

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ КЕРАЛИТОБЕТОНА

Столевич И.А., Костюк А.И. (Одесская Государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведены результаты исследования влияния рецептурных и технологических факторов на формирование кералитобетонной смеси и бетона. Получены удобные статистически надежные математические зависимости свойств кералитобетона от факторов состава. Приведены также результаты испытания конструктивных элементов из кералитобетона – камней, блоков и плит.

Кералитобетон – новая разновидность легких бетонов, крупным заполнителем в котором применяется кералит [3], полученный обжигом при высокой температуре гранул из морских и лиманных илов.

В исследованиях применен комплексный подход, включающий изучение свойств исходных материалов, назначение оптимальной рецептуры и технологических параметров кералитобетона, изучение его свойств при кратковременном и длительном действии нагрузки, изготовлении и испытании опытно-промышленных партий конструкций – камней, блоков, плит перекрытия и покрытия из кералитобетона оптимальных составов.

Экспериментальные исследования состояли из двух этапов. При проведении исследований применяли математико-статистические методы планирования эксперимента, обработки опытных значений и принятие решений по полученным зависимостям [1, 2, 6], используя близкие к Д-оптимальному планы типа N_{a5} , B_4 (1 этап) и план типа 2^3 , а также план Бокса-Бенкена типа 3^3 . В качестве независимых переменных (факторов) на разных этапах были приняты: расход цемента C , кг/м³ ($X_1 = 375 \pm 175$); агрегатно-структурный фактор, г ($X_2 = 0,625 \pm 0,375$); удобоукладываемость смеси $Ж$, с. ($X_3 = 35 \pm 31$); время перемешивания смеси t , мин. ($X_4 = 5 \pm 3$); время уплотнения t , сек. ($X_5 = 120 \pm 60$ с.); расход воды B , л ($X_3 = 250 \pm 50$), бетон естественного твердения и пропаренный, возраст загрузки длительной нагрузкой t_0 (X_3). Уровни варьирования назначали таким образом, чтобы они охватывали необходимый и достаточный диапазон своих значений и чтобы были совместимы.

В качестве контролируемых параметров были назначены: изменение В/Ц при заданной подвижности бетонной смеси, показатель расщепляемости смеси, кубиковая R и призмная R_b прочности и модуль упругости E_b в возрастах п.п., 7, 28, 115, 300 и 500 сут., плотность $\rho_{сух}$ и объем межзерновых пустот $V_{п}$, границы области микротрещинообразования R_{crc}^0 и R_{crc}^v , предельные деформации сжатия ε_{bcu} , относительные деформации усадки ε_{sc} и ползучести ε_{cc} кералитобетона, загруженного в возрастах $t_0 =$ п.п., 7, 28, 115 сут. нагрузкой, равной $0,2R_b$; $0,5R_b$; $0,8R_b$.

По полученным уравнениям построены графики зависимости прочности и плотности от расхода цемента и значения агрегатно-структурного фактора. Кодированные значения факторов X_4 и X_5 приняты равными нулю.

Для упрощения полученных квадратичных уравнений регрессии (здесь и далее) с позиций математико-статистического анализа [2] была исследована линейная зависимость вида

$$y = b_0 + b_1x \quad (1)$$

При назначении аргумента X учитывали результаты анализа указанных уравнений, а также необходимость учета существенного влияния на прочность и деформативность, но не включенного по условиям эксперимента расхода воды. Окончательно аргументом назначен $X = B/Ц + r$, который был принят в качестве «обобщенного фактора состава».

Для описания зависимостей $R_{(28)}$, $E_{(28)}$ и ρ от фактора X могут быть использованы линейные уравнения регрессии, которые имеют вид:

$$R_{(28)} = 34,8 - 7,9(B/Ц + r); \quad (2)$$

$$E_{(28)} \cdot 10^3 = 19,14 - 4,71(B/Ц + r); \quad (3)$$

$$\rho = 478 + 137(B/Ц + r). \quad (4)$$

Для прогнозирования призмной прочности во времени можно использовать зависимость:

$$R_b(t, B/Ц, r) = (50,4 - 16,8e^{-0,0133t}) - 15,8(B/Ц + r). \quad (5)$$

Величину φ_b рекомендуется нормировать по уравнению:

$$\varphi_b = 0,933 + 0,0028R - 0,000154R^2. \quad (6)$$

Значения модуля упругости во времени предлагается определять по зависимости:

$$E_b(t) = E_b(\infty) \cdot [1 - e^{-\alpha t}]. \quad (7)$$

Входящие в эту зависимость величины $E_b(\infty)$ и α при известных характеристиках состава кералитобетона рекомендуется вычислять по:

$$E_b(\infty) = 18380 - 3972(B/C + r); \quad (8)$$

$$\alpha = 0,87 - 0,34(B/C + r). \quad (9)$$

Математико-статистические расчеты показали, что для описания зависимости предельных деформаций сжатия ε_{bcu} от обобщенного фактора состава $(B/C + r)$ независимо от возраста кералитобетона может быть использовано усредненное уравнение регрессии (10):

$$\varepsilon_{bcu} = [182 + 85(B/C + r)] \cdot 10^{-5}. \quad (10)$$

Границы области микроразрушений исследуемых бетонов в возрасте 28 суток могут быть определены линейными уравнениями регрессии:

$$R_{crc}^0 = [0,571 - 0,064(B/C + r)]R_b; \quad (11)$$

$$R_{crc}^v = [0,982 - 0,030(B/C + r)]R_b. \quad (12)$$

Развитие во времени процесса усадки кералитобетона на карбонатном песке достаточно достоверно может быть аппроксимировано зависимостью (13):

$$\varepsilon_{sc}(t, t_w) = [144,7(B/C + r) - 73,1][1 - e^{-0,010(B/C + r)(t - t_w)}]. \quad (13)$$

Предельные значения меры ползучести можно определить по формуле (14):

$$C(\infty, 28) = 1,317(B/C + r)^{2,1}. \quad (14)$$

На Кулиндоровском ЗЖБИ из кералитобетона были изготовлены и испытаны опытные партии стеновых камней, стеновых блоков и плит перекрытия и покрытия.

Одновременно с изготовлением опытных образцов стеновых камней и блоков, плит перекрытия и покрытия изготавливались контрольные образцы-кубы, размерами ребра 10 см. Контрольные образцы хранились до испытания в нормальных температурно-влажностных условиях.

В соответствии с ГОСТ 6133-84 стеновые камни изготавливали двух типоразмеров: СКЦ-1 (цельный камень размерами 190 x 390 x 188 мм, с тремя круглыми сквозными пустотами диаметром 76 мм) в количестве 20 шт. и СКЦ-2 (размерами 90 x 398 x 188 мм, продольная половинка сплошная) в количестве 16 шт.

Контроль морозостойкости камней проводили в соответствии с ГОСТ 7025-01. Испытаниям подвергались 20 образцов.

Средняя прочность камней СКЦ-1 составила – 3,01 МПа, СКЦ-2 – 3,08 МПа, контрольных кубов – 3,12 МПа, призм – 3,0 МПа, а марки по морозостойкости F25.

Опытные образцы простеночных рядовых блоков были изготовлены в натуральную величину (400 x 1190 x 218 мм) из кералитобетона класса В7,5 (М100) и средней плотности 1200 кг/м³ в количестве 3 штук в соответствии с рабочими чертежами НБ12.22.4.

Результаты испытаний контрольных образцов кубов и призм составили, соответственно, 10,6 МПа и 9,7 МПа. Начальный модуль упругости – 7900 МПа.

Средние значения по блокам составили: прочности – 8,3 МПа; начального модуля упругости – 7650 МПа; коэффициента Пуассона – 23; возникновение первой трещины при 0,92 N_{разр}; плотности в воздушно-сухом состоянии – 1310 кг/м³; в высушенном до постоянно веса состоянии – 1140.

Плиты перекрытий и покрытий предварительно-напряженные сплошного сечения из кералитобетона разработаны для опытного применения в Одессе и Одесской области при строительстве жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений.

Рабочие чертежи этих плит разработаны под расчетные нагрузки 450; 600; 800 кг/м² и по прочности, жесткости и трещиностойкости соответствуют предварительно-напряженным многопустотным плитам перекрытий серии 1.141.-1, вып. 63 аналогичных марок. Плиты запроектированы из керамзитобетона и кералитобетона марки по средней плотности не выше Д1600 и класса по прочности на сжатие В 20.

Плиты армируются стержнями из термически упрочненной стали Ат-V (ГОСТ 10884-81). Метод натяжения – электротермический.

Для испытаний изготовлена опытная партия из двух образцов марки П63.15-8Ат-Vл. Плиты запроектированы под нагрузку 800 кг/м^2 . Величина контролируемого напряжения для плит под эту нагрузку составляет $\sigma_{\text{con1}} = 50 \text{ кН/см}^2$. Передаточная прочность бетона – 100 % от проектной. Категория трещиностойкости – третья.

Результаты расчета прочности показали, что независимо от величины $\sigma_{\text{сп}}$ запроектированные плиты П63.15-8Ат-Vл отвечают требованиям прочности. Расчетные значения прочности q_p^m во всех случаях превышают проектные значения q_p^{np} на 32,5...33,5 %.

С позиций трещиностойкости наиболее благоприятным значением предварительного напряжения является $\sigma_{\text{сп}} = 50 \text{ кН/см}^2$. Однако, в этом случае необходимо проверить сжимающие напряжения в бетоне в стадии обжатия $\sigma'_{\text{сп}}$, отношение которых к передаточной прочности $R_{\text{вр}} = 1,1 \text{ кН/см}^2$ для легких бетонов В12,5 следует принимать не более 0,3. То есть, напряжения не должны превышать значений в 0,3...0,35 кН/см^2 . Из расчетов следует, что $\sigma'_{\text{сп}}$ превосходит свои предельные значения для рассчитываемых плит, расчетная прочность которого превосходит проектную на 33,5 %. Проявления трещин при $\sigma_{\text{сп1}} = 50 \text{ кН/см}^2$ от действия нормативной длительно действующей нагрузки в рассматриваемых изделиях не зафиксировано.

Из данных расчета установлено, что при $\sigma_{\text{сп1}} = 50 \text{ кН/см}^2$ плиты П63.15-8Ат-Vл отвечают требованиям проекта по жесткости.

Опытные образцы плит П63.15-8Ат-Vл испытывали на Кулиндовском ЗЖБИ на специально оборудованном стенде согласно ГОСТ 8829-85. Средние величины составили: $R=16,3 \text{ МПа}$, $R_b=14,2 \text{ МПа}$, $E_b=13630 \text{ МПа}$, $\rho = 1570 \text{ кг/м}^3$. Усредненные результаты испытаний плит и контролируемые показатели составили: контрольная разрушающая нагрузка $q_p^k = 1310 \text{ кг/м}^2$, опытная разрушающая нагрузка на 9-ом этапе - $q_p^{on} = 1616 \text{ кг/м}^2$ (после 9-го этапа плиты разгружали); контрольный прогиб при нагрузке $q_f^k = 593 \text{ кг/м}^2$ $f_k = 14,8 \text{ мм}$ (фактический прогиб при контрольной нагрузке q_f^k составил $f_k^{on} = 7,95 \text{ мм}$), $a_{\text{crc}}^k = 0,25 \text{ мм}$ при $q_{\text{crc}}^k = 692 \text{ кг/м}^2$.

Таким образом, конструкции предварительно напряженных железобетонных плит перекрытий сплошного сечения П63.15-8Ат-Vл из кералитобетона отвечают установленным требованиям по прочности, трещиностойкости и деформативности.

Выводы

1. Кералитобетон является местным строительным материалом и может быть рекомендован как конструкционный, прочностью до 25 МПа.
2. Получены удобные для практического использования временные зависимости прочности, плотности, модуля упругости, границ области микротрещинообразования и предельных деформаций сжатия, деформаций усадки и ползучести от факторов состава.
3. Опытные элементы и конструкции: камни, блоки, плиты перекрытий и покрытий показали хорошие результаты.
4. Разработаны и изданы технические условия: 1. Грунты илистые морские для производства кералитового гравия, щебня и песка. ТУ 234-127001-01-91. – Одесса, 1993; 2. Гравий, щебень и песок кералитовые. ТУ 234-1272001-02-91. – Одесса, 1993; 3. Камни кералитобетонные. ТУ 234-1272001-03-93. – Одесса, 1993; 4. Блоки кералитобетонные стеновые крупные. ТУ 234-1272001-02-93. – Одесса, 1993; 5. Плиты сплошные из легких бетонов на основе кералита для перекрытий и покрытий жилых и общественных зданий. ТУ 234-1272001-05-91. – Одесса, 1993.

Литература

1. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.
3. Легкие бетоны на основе илокералита. Информационный листок. – Одесса: ОЦНТИ и ЭМ, 1991. – 4 с.
4. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. – М.: НИИЖБ, 1982. – 44 с.