ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
LXXX 1985 2

УДК 624.131.437

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

А. Л. Гольдин, С. Р. Месчян, Г. Ф. Рустамян

Плоская задача виброконсолидации водонасыщенного глинистого грунта

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. И. Тер-Степаняном 14/X 1983)

Экспериментами установлено, что под действием вибрационных эффектов глинистые грунты, как и песчаные, претерпевают дополнительные деформации. Поэтому учет вибрационных эффектов при решении задач консолидации водонасыщенных глинистых грунтов представляет значительный теоретический и практический интерес.

В статье рассмотрено решение плоской задачи консолидации водонасыщенного глинистого грунта с учетом виброползучести скелета, при пренебрежении сжимаемостью твердых частиц и поровой воды (жидкости) и изменяемостью коэффициента фильтрации. Для решения этой задачи использовано обычное уравнение плоской задачи фильтрационной консолидации ([1])

$$\frac{\partial e}{\partial t}=(1+e_m)\cdot k\cdot\nabla^2 H, \tag{1}$$

где e—коэффициент пористости; e_m—среднее значение коэффициента пористости; k—коэффициент фильтрации; H—избыточное давление в поровой воде (напор); ∇^2—оператор Лапласа.

При выводе общего уравнения виброконсолидации грунтового основания с учетом виброползучести скелета его мера $C_к(t-\tau, a)$ представлена в виде произведения меры статической ползучести $C_к(t-\tau)$ и функции амплитуды колебаний $F(a)$ ([2])

$$C_к(t-\tau,\ a)=C_к(t-\tau)\cdot F(a). \tag{2}$$

Частота колебаний постоянная $\omega=\mathrm{const}$.

Мера статической ползучести скелета грунта записана в виде степенной зависимости

$$C_к(t-\tau)=A\cdot(t-\tau)^m, \tag{3}$$

которая хорошо согласуется с экспериментом. Для функции амплитуды колебаний использовано соотношение ([2])

$$F(a)=B_0\cdot a^n+1, \tag{4}$$

удовлетворяющее условию $F(a=0)=1$.

В соотношениях (3) и (4) A, m, B_0 и n—определяемые из эксперимента параметры.

Мера виброползучести (2), с учетом (3) и (4), принимает следующий вид ([2]):

$$C_к(t-\tau, a)=A(t-\tau)^m\ (B_0a^n+1), \tag{5}$$

где a—относительная амплитуда колебаний.

Полная относительная деформация скелета грунта при вибрации, выраженная через изменяемость коэффициента пористости e, представлена в виде

$$\delta(t-\tau, a)=\left[\frac{1}{E_к}+C_к(t-\tau, a)\right](1+e_0)=m_{c.0}+A_0(t-\tau)^m(B_0a^n+1), \tag{6}$$

где $m_{c.0}=(1+e_0)/E_к$—мгновенная деформация при единичном напряжении; $A_0=A(1+e_0)$; e_0—коэффициент начальной пористости.

Уравнение изменяемости коэффициента пористости водонасыщенного глинистого грунта $e\ (t)$ при плоском напряженном состоянии представлено в виде соотношения теории наследственной ползучести нестареющего материала ([1]):

$$e(t)=e(0)-\frac{\theta(0)\delta(t-0,\,a)}{1+\xi}-\frac{1}{1+\xi}\int_0^t\frac{\partial\theta}{\partial\tau}\delta(t-\tau, a)d\tau, \tag{7}$$

где $e(0)$—коэффициент начальной пористости грунта; θ—сумма главных нормальных напряжений; ξ—коэффициент бокового давления.

Дифференцируя (7) по t и подставляя полученное выражение в (1), после некоторых преобразований получим следующее интегродифференциальное уравнение плоской задачи виброконсолидации водонасыщенного глинистого грунта с учетом виброползучести скелета:

$$m_{c.0}\frac{\partial\theta}{\partial t}+A_0m(B_0a^n+1)\int_0^t\frac{\partial\theta}{\partial\tau}(t-\tau)^{m-1}d\tau=-(1+e_m)(1+\xi)k\nabla^2H, \tag{8}$$

где e_m—среднее значение коэффициента пористости грунта.

Известно, что ([1])

$$\theta=\theta^*-2\gamma_w(H-H^*), \tag{9}$$

где $\theta^*=\sigma_x^*+\sigma_z^*$—сумма главных нормальных напряжений, соответствующая состоянию мгновенной стабилизации деформации скелета грунта; H^*—избыточный напор в поровой воде в том же состоянии грунта; γ_w—удельный вес воды.

Дифференцируя (9) по t и подставляя в (8), а также принимая для простоты $H^*=0$, приходим к уравнению консолидации с учетом виброползучести скелета грунта, выраженного через напорную функцию:

$$\frac{\partial H}{\partial t}-\frac{1}{2\gamma_w}\frac{\partial\theta^*}{\partial t}-\frac{A_0m(B_0a^n+1)}{2\gamma_w m_{c,0}}\int_0^t\Phi(\tau)(t-\tau)^{m-1}d\tau=$$

$$=\frac{(1+e_m)(1+\xi)k\nabla^2H}{2\gamma_w m_{c,0}}, \tag{10}$$

где $\Phi(\tau)=\dfrac{\partial\theta}{\partial\tau}-2\gamma_w\dfrac{\partial H}{\partial\tau}$.

Интеграл левой части (10) заменяем суммой интегралов на каждом расчетном шаге по времени Δt:

$$\int_0^t \Phi(\tau)(t-\tau)^{m-1}d\tau = \sum_{\omega=1}^{\lambda} \int_{(\omega-1)\Delta t}^{\omega\Delta t} \Phi(\tau)(t-\tau)^{m-1}d\tau =$$

$$= \sum_{\omega=1}^{\lambda} \frac{\Phi[(\omega-1)\Delta t]+\Phi(\omega\Delta t)}{2} \int_{(\omega-1)\Delta t}^{\omega\Delta t} (t-\tau)^{m-1}d\tau = \frac{\Delta t^m}{2m} \sum_{\omega=1}^{\lambda} \Big\{\Phi[(\omega-1)\Delta t]+$$

$$+\Phi(\omega\Delta t)\Big\}[(\lambda-\omega)^m-(\lambda-\omega+1)^m] = \frac{\Delta t^m}{2m} F_{t,l,k}, \qquad (11)$$

где ω—номер шага по времени; λ—число шагов на интервале времени $[0, t]$.

Для удобства расчета на ЭВМ уравнение (10), с учетом (11), представляем в конечно-разностном виде для квадратной сетки с шагом $\Delta x = \Delta z = \Delta h$:

$$H_{t+1,l,k} = \left[1-4\frac{k'\Delta t}{(\Delta h)^2}\right] H_{t,l,k} + \frac{\Delta\theta^*_{t,l,k}}{2\gamma_w} + \frac{A_0(B_0 a^n+1)\Delta t^{m+1}}{4\gamma_w m_{c,0}} \times$$

$$\times F_{t,l,k} + \frac{k'\Delta t}{(\Delta h)^2} M_{t,l,k}, \qquad (12)$$

где

$$k' = \frac{(1+e_m)(1+\xi)k}{2\gamma_w m_{c,0}}, \qquad (13)$$

$$M_{t,l,k} = H_{t,l+1,k} + H_{t,l-1,k} + H_{t,l,k+1} + H_{t,l,k-1}. \qquad (14)$$

С целью обеспечения устойчивости решения (12) расчетный шаг по времени выбираем из следующего условия:

$$\left[1-\frac{4k'\Delta t}{(\Delta h)^2}\right] \geqslant 0, \qquad (15)$$

откуда следует, что

$$\Delta t_{\max} = \frac{(\Delta h)^2}{4k'}. \qquad (16)$$

При численном решении задачи расчетный шаг по времени может быть уточнен методом последовательного приближения.

Начальное условие задачи определяется из соотношения

$$H(x, z, 0) = \frac{\sigma_x^{*(0)} + \sigma_z^{*(0)}}{2\gamma_w}, \qquad (17)$$

где $\sigma_x^{*(0)}$ и $\sigma_z^{*(0)}$—напряжения, определяемые из соответствующего решения задачи теории упругости.

Граничные условия задачи следующие: при $z=0$ $H=0$, при $z=h$ $H=0$ или $\frac{\partial H}{\partial x}=0$ в зависимости от условия дренирования.

На боковых границах принимается $\frac{\partial H}{\partial x}=0$.

Осадка основания определяется послойным суммированием деформаций по глубине расчетной области $h=N\cdot\Delta h$ (Δh—величина расчетного шага, N—число слоев) из следующего выражения ([1]):

$$S(t)=\sum_{k=1}^{N}\frac{e_0-e_k(t)}{1+e_0}\Delta z. \tag{18}$$

Подставляя в (18) значение $e_0-e_k(t)$, определяемое из выражения (7) и произведя некоторые преобразования, для осадки получим следующее соотношение:

$$\begin{aligned}S(x,t)=&\frac{\Delta h}{(1+e_0)(1+\xi)}\sum_{k=1}^{N}\Big\{m_{c,0}[\theta_k^*(t)-2\gamma_w H_k(t)]+\\&+\frac{A_0(B_0a^n+1)\Delta t^m}{2}\sum_{\omega=1}^{\lambda}\Big\{\theta_k^*[(\omega-1)\Delta t]-2\gamma_w H_k[(\omega-1)\Delta t]+\\&+\theta_k^*(\omega\Delta t)-2\gamma_w H_k(\omega\Delta t)\Big\}[(\lambda-\omega)^m-(\lambda-\omega+1)^m]\Big\}.\end{aligned} \tag{19}$$

В заключение отметим, что при учете влияния на амплитуду колебаний a как давления от фундамента, так и изменяющегося по глубине толщи давления от массы грунта вместо $a=\mathrm{const}$ будем иметь определяемое из опыта соотношение:

$$a=f(h). \tag{20}$$

Институт механики
Академии наук Армянской ССР

Ա. Լ. ԳՈԼԴԻՆ, Ս. Ռ. ՄԵՍՉՅԱՆ, Գ. Ֆ. ՌՈՒՍՏԱՄՅԱՆ

Ջրահագեցվող կավային բնահողի վիբրոկոնսոլիդացիայի հարթ խնդիրը

Դիտված խնդրում բնահողի կմախքը ենթարկվում է վիբրոսողքի, որի չափը ներկայացված է ստատիկ սողքի չափի և ամպլիտուդային ֆունկցիայի արտադրյալի տեսքով, ընդունելով կորերի նմանության սկզբունքը։ Ստատիկ սողքի չափի նկարագրման համար ընդունված է աստիճանային ֆունկցիա։

Ստացված հիմնական հավասարումը ներկայացված է վերջավոր աճերի տեսքով արտահայտված ճնշման ֆունկցիայով։ Օգտագործված են սովորական սկզբնական և եզրային պայմանները։

Ստացված է շերտի տևական նստվածքը որոշելու բանաձևը։

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 *В. А. Флорин,* Основы механики грунтов. Т. 2. Стройиздат, Л.—М., 1961.
2 *С. Р. Месчян,* Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения, Недра, М., 1974.