

УДК 531.539.376

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ВЕСЬМА СТАРОГО БЕТОНА С
УЧЕТОМ ПРОЦЕССА ДЕСОРБЦИИ ХИМИЧЕСКИ
НЕСВЯЗАННОЙ ВОДЫ

Карапетян К.А.

Կ.Ա.Կարապետյան

Ծեր բետոնի սողքի հետազոտումը քիմիապես չկապված ջրի դեսորբցիայի պրոցեսի հաշվառմամբ

Հետազոտվել է բետոնի խտոցներում և կապիլյարներում փոստում հավաքվող քիմիապես չկապված ջրի (մախնական խոնավություն) դեսորբցիայի պրոցեսի ազդեցությունը ծեր բետոնների սողքի վրա: Յույց է տված, որ մախնական մեծ խոնավությամբ ծեր բետոնների սողքի դեֆորմացիաները ոչ բարձր խոնավային պայմաններում կարող են բազմակի անգամ գերազանցել շրջակա միջավայրի խոնավությանը մոտ խոնավությամբ նույնանման բետոնների սողքի դեֆորմացիաներին (ավելի քան 6 անգամ ձգման և 20 անգամ սեղմման դեպքում):

K.A.Karapetyan

Investigation of creep of quite old concrete taking into account desorption
process of chemically inconnected water

Исследовано влияние процесса десорбции химически несвязанной воды, накопленной в порах и капиллярах бетона в этапе изготовления, на ползучесть бетонов в возрасте 23-27 лет.

Установлено, что в условиях невысокой влажности среды деформации ползучести старых бетонов с большим начальным влагосодержанием могут многократно превосходить деформации ползучести аналогичных бетонов с влажностью, примерно равной влажности окружающей среды.

Сведения о влиянии начального влагосодержания бетонов и растворов на деформации ползучести в случае дальнейшего свободного влагообмена со средой с невысокой влажностью (ниже 75%, [1]) известны из работ [2-6 и др.].

В работах [2-4] установлено, что ползучесть указанных выше материалов, имеющих большую начальную влажность, существенно превосходит ползучесть таких же материалов с меньшим начальным влагосодержанием как в случае кручения [2], так и при одноосном растяжении [4] и сжатии [3].

Согласно данным, приведенным в работе [5], гидроизолированные после изготовления шлакобетонные восьмерки и призмы с размерами сечений 10×10см были нагружены постоянным напряжением в возрасте 28 сут. После полной стабилизации процесса деформирования во времени гидроизоляция с двух нагруженных, а также соответствующих усадочных образцов была удалена и велось наблюдение за дальнейшим деформированием оставшихся в изоляции и «высыхающих» образцов. По полученным в работе [5] результатам деформации ползучести «высыхающих» (подвергнутых десорбции влаги) образцов во времени развивались значительно интенсивнее, чем у оставшихся в изоляции как в случае растяжения, так и при сжатии.

Качественно такая же закономерность наблюдалась и в аналогичных исследованиях, данные которых приведены в работе [6].

Целью настоящей работы является изучение влияния процесса десорбции химически несвязанной воды (накопленной в порах и капиллярах бетона в результате технологически требуемого для приготовления смеси избытка воды) на ползучесть весьма старых бетонов при одноосном растяжении и сжатии с учетом ориентации слоев укладки бетона по отношению к направлению действия нагрузки.

Исследования при растяжении были произведены на литоидпемзобетоне состава в массе 1:1,539:2,4, В/Ц = 0,95, Ц = 295 кг/м³. Для приготовления литоидпемзобетона применялись песок ($\gamma_n=1090\text{кг/м}^3$), щебень ($\gamma_{ш}=820\text{кг/м}^3$) с фракцией 5–40мм, взятые из карьера Джрабер (Республика Армения) и портландцемент активностью 40 МПа. В случае сжатия был использован туфобетон состава в массе 1:1,797:2,743, В/Ц = 1,43, Ц = 261 кг/м³, для приготовления которого применялись песок ($\gamma_n=1070\text{кг/м}^3$), щебень ($\gamma_{ш}=820\text{кг/м}^3$) с фракцией 5–40мм, взятые из месторождения Джрвез (Республика Армения) и шлакопортландцемент активностью 40 МПа.

В момент проведения исследований возраст туфобетона составлял 23 года, а литоидпемзобетона – 27 лет.

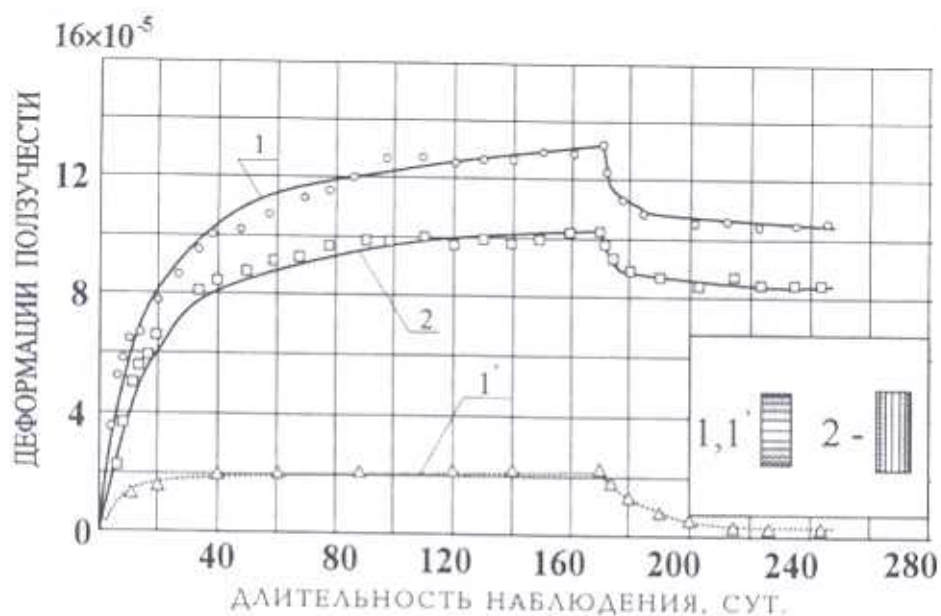
В качестве опытных образцов были использованы цилиндры с диаметром 5,5см и высотой 22см, выбуренные из литоидпемзобетонных и туфобетонных исходных элементов (цилиндры с диаметром 25см и высотой 60см) по направлениям, перпендикулярному (образцы ПЕС) и параллельному (образцы ПАС) по отношению к слоям укладки бетона. Сразу после изготовления часть исходных элементов была гидроизолирована, а другая часть была оставлена без изоляции. При этом все изолированные, а также литоидпемзобетонные неизолированные элементы до выбуривания из них опытных образцов хранились в лабораторном помещении. Туфобетонные же неизолированные исходные элементы после изготовления в течение первых трех лет хранились при температуре среды $20\pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности $80\pm 10\%$, а в дальнейшем, еще и 20 лет, – в лабораторном помещении.

Сразу после выбуривания опытных цилиндрических образцов были определены пределы их прочности R. Затем опытные образцы-близнецы как ПЕС, так и ПАС были нагружены постоянной нагрузкой, величина которой в случае растяжения соответствовала $\sigma^+=0,6\text{МПа}$, а в случае сжатия – $\sigma^-=5\text{МПа}$. Продолжительность нахождения образцов под нагрузкой в условиях свободного влагообмена со средой в опытах на растяжение составляла 174 сут, а при сжатии – 150 сут. После этого все образцы были разгружены и в течение определенного количества дней (70 сут. при растяжении и 91 день при сжатии) велось наблюдение за обратимыми деформациями. В период проведения опытов на соответствующих ненагруженных образцах-близнецах замерялись усадочные деформации. В каждом случае испытания было использовано по 3 образца-близнеца. При этом максимальное отклонение показателей измеряемых механических характеристик по отношению к их среднему арифметическому значению составляло +5,1 и –4,8%. Температура лабораторного помещения в период проведения опытов составляла $22\pm 5^\circ\text{C}$, а относительная влажность – $70\pm 5\%$.

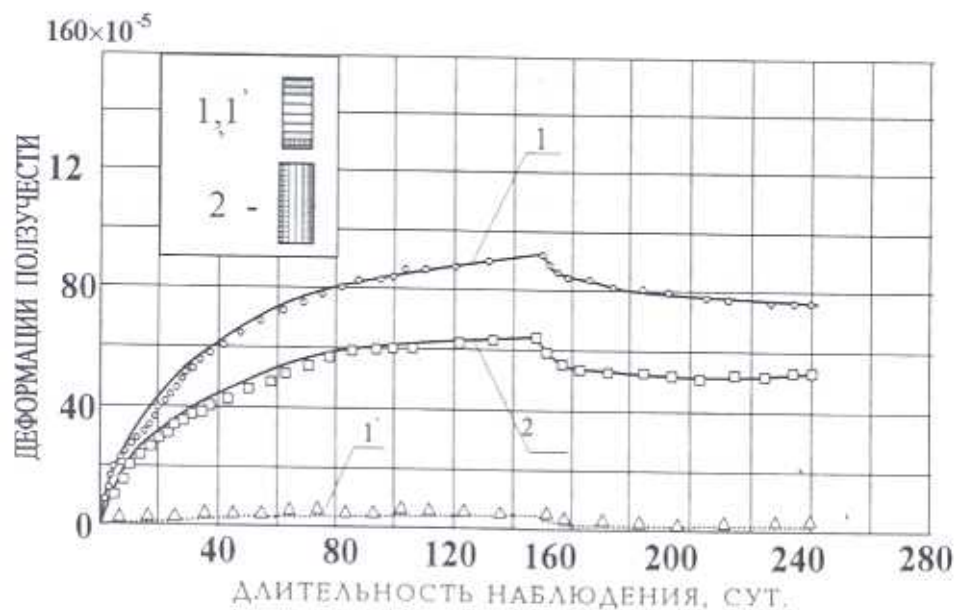
Результаты исследований представлены на фиг. 1 и 2 и в табл.1 и 2. Часть результатов, касающаяся исследования ползучести туфобетона при сжатии, опубликована в работе [7].

Отметим, что в момент начала длительных опытов влажность гидроизолированных после изготовления литоидпемзобетонных образцов ПЕС и ПАС составляла соответственно 9,9 и 10,5%, а аналогичных туфобетонных образцов – 10,6 и 10,9%. Влажность же указанных образцов после завершения длительных опытов в случае литоидпемзобетона составляла соответственно 4,4 и 5,6%, а в случае туфобетона – 3,7 и 4,8%.

Согласно данным, приведенным на фиг. 1 и 2, с началом процесса десорбции влаги гидроизолированные после изготовления и освобожденные от изоляции к моменту нагружения опытные образцы претерпевают существенные деформации ползучести в обоих рассматриваемых случаях нагружения. Значения деформаций ползучести, зафиксированные к концу длительных опытов для образцов ПЕС и ПАС в случае растяжения составляли соответственно 12,7 и $10,4 \times 10^{-5}$, а при сжатии – 92 и 64×10^{-5} .



Фиг. 1. Кривые деформаций ползучести литоидшемобетона при растяжении.



Фиг. 2. Кривые деформаций ползучести туфобетона при сжатии.

Для составления количественной оценки указанных деформационных величин целесообразно представить результаты изучения ползучести литондпемзобетона состава в массе 1:1,432:2,8, В/Ц = 0,86, Ц=294кг/м³, приготовленного на основе портландцемента активностью 50 МПа [8]. По данным этих исследований величина деформации ползучести оставленных после изготовления в лаборатории литондпемзобетонных цилиндрических образцов ПЕС с диаметром 5,5см и высотой 22см, зафиксированная после полной стабилизации процесса ползучести, при возрастах к моменту нагружения 28 сут., 3 мес., 6 мес. и 1 год в случае одноосного растяжения ($\sigma^+ = 0,4 \text{ МПа}$) составляла соответственно 21,7; 12,0; 9,8 и $8,7 \times 10^{-5}$, а в случае сжатия ($\sigma^- = 5 \text{ МПа}$) – 103; 65; 56 и 50×10^{-5} .

Следует также отметить существенную разницу (примерно в 6 раз при растяжении и 20 раз при сжатии независимо от длительности нахождения образцов под нагрузкой) между значениями деформаций ползучести гидроизолированных после изготовления и неизолированных образцов ПЕС (см. кривые 1 и 1' на фиг. 1 и 2).

Таблица 1

Вид Испытания	Вид опытных образцов	Направление нагрузки по отношению к слоям укладки бетона	Прочность в момент нагружения R, МПа	Упруго-мгновенная деформация в момент нагружения $\times 10^{-5}$	Конечная величина деформаций ползучести $\times 10^{-5}$	Абсолютное значение обратимых деформаций $\times 10^{-5}$	
						Упруго-мгновенных	Ползучести
Растяжение	Гидроизолированные после изготовления	перпенд.	1,54	3,7	12,7	4,3	1,9
		паралл.	1,87	3,3	10,4	5,4	1,8
	Неизолированные	перпенд.	1,18	4,9	2,1	5,1	1,9
Сжатие	Гидроизолированные после изготовления	перпенд.	22,3	50,6	92,0	50,6	14,4
		паралл.	20,6	66,7	64,0	61,9	13,3
	Неизолированные	перпенд.	13,6	82,5	4,7	83,2	4,4

Приведенные на фиг. 1 и 2 экспериментальные данные ползучести в случаях одноосного растяжения (индекс +) и сжатия (индекс-) образцов, гидроизолированных после изготовления и освобожденных от изоляции к моменту нагружения были аппроксимированы следующими зависимостями [9]:

для образцов ПЕС

$$\epsilon_u^{\pm}(t) = A_u^{\pm} \cdot f^{\pm}(t) \times \sigma^{\pm} \times 10^{-5} \quad (1)$$

для образцов ПАС

$$\epsilon_u^{\prime \pm}(t) = A_u^{\prime \pm} \cdot f^{\pm}(t) \times \sigma^{\pm} \times 10^{-5} \quad (2)$$

а для образцов ПЕС, неизолированных после расформовки

$$\epsilon_u^{\pm}(t) = A_u^{\pm} \cdot f^{\pm}(t) \times \sigma^{\pm} \times 10^{-5} \quad (3)$$

В зависимостях (1)–(3) для функции $f(t)$ было использовано следующее аналитическое выражение [9], одинаковое для всех видов образцов:

$$f^{\pm}(t) = 1 - 0,5(e^{-\gamma_1^{\pm}t} + e^{-\gamma_2^{\pm}t}) \quad (4)$$

где t — длительность нахождения образцов под нагрузкой в сутках.

Величины опытных постоянных, входящих в (1) — (4), приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Вид нагружения образцов	$A_{\text{н}}$, 1/МПа	$A'_{\text{н}}$, 1/МПа	$A_{\text{н}}$, 1/МПа	γ_1 , 1/сут.	γ_2 , 1/сут.
Растяжение (+)	21,67	17,5	3,5	0,015	0,02
Сжатие (-)	18,8	13,4	0,94	0,04	0,019

Согласно фиг. 1 и 2 описание экспериментальных результатов ползучести (они показаны точками) зависимостями (1)–(3) с использованием данных табл. 2 можно считать приемлемым, а предположение о подобности этих кривых, обусловленной принятием формулы (4) — допустимым. При этом значение отношения деформации ползучести гидроизолированных после изготовления образцов ПЭС и ПАС, зафиксированных в один и тот же момент времени, при растяжении составляет

$$K^+ = \frac{\varepsilon^+(t)}{\varepsilon'^+(t)} \approx 1,24$$

а при сжатии —

$$K^- = \frac{\varepsilon^-(t)}{\varepsilon'^-(t)} \approx 1,4$$

Известно, что при растяжении ползучесть бетона, нагруженного напряжением, недостигающим уровня $R_T \approx 0,8R$, при котором наблюдается микротрещинообразование, является следствием вязкой текучести гелевой структурной составляющей и деформации кристаллической структуры цементного камня, а при более высоких напряжениях ($\sigma > R_T$) — еще и следствием появления и развития микротрещин в бетоне [10]. В случае сжатия ползучесть бетона, кроме перечисленных причин, обусловлена еще и капиллярными явлениями [10].

В рассматриваемых в настоящей работе экспериментах уровень длительного как растягивающего, так и сжимающего напряжений был меньше значения R_T . Поэтому деформации ползучести, обусловленные образованием и развитием микротрещин в бетоне, в этих случаях нагружения не имели места. Что касается ползучести, вызванной вязкой текучестью гелевой структурной составляющей и деформаций кристаллической структуры цементного камня, то они не могли быть значительными, так как испытанные бетоны были старого возраста.

С целью большей конкретизации факторов, возникающих вследствие процесса десорбции влаги и приводящих при этом к увеличению способности деформирования нагруженного старого бетона во времени, можно пользоваться данными, полученными нами при исследовании влияния этого процесса на прочность и упругие свойства бетона.

В качестве опытных образцов были использованы цилиндры как ПЭС, так и ПАС с диаметром 5,5 см и высотой 16,5–18 см, выбуренные из гидроизолированных после изготовления исходных бетонных элементов. В случае растяжения был использован литоиднемзобетон состава в массе 1:1,513:2,368, В/Ц = 0,88, Ц = 310 кг/м³, приготовленный на песке ($\gamma_{\text{п}} = 1050$ кг/м³), щебне ($\gamma_{\text{ш}} = 851$ кг/м³) с фракцией 5–30 мм и

портландцементе активностью 38МПа. Возраст литоидпемзобетона в момент проведения исследований составил 63мес. Исследования при сжатии были проведены на туфобетоне такого же состава, который был использован при проведении указанных выше длительных опытов. Возраст туфобетона в момент проведения исследований и в этом случае составил 23 года.

Согласно полученным результатам, в случае растяжения уменьшение начальной влажности, практически не влияя на прочность, приводит к монотонному уменьшению величины касательного модуля деформации литоидпемзобетна. При уменьшении начальной влажности литоидпемзобетонных образцов ПЕС и ПАС соответственно на 5,1 и 4,5% (через 6 мес. высыхания в лабораторном помещении) снижение модуля деформации для этих образцов оказалось практически одинаковым и составляло приблизительно 24–27%. При сжатии с уменьшением начальной влажности наблюдалось монотонное снижение как прочности, так и модуля деформации туфобетона. Величина этого спада при уменьшении влажности туфобетонных образцов ПЕС и ПАС соответственно на 8 и 6,7% (после 6 мес. высыхания) для прочности составляла соответственно 29 и 11%, а для модуля деформации – соответственно 41+44% и 9+18%, в зависимости от уровня приложенного напряжения.

На основе анализа вышеприведенных данных, полученных в результате кратковременных и длительных опытов, можно заключить, что наблюдаемая существенная ползучесть при растяжении старого бетона, гидроизолированного после изготовления и освобожденного от изоляции в момент нагружения, обусловлена, в основном, накоплением во времени упругих деформаций из-за монотонного снижения модуля деформации бетона вследствие десорбции влаги. В случае сжатия, согласно приведенным расчетам, величина деформации ползучести, вызванная снижением модуля деформации для туфобетонных образцов ПЕС и ПАС, составляет соответственно 36 и 18% от значений их суммарных деформаций, зафиксированных через 150 сут. после нагружения. Остальная же часть деформации ползучести этих образцов, по всей вероятности, обусловлена капиллярными явлениями.

Известно, что при разгрузке бетона, находившегося длительное время в нагруженном состоянии, сразу же восстанавливаются упруго-мгновенные деформации, а во времени и деформации ползучести [11–13 и др.].

Согласно данным табл.1, в случае растяжения обратимые упруго-мгновенные деформации гидроизолированных после изготовления и освобожденных от изоляции к моменту нагружения литоидпемзобетонных образцов ПЕС и ПАС оказались соответственно на 16 и 64% больше упруго-мгновенных деформаций этих же образцов, зафиксированных в момент нагружения, что находится в согласии с представленными в работе [13] результатами. В случае сжатия, согласно данным табл.1, упруго-мгновенные деформации гидроизолированных после изготовления туфобетонных образцов ПЕС восстанавливаются полностью, а образцов ПАС – неполностью. Относительная же обратимость деформации ползучести в обоих рассматриваемых видах нагружения у образцов ПАС оказалась несколько больше, чем у образцов ПЕС (см. данные табл.1).

В случае литоидпемзобетонных и туфобетонных образцов ПЕС, неизолированных после расформовки и испытанных соответственно на одноосное растяжение и сжатие, как упруго-мгновенные деформации, так и деформации ползучести, восстанавливаются практически полностью (табл.1 и фиг. 1 и 2).

Выводы

1.Способность весьма старых бетонов к деформированию во времени в условиях свободного влагообмена со средой с невысокой влажностью весьма чувствительна к содержанию в их порах и капиллярах химически несвязанной воды (начальная

влажность), накопленной в результате технологически требуемого для приготовления смеси избытка воды. При этом величина деформации ползучести старых бетонов с большим начальным влагосодержанием может многократно превосходить значения деформации ползучести таких же бетонов, имеющих начальную влажность, примерно равную влажности окружающей среды (более чем 6 раз в случае одноосного растяжения и 20 раз при сжатии).

2. Деформации ползучести весьма старых бетонов, обусловленные десорбцией химически несвязанной воды, более существенны в направлении, перпендикулярном слоям укладки бетона, чем в параллельном, как в случае сжатия, так и при одноосном растяжении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 21. Бетонные и железобетонные конструкции. (СНиП 2.03.01-84*). – М.: Стройиздат, 1998. 77с.
2. Glucklich Joseph, Isai Ori. (Creep mechanism in cement mortar. //J.Amer.Concrete Inst., 1962, N7,p.923-948.
3. Скатынский В.И., Крумельсь Ю.В. Экспериментальное исследование влияния влажности газосиликатных бетонов на развитие деформации ползучести. – Строит. конструкции. Межвед. респ. научн.сб. – Киев: Будивельник. 1970. Вып. 16. С. 85-89.
4. Cook D.J. Factors affecting the tensile creep of concrete. – Mech. Behav. Mater. Proc. Int. Conf. Mech. Behav. Mater., Kyoto,1971, vol. 4. Kyoto, 1972, p. 214-224.
5. Карапетян К.С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от влажности среды. //Изв.АН Арм. ССР. Сер. физ.-мат. наук. 1965. Т.18, №2. С.58-73.
6. Вартанян Г.В. Исследование влияния различных факторов на деформации бетона при знакопеременных воздействиях. – Автореф. дисс. на соиск. канд. техн. наук. Ленинград, 1969. 23с.
7. Карапетян К.А. Влияние высыхания на ползучесть и анизотропию весьма старого бетона. – Школа-семинар «Теория упругости и вязкоупругости». Тезисы докладов. Ереван: Изд.АН Арм. ССР,1982, с.90-91.
8. Карапетян К.С., Карапетян К.А. Исследование неоднородности прочности, модуля деформации и ползучести бетонного элемента. //Изв. АН Арм. ССР. Механика. 1983. Т.36. №2. С.37-53.
9. Карапетян К.С. Влияние фактора времени на прочность и деформативность бетона на литонидной пемзе и некоторые другие его свойства. – В кн.:Гидротехнический бетон на литонидной пемзе.–Ереван: Изд.АН Арм. ССР. 1958. С.111-148.
10. Карапетян К.С. Экспериментальное исследование ползучести бетона. – Автореферат дисс. на соиск. уч.ст. докт. техн. наук. Ленинград, 1967, 34с.
11. Улицкий И.И. Ползучесть бетонов. Киев–Львов: Гостехиздат. Украины. 1948. 136с.
12. Васильев П.И. Некоторые вопросы пластических деформаций бетона. // Изв. ВНИИГ. 1953. Т.49. С.83-113.
13. Карапетян К.С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от масштабного фактора.// Изв. АН Арм.ССР. Сер. физ.-мат.наук. 1964. Т.17. №4. С.71-90.