

Mô hình mới cho mối nối dầm cột bê tông cốt thép thay thế mối nối cứng trong các chương trình tính toán

■ TS. TRẦN XUÂN HÒA; THS. LÊ GIA KHUYẾN; THS. NGUYỄN CÔNG THỨC

Trường Đại học Giao thông vận tải - Phân hiệu tại TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Dựa trên lý thuyết mới về phá hoại cắt, nhóm tác giả đề xuất mô hình mới cho một phần tử ví mô hai chiều mối nối dầm cột bê tông cốt thép (BTCT) dạng chữ thập. Mô hình này khác với những mô hình cũ sử dụng hệ thống đa lò xo ở chỗ những thanh chống bê tông được sử dụng để mô hình lõi bê tông Phạm vi áp dụng của mô hình trong bài báo là những mối nối dầm cột, trong đó dầm và cột có chung chiều cao đáy. Để kiểm chứng độ tin cậy, kết quả phân tích theo mô hình được so sánh với số liệu thí nghiệm tiến hành trên hai mẫu. So sánh với kết quả tính toán bằng mô hình nút cứng cũng được tiến hành để khẳng định ưu thế của mô hình đề xuất.

TỪ KHÓA: Lý thuyết phá hoại cắt, mối nối dầm cột, thanh chống, lõi trong đơn điệu

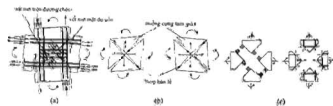
ABSTRACT: Based on an innovative theory of joint shear failure, the authors proposed a two-dimensional macroelement representing reinforced concrete interior joints. This model differs from former spring models, in which concrete struts are used to model the concrete core. The applicable scope of the proposed joint element encompasses interior joints where beams and columns have the same depth and width. To verify the reliability of the new joint models, analytical results were compared to experimental data of two specimens. Comparison to the computational data using rigid nodes were also implemented to justify the advantage of the proposed model.

KEYWORDS: Joint shear failure theory, beam-column joints, struts, monotonic loading

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong kết cấu nhà cao tầng truyền thống và hiện đại, mối nối dầm cột đóng vai trò quan trọng, đặc biệt khi kết cấu bị ảnh hưởng bởi động đất hoặc dao động gối chung. Việc đề xuất mô hình cụ thể cho các mối nối thay vì mô hình hóa dưới dạng nút cứng trong những

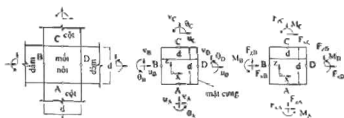
chương trình tính toán kết cấu ngày càng trở nên cần thiết. Những mô hình cổ điển thường dựa trên lý thuyết mô hình thanh chống và giàn của Paulay [1]. Lý thuyết này bộc lộ hạn chế khi không giải thích được sự bảo toàn của sức kháng cắt mối nối khi biến dạng tăng ở một số thí nghiệm khung dầm cột BTCT dạng chữ thập. Gần đây, Shiohara đề xuất một lý thuyết khác hợp lý hơn mang tên "cơ chế phá hoại cắt dạng bản lề của mối nối" [2], minh họa ở Hình 1.1. Với lý thuyết này, tại thời điểm phá hoại mối nối được chia thành 4 miếng cứng liên kết với nhau bằng các thanh cốt thép và quay xung quanh nhau bằng các bản lề. Vị trí bản lề tương ứng cho điểm đặt vector lực nén của bê tông tác dụng tại bề mặt các miếng cứng. Trong bài báo, tác giả giới thiệu một mô hình phần tử mối nối hai chiều phát triển trực tiếp từ mô hình cơ học của Shiohara. Do lý thuyết của Shiohara cho phép định lượng giá trị sức kháng cắt mối nối tại thời điểm phá hoại nhưng không định nghĩa biến dạng phần tử mối nối, mô hình mối nối mới giữ nguyên quan hệ về lực của Shiohara, định nghĩa thêm quan hệ tương thích biến dạng, cho phép xác định ma trận độ cứng thể và ứng xử của mối nối từ lúc bắt đầu gia tải tới khi phá hoại.



a) - Ứng xử tại thời điểm phá hoại; b) - Cơ chế phá hoại cắt dạng bản lề
Hình 1.1: Cơ chế phá hoại cắt của Shiohara [2]

2. ĐẶC ĐIỂM HÌNH HỌC CỦA PHẦN TỬ MỐI NỐI MỚI

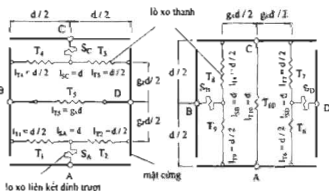
Đặc điểm hình học của phần tử mối nối do tác giả đề xuất được thể hiện trong Hình 2.1. Một mối nối có 4 mặt nối với các dầm và cột tại tâm của các mặt tiếp xúc. Trong hệ tọa độ hai chiều OXZ, mối nối được xem như một phần tử hình chữ nhật 4 nút (A, B, C và D) với 12 bậc tự do. Các nút đặt tại tâm của các mặt cứng, tương ứng cho các miếng cứng trong mô hình của Shiohara. Phần tử mối nối có 12 bậc tự do bao gồm $u_A, v_A, \theta_A, u_B, v_B, \theta_B, u_C, v_C, \theta_C, u_D, v_D, \theta_D$ tương ứng với 12 lực nút $F_{xA}, F_{yA}, M_A, F_{xB}, F_{yB}, M_B, F_{xC}, F_{yC}, M_C, F_{xD}, F_{yD}, M_D$



Hình 2.1: Đặc điểm hình học của phần tử mô phỏng mới

3. PHẦN TỬ Lò XO THANH VÀ Lò XO LIÊN KẾT ĐỈNH TRƯỢT

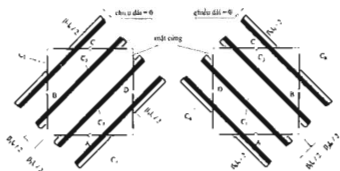
Trong bài báo, định nghĩa phần tử lò xo thanh và lò xo liên kết đỉnh trượt lấy theo định nghĩa trong mô hình của Kushuhara [3], miêu tả trong Hình 3.1. Ký hiệu từ T_i , tới T_{10} tương trưng cho các thanh cốt thép cùng vị trí trên thực tế, trong khi S_i tới S_0 tương trưng cho các liên kết đỉnh trượt giữa các thanh cốt thép và bê tông. Đồng thời cũng là ký hiệu nội lực trong các lò xo.



Hình 3.1: Định nghĩa lò xo thanh và lò xo liên kết đỉnh trượt

4. PHẦN TỬ THANH CHỐNG BÊ TÔNG

Theo lý thuyết của Shiohara, khi các miếng cứng quay, tồn tại 4 vùng nén và 4 vùng kéo ở thể tích bê tông của mỗi nối. Vùng chịu nén thể hiện dòng chảy lực truyền qua bê tông. Shiohara coi rằng góc nghiêng của áp lực trong bê tông bằng 45° tại thời điểm phá hoại. Trong bài báo, để xác định chiều rộng phân bố trên đường chéo mỗi nối của vùng chịu nén, chuyển vị tương đối của tâm mỗi nối và các điểm ở góc được sử dụng. Những chuyển vị này được xác định từ nhóm 9 thành phần độc lập của biến dạng mỗi nối. Chuyển vị tương đối theo phương nghiêng 45° của những điểm trên đường chéo thay đổi theo quy luật tuyến tính từ tâm đến các điểm góc. Những điểm với chuyển vị bằng 0 chia đường chéo thành hai phần nén và kéo trong bê tông. Phần bê tông của mỗi nối được mô hình bởi 8 thanh chống bê tông (C_i tới C_8) như Hình 4.1. Chiều rộng của những thanh chống trùng với bề rộng phần bố tương ứng trên đường chéo của vùng biến dạng nén hay kéo. Những thanh chống ở vùng kéo không chịu lực. Tuy nhiên, những thanh này vẫn được gọi là thanh chống vì có khả năng tham gia chịu lực nén ở các giai đoạn khác. Vị trí của các thanh chống gần với các mặt cứng của phần tử mỗi nối được thể hiện như trong Hình 4.1.



Hình 4.1: Thanh chống bê tông

5. QUY LUẬT ỨNG XỬ CỦA VẬT LIỆU

5.1. Quy luật ứng xử của thép

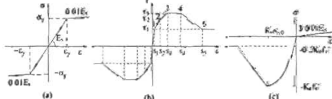
Mô hình đàn dẻo lý tưởng (Hình 5.1a) được sử dụng để đặc trưng cho quan hệ ứng suất - biến dạng của lò xo thanh. Trong đó: σ , ϵ và E_s là ứng suất, biến dạng tỉ đối và mô-đun đàn hồi của thép.

5.2. Quy luật ứng xử đỉnh trượt giữa thép và bê tông

Đường bao mô hình đỉnh trượt của CEB-FIP Model Code 1990 [4] được sử dụng cho quan hệ ứng suất - biến dạng của lò xo đỉnh trượt, minh họa trong Hình 5.1b. Ở đây: τ là ứng suất kết dính (MPa); s là độ trượt (mm); $s_1 = 0.1s_f$, $s_2 = 0.5s_f$, $s_3 = 1\text{mm}$, $s_4 = s_1 + 2(\text{mm})$, $s_5 = s_1 + 10.5(\text{mm})$, $\tau_1 = 2.5f'_c$ (MPa), $\tau_2 = \tau_1 = 0.398\tau_f$, $\tau_3 = 0.758\tau_f$ và $\tau_4 = \tau_f$.

5.3. Quy luật ứng xử của bê tông

Quy luật ứng xử của bê tông được thể hiện trong Hình 5.1c. Đường bao quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông có xét tới nén ngang của Scott [5] được sử dụng trong bài báo này. K_c là hệ số nén ngang; σ , ϵ , và f'_c là ứng suất, biến dạng tỉ đối và cường độ chịu nén; ϵ_{c0} là biến dạng tại cường độ chịu nén ($\epsilon_{c0} = -0.002$);

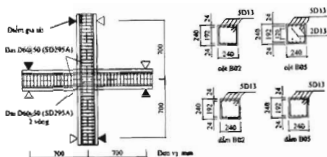


Hình 5.1: Quy luật ứng xử của vật liệu

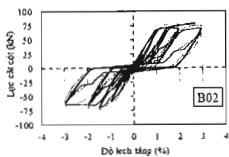
6. KẾT QUẢ

Hai thí nghiệm trên khung dầm cột BTCT chữ thập (B02 và B05) thực hiện bởi Shiohara and Kushuhara [6] trong chuỗi thí nghiệm về mỗi nối BTCT được sử dụng cho việc kiểm chứng mô hình trong bài báo này. Chi tiết về các mẫu thí nghiệm được thể hiện trong Hình 6.1. Quá trình phân tích được trình bày trên chương trình mã nguồn mở Object-Based Structural Analysis. Dầm và cột được mô hình bởi phần tử "beam end" với biến dạng uốn phi tuyến đặc trưng bởi chuyển vị xoay của hai lò xo ở hai đầu phần tử. Đường cong quan hệ giữa lực cắt cột và độ lệch tầng được thể hiện trong Hình 6.2. Bên cạnh so sánh với kết quả thí nghiệm, kết quả so sánh với mô hình của Kushuhara cũng được đề cập. Ở đây, đường cong quan hệ lực cắt trên cột với độ lệch tầng của tải trọng đơn điều đến phá hoại được so sánh với đường bao quan hệ đó

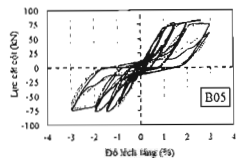
nhưng với tải trọng tác dụng qua lại theo thí nghiệm. Theo kết quả phân tích với mô hình phần tử mới nối mới, đường bao lực cắt cột - độ lệch tầng bắt đầu suy giảm tại độ lệch tầng 2.7% và 2.6% tương ứng với B02 và B05. Kết quả tính toán ở Hình 6.2 cho thấy độ tin cậy của mô hình mới nối mới so với kết quả thí nghiệm. Lực cắt cột lớn nhất theo phân tích chênh lệch không quá 02% so với thí nghiệm và cũng gần với dự đoán theo mô hình của Kusuhara.



Hình 6.1: Mẫu thí nghiệm



(a) Thí nghiệm —
Mô hình Kusuhara — — —
Mô hình đề xuất - - - - -

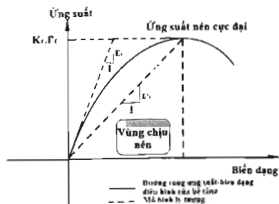


(b) Thí nghiệm —
Mô hình Kusuhara — — —
Mô hình đề xuất - - - - -

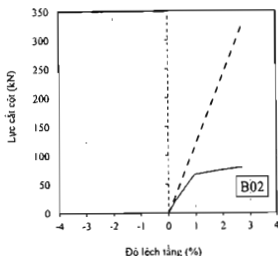
Hình 6.2: Kết quả phân tích lực cắt - độ lệch tầng

Để so sánh với kết quả phân tích khi sử dụng nút cứng, hai mẫu thí nghiệm được tiến hành mô phỏng trên Midas Civil 2011. Dầm và cột được mô hình bởi các phần tử "beam" và mối nối dầm cột được thể hiện bằng nút cứng. Do sự hạn chế của Midas Civil khi khai báo vật liệu phi tuyến, mô hình bề tổng lý tưởng ở Hình 6.3 được sử dụng. Quan hệ lực cắt và độ lệch tầng giữa mô hình theo Midas Civil và theo mô hình đề xuất thể hiện ở Hình 6.4. Kết quả cho thấy lực cắt cột tại thời điểm cực hạn theo mô hình mới nối mới cứng lớn gấp 4 lần so với kết quả theo mô hình đề xuất đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm.

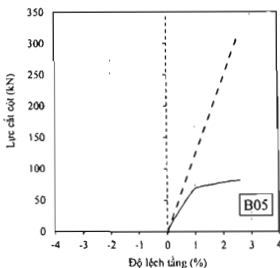
Điều này cho thấy mô hình theo Midas Civil có độ cứng quá lớn, kém chính xác so với thực tế, qua đó khẳng định ưu điểm của mô hình mới.



Hình 6.3: Mô hình lý tưởng của bê tông



a) Mô hình nút cứng theo Midas — — —
Mô hình đề xuất —————



b) Mô hình nút cứng theo Midas — — —
Mô hình đề xuất —————

Hình 6.4: So sánh kết quả lực cắt - độ lệch tầng theo mô hình đề xuất và mô hình nút cứng trên Midas Civil 2011

7. KẾT LUẬN

Một mô hình phần tử mới nối dầm cột hai chiều phát triển trực tiếp từ lý thuyết phá hoại cắt mới của

Shiohara được đề xuất. Phạm vi áp dụng là những mối nối với dầm và cột có chung chiều cao đáy, tương tự như phạm vi áp dụng của lý thuyết do Shiohara đưa ra ban đầu. Trong mô hình mới, thanh chống bê tông được dùng để đặc trưng cho phần bê tông, nhờ đó tỏ ra ưu thế hơn các mô hình mối nối cũ với hệ thống dầm xo trong việc giải thích các đặc điểm của cơ chế phá hoại cắt dạng bản lề. Các đặc điểm này bao gồm sự phân bố lại của ứng suất bê tông, sự phát triển mở rộng vết nứt trên đường chéo chính. Mô hình mới mới thể hiện độ tin cậy với khả năng phân tích đường cong lực cắt cột - độ lệch tầng của tải trọng ngang đơn điệu nhằm dự đoán đường bao của quan hệ đó dưới tác dụng của tải trọng qua lại, kiểm chứng bằng thực nghiệm. Kết quả so sánh cũng cho thấy mối nối với độ cứng tính theo mô hình đề xuất cho ra ứng xử gần với thực tế, chính xác hơn hẳn mô hình mô phỏng với nút cứng.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Paulay T, Park R, Priestley MJ (1978), *Reinforced concrete beam-column joints under seismic actions*, ACI Journal, InProceedings, vol.75, no.11, pp.585-593.
- [2]. Shiohara H (2001), *New model for shear failure of RC interior beam-column connections*, Journal of Structural Engineering, vol.127, no.2, pp.152-160.
- [3]. Kusahara F, Kim S, Shiohara H (2013), *Seismic Response of Reinforced Concrete Moment Resisting Frames of Beam-column Joint Yielding*, Journal of Construction and Structural Engineering, Architectural Institute of Japan, vol.78, no.686, pp.847-855.
- [4]. CEB-FIP CE (1991), *Model Code 1990*, Comite Euro-International Du Beton, Paris, pp.87-109.
- [5]. Scott BD, Park R, Priestley MJ (1982), *Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates*, ACI Journal, Proceedings, vol.79, no.1, pp.13-27.
- [6]. Shiohara H, Kusahara F (2010), *An overlooked failure mechanism of reinforced concrete beam-column joints*, Proceedings of the 9th US National & 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Canada.

Ngày nhận bài: 5/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 19/4/2019

Người phản biện: TS. Nguyễn Thạch Quang
TS. Ngô Châu Phương