

TASSEMENT des SOLS de fondations sous ouvrages

O. Combarieu
CFMS – 16-12-2005 – Paris

Les pratiques

(recommandées, utilisées, ou constatées)
de calcul du tassement.

- Fondations superficielles

de faible largeur B (3 à 4 m).

module pressiométrique

module « élastique ».

- radiers, dallages, remblais de grande dimension

module	oedométrique
module	pressiométrique
module	élastique.

Les fondations superficielles. Courbe charge - tassement

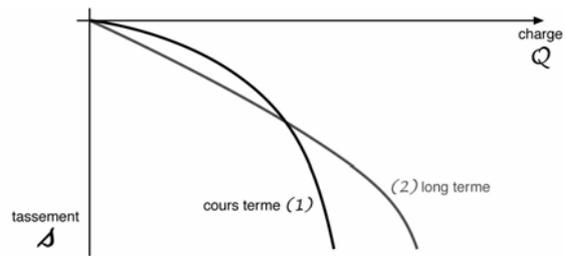


fig. 11

C.F.M.S. - 16-12-2005

3

Fondations superficielles

CHARGE ULTIME Q_u : calcul à court terme

CHARGE PERMANENTE : $Q_u/3$ → optimiser B

TASSEMENT : module moyen sur la plage 0 – $pl/3$

- avec le pressiomètre = E_M

- ou module E_e , « élastique » (à choisir
sur la plage adaptée)

C.F.M.S. - 16-12-2005

4

TASSEMENT avec le PRESSIOMETRE

L. MENARD → Ss, tassement sphérique (compression)
 Sd, tassement déviatorique (cisaillement)

PREVISIONS considérées bonnes.
 ESSAIS de chargement.

TASSEMENTS GENERALEMENT « non préoccupants »

	$\alpha = 1 ; \frac{E_M}{p_l} = 16$ (argile)		$\alpha = \frac{1}{4} ; \frac{E_M}{p_l} = 6$ (grave)	
	L/2R = 1	L/2R = 20	L/2R = 1	L/2R = 20
$\frac{R}{R_0} = 1$	0,4	1	0,8	1,1
$\frac{R}{R_0} = 4$	1,6	4	1,4	1,9

Valeurs de s (cm) $\left(q_a = \frac{pl}{3} \right)$

Le coefficient α : confusion car diverses significations se sont faites jour.

$$\alpha = \frac{2(1+\nu)G_M}{E^+} = \frac{E_M}{E^+} \quad \text{oui, mais } (E^+ ?)$$

$$\alpha = \left(\frac{E_M}{E_r} \right)^{\cong \frac{1}{2}} \quad \text{non}$$

$$\text{et } \alpha = \frac{E_M}{E_r} \quad \text{non, et pourtant } (C_u \text{ et } p_l)$$

Fondations superficielles - pressiomètre

$$\text{terme } S_d = \frac{1+\nu}{3} q R \lambda_d^\alpha \frac{1}{E_M \left(\frac{R}{R_0}\right)^{1-\alpha}}$$
$$= q \frac{K}{E(R)}$$

C.F.M.S. - 16-12-2005

7

Fondations superficielles - élasticité

$$s = C \frac{1-\nu^2}{E} q R$$

Obtention de E (moyen entre 0 et $q = q_{u/3}$).

essai de plaque ?

ou

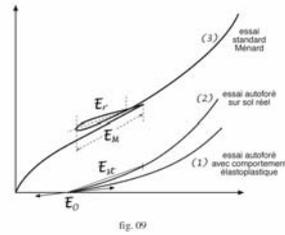
pressiomètre par essai cyclique

(imaginer la mise au point du modèle sur un 2ème chargement).

C.F.M.S. - 16-12-2005

8

Courbes pressiométriques standard et par autoforage



Argile raide surconsolidée	E_r/E_M 2,5 à 3,5
Limon	3 à 4,5
Sable	6 à 7,5
Craie	5,5

Comparaison des deux méthodes issues du pressiomètre (E_M et E_r)

- bonne confrontation pour les largeurs
 $2R < 2,50 \text{ m}$
- écart croissant ensuite progressivement
- si référence = méthode E_M
alors concordance sur $E(z) = E_r (1 + \lambda z)$
avec $\lambda = 0,2 (1 - \alpha)$
(mais pas de consolidation prépondérante).
- on peut donc utiliser E_r , mesuré,
ou choisir un rapport E_r/E_M caractéristique.

Fondations superficielles - comparaison

argile graveleuse – $q_a = 0,3 \text{ MPa}$; $E_M = 10,5 \text{ MPa} = E_r / 3$; $\alpha = \frac{2}{3}$; $\nu = 0,33$

R/Ro	2	4	10	20	50
S (mm) pressiomètre	8,5	14,5	30,4	53	115,3
S (mm) élastique	8,1	16,1	40,5	81	202
S (mm) élastique corrigé	7,1	14	31,6	54,7	99,9

sable – $q_a = 0,3 \text{ MPa}$; $E_M = 10,5 \text{ MPa} = E_r / 7$; $\alpha = \frac{1}{3}$

R/Ro	2	4	10	20	50
S (mm) pressiomètre	6	8,5	14,5	23,1	47,8
S (mm) élasticité	3,5	7	17,5	35	87
S (mm) Élasticité corrigé	3	5,5	12,8	17,4	38,2

C.F.M.S. - 16-12-2005

11

Charges de grandes dimensions

CHARGE de très grande dimension

Intéresse souvent des sols compressibles
sujet à consolidation (primaire et secondaire)

C.F.M.S. - 16-12-2005

12



Charges de grandes dimensions

Sol normalement consolidé

Le module oedométrique

$$E'_{\text{oed}} = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z}$$

$$\text{avec } \varepsilon_z = \frac{Cc}{1+e_0} \log \frac{\sigma_z + \sigma'_0}{\sigma'_0}$$

Varie avec σ_z , et avec z

$$\text{si } \sigma_z \rightarrow 0 \quad E'_{\text{oed},i} = \frac{\sigma'_0 (1+e_0)}{0,435 Cc}$$

C.F.M.S. - 16-12-2005

13

Sol surconsolidé

$$\varepsilon_z = \frac{C_s}{1+e_0} \log \frac{\sigma_z + \sigma'_0}{\sigma'_0} \quad \text{si } \sigma_z + \sigma'_0 < \sigma'_p$$

$$\text{et } E'_{\text{oed},i} = \frac{\sigma'_0 (1+e_0)}{0,435 C_s}$$

IMPORTANCE de σ'_p , pour les faibles charges appliquées
de la connaissance du niveau bas de la nappe

C.F.M.S. - 16-12-2005

14

Charges de grandes dimensions

EXEMPLE
(modules en kPa)

10m d'argile molle ($W = 100\%$; $C_c = 0,8$; $e_o = 2,6$; $\gamma h = 14,5 \text{ kN/m}^3$)
Charges de 0, 20 et 140 kPa

Charge \ Profondeur z	5 m	10 m
0	230	460
1 m (20 kPa)	320 6 cm	560 3 cm
7 m (140 kPa)	730 19 cm	1 020 14 cm

même argile, légèrement surconsolidée
 $\sigma'_p = \sigma'_o + 30 \text{ kPa}$ $C_s = 0,15$

Charge \ Profondeur z	5 m	10 m
1 m (20 kPa)	1 740 1,1 cm	3 000 0,7 cm
7 m (140 kPa)	1 125 12,4 cm	1 460 9,6 cm

C.F.M.S. - 16-12-2005

15

Charges de grandes dimensions

Utilisation du pressiomètre pour calculer le tassement

c'est un non sens physique et mécanique.

$$S = \frac{\alpha H}{E_M} \sigma_z =$$

« amélioration » par terme correctif

$$\beta = \frac{2F}{3(F-1)} \quad \text{avec } \beta = 1 \text{ si } F > 3$$

$$S = \frac{\alpha H}{E_M} \beta \sigma_z$$

à comparer au modèle oedométrique.

C.F.M.S. - 16-12-2005

16

- Utilisable si le tassement ne constitue pas une préoccupation (le tassement n'est pas une gêne)
- peut donner des résultats très différents
dans un sens, ou
dans un autre
peut donner, par chance,
le bon résultat.

1^{er} Exemple

Port de ROUEN (par LAVISSE et SCHMITT – 2004)

H = 15 m, limon normalement consolidé

chargé sur 5,30 m de remblai (106,6 kPa)

$E_M = 3000$ kPa ; $\alpha = 2/3$; $p_l = 250$ kPa

$W = 0,88$; $C_c = 0,73$; $e_o = 2,30$ σ'_o (5 m) = 60 kPa

Couche de 1m = H à 5 mètres

Oedomètre s = 10 cm

Pressiomètre s = 2,5 cm

soit rapport de 4, comme pour les tassements globaux sur 15 mètres.

Si on double σ'_z (≈ 10 m de remblai)

Rapport $\rightarrow 3$

2ème Exemple

Fondations circulaires rigides de réservoirs
(\emptyset et charges variables)
sur 5 m d'argiles molles (vases)
- colonnes ballastées.

Tassements annoncés = 5 cm maximum

$$E_M \rightarrow E_M/\alpha \rightarrow s$$

$$E_M \rightarrow \frac{E'(1-\nu')}{(1+\nu')(1-2\nu')} \rightarrow s$$

Constats = jusqu'à 30 cm

Rétroanalyse = W_n saturée

$$\rightarrow e_0 \rightarrow \gamma'h \rightarrow C_c$$

Cas des faibles tassements
(interaction avec pieux –
dallages et amélioration de sols)

Sables et graves (peu compressibles)

$$\text{admettre } E_u = E_r \text{ et } \nu' = 0,25$$

avec $E_u = E_r = 7 E_M$ d'où $E'_{oed} \cong 8 E_M$
d'où tassements calculés = 3 à 4 fois + faibles
que ceux déterminés avec E_M et $\alpha = 1/3$ ou $1/4$

Limons de plateaux, schiste altéré (peu compressibles)

$$E_u = E_r = 4 E_M \quad \nu' = 0,3 \quad \text{et}$$

$$E' = \frac{E_u}{1,2} \quad \text{d'où } E'_{oed} \cong 4,5 E_M$$

d'où tassements calculés = 2 à 2,5 fois + faibles qu'avec
 E_M et $\alpha = 1/2$ ou $2/3$

Argiles surconsolidées $E'_{oed} = 4 E_M$ à $5 E_M$
soit $S = 2,5$ à 5 fois + faibles.

