

MÔ HÌNH GIÀN ẢO CHO NÚT GIỮA CỦA KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT

Trần Cao Thanh Ngọc¹

Tóm tắt: Mô hình giàn ảo hay còn được gọi là mô hình chống và giằng là một trong những phương pháp tính toán được sử dụng khá phổ biến cho kết cấu bê tông cốt thép để mô phỏng vùng chịu lực có đặc tính không liên tục về hình học hoặc tính học. Mô hình này đã được sử dụng khá thành công để mô phỏng sự làm việc của một số cấu kiện cơ bản của bê tông cốt thép như dầm cao, tay đỡ, các góc khung... dưới tác dụng của tĩnh tải. Trong bài báo này phương pháp giàn ảo sẽ được sử dụng để mô phỏng ứng xử của nút giữa trong khung bê tông cốt thép dưới tác dụng của tải trọng động đất, một vấn đề đang được quan tâm đặc biệt tại Việt Nam. Kết quả tính toán từ mô hình giàn ảo sẽ được so sánh với kết quả thực nghiệm để xác định tính chính xác của mô hình.

Từ khóa: Mô hình giàn ảo, bê tông cốt thép, nút giữa, tải trọng động đất.

Summary: A strut-and-tie method has been commonly used to model disturbed regions of reinforced concrete structures. This method has been successfully applied to model deep beams, corbels and corner joints subjected to static loadings. A strut-and-tie model is introduced in this paper to predict the ultimate shear strength of non-seismically detailed beam-column joints subjected to earthquake loading, which is one of the hottest topics in Vietnam. The validity and applicability of the proposed strut-and-tie model are evaluated by comparison with available experimental data.

Keywords: Strut-and-tie model, reinforced concrete, interior joint, earthquake loadings.

Nhận ngày 23/07/2012, chỉnh sửa ngày 24/11/2012, chấp nhận đăng ngày 15/12/2012

1. Mở đầu

Thông qua mô hình thực nghiệm, ứng xử của nút giữa trong khung bê tông cốt thép dưới tác động của tải trọng động đất đã được tác giả nghiên cứu chi tiết [1-5]. Tuy nhiên do đặc điểm cơ học phức tạp của nút dưới tác động của tải trọng ngang, nghiên cứu thực nghiệm này là chưa đủ. Do đó việc đề ra một mô hình tính toán cơ học chính xác để mô phỏng sự làm việc của nút giữa trong khung bê tông cốt thép là vô cùng cần thiết. Một trong những phương pháp tính toán này là mô hình phần tử hữu hạn.

Phương pháp phần tử hữu hạn là một trong những phương pháp có khả năng mô phỏng khá chính xác sự làm việc của nút giữa dầm-cột trong môi trường động đất. Tuy nhiên để sử dụng thành công phương pháp này, người kỹ sư cần phải có những kiến thức chuyên sâu về các mô hình vật liệu phi tuyến của bê tông, thép và liên kết giữa bê tông-thép cũng như những phần mềm chuyên dụng như Abaqus, Diana, Midas FEA... Đây chính là một trong những mặt hạn chế người kỹ sư xây dựng sử dụng rộng rãi mô hình phần tử hữu hạn. Để khắc phục mặt hạn chế này, trong những năm gần đây các nhà nghiên cứu đang tập trung khá nhiều công sức

¹TS, Trường Đại học Quốc tế - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh. E-mail: tctngoc@hcmiu.edu.vn

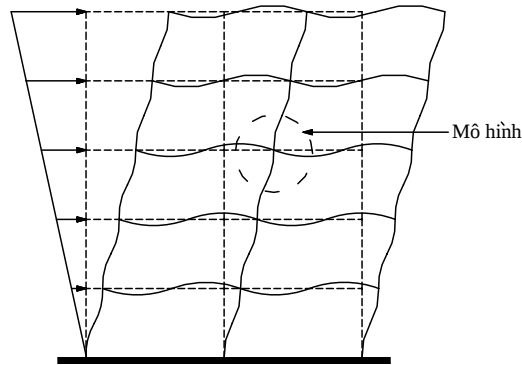
nghiên cứu mô hình giàn ảo do tính đơn giản cũng như khả năng mô phỏng chính xác ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép.

Mô hình giàn ảo hay còn được gọi là mô hình chống và giằng là một trong những mô hình được sử dụng khá thành công để mô phỏng vùng chịu lực có đặc tính không liên tục về hình học hoặc tính học cho kết cấu bê tông cốt thép. Với khả năng này, mô hình giàn ảo là một công cụ khá phù hợp để mô phỏng ứng xử của nút giữa dầm cột dưới tác động của tải trọng động đất.

Bài báo này trình bày cách áp dụng mô hình giàn ảo để tính toán ứng xử của nút giữa trong khung bê tông cốt thép dưới tác dụng của tải trọng ngang mô phỏng tải trọng động đất. Kết quả từ phương pháp giàn ảo sẽ được so sánh với kết quả thực nghiệm để kiểm tra tính chính xác của phương pháp.

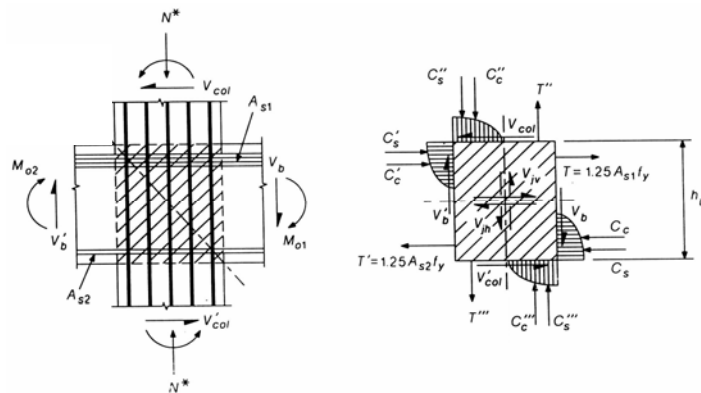
2. Phân tích lực tác dụng tại nút

Khi khung chịu tác động của tải ngang do động đất sinh ra như hình 1, nút khung giữa sẽ chịu lực cắt khá lớn. Mômen và lực cắt được hình thành ở dầm và cột của khung sẽ tạo ra ứng suất tại bề mặt của nút như hình 2. Những ứng suất này gây ra lực cắt đứng và ngang tại nút. Lực cắt đứng và ngang này sinh ra ứng suất kéo và nén. Nếu ứng suất kéo đủ lớn, thì vết nứt xiên sẽ xuất hiện. Vết nứt này khiến cho khả năng chịu nén của bê tông tại nút suy giảm và cuối cùng dẫn đến khả năng chịu tải của nút sẽ bị suy giảm theo.

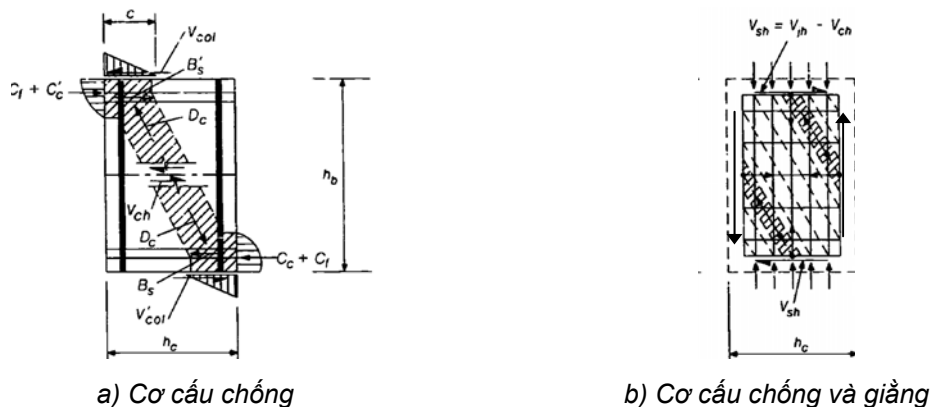


Hình 1. Biến dạng của khung dưới tác dụng của tải trọng ngang

Có hai cơ cấu truyền lực qua nút khung giữa: cơ cấu chống (strut mechanism), cơ cấu chống và giằng (truss mechanism) [6] như được minh họa tại hình 3. Ở cơ cấu chống, thanh chống xiên chịu lực nén truyền từ khu vực nén của cột và dầm; trong khi đó cơ cấu chống và giằng các nội lực được truyền tới phần lõi nút từ các thanh cốt thép của cột và dầm qua lực dính kết giữa cốt thép và bê tông.



Hình 2. Lực tác dụng tại nút khung giữa [6]



Hình 3. Cơ cấu truyền lực qua nút khung giữa [6]

3. Mô hình giàn ảo

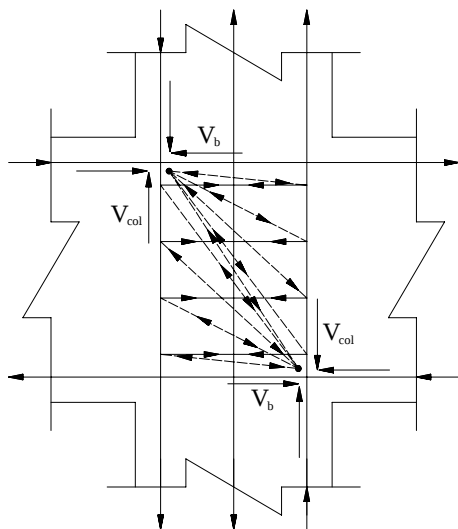
Cả hai cơ cấu (chống, chống và giằng) sẽ được mô phỏng trong phương pháp giàn ảo như hình 4. Mô hình này được thiết lập dựa trên những giả thiết sau đây:

- Tại thời điểm nút đạt khả năng chống cắt cực đại, cốt đai tại nút đã chảy dẻo.
- Lực cắt tại nút sẽ được truyền thông qua cơ cấu chống và giằng đến khi toàn bộ cốt đai tại nút bị chảy dẻo, phần còn lại của lực cắt sẽ được truyền qua cơ cấu chống thông qua thanh chống chéo.
- Bề rộng của thanh chống chéo w_s sẽ được tính thông qua hình 5.

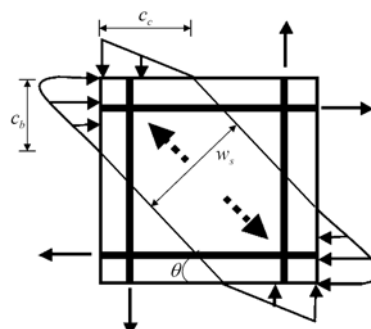
$$w_s = \frac{c_c}{\sin \theta} - \left(\left(\frac{c_c}{\tan \theta} \right) - c_b \right) \times \cos \theta \quad (1)$$

trong đó: θ là góc xiên của thanh chống chéo; c_c , c_b lần lượt là chiều dài của vùng ứng suất chịu nén ở cột và dầm như hình 5.

- Ứng suất nén cực đại của bê tông của thanh chống chéo là $0,34 f'_c$ dựa theo kiến nghị của Schlaich [7-8].



Hình 4. Mô hình giàn ảo cho nút khung giữa



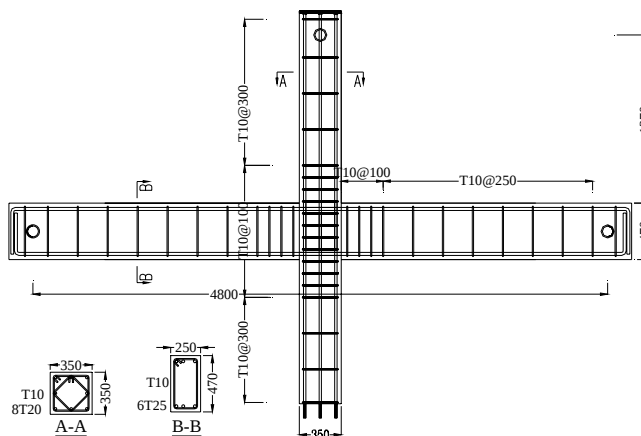
Hình 5. Bề rộng của thanh chống chéo

4. So sánh với kết quả thực nghiệm

4.1 Kết quả thực nghiệm bởi Trần [5]

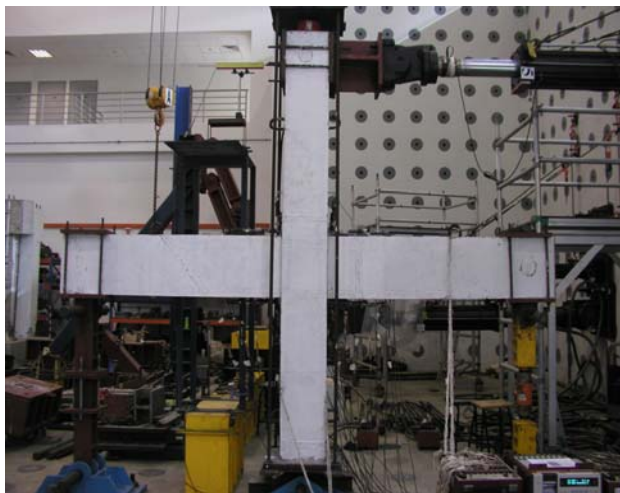
Trong phần này, mô hình giàn ảo không gian như trình bày như trên sẽ được áp dụng để so sánh với kết quả thực nghiệm đã được báo cáo bởi Trần [5]. Năm 2010, Trần [5] đã thí nghiệm một loạt nút khung giữa để nghiên cứu ứng xử của nút giữa dầm-cột dưới tác động của tải trọng lặp ngang mô phỏng tác động của động đất. Hình 6 minh họa sơ bộ cấu tạo của nút giữa đã được thí nghiệm bởi Trần [5]. Các đặc trưng của nút khung giữa được chọn để so sánh với mô hình là:

- Cường độ chịu nén của bê tông (f'_c) là 32,0MPa.
- Giới hạn chảy dẻo của cốt thép (f_y) T10 và T25 lần lượt là 430 MPa và 460 MPa
- Tải trọng đứng tác dụng vào cột là $0,14 A_g f'_c$. Trong đó A_g là diện tích thiết diện ngang ở cột.



Hình 6. Cấu tạo của nút khung giữa do Trần [5] thí nghiệm

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 7): tải trọng đứng và tải trọng ngang lặp. Tải trọng đứng này tác dụng cố định vào trọng tâm tiết diện ngang của cột.

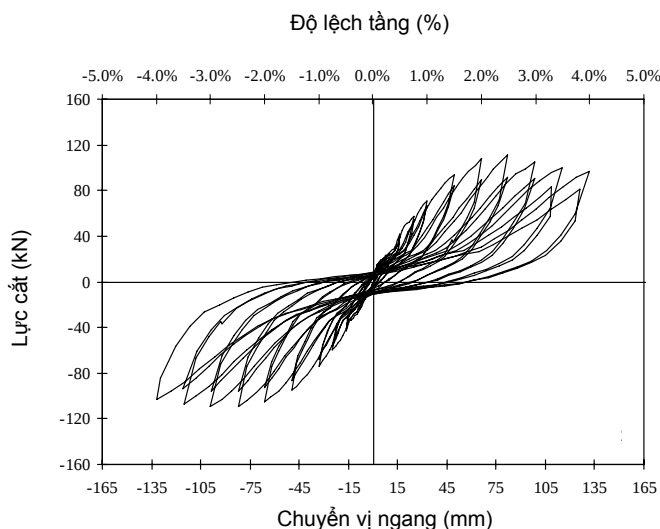


Hình 7. Hệ thống gia tải đứng và ngang

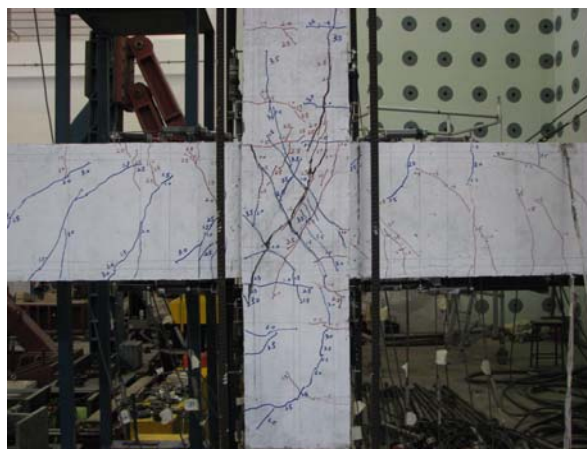
Trong thí nghiệm này, giá trị tải trọng đứng tác dụng lên cột là $0,14 A_g f'_c$. Tải trọng ngang tác dụng lên kết cấu thí nghiệm là tải trọng động đất được quy đổi. Tải trọng ngang trong thí nghiệm này được đặt tại phần đầu trụ trên. Tải trọng này tác dụng đảo chiều (đẩy và kéo) và thay đổi tăng dần trong quá trình thí nghiệm.

Quan hệ lực cắt chuyển vị ngang của mô hình thí nghiệm bởi Trần [5] được thể hiện ở hình 8. Mô hình 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 111,5 kN tại độ lệch tầng (DR) 2,5%. Tại độ lệch tầng 4,0%, khả năng chịu tải trọng ngang của mô hình vẫn không bị suy giảm đáng kể.

Khi mô hình 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 cột (hình 9). 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 bắt đầu bị suy giảm. Tại độ lệch tầng này, sự ép vỡ của bê tông ở nút cũng bắt đầu xuất hiện. Có thể thấy tại hình 9, cả 2 cơ cấu (chống, chống và giằng) đều đã được hình thành tại nút để truyền lực cắt ngang qua nút.



Hình 8. Quan hệ lực cắt - chuyển vị ngang của mô hình thí nghiệm bởi Trần [5]

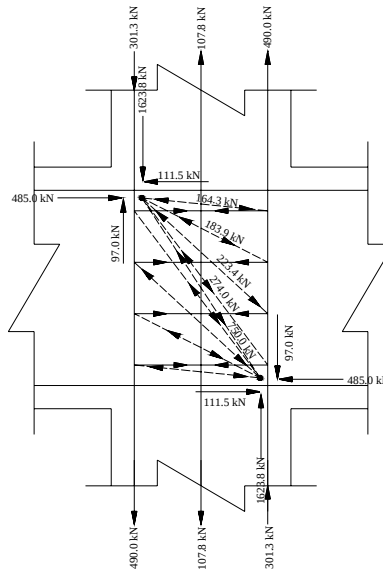


Hình 9. Sự hình thành vết nứt của mô hình thí nghiệm bởi Trần [5]

4.2 Mô hình giàn ảo

Hình 10 thể hiện kết quả của mô hình giảm ảo cho nút khung giữa do Trần [5] thí nghiệm tại lực cắt lớn nhất tại cột thu được từ kết quả thí nghiệm (111,5 kN). Lực cắt lớn nhất này được sử dụng để tính mômen cực đại tác dụng vào dầm và cột tại các vị trí bề mặt của nút. Phần mềm Response [9] được phát triển bởi trường đại học Toronto được sử dụng để tính các ứng suất tại các vị trí đặc trưng của nút tương ứng với giá trị của các mômen này.

Lực nén tác dụng lên thanh chống xiên thu được từ kết quả thí nghiệm là: 750 kN, tương đương với ứng suất là $0,33 f'_c$ trong bê tông của thanh chống xiên. Kết quả này khá gần với giả thiết của mô hình giàn ảo với ứng suất cực đại cho bê tông của thanh chống xiên là $0,34 f'_c$.



Hình 10. Mô hình giàn ảo cho nút khung giữa

5. Kết luận

Mô hình giàn ảo đã được sử dụng để mô phỏng ứng xử của nút giữa dưới tác dụng của tải trọng động đất. Sau đây là một số kết luận dựa trên kết quả của nghiên cứu đã được thực hiện:

- Có hai cơ cấu truyền lực qua nút khung giữa: cơ cấu chống (strut mechanism), cơ cấu chống và giằng (truss mechanism). Cả hai cơ cấu này đều được mô phỏng trong mô hình giàn ảo cho nút.

- Việc phân tích bằng mô hình giàn ảo cho nút giữa trong khung bê tông cốt thép dưới tác dụng của tải trọng động đất được giới thiệu ở trên cho kết quả khá phù hợp với thí nghiệm.

Nghiên cứu này cho thấy phương pháp mô hình giàn ảo đã đề cập ở trên có thể được ứng dụng rộng rãi để nghiên cứu và đánh giá tác động của tải trọng động đất đối với kết cấu bê tông cốt thép.

Tài liệu tham khảo

1. Bing Li, T-C Pan, Cao Thanh Ngoc Tran (2009) "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.

2. Bing Li, Cao Thanh Ngoc Tran, T-C Pan (2009) "Experimental and Numerical Investigations on Seismic Behavior of Lightly Reinforced Concrete Beam-Column Joints" *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 135, No. 9.
3. Bing Li, Cao Thanh Ngoc Tran (2009) "Seismic Behavior of Non-seismically Detailed Interior Beam-Wide Column and Beam-Wall Connections" *ACI Structural Journal* Vol. 106, No. 5.
4. Bing Li, Cao Thanh Ngoc Tran (2009) "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Vertical Distributed Reinforcement" *ACI Structural Journal*, Vol. 106, No. 6.
5. Cao Thanh Ngoc Tran (2010) "Seismic Behavior of Non-seismically Detailed Interior Beam Column Joints" *Research Report, Nanyang Technological University, Singapore*.
6. Paulay, T., Priestley, M. J. N., (1992). "Seismic Design of Reinforced Concrete Masonry Buildings." John Willey & Sons, N.Y., 744 pp
7. Schlaich, J., Schafer, K., (1991). "Designs and Detailing of Structural Concrete Using Strut-and-Tie Models", *The Structural Engineer*, V. 69, No. 6, pp. 113-125.
8. Schlaich, J., Schäfer, K. and Jennewein, M., (1987) "Toward a Consistent Design of Structural Concrete", *PCI Journal*, V. 32, No. 3, pp.74-150.
9. Bentz, E.C. (2000), "Sectional analysis of reinforced concrete members", PhD. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto.