

Wytrzymałość mechaniczna osadu a jego geneza na przykładzie wybranych utworów strefy marginalnej fazy pomorskiej zlodowacenia wisły

Jędrzej Wierzbicki¹, Renata Paluszkiewicz², Ryszard Paluszkiewicz²

¹Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Geotechniki, ul. Piątkowska 94, 61-606 Poznań

²Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Paleogeografii i Geoekologii, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań

Wprowadzenie

Właściwości mechaniczne gruntu charakteryzują osad pod względem jego zachowania się pod wpływem sił działających na fragment przestrzeni gruntowej. Wieloletnie doświadczenie związane z inżynierskim pojmowaniem litosfery wskazuje jednoznacznie na pewne prawidłowości pomiędzy wartościami parametrów wytrzymałościowych podłoża a jego genezą. O ile wpływ cech litologicznych osadu, takich jak granulometria i obtoczenie czy też struktury gruntu (jego gęstość), jest dobrze udokumentowany, to związek z syn- i postepozycyjnymi procesami geologicznymi, jest jedynie sygnalizowany. Wpływ na taki stan rzeczy ma m.in. dotychczasowa metodyka badawcza, zakładająca badania wytrzymałości osadów za pomocą testów laboratoryjnych, a więc wykonywanych na próbkach w różnym stopniu odprężonych w wyniku pobierania. Nowe możliwości analizy wpływu procesów geologicznych na cechy wytrzymałościowe osadu daje wykorzystanie nowoczesnych technik inżynierskich badań terenowych (Wierzbicki i in. 2006). Testy takie, jak np. statycznego sondowania, pozwalają na ocenę m.in. parametrów wytrzymałościowych osadu w miejscu jego występowania, niejako in statu nascendi. Wyniki takiej analizy mogą stanowić pomocną cechę wskaźnikową w analizie stratygrafii osadów (Kelley, Luttenegger 2004, Wierzbicki i in. 2007).

Charakterystyka rejonu badań

Badania korelacji cech wytrzymałościowych wykonano w osadach strefy marginalnej fazy pomorskiej zlodowacenia wisły (Pojezierze Szczecineckie). Wg Karczewskiego (1989) strefę marginalną obszaru lobu Parsęty podzielić można na cztery podstrefy: kotlin wytopiskowych, zewnętrzną, moreny martwego lodu i moreny kemowej, form przetańowych, wewnętrzną moreny kemowej. Szczegółowe badania przeprowadzono na linii Barwice–Kiełpino w obrębie osadów dwóch stref, a mianowicie: najszerszej strefy – moreny martwego lodu i moreny kemowej, a także kotlin wytopiskowych.

Metodyka badań

Zgodnie z hipotezą wytrzymałościową Coulomba-Mohra, na wytrzymałość na ścinanie gruntu mają wpływ zarówno własności gruntu związane z jego cechami litologicznymi (poprzez spójność i kąt tarcia wewnętrznego), jak i stan naprężenia występujący w podłożu (Glazer 1985). W trakcie niniejszych badań szczególną uwagę zwrócono na analizę wpływu zmian stanu naprężenia na parametry wytrzymałościowe. W celu ograniczenia oddziaływania innych zmiennych niż historia obciążenia na wartości parametrów wytrzymałościowych, badaniami objęto osady o podobnym składzie granulometrycznym. Do badań wytypowano 2 pokłady glin morenowych, kierując się różnym stopniem ich konsolidacji. Jedno-

* e-mail: jw@au.poznan.pl

czeńście pod uwagę wzięto jedynie gliny zlodowacenia wisły, unikając tym samym znaczącego wpływu innych postgenetycznych procesów warunkujących właściwości wytrzymałościowe (Crawford 1986). Na różnice w stopniu skonsolidowania analizowanych gruntów miały więc głównie wpływ zmiany stanu naprężenia, wywołane w trakcie depozycji oraz po jej zakończeniu. Zmiany te wynikały z samej dynamiki depozycji morenowej oraz wtórnej konsolidacji wcześniejszych pokładów glin przez kolejne oscylacje lądolodu.

Do badania wytypowanych osadów wykorzystano test sondowania statycznego. Jak zauważają m.in. Młynarek i Wierzbicki (2007), jest to jedno z podstawowych badań geoinżynierskich, wykorzystywanych obecnie na świecie. Test ten umożliwia identyfikację różnych cech badanego podłoża niezlityfikowanego, wśród nich również parametrów wytrzymałościowych (Lunne i in. 1997). Podstawowym parametrem charakteryzującym wytrzymałość glin morenowych na ścinanie w badaniu CPTU jest niedrenowana wytrzymałość na ścinanie s_u (wzór 1) (Lunne i in. 1997):

$$s_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} \quad (1)$$

gdzie: s_u – niedrenowana wytrzymałość na ścinanie, q_t – skorygowany opór stożka CPTU, σ_{v0} – składowa pionowa naprężenia geostaticznego, N_{kt} – współczynnik oporu stożka.

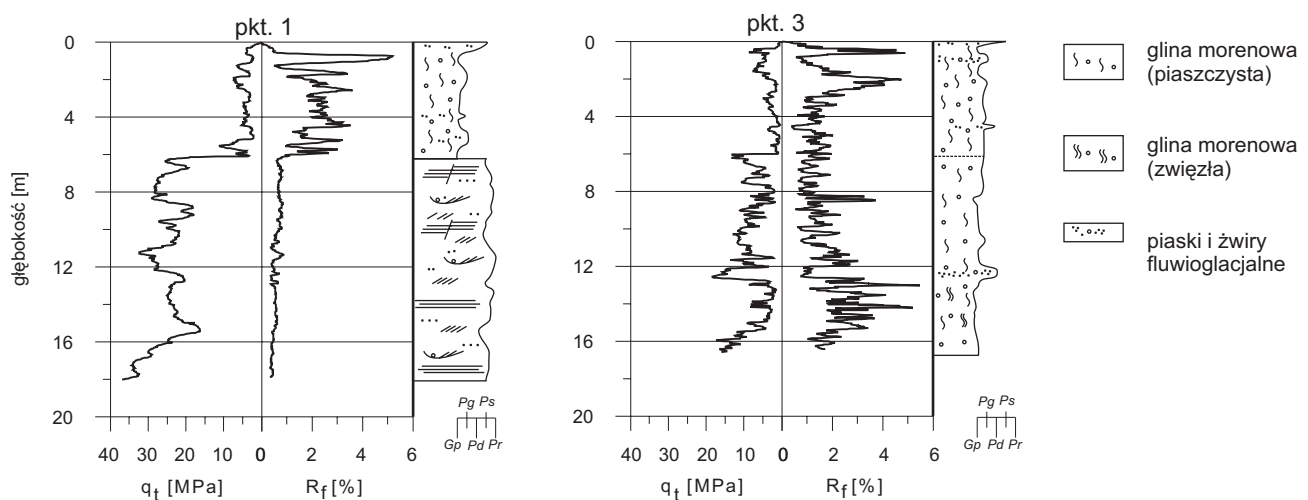
Niedrenowana wytrzymałość na ścinanie charakteryzuje osad, uwzględniając łącznie wpływ kąta tarcia wewnętrznego i spójności. Tym samym wartość niedrenowanej wytrzymałości na ścinanie odpowiada naprężeniu stycznemu, jakie jest wywoływane podczas zniszczenia struktury gruntu wskutek ścięcia. Przyjęcie takiego parametru do analizy umożliwia bezpośrednią ocenę stanu naprężenia w osadzie, np. poprzez wskaźnik przekonsolidowania OCR (Wierzbicki 2002, Karlsrud i in. 2005).

W celu możliwie pełnej charakterystyki litologicznej badanych osadów, z profili badawczych pobrano również próbki gruntu o nienaruszonej strukturze oraz dokonano analizy okolicznych odsłoneń, znajdujących się w nieczynnych wyrobiskach.

Wyniki badań i ich analiza

Szczegółowe badania przeprowadzono w trzech profilach badawczych, zlokalizowanych na przekroju poprzecznym wału morenowego, na linii Barwice–Kiełpino. W efekcie podstawowych prac badawczych uzyskano profile litologiczne oraz charakterystyki penetracji CPTU (ryc. 1).

Pod względem litologicznym każdy z punktów badawczych charakteryzuje się nieco inną budową. W profilu 1 od powierzchni występuje warstwa gliny morenowej o miąższości około 6 m. Utwór ten charakteryzuje się składem granulometrycznym odpowiadającym glinom piaszczystym, niekiedy piaskom gliniastym (wg klasyfikacji PN-86/B-02480). W obrębie tej warstwy stwierdzono występowanie licznych gładzików oraz ziaren żwiru, uzupełniających bezładną strukturę całości. Poniżej, aż do spągu profilu, stwierdzono obecność piaszczysto-żwirowej serii fluwioglacjalnej. Osady te charakteryzują się wyraźnym wykształceniem strukturalnym, od warstwowań poziomych i ukośnych po struktury korytowe, widoczne w okolicznych odsłonięciach. W profilu 2 wzdłuż niemal całego profilu badawczego stwierdzono występowanie gliny morenowej, o takiej samej litologii jak warstwa zaobserwowana w profilu 1. Jedynie lokalnie w warstwie tej występują kilkunasto-, najwyżej kilkudziesięcio-centymetrowe warstwy piaszczyste. W spągu tego profilu napotkano warstwę silnie skonsolidowanego piasku, podścielającego utwory morenowe. Profil 3 cechuje występowanie jedynie utworów morenowych. W górnej i środkowej partii profilu

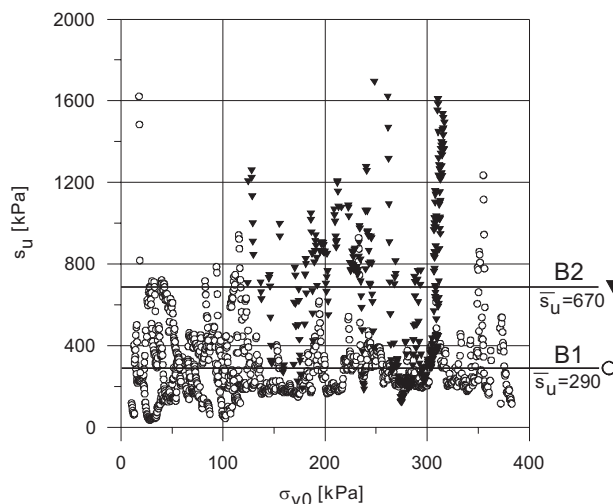


Ryc. 1. Charakterystyki penetracji CPTU na tle uogólnionych profili litologicznych punktów 1 i 3

litologicznie i strukturalnie odpowiadają one glinom morenowym stwierdzonym w poprzednich dwóch profilach. Jedyłą różnicą jest w tym wypadku nieco wyższa zawartość frakcji piaskowej, granulometrycznie przesuwaną bardziej w stronę piasku gliniastego. W części spągowej partii profilu w glinach wzrasta zawartość frakcji ilowej, jednak tylko lokalnie można wydzielić warstwy osadu opisane jako gliny piaszczyste zwięzłe (zawartość frakcji ilowej >20%).

Dodatkowych informacji o badanym osadzie dostarczyły wyniki testów CPTU. W interpretacji sondowań wykorzystano wyznaczone wartości skorygowanego oporu stożka q_p , współczynnika tarcia R_f (Wierzbicki i in. 2006) oraz niedrenowanej wytrzymałości na ścinanie s_u (wzór 1). W przypadku niedrenowanej wytrzymałości na ścinanie naprężenia pionowe wyznaczono zgodnie z zasadą superpozycji, a wartość współczynnika N_{kt} przyjęto za Karsrud i in. (2005) jako 10,5. Dane z sondowań podzielono zgodnie z wydzieleniami litofacjalnymi opisanymi powyżej. Dla czytelności podziału osady fluwiogłacjalne oznaczono jako grupę danych A, a gliny morenowe jako grupę danych B. Grupa danych A charakteryzuje osad niespoisty, o wyraźnej zmienności składu granulometrycznego, i z tych względów, na obecnym etapie badań, została wyłączona z bardziej szczegółowej analizy. Jak już wcześniej wspomniano, grupa danych B dotyczy osadów spoistych, w znacznej mierze jednorodnych pod względem litologii i struktury. Obserwując zmienność wyznaczonych parametrów geotechnicznych, stwierdzono jednak możliwość bardziej szczegółowego podziału grupy B na dwie podgrupy: B1 (odpowiadającą glinom morenowym z profili 1,2 i górnej partii profilu 3) oraz B2 (odpowiadającą środkowej i dolnej partii profilu 3).

Istotność zaobserwowanego podziału zbadano, analizując dane metodami statystycznymi. Liczność analizowanych podgrup danych wynosiła odpowiednio 1127 (grupa B1) i 338 (grupa B2). W pierwszym kroku analizy sprawdzono, czy obie wydzielone podgrupy nie różnią się statystycznie pod względem cech litologicznych. W tym celu wykorzystano parametr CPTU, którego wartość w znacznej mierze związana jest ze składem granulometrycznym badanego osadu – współczynnik tarcia R_f (Lunne i in. 1997, Wierzbicki i in. 2006). Do porównania obu podgrup wykorzystano analizę wariancji (Kala 1999). Wyniki analizy wskazują, że przy założonym poziomie istotności nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o braku różnic pomiędzy obydwoma podgrupami (wartość $p=0,22$). Tym samym można przyjąć, że statystycznie obie grupy tworzą jednorodny litologicznie kompleks glin morenowych. Następnie oceniono różnicę pomiędzy niedrenowaną wytrzymałością na ścinanie s_u , wyznaczoną w obu grupach. Ponownie wykorzystano analizę wariancji, której wyniki wskazują tym razem, że prawdopodobieństwo

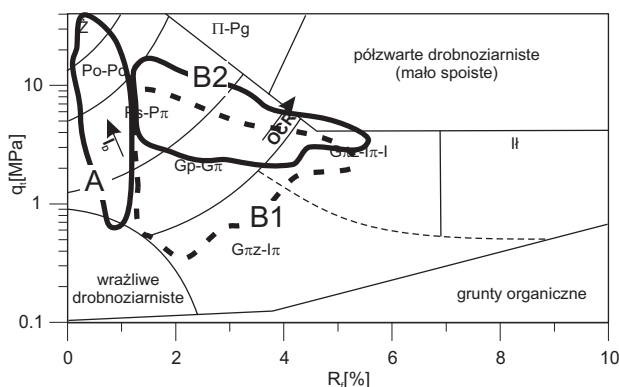


Ryc. 2. Porównanie rozkładów wartości niedrenowanej wytrzymałości na ścinanie podgrup B1 i B2

popelnienia błędu przy odrzuceniu hipotezy zerowej o braku różnic jest minimalne (wartość $p=0,00$). Na tej podstawie można przyjąć, że obie podgrupy różnią się w sposób statystycznie istotny ze względu na parametr s_u . Wniosek taki potwierdza również porównanie średnich wartości s_u – w podgrupie B1 wartość średnia jest około 2-krotnie niższa niż w grupie B2 (ryc. 2).

Dyskusja

Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują, że analizując wartości niedrenowanej wytrzymałości na ścinanie, badane gliny morenowe można podzielić na dwie grupy. Grupy te, przy braku znaczących różnic litofacjalnych, można zdaniem autorów opisać jako dwie serie: górną i dolną. Seria górna występuje we wszystkich analizowanych punktach, natomiast seria dolna tylko w jednym z nich. Seria górna cechuje się parametrami wytrzymałościowymi o wartościach typowych dla morenowych osadów normalnie konsolidowanych lub nieznacznie przekonsolidowanych. Obserwowany efekt przekonsolidowania, może wynikać z charakteru depozycji osadów morenowych, na którą bezpośredni wpływ miała dynamika lądolodu. Z innej strony, efekt ten może również być pozostałością po postdepozycyjnych procesach erozyjnych (o ile występuje w strefie przypowierzchniowej) lub wynikać z przebudowy struktury (wskutek np. pełzania i wysychania). Na tle serii górnej wyraźnie odróżnia się seria dolna, która w znacznie większym stopniu wykazuje efekt przekonsolidowania. Skala tego efektu, zobrazowana przez dwukrotny wzrost wytrzymałości na ścinanie, wskazuje na to, że osad uległ wtórnemu przekonsolidowaniu mechanicznemu w wyniku znacznego przeciążenia. W świetle tego stwierdzenia seria dolna jest nie tylko niższą stratygraficznie, ale i genetycznie starszą gliną morenową.



Ryc. 3. Lokalizacja badanych osadów na diagramie klasyfikacyjnym CPTU

Osobną pozycję zajmuje seria utworów fluwiogłajalnych, zalegająca zawsze poniżej górnej serii gliny morenowej. Taka pozycja stratygraficzna względem gliny górnej nasuwa przypuszczenie, że napotkane osady fluwiogłajalne są warstwą rozdzielającą obie serie glin morenowych. Bezpośrednią weryfikację tego przypuszczenia uniemożliwił niestety wysoki stopień konsolidacji utworów fluwiogłajalnych, charakterystyczny zresztą dla zakładanej pozycji stratygraficznej tych osadów.

Wnioski

Pozycja stratygraficzna wydzieleni dokonanych z wykorzystaniem wyników CPTU dobrze odpowiada ogólnym założeniom budowy geologicznej badanego obszaru. Na podstawie dokonanej analizy można przyjąć, że wydzielona seria górna glin reprezentuje gliny morenowe fazy pomorskiej, a z kolei seria dolna – gliny morenowe fazy poznańsko-leszczyńskiej. Tym samym niedrenowana wytrzymałość na ścinanie, wyznaczona na podstawie badania CPTU, może być dobrą cechą diagnostyczną, pomocną w analizie stratygraficznej.

Na celowość wykorzystania sondowania statycznego w analizie parametrów wytrzymałościowych wskazuje, oprócz wspomnianych na wstępie zalet testu in situ, obserwacja lokalizacji badanych osadów na diagramie klasyfikacyjnym CPTU (ryc. 3). Jak można zaobserwować, obszary zajęte przez gliny morenowe serii górnej i dolnej w pewnym stopniu się pokrywają. Nasuwa to wniosek, że tylko statystyczna analiza odpowiednio licznej populacji wyników daje możliwość obserwacji generalnych prawidłowości w zmianie parametrów wytrzymałościowych. Porównywanie pojedynczych danych dotyczących tych parametrów niesie

duże ryzyko popełnienia błędu w analizie stratygrafii całego profilu.

Artykuł powstał z wykorzystaniem środków przeznaczonych na naukę w latach 2005–2007 w ramach projektu badawczego 0562/P04/2005/29.

Literatura

- Crawford C.B. 1986. State of the Art.: Evaluation and Interpretation of Soil Consolidation Tests. Consolidation of Soils: Testing and Evaluation ASTM STP, 892. Philadelphia.
- Glazer Z. 1985. Mechanika Gruntów. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kala R. 1999. Elementy wnioskowania parametrycznego dla przyrodników. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- Karczewski A. 1989. Morfogeneza strefy marginalnej fazy pomorskiej na obszarze lobu Parsęty w vistulianie (Pomorze Środkowe). Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Seria Geografia 44: 1–48.
- Karlsrud K., Lunne T., Kort D.A., Strandvik S. 2005. CPTU correlations for clays. Proc. of 16 ICSMFE, Osaka, s. 693–702.
- Kelley S.P., Luttenegger A.J. 2004. Comparison of in situ tests to determine engineering properties of a deltaic sand. Proc. of ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization. Millpress, Rotterdam, s. 1663–1671.
- Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. 1997. Cone Penetration Testing in geotechnical practice. E&FN Spon, London.
- Młynarek Z., Wierzbicki J. 2007. Nowe możliwości i problemy interpretacyjne połowych badań gruntów. Geologos 11: 97–118.
- Wierzbicki J. 2002. Wykorzystanie techniki sondowania statycznego do oceny wskaźnika przekonsolidowania niektórych osadów plejstoceniowych. Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumietus, 1–2: 35–48.
- Wierzbicki J., Paluszkiewicz R., Paluszkiewicz R. 2006. Applications of cone penetration test in the analysis of stratigraphy of Cainozoic sediments. Questiones, 25A. Poznań.
- Wierzbicki J., Paluszkiewicz R., Paluszkiewicz R. 2007. Analiza zmienności litofacyjnej osadów zastoiska złocienieckiego w oparciu o wyniki sondowania statycznego. [W:] E. Smolska, D. Giritat (red.), Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady. Oficyna Wyd. Łośgraf, Warszawa, s. 427–438.