

土質力学Ⅱ及び演習 期末試験

2024年7月31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。
- 関数電卓と定規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。
- 解答に単位が必要な場合は必ず明記してください。
- 不正行為があった場合は、本科目の単位は認定されないとともに、しかるべき対応をとります。

【1】 図 1-1 に示すような不透水性岩盤上に厚さ 8m の均質な粘土層が堆積している地盤を考える。粘土は正規圧密状態であり、地下水面は地表面に一致している。この粘土層から試料を採取し、室内圧密試験を実施したところ、粘土試料の圧縮指数 C_c と初期間隙比 e_0 は、それぞれ 0.75 と 0.8 であることが分かった。また、圧密試験において厚さ 20mm の供試体（両面排水条件）を 50% 圧密するのに要した時間は 2 分 20 秒であることも分かった。この粘土地盤上に均一に分布した長方形の荷重を地表面に載荷することを考える。図 1-2 に示すように、荷重の寸法は 4.0 m × 8.0 m、大きさは $q = 30 \text{ kN/m}^2$ である。土の圧密と水の流れが一次元であり、即時沈下を無視すると仮定して、以下の問いに答えよ。粘土試料の特性は粘土層全体の代表値であるとみなしてよい。計算には表 1-1 および図 1-3 のグラフを使用してよい。水の単位体積重量を 9.8 kN/m^3 とする。

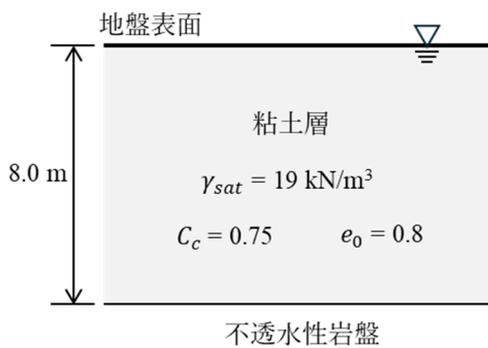


図 1-1 地盤プロファイル

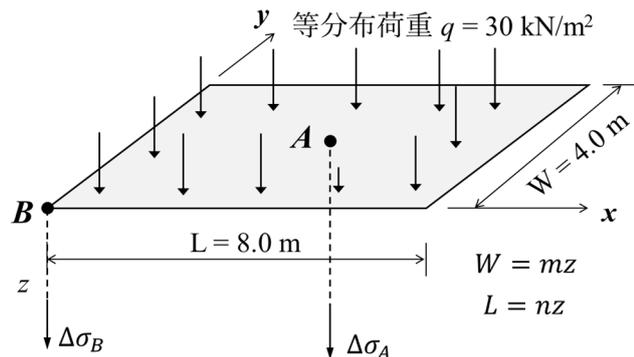


図 1-2 地表面の荷重

表 1-1 平均圧密度(U)と時間係数(T_v)の関係

U (%)	T_v								
0	0.000	20	0.031	40	0.126	60	0.286	80	0.567
5	0.002	25	0.049	45	0.159	65	0.340	85	0.684
10	0.008	30	0.071	50	0.197	70	0.403	90	0.848
15	0.018	35	0.096	55	0.239	75	0.477	95	1.129
								100	∞

- (1) 荷重を載荷する前の粘土層中央における有効鉛直応力 σ'_p を求めよ。
- (2) 荷重を載荷した際、載荷領域の中心点 A 直下の粘土層中央における鉛直応力増分 $\Delta\sigma_A$ を求めよ。
- (3) 荷重の設置した際、載荷領域の角点 B 直下の粘土層中央における鉛直応力増分 $\Delta\sigma_B$ を求めよ。
- (4) (2) で計算した $\Delta\sigma_A$ に基づいて、載荷領域の中心において予想される、粘土層の一次圧密沈下量を求めよ。粘土層中の既存の有効鉛直応力として、(1) で計算した σ'_p を使用する。
- (5) 室内圧密試験の結果に基づいて粘土の圧密係数 c_v を求めよ。
- (6) 荷重を載荷してから一年後の粘土層の圧密沈下量を求めよ。
- (7) 粘土の固化を促進する 2 つの方法を提案し、それがなぜ固化を促進できるのか簡単に説明せよ。

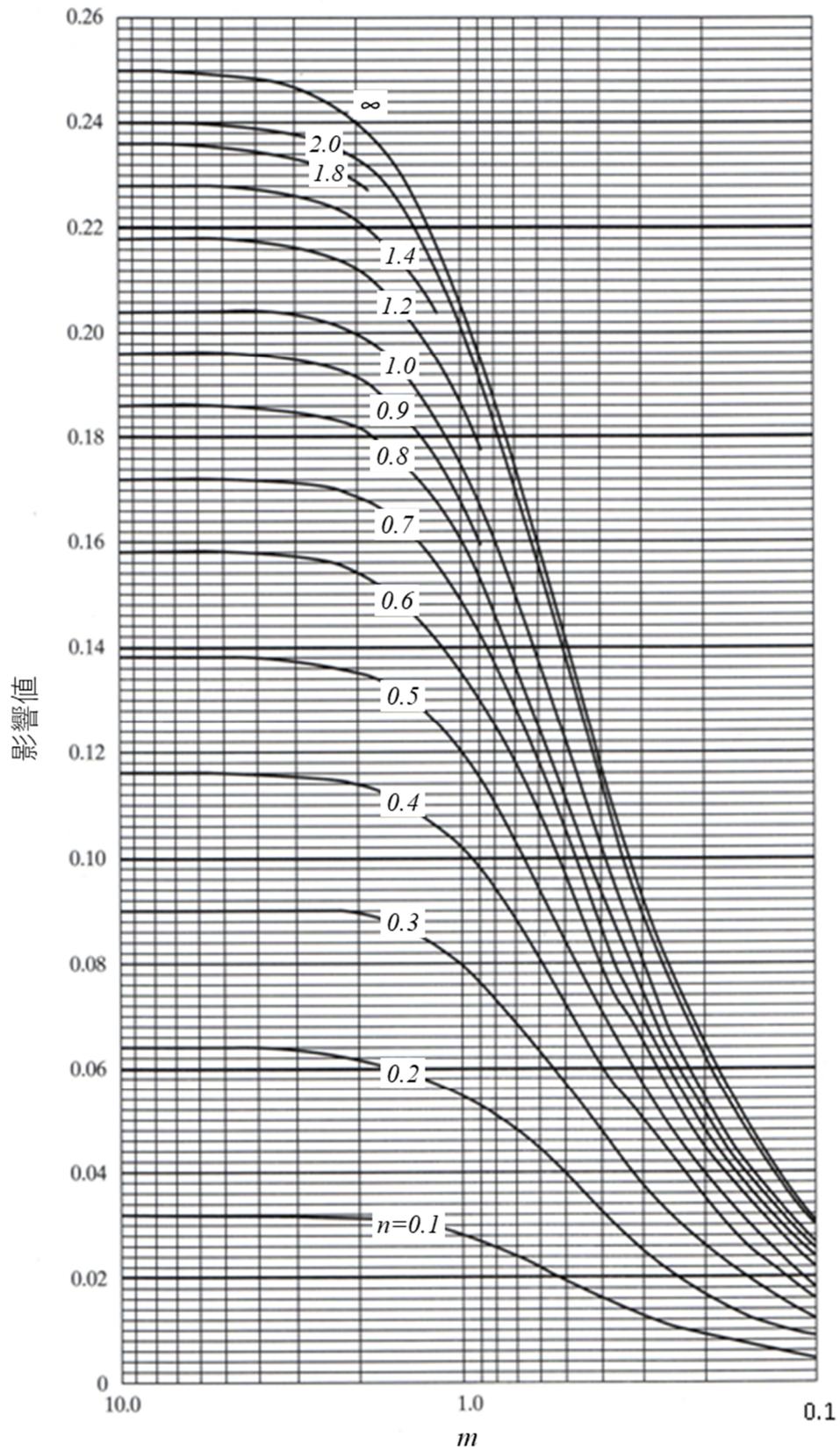


図 1-3 長方形基礎の角部下の影響値

【2】 図2に示す擁壁に作用する主働土圧を求めたい。以下の問に答えよ。ただし、擁壁の背面は鉛直であり、摩擦は無視できるものとする。また、単位奥行き（ページに垂直な方向）を考えるものとする。

- (1) 土圧を計算する代表的な方法である Coulomb（クーロン）の土圧理論と Rankine（ランキン）の土圧理論について、それぞれの理論的背景について 50~100 字ずつで述べよ。
- (2) 図の擁壁の裏込め地盤は不飽和砂を締め固めて盛り立てられた。この状態での砂の粘着力を c [kN/m²]、内部摩擦角 ϕ [°]、湿潤単位体積重量を γ_t [kN/m³] としたとき、擁壁全体に作用する単位奥行き当りの主働土圧の合力を Rankine 土圧の考え方をを用いて求めたい。まず、深さ z [m] における水平方向土圧 σ_{ha} [kN/m²] を求めよ。なお、地下水位は擁壁底面よりも十分に深い位置にある。
- (3) 擁壁の高さを H [m] として、擁壁に作用する主働土圧合力 P_a を求める式を導け。また、 $c = 12$ kN/m²、 $\phi = 30^\circ$ 、 $\gamma_t = 15$ kN/m³、 $H = 6$ m のとき、 P_a の値を求めよ。
- (4) 擁壁背後の排水が不十分であったため、降雨が浸透して裏込め地盤に地下水位が形成され、裏込め地盤の地表面まで達した。裏込め地盤は飽和状態で、有効応力で整理した粘着力が $c' = 0$ kN/m²、内部摩擦角が $\phi' = 30^\circ$ 、飽和単位体積重量が $\gamma_{sat} = 18$ kN/m³ である。擁壁に作用する主働土圧合力 P_a を求めよ。水の単位体積重量は簡単のため $\gamma_w = 10$ kN/m³ と近似する。

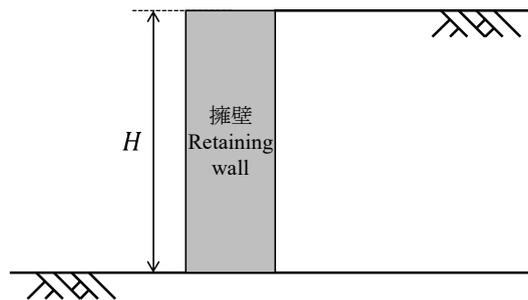


図 2

【3】基礎の支持力に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 浅い基礎の設計において、基礎の形状を考慮した極限支持力式として、以下の一般化支持力式が用いられる。

$$q_u = \frac{Q_u}{A} = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma B N_\gamma + \gamma D_f N_q \quad \text{[式 1]}$$

ここで、 Q_u は極限載荷重、 A は基礎の底面積、 c は粘着力、 N_c, N_γ, N_q は支持力係数、 B は基礎幅、 D_f は根入れ深さ、 γ は土の単位体積重量であり、 α, β は基礎底面の形状に関する補正係数である。上式の各項の意味について簡潔に説明せよ。

- (2) 図 3(a)に示すように、基礎直径 B の円形基礎が水中の水平砂質土地盤上に設置されている場合を考える。この場合の極限支持力を q_{u1} とする時、 q_{u1} の算定式を[式 1]をもとに導け。ただし、地盤は完全に飽和しており、砂質土地盤の粘着力は $c = 0$ と考えてよい。また、 γ_{sat} を土の飽和単位体積重量、 γ_w を水の単位体積重量とし、水中単位体積重量 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ とする。
- (3) 次に、図 3(b)に示すように、水中地盤の地表面が低下し、根入れ深さが $D_f/2$ まで減少した。この場合の極限支持力を q_{u2} とする時、 q_{u2} を q_{u1} を含む形で表せ。ただし、地表面が低下した後も地盤は水平であり、根入れ深さが変化しても地盤の強度定数は変化しないものとする。
- (4) (3)の状況において、 $q_{u2} = (2/3) \times q_{u1}$ である時、極限支持力 q_{u1} を、 γ', D_f, N_q を用いて表せ。
- (5) (3)の状況において、安全率を F とし、許容支持力 q_a を算定する式を導出せよ。
- (6) 根入れ深さが減少し支持力が低下した後も、安全率 $F = 2$ を見込みたい。設計荷重を Q とすると、これを安全に支持するために初期の根入れ深さ D_f が満たすべき条件を、 B, Q, N_q, γ' を用いて示せ。
- (7) 一般に、支持力係数 N_c, N_γ, N_q は内部摩擦角 ϕ の単調増加関数として表される。内部摩擦角の変化に応じて必要な根入れ深さがどのように変化するか、(6)の結果に基づいて考察せよ。

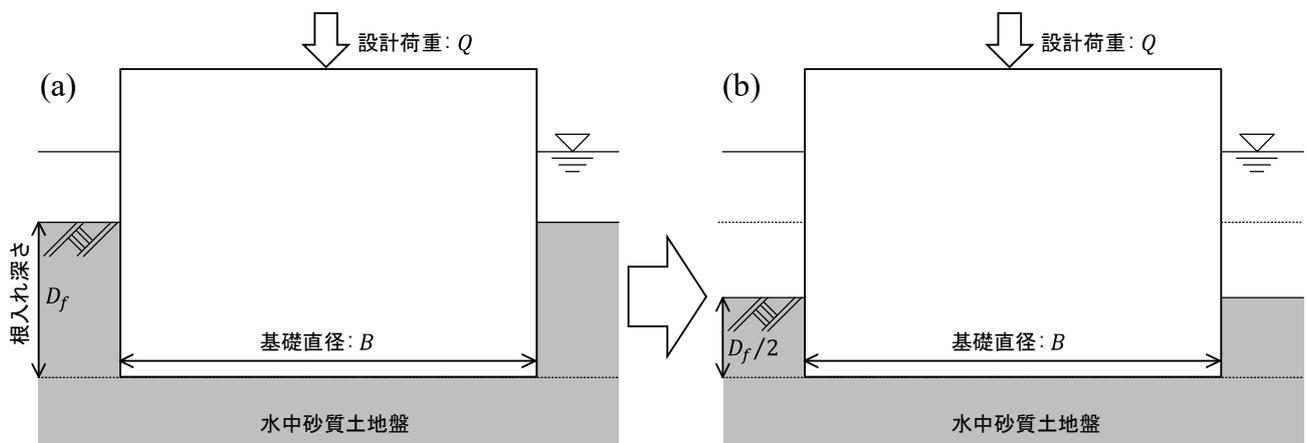


図 3

【4】以下の問いに答えよ。

図4に示すような砂質土からなる無限長斜面の安定について考える。なお、 θ ：地表面・すべり面が水平面となす角、 H ：すべり面の鉛直深度、 γ_t ：砂質土の湿潤単位体積重量、 γ_{sat} ：砂質土の飽和単位体積重量、 γ_w ：地下水の単位体積重量、 c ：湿潤状態の砂質土の粘着力、 ϕ ：湿潤状態の砂質土の内部摩擦角、 c' ：砂質土の有効応力表示の粘着力、 ϕ' ：砂質土の有効応力表示の内部摩擦角とする。

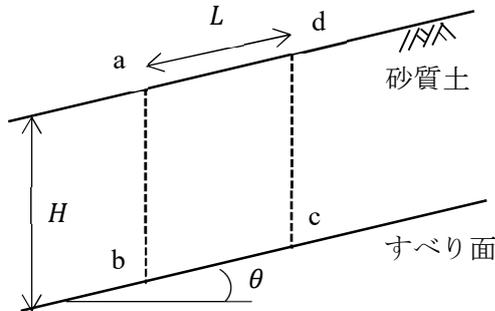


図 4(a)

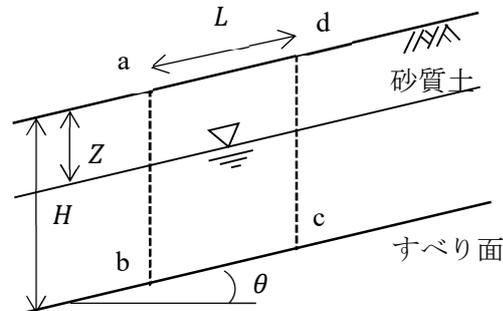


図 4(b)

- (1) 図 4(a)に示す斜面に沿った長さ L のすべり土塊 $abcd$ (単位奥行き) に作用する力を考え、すべり面 (鉛直深度 H) に対するすべり安全率 F_s を算定する。ここでは、地下水位は存在せず、砂質土は湿潤状態とする。
 - (1-1) すべり土塊の重量を与えられた記号を用いて示せ。
 - (1-2) すべり面法線方向の垂直抗力を与えられた記号を用いて示せ。
 - (1-3) すべり面平行方向の土塊をすべらそうとする力 (起動力) を与えられた記号を用いて示せ。
 - (1-4) すべり面平行方向のすべりに抵抗する力 (抵抗力) を与えられた記号を用いて示せ。
 - (1-5) すべり安全率を与えられた記号を用いて示せ。

- (2) 図 4(b)に示すように降雨によって斜面と平行な地下水位面 (鉛直深度 Z) が形成された。斜面に沿った長さ L のすべり土塊 $abcd$ (単位奥行き) に作用する力を考え、すべり面 (鉛直深度 H) に対するすべり安全率 F_s を算定する。ここでは、地下水位以深の砂質土は飽和している。
 - (2-1) すべり土塊の重量を与えられた記号を用いて示せ。
 - (2-2) すべり面法線方向の垂直抗力を与えられた記号を用いて示せ。
 - (2-3) すべり面平行方向の土塊をすべらそうとする力 (起動力) を与えられた記号を用いて示せ。
 - (2-4) すべり面平行方向の抵抗する力 (抵抗力) を与えられた記号を用いて示せ。
 - (2-5) すべり安全率を与えられた記号を用いて示せ。

- (3) (1)および(2)の結果に基づき、降雨による斜面のすべり安全率の変化について説明せよ。

- (4) (2)の飽和している砂質土の粘着力と内部摩擦角を室内試験で求める方法を説明せよ。

【5】以下の問いに答えよ。

(1) 液状化に関して以下の問いに答えよ。

(1-1) 図 5-1 は砂の非排水繰返し中空ねじりせん断試験から得られた(a) 有効応力経路, (b) せん断ひずみとせん断応力の関係を示している。図を用いてサイクリックモビリティについて説明せよ。

(1-2) 液状化安全率 F_L の定義を示し, その求め方について簡潔に説明せよ。

(2) 地盤振動に関して以下の問いに答えよ。

(2-1) 図 5-2 に示す二層地盤モデルにおける SH 波の z 方向の伝播に基づき二層のインピーダンス比を誘導せよ。1 層および 2 層の密度はそれぞれ ρ_1, ρ_2 , せん断波速度はそれぞれ V_1, V_2 である。二層の水平変位は以下を用いてよい。

$$1 \text{ 層内の水平変位 } u_1 = g_1 \left(t - \frac{z}{V_1} \right) = B \exp \left(i\omega \left(t - \frac{z}{V_1} \right) \right)$$

$$2 \text{ 層内の水平変位 } u_2 = f_1 \left(t - \frac{z}{V_2} \right) + f_2 \left(t + \frac{z}{V_2} \right) = \exp \left(i\omega \left(t - \frac{z}{V_2} \right) \right) + A \exp \left(i\omega \left(t + \frac{z}{V_2} \right) \right)$$

(2-2) 剛基盤上の表層地盤の地震応答を考える。表層地盤の層厚 $H = 10 \text{ m}$, 表層地盤のせん断波速度 $V_s = 100 \text{ m/s}$ の場合, この地盤が最も揺れやすい一次卓越周期を求めよ。

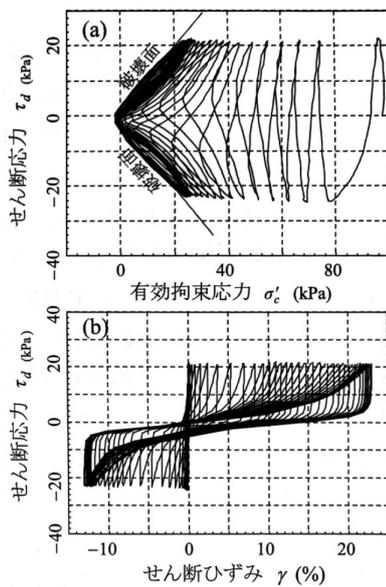


図 5-1

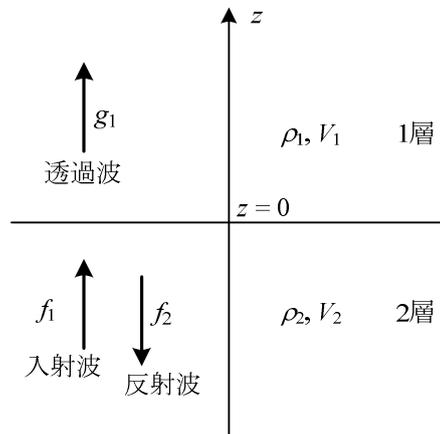


図 5-2