

Nghiên cứu thực nghiệm khả năng chịu tải trọng xuyên của bê tông tính năng siêu cao

Phạm Mạnh Hào¹, Nguyễn Văn Tuấn^{2*}, Nguyễn Văn Thao¹, Thân Quang Vũ³, Nguyễn Công Thắng², Lương Như Hải¹, Nguyễn Hùng Phong², Ngô Ngọc Thủy⁴

¹ Trung tâm Phát triển công nghệ cao, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Số 18 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Cầu Giấy, Hà Nội

² Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Số 55 Đường Giải Phóng, Hai Bà Trưng, Hà Nội

³ Học Viện Hậu Cần, 3V8G + 78C, Ngọc Thụy, Long Biên, Hà Nội

⁴ Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Số 236 Hoàng Quốc Việt, Cổ Nhuế, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

TỪ KHOÁ

Bê tông tính năng siêu cao
Tải trọng xuyên
Chiều sâu xuyên
Vùng phá hủy
Vùng chấn sục
Ứng xử cơ học

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này sẽ trình bày kết quả thực nghiệm khả năng chịu tải trọng xuyên, phá của đạn 12,7 mm lên các mẫu bê tông tính năng siêu cao (UHPC) và các mẫu bê tông thường M30. Quá trình bắn thử nghiệm nhằm đánh giá mức độ xuyên và phá trên các tấm mẫu thử bằng bê tông tính năng siêu cao và bê tông thường có kích thước chiều rộng 500 mm, chiều dài 500 mm với chiều dày là 100 mm và 200 mm. Kết quả thực nghiệm đã xác định được các thông số về chiều sâu xuyên của đạn, kích thước vùng phá hủy, vùng chấn sục của các tấm mẫu thử nghiệm, cũng như ứng xử cơ học của chúng dưới tác dụng của tải trọng xuyên của đạn và so sánh giữa bê tông tính năng siêu cao và bê tông thường.

KEYWORDS

Ultra-high performance concrete
Penetration pressure
Penetration depth
Destruction area
Collapsed area
Mechanical behavior

ABSTRACT

This paper presents the experimental results of the possibility to resist the penetration and breaking loads of 12.7 mm projectiles on ultra-high performance concrete (UHPC) compared with conventional concrete. The testing process was conducted to evaluate the penetration and breaking levels on test plates made of UHPC and conventional concrete with dimensions of 500 mm in width, 500 mm in length, and 100 mm and 200 mm in thickness through parameters such as the bullet penetration depth, the size of the destruction area, the collapsed area of the test samples, and their mechanical behavior under the effect of the penetrating projectiles on the test samples made of UHPC in comparison with those of conventional concrete.

1. Giới thiệu

Hiện nay trên thế giới, các công trình xây dựng bằng bê tông cốt thép đóng vai trò vô cùng quan trọng trong sự phát triển của ngành xây dựng. Ngoài các ứng dụng phổ biến của bê tông cốt thép trong các công trình dân sự như công trình nhà cao tầng, công trình cầu đường, hầm, thủy điện, phải kể đến các công trình thuộc lĩnh vực an ninh, quốc phòng... Trong đó, công sự là dạng công trình rất quan trọng và phổ biến trong Quốc phòng. Yêu cầu của các công trình quốc phòng, đặc biệt là các loại công sự phải chịu được tác động rất mạnh của tải trọng nổ và tải trọng xuyên do bom đạn, thuốc nổ, gây ra. Đặc điểm tác động do tải trọng nổ và tải trọng xuyên gây ra có sự khác biệt rất lớn so với tải trọng nén, uốn và mô men thường của các loại công trình dân sự. Với kết cấu khi chịu tác dụng tải trọng xuyên của viên đạn sẽ xảy ra các tác dụng như sau: tác dụng va chạm, tác dụng xuyên, tác dụng của sóng xung kích. Tác dụng va chạm của bom đạn được tính kể từ khi bom đạn bắt đầu gặp chướng ngại vật đến khi nổ. Khi nghiên cứu hiện tượng này chúng ta có thể đánh giá được tác dụng phá hoại của bom đạn khi chúng va đập vào

công sự và xuyên trong môi trường đó. Quá trình tác động xuyên được chia làm 3 giai đoạn: giai đoạn va chạm vào mặt công sự, giai đoạn bắt đầu xuyên trong vật liệu công sự và giai đoạn cuối là chuyển động trong vật liệu công sự [1]. Trong mỗi giai đoạn, phản ứng của công sự với bom đạn có sự khác nhau tùy theo vật liệu làm công sự.

Bê tông tính năng siêu cao (Ultra-high performance concrete - UHPC) là một thể hệ bê tông xi măng mới với các tính chất vượt trội về cường độ và độ bền lâu. Theo ASTM C1856 [2], UHPC có cường độ nén đặc trưng trên 120 MPa, với các yêu cầu về độ bền, độ dẻo dai được xác định. UHPC là một loại vật liệu công nghệ cao với các đặc điểm công nghệ mới liên quan đến thành phần của nó. Các ứng xử cơ học, các công thức về tính toán cũng như các hướng dẫn thiết kế và kỹ thuật xây dựng đã được công bố ở một số nước trên thế giới như Pháp, Mỹ và Đức [3-5]. Các ứng dụng về bê tông này đã chứng minh những lợi ích tổng thể của loại vật liệu mới này về chi phí, tính bền vững và nhiều tính năng ưu việt khác. Xét về thành phần cấp phối, UHPC được chế tạo bao gồm: cát thạch anh với kích thước hạt thường nhỏ hơn 1 mm; xi măng, silica fume hoặc các phụ gia khoáng hoạt tính mịn khác,

*Liên hệ tác giả: tuannv@nuce.edu.vn

Nhận ngày 23/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/01/2022

<https://doi.org/10.54772/jomc.01.2022.258>

hỗn hợp thường sử dụng cốt sợi thép (có đường kính khoảng 0,2 mm, chiều dài khoảng 13 mm) với hàm lượng khoảng 2 % theo thể tích của bê tông [5-7]. Trong UHPC lượng chất kết dính (CKD) được sử dụng rất cao, thường khoảng 800-1000 kg/m³, với tỷ lệ N/CKD thấp (thường nhỏ hơn 0,25), điều này giúp nâng cao cường độ và độ bền cho bê tông. Việc sử dụng cốt sợi phân tán đã làm tăng đáng kể khả năng chịu kéo, chịu uốn, chịu cắt, khả năng chịu tác động va chạm, chịu tải trọng lặp và đặc biệt là độ bền và tính ổn định lâu dài [4, 8, 9].

Đối với tác động xuyên của bom đạn, khi bom đạn xuyên vào vật liệu UHPC có chứa sợi thép, ứng suất tập trung tại vị trí va chạm sẽ được cốt sợi truyền tải sang một vùng thể tích lớn hơn nên khả năng phá hủy xảy ra tại vị trí va chạm sẽ giảm đi [10-12]. Mặc dù có những tính năng ưu việt như vậy, nhưng hiện nay việc ứng dụng loại vật liệu vào các công trình quân sự vẫn còn rất hạn chế, lý do là các nghiên cứu trên thế giới về UHPC ứng dụng cho quân sự vẫn còn đang trong giai đoạn thử nghiệm và các hướng dẫn khuyến cáo cho từng khu vực, cho từng vùng, từng điều kiện vật liệu và các phương pháp chế tạo vật liệu cũng như phương pháp thí nghiệm cụ thể vẫn đang tiếp tục được triển khai, hoàn thiện. Nhiều vấn đề lớn cần được nghiên cứu sâu như ảnh hưởng của độ co ngót, từ biến, độ bền lâu... vẫn đang được các nước trên thế giới nghiên cứu.

Như vậy, có thể thấy rằng việc nghiên cứu về tính năng, phạm vi ứng dụng của UHPC vẫn cần được triển khai sâu hơn và phạm vi ứng dụng cũng cần được mở rộng hơn, đặc biệt là ứng dụng trong An ninh-Quốc phòng. Trong bài báo này sẽ trình bày kết quả thực nghiệm về khả năng chịu tải trọng xuyên của mẫu bê tông bê tông tính năng siêu cao và so sánh đối chứng với kết quả của mẫu bê tông thường M30.

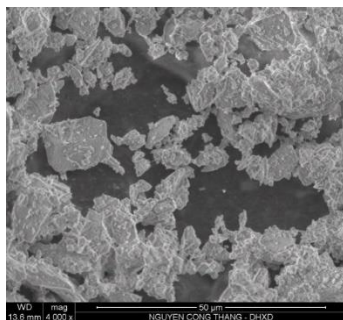
Trên cơ sở kết quả thực nghiệm sẽ xác định một thông số rất quan trọng, liên quan đến thiết kế, chế tạo các công trình quân sự, phục vụ an ninh quốc phòng, đó là hệ số xuyên (còn gọi là hệ số kháng xuyên, hay hệ số bị xuyên) K_x . Kết quả thực nghiệm cũng cho phép đánh giá khả năng chịu tải trọng xuyên của UHPC so với bê tông thường thông qua các số liệu đo được về vùng phá hủy, vùng chấn sục của các mẫu thử nghiệm.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

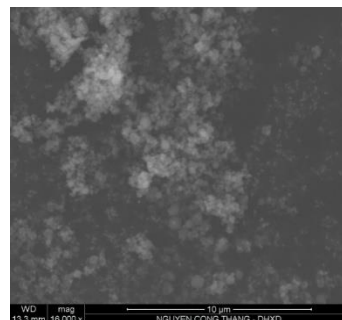
2.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Vật liệu được sử dụng để chế tạo UHPC gồm có: Cát thạch anh có kích thước hạt từ 100 đến 300 μm , khối lượng thể tích xấp xỉ là 1460 kg/m³, độ ẩm bão hòa bề mặt khô là 1,1 %; xi măng (XM) sử dụng trong nghiên cứu là xi măng Pooc lăng PC40 với cường độ nén trung bình ở tuổi 28 ngày đạt 40 MPa; Silica fume (SF) sử dụng trong nghiên cứu là của hãng Elkem có hàm lượng SiO₂ đạt trên 92 %, kích thước hạt trung bình là 0,15 μm ; Tro bay (FA) sử dụng của nhà máy nhiệt điện Phả Lại, có chỉ số hoạt tính cường độ với xi măng đạt 93,4 %; Phụ gia siêu dẻo (PGSD) sử dụng trong nghiên cứu có gốc polycarboxylate với hàm lượng chất khô là 30 %. Hình ảnh SEM của xi măng và SF được thể hiện ở Hình 1.

Sợi thép sử dụng trong nghiên cứu là sợi Dramix OL 13/0,2 dạng sợi thẳng với đường kính 0,2 mm, chiều dài sợi 13 mm, cường độ kéo đứt 2.750 MPa. Hình ảnh sợi thép sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện ở Hình 2.



(a)



(b)

Hình 1. Ảnh SEM của (a) xi măng và (b) SF.



Hình 2. Sợi thép sử dụng trong nghiên cứu.

2.2. Thành phần cấp phối bê tông

Trong nghiên cứu sử dụng hai loại bê tông là bê tông thường mác M30 và bê tông tính năng siêu cao (UHPC) với cường độ nén 140 MPa. Thành phần cấp phối của bê tông sử dụng được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu.

Kí hiệu	Cát kg	Đá kg	XM kg	FA kg	SF kg	PGSD kg	Nước kg	Sợi thép kg
M30	780	1060	360				175	
UHPC	1100		770	220	110	11	189	157

2.3. Công tác chế tạo mẫu

Các mẫu thử nghiệm được chế tạo dưới dạng tấm, gồm hai loại vật liệu là bê tông M30 và UHPC. Kích thước tấm bê tông cụ thể như sau:

500×500×100 mm (03 mẫu UHPC, 03 mẫu bê tông thường M30)

500×500×200 mm (03 mẫu UHPC, 03 mẫu bê tông thường M30)

Hình ảnh máy trộn bê tông, khuôn đúc mẫu và mẫu được đúc vào khuôn, mẫu sau khi chế tạo và tháo ra khỏi khuôn được thể hiện ở Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. (a) máy trộn bê tông; (b) khuôn đúc mẫu và thùng bảo dưỡng bê tông.



Hình 4. (a) mẫu bê tông được đổ vào khuôn; (b) tấm bê tông sau khi được chế tạo.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Cường độ chịu nén của bê tông M30 được xác định theo TCVN 3118-1993 trên các mẫu có kích thước 150×150×150 mm [13].

Cường độ chịu nén của bê tông UHPC được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C39M trên các mẫu trụ có kích thước 100×200 mm [14].

Cường độ uốn của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1609M [15], trong đó, bê tông M30 xác định trên các mẫu lăng trụ có kích thước 150×150×600 mm. Với mẫu bê tông UHPC xác định trên các mẫu lăng trụ có kích thước 100×100×400 mm.

Mô đun đàn hồi của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C469M [16], trong đó với bê tông M30 xác định trên các mẫu trụ có đường kính 150 mm, cao 300 mm, với mẫu bê tông UHPC xác định trên

các mẫu trụ có đường kính 100 mm, cao 200 mm.

Tính chất cơ lý của bê tông sử dụng trong nghiên cứu thu được sau quá trình thí nghiệm được ở tuổi 28 ngày thể hiện trong Bảng 2.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Công tác thử nghiệm xuyên

Công tác thử nghiệm xuyên tấm bê tông được thực hiện theo các bước sau:

- Lắp đặt giá đỡ mẫu, tấm mẫu thử nghiệm được đặt vào giá đỡ và cố định lại;
- Lắp đặt hệ thống thử bắn xuyên: trong thí nghiệm, vũ khí sử dụng với đạn 12,7 mm, bắn bằng súng tự động với sơ tốc đầu đạn

khoảng 830 m/s;

- Xác định và điều chỉnh khoảng cách bắn thử nghiệm: khoảng cách bắn là 25 m tính từ mặt mẫu tấm bê tông đến vị trí đặt súng;
- Lắp đặt thiết bị đo sơ tốc, camera tốc độ cao để chụp ảnh đầu đạn trong quá trình di chuyển.
- Lắp đặt các thiết bị đảm bảo công tác an toàn cho người và thiết bị thử nghiệm
- Bắn thử nghiệm và xác định các thông số như chiều sâu xuyên, kích thước vùng phá hủy, vùng chấn sập.

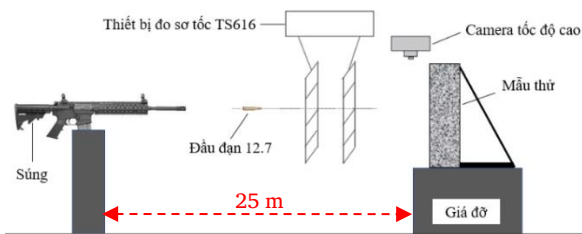
Sơ đồ thử nghiệm xuyên của các tấm mẫu được thể hiện trên Hình 5. Quá trình thử nghiệm xuyên được thực hiện trên 06 tấm mẫu UHPC và 06 tấm mẫu bê tông thường. Chi tiết về các tấm mẫu thử nghiệm xuyên được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 2. Tính chất cơ lý của bê tông sử dụng trong nghiên cứu ở tuổi 28 ngày.

Kí hiệu	Cường độ chịu nén	Cường độ chịu uốn	Mô đun đàn hồi
	MPa	MPa	GPa
M30	30	3	30
UHPC	140	15	50

Bảng 3. Thông tin chi tiết về kí hiệu và số lượng mẫu bê tông thử nghiệm xuyên.

TT	Loại bê tông	Kí hiệu	Kích thước, mm	Số lượng mẫu
1	Bê tông M30	MX10-Đ	500 × 500 × 100	03
2	Bê tông M30	MX20-Đ	500 × 500 × 200	03
3	UHPC	MX10-U	500 × 500 × 100	03
4	UHPC	MX20-U	500 × 500 × 200	03



Hình 5. Sơ đồ thử nghiệm xuyên,

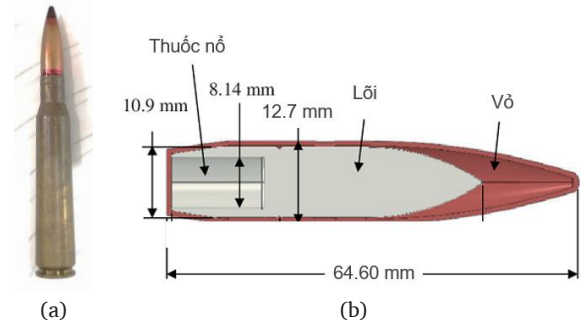
3.2. Kiểm tra sơ tốc và xuyên vào tấm bê tông

Trước khi tiến hành bắn thử nghiệm xuyên của đạn vào tấm bê tông thí nghiệm, cần đo sơ tốc đầu đạn trước và chạm vào mục tiêu, đo vị trí của đầu đạn sau khi xuyên vào lớp bê tông ở cự ly 25 m, số lượng lần thử là 05 lần bắn. Vận tốc của viên đạn đo được thông qua thiết bị Camera thuật phóng SA1.1, thiết bị đo sơ tốc TS616, Rada Doppler và các trang thiết bị kèm theo.

Thông số của đạn được thể hiện ở Bảng 4, hình ảnh và cấu tạo của đầu đạn 12,7 được thể hiện ở Hình 6.

Bảng 4. Thông số của đạn sử dụng trong nghiên cứu.

TT	Đường kính đầu đạn, mm	Chiều dài phần thon đầu đạn, L_v , mm	Góc bắn, độ	Khối lượng đầu đạn P, kg
1	12,7	33,43	Bắn thẳng $\alpha = 0^\circ$	0,049

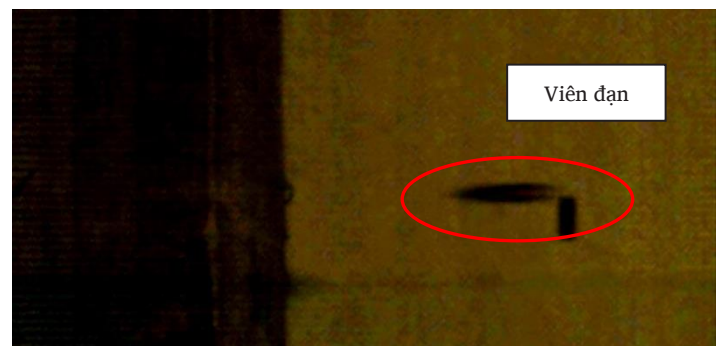


Hình 6. Đạn 12.7 (a) hình ảnh viên đạn được sử dụng trong quá trình thử nghiệm; (b) mặt cắt của vỏ đạn và lõi.

Kết quả thí nghiệm kiểm tra sơ tốc và xuyên cho thấy vận tốc trung bình của viên đạn trước khi va chạm vào mẫu thử là 827,5 m/s. Kết quả được thể hiện ở Bảng 5. Hình ảnh thí nghiệm kiểm tra và xuyên được thể hiện ở Hình 7.

Bảng 5. Bắn kiểm tra sơ tốc lô đạn thử nghiệm ở cự ly 25 m.

TT	Loại bắn	Phát bắn	Sơ tốc và xuyên vào tấm bê tông (m/s)
01	Loại bắn 1 (Bắn kiểm tra sơ tốc đạn ở cự ly 25m)	1	827,3
		2	825,6
		3	827,8
		4	829,1
		5	827,8
Trung bình			827,52



Hình 7. Quá trình thử nghiệm xác định sơ tốc của viên đạn.

3.3. Kết quả thực nghiệm bắn xuyên mẫu thử nghiệm

Kết quả thử nghiệm xuyên của 6 tấm UHPC (3 tấm kí hiệu MX10-U dày 100 mm và 3 tấm kí hiệu MX20-U dày 200 mm) và 6 tấm bê tông thường (3 tấm kí hiệu MX10-Đ dày 100 mm và 3 tấm kí hiệu MX20-Đ dày 200 mm) được thể hiện trong Bảng 6.

Đối với tấm bê tông MX10-Đ (bê tông thường dày 100 mm), cả 3 tấm mẫu bê tông bị phá vỡ hoàn toàn thành các mảnh vụn, không xác định được vùng phá hủy, vùng chấn sập (phá hủy hoàn toàn) như được thể hiện trên Hình 8.

Với tấm bê tông tính năng siêu cao (MX10-U) cùng chiều dày 100 mm, cả 03 mẫu bê tông đều bị xuyên thủng (Hình 9). Tuy nhiên, viên đạn không gây phá hủy đáng kể đối với các tấm mẫu, chỉ để lại một vùng phá hủy nhỏ ở mặt trước với kích thước trung bình của cả 3 mẫu là 106 × 117 mm (đường kính chỗ nhỏ nhất × đường kính chỗ lớn nhất), và một vùng chấn sập ở mặt sau với kích thước trung bình là 124 × 143 mm.

Với mẫu bê tông thường MX20-Đ, cả 03 mẫu bê tông đều bị đạn xuyên qua và phá vỡ, tuy nhiên các mảnh vỡ lớn có thể ghép vào để xác định vùng phá hủy và vùng chấn sập. Vùng phá hủy của các tấm mẫu này có kích thước trung bình 265 × 272 mm, còn vùng chấn sập có kích thước trung bình 101 × 160 mm. Hình ảnh tấm mẫu MX20-Đ trước và sau thử nghiệm xuyên được thể hiện trên Hình 10.

Với các tấm mẫu bê tông tính năng siêu cao MX20-U, cả 3 mẫu đều không bị đạn xuyên qua mà đầu đạn chỉ xuyên vào đến độ sâu nhất định và bị giữ lại trong tấm mẫu. Chiều sâu xuyên trung bình của 3 tấm là 154,7 mm. Vùng phá hủy ở mặt trước của mẫu bê tông có kích thước trung bình là 163 × 179 mm. Không xảy ra hiện tượng chấn sập ở mặt sau như với mẫu bê tông M30 hoặc như với mẫu bê tông MX10-U (Hình 11).

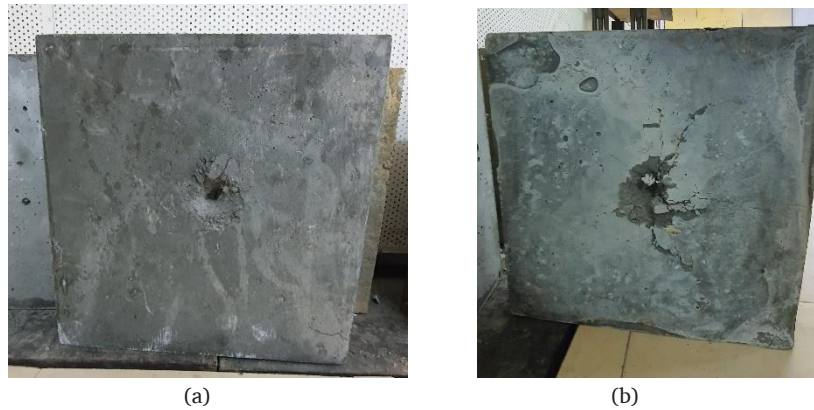
Kết quả thử nghiệm xuyên của các mẫu bê tông M30 và bê tông UHPC được thể hiện ở Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả thử nghiệm xuyên các mẫu bê tông.

Các mẫu bê tông	Phát bắn	Sơ tốc va xuyên vào tấm bê tông (m/s)	Chiều sâu xuyên (mm)	Kích thước vùng phá hủy (mm)	Kích thước vùng chấn sập (mm)	Tình trạng mẫu sau khi thử
MX10-Đ	1	828,6	Xuyên			Vỡ vụn
	2	829,9	Xuyên			Vỡ vụn
	3	831,5	Xuyên			Vỡ vụn
MX20-Đ	1	826,1	Xuyên	265 × 272	101 × 160	Vỡ mảnh
	2	826,3	Xuyên			Vỡ mảnh
	3	826,0	Xuyên			Vỡ mảnh
MX10-U	1	828,7	Xuyên	106 × 117	124 × 143	Không vỡ
	2	831,1	Xuyên			Không vỡ
	3	831,9	Xuyên			Không vỡ
MX20-U	1	832,2	154,7	163 × 179		Không có chấn sập
	2	832,4				
	3	832,1				



Hình 8. Bề mặt mẫu MX10-Đ bị phá hoại sau khi thử đạn xuyên.



Hình 9. Bề mặt mẫu MX10-U bị phá hoại xuyên (a) mặt trước của mẫu; (b) mặt của mẫu.



Hình 10. Bề mặt mẫu MX20-Đ: (a) trước khi thử nghiệm xuyên; (b) sau khi thử nghiệm xuyên.



Hình 11. Bề mặt mẫu MX20-U sau khi thử nghiệm xuyên.

Kết quả thử nghiệm đã cho thấy, với mẫu bê tông thường, tất cả các tấm mẫu với chiều dày khác nhau đều bị xuyên thủng, đồng thời mẫu bị phá vỡ khi đầu đạn xuyên vào. Trong khi đó, với mẫu bê tông tính năng siêu cao, các mẫu dày 100 mm bị đạn xuyên qua nhưng không phá vỡ. Dưới tác động va đập và xuyên phá của đầu đạn, mặt trước các tấm mẫu xuất hiện vùng phá hủy có kích thước trung bình 106×117 mm, còn ở mặt sau, nơi đầu đạn thoát ra xuất hiện vùng chấn sục với kích thước

trung bình 124×143 mm.

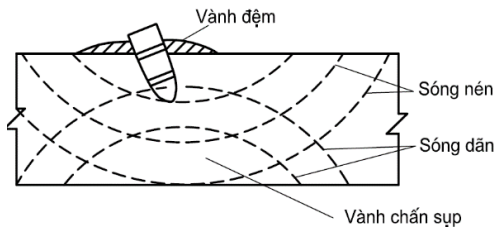
Đối với các tấm mẫu UHPC dày 200 mm, đầu đạn chỉ xuyên vào tới chiều sâu trung bình là 154,7 mm và bị giữ lại trong tấm mẫu. Mặt trước các tấm mẫu, nơi va chạm với đầu đạn, xuất hiện vùng phá hủy với kích thước trung bình 163×179 mm, mặt sau của các tấm mẫu này vẫn nguyên vẹn, không có hiện tượng chấn sục. Kết quả tính toán tỷ lệ phá hủy mẫu được thể hiện ở Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả đánh giá tỷ lệ vùng phá hủy mặt trước của tấm.

Kí hiệu mẫu	Diện tích bề mặt mẫu, mm ²	Diện tích vùng phá hủy, mm ²	Tỷ lệ phá hủy, %	Ghi chú
MX10-Đ	250000	-	-	Mẫu bị phá hủy
MX20-Đ	250000	56.592	22,64	Mẫu bị phá vỡ
MX10-U	250000	9.759	3,92	Mẫu không bị phá
MX20-U	250000	22.954	9,18	Mẫu không bị phá

Ghi chú : Tỷ lệ phá hủy = Diện tích vùng phá hủy/tổng diện tích bề mặt tấm

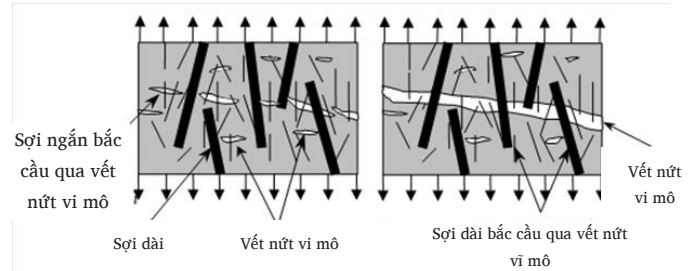
Kết quả đạt được như vậy có thể giải thích, với môi trường rắn, đặc biệt môi trường là loại vật liệu giòn như bê tông, có kích thước hữu hạn, khi viên đạn va chạm vào bê tông, sẽ xuất hiện sóng nén gây ra tại mặt va chạm. Do sự va đập truyền lan tới mặt tự do thứ hai sẽ phát sinh sóng giãn phản xạ truyền theo hướng ngược lại với sóng nén. Dưới tác dụng của sóng ở mặt tự do thứ hai có thể xảy ra hiện tượng chấn sục khi đạn xuyên vào môi trường, xung quanh thân đạn các hạt môi trường buộc phải chuyển động, các hạt gần mặt tự do phía đạn gặp chuyển động theo đường kháng lực nhỏ nhất, vì vậy, trên mặt môi trường xung quanh chỗ đạn va đập hình thành vành đệm. Sự hình thành sóng trong môi trường rắn hữu hạn khi va đập được chỉ ra ở Hình 12. Với mẫu bê tông thường ở chiều dày 100 mm, do cường độ thấp nên dưới tác dụng của sóng nén đã bị phá hủy hoàn toàn. Tương tự, với mẫu bê tông thường có chiều dày 200 mm, sau khi thử nghiệm đã bị phá vỡ.



Hình 12. Sự hình thành sóng trong môi trường rắn hữu hạn khi đạn va đập [1].

Ngược lại, với các mẫu bê tông tính năng siêu cao, sau khi bị đạn xuyên mẫu bê tông không bị phá hủy, ngay cả đối với các tấm mẫu có chiều dày nhỏ (100 mm), viên đạn chỉ xuyên qua mà không gây phá hủy đáng kể. Kết quả đạt được như vậy là do mẫu UHPC với cường độ rất cao, trong thành phần có sử dụng cốt sợi thép phân tán với hàm lượng đến 2 % theo thể tích của bê tông và điều này sẽ làm tăng cường độ uốn, tăng khả năng chịu va đập và tăng năng lượng phá hủy cho bê tông. Theo [17-19], sự tương tác giữa sợi và vật liệu nền (pha nền) là vấn đề cơ bản quyết định đến việc nâng cao các ứng xử cơ học cho bê tông. Hiệu quả của sợi trong việc nâng cao tính chất cơ học của bê tông được đánh giá là do quá trình truyền tải trọng từ vật liệu nền đá xi măng qua vết nứt đến sợi, làm tăng độ bền dẻo dai của bê tông bằng việc hấp thụ năng lượng sinh ra trong quá trình mất liên kết và kéo tuột của sợi. Nếu như coi cốt sợi được phân tán ngẫu nhiên trong bê tông, khi đó vai trò của sợi sẽ được đánh giá theo quá trình truyền tải trọng từ vật liệu nền sang sợi

và tác động bắc cầu của sợi qua vết nứt, quá trình truyền tải trọng tăng nhanh khi tăng tải trọng tác động lên vật liệu nền đến giới hạn nứt của vật liệu nền (Hình 13). Khi tải trọng tiếp tục tăng đến một giá trị nhất định sẽ đến trạng thái đàn hồi của sợi, đồng thời bắt đầu có sự mất liên kết giữa sợi và vật liệu nền, tải trọng tiếp tục tăng, khi đó ứng suất trượt đàn hồi đạt giá trị cực đại, mất khả năng liên kết giữa sợi và vật liệu nền, sợi bị tuột [17, 18]. Như vậy, cốt sợi đã thể hiện vai trò làm vật liệu liên kết và bắc cầu qua vết nứt vì vậy sẽ cải thiện rất lớn các tính chất cơ học và ngăn ngừa được sự mở rộng vết nứt, phá hủy kết cấu trong UHPC.



Hình 13. Sự truyền tải trọng của sợi qua vết nứt trong UHPC [19].

3.3. Xác định hệ số xuyên

Mục tiêu thử nghiệm thử nghiệm xuyên là để xác định các thông số đặc thù đối với các vật liệu xây dựng công trình quốc phòng, một trong các thông số đó là hệ số xuyên K_x . Hiện nay, trong các tài liệu giảng dạy cũng như tài liệu hướng dẫn, quy phạm về thi công các công trình quốc phòng chưa có danh mục về vật liệu UHPC. Vì vậy, để UHPC được áp dụng trong xây dựng một số công trình quốc phòng trong quân đội cần phải xác định được các thông số này. Đây là cơ sở khoa học rất quan trọng để tính toán thiết kế các công trình, công sự trong quân đội. Hệ số xuyên của đạn vào bê tông được xác định theo công thức sau [1]:

$$K_x = \frac{h_x}{A \cdot V_0 \cdot \cos \frac{\alpha + n\alpha}{2}} \quad (1)$$

Trong đó:

K_x : Hệ số xuyên của vật liệu

h_x : Chiều sâu xuyên (m)

A : Hệ số tùy thuộc bom đạn $A = (P/d^2)\lambda$

P : Trọng lượng đầu đạn (kg)

d : Đường kính đầu đạn (m)

λ : Hệ số, với bom đạn xuyên vào đất hay xuyên bê tông $\lambda = 1,3$

V_0 : Tốc độ đầu đạn lúc va chạm (m/s)

n : Là hệ số đối hướng của đạn trong môi trường. Với bê tông $n = 1,5-2,0$.

α : Góc chạm của đạn (độ)

Kết quả thử xuyên với mẫu bê tông thường và mẫu UHPC với chiều dày 100 mm là không xác định, do các mẫu này bị xuyên thủng. Kết quả về hệ số xuyên của bê tông tính năng siêu cao với chiều dày 200 mm được thể hiện ở Bảng 8. Kết quả tính cho thấy hệ số xuyên của UHPC rất thấp, trung bình đạt $4,7067 \times 10^{-7}$, hệ số xuyên này nhỏ hơn rất nhiều so với mẫu bê tông thường M25 với hệ số xuyên là 11×10^{-7} và bê tông cường độ cao M50-60 với hệ số xuyên tương ứng là 7×10^{-7} [1].

Bảng 8. Kết quả tính toán hệ số xuyên của bê tông chất lượng siêu cao.

Mẫu	Trọng lượng đầu đạn, kg	Đường kính đầu đạn, m	Vận tốc đầu đạn lúc va chạm, m/s	Góc chạm của đầu đạn, độ	Chiều sâu xuyên, h_x , m	Hệ số xuyên, K_x ($\cdot 10^{-7}$)
MX10-Đ	0,0653	0,0127	830,0	0	-	-
MX20-Đ	0,0653	0,0127	826,1	0	-	-
MX10-U	0,0653	0,0127	830,6	0	-	-
MX20-U1	0,0653	0,0127	832,2	0	0,1547	4,7069
MX20-U2	0,0653	0,0127	832,4	0	0,1548	4,7088
MX20-U3	0,0653	0,0127	832,1	0	0,1546	4,7044

4. Kết luận

Trên cơ sở kết quả thực nghiệm đạt được, bài báo đưa ra một số kết luận như sau :

Mẫu UHPC có khả năng chịu tải trọng xuyên của đạn 12,7 mm tốt hơn nhiều so với bê tông thường. Với đặc tính vượt trội về cường độ, độ bền dẻo dai nên UHPC không bị phá hủy kết cấu (không vỡ) ngay cả đối với các tấm mẫu có độ dày nhỏ (100 mm).

Mẫu bê tông thường M30 với chiều dày 100 mm bị vỡ vụn dưới tác dụng của tải trọng xuyên của đầu đạn. Với mẫu bê tông thường dày 200 mm, các tấm mẫu bị đầu đạn xuyên qua và bị phá vỡ thành các mảnh lớn. Trong khi đó, mẫu UHPC với chiều dày 100 mm đầu đạn chỉ xuyên qua mà không phá vỡ kết cấu, với chiều dày của tấm mẫu UHPC 200 mm, đầu đạn không xuyên qua mà bị giữ lại trong tấm mẫu với chiều sâu trung bình 154,7 mm. Không xuất hiện vùng chấn sập phía sau tấm mẫu.

Tỷ lệ phá hủy (tỷ lệ diện tích vùng phá hủy trên toàn bộ diện tích bề mặt tấm mẫu) của mẫu UHPC thấp hơn nhiều so mẫu bê tông thường cùng kết cấu. Với mẫu UHPC dày 200 mm, tỷ lệ phá hủy là 9,18 %, trong khi với mẫu bê tông M30 tỷ lệ này là 22,64 % (cao hơn gần 2,5 lần).

Hệ số xuyên K_x của các mẫu UHPC có giá trị trung bình là $4,7067 \times 10^{-7}$, hệ số này nhỏ hơn rất nhiều so với bê tông bê tông cốt thép thông thường mác M25-M40 và bê tông cốt thép cường độ cao mác M50-60 với hệ số xuyên đã biết tương ứng là 10×10^{-7} - 12×10^{-7} và 7×10^{-7} .

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Bộ Khoa học và Công nghệ đã cấp kinh phí để thực hiện nhiệm vụ KHCN cấp quốc gia mã số: ĐTĐLCN.37.18; Trung tâm Phát triển công nghệ cao - Đơn vị chủ trì thực hiện nhiệm vụ; Trường Đại học Xây dựng và Học viện Kỹ thuật quân sự đã tạo điều kiện thuận lợi để nhóm tác giả hoàn thành nội dung nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), Giáo trình công sự - Tập 1, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [2]. ASTM C1856-2017, Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA. doi: 10.1520/C1856_C1856M-17. p.4.
- [3]. AFGC-SETRA (2002), Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes (UHPRFC)-State of the Art: AFGC Publication, Paris, France.
- [4]. ACI 239R-18, Ultra-High-Performance Concrete: An Emerging Technology Report, Emerging Technology Series. American concrete Institute, Detroit: ISBN: 978-1-64195-034-3. p.25.
- [5]. Schmidt M., Fehling E. (2005), Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe. ACI Special Publication, V. 228, pp. 51–78. doi: 10.14359/14460.
- [6]. Buitelaar P (2004). Ultra High Performance Concrete: Developments and Applications during 25 years. International Symposium on UHPC, Kassel, Germany, 2004.
- [7]. Richard P., Cheyrezy M.H (1994). Reactive Powder concretes with high ductility and 200-800 MPa compressive strength. ACI Special Publication, V. 144, pp. 507–518. doi:10.14359/4536, 1994.
- [8]. Cheyrezy M.H., Maret V., Frouin L (1995) Microstructural analysis of RPC (Reactive Powder Concrete). Cement and Concrete Research, 25(7): pp. 1491-1500. doi: 10.1016/0008-8846(95)00143-Z.
- [9]. Thang N.C., Hanh P.H., Tuan N.V., Dong P.S., Hung C.V (2019) Evaluating the Effect of Steel Fibers on Some Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete. Proceedings of the International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture (ICSCEA 2019), Lecture Notes in Civil Engineering 80, https://doi.org/10.1007/978-981-15-5144-4_45.
- [10]. Bibora P., Drdlová M., Prachař V., Sviták O (2017) UHPC for Blast and Ballistic Protection, Explosion Testing and Composition Optimization. in IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 251(2017) 012004 doi:10.1088/1757-899X/251/1/012004. 2017.
- [11]. Shao R., Wu C., Liu Z., Xu S (2017) Penetration Resistance of Ultra-High-Strength Concrete Protected with Layers of High-Toughness and Lightweight Energy Absorption Materials. Composite Structures, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.038>, 2017.
- [12]. Millard S.G., Molyneaux T.C.K., Barnett S.J., Gao X. (2009) Dynamic enhancement of blast-resistant ultra high performance fibre reinforced concrete under flexural and shear loading. International Journal of Impact Engineering, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2009.09.004, 2009.
- [13]. TCVN 3118:1993, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén). Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14]. ASTM C39-14, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens: ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania.
- [15]. ASTM C1609/C1609M-19a, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading): ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania.
- [16]. ASTM C469M-14, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, United States.
- [17]. Balaguru P.N., Shah S.P (1992) Fiber - Reinforced Cement Composites. Civil Engineering. McGraw-Hill International.
- [18]. Markovic' I (2006) High-Performance Hybrid-Fibre Concrete. Delft: Delft - Netherlands. p.211.
- [19]. Walraven J.C (2003) Development of High Performance Hybrid Fibre Concrete. in 4th International Workshop on HPRCC, Ann Arbor: p. 277-300.