ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Մեխանիկա XXXIII, № 2, 1980 Механика

К. С. КАРАПЕТЯН, Р. А. КОТИКЯН, К. А. КАРАПЕТЯН

ВЛИЯНИЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ НА АНИЗОТРОПИЮ ПРОЧНОСТИ, МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ И ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ

В работе [1] впервые было установлено, что влияние водонасыщения на прочность и деформативность бетона в большой мере зависит от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования — водонасыщение приводит к существенному изменению степени анизотропии бетона по прочности и модулю деформации. Исследования привели автора к выводу, что при водонасыщении изменения физико-механических и анизотропных свойств бетона происходят по следующим трем причинам:

1. Раздвигающих действий адсорбционных пленок воды, проникающих в микрощели твердого тела [2, 3].

2. Возобновления процесса твердения бетона — вторичное твердение.

3. Заполнения образовавшихся под частицами заполнителя пустот (дефектов) водой.

Первые две причины, которые приводят к изменению физико-механических свойств бетона, общеизвестны, однако еще недостаточно изучены. Что касается положительного эффекта водных прослоек, которые восстанавливаются в связи с заполнением пустот (дефектов) водой, то эту гипотезу предложил К. С. Карапетян [1].

Согласно К. С. Карапетяну, причиной неодинаковости свойств бетона в различных направлениях, то есть анизотропии, являются те водные прослойки, которые неизбежно образуются под частицами заполнителя в результате внутреннего расслаивания бетона при его укладке и уплотнении. При испарении всех этих прослоек на их местах остаются пустоты (дефекты), которые ослабляют сечение бетонного элемента и снижают его прочность, увеличивают деформации. Отрицательное влияние дефектов на прочность бетона более существенно в том случае, когда призмы испытываются перпендикулярно слоям бетонирования, так как в этом случае ослабление сечения образцов дефектами получается наибольшее [4—6].

В работе [1] опытами над шлакобетонными призмами, изготовленными в вертикальных и горизонтальных формах, было показано, что водонасыщение приводит к упрочнению бетона не только за счет вторичного твердения, но и за счет заполнения вышеуказанных пустот (дефектов) несжимаемой жидкостью — водой.

Влияние водонасыщения на прочность, модуль деформации и на анизотропные свойства бетона при сжатии исследовалось также в работе [7].

Методика опытов отличалась тем, что в этом случае впервые испытанию подвергались небольшие цилиндрические образцы, которые вырезывались в двух взаимно перпендикулярных направлениях из одного и того же бетонного элемента возраста 23 года. Кроме того, для установления закономерности влияния водонасыщения на прочность и модуль деформации бетона в зависимости от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования, образцы испытывались через 7 различных сроков хранения в воде.

Ниже рассматриваются результаты большой серии опытов, которые были поставлены для изучения влияния водонасыщения на прочность, деформативность и ползучесть бетона с учетом анизотропии как при сжатии, так и при растяжении.

Для проведения намеченных программой исследований из бетона на литоидной пемзе и портландцементе активностью 380 кгс/см² (состав в массе 1:1,66:2,99, В/Ц = 1, Ц = 260 кг на 1 м³ бетона) было изготовлено 108 призм размерами 10×10×40 см и 90 восьмерок сечением 10×10 см, высотой 60 см. При изготовлении образцов половина их бетонировалась в вертикальных формах, а другая половина — в горизонтальных формах, так что при испытании в первом случае нагрузка действовала перпендикулярно, а во втором случае — параллельно слоям бетонирования. Образцы освобождались от форм через трое суток, после чего до месячного возраста они хранились во влажных условиях, а затем до обводнения в возрасте 11 месяцев — в обычных лабораторных условиях.

Для исследования влияния водонасыщения на прочность и деформативность бетона при сжатии и растяжении были испытаны 36 призм и 30 восьмерок. Испытывались как контрольные сухие образцы, так и образцы после хранения в воде 1, 3, 7 и 28 сут., а на сжатие еще и 3 мес. Остальные образцы были предназначены для исследования водонасыщения на дальнейшую ползучесть бетона под длительной нагрузкой. С этой целью длительному сжатию и растяжению было подвергнуто 36 призм и 30 восьмерок и на таком же количестве образцов определялись усадочные деформации. После изъятия из воды и длительного загружения образцы находились в обычных лабораторных условиях, где температура составляла $T = 23 \pm 4$ С, а относительная влажность — $P = 68 \pm 9\%$. Напряжение для всех призм составляло 40 кгс/см², а для восьмерок — 6 кгс/см². Длительные деформации каждого образца замерялись двумя микронными индикаторами на базе 160 мм. Кубиковая прочность бетона в месячном возрасте составляла 267 кгс/см².

Экспериментальные кривые кратковременных деформаций как при сжатии, так и при растяжении аппроксимировались по корреляционному уравнению

$$\varepsilon = \frac{a\frac{\sigma}{R}}{1 - b\frac{\sigma}{R}}$$

где a и b — опытные параметры, а R — прочность бетона (при сжатии призменная прочность, а при растяжении — прочность на растяжение).

Касательные модули деформации при различных напряжениях определялись по формуле

$$E = \frac{R}{a}\left(1 - b\frac{\sigma}{R}\right)^2$$

где R/a представляет начальный модуль деформации.

По данным табл. 1, где приведены прочностные характеристики и касательные модули деформации бетона при сжатии, водонасыщение по-разному влияет на прочность призм, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям бетонирования. Как видим, водонасыщение практически не оказало влияния на прочность призм, испытанных перпендикулярно слоям, но в призмах, испытанных параллельно слоям, привело сперва к спаду, а в дальнейшем—к росту прочности. В конце опытов прочность водонасыщенных призм, испытанных параллельно слоям, превышает прочность соответствующих контрольных сухих призм на 10% и при этом перекрыто начальное адсорбционное понижение прочности, которое на 7 сут. водного хранения составило 12%.

Водонасыщение оказывает существенное влияние на степень анизотропии бетона по прочности. В первые сутки водного хранения коэффициент анизотропии по призменной прочности $K_1 = R'_{пр}/R_{пр}$ (где $R_{пр}$ и $R'_{пр}$ — соответственно прочности призм, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям бетонирования) уменьшается и бетон по прочности становится изотропным. Однако, в дальнейшем анизотропные свойства бетона вновь начинают проявляться и с увеличением продолжительности водного хранения K_1 возрастает до значения 1.27, что на 12% больше, чем для контрольных сухих образцов. Изменение коэффициента K_1 во времени объясняется тем, что водное хранение по-разному влияет на прочность призм, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям бетонирования [1].

По данным табл. 1 в результате обводнения модуль деформации бетона сперва снижается, а в последующем возрастает. При этом как спад, так и рост модуля деформации в случае испытания образцов параллельно слоям более чувствительны, чем в случае испытания образцов перпендикулярно слоям. В конце опытов, то есть через 3 мес. водного хранения, при $\sigma = 0$ модуль деформации образцов, испытанных перпендикулярно слоям, на 8%, а образцов, испытанных параллельно слоям, на 21% больше модуля деформации соответствующих контрольных сухих образцов.

При рассмотренных сжимающих напряжениях изменение степени анизотропии бетона по модулю деформации в процессе водного хранения качественно имеет один и тот же характер. С увеличением продолжительности водного хранения до 7 сут. коэффициент анизотропии бетона по модулю деформации $K_2 = E_{сж}/E_{сл}$ (где $E_{сл}$ и $E_{сж}$ — соответственно модули деформации образцов, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям бетонирования) уменьшается до единицы, а в дальнейшем су-

щественно возрастает и превосходит таковой контрольных образцов (табл. 1). $K_1 = 1$ значит, что бетон по модулю деформации изотропный.

Рассмотрим результаты опытов по исследованию влияния водонасыщения на прочность, модуль деформации и степень анизотропии бетона при растяжении. Как видно из табл. 2, адсорбционный спад прочности в этом случае намного больше, чем это было в опытах на сжатие. На 3 *сут.* водного хранения спад прочности на растяжение, независимо от направления растягивающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования, составляет 30%, после чего наблюдается устойчивое нарастание прочности во времени. При этом, повышение прочности образцов, испытанных перпендикулярно слоям, протекает более интенсивно, чем образцов, испытанных параллельно слоям. В результате упрочнения бетона через 28 *сут.* водного хранения прочность образцов, испытанных перпендикулярно слоям всего на 5% ниже прочности таких же контрольных сухих образцов, в то время как для образцов, испытанных параллельно слоям, то же самое составляет 19%.

При контрольных сухих образцах коэффициент анизотропии по прочности бетона при растяжении $K_1 = R_\perp / R_\parallel$ (где $R_\perp$ и $R_\parallel$ — соответственно прочности восьмерок, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям) гораздо больше, чем коэффициент анизотропии по призменной прочности K_1. С увеличением продолжительности водного хранения до 3-х *сут.* K_1 изменяется незначительно, а в дальнейшем существенно уменьшается и бетон по прочности становится практически изотропным ($K_1 = 1.07$).

Водонасыщение оказывает существенное влияние и на модуль деформации бетона при растяжении. В этом случае также сначала водонасыщение приводит к спаду модуля деформации, а в дальнейшем — к ее нарастанию во времени. Максимальный спад модуля деформации при испытании образцов перпендикулярно слоям составляет 53%, а при испытании образцов параллельно слоям — 35%. После 7*сут.* в результате дальнейшего водного хранения разница модулей деформаций контрольных сухих и водонасыщенных образцов существенно уменьшается (табл. 2).

Коэффициент анизотропии бетона по модулю деформации при растяжении $K_2 = E_\perp / E_\parallel$ (где $E_\perp$ и $E_\parallel$ — соответственно модули деформации образцов, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям) зависит как от величины напряжения, так и от продолжительности водного хранения. При контрольных сухих образцах с увеличением напряжения K_2 уменьшается, а при водонасыщенных образцах — увеличивается. При $\sigma = 0$ с увеличением продолжительности водного хранения коэффициент анизотропии по модулю деформации при растяжении уменьшается и приобретает значение, близкое к единице, то есть бетон по модулю деформации становится изотропным. При напряжениях 5 и 10 *кг/см²* четкая закономерность в изменении K_2 в зависимости от продолжительности водного хранения не наблюдается.

Таблица 1

Влияние водонасыщения на прочность и касательный модуль деформации бетона на литоидной пемзе при сжатии

Условия хранения образцов	Направление сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетона при испытании	Призменная прочность бетона в кгс/см²	Отношение прочности образцов, хранившихся в воде, к прочности сухих образцов	Отношение прочности образцов, испытанных парал. слоям, к прочности образцов, испытанных перпен. слоям	Модуль деформации бетона в кгс/см² при напряжении (кгс/см²)			Отношение модуля деформации образцов, хранившихся в воде, к модулю деформации сухих образцов при напряжении (кгс/см²)			Отношение модуля деформации образцов, испытанных парал. слоям, к модулю деформации образцов, испытанных перпен. слоям при напряжении (кгс/см²)		
					0	50	100	0	50	100	0	50	100
Образцы сухие	перпен.	205	1.00	1.13	129	112	96	1.00	1.00	1.00	1.14	1.15	1.17
	парал.	231	1.00		147	129	113	1.00	1.00	1.00			
24 *часа* в воде	перпен.	214	1.04	0.97	118	110	102	0.91	0.98	1.06	1.12	1.02	0.92
	парал.	207	0.90		132	112	94	0.90	0.87	0.83			
3 *сут.* в воде	перпен.	209	1.02	1.05	123	116	110	0.95	1.04	1.15	1.04	1.03	1.04
	парал.	219	0.95		128	120	114	0.87	0.92	1.01			
7 *сут.* в воде	перпен.	218	1.06	0.93	129	119	109	1.00	1.06	1.14	1.00	1.00	0.98
	парал.	203	0.88		128	118	107	0.87	0.91	0.95			
28 *сут.* в воде	перпен.	194	0.95	1.19	115	111	108	0.90	1.00	1.13	1.31	1.22	1.11
	парал.	231	1.00		151	135	120	1.03	1.05	1.06			
3 *мес.* в воде	перпен.	201	0.98	1.27	139	120	103	1.08	1.07	1.07	1.28	1.27	1.25
	парал.	255	1.10		178	152	129	1.21	1.18	1.14			

Таблица 2

Влияние водонасыщения на прочность и касательный модуль деформации бетона на литейной смоле при растяжении

Условия хранения образцов	Направление растягивающей нагрузки по отношению к слоям бетона при испытании	Прочность бетона на растяжение в *кгс/см²*	Отношение прочности образцов, хранившихся в воде, к прочности сухих образцов	Отношение прочности образцов, испытанных парал. слоям, к прочности образцов, испытанных перпен. слоям	Модуль деформации бетона в *т/см²* при напряжении (*кгс/см²*)			Отношение модуля деформации образцов, хранившихся в воде, к модулю деформации сухих образцов при напряжении (*кгс/см²*)			Отношение модуля деформации образцов, испытанных парал. слоям, к модулю деформации образцов, испытанных перпен. слоям, при напряжении (*кгс/см²*)		
					0	5	10	0	5	10	0	5	10
Образцы сухие	перпен.	15.4	1.00	1.27	151	122	97	1.00	1.00	1.00	1.28	1.25	1.21
	парал.	19.6	1.00		194	153	117	1.00	1.00	1.00			
24 *часа* в воде	перпен.	12.0	0.78	1.17	106	80	58	0.70	0.66	0.60	1.24	1.33	1.43
	парал.	14.1	0.72		131	106	83	0.67	0.69	0.71			
3 *сут.* в воде	перпен.	10.8	0.70	1.27	129	99	58	0.85	0.73	0.60	1.21	1.28	1.31
	парал.	13.7	0.70		156	114	76	0.80	0.75	0.65			
7 *сут.* в воде	перпен.	11.9	0.77	1.22	153	91	46	1.01	0.75	0.47	1.19	1.37	1.72
	парал.	14.5	0.74		182	125	79	0.94	0.82	0.68			
28 *сут.* в воде	перпен.	14.7	0.95	1.07	172	116	70	1.14	0.87	0.72	1.02	1.15	1.37
	парал.	15.8	0.81		176	133	96	0.91	0.90	0.82			

Таблица 3

Влияние водонасыщения на усадку и ползучесть бетона

Условия хранения образцов перед длительным загружением	Направление нагрузки по отношению к слоям бетона при испытании	Усадка бетона при $t=150$ *сут* ($\varepsilon_y \times 10^3$)	Отношение усадки образцов, хранившихся в воде, к усадке сухих образцов	Уровень напряжений и момент длительного загружения на ползучесть		Мера ползучести бетона при $t=200$ *сут*. ($C \cdot 10^6$)		Отношение меры ползучести при растяжении в мере ползучести при сжатии	Отношение меры ползучести образцов, хранившихся в воде, к мере ползучести сухих образцов		Отношение меры ползучести образцов, испытанных перпен. слоям, к мере ползучести образцов, испытанных парал. слоям	
				$\frac{\sigma}{R_{ш}}$	$\frac{\sigma}{R_p}$	при сжатии	при растяжении		при сжатии	при растяжении	при сжатии	при растяжении
Обычное (сухие образцы)	перпен.	2.85	1.00	0.20	0.39	4.00	4.17	1.04	1.00	1.00	1.42	1.75
	парал.	4.90	1.00	0.17	0.31	2.82	2.33	0.83	1.00	1.00		
24 *часа* в воде	перпен.	29.5	10.35	0.19	0.50	8.45	26.2	3.10	2.11	6.28	0.99	1.31
	парал.	26.4	5.39	0.19	0.43	8.50	20.0	2.35	3.01	8.58		
3 *сут.* в воде	перпен.	35.0	12.28	0.19	0.56	7.50	47.5	6.33	1.87	11.40	0.84	1.48
	парал.	38.0	7.76	0.18	0.44	8.95	32.2	3.60	3.17	13.80		
7 *сут.* в воде	перпен.	40.8	14.32	0.18	0.50	9.20	25.0	2.72	2.30	6.00	1.13	1.58
	парал.	41.3	8.43	0.20	0.41	8.12	15.8	1.94	2.88	6.79		
28 *сут.* в воде	перпен.	35.3	12.39	0.21	0.41	8.00	25.0	3.12	2.00	6.00	1.30	1.10
	парал.	32.7	6.67	0.17	0.40	6.17	22.8	3.70	2.19	9.80		
3 *мес.* в воде	перпен.	34.9	12.25	0.20	—	8.50*	—	—	—	—	1.91	—
	парал.	43.8	8.94	0.16	—	4.37*	—	—	—	—		

* Меры ползучести соответствуют $t=150$ *сут*.

При водонасыщении эффект водных прослоек в увеличении прочности и модуля деформации бетона при растяжении исключается и их изменение, в основном, определяется адсорбционными явлениями и эффектом вторичного твердения. Об этом свидетельствует наблюдаемое большее адсорбционное понижение прочности и модуля деформации бетона при растяжении, чем при сжатии.

Прежде чем перейти к рассмотрению результатов опытов по исследованию влияния предварительного водного хранения на последующую ползучесть бетона как при сжатии, так и при растяжении отметим, что этот вопрос до сих пор мало изучен, а с учетом анизотропии, по-видимому, никем не изучался.

Рассмотрим теперь результаты опытов по исследованию влияния водонасыщения на ползучесть бетона на литоидной пемзе при сжатии и растяжении. Кривые ползучести при сжатии представлены на фиг. 1 и 2, а при растяжении — на фиг. 3 и 4. Одновременно для облегчения качественного и количественного анализа результатов опытов необходимые данные сведены в табл. 3.

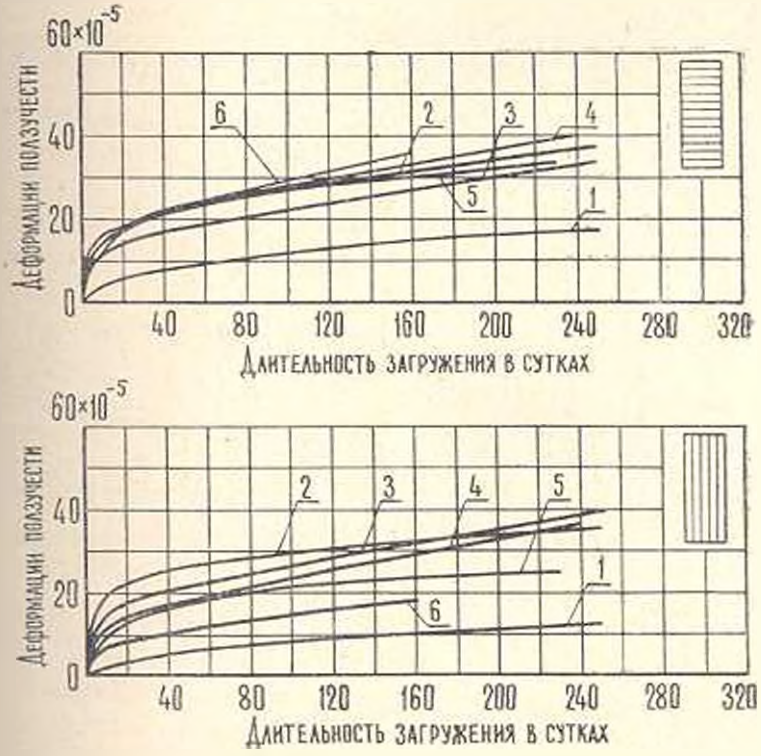
Как видно из фиг. 1—4, водонасыщение и последующее высыхание бетона под длительной сжимающей и растягивающей нагрузками привело к существенному увеличению ползучести бетона. По данным табл. 3 максимальное увеличение меры ползучести бетона получилось в случае тех образцов, которые были загружены на длительное сжатие и растяжение после трехсуточного водного хранения. При этом рост меры ползучести при растяжении гораздо больше, чем при сжатии и это в большой мере зависит от направления сжимающей и растягивающей нагрузок по отношению к слоям бетонирования. В результате трехсуточного водного хранения мера ползучести бетона при растяжении по данным испытаний образцов перпендикулярно слоям возросла в 11.4 раза, а по данным испытаний образцов параллельно слоям — в 13.8 раза.

Как видно из табл. 3, более длительное хранение бетона в воде (более 3-х сут.) уже приводит к чувствительному уменьшению разницы мер ползучести контрольных сухих и водонасыщенных образцов. Однако, все же меры ползучести водонасыщенных образцов, особенно при растяжении, намного больше меры ползучести контрольных сухих образцов.

В существующих теориях ползучести бетона принято, что мера ползучести бетона не зависит от знака напряжения, то есть меры ползучести бетона при сжатии и растяжении равны. Однако, как показали опыты, отношение меры ползучести бетона при растяжении ($C_{р}$) к мере ползучести при сжатии ($C_{сж}$), то есть $C_{р}/C_{сж}$, зависит от многих факторов и для одного и того же бетона оно может быть меньше, равно и намного больше единицы [8].

По данным табл. 3 соотношение мер ползучести бетона при растяжении и сжатии в большой мере зависит от продолжительности водного хранения и по всех случаях водонасыщение приводит к чувствительному увеличению $C_{р}/C_{сж}$. В наших опытах больше всех $C_{р}/C_{сж}$ возрастало в том случае, когда образцы были загружены на длительное растяжение и сжа-

тие после 3-х сут. водного хранения. Наблюдаемое и этом случае значение $C_д/C_{сж}$ которое для образцов, испытанных перпендикулярно слоям, составляет 6.33, пожалуй пока является наибольшим из всех тех значений, которые были получены до сих пор разными исследователями. Кроме этого, еще раз подтверждается и тот ранее установленный факт, что при испытании образцов перпендикулярно слоям $C_д/C_{сж}$ гораздо больше, чем при испытании образцов параллельно слоям [8].



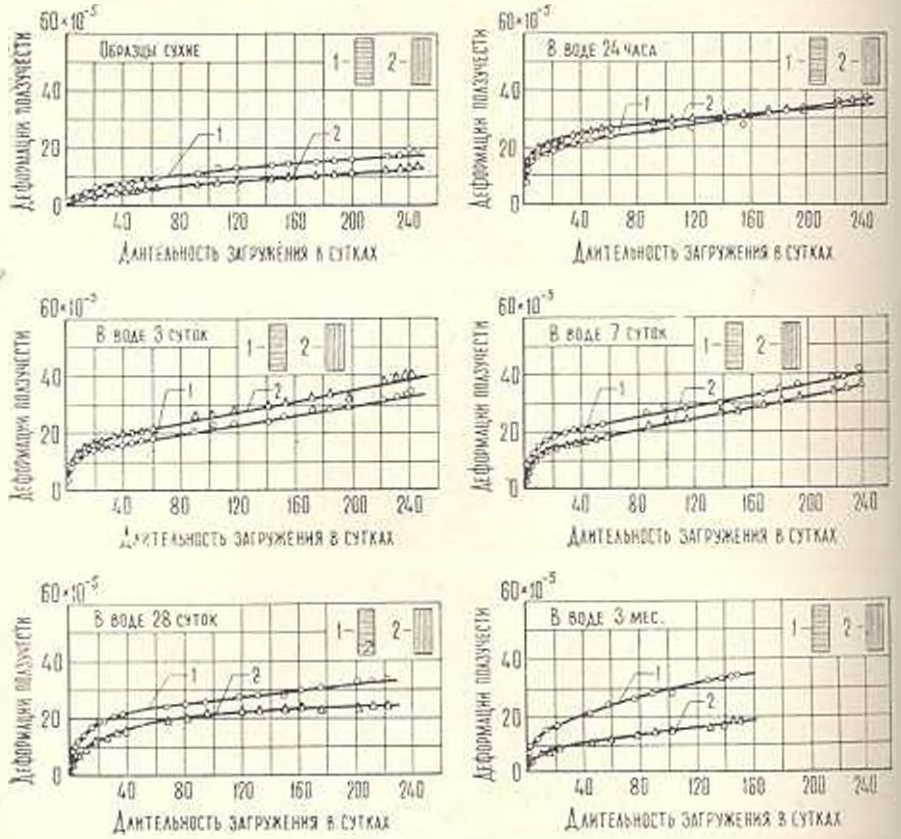
1 - образцы сухие
2 - в воде 24 часа
3 - в воде 3 сут.
4 - в воде 7 сут.
5 - в воде 28 сут.
6 - в воде 3 мес.

Фиг. 1. Влияние водонасыщения на ползучесть бетона при сжатии.

Водное хранение бетона в течение 3-х сут. привело к увеличению меры ползучести бетона по данным испытаний восьмерок перпендикулярно слоям в 6 раз, а по данным испытаний восьмерок параллельно слоям — почти в 4 раза. Это обстоятельство является положительным фактором, так как столь существенное увеличение растяжимости бетона может привести к релаксации усадочных напряжений, вызванных интенсивной усадкой водонасыщенного бетона в процессе его высыхания (табл. 3).

Рассмотрим теперь, как влияет водонасыщение на изменение степени анизотропии бетона по деформациям ползучести при сжатии и растяже-

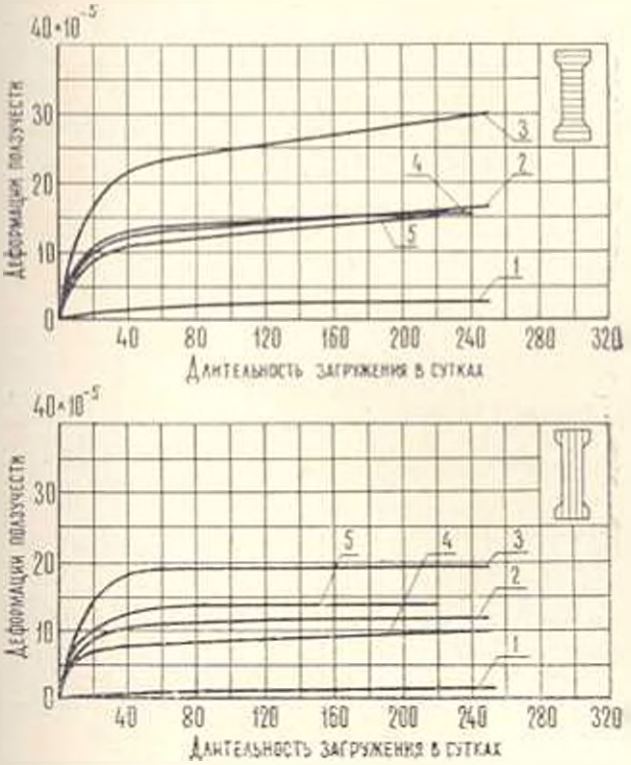
нии. Для этого в табл. 3 приведены значения коэффициентов анизотропии мер ползучести при сжатии ($K_{ис} = C_{с\parallel}/C_{с\perp}$) и растяжении $K_{ир} = C_{р\parallel}/C_{р\perp}$) как для сухих, так и для водонасыщенных образцов. Отметим, что $C_{с\perp}$ и $C_{р\perp}$ — соответственно меры ползучести при сжатии и растяжении образцов, испытанных перпендикулярно слоям, а $C_{с\parallel}$ и $C_{р\parallel}$ — образцов, испытанных параллельно слоям.



Фиг. 2. Влияние водонасыщения на анизотропию деформации ползучести бетона при сжатии.

Как видно из табл. 3, коэффициент анизотропии бетона по мере ползучести при сжатии $K_{ис}$, который для сухих образцов составляет 1.42, через суточное водное хранение уменьшается до 0.99 (то есть бетон по мере ползучести стал изотропным), к 3-м *сут.* обводнения уменьшается до 0.84, после чего до 3-х *мес.* устойчиво возрастает до значения 1.91. Коэффициент анизотропии бетона по мере ползучести при растяжении $K_{ир}$ в результате суточного водного хранения с 1.75 уменьшается до 1.31, а затем до 7 *сут.* возрастает до значения 1.58. При дальнейшем хранении бетона в воде (от 7 до 28 *сут.*) коэффициент $K_{ир}$ вновь уменьшается и приобретает значение, равное 1.1, то есть бетон по мере ползучести становится почти изотропным.

Таким образом, водонасыщение оказывает существенное влияние на степень анизотропии бетона по деформациям ползучести как при сжатии, так и при растяжении. Степень анизотропии бетона по деформациям ползучести при растяжении гораздо больше, чем при сжатии.



1 – образцы сухие
2 – в воде 24 часа
3 – в воде 3 сут
4 – в воде 8 сут.
5 – в воде 28 сут.

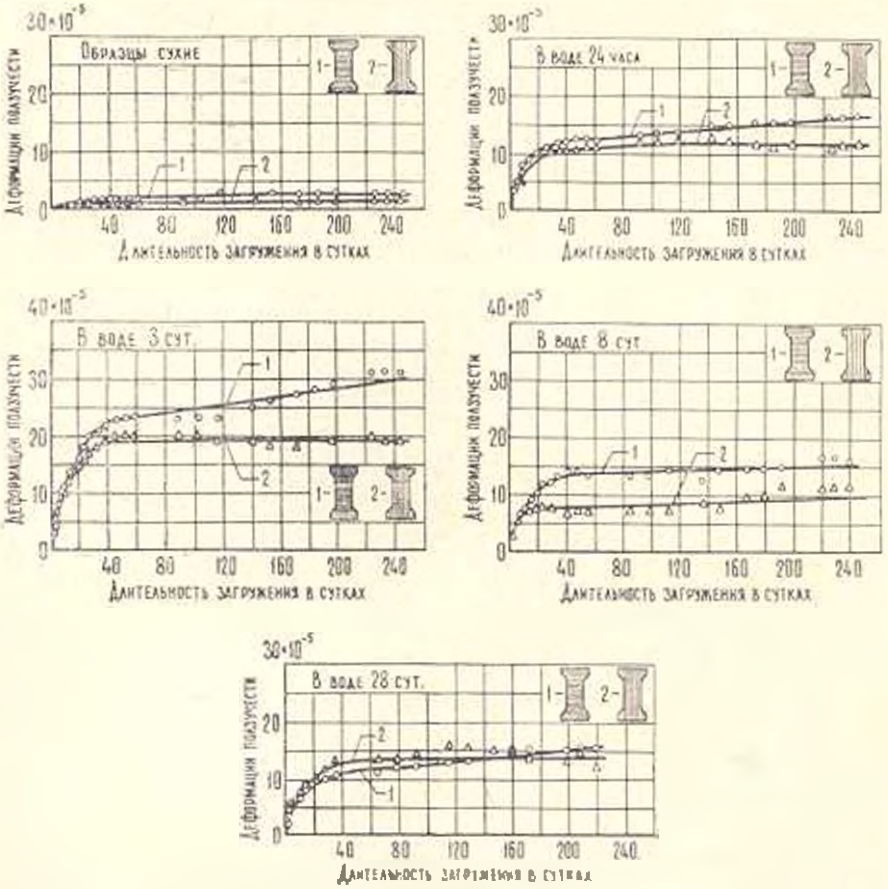
Фиг. 3. Влияние водонасыщения на ползучесть бетона при растяжении.

Теперь объясним те причины, которые обусловили столь существенное увеличение деформаций ползучести бетона как при сжатии, так и при растяжении в результате водонасыщения.

Согласно гипотезе Карапетяна К. С. [9—11] ползучесть бетона при сжатии до напряжения R_1 является следствием вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня, капиллярных явлений и деформации кристаллической структуры цементного камня, а при более высоких напряжениях еще и следствием появления и развития микротрещин в бетоне.

Так как в наших опытах бетон был старый и напряжения в призмах были намного ниже R_1, то деформации ползучести сухих образцов, в основном, развивались за счет деформаций кристаллической структуры цементного камня. Что касается деформаций ползучести водонасыщенных

образцов, то они, кроме этого, развивались также за счет капиллярных явлений и вязкости вновь образовавшегося геля в результате вторичного твердения, вызванного обводнением бетона. При этом, большей ползучести образцов, хранившихся в воде до 3-х сут., способствовал также некоторый спад модуля деформации бетона, вызванный адсорбционными явлениями. Однако, основной причиной столь существенного увеличения деформаций ползучести бетона при сжатии являются капиллярные явления [9—11]. Об этом свидетельствует тот факт, что водонасыщение и последующее высыхание привело также к весьма существенному увеличению усадочных деформаций (табл. 3).



Фиг. 4. Влияние водонасыщения на анизотропию деформаций ползучести бетона при растяжении

Как уже было показано, водонасыщение привело к чувствительному спаду прочности и модуля деформации бетона при растяжении (табл. 3) и уровни напряжений в момент длительного загружения хотя в водонасыщенных образцах были заметно ниже, чем в сухих образцах, но не превышали линейную область ползучести [12]. Спад модуля деформаций и более высокие уровни напряжений и способствовали большей ползучести

водонасыщенных образцов. Сказанное подтверждается тем, что максимальное увеличение деформаций ползучести при растяжении получилось именно в том случае, когда имел место наиболее существенный спад прочности и модуля деформации бетона, то есть когда восьмерки были загружены на длительное растяжение после 3-х *сут.* водного хранения.

Конечно, столь существенное увеличение деформаций ползучести бетона в результате водонасыщения не является только следствием отмеченных причин тем более, что при растяжении роль капиллярных явлений в ползучести исключается и ползучесть, в основном, протекает за счет вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня и деформаций кристаллической структуры цементного камня. Большей ползучести, несомненно, способствовали и объемные изменения пористого заполнителя бетона литоидной пемзы.

Основные выводы

1. Водное хранение старого бетона в первые сутки приводит к снижению, а в дальнейшем — к росту его прочности как на сжатие, так и на растяжение. Адсорбционное понижение прочности и дальнейшее упрочнение бетона зависит от продолжительности водного хранения и направления сжимающей и растягивающей нагрузок по отношению к слоям бетонирования.

2. Водонасыщение оказывает существенное влияние на степень анизотропии старого бетона по его призменной прочности и прочности на растяжение. В результате суточного водного хранения бетон по призменной прочности становится изотропным, однако, в дальнейшем анизотропные свойства бетона вновь начинают проявляться и с увеличением продолжительности водного хранения коэффициент анизотропии возрастает и намного превосходит таковой контрольных сухих образцов. Коэффициент анизотропии по прочности бетона при растяжении в первые 3 *сут.* водного хранения практически не изменяется, а в дальнейшем уменьшается и на 28 *сут.* водного хранения бетон практически становится изотропным.

3. Водное хранение старого бетона в начальное время приводит к снижению, а в дальнейшем — к росту его модуля деформации как при сжатии, так и при растяжении. Адсорбционный спад и дальнейшее нарастание модуля деформации зависят от продолжительности водного хранения, а также от величины и направления сжимающей и растягивающей нагрузок по отношению к слоям бетонирования.

4. Водонасыщение оказывает существенное влияние на степень анизотропии бетона по его модулю деформации как при сжатии, так и при растяжении.

Степень анизотропии по модулю деформации бетона при сжатии сначала с увеличением продолжительности водного хранения уменьшается и на 7 *сут.* он становится изотропным. В дальнейшем анизотропные свойства бетона вновь начинают проявляться, и с увеличением продолжительности водного хранения коэффициент анизотропии по модулю деформации возрастает и превосходит таковой контрольных сухих образцов.

Степень анизотропии по модулю деформации бетона при растяжении (при $\sigma = 5$ кгс/см^2) с увеличением продолжительности водного хранения до 7 *сут.* увеличивается, а в дальнейшем — уменьшается.

5. Водонасыщение приводит к существенному увеличению усадочных деформаций старого бетона при последующем его высыхании. До 7 *сут.* чем больше продолжительность водного хранения, тем больше усадка, а в дальнейшем имеет место обратное явление.

6. Предварительное водное хранение старого бетона приводит к существенному увеличению его последующей ползучести при высыхании под сжимающей и растягивающей нагрузками. До 3-х *сут.* с увеличением продолжительности водного хранения ползучесть возрастает, а в дальнейшем — уменьшается.

7. Предварительное водное хранение старого бетона приводит к существенному увеличению отношения меры ползучести при растяжении (C_p) к мере ползучести при сжатии ($C_{сж}$). С увеличением продолжительности водного хранения до 3-х *сут.* отношение $C_p : C_{сж}$ увеличивается, а в дальнейшем уменьшается.

8. Предварительное водное хранение старого бетона приводит к существенному изменению степени его анизотропии по деформациям ползучести как при сжатии, так и при растяжении.

В первые сутки водного хранения коэффициент анизотропии бетона по деформациям ползучести при сжатии существенно уменьшается и становится меньше единицы, а в дальнейшем с увеличением продолжительности водного хранения до 3-х *мес.* возрастает до значения 1.91, что на 35% больше коэффициента анизотропии контрольных сухих образцов. Качественно аналогично водонасыщение влияет и на коэффициент анизотропии по деформациям ползучести при растяжении. Разница заключается лишь в том, что этот коэффициент в первые 7 *сут.* обводнения остается существенно больше единицы, а затем к 28 *сут.* водного хранения существенно уменьшается и по своему значению приближается к единице.

9. Как при сухих, так и при водонасыщенных образцах степень анизотропии бетона по прочности, модулю деформации и деформациям ползучести при растяжении гораздо больше, чем при сжатии.

Институт механики
АН Армянской ССР

Поступила 27 IV 1979

Կ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ռ. Ա. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Կ. Ա. ԳԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՋՐԱՀԱԳԵՑՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԵՏՈՆԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ, ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐԻ ՄՈԴՈՒԼԻ ԵՎ ՍՈՂՔԻ ԱՆԻԶՈՏՐՈՊԻԱՅԻ ՎՐԱ ՁԳՄԱՆ ԵՎ ԱՆՁՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Աշխատանքում բերվում են բետոնի ամրության, դեֆորմացիաների մոդուլի և սողքի անիզոտրոպիայի աստիճանի փոփոխության վրա ջրահագեց-

ման ազդեցության փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները հղման և սեղմման դեպքերում։ Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ջրի մեջ պահումը սկզբնական ժամանակաշրջանում բերում է ամրության և դեֆորմացիաների մոդուլի անկմանը, իսկ հետագայում՝ նրանց աճին։ Նկատառան բետոնավորման ժամանակ ջրի մեջ նախնական պահումը բերում է բետոնի սողքի կական աճին։

Ջրահագեցման ազդեցությունը կապես կախված է բետոնավորման շերտերի նկատմամբ ձգող և սեղմող ուժերի ունեցած ուղղությունից և այդ պատճառով էլ բետոնի անիզոտրոպիայի աստիճանը թող ամրության, դեֆորմացիաների մոդուլի և սողքի դեֆորմացիաների ջրահագեցման տևողությունից կախված փոփոխվում է։

THE INFLUENCE OF SATURATION ON STRENGTH ANISOTROPY, MODULUS OF DEFORMATION AND CREEP OF CONCRETE AT COMPRESSION AND TENSION

K. S. KARAPETIAN, R. A. KOTIKIAN, K. A. KARAPETIAN

S u m m a r y

The paper deals with the results of the experimental investigations on the influence of saturation on strength, modulus of deformation and creep of concrete at compression and tension and on change in the degree of its anisotropy. The invectigations show that the keeping of specimens in water results at first in the decrease of strength and modulus of deformation, and subsequently in its increase. The preliminary keeping of specimens in water results in a considerable increase of subsequent creep of concrete in the process of prolonged loading.

The influence of saturation substantially depends on the direction of the compressive and tensile loading with respect to the layers of concrete, and for that reason the degree of anisotropy in strength, modulus of deformation and creep strains, depending on the duration of keeping the specimens in water, changes.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карапетян К. С.* О вторичном твердении и изменении анизотропных свойств бетона при его водонасыщении. Докл. АН АрмССР, 1973, т. 17, № 3.
2. *Деряпин Б. В.* Расклинивающее действие жидких пленок и его практическое значение. «Природа», 1943, № 2.
3. *Ребиндер П. А.* Физико-механические исследования процессов деформаций твердых тел. Юбилейный сб. АН СССР, 1947.
4. *Карапетян К. С.* Об одном существенном факторе в прочностных и деформативных свойствах бетона. Докл. АН АрмССР, 1957, т. 24, № 4.
5. *Карапетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 1957, т. 10, № 6.
6. *Карапетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от влажности среды. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 1965, т. 18, № 2.

7. *Карапетян К. С., Котикян Р. А., Карапетян К. А.* Исследование анизотропии прочности и модуля деформации весьма старого бетона. Третий национальный конгресс по теоретической и прикладной механике. Доклады, книга 1. Болгария, Варна, 1977.
8. *Карапетян К. С., Котикян Р. А.* Исследование отношений мер ползучести бетона при растяжении, сжатии и кручении. Изв. АН СССР, МТТ, 1972, № 5.
9. *Карапетян К. С.* Ползучесть бетона при высоких напряжениях. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., ест. и техн. наук, 1953, т. 6, № 2.
10. *Карапетян К. С.* Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат., ест. и техн. наук, 1956, т. 9, № 1.
11. *Карапетян К. С.* Влияние влажности среды на ползучесть бетона. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 1965, т. 18, № 3.
12. *Карапетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от величины напряжения. Докл. АН АрмССР, 1964, т. 39, № 1.