

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Essai de chargement horizontal de pieux très longs

Horizontal Loading Tests of very Long Piles

par J. FOLQUE, Ingénieur en Chef de la Section de Fondations du Laboratório Nacional de Engenharia Civil
et

G. DE CASTRO, Ingénieur Assistant du Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

Sommaire

Cette communication décrit un essai de chargement horizontal réalisé sur une semelle chargeant un ensemble de 18 pieux de 1 m de diamètre et d'une longueur voisine de 55 m. Le terrain autour des pieux était constitué par des alluvions, sableuses et argileuses, très déformables.

On ne peut pas interpréter les déplacements observés d'après les hypothèses courantes, surtout dans une première phase à faibles déplacements, à laquelle correspondrait un module d'élasticité du terrain extrêmement élevé ; cette phase est suivie presque sans transition par une autre à déplacements plus marqués, pour laquelle les modules d'élasticité du terrain atteignent les valeurs usuelles.

Dans le présent travail on décrit un essai de chargement horizontal réalisé sur une semelle d'appui du viaduc de Sacavem auprès de Lisbonne.

Il s'agit d'une semelle en béton armé, 25×7 m en plan et 2 m en hauteur, appuyée sur 18 pieux également en béton armé (système Benoto) de 1 m de diamètre et à peu près 55 m de longueur qui, traversant des vases, prennent une réaction de pointe sur une assise rocheuse constituée par du gravier et du calcaire. Une coupe schématique des terrains traversés ainsi que leurs caractéristiques déterminées par des essais de laboratoire sont présentées sur la Fig. 1 en même temps que l'esquisse du système essayé.

La semelle, coupée par son plan moyen, permettait l'introduction d'un vérin appliquant des forces horizontales, qui tendaient à écarter les deux moitiés de la semelle ; ces forces étaient mesurées à moins de ± 10 t près. On a employé deux systèmes pour mesurer les déplacements : les déplacements relatifs des deux demi-semelles étaient mesurés au moyen de deflectomètres avec une erreur de lecture de 0,01 mm ; cependant, compte tenu de possibles erreurs incontrôlables, l'erreur réelle serait un peu plus élevée mais on l'estime nettement inférieure à ± 0.1 mm. Les déplacements absolus étaient mesurés par une méthode géodésique au moyen d'un théodolite Wild T3, l'erreur de mesure étant estimée à $\pm 0,2$ mm.

Dans l'essai de chargement on a cherché à reproduire des sollicitations temporaires telles que le vent, les tremblements de terre ou le trafic intense et ainsi, à chaque échelon, la charge n'était appliquée que pendant le temps nécessaire à effectuer les lectures des appareils.

Le diagramme d'essai, représenté sur la Fig. 2, traduit les valeurs mesurées des déplacements relatifs des deux mi-semelles en fonction des forces appliquées. En réalité, on peut admettre que ces déplacements relatifs coïncident avec les déplacements absolus de la mi-semelle d'aval puisque, à la précision de mesure près, la mi-semelle d'amont ne semble pas avoir subi des déplacements.

Summary

The authors describe a horizontal loading test carried out on a footing resting on a group of 18 piles, each 1 m in diameter and approximately 55 m long.

The soil around the piles consisted of very soft sand and alluvial clay.

The displacements observed cannot be explained by current assumptions, notably as regards the initial first stage of small displacements corresponding to an exceptionally high modulus of elasticity. This phase is followed by much greater displacements, to which the usual values of elastic moduli will apply.

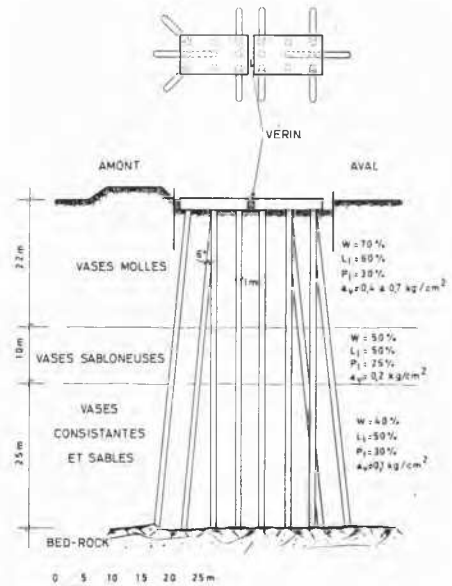


Fig. 1 Esquisse du système soumis à l'essai de chargement horizontal.

General arrangement of equipment during the horizontal load test.

Une analyse du diagramme montre que, jusqu'à la charge maximum appliquée pendant l'essai (335 t), on peut distinguer deux phases principales et une phase de transition,

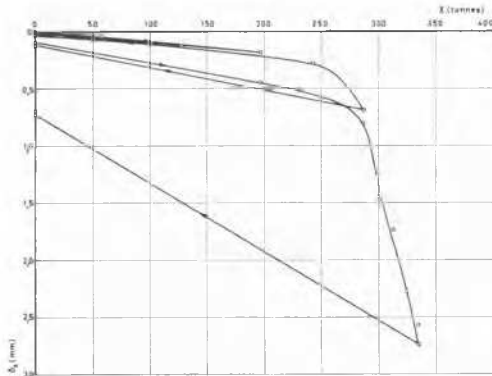


Fig. 2 Diagramme de l'essai de chargement horizontal.
Diagram of the horizontal load test.

Jusqu'à 250 t, le diagramme est rectiligne et il en est de même depuis, à peu près, 280 t; le raccordement entre ces deux droites auxquelles correspondent deux comportements différents du système s'établit dans l'intervalle 250-280 t.

Etant donné que, dans ce système, les pièces de la structure sont connues avec une bonne approximation, on sera à même de calculer les caractéristiques du terrain à partir des résultats des essais, moyennant l'emploi d'une méthode analytique, par exemple celle de Vésic*. Celle-ci, bien que établie pour des systèmes plans, permet la détermination des caractéristiques de déformabilité du sol environnant moyennant certaines simplifications parfaitement acceptables.

On peut obtenir assez aisément l'expression des déplacements (δ_x) en fonction des forces horizontales appliquées (X) et des caractéristiques du système.

$$\delta_x = \frac{8,98 X}{80,73 K_t - 0,44 \frac{K_t^2}{K_n} - 0,44 K_n}$$

$K_n = \frac{N}{u}$ étant déterminé au moyen, par exemple, d'un essai

de chargement axial (N représente la charge axiale et u le déplacement correspondant). Un essai (Fig. 3) a donné $K = 65$ t/mm et, en négligeant le terme en K_t^2 , on obtient

$$K_t = \frac{8,98 \frac{X}{\delta_x} + 2,85}{80,75} \quad (1)$$

expression au moyen de laquelle on peut déterminer K_t (caractéristique de la déformabilité horizontale).

Il est à remarquer que, si l'on admet à titre de simplification, que tous les pieux sont verticaux, l'essai réalisé est équivalent à un essai de détermination directe de K_t et, par conséquent

$$K_t = \frac{X}{9\delta_x} \quad (2)$$

Les deux expressions (1) et (2) aboutissent à des résultats très semblables, ce qui est raisonnable car les pieux inclinés sont presque verticaux.

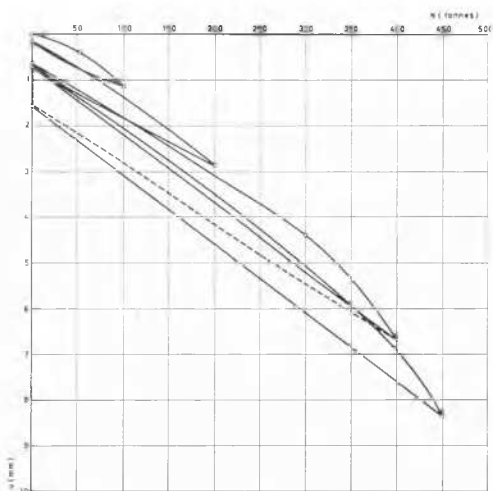


Fig. 3 Diagramme de l'essai de chargement vertical.
Diagram of the vertical load test.

Une application des expressions ci-dessus à la première branche rectiligne de l'essai de chargement (jusqu'à 250 t) fournit

$$K_t = 925 \text{ t/cm}$$

et une application à la seconde branche rectiligne (depuis les 280 t) en considérant des accroissements donne,

$$K_t = 28 \text{ t/cm.}$$

Une fois connu K_t , on peut déterminer le module d'élasticité du sol E_s au moyen de l'expression

$$K_t = 0,528dE_s \sqrt{\frac{E}{E_s}}$$

où d représente le diamètre du pieu ($= 100$ cm) et E , le module d'élasticité du béton ($= 3 \times 10^2$ t/cm²).

L'expression ci-dessus est une adaptation de la solution de Biot établie pour une poutre à longueur infinie sur un appui élastique semi-indéfini, sous l'action d'une charge concentrée.

Pour la première branche rectiligne de l'essai on obtient

$$E_s = 8 \text{ 600 kg/cm}^2$$

et pour la seconde branche rectiligne,

$$E_s = 100 \text{ kg/cm}^2$$

Les résultats précédents semblent tout à fait inattendus : un sol très tendre (tel que la vase en question) réagit à l'action de forces de très faible durée avec un module d'élasticité cent fois supérieur à la valeur usuelle et ce n'est qu'à partir de valeurs assez élevées de la force agissante que le module d'élasticité descend jusqu'aux valeurs courantes.

L'emploi de la solution de Chang, où l'on admet que le terrain résiste aux déplacements latéraux du pieu comme une série de ressorts, fournit

$$K_t = 1,41 K^{\frac{3}{2}} (EJ)^{\frac{1}{2}}$$

où $K = kd$, k (kg/cm³) étant le module de réaction du sol et J le moment d'inertie du pieu.

* Contribution à l'étude des fondations sur pieux verticaux et inclinés, Aleksander Vésic. Annales des Travaux Publics de Belgique, 6-1956.

Pour la première branche rectiligne, on obtient $k = 50 \text{ kg/cm}^3$ et pour la seconde $k = 0,465 \text{ kg/cm}^3$.

A partir de ces valeurs, on peut faire aisément un calcul approché moyennant lequel on conclut que les contraintes maximum sur le terrain peuvent monter jusqu'à environ $1,5 \text{ kg cm}^{-2}$ lorsque la force horizontale appliquée atteint 250 t .

On a cherché à faire confirmer ce résultat par des essais sur des palplanches enfoncées verticalement dans le sol.

L'essai est représenté schématiquement sur la Fig. 4. Les résultats obtenus sont assez imprécis; néanmoins, ils sont

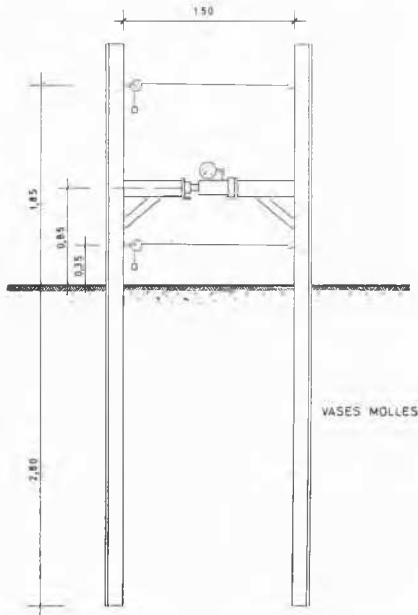


Fig. 4 Esquisse de l'essai de chargement horizontal sur des palplanches.

Outline of the horizontal load test on steel sheet piles.

compris entre les deux courbes de la Fig. 5 qui traduisent la variation du module de réaction des sols en fonction des contraintes appliquées. On a constaté, que pour des contraintes faibles, le module de réaction du sol est assez élevé, diminuant très vite à partir d'une certaine limite.

Des essais de laboratoire on a déduit aussi les modules d'élasticité du sol en fonction des contraintes appliquées; ces résultats sont présentés sur la Fig. 6, où les modules d'élasticité élevés, correspondant aux contraintes faibles, sont aussi indiqués.

La tendance du module de réaction à diminuer rapidement est ainsi confirmée, quoique cette chute ait lieu pour des valeurs variables, soit des modules d'élasticité du terrain soit des contraintes.

On a déjà entrepris un programme d'essais de laboratoire sur des pieux en modèle réduit, cherchant à éclaircir la question. Les premiers résultats (essais de chargement horizontal de pieux sur un terrain préparé, silto-argileux, très tendre)

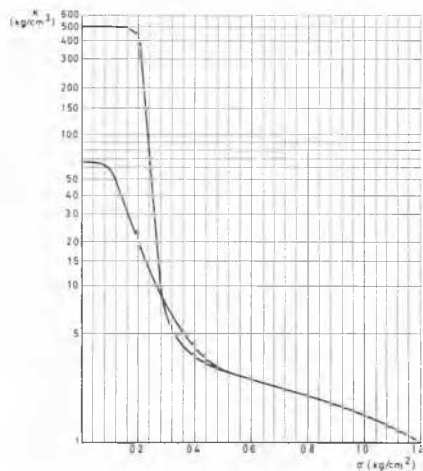


Fig. 5 Module de réaction du sol dans l'essai des palplanches. Coefficient of soil reaction in a test on sheet piles.

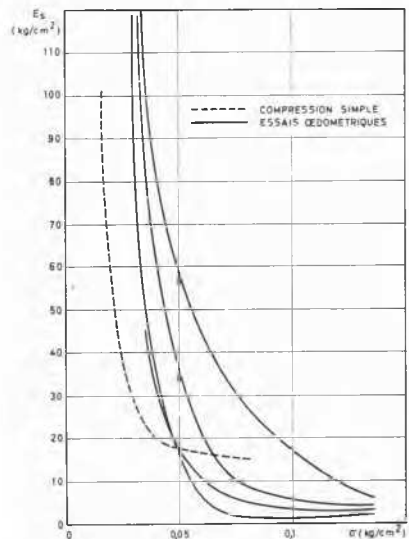


Fig. 6 Module d'élasticité du sol déduit d'essais de laboratoire. Moduli of elasticity of the soil obtained from laboratory tests.

n'ont pas confirmé l'existence d'un module d'élasticité initial très élevé. Cette valeur élevée résulte, peut-être, de la consolidation préexistante dans le terrain naturel, laquelle manquait dans le sol préparé au laboratoire.

On est, donc, en présence d'un domaine de recherche qui peut revêtir un grand intérêt dans le calcul des pieux sollicités par des forces horizontales temporaires.