

WPLYW WILGOTNOŚCI NA WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE GRUNTÓW Z OBSZARU KARPACKIEGO

THE INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON SHEAR STRENGTH OF SOILS FROM THE CARPATHIANS

Tymoteusz Zydrzeń, Joanna Zgoda

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie gruntów pochodzących z osuwisk w Chalakówce, Owczarach i Szymbarku k. Gorlic. Celem pracy było określenie wpływu wilgotności na wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności badanych gruntów oraz weryfikacji metody Matsushi-Matsukury do opisu wytrzymałości na ścinanie gruntów nienasyconych. Badania przeprowadzono w standardowym aparacie bezpośredniego ścinania o wymiarach próbki $60 \times 60 \times 19$ mm. Wyniki badań wykazały, że wzrost wilgotności gruntu powoduje osłabienie jego wytrzymałości na ścinanie, przy czym spowodowane jest to w głównej mierze zmniejszeniem wartości spójności gruntów. Określone metodą Matsushi-Matsukury wartości wytrzymałości na ścinanie wykazują w przypadku większości analizowanych gruntów dobrą zgodność z wynikami badań.

Abstract. The results of shear strength parameters of soils from Chalakówka, Owczary and Szymbark are presented in the paper. Determination of the influence of moisture content on values on values of angle of internal friction and cohesion and assessment of usefulness of Matsushi-Matsukura method for evaluation of shear strength of unsaturated soils were the subject of the tests. Shear strength tests were carried out in standard direct shear box on samples of dimensions $60 \times 60 \times 19$ mm. Results of tests revealed that the increase of moisture content causes decrease shear strength of tested soils, which mainly is caused by the decrease of cohesion. Values of shear strength determined using Matsushi-Matsukura method give good agreement with results of shear tests in case of majority of tested soils.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ścinanie, osuwiska, Karpaty

Key words: shear strength, landslides, the Carpathians

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Tymoteusz Zydrzeń, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: t.zydrzen@ur.krakow.pl.

WSTĘP

W południowej Polsce, a w szczególności na obszarze karpackim, dużym problemem są ruchy masowe, które obejmują swym zasięgiem 30–40% powierzchni tego regionu [Poprawa i Rączkowski 2003]. Na ten stan rzeczy istotny wpływ ma skomplikowana budowa geologiczna (fliszowy układ warstw skalnych), duże deniwelacje terenu oraz wysokie sumy opadów. Uaktywnienie osuwisk jest często związane z występowaniem okresów o podwyższonych sumach opadów, natomiast mechanizm utraty stateczności stanowi wynik przewyciężenia przez naprężenia styczne oporu na ścinanie, który ulega zmniejszeniu wraz ze wzrostem wilgotności gruntu. Stąd też przy analizie przyczyn bądź prawdopodobieństwa powstania osuwisk dużego znaczenia nabiera znajomość parametrów wytrzymałościowych, niezbędnych do określenia współczynnika stateczności. W praktyce inżynierskiej jako parametry obliczeniowe wykorzystywane są najczęściej parametry całkowite. W naszym kraju zostały opracowane zależności pozwalające oszacować parametry gruntów na podstawie ich właściwości fizycznych [PN-81/B-03020, Wiłun 2003], ale w wielu przypadkach określone w ten sposób wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności różnią się od parametrów wyznaczonych doświadczalnie.

CEL PRACY

Podstawowym celem badań było określenie wpływu wilgotności na kształtowanie się wartości parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie gruntów pochodzących z obszarów cechujących się aktywnością osuwiskową.

Zależność parametrów całkowitych od wilgotności gruntu daje obraz zmian właściwości wytrzymałościowych gruntów zachodzących pod wpływem uwilgotnienia, parametry te jednak nie uwzględniają rzeczywistego stanu naprężeń panującego w ośrodku gruntowym. Stąd też z punktu widzenia wykonywania analiz stateczności zoczy bardziej przydatne okazują się parametry efektywne. W praktyce jednak nie zawsze utrata stateczności spowodowana jest nasyceniem porów gruntowych wodą, dlatego też istotna wydaje się również znajomość parametrów wytrzymałościowych gruntów w stanie ich niepełnego nasycenia. W przypadku gruntu nienasyconego jego wytrzymałość opisywana jest zmodyfikowanym przez Fredlunda i in. [1978] prawem Coulomba. Podstawowy problem wynikający z ograniczonej dostępności odpowiedniej aparatury stanowi określenie parametru ϕ^b , który określa wytrzymałość na ścinanie związaną ze wzrostem ciśnienia ssania w gruncie. Dlatego też opracowano szereg formuł empirycznych, przedstawionych m.in. w pracach Vanapalliego i Fredlunda [1999] oraz Kayadlena i in. [2007], gdzie wytrzymałość na ścinanie gruntów nienasyconych wyznaczana jest najczęściej na podstawie znajomości efektywnego kąta tarcia wewnętrznego i spójności oraz wielkości ciśnienia ssania w gruncie. Niestety, brakuje wciąż informacji na temat bezpośredniego wpływu wilgotności na kształtowanie się parametrów wytrzymałościowych gruntów w stanie ich niepełnego nasycenia. Stąd też ciekawa wydaje się metoda zaproponowana przez Matsushi i Matsukurę [2006], którzy zmodyfikowali równanie Coulomba do następującej postaci:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\phi + C \cdot e^{-\mu\theta} \quad (1)$$

gdzie:

τ – wytrzymałość na ścinanie,

σ – naprężenie normalne,

ϕ – kąt tarcia wewnętrznego, równoznaczna wartości efektywnej tego parametru,

C – hipotetycznie największa wartość spójności,

μ – współczynnik odwzorowujący zmniejszenie spójności wraz ze wzrostem wilgotności gruntu,

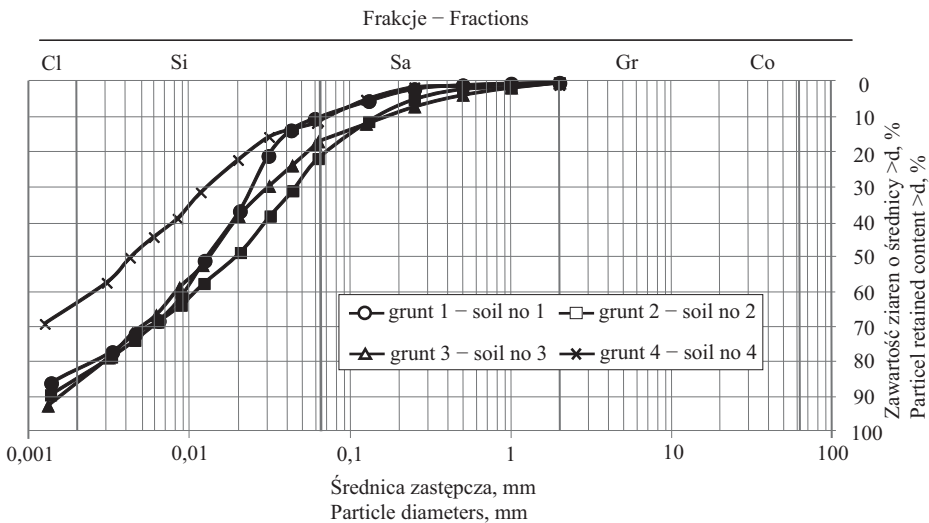
θ – wilgotność objętościowa gruntu,

e – podstawa logarytmu naturalnego.

Stąd też w pracy uznano za istotne zastosowanie powyższej metody do analizy wyników badań własnych i ocenę jej przydatności do opisu wytrzymałości na ścinanie gruntów w stanie niepełnego nasycenia.

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH GRUNTÓW

Do badań wykorzystano grunty z obszarów charakteryzujących się dużą aktywnością osuwiskową – z Pogórza Wielickiego i Beskidu Niskiego. Dwa pierwsze grunty reprezentowały rejon osuwiska w Chalakówce, które administracyjnie położone jest na terenie Sierszy. Pobrano je z dwóch poziomów litologicznych, zlokalizowanych odpowiednio na głębokościach 2,0–3,6 m p.p.t. oraz 4,8–5,2 m p.p.t., a zostały one udostępnione autorom



Rys. 1. Krzywe uziarnienia badanych gruntów

Fig. 1. Grain-size distribution of tested soils

Tabela 1. Podstawowe właściwości geotechniczne badanych gruntów
Table 1. Basic geotechnical properties of tested soils

Parametr	Chalakówka		Owczary	Szymbark
	Grunt 1 Soil no 1	Grunt 2 Soil no 2	Grunt 3 Soil no 3	Grunt 4 Soil no 3
Zawartość frakcji, % Fraction content, %:				
– żwirowej – gravel (63–2 mm)			15,5	3,8
– piaskowej – sand (2–0,063 mm)	10,3	21,8	14,1	10,4
– pyłowej – silt (0,063–0,002 mm)	72,9	64,1	59,7	50,7
– ilowej – clay (< 0,002 mm)	16,7	14,1	10,7	35,1
Nazwa gruntu wg PN-EN ISO 14688-2 Soil type acc. to PN-EN ISO 14688-2	clSi	clSi	clSi	Cl
Wilgotność naturalna, % Natural moisture content, %	17,9	21,3	20,9	35,9
Gęstość objętościowa, $g \cdot cm^{-3}$ Bulk density, $g \cdot cm^{-3}$	2,13	2,07	2,01	1,88
Gęstość właściwa, $g \cdot cm^{-3}$ Specific density, $g \cdot cm^{-3}$	2,67	2,68	2,66*	2,71*
Granice konsystencji, % – Consistency limits, %:				
– plastyczności – plastic	18,2	17,8	18,1	21,0
– płynności – liquid	36,4	32,0	33,8	62,9
Wskaźnik plastyczności, % – Plasticity index, %	18,2	14,2	15,7	41,9
Pęcznienie swobodne, % Swelling, %	6,4	10,3	1,9	7,6

* przyjęto na podstawie PN-81/B-03020 – adopted acc. to PN-81/B-03020

do badań przez przedstawicieli Przedsiębiorstwa Geologicznego S.A. w Krakowie. Kolejne dwa grunty pochodziły z okolic Gorlic – pierwszy z powierzchniowej warstwy jednego ze zboczy w Owczarach, drugi zaś z Maślanej Góry z sąsiedztwa Cisowego Potoku w Szymbarku. Oba te grunty pozyskano w bezpośrednim sąsiedztwie osuwisk, które pojawiły się w dniach 3–4 czerwca 2010 r. w następstwie 12-godzinnej opadu o wysokości 107 mm. Podstawowe właściwości geotechniczne badanych gruntów zestawiono w tab. 1, a krzywe granulometryczne próbek poddanych badaniom wytrzymałości na ścinanie przedstawiono na rys. 1. W celu zachowania przejrzystości opisu wyników badań każdemu z gruntów nadano numer, a przyjętą numeracją posłużono się w dalszej części pracy.

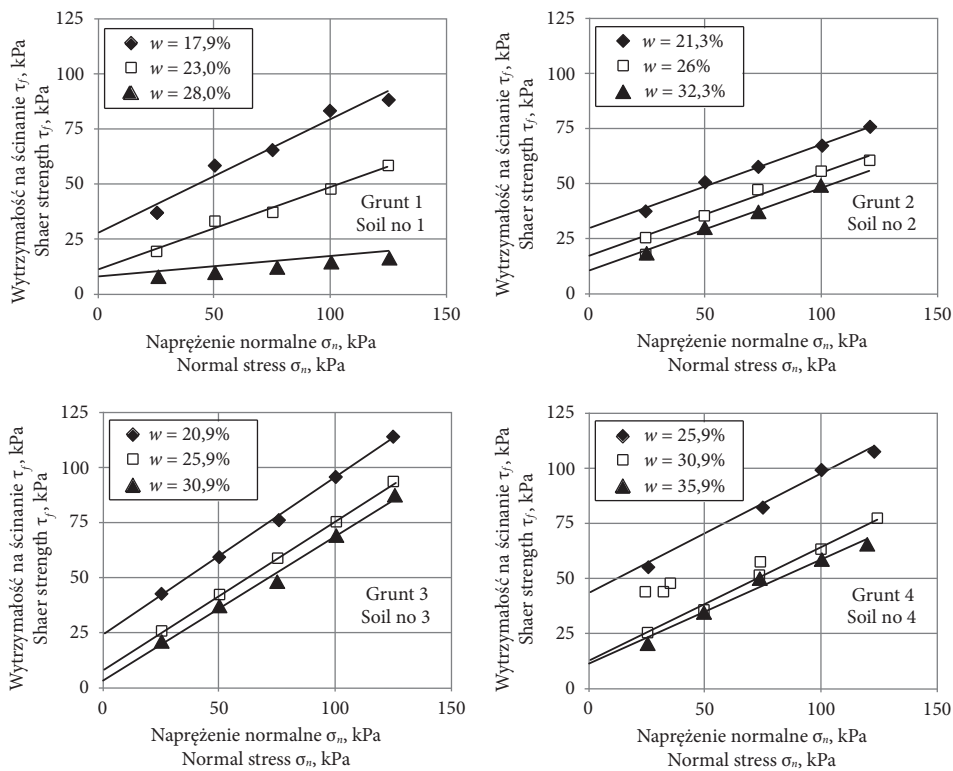
METODY BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE

Badania przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania w skrzynce o wymiarach 6×6 cm. Próbkę gruntu formowano w próbniku o wymiarach $6 \times 6 \times 1,8$ cm, a następnie umieszczano w skrzynce aparatu. W przypadku gruntów 1, 2 i 3 badania przeprowadzono na próbkach o trzech wilgotnościach: naturalnej oraz większych od niej o ok. 5 i 10%; natomiast w przypadku gruntu 4, charakteryzującego się wysoką wilgotnością

naturalną, do badań posłużyły próbki o wilgotności naturalnej oraz mniejszych od niej o 5 i 10%. Każda seria badań składała się z 5 próbek, które przed ścięciem poddawano wstępnemu obciążaniu konsolidacyjnemu o wartościach 25, 50, 75, 100 i 125 kPa. Zasadniczą część próbek gruntów ścinano z prędkością $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, natomiast część próbek gruntów pochodzącą z Chalakówki ścinano z prędkością $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Kryterium ścięcia odpowiadało maksymalnej wartości oporu na ścinanie w zakresie odkształceń względnych próbek 10%. Wartości parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie, tj. kąt tarcia wewnętrznego i spójność, określono metodą najmniejszych kwadratów. Łącznie badania wykonano dla 80 próbek gruntów.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rys. 2 przedstawiono wyniki oznaczeń wytrzymałości na ścinanie badanych gruntów uzyskane przy prędkości $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, natomiast w tab. 2 zestawiono wartości parametrów charakteryzujących ich wytrzymałość na ścinanie. Ogólnie można zauważyć istotny wpływ wilgotności badanych gruntów na kształtowanie się ich wytrzymałości na ścinanie, przy czym wpływ ten jest szczególnie wyraźny w przypadku gruntu 1.



Rys. 2. Wytrzymałość na ścinanie badanych gruntów ($v_s = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$)

Fig. 2. Shear strength of tested soils ($v_s = 0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$)

Przykładowo wartości wytrzymałości na ścinanie uzyskane dla próbki tego gruntu o wilgotności 17,9% przy naprężeniu normalnym rzędu 125 kPa były ponad czterokrotnie mniejsze niż dla próbki o wilgotności 28%. Z kolei najmniejszy wpływ wilgotności na wytrzymałość na ścinanie uzyskano dla gruntu 2, w wypadku którego niezależnie od naprężeń normalnych różnica pomiędzy wytrzymałością na ścinanie dla próbek o skrajnych wilgotnościach wynosiła ok. 25 kPa.

Tabela 2. Wyniki oznaczeń parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie badanych gruntów

Table 2. Results of shear strength of tested soils

Numer gruntu No of soil	Wilgotność wagowa Moisture content $w, \%$	Wilgotność objętościowa gruntu Volumetric water content θ	Stopień plastyczności Liquidity index I_L	Prędkość ścinania Velocity of shearing $v_s, \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Kąt tarcia wewnętrzznego Angle of internal friction $\varphi, ^\circ$	Spójność Cohesion c, kPa
1	17,9	0,323	-0,02	0,1	27,0	28,5
				1,0	18,6	43,0
	23,0	0,377	0,26	0,1	20,5	11,5
				0,1	5,4	8,2
2	28,0	0,423	0,54	1,0	8,7	1,5
				0,1	20,2	30,2
	21,3	0,363	0,25	1,0	17,6	44,6
				0,1	20,1	17,5
3	26,0	0,410	0,58	0,1	19,8	10,9
				1,0	5,2	4,6
	32,3	0,451	1,02	0,1	37,2	23,6
				0,1	35,6	6,9
4	20,9	0,347	0,18	0,1	34,7	1,7
	25,9	0,407	0,50	0,1	29,2	41,8
	30,9	0,456	0,82	0,1	27,9	12,5
4	25,9	0,399	0,12	0,1	26,6	10,6
	30,9	0,449	0,24	0,1		
	35,9	0,497	0,36	0,1		

Wpływ wilgotności gruntów na ich wytrzymałość na ścinanie znalazł odzwierciedlenie w wartościach kąta tarcia wewnętrznego i spójności (tab. 2). Porównując wyniki badań uzyskane przy prędkości ścinania $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, można zauważyć, że największy wpływ wilgotności na wartości kąta tarcia wewnętrznego otrzymano dla gruntu 1 z Chalakówki. W przypadku tego gruntu wzrost wilgotności o 10% (od 18 do 28%) wpłynął na zmniejszenie wartości kąta tarcia wewnętrznego prawie o 22° . W przypadku pozostałych gruntów wzrost wilgotności gruntu powodował niewielkie zmiany wartości kąta tarcia wewnętrznego. Przykładowo dla gruntu 2 zmiany wartości tego kąta tarcia w analizowanym zakresie wilgotności wyniosły $0,4^\circ$. Natomiast w przypadku każdego z badanych gruntów wzrost wilgotności spowodował wyraźne zmiany wartości spójności. W skrajnym przypadku – gruntu 4, zwiększenie wilgotności o 10% spowodowało zmniejszenie wartości spójności o 31,2 kPa. Najmniejszą zmianę opisywanego parametru zanotowano w przypadku gruntu 2.

Analizując otrzymane wartości parametrów wytrzymałościowych dla gruntów 1 i 2, można zauważyć, że w dużym stopniu były one zależne od zastosowanej w badaniach prędkości ścinania. Przy niskich wilgotnościach zastosowanie większej prędkości ścinania wpłynęło na zwiększenie wartości spójności. Natomiast przy większej wilgotności gruntów większe wartości wytrzymałości na ścinanie uzyskano, stosując prędkość ścinania $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Zależność ta była szczególnie wyraźna w przypadku gruntu 2, dla którego wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności uzyskane przy prędkości $0,1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ były odpowiednio o $14,6^\circ$ i $6,3 \text{ kPa}$ większe niż odpowiednie wartości tych parametrów otrzymane z badań przy prędkości ścinania $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Przy porównywaniu otrzymanych wartości parametrów wytrzymałościowych z zależnościami podawanymi dla tego typu gruntów w byłej normie PN-81/B-03020 czy też w pracy Wiłuna [2003] wzięto pod uwagę wartości otrzymane przy prędkości ścinania $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, przyjmując, że z uwagi na krótki czas ścinania warunki badań odpowiadały ścięciu bez drenażu. Stwierdzono, że otrzymane z badań wartości kąta tarcia wewnętrznego są zbliżone do wartości tego parametru podanych w przywołanych wyżej pozycjach literatury. Z kolei gdy chodzi o spójność, uzyskane z badań wartości tego parametru w przypadku niskich wartości stopnia plastyczności są wyraźnie większe niż wartości literaturowe; odwrotną prawidłowość uzyskano dla próbek gruntów charakteryzujących się wysokimi wartościami stopnia plastyczności.

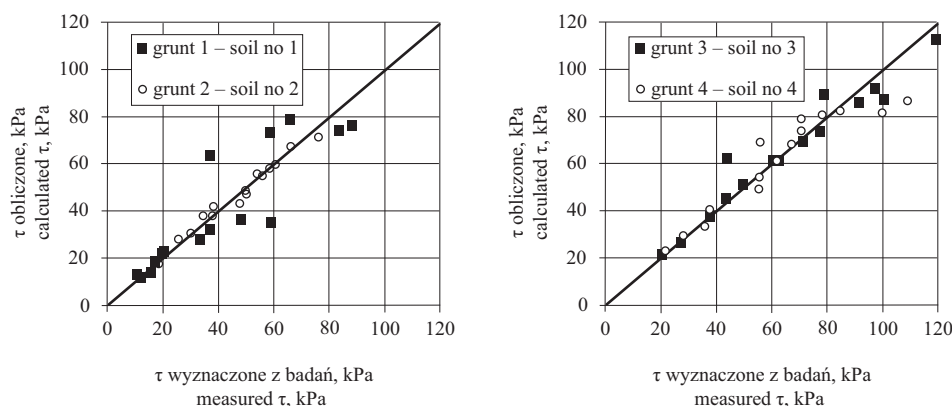
Nieco inne rezultaty porównań otrzymano, odnosząc wyniki badań własnych do wyników badań zawartych w pracach Thiela [1989] i Bednarczyka [2005], które dotyczyły osuwisk strukturalnych zlokalizowanych w okolicach Gorlic. Parametry wytrzymałościowe podane w pracy Thiela [1989] określone zostały dla gliny pylastej z osuwiska Bystrzyca, podobnej pod względem uziarnienia do gruntów 1–3. Tamtejszy grunt przy wartościach stopnia plastyczności 0,11 oraz 0,49 charakteryzował się wartościami kąta tarcia wewnętrznego odpowiednio $29,7^\circ$ i $24,5^\circ$ oraz spójnością równą $15,7$ i $7,1 \text{ kPa}$. Z kolei wyniki badań parametrów wytrzymałościowych gruntów z osuwisk w Wapiennem i Sękowej podane w pracy Bednarczyka [2005] wykazały, że gliny pylaste zależnie od stopnia plastyczności (0,09–0,32) miały wartości kąta tarcia wewnętrznego w przedziale 14 – 20° , a spójności 29 – 33 kPa . Przedstawione w niniejszej pracy wartości kąta tarcia wewnętrznego dla gruntu 3 pochodzącego z Owczar są zatem większe, a spójności mniejsze od wartości odpowiednich parametrów wytrzymałościowych podanych w wyżej wymienionych opracowaniach. Z kolei wartości kąta tarcia wewnętrznego dla gruntów 1 i 2 z Chalakówki okazują się zbliżone do wartości tego parametru podanych w pracach Thiela [1989] i Bednarczyka [2005].

Prezentowane wyniki badań wskazują, że uwilgotnienie gruntów ma wyraźny wpływ na ich wytrzymałość na ścinanie, a zastosowanie uzyskanych rezultatów do celów praktyki inżynierskiej (posadowienia fundamentów, obliczenia stateczności) ogranicza się do przypadków, gdy wilgotność gruntu w warunkach naturalnych odpowiada wilgotnościom gruntu podanym w niniejszej pracy. Dlatego też w dalszej jej części wykorzystano metodę opisaną szczegółowo w pracy Matsushi i Matsukury [2006], która umożliwia opis wytrzymałości na ścinanie w postaci funkcji opisanej wzorem (1). W równaniu tym na podstawie wyników badań określa się parametry ϕ , C oraz μ . Sposób określania owych parametrów polega na linearyzacji równania (1) – w pierwszym rzędzie przyjmuje się arbitralnie wartości kąta tarcia wewnętrznego, a pozostałe dwa parametry stanowią współczynniki liniowe przekształconego równania (1).

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń parametrów równania Matsushi-Matsukura
 Table 3. Values of parameters of Matsushi-Matsukura equation

Nr gruntu Number of soil	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ , ° Angle of internal friction ϕ , °	Parametr μ Parameter μ	Parametr C, kPa Parameter C, kPa
1	6,5	22,0	68596
2	18,0	14,1	4365
3	31,0	24,7	166441
4	26,0	17,1	38599

W tab. 3 zestawiono obliczone wartości parametrów równania (1), natomiast na rys. 3 zaprezentowano porównawczo wyniki obliczeń wytrzymałości na ścinanie z wartościami tego parametru uzyskanymi bezpośrednio z badań. Ogólnie można zauważyć, że w przypadku gruntu 2 uzyskano dobrą zgodność obliczeń z wynikami doświadczeń. Nieco mniejsza zgodność rezultatów modelowania z wynikami badań wystąpiła w przypadku gruntów 3 i 4, natomiast dla gruntu 1 metoda Matsushi i Matsukury dała satysfakcjonujące wyniki jedynie w zakresie niskich wartości naprężeń stycznych.



Rys. 3. Wyniki porównań wartości oporu na ścinanie określonej na podstawie formuły oraz wyznaczonych bezpośrednio z badań

Fig. 3. Comparison of measured and calculated shear strength

Analizując zależności przedstawione na rys. 3, należy odnieść się również do rezultatów oraz metody badań autorów równania. Według Matsushi i Matsukury określana za pomocą modelu wartość kąta tarcia wewnętrznego odpowiada wartości efektywnej tego parametru, co jest wielce dyskusyjne ze względu na zastosowaną w ich studiach prędkość ścinania ($1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Autorzy ci prowadzili badania na gruntach, których uziarnienie według poprzedniej nomenklatury geotechnicznej [PN-86/B-02480] odpowiada piaskom gliniastym oraz glinie, a ustalone dla tych gruntów „efektywne” wartości kąta tarcia wewnętrznego wyniosły odpowiednio $28,3^\circ$ oraz $27,7^\circ$. Z kolei wartości kątów tarcia wewnętrznego uzyskane przy różnej wilgotności próbek mieściły się w stosunkowo niedużym zakresie i były przeważnie nieco większe od odpowiednich wartości

tego parametru podanych wyżej. Podobną zależność w odniesieniu dla gruntów 2, 3 i 4 uzyskali również autorzy niniejszego referatu. Dla tych przypadków odnotowano też stosunkowo dobrą zgodność wyników badań z wartościami wytrzymałości na ścinanie określonymi na podstawie wyliczeń. Natomiast w przypadku gruntu 1 wpływ wilgotności na wartości kąta tarcia wewnętrznego był największy wśród badanych gruntów. Różnica wartości kąta tarcia wewnętrznego przy 10-procentowym wzroście wilgotności gruntu wyniosła ponad 20° , co znalazło odzwierciedlenie w wynikach modelowania. Z praktycznego punktu widzenia dyskusyjne są również wartości parametru C , który autorzy utożsamiają z wartościami spójności gruntu przy wilgotności równej 0%. W warunkach naturalnych grunty z reguły posiadają kilku-, kilkunastoprocentową wilgotność; nawet w stanie powietrzno-suchym charakteryzują się niewielką tzw. wilgotnością resztkową. Do celów porównawczych wartości spójności wyliczono z formuły (1) dla całego zakresu wilgotności objętościowej badanych gruntów (por. tab. 1) i porównano z wynikami badań bezpośrednich (por. tab. 2). W przypadku gruntów charakteryzujących się niską wilgotnością wartości spójności obliczone za pomocą formuły (1) są z reguły większe niż wartości spójności określonej z doświadczeń. Odwrotną relację stwierdzono w przypadku próbek o wysokim uwilgotnieniu. Różnice te wynikają ze sposobu opisu wytrzymałości gruntu na ścinanie. Autorzy niniejszej pracy przy interpretacji wyników badań wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie zastosowali najprostszą postać równania Coulomba, gdzie wartość kąta tarcia wewnętrznego określana jest dla każdej serii badań danego gruntu. Z kolei model Matsushi-Matsukury uwzględnia równanie Coulomba dla ośrodków nienasyconych, gdzie wartość kąta tarcia wewnętrznego jest stała i nie zależy od jego wilgotności.

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły ogólnie znaną zależność wytrzymałości na ścinanie, a także wartości parametrów, które ją charakteryzują, tj. kąta tarcia wewnętrznego i spójności, od wilgotności gruntu. Wyniki badań wskazały, że zmiana wytrzymałości gruntów na ścinanie spowodowana jest zasadniczo zmianą spójności. Istotny czynnik wpływający na wyniki oznaczeń parametrów wytrzymałościowych gruntów stanowi prędkość ścinania. Szczególnie ważne wydają się wyniki uzyskane dla próbek o dużej wilgotności, które wskazują, że zastosowanie większych prędkości ścinania wpływa na zmniejszenie oporu gruntu na ścinanie.

Mimo że badane grunty są podobne pod względem uziarnienia, to wykazały różnicowaną wytrzymałość na ścinanie oraz rozmaite wartości parametrów ją charakteryzujących, także w odniesieniu do wartości tych parametrów podawanych dla tego typu gruntów w literaturze. Stąd też uzasadnione wydaje się ogólnie znane stwierdzenie, że w celu określenia parametrów wytrzymałościowych gruntów, zwłaszcza na terenach osuwiskowych, istnieje potrzeba wykonywania badań za każdym razem.

Formuła zaproponowana przez Matsushi i Matsukę [2006] stanowi prostą i łatwą do zastosowania w praktyce metodą opisu wytrzymałości na ścinanie gruntów nienasyconych. Określone tą metodą wartości wytrzymałości na ścinanie cechowały się w przypadku większości analizowanych gruntów dobrą zgodnością z wynikami badań.

PIŚMIENNICTWO

- Bednarczyk Z., 2005. Examples of the mass movement investigations in different types of deposits. Pol. Geolog. Inst. Special Papers 20, 14–26.
- Fredlund D.G., Morgenstern N.R., Widger R.A., 1978. The shear strength of unsaturated soils. Canad. Geotech. J. 15(3): 313–321.
- Kayadelen C., Tekinsoy, M.A., Taskiran T., 2007. Influence of matric suction on shear strength behavior of a residual clayey soil. Environ. Geol. 53: 891–901.
- Matsushi Y., Matsukura Y., 2006. Cohesion of unsaturated residual soils as a function of volumetric water content. Bull. Engin. Geol. Environ. 65: 449–455.
- Poprawa D., Rączkowski W., 2003. Osuwiska Karpat. Przegl. Geol. 51(8), 685–692.
- PN EN ISO 14688-2. 2006 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikacja gruntów. Cz. 2: Zasady klasyfikowania. Polski Komitet Normalizacyjny Warszawa.
- PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości Warszawa.
- PN-86/B-02480. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów. Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości Warszawa.
- Thiel K. (red.), 1989. Kształtowanie fliszowych stoków karpackich przez ruchy masowe na przykładzie badań na stoku Bystrzyca w Szymbarku. Wyd. IBW PAN Gdańsk.
- Vanapalli S.K., Fredlund D.G., 1999. Empirical procedures to predict the shear strength of unsaturated soils. Eleventh Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Red. S.W. Hong i in. Balkema, 93–96.
- Wiłun Z., 2003. Zarys geotechniki. WKiŁ Warszawa.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.06.2012