

Sławomir KWIECIEN*
Politechnika Śląska

STANOWISKO DO BADAŃ MODELOWYCH WBIJANYCH KOLUMN KAMIENNYCH

Streszczenie. W prezentowanym referacie przedstawiono stanowisko do badań modelowych kolumn kamiennych, wzmacniających słabe podłoże gruntowe. Podjęto próbę ustalenia kształtu kolumny, formowanej w procesie wymiany dynamicznej. Całość poprzedzono opisem samej metody.

MODEL TEST STATION FOR DRIVEN STONE COLUMNS

Summary. The paper presents model test station for stone columns strengthening soft soils. An attempt has been made to determine shape of column formed in the course of dynamic replacement process. Description of the method has been provided at first.

1. Wstęp

Wbijane kolumny kamienne stanowią jedną z wielu metod wzmacniania słabego podłoża gruntowego [1], zbudowanego z gruntów spoistych i organicznych. Takie wzmacnianie powoduje nie tylko wzrost nośności podłoża, ale również redukcję jego osiadań oraz przyspiesza konsolidację słabego gruntu [2], [7].

Istniejące współcześnie inżynierskie metody obliczeniowe w zakresie stanów granicznych: nośności i użytkowości, odniesione zostały do kolumn wykonywanych metodą wibroflotacji [3]. W przypadku kolumn formowanych z użyciem uderzeń o wysokiej energii szacowanie nośności podłoża i jego osiadań tymi metodami może budzić jednak wątpliwości. Przesłanki mogą wynikać głównie z odmienności technologii formowania kolumn. Potwierdzają to m.in. różnice osiadań obliczonych wg istniejących metod i osiadań z próbnych obciążeń, zamieszczone w pracy [5]. O wiele lepszą dokładność osiadań kolumn otrzymujemy dzięki analizie MES [6], lecz i tu osiadania rzeczywiste są mniejsze od osiadań

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

obliczonych. Stąd wniosek, że dla prawidłowego określenia nośności i osiadań podłoża wzmocnionego wbijanymi kolumnami kamiennymi potrzebna jest dokładna znajomość parametrów wytrzymałościowo - odkształceniowych zarówno kolumny, jak i słabego gruntu, oraz parametrów geometrycznych formowanych kolumn (wysokość kolumny i jej średnica). Przypomnijmy, iż w przypadku kolumn wykonywanych metodą wibroflotacji ich kształt przyjmowany jest jako cylindryczny - co dla kolumn wbijanych nie musi być oczywiście prawdą. O ile w przypadku parametrów wytrzymałościowo - odkształceniowych materiału kolumny i otaczającego go gruntu możliwe jest w celu ich określenia szersze zastosowanie badań niestandardowych (dylatometr, ścinarka obrotowa, sondy statyczne, próbne obciążenie), o tyle w przypadku geometrii kolumny trudno coś jednoznacznie stwierdzić bez przeprowadzenia odpowiednich badań (łącznie z odkryciem wykonanych kolumn). Stąd pomysł na podjęcie badań, jak na razie w skali laboratoryjnej, których celem byłoby uchwycenie kształtu kolumn, wykonywanych przy użyciu udarów. Ich wstępne wyniki zawiera niniejszy referat.

Zaprezentowano w nim stanowisko badawcze zbudowane z myślą o wspomnianych badaniach, oraz wyniki badań nad kształtem kolumny kamiennej, formowanej w procesie wymiany dynamicznej. Całość poprzedzono opisem technologii wykonywania wbijanych kolumn kamiennych.

2. Technologia kolumn kamiennych

Do wbijania materiału kamiennego w podłoże stosowane jest urządzenie, umożliwiające swobodny zrzut ubijaka o dużej masie z określonej wysokości (rys. 1).

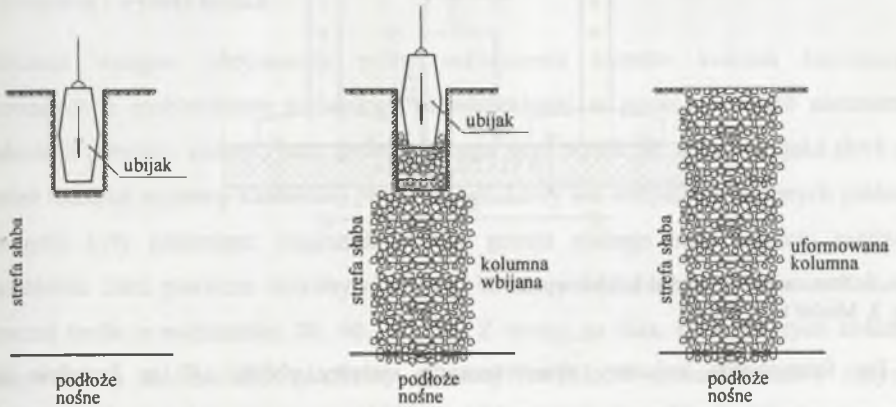
Jako pierwszy poprzez swobodny zrzut ubijaka wykonywany jest krater, do którego wysypuje się grubookruchowy materiał, w następnej kolejności ubijany. Ubijanie trwa dopóki materiał z zapełnionego krateru nie zostanie wprowadzony w grunt. Do ponownie pustego krateru wysypuje się materiał i sytuacja powtarza się (rys. 2). Kolumnę wykonuje się do momentu osiągnięcia stropu warstwy nośnej, co uwidacznia się wystąpieniem wyraźnego oporu przeciw wbijaniu.

Do wykonywania wbijanych kolumn kamiennych urządzeniem o nazwie DYZAG [2] używany jest ubijak o kształcie podobnym do beczki (rys. 1,2), wykonany z zespolonych blach o znacznej grubości. Ma on wysokość 1,97 m, średnicę środkową 1,05 m, a średnice: górna i dolna wynoszą 0,9 m. Ciężar o masie 10,5 t zrzucany jest z wysokości do 15 m.



Rys.1. Urządzenie DYZAG wraz z ubijakiem [4]
 Fig. 1. DYZAG facility including rammer [4]

Liczba uderzeń potrzebna do uformowania kolumny waha się w przedziale 7÷15. Średnica tak tworzonych kolumn uzależniona jest od podatności gruntu i może osiągnąć nawet 1,7 m (najmniejsza średnica 1,2 m). Długość kolumny ustala się na podstawie dokumentacji geologiczno - inżynierskiej oraz jako sumę długości wbitych kraterów.



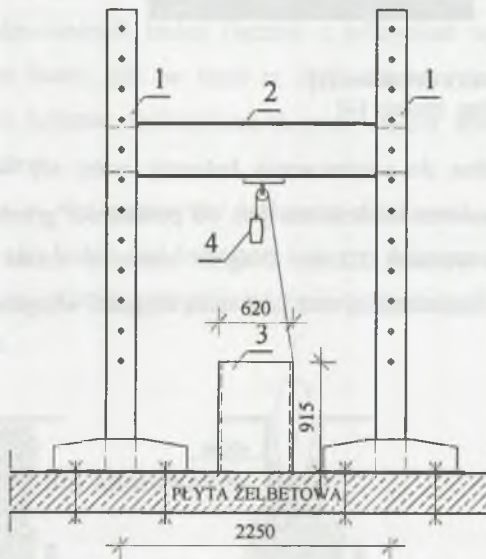
Rys. 2. Proces formowania kolumny kamiennej ([4])
 Fig. 2. Process of a stone column shaping ([4])

Do wykonywania kolumn stosuje się materiał grubookruchowy o średnicy od 30 do 120 mm. Obok materiałów rodzimych, w postaci np. tłucznia, coraz częściej stosowane są różnorodne materiały odpadowe (np: przepalony łupek kopalniany, żużle wielkopiecowe, kamień dołowy, gruz betonowy).

3. Stanowisko badawcze

3.1. Konstrukcja stanowiska

Stanowisko do badań umożliwia zarówno wykonanie wbijanej kolumny kamiennej, jak przeprowadzenie jej próbnych obciążeń. Na jego konstrukcję składają się (rys. 3): 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 rurze „3” o średnicy wewnętrznej 620 mm i grubości ścianki 20 mm. Wysokość cylindra wynosi 915 mm.



Rys. 3. Stanowisko do badań modelowych
Fig. 3. Model tests station

Do formowania kolumny skonstruowano stalowy ubijak „4” w kształcie beczki o wymiarach dziesięciokrotnie mniejszych od ubijaka stosowanego w urządzeniu DYZAG. Ubijak o masie 10 kg podwieszony jest liną do rygla poprzez krążek stały.

3.2. 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 $w_n=0,15\%$ i wskaźniku różnoziarnistości $U=2,35$. Grunt słaby jest torfem o wilgotności naturalnej $w_n=110\%$ i zawartości części organicznych $I_{om}=100\%$.

Materiałem dla kolumn był natomiast równoziarnisty ($U=1,91$) ostrokrawędzisty bazalt łamany o wilgotności naturalnej $w_n=0,5\%$. Wielkość frakcji bazaltu 4÷12mm dobrano tak, aby była dziesięciokrotnie mniejsza od frakcji stosowanej w warunkach rzeczywistych. Na rys. 4 przedstawiono sposób ułożenia i miąższości poszczególnych warstw podłoża ulepszanego.



Rys. 4. Układ warstw w komorze badawczej

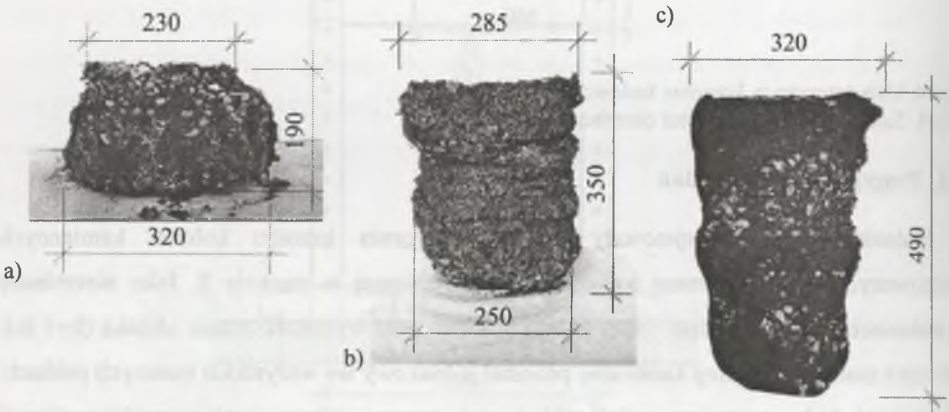
Fig. 4. Lay-out of layers in a test chamber

3.3. Program i wyniki badań

Badania wstępne obejmowały próbę uchwycenia kształtu kolumn kamiennych formowanych z zachowaniem technologii przedstawionej w punkcie 2. Jako niezmiennie w badaniach przyjęto: rodzaj i stan gruntu nośnego oraz wysokość zrzutu ubijaka ($h=1$ m). Również materiał kolumny kamiennej pozostał jednakowy we wszystkich badanych próbach. Zmiennymi były natomiast: miąższość i stan gruntu słabego oraz warunki realizacji wzmocnienia. Jako pierwsze wykonywane były kolumny w luźno układanym w komorze badawczej torfie o miąższości: 20, 40 i 60 cm. Z uwagi na fakt, iż w praktyce kolumny wykonywane są najczęściej z platformy roboczej (zwykle w postaci warstwy nasypu), umożliwiającej pracę ciężkiego sprzętu, w części badań zasymulowano takie warunki poprzez obciążenie warstwy torfu płytą żelbetową o grubości 5 cm i średnicy 59 cm z otworem wewnętrznym o średnicy 23 cm. Samą płytę, dającą nacisk jednostkowy $q = 1,1$ kPa, przyłożono bezpośrednio przed wykonaniem kolumny. Dodajmy tu jeszcze, że przyjmowane w poszczególnych badaniach miąższości warstwy słabej i miąższość nasypu platformy (równoważna obciążeniu q) były w założeniu dziesięciokrotnie mniejsze od wartości rzeczywistych. W części badań modelowych grunt słaby skonsolidowano wstępnie obciążeniem 6,5 kPa, natomiast kolumnę wykonano symulując wspomnianą platformę.

Wszystkie z badanych kolumn bezpośrednio po uformowaniu zalewane były zaczynem gipsowo - wodnym w stosunku 1/1, co znacznie ułatwiło ich inwentaryzację.

Na rys. 5a, b i c przedstawiono kolumny wykonane w torfie luźnym o miąższości kolejno: 20, 40 i 60 cm. W przypadku tych kolumn (brak obciążenia płytą) napotkano na problemy przy formowaniu ich głowic. Po zrzuceniu ubijaka z pełnej wysokości (1 m) materiał głowicy kolumny rozbijany był na boki, przez co uzyskiwana była większa średnica niż w pozostałej części kolumny, a w miejscu uderzenia powstawał lej. Dodatkowo zaobserwowano też podnoszenie się otaczającego kolumnę torfu. Stąd też po kilkakrotnym zrzuceniu ubijaka z pełnej wysokości podczas formowania górnej części kolumny jej głowica ubijana była już z mniejszej wysokości (ok. 10 cm). W sytuacji tej obok wspomnianego podnoszenia się gruntu oraz rozbijania głowic kolumn widoczne było również słabsze jej zagęszczenie w tej strefie. Dodajmy tu, że zjawisko takie jest też obserwowane w praktyce, stąd też w podobnych sytuacjach najczęściej górną część kolumny usuwa się.

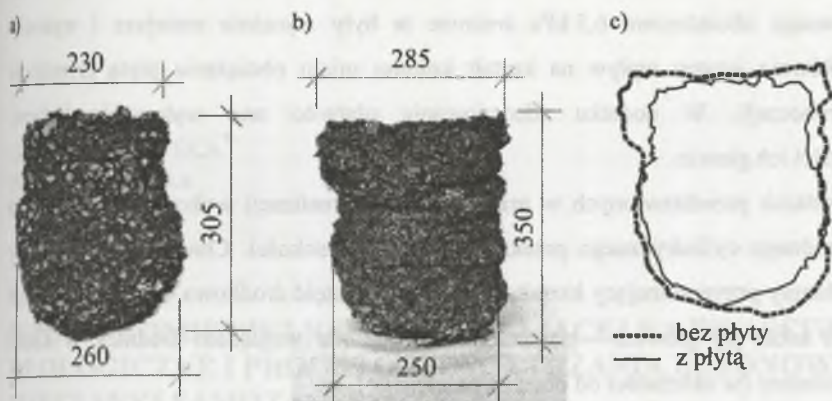


Rys. 5. Kolumny kamienne formowane w luźnym torfie: a) o miąższości 20 cm, b) o miąższości 40 cm, c) o miąższości 60 cm

Fig. 5. Stone columns formed in loose peat: a) of 20 cm depth, b) of 40 cm depth, c) of 60 cm depth

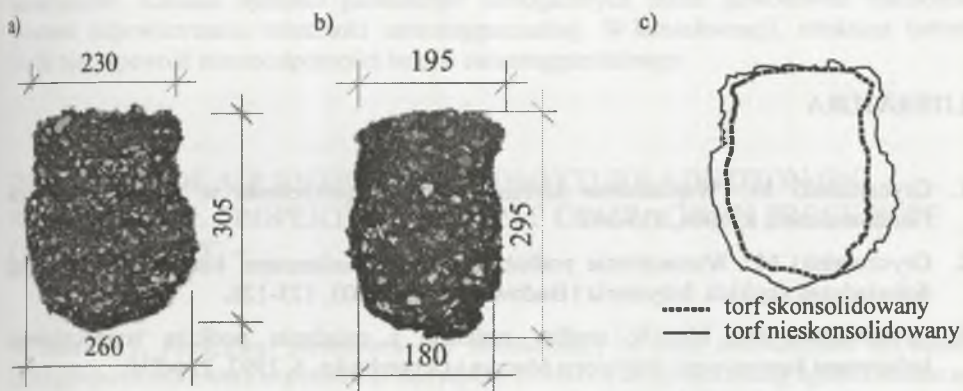
W przypadku kolumn wykonywanych w zmiennych warunkach realizacji (tj. z płytą i bez) uzyskane kształty przedstawiono na rys. 6. Jak widać, w dolnych częściach kolumny otrzymano podobne średnice, natomiast głowice kolumn różnią się zasadniczo. Wpływ obciążenia płytą przekłada się zarówno na zmniejszenie średnicy głowic, jak również na bezproblemowe jej wykonanie na całej wysokości.

W części badań kolumnę formowano w torfie skonsolidowanym obciążeniem 6,5 kPa, z użyciem płyty żelbetowej. Wpływ podatności gruntu słabego na średnicę formowanych w nim kolumn przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Kolumny kamienne formowane w torfie o miąższości 40 cm: a) z płytą, b) bez płyty, c) porównanie kształtu obydwu kolumn

Fig. 6. Stone columns formed in the peat of 40 cm depth: a) with plate, b) without plate, c) comparison of both columns shape



Rys. 7. Kolumny kamienne formowane w torfie o miąższości 40 cm: a) bez konsolidacji i z płytą, b) z konsolidacją i z płytą, c) porównanie kształtu obydwu kolumn

Fig. 7. Stone columns formed in the peat of 40cm depth: a) without consolidation and with plate, b) with consolidation and plate, c) comparison of both columns shape

4. Uwagi końcowe

W prezentowanym referacie podjęto próbę uchwycenia kształtu wbijanych kolumn kamiennych. Z przeprowadzonych dotychczas badań wynika, że są one zróżnicowane. Kształty te zależą m.in. od warunków, w jakich wykonywane były kolumny. W przypadku torfów nieskonsolidowanych uformowane kolumny miały znaczne średnice, będące ok. 2,5 – do 3-krotnie większe od średnicy ubijaka (10,5 cm). Natomiast dla podłoża uprzednio

skonsolidowanego obciążeniem 6,5 kPa średnice te były wyraźnie mniejsze i wynosiły ok. 20 cm. Równie istotny wpływ na kształt kolumn miało obciążenie płytą (symulacja platformy roboczej). W dodatku zdecydowanie ułatwiło ono wykonanie kolumn, w szczególności ich głowic.

Dla wszystkich przedstawionych w pracy warunków realizacji wykonane kolumny nie miały jednorodnego cylindrycznego przekroju na całej wysokości. Charakterystyczne były tutaj: dół kolumny przypominający kształtem półksiężyc, część środkowa o kształcie „cebuli naprężen”, a także jej głowica - poszerzona lub też nie względem średnicy w części środkowej kolumny (w zależności od obciążenia górnego).

W dalszej części badań laboratoryjnych autor zamierza wykonać próbne obciążenia zarówno formowanej kolumny w komorze badawczej, jak i grupy kolumn wykonanych w skrzyni o większych wymiarach. Ich uzupełnieniem powinny być badania kolumn realizowanych w skali rzeczywistej.

LITERATURA

1. Gryczmański M.: Współczesne kierunki rozwoju geotechniki w Polsce. *Inżynieria i Budownictwo*, 8, 1994, 339-347.
2. Gryczmański M.: Wzmacnianie podłoża wbijanymi kolumnami kamiennymi. Przegląd doświadczeń śląskich. *Inżynieria i Budownictwo*, 3, 2003, 123-126.
3. Gryczmański M.: Metody analizy nośności i osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami kamiennymi. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5, 1993, 224-231.
4. Gryczmański M., Sękowski J., Kwiecień S.: Ulepszanie podłoża gruntowego wbijanymi kolumnami kamiennymi. *Przegląd Budowlany*, 2, 2005, 34-37.
5. Kwiecień S.: Analiza porównawcza obliczonych i pomierzonych osiadań kolumn kamiennych wzmacniających słabe podłoża gruntowe. V Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Wisła 2004, z. 102, 273-282.
6. Sękowski J., Kwiecień S.: Analiza numeryczna wpływu parametrów modelu Coulomba-Mohra na osiadania podłoża wzmocnionego kolumnami kamiennymi. XXVIII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii, Szklarska Poręba 2005, 333-340.
7. Steckiewicz R., Szypcio Z.: Nośność graniczna kolumn kamiennych. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, 1996, 241-243.