

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Л. В. ШАХСУВАРЯН, Ж. В. ЗАХАРЯН

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ОДНОСЛОЙНОЙ
КЛАДКИ ИЗ ТУФОВЫХ КАМНЕЙ ПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

В статье приведены результаты исследования прочностных и деформационных характеристик однослойной кладки из туфовых камней правильной формы, изготовленной горизонтальным способом, при осевом сжатии.

В опытных образцах были применены туфовые камни правильной формы Маяковского месторождения и карьера близ села Амо Шаумянского района. Была принята следующая технология изготовления опытных образцов кладки. Предварительно смоченные водой камни укладывались на горизонтальную гладкую площадку. Для получения постоянной толщины швов 15 мм между рядами камней устанавливалась рейка, которая после укладки камней данного ряда удалялась. После укладки всех камней, с целью предотвращения утечки раствора с четырех сторон образца устанавливались деревянные щиты, высотой равной толщине образца (20 см). Швы заливались литым раствором (погружение стандартного конуса СтройЦНИЛа 13—14 см). Через несколько минут после заливки швов щиты удалялись и готовый образец оставлялся для вызревания. Установку образца в вертикальное положение производили в зависимости от марки раствора в возрасте от 3 до 7 дней*.

Вместе с опытными образцами кладки были изготовлены контрольные образцы раствора в виде кубиков с размерами ребер по 7 см и посмерки. Контрольные образцы раствора и образцы кладки вызревали в одинаковых условиях и испытывались одновременно. Были изготовлены две серии образцов кладки. Испытание первой серии образцов преследовало цель выявить преимущество метода изготовления кладки в горизонтальном положении по сравнению с вертикальным. Поэтому в эту серию испытания были включены также образцы кладки, осуществленной в вертикальном положении с применением пластичного раствора в горизонтальных швах и заливкой вертикальных швов литым раствором. Марка раствора во всех образцах первой

* Опыты показали, что при изготовлении образца в горизонтальном положении на поддоне его можно поднять и установить вертикально через сутки, в случае применения раствора марки не ниже 50.

Таблица 1

Характеристики образцов		Первая серия образцов						Вторая серия образцов					
		1 группа		2 группа		3 группа		1 группа		2 группа		3 группа	
		Б—12	Б—13	Б—18	Б—19	Б—20	Б—21	С—1	С—2	С—3	С—4	С—5	С—6
Состав раствора по весу (цемент: известь: песок)		1:0,45:8						1:0,85:11		1:0,4:7,5		1:0,17:4,8	
Консистенция (осадка конуса в см)		14				В гориз. швах 9 см, в вертикальных 11 см		14					
Прочность раствора кг/см ²	пластичного	38,0		43,7		34,6		32,4		54,3		80,5	
	литого	36,0		28,6		27,0		28,6		34,9		56,9	
Примененный камень		Туф Маяковского месторождения средней прочностью 150 кг/см ² (67-215 кг/см ²)						Туф карьера Шаумянского района средней прочностью 170 кг/см ² (143-228 кг/см ²)					
Размеры поперечного сечения, см		18,5	18,5	17,5	18,5	18,5	18,5	17,5	18,2	18,5	19,0	17,5	19,0
		120	120	121	121	121	116	119,0	119,0	117,0	117,5	119,0	119,0
Высота образцов см		180	180	181	180	181	180	144	145	143	142	142	142

серии была принята одинаковая. Испытанием второй серии образцов кладки предусматривалось выявить влияние марки раствора на прочностные и деформационные характеристики кладки, изготовленной горизонтальным способом. Эта серия содержала три группы образцов кладки с маркой раствора соответственно 25, 50 и 75. В табл. 1 приведены характеристики образцов кладок первой и второй серий.

Методика испытания. Опытные образцы обеих серий были испытаны на центральное сжатие. Образцы первой серии, имеющие относительно большие размеры, были испытаны на силовом стенде АИСМа с помощью 200-тонного гидравлического домкрата (рис. 1), а образцы второй серии — на 200-тонном гидравлическом прессе. Образцы нагружались ступенями, составляющими 0,1–0,15 от разрушающей нагрузки. Для стабилизации деформаций и взятия отсчетов по приборам каждая ступень нагрузки выдерживалась 2–3 мин. Нагружение производилось до появления в кладке первых заметных трещин, после чего приборы удалялись и образец доводился до разрушения (рис. 2).

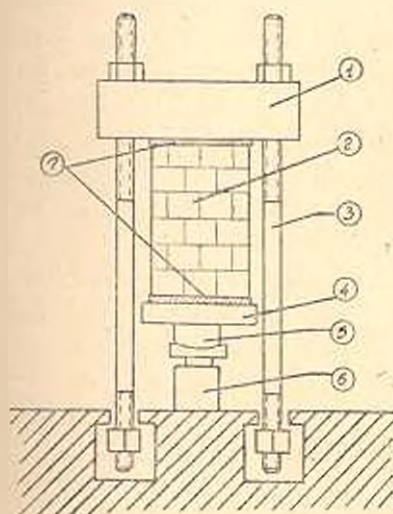


Рис. 1. Схема испытания образца кладки на силовом стенде. 1—траперс; 2—образец; 3—стойки; 4—опорная плита; 5—сферический шарнир; 6—гидравлический домкрат; 7—алебастровые подушки.



Рис. 2. Образец кладки Б-18 после испытания.

В процессе испытания образцов кладки измерялись продольные деформации с помощью мессур с точностью 0,01 мм, устанавливаемых с двух сторон образца. База измерения деформаций для образцов первой серии — 100 см, а второй серии — 50 см. Поперечные деформации образцов измерялись в двух местах мессурами с точностью 0,02 мм на базе 15 см. Измерение поперечных деформаций дало сомнительные результаты, поэтому эти данные в статье не приводятся.

Величина предела прочности кладки на сжатие определялась с учетом влияния продольного изгиба, так как отношение высоты об-

разна к меньшей стороне поперечного сечения в опытах составляла 9—10. Предел прочности кладки на сжатие вычислялся по формуле [1]:

$$R = \frac{N}{F} \left(1 + \frac{\beta_{\text{пр}}^2}{750} \right), \quad (1)$$

где R — предел прочности кладки в кг/см²,

F — площадь поперечного сечения образца в см²,

$\beta_{\text{пр}}$ — приведенная гибкость, зависящая от высоты l_0 и a — минимального поперечного размера кладки, а также от упругой характеристики α и определяется следующей формулой

$$\beta_{\text{пр}} = \frac{l_0}{a} \sqrt{\frac{1000}{\alpha}}.$$

Результаты испытаний образцов кладки обеих серий на центральное сжатие представлены в табл. 2.

Прочностные характеристики. Прочность кладки в сильной мере зависит от качества растворяемых швов, в особенности горизонтальных, неравномерность заполнения которых влечет за собой работу отдельных камней на изгиб и срез, что значительно снижает прочность кладки. Кроме этого сцепление раствора с камнем в горизонтальных швах сильно сказывается при работе на сдвиг и изгиб, что имеет существенное значение при сейсмических воздействиях. Приведенным выше требованиям сравнительно лучше отвечает кладка, выполненная в горизонтальном положении.

Многочисленными опытами доказано, что прочность кладки, возведенной из естественных вулканических туфов на литом растворе, сравнительно выше прочности подобных кладок на растворах пластичной консистенции [2, 3]. В образцах кладки, возведенных в горизонтальном положении, т. е. в случае, когда все швы при изготовлении имеют вертикальное положение и заполняются литым раствором эта разница сказывается более существенно [4]. В такой кладке контакты камней и швов получаются более прочными, так как литой раствор заполняя шов, находится в одинаковых условиях по отношению к камням обоих смежных рядов в смысле бокового давления, адсорбции, условий отдачи воды и т. д. В дальнейшем, в процессе вырезания, который, кстати, также проходит в идентичных для обоих контактов условиях, создаются благоприятные условия для получения равнопрочного шва в отношении обоих контактов. Обращаясь к данным табл. 2, замечаем, что для первой и второй группы первой серии образцов, т. е. для образцов изготовленных горизонтальным способом, значения предельной прочности по отношению к образцам, изготовленным в вертикальном положении, выше на 30—55%.

У образцов, изготовленных в горизонтальном положении, помимо повышения предела прочности, как показывают данные табл. 2, повышается также предел трещинообразования. Эксперименты показывают, что первые заметные трещины появляются в среднем при на-

Таблица 2

Характеристики образцов		Первая серия образцов						Вторая серия образцов					
		1 группа		2 группа		3 группа		1 группа		2 группа		3 группа	
		Б—12	Б—13	Б—18	Б—19	Б—20	Б—21	С—1	С—2	С—3	С—4	С—5	С—6
Упругая характеристика α		2360	2300	1580	1530	1400	1140	570	680	732	654	1023	700
Приведенная гибкость $\beta_{пр}$		6,3	6,4	8,3	8,0	8,3	9,1	11	9,7	9,0	9,3	8,1	9,0
Нагрузка при первой трещине $N_{тр}, м$		73,5	93,1	93,1	98,0	49,0	68,6	65,5	47,8	71,8	56,7	66,4	96,6
Разрушающая нагрузка $N_{раз}, м$		102,9	100,4	117,6	120,0	68,6	83,3	69,6	74,0	87,0	92,0	82,2	106,7
$N_{тр}/N_{раз}$	Отдельных образцов	0,72	0,88	0,79	0,81	0,72	0,82	0,73	0,65	0,82	0,62	0,81	0,91
	Среднее для группы образцов	0,8		0,8		0,77		0,69		0,72		0,86	
Площадь поперечного сечения $F, см^2$		2120	2120	2120	2240	2240	2150	1050	1070	1050	1090	1030	1120
Предел прочности кладки $R, кг/см^2$	Для отдельных образцов	50,6	49,3	60,3	58,0	33,2	43,0	99,0	77,8	92,0	93,7	87,0	106,0
	Среднее для группы	50,0		59,1		38,1		88,4		93,0		96,5	
Способ изготовления кладки		Горизонтальный				Вертикальный		Горизонтальный					

пряжениях, составляющих 0,8 от разрушающих напряжений, что несколько выше, чем у образцов, изготовленных вертикально. Результаты испытаний второй серии образцов показали, что увеличение прочности раствора повышает предел прочности кладки. Однако, повышение прочности кладки сильно отстает от роста прочности раствора. Так, увеличение прочности раствора примерно в 2,5 раза повысило прочность кладки лишь на 9%, что видно из табл. 3.

Таблица 3

Отношение прочности раствора по группам второй серии	$\frac{R_2 (2)}{R_2 (1)} = 1,67$	$\frac{R_2 (3)}{R_2 (2)} = 1,48$	$\frac{R_2 (3)}{R_2 (1)} = 2,48$
Отношение пределов прочности кладок по группам второй серии	$\frac{R (3)}{R (1)} = 1,66$	$\frac{R (3)}{R (2)} = 1,04$	$\frac{R (3)}{R (1)} = 1,09$

Учитывая то, что образцы второй серии отличались между собой только маркой раствора, можно прийти к выводу, что для однослойной кладки, изготовленной в горизонтальном положении, повышение марки раствора от 25 до 75 несущественно увеличивает предел прочности кладки. Определенный интерес представляет сравнение фактического предела прочности кладок первой и второй серий, полученного непосредственно из опытов, с нормативным пределом прочности. Для каменных кладок нормативный предел прочности рассчитывается по формуле, предложенной Л. И. Онищиком:

$$R'' = AR_1 \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{R_1}} \right) \quad (2)$$

где R'' — нормативное сопротивление кладки на сжатие, в кг/см^2 ;
 R_1 , R_2 — соответственно пределы прочности камня и раствора на сжатие, в кг/см^2

$$A = \frac{100 + R_1}{100m + nR_1}$$

В соответствии [5] $a = 0,15$, $b = 0,3$, $m = 1,1$, $n = 2,5$.

В табл. 4 результаты расчета полученные по формуле (2) сопоставлены с экспериментальными данными авторов.

Из табл. 4 видно, что фактический предел прочности превышает нормативный. У образцов второй серии это повышение составляет в среднем 60%. Некоторую роль здесь, конечно, играет масштабный фактор и форма поперечного сечения. В нашем случае учесть эти факторы по способу, предложенному Л. И. Онищиком, не представляется возможным, так как для кладки из камней правильной формы нет принятого эталонного образца [6].

Формула Л. И. Онищика для кирпичной кладки имеет вид:

$$R' = 0,8 R_0 + \frac{2P}{\mu} R_0 \quad (3)$$

Таблица 4

Образцы кладки	Б-12,13	Б-18,19	С-1,2	С-3,4	С-5,6
R'	150		170		
R_2	38,0	43,7	32,4	51,3	80,5
Фактический предел прочности кладки	50,0	59,1	88,4	93,0	96,5
R'' по формуле (2)	50,1	51,2	53,6	58,5	62,0
$R_{\text{н}}/R''$	1,0	1,15	1,65	1,59	1,55

где R_0 — прочность кладки эталонного образца сечением 40×10 см, в кг/см²;

R' — прочность кладки образца заданных размеров и форм, в кг/см²;

F — площадь поперечного сечения образца, в см²;

P — учитываемый периметр (за вычетом сторон входящих углов), в см.

Анализируя формулу (3) можно заметить, что для образцов имеющих удлиненную форму в плане (стены, а не столбы), предел прочности получается выше по отношению к образцам кладки с эталонным сечением. Поэтому можно предполагать, что некоторая доля повышения предела прочности образцов кладки второй серии объясняется удлиненной формой поперечного сечения.

Деформационные характеристики. Испытание образцов кладок первой серии на центральное сжатие показало, что при одинаковых напряжениях продольные деформации образцов, изготовленных в горизонтальном положении, меньше деформаций образцов изготовленных в вертикальном положении (рис. 3). Это положение сохраняется, но в

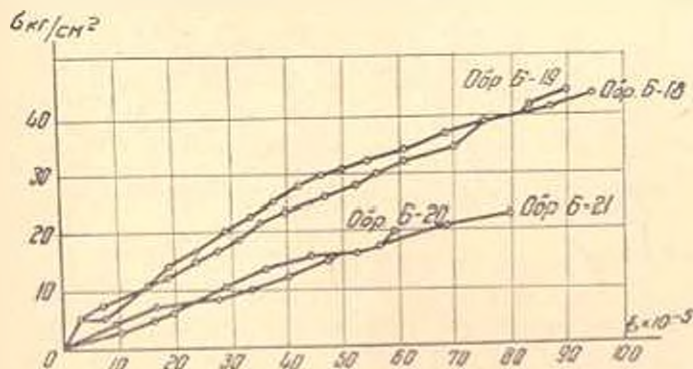


Рис. 3. Продольные относительные деформации первой серии образцов Б-18, Б-19, Б-20 и Б-21.

несколько меньшей мере также при сравнении деформации при одинаковых относительных напряжениях. Так, например, при напряжении

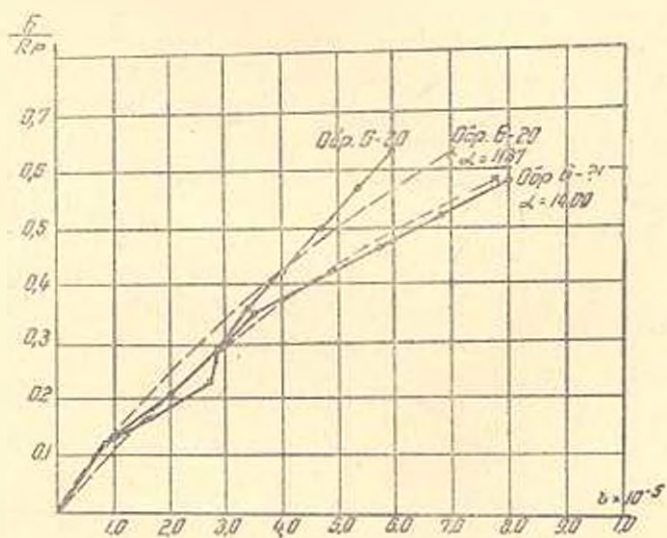
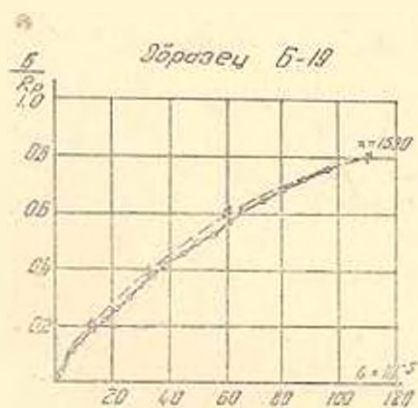
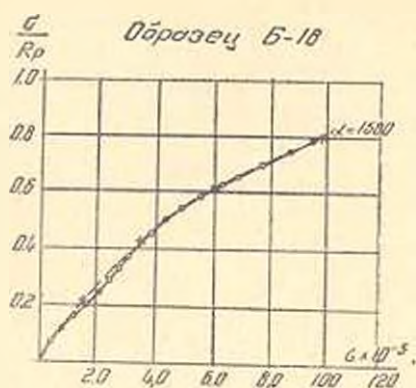


Рис. 4. Кривые зависимости продольных относительных деформаций и относительных напряжений.

$\frac{\sigma}{R_{\text{раз}}} = 0.5$ продольные относительные деформации образцов Б—18.

Б—19 $\epsilon_{\text{гор}} = 44 \times 10^{-5}$, а образцов Б—20, Б—21 $\epsilon_{\text{гор}} = 54 \times 10^{-5}$ (рис. 4).

На рис. 4 штрих линией представлены относительные продольные деформации образцов второй серии. При построении этих кривых была использована известная формула

$$\epsilon = -\frac{R'}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{R'} \right) = -\frac{R^u}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{R^u} \right). \quad (4)$$

Применительно к нашему случаю в (4) было принято $R' = R^u$. Припущенные на рис. 4 кривые для образцов Б—18, Б—19 свидетельствуют об удовлетворительном совпадении теоретических и экспериментальных данных. Однако использованный в формуле (4) $R' = R^u$ нужно считать частным случаем, так как в некоторых других опытах, поставленных на кладках из туфовых камней правильной формы, совпадение получается при $R' = (1.0-2.5) R^u$.

На основе результатов испытания образцов второй серии построены кривые зависимости $\epsilon = \epsilon(\sigma)$ (рис. 5). Эти кривые показывают, что с повышением прочности кладки ее деформативность понижается. Интересно, что в случае когда напряжения в кладке не превышают $1/3 R_{\text{раз}}$ продольные деформации у всех образцов второй серии независимо от марки раствора почти одинаковые. При дальнейшем увеличении напряжений деформации образца уменьшаются с увеличением предела прочности раствора (рис. 5).

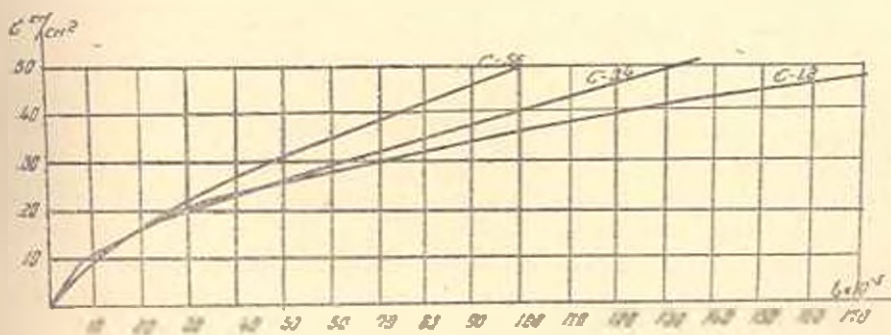


Рис. 5. Продольные относительные деформации второй серии образцов С—1.2; С—3.4; С—5.6.

Произведенные опыты позволяют сделать следующие выводы.

1. Прочностные показатели однослойной кладки из туфовых камней правильной формы, изготовленной горизонтальным способом, ниже по сравнению с такой же кладкой, изготовленной в вертикальном положении в среднем на 35—40%.

2. Предел прочности кладки, изготовленной горизонтальным способом превышает нормативный на 30—35%. При пределе прочности

камня 150—170 кг/см² и марке раствора 50, предел прочности такой кладки получается не ниже 65 кг/см².

3. Повышение марки раствора на одну ступень для марок растворов 25, 50, 75 увеличивает прочность кладки, изготовленной горизонтальным способом на 5% и уменьшает ее деформативность в среднем на 18%.

4. Относительные продольные деформации однослойной кладки, изготовленной горизонтальным способом, по сравнению с такой кладкой, изготовленной вертикальным способом при всех прочих и равных условиях меньше на 25—30%.

Армавирский НИИ стройматериалов и сооружений

Госстроя Армянской ССР

Поступило 15.II 1962

Լ. Վ. ՇԱԽՍՈՒՐՅԱՆ, Ջ. Վ. ՅԱԽԱՐՅԱՆ

ԿԱՆՈՆԱՎՈՐ ՁԵՎԻ ՏՈՒՖԱԲԱՐԵՐԻՅ ԻՐԱՏԱԿ ՈՐԱՄԱԾԷՐ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Ւ Ն Ո Ւ Մ

Հորիզոնական և կարգադրված է կանոնավոր ձևի տուֆաքարերից հորիզոնական և զանազան իրականացված միատակ որմածրի տեխնոլոգիան, բերված է նրա ամրության և զեֆորմացիոն հատկությունների վերաբերյալ փորձերից ստացված տվյալները: Գույց է տրված, որ հորիզոնական եղանակով իրականացված միատակ տուֆաորմածրի ամրությունը համեմատած ուղղածից եղանակով իրականացված նման որմածրի հետ միջին հաշվով 35—40%-ով ավելի բարձր է: Հորիզոնական եղանակով իրականացված միատակ տուֆաորմածրի ամրությունը պերագանցում է նորմատիվ տվյալներին 30—35%-ի շափով: Փորձերը ցույց են տվել, որ տուֆաքարի 150—170 կգ/սմ² ամրության և 50 մարկայի ամրության շաղախի դեպքում հորիզոնական ձևով իրականացված միատակ որմածրի ամրությունը ստացվում է ոչ պակաս քան 65 կգ/սմ²: Հորիզոնական որմածրի մեջ օգտագործվող շաղախի մարկայի բարձրացումը մեկ աստիճանով 25, 50 և 75 մարկայի շաղախների դեպքում որմածրի ամրությունը բարձրացնում է 5%-ով, իսկ զեֆորմատիվությունը պակասեցնում է միջին հաշվով 18%-ով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Поляков С. В., Фалевич Б. И. Каменные конструкции. М., 1960.
2. Степанян В. А. Нормальное сцепление раствора с камнем. Ереван, 1950.
3. Мамиджаниян А. М. Об одном способе кладки из пористых блоков. ДАН Армянской ССР, т. XII, вып. 2, 1950.
4. Шахсуварян Л. В. Новый метод изготовления составных крупных блоков. Известия АН Армянской ССР (серия ТН) вып. 6, т. XI, 1958.
5. Нормы и техничекие условия проектирования каменных и армокаменных конструкций (ННТУ 120—55). М., 1955.
6. Исследования по каменным конструкциям, под ред. Л. И. Овсика. М., 1957.