

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. Р. Месчян, Э. М. Маркарян

Изучение ползучести водонасыщенного грунта

Для понимания механизма деформирования водонасыщенных глинистых грунтов представляет большой интерес изучение их ползучести в состоянии неполного водонасыщения. Разумеется, оно имеет и самостоятельное значение, поскольку водоненасыщенные грунты распространены в природе так же широко, как и водонасыщенные.

Особенностью деформирования водоненасыщенных глинистых грунтов (которые представляют трехфазную дисперсную систему) является то, что приложенная к ним внешняя нагрузка полностью воспринимается их скелетом, а деформации во времени обусловлены только ползучестью последнего. Поэтому, к водоненасыщенным грунтам нельзя приложить теорию фильтрационного уплотнения [1], а для определения их напряженно-деформированного состояния с учетом фактора времени необходимо пользоваться решениями теории ползучести [2].

Из изложенного вытекает, что, поскольку длительность деформирования не зависит от скорости вытекания поровой жидкости, относительная деформация ползучести водоненасыщенных грунтов не должна зависеть от высоты образца.

Прежде чем изложить некоторые результаты изучения ползучести водоненасыщенных грунтов, чтобы еще раз убедиться в неадекватности основных предпосылок теории фильтрационного уплотнения (согласно которым запаздывание деформаций ползучести водонасыщенного грунта от момента приложения нагрузки обусловлено только его фильтрационными свойствами, а деформация скелета протекает мгновенно), познакомимся с некоторыми данными их испытания, выполненного при различных степенях влажности.

По данным испытания на ползучесть порошков и приготовленных из них паст юрской (оксфордской) и ленточной глин, полученных Н. Я. Денисовым [3] (1951), и образцов суглинка, обладающих одинаковой пористостью ($\varepsilon = 0,91$) по различным значениям влажности $w = 6,2, 18,7$ и $31,3\%$ (С. Р. Месчян [4], 1954), сухие и маловлажные грунты деформируются так же долго, как и водонасыщенные. Аналогичные результаты длительного деформирования водонасыщенных и сухих грунтов нарушенной и ненарушенной структур получены Луан Си-лином [5] (1958), Тан Тьенг-Ки [6, 7] (1959, 1961) и др.

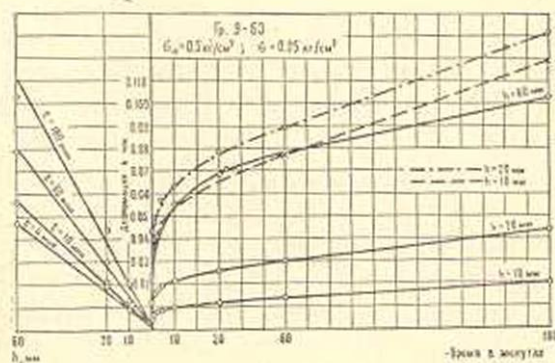
Результаты указанных опытов, а также натурные наблюдения за длительными деформациями водоненасыщенных грунтов говорят о неточности исходных положений теории фильтрационного уплотнения и свидетельствуют о большой роли протекающих во времени структурных и структурно-адсорбированных деформаций („ползучести скелета“ по В. А. Флорину [8], 1953) в процессе уплотнения. Вместе с тем надо отметить, что увеличение влажности приводит к увеличению величины и скорости деформаций ползучести грунта, а при полном водонасыщении скорость вытекания воды из пор (в определенных условиях) оказывает существенное влияние на этот процесс.

Для проверки изложенного выше положения о независимости относительных деформаций ползучести скелета от высоты образцами исследована ползучесть водоненасыщенных образцов высотой 10, 20 и 60 мм, диаметром 70 мм, при сжатии в условиях свободного бокового расширения. При изучении указанного вопроса мы отказались от сжатия грунтов в условиях компрессии, поскольку для исключения влияния избыточного бокового трения на результаты опытов необходимо было испытать образцы разных диаметров [9], изготовление которых связано с определенными трудностями. Мы отказались также от испытания образцов одинакового диаметра в приборах типа Е. И. Медкова [10] (1952), так как в этом случае растяжение резиновой оболочки и трение образца по ней также влияют на результаты опытов.

Образцы изготовлялись в специальных формах из грунтов нарушенной структуры с влажностью, близкой к их влажности при пределе пластичности. Они обладали одинаковой влажностью и объемным весом. Загружение образцов производилось ступенями по $0,25 \text{ кг/см}^2$ рычажными прессами, расположенными сверху образцов. Величина предварительно-сжимаемой нагрузки была равна $0,5 \text{ кг/см}^2$. Повторность опыта двух-трехкратная. Деформации изме-

рялись индикаторами часового типа с точностью $0,01-0,002 \text{ мм}$. Во избежание испарения влаги и высыхания грунта во время опыта образцы покрывались толстым слоем тавота.

На правой половине графика фиг. 1, в качестве примера, приведены кривые полная деформация — время (показаны жирными линиями) образцов глины за



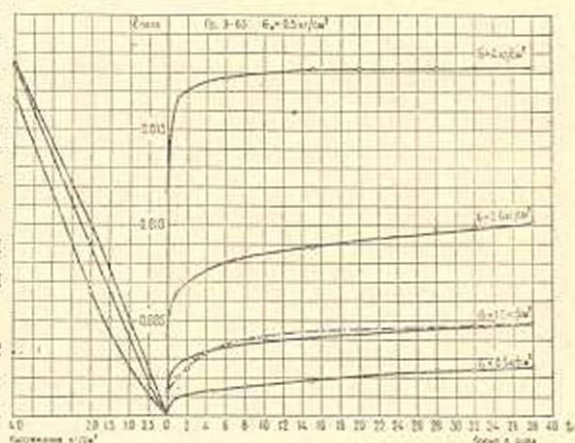
фиксированных моментов времени после начала загрузки. Для сопоставления кривых ползучести, на указанных графиках пунктирами показаны также кривые ползучести образцов с $h = 10$ и 20 мм, приведенные к высоте $h = 60$ мм.

Таблица 1

Лаб. № грунта	Наимено- вание	№№	Удельный вес γ , г/см ³	Объемн. вес γ_s , г/см ³ (после опыта)	Влажность %,	Степень влажности (после опыта)	Пределы пластичности		
							предел теку- чести	предел пластич- ности	число пластич- ности
9-63	Глина	9/1083	2,68	1,84	26,9	0,84	42,4	24,4	18,0
		9/1088		1,89		0,90			

Из графиков фиг. 1 следует, что зависимость деформация—высота образца является линейной, а сопоставление кривых полная деформация—время, приведенных к высоте $h = 60$ мм, говорит о независимости деформации от высоты образца. Полученные результаты подтверждают то положение, что относительные деформации ползучести скелета глинистого грунта не зависят от высоты образца или, наоборот, если относительные деформации ползучести не зависят от высоты образца, они обусловлены ползучестью скелета.

Теперь на примере испытания рассмотренного выше грунта (в водонасыщенном состоянии) на сжатие в компрессионных при-



Фиг. 2.

борах, познакомимся с результатами изучения деформаций ползучести. Испытания образцов высотой 20 мм и диаметром 70 мм проводились в компрессионных приборах конструкции одного из авторов [14]. В отличие от изложенного выше случая, образцы формовались в грунтовых кольцах приборов. Чтобы исключить возможность высыхания во время опыта, опыты проводились в помещении с относительной влажностью воздуха $85-95\%$ в герметически закрытых приборах. Результаты определения влажности грунта до и после опыта на ползучесть показали, что при продолжительности испытаний $30-50$ дней их разница составила около 2% (табл. 2).

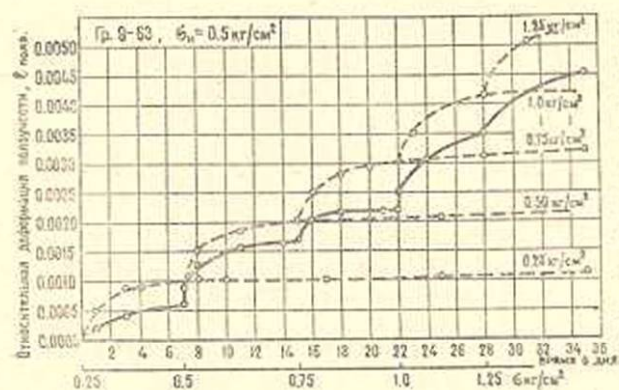
Испытано 12 образцов-близнецов, из них 8 попарно испытаны на ползучесть под постоянными напряжениями $\sigma = 0,5, 1,0, 2,0$ и $4,0$ кг/см² (фиг. 2), а два при нарастании напряжений ступенями по $0,25$ кг/см² через каждые семь дней (фиг. 3).

До испытания на ползучесть, с целью сглаживания неровностей на горизонтальных поверхностях образцов, они подвергались предварительному уплотнению нагрузками $\sigma_n = 0,5 \text{ кг/см}^2$. Для исключения влияния последней на результаты опытов, параллельно на двух образцах-близнецах определялись деформации ползучести от σ_n , которые в дальнейшем учитывались при обработке экспериментальных данных.

Таблица 2

Лаб. № грунта	№№ опытов	Объемный вес $\gamma/\text{см}^3$ (после опыта)	Влажность		Степень влаж- ности (после опыта)
			до опыта	после опыта	
9-63	9/1065- 1082	1,87	29,8	27,6	0,89

Кривые, приведенные на правой половине фиг. 2, показывают, что, как обычно, в начале загрузки деформации ползучести растут быстрее, а после — медленнее. Причем, если в начале опыта деформации ползучести при $\sigma = 0,5, 1,0$ и $2,0 \text{ кг/см}^2$ протекают медленнее,



Фиг. 3

чем при $\sigma = 4,0 \text{ кг/см}^2$, начиная со вторых суток (после загрузки) наблюдается обратная картина. То есть деформации при $\sigma = 4,0 \text{ кг/см}^2$ развиваются медленнее,

чем при остальных напряжениях. Причиной изложенного является быстрое при больших нагрузках и медленное при малых нагрузках протекание (непосредственно после момента загрузки) структурных и структурно-адсорбционных деформаций.

Если обратить внимание на кривые напряжение-деформация ползучести, приведенные на левой половине графика фиг. 2, нетрудно будет заметить, что по изложенной выше причине при $t = 1$ день деформации ползучести растут быстрее, чем напряжения, а при $t = 38$ дней картина изменяется — деформации отстают от роста напряжений. В первом случае мы имели дело с разупрочнением, а во втором — с упрочнением грунта.

При $t = 20$ дней указанная зависимость подчиняется линейному закону, то есть в процессе уплотнения кривые три раза изменяют свою форму, отражая три различных характера деформаций грунта. Совершенно понятно, что описание кривых ползучести в зависимости от напряжения σ , когда в процессе испытания зависимость $\epsilon_{\text{полз.}} = f(\sigma)$

трижды изменяет свой характер, будет связано с определенными трудностями. Однако, если учесть, что кривые $\sigma - l_{\text{полз.}}$ группируются вокруг прямой, отражающей линейную зависимость между σ и $l_{\text{полз.}}$, можно с определенной погрешностью деформацию ползучести считать линейной для всех моментов времени t .

Принимая деформацию ползучести линейной, пренебрегая влиянием старения грунта и определив меру ползучести $C(t - \tau)$ по экспериментальной кривой, соответствующей $\sigma = 1 \text{ кг/см}^2$, можно описать процесс ползучести при ступенчатом нарастании нагрузок во времени (фиг. 3) по закону наложения (1) [2]

$$l_{\text{полз.}}(t) = \sigma(\tau_0) C(t - \tau_0) + \Delta_1 \sigma(\tau_1) C(t - \tau_1) + \dots + \Delta_i \sigma(\tau_i) C(t - \tau_i), \quad (1)$$

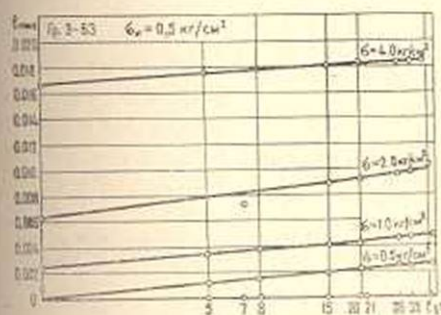
где t — время, для которого определяются напряжения; τ_i — момент приложения нагрузки, $C(t - \tau_i)$ — мера ползучести, которая определяется зависимостью (2) [4]

$$C(t - \tau) = A_0 + (C_0 - A_0) [1 - e^{-\gamma(t - \tau)}], \quad (2)$$

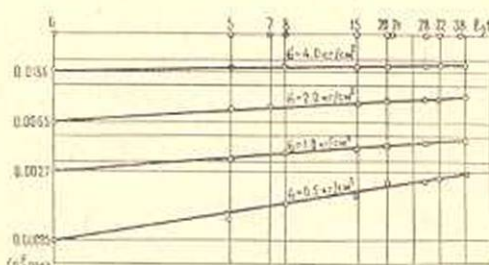
где A_0 — деформация ползучести при $t = 1$ час, C_0 — предельная мера ползучести, γ — параметр.

Описание единичной кривой ($\sigma = 1 \text{ кг/см}^2$), выполненное по (2), на фиг. 2 показано пунктиром, а описание процесса ползучести при переменном напряжении показано пунктиром на фиг. 3.

Кривая, построенная по выражениям (1) и (2), достаточно хорошо характеризует изменяемость деформации ползучести при переменном σ , но не совпадает с экспериментом по величине. Это несоответствие обусловлено различием скоростей приложения нагрузок при испытании на ползучесть при постоянных и переменных напряжениях и пренебрежением влияния старения (упрочнения грунта во времени вследствие протекания внутренних физико-химических процессов). Оно обусловлено также разбросом опытных данных при параллельном испытании образцов-близнецов.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Если экспериментальные данные нанести на полулогарифмический (фиг. 4) и логарифмический (фиг. 5) сетки координат, как и в случае водонасыщенного грунта, кривые ползучести спрямляются, то есть эти кривые могут быть описаны как логарифмическими функ-

циями Г. Н. Покровского [11] (3) и Бюисмана [12] (4), так и степенной зависимостью Штрауба [13] (5)

$$l_{\text{полз.}} = \alpha \ln(\rho t + 1), \quad (3)$$

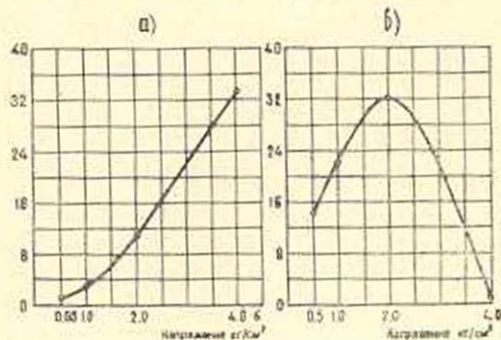
$$l_{\text{полз.}} = a + b \lg t, \quad (4)$$

$$l_{\text{полз.}} = A \sigma^n t^m, \quad (5)$$

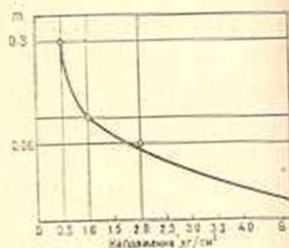
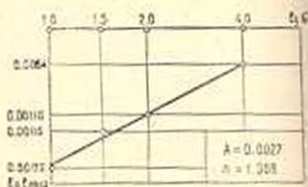
где α , ρ , a , b , A , n и m — параметры, определяемые из опыта.

Зависимости (3) и (4) написаны для нагрузки $\sigma = 1$, поэтому, чтобы определить $l_{\text{полз.}}$ при других напряжениях, параметр надо выразить через σ (графики изменения параметров a и b в зависимости от σ , кривые на фиг. 6).

В зависимости (5) мерой ползучести служит t^m , а функцией напряжения $A\sigma^n$, где



Фиг. 6.



Фиг. 7.

n и A — постоянные величины ($A = 0,0027$, $n = 1,309$), — зависящая от напряжения некоторая функция, величина которой всегда меньше единицы. Параметры A , n и m определяются из графиков, приведенных на фиг. 7.

Институт математики и механики

АН Армянской ССР

Поступила 2 III 1964

Ս. Ռ. Մեսչան է. Մ. Մարգարյան

ՋՐՈՎ ՉՀԱԳԵՑԱԾ ԲՆԱՀՈՂԵՐԻ ՍՈՂՔԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգիածուծ բերված են ջրով չհագեցած կալալին բնահողերի ուսումնասիրության արդյունքները սեղմման դեպքում, երբ բացակայում է կալալին ընդարձակման հնարավորությունը: Բերված են նաև սողի զեֆորմացիաների վրա նմուշի բարձրության ազդեցության որոշման արդյունքները, որոնք

ստացված են տարբեր բարձրություն ունեցող նմուշների միաչափ սեղմումից:

Ցարերի բարձրություններ՝ $h = 10, 30$ և 60 մմ ունեցող քայքայված սարուկուտուրայով բնահողերի միաչափ սեղմման ղեկավարում կոդալին ազատ ընդարձակման ժամանակ պարզված է, որ սողքի ղեկավարմանը կախված չեն նմուշի բարձրությունից:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ սեղմման պայմաններում լարումների ու սողքի ղեկավարմանների միջև եղած կապը բավարար ճշտությամբ կարելի է համարել գծային և սողքի ղեկավարմանների համար ճիշտ է վերադրման արենքը: Ցույց է արվում, որ չրով չհաղեցած բնահողերի սողքի կորերը կարելի է նկարագրել նաև լոգարիթմական և ցուցչային ֆունկցիաների միջոցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Флорин В. А. Теория уплотнения земляных масс. Госстройиздат, М., 1948.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеориздат, М.—Л., 1952.
3. Денисов Н. Я. О природе деформации глинистых пород. Изд. Минречфлота СССР, М., 1951.
4. Месчан С. Р. К вопросу о ползучести глинистых грунтов. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат., ест. и техн. наук, 7, № 4, 1954.
5. Хуан Си-Лин. Исследование деформируемости глинистых грунтов трехфазной системы. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Моск. инж.-строит. ин-т, М., 1958.
6. Soil Mechanics Laboratory Institute of Civil Engineering, Academia Sinica. The fundamental properties of clays, loess and rocks and their application to engineering problems. Scientia Sinica, vol. XIII, № 10, 1959.
7. Tan Tjong-Kie. Proceedings of the 5th Int. Conf. Soil. Mech. and Found. Eng. Diskussion, 3, 141, 1961.
8. Флорин В. А. Одномерная задача уплотнения пористой ползучей среды. Изв. АН СССР, ОТН, № 6, 1953.
9. Месчан С. Р. О методике экспериментального исследования ползучести скелета связных грунтов. ДАН АрмССР, 26, № 4, 1958.
10. Медков Е. И. Новый прибор для испытания грунтов при трехосном сжатии. Гидротехническое строительство, № 11, 1952.
11. Покровский Р. И. Применение принципа Больцмана к расчету осадки фундаментов. Сборник „Основания и фундаменты“. ВМОС № 1, М.—Л., 1933.
12. Buismann K. Result on Long Duration Settlement Tests. Poroc. Intern. Confer. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 1936, 100—106.
13. Straub. Proceedings of the Amer. Soc. of Civ. Eng., 1931.
14. Месчан С. Р. О ползучести связного грунта при сжатии. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 9, № 4, 1958.