

PARCIE GEOSTATYCZNE NA TLE DOŚWIADCZEŃ

WITOLD WIERZBICKI (WARSZAWA)

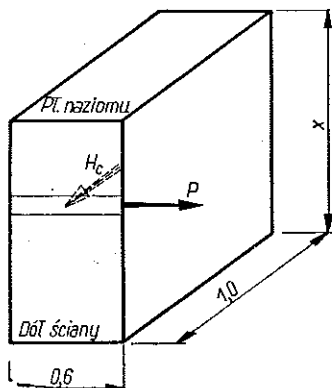
W pracy [1] podany jest opis doświadczeń wykonanych w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN nad geostatycznym parciem ziemi, czyli parciem w spokoju, a więc parciem rzeczywistym.

Doświadczenia dotyczyły parcia poziomego na ścianę i były oparte na pomysłe K. Terzagiego, według którego parcie geostatyczne H_s na taśmę wyciąganą z masywu ziemnego (rys. 1) otrzymujemy z równania

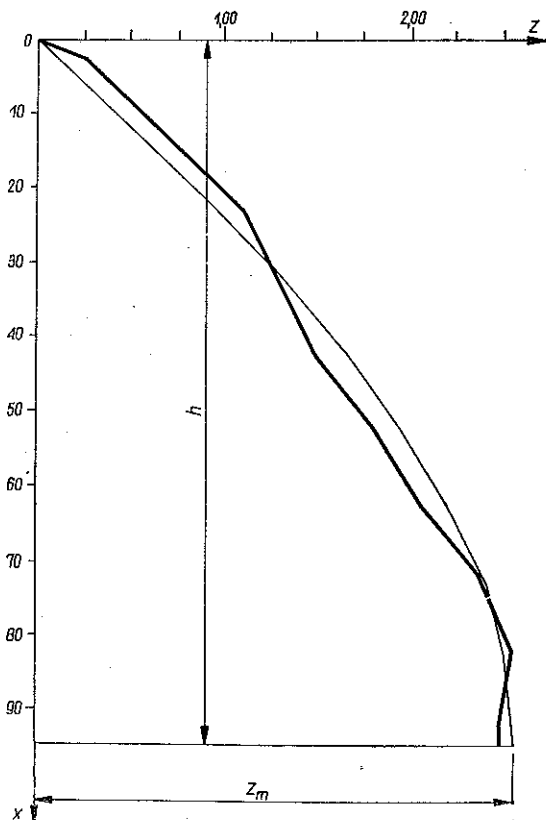
$$(1) \quad P = H_s f,$$

gdzie P oznacza siłę potrzebną do wyciągnięcia taśmy z ziemi, a f współczynnik tarcia ziemi po stali (praca [3]).

Doświadczenia Terzagiego dotyczyły wysokości ściany równej 10 cm, a doświadczenia wykonane w IPPT wysokości prawie dziesięciokrotnie większej.



Rys. 1



Rys. 2

Jeden z wyników tych ostatnich jest przykładowo, dla ściany o wysokości $h = 0,95$ m, przedstawiony na rys. 2, gdzie na osi odciętych odłożone są jednostkowe parcia geostatyczne z , a na osi rzędnych zagłębienia x poszczególnych płaszczyzn

poziomych pod płaszczyzną naziomu nieobciążonego. Gruba linia wyraża tu zależność między wielkościami z i x otrzymaną bezpośrednio z doświadczenia.

Pole wykresu wyraża całkowite geostatyczne parcie Z na ścianę.

Stajemy wobec zagadnienia, w jaki sposób wyzyskać wyniki wymienionych wyżej badań do wyznaczenia parcia ziemi na ściany (mury podporowe) o wysokościach znajdujących zastosowanie w praktyce inżynierskiej.

Analiza wymiarowa nie może dać odpowiedzi na to pytanie, ponieważ przy wykonywaniu badań w IPPT nie starano się nadać wynikom postaci bezwymiarowej, co niewątpliwie natrafiło by zresztą na trudności wywołane nie dość dokładną znajomością własności fizycznych materiału sypkiego, w danym wypadku piasku wiślanego.

W tych warunkach musimy się uciec do metod typu interpolacyjnego i ekstrapolacyjnego.

Jedna z tych metod została omówiona w pracach [2] i [3]; opiera się ona na założeniu, że ziemia nasypu w zadaniu płaskim stanowi masę złożony z wałków i graniastosłupów, i doprowadza do wzoru

$$(2) \quad Z = \frac{c_1 h^2}{4} \frac{\operatorname{tg}(30^\circ - \beta) + \operatorname{tg}(45^\circ - \beta)}{2},$$

w którym h oznacza wysokość ściany, a β kąt chropowatości powierzchni poszczególnych wałków lub graniastosłupów i gdzie współczynnik c_1 został wyznaczony na podstawie omówionych wyżej doświadczeń dla średniej wartości parcia Z przy $x = 0,95$ m. Współczynnik ten posiada dla ściany o szerokości 1,0 m wartość $c_1 = 2353$ kg/m². Ta więc metoda ma w pewnym stopniu charakter mikroskopowy.

Druga metoda — metoda posiadająca w porównaniu z metodą poprzednią charakter makroskopowy — polega na analizie parę geostatycznych otrzymanych z doświadczeń przy wysokościach ścian uwzględnionych w doświadczeniach. Będą to dla ścian o szerokości 1 m wartości następujące:

$$(3) \quad \begin{aligned} \text{przy } h = 0,50 \text{ m} \quad Z &= 78 \text{ kg,} \\ h = 0,70 \text{ m} \quad Z &= 143 \text{ kg,} \\ h = 0,95 \text{ m} \quad Z &= 257 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Wyniki te głównie ze względu na ich małą liczbę nie dają dostatecznych podstaw do ekstrapolacji. W poszukiwaniu takich podstaw zastępujemy przede wszystkim krzywe doświadczalne z wykresów typu 2 przez krzywe

$$(4) \quad z = z_m \sin \frac{\pi x}{2h},$$

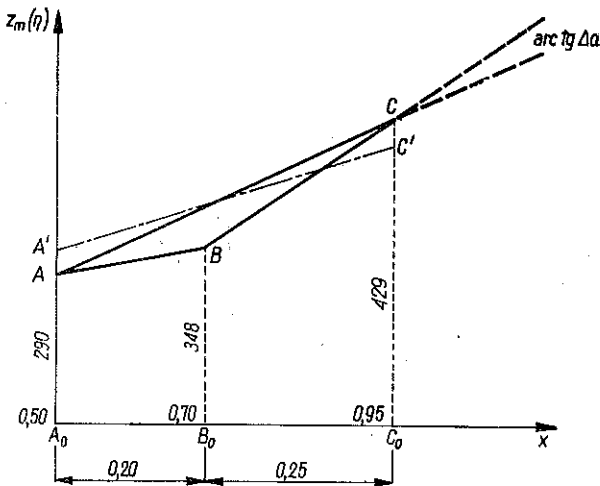
gdzie z jest to parcie jednostkowe na głębokości x , a z_m największe parcie jednostkowe, odpowiadające więc $x = h$. Mamy stąd dla ściany o szerokości 1 m

$$(5) \quad \begin{aligned} \text{przy } h = 0,50 \text{ m} \quad z &= 290 \sin \frac{\pi x}{2h} \text{ kg/m}^2, \\ h = 0,70 \text{ m} \quad z &= 348 \sin \frac{\pi x}{2h} \text{ kg/m}^2, \\ h = 0,95 \text{ m} \quad z &= 429 \sin \frac{\pi x}{2h} \text{ kg/m}^2. \end{aligned}$$

Krzywa (4) przedstawiona jest na wykresie 2 cienką linią pełną¹. Parametry z_m obliczone zostały drogą wyrównania parabolicznego.

Parametry z_m równań (4) dla trzech doświadczalnie zbadanych wysokości ścian przedstawione są na rys. 3. Mamy tu więc:

$$(6) \quad \begin{aligned} \text{przy } h = 0,50 \text{ m} \quad A_0 A = z_A &= 290 \text{ kg/m}^2, \\ h = 0,70 \text{ m} \quad B_0 B = z_B &= 348 \text{ kg/m}^2, \\ h = 0,95 \text{ m} \quad C_0 C = z_C &= 429 \text{ kg/m}^2. \end{aligned}$$



Rys. 3

Rozkład tych parametrów jest wprawdzie zbliżony do liniowego, jednak współczynniki kierunkowe a prostych AB , BC i AC nie są całkowicie równe, mianowicie

$$(7) \quad \begin{aligned} a_{AB} &= \frac{58}{0,20} = 290 \text{ kg/m}^3, & a_{BC} &= \frac{81}{0,25} = 324 \text{ kg/m}^3, \\ a_{AC} &= \frac{139}{0,45} = 310 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

¹ Krzywe (5) obliczył dla mnie dr Z. PEŁKA.

Przy przejściu od prostej AB do prostej AC mamy tu przyrost współczynnika a równy

$$(8) \quad \Delta a = 310 - 290 = 20 \text{ kg/m}^3,$$

a przy przejściu od prostej BC do prostej AC przyrost

$$(9) \quad \Delta a = 324 - 290 = 14 \text{ kg/m}^3.$$

Poszukujemy dalej prostej $A'C'$, która stanowiłaby wyrównanie przebiegu parametrów z_m dla różnych wysokości ściany. Stosujemy tu metodę najmniejszych kwadratów, co daje początkową rzędną prostej $A'C'$ przy $h = 0,50$ m równą

$$(10) \quad A_0 A' = \eta'_A = 295 \text{ kg/m}^2$$

oraz współczynnik kierunkowy tej prostej równy

$$(11) \quad a'_{AC} = 280 \text{ kg/m}^3.$$

Przy $h = 0,95$ m rzędna prostej $A'C'$ wynosi $C_0 C' = \eta'_c = 421 \text{ kg/m}^2$.

Przy ekstrapolacji wyników otrzymanych z doświadczeń dla wysokości ścian mogących mieć zastosowanie w praktyce inżynierskiej bierzemy pod uwagę okoliczność, że przy przejściu od wysokości $h = 0,50$ m do wysokości $h = 0,95$ m bezwzględna wartość przyrostu współczynnika kierunkowego Δa spada od wartości $\Delta a = 20 \text{ kg/m}^3$ do wartości $\Delta a = 14 \text{ kg/m}^3$. Przyrost ten występuje na odcinku $B_0 C_0$ ściany równym $0,25$ m.

Przechodząc do wysokości ścian podporowych przekraczających wysokości uwzględnione w doświadczeniach, a więc wkraczające już na drogę ekstrapolacji możemy jednak przyjąć, i to z korzyścią dla bezpieczeństwa, że przyrost współczynnika kierunkowego Δa jest stały, czyli że dotyczy każdego dwudziestopięciocentymetrowego odcinka zasypanej ściany ponad wysokość $h = 0,95$ m, a więc występuje na wysokości h ściany ilość razy równą $(h - 0,95)/0,25$.

W tych warunkach przyjmujemy, że w granicy doświadczeń parametry z_m zmieniają się według prostej $A'C'$, a powyżej tej granicy według postępu arytmetycznego o różnicy $\Delta a = 14 \text{ kg/m}^3$. Doprowadza to do wzoru

$$(12) \quad z_m = \eta'_c + \left[a'_{AC} + \Delta a + \frac{\left(\frac{h - 0,95}{0,25} - 1 \right) \Delta a}{2} \right] (h - 0,95).$$

Parcie całkowite na ścianę o wysokości h i szerokości 1 m znajdujemy jako pole ograniczone krzywą (4) i osiami współrzędnych, a więc ze wzoru

$$(13) \quad Z_s = z_m h \frac{2}{\pi}.$$

Obliczenia porównawcze zostały wykonane dla ścian (murów) o wysokości $h = 7,95$ m i $h = 5,95$ m.

Dla ściany o wysokości $h = 7,95$ m znajdujemy ze wzoru (12), że

$$(14) \quad Z_{s1} = 3802 \cdot 7,95 \cdot \frac{2}{\pi} = 19240 \text{ kg.}$$

Ze wzoru (2) mamy w tym wypadku

$$(15) \quad Z_{s2} = \frac{2353 \cdot 7,95^2}{4} \cdot \frac{0,97}{2} = 17750 \text{ kg.}$$

Wreszcie dla parcia geodynamicznego według teorii Coulomba znajdujemy, że

$$(16) \quad Z_d = \frac{1650 \cdot 7,95^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{32^\circ}{2} \right) = 16210 \text{ kg,}$$

gdzie 1650 jest to ciężar jednostkowy piasku, a 32° kąt tarcia wewnętrzznego w piasku.

Dla ściany o wysokości $h = 5,95$ m mamy odpowiednio

$$(17) \quad Z_{s1} = 9590 \text{ kg,}$$

$$(18) \quad Z_{s2} = 9978 \text{ kg,}$$

$$(19) \quad Z_d = 8970 \text{ kg.}$$

Jak widzimy z przytoczonych wyników (14) do (19) parcie geostaticzne jest zgodnie z twierdzeniem Terzaghi'ego większe od parcia geodynamicznego niezależnie od tego, czy będziemy tu stosowali do ekstrapolacji wyników doświadczalnych wzór (2) czy (12). Niestety, z powodu zdemontowania aparatu, na którym doświadczenia opisane w pracy [1] były wykonane, zarówno zdobycie tak potrzebnych danych dotyczących parcia na większej od trzech liczby wysokości zasypanej części ściany, jak i powtórzenie doświadczenia, nie jest możliwe.

Sprawa bezpieczeństwa muru podporowego pod działaniem parcia ziemi uważanego za parcie geostaticzne omówiona została z probabilistycznego punktu widzenia w pracy [3]. Opieraliśmy się tam na wzorach interpolacyjnych typu (2). Sposób obliczenia parcia ziemi według wzorów (12) i (13) natrafia na znaczne trudności w porównaniu do obliczania go na podstawie wzoru (2), jest jednak bardziej uzasadniony ze względu na lepsze niż w tamtym wypadku uwzględnienia wpływu wysokości ściany na parcie jednostkowe.

Wydaje się więc wskazane zastosować współczynniki bezpieczeństwa obliczone w pracy [3] do wielkości parć obliczonych w pracy niniejszej.

Literatura cytowana w tekście

- [1] A. HABERZAK, *Doświadczenia nad parciem geostaticznym*, Rozpr. Inżyn., 6 (1958).
- [2] W. WIERZBICKI, *Rozprawy z mechaniki budowlanej*, Warszawa 1958.
- [3] W. WIERZBICKI, *O możliwości zastosowania metody półprobabilistycznej do badania stateczności murów podporowych*, Inżynieria i Budownictwo, Warszawa 1962.

Резюме

ГЕОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ФОНЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Используются модельные испытания над геостатическим давлением, проведенные в Институте Основных Проблем Техники ПАН, для расчета стен, существующих в реальных строительных конструкциях.

Полученные на основании испытаний диаграммы единичного давления z — в точках углубления на x под поверхностью грунта были заменены синусоидами (4), где параметры z_m соответствуют единичному давлению в нижней части стены. Значения параметров z_m , полученные на основании испытаний выравниваются до прямой линии методом наименьших квадратов.

Приращения Δa направляющих коэффициентов линий, соединяющих на рис. 3 величины параметров z_m для разных высот, хотя по мере роста высоты стены имеют действительно стремление уменьшаться. Однако для обеспечения безопасности величина Δa в расчетах сохраняется как постоянная. В этих условиях формула для суммы выражений арифметической прогрессии с разницей Δa приводит к формуле (12) для z_m , для произвольной высоты стены и к полному давлению.

Приводятся примеры расчетов.

Summary

SOIL PRESSURE IN THE LIGHT OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

The problem is that of application of the results of model tests of soil pressure carried out at the IPPT (Institute of Basic Technical Problems), Polish Academy of Sciences, to the computation of real walls.

The diagrams of unit pressure z obtained by experiment at the depth x below the embankment are replaced with sinusoids (4) where the parameters z_m are equal to the unit pressure at the bottom of the wall. The diagram of the parameters z_m obtained from the experiments has been smoothed by the method of least squares, a straight line being obtained.

Although the increases Δa of the direction coefficients of the lines connecting the values of the parameters z_m at various levels (Fig. 3) tend to decrease with increasing wall height, the value of Δa is assumed in the computation to be constant for safety reasons. Under such conditions the expression of the sum of terms of the arithmetic progression of which the difference is Δa , leads us to the Eq. 12 for z_m , for a wall of any height and an expression for total pressure.

Some computation examples are given.