

Nghiên cứu thực nghiệm về mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng tro bay

Experimental study on elastic modulus of lightweight concrete using fly ash cenospheres

> THS PHẠM TRUNG HIẾU¹, PGS.TS NGUYỄN HÙNG PHONG², THS VŨ CÁT HOÀNG³,

¹ Phòng Quản lý đô thị, UBND quận Hải An, TP Hải Phòng,

² Bộ môn Công trình BTCT, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,

³ Công ty CP Xây dựng và Thương mại Tân Bắc Á.

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm để làm rõ những đặc tính cơ lý về mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng hạt vi cầu rỗng tro bay (Fly Ash Cenospheres - FAC). Mục đích của nghiên cứu là xác định giá trị mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng tro bay tại các cấp phối thiết kế khác nhau mà cụ thể là 1400, 1600 và 1800 kg/m³. Kết quả thí nghiệm cho thấy cấp phối với khối lượng thể tích càng giảm tương đương với lượng vi cầu tro bay thay thế cho cát càng nhiều thì mô đun đàn hồi càng giảm. Thực nghiệm cũng cho thấy, với các cấp phối bê tông nhẹ nói trên, quan hệ ứng suất - biến dạng tuyến tính hơn so với bê tông thường thể hiện tính đàn hồi cao hơn và tính dẻo ít hơn của bê tông nhẹ.

Từ khóa: Hạt vi cầu tro bay; bê tông nhẹ; mô đun đàn hồi.

ABSTRACT:

This paper presents the results of experimental research about mechanical properties of the elastic modulus of lightweight concrete (LWC) using Fly Ash Cenospheres (FAC). The purpose of this research is to determine the elastic modulus of LWC using fly ash microspheres at different density (1400, 1600 và 1800 kg/m³). Experimental results show that the lower the density (equivalent to the higher the replacement of cenospheres), the lower the elastic modulus. Experimental results also showed that, for LWC, the stress-strain curves were more linear than conventional concrete, which showed less ductile behavior of the materials.

Keywords: Fly ash cenospheres; lightweight concrete; elastic modulus.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, những nghiên cứu về loại bê tông nhẹ sử dụng các hạt vi cầu rỗng từ tro bay đã đạt được những kết quả ấn tượng khi cho thấy khối lượng thể tích 1300 ÷ 1500 kg/m³ và cường độ đạt ngưỡng 40 ÷ 50 MPa, (gấp 2 ÷ 4 lần bê tông thông thường) với thiết bị và quy trình sản xuất tương tự bê tông thông thường [1]. Việc sử dụng bê tông nhẹ trong kết cấu giúp giảm tải cũng như tải trọng bản thân cho công trình, giảm kích thước kết cấu, tăng diện tích và số tầng cho công trình do đó cũng tiết kiệm chi phí kết cấu nền móng và các kết cấu chịu lực khác.

Theo nghiên cứu của nhóm tác giả Lê Việt Hùng và các cộng sự [2] thì bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (fly ash cenospheres-FAC) được quan tâm và phát triển trong khoảng hơn thập niên trở lại đây. FAC là các hạt nhẹ có trong tro bay nhà máy nhiệt điện, khối lượng thể tích của chúng thường trong khoảng 0,4-0,9 g/cm³, kích thước hạt trong khoảng 1-300 µm, với các hạt chủ yếu trong khoảng 20-300 µm, chúng là những hạt có kích thước lớn trong tro bay so với các hạt tro bay khác có kích thước hạt chủ yếu dưới 20 µm, chiều dày thành vách trong khoảng 1-18 µm. Ngoài ra, các hạt cenosphere có lớp vỏ có khả năng chống thấm khí và nước, khả năng kháng nén dập của hạt khoảng 15,6-17,5 MPa, cao hơn khá nhiều so với cốt liệu nhẹ phổ biến là keramzit trong khoảng 0,82-5,6 MPa. Chính vì vậy, các nghiên cứu về sử dụng FAC làm vi cốt liệu nhẹ cho chế tạo bê tông nhẹ là chủ đề được quan tâm, thực hiện khá nhiều trong những năm gần đây. Bê tông nhẹ sử dụng FAC (FAC LWC) được ghi nhận có khối lượng thể tích thấp và cường độ cao hơn so với các loại bê tông cốt liệu nhẹ truyền thống. FAC LWC cơ bản đáp ứng được tiêu chuẩn yêu cầu về cường độ với bê tông nhẹ kết cấu với dải KLTT từ khoảng 1100 kg/m³ trở lên.

Trong nghiên cứu trên [2], nhóm tác giả đã đánh giá được các tính chất cơ lý chính của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu tro bay như khối lượng thể tích, cường độ nén, độ hút nước, hệ số dẫn nhiệt. Tuy nhiên, để có thể ứng dụng loại bê tông nhẹ này vào công trình xây dựng thực tế, một trong những tính chất cơ lý quan trọng là mô đun đàn hồi và quan hệ ứng suất - biến dạng cần phải được nghiên cứu. Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm để xác định mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ từ hạt vi cầu tro bay và xây dựng quan hệ ứng suất - biến dạng của loại bê tông này, góp phần đưa vật liệu này vào ứng dụng trong thực tế.

2. CẤP PHỐI BÊ TÔNG NGHIỆN CỨU

Nghiên cứu so sánh sự làm việc của các mẫu thử làm từ bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu tro bay (BT FAC). Thí nghiệm sẽ sử dụng các mẫu thử hình trụ có kích thước và hình dạng giống nhau, trong đó: D×H = 150×300 mm. Cốt liệu thành phần của các cấu kiện làm từ bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu tro bay được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Cấp phối hỗn hợp bê tông nhẹ

Cốt liệu	Bê tông FAC	Bê tông FAC	Bê tông FAC
	D 1,8	D 1,6	D 1,4
Chất kết dính (kg)	750	750	750
Xi măng PC50 (kg)	675	675	675
Silica fume (kg)	75	75	75
Cenospheres (kg)	160	223	303
Cát (kg)	650	412	112
Đá 5-20 mm (kg)	0	0	0
Phụ gia siêu dẻo (kg)	9,0	12,0	18,0
Sợi Poly-propylene (kg)	4,55	4,55	4,55
Nước (lit)	225	225	225

3. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

3.1. Chế tạo mẫu thử

Sử dụng bộ khuôn mẫu hình trụ (150×300 mm). Trong quá trình đổ mẫu, kiểm tra kỹ càng tất cả các bộ khuôn, tránh để xảy ra trường hợp bị vỡ hoặc móp méo. Làm sạch hết toàn bộ lớp bê tông cũ (nếu bộ khuôn đã qua sử dụng trước đó), kiểm tra độ kín và quét dầu chống dính cho khuôn. Cân các thành phần cốt liệu của hỗn hợp bê tông theo cấp phối thiết kế, có thể để chung một khay các cốt liệu: xi măng, cát, silica fume, cenospheres và đá. Cốt sợi poly propylene đánh tới để riêng một khay.

Cho trước các nguyên liệu xi măng - cát - silica fume - cenospheres - đá vào máy trộn cùng với 70% lượng nước đã chuẩn bị được hòa sẵn cùng PGSD Viscocrete 3000 - 20M để trộn trong 3 phút cho hỗn hợp có độ đồng nhất nhất định (việc thêm nước và phụ gia siêu dẻo vào cùng trước cùng các cốt liệu nhằm mục đích giảm lượng bụi lớn trong quá trộn gây thất thoát khối lượng đối với loại cốt liệu nhẹ như cenospheres). Đổ nốt 30% lượng nước còn lại vào trộn tiếp trong khoảng 2 phút. Khi thấy hỗn hợp bê tông đã dẻo thì bắt đầu cho phần cốt sợi đã đánh tới vào trộn đều trong 2 phút nữa.

Sau khi trộn hỗn hợp bê tông, tiến hành đổ ngay vào khuôn đúc mẫu. Đổ hỗn hợp bê tông theo từng phần khuôn (đầy nửa khuôn đối với khuôn lập phương và 1/3 khuôn đối với khuôn trụ) và đầm bằng tay, lưu ý gõ nhẹ xung quanh thành khuôn để tất cả bọt khí nổi hết lên trên, giúp cho bề mặt khối bê tông sau khi tháo khuôn không bị rỗ. Đổ nốt hỗn hợp theo các phần khuôn còn lại, lặp lại quá trình đầm tay và gõ thành đến khi đầy khuôn thì làm phẳng bề mặt mẫu.



Hình 1. Chế tạo mẫu thử

3.2. Bảo dưỡng mẫu thử

Ngay sau khi hoàn thiện bề mặt bê tông, tiến hành rải một lớp nilon mỏng lên trên để giữ được lượng nước trong giai đoạn đầu của quá trình thủy hoá. Tháo ván khuôn 2 ngày sau đúc mẫu rồi chuyển mẫu ngay vào trong bể ngâm để dưỡng ẩm bê tông chờ ngày thí nghiệm. Trước ngày thí nghiệm 2 hôm sẽ rời mẫu khỏi bể ngâm, để cho ráo nước.



Hình 2. Bảo dưỡng mẫu



Hình 3. Lấy mẫu ra khỏi bể ngâm

4. THÍ NGHIỆM KIỂM TRA KHỐI LƯỢNG THỂ TÍCH CỦA BÊ TÔNG

Khi đúc mẫu, tiến hành lấy mẫu của 03 cấp phối bê tông để xác định đặc trưng cơ học. Mỗi cấp phối đúc 03 mẫu, tổng cộng đúc 09 mẫu. Kết quả thí nghiệm cho thấy khối lượng thể tích của các cấp phối bê tông về cơ bản đều đảm bảo sai số cho phép như thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm khối lượng thể tích của các mẫu

Cấp phối	Mẫu	Khối lượng (kg)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Giá trị trung bình (kg/m ³)	Khối lượng thể tích lý thuyết (kg/m ³)	Sai số
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = [(5)-(6)]/(6)
Bê tông FAC D 1.4	M1	4,8450	1436	1457	1400	4,078%
	M2	4,7990	1422			
	M3	5,1090	1514			
Bê tông FAC D 1.6	M1	5,4830	1625	1645	1600	2,824%
	M2	5,6350	1670			
	M3	5,5395	1641			
Bê tông FAC D 1.8	M1	6,4765	1918	1939	1800	7,720%
	M2	6,5500	1941			
	M3	6,6055	1957			

5. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG

5.1. Phương pháp thí nghiệm

Quy trình thí nghiệm được tiến hành theo Tiêu chuẩn ASTM C469 [3].

Trước khi thí nghiệm tiến hành làm phẳng bề mặt tiếp xúc với máy nén, đảm bảo áp lực đều từ máy nén tác dụng lên mẫu. Đánh bóng bề mặt dán tem điện trở bằng giấy nhám có độ nhám tăng dần (150, 240, và 320), sau đó dùng bông gòn tẩm cồn lau sạch bề mặt gia công để làm phẳng mịn và sạch sẽ bề mặt dán tem.



Hình 5. Làm capping cho phẳng bề mặt mẫu nén

Dán tem điện trở vào vùng đã đánh nhám bằng keo 502, đánh sạch lại sét ri ở điện cực (để phòng trừ trường hợp tem dán không ăn điện) rồi hàn điện cực vào tem điện trở với dây điện để kiểm tra trên thiết bị xem đã ổn định tín hiệu chưa. Trước khi tiến hành nén, kiểm tra lại bộ đếm trên máy xem đã hoạt động ổn định chưa. Khi gia tải, gia tải thật chậm để thu được nhiều số liệu nhất và số liệu ổn định nhất.



Hình 6. Đánh bóng bề mặt dán tem điện trở



Hình 7. Dán tem và hàn điện cực



Hình 8. Nén mẫu

5.2. Kết quả thí nghiệm

Mô đun đàn hồi thực nghiệm E_b , được tính bằng trung bình cộng của 3 giá trị mô đun thực nghiệm tại 3 giá trị nằm trong khoảng $0,2 \div 0,4\sigma_c$ (giá trị ứng suất nhỏ hơn $0,4\sigma_c$ đảm bảo vật liệu làm việc trong miền đàn hồi). Sau khi tiến hành thí nghiệm, thu được kết quả thí nghiệm như trong Bảng 3. Có thể thấy rằng, khi tăng lượng vi cấu tro bay tăng lên làm giảm khối lượng thể tích của bê tông nhẹ thì giá trị mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén của bê tông nhẹ cũng giảm theo.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi

Cấp phối	Khối lượng	Mô đun đàn hồi	Cường độ nén
	thể tích (kg/m ³)	thực nghiệm E_b (GPa)	phá hủy (MPa)
Bê tông FAC - D 1.8	1800	19,71	39,29
Bê tông FAC - D 1.6	1600	15,71	37,03
Bê tông FAC - D 1.4	1400	13,51	25,23

5.3. Đề xuất công thức tính toán mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ từ hạt vi cấu tro bay

Hiện tại ở Việt Nam chưa có công trình nghiên cứu nào đưa ra công thức tính mô đun đàn hồi cho bê tông nhẹ mà chỉ có của bê tông thường nên sau khi xác định được cường độ nén phá hủy (f_{cm}), ta có thể xác định giá trị mô đun đàn hồi lý thuyết theo Tiêu chuẩn châu Âu EN 1992 - 1 - 1:2004 [4]. Căn cứ mục 3.1 và mục 11.3.2 trong Tiêu chuẩn, theo đó, mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ (E_{lcm}) sẽ bằng mô đun đàn hồi của bê tông thường nhân (E_{cm}) với hệ số quy đổi tương đương (η_E), cụ thể:

$$\text{Mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ: } E_{lcm} = E_{cm} \times \eta_E \quad (1)$$

Trong đó:

$$\text{Hệ số quy đổi: } \eta_E = \left(\frac{\rho}{2200} \right)^2,$$

$$\rho: \text{khối lượng thể tích khô (kg/m}^3\text{)} \quad (2)$$

$$E_{cm} = 22 \times \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3} \text{ (GPa)} \quad (3)$$

Cường độ nén phá hủy:

$$f_{cm} = \frac{F_{cm}}{S_{tt}} = \frac{F_{cm}}{\pi \times (0,5d)^2} = \frac{F_{cm}}{\pi \times 0,075^2} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

F_{cm} : lực phá hủy trung bình (N)

Kết quả tính toán mô đun đàn hồi của 3 cấp phối bê tông được thể hiện trong Bảng 4, trong đó kết quả tính toán theo lý thuyết được so sánh với kết quả thí nghiệm nói trên.

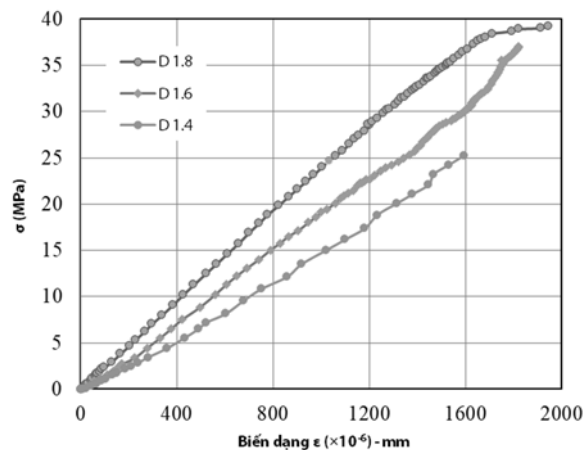
Bảng 4. Giá trị mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ theo thực nghiệm và công thức để xuất

Cấp phối	Mô đun đàn hồi theo kết quả thực nghiệm (GPa)	Mô đun đàn hồi theo công thức của TC Châu Âu (GPa)	Sai số Δ (%)
(1)	(2)	(3)	(4) = 100 × [(3) - (2)] / (3)
Bê tông FAC - D 1.8	19,71	22,50	12,40
Bê tông FAC - D 1.6	15,71	16,94	7,26
Bê tông FAC - D 1.4	13,51	12,35	-9,39

Có thể thấy rằng công thức tính toán mô đun đàn hồi theo EN 1992 - 1 - 1:2004 dùng cho bê tông nhẹ cho kết quả khá gần với kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông sử dụng hạt vi cầu từ tro bay. Cấp phối D1.8 có mô đun theo thực nghiệm nhỏ hơn mô đun trong tính toán lý thuyết, sai số 12,4%; khi giảm khối lượng thể tích xuống còn 1600 kg/m³ (D1.6) thì sự sai số giữa lý thuyết và tính toán giảm xuống còn 7,26%. Cấp phối D1.4 có mô đun thực nghiệm lớn hơn mô đun trong tính toán lý thuyết, sai số là 12,4%. Như vậy, đối với cấp phối nhỏ thì áp dụng công thức theo Tiêu chuẩn Châu Âu EN 1992 - 1 - 1:2004 thiên về an toàn do kết quả theo lý thuyết tính toán nhỏ hơn kết quả thí nghiệm.

6. BIỂU ĐỒ QUAN HỆ ỨNG SUẤT - BIẾN DẠNG CỦA BÊ TÔNG NHẸ SỬ DỤNG HẠT VI CẦU TRO BAY

Sau khi hoàn tất lắp dựng thí nghiệm, tiến hành gia tải thử với tải trọng 2,0 kN để loại trừ các sai số về lắp dựng và kiểm tra sự làm việc ổn định của hệ. Khi thấy hệ và các dụng cụ đo ổn định, tiến hành đưa các số liệu về giá trị ban đầu là 0. Tiến hành gia tải lực tác dụng lên mẫu thử bằng bàn nén. Trong quá trình gia tải, quan sát kỹ bề mặt bê tông chịu để xác định thời điểm xuất hiện vết nứt. Gia tải theo các cấp tải thiết kế cho đến khi mẫu phá hoại. Quan hệ ứng suất - biến dạng được ghi chép lại và thể hiện tại Hình 9.



Hình 9. Biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng

Ở các cấp phối bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu tro bay, đồ thị ứng suất - biến dạng gần như tuyến tính cho tới khi phá hoại. Điều này cho thấy loại bê tông nhẹ này có tính đàn hồi nhiều hơn và ít tính dẻo hơn so với bê tông thường. Biến dạng cực hạn của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu tro bay nằm trong phạm vi 0,0016-0,0020. Tuy nhiên cấp phối có khối lượng thể tích càng giảm thì biến dạng cực hạn cũng giảm theo.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm xác định mô đun đàn hồi và quan hệ ứng suất biến dạng cho các mẫu cấp phối bê tông nhẹ dùng vi cầu tro bay đã thu được những kết quả sau:

Đã chế tạo thành công bê tông nhẹ sử dụng cenospheres đạt yêu cầu về khối lượng thể tích dựa trên cấp phối thiết kế với các cấp phối có khối lượng thể tích là 1400, 1600 và 1800 kg/m³.

Đã xác định được giá trị mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ vi cầu tại 3 cấp phối 1400, 1600 và 1800 kg/m³ thông qua phương pháp thực nghiệm với mẫu nén hình trụ. Kết quả thực nghiệm cho thấy giá trị mô đun đàn hồi giảm theo khối lượng thể tích của bê tông nhẹ.

Kết quả tính toán cho thấy công thức tính toán mô đun đàn hồi cho bê tông nhẹ sử dụng tiêu chuẩn Châu Âu EN 1992 - 1 - 1:2004 có thể áp dụng để tính toán mô đun đàn hồi của bê tông nhẹ từ hạt vi cầu tro bay với sai số chấp nhận được.

Đã xác định được đồ thị ứng suất - biến dạng cho 3 cấp phối bê tông nhẹ nói trên. Kết quả cho thấy bê tông nhẹ có tính đàn hồi cao hơn và tính dẻo thấp hơn bê tông thông thường; biến dạng cực hạn của bê tông nhẹ từ hạt vi cầu tro bay giảm theo khối lượng thể tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.I. Inozemxev, E.V. Korolev, Hiệu quả kinh tế sử dụng bê tông nhẹ độ bền cao, Thông tin khoa học kỹ thuật Povoljia No.5-2012, Đại học xây dựng quốc gia Moskva (tiếng Nga)
- [2] Lê Việt Hùng, Lê Trung Thành, Nguyễn Văn Tuấn, Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cường độ cao sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN, 15 (6V) (trang 146-157).
- [3] ASTM C 469, the Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression (trang 1-8).
- [4] European Committee (2004), EN 1992 - 1 - 1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN national Members, Europe (trang 28-30, trang 186-187).