

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОТТАИВАЮЩЕГО ГРУНТА ОТОБРАННЫХ ИЗ ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА СКЛОНЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ НАГРУЖЕНИЯ

Юшков Б.С., Сергеев А.С.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: Zzverdvd@mail.ru

Деформация, наблюдаемая при оттаивании грунта, представляет собой следствие сложных процессов — набухания агрегатов грунта и уменьшения объема в результате оттаивания ледяных включений, а затем ликвидации пустот и отжатая избыточной воды под нагрузкой. Оттаивание грунта связано с появлением деформации консолидации, которая протекает медленно и более сложно, чем консолидация талого грунта. Для практических целей важно установить, насколько грунт после замораживания и оттаивания теряет способность сопротивляться внешним нагрузкам. Сам факт снижения сопротивляемости грунта известен давно, однако количественная сторона этого вопроса исследована лишь в недавнее время.

Ключевые слова: оттаивание, компрессия, грунт, осадка, сжимаемость, стабилومتر, криотекстура, напряжение, испытание, график.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF DEFORMATION OF THAWED SOIL TAKEN FROM THE BASE OF THE ROAD ON THE SLOPE AT VARIOUS WAYS OF LOADING

Yushkov B.S., Sergeev A.S.

Perm National Research Polytechnic University of Perm, e-mail: Zzverdvd@mail.ru

The deformation observed during thawing of soil, is a consequence of complex processes - swelling soil aggregates and to reduce the volume as a result of thawing of ice inclusions, then the elimination of voids and excess water squeezed under load. Thawing ground deformation associated with the appearance of consolidation, which is slow and more difficult than the consolidation of the unfrozen soil. For practical purposes, it is important to establish whether the ground after freezing and thawing loses its ability to resist external loads. The fact of reducing the resistance of the soil has long been known, but the quantitative side of this issue is studied only recently.

Keywords: defrost, compression, soil, sediment, compressibility, triaxial, cryotexture, stress test schedule.

Деформирование грунта при оттаивании изучено лишь для условий нагружения, близких к компрессионным. Единственной зависимостью, связывающей деформации оттаивания (относительную осадку S) с напряженным состоянием (внешним давлением P), является известная формула Цытовича – Лапкина:

$$S = A + \alpha P$$

где A и α – коэффициенты оттаивания и сжимаемости.

Однако во многих практически важных случаях компрессионной зависимости недостаточно для анализа напряженно-деформированного состояния оттаивающего основания автомобильной дороги. Так, если размеры в плане чаши протаивания заметно превосходят размеры загружаемого участка, то пренебрежение пространственными эффектами (рассеивание напряжений с глубиной, горизонтальные перемещения грунта по склону) недопустимо. На практике в этом случае зависимость “подправляют”

коэффициентами, полученными из решения упругой задачи, что применительно к оттаивающему грунту не вполне корректно [1].

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований деформирования оттаивающего грунта при различных способах нагружения (в компрессионном приборе и стабилometре).

Испытывались серии из 3 – 5 идентичных образцов, замороженных под одной и той же (в пределах одной серии) нагрузкой P_f и оттаенных затем в компрессионных опытах – под различными нагрузками, включая P_f , в стабилometре – при различных сочетаниях вертикального P_b и бокового P_d давлений [2].

Эксперименты показали, что давление P_f является важным параметром, определяющим “память” оттаивающего грунта. Для грунтов массивной и сетчатой криотекстур зависимость относительной осадки оттаивания от давления при оттаивании P_0 в диапазоне $P_0 \leq P_f$ близка к прямо пропорциональной (коэффициент корреляции 0,93). При $P_0 > P_f$ прямая пропорциональность S и P_0 нарушается, график в этом диапазоне имеет меньший угол наклона, (Рис. 1, кривые 1, 2) [3]. Для грунтов слоистой криотекстуры аппроксимация опытных данных приводит к аналогичному графику, но не проходящему через начало координат (рис. 1, кривая 3).

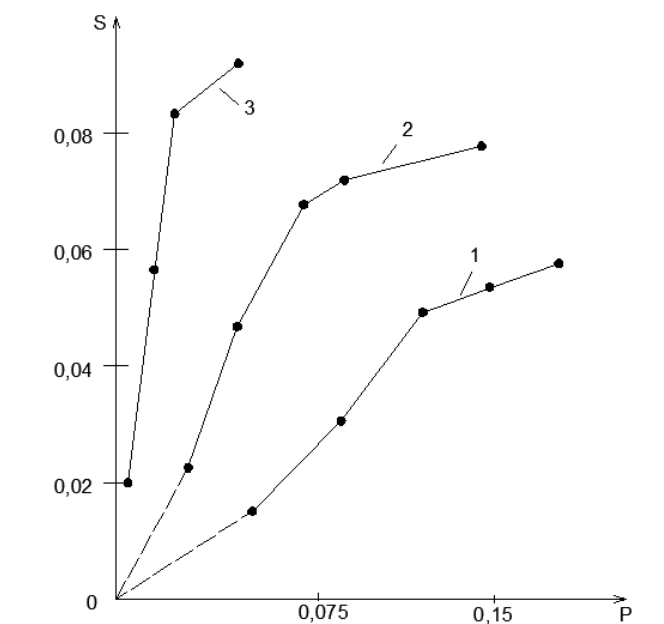


Рис. 1. Зависимость осадки оттаивания от давления:

1 – суглинок массивной криотекстуры $P_f = 0,15$ МПа; 2 – суглинок сетчатой криотекстуры $P_f = 0,075$ МПа; 3 – суглинок слоистой криотекстуры $P_f = 0,025$ МПа

Таким образом, зависимость осадки оттаивания от давления может быть представлена в виде кусочно-линейной функции из двух участков и переломом в точке $P_0 = P_f$, (Рис. 2).

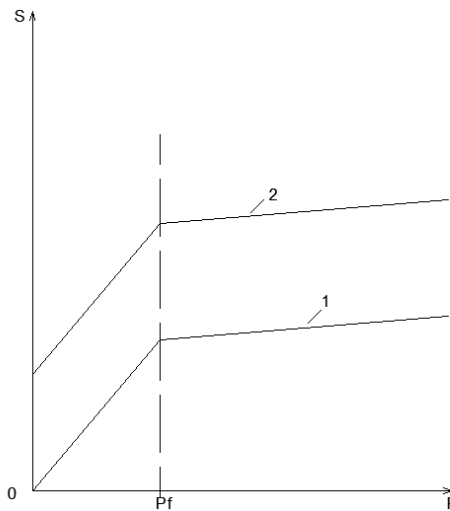


Рис. 2. Схема деформирования грунта при оттаивании:

1 – грунты массивной и сетчатой криотекстуры; 2 – грунты слоистой криотекстуры

В стабиллометрических испытаниях возникшие при оттаивании деформации (объемная ε_V , вертикальная ε_Z) рассматривались как деформации некоторого условного “упругого тела”, находящегося в аналогичном напряженном состоянии. Для грунтов массивной и сетчатой криотекстур определяемый таким образом “модуль деформации” E_0 обладает достаточно хорошей воспроизводимостью (табл. 1) и может рассматриваться как инвариантная характеристика деформативности оттаивающего грунта. Анизотропия сжимаемости, характеризуемая величиной V_A , равной отношению горизонтальной деформации к вертикальной в условиях всестороннего сжатия ($P_b = P_\delta$), для грунтов этих криотекстур невелика [4]. Так, в проведенных опытах различие вертикальной и горизонтальной деформаций при всестороннем сжатии не превышало 13%.

Таблица 1

Деформации суглинка и песка массивной криотекстуры

№ опыта	P_b	P_δ	ε_Z	ε_V	V_A	E_0
Суглинок, $P_f = 0,78$ МПа						
1	0,05	0,05	0,037	0,098	0,87	1,18
2	0,075	0,0375	0,059	0,095	-	1,13
3	0,03	0,003	0,03	0,028	-	1,1
Комп. 1	0,075	-	0,063	0,063	-	1,17
Комп. 2	0,05	-	0,039	0,039	-	1,24
Песок, $P_f = 0,05$ МПа						
1	0,05	0,05	0,008	0,026	0,88	3,9
2	0,05	0,025	0,008	0,019	-	3,4
Комп. 1	0,05	-	0,010	0,010	-	4,2

Комп. 2	0,025	-	0,008	0,008	-	3,3
---------	-------	---	-------	-------	---	-----

Комп. – компрессионные испытания грунта.

Результаты компрессионных и стабилметрических испытаний обобщаются в следующих соотношениях:

$$\text{при } \sigma_0 \leq \sigma + \varepsilon : \quad \varepsilon_i^{(0)} = \frac{\sigma_i}{E_0 - \left(\frac{V_0}{E_0}\right)} \sum_{j \pm i} \sigma_j$$

$$\text{при } \sigma_0 > \sigma_f : \varepsilon_i^{(0)} = \frac{\sigma_f}{\sigma_0} \left\{ \frac{\sigma_i}{E_0} - \left(\frac{V_0}{E_0}\right) \sum_{j \pm i} \sigma_j \right\} + \left(1 - \frac{\sigma_f}{\sigma_0}\right) \left\{ \frac{\sigma_i}{E'_0} - \left(\frac{V'_0}{E'_0}\right) \sum_{j \pm i} \sigma_j \right\}$$

где σ_0, σ_f – среднее напряжение при оттаивании и промерзании; V_0 – коэффициент оттаивающего грунта (условный коэффициент Пуассона), (по проведенным опытам заключен в интервале 0,1 – 0,2); E'_0, V'_0 – характеристики 2-го линейного участка.

Для грунтов слоистой криотекстуры сочетание напряжений и деформаций не соответствует модели изотропного упругого тела, что приводит к существенному различию формально определяемой величины E_0 в разных опытах (табл. 2, числитель). В то же время, если разность $\Delta\varepsilon$ между вертикальной и горизонтальной деформациями оттаивания при всестороннем сжатии рассматривать как дополнительную, не связанную с действующими напряжениями осадку (в приведенном примере $\Delta\varepsilon = 0,063$) и вычесть её из ε_z во всех опытах, то величина E_0 , рассчитываемая по скорректированным таким образом данным, имеет практически тот же разброс, что и для грунтов массивной криотекстуры (табл. 2, знаменатель). Кроме того, величина $\Delta\varepsilon$ оказывается довольно близкой к значению ординаты пересечения графика “S - P_0 ” с осью $P_0 = 0$ в компрессионных испытаниях данного грунта [5].

Таблица 2

Деформации суглинка слоистой криотекстуры, $P_0 = 0,025$ МПа

№ опыта	P_b	P_δ	ε_z	ε_v	V_A	E_0
1	0,02	0,02	$\frac{0,09}{0,018}$	$\frac{0,115}{0,052}$	$\frac{0,21}{1,1}$	$\frac{0,36}{0,83}$
2	0,015	0,002	$\frac{0,079}{0,016}$	$\frac{0,079}{0,017}$	-	$\frac{0,17}{0,92}$
Комп. 1	0,03	-	$\frac{0,09}{0,028}$	$\frac{0,09}{0,028}$	-	$\frac{0,32}{1,05}$
Комп. 2	0,02	-	$\frac{0,078}{0,017}$	$\frac{0,078}{0,017}$	-	$\frac{0,25}{1,25}$

Таким образом, общую деформацию при оттаивании грунта слоистой криотекстуры можно представить в виде суммы изотропной компоненты и дополнительной вертикальной

составляющей, не зависящей от напряжений, наличие которой обуславливает анизотропию сжимаемости.

Список литературы

1. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994, 381 с.
2. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978, 447 с.
3. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М.: Недра, 1985, 342 с.
4. Кузнецов Г.Б. О влиянии скорости в начале процесса на ползучесть и релаксацию материалов // Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений / Пермь. Перм.политехн.ин-т, 1972. С.21-24.
5. Бронин В.Н., Вишневецкий Г.Д. Прикладная теория ползучести грунтов: Учеб. Пособие. Л.: ЛИСИ, 1983, 49 с.

Рецензенты:

Олонцев В.Ф., д.т.н., профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь;

Овчинников И.Г., д.т.н., доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.