

Исследование прочностных характеристик глинистого грунта, усиленного фибровым армированием

УДК 624.138

Гришина Алла Сергеевна

аспирант, ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермского национального исследовательского университета; e-mail: koallita@yandex.ru;

Пономарев Андрей Будимирович

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет; e-mail: andreypab@mail.ru

Статья получена: 07.02.2016. Рассмотрена: 17.02.2016. Одобрена: 12.03.2016. Опубликовано онлайн: 28.03.2016. ©РИОР

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных испытаний по методу одноплоскостного среза образцов глинистого грунта, армированного волокнами полипропилена. Приведена методика подготовки образцов с заданными физическими характеристиками. Выполнен анализ влияния фибрового армирования на прочностные характеристики глинистого грунта различной консистенции.

Ключевые слова: глинистый грунт; фибровое армирование; прочностные характеристики.

Концепция армирования грунта произвольно ориентированными волокнами известна с античных времен. Еще древние цивилизации добавляли солому и корни растений при изготовлении кирпичей для улучшения их свойств, хотя механизмы взаимодействия волокон и грунта были не ясны. Однако, в современном геотехническом строитель-

стве основной акцент сделан на использование линейного армирования (металлических полос, листов синтетических материалов). Армирование грунта дискретными волокнами до сих пор является относительно новой и малоизученной технологией [1].

Идея фибрового армирования в геотехнике изначально подразумевала использование в качестве арматуры корней растений. Было доказано, что включение корней растений увеличивает сопротивление грунта сдвигу и, соответственно, повышает устойчивость природных склонов [2]. Применение синтетической фибры началось с конца 80-х г., когда были проведены первые исследования с использованием полимерных волокон. Анализ экспериментальных данных показал, что фибровое армирование может существенно увеличить пиковую прочность грунта и сократить постпиковые потери прочности [3].

STRENGTH RESEARCH OF CLAY SOIL REINFORCED WITH DISCRETE FIBRES

Alla Grishina

post graduate student, assistant of Department “Building production and geotechnics”, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: koallita@yandex.ru;

Andrey Ponomarev

Doctor of Engineering, Professor, head of Department of “Building production and geotechnics”, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: andreypab@mail.ru.

Manuscript received: 07.02.2016. Revised: 17.02.2016. Accepted: 12.03.2016. Published online: 28.03.2016. ©РИОР

Abstract. This article presents the results of shear tests of clay specimens reinforced by polypropylene fiber. There is a preparation technology of sample with given physical properties. Analysis of fiber reinforcement influence on the strength properties of clay soil with different consistency was carried out.

Keywords: clay soil, fiber reinforcement, strength properties.

Большинство экспериментальных исследований было проведено с сыпучими грунтами, в то время как характер взаимодействия волокон с глинистым грунтом до конца не изучен. При этом во многих регионах страны широко распространены глинистые грунты, замена которых при строительстве сопровождается высокими материальными затратами и большими объемами земляных работ. Поэтому актуальным остается улучшение характеристик местных материалов с целью снижения стоимости возведения фундаментов [4].

Целью данной работы является анализ влияния произвольно ориентированных полипропиленовых волокон на прочностные характеристики глинистого грунта для дальнейшего изучения возможности применения фиброгрунтовых композитов.

Для более полной оценки влияния включения отдельных волокон в глинистый грунт лабораторные испытания проводились на образцах различной консистенции, т.е. с заданным показателем текучести I_L [5]. В соответствии с анализом данных об инженерно-геологических условиях города Перми [6] были приняты типичные для рассматриваемой территории индексы консистенции глинистого грунта: $I_L = 0,4; 0,6; 0,8$. Образцы с заданным показателем текучести формировались из глинистой пасты с необходимыми физическими характеристиками.

Процесс подготовки образцов состоял из нескольких этапов [7]. На первом этапе грунт высушивался в сушильном шкафу при температуре 105°C . Далее высушенный грунт измельчался при помощи полочного барабана до тонкодисперсного состояния, просеивался через лабораторное сито с размером отверстий $0,1$ мм и еще раз высушивался. После этого определялись физические характеристики грунта (табл. 1). Затем с учетом заданных необходимых значений влажности грунта, его удельного веса, показателя текучести и пластичности готовилась грунтовая глинистая паста путем постепенного добавления необходимого количества воды к постоянному объему глинистого грунта. Относительно заданного показателя текучести I_L определялось значение влажности по формуле:

$$w = I_L (w_L - w_p) + w_p,$$

где w – необходимая влажность грунта, I_L – заданный показатель текучести, w_L – верхняя граница текучести, w_p – нижняя граница раскатывания.

Зная влажность грунта, определялось количество воды, которое было необходимо добавить в грунт для получения грунта заданной консистенции:

$$m_w = w \cdot m_s,$$

где m_w – необходимая масса воды, m_s – масса сухого грунта [1].

Таблица 1

Физические характеристики глинистого грунта

Влажность грунта на границе текучести w_L , %	36,39		
Влажность грунта на границе раскатывания w_p , %	13,41		
Число пластичности I_p	22,98		
Показатель текучести I_L	0,4	0,6	0,8
Плотность грунта ρ , г/см ³	2	1,9	1,8

Для получения фиброармированного глинистого грунта вместе с водой в грунт включались волокна полипропилена заданного объема, и смесь тщательно перемешивалась до равномерного распределения волокон в грунтовой массе.

В качестве фибрового армирования применялось полипропиленовое волокно с длиной отрезка 12 мм. Традиционно такой тип волокна используется при производстве фиброармированного бетона. Но с развитием идеи об армировании грунта случайно распределенными волокнами полипропиленовая фибра стала наиболее широко применимой для армирования грунтов в лабораторных исследованиях. В настоящее время волокна полипропилена используются для улучшения прочностных свойств грунтов, для сокращения усадочных деформаций и для предотвращения химического и биологического разрушения [3, 4]. Для оценки влияния количества армирующих волокон на прочностные характеристики грунта процент содержания полипропиленовой фибры варьировался от 0% до 1% от объема грунта [1].

Испытания по определению прочностных характеристик глинистого грунта и фиброгрунтового композита проводились по методу одноплоскостного среза в соответствии с рекомендациями ГОСТ 12248-2010. Испытания проводились по консолидированно-дренированной схеме. Для этого образцы изначально помещались в прибор предварительного уплотнения до достижения стабилизации деформации. После этого образцы переносились в срезную

коробку и нагружались нормальным давлением, при котором происходило уплотнение грунта (табл. 2). Испытание на срез проводилось в кинематическом режиме с заданной скоростью среза 0,02 мм/мин.

Таблица 2

Значения нормальных давлений и ступеней давления при предварительном уплотнении для глинистых грунтов по ГОСТ 12248-2010

Грунты	Нормальное давление p при предварительном уплотнении, МПа	Ступени давления Δp , МПа
Глинистые с $I_L \leq 0,5$	0,1; 0,2; 0,3	0,05 до 0,1 и далее 0,1
Глинистые с $I_L > 0,5$	0,1; 0,15; 0,2	0,025 до 0,5 и далее 0,05

Данные испытаний на срез были получены при помощи программного автоматического измерительно-вычислительного комплекса и обработаны согласно рекомендациям ГОСТ 12248-2010 и методами статистической обработки по ГОСТ 20522-2012. Результаты определения прочностных характеристик глинистого грунта и фиброгрунтового композита по данным лабораторных испытаний приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Значения удельного сцепления c , кПа глинистого грунта по результатам лабораторных испытаний

Процент армирования	Консистенция глинистого грунта		
	$I_L=0,4$	$I_L=0,6$	$I_L=0,8$
0%	11,3	10,2	0
0,5%	22,8	20,1	10,7
1%	35,5	27,3	21,0

Таблица 4

Значения угла внутреннего трения ϕ , ° глинистого грунта по результатам лабораторных испытаний

Процент армирования	Консистенция глинистого грунта		
	$I_L=0,4$	$I_L=0,6$	$I_L=0,8$
0%	15,3	11	18,5
0,5%	18,1	17,6	14,8
1%	24,1	23,3	14,0

Результаты проведенных испытаний показывают, что включение произвольно ориентированных полипропиленовых волокон в грунт способствует увеличению его прочностных характеристик – удельного сцепления c и угла внутреннего трения ϕ . При этом с увеличением содержания волокон эффективность армирования повышается. Исключения составили значения угла внутреннего трения армированного грунта с показателем текучести $I_L=0,8$. Увеличение удельного сцепления грунта составило в среднем 100% (при содержании волокон 0,5% по объему) и 200% (при содержании волокон 1% по объему). Увеличение угла внутреннего трения (для $I_L=0,4$ и $I_L=0,6$) составило в среднем 40% (при содержании волокон 0,5% по объему) и 80% (при содержании волокон 1% по объему). Графическая зависимость прочностных характеристик от процента армирования и консистенции грунта приведена на рис. 1 и 2.

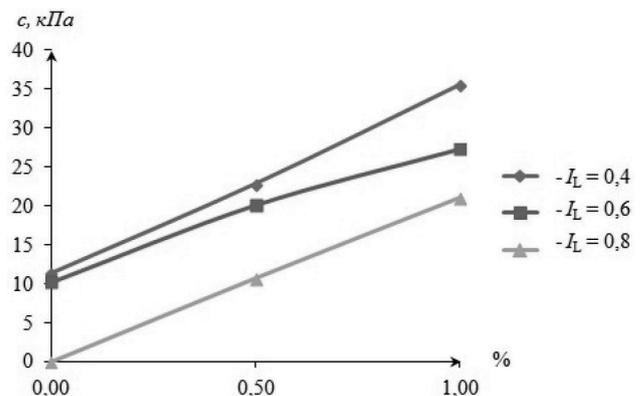


Рис. 1. Графики зависимости удельного сцепления c от процента армирования и консистенции грунта

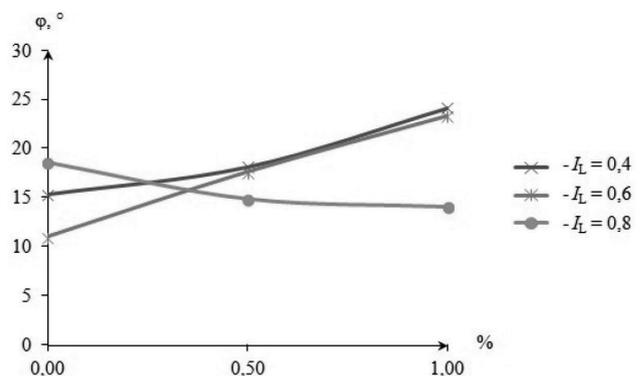


Рис. 2. Графики зависимости угла внутреннего трения ϕ от процента армирования и консистенции грунта

Выводы:

1. Фибровое армирование грунта позволяет увеличить основные параметры прочности глинистого грунта – удельное сцепление и угол внутреннего трения. При этом удельное сцепление в среднем возрастает в два и три раза при содержании волокон в грунте 0,5 и 1% соответственно. Значение угла внутреннего трения для образцов с $I_L=0,4$ и $I_L=0,6$ увеличилось в среднем в 1,4 и в 1,8 раза при содержании волокон 0,5% и 1% соответственно.

2. Наиболее эффективное применение армирования достигается в грунтах тугопластичной консистенции ($I_L=0,4$) и мягкопластичной консистенции ($I_L=0,6$). Возможность применения такого типа армирования в грунтах текучепластичной консистенции ($I_L=0,8$) требует дальнейших исследований.

3. Использование фиброармированного глинистого грунта может рассматриваться как альтернативная замена грунта технология.

Литература

1. Кузнецова А. С., Пономарев А. Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибровым армированием // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 151–161.
2. Gray D. H., Ohashi H. Mechanics of fiber-reinforcement in sand // J. of Geotech. Engrg., ASCE. – 1983. – № 8. – С. 804–820.
3. Hejazi S. M., Sheikhzadeh M. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. – 2012. – № 30. – С. 101–116.
4. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта / А. Н. Богомолов, А. Б. Пономарев, А. В. Машенко, А. С. Кузнецова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2014. – Вып. 4(35). – Ст. 11. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
5. Машенко А. В., Пономарев А. Б. Анализ изменения прочностных и деформационных свойств грунта, армированного геосинтетическими материалами при разной степени водонасыщения // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 264–273.
6. Калюшина С. В., Пономарев А. Б., Об инженерно-геологических условиях строительства г. Перми // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: тр. междунар. науч. – технич. конф., посвященной 50-летию БашНИИСтроя: в 3-х т. – Уфа, 2006. – Т. 2. – с. 119–124.
7. Клевко В. И. Исследование работы армированных глинистых оснований // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 101–110.

References

1. Kuznecova A.S., Ponomarev A.B. The planning and preparation of the experiment triaxial compression of clay soil, improved fibre reinforcement. Vestnik Perm national • research politechnical university. pp.151–61 (In Russian)
2. Gray D.H., Ohashi H. Mechanics of fiber-reinforcement in sand. / Ed.by Geotech.Engrg.,ASCE., 1983, no 8, pp.804–820 (In Russian)
3. Hejazi S. M., Sheikhzadeh M. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. Stroitelstvo i stroitelnie materiali [Construction and Building Materials], 2012, no 30, pp. 101–116 (In Russian)
4. A.N.Bogomolov, A.B.Ponomarev, A.V.Mashenko, A.S.Kuznecova Analysis of the impact of different types of reinforcement on the deformation characteristics of clay soil. 2014, V. 4 (35), pp.11 URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru>
5. Mashenko A.V., Ponomarev A.B. Analysis of changes in strength and deformation properties of soil reinforced with geosynthetic materials when different degrees of water saturation. Vestnik Perm national politechnical university. Stroitelstvo i architecture[Construction and Architecture], 2014, no 4, pp.264–273 (In Russian)
6. Kaloshina S.V., Ponomarev A.B. On the engineering-geological conditions of construction Perm. Problems of soil mechanics and Foundation engineering in difficult soil conditions. Trudi mezhdunarodnoy nauchno-technical konferencii [Proc.Int. science-technical conference, in 3 t.], Ufa, 2006, t.2., pp.119–124 (In Russian)
7. Klevko V.I. The research work of reinforced clay foundations. Vestnik Perm nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta [Vestnik Perm national politechnical university. Stroitelstvo i arshectura [Construction and Architecture], 2014, no 4, pp.101–110 (In Russian)