

INFLUENCE DE L'AMPLITUDE ET DU NIVEAU INITIAL DE DECHARGEMENT SUR LA RELATION $G_s - \varepsilon_1$ EN CAS DE CHARGEMENT CYCLIQUE DES SOLS COHESIFS DANS LA ZONE DE PETITES DEFORMATIONS

MALGORZATA JASTRZEBSKA

Ecole Polytechnique de Silesie, Gliwice, Pologne. E-mail: malgorzata.jastrzebska@polsl.pl

Résumé: Le sujet de ce travail est l'étude de la réponse du sol cohésif dans la zone de petites déformations (10^{-5} – 10^{-3}) en cas des chargements cycliques. Dans ce but-là on a réalisé dans l'appareil triaxial très précis les études cycliques de cisaillement sans drainage en profitant du mésurage local de déformation d'une échantillon. Sous la vitesse constante de cisaillement pour les sols *NC* et *OC* ($OCR = 2.8$) au cours de 10 cycles déchargement – chargement on a étudié l'influence de l'amplitude ($A_1 = 0.75\Delta q$ et $A_2 = 0.375\Delta q$) du niveau initial du déchargement ($\varepsilon_{1,dechar} = 0.5\%$ et $\varepsilon_{1,dechar} = 1.5\%$) sur la caractéristique „ $G_s - \varepsilon_1$ ”.

En analysant les résultats obtenus on a constaté que, les mêmes conditions d'études, sans égard à la valeur OCR (à $\varepsilon_{1,dechar} = 1.5\%$), les modules sécants obtenus G_s sont presque 2.5 fois plus grand pour l'amplitude plus petite.

D'autre part en tenant compte du niveau initial de déchargement on a constaté, que pour les sols *NC* à l'amplitude $A_2 = 0.375\Delta q$ le module sécant G_s est plus grand à $\varepsilon_{1,dechar} = 1.5\%$ qu'à $\varepsilon_{1,dechar} = 0.5\%$. Pour les sols *OC*, à l'amplitude $A_1 = 0.75\Delta q$ on a observé la relation inverse.

Les conclusions ci-dessus font une partie du plus large qui d'une manière plus complexe présente les problèmes concernant le comportement des sols cohésifs, sous le chargement pulsatoire cyclique lentement changé, dans la zone de petites déformations.

NOTATIONS

- A – amplitude de deviateur de contrainte, kPa,
- n – numéro de cycles,
- $\varepsilon_{1,decharg}$ – déformation axial ou on commence le chargement cyclique, %, –,
- σ'_3 – contrainte lateral, kPa,
- CIU* – essai de cisaillement non drainé après une consolidation isotrope,
- NC, OC* – sol normalement consolidé, preconsolidé.

1. INTRODUCTION

Les travaux concernant le problème de petites déformations (10^{-3} et moins) ont été commencés au début des années 70 (p.ex. HARDIN et DRNEVICH [4], BURLAND [3]). Dans la plupart de cas leurs études ont été limités à un cycle «chargement – déchargement» comme dans la publications représentative de JARDINE [5].

La signification de ces études est liée avec l'identification des caractéristiques initiales «module de cisaillement – déformation» ou bien «module de rigidité –

déformation». C'est l'aspect d'application qui décide du sens clé de la problématique de petites déformations. Les tassements prévus sans égard pour la chute violente de rigidité sont surestimés d'une manière drastique (KRIEGEL et WEISNER [15]; BURLAND [3]; JASTRZEBSKA et ŁUPIEŻOWIEC [14]).

Les chercheurs des procédés cycliques s'intéressent beaucoup aux problèmes limites dans les conditions où le drainage est impossible ainsi que la liquéfaction du sol provenant de l'accumulation de l'eau dans les pores (MATASOVIC et VUCETIC [17], MATSUI et al., [18]). On essaie aussi d'expliquer comment les procédés des chargements cycliques (pulsatoires ou oscillatoires ainsi que les agents tels que: amplitude des déformations, préconsolidation, nombre de cycles et fréquence influent sur le comportement des sols cohésifs. La plupart d'essais concernant les comportements des sols sous l'influence des chargements cycliques sont consacrées aux sables. Les informations liées aux sols cohésifs apparaissaient au début des années 70 (p.ex. ANDERSEN [1]; ANDERSEN et LAURITZSEN [2]). Une autre étude très connue est le rapport *state-of-the-art* de WOOD [19].

En sachant que les questions de petites déformations et des chargements cycliques étaient traités jusque-là séparément, il paraît raisonnable que les résultats de leurs apparitions conjointes seront intéressantes du point de vue géotechnique (établir des projets, mis en oeuvre).

2. POSTE D'ESSAIS

On a fait des études laboratoires sur les échantillons de kaolin dans l'appareil triaxial. La cellule de l'appareil modifiée contient les barres de jonction intérieures et de la jonction rigide de la tête avec le piston. On a employé le drainage à l'aide d'une bande de papier de filtration et des pierres poreuses placées à la base et à la tête de l'appareil triaxial.

La cellule de pression a été remplie d'eau désaérée. Le mesurage local de petites déformations d'une échantillon de sol (ε_1 et ε_3) a été réalisé par six capteurs sans contact de microdéplacement de la firme Kaman dont la résolution et l'extention étaient 20 mm et 0.01%. En plus on a fait la mesure extérieure (ε_1) à l'aide d'un capteur placé sur le piston.

3. MATÉRIAU ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS AUX ÉTUDES TRIAXIALES

Les études ont été réalisées sur le matériau provenant de l'usine de Demi-
-Porcelaine de Tułowice dont les paramètres étaient présentés dans le tableau 1. Le choix du matériau a été dicté par sa grande homogénéité.

Dans tous les cas les échantillons destinés aux études triaxiales ont été faits d'une pâte de sol dont la teneur en eau $w = 50\%$ (c'est qui fait environ $1.2 w_L$) qui a été préconsolidée à la pression isotrope égale 80 kPa.

On a réalisé tous ces essais sur les échantillons au diamètre de 50 mm et la hauteur de 100 mm. Grâce à la saturation par la méthode *back pressure* la valeur obtenue du paramètre Skempton B était plus grande de 0.95 [7].

Tableau 1

Valeurs des paramètres physiques et classificatoires du kaolin de Tułowice (JASTRZĘBSKA [6])

Type du sol	Kaoline		Source	Usine de Demi-Porcelaine de Tułowice	
G_s	t/m ³	2.637	B	–	0.95–0.98
w_n	%	20.7	e	–	0.956–1.098
w_L	%	42.2	CF	%	37.0–37.9
w_p	%	20.0	SF	%	53.7–56.3
I_p	%	22.2	ϕ'	°	25.0
I_L	–	0.03	c'	kPa	10.7

4. ÉTUDES DE LABORATOIRE

Quand la saturation et consolidation ont été finies on a commencé à réaliser les études cycliques triaxiales sans drainage selon le procédé déterminé (tableau 2, figure 1).

Tableau 2

Caractéristique des études faites par JASTRZĘBSKA [7]

Type d'essai	Coefficient de préconsolidation	Vitesse de cisaillement	Contrainte latérale (consolidation)	Pression interstitielle (consolidation)	Contrainte latérale (cisaillement)	Coefficient de Skempton	Indice des vides initial/final	Teneur en eau initial/final	Déform. Axiale – début de charg. cyclique	Amplitude de deviateur de contrainte
	OCR	v	σ'_3	u_b	σ'_3	B	e_0/e_k	w_0/w_k	$\varepsilon_{1,dech}$	A
		[mm/h]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[–]	[–]	[%]	[%]	[–]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12-2 CIU	1	0.22	308	442	308	0.98 (450)	1.098 0.810	37.73 28.34	1.5	0.75 Δq sch. Ia
12-2a CIU	1	0.22	315	435	315	0.95 (450)	0.886 0.618	31.90 25.73	1.5	0.375 q sch. IIa
12-2b CIU	1	0.22	308	436	308	0.98 (450)	0.854 0.690	30.81 25.50	0.5	0.375 q sch. IIb

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12-3 CIU	2.8	0.22	309 110	441	110	0.98 (450)	1.041 0.861	35.73 29.25	1.5	$0.75\Delta q$ sch. Ia
12-3a CIU	2.8	0.22	314 114	436	114	0.97 (450)	0.904 0.714	32.66 26.18	1.5	$0.375q$ sch. IIa
12-3c CIU	2.8	0.22	314 114	436	114	0.98 (450)	0.928 0.689	34.29 27.52	0.5	$0.75q$ sch. Ib

D'abord on a continué le chargement monotonique jusqu'à la valeur de déformation axiale établie dont le symbole était $\varepsilon_{1,dechar}$. Ensuite on a réalisé le chargement cyclique au cours de dix cycles par la méthode de chargement-déchargement. Une fois le chargement varié fini on a appliqué le chargement monotonique jusqu'à la déformation axiale $\varepsilon_1 = 15\%$.

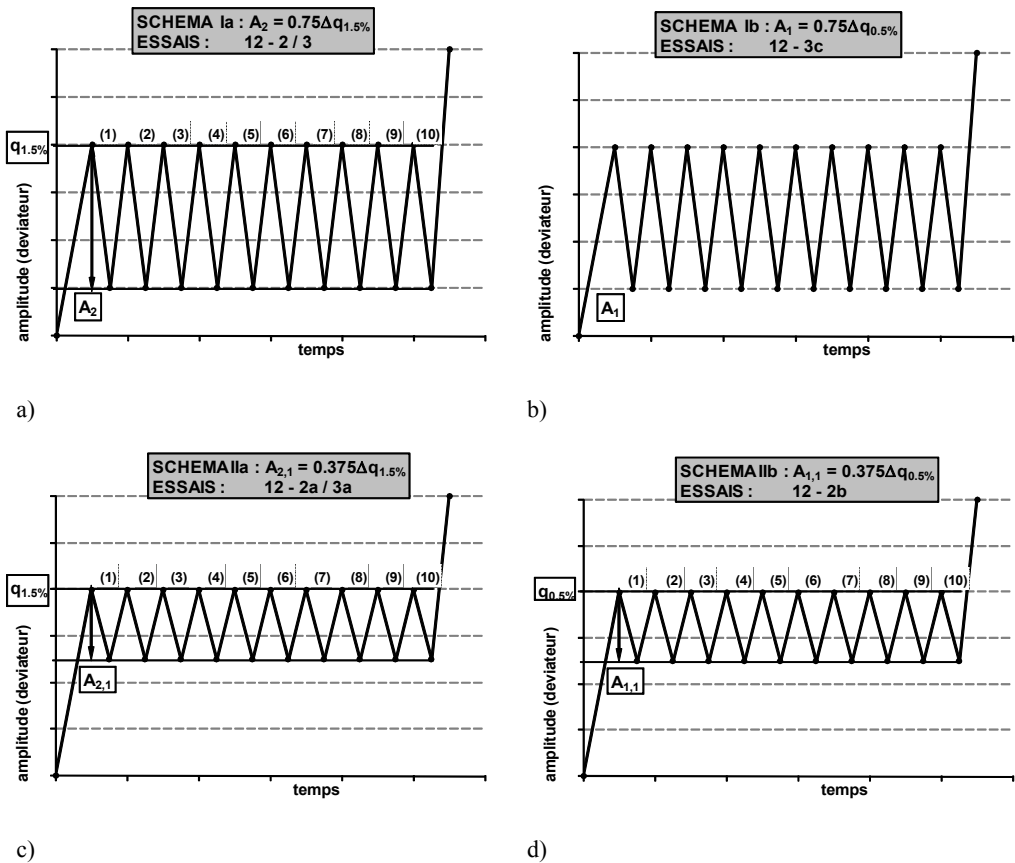


Fig. 1. Schémas des chargements cycliques (10 cycles) à l'amplitude constante: a) sch. Ia: $A_2 = 0.75q_{1.5\%}$, b) sch. Ib: $A_1 = 0.75q_{0.5\%}$, c) sch. IIa: $A_{2,1} = 0.375q_{1.5\%}$, d) sch. IIb: $A_{1,1} = 0.375q_{0.5\%}$

Dans les cas de ces études le critère le plus essentiel de leur répartition était la valeur de l'amplitude constante du déviateur de contrainte ($A = 0.75\Delta q$ et $A = 0.375\Delta q$). En plus on analysait comment la valeur de déformation axiale, par laquelle on a commencé les chargements cycliques, influait sur les modules de cisaillement sécant.

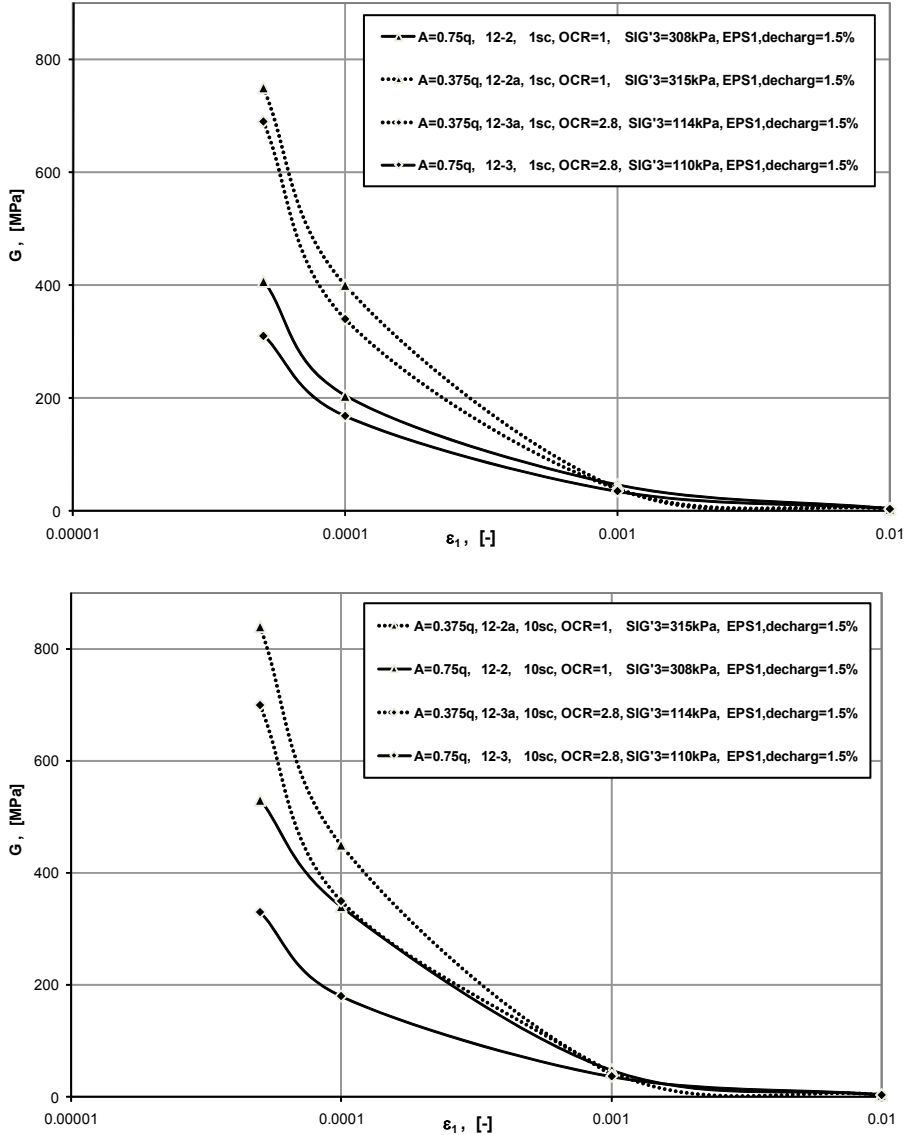


Fig. 2. Influence de la grandeur de l'amplitude ($A = 0.375 \Delta q$ ou $A = 0.75 \Delta q$) sur la caractéristique «module de cisaillement G_s – déformation axiale» pour les sols *NC* et *OC* pour le premier et dixième cycle dans la série (tableau 3)

En tenant compte des possibilités de l'appareillage ce qui conditionnait le début du chargement cyclique étaient la déformation axiale courante et le déviateur de contrainte conforme dans un moment donné, par rapport auquel on a désigné la grandeur de l'amplitude. On a accepté comme la valeur caractéristique de déformation axiale $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%$ et $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%$. Le cisaillement des échantillons ont été fait à une vitesse de déformation constante (*strain controlled*) $v = 0.22$ mm/h.

Tableau 3

Valeurs des modules de cisaillement au cour des études triaxiales:
une série de dix cycles à l'amplitude $A = 0.75\Delta q$ et $A = 0.375\Delta q$

No cycle	G_{int} (MPa)									No cycle
	12-2			12-2a			12-2b			
	$OCR = 1, \sigma'_3 = 308$ kPa, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%, A = 0.75\Delta q$			$OCR = 1, \sigma'_3 = 315$ kPa, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%, A = 0.375\Delta q$			$OCR = 1, \sigma'_3 = 308$ kPa, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%, A = 0.375\Delta q$			
	Niveau de deformation ε_1 [-]			Niveau de deformation ε_1 [-]			Niveau de deformation ε_1 [-]			
	0.00005	0.0001	0.001	0.00005	0.0001	0.001	0.00005	0.0001	0.001	
1sc	407	204	47	750	400		650	-	-	1sc
2sc	412	217	-	-	-	-	660	-	-	2sc
3sc	-	224	-	840	-	-	660	-	-	3sc
4sc	-	250	-	830	-	-	670	-	-	4sc
5sc	357	353	-	-	-	-	670	-	-	5sc
6sc	-	303	-	-	-	-	-	-	-	6sc
7sc	-	323	-	830	-	-	680	-	-	7sc
8sc	-	367	-	840	-	-	-	-	-	8sc
9sc	498	352	-	830	-	-	680	-	-	9sc
10sc	503	347	48	840	450	45	680	360	37	10sc
No cycle	G_{int} (MPa)									No cycle
	12-3			12-3a			12-3c			
	$OCR = 2.8, \sigma'_3 = 109$ kPa, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%, A = 0.75\Delta q$			$OCR = 2.8, \sigma'_3 = 114$ kPa, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%, A = 0.375\Delta q$			$OCR = 2.8, \sigma'_3 = 114$ kPa, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%, A = 0.75\Delta q$			
	Niveau de deformation ε_1 [-]			Niveau de deformation ε_1 [-]			Niveau de deformation ε_1 [-]			
	0.00005	0.0001	0.001	0.00005	0.0001	0.001	0.00005	0.0001	0.001	
1sc	311	168	35	700	-	-	410	260	-	1sc
2sc	300	182	35	700	-	-	460	260	-	2sc
3sc	280	177	36	700	-	-	460	235	-	3sc
4sc	280	162	-	700	-	-	480	260	-	4sc
5sc	300	143	35	700	-	-	440	250	-	5sc
6sc	-	150	35	680	350	-	500	280	-	6sc
7sc	-	140	34	700	-	-	-	-	-	7sc
8sc	339	180	35	-	-	-	-	-	-	8sc
9sc	-	-	35	700	-	-	-	270	33	9sc
10sc	327	180	37	700	350	38	500	300	33	10sc

La figure 2 présente les schémas selon lesquels on a réalisé les études particulières et où on a marqué nombre et configuration des cycles (n), grandeur de l'amplitude (A_i) avec ses bornes inférieure et supérieure, valeur de déformation axiale qui débute l'action de chargement cyclique ($\varepsilon_{1,\text{decharg}}$) et aussi valeur du déviateur de contrainte qui lui répond (q_i).

En admettant le symbole $q_{1.5\%}$ c'ad la valeur du déviateur de contrainte à déformation verticale $\varepsilon_1 = 1.5\%$ on a déterminé la valeur de l'amplitude de chargement comme $A_2 = 0.75q_{1.5\%}$ et $A_{2,1} = 0.375q_{1.5\%}$. Analogiquement on a défini les amplitudes $A_1 = 0.75q_{0.5\%}$ et $A_{1,1} = 0.375q_{0.5\%}$.

Pour que l'analyse soit plus claire on a présenté dans le tableau 3 les valeurs obtenues du module de cisaillement pour les courbes de chargement secondaire. Dans ce but-là on a choisi, du point de vu de répartition de rigidité, les places caractéristiques à définir G_s c'ad $\varepsilon_1 = 0.00005, 0.0001$ et 0.001 .

Pour que les résultats ci-dessous soient plus clairs on a fait la moyenne des valeurs maximales des modules de cisaillement, définis dans chaque cycle d'une étude donnée, à déformation axiale $\varepsilon_1 = 0.00005$.

4.1. INFLUENCE DE LA GRANDEUR DE L'AMPLITUDE SUR LE MODULE DE CISAILLEMENT

En principe, on a considéré les deux amplitudes: A_1 (A_2) = $0.75\Delta q$ et $A_{1,1}$ ($A_{2,1}$) = $0.375\Delta q = 0.5A_1$ ($0.5A_2$). En comparant les études (12-3a) et (12-3) on constate que, les conditions pareilles, pour chacune d'elles c'ad $OCR = 2.8$, $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%$ et $\sigma'_3 \sigma'_3 \approx 110$ kPa, les modules de cisaillements obtenus G_s sont plus que deux fois plus grand pour l'amplitude plus basse.

Les observations pareilles concernent les sols normalement consolidés (comp. études 12-2 et 12-2a), mais à l'amplitude plus élevée les modules G_s sont environ 1.7 fois plus petits. On peut présenter ça d'une manière suivante

$$\underbrace{(OCR = 2.8; \sigma'_3 = 114 \text{ kPa})}_{(12-3a) \text{ et } (12-3)} \rightarrow G_{A_{2,1}=0.375\Delta q} = 700 \text{ MPa} > G_{A_2=0.75\Delta q} = 305 \text{ MPa},$$

$$\underbrace{(OCR = 1; \sigma'_3 \approx 310 \text{ kPa})}_{(12-2a) \text{ et } (12-2)} \rightarrow G_{A_{2,1}=0.375\Delta q} = 820 \text{ MPa} > G_{A_2=0.75\Delta q} = 440 \text{ MPa}.$$

Les illustrations graphiques sur la figure 2 montrent les parcours du module de cisaillement qui dépend de la déformation axiale pour la première (1sc) ou la dixième (10sc) branche du chargement secondaire. Par le trait interrompu on a désigné les caractéristiques obtenues aux amplitudes plus basses ($A = 0.375\Delta q$) et par le trait plein à celles plus élevées ($A = 0.75\Delta q$).

4.2. INFLUENCE DU NIVEAU INITIAL DE DÉCHARGEMENT SUR LE MODULE DE CISAILEMENT G_s

On a comparé, par deux, les études à de différents coefficients de préconsolidation: $OCR = 1$ (12-2a et 12-2b) et $OCR = 2.8$ (12-3 et 12-3c). On a constaté que le sol normalement consolidé (à l'amplitude plus basse, $A = 0.375\Delta q$) a son module de

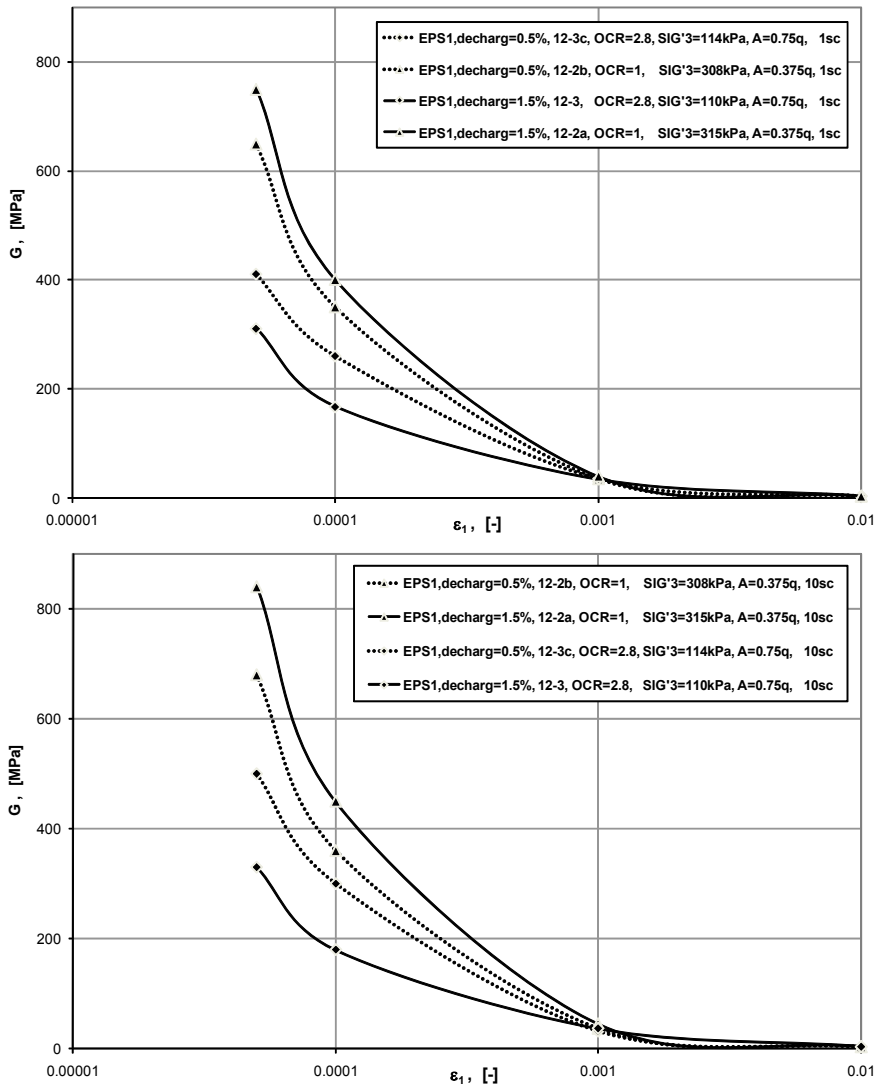


Fig. 3. Influence du niveau initial de déchargement $\epsilon_{1,decharg}$ sur la caractéristique «module de cisaillement G_s – déformation axiale» pour les sols *NC* et *OC* pour la premier et dixième cycle dans la série (tableau 3)

cisaillement plus grand pour le niveau initial de déchargement $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%$ que pour $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%$. Pour les échantillons préconsolidés (à l'amplitude plus élevée, $A = 0.75\Delta q$) les relations sont inverses. Mais il faut remarquer que les études comparées ont été exécutées à de différentes valeurs de contraintes effectives σ'_3 : $NC - \sigma'_3 \approx 310$ kPa, $OC - \sigma'_3 \approx 110$ kPa.

Notation raccourcie:

$$\underbrace{(\sigma'_3 \approx 310 \text{ kPa}, A = 0.375 \Delta q)}_{(12-2a) \text{ et } (12-2b)} \rightarrow G_{\varepsilon_{1,\text{dechar}}=1.5\%}^{NC} = 820 \text{ MPa} > G_{\varepsilon_{1,\text{dechar}}=0.5\%}^{NC} = 670 \text{ MPa},$$

$$\underbrace{(\sigma'_3 \approx 110 \text{ kPa}, A = 0.75 \Delta q)}_{(12-3) \text{ et } (12-3c)} \rightarrow G_{\varepsilon_{1,\text{dechar}}=1.5\%}^{OC} = 305 \text{ MPa} < G_{\varepsilon_{1,\text{dechar}}=0.5\%}^{OC} = 465 \text{ MPa}.$$

Sur la figure 3 on a présenté la répartition de la rigidité pour le 1^{er} et le 10^{ème} cycle dans la série par rapport au niveau initial de déchargement $\varepsilon_{1,\text{decharg}}$, pour les sols à de différents coefficients de préconsolidation. Par un trait interrompu on a marqué les caractéristiques obtenues pour $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%$ et par un trait plein pour $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%$.

5. CONCLUSIONS

Le but de ce travail c'était l'étude de l'influence de l'amplitude et le niveau initial de déchargement sur la dépendance du module sécant de cisaillement G_s du sol cohésif chargé au cours des cycles dans la zone de petites déformations de la déformation principale maximale. On a procédé d'une manière analogue à la réalité en commençant par le déchargement après le chargement monotonique. Il faut souligner que chaque cycle était placé dans la zone de petites déformations et conformément aux critères exigés.

Dans les cadres d'études classiques des phénomènes dans la zone de petites déformations l'interprétation des essais présentés concernait l'évaluation de la dépendance du module de cisaillement de la déformation axiale où les indicateurs du procédé cyclique joue le rôle des paramètres. Dans ce travail-ci les variables importantes sont les amplitudes du déviateur de contraintes ($A = 0.75\Delta q$ et $A = 0.375\Delta q$) ainsi que le niveau initial de déchargement ($\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%$ et $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%$). On a remarqué que quand l'amplitude grandissait deux fois la valeur du module de cisaillement diminuait environ 2.2 fois dans le cas des sols OC et 1.7 fois dans le cas des sols NC . En plus on a observé que pour le 1^{er} cycle (1sc) sans égard à la grandeur de l'amplitude et le niveau initial de déchargement, les différences entre les valeurs G_s , pour les études comparées, sont plus petites que celles du dernier cycle (10 sc). Cette remarque concerne les sols normalement consolidés et préconsolidés.

Les observations concernant l'influence du niveau initial de déchargement sur le caractère du courbe de rigidité sont différentes. Les sols NC à l'amplitude plus basse et

au chargement monotonique agissant plus longtemps (jusqu'à $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 1.5\%$) ont montré la valeur initiale G_s plus grande que pour $\varepsilon_{1,\text{decharg}} = 0.5\%$. Par rapport aux sols OC on a observé le phénomène inverse. Mais il faut souligner que les conditions d'études n'étaient pas identiques. Les sols préconsolidés ont été chargés par de cycles à l'amplitude plus élevée $A = 0.75\Delta q$ et la pression latérale plus petite $\sigma'_3 = 110$ kPa que les sols normalement consolidés ($A = 0.375\Delta q$, $\sigma'_3 = 310$ kPa).

Finalement on constate que les études présentées ci-dessus ont montré sans aucun doute certaines caractéristiques du sol cohésif soumis au chargement variable.

Les problèmes montrés dans cet article font une partie d'un cycle d'études plus large (JASTRZEBSKA [7]–[10]) consacré au comportement des sols cohésifs sous le chargement cyclique dans la zone de petites et modérées déformations et des travaux liés avec la modélisation mathématique (JASTRZEBSKA et ŁUPIEŻOWIEC [11]–[14], JASTRZEBSKA et STERNIK [15]).

RÉFÉRENCES

- [1] ANDERSEN K.H., *Behaviour of clay subjected to undrained cyclic loading*, Proc. BOSS '76, Trondheim, 1976, 1, 392–403.
- [2] ANDERSEN K.H., LAURITZEN R., *Bearing capacity for foundations with cyclic loads*, Proc. ASCE, J. Geot. Eng., 1988, Vol. 114, No. 5, 540–555.
- [3] BURLAND J.B., “*Small is beautiful*” – *the stiffness of soils at small strains*, 9th Bjerrum Memorial Lecture, Canadian Geotechnical Journal, 1989, Vol. 26, 499–516.
- [4] HARDIN B.O., DRNEVICH V.P., *Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects*, Journal of Soil Mechanics and Foundations Div. ASCE, 1972, Vol. 98, No. SM6, 603–623.
- [5] JARDINE R.J., *Some observations on the kinematic nature of soil stiffness*, Soils and Foundations, 1992, Vol. 32, No. 2, 111–124.
- [6] JASTRZEBSKA M., *Calibration and verification of one-surface elastoplastic soil model of strongly non-linear anisotropic strengthening*, PhD Thesis, Silesian University of Technology, Gliwice, 2002 (in Polish).
- [7] JASTRZEBSKA M., *Etude du comportement de sols cohésifs soumis aux chargements cycliques dans la zone de petites déformations*, Monographie, Publié par Ecole Polytechnique de Silésie, Gliwice, mars 2010.
- [8] JASTRZEBSKA M., *The influence of overconsolidation ratio on the „ G_s – ε_1 ” dependence for cyclic loading of cohesive soils in the range of small strains*, Studia Geotechnica et Mechanica, 2010, Vol. XXXII, No. 1, 17–28.
- [9] JASTRZEBSKA M., *The influence of selected parameters of cyclic process on cohesive soils shear characteristics at small strains*, Archives of Civil Engineering, 2010, LVI, No. 1, 89–107.
- [10] JASTRZEBSKA M., *The external and internal measurement effect on shear modulus distribution within cyclic small strains in triaxial studies on cohesive soil*, Int. Conf. on Experimental Mechanics ICEM14, European Physical Journal, EPJ Web of Conferences 6, 22014, published by EDP Sciences, July 2010.
- [11] JASTRZEBSKA M., ŁUPIEŻOWIEC M., *The effect of the rate on the cyclic strains in the cohesive soils in the light of theoretical and laboratory tests*, The 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 2005, 807–810.

- [12] JASTRZEBSKA M., ŁUPIEŻOWIEC M., *The influence of rate on cyclic strains for cohesive soils – theoretical and laboratory tests*, XIV Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Augustów, Scientific Papers of Białystok University of Technology, Augustów 2006, 28, 127–139 (in Polish).
- [13] JASTRZEBSKA M., ŁUPIEŻOWIEC M., *The influence of cyclic loading amplitude on the behaviour of cohesive soils – tests in a triaxial compression apparatus and numerical analysis*, XV National SM&SE Conference, Geotechnical and environmental problems taking into account expansive subsoils, UTP University Publishers, 43–50, Bydgoszcz, 2009 (in Polish).
- [14] JASTRZEBSKA M., ŁUPIEŻOWIEC M., *Les tassements des fondations par égard pour la variabilité des modules de Young*, 56 Conf. National KILiW PAN et KN PZiTB, Kielce–Krynica, 145–152, septembre 2010.
- [15] JASTRZEBSKA M., STERNIK K., *Application of elasto-plastic model with anisotropic hardening to analysis of cyclic loading of cohesive soil*, International Conference on Cyclic behaviour of soils and liquefaction phenomena, Bochum, Germany, 31 March–02 April 2004, 41–46.
- [16] KRIEGL H.J., WEISNER H.H., *Problems of stress-strain conditions in subsoil*, Proceedings of 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1973, Vol. 1, No. 3, 133–141.
- [17] MATASOVIC N., VUCETIC M., *Generalized cyclic-degradation-pore-pressure generation model for clays*, J. of Geotech. Eng., ASCE, 1995, Vol. 121, No. 1, 33–42.
- [18] MATSUI T., OHARA H., ITO T., *Cyclic stress-strain history and shear characteristics of clay*, J. of the Geotech. Eng. Div., ASCE, 1980, Vol. 106, No. GT10, 1101–1120.
- [19] WOOD D.M., *Laboratory investigations of the behaviour of soils under cyclic loading: a review*, Chapter 20, [in:] *Soil Mechanics – Transient and Cyclic Loads*, G.N. Pande, O.C. Zienkiewicz (editors), J. Wiley, New York, 1982, 513–582.