Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет

Кафедра геотехники

Дисциплина: Механика грунтов

Отчет по лабораторным работам

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ**

**СВОЙСТВ ГРУНТОВ**

Выполнила студентка

группы 1-СУЗС-3

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Кораблёва В.Р.

Принял преподаватель

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Гурский

Санкт-Петербург

2019

**Лабораторная работа №1**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА**

**ГРУНТА ПОЛЕВЫМ МЕТОДОМ**

**Объект исследования –** грунт нарушенной структуры, высушенный на воздухе при обычной температуре.

**Материалы и оборудование:** градуированные цилиндры объемом 100 мл – 2 шт.; раствор хлористого кальция (CaCl – 5 %); колба с водой; сосуд для слива суспензии; ложка; палочка с резиновым наконечником; секундомер.

**Результаты определения содержания песчаных частиц**

**(размер от 0,05 до 2,0 мм)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Начальный объем грунта, см3 | Объем оставшегося грунта, см3 | Содержание песчаных частиц, % |
| 10 | 4,5 | 45 |

**Результаты определения содержания глинистых частиц**

**(размер менее 0,002 мм)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Начальный объем грунта *V*1, см3 | Объем набухшего грунта *V*2, см3 | Приращение объема  *V*2 – *V*1, см3 | Относительное приращение объема | Содержание глинистых частиц  % |
| 10 | 15 | 5 | 0,5 | 11,35 |

Примечание: *K* – эмпирический коэффициент, равный 22,7.

**Результаты определения гранулометрического состава грунта**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Частицы | Размер частиц, мм | Содержание, % |
| Песчаные | 0,05...2,0 | 45 |
| Пылеватые | 0,002...0,05 | 43,65 |
| Глинистые | Менее 0,002 | 11,35 |

**Вывод:** по гранулометрической классификации В. В. Охотина исследованный грунт является суглинком.

**Лабораторная работа №2**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА**

**МЕТОДОМ РЕЖУЩЕГО КОЛЬЦА (ГОСТ 5180–84)**

**Объект исследования** – образец глинистого грунта ненарушенной структуры.

**Материалы и оборудование:** режущее кольцо с паспортом, салфетка, нож, стекло, правило, весы.

**Результаты определения удельного веса грунта**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Объем кольца  *V*, см3 | Масса кольца  *m*1, г | Масса кольца с грунтом  *m*2, г | Масса грунта  (*m*2 − *m*1), г | Плотность грунта    г/см3 | Удельный вес грунта γ = ρ *g*, кН/м3 |
| 40 | 11,99 | 86,02 | 74,03 | 1,85 | 18,16 |

Примечание: *g* = 9,81 м/с2 – ускорение свободного падения.

**Лабораторная работа №3**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА МЕТОДОМ ВЗВЕШИВАНИЯ (ГОСТ 5180–84)**

**Объект исследования** – образец глинистого грунта.

**Материалы и оборудование:** бюкс, нож, весы, шкаф сушильный с термометром.

**Результаты определения природной влажности грунта**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  бюкса | Масса  бюкса  *m*1, г | Масса бюкса с влажным грунтом  *m*2, г | Масса бюкса с сухим грунтом  *m*3, г | Влажность грунта |
| 242 | 21,96 | 43,34 | 39,18 | 0,24 |

**Дополнительные характеристики грунта**

Плотность сухого грунта

Относительное содержание твердых частиц (скелетность)

где ρ*s* = 2,70 г/см3– плотность частиц суглинка[[1]](#footnote-1);

Пористость

Коэффициент пористости грунта

Влажность при полном насыщении пор водой

где ρ*w* – плотность воды, ρ*w* = 1,0 г/см3.

Коэффициент водонасыщения

**Лабораторная работа №4**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ВЛАЖНОСТЕЙ**

**ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 5180–84)**

**Объект исследования** – образец глинистого грунта нарушенной структуры (в виде пасты и сухой в виде порошка).

**Материалы и оборудование:** балансирный конус с металлическим стаканчиком и подставкой; технический вазелин; салфетка; нож; бюкс – 2 шт.; весы; шкаф сушильный с термометром.

**Результаты определения характерных влажностей**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Характерная влажность грунта | Номер бюкса | Масса бюкса  *m*1, г | Масса бюкса с влажным грунтом  *m*2, г | Масса бюкса с сухим грунтом  *m*3, г | Влажность грунта |
| *wL* | 202 | 22,42 | 34,88 | 32,09 | 0,288 |
| *wp* | 242 | 21,96 | 32,52 | 30,9 | 0,181 |

Влажность на границе текучести

Влажность на границе раскатывания (пластичности)

Число пластичности

Показатель текучести

**Вывод**: по ГОСТ 25100–2011 исследованный грунт является суглинком мягкопластичным, легкий песчанистый.

Согласно табл. 2 и 3 прил. 1 СНиП 2.02.01–83\* исследованному грунту с *e* = 0,76 соответствуют механические характеристики:

удельное сцепление *cn* = 18 кПа;

угол внутреннего трения φ*n* = 17°;

модуль деформации *E* = 10 МПа.

**Лабораторная работа №5**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОРИСТОСТИ ПЕСКА**

**В ПРЕДЕЛЬНО РЫХЛОМ И ПРЕДЕЛЬНОМ ПЛОТНОМ СЛОЖЕНИИ**

**Цель работы**- определить коэффициент пористости песка и установить его плотность.

**Объект исследования** – песок средней крупности.

**Материалы и оборудование:** цилиндр с днищем; ложка; воронка; резиновый молоточек; правило; весы.

**Результаты исследования песка средней крупности**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сложение песка | Масса цилиндра  *m*1, г | Масса цилиндра с грунтом *m*2, г | Масса песка  (*m*2 − *m*1), г | Объем цилиндра  *V*, см3 | Плотность ρ, г/см3 | Коэффициент пористости *e* |
| Предельно рыхлое | 317,15 | 719,09 | 401,94 | 250 | 1,607 | 0,6482 |
| Предельно плотное | 317,15 | 758,2 | 441,05 | 250 | 1,7642 | 0,502 |

Плотность



Так как опыт проводится с песком в воздушно-сухом состоянии, то, пренебрегая его гигроскопичной влажностью (т.е., считая *w*= 0), определяем плотность грунта ρ и приравниваем ее к плотности сухого грунта ρ*d*:

ρ*d* = ρ.

Коэффициент пористости



где ρ*s* = 2,65 г/см3– плотность частиц песка[[2]](#footnote-2); ρ*d* – плотность сухого грунта.

**Вывод**: коэффициент пористости песка в предельно рыхлом состоянии 0,65, а в предельно плотном 0,51

**Лабораторная работа №6**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ**

**ПЕСКА (ГОСТ 25584–90)**

**Цель работы** - определить коэффициент фильтрации грунта.

**Объект исследования** – песок средней крупности.

**Материалы и оборудование:** фильтрационный прибор (КФ-1 или трубка СПЕЦГЕО); мерный сосуд Мариотта; цилиндр с днищем, крышкой (муфтой) и латунными сетками), колба с водой, секундомер.

**Результаты исследования водопроницаемости песка  
с коэффициентом пористости *e* =0,67**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | Начальный отсчет по шкале мерного сосуда *Q*1, см3 | Конечный отсчет по шкале мерного сосуда *Q*2, см3 | Объем  профильтровавшейся воды  *Q*= *Q*2 − *Q*1, см3 | Продолжительность фильтрации *t*, с | Гидравлический  градиент *I* | Площадь сечения  грунта *A*, см2 | Коэффициент  фильтрации *К*ф, см/с | Средний коэффициент фильтрации *К*ф., см/с |
| 1 | 0 | 90 | 90 | 68 | 1 | 25 | 0,0529 | 0,04842 |
| 2 | 0 | 90 | 90 | 74 | 1 | 25 | 0,0486 |
| 3 | 0 | 90 | 90 | 82 | 1 | 25 | 0,0439 |

Коэффициент фильтрации



где *Q* – объем профильтровавшейся воды, см3; *A* – площадь поперечного сечения образца грунта, см2; *I* – гидравлический градиент*t* – время фильтрации, с.

**Вывод**: для песка средней крупности с коэффициентом пористости *e* = 0,6482 коэффициент фильтрации равен 0,04842 см/с.

**Лабораторная работа №7**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 12248–2010)**

**Цель работы** - определить удельное сцепление и угол внутреннего трения пылевато-глинистого грунта.

**Объект исследования** – образцы глинистогогрунта ненарушенной структуры (монолиты) в кольцах.

**Материалы и оборудование:** сдвиговые приборы ПСГ-2 – 3 шт. с наборами гирь, секундомер.

**Данные хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки при нормальном напряжении σ = 100 кПа**

| Номер ступени нагрузки | Величина ступени нагрузки *Qi*, Н | Суммарная нагрузка от начала опыта  *F* = ∑*Qi*, Н | Время от начала опыта *t*, мин | Отсчет по индикатору, мм | Приращение деформации сдвига за минуту, мм | Деформация сдвига от начала опыта δ, мм |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 |  |  | 0 | 8,14 | 0 | 0 |
| 1 | 8 | 8 | 1 | 7,81 | 0,33 | 0,33 |
| 2 | 7,79 | 0,02 | 0,35 |
| 3 | 7,77 | 0,02 | 0,37 |
| 2 | 4 | 12 | 1 | 7,16 | 0,61 | 0,98 |
| 2 | 7,11 | 0,05 | 1,03 |
| 3 | 7,07 | 0,04 | 1,07 |
| 4 | 7,06 | 0,01 | 1,08 |
| 3 | 2 | 14 | 1 | 6,85 | 0,21 | 1,29 |
| 2 | 6,80 | 0,05 | 1,34 |
| 3 | 6,76 | 0,04 | 1,38 |
| 4 | 6,75 | 0,01 | 1,39 |

**данные хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки при нормальном напряжении σ = 200 кПа**

| Номер ступени нагрузки | Величина ступени нагрузки *Qi*, Н | Суммарная нагрузка от начала опыта  *F* = ∑*Qi*, Н | Время от начала опыта *t*, мин | Отсчет по индикатору, мм | Приращение деформации сдвига за минуту, мм | Деформация сдвига от начала опыта δ, мм |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 |  |  | 0 | 7,37 | 0 | 0 |
| 1 | 16 | 16 | 0 | 7,20 | 0,17 | 0,17 |
| 1 | 7,15 | 0,05 | 0,22 |
| 2 | 7,13 | 0,02 | 0,24 |
| 3 | 7,12 | 0,01 | 0,25 |
| 2 | 8 | 24 | 0 | 6,52 | 0,6 | 0,85 |
| 1 | 6,24 | 0,28 | 1,13 |
| 2 | 6,15 | 0,09 | 1,22 |
| 3 | 6,09 | 0,06 | 1,28 |
| 4 | 6,05 | 0,04 | 1,32 |
| 5 | 6,03 | 0,02 | 1,34 |
| 6 | 6,01 | 0,02 | 1,36 |
| 3 | 4 | 28 | 0 | 5,65 | 0,36 | 1,72 |
| 1 | 4,72 | 0,93 | 2,65 |
| 2 | 4,61 | 0,11 | 2,76 |
| 3 | 4,52 | 0,09 | 2,85 |
| 4 | 4,41 | 0,11 | 2,96 |
| 5 | 4,36 | 0,05 | 3,01 |
| 6 | 4,31 | 0,05 | 3,06 |
| 7 | 4,27 | 0,04 | 3,10 |
| 8 | 4,24 | 0,03 | 3,13 |

**Данные хода опыта по определению предельной сдвигающей нагрузки при нормальном напряжении σ = 300 кПа**

| Номер ступени нагрузки | Величина ступени нагрузки  *Qi*, Н | Суммарная нагрузка от начала опыта  *F* = ∑*Qi*, Н | Время от начала опыта *t*, мин | Отсчет по индикатору, мм | Приращение деформации сдвига за минуту, мм | Деформация сдвига от начала опыта δ, мм |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 |  |  |  | 8,105 | 0 | 0 |
| 1 | 24 | 24 | 0 | 7,140 | 0,965 | 0,965 |
| 1 | 7,105 | 0,035 | 1 |
| 2 | 7,095 | 0,01 | 1,01 |
| 3 | 7,086 | 0,009 | 1,019 |
| 4 | 7,080 | 0,006 | 1,025 |
| 5 | 7,075 | 0,005 | 1,03 |
| 2 | 12 | 36 | 0 | 6,600 | 0,475 | 1,505 |
| 1 | 6,570 | 0,03 | 1,535 |
| 2 | 6,540 | 0,03 | 1,565 |
| 3 | 6,525 | 0,015 | 1,580 |
| 4 | 6,510 | 0,015 | 1,595 |
| 3 | 6 | 42 | 0 | 6,230 | 0,28 | 1,875 |
| 1 | 6,180 | 0,05 | 1,925 |
| 2 | 6,140 | 0,04 | 1,965 |
| 3 | 6,115 | 0,025 | 1,990 |
| 4 | 6,095 | 0,02 | 2,01 |
| 5 | 6,080 | 0,015 | 2,025 |

Рис. 1. График хода опыта по определению предельной сдвигающей

нагрузки при различных нормальных напряжениях

За предельную сдвигающую нагрузку *Fu* принимают горизонтальную нагрузку перед разрушением образца (без последней ступени):



где *Qi* – величина *i*-й ступени сдвигающей нагрузки; *qi* – вес гирь на подвеске рычага для созданиясдвигающей нагрузки *Qi*; 10 – передаточное число рычага сдвигающей нагрузки.

Касательное напряжение τ в плоскости сдвига, соответствующее нагрузке *Fu*, принимают равным сопротивлению грунта сдвигу при данном нормальном напряжении σ:



где *A* – площадь поверхности сдвига, равная 40 см2.

**Результаты определения сопротивления грунта сдвигу**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер  прибора | Нормальное  напряжение  в плоскости  сдвига σ, кПа | Величина  предельной  горизонтальной  нагрузки *Fu*, Н | Сопротивление грунта сдвигу  τ*u*, кПа |
| 1 | 100 | 140 | 35 |
| 2 | 200 | 280 | 70 |
| 3 | 300 | 420 | 105 |

Рис. 2. График предельного сопротивления грунта сдвигу

**Вывод**: коэффициент трения грунта *f*  = tg φ = 0,35

угол внутреннего трения грунта φ = arctg (0,35) = 19,29 °

удельное сцепление грунта *с* =  0 кПа

**Лабораторная работа №8**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ПЕСКА**

**И ГЛИНИСТОГО ГРУНТА (ГОСТ 12248–2010)**

**Цель работы**- определить модуль деформации песчаного и глинистого грунтов. Изучить характер развития осадки песка и глинистого грунта во времени.

**Объект исследования** – образцы песка и глинистогогрунта ненарушенной структуры (монолиты) в кольцах.

**Материалы и оборудование:** одометр с глинистым грунтом – 2 шт., одометр с песком – 2 шт., рычажные прессы для приложения нагрузки, индикаторы перемещений, секундомер.

**Результаты наблюдения за деформациями глинистого грунта**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Интенсивность  давления  *p*, кПа | Время от приложения данной ступени давления *t* | Отсчеты по индикаторам, мм | | | Прирост деформации от второй ступени давления *s*, мм | Полная деформация при данном давлении, мм |
| Левый | Правый | Среднее значение |
| *p*0 = 0 | — |  |  |  | — | ∆*h*0 = 0 |
| *p*1 = 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | ∆*h*1 =0,5 |
| 24 ч. | 1,221 | 5,821 | 3,521 | — |
| *p*2 = 200 | 0 | 1,221 | 5,821 | 3,521 | 0,000 | ∆*h*2 =1,839 |
| 1 мин | 2,191 | 6,580 | 4,386 | 0,865 |
| 2 мин | 2,228 | 6,612 | 4,420 | 0,899 |
| 3 мин | 2,312 | 6,633 | 4,473 | 0,952 |
| 5 мин | 2,369 | 6,658 | 4,514 | 0,993 |
| 10 мин | 2,465 | 6,700 | 4,583 | 1,062 |
| 20 мин | 2,610 | 6,751 | 4,681 | 1,160 |
| 30 мин | 2,691 | 6,789 | 4,740 | 1,219 |  |
| 60 мин | 2,862 | 6,851 | 4,860 | 1,339 |

**Результаты наблюдения за деформациями песка**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Интенсивность  давления  *p*, кПа | Время от приложения данной ступени давления *t* | Отсчеты по индикаторам, мм | | | Прирост деформации от второй ступени давления *s*, мм | Полная деформация при данном давлении, мм |
| Левый | Правый | Среднее значение |
| *p*0 = 0 | — | 0 | 0 | 0 | — | ∆*h*0 = 0,0 |
| *p*1 = 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | ∆*h*1 = 0,5 |
| 24 ч. | 0,109 | 0,051 | 0,080 | — |
| *p*2 = 200 | 0 | 0,109 | 0,051 | 0,080 | 0,000 | ∆*h*2 =0,752 |
| 1 мин | 0,441 | 0,200 | 0,321 | 0,241 |
| 2 мин | 0,442 | 0,204 | 0,323 | 0,243 |
| 3 мин | 0,442 | 0,205 | 0,324 | 0,244 |
| 5 мин | 0,442 | 0,208 | 0,325 | 0,245 |
| 10 мин | 0,443 | 0,210 | 0,327 | 0,247 |
| 20 мин | 0,445 | 0,215 | 0,330 | 0,250 |
| 30 мин | 0,446 | 0,217 | 0,332 | 0,252 |

**Результаты определения коэффициентов пористости**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Грунт | Интенсивность давления *p*, кПа | Полная деформация при данном давлении ∆*hi* | Изменение коэффициента пористости | Коэффициент пористости |
| Гли-нистый грунт | *p*0 = 0 | ∆*h*0 = 0,000 | 0,000 | *e*0 =1,100 |
| *p*1 = 50 | ∆*h*1 = 0,500 | 0,042 | *e*1 = 1,058 |
| *p*2 = 200 | ∆*h*2 = 1,839 | 0,154 | *e*2 = 0,946 |
| Песок | *p*0 = 0 | ∆*h*0 = 0,000 | 0,000 | *e*0 = 0,800 |
| *p*1 = 50 | ∆*h*1 = 0,500 | 0,036 | *e*1 = 0,764 |
| *p*2 = 200 | ∆*h*2 =0,752 | 0,054 | *e*2 = 0,746 |

Примечания: 1. Высота образца грунта до приложения нагрузки *h* = 25 мм. 2. Коэффициенты пористости грунтов до приложения нагрузки: *e*0 = 0,8 – для песка; *e*0 = 1,1 – для глинистого грунта.

Рис. 3. Компрессионные кривые для песка ( ▬■▬ )

и глинистого грунта ( ▬●▬ )

Рис. 4. Графики развития осадок для песка ( ▬■▬ )

и глинистого грунта ( ▬●▬ )

**Деформационные характеристики глинистого грунта**

Относительные вертикальные деформации

ε1 = = = 0,02;

ε2 = = = 0,0336.

Коэффициент сжимаемости

*=*  = = 0,747 МПа-1.

Относительный коэффициент сжимаемости

*=*  = = 0,356 МПа-1.

Модуль деформации по данным компрессионных испытаний

= = = 1,685 МПа,

где β – коэффициент учитывающий невозможность бокового расширения грунта в компрессионном приборе и зависящий от коэффициента относительной поперечной деформации грунта ν



Для суглинков при отсутствии экспериментальных данных допускается принимать β = 0,6 (п. 5.4.6.4 ГОСТ 12248–2010).

Согласно ГОСТ 25100–2011 глинистый грунт – очень сильно деформируемый

**Деформационные характеристики песка**

Относительные вертикальные деформации

ε1 = = = 0,02;

ε2 = = = 0,030.

Коэффициент сжимаемости

*=*  = = 0,120 МПа-1.

Относительный коэффициент сжимаемости

*=*  = = 0,067 МПа-1.

Модуль деформации по данным компрессионных испытаний

= = = 11,94 МПа,

где β – коэффициент учитывающий невозможность бокового расширения грунта в компрессионном приборе и зависящий от коэффициента относительной поперечной деформации грунта ν



Для песков при отсутствии экспериментальных данных допускается принимать β = 0,8 (п. 5.4.6.4 ГОСТ 12248–2010).

Согласно ГОСТ 25100–2011 песок - деформируемый

**Вывод**: в ходе данной лабораторной работе мы определили модуль деформации песка и глинистого грунта в условиях компрессионного сжатия, при котором деформирование грунта происходит в вертикальном направлении без возможности горизонтального расширения. Зная модуль деформации, определили, что глинистый грунт – очень сильно деформируемый (Е=1,685Мпа) , а песок – деформируемый (Е=11,94Мпа).

Также были построены компрессионные кривые для песка и глинистого грунта и графики развития осадок для песка и глинистого грунта.

1. Справочник проектировщика «Основания, фундаменты и подземные сооружения». М.: Строй-издат, 1985. – С. 10 [↑](#footnote-ref-1)
2. [↑](#footnote-ref-2)