

OZNACZANIE PIONOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA KONSOLIDACJI (C_v) NAMULÓW ORGANICZNYCH METODAMI IL I CL

Edyta Majer¹, Tomasz Białobrzeski²

¹Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa

²Menard Polska Sp. z o.o., Warszawa

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań edometrycznych (IL – incremental loading) i konsolidacyjnych (CL – continuous loading) wybranych próbek namulów gliniastych i piaszczystych. Wyniki badań wykorzystano do określenia współczynnika konsolidacji pionowej (c_v). Dokonano analizy przebiegu różnych typów krzywych konsolidacyjnych z badań IL zgodnie z podziałem zaproponowanym przez Leonards and Girault. W pracy zaprezentowano wartości otrzymanych współczynników konsolidacji z badań IL i CL przy wykorzystaniu trzech metod. W przypadku badań edometrycznych zastosowano graficzne metody: Taylora oraz poszukiwania quasi-constans odcinków. Z przeprowadzonych badań CL określono c_v metodą zaproponowaną przez Dobaka, odwołującą się do zależności pomiędzy parametrem C_{CL} oraz względnym czasem konsolidacji T_{CL} .

Słowa kluczowe: grunty organiczne, współczynnik konsolidacji, badania IL, badania CL

WSTĘP

W związku z ciągłym rozwojem budownictwa coraz częściej dochodzi do przypadków, kiedy słabonośne podłoże występuje pod projektowanym obiektem budowlanym. W takich sytuacjach poszukuje się metod wzmocnienia podłoża gruntowego, które zapewnią spełnienie warunków bezpieczeństwa użytkowanego obiektu, poprawiając parametry wytrzymałościowe. Do jednych z najstarszych metod wzmocniania gruntów należą metody konsolidacyjne z wykorzystaniem przeciążenia oraz drenażu pionowego w formie prefabrykowanych lub żwirowo-piaskowych drenów czy kolumn żwirowych lub kamienistych.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Tomasz Białobrzeski, Menard Polska Sp. z o.o., ul. Kochanowskiego 49a, 01-864 Warszawa, e-mail: tbialobrzeski@menard.pl

Przy prognozowaniu przebiegu osiadań konsolidacyjnych istotnym parametrem jest współczynnik konsolidacji (c_v). Wyznaczenie go na podstawie badań edometrycznych tradycyjnymi metodami graficznymi według Casagrandego i Taylora może stanowić w gruntach organicznych istotny problem interpretacyjny i prowadzić do rozbieżności wyników.

Celem analizy było oznaczenie współczynników konsolidacji (c_v) na podstawie wybranych próbek gruntów organicznych – namulów, wykorzystując badania w edometrze (IL) i konsolidometrze przy ciągle rosnącym obciążeniu (CL) w odniesieniu do różnych typów krzywych konsolidacyjnych.

METODYKA

W zależności od sposobu obciążania gruntu wyróżnia się dwa sposoby badania ścisłości gruntów: skokowy (incremental loading – IL), ciągły (continuous loading – CL). Badania typu IL, zgodnie z polską nomenklaturą, nazywane są tradycyjnie badaniami edometrycznymi. Polegają one na etapowym obciążeniu próbki aż do momentu ustabilizowania się osiadań. Obecnie stosowane w laboratoriach aparatury do badań IL umożliwiają, poza rejestracją odkształcenia, również pomiar ciśnienia wody w porach, np. w edometrze typu Rowe'a [Head 1986].

Od lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku wdrażane i rozwijane są badania typu CL, których zaletami są między innymi: krótki czas realizacji procedury, szeroki zakres naprężeń, równoczesny pomiar odkształceń i filtracji wody oraz mniejsze błędy pomiarowe odnośnie do badań edometrycznych.

Na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych nastąpił znaczny postęp badań CL, bowiem stworzone zostały nowe metody badań: ze stałą prędkością odkształcenia gruntu (constant rate of strain – CRS), z kontrolowanym gradientem (controlled gradient – CG), ze stałą prędkością obciążenia (constant rate of loading – CRL) [Dobak 1999].

Badania typu IL wykonano bez pomiaru ciśnienia wody w porach gruntu, zgodnie z następującymi ścieżkami etapowego przyrostu obciążenia: 25, 50, 75, 100, 150 kPa, 25, 50, 150, 300 kPa, 25, 50, 150, 250, 400 kPa i 25, 50, 75, 100, 150, 250, 500 kPa.

Analizowane grunty należą do gruntów organicznych: namulów gliniastych i pylastych. Charakterystykę uziarnienia i zawartości części organicznych, I_z (metoda strat masy przy prażeniu) próbek gruntu, na podstawie których oznaczono współczynnik konsolidacji pionowej (c_v), zebrano w tabeli 1.

Na podstawie krzywych konsolidacji z badań IL określono wartości współczynników konsolidacji, zgodnie z graficzną metodą Taylora, która często uważana jest za bardziej odpowiednią w stosunku do Casagrandego. Polega ona na znalezieniu punktu odpowiadającego współrzędnym t_{90} , h_{90} z wykresu $h = f(\sqrt{t})$, a następnie obliczeniu wartości (c_v) ze wzoru [Taylor 1948].

$$c_v = T \cdot \frac{h_{90}^2}{t_{90}} \quad (1)$$

gdzie: t_{90} – czas odczytany z krzywej konsolidacji dla stopnia konsolidacji 90%,

h_{90} – wysokość odpowiadająca 90% skonsolidowanej próbki,

T – bezwymiarowy czynnik czasu równy 0,848 dla stopnia konsolidacji 90%, zgodnie z prostokątnym rozkładem wody w porach.

Tabela 1. Nazwa gruntu, uziarnienie (analiza areometryczna) i zawartość części organicznych (I_z) [dane Menard Polska]Table 1. Type of soil, grain size distribution (aerometric analyses) and organic matter contents (I_z) (Menard Polska data)

Numer próbki Soil specimens	Nazwa gruntu Soil type	Zawartość frakcji gruntu Soil fractions content				Zawartość części organicznych Organic matter contents I_z [%]	Metoda badań Method of test IL/CL
		$f_z - f_g$ [%]	$f_p - f_s$ [%]	$f_\pi - f_{si}$ [%]	$f_i - f_c$ [%]		
1	G _{pz} (siCl)	0	20	58	22	6,28	IL
2	G _z (siCl)	0	29	46	25	5,49	IL
3	G _p (siCl)	0	23	60	17	5	IL
4	G _{pz} (siCl)	0	9	68	23	7,08	IL i CL
5	P _g (siSa)	1	87	8	4	2,51	IL
6	G (siCl)	0	38	46	16	8,15	IL
7	I _p (Cl)	0	2	56	42	11,33	IL i CL
8	G _p (clSi)	0	19	67	14	3,93	IL
9	G _p (siCl)	0	13	68	19	7,07	IL
10	G _{pz} (siCl)	0	18	61	21	6,78	IL
11	II (clSi)	0	29	62	9	4,27	CL
12	P _g (clSa)	0	85	10	5	7,22	CL

Trzeba mieć na uwadze fakt, że otrzymywany punkt odpowiadający t_{90} , h_{90} w rzeczywistości prawdopodobnie odpowiada odkształceniom mniejszym niż odkształcenie gruntu równe 90% w związku z nieuwzględnieniem konsolidacji wtórnej [m.in. Duncan 1993]. Dodatkowo istotnym problemem jest właściwe przyjęcie początku i końca procesu konsolidacji [Vu Cao Minh 1976, Dobak 1986]. Początkowe pomiary w trakcie badania obciążone są błędami, wynikającymi z odkształceń własnych edometrów podczas przykładania obciążenia. Stabilizacja osiadań w czasie badania może być zaburzana mikrowstrząsami oraz reologiczną konsolidacją wtórną, która w warunkach laboratoryjnych może przechodzić w konsolidację trzeciorzędową.

Obliczenia c_v metodą Taylora zweryfikowano metodą quasi-constans odcinków. Polega ona na znalezieniu na wykresie przedstawiającym zależność współczynnika konsolidacji od stopnia konsolidacji dla całego badania przedziału (rys. 1), w którym c_v przyjmuje quasi-stałe wartości [Dobak 1986, 1999, 2000]. Wynika to z założeń jednowymiarowej liniowej teorii konsolidacji Terzaghi'ego [1924], która opisana jest wzorem:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

gdzie: u – ciśnienie wody w porach,

t – czas,

z – głębokość.

W równaniu (2) współczynnik c_v jest wartością stałą, więc poszukiwanie na krzywej przedstawiającej zależność stopnia konsolidacji U od c_v , odcinków o quasi-stalych wartościach jest uzasadnione. W związku z tym, że w badaniach IL rejestrowano tylko zmianę wysokości próbek, to w odniesieniu do krzywych konsolidacji przyjęto uproszczenie, że rozpraszanie nadwyżki ciśnienia wody w porach jest ściśle skorelowane z obserwowanym odkształceniem. Stopień konsolidacji (U) określono na podstawie liniowej teorii Terzaghi'ego, zgodnie z równaniem (3), przyjmując parametr T dla prostokątnego rozkładu ciśnienia wody w porach [Taylor 1948]:

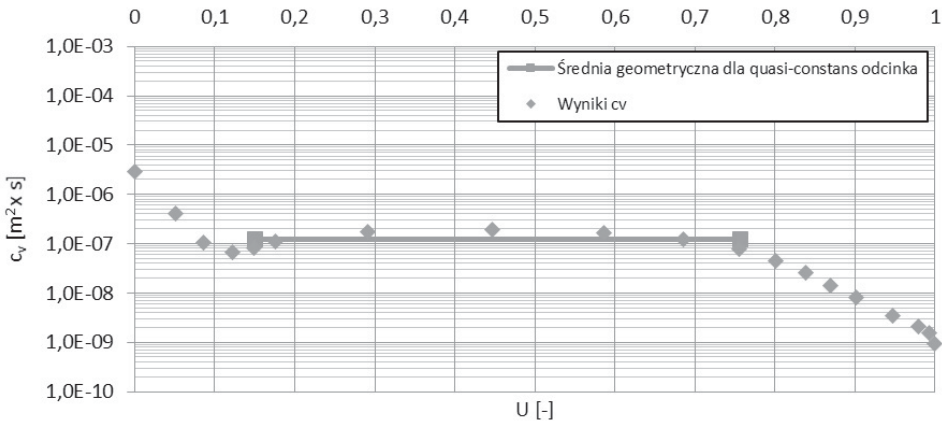
$$U = 1 - \frac{8}{2\pi} \sum_{N=0}^{N=\infty} \frac{1}{(2N+1)^2} \exp[-(2N+1)^2 \pi^2 T] \quad (3)$$

Z kolei współczynnik konsolidacji (c_v) wyznaczono ze wzoru:

$$c_v = \frac{TH^2}{t} \quad (4)$$

gdzie: H – wysokość badanej próbki,
 t – czas.

Następnie sporządzono wykres $c_v(U)$ (rys. 1), który posłużył do oznaczenia odcinka odpowiedniego dla quasi-constans wartości współczynnika c_v , któremu w omawianym przypadku odpowiada stopień konsolidacji (U) od 0,15 do 0,75. Dla wybranego przedziału obliczono średnią geometryczną z wartości c_v .



Rys. 1. Zależność stopnia konsolidacji (U) od współczynnika konsolidacji (c_v) – próbka nr 10 [dane Menard Polska]

Fig. 1. Relation between consolidation degree (U) and coefficient of consolidation (c_v) – specimen no. 10 [Menard Polska data]

Badania CL prowadzone były na czterech próbkach. Poza odkształceniem w badaniu monitorowano ciśnienie wody w porach gruntu. Skład granulometryczny i zawartość części organicznej przedstawiono w tabeli 1. W odniesieniu do próbki 11 i 12 dla przedziału naprężeń 200–600 kPa, odpowiadającego ustabilizowanym warunkom badania, spełniony został warunek na bezwymiarową prędkość odkształcenia $\beta < 0,01$ [Lee i in. 1993]. Z kolei w przypadku badania nr 4 i 7 otrzymano zdecydowanie większe wartości parametru β : odpowiednio od 0,040 do 0,479 oraz od 0,017 do 0,641. Bezwymiarowa prędkość odkształcenia (β) definiowana jest wzorem:

$$\beta = \frac{\Delta \varepsilon H^2}{\Delta t c_v} \quad (5)$$

gdzie: $\Delta \varepsilon$ – różnica pomiędzy kolejnymi odkształceniami próbki,

Δt – różnica pomiędzy kolejnymi wartościami czasu, w którym dokonywano odczytu odkształcenia próbki,

H – wysokość próbki gruntu.

W celu oszacowania współczynnika konsolidacji (c_v) przy metodzie CL wykorzystano względny czas konsolidacji (T_{CL}), który definiuje się jako:

$$T_{CL} = \frac{t}{t_{(T=1)}} = \frac{t c_v}{H^2} \quad (6)$$

gdzie: t – czas mierzony od początku badania,

$t_{(T=1)}$ – czas odpowiadający wartości $T = 1$, co oznacza stosunek H^2 do c_v ,

H – wysokość badanej próbki gruntu.

Współczynnik konsolidacji określony został przy wykorzystaniu zależności C_{CL} od T_{CL} [Dobak i Kowalczyk 2008]:

$$c_v = T_{CL} \frac{H^2}{t} \quad (7)$$

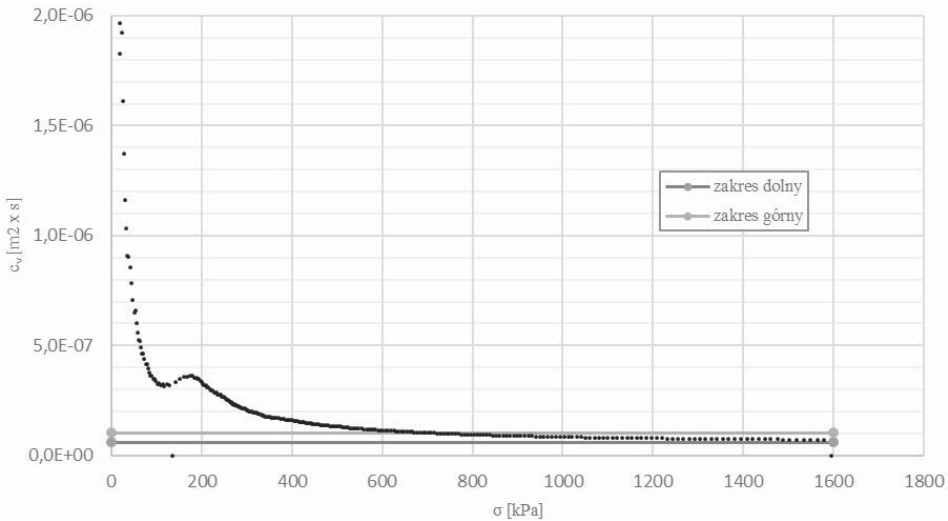
Z kolei parametr C_{CL} definiuje się jako:

$$C_{CL} = \frac{u}{\sigma} \quad (8)$$

gdzie: u – ciśnienie wody w porach gruntu,

σ – obciążenie zadawane na próbkę.

W ujęciu quasi-teoretycznym współczynnik konsolidacji (c_v) charakteryzuje się typową zmiennością, czyli początkowo prezentuje duże wartości, a następnie w trakcie dalszego wzrostu naprężenia stabilizuje się do teoretycznej quasi-liniowej postaci (rys. 2). Odcinek na osi rzędnej wykresu, który odpowiada wartością quasi-ustalonym, można przyjmować jako miarodajny zakres c_v .



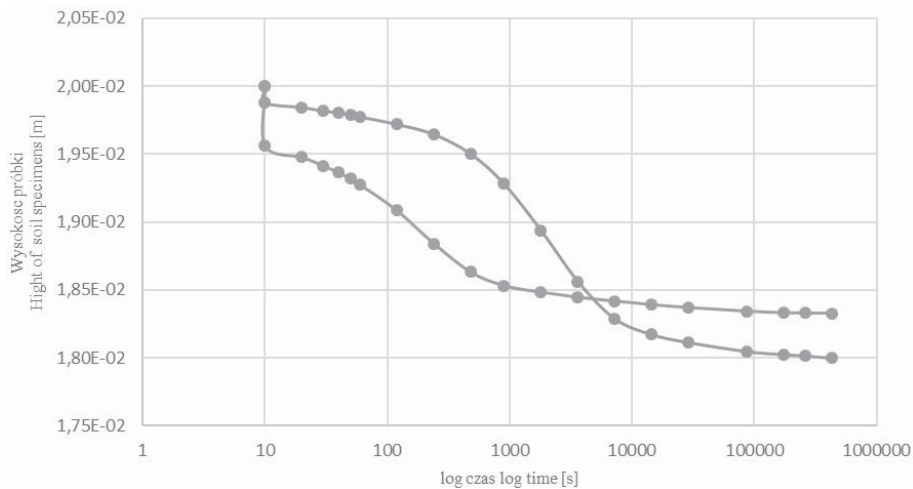
Rys. 2. Zależności obciążenia zadawanego na próbkę od współczynnika konsolidacji – próbka nr 4 [dane Menard Polska]

Fig. 2. Relation between stress σ and coefficient of consolidation for soil – specimen no. 4 [Menard Polska data]

WYNIKI

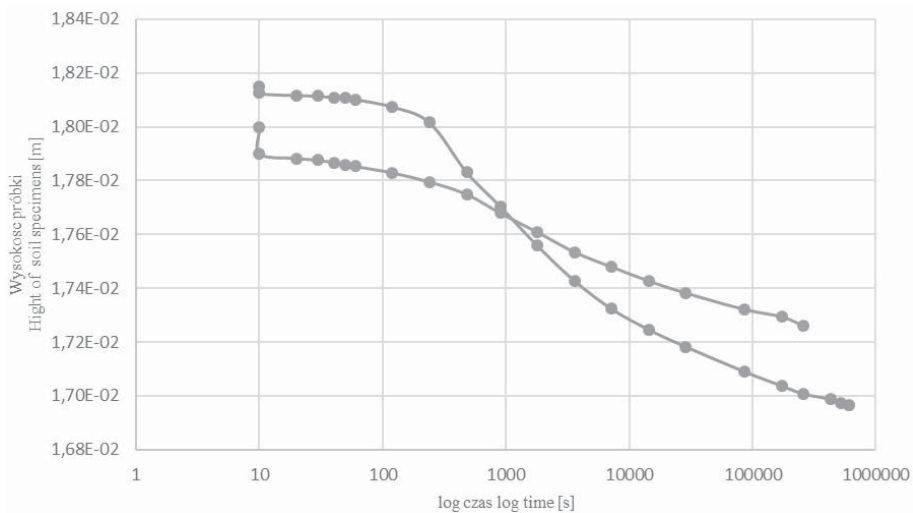
Otrzymane z badań krzywe konsolidacji sklasyfikowano zgodnie z podziałem przedstawionym przez Leonards and Girault [1961] na trzy typy krzywych I, II i III. Typ I krzywych, które posiadają charakterystyczny S-owaty kształt (rys. 3), najdokładniej odpowiada założeniom teorii Terzaghi'ego. Do tego rodzaju krzywych odnoszą się modele wyznaczania współczynnika konsolidacji graficznymi metodami Taylora i Casagrandego. Umownie można podzielić przebieg konsolidacji na 3 fazy: sprężystą, pierwotną oraz wtórną. W pierwszej z nich dochodzi do gwałtownych osiadań natychmiast po przyłożeniu obciążenia. W drugiej ma miejsce filtracja i konsolidacja zgodna z równaniem klasycznej teorii konsolidacji, która zakłada, że współczynnik konsolidacji (c_v) jest stały. Z kolei w ostatniej fazie występują reologiczne osiadania wywołane pełzaniem szkieletu gruntowego.

Typ II krzywych opisuje grunt, którego konsolidacja pierwotna zachodzi zdecydowanie szybciej niż w przypadku typu I, natomiast wtórna konsolidacja nie jest reprezentowana w liniowy sposób w logarytmicznej skali czasu (rys. 4). Występować tutaj także może konsolidacja trzeciorzędowa, w której dochodzi do procesów reologicznych w trakcie badań laboratoryjnych. Przejawia się ona znacznym przyspieszeniem osiadań próbek w kolejnych tygodniach obciążania i według autorów wynika z załamania struktury gruntu poprzez rozbicie wiązań międzycząsteczkowych na określonym poziomie odkształceń [Salem i Krizek 1975]. Zjawisko to nie zostało stwierdzone *in situ*, więc prawdopodobnie występuje tylko w warunkach laboratoryjnych.



Rys. 3. Przykłady krzywych konsolidacji – typ I [dane Menard Polska]

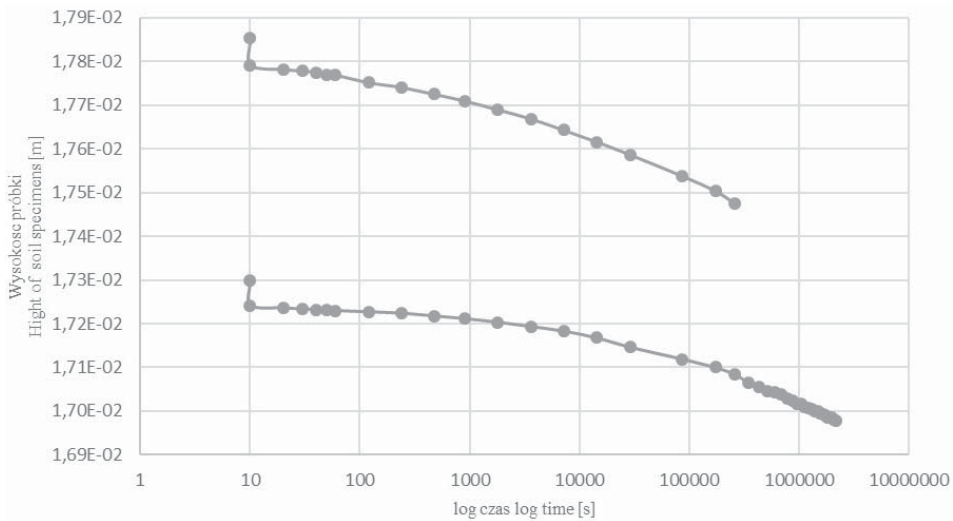
Fig. 3. Examples of the consolidation curve's – type I [Menard Polska data]



Rys. 4. Przykłady krzywych konsolidacji – typ II [dane Menard Polska]

Fig. 4. Examples of the consolidation curve's – type II [Menard Polska data]

W przypadku nieliniowego przebiegu konsolidacji wtórnej nie jest możliwe zastosowanie klasycznych założeń Casagrandego, dlatego Dhowian i Edil [1980] rozszerzyli tę metodę, bazując na gruntach organicznych w taki sposób, aby możliwe było określenie czasu zakończenia konsolidacji pierwotnej oraz wtórnej. Metody te łączą założenie, że konsolidacja wtórna zachodzi zdecydowanie wolniej niż pierwotna, co ma swoje odzwierciedlenie w występowaniu tzw. punktu przegięcia. Punkt ten nie jest obserwowany w przypadku krzywej typu III (rys. 5), dlatego metody oparte na teorii Casagrandego nie mogą w tym przypadku być zastosowane.



Rys. 5. Przykłady krzywych konsolidacji – typ III [dane Menard Polska]

Fig. 5. Examples of the consolidation curve's – type III [Menard Polska data]

Z badań gruntów organicznych otrzymano zdecydowanie większość krzywych, które odbiegają od klasycznego S-owatego modelu krzywej konsolidacyjnej, co może wynikać z tego, że pełne rozproszenie ciśnienia wody w porach gruntu może nastąpić wcześniej niż otrzymany czas z obserwacji punktu przegięcia na krzywej konsolidacji [Robinson 1997]. Ma to swoje uzasadnienie w badaniach przeprowadzonych przez Robinsona [2003], w których autor wykazał, że konsolidacja wtórna rozpoczyna się podczas rozpraszania ciśnienia wody w porach gruntu. Dlatego prostoliniowy odcinek konsolidacji pierwotnej, przyjęty w teorii Terzaghi'ego, w gruntach organicznych nie jest linią prostą, ponieważ osiadania są wówczas wywołane zarówno rozpraszaniem ciśnienia wody w porach konsolidacji pierwotnej, jak i wtórnej [Gofar i Sutejo 2007]. W celu rozdzielenia pierwotnej i wtórnej konsolidacji Robinson [1997] zaproponował metodę wykorzystującą zarówno pomiary osiadań, jak i ciśnienia wody w porach. W związku z wykonywaniem badań IL bez rejestracji ciśnienia wody w porach i możliwości zastosowania metody Robinsona w artykule zinterpretowano c_v tylko na podstawie krzywych konsolidacji typu I i II. Zestawienie współczynników konsolidacji (c_v), otrzymanych przy wykorzystaniu metody Taylora [Taylor 1948] oraz quasi-constans odcinka, zebrano w tabeli 2.

Na podstawie przeprowadzonych szacunków otrzymano dużą zbieżność pomiędzy wynikami przeprowadzonymi metodą Taylora (T) w stosunku do metody poszukiwania quasi-constans odcinków na krzywej $c_v(U)$. Średnia geometryczna T/P wynosi 1,09.

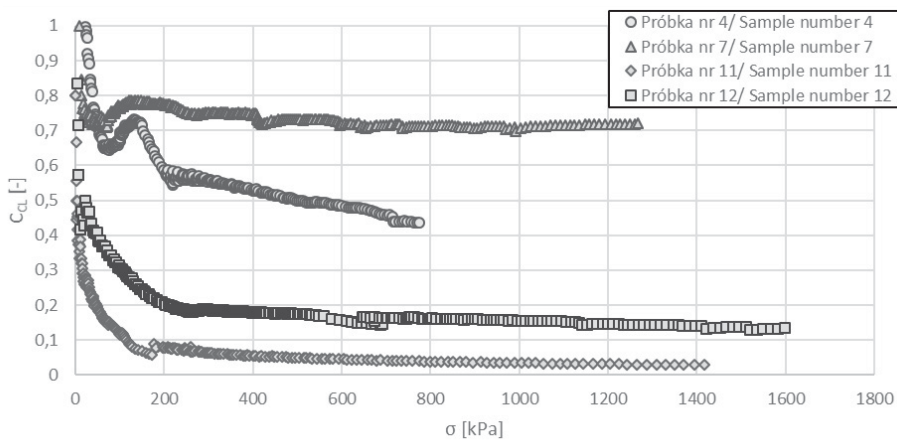
Wyniki z badań CL zobrazowano na rysunku 6, przedstawiającym zależność pomiędzy parametrem C_{CL} a naprężeniem zadawanym na próbkę (σ).

Quasi-teoretyczny (QT) rozkład parametru C_{CL} w odniesieniu do σ otrzymano dla próbek nr 11 i 12 (tab. 3). Ciśnienie wody w porach w początkowej fazie szybko się rozprasza, a następnie stabilizuje na niskim poziomie $C_{CL} < 0,24$ (warunek na fazę ustaloną – Dobak [1999]). Dla próbek nr 4 i 7 otrzymano zaburzony w stosunku do

Tabela 2. Współczynnik konsolidacji otrzymany metodą Taylora, poszukiwania, metodą stałych wartości współczynnika konsolidacji (c_v) oraz metodą Dobaka [dane Menard Polska]

Table 2. Coefficient of consolidation – Taylor method, “quasi-constans part” and Dobak’s method [Menard Polska data]

Numer próbki Soil specimens	Obciążenie Stress σ [kPa]	Badanie IL – Test IL		T/P [-]	Badanie CL – Test CL Zakres – Range c_v (Dobak) [$m^2 \cdot s^{-1}$]
		Metoda Taylora Taylor method (T) c_v [$m^2 \cdot s^{-1}$]	Metoda quasi-constans odcinka Rozkład prostokątny Rectangular distribution (P) c_v [$m^2 \cdot s^{-1}$]		
1	75	2,09E-07	3,15E-07	0,66	–
2	100	5,71E-08	7,99E-08	0,71	–
3	25	4,12E-08	5,11E-08	0,81	–
4	150	1,27E-07	9,04E-08	1,4	nie oznaczono
5	150	2,80E-07	1,94E-07	1,45	–
6	25	1,05E-07	1,04E-07	1,01	–
6	150	1,03E-07	9,96E-08	1,04	–
7	150	4,15E-08	3,33E-08	1,25	nie oznaczono
7	300	3,20E-08	1,81E-08	1,77	nie oznaczono
8	25	3,23E-07	3,10E-07	1,04	–
9	150	7,55E-08	8,59E-08	0,88	–
9	300	5,96E-08	3,14E-08	1,91	–
10	150	2,23E-07	2,34E-07	0,95	–
11	–	–	–	–	1,33E-07–1,58E-07
12	–	–	–	–	5,49E-08–2,57E-07
Średnia geometryczna:				1,09	–



Rys. 6. Rozkład parametru C_{CL} w odniesieniu do obciążenia σ [dane Menard Polska]

Fig. 6. Relation C_{CL} parameters and stress σ [Menard Polska data]

Tabela 3. Otrzymane typy krzywych konsolidacji – badania CL i IL [dane Menard Polska]
 Table 3. Curve type – IL and CL methods [Menard Polska data]

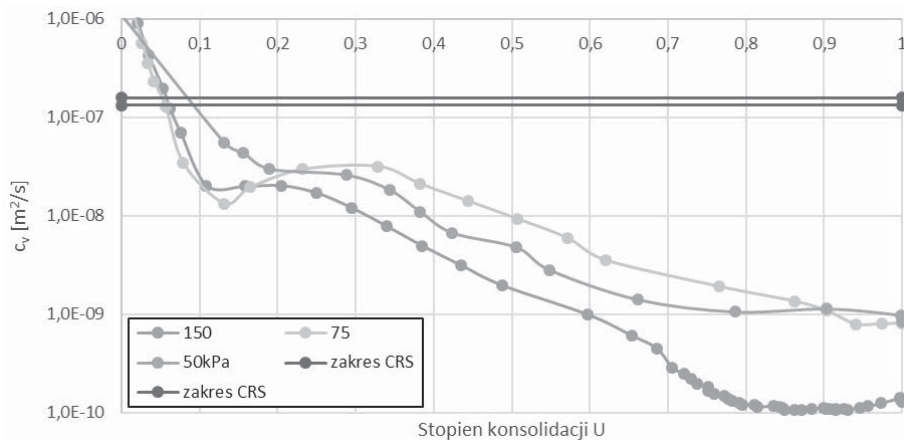
Numer próbki Sample's number	Nazwa gruntu Soil specimens	Typ krzywej badanie IL Curve type IL test	Typ krzywej badanie CL Curve type CL test
1	G_{pz} (siCl)	II	–
2	G_z (siCl)	II	–
3	G_p (siCl)	I	–
4	G_{pz} (siCl)	II	ZR
5	P_g (siSa)	II	–
6	G (siCl)	II	–
7	I_p (Cl)	II	ZR
8	G_p (clSi)	I	–
9	G_p (siCl)	II	–
10	G_{pz} (siCl)	II	–
11	II (clSi)	III	QT
12	P_g (clSa)	III	QT

quasi-teoretycznego rozkład (ZR) dystrybucji ciśnienia wody w porach. W początkowym etapie występuje gwałtowny spadek parametru C_{CL} , po czym dochodzi do niewielkiego wzrostu wartości ciśnienia wody w porach w stosunku do przyrostu naprężenia, a następnie stabilizacja na wyższym poziomie C_{CL} niż dla próbek nr 11 i 12. W związku z nieotrzymaniem fazy ustalonej przy wartościach C_{CL} poniżej 0,24 krzywych konsolidacji próbki nr 1 i 2 nie interpretowano w celu oznaczenia współczynnika konsolidacji (c_v).

Wyniki badań współczynników konsolidacji CL i IL przedstawiono dla próbki nr 11 na rysunku 7, dla której z metody CL otrzymano zdecydowanie większe wartości c_v niż w przypadku badań edometrycznych. Odmienne sposoby przykładania obciążenia w badaniach CL i IL sprawia, że nie można bezpośrednio odnosić wyników c_v do wartości stopnia konsolidacji (U) z tych dwóch metod [Dobak 1999]. W związku z powyższym na rysunku 7 wartości c_v z metody CL zaznaczono w postaci dwóch linii poziomych określających dolny i górny zakres wartości współczynnika konsolidacji, które odpowiadają quasi-constans odcinkowi wartości c_v w odniesieniu do przykładanego σ (rys. 2).

PODSUMOWANIE

1. Badania edometryczne, których wyniki analizowane są w niniejszym artykule, dowodzą, że nie zawsze konsolidacja gruntów przebiega zgodnie z klasycznym modelem Terzaghi'ego, któremu odpowiada S-owaty kształt krzywej konsolidacji $H - (\log t)$. Otrzymane krzywe typu II i III świadczą o dużym wpływie reologicznych osiadań szkieletu gruntowego, które mogą przechodzić w tzw. trzeciorzędową konsolidację. Jest to zjawisko, które nie zostało nigdy stwierdzone w warunkach *in situ*.



Rys. 7. Wyniki współczynnika konsolidacji (c_v) z badań IL i CL – próbka nr 3 [dane Menard Polska]

Fig. 7. Results of coefficient of consolidation of IL and CL test – sample's no. 3 [Menard Polska data]

2. W związku z otrzymaniem krzywych konsolidacji (typ II, a w szczególności typ III) z badań edometrycznych, odbiegających od klasycznej teorii Terzaghi'ego, zastosowanie metod graficznych wyznaczania współczynnika konsolidacji (c_v) może prowadzić do trudności interpretacyjnych. Dla gruntów organicznych zaleca się wykonywanie badań IL z pomiarem ciśnienia wody w porach, co pozwala zweryfikować wyniki np. metodą Robinsona.

3. Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że wartości współczynników konsolidacji (c_v) określonych metodami IL i CL mogą znacząco się różnić. Otrzymano większe wartości c_v z badań CL niż z badań IL, co tłumaczyć można dużym wpływem reologicznych odkształceń szkieletu gruntowego w badaniach edometrycznych. Występowanie krótkiej fazy konsolidacji pierwotnej w stosunku do rozległej w czasie konsolidacji wtórnej jest charakterystyczną cechą gruntów organicznych [Wong i in. 2009].

4. Zaobserwowano dla dwóch prób zaburzony rozkład parametru C_{CL} w odniesieniu do zadawanego naprężenia (oznaczonego jako typ ZR), który przejawiał się stabilizacją parametru C_{CL} przy jego dużych wartościach. Mogło to być efektem niedostosowania prędkości przyrostu obciążenia w badaniu, czego potwierdzeniem może być niespełnienie dla tych prób warunku na bezwymiarową prędkość odkształcenia $\beta < 0,01$.

5. Analiza przebiegu zmian współczynnika konsolidacji w zależności od stopnia konsolidacji dla krzywych typu I i II wykazała występowanie odcinka o quasi-ustalonych wartościach c_v w trakcie przebiegu odkształcenia, który prawdopodobnie odpowiada fazie konsolidacji o większym udziale filtracyjnych niż reologicznych odkształceń.

6. Otrzymano stosunkowo dużą zbieżność wyników z metody Taylora oraz metody quasi-constans odcinków dla krzywych konsolidacji typu I i II, przy założeniu, że rozpraszanie nadwyżki ciśnienia wody w porach (zgodnie z prostokątnym rozkładem) jest ściśle skorelowane z obserwowanym odkształceniem. Wynikać to może z tego, że metoda Taylora w swoich tradycyjnych założeniach odnosi się do prostokątnego rozkładu ciśnienia wody w porach.

ADNOTACJA

Badania edometryczne i konsolidacyjne wykonane zostały na zlecenie firmy Menard Polska Sp. z o.o.

PIŚMIENNICTWO

- Dhowian, A.W., Edil, T.B. (1980). Consolidation behavior of peats. *Geotechnical Testing Journal*, 3, 105–114.
- Dobak, P. (1986). Zmiany odształcalności gruntów wywołane procesami inżyniersko-geologicznymi w rejonie KWB „Bełchatów”. Dysertacja doktorska. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Dobak, P. (1999). Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów. *Studia Rozprawy Monografie*, 65, PAN IGSMiE, Kraków.
- Dobak, P. (2000). Metody oceny miarodajności parametrów jednoosiowej konsolidacji wyznaczanych w badaniach laboratoryjnych. *Mat. XII Konferencji Naukowej „Metody komputerowe w projektowaniu i analizie konstrukcji hydrotechnicznych”*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 20–30.
- Dobak, P., Kowalczyk, S. (2008). Consolidation parameters of Neogene green clays from Bełchatów – a study on CL test interpretation. *Geologija*, 50, Supplement, S20–S25.
- Duncan, J.M. (1993). Limitations of conventional analysis of consolidation settlement. *J. Geotech. Engineer.*, 119, 9, 1333–1359.
- Gofar, N., Sutejo, Y. (2007). Long term compression behavior of fibrous peat. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 19, 104–116.
- Head, K.H. (1986). *Manual of soil laboratory testing*. Vol. 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Test. Pentech Press, London.
- Lechowicz, Z., Szymański, A. (2002). Odształcenia i stateczność nasypów na gruntach organicznych. Cz. II. *Metodyka obliczeń*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Lee, K., Choa, V., Lee, S.H., Quek, S.H. (1993). Constant rate of strain consolidation of Singapore marine clay. *Geotechnique*, 43, 3, 471–488.
- Leonards, G.A., Girault, P. (1961). A study of the one-dimensional consolidation test. *Proceeding 9th ICSMFE, Paris*, 1: 116–130.
- Robinson, R.G. (1997). Determination of radial coefficient of consolidation by the inflection point method. *Geotechnique*, 47(5), 1079–1081.
- Robinson, R.G. (2003). A study on the beginning of secondary compression of soils. *Journal of Testing and Evaluation*, 31(5), 1–10.
- Salem, A.M., Krizek, R.J. (1975). Secondary compression of maintenance dredgings. *Proceedings of the Fifth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Beuenos Aires, Argentina.
- Taylor, D.W. (1948). *Fundamentals of soil mechanics*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Terzaghi, K. (1924). Die theorie der hydrodynamischen spannungerscheinunten und ihr erdautechnisches anwedungsgebeit. *Proc. 1st Inter. Conf. App. Mech.*, 1, Delft Netherlands, 288–294.
- Vu Cao Minh (1976). Jednoosiowa konsolidacja gruntów z uwzględnieniem pełzania. Dysertacja doktorska. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Wong, L.S., Hashim, R., Ali, F.H. (2009). A Review on Hydraulic Conductivity and Compresibility of Peat. *Journal of Applied Sciences*, 9(19), 3207–3218.

DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF CONSOLIDATION (C_v) BY USING IL AND CL METHODS, ON THE EXAMPLE OF THE ORGANIC SOILS

Abstract. The article presents the results of oedometer test (IL – incremental loading) and consolidation test (CL – continuous loading) on the examples of sandy and clayey organic mud, which were made to estimate the coefficient of consolidation (c_v). According to Leonards and Girault classification, the different types of consolidation curve were analyzed. The results of c_v from three methods were compared. The coefficients of consolidation from IL test were determined by Taylor and “quasi-constans section” method, however c_v were determined from CL test by Dobak’s method which is related with pore water pressure parameter C_{CL} and relative time of consolidation T_{CL} .

Key words: organic soils, coefficient of consolidation, oedometer test, incremental loading test IL, continuous loading test CL

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.04.2015

Cytowanie: Majer, E., Białobrzęski, T. (2015). Oznaczanie pionowego współczynnika konsolidacji (c_v) namulów organicznych metodami IL i CL. *Acta Sci. Pol., Architectura*, 14 (1), 15–27.