

OKREŚLANIE WSPÓŁCZYNNIKA KONSOLIDACJI NA PODSTAWIE PRZEBIEGU JEDNOOSIOWEGO ODKSZTAŁCENIA GRUNTU I DYSTRYBUCJI CIŚNIENIA POROWEGO W BADANIACH IL PROWADZONYCH W KONSOLIDOMETRZE ROWE'A

EVALUATION OF CONSOLIDATION COEFFICIENT BASED ON UNIAXIAL STRAIN AND PORE PRESSURE DISTRIBUTION IN ROWE'S CONSOLIDOMETER IL TESTS

PAWEŁ DOBAK¹, RAFAŁ PAJĄK²

Abstrakt. Artykuł przedstawia nowe ujęcie interpretacji badań konsolidacji jednoosiowej, ukierunkowane na określenie optymalnych wartości współczynnika konsolidacji c_v . W obliczeniach opartych na analizie przebiegu odkształcenia jednoosiowego gruntu oraz dystrybucji ciśnienia porowego zastosowano dwie zróżnicowane zależności pomiędzy bezwymiarowym czynnikiem czasu a stopniem konsolidacji. Zaproponowane kryteria pozwalają określić granice quasi-filtracyjnej fazy procesu, optymalną wartość c_v oraz wskaźniki zgodności między zachowaniem gruntu a rozwiązaniami teoretycznymi.

Słowa kluczowe: współczynnik konsolidacji, badania typu IL, konsolidometr Rowe'a.

Abstract. The paper presents a new interpretation of laboratory tests for estimating the optimal value of consolidation coefficient c_v . Two different relations between a non-dimensional time factor and a consolidation ratio were used in calculations derived from the analysis of uniaxial soil strain and pore pressure distribution. Based on the adopted criteria it was possible to evaluate a quasi-filtration phase of the process, c_v optimal values and indicate correspondence between experimental and theoretical soil behaviour.

Key words: consolidation coefficient, IL (incremental loading) tests, Rowe's consolidometer.

Określanie miarodajnych wartości współczynnika jednoosiowej konsolidacji filtracyjnej c_v napotyka na duże trudności metodyczne. W literaturze od czasów Taylora i Cassagrande'a opublikowano co najmniej kilkanaście znaczących propozycji interpretacyjnych niedających zbieżnych wyników. Analiza zmienności uzyskiwanych wartości c_v była sama w sobie przedmiotem prac porównawczych (np. Duncan, 1993), co jednak nie doprowadziło do syntetyzujących procedur postępowania interpretacyjnego.

Przyczyny tego stanu rzeczy są złożone i obejmują dwie grupy zagadnień. Pierwszą są zróżnicowane zachowania badanych gruntów, niemieszczące się w pełni w przyjętych założeniach teorii konsolidacji filtracyjnej. Drugą przyczyną jest opieranie metod interpretacyjnych na rozmaitych analizach graficznych przebiegu procesu. Zmierzają one do określania współczynnika c_v na podstawie jednego wybranego punktu charakterystycznego (np. w metodach Taylora, Casagrande'a) lub wyselekcjonowanego odcinka przebiegu kon-

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; P.Dobak@uw.edu.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; rafal.pajak@o2.pl

solidacji, co prowadzi do pewnej optymalizacji wyników (np. w metodach Scotta, 1961 czy Parkina, 1978).

Upowszechnienie nowoczesnej aparatury badawczej (konsolidometrów Rowe'a–Bardena) umożliwia jednocześnie porównanie pomiarów odkształcenia osiowego oraz zmian ciśnienia wody w przestrzeni porowej, wygenerowanych przebiegiem konsolidacji, i stanowi szansę na nowe jakościowo podejście do interpretacji procesu.

Analiza wyników badań laboratoryjnych pokazała (Pająk, Dobak, 2008), że nawet w jednorodnych pastach gruntowych nie udaje się w całym przebiegu badania zrealizować teoretycznie zakładanej współkształtności wykresów osiadania próbki i rozpraszania ciśnienia porowego. Nie obserwuje się także teoretycznie zakładanej reakcji na przyłożenie obciążenia w postaci natychmiastowego uzyskania maksymalnej wartości nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu, równej przyłożonej wartości naprężenia. Przeciwnie – we wszystkich badaniach wyróżnić można początkowy etap mobilizowania ciśnienia porowego, wyrażający się wzrostem jego wartości w funkcji czasu (fig. 1). Ciśnienie porowe osiąga więc pewną wartość maksymalną, którą można scharakteryzować podając dwie współrzędne:

– czas mobilizacji t_m , wyrażany w jednostkach czasu, lub względny czas mobilizacji, określany jako stosunek czasu $t_m/t_{u\text{stab}}$, gdzie $t_{u\text{stab}}$ odpowiada chwili, w której uzyskuje się praktyczną stabilizację ciśnienia porowego na danym etapie obciążenia; wartości tych czasów podaje się licząc od chwili t_0 , czyli przyłożenia stałego naprężenia na grunt σ_n na danym n-etapie obciążenia w badaniu IL;

– wartość maksymalną $u_{b\text{max}}$ ciśnienia porowego, mierzoną przy nieprzepuszczalnej podstawie konsolidometru, lub odpowiedni bezwymiarowy parametr ciśnienia wody w porach $C_{IL\text{max}} = u_{b\text{max}}/\sigma_n$.

Parametry te stanowią jednocześnie wskaźniki wyróżniające fazy i uwarunkowania procesu osiadania:

– fazę wstępną zachodzącą w czasie $t \in (t_0, t_m)$, gdzie przebiegiem odkształcenia rządzą właściwości reologiczne układu szkieletu gruntowego; w fazie tej w miarę mobilizacji ciśnienia porowego zaznacza się jednak coraz większy, chociaż nie w pełni rozwinięty, opóźniający odkształcenie wpływ ograniczonej przepuszczalności gruntu;

– fazę konsolidacji quasi-filtracyjnej zachodzącą w czasie $t \in (t_m, t_{\text{stab}})$, w której po osiągnięciu $u_{b\text{max}}$ następuje rozpraszanie ciśnienia porowego wraz z postępującym odkształceniem osiowym próbki;

– fazę konsolidacji wtórnej $t > t_{\text{stab}}$, w której odkształcenie zachodzi praktycznie bez zmian ciśnienia porowego z dominacją mechanizmów reologicznych; zakończenie badania (czas t_k) przyjmuje się, gdy zmiany odkształcenia i parametrów ciśnienia porowego ($u_k, C_{IL,k}$) są znikome.

Ten ramowy podział oparty jest na próbie identyfikacji dominujących mechanizmów procesu i wymaga szeregu dalszych charakterystyk, określających różne wersje wzajemnych relacji między filtracyjnymi i reologicznymi uwarunkowaniami konsolidacji.

Z punktu widzenia zarówno teoretycznego, jak i praktycznego najważniejszym elementem przedstawionego podziału są kryteria wyróżnienia i zinterpretowania fazy konsolidacji quasi-filtracyjnej. Zagadnienie to jest istotne ze względu na poprawność wykorzystania założeń teorii konsolidacji do:

– prognozowania czasu osiadania w nawiązaniu do długości drogi drenażu wód porowych w warstwie,
– oceny właściwości filtracyjnych słabo przepuszczalnego gruntu z wykorzystaniem rozwiązań teorii konsolidacji.

Te dwa ważne aspekty mogą być bowiem poprawnie scharakteryzowane i przydatne dla praktyki tylko wtedy, gdy

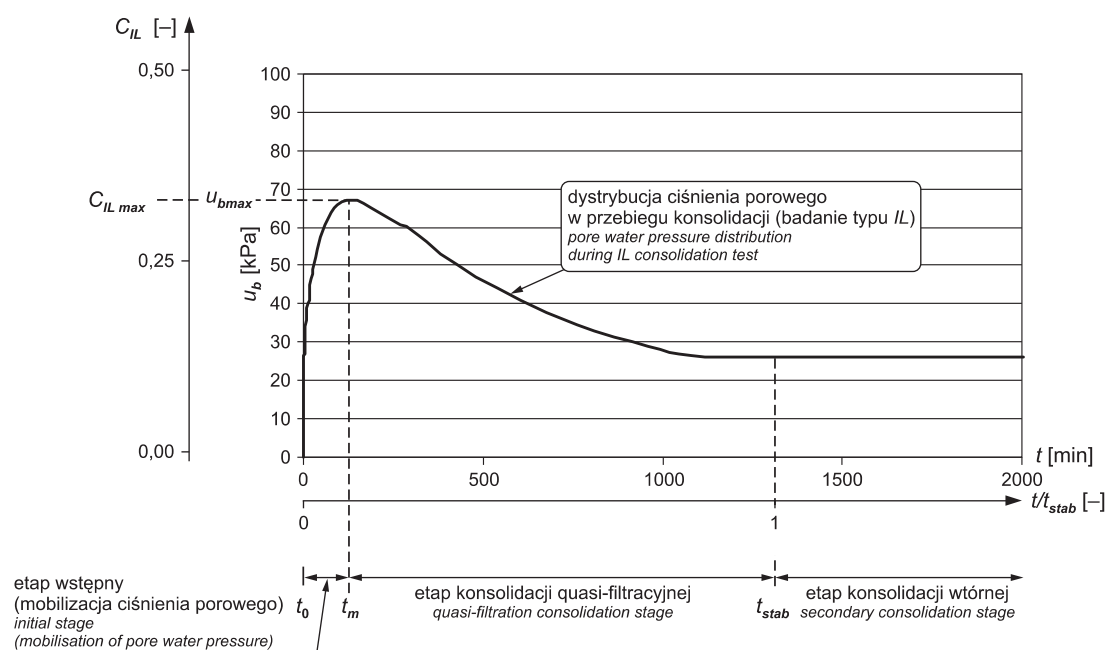


Fig. 1. Etapy przebiegu konsolidacji w badaniach IL

Stages of consolidation in IL tests

poruszamy się w obszarze dość dobrej zgodności z filtracyjnymi uwarunkowaniami konsolidacji.

Prostym i dotychczas rzadko wykorzystywanym kryterium zgodności przebiegu procesu z założeniami teorii konsolidacyjnej Terzagiego jest uzyskiwanie quasi-stałej wartości współczynnika c_v w funkcji stopnia konsolidacji S_k . Przeprowadzenie powyższego testu wymaga przeanalizowania i odpowiedniego doboru zależności między stopniem konsolidacji S_k a bezwymiarowym czynnikiem czasu T , umożliwiającym obliczenie wartości c_v . Rozwiązania zamieszczone w literaturze (Taylor, 1948; Wiłun, 2001) pokazują różny przebieg charakterystyk $S_k - T$ w zależności od rozkładu nadwyżki ciśnienia porowego w przekroju osiowym konsolidowanej warstwy.

Najczęściej przyjmowany jest rozkład prostokątny. Wynikające z niego wartości $T = 0,197$ oraz $T = 0,848$ są stosowane odpowiednio w interpretacjach metodą Cassagrande'a (dla $S_k = 0,5$) oraz Taylora (dla $S_k = 0,9$). Ujęcie takie wydaje się być nieuzasadnione w zaawansowanych etapach konsolidacji, w których następuje już dość znaczne rozproszenie ciśnienia porowego. Rzeczywisty rozkład wartości tego ciśnienia w osi warstwy jest wówczas raczej paraboliczny lub trójkątny. Stosowanie zależności wyprowadzonych dla rozkładu prostokątnego powoduje w ostatecznym efekcie zaniżenie wartości współczynnika konsolidacji. Skutkuje to wydłużeniem prognozowanego czasu osiadania gruntu i w takim zastosowaniu może być postrzegane jako błąd po stronie bezpiecznej. Dla celów porównawczych uzasadnione jest jednak odnoszenie się do tej charakterystyki, z uwagi na wieloletnią ugruntowaną tradycję przyjmowania zależności $S_k - T$, odpowiadającą rozkładowi prostokątnemu. Warto zaznaczyć, że omawiane różnorodne charakterystyki $S_k - T$ opracowano jako rozwiązania sumujące zachowania elementarnych warstewek, umożliwiające interpretowanie zmian wysokości całej badanej próbki.

W przypadku określania c_v na podstawie przebiegu rozpraszania ciśnienia porowego niezbędne jest stosowanie charakterystyk $S_k - T$ w nawiązaniu do punktu pomiaru ciśnienia porowego. W badaniach prowadzonych w konsolidometrze Rowe'a drenaż wód porowych jest jednostronny z dołu do góry, a ciśnienie porowe u_b mierzone przy dolnej nieprzepuszczalnej podstawie ma najwyższą wartość w pionowej osi całej próbki. Zasadne jest więc odnoszenie się do teoretycznej dystrybucji ciśnienia porowego na podstawie odpowiedniej adaptacji rozwiązania równania różniczkowego konsolidacji do postaci następującego szeregu:

$$S_k = \left(1 - \frac{u_b}{u_{b \max}}\right) = \quad [1]$$

$$= 1 - \left[\sum_{M=\pi/2}^{\infty} \frac{2u_{b \max}}{M} \sin \frac{M \cdot z}{H} \exp(-M^2 T) \right] \cdot (u_{b \max})^{-1}$$

gdzie:

$$M = (\pi/2) (2m + 1) \text{ dla } m = 0, 1, 2, \dots$$

H – długość drogi jednoosiowego, pionowego drenażu,

z – położenie analizowanego punktu w osi próbki (przy dolnej, nieprzepuszczalnej granicy obszaru z/H przyjmuje wartość 1),

T – bezwymiarowy czynnik czasu,

$u_{b \max}, u_b$ – ciśnienie wody w porach mierzone w punkcie $z/H = 1$, odpowiednio w czasie t_m oraz $t > t_m$,

$u_{b \max}$ powinno być teoretycznie równe naprężeniu σ_n przyłożonemu na grunt.

W efekcie, w prezentowanych niżej analizach przyjęto dwie zależności $S_k - T$ (fig. 2):

– zależność R (rectangular) opartą na tradycyjnym rozwiązaniu prostokątnego rozkładu nadwyżki ciśnienia porowego w osi próbki – gdy stopień konsolidacji S_k określany jest na podstawie przebiegu osiadania próbki,

– zależność P (pore pressure) opartą na wartościach uzyskanych z rozwiązania szeregu wg wzoru [1] – gdy stopień konsolidacji S_k jest określany na podstawie przebiegu dystrybucji ciśnienia porowego, mierzonej u podstawy próbki.

Zróżnicowanie wartości T w tych dwóch rozwiązaniach jest początkowo znaczne, a następnie systematycznie się zmniejsza wraz z postępem konsolidacji. Wynika to z faktu, że wartości T wg zależności R były wyznaczone na podstawie uśrednienia parabolicznej charakterystyki $S_k = f(z/H, T)$, ulegającej wraz z rozpraszaniem ciśnienia porowego postępującemu spłaszczeniu (por. klasyczny nomogram Taylora, 1948, ilustrujący zmiany bezwymiarowego czynnika czasu na tle zmian stopnia konsolidacji oraz względnej długości drogi drenażu).

Porównanie charakterystyk konsolidacyjnych przeprowadzono na przykładzie wyników badań past gruntowych sporządzonych z próbek iltu krakowieckiego, a pobranych z odstępów cegielni w Bonarce oraz Zesławicach w okolicy Krakowa.

Wyniki badań identyfikacyjnych zamieszczone w tabeli 1 pokazują, że badane grunty wykazują znaczącą zawartość frakcji ilastej i pylastej, sytuującą je w grupie „czystych” iltów (clay wg Eurokodu 7), bardzo spoistych z uwagi

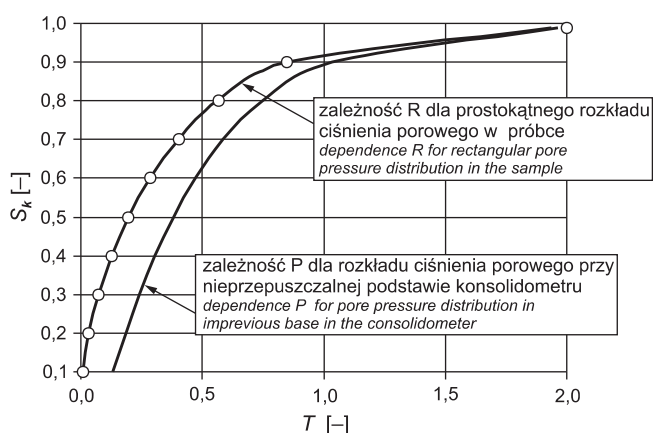


Fig. 2. Zależność między bezwymiarowym czynnikiem czasu T a stopniem konsolidacji S_k

Relation between non-dimensional time factor T and consolidation ratio S_k

Tabela 1
Wyniki badań identyfikacyjnych gruntów
 Results of identification tests on studied soils

Parametr Parameter	Symbol	Wymiar Unit	Bonarka	Zesławice	
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego Density of solid particles	ρ_s	g/cm ³	2,72	2,75	
Uziarnienie Grain-size fraction	frakcja piaszczysta sand fraction	f_p	%	8	2
	frakcja pylasta silt fraction	f_π	%	47	57
	frakcja ilasta clay fraction	f_i	%	45	41
Granica plastyczności Plastic limit	w_p	%	34,9	38,2	
Granica płynności Liquid limit	w_L	%	76,1	73,7	
Wskaźnik plastyczności Plasticity index	I_p	%	41,2	35,5	
Aktywność wg Skemptona Clay activity by Skempton	A	–	0,92	0,87	
Pojemność wymiany kationowej* Cations exchange capacity	CEC	cmol/kg	35,3	38,9	
Powierzchnia właściwa* Specific surface area	S_r	m ² /g	157	133	

* klasyczna metoda przy użyciu błękitu metylowego oraz soli baru
 classical method using methylene blue and barium salts

na wysokie wartości wskaźnika plastyczności, lecz o przeciętnej aktywności koloidalnej, co wskazuje na ograniczony wpływ zjawisk pęcznienia i skurczu, niezaburzający w sposób istotny filtracyjno-reologicznego mechanizmu konsolidacji.

Sporządzone z tych gruntów pasty gruntowe (tab. 2) stanowią materiał szczególnie predysponowany do prowadzenia analiz metodycznych z uwagi na to, że redukuje się znacząco wpływy czynników strukturalno-teksturalnych oraz uzyskuje quasi-pelne nasycenie porów wodą.

Po wstępnych etapach obciążenia analizom poddano przebieg w czasie odkształcenia osiowego oraz dystrybucji ciśnienia porowego, zarejestrowanych przy stałych obciążeniach odpowiadających kolejno naprężeniom całkowitym $\sigma_n = 100$ kPa oraz $\sigma_n = 200$ kPa.

Dwie niezależne metody interpretowania wyników badań oparto na analizowaniu przebiegu: ODS (*One-Dimensional Strain*) – odkształcenia osiowego (osiadania próbki) przy zastosowaniu zależności R , oraz PPD (*Pore Pressure Distribution*) – rozpraszania ciśnienia porowego interpretowanego przy zastosowaniu zależności P .

W metodzie ODS jako początek procesu przyjmowano chwilę t_0 przyłożenia stałego obciążenia σ na grunt, a jako koniec t_k , w którym odkształcenia praktycznie nie zmieniały się więcej niż 10^{-8} /s. Odpowiadające tym czasom wysokości próbek gruntu H_0 i H_k były podstawą określenia stopnia konsolidacji dla każdej wartości $H_i \in (H_0, H_k)$ wg wzoru:

$$S_k = \frac{H_0 - H_i}{H_0 - H_k} \quad [2]$$

W metodzie PPD jako początek procesu konsolidacji quasi-filtracyjnej przyjmuje się chwilę t_m , w której wzrastające od przyłożenia obciążenia ciśnienie porowe osiąga wartość maksymalną u_{bmax} , natomiast jako koniec procesu przyjmuje

Tabela 2

Wybrane parametry past gruntowych w badaniach IL
 Selected parameters of soil paste in IL tests

Parametr Parameter	Symbol	Wymiar Unit	Naprężenie konsolidacyjne Consolidation stress (loading) σ_n [kPa]	Bonarka		Zesławice	
				symbol próbki sample symbol			
				WR	XR	NR	SR
Wilgotność Water content	w	%	100	44,6	40,1	42,6	43,7
			200	39,6	35,7	37,6	39,2
Stopień płynności Liquidity index	I_L	–	100	0,23	0,13	0,12	0,15
			200	0,11	0,02	–0,02	0,03
Wskaźnik porowatości Void ratio	e	–	100	1,21	1,09	1,17	1,20
			200	1,08	0,97	1,03	1,08
Moduł ścisłości Oedometer modulus of compressibility	M	kPa	100	979	1073	899	1180
			200	1632	1741	1580	1799

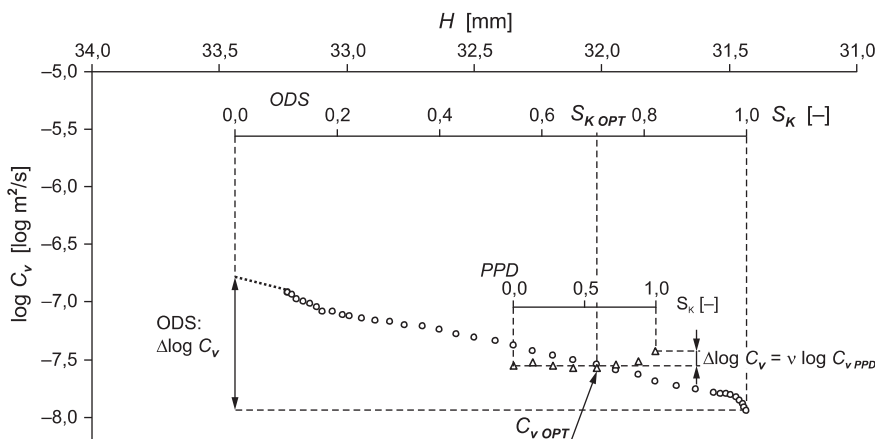


Fig. 3. Zmiany wartości $\log c_v$ w proponowanych ujęciach interpretacyjnych: ODS i PPD

Changes of $\log c_v$ values in proposed interpretation method: ODS i PPD

się chwilę t_{stab} , w której opadające wartości ciśnienia porowego stabilizują się, co wyraźnie zaznacza się na wykresie.

Stopień konsolidacji przy tym podejściu określa się wg wzoru:

$$S_k = \frac{u_{b \max} - u_i}{u_{b \max} - u_{stab}} \quad [3]$$

Kolejnym etapem postępowania interpretacyjnego jest określenie wartości bezwymiarowego współczynnika czasu T na podstawie zależności R (w analizie przebiegu odkształcenia) i zależności P (w przypadku analizy dystrybucji ciśnienia porowego).

Następnie dla każdego ujęcia interpretacyjnego oblicza się wartość współczynnika konsolidacji filtracyjnej c_v wg klasycznej zależności:

$$c_v = \frac{T_i \cdot H_i^2}{t_i} \quad [4]$$

gdzie:

- T_i – bezwymiarowy czynnik czasu, przyjęty odpowiednio dla analizowanych stopni konsolidacji na podstawie zależności R lub P ,
- H_i – długość drogi drenażu odpowiadająca wysokości próbki w analizowanej chwili przebiegu procesu,
- t_i – czas upływający od chwili t_0 w przypadku stosowania metody ODS lub t_m przy interpretowaniu wg metody PPD.

W efekcie uzyskuje się wartości c_v , które w sposób porównywalny dla tych dwóch ujęć interpretacyjnych można przedstawić na tle zmniejszającej się długości drogi drenażu H . Znaczne zmiany tak wyznaczonych wartości c_v skłaniają do przedstawiania ich w skali logarytmicznej. Miarą tej zmienności może być zmiana $\Delta \log c_v$ for $S_k \in (0-1)$, czyli odnoszona do całego analizowanego zakresu $S_k \in (0, 1)$, niezależnie w ujęciach ODS i PPD (fig. 3).

Zróżnicowanie wartości $\log c_v$, wyznaczanych metodami ODS i PPD przy tych samych wartościach aktualnej długości drogi drenażu H_i , jest syntetycznie odwzorowywane poprzez wprowadzenie wskaźnika v :

$$v = \frac{|\log c_{vODS} - \log c_{vPPD}|}{\log c_{vPPD}} \quad [5]$$

i wyznaczone jako średnia wartość v dla analizowanego wspólnego obszaru interpretacji c_v metodami ODS i PPD.

Jednocześnie najmniejsza wartość wskaźnika v traktowana jest jako kryterium określania optymalnej wartości współczynnika konsolidacji c_{vopt} , najbardziej zgodnej jednocześnie z wynikami interpretacji metodami ODS oraz PPD.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analiz 8 przebiegów konsolidacji pod stałymi obciążeniami, uwzględniające fazy procesu, zoptymalizowane wartości parametrów konsolidacji filtracyjnej oraz wskaźniki zmienności wyników.

W analizie przebiegu procesu najważniejsza jest charakterystyka fazy konsolidacji quasi-filtracyjnej. Parametr C_{IL} wskazuje, że udział przenoszenia obciążeń przez wodę wyniósł w rozpatrywanych badaniach maksymalnie od 5 do 25%, obniżając się następnie do wartości kilku, kilkunastu procent. Faza ta zaczynała się od około 1 do 2 godzin od chwili przyłożenia obciążenia σ_n i trwała przeciętnie od 1 do 3 dni. Jak widać z wyliczonych wartości $\Delta \log c_v$ for $S_k \in (0-1)$, wyliczonych niezależnie dla dwóch ujęć interpretacyjnych, z reguły konsekwentnemu i znacznemu zmniejszaniu się wartości c_v w metodzie ODS towarzyszy znacznie mniejsza zmienność $\log c_v$, gdy za podstawę interpretacji bierze się dystrybucję ciśnienia porowego w fazie konsolidacji quasi-filtracyjnej. W analizowanych badaniach w przypadku ujęcia interpretacyjnego ODS wskaźnik $\Delta \log c_v$ for $S_k \in (0-1)$ zmienia się od 0,63 do 2,13 i jest 2–3-krotnie większy aniżeli w metodzie PPD. Ujęcie PPD jest więc bardziej zbliżone do teoretycznie postulowanej quasi-stałości współczynnika konsolidacji w przebiegu procesu.

Tabela 3

Wyniki interpretacji konsolidacji z badań IL

Results of consolidation process interpretation from IL tests

Grupy parametrów <i>Groups of parameters</i>	Lokalizacja / <i>Localization:</i>		Bonarka			Zesławice			
	Symbol próbki / <i>Symbol of sample:</i>		WR	XR	NR	NR	SR	SR	
	σ_h	kPa	100	200	100	200	100	200	
Współrzędne granic faz konsolidacji IL <i>Coordinates of phases limits in consolidation IL</i>	t_m	min	76	76	151	120	48	76	95
	t_{max}	kPa	24,6	50,0	34,8	67,0	34,5	60,4	51,9
	C_{Lmax}	–	0,25	0,25	0,35	0,34	0,34	0,30	0,24
	t_{isab}	min	3360	605	2400	1080	2400	3360	762
	u_{sub}	kPa	9,7	18	17,4	26,5	2,6	3,5	10,8
	C_{Lsub}	–	0,11	0,09	0,17	0,13	0,03	0,02	0,11
	t_k	min	4080	4320	2640	2640	4320	4320	2880
	u_k	kPa	10,3	18	17,2	26,2	1,5	2,9	10,8
	$C_{IL,k}$	–	0,10	0,09	0,17	0,131	0,015	0,014	0,108
	$c_{v,opt}$	10^{-8} m ² /s	1,4	2,7	1,6	1,8	3,2	1,5	3,6
Optymalne parametry konsolidacji <i>Optimum values of consolidation parameters</i>	$S_{k,opt}$ for PPD	–	0,93	0,39	0,97	0,64	0,15	0,81	0,42
	$S_{k,opt}$ for ODS	–	0,95	0,70	0,97	0,82	0,54	0,89	0,73
	V_{br}	–	0,37	0,25	0,24	0,21	0,17	0,08	0,32
Wskaźniki zmienności wyników <i>Indices of results variability</i>	$\Delta \log C_v$ for $S_{k \in (0-1)}$ PPD	log m ² /s	0,83	0,20	0,48	0,17	0,74	0,86	0,38
	$\Delta \log C_v$ for $S_{k \in (0-1)}$ ODS	log m ² /s	0,88	1,24	0,63	0,76	1,91	2,13	0,89

Analiza wartości S_k odpowiadających c_{vopt} stanowi interesującą wskazówkę interpretacyjną. W przypadku skali odnoszonej do metody ODS współczynnik c_{vopt} odpowiada wartości S_k znacząco wyższej aniżeli $S_k = 0,5$. Stanowi to przesłankę dla wskazania większej miarodajności metody Taylora, nawiązującej do 90% konsolidacji, aniżeli metody Cassagrande'a. Warto zwrócić także uwagę na fakt, że w skali S_k odnoszonej do metody PPD współczynnik c_{vopt} uzyskiwany jest przy mniejszym zaawansowaniu procesu konsolidacji aniżeli w metodzie ODS.

Wnioski:

1. Równoczesna analiza przebiegu konsolidacji z uwzględnieniem odkształcenia i rozpraszania ciśnienia porowe-

go pozwala na zoptymalizowanie wyznaczania wartości współczynnika konsolidacji c_v , z wyakcentowaniem filtracyjnych aspektów procesu, bardzo istotnych do poprawnej aplikacji teorii w prognozowaniu osiadań.

2. Rozpatrywanie zależności zmian współczynnika c_v w funkcji stopnia konsolidacji oraz wyróżnienia fazy quasi-filtracyjnej procesu jest istotnym wskaźnikiem oceny zakresów zgodności rzeczywistych zachowań gruntu z modelowym rozwiązaniem teoretycznym.

3. Zaproponowane procedury interpretacyjne mogą stanowić podstawę do weryfikacji dotychczas stosowanych metod interpretacyjnych i określania kryteriów uwarunkowań konsolidacji z różnym udziałem czynników filtracyjnych i reologicznych.

LITERATURA

- DUNCAN J.M., 1993 — Limitations of conventional analysis of consolidation settlement. *J. Geotech. Engineer.*, **119**, 9: 1333–1359.
- PAJĄK R., DOBAK P., 2008 — Określanie parametrów filtracyjnych ilów krakowieckich z badań w konsolidometrze Rowe'a. *Kwart. AGH, Geologia*, **34**, 4: 677–689.
- PARKIN A.K., 1978 — Coefficient of consolidation by the velocity method. *Geotechnique*, **38**, 4: 472–474.
- SCOTT R.F., 1961 — New method of consolidation coefficient evaluation. *J. Soil Mechanics Found. Div., ASCE*, **87**, 1: 29–39.
- TAYLOR D.W., 1948 — Fundamentals of soil mechanics. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- WIŁUN Z., 2001 — Zarys geotechniki. Wyd. Kom i Łączności, Warszawa.

SUMMARY

The paper presents the analysis of consolidation based on IL (incremental loading) tests.

Interpretation of the results obtained from testing in Rowe-Barden consolidometer was based on examination of uniaxial soil strain and pore pressure distribution.

There are 3 stages of laboratory soil behaviour during IL consolidation initial phase (related to the increase in pore pressure), quasi-filtration consolidation and secondary consolidation. Specific parameters of time (t_m , t_{stab}) and pore pressure (u_b , C_{IL}) are basic framework for these stages. Two different relations between a non-dimensional time factor and a consolidation ratio were used in calculations derived

form the analysis of uniaxial soil strain and pore pressure distribution. According to the above, two methods of c_v calculations were proposed: ODS and PPD related to strain and pore pressure distribution, respectively.

Analysis of c_v changes have shown a significantly lower variability of this parameter expressed by: $\Delta \log c_v$ for S_k (0–1) and v index. Similar c_v values obtained from ODS and PPD methods should be recommended as optimal values following the Terzaghi's theory. Owing to the proposed method of interpretation of test results it is possible to show correspondence between filtration and rheological aspects of consolidation process.

