

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.

Pieux de Fondations avec Grande Hauteur Libre

Foundation Piles with Great Free Length

par A. J. DA COSTA NUNES, Professeur à l'Escola Nacional de Engenharia, Ingénieur de Estacas Franki Ltda, Rio de Janeiro, Brazil

Sommaire

L'article décrit le type spécial de pieux partiellement recouverts d'un tube métallique et partiellement moulés dans le sol, utilisés dans un grand ensemble de ponts exécutés au Brésil.

Sont discutés brièvement les problèmes de l'érosion sur les piliers des ponts et celui du flambage de pieux de section variable, partiellement enterrés dans le sol, dont dépend la solution proposée.

Une telle solution est satisfaisante lorsqu'il n'est pas nécessaire de fonder les pieux à travers de grosses épaisseurs de terrain très résistant, mais que l'on peut prévoir leur érosion éventuelle.

Dans ce dernier cas, la facilité de l'exécution diminue et l'arrachage du tube sur une installation flottante est source de difficultés.

Introduction

Le Département autonome des routes du Rio Grande do Sul (DAER) Brésil, est en train de réaliser l'important chantier de la traversée du Delta du fleuve Jacui, en face de Porto Alegre.

L'extension totale de la traversée est de 11 km, dont 6 km de remblai sur du terrain compressible, exigeant l'utilisation de bermes et de drains de sable et 5 km de ponts.

La direction générale des travaux est à charge de l'ingénieur Antônio da Silva Froés Jr. chef de la Commission de la Traversée.

L'entrepreneur général est la firme Azevedo, Bastian, Castilhos S/A.

Les fondations des ponts sont à charge de la firme Estacas — Franki Ltda.

L'auteur est lié aux projets des fondations et des remblais.

Les Études de l'Érosion

Le problème de l'érosion des piliers de ponts préoccupe les ingénieurs d'une façon toujours croissante et l'étude a bien évolué depuis la discussion pionnière de Terzaghi, lors du 1^{er} Congrès (TERZAGHI, 1936).

Au Brésil, de nombreux accidents importants ont été provoqués par l'érosion, et ce n'est probablement pas une exception.

Le DAER a agi avec précaution en faisant étudier sur maquette le problème entier de la traversée, par le Laboratoire Neyrpic (Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique).

En réalité, outre le danger d'érosion, le problème des crues calamiteuses du fleuve Guaíba imposait l'étude sur modèle de l'influence de l'ouvrage sur le régime du fleuve.

Outre les enseignements précieux que cette étude a fournis, elle a permis la suppression d'un viaduc de 1 km et sa substitution par un remblai, ce qui représente une économie importante dans le travail.

L'étude sur maquette a montré que les profondeurs d'érosion atteignaient 9 m — créant ainsi des problèmes spéciaux pour les fondations.

La photographie Fig. 1 montre un détail impressionnant de l'étude sur modèle.

Pendant le projet et l'adjudication du travail, les études en

Summary

The paper describes a special type of cast-in-place pile having the upper part encased in a steel pipe. These piles are being employed in an important system of bridges in Brazil.

The problems of erosion around the bridge piers and buckling of the piles with a variable cross-section partly embedded in the ground were solved in the manner briefly described in the paper. The solution is satisfactory provided there is no necessity to drive piles through thick highly resistant layers which may, nevertheless, be susceptible to erosion. In that case the value of the method described is greatly diminished and the withdrawal of the tube with floating equipment is a source of difficulties.

question concernant l'érosion n'étaient pas encore terminées, ce qui a provoqué la nécessité de revoir le projet, étant donné que les longueurs libres des pieux atteignaient 17 m et les longueurs totales environ 30 m.

Le Calcul des Dimensions des Pieux, Tenant Compte du Flambage

Le calcul théorique de sécurité contre le flambage de pieux partiellement immergés dans le sol n'est pas encore complètement établi.

En prenant comme base l'hypothèse de la proportionnalité entre la déformation latérale du terrain et la charge appliquée, utilisée initialement dans les théories de la poutre sur appui élastique, quelques chercheurs tels que GRANHOLM (1929), CUMMINGS (1938), RATZERSDORFER (1936), TIMOSHENKO (1936), BELLUZZI (1950) et VAN LANGENDONCK (1954), ont développé des méthodes de calcul du flambage des pieux.

De telles méthodes ont été établis seulement pour des pieux isolés supposés soit totalement soit partiellement enterrés dans le sol, et de longueur indéfinie.

En tenant compte du problème du Guaíba, J. Tepedino, de notre équipe, a étudié le problème du flambage des pieux pour n'importe quelles conditions d'extrémité, partiellement immergés dans le sol, d'inertie variable et longueur définie.

La méthode consiste à partir de la condition de flambage du pieu ayant une longueur enterrée infinie:

$$\tan(aL) = 2\alpha a \frac{2\alpha^3 L - n^2 a^2}{4\alpha^4 + n^2 a^2 (4\alpha^3 L + 4\alpha^2 - n^2 a^2)}$$

dans laquelle

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{KB_n}{4EI_n}} \quad n = \sqrt{\frac{I}{I_n}} \quad a^2 = \frac{P_{fl}}{EI}$$

$$C = 2\alpha^2 \frac{1 + \alpha L}{2\alpha^3 L - n^2 a^2}$$

étant donné que P_{fl} est la charge critique de flambage, L la longueur au-dessus du niveau du sol, I et I_n , B et B_n les moments d'inertie et diamètres de la partie hors du sol et de la partie enterrée et K le coefficient d'affaissement horizontal.

On calcule alors une première valeur des coefficients a , α et C

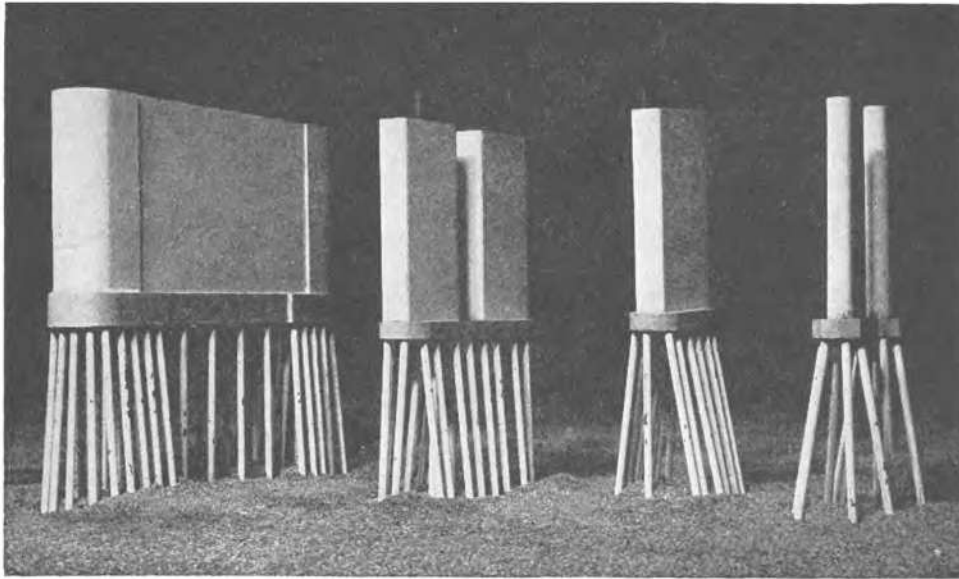


Fig. 1 Pieux déterrés: Photo du rapport R 4004 du Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique — Neyrpic
Exposed piles: Photograph from report R4004 of the Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique—Neyrpic

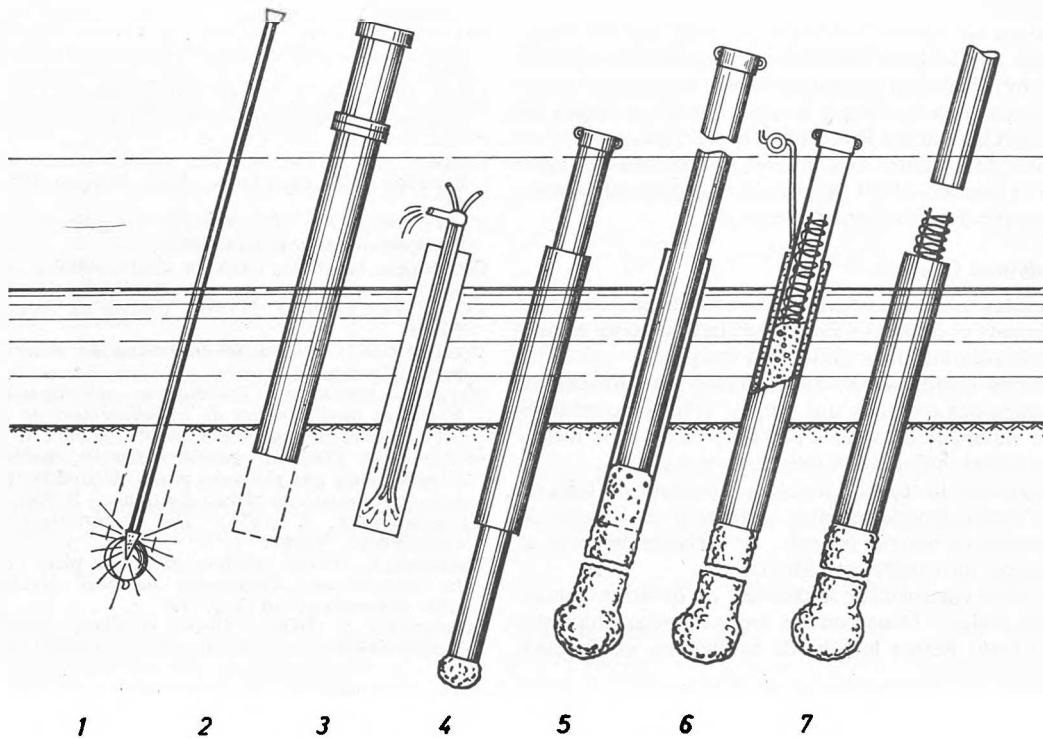


Fig. 2 Phases d'exécution des pieux

- (1) Perforation préalable du sol
- (2) Fonçage du fourreau perdu
- (3) Nettoyage du fourreau
- (4) Fonçage du tube Franki
- (5) Exécution du fût moulé dans le terrain
- (6) Bétonnage à l'intérieur du fourreau et remplissage du vide entre les tubes avec du mortier injecté
- (7) Pieu terminé

Execution phases of the piles

- (1) Preliminary boring of soil
- (2) Driving the permanent tube
- (3) Blowing cut soil from tube
- (4) Driving of Franki tube
- (5) Formation of cast-in-place pile shaft
- (6) Concreting of pipe and grouting of annular space between the tubes
- (7) Completed pile

que l'on reporte dans les équations du pieu ayant une longueur enterrée prédéterminée.

Les équations n'étant pas vérifiées, on procède par tentatives jusqu'à obtenir des valeurs raisonnablement approximatives.

La méthode est une généralisation de celle employée par BELLUZZI (1950).

La première critique concernant les méthodes de calcul existantes est au sujet de l'hypothèse de la réaction du sol.

Cette hypothèse est sciemment inexacte et constitue la cause des défauts des théories courantes de la poutre sur appui élastique.

Le sujet a déjà fait l'objet de nombreux travaux, et a déjà été discuté à l'occasion du 2^e Congrès (COSTA NUNES, 1948).

Des résultats expérimentaux confirment cependant, qualitativement, les résultats de la théorie pour le cas de pieux totalement enterrés dans le sol. De nombreuses expériences, parmi lesquelles celles citées par Loos (1934) et exécutées à Göteborg, montrent que le danger du flambage des pieux est extrêmement improbable dans ces conditions et avec les taux courants d'utilisation des matériaux.

Cependant, dans le cas de pieux partiellement enterrés, les résultats expérimentaux manquent.

La seconde critique concerne le fait qu'on considère le cas d'un pieu isolé pour le calcul de la résistance au flambage de pieux appartenant à des blocs exécutés avec de nombreux pieux.

Ainsi que dans les blocs de pieux de fondations de ponts et de travaux hydrauliques, les sollicitations maxima ne se produisent pas dans les mêmes cas de charge pour tous les pieux, les pieux sujets au flambage représentent toujours une fraction du nombre total. Dans ces conditions le bloc sur pieux, d'après la disposition de ceux-ci, pourra fournir aux pieux sujets au flambage un lien hautement favorable à la stabilité.

Ce problème qui, à notre avis, n'a été abordé que de façon incomplète (ALBRECHT, 1947) ne peut être séparé de la conception statistique du coefficient de sécurité.

Type de Fondations Choisies

Étant donné les valeurs des charges, la profondeur à atteindre par les fondations et le délai d'exécution, la fondation recommandée était la solution d'une fondation sur pieux.

Les conditions techniques et économiques conduisirent au projet des fondations en pieux dits 'tubés' (Fig. 2), constitués d'un tronçon supérieur bétonné à l'intérieur d'un tube métallique, avec la partie inférieure moulée dans le sol.

Avant l'exécution du tronçon moulé à l'intérieur du tube de revêtement, l'espace annulaire entre ce tronçon et le tube de fonçage fut rempli de mortier injecté. Le mélange de béton et de mortier injecté fut entièrement satisfaisant.

Le type de pieu employé sur le chantier en question n'avait pas encore été utilisé. Dans l'un des types de pieux employés jusqu'alors (*Franki Revue*) le tube de revêtement perdu était

le tube de fonçage lui-même (ponts sur le Rhin à Wesel, à Dusseldorf-Hann et Dusseldorf-Oberkassel); la tôle était placée à l'intérieur du tube de fonçage et soudée à l'armature du pieu (pont de Jacarehi, Brésil). Dans d'autres types le tube de fonçage est amené jusqu'à la côte de base, celle-ci est exécutée et un tube est placé à l'intérieur du premier et ancré dans la base, ensuite on retire le tube de fonçage (pieu mixte-tubé Franki).

Les pieux employés pour le chantier de la traversée du Guaíba auront des charges de travail légèrement supérieures à 100 t.

Résultats

La solution s'est révélée satisfaisante pour autant que l'on n'ait pas cherché à foncer les pieux au delà des longueurs recommandées pour la résistance du sol.

Lorsqu'il est nécessaire de foncer des pieux à travers de grandes épaisseurs de terrain très résistant, mais susceptible d'être érodé, le rendement du procédé diminue radicalement et l'arrachage du tube sur une installation flottante est une source de difficultés.

Dans ce cas, il est préférable d'exécuter la partie inférieure du pieu qui pénètre dans le terrain très résistant, soit avec un tube perdu soit avec des profilés métalliques.

Références

- ALBRECHT (1947). Beitrage zur Festlegung der Knickklänge eines Einzelpfahles mehrreihiger Pfahljoche. *Bautechn.*, 24, Heft 3
- BELLUZZI, O. (1950). Calcolo semplificato dei pilastri parzialmente interrati e caricati di punta. *Giornale del Genio Civile*, Anno 88^o, Fasc. 11^o
- COSTA NUNES, A. J. (1948). Stress distribution. *Proc. 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 4
- CUMMINGS, A. E. (1938). The stability of foundation piles against buckling under axial load. *Proc. Highway Res. Board*, 18, Pt. 2, 112
- Franki Revue*, No. 59 — (1947). L'application des pieux Franki tubés aux fondations en rivière
- GRANHOLM, H. (1929). On the elastic stability of piles surrounded by a supporting medium. *Svenska Bokhandelscentralen, Stockholm*
- VAN LANGENDONCK, T. (1954). *Cálculo de Concreto Armado*. São Paulo
- LOOS, W. (1937). *Praktische Anwendung der Baugrunduntersuchungen*. Berlin; Springer
- NEYRPC-LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE, *Rio Jacuí, Étude sur modèle réduit du franchissement du Delta*. Étude des débouchés et du creusement des lits mineurs. R 3957
- *Rio Jacuí, Étude sur modèle réduit du franchissement du Delta*. Afouillements aux pieds des piles. Creusement des lits consécutif à un abaissement du niveau des crues. R 4004
- RATZERSDORFER, J. (1936). *Die Knickfestigkeit von Stäben und Stabwerken*. Vienna
- TERZAGHI, K. (1936). Failure of bridge piers due to scour. *Proc. 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 2, p. 264
- TIMOSHENKO, S. (1936). *Theory of Elastic Stability*. New York; McGraw-Hill