



EXPERIMENT AND NUMERICAL STUDY ON SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE DEEP BEAMS WITH OPENING

Nguyen Hoang Quan¹, Nguyen Xuan Huy^{1*}, Le Dang Dung¹, Nguyen Quang Si²

¹University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications, No. 450- 451 Le Van Viet Street, Thu Duc city, Ho Chi Minh City, Vietnam.

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 07/09/2023

Revised: 07/10/2023

Accepted: 11/10/2023

Published online: 15/10/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.10>

* *Corresponding author*

Email: nguyenxuanhuy@utc.edu.vn; Tel: +84973223400

Abstract. Openings are often developed in deep beam to facilitate passage of necessary such as drinking water, sewage, air conditioning and electricity, internet or decrease the dead load. This paper investigated experimentally and numerically the shear behavior of reinforced concrete deep beam with web opening. Firstly, two deep beams without and with square opening were constructed and tested under three-point bending. Then, the 3D numerical model was created using the finite element analysis software Cast3M. The behavior of concrete was simulated using the Mazars 3D damage concrete model. The behavior of reinforced steel was assumed as a elastic perfectly plastic. The numerical results showed a good agreement with the experimental results in terms of load – displacement curve, failure mode. Then, a parametric study was carried out to investigate the effect of opening location, size, shape on the shear behavior of deep beam. The developed finite element model was found to be effective in accurately predicting the shear behavior of reinforced concrete deep beam.

Keywords: deep beam, web opening, Cast3M, opening location, size, shape

@ 2023 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG ỨNG XỬ CHỊU CẮT CỦA DẦM CAO BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ LỖ MỠ

Nguyễn Hoàng Quân¹, Nguyễn Xuân Huy*, Lê Đăng Dũng¹, Nguyễn Quang Sĩ²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Công trình, Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 450-451 Lê Văn Việt, thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam.

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 07/09/2023

Ngày nhận bài sửa: 07/10/2023

Ngày chấp nhận đăng: 11/10/2023

Ngày xuất bản Online: 15/10/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.10>

* Tác giả liên hệ

Email: nguyenxuanhuy@utc.edu.vn; Tel: +84973223400

Tóm tắt. Các lỗ mở thường được bố trí trong các dầm cao bê tông cốt thép nhằm bố trí hệ thống nước sạch, thoát nước thải, hệ thống điều hòa, điện, internet hoặc làm giảm tĩnh tải. Bài báo nhằm mục đích trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số ứng xử chịu cắt của dầm cao có lỗ mở. Trước tiên, nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành trên hai mẫu không có và có lỗ mở chịu uốn ba điểm. Tiếp đó, mô hình mô phỏng số 3D được xây dựng trên phần mềm phần tử hữu hạn có mã nguồn mở Cast3M. Vật liệu bê tông được mô phỏng bằng mô hình hư hại Mazars 3D. Cốt thép được giả thiết có ứng xử đàn dẻo lý tưởng. Kết quả mô phỏng số thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm về đường cong lực chuyển vị, dạng phá hoại. Tiếp đó, khảo sát tham số được tiến hành nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của một số tham số như vị trí, kích thước, hình dạng lỗ mở tới ứng xử chịu cắt của dầm cao. Mô hình phần tử hữu hạn đề xuất cho thấy sự hiệu quả trong việc dự báo ứng xử chịu cắt của dầm cao bê tông cốt thép có lỗ mở.

Từ khóa: dầm cao, lỗ mở, phần mềm Cast3M, vị trí, kích thước, hình dạng lỗ mở

@ 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong công trình nhà cao tầng, các hệ thống ống thường được bố trí ở mặt dưới của dầm để cung cấp điện, nước, hệ thống điều hòa, đường cáp điện, internet [1,2]. Để đảm bảo về mặt thẩm mỹ, các hệ thống ống này thường được che lại bằng trần giả có chiều cao khoảng 0,5m. Việc bố trí hệ thống trần giả và các đường ống như vậy sẽ dẫn tới việc tăng chiều cao tầng để

đảm bảo tĩnh không thông thủy. Để khắc phục nhược điểm này, một giải pháp được đưa ra là tạo ra các lỗ mở trên dầm (hình vuông, chữ nhật, hình tròn) để cho đường ống chạy qua. Dầm cao (deep beam) là dạng cấu kiện được sử dụng nhiều trong kết cấu nhà cao tầng do có khả năng chịu cắt và chịu tải trọng ngang lớn. Tiêu chuẩn ACI và ECCP [3,4] quy định rằng dầm được coi là dầm cao nếu chiều dài nhịp không vượt quá bốn lần chiều cao dầm. Trong khi đó, tiêu chuẩn Eurocode [5] lại quan niệm rằng dầm cao là dầm có chiều dài nhịp không vượt quá ba lần chiều cao dầm. Đối với dầm có lỗ mở, các tiêu chuẩn hiện hành vẫn chưa đưa ra chỉ dẫn về thiết kế dạng cấu kiện này. Tiêu chuẩn AS3600-2018 [6], ACI318-19 [3] có các chương riêng biệt dành cho việc chỉ dẫn thiết kế dầm cao bằng mô hình chống giằng. Tuy nhiên, các chỉ dẫn này chỉ áp dụng cho dầm không có lỗ mở. Sự xuất hiện các lỗ mở trên dầm làm ứng xử của dầm trở nên phức tạp hơn [7]. Các khu vực có lỗ mở là nơi có sự thay đổi đột ngột về mặt hình học, tập trung ứng suất- dẫn đến làm giảm độ cứng tổng thể của dầm, giảm khả năng chịu cắt. Sự xuất hiện của các lỗ mở trong dầm cao làm giảm vùng bê tông chịu nén và được coi là nguyên nhân gây ra các vết nứt do cắt [8]. Thêm vào đó, đối với dầm liên tục, các lỗ mở sẽ gây ra sự phân bố lại đáng kể về nội lực [9]. Nhằm đảm bảo dầm cao có lỗ mở có đủ khả năng chịu lực, tùy thuộc vào lỗ mở được thiết kế từ đầu hay được tạo ra trong quá trình sử dụng, nhiều biện pháp gia cường được sử dụng. Đối với các lỗ mở được bố trí ngay từ thiết kế ban đầu, các cốt thép gia cường được bố trí xung quanh lỗ mở nhằm tránh sự xuất hiện của các vết nứt [10].

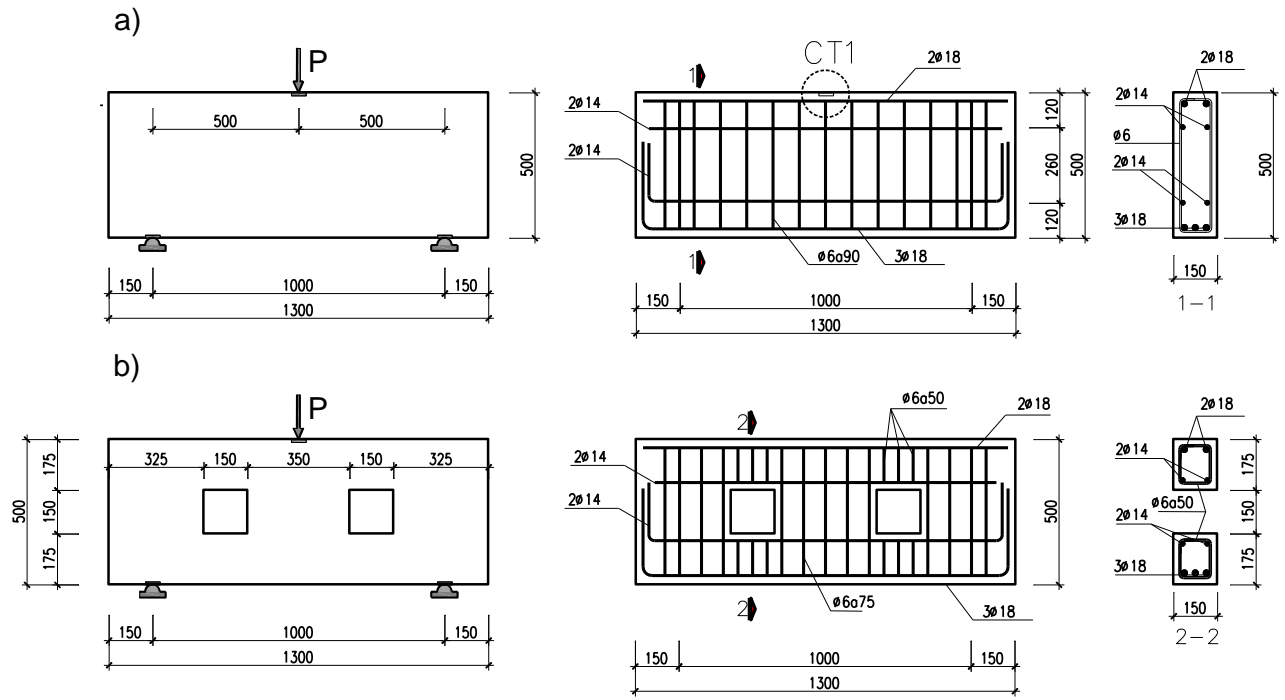
Bài báo nhằm mục đích trình bày nghiên cứu mô phỏng số ứng xử chịu lực của dầm cao bê tông cốt thép có lỗ mở. Mô hình mô phỏng số được xây dựng trên phần mềm Cast3M [11], đây là phần mềm có mã nguồn mở được phát triển bởi viện năng lượng nguyên tử Pháp. Nhiều nghiên cứu mô phỏng số sử dụng các phần mềm thương mại như Ansys, Abaqus đã chứng minh được hiệu quả cao trong việc mô phỏng ứng xử chịu lực của dầm cao. Tuy nhiên, các mô hình vật liệu cho bê tông trong các phần mềm này sử dụng khá nhiều tham số. Trong nghiên cứu này, vật liệu bê tông được mô phỏng bằng mô hình hư hại Mazars 3D với các thông số cơ bản của bê tông như cường độ chịu kéo, cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi. Kết quả mô phỏng số được kiểm chứng với kết quả thực nghiệm được thực hiện bởi nhóm nghiên cứu. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tham số được tiến hành nhằm khảo sát ảnh hưởng của vị trí, kích thước, hình dạng lỗ tới ứng xử của tổng thể của dầm. Bố cục của bài báo được trình bày như sau: phần 2 dành cho việc mô tả thí nghiệm xác định ứng xử chịu lực của dầm cao bê tông cốt thép có lỗ mở. Kết quả thí nghiệm như đường cong lực- chuyển vị, dạng phá hoại là cơ sở để kiểm chứng mô hình mô phỏng số và tiến hành các khảo sát tham số được trình bày ở phần 3. Cuối cùng là kết luận và kiến nghị.

2. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ỨNG XỬ CHỊU LỰC CỦA DẦM CAO BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ LỖ MỞ

2.1 Cấu tạo mẫu thí nghiệm và bố trí thí nghiệm

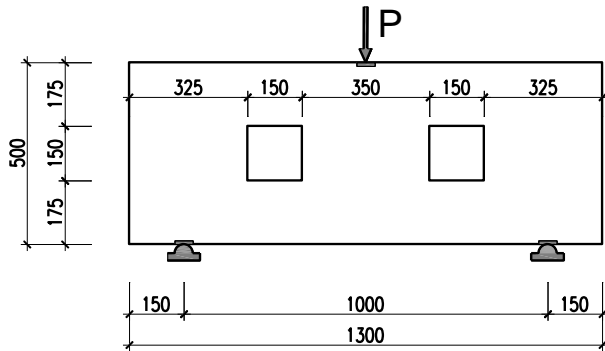
Thí nghiệm được tiến hành trên hai mẫu dầm cao bằng bê tông cốt thép. Trong đó, một mẫu dầm không có lỗ mở được sử dụng để làm dầm đối chứng và mẫu dầm còn lại được thiết kế có hai lỗ mở hình vuông có kích thước 150 mm x150 mm nằm chính giữa trong khu vực chịu cắt của dầm. Các lỗ mở này được bố trí đối xứng qua mặt cắt giữa dầm. Hai dầm có chiều dài nhịp bằng 1300 mm và mặt cắt ngang hình chữ nhật với kích thước 150 mm x500 mm. Các mẫu dầm được tiến hành thí nghiệm theo sơ đồ chịu uốn ba điểm với chiều dài nhịp có hiệu bằng 1000 mm. Trong đó, chiều dài nhịp chịu cắt bằng 500 mm và tỷ số chiều dài nhịp chịu cắt/chiều cao dầm có hiệu bằng 1,07. Mẫu dầm được thiết kế để bị phá hoại do cắt không chế. Hình 1 thể hiện kích thước và cách bố trí cốt thép của các mẫu dầm thí nghiệm. Biên chịu kéo

và biên chịu nén của dầm lần lượt được bố trí ba thanh và hai thanh cốt thép $\text{Ø}18$. Bên cạnh đó, dọc theo chiều cao dầm được bố trí bốn thanh cốt thép $\text{Ø}14$. Cốt thép đai chịu cắt của dầm sử dụng cốt thép $\text{Ø}6$. Thực tế thí nghiệm kéo cốt thép dọc và cốt thép đai cho thấy giới hạn kéo chảy của thép dọc và thép đai lần lượt bằng 300 và 240 MPa. Tại thời điểm thí nghiệm, bê tông làm dầm có cường độ chịu nén trung bình xác định trên mẫu hình trụ bằng 27 MPa.



Hình 1. Cấu tạo chi tiết các mẫu dầm thí nghiệm.

Hình 2 thể hiện sơ đồ thí nghiệm và thực tế bố trí thí nghiệm. Các mẫu dầm được tiến hành thí nghiệm chịu uốn 3 điểm cho đến khi bị phá hoại theo phương pháp không chế chuyển vị với tốc độ gia tải bằng 0,5mm/phút. Thiết bị gia tải là máy kéo nén SANS tại trường đại học Giao thông vận tải. Trong thí nghiệm này, thiết bị đo lực loadcell được đặt tại điểm đặt lực và thiết bị đo chuyển vị LVDT được gắn vào điểm giữa nhịp bên dưới. Các thiết bị này được đồng bộ dữ liệu qua bộ ghi đo tự động datalogger. Dựa trên số liệu thu được từ thiết bị này, mối quan hệ lực – chuyển vị giữa nhịp của mẫu thí nghiệm sẽ được xác định. Trong quá trình thí nghiệm, thứ tự xuất hiện các vết nứt tương ứng với giá trị lực được ghi lại.



a) Sơ đồ thí nghiệm

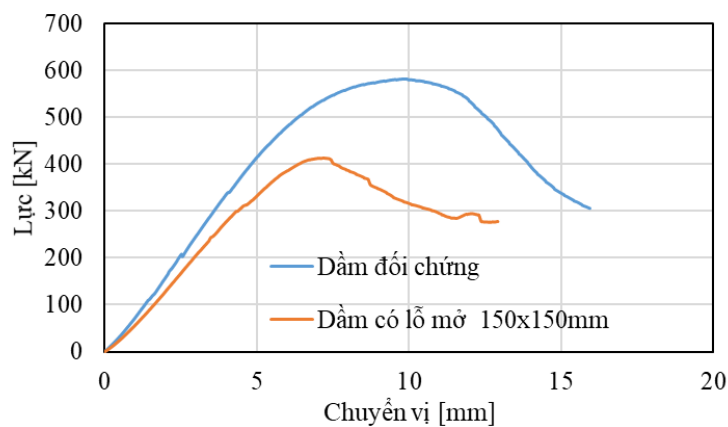


b) Thực tế bố trí thí nghiệm

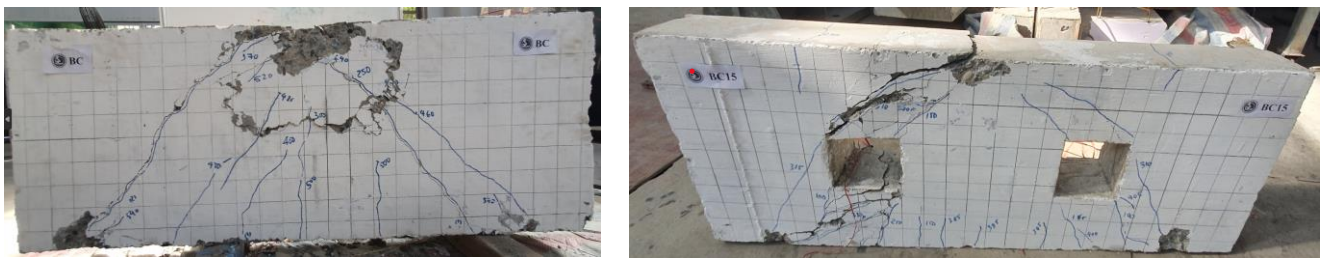
Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm và thực tế bố trí thí nghiệm.

2.2 Kết quả thí nghiệm

Hình 3 thể hiện mối quan hệ lực- chuyển vị thẳng đứng tại giữa dầm thu được từ thí nghiệm trên mẫu dầm đối chứng và dầm có lỗ mở 150mm x150mm. Quan sát thấy rằng sự xuất hiện của lỗ mở làm giảm độ cứng và giá trị lực tới hạn so với dầm không có lỗ mở. Giá trị lực lớn nhất trên dầm đối chứng và dầm có lỗ mở 150mm x150 mm lần lượt bằng 593,96 và 403,25 kN, tương ứng với tỷ lệ giảm 32%. Dạng phá hoại của hai mẫu dầm thí nghiệm được thể hiện trên hình 4. Nhận thấy rằng, cả hai mẫu đều bị phá hoại do cắt với sự xuất hiện của các vết nứt nghiêng mở rộng từ điểm đặt lực đến gối tựa. Trong trường hợp có lỗ mở, các vết nứt có xu hướng phát triển bắc cầu qua lỗ mở. Ở gần thời điểm giá trị lực lớn nhất, ứng với giá trị lực 500 kN với mẫu dầm đối chứng, 395 kN với mẫu dầm có lỗ mở, các mẫu dầm xuất hiện vết nứt thẳng đứng ở giữa dầm.



Hình 3. Mối quan hệ lực chuyển vị thu được từ thí nghiệm trên mẫu dầm đối chứng và dầm có lỗ mở 150mm x150mm.



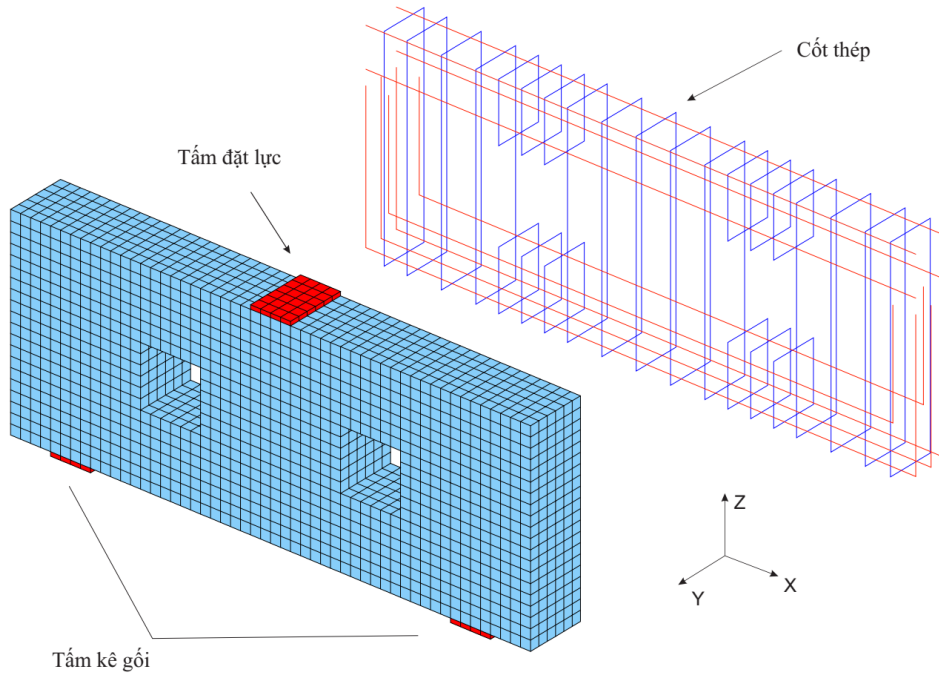
Hình 4. Dạng phá hoại trên các mẫu thí nghiệm.

3. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG SỐ XÁC ĐỊNH ỨNG XỬ CHỊU LỰC CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ LỖ MỞ.

3.1 Xây dựng mô hình

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) thông qua các phần mềm mô phỏng là hướng nghiên cứu đã được nhiều tài liệu đề cập nhằm đánh giá ứng xử dầm BTCT [12, 13] Trong phần này, phần mềm phần tử hữu hạn có mã nguồn mở Cast3M được sử dụng để mô phỏng 3D ứng xử chịu lực của dầm BTCT đã được đề cập ở nghiên cứu thực nghiệm. Đây là

phần mềm được phát triển bởi viện năng lượng nguyên tử Pháp (CEA), nhằm giải quyết các bài toán mang tính chất đa vật lý.



Hình 5. Mô hình hình học của dầm có lỗ mở 150x150mm.

Vật liệu bê tông, tấm thép kê gối và tấm thép đặt lực được mô phỏng bằng phần tử lực diện 8 nút (CUB8), mỗi nút có 3 bậc tự do là chuyển vị thẳng theo 3 phương U_x, U_y, U_z . Cốt thép được mô phỏng bằng phần tử thanh tuyến tính (SEG2), mỗi nút có 3 bậc tự do là chuyển vị thẳng theo 3 phương U_x, U_y, U_z . Dính bám giữa bê tông và cốt thép được giả thiết là dính bám tuyệt đối. Hình 5 thể hiện mô hình hình học của dầm có lỗ mở 150x150mm. Gối tựa bên trái được khống chế chuyển vị theo 3 phương ($U_x = U_y = U_z = 0$), gối tựa bên phải được khống chế chuyển vị theo 2 phương ($U_y = U_z = 0$). Điểm đặt lực được gia tải bằng chuyển vị theo phương Z .

Ứng xử của vật liệu bê tông được miêu tả bằng mô hình hư hại Mazars 3D [14], đây là mô hình có sẵn trong thư viện vật liệu của Cast3M. Trong mô hình này, ứng xử hư hại của bê tông được miêu tả qua đại lượng vô hướng d , kí hiệu là hư hại có hiệu. Đại lượng vô hướng này nhận các giá trị trong khoảng từ 0 đến 1, tương ứng với trạng thái không hư hại ($d = 0$) và hư hại hoàn toàn của vật liệu bê tông ($d=1$). Biến d cho phép miêu tả sự suy giảm độ cứng của bê tông khi xuất hiện hư hại. Gọi $\underline{\underline{\Lambda}}$ là ma trận độ cứng của vật liệu bê tông ban đầu, ma trận độ cứng của vật liệu bị hư hại được miêu tả bởi phương trình sau:

$$\underline{\underline{\Lambda}}_d = \underline{\underline{\Lambda}}(1 - d) \quad (1)$$

Các tham số của mô hình Mazars bao gồm: $A_c, B_c, A_t, B_t, \varepsilon_{d0}, k$. Trong đó, A_c, B_c là các tham số thể hiện ứng xử chịu nén của bê tông, A_t, B_t là các tham số thể hiện ứng xử chịu kéo giòn (quasi-fragile) của bê tông. ε_{d0} là ngưỡng hư hại, k là hệ số liên quan đến ứng xử chịu cắt thuần túy của bê tông. Các tham số trên sẽ được tự động xác định thông qua các đặc trưng cơ bản của vật liệu bê tông như mô đun đàn hồi, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo, hệ số

nở ngang, biến dạng ứng với cường độ chịu nén của bê tông. Các giá trị trên được xác định thông qua cường độ chịu nén của bê tông theo tiêu chuẩn ACI 318-19 [3]:

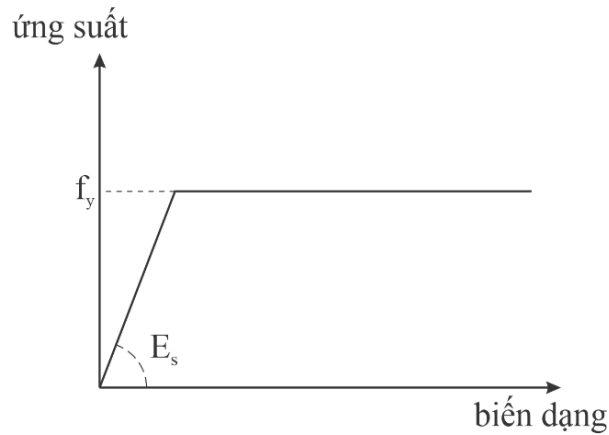
$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (2)$$

$$\varepsilon_o = \frac{2\sqrt{f'_c}}{E_c} \quad (3)$$

$$f_r = 0,623\sqrt{f'_c} \quad (4)$$

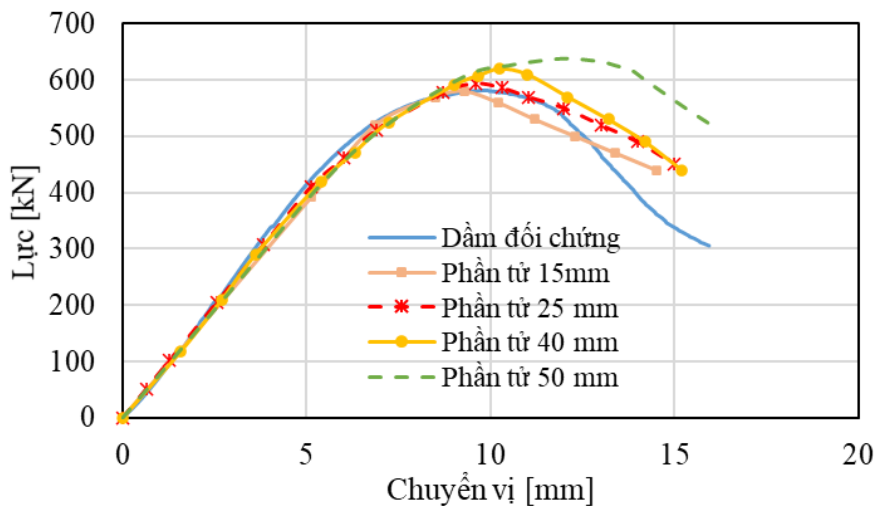
Trong đó, E_c (MPa) là mô đun đàn hồi của bê tông, ε_o biến dạng ứng với cường độ chịu nén của bê tông, f_r (MPa) cường độ chịu kéo uốn của bê tông, f'_c cường độ chịu nén của bê tông.

Ứng xử của cốt thép được miêu tả đơn giản hóa với mô hình đàn dẻo lý tưởng (hình 6) với các thông số vật liệu như mô đun đàn hồi của thép $E_s=200000$ Mpa, giới hạn chảy của thép f_y , hệ số poisson $\nu = 0,3$. Các tấm thép đặt lực, tấm thép kê gối được đưa vào mô hình nhằm phân bố đều lực tại điểm đặt lực và điểm kê gối. Bên cạnh đó, các tấm thép này được miêu tả bằng ứng xử đàn hồi tuyến tính nhằm tránh việc phá hoại của các cấu kiện này.



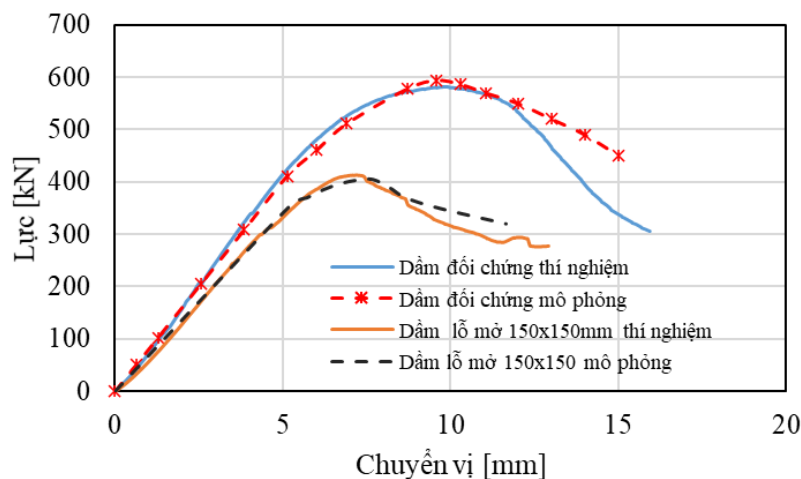
Hình 6. Ứng xử đàn dẻo lý tưởng cho cốt thép.

3.2 Kết quả mô phỏng số

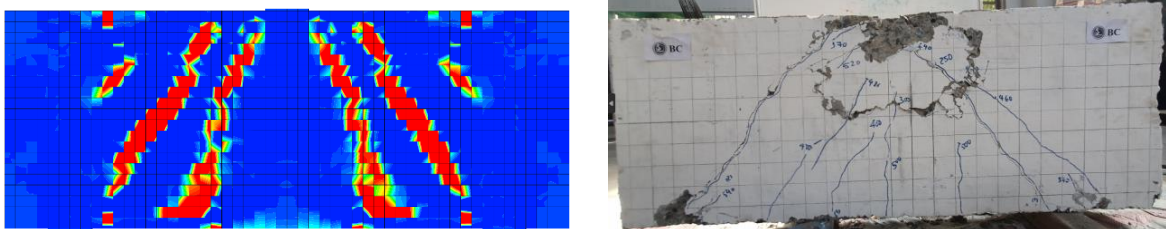


Hình 7. Ảnh hưởng của kích thước phần tử tới ứng xử tổng thể của dầm đối chứng.

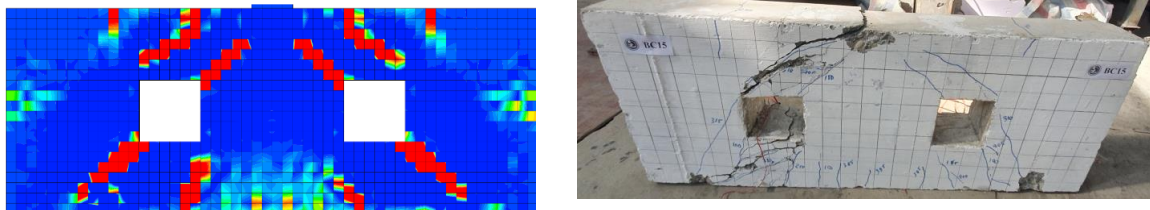
Trước tiên, ảnh hưởng của kích thước phần tử đến ứng xử tổng thể của dầm đối chứng được tiến hành nhằm lựa chọn kích thước phần tử vừa đảm bảo điều kiện hội tụ đồng thời thời gian tính toán phù hợp. Theo đó, dầm đối chứng được chia thành các phần tử có kích thước khác nhau 15, 25, 40, 50 mm. Mỗi quan hệ lực – chuyển vị thu được từ mô hình mô phỏng được so sánh với đường cong thu được từ thí nghiệm trên mẫu dầm đối chứng. Kết quả cho thấy rằng, ở giai đoạn đàn hồi, kích thước phần tử không ảnh hưởng đến đường cong lực chuyển vị thu được, kết quả mô phỏng số khá sát với kết quả thí nghiệm. Ở giai đoạn ứng xử phi tuyến, quan sát thấy rằng, giảm kích thước phần tử sẽ làm tăng độ chính xác của kết quả thu được từ mô hình mô phỏng số. Đường cong thu được từ kích thước phần tử 15, 25 mm thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm. Cuối cùng, kích thước phần tử 25 mm được lựa chọn để tiến hành toàn bộ nghiên cứu để vừa đảm bảo tính chính xác vừa đảm bảo tích kiệm thời gian tính toán máy tính.



Hình 8. So sánh đường cong lực chuyển vị thu được từ mô hình mô phỏng và thí nghiệm.



Hình 9. So sánh dạng phá hoại trên mẫu dầm đối chứng từ mô phỏng và thực nghiệm.



Hình 10. So sánh dạng phá hoại trên mẫu dầm có lỗ mở từ mô phỏng và thực nghiệm.

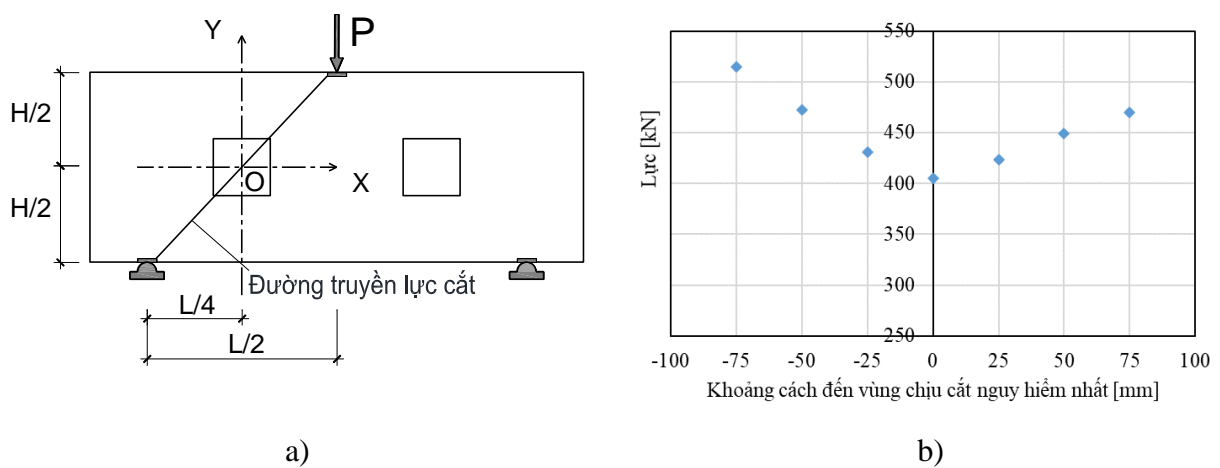
Hình 8 thể hiện sự so sánh giữa đường cong lực chuyển vị thu được từ mô hình mô phỏng và kết quả thí nghiệm trên các mẫu dầm đối chứng và dầm có lỗ mở 150x150mm. Nhận thấy rằng, kết quả số thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm cả ở giai đoạn đàn hồi và giai đoạn ứng xử phi tuyến. Dạng phá hoại thu được trên mẫu dầm đối chứng và dầm có lỗ mở nhận được

từ mô hình mô phỏng được trình bày trên hình 9 và hình 10. Tương tự như thí nghiệm trên dầm đối xứng, kết quả số trên hình 9 cho thấy sự xuất hiện của hai vết nứt nghiêng lớn có phương từ điểm đặt lực tới gối tựa. Đối với mẫu dầm có lỗ mở 150mm x150mm, kết quả số cho thấy sự xuất hiện của các vết nứt có phương từ điểm đặt lực hoặc gối tựa hướng đến các góc của lỗ mở. Bên cạnh đó, hình 10 cũng thể hiện được một số vết nứt thẳng góc thu được ở khu vực giữa dầm tương tự như thí nghiệm.

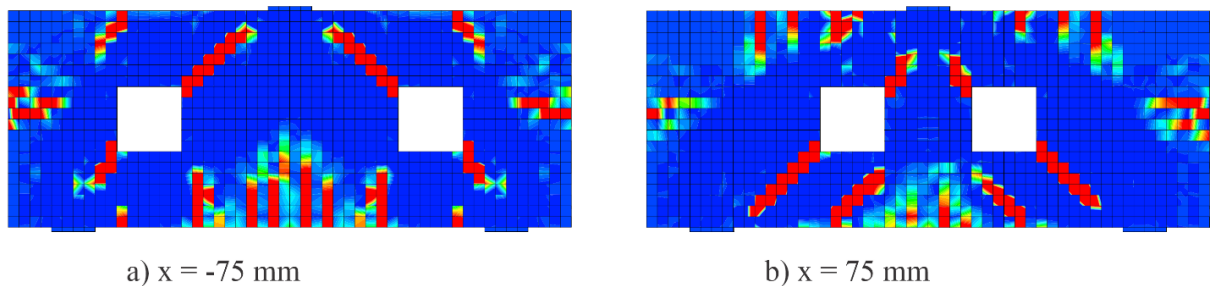
3.3 Ảnh hưởng của một số tham số tới ứng xử chịu lực của dầm bê tông cốt thép có lỗ mở

Dựa trên sự tương đồng về đường cong lực – chuyển vị, dạng phá hoại, mô hình số được trình bày ở mục 3.2 được sử dụng để tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một số tham số như vị trí lỗ mở, kích thước lỗ mở, hình dạng lỗ mở.

3.3.1 Vị trí lỗ mở



Hình 11. Ảnh hưởng của vị trí lỗ mở

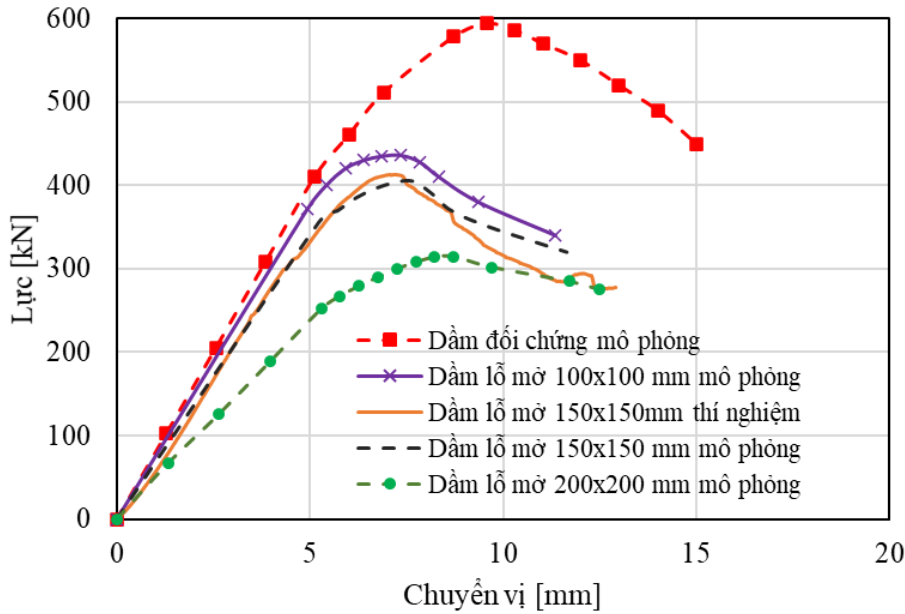


Hình 12. Dạng phá hoại trên mẫu $x = -75$ mm và $x = 75$ mm

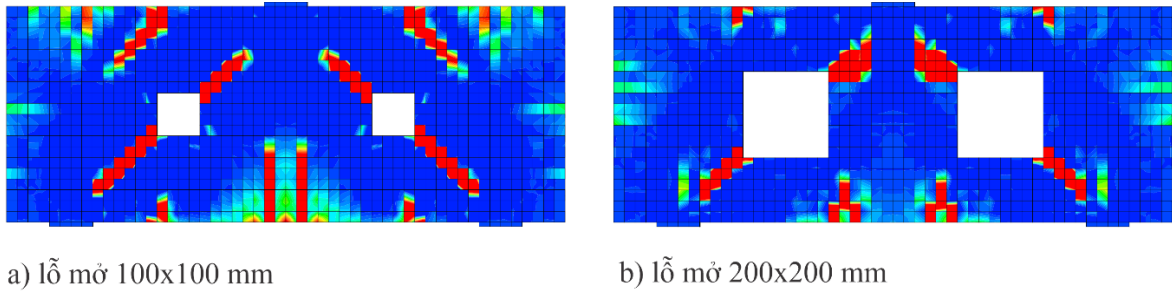
Ở mục này, ảnh hưởng của vị trí lỗ mở tới giá trị lực lớn nhất được tiến hành khảo sát. Đối với dầm cao, các vết nứt do cắt thường có xu hướng lan truyền theo đường ngắn nhất từ điểm đặt lực tới gối tựa (hình 11a), tạo thành dòng lực nén [15]. Do đó, phần dầm nằm chính giữa khu vực từ điểm đặt lực đến gối tựa được coi là vùng chịu cắt nguy hiểm nhất. Vị trí này được lấy làm tâm (Oxy), lỗ mở có kích thước 150 mm x150 mm được dịch chuyển theo phương ngang sang trái và sang phải. Các thông số của vật liệu bê tông, thép, hàm lượng thép được giữ nguyên. Hình 11 b thể hiện mối quan hệ giữa giá trị lực lớn nhất (giá trị đỉnh của đường cong lực chuyển vị) và vị trí lỗ mở. Quan sát thấy rằng khi $x = 0$, giá trị lực thu được là nhỏ nhất, giá trị lực này tăng lên khi lỗ mở dịch chuyển xa dần vị trí này. Điểm tương tự cũng được quan sát trong nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện bởi Yoo và các cộng sự [8]. Dạng phá hoại trên

mẫu ứng với vị trí $x = -75 \text{ mm}$, $x = 75 \text{ mm}$ được trình bày trên hình 12a, b. Kết quả cho thấy rằng các vết nứt đều có xu hướng truyền từ điểm đặt lực bắc cầu qua lỗ mở đến điểm kê gối. Ngoài ra, ứng với $x = -75 \text{ mm}$, hai lỗ mở cách xa nhau, nhiều vết nứt thẳng góc xuất hiện ở vị trí giữa dầm.

3.3.2 Kích thước lỗ mở



Hình 13. Đường cong lực chuyển vị trên các dầm có kích thước lỗ mở khác nhau.



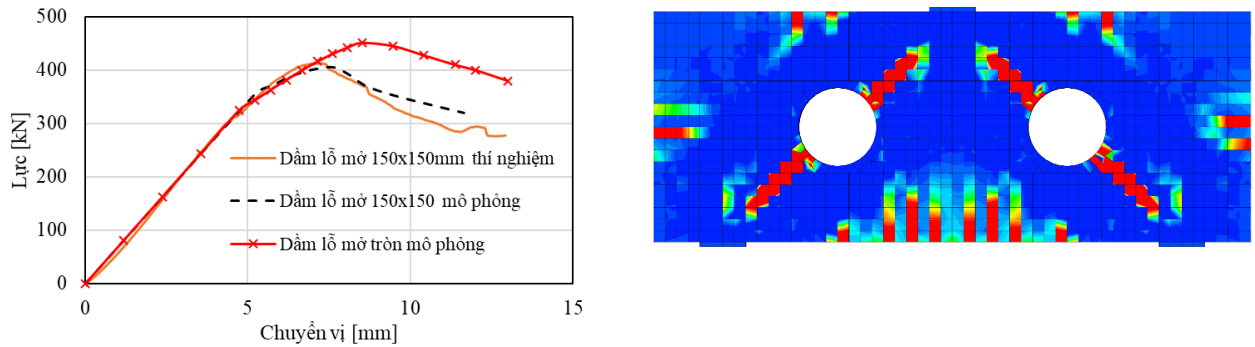
a) lỗ mở 100x100 mm

b) lỗ mở 200x200 mm

Hình 14. Dạng phá hoại trên các dầm có kích thước lỗ mở 100x100 mm và 200x200 mm.

Các lỗ mở có kích thước 100 mm x100 mm, 200 mm x200 mm được lựa chọn để xác định ảnh hưởng của kích thước lỗ mở tới ứng xử chịu tải của dầm. Các thông số của vật liệu bê tông, thép, hàm lượng thép được giữ nguyên. Hình 13 thể hiện đường cong lực chuyển vị trên các dầm có kích thước lỗ mở khác nhau. Nhận thấy rằng việc tăng kích thước lỗ mở sẽ làm giảm độ cứng tổng thể của dầm. Tăng kích thước lỗ mở từ 100 mm đến 150 mm, 200 mm sẽ làm giảm lực lớn nhất thu được trên dầm giảm tương ứng 26,5 %, 31,7 % , 47 % so với mẫu dầm không có lỗ mở. Lỗ mở có kích thước 200 mm x 200 mm có sự suy giảm đáng kể về độ cứng cũng như khả năng chịu tải của dầm. Hình 14 thể hiện dạng phá hoại trên các dầm có kích thước lỗ mở 100 mm x100 mm và 200 mm x 200 mm. Tổng thể, các vết nứt có xu hướng hướng từ điểm đặt lực, bắc cầu qua lỗ mở tới gối tựa. Đối với mẫu có kích thước 200 mm x 200 mm quan sát thấy rằng vùng nứt gần lỗ mở lớn hơn so với mẫu dầm có kích thước 100 mm x100 mm và 150 mm x150 mm.

3.3.3 Hình dạng lỗ mở



a) Đường cong lực chuyển vị trên lỗ mở hình tròn và hình vuông 150mm x150mm. b) Dạng phá hoại trên dầm có lỗ mở hình tròn.

Hình 15. Ảnh hưởng của hình dạng lỗ mở .

Mục này trình bày ảnh hưởng của hình dạng lỗ mở tới ứng xử chịu cắt của dầm. Lỗ mở có dạng hình tròn, đường kính lỗ bằng 169,25 mm được xác định trên cơ sở diện tích lỗ tròn bằng diện tích của lỗ vuông 150x150mm. Các thông số vật liệu, hàm lượng thép được giữ nguyên như dầm có lỗ mở 150x150mm. Hình 15a thể hiện ảnh hưởng của hình dạng lỗ mở tới ứng xử chịu cắt của dầm. Quan sát thấy rằng, trong trường hợp này, sự thay đổi hình dạng lỗ không ảnh hưởng nhiều đến độ cứng của dầm. Tuy nhiên, việc thay đổi từ lỗ hình tròn sang lỗ hình vuông cùng diện tích làm giảm giá trị lớn nhất tác dụng lên dầm từ 450,95 kN xuống còn 405,06 kN, ứng với tỷ lệ giảm 10 %. Hình 15 b thể hiện dạng phá hoại của dầm có lỗ mở hình tròn thu được. Quan sát thấy rằng, dạng phá hoại trên mẫu thu được từ mô hình mô phỏng vẫn thể hiện dạng phá hoại do cắt, với vết nứt nghiêng có phương từ điểm đặt lực đến gối tựa.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã làm rõ ảnh hưởng của lỗ mở đến ứng xử dầm cao bằng BTCT thông qua nghiên cứu thực nghiệm và mô hình mô phỏng PTHH. Hai mẫu dầm cao BTCT không có và có lỗ mở 150x150mm được tiến hành thí nghiệm cho đến khi phá hoại. Một mô hình mô phỏng số bằng phần mềm có mã nguồn mở Cast3M được đề xuất thể hiện sự tương đồng với kết quả thí nghiệm trên hai mẫu dầm về dạng đường cong lực chuyển vị, dạng phá hoại do nứt. Trên cơ sở đó, khảo sát tham số vị trí lỗ mở, kích thước lỗ mở, hình dạng lỗ mở được tiến hành. Một số kết luận được rút ra như sau:

- Tâm lỗ mở nằm trên đường truyền lực cắt cho thấy khả năng chịu lực nhỏ nhất, càng xa vị trí này thì khả năng chịu lực của dầm tăng.
- Tăng kích thước lỗ mở từ 100 mm đến 150 mm, 200 mm sẽ làm giảm lực lớn nhất thu được trên dầm giảm tương ứng 26,5 %, 31,7 % , 47 % so với mẫu dầm không có lỗ mở. Lỗ mở có kích thước 200 mm x 200 mm có sự suy giảm đáng kể về độ cứng cũng như khả năng chịu lực của dầm.
- Kết quả mô phỏng trên dầm có lỗ mở hình tròn có cùng diện tích với lỗ vuông 150 mm x 150 mm cho thấy sự thay đổi hình dạng lỗ mở từ tròn sang vuông không ảnh hưởng đến độ cứng của dầm. Tuy nhiên, giá trị lực lớn nhất giảm 10 %.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2023-GHA-07.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. X. F. Nie, S. S. Zhang, J. G. Teng, G. M. Chen, Experimental study on RC T-section beams with an FRP-strengthened web opening, *Composite Structure*, 185 (2017) 273-285. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.018>
- [2]. M. A. Mansur, Effect of openings on the behaviour and strength of R/C beams in shear, *Cement and concrete composites*, 20 (1998) 477–86. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00030-4)
- [3]. ACI committee 318, building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary (318R-19), 2019.
- [4]. Egyptian Code of Practice: design and construction of reinforced concrete, *Structure*, (2018).
- [5]. Eurocode 2, design of concrete structures, Part -1-1: general rules and rules for building, BSEN 1992-1-1, 2004.
- [6]. AS3600-2018 Concrete structures, Sydney: Standards Australia limited, 2018.
- [7]. T. Almusallam, Y. Al-Salloum, H. Elsanadedy, A. Alshenawy, R. Iqbal, Behavior of FRP-Strengthened RC Beams with Large Rectangular Web Openings in Flexure Zones: Experimental and numerical Study, *International journal of concrete structures and material*, 12 (2018) 47. <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0272-5>
- [8]. T.M. Yoo, J. H. Doh, H. Guan, S. Fragomeni, Experimental behaviour of high-strength concrete deep beams with web openings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22 (2013) 655-676. <https://doi.org/10.1002/tal.718>
- [9]. A. Ahmed, M. M. Fayyadh, S. Naganathan, K. Nasharuddin, Reinforced concrete beams with web openings: A state of the art review, *Material and Design*, 40 (2012) 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.03.001>
- [10]. M. A. Mansur, Ultimate strength design of beams with large openings, *International journal of structure*, 8 (1998) 107-125.
- [11]. E. Le Fichoux, Présentation Et Utilisation De Cast3m, Support of CEA (<http://www-Cast3m.cea.fr>), 2011. [Online]. Available: <http://www-cast3m.cea.fr/>
- [12]. R. A. Hawileh, T. A. El-Maaddawy, M. Z. Naser, Nonlinear finite element modeling of concrete deep beams with openings strengthened with externally-bonded composites, *Materials & Design*, 42 (2012) 378-387. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.004>
- [13]. M. Saleh, M. AlHamaydeh, M. Zakaria, Finite element analysis of reinforced concrete deep beams with square web openings using damage plasticity model, *Engineering Structures*, 278 (2023) 115496. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115496>
- [14]. J. Mazars, F. Hamon, S. Grange, A new 3D damage model for concrete under monotonic, cyclic and dynamic loadings, *Materials and Structures*, 48 (2015) 3779–3793. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0439-8>
- [15]. R.G. Tuchscherer, D. B. Birrcher, O. Bayrak, Reducing discrepancy between deep beam and sectional shear-strength predictions, *ACI Structural Journal*, 113 (2016) 3–16. <https://doi.org/10.14359/51688602>