

MODELOWANIE OSIADAŃ PODŁOŻA SŁABEGO W OPARCIU O BADANIA IN SITU

1 CEL I ZAKRES PRACY

W pracy przedstawiono zagadnienie konsolidacji podłoża gruntowego na podstawie modelu konsolidacji gruntu Katedry Geotechniki Politechniki Szczecińskiej, Meyer [10]. Celem pracy było sformułowanie procedury obliczeniowej, która uwzględnia obliczenia pierwotnych parametrów mechanicznych gruntów. Model gruntu zakłada znajomość pierwotnych parametrów gruntu słabego przed pierwotnym obciążeniem. Wielkości tych nie możemy uzyskać na podstawie badań terenowych dlatego obliczenia przeprowadzono przy pomocy cytowanej procedury. Zakres pracy obejmował sformułowanie modelu osiadań w oparciu o badania terenowe przeprowadzone na Ostrowie Grabowskim w Szczecinie. Jako przykład obliczeniowy przyjęto dane gruntowe i obciążenie takie jak na Nabrzeżu Fińskim w Porcie Szczecińskim.

2 PRZEGLĄD LITERATURY

W literaturze można znaleźć szereg modeli opisujących konsolidację. Przegląd tych metod podano w pracy A. Plucińskiej [15]. Pracę oparto na modelu opracowanym w Katedrze Geotechniki Politechniki Szczecińskiej. W pracy Meyera [10] przedstawiono uproszczony model konsolidacji torfów przy zmiennym obciążeniu próbki. Przedstawiona metoda, zastosowana do analizy badań edometrycznych torfów wstępnie skonsolidowanych, wskazuje, iż moduł ściśliwości musi być obliczany z uwzględnieniem prekonsolidacji oraz właściwości plastyczno-sprężystych. Inny model do obliczeń ścinania gruntów miękkoplastycznych i torfów zaproponowany został przez Den Hann'a w artykule [5]. Model swój oparł on na relacjach pomiędzy naprężeniami, odkształceniami i współczynnikiem pełzania, które określane są na podstawie badań uzyskanych z edometru. Istotną rolę w tym modelu odgrywa czynnik czasu.

Zjawiskiem konsolidacji pierwotnej zajęli się G. Merli, T.D. Stark, M.A. Ajlouni, C.S. Chen [8]. Według autorów konsolidacja pierwotna w warunkach polowych może trwać tydzień lub miesiąc.

Autorzy badając próbki gruntu o nienaruszonej strukturze w edometrze wyjaśnili związki pomiędzy wskaźnikiem porowatości a wtórnym osiadaniem.

Analizą wpływu czasu zakończenia badania na wartości parametrów równania empirycznego zajęli się Meyer i Bednarek [11]. Analizując powyższe zjawisko w zależności od ilości punktów pomiarowych zaobserwowali zmiany parametrów równania empirycznego. Poza tym wg powyższej pracy ilość punktów pomiarowych podczas badania wpływa na dokładność krzywej elementarnej przebiegu osiadania w czasie. W artykule [7] Kozłowskiego opisano proces osiadania próbki gruntu organicznego z okolic brzegu przekopu Mieleńskiego oddzielającego Wielką Kępę od Ostrowa Grabowskiego łączącego Odrę z kanałami portowymi i Regalicą, od momentu przyłożenia obciążenia do momentu zakończenia badania. Do badania użyto próbek gruntu o kształcie walca średnicy 65 mm i wysokości 20 mm. Osiadanie zostało pomierzone za pomocą indukcyjnych czujników przemieszczeń.

W badaniu uwzględnione zostały uzmiennione parametry krzywej elementarnej D i p , których największe zmiany zostały zaobserwowane w początku osiadania próbki gruntu. Powyższe parametry doskonale opisały przebieg osiadania pomierzonego do obliczonego. W Katedrze Geotechniki Politechniki Szczecińskiej wykonano badania osiadania torfów uwzględniając wspomniany model w różnych źródłach w tym przy zmiennym obciążeniu Bednarek [1], [2], Kozłowski [12], Meyer [9]. Szerszej weryfikacji współczynników empirycznego modelu konsolidacji torfów dokonał Kowalów w pracy [6]. Empiryczne zależności pomiędzy parametrami D , p i α (wyznaczone na podstawie pomiarów edometrycznych) dla gruntu organicznego, są tematem pracy Meyera i Mrozińskiej [14]. Zaproponowane przez autorów [14] równania z różną dokładnością opisują doświadczalną krzywą osiadania. Występuje znaczna zmienność parametrów obu równań dla poszczególnych prób gruntu. Autorzy podjęli próbę opisu zjawiska konsolidacji empirycznymi zależnościami. Coufal i Kopczyńska [3] skupili się na weryfikacji empirycznego modelu gruntu organicznego w warunkach częściowego odciążenia, przy relacji obciążenia – osiadania. Przedstawiono empiryczne równanie gruntu organicznego pozwalające na obliczenie parametrów D , p i α na podstawie pomiarów edometrycznych. Wyniki badań laboratoryjnych wykazały, że po usunięciu części obciążenia, badana próbka gruntu odpręża się bardziej niż wskazuje na to wartość zdjętego obciążenia. Trwa to tylko przez chwilę i grunt ponownie „powraca” do poprzedniej fazy osiadania.

Analiza dostępnej literatury wykazała brak literatury opisującej problem modelowań osiadań podłoża słabonośnego dla celów inżynierskich. W niniejszym opracowaniu wykorzystano modele konsolidacji gruntu słabego do prognozy osiadań gruntu słabego.

3 ANALIZA ZJAWISKA

Jako podstawowy związek obciążenie – osiadanie przyjęto

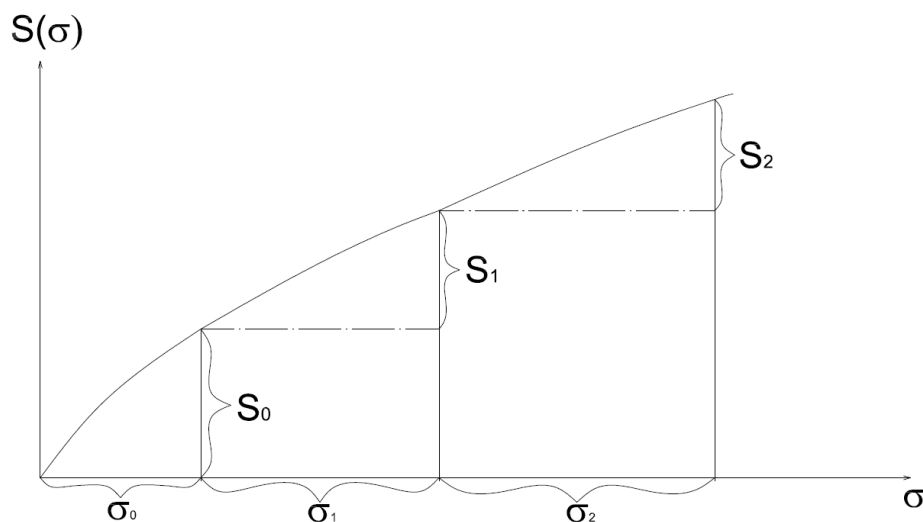
$$S = \frac{\sigma}{E} H \quad (1)$$

gdzie H jest miąższością warstwy konsolidowanej. W rozpatrywanym przypadku moduł ściśliwości gruntu słabego E jest funkcją osiadania. Glazer [4] podaje związek pomiędzy zmianą wskaźnika porowatości a zwiększeniem się modułu w postaci

$$\frac{E(s)}{E_0} = \left[\frac{e_0}{e_s} \right]^2 \quad (2)$$

Z równania tego można wyprowadzić zależność na osiadanie wywołane obciążeniem [10,11]. W ogólnym przypadku potęga występująca w równaniu (2) może zmieniać się w zależności od rodzaju próbki. Badania wykazały, że potęga dla próbek zawiera się w granicy $1,75 \div 2,0$. W celu przejrzystości obliczeń oraz mając na względzie przedstawienie metody w dalszej części pracy, przyjęto potęgę równą 2,0.

Schematycznie proces osiadania przedstawia wykres 1. Zgodnie z tym rysunkiem możemy opisać poszczególne stany.



Wykres 1. Zależność osiadania od obciążenia gruntu

Osiadanie wywołane obciążeniem pierwotnym σ_0

$$S_0 = H_0 \frac{\sigma_0}{M_0} \frac{1}{1 + \frac{\sigma_0}{n_0 M_0}} \quad (3)$$

Osiadanie pod wpływem pierwszego obciążenia warstwą przeciążającą

$$S_0 + S_1 = H_0 \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{M_0} \frac{1}{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{n_0 M_0}} \quad (4)$$

Osiadanie pod wpływem kolejnego obciążenia

$$S_0 + S_1 + S_2 = H_0 \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{M_0} \frac{1}{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{n_0 M_0}} \quad (5)$$

Przedstawiona metoda zakłada, że znane są parametry gruntu nieobciążonego. Wielkości tych nie znamy i dlatego musimy je obliczyć z późniejszych badań „in situ”. Szukamy n_0 , M_0 i H_0 z równań (2), (3) i (4). Mamy

$$\frac{S_0 + S_1}{S_0} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{\sigma_0} \cdot \frac{1 + \frac{\sigma_0}{n_0 M_0}}{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{n_0 M_0}} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{\sigma_0} \cdot \frac{n_0 M_0 + \sigma_0}{n_0 M_0 + \sigma_0 + \sigma_1} \quad (6)$$

$$\frac{S_0 + S_1 + S_2}{S_0} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{\sigma_0} \cdot \frac{1 + \frac{\sigma_0}{n_0 M_0}}{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{n_0 M_0}} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{\sigma_0} \cdot \frac{n_0 M_0 + \sigma_0}{n_0 M_0 + \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2} \quad (7)$$

W równaniach (6) i (7) nie znamy pierwotnego poziomu terenu czyli nie znamy S_0 . Szukamy równań, aby znaleźć n_0, M_0 . To prowadzi do następujących rozważań:

Ogólnie porowatość definiujemy jako

$$n = \frac{V_P}{V} \quad (8)$$

dla torfu nieobciążonego mamy:

$$n_* = \frac{V_{P0}}{V} \quad (9)$$

Jeżeli próbki pobieramy po zakończeniu obciążeń σ_0 to możemy napisać:

$$n_0 = \frac{V_{P0} - S_0 \cdot A}{H_0 \cdot A} = n_* - \frac{S_0}{H_0} \quad (10)$$

oraz następnie:

$$n_1 = \frac{V_{P0} - S_0 \cdot A - S_1 \cdot A}{H_0 \cdot A} = n_* - \frac{S_0 + S_1}{H_0} \quad (11)$$

a po kolejnej zmianie obciążenia

$$n_2 = \frac{V_{P0} - S_0 \cdot A - S_1 \cdot A - S_2 \cdot A}{H_0 \cdot A} = n_* - \frac{S_0 + S_1 + S_2}{H_0} \quad (12)$$

W dalszej pracy przyjęto, że porowatość pierwotna n_* jest tą która była przed pierwotnym obciążeniem n_0 . Jeżeli równanie obciążenie – osiadanie odniesiemy do torfu nieobciążonego to otrzymamy:

$$1 + \frac{S_1}{S_0} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{\sigma_0} \cdot \frac{\sigma_0 + n_* M_*}{\sigma_0 + \sigma_1 + n_* M_*} \quad (13)$$

oraz

$$1 + \frac{S_1}{S_0} + \frac{S_2}{S_0} = \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{\sigma_0} \cdot \frac{\sigma_0 + n_* M_*}{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + n_* M_*} \quad (14)$$

Z równania (13) obliczamy S_0 i podstawiamy do zależności (14). Otrzymamy jedno równanie z dwiema niewiadomymi (n_* , M_*) w postaci

$$S_0 = \frac{S_1}{\frac{\sigma_0 + n_* M_*}{\sigma_0 + \sigma_1 + n_* M_*} \cdot \frac{\sigma_0 + \sigma_1 - 1}{\sigma_0}} \quad (15)$$

Za iloczyn $n_* \cdot M_*$ podstawiamy x :

$$n_* \cdot M_* = x \quad (16)$$

Po podstawieniu mamy

$$x = \frac{S_2 \sigma_1 (\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2) - S_1 (\sigma_2 \sigma_0)}{(S_1 \sigma_2 - S_2 \sigma_1)} \quad (17)$$

oraz następnie

$$x + \sigma_0 = \frac{S_2 \cdot \sigma_1 (\sigma_1 + \sigma_2)}{S_1 \cdot \sigma_2 - S_2 \cdot \sigma_1} \quad (18)$$

Po obliczeniu x możliwe jest obliczenie S_0 ze wzoru (15). Mamy

$$S_0 = S_1 \cdot \frac{\sigma_0 \cdot (\sigma_0 + \sigma_1 + x)}{\sigma_1 x} \quad (19)$$

Do opisanego modułu M_1 , M_2 , oraz M_3 zmiennego wraz z obciążeniem wykorzystujemy zależności:

dla obciążenie od 0 do σ_0

$$M_1 = M_* \left(1 + \frac{\sigma_0}{x}\right)^2 \quad (20)$$

dla obciążenie od σ_0 do $\sigma_0 + \sigma_1$

$$M_2 = M_* \left(1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{x}\right)^2 \quad (21)$$

dla obciążenie od $\sigma_0 + \sigma_1$ do $\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2$

$$M_3 = M_* \left(1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{x}\right)^2 \quad (22)$$

Możemy również powiedzieć jak zmieniają się moduły pomiędzy kolejnymi obciążeniami

$$\frac{M_2}{M_1} = \left(\frac{x + \sigma_0 + \sigma_1}{x + \sigma_0}\right)^2 \quad (23)$$

$$\frac{M_3}{M_2} = \left(\frac{x + \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{x + \sigma_0 + \sigma_1}\right)^2 \quad (24)$$

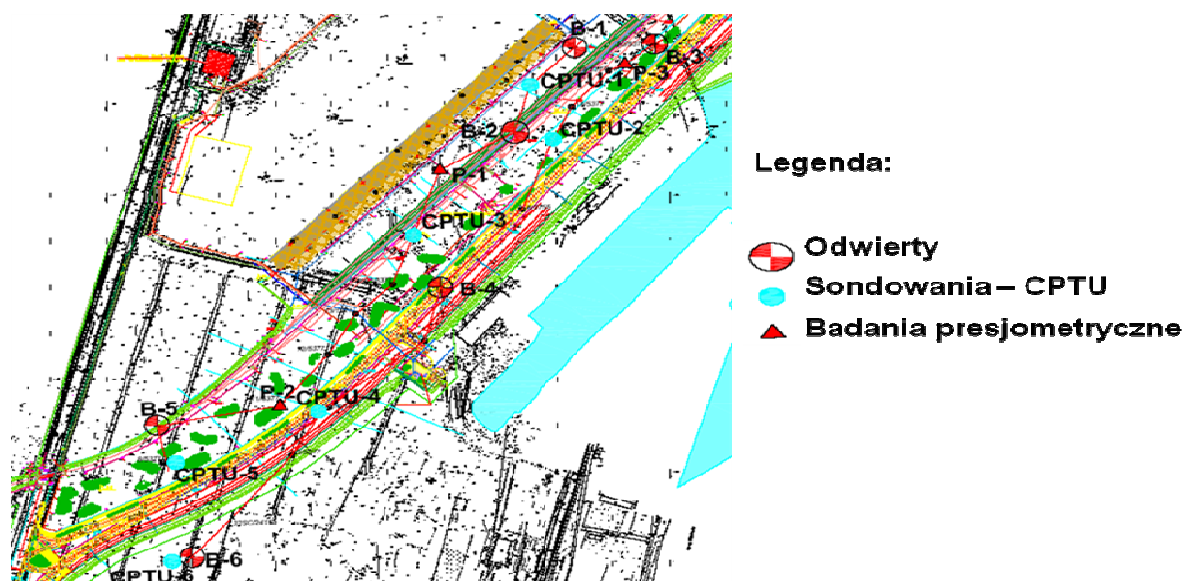
$$\frac{M_3}{M_1} = \left(\frac{x + \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2}{x + \sigma_0}\right)^2 \quad (25)$$

W badaniach „in situ” określamy module ściśliwości po zakończeniu kolejnych przeciążeń konsolidacyjnych. Znając M_1 lub M_2 możemy znaleźć M_* , a stąd uzyskamy wszystkie parametry modelu: S_0 , M_* oraz n_* , bo

$$n_* = \frac{M_*}{x} \quad (26)$$

4 MODEL OSIADAŃ GRUNTU

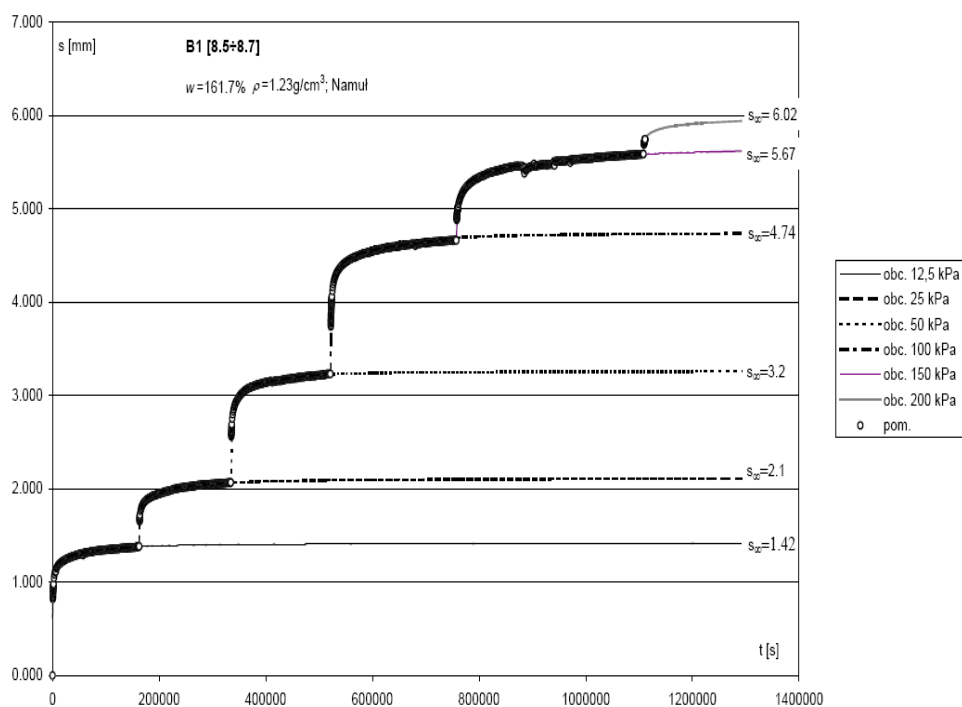
Weryfikację modelu przeprowadzono na przykładzie konsolidacji gruntu słabego na Nabrzeżu Fińskim w Szczecinie. W wyniku przeprowadzonych badań polowych podłoże gruntowe na Ostrowie Grabowskim rozpoznano poprzez odwierty, sondowanie CPTU oraz badania presjometyczne. Lokalizację obszaru, na którym przeprowadzono badania pokazano na rysunku 1.



Rys. 1 Lokalizacja punktów badawczych na Ostrowie Grabowskim

Badania geotechniczne wykazały, że podłoże stanowią piaski drobne i średnie, lokalnie pylaste z soczewkami namulów, torfów i glin pylastych. W wyższej warstwie występują grunty organiczne o zmiennej miąższości od 1,1 do 12,8 m. Gruntu słabonośne przykryte są warstwą niekontrolowanych nasypów pochodzących z urobku robót pogłębiarskich (refulat), których skład i miąższość są bardzo zróżnicowane. Warstwę wodonośną stanowią piaski rzeczne podścielające grunty organiczne. Zwierciadło wody gruntowej nawiercone zostało na głębokości od 4,3 – 14,3 m p.p.t. i stabilizuje się na głębokości od 2,8 – 4 m p.p.t.. Wody gruntowe mają kontakt hydrauliczny z wodami powierzchniowymi.

Przekroje geologiczno – inżynierskie zostały opracowane na podstawie prac polowych i badań laboratoryjnych gruntów. Lokalizacja odwiertów przedstawiona została na rysunku 1, natomiast przekrój geotechniczny gruntu obciążonego nasypem z refulatu jako rysunek 2.



Wykres 2. Krzywe ścisłości dla B1 [8,5– 8,7] uzyskane na podstawie badań w edometrze

Próbki torfów i namulów charakteryzują się odmiennymi parametrami fizycznymi i wytrzymałościowymi. Wpływa to na znaczne różnice osiadań. Należy pamiętać o tym, że badania ścisłości gruntu w edometrze nie odzwierciedlają w pełni zachowania się gruntów organicznych w warunkach naturalnych (może to prowadzić do różnic w osiadaniach nasypu).

5 PRZYKŁAD OBLICZENIOWY DLA OSTROWA GRABOWSKIEGO

Podłoże organiczne odkształca się i zmienia swoją budowę towarzyszy temu zjawisku proces zmniejszania się porowatości gruntu powiązany z wyciskaniem wody z porów. Przy niedużym obciążeniu uzyskuje się znaczne odkształcenia (zależność obciążenia – osiadanie według badań przeprowadzonych w KG PS charakteryzuje się silną nieliniowością). Wydłużenie czasu konsolidacji spowodowane jest zmniejszeniem współczynnika filtracji, który z kolei wywołany jest zmianą porowatości podłoża gruntowego.

Założenia przyjęte w celu oceny osiadań gruntów organicznych na Ostrowie Grabowskim:

- konsolidacji nie podlegają nasypy stare (zalegający dłużej niż dwa lata),
- obciążenie podłoża organicznego istniejącym nasypem nie powoduje dalszego osiadania,
- jedynie obciążenie podłoża organicznego nowym nasypem powoduje jego osiadanie,
- nowy nasyp po wykonaniu i odpowiednim zagęszczeniu nie będzie osiadał gdy posiada miąższość wynikającą z projektowanej niwelety i istniejących rzędnych terenu.

Do obliczenia osiadania po zwiększeniu obciążenia od zera do σ stosujemy wzór:

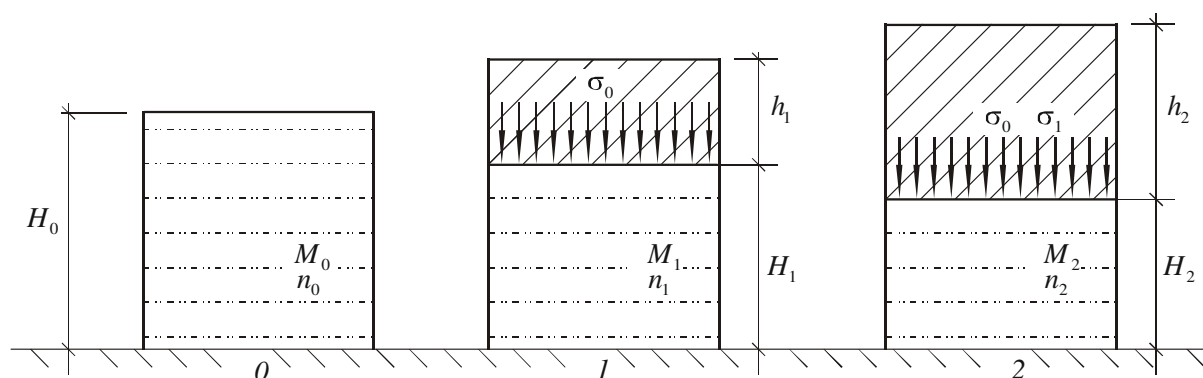
$$S(\sigma) = H_0 \frac{\sigma}{M_0} \frac{1}{1 + \frac{\sigma}{n_0 M_0}} \quad (27)$$

Natomiast do obliczania modułu ścisłości zastosowano poniższy wzór:

$$M(\sigma) = M_0 \left(1 + \frac{\sigma}{n_0 M_0}\right)^2 \quad (28)$$

Obliczenie kolejnych obciążeń σ oraz wielkości S_1 i S_2 przeprowadzono na podstawie posiadanych profili gruntowych. Moduły ścisłości M_1 i M_2 obliczono na podstawie badań „in situ” oraz badań laboratoryjnych gruntu. Na podstawie analizy zjawiska przeprowadzonej na poprzednim rozdziale można przeprowadzić poniższe obliczenia osiadań.

Profil gruntu schematycznie pokazano na rysunku 3.



Rys. 3 Schemat procesu osiadania pod wpływem obciążeń

Na podstawie obliczeń mamy: $\sigma_0 = 60kPa$ (osiadania S_0 nie znamy), $\sigma_1 = 83kPa$ oraz osiadanie $S_1 = 0,75m$, ponadto $\sigma_2 = 111kPa$, oraz osiadanie $S_2 = 0,41m$. Dla tych wielkości możemy obliczyć na podstawie wzoru (18):

$$x + \sigma_0 = \frac{0,41 \cdot 83 \cdot (83 + 111)}{0,75 \cdot 111 - 0,41 \cdot 83} \cong 134kPa \quad \text{stad } x = 134 - 60 = 74kPa$$

Następnie obliczamy osiadanie S_0 ze wzoru (19):

$$S_0 = 0,75 \cdot \frac{60 \cdot (60 + 83 + 74)}{83 \cdot 74} = 1,59m$$

Następnie sprawdzamy moduły ścisłości w poszczególnych fazach obciążeń. Mamy:

$$M_1 = M_* \left(1 + \frac{60}{74}\right)^2 = M_* \cdot 3,28;$$

$$M_2 = M_* \left(1 + \frac{60+83}{74}\right)^2 = M_* \cdot 8,60;$$

$$M_3 = M_* \left(1 + \frac{60+83+111}{74}\right)^2 = M_* \cdot 19,65$$

Ponieważ znamy moduł M_1 : $M_1 = 600kPa$ dlatego $M_* = \frac{600}{3,28} = 183kPa$ oraz następnie możemy

obliczyć n_* porowatość pierwotną. Mamy:

$$x = n_* \cdot M_* = 74kPa \text{ stąd } n_* = \frac{74}{183} = 0,41$$

Ponieważ obliczyliśmy wszystkie parametry pierwotnego torfu nieobciążonego możemy napisać że:

$M_0 = 183kPa$; $n_0 = 0,41$; $H_0 = 8,78m$, a ponadto znamy moduły po każdym obciążeniu:

$M_1 = 600kPa$; $M_2 = 1572kPa$; $M_3 = 3591kPa$.

Możemy teraz sprawdzić osiadanie po każdej fazie obciążenia. Po pierwszym obciążeniu będziemy mieli:

$$H_0 - H_1 = H_0 \frac{\sigma_0}{M_0} \cdot \frac{n_0 \cdot M_0}{M_0 \cdot n_0 + \sigma_0} \quad (27)$$

$H_1 = 7,19m$ stąd $H_0 - H_1 = 1,59m$. Po drugim obciążeniu będziemy mieli:

$$H_0 - H_2 = H_0 \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{M_0} \cdot \frac{n_0 \cdot M_0}{M_0 \cdot n_0 + \sigma_1 + \sigma_2} \quad (28)$$

$H_2 = 6,44m$ oraz $H_0 - H_2 = 2,33m$ oraz odpowiednio

$H_3 = 6,03m$ wtedy $H_0 - H_3 = 2,74m$ a stąd $S_1 = 0,75m$ oraz $S_2 = 0,41m$

Ważnym czynnikiem wpływającym na konsolidację gruntów organicznych jest położenie zwierciadła wody gruntowej. Torfy o dużej miąższości zazwyczaj znajdują się w sąsiedztwie zbiorników wodnych lub rzek. Sąsiedztwo to powoduje wahania zwierciadła wody gruntowej. Podczas wysokich stanów wód gruntowych część nasypów obciążających położona jest poniżej zwierciadła wody co jest powodem występowania siły wyporu. W analizowanym przypadku pominięto wypór.

Analizując jaki wpływ ma położenie zwierciadła wody na obciążenie konsolidacyjne trzeba pamiętać o następujących założeniach:

- kolumna torfu posiada miąższość pierwotną H_0 ,
- kolumna ta posadowiona jest na warstwie nieodkształcalnej,
- zwierciadło wody gruntowej znajduje się poniżej pierwotnego poziomu terenu,
- ściskanie torfu wywołane jego ciężarem własnym jest pomijalne.

W praktyce zmiana poziomu wody gruntowej o 0,5 m powoduje osiadanie nie przekraczające kilku centymetrów. Wartość ta zależy jest od objętości gruntu wchodzącego w skład nasypu oraz modułu ścisłości gruntu organicznego (torfu) po konsolidacji.

6 WNIOSKI

Celem pracy była analiza warunków konsolidacji podłoża nasypem z refulatu na Nabrzeżu Fińskim. W pracy szczegółowo przedstawiono zjawisko konsolidacji podłoża gruntowego w oparciu o badania „in situ”. W pracy podano przegląd literatury dotyczący właściwości fizycznych, mechanicznych torfów, matematyczny opis ściskania, a także mechanizmy konsolidacji. W pracy szczególną uwagę poświęcono analizie warunków geotechnicznych w rejonie Nabrzeża Fińskiego, jak również konsolidacji gruntów słabonośnych nasypem z refulatu oraz obliczeniom wartości S_0 , M_0 , n_0 . Metoda obliczeniowa może być zastosowana do praktycznych obliczeń inżynierskich.

Z powyższej pracy nasuwają się następujące szczegółowe wnioski:

- Na obszarze badań występują dwa rodzaje gruntów organicznych (torfy i namuły) o różnych właściwościach fizycznych i mechanicznych.
- Warstwy gruntów organicznych charakteryzuje się dużą zróżnicowaną miąższością od 1,1 m – 12,8 m.
- Warstwy słabonośne w niektórych rejonach Ostrowa Grabowskiego przykryte są refulatem o różnej miąższości i właściwościach fizycznych oraz mechanicznych.
- Zalegający refulat spowodował częściową konsolidację słabonośnych gruntów zalegających w niższych warstwach geotechnicznych.

Przedstawiony w niniejszym opracowaniu przykład obliczeniowy miał na celu przedstawienie możliwości metody. W praktycznych obliczeniach kiedy miąższość warstw zmienia się i zmieniają się parametry gruntowe obliczenia należy przeprowadzić dla każdego z profili pionowych. Wtedy może się okazać, że powierzchnia terenu – nasyp przeciążający wykazuje różne osiadania. Program dalszych badań przewiduje uwzględnienie tego problemu.

SPIS OZNACZEŃ

E - moduł odkształceń przy jednostkowym osiadanu

E_0 - moduł odkształceń próbki nie obciążonej

H_0 - wysokość próbki nie obciążonej

H_1 - wysokość próbki po pierwszym obciążeniu

H_2 - wysokość próbki po drugim obciążeniu

M_0 - moduł ściśliwości próbki nie obciążonej
 M_1 - moduł ściśliwości próbki po pierwszym obciążeniu
 M_2 - moduł ściśliwości próbki po drugim obciążeniu
 M_* - moduł ściśliwości pierwotny
 n_0 - porowatość próbki nie obciążonej
 n_1 - porowatość próbki po pierwszym obciążeniu
 n_2 - porowatość próbki po drugim obciążeniu
 n_* - porowatość pierwotną
 S_0 - osiadanie podłoża gruntowego nie poddanego obciążeniu
 S_1 - osiadanie podłoża gruntowego poddanego pierwszemu obciążeniu
 S_2 - osiadanie podłoża gruntowego poddanego drugiemu obciążeniu

SPIS LITERATURY

1. Bednarek R.: Uproszczony model jednoosiowego osiadania gruntu organicznego przy cyklicznych obciążeniach, w: IX seminarium naukowe, Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry, Rugia, 8 – 10 czerwiec 2001, s. 37 – 48.
2. Bednarek R.: Weryfikacja empirycznego modelu gruntu organicznego na przykładzie osiadania przypory popiołowo – cementowej, w: XIV seminarium naukowe, Regionalne problemy ochrony środowiska, Międzyzdroje, 2 – 3 czerwiec 2006, s. 141 – 148.
3. Coufal R., Kopczyńska O.: Empiryczny model osiadania gruntu organicznego w warunkach częściowego odciążenia, w: XIII seminarium naukowe, Regionalne problemy ochrony środowiska w zjednoczonej Europie, Szczecin - Norymberga, 2 – 5 czerwiec 2005, s. 21 – 28.
4. Głazer Z.: Mechanika gruntów, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1985, s. 328.
5. E.J. Den Haan: A compression model for non-brittle soft clays and peat, w: Geotechnique vol. 46(1), 1996 s. 1 – 16.
6. Kowalów M.: Empiryczny model konsolidacji torfów w warunkach długiego czasu konsolidacji, w: Geotechnika IV, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej Instytut Inżynierii Wodnej, Szczecin 1988 s. 69 – 77.
7. Kozłowski T.: Zmienność w czasie parametrów empirycznego modelu gruntu organicznego, w: XIII seminarium naukowe, Regionalne problemy ochrony środowiska w zjednoczonej Europie, Szczecin - Norymberga, 2 – 5 czerwiec 2005, s. 11 – 16.
8. Mesli G, Stark T.D., Ajlouni M.A., Chen C.S.: Secondary compression of peat with or without surcharging, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering , vol. 123, No. 5 May 1997, s. 411 – 421.

9. Meyer Z.: Empiryczny model konsolidacji torfów, w: Geotechnika IV, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej Instytut Inżynierii Wodnej, Szczecin 1988, s. 79 – 100.
10. Meyer Z.: Uproszczony model jednoosiowej konsolidacji torfów, w: Geotechnika VII, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej Katedra Geotechniki, Szczecin 1991, s. 97 – 110.
11. Meyer Z., Bednarek R.: Wpływ czasu zakończenia badania osiadania na wartość parametrów empirycznego modelu gruntu słabego, w: XI seminarium naukowe, Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry. Problemy inżynierii środowiska w województwie Zachodniopomorskim, Szczecin – Ystad – Międzyzdroje, 30 – 31 maj 2003, s. 49 – 56.
12. Meyer Z., Kozłowski T.: Mathematical description of elasto – plastic test of peat samples in oedometer and tri-axial compression apparatus, w: Geotechnics X Proceedings of the fourth international seminar on environmental protection – regional problems, Technical University of Szczecin department of Geotechnical Engineering, Szczecin 1994 wrzesień 23, s. 85 – 94.
13. Meyer Z., Kozłowski T.: Model of organic soil settlements for periodic loading during oedometer test, w: XIII seminarium naukowe, Regionalne problemy ochrony środowiska w zjednoczonej Europie, Szczecin - Norymberga, 2 – 5 czerwiec 2005, s. 59 – 62.
14. Meyer Z., Mrozińska G.: Empiryczna formuła osiadania torfów występujących w rejonie Wyspy Puckiej, określona w oparciu o badania laboratoryjne, w: Geotechnika II, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej Instytut Inżynierii Wodnej, Szczecin 1986 s. 37 – 36.
15. Plucińska A. Praca magisterska: Konsolidacja podłoża nasypem z refulatu na Nabrzeżu Fińskim, Szczecin, 2008.
16. Dokumentacja badania podłoża gruntowego (materiały własne LGA Bautechnik GmbH Oddział w Polsce), wrzesień 2006.