



EXPERIMENTAL STUDY ON THE COMPRESSIVE BEHAVIOUR OF EARTH CONCRETE WALL

Bui Thi Loan^{1,2}, Nguyen Xuan Huy^{1,2}, Nguyen Tien Dung^{1,2}, Le Minh Cuong^{1,2},
Bui Tan Trung³

¹Faculty of construction engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

²Research and application center for technology in civil engineering (RACE) - University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

³INSA Lyon, 20 Avenue Albert Einstein, 69100 Villeurbanne, France.

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 03/10/2019

Revised: 25/10/2019

Accepted: 02/11/2019

Published online: 16/12/2019

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.4.16>

* Corresponding author

Email: buithiloan@utc.edu.vn; Tel: 0979458331

Abstract. The research on the structure using the new ecological materials is suitable for the sustainable development tendency. This article focuses on the in-plane compressive behaviour of wall made by “earth concrete” – one type of new ecological materials. This “earth concrete” is a novel concrete including sandy, aggregate, “raw” earth (or soil), water, superplasticizer and a small quantity of Portland cement (only about 4-5% cement instead of 15% cement as in the ordinary concrete) to improve its physical behaviour. This experimental research is firstly performed at material scale to determine several mechanical properties of this new material such as compressive and tensile strength and its elastic modulus. Then at the structure scale, the overall behaviour and failure mode of “earth concrete” wall under in-plane compression loading is determined. The overall behaviour of this earth concrete wall is characterized by a three-phase inelastic curve with the first elastic phase is spreaded upto a quite high loading (correspond to 80% of the maximum load). The failure mode of this earth concrete wall under this load is characterized by longitudinal cracks at compressive centre wall and the final collapse of the wall is caused by lateral expansion effects under compressive stress.

Keywords: « earth concrete », « earth concrete » wall, in-plane behavior



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ DƯỚI TẢI TRỌNG NÉN CỦA KẾT CẤU TƯỜNG BÊ TÔNG ĐẤT

Bùi Thị Loan^{1,2}, Nguyễn Xuân Huy^{1,2}, Nguyễn Tiến Dũng^{1,2}, Lê Minh Cường^{1,2},
Bùi Tấn Trung³

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.

²Trung tâm nghiên cứu và ứng dụng công nghệ trong xây dựng (RACE), Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.

³INSA Lyon, 20 Avenue Albert Einstein, 69100 Villeurbanne, France.

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 03/10/2019

Ngày nhận bài sửa: 25/10/2019

Ngày chấp nhận đăng: 02/11/2019

Ngày xuất bản Online: 16/12/2019

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.4.16>

* Tác giả liên hệ

Email: buithiloan@utc.edu.vn; Tel: 0979458331

Tóm tắt. Việc nghiên cứu ứng xử của các kết cấu xây dựng sử dụng vật liệu mới, thân thiện với môi trường là phù hợp với xu thế phát triển bền vững. Bài báo này tập trung nghiên cứu ứng xử dưới tác dụng của tải trọng nén trong mặt phẳng của kết cấu tường “bê tông đất” – loại vật liệu mới có ưu điểm thân thiện với môi trường. “Bê tông đất” này là một loại là loại bê tông mới có thành phần chính gồm cốt liệu “đất thô”, nước, phụ gia và một lượng nhỏ xi măng Portland (khoảng 4-5%) để “ổn định” đất. Nghiên cứu này được thực hiện bằng phương pháp thực nghiệm từ cấp độ vật liệu đã xác định được một số đặc trưng cơ học của loại vật liệu mới này (cường độ chịu kéo, nén, mô đun đàn hồi); sau đó trên cấp độ kết cấu đã nghiên cứu ứng xử của kết cấu tường bê tông đất dưới tác dụng của tải trọng nén tập trung. Kết quả cho thấy rằng, dưới tác dụng của tải trọng này, ứng xử tổng thể của kết cấu tường bê tông đất được đặc trưng bởi đường cong phi tuyến ba pha trong đó pha đàn hồi đầu tiên kéo dài tới cấp tải trọng tương đối lớn (ứng với 80% tải trọng lớn nhất). Dạng phá hủy của tường được đặc trưng bởi các vết nứt dọc ở tâm tường trong vùng chịu nén và sự phá hủy cuối cùng của tường được ghi nhận ở thời điểm xuất hiện các vết nứt do sự nở hông dưới tải trọng nén.

Từ khóa: bê tông đất, tường bê tông đất, ứng xử chịu nén trong mặt phẳng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

“Đất thô” đã được sử dụng làm vật liệu xây dựng trên khắp thế giới từ hàng ngàn năm nay và vẫn còn được sử dụng rộng rãi cho đến ngày nay. Hiện tại, gần 50% dân số thế giới sống trong các ngôi nhà được xây dựng từ đất [1]. Nghiên cứu này là một phần quan trọng trong dự án lớn nhằm mục đích nghiên cứu chế tạo và sử dụng loại vật liệu xây dựng mới dựa trên nền tảng đất thô với chất ổn định được gọi là “bê tông đất”. “Bê tông đất” là một loại bê tông mới có thành phần chính gồm cốt liệu (cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ), “đất thô”, nước, phụ gia và một lượng nhỏ xi măng Portland để “ổn định” đất (chỉ khoảng 4-5% thay vì 15% như trong bê tông thông thường) để cải thiện các đặc tính cơ lý [4]. Ý tưởng này dựa trên việc nhận ra những ưu điểm của vật liệu “bê tông đất” mới này, vừa thân thiện với môi trường, vừa có cường độ, độ bền và khả năng chống xói mòn tốt [3]. Mặc dù loại vật liệu này gần đây đã bắt đầu được quan tâm nghiên cứu và phát triển ở một số nước trên thế giới (Pháp, Úc, Anh) [2], nhưng mới chỉ được nghiên cứu trên cấp độ vật liệu như cách thức chế tạo, cường độ chịu nén, đặc tính nhiệt-ẩm và tính lưu biến ([5,6,7,8]). Trên cấp độ kết cấu, hiện vẫn chưa có nghiên cứu nào đề cập đến ứng xử của bất cứ kết cấu dạng nào làm từ “bê tông đất”. Các kết cấu sẽ sử dụng loại “bê tông đất” này thường là tường chịu lực trong nhà ở. Khi nghiên cứu ứng xử của loại tường này, trong nhiều trường hợp, cần phải kiểm tra khả năng chịu nén trong mặt phẳng. Loại tải trọng này đại diện cho trọng lượng bản thân của các bộ phận kết cấu phía trên tường. Do đó, các thí nghiệm về khả năng chịu lực nén trong mặt phẳng của tường bê tông đất là rất quan trọng và sẽ được thực hiện trong dự án nghiên cứu này. Cùng với đó, các thí nghiệm trên cấp độ vật liệu cũng được tiến hành nhằm xác định các đặc trưng cơ học của vật liệu bê tông đất.

2. THÍ NGHIỆM TRÊN CẤP ĐỘ VẬT LIỆU

2.1. Vật liệu chế tạo

Vật liệu “đất thô” sử dụng để chế tạo “bê tông đất” trong nghiên cứu này bao gồm chất thải thu được từ quá trình khai thác đá (dạng bột đá vôi sét mịn) chứa khoảng 20% đất sét (theo khối lượng). Để có được thời gian tháo ván khuôn hợp lý, xi măng Portland được thêm vào với hàm lượng 93 kg/m³ bê tông. Song song với việc chế tạo kết cấu tường, các mẫu bê tông đất hình trụ $\Phi 16-32$ cũng được chế tạo theo tiêu chuẩn của Pháp trong chế tạo mẫu thí nghiệm hình trụ như bê tông truyền thống (NF18-400) để thí nghiệm trên cấp độ vật liệu nhằm xác định một số đặc trưng cơ học của “bê tông đất”. Thành phần vật liệu bê tông đất bao gồm:

- Xi măng CEM I 52.5N CE NF: 4% (theo khối lượng bê tông)
- Cát 0/4 mm với 12% hạt mịn (SS1204): 19,2% (theo khối lượng bê tông)
- Cát biển 0/4 mm (A5): 19,2% (theo khối lượng bê tông)
- Đá dăm 4/12 mm (GL0412): 37,9% (theo khối lượng bê tông)
- Phụ gia siêu dẻo Pozzoloth 390N: 0,2% (theo khối lượng bê tông)
- Đất (đá vôi-sét mịn) AC0100: 9,9% (theo khối lượng bê tông)

- Nước: 9,6% (theo khối lượng bê tông)

2.2. Thí nghiệm xác định các đặc tính của bê tông đất

2.2.1. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Để xác định các đặc trưng cơ học của vật liệu bê tông đất, tổng cộng 9 mẫu hình trụ bê tông đất kích thước $\Phi 16-32\text{cm}$ (Hình 1) cũng được chế tạo theo tiêu chuẩn của Pháp. Việc đúc các mẫu hình trụ này được tiến hành cùng thời điểm và tương tự như cách đúc tường (cách trộn hỗn hợp bê tông, đầm, bảo dưỡng và tháo ván khuôn).



Hình 1. Chế tạo mẫu bê tông đất hình trụ $\Phi 16-32\text{cm}$.

2.2.2. Thí nghiệm nén mẫu

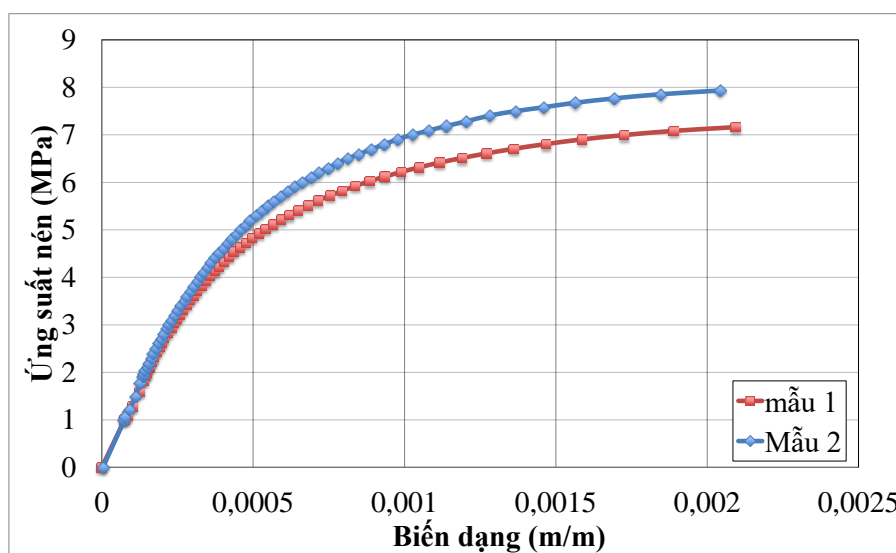
Các thí nghiệm nén mẫu hình trụ $\Phi 16-32$, được thực hiện trên máy nén thủy lực điều khiển bằng lực theo tiêu chuẩn của Pháp (NF EN 12390-3 [9]) với tốc độ áp tải là $0,5\text{MPa/s}$. Việc ghi nhận các biến dạng được thực hiện bằng các đầu đo biến dạng. Ba đầu đo được dán dọc trục các mẫu thử, cách nhau 120° và được sử dụng để xác định ứng xử của vật liệu (Hình 2). Một đầu đo biến dạng khác được dán theo phương vuông góc với tải trọng tác dụng giúp xác định hệ số Poisson của vật liệu.



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm nén mẫu "bê tông đất" hình trụ.

Kết quả thí nghiệm được thể hiện dưới dạng đường cong quan hệ ứng suất- biến dạng như trên Hình 3. Kết quả thu được của mỗi mẫu là giá trị là trung bình cộng của ba đầu đo biến dạng.

Có thể thấy rằng kết quả thí nghiệm nén của hai mẫu là tương đối đồng nhất và cho thấy ứng xử dưới tác dụng của tải trọng nén dọc trục của vật liệu “bê tông đất” mới này cũng tương đồng với ứng xử của vật liệu bê tông truyền thống, đó là ứng xử phi tuyến. Trong đó, pha đầu tiên là ứng xử tuyến tính ứng với khi ứng suất nén còn nhỏ và vật liệu chưa bị hư hỏng, sau đó là pha ứng xử phi tuyến tới khi đạt cường độ lớn nhất, ứng với giai đoạn vết nứt đầu tiên xuất hiện và phát triển. Tuy nhiên, với thí nghiệm này, ứng xử post-peak là chưa xác định được do đầu đo chuyên vị bị đứt khi vết nứt phát triển qua.



Hình 3. Đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông đất dưới tác dụng của tải trọng nén dọc trục.

Cường độ chịu nén của “bê tông đất” này là 7,45 MPa (là giá trị trung bình của 2 mẫu thử, ở tuổi 65 ngày); hệ số Poisson xác định được là 0,28. Mô đun đàn hồi được xác định bằng hệ số góc của đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng trong vùng đàn hồi (tương ứng với khoảng ứng suất từ 0 tới 30% giá trị ứng suất lớn nhất) và bằng 13,5 Gpa (cũng là giá trị trung bình của 2 mẫu). Các kết quả này được ghi trong Bảng 1.

Bảng 1 : Tóm tắt kết quả thí nghiệm nén.

Mẫu	Tuổi mẫu (ngày)	Hàm lượng nước (%)	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Mô đun đàn hồi E (GPa)	Hệ số Poisson ν	Cường độ chịu nén f_c (MPa)
1	65	1,79	2160	13,9	0,28	8,07
2	65	1,72	2180	-	-	6,94
3	65	1,80	2140	13,2	0,28	7,35
Giá trị trung bình						7,45

2.2.3. Thí nghiệm kéo bừa

Ngoài các thí nghiệm xác định cường độ, hệ số Poisson và mô đun đàn hồi ở trên, cường độ chịu kéo bừa của “bê tông đất” cũng được xác định thông qua thí nghiệm kéo bừa theo tiêu chuẩn của Pháp NF EN 12390-6 [10] với 3 mẫu hình trụ cùng kích thước $\Phi 16-32$ chế tạo ở trên. Chi tiết thí nghiệm được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Mô hình thí nghiệm kéo bừa (a) và dạng phá hủy (b) của mẫu “bê tông đất” hình trụ.

Kết quả thu được cho thấy độ chụm của các thí nghiệm với độ lệch chuẩn khá nhỏ (0,07 MPa). Cường độ chịu kéo bừa bằng 0,62 MPa (bằng khoảng 1/10 giá trị cường độ chịu nén dọc trục).

2.2.4. Nhận xét

Bảng 2 dưới đây thể hiện sự so sánh các giá trị đặc trưng cơ học xác định được của loại bê tông đất với các giá trị tương ứng của bê tông thường, đất nện, đất sét nện và bê tông CEMATERRE. Nếu so sánh bê tông đất với đất nện hoặc đất sét nện, giá trị cường độ chịu nén là cao gấp từ 2,5 tới 10 lần và giá trị cường độ chịu kéo cao hơn từ 2 đến 6 lần, tương tự mô đun đàn hồi của bê tông đất cũng cao hơn từ 12-13 lần. Điều này có thể giải thích được do sự xuất hiện của chất kết dính xi măng có trong thành phần của bê tông đất.

Bảng 2. So sánh đặc tính cơ học của bê tông đất với một số loại bê tông khác.

Các loại vật liệu	Tuổi mẫu (ngày)	% Xi măng	Cường độ chịu nén f_c (MPa)	Mô đun đàn hồi E (Gpa)	Cường độ chịu kéo f_t (MPa)
Đất nện	-	0	0.4 to 3	1 to 6	0.11 to 0.28
Đất sét nện	-	0	0.9 to 2.1	1 to 6	0.15 to 0.35
Bê tông CEMATERRE	90	10	3 to 6	0.5 to 0.75	0.3 to 0.5
Bê tông truyền thống C16/20	28	10-15	24	29	1.9
Bê tông đất	65	4.5	7.45	13.5	0.62

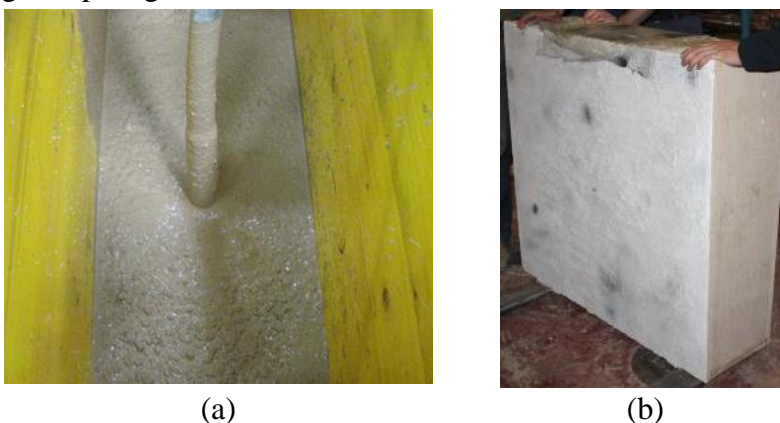
Các đặc tính của bê tông đất là cũng tốt hơn so với bê tông CEMATERRE ở mọi chỉ số. Với tỷ lệ phân trong chất kết dính xi măng sử dụng ít hơn (4% so với 10%) và tuổi mẫu ít hơn (65 ngày so với 90 ngày) nhưng bê tông đất đạt giá trị mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén cao hơn so với bê tông CEMATERRE.

So sánh với bê tông C16/20, có thể thấy rằng cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi là cao hơn nhiều giá trị của bê tông đất nghiên cứu ở đây. Giá trị mô đun đàn hồi là cao gấp đôi và các đặc tính cơ học chính (cường độ chịu kéo, nén) là cao gấp ba lần với tuổi mẫu thấp hơn (28 ngày so với 65 ngày). Điều này có thể được giải thích do bởi hàm lượng xi măng sử dụng của bê tông truyền thống là cao gấp 2-3 lần so với bê tông đất.

3. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU TƯỜNG BÊ TÔNG ĐẤT DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG NÉN

3.1. Chế tạo tường bê tông đất

Tường bê tông đất được chế tạo có kích thước $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,3\text{m}$. Việc đổ ván khuôn được thực hiện thủ công và được đầm nén bằng đầm dùi (Hình 5 a). Các vật liệu đã được đưa vào máy trộn theo thứ tự kích thước giảm dần: đầu tiên là sỏi 04/12, sau đó là cát và cuối cùng là đất sét mịn và xi măng. Toàn bộ được nhào khô trong vòng 2 phút. Nước sau đó đã được cho vào. Toàn bộ sau đó được nhào trong 1 phút. Chất phụ gia đã được thêm vào theo bảng kỹ thuật của nó (trong nước trộn). Toàn bộ sau đó được nhào trong 3 phút. Sau khi thi công xong, bảo dưỡng trong điều kiện thường trong khoảng 24h thì tháo ván khuôn (Hình 5 b). Tiếp tục bảo dưỡng trong điều kiện thường sau 51 ngày tuổi thì tiến hành thí nghiệm ứng xử chịu nén trong mặt phẳng.



Hình 5. Quá trình thi công tường bê tông đất (a) và hình ảnh tường sau khi tháo ván khuôn (b).

3.2. Mô tả thí nghiệm

Tải trọng tĩnh tác dụng bằng máy nén thủy lực (2000 kN) trên bề mặt diện tích (30x30) cm^2 ở giữa tường (Hình 6).



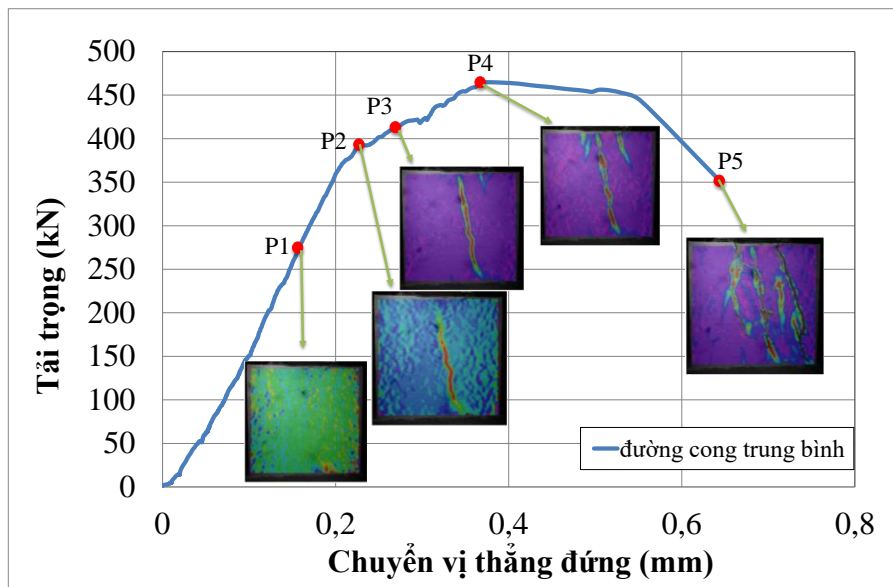
Hình 6. Thí nghiệm nén trong mặt phẳng kết cấu tường bê tông đất.

Các chuyển vị của tường được đo bằng hai cảm biến LVDT được đặt trên tường. Ngoài ra, kỹ thuật xử lý hình ảnh 3D được sử dụng cho mặt tường, giúp ghi lại các biến dạng của bề mặt này theo ba phương. Hai camera 4 megapixel (ALLIED Vision Technologies) đã được sử dụng để thu nhận hình ảnh. Đầu tiên, bề mặt được phủ bởi một lớp vôi ngậm nước tinh khiết màu trắng và sau đó các chấm đen được vẽ trên nền trắng này. Các chuyển vị 3D được đo bằng cách ghi lại chuyển động của các chấm này. Sau đó, các biến dạng được tính toán tự động từ các chuyển vị này bằng phần mềm Vic-3D.

3.3. Kết quả thí nghiệm

3.3.1. Ứng xử tổng thể

Ứng xử tổng thể dưới tải trọng chịu nén trong mặt phẳng của kết cấu tường bê tông đất được thể hiện qua biểu đồ quan hệ lực-chuyển vị kết hợp với các hình ảnh thu nhận được nhờ kỹ thuật xử lý hình ảnh như trên Hình 7. Đường cong này là giá trị trung bình xác định từ hai đường cong có được từ hai đầu đo LVDT đặt trên đỉnh tường (hai đường cong gần như trùng nhau do kết cấu và tải tác dụng đối xứng trục). Kết quả cho thấy ứng xử tổng thể của kết cấu tường bê tông đất dưới tác dụng của tải trọng nén trong mặt phẳng là ứng xử phi tuyến có thể coi gồm ba pha. Pha thứ nhất được coi như đàn hồi tuyến tính lên tới tải trọng là 390kN ứng với 80% tải trọng lớn nhất khi vết nứt đầu tiên xuất hiện – điểm P2 trên Hình 7 (mặc dù xuất hiện một số suy giảm cục bộ ở các mức tải trọng trước đó). Pha thứ hai là pha dẻo tới khi đạt giá trị tải trọng lớn nhất 465kN tương ứng với sự xuất hiện và phát triển của các vết nứt (xem hình ảnh vết nứt ghi nhận được ở các điểm P3 và P4) trên Hình 7. Pha thứ ba post-peak là pha suy giảm cường độ cho tới khi đạt mức suy giảm khoảng 30% tải trọng lớn nhất thì coi như tường bị phá hủy hoàn toàn.

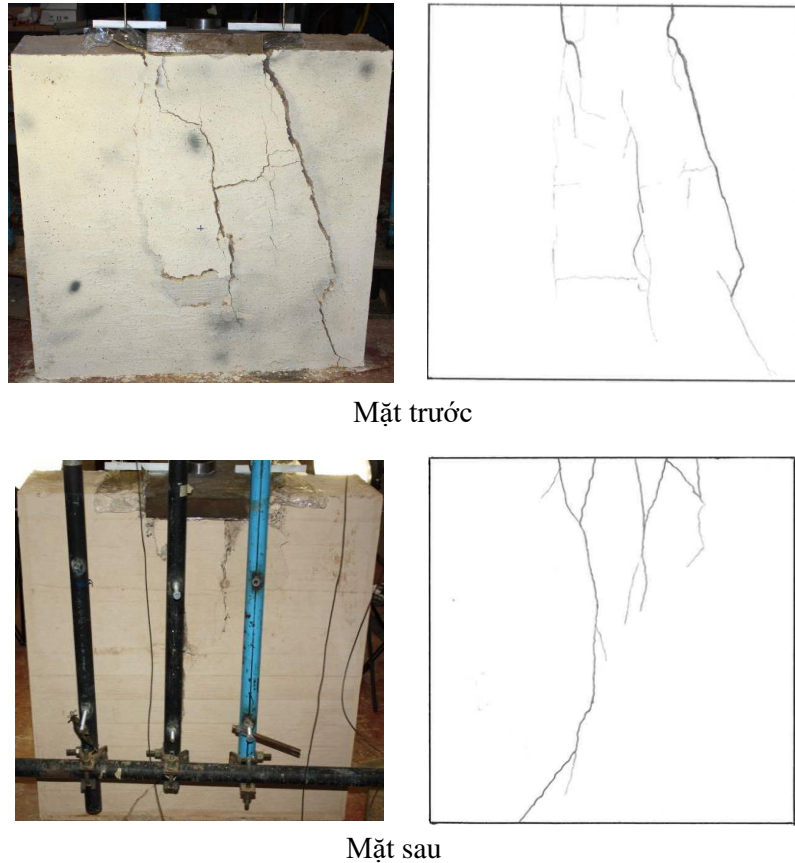


Hình 7. Đường cong tải trọng-chuyển vị của tường bê tông đất.

3.3.2. Dạng và cơ chế phá hủy

Dạng phá hủy của tường được thể hiện thông qua sơ đồ các vết nứt được trình bày trong Hình 8. Dạng phá hủy này là dạng phá hủy đặc trưng bởi hầu hết các vết nứt phát triển theo chiều dọc ở tâm tường rất đặc trưng cho vết nứt do nén. Ở giai đoạn cuối cùng, các vết nứt dọc (ở biên của vùng chịu tải nén và vùng không chịu tải xung quanh) mở rộng và kéo dài từ

đỉnh tường xuống tận chân tường (do sự chênh lệch chuyển vị giữa hai vùng), đồng thời xuất hiện hiện tượng nứt do nén nở hông của vùng chịu nén (nứt theo phương ngang và phình ra ngoài mặt phẳng, Hình 8a). Lúc này sức chịu tải của tường bị suy giảm đột ngột (ứng với điểm P5 trên Hình 7) và tường coi như bị phá hủy hoàn toàn.



Hình 8. Dạng phá hủy của tường bê tông đất.

3. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, các đặc trưng vật liệu của bê tông đất được chế tạo từ đá vôi sét mịn với 4% xi măng đã được xác định. Đồng thời, trên cấp độ kết cấu đã đúc và nghiên cứu ứng xử của kết cấu tường làm từ loại bê tông đất trên dưới tác dụng của tải trọng nén tập trung. Một số kết quả đạt được như sau:

Trên cấp độ vật liệu, các thí nghiệm nén và kéo bừa cho phép xác định được các giá trị cường độ chịu nén, cường độ ép chệch, mô đun đàn hồi và hệ số Poisson. So sánh loại bê tông đất này với một số loại vật liệu truyền thống khác như đất nện và đất sét nện (loại vật liệu không sử dụng chất kết dính xi măng) hoặc thậm chí so với bê tông CEMATERRE (với hàm lượng xi măng sử dụng lên tới 10%) thì với chỉ 4% hàm lượng xi măng sử dụng, thì các giá trị đặc trưng cơ học của bê tông đất là tốt hơn rất nhiều lần. Tất nhiên, khi so sánh với bê tông truyền thống thì các đặc trưng cơ học của bê tông đất là thấp hơn là được dự đoán trước. Tuy nhiên, với hàm lượng xi măng sử dụng trong bê tông đất ở đây chỉ là 4% (thay vì lên tới 15% như bê tông truyền thống) mà giá trị cường độ đạt được khoảng 7,45MPa và mô đun đàn hồi là 13,5GPa cũng có thể coi là một thành công bước đầu cho mục tiêu nghiên cứu loại “bê tông đất” thân thiện với môi trường bởi với giá trị cường độ này thì loại bê tông đất này hoàn toàn có thể sử dụng cho một số kết cấu chịu lực, ví dụ như tường chịu lực (thay cho tường gạch

hoặc tường bê tông).

Trên cấp độ kết cấu, việc thi công khối lớn một bức tường làm từ “bê tông đất” được đúc trong ván khuôn đã được thực hiện thành công. Đồng thời xác định và cung cấp dữ liệu về ứng xử của kết cấu tường bê tông đất dưới tác dụng của tải trọng nén tập trung. Dưới tác dụng của tải trọng này, kết cấu tường bê tông đất có ứng xử phi tuyến ba pha gồm một pha đàn hồi tương đối dài (kéo dài tới cấp tải khoảng 80% tải trọng lớn nhất), tiếp đó là pha dẻo kéo dài tới tải trọng lớn nhất và cuối cùng là pha post-peak thể hiện sự suy giảm cường độ, tường bị coi như phá hủy khi mức suy giảm cường độ là khoảng 30% tải trọng lớn nhất với dạng phá hủy đặc trưng bởi các vết nứt dọc do nén. Sự phá hủy cuối cùng của tường được ghi nhận ở thời điểm xuất hiện các vết nứt do sự nở hông dưới tải trọng nén.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.01-2018.19.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H. Guillaud, Characterization of earthen materials. In: Avrami E, Guillaud H, Hardy M, editors. Terra literature review—an overview of research in earthen architecture conservation. Los Angeles (United States): The Getty Conservation Institute, 21–31, 2008.
- [2]. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction, *Construction and Building Materials*, 29 (2012) 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- [3]. H. Van Damme, H. Houben, Earth concrete. Stabilization revisited. *Cement and Concrete Research*, 114 (2017) 90-102. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.035>
- [4]. M. Calkins, Chapter 6 in *Materials for Sustainable Sites. A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 457, 2009.
- [5]. J. M. Kanema, J. Eid, S. Taibi, Shrinkage of earth concrete amended with recycled aggregates and superplasticizer: Impact on mechanical properties and cracks, *Materials & Design*, 109 (2016) 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.07.025>
- [6]. H. Hwang, Presentation and Demonstration at the TerrAsia 2011, the 2011 International Conference on Earthen Architecture in Asia, Mokpo, South Korea, 2011
- [7]. G. Landrou, C.M. Ouellet-Plamondon, C. Brumaud, G. Habert, Development of a selfcompacted clay-based concrete: rheological, mechanical and environmental investigations, *World SB14* (2014) <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1054.2401>
- [8]. C.M. Ouellet-Plamondon, G. Habert, Self-compacted clay-based concrete (SCCC): proof-of-concept, *J. Clean. Prod.*, 117 (2016) 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.048>
- [9]. Essais pour béton durci - Partie 3: caractérisation à la compression des éprouvettes: NF EN 12390-3.
- [10]. Essais pour béton durci - Partie 6: détermination de la résistance en traction par fendage d'éprouvettes: NF EN 12390-6.