

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Л. В. Шахсуварян

Исследование усталости растворного шва
каменной кладки

Вопросы выносливости строительных материалов и конструкций из них исследованы очень мало. Выносливость каменной кладки вовсе не исследована [1]. Между тем вопрос этот имеет немаловажное значение для каменных стен, подвергающихся динамическим воздействиям нагрузок горизонтального действия. Трудности, связанные с постановкой опытов на выносливость каменной кладки, сильно ограничивают сферу исследования в этом направлении. Испытание на выносливость маленьких образцов кладки с одним растворным швом, который является основным звеном кладки, в некоторой степени может устранить этот пробел. Конечно, полученные из испытания данные не могут полностью отражать работу самой кладки при переменной нагрузке, но во всяком случае они дадут, хотя бы в первом приближении, ориентировочные значения коэффициента усталости растворного шва кладки.

Настоящая работа посвящена исследованию выносливости или, как принято говорить, — усталости растворного шва каменной кладки. Образцы, изготовленные из черного ереванского туфа с одним растворным швом, имели цилиндрическую форму (фиг. 1). Раствор брался смешанный, марки „15“, литой и пластичной консистенций.

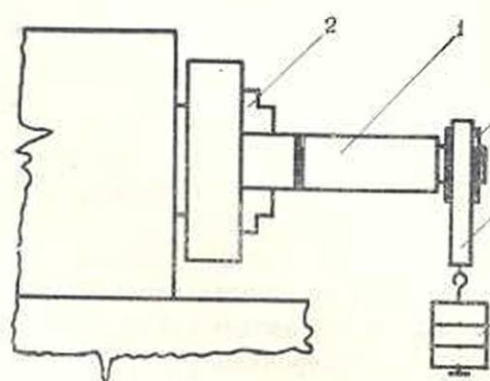
Испытание на усталость туфовых цилиндрических образцов производилось по схеме, подобной схеме испытаний металлических консольных образцов, где образец, вращаясь, одновременно под тяжестью подвешенной нагрузки работает и на поперечный изгиб (фиг. 2). Большие габариты испытуемых туфовых образцов не дали возможности испытать их на усталостной машине. Для этой цели при наших испытаниях был использован токарный станок „ДИП-200“. Образец 1 защемлялся в патроне станка 2 и приводился во вращение. Вертикальная нагрузка, в виде подвешенных гирь 3, передавалась образцу посредством резинового хомута 4. Накинутый на подшипник 5 хомут одновременно служил глушителем ударов в случае появления последних от возможного небольшого эксцентриситета образца.

Испытания образцов велись под симметричными циклами нагружения, т. е. каждое волокно консольного образца во время опыта, благодаря изгибу и вращению, попеременно растягивалось и сжималось.

лось на одинаковую величину. В каменных конструкциях зданий, большей частью при вибрациях и колебаниях, могут иметь место несимметричные циклы, по причине вертикальных эксцентрично дей-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ствующих статических нагрузок. Однако, имея в виду, что симметричные циклы нагружения более опасны при работе данной конструкции, было решено испытания вести при такой форме нагружения.

Перед испытанием на усталость небольшая группа цилиндрических туфовых образцов подверглась испытанию на

статический изгиб с целью определения предела прочности изгиба при статическом действии сил (таб. 1).

Испытание на усталость удалось произвести в основном над туфовыми образцами на растворе литой консистенции, так как образцы с пластичной консистенцией раствора, из-за имевших место больших неоднородностей, разрушились при первых же циклах и не могли дать каких-либо удовлетворительных результатов. По результатам испытания образцов с литой консистенцией раствора построен график „напряжение — циклы нагружения“, приведенный на фиг. 3.

Таблица 1

№№ об- разцов	Диаметр образца в см	Момент сопротивл. в см ³	Вертик. нагрузка в кг	Суммарн. из- гиб. момент в кг×см	Напряж. в шве в кг/см ²	Средн. времен. сопротивл. в кг/см ²	Количество циклов	Место отрыва
Испытание на статический изгиб (раствор литой консистенции)								
1	11,2	138	14,5	533	3,8	—	—	по раствору
2	11,2	138	12,0	429	3,1	3,7	—	•
3	11,8	161	27,5	630	3,9	—	—	•
4	11,2	138	25,5	583	4,2	—	—	•
Испытание на усталость (раствор литой консистенции)								
5	11,2	138	16,0	480	3,5	—	2300	по раствору
6	11,2	138	15,5	388	2,8	—	150	•
7	11,2	138	15,5	388	2,8	—	3600	•
8	11,4	146	15,0	380	2,6	—	8900	•
9	11,2	138	13,5	345	2,5	—	300	•
10	11,4	146	13,5	350	2,4	—	9600	•
11	11,2	138	12,0	305	2,2	—	17000	•
12	11,6	153	12,5	320	2,1	—	8900	по контакту
13	11,7	157	11,0	285	1,8	—	12600	по раствору
14	11,4	146	9,0	243	1,6	—	15900	•
15	11,4	146	7,5	205	1,4	—	14200	•
16	11,2	138	6,5	182	1,3	—	4800	•
17	11,5	150	6,0	166	1,1	—	49000	не разрушился
18	11,9	165	6,5	183	1,1	—	72000	•
19	11,6	153	4,0	131	0,8	—	106200	•
20	11,2	138	2,0	73	0,5	—	120000	•
Испытание на статический изгиб*								
17	11,5	150	22,5	510	3,4	—	—	по раствору
18	11,9	165	24,0	564	3,4	3,6	—	•
19	11,6	153	23,5	557	3,6	—	—	•
20	11,2	138	25,0	572	4,1	—	—	•

* После усталостного испытания неразрушившиеся образцы №№ 17, 18, 19 и 20 были испытаны на статический изгиб.

Анализируя характер полученного графика, замечаем, что он своим общим контуром близко сходится с так называемой веллеровской кривой усталости, построенной для металлических образцов. Кривая усталости, построенная для образцов кладки с растворным швом, вначале круто падает, а в дальнейшем идет почти горизонтально.



Фиг. 3.

Усталостные явления в растворном шве, с точки зрения его работы в сейсмических и взрывных условиях, интересно именно в диапазоне малого количества циклов, иначе говоря, нас больше интересует левый участок кривой усталости. Как видно, правый горизонтальный участок кривой является границей предела усталости. Взяв отношение напряжения, соответствующего этой границе, к величине временного сопротивления, выявленного при статическом изгибе,

$$\frac{\sigma_{\text{пред. уст.}}}{\sigma_{\text{стат. изгб}}} = \frac{1,1 \text{ кг/см}^2}{3,7 \text{ кг/см}^2} \approx 0,3$$

получаем коэффициент, характеризующий предел выносливости растворного шва при изгибе. При описываемых испытаниях нас большей частью интересовала качественная сторона вопроса, а не количественная. Точно определить этот коэффициент мы не могли ввиду небольшого количества экспериментального материала.

В приведенной кривой заслуживает внимания один момент, имеющий немаловажное значение для исследования усталости растворного шва. Кривая усталости переходит в горизонтальное положение сравнительно быстро — после нескольких тысяч циклов нагружения.

Получается, что при циклическом нагружении шва, если напряжение равняется пределу выносливости или чуть выше его, опасная зона повторной нагрузки ограничивается в пределах 10—20 тысяч циклов нагружения. На аналогичных кривых, построенных для металлических образцов, эта зона там находится в пределах $(2 \div 4) \cdot 10^6$ циклов. Сравнивая коэффициенты пределов выносливости металлических образцов с таковыми для растворного шва, замечаем, что они не очень далеки друг от друга (для стали $0,4 \div 0,6$, для цветных металлов $0,25 \div 0,3$, для раствора 0,3), в то время как количество циклов так называемой безопасной зоны различается в сотни раз [2]. Это значит, что количество циклов для каменных образцов с растворным швом значительно меньше, чем для металлических образцов при одном и том же относительном снижении прочности. Объяснение этому можем искать в следующем. Современная теория, поясняющая явление усталости, в свою основу принимает, что разрушению образца предшествует образование очень тонкой трещины, которая, развиваясь при циклических нагружениях, постепенно уменьшает рабочее сечение. Продолжая работать в таких условиях, сечение делается таким малым, что наступает мгновенный излом. Ясно, что в таком материале, каким является строительный раствор, имеющий в своем теле не только микротрещины, являющиеся следствием усадки раствора, а даже макротрещины, немалое количество маленьких и больших пузырьков и пустот, создающих концентрацию напряжений, распространение трещины усталости при циклическом нагружении будет развиваться сравнительно быстро, чем и объясняется полученный результат.

Излом всегда происходил по телу раствора, что не было неожиданным, так как при применении литого раствора прочность сцепления раствора с камнем больше, чем прочность самого раствора. Микроскопическое наблюдение поверхности излома с целью определения первой и второй зоны — зоны внезапного излома, не дало результата. Такие зоны, характерные для металлических образцов при усталостных испытаниях, здесь не обнаружались. Это естественно, так как при данных образцах микротрещины, встречающиеся по всему объему раствора, медленно развиваясь, ослабляют элементарные площадки, разбросанные в разных местах по всему сечению. В итоге, конечно, снова уменьшается рабочее сечение, но уже при отсутствии ровной притертой поверхности; и так как раствор не дает пластических деформаций при растяжении, то разрушение получается внезапным.

В ы в о д ы

1. Кривая усталостной прочности растворного шва литой консистенции сходна с кривой, построенной для металлов.

2. Предел усталости растворного шва литой консистенции при изгибе достигает примерно 0,3 предела текучести.

Известия IX, № 4—2



3. Количество повторных циклов, так называемой безопасной зоны для растворного шва литой консистенции, не превышает $(1,5-2) \cdot 10^4$ цикла.

Институт строительных материалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 11 XII 1950

Լ. Վ. Շախսուվարյան

ՔԱՐԱՅԻՆ ՇԱՐՎԱԾՔԻ ՇԱՂԱԽԻ ԿԱՐԱՆԻ ՀՈԳՆԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱՀՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգիածուծ բերված են քարային շարվածքի շաղախի կարանի հոգնածության հետազոտության արդյունքները:

Ձրիկ շաղախով լցված միակ կարան ունեցող շարվածքի նմուշը փորձարկվել է մետաղական նմուշի հոգնածության փորձարկման սխեմայով: Ստացված արդյունքների հիման վրա կառուցված է շաղախի կարանի հոգնածության կորը, ինչպես և տրված է շարվածքի դինամիկ աշխատանքի դեպքում տնվածանգության սահմանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Корчинский М. Л. Расчет строительных конструкций на вибрационную нагрузку. Стройиздат, 1948
2. Давиденков Н. Н. Динамические испытания металла. ОНТИ, 1936.