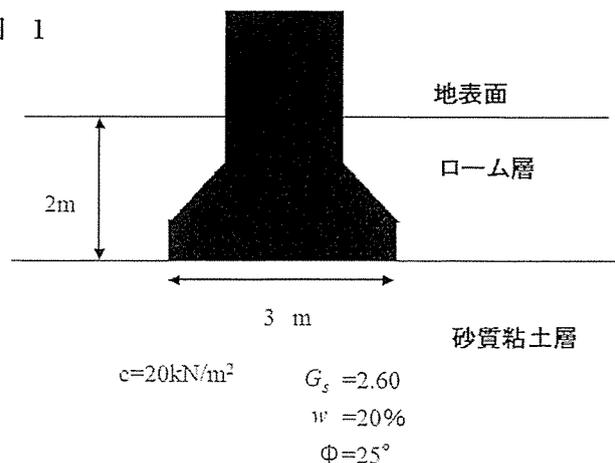


【2】 帯状基礎幅 $B(m)$ のフーチングが単位体積重量 γ (kN/m^3)、粘着力 c (kN/m^2)、内部摩擦角 ϕ ($^\circ$) の地盤に、 $D_f(m)$ の根入れ深さで設置される際の Terzaghi による極限支持力 q_u (kN/m^2) は式(1) で表される。この式を援用して次の各設問に答えよ。なお、 N_c 、 N_γ 、 N_q は支持力係数である。

$$q_u = cN_c + \frac{\gamma}{2}BN_\gamma + \gamma D_f N_q \quad \text{式(1)}$$

- (1) 基礎の載荷試験によって荷重-沈下曲線を求めた場合に現れる 2 つの代表的な曲線形状を描き、破壊モードの特徴と共に、それぞれの曲線がどんな地盤のときに現れるのか説明しなさい。
- (2) 安全率を F_s とした場合、基礎の設置によって取り除かれた地盤重量を考慮した許容支持力 q_a (kN/m^2) を式(1)に記された記号を用いて表せ。但し地下水位は無視できるほど十分に深いところにある場合を考える。
- (3) 設問(2)において、基礎幅 $B=6m$ の帯状基礎が、湿潤単位体積重量 $20(kN/m^3)$ 、粘着力 $5(kN/m^2)$ 、内部摩擦角 25° の砂質粘土層に根入れ深さ $1.5m$ で建設された場合、上部から $2100(kN/m)$ の荷重がかかる場合の安全率を算定せよ。但し、内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ に対する N_c 、 N_γ 、 N_q はそれぞれ 21.0 、 7.0 、 11.0 と近似できるとする。また、必要な安全率を 3.0 とした場合、設計を変更する必要があるのか、あるとすればどのような方策が考えられるのかを記述せよ。
- (4) 図 1 のように砂質粘土層上に建設した基礎幅 $B(m)$ が $3m$ 、根入れ深さ $D_f(m)$ が $2m$ の帯状基礎をローム層で埋め戻した場合において、地下水位が地表面下 $2m$ に上昇した場合を考える。土質試験の結果、図に示すように内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)、粘着力 c (kN/m^2)、土粒子の比重 G_s 、含水比 w が求められ、ローム層はほぼ飽和状態でその単位体積重量は $15(kN/m^3)$ 、砂質粘土層の湿潤単位体積重量は $20(kN/m^3)$ であった。まず砂質粘土層の間隙比を小数点第 2 位まで求めよ。次に求めた間隙比を少数点第 1 位までに近似し、砂質粘土層の水中単位体積重量 (kN/m^3) を求めよ。さらに、その水中単位体積重量 (kN/m^3) を用いて極限支持力 q_u (kN/m^2) を算定せよ。基礎の設置によって取り除かれた地盤重量は無視してよい。なお、内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ に対する N_c 、 N_γ 、 N_q は設問(3)の値を用い、水の単位体積重量は $10(kN/m^3)$ とせよ。
- (5) 図 1 において、地下水位が地表面下 $1m$ に上昇した。極限支持力は設問(4)に比べて変化するのか、変化するとしたら、いくら極限支持力 (kN/m^2) が変化したのかを求めなさい。なお、地盤強度や間隙比は変わらないものとし、支持力係数や水の単位体積重量は設問(4)の値を用いること。

図 1



【3】地盤の振動特性に関する以下の設問に答えよ。

(1)地盤内を鉛直方向に伝播するせん断波の波動方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここに、 u は地盤内の水平変位、 t は時間、 c はせん断波の伝播速度、 z は鉛直下向きを正とした座標軸である（ただし、地表面を $z=0$ とする）。波動方程式の解を次式で与える。

$$u = 2A \cos \omega t \cdot \cos \left(\frac{\omega}{c} z \right) \quad (2)$$

ここに、 ω は円振動数であり、周期 T により $\omega = \frac{2\pi}{T}$ で与えられる。

問1：式(2)が波動方程式(1)を満たすことを示せ。

問2：時刻 t 、深さ z の変位が式(2)で与えられるとき、時刻 t 、深さ z の加速度を求めよ。

問3：時刻 t 、深さ z の変位が式(2)で与えられるとき、時刻 t 、深さ z のせん断応力を求めよ。ただし、地盤のせん断弾性係数を G とする。

問4：層厚 H の表層地盤の固有周期（基盤（ $z=H$ ）の変位に対する地表（ $z=0$ ）の変位の比が極大となる周期）を求めよ。

(2)地盤の液状化について簡潔に説明せよ。

【4】地盤改良の原理を5つ示し、それに該当する英語を示すとともに、それぞれの内容を説明せよ。

平成 17 年度 土質力学Ⅱ及び演習 定期試験

【問題 1】

以下の設問に答えよ。

- (1) 3 種類の土圧状態（主働土圧・静止土圧・受働土圧）について、擁壁の変位と擁壁に作用する土圧の関係を表わした模式図を用いて概説せよ。
- (2) クーロン土圧および、ランキン土圧の基本的な考え方について概説せよ。
- (3) クーロンの土圧理論における主働土圧状態について、連力図を用いて説明せよ。
但し、壁面はなめらかで、背面土は水平であり、また擁壁の高さを H とする。
注) 連力図においては、それぞれの力の成分について説明すること。
- (4) ランキンの土圧理論に基づき、水平地盤で深さ h の点における主働土圧および受働土圧を、モール・クーロンの応力円を用いて表示すると共に、主働土圧係数 K_a および受働土圧係数 K_p を誘導せよ。
注) ただし、土の粘着力は 0 とする。また、土の単位体積重量 γ 、土の内部摩擦角 ϕ として標記せよ。
- (5) 水平地盤（土の単位体積重量 γ ）において、高さ H の擁壁を設計する場合に、ランキンの土圧理論を用いた場合の、その主働土圧の合力 P およびその作用位置 H_c （地表面からの深さ）を誘導せよ。

【問題 2】

飽和した正規圧密粘土試料を用いて、圧密非排水三軸試験 (CU 試験) を実施したところ、次の結果を得た。

側圧（初期有効拘束圧）	破壊時の軸差応力 q
100	105

単位 kPa

この値を用いて次の設問に答えなさい。但し、上記初期有効拘束圧で等方圧密後にせん断試験を行っており、軸圧 σ_1 （有効応力では σ_1' ）、側圧（初期有効拘束圧）を σ_3 （有効応力では σ_3' ）として、

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3), p' = \frac{1}{3}(\sigma_1' + 2\sigma_3'), q = \sigma_1 - \sigma_3 \quad \text{とする。}$$

- 1) 全応力で表した破壊時のモールの円を描きなさい。但し、モールの円は主応力の値および円の中心座標を明記すること。
- 2) 間隙水圧係数 A が 0.6 （破壊時）の場合、破壊時に試料内に発生した間隙水圧を求め、上記試験における有効応力経路の概要を $p'-q, p-q$ 平面に描きなさい。但し、破壊

平成 17 年度 土質力学Ⅱ 及び演習 定期試験

線も破壊応力比 (q/p') と共に明記し、等方圧密時の $p(p')$, q の値および当該破壊線と有効応力経路の交点の値も書くこと。

- 3) この試料を上記初期有効拘束圧で等方圧密した後に、排水せん断した (CD 試験) 場合には有効応力経路がどのようなになるか 2) の $p'-q$, $p-q$ 平面に描きなさい。
- 4) 正規圧密粘土上に盛土を築造する場合を例にとり、「非排水せん断強度」を調べる目的に関して、排水条件とせん断強度の関係を述べながら記述せよ。

【問題 3】

以下の問いに答えよ。

1. 地盤の支持力とは何か、その定義を記述せよ。
2. Terzaghi は、根入れ深さ D_f にある帯状の幅 B の浅い支持力公式を導いた。Terzaghi が考えた破壊メカニズムに対する仮定を列挙し、破壊メカニズムを正確に図示せよ。
3. Terzaghi の支持力公式を記述し、各項を簡単に説明せよ。
4. 杭の負の摩擦力に関して説明せよ。ただし必ず、負の摩擦力が作用する場合の杭の軸力分布を図示すること。

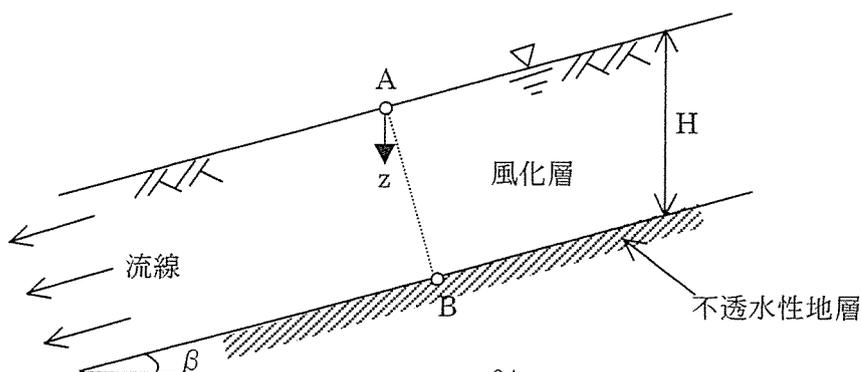
【問題 4】

問題 無限長斜面の安定問題を考える (下図参照)。降雨浸透により風化層内の地下水面が次第に上昇し、地表面に一致した状態に着目する。

(1) 風化層底面に垂直に作用する垂直応力 σ とせん断応力 τ のそれぞれの表現 (全応力で考えた場合) を求めよ。ただし、土の単位体積重量を γ 、斜面の傾斜角を β 、地表面から風化層底面までの深さを H で表わす。流線は地表面に平行であるとする。

(2) 地表面から風化層底面までの深さ $H=1\text{m}$ 、斜面の傾斜角 $\beta=30$ 度の場合、点 B における間隙水圧 u はいくらになるか？ただし、水の単位体積重量 $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ とおいてよい。

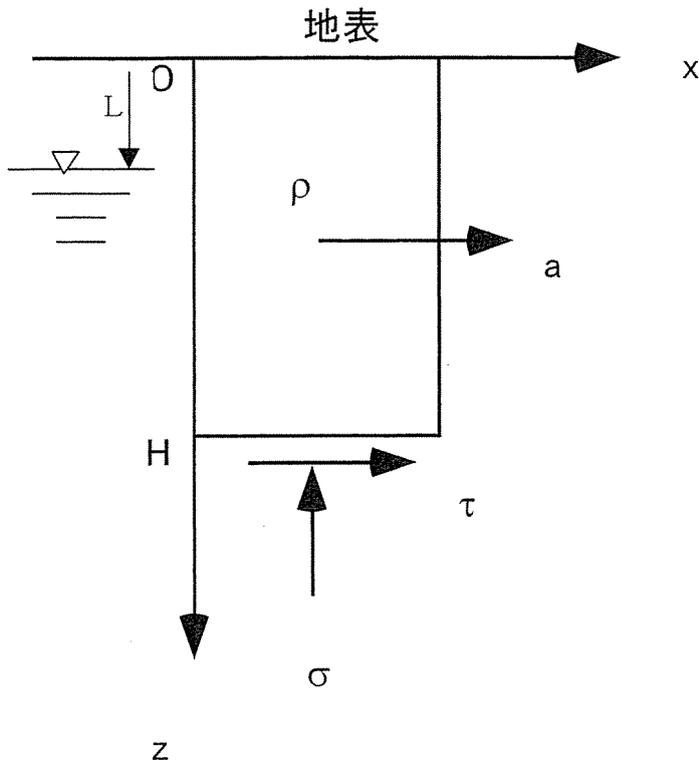
(3) 風化層の内部摩擦角 $\phi > 0$ 、粘着力成分 $c=0$ の場合、図示した無限長斜面 (風化層) の安全率 F を与える表現を誘導せよ。



【問題 5】

問 地震時の地盤内の応力と液状化の発生に関する(a)~(d)の問いに答えよ。

(a)下図に示すように、地震により地盤が一様な水平加速度 a を受けるとき、深さ H におけるせん断応力 τ および全鉛直応力 σ を求めよ。ただし、地盤の密度を ρ 、重力加速度を g とする。



(b)地下水面が地表面から L の深さにあるとき、深さ H における有効鉛直応力 σ' を求めよ。

ただし、水の密度を ρ_w とする。

(c)地盤のせん断応力比が $\tau/\sigma' = 0.3$ に達した時に、液状化が発生するものとする。このとき

の地震による地盤の加速度 a を求めよ。ただし、 $H=10\text{m}$ 、 $L=2\text{m}$ 、 $\rho g=20\text{kN/m}^3$ 、

$\rho_w g=10\text{kN/m}^3$ とする。

(d)地盤の液状化の発生の機構を、土のダイレイタンスーに基づいて説明せよ。

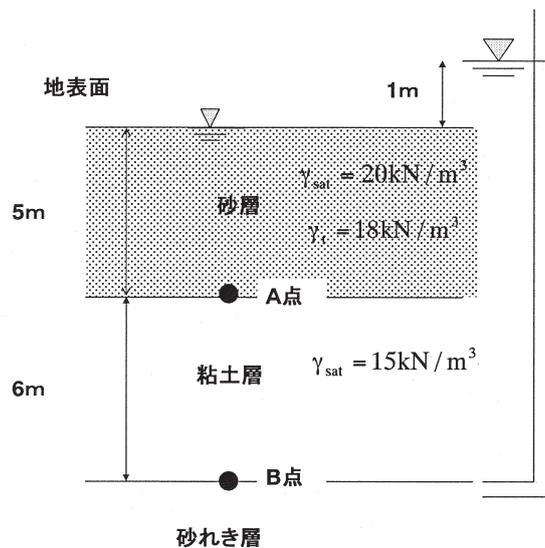
2006 年度 土質力学 II 及び演習 定期試験

2006 年 7 月 19 日 (水) 10:00~12:00 155 講義室・201 講義室

注意事項：

- 問題は 6 問です。解答用紙も 6 枚ありますので、6 枚全てに氏名等必要事項を記入した上で、各問 1 枚の解答用紙を用い、【1】番の問題から順に解答して下さい。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答して下さい。
- 各問の配点は均等です。
- 持ち込みは一切不可です。不正行為があった場合は本科目の単位は認定しません。

【1】 下図に示すように厚さ 5 m の砂層、厚さ 6 m の粘土層および砂れき層からなる水平成層地盤がある。地下水位は地表面と一致しており、砂れき層における被圧地下水の水頭は地表面より 1 m 上に達している。砂層の湿潤単位体積重量は $\gamma_t = 18\text{kN/m}^3$ 、飽和単位体積重量は $\gamma_{\text{sat}} = 20\text{kN/m}^3$ 、粘土層の飽和単位体積重量は $\gamma_{\text{sat}} = 15\text{kN/m}^3$ である。なお、水の単位体積重量は $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$ とする。

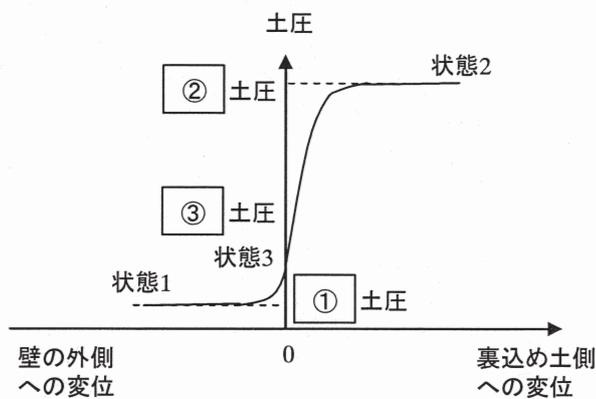


- (1) 図の状態から砂層の地下水を揚水して急激に粘土層の上層面（地表面から 5 m 下）まで地下水位を下げた。ただし、砂れき層における被圧地下水の水頭は図に示すように地表面より 1 m 上で一定のままであった。粘土層の上層面（A 点）と下層面（B 点）での全応力、間隙水圧および有効応力の値を、地下水位が地表面であった状態、および急激に地下水位を下げた状態の両方について求めよ。
- (2) さらに砂れき層からも揚水をしたので、砂れき層中の地下水の水頭が粘土層の上層面（地表面から 5 m 下）まで低下した。砂層中の地下水面も地表面から 5 m 下のままとし、十分に時間が経過した際の、粘土層の上層面（A 点）と下層面（B 点）での有効応力の値を求めよ。
- (3) (2)の状態 で粘土層に生じる圧密の時間的な進行を Terzaghi の一次元圧密方程式を用いて解析したい。Terzaghi の圧密方程式を記述しなさい。なお、用いた記号は説明すること。また、方程式を解く際に初期条件と境界条件を設定するが、粘土層の下層が排水状態と非排水状態の場合で境界条件がどのように変わるのかを記しなさい。

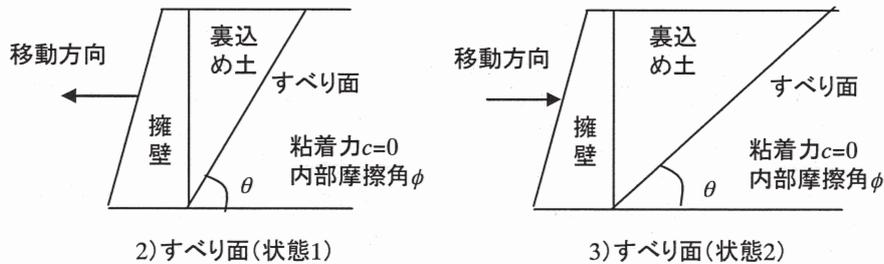
- (4) (2)の状態では粘土層の圧密度が30%に達した。このとき(250日後)の地盤の沈下量を求めなさい。ただし、粘土層の透水係数は 1×10^{-10} m/sとし、圧密係数、体積圧縮係数も算出すること。なお、砂層の沈下量は考慮しなくてもよく、粘土層は両面排水状態であるとする。有効応力の変化は粘土層の中央部で考えてよく、圧密度が30%のときの時間係数は0.07とする。沈下量は地下水位が地表面にあった状態からの有効応力の変化で考えよ。

【2】 以下の設問に答えよ。

- (1) 図-1 に示す擁壁の変位と土圧の関係において、それぞれ土圧の状態1～状態3に対応する①～③に示す土圧の名称を記述せよ。



1) 擁壁の変位と土圧の関係



2) すべり面(状態1)

3) すべり面(状態2)

図-1 擁壁の変位と土圧及びすべり面の関係

- (2) 水平地盤において土被り圧が γh (γ : 土の単位体積重量, h : 土被り) の点における、状態3に対応する応力状態をモールの応力円を用いて図示せよ。
- (3) 図-1の2)および3)に示す状態1および状態2において擁壁に作用する土圧を算定する理論として、クーロン土圧およびランキン土圧が挙げられる。両土圧の基本的な考え方について概説するとともに、両土圧が一致する場合の条件についても記述せよ。
- (4) ランキンの土圧理論に基づき、土被り圧が γh の点における、図-1の2)および3)に示す状態1および状態2をモール・クーロンの応力円を用いて表示するとともに、それぞれの状態におけるすべり面と水平面になす角 θ をモール・クーロンの応力円を用いて算定せよ。
- 注) ただし、図-1に示すように、土の粘着力 c は0、土の内部摩擦角は ϕ として表記せよ。

- (5) 図-2 に示す自由支持矢板の設計において、掘削深さ H_1 および根入れ長 H_2 とする時、ランキンの土圧理論に基づき、背面側および掘削側に作用する土圧の合力 P_1 および P_2 を算定すると共に、それぞれの合力の作用位置 h_1 および h_2 を算定せよ。

注) ただし、図-2 に示すように、土の単位体積重量 γ 、土の粘着力 c は 0、土の内部摩擦角は ϕ として表記せよ。

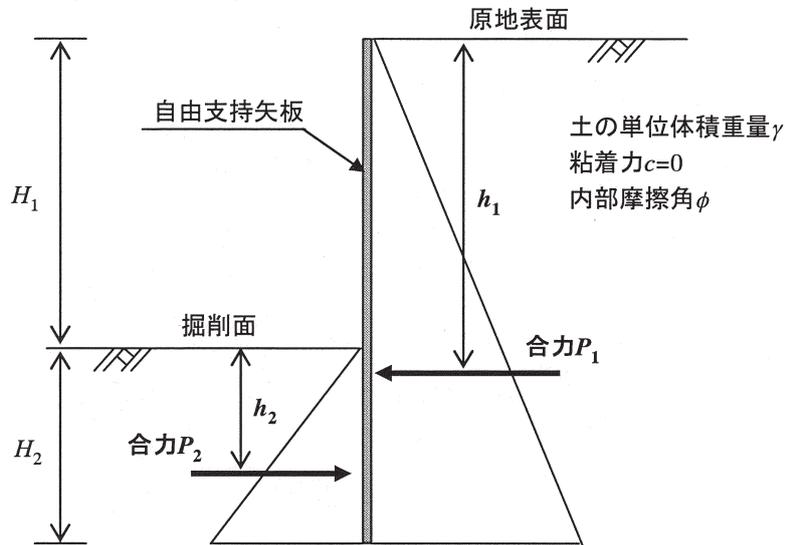


図-2 自由支持矢板に作用する土圧分布

【3】 飽和粘土試料を圧密圧力 200 kPa で等方圧密した後、側圧一定のもとで非排水三軸圧縮試験を行った。せん断破壊時の主応力差が 120 kPa、過剰間隙水圧の値が 140 kPa であった。

- (1) せん断破壊時のモール(Mohr)の応力円を有効応力表示で描きなさい。
- (2) 比較のため、せん断破壊時のモール(Mohr)の応力円を全応力表示で描きなさい。
- (3) 有効応力表示の粘着力 $c'=0$ とした場合、有効内部摩擦角 ϕ' の値を求めなさい。

【4】 以下の問いに答えよ。

- (1) Terzaghi の支持力公式を示せ。
- (2) 根入れが 1 m の帯状フーチングを硬い地盤上に建設する必要がある。フーチングの幅 B を 3 m とした場合の、極限支持力 q_u を求めよ。また、この場合の破壊形態とその名称及び荷重-沈下曲線の特徴を述べよ。この地盤の地盤定数は、土の密度 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi' = 30$ 度、粘着力 $c = 15 \text{ kN/m}^2$ である。ただし、 $\phi' = 30$ 度のとき、支持力係数は $N_q = 22.5$ 、 $N_c = 37.2$ 、 $N_\gamma = 19.4$ とせよ。

【5】 以下の問いに答えよ。

- (1) 斜面に対する3種類の円弧すべりの発生パターン(円弧すべり面の破壊パターン)を図示し、簡単な説明を加えよ。
- (2) 地下水位が十分に深部にある場合の、無限長斜面の限界深さ(安全率が1となる深さ)を誘導せよ。ただし、単位体積重量を γ 、内部摩擦角を $\phi (\neq 0)$ 、粘着力を $c (\neq 0)$ 、斜面の傾斜角を β とする。

【6】 地震時の地表面最大加速度が400 gal (= 4 m/s²)で、深さ方向の加速度分布が一様であるとする。地下水面は深さ1 mにあるものとし、地盤の単位体積重量は、地下水面より上では16 kN/m³、地下水面より下では20 kN/m³とする。また、重力加速度は9.8 m/s²とする。このとき以下の問いに答えよ。

- (1) 深さ6 mにおける最大せん断応力はいくらか。
- (2) 深さ6 mにおける有効鉛直応力はいくらか。
- (3) 深さ6 mにおいて、地盤が液状化するか否かについて答えよ。ただし、室内試験を実施して、地盤の最大せん断応力比が $\tau/\sigma_v' = 0.35$ に達したときに、液状化が発生することがわかっているものとする。

2007 年度 土質力学 II 及び演習 定期試験

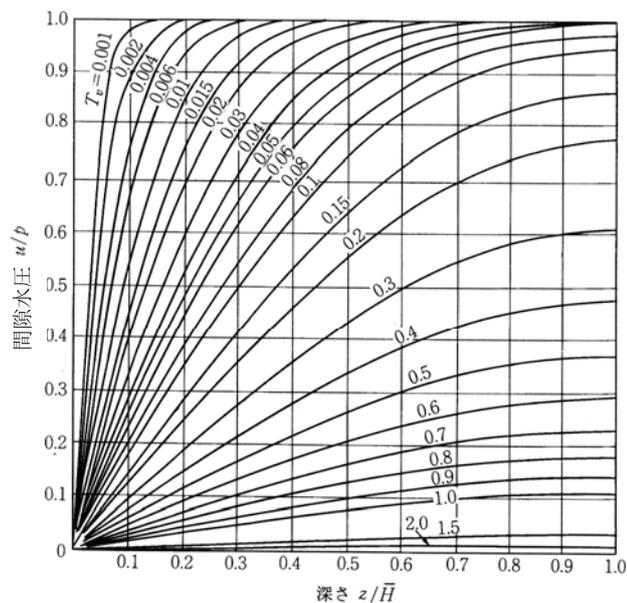
2007 年 7 月 18 日 (水) 10:00~12:00 8 号館大講義室・共通 3 講義室

注意事項：

- 問題は 6 問です。解答用紙も 6 枚ありますので、6 枚全てに氏名等必要事項を記入した上で、各問 1 枚の解答用紙を用い、【1】番の問題から順に解答して下さい。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答して下さい。
- 各問の配点は均等です。
- 持ち込みは一切不可です。不正行為があった場合は本科目の単位は認定しません。

【1】 臨海平野部における粘土層の一次元圧密問題を考える。地表面から深さ 5 m までは砂層であり、その下位に圧縮性の高い飽和粘土層(層厚 10 m)が分布する。この粘土層の下位は砂礫層である。地下水位は地表面より 3 m の深さにある。Terzaghi の一次元圧密理論によると、載荷圧 p による粘土層内の過剰間隙水圧 u の等時曲線は片面排水の場合、下図のようになる。ここに、 T_v は時間係数、 z/\bar{H} は粘土層内の無次元深さを表す。ただし、 \bar{H} は最大排水距離を表す。以下の設問に答えよ。

- (1) 本題における最大排水距離 \bar{H} の値を求めよ。
- (2) この地盤の表面に載荷圧 $p = 100 \text{ kPa}$ を負荷する。その 1 年後における粘土層中央部の過剰間隙水圧 u の値が 80 kPa であった。一次元的な圧密を考え、応力分散の影響は無視してよい。この場合、時間係数 T_v の値を下図を利用して推定せよ。さらに、その結果を用いて圧密係数 c_v の値を推定せよ。
- (3) 5 年後の粘土層中央部の過剰間隙水圧 u の値を推定せよ。



一次元圧密における間隙水圧の等時分布曲線

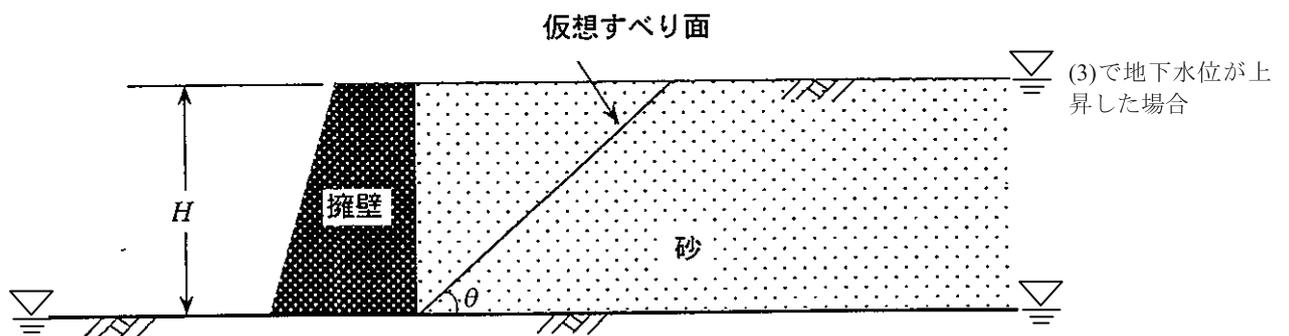
(出典：地盤工学ハンドブック[資料編]，地盤工学会)

【2】 飽和した正規圧密粘土試料を 100 kPa の拘束圧にて等方圧密し、その後側圧一定で非排水三軸圧縮試験を行ったところ、軸差応力 q が 120 kPa で破壊した。なお破壊時の過剰間隙水圧は 60 kPa であった。なお、軸圧を σ_1 (有効応力では σ'_1)、側圧を σ_3 (有効応力では σ'_3) とし、平均有効応力 $p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}$ 、軸差応力 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ とする。以下の設問に答えよ。

- (1) 有効応力径路の概要を応力空間 (p', q) に描け。また破壊時の応力比 (q/p') を求めよ。
- (2) 非排水せん断強度および破壊時の間隙水圧係数 A_f を求めよ。
- (3) この試料を 100 kPa の拘束圧で等方圧密した後、非排水三軸圧縮試験ではなく排水三軸圧縮試験をした場合、応力径路はどうか(1)で描いた図の中に描け。
- (4) 排水および非排水せん断試験を行うことによって地盤の強度を調べる目的について、盛土を築造する場合を例に挙げて記述せよ。

【3】 図のような高さ H の擁壁に土圧が働いている。裏込め土は砂質土(内部摩擦角 $\phi \neq 0$, 粘着力 $c = 0$, 単位体積重量 γ) であるとする。以下の問いに答えよ。

- (1) 擁壁に働く受働土圧と主働土圧を、擁壁の水平変位を考慮して正しく図示せよ。
- (2) 擁壁背面が滑らかであるとして、主働状態にあるクーロンの土くさびに働く力のベクトル図を示し、主働土圧 Pa の求め方を述べよ (土圧 Pa を直接求める必要はない)。
- (3) 擁壁背面の地下水位が地表面に上昇した場合と、地下水位が擁壁底面にある場合の主働土圧合力 (土圧と水圧の合力) の大小関係を、土圧と水圧の違いに着目して説明せよ。ただし水の単位体積重量は γ_w とする。



【4】 以下の設問について答えよ。

- (1) 地盤の破壊は、地盤条件の違いにより異なる性質を示すことが知られている。軟らかい軟弱な土と硬質の土を対象とした場合の、それぞれの荷重強度－沈下曲線について模式図を用いて示すとともに、その破壊形態の違いについて説明せよ。
- (2) 浅い基礎を対象とした一般的な支持力公式は、次式により表される。

$$q_d = \frac{Q}{B} = cN_c + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma + \gamma D_f N_q$$

ここで、 q_d は極限支持力、 Q は上載荷重、 B は基礎の幅、 c は粘着力、 γ は土の単位体積重量、 D_f は基礎の根入長を表す。また、 N_c 、 N_γ 、 N_q は支持力係数を表す。

- 1) 上式を用いて、安全率を SF として許容支持力 q_a を誘導せよ。
- 2) 以下の条件での許容支持力 q_a を算定すると共に、設計上このフーチング基礎で支持可能となる上部荷重 Q も算定せよ。

(設計条件)

・地盤条件： $c = 20 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 、 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

(但し、内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ の場合の支持力係数は、それぞれ $N_c = 37$ 、 $N_\gamma = 22$ 、 $N_q = 25$ とする)

・フーチング基礎の形状：根入れ長 $D_f = 2.0 \text{ m}$ 、フーチング幅 $B = 5.0 \text{ m}$

・安全率： $SF = 3.0$

- 3) 2) で設定した条件において、実際の現場ではフーチング幅 B を 4.0 m 以内にしか設定できないことが判明した。この場合に、以下の2つの対応策を想定した。それぞれの対応策について答えよ。
 - (i) 対応策1：2) で算定した上部荷重 Q は一定として、根入れ長 D_f を増加させるものとする。この場合に必要となる根入れ長 D_f を算定せよ。
 - (ii) 対応策2：根入れ長 $D_f = 2.0 \text{ m}$ は一定として、このフーチング基礎で支持可能となる上部荷重 Q を減少させるものとする。この場合に支持可能となる上部荷重 Q を算定せよ。
- (3) 浅い基礎と深い基礎の相違、および代表的な浅い基礎の形式について、図を用いて説明せよ。

【5】 斜面の安定について、以下の問いに答えよ。

- (1) フェレニウス法（スウェーデン法）は、円弧すべりを仮定し、すべり土塊を n 個のスライスに分割して安定解析を行う方法で、その際に、a)すべり面に鉛直方向の力の釣合い条件、b)円弧の中心のまわりの滑動モーメントと抵抗モーメントの釣合い条件、c)モール・クーロンの破壊条件を考慮する。a)～c)の条件式をそれぞれ書き、それらを用いて、以下のすべり安全率の算定式を誘導せよ。

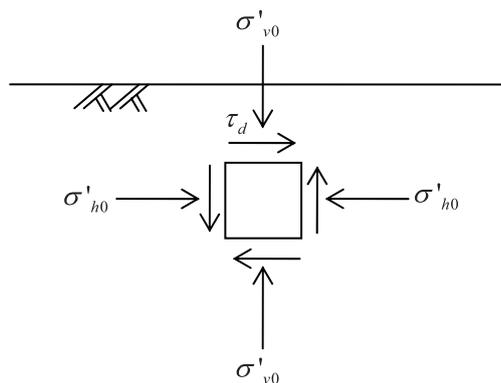
$$F = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

ここに、 i 番目のスライスについて、土の内部摩擦角を ϕ_i 、粘着力はないものとし、すべり面の傾斜角を α_i 、スライスの自重を W_i とし、総和は分割した全てのスライスに関する総和とする。また、地下水の影響は考慮しない。

- (2) 雨が降るとなぜ地すべりが発生しやすくなるのかについて、考えることを述べよ。

【6】 地盤の液状化について以下の問いに答えよ。

- (1) 下図のような水で飽和された水平地盤の土要素に繰り返しせん断応力 τ_d が作用し、土要素が液状化するとする。この液状化過程をモールの応力円を用いて説明せよ。ただし、 σ'_{h0} は初期水平有効応力、 σ'_{v0} は初期鉛直有効応力である。



- (2) 地震時の液状化による土木・建築構造物の被害の特徴を述べよ。さらに液状化対策工法をその原理と工法に分けて示せ。

2008 年度（平成 20 年度）土質力学 II 及び演習 定期試験

2008 年 7 月 16 日（水）10:00～12:00 共通 155・共通 1 講義室

注意事項：

- 問題は 5 問です。解答用紙も 5 枚ありますので、5 枚全てに氏名等必要事項を記入した上で、各問 1 枚の解答用紙を用い、【1】番の問題から順に解答して下さい。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答して下さい。
- 持ち込みは一切不可です。

【1】粘土地盤の圧密等に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 不透水性の岩盤上に層厚 10 m の粘土層が堆積している。この粘土について厚さ 2 cm の供試体の圧密試験（両面排水条件）を行ったところ、圧密度 $U = 0.5$ (50%) に達するまでの時間は 10 分であった。上の粘土地盤に盛土を載荷してから圧密度 $U = 0.9$ (90%) に達するまでに要する時間を求めよ。ただし、圧密度 $U = 0.5, 0.9$ に達する時の時間係数は、それぞれ $T_v = 0.2, 0.9$ としてよい。
- (2) 上の粘土地盤の圧密時間の短縮を図るために、サンド・ドレーン工法によって地盤改良することになった。直径 $d_w = 0.4$ m、長さ 10 m の砂杭を正三角形配列にピッチ（砂杭中心間の距離） $s = 2$ m で打設する際、圧密度 $U = 0.9$ に達するまでに要する圧密時間が、何分の一に短縮されるかを答えよ。ただし、サンド・ドレーンに対するバロンの解に基づき、杭径比 $n = s / d_w = 5$ の時、圧密度 $U = 0.9$ に達する時の時間係数は $T_h = (C_h / s^2)t = 0.3$ であるとしてよい。ここに、水平方向の圧密係数 C_h は、鉛直方向の圧密係数 C_v の 4 倍とする。
- (3) 粘土地盤の地表面に図 1.1 に示す分布荷重を載荷する時、地表面から深さ z にある A 点に生じる鉛直応力 σ_z は、 a/z の関数として次式で与えられる。

$$\sigma_z = I_q \left(\frac{a}{z} \right) q$$

この時、上式の関数を用いて、図 1.2 に示す分布荷重を載荷する時に、地表面から深さ z にある B 点に生じる鉛直応力 σ_z を表せ。ただし、粘土地盤は線形弾性挙動をするものとする。

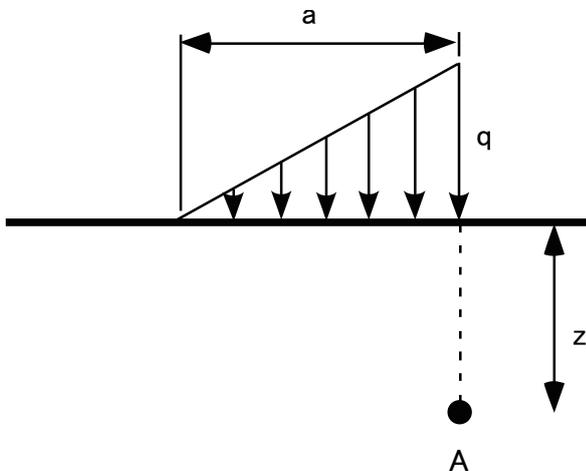


図 1.1

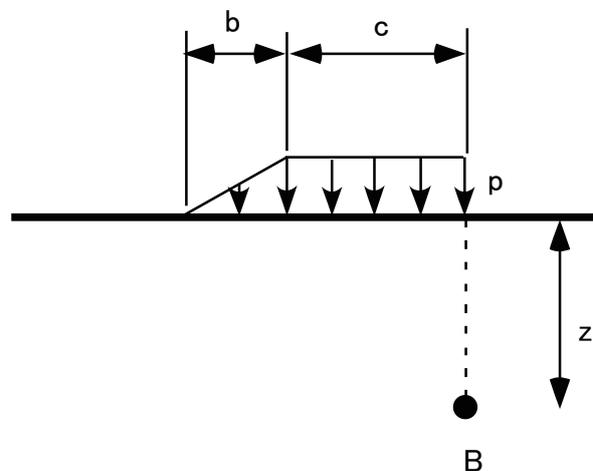


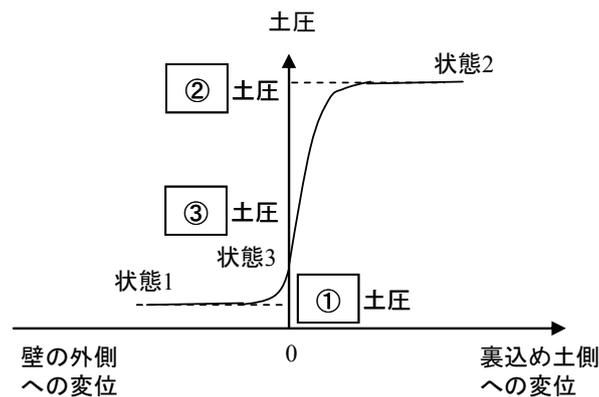
図 1.2

【2】破壊理論に関する以下の問いに答えよ。

- (1) モール-クーロンの破壊規準についてクーロンの破壊規準とモールの破壊規準と比較してその特徴を述べよ。
- (2) 主応力を用いてモール-クーロンの破壊規準を表示せよ。
- (3) 飽和した正規圧密粘土を平均有効応力 P'_{me} まで圧密し、圧密非排水3軸圧縮試験を行ったところ、破壊時の軸差応力 q は 90 kPa であり、間隙水圧は 90 kPa であった。ここで、 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ 、 $\sigma_1 > \sigma_3 = \sigma_2$ 、 σ_1 : 鉛直軸方向全応力、 σ_3 、 σ_2 : 水平方向全応力である。
この粘土の破壊はモール-クーロンの破壊規準で表すことができ、その時の内部摩擦角が 30 度で粘着力が 0 とする。この試験における、圧密後の平均有効応力 P'_{me} 、破壊時の平均有効応力 P'_f 及び破壊時の間隙水圧係数 A_f を求めよ。平均有効応力は $p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3) / 3$ 、 σ'_1 、 σ'_3 はそれぞれ有効応力を表す。
- (4) (3)の非排水試験の全応力径路と予想される有効応力径路を $p' - q$ 、 $p - q$ 空間に描け。

【3】土圧に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 図 3 に示す擁壁の変位と土圧の関係において、それぞれ土圧の状態 1～状態 3 に対応する①～③に示す土圧の名称を記述せよ。



1) 擁壁の変位と土圧の関係

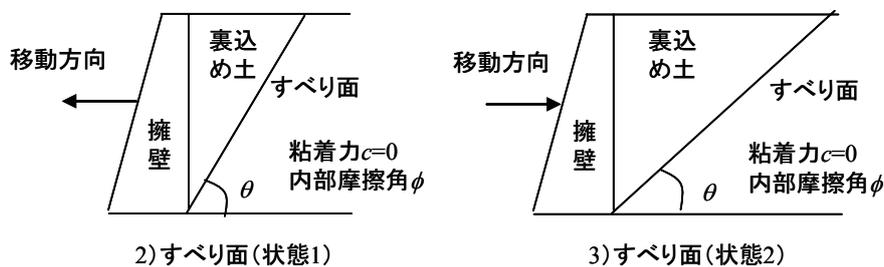


図 3 擁壁の変位と土圧及びすべり面の関係

- (2) クーロンの土圧理論における主動土圧状態について、連力図を用いて説明せよ。
注) 連力図においては、それぞれの力の成分の名称を明示すること。
- (3) ランキンの土圧理論に基づき、水平地盤で深さ h の点における主動土圧および受働土圧を、モー

ルの応力円を用いて表示すると共に、主働土圧係数 K_A および受働土圧係数 K_P を誘導せよ。

注) ただし、土の粘着力は 0 とする。また、土の単位体積重量 γ 、土の内部摩擦角 ϕ として表記せよ。

- (4) 水平地盤（土の単位体積重量 γ ）において、高さ H の擁壁を設計する場合に、ランキンの土圧理論を用いた場合の、その主働土圧の合力 P およびその作用位置 H_c （地表面からの深さ）を誘導せよ。

【4】 支持力に関する以下の問いに答えよ。

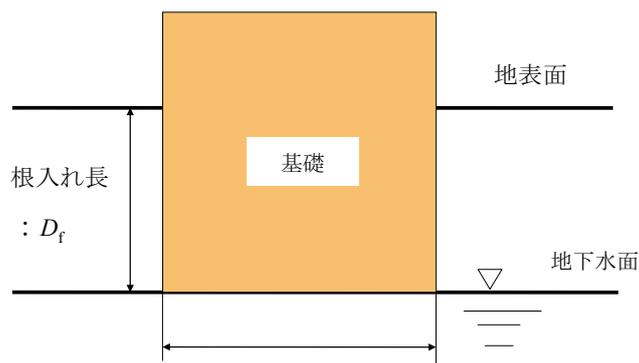
帯状基礎が図 4 に示す地盤中に設けられている。このとき、次の設問に答えよ。なお地下水位の上昇によって地盤の強度や間隙比は変わらないものとする。

- (1) 形状係数 α , β , 支持力係数 N_c , N_γ , N_q を用いて、極限支持力 q を次のような Terzaghi の支持力公式で表す。

$$q = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta B [\text{ア}] N_\gamma + D_f [\text{イ}] N_q$$

ただし基礎幅を B 、根入れ深さを D_f としている。このとき、式中のアおよびイを図中の地盤パラメータの記号を使って示せ。

- (2) 浅い基礎と深い基礎の相違を上式中の記号を用いて示せ。
- (3) 上式に安全率 F を導入して許容支持力を示すと共に、安全率が導入される理由を説明せよ。
- (4) 基礎の幅が 3.0 m、根入れ深さが 2.0 m のとき、安全率を 3 として地下水位が地表面下 1.5 m まで上昇したときの許容支持力を求めよ。ただし土質試験の結果、地盤に関して次の値が得られている。湿潤単位体積重量 = 18 kN/m³、土粒子の比重 = 2.7、含水比 = 30%、内部摩擦角 = 20°、粘着力 = 5 kN/m³。また(1)に示した式における帯状基礎の形状係数は $\alpha = 1.0$ 、 $\beta = 1.0$ であり、地盤の内部摩擦角 20° のときの支持力係数は $N_c = 20$ 、 $N_\gamma = 7$ 、 $N_q = 11$ とする。さらに地下水面より上の地盤は飽和状態と考え、水の単位体積重量は 10 kN/m³ を用いよ。



幅 : B

土粒子の比重 : G_s , 間隙比 : e

地盤パラメータ 地下水面より上の地盤の飽和度 : S_r

水の単位体積重量 : γ_w

図 4

【5】

地盤の液状化安全率による簡易判定法の適用を考える。対象地盤を図5に示す。砂層の単位体積質量 ρ の値は地下水面の上位と下位で変化しないものとする。水の単位体積質量を ρ_w 、重力加速度を g と表記する。以下の設問に答えよ。

- (1) 地表からの深さ z における飽和沖積砂層内の水平面（地下水面以下）を考える。初期鉛直全応力 σ_v と初期鉛直有効応 σ'_v の比を与える表現式を求めよ。深さ $z = 6 \text{ m}$ の場合、 $\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}$ の値はいくらになるか？ ただし、 $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ （地下水面の上位と下位で変化しない）、 $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とする。

- (2) 地震動によって上述の地盤内の水平面上にはせん断応力が誘起される。その値と初期鉛直有効応力の比をせん断応力比 L と表記する。このとき、せん断応力比 L を、地表での水平加速度の最大値 α を用いて、次式によって近似的に算定できることを示せ。

$$L = \frac{\alpha \sigma_v}{g \sigma'_v}$$

- (3) 対象飽和砂に対する非排水繰返し三軸試験の結果、液状化強度比 $R_0 = 0.12$ と求められた。液状化強度比は無次元量であるが、物理量として何を何で除したかたちで表現されているのか？

- (4) 液状化安全率 F_0 を、上述のパラメータ L と R_0 を用いて定義せよ。想定地震動による水平最大加速度 α の値が 0.98 m/s^2 の場合、液状化安全率の値はいくらになるか？

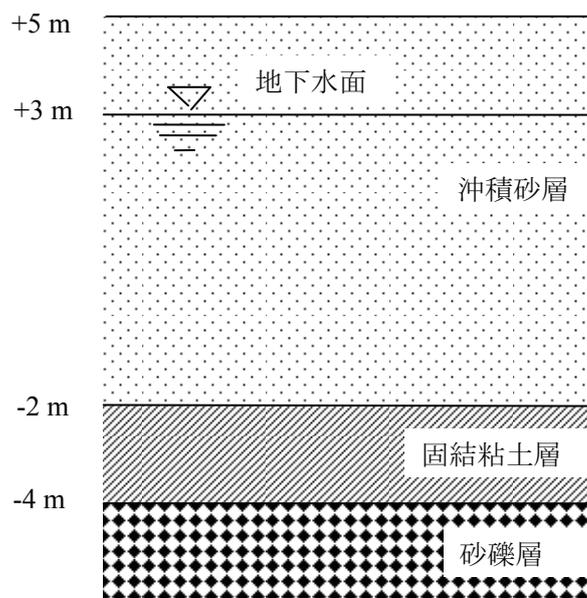


図5

注意事項：

- 問題は 6 問です。解答用紙も 6 枚あります。6 枚全てに学生番号、氏名などの必要事項を記入しなさい。
- 各問いに対して 1 枚の解答用紙を使ってください。解答用紙は【問 1】から順番に解答してください。表側に書ききれないときは、その旨を明記して用紙の裏側に解答してください。
- 持ち込みは一切不可です。

【問 1】

粘土地盤の圧密等に関する以下の問いに答えよ。

- (1)不透水性の岩盤上に単位体積重量 17kN/m^2 、層厚 10m の粘土層が堆積している。この粘土地盤上に荷重 100kN/m^2 を急激に加えた際の粘土地盤内の全応力、間隙水圧、有効応力の分布図を、(a) 荷重直後の状態、(2) その後の圧密が進行している状態、(3) 荷重後十分時間が経過し圧密が終了した状態、の 3 ケースについて描け。ただし、地下水面は地表面と一致しているものとする。
- (2) この地盤の体積圧縮係数が $m_v = 5 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{kN}$ であるとき、荷重後十分時間が経過し圧密が終了したときの沈下量を求めよ。
- (3) この地盤の粘土について、厚さ 2cm の供試体の圧密試験（両面排水条件）を行ったところ、圧密度 $U=0.5$ （50%）に達するまでの時間は 15 分であった。この地盤に荷重を加えてから圧密度 $U=0.9$ （90%）に達するまでに要する時間を求めよ。ただし、圧密度 $U=0.5$ 、 0.9 に達する時の時間係数は、それぞれ $T_v=0.2$ 、 0.9 としてよい。
- (4) 上の粘土地盤の圧密時間の短縮を図るために、サンドドレーン工法によって、地盤改良することになった。直径 $d_w=0.3\text{m}$ 、長さ 10m の砂杭を正三角形配列で打設ピッチ（砂杭中心間の距離） $s=3\text{m}$ で打設すると、圧密度 $U=0.9$ に達するまでに要する圧密時間はどれだけ短縮するかを答えよ。ただし、サンド・ドレーンに対するバロンの解に基づき、杭径比 $n=s/d_w=10$ の時の、圧密度 $U=0.9$ に達する際の時間係数は、 $T_h=(C_h/s^2)t=0.45$ であるとしてよい。ここに、水平方向の圧密係数 C_h は、鉛直方向の圧密係数 C_v の 4 倍とする。

【問2】

飽和した粘土を 100kPa まで圧密し、側方応力 $\sigma_3 =$ 一定で排水 3 軸圧縮試験を行った。破壊時の軸差応力 ($q = \sigma_1 - \sigma_3$) と平均有効応力 ($p' = (\sigma_1' + 2\sigma_3')/3$) を求めよ。さらに、同じ粘土に対して、100kPa まで圧密し、非排水 3 軸圧縮試験を行った。このとき、破壊時の間隙水圧は 64kPa であった。破壊時の軸差応力、平均有効応力および破壊時の間隙圧係数 A_f を求め、全応力径路と予想される有効応力径路を $p'-q, p-q$ 空間にえがけ。

ただし、この粘土はモール・クーロンの破壊規準に従うものとし、破壊時の内部摩擦角は 30 度、粘着成分は 0 とする。

【問3】

以下の設問に答えよ。

- (1) 水平地盤 (土の単位体積重量 γ) で深さ h の点における静止土圧状態を、静止土圧係数を K_0 として、モールの応力円を用いて示せ。ただし、粘着力 $c=0$ とせよ。
- (2) 図 3-1 のように水平地盤 (土の単位体積重量 γ) に高さ H の擁壁が設けられている。この擁壁に作用するクーロンの土圧理論に基づいて算定される主動土圧について、連力図を用いて説明せよ。ただし、土と擁壁との摩擦角は δ であり、連力図においては、それぞれの力の成分についての説明を加えよ。

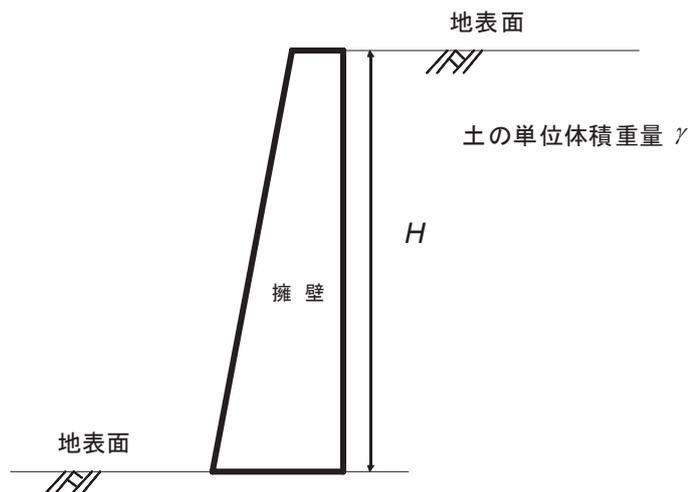


図 3-1 水平地盤に設置した擁壁

- (3) (2)の問題をランキンの土圧理論に基づいて算定する。擁壁背面の地表面から深さ h の点における主働土圧および受働土圧を、モール・クーロンの応力円を用いて表示すると共に、主働土圧係数 K_A および受働土圧係数 K_P を誘導せよ。ただし、土の粘着力 c は 0 とする。また、土の単位体積重量を γ 、土の内部摩擦角を ϕ とせよ。
- (4) 図 3-2 に示すような地盤を掘削する場合の自由支持矢板の設計を考える。掘削深さ H_1 および根入れ長 H_2 とする時、ランキンの土圧理論に基づき、背面側および掘削側に作用する土圧の合力 P_1 および P_2 を算定すると共に、それぞれの合力の作用位置 h_1 および h_2 を算定せよ。ただし、図 3-2 に示すように、土の単位体積重量を γ 、土の粘着力 c は 0、土の内部摩擦角は ϕ とせよ。
- (5) (4) に示す自由支持矢板に作用する土圧分布において、粘着力 $c=0$ の場合と比べ、粘着力 c を有する地盤の場合には、図 3-2 に示す背面側および掘削側に作用する土圧分布がどのように異なるのかを図示するとともに考察を加えよ。

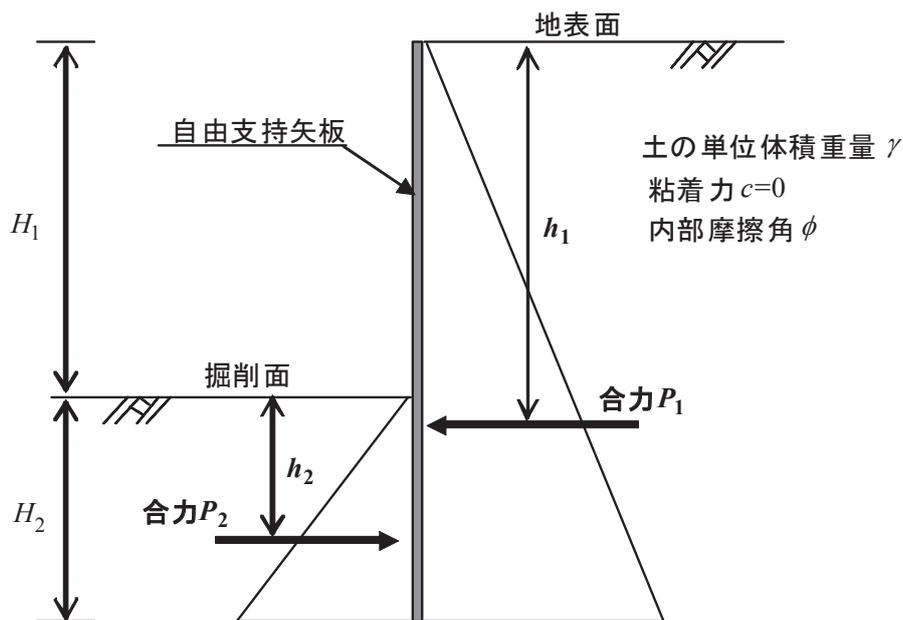


図 3-2 自由支持矢板に作用する土圧分布

【問4】

幅 B の帯状基礎が、単位体積重量 γ 、粘着力 c の地盤に根入れ深さ D_f で設置されているときの Terzaghi による極限支持力 q は、支持力係数 N_c, N_γ, N_q を用いて式(1)のように表わされる。

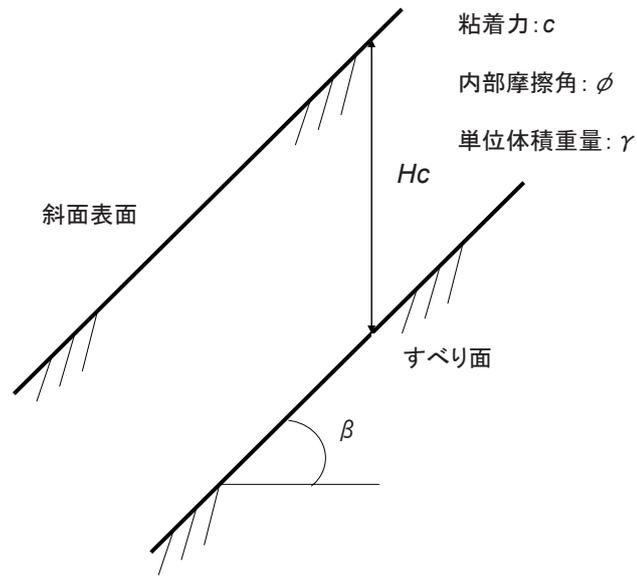
$$q = cN_c + \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma + D_f\gamma N_q \dots \dots \text{式(1)}$$

この式を援用して次の設問に答えよ。ただし水の単位体積重量を 10 kN/m^3 として、地下水位の上昇によって地盤の強度や間隙比は変わらないものとする。

- (1) 基礎の幅が 3.0m 、根入れ深さが 2.0m のとき、地下水位が無視できるほど深い状態のとき、安全率を 3 として許容支持力を求めなさい。ただし土質試験の結果、地盤に関して次の値が得られている。湿潤単位体積重量 $\gamma = 18\text{kN/m}^3$ 、土粒子の比重 $G_s = 2.7$ 、含水比 $w = 30\%$ 、内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ 、粘着力 $c = 5\text{kN/m}^2$ 。また、地盤の内部摩擦角 20° のときの支持力係数は $N_c = 20$ 、 $N_\gamma = 7$ 、 $N_q = 11$ とする。
- (2) (1)において安全率を導入する理由を考察しなさい。
- (3) (1)の状態から地下水位が地表面下 1.0m まで上昇したとき、極限支持力ほどの程度変化するか求めなさい。ただし地下水面より上の地盤は湿潤状態であるとする。

【問 5】

斜面の傾斜角が β で単位体積重量が γ の無限長斜面の安定性を考える。
斜面が安定を保つ場合の深さ H_c を限界深さと言うが、せん断強度 τ が、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ そしてすべり面に作用する垂直応力を σ として $\tau = c + \sigma \tan \phi$ で表すことができるとき、この限界深さ H_c を、誘導しなさい。ただし、地下水位は無視できるほど深いとする。



【問 6】

水で飽和した水平地盤の液状化のメカニズムをモールの円を用いて説明せよ。

2010 年度 土質力学 II 及び演習 定期試験
2010 年 7 月 28 日 (水) 10:00~12:00 共通 1・共通 155 講義室

注意事項：

- 問題は 5 問です。解答用紙も 5 枚ありますので、5 枚すべてに氏名・学生番号等必要事項を記入した上で各問 1 枚の解答用紙を用い、【1】の問題から順に解答してください。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答してください。
- 持ち込みは一切不可です。
- 解答に単位が必要な場合は明記すること。

【1】粘土地盤の圧密等に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 不透水性の岩盤上に単位体積重量 17 kN/m^3 、層厚 10 m の飽和した粘土層が堆積している。この粘土地盤上に荷重 100 kN/m^2 を急激に加えた際の粘土地盤内の全応力、間隙水圧、有効応力の分布図を、(a) 載荷直後の状態、(b) その後の圧密が進行している状態、(c) 載荷後十分時間が経過し圧密が終了した状態、の 3 ケースについて描け。ただし、地下水面は地表面と一致しているものとする。
- (2) この地盤の圧密過程を、テルツアギーの一次元圧密方程式に基づいて解析する。まず、過剰間隙水圧 (= 間隙水圧 - 静水圧) を u 、圧密係数を C_v 、時間を t 、深さ方向の座標を z としたとき、圧密方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad \text{①}$$

- (a) 粘土層の上面 (地表面) を $z=0$ 、粘土層の下面 (不透水性の岩盤の上面) を $z=H$ とするとき、粘土層の上面 ($z=0$) での境界条件を書け。
- (b) 粘土層の下面 ($z=H$) での境界条件を書け。(ヒント：ダルシーの法則において、流量がゼロとなる条件を考えよ。)
- (3) 上の問題における過剰間隙水圧の初期条件 (載荷直後の過剰間隙水圧) を、問題 (1) で与えた載荷の条件に則して書け。
- (4) 圧密方程式を解くため、式①の解を、次式のとおり書く。

$$u = f(t)g(z) \quad \text{②}$$

式②を式①に代入すると、 $f'(t)$ を $f(t)$ の1階微分、 $g''(z)$ を $g(z)$ の2階微分として、

$$f'(t)g(z) = C_v f(t)g''(z) \quad \text{③}$$

これを整理して、

$$\frac{f'(t)}{f(t)} = C_v \frac{g''(z)}{g(z)} = -c (= \text{const}) \quad \text{④}$$

よって、

$$f'(t) = -cf(t) \quad \text{⑤}$$

$$g''(z) + \frac{c}{C_v} g(z) = 0 \quad \text{⑥}$$

これらを解いて、

$$f(t) = a_1 \exp(-ct) \quad \text{⑦}$$

$$g(z) = b_1 \sin\left(\sqrt{\frac{c}{C_v}} z\right) + b_2 \cos\left(\sqrt{\frac{c}{C_v}} z\right) \quad \text{⑧}$$

- (a) 粘土層の上面 ($z=0$) での境界条件より、式⑧の係数 b_2 を求めよ。
 (b) 粘土層の下面 ($z=H$) での境界条件より、式⑧のパラメタ c を求めよ。(ヒント：任意の整数 $m=0, 1, 2, \dots, H, C_v$ を用いて書き表す)

(5) 時間係数 T_v について説明せよ。

【2】 地表面が水平な正規圧密状態にある粘土地盤から、深さ 5 m の点の試料を採取し、一軸圧縮試験および圧密非排水三軸試験を実施した。このとき、以下に示す設問に答えよ。ただし、地下水面は地表面にあり、地盤を構成する粘土の水中単位体積重量 $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ とする。

- (1) 一軸圧縮試験の結果として、破壊強さは $q_u = 30 \text{ kN/m}^2$ であった。以下の問いに答えよ。
- ・ このときの破壊強さ q_u と土の非排水せん断強度 c_u の関係をモールの応力円を用いて図示せよ。
 - ・ この土の非排水せん断強度 c_u および c_u/p' を算定せよ (p' は有効土被り圧とする)。
 - ・ この地盤における c_u/p' が、深さによらず一定となると仮定した場合、もとの地盤深さ 10 m の点での非排水せん断強度 c_u を推定せよ。
- (2) この試料を 200 kN/m^2 まで圧密して非排水三軸試験を実施した。破壊時の軸圧 $\sigma_1 = 530 \text{ kN/m}^2$ 、間隙水圧 $u_w = 180 \text{ kN/m}^2$ であった。以下の問いに答えよ。
- ・ 全応力および有効応力に関するモールの応力円を描け。
 - ・ 間隙水圧係数 A_f を算定せよ。
 - ・ 全応力径路と予想される有効応力径路を $p-q$, $p'-q$ 平面に描け。ただし、 $q = \sigma_1 - \sigma_3$, $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$, $p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$ とする。

【3】 次の問いに答えよ。

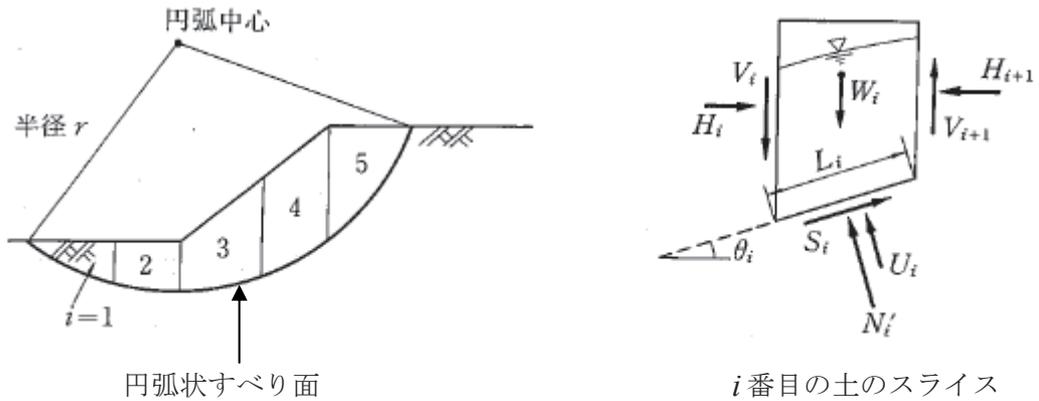
- (1) 擁壁の変位と擁壁に作用する土圧の関係を模式図に示し、説明せよ。
- (2) クーロン土圧とランキン土圧の基本的な考え方の違いについて、簡単に説明せよ。
- (3) ランキンの土圧理論に基づき、水平地盤で深さ h の点における主働土圧および受働土圧をモールの応力円を用いて表示するとともに、主働土圧を誘導せよ。ただし、土の粘着力、土の単位体積重量、土の内部摩擦角をそれぞれ c , γ , ϕ とする。
- (4) 上記 (3) の場合で、高さ H の擁壁のランキンの主働土圧の分布形状を正しく図示せよ。

【4】 根入れ深さ D_f , 幅 B の帯状の浅い基礎における極限支持力 q_d について、次の設問に答えなさい。

- (1) 基礎に載荷される荷重によって地盤は沈下する。地盤特性の相違によって地盤の荷重-沈下曲線がどのように相違するのかを説明しなさい。
- (2) Terzaghi が考えた破壊メカニズムを、地盤のすべり線を描いて説明しなさい。
- (3) (2) から導かれる支持力公式を示し、公式の各項を説明しなさい。
- (4) 安全率を F として、(3) の極限支持力 q_d から許容支持力 q_a を導きなさい。

【5】以下に示す設問に答えよ。

- (1) 円弧すべりによる斜面の安定解析法の1つに分割法であるフェレニウス（スウェーデン）法がある。この方法の誘導の仮定を述べ、下図を参考に安全率を求める式を誘導せよ。



ただし、地盤のせん断強度 τ は、次式で表されるものとする。

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

ここで、土スライスの重量を W_i ，すべり面に働く間隙水圧の合力を U_i ，水平方向断面力を H_i ，すべり面の長さを L_i ，鉛直方向断面力を V_i ，破壊時のすべり抵抗 S_i ，すべり面に垂直な有効応力の合力を N_i' ， c' は粘着力、 σ' はすべり面に垂直な有効応力、 ϕ' は内部摩擦角である。

- (2) 地震時の液状化による土木建築物の被害の特徴とその対策について簡潔に述べよ。

2011 年度 土質力学 II 及び演習 定期試験

2011 年 7 月 27 日 (水) 10 : 00 ~ 12 : 00 共通 1 講義室・共通 155 講義室

注意事項 :

- 問題は 5 問です。解答用紙は 5 枚あります。5 枚すべてに氏名・学生番号等の必要事項を記入した上で、各問 1 枚の解答用紙を用い、【問題 1】から順に解答してください。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答してください。
- 持ち込みは一切不可です。
- 解答に単位が必要な場合は明記すること。

【1】粘土地盤の圧密および地盤内応力に関する以下の問いに答えよ。

(1) 初期過剰間隙水圧が $100 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ で、両面排水状態にある厚さ 10 m の粘土層の圧密を考える。ただし、透水係数は $2.0 \times 10^{-9} \text{ (m/sec)}$ 、体積圧縮係数 m_v は $0.102 \times 10^{-2} \text{ (m}^2/\text{kN)}$ 、水の単位体積重量を $9.8 \text{ (kN/m}^3\text{)}$ とする。次ページの表は、テルツアギーの圧密方程式から求められた初期過剰間隙水圧を $1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とした場合の過剰間隙水圧である。表中の Z は無次元化深さ、 T_v は時間係数である。このとき表を用いて以下の問いに答えなさい。

- (a) 圧密開始後、1737 時間での深さ 1 m での過剰間隙水圧、有効応力の増加量とひずみを求めよ。
- (b) 次ページの表を用いて間隙水圧の勾配の近似値を求め、深さ 1 m での水の見かけの流速を求めよ。また、その方向も示せ。

(2) 地盤内応力に関するブシネスクの応力の解が地盤の剛性に係わらず用いられる理由を述べよ。

〔1〕 つづき) 表：無次元化深さ Z (Z は最大排水距離 H で無次元化した深さ)、時間係数 T_v における初期値が $1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ が場合の過剰間隙水圧

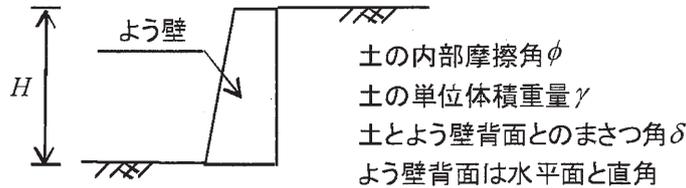
T_v	Z	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.001		0.73645	0.97465	0.99999	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.002		0.57080	0.88615	0.99843	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.003		0.48139	0.80329	0.99018	0.99989	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.004		0.42384	0.73645	0.97465	0.99920	0.99999	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.005		0.38292	0.68269	0.95450	0.99730	0.99994	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.006		0.35192	0.63869	0.93211	0.99383	0.99974	0.99999	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.007		0.32740	0.60198	0.90903	0.99877	0.99928	0.99998	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.008		0.30737	0.57080	0.88615	0.98229	0.99843	0.99992	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.009		0.29061	0.54394	0.86396	0.97465	0.99713	0.99981	0.99999	1.0	1.0	1.0	1.0
0.01		0.27633	0.52050	0.84270	0.96611	0.99532	0.99959	0.99998	1.0	1.0	1.0	1.0
0.02		0.19741	0.38292	0.68269	0.86639	0.95450	0.98758	0.99730	0.99953	0.99994	0.99999	1.0
0.03		0.16174	0.31691	0.58578	0.77933	0.89753	0.95877	0.98569	0.99573	0.99891	0.99975	0.99991
0.04		0.14032	0.27633	0.52050	0.71116	0.84270	0.92290	0.96610	0.98667	0.99530	0.99844	0.99919
0.05		0.12563	0.24817	0.47291	0.65722	0.79410	0.88615	0.94221	0.97310	0.98844	0.99507	0.99687
0.06		0.11477	0.22717	0.43630	0.61352	0.75178	0.85107	0.91668	0.95651	0.97855	0.98913	0.99222
0.07		0.10631	0.21073	0.40702	0.57732	0.71493	0.81849	0.89101	0.93812	0.96615	0.98056	0.98495
0.08		0.09948	0.19741	0.38292	0.54672	0.68263	0.78852	0.86592	0.91873	0.95180	0.96959	0.97516
0.09		0.09381	0.18633	0.36263	0.52044	0.65406	0.76100	0.84173	0.89886	0.93598	0.95658	0.96316
0.1		0.08901	0.17692	0.34522	0.49752	0.62856	0.73565	0.81854	0.87882	0.91907	0.94192	0.94931
0.2		0.06215	0.12387	0.24425	0.35783	0.46165	0.55318	0.63040	0.69181	0.73633	0.76329	0.77231
0.3		0.04778	0.09526	0.18812	0.27627	0.35751	0.42984	0.49152	0.54106	0.57730	0.59939	0.60680
0.4		0.03725	0.07426	0.14669	0.21550	0.27899	0.33560	0.38393	0.42281	0.45129	0.46865	0.47449
0.5		0.02909	0.05801	0.11458	0.16834	0.21795	0.26219	0.29997	0.33037	0.35263	0.36621	0.37078
0.6		0.02273	0.04532	0.08953	0.13153	0.17029	0.20486	0.23438	0.25813	0.27553	0.28614	0.28971
0.7		0.01776	0.03541	0.06995	0.10277	0.13305	0.16006	0.18313	0.20169	0.21528	0.22358	0.22636
0.8		0.01388	0.02767	0.05465	0.08030	0.103096	0.12506	0.14309	0.15759	0.16821	0.17469	0.17687
0.9		0.01084	0.02162	0.04270	0.06274	0.08123	0.09772	0.11180	0.12313	0.13143	0.13649	0.13819
1.0		0.00847	0.01689	0.03337	0.04902	0.06347	0.07635	0.08736	0.09621	0.10269	0.10665	0.10798
2.0		0.00072	0.00143	0.00283	0.00416	0.00538	0.00647	0.00741	0.00816	0.00871	0.00904	0.00916
3.0		0.00006	0.00012	0.00024	0.00035	0.00046	0.00055	0.00063	0.00069	0.00074	0.00077	0.00078
4.0		0.00001	0.00001	0.00002	0.00003	0.00004	0.00005	0.00005	0.00006	0.00006	0.00007	0.00007
5.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0.00001	0.00001	0.00001
6.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

〔2〕 土の破壊理論に関する以下の設問に答えなさい。

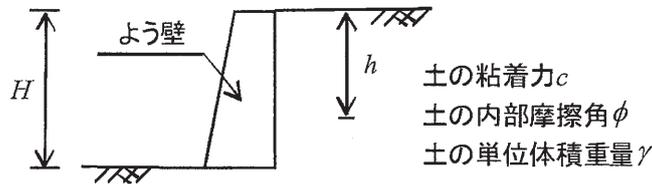
- 同じ砂を用いて密な状態とゆるい状態で一面せん断試験をそれぞれ行った。せん断ひずみ - せん断応力、せん断ひずみ - 体積変化の関係を模式図で示せ。ただし、試験に用いた砂は乾燥状態にある。また、体積変化に関しては膨張と収縮の方向を図中に必ず明示せよ。
- 粘性土の供試体に対し、三軸圧縮試験装置を用いて圧密非排水せん断試験を実施した。圧密圧力を $\sigma_3^{(1)}$ 、 $\sigma_3^{(2)}$ と2種類設定した時 ($\sigma_3^{(1)} < \sigma_3^{(2)}$)、破壊時の軸力はそれぞれ $\sigma_1^{(1)}$ 、 $\sigma_1^{(2)}$ となり、計測された間隙水圧はそれぞれ $u^{(1)}$ 、 $u^{(2)}$ となった。以上の結果からモールの応力円を描き、モール-クーロンの破壊規準の考え方を用いて、図を使いながら有効応力に関する強度定数 c' と ϕ' を求める方法を説明せよ。また、モール-クーロンの破壊規準について式を用いて示せ。

【3】 土圧に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) クーロンの土圧理論の基本的な考え方について記述せよ。また、下図に示す条件で高さ H のよう壁に作用するクーロンの主働土圧について、連力図を用いて説明せよ。ただし、連力図においては、それぞれの力の成分についての説明を加えよ。

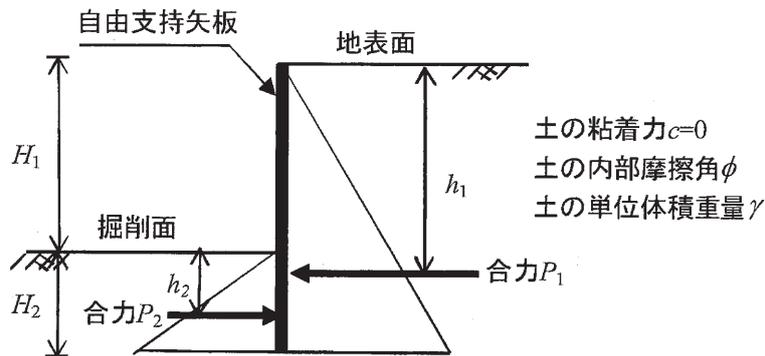


- (2) ランキン土圧理論の基本的な考え方について記述せよ。また、下図に示す条件で深度 h の地点でのランキンの主働破壊状態および受働破壊状態のモールの応力円を描け。



さらに、土の粘着力 $c=0$ として、主働土圧係数 K_a および受働土圧係数 K_p を誘導せよ。

- (3) クーロンの土圧理論とランキンの土圧理論から求められる土圧が一致する条件について列挙し解説せよ。
- (4) 下図に示す自由支持矢板に作用する土圧を考える。掘削深さ H_1 および根入れ深さ H_2 とする時、ランキンの土圧理論に基づき、背面側および掘削側に作用する土圧の合力 P_1 および受働土圧の合力 P_2 を算定するとともに、それぞれの合力の作用位置の深度 h_1 および h_2 を算定せよ。ただし、土の粘着力 c は 0 とする。



- (5) (4)に示す自由支持矢板に作用する土圧分布を考える。粘着力 c を有する場合には、粘着力 $c=0$ の場合と比較して、背面側および掘削側に作用する土圧分布はどのように異なるかを図示するとともに考察を加えよ。

【4】 斜面安定に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 円弧すべり面の破壊パターンは、斜面の傾斜の程度や地盤によっていくつかに分けられる。図示しながら、この破壊パターンを説明しなさい。
- (2) 硬い地層の上に砂質土層が平行に堆積している無限長と見なせる斜面があり、斜面の傾斜角は α である。ただし砂質土の粘着力は無視できるとする。
 - (a) 地下水位が深いところにあり間隙水圧が無視できるとき、斜面の傾斜角が内部摩擦角 ϕ より小さいときには破壊は生じないことを説明しなさい。
 - (b) この斜面が降雨によって飽和し地下水が表層まで達したとき、間隙水圧が無視できるときと比較して、斜面の安全率はどの程度変化するのかを求めなさい。ただし、内部摩擦角は 30° 、間隙比は 0.65 そして土粒子の比重は 2.65 である。

【5】 支持力および液状化に関する次の問いに答えなさい。

- (1) 硬質の地盤（密な砂や硬質粘土の地盤）の場合と軟弱な地盤の場合とでは、破壊モードおよび荷重-沈下曲線がどのように異なるか、図示して説明せよ。
- (2) 幅 B の帯状の浅い基礎における極限支持力 q_u について、Terzaghi による支持力公式を示し、公式の各項を説明せよ。ただし、浅い基礎の根入れ深さを D_f とする。
- (3) 極限支持力 q_u から許容支持力 q_a を導け。ただし、安全率を F とする。
- (4) 砂地盤の地震時液状化の機構について、土の全体積ひずみ、せん断による体積ひずみの塑性成分（ダイレイタンス）、および平均有効応力の変化に則して、説明せよ。

2012 年度 土質力学 II 及び演習 定期試験

2012 年 7 月 25 日 (水) 10 : 00 ~ 12 : 00 共通 1 講義室・共通 155 講義室

注意事項 :

- 問題は 5 問です。解答用紙は 5 枚あります。5 枚すべてに氏名・学生番号等の必要事項を記入した上で、各問 1 枚の解答用紙を用い、【問題 1】から順に解答してください。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答してください。
- 持ち込みは一切不可です。
- 解答に単位が必要な場合は明記すること。

【1】 粘土地盤の圧密等に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) テルツアギーの一次元圧密方程式は、(a) ダルシーの法則、(b) 水の連続式、(c) 土の有効応力-ひずみ関係、(d) 全応力一定、の 4 つの仮定・条件から導かれる (なお、(a)と(b)より質量保存則が導かれる)。これらの 4 つの仮定・条件を数式で表せ。さらに、これらの仮定・条件から、テルツアギーの 1 次元圧密方程式を導け。
- (2) 不透水性の岩盤上に単位体積重量 16 kN/m^3 、層厚 5 m の粘土層が堆積している。この粘土地盤上に荷重 100 kN/m^2 を急激に加えた際の粘土地盤内の全応力、間隙水圧、有効応力の分布図を、(a) 載荷直後の状態、(b) その後の圧密が進行している状態、(c) 載荷後十分時間が経過し圧密が終了した状態、の 3 ケースについて描け。ただし、地下水面は地表面と一致しているものとする。
- (3) この地盤の体積圧縮係数が $m_v = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}$ であるとき、載荷後十分時間が経過し圧密が終了したときの沈下量を求めよ。
- (4) 砂層の上に、単位体積重量 16 kN/m^3 、層厚 5 m の粘土層が堆積している。この砂層から井戸で地下水を大量に汲み上げたところ、砂層の水位が 4 m 急激に低下した。水の単位体積重量を 9.8 kN/m^3 とし、粘土地盤内の全応力、間隙水圧、有効応力の分布図を、(a) 汲み上げ直後の状態、(b) その後の圧密が進行している状態、(c) 汲み上げ後十分時間が経過し圧密が終了した状態、の 3 ケースについて描け。ただし、地下水面は地表面と一致しているものとする。

【2】 土の破壊理論に関する以下の設問に答えなさい。

(1) 次の事項を説明せよ。

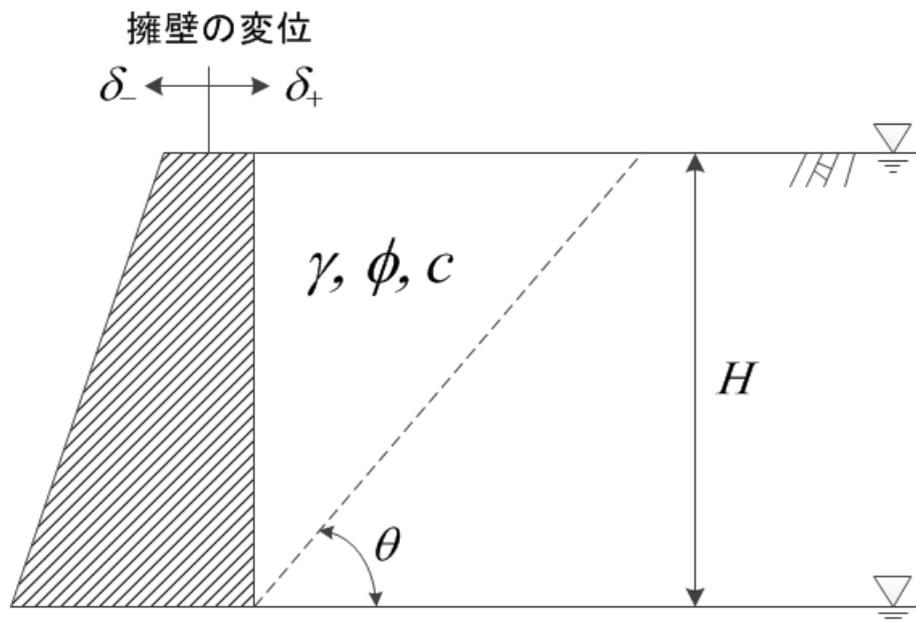
1. 破壊 2. クーロンの破壊規準 3. モールの破壊規準

(2) 主応力を用いて、モール-クーロンの破壊規準を表せ。

(3) 100 kPa まで圧密された正規圧密粘土に対し、圧密排水 3 軸試験と圧密非排水 3 軸試験を実施した。この粘土の内部摩擦角は 30° 、粘着力は 0 である。この粘土がモール-クーロンの破壊規準に従うとした場合、圧密排水 3 軸圧縮試験での破壊時の軸差応力を求めよ。別途、圧密非排水 3 軸試験を実施したところ、破壊時の間隙水圧は 70 kPa であった。この時の破壊時の軸差応力を求めよ。

【3】 土圧に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 下図のような高さ H (裏込め土の内部摩擦角 ϕ , 粘着力 c , 単位体積重量 γ) の擁壁を考える。擁壁の変位 (δ) を横軸に、土圧を縦軸にとって、擁壁に作用する代表的な 3 種類の土圧の名称を記述して図示せよ。変位の方向は下図を参照すること。
- (2) 擁壁が図中左側 (δ_-) の方向に変位する時の、擁壁に作用する土圧をクーロン土圧の考え方で求めたい。ただし、裏込め土の粘着力 c はゼロで、擁壁は滑らかでなく裏込め土との間には摩擦 (摩擦角 α) があると仮定する。図に示すような土楔に作用する力の連力図を記述せよ。連力図を構成する力に適切な記号をつけ、それぞれの力の説明も明記すること。
- (3) (2)に示したクーロン土圧の考え方で、擁壁が図中左側 (δ_-) の方向へ変位する時の、擁壁に作用する土圧の求め方を簡潔に説明せよ。
- (4) 擁壁背面の地下水位が地表面に上昇した場合と地下水位が擁壁底面にある場合の主働土圧合力 (土圧と水圧の合力) の大小関係を、土圧と水圧の違いに着目して説明せよ。ただし水の単位体積重量は γ_w とする。
- (5) 裏込め土の地盤条件を再度実験で確認したところ、粘着力 c がゼロではないことが分かった。このとき、擁壁が左側に移動するときに作用する土圧を、ランキン土圧の考え方をを用いて求め、高さ H の擁壁に作用する土圧の分布形状を図示せよ。ただし、この場合は擁壁と裏込め土との間の摩擦は無視してよく、地下水位も十分に深いものとする。



【4】 斜面安定に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 図-1 に示す軟弱粘土での円形すべりの破壊形式において、それぞれ①～③に示す破壊の名称を記述せよ。

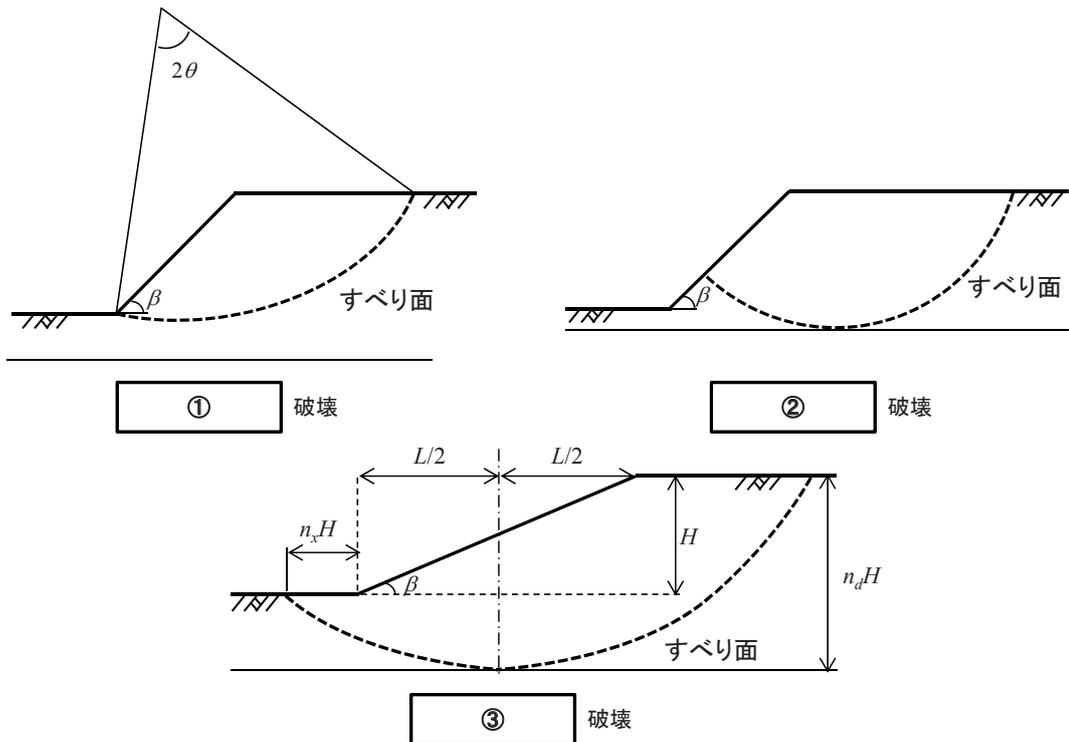


図-1

- (2) 図-2 に示すようにすべり土塊を n 個のスライスに分割して安定解析を行う。円弧の半径 r 、その中心を点 O とし、右から数えて i 番目のスライスでは、スライス幅 b_i 、高さを H_i 、重量を W_i 、スライスの底面の長さを l_i 、その勾配を α_i 、またスライス i の土の粘着力を c_i 、内部摩擦角を ϕ_i とする。スライス i の左右の側面には E_i 、 E_{i+1} なる力が作用するが、この力はつり合っているとして以下では考えないものとする。地下水の影響はないものとして、以下の問いに答えよ。

- 1) スライス i での a) すべり面の法線方向ならびに b) すべり面の接線方向のつり合い式を示せ。
- 2) 安全率を F とするとき、スライス i での底面における破壊条件式を示せ。
- 3) 土の重量による滑動モーメントの総和が円弧状のすべり面に沿う抵抗モーメントに等しいとして、土塊全体に対するモーメントのつり合い式を示せ。
- 4) 1) a) すべり面の法線方向のつり合い式、2) の破壊条件式、4) のモーメントのつり合い式から、図-2 に示す円弧すべりに対する安全率 F を誘導せよ。

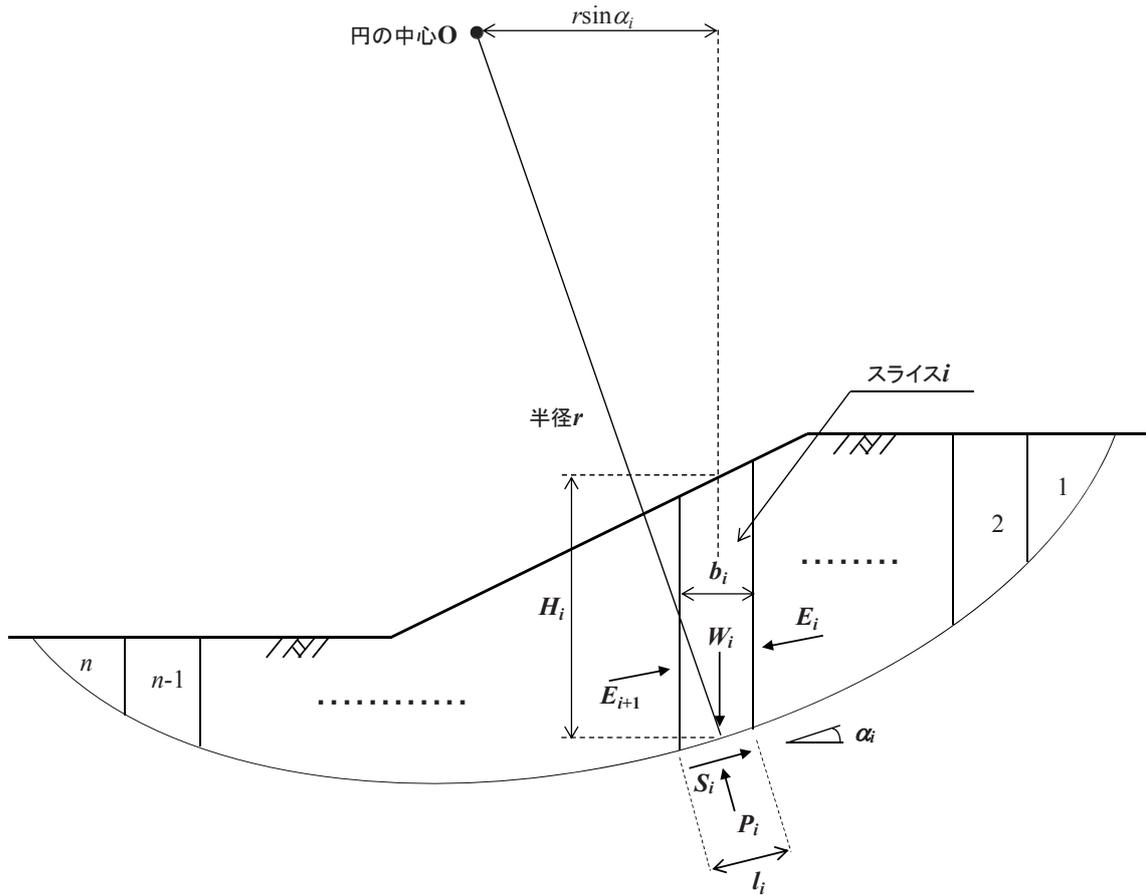


図-2

- (3) 斜面の安定解析において、盛土斜面および切取り斜面における、それぞれ①築造中（掘削中）、②間隙水圧の再分配、③間隙水圧平衡状態の①から③に至る期間での間隙水圧、および安全率 F の推移を模式的に示せ。また、その安全率 F の関係から、盛土斜面および切取り斜面においては、それぞれどのようにすべりに対する強度定数を設定するかについて考えを述べよ。

【5】 支持力および液状化に関する次の問いに答えなさい。

- (1) 土中 0.5 m の深さに幅 2.0 m の帯状基礎が構築されている。この土の単位体積重量 18.0 kN/m^3 、粘着力 150.0 kN/m^2 、内部摩擦角 20° のとき、テルツアギーの公式を用いて極限支持力と安全率を 3 としたときの許容支持力を求めよ。ただし内部摩擦角が 20° のとき、 $N_q=7.4$ 、 $N_c=17.7$ 、 $N_\gamma=3.4$ である。
- (2) 砂地盤の液状化のメカニズムを説明せよ。また地盤の液状化に対する対策方法の原理を 5 つ記述せよ。

2013年度 土質力学Ⅱ及び演習 定期試験

2013年7月31日(水) 10:00～12:00 共通1・共通155 講義室

注意事項：

- 問題は5問です。解答用紙も5枚ありますので、5枚すべてに氏名・学生番号等必要事項を記入した上で各問1枚の解答用紙を用い、【1】の問題から順に解答してください。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答してください。
- 各問の配点は均等です。
- 関数電卓の持ち込みは可能です。ただし、プログラム機能、携帯電話等の電卓機能の使用は一切不可です。その他、不正行為があった場合は本科目の単位は認定しません。
- 解答に単位が必要な場合は明記すること。

【1】粘土地盤の圧密等に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 不透水性の岩盤上に層厚 H の飽和した粘土層が堆積している。地下水面は地表面と一致しているものとする。この粘土地盤上に荷重を急激に加えた後の圧密過程を、テルツアギーの一次元圧密方程式に基づいて解析する。過剰間隙水圧（＝間隙水圧－静水圧）を u 、圧密係数を C_v 、時間を t 、深さ方向の座標を z とした時、圧密方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad \text{①}$$

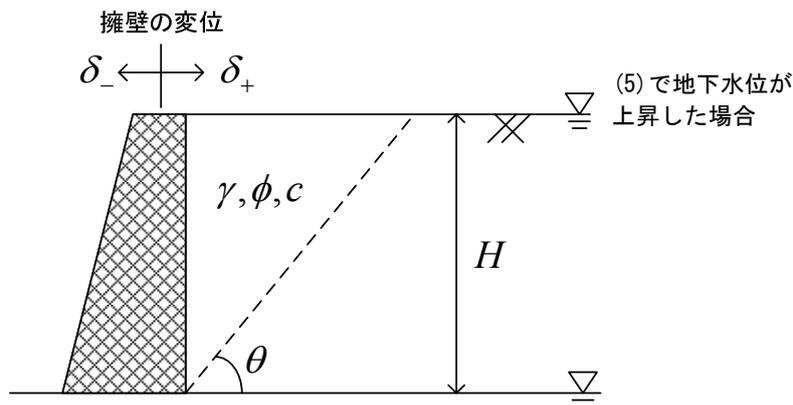
- (a) 粘土層の上面（地表面）を $z=0$ 、粘土層の下面（不透水性の岩盤の上面）を $z=H$ とするとき、粘土層の上面（ $z=0$ ）での境界条件を書け。
- (b) 粘土層の下面（ $z=H$ ）での境界条件を書け。（ヒント：ダルシーの法則において、流量がゼロとなる条件を考えよ。）
- (2) 荷重を急激に加えた直後の過剰間隙水圧を $u = u_0$ （一定値）とする時、これを初期条件とし、式①の圧密方程式の解を求めよ。
- (3) 圧密を促進する軟弱地盤の改良工法にサンドドレーン工法がある。この工法は、どのような原理により圧密を促進するのかについて答えよ。

【2】 以下の問いに答えよ。

- (1) 土の三軸圧縮試験は一般に圧密過程とせん断過程の2段階で行われるが、それぞれ過程における排水の条件によって3種類の試験法がある。3種類の試験方法について、それぞれの名称、各過程における排水条件の違い、各過程に作用する全応力による主応力と有効応力による主応力の相違について説明せよ。
- (2) 一軸圧縮試験について簡潔に説明するとともに、(1)における3種類の三軸圧縮試験のうち、どの試験方法に類似するかを示せ。次に、ある供試体を対象に一軸圧縮試験をしたところ、一軸圧縮強さ q_u が得られた。この試験結果をモールの応力円を用いて図示するとともに、供試体の非排水せん断強さ c_u を示せ。さらに、一軸圧縮試験の結果から得られた非排水せん断強さを短期安定問題の解析に使用できる根拠を説明せよ。
- (3) 飽和した砂試料を $\sigma_3 = 100 \text{ kPa}$ まで圧密して、排水条件で三軸圧縮試験を実施したところ、破壊時の軸差応力が $\sigma_1 - \sigma_3 = 360 \text{ kPa}$ であった。この砂試料の粘着力 $c' = 0$ として、次の問いに答えよ。
 - (a) この砂試料の内部摩擦角 ϕ' を求めよ。
 - (b) この砂試料を $\sigma_3 = 200 \text{ kPa}$ まで圧密して同様に三軸圧縮試験を実施した場合の、破壊時の軸差応力 $\sigma_1 - \sigma_3$ を求めよ。
 - (c) 上述した $\sigma_3 = 100 \text{ kPa}$ および 200 kPa で三軸圧縮試験を実施したときの、破壊時のモールの応力円とモールクーロンの破壊規準線をそれぞれ図示せよ。

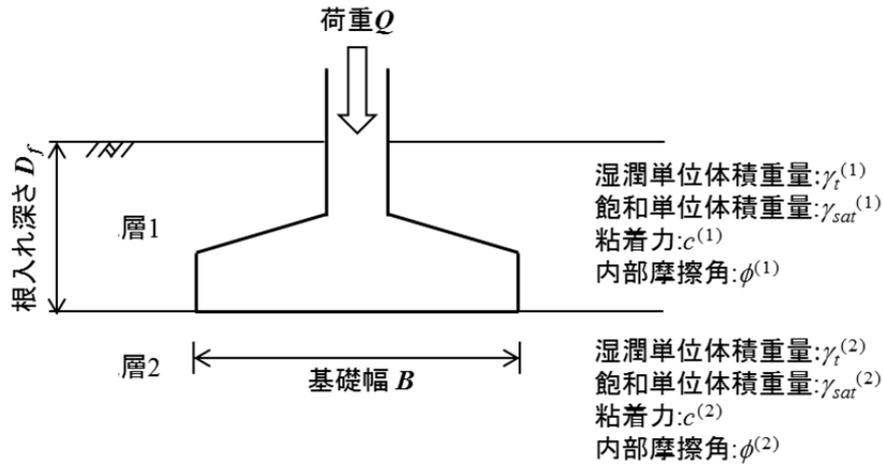
【3】以下の問いに答えよ。

- (1) 下図のような高さ H (裏込め土の内部摩擦角 ϕ , 粘着力 c , 単位体積重量 γ) の擁壁を考える。擁壁の変位 (δ) を横軸に, 土圧を縦軸にとって, 擁壁に作用する代表的な 3 種類の土圧を明記して図示せよ。変位の方向は下図を参照すること。
- (2) 擁壁が図中右側 (δ_+) の方向に変位する時の, 擁壁に作用する土圧をクーロン土圧の考え方で求めたい。ただし, 裏込め土の粘着力 c はゼロで, 擁壁は滑らかで裏込め土との間には摩擦がないと仮定する。図に示すような土楔に作用する力の連力図を記述せよ。連力図を構成する力に適当な記号をつけ, それぞれの力の説明も明記すること。ただし, 地下水位は擁壁底面にあるとする。
- (3) (2) に示したクーロン土圧の考え方で, 擁壁が図中右側 (δ_+) の方向に変位する時の, 擁壁に作用する土圧の求め方を簡単に説明せよ。
- (4) 裏込め土の地盤条件を再度実験で確認したところ, 粘着力 c がゼロではないことが分かった。そこで, 擁壁が左側 (δ_-) の方向に変位するとき作用する土圧を, ランキン土圧の考え方をを用いて求め, 高さ H の擁壁に作用する土圧の分布形状を図示せよ。ただし, この場合は擁壁と裏込め土との間の摩擦はゼロで, 地下水位は擁壁底面よりも十分に深いものとする。
- (5) 擁壁背面の地下水位が地表面に上昇した場合と地下水位が擁壁底面にある場合の主働土圧合力 (土圧と水圧の合力) の大小関係を, 土圧と水圧の違いに着目して説明せよ。ただし水の単位体積重量は γ_w とする。



【4】以下の問いに答えよ。

(1) 帯状基礎が下図に示す地盤中に設けられている。以下の設問に答えよ。



- (a) 浅い基礎と深い基礎の相違について、図中の記号を用いて説明せよ。
 (b) 支持力係数 N_c , N_γ , N_q を用いて、極限支持力 q_d を次式の Terzaghi の支持力公式で表す。

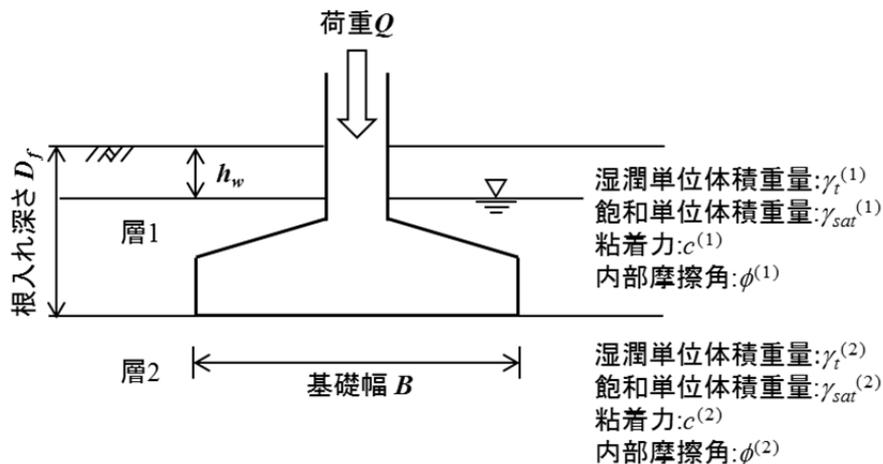
$$q_d = Q/B = [\text{①}]N_c + \frac{1}{2}[\text{②}]BN_\gamma + [\text{③}]D_fN_q$$

このとき、地下水位が十分地中深いところにあると仮定して、式中の①～③を図中の地盤パラメータの記号を用いて示せ。

- (c) 上式に安全率 F を導入して許容支持力 q_a を誘導せよ。
 (d) 下図に示すように、地下水位が地表面から h_w の位置まで上昇したと仮定する。極限支持力 q_d を次式の Terzaghi の支持力公式で表す。

$$q_d = Q/B = [\text{④}]N_c + \frac{1}{2}[\text{⑤}]BN_\gamma + [\text{⑥}]N_q$$

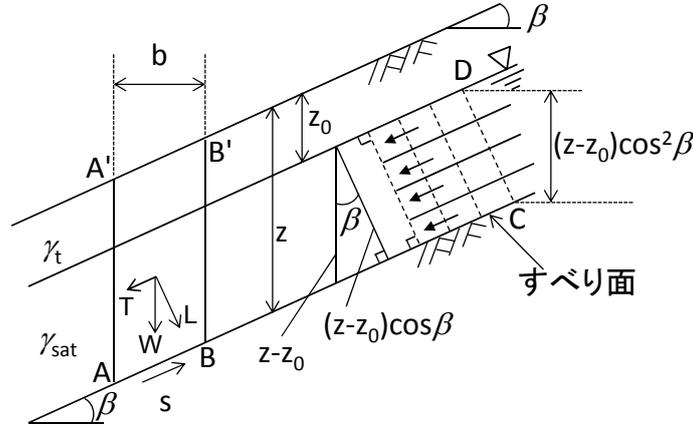
このとき、式中の④～⑥を図中の地盤パラメータの記号を用いて示せ。ただし、水の単位体積重量は γ_w として表記せよ。



- (2) 以下の用語について図を用いて説明せよ。
- ・全般せん断破壊および局部せん断破壊
 - ・ネガティブフリクション

【5】以下の問いに答えよ。

- (1) 下図に示すように、地表面から深さ z_0 の位置に地下水位が存在し、斜面上に平行な定常浸透流がある場合を考える。空欄①～⑦を適切な式で埋めるとともに、問い (a), (b) に答えよ。



地下水位より上の土の単位体積重量を γ_t 、地下水位以下の土の飽和単位体積重量を γ_{sat} とする。流線網は上図に示す通りであり、流線は地表面に平行、等ポテンシャル線は地表面とすべり面に垂直に交わる。図の流線網で、等ポテンシャル線上にある点 C と点 D の全水頭は等しいので、位置水頭、圧力水頭をそれぞれ h_e 、 h_p とすると、

$$h_e(C) + h_p(C) = h_e(D) + h_p(D)$$

であるから、点 C の圧力水頭 $h_p(C)$ は、

$$h_p(C) = \{h_e(D) - h_e(C)\} + h_p(D) = (z - z_0) \cos^2 \beta$$

よって、すべり面上に作用する間隙水圧 u は、

$$u = h_p(C) \cdot \gamma_w = \text{①} \quad (1)$$

ここで、 γ_w は水の単位体積重量である。次に、上図に示す幅 b のすべり土塊 (A'B'B) の底面に作用する垂直応力 σ およびせん断応力 τ を求める。まず、すべり土塊の自重 W は、

$$W = \text{②} \quad (2)$$

で表される。一方、すべり土塊底面の長さ \overline{AB} は

$$\overline{AB} = \text{③} \quad (3)$$

で表されるので、 σ 、 τ は、式 (2) と式 (3) を用いて以下のように表される。ただし、 L と T はそれぞれ自重 W のすべり土塊底面に垂直な成分と平行な (せん断) 成分である。

$$\sigma = L / \overline{AB} = \text{④} \quad (4)$$

$$\tau = T / \overline{AB} = \text{⑤} \quad (5)$$

式 (1) と式 (4) より、すべり面に作用する有効垂直応力は、

$$\sigma' = \sigma - u = \text{⑥} \quad (6)$$

ここで、 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$: 飽和土の水中単位体積重量である。

土のせん断強度 s は粘着力を c' 、内部摩擦角を ϕ' とすると、 $s = c' + \sigma' \tan \phi'$ で与えられるので、安全率 F_s は、式 (5) と式 (6) の結果を用いて下記のように求まる。

$$F_s = \frac{S}{\tau} = \boxed{\text{⑦}} \quad (7)$$

- (a) 地下水位が地表面と一致しているときの安全率を求めよ。また、この時、斜面が滑り出す限界深さ H_c を求めよ。
- (b) $c' = 0$ で、地下水位を考慮しなくても良い場合 ($\gamma' = \gamma_t$, $\gamma_{sat} = \gamma_t$) の安全率を求めよ。
- (2) 砂地盤の液状化のメカニズムを簡潔に説明せよ。また地盤の液状化に対する対策方法の原理を5つ記述せよ。

2014 年度 土質力学 II 及び演習 定期試験

2014 年 7 月 30 日 (水) 10:00~12:00 共通 1 講義室・共通 155 講義室

注意事項：

- 問題は 5 問です。解答用紙は 5 枚あります。5 枚すべてに氏名・学生番号等の必要事項を記入した上で、各問 1 枚の解答用紙を用い、【問題 1】から順に解答してください。表側に書ききれないときはその旨明記し、その用紙の裏側に解答してください。
- 関数電卓の持ち込みは可能です。ただし、プログラム機能、携帯電話等の電卓機能の使用は一切不可です。その他、不正行為があった場合は本科目の単位は認定しません。
- 解答に単位が必要な場合は明記すること。

【1】粘土地盤の圧密に関する以下の問いに答えよ。

図 1-1 に示すように厚さ 5m の砂層、厚さ 3m の飽和粘土層および不透水層からなる水平成層地盤がある。地下水位は飽和粘土層上面に一致している。砂層の湿潤単位体積重量は $\gamma_t = 20.0 \text{ kN/m}^3$ である。深度 GL-6.5m から飽和粘土試料を採取し、圧密試験を行ったところ、飽和単位体積重量 $\gamma_{sat} = 23.1 \text{ kN/m}^3$ 、圧縮指数 $C_c = 1.0$ 、膨張指数 $C_s = 0.10$ 、圧密降伏応力 $p_y = 120 \text{ kN/m}^2$ 、初期間隙比 $e_0 = 2.78$ を得た。この地盤を 3m の深さまで掘削して鉄筋コンクリートの建物を建てたい。地下室も含めて 1 階あたり 3m の高さとし、1 階当たりの載荷圧 q が 9 kN/m^2 とするとき、以下の問いに答えよ。ただし、掘削前の飽和粘土層は正規圧密状態にあるものとする。以下では、掘削底面は十分広く、鉄筋コンクリート建物の建設による飽和粘土層の圧密は 1 次元圧密問題とみなせるものとする。また、粘土層の変形量は粘土層中央深さのひずみを代表値として近似的に求められるものとする。水の単位体積重量は 9.81 kN/m^3 とする。

- (1) 砂層を 3m 掘削したときの掘削底面の鉛直膨張変位（隆起変位）を求めよ。ただし、砂層の膨張は無視でき、飽和粘土層のみ膨張するものとする。
- (2) (1)の状態から地下室を含め 10 階建て（地下 1 階，地上 9 階）の建物を建てるとき、掘削前の初期状態から考えた場合の掘削底面の最終沈下量を求めよ。（ヒント：正規圧密領域の沈下量＝最終沈下量とする。）
- (3) 地下室を含め 10 階建て（地下 1 階，地上 9 階）の建物を建てるとき、最終沈下量の 90%まで圧密が進行するのに要する時間を求めよ。ただし、圧密度 $U=90\%$ における時間係数は $T_v=0.848$ 、圧密係数は $c_v=80 \text{ cm}^2/\text{day}$ とし、圧密沈下は正規圧密によるもののみを対象とする。
- (4) 掘削前の初期状態から考えた場合に圧密沈下を生じさせないためには地下室を含め何階建ての建物まで可能か計算せよ。
- (5) 飽和粘土層に生じる圧密の時間的な進行を Terzaghi の一次元圧密方程式を用いて解析したい。Terzaghi の圧密方程式を記述せよ。なお、用いた記号は説明すること。さらに、図 1-1 に従って飽和粘土層の上面（排水条件）および下面（非排水条件）の境界条件を記述せよ。

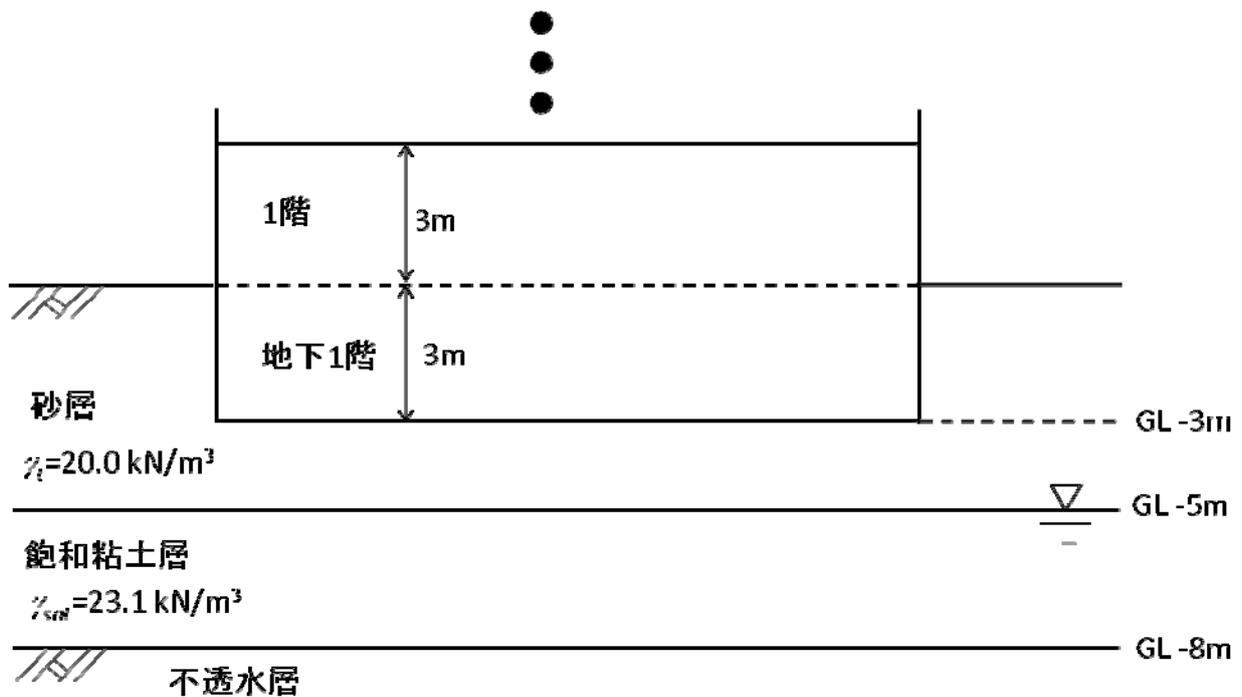


図 1-1

【2】 土の破壊理論に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 飽和状態にある正規圧密粘土について非排水三軸圧縮試験を実施した。圧密終了時の拘束圧は 100 kN/m^2 である。破壊時の軸差応力は 200 kN/m^2 ，間隙水圧は 80 kN/m^2 であった。粘着力をゼロとみなせるとするとき，次の問いに答えよ。
 - (a) 破壊時の全応力および有効応力に関するモールの円を，最大主応力と最小主応力の値とともに示せ。また，モール-クーロンの破壊規準が成り立つとした時，この破壊規準を図中に合わせて示せ。
 - (b) (a)の有効応力に関するモールの円を用いて，この土の内部摩擦角を求めよ。
 - (c) (b)に関して供試体に生じると考えられる破壊面の角度（主応力面に対する角度）を求めよ。
 - (d) (c)の破壊面上の垂直応力とせん断応力の値を求めよ。
 - (e) 全応力径路と予想される有効応力径路を $p, p'-q$ 平面に描け。図中にせん断開始時と破壊時の平均応力と軸差応力の値を示すこと。ただし， p は平均全応力， p' は平均有効応力， q は軸差応力である。
 - (f) 破壊時の間隙水圧係数 A_f を求めよ。
- (2) ある乾燥砂に対して応力条件を変えて 3 通りの一面せん断試験を実施した。それぞれの試験時の垂直応力を N_1, N_2, N_3 (ただし $N_1 > N_2 > N_3$) とするとき次の問いに答えよ。
 - (a) この砂の強度定数はどのようにして求められるか。簡単な図を描いて説明せよ。
 - (b) 供試体の間隙比によって，水平変位に対する体積変化の挙動が異なる。これについて図を用いて簡単に説明せよ。
- (3) 粘性土の鋭敏比とクイッククレイについて簡単に説明せよ。

【3】 土圧に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) 図3-1に示すよう壁の変位($u(-)$ および $u(+)$)とよう壁に作用する土圧 P の関係を図示するとともに、それぞれ主働土圧および受働土圧に相当する土圧を図中に明示せよ。

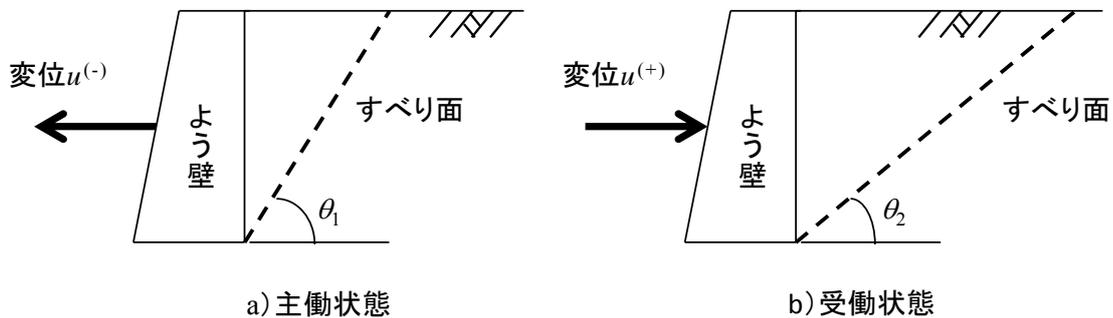


図 3-1

- (2) クーロン土圧とランキン土圧が一致する条件について説明せよ。
 (3) 図3-2に示す水平地盤(土の単位体積重量 γ)に高さ H のよう壁が設置されている。よう壁に作用するクーロンの土圧理論に基づいて算定される主働土圧について、連力図を用いて説明せよ。ただし、裏込め土とよう壁との摩擦角は δ である。

注) 連力図においては、それぞれの力のベクトルを明示するとともに、その力の成分について説明を加えよ。

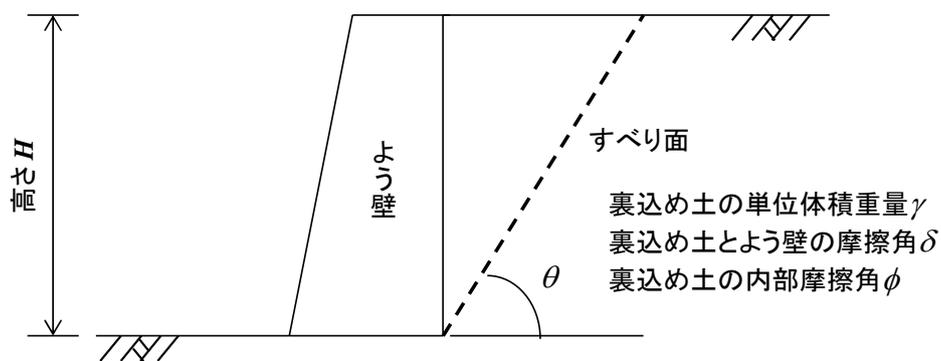


図 3-2

- (4) 図3-3に示すように地盤を掘削する場合の自由支持矢板の設計を考える。掘削深さ H_1 および根入れ深さ H_2 とする時、ランキンの土圧理論に基づき、掘削側に作用する土圧の合力 P_2 を算定するとともに、その合力の作用位置 h_2 を算定せよ。ただし、土の単位体積重量を γ 、土の粘着力 c は0、土の内部摩擦角は ϕ とする。

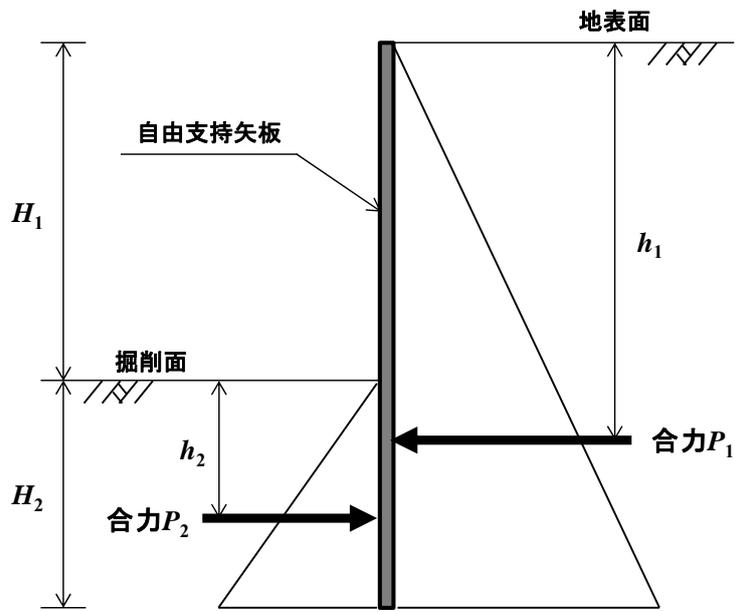


図 3-3

- (5) 図 3-3 に示す自由支持矢板に作用する土圧分布において、粘着力 c を有する地盤の場合には、土の粘着力 $c = 0$ の場合に比較して、背面側および掘削側に作用する土圧分布がどのように異なるかを図示するとともに考察せよ。

【4】 斜面安定および液状化に関する以下の設問に答えなさい。

- (1) フェレニウス法（スウェーデン法）は、円弧すべりを仮定し、すべり土塊を n 個のスライスに分割して安定解析を行う方法で、その際に、a)すべり面に垂直方向の力の釣合い条件、b)円弧の中心のまわりの滑動モーメントと抵抗モーメントの釣合い条件、c)モールクーロンの破壊条件に対する安全率、を考慮する。雨により、斜面内の間隙水による間隙水圧がある場合について、a)～c)の条件式をそれぞれ書き、それらを用いて、以下のすべり安全率の算定式を誘導せよ。

$$F_s = \frac{\sum (W_i \cos \alpha_i - U_i) \tan \phi_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (1)$$

ここに、 i 番目のスライスについて、土の内部摩擦角を ϕ_i 、粘着力はないものとし、すべり面の傾斜角を α_i 、スライスの自重を W_i 、間隙水圧を U_i とし、総和は分割した全てのスライスに関する総和とする。

- (2) 雨が降るとなぜ地すべりが発生しやすくなるのか、について、式(1)に基づいて説明せよ。
- (3) 地盤の液状化について、以下の問いに答えよ。
- (a) 液状化の発生機構について、説明せよ。
- (b) 液状化対策工法を3種類挙げ、それぞれについて、その原理を説明せよ。

【5】 基礎幅 B 、根入れ深さ D_f の帯状基礎に対して、以下の問いに答えよ。

- (1) Terzaghi の支持力公式を導くために、Terzaghi が仮定した基礎地盤の破壊パターンを正確に図示し、説明を加えよ。
- (2) Terzaghi の支持力公式は3つの項で成り立っている。Terzaghi の支持力公式を記載し、それぞれ項の意味を説明せよ。
- (3) (2)で記載した支持力公式に対し、安全率を F とした場合の許容支持力 q_a を誘導せよ。