

УДК 539.4

МЕХАНИКА

К. С. Карапетян, К. А. Карапетян

Неоднородная ползучесть бетонного элемента

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 4/II 1982)

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

Традиционная неоднородность, т. е. когда бетон неоднороден в пределах сечения элемента конструкции, 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. Из-за перерывов в работе бетонирования, особенно при возведении массивных конструкций, элементы конструкции имеют разный возраст, а следовательно, разные физико-механические свойства.

Учет неоднородности прочности, модуля деформации и деформаций ползучести бетона имеет весьма важное значение для оценки действительного напряженно-деформированного 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 старым бетоном (возраста 23 лет) дали возможность установить существенную неоднородность бетона по сечению цилиндра большого диаметра. Из-за высыхания прочность бетона в наружном слое цилиндра оказалась намного меньше, а деформации—больше, чем в ядровой части цилиндра⁽⁵⁾.

Согласно К. С. Карапетяну, причиной неодинаковости свойств бетона в различных направлениях, т. е. анизотропии, являются водные прослойки, образующиеся 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^(6,7). Дальнейшие опыты показали, что восстановление водных прослоек путем насыщения сухого бетона водой приводит к обратному явлению—росту прочности и модуля деформации^(5,8).

В данной работе приводятся результаты исследования неоднородности прочности, модуля деформации и ползучести бетона в пределах сечения бетонного цилиндра при сжатии. Как и в работе (5), испытывали малые цилиндры диаметром 5,5 см. высотой на этот раз 22 см, которые выбуривали в радиальных направлениях из 4 различных зон (I, II, III и IV) сечения большого цилиндра (рис. 1).

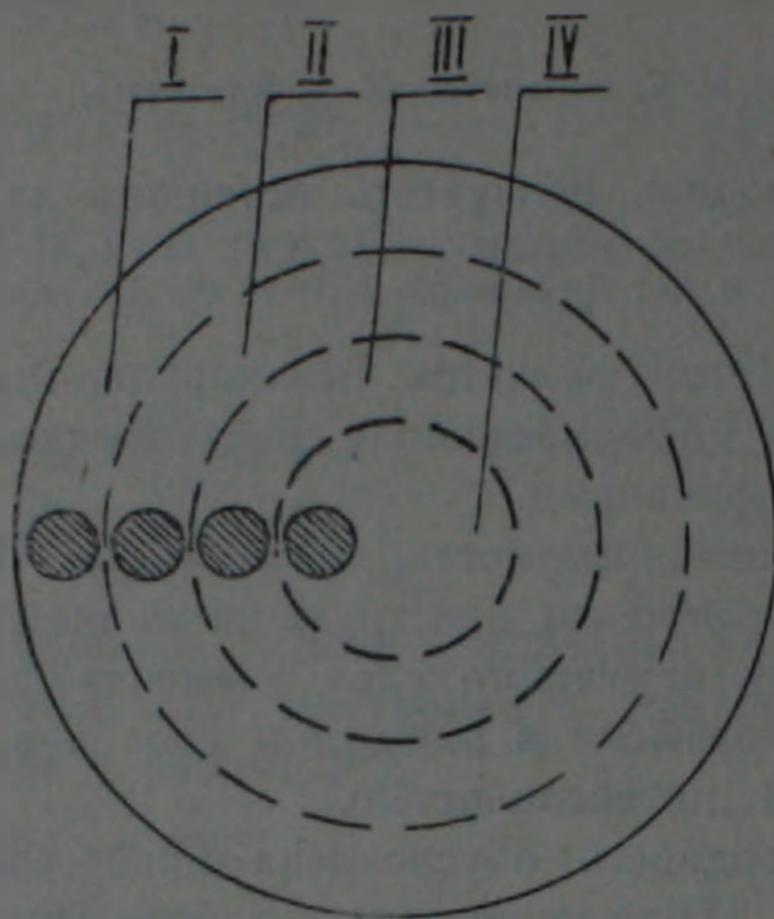


Рис. 1. Поперечное сечение большого цилиндра с указанием зон выбуривания

Цилиндры в количестве 5 шт. диаметром 57 см, высотой 25 см были изготовлены из бетона на литонидной пемзе состава в массе 1 : 1, 43 : 2,50, В/Ц=0,86, Ц=294 кг на 1 м³ бетона. После распалубки торцы цилиндров изолировали так, чтобы испарение происходило только с боковых поверхностей. Для исследования неоднородности прочности и модуля деформации малые цилиндры выбуривали и испытывали в возрастах 28 сут.; 3 и 6 мес.; 1 года и 2 лет. Для исследования же неоднородности ползучести бетона малые цилиндры подвергали длительному загрузению в первых 4 возрастах. Напряжение в образцах составляло 5 МПа. В процессе всего длительного загрузения малые цилиндры, выбуренные из ядровой части большого цилиндра (II и III зоны), были изолированы от влагопотери, а малые цилиндры, выбуренные из наружного слоя (зона I), оставляли свободными поверхностями для высыхания.

По данным таблицы в возрасте 28 сут. как прочности, так и модули деформации образцов, выбуренных из всех 4 зон, практически одинаковы. Однако при испытании образцов последующих возрастов это отмечается только у образцов из зон II, III и IV. При этом с увеличением возраста бетона к моменту испытания разница как прочностей, так и модулей деформаций образцов, выбуренных из наружного слоя (зона I) и ядровой части (зоны II, III и IV), увеличивается. Объясняется это тем, что высыхание наружного слоя цилиндра привело к обезвоживанию бетона и тем самым к приостановлению процесса

упрочения наружного слоя. При этом на положительный процесс твердения бетона накладывается отрицательное влияние большей усадки наружного слоя и испарения водных прослоек из этого слоя.

Таким образом, в результате высыхания наружного слоя большой цилиндр по сечению стал по прочности и модулю деформации неоднородным, и с увеличением продолжительности высыхания степень неоднородности увеличивается. По данным таблицы, в возрасте 2 лет прочность бетона ядровой части на 30% больше, чем прочность бетона наружного слоя. Что касается модулей деформаций, то при рассмотренных напряжениях их отношение изменяется в пределах от 1,46 до 1,18.

Рассмотрим теперь результаты исследования неоднородной ползучести по сечению большого бетонного цилиндра (рис. 2). Кривые ползучести построены по следующим зависимостям:

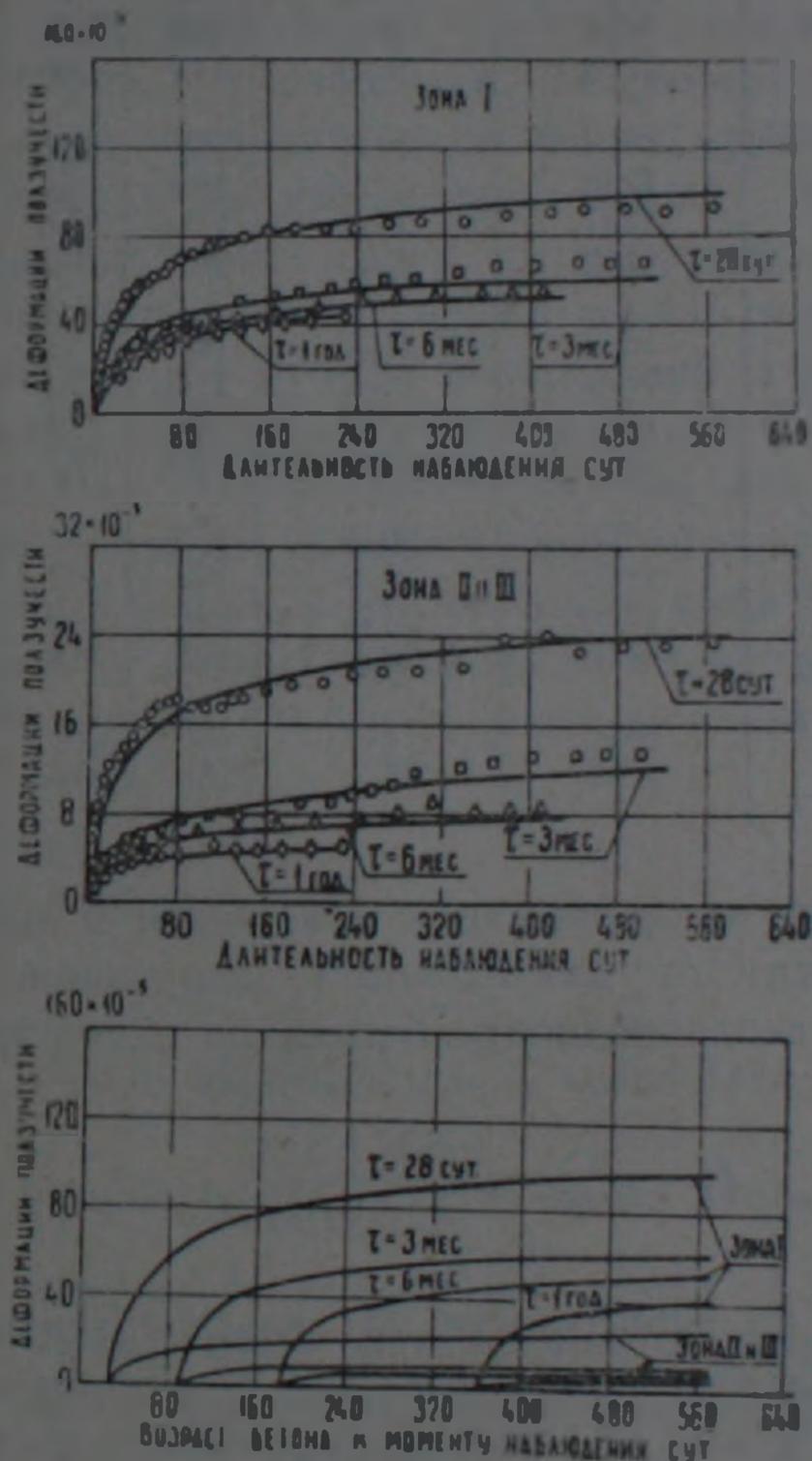


Рис. 2. Кривые ползучести бетона

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

$$\epsilon_{II} = \left(9,53 + \frac{312}{\tau} \right) [1 - 0,5(e^{-0,035\tau} + e^{-0,06\tau})] \times 5 \times 10^{-5}; \quad (1)$$

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

$$\epsilon'_{II} = \left(0,9 + \frac{120}{\tau} \right) [1 - 0,5(e^{-0,005\tau} + e^{-0,05\tau})] \times 5 \times 10^{-5}. \quad (2)$$

В зависимостях (1) и (2) τ —возраст бетона в момент загрузки, t —длительность загрузки в сутках.

Сравнение зависимостей (1) и (2) приводит к выводу, что кривые ползучести образцов, выбуренных из наружного слоя и ядровой части большого бетонного цилиндра, во всяком возрасте загрузки по-

Прочность и касательный модуль деформации бетона в различных зонах сечения большого цилиндра

Возраст бетона к моменту испытания	Зона выбуривания образцов	Объемная масса бетона, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Модуль деформации $E \times 10^{-3}$, МПа, при напряжении (МПа)				
				0	5	10	15	20
28 сут.	I	1715	16,1	146	113	84	59	—
	II	1728	16,4	146	113	85	60	—
	III	1728	16,5	150	116	86	61	—
	IV	1728	16,6	149	116	87	62	—
3 мес.	I	1694	22,1	162	144	126	110	95
	II	1730	24,5	180	153	128	106	86
	III	1731	24,6	180	154	130	108	88
	IV	1732	24,7	181	155	131	109	89
6 мес.	I	1672	21,6	160	141	124	107	92
	II	1721	25,2	188	162	138	116	96
	III	1727	25,1	187	163	140	119	99
	IV	1726	25,3	190	163	138	116	95
1 год	I	1663	20,5	152	137	122	109	96
	II	1718	25,8	193	167	143	121	100
	III	1716	25,5	190	165	141	120	100
	IV	1716	26,0	195	168	143	121	100
2 года	I	1616	21,1	137	126	115	104	94
	II и III	1702	27,5	200	175	152	131	111

добны, а отношение их деформаций ползучести в любом загруженном возрасте не зависит от длительности загрузки t .

Коэффициент неоднородности бетона по деформациям ползучести

$$H = \epsilon_n / \epsilon'_n = \frac{9,53\tau + 312}{0,9\tau + 120} \quad (3)$$

Рассчитанные по зависимости (3) коэффициенты неоднородности бетона по деформациям ползучести для возрастов к моменту загрузки 28 сут.; 3; 6 мес. и 1 год соответственно составляют—4,0; 5,8; 7,2 и 8,4.

Таким образом, в результате высыхания наружного слоя бетонного элемента прочность и модуль деформаций бетона в этой части существенно меньше, а ползучесть больше, чем в его ядровой части. Если такой бетонный элемент загрузить длительной сжимающей нагрузкой, то в момент загрузки упруго-мгновенная деформация 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 начнется

перераспределение напряжений во времени, и в результате напряжение в ядровой части существенно возрастет, а в наружном слое, наоборот, уменьшится. Продолжение процесса перераспределения напряжений в конечном итоге приведет 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, и следовательно, снижение прочности и модуля деформации бетона этой части. При наличии арматуры напряженно-деформированное 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 в ядровой части.

В качестве примера мы рассмотрели влияние неоднородности бетона на напряженно-деформационное состояние бетонного и железобетонного элементов при сжатии. Однако вполне понятно, что влияние неоднородности бетона на работу конструкций отрицательно сказывается и при других напряженных состояниях. Необходимо по возможности уменьшить неоднородность бетона, и в этом вопросе как руководство могут служить существующие исследования анизотропных свойств бетона, так как и это свойство является следствием образования и испарения водных прослоек. Учет неоднородности бетона особенно важен в условиях сухого жаркого климата.

Институт механики
Академии наук Армянской ССР

Կ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Կ. Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

Բետոնն էլեմենտի ոչ համասեռ սողեր

Աշխատանքում բերվում են բետոնի ամրության և դեֆորմատիվության անհամասեռության հետազոտման փորձարարական արդյունքները սեղմման դեպքում՝ ըստ մեծ տրամագծի բետոնի գլանի ընդլայնական կտրվածքի:

Փորձերը ցույց են տվել, որ արտաքին շերտի շորացմանը զուգընթաց բետոնն գլանը ըստ ամրության, դեֆորմացիաների մոդուլի և սողքի դեֆորմացիաների դառնում է խիստ անհամասեռ և հասակի մեծացմանը զուգընթաց այդ անհամասեռությունն աճում է: Ցանկացած հասակում բռնավորված բետոնն գլանի արտաքին շերտի և միջուկի մասի սողքի կորերը նման են:

Բետոնն էլեմենտի արտաքին շերտի ամրության նվազումը և դեֆորմացիաների աճը նշանակալի չափով պայմանավորված են այն խոռոչների (դեֆեկտների) բացասական ազդեցությամբ, որոնք առաջանում են շաղախի տեղադրման և խտացման ժամանակ լցիչի հատիկների տակ առաջացող ջրային շերտերից ջրի հետագա գոլորշացման հետևանքով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Н. Х. Арутюнян ДАН СССР, т. 229, № 3 (1976). ² Н. Х. Арутюнян Изв. АН СССР, МТТ, № 3, 1976. ³ Н. Х. Арутюнян ПММ, т. 41, № 5 (1977). ⁴ Н. Х. Арутюнян, Теория ползучести неоднородно-старееющих тел, Изд. Ин-та проблем механики АН СССР, М., 1981. ⁵ К. С. Карапетян, К. А. Карапетян, Изв. АН АрмССР, сер. механика, т. 34, № 4 (1981). ⁶ К. С. Карапетян, ДАН АрмССР, т. 24, № 4 (1957). ⁷ К. С. Карапетян, Изв. АН АрмССР, сер. физ-мат. наук, т. 10, № 6 (1957). ⁸ К. С. Карапетян, ДАН АрмССР, т. 57, № 3 (1973).