Lech BAŁACHOWSKI, Eugeniusz DEMBICKI Politechnika Gdańska

NOŚNOŚĆ PALI W BADANIACH W KOMORZE KALIBRACYJNEJ

Streszczenie. W pracy zestawiono wyniki serii badań modelowych wciskania pali przeprowadzonych w zagęszczonym piasku Lubiatowo przy różnym poziomie naprężenia w komorze oraz przy różnych warunkach brzegowych. Przeanalizowano wpływ warunków brzegowych na wartości tarcia średniego oraz jednostkowego oporu podstawy pali modelowych. Zaobserwowano istotny wpływ warunków brzegowych podczas wciskania pali na składową poziomą naprężenia wokół masywu gruntowego oraz na tarcie na pobocznicy.

MODEL TESTS OF PILE CAPACITY IN CALIBRATION CHAMBER

Summary. A series of model tests on instrumented piles pushed into the soil was performed in the calibration chamber in dense Lubiatowo sand for various stress level and boundary conditions. The influence of boundary conditions on point resistance and lateral friction was analysed. A considerable influence of boundary conditions was observed for lateral friction.

1. Wprowadzenie

Komora kalibracyjna skonstruowana w Katedrze Geotechniki Politechniki Gdańskiej umożliwia przeprowadzanie badań modelowych w ściśle określonych warunkach brzegowych na cylindrycznych próbkach gruntu o wysokości 100 cm i średnicy 53 cm formowanych metodą deszczu piaskowego. Komora o podwójnych ściankach bocznych, wyposażona w pneumatyczno-hydrauliczny system sterujący, umożliwia stosowanie typowych warunków brzegowych od utrzymywania stałych naprężeń wokół masywu gruntowego do braku odkształceń wokół masywu gruntowego. Masyw gruntowy otoczony jest gumową membraną, przekazującą ciśnienie wody z wewnętrznej komory aparatu. Składowa pionowa naprężenia na grunt wywierana jest przez dwie poziome membrany wypełnione wodą (na górze i na dole próbki). Przykładanie naprężeń od góry i od dołu próbki pozwala na bardziej równomierne jej odkształcanie oraz redukuje wpływ warunków brzegowych na nośność podstawy pala / opór na stożku sondy statycznej wywołany zmniejszeniem składowej pionowej naprężenia wokół wciskanego modelu [5]. Konstrukcja komory umożliwia stosowanie naprężeń dochodzących do 500 kPa. Szczegółowy opis konstrukcji komory zawarto w pracach [1, 2]. Interpretacja wyników badań w komorze kalibracyjnej wymaga oszacowania wpływu warunków brzegowych, co jest przedmiotem niniejszej pracy.

2. Program badań

Program badań obejmował wykonanie serii wciskania pali modelowych o różnych średnicach (20 mm, 32,8 mm) w zagęszczony piasek Lubiatowo przy różnym poziomie składowej pionowej naprężenia dla dwóch podstawowych warunków brzegowych wokół masywu gruntowego: BC1 (stała wartość składowej poziomej naprężenia) i BC3 (brak możliwości odkształceń bocznych masywu gruntowego). Stosując warunek BC1 założono, że współczynnik parcia spoczynkowego K₀ jest równy 0,4. Zastosowanie warunku BC3 polegało na stopniowym zwiększaniu składowej pionowej naprężenia i takim doborze ciśnienia wody w komorze zewnętrznej aparatu (wyrównaniu go do wartości ciśnienia wody w komorze wewnętrznej), aby uniemożliwić odkształcenia boczne masywu gruntu.





Możliwy był zatem pomiar współczynnika parcia spoczynkowego podczas konsolidacji masywu w warunkach edometrycznych. Przy prawidłowo uformowanych próbkach wartość tego współczynnika – współczynnik kierunkowy prostej na rys.1 - była zbliżona do 0,4.

3. Badania nośności pali modelowych

Po zakończeniu konsolidacji masywu gruntowego pal modelowy wciskano ze stałą prędkością na głębokość około 55 cm, a następnie odciążano i wyciągano. Badania przeprowadzone bez możliwości odkształceń bocznych wykazały istotny przyrost składowej poziomej naprężenia wokół masywu gruntowego wywołany wciskaniem pala modelowego, zwłaszcza o średnicy 32,8 mm. Przyrost ten przedstawiono (rys.2) w postaci zmian współczynnika rozporu bocznego masywu gruntowego K_m zależnych od zagłębienia pala.

$$K_m = \frac{\sigma_h}{\sigma_s} \tag{1}$$

gdzie: σ_h, σ' są odpowiednio składową poziomą i pionową naprężenia wokół masywu.

Wartość tego współczynnika jest największa przy niskich naprężeniach oraz dla pala o większej średnicy i może w granicznym przypadku osiągnąć wartość 1.

Na rysunkach 3+6 zestawiono krzywe jednostkowego oporu podstawy oraz tarcia średniego na pobocznicy w zależności od zagłębienia pala modelowego dla różnych składowych pionowych naprężenia przy warunkach brzegowych BC1 i BC3. Opór jednostkowy podstawy pala mobilizowany jest przy niewielkich zagłębieniach, a następnie utrzymuje się na zbliżonym poziomie lub wzrasta, szczególnie w badaniach bez możliwości odkształceń bocznych masywu gruntowego. W przypadku tarcia, wysokie początkowe wartości tarcia związane są z wpływem wysokiego poziomu naprężenia w sąsiedztwie podstawy pala. W miarę zagłębiania pala tarcie średnie stabilizuje się, a następnie maleje w badaniach z warunkiem BC1 lub lekko rośnie w badaniach z warunkiem BC3. Odstępstwa od tej zasady wynikają z nierównomiernego zagęszczenia gruntu oraz zbyt małego wypełnienia wodą membrany dolnej. Podczas wyciągania pali obserwowano wysokie wartości tarcia mobilizowane przy małych przemieszczeniach, a następnie jego szybką degradację. Pomierzone maksymalne wartości tarcia średniego są nieco większe podczas wciskania niż przy wyciąganiu.





Maksymalne wartości tarcia średniego przy dużych przemieszczeniach w fazie wciskania τ_{max} wykorzystano do określenia współczynnika rozporu bocznego na pobocznicy pala K_{pal}.

$$K_{pol} = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_v t g(\delta_{cv})}$$
(2)

gdzie:

 δ_{cv} – kąt tarcia pomiędzy stalą a gruntem przy dużych przemieszczeniach przyjęty jako równy 2/3* ϕ_{cv} – kąta tarcia wewnętrznego piasku przy dużych przemieszczeniach. Na podstawie badań w aparacie trójosiowego ściskania przyjęto, że ϕ_{cv} wynosi 32°.







Rys.4. Tarcie średnie przy stałej składowej poziomej naprężenia wokół masywu gruntowego Fig.4. Lateral friction for constant normal stress boundary condition



Rys.5. Opór podstawy pala przy braku możliwości odkształceń bocznych wokół masywu gruntowego Fig.5. Point resistance for no volume changes boundary condition



Rys.6. Tarcie średnie przy braku możliwości odkształceń bocznych masywu gruntowego Fig.6. Lateral friction for no volume changes boundary condition

W badaniach przy stałej składowej poziomej naprężenia wokół masywu gruntowego (rys.7) współczynnik K_{pal} dla pala o średnicy 20 mm jest niewiele większy od współczynnika parcia spoczynkowego. W przypadku pala o średnicy 32,8 mm współczynnik K_{pal} osiąga największe, zbliżone do jedności wartości przy niskich naprężeniach i maleje ze wzrostem naprężenia.





Analiza wyników dotyczących pali 20 mm i 32,8 mm przy braku możliwości odkształceń bocznych wokół masywu (rys.8,9) wykazała, że istnieje zbieżność wartości współczynników rozporu dla masywu gruntowego (patrz rys.2) i pobocznicy pala przy wysokich naprężeniach. Przy niskiej składowej pionowej naprężenia w komorze wartości współczynnika rozporu na pobocznicy pala 20 mm są wyraźnie mniejsze niż współczynnik rozporu bocznego masywu gruntowego. Przeciwną tendencję zaobserwowano (rys.9) dla pala o średnicy 32,8 mm.

Maksymalne wartości jednostkowego oporu podstawy pala w warunkach BC1 zestawiono na rys.10. Przy danym warunku brzegowym zaobserwowano brak istotnej różnicy pomiędzy wynikami uzyskanymi dla pali o różnych średnicach. Istnieje niewielka różnica wartości jednostkowego oporu podstawy dla danego pala w różnych warunkach brzegowych. Świadczy to o niewielkim wpływie warunków brzegowych na wartości jednostkowego oporu podstawy pala mierzone w analizowanym piasku modelowym.











Rys.10. Opór podstawy dla dwóch pali modelowych przy stałej składowej poziomej naprężenia Fig.10. Point resistance for two model piles at constant normal stress condition

4. Wnioski

Badania przeprowadzone w komorze kalibracyjnej pozwalają na uwzględnienie wpływu zarówno poziomu naprężenia, jak i warunków brzegowych na zachowanie się badanego gruntu oraz interakcji pomiędzy modelem a gruntem. Badania wykazały istotny wpływ warunków brzegowych na tarcie na pobocznicy pali oraz ich znikomy wpływ na jednostkowy opór podstawy pali modelowych. Planowane dodatkowe badania z zastosowaniem pala o średnicy około 13 mm pozwolą na weryfikację tego spostrzeżenia. Badania w komorze kalibracyjnej wykazały istotny wpływ poziomu naprężenia w gruncie na intensywność zjawiska dylatancji na styku pal-grunt oraz na zachowanie się samego ośrodka gruntowego. Wyniki uzyskane w piasku Lubiatowo mogą być odniesione do innych, czystych, drobnoziarnistych, równomiernie uziarnionych piasków kwarcowych o obtoczonych ziarnach.

LITERATURA

- 1. Bałachowski L., Dembicki E. La construction d'une chambre d'étalonnage à l'Université Technique de Gdansk. Comptes-rendues du XII Colloque Franco-Polonais de Mécanique des Sols et des Roches Appliquée, Paris, lipiec 2000.
- 2. Bałachowski L., Dembicki E. Une étude de pieux foncés dans une chambre d'étalonnage, JNGG 2002, Nancy, 8-9 październik 2002.
- 3. Ghionna V.N., Jamiolkowski M. A critical appraisal of calibration chamber testing in sands, Proc. of 1st Int. Conf. on Calibration Chamber Testing, Clarkson, pp.13-39, 1991.
- 4. Salgado R. et al. Calibration chamber size effects on penetration resistance in sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.124, No.9, 1998.
- 5. Wesley, L.D. Interpretation of calibration chamber tests involving cone penetrometers in sands, Géotechnique 52, No. 4, 289-293.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard IZBICKI

Abstract

A series of model tests on instrumented piles pushed into the soil was performed in the calibration chamber in dense Lubiatowo sand for various stress levels and boundary conditions. Point resistance and mobilization curves for lateral friction on model piles in compression and tension are presented. The influence of boundary conditions on point resistance and lateral friction was analysed. A considerable influence of lateral stress was observed for lateral friction. Point resistance was only slightly influenced by the applied boundary conditions.