MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ VIỆC THIẾT KẾ NÚT KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP TOÀN KHỐI CHỊU ĐỘNG ĐẤT

Nguyễn Lê Ninh [1], Võ Mạnh Tùng [2]

***Tóm tắt**: Nút khung có một vai trò hết sức quan trọng trong việc đảm bảo độ bền, độ cứng cũng như độ dẻo của khung. Các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm cho thấy khi chịu động đất lực cắt tác động lên nút khung lớn hơn nhiều lần lực cắt trong các cột và dầm bao quanh. Do đó, nếu không được thiết kế để chịu các lực cắt này nút khung sẽ bị phá hoại trước cả dầm và cột. Nội dung bài báo đề cập tới các phương pháp tính toán độ bền nút khung bê tông cốt thép quy định trong một số tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn tiêu biểu hiện nay và những vấn đề nổi lên khi áp dụng chúng trong thiết kế thực tế.*

***Từ khóa**: Nút khung; động đất; khung bê tông cốt thép.*

***Summary**: The beam-column joint has a very important role in ensuring the strength, stiffeness and ductility of the frame. The theoretical and experimental results show the earthquake shear force acting on the joint several times larger than the shear forces in the columns and beams. Therefore, if it is not designed to withstand the shear forces, the joint will be destroyed before the beams and columns. The article presents the methods of calculating the strength of monolithic reinforced concrete beam-column joint defined in some current seismic design standards and problems in design practice.*

***Keywords**: Beam-column joint; earthquake; reinforced concrete frame.*

Nhận ngày 03/8/2015, chỉnh sửa ngày 18/8/2015, chấp nhận đăng 30/9/2015

1. Đặt vấn đề

Trong xây dựng, hệ kết cấu khung bê tông cốt thép (BTCT) được sử dụng khá phổ biến ở các công trình dân dụng và công nghiệp. Hệ kết cấu này được tạo thành từ các cấu kiện dầm và cột liên kết với nhau tại các nút. Sự làm việc của khung BTCT dưới tác động của động đất phụ thuộc độ cứng, độ bền và độ dẻo của các bộ phận: dầm, cột và nút. Trong các bộ phận này, các nút khung đóng vai trò rất quan trọng trong việc truyền lực giữa các cấu kiện trong khung và về nguyên tắc chúng không được phá hoại trước dầm và cột.

Hiện nay, các khung BTCT được thiết kế để có các phản ứng không đàn hồi dưới tác động của động đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy lực cắt tác động lên nút khung lớn hơn nhiều lần lực cắt trong các cột và dầm bao quanh. Do đó nếu không được thiết kế để chịu các lực cắt này, nút khung sẽ bị phá hoại cắt. Bên cạnh đó, do lượng cốt thép cột và dầm đi qua vùng nút khung thường rất lớn nên việc thi công nút khung gặp nhiều khó khăn, không đảm bảo các yêu cầu thiết kế đặt ra.

Như vậy xét về mọi phương diện, có thể nói rằng vùng nút khung là một vùng rất nhạy cảm của hệ kết cấu khung. Tuy vậy, vấn đề thiết kế và thi công phần quan trọng này của khung trong một thời gian dài đã không được quan tâm đúng mức và trong các tiêu chuẩn thiết kế cũng không đưa ra các quy định hoặc chỉ dẫn đúng đắn, thậm chí đôi khi còn mâu thuẫn.

Phần sau đây sẽ trình bày một số vấn đề liên quan tới trạng thái nội lực và các phương pháp tính toán độ bền của nút khung BTCT dưới tác động của động đất quy định trong một số tiêu chuẩn thiết kế và những vấn đề nổi lên khi áp dụng chúng trong thiết kế hiện nay.

[1] *PGS.TS, Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng. E-mal: nguyenleninh47@gmail.com.*
[2] *ThS, Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng.*

2. Lực tác động lên nút khung

Các lực tác động lên phần lõi nút khung trong (nút có các dầm ở 2 mặt) dưới tác động động đất được thể hiện ở Hình 1. Khi xem nút khung là một phần của cột và bỏ qua lực quán tính ngang của sàn tác động vào nút, sự cân bằng các lực ngang ở cao trình x - x cho lực cắt theo phương ngang tại nút khung trong như sau:

$$V_{jh} = T_{b1} + C_{b2} - V_c \quad (1)$$

trong đó: T_{b1} là lực kéo trong cốt thép ở mặt trên dầm 1; C_{b2} là hợp lực của các ứng suất nén ở mặt trên của dầm 2; T_{b2} là lực kéo trong cốt thép ở đáy dầm 2 và V_c là lực cắt cột ở trên nút.

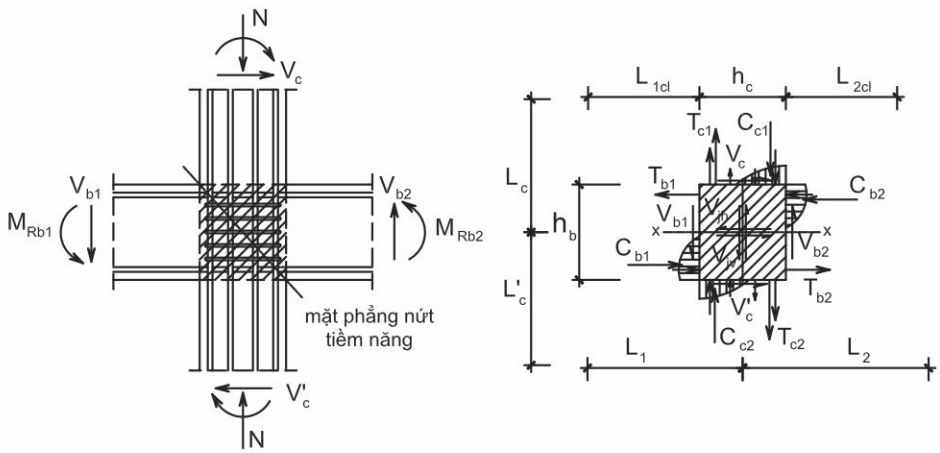
Do lực dọc trong dầm rất nhỏ nên $C_{b2} = T_{b2}$ và phương trình (1) có thể viết dưới dạng:

$$V_{jh} = T_{b1} + T_{b2} - V_c \quad (2)$$

Khi các khớp dẻo xuất hiện tại các tiết diện dầm ngay sát các mặt nút, phương trình (2) sẽ có dạng sau:

$$V_{jh} = \gamma_{Rd} f_{yd} (A_{s1} + A_{s2}) - V_c \quad (3)$$

trong đó: f_{yd} là cường độ chịu kéo thiết kế của cốt thép dọc; γ_{Rd} là hệ số vượt độ bền do sự biến cứng của cốt thép ($1,2 < \gamma_{Rd} \leq 1,4$) và A_{s1} và A_{s2} là cốt thép dọc ở mặt trên và dưới dầm.



Hình 1. *Các lực tác động lên nút khung*

Để xác định V_c cần phải biết các giá trị mômen uốn ở các đầu mút cột trên nút tại thời điểm các dầm quy tụ vào nút chảy dẻo. Các giá trị này rất khó xác định do sự thay đổi liên tục độ cứng các cấu kiện sau đàn hồi nên Paulay và Priestley đã kiến nghị một biểu thức xác định V_c dựa trên khả năng chịu uốn của dầm tại các mặt nút như sau [7]:

$$V_c = \frac{(L_1/L_{1,cl})M_{Rb1} + (L_2/L_{2,cl})M_{Rb2}}{(L_c + L'_c)/2} \quad (4)$$

trong đó: L_1 và L_2 là các nhịp dầm kể từ trục cột; $L_{1,cl}$ và $L_{2,cl}$ là các nhịp thông thủy tương ứng kể từ mặt cột; L_c và L'_c là các chiều cao cột kể từ trục dầm và M_{Rb1} và M_{Rb2} là khả năng chịu uốn thiết kế của các dầm tại mặt nút.

Lực cắt nút theo phương đứng V_{jv} được xác định dựa trên định lý Caushy, theo đó ứng suất cắt theo phương ngang và đứng tại nút phải bằng nhau $\tau_{jh} = \tau_{jv}$

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

trong đó: h_c và h_b tương ứng là chiều cao tiết diện của cột và dầm còn b_j là bề rộng hiệu dụng của nút [6, 9]:

$$b_j = \min(b_c, b_w + 0.5h_c) \quad \text{nếu } b_c \geq b_w \quad (6a)$$

$$b_j = \min(b_b, b_w + 0.5h_c) \quad \text{nếu } b_c < b_w \quad (6b)$$

với b_c và b_w lần lượt là chiều rộng của tiết diện cột và dầm.

Do đó: $V_{jv} = \frac{h_b}{h_c} V_{jh}$ (7)

Bằng cách tương tự, có thể xác định V_{jh} ở một nút khung ngoài (nút có các dầm ở 1 mặt). Do tại nút chỉ có một dầm, nên lực cắt theo phương ngang V_{jh} được xác định theo (3) nhưng với $A_{s2} = 0$, trong đó V_c xác định theo (4) với $M_{Rb2} = 0$.

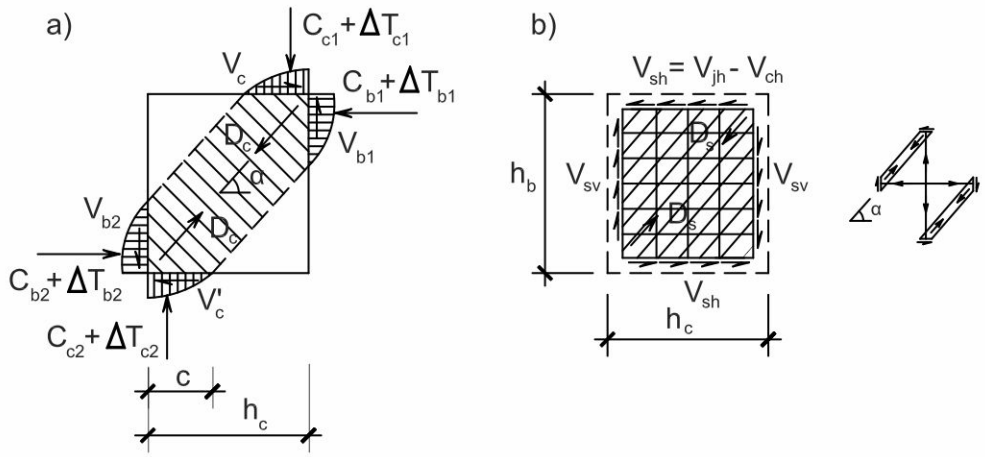
3. Các phương pháp xác định khả năng chịu cắt của nút khung

3.1 Theo tiêu chuẩn của New Zealand (NZS 3101) [6]

Tiêu chuẩn NZS 3101 sử dụng phương pháp Paulay và Priestley (1978, 1992) để xác định khả năng chịu cắt của nút khung BTCT. Theo phương pháp này khả năng chịu cắt của nút khung được biểu thị qua hai cơ cấu sau:

(i) Một dải chéo chịu nén bằng bê tông cho khả năng chịu cắt V_{ch} (Hình 2a)

(ii) Một hệ giàn bao gồm một trường nén chéo kết hợp với các thanh cốt đai ngang và các thanh cốt thép dọc trung gian của cột. Cơ cấu này cho khả năng chịu cắt V_{sh} (Hình 2b).



Hình 2. *Cơ cấu truyền lực cắt trong vùng lõi nút*

Khả năng chịu cắt V_{ch} là tập hợp của các lực sau ở trên các mặt nút khung:

- Các lực nén trong bê tông C_{b1}, C_{b2}, C_{c1}, C_{c2};
- Các lực bám dính ΔT_{b1}, ΔT_{b2}, ΔT_{c1}, ΔT_{c2} truyền qua cốt thép trong vùng bị nén;
- Các lực cắt dầm và cột V_{b1}, V_{b2}, V_c, V_c'.

Các lực này tác động trong hai nhóm đối nghịch nhau ở các góc phải phía trên và góc trái phía dưới của nút khung gây ra lực nén chéo D_c (Hình 2a). Do đó:

$$V_{ch} = D_c \cos\alpha \quad \text{và} \quad V_{cv} = D_c \sin\alpha \tag{8}$$

trong đó: α là góc tạo thành giữa đường chéo của nút với trục ngang.

Kết quả nghiên cứu cho thấy chỉ một phần của các lực bám dính ΔT_c được truyền bên trong vùng bị nén của nút trong khi phần còn lại của lực này ΔT_s được truyền dọc theo các thanh cốt thép dọc của dầm và cột trong lõi nút dưới dạng ứng suất bám dính. Giả thiết rằng các ứng suất bám dính này truyền dọc theo các thanh cốt thép dọc gây ra lực nén chéo D_s của cơ cấu giàn (Hình 2b). Do đó:

$$V_{sh} = D_s \cos\alpha \quad \text{và} \quad V_{sv} = D_s \sin\alpha \tag{9}$$

Như vậy, khả năng chịu cắt của lõi nút sẽ bằng tổng của hai cơ cấu chịu lực:

$$V_{jh} = V_{ch} + V_{sh} \quad \text{và} \quad V_{jv} = V_{cv} + V_{sv} \tag{10}$$

Sử dụng giả thiết gần đúng về sự phân bố lực dính giữa bê tông và cốt thép dọc của dầm trong nút [7], Paulay và Priestley đã thiết lập được các biểu thức tính toán V_{ch} và V_{sh} như sau:

$$V_{ch} = \left(1,55\frac{c}{h_c} + \beta - 0,55\right)T_{b1} - V_c \quad (11)$$

$$V_{sh} = V_{jh} - V_{ch} = 1,55\left(1 - \frac{c}{h_c}\right)T_{b1} \quad (12)$$

trong đó: c là chiều cao vùng nén của cột chịu uốn làm việc đàn hồi được xác định gần đúng theo biểu thức sau (Hình 2a):

$$c = (0,25 + 0,85\nu_d)h_c \quad (13)$$

Trong các biểu thức trên: $\nu_d = N_{ed}/(f_{cd}A_c)$ là chỉ số nén thiết kế của cột với N_{Ed} - lực nén thiết kế bé nhất tác dụng trong cột; A_c - diện tích tiết diện cột; f_{cd} - cường độ chịu nén thiết kế của bê tông.

$\beta = A_{s2}/A_{s1}$ tỷ số diện tích tiết diện cốt thép chịu nén và chịu kéo trong dầm

Xét biểu thức (13), biểu thức (12) sẽ có dạng sau

$$V_{sh} = (1,15 - 1,30\,\nu_d)T_{b1} \quad (14)$$

Từ đó xác định được cốt thép ngang chịu cắt của nút dưới dạng cốt đai (chính và phụ) vuông góc với trục cột và nằm giữa lớp cốt thép dọc ở mặt trên và dưới dầm (Hình 1):

$$A_{jh} = \frac{V_{sh}}{f_{ywd}} = (1,15 - 1,30\nu_d)\frac{\gamma_{Rd}f_{yd}}{f_{ywd}}A_{s1} \quad (15)$$

trong đó: f_{ywd} là cường độ chảy thiết kế của cốt thép đai.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, khi $N_{Ed,\min} \approx 0,10f_{cd}A_c$ cơ cấu giàn có thể chịu được 60 - 80% tổng lực cắt ngang tại nút. Nếu cho $f_{ywd} = f_{yd}; N_{Ed} \cong 0,10f_{cd}A_c; \gamma_{Rd} = 1,25$;biểu thức (15) sẽ có dạng sau:

$$A_{jh} \geq 1,28A_{s1} \quad (16)$$

Cốt thép chịu cắt thẳng đứng ở nút khung được xác định theo biểu thức sau:

$$A_{jv} = \frac{1}{f_{yd}}[0.5(V_{jv} + V_b) - N_{Ed}] \quad (17)$$

Khi vế phải (17) có giá trị âm, cốt thép đứng chịu cắt trong nút sẽ không cần thiết.

Các biểu thức (15) và (17) bảo đảm cho nút khung không bị nứt do bị kéo theo phương đường chéo. Mặt khác, lực nén chéo (Hình 2) có thể gây ra nứt chéo, do đó phải giới hạn độ lớn ứng suất cắt ngang tại nút ở một trị số cho phép. Theo Paulay và Priestley giới hạn này như sau [7]:

$$\tau_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j h_j} \leq 0,25f_{cd} \leq 9MPa \quad (18)$$

trong đó: b_j được xác định theo (6), còn h_j là chiều cao của lõi nút, được lấy bằng chiều cao tiết diện cột theo chiều song song với dầm.

3.2 Theo tiêu chuẩn của Hoa Kỳ (ACI 318M-2011) [1]

Sau khi tổng hợp và đánh giá các kết quả nghiên cứu thí nghiệm nút khung trong BTCT đã được thực hiện, các nhà khoa học Hoa Kỳ thấy có nhiều kết quả không nhất quán [8]. Theo một báo cáo đặc biệt của ACI do Kittayama và một số người khác soạn thảo, độ bền cắt cực hạn của nút khung V_j theo phương đứng và ngang xác định theo biểu thức (3) tăng gần như tuyến tính với hàm lượng cốt thép đai $\rho_{jh} \leq 0,4\%$. Khi hàm lượng cốt thép đai $0,4\% < \rho_{jh} \leq 2,4\%$, độ bền cực hạn của nút không phụ thuộc vào ρ_{jh}, trong khi dạng phá hoại nén chéo luôn chiếm ưu thế. Cùng thời gian, việc bó nút thông qua các thanh cốt thép ngang và bản sàn ở phía trên nút tác động như một miếng cứng làm gia tăng đáng kể độ bền cắt của nút τ_{ju}. Do đó, để thiết kế nút khung, tiêu chuẩn ACI 318M - 2011 đã đưa ra một cách rất đơn giản dựa trên cơ sở đánh giá thống kê các kết quả thí nghiệm. Theo đó:

- Các nút khung cần phải được bố trí cốt đai ngang (chính và phụ) giống như ở vùng tới hạn của các cột liền kề.

- Ứng suất cắt tiêu chuẩn τ_{jh} phải nhỏ hơn

$\tau_{jh} \le 1{,}7\sqrt{f_{cd}}$ (Mpa) đối với các nút khung trong (19a)

$\tau_{jh} \le 1{,}2\sqrt{f_{cd}}$ (Mpa) đối với các nút khung ngoài (19b)

$\tau_{jh} \le 1{,}0\sqrt{f_{cd}}$ (Mpa) cho các trường hợp khác (19c)

3.3 Theo tiêu chuẩn của Việt Nam (TCVN 9386:2012) [9] và châu Âu (EN 1998-1-1:2004) [2]

TCVN 9386:2012 và EN 1998-1-1:2004 sử dụng giả thiết trường ứng suất phẳng đồng nhất trong vùng lõi nút như trong Hình 3 để tính toán cốt thép ngang cho nút khung [8]. Trường ứng suất này bao gồm:

(i) Ứng suất cắt $\tau_{jh} = \tau_{jv}$ từ phương trình (5).

(ii) Ứng suất pháp theo phương đứng

$$\sigma_y = -N_{Ed}/A_c = -\nu_d f_{cd} \quad (20)$$

trong đó: ν_d là chỉ số nén thiết kế của cột ở phía trên nút, lấy không quá 0,65 và 0,55 tương ứng với trường hợp kết cấu có cấp dẻo trung bình và cao.

(iii) Ứng suất pháp theo phương ngang tương ứng với cốt thép đai đặt trong vùng lõi nút tạo ra hiệu ứng bó lõi bê tông theo phương ngang ở thời điểm cốt thép đai bị chảy dẻo

$$\sigma_x = -\rho_{jh} f_{ywd} \quad (21)$$

Các ứng suất chính σ_I và σ_{II} của trường ứng suất phẳng này ở giai đoạn phá hoại phải bằng f_{ctd} (cường độ chịu kéo thiết kế của bê tông theo EN 1992-1-1:2004) và $-\eta f_{cd}$ (cường độ nén thiết kế của bê tông) trong các dải bê tông chéo [3]. Do đó:

$$\left.\begin{matrix} f_{ctd} = \sigma_I \\ -\eta f_{cd} = \sigma_{II} \end{matrix}\right\rangle \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \sigma_{xy}^2} \quad (22a)$$

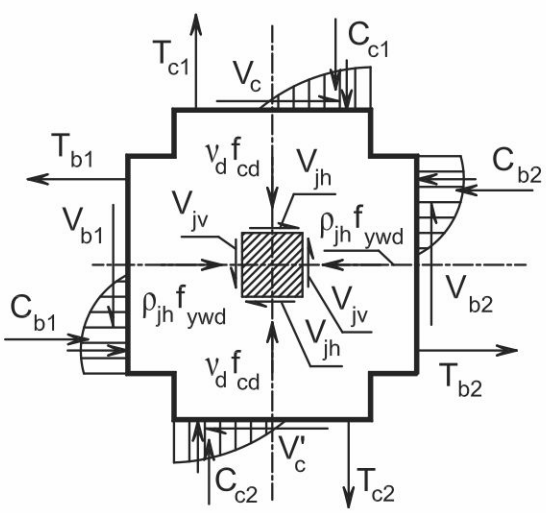
hoặc

$$\left.\begin{matrix} f_{ctd} \\ -\eta f_{cd} \end{matrix}\right\rangle -\frac{\nu_d f_{cd} + \rho_{jh} f_{ywd}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\nu_d f_{cd} - \rho_{jh} f_{ywd}}{2}\right)^2 + \tau_{jh}^2} \quad (22b)$$

trong đó

$$\eta = 0{,}6\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (23)$$

Với f_{ck} là cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông (MPa).



Hình 3. *Trường ứng suất đồng nhất trong nút khung*

Từ phương trình (22b) ta được hai phương trình sau:

$$\rho_{jh} f_{ywd} \geq \frac{\tau_{jh}^2}{f_{ctd} + \nu_d f_{cd}} - f_{ctd} \quad (24)$$

và $$\frac{\tau_{jh\max}}{f_{cd}} = \sqrt{(\nu_d - \eta)\left(\rho_{jh}\frac{f_{ywd}}{f_{cd}} - \eta\right)} \quad (25)$$

Phương trình (24) cho phép xác định lượng cốt thép chịu cắt trong lõi nút dưới dạng cốt đai, còn phương trình (25) cho giới hạn trên của ứng suất cắt có thể xuất hiện trong nút.

Trên cơ sở quan niệm trên, tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 và EN 1998-1-1:2004 đưa ra các quy định thiết kế sau để đảm bảo độ bền cho các nút khung BTCT:

- Nhà có cấp dẻo trung bình (DCM)

Trong vùng nút khung không cần phải tính toán khả năng chịu cắt nhưng cốt đai ngang được bố trí giống như trong vùng tới hạn của các cột liền kề và mỗi mặt nút phải có ít nhất một thanh cốt thép dọc trung gian đặt giữa các thanh cốt thép dọc nằm ở góc cột.

- Nhà có cấp dẻo cao (DCH)

a) Lực nén theo phương đường chéo trong cơ cấu giải nén chéo không được lớn hơn trị số ηf_{cd} (xem biểu thức (22b)) khi có các biến dạng do kéo ngang. Điều này được xem là thỏa mãn nếu đáp ứng quy định sau:

- Tại nút khung trong. Từ biểu thức (25) với giả thiết $\rho_{jh} = 0$

$$V_{jhd} \leq \eta f_{cd} \sqrt{1 - \frac{\nu_d}{\eta}} b_j h_{jc} \quad (26)$$

trong đó: V_{jhd} là lực cắt ngang thiết kế tác động lên nút khung được xác định theo (3) nhưng với V_c là lực cắt cột trên nút khung được xác định từ phân tích kết cấu trong tình huống động đất (khác với NZS 3101); h_{jc} là khoảng cách giữa các lớp cốt thép dọc ngoài cùng của cột và b_j là bề rộng hữu hiệu của nút, xác định theo (6).

- Tại nút khung ngoài:

Lực cắt ngang thiết kế V_{jhd} được xác định cho trường hợp nút khung ngoài đề cập tới ở mục 2 ở trên phải nhỏ hơn 80% giá trị vế phải của biểu thức (26).

b) Từ (24) ta được điều kiện mà tổng diện tích tiết diện cốt đai ngang A_{sh} trong nút khung phải thỏa mãn:

$$\frac{A_{sh} f_{ywd}}{b_j h_{jw}} \geq \frac{\left(\frac{V_{jhd}}{b_j h_{jc}}\right)^2}{f_{ctd} + \nu_d f_{cd}} - f_{ctd} \quad (27)$$

trong đó: h_{jw} là khoảng cách từ mặt dầm tới cốt thép đáy dầm.

Tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 và EN 1998-1-1:2004 còn cho phép tính toán khả năng chịu cắt của nút khung BTCT theo phương pháp của Paulay và Priestley đã giới thiệu ở phần trên. Từ phương trình (15) và với giả thiết về sự phân phối lực cắt truyền qua nút khung giữa cơ cấu dải nén chéo và cơ cấu giàn [7], ta có điều kiện sau:

- Tại nút khung trong:

$$A_{sh} f_{ywd} \geq \gamma_{Rd}(A_{s1} + A_{s2}) f_{yd}(1 - 0{,}8\nu_d) \quad (28)$$

- Tại nút khung ngoài:

$$A_{sh} f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} A_{s2} f_{yd}(1 - 0{,}8\nu_d) \quad (29)$$

trong đó $\gamma_{Rd} = 1{,}2$ và ν_d của cột ở trên nút cho trường hợp nút khung trong và của cột dưới nút cho trường hợp nút khung ngoài.

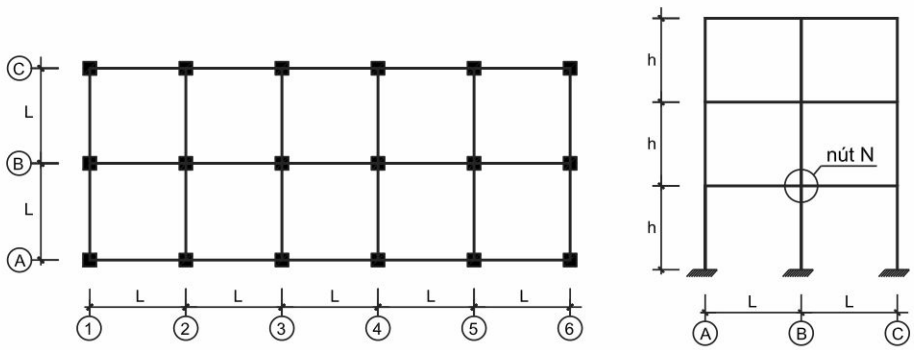
c) Cốt thép dọc của cột kéo qua nút cần được kiểm tra theo điều kiện sau:

$$A_{sv,i} \geq \frac{2}{3} A_{sh}\left(\frac{h_{jc}}{h_{jw}}\right) \quad (30)$$

trong đó: A_{sh} là tổng diện tích tiết diện cốt đai ngang kín cần thiết trong nút khung và $A_{sv,l}$ là tổng diện tích của các thanh cốt thép dọc của cột nằm giữa các thanh cốt thép góc cột (kể cả các thanh cốt thép bổ sung cho cốt thép dọc của cột).

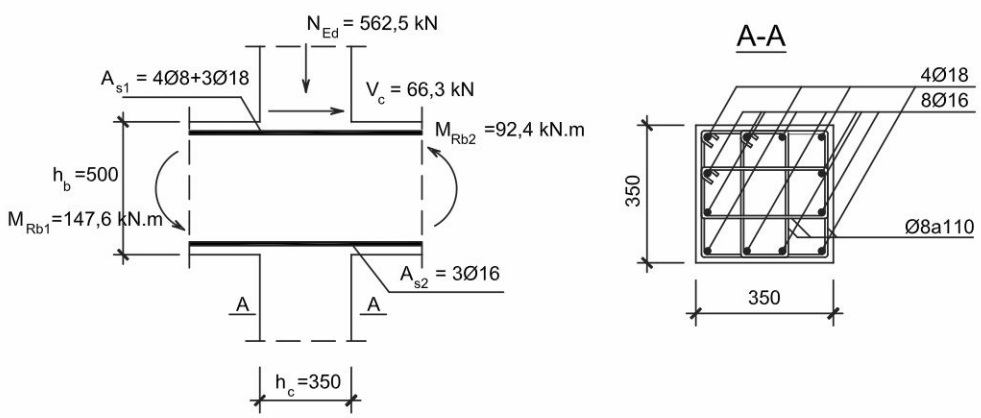
4. Ví dụ tính toán

Thiết kế nút khung trong (nút N) ở tầng một khung K5 của nhà khung BTCT liền khối với các kích thước cơ bản L = 5m, h = 3m như trong Hình 4. Các cột trong có tiết diện 35x35cm còn các cột biên 30x30 cm. Tất cả các dầm có bề rộng b_w = 25cm với chiều cao tiết diện h_b bằng 50cm cho các dầm trong và 45 cm cho các dầm biên. Vật liệu sử dụng: bê tông B30 ($R_{bn}=f_{ck}$=22MPa; $R_b=f_{cd}$=17MPa; $R_{bt}=f_{ctd}$=1,2MPa), cốt thép dọc A-III ($R_{sn}=f_{yk}$=400MPa; $R_s=f_{yd}$=365MPa), cốt thép đai A-II ($R_{sw}=f_{ywd}$=280 MPa). Công trình được xây dựng trên nền đất loại D chịu gia tốc nền thiết kế $a_g=\gamma_I a_{gR}$=1,25x0,1097g. Tải trọng đứng gần như thường xuyên trong tình huống động đất ở mỗi tầng (kể cả mái) $g+\psi_2 q$=9kN/m^2.



Hình 4. *Mặt bằng kết cấu và sơ đồ khung ngang điển hình*

a) Trường hợp nhà có cấp dẻo trung bình (DCM), hệ số ứng xử q = 3,9. Hình 5 cho kết quả tính toán lực dọc nhỏ nhất N_{Ed}, lực cắt cột V_c trên nút N của khung K5, các cốt thép dọc ở mặt trên và dưới dầm đi qua nút cũng như khả năng chịu uốn của chúng. Quy trình thiết kế theo khả năng cho cốt thép cột dưới nút N gồm 4Φ18+8Φ16. Cốt thép đai trong vùng tới hạn của cột dưới nút N và trong nút N gồm các cốt đai chính và phụ Φ8-AII (A_{sw}=0,503cm^2) có bước s = 110mm (tiết diện A-A Hình 5).



Hình 5. *Cấu tạo của nút khung N trong trường hợp nhà có cấp dẻo trung bình (DCM)*

b) Trường hợp nhà có cấp dẻo cao (DCH), hệ số ứng xử q = 5,85. Hình 6 cho kết quả tính toán lực dọc nhỏ nhất V_{Ed} và lực cắt cột V_c trên nút N của khung K5. Quy trình thiết kế theo khả năng cho tiết diện cốt thép chịu kéo và nén của các dầm quanh nút N: ở mặt trên A_{s1} = 804mm^2 (4Φ8+3Φ16) và đáy dầm A_{s2} = 404mm^2 (2Φ16).

(i) Theo TCVN 9386:2012 và EN 1998-1-1:2004, kết quả tính toán sơ bộ cho các giá trị sau:

ν_d = 0,270; η = 0,547; b_c = 35cm > b_w= 25cm do đó $b_j = \min(35;25+\frac{35}{2}) = 35cm$

Theo (3), lực cắt ngang tác động lên lõi nút khung trong N: $\nu_{jh} = 528{,}2\text{kN}$

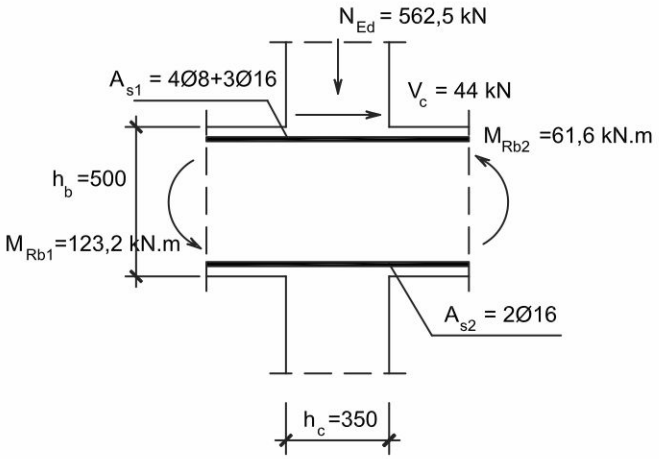
Kiểm tra lực nén chéo sinh ra trong nút khung qua cơ cấu giải chống chéo theo (26): $V_{jhd} \le 625{,}3\text{kN}$

Cốt thép ngang trong nút khung được xác định từ (27): $A_{sh} \geq 2412mm^2 = 24,12cm^2$

Cốt thép ngang trong nút khung cũng có thể được xác định theo (28): $A_{sh} \geq 1479mm^2 = 14,79cm^2$

Cốt thép dọc đi qua nút khung được xác định theo (30): $A_{sv,i} \geq 10,33cm^2$

(ii) Theo tiêu chuẩn NZS 3101 sử dụng phương pháp Paulay và Priestley, cốt thép ngang chịu cắt được xác định theo (15): $A_{jh} = 1004mm^2 = 10,04cm^2$



Hình 6. *Cấu tạo cốt thép dầm và lực tác động lên nút N trong trường hợp nhà có cấp dẻo cao (DCH)*

5. Kết luận

Qua nghiên cứu cơ sở lý luận và kết quả tính toán khả năng chịu lực của nút khung BTCT chịu động đất có thể rút ra các kết luận sau:

- Hiện nay trên thế giới có 3 tiêu chuẩn thiết kế các công trình chịu động đất theo quan điểm hiện đại tiêu biểu là NZS 3101, ACI 318-2011 và EN 1998-1:2004 (TCVN 9386:2012). Việc tính toán và thiết kế nút khung BTCT quy định trong ba tiêu chuẩn này có nhiều điểm rất khác nhau về quan niệm cũng như cách thức thực hiện, thậm chí tiêu chuẩn ACI 318-2011 còn nghi ngờ về cơ sở lý luận cũng như kết quả tính toán thực hiện theo hai tiêu chuẩn thiết kế còn lại.

- Kết quả tính toán nút khung theo hai cách quy định trong TCVN 9386:2012 theo các biểu thức (27) và (28) cho các kết quả rất khác nhau. Các kết quả này cũng rất khác với kết quả tính toán theo biểu thức (15) của phương pháp của Paulay và Priestley trong NZS 3101.

- Lượng cốt thép đai ngang yêu cầu phải bố trí trong nút khung theo tính toán rất lớn, đặc biệt ở cấp dẻo cao (gần bằng 5 lần so với cấp dẻo trung bình). Điều này rất khó thực hiện, dễ sai sót trong thi công, dẫn tới không đảm bảo yêu cầu về lực bám dính giữa bê tông và cốt thép trong vùng nút, điều kiện cơ bản của sự tồn tại các cơ cấu truyền lực giả thiết.

Như vậy, các nút khung BTCT vẫn là các vùng rất nhạy cảm của hệ kết cấu khung về phương diện khả năng chịu lực cũng như phương diện thi công. Trên cơ sở tiêu chuẩn ACI 318M-2011 cần phải nghiên cứu lại việc thiết kế nút khung BTCT và giả thiết tính toán cho rằng nút khung BTCT hoàn toàn cứng dưới tác động của động đất cũng cần phải được xem xét lại.

Tài liệu tham khảo

1. ACI 318M-11, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institut, Sep. 2011.

2. Eurocode 8, *Design of structures for Earthquake Resistance, Part 1* (EN 1998-1:2004), European committee for Standardisation.

3. Eurocode 2, *Design of concrete structures (EN 1992-1-1:2004)*, European committee for Standardisation.

4. Fardis M. N.(2009), *Seismic design, assessement and retrofittings of concrete buildings*, Springer.

5. Nguyễn Lê Ninh (2007), *Động đất và thiết kế công trình chịu động đất*, NXB Xây dựng.

6. NZS 3101 part 1:2006 Concrete Structures standard, Part 1-*The design of concrete structures.*

7. Paulay T., Priestley M.J.N. (1992), *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*, John Wiley.

8. Penelis G. G.; Penelis Gr. (2014), *Concrete building in seismic regions*, CRC Press.

9. TCVN 9386:2012, *Thiết kế công trình chịu động đất.*