

Зависимость деформаций водонасыщенного грунта от прилагаемой нагрузки

П.Ю. Чубка, Ю.Ш. Чубка, В.С. Тюрина

Донской государственной технической университет

Аннотация: В статье рассмотрены физические причины перемещения жидкости в грунте, влияние гидростатического давления в грунтовой воде, представлена деформация грунтов при замачивании.

Ключевые слова: деформация грунтов, гидростатическое давление, водонасыщенное состояние, фильтрация воды, напряжения грунтового скелета.

Если представить себе пустоты скелета полностью заполненными грунтовой водой, то всю систему пустот можно рассматривать как систему сообщающихся сосудов, в которых движение воды происходит в соответствии с общими законами движения жидкостей [1].

Известно, что пустоты грунта способны впитывать в себя воду при каждой возможности. Свойство поверхности грунтовых частиц смачиваться водой создает условия для пленочного и капиллярного продвижения воды в пустотах всех грунтов, получающих связь с каким-либо водоемом или с водоносным пластом, не говоря уже о грунтах, залегающих ниже горизонта грунтовых вод и находящихся, поэтому, в водонасыщенном состоянии.

Таким образом, состояние полного заполнения пустот водой заслуживает рассмотрения как механическая схема, отвечающая природным условиям взаимодействия грунта с водой. Кроме того, эта схема близко воспроизводит природные условия, существующие для многих грунтов в естественных образованиях или в грунтовых сооружениях, имеющих непосредственную связь с источниками увлажнения [2].

Деформация грунтов при сжатии сопровождается перемещением воды в пустотах скелета [3]. Физической причиной перемещения жидкости является разность гидростатических давлений в различных точках ее объема.

При передаче на жидкость вертикальной нагрузки интенсивностью p гидростатическое давление может быть всегда выражено эквивалентным столбом жидкости, создающим на уровне приложения нагрузки гидростатическое давление, равное p (1).

Очевидно, что высота этого столба будет равна:

$$h_p = \frac{p}{\gamma_b}, \quad (1)$$

где γ_b – плотность жидкости, равная ее удельному весу и имеющая наименование г/см^3 ; p - вертикальная нагрузка; h_p - гидростатическое давление.

Для воды, при $\gamma_b=1$, гидростатическое давление, выраженное высотой водяного столба, численно равняется внешней нагрузке, выраженной в граммах на 1 см^2 [4].

Таким образом, изменение гидростатического давления в грунтовой воде напряжение системы w всегда может быть представлено как разность гидростатических давлений в точках, находящихся на одной глубине, будет равна разности ординат этих свободных уровней. Следовательно, силу, вызывающую движение жидкости, можно представить в виде разности напоров:

$$F = H_1 - H_2,$$

где F – сила, вызывающая движение жидкости; H_1 – напор один; H_2 – напор два.

Продвигаясь под действием силы, выраженной разностью напоров со скоростью фильтрации q вода преодолевает сопротивление по пути своего движения. Такое движение носит название длины фильтрационной линии L [5]. Соотношение между напором, длиной фильтрационной линии и скоростью фильтрации можно записать уравнением:

$$q = k \frac{H_1 - H_2}{L},$$

Где q – скорость фильтрации; k - коэффициент скорости фильтрации; L – длина фильтрационной линии.

Коэффициент k выражает собой скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице. Этот коэффициент называется коэффициентом фильтрации и служит показателем качества грунта с точки зрения его фильтрационной способности [6].

Известно, что коэффициент фильтрации грунтов изменяется для различных грунтов в весьма широких пределах. Поэтому для удобства пользования численными значениями коэффициента фильтрации приходится допускать применение различных единиц измерения [7]. Для крупных, хорошо фильтрующих песков удобным для выражения коэффициента фильтрации является измерение его в довольно крупных единицах скорости (метры/сутки). Для плохо фильтрующих (глинистых) грунтов удобнее применять более мелкую единицу, использующую малый измеритель длины и очень большой измеритель времени (сантиметр/год).

Нагрузка, передаваемая на грунт возведенным на нем сооружением, действует неопределенно долгое время и замедленная деформация грунта, особенно опасная для сооружений при слабой фильтрации.

Замедление деформаций сжатия является следствием наличия воды в пустотах грунтового скелета и потому поддается исследованию с помощью механической схемы грунтовой массы [8].

При сжатии грунтовой массы в условиях свободного сообщения пустот вновь приложенная внешняя нагрузка передается прежде всего на грунтовую воду (система w), создавая в ней гидростатическое давление, численно равное внешней нагрузке $w = p$, Разность гидростатических давлений на поверхности в данном случае оказывается равной внешней

нагрузке:

$$H_1 - H_2 = w = p,$$

где w – гидростатическое давление; p - внешняя нагрузка.

В более общем случае, когда процесс деформации уже несколько продвинулся, напряжение от внешней нагрузки распределяется между грунтовой водой и грунтовым скелетом.

Таким образом, напор воды при сжатии грунта постоянной нагрузкой p оказывается переменным и зависит от напряжения грунтового скелета σ .

Процесс отфильтровывания воды из пустот скелета под действием переменного напора будет определять собой ход сжатия грунтового скелета во времени [9]. В грунтах хорошо фильтрующих (с большим коэффициентом фильтрации), этот процесс протекает весьма быстро и почти не задерживает деформации скелета. В грунтах плохо фильтрующих (с малым коэффициентом фильтрации), вода отфильтровывается медленно и столь же медленно происходит снижение гидростатического давления грунтовой воды. Поэтому деформация сжатия скелета сильно задерживается и происходит замедленно.

Если к грунту приложена нагрузка p , способная произвести сжатие слоя грунтовой массы толщиной h на величину λ , то в результате данной деформации окажется излишним объем воды:

$$\Delta V = F\lambda,$$

где ΔV – результат деформации; λ – величина сжимаемой грунтовой массы; F - площадь сечения области, в которой происходит сжатие грунта.

Этот объем воды должен быть отфильтрован в процессе сжатия скелета.

Фильтрация происходит под действием напора, меняющегося от $H=p$ в момент применения нагрузки, до $H=0$ в момент завершения деформации. В

среднем за весь срок действия нагрузки напор может быть принят равным:

$$H_{\text{сред}} = \frac{P}{2},$$

где, $H_{\text{сред}}$ – среднее действие напора; P - внешняя нагрузка.

Длина фильтрационной линии зависит от того, каким образом обеспечивается сообщение пустот скелета [10]. Если, принять, что внешняя нагрузка передается на грунт через верхний слой из хорошо фильтрующего материала, пустоты которого служат для отвода излишней воды, то фильтрация воды будет происходить снизу вверх и перемещаться будет объем воды, имеющий по направлению своего движения размер, равный толщине слоя грунта h . Средняя скорость фильтрации будет рассчитываться по формуле:

$$L_{\text{сред}} = \frac{h}{2},$$

где $L_{\text{сред}}$ – средняя длина фильтрационной линии; h – толщина сжимаемой грунтовой массы.

Фильтрация воды будет происходить, под действием гидравлического градиента по формуле:

$$I = \frac{H_{\text{сред}}}{L_{\text{сред}}} = \frac{\frac{P}{2}}{\frac{h}{2}} = \frac{P}{h},$$

где I - действие гидравлического градиента; p - внешняя нагрузка.

Со скоростью:

$$q = kI = \frac{kp}{h},$$

где q – скорость фильтрации воды; k - коэффициент скорости фильтрации.

За время t , через все сечения грунта имеющее площадь F , в водоотводный слой вытечет количество воды:

$$\Delta V = qtF = \frac{kptF}{h}.$$

Имея в виду, что фильтрация воды к концу деформации прекращается, можно, сравнивая уравнения, получить для данных условий искомую зависимость между временем полной деформации и коэффициентом фильтрации грунта:

$$F\lambda = \frac{kptF}{h}.$$

$$t = \frac{h\lambda}{kp}.$$

Если нагрузка на грунт будет изменена раньше окончания срока выраженного уравнением, то деформация от ранее приложенной нагрузки не будет закончена и произошедшее отставание деформации от нагрузки распространится на весь дальнейший процесс.

Литература

1. Крутов В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. Москва 1972. 78-135с.
2. Болдырев Г.Г. Малышев М.В. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах). Издание 4-е, переработанное и дополненное. Пенза 2009. 27-43с.
3. Ухов С.Б. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 2010, 565 с.
4. Цытович, Н.А. Механика грунтов. Краткий курс. М.: ЛКИ, 2008. 16-98 с.
5. Бугров, А.К. Механика грунтов: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 287 с.

6. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Л.,1988. 128-156. p.
7. Тюрина В.С. Чубка Ю.Ш. Панасюк Л.Н. Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3733.
8. ЧМШКЯН А.В. Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256.
9. Prokopyov A., Prokopyova M., Rubtsova Ya. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/mateconf/201710602001.
10. Lee W. Abramson, Thomas S. Lee Sunil Sharma, Glenn M. Boyce Slope stability and stabilization methods. Second Edition. New York: Wiley Pages, 2002. 501 p.

References

1. Krutov V.I. Osnovaniya i fundamenty na prosadochnykh gruntakh. [Substructures and foundations on the collapsible grounds]. Moskva 1972. 78-135p.
2. Boldyrev G.G. Malyshev M.V. Mekhanika gruntov. Osnovaniya i fundamenty (v voprosakh i otvetakh). [Soil Mechanics. Substructures and foundations. (in questions and answers). 4th edition, revised and enlarged]. Izdanie 4-e, pererabotannoe i dopolnennoe. Penza 2009. 27-43 p.
3. Ukhov S.B. etc. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty [Soil Mechanics. Substructures and foundations]. M.: Vysshaya shkola, 2010. 565 p.
4. Tsytovich, N.A. Mekhanika gruntov. Kratkiy kurs. [Soil Mechanics. Short course]. M.: LKI, 2008. 16-98 p.
5. Bugrov, A.K. Mekhanika gruntov: ucheb. Posobie. [Soil Mechanics.



Training aids]. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. 287. p.

6. Dalmatov, B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty. [Soil Mechanics. Substructures and foundations]. L., 1988. 128-156. p.

7. Tyurina V.S., Chubka Yu.Sh, Panasyuk L.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3733.

8. Chmshkyan A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4 (chast' 2). URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256.

9. Prokopov A., Prokopova M., RubtsovaYa. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710602001.

10. Lee W. Abramson, Thomas S. Lee Sunil Sharma, Glenn M. Boyce Slope stability and stabilization methods. Second Edition. New York: Wiley Pages, 2002. 501 p.