

# NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CỦA NÚT GIỮA TRONG KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT THÔNG QUA MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

**TS. TRẦN CAO THANH NGỌC**

Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh

*Tóm tắt: Trong những năm gần đây, nhóm nghiên cứu thuộc trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh đã tiến hành nghiên cứu sự làm việc của nút giữa trong khung bê tông cốt thép dưới tác động của tải trọng động đất, một vấn đề đang được lưu tâm đặc biệt tại Việt Nam [1-4]. Bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm của hai nút giữa (NS, LS) trong khung bê tông cốt thép dưới tác động của tải trọng động đất. Mô hình NS được thiết kế dựa theo tiêu chuẩn BS [5]. Một số nhược điểm về cấu tạo của mô hình NS trong việc chịu tải trọng động đất như việc không bố trí cốt đai tại nút, được khắc phục trong mô hình LS nhằm so sánh tính hiệu quả với mô hình NS. Kết quả thí nghiệm cho thấy mô hình LS có khả năng chịu tải trọng ngang mô phỏng tải trọng động đất tốt hơn mô hình NS.*

## 1. Mở đầu

Theo thống kê, từ Bắc chí Nam Việt Nam có tất cả 30 khu vực có thể phát sinh động đất. Mức chấn động nằm trong khoảng 5,5 - 6,8 độ Richter. Mức chấn động này đủ để nhà cửa bị hư hại cho tới phá hủy hoàn toàn. Trong đó hai thành phố lớn là Hà Nội và Tp. Hồ Chí Minh cũng nằm trong hoặc cận các khu vực này. Do đó, nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước đã và đang bày tỏ mối lo ngại về hiểm họa động đất và sóng thần ở Việt Nam.

Ngoài ra, điều đáng lo ngại nhất là việc chưa áp dụng tiêu chuẩn kháng chấn đối với các công trình xây dựng, đặc biệt tại các thành phố lớn. Tuyệt đại đa số các công trình xây dựng ở nước ta đều chưa áp dụng tiêu chuẩn kháng chấn. Chỉ sau khi Hà Nội và Tp. Hồ Chí Minh chịu một số dư chấn mạnh những năm gần đây, mọi người mới bắt đầu nghĩ đến.

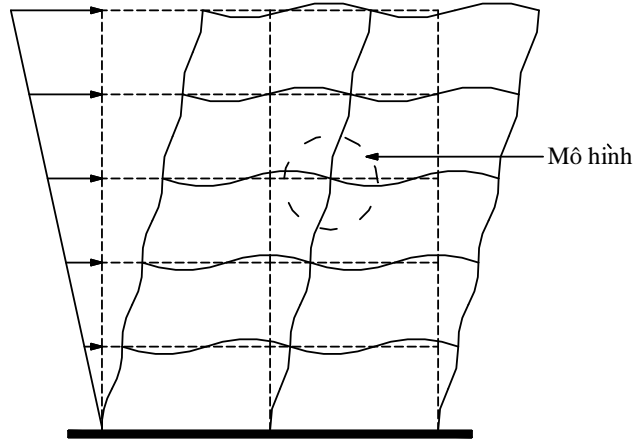
Theo một số nghiên cứu đánh giá rủi ro động đất các thành phố lớn gần đây: nếu xảy ra động đất với cường độ cực đại theo tính toán vào khoảng 6,7 độ Richter thì 30 % nhà cửa sẽ bị phá hủy cùng với thiệt hại về người không thể lường trước được. Chịu tác động nặng nhất là những khu chung cư cũ, bệnh viện, trường học,... do không áp dụng tiêu chuẩn kháng chấn. Do đó nghiên cứu, đánh giá tác động của động đất đối với các công trình dân dụng tại Việt Nam là vô cùng cấp bách và cần thiết.

Trong tất cả các loại kết cấu cho công trình dân dụng, kết cấu khung bê tông cốt thép được sử dụng khá phổ biến tại Việt Nam. Trong khung bê tông cốt thép của các công trình dân dụng, nút dầm - cột đóng vai trò vô cùng quan trọng. Các khảo sát gần đây cho thấy, sự hư hại của nút dưới ảnh hưởng của động đất dẫn đến sự sụp đổ hoàn toàn của cả tòa nhà. Vì thế việc nghiên cứu đánh giá khả năng chịu tải trọng động đất của nút là vô cùng cần thiết và cấp bách. Bài báo này trình bày kết quả thí nghiệm của nút giữa dầm - cột trong khung bê tông cốt thép dưới tác động của tải trọng động đất. Một trong những khác biệt của 2 mô hình này là hàm lượng cốt đai ở nút.

## 2. Thí nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm trên đối tượng thực đem lại kết quả chính xác nhất tác động của tải trọng động đất đối với kết cấu xây dựng. Tuy nhiên do nhiều yếu tố kỹ thuật và kinh tế, việc thực hiện nghiên cứu trên đối tượng thực là không khả thi. Phần lớn các nghiên cứu thực nghiệm đã được thực hiện thông qua các mô hình trong phòng thí nghiệm.

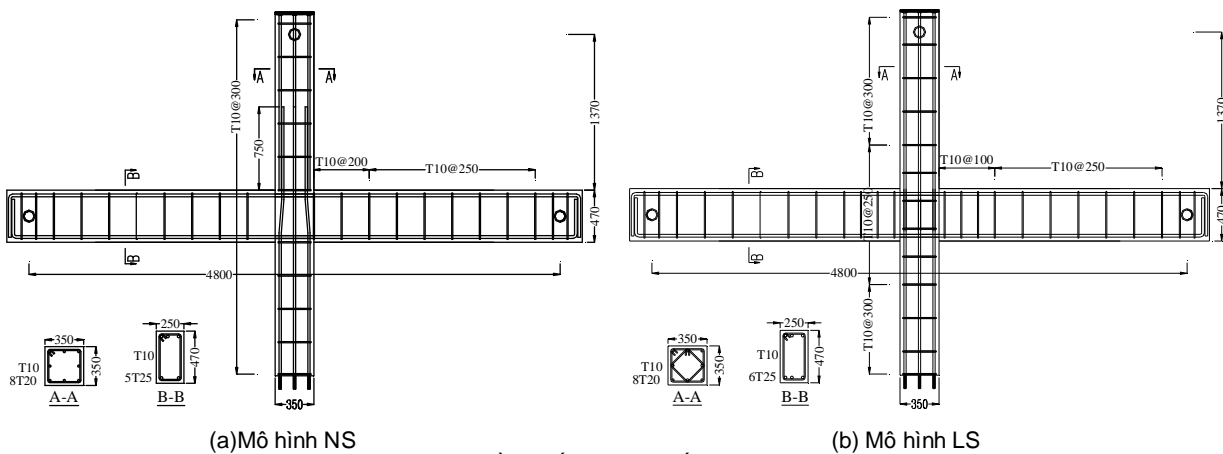
Dưới tác dụng của tải trọng ngang do động đất, hệ khung bị biến dạng như hình 1. Nghiên cứu này chỉ tập trung vào việc thí nghiệm và mô hình sự làm việc của nút giữa. Dựa vào sự làm việc của khung dưới tác dụng của tải trọng ngang như hình 1, một nửa trụ trên, dưới và một nửa dầm trái, phải sẽ được mô hình trong đối tượng thí nghiệm. Điều kiện biên của mô hình thí nghiệm là tự do ở đầu trụ trên, khớp ở đầu trụ dưới và tựa đơn ở 2 đầu dầm.



Hình 1. Biến dạng của khung dưới tác dụng của tải trọng ngang

### 2.1 Mô hình thí nghiệm

Cấu tạo cụ thể của đối tượng thí nghiệm được trình bày trên hình 2 và bảng 1. Mô hình thí nghiệm được đặt tên cụ thể là NS và LS. Mô hình NS được lấy từ mô hình thực của khung nhà 8 tầng, được thiết kế theo tiêu chuẩn BS [5]. Do thiết kế theo tiêu chuẩn BS [5], không xét đến tải trọng ngang tại nút nên không có cốt đai nào ở khu vực nút giữa dầm và cột của mô hình NS. Một số nhược điểm trong cấu tạo của mô hình NS trong việc chịu tải trọng ngang được điều chỉnh trong mô hình LS. Ở khu vực nút giữa dầm và cột của mô hình LS có 2 lớp cốt đai; mô hình LS không có nối buộc tại vị trí phía trên nút; cốt dọc lớp dưới và lớp trên ở dầm của mô hình LS là như nhau; cốt đai ở dầm gần nút của mô hình LS được tăng cường.



Hình 2. Sơ đồ và cấu tạo của đối tượng thí nghiệm

### 2.2 Cường độ bê tông và thép

Cường độ trụ bê tông của mô hình NS và LS tại thời điểm thí nghiệm lần lượt là 42,5 MPa và 42,4 MPa. Thép tròn có gai T10 và T25 với giới hạn chảy lần lượt là 420 MPa, 460 MPa được sử dụng làm cốt dọc và cốt đai của mô hình.

**Bảng 1.** Các thông số cơ bản của đối tượng thí nghiệm

Mô hình	$f'_c$ MPa	$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\frac{\sum M_c}{\sum M_b}$	Lực cắt tính toán, $P_{th}$ (kN)
NS	42,50	0,14	1,2	189,00
LS	42,40	0,14	0,84	241,00

### 2.3 Tải trọng tác dụng

Tải trọng thí nghiệm là yếu tố cơ bản trực tiếp tác dụng lên đối tượng thí nghiệm. Trong thí nghiệm này, có 2 loại tải trọng tác dụng lên mô hình thí nghiệm (hình 2): tải trọng đứng và tải trọng ngang lập.

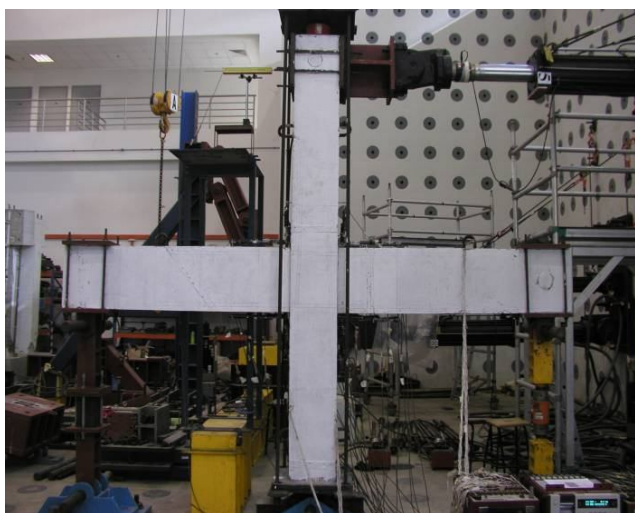
*Tải trọng đứng tác dụng lên cột:* do phần trọng lượng bản thân của cấu kiện và hoạt tải sàn các tầng trên truyền xuống sau khi đã được tính toán quy đổi thành các tải trọng tập trung. Tải trọng đứng này tác dụng cố định vào trọng tâm tiết diện ngang của cột. Trong thí nghiệm này, giá trị tải trọng đứng tác dụng lên cột là  $0,14 A_g f'_c$  (tương đương 729 kN và 725 kN cho mô hình NS và LS)

*Tải trọng ngang lập:* Tải trọng ngang tác dụng lên kết cấu thí nghiệm là tải trọng động đất được quy đổi. Tải trọng ngang trong thí nghiệm này được đặt tại phần đầu trụ trên. Tải trọng này tác dụng đảo chiều (đẩy và kéo) và thay đổi tăng dần trong quá trình thí nghiệm.

### 2.4 Cấu tạo hệ thống gia tải

*Hệ thống gia tải đứng:* tải trọng đứng ở cột được tác dụng thông qua kích thủy lực loại 300 kN. Các kích thủy lực này là loại kích thông tâm, được đặt phía trên của trụ. Lực tạo ra từ kích truyền trực tiếp vào trụ, phản lực tạo ra được cân bằng bởi 4 thanh vít-me cường độ cao như hình 3.

*Hệ thống gia tải ngang:* tải trọng ngang tác dụng lên kết cấu thí nghiệm thông qua kích thủy lực loại 100 kN. Một đầu được gắn vào tường phản lực, đầu còn lại được nối vào phần trụ trên của mô hình thí nghiệm như hình 3. Kích gia tải này được gắn với một lực kế điện tử (load cell). Load cell truyền tín hiệu và giá trị lực trong kích về máy tính thông qua bộ thu nhận và chuyển đổi tín hiệu.

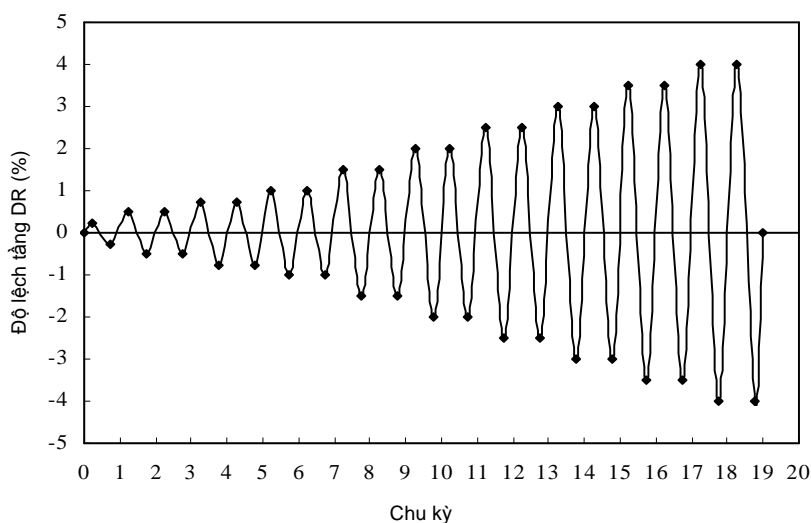


**Hình 3.** Hệ thống gia tải đứng và ngang

### 2.5 Quy trình thí nghiệm

Thông qua hệ thống gia tải đứng, tải trọng đứng được tác dụng tăng dần đến khi đã đạt được giá trị yêu cầu  $0,14 A_g f'_c$ . Giá trị này được giữ nguyên trong suốt quá trình thí nghiệm. Với mục đích kiểm tra đánh giá khả

năng làm việc dưới tác dụng của tải trọng ngang đảo chiều theo chu kỳ đối với kết cấu công trình, ở đây thí nghiệm sẽ được thực hiện theo cách tác dụng tải trọng ngang đảo chiều với lịch sử tác dụng lên mô hình thí nghiệm như hình 4.



Hình 4. Lịch sử gia tải trọng ngang (Sơ đồ tải ngang thay đổi theo chu kỳ)

## 2.6 Các thiết bị đo và thu thập dữ liệu

### Đo chuyển vị ngang:

Đây là tham số quan trọng cần đo và khống chế giá trị trong quá trình tác động tải trọng ngang theo chu kỳ. Để đo giá trị này, một đầu đo chuyển vị LVDT với độ dài đo 0 – 300 mm, đặt tại vị trí như hình 3.

### Đo góc xoay và biến dạng cốt tại các vị trí lân cận nút và tại nút:

Để xác định góc xoay tiết diện ngang hoặc biến dạng cốt của một cấu kiện, một cặp dụng cụ đo chuyển vị được sử dụng để đo độ dịch chuyển của 2 điểm khác nhau trên cùng một tiết diện khảo sát. Từ kết quả đo này và quan hệ hình học chúng ta có thể dễ dàng tính được góc xoay hoặc biến dạng cốt của cấu kiện. Sơ đồ bố trí thiết bị LVDT để đo góc xoay và biến dạng cốt tại các vị trí lân cận nút và tại nút được trình bày như hình 5. Như trình bày ở hình này, 5 cặp LVDT được sử dụng để đo biến dạng cốt, 6 cặp LVDT được sử dụng để đo góc xoay tại các vị trí khác nhau của dầm và 4 cặp được sử dụng cho trụ.



Hình 5. Sơ đồ bố trí dụng cụ đo góc xoay và biến dạng cốt

### Đo biến dạng trong cốt thép:

Để kiểm tra độ biến dạng của cốt thép trong quá trình thí nghiệm, các cảm biến điện trở (strain gauges) được dán vào các thanh cốt thép dọc của dầm và cột tập trung tại các vị trí mà mômen uốn đạt giá trị lớn nhất,

cùng với một số được dán ở các cốt đai tại vị trí nút dầm – cột. Vị trí cùng với kết quả của việc đo biến dạng trong cốt thép sẽ được trình bày chi tiết ở phần sau của bài báo.

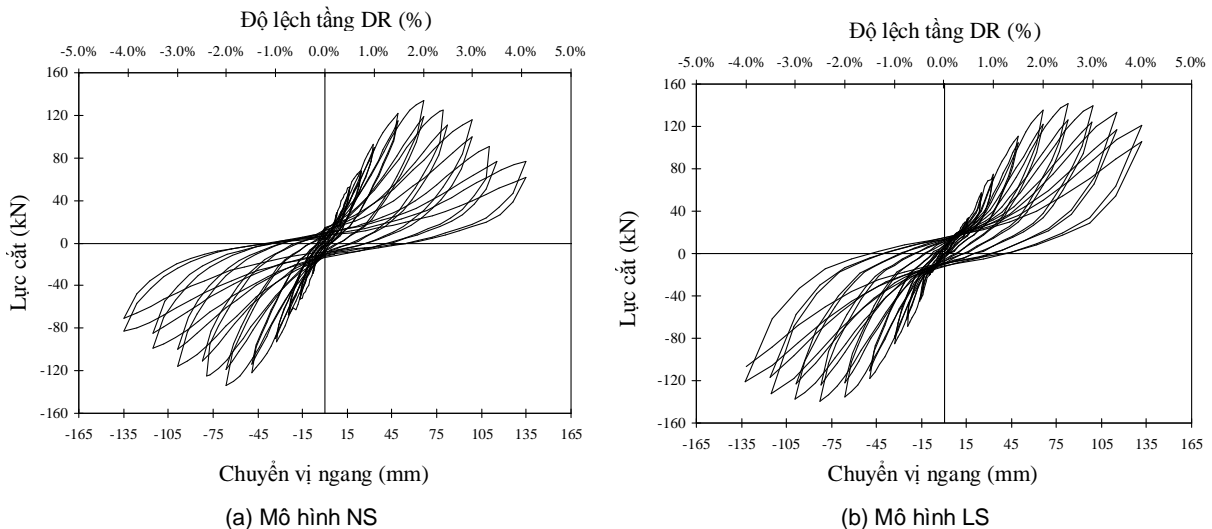
### 2.7 Khả năng tính toán của mô hình thí nghiệm

Bảng 1 tóm tắt các thông số thiết kế của 2 mô hình thí nghiệm. Những thông số này được tính dựa vào cường độ thực tế của bê tông, cốt thép và thông qua tiêu chuẩn ACI-ASCE 352 [6]. Tỷ số mômen giới hạn chảy giữa trụ với dầm của mô hình NS và LS lần lượt là 1,2 và 0,84. Lực cắt tính toán dựa theo mômen giới hạn chảy tại trụ hoặc dầm (giá trị nào cho lực cắt nhỏ hơn) của mô hình NS và LS lần lượt là 189 kN và 241 kN.

## 3. Kết quả thí nghiệm

### 3.1 Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang

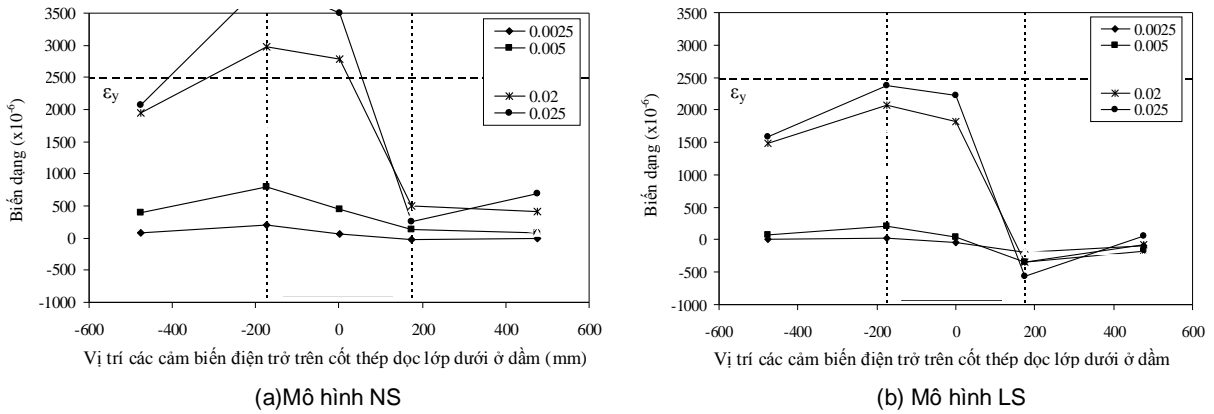
Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của mô hình thí nghiệm NS được hiển thị ở hình 6a. Mô hình NS không đạt được khả năng tính toán (nominal capacities) trong suốt quá trình thí nghiệm. Trong cả 2 chiều đẩy và kéo, lực cắt lớn nhất ở trụ đạt được là 133,5 kN tại độ lệch tầng (DR) 2 %. Mô hình thí nghiệm NS bị suy giảm hơn 20 % khả năng chịu lực cắt tại DR 3,5 %. Tại thời điểm này mô hình được xem như đã bị phá hủy hoàn toàn.



Hình 6. Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của mô hình thí nghiệm

Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của mô hình thí nghiệm LS được thể hiện ở hình 6b. Trong cả 2 chiều đẩy và kéo, lực cắt lớn nhất ở trụ đạt được là 145,0 kN tại độ lệch tầng 2,5 %. Mô hình chỉ đạt được 60,2 % khả năng tính toán (241 kN). Cả 2 mô hình không đạt khả năng tính toán trong suốt quá trình thí nghiệm, điều này cho thấy cả 2 mô hình đều bị phá hủy tại nút trước khi dầm hoặc cột đạt tới giới hạn dẻo. Lực cắt lớn nhất của mô hình LS lớn hơn 6,7 % so sánh với mô hình thí nghiệm NS. Tại độ lệch tầng 4,0 %, mô hình LS chỉ mất 15 % khả năng chịu tải trọng ngang. Điều này cho thấy việc cải tiến cấu tạo so với thiết kế theo tiêu chuẩn BS [5] đặc biệt là việc bố trí cốt đai tại nút làm tăng khả năng chịu tải trọng ngang và biến dạng dẻo của mô hình.

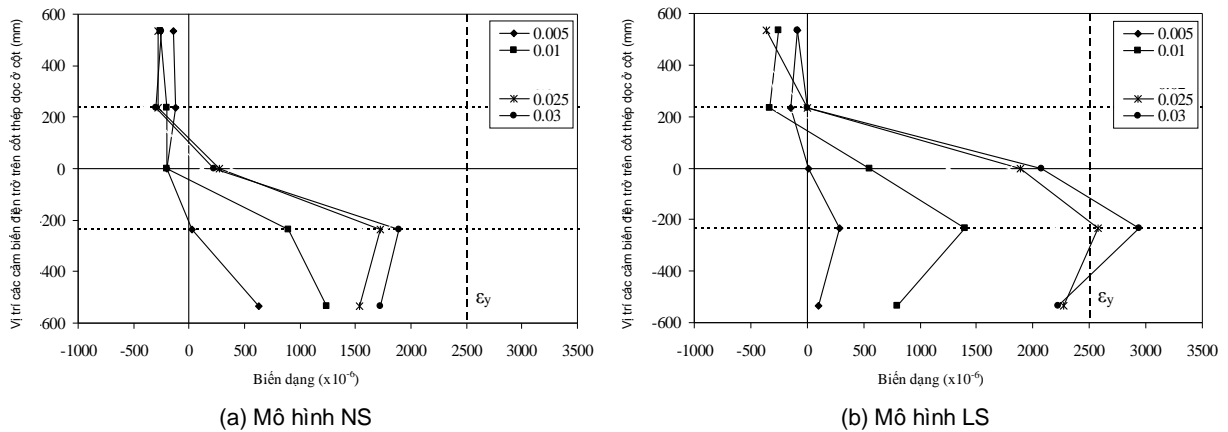
### 3.2 Biến dạng của cốt thép



Hình 7. Biến dạng của cốt thép dọc lớp dưới ở dầm tại vị trí nút

Hình 7 a, b thể hiện biến dạng của cốt thép dọc lớp dưới ở dầm tại vị trí nút cho mô hình thí nghiệm NS và LS. Biến dạng cốt thép dọc của trụ tại vị trí nút cho mô hình thí nghiệm NS và LS được trình bày ở hình 8a, b. Các giá trị này được thu thập thông qua các cảm biến điện trở được gắn vào cốt thép của mô hình thí nghiệm. Hiện tượng chảy dẻo xuất hiện ở cốt thép dầm của mô hình NS tại độ lệch tầng 2,0 %. Ở những độ lệch tầng tiếp theo, chảy dẻo xuất hiện cả trong phần cốt thép ở nút. Thép ở trụ vẫn ở trong miền đàn hồi trong suốt quá trình thí nghiệm. Điều này được giải thích do mômen kháng uốn ở dầm nhỏ hơn trụ cho mô hình NS (bảng 1), do đó trụ vẫn nằm trong miền đàn hồi.

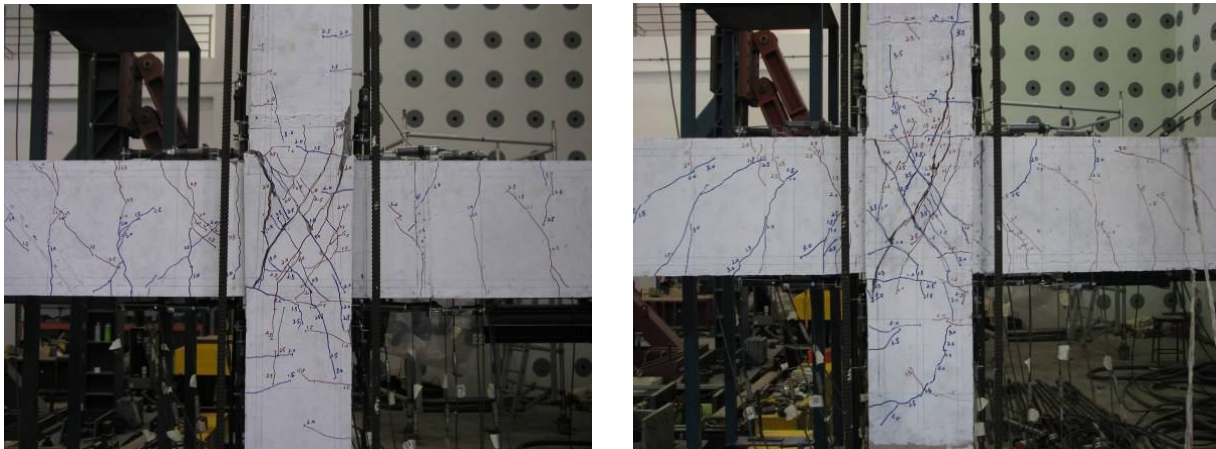
Trạng thái chảy dẻo không xuất hiện ở cốt thép dọc lớp dưới ở dầm của mô hình LS trong suốt quá trình thí nghiệm. So với mô hình NS, mô hình LS được thiết kế có nhiều cốt thép dọc lớp dưới ở dầm. Do đó mômen kháng uốn ở dầm của mô hình LS cao hơn so với mô hình NS. Mômen kháng uốn ở trụ nhỏ hơn dầm cho mô hình LS (bảng 1), do đó chảy dẻo cốt thép dọc ở trụ là điều không thể tránh khỏi (hình 7b). Hiện tượng chảy dẻo xuất hiện ở cốt thép trụ của mô hình LS tại độ lệch tầng 3,0 %.



Hình 8. Biến dạng của cốt thép dọc ở trụ tại vị trí nút

### 3.3 Quá trình hình thành vết nứt

Khi mô hình NS được gia tải đến độ lệch tầng  $\pm 0,5 \%$ , một số vết nứt do mômen uốn bắt đầu xuất hiện ở cả dầm và trụ (hình 9a). Vết nứt loại này xuất hiện nhiều hơn tại dầm so với trụ do mômen kháng uốn của dầm nhỏ hơn của trụ (bảng 1). Trong quá trình gia tải đến độ lệch tầng  $\pm 0,75 \%$ , vết nứt xiên đầu tiên xuất hiện ở vị trí nút. Tại độ lệch tầng 3,5 %, khá nhiều vết nứt xiên xuất hiện tại vị trí nút, điều này dẫn đến khả năng chịu tải trọng ngang của mô hình bị suy giảm. Tại độ lệch tầng này, sự ép vỡ của bê tông ở nút cũng bắt đầu xuất hiện.



(a) Mô hình NS

(b) Mô hình LS

**Hình 9.** Vết nứt của mô hình thí nghiệm tại độ lệch tầng  $\pm 3,0\%$

Giống như mô hình NS, vết nứt do mômen uốn bắt đầu xuất hiện ở cả dầm và trụ của mô hình LS trong quá trình gia tải đến độ lệch tầng  $\pm 0,5\%$  (hình 9b). Vết nứt xiên ở vị trí nút xuất hiện đầu tiên tại độ lệch tầng  $\pm 0,75\%$ . Tại độ lệch tầng  $4,0\%$ , khá nhiều vết nứt xiên xuất hiện tại vị trí nút, khả năng chịu tải trọng ngang của mô hình bắt đầu suy giảm. Tuy nhiên do có cốt đai ở nút, tại thời điểm này mô hình LS chỉ suy giảm  $14\%$  khả năng chịu tải trọng ngang, trong khi đó cùng thời điểm này NS đã suy giảm trên  $20\%$  khả năng chịu tải trọng ngang.

#### 4. Kết luận

Sự làm việc của nút giữa dưới tác dụng của tải trọng động đất đã được khảo sát chi tiết bằng phương pháp thực nghiệm trong bài báo này. Sau đây là một số kết luận dựa trên kết quả thực nghiệm đã được thực hiện:

Đối với mô hình NS được thiết kế theo tiêu chuẩn BS [5], mô hình mất trên  $20\%$  khả năng chịu tải tại độ lệch tầng  $3,5\%$ ; trong khi đó tại thời điểm này mô hình cải tiến LS chỉ mất  $14\%$  khả năng chịu tải trọng ngang.

Việc cải tiến cấu tạo so với thiết kế theo tiêu chuẩn BS [5] đặc biệt là việc bố trí cốt đai tại nút làm tăng khả năng chịu tải của mô hình, cũng như tăng khả năng biến dạng trong vùng dẻo của mô hình.

Thí nghiệm này chỉ khảo sát sự thay đổi về cấu tạo của mô hình, ảnh hưởng của các tham số khác như tải trọng đứng cần phải được tiếp tục nghiên cứu thông qua mô hình thực nghiệm hoặc tính toán.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. BING LI, T-C PAN and CAO THANH NGOC TRAN. "Effects of Axial Compression Load and Eccentricity on Seismic Behavior of Non-seismically Detailed Interior Beam-Wide Column Joints". *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol.135, No.7, July 2009.
2. BING LI, CAO THANH NGOC TRAN and T-C PAN. "Experimental and Numerical Investigations on Seismic Behavior of Lightly Reinforced Concrete Beam-Column Joints". *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 135, No. 9, September 2009.
3. BING LI and CAO THANH NGOC TRAN. "Seismic Behavior of Non-seismically Detailed Interior Beam-Wide Column and Beam-Wall Connections". *ACI Structural Journal* Vol. 106, No. 5, Sept-Oct 2009.
4. BING LI and CAO THANH NGOC TRAN. "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Vertical Distributed Reinforcement". *ACI Structural Journal*, Vol. 106, No. 6, Nov-Dec 2009.
5. BS 8110, "Structural Use of Concrete, Part 1. Code of Practice for Design and Construction", *British Standard*, 1999.
6. ACI-ASCE Committee 352. "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures". *ACI Manual of Concrete Practice, part 3, ACI352R-91, 1-21 (1996)*.

