

Заключение. Таким образом, применение комбинированных ленточных фундаментов, особенно при строительстве малоэтажных зданий, дает возможность получить более экономичные их конструкции (до 40% экономии железобетона) вследствие частичной замены железобетонных плит на уплотненный грунт. При этом, путем регулирования длины отдельных участков грунтового и плитного фундаментов, можно выравнять их осадку для всего здания.

Список цитированных источников

1. СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений. Утв. ком. СССР по делам строительства 05.12.83 Взамен СНиП 11-15-74. Срок введения 01.01.85 / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика / Под общ. ред. Е.А. Сорочана. – М.: Стройиздат, 1985.
3. Грицук, М.С. Рациональные конструкции плитных фундаментов. – Брест: Брестский политехнический институт, 1997. – 218 с.

УДК 624.12/13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УПРУГОСТИ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНЫХ ГРУНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЯХ

Талецкий В.В.

Введение. Трансверсально-изотропная среда, у которой механические свойства по всем горизонтальным направлениям одинаковы, но отличаются от свойств в вертикальном направлении, характеризуется 5-ю независимыми упругими постоянными.

Уравнения закона Гука для такой среды в декартовой системе координат x, y, z с осью изотропии z и плоскостью изотропии $xу$ имеют вид [1]:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= C_{11}\epsilon_x + (C_{11} - 2C_{66})\epsilon_y + C_{13}\epsilon_z, \quad \tau_{xy} = C_{66}\gamma_{xy}; \\ \sigma_y &= (C_{11} - 2C_{66})\epsilon_x + C_{11}\epsilon_y + C_{13}\epsilon_z, \quad \tau_{yz} = C_{44}\gamma_{yz}; \\ \sigma_z &= C_{13}(\epsilon_x + \epsilon_y) + C_{33}\epsilon_z, \quad \tau_{xz} = C_{44}\gamma_{xz}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ – нормальные и касательные напряжения; C_{ij} – постоянные коэффициенты упругости; $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$ – относительные осевые и сдвиговые деформации.

При определении постоянных коэффициентов упругости испытания могут проводиться в различных приборах, соответственно при различных напряженно-деформированных состояниях.

Определение постоянных коэффициентов упругости в условиях трехосного сжатия. При определении постоянных коэффициентов упругости в приборе трехосного сжатия с независимо регулируемыми главными напряжениями [2] проводят испытание трех образцов грунта по методике описанной в патенте [3].

В предлагаемой методике все испытания выполняются в одном приборе, определяются пять постоянных коэффициентов упругости по трем образцам грунта. Все это ведет к повышению точности определения коэффициентов.

Определение постоянных коэффициентов упругости в условиях плоской деформации. Для элемента грунта, находящегося в условиях плоской деформации.

ции при ограничении деформаций в направлении оси y ($\epsilon_y = 0$, $\gamma_{xy} = 0$, $\gamma_{yz} = 0$), физические уравнения запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= C_{11}\epsilon_x + C_{13}\epsilon_z; \quad \sigma_x = (C_{11} - 2C_{66})\epsilon_x + C_{13}\epsilon_z; \\ \sigma_z &= C_{13}\epsilon_x + C_{33}\epsilon_z; \quad \tau_{xz} = C_{44}\gamma_{xz}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Поэтому для определения постоянных коэффициентов упругости достаточно испытать два образца грунта ненарушенной структуры.

Один образец испытывается по двум траекториям. Вначале напряжениями $\sigma_x' = \sigma_z'$ производится равномерное сжатие образца, затем образец разгружается до $\sigma_x' = \sigma_z' = 0$, измеряются напряжения σ_y' и упругие деформации образца ϵ_{ye}' и ϵ_{ze}' . После чего выполняется вторая траектория. Дополнительно ограничиваются деформации в направлении действия напряжений σ_x , $\epsilon_x' = 0$, прикладываются напряжения σ_z'' , затем образец разгружается до $\sigma_z'' = 0$, измеряются напряжения σ_y'' и упругие деформации ϵ_{ze}'' .

Из упрощенных – первого и третьего уравнений – системы (4) по известным величинам прикладываемых напряжений σ_x' и σ_z' и соответствующим упругим деформациям ϵ_{ze}'' , полученным при нагружении по второй траектории, определяются коэффициенты C_{13} и C_{33} : $C_{13} = \sigma_x'' / \epsilon_{ze}''$ и $C_{33} = \sigma_z'' / \epsilon_{ze}''$.

Подставляя значения напряжений σ_x' , σ_y' и упругих деформаций ϵ_{ye}' и ϵ_{ze}' , полученные при нагружении образца грунта по первой траектории, и коэффициент C_{13} в первое и второе уравнения системы (4), определяются коэффициенты упругости C_{11} и C_{66} :

$$C_{11} = \frac{\sigma_x' - C_{13}\epsilon_{ze}'}{\epsilon_{ye}'}; \quad C_{66} = 0,5 \left(C_{11} - \frac{\sigma_y' - C_{13}\epsilon_{ze}'}{\epsilon_{ye}'} \right).$$

Для определения коэффициента C_{44} испытывается второй образец в точном соответствии с методикой, описанной в патенте [3].

Недостатком этой и предыдущей методик является то, что при определении коэффициентов C_{11} , C_{13} и C_{33} испытание образца проводится по сложной траектории нагружения, которая затрудняет как проведение испытаний, так и интерпретацию его результатов. Кроме этого, любые испытания в приборах с независимо регулируемыми главными напряжениями трудоемки, а сами приборы имеются только в научно-исследовательских лабораториях.

Определение постоянных коэффициентов упругости в условиях осесимметричного сжатия. Для трансверсально-изотропных грунтов, находящихся в условиях осесимметричного напряженно-деформированного состояния, предлагается определения постоянных коэффициентов упругости в стабилометре типа В.

Для элемента грунта, находящегося в условиях осесимметричного сжатия (рис. 1), при равенстве напряжений и деформаций в направлении осей x и y ($\sigma_x = \sigma_y$, $\epsilon_x = \epsilon_y$) и равенстве нулю сдвиговых деформаций в плоскости изотропии ($\gamma_{xy} = 0$), физические уравнения запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2(C_{11} - C_{66})\epsilon_x + C_{13}\epsilon_z; \\ \sigma_z &= 2C_{13}\epsilon_x + C_{33}\epsilon_z; \quad \tau_{xz} = C_{44}\gamma_{xz}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для определения постоянных коэффициентов упругости необходимо испытывать три образца грунта ненарушенной структуры.

Для определения коэффициентов C_{13} и C_{33} один образец испытывается на осевое сжатие в направлении, перпендикулярном плоскости изотропии при ограничении деформаций в плоскости изотропии, то есть $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$ (рис. 2). Уравнения (1) в этом случае будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= C_{13}\epsilon_z; \\ \sigma_z &= C_{33}\epsilon_z; \tau_{xz} = C_{44}\gamma_{xz}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

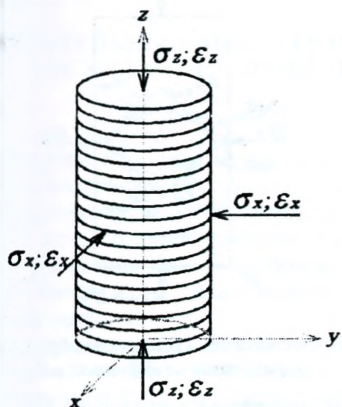


Рисунок 1 – Осесимметричное напряженно-деформированное состояние образца

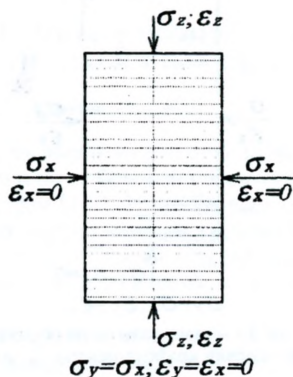


Рисунок 2 – Схема испытания образца при определении коэффициентов C_{13} и C_{33}

При испытании вначале напряжениями $\sigma_x' = \sigma_y' = \sigma_z'$ производится равномерное сжатие образца. После чего ограничиваются деформации в направлении действия напряжений $\sigma_x' = \sigma_y'$, $\epsilon_x = \epsilon_y = 0$, и образец нагружается только напряжениями σ_z'' (компрессионное сжатие). При этом измеряются полные деформации ϵ_z и возникающие напряжения $\sigma_x'' = \sigma_y''$. Затем образец разгружается до напряжений $\sigma_z''' = \sigma_z'$, измеряются напряжения $\sigma_x''' = \sigma_y'''$ и остаточные деформации образца ϵ_{zp} . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации $\epsilon_{ze} = \epsilon_z - \epsilon_{zp}$. По результатам испытания из первых двух уравнений (2) определяются постоянные коэффициенты упругости:

$$C_{13} = (\sigma_x'' - \sigma_x''') / \epsilon_{ze}; \quad C_{33} = (\sigma_z'' - \sigma_z') / \epsilon_{ze}.$$

Для определения коэффициентов C_{11} и C_{66} второй образец испытывается на радиальное сжатие в плоскости изотропии при ограничении деформаций в направлении оси перпендикулярной плоскости изотропии, $\epsilon_z = 0$ (рис. 3). В этом случае уравнения (1) запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2(C_{11} - C_{66})\epsilon_x; \\ \sigma_z &= 2C_{13}\epsilon_x; \tau_{xz} = C_{44}\gamma_{xz}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

При испытании, как и для первого образца, вначале производится равномерное сжатие $\sigma_x' = \sigma_y' = \sigma_z'$. После чего ограничиваются деформации в направлении действия напряжений σ_z , $\epsilon_x = 0$, и образец нагружается только напряжениями $\sigma_x'' = \sigma_y''$. При этом измеряются полные деформации $\epsilon_x = \epsilon_y$. Затем образец разгружается до напряжений $\sigma_x''' = \sigma_y'''$ и измеряются остаточные деформации об-

разца ϵ_{sp} . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации $\epsilon_{ze} = \epsilon_z - \epsilon_{zp}$. По результатам испытания из первого уравнения (3) определяются постоянные коэффициенты упругости: $C_{11} - C_{66} = (\sigma_z'' - \sigma_x')/2\epsilon_{ze}$.

Для определения коэффициента C_{44} , образец вырезается и помещается в стабилметр таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии, к направлению действия напряжений σ_x и σ_z , был 45° (рис. 4).

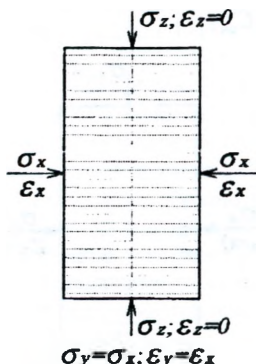


Рисунок 3 - Схема испытания образца при определении коэффициентов C_{11} и C_{66}

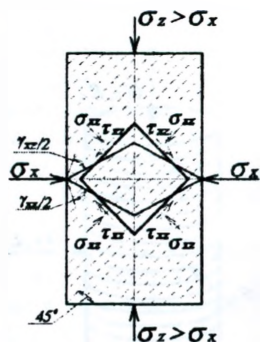


Рисунок 4 - Схема испытания образца при определении коэффициента C_{44}

Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости xoz . Производится равномерное сжатие образца напряжениями $\sigma_x' = \sigma_y' = \sigma_z'$. Затем напряжение по оси z увеличивается с постоянным приращением $\Delta\sigma_z$, а напряжения по осям x и y уменьшаются с такой же величиной приращения $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = \Delta\sigma_z$ до уровня напряжений σ_z'' и $\sigma_x'' = \sigma_y''$, после чего образец разгружается до напряжений $\sigma_z' = \sigma_x' = \sigma_y'$.

Измеряются полные деформации ϵ_y и $\epsilon_x = \epsilon_y$ при напряжениях σ_z'' и $\sigma_x'' = \sigma_y''$ и остаточные деформации после разгрузки до $\sigma_z' = \sigma_x' = \sigma_y'$: ϵ_{zp} , ϵ_{xp} и ϵ_{yp} . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации $\epsilon_{xe} = \epsilon_x - \epsilon_{xp}$ и $\epsilon_{ye} = \epsilon_y - \epsilon_{yp}$. Коэффициент упругости C_{44} определяется по формуле (1) из отношения касательных напряжений τ_{xz} , определенных на площадках с максимальными касательными напряжениями $\tau_{xz} = [(\sigma_z'' - \sigma_z') - (\sigma_x'' - \sigma_x')]/2$ и упругих сдвиговых деформаций этих площадок $\gamma_{xz e} = \epsilon_{ze} - \epsilon_{xe}$ (см. рисунок 4): $C_{44} = \tau_{xz}/\gamma_{xz e}$.

Закключение. Предложенные методики повышают точность определения постоянных коэффициентов упругости за счет меньшего количества испытываемых образцов грунта (по трем образцам определяются пять постоянных коэффициентов упругости) и проведения всех испытаний в одном приборе.

Преимуществом методик является также возможность определения коэффициентов для не связных грунтов.

Приведенные методики можно использовать при определении, как коэффициентов упругости, так и коэффициентов деформации, связывающих напряжения и полные деформации.

Список цитированных источников

1. Винокуров, Е.Ф. Строительство на пойменно-намывных основаниях / Е.Ф. Винокуров, А.С. Карамышев. - Мн: Выш. шк., 1980. - 206 с.

2. Прибор для исследования свойств грунтов: а. с. 302665 СССР, МКИ G 01 n 33/24 / А.Л. Крыжановский, Э.И. Воронцов, А.А. Музафаров., Б.Л. Морозов. - № 1409204/29-14; заявл. 02.03.70 // Бюл. -1971. - № 15. - С. 162.

3. Способ определения коэффициентов упругости трансверсально-изотропного грунта: пат. 5618 Республика Беларусь, Е 02 D 1/00 / В.В. Талешкий, заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. - 2003. - 5 с.

УДК 624.1+624.015

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИСЯЧИХ ЗАБИВНЫХ СВАЙ

Шведовский П.В., Пойта П.С., Дроневиц А.Ю.

Введение. Как известно, несущая способность свай определяется суммой сопротивлений грунта под острием сваи и по ее боковой поверхности [1].

Сравнение норм и стандартов различных стран [1, 2, 3] показывает наличие существенных отличий зависимости расчетных сопротивлений грунта (R и f) в плоскости острия сваи и по боковой поверхности от плотности, влажности и других факторов, а также колебания их численных значений в достаточно больших пределах.

Анализ расчетных методов. В европейских странах при расчетах и прогнозах несущей способности свай рекомендуется использовать двух- и трехуровневые факторы безопасности, которые являются аналогами принятых в странах СНГ коэффициентов надежности по нагрузке и по грунту.

Большинство расчетных методов базируются на рассмотрении вертикального равновесия сваи в предельном состоянии. Наиболее распространены методы Нордлунда, API, LCPC и Империл колледж [4,5]. Метод Нордлунда является полумпирическим. Несущую способность сваи по грунту, за счет сопротивления по боковой поверхности R_f и лобового сопротивления (под нижним концом сваи) R_s , рекомендуется определять по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} R_f &= K_s \cdot C_F \cdot \sigma'_v \cdot \sin \delta \\ R_s &= \alpha_T \cdot N_q \cdot \sigma'_v \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где K_s – коэффициент бокового давления грунта;

C_F – поправочный коэффициент для K_s , при условии $\delta \neq \varphi$;

σ'_v – максимальное давление на уровне нижнего конца сваи;

δ – угол трения материала сваи по грунту;

α_T – геометрический параметр сваи, равный $\alpha_T = f\left(\frac{Z}{b}\right)$;

N_q – коэффициент несущей способности сваи;

Z – расчетная глубина погружения сваи; b – ширина сваи.

Метод API также полумпирический и несущую способность сваи рекомендуется определять по зависимостям –

$$\left. \begin{aligned} R_f &= \sigma'_v \cdot K_s \cdot \lg \delta \\ R_s &= \sigma'_v(z) \cdot N_q \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $\sigma'_v(z)$ – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи.

При этом величины N_q , δ , R_f и R_s не могут превышать следующие пределы (таблица 1).