

Thực nghiệm sức kháng và chạm của bê tông tính năng siêu cao cốt sợi thép micro theo phương pháp ACI 544.2R-89 điều chỉnh

Experience on impact resistance of ultra high performance steel fiber concrete base on modified ACI 544.2R-89

> THS NGUYỄN LONG¹, PGS. TS HOÀNG HÀ²

¹ Bộ môn Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải

² Bộ môn Công trình GTTP và CTT, Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một phương pháp điều chỉnh tiêu chuẩn ACI 544.2R-89 để thử nghiệm sức kháng và chạm của bê tông tính năng siêu cao cốt sợi (UHPRFC) và kết quả thử nghiệm sức kháng và chạm khi thí nghiệm với UHPRFC cường độ trung bình 120MPa và 130MPa chứa 2,0% và 2,5% cốt sợi thép micro sử dụng các vật liệu sẵn có tại Việt Nam.

Từ khoá: Bê tông tính năng siêu cao, bê tông tính năng siêu cao cốt sợi thép; UHPC; UHPRFC; sức kháng và chạm; ACI 544.2R-99.

ABSTRACT

The article presents a method to modify ACI 544.2R-89 for testing impact resistance of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPRFC). The article also shows the results of experiments on testing impact resistance of UHPRFC with mean compression strength of 120MPa and 130MPa using 2,0% and 2,5% micro steel fiber and available Vietnamese materials.

Keywords: Ultra High Performance Concrete; Ultra high performance steel fiber reinforcement concrete; UHPC; UHPRFC; impact resistance; ACI 544.2R-99.

1. MỞ ĐẦU

Bê tông tính năng siêu cao cốt sợi (Ultra high performance fiber reinforced concrete - UHPRFC) là một thể hệ bê tông mới với nhiều tính năng vượt trội so với bê tông truyền thống và bê tông cường độ cao do được lựa chọn tối ưu về thành phần hạt, có tỷ lệ N/CKD $\leq 0,25$, và có thành phần cốt sợi để đảm bảo ứng xử dẻo. Các tính chất nổi bật của UHPC như cường độ chịu nén ≥ 120 MPa, cường độ chịu kéo uốn ≥ 15 MPa, và khả năng hấp thụ năng lượng lớn.

Đến nay, đã có nhiều nghiên cứu và công bố về tính chất của UHPC dưới tác dụng của tải trọng tĩnh. Tuy nhiên các công bố về sức kháng và chạm của UHPC chưa có nhiều. Để đánh giá sức kháng và

chạm của bê tông có nhiều phương pháp khác nhau, trong đó đánh giá theo tiêu chuẩn ACI 544.2R-89 (tái phê duyệt 1999) [1] là được chỉ dẫn thống nhất, đầy đủ và chi tiết. Trong khi sử dụng phương pháp này đánh giá sức kháng và chạm của bê tông tính năng siêu cao đã gặp phải một số khó khăn. Do năng lượng và chạm của thử nghiệm này chỉ là 20J nên khi thử nghiệm trên vật liệu UHPC cần số lần thả quả nặng quá nhiều, lên đến hàng nghìn lần [2][3].

Xuất phát từ thực tế nghiên cứu sức kháng và chạm của các loại vật liệu bê tông xi măng theo Tiêu chuẩn ACI 544.2R-89, nhiều tác giả đã kiến nghị sửa đổi Tiêu chuẩn này theo các hướng như sau: (1) Giữ nguyên quy định về thông số thiết bị và phương pháp thử (quả nặng 4,54kg; chiều cao thả rơi 457mm) nhưng thay đổi quy trình chế tạo, hình dạng mẫu thử phù hợp [2] [4] [5]; (2) Thay đổi trọng lượng quả rơi, chiều cao rơi để giảm số lần và đập và thời gian thí nghiệm [6]; (3) Thay đổi cả trọng lượng quả rơi, chiều cao rơi và kích thước đường kính mẫu thí nghiệm để giảm số lần và đập và thời gian thí nghiệm [6]; (4) Sử dụng mẫu thí nghiệm tiêu chuẩn, sử dụng thiết bị thí nghiệm và chạm có thiết bị đo tự động (Instrumented impact test) với các loại chiều cao rơi và quả rơi có trọng lượng rất lớn thay đổi tùy thuộc và kích thước mẫu thử [7].

Trong nghiên cứu này tiến hành thử nghiệm sức kháng và chạm của UHPC theo chỉ dẫn của ACI 544.2R-89 và điều chỉnh theo hướng tăng khối lượng quả nặng từ 4,54 kg lên 10kg và tăng chiều cao rơi từ 457mm lên 1000mm, năng lượng và chạm 98,1 (J).

2. VẬT LIỆU VÀ MẪU THỬ

Thực nghiệm được thực hiện với UHPC có cường độ trung bình 120MPa và 130MPa chứa cốt sợi thép rất nhỏ (micro) hàm lượng 2,0 và 2,5% (theo thể tích), sử dụng các vật liệu sẵn có tại Việt Nam.

2.1. Xi măng

Chọn sử dụng xi măng mác PC50 Nghi Sơn, có các chỉ tiêu kỹ thuật thỏa mãn các yêu cầu theo TCVN 6282:2009 như trong bảng 1.

Bảng 1 - Các chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng

Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	TCVN 6282
Cường độ chịu nén 3 ngày	MPa	27	> 25
Cường độ chịu nén 28 ngày	MPa	54	> 50
Thời gian bắt đầu đông kết	phút	90	> 45

Thời gian kết thúc đông kết	phút	140	< 375
Lượng sót trên sàng 0,09mm	%	4,6	< 10
Diện tích bề mặt riêng	cm ² /g		> 2800
Độ ổn định thể tích	mm	1	< 10
SO ₃	%	2.23	< 3,5
MgO	%	1.08	< 5,0
Mất khi nung (MKN)	%	-	< 3,0
Cặn không tan	%	-	< 1,5
Kiểm quy đổi	%	-	< 0,6
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,1	-

2.2. Phụ gia khoáng hoạt tính

Phụ gia khoáng hoạt tính sử dụng muối si-líc loại Silica Fume SF-90, xuất xứ Trung Quốc, thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật theo ASTM C1240-05 và EN 13263-2009. Thành phần hoá học và các tính chất vật lý của muối si-líc trong bảng 2 và bảng 3.

Bảng 2 - Thành phần hóa học của muối si-líc SF-90

Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	ASTM C1240	EN 13263
SiO ₂	%	95,38	> 85	> 85
Fe ₂ O ₃	%	0,0063	-	-
Al ₂ O ₃	%	0,20	-	-
CaO	%	0,13	-	< 1,0
MgO	%	0,37	-	-
K ₂ O	%	0,68	-	-
Na ₂ O	%	0,28	-	-
C	%	0,007	-	-
SO ₃	%	0,003	-	< 2,0
Si tự do	%	0,006	-	< 0,4
Cl ⁻	%	0,001	-	< 0,3
Độ ẩm	%	1,86	< 3,0	-
MKN	%	0,99	< 6,0	< 4,0

Bảng 3 - Chỉ tiêu kỹ thuật của muối si-líc SF-90

Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	ASTM C1240
Lượng sót trên sàng 45 μm	%	6,12	< 10
Độ phân tán hạt quá cỡ tính từ giá trị trung bình	%	1,39	< 5
Diện tích bề mặt riêng	m ² /g	20,02	> 15
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,2	-
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	368	-
Chỉ số độ hoạt tính ở 7 ngày	%	118	> 105

2.3. Chất bột trơ

Chất bột trơ sử dụng trong thí nghiệm là bột đá thạch anh trắng thương hiệu Quartz 10 Microns nhập khẩu từ Ấn Độ, cỡ hạt chủ yếu

nhỏ hơn 10μm. Thành phần hóa học của bột Quartz 10 Microns như trong bảng 4.

Bảng 4 - Thành phần hóa học của bột Quartz

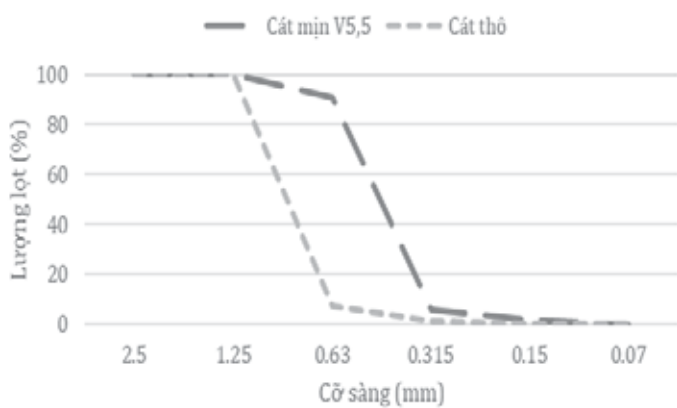
STT	Tên chỉ tiêu	Kết quả
1	Ô-xít Si-líc (SiO ₂)	> 99.30%
2	Ô-xít Nhôm (Al ₂ O ₃)	< 0.01%
3	Ô-xít Ka-li (K ₂ O)	< 0.01%
4	Ô xít Na-tri (Na ₂ O)	< 0.01%
5	Ô-xít Can-xi (CaO)	< 0.01%
6	Ô-xít Sắt (Fe ₂ O ₃)	< 0.03%
7	Ô-xít Ma giê (MgO)	>50PPM
8	Ô-xít Ti tan (TiO ₂)	< 0.01%
9	Mất khi nung (950°C)	< 0.10%

2.4. Cốt liệu

Cốt liệu cho UHPC sử dụng cát thạch anh phối hợp từ 2 loại: hạt mịn (V5,5) và hạt thô (0,7-0,9mm) có nguồn gốc từ mỏ cát trắng Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế. Cát có hàm lượng oxit silic (SiO₂) > 98% và thành phần hạt như hình 1.

2.5. Phụ gia siêu dẻo

Phụ gia siêu dẻo sử dụng Sika Viscocrete 3000 - 20M gốc polycarboxylat cải tiến của hãng Sika phù hợp với loại G theo tiêu chuẩn ASTM C494.



Hình 1. Cấp phối hạt của cát quartz

2.6. Cốt sợi thép

Cốt sợi thép sử dụng trong thí nghiệm loại sợi thép rất nhỏ (micro). Các chỉ tiêu kỹ thuật của cốt sợi thép được ghi trong bảng 5.

Bảng 5 - Chỉ tiêu kỹ thuật của cốt sợi thép micro

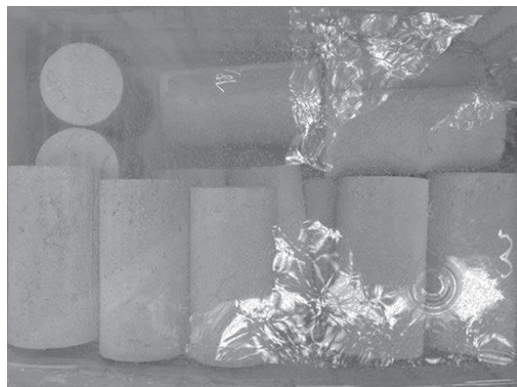
Chỉ tiêu kỹ thuật	Kết quả
Đường kính sợi d (mm)	0.2±0.008
Chiều dài sợi L (mm)	13±0.5
Tỷ số hình học (L/d)	65
Độ bền kéo (MPa)	> 1150
Tiêu chuẩn	ASTM A820

2.7. Thành phần vật liệu và chế tạo mẫu thử

Thành phần UHPC với hàm lượng cốt sợi thép khác nhau (2,0% và 2,5% theo thể tích) và được ký hiệu như trong bảng như trong bảng Bảng 6

Bảng 6 - Ký hiệu và thành phần vật liệu thí nghiệm

TT	Vật liệu	Ký hiệu mẫu			
		M120	M120	M130	M130
		S2,0	S2,5	S2,0	S2,5
1	Cát Quartz 0.7-0.9 (kg)	770.9	763.2	785.9	777.8
2	Cát Quartz 0.1-0.5 (kg)	107.5	106.4	109.6	108.5
3	XM PC50 Nghi Sơn (kg)	710.1	702.9	723.8	716.4
4	Bột Quartz 10 micron (kg)	198.8	196.8	202.7	200.6
5	Muội silic SF90 (kg)	241.4	239	246.1	243.6
6	Nước (kg)	196	194.0	180.4	178.6

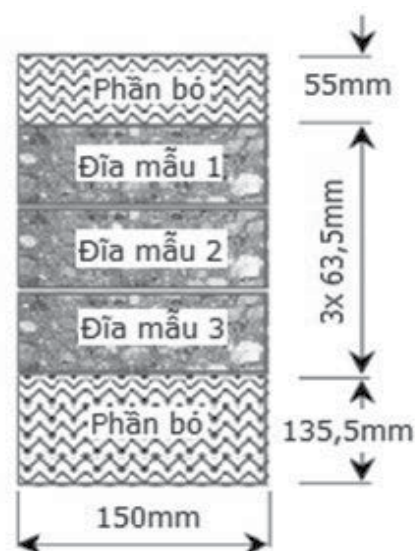


a. Mẫu trong thời gian bảo dưỡng

7	Siêu dẻo (kg)	19.03	18.84	19.4	19.2
8	Cốt sợi thép	318.5	394.1	324.7	401.7
	Tỷ lệ MS/X	0,30	0,30	0,30	0,30
	Tỷ lệ N/CKD	0.22	0.22	0.20	0.20

Mỗi mẻ trộn đổ 03 mẫu trụ kích thước D100xH200mm để xác định cường độ chịu nén và 01 mẫu trụ D150xH300mm để cắt lấy ra 03 mẫu dày 63,5mm cho thí nghiệm sức kháng va chạm. Các mẫu thử được tháo khuôn sau 24 giờ và bảo dưỡng bằng cách ngâm nước như trong hình 2.

Mẫu thử va chạm được bảo dưỡng đến 27 ngày tuổi thì lấy ra cắt thành các mẫu dạng đĩa dày 63,5mm theo sơ đồ như trong hình 2.



b. Sơ đồ cắt mẫu và va chạm

Hình 2. Mẫu thí nghiệm trước (a) trong thời gian bảo dưỡng và (b) sơ đồ cắt mẫu để thí nghiệm va chạm (c)

3. THỬ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

Sức kháng va chạm được thí nghiệm theo phương pháp tải trọng rơi lặp lại nhiều lần với quả nặng có khối lượng $m = 10$ kg, độ cao rơi $H = 1000$ mm, đập xuống viên bi thép có đường kính $D = 63.5$ mm đặt chính giữa mẫu như trong hình 3. Đếm và ghi nhận số lần tải trọng va chạm thả rơi tác dụng lên mẫu thử, quan sát 2 mốc quan trọng: i) số lần thả rơi đến khi mẫu thử xuất hiện vết nứt đầu tiên; ii) số lần thả rơi đến khi mẫu bị phá hủy (biến dạng và va chạm vào vật chắn cách mép mẫu thử 5mm).

Năng lượng va chạm gây vết nứt đầu tiên (E1) và gây phá hủy mẫu (E2) được tính theo công thức (1) và (2).

$$E1 = N1 \cdot \frac{1}{2} m \cdot v^2 = N1 \cdot m \cdot g \cdot H \quad (1)$$

$$E2 = N2 \cdot \frac{1}{2} m \cdot v^2 = N2 \cdot m \cdot g \cdot H \quad (2)$$

Trong đó:

N1 - Số lần thả quả nặng gây vết nứt đầu tiên;

N2 - Số lần thả quả nặng gây phá hủy mẫu;

m - khối lượng quả nặng (kg), $m = 10$ (kg);

v - vận tốc quả nặng khi va chạm (m/s);

g - gia tốc trọng trường (m/s²), $g = 9.81$ (m/s²);

H - chiều cao thả quả nặng (m), $H = 1,00$ (m).

Độ chịu va chạm khi xuất hiện vết nứt (a1) và khi mẫu phá hủy (a2) tính theo công thức (3).

$$a_k = \frac{Ek}{V} \quad (J/cm^3) \quad (3)$$

Trong đó: V - thể tích mẫu thử (cm³)

Kết quả xác định kích thước mẫu thử và đếm số lần va chạm gây vết nứt đầu tiên và gây phá hủy mẫu như trong bảng 7.



Hình 3. Thí nghiệm va chạm tải trọng rơi và mẫu thử trước, sau khi thí nghiệm

Bảng 7 - Kết quả xác định kích thước mẫu và số lần thả quả nặng N1 và N2

Ký hiệu	Mẫu số	Đường kính T.B (mm)	Chiều cao T.B (mm)	Thể tích (cm³)	N1		N2	
					Mẫu	TB	Mẫu	TB
1M120S2,0	1.1	151,3	63,2	1.136,38	26	28,33	45	67,00
	1.2	151,1	63,3	1.136,17	20		52	
	1.3	151,7	63,8	1.152,03	39		104	
2M120S2,0	2.1	151,3	63,2	1.136,38	21	26,67	90	129,00
	2.2	151,3	63,5	1.142,18	27		137	
	2.3	151,6	63,5	1.147,31	32		160	
1M130S2,0	1.1	151,1	63,0	1.128,59	34	41,67	65	88,00
	1.2	150,9	63,3	1.131,97	36		72	
	1.3	151,1	63,4	1.136,36	55		127	
2M130S2,0	2.1	151,5	62,7	1.130,27	45	59,67	135	160,67
	2.2	151,8	62,5	1.130,64	54		147	
	2.3	151,5	62,2	1.121,86	80		200	
1M120S2,5	1.1	149,9	62,5	1.102,68	28	35,67	72	94,33
	1.2	149,6	62,6	1.099,27	32		79	
	1.3	149,9	62,5	1.102,90	47		132	
2M120S2,5	2.1	151,6	62,3	1.125,15	35	44,67	75	126,00
	2.2	151,4	62,3	1.122,07	47		123	
	2.3	151,7	62,4	1.127,23	52		180	
1M130S2,5	1.1	150,5	62,6	1.113,52	35	55,67	81	108,67
	1.2	150,6	62,6	1.115,00	49		94	
	1.3	150,5	63,1	1.121,43	83		151	
2M130S2,5	2.1	151,4	62,3	1.122,07	60	77,00	90	200,67
	2.2	150,8	61,1	1.090,38	81		242	
	2.3	150,9	61,7	1.104,05	90		270	

Bảng 8 - Kết quả tính năng lượng và chạm gây nứt (E1) và năng lượng phá hủy (E2)

Ký hiệu	Năng lượng gây nứt E1 (J)		Năng lượng phá hủy E2 (J)		Cường độ nén (MPa)
	TB 1 mẫu	TB	TB 1 mẫu	TB	
1M120S2,0	1.946	1.888	4.601	6.730	121,42
2M120S2,0	1.831		8.858		
1M120S2,5	2.449	2.758	6.478	7.565	121,32
2M120S2,5	3.067		8.652		
1M130S2,0	2.861	3.479	6.043	8.538	134,72
2M130S2,0	4.097		11.033		
1M130S2,5	3.823	4.555	7.462	10.621	140,25
2M130S2,5	5.288		13.780		

Bảng 9 - Kết quả tính độ chiu va chạm khi nứt (a1) và khi phá hủy (a2)

Ký hiệu	Độ chịu va chạm khi nứt a_1 (J/cm ³)		Độ chịu va chạm khi phá hủy a_2 (J/cm ³)		Cường độ nén (MPa)
	TB 1 mẫu	TB	TB 1 mẫu	TB	
M120S2,0	1,70	1,65	4,02	5,89	121,42
	1,60		7,75		
M120S2,5	2,22	2,47	5,88	6,78	121,32
	2,73		7,69		
M130S2,0	2,53	3,08	5,33	7,56	134,72
	3,64		9,79		
M130S2,5	3,42	4,10	6,68	9,60	140,25
	4,79		12,51		

Kết quả thử nghiệm cho thấy khi điều chỉnh năng lượng và chạm lên xấp xỉ 5 lần so với chỉ dẫn của ACI 544.2R-89 thì các mẫu thử đều xuất hiện vết nứt với số lần không quá nhỏ (đều trên 20 lần) và không quá lớn (đều dưới 270 lần), phù hợp với các nghiên cứu của tác giả nước ngoài và có thể sử dụng để thử nghiệm sức kháng và chạm của UHPC. Tuy nhiên mức độ phân tán của kết quả trong thí nghiệm còn lớn, chênh lệch số lần thả quả nặng đến khi xuất hiện vết nứt đầu tiên và đến khi phá hủy giữa các mẫu dẹt cắt ra từ cùng mẫu trụ D150xH300mm còn lớn, có thể chênh lệch đến hơn 2 lần.

Thử nghiệm cũng cho thấy UHPC có cường độ và hàm lượng cốt sợi càng cao thì có độ chịu va chạm cao hơn cả khi xuất hiện vết nứt đầu tiên và khi phá hủy. Với mẫu UHPC hàm lượng cốt sợi thép 2,0% và 2,5%, khi cường độ UHPC tăng từ 120 MPa lên 130 MPa thì độ chịu va chạm tăng lên khoảng 1,65 đến 1,86 lần với vết nứt đầu tiên và 1,28 đến 1,41 lần với trạng thái phá hủy. Với mẫu UHPC có cường độ trung bình 120 MPa và 130 MPa, khi hàm lượng cốt sợi thép tăng từ 2,0% lên 2,5% thì độ chịu va chạm tăng 1,33 đến 1,49 lần với vết nứt đầu tiên, và tăng từ 1,15 đến 1,26 lần với trạng thái phá hủy.

4. KẾT LUẬN

Khi sử dụng tiêu chuẩn ACI 544.2R-89 để xác định sức kháng và chạm UHPFRC có thể điều chỉnh tăng năng lượng và chạm lên khoảng 5 lần. Tuy nhiên kết quả còn có độ phân tán lớn.

Với UHPC có cường độ trung bình 120 và 130MPa chứa cốt sợi thép rất nhỏ (micro) 2,0% - 2,5% (theo thể tích), sức kháng va chạm tăng khi cường độ và hàm lượng cốt sợi thép tăng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ACI 544.2R-89 (Reapproval 1999), "Measurement Properties of Fiber Reinforced Concrete," American Concrete Institute, USA, 1999.
- [2] Nandhu Prasad, Gunasekaran Murali, Nikolai Vatin, "Modified Falling Mass Impact Test Performance on Functionally Graded Two Stage Aggregate Fibrous Concrete," *Materials*, vol. 14, no. 19, 2021.
- [3] Sajjad H. Ali, Salla R. Abid, Karrar Al-Lami, Angelo Savio Calabrese, Ahmed M. Osri, Thaar S. Al Gahsham, "Experimental and Statistical Analysis of Repeated Impact Records of Hybrid Fiber-Reinforced High-Performance Concrete," *Building*, vol. 13, no. 3, 2023.
- [4] Matthew Tinsley, John Joseph Myers, "Investigation of a high volume fly ash wood fiber material subject to low velocity impact and blast loads," University of Missouri - Rolla. Rolla. USA. 2007.

- [5] Ali Al-shawafi, Han Zhu, S.I. Haruna, Zhao Bo, Saleh Ahmed Laqsum, Said Mirgan, "Experimental study and machine learning algorithms for evaluating the performance of U-shaped ultra-high performance reinforced fiber concrete under static and impact loads," *Journal of Building Engineering*, vol. 70, no. 1, 2023.
- [6] Hussain A. Jabir, Sallal R. Abid, Gunasekaran Murali, Sajjad H. Ali, Sergey Klyuev, Roman Fediuk, Nikolai Vatin, Vladimir Promakhov, Yuriy Vasilev, "Experimental Tests and Reliability Analysis of the Cracking Impact Resistance of UHPFRC," *Fibers*, vol. 8, no. 12, 2020.
- [7] M. Stone, "Investigation of Normal Strength and Ultra-High Performance Concrete Cylinder Failure Behavior under Impact," University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 2017.
- [8] S. Micheal, UHPC: research, application in Europe, Kassel: Kassel , 2004.
- [9] Sajjad H. Ali, Salla R. Abid, Karrar Al-Lami, Angelo Savio Calabrese, Ahmed M. Osri, Thaar S. Al Gahsham, "Experimental and Statistical Analysis of Repeated Impact Records of Hybrid Fiber-Reinforced High-Performance Concrete," *Building*, vol. 13, no. 3, 2023.