

К. С. Карапетян и Р. А. Котикян

Исследование прочности и деформативности бетона при сложно-напряженном состоянии

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР С. А. Амбарцумяном 6/V 1964)

В области исследования прочности и деформативности бетона при сложно-напряженном состоянии пока сделано довольно мало. Такие исследования необходимы не только для отыскания условий прочности бетона при сложно-напряженном состоянии, но и для выяснения возможности получения связи между интенсивностями напряжений и деформаций из соответствующих опытов простого напряженного состояния.

Настоящая работа посвящена исследованию указанного вопроса при следующих сложно-напряженных состояниях:

- 1) кручение с последующим растяжением;
- 2) внутреннее давление с последующим сжатием.

Исследования прочностных и деформативных свойств бетона при сложно-напряженном состоянии были выполнены на полых цилиндрических образцах, наружным диаметром 204 мм, толщиной стенок 2 см, длиной 80 см.

Образцы были приготовлены из мелкозернистого бетона на кварцевом песке и пуцолановом портландцементе Араратского завода, активностью 503 кг/см^2 . Состав бетона приведен в табл. 1.

Таблица 1

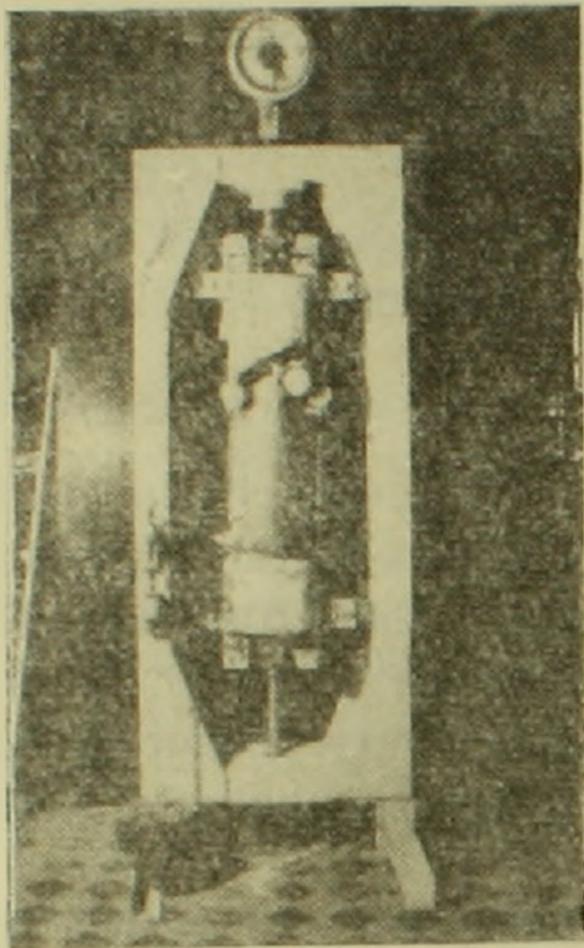
Состав бетона по весу	Расход материалов на 1 м ³			Объемный вес бетона в кг/м ³	R _к в кг/см ²
	цемент	песок	вода		
1:1,68	651	1095	448	2194	191

Образцы были приготовлены в металлических разборных формах. Приготовление бетона производилось вручную, а уплотнение на виброплощадке при продолжительности вибрации 30 секунд.

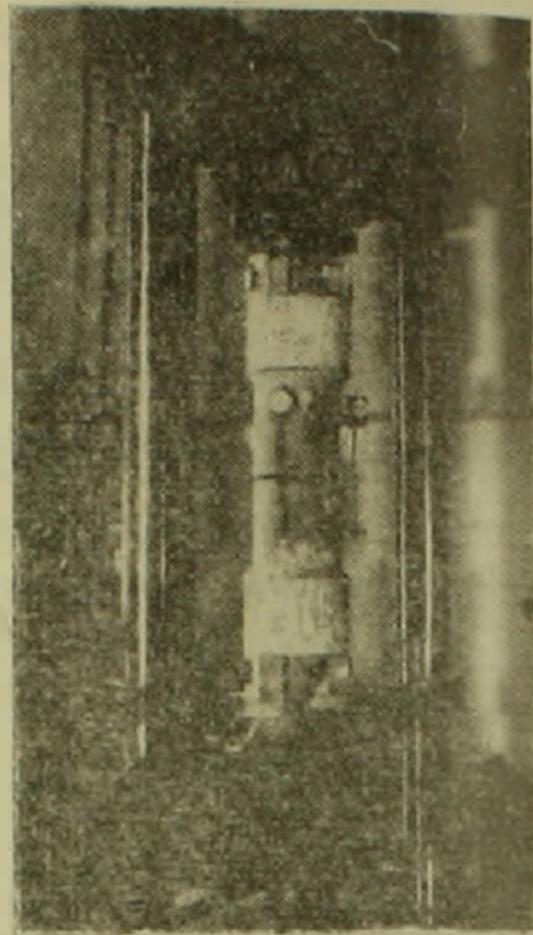
Из каждого замеса бетона приготавливались 18 образцов и необходимое количество кубиков размерами ребер 10 см. Всего было приготовлено 54 трубчатых образца. Освобождение образцов от форм производилось через 48 часов, после чего до момента их испытания

в 28-дневном возрасте они хранились во влажной камере, где относительная влажность составляла более 90%.

Испытание образцов на кручение и последующее растяжение производилось на специально изготовленном приспособлении (фиг. 1). При испытании образцов сначала прикладывался постоянный крутящий момент, после чего образец доводился до разрушения растяжением.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Крутящий момент и растягивающее усилие повышались ступенями и после каждой ступени измерялись продольные деформации и деформации кручения. Продольные деформации измерялись по четырем вертикалям на базе 250 мм. База измерений деформаций кручения составляла 400 мм. Под каждой ступенью нагрузки образец выдерживался лишь на время, необходимое для измерения деформаций. Помимо образцов, испытанных на сложно-напряженное состояние — кручение с последующим растяжением, для определения предела прочности бетона при кручении (R_{xz}) и растяжении (R_{xx}), а также деформаций были испытаны образцы на чистое кручение и чистое растяжение. При этом $R_{xz} = 10,0 \text{ кг/см}^2$, а $R_{xx} = 13,5 \text{ кг/см}^2$. На фиг. 2 показан трубчатый образец после испытания на чистое растяжение.

При сложном нагружении напряжение от начального крутящего момента составляло 0,167, 0,334, 0,501, 0,667, 0,835, 0,891 и 0,946 от предела прочности бетона на чистое кручение.

Всего на кручение с последующим растяжением испытаны 21 образец, а на чистое кручение и чистое растяжение — 3 и 4 образца.

Испытания на внутреннее давление с последующим сжатием производились на аналогичных трубчатых бетонных образцах на 100-тонном гидравлическом прессе. Для создания внутреннего да-

ления во внутреннюю полость опытного образца устанавливалась резиновая камера соответствующих размеров. Внутреннее давление создавалось путем подачи газа в камеру от баллона, на котором установлены были редуктор и дополнительно контрольный манометр с ценой деления 0,05 атмосфер.

Внутреннее давление и сжимающая нагрузка повышались ступенями и после каждой ступени нагрузки измерялись продольные и поперечные деформации. И в этих опытах продольные деформации измерялись по четырем вертикалям, а в двух перпендикулярных направлениях (по середине высоты образца) измерялись изменения диаметра образца.

При испытании образца предварительно создавалось определенное постоянное внутреннее давление, а затем образец доводился до разрушения сжимающей нагрузкой. Как и в предыдущем случае, образцы испытывались без выдержки.

Величины предварительного внутреннего давления составляли 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 кГ/см^2 .

Помимо испытания образцов на сложное нагружение, и в этом случае были испытаны образцы на чистое внутреннее давление и на чистое сжатие. Прочность трубчатых образцов на чистое сжатие $R_{zz} = 182 \text{ кГ/см}^2$, а на внутреннее давление $R_{yy} = 14,4 \text{ кГ/см}^2$. Всего на внутреннее давление с последующим сжатием были испытаны 7 образцов, а на чистое внутреннее давление и чистое сжатие по два образца.

Интенсивности напряжений и деформаций при сложном нагружении, кручение с последующим растяжением были определены по следующим формулам

$$\sigma_l = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + 3\tau^2}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_l = \frac{2}{3} \sqrt{\varepsilon_{xx}^2 + 3\gamma_{xz}^2}. \quad (2)$$

На фиг. 3а приведена кривая прочности бетона при данном сложном нагружении, построенная по формуле

$$\left(\frac{\tau}{R_{xz}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{xx}}{R_{xx}}\right)^2 = 1, \quad (3)$$

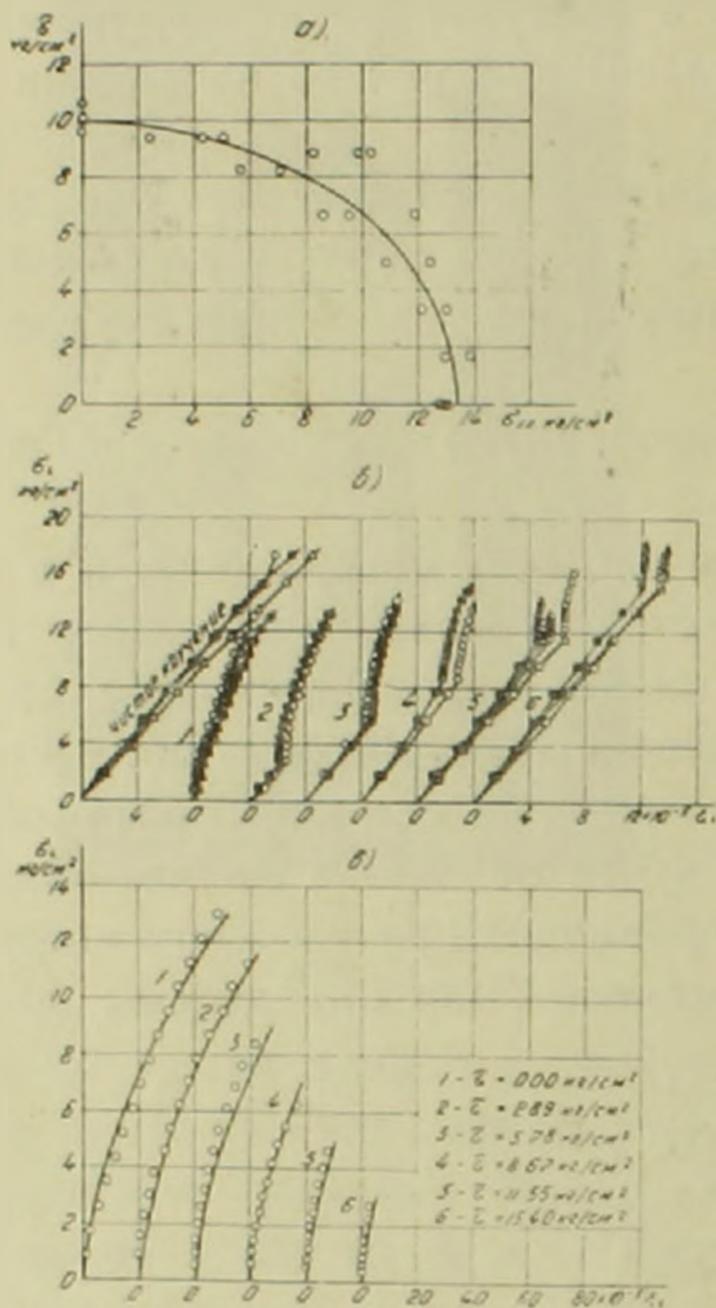
которая представляет эллипс

Как видно из фиг. 3а, зависимость (3) вполне удовлетворительно отвечает опытными данным.

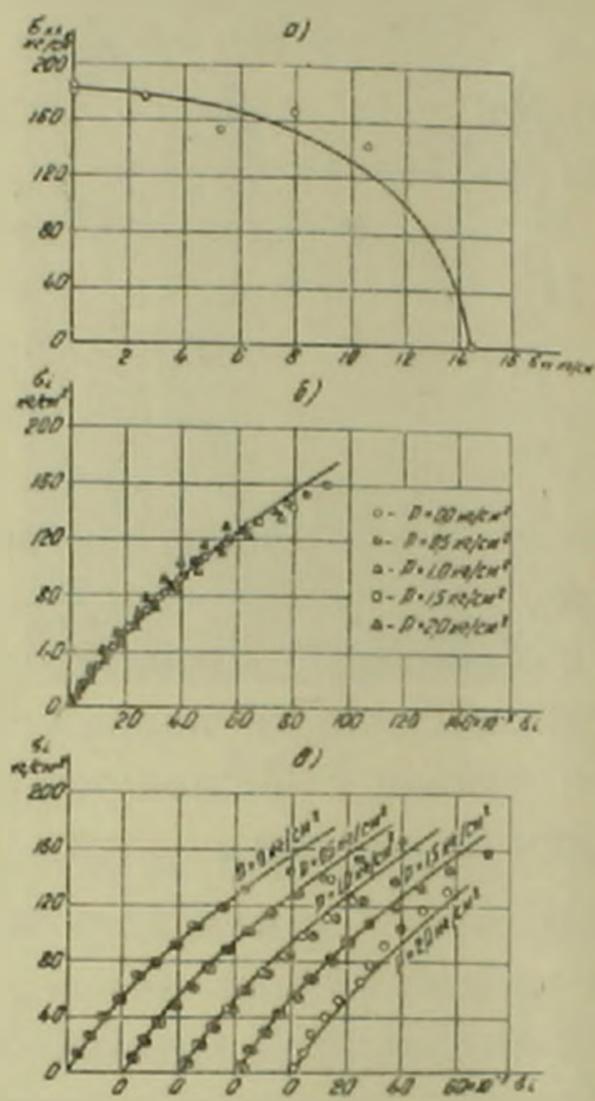
Таким образом предварительное кручение приводит к уменьшению предела прочности бетона на осевое растяжение. Причем это уменьшение тем больше, чем больше касательное напряжение от крутящего момента. Аналогичная закономерность наблюдалась в опытах А. М. Скудра (1,2).

На фиг. 3б приведены экспериментальные кривые интенсивностей деформаций чистого кручения, чистого растяжения и кручения с последующим растяжением.

Как уже отмечалось, одной из задач данных исследований было выяснение возможности описания кривых интенсивностей деформаций сложно-напряженного состояния бетона, исходя из опытов простого напряженного состояния. Как видно из фиг. 4, зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций в случае сложно-напряженного состояния (кручение с последующим растяжением) имеет криволинейный характер, в случае чистого кручения — линейный характер и в случае чистого растяжения — криволинейный



Фиг. 3.



Фиг. 4.

характер. Поэтому была сделана попытка описать кривую интенсивностей деформаций чистого растяжения бетона и проверить приемлемость полученной зависимости в отношении кривых интенсивностей деформаций сложно-напряженного состояния бетона. Для описания кривой интенсивностей деформаций чистого растяжения бетона была принята зависимость следующего вида

$$\epsilon_1 = A\sigma_1 + B\sigma_1^n. \quad (4)$$

В формуле (4) A , B и n — параметры, определяемые из опыта. В результате описания кривой интенсивностей деформаций чистого растяжения была получена зависимость

$$\epsilon_1 = (0,0815\sigma_1 + 0,0245\sigma_1^2) \times 10^{-5}. \quad (5)$$

Исследования показали, что данная зависимость вполне удовлетворительна

точно описывает также все экспериментальные кривые сложного нагружения. Кривые, построенные по формуле (5), приведены на фиг. 4а. Здесь же указаны экспериментальные точки, которые соответствуют средним значениям деформаций нескольких образцов для каждого вида испытания.

Таким образом получается, что для выражения зависимости между интенсивностями напряжений и деформаций бетона при сложно-напряженном состоянии — кручении с последующим растяжением, без особой погрешности, можно воспользоваться соответствующей зависимостью простого напряженного состояния — чистого растяжения.

Приведем результаты исследования прочности и деформативности образцов при сложно-напряженном состоянии — внутреннем давлении с последующим сжатием.

Напряжение от внутреннего давления на внутренней грани поперечного сечения опытного образца определялось по формуле

$$\sigma_{zz} = \frac{pr^2}{R^2 - r^2} \left(1 + \frac{R^2}{y^2} \right), \quad (6)$$

а в радиальном направлении по формуле

$$\sigma_{yy} = \frac{pr^2}{R^2 - r^2} \left(1 - \frac{R^2}{y^2} \right). \quad (7)$$

В указанных формулах R и r представляют наружный и внутренний радиусы поперечного сечения образца, p — внутреннее давление в кг/см^2 .

Интенсивности напряжений и деформаций определялись по формулам

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2}, \quad (8)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{zz})^2 + (\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xx})^2}. \quad (9)$$

На фиг. 4а приведена кривая прочности бетона при данном сложном нагружении, которая и в этом случае представляет эллипс. Кривая построена по формуле (10), которая удовлетворительно описывает опытные данные

$$\left(\frac{\sigma_{xx}}{R_{xx}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{yy}}{R_{yy}} \right)^2 = 1. \quad (10)$$

Таким образом, предварительное приложение внутреннего давления приводит к уменьшению предела прочности бетона на осевое сжатие. При этом это уменьшение тем больше, чем больше внутреннее давление.

На фиг. 4 б приведены средние экспериментальные точки кривой интенсивности деформаций чистого сжатия бетона и кривых ин-

тенсивностей деформаций сложного нагружения при различных значениях внутреннего давления, откуда нетрудно заметить, что и в этом случае без особой погрешности экспериментальные кривые могут быть описаны одной общей зависимостью типа (4). Таким образом и при данном сложном нагружении зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций может быть получена от простого напряженного состояния.

В результате описания кривой интенсивности деформаций чистого сжатия получена следующая зависимость

$$\varepsilon_i = (0,292\varepsilon_i + 0,014\varepsilon_i^2) \times 10^{-5}. \quad (11)$$

Кривая чистого сжатия по формуле (11) приведена на фиг. 4б сплошной линией. На фиг. 4в по этой же формуле приведены как кривая чистого сжатия, так и кривые для сложного нагружения при различных значениях внутреннего давления.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

Կ. Ս. ԿԱՐԱՄԵՏՅԱՆ ԵՎ Ռ. Ս. ԿՈՏԻԿՅԱՆ

Բետոնի ամրության և դեֆորմատիկ հասկարյունների հետազոտությունը բարդ լարվածային վիճակի դեպքում

Հոդվածը նվիրված է բետոնի ամրության և դեֆորմատիկ հասկարյունների ուսումնասիրությանը բարդ լարվածային վիճակի դեպքում: Հետազոտված են

1. Ոլորում - ձգում
2. Ներքին ճնշում - սեղմում

բարդ լարվածային վիճակները:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ինչպես ոլորում-ձգում, այնպես էլ ներքին ճնշում-սեղմում լարվածային վիճակների դեպքում ամրության կորերը էլիպսներ են:

Բացի դրանից ցույց է տված, որ բետոնի լարումների ինտենսիվության և դեֆորմացիաների ինտենսիվության հասկարյունային համար կրկու բարդ լարվածային վիճակների դեպքում էլ կարելի է սղտազործել առաջին դեպքում մաքուր ձգման և երկրորդ դեպքում մաքուր սեղման լարումների և դեֆորմացիաների ինտենսիվությունների կապը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. М. Скудра, Деформации бетона при кручении с последующим растяжением, Сб. Исследования по бетону и железобетону, вып. IV, Рига, 1959. ² А. М. Скудра, Прочность бетона при кручении с последующим растяжением, Сб. Исследования по бетону и железобетону, вып. IV, Рига, 1959.