

Выводы из данного исследования. В статье предложена нелинейная методика расчета фундаментов мелкого заложения и оценка надежности, что особенно важно при повышенном уровне их нагружения.

Литература

1. Киричек, Ю.А. Об адекватности нелинейных методов расчета осадок фундаментов мелкого заложения / Ю.А. Киричек, А.В. Трегуб // Тр. Международной конференции по геотехнике «Развитие городов и геотехническое строительство» / НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект». – СПб, 2008. – Т. 3. – С. 183 – 186.
2. Трегуб, А.В. Развитие методики нелинейного расчета фундаментов мелкого заложения / А.В. Трегуб, Ю.А. Киричек // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. №56. – Д.: ПГАСА, 2010. – С. 535 – 545.
3. Малышев, М.В. Прогноз осадок фундаментов неглубокого заложения с использованием обоих критериев предельных состояний / М.В. Малышев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1996. – №1. – С. 2 – 4.
4. Киричек, Ю.А. Оценка несущей способности оснований фундаментов мелкого заложения / Ю.А. Киричек, А.В. Трегуб // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 48, ч. 3. – Д.: ПГАСА, 2009. – С. 213 – 218.
5. Трегуб, А.В. О возможности увеличения несущей способности фундаментов мелкого заложения за счет работы основания в нелинейной фазе деформаций / А.В. Трегуб, Ю.А. Киричек // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. №50. – Д.: ПГАСА, 2009. – С. 585 – 592.
6. Бугров, А.К. Расчет надежности по осадке упругопластического основания методом статистических испытаний / А.К. Бугров, В.Г. Шилин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. №3. С. – СПб, 2000. – С. 17 – 25.
7. ДБН В.2.1-10-2009. Основания и фундаменты сооружений / Минрегионстрой Украины. – К.: НИИСК, 2009. – 78 с.

Надійшла до редакції 07.04. 2011

© Ю. А. Киричек, А.В. Трегуб

РОЗРАХУНОК ФУНДАМЕНТІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЛІНІЙНОГО МЕТОДУ, ЩО БАЗУЄТЬСЯ НА РЕЗУЛЬТАТАХ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ

Запропоновано методику розрахунку фундаментів мілкоого заглиблення з використанням нелінійного підходу та оцінки надійності методом статистичного аналізу.

Ключові слова: *нелінійний розрахунок осідання, надійність, статистичний аналіз.*

THE SHALLOW FOUNDATIONS DESIGN USING NONLINEAR METHOD AND RESULTS OF STATISTICAL ANALYSIS

It is presented the design method of shallow foundations using non-linear approach and estimation of reliability by the method of statistic analysis.

Key words: *non-linear design of settlements, reliability, statistic analysis.*

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УПРУГИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ОСНОВАНИЙ

Предложена методика определения упругих (модуля упругости и коэффициента Пуассона) и реологических (коэффициента консолидации) свойств водонасыщенных грунтов в ходе их испытаний на компрессию. Ее основное отличие от известных методов Тейлора и Казагранде – полная автоматизация процесса определения коэффициента консолидации.

Ключевые слова: компрессия, модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент консолидации.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Известные методы Д. Тейлора и А. Казагранде определения коэффициента консолидации водонасыщенных грунтов обладают такими недостатками [1]:

1. Оба метода являются графоаналитическими. В этой связи невозможна их полная автоматизация.

2. Эти методы позволяют определить только лишь коэффициент консолидации при компрессии и не позволяют находить упругие характеристики основания (т.е. его модуль упругости и коэффициент Пуассона).

3. Продолжительность стандартных компрессионных испытаний некоторых видов грунтов с целью определения их коэффициента консолидации методом А. Казагранде может составлять месяцы и годы. Поэтому проблема сокращения времени испытаний грунта является насущной и нуждается в решении.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы. Попытка решения проблемы автоматизации процесса определения коэффициента консолидации грунта предпринималась авторами работ [2, 3, 4]. На наш взгляд, их общей проблемой является недостаточное использование методов математической статистики и достаточно грубые допущения относительно ползучести грунтового скелета [3, 4].

Постановка задачи исследований. Задача исследований была сформулирована так. Имеются табличные данные испытаний водонасыщенного грунтового образца в одометре постоянными нагрузками (точнее зависимость «осадка – время»). Известны высота грунтового образца и величина приложенного к нему давления. Влияние на уплотнение образца ползучести грунтового скелета пренебрежимо мало. Требуется определить такие характеристики основания:

- модуль упругости грунта E ;
- коэффициент Пуассона грунтового скелета ν ;
- коэффициент консолидации при компрессии c_k .

Цель работы – определение упругих характеристик грунта и его коэффициента консолидации на основе анализа компрессионных испытаний грунта.

Изложение основного материала исследования. Согласно данным работы [5], при постоянной во времени нагрузке зависимость осадки находящегося в условиях компрессионного сжатия грунтового образца от времени имеет вид

$$S(t) = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{q \cdot h}{\lambda + 2 \cdot G} \cdot \sum_{i=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{i^2 \cdot \pi^2}{h^2} \cdot c_k \cdot t\right) \right] = \frac{q \cdot h}{\lambda + 2 \cdot G} \cdot f(t), (1)$$

где $f(t) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{i^2 \cdot \pi^2}{h^2} \cdot c_k \cdot t\right) \right]$. Здесь q – приложенная к грунтовому образцу распределенная нагрузка; h – высота образца; $\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1+\nu) \cdot (1-2 \cdot \nu)}$ и $G = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)}$ – упругие константы Ламе; t – время.

Предлагаемая нами методика имеет два варианта.

В первом случае коэффициент Пуассона предполагается известным. В соответствии с рекомендациями [1] его следует принимать равным: 0,3 – для песков и супесей; 0,35 – для суглинков; 0,42 – для глин.

Во втором случае коэффициент Пуассона подлежит определению.

В первом случае определение искомых характеристик следует выполнять в такой последовательности:

1. Табличную зависимость « $S_i - t_i$ » следует аппроксимировать с использованием методики [6] функцией вида

$$S(t) = A \cdot [1 - \exp(-B \cdot t)], \quad (2)$$

где A и B – константы аппроксимации.

2. Далее с использованием формулы

$$c_{k,0} = B \cdot \frac{h^2}{\pi^2} \quad (3)$$

необходимо найти значение коэффициента консолидации в первом приближении.

3. После этого формулу (1) следует представить как

$$E = \frac{F(t_i) \cdot a}{S_i}, \quad (4)$$

составить переопределенную систему линейных алгебраических уравнений вида

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{F(t_1) \cdot a}{S_1}; \\ E &= \frac{F(t_2) \cdot a}{S_2}; \\ &\dots\dots\dots \\ E &= \frac{F(t_n) \cdot a}{S_n}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

и на интервале $c_k \in (0,1 \cdot c_{k,0} \dots 10 \cdot c_{k,0})$ методом прямого сканирования найти такое значение коэффициента консолидации c_k , при котором выполняется условие

$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left(E - \frac{F(t_i) \cdot a}{S_i} \right)^2} \rightarrow \min_{c_k}. \quad (6)$$

Систему уравнений (4) следует решать методом наименьших квадратов. Здесь $a = \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$, а n – размер выборки значений S_i и t_i .

4. Далее с использованием известного коэффициента консолидации c_k следует представить формулу (4) в виде уравнения (5) и с применением изложенной в работе [7] методики определить модуль общей деформации E . При этом следует использовать первую задачу определения нормативного и расчетного значений модуля упругости.

Таким образом, в результате использования предлагаемой нами методики мы находим коэффициент консолидации грунта c_k и его модуль упругости E . При этом коэффициент Пуассона грунтового скелета ν считается известным.

При реализации второго варианта методики следует поступить так.

1. Табличную зависимость « $S_i - t_i$ » следует аппроксимировать с использованием методики [6] функцией вида

$$S(t) = A \cdot [1 - \exp(-B \cdot t)], \quad (7)$$

где A и B – константы аппроксимации.

2. Далее с использованием формулы

$$c_{k,0} = B \cdot \frac{h^2}{\pi^2} \quad (8)$$

необходимо найти значение коэффициента консолидации в первом приближении.

3. После этого уравнение (4) следует представить как

$$\ln(E) - \ln(a) = \ln \left[\frac{F(t_i)}{S_i} \right] \quad (9)$$

и составить переопределенную систему линейных алгебраических уравнений вида

$$\left. \begin{array}{l} x - y = z_1; \\ x - y = z_2; \\ \dots\dots\dots \\ x - y = z_n \end{array} \right\}, \quad (10)$$

которую следует решать методом наименьших квадратов. Здесь $x = \ln(E)$,

$y = \ln(a)$ и $z_i = \ln \left[\frac{F(t_i)}{S_i} \right]$. При вычислении правой части уравнений системы

(5) следует сканировать значения коэффициента консолидации с заданным шагом на интервале $c_k \in (0,1 \cdot c_{k,0} \dots 10 \cdot c_{k,0})$. В результате сканирования следует найти такое значение коэффициента c_k , при котором выполняется условие

$$\sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (x - y - z_i)^2} \rightarrow \min_{c_k}. \quad (11)$$

4. Далее с использованием известного коэффициента консолидации c_k следует представить уравнение (4) в виде зависимости (10) и с использованием изложенной в

работе [7] методики определить неизвестные x и y . При этом необходимо использовать вторую задачу.

5. Модуль общей деформации следует вычислять по формуле

$$E = \exp(x). \quad (12)$$

6. Коэффициент Пуассона необходимо определять по формулам

$$\left. \begin{aligned} a &= \exp(y); \\ v &= \frac{a-1}{4} \pm \frac{\sqrt{a^2 - 10 \cdot a + 9}}{4}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

При этом следует учитывать, что область изменения коэффициента Пуассона $v \in \left(0, \frac{1}{2}\right)$.

Таким образом, второй вариант разработанной нами методики позволяет определять такие материальные константы грунтовых оснований:

– коэффициент консолидации грунта c_k ;

– модуль упругости E ;

– коэффициент Пуассона ν .

Выводы по работе. Изложенные в настоящей работе материалы исследований позволили нам сделать такие выводы.

1. Разработана методика определения деформационных и реологических характеристик грунтовых образцов, основанная на анализе результатов компрессионных испытаний.

2. Первый ее вариант основан на допущении о том, что значение коэффициента Пуассона грунта известно заранее.

3. Второй вариант методики, помимо модуля упругости и коэффициента консолидации грунта, позволяет определять также и коэффициент Пуассона грунтового скелета.

4. В отличие от общепринятых методик определения коэффициента консолидации грунта, изложенная в настоящей статье методика позволяет полностью автоматизировать процесс его нахождения.

5. Область применения предлагаемых нами методик определения материальных констант оснований – полностью водонасыщенные основания, ползучестью грунтового скелета которых можно пренебречь.

6. Материальные константы, которые позволяет определять предложенная нами методика, полностью соответствуют модели упругого изотропного водонасыщенного основания.

В целом, изложенные в настоящей работе материалы исследований позволили нам сделать вывод о перспективности определения упругих и реологических свойств полностью водонасыщенного грунта с использованием предложенных нами методик.

Литература

1. *Справочник по механике и динамике грунтов* / В.Б. Швец, Л.К. Гинзбург, В.М. Гольдштейн и др. – К.: Будівельник, 1987. – 232 с.

2. Шаповал, В.Г. *Ускоренное определение реологических свойств водонасыщенных глинистых оснований: дис. ... канд. техн. наук* / В.Г. Шаповал. – Днепропетровск, 1984. – 179 с.

3. *Практическая оценка консолидации глинистого грунта и ее приложение* / [Ю.К. Зарецкий, В.К. Капустин, М.А. Метс, В.Г. Шаповал] // *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. – 1983. – №3. – С. 23-27.

4. Капустин, В.К. Полевой метод определения параметров консолидации и ползучести глинистых грунтов / В.К. Капустин, В.Г. Шаповал // Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума по реологии грунтов. – Самарканд, 1982. – С. 36–38.

5. Зарецкий, Ю.К. Теория консолидации грунтов / Ю.К. Зарецкий.– М.: Наука, 1967. – 270 с.

6. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. –М.: Высш. шк., 1978. – 447 с.

7. Механика грунтов: учебник / [В.Г. Шаповал, В.Л. Седин, А.В. Шаповал, Б.В. Моркляник, В.С. Андреев]. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 168 с.

Надійшла до редакції 07.04. 2011

© А.В. Шаповал, В.В. Крысан, В.Г. Шаповал

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ І РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТИХ ВОДОНАСИЧЕНИХ ОСНОВ

Запропоновано методу визначення пружних (модуля пружності й коефіцієнта Пуассона) та реологічних (коефіцієнта консолидації) властивостей водонасичених ґрунтів у ході їх випробувань на компресію. Її основна відмінність від відомих методів Тейлора та Казагранде – повна автоматизація процесу визначення коефіцієнта консолидації.

Ключові слова: компресія, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнт консолидації.

TO DETERMINATION OF ELASTIC AND FLOW CHARACTERISTICS OF THE CLAY SATURATED GROUNDS

The method of determining the elastic (Young's modulus and Poisson's ratio) and flow (coefficient of consolidation) saturated soil properties during their tests on the compression is presented. Its main difference of Taylor's and Casagrande's methods is complete automation of determination process of consolidation coefficient.

Key words: compression, Young's modulus, Poisson's ratio, coefficient of consolidation.