

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.

Calcul et Essais des Pieux en Groupe

Theoretical Considerations and Tests on Pile Groups

by Z. RADOSAVLJEVIĆ, Ing., Institut Hydrotechnique 'Ing. Jaroslav Černi', Belgrade, Yugoslavia

Sommaire

L'auteur traite l'ensemble des problèmes du calcul des pieux en groupe sous un bloc rigide de fondation, en basant sa théorie des pieux en milieu elasto-plastique, sur les résultats des essais précédents. Utilisant les valeurs expérimentales observées sous des déformations axiales et transversales, et considérant le pieu comme une longue poutre dans un milieu élastique, des rapports directs ont été établis entre les forces agissant dans la section de la tête du pieu et les déplacements (u , v et w) du bloc de fondation. La condition d'équilibre entre les forces extérieures et les forces par lesquelles le pieu agit sur le bloc de fondation permet la formation d'un système d'équations linéaires 12 à l'aide des inconnues u , v et w , et les forces qui se rapportent à des sections dans la tête du pieu ont été données par les expressions 7, 8 et 9, respectivement 17, 18 et 19. Le rapport présente les résultats des recherches effectués sur des pieux d'essai (Figs. 7 et 8) ainsi que les résultats des essais sur une paire de pieux obliques (Fig. 9).

Signification des Termes Employés

ρ_i = déplacement axial de la tête du pieu

ξ_i = déformation transversale de la tête du pieu

N_i , Q_i , M_i = forces d'intersection dans la tête du pieu (force perpendiculaire, force transversale et moment de flexion)

$L = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{bc}}$ = longueur caractéristique du pieu

b = largeur de la surface dans le plan d'action des forces extérieures

c = coefficient de la résistance du sol (t/m³)

l = longueur du pieu

Il est d'un intérêt essentiel dans la pratique de l'ingénieur, dans le cas des fondations d'ouvrages sur pilotis, de connaître la répartition des forces dans les pieux, spécialement dans le cas des fondations qui transmettent des forces horizontales considérables. Il est nécessaire de connaître le partage des forces dans les pieux pour recevoir de grandes forces transversales, et ceci afin de réaliser une répartition des pilotis sous les fondations, techniquement correcte et la plus économique possible.

Le calcul proposé est fondé sur les prémisses suivantes: on considère le bloc de fondation transmettant les forces au pieu comme absolument rigide, les déformations du pieu comme petites en proportion de ses dimensions le comportement pieu, enfoncé dans un milieu elasto-plastique, peut être caractérisé par des constantes mécaniques obtenues par des recherches sur un ou plusieurs pieux d'essai.

Les recherches effectuées sur les pieux d'essai ont montré l'existence d'une relation entre les forces de pression d'arrachage du pieu et les déplacements axiaux du pieu; cette relation peut être représentée par le diagramme de la Fig. 1. Dans le domaine des charges (N_p , e) pouvant être appliquées au pieu, cette relation peut être remplacée par le rapport linéaire donné par l'équation

$$\rho_i = \frac{N_i r_i}{bc} \quad \dots (1)$$

Summary

The author discusses the problem of the behaviour of groups of piles under a rigid foundation block, basing his premises on the behaviour of piles in an elasto-plastic medium determined from the results of previous tests. By using experimental values for the behaviour of piles under axial and transversal deformations and considering the pile as a long girder in an elastic medium, direct relations have been established between the forces in the pile heads and the displacements (u , v and w) of the foundation block. The conditions of equilibrium between external forces and the forces which cause the pile to act on the foundation block allow the formation of a system of linear equations 12 with the unknowns u , v and w , so that the forces in the pile head are given by the expressions 7, 8 and 9, or respectively 17, 18 and 19. The paper presents the results of investigations on test piles (Figs. 7 and 8) as well as test results of a pair of raking piles (Fig. 9).

ou bien

$$r_i = \frac{\rho_i bc}{N_i} \quad \dots (1a)$$

où ρ_i est l'enfoncement ou bien l'élévation du pieu sous la force correspondante N_i , et r_i le coefficient caractérisant la loi de l'enfoncement ou l'élévation du pieu sous la force N_i . La linéarité du rapport entre la force axiale de pression, ou de tension dans le pieu et son déplacement dans la direction de la force étant différente, nous supposons que $r_i = K$ si la force N_i est une force de pression, et si la force N_i est une force de tension, on aura $r_i = p$.

Les déformations de la tête du pieu sous la charge de la force

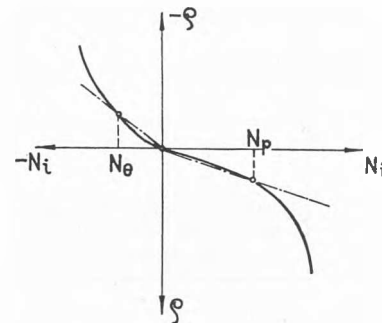


Fig. 1

transversale Q_0 et le moment M_0 au bout du pieu sont prises comme pour une poutre de longueur infinie sur une base élastique. D'après la Fig. 2 on aura donc

$$\xi_{x=0} = \frac{2Q_0}{Lbc} + \frac{2M_0}{L^2bc} \quad \dots (2)$$

$$\theta_{x=0} = \frac{d\xi}{dx} = \frac{2Q_0}{L^2bc} + \frac{4M_0}{L^3bc} \quad \dots (3)$$

On peut constater de même, sur la base des recherches ci-dessous, l'existence de la linéarité des rapports entre la force transversale Q_0 et la déformation linéaire mesurée $\xi_{x=0}$ ou bien $\theta_{x=0}$, et dans le domaine des charges confiées au pieu, ce rapport peut être exprimé par l'équation 2 et 3. On peut déterminer par ces équations le coefficient de la résistance du sol.

$$c = \sqrt[3]{\frac{(2Q_0)^4 b}{b\xi}} \frac{b}{4EJ} \dots (4a)$$

ou bien

$$c = \left(\frac{2Q_0}{b\theta}\right)^2 \frac{b}{4EJ} \dots (4b)$$

où Q_0 = une force transversale connue, chargeant le pieu à l'emplacement $x = 0$; ξ = la déformation transversale mesurée à l'emplacement où agit la force transversale; θ = l'inclinaison mesurée de la ligne élastique à l'endroit $x = 0$.

En se basant sur les recherches effectuées sur un ou plusieurs pieux d'essai, il est toujours possible de trouver, à l'aide des équations 1, 4a et 4b, les constantes mécaniques $K(1/m)$, $p(1/m)$ et $c (t/m^3)$ pour un pieu donné, de section transversale adoptée, de longueur déterminée ainsi que pour un sol déterminé. Il est possible, avec des valeurs expérimentales des constantes mécaniques ainsi trouvées, d'effectuer le calcul des

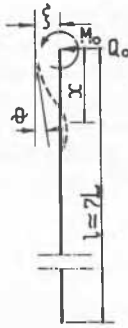


Fig. 2

forces transversales dans les pilotis sous un bloc rigide de fondation sollicité par des forces extérieures.

Soit un système de coordonnées Oxy (Fig. 3) rattaché à un bloc de fondation sur pilotis donné i . Les déplacements du bloc de fondation sous l'influence des forces externes peuvent être décrits par les valeurs u, v et w ; où u = le déplacement de l'origine du système des coordonnées dans la direction de l'axe x ; considéré comme positif dans le sens de l'axe x positif; v = déplacement de l'origine des coordonnées dans la direction de l'axe y ; considéré comme positif dans le sens y ; w = la rotation du bloc de fondation; considérée comme positive dans le sens pour lequel le demi-axe x positif, en tournant de $\pi/2$ autour de 0, se confondra avec le demi-axe y positif.

Les inclinaisons des pieux sont données par α_i et peuvent être $\alpha_i \geq 0$ (Fig. 3).

Les déplacements ρ_i et ξ_i du centre du gravité de la section transversale de la tête du pieu dans la direction axiale du pieu et perpendiculairement à la direction du pieu sont données par les expressions (Fig. 4)

$$\begin{aligned} \rho_i &= v_i \cos \alpha_i + u_i \sin \alpha_i \\ \xi_i &= u_i \cos \alpha_i - v_i \sin \alpha_i \end{aligned} \dots (5)$$

L'angle w étant très petit, on admet que $\sin w = \tan w = w$, et les déplacements des têtes des pieux à la distance x_i et y_i de l'origine des coordonnées et dans la direction de l'axe x et y sont par conséquent donnés par

$$\begin{aligned} u_i &= u - wy_i \\ v_i &= v + wx_i \end{aligned} \dots (6)$$

et les équations 5 prennent la forme

$$\begin{aligned} \rho_i &= v \cos \alpha_i + u \sin \alpha_i + wx_i \cos \alpha_i - wy_i \sin \alpha_i \\ \xi_i &= u \cos \alpha_i - v \sin \alpha_i - wx_i \sin \alpha_i - wy_i \cos \alpha_i \end{aligned} \dots (5a)$$

Des relations directes peuvent être facilement établies entre les forces dans la section N_i, Q_i et M_i (Fig. 4) dans la tête du pieu et les déplacements u, v et w . En partant des équations 1

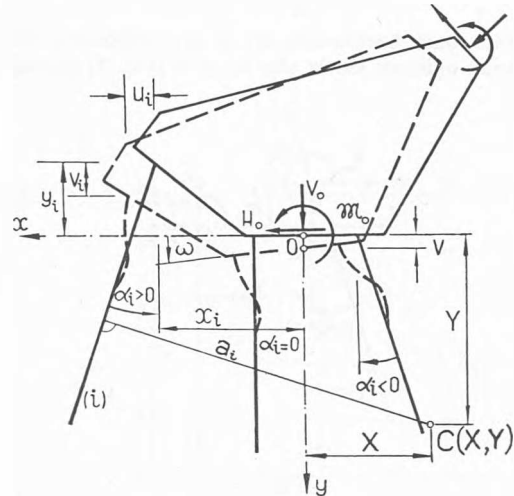


Fig. 3

et 5a on obtient l'expression suivante pour la force normale dans le pieu

$$\begin{aligned} N_i &= \frac{bc}{r_i} \rho_i \\ &= \frac{bc}{r_i} (v \cos \alpha_i + u \sin \alpha_i + wx_i \cos \alpha_i - wy_i \sin \alpha_i) \end{aligned} \dots (7)$$

Dans cette étude on prendra le cas où les pieux sont disposés symétriquement au plan de l'action des forces extérieures et

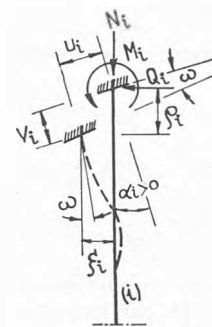


Fig. 4

encastrés dans le bloc de fondation, de façon que la rotation des têtes de tous les pieux est la même et égale à w . Les expressions pour la force transversale Q_i et le moment M_i dans la tête du pieu i peuvent être écrites comme suit en partant des équations 2, 3 et 5a d'après la Fig. 4

$$\begin{aligned} Q_i &= Lbc \left(\xi_i - \frac{Lw}{2} \right) \\ &= Lbc \left(u \cos \alpha_i - v \sin \alpha_i - wx_i \sin \alpha_i - wy_i \cos \alpha_i - \frac{Lw}{2} \right) \end{aligned} \dots (8)$$

$$\begin{aligned}
M_i &= -\frac{L^2bc}{2}(\xi_i - Lw) \\
&= -\frac{L^2bc}{2}(u \cos \alpha_i - v \sin \alpha_i - wx_i \sin \alpha_i \\
&\quad - wy_i \cos \alpha_i - Lw) \dots (9)
\end{aligned}$$

ou bien

$$M_i = -\frac{L}{2}(Q_i - w \frac{L^2bc}{2}) \dots (9a)$$

La composante horizontale H_i et la composante verticale V_i des forces agissant sur la tête du pieu (Fig. 5) peuvent être

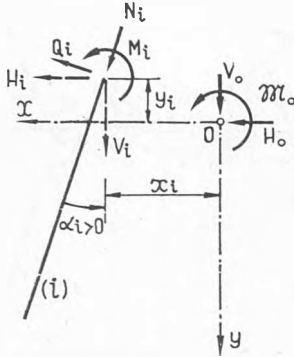


Fig. 5

exprimées facilement à l'aide des déplacements u et v et de la rotation w par les équations:

$$\begin{aligned}
H_i &= Q_i \cos \alpha_i + N_i \sin \alpha_i \\
&= Lbc \left\{ u \left(\frac{1}{Lr_i} \sin^2 \alpha_i + \cos^2 \alpha_i \right) \right. \\
&\quad + v \left(\frac{1}{Lr_i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i - \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right) \\
&\quad + w \left[\frac{1}{Lr_i} (x_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i - y_i \sin^2 \alpha_i) - y_i \cos^2 \alpha_i \right. \\
&\quad \left. \left. - x_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i - \frac{L}{2} \cos \alpha_i \right] \right\} \dots (10)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_i &= -Q_i \sin \alpha_i + N_i \cos \alpha_i \\
&= Lbc \left\{ u \left(\frac{1}{Lr_i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i - \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right) \right. \\
&\quad + v \left(\frac{1}{Lr_i} \cos^2 \alpha_i + \sin^2 \alpha_i \right) \\
&\quad + w \left[\frac{1}{Lr_i} (x_i \cos^2 \alpha_i - y_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i) \right. \\
&\quad \left. \left. + y_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i + x_i \sin^2 \alpha_i + \frac{L}{2} \sin \alpha_i \right] \right\} \dots (11)
\end{aligned}$$

Sous l'influence des forces extérieures H_0 , V_0 et M_0 et des forces $-H_i$, $-V_i$ et $-M_i$ par lesquelles le pieu i agit sur le bloc de fondation, ce bloc doit se trouver en équilibre. Les conditions $\Sigma X = 0$, $\Sigma Y = 0$ et $\Sigma M = 0$ pour toutes les forces agissant sur le bloc, peuvent être écrites sous la forme

$$\begin{aligned}
ua_{uw} + va_{uv} + wa_{uw} - H_0 &= 0 \\
ua_{vu} + va_{vv} + wa_{vv} - V_0 &= 0 \\
ua_{wu} + va_{wv} + wa_{ww} - M_0 &= 0
\end{aligned} \dots (12)$$

Les équations 12 représentent un système de trois équations linéaires non homogènes avec les inconnues u , v et w , où les coefficients accompagnant les inconnues ont les formes suivantes:

$$a_{uu} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} \sin^2 \alpha_i + \cos^2 \alpha_i$$

$$\begin{aligned}
a_{vu} = a_{uv} &= Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i - \sin \alpha_i \cos \alpha_i \\
a_{wv} = a_{vw} &= Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} (x_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i - y_i \sin^2 \alpha_i) \\
&\quad - y_i \cos^2 \alpha_i - x_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i - \frac{L}{2} \cos \alpha_i \dots (13)
\end{aligned}$$

$$a_{vv} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} \cos^2 \alpha_i + \sin^2 \alpha_i$$

$$\begin{aligned}
a_{vw} = a_{wv} &= Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} (x_i \cos^2 \alpha_i - y_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i) \\
&\quad + y_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i + x_i \sin^2 \alpha_i + \frac{L}{2} \sin \alpha_i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{ww} &= Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} (x_i \cos \alpha_i - y_i \sin \alpha_i)^2 \\
&\quad + (x_i \sin \alpha_i + y_i \cos \alpha_i)^2 \\
&\quad + L(x_i \sin \alpha_i + y_i \cos \alpha_i) + \frac{L^2}{2}
\end{aligned}$$

Ayant trouvé les coefficients accompagnant les inconnues par les équations 13 et par la solution des équations linéaires 12, on obtient les déplacements u , v ainsi que la rotation w et on détermine la force perpendiculaire correspondante dans le pieu N_i , la force transversale Q_i et le moment M_i dans la tête du pieu par les équations 7, 8 et 9 respectivement 9a.

En utilisant la relation connue entre les coordonnées du centre de rotation et les déplacements correspondants d'un corps rigide dans le plan Oxy où les coordonnées du centre de rotation sont données par

$$X = -\frac{v}{w} \quad \text{et} \quad Y = \frac{u}{w} \dots (14)$$

les équations 12 peuvent être écrites sous la forme

$$\begin{aligned}
-w[-Ya_{uu} + Xa_{uv} - a_{uw}] &= H_0 \\
-w[-Ya_{vu} + Xa_{vv} - a_{vw}] &= V_0 \\
-w[-Ya_{wu} + Xa_{wv} - a_{ww}] &= M_0
\end{aligned} \dots (15)$$

Par l'introduction de l'expression

$$e = \frac{M_0}{V_0} \quad \text{et} \quad f = \frac{H_0}{V_0}$$

le système des équations linéaires 15 est réduit aux équations linéaires avec les inconnues X et Y

$$\begin{aligned}
Y(a_{wu} - ea_{vu}) - X(a_{wv} - ea_{uv}) &= ea_{vw} - a_{ww} \\
Y(a_{uu} - fa_{wu}) - X(a_{uv} - fa_{vv}) &= fa_{vw} - a_{uw}
\end{aligned} \dots (16)$$

Il est facile de déterminer l'angle de rotation w par une équation quelconque 15.

Connaissant les coordonnées du centre de rotation X et Y ainsi que l'angle de rotation w , il est possible de dériver les déplacements u et v directement des équations 14.

On peut trouver les forces correspondantes dans la section de la tête du pieu au moyen des équations mentionnées ci-dessus 7, 8 et 9, ou 9a; ou bien on peut, en utilisant les coordonnées du centre de rotation X et Y ainsi que l'angle de rotation w , trouver les expressions pour les forces dans la section, obtenues par les équations 14 et les équations 7, 8 et 9.

$$N_i = \frac{bc}{r_i} wa_i \dots (17)$$

$$Q_i = Lbcw \left[\frac{Y - y_i}{\cos \alpha_i} - a_i \tan \alpha_i - \frac{L}{2} \right] \dots (18)$$

$$M_i = -\frac{L^2bc}{2} w \left[\frac{Y - y_i}{\cos \alpha_i} - a_i \tan \alpha_i - L \right] \dots (19)$$

où

$$a_i = (-X + x_i) \cos \alpha_i + (Y - y_i) \sin \alpha_i$$

L'encastrement du pieu dans le bloc de fondation peut souvent être élastique ou on peut adopter un joint articulé. Dans ce dernier cas les expressions ci-dessus reçoivent une

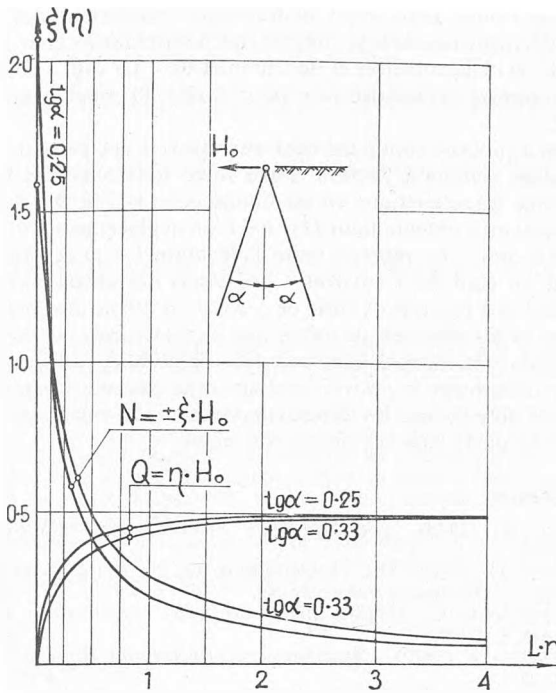


Fig. 6

forme plus simple, et les coefficients des inconnues dans les équations 12 et 15 deviennent:

$$a_{uu} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} \sin^2 \alpha_i + \frac{\cos^2 \alpha_i}{2}$$

$$a_{uv} = a_{vu} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i - \frac{\sin \alpha_i \cos \alpha_i}{2}$$

$$a_{uw} = a_{wu} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} (x_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i - y_i \sin^2 \alpha_i) - \frac{y_i \cos^2 \alpha_i}{2} - \frac{x_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i}{2}$$

$$a_{vv} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} \cos^2 \alpha_i + \frac{\sin^2 \alpha_i}{2} \dots (18a)$$

$$a_{vw} = a_{wv} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} (x_i \cos^2 \alpha_i - y_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i) + \frac{1}{2} y_i \sin \alpha_i \cos \alpha_i + \frac{1}{2} x_i \sin^2 \alpha_i$$

$$a_{ww} = Lbc \sum_i \frac{1}{Lr_i} (x_i \cos \alpha_i - y_i \sin \alpha_i)^2 + \frac{1}{2} (x_i \sin \alpha_i + y_i \cos \alpha_i)^2$$

Pour déterminer la force normale à la section de la tête du pieu, on utilise les expressions 7 ou bien 17. L'expression pour la force transversale a la forme

$$Q_i = \frac{Lbc}{2} (u \cos \alpha_i - v \sin \alpha_i - wx_i \sin \alpha_i - wy_i \cos \alpha_i) \dots (18b)$$

respectivement

$$Q_i = \frac{Lbc}{2} w \left[\frac{Y - y_i}{\cos \alpha_i} - a_i \tan \alpha_i \right] \dots (18c)$$

Connaissant les forces dans la section de la tête du pieu, il est possible, en se basant sur des essais effectués sur un ou plusieurs pieux, d'établir un critère pour la force portante utile des pieux, tant pour la force axiale N_i dans le pieu i que pour la force transversale Q_i et le moment M_i . Le critère de la grandeur Q_i et M_i dans la tête du pieu sera déterminé par la condition que le moment maximum dans le pieu soit dans les limites de la tension admissible utile du matériau. Pour le calcul du moment maximum il suffit d'utiliser avec précision la

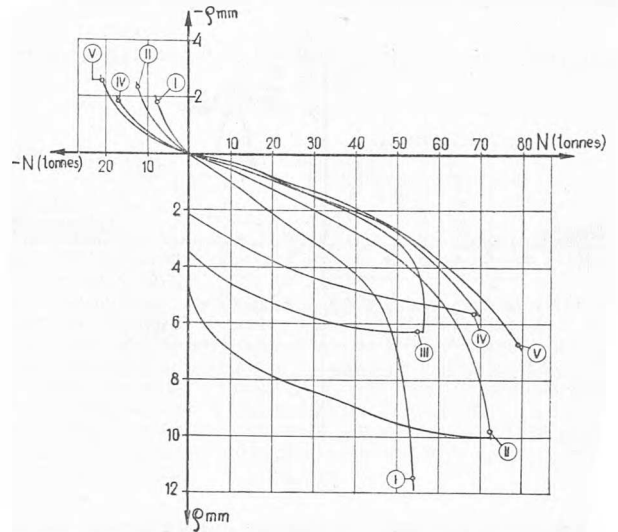


Fig. 7

théorie classique du calcul de la poutre longue sur base élastique, chargée à une extrémité par Q et M .

Il est d'un intérêt spécial de connaître le pouvoir portant d'un groupe de pieux soumis à l'action d'une force horizontale. Les résultats obtenus au cours du calcul d'un système de pieux montrent que les pieux atteignent leur plus grande rigidité contre les déplacements horizontaux dans le cas où des paires de pieux obliques sont attachées ensemble. La Fig. 6 montre

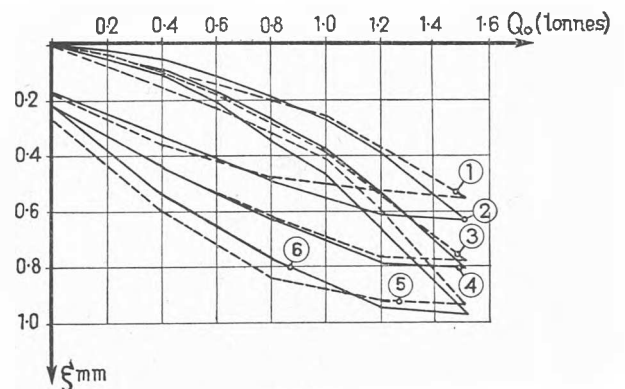


Fig. 8

le diagramme du pouvoir portant d'une paire de pieux obliques dans le cas où leurs têtes seraient attachées par une articulation en fonction Lr , en supposant que la constante mécanique $r = K = p$ soit la même pour un pieu comprimé que pour un pieu tendu. Les fonctions ξ et η ont la forme simple

$$\xi = \frac{\sin \alpha}{Lr \cos^2 \alpha + 2 \sin^2 \alpha} \quad \text{et} \quad \eta = \frac{1}{2} \frac{Lr}{Lr \cos \alpha + 2 \tan \alpha \sin \alpha}$$

Le diagramme ci-dessus montre que les efforts normaux dans

le pieu décroissent rapidement quand la variable Lr croît. Comme

$$Lr = \frac{r}{c^{0.25}} C$$

où C est une grandeur dépendant du matériau et de la forme géométrique du pieu, on voit que le diagramme de la Fig. 6 donne la modification des forces du pieu en fonction du rapport des constantes mécaniques r et c .

Les essais sur des pieux, effectués par l'Institut Hydro-technique 'Ing. Jaroslav Černi' à Belgrade sur un nombre

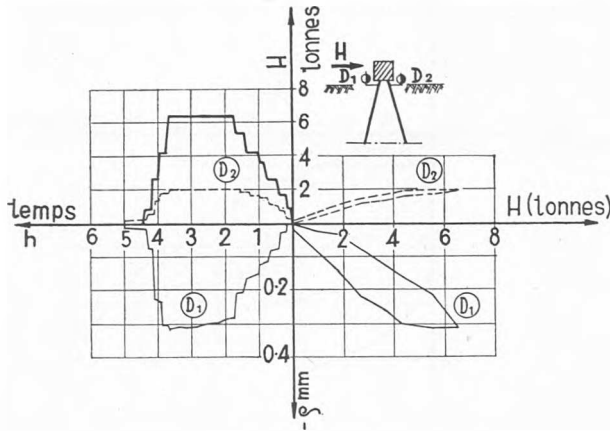


Fig. 9

considérable d'ouvrages, confirment essentiellement les prémisses sur lesquelles est fondée la théorie du calcul. Entre autres, toute une série d'essais de pression (N) et d'arrachage ($-N$) de pieux a été effectuée et certains diagrammes caractéristiques en sont donnés dans la Fig. 7. Les diagrammes 1 et 2 se rapportent à des pieux d'une section de 30×30 cm, longs de 7.5 et 10 m enfoncés dans l'argile sablonneuse de profondeur considérable. Les diagrammes 3, 4 et 5 se rapportent aux

essais des pieux de $30/30$ cm de section, longs de 10–12 m, enfoncés dans des alluvions de sable argileux avec des composantes de gravier jusqu'à une profondeur dépassant 20 m.

La Fig. 8 montre les déformations transversales de la tête du pieu ξ sous la charge d'une force transversale Q_0 .

Un dispositif simple pour provoquer cette force consistait en un simple petit vérin hydraulique, permettant des essais relativement rapides; la mesure des déformations était faite à l'aide de déflectomètres et de clinomètres. La Fig. 8 donne les diagrammes caractéristiques pour 6 des 30 pieux essayés en tout.

On a procédé simultanément aux essais d'une paire de pieux obliques soumis à l'action d'une force horizontale et le diagramme caractéristique en est donné dans la Fig. 9. Lors de cet essai on a obtenu, pour $H = 6.4$ t, un déplacement horizontal de 0.6 mm. Le rapport entre l'élévation ($-\rho$) et l'enfoncement (ρ) était de 3 environ. Les essais des autres pieux ont montré que ce rapport varie de 1.5 à 3, et même davantage.

Les essais effectués, de même que les tassements des ouvrages terminés ont montré que les essais préalables, indispensables pour déterminer le pouvoir portant utile des pieux permettent aussi d'obtenir tous les éléments nécessaires au calcul des forces dans les pieux sous une fondation rigide.

Références

- BEYER, K. (1948). *Die Statik im Stahlbetonbau*, str. 140–144. Berlin
- JACOBY, E. (1954). Die Lastverteilung auf die Pfähle eines Pfahlrostes. *Der Bauingenieur*, str. 47
- NÖKKENTVED, C. (1928). *Berechnung von Pfahlrosten*. Berlin; Ernst, E. (1954)
- OSTENFELD, A. (1922). *Berechnung von Pfahlrosten*. *Beton und Eisen*, 21, 21
- RADOSAVLJEVIĆ, Ž. (1954). Prilog ispitivanju i proračunu kosih šipova, 'Saopštenja' Hidrotehničkog instituta 'Ing. Jaroslav Černi', Beograd, No. 1
- (1955). Proračun šipova u grupi, 'Saopštenja' Hidrotehničkog instituta 'Ing. Jaroslav Černi', Beograd, No. 2
- VANDEPITTE, D. (1953). Het draagvermogen van paalfunderingen. *Annales de Travaux Publics de Belgique*, Nos. 4, 5, 6