

Механические свойства фибробетона, пропитанного суспензией

Альзурфи Мохаммед Кадхим Аллави, А.Н. Леонова, А.А. Хорошев

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Аннотация: Современный строительный материал – фибробетон, пропитанный суспензией (slurry infiltrated fibre concrete – SIFCON), обладает не только высокой прочностью на сжатие и растяжение, но и гибкостью и пластичностью. Эти свойства позволяют использовать его в узлах строительных конструкций, воспринимающих динамические, ударные, взрывные нагрузки, трение, а также в зоне продавливания железобетонных плит колоннами. В работе описаны экспериментальные исследования механических свойств образцов из обычного бетона и SIFCON. Сравнение результатов испытаний показало превосходство прочностных показателей SIFCON над обычным бетоном в 2-4 раза. Для широкого круга специалистов и учащихся в области строительного проектирования, производства строительных материалов.

Ключевые слова: фибробетон, пропитанный суспензией, стальные волокна, цементный раствор, гибкость, пластичность, энергопоглощение, водо-цементное отношение, суперпластификатор, прочность на сжатие, прочность на изгиб, прочность на раскалывание.

Развитие современного гражданского строительства вызывает настоятельную потребность в разработке более эффективных строительных материалов, обладающих высокой прочностью, вязкостью, энергопоглощением и долговечностью. Фибробетон, содержащий волокна в количестве 2–5 % (по объему), является одним из традиционных строительных материалов, используемых в различных конструкциях для повышения прочности и эксплуатационных характеристик конструкций при различных сочетаниях нагрузок.

Это также увеличивает скорость строительства и может даже устранить необходимость в обычном армировании. Бетон высокой или сверхвысокой прочности на сжатие остается в основном хрупким материалом. Наличие достаточного количества волокон повышает прочность на разрыв и обеспечивает пластичность [1-3].

SIFCON

В настоящее время **фибробетон, пропитанный суспензией** (slurry infiltrated fiber concrete – SIFCON) рассматривается как новая и особая категория бетона, созданная для повышения прочности уникального типа бетона, армированного волокнами [4, 5].

Уникальный строительный материал, содержащий волокна от 5 до 20 % по объему [6], обладает высокой прочностью и пластичностью.

Ввиду высокой стоимости и трудоемкости SIFCON, этот материал целесообразно применять в виде ограниченных по размерам пластин или слоев [6] в конструкциях различного назначения:

- узлы сейсмостойких зданий и сооружений, деформационные швы для повышения деформативности и потерь энергии колебаний;
- узлы сопряжения «колонна-плита» в зоне пирамиды продавливания, где необходимо увеличить прочность железобетона на растяжение и срез, а также его гибкость и пластичность [7, 8];
- конструкции, подверженные ударной и взрывной нагрузке [9];
- поверхности трения и др.

При возникновении случайных или аномальных нагрузок во время эксплуатации SIFCON также демонстрирует новое поведенческое явление – «фиксацию волокон», которое, как считается, отвечает за его выдающиеся свойства при напряжении и деформации.

В настоящей работе приведены методика и результаты экспериментальных исследований механических свойств материала SIFCON, проведенных автором в лаборатории университета г. Кербела (Ирак).

Структура

Структуру SIFCON рассматриваем как систему, состоящую из волокнистой сетки и затвердевшего цементно-песчаного раствора (матрицы). Матрица, в отличие обычного бетона, не содержит крупных заполнителей, но

обладает высоким содержанием цемента. Она может содержать мелкий и (или) крупнозернистый песок и такие добавки, как летучая зола, микрокремнезем (маршалит) и латексные эмульсии. Плотность матрицы должна быть рассчитана таким образом, чтобы она должным образом проникала в волокнистую сетку, помещенную в формы, поскольку в противном случае могут образоваться большие поры, что приведет к существенному ухудшению свойств. Для улучшения текучести SIFCON можно использовать контролируемое количество высококачественных водорастворимых добавок (суперпластификаторов) [10], например, лигносульфонат натрия, сульфированный нафталинформальдегид, поликарбоксилатный суперпластификатор. Можно использовать все типы стальных волокон, а именно прямые, крючковатые и гофрированные. При деформации материала под нагрузкой стальные волокна подвергаются трению и механическому сцеплению в дополнение к соединению с матрицей. Матрица передает усилия между волокнами при сдвиге, а также действует как опора, удерживающая волокна в сцеплении.

Состав цементного раствора для SIFCON

Пропорции цемента и песка, используемые для приготовления экспериментальных образцов SIFCON, составляют 1:1, 1:1,5 или 1:2. Цементно-песчаный раствор сам по себе имеет несколько назначений (восприятие сжимающих и перерезывающих усилий, адгезия к волокнам и включение их в работу). Как правило, в смеси используется зола-унос или кремнезем в количестве 10–15 % от массы цемента. Водоцементное соотношение составляет от 0,3 до 0,4. Процентное содержание суперпластификаторов варьируется от 2 до 5% от массы цемента [10]. Процентное содержание волокон по объему может составлять от 5 до 20%, хотя на практике оно находится в пределах от 5 до 12%.

Процесс изготовления SIFCON

SIFCON отличается высоким содержанием стальных волокон. В то время как в похожем материале – бетоне, армированном стальным волокном, стальные волокна тщательно перемешиваются с влажной или сухой бетонной смесью перед заливкой в формы, SIFCON изготавливается путем послойной пропитки цементным раствором низкой вязкости слоя стальных волокон, предварительно уложенных в формы.

В нашем эксперименте применена методика последовательной укладки в опалубку чередующихся слоев цементного раствора низкой вязкости и стальных волокон [11]. Образцы были извлечены из опалубки через 24 часа и выдержаны в стандартных условиях 28 дней.

Экспериментальная программа

В данном исследовании использовались два типа бетона: обычный бетон и SIFCON. Для SIFCON использовано стальное волокно в количестве 6 % от объема смеси. В ходе эксперимента для всех образцов использовался только один тип матрицы. В качестве вяжущего материала для обычного бетона и SIFCON использовался обычный портландцемент.

Мелкий заполнитель

Для получения смеси использовался обычный песок, а для получения смеси SIFCON – очень мелкий песок (молотый кварц). Содержание сульфатов SO_3 в песке составило 0,24 %. Обычный песок перед использованием в смеси был высушен от влаги.

Крупный заполнитель

В смесях NC использовался дробленый гравий, максимальный размер гранул составлял 12,5 мм. Измельченный гравий был промыт водой для удаления пыли и загрязнений, взвешенных на поверхности, после чего высушен на воздухе. В результате испытания было установлено, что содержание сульфатов SO_3 в гравии составляет 0,07 %.

Суперпластификатор

Суперпластификатор на основе поликарбоксилатных полимеров используется для улучшения обрабатываемости и эксплуатационных характеристик бетона.

Суперпластификатор, известный как Hyperplastic 180 GS, использовался в каждом из компонентов (нормальный бетон и SIFCON), расход составляет от 0,8 до 1,0 л на 100 кг цемента.

Состав испытанных материалов приведен в таблицах 1, 2.

Таблица 1.

Обычный бетон

Цемент, кг	Песок, кг	Гравий, кг	В/Ц
573	687	840	217

Таблица 2.

SIFCON

Цемент, кг	Песок, кг	В/Ц	SF, %	Подвижность (по методу Mini slump)
885	885	0.28	6	251

Процедура испытаний

Были изготовлены 18 образцов, из которых 9 – из обычного бетона и 9 – с содержанием волокон (6 % по объему от SIFCON), были протестированы на прочность при сжатии, изгибе и раскалывании (рис. 1-3).



Рисунок 1 – Испытание на сжатие



Рисунок 2. – Испытание на изгиб



Рисунок 3. – Испытание на раскалывание

Результаты всех проведенных испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты испытаний

	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на раскалывание, МПа	Прочность на изгиб, МПа
Обычный бетон (NC)	35.2	3.2	5.53
SIFCON	71.8	12.8	17.8

Выводы

По сравнению с обычным бетоном, фибробетон, пропитанный жидким раствором показал более высокие прочностные характеристики:

- прочность на сжатие выше в 2 раза;
- прочность на срез выше в 4 раза;
- прочность на изгиб выше в 3,2 раза.

Литература

1. Колодяжный Д.Н., Колпаков А.А., Куликов Н.С., Тхапсаев А.Е. Фибробетон // Интернаука. – 2019. – № 40-1(122). – С. 12-13.
2. Ивлев В.А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. – Уфа, 2009. – 167 с.
3. Писаревский Д.А. Фибробетон и его перспективы // Аллея науки. – 2017. – № 13, т. 3. – С. 485-489.
4. Lankard D.R. Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON): Properties and Applications // Materials Research Society Symposium – Proceedings. 1984. – pp. 277-286.
5. Esraa Kh. Abuzaida, Osman S.A., Azrul Bin Amutalib, Salah R. Al Zaidee. Slurry Infiltrated Fiber Concrete Properties: A Review // Jurnal Kejuruteraan. – 2024. – № 36(1). – pp. 155-167.

6. Rakesh Kumar Chaudhary, Patel R.D. Study of behavior of SIFCON Produced by Partial Replacement of Cement with Glass Powder and Low Tensile Strength Steel fibre // IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development. – 2015. – № 6, Vol. 3. – pp. 67-70.

7. Альзурфи М.К.А., Леонова А.Н., Хорошев А.А. Работа железобетонных плит при продавливании // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062.

8. Альзурфи М.К.А., Леонова А.Н., Хорошев А.А. Армирование композитными материалами для защиты от продавливания узла «железобетонная плита – колонна» // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9115.

9. Tauma W.K., Balázs G.L. Impact and Blast Resistance of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON): A Comprehensive Review // Concrete Structures. – 2023. – Vol. 24. – pp. 129-136.

10. Kuldeep Dagar Slurry infiltrated fibrous concrete (SIFCON) // International Journal of Applied Engineering and Technology. – 2012. – № Vol. 2 (2) April-June. – pp. 99-100.

11. Shashi Kant Sharma, Aniruddha D. Chopadekar, Samarth Y. Bhatia. Performance of SIFCON with Steel Slag // Kalpa Publications in Civil Engineering. – 2017. – Volume 1. – pp. 198-208.

References

1. Kolodyazhnyy D.N., Kolpakov A.A., Kulikov N.S., Tkhapsaev A.E. Internauka. 2019. № 40-1(122). pp. 12-13.

2. Ivlev V.A. Fibrobeton v tonkostennykh izdeliyakh kol'tsevoy konfiguratsii [Fiber-reinforced concrete in thin-walled products of ring configuration]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Ufa, 2009. 167 p.

3. Pisarevskiy D.A. Alleya nauki. 2017. № 13, Vol. 3. pp. 485-489.



4. Lankard D.R. Materials Research Society Symposium Proceedings. 1984. pp. 277-286.
5. Esraa Kh. Abuzaida, Osman S.A., Azrul Bin Amutalib, Salah R. Al Zaidee. Jurnal Kejuruteraan. 2024. № 36(1). pp. 155-167.
6. Rakesh Kumar Chaudhary, Patel R.D. IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development. 2015. № 6, Vol. 3. pp. 67-70.
7. Al'zurfi M.K.A., Leonova A.N., Khoroshev A.A. Inzhenernyy vestnik Dona. 2024. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9062.
8. Al'zurfi M.K.A., Leonova A.N., Khoroshev A.A. Inzhenernyy vestnik Dona. 2024. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9115.
9. Tauma W.K., Balázs G.L. Concrete Structures. 2023. Vol. 24. pp. 129-136.
10. Kuldeep Dagar. International Journal of Applied Engineering and Technology. 2012. № Vol. 2 (2) April-June. pp. 99-100.
11. Shashi Kant Sharma, Aniruddha D. Chopadekar, Samarth Y. Bhatia. Kalpa Publications in Civil Engineering. 2017. Volume 1. pp. 198-208.

Дата поступления: 5.12.2024

Дата публикации: 26.01.2025