

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУСКАЛЬНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Новский А.В., Новский В.А., Тугаенко Ю.Ф., Вивчарук В.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
г. Одесса, Украина.

АННОТАЦИЯ: Изложены методика и результаты лабораторных и полевых исследований механических характеристик известняка-ракушечника юго-западной части Причерноморского плато, который используют в качестве основания фундаментов и свай.

ABSTRACT: A method and results of laboratory and field researches of mechanical descriptions of limestone-shell rock of south-west part of the Prichernomorskogo plateau is expounded, which is used as foundation of foundations and piles.

Инженерно-геологическое строение юго-западной части Причерноморского плато Украины характеризуется залеганием известняка-ракушечника на разной глубине от дневной поверхности. В связи со строительством зданий повышенной этажности и усилением фундаментов существующих сооружений, возникает необходимость использования его в качестве основания фундаментов или несущего слоя для буронабивных свай. Однако, механические свойства этой породы исследованы недостаточно. В инженерно-геологических изысканиях их оценка выполняется по значению предела прочности на одноосное сжатие, а расчет буронабивных свай, опирающихся на известняк-ракушечник, выполняют как свай-стоек, при этом расчетная несущая способность может в несколько раз отличаться от фактической. Дело в том, что известняк-ракушечник одесского региона не является скальной породой. Это полускальная порода, которая по деформативным свойствам во многом идентична дисперсным грунтам. В связи с этим изучение свойств известняка-ракушечника является актуальной задачей.

Комплексные исследования были начаты в 1997 г. при разработке проекта усиления фундаментов здания Одесского национального академического театра оперы и балета, а затем на строительстве группы высотных зданий и усилении фундаментов некоторых уникальных сооружений. Эти исследования проводились как на строительных площадках, так и в лабораторных условиях [1, 2, 3 и 4].

Как известно, породы с жесткими структурными связями оценивают по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии. Однако, этот показатель не позволяет оценить другие свойства известняка-ракушечника, к которым относятся: структурная прочность, модуль деформации и сопротивление сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай.

Структурная прочность p_{str} известняка-ракушечника это предельная величина сопротивления, при которой приложенная нагрузка уравнивается прочностью ракушек и структурных связей на их контактах. При этом в основании фундаментов наблюдаются преимущественно упругие деформации, исчезающие после снятия нагрузки. Напряжения, превышающие структурную прочность, вызывают разрушение ракушек и их структурных связей, следствием чего является уплотнение породы. Остаточные деформации нарастают в пределах объема зоны необратимых деформаций, формирующейся в основании фундаментов, что было установлено опытами в приборе ОИСИ-4, рабочее кольцо которого состоит из двух частей. Образец грунта также состоит из двух частей, на поверхности одной из которых установлены фиксаторы деформаций. Внешний вид зоны деформации образца известняка-ракушечника представлен на рис. 1.

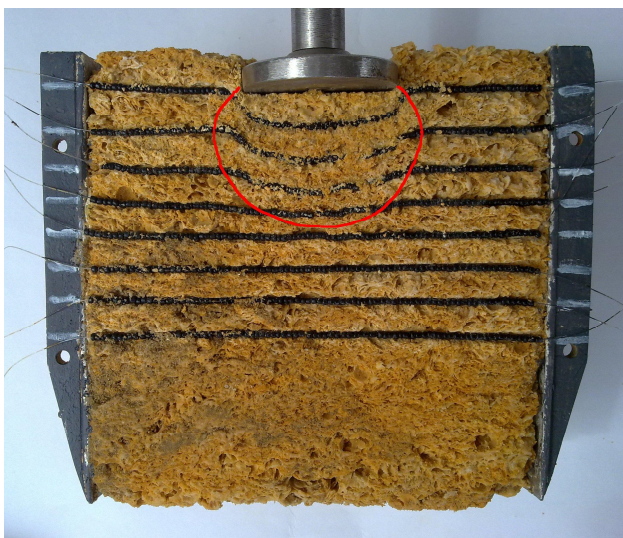


Рис. 1. Характер деформирования известняка-ракушечника под опытном штампом площадью 19,6 мм

В полевых условиях оценка показателей прочностных и деформативных свойств известняка осуществлена по результатам испытаний штампами диаметром 300 мм в скважинах на разных горизонтах. Примыкание подошвы штампа к поверхности забоя выполняли по специальной технологии, включающей зачистку забоя и выравнивание его цементным раствором толщиной 7 - 10 см. Нагрузку на стойку штампа прикладывали ступенями. Часть опытов проведена с кратковременным замачиванием основания. Схемы установки штампов, методика проведения испытаний и их результаты показаны на рис. 2.

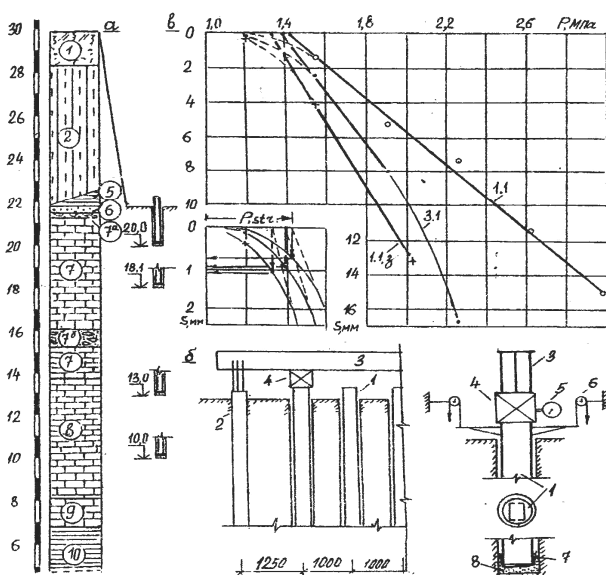


Рис. 2. Результаты исследований известняка-ракушечника опытными штампами.

- а) Геологическая колонка со шкалой абсолютных отметок и высотным положением подошвы штампов. б) Схема испытаний: 1- стойка-штамп; 2 - анкерные сваи; 3 - опорная балка; 4 - домкрат; 5 - манометр; 6 - прогибомеры; 7- полиэтиленовая пленка; 8 - цементный раствор.
- в) Графики зависимости осадки от давления

Особенностью деформативных свойств известняка-ракушечника является наличие двух характерных ветвей на графике зависимости осадки от нагрузки. Первая ветвь характеризуется деформациями, возникающими в результате упругого сжатия породы при давлениях, не превышающих

структурную прочность (рис. 2,в). В этих условиях сжимаемость определяется модулем упругой деформации E_0 . Вторая ветвь отражает необратимые деформации, возникающие в результате разрушения структуры породы, следствием чего является ее уплотнение. Этот участок графика близок к прямолинейной зависимости. Сжимаемость породы в этом случае следует оценивать модулем деформации E . Пересечение второй ветви графика с осью давлений определяет значения структурной прочности. На рис.2,в приведены результаты трех испытаний, выполненных на абсолютной отметке 10,0 м.

Величине p_{str} , определенной в точке пересечения второй ветви зависимости осадки от нагрузки с осью p , соответствуют осадки, близкие 1 мм. Поэтому, при данной технологии подготовки основания и методике проведения исследований за критерий определения значения p_{str} , принята осадка, равная 1 мм. Средние значения структурной прочности и модуля деформации, полученные по результатам полевых исследований, приведены в табл. 1

Таблица 1.
Значения структурной прочности и модуля деформации

№ ИГЭ	Глубина ниже кровли ИГЭ, м	p_{str} , МПа	E, МПа в интервале давлений p , МПа	
			1,1 - 1,5	1,5 - 2,5
7	1,10	1,15	4,0 - 1,7	-
	3,0	1,35	-	20 - 9
8	0,8	1,88	-	24 - 6
	3,6	1,38	-	30 - 9

Лабораторные испытания проведены на образцах «пильного» известняка-ракушечника. Для проведения исследований был переоборудован компрессионный прибор, в котором нагрузка на образец площадью 60 см² передавалась штампом площадью 15 см². Испытания выполнены по методике циклически возрастающей нагрузки. Каждая степень представляла самостоятельный цикл, состоящий из приложения нагрузки, ее выдерживания до стабилизации осадки и разгрузки. Примененная методика позволила измерить на каждой ступени величину общей осадки, ее остаточную и упругую составляющие.

График зависимости упругой составляющей осадки от давления состоит из двух ветвей. Первая - отражает нарастание упругих деформаций при давлениях меньше структурной прочности, а вторая - при давлениях больше структурной прочности. Давление, соответствующее точке пересечения ветвей определяет значение структурной прочности (см. рис. 3).

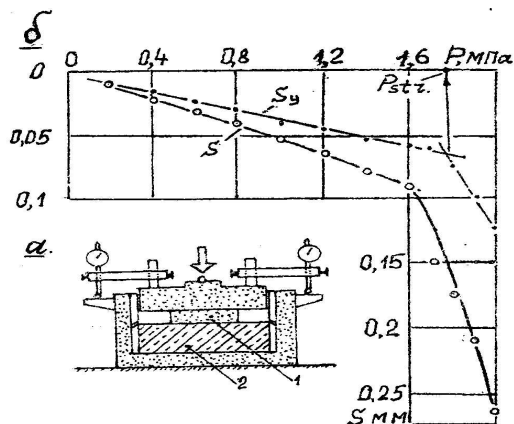


Рис. 3. Результаты испытания образца «пильного» известняка-ракушечника в лабораторных условиях.

- а) Схема испытания: 1 - дополнительный штамп; 2 - образец.
- б) График зависимости осадки штампа и ее упругой составляющей от давления

Сопротивление известняка-ракушечника сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай определяли в лабораторных условиях на моделях свай, а также при испытании свай-анкеров в полевых условиях.

Модельные сваи бетонировали таким образом, чтобы ниже их подошвы оставалась полость, и приложенная нагрузка передавалась боковой поверхностью. В выполненных исследованиях разрушение известняка произошло при перемещениях ствола 0,2-0,4 мм по поверхности, расположенной от стенок скважины на расстоянии проникания цементного раствора при бетонировании сваи. При повторном загрузении сваи после «срыва» сопротивление вдоль боковой поверхности уменьшается на 35 - 40%. Это означает, что сопротивление сдвигу после разрушения структурных связей трансформируется в сопротивление трению по разрушенной поверхности. Эту особенность работы буронабивных свай в известняке-ракушечнике следует учитывать при определении их несущей способности.

Контрольные испытания натуральных буронабивных свай-анкеров выдерживающей нагрузкой выполняли с использованием методики циклически возрастающей нагрузки. Особенностью этой методики является то, что после каждой ступени нагрузки она снимается до нуля. Такой характер загрузки позволяет определить общие перемещения, а также упругую и остаточную составляющие. В дальнейшем эти данные позволили определить длину растянутого участка при каждой ступени загрузки, а

также сопротивление известняка-ракушечника по боковой поверхности отдельных участков сваи.

На рис.4 приведены результаты испытания сваи-анкера на выдергивание. (График общих деформаций, а также упругая и остаточная составляющие).

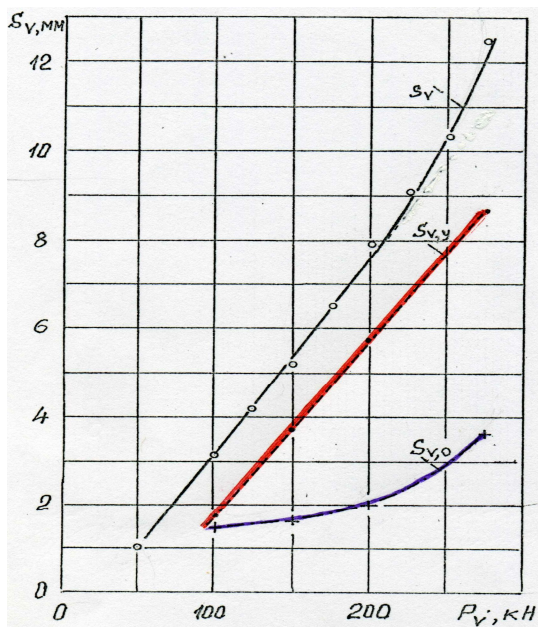


Рис.4. Графики зависимости общих, упругих и остаточных деформаций при испытании сваи-анкера на выдергивание

Длина растянутого участка сваи для каждой ступени нагрузки определена с использованием закона Гука по зависимости (1):

$$l_i = E \times s_{y,i} / \delta_{cp,i} \quad (1)$$

где: E - модуль упругости арматурной стали, равный $1,9 \cdot 10^5$ МПа; $s_{v,y,i}$ - упругая составляющая измеренной деформации; $\sigma_{cp,i}$ - среднее значение напряжения в арматурном стержне в пределах длины деформированного фрагмента, $\sigma_{cp,i} = 0,5 P_{v,i}/A_s$ где: A_s - площадь поперечного сечения арматурного стержня, а коэффициент 0,5 учитывает треугольную форму эпюры напряжений.

Сопrotивление сдвигу вдоль боковой поверхности сваи в пределах любого фрагмента длины можно определить по зависимости (2):

$$\Delta f_i = \Delta P_i / \Delta l_v u \quad (2)$$

где: Δf_i - приращение сил трения по боковой поверхности для каждой ступени нагрузки; ΔP_i - приращение нагрузки; Δl_v - приращение фрагмента длины сваи; u - периметр сечения ствола сваи.

Из графика на рис. 5 видно, что максимальное сопротивление по боковой поверхности возникает на участке, расположенном в известняке-ракушечнике.

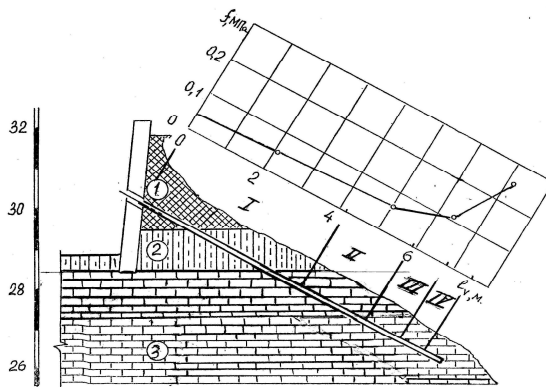


Рис. 5. График изменения сил трения по боковой поверхности на разных фрагментах длины сваи-анкера

По результатам комплексных исследований построены графики зависимости сопротивления сдвигу вдоль боковой поверхности буронабивных свай и структурной прочности от предела прочности на одноосное сжатие для образцов разной прочности, которые приведены в работе [4].

Таким образом, зная стандартную характеристику известняка-ракушечника (предел прочности на одноосное сжатие) можно определить необходимые для расчета фундаментов и буронабивных свай значение структурной прочности и сопротивления сдвигу.

Результаты исследований внедрены при проектировании новых и усилении существующих фундаментов ряда зданий и сооружений в г. Одессе.

Литература:

1. Колесников Л.И., Экспериментальное исследование несущей способности буроинъекционных свай в основании здания Одесского театра оперы и балета. / Тугаенко Ю.Ф., Кодрянова Р.М., Карпюк В.М., Ильичев В.А., Коновалов П.А. / Основания, фундаменты и механика грунтов. № 5. 2000, с. 23 - 29.
2. Новский В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях. /Новский В.А./ Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск 29. Одеса. 2008, с. 289-295.
3. Тугаенко Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов свай и свайных фундаментов. /Тугаенко Ю.Ф./ Одесса «Астропринт» 2008, 216 с.
4. Новский А.В. Методы определения механических свойств известняка-ракушечника. / Тугаенко Ю.Ф, Ткалич А.П, Новский В.А./ Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск №47. Частина 2.. Одеса. 2012, с. 271-277.