

Nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử dầm cao nhịp bằng ABAQUS

Study on several factors affecting the behavior of multi-span deep beams using ABAQUS

> THS LÊ THỊ THANH HÀ

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: haltt@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Dầm cao nhịp là hệ kết cấu được sử dụng phổ biến trong kết cấu công trình, ứng xử của dầm cao có nhiều khác biệt so với dầm thông thường. Bài báo trình bày nghiên cứu về một số yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử dầm cao nhịp bê tông cốt thép như tỷ số nhịp chịu cắt và chiều cao dầm, cấp độ bền chịu nén của bê tông, hàm lượng cốt thép dọc và cốt đai trong dầm. Tác giả phân tích các mô hình nghiên cứu bằng cách áp dụng phần mềm mô phỏng ABAQUS. Độ tin cậy của kết quả phân tích tính toán được kiểm chứng bằng cách so sánh với kết quả thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng sau khi xảy ra hiện tượng nứt thì ứng xử của dầm cao nhịp tương đối phức tạp và một số khuyến nghị được đưa ra đối với sự ảnh hưởng của các tham số khảo sát.

Từ khóa: Dầm cao nhịp bê tông cốt thép; các tham số ảnh hưởng; ứng xử dầm cao; tỷ số nhịp chịu cắt/chiều cao dầm; phần mềm mô phỏng ABAQUS.

ABSTRACT

Continuous deep beams are a commonly used structural system in construction. The behavior of deep beams differs significantly from that of conventional beams. This paper presents a study on several factors affecting the behavior of continuous reinforced concrete deep beams, such as the span length-to-depth ratio, concrete compressive strength, and the amount of longitudinal and transverse reinforcement. The author analyzes research models using the ABAQUS simulation software. The reliability of the analytical results is verified by comparing them with experimental results. The study findings indicate that after cracking occurs, the behavior of continuous deep beams becomes relatively complex, and several recommendations are provided regarding the influence of the investigated parameters.

Key words: Continuous reinforced concrete deep beams, influencing parameters, deep beam behavior, span-to-depth ratio, ABAQUS simulation software.

1. MỞ ĐẦU

Dầm cao nhịp (Continuous deep beam) là loại kết cấu chịu lực quan trọng trong các công trình dân dụng và công nghiệp, có thể sử dụng làm các bộ phận phân bố tải trọng như dầm chuyển, đài cọc, bể chứa và tường móng... Dầm cao bê tông cốt thép là một chủ đề được quan tâm đáng kể trong thực hành kỹ thuật kết cấu [1]. Dầm cao thường được sử dụng trong những kết cấu yêu cầu khả năng chịu lực lớn và giới hạn biến dạng nhỏ. Dầm cao nhịp có ứng xử phức tạp hơn so với dầm thông thường do các vùng có lực cắt lớn và mô-men lớn thường trùng nhau và sự phá hoại thường xảy ra ở các vùng này. Sau khi xuất hiện vết nứt, ứng xử của dầm cao càng trở nên khó dự báo do đồng thời chịu ảnh hưởng từ mô-men uốn, lực cắt và biến dạng của bê tông [2].

Để hiểu rõ về ứng xử của dầm cao, thông thường người ta sử dụng nghiên cứu thực nghiệm và nghiên cứu mô phỏng số bằng các phần mềm phân tích phần tử hữu hạn kết hợp với các mô hình lý thuyết. Các nghiên cứu về dầm cao đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nhưng hiện đang chủ yếu tập trung vào nghiên cứu thực nghiệm thực hiện đối với dầm cao đơn nhịp [1-2], có một số nghiên cứu thực hiện đối với dầm cao nhịp [6-9][11-13]. Tuy nhiên, để đánh giá sự ảnh hưởng của các tham số như tỉ lệ cốt thép dọc và cốt thép đai trong dầm, cấp độ bền chịu nén của bê tông, tỉ số nhịp cắt và chiều cao dầm a/h thì cần có thêm nhiều nghiên cứu kỹ lưỡng hơn nữa. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng phần mềm mô phỏng số ABAQUS để kiểm chứng sự chính xác của mô hình nghiên cứu bằng cách so sánh kết quả mô phỏng số với kết quả thu được bằng thực nghiệm. Từ đó, khảo sát được ảnh hưởng của các tham số nghiên cứu bằng phần mềm mô phỏng số.

Dầm cao nhịp được định nghĩa theo một số tiêu chuẩn như sau:

+ Tiêu chuẩn Canada (1984) quy định rằng các cấu kiện chịu uốn phải được thiết kế như các dầm cao nhịp nếu tỉ số giữa nhịp thông thủy l_0 trên chiều cao dầm h nhỏ hơn: 2,5

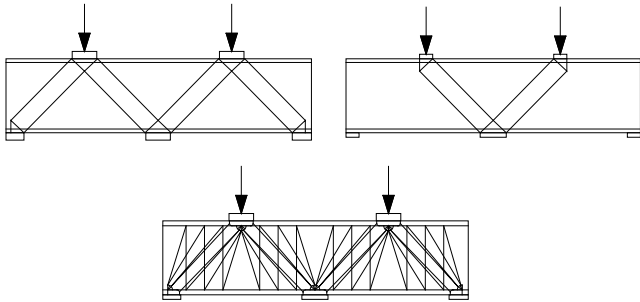
+ Theo ACI-318-19 [3]: Tồn tại hai định nghĩa về dầm cao: dầm cao nhịp là dầm có tỉ số giữa chiều cao dầm với chiều dài nhịp thông thủy nhỏ hơn 2/5; Tỉ số giữa chiều cao tính toán của dầm và chiều dài nhịp thông thủy phải lớn hơn hoặc bằng 1/5 [2].

+ Tiêu chuẩn IS 456-2000 [2] quy định dầm cao nhịp khi dầm thỏa mãn:

$$\frac{L}{D} \leq 2,5$$

với L là nhịp thông thủy và D là chiều cao dầm

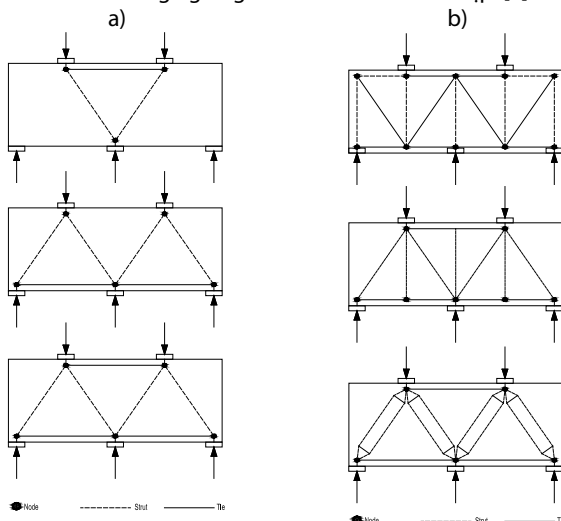
Trên Hình 1 thể hiện cơ chế chịu tải trọng trong dầm cao nhịp [2]



Hình 1. Cơ chế chịu tải trong dầm cao nhiều nhịp

Vì các biến dạng cắt không đáng kể nữa so với biến dạng uốn nên lý thuyết dầm thông thường không thể dự đoán sự phân bố tải trọng trong các dầm cao liên tục. Ở đây, sự phân bố tải trọng phải được tính toán bằng lý thuyết đàn hồi tổng quát. Trong các dầm cao đơn, sự phân bố tải trọng chỉ đơn giản là vấn đề cân bằng. Các trạng thái biến dạng khác nhau tồn tại trong các nhịp cắt. Dầm cao một nhịp và dầm cao nhiều nhịp có ứng xử khác biệt rõ rệt, và chưa được nghiên cứu một cách chuyên sâu về vấn đề này. Hiện nay phương pháp thiết kế thông thường đối với dầm cao nhiều nhịp dựa trên các thử nghiệm dầm cao đơn một nhịp. Tuy nhiên điều này không phản ánh được chính xác ứng xử của dầm cao nhiều nhịp vì chúng chứa các vùng D ở rộng đáng kể và thể hiện ứng xử của giàn hoặc vòm buồm rõ rệt, nên phương pháp thanh chống cung cấp cơ sở có độ tin cậy cao cho việc phân tích và thiết kế đối với dầm cao nhiều nhịp. Ví dụ về phân tích và thiết kế dầm cao nhiều nhịp sử dụng phương pháp thanh chống được trình bày, thiết kế đã được thực hiện bằng cách sử dụng các khuyến nghị của ACI Code 318-02 [6].

Từ cơ chế chịu tải này, có thể xây dựng mô hình giàn ảo bao gồm mạng lưới các thanh chống và thanh giằng giao nhau tại các nút. Dầm cao nhiều nhịp có thể được coi là bao gồm một giàn mô men âm chính và một giàn mô men dương chính như được trình bày trong Hình 2a. Có rất nhiều mô hình đưa ra và vấn đề đặt ra là có thể phát triển nhiều mô hình thanh chống - giằng cho một trường hợp tải duy nhất trên một kết cấu? Và mô hình tối ưu được lựa chọn như thế nào? Trả lời cho câu hỏi này thì thấy rằng, mô hình tốt nhất là mô hình mà trong đó tải trọng tác dụng sao cho giá trị nội lực và biến dạng là nhỏ nhất. Đồng thời, vì các thanh giằng dễ biến dạng hơn các thanh chống, nên một mô hình có số lượng thanh giằng ít nhất và ngắn nhất có thể sẽ là mô hình tốt nhất. Hình 2b thể hiện mô hình thanh chống - giằng cho dầm cao nhiều nhịp. [6]



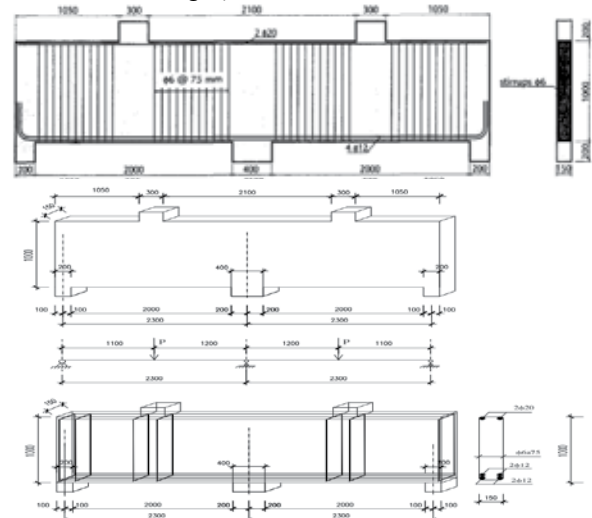
Hình 2. Cơ chế chịu tải trọng trong dầm cao nhiều nhịp: a - Sự phát triển của mô hình thanh chống - giằng; b - Mô hình thanh chống - giằng

Như vậy, trong phân tích thiết kế mô hình thanh chống-giằng được sử dụng nhiều đối với dầm cao nhiều nhịp. Tuy nhiên, chưa có nhiều nghiên cứu thí nghiệm để kiểm chứng đối với các trường hợp khác nhau vì chi phí tốn kém. Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin và sự ra đời của nhiều phần mềm mô phỏng số ví dụ như phần mềm ABAQUS, việc kiểm chứng đối với các trường hợp khác nhau của dầm cao nhiều nhịp hoàn toàn có thể được thực hiện một cách dễ dàng. Trong nghiên cứu này, tác giả nghiên cứu ứng xử của dầm cao liên tục trong một số trường hợp và khảo sát sự ảnh hưởng của một số tham số đến ứng xử của dầm cao liên tục. Dựa vào thí nghiệm của tác giả MELVIN ASIN trong tài liệu [2] tác giả sử dụng phần mềm ABAQUS mô phỏng lại dầm có kể đến tính phi tuyến của bê tông và cốt thép. Kết quả mô phỏng tương đối trùng khớp với kết quả thí nghiệm. Sau đó dùng mô hình vừa kiểm chứng là dầm hai nhịp $L=2800$ kích thước $b \times h=150 \times 1000$ đi khảo sát với các tham số về cường độ chịu nén của bê tông, bố trí cốt thép và tỉ số nhịp cắt và chiều cao dầm a/h .

2. NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ DẦM CAO NHIỀU NHỊP BẰNG PHẦN MỀM ABAQUS

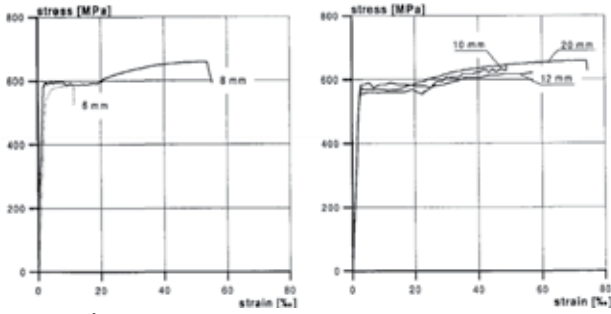
2.1. Mô hình kiểm chứng

Để xác định mô hình nghiên cứu tác giả sử dụng mô hình trong thí nghiệm đã được thực hiện. Sau đó dùng phần mềm mô phỏng số ABAQUS để mô phỏng, kết quả thu được so sánh với kết quả thí nghiệm để kiểm chứng. Năm 1986 Rogowsky và MacGregor [2] đã tiến hành thử nghiệm các mẫu dầm bê tông hai nhịp có kích thước chiều cao dầm là $b \times h=200 \times 600$ mm, $L=1000$ mm, các mẫu có tỉ số $(a/d)=1,0/1,5$ tương ứng. M. Asin [2] đã tiến hành làm lại thí nghiệm trên các dầm có kích thước tương tự giữ nguyên các đặc điểm cơ bản (kích thước và phương pháp thử nghiệm) vì hai lý do dữ liệu của Rogowsky có thể bổ sung cho dữ liệu của các thí nghiệm độc lập thực hiện tương tự và đây là chương trình thử nghiệm được ghi chép tốt nhất về dầm cao liên tục. Các dầm được thử nghiệm là dầm cao hai nhịp, tải trọng đặt ở giữa nhịp. Gối và tải trọng được đặt trên các gối trụ bê tông nguyên khối. Trên Hình 3 thể hiện mô hình dầm thí nghiệm.



Hình 3. Mô hình dầm thí nghiệm được mô phỏng kiểm chứng

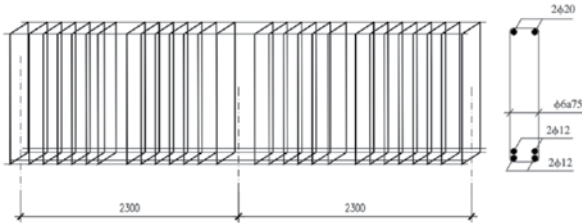
Các tham số vật liệu trong mẫu kiểm chứng: Bê tông: $E=32500$ MPa; cường độ chịu nén là 30MPa; Cốt thép: mối quan hệ ứng suất-biến dạng của cốt thép dọc và cốt thép đai được lấy theo biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng khi kéo thép của thực nghiệm. Hình 4 là biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng sau khi kéo thép. Dựa trên biểu đồ này xác định các giá trị khai báo trong phần mềm ABAQUS. Trong ABAQUS[4], mô đun đàn hồi của cốt thép 200000 MPa, hệ số Poisson 0,3.



Hình 4. Biểu đồ đường cong ứng suất - biến dạng từ thí nghiệm kéo thép
2.2. Xây dựng mô hình trong ABAQUS

2.2.1 Mô hình mô phỏng

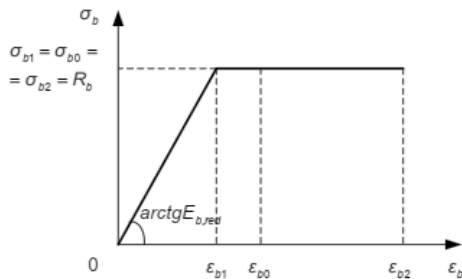
Sử dụng mô hình như Hình 5 là dầm hai nhịp L=2800 kích thước bxh=150x1000 sau đó thay đổi các tham số về vật liệu, cốt thép và tỉ số a/h. Chi tiết xem trong Bảng 1.



Hình 5. Hệ khung cốt thép trong dầm mô phỏng kiểm chứng

2.2.2 Các thông số vật liệu được sử dụng trong mô phỏng khảo sát

Mối quan hệ ứng suất-biến dạng của cốt thép dọc và cốt thép đai trong các mô hình khảo sát được lấy theo đường cong ứng suất biến dạng lý tưởng hóa như Hình 6 (mô hình đàn dẻo lý tưởng) theo TCVN 5574-2018 [5]. Bảng 1 thể hiện các tham số vật liệu cốt thép được khai báo trong phần mềm ABAQUS. Đường cong ứng suất và biến dạng khi nén và kéo của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn Eurocode 2 [10]. Bảng 2 thể hiện các tham số vật liệu bê tông.



Hình 6. Quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu cốt thép

Bảng 1: Các tham số của cốt thép trong ABAQUS

| Loại thép | | Giới hạn chảy | Biến dạng không đàn hồi | Mô đun đàn hồi | Hệ số poat xông |
|--------------|---|---------------|-------------------------|----------------|-----------------|
| Thép CB240-T | 1 | 240 | 0 | 20000 | 0.3 |
| | 2 | 240 | 0.01 | | |
| | 3 | 240 | 0.20 | | |
| Thép CB400-V | 1 | 400 | 0 | 20000 | 0.3 |
| | 2 | 400 | 0.01 | | |
| | 3 | 400 | 0.14 | | |

Bảng 2: Các thông số CDP của bê tông trong ABAQUS

| Dilation angle | Eccentricity | f_{bo} / f_{co} | Kc | Viscosity parameter |
|----------------|--------------|-------------------|--------|---------------------|
| 360 | 0.1 | 1.15 | 0.6667 | 0.0001 |

Các tham số về các tham số phá hoại, biến dạng không đàn hồi, ứng suất và chuyển vị khi kéo và nén đối với bê tông B30,35,40,55,60 (là các loại bê tông sử dụng để khảo sát trong đề tài) sử dụng phần mềm Matlab để lập ra chương trình tính toán các tham số này.

3. KẾT QUẢ KIỂM CHỨNG

Sự phát triển của mẫu nứt

So sánh các sự phát triển của vết nứt khi dùng mô phỏng số và thực nghiệm của M. Asin là khá giống nhau. Trong các Hình 7-9 sau đây sẽ minh họa rõ sự phát triển của mẫu nứt BM1.0/1/1 từ kết quả thí nghiệm và kết quả mô phỏng số.



Hình 7. Các vết nứt uốn đầu tiên

Vết nứt uốn đầu tiên xảy ra ở giữa nhịp với mức tải (tổng) là 400-600 kN (Hình 7) và sau đó là trên phần gối bên trong (Hình 8) do tác động của biến dạng cắt. Ở giai đoạn này, một vết nứt uốn lớn, chạy gần đến cột tải (giữa nhịp) hoặc giá đỡ giữa, đi kèm với một số vết nứt nhỏ ở gần cốt thép.



Hình 8. Sự phát triển của các vết nứt uốn

Ở giai đoạn tải sau, các vết nứt cắt hình thành (Hình 9): các vết nứt cắt nghiêng này phát triển ở mức tải 900-1200 kN bắt đầu và dừng ở một khoảng cách nào đó từ cột tải và gối đỡ giữa. Các vết nứt nghiêng thường không thẳng và liên tục, mà phân nhánh dọc theo chiều dài của nó. Mức tải mà tại đó vết nứt cắt xảy ra tương ứng với 65-70% tải trọng phá hủy



Hình 9. Các vết nứt cắt xuất hiện sau đó dầm bị phá hoại

Nhận xét: Sau khi so sánh thấy rằng các dạng vết nứt theo mô phỏng số và thử nghiệm là giống nhau đến 95%. Trong thực nghiệm nhiều vết nứt cắt và uốn được tạo ra và lan rộng hơn khi tải tăng lên, và một vết nứt cắt xiên chính ở nhịp bên phải của dầm đột ngột xảy ra tại tải trọng phá hủy liên kết các đầu của tấm tải và tấm đỡ bên trong. Điều này phù hợp với dải vết nứt chéo trong mẫu mô phỏng gây phá hoại dầm. Kết quả cũng cho thấy tải trọng trong hai nhịp được truyền đến các giá đỡ thông qua các đường chéo của thanh chống nén. Phân bố ứng suất, được thể hiện trong hình minh họa chỉ ra rằng ứng suất trong các thanh chống bên trong cao hơn so với các thanh chống bên ngoài. Do đó, nhịp cắt bên trong bị hỏng trước, phù hợp với sự cố hỏng được quan sát trong thực nghiệm.

3.1. Khảo sát một số thông số ảnh hưởng đến ứng xử của dầm cao liên tục

Ta thấy rằng kết quả từ mô phỏng số tương đối khớp với kết quả thí nghiệm nên hoàn toàn có thể tin cậy và dùng để dự đoán ứng xử của dầm cao nhiều nhịp. Vì vậy nghiên cứu dùng mô hình kiểm chứng như phần trên (mục 2) tiến hành mô phỏng 16 mẫu trong đó không thay đổi các thông số về nhịp dầm, bề rộng dầm, chiều cao dầm và tiến hành thay đổi ba thông số a) cấp độ bên chịu nén của bê tông từ B30 đến B60 b) bố trí cốt thép trong dầm c) Tỉ số nhịp chịu cắt a/h để khảo sát ảnh hưởng đến ứng xử của dầm cao nhiều nhịp. Bảng 3 thể hiện các thông số của 16 dầm khảo sát.

Bảng 3: Thông số các mẫu dầm mô phỏng khảo sát

| Số TT | Tên mô hình | B | a/h | L (mm) | Bxh (mm) | As' | As | Cốt đai đứng | Cốt đai ngang |
|-------|-------------|----|------|--------|----------|------|------|--------------|---------------|
| 1 | BC-B30 | 30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 2 | BC-B35 | 35 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 3 | BC-B40 | 40 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 4 | BC-B55 | 55 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 5 | BC-B60 | 60 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 6 | BC-a11 | 30 | 0.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 7 | BC-a12 | 30 | 0.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 8 | BS-a21 | 30 | 1.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 9 | BS-a22 | 30 | 1.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 10 | BC-a31 | 30 | 1.1 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 11 | BC-a32 | 30 | 1.1 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 12 | BC-LSa75 | 30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 13 | BC-LS2a75 | 30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 14 | BC-LS25B | 30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d25 | d6a75 | 6d6 |
| 15 | BC-LS20T | 30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 4d20 | 4d12 | d6a75 | 12d6 |
| 16 | BC-LS20V | 30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a150 | 6d6 |

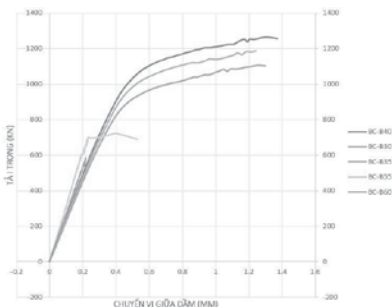
a) Khảo sát ảnh hưởng cấp độ bền chịu nén bê tông

Ở phần này tiến hành mô phỏng năm mẫu BC-B30, BC-B35, BC-B40, BC-B55, BC-B60 có kích thước như nhau, bố trí cốt dọc và cốt đai giống nhau và được thay đổi cường độ chịu nén của bê tông trong khoảng từ 30 đến 60Mpa. Mẫu mô phỏng là dầm cao 2 nhịp, tất cả các mẫu có chiều cao dầm 1000mm, mỗi nhịp bằng 2,4m, với tỷ lệ độ sâu nhịp cắt

là 1,15 với tải trọng được đặt ở giữa dầm thông qua một mô bê tông được đúc liền vào dầm. Các mẫu mô phỏng được gia tải cho đến khi bị phá hoại để dự đoán sự phá hoại xảy do ứng suất kéo chính (cốt thép dọc bị chảy) hay do lực nén chính (sự cố của thanh chống nén). Bảng 4 thể hiện các thông số của 5 dầm khảo sát.

Bảng 4: Thông số các mẫu dầm mô phỏng khảo sát

| Số TT | Tên mô hình | Cấp độ bền chịu nén bê tông B | a/h | L (mm) | bhx (mm) | As' | As | Cốt đai đứng | Cốt đai ngang |
|-------|-------------|-------------------------------|------|--------|----------|------|------|--------------|---------------|
| 1 | BC-B30 | B30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 2 | BC-B35 | B35 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 3 | BC-B40 | B40 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 4 | BC-B55 | B55 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 5 | BC-B60 | B60 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |

**Hình 10.** Quan hệ lực và chuyển vị các mẫu khi thay đổi cường độ chịu nén bê tông**Nhận xét:**

- Kết quả thể hiện trên Hình 10 ta thấy chuyển vị của dầm tăng khi cấp độ bền bê tông tăng. Điều này chứng tỏ cường độ chịu nén và kéo của bê tông tăng dẫn đến bê tông trở nên giòn hơn với khả năng chịu tải và độ cứng tăng ở các mức khác nhau.

- Các mẫu BC-B30, BC-B35, BC-B40 tăng cường độ chịu nén của bê tông khi các mẫu có cùng tỷ số a/h > 1.0 có cường độ chịu nén của bê tông nằm trong khoảng từ 30 đến 40 Mpa cho thấy khả năng

chịu lực tăng lên rõ rệt tương ứng khi tăng cường độ chịu nén của bê tông. Các mẫu này có đường cong tương đồng nhau.

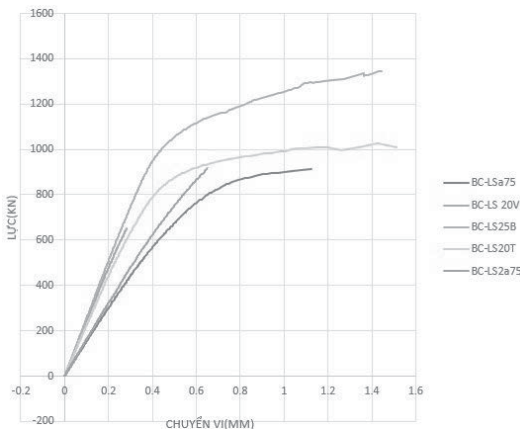
- Có sự khác biệt rõ rệt với hai mẫu BC-B55, BC-B60 có cường độ chịu nén của bê tông nằm trong khoảng từ 55 đến 60 MPa có cùng một dạng đường cong. Quan sát các mẫu này khi tăng cường độ chịu nén và kéo của bê tông, sự hình thành thanh chống nén trong dầm sẽ chuyển sang thanh chống nén dạng hình chai một cách rõ rệt tác động đến khả năng chịu lực của dầm.

b) Nghiên cứu ảnh hưởng của tham số tỉ lệ cốt thép

Tiếp theo, để nghiên cứu ảnh hưởng của tham số tỉ lệ cốt thép dùng mẫu BC-B30 ở mục 3.1 tiếp tục tiến hành mô phỏng các mẫu với các cách bố trí cốt thép khác nhau. Các mô hình nghiên cứu gồm 5 mẫu như sau: mẫu BC-LSa75 không bố trí cốt đai theo phương ngang trong trường hợp này. Mẫu BC-LS2a150, BC-LS25B có bố trí cốt đai ngang gồm 6 thanh d6 nhưng được thay đổi hàm lượng cốt thép dọc. Ngoài ra để phân tích ảnh hưởng của cốt thép ngang mẫu BC-LS20T cốt thép đai theo phương ngang với hàm lượng thay đổi trong đó 12 thanh 6 được phân bố đều trên chiều cao của dầm. Bảng 6 thể hiện các thông số của 5 dầm khảo sát:

Bảng 5: Thông số các mẫu dầm mô phỏng khảo sát

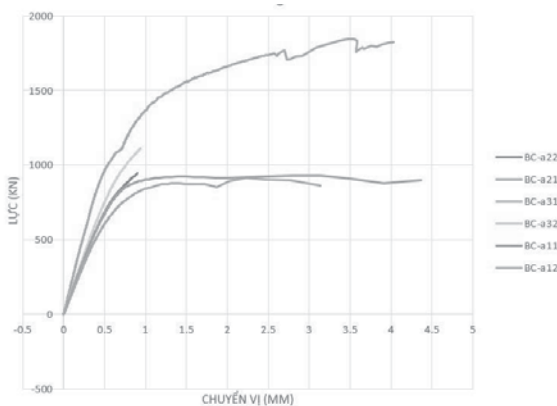
| Số TT | Tên mô hình | Cấp độ bền chịu nén bê tông B | a/h | L (mm) | bhx (mm) | As' | As | Cốt đai đứng | Cốt đai ngang |
|-------|-------------|-------------------------------|------|--------|----------|------|------|--------------|---------------|
| 1 | BC-LSa75 | B30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 2 | BC-LS2a75 | B30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 12d6 |
| 3 | BC-LS25B | B30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d25 | d6a75 | Không |
| 4 | BC-LS20T | B30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 4d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 5 | BC-LS20V | B30 | 1.15 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a150 | 3d6 |



Hình 11. Quan hệ lực và chuyển vị các mẫu khảo sát ảnh hưởng tham số tỉ lệ cốt thép

Bảng 6: Thông số các mẫu dầm mô phỏng khảo sát

| Số TT | Tên mô hình | Cấp độ bền chịu nén bê tông B | a/h | L(mm) | bxh(mm) | As' | As | Cốt đai đứng | Cốt đai ngang |
|-------|-------------|-------------------------------|-----|-------|----------|------|------|--------------|---------------|
| 1 | BC-a11 | B30 | 0.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 2 | BC-a21 | B30 | 0.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 3 | BC-a12 | B30 | 1.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 4 | BC-a22 | B30 | 1.5 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |
| 5 | BC-a31 | 30 | 1.1 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | Không |
| 6 | BC-a32 | 30 | 1.1 | 2300 | 150x1000 | 2d20 | 4d12 | d6a75 | 6d6 |



Hình 12. Quan hệ lực và chuyển vị các mẫu khảo sát ảnh hưởng tham số tỉ lệ a/h

Nhận xét:

- Các mẫu dầm BC-a11, BC-a21 với tỷ số nhịp chịu cắt a/h bằng 0,5 thể hiện khả năng chịu tải thấp hơn so với mẫu dầm còn lại có tỷ số nhịp chịu cắt a/h bằng 1,1 và 1,5.

- Cốt đai ngang có hiệu quả rõ rệt trong tất cả các mẫu BC-a21, BC-a22, BC-a32 có tỉ số nhịp chịu cắt khác nhau.

- Cốt đai đứng có hiệu quả hơn đối với các mẫu BC-a22; BC-a32 có tỉ số nhịp chịu cắt a/h lớn hơn 1,0.

4. KẾT LUẬN

Ứng xử của dầm cao liên tục phức tạp và có sự phân bố rất khác nhau sau khi xảy ra nứt. Thiết kế các dầm cao liên tục tốt nhất nên được thực hiện theo lý thuyết đàn hồi, để giảm thiểu mức độ phân bố lại lực xảy ra khi nứt. Các tiêu chuẩn thiết kế hiện tại chủ yếu theo hai tiêu chuẩn ACI-318-08 và ECP-203-2007 đều được lấy từ các thử nghiệm dầm cao một nhịp đánh giá chưa chính xác dầm cao liên tục.

Chủ yếu là phá hoại do cắt. Phá hoại cắt uốn đồng thời xảy ra trong một số trường hợp.

Bê tông cường độ cao ảnh hưởng đến sự hình thành thanh chống nén một cách rõ rệt.

Nhận xét:

- Khả năng chịu tải của các mẫu BC-LS2a150, BC-LS25B, LS20T đều tăng lên so với mẫu BC-LSa75 không bố trí cốt đai theo phương ngang (ảnh hưởng này trở nên rõ rệt hơn đối với các dầm có khoảng cách đai tăng lên). Sự gia tăng khả năng chịu lực rõ ràng do tác dụng của cốt thép đai đứng và đai ngang vì các mẫu thử có cường độ nén của bê tông là như nhau. Có thể sử dụng loại gia cố này bằng cách đặt các thanh cốt thép kính nhỏ, phù hợp với cốt đai đứng.

c) Nghiên cứu ảnh hưởng của tham số tỉ lệ a/h

Bảng 8 thể hiện các thông số của 5 dầm khảo sát, mẫu BC-a11 và BC-a21 có tỉ số a/h=0.5 sự khác nhau của hai mẫu là mẫu BC-a11 không có đai ngang và sang mẫu BC-a21 có thêm đai ngang. Hai mẫu BC-a21 và BC-a22 có tỉ số a/h=1.1, mẫu BC-a21 không có cốt thép ngang và mẫu BC-a22 có thêm cốt đai ngang. Hai mẫu BC-a31 và BC-a32 có tỉ số a/h=1.5, mẫu BC-a31 không có cốt đai ngang và mẫu BC-a32 có thêm cốt đai ngang.

Tỉ số nhịp chịu cắt ảnh hưởng tới khả năng chịu tải của dầm, dầm có tỷ số nhịp chịu cắt a/h nhỏ ít biến dạng hơn so với dầm có tỷ số nhịp chịu cắt a/h cao hơn.

Cốt đai ngang có hiệu quả rõ rệt và hiệu quả hơn so với cốt đai đứng trên các mẫu BC-a11, BC-a21 có tỷ số a/h là 0,5. Tuy nhiên, cốt đai đứng có hiệu quả hơn đối với các mẫu BC-a12; BC-a22; BC-a31; BC-a32 có tỉ số nhịp chịu cắt a/h lớn hơn 1,0.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. F.K.Kong (2003), Reinforced concrete deep beams. Van Nostrand Reinhold.
2. Melvin Asin (2001), The behavior of reinforced concrete continuous deep beams. Delft University Press.
3. ACI-318, Building code requirements for reinforced concrete: American Concrete Institute, 2019.
4. ABAQUS, "ABAQUS standard user's manual, Version 6.12.1.," ed. USA, 2019.
5. TCVN 5574-2018: Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – tiêu chuẩn thiết kế," ed. Bộ Xây dựng Hà Nội, 2018.
6. B. Singh, S.K. Kaushik, K.F. Naveen and S. Sharma, Design of a continuous deep beam using the strut and tie method. Asian journal of civil engineering (Building and housing) VOL. 7, No. 5 (2006).
7. D. M. Rogowsky, J. G. MacGreGor, and S. Y. Ong, "Tests of reinforced concrete deep beams," Department of Civil Engineering - The university of Alberta - Canada 1983.
8. K. H. Yang, H. S. Chung, and A. Ashour, "Influence of shear reinforcement on reinforced concrete continuous deep beams," ACI Structural Journal, vol. 105, 05/01 2008.
9. F. Beshara, I. Shaaban, and T. Sayed Mustafa, "Behaviour and Analysis of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams Engineering Research Journal, Faculty of Engineering at," Shoubra, vol. 17, 01/01 2012
10. Eurocode-2, Design of concrete structures-Part 1: General rules and rules for buildings. EN1992-1-1: European Committee for Standardization, 2005.
11. N. N. Phuong, "Nghiên cứu ứng xử và thiết kế dầm cao bê tông cốt thép" ", NCKH cấp trường, Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2023.
12. A. F. Ashour, "Experimental behaviour of reinforced concrete continuous deep beams," Transactions on Built Environment, vol. 17, 1996.
13. W. D. Salman, "Nonlinear Behavior of Reinforced Concrete Continuous Deep Beam," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. Vol. 4, 05/01 2015.