

УДК 624.131.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЗУЧЕСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

К. Болей, Л.А. Строкова

Военный университет, г. Мюнхен, Германия
E-mail: conrad.bolei@unibw.de, ludmila.geyer@unibw.de

Изложены результаты лабораторных исследований ползучести глинистых грунтов согласно положениям физико-технической теории Н.Н. Маслова. Испытания проводились при постоянной скорости деформации и непрерывной регистрации вертикальных и горизонтальных деформаций и напряжений. Установлена зависимость показателей прочности и ползучести от длительности предварительного уплотнения.

Исследование ползучести, длительной прочности глинистых грунтов имеют исключительное значение при проектировании различных сооружений. Для описания реологических свойств глинистых грунтов применяют различные методы, основанные на использовании механических моделей, на теории наследственной ползучести, на физико-технической теории ползучести, на теории пластического течения, на молекулярной теории течения, которые подробно изложены в книге С.С. Вялова [1]. Все эти теории в итоге приводят к различным уравнениям состояния, содержащим несколько параметров, подлежащих экспериментальному определению. Определение реологических параметров требует, с одной стороны, сложных аппаратуры и методики лабораторных и полевых испытаний и с другой — расчета напряженно-деформированного состояния грунтового массива во времени численными методами с применением ЭВМ. Эксперименты, проведенные К. Терцаги, С.С. Вяловым, М.Н. Гольдштейном, Н.Н. Масловым, Г.И. Тер-Степаняном, В.А. Флориным, Н.А. Цытовичем, С.Р. Месчаном, З.Г. Тер-Мартirosяном, Ю.К. Зарецким и др., показали, что ползучесть глинистых грунтов проявляется как при объемных деформациях, так и при деформациях изменения формы (сдвиг), часто протекающих совместно [1, 2]. Зависимость между напряжением, деформацией и временем (уравнение состояния) глинистых грунтов нелинейная. Процесс деформирования грунтов во времени зависит как от содержания глинистых фракций, гидрофильности минералов, плотности и влажности грунта, условий дренирования, так и от величины действующих нормальных и касательных напряжений, а также продолжительности действия сдвигающей нагрузки, температуры, способа и режима приложения нагрузки [3–6].

Цель настоящих исследований — установить влияние продолжительности воздействия уплотняющих нагрузок на параметры прочности и ползучести.

Для определения этих параметров использовались приборы одноплоскостного среза фирмы Wille-Geotechnik (рис. 1). Прибор обеспечивает одномерное уплотнение образца по вертикали. Горизонтальные и вертикальные перемещения фиксируются цифровыми индикаторами с точностью определения 0,001 мм. Отличительной особенно-

стью этого прибора является цифровая регистрация напряжений и деформаций и хранение этих данных в компьютере.

Испытания проводились на образцах глины для тела дамбы возле г. Галденслебен (Германия). Основные показатели гранулометрического состава, состояния и физических свойств грунта приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики глины

Название показателя	Значение
Природная влажность, %	43,2
Плотность, г/см ³	1,780
Плотность частиц грунта, г/см ³	2,713
Пористость, д.ед.	0,53
Коэффициент пористости, д.ед.	1,12
Степень водонасыщения, д.ед.	0,95
Верхний предел пластичности, %	68,1
Нижний предел пластичности, %	19,5
Число пластичности, %	48,6
Показатель консистенции, д.ед.	0,51
Содержание глинистой фракции, %	62,3
Содержание пылеватой фракции, %	25,5
Содержание песчаной фракции, %	12,2

По ГОСТ 25100-95 — глина тяжелая мягкопластичная, по классификации Казагранде — высокопластичная глина (рис. 2)

Было проведено три серии испытаний, при этом переменными величинами являлись величина нормальной нагрузки и время ее действия. Для оценки погрешности серии опытов ставились параллельно на трех установках.

Для испытаний были подготовлены образцы одинаковой плотности 1,75 г/см³ и влажности 43,2 %. Одинаковая плотность обеспечивалась постоянной массой кольца с грунтом 244,5 г при площади кольца 70 см², высотой 20 мм. Постоянная влажность обеспечивалась помещением пробы в специальном помещении при постоянной температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 100 %.

Испытания проводились по схеме «консолидированно-дренированный срез». Величина вертикальных нагрузок назначалась 100, 200, 400 кН/м², скорость приложения нагрузки задавалась, равной 10 кН/м² в минуту и выдерживалась затем 2880, 4320 и 8640 мин. После консолидации, не разгружая прибор, проводился сдвиг.



Рис. 1. Прибор для определения показателей сжимаемости и прочности фирмы Wille Geotechnik

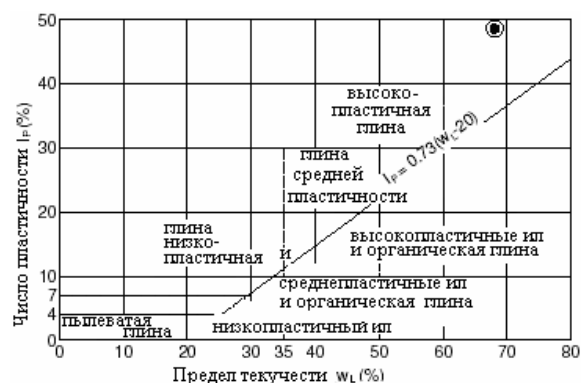


Рис. 2. График КазAGRанде для классификации грунтов, $\odot$ – исследуемый грунт

Срез осуществлялся с постоянной во времени скоростью среза $\dot{\gamma} = 0,02$ мм/мин – так называемое кинематическое нагружение, при котором касательная нагрузка прикладывается непрерывно. Сдвиг продолжался в среднем 12...14 ч до максимальной величины 15 мм.

При проведении испытаний каждые 10 с регистрировались: нормальное σ и касательное τ напряжения, величина вертикальных и горизонтальных деформаций образца от действия приложенной нагрузки как в ходе консолидации, так и сдвига. По результатам испытаний определялись мак-

симальное (пиковое) $\tau_{\max}$ и остаточное τ_{rest} касательные напряжения, углы внутреннего трения ϕ и сцепление c при максимальном и остаточном касательных напряжениях. Результаты сдвиговых испытаний грунта приведены в табл. 2.

Таблица 2. Осредненные значения результатов сдвиговых испытаний грунта

Время консолидации, t_c , мин	Угол внутреннего трения, ϕ_{max} , град	Сцепление, c_{max} , кН/м ²	Угол внутреннего трения, ϕ_{rest} , град	Сцепление, c_{rest} , кН/м ²	Нормальное напряжение, σ , кН/м ²	Максимальное касательное напряжение, $\tau_{\max}$, кН/м ²	Остаточное напряжение, τ_{rest} , кН/м ²	Вертикальная деформация при сдвиге, s_v , мм	Полная осадка при сдвиге, s_{rest} , мм	Осадка при консолидации, s_c , мм
2880	14,54	16,73	11,82	15,91	100	42,28	36,85	0,16	0,31	2,11
					200	70,14	57,76	0,23	0,41	3,79
					400	122,71	99,71	0,25	0,38	5,06
4320	13,97	19,4	11,14	16,87	100	42,80	35,94	0,12	0,29	2,51
					200	70,54	57,20	0,17	0,36	3,30
					400	124,15	95,31	0,20	0,37	5,01
8640	13,88	19,7	11,54	17,87	100	43,17	36,24	0,16	0,28	1,32
					200	71,48	58,13	0,20	0,33	2,02
					400	127,48	100,3	0,23	0,37	5,11

По результатам сдвиговых испытаний четко прослеживается зависимость величины касатель-

ных напряжений от величины и продолжительности действия нормальных напряжений. Приращение касательных напряжений составляет 30...35 % при удвоении приложенных нормальных напряжений. Увеличение продолжительности воздействия уплотняющих нагрузок дает приращение максимального касательного напряжения на 1,15...1,4 %.

После завершения сдвига определялась влажность из зоны сдвига. С увеличением прилагаемой нагрузки на 100 кН/м² соответственно уменьшалась влажность грунта на 4,2...4,6 % (рис. 3).

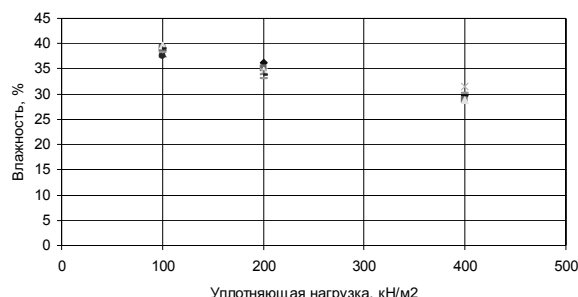


Рис. 3. Изменение влажности образцов после сдвига

Определение реологических параметров проводилось по методике Н.Н. Маслова [2, 5]. По результатам опытов были построены графики зависимости горизонтальной деформации грунта от времени $\lambda=f(t)$ и роста срезающего усилия τ во времени. По графикам зависимости $\tau=f(t)$ определялся порог ползучести τ_{lim} как пересечение касательных к двум участкам кривой (рис. 4). Анализ построенных графиков показал, что с увеличением времени предварительного уплотнения образцов, увеличивается отрезок времени до разрушения образца $t_{кр}$ под действием касательных напряжений, тем самым уменьшается разница $\tau_{max}-\tau_{lim}$ (табл. 3). Порог ползучести с увеличением времени предварительного уплотнения приближается к максимальному касательному напряжению.

Интенсивность процесса ползучести оценивается коэффициентом динамической вязкости η , вычисляемым по формуле Н.Н. Маслова [2. С. 138]:

$$\eta = \frac{\tau_{max} - \tau_{lim}}{\dot{\gamma}} d,$$

где τ_{max} — максимальное (пиковое) касательное напряжение при сдвиге; τ_{lim} — порог ползучести,

$\dot{\gamma}$ — скорость деформации сдвига образца, равная 0,02 мм/мин; d — высота образца перед сдвигом, мм. Результаты определения показателей ползучести приведены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели ползучести грунта

Время предварительного уплотнения, мин	Нормальное давление, кН/м ²	Предел прочности при сдвиге, τ_{max} , кН/м ²	Порог ползучести, τ_{lim} , кН/м ²	Коэффициент динамической вязкости, Па·с	Деформация сдвига, λ , мм	Время до разрушения образца, $t_{кр}$, мин
2880	100	42,28	38,18	$2,22 \cdot 10^8$	2,64	124
	200	70,14	62,5	$3,75 \cdot 10^8$	3,33	166
	400	122,71	117,5	$2,35 \cdot 10^8$	4,31	215
4320	100	42,80	38,5	$2,28 \cdot 10^8$	2,77	138
	200	70,54	67,3	$1,64 \cdot 10^8$	3,57	178
	400	124,15	118,4	$2,61 \cdot 10^8$	4,76	238
8640	100	43,17	41,8	$7,76 \cdot 10^7$	3,31	169
	200	71,48	71,1	$2,07 \cdot 10^7$	4,51	225
	400	127,48	126,6	$3,65 \cdot 10^7$	5,77	288

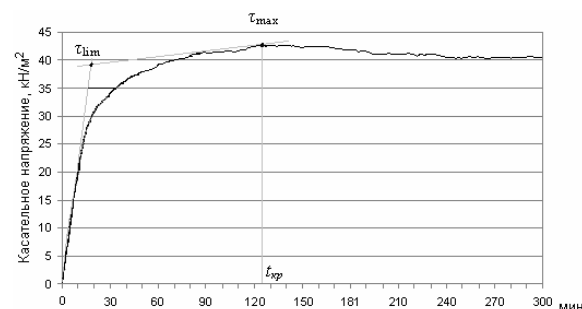


Рис. 4. Определение порога ползучести

При испытании грунтов датчиками зафиксированы вертикальные деформации грунта при сдвиге, т.н. дилатансия — явление изменения объема материала, вызванное деформациями сдвига, открытое в 1885 г. О. Рейнольдсом.

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований показали, что продолжительность действия уплотняющей нагрузки до среза оказывает существенное воздействие на структуру и свойства глин, отражаясь в показателях прочности и ползучести. Приведенные результаты представляли практический интерес при прогнозе оползневых деформаций, а также горизонтальных смещений основания проектируемой дамбы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вязлов С.С. Реологические основы механики грунтов. — М.: Высшая школа, 1978. — 447 с.
2. Маслов Н.Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства. — М.: Стройиздат, 1984. — 175 с.
3. Месчан С.Р. Начальная и длительная прочность глинистых грунтов. — М.: Недра, 1978. — 207 с.
4. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. — М.: Недра, 1985. — 342 с.

5. Рекомендации по определению параметров ползучести и консолидации грунтов лабораторными методами / Произв. и НИИ по инженерным изысканиям в строительстве. — М.: Стройиздат, 1989. — 59 с.
6. Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. — М.: Стройиздат, 1990. — 199 с.

Поступила 12.12.2006 г.