

Zbigniew Lechowicz
Alojzy Szymański

**ODKSZTAŁCENIA
I STATECZNOŚĆ
NASYPÓW
NA GRUNTACH
ORGANICZNYCH**
CZ. II. METODYKA OBLICZEŃ



Wydawnictwo SGGW

Zbigniew Lechowicz
Alojzy Szymański

**ODKSZTAŁCENIA
I STATECZNOŚĆ
NASYPÓW
NA GRUNTACH
ORGANICZNYCH**

CZ. II. METODYKA OBLICZEŃ



Wydawnictwo SGGW
Warszawa 2002

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002
Wydanie I

Recenzenci: doc. dr hab. inż. *Magdalena Borys*
prof. dr hab. inż. *Eugeniusz Dembicki*

Opracowanie graficzne – *Ewa Domańska-Ilkiewicz*
Redaktor – *Jan Kiryjow*
Redaktor techniczny – *Zofia Orłowska*

ISBN 83-7244-398-X (całość)
83-7244-400-5 (Część II)

Wydawnictwo SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel./fax (0 22) 847 28 92, e-mail: jmw_wyd@sggw.waw.pl
<http://www.sggw.waw.pl/info/wyd/index.html>

Druk: P.P. EVAN, ul. Pilicka 11, 02-629 Warszawa

Spis treści

Wykaz symboli i oznaczeń	5
1. WSTĘP	9
2. ANALIZA ODKSZTAŁCENÍ PODŁOŻA	11
2.1. Dobór metodyki obliczeń	11
2.2. Ocena osiadań podłoża	13
2.2.1. Odkształcenia początkowe	13
2.2.2. Osiadania końcowe	17
2.3. Propozycje wykorzystania modeli gruntowych w analizie odkształcenia podłoża	28
2.3.1. Wykorzystanie modelu nieliniowo-sprężystego	28
2.3.2. Wykorzystanie modelu sprężysto-plastycznego	36
3. ANALIZA KONSOLIDACJI PODŁOŻA	41
3.1. Charakterystyka czynników warunkujących proces konsolidacji	41
3.2. Ocena konsolidacji podłoża	43
3.2.1. Empiryczna prognoza konsolidacji	43
3.2.2. Wykorzystanie teorii konsolidacji	46
3.3. Ocena konsolidacji podłoża z drenażem pionowym	58
3.3.1. Czynniki warunkujące efektywność drenażu pionowego w gruntach organicznych	58
3.3.2. Wykorzystanie teorii konsolidacji	63
3.4. Propozycje uwzględniania dużych odkształceń podłoża w analizie konsolidacji	69
3.4.1. Analiza konsolidacji w stanie jednowymiarowym	69
3.4.2. Analiza konsolidacji w stanie osiowo-symetrycznym	77
3.4.3. Analiza konsolidacji w stanie dwuwymiarowym	82
4. ANALIZA STATECZNOŚCI	87
4.1. Wybór zakresu analizy stateczności	87
4.2. Dobór metody analizy stateczności	91
4.2.1. Uproszczone sposoby oceny stateczności	91

4.2.2. Wykorzystanie metod równowagi granicznej	93
4.2.3. Wykorzystanie modeli gruntowych w ocenie stateczności	109
4.3. Stateczność jednoetapowego nasypu	116
4.3.1. Dobór metodyki oszacowania wytrzymałości na ścinanie	116
4.3.2. Wykorzystanie metod analizy stateczności	117
4.4. Stateczność nasypu wznoszonego etapowo	121
4.4.1. Dobór metodyki oszacowania wytrzymałości na ścinanie	121
4.4.2. Wykorzystanie metod analizy stateczności	125
5. LITERATURA	135
Summary	143

Wykaz symboli i oznaczeń

a_v	współczynnik ściśliwości
b	szerokość obciążonej strefy
B_t	styczny moduł odkształcenia objętościowego
c, c_u	spójność
c'	spójność efektywna
C_r	wskaźnik ściśliwości pierwotnej
c_h	współczynnik konsolidacji poziomej
C_r	wskaźnik ściśliwości wtórnej
c_v	współczynnik konsolidacji pionowej
C_v	wskaźnik ściśliwości przy powtórnych obciążeniach
C_α	współczynnik ściśliwości wtórnej
$[D]$	macierz sprężystości
dA	powierzchnia podstawy elementu pionowego
E	moduł odkształcenia (moduł Younga)
e	wskaźnik porowatości
e_{ij}	wartość wskaźnika porowatości w czasie t
e_0	początkowy wskaźnik porowatości
E_t	styczny moduł Younga
E_u	moduł sprężystości bez odpływu
F	współczynnik stateczności
F_x, F_y	siły masowe
F_{2D}	współczynnik stateczności w stanie płaskim
F_{3D}	współczynnik stateczności w stanie przestrzennym
g	przyspieszenie ziemskie
H	miąższość warstwy ściśliwej
h	wysokość próbki
H_s	bezpieczna wysokość nasypu
H_0	początkowa miąższość podłoża ściśliwego
H1 – H10	stopień rozkładu torfu według skali von Posta
i	gradient hydrauliczny
I_h	współczynnik wpływu odkształceń w kierunku poziomym
I_p	wskaźnik plastyczności
I_v	współczynnik wpływu odkształceń w kierunku pionowym
k	współczynnik filtracji
K_s	współczynnik wzrostu wytrzymałości na ścinanie bez odpływu
l	długość obciążonej strefy

6

l_i	długość podstawy paska
L_s	długość osuwiska
LSK	linia stanu krytycznego
M	moduł ścisłości
M_i	masa i -tego plastra
M_o	pierwotny moduł ścisłości
n	porowatość
N_r	współczynnik nośności
N_i	siła normalna
N_t	wskaźnik stateczności
OCR	współczynnik prekonsolidacji
p	średnie naprężenie normalne
p_a	ciśnienie atmosferyczne
q	dewiator naprężenia
q_j	składowa wektora wydatku
$q_{LSK}(p', e)$	naprężenie dewiatorowe na linii stanu krytycznego, odpowiadające danemu stanowi gruntu określone współrzędnymi (p', e) uzyskane przy przyroście naprężenia dewiatorowego w warunkach bez odpływu
$q(p', e)$	naprężenie dewiatorowe wywołane w gruncie przy średnim naprężeniu efektywnym p' oraz danym wskaźniku porowatości e
q_w	wydatek drenu
q_x, q_y	przepływ jednostkowy mierzony w kierunku osi, odpowiednio x i y
R	stopień naruszenia struktury gruntu
R_c	promień walcowej części powierzchni poślizgu
R_f	współczynnik tarcia w badaniach CPTU
S_e	osiadanie konsolidacyjne
S_f	osiadanie końcowe
S_h	przemieszczenia poziome
S_i	osiadanie natychmiastowe
S_{mi}	siła oporu gruntu na ścinanie
S_s	osiadanie będące wynikiem ścisłości wtórnej gruntu
t	czas
T_h	czynnik czasu
t_f	koniec okresu prognozy konsolidacji
t_p	koniec pierwotnej konsolidacji
U	stopień całkowitej konsolidacji
u	ciśnienie wody w porach
u_b	ciśnienie wody w porach działające w środku podstawy paska

U_h	stopień poziomej konsolidacji
u'_i	średnia arytmetyczna ciśnienia wody w porach na brzegach otaczających warstw
u_j	gradient ciśnienia wody w porach
U_v	stopień pionowej konsolidacji
w, w_n	wilgotność gruntu w stanie naturalnym
W_c	całkowity ciężar paska
w_{ij}	składowa gradientu przemieszczenia
W_j	wektor przemieszczenia
w_L	granica płynności
W_{sk}	wskaźnik stanu krytycznego
w_x	składowa przemieszczeń gruntu w kierunku osi x
w_y	składowa przemieszczeń gruntu w kierunku osi y
X_i	siła wzajemnego oddziaływania pasków o składowych: pionowej T_i i poziomej E_i
z	zagiębnienie
α_i	nachylenie podstawy paska
β	ściśliwość wody w porach
δ_{ij}	delta Kroneckera
Δe	zmiana wskaźnika porowatości
Δp	różnica ciśnień na końcach próbki
Δq	obciążenie
$\Delta\sigma'_{xx}, \Delta\sigma'_{yy}, \Delta\tau_{xy}$	przyrosty składowych naprężenia efektywnego
$\{\Delta\sigma\}$	tensor przyrostu naprężenia
$\{\Delta\varepsilon\}$	tensor przyrostu odkształcenia
$\Delta\varepsilon_i$	przyrost odkształceń postaciowych
$\Delta\varepsilon_v$	przyrost odkształceń objętościowych
$\Delta\varepsilon_x, \Delta\varepsilon_y, \Delta\gamma_{xy}$	przyrosty składowych odkształcenia
$\varepsilon, \varepsilon_v$	odkształcenie objętościowe
ε_i	odkształcenia konsolidacyjne
ε^e	przyrost odkształceń sprężystych
ε^p	przyrost odkształceń plastycznych
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$	składowe odkształcenia gruntu
ε_1	odkształcenie objętościowe od większego naprężenia głównego (pionowe)
ε_3	odkształcenie objętościowe od mniejszego naprężenia głównego (poziome)
ϕ, ϕ_u	kąt tarcia wewnętrznego
ϕ'	efektywny kąt tarcia wewnętrznego

γ	ciężar objętościowy gruntu
γ_a	ciężar właściwy powietrza
γ_d	ciężar objętościowy szkieletu gruntowego
γ_n	ciężar objętościowy gruntu w nasypie
γ_s	ciężar właściwy gruntu
γ_w	ciężar właściwy wody
ρ_d	gęstość objętościowa szkieletu gruntowego
ρ_w	gęstość jednostkowa wody
σ	naprężenie całkowite
σ'	naprężenie efektywne
σ'_h	pozioma składowa naprężenia efektywnego
σ_{ij}	tensor naprężenia całkowitego
σ'_{ij}	tensor naprężenia efektywnego
σ'_n	składowa normalna naprężenia efektywnego
σ'_p	naprężenie prekonsolidacji
σ_v	pionowa składowa naprężenia całkowitego
σ'_v	pionowa składowa naprężenia efektywnego
σ'_{vj}	pionowa składowa końcowego naprężenia efektywnego
σ'_{v0}	pionowa składowa pierwotnego naprężenia efektywnego
$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$	składowe naprężenia całkowitego
$\sigma'_x, \sigma'_y, \tau'_{xy}$	składowe naprężenia efektywnego
σ_1	większe naprężenie główne
σ_3	mniejsze naprężenie główne
τ	naprężenie styczne
$\bar{\tau}_{fu}$	wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu
τ_{fv}	wytrzymałość gruntu na ścinanie pomierzona sondą krzyżkową
ξ_h	współrzędna konwekcyjna w kierunku poziomym
ξ_v	współrzędna konwekcyjna w kierunku pionowym
$\Delta \xi_{h,ij}^E$	krok dyskretyzacji wzdłuż osi poziomej w punkcie ij
$\Delta \xi_{v,ij}^E$	krok dyskretyzacji wzdłuż osi pionowej w punkcie ij
$\xi_{y=1}$	początkowa wysokość warstwy obliczeniowej
∇	dwuwymiarowy operator Laplace'a

Wznoszenie nasypów na gruntach organicznych ze względu na ich małą początkową wytrzymałość i dużą ściśliwość wymaga dokonania wyboru odpowiedniej w danych warunkach metody posadowienia. Podstawę wyboru stanowi prognoza odkształceń i konsolidacji, warunkująca poprawną ocenę stateczności budowli.

Niniejsza praca stanowi podsumowanie wieloletnich badań autorów i prowadzących we współpracy ze Szwedzkim Instytutem Geotechnicznym i Uniwersytetem McGill w Montrealu oraz projektu badawczego KBN 772029102 dotyczących metodyki badań parametrów geotechnicznych gruntów organicznych i metodyki obliczeń konsolidacji podłoża i stateczności budowli.

Praca składa się z dwóch części:

- część pierwsza „Metodyka badań”,
- część druga „Metodyka obliczeń”.

W części pierwszej podano najnowsze osiągnięcia i własne propozycje w zakresie metodyki badań laboratoryjnych i terenowych służących rozpoznaniu gruntów organicznych i wyznaczeniu parametrów geotechnicznych wykorzystywanych w obliczeniach przebiegu odkształceń i stateczności budowli.

W części drugiej przedstawiono analizę czynników warunkujących poprawną ocenę procesu odkształcania i stateczności gruntów organicznych do potrzeb projektowania, budowy i utrzymania nasypów.

Obejmuje ona zatem analizę:

- czynników warunkujących przebieg procesu odkształcania podłoża nasypu,
- metod obliczeniowych stosowanych w ocenie odkształceń, konsolidacji i stateczności oraz ocenę wyników uzyskiwanych z tych metod,
- propozycji autorów dotyczących metod empirycznych i wykorzystania teoretycznych równań konstytutywnych w ocenie odkształceń i konsolidacji,
- trudności powstających podczas stosowania numerycznej techniki obliczeniowej.

Część druga składa się z pięciu rozdziałów obejmujących:

- wstęp określający potrzebę wykonywania obliczeń (rozd. 1),
- analizę wyników uzyskiwanych z istniejących metod prognozy odkształceń, a także propozycje autorów empirycznej oceny osiadań i wykorzystania modeli gruntowych w ocenie przemieszczeń podłoża nasypu (rozd. 2),

- analizę przebiegu konsolidacji w podłożu organicznym bez drenażu i z drenażem pionowym oraz ocenę wyników uzyskiwanych z prezentowanych w literaturze metod prognozy konsolidacji, a także propozycje autorów uwzględnienia w obliczeniach istniejącymi metodami nieliniowych zmienności parametrów opisujących proces ściśliwości i przepływu wody w porach, jak również propozycje uwzględnienia w numerycznej analizie konsolidacji dużych przemieszczeń podłoża organicznego pod obciążeniem poprzez wykorzystanie konwekcyjnego układu współrzędnych (rozd. 3),
 - analizę metod prognozy stateczności nasypów na gruntach organicznych, ocenę wyników uzyskiwanych z prezentowanych w literaturze metod oraz propozycje autorów uwzględnienia w analizie stateczności efektu wzrostu wytrzymałości podczas konsolidacji gruntów organicznych (rozd. 4).
 - spis literatury wykorzystanej w analizie zagadnienia (rozd. 5).
- W pracy podano również zalecenia dotyczące doboru wartości parametrów służących ocenie odkształceń podłoża i stateczności nasypu oraz wyboru metod obliczeniowych wykorzystywanych w projektowaniu.