

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА И ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ШПУНТОВОЙ СТЕНКИ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССОВ ПОЛЗУЧЕСТИ, ДЕГРАДАЦИИ И ВЫЕМКИ ГРУНТА

© 2011 г.

Р.А. Шакирзянов, Ф.Р. Шакирзянов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

faritbox@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассматривается задача взаимодействия железобетонной шпунтовой стенки и грунтового массива, находящихся под воздействием собственного веса и внешней нагрузки. Прослеживается процесс изменения напряженно-деформированного состояния системы с учетом ползучести, деградации механических свойств грунта (сцепления и угла внутреннего трения) в зависимости от интенсивности накопленных деформаций ползучести, а также постепенной экскавации грунта. Ползучесть учитывается на основе теории упрочнения. Прочность оценивается по критерию Кулона–Мора. Предельная поверхность аппроксимируется квадратичной функцией. Оценка запаса предельной нагрузки для системы шпунт-грунтовой массив проводится на основе кинематической и статической теорем теории предельного равновесия. Рассматривается задача оценки несущей способности грунта при возведении здания.

Ключевые слова: механика грунтов, ползучесть, предельная нагрузка, метод конечных элементов.

Введение

Строительство новых сооружений рядом с существующими приводит к дополнительным воздействиям на грунты основания уже построенных сооружений и существенному изменению их несущей способности. Качественное и количественное прогнозирование поведения грунтового массива в условиях выемки грунта под фундамент строящегося сооружения требует не только правильного определения прочностных и деформативных параметров грунта, но и учета его реологических свойств в результате изменения напряженно-деформированного состояния (НДС).

Основные соотношения

Считается, что деформация грунта состоит из упругой деформации и деформации ползучести. Основными определяющими соотношениями для грунта принимаются следующие:

1. Ползучесть учитывается на основе теории упрочнения в виде

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^c = (H\sigma_i^n \sigma_{ij}) / (1 + C_H \varepsilon_i^c), \quad (1)$$

где H – матрица коэффициентов вязкости, C_H – параметр упрочнения, σ_i^n – интенсивность напряжений, σ_{ij} – компоненты тензора напряжений, ε_i^c – интенсивность деформаций ползучести, $\dot{\varepsilon}_{ij}^c$ – компоненты скорости деформаций ползучести,

точка над идентификатором означает дифференцирование по времени t .

2. Условие потери несущей способности элемента грунта принимается в виде аппроксимации критерия Кулона–Мора:

$$\tau_n = C - \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где C – сцепление, φ – угол внутреннего трения, σ_n – нормальное напряжение, τ_n – касательное напряжение.

3. Деградация прочностных характеристик (угла внутреннего трения и сцепления) учитывается соотношениями

$$\varphi = \varphi_0 \frac{1 + \varphi_1 \varepsilon_i^c}{1 + \varphi_2 \varepsilon_i^c}, \quad C = C_0 \frac{1 + C_1 \varepsilon_i^c}{1 + C_2 \varepsilon_i^c}. \quad (3)$$

Эта аппроксимация принята в соответствии с результатами работы [1].

Для решения задачи о предельном состоянии преобразуем уравнение (2) к более удобному виду

$$(\sigma - s)^T A (\sigma - s) = 1,$$

где A – матрица коэффициентов, индекс T означает оператор транспонирования.

Напряжения вычисляются по формуле

$$\{\Delta \sigma_{(k+1)}\} = [D] \Delta \varepsilon_{(k+1)}^e.$$

Решение

В качестве модели объекта расчета рассматривается задача постепенной выемки грунта из

котлована, ограниченного по краям железобетонной шпунтовой стенкой. Расчетная область представляет собой трехмерный массив размерами $15 \times 15 \times 5$ м, а шпунты имеют размеры $0.6 \times 6 \times 5$ м. С двух сторон от шпунтовых стенок на грунт действуют распределенные нагрузки от находящихся рядом зданий. Кроме того, учитывается действие собственного веса грунта и собственного веса шпунта.

В задаче определения НДС объекта расчет проводился методом конечных элементов с использованием трехмерного восьмиузлового изопараметрического конечного элемента. Принимается, что перемещения по нижним и боковым краям грунта отсутствуют.

Расчет проводился в несколько этапов. Вначале прикладывались нагрузка от собственного веса грунта и шпунта, а также внешние нагрузки от находящихся рядом зданий, проводился учет ползучести грунта под воздействием этих нагрузок и определялся запас нагрузки до предельного состояния. На следующих этапах из котлована слой за слоем убирался грунт.

На рис. 1 слева представлена диаграмма ин-

тенсивности напряжений, а справа – диаграмма перемещений вдоль оси z до начала выемки грунта. На рис. 2 представлены соответствующие диаграммы после окончания экскавации грунта.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Последовательная выемка грунта из котлована приводит к изменению НДС и существенному перераспределению напряжений.

2. Деградация грунта уменьшает его несущую способность. Поэтому при решении подобных задач учет деградации приобретает большое значение.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № 2432 от 19.11.2009 г.).

Список литературы

1. Мирсяпов И.Т., Королева И.В. Физико-механические свойства глинистых грунтов в условиях пространственного напряженного состояния // Известия Казанс. гос. архитектурно-строит. ун-та / Казань: КГАСУ, 2010. №1(13). С. 170–175.

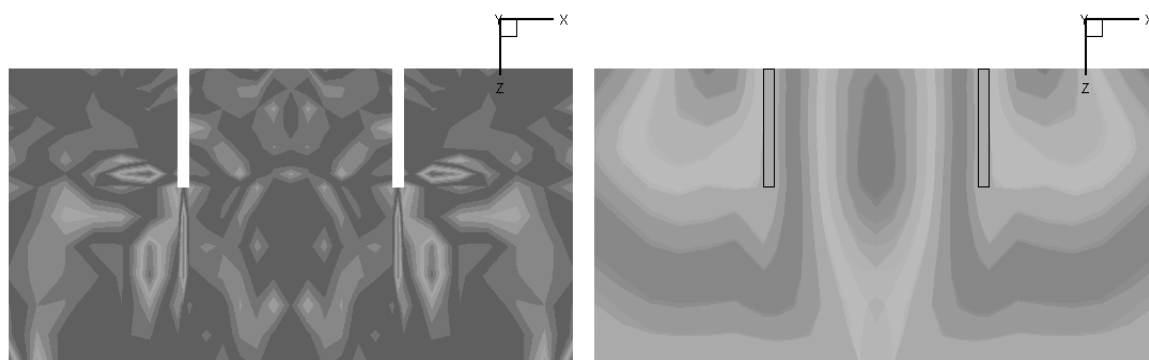


Рис. 1

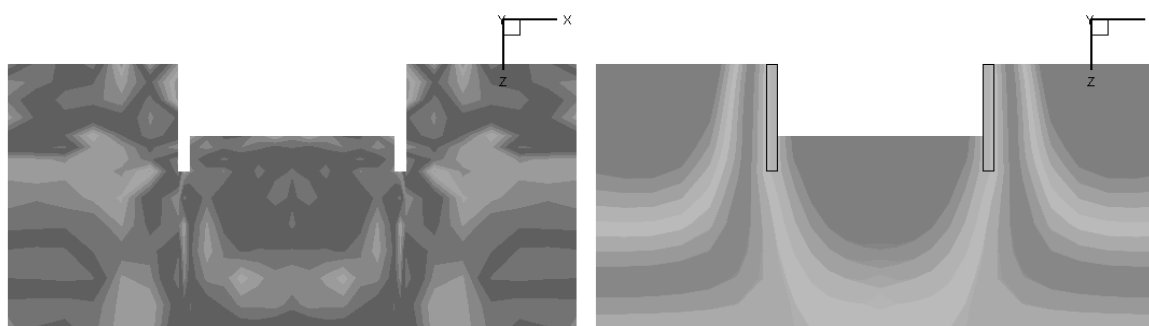


Рис. 2

THE STUDY OF THE INTERACTION OF THE GROUND MASS AND A REINFORCED CONCRETE SHEET PILE WALL, ACCOUNTING FOR CREEP, DEGRADATION AND DREDGING

R.A. Shakirzyanov, F.R. Shakirzyanov

We consider the problem of interaction of a reinforced concrete sheet pile wall and the ground mass, under its own weight and an external load. The process of the stressed-strained state of the system is analyzed, taking into account the creep properties of soil degradation, depending on the intensity of accumulated creep deformation and gradual excavation. Creep is taken into account based on the theory of hardening. Strength is measured by Coulomb–Mohr criterion. The limiting surface is approximated by a quadratic function. The assessment of safety of the limit load for a system of sheet pile wall and the ground mass is based on the kinematic and static theorems of limit equilibrium. As an example, the problem of estimating the bearing capacity of soil in the construction of a building is considered.

Keywords: soil mechanics, creep, ultimate load, finite element method.