

FONDITIONS SUPERFICIELLES

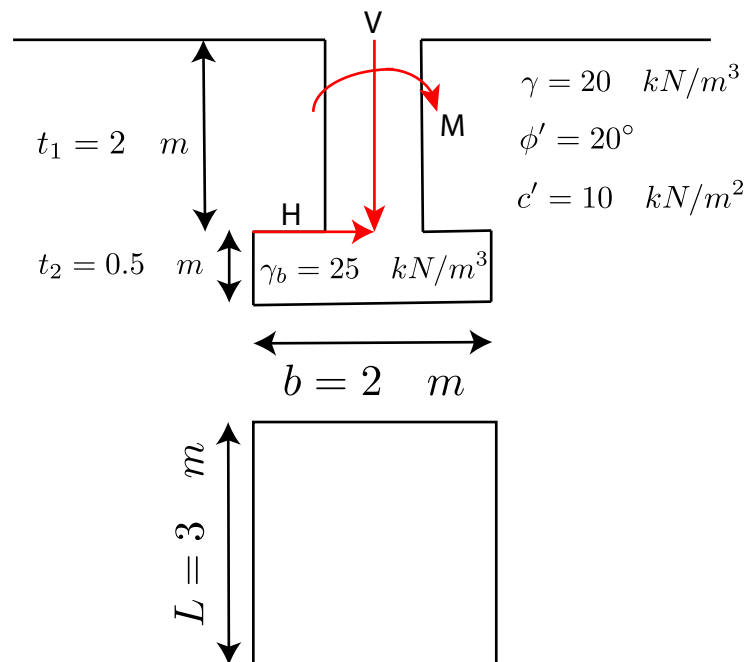
March 15, 2020

Vérifier la capacité portante à long terme de la semelle rectangulaire (cf. Figure ci-dessous) à l'aide de la formule de Terzaghi (Etat limite type 2 externe), dont l'assise est située à 2.5 du niveau de sol. La semelle reprend une charge verticale $V = 10^3$ kN, un moment de $M = 250$ kNm et une action horizontale du au vent $H = 100$ kN. Effectuer les calculs dans l'hypothèse que ces charges sont reportées à 2 m de profondeur et que la semelle est rugueuse, pour les cas suivants:

1. niveau de la nappe phréatique au-dessous du mécanisme de rupture;
2. niveau de la nappe phréatique au niveau du plan d'assise de la semelle;
3. niveau de la nappe au niveau du terrain

(On fait l'hypothèse que la porosité du sol est faible et donc que: $\gamma \approx \gamma_{sat}$)

En cas de capacité portante insuffisante quelles sont les mesures qui peuvent être prises ?



Correction Exercice #4

Fondations superficielles

Vérification de la capacité portante d'une semelle isolée - ELU2 externe
On veut vérifier:

$$E_N \leq R_N$$

E_N : Valeur de la charge sur les fondations

R_N : Valeur de la résistance à la rupture de la fondation

1 Niveau de la nappe phréatique au-dessous du mécanisme de rupture

Dans le cas où le niveau de la nappe phréatique z_w est situé au niveau ou sous l'assise de la fondation, on a:

$$E_N = V + \gamma_b A_b \quad \text{pour: } z_w \geq t_1 + t_2$$

A_b : aire de la base de la semelle;

γ_b : poids volumique du béton;

γ_{sat} : poids volumique du sol saturé;

γ : poids volumique du sol au-dessus de la nappe (sec ou humide);

V : valeur de la composante verticale des actions de /sur la structure;

$E_N = V +$ contribution des poids de la fondation

Valeur de la composante verticale des actions de la structure, donnée de base: $V = 1000 \text{ kN}$.

Poids de la fondation:

$$P_t = \gamma_b A_b \cdot t_2 = 25 \text{ kN/m}^3 (6 \text{ m}^2 * 0.5 \text{ m}) = 75 \text{ kN}$$

Actions verticales à considérer pour la vérification de la capacité portante:

$$E_N = 1075 \text{ kN}$$

Capacité portante

$$q_p = c' N_c s_c i_c d_c g_c b_c + q N_q s_q i_q d_q g_q b_q + 0.5 \gamma b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Facteurs de portance (hypothèse de semelle rugueuse)

$$N_q = e^{((3\pi/2 - \phi') \tan(\phi'))} / (2 \cos^2(\pi/4 + \phi'/2)) = 7.438 \text{ avec: } \phi' = 20^\circ$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot(\phi') = 17.69$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan(\phi') = 4.687$$

Le moment résultant agissant au centre de la base de la semelle est:

$$M_{CG} = M + H * t_2 = 300 \text{ kNm}$$

ce qui permet d'obtenir l'excentricité de la charge E_N :

$$e = \frac{M_{CG}}{E_N} = 0.279 \text{ m}$$

La largeur effective de la base de la semelle est donc

$$b' = b - 2e = 2.0m - 2 * 0.279m = 1.442m$$

La surface utile:

$$A' = b' L' = b' L = 4.325m^2$$

Facteurs de correction de forme:

Il s'agit d'une semelle rectangulaire:

$$s_q = 1 + (b'/L) \sin(\phi') = 1 + (1.442m/3m) \sin(20^\circ) = 1.164$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1) = 1.189$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4(b'/L) = 0.807$$

Facteurs d'inclinaison de la charge:

Par rapport au cas de semelle soumise au moment fléchissant donné, il faut calculer les coefficients i_c , i_q , i_γ comme suit :

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{E_N + A' c' \cot(\phi')}\right)^m = \left(1 - \frac{100kN}{1075 + (4.325)10kN/m^2 \cot(20^\circ)}\right)^{1.675} = 0.863$$

avec: $m = \frac{2+b'/L}{1+b'/L} = 1.675$ lorsque H agit dans la direction parallèle à la largeur b

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan(\phi')} = 0.842$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{E_N + A' c' \cot(\phi')}\right)^{m+1} = \left(1 - \frac{100kN}{1075 + (4.325)10kN/m^2 \cot(20^\circ)}\right)^{1.675+1} = 0.79$$

Facteurs correcteurs de fondation en profondeur:

$$d_q = 1 + 2 \tan(\phi') (1 - \sin(\phi'))^2 \tan^{-1}(d/b') = 1.33$$

avec $d = 2.5m$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan(\phi')} = 1.38$$

$$d_\gamma = 1$$

Facteurs d'inclinaison du sol et de la fondation:

$$b_c = b_q = b_\gamma = 1$$

$$g_c = g_q = g_\gamma = 1$$

Vérification:

La surcharge est

$$q = \gamma(t_2 + t_1) = 50kN/m^2$$

La capacité portante est égale à:

$$q_p = 785.72kN/m^2$$

$$R_N = q_p b' L = 3398.7kN$$

et on a donc

$$E_N \leq R_N \rightarrow 1075kN \leq 3398.7kN \rightarrow Ok$$

2 niveau de la nappe phréatique au niveau du plan d'assise de la semelle

Pour un niveau de la nappe phréatique z_w au niveau de l'assise de la fondation, on a (idem cas précédent):

$$E_N = V + \gamma_b A_b t_2 \text{ avec: } z_w \geq t_1 + t_2$$

Donc la valeur des actions verticales à considérer pour la vérification de la capacité portante ne change pas:

$$E_N = 1075kN$$

Par contre, la valeur de la capacité portante change, vu qu'il faut introduire un poids volumique du sol déjaugé dans le terme correspondant à la contribution du poids propre du terrain à la résistance:

$$\begin{aligned} q_p &= c' N_c s_c i_c d_c g_c b_c + q N_q s_q i_q d_q g_q b_q + 0.5 \gamma' b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma b_\gamma \\ &= c' N_c s_c i_c d_c g_c b_c + q N_q s_q i_q d_q g_q b_q + 0.5(\gamma - \gamma_w) b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma b_\gamma \end{aligned}$$

N_q, N_c, N_γ Idem cas précédent

s_q, s_c, s_γ Idem cas précédent

i_q, i_c, i_γ Idem cas précédent

b_q, b_c, b_γ Idem cas précédent

d_q, d_c, d_γ Idem cas précédent

g_q, g_c, g_γ Idem cas précédent

$$q_p = 764.122kN/m^2$$

$$R_N = q_p b' L = 764.1225kN/m^2 * 1.442m * 3m = 3305.27kN$$

Vérification:

$$E_N \leq R_N \rightarrow 1075kN \leq 3305.27kN \rightarrow Ok$$

Note: Dans les deux cas, la capacité portante est vérifiée. Il est important de noter que les conditions de vérification deviennent de plus en plus défavorables quand le niveau de la nappe phréatique remonte vers la surface du sol (la valeur de capacité portante calculée diminue).

3 Niveau de la nappe phréatique z_w situé au niveau de la surface du sol

On a alors dans ce cas

$$E_N = V + (\gamma_b - \gamma_w)(A_b.t_2) \text{ avec: } z_w = 0$$

La valeur de la résultante des actions verticales E_N en résulte modifiée comme suit.

- Poids de la fondation (Il convient d'utiliser le poid déjaugé - effet d'archimede sur la semelle):

$$P_t = (\gamma_b - \gamma_w)A_b.t_2 = (25kN/m^3 - 10kN/m^3)(6.m^2 * 0.5m) = 45kN$$

- Actions verticales à considérer pour la vérification de la capacité portante:

$$E_N = 1045kN$$

Pour le calcul de la capacité portante dans ce cas, il convient d'utiliser le poids volumique du sol déjaugé aussi bien dans le terme correspondant à la contribution du poids propre du terrain à la résistance (cas précédent) que dans le calcul de q' :

$$q_p = c'N_c s_c i_c d_c g_c b_c + q'N_q s_q i_q d_q g_q b_q + 0.5\gamma' b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

N_q, N_c, N_γ Idem cas précédent

g_q, g_c, g_γ Idem cas précédent

b_q, b_c, b_γ Idem cas précédent

Excentricité de la charge E_N est maintenant

$$e = \frac{M_{CG}}{E_N} = \frac{300}{1045} = 0.287m$$

Largeur effective de la base de la semelle:

$$b' = b - 2e = 2.0m - 2 * 0.287m = 1.425m$$

La surface utile:

$$A' = b' L' = b' L = 4.277m^2$$

Facteurs de correction de forme:

Il s'agit d'une semelle rectangulaire:

$$s_q = 1 + (b'/L) \sin(\phi') = 1 + (1.425m/3m) \sin(20^\circ) = 1.162$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1) = 1.187$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4(b'/L) = 0.809$$

Facteurs d'inclinaison de la charge:

Par rapport au cas de semelle soumise au moment fléchissant donné, il faut calculer les coefficients i_c , i_q , i_γ comme suit :

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{E_N + A'c' \cot(\phi')}\right)^m = \left(1 - \frac{100kN}{1045 + (4.277)10kN/m^2 \cot(20^\circ)}\right)^{1.678} = 0.859$$

avec: $m = \frac{2+b'/L}{1+b'/L} = 1.678$ lorsque H agit dans la direction parallèle à la largeur b

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan(\phi')} = 0.838$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{E_N + A'c' \cot(\phi')}\right)^{m+1} = \left(1 - \frac{100kN}{1045 + (4.277)10kN/m^2 \cot(20^\circ)}\right)^{1.678+1} = 0.786$$

Facteurs correcteurs de fondation en profondeur:

$$d_q = 1 + 2 \tan(\phi')(1 - \sin(\phi'))^2 \tan^{-1}(d/b') = 1.33$$

avec $d = 2.5m$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \tan(\phi')} = 1.38$$

$$d_\gamma = 1$$

La surcharge déjaugé est:

$$q' = \gamma'(t_2 + t_1) = 10kN/m^3(2.5m) = 25kN/m^2$$

$$q_p = 10kN/m^2 * 17.69 * 1.187 * 0.838 * 1.38 + 25kN/m^2 * 7.438 * 1.162 * 0.859 * 1.33 + 0.5 * 10kN/m^3 * 1.425m * 4.687 * 0.809 * 0.786 * 1$$

$$q_p = 515.356kN/m^2$$

$$R_N = q_p b' L = 515.356kN/m^2 * 1.425m * 3m = 2204kN$$

Vérification:

$$E_N \leq R_N \rightarrow 1045kN < 2204kN \rightarrow Ok$$

Solutions alternatives

Les calculs effectués montrent que la capacité portante pour le troisième cas est aussi suffisante. Dans le cas échéant, des solutions alternatives peuvent être proposées:

- Augmenter les dimensions des fondations
- Changer de système de fondation superficielle (radier général étanche...)
- Fondations profondes
- Amélioration du sol de fondation (par injection / grouting)