



УДК 624.151.2

Д.Р. Сафин – кандидат технических наук, старший преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ, АРМИРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ АРМИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются особенности деформирования армированного грунтового массива из слабого водонасыщенного грунта. По предложенной методике можно определить напряжения в армирующем элементе и окружающем его грунтовым массиве. Для экспериментального изучения деформирования армированного массива проведены серии испытаний в лабораторных условиях. На основании результатов экспериментальных исследований выполнен анализ влияния армирования на деформативность слабого водонасыщенного грунта и установлены некоторые закономерности.

D.R. Safin – candidate of technical sciences, senior lecturer
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)

STUDY OF DEFORMABILITY OF VERTICALLY REINFORCED WATER-SATURATED ARGILLIR SOIL BODIES

ABSTRACT

In the article the features of deformation of reinforced water saturated weak soil body are considered. The proposed method allows defining strains in reinforcing element and in soil body, surrounding it. The series of lab tests for experimented observation of reinforced soil deformability were performed. Based on experiments, the analysis of influence of reinforcement on weak water-saturated soil deformability was performed.

Грунтовое основание, армированное вертикально расположенными в массиве, более прочными по отношению к структурной прочности P_{str} грунта армирующими элементами, представляет собой искусственно улучшенное основание, формируемое путем устройства в грунтовой среде относительно жестких элементов. Нагрузка на вертикально армированное грунтовое основание передается через конструктивную прослойку из песчаного грунта. Армирующий элемент, помещенный в грунт, видоизменяет поле деформации в грунте и частично разгружает грунтовый массив. Обеспечение совместной работы армирующих элементов и окружающего их массива грунта обеспечивается за счет расположения их расчетным оптимальным шагом и шероховатости боковой поверхности, повышающей трение-сцепление и позволяющей исключить "проскальзывание" армирующего элемента. Для отображения процесса консолидации слабого водонасыщенного глинистого грунта, армированного вертикальными элементами, необходимо применять модели, которые могут описывать затухающее и незатухающее деформирование, как армированной части массива, так и неармированной подстилающей толщи более слабого грунта.

При исследовании деформативности слабых водонасыщенных глинистых грунтов, армированных вертикальными элементами, процесс фильтрационной консолидации можно описать, основываясь на теории Терцаги-Герсеванова. Эта модель в общем виде учитывает дискретность грунта и позволяет рассматривать отдельно напряжения, возникающие в скелете грунта и поровой жидкости. Используя теорию Терцаги-Герсеванова, можно отследить развитие напряжений в массиве грунта и его осадку не только в пространстве, но и во времени, что наиболее важно для водонасыщенных глинистых грунтов, в которых осадка бывает максимальной и часто медленно затухающей. Как показывает опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, теория фильтрационной консолидации Терцаги-Герсеванова при своей достаточной простоте, обеспечиваемой начальными предпосылками, обеспечивает надежность прогнозируемых деформаций. Теория основана на решении следующего дифференциального уравнения одномерной задачи теории фильтрационной консолидации грунтовой массы:

$$c_u \frac{\partial^2 p_z}{\partial z^2} = \frac{\partial p_z}{\partial t}. \quad (1)$$



Как показывают исследования, изменения во времени напряженно-деформированного состояния скелета грунта (а также однокомпонентных и однофазных грунтов в целом) являются результатом реологических свойств скелета грунта.

Рассматривая ползучесть армированного грунтового элемента, явно видно, что этот процесс является следствием ползучести минерального скелета грунта. При этом армирующие элементы становятся связями, препятствующими свободной ползучести. Главным условием для этого является обеспечение совместного деформирования грунта и армирующих элементов. Опираясь на труды Крутова В.Н. [3], предполагаем совместное деформирование за счет устройства ребристой поверхности или уменьшающихся деформативных характеристик от центральной оси армоэлементов к их краям, соприкасающимся непосредственно с грунтом.

Степенная ползучесть в армогрунтовом элементе под внешней нагрузкой приводит к перераспределению усилий между скелетом грунта и армирующим элементом. При передаче внешнего давления на основание, сложенное вертикально армированными слабыми глинистыми грунтами, напряжения в вертикальном армирующем элементе и грунте одинаковы, но с течением времени усилия начинают перераспределяться. Этот процесс интенсивно протекает в течение нескольких месяцев, а затем в течение долгого времени постепенно затухает.

Принимая в рассмотрение образец армированного грунтового массива в виде призмы, предполагаем центральное осевое нагружение без возможности расширения грунта в стороны. Задача имеет односторонний вид. Из условия совместного деформирования армирующего элемента и грунта в центрально-сжатом армогрунтовом элементе деформации армирующего элемента и самого грунта одинаковы:

$$e_{a3} = e_{zp} = \frac{s_{zp}}{E'_{zp}} \quad (2)$$

Тогда сжимающие напряжения в армоэлементе будут равны:

$$s_{a3} = e_{a3} E_{a3} = \frac{s_{zp}}{E'_{zp}} E_{a3} = s_{zp} a \frac{1}{n}, \quad (3)$$

где $a = \frac{E_{a3}}{E_{zp}}$ – отношение модулей упругости

армирующего элемента и грунта;

n – коэффициент упругопластических деформаций грунта, определяемый как отношение упругой составляющей деформаций к суммарной деформации армогрунтового элемента:

$$n = \frac{e_e}{e_e + e_{pl}(t, s_{zp} / R_{zp})} \quad (4)$$

Исходя из уравнения равновесия внешней нагрузки и внутренних напряжений в нагружаемом элементе, напряжения в грунте будут равны:

$$s_{zp} = \frac{N}{A_{zp} \left(1 + m_1 \frac{a}{n} \right)}, \quad (5)$$

где $m_1 = \frac{A_{a3}}{A_{zp}}$ – отношение суммы площади

сечений армоэлементов к площади грунта.

Коэффициент упругопластических деформаций n зависит от времени t и от уровня напряжений s_{zp} / R_{zp} . Следовательно, с течением времени, в результате уменьшения коэффициента при постоянной внешней силе, напряжение в грунте уменьшается; при этом напряжение в армирующем элементе увеличивается. Напряжения в армирующем элементе будут равны:

$$s_{a3} = s_{zp} \frac{a}{u} = \frac{a \cdot N}{A_{zp} (u + m_1 \cdot a)} \quad (6)$$

С целью изучения деформативности армированных водонасыщенных глинистых грунтов были запланированы и проведены три серии экспериментов. Первая серия – образцы водонасыщенного грунта без армирования, вторая серия – с процентом армирования $m=1,31\%$ (4 армирующих элемента), третья серия – с процентом армирования $m=2,62\%$ (8 армирующих элементов). В каждой серии было по три образца. Испытания грунтов проводились в компрессионно-фильтрационных приборах одноосного сжатия КПП-1 (одеметра) конструкции «Гидропроект» в лабораторных условиях. При испытаниях применялись режущие кольца с увеличенной высотой до 150 мм (рис. 1).

Испытания проводились на легком суглинке ($W_p = 17\%$, $W_L = 28\%$), искусственно доведенном до текучей консистенции. Армирующими элементами выступали пластиковые элементы длиной 100 мм и диаметром 5 мм. На поверхности армоэлементов искусственно были созданы шероховатости для лучшего сцепления с окружающим грунтом, так как необходимо было достигнуть совместного деформирования армирующего элемента и окружающего грунта. Передача давления от штампа на армированный грунтовой массив производилась через слой крупнозернистого песка мощностью 20 мм.

Испытания проходили по консолидированно-

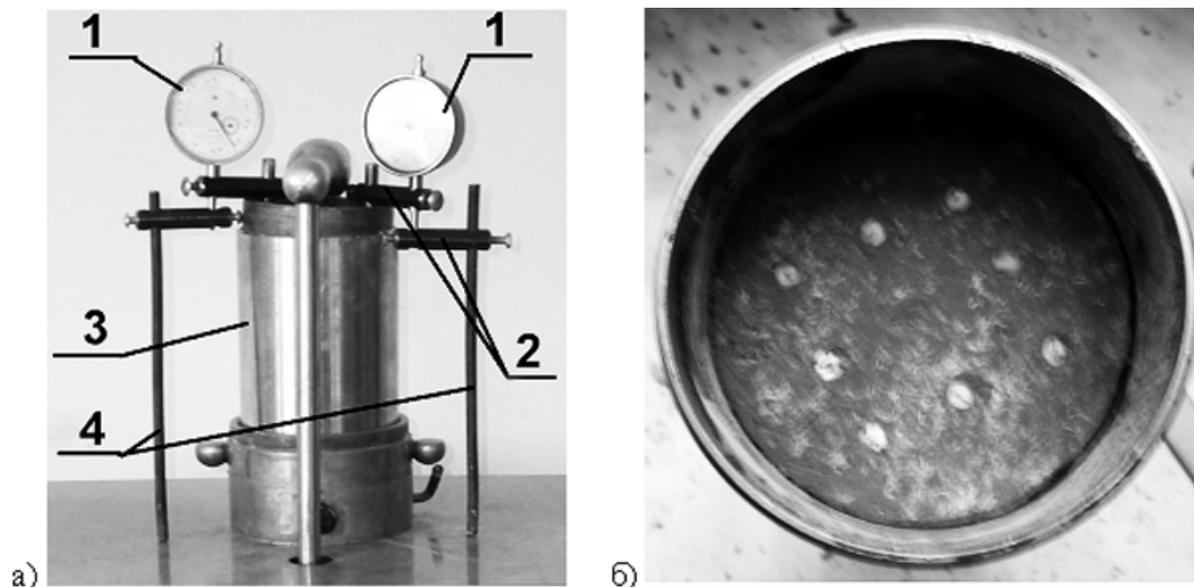


Рис.1. а – общий вид одометра: 1 – индикаторы часового типа, 2 – держатель, 3 – режущее кольцо, 4 – упорные штоки; б – армированный грунтовый массив

дренированной схеме в условиях, возможных для отжатия поровой воды – без повышения порового давления. Отжатие воды из пор в процессе уплотнения грунта происходило снизу-вверх. Согласно теории фильтрационной консолидации Терцаги-Герсеванова, в модели водонасыщенного грунта с одной стороны на уровне $z = 0$ (верхняя точка) имеет место свободный отток воды и, следовательно, $u_w(z = 0, t) = 0$, а на нижней границе слоя $z = h$ находится водоупор, то есть $\partial u_w / \partial z = 0$.

Нагрузка на образцы до заданного значения прикладывалась ступенями по достижению условной стабилизации деформаций от предыдущей ступени нагружения. Максимальное давление на образцы армированного грунта составляло 300 кПа. Продолжительность экспериментов при указанном давлении составляла 30 сут.

Результаты экспериментов в виде графиков зависимости $S = f(t)$ представлены на рис. 2.

По результатам испытаний можно увидеть, что деформации образцов интенсивно развиваются в течение первых 3-4 суток после нагружения. Далее интенсивность роста деформаций уменьшается. Однако, хотя и с наименьшей скоростью, рост деформаций наблюдается даже после 30 суток с момента нагружения. Приращения деформаций на момент окончания испытаний в зависимости от процента армирования составляли 0,025-0,06 мм/день.

За все время испытаний суммарные деформации для образцов с различным процентом армирования составляли: для образцов без армирования – $23,84 \div 26,04$ мм; для образцов с процентом

армирования $m = 1,31\%$ – $17,35 \div 18,55$ мм; для образцов с процентом армирования $m = 2,62\%$ – $13,15 \div 14,75$ мм. При армировании грунта четырьмя армоэлементами достигается уменьшение деформаций до 28,7 %, при армировании восемью армоэлементами – до 43,3 %.

В первые часы испытаний деформации армированных и неармированных образцов были примерно одинаковыми (до 4-6 мм). Далее по мере обжатия массивом грунта армоэлементы постепенно включаются в работу и интенсивность развития деформаций армированных образцов уменьшается. Как видно из графиков, у армированных образцов скорость развития деформаций резко упала уже на 15 сутки испытаний и деформации практически стабилизировались. А деформации неармированных образцов растут с большой интенсивностью вплоть до окончания испытаний.

Выводы:

1. Общие деформации армированного ($m = 2,62\%$) водонасыщенного легкого суглинка за время испытаний до 30 суток при давлении 300 кПа по сравнению с неармированными образцами уменьшаются до 43,3 %.

2. Общие деформации армированного ($m = 1,31\%$) водонасыщенного легкого суглинка за время испытаний до 30 суток при давлении 300 кПа по сравнению с неармированными образцами уменьшаются до 28,7 %.

3. Интенсивность роста деформаций в первые часы испытаний для образцов грунта с армированием и без армирования практически одинакова. Далее происходит постепенное включение армирующего

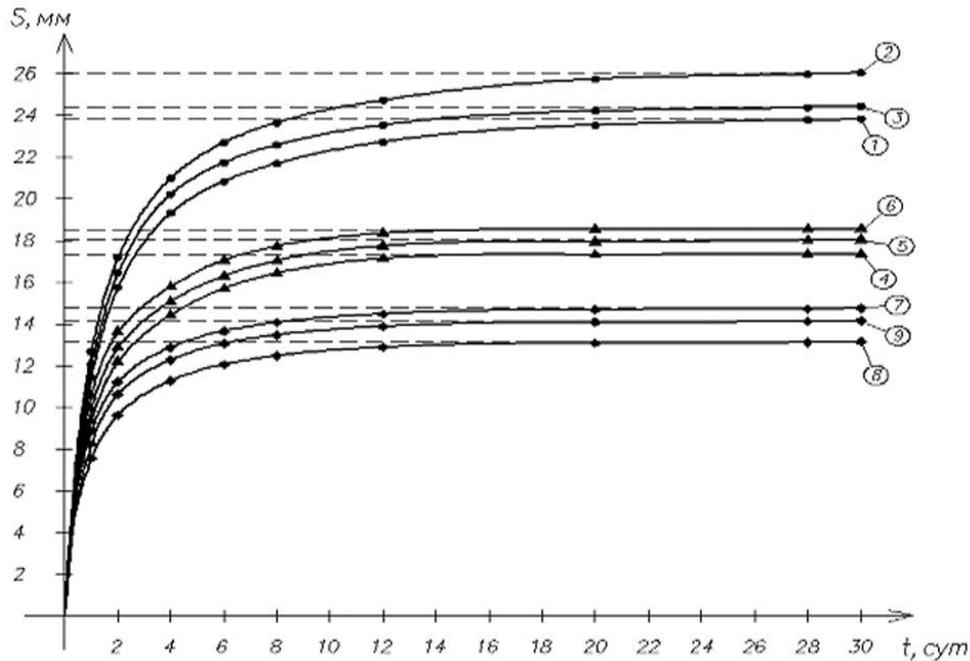


Рис. 2. Зависимость $S=f(t)$ при различном проценте армирования: 1, 2, 3 – грунт без армирования; 4, 5, 6 – грунт армирован четырьмя армоэлементами ($m=1,31\%$); 7, 8, 9 – грунт армирован восемью армоэлементами ($m=2,62\%$)

элемента в работу: напряжения в окружающем грунте уменьшаются, в армирующем элементе увеличиваются. Условная стабилизация деформаций армированных массивов происходит на 15 суток, для неармированных образцов время условной стабилизации – более 30 суток.

Литература

1. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформативности. – М., 2005. – 56 с.
2. Коновалов П.А., Зехниев Ф.Ф., Безволев С.Г. Расчет эффективности укрепления слабых оснований нагружением, дренированием и армированием. // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2003, №1. – С. 2-8.
3. Крутов В.И., Попсуенко И.К. Расчет армированных массивов. Труды института. – М.: Стройиздат, 1980. – 254 с.
4. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г. О методике определения параметров ползучести. // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1966, №3. – С. 6-11.
5. Абелев М.Ю., Цытович Н.А. Вопросы применения теории фильтрационной консолидации для сильносжимаемых водонасыщенных глинистых грунтов. // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1964, №3. – С. 4-7.
6. Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов / Под ред. проф. Н.А. Цытовича. – М., 1967. – 127 с.