ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: BUDOWNICTWO z. 109 Nr kol. 1735

Sławomir KWIECIEŃ*
Politechnika Śląska, Gliwice

PRÓBNE OBCIĄŻENIA WBIJANYCH KOLUMN KAMIENNYCH W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Streszczenie. W referacie zaprezentowano zmodyfikowane stanowisko do badań modelowych wbijanych kolumn kamiennych oraz wstępne wyniki próbnych obciążeń takich kolumn. Są one kontynuacją podobnych badań, przedstawionych we wcześniejszych pracach autora.

LOAD TEST OF STONE COLUMN IN LABORATORY

Summary. The paper presents a modified model test station for stone columns and results of load plate tests. They are continuation of similar tests presented in recent author's papers.

1. Wstęp

Nieustanny rozwój budownictwa wymusza zapotrzebowanie na coraz to nowe tereny pod planowane inwestycje. Często tereny te charakteryzują się jednak złymi warunkami geotechnicznymi, co stwarza problemy z ich zagospodarowaniem, głównie ze względu na trudności związane z posadowieniem projektowanych obiektów.

Obecnie, w ramach geoinżynierii, mamy do dyspozycji kilkadziesiąt metod wzmacniania słabego podłoża gruntowego [1], a zastosowanie konkretnej metody uzależnione jest między innymi: od rodzaju słabego gruntu, jego miąższości, jak również wielkości i charakteru przekazywanego obciążenia. W przypadku gdy słabe podłoże budują grunty spoiste i/lub organiczne o niewielkiej kilkumetrowej miąższości, a przekazywane z obiektu obciążenie nie jest duże, to z powodzeniem możemy zastosować wzmacnianie podłoża wbijanymi

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jerzy Sękowski, prof. w Politechnice Śląskiej

kolumnami kamiennymi. Takie wzmacnianie powoduje nie tylko wzrost nośności podłoża i redukcję jego osiadań, lecz także przyspiesza konsolidację słabego gruntu [2], [10].

Wymiarowanie tak wzmocnionego podłoża odbywa się w ramach stanów granicznych nośności i użytkowalności [3]. W metodach wymiarowania nie uwzględniono jednak odmienności w sposobie formowania kolumn (wibroflotacja, kolumny wbijane bezpośrednio w grunt, kolumny wbijane z użyciem rury obsadowej). Ze względu na założenia (kolumna o stałym cylindrycznym przekroju) metody te zdają się bliższe wibroflotacji. Potwierdzają to między innymi rozbieżności pomiędzy wynikami otrzymanymi na podstawie próbnych obciążeń dla kolumn wbijanych a wynikami obliczonymi wg istniejących metod obliczeniowych [5].

W szacowaniu wielkości osiadań pomocne staje się również zastosowanie MES, lecz i tu predykcja osiadań zależy od prawidłowego dobrania modelu gruntu, jak i jego parametrów [8]. Nie mniej istotny jest także dobór parametrów geometrycznych kolumny (średnica i długość). O ile w przypadku parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych możemy wspomóc się badaniami i analizą numeryczną, o tyle dla określenia geometrii kolumn wbijanych konieczne stają się badania modelowe (laboratoryjne i polowe). W dotychczasowych badaniach laboratoryjnych autor skoncentrował się na rozpoznaniu kształtu wbijanych kolumn kamiennych, w zależności od warunków ich wykonywania [6], oraz uzyskaniu zależności „obciążenie-osiadanie" dla pojedynczej kolumny [7]. Z kolei w pracy [9] wykorzystując MES autor rozwiązywał zadanie odwrotne, w którym poszukiwał parametrów dla danego modelu gruntowego dla określonej z badań krzywej „obciążenie-osiadanie".

W artykułach [6], [7], [9] rozważania prowadzone były w ramach komórki jednostkowej. Średnica cylindrycznej komory badawczej wynosiła 62 cm, a próbne obciążenie realizowane było bezpośrednio na kolumnę. Zachodzi zatem pytanie: czy wyniki próbnych obciążeń realizowanych w ramach ograniczonej komórki jednostkowej nie są zaburzone przez sztywne ściany komory badawczej oraz jaki wpływ na obciążaną kolumnę ma sąsiedztwo innych kolumn. Stąd pomysł na powiększenie stanowiska badawczego oraz przeprowadzenie próbnych obciążeń kolumny pojedynczej i kolumny w grupie.

W prezentowanym artykule zaprezentowano zmodyfikowane stanowisko badawcze zbudowane z myślą o wspomnianych powyżej badaniach oraz wstępne wyniki próbnych obciążeń na tym stanowisku. Artykuł ten jest kontynuacją dotychczasowych rozważań autora, zaprezentowanych w cytowanych już pracach [6], [7] i [9].

2. Stanowisko badawcze. Wyniki badań

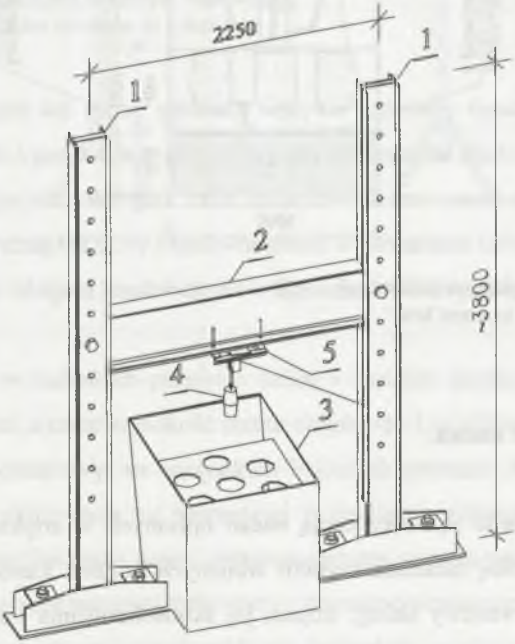
2.1. Konstrukcja stanowiska

Podobnie jak w przypadku badań przedstawionych w [6], [7] i [9] stanowisko do badań umożliwia wykonanie wbijanych kolumn kamiennych i przeprowadzenie próbnych obciążeń. Na jego konstrukcję składają się (rys. 1): stalowe słupy „1" w postaci pary spawanych ceowników oraz stalowy rygiel „2" (I 450) z możliwością regulacji zawieszenia co 25 cm.

Całość ustawiona jest na żelbetowej płycie stropowej. Formowanie kolumn odbywa się w stalowej skrzyni „3" o wymiarach 1x1x1m (rys. 1, 2).

Do formowania kolumny użyto stalowego ubijaka „4" w kształcie beczki o wymiarach dziesięciokrotnie mniejszych od ubijaka stosowanego w urządzeniu DYZAG [4]. Ubijak o masie 10 kg podwieszony jest liną do rygla poprzez krążek stały „5".

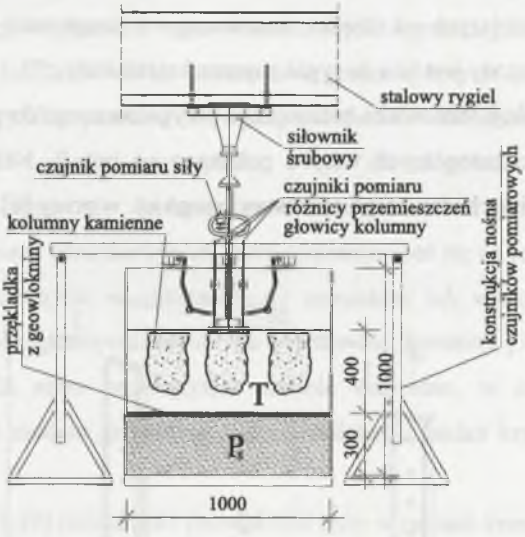
Schemat konstrukcji stanowiska badawczego przygotowanego do próbnych obciążeń oraz układ i grubości poszczególnych warstw pokazano na rys. 2. Należy traktować je jako modyfikację stanowiska badawczego przedstawionego np. w pracy [6].



Rys. 1. Stanowisko do badań modelowych
Fig. 1. Model tests station

2.2. Materiały

Do badań modelowych dobrano materiały modelujące: słabą i nośną warstwę w podłożu ulepszanym oraz materiał kolumny kamiennej. Warstwę nośną stanowi piasek średni o wilgotności naturalnej wn=0,15% i wskaźniku różnoziarnistości U=2,35. Grunt słaby jest torfem o wilgotności naturalnej wn=110% i zawartości części organicznych Iom=100%. Materiałem dla kolumn był natomiast równoziarnisty (U=1,91) ostrokrawędzisty bazalt łamany o wilgotności naturalnej w_n=0,5%. Wielkość frakcji bazaltu (4÷12 mm) dobrano tak, aby była dziesięciokrotnie mniejsza od frakcji stosowanej w warunkach rzeczywistych. Na rys. 2 przedstawiono sposób ułożenia i miąższości poszczególnych warstw podłoża ulepszanego.

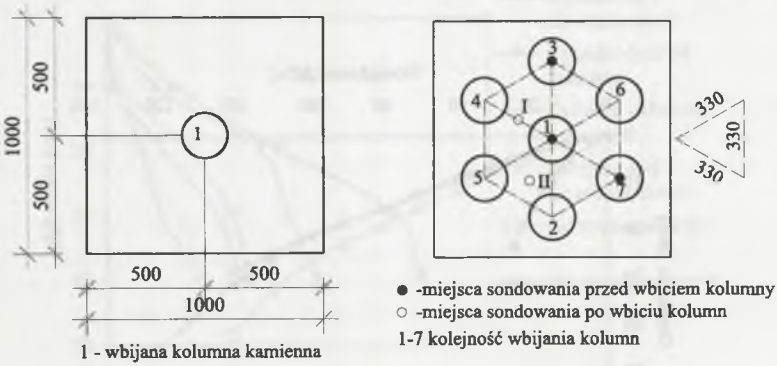


Rys. 2. Układ warstw w skrzyni badawczej
Fig. 2. Lay-out of layers in a test box

2.3. Program i wyniki badań

Wykonywane badania są kontynuacją badań opisanych w artykułach [6], [7] i [9], w których to podjęto próbę ustalenia kształtu wbijanych kolumn kamiennych, w zależności m.in. od: miąższości warstwy słabej, stopnia jej skonsolidowania i sposobu wykonywania kolumn oraz przeprowadzono próbne obciążenia kolumn, a także przeanalizowano mechanizm ich zniszczenia. Badania te prowadzone były w stalowej cylindrycznej komorze

badawczej o średnicy wewnętrznej 620 mm i wysokości 915 mm, a obecnie przeniesione zostały do stalowej skrzyni o wymiarach 1x1x1m. W ramach badań na zmodyfikowanym stanowisku badawczym przeprowadzono próbne obciążenia pojedynczej kolumny otoczonej tylko słabym gruntem - torfem (kolumna nr 1 - rys.3a) oraz pojedynczej kolumny otoczonej grupą kolumn (kolumna nr 1 - rys.3b). Kolumny wykonywane były z zachowaniem technologii przedstawionej między innymi w artykułach [4], [5] i [6].



a) Badanie nr 1 b) Badanie nr 2

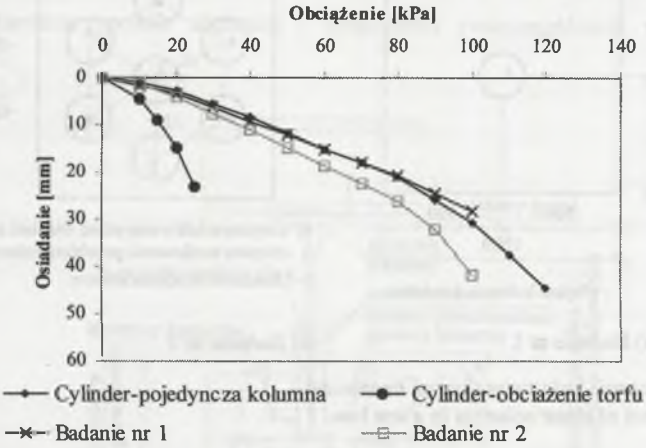
Rys. 3. Rozmieszczenie kolumn w skrzyni badawczej
Fig. 3. Arrangement of stone columns in a test box

Dodatkowo, podjęto też próbę ustalenia wpływu wymiany dynamicznej na otaczające kolumnę słabe podłoże i porównania go z wynikami uzyskanymi dla komórki jednostkowej w badaniach wcześniejszych. W tym celu przeprowadzono sondowania gruntu słabego przenośną sondą statyczną HYSON 5 zarówno przed wykonaniem kolumn (w ich osiach), jak i po ich uformowaniu. Miejsca sondowań po wykonaniu kolumn pokazano na rys.3b (punkty: I i II).

Jako niezmienne w badaniach przyjęto: rodzaj i stan tak gruntu nośnego jak i gruntu słabego, ich miąższości, a także wysokość zrzutu ubijaka (h=1 m). Również materiał kolumny kamiennej pozostał jednakowy we wszystkich badanych próbach. Z uwagi na fakt, iż w praktyce kolumny wykonywane są najczęściej z platformy roboczej (zwykle w postaci warstwy nasypu), umożliwiającej pracę ciężkiego sprzętu, w badaniach zasymulowano takie warunki poprzez obciążenie warstwy torfu płytą z otworami wewnętrznymi o średnicy 23 cm. Dodajmy, że przyjmowane w poszczególnych badaniach miąższości warstwy słabej i miąższość nasypu platformy (równoważna obciążeniu q=1,1 kPa) były w założeniu dziesięciokrotnie mniejsze od wartości rzeczywistych. Przed wbiciem kolumny grunt słaby

(torf układany luźno w skrzyni badawczej) skonsolidowano wstępnie obciążeniem 6,5 kPa, natomiast kolumnę wykonano przy symulacji wspomnianej wcześniej platformy.

Próbne obciążenia kolumn przeprowadzono metodą stałych stopni obciążenia. Każdy stopień utrzymywano tak długo, aż przyrost osiadań kolumny wynosił nie więcej niż 0,05 mm / 10 minut. Wykonano dwa próbne obciążenia (kolumna nr 1 – rys. 3a oraz kolumna nr 1 – rys. 3b), których wyniki przedstawiono na rys. 4. Całość porównana została z wynikami otrzymanymi w cylindrycznej komorze badawczej [7], [8] (rys. 4).

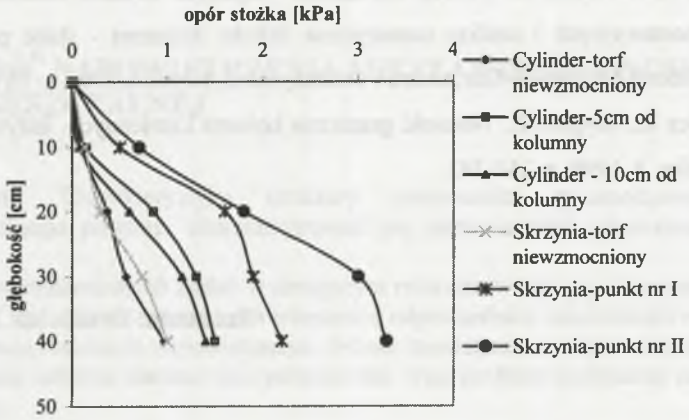


Rys. 4. Wyniki próbnego obciążenia kolumn kamiennych i torfu
Fig. 4. Results of load plate test of stone columns and peat

Wpływ wzmocnienia słabego podłoża otaczającego obciążaną kolumnę pokazano natomiast na rys. 5. Na zamieszczonych wykresach zestawiono wyniki oporów stożka sondy wciskanej uzyskane z badań w cylindrycznej komorze badawczej [7] oraz wyniki sondowania w skrzyni w obszarach wpływu dwu i trzech kolumn (rys.3b).

Z porównania zależności „obciążenie-osiadanie" odnoszących się do kolumny pojedynczej badanej w cylindrze i w skrzyni wynika (rys. 4), że wpływ ścianek tej pierwszej nie miał praktycznie żadnego wpływu na przebieg wspomnianej zależności. Nie zaobserwowano natomiast spodziewanego wzrostu nośności pojedynczej kolumny w grupie w stosunku do kolumny pojedynczej, pomimo widocznego wpływu sąsiednich kolumn na zagęszczenie torfu między nimi (rys.5.). Logiczne wydaje się bowiem, iż wpływ sąsiednich kolumn na kolumnę obciążaną powinien objawiać się jej mniejszymi osiadaniami aniżeli kolumny pojedynczej, przy tym samym rzecz jasna obciążeniu. Wyjaśnienia tej rozbieżności

można poszukiwać zarówno w fakcie, iż taka technologia formowania kolumn, pomimo ścisłego przestrzegania jej reżimu, nie daje gwarancji uzyskania kolumn, np. o tym samym stopniu zagęszczenia materiału i tej samej goemetrii. Stąd zasadne wydaje się powtórzenie badań i poszerzenie ich zakresu, o np. próbne obciążenie kilku kolumn.



Rys. 5. Wyniki sondowań statycznych
Fig. 5. Cone penetrometer test results

LITERATURA

1. Gryczmański M.: Współczesne kierunki rozwoju geotechniki w Polsce. Inżynieria i Budownictwo, 8, 1994, s. 339-347.
2. Gryczmański M.: Wzmacnianie podłoża wbijanymi kolumnami kamiennymi. Przegląd doświadczeń śląskich. Inżynieria i Budownictwo, 3, 2003, s. 123-126.
3. Gryczmański M.: Metody analizy nośności i osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami kamiennymi. Inżynieria Morska i Geotechnika, 5, 1993, s. 224-231.
4. Gryczmański M., Sękowski J., Kwiecień S.: Ulepszanie podłoża gruntowego wbijanymi kolumnami kamiennymi. Przegląd Budowlany, 2, 2005, s. 34-37.
5. Kwiecień S.: Analiza porównawcza obliczonych i pomierzonych osiadań kolumn kamiennych wzmacniających słabe podłoże gruntowe. V Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa, s. Budownictwo, z. 102, Wisła 2004, s. 273-282.
6. Kwiecień S.: Stanowisko do badań modelowych wbijanych kolumn kamiennych. VI Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa, s. Budownictwo, z. 104, Wisła 2005, s. 219-226.

7. Kwiecień S.: Badania modelowe wbijanych kolumn kamiennych. III Ogólnopolska Konferencja Młodych Geotechników, z. 29, Augustów 2006, s. 117-126.
8. Sękowski J., Kwiecień S.: Analiza numeryczna wpływu parametrów modelu Coulomba - Mohra na osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami kamiennymi, XXVIII Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii, Szklarska Poręba 2005, s. 333-340.
9. Sękowski J., Kwiecień S.: Próbne obciążenia wbijanych kolumn kamiennych. Wyniki badań laboratoryjnych i analiza numeryczna układu: kolumna - słabe podłoże. XXIX Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii, Krynica 2006, s. 163-172.
10. Steckiewicz R., Szypcio Z.: Nośność graniczna kolumn kamiennych. Inżynieria Morska i Geotechnika, 3, 1996, s. 241-243.

Recenzent: Dr hab. inż. Zenon Szypcio