

УДК 539.376

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

К. С. Карапетян

О влиянии длительного нагружения на прочность и деформативность бетона

(Представлено академиком АН Армянской ССР С. А. Амбарцумяном 27/IV 1970)

В работе приводятся результаты исследования влияния длительного нагружения (сжатия и растяжения) на прочность и деформативность бетона в зависимости от величины напряжения в процессе длительного нагружения.

Испытанию подвергались призмы и восьмерки сечением 10×10 см, высотой 60 см, изготовленные из бетона на литонидной пемзе состава 1:1,87:3,05 (по весу) с В/Ц = 1,07. Образцы бетонировались в металлических горизонтальных и вертикальных формах. Освобождение образцов от форм производилось через трое суток, после чего до возраста 27 суток все они хранились во влажной камере, далее в помещении, где температура в период длительных испытаний составляла $T = 22 \pm 5^\circ\text{C}$, а относительная влажность $P = 61 \pm 13\%$.

Под длительные разные постоянные нагрузки в возрасте 29 суток были установлены 10 призм и 12 восьмерок перпендикулярно к слоям бетонирования и такое же количество образцов—параллельно слоям бетонирования. Напряжения составляли в призмах 15, 30, 45 и 60 кГ/см^2 , а в восьмерках—1,5; 3,0; 4,0 и $5,0 \text{ кГ/см}^2$.

Для исследования влияния длительного сжатия и длительного растяжения на прочность и деформативность бетона все образцы через 278 суток были разгружены и в годичном возрасте испытаны под кратковременной нагрузкой до разрушения. Испытание призм производилось ступенчатым нагружением и выдержкой под каждой ступенью нагрузки в течение одной минуты. Восьмерки испытывались без выдержки.

Из трех восьмерок, нагруженных перпендикулярно слоям бетонирования напряжением 5 кГ/см^2 , первый образец разорвался на 4-е сутки, второй—на 176-е сутки и третий—на 262-е сутки.

Прочностные показатели призм приведены в табл. 1.

Как видно из данных табл. 1, длительное сжатие привело к повышению прочности тех призм, которые были нагружены перпендикулярно слоям бетонирования. При этом повышение прочности бетона в большей мере зависит от величины напряжения в процессе длительного нагружения. С увеличением напряжения до 45 кГ/см^2 призмная проч-

ность бетона возрастает, а с дальнейшим повышением напряжения наблюдается обратное явление. Падение прочности призм, для которых напряжение составляло 60 кг/см^2 ($\sigma/R_{пр} = 0,72$), объясняется тем, что, ввиду высокого относительного напряжения, они претерпевали нелинейную ползучесть (¹).

Таблица 1

Влияние длительного сжатия на призмную прочность бетона

в процессе длительного загружения, кг/см^2	$\sigma/R_{пр}$ в момент длительного загрузки- жения при направ- лении сжимающей силы по отноше- нию к слоям бето- нирования		Призмная проч- ность при направ- лении сжимающей силы по отноше- нию к слоям бето- нирования, кг/см^2		Отношение проч- ности длительно загруженных об- разцов к прочно- сти ненагруженных образцов при ис- пытании		$\frac{R'_{пр}}{R_{пр}}$
	перпен- дикуляр- но	парал- лельно	перпен- дикуляр- но ($R'_{пр}$)	парал- лельно ($R'_{пр}$)	перпен- дикуляр- но слоям	парал- лельно слоям	
0	0	0	100	125	1,00	1,00	1,25
15	0,18	0,16	107	127	1,07	1,01	1,19
30	0,36	0,32	102	124	1,02	0,99	1,21
45	0,54	0,48	121	120	1,21	0,96	1,00
60	0,72	0,64	109	142	1,09	1,14	1,30

По данным испытаний образцов параллельно слоям влияние длительного сжатия на призмную прочность бетона незначительно. Повышение прочности призм, для которых напряжение составляло 60 кг/см^2 , объясняется тем, что в этом случае нелинейная ползучесть, а вместе с этим и отрицательное влияние длительного сжатия начинается при более высоком напряжении (¹).

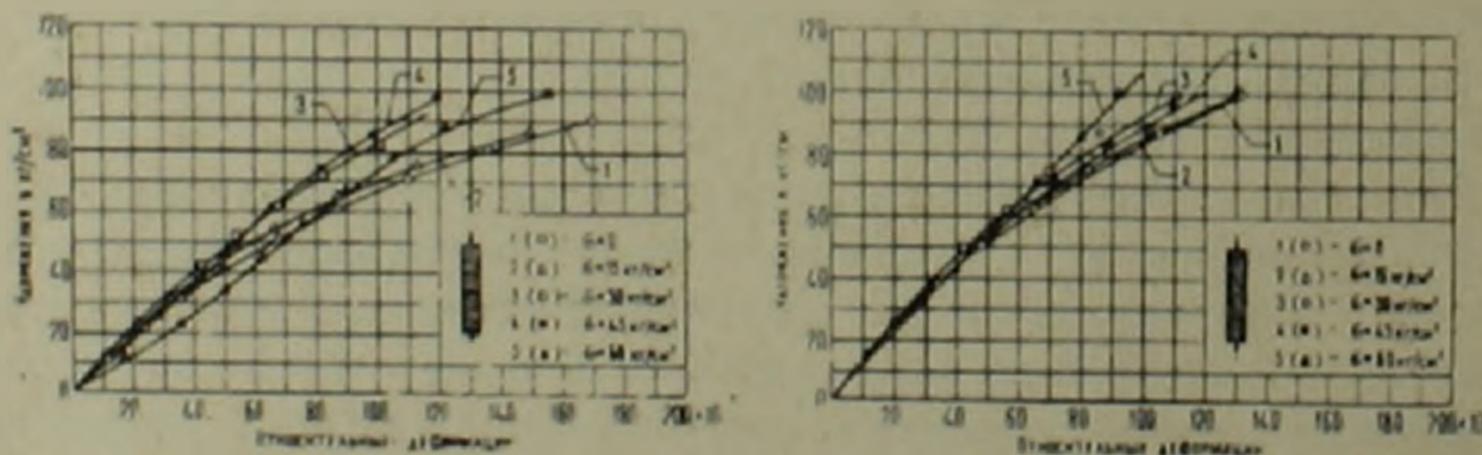


Рис. 1. Влияние длительного сжатия на последующие деформации бетона под кратковременной сжимающей нагрузкой

В последней графе табл. 1 приведены отношения прочностей призм, испытанных параллельно и перпендикулярно слоям бетонирования. Из этих данных следует, что длительное сжатие приводит к изменению анизотропных свойств бетона. Сначала, с повышением длительного сжимающего напряжения, влияние анизотропии на прочность бетона уменьшается и уже при напряжении 45 кг/см^2 бетон в отношении проч-

ности ведет себя как квазиизотропный материал. С дальнейшим повышением напряжения, когда бетон претерпевает нелинейную ползучесть, анизотропные свойства бетона вновь начинают проявляться тем заметнее, чем больше было напряжение в процессе длительного нагружения.

На рис. 1 даны два графика, из которых на первом представлены все кривые деформаций призм, испытанных перпендикулярно слоям, а на втором—параллельно слоям. Сравнение кривых деформаций одинаковой нумерации показывает, что деформации призм, испытанных перпендикулярно слоям, во всех случаях больше деформаций призм, испытанных параллельно слоям. Это явление, которое связано с анизотропией бетона, здесь не рассматривается, так как подробно освещено в работах автора (1 и др.). В данном случае наша цель показать, как влияет длительное сжатие на последующие деформации бетона под кратковременной нагрузкой и на изменения анизотропных свойств бетона в отношении деформаций.

На первом графике рис. 1 кривые деформации 2, 3, 4 соответствующие напряжениям 15, 30 и 45 кг/см², леги тем выше кривой 1, чем больше было напряжение в процессе длительного нагружения, указывая тем самым на уменьшение деформаций с повышением длительно действующего напряжения. При напряжении 60 кг/см² деформации бетона заметно возрастают (кривая 5) и одновременно изменяется характер их зависимости от напряжения. В этом случае кривая деформаций до определенного напряжения вогнутостью обращена к оси напряжений, а выше—вогнутостью к оси деформаций (2). Причиной этого является то, что образцы, нагруженные перпендикулярно слоям ($\sigma = 60 \text{ кг/см}^2$) претерпевали нелинейную ползучесть и нелинейность деформаций во

Таблица 2

Влияние длительного сжатия на деформации бетона.

в процессе длительного нагружения кг/см ²	Деформации бетона ($\sigma_1 = 60 \text{ кг/см}^2$) при направлении сжимающей силы по отношению к слоям бетонирования		Отношение деформаций длительно нагруженных образцов к деформациям ненагруженных образцов при испытании		
	перпендикулярно ($\epsilon \times 10^3$)	параллельно ($\epsilon' \times 10^3$)	перпендикулярно слоям	параллельно слоям	
0	136	93	1,00	1,00	1,46
15	130	89	0,95	0,95	1,46
30	96	80	0,71	0,86	1,20
45	92	85	0,68	0,91	1,08
60	111	75	0,81	0,81	1,41

времени увеличивалась, так как относительное напряжение 0,72, из-за незначительного роста прочности бетона во времени, до конца опытов сохранилось высоким (1).

На рис. 1 нетрудно заметить, что аналогичный характер имеет и кривая деформаций тех образцов, для которых напряжение составляло

45 кг/см². Но так как в этом случае образцы претерпевали скоропроходящую нелинейную ползучесть, верхняя часть этой кривой расположилась выше кривой 3 ($\sigma = 30$ кг/см²).

В опытах с призмами, длительно обжатыми параллельно слоям бетонирования (рис. 1), линейная ползучесть сохранилась до напряжения 60 кг/см² и поэтому их кривые деформаций тем выше кривой 1, чем больше было напряжение в процессе длительного нагружения. С повышением напряжения кривизна кривых деформаций уменьшается и при напряжении 60 кг/см² зависимость между напряжениями и деформациями уже имеет линейный характер.

Из данных табл. 2 следует, что длительное сжатие приводит также к изменению влияния анизотропии на деформации бетона. Сначала с повышением напряжения от длительной сжимающей нагрузки влияние анизотропии на деформации бетона уменьшается, и при некотором напряжении бетон в отношении деформаций начинает себя вести, как квазианізотропный материал. С дальнейшим повышением напряжения, когда наступает область нелинейной ползучести, анизотропные свойства бетона вновь начинают проявляться тем заметнее, чем больше было напряжение в процессе длительного сжатия.

Таблица 3

Влияние длительного растяжения на прочность бетона

σ в процессе длительного нагружения, кг/см ²	σ/R _p в момент длительного нагружения при направлении растягивающей силы по отношению к слоям бетонирования		Прочность бетона на растяжение при направлении растягивающей силы по отношению к слоям бетонирования		Отношение прочности длительно нагруженных образцов к прочности ненагруженных образцов при испытании		R _p [*] R _p
	перпендикулярно	параллельно	перпендикулярно (R _p)	параллельно (R _p [*])	перпендикулярно слоям	параллельно слоям	
0	0	0	7,0	10,7	1,00	1,00	1,51
1,5	0,215	0,17	7,7	11,1	1,10	1,05	1,44
3,0	0,430	0,34	7,1	10,7	1,01	1,00	1,51
4,0	0,570	0,45	7,4	9,2	1,06	0,87	1,26
5,0	0,710	0,56	—	7,6	—	0,72	—

В табл. 3 приведены показатели прочности бетона на растяжение. Как видно из табл. 3, в тех случаях, когда напряжение в процессе длительного растяжения составляло 1,5 кг/см², прочность бетона на растяжение по испытаниям образцов как перпендикулярно, так и параллельно слоям несколько возросла (5—10%). С дальнейшим повышением напряжения наблюдается спад прочности бетона, особенно чувствительный в случае длительного растяжения образцов параллельно слоям бетонирования (до 28%).

На основании последней графы табл. 3 длительное растяжение тоже приводит к уменьшению влияния анизотропии на прочность бетона.

Рассмотрим как влияет длительное растяжение на последующие деформации бетона при испытании под кратковременной растягивающей нагрузкой (рис. 2).

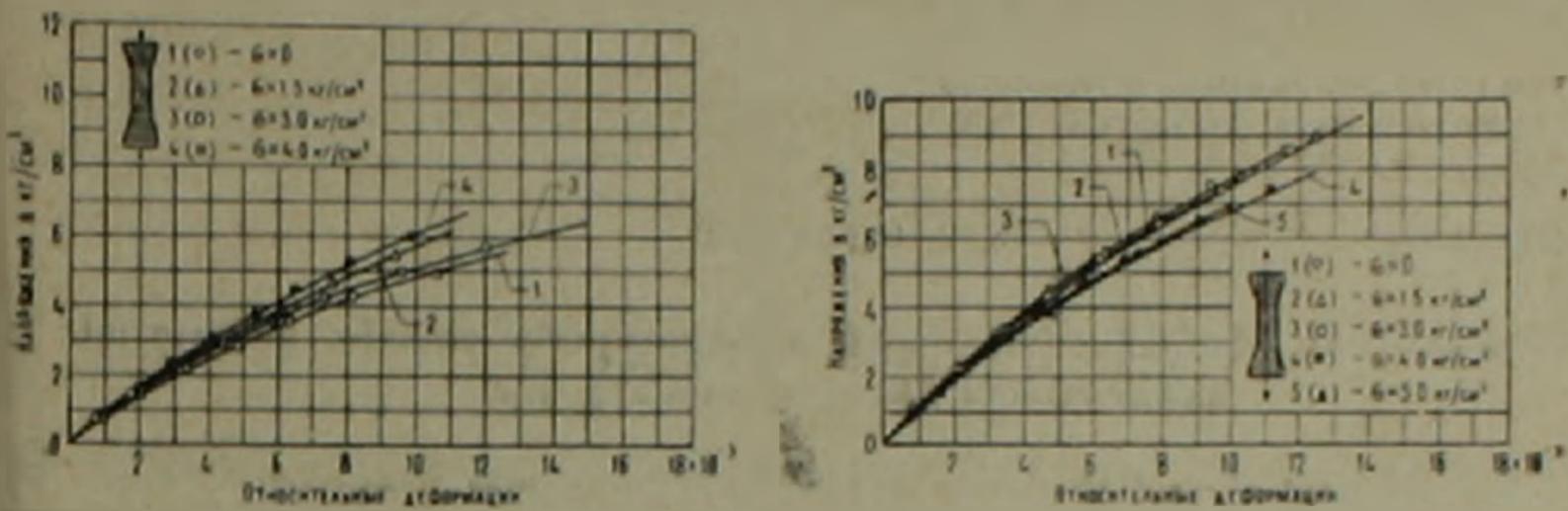


Рис 2 Влияние длительного растяжения на последующие деформации бетона под кратковременной растягивающей нагрузкой

На основании первого графика рис. 2 можно отметить, что, при испытании образцов перпендикулярно слоям бетонирования, длительное растяжение приводит к уменьшению растяжимости бетона, т. е. к увеличению модуля деформации, который тем больше, чем больше растягивающее напряжение в процессе длительного растяжения.

Совершенно противоположное имеет место, когда образцы испытываются параллельно слоям бетонирования. В этом случае длительное растяжение приводит к увеличению растяжимости бетона, которая также возрастает с повышением растягивающего напряжения в процессе длительного нагружения.

Таким образом, влияние длительного растяжения на деформации бетона в большой мере зависит и от направления растягивающей силы по отношению к слоям бетонирования.

Наглядное представление о влиянии длительного растяжения на деформации бетона можно получить также из данных табл. 4.

Таблица 4

Влияние длительного растяжения на деформации бетона

σ в процессе длительного нагружения, кг/см ²	Деформации бетона (ε ₁ = 1 кг/см ²) при направлении растягивающей силы по отношению к слоям бетонирования		Отношение деформаций длительно нагруженных образцов к деформациям ненагруженных образцов при испытании		
	перпендикулярно (ε × 10 ³)	параллельно (ε' × 10 ³)	перпендикулярно слоям	параллельно слоям	
0	7,65	4,35	1,00	1,00	1,76
1,5	6,35	4,15	0,83	0,95	1,53
3,0	6,95	4,55	0,91	1,05	1,53
4,0	5,95	4,95	0,78	1,14	1,20
5,0	—	4,85	—	1,11	—

На основании последней графы табл. 4 с увеличением длительного растягивающего напряжения отношение ϵ/ϵ' уменьшается, а это означает, что длительное растяжение также приводит к уменьшению влияния анизотропии на деформации бетона.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

Կ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

Երկարատև բեռնավորվածության ազդեցությունը բետոնի ամրության դեֆորմատիվ հատկությունների վրա

Աշխատանքում բերվում են բետոնի ամրության և դեֆորմատիվ հատկությունների վրա երկարատև բեռնավորվածության ազդեցության (սեղմամ, ձգում) էքսպերիմենտալ հետազոտության արդյունքները՝ կախված լարումների մեծություններից անիզոտրոպիայի հաշվառումով:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ սեղման դեպքում գծային սողքը բերում է բետոնի ամրության և դեֆորմացիաների մոդուլի մեծացման, իսկ ոչ գծային սողքի դեպքում տեղի ունի հակառակ երևույթը:

Բետոնի ամրության և դեֆորմատիվ հատկությունների վրա երկարատև սեղման և ձգման ազդեցությունը նաև կախված է բետոնի անիզոտրոպիայից: Գծային սողքի դեպքում անիզոտրոպիայի ազդեցությունը ամրության և դեֆորմացիաների մոդուլի վրա ժողովրդական է և բետոնը դառնում է կվադրիզոտրոպ նյութ: Ոչ գծային սողքի դեպքում բետոնի անիզոտրոպ հատկությունները նորից սկսում են ի հայտ գալ և այնքան նկատելի, որքան մեծ են երկարատև ազդող բեռը:

Л И Т Е Р А Т У Р А — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 К. С. Карапетян, ДАН АрмССР, т. 39, № 1 (1964). 2 К. С. Карапетян, «Известия АН АрмССР», серия физ.-мат. наук, т. 12, № 6 (1964).