

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ВИБРИРОВАННОГО БЕТОНА

С.Н. Леонович

БГПА

Минск, Беларусь

Рассмотрены результаты равновесных испытаний высокопрочного бетона на местных материалах и проанализирована сопротивляемость образованию и развитию трещин в высокопрочном бетоне.

Ключевые слова. Высокопрочный бетон, вязкость разрушения, хрупкость.

Под высокопрочными бетонами (High-Strength Concrete), согласно принятых в рамках международных организаций по строительству ФИП и ЕКБ новых терминов и их определений, понимаются все бетоны, имеющие прочность на сжатие в цилиндрах от 60 до 130 Мпа (или от 72 до 156 Мпа в кубах).

Были проведены равновесные испытания высокопрочных бетонов, полученных на местных материалах в БелНИИС под руководством профессора Н.П.Блещика.

Применялись портландцемент ПЦ 600-ДО Старооскольского завода с минералогическим составом: $C_3 S = 60\%$, $C_2 S = 15\%$, $C_3 A = 8\%$, $C_4 AF = 14\%$. Плотность зерен цемента - 3220 кг/м^3 , удельная поверхность - $290 \text{ м}^2/\text{кг}$ и коэффициент нормальной густоты $K_{нг} = 0,251$ и Волковский бездобавочный портландцемент ПЦ 500-ДО с минералогическим составом: $C_3 S = 58\%$, $C_2 S = 19\%$, $C_3 A = 4,5\%$, $C_4 AF = 15,8\%$ и $K_{нг} = 0,24$. В качестве тонкодисперсного наполнителя использовали промышленный отход - шлак БМЗ, размолотый до получения удельной поверхности $250 \text{ м}^2/\text{кг}$, что улучшило реологические характеристики бетонной смеси и облегчило процесс укладки и формирования изделий. В качестве крупного заполнителя применен гранитный щебень Микашевичского завода фракции 5-20 мм марки 1200. В качестве мелкого заполнителя - природный необогащенный песок Заславльского карьера с модулем крупности $M_k = 2,47$ и песок карьера "Волма" с $M_{кр} = 2,54$. Плотность зерен и плотность песка в виброуплотненном состоянии составили соответственно 2600 и 1850 кг/м^3 для Заславльского карьера и 2650 и 1900 кг/м^3 - для карьера "Волма". Ускорение гидратации цемента достигалось при помощи полиэлектролита К-7 в количестве $8...12\%$ от массы воды затворения.

Составы бетонной смеси с заданной подвижностью (ОК, см) приведены в табл. 1. Для улучшения удобоукладываемости бетонной смеси с низким водоцементным отношением применен суперпластификатор С-3, выпускаемый на Мозырском СЖБ № 12. Количество С-3 варьировалось от $0,85$ до $1,2\%$ от массы цемента в расчете на сухое вещество.

Таблица

Составы бетонных смесей

Серия	Расход материалов на 1 м^3 , кг							В/Ц	ОК, см
	Ц	П	Щ	В	С-3	ПВК	Шлак		
ВБ-1	500	695	1000	152	6,6	18	55	0,30	10
ВБ-2	450	753	977	126	5,94	15	45	0,28	1

Образцы серий ВБ-1, ВБ-2 были испытаны на трехточечный изгиб с получением полностью равновесных диаграмм деформирования. Диаграммы представлены на рис. 1, расчетные прочностные, деформативные, силовые и энер

гетические характеристики бетона приведены в табл. 2. Для силовых и энергетических параметров трещиностойкости коэффициент вариации составляет 6...9 %, что свидетельствует о стабильности полученных показателей. Проведение равновесных механических испытаний образцов с искусственной трещиной в бетоне позволило добиться стабильного характера развития и продвижения магистральной трещины, вплоть до полного разрушения.

Анализ численных значений параметров проводили с учетом двух этапов (стадий) деформирования и разрушения бетона: 1 - докритическая стадия разрушения (до момента начала движения магистральной трещины) по параметрам W_m , W_i , G_e , G_i , J_i , K_i ; 2 - закритическая стадия разрушения (с момента старта трещины и до полного разрушения образца) по параметрам W_L , G_F .

Для высокопрочного бетона серий ВБ-1 и ВБ-2 характерно значительное повышение прочности на растяжение, которая составляет соответственно 2,88 и 3,02 Мпа. Прочность на растяжение по сравнению с образцами серий 1.1.0 и 5.2.0 выросла почти в 2,5 раза. Увеличение модуля упругости E_v даже по сравнению с модифицированным бетоном серии 5.2.0 составило 15 %.

Анализ первого этапа деформирования (восходящая ветвь ПРДД) свидетельствует о том, что энергозатраты на стадии микротрещинообразования и формирования концевой зоны магистральной трещины W_m не возросли. Это означает, что диссипативные процессы развития и слияния микротрещин до иницирования квазистатического разрушения в обычном и высокопрочном бетоне происходят без значительных различий. Энергозатраты на упругое деформирование в высокопрочном бетоне серий ВБ-1 и ВБ-2 составили соответственно $W_e = 5,81 \times 10^{-2}$ и $5,84 \times 10^{-2}$ Нхм и возросли по сравнению с бетоном серии 1.1.0 не менее, чем на 17 %. Таким образом, высокопрочный бетон обладает более высокими упругими свойствами.

Комплексная оценка трещинообразования (способности бетона сопротивляться образованию трещин - докритическая стадия деформирования) производилась по параметрам G_i , J_i , K_i . Удельные энергозатраты на иницирование квазистатического разрушения G_i составили 16,15 Н/м и возросли на 67 %. Квазистатический джей-интеграл J_i - величина, характеризующая работу пластической деформации и разрушения, а также поле напряжений и деформаций при упругопластическом деформировании вблизи вершины трещины - возрос в 2 раза. Квазистатический коэффициент интенсивности напряжений K_i высокопрочного бетона

Таблица 2

Прочностные, деформативные, силовые и энергетические характеристики бетона

Серия образцов	Прочностные и деформативные характеристики				Силовые и энергетические параметры разрушения								K _c , МН/м ^{3/2}	χ _c , М
	R _c , МПа	R _b , МПа	R _{bt} , МПа	E _b , 10 ⁻⁴ МПа	W _m , 10 ⁻² , Н.м	W _o , 10 ⁻² , Н.м	W _i , 10 ⁻² , Н.м	W _l , 10 ⁻² , Н.м	G _b , Н/м	G _T , Н/м	J _b , Н/м	K _i , МН/ м ^{3/2}		
1.1.0	35,8	27,8	1,23	3,66	0,96	4,96	5,91	22,35	9,67	44,7	5,78	0,59	0,54	
5.2.0	52,4	44,7	1,26	3,642	5,14	6,20	11,34	32,40	17,72	60,3	12,0	0,80	0,59	
ВБ-1	67,5	39,5	2,88	3,94	3,84	5,81	9,65	50,14	16,15	93,24	11,29	0,80	0,62	0,444
ВБ-2	75,0	43,0	3,02	4,18	1,02	5,84	6,86	31,01	11,44	61,12	6,41	0,69	0,64	0,28

также выше аналогичного показателя обычного бетона (на 36%). Таким образом, для высокопрочного бетона характерно значительное увеличение (в 1,5...2 раза) способности сопротивляться образованию трещин.

Анализ сопротивляемости высокопрочного бетона развитию трещин (закритическая стадия деформирования - ниспадающая ветвь) выполнялся по параметрам W_1 , G_F . Энергозатраты на локальное статическое деформирование в зоне магистральной трещины W_1 высокопрочного бетона составили $50,14 \times 10^{-2}$ Нхм и возросли в 2,2 раза. Удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение высокопрочного бетона $G_F = 93,24$ Н/м, что выше аналогичного показателя обычного бетона (44,7 Н/м) в 2,1 раза. Таким образом установлено, сопротивляемость высокопрочного бетона развитию трещин (трещиностойкость) выше в 2 раза по сравнению с обычным бетоном. Следует только подчеркнуть, что это увеличение по сравнению с образцами серии 5.2.0 (бетон, модифицированный суперпластификатором С-3 с использованием его водо- редуцирующего действия) не столь значительно, а для серии ВБ-2 просто не существенно.

Хрупкость высокопрочного бетона оценивали по критерию хрупкости χ Черепанова-Райса. Хрупкость образцов бетона серии ВБ-1 выше по сравнению с образцами серий 1.1.0 и 5.2.0 соответственно в 2,4 и 3,1 раза.