

Ứng xử nén đa trục của bê tông tính năng cao

■ **TS. NGUYỄN DUY LIÊM** - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

■ **KS. PHẠM ĐÌNH CƯỜNG** - Trường Đại học Công nghệ Sài Gòn

■ **TS. NGÔ TRÍ THƯỜNG** - Trường Đại học Thủy lợi

TÓM TẮT: Bài báo trình bày ứng xử nén của mẫu lăng trụ tròn sử dụng bê tông tính năng cao gia cường cốt sợi (High-performance fiber-reinforced concrete, HPFRC) dưới tải trọng nén đa trục. Tải hông được tạo ra bằng vỏ uPVC bao quanh mẫu với các chiều dày 0, 3,2 và 3,8 mm. Thí nghiệm nén lõi HPFRC thực hiện cho ba loại chiều cao mẫu gồm 200, 400 và 600 mm. Tất cả mẫu có cùng đường kính lõi bê tông là 114 mm. Kết quả thí nghiệm được phân tích sau đó đánh giá

TỪ KHÓA: Nén hạn chế nở hông, nén đa trục, vỏ uPVC, HPFRC, lõi bê tông.

ABSTRACT: The paper presents compressive responses of cylinder-shaped specimens using high-performance fiber-reinforced concrete (HPFRC) under multi-axial compression. The lateral loadings were produced using uPVC covers with their thicknesses of 0, 3.2 and 3.8 mm. Three types of specimen height were used, including 200, 400 and 600 mm, subjected to compressive loading at HPFRC core. All tested specimens had same inner diameter of 114mm for HPFRC core. The testing results were analyzed and then evaluated

KEYWORDS: Confined compression, multi-axial compression, uPVC cover, HPFRC, concrete core.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sơ với bê tông truyền thống có nhược điểm là cường độ nén không cao, cường độ chịu kéo thấp, độ bền và tuổi thọ công trình kém, bê tông tính năng cao gia cường cốt sợi (high-performance fiber-reinforced concrete, viết tắt HPFRC) có nhiều tính chất ưu việt bao gồm cường độ chịu nén cao (lớn hơn 80 MPa), cường độ chịu kéo cao (lớn hơn 10 MPa), độ dẻo lớn (lớn hơn 0,4%), khả năng hấp thụ năng lượng rất lớn [1,2]. Hơn thế, HPFRC có khả năng kháng nứt tốt do có cấu trúc rất đặc kết hợp sợi thép gia cường hạn chế mở rộng vết nứt. Sau khi xuất hiện vết nứt đầu tiên (first-cracking point), cường độ của bê tông tính năng cao không bị suy giảm nhanh như bê tông truyền thống mà có thể tiếp tục tăng lên đến giới hạn (post-cracking point) cùng với việc sinh ra nhiều vết nứt rất nhỏ giúp vật liệu này có độ dai và năng lượng hấp thụ lớn [3]. Với những tính chất cơ học rất tốt đã thể hiện, HPFRC được mong đợi sẽ cải thiện đáng kể khả năng chịu tải cũng như độ bền của công trình.

Cột là kết cấu phổ biến của một công trình, sử dụng

HPFRC cho kết cấu cột có thể làm giảm kích thước cột so với sử dụng bê tông thường, điều này thực sự có ý nghĩa khi công trình cần có độ thẩm mỹ và hiệu ứng kiến trúc. Mặt khác, sức kháng nén của vật liệu giòn (bê tông là đại diện) chịu ảnh hưởng lớn bởi các điều kiện biên khác nhau, ví dụ phụ thuộc vào kích thước và hình dạng mẫu [4], độ mảnh của mẫu [5], mức độ hạn chế nở hông của mẫu [6]... Loại kết cấu chịu nén vỏ thép lồng nhồi bê tông đã được nhiều tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu [6-10]. Các kết quả nghiên cứu này cho thấy sức kháng cơ học của bê tông có thể tăng cao trong điều kiện có vỏ bao bọc. Trong dân dụng và công nghiệp, cột vỏ uPVC lồng nhồi bê tông với ưu điểm vừa thi công thuận lợi do tận dụng vỏ uPVC làm ván khuôn, vừa tăng sức kháng nén lõi bê tông bên trong (Hình 1.1a). Ngoài ra, trong môi trường xâm thực, vỏ uPVC bao bọc ngăn cách giúp hạn chế ăn mòn vật liệu cốt, nhờ đó kéo dài tuổi thọ công trình (Hình 1.1b). Việc nghiên cứu ứng xử nén của HPFRC trong trường hợp dùng vỏ uPVC bao bọc sẽ cung cấp thông tin hữu ích cho các nhà nghiên cứu cũng như cho các kỹ sư kết cấu công trình.



a) - Vỏ uPVC có thể làm ván khuôn cột vừa tăng sức kháng nén

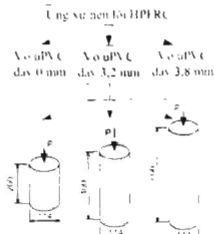


b) - Vỏ uPVC cho cột nằm dưới bùn ẩm giúp hạn chế xâm thực kết cấu
Hình 1.1: Kết cấu cột vỏ uPVC - lõi bê tông trong dân dụng và công nghiệp

2. THÍ NGHIỆM

2.1. Chế tạo mẫu thí nghiệm

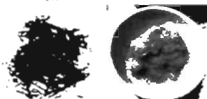
Sơ đồ thực hiện thí nghiệm được thể hiện trên Hình 2.1, sơ đồ này cung cấp thông tin về vật liệu lõi HPFRC, bề dày vỏ uPVC, kích thước mẫu và cách nén. Tất cả mẫu nén hình lăng trụ kích thước trong 114 mm, chiều cao gồm ba loại 200 mm, 400 mm và 600 mm. Vỏ uPVC dùng ba loại chiều dày như sau: 0 mm, 3,2 mm và 3,8 mm, và lõi HPFRC không liên hợp nhau. HPFRC dùng sợi thép hỗn hợp: sợi thép to dạng sợi đầu móc, hàm lượng 1,0% theo thể tích tròn cùng sợi thép nhỏ dạng mắt cá tròn, phẳng, hàm lượng 0,5% theo thể tích. Bảng 2.1 cung cấp thông tin về tính chất cơ lý của hai loại sợi thép. Bảng 2.2 cung cấp tỉ lệ thành phần HPFRC theo trọng lượng. Vỏ uPVC sử dụng sản phẩm của Công ty Nhựa Bình Minh có cường độ kéo đứt 50 MPa, mô-đun đàn hồi 3.000 MPa, trọng lượng riêng 1,4 g/cm³. Tất cả mẫu thí nghiệm được bảo dưỡng ngâm trong bể nước có nhiệt độ trung bình khoảng 25±3°C và được đem nén ở 28 ngày tuổi.



Hình 2.1. Sơ đồ thực hiện thí nghiệm
Bảng 2.1. Tính chất cơ lý của sợi thép

Loại cốt sợi	Sợi thép to (1,0 vol.%)	Sợi thép nhỏ (0,5 vol.%)
Đường kính sợi	0,5	0,2
Chiều dài (mm)	34	12
Tỷ lệ hình thể L/d	70	60
Trọng lượng riêng (g/cm ³)	7,8	7,8
Cường độ đứt (kN) / MPa	20	20

Hình photo



Bảng 2.2. Tỷ lệ thành phần HPFRC theo trọng lượng

Cát trắng mịn	1,00
Xi măng (Insee)	0,80
Muối silic (Silica Fume)	0,07
Nước	0,26
Tro bay	0,20
Phụ gia hóa dẻo	0,04

2.2. Thiết lập thí nghiệm

Hình 2.2a mô tả máy MATEST có khả năng tải lớn nhất 3.000 kN dùng thực hiện thí nghiệm, tốc độ gia

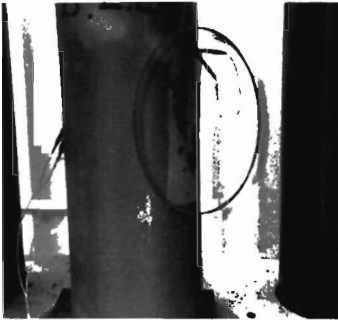
tải 3 kN/s. Các mẫu nén trước khi thí nghiệm phải mài phẳng đầu trên. Để có thể nén lõi bê tông mà không bị cản lên vỏ, thí nghiệm đã dùng tấm đệm thép mài nhẵn có tổng bề dày trên 15 mm với đường kính xấp xỉ đường kính trong của mẫu nén (Hình 2.2b). Trong quá trình thí nghiệm, biến dạng và lực nén được máy ghi lại. Bộ thí nghiệm thiết bị đo biến dạng (strain-gauge) dọc theo chiều cao để đo biến dạng dọc trục, mô tả ở Hình 2.2c. Đồng thời bố trí strain-gauge dọc theo chu vi để đo biến dạng nở hông, mô tả ở Hình 2.2d. Đối với mẫu cao 600 mm dùng khung gắn đầu đo chuyên vi thẳng đứng và ngang.



a) - Máy UTM gắn strain-gauge dùng thí nghiệm mẫu cao 200 mm & 400 mm



b) - Máy UTM gắn UTM dùng thí nghiệm mẫu



c) - Strain-gauge dọc theo chiều cao

d) - Strain-gauge dọc theo chu vi
Hình 2.2: Thiết lập thí nghiệm nén mẫu

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Bảng 3.1 cung cấp sức kháng nén cho các loại mẫu thí nghiệm. Hình 3.1 so sánh sức kháng nén theo chiều dày vỏ uPVC: với cùng chiều cao thì vỏ càng dày sức kháng nén càng cao, giai đoạn bê dày từ 3,2 - 3,8 mm dốc lớn hơn giai đoạn bê dày từ 0,0 - 3,2 mm thể hiện độ nhạy về sức kháng nén theo bề dày vỏ lớn hơn. Theo như Bảng 3.1 và Hình 3.1, khi có vỏ nhựa, cường độ nén lõi HPFRC đều tăng ở cả ba loại chiều cao, cụ thể như sau:

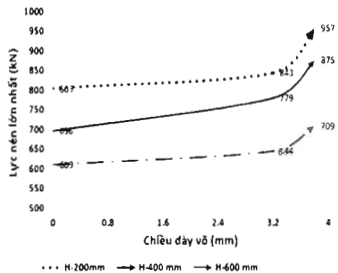
- Mẫu cao 200 mm: tăng từ 803 kN (không vỏ) đến 843 kN (vỏ nhựa 3,2 mm, tăng 1,05 lần) và đến 957 kN (vỏ nhựa 3,8 mm, tăng 1,19 lần).

- Mẫu cao 400 mm: tăng từ 696 kN (không vỏ) đến 779 kN (vỏ nhựa 3,2 mm, tăng 1,12 lần) và đến 875 kN (vỏ nhựa 3,8 mm, tăng 1,26 lần).

- Mẫu cao 600 mm: tăng từ 609 kN (không vỏ) đến 644 kN (vỏ nhựa 3,2 mm, tăng 1,06 lần) và đến 709 kN (vỏ nhựa 3,8 mm, tăng 1,16 lần).

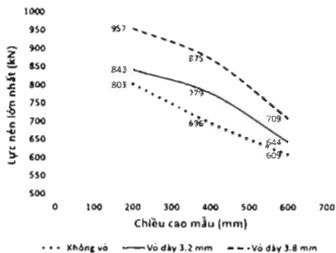
Bảng 3.1. Khả năng kháng nén của các mẫu

Tên mẫu	Vật liệu vỏ	Bề dày vỏ/ chiều cao mẫu (mm)	Lực nén lớn nhất (kN)
N0.0-200	Không vỏ	0,0/200	803
N0.0-400	Không vỏ	0,0/400	696
N0.0-600	Không vỏ	0,0/600	609
N3.2-200	Nhựa uPVC	3,2/200	843
N3.2-400	Nhựa uPVC	3,2/400	779
N3.2-600	Nhựa uPVC	3,2/600	644
N3.8-200	Nhựa uPVC	3,8/200	957
N3.8-400	Nhựa uPVC	3,8/400	875
N3.8-600	Nhựa uPVC	3,8/600	709

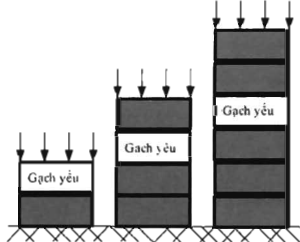


Hình 3.1: So sánh sức kháng nén theo chiều dày vỏ uPVC

Hình 3.2 thể hiện quan hệ sức kháng nén - chiều cao mẫu: xu hướng chung là mẫu càng cao thì sức kháng nén giảm, điều này quan sát được ở cả 3 loại chiều dày vỏ mẫu. Đối với vật liệu giòn, ảnh hưởng của kích thước mẫu lên ứng xử kéo và uốn được giải thích cơ bản dựa trên lý thuyết phá hoại theo xác suất Weibull [11] hay lý thuyết phá hoại dựa trên năng lượng giải phóng của Bazant [12]. Tuy nhiên, đối với phá hoại nén thì không thể giải thích theo hai thuyết trên. Nguyễn Duy Liêm và các cộng sự (2019) [13] đã đề xuất mô hình chống gạch (Hình 3.3) để có thể áp dụng lý thuyết Weibull vào phá hoại nén. Theo Hình 3.3, mẫu nén được mô hình bởi nhiều viên gạch chống lên nhau, mẫu càng cao thì số viên gạch chống lên càng nhiều, vì vậy xác suất xuất hiện gạch yếu càng cao (gạch yếu là gạch lồi, cường độ thấp) dẫn đến dễ bị phá hoại. Hình 3.4 thể hiện vết nứt phá hoại điển hình của các mẫu quan sát được: i) Đối mẫu không vỏ: các vết nứt phân bố theo hướng dọc (Hình 3.4a); ii) Đối với các mẫu có vỏ: khi bị phá hoại vỏ bị rách (Hình 3.4b) hoặc bị phình hông (Hình 3.4c), bề tông lõi cũng xuất hiện các vết nứt phân bố theo hướng dọc.



Hình 3.2: Ảnh hưởng của chiều cao mẫu đến sức kháng nén



Hình 3.3: Mô hình để xuất cho lý thuyết Weibull ở mẫu nén với kích thước mẫu khác nhau



b) - Mẫu vỏ nhựa bị rách



c) - Mẫu vỏ nhựa bị phình hông

Hình 3.4: Ảnh chụp mẫu bị phá hoại

Sự ảnh hưởng của nén hông nhờ vỏ thép bao quanh được Lê Hoàng An và Ekkehard Fehling (2017) [14] đề xuất cho cột ngắn nén lõi UHPFRC như sau:

$$N_u = (0.8 + 1.8\xi) \cdot f_c \cdot A_c = (0.8 + 1.8\xi) \cdot N_{u,core} \quad (1)$$

$$\xi = \frac{A_c \cdot f_c}{A_s \cdot f_s} = \frac{N_{u,core}}{N_{u,s}} \quad (2)$$

Trong công thức (1) và (2), N_u là sức kháng nén bê tông trong trường hợp không có vỏ, f_c lần lượt là cường độ nén và diện tích mẫu bê tông UHPFRC không vỏ, f_s , A_s lần lượt là cường độ chảy và diện tích vỏ thép. Trong nghiên cứu này, f_s , A_s có thể tạm thay thế bằng $f_{t,uPVC}$, A_{uPVC} của vỏ nhựa uPVC, trong đó $f_{t,uPVC}$, A_{uPVC} lần lượt là cường độ kéo đứt ($f_{t,uPVC} = 50$ MPa) và diện tích vỏ uPVC. Phương trình (1) áp dụng cho vỏ uPVC, lõi HPFRC có thể viết dưới dạng tổng quát thành:

$$N_u = (b + a \cdot \xi) \cdot N_{u,core} \quad (3)$$

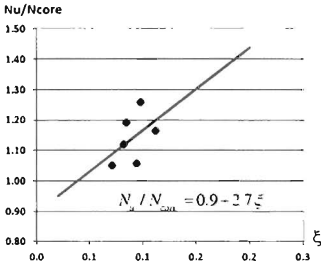


a) - HPFRC xuất hiện vết nứt dọc

$$\text{Hay } a\xi + b = N_u / N_{cu} \quad (4)$$

Phương trình (4) có dạng tuyến tính với a , b là các hằng số thể hiện đặc trưng vật liệu xác định qua thực nghiệm. Dùng phương pháp hồi quy tuyến tính và bình phương tối thiểu cho các cặp dữ liệu $\{\xi_i, (N_u / N_{cu})_i\}$, ta xác định được $a = 2,7$ và $b = 0,9$ (Hình 3.5). Lưu ý rằng, tất cả các mẫu thí nghiệm đều có thể xem là cốt ngắn (tỉ lệ chiều cao/đường kính < 12) Phương trình ước tính sức kháng nén của cốt ngắn sử dụng vỏ uPVC chiu tải trong phân lõi HPFRC như sau:

$$N_u^{uPVC} = (0,9 + 2,7\xi) \cdot N_{cu}^{uPVC} \quad (5)$$



Hình 3.5: Đường thẳng hồi quy tuyến tính thiết lập sức kháng nén dự báo

4. KẾT LUẬN

Một số kết luận có thể rút ra từ kết quả nghiên cứu ở bài báo này:

- Khi có bố trí vỏ nhựa uPVC bao quanh, cường độ nén bê tông lõi tăng lên khá cao, có thể tăng đến 26% so với mẫu không vỏ. Vỏ có bề dày càng lớn thì mức độ tăng càng cao.

- Kích thước mẫu cũng ảnh hưởng đến sức kháng nén mẫu càng cao thì sức kháng nén càng thấp (và do đó cường độ tương ứng thấp). Xu hướng này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết Weibull về ảnh hưởng của kích thước mẫu đến cường độ của vật liệu giòn.

- Phương trình ước tính sức kháng nén của cốt ngắn sử dụng vỏ uPVC chiu tải trong phân lõi HPFRC đã được thiết lập. Do số lượng mẫu thí nghiệm còn ít, kiến nghị cần có nghiên cứu sâu thêm với số lượng mẫu lớn hơn để đạt độ tin cậy cao hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyen, D.L., Song, J., Manathamsombat, C., Kim, D.J. (2015), *Comparative electromechanical damage-sensing behavior of six strain-hardening steel-fiber-reinforced cementitious composites under direct tension*, Composites: Part B; 69. pp.159-168.
- [2]. Naaman, A.E., Reinhardt, H.W. (1996), *Characterization of high performance fiber reinforced cement composites*. in: A.E. Naaman. H.W. Reinhardt (Eds).

High performance fiber reinforced cement composites: HPFRCC 2, Proceedings of 2nd International Workshop on HPFRCC. Chapter 41. RILEM. No. 31. E.& F.N. Spon. London, pp.1-24.

[3]. Naaman, A.E. (2007), *Tensile strain-hardening FRC composites: Historical evolution since the 1960*. Advances in Construction Materials 2007, Springer Berlin Heidelberg, pp.181-202. Stuttgart, Germany.

[4]. TCVN 8218:2009 (2009), *Bê tông thủy công - Yêu cầu kỹ thuật*, Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành.

[5]. Nguyễn Đình Đức và Đào Như Mai (2011), *Sức bền vật liệu và kết cấu*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

[6]. Nguyễn Viết Trung, Trần Việt Hùng (2006), *Kết cấu ống thép nhồi bê tông*, NXB. Xây dựng.

[7]. Johansson, M. (2002), *Composite action and Confinement Effects in Tubular Steel-Concrete Columns*, PhD thesis, University of Technology Goteburg, Sweden.

[8]. Mohammad H. Shams (1997), *Non - Linear Evaluation of Concrete - Steel Tubular Columns*, PhD thesis, New Jersey Institute of Technology, United States.

[9]. Zeghiche, J. and Chaoui, K. (2005), *An Experimental behaviour of Concrete - filled steel Tubular Columns*, Journal of Conctructional Steel Research, 61 (2005) 53 - 66.

[10]. Lin Hai Han (2004), *Flexural Behaviour of Concrete - Felled Steel Tube*, Journal of Conctructional Steel Research, 60 (2004) 313-337.

[11]. Weibull, W. (1951), *A statistical distribution function of wide applicability*, J. Appl. Mech. 18, 293-297.

[12]. Bazant, Z.P., Planas, J. (1997), *Fracture and Size Effect on Concrete and Other Quasibrittle Materials*, CRC Press LLC, United States.

[13]. Nguyen, D.L., Thai, D.K, Ngo, T.T, Tran, T.K., Nguyen, T.T (2019), *Weibull modulus from size effect of high-performance fiber-reinforced concrete under compression and flexure*, Construction and building materials 226, 743-758.

[14]. An Le Hoang, Ekkehard Fehling (2017), *A review and analysis of circular UHPC filled steel tube columns under axial loading*, Structural Engineering and Mechanics, vol.61, no. 2, 417-430.

Ngày nhận bài: 29/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2020

Người phản biện: TS. Nguyễn Trọng Tâm

TS. Nguyễn Sĩ Hùng