

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. Аракелян

Некоторые физико-механические свойства кладки из
буто-раствора на туфовых заполнителях.

Буто-бетон или буто-бетонная кладка занимает промежуточное место между бетоном и бутовой кладкой. Как известно, буто-бетон получается при втапливании бутовых камней в слой предварительно уложенного бетона.

Если же бутовые камни втапливать в слой предварительно уложенного раствора, то такую кладку можно назвать буто-раствором или кладкой из буто-раствора.

Буто-бетон и буто-раствор обладают рядом преимуществ: требуют меньшего, по сравнению с бетоном или раствором, расхода вяжущего — просты в производстве, благодаря чему отпадает необходимость в квалифицированной рабочей силе, и допускают применение, в качестве крупного заполнителя, местных, бутовых камней.

Буто-бетонная кладка и кладка из буто-раствора получают в Армянской ССР все более широкое применение благодаря тому, что они обходятся примерно на 30—40% дешевле по сравнению с распространенными видами кладок (кладка „мидис“ и кладка из легко-бетонных камней) и позволяют использовать карьерные отходы туфовых камней („хибара“) в качестве крупного заполнителя — бута.

Помимо этого из всех видов кладок одинаковой прочности на сжатие буто-бетон и буто-раствор — наиболее монолитные, что весьма важно для сейсмических районов.

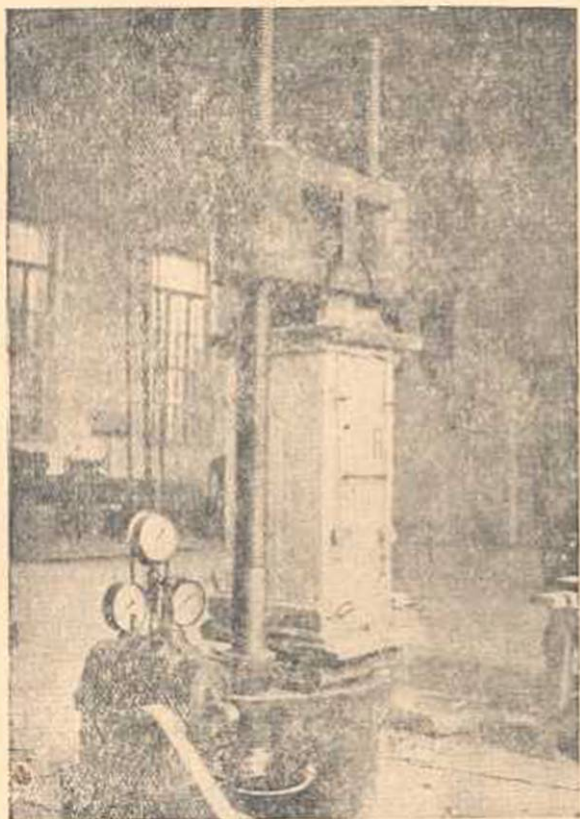
Однако физико-механические свойства буто бетона и буто-раствора до сего времени мало изучены.

В Институте Стройматериалов и Сооружений Академии Наук Арм. ССР (АИС) нами были поставлены специальные опыты над образцами из буто-раствора размерами $40 \times 40 \times 80$ см с целью установления его прочности в зависимости от прочности раствора и бута а также упругих характеристик при сжатии — модуля упругости — E , и коэффициента Пуассона — μ (фиг. 1).

В качестве вяжущего материала в образцах были применены: известково-пуццолановый цемент анийского завода как в чистом виде, так и с добавкой портландцемента — 15—30%, и известковый шлам (отходы карбидного производства), с добавкой портландцемента — 15%.

В качестве крупного отощателя применялись карьерные отходы

туфовых камней; песок для раствора был получен из тех же отходов путем дробления (на пескодробилке „Клеро“).



Фиг. 1.

На фиг. 2 -5 приведены результаты испытаний образцов:

1. Графики зависимости между сжимающими напряжениями (σ) и продольными деформациями (ϵ);

2. графики зависимости между сжимающими напряжениями и модулями упругости (E);

3. графики зависимости между сжимающими напряжениями и коэффициентами Пуассона (μ).

Обычно кривую изменения модуля упругости испытываемых образцов определяют дифференцированием осредненной, на основании опытов, кривой деформации. Такой путь может привести к весьма существенным погрешностям, поскольку если в данном интервале

две функции мало отличаются друг от друга, то это еще не означает, что в том же интервале мало отличаются также их производные. Следовательно кривая модуля упругости, полученная из осредненной кривой деформации путем дифференцирования, может весьма существенно отличаться от кривой, характеризующей действительное изменение модуля упругости испытываемого образца.

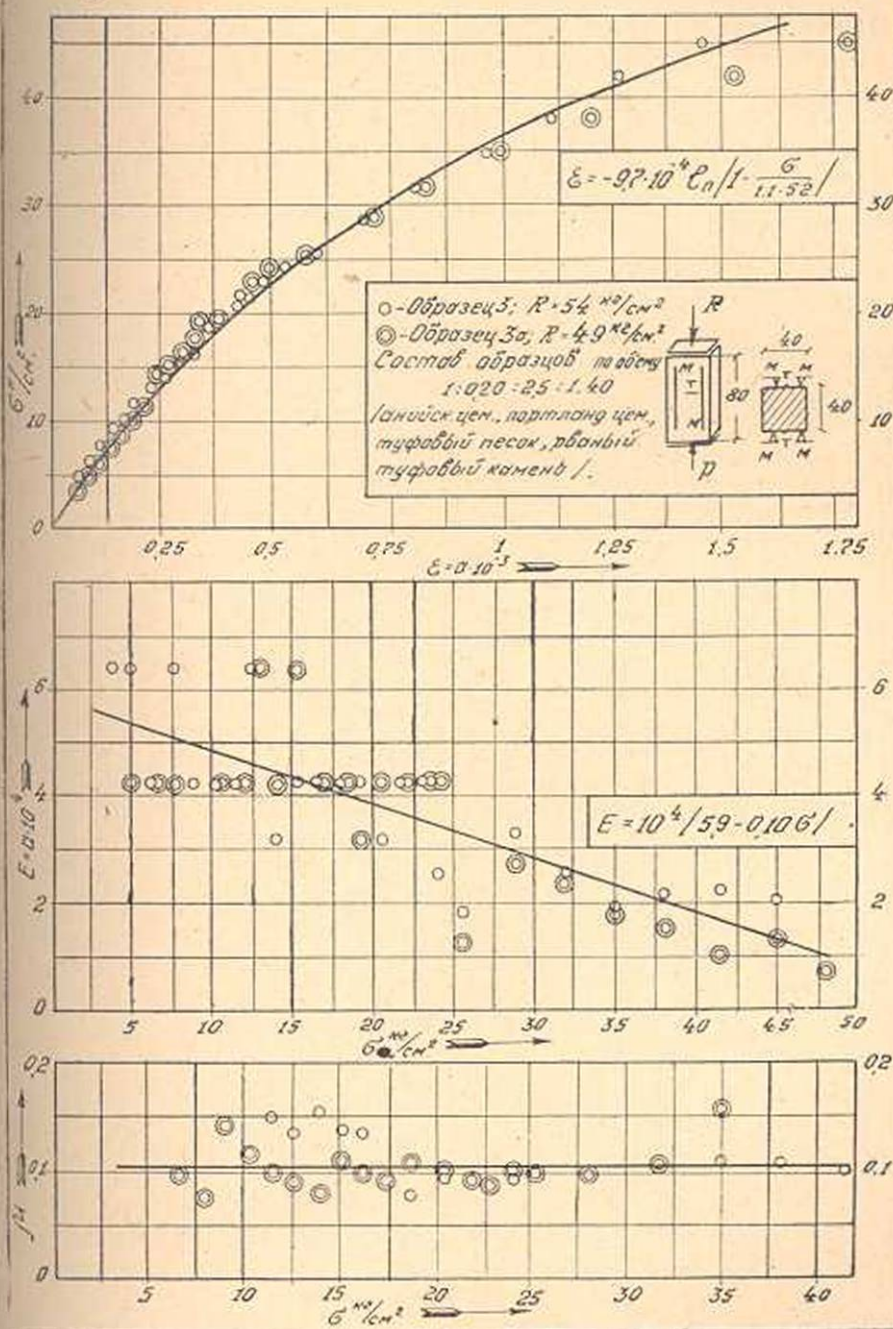
Мы выбрали обратный путь: кривые модулей упругости определили непосредственно по экспериментальным точкам и с последующим интегрированием их получили кривые деформаций. Такой путь предостерегает от ошибок, поскольку при интегрировании погрешности сглаживаются.

Опыты показывают, что зависимость между E и σ с достаточной для практических целей точностью может быть изображена прямой

$$E = A\sigma + B, \quad (1)$$

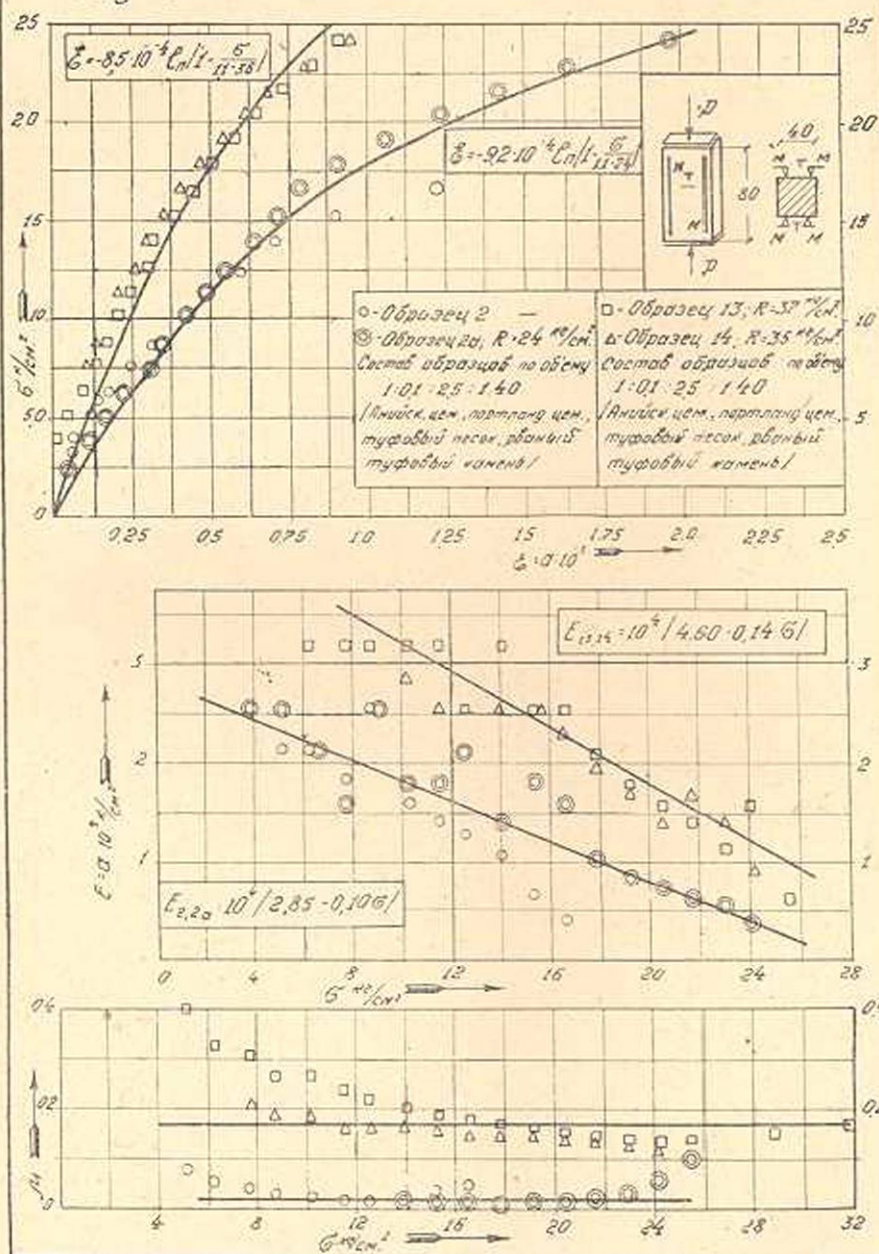
где A и B — некоторые постоянные коэффициенты, определяемые в каж-

Результаты испытания образцов 3 и 3а



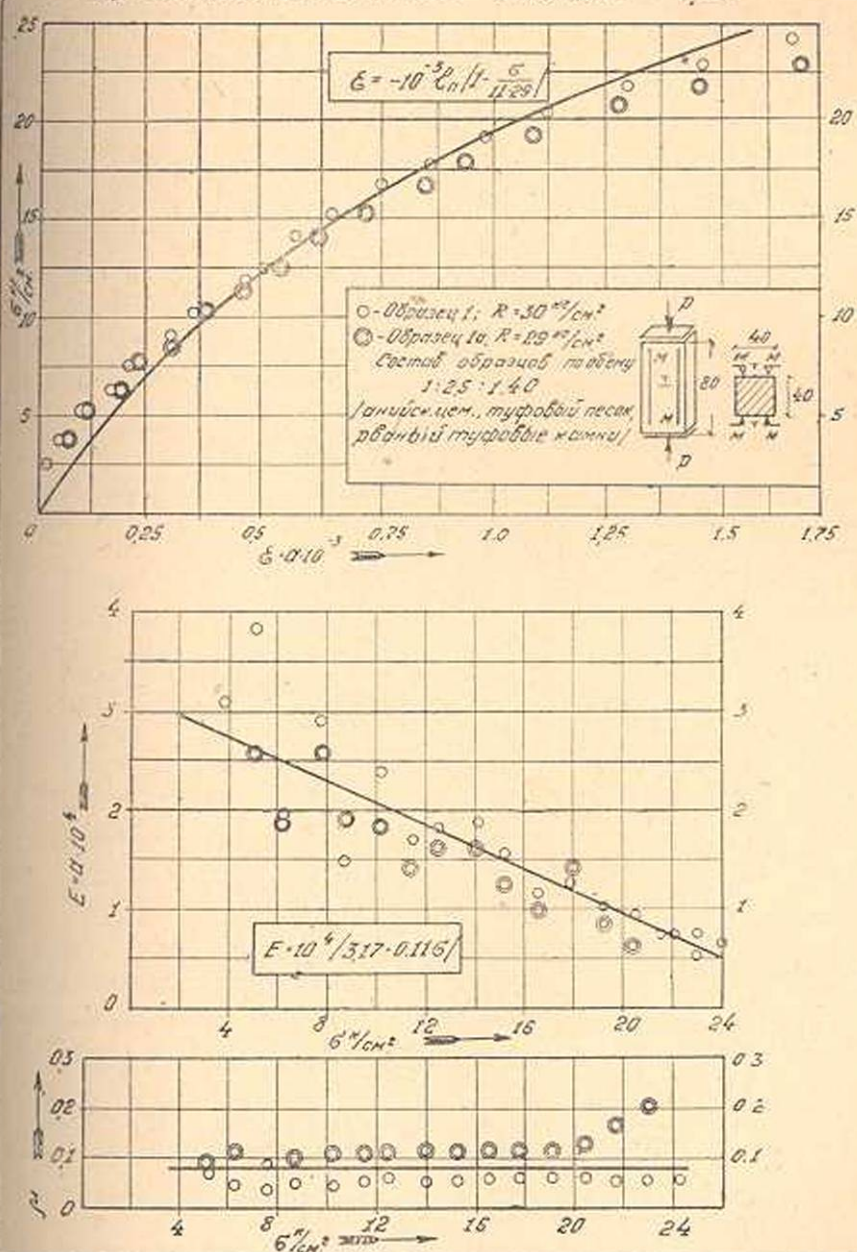
Фиг. 2.

Результаты испытания образцов 2, 2а, 13 и 14

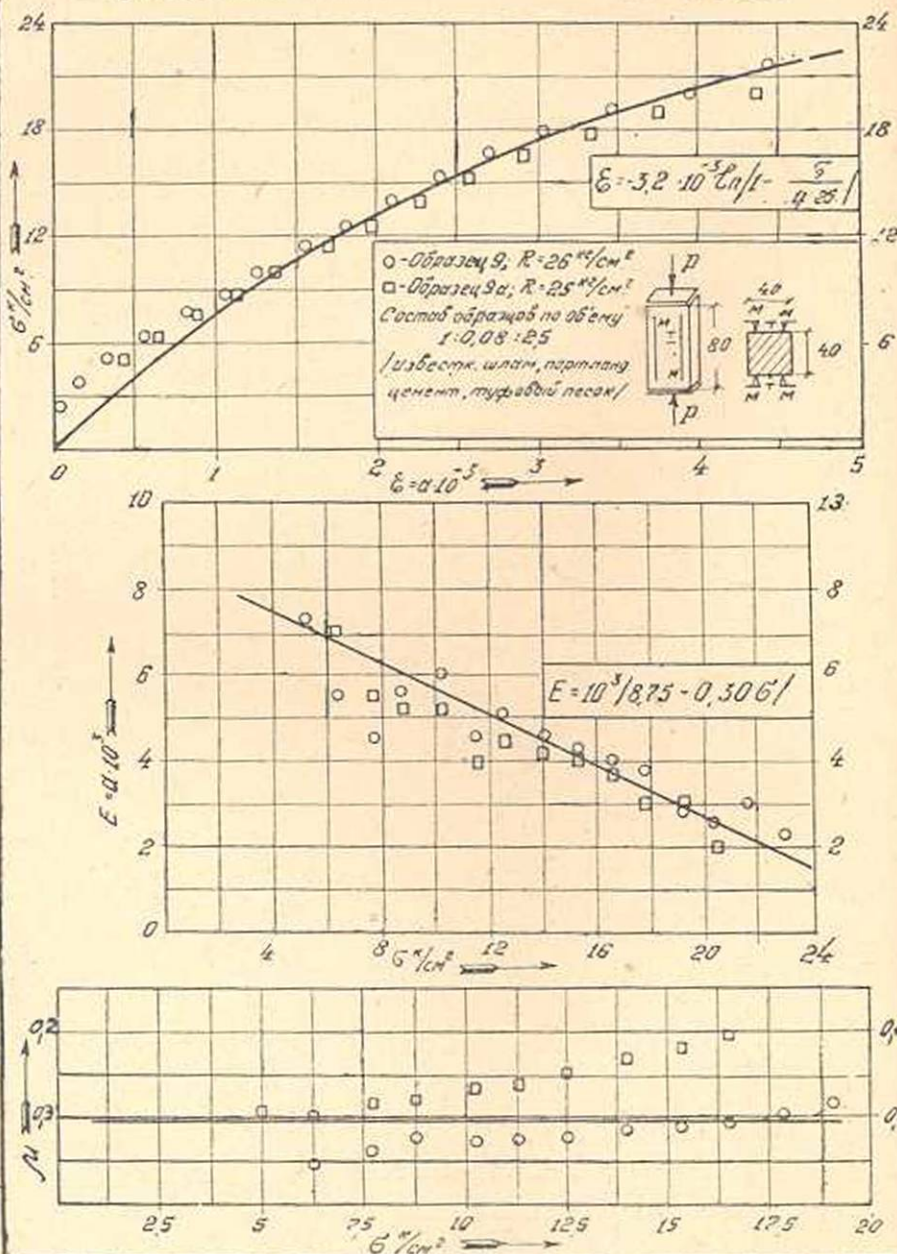


Фиг. 3.

Результаты испытания образцов 1 и 1а



Результаты испытания блоков 9 и 9а



дом случае способом наименьших квадратов. Принимая при этом, без особой погрешности, $\frac{B}{A} = -1,1R$; $B=E_0$ и преобразуя (1), получим формулу Онищика [1,2]

$$E=E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{1,1R}\right) \quad (2)$$

где E —модуль упругости при данном напряжении,

E_0 —начальный условный модуль упругости,

σ —напряжение в кладке,

R —предел прочности кладки при сжатии.

В таблице 1 приводятся расчетные величины E и μ в зависимости от марки буто-раствора при $\sigma=0,4 R$ (коэффициент запаса кладки принят 2,5).

Таблица 1

	Буто-раствор на известковом шлаке марки		Буто-раствор на известково-пуццолановом цементе арийского завода марки		
	4—8	15—30	8	15—30	50
E	1000—2000	5000—10000	4000	10000—20000	40000
μ	0,18	0,12	0,14	0,12	0,10

Кривая зависимости ε от σ получается интегрированием (2)

$$\varepsilon = -\frac{1,1R}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{1,1R}\right) \quad (3)$$

Построенные по (3) кривые, как это видно на фиг. 2, 3, 4 и 5, достаточно хорошо совпадают с опытными данными.

Полученные заметные расхождения при малых напряжениях (в особенности для образцов со слабым вяжущим) и хорошее совпадение при больших напряжениях следует объяснить тем, что в начальной стадии нагружения образцов отсчеты с приборов снимались без предварительной трехминутной выдержки постоянной нагрузки, между тем как при больших нагрузках отсчеты снимались после трехминутной выдержки.

Формулы (1) и (2), полученные по опытам над образцами из буто-раствора, как показали наши предварительные опыты, после небольших изменений могут быть распространены также и на бето-бетон.

Прочность бето-бетонной кладки и кладки из буто-раствора зависит главным образом от прочности бетона или раствора и в меньшей, но заметной степени, от прочности заполнителя (бута).

Для определения предела прочности бето-бетонной кладки име-

ется ряд формул. Из существующих формул наиболее приемлемой следует считать эмпирическую формулу А. А. Шишкина [3].

$$R_{66} = R_2 \left(\frac{65}{45 + R_2} + 0,15 \right) \quad (4)$$

где R_{66} — призмная прочность бутто-бетона, или бутто-раствора,

R_2 — кубиковая прочность бетона или бутто-раствора.

Формула Шишкина не учитывает влияния прочности крупного заполнителя. В этом мы усматриваем ее недостаток.

На основании наших опытов (таб. 2) и имеющихся литературных данных [3, 4, 5] нами получена достаточно компактная эмпирическая формула для расчета прочности бутто-бетонной кладки, подобная формуле проф. Онищика для расчета прочности кирпичной кладки

$$R_{66} = \alpha R_2 \left(1 - \frac{0,90}{1,5 + R_3} \right) \quad (5)$$

R_2

где R_3 — кубиковая прочность бута,

$$\alpha = \frac{93}{58 + R_2}$$

R_2 — кубиковая прочность раствора или бетона.

Предел применяемости формулы (5) $R_2 \leq 90 \text{ кг/см}^2$. В формуле (5) впервые учитывается влияние прочности крупного заполнителя (бута) на прочность бутто-бетона (или бутто-раствора). Результаты испытания на сжатие образцов размерами $40 \times 40 \times 80$ приводятся в табл. 2 [8].

Таблица 2

№	Предел прочности при сжатии в кг/см ²			Предел прочности бутто-раствора при сжатии по формуле	
	Раствора	Туфового бутового камня	Бутто-раствора	(4)	(5)
1	9,5	107	9,6	12,7	12,6
2	4,5	107	8,0	8,60	6,5
3	7,0	107	8,50	9,80	9,5
4	5,0	107	5,50	7,25	7,10
5	3,5	107	4,75	5,22	5,16
6	9,50	8,50	10,50	12,70	11,90
7	4,7	42,0	29,5	39,9	26,9
8	89,5	3,0	24,0	55,5	23,10
9	42,0	130,0	35,0	37,7	31,6
10	11,0	42,0	9,0	14,4	12,2
11	17,5	42,0	12,0	20,4	16,70
12	20,0	120	19,0	23,0	21,10
13	20,0	120	22,0	23,0	21,10

ПРИМЕЧАНИЕ: Для равномерной передачи нагрузки на испытуемый образец торцы образцов заливались алебастровым раствором толщиной 2–3 см (фиг. 1). В образце № 6 бутовый камень — базальтовый. Консистенция раствора — пластичная.

Средние квадратические и средние арифметические отклонения экспериментальных величин прочности буто-бетона от величин, вычисленных по формулам (4) и (5), приводятся в таб. 3 [8].

Таблица 3

	Средние отклонения по опытным данным Шиш- кина, Митгарца и автора			Средние отклонения по опытным данным Шиш- кина и Митгарца.		
формула (4)	$\pm 32,5\%$	$\pm 10,5\%$	$-28,5\%$	$\pm 20,5\%$	$\pm 10\%$	-21%
формула (5)	$\pm 16,5\%$	$\pm 15\%$	-16%	$\pm 14\%$	$\pm 10\%$	$-12,5\%$

Из таблицы видно преимущество формулы (5) по сравнению с формулой (4), принятой Техническими Условиями и Нормами.

При применении формулы (5) встречается затруднение, связанное с экспериментальным установлением предела прочности бутового туфового камня.

Это затруднение можно обойти, определив предел прочности туфового камня косвенным путем — по его объемному весу (γ) и водопоглощаемости (W) [6,7].

Для туфов зависимость между $\frac{1}{\gamma}$ и водопоглощаемостью, а также между $\frac{1}{G-\gamma}$ (где G — удельный вес туфа) и прочностью R , можно, с достаточной для указанной цели точностью, выразить следующими формулами:

$$\frac{1}{\gamma} = aW + b \quad (6)$$

$$\frac{1}{G-\gamma} = cR + d \quad (7)$$

Величина удельного веса туфа меняется в очень узких пределах и может быть принята равной $2,52 \text{ т/м}^3$.

Принимая также $a=0,01135$; $b=0,429$; $c=0,00498$ и $d=0,658$, определенные на основании имеющегося в АИС многолетнего экспериментального материала (способом наименьших квадратов), после соответствующего преобразования получим:

$$\gamma = \frac{88}{38+W} \quad (8)$$

$$R = \frac{132(\gamma-1)}{2,52-\gamma} \quad (9)$$

Из (8) и (9) получим:

$$R = \frac{52(50-W)}{3,2+W} \quad (10)$$

Формула (8) дает хорошее совпадение с опытными данными. Формула (9) дает заметное рассеивание, но все же ее точность оказывается достаточной для указанной выше цели, т. е. для определения прочности туфового камня по объемному весу и водопоглощаемости, что намного проще непосредственного опытного его определения.

Поступило 29 XI 1948.

Институт Строительных Материалов и Сооружений
Академии Наук Армянской ССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Онищик—Каменные конструкции. 1939. Москва—Ленинград.
2. Л. И. Онищик—Прочность и устойчивость каменных конструкций. 1937. Москва—Ленинград.
3. А. А. Шишкин—Буто-бетон и его прочность. Строительная промышленность, № 1, 1940.
4. А. А. Шишкин—Прочность кладок из естественных камней по экспериментальным данным. 1938. Москва.
5. Л. Митгарц—Сравнение бутовой кладки с бетоном. Строительная промышленность, № 10, 1933.
6. А. К. Бурдул—Установление связи между физическими и техническими свойствами естественных каменных материалов. Строительные материалы № 8, 1934.
7. М. Н. Ельчанинов—О зависимости между механической прочностью и объемным весом известняка. Строительная промышленность, № 11, 1940.
8. А. А. Аракелян—Опыт применения ангийского цемента в кладке. Отчет АИС 1946—47 г.

Հ. Ա. Առաքելյան

ՏՈՒՖԱՅԻՆ ԽԱՄՔԱՐԱՇԱՂԱԻ ՇԱՐՎԱԾՔԻ ՈՐՈՇ ՖԻԶԻԿՈՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածուժ բերված են Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի Շինարարական նյութերի և կառուցվածքների Ինստիտուտում կատարված էքսպերիմենտալ աշխատանքների արդյունքները՝ տուֆային խամքարաշաղախ շարվածքի վերաբերյալ:

Հեղինակն իր փորձերի հիման վրա տալիս է համապատասխան բանաձևեր և զործնական տվյալներ խամքարաշաղախ շարվածքի դեֆորմացիաները և առաձգականության մոդուլը որոշելու համար՝ կախված շարվածքի սեղմման լարվածությունից:

Հողվածի մեջ տրված է նոր բանաձև՝ կենտրոնական սեղմված խամքարաշաղախ կամ խամքարաբետոն շարվածքների ամրությունը հաշվելու համար: Այդ բանաձևն ավելի լավ է համընկնում փորձնական արդյունքների հետ, քան դուրսբերված ունեցող բանաձևերը:

Առաջարկված բանաձևում հեղինակի կողմից առաջին անգամ հաշվի է առնվում խամքարի ամրությունը, որն, ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, զգալի ազդեցություն ունի խամքարաշաղախ կամ խամքարաբետոն շարվածքների ամրության վրա:

Հողվածուժ բերված են նաև բանաձևեր տուֆ քարի ամրությունը որոշելու համար՝ կախված նրա ծավալային քաշից կամ նրա ջրահաղեցման առկայից: