

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Յ. Գ. ԹԵՐ-ՄԱՐՏԻՐՕՅԱՆ, Բ. Գ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВОВ
 МНОГОФАЗНЫХ ГРУНТОВ ПОД КРАТКОВРЕМЕННЫМ
 ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ОБЪЕМНЫХ СИЛ

В инженерной практике широко известно и экспериментально установлено, что одним из определяющих факторов, влияющих на сейсмостойкость сооружений, является характер взаимодействия сооружения и его основания. Известно также, что решение этой задачи, даже при простейшем волновом возбуждении, встречает значительные математические трудности и поэтому приходится прибегать к упрощенным предположениям и методам. К ним и относится метод квазистатических сил, который позволяет привести решение сложной динамической задачи к статической, а также соответствующим подбором коэффициента сейсмической силы добиться большего приближения к точному решению.

Однако, для применения метода квазистатических сил к многофазному грунту необходимо выбрать физические и механические параметры грунта, характеризующие его состояние в целом. Такими характеристиками могут служить приведенные плотность, модуль объемного сжатия и коэффициент Пуассона [1, 2].

Назовем приведенным модулем объемного сжатия $\alpha_{пр}$ и приведенным коэффициентом Пуассона $\mu_{пр}$ многофазного грунта такие характеристики, которые при определении изменения объема и формоизменения под воздействием тотальных напряжений дают значения, совпадающие с теми, которые определены на основании модуля объемного сжатия α и коэффициента Пуассона μ_x скелета грунта под воздействием эффективных напряжений.

Так как поровая вода не оказывает существенного сопротивления при формоизменении грунта в целом, то модули сдвига скелета грунта в целом будут одинаковыми, т. е. $G_{ск} = G_{пр} = G$. Рассматривая равенство объемных изменений скелета и поровой сжимаемости жидкости в условиях отсутствия изменений соотношений фаз к единице объема и учитывая принцип эффективных напряжений Терцаги:

$$\sigma_o = \sigma'_o + 3P_o, \quad (1)$$

где σ_o , σ'_o — суммы главных тотальных и эффективных напряжений; P_o — поровое давление, получим:

$$\alpha_{np} = \alpha_w + \frac{\alpha_w}{n} \quad (2)$$

здесь n — пористость грунта; α_w — коэффициент объемной сжимаемости и газосодержащей поровой воды, определяемый по выражению [1, 2]:

$$\alpha_w = \frac{1 - J_w}{P_a - P_w} \quad (3)$$

где J_w — коэффициент водонасыщения грунта; P_a — атмосферное давление; P_w — давление в поровой воде.

Тогда на основании известных соотношений между коэффициентом Пуассона, модулем линейной и сдвиговой деформаций с учетом равенства модулей сдвига скелета и грунта получим:

$$\mu_{np} = \frac{\alpha_{np} - 2G}{2(\alpha_{np} + G)} \quad (4)$$

Очевидно, что если приведенная среда обладает объемной несжимаемостью ($\alpha_{np} \rightarrow \infty$), то $\mu_{np} \rightarrow 0,5$.

Таким образом, многофазный грунт в период кратковременного воздействия или сейсмической силы, когда отсутствует изменение соотношений фаз в единице объема, может характеризоваться единичными модулем деформации и коэффициентом Пуассона, которые назовем приведенными. По ним легко определить распределение напряжений и деформаций в массиве многофазного грунта при кратковременных воздействиях нагрузок, используя соответствующие решения для однофазных сред и заменяя модуль деформации и коэффициент Пуассона приведенными.

Так, например, поровое давление можно определить по формуле [1, 2]:

$$P_w = \frac{\sigma_v}{3} \frac{\alpha_w}{\alpha_w + \alpha_v/n} = A_0 \sigma_v \quad (5)$$

где σ_v — среднее тотальное напряжение; A_0 — коэффициент порового давления:

$$A_0 = \frac{\alpha_w n}{n\alpha_w + \alpha_v} \quad (5a)$$

Очевидно, что при $\alpha_v \rightarrow \infty$, т. е. в отсутствие газа в поровой воде $A_0 \rightarrow 1$ и поровое давление будет равно среднему напряжению.

Приведенные значения параметров деформирования для многофазного грунта необходимы также для определения скорости распространения продольных и поперечных волн и полностью водонасыщенных глинистых грунтах, полагая, что обе фазы имеют одинаковый порядок деформирования и вследствие малого коэффициента фильтрации и

кратковременности воздействия взаимное проникновение фаз не имеет места. Тогда для скоростей продольных и поперечных волн имеем:

$$V_p = \sqrt{\frac{2\sigma_{\text{пр}}(1 - \mu_{\text{пр}})}{\rho_{\text{пр}}(1 + \mu_{\text{пр}})}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho_{\text{пр}}}}; \quad (6)$$

$$\rho_{\text{пр}} = \rho_m(1 - \lambda) + \rho_w \lambda. \quad (6a)$$

где $\rho_{\text{пр}}$, ρ_m , ρ_w — соответственно, приведенная плотность грунтовой среды, плотности минеральных частиц и поровой газосодержащей воды.

Таким образом, мы привели рассмотрение сложной задачи для многофазной грунтовой среды, состоящей из минеральных частиц, поровой воды и воздуха, к задаче для квазиоднофазной среды, характеризуемой двумя деформационными характеристиками $\mu_{\text{пр}}$ и G . Это позволяет решать любую краевую задачу для многофазного грунта при кратковременном воздействии поверхностных и объемных сил или использовать готовые решения теории упругости для многофазного грунта. При длительном воздействии нагрузок, когда в многофазном грунте начинает развиваться консолидационный процесс, метод приведенного модуля позволяет определить начальное напряженное состояние в массиве многофазного грунта, что является важным этапом решения задач консолидации [1, 2].

Рассмотрим ряд известных в теории упругости решений, применительно к многофазному грунту при кратковременном воздействии только поверхностных сил. При действии полосовой нагрузки шириной b на поверхности упругого полупространства интенсивностью P имеем следующие выражения для порового давления и осадки поверхности:

$$p_{\text{пр}}(x, z) = A_0 \frac{P}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{2bz}{x^2 + z^2 - b^2}; \quad (7)$$

$$S(x) = \frac{P}{\pi} \frac{1 - \mu_{\text{пр}}}{G} \left(2b - \ln \frac{|x - b|^{x-b}}{|x + b|^{x+b}} \right). \quad (8)$$

При действии равномерно-распределенной нагрузки по поверхности массива многофазного грунта на площади прямоугольника со сторонами b и l , имеем:

$$p_{\text{пр}}(z) = A_0(1 + \mu_{\text{пр}}) \frac{P}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{n}{y \sqrt{1 - m^2 + n^2}}; \quad (9)$$

$$S = \frac{bP}{\pi} \frac{1 - \mu_{\text{пр}}}{G} \left| \ln \frac{\sqrt{1 + n^2} + n}{\sqrt{1 + n^2} - n} + \ln \frac{\sqrt{1 + n^2} + 1}{\sqrt{1 + n^2} - 1} \right|. \quad (10)$$

где $n = l/b$; $m = z/2b$.

Из формул (7) и (8) видно, что наибольшая концентрация порового давления имеет место в контактной зоне поверхности грунта, что является неблагоприятным в смысле прочности грунта и устойчивости

массива в целом при наличии горизонтальных нагрузок на поверхности. Величины же осадок по формулам (8) и (10) получаются больше, чем при определении осадок водонасыщенных глинистых грунтов по методу Флорина В. А., когда для скелета грунта принимается $\mu_{ск} = 0,5$.

Наличие водонасыщенного глинистого грунта в основании сооружения при кратковременных силовых воздействиях приводит к возникновению избыточного порового давления и дополнительной деформации основания. Величины порового давления и осадок легко определить по (7) — (10). Величину коэффициента устойчивости основания можно определить по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом возникновения избыточного порового давления и одновременного действия горизонтальных сил инерции по контакту фундамента с основанием.

Перейдем к рассмотрению важной для прикладной геомеханики задачи по определению напряжений и деформаций в массиве многофазного грунта с криволинейной границей при одновременном действии поверхностных и объемных сил в рамках плоской задачи.

Решение этой задачи для однофазной системы рассмотрено ранее [3] и доведено до определения напряжений и коэффициентов прочности. Пользуясь методом приведенного модуля, можно это решение распространить на случай рассмотрения напряженного состояния массива многофазного грунта с криволинейной границей и коэффициентов прочности и устойчивости массива с учетом возникновения порового давления. Так, для определения среднего напряжения можно пользоваться известным соотношением, вытекающим из условий плоской деформации:

$$\sigma = (\sigma_x + \sigma_y)(1 + \mu_{np}), \quad (11)$$

а для определения порового давления — зависимостью (5). Кроме того, можно по известным значениям компонентов напряжений определить деформации многофазного грунта, а по ним и перемещения отдельных точек по отношению к условно неподвижной точке. Компоненты деформаций могут быть определены по формулам:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \sigma_x \frac{1 - \mu_{np}^2}{E_{np}} - \sigma_y \frac{(1 + \mu_{np}) \mu_{np}}{E_{np}}; \\ \epsilon_y &= \sigma_y \frac{1 - \mu_{np}^2}{E_{np}} - \sigma_x \frac{(1 + \mu_{np}) \mu_{np}}{E_{np}}; \quad \epsilon_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \end{aligned} \quad (12)$$

где E_{np} — приведенный модуль линейного деформирования многофазного грунта, определяемый по величинам μ_{np} и G по известной формуле

$$E_{np} = 2G(1 + \mu_{np}). \quad (13)$$

Компоненты перемещения могут быть вычислены путем интегрирования вдоль любого отрезка прямой:

$$U = \int_{x_0}^x \varepsilon_x dx; \quad V = \int_{y_0}^y \varepsilon_y dy, \quad (14)$$

где x_0, y_0 — координаты условно неподвижных или закрепленных точек.

По известным значениям порового давления можно также определить величину коэффициента прочности грунта в любой точке массива по известной формуле [1—3]:

$$\tau_n = \tau'_n / c_n, \quad (15)$$

где

$$\tau'_n = \tau_{\max} \cos \varphi; \quad c_n = C + \lg \varphi \left(\frac{\sigma'_x + \sigma'_y}{2} - \tau_{\max} \sin \varphi \right);$$

σ'_x, σ'_y — компоненты эффективных напряжений:

$$\sigma'_x = \sigma_x - P_w; \quad \sigma'_y = \sigma_y - P_w. \quad (16)$$

Ջ. Գ. ՏԵՐ-ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ի. Դ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ

ԲԱԶՄԱՅԱԶ ԲՆԱՀՈՂԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱՆԻ ԼԱՐՎԱՆԱՅԻՆ-ԴԵՖՈՐՄԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿԸ ԿԱՐՃԱՏՆՎ ԱԶԿՈՂ ՈՍԱՎԱՍՅԻՆ ԵՎ ՄԱԿԵՐԻՆՎՈՐՅԹԱՅԻՆ ՈՒՅԵՐԻՑ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Առաձգականության անստիճան հարթ խնդրի շրջանակներում դիտարկվում է կորագծային սելլեֆոլ բազմաֆազ րնաճողային պանդիածի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակը կարճ ժամանակով ազդող ծավալային և մակերևույթային ուժերից, որը մոտավոր ձևով համապատասխանում է սելյամիկ ուժերի ազդեցությանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Цыганов Н. А., Тер-Мартirosян З. Г. Основы прикладной геомеханики и строительстве.— М.: Высшая школа, 1981, с. 148—168.
2. Тер-Мартirosян З. Г. Вторичная консолидация многофазных глинистых грунтов с учетом ползучести и старения их скелета и начальные условия пространственных задач.— В сб. тр.: Вопросы механики грунтов, оснований и фундаментов. М., МПСИ, № 140, 1977, с. 107—126.
3. Тер-Мартirosян З. Г., Манвелян Р. Г. Напряженное состояние горных массивов при действии местной нагрузки и объемных сил.— Вкля. по ниж. сейсм., № 0, Ереван, АН АрмССР, 1975, с. 51—57.