

УДК 666.97.033.17

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА НА РАБОТУ КОНСТРУКЦИЙ.

Кобринец В.М., Заволока Ю.В., Заволока М.В.

Рассматривается расчет железобетонных конструкций кольцевого сечения, изготовленных способом центрифугирования. Технологическая неоднородность, которая появляется при таком способе изготовления, существенно влияет на напряженное состояние и релаксацию усилий. Игнорирование особенностью структуры центрифугированных конструкций приводит к значительным искажениям окончательных результатов расчета.

Железобетонные конструкции кольцевого сечения, изготовленные способом центрифугирования, обладают рядом преимуществ перед конструкциями из вибрированного железобетона. Это высокая механизация и автоматизация бетонных и арматурных работ, повышенное значение физико-механических характеристик бетона, экономия бетона до 50%, арматуры до 20%, сокращение парка опалубочных форм, высокое качество изделий и полная заводская готовность.

При центрифугировании в результате эффекта сепарации происходит расслоение бетонной смеси. Появляется структурная неоднородность, что приводит к послойному дифференцированному изменению физико-механических свойств бетона по толщине стенки кольцевого сечения. При этом типе крупного заполнителя, наблюдается 4 слоя [1]. Первый – самый прочный и плотный. Состоит из щебня заполненного песчано-цементной浆料. Второй слой состоит из песчано-цементного раствора. Третий – цементный. Четвертый – шлам. По объему наружный слой составляет 68-70%. Второй – 16-22%; третий и четвертый – 4-10%.

При комбинированном подборе состава крупного заполнителя с различной плотностью может оказаться три слоя, примерно, одинаковой толщины, но с разной прочностью и разными модулями упругости [2].

Сжимающая нагрузка передается по геометрической поверхности с

радиусом R^r

$$R^r = 2\pi \cdot (R^3 - r^3) / 3 \cdot (R^2 - r^2). \quad (1)$$

Но, в результате расслоения эта поверхность смещается и определяется физическим радиусом R^ϕ . Для трехслойного кольцевого сечения:

$$R^\phi = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_1^3(1 - \alpha_2) + R_2^3(1 - \alpha_3) + \alpha_3 R^3 - r^3}{R_1^2(1 - \alpha_2) + R_2^2(1 - \alpha_3) + \alpha_3 R^3 - r^2}. \quad (2)$$

Разность между двумя окружностями создает эксцентриситет по толщине стенки колонны:

$$e_\phi = R^\phi - R^r. \quad (3)$$

Следовательно, кроме сжатия погонной нагрузкой,

$$q = P / 2\pi R^r, \quad (4)$$

кольцевое сечение центрифугированной колонны будет испытывать изгиб распределенным моментом интенсивностью

$$M = q \cdot e_\phi. \quad (5)$$

Через уравнения равновесия и условия совместности деформаций определяются напряжения центрального сжатия в наружном слое бетона

$$\sigma_{1.в}^c = \frac{\sigma_0}{\mu_1 \alpha_1 + \mu_2 \alpha_2 + \mu_3 \alpha_3 + \mu_S \alpha_S}, \quad (6)$$

и в остальных слоях и арматуре

$$\sigma_{2.в}^c = \alpha_2 \cdot \sigma_{1.в}^c, \quad \sigma_{3.в}^c = \alpha_3 \cdot \sigma_{1.в}^c, \quad \sigma_S = \alpha_S \cdot \sigma_{1.в}^c. \quad (7)$$

Обозначения:

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= P/A_0; \quad \mu_1 = A_{1.в}/A_0; \quad \mu_2 = A_{2.в}/A_0; \quad \mu_3 = A_{3.в}/A_0; \\ \mu_S &= A_S/A_0; \quad \alpha_2 = E_{2.в}/E_{1.в}; \quad \alpha_3 = E_{3.в}/E_{1.в}; \quad \alpha_S = E_S/E_{1.в}; \\ \alpha_1 &= 1. \end{aligned}$$

К напряжениям сжатия в слоях бетона необходимо добавить напряжения от изгиба

$$\sigma_{i.в}^u = \alpha_i \cdot \frac{R^\Phi \cdot P \cdot e_0 \cdot \Delta r}{R^\Gamma \cdot I^\Phi}, \quad (8)$$

Δr - расстояние от окружности радиуса R^Φ до слоя, в котором определяется напряжение;

I^Φ - момент инерции, относительно окружности с радиусом R^Φ .

$$\begin{aligned} I^\Phi &= \frac{\pi(R^2 - r^2)}{36} \cdot \left\{ \mu_1 \alpha_1 \cdot \left[(R - R_2)^2 \cdot \left(1 + \frac{2RR_2}{(R + R_2)^2} \right) + \right. \right. \\ &+ 36 \cdot (R_3^\Gamma - R^\Phi)^2 \left. \right] + \mu_2 \alpha_2 \cdot \left[(R_2 - R_1)^2 \cdot \left(1 + \frac{2R_1R_2}{(R_1 + R_2)^2} \right) + \right. \\ &+ 36 \cdot (R_2^\Gamma - R^\Phi)^2 \left. \right] + \mu_3 \alpha_3 \cdot \left[(R_1 - r)^2 \cdot \left(1 + \frac{2R_1 \cdot r}{(R_1 + r)^2} \right) + \right. \end{aligned}$$

$$\left. + 36 \cdot (R^\Phi - R_1^r)^2 \right] \}. \quad (9)$$

При длительном действии нагрузки, напряжения в слоях и арматуре изменяются. Представление об этом может дать применение длительного модуля упругости

$$\alpha_{S.дл.} = \frac{E_S(1 + \varphi_{1.в})}{E_{1.в}}; \quad \alpha_{i.дл.} = \frac{E_{i.в}(1 + \varphi_{i.в})}{E_{1.в}(1 + \varphi_{i.в})}. \quad (10)$$

Так как $R^\Phi > R^r$, то эксцентриситет e_0 - величина положительная. Поэтому в первом, наружном слое напряжения уменьшаются, а в третьем, внутреннем, увеличиваются. Напряжения от изгиба достигают 10-12% от сжимающих. Проверка прочности необходима именно в этом более слабом слое.

При вынужденных деформациях происходит релаксация напряжений в слоях и продольного усилия из-за проявления деформаций ползучести. Мера ползучести слоев разная, но скорость одинаковая. При этом условии, применяя теорию упругой наследственности, получим:

- напряжения в слоях

$$\sigma_{i.в}(t, \tau_1) = E_{i.в} \cdot \varepsilon_0 \cdot H_i(t - \tau_1), \quad (11)$$

- общее усилие в колонне

$$N(t - \tau_1) = N_0 \{ \alpha_S \mu_S + \alpha_1 \mu_1 H_1(t - \tau_1) + \alpha_2 \mu_2 H_2(t - \tau_1) + \alpha_3 \mu_3 H_3(t - \tau_1) \}, \quad (12)$$

- коэффициенты затухания слоев

$$H_i(t - \tau_1) = 1 - \frac{\varphi_{i.в}}{1 + \varphi_{i.в}} \left[1 - e^{-\gamma(1 + \varphi_{i.в})(t - \tau_1)} \right]. \quad (13)$$

Если $t \rightarrow \infty$ для бетона В40, при $\mu_S = 0,0016$, $\mu_1 = 0,358$,

$\mu_2 = 0,333$, $\mu_3 = 0,309$ и значения характеристики ползучести

$\varphi_{1.в} = 1,996$, $\varphi_{2.в} = 1,896$, $\varphi_{3.в} = 1,8715$, релаксация продольного усилия составляет:

$$N(\infty, \tau_1) = N_0(0,0084 + 0,1794 + 0,1669 + 0,1445) = 0,4992 N_0. \quad (14)$$

Выводы:

1. Изготовление центрифугированных конструкций приводит к расслоению бетонной смеси и появлению технологической неоднородности.
2. В результате сепарации материал становится разномодульным по слоям, и при этом возрастает степень внутренней статической неопределимости.
3. Для получения достоверных результатов расчета напряженно-деформированного состояния необходимо учитывать, кроме конструктивной, еще и технологическую неоднородность.
4. Релаксация напряжений и усилий предполагает наличие не одного, а трех коэффициентов затухания, что является обобщением элементов с конструктивной неоднородностью.

Литература

1. С.Я. Мазур, Г.М. Ремінець. Особливості структури та міцності центрифугованого бетону // Будівництво України. – 1999. – №5. – с.20-21.
2. В.П. Шурыгин, Г.А. Ткаченко, В.П. Петров, Е.Ю. Романенко. Свойства центрифугированных бетонов с комбинированным заполнителем // Бетон и железобетон. – 1990. – №11. – с.11-12.