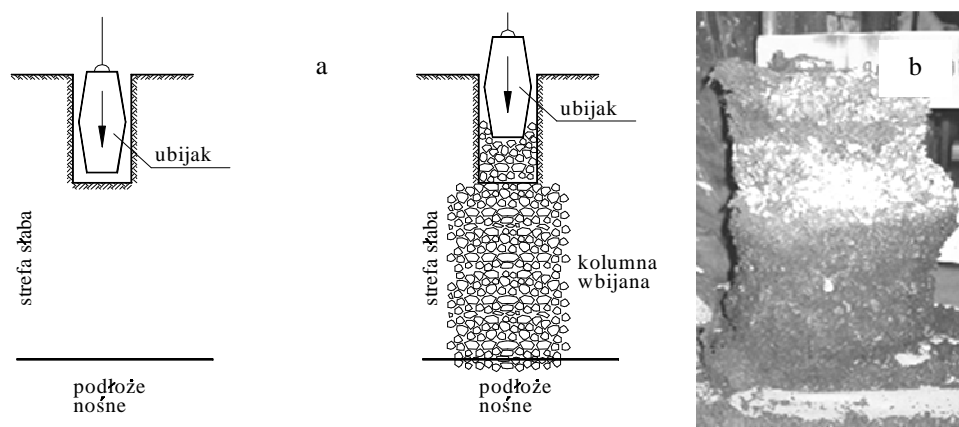


KONSOLIDACJA PODŁOŻA WZMOCNIONEGO WBIJANYMI KOLUMNAMI KAMIENNYMI - BADANIA LABORATORYJNE

Jerzy SĘKOWSKI, Bartłomiej GRZESIK
Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Słabe podłoże gruntowe można ulepszyć m.in. wbijanymi kolumnami kamiennymi. Sama technologia wykonania kolumn kamiennych sprowadza się do wypełniania wcześniej wykonanego krateru materiałem grubookruchowym i zagęszczania go poprzez kilkukrotne swobodne zrzucenie masy m z określonej wysokości h (rys.1a).



Rys.1. Schemat formowania kolumn wbijanych (a); przykładowy kształt kolumny wbijanej otrzymany w badaniach laboratoryjnych (b)

Tą technologią wzmocniane są zwykle grunty organiczne, oraz plastyczne i miękkoplastyczne grunty spoiste o miąższości do 6 m. Obok wzrostu nośności i sztywności podłoża wzmocnionego ma miejsce również jego przyśpieszona konsolidacja. Proces ten miałby klasyczny przebieg, gdyby wspomniane kolumny uformowane były np. metodą wibroflotacji, z podstawą opartą na warstwie wodonośnej i miały przekrój cylindryczny.

Prowadzone aktualnie badania naukowe nad wbijanymi kolumnami kamiennymi koncentrują się m.in. nad kształtem kolumn [1]. Jest to o tyle istotne, że wspomniana technologia wykonania kolumn różni się zdecydowanie od innych rozwiązań. Z badań tych

wynika, że kształt kolumn odbiega od cylindrycznego, podłoże wokół kolumn ulega dogęszczeniu a same kolumny często nie osiągają stropu warstwy nośnej (rys.1b).

Prezentowany referat koncentruje się na ocenie wpływu wbijanej kolumny kamiennej na przebieg konsolidacji podłoża wzmocnianego. Podstawą wniosków są wyniki badań modelowych. Zagadnienie wydaje się ważne z punktu niezawodności pracy tak wzmocnionego podłoża gruntowego w przypadku posadowienia na nim zarówno obiektów kubaturowych, jak również obiektów liniowych.

2. Opis przeprowadzonych badań

Badania modelowe przeprowadzono w laboratorium Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej. Podstawowym elementem stanowiska badawczego był metalowy cylinder o średnicy wewnętrznej 620 mm i wysokości 915 mm. Do badań modelowych wybrano następujące materiały: żwir, torf i kliniec. Żwir jako warstwa nośna wypełniała dolną część cylindra na wysokość 30 cm. Na niej ułożono torf, modelujący warstwę słabą. Ten ostatni miał wilgotność wyjściową 300 % i miąższość 40 cm. Do formowania kolumny użyty został ostrokrawędzisty bazalt frakcji 4 ÷ 12 mm i wilgotności naturalnej $w_n = 0.5$ %.

Pierwszym badaniem był pomiar osiadania warstwy torfu pod obciążeniem jednostkowym 6,5 kPa. Osiadania torfu mierzono w trzech punktach, rozmieszczonych na obwodzie płyty obciążającej. Pomiary wykonywane były w odstępach czasowych:

- w momencie wykonania stanowiska;
- po 5 minutach oraz po 1, 3, 9, 13, 16, 21, 24, 28, 31, 49, 75 [dniach],

Drugie badanie dotyczyło określenia zmian wilgotności torfu konsolidującego się. Stanowisko przygotowano jak wyżej. Pomiarów wilgotności (stosowano metodę suszarkową) dokonywano na próbkach pobranych przy pomocy rurki, wprowadzanej na głębokość: 5 cm; 10 cm; 15 cm; 20 cm; 25 cm; 30 cm, licząc od górnej warstwy torfu;

Pomiary wykonywane były w następujących odstępach czasowych:

- w momencie wykonania stanowiska;
- po 4 godzinach;
- po 1, 2, 7, 35 [dniach].

Badanie trzecie korespondowało z pierwszym, obejmując pomiary osiadań torfu konsolidowanego naciskiem 6,5 kPa, po wcześniejszym uformowaniu w nim kolumny kamiennej.

Sama kolumna wykonana została z klinca, wsypywanego do krateru i dogęszczonego ubijakiem o masie 10 kg. Ubijak był opuszczany swobodnie z wysokości 1 m. Więcej na temat technologii formowania kolumny zawiera praca [1].

Dodajmy, że płyta posiadała otwór o średnicy kolumny, umożliwiający swobodną konsolidację torfu.

Pomiary osiadań wykonywane były w następujących odstępach czasowych:

- w momencie wykonania stanowiska;
- po 5 minutach oraz po 1, 2, 6, 8, 21, 24, 28, 31, 49, 75 [dniach].

Czwarte badanie dotyczyło określenia wpływu kolumny kamiennej na zmiany wilgotności otaczającego ją torfu. Próbkę do pomiaru wilgotności pobierano w odległości 5 cm i 10 cm od kolumny, na tych samych głębokościach co w przypadku badania nr 2.

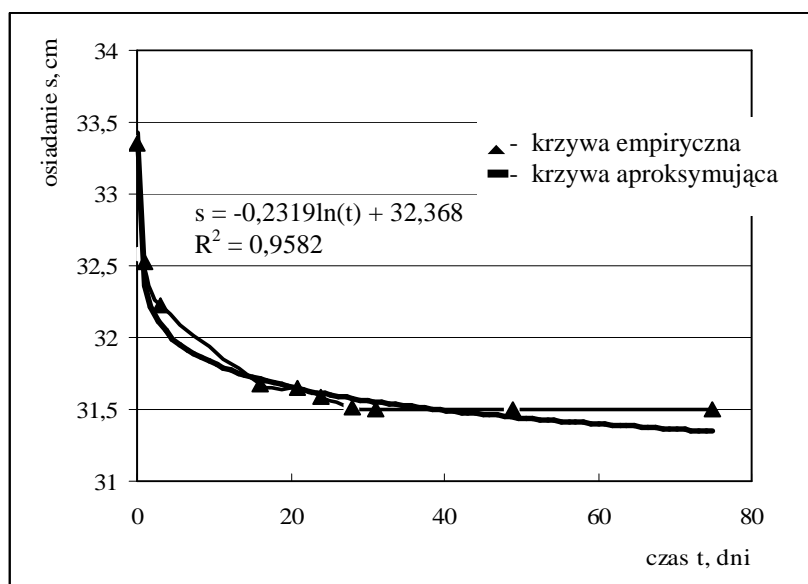
Pomiary wykonywane były w następujących odstępach czasowych:

- w momencie wykonania stanowiska;
- po 4 godzinach;
- po 2, 5 [dniach].

Oznaczanie wilgotności przebiegało podobnie jak w badaniu drugim.

3. Wyniki i ich analiza

Z otrzymanych wyników badań modelowych poniżej przytoczono jedynie wybrane. Rys.2. przedstawia zależność: osiadanie - czas (krzywa konsolidacji) dla samego torfu, z pominięciem osiadania, które zrealizowały się w ciągu 5 minut po przyłożeniu obciążenia konsolidującego. Krzywą z badań oznaczono jako ciągłą, krzywą dobraną analitycznie jako przerywaną. Tę ostatnią otrzymano zgodnie z procedurą postępowania podaną przez Wiłuna [2], dla zmiennych skokowo wartości współczynnika wodoprzepuszczalności torfu (k). Wyniki osiadań obliczonych dla kolejnych współczynników k w poszczególnych okresach czasowych aproksymowano krzywą logarymiczną. Miarą zgodności krzywej empirycznej i dobranej analitycznie był współczynnik korelacji R^2 . W podobny sposób postąpiono również w przypadku podłoża wzmocnionego kolumną kamienną.



Rys.2. Zależność: osiadanie - czas, dla torfu

Kolejnym krokiem analizy było zdefiniowanie funkcji opisujących zmienność współczynnika wodoprzepuszczalności dla torfu przed i po uformowaniu w nim kolumny. Punkt wyjścia stanowiły wartości współczynnika k , przyjęte dla kolejnych okresów czasowych na potrzeby budowania zależności $s = f(t)$. Dla przykładu postać krzywej $k=F(t)$ dla podłoża niewzmocnionego oraz współczynnik korelacji R^2 podano poniżej.

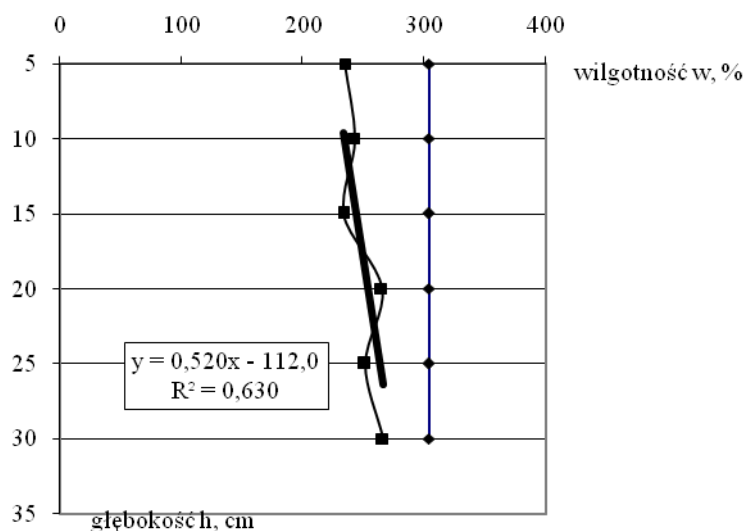
$$k = -4E-06 \ln(t) + 2E-05 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,7112$$

Chcąc możliwie najkrócej skomentować ten fragment badań modelowych, należałoby stwierdzić, że wzmocnienie podłoża kolumną kamienną przyśpiesza jego konsolidację, lecz wpływ ten nie jest tak duży jakby należało się spodziewać (zwiększenie współczynnika wodoprzepuszczalności torfu co najwyżej o rząd wielkości).

Na rys.3. pokazano zmianę wilgotności torfu wzmocnionego kolumną, zmierzoną po 5 dniach w odległości 5 cm od kolumny. Wyniki aproksymowano funkcją liniową.

Analizując przedstawione rysunki i pozostałe rezultaty należy stwierdzić, że przy zadanym obciążeniu konsolidującym równym 6,5 kPa wilgotność torfu w podłożu niewzmocnionym zmniejszyła się o ok.50% (ok.20% wilgotności wyjściowej), praktycznie równomiernie na całej głębokości. Podobnie jest w przypadku podłoża wzmocnionego, przy czym w większym stopniu zmiana to dotyczy otoczenia głowicy a w mniejszym stopy kolumny. Wydaje się, że podstawową przyczyną takiego przebiegu zmian wilgotności w podłożu wzmocnionym jest to, że nie opiera się ona bezpośrednio na warstwie wodoprzepuszczalnej. Bardzo prawdopodobne również, że zwiększenie obciążenia konsolidującego ma wpływ na omawiana zależność. Stąd potrzeba kontynuacji badań, zwłaszcza w warunkach terenowych.



Rys. 3. Podłoże wzmocnione kolumną. Zmiana wilgotności na głębokości po czasie $t = 5$ dni w odległości 5 cm od kolumny

Literatura

- [1] Kwiecień S.: Badania modelowe wbijanych kolumn kamiennych. XIV KKMGiG. Augustów, 2006, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, 29, ss.117-126.
 [2] Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2000.

CONSOLIDATION OF SUBSOIL REINFORCED WITH DYNAMIC STONE COLUMNS - LABORATORY TESTS

Summary

The paper presents the influence of creating dynamic stone columns on consolidation and changes of moisture content of subsoil. The conclusions are based on the results of the laboratory models.