

НОВСКИЙ А.В., НОВСКИЙ В.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
г. Одесса, Украина

УДК 624.131.524

ОСОБЫЕ СВОЙСТВА ИЗВЕСТНЯКА-РАКУШЕЧНИКА ОДЕССКОГО РЕГИОНА

Ключевые слова: известняк-ракушечник, предел прочности, сопротивление срезу, структурная прочность, размягчаемость.

Описана методика і результати досліджень анізотропних властивостей вапняку-черепашнику при визначенні різних характеристик міцності в лабораторних умовах, а також здатність до розм'якшення при зволоженні.

Описана методика и результаты исследований анизотропных свойств известняка-ракушечника при определении различных прочностных характеристик в лабораторных условиях, а также способность к размягчению при увлажнении.

The method and results of research the anisotropic properties of shell limestone in the determination of different strength characteristics in the laboratory, as well as the ability to soften when wet.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных вопросов строительства в одесском регионе является учет сейсмичности на всех этапах проектирования, начиная с фундаментов. Разные грунты по-разному реагируют на сейсмические нагрузки, что определяется их особыми свойствами и физико-механическими характеристиками. Широкое использование в последнее время известняка-ракушечника в качестве основания различных типов фундаментов ставит перед учеными и инженерами новые задачи по изучению их особых свойств, которые определяются слоистостью.

В настоящее время физико-механические свойства известняка-ракушечника одесского региона изучены недостаточно. Исследования показателей этих пород, как основания фундаментов, в полевых и лабораторных условиях ограничены [1, 2, 3]. Известняк-ракушечник является органогенной породой, обладающей анизотропными свойствами и способностью размягчаться при увлажнении. Эта порода состоит из скелетных остатков моллюсков, сцементированных прочными связями на контактах. Установлено, что значение предельной нагрузки, приложенной вертикально к плоскости их накопления (поперек слоистости), отличается от значительной при горизонтальном приложении нагрузки (вдоль слоистости).

В нормативной литературе за критерий оценки анизотропных свойств скальных и полускальных пород принят коэффициент анизотропии k_a , значение которого определяют отношением показателя предела прочности на одноосное сжатие в горизонтальном направлении $R_{c,a}$ к его значению при вертикальном векторе приложения нагрузки R_c . Следует отметить, что подобное соотношение между другими показателями механических характеристик известняка-ракушечника (структурной прочностью, сопротивлением срезу по боковой поверхности буронабивных свай) существенно отличаются от коэффициента анизотропии по значениям предела прочности на одноосное сжатие. Поэтому, в расчетах, где используется структурная прочность и сопротивление срезу вдоль боковой поверхности буронабивных свай, нужно использовать соответствующие коэффициенты анизотропии.

Цель работы – изучение особых свойств известняка-ракушечника при определении предела прочности на

одноосное сжатие, структурной прочности и сопротивления срезу вдоль боковой поверхности буронабивных свай при действии нагрузок как поперек, так и вдоль слоистости, а также влияние водонасыщения на механические характеристики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предел прочности на одноосное сжатие R_c определяли в соответствии с действующим стандартом. Эта характеристика является отношением предельной нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади его поперечного сечения.

В исследованиях форма образцов принималась в виде куба с размером граней, равным 70 мм. Схема и внешний вид силового устройства для испытаний образцов известняка-ракушечника приведены на рис. 1, а результаты исследований в табл. 1.

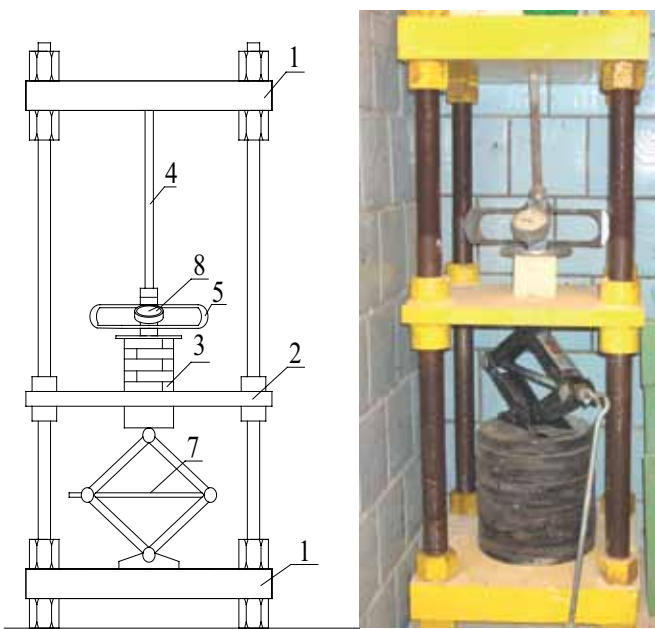


Рис.1. Схема и внешний вид силовой установки для испытания на одноосное сжатие: 1 – неподвижная пластина; 2 – подвижная пластина; 3 – испытуемый образец; 4 – упорный стальной цилиндр; 5 – динамометр для измерения вертикальной нагрузки; 7 – домкрат; 8 – индикаторы часового типа.

Таблица 1. Соотношения показателей предела прочности на одноосное сжатие известняка-ракушечника вдоль и поперек слоистости.

Серия	Количество испытанных	Значение показателя МПа		Коэффициент анизотропии, k_{a, R_c}	
		Поперек слоистости, R_c	Вдоль слоистости, $R_{c, a}$		
1	10	0,84	1,28	1,52	
2	10	0,50	1,32	2,64	
3	10	0,98	2,12	2,16	
4	10	0,52	1,13	2,17	
5	10	0,89	1,27	1,43	
	50	Среднее	0,75	1,42	1,89

Исследования выполнены поперек и вдоль слоистости для образцов в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии. Коэффициент анизотропии при определении предела прочности на одноосное сжатие был определен по пяти сериям испытаний образцов известняка-ракушечника, основные результаты которых приведены в табл. 1.

Таким образом, по результатам проведенных исследований, предел прочности на одноосное сжатие поперек слоистости меньше, чем вдоль слоистости. При этом коэффициент анизотропии составил 1,89.

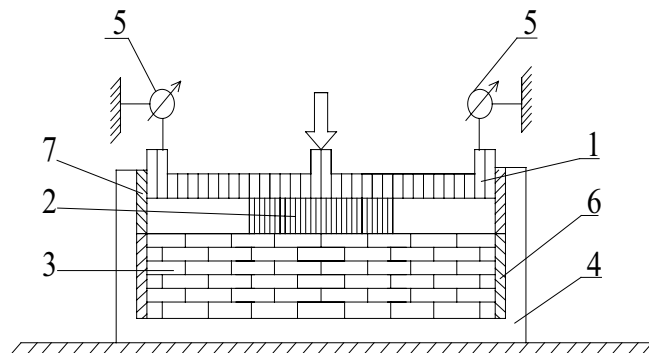


Рис.2. Внешний вид и схема прибора для определения структурной прочности: 1 - направляющее кольцо; 2 - штамп; 3 - образец грунта; 4 - корпус; 5 - индикатор часового типа; 6 - нижнее кольцо; 7 - верхнее кольцо.

Как известно, предел прочности на одноосное сжатие не отражает фактического значения сопротивления разрушению и последующей деформации известняка в массиве. От давлений, передаваемых фундаментом на основание, в грунтовой толще под его подошвой возникают напряжения на участках поверхности частиц скелета в точках их контактов. Векторы напряжений направлены хаотично. От суммы их проекций на вертикальную ось «Z» возникают напряжения, вызывающие уплотнения σ_z . От суммы их проекций на ось «X» или «Y» возникает напряжение, вызывающее боковые давления σ_y или σ_x . При возникновении горизонтального давления, которое приводит к разрушению кубика, отсутствует сопротивление вдоль его боковых граней, что снижает значение R_c при разрушении в отличие от структурной прочности p_{str} в массиве.

Определение p_{str} в лабораторных условиях проведены прибором, в котором условный цилиндр породы ниже подошвы круглого штампа находится внутри образца. Боковое давление по поверхности этого цилиндра уравнивается структурной прочностью испытываемой породы, препятствуя разрушению его в стороны до достижения бокового давления, равного p_{str} в горизонтальном направлении. Внешний вид и схема прибора для определения структурной прочности приведены на рис. 2.

Таблиця 2. Результати визначення p_{str} поперек і вздовж слоистості в известняке-ракушечнику в воздушно-сухом стані

Серія	Кол. випробувань	Значення показателя МПа.		
		Поперек слоистості, p_{str}	Вдоль слоистості, $p_{str, a}$	
6	1	2,48		
7	3	1,72		
8	2	1,62		
9	4	0,95		
10	4		2,87	
11	4		2,46	
12	4		3,29	
13	4		2,29	
14	3	1,93		
15	4	2,20		
16	4	3,01		
17	4	2,65		
18	3	3,16		
19	4	1,95		
20	4	2,10		
	52	Середнє	2,16	2,73

В табл. 2 приведені результати визначення p_{str} поперек і вздовж слоистості на зразках однієї партії без дотримання їх синхронізації, тому коефіцієнт анізотропії визначено за середніми значеннями, отриманими в випробуваннях. Таким чином, по результатам проведених досліджень, структурна міцність поперек слоистості менше, ніж вздовж слоистості. При цьому коефіцієнт анізотропії склав 1,26.

Одною з міцнісних характеристик известняка-ракушечника є опір сльзку по боковій поверхності буронабивних свай. Цю характеристику визначали випробуванням моделей буронабивних свай, які виготовляли з збереженням порожнини нижче подошви, що дозволило забезпечити передачу навантаження по зовнішній поверхності зацементованого известняка (известково-цементного шару) навколо стовбу сваї. Нижню частину скважини, на необхідну висоту, заповнювали піском, а верхню - цементним розчином.

Известняк-ракушечник має високу пористість (до 60%). Значительна кількість пор великого розміру. Стінки скважин буронабивних свай мають високу ноздреватість. Цементне молоко при бетонірованні сваї проникає в великі порожнини, утворюючи шероховату поверхню сопряження між стовбом сваї і оточуючою породою. Опір сльзку визначається не тертям, а міцністю известняка, що знаходиться за межами поверхні стовбу сваї, пропитаного затверділим цементним розчином. Тому руйнування при «срыве» відбу-

Таблиця 3. Відношення показателів опору сльзку известняка-ракушечника по боковій поверхності буронабивних свай вздовж і поперек слоистості.

Серія	Кол. випробувань	Значення показателя МПа		Коефіцієнт анізотропії, $k_{a, f}$	
		Поперек слоистості, f_c	Вдоль слоистості, $f_{c, a}$		
21	4	0,93	0,81	0,87	
22	4	0,86	0,71	0,83	
23	4	1,46	1,20	0,82	
24	4	0,97	1,02	1,05	
25	4	1,24	0,90	0,73	
	20	Середнє	1,09	0,93	0,86

дит по известняку.

В скважинах, пройденних поперек слоистості, ноздреватість стінок вище, ніж в скважинах вздовж слоистості. Предельна величина опору сльзку визначено за результатами сорока випробувань известняка модельними сваями в поперечному і продольному напрямках по відношенню до слоистості. Схема і зовнішній вигляд силового пристрою для випробувань моделей свай приведені на рис. 3, а результати досліджень в табл. 3.

Таким чином, по результатам проведених досліджень опір сльзку поперек слоистості більше, ніж вздовж слоистості. При цьому коефіцієнт анізотропії склав 0,86.

Одною з особливих властивостей известняка-ракушечника є розм'ягчальність при зволоженні. Зволоження викликає зниження показателів міцнісних властивостей ґрунтів. Воно оцінюється коефіцієнтом розм'ягчальності, визначеному відношенням меж міцності в зволоженому і воздушно-сухом станах. Згідно нормативним документам породи по цьому показателю діляться на розм'ягчальні і не розм'ягчальні. До не розм'ягчальних відносять породи з значенням $k_{sof} \geq 0,75$, а до розм'ягчальних - при $k_{sof} < 0,75$.

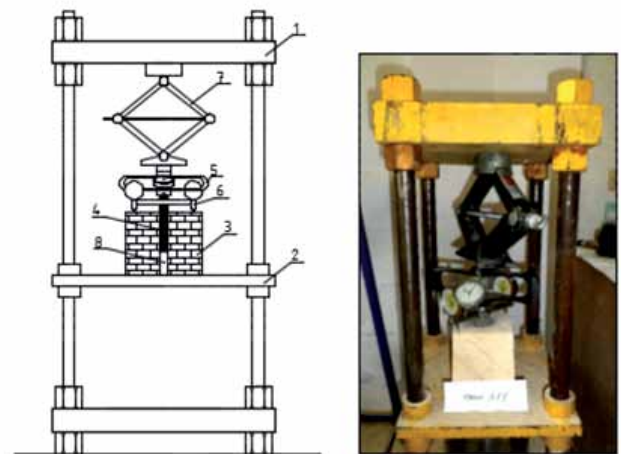


Рис. 3. Схема і зовнішній вигляд силового пристрою для випробування известняка-ракушечника моделями буронабивних свай:

- 1, 2 – нерухомих плити; 3 – зразок известняка ракушечника;
- 4 – модель буронабивної сваї; 5 – динамометр; 6 – індикатори годинного типу; 7 – домкрат; 8 – порожнина під п'ятою сваї

Значення коефіцієнта розм'ягчальності, отримані по відношенню меж міцності при односторонньому стисненні, відрізняються від значень при визначенні структурної міцності і опору сльзку вздовж бокової поверхності буронабивних свай. Випробування по визначенню коефіцієнтів розм'ягчальності по значенню структурної міцності і опору сльзку виконані при прикладенні вертикальної навантаження тільки поперек слоистості.

Середньозважені значення коефіцієнта розм'ягчальності, отримані по результатам визначення меж міцності зразків в воздушно-сухом стані R_c і після зволоження $R_{c, sat}$ по 23 випробуванням в кожному стані приведені в табл. 4.

Таблиця 4. Соотношение показателей предела прочности одноосному сжатию в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии.

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа		Коэффициент анизотропии, $k_{a,f}$
		Поперек слоистости, f_c	Вдоль слоистости, $f_{c,a}$	
26	4+4	0,95	0,76	0,80
27	4+4	0,97	0,65	0,67
28	3+3	0,83	0,48	0,58
29	4+4	0,44	0,44	1,00
30	4+4	0,42	0,25	0,60
31	4+4	0,41	0,42	1,02
	23+23	Среднее	0,67	0,50
				0,75

Таблиця 5. Соотношение показателей структурной прочности известняка-ракушечника в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии

Серия	Кол. испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент анизотропии, $k_{s, Pstr}$
		Поперек слоистости, p_{st}	Вдоль слоистости, $p_{st,a}$	
32	2+2	0,98	0,92	0,94
33	3+3	1,66	0,95	0,57
34	2+2	2,27	1,17	0,54
35	3+3	1,02	0,89	0,87
36	3+3	1,95	1,13	0,58
37	3+3	1,81	1,02	0,56
	16+16	Среднее	1,61	1,01
				0,63

Таблиця 6. Соотношение показателей сопротивления сдвигу известняка-ракушечника вдоль боковой поверхности буронабивных свай в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии.

Серия	Количество испытаний	Значение показателя МПа.		Коэффициент анизотропии, $k_{s, Pstr}$
		Поперек слоистости, p_{st}	Вдоль слоистости, $p_{st,a}$	
38	4+4	1,03	1,24	1,20
39	4+4	1,23	1,19	0,97
40	4+4	1,72	1,35	0,78
41	4+4	0,65	0,59	0,91
42	4+4	0,65	0,49	0,75
43	4+4	0,87	0,68	0,56
	24+24	Среднее	1,02	0,92
				0,90

Таблиця 7. Значения коэффициентов размягчаемости при определении разных характеристик известняка-ракушечника.

Показатели механических характеристик	Предельное значение показателей, МПа при испытаниях		Коэффициент размягчаемости k_{sof}
	В воздушно-сухом состоянии	После водонасыщения	
R_c	0,67	0,5	0,75
p_{str}	1,61	1,01	0,63
f_c	1,02	0,92	0,90

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Новский В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях / В.А. Новский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Одеса, 2008. - Вип. 29, ч. 2. - С. 289-295.
- Новский А.В. Известняк-ракушечник. Исследование и использование в качестве основания фундаментов / Новский А.В., Новский В.А., Тугаенко Ю.Ф. / Одесса: Астропринт, 2014. - 92 с.
- Mechanical Properties of Semi-Rocks Soils and Methods of Their Determination / [N.U. Kornienko, A.V. Novskiy, A.P. Tkalic, Y.F. Tugaenko] / Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. - Part 1. - Athens, 2011. - P. 43-49.

Таким образом, «пильный» известняк-ракушечник по результатам испытаний на одноосное сжатие можно отнести к не размягчаемым. Среднее значение этого показателя по 46 опытам равно 0,75.

Ниже приведены результаты 32 испытаний по определению показателей структурной прочности разных образцов известняка-ракушечника по 16 для каждого состояния по влажности. Основные результаты приведены в табл. 5.

Таким образом, известняк-ракушечник по результатам 32 испытаний по определению структурной прочности можно отнести к размягчаемым, так как среднее значение этого показателя равно 0,63. Полученные результаты свидетельствуют о незначительных отклонениях коэффициента размягчаемости для разных образцов от среднезвешенного.

Как отмечалось выше, сдвиг вдоль боковой поверхности буронабивных свай в известняк-ракушечнике происходит не по поверхности ствола, а на расстоянии от него, равном проникновению цементного молока в породу. В проведенных испытаниях моделей свай это расстояние изменялось от 2 до 3 мм, в среднем – 2,5 мм. Сдвиг определяли разрушением известняка в результате перемещения ствола после «срыва». Установлено, что известняк-ракушечник по результатам 48 испытаний по определению сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай можно отнести к не размягчаемому, так как среднее значение этого показателя равно 0,90.

ВЫВОДЫ

По результатам 48 испытаний по определению сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай исследуемый известняк можно отнести к не размягчаемому, так как среднее значение этого показателя равно 0,90.

Экспериментально установлено, что на значение коэффициента размягчаемости оказывает влияние условия деформирования породы под влиянием внешней нагрузки.