

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Г. И. Тер-Степанян

О влиянии формы и расположения частиц на
процесс сдвига в грунтах

Автором в 1933—1934 г. г. были проведены экспериментальные исследования внутреннего трения грунтов. Они коснулись одного узкого и теоретически довольно интересного вопроса о влиянии формы и расположения частиц грунта на характер зависимости между сдвигающими напряжениями и соответствующими деформациями материала. Большая часть опытов была проведена над чистыми, измельченными в порошок минералами—слюда и кварцем, физико-механические свойства которых более или менее ясно выражены и хорошо известны. Лишь небольшая часть опытов велась над естественными грунтами, картина сдвига в которых была осложнена содержанием в них обоих типов частиц—жестких, округлых и гибких, чешуйчатых. Эта картина проявилась только после того, как предварительно была порознь выяснена роль каждого из этих двух компонентов грунта.

Результаты этого изучения были использованы автором в его кандидатской диссертации*. За недостатком места здесь опускается сводка, содержащая теоретические соображения, принятые автором в основу своей рабочей гипотезы.

Предметом исследования автора явилось изучение влияния формы и расположения частиц на протекание процесса сдвига. При этом целью исследования являлось не столько анализ конечного результата опыта, т. е. коэффициента внутреннего трения, сколько изучение самого процесса трения, т. е. характера зависимости между коэффициентом сдвига и соответствующими деформациями. Эти задачи определили требования как к принципиальной схеме прибора, так и к степени точности измерительных приборов. Для выбора принципиальной схемы прибора автором было проведено сравнительное изучение предложенных и описанных в литературе приборов для определения угла внутреннего трения грунтов. Данные этого исследования здесь не приводятся из-за недостатка места; они сведены в отдельную работу, представляющую собой описание и кри-

* Диссертация на тему «О внутреннем трении грунтов» защищена 27 мая 1939 г. в Ленинградском Институте инженеров коммунального строительства (быв. Институт гражданских инженеров).

тическую оценку свыше сотни приборов и методов испытания [3]. В результате этого изучения автор пришел к выводу, что лучшей принципиальной схемой, отвечающей целям исследования, является схема однострезного прибора.

1. Описание прибора

Для исследований применялся специальный прибор, представляющий собой измененную конструкцию одного из первых приборов этого типа, усовершенствованную автором. Рис. 1 и 2 дают представление об устройстве прибора. Несмотря на свою простоту, он отличается большой точностью и оказался вполне пригодным для целей экспериментирования.

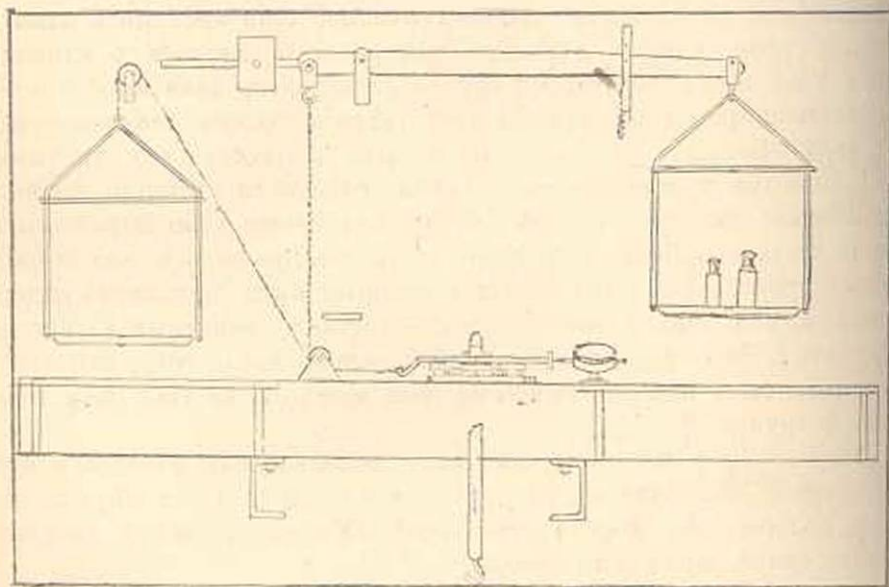


Рис. 1. Прибор для исследования внутреннего трения грунтов конструкции автора. Рычаг и правая платформа применяются при больших нагрузках, блок и левая платформа—при малых.

Средняя часть прибора состоит из цинковой ванны, на дне которой уложена бронзовая плитка, покрытая мелкой латунной сеткой. Под сеткой находится несколько слоев фильтровальной бумаги. Поверх плитки собирается формочка, состоящая из двух половинок и рамки.

Испытуемый грунт, при влажности несколько выше нижнего предела текучести, помещается в формочку и нагружается призмой с площадью 4×2 см; толщина слоя грунта—2—3 мм. Предварительно формочка обкладывается изнутри фильтровальной бумагой.

Призма состоит из двух частей; нижняя—обложена фильтровальной бумагой и заключена в латунную проволочную ванночку, верх-

ная—служит опорой для кольца с подвешенной вертикальной нагрузкой. Призма снабжена двумя стержнями, один из которых сообщает ей горизонтальное усилие, а из второй нажимает ножка индикатора, измеряющего горизонтальные деформации (цена деления 0,01 мм). На глаз отсчеты брались с точностью до 0,001 мм. Второй такой же индикатор измеряет вертикальные перемещения (осадки).

Небольшие горизонтальные усилия передаются призме через систему двух блоков. Для больших же нагрузок служит рычаг с отношением плеч 1:8; при этом отношении плеч гиря весом в 1 кг вызывает сдвигающее напряжение в 1 кг на кв. см.

Особенностью применяемого прибора является полное устранение поверхностного натяжения воды, почти полное устранение вредных сил трения в самом приборе и равномерное распределение нормальных и касательных усилий по поверхности среза.

Наиболее существенные отличия этого прибора от прибора Терзаги заключаются в следующем: 1. грунт, помещаемый в формочку, не может вытиснуться из-под нагруженной призмы, благодаря чему устраняется перекося и фиксируется толщина слоя грунта; 2. горизонтальные усилия передаются призме в плоскости сетки, благодаря чему все усилия равномерно распределяются по сечению; 3. измерение деформации производится с большой степенью точности (до 1 микрона) и 4. специально разработанная система гирь с электрическим указателем контакта позволяет точно фиксировать время (до 1 секунды).

2. Методика испытания

Описанные ниже опыты были проведены, главным образом, над слюдяным и кварцевым порошками. Эти материалы были выбраны потому, что они в наиболее чистом виде выражают свойства различных типов частиц грунтов. Как известно, большинство грунтов состоит, в основном, из частиц двух родов—округлых и чешуйчатых.

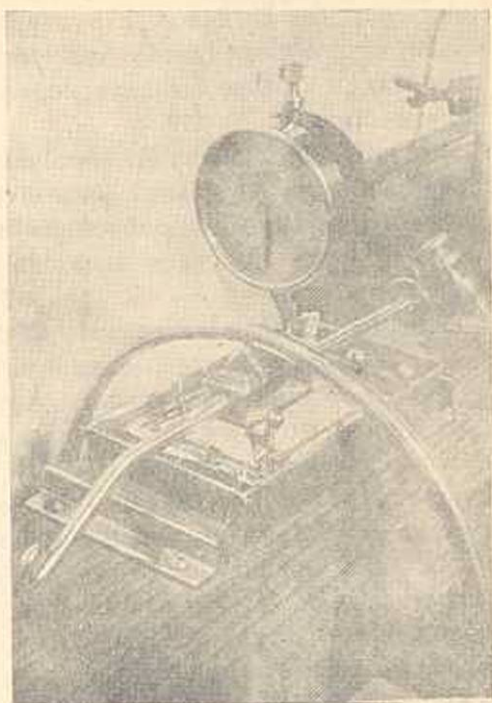


Рис. 2. Средняя часть прибора во время процесса уплотнения. Грунт еще находится в формочке: индикатор измеряет вертикальные деформации.

К первому типу относятся зерна кварца, полевого шпата и др. минералов; ко второму же типу относятся частицы минералов, обладающих слоистой сетчатой структурой, как слюда [4]. Автор рассчитывал, что экспериментированием над каждым видом материала порознь удастся резче выявить индивидуальные особенности каждого типа частиц.

Испытуемый слюдяной порошок был получен измельчением в фарфоровой ступке слюды флюопита из окрестностей Иркутска, кварцевый порошок — раздроблением чистого кварцевого песка из Вольска. В обоих случаях порошок был пропущен через сито с отверстием в 1 мм.

Способу укладки материала, в частности слюдяного порошка, в связи с задачами исследования, было уделено особое внимание. Слюдяной порошок укладывался двумя способами: хаотически или ориентированно. Хаотической была названа укладка навалом, когда плоскости чешуйчатых частиц в беспорядке располагаются в пространстве. Естественно, что после приложения вертикальной нагрузки, как бы осторожно и плавно она не прилагалась, происходит известная ориентация чешуйчатых частиц в направлении, перпендикулярном действию давления, и поэтому идеально-хаотическое расположение частиц недостижимо; цель заключалась в создании практически достижимой хаотической укладки частиц.

Ориентированной была названа укладка, при которой плоскости чешуйчатых частиц располагались преимущественно параллельно друг другу, обычно горизонтально. Ориентация слюдяных частиц достигалась просеиванием порошка с высоты [1,2]. Аналогичная картина ориентации чешуйчатых частиц получается при испытании в воде. Во время осаждения в воде чешуйчатые частицы опускаются, сохраняя горизонтальными свои плоские стороны; при этом, естественно, происходит самоориентация частиц. Поэтому результаты испытания влажного слюдяного порошка по своему характеру очень близки к результатам испытания сухого ориентированного порошка.

Результируется, что изложенное выше об ориентированной укладке материала не относится к кварцевому порошку с округлыми зернами.

Во всех описанных ниже опытах вертикальная нагрузка равнялась 1 кг на кв/см. Материал выдерживался под этой нагрузкой около 16 часов, кроме случаев, особо оговоренных ниже. Горизонтальная нагрузка обычно давалась ступенями, посредством гирек весом по 100 или 200 гр. Нагрузка увеличивалась через равные промежутки времени, обычно с интервалами от 1 до 5 минут. Записывались деформации по показаниям индикатора через 5, 15 и 30 секунд, 1, 2 и 5 минут. Отмечался характер сдвига: плавное движение, резкий скачок, затухание, полный срыв. Испытание доводилось до полного сдвига; иногда при этом призма продвигалась на несколько миллиметров.

Результаты наблюдений изображались графически в виде кривых зависимостей между напряжением и перемещением и между временем и деформацией. На графиках зависимости между напряжением и деформацией по оси абсцисс отложены коэффициенты сдвига или $k = \frac{q}{p}$, т. е. отношение горизонтального усилия q к вертикальному давлению p , а по оси ординат — перемещения в микронах.

Всего было произведено свыше 100 опытов. Все они дали сходные результаты; из них, во избежание повторений, в настоящей работе публикуются не более 20. Ни один из неопубликованных опытов не опровергает наблюдений и выводов, описанных ниже, и не наблюдалось ни одного явления, которое бы противоречило изложенной теории.

3. Опыты над сухим, хаотически уложенным слюдяным порошком

Опыты над сухим, хаотически уложенным слюдяным порошком во всех случаях привели к следующим результатам (рис. 3). До того, как коэффициент сдвига достигает величины $k=0,175$, перемещения весьма малы и не превосходят 50—70 μ . Затем, после следующего приращения коэффициента сдвига, когда величина этого коэффициента достигает величины $k=0,200$, происходит резкое скачкообразное перемещение (около 100—150 μ). Последняя стадия кривой плавная. Если продолжить эту ветвь, то она проходит через начало координат. Таким образом, соотношение между коэффициентом сдвига k и перемещениями s для сухого, хаотически уложенного слюдяного порошка выражается двумя кривыми, одна из которых относится к начальной стадии испытания, а другая — к конечной. Приблизженно эти кривые могут быть выражены уравнением

$$s = a(e^{bk} - 1) \quad (1)$$

где a и b постоянные.

Известия 1, № 2—12.

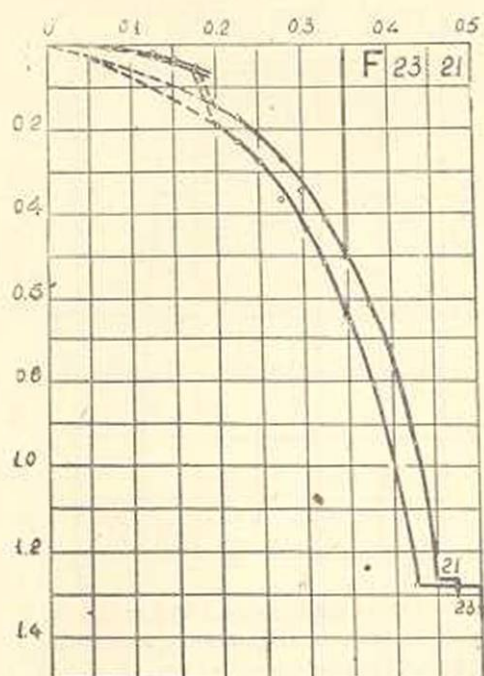


Рис. 3—Результаты опытов F21 и F23 над сухим, хаотически уложенным слюдяным порошком. Абсциссы—коэффициенты сдвига, ординаты—деформации в микронах. Скачок в интервале напряжений $k=0,175$ — $0,200$. Коэффициент трения $K_{\text{max}}=0,475$ — $0,500$

Переход от начальной кривой к конечной происходит скачкообразно, обычно в течение первых 3—7 секунд после приложения критической ступени коэффициента сдвига.

В тех случаях, когда перемещения в начальной стадии испытания меньшие чем обычно, скачок происходит немного раньше (в интервале $\kappa=0,150-0,175$). С другой стороны, когда перемещения большие, чем обычно, скачки происходят позже (при $\kappa=0,200-0,225$).

Природа этих скачков выявилась после того, как были проведены испытания ориентированного материала.

4. Опыты над ориентированным слюдяным порошком

Результаты одного из опытов (F58) над ориентированным слюдяным порошком показаны на рис. 4. Кривая зависимости между коэффициентом сдвига и деформацией в начальной стадии весьма пологая и перемещения измеряются всего несколькими микронами,

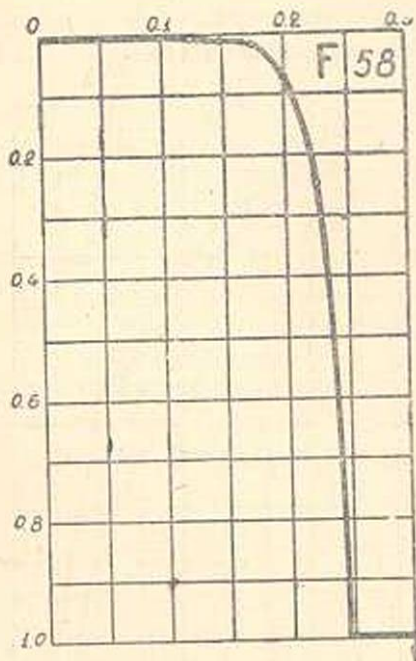


Рис. 4—Результаты опыта F58 над сухим, горизонтально-ориентированным слюдяным порошком. Обозначения см. рис. 3. Плавные деформации без скачков. Коэффициент трения $\kappa_{\max}=0,30$.

т. е. гораздо менее тех перемещений, которые наблюдаются при испытании неориентированного порошка.

В дальнейшей стадии опыта перемещения возрастают, и кривая постепенно переходит в крутую ветвь без всякого скачка. Аналогичная картина получается при испытании насыщенного водой порошка (рис. 5). Вследствие самоориентации частиц, кривые зависимости между коэффициентом сдвига и перемещениями для влажного слюдяного порошка напоминают кривые для сухого ориентированного материала. Весь процесс сдвига протекает весьма плавно.

Хотя вода в большинстве случаев действует как анти-смазка, уничтожая смазывающее действие загрязнений, однако, по отношению к слюдяным частицам она имеет смазывающее действие вследствие ориентации дипольных молекул в электрических полях трещин спайности [4]. Наши опыты подтвердили это явление: коэффициент внутреннего трения влажного слюдяного порошка в среднем был найден равным 0,35 вместо 0,45—0,50 для сухого порошка.

Анализируя вышеописанные опыты, автор пришел к следующим заключениям о природе сдвига в грунтах.

5. Теория избыточного коэффициента сдвига

В точках соприкосновения двух частиц грунта образуется твердый или полутвердый „мост сопротивления“, площадь которого определяется соотношением между давлением в точке контакта и временным сопротивлением материала на сжатие. Сопротивление сдвигу создается этими мостами сопротивления в результате физико-химического взаимодействия. В грунтах и мелкозернистых порошках каждый тип расположения частиц характеризуется вполне определенной системой точек контакта между частицами и, следовательно, определенной структурой. Чем больше число точек контакта, тем меньше давление в каждой точке контакта и тем выше сопротивление структуры.

В ориентированном слоистом порошке частицы касаются друг друга своими плоскими сторонами. Поэтому, в этом случае число точек контакта значительно больше, чем в случае неориентированного материала и сопротивление структуры должно быть выше. Действительно, деформации в этом случае значительно меньше (рис. рис. 3 и 4).

Большие осложнения в картину вносятся медленностью выравнивания сдвигающих напряжений. Деформации происходят с затухающей скоростью в течение нескольких часов.

Так как деформации не могут происходить без соответствующего усилия и, с другой стороны, эти деформации затухают со временем, очевидно, что сдвигающие напряжения со временем уменьшаются; однако, внешнее усилие в течение промежутка времени между двумя ступенями нагрузки остается постоянным. Отсюда мы заключаем, что во время деформации происходит преобразование напряжений или, иными словами, напряжения переходят из одной формы в другую.

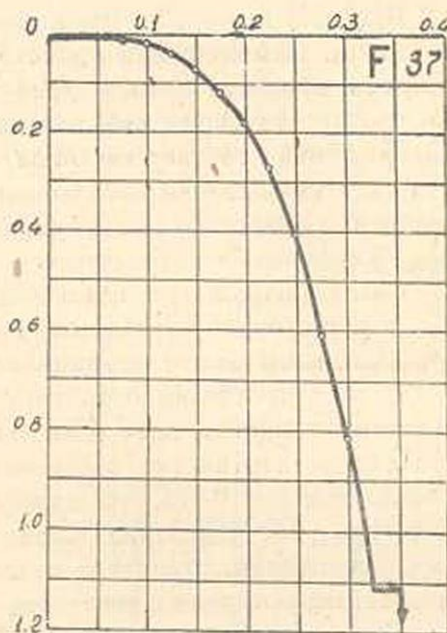


Рис. 5—Результаты опыта F37 над влажным слюдяным порошком. Обозначения—см. рис. 3. Благодаря самоориентации чешуйчатых частиц опыт протекает без скачков

Пусть k_t будет полный коэффициент сдвига, т. е. общее касательное усилие, деленное на общее нормальное давление, и k_a активный коэффициент сдвига. Активным коэффициентом сдвига k_a называется коэффициент сдвига, соответствующий перемещениям на приведенной кривой испытания, т. е. на кривой зависимости между коэффициентом сдвига и деформациями в случае бесконечно медленного протекания опыта,

Разность $k_e = k_t - k_a$ представляет собой избыточный коэффициент сдвига. Перемещения происходят под действием этого избытка. Во время процесса сдвига, требующего некоторое время, напряжения, соответствующие избыточному коэффициенту сдвига, переходят в напряжения, соответствующие активному коэффициенту сдвига, т. е. за счет уменьшения избыточного коэффициента сдвига происходит увеличение активного коэффициента сдвига. При этом равенство $k_t = k_a + k_e$ должно сохраняться.

Когда приращения сдвигающего усилия происходят чаще, чем может происходить описанный переход напряжений из одной формы в другую, избыточный коэффициент сдвига может накапливаться.

Если сопротивляемость структуры является недостаточной по сравнению с накопленным избыточным коэффициентом сдвига, как это случается в хаотически уложенном слюдяном порошке, приблизительно, при $k = 0,175$, то происходит скачкообразная перестройка структуры. Распределение частиц приравнивается к новым условиям напряжений, структура делается более устойчивой, т. е. частицы ориентируются под действием давления.

Структура ориентированного слюдяного порошка является наиболее устойчивой для этого материала и поэтому не возникает необходимости в какой-либо перестройке структуры. Вследствие этого процесс сдвига в ориентированном слюдяном порошке протекает плавно, без скачков.

6. Опыты над несовершеннo уплотнившимся слюдяным порошком

Несколько опытов было проведено по следующему методу. Слюдяной порошок был хаотически уложен, затем сообщена вертикальная нагрузка и немедленно начат опыт на сдвиг.

Опыты показали, что перемещения сравнительно велики, но кривые идут весьма плавно, без скачков (рис. 6). В свете теории, изложенной выше, в этом случае одновременно происходят два процесса: выравнивание нормальных и выравнивание касательных напряжений внутреннего трения.

Активная часть обоих напряжений создается лишь со временем, и поэтому активный коэффициент сдвига (отношение между активными касательными и нормальным напряжением) гораздо выше, чем в

соответствующей стадии обычного опыта (рис. 3). Поэтому и перемещения должны быть выше (рис. 6).

С другой стороны, по тем же причинам, избыточный коэффициент сдвига должен быть ниже, чем в обычном опыте, и поэтому скачки не должны происходить, что и подтверждается произведенными опытами.

7. Опыты над кварцевым порошком

Рис. 7 изображает результаты опытов над сухим кварцевым порошком. Процесс сопровождается последовательной серией скачков. Первый скачок происходит при коэффициенте сдвига, равном $k=0,250$, следующие через меньшие интервалы. Это является результатом консервативности структуры песка, вследствие чего разрядка избыточных напряжений сопровождается, главным образом, скачкообразным, а не плавным перемещением частиц.

Аналогичная картина была получена в результате серий опытов, проведенных над тонкозернистой пылевато-илистой супесью—типичным Ленинградским пловуном. Опыты показали довольно согласные результаты, подтверждающие вышесказанное.

Рис. 8 изображает результаты опыта над кварце-

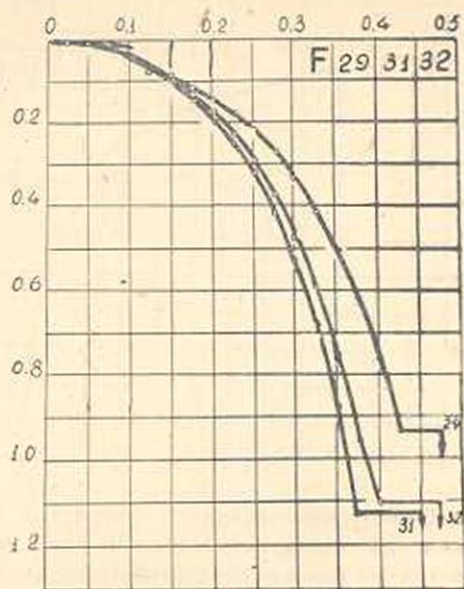


Рис. 6—Результаты опытов F 29, F 31 и F 32 над сухим хаотически уложенным сыпучим порошком, испытанным на сдвиг немедленно после приложения вертикальной нагрузки. Обозначения см. рис. 3. Благодаря небольшой величине избыточного коэффициента сдвига скачки не происходят. Коэффициент трения $K_{max}=0,450-0,475$

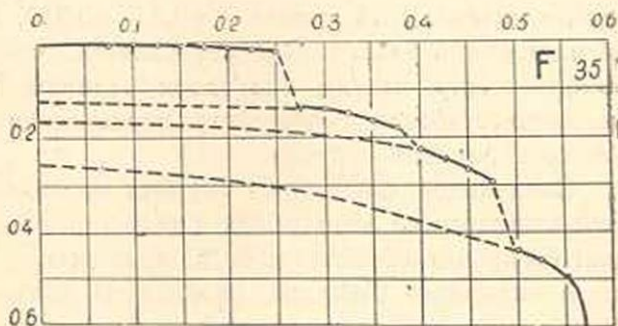


Рис. 7—Результаты опыта F 35 над сухим кварцевым порошком. Обозначения см. рис. 3. Плавная деформация до $k=0,250$. Далее участки плавных небольших деформаций, сменяемые участками резких скачкообразных смещений. Коэффициент трения $K_{max}=0,575$

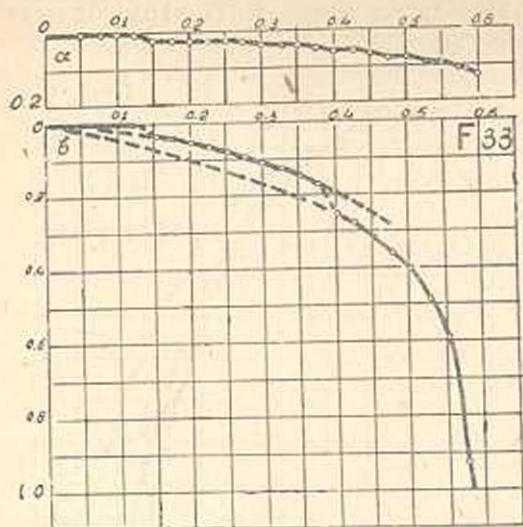


Рис. 8—Результаты опыта F 33 над сухим, кварцевым порошком, испытанным на сдвиг немедленно после приложения вертикальной нагрузки. Абсциссы—коэффициент сдвига, ординаты—вверху вертикальные и внизу горизонтальные деформации в микронах. Скачки происходят и в этом случае, но общий вид кривой более плавный, чем вид кривой опыта F 35 рис. 7.

стоянии он состоит из тонких песчаных и глинистых прослоев. Рис. 9 представляет собой результаты одного из опытов над перематой ленточной глиной. Характер кривых зависимости между коэффициентом сдвига и деформацией легко объяснить в свете вышеизложенного. Скачкообразная перестройка структуры происходит в интервале коэффициента сдвига $k=0,325-0,350$. Дальнейшая часть кривой идет очень плавно. Следует указать, что здесь не наблюдалась самоориентация частиц благодаря наличию песчаных частиц, которые препятствовали свободному перемещению чешуйчатых частиц в массе перематого грунта.

Следующий опыт (рис. 10) был проведен над серой, перематой глиной по тому же методу, как и некоторые вышеописанные, а именно сдвиг был начат немедленно после приложения вертикальной нагрузки. Как и следовало ожидать, результаты оказались промежуточными между испытанием слюдяного и кварцевого порошков. Кривая зависимости между коэффициентом сдвига и деформацией показала большие перемещения, чем при испытании глины, в которой напряжения трения от действия вертикальной нагрузки успели выравняться к началу сдвига. Произошел один, сравнительно небольшой скачок в интервале коэффициента сдвига $k=0,300-0,325$. Общий вид кривой довольно плавный.

вым порошком, причем сдвиг был начат немедленно после приложения вертикальной нагрузки. Несмотря на наличие скачков, которые также представлены здесь, кривая имеет в общем более плавное очертание. Как и раньше, деформации имеют большую величину, выше чем в случае, когда уплотнение было закончено до начала опыта на сдвиг (рис. 7).

8. Опыты над перематой глиной.

Следующая серия опытов была проведена над перематыми глинами. Испытуемый материал представлял собой типичную ленточную глину. В ненарушенном со-

Аналогичные результаты были получены при испытании более тяжелой коричневой перематой ленточной глины.

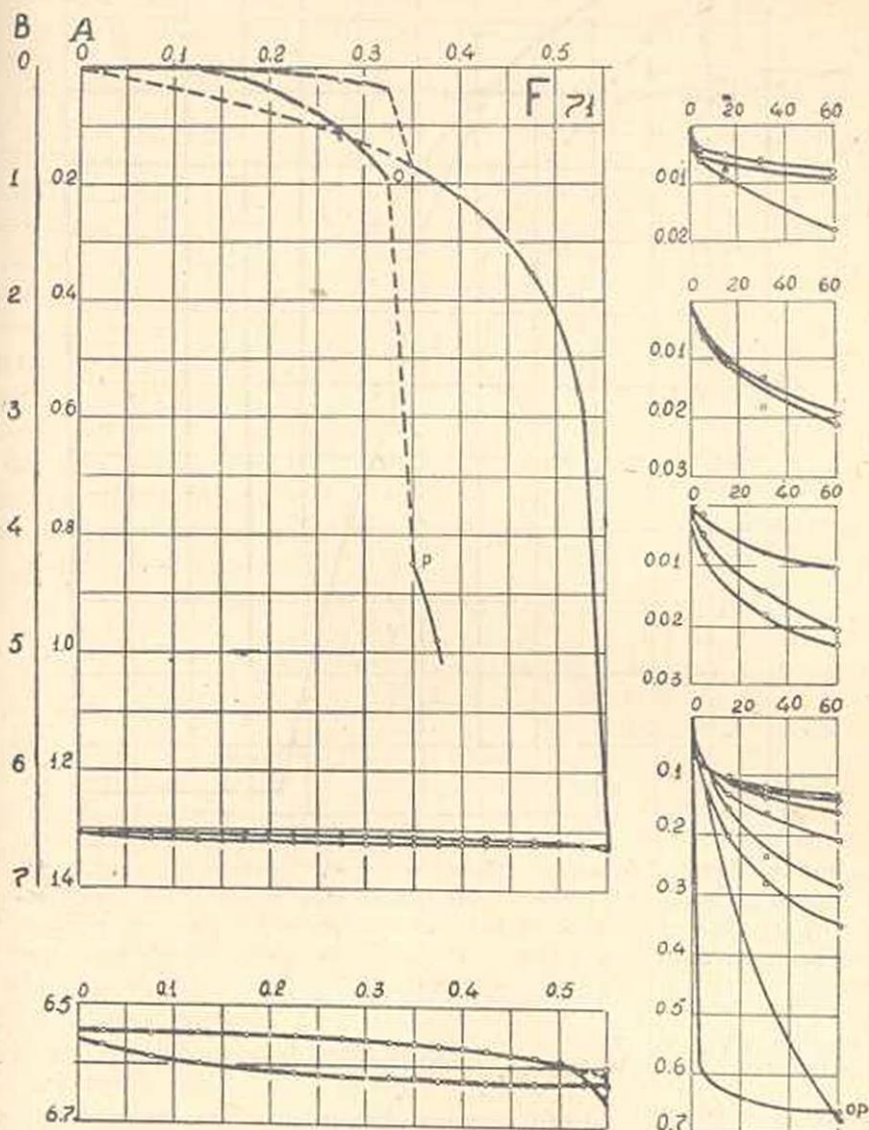


Рис. 9.—Результаты опыта F 71 над перематой ленточной глиной из района ст. Саперная.

1. (a) кривая зависимости между усилием и деформацией. Обозначения см. рис. 3. Две вертикальные шкалы: A для начальной стадии опыта и B—для всей кривой. Скачок op .

(b) Кривая усилие—деформация для петли гистерезиса, обозначения см. рис. 3. Пунктирная линия представляет собой перевернутую кривую разгрузки. (c) до (f). Кривые время—деформация для нескольких ступеней нагрузки. Абсциссы—время в секундах, ординаты—деформации в микронах.

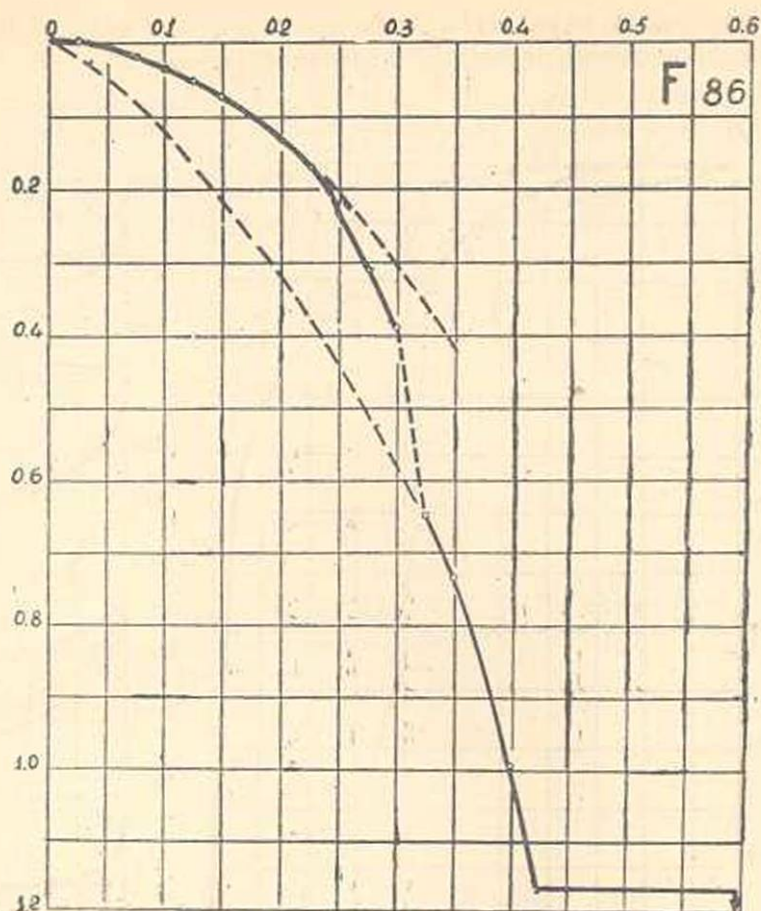


Рис. 10—Результаты опыта F 86 над перемятой ленточной глиной, испытанной на сдвиг немедленно после приложения вертикальной нагрузки. Обозначения см. рис. 3. Кривая более плавная и деформация сильнее, чем из кривой опыта F 71, рис. 9. Небольшой скачок. Коэффициент трения $K_{\text{тр}} = 0.60$

9. Опыты над ненарушенной глиной

Опыты над глиной в ненарушенном состоянии представляли большой интерес. Осуществление их, ввиду трудности задачи, потребовало особой тщательности. Из монолита грунта должна была быть вырезана пластинка площадью 4×2 см и толщиной 2 мм. Эта задача была выполнена с помощью алюминиевой рамки. Таким образом, удалось получать правильные образцы грунта с ненарушенной структурой, горизонтально ориентированные относительно отложения. Результаты опыта показаны на рис. 11. Бросается в глаза замечательная плавность кривой, напоминающая кривую испытания ориентированного слюдяного порошка. Ничем иным, кроме ориентации частиц при образовании отложения, это не может быть объяснено.

Этот опыт подтверждает вышесказанное о роли естественной ориентации частиц, происходящей при седиментации в бассейне.

10. Изучение характера перемещений

Во всех опытах велись наблюдения за перемещениями, в зависимости от времени. Кривые зависимости между временем и перемещениями для ряда ступеней коэффициента сдвига показаны на рис. 9 (с) до (f). Кривые на рис. 9 (с) до (f) представляют собой обычные ступени опыта кроме линии *ор* (рис. 9 f), изображающей стадию скачка (рис. 9а).

Все эти кривые (рис. 9 с до f), за исключением кривой *ор*, относящейся к скачку, могут быть выражены уравнением

$$s = m \ln t + n \quad (2)$$

где m и n постоянные.

Заметно, что характер кривой скачкообразной перестройки структуры (ступень от $\kappa=0,325$ до $\kappa=0,350$, участок *ор*)

резко отличается от характера для других кривых время—перемещение. Это подтверждает мысль о различной природе обоих процессов—скачкообразной перестройки структуры и плавного перемещения частиц.

Дальнейшая серия опытов была проведена с целью более близкого изучения характера кривых время—перемещение. Надлежало установить насколько резко протекает скачок и не является ли его возникновение связанным с приложением очередной ступени нагрузки. Описываемые ниже опыты были проведены так, что сдвигающее усилие увеличивалось весьма медленно. Для этого прибор был переконструирован и горизонтальная нагрузка получалась применением тонкой водяной струи. Отсчеты за перемещением велись через каждые 15 секунд. Опыты были произведены над тремя образцами: сухим, хаотически уложенным слюдяным порошком (опыт F99), кварцевым порошком (опыт F100) и перематой серой ленточной глиной (опыт F101). Результаты этих опытов представлены на рис. 12. Опыты показали, что скачки в сухом слюдяном порошке происходят плав-

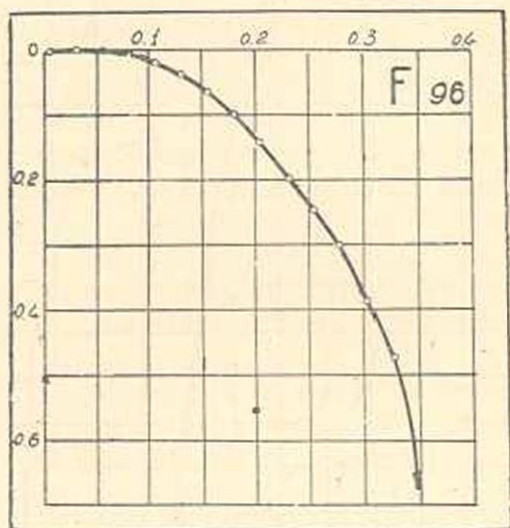


Рис. 11—Результаты опыта F 96 над ленточной глиной в ненарушенном состоянии. Обозначения см. рис. 3. Благодаря самоориентации частиц при седиментации скачки не происходят

но, замечаясь как временные ускорения перемещения и что их несколько, причем они начинаются сравнительно поздно, при $\kappa=0,260$, вместо $\kappa=0,175$ при испытании гирьками. Это объясняется тем, что

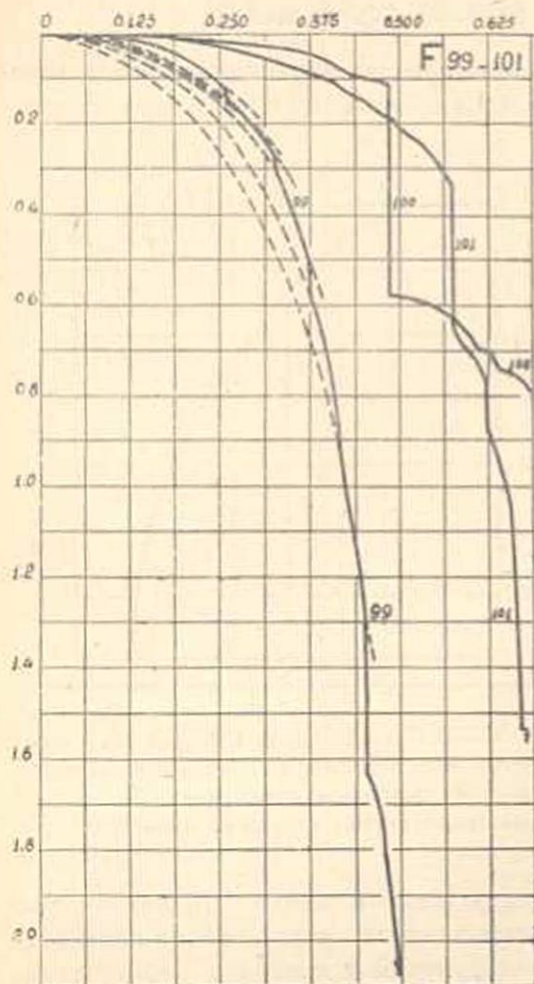


Рис. 12—Результаты опытов над сухим, хаотически уложенным слюдяным порошком (F 99), кварцевым порошком (F 100) и перематой ленточной глиной (F 101), при непрерывном повышении сдвигающих напряжений. Обозначения см. рис. 3

появляется резкий скачок, продолжительностью не более одной секунды, т. е. опять-таки позже, чем при испытании гирьками (ср. рис. 7, где $\kappa=0,250$).

Опыт с перематой глиной в начальной стадии сопровождался рядом небольших скачков того же типа, что и в кварцевом порошке, а затем резким скачком при $\kappa=0,570$.

здесь, благодаря постепенному увеличению сдвигающих усилий, нет моментов, когда внезапно увеличивается полный коэффициент сдвига; поэтому накопление избыточного коэффициента сдвига протекает также постепенно и он позже достигает критического порога. В случае, же, когда сдвиг производится помощью гирек, полный, а следовательно и избыточный коэффициент сдвига увеличивается отдельными порциями и лишь постепенно расходуется во время ступени нагрузки. Поэтому, накопленный здесь избыточный коэффициент сдвига может раньше достичь того порога, за которым наступает перестройка структуры.

В кварцевом порошке опыт в первой стадии сопровождался рядом мелких затяжных скачков, благодаря чему кривая имеет характерный гирляндобразный вид (рис. 12) В дальнейшем, при $\kappa=0,480$ наступ

Отсюда следует, что процесс перестройки структуры в системе, состоящей из гибких чешуйчатых частиц, должен в общем случае протекать плавно, тогда как в системе, состоящей из жестких округлых зерен он должен сопровождаться резкими смещениями. Из этого общего правила могут быть исключения, объясняемые характером залегания частиц и накопления избыточного коэффициента сдвига.

11. Изучение упругих явлений.

Изучение упругих явлений производилось путем постепенного устранения и повторного приложения сдвигающего напряжения. Рис. 9 иллюстрирует один из опытов этой серии. Постепенное устранение сдвигающего усилия было произведено после того, как полный коэффициент сдвига достиг величины $\kappa=0,55$ (рис. 9 внизу). Обе ветви петли гистерезиса совершенно симметричны. Пунктирная линия на рис. 9 внизу представляет собой перевернутую кривую нагрузки. Совпадение двух кривых удивительно хорошее (расхождение 1—2 μ).

Опыты F84 и F85 (рис. 13) над сухим слюдяным неориентированным порошком установили влияние упругих явлений на характер перестройки структуры. В этих опытах полный коэффициент сдвига был доведен до $\kappa=0,150$, затем сдвигающее усилие устранено и вновь сообщено (3 раза) и после этого коэффициент сдвига был доведен до $\kappa=0,300$, т. е. до величины, значительно превышающей критический полный коэффициент сдвига при обычных опытах ($\kappa=0,175-0,200$).

Однако, в этом интервале не произошло настоящего скачка, лишь в опыте F85 в интервале $\kappa=0,225-0,300$ происходили ускорения перемещения, напоминающие затяжные скачки.

По достижении величины $\kappa=0,300$ сдвигающее напряжение было снова устранено и повторно сообщено (два раза) наконец, опыт был доведен до среза. Наблюдались весьма явные скачки в интервале $\kappa=0,325-0,350$ и $\kappa=0,400-0,425$ (в опыте F 84, рис. 13) и в интервале $\kappa=0,350-0,375$ (опыт F 85).

Наблюдаемые задержки скачков объясняются тем что во время процесса разгрузки и повторного нагружения происходила разрядка избыточного коэффициента сдвига, благодаря чему накопление необходимого для скачка избыточного коэффициента задержалось.

К этой же серии относятся опыты F 80 и F 83, проведенные над влажным слюдяным порошком (рис. 14). Последовательность операции в этих опытах была следующая: 1. Постепенное увеличение сдвигающего усилия от $\kappa=0$ до $\kappa=0,100$. 2. Выдержка 45 минут. 3. Уменьшение сдвигающего усилия от $\kappa=0,100$ до $\kappa=0$. 4. Выдержка 5 минут. 5. Постепенное увеличение сдвигающего усилия от $\kappa=0$ до $\kappa=0,175$. 6. Выдержка 50—60 минут. 7. Уменьшение сдвигающего

усилия от $\kappa=0,175$ до $\kappa=0,8$. Выдержка 5 минут. 9. Постепенное увеличение сдвигающего усилия от $\kappa=0$ до $\kappa=0,250$. 10. Выдержка 90 минут. 11. Дальнейшее увеличение сдвигающего усилия и доведение опыта до среза.

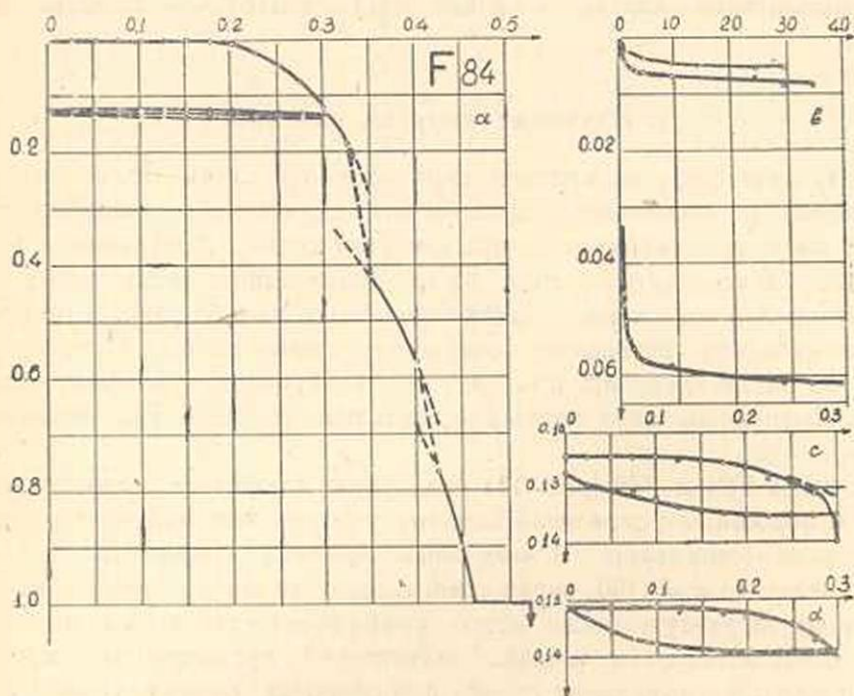


Рис. 13—Результаты опыта F 84. над сухим, хаотически уложенным слоистым порошком.

(a) Кривая коэффициент сдвига—деформация. Обозначения см. рис. 3. Трехкратная разгрузка и повторная нагрузка до $\kappa=0,150$ исключила скачки до коэффициента $\kappa=0,300$. Вторичная двукратная разгрузка и повторная нагрузка до $\kappa=0,300$ задержала скачки до коэффициента $\kappa=0,325$. Резкие скачки в интервалах $\kappa=0,325-0,350$ и $\kappa=0,400-0,425$.

Коэффициент трения $\kappa_{max}=0,525$.

(b) Кривые время—деформация для участков выдержки. Абсциссы—время в минутах, ординаты—деформация в микровах.

(c) и (d)—Петли гистерезиса в увеличенном виде. Обозначения—см. рис. 3. Пунктирная линия представляет собой перевернутую кривую разгрузки.

Опыты имели целью изучение характера кривых разгрузки и повторного нагружения в само-ориентированном материале. Сравнение полученных кривых для различных ветвей петель гистерезиса в разных стадиях испытания свидетельствует о том, что их очертание для каждого материала является постоянным и не связанным с пределом упругости, достигнутым при предыдущем нагружении.

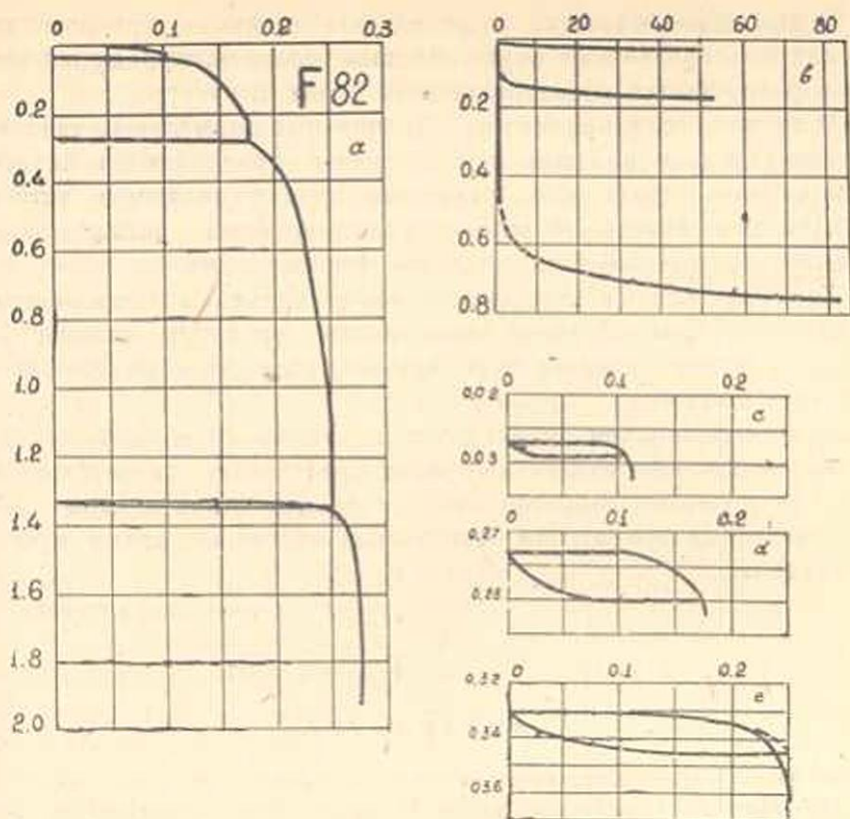


Рис. 14—Результаты опыта F 82 над влажным слюдяным порошком
 (a) Кривая коэффициент сдвига—деформация, обозначения см. рис. 3
 (b) Кривые время—деформация, обозначения см. рис. 13 б.
 (c) до (e) Кривые петель гистерезиса в увеличенном виде, обозначения см. рис. 3.

Выводы

Характер кривых зависимости между коэффициентом сдвига и перемещением в мелкозернистых порошках и грунтах определяется соотношением между прочностью структуры и величиной накопленного избыточного коэффициента сдвига. Когда прочность структуры оказывается недостаточной по сравнению с суммой накопленного избыточного коэффициента сдвига, происходит скачкообразная разрядка избыточного коэффициента сдвига и структура перестраивается.

В хаотически уложенном сухом слюдяном порошке и перемятой глине во время перестройки структуры чешуйчатые частицы ориентируются и структура делается более устойчивой.

В ориентированном слюдяном порошке и ненарушенной глине прочность структуры является наибольшей вследствие наибольшего возможного числа точек контакта, и поэтому не возникает необходимости в перестройке структуры.

В кварцевом порошке в результате процесса приспособления жестких консервативных зерен к новым условиям напряжений возникает и разрушается последовательная серия структур.

В случае, если процесс уплотнения под нормальным давлением не закончился, перемещения при сдвиге определяются активным коэффициентом сдвига т. е. разностью между полным и активным коэффициентом сдвига. Он равен отношению между активными касательными и нормальным сдвигающим напряжениями.

Характер кривых зависимости между временем и перемещением для периода скачкообразной перестройки структуры отличается от характера кривых плавных перемещений, вследствие различной природы этих процессов.

Вопрос о влиянии ориентации чешуйчатых слюдяных частиц на протекание явления сдвига в грунтах представляет значительный интерес для познания сопротивляемости глин в естественном состоянии вследствие ориентации чешуйчатых частиц во время процесса седиментации.

Поступило 8 III 1948.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский Г. И.—Об ориентировке частиц в грунтах. Сб. Исследование грунтов 1928—1930 г. г. Тр. Гос. аэроуч.-эксперим. ин-та Сооружений. 6. 55—57, 1930.
2. Тер-Степанов Г. И.—О проникании воды в глину. Тр. Ленингр. ин-та Сооружений, 167—71, 1934.
3. Тер-Степанов Г. И.—Исследование методов определения угла внутреннего трения грунтов. Архив Закавказского научно-исслед. ин-та Вод. Хозяйства, 1935
4. Terzaghi K.—Festigkeitseigenschaften der Schüttungen, Sedimente und Gele. Handbuch der physik. und techn. Mechanik von Auerbach und Horn, 1931. Bd. IV, 2 Hälfte.

Գ. Ի. Տեր-Ստեփանյան

ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԶԵՎԵՐԻ ԵՎ ԴԱՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՏԵՂԱՇԱՐԺՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅՑՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա. Մ. Փ. Ո. Փ. Ո. Ի Մ

1933—34 թ.թ. հեղինակը գրունտների երկու արհեստական խմբերի՝ փայլարային և քվարցային փոշիների հետ կատարել է տեղաշարժման երկփուլային ռևոլյուցիոնար մի շարք փորձեր, որոնք կարող են նմանվել գրունտների ճկուն, թեփուկավոր կավային և կոշտ, կլորացած ավազային տարրերակների հետ: Մի քանի փորձեր են կատարվել նաև խախտված և անխախտ ստրուկտուրայով բնական գրունտների հետ:

Փորձարկումը կատարվել է հեղինակի ձևափոխած գործիքով (նկ. 1 և 2), այդ փորձերից մի քանիսի արդյունքները ներկայացված են հոդվածում:

համապատասխան բացատրութիւններով (նկ. 3—14)։ Հետադրութիւնները հանգեցրել են հետևյալ եզրակացութիւններին.

1. «Տեղաշարժման լարվածության դեֆորմացիա» կորի բնույթը մանրահատիկ փոշիների և գրունտների համար որոշվում է ստրուկտուրայի դեֆորմության և կուտակված տեղաշարժող հավելյալ լարվածութիւնների միջև եղած հարաբերութեամբ։ Երբ ստրուկտուրայի կայունութիւնը կուտակված տեղաշարժող հավելյալ լարվածութիւնների նկատմամբ անբավարար է լինում, տեղի է ունենում հավելյալ լարվածութիւնների լիցքաթափում և ստրուկտուրան վերակազմվում է։

2. Փայլարի չոր փոշու խառնիճաղանճ կերպով դասավորվածութիւն և խառն կալի վերակազմութիւն դեպքում թեփուկաձև մասնիկները կողմնորոշվում են և ստրուկտուրան դառնում է ավելի կայուն։

3. Փայլարի կողմնորոշված փոշու մեջ ստրուկտուրայի կայունութիւնն առավել մեծ է, որովհետև մասնիկների հատման կետերի թիվը մեծ է և մատերիալը ստրուկտուրային վերակառուցման կարիք չի զգում։

4. Կոշա հատիկավոր քվարցային փոշու մեջ լարվածութիւնն նոր պայմաններին հարմարվելով հատիկները վերադասավորվում են, առաջացնելով մի շարք իրար հաջորդող ստրուկտուրաներ։

5. Երբ ամրակայման պրոցեսը նորմալ ճնշման տակ դեռևս անավարտ է լինում, տեղաշարժման դեֆորմացիաները որոշվում են տեղաշարժման ակտիվ հարաբերական լարվածութիւններով, այն է՝ ակտիվ տանգենցիալ և նորմալ լարվածութիւնների քանորդով։

6. Խախտված միճակում գտնվող բնական գրունտների համար ստեղծվում են մի քանի իւրար հաջորդող ստրուկտուրաներ՝ պայմանավորված կոշտ ավազային կոնսերվատիվ հատիկների առկայութեամբ, սակայն «լարվածութիւն-տեղաշարժում» կորը համեմատած քվարցային փոշու նույն կորի հետ ավելի հարթ է։

7. Անխախտ կալներում, որոնք փորձարկվել էին շերտաղբման հարթութեամբ և որոնց մեջ բոլոր թեփուկները կողմնորոշված էին հորիզոնական ուղղութեամբ, թռիչքներ տեղի չեն ունենում, քանի որ ընտան ստրուկտուրայի վերադասավորման ոչ մի հարկ չկա։