

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРОЧНОСТИ,
МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ И ПОЛЗУЧЕСТИ
БЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА

КАРАПЕТЯН К. С., КАРАПЕТЯН К. А.

Как известно, бетон является неоднородно-стареющим материалом, прочностная и деформационная неоднородность которого обусловлена разными причинами.

Традиционной неоднородностью будем считать, когда бетон неоднороден в пределах сечения элемента конструкции. Такая неоднородность является следствием того, что из-за высыхания наружного слоя элемента физико-механические свойства бетона во времени в наружном слое и в ядровой части изменяются с разной интенсивностью.

Другая неоднородность обусловлена процессом возведения элементов конструкций. При этом, из-за перерывов в работе бетонирования, элементы конструкций получают разного возраста, а следовательно, с разными физико-механическими свойствами. Особенно это имеет место при возведении массивных конструкций.

Учет неоднородности прочности, модуля деформации и деформаций ползучести бетона имеет весьма важное значение для оценки действительного напряженно-деформативного состояния конструкции. С этой точки зрения весьма важным является разработанная Н. Х. Арутюняном теория ползучести неоднородно-стареющих сред [1—4].

Прочностная и деформационная неоднородность бетона, несмотря на ее большое научное и практическое значение, до сих пор мало исследована. Специально поставленные авторами опыты над весьма старым бетоном (возраста 23 лет) дали возможность установить существенную неоднородность бетона по сечению цилиндра большого диаметра. Из-за высыхания прочность бетона на сжатие в наружном слое цилиндра оказалась намного меньше, а деформации — больше, чем в ядровой части цилиндра [5].

Как известно, причиной неодинаковости свойств бетона в различных направлениях, то есть анизотропии, являются те водные прослойки, которые образуются под частицами заполнителя в результате внутреннего расслаивания при его укладке и уплотнении. При испарении этих прослоек на их местах остаются пустоты (дефекты), которые ослабляют сечение бетонного элемента и снижают его прочность, увеличивают деформации. Отрицательное влияние дефектов на физико-механические свойства бетона более существенно в том случае, когда образцы испытываются перпендикулярно слоям бетонирования, так как в этом случае ослабление сечения образцов дефектами получается наибольшее [6, 7]. Дальнейшие опыты по-

казали, что восстановление водных прослоек путем насыщения сухого бетона водой приводит к обратному явлению — росту прочности и модуля деформации [8, 9].

В работе [5] авторы поставили опыты специально над весьма старым бетоном для того, чтобы количественно оценить влияние как испарения, так и восстановления водных прослоек на прочность и модуль деформации бетона. Одновременно изучалась и неоднородность прочности и модуля деформации бетона по сечению цилиндра большого диаметра (50 см). Анализ опытов показал, что и неоднородность бетона в основном является следствием отрицательного влияния испарения водных прослоек из наружного слоя бетонного элемента. Потеря доли прочности, вызванная испарением водных прослоек, может привести к чувствительному снижению несущей способности конструкции.

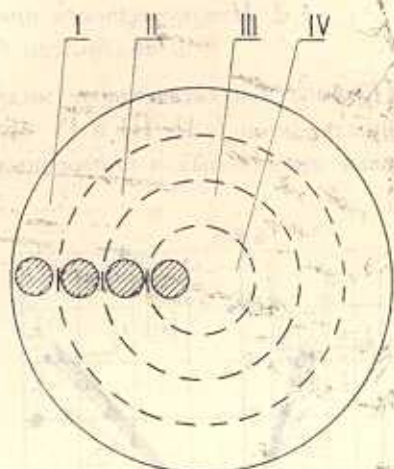
Учитывая важность рассматриваемого вопроса, авторы поставили более обширные опыты для исследования изменения во времени прочностной и деформативной неоднородности бетона в пределах сечения бетонного цилиндра большого диаметра, результаты которых и приводятся в данной работе. Исследована неоднородность прочности, модуля деформации и ползучести бетона при сжатии и растяжении.

§ 1. Методика опытов

Как и в работе [5], исследования проводились испытанием малых цилиндров диаметром 5,5 см, высотой на этот раз 22 см, которые выбуривали из 4-х различных зон (I, II, III и IV) сечения большого цилиндра (фиг. 1). Большие цилиндры в количестве 5 штук диаметром 57 см, высотой 25 см были изготовлены из бетона на литой пемзе состава в массе 1 : 1,43 : 2,50, $V/C = 0,86$, $C = 294$ кг на 1 м^3 бетона активностью 50 МПа. Сразу после формовки верхние торцы цилиндров покрывались металлическими листами, а после их распалубки, которая производилась через 5 сут., оба торца покрывались несколькими слоями расплавленного парафина и слоем фольги, так что испарение происходило только с боковых поверхностей. После распалубки и изоляции торцов большие цилиндры первые 5 месяцев хранились под открытым небом, а в дальнейшем — в обычных лабораторных условиях, где температура воздуха $T = 22 \pm 5^\circ\text{C}$, а относительная влажность $P = 58 \pm 12\%$.

Для исследования изменения неоднородности прочности и модуля деформации бетона во времени по сечению большого цилиндра малые цилиндры выбуривали и испытывали в возрастах 28 сут.; 3 и 6 мес.; 1 и 2 лет. Малые цилиндры, выбуриваемые из одного большого цилиндра, испытывали в одном возрасте. Однако, количество образцов, которое получалось из одного большого цилиндра, по зонам I, II, III и IV (фиг. 1) существенно отличалось и соответственно составило 22, 16, 10 и 4 шт. Количество образцов по зоне III и особенно зоне IV было явно недостаточно для намеченных программой опытов даже в одном возрасте. Выход из этого положения нам подсказали результаты наших прежних опытов, где изучалась неоднородность прочности и модуля деформации бетона при сжатии

по сечению туфобетонного цилиндра диаметром 50 см возраста 23 лет. В этих опытах также малые цилиндры выбуривали из 4-х зон [5]. Опыты показали, что в пределах зон II, III и IV, то есть ядровой части большого цилиндра, бетон по прочности и модулю деформации однороден. Руководствуясь этим, стало обоснованно возможным существенно сократить количество испытываемых образцов без ущерба исследованию интересующих нас вопросов. Учитывая наши возможности с точки зрения количества образцов в новых опытах кратковременным испытаниям как на сжатие, так и на растяжение подвергали образцы, выбуренные из всех 4-х зон, что необходимо было, чтобы еще раз подтвердить ранее сделанный нами вывод об однородности бетона в пределах зон II, III и IV. Это весьма было важно для обоснования опытов ползучести путем постановки опытов над образцами, выбуренными из зон II и III и отнесения результатов опытов ко всему ядру большого бетонного цилиндра. Так что в опытах на ползучесть нами длительному нагружению на сжатие и растяжение подвергались малые цилиндры, принадлежащие зоне I и смешано зонам II и III.



Фиг. 1. Зоны поперечного сечения большого бетонного цилиндра, из которого выбуривались малые цилиндры

При испытании малых цилиндров как на сжатие, так и на растяжение нагрузка повышалась ступенями и после каждой ступени измерялись деформации. Под каждой ступенью нагрузки образец выдерживался лишь на время, необходимое для взятия отчетов по приборам, измеряющим деформации. В опытах на сжатие, кроме продольных, измерялись также и поперечные деформации. Ввиду ограниченного количества образцов из каждой зоны испытывалось по 2—3 образца, а в отдельных случаях и 4 образца.

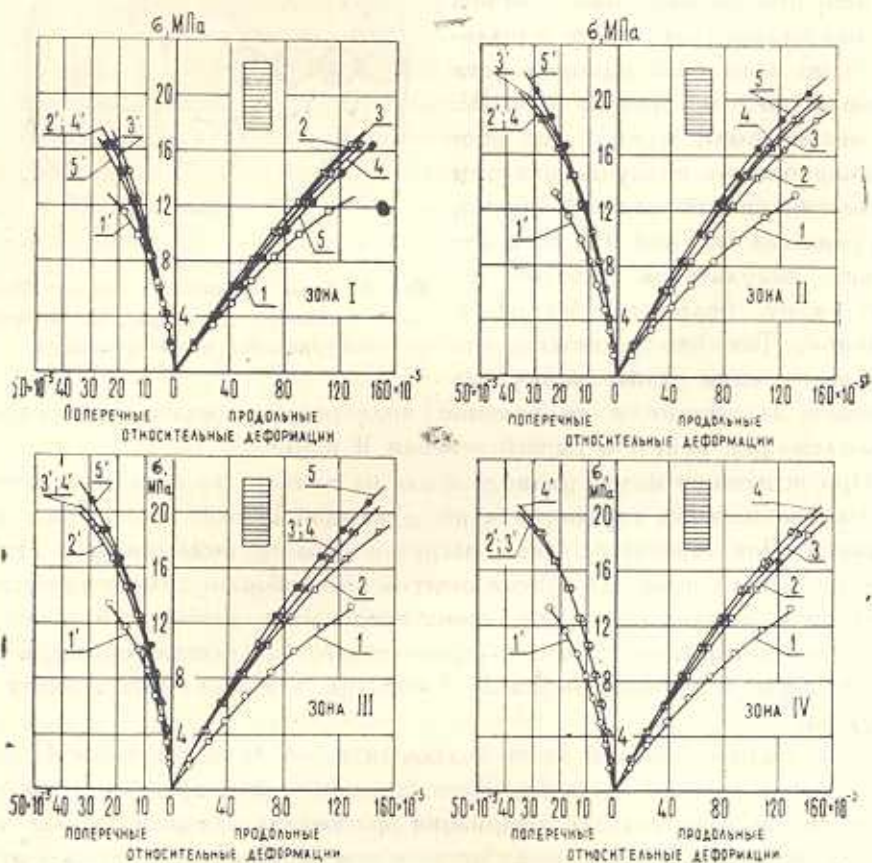
Результаты испытаний вновь подтвердили, что в пределах зон II, III и IV, то есть ядровой части большого бетонного цилиндра, бетон как по прочности, так и по модулю деформации при сжатии однороден и, как показали опыты, то же самое имеет место и при растяжении. Учитывая это, опытные данные о прочности и модуле деформаций образцов, относящиеся к этим трем зонам, были усреднены по каждому возрасту.

Для исследования неоднородной ползучести бетона по сечению большого цилиндра длительному сжатию и растяжению были подвергнуты неизолированные и изолированные малые цилиндры в возрастах 28 сут., 3; 6 мес. и 1 года. При этом неизолированные образцы, выбуренные из зоны I большого цилиндра, имитировали условия бетона этой зоны, а изолированные образцы, которые для исключения испарения изолировались

сразу после их выбуривания из зон II, III и IV, имитировали условия бетона этих зон. Напряжение в сжатых образцах составляло 5 МПа, а в растянутых — 0,4 МПа. В каждом возрасте из каждой разновидности загружались по 3 образца и на таком же количестве образцов-близнецов определялись усадочные деформации.

§ 2. Неоднородность прочности, модуля деформации и ползучести бетона при сжатии

Прочности и касательные модули деформации малых цилиндров, выбуренных из зон I, II, III и IV большого цилиндра, приведены в табл. 1, а кривые продольных и поперечных деформаций — на фиг. 2. Как видим,



1 и 1'— $\tau=28$ сут, 2 и 2'— $\tau=3$ мес, 3 и 3'— $\tau=6$ мес, 4 и 4'— $\tau=1$ год, 5 и 5'— $\tau=2$ года

Фиг. 2. Кривые кратковременных деформаций малых цилиндров при сжатии

в возрасте 28 сут, как прочности, так и модули деформации образцов, выбуренных из наружного слоя (зоны I) и ядровой части (зон II, III и IV) большого цилиндра, практически одинаковы, а это означает, что до этого возраста бетонный цилиндр по прочности и модулю деформации в пределах всего сечения однороден. Однако, после возраста 28 сут, однородность

Таблица 1

Характеристики бетона при сжатии в различных зонах сечения большого цилиндра

Возраст бето- на к моменту испытания	Зоны выбу- ривания об- разцов	Масса бетона в кг	Прочность на сжатие в МПа	Касательные модули дефор- мации $E \cdot 10^{-2}$ в МПа при напряжении (МПа)					Прочность в % от прочно- сти в возрасте 28 сут.	Модуль де- формации (при $\sigma = 10$ МПа) и $\sigma_{0,0}$ от модуля деформации в возрасте 28 сут.	Коэффициент неоднородно- сти по проч- ности ($H_{\text{ср}}$) по Андрееву	Коэффициент неоднородности по модулю деформации ($H_{\text{ср}}$) при напряжении (МПа)				
				0	5	10	15	20				0	5	10	15	20
28 сут.	I	1715	16,1	146	113	81	59	—	100	1,02	1,01	1,02	1,02	1,03	—	
	II, III и IV	1728	16,5	148	115	86	61	—	100	1,02	1,01	1,02	1,02	1,03	—	
3 мес.	I	1694	22,1	162	144	126	110	95	138	1,11	1,11	1,07	1,03	0,98	0,92	
	II, III и IV	1731	24,6	180	154	130	108	88	149	1,11	1,11	1,07	1,03	0,98	0,92	
6 мес.	I	1672	21,6	160	141	124	107	92	134	1,17	1,17	1,15	1,12	1,09	1,07	
	II, III и IV	1725	25,2	188	163	139	117	97	153	1,17	1,17	1,15	1,12	1,09	1,07	
1 год	I	1663	20,5	152	137	122	109	96	127	1,26	1,27	1,22	1,16	1,10	1,04	
	II, III и IV	1716	25,8	193	167	142	121	100	156	1,26	1,27	1,22	1,16	1,10	1,04	
2 года	I	1616	21,1	137	126	115	104	94	131	1,30	1,46	1,39	1,32	1,25	1,18	
	II, III и IV	1702	27,5	200	176	152	131	111	161	1,30	1,46	1,39	1,32	1,25	1,18	

сохранилась только в пределах не высыхающей ядровой части, а в целом, по всему сечению, из-за высыхания наружного слоя, бетон становится неоднородным. Причиной этого является то, что после 28 сут. возраста вызванный процессом твердения рост прочности и модуля деформации наружного слоя из-за испарения протекает менее интенсивно, чем ядровой части. С другой стороны, из-за испарения начинается отрицательное влияние большой усадки наружного слоя и тех пустот (дефектов), которые остаются на местах водных прослоек, образующихся под зернами заполнителя при укладке и уплотнении бетона [6—8]. С некоторого момента отрицательное влияние этих двух факторов начинает все больше превалировать над положительным эффектом процесса твердения и это приводит к снижению прочности и увеличению деформативности бетона.

При уровне напряжения 0,5 коэффициенты Пуассона бетона в возрастах 28 сут., 3; 6 мес. и 1; 2 лет в различных зонах сечения большого цилиндра составили: в наружном слое 0,137; 0,168; 0,156; 0,161 и 0,158, а в ядровой части — 0,142; 0,151; 0,159; 0,169 и 0,171. Как видим, коэффициенты Пуассона указанных зон во всяком возрасте испытания мало отличаются друг от друга, а со старением бетона возрастают.

Для описания роста прочности бетона во времени ядровой части большого цилиндра получена следующая зависимость:

$$R_{сжн} = \frac{45\tau}{1+1,6\tau} \quad (2.1)$$

где τ — возраст бетона в месяцах. Максимальное отклонение прочности по (2.1) от опытных значений составляет +3,5 и —5,7%.

Рост начального модуля упругости бетона ядровой части большого цилиндра во времени при $\sigma_{сж} = 0,3 R_{сж}$ хорошо описывает зависимость

$$E_{сжн} = \left(650 + \frac{120}{\tau}\right) \left(\frac{45\tau}{1+1,6\tau}\right) \quad (2.2)$$

Рассмотрим теперь результаты исследования неоднородной ползучести бетона по сечению большого бетонного цилиндра (фиг. 3). Кривые ползучести рассчитаны по следующим зависимостям:

а) образцов, выбуренных из наружного слоя (зона I)

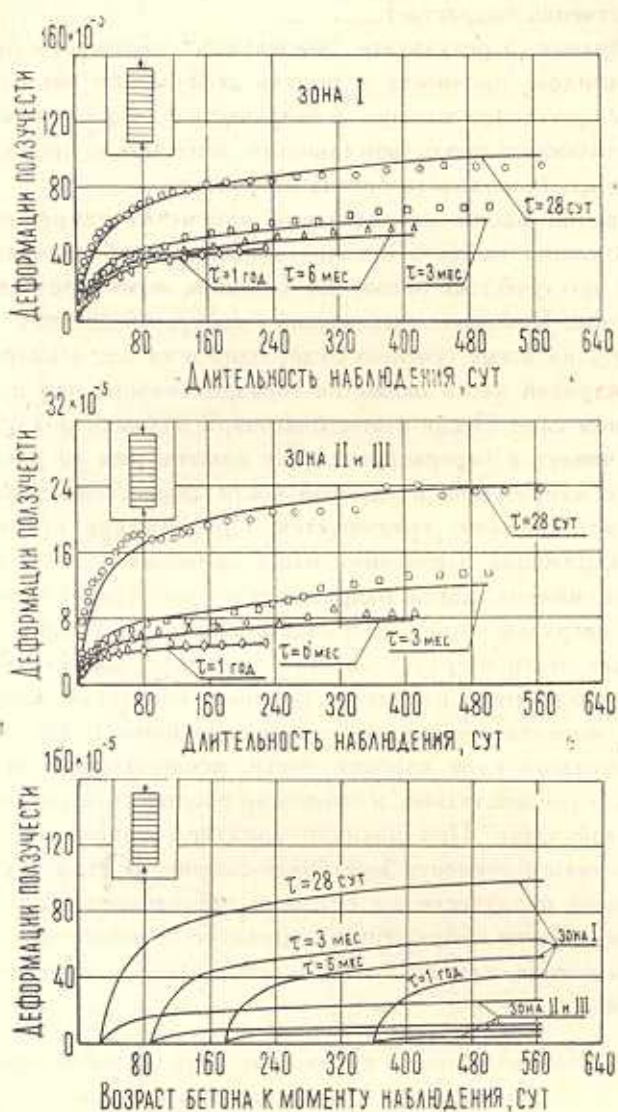
$$\varepsilon_{сжн} = \left(9,53 + \frac{312}{\tau}\right) [1 - 0,5(e^{-0,005t} + e^{-0,06t})] \cdot 5 \cdot 10^{-5} \quad (2.3)$$

б) образцов, выбуренных из ядровой части (зоны II и III)

$$\varepsilon_{сжн} = \left(0,9 + \frac{120}{\tau}\right) [1 - 0,5(e^{-0,005t} + e^{-0,06t})] \cdot 5 \cdot 10^{-5} \quad (2.4)$$

В зависимостях (2.3) и (2.4) τ представляет возраст бетона в момент длительного нагружения в сутках, t — длительность нагружения. Как видим из фиг. 3, кривые, рассчитанные по этим зависимостям, дают удовлетворительное совпадение с опытными данными.

Сравнение зависимостей (2.3) и (2.4) приводит к выводу, что кривые ползучести образцов, выбуренных из наружного слоя и ядровой части большого цилиндра во всяком возрасте загрузки, подобны, а отношение их деформаций ползучести в любом возрасте не зависит от длительности загрузки.



Фиг. 3. Кривые ползучести малых цилиндров при сжатии

Коэффициент неоднородности бетона по деформациям ползучести при сжатии

$$H_{см}'' = \epsilon_{см II} / \epsilon_{см I} = 10,6 \frac{\tau + 33}{\tau + 133} \quad (2.5)$$

Рассчитанные по зависимости (2.5) коэффициенты неоднородности бетона по деформациям ползучести для возрастов к моменту загрузки

28 сут., 3; 6 мес. и 1 года соответственно составляют 4,0; 5,8; 7,2 и 8,4, а при $\tau = \infty$ $H_{сж}^* = 10,6$. Таким образом, в связи с высыханием наружного слоя неоднородная ползучесть по сечению большого цилиндра начинается с раннего возраста и с увеличением τ степень неоднородности ползучести существенно возрастает.

Таким образом, в результате высыхания наружного слоя большого бетонного цилиндра, прочность и модуль деформации бетона при сжатии в этой части существенно меньше, а ползучесть больше, чем в его ядровой части. С увеличением продолжительности высыхания прочностная и деформационная неоднородность бетона возрастает.

На основании наших исследований изменение напряженно-деформированного состояния сжатого бетонного элемента во времени, вызванное неоднородной ползучестью бетона по сечению, нами представляется следующим образом. В момент загрузки упруго-мгновенная деформация такого элемента по всему сечению будет одна и та же, а напряжение в более жесткой ядровой части окажется гораздо больше, чем в более податливом наружном слое. После этого, благодаря большей ползучести наружного слоя, начинается перераспределение напряжений во времени и в результате этого напряжение в ядровой части существенно возрастает, а в наружном слое, наоборот, уменьшается. Продолжение процесса перераспределения напряжений в конечном итоге приводит к тому, что наступит, наконец, такой момент, когда напряжение от непосредственного действия вертикальной нагрузки в наружном слое может исчезнуть и в последующем этот слой будет нести нагрузку лишь постольку, поскольку он является частью общего элемента, имеющего прочный контакт с ядровой частью. С указанного момента наружный слой, в основном, будет играть роль обоймы и защитного слоя ядровой части, исключая испарение водных прослоек, а следовательно, и снижение прочности и увеличение деформативности этой части. При наличии арматуры напряженно-деформативное состояние такого элемента еще более сложно. В этом случае, благодаря неоднородной ползучести по сечению, перераспределение напряжений приведет к увеличению напряжения в арматуре и, наоборот, к уменьшению напряжения в бетоне, причем более чувствительно в наружном слое, чем ядровой части.

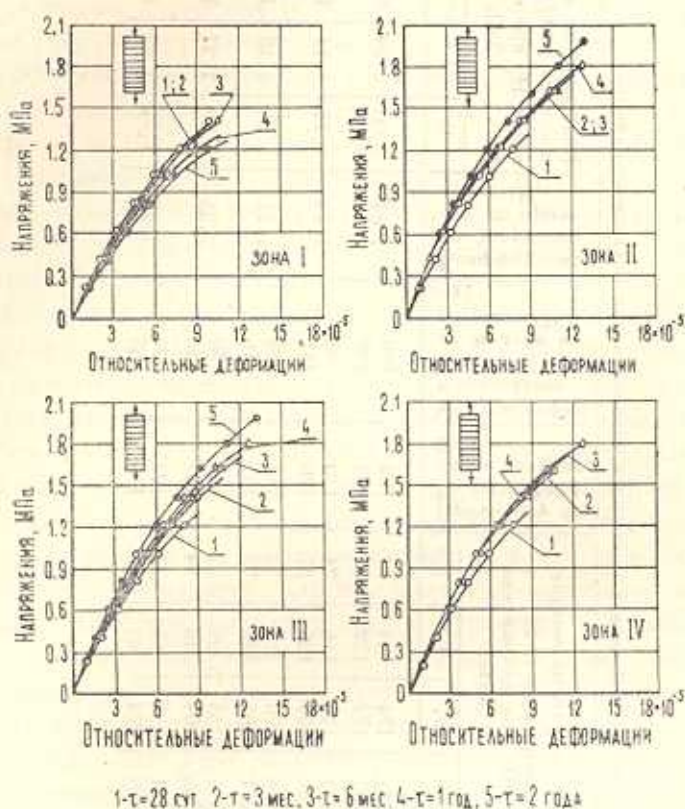
§ 3. Неоднородность прочности, модуля деформации и ползучести бетона при растяжении

Результаты кратковременных испытаний на растяжение малых цилиндров, выбуренных из зон I, II, III и IV большого цилиндра, в различных возрастах приведены в табл. 2 и на фиг. 4. Анализ опытных данных приводит к выводу, что влияние высыхания наружного слоя большого цилиндра на изменение неоднородности прочности и модуля деформации бетона во времени по сечению при растяжении качественно имеет тот же характер, что и при сжатии. При растяжении также в возрасте 28 сут. прочности и модули деформации малых цилиндров, выбуренных из наружного слоя (зоны I) и ядровой части (зон, II, III и IV), практически не отли-

Таблица

Возраст бетона к моменту испытания	Зоны выбухания образцов	Объемная масса бетона в кг/м ³	Прочность на растяжение в МПа	Касательные модули деформации $E \cdot 10^{-2}$ в МПа при напряжении (МПа)				Прочность в % от прочност. эти в возрасте 28 сут.	Модуль деформации (при $\sigma = 1 \text{ МПа}$) в % от модуля в возрасте 28 сут.	Коэффициент перемещения по прочност. эти (H _p)	Коэффициент неоднородности по модулю деформации H _p при напряжении (МПа)			
				0	0,5	1,0	1,5				0	0,5	1,0	1,5
28 сут.	I, III и IV	1715	1,58	231	174	124	84	100	1,04	1,00	0,99	0,98	0,96	
		1728	1,64	231	172	122	81	100	100	1,13	1,13	1,14	1,15	1,18
3 мес.	I, III и IV	1694	1,74	237	173	118	74	110	95	1,21	1,15	1,18	1,24	1,33
		1731	1,97	268	197	136	87	120	111	1,35	1,29	1,37	1,47	1,65
6 мес.	I, III и IV	1672	1,78	236	170	115	70	113	93	1,53	1,51	1,62	1,80	2,04
		1725	2,15	271	201	142	93	131	116	1,63	1,51	1,62	1,80	2,04
1 год	I, III и IV	1663	1,65	219	153	99	57	105	80	1,53	1,51	1,62	1,80	2,04
		1716	2,22	283	209	146	94	135	120	1,53	1,51	1,62	1,80	2,04
2 года	I, III и IV	1616	1,63	191	138	93	58	103	75	1,53	1,51	1,62	1,80	2,04
		1702	2,50	289	224	167	118	152	137	1,53	1,51	1,62	1,80	2,04

чаются, то есть до этого возраста бетон по всему сечению по прочности и модулю деформации однороден. Однако, после этого возраста однородность бетона сохраняется только в пределах ядровой части большого цилиндра, а из-за высыхания наружного слоя в целом по сечению становится неоднородным и с увеличением возраста степень неоднородности увеличивается. Причиной этого является то, что после возраста 28 сут. прирост прочности бетона наружного слоя продолжался до возраста 6 мес. и



Фиг. 4. Кривые кратковременных деформаций малых цилиндров при растяжении.

всего составил 15%, а после этого прочность снизилась даже до исходного значения. Из-за высыхания качественно то же самое имело место и с модулем деформации бетона наружного слоя с той лишь разницей, что спад модуля деформации начинается сразу после возраста 28 сут. и к 2-м годам по своему значению составляет 75% от исходного значения. Что касается ядровой части, то здесь нарастание прочности и модуля деформации бетона во времени протекало устойчиво в процессе всего опыта и к 2-м годам прочность на 52%, а модуль деформации (при напряжении 1 МПа) на 37% больше своих начальных значений.

Из сравнения данных табл. 1 и 2 можно заключить, что степень неоднородности бетона по сечению бетонного элемента как по прочности, так и по модулю деформации при растяжении более чувствительна, чем при сжатии. При этом, степень неоднородности бетона по модулю деформации

при растяжении также существенно зависит от величины напряжения и с ее увеличением степень неоднородности возрастает. В вышеописанных опытах на сжатие наблюдалась обратная картина.

Экспериментальные данные нарастания прочности бетона во времени в ядровой части бетонного цилиндра при растяжении весьма удовлетворительно описывает зависимость

$$R_{pn} = \frac{5,6 \tau}{1 + 2,4 \tau} \quad (3.1)$$

Для описания кривой нарастания начального модуля упругости бетона ядровой части во времени при растяжении ($\sigma = 0,3 R_p$) получена следующая зависимость:

$$E_{pn} = \left(10000 + \frac{2200}{\tau} \right) \left(\frac{5,6 \tau}{1 + 2,4 \tau} \right) \quad (3.2)$$

На фиг. 5 представлены кривые ползучести малых цилиндров, выбуренных из наружного слоя (зоны I) и ядровой части (зон II и III) большого цилиндра, испытанных на растяжение. Кривые ползучести рассчитаны по зависимостям:

а) образцов, выбуренных из наружного слоя

$$\varepsilon_{pn} = \left(19 + \frac{990}{\tau} \right) [1 - 0,5 (e^{-0,005t} + e^{-0,06t})] \cdot 0,4 \cdot 10^{-5} \quad (3.3)$$

б) образцов, выбуренных из ядровой части

$$\varepsilon_{pn} = \left(8,3 + \frac{663}{\tau} \right) [1 - 0,5 (e^{-0,005t} + e^{-0,06t})] \cdot 0,4 \cdot 10^{-5} \quad (3.4)$$

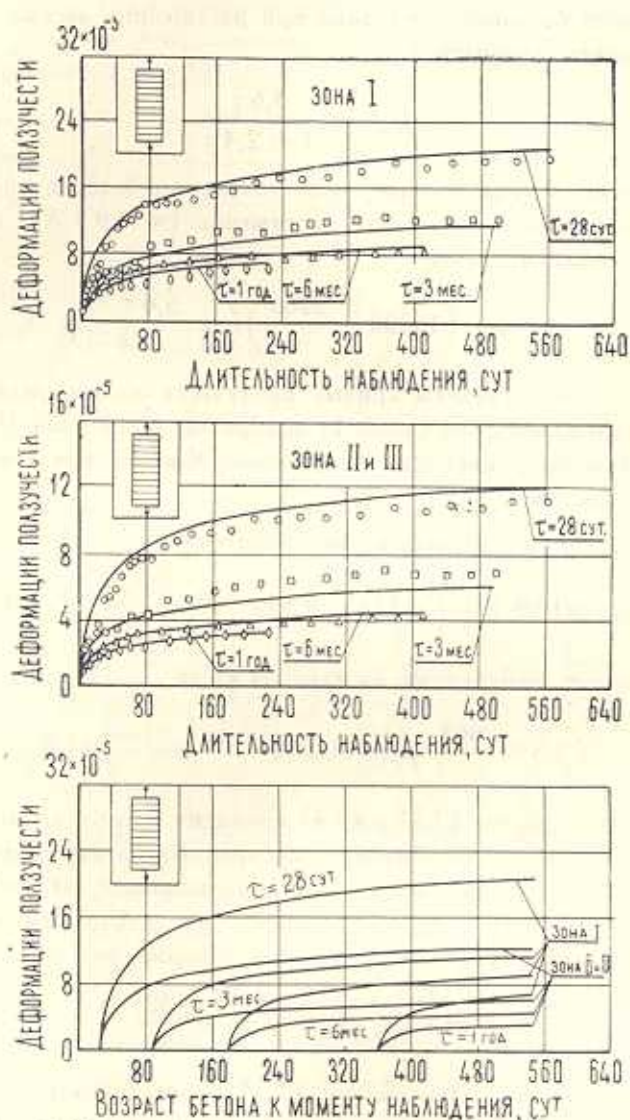
Сравнение зависимостей (3.3) и (3.4) приводит к выводу, что и при растяжении кривые ползучести образцов, выбуренных из наружного слоя и ядровой части большого цилиндра, во всяком возрасте загрузки подобны и поэтому отношение $\varepsilon_{pn} / \varepsilon_{pn}$ не зависит от длительности загрузки. Коэффициент неоднородности бетона по деформациям ползучести

$$H_p'' = \varepsilon_{pn} / \varepsilon_{pn} = 2,3 \frac{\tau + 52}{\tau + 80} \quad (3.5)$$

Рассчитанные по зависимости (3.5) коэффициенты неоднородности бетона по деформациям ползучести для возрастов к моменту загрузки 28 сут., 3; 6 мес. и 1 года соответственно составляют 1,70; 1,92; 2,05 и 2,15.

а при $\tau = \infty$ $H_p'' = 2,30$. Таким образом, и при растяжении связи с высыханием наружного слоя большого цилиндра неоднородная ползучесть по сечению начинается с раннего возраста и с увеличением τ степень неоднородности ползучести возрастает. Из сравнения (2.5) и (3.5) можно заключить, что степень неоднородности бетона по ползучести при сжатии существенно больше, чем при растяжении. При увеличении τ от 28 сут. до 1 года $H_{сж}''$ увеличивается от 4,0 до 8,4 а H_p'' — от 1,70 до 2,15.

Таким образом, в результате высыхания наружного слоя большого цилиндра, прочность и модуль деформации бетона и при растяжении в этой части меньше, а ползучесть больше, чем в его ядровой части. С увеличе-



Фиг. 5. Кривые ползучести малых цилиндров при растяжении.

нием продолжительности высыхания прочностная и деформационная неоднородность бетона возрастает.

§ 4. Причины неоднородности прочности и деформации бетона по сечению бетонного элемента при высыхании

Наши исследования показали [5], что причинами неоднородности бетона по прочности и деформациям при сжатии бетонного элемента являются:

1. Обезвоживание наружного слоя бетонного элемента и в связи с этим преждевременное прекращение процесса твердения;

2. Микротрещинообразование из-за внутренних напряжений, вызванных неравномерной усадкой по сечению большого элемента. По мере высыхания наружного слоя, усадка которого гораздо больше, чем более глубоких слоев, микротрещинообразование постепенно охватывает более глубокие слои. Чем меньше влажность среды, тем больше глубина высыхания, и следовательно, и степень разуплотнения бетона микротрещинами;

3. Испарение образовавшихся под зернами заполнителя водных прослоек и в связи с этим отрицательное влияние оставшихся на их местах пустот (дефектов).

Отрицательное влияние перечисленных факторов на прочность и деформации бетона при высыхании в большинстве случаев происходит одновременно и поэтому невозможно количественно оценить влияние каждого в общем явлении. Проведенные нами по специальной методике исследования над весьма старым бетоном (возраста 23 лет) позволили установить, что отрицательное влияние испарения водных прослоек на прочность и деформации бетона при сжатии весьма чувствительно [5]. При растяжении отрицательное влияние испарения водных прослоек на прочность и деформации бетона исключается. В этом случае снижение прочности и увеличение деформативности бетона наружного слоя бетонного элемента, в основном, связано с отрицательным влиянием неравномерной усадки по сечению элемента. В наших опытах после возраста 28 сут. усадка наружного слоя большого бетонного цилиндра оказалась в 4 раза больше усадки его ядровой части, что и является основной причиной снижения прочности и увеличения деформативности, а следовательно, и неоднородности бетона. Несомненно, в этом явлении определенную отрицательную роль играет и набухание пористого заполнителя литоидной пемзы в раннем возрасте бетонного элемента. Известно, что при насыщении пористая литоидная пемза сильно набухает и это может привести к образованию микротрещин в цементном камне в местах ее контакта с зернами заполнителя. При высыхании бетона происходит усадка как цементного камня, так и пористого заполнителя литоидной пемзы. Однако, как показали опыты, при усадке первоначальные объемы зерен заполнителя полностью не восстанавливаются, а поэтому микротрещины, которые образуются в цементном камне при набухании пористого заполнителя, частично сохраняются и тем самым оказывают отрицательное влияние на физико-механические свойства бетона. Причем, это отрицательное влияние в случае растяжения более существенно, чем при сжатии.

Основные выводы

1. В раннем возрасте бетонный элемент в пределах всего сечения по прочности и деформациям (кратковременным и длительным) при сжатии и растяжении однороден, а в дальнейшем, по мере высыхания наружного слоя, однородность сохраняется только в пределах невысохшей ядровой части сечения. Причиной этого является то, что из-за высыхания вызван-

ное процессом твердения упрочнение наружного слоя элемента во времени с некоторого момента происходит менее интенсивно, чем упрочнение ядровой части. Одновременно на это отрицательное влияние высыхания накладывается также все прогрессирующее отрицательное влияние большей усадки наружного слоя, а также испарение образовавшихся под зернами заполнителя водных прослоек, что приводит к постепенному снижению прочности и увеличению деформативности бетона наружного слоя и тем самым к неоднородности в пределах всего сечения элемента.

Основными причинами снижения прочности и увеличения деформативности наружного слоя бетонного элемента являются: при сжатии — пустоты (дефекты), которые остаются на местах водных прослоек по мере их испарения, а при растяжении — разуплотнение бетона усадочными микротрещинами, вызванное значительно большей усадкой наружного слоя элемента.

2. Прочностная и деформационная неоднородность бетона по сечению бетонного элемента существенно зависит от влажности среды и размеров поперечного сечения элемента и в зависимости от этих факторов могут быть следующие случаи:

а) бетонный элемент сначала однороден и остается таким в дальнейшем. Сказанное независимо от размеров поперечного сечения элемента имеет место в тех случаях, когда влажность среды высокая или испарение исключено путем изоляции;

б) бетонный элемент сначала однороден, а в дальнейшем становится неоднородным. Это имеет место в том случае, когда сечение элемента большое, а влажность среды невысокая;

в) бетонный элемент сначала однороден, а в дальнейшем по мере высыхания сперва становится неоднородным и в итоге вновь однородным. Это имеет место в том случае, когда размеры поперечного сечения элемента небольшие, а влажность среды невысокая.

3. Продольные и поперечные деформации высыхающего наружного слоя бетонного элемента большего сечения существенно больше, чем бетона невысыхающей ядровой части элемента, однако коэффициенты Пуассона указанных двух зон при сжатии в любом возрасте практически равны.

4. Вызванная высыханием наружного слоя бетонного элемента неоднородная ползучесть по сечению начинается с раннего возраста и с увеличением возраста к моменту загрузки степень неоднородности ползучести возрастает. Отношение деформаций ползучести наружного слоя к деформациям ползучести ядровой части при загрузении в возрастах 28 сут., 3; 6 мес. и 1 года соответственно составило: при сжатии 4,0; 5,8; 7,2 и 8,4, а при растяжении — 1,70; 1,92; 2,05 и 2,15, то есть степень неоднородности бетона по ползучести при сжатии существенно больше, чем при растяжении.

5. Кривые ползучести бетона наружного слоя и ядровой части бетонного элемента во всяком возрасте загрузки как при сжатии, так и при растяжении подобны, и отношение их деформаций ползучести не зависит от длительности загрузки.

6. В сжатом бетонном элементе из-за большей ползучести наружный слой во времени разгружается, а ядровая часть, наоборот, догружается. В связи с перераспределением напряжений с некоторого момента наружный слой начинает нести нагрузку лишь постольку, поскольку он является частью общего элемента, имеющего прочный контакт с ядровой частью. С этого момента наружный слой, в основном играет роль обоймы и защитного слоя ядровой части.

7. Вызванная высыханием прочностная и деформационная неоднородность бетона по сечению бетонного элемента оказывает отрицательное влияние на работу бетонных и железобетонных конструкций при всех напряженных состояниях. Поэтому учет неоднородности прочности, модуля упругости и деформаций ползучести имеет весьма важное значение в деле рационального проектирования конструкций и обеспечения их долговечности.

8. Исследование неоднородности прочности, модуля деформации и деформаций ползучести бетона по сечению бетонного элемента авторы проводили испытанием малых цилиндров, выбуренных из различных зон сечения бетонного элемента. Такая методика хотя и является наиболее обоснованной, но она является весьма трудоемкой. Проведение нами по этой методике исследования позволяют предложить более простую, но вполне обоснованную методику оценки прочностной и деформационной неоднородности бетонного элемента, сущность которой заключается в изготовлении и испытании призм сечением 10×10 см, высотой 40 см. Для того, чтобы такая призма имитировала бы условия бетона наружного слоя элемента, необходимо после распалубки оба торцевых сечения и три боковые поверхности призм изолировать от влагопотери. Другая же призма, имитирующая условия бетона ядровой части элемента, должна быть изолирована полностью.

9. Необходимо в зависимости от характеристик материалов, применяемых для приготовления бетона, условий производства работ и условий работы бетонных и железобетонных конструкций принять все возможные меры, чтобы уменьшить, а если возможно, полностью исключить те причины, которые приводят к неоднородности бетона по сечению бетонного элемента.

ԲԵՏՈՆԵ ԷԼԵՄԵՆՏԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ, ԴԵՖՈՐՄԱՅԻԱՆԵՐԻ ՄՈԴՈՒԼԻ
ԵՎ ՍՈՂՔԻ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

ԿԱՐԱԳԵՏՅԱՆ Կ. Ս., ԿԱՐԱԳԵՏՅԱՆ Կ. Ա.

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Աշխատանքում բերվում են բետոնի ամրության և դեֆորմացիոն անհամասեռության հետազոտման արդյունքները ըստ էլեմենտի ընդլայնական կտրվածքի: Սեղմման և ձգման դեպքում հետազոտված է բետոնի ամրության, դեֆորմացիաների մոդուլի և սողքի անհամասեռության աստիճանի

փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում: Փորձարկվել են զլանիկներ, որոնք կտրված-հանված են տարբեր հասակներում միայն կողմնային մակերևույթով շորացած, մեծ տրամագծի բետոնե զլանի ընդլայնական կտրվածքի տարբեր մասերից:

Սեղմման և ձգման դեպքում հաստատված է, որ վաղ հասակում մեծ կտրվածքի բետոնե էլեմենտը ըստ ամրության և դեֆորմացիաների համասեռ է, իսկ հետագայում, արտաքին շերտերի շորացման և այդ իսկ պատճառով ամրության անկման հետևանքով այն դառնում է անհամասեռ: Ցանկացած հասակում բեռնավորված բետոնե էլեմենտի արտաքին շերտերի և միջուկի սողքի կորերը, ինչպես սեղմման, այնպես էլ ձգման դեպքում նման են և սողքի դեֆորմացիաների հարաբերությունը կախված չէ բեռնավորման երկարատևությունից:

Աշխատանքում բացատրվում են այն երևույթները, որոնք բերում են բետոնե էլեմենտի արտաքին շերտերի ամրության անկմանը, դեֆորմացիաների մեծացմանը և զրանով իսկ ըստ կտրվածքի անհամասեռությունից աստիճանի աճին:

INVESTIGATION OF HETEROGENEITY OF STRENGTH MODULUS OF DEFORMATION AND CONCRETE ELEMENT CREEP

K. S. KARAPETIAN, K. A. KARAPETIAN

S u m m a r y

The paper deals with the results of the investigations of strength and deformational heterogeneity of concrete at the concrete element section. Changes of the degree of strength heterogeneity in time, modulus of deformation and concrete creep at compression and tension were investigated. Small cylinders, drilled from different section zones of concrete cylinder of a large diameter and different age, dried only at the lateral surface, were tested.

The explanation is given to the phenomena, which lead to strength decrease and increase of deformation of the external layer of the concrete element and thus to the increase of the degree of its heterogeneity at the section.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н. Х. О теории ползучести для неоднородных наследственно-стареющих сред.— Докл. АН СССР, 1976, т. 229, № 3.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые задачи теории ползучести неоднородно-стареющих тел.— Изв. АН СССР, МТТ, 1976, № 3.
3. Арутюнян Н. Х. Краевая задача теории ползучести для наращиваемого тела.— ПММ. 1977, т. 41, № 5.
4. Арутюнян Н. Х. Теория ползучести неоднородно-стареющих тел. М.: Изд. Института проблем механики АН СССР, 1981.
5. Карапетян К. С., Карапетян К. А. Исследование изменения прочности, модуля деформации и степени анизотропии весьма старого туфобетона при сжатии вслед-

стве водонасыщения и высыхания.—Изв. АН АрмССР, Механика, 1981, т. 34, № 4.

6. Карапетян К. С. Об одном существенном факторе в прочностных и деформативных свойствах бетона.— Докл. АН АрмССР, 1957, т. 24, № 4.
7. Карапетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона.—Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 1957, т. 10, № 6.
8. Карапетян К. С. О вторичном твердении и изменении анизотропных свойств бетона при его водонасыщении.— Докл. АН АрмССР, 1973, т. 57, № 3.
9. 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.

Институт механики АН
Армянской ССР

Поступила в редакцию
26. V. 1982