Influence de la saturation sur le comportement cyclique d'un sable

Hanbing BIAN¹, Tomoyoshi NISHIMURA², Ahmed ARAB¹, Isam SHAHROUR¹

1. Laboratoire de Mécanique de Lille (UMR 8107), France

2. Ashikaga Institute of Technology, Tochigi, Japan

RESUME. Cette communication présente les résultats des essais cycliques réalisés à la boite de cisaillement modifiée sur un sable ayant différents degrés de saturation pour différentes valeurs de la densité initiale et du niveau de la contrainte normale. L'analyse des résultats des essais réalisés montre que pour le sable étudié, le degré de saturation a un effet négligeable sur la réponse cyclique du sable.

MOTS-CLÉS : comportement cyclique; partiellement saturé; la boite de cisaillement modifiée.

ABSTRACT. This paper presents a laboratory investigation of the cyclic behaviour of sandy soil with different water saturation by using a modified cyclic direct shear test apparatus. The behaviour was investigated under cyclic loading with different normal stress; cyclic amplitude; initial density and soil suction. Experimental results show that the water suction has negligible influence on the cyclic behaviour of the sand.

KEYWORDS: cyclic mechanical behaviour; unsaturated soil; modified direct shear box.

1. INTRODUCTION

L'étude de l'influence de la saturation des sols sur la réponse sismique des ouvrages présente un intérêt majeur dans la construction dans les zones à haut risque sismique ayant des sols partiellement saturés(D.G. Fredlund, 1993; O.C. Zienkiewicz et al, 1999). En effet, dans ces zones le chargement sismique induit une augmentation de la pression d'eau qui peut conduire à une liquéfaction partielle avec éventuellement des risques d'instabilité. La liquéfaction, provoquée par les tremblements de terre ou les chargements cycliques, est un phénomène d'instabilité ou de perte de résistance qui peut avoir lieu sur un milieu granulaire saturé ou partiellement saturé. Elle se manifeste par une augmentation de la surpression interstitielle, qui est liée au comportement contractant de sol lors de l'application d'un chargement rapide c'est à dire non drainé.

Cette communication a pour but d'étudier le comportement cyclique du sable d'Hostun RF partiellement saturé. Ce sable est bien connu dans la communauté scientifique. L'accent sera mis sur l'influence d'un certain nombre de paramètres sur la liquéfaction, notamment le degré de saturation (la succion), le niveau de chargement, la densité initiale et le niveau de la contrainte normale.

2. MATERIAU UTILISE

Les essais sont réalisés sur le sable d'Hostun RF qui est considéré comme un matériau de référence dans de nombreux laboratoires en France. Pour ce sable, on dispose de nombreux résultes expérimentaux. Les caractéristique physiques de ce sable ont été déterminées dan notre laboratoire (Tableau 1) (M.A. Mahmoud, 1997 ; R. Bouferra 2000). Le sable a un diamètre moyen $D_{50}=0,471$ mm ; l'indice des vides peut varier entre 0,575 et 0,943 et la masse volumique des grains est de 2,654g/cm³. Pour noter étude deux cas ont été choisis : le sable moyennement dense (I_D=0,6) et le sable dense (I_D=0,9).

γ_{s} (g/cm ³)	$\gamma_{d \min}$ (g/cm ³)	$\gamma_{d \max}$ (g/cm ³)	e _{min}	e _{max}	D ₁₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	Cu
2,596	1,336	1,648	0,575	0,943	0,208	0,471	2,26

Tableau 1 : Caractéristiques du sable d'Hostun RF.

3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'étude a été réalisée à l'aide de la boite de cisaillement modifiée (Figure 1) qui permet de contrôler ou de mesurer le pression d'air et la pression d'eau. On mesure au cours de l'essai la force axiale, la force cisaillement, le déplacement axial et le déplacement latéral. Pour les essais sur des échantillons partiellement saturés, la pression d'eau et la pression d'air sont mesurées et contrôlées pour avoir un degré de saturation constant dans l'échantillon.



Figure 1 : Boite de cisaillement modifiée utilisée.

4. **PREPARATION DE L'ECHANTILLON**

Les échantillons ont été préparés selon trois cas (à sec, saturé et partiellement saturé) et à différentes densités initiales (moyennement dense et dense). Les échantillons secs sont été préparés directement dans la boite de cisaillement de diamètre D=60mm et de hauteur H=60mm. Dans le cas d'un sable moyennement dense, on dépose le sable, délicatement à l'aide d'un entonnoir et à une hauteur de chute quasi-nulle dans la boite de cisaillement. Dans le cas d'un sable dense, la densité initiale est obtenue par compactage de 4 couches successives, sur lesquelles on applique un nombre constant de coups en respectant le même rythme pour avoir la densité désirée. La hauteur désirée est de 37,62mm pour le cas d'un sable dense (I_D=0,9) et de 39,93mm pour le cas du sable moyennement dense (I_D=0,6).

Pour les échantillons saturés, après avoir rempli le moule (boite) avec du sable on fait circuler l'eau du haut vers le bas. La saturation d'échantillon est une étape importante dans la procédure expérimentale. Pour obtenir un bon degré de saturation, on utilise la technique du vide c'est-à-dire que notre échantillon sera soumis à une dépression pendant environ 40 minutes. Pour les échantillons partiellement saturés, on commence par préparer les échantillons saturés dans la boite de cisaillement dont le fond contient une pierre céramique qui laisse passer l'eau et pas l'air. Après saturation complète, on exerce une pression d'air et une pression d'eau simultanément pour avoir la succion désirée. On maintient ces pressions constantes jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint. Cette étape durera environ une semaine ; cela dépend de la perméabilité de la pierre céramique.

5. **RESULATS OBTENUS**

Deux types d'essais cycliques ont été réalisés. Un essai avec une contrainte normale constante et un second à volume constant. Les échantillons ont été préparés à sec ; puis soumis à différents degrés de saturation. La figure 2 montre les résultats des essais sur sable dense (I_D =0,9) en condition sec et saturée avec différentes amplitudes (0,7 et 1,00mm). On note que la présence de l'eau n'affecte que légèrement le comportement du sable dense.



Figure 2 : Variation du cisaillement en fonction du nombre de cycles ($I_D=0,9$).

La figure 3 montre la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du nombre de cycles pour les essais sur sable dense (I_D =0,9). On constate une faible différence pour les essais réalisés à 100kPa. Pour les essais à 200kPa, l'échantillon préparé à sec présente une résistance plus grande que celle de l'échantillon humide. Pour les essais à 300kPa, on remarque que l'échantillon sec présente une résistance plus grande pour les 5 premiers cycles, puis il présente une résistance plus faible que l'échantillon saturé.



Figure 3 : Variation du cisaillement en fonction du nombre de cycles ($I_D=0,9$).

La figure 4 montre les résultats des essais sur sable moyennement dense ($I_D=0,6$). On note que pour un confinement de 100kPa, l'échantillon saturé présente une faible résistance par rapport à celui préparé à sec. Tandis que pour le confinement à 200kPa, il n'y pas de différence notable entre les essais réalisés à sec et saturé.



Figure 4 : Variation du cisaillement en fonction du nombre de cycles ($I_D=0,6$).

La figure 5 présente l'évolution du déplacement vertical en fonction du nombre de cycles pour les essais réalisés sur des échantillons denses ($I_D=0,9$). On note que pour les trois niveaux de chargement, le déplacement vertical augmente avec le nombre de cycles. Pour 200kPa, les essais préparés à sec et

saturés ont le même comportement. Pour l'essai à 300kPa, l'échantillon préparé à sec et saturé présentent le même comportement pendant les premiers 5 cycles, ensuite l'échantillon initialement humide présente une déformation verticale plus grande que l'échantillon préparé à sec. La présence d'eau a une faible influence pour le confinement à 200kPa; tandis que pour le confinement à 300kPa, on note un effet de la saturation à partir du 5^{ème} cycle.



Figure 5 : Déplacement vertical en fonction du nombre de cycles (I_D =0,9)

La figure 6 montre l'évolution du déplacement vertical en fonction du nombre de cycles pour les échantillons moyennement denses (I_D =0,6). On remarque que l'essai saturé réalisé à 300kPa présente une déformation importante par rapport aux essais réalisés à 100kPa. On note que les essais préparés à sec et saturés présentent le même comportement.



Figure 6 : Déplacement vertical en fonction du nombre de cycles ($I_D=0,6$).

Une série d'essais à volume constant a été réalisée sur sable dense $(I_D=0,9)$ avec une contrainte normale initiale de 100 et 200kPa pour des niveaux de déplacements latéraux imposés (± 0,7 et ± 1mm). La figure 7 montre l'évolution de la contrainte normale au pic en fonction du nombre de cycles. On remarque que la contrainte normale diminue avec le nombre de cycles. On remarque également la faible influence de l'eau sur la réponse du sable. Le niveau de sollicitation a une influence plus prononcée au début du chargement. Le même phénomène est observé pour la contrainte de cisaillement (Figure 8).



Figure 7 : Contrainte normal moyenne au pic en fonction du nombre de cycles.



Figure 8 : Contrainte de cisaillement moyenne en fonction du nombre de cycles.

La figure 9 montre les résultats obtenus pour un sable moyennement dense ($I_D=0,6$). On remarque que la contrainte au pic diminue avec le nombre de cycles augmente avec un écart important au début du chargement. La contrainte au pic au début du chargement est de 60kPa pour le déplacement imposé (± 1 mm) et de 40kPa pour l'autre déplacement ($\pm 0,7$ mm) pour le premier cycle, au-delà du 8^{ème} cycles elle est de 10kPa et reste constante.

On a réalisé une autre série d'essais sur des échantillons partiellement saturés. La figure 10 montre les résultats des essais réalisés sur des échantillons secs et partiellement saturés (S=20kPa et S=40kPa). On note une petite influence de la succion sur le déplacement.



Figure 9 : Contrainte de cisaillement moyenne au pic en fonction du nombre de cycles.



Figure 10 : Déplacement verticale en fonction du nombre de cycles.

6. CONCLUSION

Cette communication a comporté une étude de l'influence de la saturation (succion) sur la réponse cyclique d'un sable. Les résultats des essais réalisés à différentes valeurs de la contrainte normale et d'amplitude du chargement montre que la succion a une faible influence sur la réponse cyclique du sable.

7. **BIBLIOGRAPHIE**

D.G. Fredlund, H. Rahardjo, Soil mechanics for unsaturated soils, 1993

- O.C. Zienkiewicz, A. H. C. Chan, M. Pastor, B. A. Schrefler, T. Shiomi, Computational Geomechanics, 1999
- M.A. Mahmoud, Etude en laboratoire du comportement des sables sous faibles contraintes, thèse de LML, USTL, 1997
- R. Bouferra, Etude en laboratoire de la liquéfaction des sols, thèse de LML, USTL, 2000