

Các thông số ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút khung bê tông cốt thép dạng chữ t

Parameters for Joint Shear Strength of Exterior Beam-column Joints

Ngày nhận bài: 16/11/2014

Ngày sửa bài: 20/12/2014

Ngày chấp nhận đăng: 27/02/2015

Trần Minh Tùng

TÓM TẮT:

Bài báo phân tích cơ chế hình thành lực cắt và sự làm việc của nút khung bê tông cốt thép dạng chữ T khi công trình chịu tải trọng ngang. Sáu thông số chính ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút khung bê tông cốt thép dạng chữ T được đánh giá dựa vào kết quả thí nghiệm của 99 nút khung BTCT thông qua phân tích thống kê. Một thông số mới có mức ảnh hưởng lớn hơn đến sức chống cắt của nút khung được đề xuất thay cho thông số ảnh hưởng từng được biết đến trước đây. Thông số này do đó có thể kể đến trong tính toán sức chống cắt của nút khung chữ T.

Từ khóa: nút khung, sức chống cắt, dầm BTCT, cột BTCT.

ABSTRACT

This paper analyses the mechanism that generates shear forces at a reinforced concrete exterior beam-column joints subjected to lateral loading. The shear mechanisms in the joint are presented and discussed. A database of 99 exterior beam-column joints was used to investigate the influences of six parameters on the shear strength of the joint. Finally a new influenced parameter that replaces the conventional one is proposed for the joint shear strength.

Keywords: beam-column joints; shear strength; beam, column,

TS. Trần Minh Tùng

Khoa Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Tôn Đức Thắng,
E-mail: tranminhtung@tdt.edu.vn

1. GIỚI THIỆU

Nút khung bê tông cốt thép là một trong những bộ phận kết cấu dễ bị hư hại nhất của công trình nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép (BTCT) đặc biệt là khi công trình chịu tải trọng rung lắc ngang do động đất hoặc do gió bão lớn. Sự phá hủy của nút khung nói chung và nút khung chữ T nói riêng thường dẫn đến sự sụp đổ hoàn toàn của công trình vì phá hoại tại nút khung thường dẫn đến sự mất ổn định của hệ thống cột trong công trình. Để đảm bảo sự dẻo dai của nút khung khi chịu tải ngang, đặc biệt là tải trọng rung lắc do động đất, các tiêu chuẩn thiết kế 352R-02, 2002; ACI318R, 2008; AIJ, 1999; NZS-3101, 1995 [1-4] yêu cầu phải tính toán, cấu tạo cốt thép đai và cốt thép dọc tại nút khung. Ngoài ra, các qui định về cấu tạo cốt thép tại nút khung đặc biệt là cấu tạo của cốt thép dầm neo vào cột cũng được qui định chặt chẽ. Bên cạnh các qui định về cấu tạo, các tiêu chuẩn thiết kế còn yêu cầu phải kiểm tra khả năng chịu cắt của nút khung và việc kiểm tra này nhằm đảm bảo nguyên tắc là khi có lực ngang lớn thì khả năng chịu lực cắt của nút khung phải đủ lớn để đảm bảo rằng phá hoại nếu có sẽ xảy ra đối với dầm ở vị trí bên ngoài nút khung.

Một vấn đề đặt ra là sự làm việc của nút khung BTCT khi công trình chịu tải ngang là rất phức tạp và phụ thuộc vào nhiều thông số như kích thước, hình dạng, vật liệu bê tông và thép,... Chính vì sự phức tạp này, các học giả, các nhà nghiên cứu vẫn còn có nhiều quan điểm không thống nhất về phương pháp tính toán sức chống cắt của nút khung. Một điều rất dễ thấy là các tiêu chuẩn nêu trên để ra các công thức rất khác nhau để dự tính sức chống cắt của nút khung. Trong bài báo này trước tiên tác giả trình bày một số quan điểm chính trong tính toán sức chống cắt của nút khung và sau đó dựa vào dữ liệu kết quả thí nghiệm đối với các nút khung dạng chữ T đã thu thập để phân tích các thông số ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút khung. Việc phân tích các thông số ảnh hưởng đã làm sáng tỏ hơn những quan điểm không nhất quán về sự làm việc của nút khung, bên cạnh đó nó cũng giúp tác giả đề xuất một thông số mới có ảnh hưởng rất lớn đến sức chống cắt của nút khung dạng chữ T.

2. CƠ CHẾ PHÁT SINH LỰC CẮT TẠI NÚT KHUNG

Khi một nút khung chữ T chịu tác dụng của lực ngang, lực cắt sẽ được tạo ra tại vị trí lõi của nút và có thể gây ra phá hoại cắt cho BTCT tại vị trí đó. Các nội và ngoại lực tạo ra tại nút khung chữ T được thể hiện trên Hình 1. Từ hình vẽ này lực cắt, V_{jh} , phát sinh tại nút chữ T có thể được tính theo công thức:

$$V_{jh} = T_{sb} - V_c \quad (1)$$

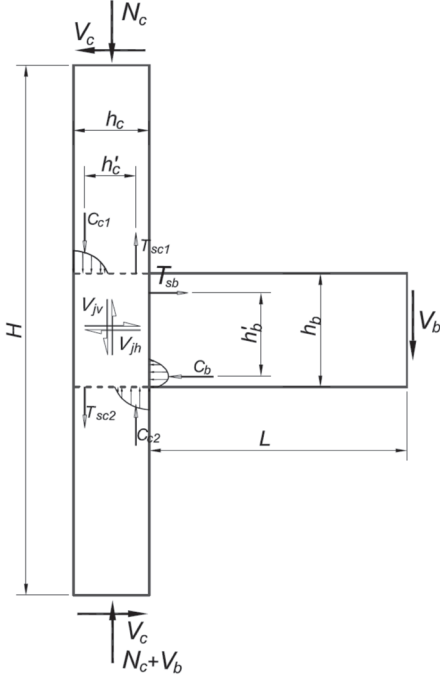
trong đó V_c là lực cắt của cột và T_{sb} là lực căng của cốt thép chịu kéo của dầm được tính lần lượt theo công thức (2) và (3) như sau:

$$V_c = \frac{V_b(L + 0.5h_c)}{H} \quad (2)$$

$$T_{sb} = \frac{M_b}{h_b} = \frac{V_b L}{h_b} \quad (3)$$

Từ công thức (1) đến (3) suy ra:

$$V_{jh} = V_b \left(\frac{L}{h_b} - \frac{L + 0.5h_c}{H} \right) \quad (4)$$



Hình 1: Các nội và ngoại lực tại nút khung chữ T

Ứng suất cắt trung bình, τ_{jh} theo phương ngang tại phần lõi của nút có thể được tính theo công thức:

$$\tau_{jh} = \frac{V_{jh}}{h_c b_j} \quad (5)$$

trong đó $h_c b_j$ là diện tích mặt cắt ngang tính toán của nút khung.

Ứng suất nén trung bình theo phương đứng tại phần lõi của nút có thể được tính theo công thức:

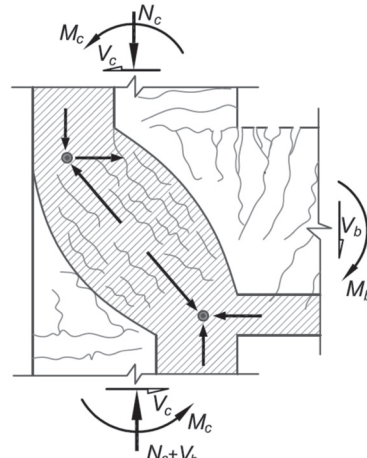
$$\sigma = \frac{N_c}{b_c h_c} \quad (6)$$

trong đó $b_c h_c$ là diện tích mặt cắt ngang của cột.

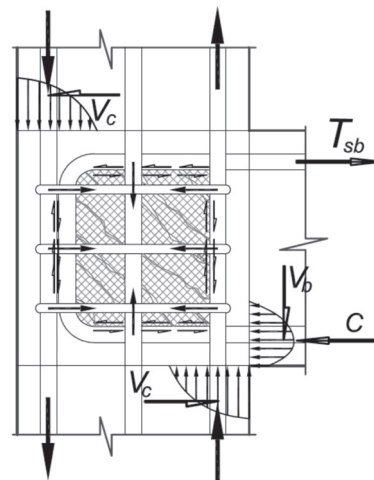
3. SỰ LÀM VIỆC CỦA NÚT KHUNG

Sự phá hoại của nút khung xảy ra chủ yếu là do ứng suất cắt tạo ra bởi lực cắt V_{jh} . Sự tác dụng đồng thời của ứng suất cắt τ_{jh} theo phương ngang và ứng suất nén dọc trục của cột σ theo phương đứng tạo nên các ứng suất kéo và nén chính làm căng nút và nén vỡ bê tông tại phần lõi của nút. Các nhà nghiên cứu cho rằng cơ chế chống lại lực cắt của nút khung bao gồm hình thành lăng thể chịu nén của khối bê tông tại nút (strut mechanism) và (hoặc) hình thành cơ chế trói buộc trong đó thép và bê tông tại phần lõi của nút làm việc đồng thời (truss mechanism).

Hình 2 (a) và (b) lần lượt thể hiện hai cơ chế làm việc này.



(a) Cơ chế hình thành lăng thể chịu nén



(b) Cơ chế trói buộc

Hình 2: Các cơ chế làm việc của nút khung

Trong cơ chế hình thành lăng thể bê tông chịu nén (Hình 2a) thì tổ hợp các nội lực tại nút khung tạo thành một lăng thể bê tông chịu nén và phá hoại của nút sẽ xảy ra nếu bê tông tại lăng thể này bị nén vỡ, cốt thép đai tại nút khung đóng vai trò ôm bó bê tông dẫn đến làm tăng khả năng chịu nén của bê tông. Trong cơ chế trói buộc (Hình 2b) cốt thép dọc của dầm và cột truyền các lực vào nút khung dưới dạng các lực dính bám và hình thành một khu vực chịu cắt thuần túy ở phần lõi của nút. Vai trò của cốt thép đai trong cơ chế này là chống lại lực kéo căng gây ra do ứng suất kéo chính tại lõi nút. Bởi vì cơ chế trói buộc hình thành do các lực bám dính nên cơ chế này diễn tả đúng sự làm việc của nút khung khi lực dính bám giữa cốt thép và bê tông là đủ lớn để không có sự trượt giữa thép và bê tông trong quá trình chịu lực. Để đảm bảo điều này chiều dài neo của cốt thép vào nút khung phải đủ lớn và vì vậy đường kính cốt thép dọc của dầm và cột sẽ ảnh hưởng

đến khả năng chịu cắt của nút khung. Ngoài ra để duy trì lực bám dính dưới tác dụng của tải trọng trùng lặp bê tông tại nút khung cần phải được bó chặt bằng việc bố trí cốt thép đai đủ cốt thép đai. Vì vậy trong nút khung bố trí đủ cốt đai và có chiều dài neo thép đầy đủ thì cơ chế trói buộc sẽ chịu hầu hết lực cắt. Trong khi đó nếu nút khung được bố trí không đủ thép đai và không đủ chiều dài neo thép thì cơ chế hình thành lăng thể chịu nén sẽ chịu hầu hết lực cắt. Trên thực tế, sự làm việc của nút khung chịu lực cắt chịu sự phối hợp giữa hai cơ chế này.

4. CÁC THÔNG SỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN SỨC CHỐNG CẮT CỦA NÚT KHUNG

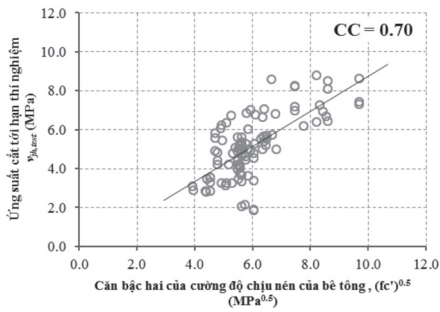
Những phân tích trình bày bên trên về sự làm việc của nút khung cho thấy về cơ bản thì đặc trưng vật liệu, kích thước nút khung, cấu tạo cốt thép, lực nén dọc của cột, và điều kiện bám dính giữa cốt thép và bê tông là các yếu tố ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút khung. Lima và cộng sự [5] đã thống kê lại các kết quả nghiên cứu về nút khung và cho rằng có 11 thông số ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút bao gồm các yếu tố về kích thước nút khung, lực dọc tác dụng lên cột, cường độ và hàm lượng của cốt thép theo phương đứng và phương ngang tại nút khung, cường độ và diện tích của cốt thép dọc của dầm và cột. Trong các yếu tố này thì cường độ bê tông và kích thước nút khung là hai yếu tố ảnh hưởng lớn nhất và vai trò của hai yếu tố này đã được các nhà nghiên cứu nhất trí. Sự ảnh hưởng của các yếu tố còn lại chưa được các nhà nghiên cứu thống nhất.

Để làm rõ hơn về các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của nút khung dạng chữ T, một dữ liệu về các kết quả thí nghiệm của 99 nút khung dạng chữ T đã được thu thập [6]. Căn cứ vào dữ liệu này mức độ ảnh hưởng của các thông số đến sức chống cắt của nút khung sẽ được đánh giá bằng phương pháp thống kê. Theo phương pháp thống kê, thì mức độ ảnh hưởng của 1 thông số nào đó đến sức chống cắt của nút khung được đánh giá thông qua hệ số tương quan CC (correlation coefficient). Công thức (7) được dùng để tính hệ số tương quan:

$$CC(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

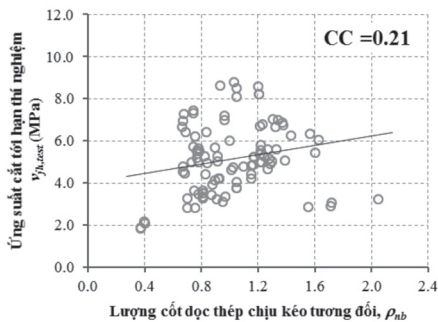
trong đó x_i là các dữ liệu của thông số được xem xét và y_i là dữ liệu của ứng suất cắt tới hạn của nút khung có được từ kết quả thí nghiệm. Theo nguyên tắc thống kê toán học, nếu hệ số tương quan càng tiến về ± 1.0 thì thông số được xem xét càng có ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút và ngược lại nếu càng tiến về 0 thì càng ít ảnh hưởng.

Dựa vào dữ liệu kết quả thí nghiệm thu thập đã nêu trên, kết quả phân tích thống kê cho thấy cường độ bê tông có ảnh hưởng lớn nhất tới ứng suất cắt tới hạn v_{jtest} của nút

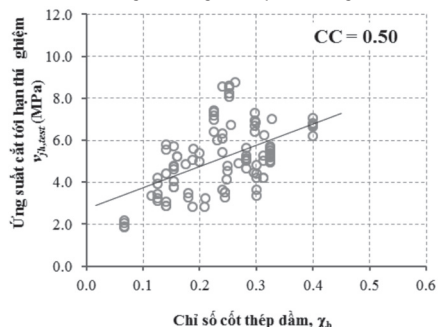


Hình 3: Ảnh hưởng của cường độ bê tông lên ứng suất cắt tới hạn của nút khung chữ T với hệ số tương quan $CC = 0.70$ (Hình 3). Mức độ ảnh hưởng của sáu số thông quan trọng nhất số đến ứng suất cắt tới hạn của nút khung được sắp xếp theo thứ tự giảm dần được tóm tắt trong Bảng 1.

Kết quả tóm tắt trong Bảng 1 cho thấy cường độ bê tông và kích thước hình học là hai yếu tố ảnh hưởng nhiều đến sức chống cắt của nút khung, kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết sự thống nhất của các nhà nghiên cứu về vấn đề này. Ngoài hai yếu tố trên lượng cốt thép đai và cốt thép dọc bố trí ở lõi của nút, lực nén của cột, cốt thép dọc của dầm và tỷ số chiều cao của dầm và cột cũng là những yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến sức chống cắt của nút khung.



(a) Ảnh hưởng của lượng cốt thép dầm tương đối



(b) Ảnh hưởng của chỉ số cốt thép dầm

Hình 4: Ảnh hưởng của cốt thép dầm lên sức chống cắt của nút khung chữ T

Một điều đáng chú ý là các nghiên cứu trước đây cũng như kết quả trong Bảng 1 cho thấy ảnh hưởng của lượng cốt thép dọc của dầm lên sức chống cắt nút khung được xét dựa trên

Bảng 1: Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến ứng suất cắt tới hạn của nút khung chữ T

Các thông số	Định nghĩa thông số (đơn vị tính)	Hệ số tương quan	Mức độ ảnh hưởng
Căn bậc hai cường độ chịu nén của bê tông	$\rho_{nb} = \sqrt{f'_c}$ (MPa) ^{0.5}	0.70	1
Lượng cốt thép đai tương đối	$\chi_{jh} = \frac{A_{sjh}}{b_j h_c \sqrt{f'_c}}$	0.47	2
Lượng cốt thép theo phương đứng tương đối	$\chi_{jv} = \frac{A_{sjv}}{b_j h_c \sqrt{f'_c}}$	0.37	3
Ứng suất nén tương đối của cột	$\frac{N_c}{b h_c f'_c}$	0.30	4
Lượng cốt dọc thép chịu kéo tương đối của dầm	$\rho_{nb} = \frac{A_{sbb}}{b_b h_b \sqrt{f'_c}}$	0.21	5
Tỷ số chiều cao tiết diện dầm và cột	h_b/h_c	-0.1	6

diện tích và cường độ của cốt thép. Tuy nhiên những phân tích trình bày ở phần trên cho thấy lực dính bám của cốt thép lên bê tông cũng là một yếu tố cần xem xét và lực dính bám này phụ thuộc rất nhiều vào diện tích tiếp xúc của cốt thép và bê tông, tức phụ thuộc vào cả diện tích và đường kính bê cốt thép dọc của dầm. Chính vì vậy trong bài báo này tác giả đề xuất một thông số mới đại diện cho cốt thép dọc chịu kéo của dầm ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút khung. Thông số này được đặt tên là chỉ số cốt thép dọc của dầm kí hiệu là χ_b và được định nghĩa như sau:

$$\chi_b = \frac{n_b d_{sb} h_c}{b_b h_b} \quad (8)$$

Dựa vào dữ liệu kết quả thí nghiệm trình bày phần trên, mức độ ảnh hưởng của chỉ số cốt thép dọc của dầm, χ_b và lượng cốt dọc thép chịu kéo tương đối, ρ_{nb} của dầm được thể hiện lần lượt trên Hình 4(a) và (b) tương ứng với CC lần lượt là 0.50 và 0.21. Điều này cho thấy thông số mới được đề xuất có ảnh hưởng rất lớn đến sức chống cắt của nút khung. Đối chiếu với kết quả ở Bảng 1 thì χ_b có mức ảnh hưởng thứ hai, chỉ sau cường độ bê tông. Như vậy việc xem xét ảnh hưởng của cốt thép dọc chịu kéo của dầm thông qua thông số χ_b sẽ tốt hơn nhiều so với thông số ρ_{nb} đã được sử dụng trước đây.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo này đã phân tích sự làm việc của nút khung BTCT dạng chữ T. Các thông số ảnh hưởng đến sức chống cắt của nút khung được phân tích đánh giá thông qua một nguồn dữ liệu về kết quả thí nghiệm của 99 nút khung dạng chữ T đã thu thập được. Kết quả phân tích đã làm rõ các yếu tố ảnh hưởng chính đến sức chống cắt của nút khung bao gồm cường độ bê tông, kích thước hình học của nút khung, cốt thép ngang và dọc tại lõi nút khung và cốt thép chịu kéo của dầm. Thông qua phân tích, một thông số mới đó là chỉ số cốt thép dầm được đề

xuất để thay thế cho thông số lượng cốt thép chịu kéo tương đối của dầm vốn được nhiều tác giả trước đây đề xuất khi nghiên cứu sức chống cắt của nút khung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 352R, 2002. Recommendations for design of beam-column joints in monolithic reinforced concrete structures. ACI 352R-02, ACI-ASCE Joint Committee 352. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [2] ACI318R, 2008. Building code requirements for structural concrete and commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills (MI).
- [3] AIJ, 1999. Design guideline for earthquake resistance reinforced concrete buildings based on inelastic displacement concept. Tokyo, Japan.
- [4] NZS-3101, 1995. Concrete structures standard. Part 1: The design of concrete structures. Standards Association of New Zealand, Wellington.
- [5] Lima, C., Martinelli, E. & Faella, C., 2012. Capacity models for shear strength of exterior joints in RC frames: experimental assessment and recalibration. Bulletin of Earthquake Engineering, 10, 985-1007.
- [6] Tung, M. T., Muhammad, N. S. H. & Thong, M. P., 2014. A new empirical model for shear strength of reinforced concrete beam-column connections. Magazine of Concrete Research, 66, 514-523.