

Zbigniew JEZIENICKI

Zbigniew KOŁACZ

OPÓR ŚCINANIA GRUNTÓW SYPKICH
PRZY PIONOWYCH OBCIĄŻENIACH DYNAMICZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis i wyniki badań zmian oporu ścinania i kąta tarcia wewnętrznego dla piasku kwarcowego o frakcji 1-2 mm pod wpływem pionowych obciążeń dynamicznych w zakresie częstotliwości 2,4-12 Hz.

1. WSTĘP

Podstawowymi właściwościami gruntu decydującymi o jego przydatności w budownictwie są jego cechy fizyko mechaniczne określane w badaniach laboratoryjnych bądź terenowych. Jedną z ważniejszych cech jest zdolność przenoszenia obciążeń ściskających i ścinających powiązana m.in. teorią Coulomba ze spójnością gruntu oraz kątem tarcia wewnętrznego. Wielkości te zależą od wielu czynników: stanu granulometrycznego, wilgotności, stopnia obtoczenia ziarn, stopnia zagęszczenia, a także wielkości i charakteru obciążeń zewnętrznych. Jednym z ważniejszych czynników mogących wywołać zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych gruntu są obciążenia dynamiczne, występujące w postaci drgań ośrodka wywołanych pracą maszyn i urządzeń posadowionych na gruncie bądź takimi czynnikami, jak: trzęsienia ziemi czy tąpnięcia górnicze. Na podstawie specjalnych badań oraz obserwacji wykonywanych w trakcie prowadzenia różnych działań technicznych w gruncie stwierdzono, że obciążenia dynamiczne gruntu zagęszczonego powodują chwilowe zmniejszenie jego wytrzymałości na ścinanie [1, 5, 3, 4, 6]. Zjawisko to ma zarówno charakter pozytywny, jak i negatywny i zależy od tego, gdzie występuje. Przykładem pozytywnego charakteru tego zjawiska może być np. wykorzystanie go przy zagłębianiu pali w gruncie [3], budowie ścianek szczelnych przy wykonywaniu wykopów itp.; przykładem negatywnym - wpływ drgań na stateczność skarp i nasypów kolejowych, drgania budynków występujących w pobliżu linii kolejowych [2] lub młotów, czy innych maszyn dynamicznych.

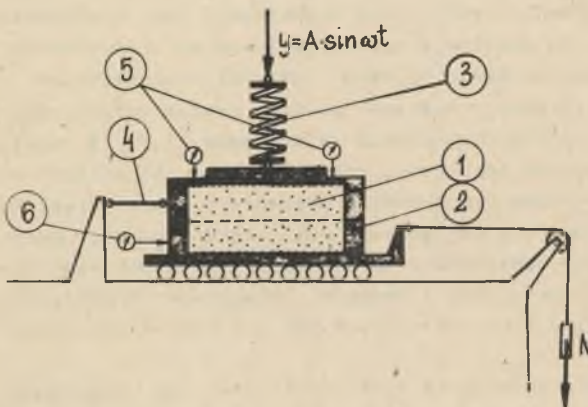
Niezależnie od tego, czy działanie to jest pozytywne czy negatywne, istotna jest znajomość ogólnie pojmowanego wpływu obciążeń dynamicznych na zachowanie się ośrodka gruntowego poddanego tego typu obciążeniom.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

W pracy zajęto się określeniem zmian wytrzymałości na ścinanie gruntu sypkiego w stanie powietrzno-suchym, poddanego wpływow pionowych obciążeń dynamicznych o charakterze sinusoidalnym. Podstawowym parametrem decydującym o wytrzymałości na ścinanie gruntu w ujęciu Coulomba jest kąt tarcia wewnętrzne. Zwrócono więc szczególną uwagę na jego zmiany pod wpływem obciążeń dynamicznych. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych obserwacji w tym zakresie [1, 3, 4, 6] określono podstawowe czynniki, których wpływ wydaje się istotny na zmianę kąta tarcia wewnętrzne i są to: przyspieszenie drgań gruntu, uziarnienie gruntu oraz częstotliwość drgań.

3. OPIS APARATURY I MATERIAŁU GRUNTOWEGO STOSOWANEGO W BADAANIACH

Badania ukierunkowane na określenie zmian kąta tarcia wewnętrzne gruntu pod wpływem obciążeń dynamicznych prowadzone były w aparacie prostego ścinania, jednociętym na próbkach o wymiarach 115 x 75 x 40 mm. Aparat ten poddano modyfikacji, polegającej na możliwości przesuwu dolnej ramki względem nieruchomej górnej. Modyfikacja ta uwarunkowana była sposobem realizacji obciążenia pionowego. Obciążenie pionowe wykonywano za pomocą pakietów sprężyn o stałych i znanych liniowych charakterystykach. Obciążenie dynamiczne realizowano systemem krzywek walcowych i dźwigni o zmiennych wymiarach. Napęd urządzenia stanowił silnik elektryczny o zmiennych, regulowanych obrotach.



Rys. 1. Schemat aparatu
1 - badana próbka, 2 - skrzynia aparatu, 3 - pakiet obciążający, 4 - zakotwienie górnej ramki, 5 - czujniki pomiaru osiadań, 6 - czujnik przesuwu ramki

Obciążenie poziome realizowano grawitacyjnie. Pomiar osiadań i przesuwu ramek dokonywano czujnikami zegarowymi o dokładności odczytu 0,01 mm.

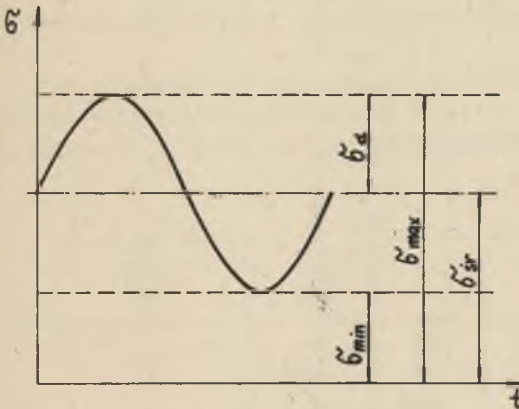
Badania prowadzono na piasku kwarcowym o wyselekcjonowanej frakcji 1-2 mm, dla którego określono normowo cechy fizykomechaniczne:

- gęstość właściwa szkieletu gruntowego	$\rho_s = 26,26 \text{ kN/m}^3$,
- gęstość minimalna gruntu	$\rho_{dmin} = 14,80 \text{ kN/m}^3$,
- gęstość maksymalna gruntu	$\rho_{dmax} = 17,04 \text{ kN/m}^3$,
- porowatość maksymalna	$e_{max} = 0,775$
- porowatość minimalna	$e_{min} = 0,541$
- kąt tarcia wewnętrzny	$\phi = 35,5^\circ$

4. METODYKA PROWADZENIA BADAŃ

Próbkę materiału o określonej masie sypano luźno do aparatu prostego ścinania. Następnie dokonywano zagęszczenia próbki poddając ją obciążeniom dynamicznym o parametrach takich, przy których prowadzono dany cykl badań. Próbkę zagęszczano do chwili stabilizacji osiadań pionowych. Uzyskane w ten sposób zagęszczenie można uznać za stałe, gdyż gęstość próbek mieściła się w przedziale $\rho_d = 15,2 \pm 15,07 \text{ kN/m}^3$ [5]. Następnie próbkę

poddawano pionowym obciążeniom dynamicznym i dokonywano ścięcia obciążając próbkę statyczną siłą poziomą, przyjmując prędkość przyrostu obciążenia 20, 10, 5, 3 N co 0,5 min. Co 0,5 min. rejestrowano przesuw ramki oraz wartość osiadań próbki. Badania prowadzono w zakresie częstotliwości 2,4 - 12 Hz, co odpowiada pracy maszyny o niskiej i średniej częstotliwości drgań wzbudzających. Średnie naprężenia normalne uzyskiwane w badaniach mieściły się w granicach 18-190 kPa.



Rys. 2. Charakter stosowanego obciążenia dynamicznego

Celem ujednoczenia opisu wyników badań operowano współczynnikiem "d" charakteryzującym amplitudę siły dynamicznej w postaci:

$$d = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2 \sigma_{sr}} = \frac{\sigma_d}{\sigma_{sr}}$$

W badaniach wartość "d" wariantowano w granicach:

$$d = 0,15 \pm 0,8.$$

Przyjęty system modelowania pozwalał również wariantować przyspieszenie zmian obciążeń pionowych w zakresie wartości:

$$a = 1,6 \pm 522 \text{ MPa/s}^2.$$

Amplitudy drgań obciążenia pionowego mieściły się w zakresie:

$$\Delta\sigma = 7,1 \pm 91,7 \text{ kPa}.$$

5. WYNIKI BADAŃ

Cykl badań obejmował serię około 120 eksperymentów, zaprogramowanych wg założeń opisanych w rozdziale 4. Otrzymane wyniki pogrupowano wg częstotliwości drgań i wielkości współczynnika "d", ponieważ okazało się, że ma on znaczny wpływ na wielkość naprężenia ścinającego i dalej na wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu.

Eksperymenty programowano ponadto w ten sposób, aby dla założonej wartości współczynnika "d" oraz częstotliwości uzyskać możliwie szeroki wachlarz wartości. Na przykład dla częstotliwości 6,0 Hz oraz $d = 0,333$ uzyskano:

Lp.	σ_{sr} kPa	τ kPa	σ^2	$\sigma \cdot \tau$	τ_{obl} kPa	$\tau - \tau_{obl}$	$(\tau_{obl} - \tau)^2$
1	23	14,6	530	320	14,1	-0,1	-0,01
2	32,2	19,6	1040	630	19,6	0	0
3	68,6	41,3	4710	2830	41,3	0	0
4	137,0	82,2	18770	11260	82,0	0,2	0,04
	260,8	157,1	25050	15040	-	-	0,05

Dokonując obliczeń metodą normową otrzymano:

$$tg \bar{\phi} = 0,5962 \quad \bar{\phi} = 30,80 [^\circ] \quad C_u = 0,40 \text{ [kPa]}$$

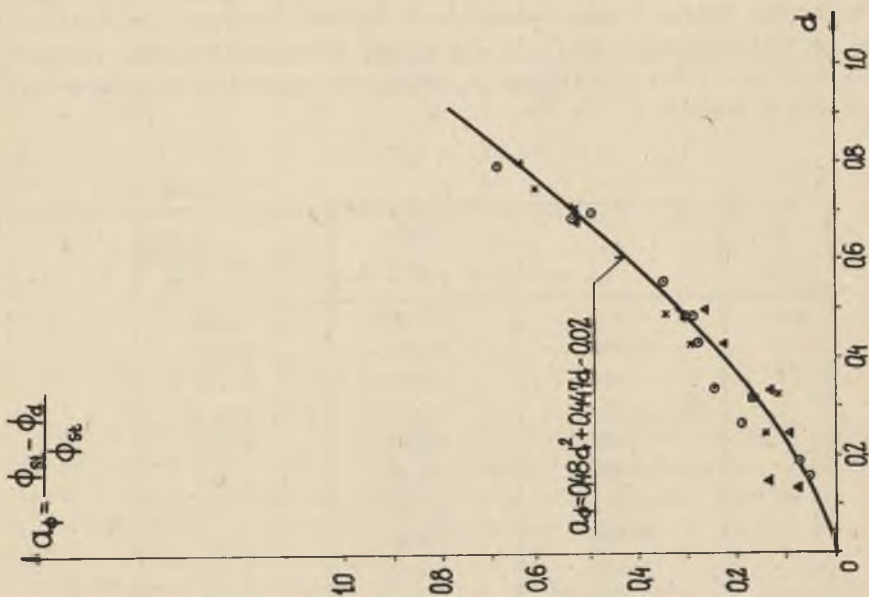
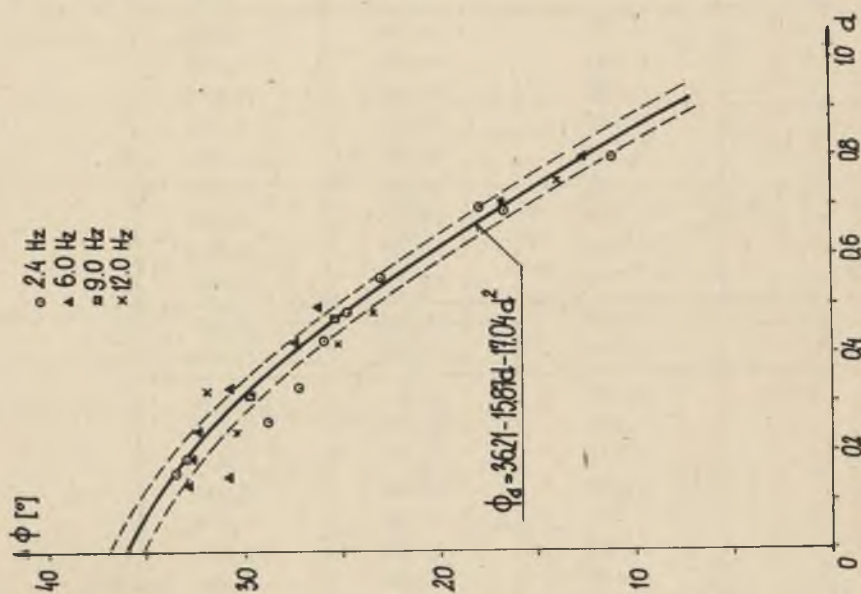
$$\tau = 0,596 \cdot \sigma + 0,40$$

średnie odchylenie standardowe $s = 0,11 \text{ kPa}$.

Podobne obliczenia przeprowadzono dla pozostałych grup doświadczeń dla częstotliwości 2,4; 6; 9; 12 Hz oraz wartości "d". Uzyskane w obliczeniach wartości kohezji są wynikiem przyjętego sposobu opisanie wyników doświadczeń oraz tarcia w samej konstrukcji aparatu. Wartości jej są przypadkowe. Wartość średnia wynosi $C_u = 0,48$ kPa, przy wartościach ekstremalnych: -1,45 i 1,9 kPa. Otrzymane w ten sposób wyniki eksperymentów przedstawiono w tablicy 1 i na rys. 3 i 4.

Tablica 1

f Hz	d	$\bar{\phi}_{dyn}$ [°]	$a_{\bar{\phi}} = \frac{\bar{\phi}_{st} - \bar{\phi}_d}{\bar{\phi}_{st}}$
2,4	0,152	33,52 ^o	0,056
	0,189	32,91	0,073
	0,261	28,76	0,190
	0,334	26,70	0,248
	0,428	25,83	0,272
	0,482	24,81	0,301
	0,552	23,07	0,350
	0,685	16,65	0,531
	0,698	17,84	0,497
	0,793	11,13	0,684
	0,864	13,88	0,609
6	0,134	32,76	0,077
	0,149	30,74	0,134
	0,186	32,84	0,075
	0,244	32,31	0,090
	0,329	30,80	0,132
	0,425	27,47	0,226
	0,499	28,11	0,265
	0,684	16,69	0,530
	0,793	12,72	0,642
9	0,318	29,58	0,167
	0,477	25,36	0,286
12	0,242	30,44	0,143
	0,526	31,39	0,116
	0,418	25,15	0,292
	0,488	23,40	0,341
	0,701	16,75	0,528
	0,747	13,99	0,606
	0,788	14,84	0,582

Rys. 4. Zmiana współczynnika Q_d przy obciążeniach dynamicznych

Rys. 3. Zmiana kąta tarcia wewnętrznego gruntu przy obciążeniach dynamicznych

W tabelicy tej wprowadzono ponadto dodatkowy współczynnik charakteryzujący zmianę kąta tarcia wewnętrznego w postaci:

$$a_{\phi} = \frac{\phi_{st} - \phi_{dyn}}{\phi_{st}}$$

gdzie:

ϕ_{st} - kąt tarcia wewnętrznego gruntu przy obciążeniu statycznym,

ϕ_{dyn} - kąt tarcia wewnętrznego gruntu przy obciążeniu dynamicznym.

Następnie dokonano matematycznego opisu otrzymanych wielkości kąta tarcia wewnętrznego " ϕ " i współczynnika " a_{ϕ} " dla poszczególnych częstotliwości drgań metodą najmniejszych kwadratów. Najlepiej opisującą wyniki badań okazała się parabola stopnia 2. Wyniki badań jak również ich opisy nie pozwalały na stwierdzenie wyraźnego wpływu częstotliwości w zakresie 2,4 - 12 Hz na analizowane wartości mechaniczne gruntu. Podobny wniosek o wpływie częstotliwości drgań gruntu na wielkość oporu ścinania wyciągnięto w innych pracach [4].

Opierając się na tych obserwacjach przyjęto wyidealizowany opis zmian kąta tarcia wewnętrznego ϕ oraz współczynnika a_{ϕ} dla badanego zakresu częstotliwości w postaci:

$$\phi_{dyn} = 36,21 - 15,87 d - 17,04 d^2$$

oraz:

$$a_{\phi} = 0,48 d^2 + 0,447 d - 0,02$$

Na tej podstawie można określić opór ścinania przy obciążeniach dynamicznych za pomocą wzoru:

$$\tau_d = \sigma_{sr} \cdot \text{tg } \phi_{dyn}$$

Wprowadzenie bezwymiarowego współczynnika a_{ϕ} charakteryzującego zmiany kąta tarcia wewnętrznego pozwoliło ponadto na porównanie otrzymanych wyników badań z pracami [1, 6]. Wyniki te są zbieżne pod względem jakościowym i niewiele różniące się ilościowo, chociaż badania te prowadzono na różnych materiałach gruntowych (w pracy: [1] pospółka; [6] piaski wilgotne) i różnych aparatach.

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania, chociaż dotyczą tylko jednego materiału, pozwalają na wysunięcie pewnych charakterystycznych tendencji zjawiska, tym bardziej że wyniki są zbieżne z badaniami innych autorów. Na ich podstawie można stwierdzić, że wraz ze wzrostem współczynnika "d", charaktery-

zującego, w tym ujęciu zagadnienia, obciążenie dynamiczne maleje kąt tarcia wewnętrznego gruntu suchego sypkiego i że zależność ta ma charakter paraboliczny.

Nie zaobserwowano natomiast wyraźnego wpływu na zmiany kąta tarcia wewnętrznego gruntu częstotliwości w zakresie 2,4 - 12 Hz.

Powyższe uwagi nie odnoszą się jednakże do innych rodzajów gruntów, jak np. grunty spójne i wymaga to dalszych badań w tym zakresie.

LITERATURA

- [1] Cisek T.: Wytrzymałość gruntu obciążonego wibracyjnie. Praca doktorska. Pol. Śląska, Gliwice 1979, (maszynopis).
- [2] Ciesielski R., Gumiński A., Maciąg E.: Badania drgań budynku nastawni wywołanych ruchem pociągów. PKD 9/79.
- [3] Cytowicz N.A.: Mechanika gruntów. Wyd. Geologiczne. Warszawa 1958.
- [4] Jermołajew N.N., Prokudin J.W.: Osnownyje napravlenija razwitia i zadaczi nauki po dinamike osnowanij i fundamentov. Stroitelstwo i Architektura 1/76.
- [5] Kołacz Z., Jezienicki Z. i inni: Zmiana cech wytrzymałościowych obciążonego dynamicznie podłoża gruntowego i jej wpływ na siły rozrywające w fundamentach budowli na terenach górniczych. Pol. Śląska, Gliwice 81, (maszynopis).
- [6] Stewarski E.: Wpływ obciążeń dynamicznych gruntów na zmiany oporu ścinania w świetle badań laboratoryjnych. Praca doktorska. AGH, Kraków 1972, (maszynopis).

СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕЗУ СЫПУЧИХ ГРУНТОВ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Резюме

В статье представлены описание и результаты исследований изменений сопротивления срезу и угла внутреннего трения для кварцевого песка обладающего фракцией $1\frac{1}{2}$ мм при влиянии вертикальных динамических нагрузок в диапазоне частот 2,4-12 Гц.

THE SHEARING DRAG OF LOOSE GROUNDS FOR THE VERTICAL DYNAMIC LOADS

Summary

The article presents the description and the results of experiments on the changes of shearing drag and of angle of inner friction for quartz sand whose grain size is $1\frac{1}{2}$ mm under the effect of vertical dynamic loads at the frequency range 2,4-12 Hz.