ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: BUDOWNICTWO z. 60 Nr kol. 841

Piotr KUCZ

UWZGLĘDNIENIE ZRÓŻNICOWANYCH CECH SPRĘŻYSTYCH I REOLOGICZNYCH PODŁOŻA GRUNTOWEGO W OBLICZANIU HAL PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono model obliczeniowy dla układu fundament-podłoże, który pozwala na uwzględnienie, w obliczeniach statycznych hal przemysłowych, zróżnicowanych cech sprężystych podłoża, reologii gruntu, jak i nieliniowości geometrycznej wynikającej z częściowego kontaktu stopy fundamentowej z podłożem.

1. WSTĘP

Dla układu fundament-podłoże przyjęto model obliczeniowy wg teorii lokalnych osiadań (podłoże Winklera), który umożliwia uwzględnianie takich czynników, jak: historia obciążeń, częściowy kontakt stopy fundamentowej z podłożem, własności reologiczne gruntu.

Jednym z podstawowych parametrów dla układu fundament-podłoże, w przyjętym modelu, jest współczynnik podatności podłoża C, który określono, wykorzystując rozwiązanie Schleichera - jak dla jednorodnej izotropowo sprężystej półprzestrzeni [2]:

$$C = \frac{E_o}{f \cdot \sqrt{a \cdot b}}, \tag{1}$$

gdzie:

E_o - moduł odkształcenia gruntu,

a,b - wymiary stopy fundamentowej,

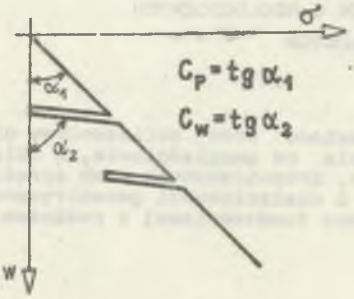
$$f = \frac{1-\mu_o^2}{\pi} \cdot \left\{ \alpha \cdot \ln \frac{\sqrt{\beta}+1}{\sqrt{\beta}-1} + \ln \frac{\sqrt{\beta}+\alpha}{\sqrt{\beta}-\alpha} - \frac{3}{2 \cdot \alpha} \left[\sqrt{\beta^3} - (\alpha^3+1) \right] \right\}$$

μ_o - współczynnik Poissona dla gruntu,

$\alpha = a/b$ i $\beta = \alpha^2 + 1$.

2. WPŁYW HISTORII OBCIĄŻEŃ

Dla elementarnego, o jednostkowej podstawie, słupka gruntu przyjmuje się model Winklera o współczynniku sprężystości $\underline{C}$, który może przyjmować dwie wartości: "pierwotną" C_p i "wtórną" C_w - [4], zależnie od znaku przyrostu naprężenia i jego historii - zgodnie z wyidealizowanym wykresem σ - w dla gruntów budowlanych - rys. 1.



Rys. 1

W przypadku przyrostu momentu ΔM_m, któremu odpowiada pełny kontakt stopy fundamentowej z podłożem, można przyjąć oś obrotu w obrębie fundamentu i tym samym określić przedziały, w których współczynniki podatności podłoża $\underline{C}$ przyjmują odpowiednio wartości "pierwotne" C_p i "wtórne" C_w - rys. 2.

Korzystając z warunku sumy rzutów na oś pionową $\underline{z}$ i momentów względem osi obrotu oraz z zależności (rys. 2):

$$\frac{\Delta\sigma_{1,m}}{\Delta\sigma_{2,m}} = \frac{C_w \cdot \Delta w_{1,m}}{C_p \cdot \Delta w_{2,m}} \tag{2}$$

otrzymuje się wzory na przyrosty naprężań krawędziowych $\Delta\sigma_{1,m}$ i $\Delta\sigma_{2,m}$ i kąta obrotu fundamentu $\Delta\varphi_m$:

$$\left.\begin{aligned} \Delta\sigma_{1,m} &= -\frac{\Delta M_m}{W} \cdot \frac{\sqrt{K_m} + 1}{2}, \\ \Delta\sigma_{2,m} &= \frac{\Delta M_m}{W} \cdot \frac{\sqrt{K_m} + 1}{2\sqrt{K_m}} \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

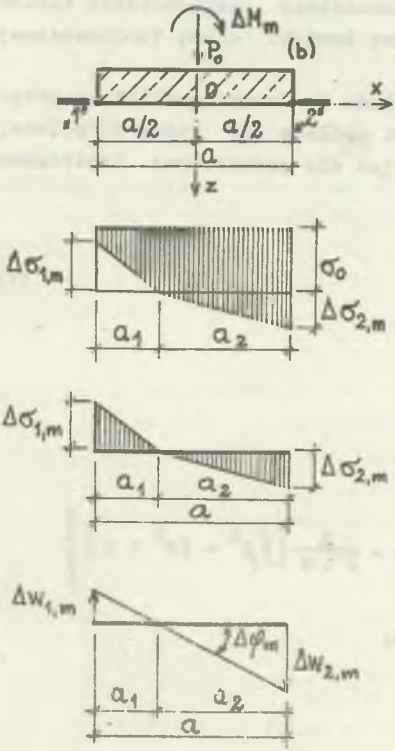
i

$$\Delta\varphi_m = \frac{\Delta M_m}{I \cdot \bar{C}_m},$$

gdzie:

$$\bar{C}_m = \frac{4 \cdot K_m}{(\sqrt{K_m} + 1)^2} \cdot C_{2,m-1},$$

$$K_m = \frac{C_{1,m-1}}{C_{2,m-1}}.$$



Rys. 2

gdzie:

$C_{1,m-1}$, $C_{2,m-1}$ - współczynniki podatności podłoża w m-1 podprzedziale obciążenia, odpowiadające krawędziom "1" i "2" - rys.2,

I,W - moment bezwładności i wskaźnik podstawy fundamentu,

P_o - obciążenie od ciężaru własnego,

$$\sigma_o = \frac{P_o}{a \cdot b}.$$

Jeżeli przez c oznaczymy krawędź fundamentu ("1" lub "2"), k-te obciążenie podzielimy na m części (podprzedziałów), przez $\max\sigma_c$ oznaczymy odpowiednie maksymalne naprężenie krawędziowe, jakie wystąpiło w podprzedziałach od (1,1) do (k,m-1), przez $\sigma_{c,k,m-1}$ - naprężenie sumaryczne z podprzedziałów od (1,1) do (k,m-1), to sposób określania podatności jest następujący:

a) jeżeli $\sigma_{c,k,m-1} \geqslant \max\sigma_c$, to należy dla danej krawędzi przyjąć $C_{c,k,m} = C_p$,

b) jeżeli $\sigma_{c,k,m-1} < \max\sigma_c$, to należy przyjąć $C_{c,k,m} = C_w$,

gdzie:

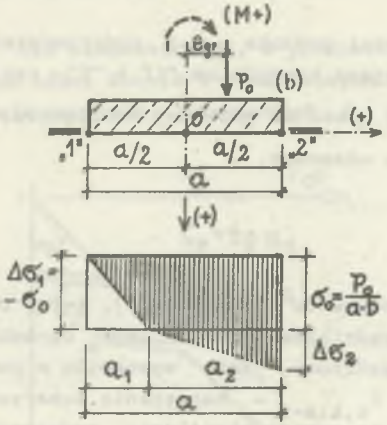
C_p i C_w - odpowiednio podatności pierwotne i wtórna.

Jak wynika z przykładów przedstawionych w [5], wzory (3) i (4) mają wartość ogólną, tzn., że można je stosować przy różnych historiach obciążenia bloku fundamentowego.

Zaproponowany powyżej model nie uwzględnia wpływu zmian siły osiowej $P_o + \Delta P$ na kąt obrotu φ bloku fundamentowego. Dla obciążenia hali np. wiatrem, oprócz momentu M_w działa na fundament również siła osiowa P_w. Wykonane analizy przykładowych rozwiązań dla hal OBT "MOSTOSTAL" wykazały, iż wpływ siły osiowej P_w na kąt obrotu φ bloku fundamentowego jest niewielki (do 12%) i można go w dalszych rozważaniach pominąć - [5].

3. WPŁYW CZĘŚCIOWEGO KONTAKTU STOPY FUNDAMENTOWEJ Z PODŁOŻEM

Rozpatrzono przypadek, gdy blok fundamentowy jest wstępnie obciążony siłą osiową P_o (obciążenie stałe i ewentualnie obciążenie śniegiem), a następnie blok ten obciążony jest monotonicznie rosnącym momentem $M = P_o e$, gdzie e - mimośród - rys. 3. W przypadku gdy $|e| < e_{gr}$, (e_{gr} - mimośród graniczny - określający stan między fazą pełnego i częściowego kontaktu fundamentu z podłożem), tzn. przy pełnym kontakcie stopy fundamentowej z podłożem, obowiązują zasady podane w punkcie 2.



Rys. 3

Następuje przyrost momentu:

$$\Delta M_m = \frac{1}{n} \cdot \frac{P_o \cdot a}{3 \cdot (\sqrt{K} + 1)},$$

gdzie:

n - dowolnie duże.

Sumaryczny moment M_m wówczas wynosi:

$$M_m = \frac{P_o \cdot a}{3 \cdot (\sqrt{K} + 1)} \cdot \left(\frac{n+1}{n}\right).$$

Strefę częściowego kontaktu $\bar{a}_m$ bloku fundamentowego z podłożem można w przybliżeniu określić wg wzoru:

$$\bar{a}_m = m_1 \cdot \left(\frac{a}{2} - |e_m|\right), \tag{7}$$

gdzie:

$$e_m = \frac{a}{3 \cdot (\sqrt{K_m} + 1)} \cdot \left(\frac{n+1}{n}\right).$$

Współczynnik m_1 określa się z zależności (7) wprowadzając $e_m = e_{gr}$ i $\bar{a}_m = a$,

$$m_1 = \frac{6 \cdot (\sqrt{K_m} + 1)}{3 \cdot (\sqrt{K_m} + 1) - 2}. \tag{8}$$

Przy założeniu $K_m = 1$ (tzn. $C_p = C_w$) - otrzymuje się $m_1 = 3$.

Przy założeniu, że dla końca podprzedziału m-1. k-ego obciążenie został osiągnięty warunek $e = e_{gr}$, tzn.: $\sigma_o = -\Delta\sigma_1$ oraz wykorzystując zależność (3), otrzymuje się:

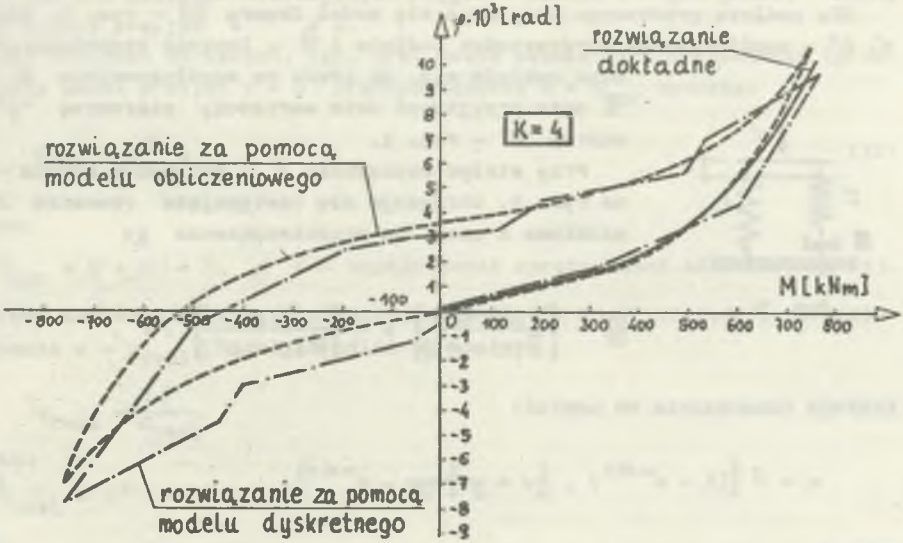
$$M_{m-1} = \frac{P_o \cdot a}{3 \cdot (\sqrt{K} + 1)} \tag{5}$$

i tym samym mimośród graniczny

$$e_{gr} = \frac{a}{3 \cdot (\sqrt{K} + 1)} \tag{6}$$

gdzie:

$K = C_w/C_p$.



Rys. 4

Dla bloku fundamentowego o wymiarach a x b = 4,0 x 2,0 m, obciążonego siłą osiową P_o = 600 kN i zmieniającym się momentem M w granicach [0,+750 kNm], [+750 kNm,-750 kNm] i [-750 kNm,0], przy założeniu C_p = = 10000 kN/m³ i K = 4, określono kąty obrotu φ bloku fundamentowego w gruncie, wykorzystując:

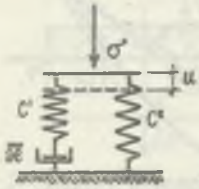
a) rozwiązanie dokładne [5] (tylko dla procesu obciążenia - [0,+750 kNm]),
b) rowziązanie za pomocą modelu dyskretnego o 5 elementach [5],
c) proponowany sposób postępowania podany w punkcie 2 i 3 niniejszego artykułu (przy podziale M na m = 10 części).

Jak wynika z porównania wykresów, dla kąta obrotu φ bloku fundamentowego w funkcji M, wykonanych na podstawie wyżej wymienionych rozwiązań - rys. 4, uzyskano dobrą zbieżność wyników. Pozwala to na otrzymywanie, ze wzorów (3) i (4), wartości zbliżonych do wyników z rozwiązania dokładnego i dyskretnego. Należy jednak pamiętać, że dla $e > e_{gr}$, wskaźnik W i moment bezwładności podstawy I określa się dla wielkości częściowego kontaktu stopy fundamentowej z podłożem $\bar{a}_m$ ustalonej z (7).

4. WPŁYW REOLOGICZNYCH WŁASNOŚCI GRUNTU

Własności reologiczne gruntu uwzględniono dla obciążeń długotrwałych, tzn. takich, których okres działania jest porównywalny z okresem działania górniczej deformacji terenu.

Dla podłoża gruntowego przyjmuje się model Zenera [1] - rys. 5, gdzie: C', C'' - współczynniki sprężystości podłoża i $\bar{\varkappa}$ - lepkość techniczna. Przy czym zakłada się, że każdy ze współczynników C', C'', $\bar{\varkappa}$ może przyjmować dwie wartości: pierwotną "p" i wtórną "w" - rys. 1.



Rys. 5

Przy stałym obciążeniu σ i przyjętym modelu - jak na rys. 5, otrzymuje się następujące równanie różniczkowe z uwagi na przemieszczenia u:

$$\frac{du}{dt} - \left[\frac{C' \cdot C''}{\bar{\varkappa}(C' + C'')}\right] u = \left[\frac{C'}{\bar{\varkappa}(C' + C'')}\right] \cdot \sigma , \tag{9}$$

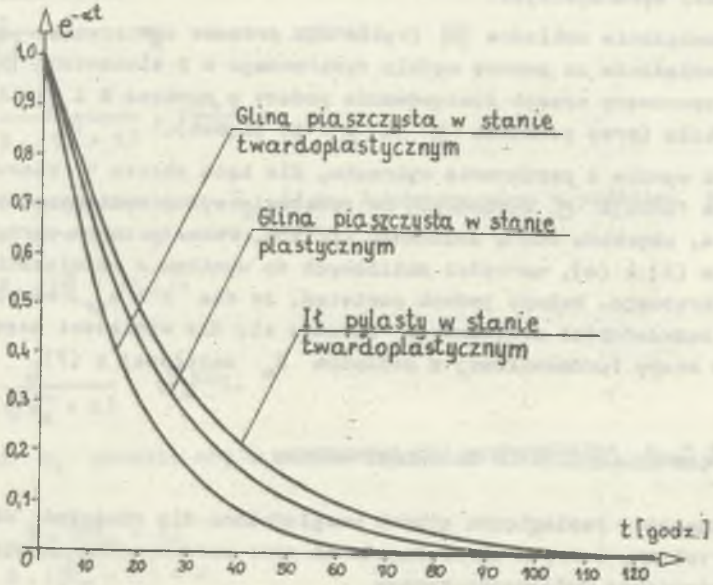
którego rozwiązanie ma postać:

$$u = \sigma \left[(1 - e^{-\alpha t}) \cdot \frac{1}{C''} + \frac{1}{C' + C''} \cdot e^{-\alpha t}\right], \tag{9a}$$

gdzie:

$$\alpha = \frac{C' \cdot C''}{\bar{\varkappa}(C' + C'')}.$$

Na rys. 6 przedstawiono przebieg funkcji $e^{-\alpha t}$ w zależności od czasu t, dla niektórych gruntów budowlanych wg [3]. Jak wynika z wykre-



Rys. 6

sów, już dla obciążeń działających ciągle w czasie $t \cong 100$ godz., można praktycznie przyjąć $e^{-\alpha t} = 0$.

Dla obciążeń doraźnych, tzn. przy małym czasie t ich działania (praktycznie można przyjąć $t = 0$) przemieszczenia $u = u_{spr}$ wynoszą:

$$u_{spr} = \frac{\sigma}{C_{spr}}, \tag{10}$$

gdzie:

$C_{spr} = C' + C'' = C$, a C - współczynnik sprężystości określony wg (1).

Przy dłuższym czasie działania obciążeń, dla $t > 100$ godz., przemieszczenia $u = u_{reol}$ można określić wg wzoru:

$$u_{reol} = \frac{\sigma}{C_{reol}}, \tag{11}$$

gdzie:

$C_{reol} = C''$

lub

$$C_{reol} = \alpha_r \cdot C_{spr}, \tag{11a}$$

$\alpha_r = \frac{C''}{C' + C''}$ - współczynnik korekcyjny,

$C_{spr} = C$, a C - współczynnik sprężystości określony wg (1).

Tablica 1

	Nazwa i stan gruntów	Cechy gruntów		α_r
Sypkie	Piasek kwarcowy średnioziarnisty	φ	30°	1,000
		C_u	0	
	Piasek kwarcowy drobnoziarnisty	φ	26°	1,000
		C_u	0	
Spoiste	Glina piaszczysta w stanie twardoplastycznym	φ	16°	0,358
		C_u	0,028	
	Glina piaszczysta w stanie plastycznym	φ	16°	0,375
		C_u	0,021	
	Ił pylasty w stanie twardoplastyczny	φ	13°	0,358
		C_u	0,041	
	Ił pylasty w stanie plastycznym	φ	13°	0,381
		C_u	0,021	
	Betonit w stanie twardoplastycznym	φ	10°	0,450
		C_u	0,030	
	Betonit w stanie plastycznym	φ	10°	0,250
		C_u	0,030	

Przedstawiony w [3] model M/V, przed przekroczeniem granicy plastyczności, jest standardowym ciałem Zenera. Współczynniki sprężystości podłoża C' i C'' (rys. 5), jak i moduły sprężystości G_1 i G_2 w [3] reprezentują zdolność gruntów do natychmiastowych odkształceń. Można założyć, że stosunki współczynników C', C'' i modułów G_1 i G_2 są równe i na podstawie wartości podanych w [3] wyznaczyć współczynnik korekcyjny z uwagi na reologię:

$$\alpha_r = \frac{C''}{C' + C''} = \frac{G_2}{G_1 + G_2}. \tag{12}$$

Wartości współczynników korekcyjnych dla poszczególnych rodzajów gruntu, określone na podstawie [3], podano w tablicy 1.

LITERATURA

[1] Kisiel I., Łysik B.: Zarys reologii gruntów, działanie obciążenia statycznego na grunt. Arkady, Warszawa 1966.

[2] Król W.: Statyka fundamentów żelbetowych z uwzględnieniem sztywności nadbudowy. Arkady, Warszawa 1964.

[3] Glinko H., Noworyta Z.: Doświadczalne wyznaczanie parametrów reologicznych gruntów dla potrzeb budownictwa na terenach górniczych. OTG-15, Katowice 1971.

[4] Kwiatek J.: Budowla o fundamentach stopowych na częściowo sprężystym podłożu górniczym. OTG-56, Katowice 1981.

[5] Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej NB-239/RB-2/82 wyk. na zlecenie ITB: Obliczanie i konstrukcja stalowych hal przemysłowych na terenach górniczych. Maszynopis, Instytut Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej, Gliwice 1983.

УЧИТЫВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УПРУГИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВОГО ОСНОВАНЯ В РАСЧЁТАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАЛОВ

Р е з ю м е

В статье представлена расчётная модель для построеня фундамент-грунтового основания, которая учитывает в статических расчётах промышленных залов, различные упругие характеристик грунтового основания, реологии грунтоб, как и геометрической нелинейности следующего из неполного контакта подошвы фундамента с грунтом.

THE CONSIDERATION OF DIVERSIFIED ELASTIC AND REOLOGIC CHARAKCTERISTICS OF THE SUBSOIL IN INDUSTRIAL HOUSES CALCULATIONS

S u m m a r y

In this work the computational model of the foundation-subsoil system is given. This model allows to take into account diversified elastic subsoil characteristics, in static calculations soil rheology and geometric nonlinearity resulting from the partial contact of the footing with the soil.