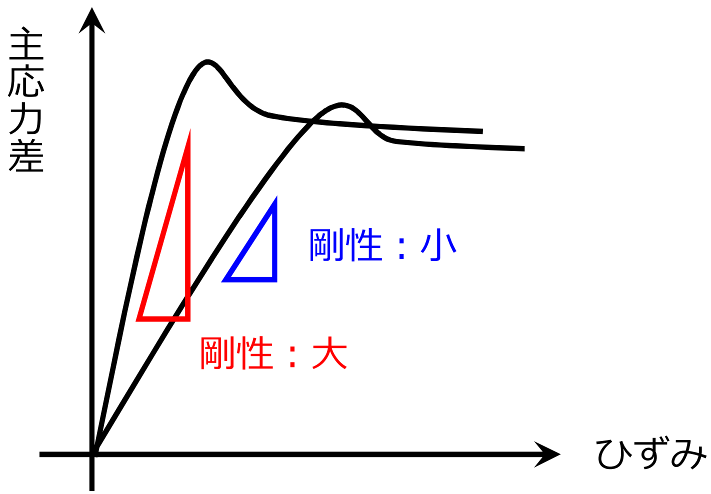
応力状態（拘束が高いか低いか）

過去の履歴（正規圧密か過圧密か）

排水条件（せん断過程で水の排水を許すか許さないか）

などの条件や状態によって異なる。ここに見出される法則を理解することが目的





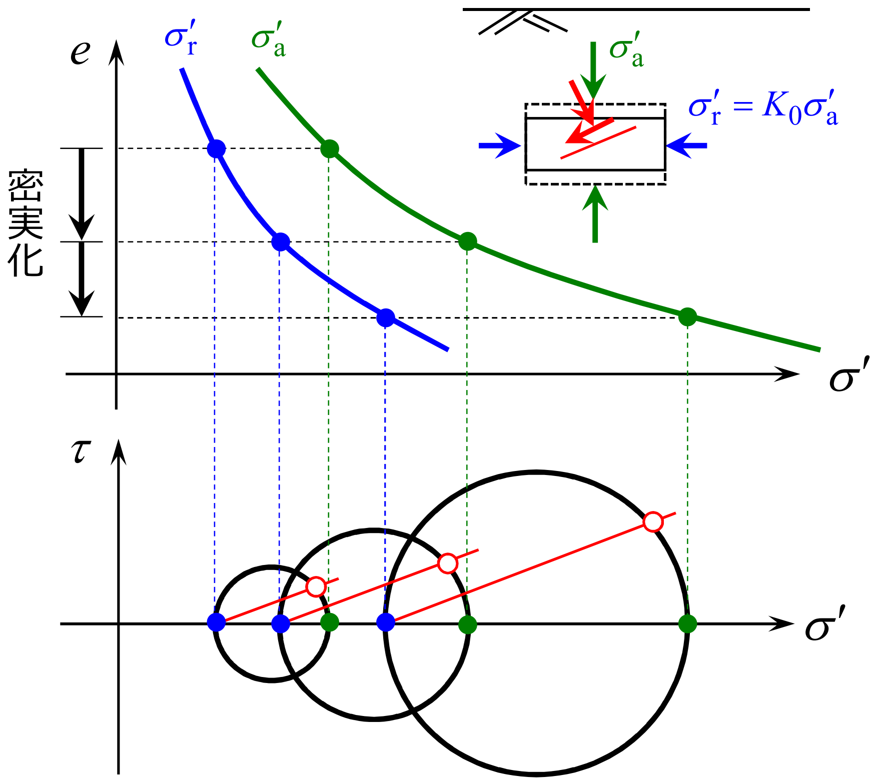
せん断とは（4）

- せん断は，直観的には，破壊・すべりに向かう過程
- では，せん断応力が発生し，主応力差が大きくなれば，破壊に近づくことになるのか？

　・・・そうでもない．

- 例えば，一次元圧密（K_0圧密）

　「圧密」は土が密実化する現象．圧密し続けても破壊には至らない．しかし，



主応力差は大きくなり続ける

任意面に作用するせん断応力は増え続ける

現象を意識した定義：

圧　密　＝　応力比が一定の載荷

せん断　＝　応力比が変化する載荷

$$\text{応力比} = \frac{\sigma'_r}{\sigma'_a} \quad \text{or} \quad \frac{\tau}{\sigma'}$$

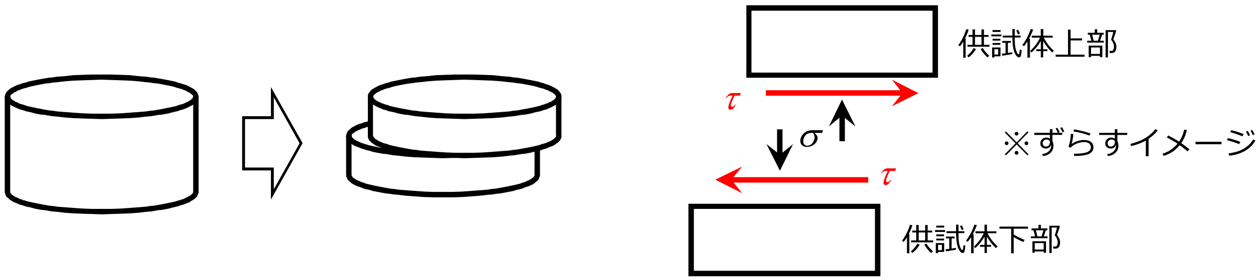
直接せん断と間接せん断

せん断特性を把握する試験（せん断試験）における，せん断応力の作用のさせ方

直接せん断・・・

せん断面に作用するせん断応力そのものを制御あるいは計測する方法

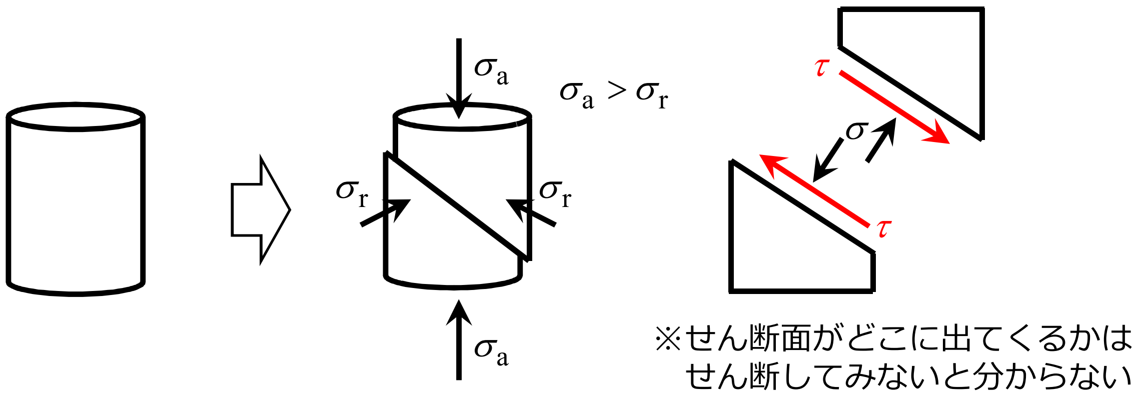
例：一面せん断



間接せん断・・・

軸差応力を制御あるいは計測することにより，せん断面にせん断応力を作用させる方法

例：三軸圧縮



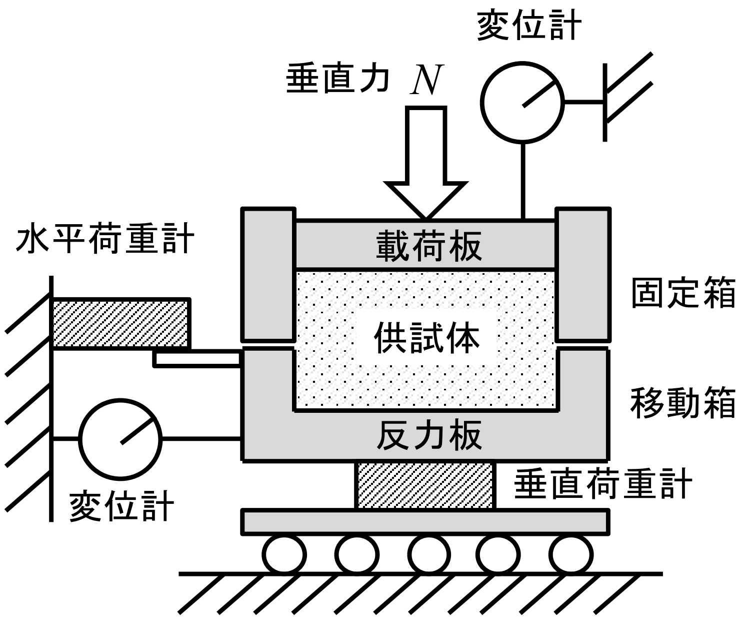
一面せん断に見るせん断特性（1）

せん断の前段階＝供試体のセットと圧密

- せん断箱の中に円盤状の土供試体を格納する（直径 6 cm，高さ 2 cmが標準）
- せん断箱は上下（移動箱と固定箱）に分かれている
- 垂直力 N を載荷でき，これにより土供試体に垂直応力 σ を与える

垂直応力 $\sigma = \dfrac{N}{A}$ 　　A：供試体の断面積

- 土供試体の体積変化を鉛直変位計によって計測できる

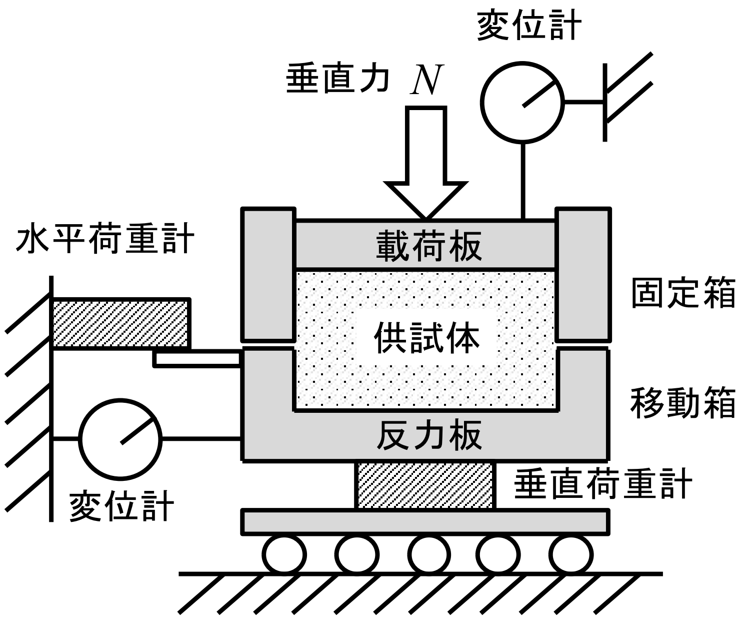


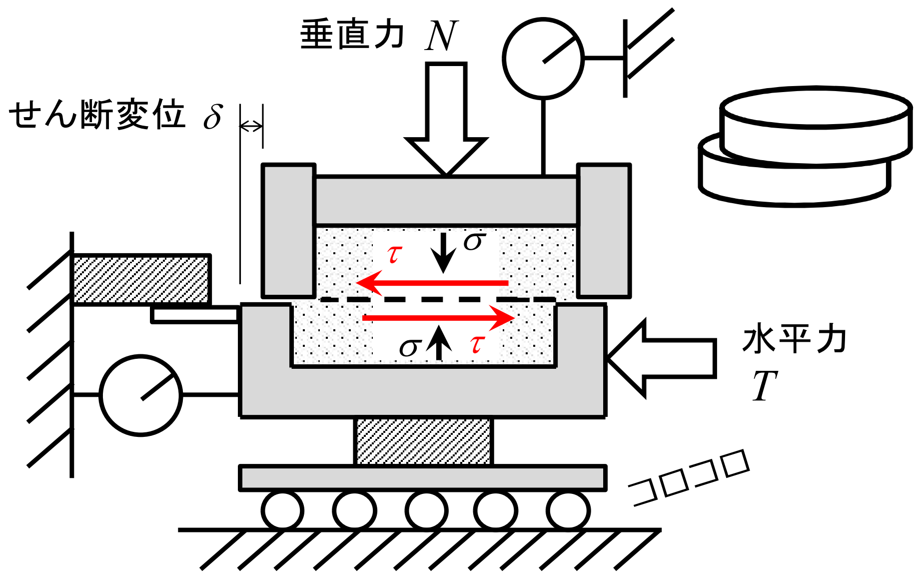
一面せん断に見るせん断特性（2）

せん断過程

- 移動箱を水平に押し，土供試体をせん断する
- 上下の箱のズレを「せん断変位　δ 」として，水平変位計で計測する
- せん断に必要な水平方向の力　T を水平荷重計によって計測し，せん断応力　τ　を求める

せん断応力　$\tau = \dfrac{T}{A}$　　A：供試体の断面積





一面せん断に見るせん断特性（3）

せん断過程の条件

- 定圧条件

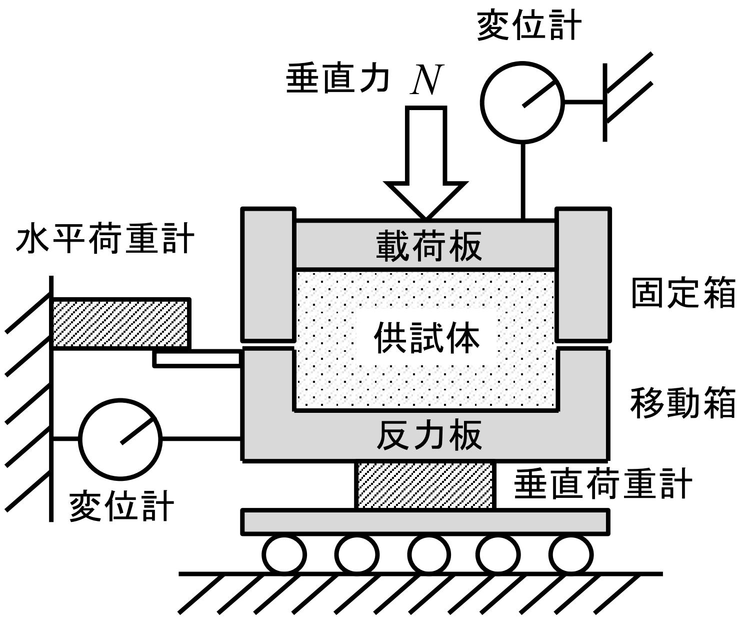
  垂直応力 σ （垂直力 N ）を一定に保ち，せん断する条件

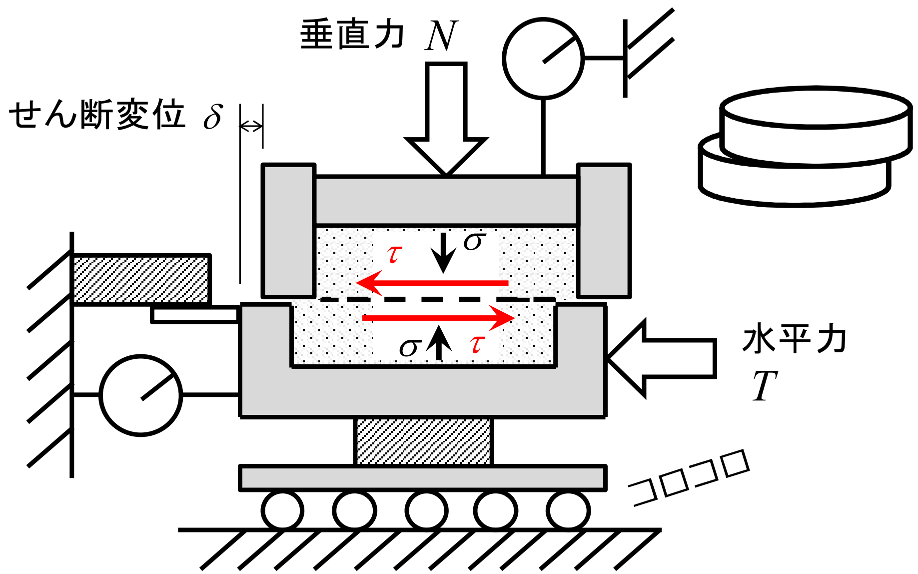
  せん断過程で生じる土供試体の体積変化を垂直変位計で計測する

- 等体積条件

  土供試体の高さを一定に保ち，せん断する条件

  せん断過程で土が膨らもう／縮もうとする力を垂直荷重計で計測し，垂直応力を求める

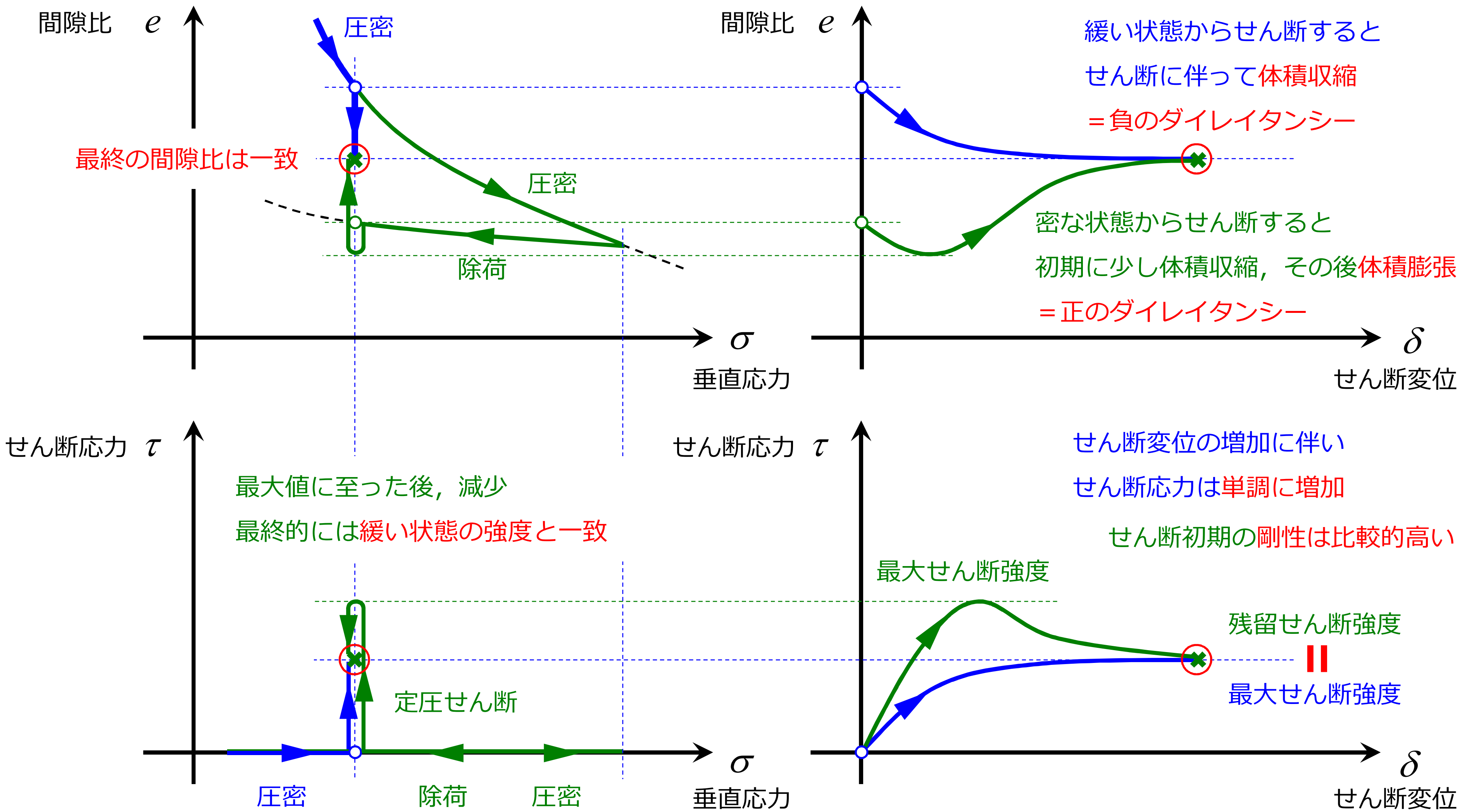


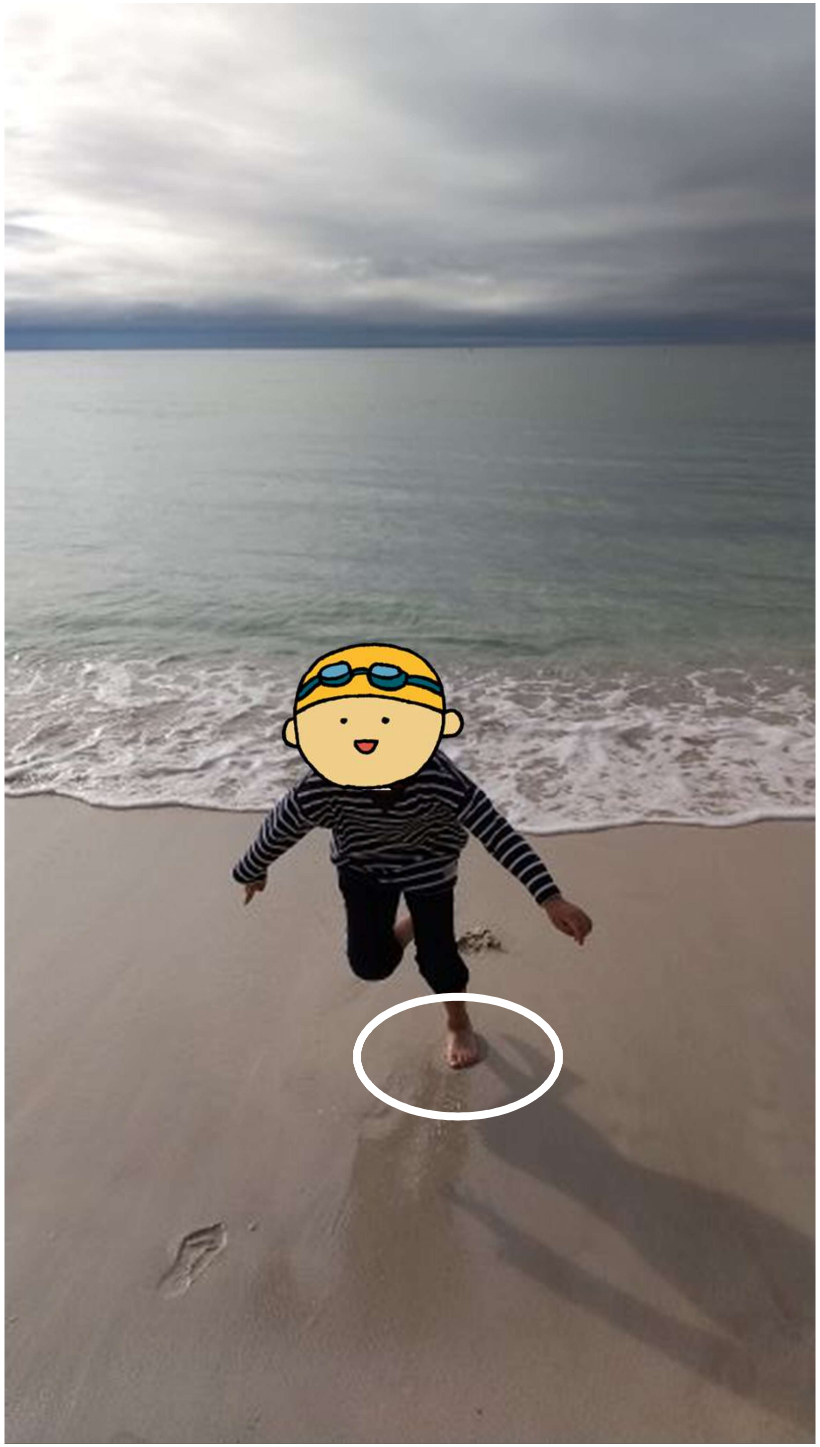


一面せん断に見るせん断特性（4）

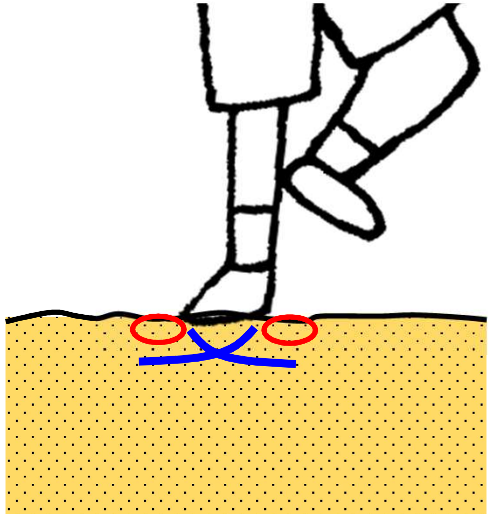
同じ垂直応力

典型的な挙動・法則性（　圧密　⇒　定圧せん断：比較的緩い状態　&　比較的密な状態　）





身近に観察できるダイレイタンシー



よく湿った砂

（飽和砂）

踏まれる

足の下の少し深いところ

→　せん断され，膨張する（正のダイレイタンシー）

→　膨張は吸水を伴う。周りの水を吸う

足のまわりの表面付近

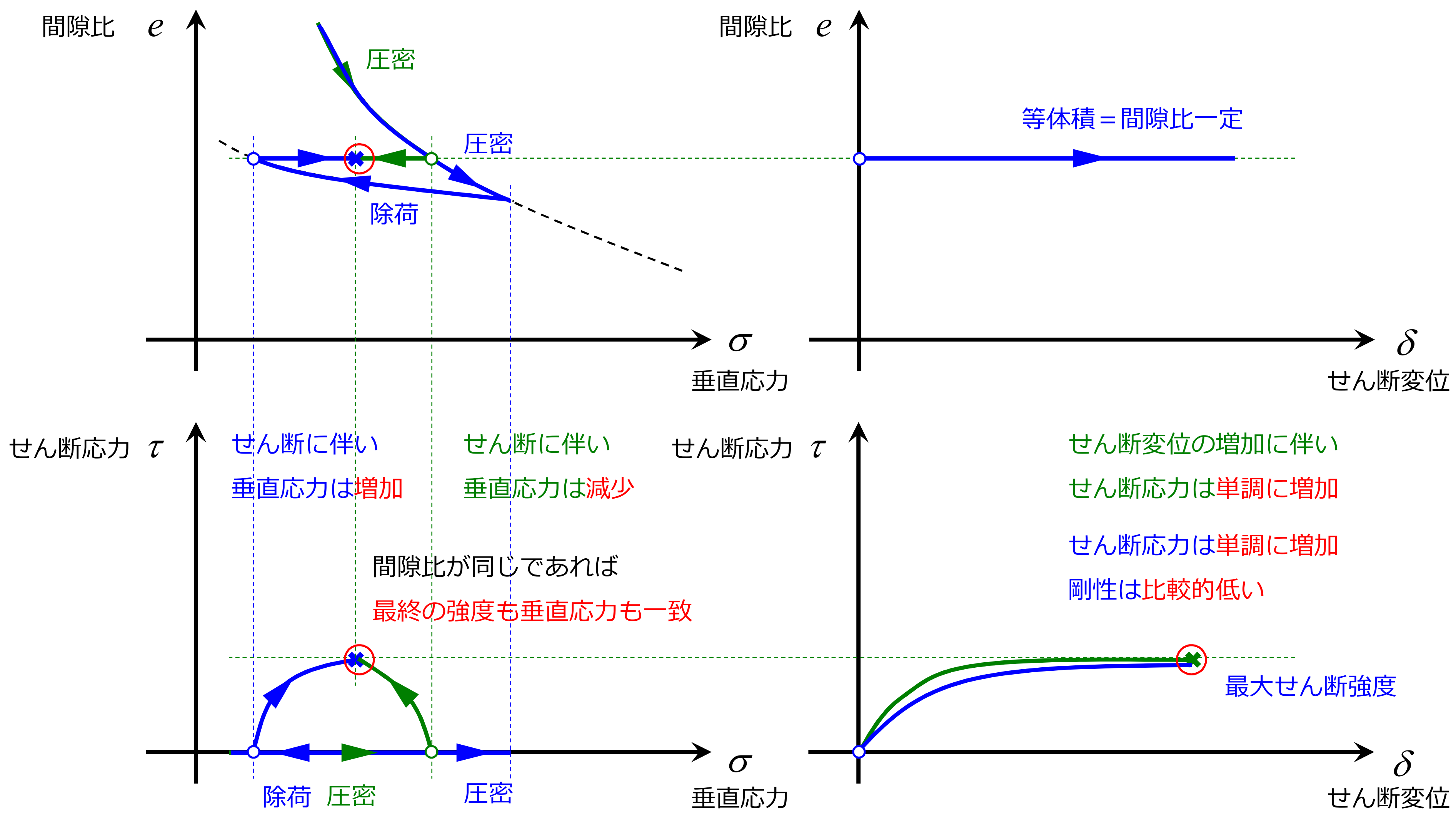
→　せん断されないが，青いところに水を吸われる

→　乾いて見える

一面せん断に見るせん断特性（5）

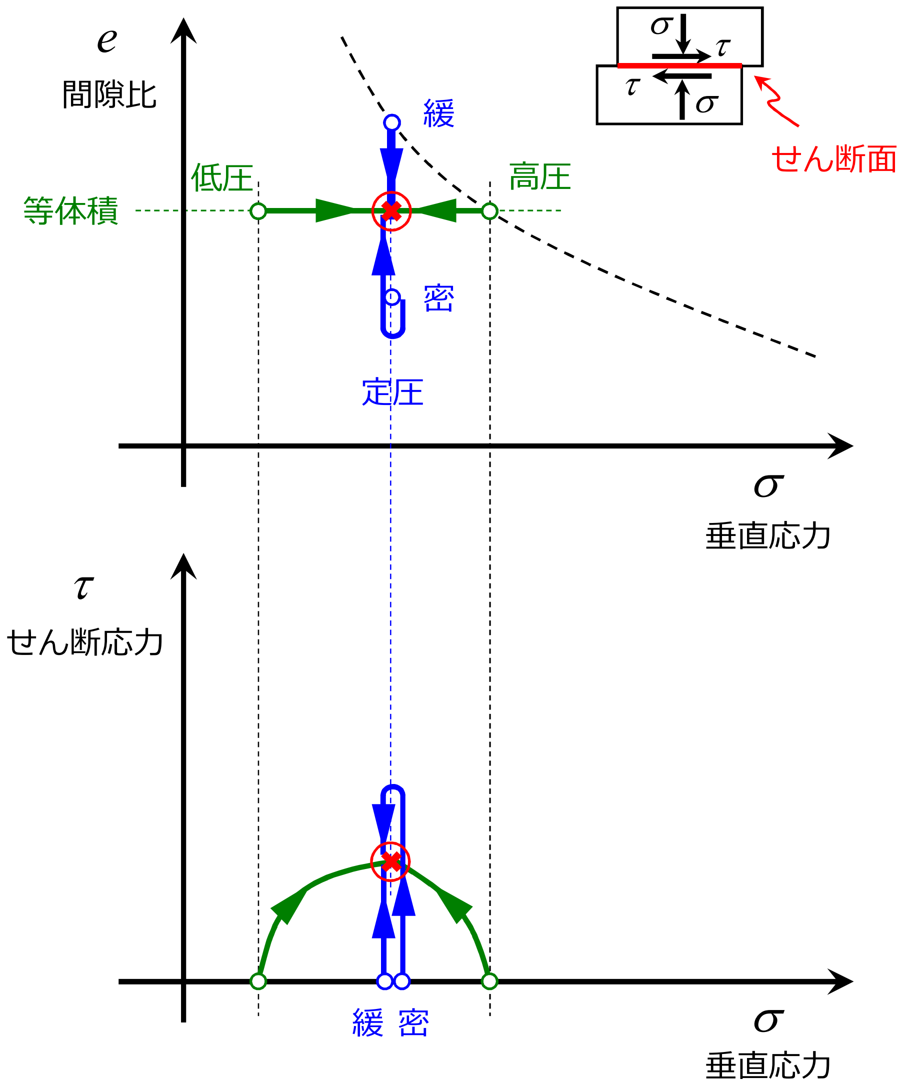
同じ間隙比

典型的な挙動・法則性（　圧密　⇒　等体積せん断：比較的高い初期圧 & 低い初期圧）



一面せん断に見るせん断特性（6）

典型的な挙動・法則性　まとめ



- 一面せん断は大別して，２つの条件

【定圧条件】垂直応力　σ　一定でせん断

【等体積条件】間隙比　e　一定でせん断

- 定圧条件は，体積変化を許す

緩い／密な　状態からのせん断：体積　収縮／膨張　を伴う

＝　土のダイレイタンシー特性の現れ

（せん断に伴う体積変化）

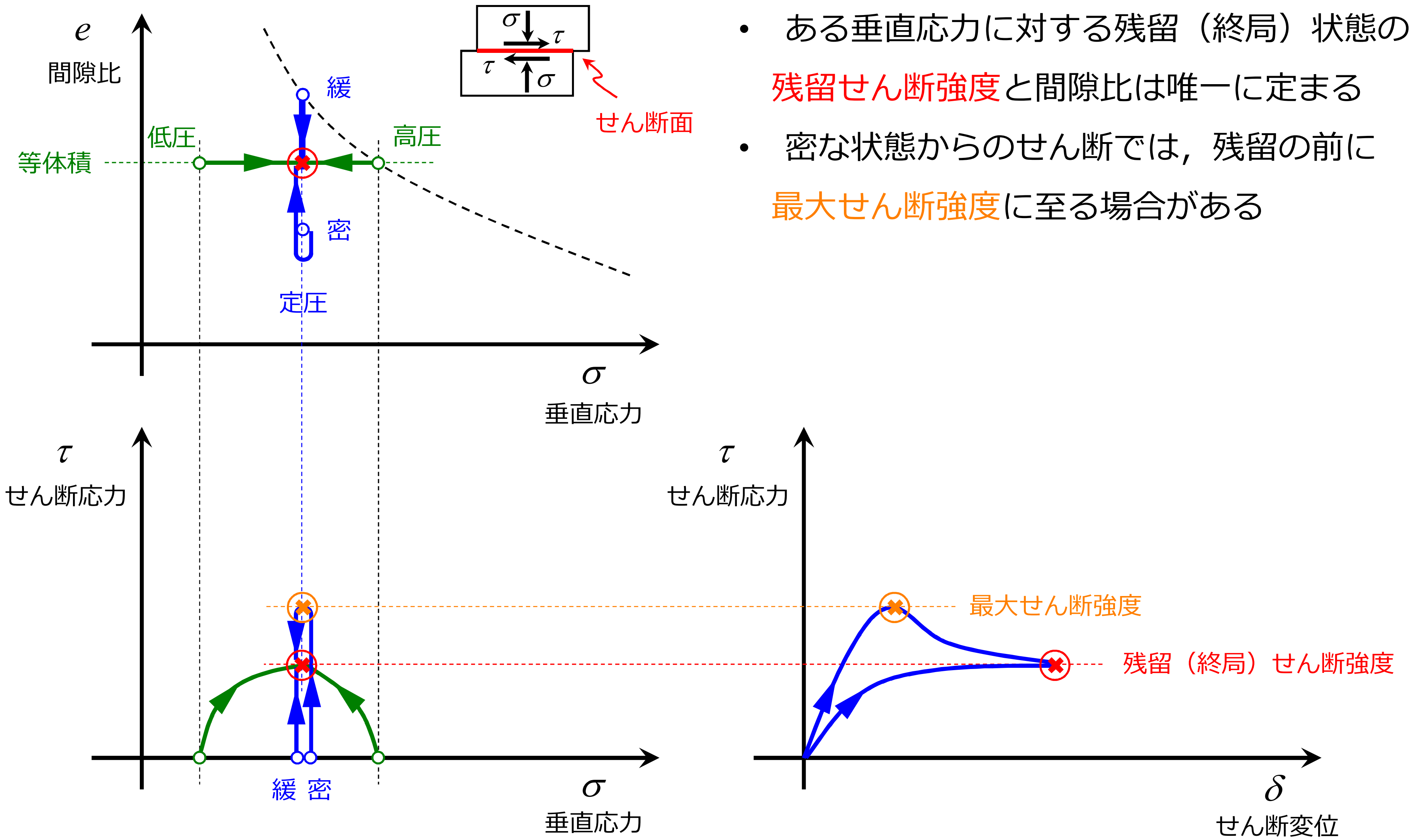
- 等体積条件は，垂直応力変化を許す

高圧／定圧　からのせん断：垂直応力の　低下／増加　を伴う

＝　体積変化を実現できないことの裏返し

一面せん断に見るせん断特性（7）

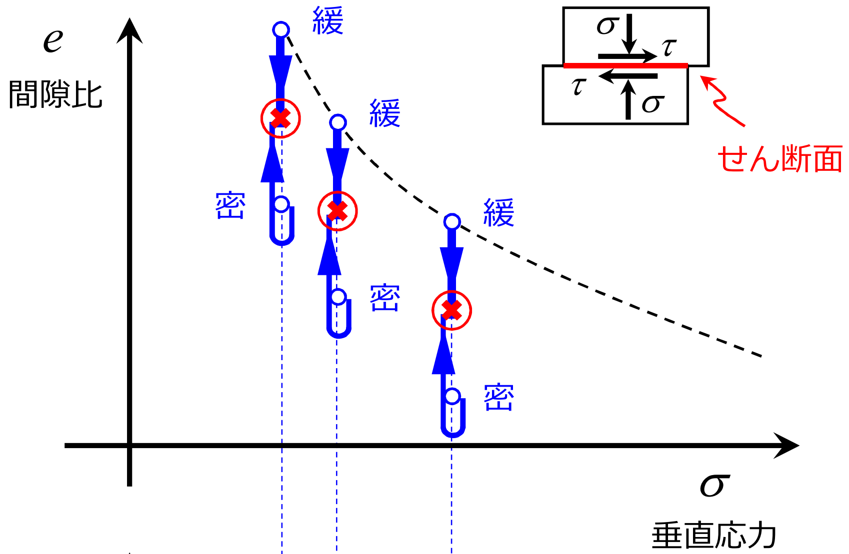
強度について

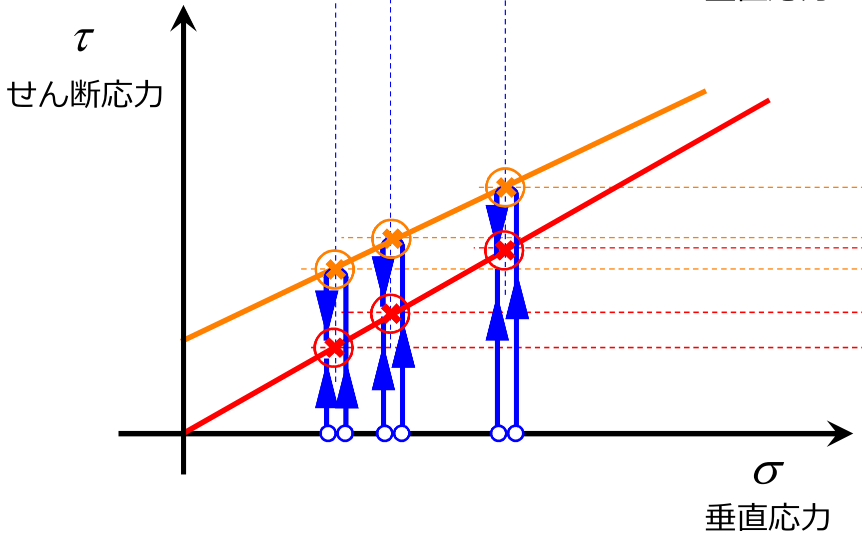


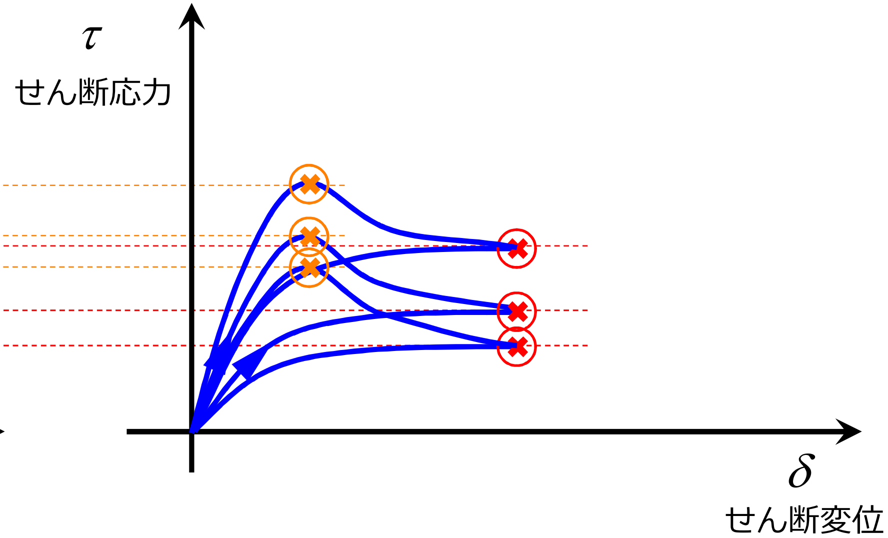
- ある垂直応力に対する残留（終局）状態の残留せん断強度と間隙比は唯一に定まる
- 密な状態からのせん断では，残留の前に最大せん断強度に至る場合がある

一面せん断に見るせん断特性（8）

破壊線

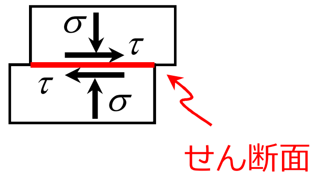






- 異なる垂直応力に対して
  残留せん断強度と最大せん断強度を得て
  それぞれ連ねると，概ね一本の直線に乗る
  （ σ と τ の関係）
- 残留せん断強度線は，切片がほとんどゼロ
- 最大せん断強度線は，切片を持つことが多い
- 強度を連ねた線を「破壊線」と呼ぶ

破壊線と破壊規準



破壊線を表現する式　＝　クーロンの破壊規準

$$\tau = c + \sigma \tan\phi$$

c　：粘着力（破壊線の切片）

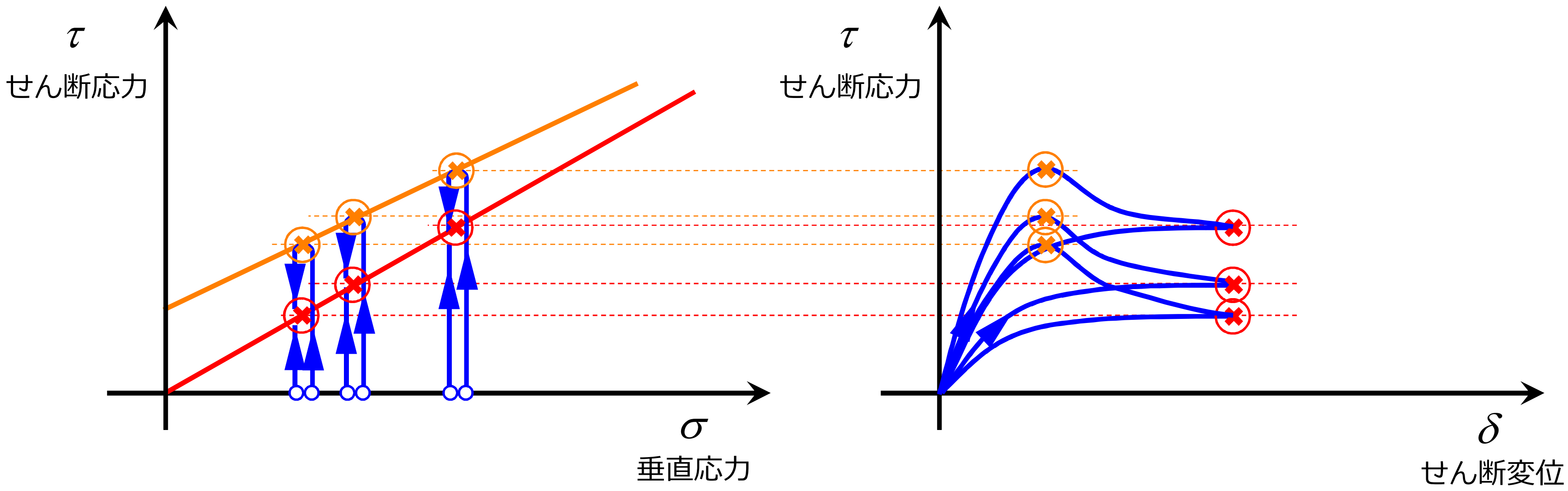
ϕ　：内部摩擦角（破壊線の角度）

- 残留せん断強度線は，切片がほとんどゼロ

  $\Rightarrow \quad c \simeq 0$

- 最大せん断強度線は，切片を持つことが多い

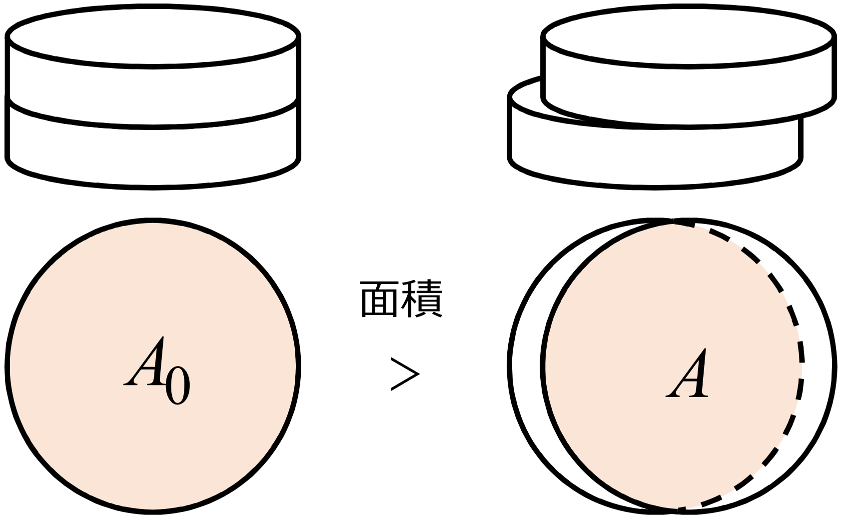
  $\Rightarrow \quad c > 0$



一面せん断の問題点（1）

- せん断面の面積が一定ではない

$$\sigma = \frac{N}{A_0} \qquad \tau = \frac{T}{A_0}$$

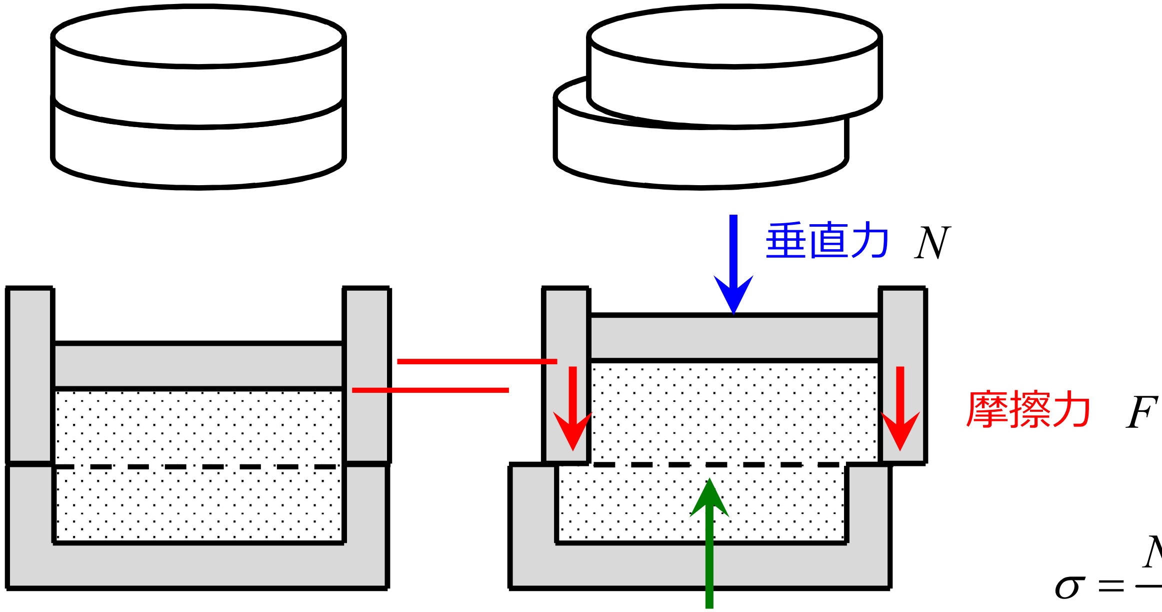


$$\sigma = \frac{N}{A} \quad ? \qquad \tau = \frac{T}{A} \quad ?$$

定圧条件では，一定の垂直力 N を与えることで垂直応力 σ を一定に保とうとするが，
断面積が変化するため，垂直応力は一定にならない。
せん断応力 τ は，水平力 T を断面積 A_0 で除して求めるが，
刻々と変化する断面積 A で除さなければ，過小評価することになる。

一面せん断の問題点（2）

- 摩擦の影響を受けやすい



$$\sigma = \frac{N+F}{A}\ ?$$

せん断によって体積変化する　=　上向きの変位が発生する

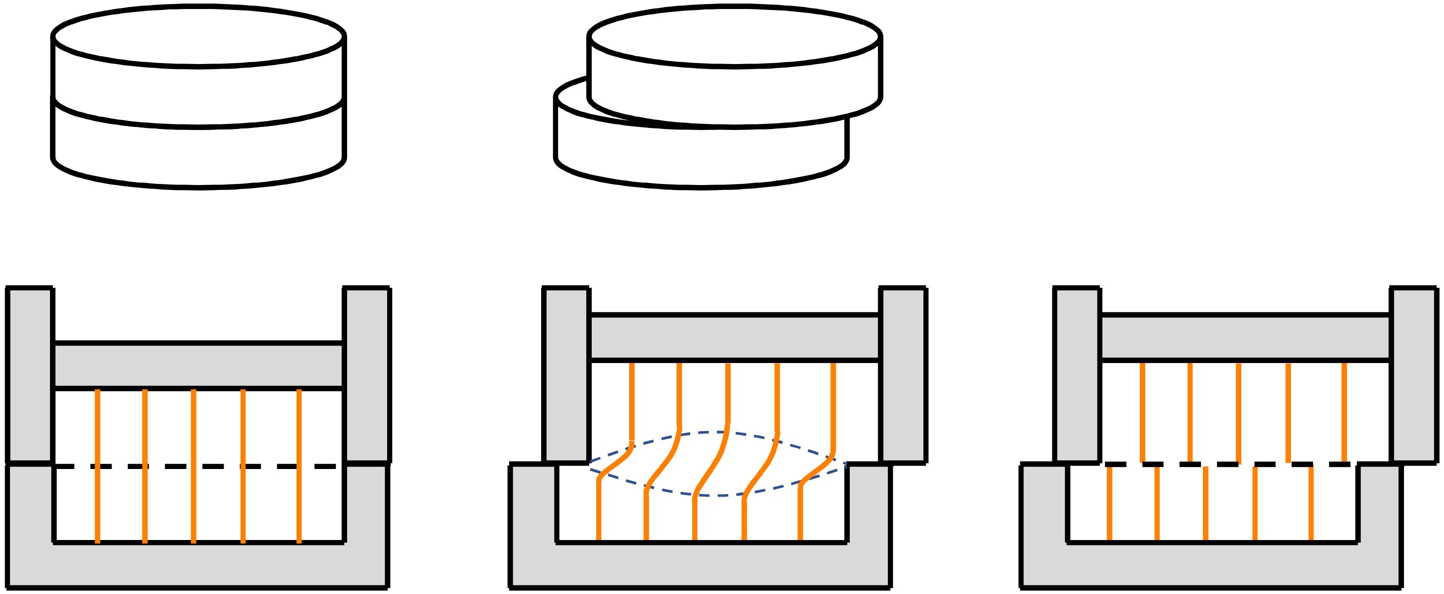
⇒　供試体とリングの間に摩擦力が発生する（摩擦力は評価困難）

⇒　垂直力と摩擦力の合力が，せん断面に作用することになる

⇒　せん断面に真に作用する垂直応力が分からない

一面せん断の問題点（3）

- 変形が一様ではない



実際の「一面」　理想的な「一面」

「一面」と言いつつ，面で滑っているだけではない（摩擦との違い）。

実際は，レンズ状の領域にせん断変形が生じる。この領域が局所的に体積変化する。

言い換えると，せん断され体積変化する領域としない領域がある（不均一）。

ダイレイタンシーの発生量（間隙比変化）を正確に見積もることができない。

偉人たち

Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806)

フランスの物理学者・土木技術者

土圧理論を提唱：クーロン土圧（1773）

摩擦力の法則に関する論文を発表（1779）

電磁気に関する３報の論文を発表：クーロンの法則（1785）

電荷の単位「クーロン」は彼の名にちなむ

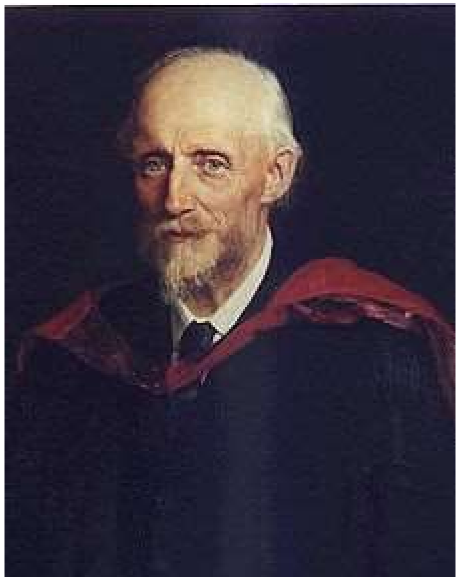
Osborne Reynolds (1842-1912)

イギリスの物理学者

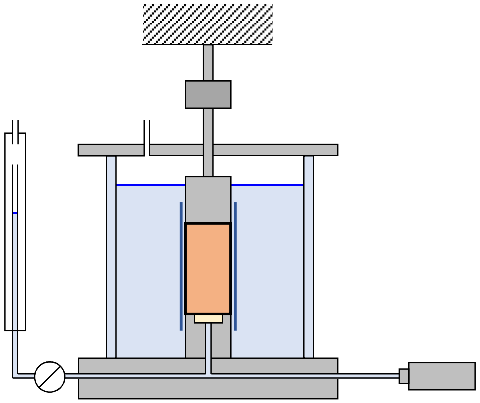
レイノルズ数の生みの親：流体力学

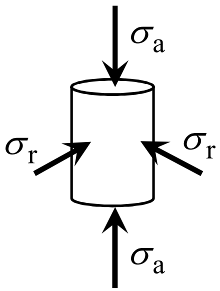
粒状材料のダイレイタンシー特性：粉体・粒状体力学

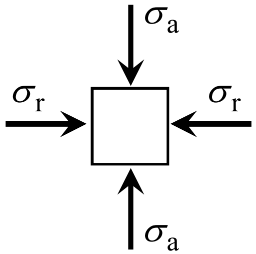
レイノルズの輸送定理：連続体力学



三軸せん断の特徴（1）





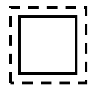


- 独立な２つの主応力（全応力）を制御 or 計測

  軸圧 σ_a と側圧 σ_r

- 実現できる応力条件

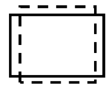
  (1)　等方条件：　$\sigma_a = \sigma_r = p$　（等方圧）

  等方的に圧密する場合の応力条件

  モール円は点。軸差応力はゼロであり，土はせん断されない

  (2)　圧縮せん断条件：　$\sigma_a > \sigma_r$

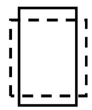
  軸方向の圧縮せん断の応力条件

  軸差応力が発生し，土はせん断される

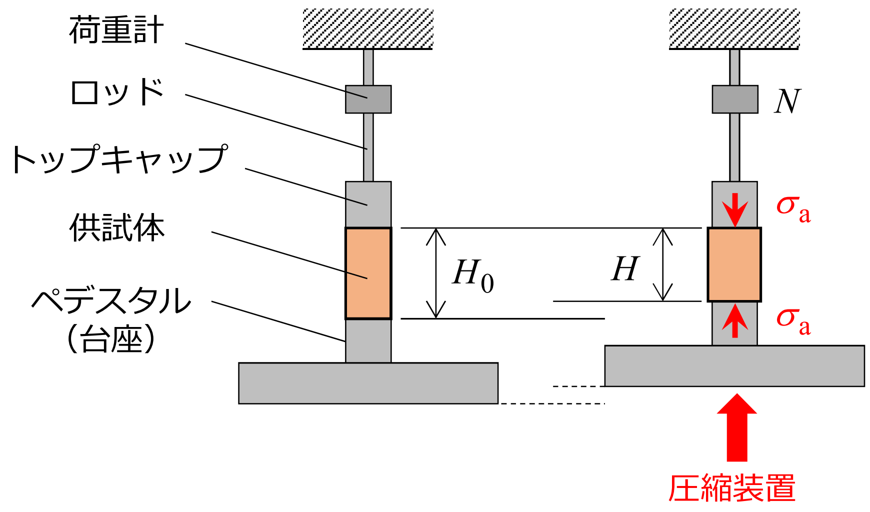
  (3)　伸長せん断条件：　$\sigma_a < \sigma_r$

  周方向から圧縮し，軸方向には伸張するせん断の応力条件

  軸差応力が発生し，土はせん断される

三軸せん断の特徴（2）



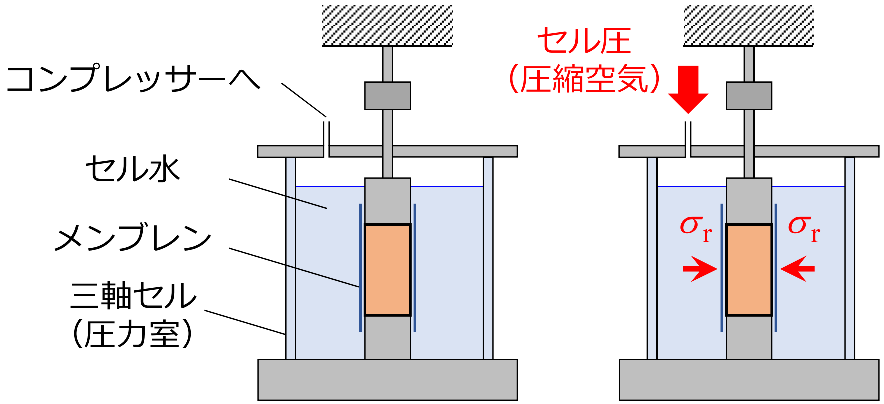
軸圧　σ_a（全応力）の付与

- 圧縮装置でペデスタルを上げる
- 変位量から軸ひずみ　ε_a　を算出

$$\varepsilon_a = -\frac{\Delta H}{H_0} = -\frac{H - H_0}{H_0}$$

- 供試体に作用する軸力は，ロッド（突張り棒）に具え付けの荷重計で計測する
- 荷重計で計測された軸力　N　を供試体の断面積で除すと，軸圧が求まる

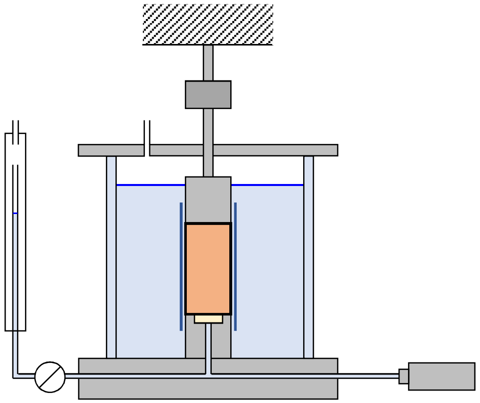
$$\sigma_a = \frac{N}{A}$$

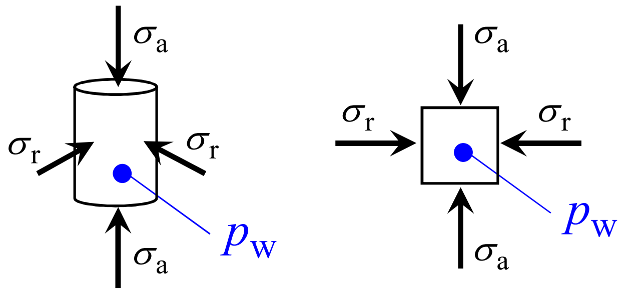


側圧　σ_r（全応力）の付与

- 供試体はメンブレン（ゴム膜）で被われ，セル室の中に入っている
- セル室はセル水で満たされるが，メンブレンがあるため，供試体には浸み込まない
- セル室の圧力を上げることで側圧を付与する

三軸せん断の特徴（3）





- 供試体内の間隙水圧 p_w を制御 or 計測

  既知量として与えるか，
  土の都合で変化する値を測るか

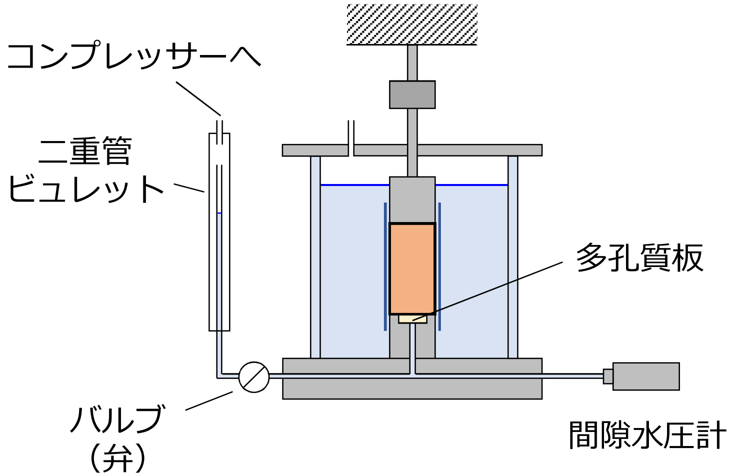
- 間隙水圧 p_w が分かれば，有効応力が求まる

有効応力の　軸圧：　$\sigma_a' = \sigma_a - p_w$

側圧：　$\sigma_r' = \sigma_r - p_w$

※　土質力学Ⅱでは飽和土のみを対象とする

三軸せん断の特徴（4）

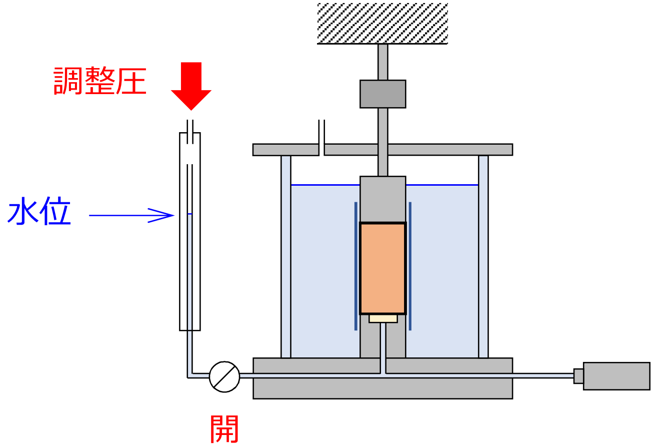


間隙水に関わる仕掛け

- 供試体の底面から多孔板を介して管路を設ける
- 管路は水で満たされ，供試体内の間隙水と連続している
- 管路は分岐し，一方は間隙水圧計に，他方は二重管ビュレットに連結
- 二重管ビュレットへの経路にはバルブが備わる

間隙水圧 p_w を制御するとき　「排水条件」

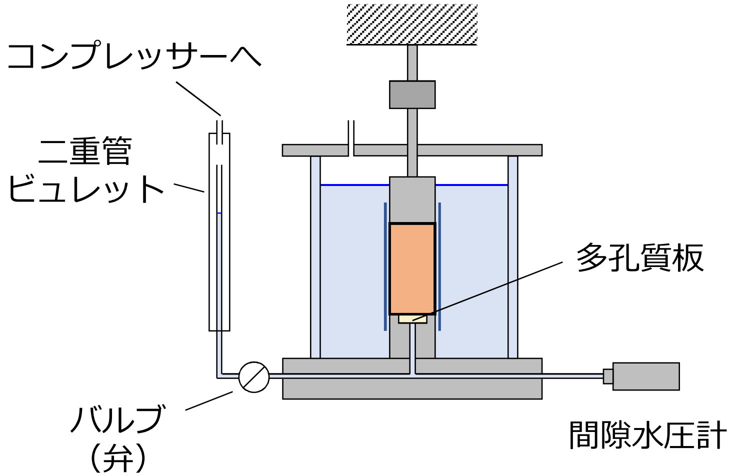
- バルブを開けた状態にする
- 供試体に付与したい調整圧を二重管ビュレットに送る
- ビュレット内の水は，供試体内の間隙水と連続しているため，調整圧そのものが間隙水圧となる



重要

- 間隙水圧を一定に保つ「排水条件」では，この制御
- ビュレットの水位を計測することで，供試体の体積変化量を求める
- 供試体が収縮　＝　供試体から排水　＝　ビュレットの水位上昇
- 供試体が膨張　＝　供試体が　吸水　＝　ビュレットの水位低下

三軸せん断の特徴（5）

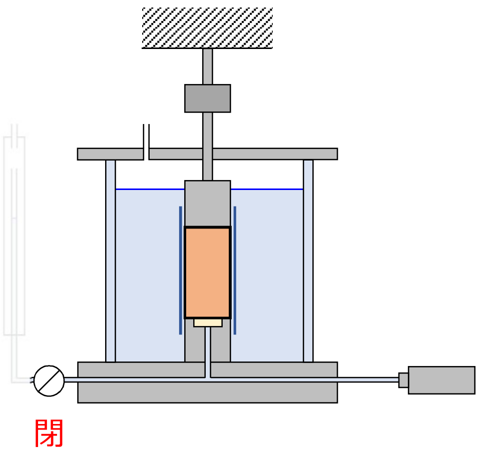


間隙水に関わる仕掛け

- 供試体の底面から多孔板を介して管路を設ける
- 管路は水で満たされ，供試体内の間隙水と連続している
- 管路は分岐し，一方は間隙水圧計に，他方は二重管ビュレットに連結
- 二重管ビュレットへの経路にはバルブが備わる

間隙水圧 p_{w} を計測するとき　主に「非排水条件」

- バルブを閉じた状態にする（ビュレットは使わない）
- 供試体内の間隙水は間隙水圧計に直結するので，間隙水圧計で計測値が間隙水圧となる



重要

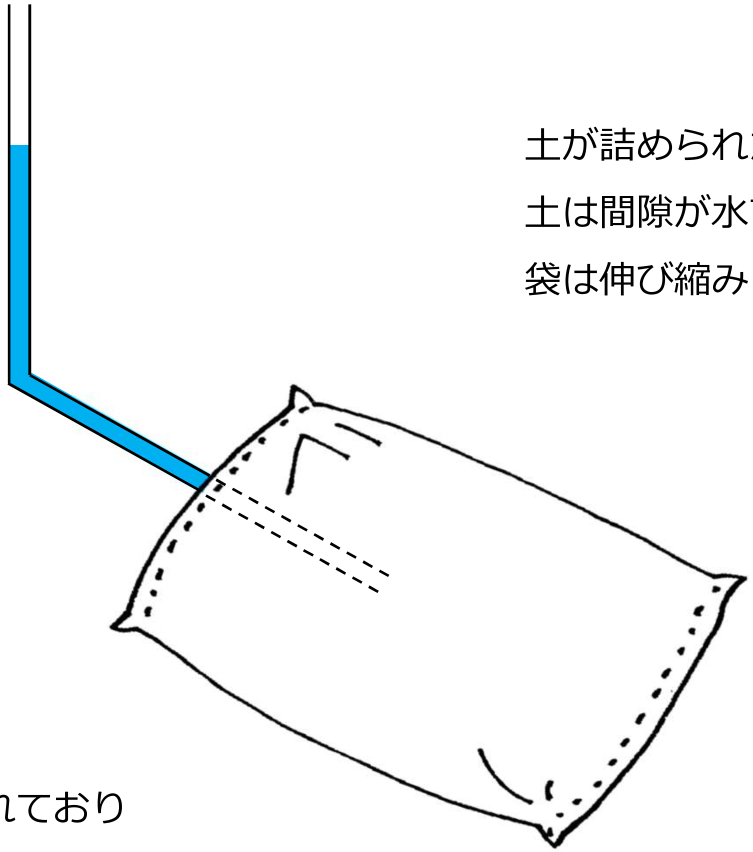
- 供試体の体積変化を許さない「非排水条件」では，この制御
- 水が移動できず，供試体が吸水／排水できない
- 体積変化できない代償として，間隙水圧が増減する

収縮しようとするけどできないとき　＝　間隙水圧は増加

膨張しようとするけどできないとき　＝　間隙水圧は減少

閑話休題

ダイレイタンシーに起因する排水・吸水と間隙水圧の発生



土が詰められた袋

土は間隙が水で飽和している

袋は伸び縮みし，水を通さず破れない

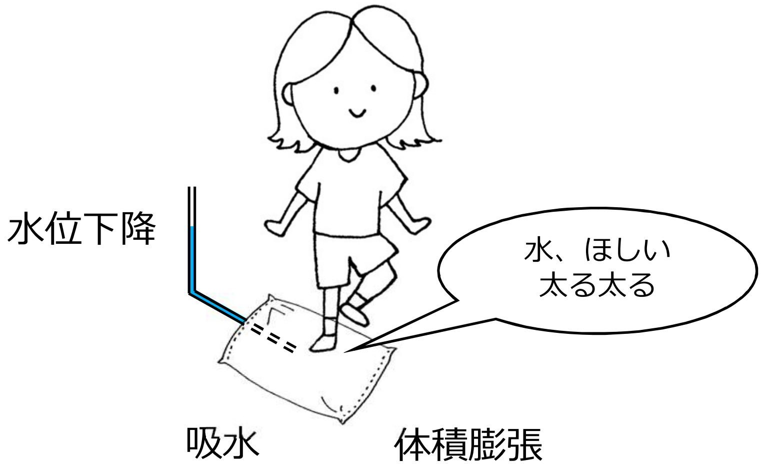
袋には管が挿し込まれており

管内の水は土中の間隙水と連続している

閑話休題

ダイレイタンシーに起因する排水・吸水と間隙水圧の発生

踏むことによって，せん断応力が作用する



せん断され，

土の体積が収縮することを
負のダイレイタンシーと呼ぶ。
土は水を排するため，管の水位は上がる

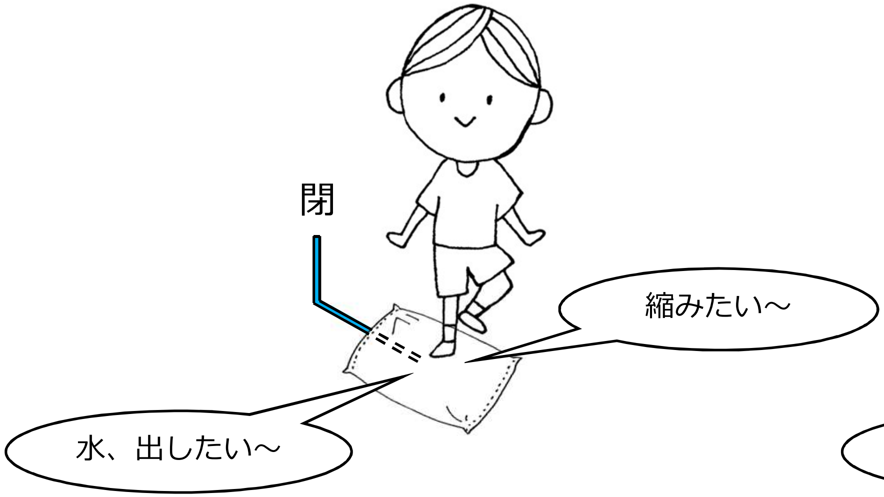
土の体積が膨張することを
正のダイレイタンシーと呼ぶ。
土は水を吸うため，管の水位は下がる

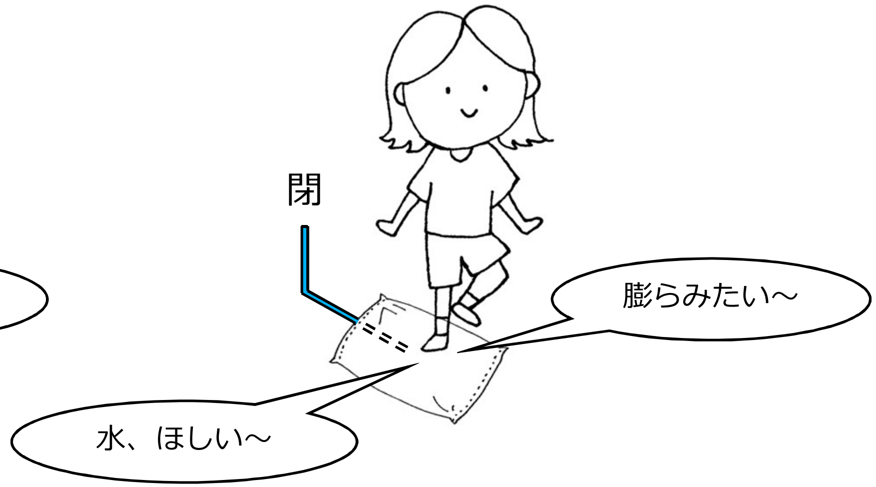
上記は，吸水・排水が可能な「排水条件」の場合

閑話休題

ダイレイタンシーに起因する排水・吸水と間隙水圧の発生

吸水・排水が許されない「非排水条件」の場合





せん断され,

負のダイレイタンシーを発現する土は
収縮・排水したい、ができない。
管内の水を内部から押す、
すなわち、間隙水圧は増加する。

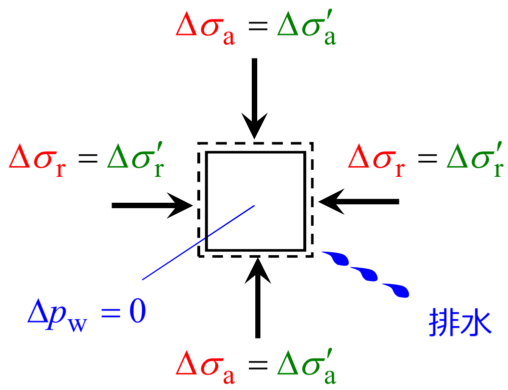
正のダイレイタンシーを発現する土は
膨張・吸水したい、ができない。
管内の水を内部から引く、
すなわち、間隙水圧は減少する。

三軸せん断の手順

基本的に（土質力学Ⅱで考える範疇では）

- まず，目標とする状態まで圧密する　＝　圧密過程
  - ✓ 圧密は排水条件。間隙水圧 p_w を一定に制御： $\Delta p_w = 0$
  - ✓ 応力比を変えない様に，軸圧 σ_a と側圧 σ_r を付与

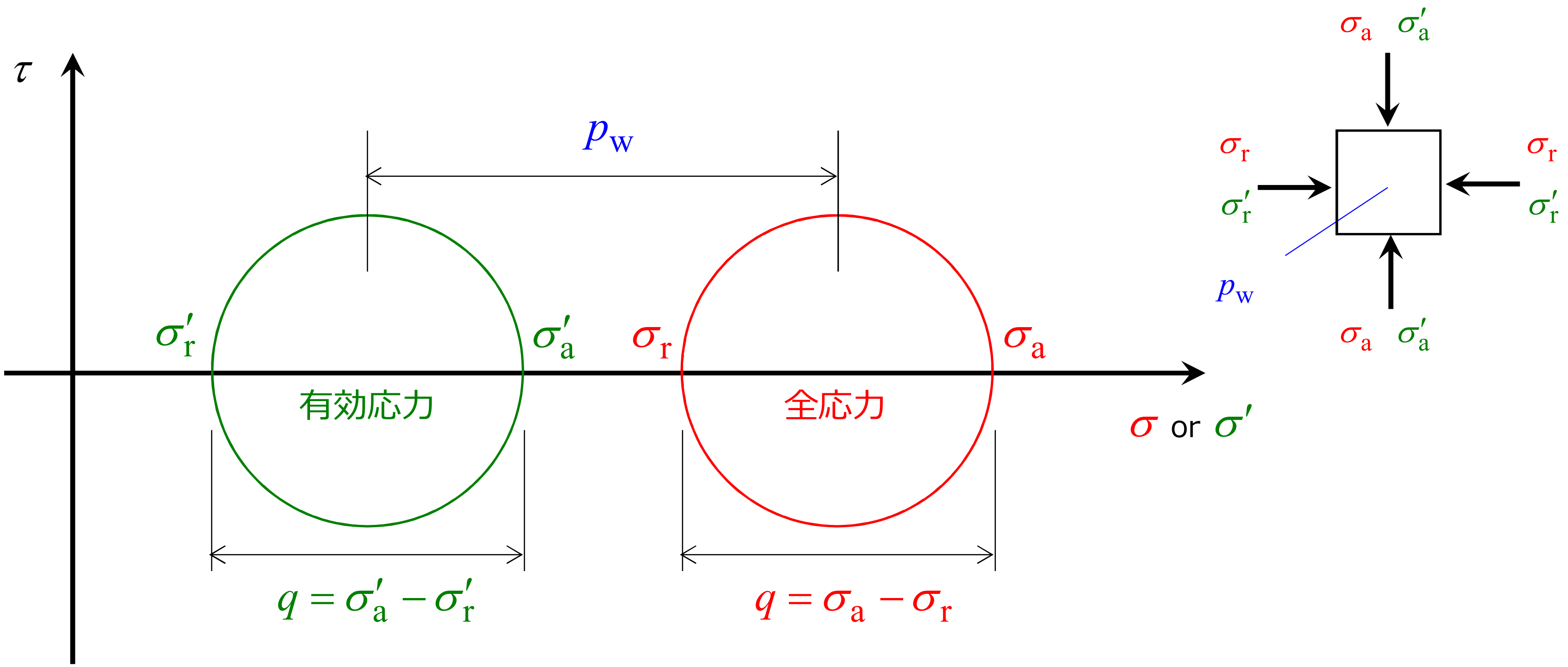
    特に，等方圧密の場合， $\sigma_a = \sigma_r = p$
  - ✓ 間隙水圧の変化はないので，有効応力は全応力と同じだけ変化
  - ✓ 排水量から土の体積変化を把握し，圧密過程の間隙比変化を知る



- 圧密後，条件を決めてせん断する　＝　せん断過程
  - ✓ せん断　＝　主応力差（軸差応力）$\sigma_a - \sigma_r$　が発生する様に，全応力を付与
  - ✓ 「間隙水圧を一定に保つ排水条件」or「体積（間隙比）を一定に保つ非排水条件」

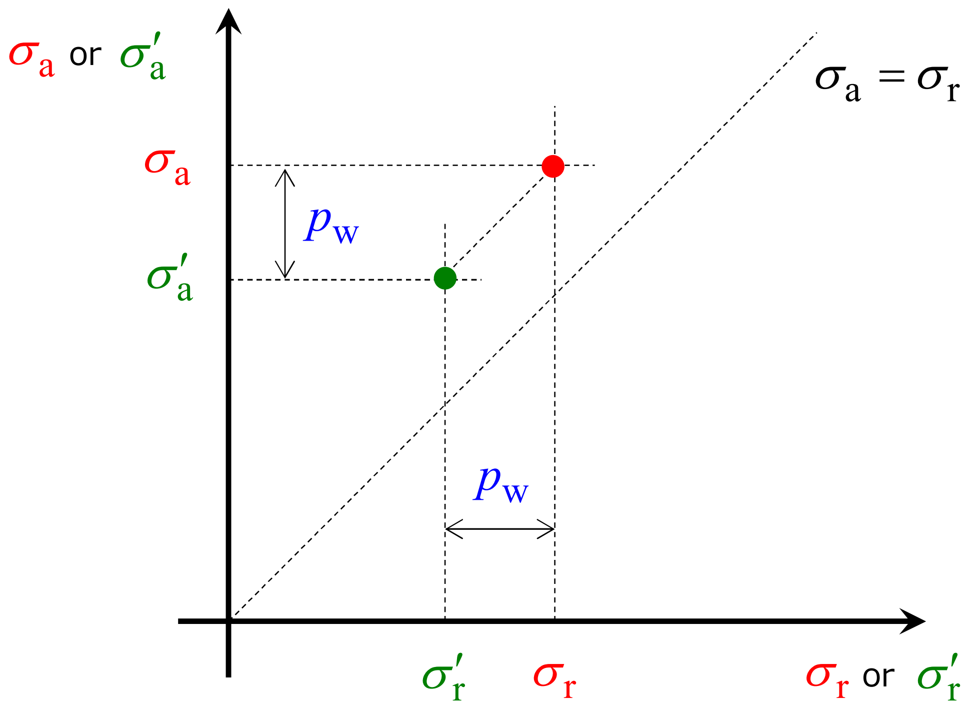
応力状態・応力経路の図示（1）

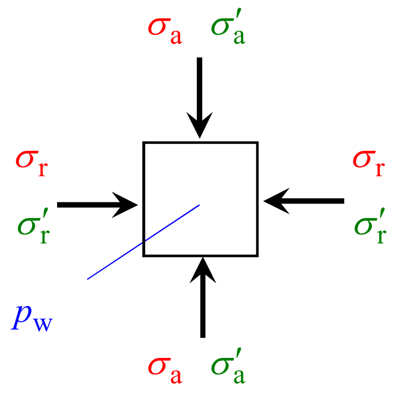
- おなじみ，モールの応力円
  - ✓ モール円の大きさと位置で応力状態を把握
  - ✓ せん断の程度　＝　モール円の直径　＝　主応力差： $q = \sigma_a - \sigma_r$
  - ✓ 間隙水圧の大きさ　＝　全応力と有効応力の円の差



応力状態・応力経路の図示（2）

- 軸圧と側圧をプロット，その軌跡を表示
  - ✓ 応力成分そのものをプロットするので直観的
  - ✓ 全応力点と有効応力点は，$\sqrt{2}\,p_{\mathrm{w}}$ だけ離れている
  - ✓ 45°の線に乗っていれば等方応力状態。離れるほど主応力差が大きく，せん断された状態





応力状態・応力経路の図示（3）

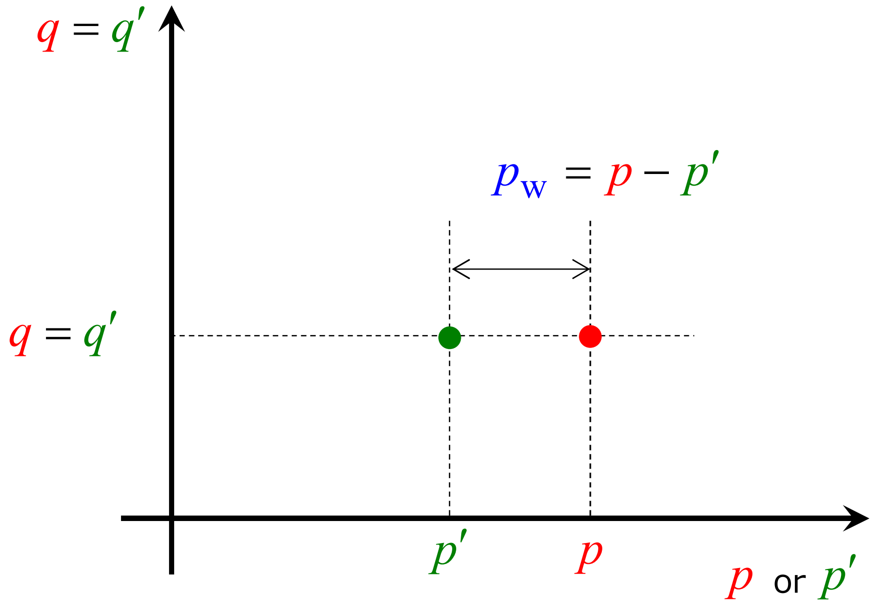
- 平均応力と主応力差（軸差応力）をプロット，その軌跡を表示

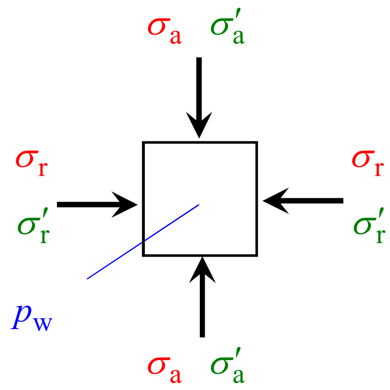
全応力： 平均応力 $p = \frac{1}{3}(\sigma_a + 2\sigma_r)$ 軸差応力 $q = \sigma_a - \sigma_r$

有効応力： 平均有効応力 $p' = \frac{1}{3}(\sigma'_a + 2\sigma'_r)$ 軸差応力 $q' = \sigma'_a - \sigma'_r$

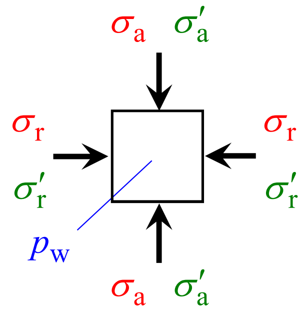
✓ 全応力点と有効応力点は， p_w だけ離れている

✓ p 軸上に乗っていれば等方応力状態。離れるほど軸差応力が作用し，せん断された状態

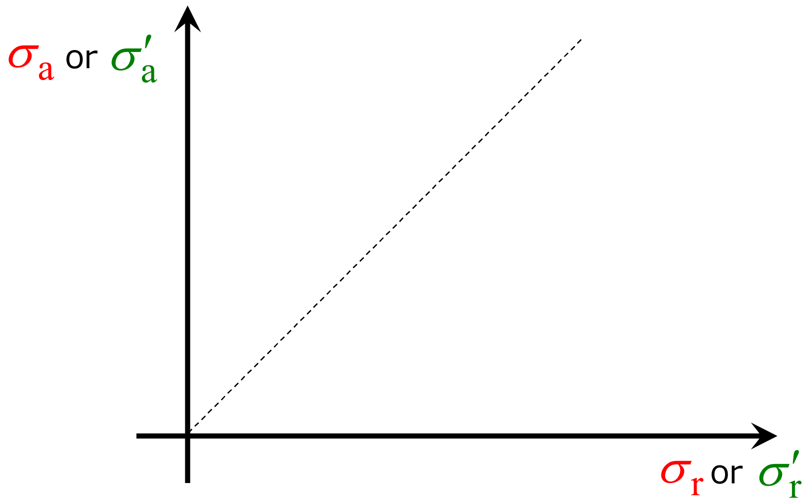


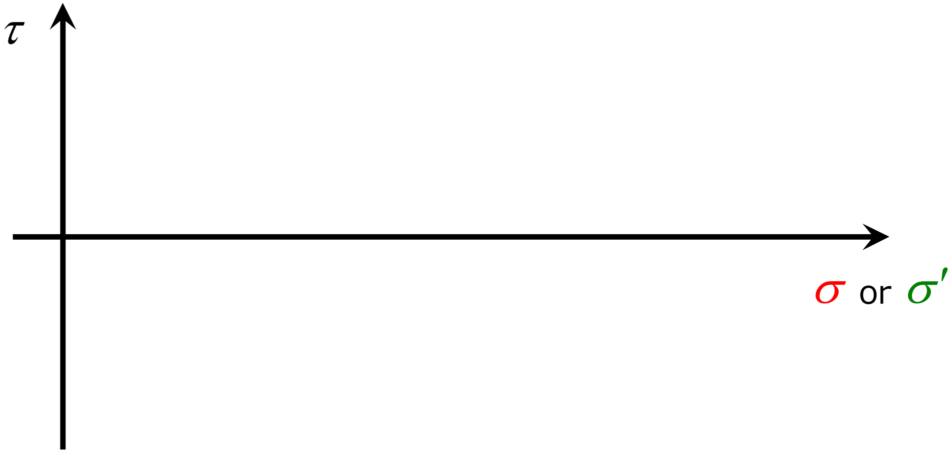


応力状態と応力経路 — 等方圧密（1）

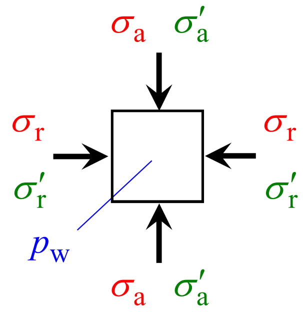


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①圧密前	p_i	p_i	p_i	0	u_b （>0）
増分	Δp	Δp	Δp	0	0 排水
②圧密後	$p_i + \Delta p$			0	u_b

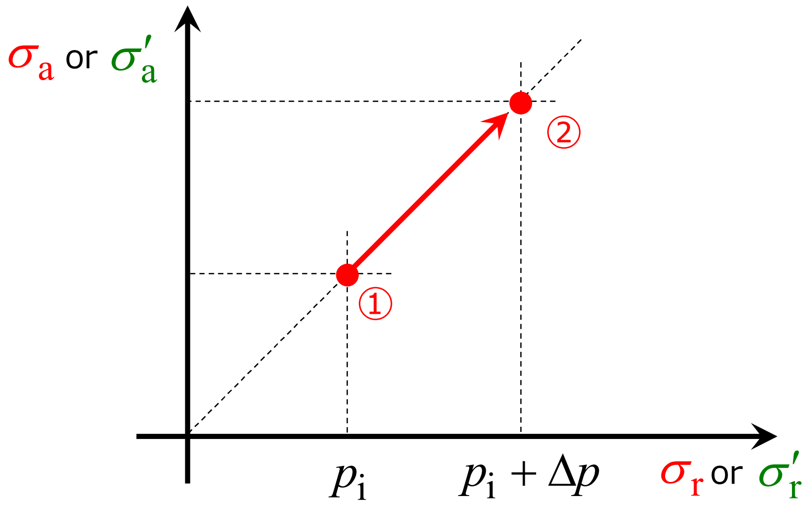


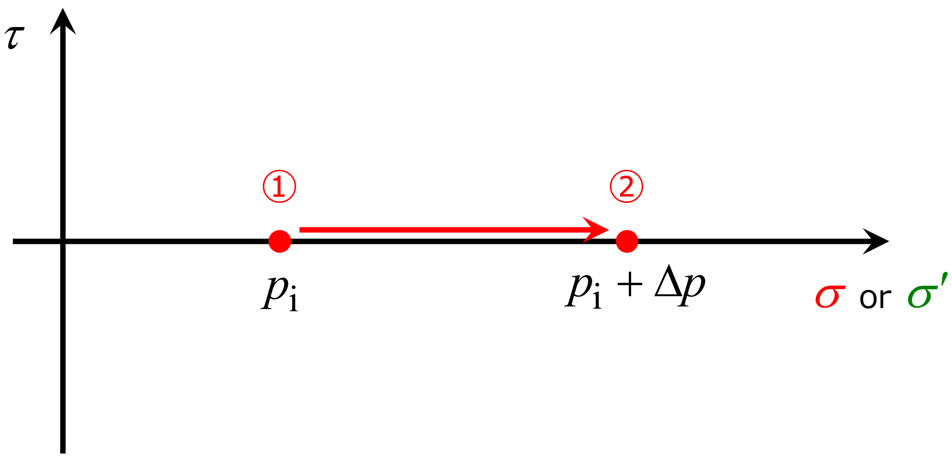


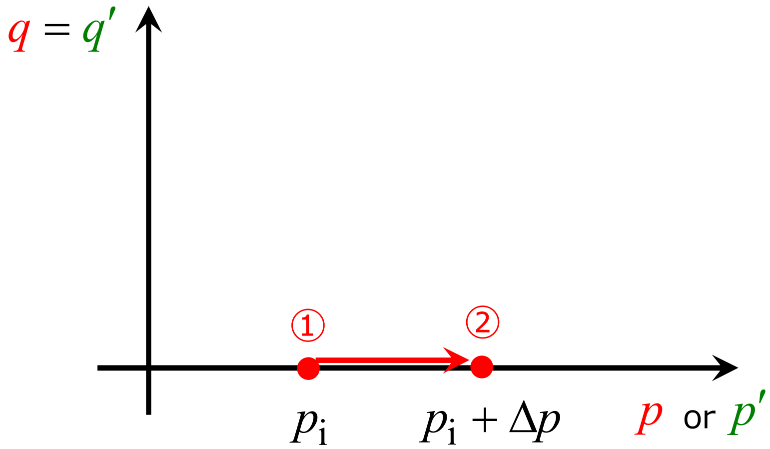
応力状態と応力経路 — 等方圧密（2）



	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①圧密前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	Δp	Δp	Δp	0	0 排水
②圧密後	$p_i + \Delta p$			0	u_b

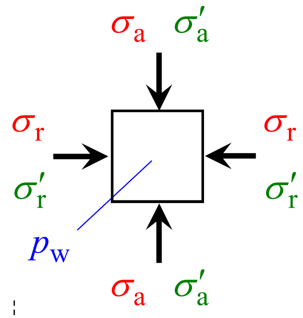




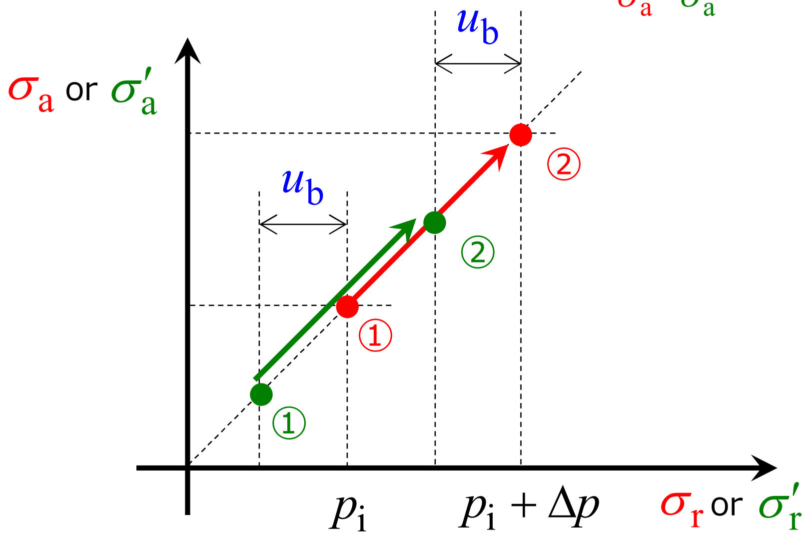


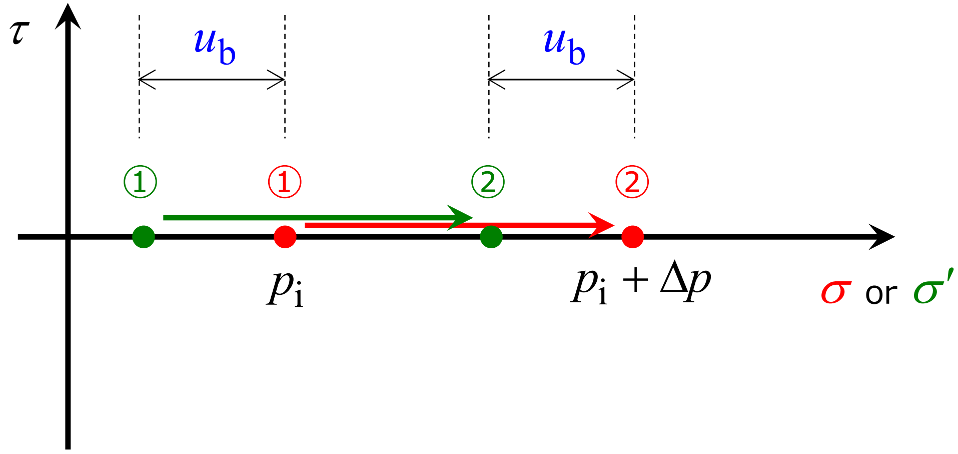
※ 等方応力 → モール円は点

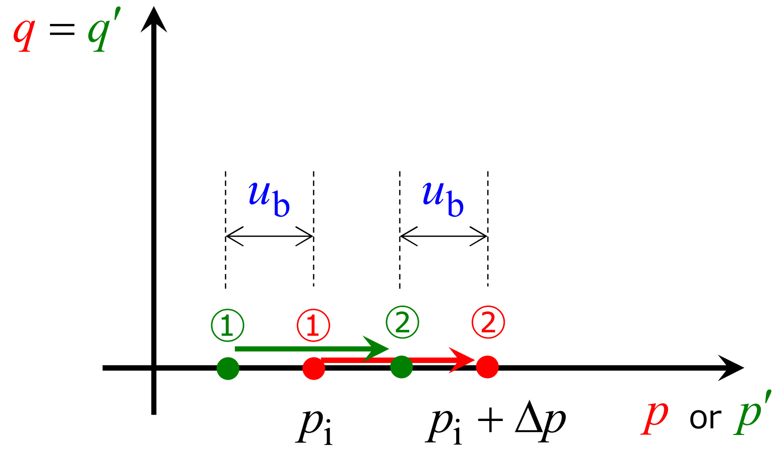
応力状態と応力経路　—　等方圧密（3）



	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①圧密前	p_i	p_i	p_i	0	u_b （>0）
増分	Δp	Δp	Δp	0	0 排水
②圧密後	$p_i + \Delta p$			0	u_b

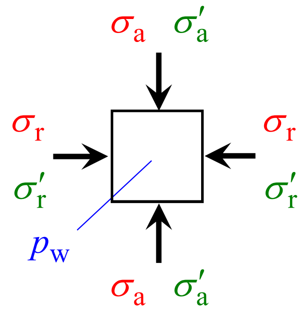






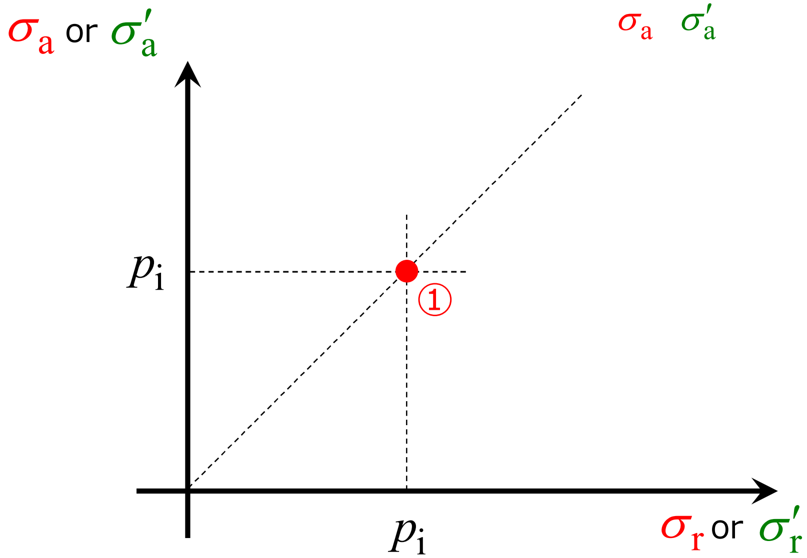
※　等方応力　→　モール円は点

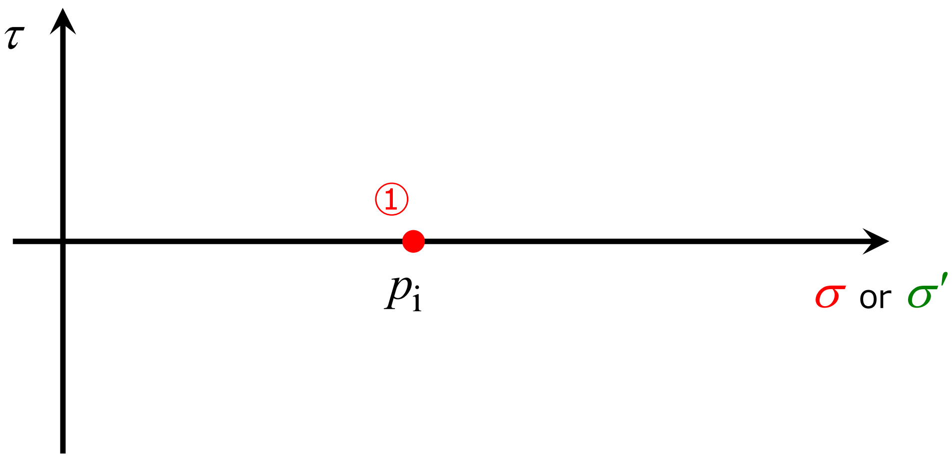
応力状態と応力経路 ― 排水せん断（1）

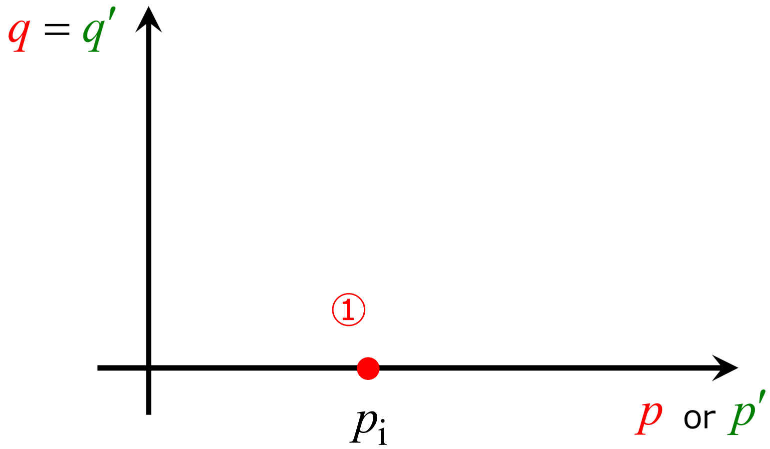


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b （>0）
増分	$\Delta\sigma_a$	0			0 一定
②せん断後					u_b

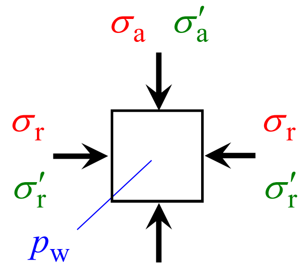
側圧一定





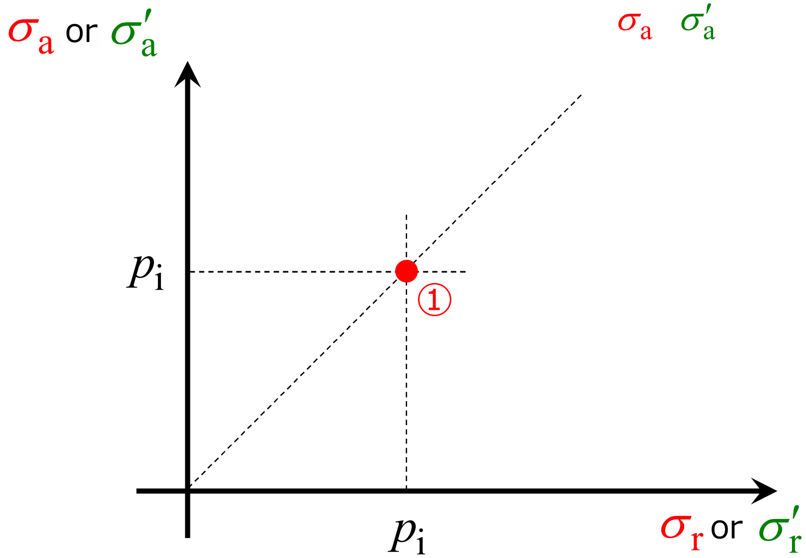


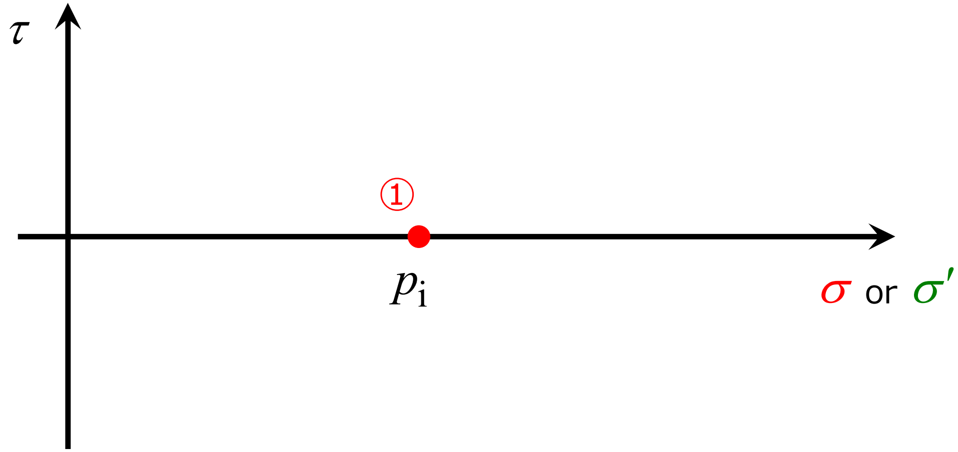
応力状態と応力経路 ― 排水せん断（2）

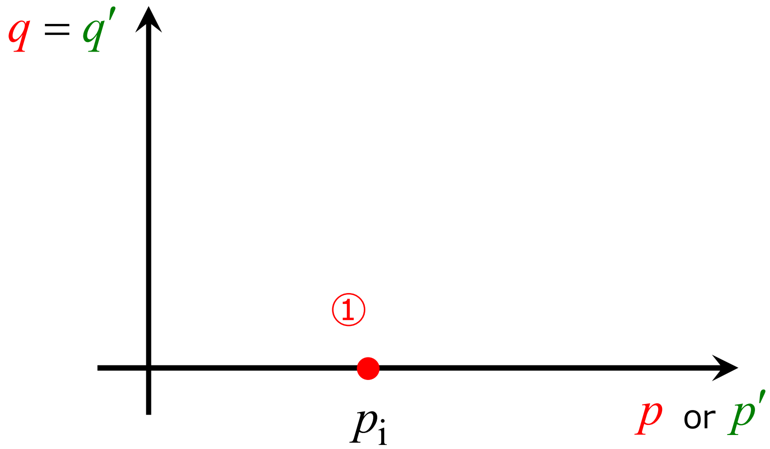


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b （>0）
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	0 一定
②せん断後					u_b

側圧一定

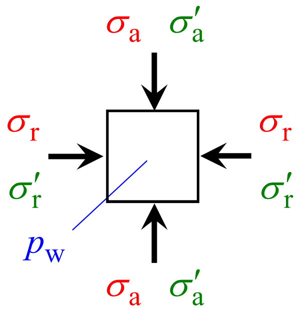






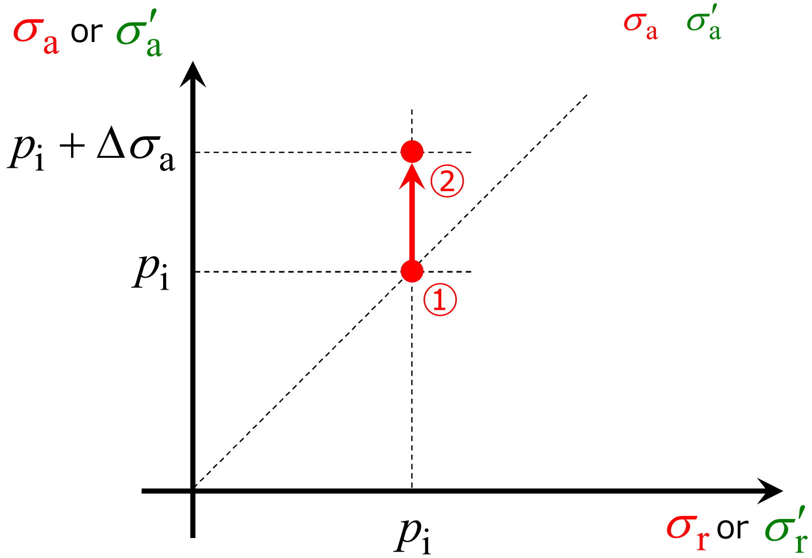
$$\Delta p = \frac{1}{3}\left(\Delta\sigma_a + 2\Delta\sigma_r\right) = \frac{1}{3}\Delta\sigma_a \quad \Delta q = \Delta\sigma_a - \Delta\sigma_r = \Delta\sigma_a$$

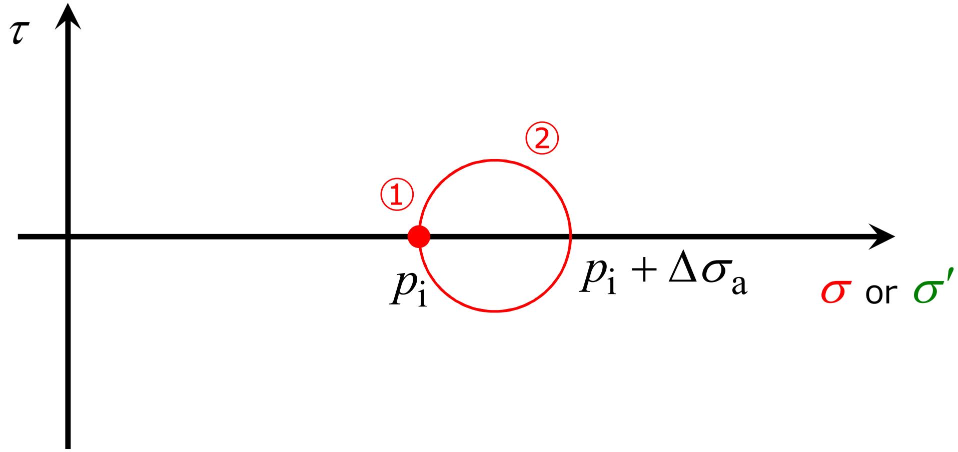
応力状態と応力経路 — 排水せん断（3）

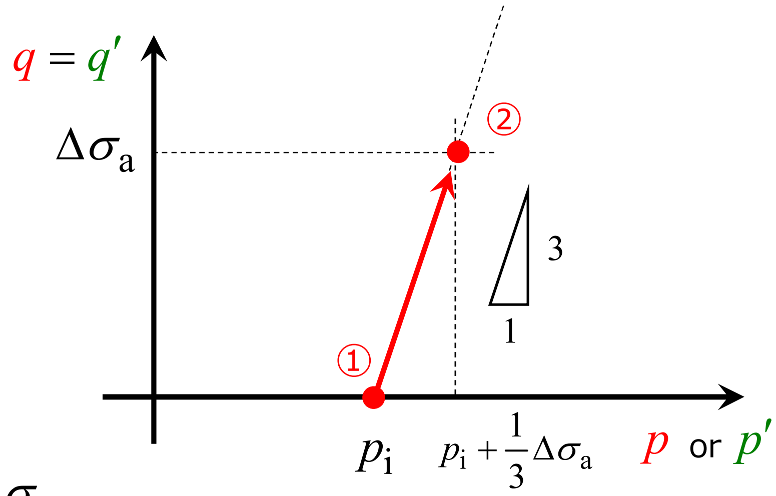


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b （>0）
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	0 一定
②せん断後	$p_i+\Delta\sigma_a$	p_i			u_b

側圧一定

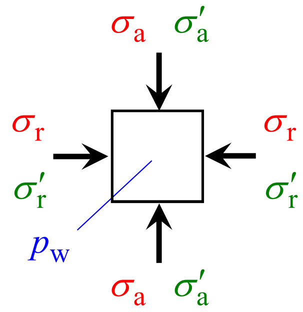






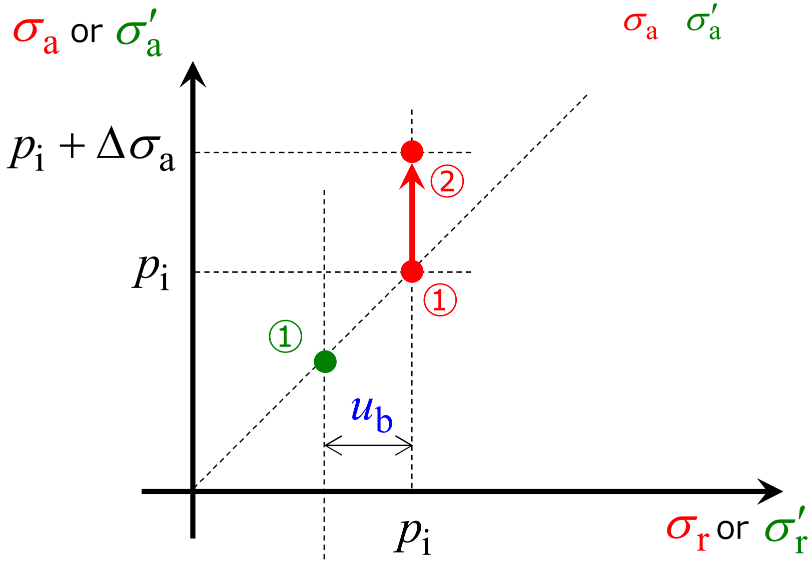
$$\Delta p=\frac{1}{3}\left(\Delta\sigma_a+2\Delta\sigma_r\right)=\frac{1}{3}\Delta\sigma_a \quad \Delta q=\Delta\sigma_a-\Delta\sigma_r=\Delta\sigma_a$$

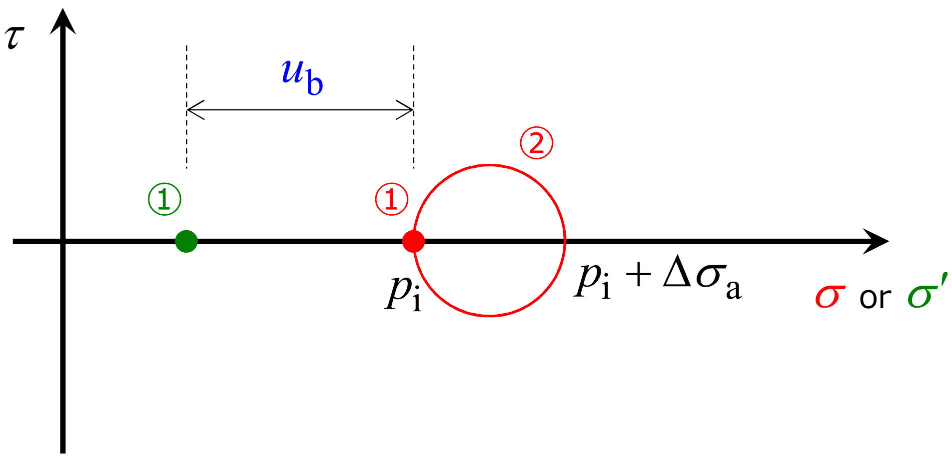
応力状態と応力経路 ― 排水せん断（4）

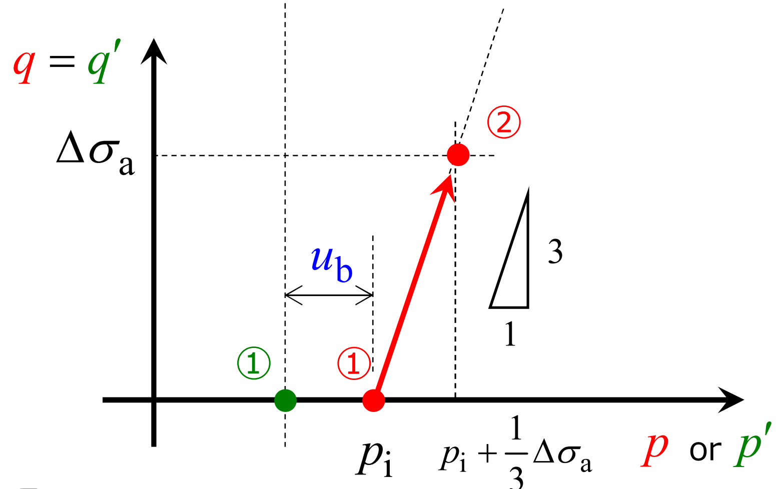


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	0 一定
②せん断後	$p_i+\Delta\sigma_a$	p_i			u_b

側圧一定

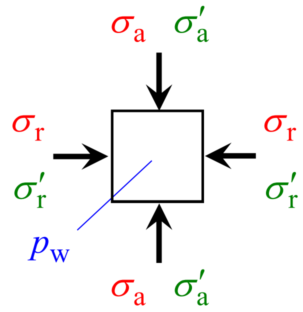






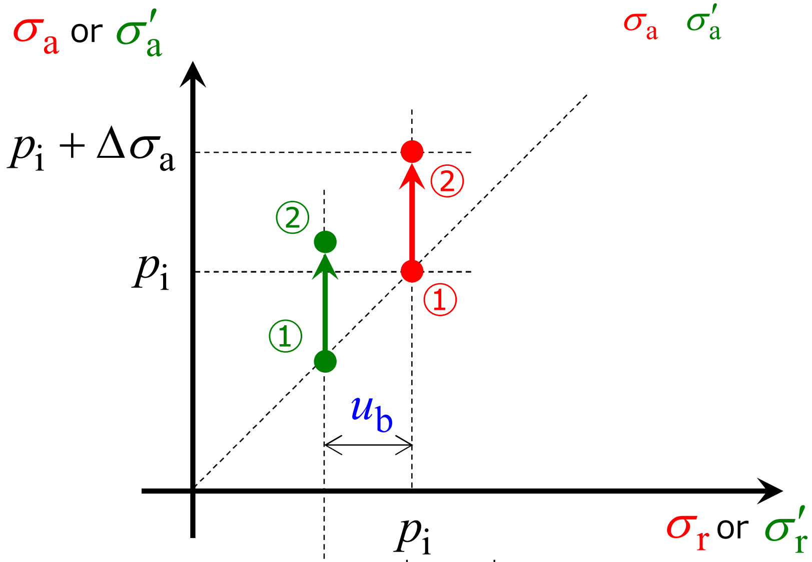
$$\Delta p=\frac{1}{3}\left(\Delta\sigma_a+2\Delta\sigma_r\right)=\frac{1}{3}\Delta\sigma_a \quad \Delta q=\Delta\sigma_a-\Delta\sigma_r=\Delta\sigma_a$$

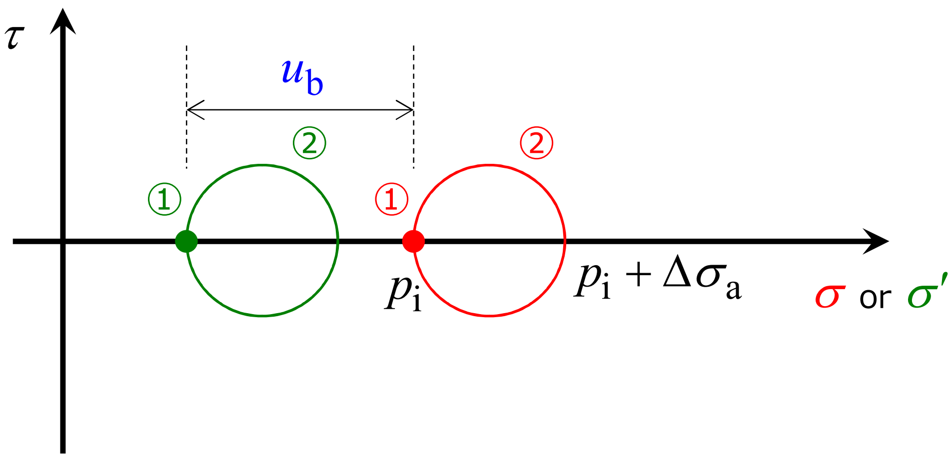
応力状態と応力経路 ― 排水せん断（5）

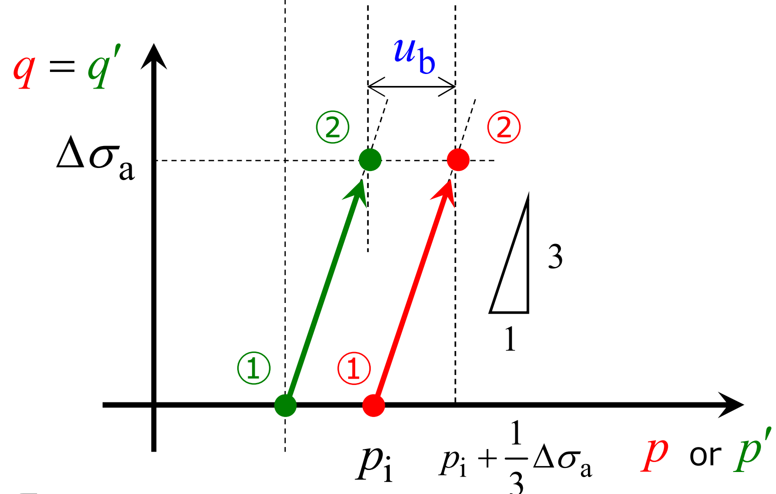


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	0 一定
②せん断後	$p_i+\Delta\sigma_a$	p_i			u_b

側圧一定

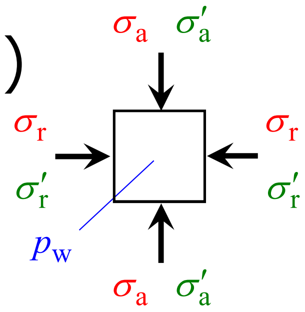






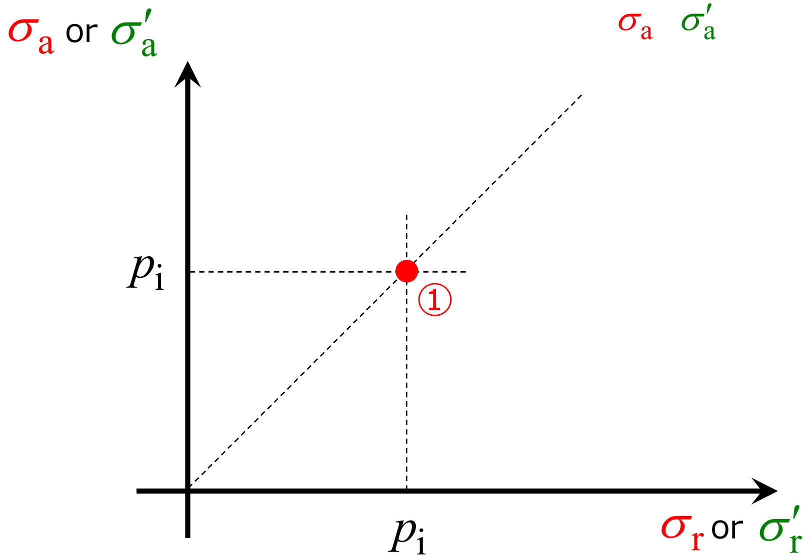
$$\Delta p=\frac{1}{3}\left(\Delta\sigma_a+2\Delta\sigma_r\right)=\frac{1}{3}\Delta\sigma_a \quad \Delta q=\Delta\sigma_a-\Delta\sigma_r=\Delta\sigma_a$$

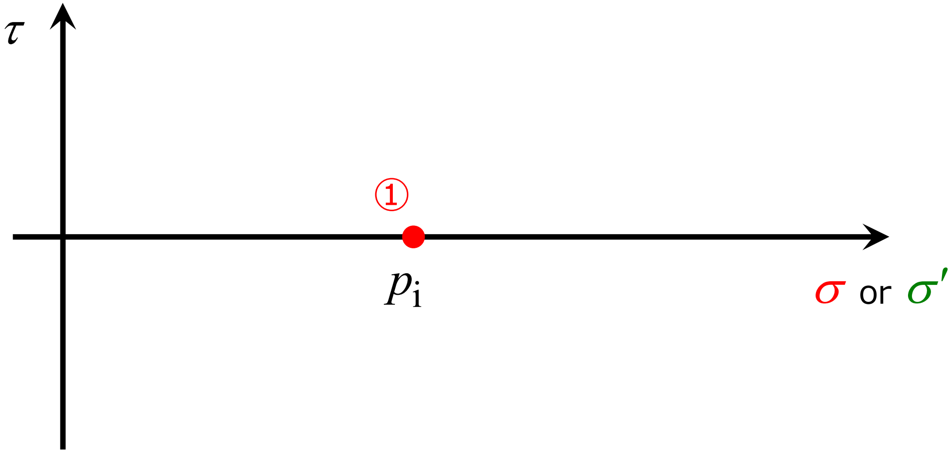
応力状態と応力経路 — 非排水せん断（1）

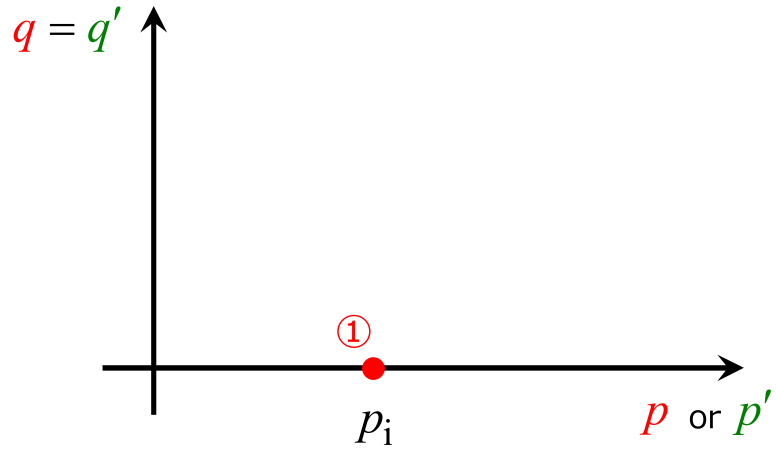


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	Δp_w 変化
②せん断後	$p_i+\Delta\sigma_a$	p_i			$u_b+\Delta p_w$

側圧一定

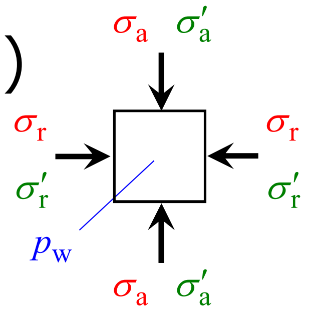






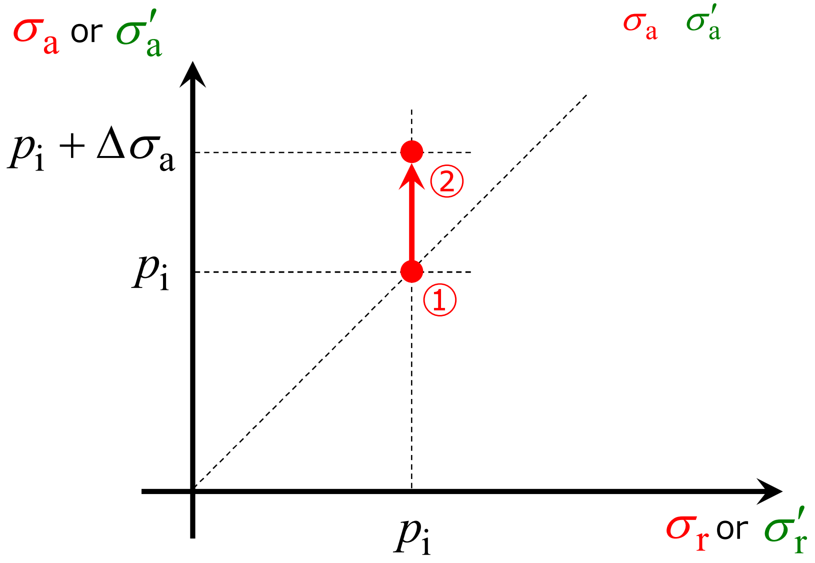
応力状態と応力経路 — 非排水せん断（2）

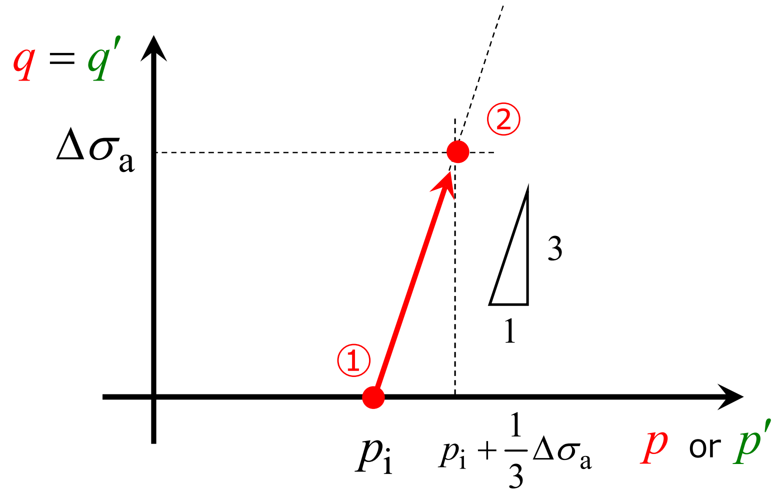
$\Delta p_w > 0$ の場合

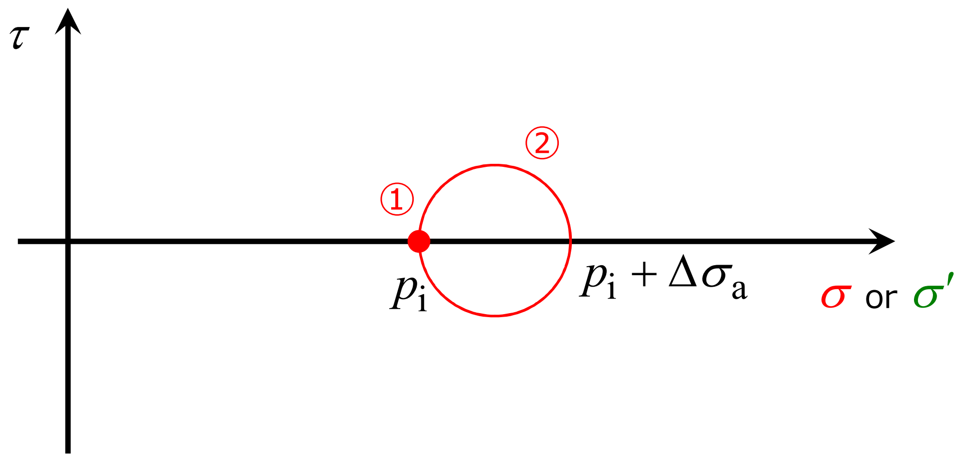


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	Δp_w >0
②せん断後	$p_i + \Delta\sigma_a$	p_i			$u_b + \Delta p_w$

側圧一定

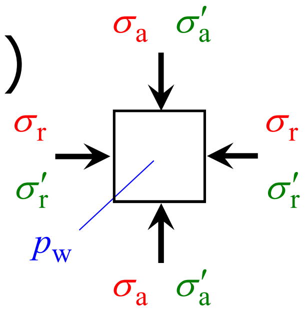






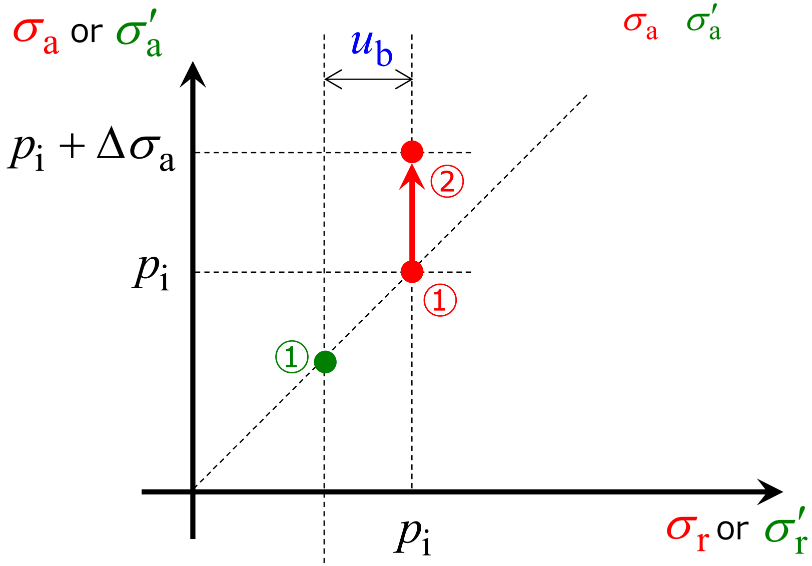
応力状態と応力経路 — 非排水せん断（3）

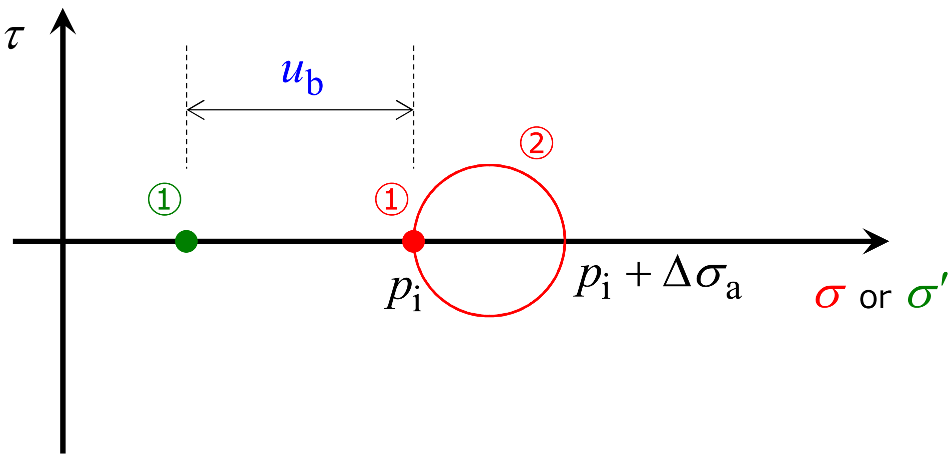
$\Delta p_\mathrm{w} > 0$ の場合

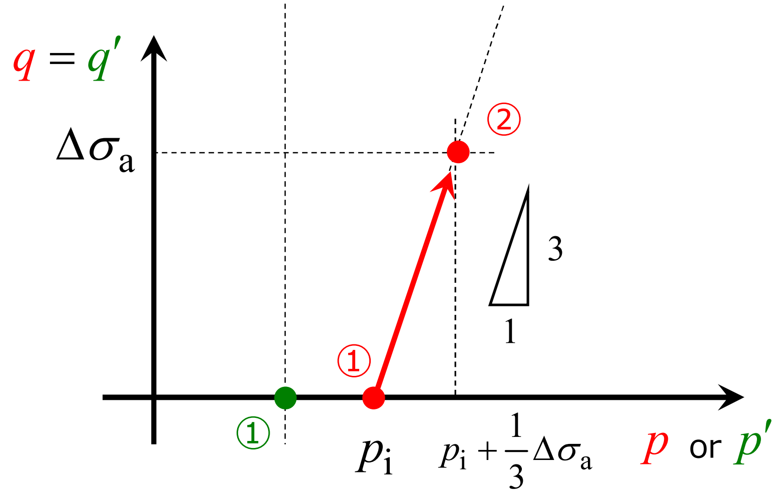


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_\mathrm{a}$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_\mathrm{a}$	$\Delta\sigma_\mathrm{a}$	Δp_w >0
②せん断後	$p_\mathrm{i}+\Delta\sigma_\mathrm{a}$	p_i			$u_\mathrm{b}+\Delta p_\mathrm{w}$

側圧一定

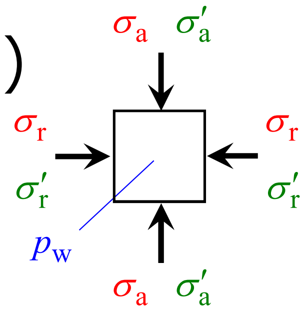




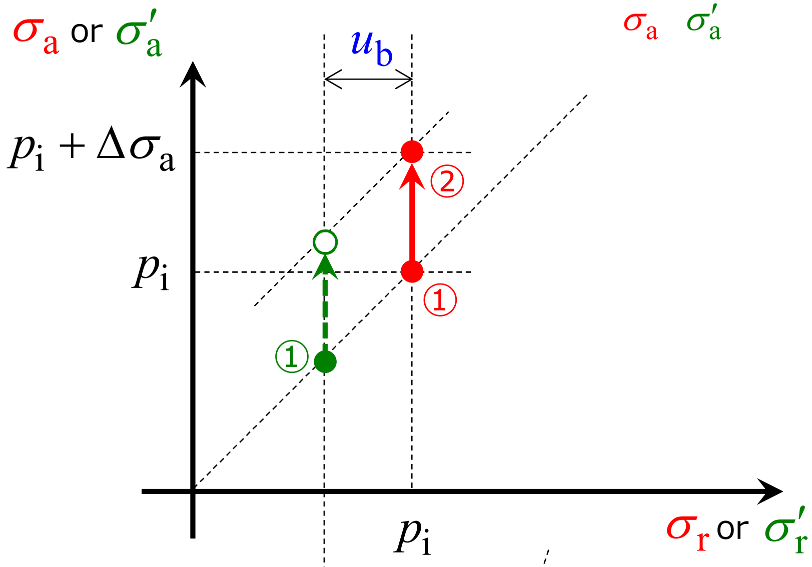


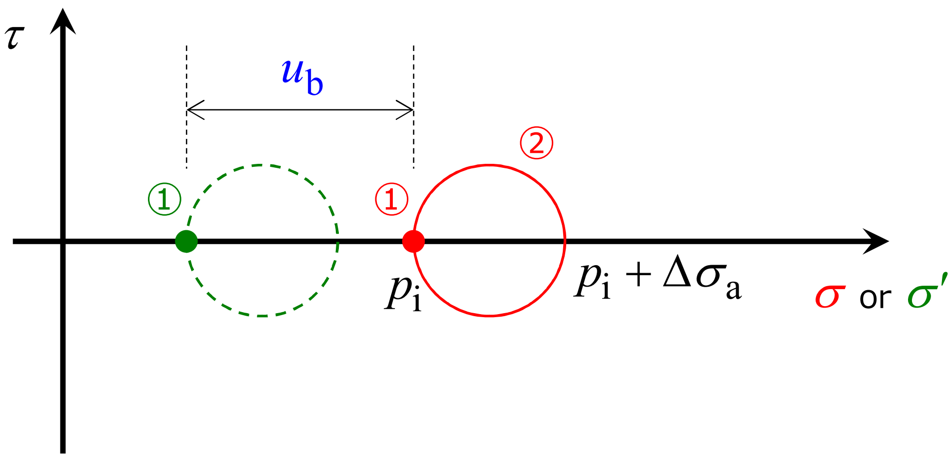
応力状態と応力経路 ― 非排水せん断（4）

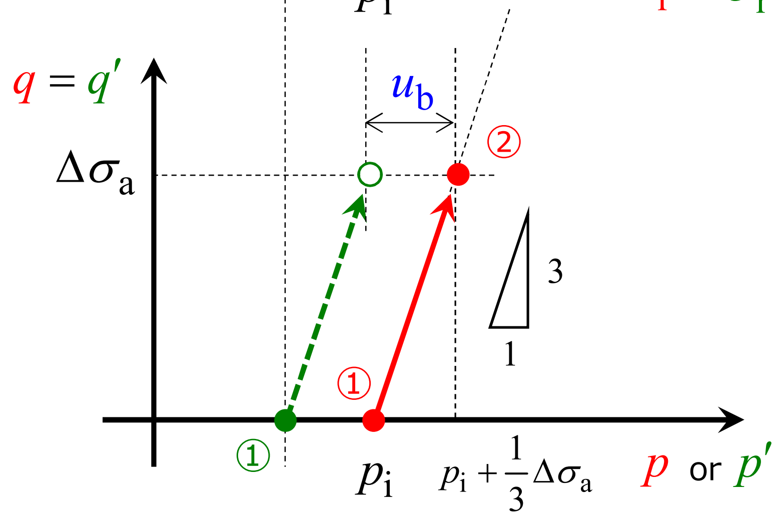
$\Delta p_w > 0$ の場合



	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_a$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_a$	$\Delta\sigma_a$	Δp_w >0
②せん断後	$p_i+\Delta\sigma_a$	p_i			$u_b+\Delta p_w$
		側圧一定			

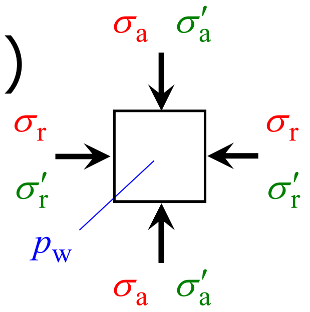






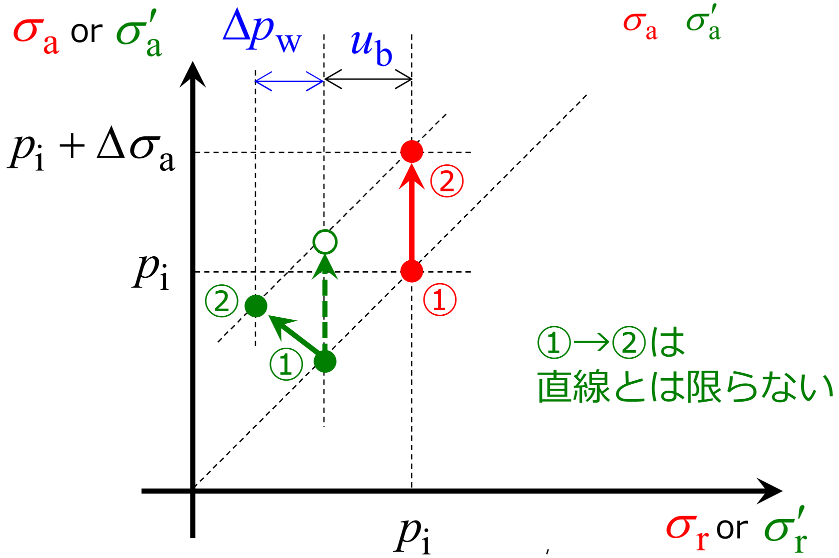
応力状態と応力経路 — 非排水せん断（5）

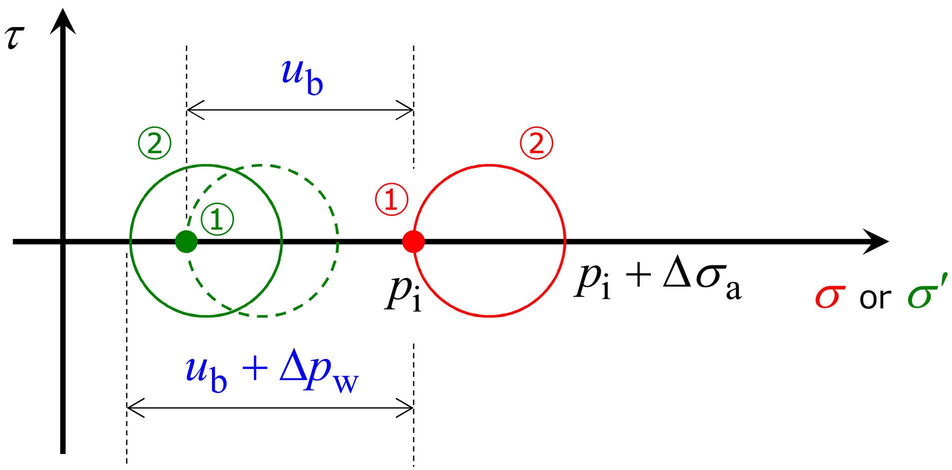
$\Delta p_\mathrm{w} > 0$ の場合

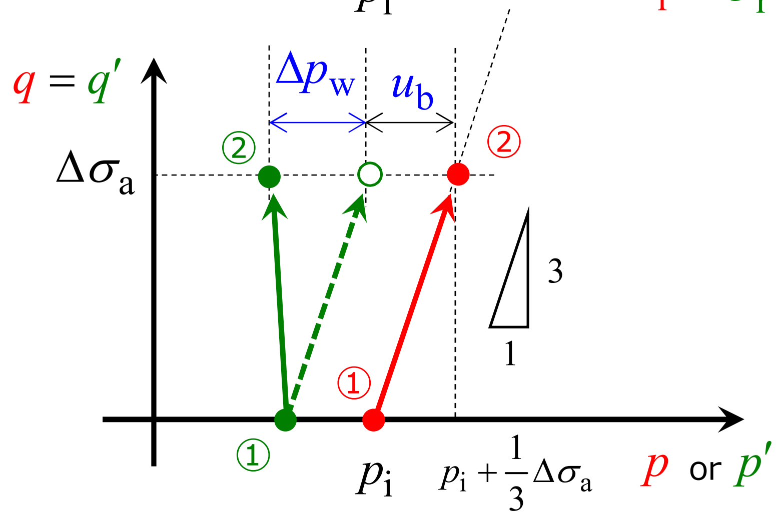


	全応力				間隙水圧
	σ_a	σ_r	p	q	p_w
①せん断前	p_i	p_i	p_i	0	u_b (>0)
増分	$\Delta\sigma_\mathrm{a}$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_\mathrm{a}$	$\Delta\sigma_\mathrm{a}$	Δp_w >0
②せん断後	$p_\mathrm{i}+\Delta\sigma_\mathrm{a}$	p_i			$u_\mathrm{b}+\Delta p_\mathrm{w}$

側圧一定

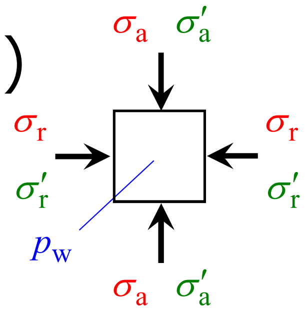






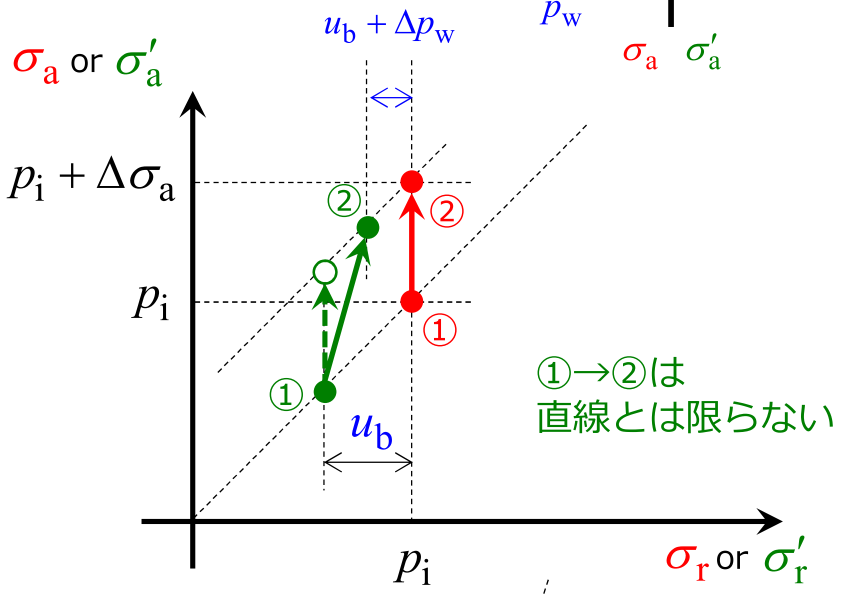
応力状態と応力経路　—　非排水せん断（6）

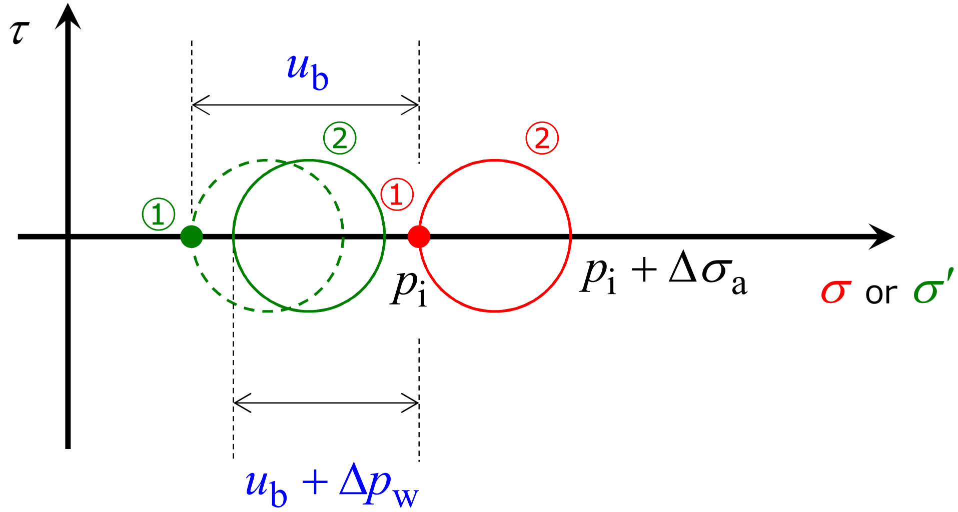
$\Delta p_{\mathrm{w}} < 0$ の場合

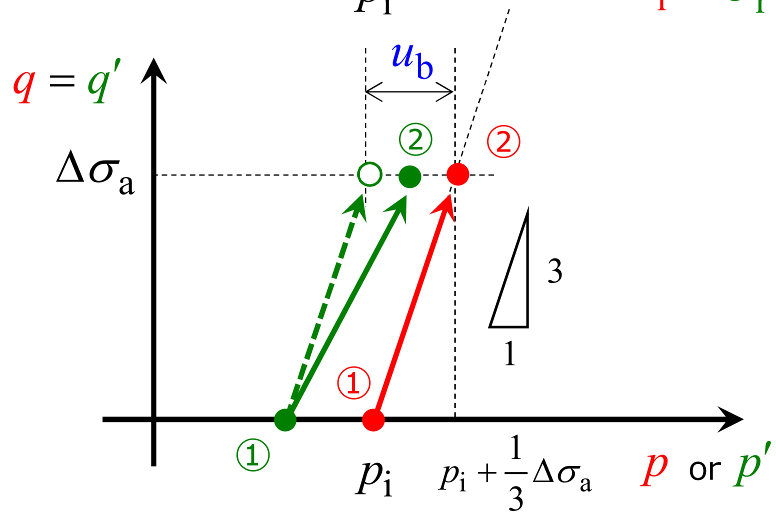


	全応力				間隙水圧
	σ_{a}	σ_{r}	p	q	p_{w}
①せん断前	p_{i}	p_{i}	p_{i}	0	u_{b} (>0)
増分	$\Delta\sigma_{\mathrm{a}}$	0	$\frac{1}{3}\Delta\sigma_{\mathrm{a}}$	$\Delta\sigma_{\mathrm{a}}$	Δp_{w} <0
②せん断後	$p_{\mathrm{i}} + \Delta\sigma_{\mathrm{a}}$	p_{i}			$u_{\mathrm{b}} + \Delta p_{\mathrm{w}}$

側圧一定



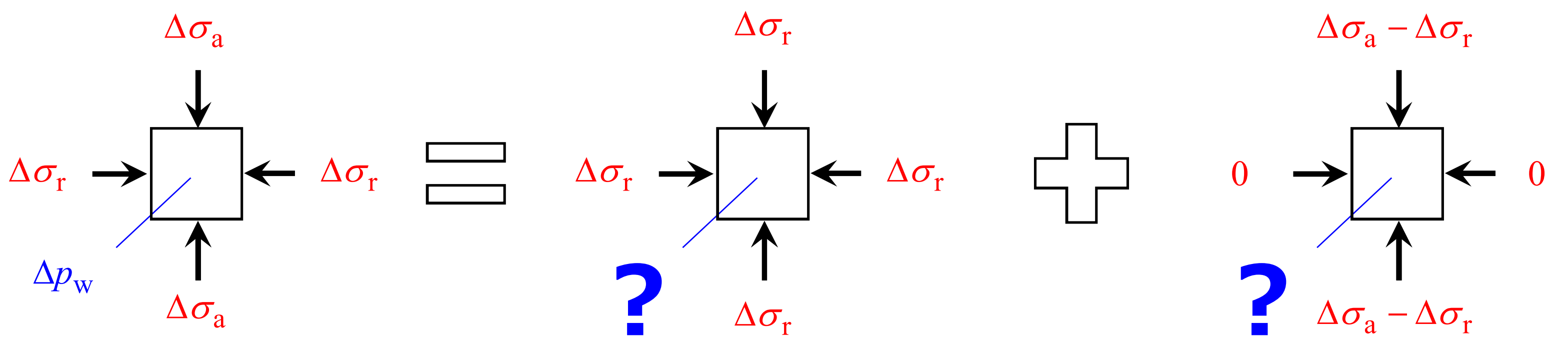




Skemptonの間隙水圧係数（1）

- 非排水条件でせん断したときの間隙水圧の変化 Δp_w は,
  土の種類・状態に依りけり（実験して初めてわかること）
- Skemptonの間隙水圧係数 A ＝ 間隙水圧の変化 Δp_w を表す指標

「非排水条件」における応力変化に伴う間隙水圧変化 ＝ 側圧増分の等方的な付与による間隙水圧変化 ＋ 側圧一定の主応力差の付与による間隙水圧変化



Δp_w ＝ ? ＋ ?

Skemptonの間隙水圧係数（2）

- 非排水条件でせん断したときの間隙水圧の変化 Δp_{w} は,

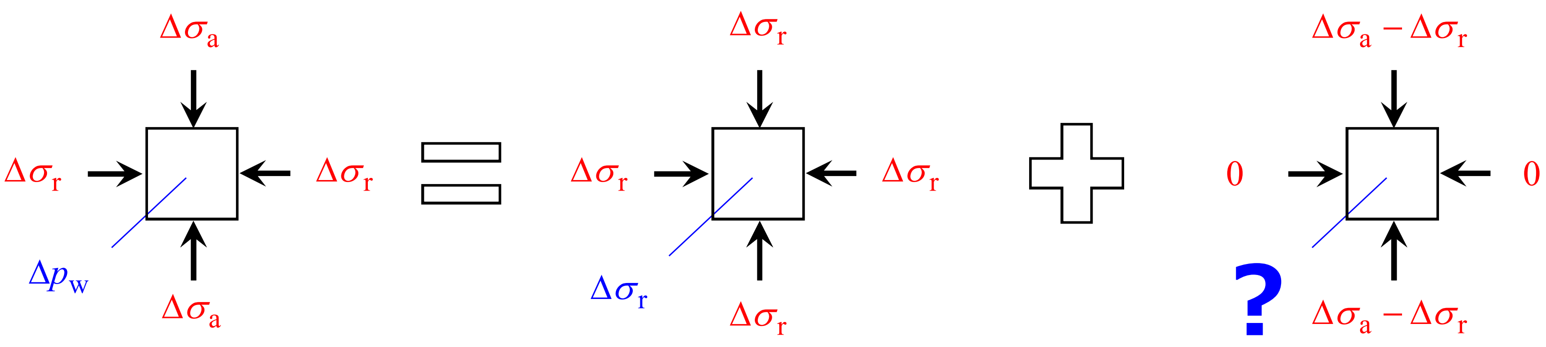
  土の種類・状態に依りけり（実験して初めてわかること）

- Skemptonの間隙水圧係数 A = 間隙水圧の変化 Δp_{w} を表す指標

「非排水条件」における応力変化に伴う間隙水圧変化

側圧増分の等方的な付与による間隙水圧変化

側圧一定の主応力差の付与による間隙水圧変化



$$\Delta p_{\mathrm{w}} = \Delta \sigma_{\mathrm{r}} + ?$$

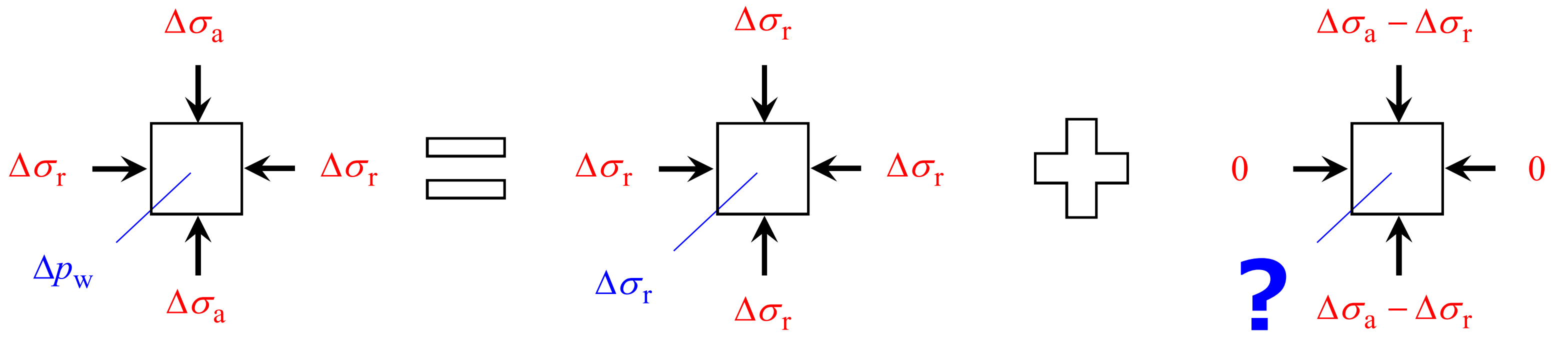
Skemptonの間隙水圧係数（2）

- 非排水条件でせん断したときの間隙水圧の変化 Δp_{w} は，

  土の種類・状態に依りけり（実験して初めてわかること）

- Skemptonの間隙水圧係数 A ＝ 間隙水圧の変化 Δp_{w} を表す指標

「非排水条件」における応力変化に伴う間隙水圧変化 ＝ 側圧増分の等方的な付与による間隙水圧変化 ＋ 側圧一定の主応力差の付与による間隙水圧変化



$$\Delta p_{\mathrm{w}} = \Delta\sigma_{\mathrm{r}} + A\left(\Delta\sigma_{\mathrm{a}} - \Delta\sigma_{\mathrm{r}}\right)$$

Skemptonの間隙水圧係数（3）

- Skemptonの間隙水圧係数　A　＝　間隙水圧の変化 Δp_{w} を表す指標

$$\Delta p_{\mathrm{w}} = \Delta\sigma_{\mathrm{r}} + A\left(\Delta\sigma_{\mathrm{a}} - \Delta\sigma_{\mathrm{r}}\right)$$

側圧一定（ $\Delta\sigma_{\mathrm{r}} = 0$ ）の非排水せん断であれば，特に

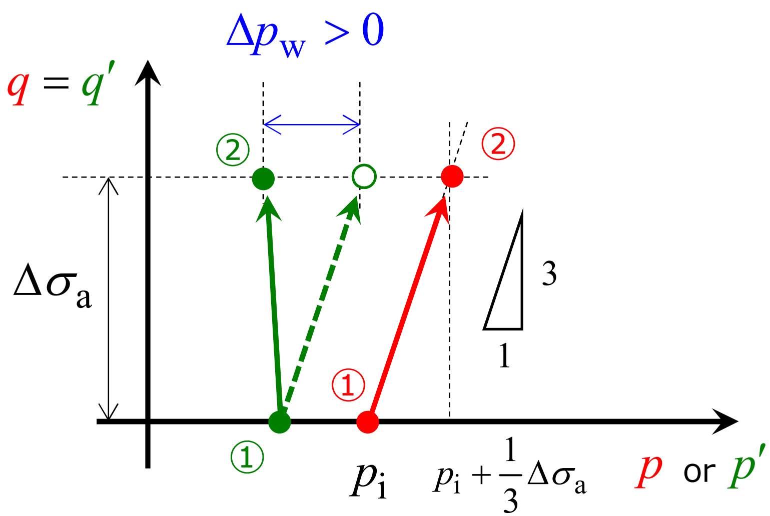
$$\Delta p_{\mathrm{w}} = A\Delta\sigma_{\mathrm{a}} \quad \Leftrightarrow \quad A = \frac{\Delta p_{\mathrm{w}}}{\Delta\sigma_{\mathrm{a}}}$$

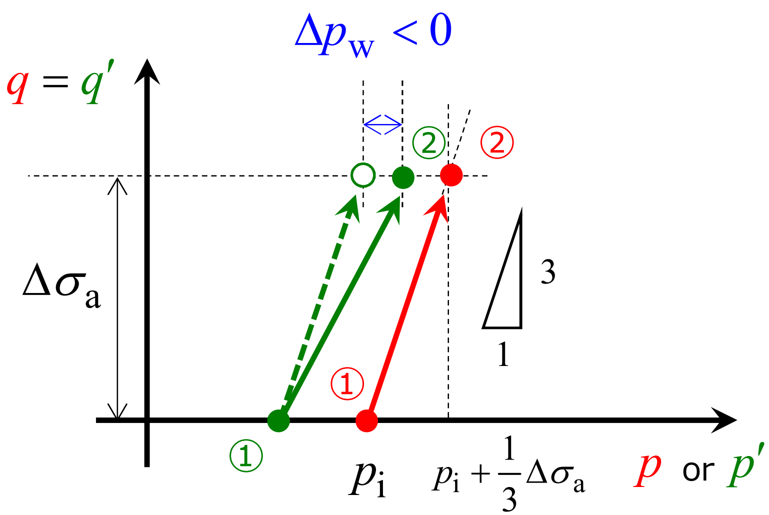
つまるところ，間隙水圧係数 A は，与えた軸圧増分 $\Delta\sigma_{\mathrm{a}}$ に対する間隙水圧の変化 Δp_{w} を説明する指標

Skemptonの間隙水圧係数（4）

$$\Delta p_w = A\Delta\sigma_a \quad \Leftrightarrow \quad A = \frac{\Delta p_w}{\Delta\sigma_a}$$

側圧一定・非排水せん断





$$A = \frac{\Delta p_w}{\Delta\sigma_a} > 0 \qquad\qquad A = \frac{\Delta p_w}{\Delta\sigma_a} < 0$$

Skemptonの間隙水圧係数（5）

補足

登場したSkemptonの間隙水圧の式

$$\Delta p_{\mathrm{w}} = \Delta\sigma_{\mathrm{r}} + A\left(\Delta\sigma_{\mathrm{a}} - \Delta\sigma_{\mathrm{r}}\right)$$

より一般的なSkemptonの間隙水圧の式

$$\Delta p_{\mathrm{w}} = B\left[\Delta\sigma_{\mathrm{r}} + A\left(\Delta\sigma_{\mathrm{a}} - \Delta\sigma_{\mathrm{r}}\right)\right]$$

間隙水圧係数は A と B

ただし，飽和状態では $B=1$ である。

例題5-1

飽和した粘土供試体を等方圧密した後，側圧一定で非排水せん断した。等方圧密過程では，背圧をかけずに圧密圧力 100 kPaまで圧密した。非排水せん断過程では，軸圧が 172 kPaに達したとき，供試体は破壊し，このときの間隙水圧は 64 kPaであった。この土の破壊時における間隙水圧係数 A の値を求めよ。

	全応力				間隙水圧
	σ_{a}	σ_{r}	p	q	p_{w}
①圧密後	100	100	100	0	0
増分	72	0	24	72	64
②破壊時	172	100	124	72	64

$$A = \frac{\Delta p_{\mathrm{w}}}{\Delta \sigma_{\mathrm{a}}} = \frac{64}{72} = 0.89$$