



## EXPERIMENTAL STUDY ON THE BEHAVIOR OF EARTH CONCRETE WALL WITH OPENING UNDER INPLANE LOADING

**Bui Thi Loan**

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 16/02/2023

Revised: 30/03/2023

Accepted: 14/04/2023

Published online: 15/04/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.6>

\* *Corresponding author*

Email: Buithiloan@utc.edu.vn; Tel: +84979458331

**Abstract.** The use of earth concrete wall in building is suitable for the sustainable development tendency in construction because earth concrete – a material bases on soil - is a material with many environmental advantages such as low toxicity, good hygric-thermal behavior, good absorption of volatile compounds, and strong “breathability”. This article presents the results of experimental study on the behavior of earth concrete wall with opening under in-plane loading. The earth concrete wall has dimensions of 1.5m x 2m x 0.2 m (LxHxt), containing an opening with a size of 1m x 1m x 0.2m. A reinforced concrete lintel is used at the top of opening. This wall is tested under a vertical load, concentrated at the middle wall top. The global behavior and failure mode of this tested wall is analyzed, and it is interesting to note that a lintel beam such as reinforced concrete lintel should be used at the top of opening to enhance the plasticity of structure.

**Keywords:** earth concrete, wall with opening, in-plane loading.



# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU TƯỜNG BÊ TÔNG ĐẤT CÓ KHOẾT LỖ DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG TRONG MẶT PHẶNG

Bùi Thị Loan

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 16/02/2023

Ngày nhận bài sửa: 30/03/2023

Ngày chấp nhận đăng: 14/04/2023

Ngày xuất bản Online: 15/04/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.3.6>

\* Tác giả liên hệ

Email: Buithiloan@utc.edu.vn; Tel: +84979458331

**Tóm tắt.** Việc sử dụng bê tông đất làm kết cấu tường trong các tòa nhà đang thu hút sự quan tâm mới của các nước phát triển nhằm hướng tới sự phát triển bền vững trong xây dựng, do bê tông đất là một loại vật liệu dựa trên đất nên có nhiều lợi thế môi trường như ít độc hại, có chế độ nhiệt ẩm tốt, khả năng hấp phụ tốt các hợp chất dễ bay hơi, có khả năng « trao đổi » mạnh,... Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng trong mặt phẳng. Kết cấu tường bê tông đất đúc toàn khối với kích thước 1,5m x 2m x 0,2m (LxHxt), được khoét lỗ kích thước 1m x 1m x 0,2m và kết hợp với lanh tô bê tông cốt thép phía trên lỗ khoét, được thí nghiệm dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng, tập trung ở đỉnh tường. Kết quả nghiên cứu đã phân tích được ứng xử tổng thể và dạng phá hủy của kết cấu tường này và cho thấy rằng với kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ này khi được kết hợp với lanh tô bê tông cốt thép sẽ giúp tăng tính dẻo cho kết cấu.

**Từ khóa:** bê tông đất, tường khoét lỗ, tải trọng trong mặt phẳng.

© 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhu cầu về năng lượng ngày càng tăng trên toàn thế giới là nguyên nhân chính của sự phát triển không bền vững trên hành tinh chúng ta. Sự gia tăng tiêu thụ năng lượng có hai lý do chính, đó là sự gia tăng dân số và do đó gia tăng số người dùng điện. Có thể thấy, các tòa

nhà tiêu thụ điện trong suốt vòng đời của nó, hơn 40% năng lượng được sản xuất [1]. Do đó, có thể dễ dàng thấy được tiềm năng tiết kiệm năng lượng cao của tiểu ngành này và điều này dẫn đến việc giảm khí thải carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Thormark [2] đã đề cập rằng “sự lựa chọn thích hợp vật liệu xây dựng có thể làm giảm 17% năng lượng của một tòa nhà”. Theo Gonzalez và Navarro [3], việc lựa chọn đúng vật liệu xây dựng có thể làm giảm gần 30% khí thải CO<sub>2</sub>, tránh được phát thải 38 tấn CO<sub>2</sub>. Sự lựa chọn vật liệu xây dựng phù hợp có thể góp phần quyết định để giảm mức tiêu thụ năng lượng của ngành xây dựng.

Vật liệu xây dựng từ đất mang lại những lợi thế môi trường đáng kể. Việc tái chế nó là không giới hạn và thường được thực hiện ngay trên công trường, nên sẽ tiết kiệm chi phí vận chuyển và hạn chế tác động tới môi trường do quá trình vận chuyển [3]. Mặc dù kỹ thuật xây dựng, chế tạo còn đang ở mức hạn chế. Ngoài đặc tính không độc hại và không gây ô nhiễm, đất thô còn có khả năng hấp phụ lớn các hợp chất dễ bay hơi, nhờ trong thành phần của nó có chứa các hạt sét. Các tòa nhà làm từ đất khi đưa vào vận hành cũng có chế độ nhiệt ẩm rất tốt nhờ tính dẫn nhiệt tương đối thấp, nhiệt lượng lớn và “khả năng trao đổi” mạnh (có khả năng vận chuyển nước và hơi một cách dễ dàng) [4]. Với sự gia tăng nhận thức về các vấn đề môi trường và năng lượng, việc sử dụng vật liệu xây dựng dựa trên đất đang thu hút sự quan tâm mới là không có gì đáng ngạc nhiên.

Bê tông đất chính là một loại vật liệu xây dựng mới dựa trên đất với thành phần chính gồm “đất thô”, cát, sỏi và một lượng nhỏ xi măng Portland để “ổn định” đất (chỉ khoảng 4% thay vì 15% như trong bê tông thông thường [5]), nước và phụ gia. “Đất thô” được sử dụng ở đây chính là chất thải từ việc rửa cốt liệu ở các mỏ đá.

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). Trên khía cạnh vật liệu, đã có nhiều nghiên cứu khác nhau về thành phần và tính chất của bê tông đất [5,6,7,8]. Bê tông đất cũng đã được ứng dụng trong nhiều công trình thực tế cho các dạng kết cấu khác nhau, trong đó có ứng dụng cho kết cấu tường chịu lực trong các tòa nhà. Tuy nhiên cho tới nay, nghiên cứu về ứng xử của các kết cấu tường bê tông đất vẫn còn rất hạn chế, đặc biệt là kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ (dưới dạng cửa sổ hoặc cửa ra vào). Hiện mới chỉ có một vài nghiên cứu về ứng xử của kết cấu tường bê tông đất không khoét lỗ được thực hiện [9]. Do đó, việc nghiên cứu ứng xử chịu cắt của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng trong mặt phẳng là rất quan trọng và là nội dung chính được trình bày trong bài báo này. Nghiên cứu này được thực hiện bằng thực nghiệm, tại phòng thí nghiệm trường đại học Giao thông vận tải.

## 2. THÍ NGHIỆM

### 2.1. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Kết cấu tường được đúc từ một loại bê tông đất có thành phần cấp phối như ở Bảng 1 dưới đây. Đây là loại cấp phối được lựa chọn dựa trên kết quả nghiên cứu của đề tài cấp trường mã số T2021 XD - 006 [10], dựa trên sự tổng hòa của ba yếu tố: a) có tính công tác tốt; b) có đặc tính thân thiện với môi trường; và c) có cường độ đáp ứng yêu cầu cho kết cấu tường. Loại bê tông đất sử dụng đúc tường này có độ sụt ngay sau khi trộn tương ứng là 11,5 cm và có cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi là 5,42 MPa.

Tường thí nghiệm có kích thước 1,5m x 2m x 0,2m (LxHxt), có khoét lỗ (dạng cửa sổ) với kích thước 1m x 1m x 0,2m. Kích thước tường được lựa chọn dựa trên các điều kiện sau: điều kiện thứ nhất là đảm bảo tỷ lệ chiều cao trên chiều rộng (H/L) bằng 0,75 (tỷ lệ của phần

không nhỏ các bức tường trong thực tế). Mặt khác, kích thước lỗ khoét cũng phải phản ánh tương đối đúng với kích thước của các ô cửa trong thực tế (thông qua tỷ lệ giữa cửa và tường). Hơn thế nữa độ mảnh của tường không được quá lớn để đảm bảo kết quả không bị ảnh hưởng do sự mất ổn định ngoài mặt phẳng trong quá trình thí nghiệm. Cuối cùng là phải đảm bảo phù hợp với khả năng của thiết bị trong phòng thí nghiệm. Chú ý rằng, phía trên lỗ khoét có sử dụng lanh tô bằng bê tông cốt thép (BTCT) với cấu tạo tương tự như cấu tạo thông thường của lanh tô sử dụng cho tường gạch có cửa.

Bảng 1. Thành phần vật liệu của cấp phối bê tông sử dụng đúc kết cấu tường.

Cấp phối	Xi măng (kg)	Đất (kg)	Đá dăm (kg)	Cát (kg)	Nước (kg)	Phụ gia (lít)
10% đất – 6% xi măng	132	226	930	761	209	7,6

Tường được đúc toàn khối trong ván khuôn gỗ và đầm bằng đầm dùi (hình 1), sau đó được bảo dưỡng trong điều kiện thường sau 48h thì tháo ván khuôn và tiếp tục bảo dưỡng tới ngày thí nghiệm.



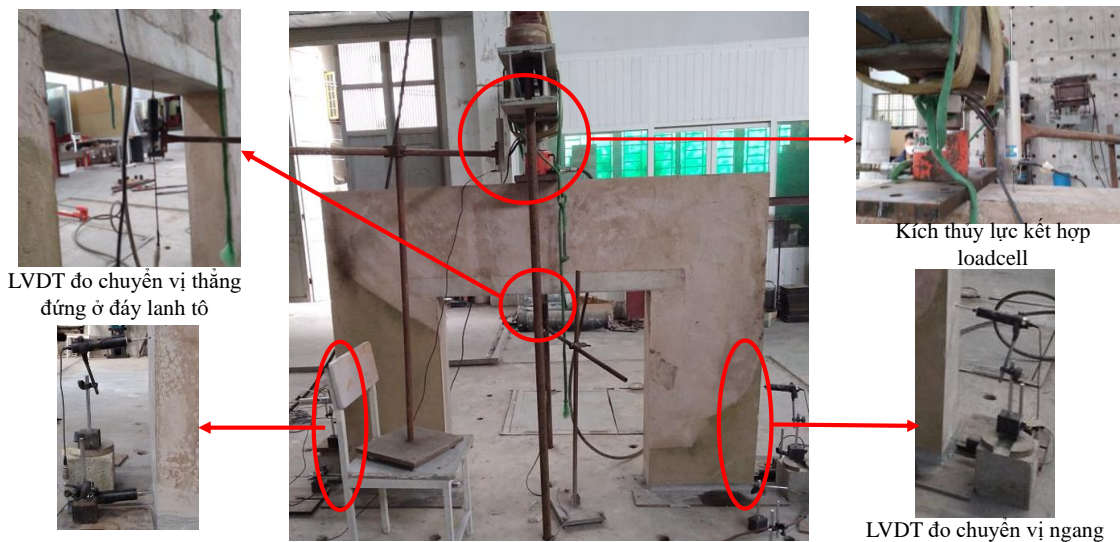
Hình 1. Đổ và đầm bê tông trong ván khuôn gỗ.

## 2.2. Sơ đồ lắp đặt thiết bị và quy trình thí nghiệm

Theo mô hình thí nghiệm đề xuất, chân tường được cố định vào hệ nền cứng phía dưới bằng một lớp vữa xi măng M75, dày 20 mm. Kết cấu tường bê tông đất này sẽ chịu tác dụng của tải trọng thẳng đứng, tập trung ở đỉnh tường (phía trên lanh tô) thông qua một tấm thép có diện tích 20x20 cm<sup>2</sup>. Tải trọng thẳng đứng này được tác dụng bởi một kích thủy lực (có khả

năng nén tới 50 tấn), có gắn với một thiết bị loadcell để kiểm soát lực tác dụng. Các thiết bị này được giữ bởi một hệ gồm một dầm thép hình I phía trên đỉnh tường và hai thanh thép cường độ cao liên kết dầm này với hệ nền cứng phía dưới chân tường với các bu lông siết chặt hai đầu. Để đánh giá đầy đủ ứng xử của kết cấu tường bê tông đất này, ngoài loadcell gắn với kích thủy lực ở trên đỉnh tường, các đầu đo LVDT được gắn ở các vị trí khác nhau: một đầu đo gắn ở đỉnh tường (ngay cạnh vị trí loadcell), một đầu đo gắn ở dưới đáy lanh tô bê tông cốt thép; ngoài ra hai bên hông tường cũng sử dụng các đầu đo LVDT để đo chuyển vị theo phương ngang ở giữa hông tường và ở chân tường (vị trí tiếp giáp giữa tường và lớp vữa lót) nhằm kiểm chứng điều kiện biên của chân tường.

Tất cả chi tiết về set-up thí nghiệm này được thể hiện trên Hình 2 dưới đây.



Hình 2. Set-up thí nghiệm xác định ứng xử trong mặt phẳng của kết cấu tường khoét lỗ.

Tải trọng được tác động từ từ bằng kích thủy lực với tốc độ gia tải 1kN/s cho tới khi tường bị phá hủy.

### 3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

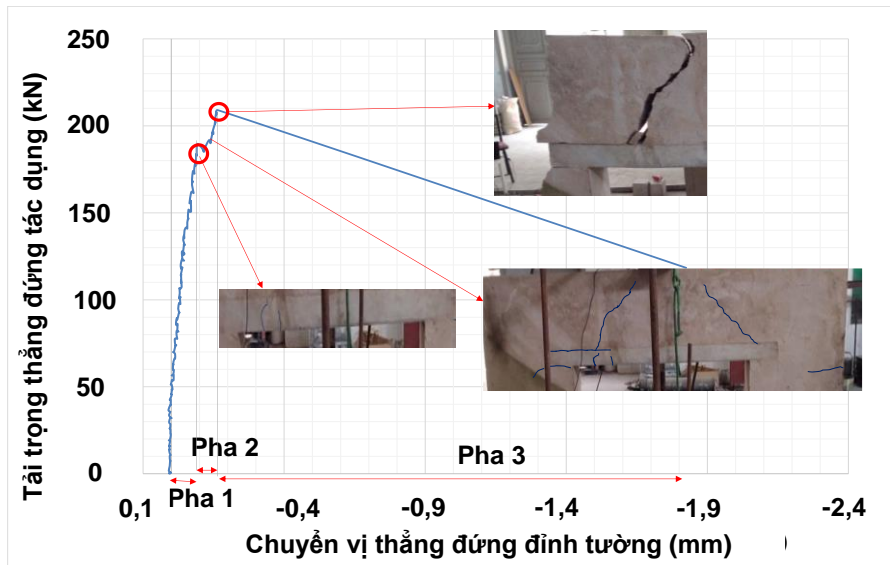
#### 3.1. Ứng xử tổng thể

Đầu tiên, kết quả thí nghiệm ghi nhận được tại hai đầu đo LVDT ở dưới chân tường đều cho thấy không có chuyển vị theo phương ngang, điều đó chứng tỏ điều kiện biên chân tường được liên kết chặt vào nền cứng được đảm bảo.

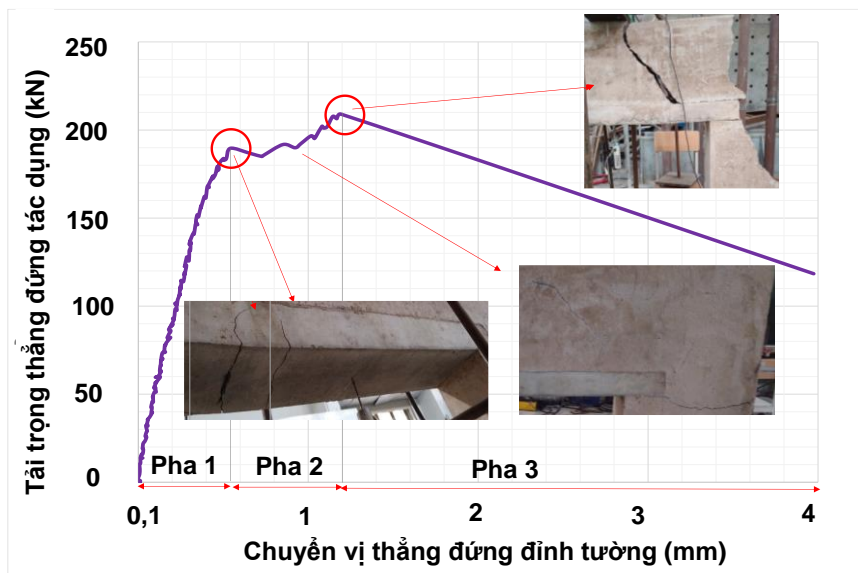
Ứng xử tổng thể của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng cục bộ thẳng đứng trong mặt phẳng được thể hiện thông qua đường cong quan hệ giữa tải trọng tác dụng – chuyển vị thẳng đứng ở đỉnh tường (Hình 3).

Có thể tổng quát ứng xử của kết cấu tường này là “dẻo”, được đặc trưng bởi đường cong ứng xử gồm 3 pha. Pha thứ nhất (pha 1) thể hiện ứng xử tuyến tính ứng với khi tường chưa xuất hiện vết nứt. Pha này được đặc trưng với độ cứng tương đối lớn, kéo dài tới mức tải trọng 190 kN và chuyển vị tương ứng chỉ 0,1mm. Giới hạn của pha thứ nhất này ứng với thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên của dầm lanh tô BTCT do uốn. Pha thứ hai, ứng xử phi tuyến, kéo dài từ giới hạn nứt này tới tải trọng tới hạn, ứng với sự phát triển, mở rộng vết nứt của

dầm lanh tô này cũng như sự xuất hiện và phát triển của các vết nứt khác trong kết cấu tường bê tông đất do ứng suất cắt và trượt. Đỉnh của đường cong, trạng thái giới hạn phá hủy của kết cấu, ứng với thời điểm kết cấu tường bê tông đất bị phá hủy hoàn toàn do ứng suất cắt. Pha thứ ba là pha post-pic, thể hiện sự suy giảm cường độ đột ngột của kết cấu do bởi sự phá hủy của tường bê tông đất diễn ra rất nhanh và đột ngột.



Hình 3. Đường cong quan hệ chuyển vị thẳng đứng đỉnh tường- tải trọng tác dụng.

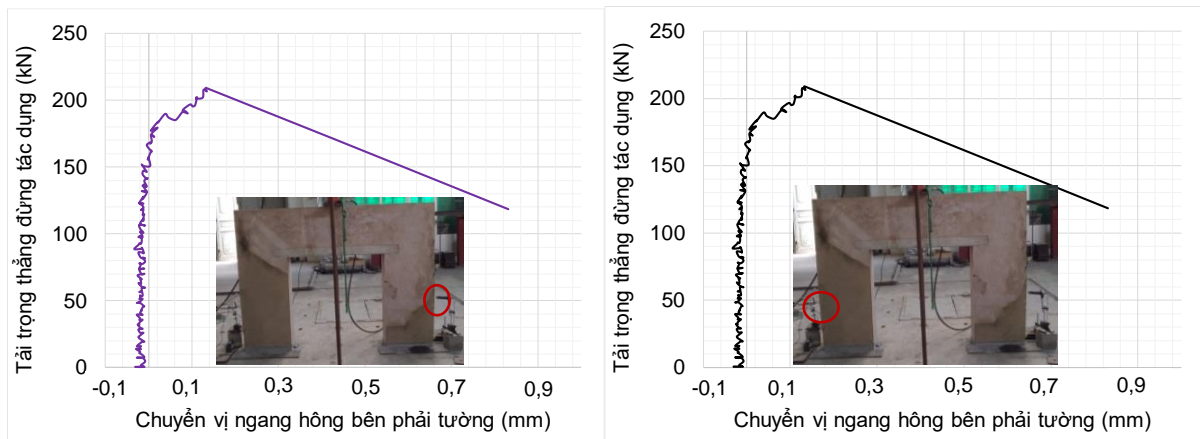


Hình 4. Đường cong quan hệ chuyển vị thẳng đứng đáy lanh tô - tải trọng tác dụng.

Đường cong quan hệ giữ lực tác dụng và chuyển vị thẳng đứng dưới đáy lanh tô (Hình 4) cũng thể hiện ứng xử tương tự, tuy nhiên mức chuyển vị thẳng đứng đo được ở dưới đáy lanh tô là lớn hơn nhiều so với mức chuyển vị đo được trên đỉnh tường. Điều này là hợp lý do bởi đầu đo chuyển vị đặt ở giữa của đáy dầm lanh tô, nơi được dự tính có chuyển vị thẳng đứng là lớn nhất.

Có thể thấy rằng, giai đoạn ứng xử phi tuyến (pha thứ 2) – đặc trưng cho tính “dẻo” của kết cấu - có được là nhờ sự có mặt của dầm lạnh tô BTCT và sự gắn kết tốt giữa tường và dầm lạnh tô dẫn tới ứng xử này của kết cấu tường có thể coi tương tự như ứng xử của dạng dầm cao “deep beam” bê tông cốt thép chịu tải trọng tập trung ở giữa dầm.

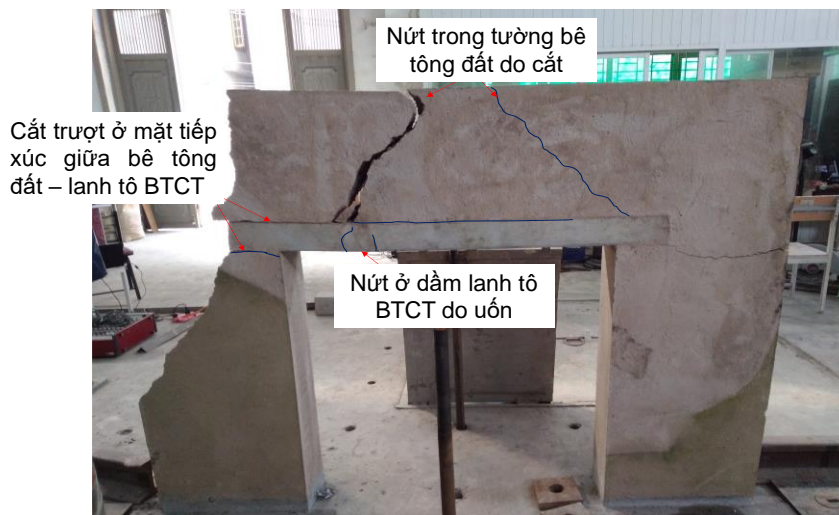
Ngoài hai đường cong ứng xử này, từ đường cong quan hệ chuyển vị ngang hai bên hông tường – tải trọng tác dụng (Hình 5), ta thấy rằng: trong giai đoạn thứ nhất, khi tường chưa xuất hiện vết nứt, chuyển vị hông gần như không có do bởi kết cấu tường bê tông có độ cứng lớn và vật liệu bê tông có hệ số nở hông nhỏ. Chuyển vị hông này chỉ xuất hiện đáng kể khi các vết nứt bắt đầu xuất hiện và mở rộng trong kết cấu. Có thể thấy rằng, chuyển vị bên hông trái (phía tập trung các vết nứt lớn) có giá trị lớn hơn so với chuyển vị bên hông phải, điều này là do bởi sai số trong set-up thí nghiệm không thực sự đảm bảo sự đối xứng.



Hình 5. Đường cong quan hệ chuyển vị ngang hai bên hông tường - tải trọng tác dụng.

### 3.2. Dạng phá hủy

Dạng phá hủy của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng tập trung thẳng đứng ở đỉnh tường được thể hiện trên Hình 6 dưới đây.



Hình 6. Dạng phá hủy của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng tập trung trên đỉnh tường.

Dạng phá hủy này là dạng phá hủy kết hợp của uốn – cắt – trượt. Dưới tác dụng của tải trọng uốn tăng dần, vết nứt đầu tiên xuất hiện ở đáy dầm lanh tô bê tông cốt thép (ứng với thời điểm đường cong ứng xử thay đổi từ pha ứng xử tuyến tính sang pha ứng xử phi tuyến như trình bày ở trên). Đây là dạng vết nứt đặc trưng của dầm chịu uốn. Mặt khác, trong phần tường bê tông đất phía trên dầm lanh tô cũng xuất hiện các đường nứt xiên, xuất phát từ tâm đỉnh tường (vị trí tác dụng của tải trọng) và hướng xiên ra phía ngoài một góc xấp xỉ  $45^{\circ}$ . Dạng vết nứt này là đặc trưng cho sự phá hủy do cắt. Tải trọng càng tăng thì các vết nứt (ở cả dầm lanh tô và ở tường bê tông đất) càng mở rộng và phát triển. Đồng thời, xảy ra sự cắt trượt ở bề mặt tiếp xúc giữa tường bê tông đất – lanh tô bê tông cốt thép dẫn tới sự phá hoàn toàn của kết cấu khi cả mảng tường bê tông đất bị cắt rời và văng ra ngoài. Sự phá hủy này diễn ra rất đột ngột, đặc trưng cho sự phá hoại giòn của kết cấu bê tông đất không có cốt gia cường

#### 4. KẾT LUẬN

Như vậy, nghiên cứu này đã đề xuất được mô hình thí nghiệm và thực hiện các thí nghiệm nhằm đánh giá ứng xử của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng tập trung trên đỉnh tường. Thông qua việc phân tích các kết quả nghiên cứu này về ứng xử tổng thể và dạng phá hủy cho thấy kết cấu này có ứng xử phi tuyến 3 pha và dạng phá hủy của kết cấu tường là dạng phá hủy kết hợp của uốn – cắt và trượt. Đồng thời, sự có mặt của lanh tô BTCT phía trên ô cửa giúp ứng xử của kết cấu tường này “đẻo” hơn và điều này có được là nhờ vào đặc tính ứng xử “đẻo” của lanh tô BTCT. Tuy nhiên, để có thể kết luận đầy đủ hơn về vai trò và tầm quan trọng của dầm lanh tô trong ứng xử của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ cũng như đưa ra những khuyến nghị cụ thể hơn trong thiết kế tường bê tông đất có khoét lỗ thì cần thực hiện thêm một số nghiên cứu thực nghiệm kết hợp nghiên cứu mô phỏng số khác trong tương lai.

#### 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, p.p 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 (2018) 90-102.
- [4]. M. Calkins, *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, p.p 457, 2009.
- [5]. J. Marc 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]. S. Imanzadeh, A. Hibouche, A. Jarno, S. Taibi, Formulating and optimizing the compressive strength of a raw earth concrete by mixture design, *Construction and Building Materials*, 163 (2018) 149-159.
- [7]. N. Kouta, J. Saliba, N. Saiyouri, Monitoring of earth concrete damage evolution during drying, *Construction and Building Materials*, 313 (2021) 125340. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125340>



- [8]. H. Fardoun, J. Saliba, N. Saiyouri, Evolution of acoustic emission activity throughout fine recycled aggregate earth concrete under compressive tests, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 119 (2022) 10336.
- [9]. Bùi Thị Loan, Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Tiến Dũng, Lê Minh Cường, Bùi Tấn Trung, Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử dưới tải trọng nén của kết cấu tường bê tông đất, *Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải*, 70 (2019) 296-305. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.4.16>
- [10]. Bùi Thị Loan, Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của kết cấu tường bê tông đất có khoét lỗ dưới tác dụng của tải trọng trong mặt phẳng, Đề tài mã số T2021 XD – 006, 2021.