



УДК 624.131.522:691.4

И.Т. Мирсяпов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии

И.В. Королева – аспирант, старший преподаватель.

Тел.: (843) 510-47-89, e-mail: prepod-irina@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности глинистых грунтов в условиях трехосного осесимметричного сжатия ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$) при длительном статическом нагружении. Получены новые данные о развитии линейных и объемных деформаций, соответствующих модулей деформаций глинистых грунтов при увеличении напряжений и времени действия статического нагружения. Выявлены характер и механизм разрушения опытных образцов грунтов, закономерности изменения плотности грунта в характерных зонах опытных образцов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: длительная прочность, глинистый грунт, трехосное сжатие.

I.T. Mirsayapov – doctor of the technical sciences, professor, head of Bases, Foundations, Dynamics of Building and Engineering Geology department

I.V. Koroleva – post-graduate student, senior lecturer

Tel.: (843) 510-47-89, e-mail: prepod-irina@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

STUDY OF STRONG AND DEFORMABILITY CLAY SOIL FOR LONG TRIAXIAL COMPRESSION

ABSTRACT

The article shows the results of experimented studies of strength and deformability of clayey soil, while applied long triaxial compression ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$). New data on development of linear and volumetric deformations is obtained. Also development of linear and volumetric deformations modules for clayey soil, while increasing tension is shown. The character and mechanism of experimented models destruction, and regularities of soil density variation in basis zones are revealed.

KEYWORDS: strong, clay soil, triaxial compression.

Глинистые грунты обладают выраженными реологическими свойствами, которые проявляются в виде ползучести, релаксации напряжений и снижения прочности при длительном действии нагрузок. Исследованию реологических свойств грунтов посвящено сравнительно большое количество работ, однако вопросы изменения прочности и деформативности глинистых грунтов в результате длительного воздействия на них статических нагрузок остаются малоизученными [1...4].

По классической теории упругости напряженно-деформированное состояние тела определяется величиной нагрузки и способом ее приложения; если эта нагрузка не меняется, то остаются неизменными и возникшие в теле напряжения и деформации. В реальных телах, особенно в грунтах, напряженно-деформированное состояние меняется со временем и

зависит от истории предшествующего нагружения. Соответственно, соотношение между напряжением и деформацией не является однозначным, а изменяется, даже если одна из этих величин – напряжение или деформация – остается постоянной, другая будет изменяться во времени.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость установления закономерностей изменения прочности и деформативности грунтов. С этой целью были проведены испытания глинистых грунтов в условиях сложного напряженного состояния, что более всего отвечает его работе в природных условиях и дает более надежные результаты при определении его механических характеристик.

Для проведения серии экспериментов использован прибор, разработанный авторами, в котором давление на грунт передается при помощи механических

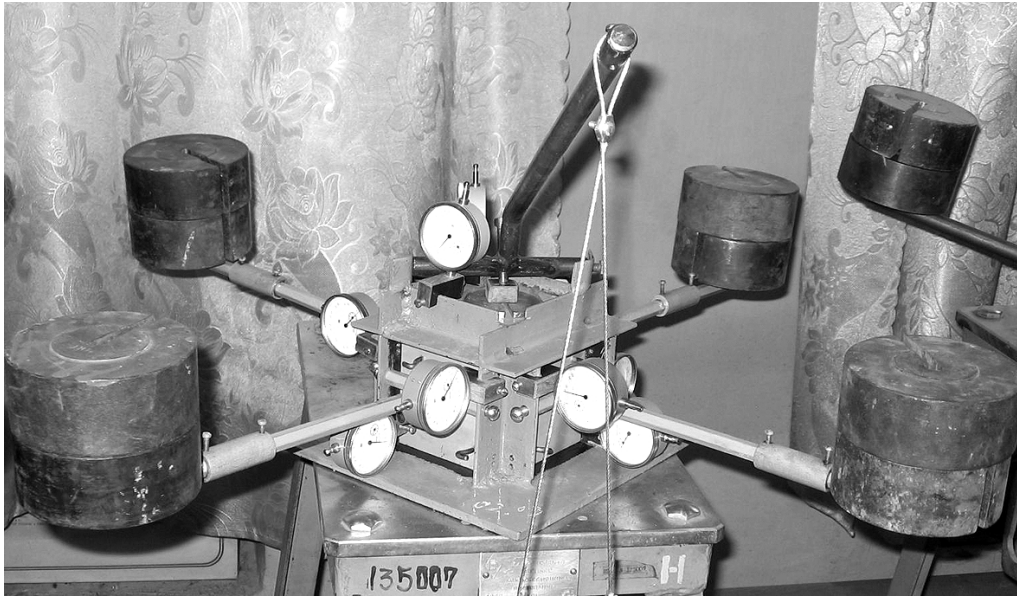


Рис. 1. Общий вид прибора трехосного сжатия

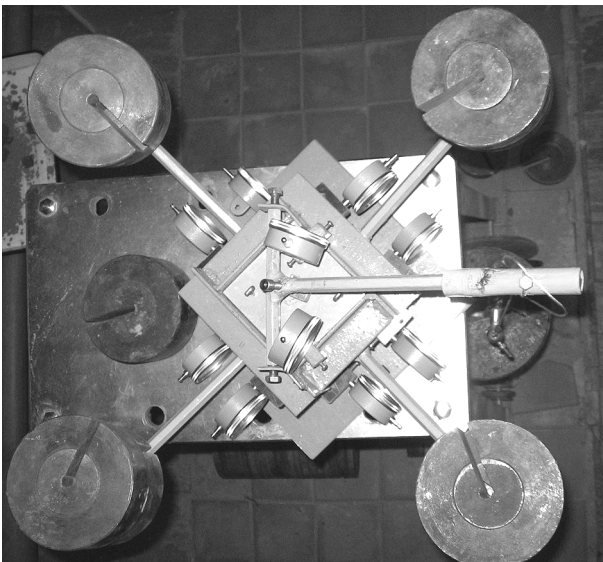
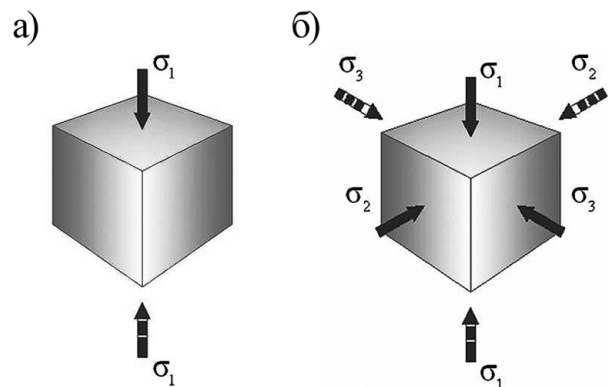


Рис. 2. Прибор трехосного сжатия (вид сверху)

Рис. 3. Схемы нагружения глинистого грунта:
а – одноосное сжатие, б – трехосное сжатие

рычагов. Все стенки камеры прибора являются жесткими и подвижными. Нагрузка передается через рычаг, что обеспечивает поддержание постоянства давления. Испытания проводятся при различных значениях среднего нормального напряжения σ_m . При этом вертикальные σ_1 и боковые $\sigma_2 = \sigma_3$ напряжения прикладывались к образцу независимо.

Внешний вид прибора трехосного сжатия приведен на рисунках 1 и 2.

Для испытаний применялись искусственно приготовленные образцы глинистого грунта нарушенной структуры, имеющие форму куба с размерами 100 x 100 x 100 мм, с заданными

характеристиками: плотность $\rho = 1,95 \text{ г/см}^3$; плотность скелета $\rho_s = 2,73 \text{ г/см}^3$; влажность $W = 0,235$; влажность на границе текучести $W_L = 0,401$; влажность на границе раскатывания $W_p = 0,228$; число пластичности $I_p = 0,173$.

Схемы нагружения приведены на рисунке 3.

Для установления предела прочности грунта при одноосном сжатии к образцу ступенями прикладывалась вертикальная нагрузка (боковые стенки отсутствовали). Получены результаты: максимальное напряжение, при котором произошло разрушение, $\sigma_{1\text{разр}}^* = 225 \text{ кПа}$, предельные вертикальные деформации образца при этом составили $\epsilon_{\text{ult}}^* = 7,30 \%$.

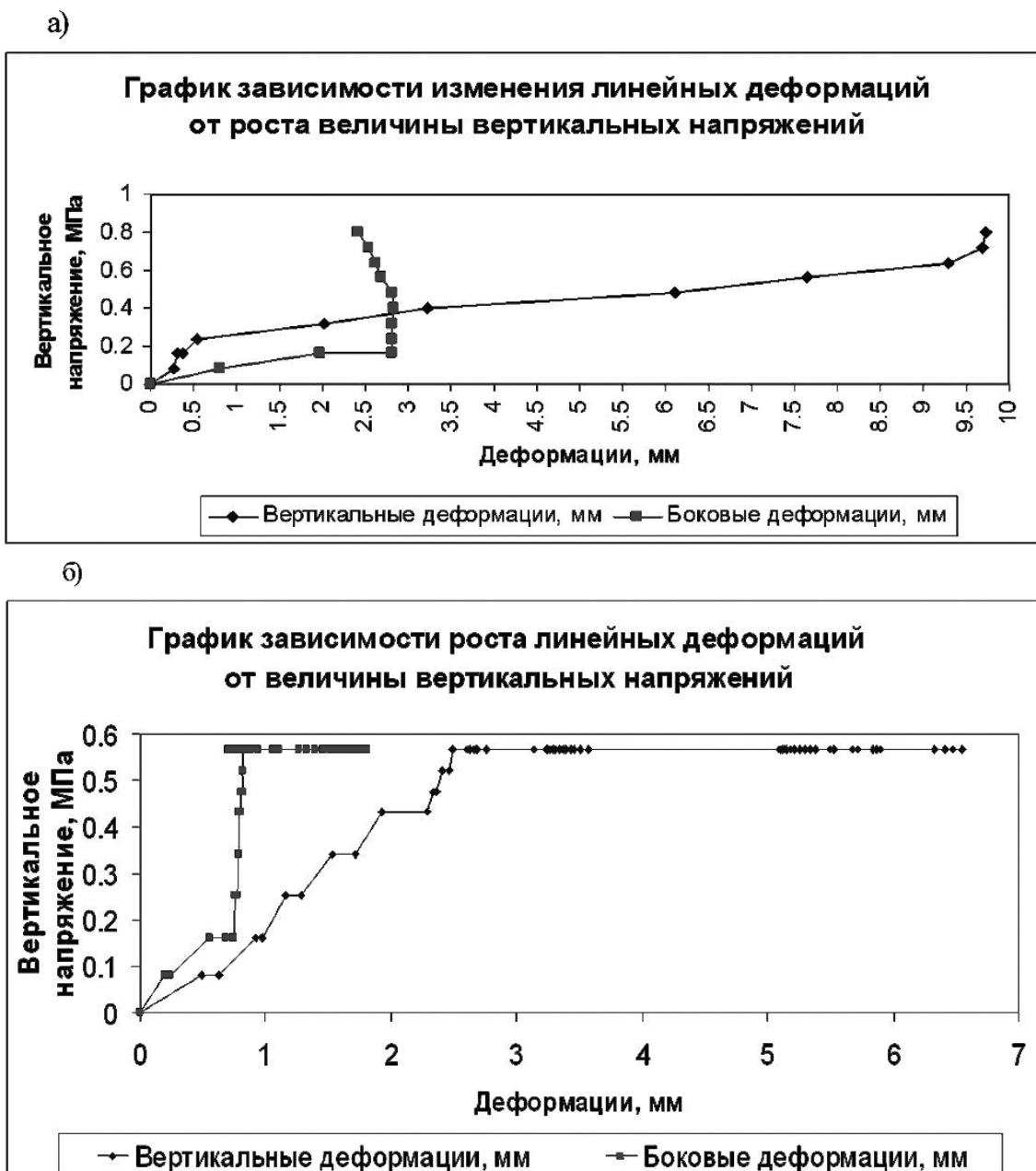


Рис. 4. График зависимости изменения линейных деформаций от роста величины вертикальных напряжений: а – при кратковременных трехосных испытаниях; б – то же при длительных испытаниях

Была проведена серия испытаний образцов грунта при заданном значении всестороннего давления для установления предела прочности при кратковременных трехосных нагружениях $\sigma_{1разр}$.

Замер перемещений осуществлялся в направлении действия главных напряжений при помощи индикаторов часового типа. Величины главных деформаций определялись расчетом.

Испытания проводились по следующей методике. На начальном этапе образец грунта подвергался всестороннему обжатию $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 160$ кПа. После стабилизации осевых деформаций при постоянных значениях боковых напряжений $\sigma_2 = \sigma_3 = 160$ кПа к

образцу равными по величине ступенями прикладывалась вертикальная нагрузка. Каждая ступень нагружения выдерживалась до стабилизации деформаций, но не более 10 минут, затем прикладывался следующий уровень нагрузки до достижения предела прочности.

Длительные испытания проводились по вышеизложенной методике, однако максимальное значение вертикальных напряжений принималось равным $\sigma_1 = (0,6...0,9) \sigma_{1разр}$. Деформации образца фиксировались через определенные интервалы времени до момента разрушения.

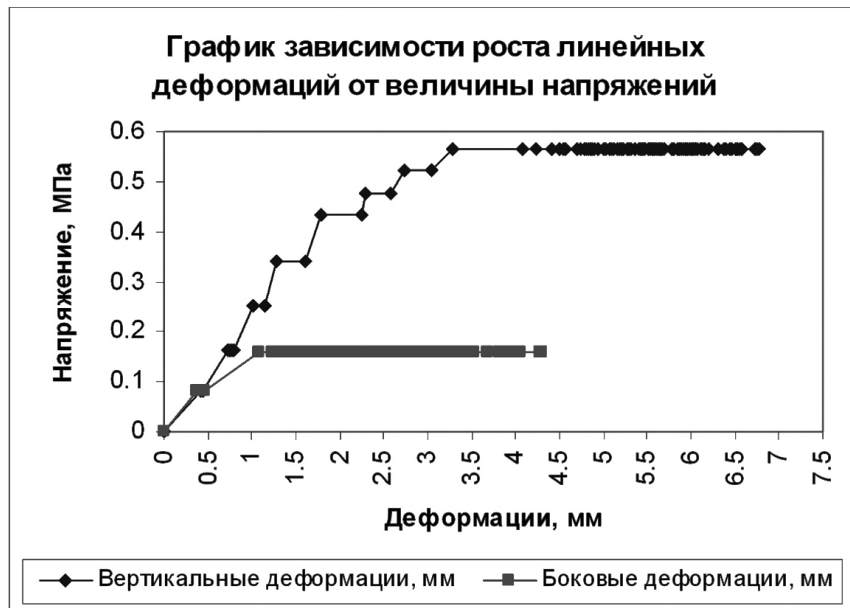


Рис. 5. График развития линейных деформаций при длительных трехосных испытаниях



Рис. 6. График зависимости изменения линейных деформаций при испытаниях

Графики, построенные по результатам трехосных испытаний, приведены на рисунке 4.

Анализируя процесс деформирования грунта при одноосном сжатии можно отметить, что на первых ступенях нагружения деформации растут пропорционально прикладываемой нагрузке, при дальнейшем нагружении ($\sigma_1 > 0,5 \sigma_{1разр}$) скорость развития деформаций образца увеличивается, а при $\sigma_1 = 0,9 \sigma_{1разр}$ наблюдается значительный прирост деформаций, который составляет более 50 % от величины максимальных деформаций при разрушении образца.

Из графиков трехосных кратковременных испытаний видно, что на этапе всестороннего обжатия боковые деформации растут интенсивнее, максимальная величина боковых деформаций достигается в момент, когда вертикальные деформации составляют 25-30 % от величины предельных деформаций при разрушении. Скорость роста вертикальных деформаций начинает увеличиваться при $\sigma_1 > 0,3 \sigma_{1разр}$.

При действии длительных статических нагрузок происходит увеличение деформаций образца грунта. Деформации с различной интенсивностью развивались

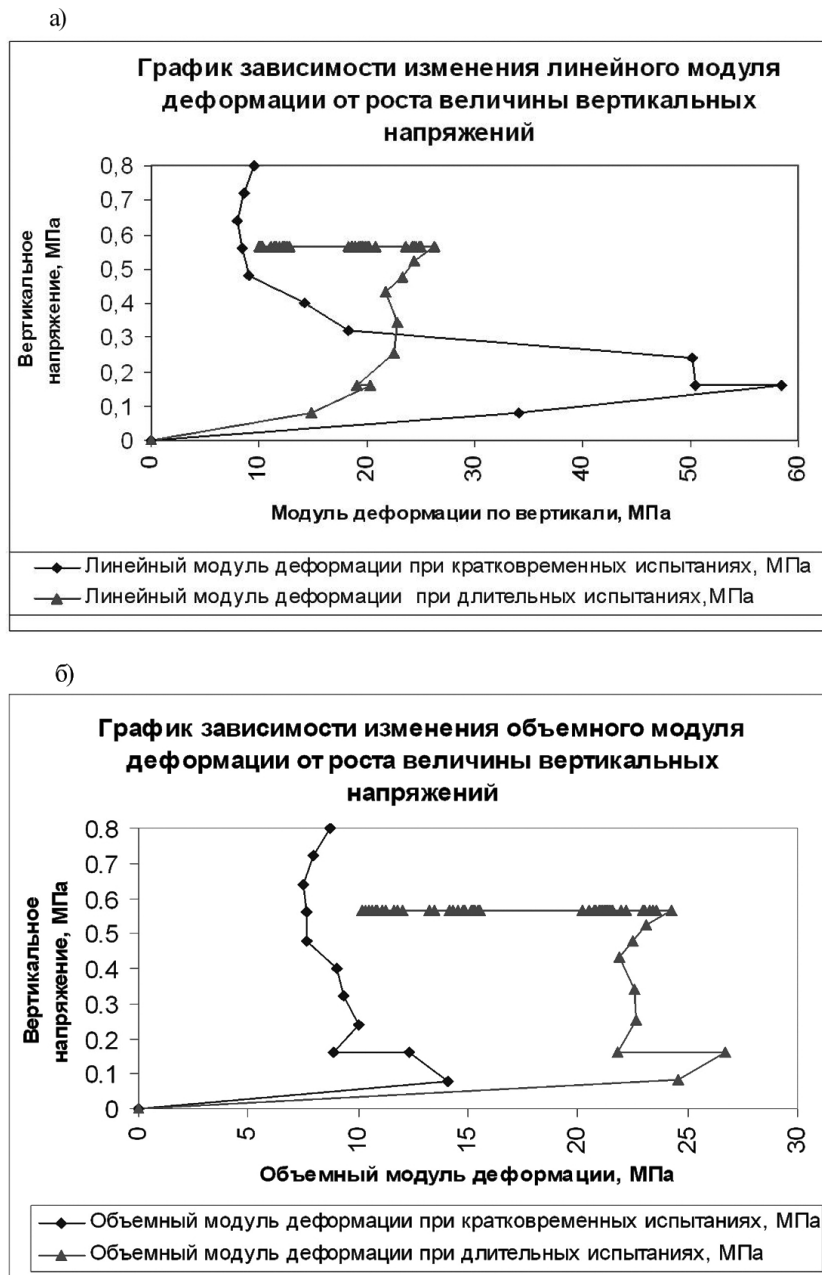


Рис. 7. Графики зависимости изменения модуля деформации от величины вертикальных напряжений

на всем протяжении испытаний. Необходимо отметить, что наиболее интенсивное развитие боковых деформаций происходило на первых этапах нагружения. Значительный прирост вертикальных деформаций произошел, когда $\epsilon_1 = 0,5 \epsilon_{1\text{ult}}$.

Степень увеличения деформаций зависит от скорости приложения и от уровня нагрузки. При высоких уровнях вертикальной нагрузки длительность испытаний уменьшается. При низких и средних значениях вертикальной нагрузки скорость деформирования образца уменьшается, а время до разрушения увеличивается. Так, для образцов, испытанных при $\sigma_1 = 0,8 \sigma_{1\text{разр}}$, испытание продлилось

28 суток, а при $\sigma_1 = 0,6 \sigma_{1\text{разр}}$ длительность эксперимента составляет более 70 суток.

Характер изменения деформаций представлен на рисунке 5. На графике наглядно показано нарастание деформаций при длительных нагружениях при постоянных значениях нагрузки.

На рисунке 6 приведен сопоставительный график данных прочности и деформативности, полученных по результатам одноосных и трехосных кратковременных испытаний (образец был разрушен за 3 часа), а также длительных трехосных испытаний (продолжительность эксперимента составила 28 суток).

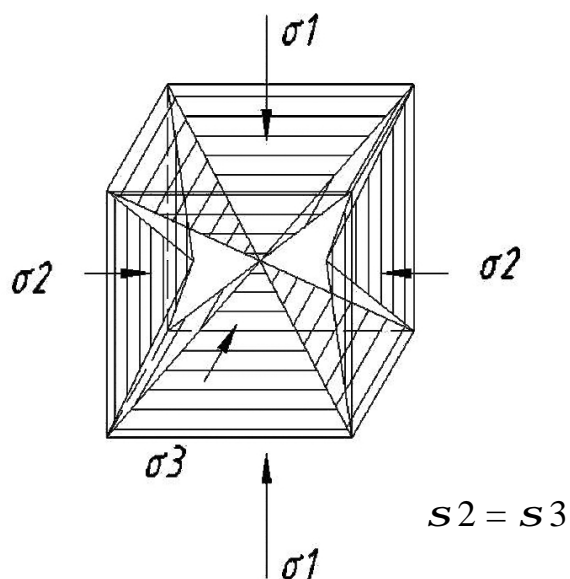


Рис. 8. Характер напряженно-деформированного состояния

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о том, что при длительных нагрузках, как и при кратковременных испытаниях, разрушение образцов происходит при достижении грунтом предельных значений деформаций.

Изменения модулей деформации при различных режимах испытаний приведены на рисунке 7. Наблюдается сложная зависимость между модулями деформации образца и значениями вертикальных напряжений.

В процессе испытаний установлен механизм разрушения опытных образцов, который заключается в следующем: при поэтапном увеличении нагрузки образуются уплотненные зоны в виде пирамид: сверху, в нижней части образца и у боковых граней. Размеры последних значительно меньше по сравнению с вертикальными (рис. 8). Верхняя и нижняя пирамиды в ходе дальнейших нагрузений объединяются с образованием фигуры из двух усеченных пирамид (рис. 9).

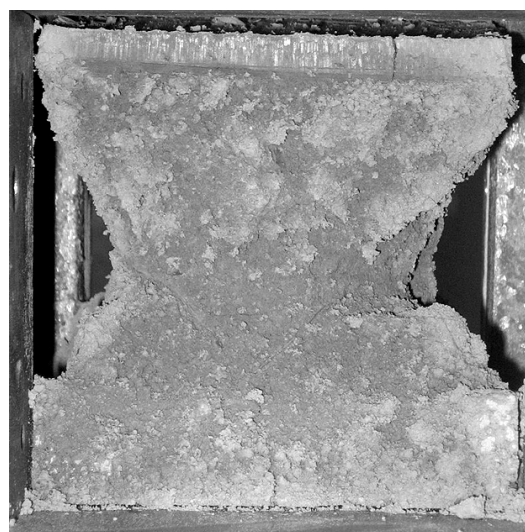


Рис. 9. Внешний вид образовавшейся уплотненной зоны после разрушения образца

Плотность грунта в верхней пирамиде достигла величины $2,161 \text{ г/см}^3$, в зоне пересечения пирамид – $2,121 \text{ г/см}^3$, в нижней пирамиде – $2,165 \text{ г/см}^3$.

Литература

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высш. школа, 1978. – 447 с., ил.
2. Месчан С.Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения (с учетом времени): Учеб. пособие для строительных вузов. – М.: Недра, 1974. – 206 с., ил.
3. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. – М.: Недра, 1985. – 341 с., ил.
4. Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. – М.: Стройиздат, 1990. – 200 с., ил.