



## SIMULATION THE EFFECT OF TORSION ON THE SHEAR KEY IN SEGMENTAL BOX-GIRDER BRIDGES

Nguyen Duc Duc, Nguyen Ngoc Long, Tran Duc Nhiem

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

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 16/10/2019

Revised: 3/12/2019

Accepted: 11/12/2019

Published online: 16/1/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.3>

\* *Corresponding author*

Email: [nguyendacducute@gmail.com](mailto:nguyendacducute@gmail.com); Tel: 0904133791

**Abstract.** The joints in the segmental box-girder bridge is not only connect the segments but also ensure the transmission between the segment as longitudinal force, bending moment, torsion, shear force. Characteristics of segmental beams using dry joints that it has not reinforcement at the joint, so cables will be under bending moment. At the joint, shear stress will be prevented by the shear plane and friction contact of the concrete surface. When the load is eccentrically located or additional torsion, it will generate additional shear stress at the joint, thus evaluating the effect of torsion to shear resistance of the joint are necessary to ensure the joint better. The article evaluates the effect of torsion on the shear key via simulation to help to design joint in segmental box-girder bridges will be better.

**Keywords:** Torsion, shear key, shear resistance, segmental box-girder bridge, shear stress.

© 2019 University of Transport and Communications



## MÔ PHỎNG SỐ ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA XOẮN ĐẾN KHOÁ CHỐNG CẮT TRONG CẦU DẦM LẮP GHÉP PHẦN ĐOẠN

Nguyễn Đắc Đức, Nguyễn Ngọc Long, Trần Đức Nhiệm

*Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.*

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 16/10/2019

Ngày nhận bài sửa: 3/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 11/12/2019

Ngày xuất bản Online: 16/1/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.3>

\* Tác giả liên hệ

Email: nguyendacducbe@gmail.com; Tel: 0904133791

**Tóm tắt.** Vị trí mỗi nối trong cầu dầm lắp ghép phần đoạn ngoài nhiệm vụ nối ghép các đốt dầm thành kết cấu hoàn chỉnh thì phải đảm bảo truyền lực giữa các đốt dầm như lực dọc, mô men uốn, mô men xoắn, lực cắt... Đặc trưng của dầm lắp ghép phần đoạn sử dụng mỗi nối không là tại vị trí mỗi nối không có cốt thép thường do đó cốt thép dự ứng lực đóng vai trò chịu mô men uốn, đối với lực cắt sẽ sinh ra ứng suất tiếp tại vị trí mỗi nối, ứng suất tiếp này sẽ do khoá chống cắt và ma sát tiếp xúc của bề mặt bê tông tại vị trí mỗi nối đảm nhiệm. Khi tải trọng đặt lệch tâm hay có tác động gây ra mô men xoắn tại vị trí mỗi nối, mô men xoắn này sẽ sinh ra ứng suất tiếp phụ thêm, do đó việc đánh giá ảnh hưởng của mô men xoắn đến khả năng chịu lực của mỗi nối nói chung và khoá chống cắt nói riêng là cần thiết nhằm đảm bảo việc thiết kế mỗi nối là an toàn. Bài báo đánh giá ảnh hưởng của mô men xoắn đến ứng suất tại khoá chống cắt của mỗi nối thông qua tính toán mô phỏng nhằm giúp cho việc tính toán khả năng chịu lực của khoá chống cắt an toàn, phù hợp với điều kiện làm việc của mỗi nối.

**Từ khóa:** Mô men xoắn, khoá chống cắt, sức kháng cắt, dầm hộp lắp ghép phần đoạn, ứng suất cắt.

© 2019 Trường Đại học Giao thông vận tải

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cùng với xu thế đổi mới phát triển của đất nước, trong những năm gần đây, một số dự án lớn, đòi hỏi tiến độ thi công nhanh như dự án tuyến Metro Bến Thành – Suối Tiên, thành phố

Hồ Chí Minh [1], dự án Tân Vũ – Lạch Huyện, thành phố Hải Phòng [2]... đang áp dụng công nghệ thi công lắp ghép phân đoạn kết cấu nhịp sử dụng mối nối khóa chống cắt cùng keo epoxy và cáp dự ứng lực, mặt cắt ngang dầm dạng chữ U hay mặt cắt hình hộp, với các dạng mặt cắt này ảnh hưởng của mô men xoắn đến giá trị ứng suất tiếp là đáng kể đã được chỉ ra trong “Nghiên cứu ảnh hưởng của xoắn đến giá trị ứng suất - biến dạng của mặt cắt ngang dầm hộp” năm 2015 của TS. Lê Bá Khánh, KS. Phạm Thế Hùng, Trường Đại học Bách khoa (Đại học Quốc gia TP.Hồ Chí Minh) [3]. Các tác giả đã chỉ ra rằng xoắn làm thay đổi giá trị, chiều của ứng suất và biến dạng. Ứng suất tiếp tại vị trí chu vi mặt cắt dầm tăng khoảng 20% đối với dầm hộp liền khối.

Đối với dạng dầm lắp ghép phân đoạn, khả năng chịu cắt của mối nối phụ thuộc vào các yếu tố như: cấu tạo khóa, diện tích tiếp xúc rãnh khóa, cường độ bê tông, lực nén dự ứng lực, ma sát bề mặt tiếp xúc...

Nhiều tác giả đã nghiên cứu khả năng chịu cắt của khóa chống cắt như Roberts and Breen [4], In Hwan Yang, Kyung-Cheol Kim and Young-Joon Kim (2013) [5]... đã đi đến kết luận khả năng chịu cắt của khóa chống cắt không những phụ thuộc vào kích thước hình học của khóa mà còn phụ thuộc vào áp lực nén ngang tác động vào khóa.

Năm 2002, Giáo sư G. Rombach [6] đã tiến hành nghiên cứu thực nghiệm với khóa chống cắt đơn và tính toán mô phỏng số kết cấu nhịp giản đơn chiều dài 45,25m, mặt cắt ngang dạng hộp 2 sườn chiều cao hộp 2,4m, bề rộng bản nắp hộp từ 7,0 đến 15,6m. Kết cấu nhịp thi công theo phương pháp lắp ghép phân đoạn thuộc dự án đường cao tốc Bang Na, Thái Lan. Kết quả nghiên cứu chủ yếu tập trung xác định khả năng chịu cắt của mối nối, tuy nhiên trong phần tính toán mô phỏng số tác giả cũng đưa ra khuyến nghị là khóa chống cắt bị ảnh hưởng đáng kể dưới tác dụng của tải trọng gây hiệu ứng xoắn.

Trong Tiêu chuẩn ngành 22TCN272-05 [7] đưa ra công thức  $V_{Nj} = A_k \sqrt{f'_c} (1 + 0,205 f_{pc}) + 0,6 A_{sm} f_{pc}$  trong đó  $A_k$  là diện tích ở chân của tất cả các chốt trong mặt phẳng phá hoại ( $\text{mm}^2$ ),  $f'_c$  là sức kháng nén của bê tông (MPa),  $f_{pc}$  là ứng suất nén của bê tông sau khi đã trừ đi các mất mát ứng suất và tính ở trọng tâm mặt cắt ngang (MPa),  $A_{sm}$  là diện tích tiếp xúc giữa các bề mặt nhẵn trên mặt phẳng phá hoại ( $\text{mm}^2$ ) để xác định khả năng chịu cắt của mối nối khô mà chưa đề cập cũng như chỉ dẫn đánh giá ảnh hưởng của xoắn đến mối nối.

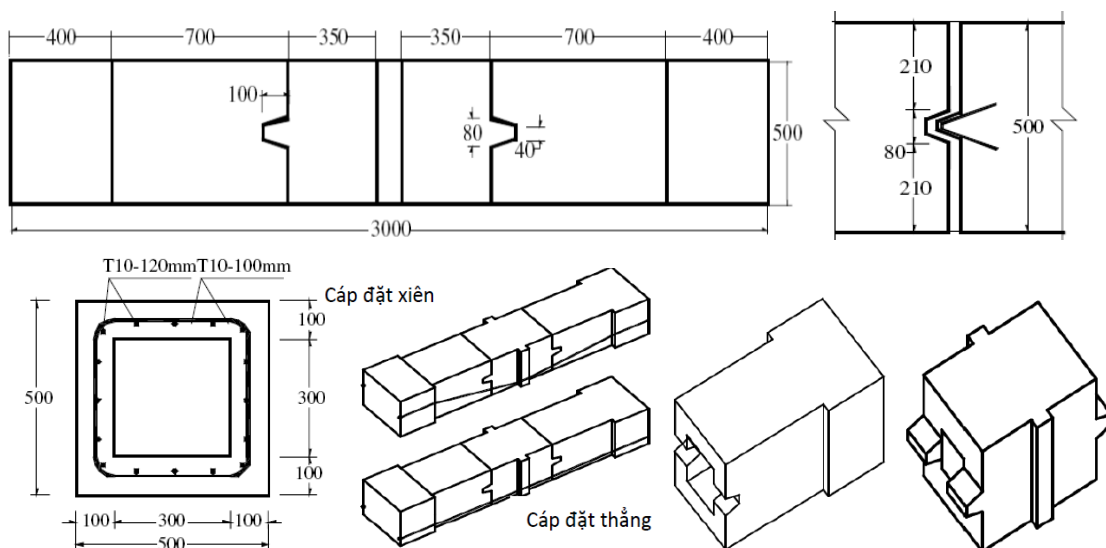
Qua đó ta thấy các nghiên cứu trước đây cũng như các Tiêu chuẩn đã đưa ra chỉ dẫn về cách tính khả năng chịu cắt của mối nối sử dụng khóa chống cắt khô tuy nhiên chưa đề cập nhiều đến vấn đề ảnh hưởng của mô men xoắn đến khóa chống cắt cũng như khả năng chịu mô men xoắn của mối nối.

Trong phạm vi nghiên cứu, tác giả tập trung đề cập đến đánh giá ảnh hưởng của xoắn (tải trọng đặt lệch tâm) đến mối nối bằng phương pháp tính toán mô phỏng số, mẫu dầm trong phân tích mô phỏng được lựa chọn cùng mẫu thí nghiệm đã được thực hiện bởi M.A. Algorafi, Ali, Jaafr, Almansob khoa công trình trường đại học Putra Malaysia [8], nhằm có cơ sở đánh giá so sánh.

## 2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

### 2.1 Cấu tạo mẫu và bố trí thí nghiệm

Để thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của xoắn đến dầm lắp ghép phân đoạn, năm 2011 M.A. Algorafi, Ali, Jaafr, Almansob khoa công trình trường đại học Putra Malaysia [8] đã tiến hành thí nghiệm 6 mẫu, 3 mẫu cáp dự ứng lực ngoài đặt thẳng, 3 mẫu cáp dự ứng lực ngoài đặt gẫy khúc. Mỗi mẫu được lắp ghép từ 3 khối đúc sẵn, thể hiện trong Hình 1. Chi tiết vật liệu, bố trí cáp và điểm đặt lực thể hiện trong Bảng 1.

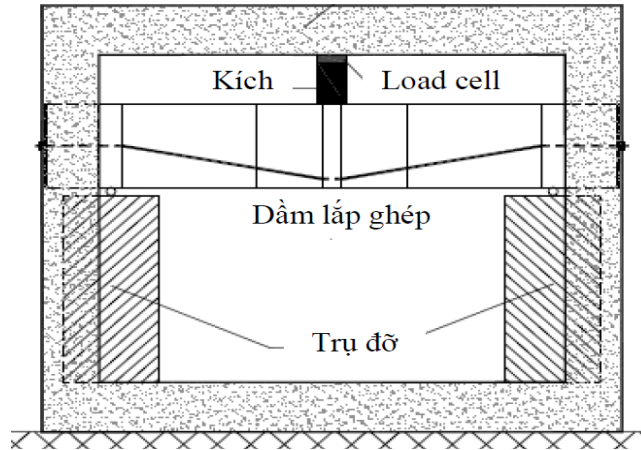


Hình 1. Cấu tạo và bố trí cáp trên mẫu thí nghiệm.

Bảng 1. Đặc tính vật liệu, bố trí cáp và độ lệch tâm của tải trọng thí nghiệm.

Số hiệu dầm	Cường độ bê tông (MPa)	Mô đun đàn hồi bê tông (MPa)	Bố trí cáp	Độ lệch tâm của tải trọng mm	Diện tích Asm (m <sup>2</sup> )	Diện tích A <sub>key</sub> (m <sup>2</sup> )	Góc xiên của cáp α (rad)	Lực dự ứng lực (kN)
C1	49	34000	Cáp thẳng	0	0,15	0,01	0	82
C2	47	34000	Cáp thẳng	100	0,15	0,01	0	77
C3	49	34500	Cáp thẳng	200	0,15	0,01	0	87
D1	47	34000	Cáp xiên	0	0,15	0,01	0,1351	93
D2	47	34000	Cáp xiên	100	0,15	0,01	0,1351	74
D3	43	34500	Cáp xiên	200	0,15	0,01	0,1351	93

Mỗi dầm tác giả bố trí 2 tao cáp dự ứng lực loại 7 sợi đường kính 12,7mm (theo tiêu chuẩn ASTM A 416-85 Grade 270), diện tích mỗi tao là 98,7mm<sup>2</sup>, lực căng trong mỗi tao cáp là 30kN. Sử dụng khung thép làm trụ đỡ và cố định mẫu thí nghiệm, dùng kích 500kN cung cấp và ghi nhận tải trọng phá hoại theo phương đứng, sơ đồ bố trí thí nghiệm được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

## 2.2 Kết quả thí nghiệm

Với đặc tính vật liệu, vị trí tải trọng và sơ đồ thí nghiệm như trên, kết quả thí nghiệm thu được thể hiện trong Bảng 2.

Cũng trong nghiên cứu này, từ công thức cơ bản (1) xác định khả năng chịu cắt của mối nối theo kiến nghị của AASHTO 1998, các tác giả đã nghiên cứu và đề nghị thay các giá trị hệ số ma sát giữa bê tông bề mặt mối nối  $\mu_1 = 0,585$ ; hệ số ma sát giữa bê tông khoá chống cắt  $\mu_2 = 0,453$  và hệ số khả năng chịu cắt của khóa chống cắt  $C = 0,574$  vào công thức tính khả năng chịu cắt của mối nối có xét đến ảnh hưởng của xoắn ta được công thức (2).

$$V_c = \mu_1 \cdot A_{sm} \cdot \sigma_n + A_{key} \cdot \sqrt{f_{cu}} (\mu_2 \cdot \sigma_n + C) \quad (1)$$

$$V_c = 0,585 \cdot A_{sm} \cdot \sigma_n + A_{key} \cdot \sqrt{f_{cu}} (0,453 \cdot \sigma_n + 0,574) + 2N \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Trong đó:  $A_{sm}$  là diện tích tiếp xúc trong mặt phẳng phá hoại ( $\text{mm}^2$ ),  $\sigma_n$  là ứng suất nén trung bình tại mối nối (MPa),  $A_{key}$  là diện tích của khóa chống cắt ( $\text{mm}^2$ ),  $f_{cu}$  là cường độ chịu nén của bê tông (MPa),  $N$  là lực nén dự ứng lực một bên (kN) và  $\alpha$  là góc nghiêng cáp dự ứng lực so với phương nằm ngang (rad).

Từ công thức (2) các tác giả tiến hành tính khả năng chịu tải trọng thẳng đứng (khả năng chịu lực thẳng đứng của mối nối) của các mẫu đã thí nghiệm ( $V_c, \text{kN}$ ) làm cơ sở so sánh và kiểm chứng tính chính xác của công thức tính và thí nghiệm, kết quả được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tải trọng thẳng đứng khi phá hoại mẫu thí nghiệm.

Số hiệu dầm thí nghiệm	C1	C2	C3	D1	D2	D3
Tải trọng thẳng đứng lớn nhất theo tính toán (kN)	191	146	158	237	179	165
Tải trọng thẳng đứng lớn nhất thí nghiệm (kN)	190*	150	159	161*	172	160
Chênh lệch (%)		3%	1%		4%	3%

(\*) không ghi nhận được giá trị lực thẳng đứng khi phá hoại mẫu.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm và tính toán theo công thức (2) cho thấy khả năng chịu tải trọng thẳng đứng là tương đồng (chênh lệch không đáng kể, lớn nhất là 4%). Kết quả này cũng cho thấy ảnh hưởng của xoắn (độ lệch tâm của tải trọng) càng lớn thì khả năng chịu tải trọng

thẳng đứng của mẫu càng giảm, mức giảm lớn nhất lên tới 30,38% ở mẫu D3 với tải trọng đặt lệch tâm 200mm.

### 3. TÍNH TOÁN THEO PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỐ

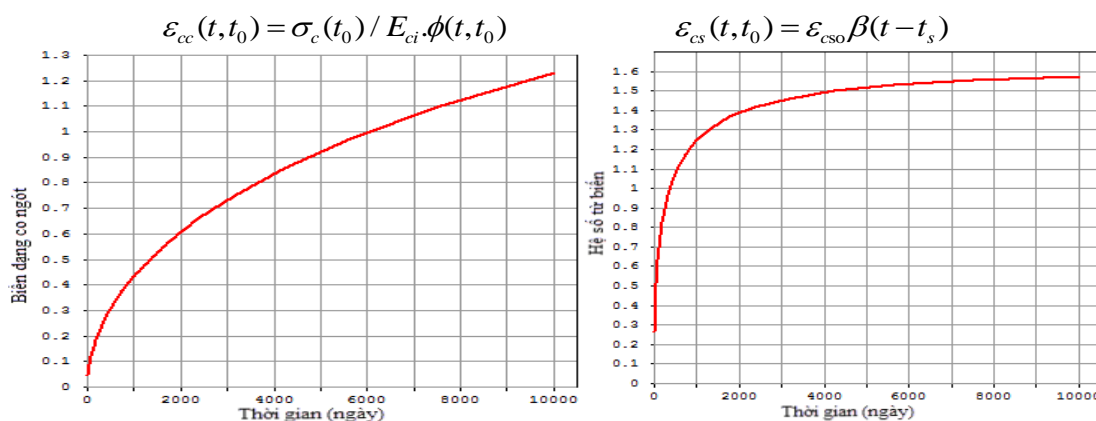
#### 3.1. Cấu tạo mẫu dùng trong mô phỏng

Để có cơ sở so sánh giữa kết quả mô phỏng số và kết quả thí nghiệm thì dầm sử dụng trong mô phỏng số để tính toán cũng được lắp ghép từ ba có đốt kích thước như Hình 1 (dầm sử dụng trong thí nghiệm), vị trí mỗi nối sử dụng một khóa chống cắt, mỗi dầm bố trí hai tao cấp dự ứng lực ngoài, tải trọng đặt trên đốt giữa theo các trường hợp đúng tâm, lệch tâm 100mm và 200mm để khảo sát độ võng và ứng suất cắt trong khóa chống cắt. Đặc tính vật liệu sử dụng trong mô phỏng tương tự như thí nghiệm, được thể hiện trong Bảng 1.

#### 3.2. Mô hình vật liệu

Vật liệu bê tông sử dụng trong mô hình phân tích được lấy theo mô hình vật liệu tuyến tính. Các thông số đầu vào của vật liệu được khai báo bao gồm: Cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày  $f_c' = 43$  đến 49 (MPa), mô đun đàn hồi  $E_c = 0,043 y_c^{1,5} \sqrt{f_c'}$  với  $y_c$  là tỷ trọng của bê tông ( $\text{kG/m}^3$ ),  $f_c'$  là cường độ quy định của bê tông (MPa).

Hệ số nở ngang Poisson  $\mu = 0,2$ , hệ số ma sát giữa hai mặt trơn trượt 0,585, hệ số ma sát giữa bê tông khóa chống cắt 0,453. Ảnh hưởng của co ngót, từ biến và sự phụ thuộc của việc hình thành cường độ trong bê tông vào thời gian được xét đến trong mô hình vật liệu lấy theo tiêu chuẩn CEB-FIP [9], thể hiện trong Hình 3.



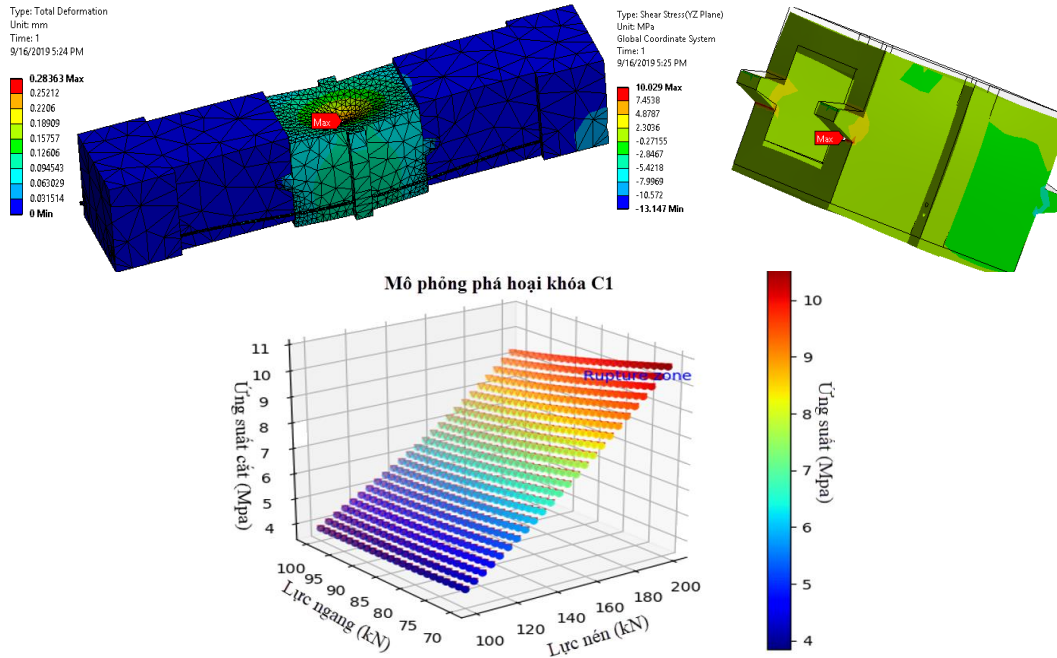
Hình 3. Hàm thông số ảnh hưởng của từ biến và co ngót theo thời gian.

Cốt thép được lấy theo TCVN11823-5:2017 [10] với giới hạn chảy của thép 400MPa, giới hạn bền 570MPa, mô đun đàn hồi 200000MPa, trọng lượng riêng 7850 $\text{kG/m}^3$ .

#### 3.3. Kết quả tính toán mô phỏng

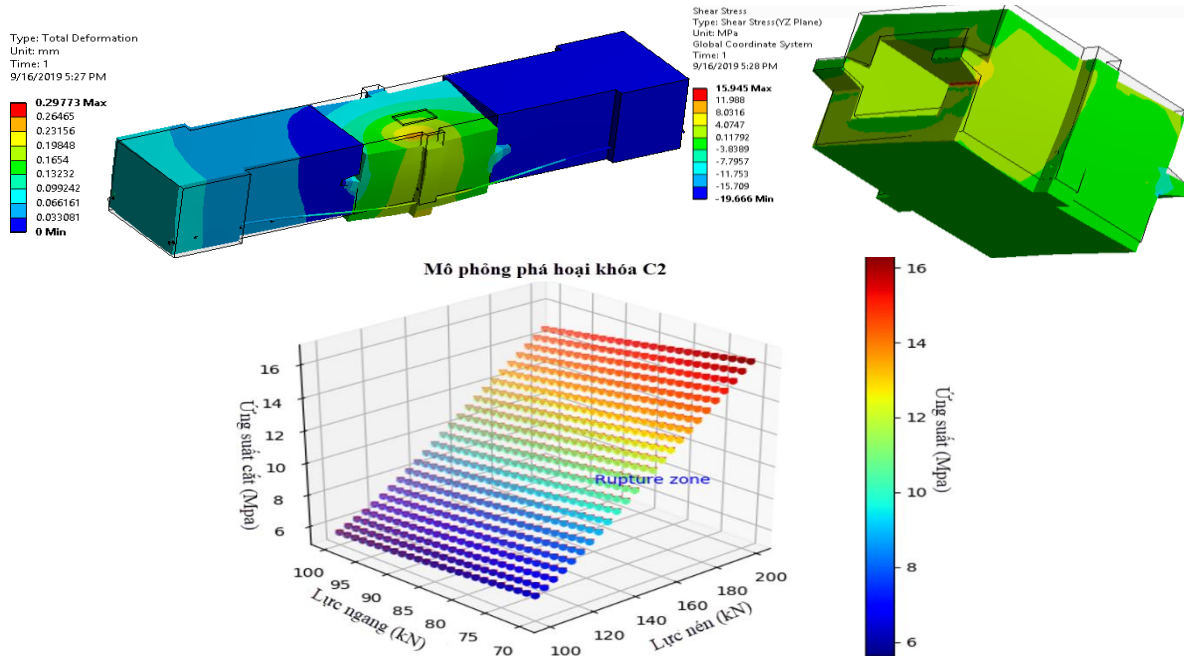
Từ các dữ liệu đầu vào nêu trên, sử dụng phần mềm Ansys19 tiến hành phân tích mô phỏng số kết cấu. Dạng phần tử dùng trong mô phỏng là phần tử SOLID56 cho khối bê tông chứa cốt thép với 3 bậc tự do mỗi điểm và cho phép khả năng biến dạng dẻo, xuất hiện vết nứt theo 3 phương xyz. Do kết cấu lắp ghép nên giữa các mối nối tồn tại phần tử tiếp xúc và để đảm bảo độ chính xác thì phần tử tại khóa chống cắt được chia lưới mịn hơn, kết quả phân tích được thể hiện trong các Hình 4 đến Hình 9.





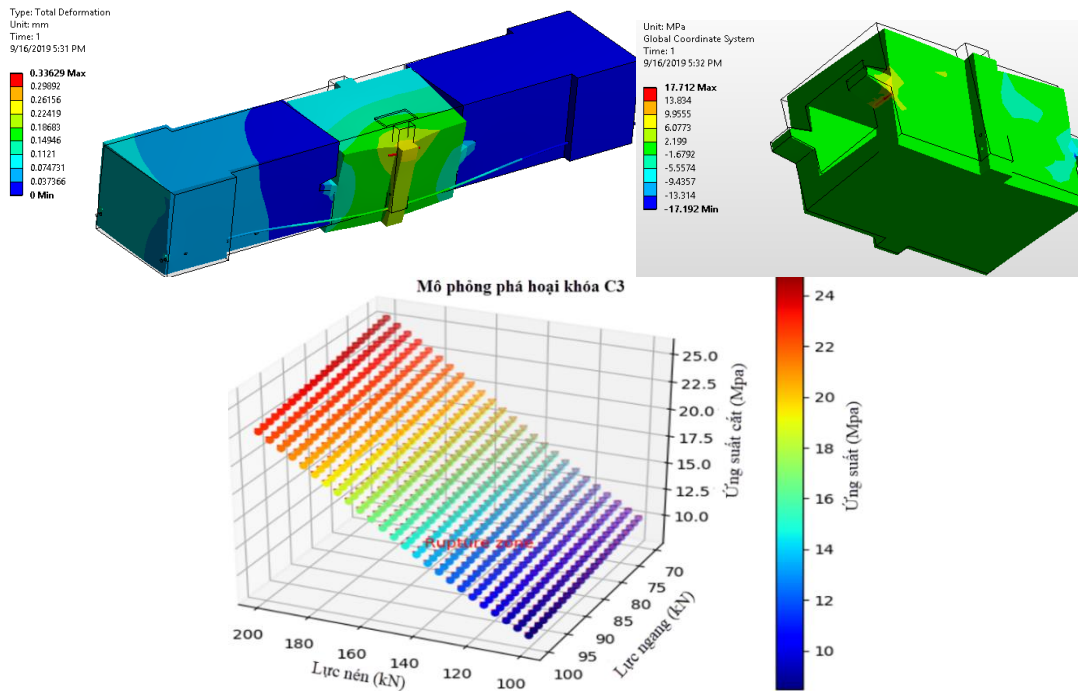
**Hình 4.** Độ võng và ứng suất phân tích mẫu C1, cáp đặt thẳng, lực đúng tâm.

Qua hình ảnh chuyển vị, phổ ứng suất và biến dạng ta thấy kết cấu chuyển vị đều trên toàn bộ mặt cắt ngang, chuyển vị đạt giá trị lớn nhất 0,236mm khi tải trọng thẳng đứng  $P=200\text{kN}$ . Giá trị ứng suất đối xứng ở hai khóa chống cắt và đạt cực đại 10,029MPa khi  $P=200\text{kN}$ .



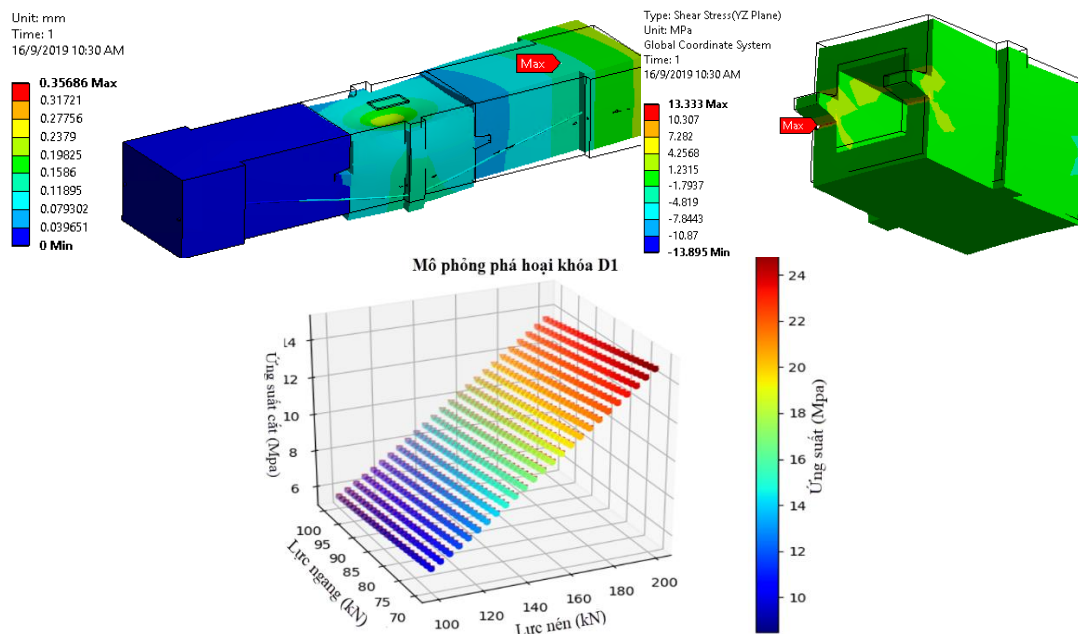
**Hình 5.** Độ võng và ứng suất phân tích mẫu C2, cáp đặt thẳng, lực lệch tâm 100mm.

Từ kết quả phân tích ta thấy kết cấu chuyển vị lệch về phía đặt lực và đạt chuyển vị lớn nhất 0,298mm, tăng 25,99% so với trường hợp lực đặt đúng tâm. Ứng suất lớn nhất xuất hiện tại khóa chống cắt phía đặt lực và đạt giá trị lớn nhất 15,945MPa khi lực  $P=200\text{kN}$ .



**Hình 6.** Độ võng và ứng suất phân tích mẫu C3, cáp đặt thẳng, lực lệch tâm 200mm.

Trường hợp lực đặt lệch tâm 200mm ta thấy ảnh hưởng rõ ràng của mô men xoắn đến chuyển vị và ứng suất. Giá trị chuyển vị lớn nhất tại phía đặt lực và đạt 0,336mm, tăng tới 42,3% so với trường hợp lực  $P=200\text{kN}$  đặt đúng tâm. Ứng suất lớn nhất xuất hiện tại khóa chống cắt phía đặt lực và đạt giá trị lớn nhất 17,712MPa khi lực  $P=200\text{kN}$ .

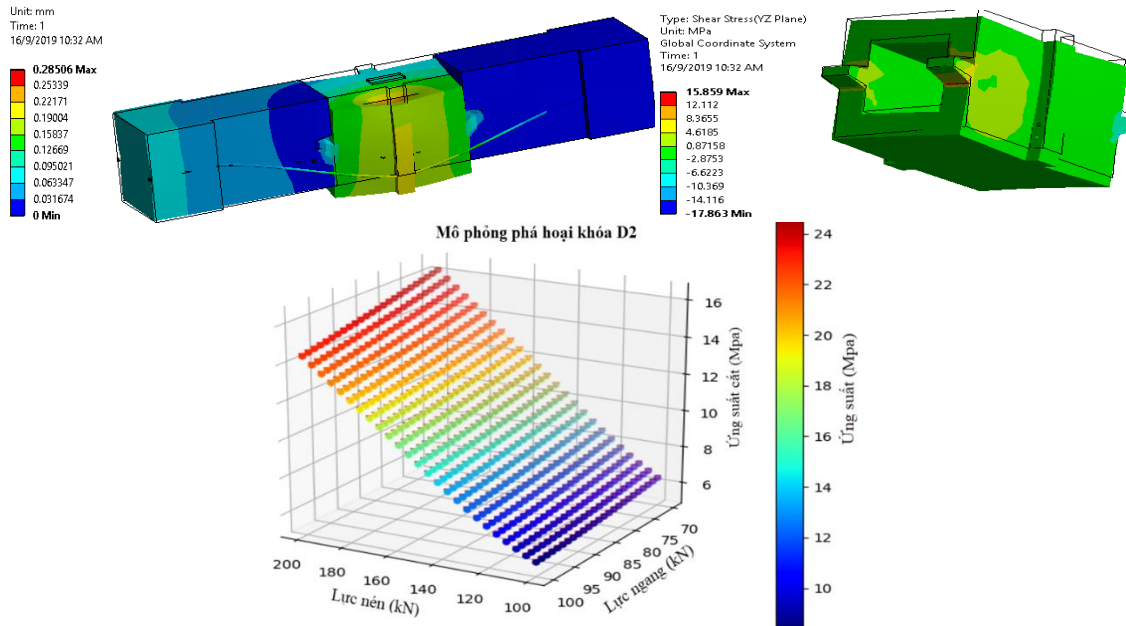


**Hình 7.** Độ võng và ứng suất phân tích mẫu D1, cáp đặt gãy khúc, lực đúng tâm.

Kết quả ta thấy tương tự như trường hợp cáp đặt thẳng (mẫu C1). Chuyển vị, phổ ứng suất và biến dạng đối xứng trên mặt cắt ngang, chuyển vị đạt giá trị lớn nhất 0,357mm khi tải trọng thẳng đứng  $P=200\text{kN}$  lớn hơn so với trường hợp cáp đặt thẳng. Giá trị ứng suất đối

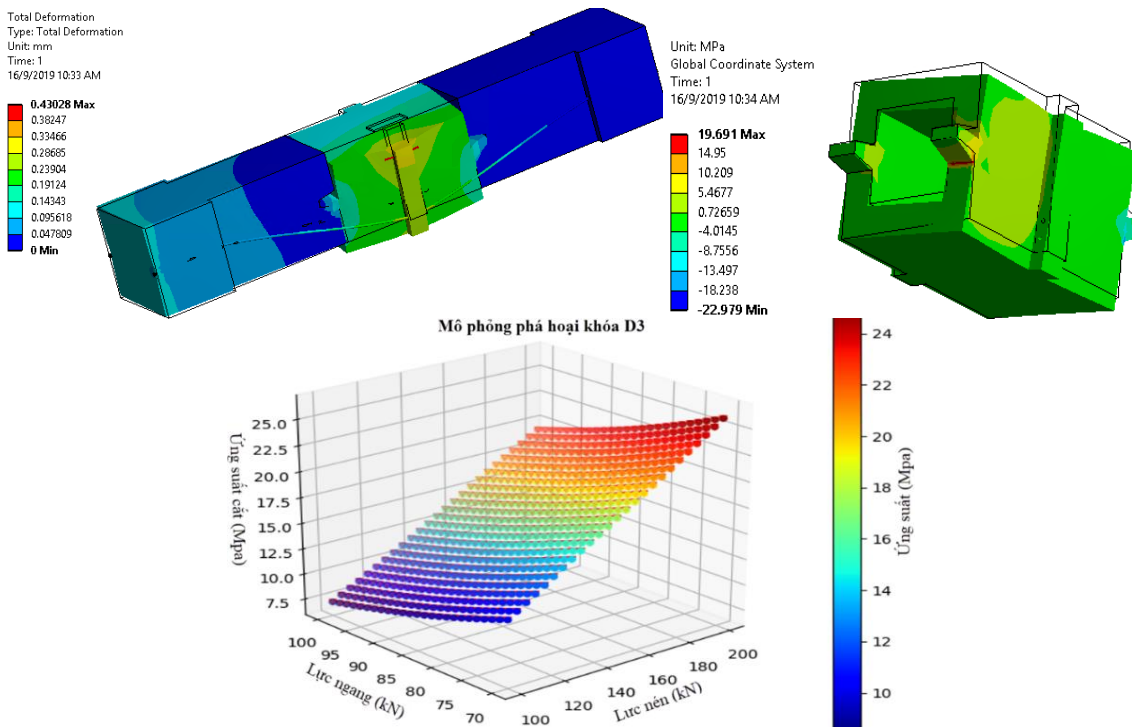


xứng ở hai khóa chống cắt và đạt cực đại 13,333MPa khi P=200kN lớn hơn so với trường hợp cấp đặt thẳng.



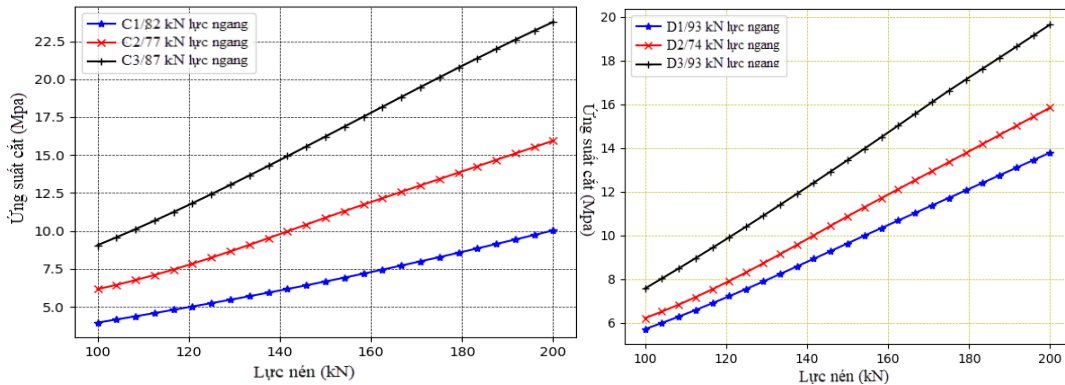
**Hình 8.** Độ võng và ứng suất phân tích mẫu D2, cấp đặt gãy khúc, lực lệch tâm 100mm.

Tương tự như kết quả phân tích mẫu C2, kết quả phân tích cho ta thấy kết cấu chuyển vị lệch về phía đặt lực và đạt chuyển vị lớn nhất 0,285mm, giá trị này thấp hơn trường hợp đặt đúng tâm là do tạo lực nén dự ứng lực 74kN thấp hơn khi tạo dự ứng lực mẫu D1 là 93kN. Ứng suất lớn nhất xuất hiện tại khóa chống cắt phía đặt lực và đạt giá trị lớn nhất 15,859MPa khi lực P=200kN.



**Hình 9.** Độ võng và ứng suất phân tích mẫu D3, cấp đặt gãy khúc, lực lệch tâm 200mm.

Tương tự rường hợp lực đặt lệch tâm 200mm mẫu C3 cấp dự ứng lực đặt thẳng, ta thấy ảnh hưởng rõ ràng của mô men xoắn đến chuyển vị và ứng suất. Giá trị chuyển vị lớn nhất tại phía đặt lực và đạt 0,430mm, tăng 20,6% so với trường hợp lực P=200kN đặt đúng tâm. Ứng suất lớn nhất xuất hiện tại khóa chống cắt phía đặt lực và đạt giá trị lớn nhất 19,691MPa khi lực P=200kN.



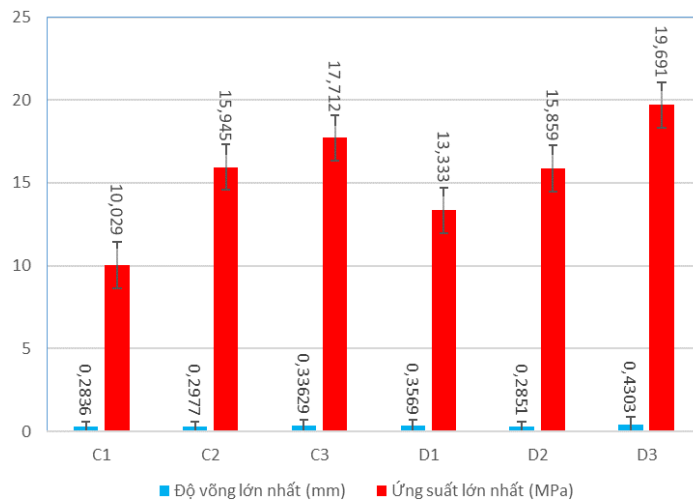
Hình 10. Biểu đồ quan hệ lực thẳng đứng và ứng suất cắt tại khóa chống cắt.

Từ biểu đồ quan hệ giữa lực thẳng đứng và ứng suất cắt ta thấy, ứng suất cắt tăng khi tải trọng đặt lệch tâm đối với cả trường hợp cấp dự ứng lực đặt thẳng và đặt xiên. Khi tải trọng đặt đúng tâm (mẫu C1, D1) thì ứng suất cắt trong trường hợp cấp dự ứng lực đặt thẳng nhỏ hơn so với trường hợp cấp dự ứng lực đặt xiên, khi tải trọng đặt lệch tâm (mẫu C3, D3) thì giá trị ứng suất trong trường hợp cấp dự ứng lực đặt thẳng bất lợi hơn.

Kết quả tính toán mô phỏng số của 6 mẫu nêu trên được tổng hợp trong Bảng 3 và mô tả giá trị độ võng lớn, ứng suất lớn nhất dưới dạng biểu đồ ở Hình 11.

Bảng 3. Bảng tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng.

Số hiệu dầm	C1	C2	C3	D1	D2	D3
Vị trí tải trọng	0	100	100	0	100	100
Lực dự ứng lực (KN)	82	77	87	93	74	93
Độ võng lớn nhất (mm)	0,2836	0,2977	0,33629	0,3569	0,2851	0,4303
Ứng suất lớn nhất (MPa)	10,029	15,945	17,712	13,333	15,859	19,691



Hình 11. Biểu đồ mô tả độ võng và ứng suất từ kết quả mô phỏng.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm ta thấy khả năng chịu tải trọng thẳng đứng (khả năng chịu cắt của khóa chống cắt) bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng xoắn hay tải trọng đặt lệch tâm trên cầu kiện, đối với các mẫu thí nghiệm như trên khả năng chịu tải giảm đến 30,38%.

Từ kết quả tính toán mô phỏng ta thấy, đối với trường hợp cấp dự ứng lực đặt thẳng, khi tải trọng đặt lệch tâm 100mm, 200mm thì giá trị ứng suất lớn nhất (xuất hiện tại khóa chống cắt) tăng lên so với tải trọng đặt đúng tâm lần lượt là 58,99% và 76,61%, độ võng lớn nhất cũng tăng lên lần lượt là 4,97% và 18,58%.

Đối với trường hợp cấp dự ứng lực đặt xiên, khi tải trọng đặt lệch tâm 100mm, 200mm thì giá trị ứng suất lớn nhất (xuất hiện tại khóa chống cắt) tăng lên so với tải trọng đặt đúng tâm lần lượt là 18,95% và 47,69%, độ võng lớn nhất cũng thay đổi gần 20%.

Từ các kết quả phân tích trên ta thấy cần xét đến ảnh hưởng của tải trọng lệch tâm hay xoắn khi tính toán khả năng chịu cắt của khóa chống cắt, đặt biệt đối với trường hợp cấp dự ứng lực đặt theo đường gãy khúc hay đường cong.

Kết quả thí nghiệm cũng như phân tích mô phỏng trên đây chỉ thực hiện đối với mặt cắt ngang có một khóa chống cắt và mẫu thử nhỏ do đó tác giả kiến nghị cần tiếp tục nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm với nhiều khóa trên mặt cắt ngang và kích thước khóa cũng như cầu kiện gần với kết cấu thực nhằm hoàn thiện hơn trong tính toán đánh giá khả năng chịu cắt của mỗi nối trong cầu dầm lắp ghép phân đoạn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hồ sơ thiết kế kỹ thuật tuyến Metro Bến Thành - Suối Tiên, Liên danh Sumitomo – Cienco6, 11-2013.
- [2]. Hồ sơ thiết kế kỹ thuật tuyến Tân Vũ- Lạch Huyện, Liên danh OC, Padeco, Nippon Koei, JBSI, Jan 2013.
- [3]. Lê Bá Khánh, Phạm Thế Hùng, Nghiên cứu ảnh hưởng của xoắn đến giá trị ứng suất - biến dạng của mặt cắt ngang dầm hộp, Tạp chí GTVT, 12 (2015).
- [4] C.L Robert, J.E Breen, Measurements based revisions for segmental bridge design and construction criteria research report, The university of Texas at Austin, 1993.
- [5]. In Hwan Yang, Kyung-Cheol Kim, Young-Joon Kim, Shear strength of dry joints in precast concrete modules, The Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), Sapporo, Japan, 2013.
- [6]. G. Rombach, A. Specker, Design of joint in segmental hollow box girder, 1st FIB Kongress, Osaka, Japan, 2002. <https://cuvillier.de/de/shop/publications/3039>
- [7]. Tiêu chuẩn ngành 22TCN272-05.
- [8]. M. A. Algorafi, A. A. A. Ali, I. Othman, M. S. Jaafar, R. A. Almansob, Evaluation of Structural Behavior of Externally Prestressed Segmented Bridge with Shear Key under Torsion, Journal of Engineering, Project, and Production Management, 1 (2011), 28-35. DOI: [10.32738/JEPPM.201107.0004](https://doi.org/10.32738/JEPPM.201107.0004)
- [9] CEB-FIP Model Code Comite EURO – International du Beton, Design Code, 1990.
- [10]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN11823-5:2017.