

# 斜面安定

## —強度定数と安全率の考え方—



理工学部建設システム工学科

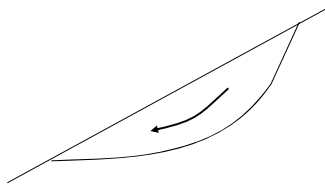
小高猛司

中部支部・第1部会(講習会)担当

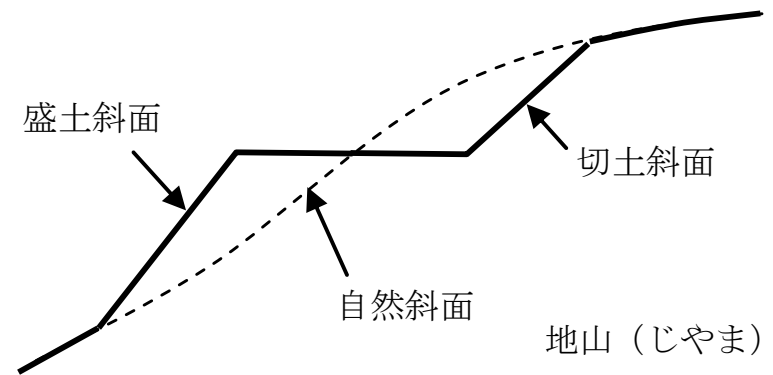
1. イントロダクション
2. 斜面安定の考え方—安全率とは
3. 円弧すべり解析の力学的な意味
4. 分割法による円弧すべり解析法
5. 地下水がある場合の円弧すべり解析法
6. 強度定数の扱い

# 斜面安定

斜面安定解析:  
斜面の安定性を評価するための計算法

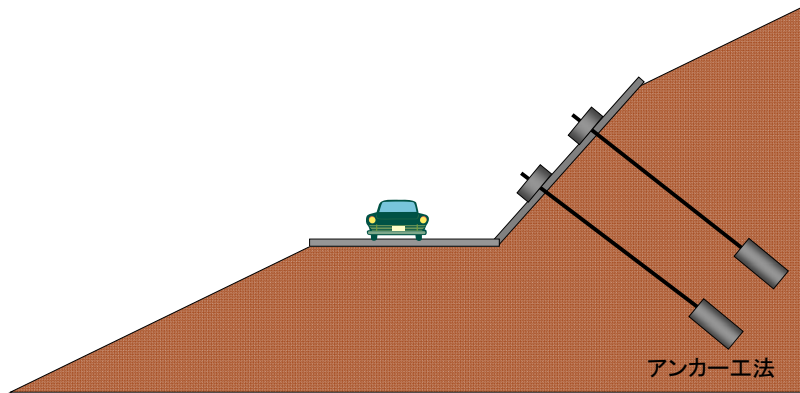


## 斜面の分類



# 斜面安定

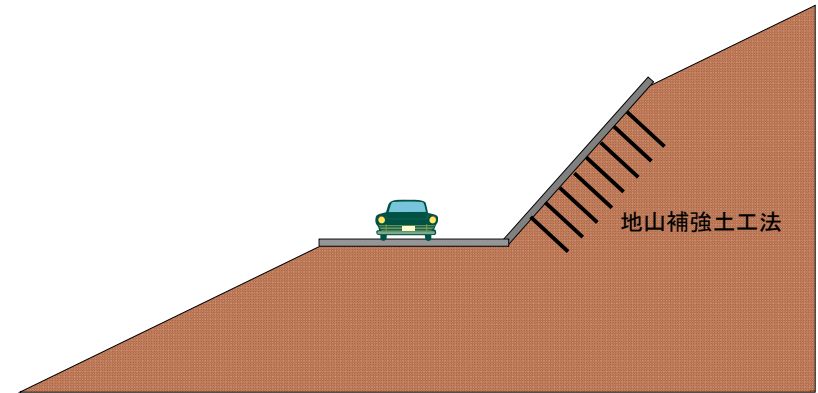
具体的な構造物： 切土斜面



5

# 斜面安定

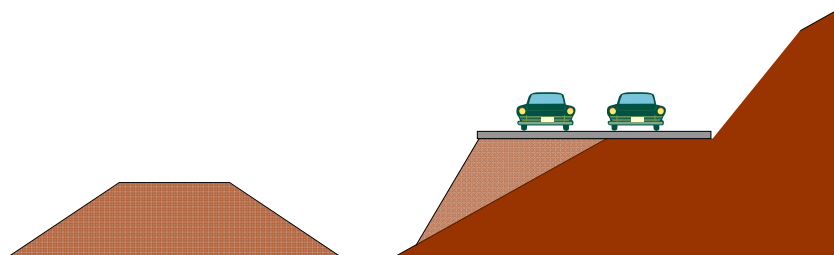
具体的な構造物： 切土斜面



6

# 斜面安定

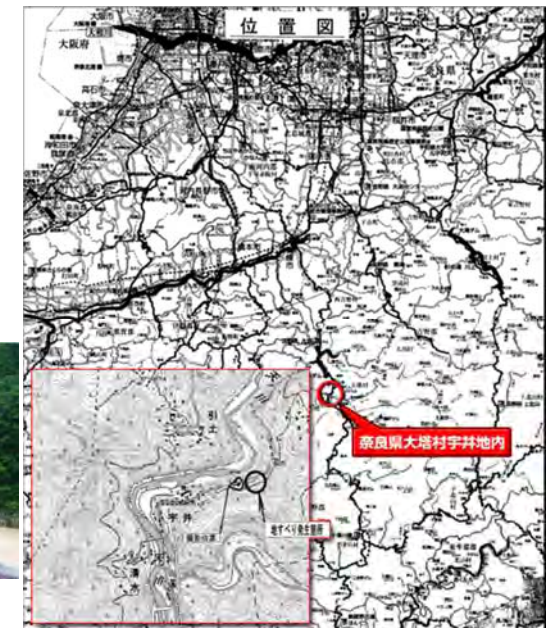
具体的な構造物： 盛土斜面



7

## 斜面崩壊の事例

国道168号の奈良県吉野郡大塔村宇井地先における地すべり(平成16年8月10日)



8

## 斜面災害事例(平成16年台風23号・淡路島)



遠景(兵庫県提供)

9



大規模な斜面崩壊(H:45m, W:40m)

10



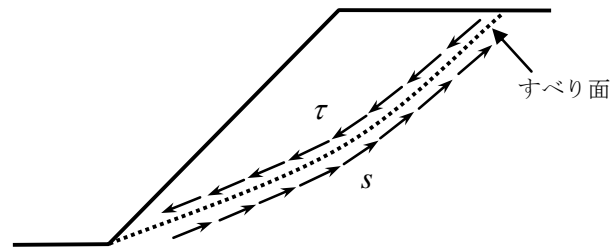
崩土(マサ土)の堆積により道路が埋没

11

1. イントロダクション
2. 斜面安定の考え方ー安全率とは
3. 円弧すべり解析の力学的な意味
4. 分割法による円弧すべり解析法
5. 地下水がある場合の円弧すべり解析法
6. 強度定数の扱い

12

## 斜面安定の考え方



$\tau$  : すべり面に沿ったせん断応力(すべらそうとする力)

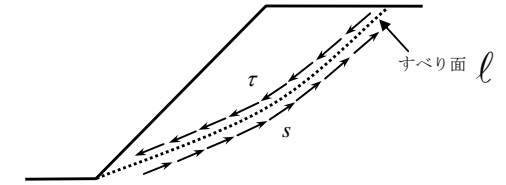
$s$  : すべり面に沿って抵抗できる最大の応力

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

13

## 斜面安定の考え方

斜面安定の判断



斜面をすべらせようとする力の合力:  $T = \int_{\ell} \tau dl$

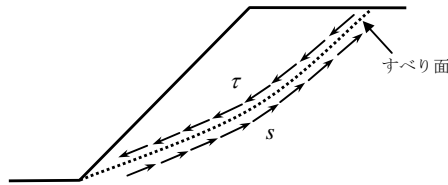
斜面のすべりに抵抗できる力の合力:  $S = \int_{\ell} s dl$

$S > T$  : 安定  
 $S < T$  : 不安定

14

## 斜面安定の考え方

すべりに対する安全率  $F$



安全率 =  $\frac{\text{すべりに抵抗できる力の合力}}{\text{すべらそうとする力の合力}}$

$$F = \frac{S}{T} = \frac{\int_{\ell} s dl}{\int_{\ell} \tau dl}$$

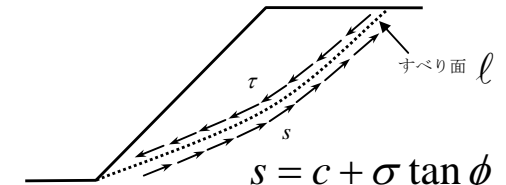
$F > 1$  : 斜面は安定  
 $F < 1$  : 斜面は崩壊

15

## 斜面安定の考え方

斜面崩壊の要因

$$F = \frac{\int_{\ell} s dl}{\int_{\ell} \tau dl}$$



①  $\tau$  の増加: 斜面勾配の変化(人為的な工事, 表面侵食等), 地震外力, 周辺工事による載荷, 等

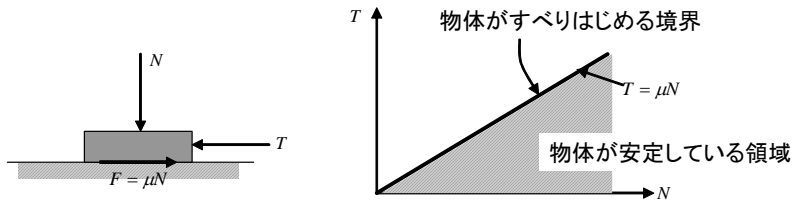
②  $\sigma$  の低下: 降雨の浸入, 水位変動による水圧上昇(主に有効応力の低下), 地震外力, 等

③  $c$  の低下: 降雨による飽和度上昇, 掘削による応力開放, 等

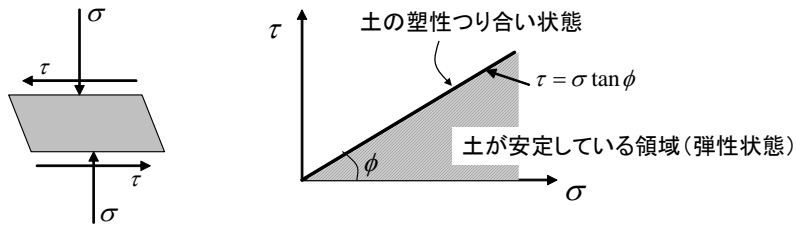
16

## 摩擦性材料としての土

### 一般の摩擦則

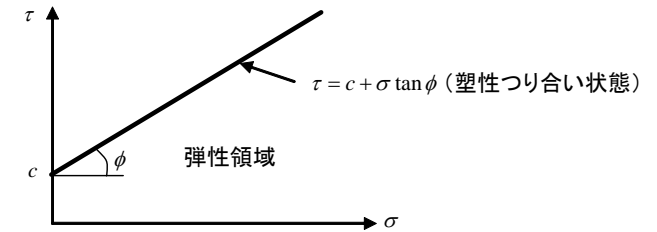


### 土の摩擦則



17

## クーロンの破壊規準

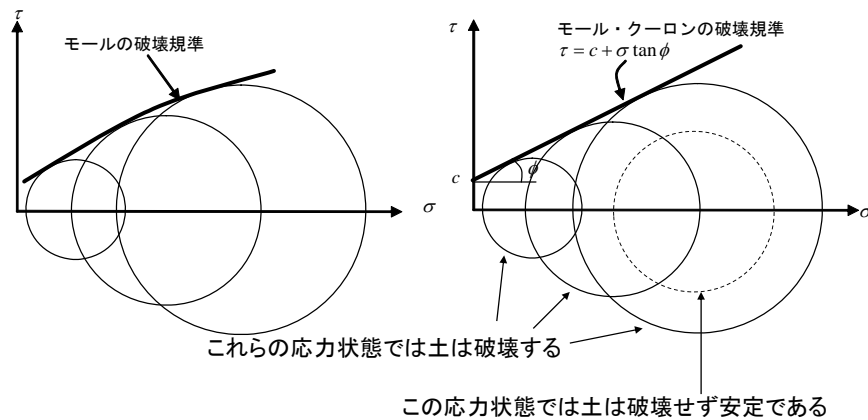


c: 粘着力  
セメンテーション, サクシオン, インターロッキング, 過圧密履歴...

φ: せん断抵抗角 (内部摩擦角)  
砂の場合は直感的な摩擦性  
粘土の場合は圧密による間隙比の減少が主因となることに注意

18

## モール・クーロンの破壊規準



19

## 強度安定率

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

$\tau_f$ : 真のせん断強度 (土質試験から求められるせん断強度)

$\tau_m$ : 安定している斜面内で実際に発揮されている (稼働(mobilize)している) せん断強度

20

## 強度安定率

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m} \quad \tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad \text{より}$$

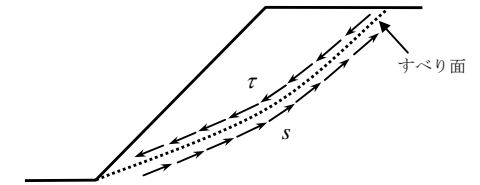
$$\tau_m = \frac{\tau_f}{F_s} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{F_s} = \frac{c}{F_s} + \sigma \frac{\tan \phi}{F_s} = c_m + \sigma \tan \phi_m$$

$$c_m = \frac{c}{F_s} \quad \tan \phi_m = \frac{\tan \phi}{F_s}$$

21

## すべりに対する安全率と強度安定率

$$F = \frac{\int s dl}{\int \tau dl} = \frac{\int \tau_f dl}{\int \tau_m dl}$$



$$= \frac{\sum \tau_{fi} l_i}{\sum \tau_{mi} l_i} = \frac{\tau_{f1} l_1 + \tau_{f2} l_2 + \tau_{f3} l_3 + \dots}{\tau_{m1} l_1 + \tau_{m2} l_2 + \tau_{m3} l_3 + \dots}$$

$$= \frac{\tau_{f1} l_1 + \tau_{f2} l_2 + \tau_{f3} l_3 + \dots}{\frac{\tau_{f1}}{F_s} l_1 + \frac{\tau_{f2}}{F_s} l_2 + \frac{\tau_{f3}}{F_s} l_3 + \dots} = F_s$$

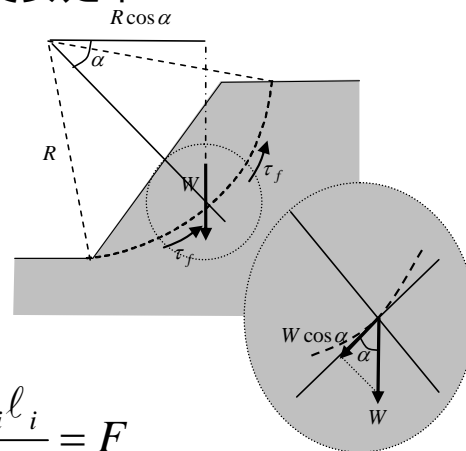
22

## モーメント安全率と強度安定率

$$F_m = \frac{\int \tau_f R dl}{WR \cos \alpha}$$

$$= \frac{\int \tau_f dl}{W \cos \alpha}$$

$$= \frac{\int \tau_f dl}{\int \tau_m dl} = \frac{\sum \tau_{fi} l_i}{\sum \tau_{mi} l_i} = F_s$$



23

## 1. イントロダクション

## 2. 斜面安定の考え方—安全率とは

## 3. 円弧すべり解析の力学的な意味

## 4. 分割法による円弧すべり解析法

## 5. 地下水がある場合の円弧すべり解析法

## 6. 強度定数の扱い

24

# 円弧すべり解析とは

極限解析の一種

極限解析: 塑性学の極限定理に基づく解析

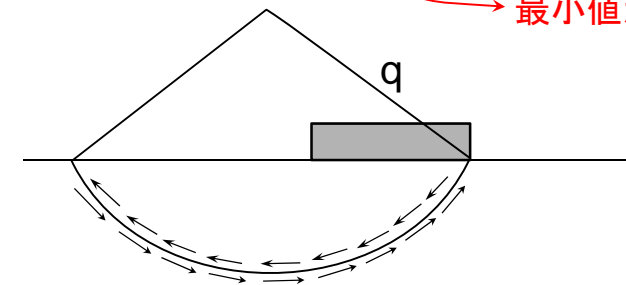
極限定理: 最終的な応力状態のみで破壊荷重やその際の壊れ方は決められる。

極限解析には上界法と下界法がある

上界法: 上界定理に基づく極限解析法

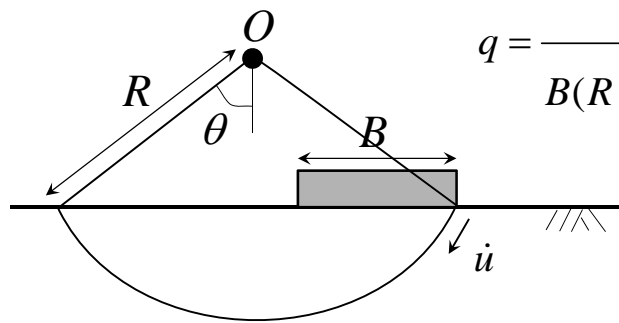
上界定理: 任意の可容速度場において  
外力塑性仕事率 = 内部塑性仕事率  
といて求められる破壊荷重の大きさは  
正解より大きいかせいぜい等しい

上界定理: 任意の可容速度場において  
外力塑性仕事率 = 内部塑性仕事率  
といて求められる破壊荷重の大きさは  
正解より大きいかせいぜい等しい



最小値が正解

例えば, 均質な粘土地盤 ( $c_u$ ) の時

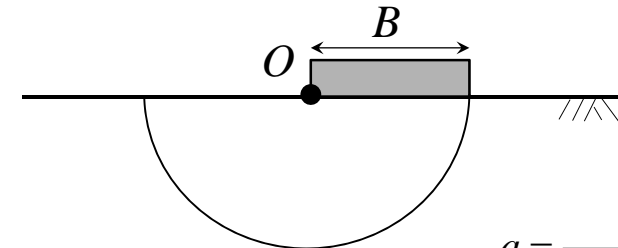


$$q = \frac{2R^2\theta}{B(R\sin\theta - \frac{B}{2})} c_u$$

$$\text{外力塑性仕事率} = q \frac{B}{R} (R\sin\theta - \frac{B}{2}) \dot{u}$$

$$\text{内部塑性仕事率} = 2R\theta c_u \dot{u}$$

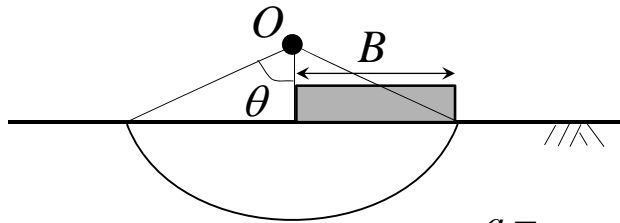
例えば, 均質な粘土地盤 ( $c_u$ ) の時



$$q = \frac{2R^2\theta}{B(R\sin\theta - \frac{B}{2})} c_u$$

$$R = B, \theta = \frac{\pi}{2} \text{ の時 } \quad q = 2\pi c_u = 6.28c_u$$

例えば、均質な粘土地盤( $c_u$ )の時



$$q = \frac{2R^2\theta}{B(R\sin\theta - \frac{B}{2})} c_u$$

最小値は

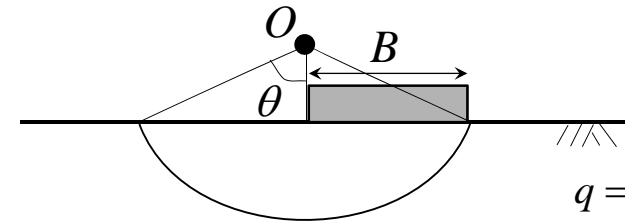
$$\frac{\partial q}{\partial R} = 0 \text{ より } \sin\theta = \frac{B}{R}$$

$$\frac{\partial q}{\partial \theta} = 0 \text{ より } \theta = 1.10\text{rad}(=63^\circ)$$

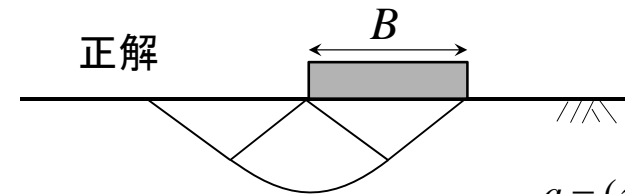
$$q = 5.54c_u$$

29

例えば、均質な粘土地盤( $c_u$ )の時



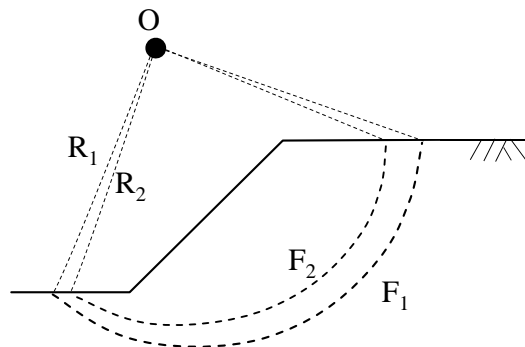
$$q = 5.54c_u$$



$$q = (\pi + 2)c_u = 5.14c_u$$

30

### 斜面安定での円弧すべり解析



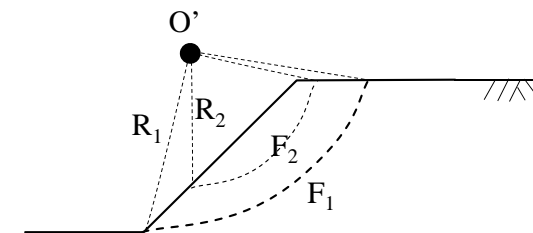
半径を変えて

安全率  $F_1 > F_2 > \dots$  最小となるFを探す

31

### 斜面安定での円弧すべり解析

**円弧すべり解析は上界法による極限解析！**



中心をずらして、再び半径を変えつつ

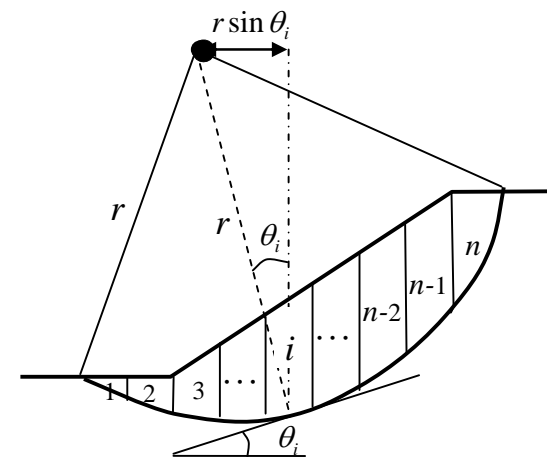
安全率  $F_1 > F_2 > \dots$  最小となるFを探す

32



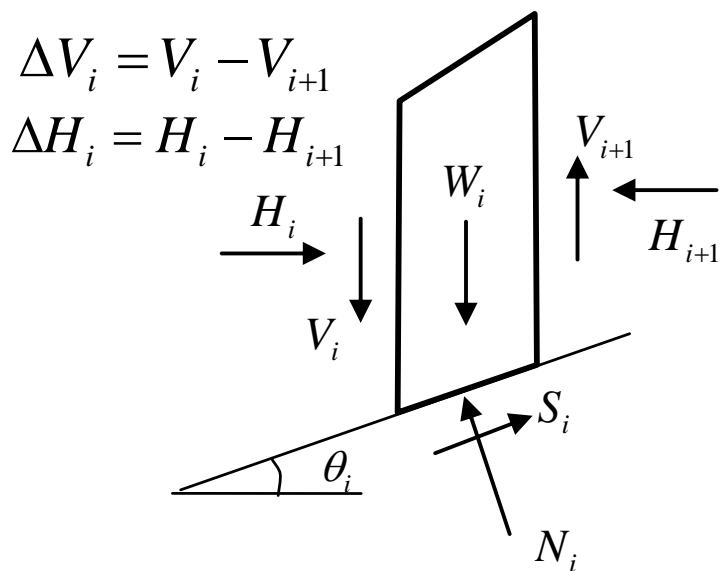
1. イントロダクション
2. 斜面安定の考え方ー安全率とは
3. 円弧すべり解析の力学的な意味
4. 分割法による円弧すべり解析法
5. 地下水がある場合の円弧すべり解析法
6. 強度定数の扱い

### 分割法による円弧すべり解析



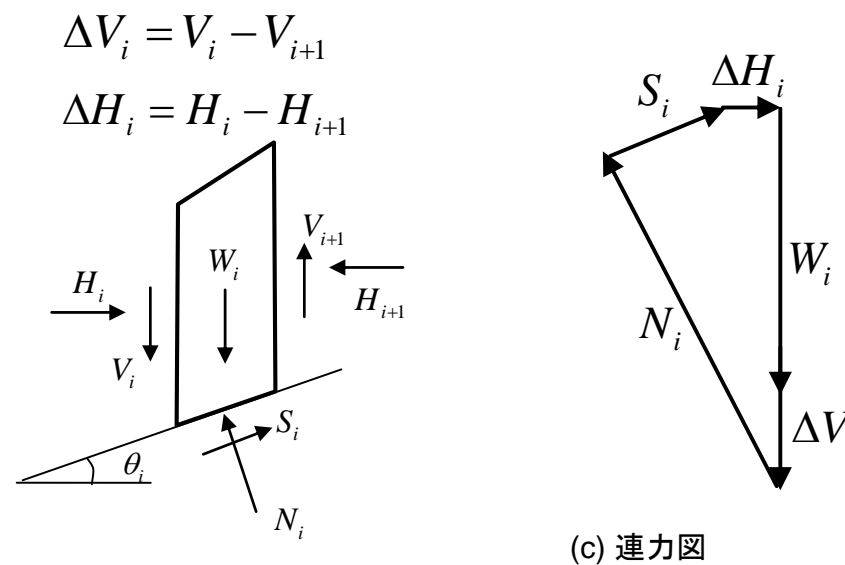
(a)スライス分割

### 分割法による円弧すべり解析



(b) i番目のスライスの力のつり合い

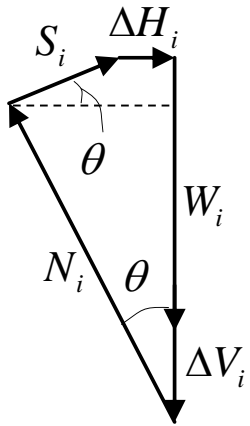
### 分割法による円弧すべり解析



(c) 連力図

## 分割法による円弧すべり解析

力のつり合い式①



x(水平)方向:

$$\Delta H_i + S_i \cos \theta_i = N_i \sin \theta_i$$

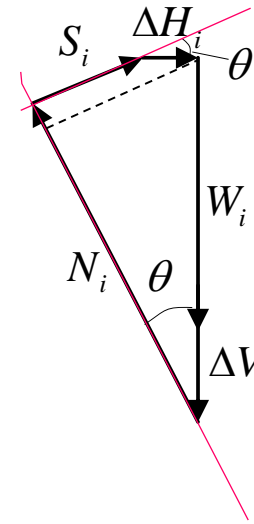
y(鉛直)方向:

$$W_i + \Delta V_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i$$

37

## 分割法による円弧すべり解析

力のつり合い式②



すべり面方向:

$$\Delta H_i \cos \theta_i + S_i = (W_i + \Delta V_i) \sin \theta_i$$

すべり面と垂直方向:

$$N_i = \Delta H_i \sin \theta_i + (W_i + \Delta V_i) \cos \theta_i$$

38

## 分割法による円弧すべり解析

力のつり合い式①

x(水平)方向:  $\Delta H_i + S_i \cos \theta_i = N_i \sin \theta_i$

y(鉛直)方向:  $W_i + \Delta V_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i$

力のつり合い式②

すべり面方向:  $\Delta H_i \cos \theta_i + S_i = (W_i + \Delta V_i) \sin \theta_i$

すべり面と垂直方向:

$$N_i = \Delta H_i \sin \theta_i + (W_i + \Delta V_i) \cos \theta_i$$

(式の数)

$$\left. \begin{matrix} n \\ n \end{matrix} \right\} 2n$$

$$\left. \begin{matrix} n \\ n \end{matrix} \right\} 2n$$

39

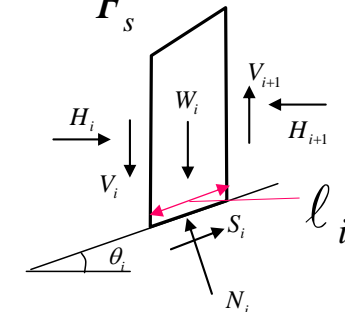
## 分割法による円弧すべり解析

破壊条件式(すべり面上)

$$\tau_i = \frac{c_i + \sigma_i \tan \phi_i}{F_s} \quad \text{より}$$

$$S_i = \tau_i l_i = \frac{c_i l_i + N_i \tan \phi_i}{F_s}$$

$F_s$ : 強度安全率



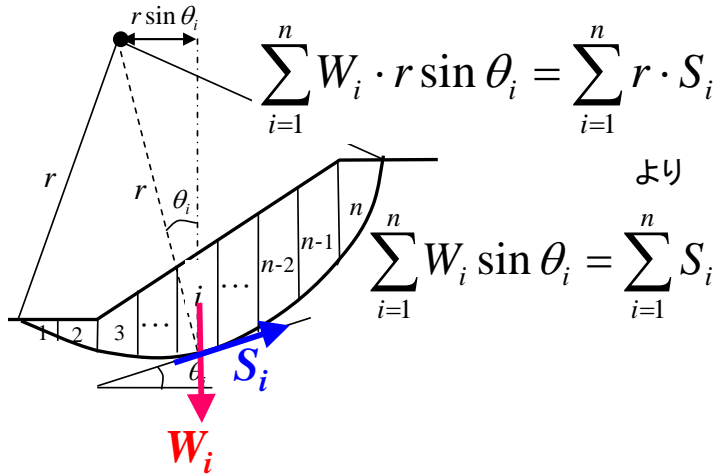
(式の数)

$n$

40

# 分割法による円弧すべり解析

モーメントのつり合い式(〇点まわり)



(式の数)

1

## 式の数:

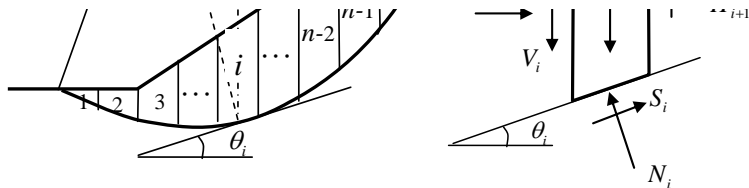
力のつり合い式	2n
破壊条件式(すべり面上)	n
モーメントのつり合い式(〇点まわり)	1

結局式の数, 3n+1 個

## 未知数の数:

水平方向の断面力	$H_i$	n-1
鉛直方向の断面力	$V_i$	n-1
破壊時すべり抵抗	$S_i$	n
すべり面に垂直な合力	$N_i$	n
安全率	$F_s$	1

4n-1 個



(未知数の数) - (式の数) = (不静定次数)

$$(4n-1) - (3n+1) = (n-2)$$

基本的にはこのままでは解けない

(2)-1 フェレニウス法 (スウェーデン法)

(仮定1) すべり面に鉛直な方向のつり合い式のみ使用する。

$$N_i = \Delta H_i \sin \theta_i + (W_i + \Delta V_i) \cos \theta_i \quad (1)$$

(仮定2) 各スライスに働く断面力の合力は、すべり面に平行に作用するか、つり合っている。

→すべり面に垂直な  $\Delta H_i$  と  $\Delta V_i$  の合力は0となる。

$$\Delta H_i \sin \theta_i + \Delta V_i \cos \theta_i = 0 \quad (2)$$

(2)を(1)に代入すると

分割法による円弧すべり解析

力のつり合い式①

x(水平)方向:  $\Delta H_i + S_i \cos \theta_i = N_i \sin \theta_i$

y(鉛直)方向:  $W_i + \Delta V_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i$

(式の数)

$n$   
 $n$  )  $2n$

力のつり合い式②

すべり面方向:  $\Delta H_i \cos \theta_i + S_i = (W_i + \Delta V_i) \sin \theta_i$

すべり面と垂直方向:

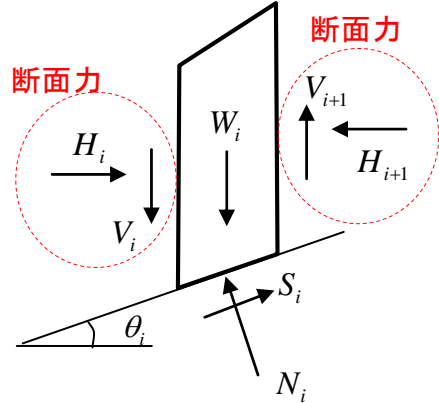
$$N_i = \Delta H_i \sin \theta_i + (W_i + \Delta V_i) \cos \theta_i$$

$n$   
 $n$  )  $2n$

スウェーデン法で用いる力のつり合い式

$$\Delta H_i = H_i - H_{i+1}$$

$$\Delta V_i = V_i - V_{i+1}$$



$$\Delta H_i \sin \theta_i + \Delta V_i \cos \theta_i = 0$$

すべり面方向の力のつり合い式

$$N_i = W_i \cos \theta_i \quad (3) \quad n$$

破壊条件式(すべり面上)

$$S_i = \tau_i \ell_i = \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s} \quad (4) \quad n$$

モーメントのつり合い式(O点まわり)

$$r \cdot \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i = r \cdot \sum_{i=1}^n S_i \quad (5) \quad 1$$

合計  $2n + 1$

未知数:  $N_i, S_i, F_s$   $(2n+1)$  個

したがって, (未知数の数) - (式の数) = 0

↑ 解ける

具体的な計算に先立ち, 式(4)を式(5)に代入して次の式変形を行っておく。

$$S_i = \tau_i \ell_i = \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s} \quad r \cdot \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i = r \cdot \sum_{i=1}^n S_i$$

$$\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s}$$

$$\therefore F_s = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (6)$$

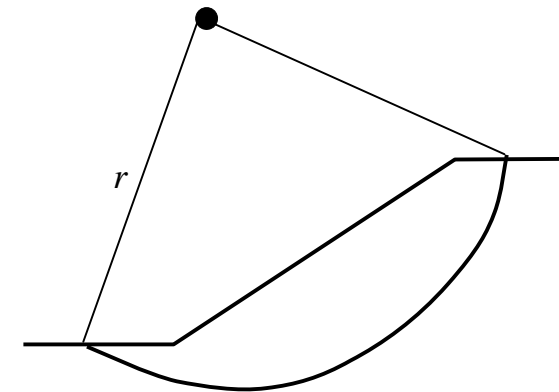
(具体的な計算法)

- ①すべり円弧の中心と直径を仮定し, すべり面を設定する。
- ②すべり円弧内の土塊を,  $n$ 等分にスライス分割する。
- ③各スライスの自重  $W_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) を算定する。
- ④式(3)から各スライスのすべり面に垂直に作用する合力  $N_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) を算定する。

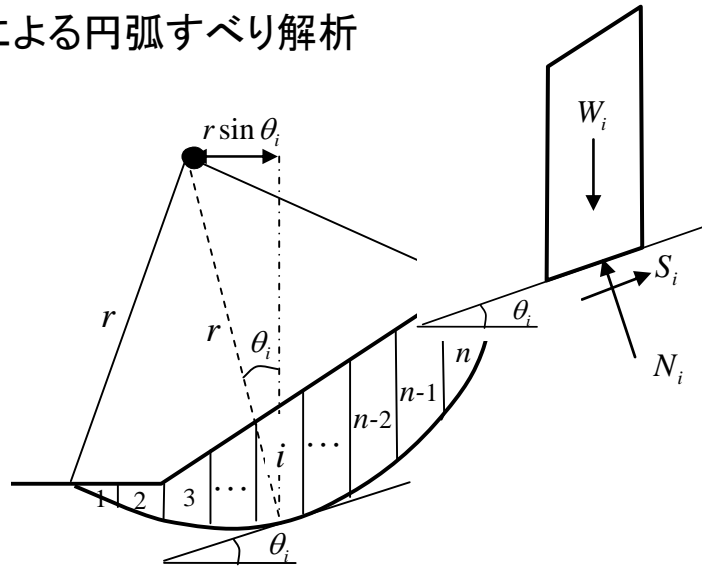
⑤式(6)から安全率  $F_s$  を算定する。

$$\therefore F_s = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

## 分割法による円弧すべり解析



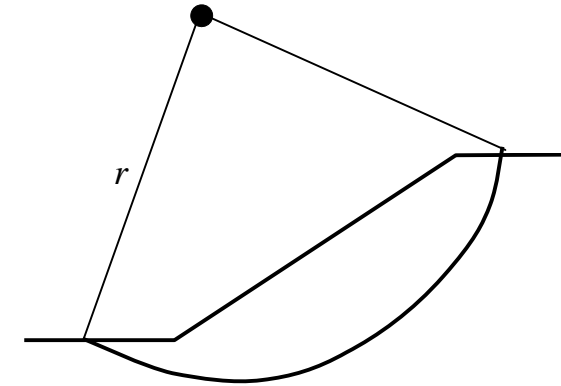
## 分割法による円弧すべり解析



53

## 分割法による円弧すべり解析

この円弧を仮定した場合の  $F_s$  が求められる



54

(具体的な計算法)

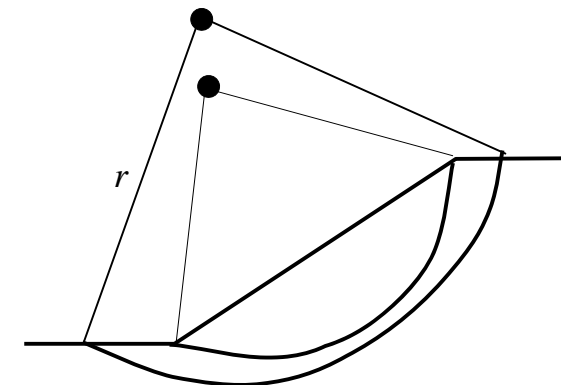
- ①すべり円弧の中心と直径を仮定し、すべり面を設定する。
- ②すべり円弧内の土塊を、 $n$ 等分にスライス分割する。
- ③各スライスの自重  $W_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) を算定する。
- ④式(3)から各スライスのすべり面に垂直に作用する合力  $N_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) を算定する。
- ⑤式(6)から安全率  $F_s$  を算定する。
- ⑥再び①に戻り、新しいすべり円弧の中心と直径を仮定し、計算を継続し、 $F_s$  が最小となるまで①～⑥の計算を繰り返す。

55

## 分割法による円弧すべり解析

違う円弧を仮定すれば、違う  $F_s$  が求められる

最小の  $F_s$  が求められるまで繰り返し計算をする。



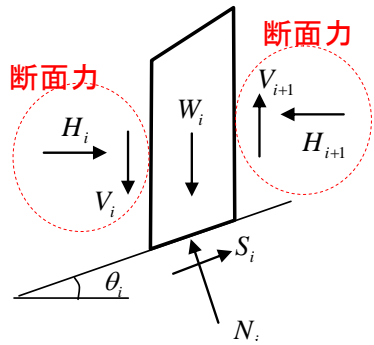
56

(2)-2 ビショップ法 (簡易ビショップ法)

(仮定1) 鉛直方向のつり合い式のみ使用する。

$$W_i + \Delta V_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i \quad (7)$$

(仮定2) スライス側面の鉛直方向の断面力は、つり合っている。



$$\Delta V_i = 0 \quad (8)$$

(8)を(7)に代入すると...

分割法による円弧すべり解析

力のつり合い式①

$$x(\text{水平})\text{方向: } \Delta H_i + S_i \cos \theta_i = N_i \sin \theta_i$$

$$y(\text{鉛直})\text{方向: } W_i + \Delta V_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i$$

ビショップ簡便法で用いる力のつり合い式

力のつり合い式②

$$\text{すべり面方向: } \Delta H_i \cos \theta_i + S_i = (W_i + \Delta V_i) \sin \theta_i$$

すべり面と垂直方向:

$$N_i = \Delta H_i \sin \theta_i + (W_i + \Delta V_i) \cos \theta_i$$

スウェーデン法で用いる力のつり合い式

(式の数)

$n$   
 $n$  )  $2n$

$n$   
 $n$  )  $2n$

鉛直方向の力のつり合い式

$$W_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i \quad (9)$$

破壊条件式(すべり面上)

$$S_i = \tau_i \ell_i = \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s} \quad (10)$$

モーメントのつり合い式(O点まわり)

$$r \cdot \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i = r \cdot \sum_{i=1}^n S_i \quad (11)$$

合計  $2n+1$

(式の数)

$n$

$n$

1

$2n+1$

未知数:  $N_i, S_i, F_s$  (2n+1) 個

したがって, (未知数の数) - (式の数) = 0

↑ 解ける

具体的な計算に先立ち, 式(10)を式(9)に代入して次の式変形を行っておく。

$$W_i = N_i \cos \theta_i + S_i \sin \theta_i \quad S_i = \tau_i \ell_i = \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s}$$

$$\begin{aligned} W_i &= N_i \cos \theta_i + \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s} \cdot \sin \theta_i \\ &= N_i \left( \cos \theta_i + \frac{\tan \phi_i}{F_s} \cdot \sin \theta_i \right) + \frac{c_i \ell_i}{F_s} \cdot \sin \theta_i \\ N_i &= \frac{W_i - \frac{c_i \ell_i}{F_s} \cdot \sin \theta_i}{\cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \phi_i}{F_s} \cdot \tan \theta_i \right)} \end{aligned}$$

61

$$\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i = \sum_{i=1}^n S_i = \sum_{i=1}^n \frac{c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i}{F_s}$$

$$\begin{aligned} F_s \cdot \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i &= \sum_{i=1}^n c_i \ell_i + N_i \tan \phi_i \\ &= \sum_{i=1}^n c_i \ell_i + \frac{W_i - \frac{c_i \ell_i}{F_s} \cdot \sin \theta_i}{\cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \phi_i}{F_s} \cdot \tan \theta_i \right)} \tan \phi_i \end{aligned}$$

62

$$\begin{aligned} \therefore F_s &= \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i \frac{\cos \theta_i}{m_{ai}} + \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{m_{ai}} \tan \phi}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \\ m_{ai} &= \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \phi_i}{F_s} \cdot \tan \theta_i \right) \end{aligned}$$

63

### フェレニウス法(簡便法)

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

### 簡易ビショップ法

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i \frac{\cos \theta_i}{m_{ai}} + \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{m_{ai}} \tan \phi}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \\ m_{ai} &= \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \phi_i}{F_s} \cdot \tan \theta_i \right) \end{aligned}$$

64





## フェレニウス法での間隙水圧の扱い

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + (W_i \cos \theta - U_i L_i) \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

## 修正フェレニウス法

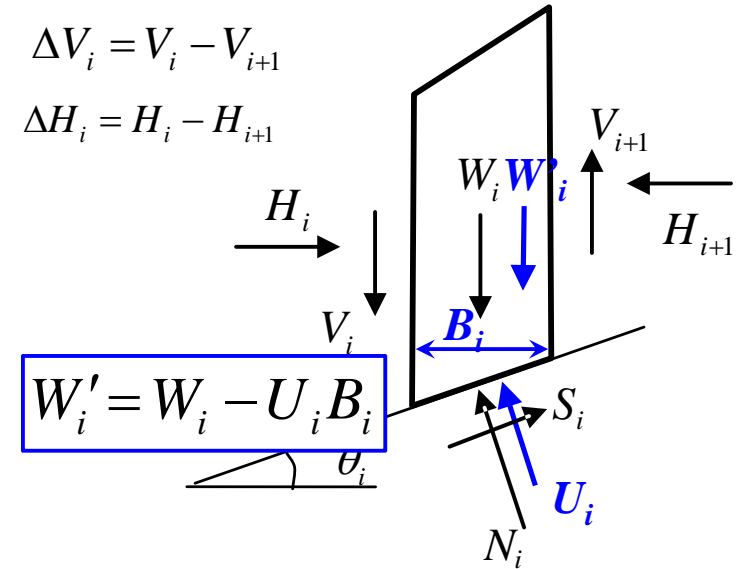
$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + W'_i \cos \theta_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

69

## フェレニウス法での間隙水圧の扱い

$$\Delta V_i = V_i - V_{i+1}$$

$$\Delta H_i = H_i - H_{i+1}$$



層目のスライスの力のつり合い

70

## 修正フェレニウス法

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + W'_i \cos \theta_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ell_i + (W_i - U_i B_i) \cos \theta_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

71

## 修正フェレニウス法をベースとしている基準・指針

道路土工 のり面・斜面安定工指針  
 道路公団関連  
 港湾関係  
 河川堤防関連

## フェレニウス法をベースとしている基準・指針

フィルダム関連  
 鉄道関連？

72

# 1. イントロダクション

## 2. 斜面安定の考え方ー安全率とは

## 3. 円弧すべり解析の力学的な意味

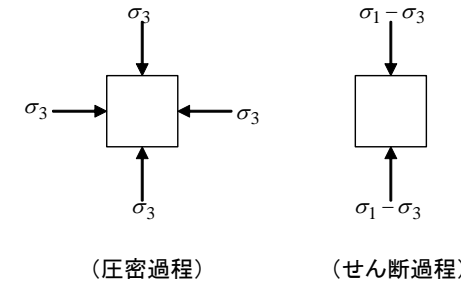
## 4. 分割法による円弧すべり解析法

## 5. 地下水がある場合の円弧すべり解析法

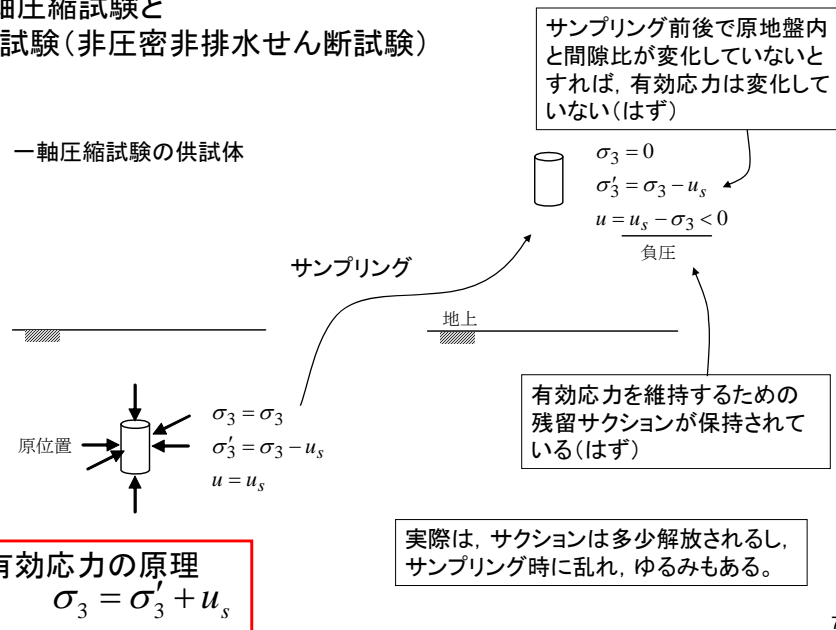
## 6. 強度定数の扱い

### 三軸圧縮試験の種類(主に3種類)

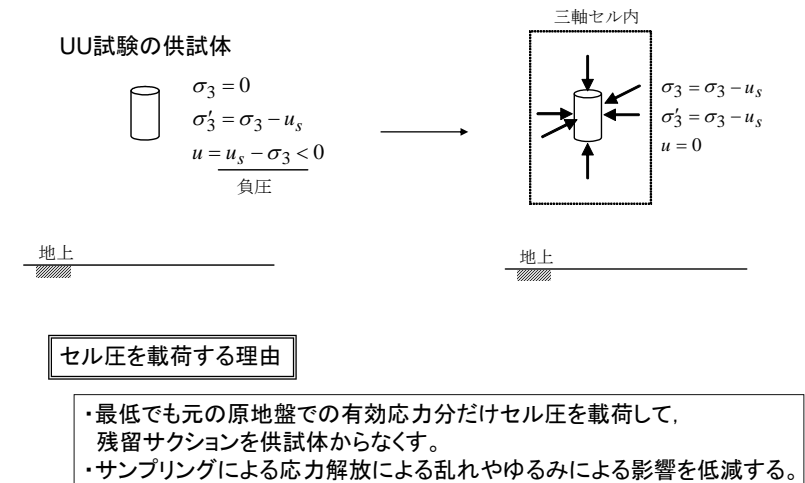
	等方圧力による 圧密過程	軸圧縮による せん断過程	} CU CU
UU試験	非圧密	非排水せん断	
CU試験	圧密	非排水せん断	
CD試験	圧密	排水せん断	



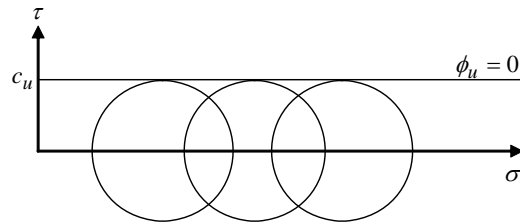
### 一軸圧縮試験と UU試験(非圧密非排水せん断試験)



### 一軸圧縮試験と UU試験(非圧密非排水せん断試験)



## UU試験の結果の整理



拘束圧を色々変えて実験を行っても、拘束圧を作用させた時点から、間隙比は変わらず、そのため有効応力も変化しないので、結果としてせん断強度も増加しない。  
 拘束圧を増加させた分はすべて間隙水圧の変化となっている。

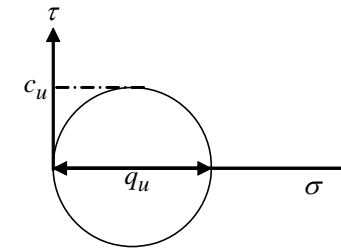
UU試験で得られる土質定数は、

$$\phi_u = 0$$

非排水せん断強度:  $c_u = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)f$  ( $f$ は破壊時の意味)

77

## 一軸圧縮試験の結果の整理



一軸圧縮試験は、UU試験における  $\sigma_3 = 0$  の特殊な場合

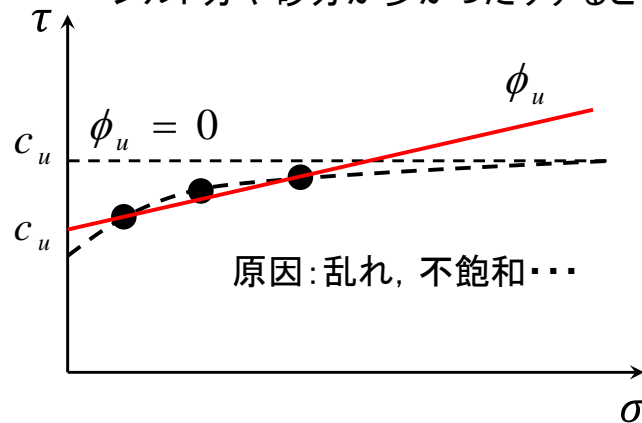
一軸圧縮試験で得られる土質定数は、

一軸圧縮強度:  $q_u = \sigma_1 f = 2c_u$  ( $f$ は破壊時の意味)

78

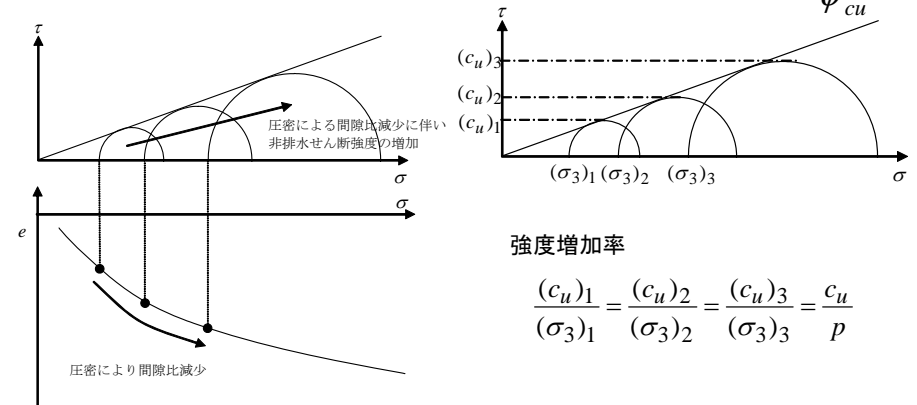
ところが、実際には・・・

シルト分や砂分が多かったりすると



79

## CU試験による強度定数

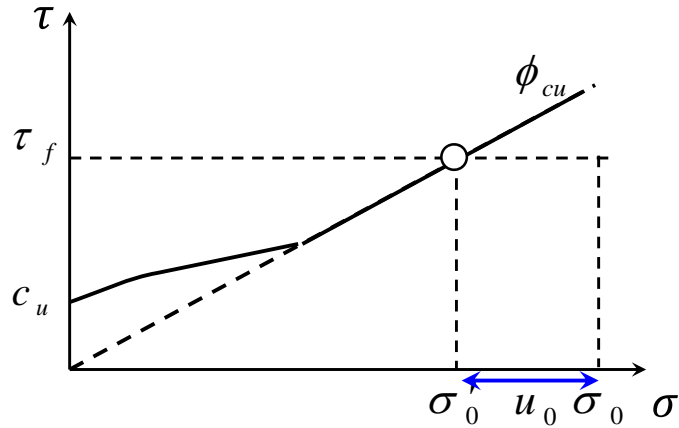


強度増加率

$$\frac{(c_u)_1}{(\sigma_3)_1} = \frac{(c_u)_2}{(\sigma_3)_2} = \frac{(c_u)_3}{(\sigma_3)_3} = \frac{c_u}{p}$$

80

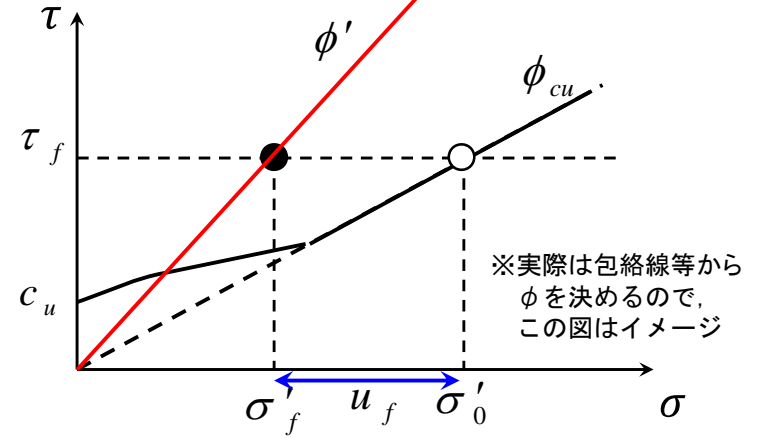
### CU三軸試験



- $\sigma'_0$  : 荷初期の有効応力
- $u_0$  : 地下水位(浸潤面)等による間隙水圧
- $\sigma_0$  : 荷初期の全応力

81

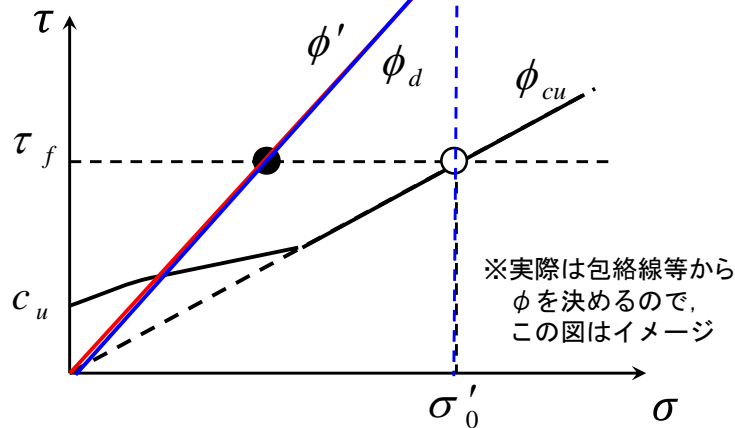
### CUbar三軸試験



- $\sigma'_0$  : 荷初期の有効応力
- $u_f$  : 破壊時の過剰間隙水圧
- $\sigma'_f$  : 破壊時の有効応力

82

### CD三軸試験



$\phi_d \approx \phi'$  であるが、せん断中に体積圧縮する材料では、 $\phi_d > \phi'$  となることもある

83

### 実務での強度定数の使用法

土圧, 斜面安定, 支持力...

基本は全応力解析

**粘性土地盤** 一軸試験, UU試験  $c_u, \phi_u = 0$

まれに, 長期安定問題として CD試験  $\phi_d, c_d$

**砂質土地盤** 現在の有効応力状態が与えられていれば,

→ CU試験  $\phi_{cu}, c_{cu}$

破壊時に容易に体積が変化できるならば

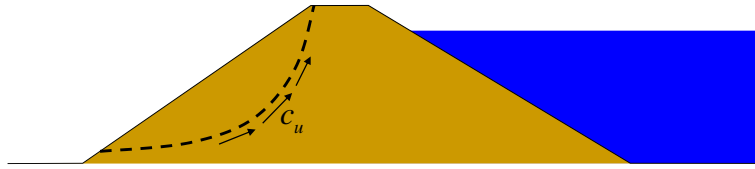
→ CD試験  $\phi_d, c_d$

実務レベルで  $\phi', c'$  を使うのは難しい

84

例えば, 河川堤防の安定解析では...

粘性土堤防

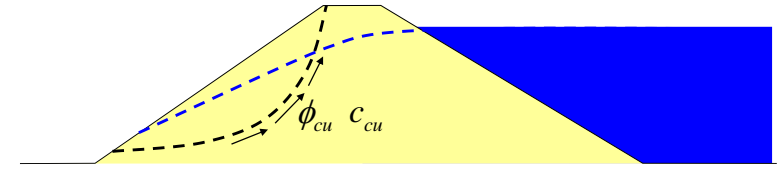


一軸試験, UU試験  $c_u$   $\phi_u = 0$

85

例えば, 河川堤防の安定解析では...

砂質土堤防



CU試験  $\phi_{cu}$   $c_{cu}$

現時点(水が浸潤している状態)で河川堤防が有している安全度(余裕度)を計算するという考え方

CD試験  $\phi_d$   $c_d$

排水せん断強度を発揮するにはさらなる体積変化が必要

CU試験  $\phi'$   $c'$

破壊時の過剰間隙水圧は事前にはわからない

86

# 終わり

ご清聴ありがとうございました。

kodaka@meijo-u.ac.jp



87