

рокий спектр как свойств самого бетона так и влияющих факторов. Модель дает вполне приемлемые практические результаты и положена в основу вычислительного комплекса "Технолог".

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА СУХОГО ФОРМОВАНИЯ

Э.И.Батяновский

Факультет дорожного строительства, БГПА

Минск, Беларусь

Изложены результаты исследований эксплуатационных свойств цементного бетона сухого формования, показана связь долговечности с плотностью структуры материала, обоснована возможность обеспечения морозостойкости бетона на уровне "F1000".

Ключевые слова: Сухая бетонная смесь, бетон сухого формования, плотность, непроницаемость, долговечность.

Долговечность строительных изделий и конструкций из тяжелого цементного бетона обусловлена плотностью структуры цементного камня, ее непроницаемостью, которая зависит от размеров пор, их вида и количества (объема). Целенаправленное формирование структуры цементного камня, способной обеспечить повышенные эксплуатационные характеристики бетона, может быть реализовано при формировании вибрированием с пригрузом сухой бетонной смеси, ее влагонасыщении водой под давлением с повторным виброуплотнением после увлажнения [1].

В экспериментах, результаты которых представлены в таблицах 1,2 и 3, сравнивали два варианта формования образцов бетона, отличавшихся наличием или отсутствием повторного вибровоздействия в течение 60с на бетон после водонасыщения сухой смеси под давлением в 0,3 МПа. Бетон характеризовался составом: цемент ~ 360 кг (ПЦ М400-Д15; $R_{ц} \sim 36-38$ МПа; $K_{ш} = 0,27$; $\rho_{ц} \sim 3100$ кг/м³), щебень гранитный ~ 1250 кг (крупность 5-20мм; прочность по дробимости 80 МПа); песок природный крупнозернистый ~ 810 кг. Во всех случаях образцы бетона изготавливали при вибрировании со стандартными параметрами ($A \sim 0,5$ мм; $f \sim 50$ Гц) под пригрузом 0,025 МПа; условия твердения до начала испытаний - нормально-влажные.

Методики экспериментов по определению стандартизированных характеристик бетона приняты в соответствии с действующими ГОСТ. Защитная способность бетона по отношению к стальной арматуре и коэффициент диффузии хлорид-иона определены по методикам, на базе источника [2], а водо- и коррозионная стойкость в сульфатной среде по данным [3]. Отличие в последнем случае состояло в ужесточении условий эксперимента: температура сушки образцов бетона равнялась 80-85°C и их без охлаждения помещали в жидкость для насыщения ($t \sim 15-20^\circ\text{C}$), подвергая дополнительному деструктивному воздействию градиента температуры.

Таблица 1

Сравнительные характеристики

| N п/п | Характеристики бетона | Размер- ность | Способ уплотнения | |
|----------|---|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | разовое | повторное |
| 1. | Водопоглощение по массе: - ГОСТ - вакуум | % | 2,6 | 1,4 |
| | | % | 3,8 | 1,8 |
| 2. | Водопоглощение по объе- му -ГОСТ - вакуум | % | 6,4 | 3,5 |
| | | % | 9,8 | 4,4 |
| 3. | Водонепроницаемость | МПа | 0,4 | 2,0* |
| 4. | Коэффициент диффузии хлорид-иона | см ² /с | 2×10^{-8} | $1,1 \times 10^{-10}$ |
| 5. | Плотность тока (i) при $\varphi=300\text{мВ}$: - при разовом насыщении "KCL" - после 20 циклов "KCL" | мкА/см ² | 4,5 | 2,5 |
| | | мкА/см ² | коррозия арматуры | 7,5 |
| 6. | Скорость ультразвука | км/с | 4,6 | 5,0÷5,15 |
| 7. | Морозостойкость(1-ый ме- тод) | цикл | 400 | 1000 |

* Образцы пропитались на 30-35 мм.

Анализ результатов экспериментов однозначно свидетельствует о глубоких изменениях в структуре цементного камня повторно вибрированного бетона. Детализируя означенный эффект следует отметить, что внешние проявления его незначительны. Так, уменьшение объема бетона не превышает 1% и сопровождается отжатием (при температуре бетона ниже 25°C) 2-4% воды, что спо

способствует изменению (В/Ц) на $0,01 \pm 0,02$. Вместе с тем, повторное вибровоздействие, обеспечивая ликвидацию направленной пористости (как результата фильтрации жидкости под давлением), одновременно интенсифицирует формирование коагуляционной структуры в системе "цемент-вода", способствуя упорядочению и увеличению числа и энергии связи между сольватированными зернами (флокулами) вяжущего. Отражением этого процесса является рост прочности свежестекоформованного бетона с 0,4-0,6 МПа до 1,5-2,0 МПа после повторного виброуплотнения. При этом эффективность воздействия возрастает с увеличением продолжительности вибрирования (в эксперименте от 0 до 8 мин), обеспечивая рост прочности бетона через 24ч до 80-85%, а к 28 сут - на 25-55% и сохраняется во времени (в экспериментах не менее 3 лет). Последнее является следствием процесса активизации вяжущих свойств цемента на основе его дефлокуляции, что подтверждает контракция объема системы "цемент-вода", составляющая по расчету 4-6% в результате повторного вибровоздействия.

Таблица 2

Исследования морозостойкости

| Количество циклов замор. (-18°C) оттаив (вода) | Прочность бетона при сжатии, МПа: | | | | Изменение R_6 , %, относительно: | | | |
|--|-----------------------------------|-----------|-------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | основные образцы | | нормально-влажн. тверд. | | "R ₂₈ " | | эквивалентного возраста | |
| | разовое | повторное | разовое | повторное | разовое | повторное | разовое | повторное |
| 0 | 60,0 | 75,0 | 60,0 | 75,0 | - | - | - | - |
| 200 | 61,5 | - | 64,0 | - | +2,5 | - | -5,7 | - |
| 300 | 60,0 | 84,5 | 66,0 | 80,0 | 0 | +12,7 | -9,1 | +5,3 |
| 400 | 57,5 | 85,7 | 68,0 | 82,0 | -4,2 | +14,3 | -16,9 | +4,4 |
| 500 | - | 82,5 | - | 83,5 | - | +10,0 | - | -1,2 |
| 600 | - | 82,5 | - | 84,5 | - | +10,0 | - | -2,4 |
| 750 | - | 82,0 | - | 85,5 | - | +9,3 | - | -4,1 |
| 1000 | - | 79,5 | - | 87,0 | - | +6,4 | - | -8,6 |

Оценка количественных характеристик порового пространства цементного камня повторно вибрированного бетона позволяет сделать вывод, что объем его капиллярных пор к 28 сут твердения соответствует ~15-19%. Их точная качественная характеристика (диапазон условного радиуса сечения) является предме

Исследования коррозионной стойкости

| Испытательная среда | Количество циклов увлажнения -высушив. | Прочность бетона при сжатии, МПа, (скорость ультразвука, км/с) | | | |
|---|--|--|------------------------|----------------------------------|--|
| | | разовое вибрирование | повторное вибрирование | повторное и 1% CaCl ₂ | повторное и 1% Na ₂ SO ₄ |
| Вода | 0 | 61,5(4,5) | 73,6(4,9) | 77,8(4,99) | 75,4(4,94) |
| то же | 30 | 60,8 | 72,5 | 77,0 | 74,8 |
| "-" | 50 | 57,6 | 72,0 | 75,7 | 73,6 |
| "-" | 70 | 55,8 | 70,0 | 73,8 | 71,8 |
| "-" | 90 | 50,0 | 66,3 | 70,2 | 67,0 |
| Раствор Na ₂ SO ₄ | 30 | 51,7(4,45) | 69,8(4,89) | 75,0(4,99) | 72,6(4,93) |
| (C _p ≤ 15%) | 50 | 40,0(4,35) | 62,5(4,8) | 67,1(4,96) | 63,8(4,89) |
| то же | 70 | 27,6(4,06) | 52,8(4,66) | 56,4(4,88) | 54,7(4,77) |
| "-" | 90 | - | 39,5(4,43) | 45,8(4,74) | 40,2(4,6) |

том дальнейших научных исследований. На основании приведенных данных (например, по водонепроницаемости бетона (образцов) при выдержке 48ч под давлением 2,0 МПа) можно сделать вывод о перекрытии сечения капилляров адсорбционными слоями жидкости, обладающими способностью сопротивляться сдвиговым усилиям. В результате затрудняется диффузия вглубь бетона жидкости и агрессивных реагентов, повышается его долговечность, что подтверждают исследования морозо-, водо- и коррозионной стойкости бетона, защитной способности его по отношению к стальной арматуре. Данные табл. 2 об опережающем росте прочности основных образцов бетона до 400 циклов попеременного замораживания-оттаивания, в сравнении с твердевшими в нормально-влажностных условиях, являются отражением сложного сочетания двух взаимоисключающих процессов: деструкции и образования новых фаз, в результате специфично развивающейся гидратации цемента под влиянием знакопеременной температуры. Означенный эффект возможен при отсутствии в системе жидкой фазы со свойствами, присущими "свободной воде". Расчеты и приведенные экспериментальные данные свидетельствуют об аномальных свойствах жидкости в бетоне с повторным вибрированием, присущих как адсорбционным ее слоям, так и насыщенным растворам - квазиэлектролитам. В целом, представленная совокупность свойств бетона сухого формирования свидетельствует о достаточно высокой степени гарантии его эксплуатационной долговечности.

Литература

1. Ахвердов И.Н., Батыновский Э.И. А.с. 846271. Способ изготовления бетонных и железобетонных изделий. СССР.
2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Стройиздат.
3. Лещинский М.Ю. Испытание бетона. Стройиздат.

БЕТОНЫ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ УСАДКОЙ ДЛЯ ПОЛОВ ПРОМЗДАНИЙ

М.И. Бейлина, М.Ю. Титов

НИИЖБ

г. Москва, Россия

Приводятся характеристики бетонов с компенсированной усадкой, полученные с использованием напрягающего цемента или смеси портландцемента с расширяющей добавкой. Такие бетоны применяются для воздействия водонепроницаемых и трещиностойких покрытий полов промышленных зданий.

Ключевые слова: бетон с компенсированной усадкой, этtringит, водонепроницаемость, морозостойкость, гидроизоляция.

Получение бетона высокой плотности, прочности и долговечности одна из важнейших задач в современном строительстве. Это стало возможным благодаря разработке и промышленному освоению в нашей стране бетона с компенсированной усадкой.

Компенсация усадки в бетоне может обеспечиваться как применением напрягающего цемента заводского изготовления, так и при использовании портландцемента и расширяющих добавок прямо на строительной площадке.

Напрягающий цемент (НЦ) получается совместным помолом портландцементного клинкера, алюминатного компонента и гипсового камня. Имея в своей основе портландцемент, напрягающий цемент не только обладает всеми его положительными свойствами, но и имеет ряд отличительных особенностей - частичная компенсация усадочных явлений, повышенная прочность и предельная деформативность при растяжении, высокая, а для большинства сооружений на его основе практически полная водонепроницаемость и стойкость к различным видам воздействий.