

# MỘT SỐ VẤN ĐỀ TRONG THIẾT KẾ KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CẤP ĐỘ DẸO THẤP VÀ TRUNG BÌNH THEO TCVN 9386:2012

## SOME PROBLEMS IN DESIGNING LOW AND MEDIUM DUCTILITY CLASS REINFORCED CONCRETE FRAME IN ACCORDANCE WITH TCVN 9386: 2012

TS. **VÕ MINH QUANG**<sup>1</sup>, ThS. **NGUYỄN TRUNG KIÊN**<sup>2</sup>, TS. **VÕ MẠNH TÙNG**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Xây dựng

<sup>2</sup>Công ty CP kiến trúc Lập Phương

E-mail: [vo\\_manhtung@yahoo.com.vn](mailto:vo_manhtung@yahoo.com.vn)

**Tóm tắt:** Nền kinh tế Việt Nam đang phát triển rất nhanh chóng, các công trình xây dựng được đầu tư ngày càng nhiều. Việc tính toán thiết kế kết cấu bê tông cốt thép chống động đất cho các công trình cũng trở nên quan trọng. Tiêu chuẩn hiện hành TCVN 9386:2012 về thiết kế công trình chịu động đất thường được sử dụng trong công tác thiết kế và thẩm tra, tuy nhiên đây là tiêu chuẩn khá phức tạp và mang tính khoa học cao, vì vậy việc áp dụng tiêu chuẩn này trên thực tế còn khá nhiều hạn chế. Lý do chủ yếu dẫn tới tình trạng này là mức độ chênh lệch về sự phức tạp khi thực hành tính toán thiết kế theo cấp độ dẻo thấp và các cấp độ dẻo còn lại. Đây đang là một vấn đề nóng hổi và không có sự thống nhất giữa các kỹ sư tư vấn, các cơ quan xét duyệt trong thời gian vừa qua. Vì vậy, qua bài báo này, chúng tôi muốn so sánh quy trình thiết kế khung bê tông cốt thép theo cấp độ dẻo thấp (DCL) và cấp độ dẻo trung bình (DCM), qua đó làm rõ quy trình thực hành thiết kế khung bê tông cốt thép kháng chấn theo DCM.

**Từ khóa:** Bê tông cốt thép, khung, cấp độ dẻo, động đất, khớp dẻo.

**Abstract:** Vietnam's economy is developing very quickly, construction projects are invested more and more. The calculation and design of earthquake-resistant reinforced concrete structures for buildings also becomes important. The current standard TCVN 9386:2012 on the design of earthquake-resistant buildings is often used in the design and verification work, but this is a rather complicated and scientific standard, so its application has many limitations. The main reason leading to this situation is the difference in complexity when performing calculations when designing according to the low ductility class and the remaining ductility classes. This is a hot issue and there is no consensus among consulting engineers and review agencies in recent times. Therefore, through this article, we

want to compare the design process of reinforced concrete frames according to low ductility class (DCL) and medium ductility class (DCM), thereby clarifying the design practice process the seismic reinforced concrete frame according to DCM.

**Keywords:** Reinforced concrete, frame, ductility class, earthquake, plastic hinge.

### 1. Mở đầu

Trong bối cảnh hiện nay, sự biến đổi mạnh mẽ của các điều kiện tự nhiên gây nên các hậu quả cực kỳ nghiêm trọng đối với môi trường, công trình và con người. Trong đó động đất là hiện tượng gây ra nhiều thảm họa cho con người và các công trình. Việc tính toán công trình chịu tải trọng động đất trở nên rất cần thiết, để đảm bảo sinh mạng con người khi xảy ra động đất. Năm 2006, Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất TCXDVN 375-2006, đến năm 2012, tiêu chuẩn này được chuyển ngang với tên gọi khác là TCVN 9386:2012 [1]. Tiêu chuẩn này được biên soạn dựa trên cơ sở tiêu chuẩn châu Âu BS EN 1998-1[2] và BS EN 1998-5, kết hợp với số liệu về động đất của Việt Nam. Mặc dù đã có hiệu lực 15 năm nhưng việc triển khai thực tế còn gặp nhiều khó khăn vì mức độ phức tạp của tiêu chuẩn và chưa có những hướng dẫn cụ thể từ cơ quan biên soạn.

Theo TCVN 9386:2012, có nhiều phương pháp tính toán công trình chịu động đất như sau: phương pháp tĩnh lực ngang tương đương, phương pháp phân tích phổ phản ứng dạng dao động (động tuyến tính), phương pháp Push-over (tĩnh phi tuyến đẩy dần), phương pháp phi tuyến theo lịch sử thời gian. Tuy nhiên phương pháp sử dụng để thiết kế công trình phổ biến nhất thường áp dụng cho công trình nhà là phương pháp phân tích phổ phản ứng dạng dao động. Khi phân tích công trình chịu tải trọng động đất, tiêu chuẩn cũng cho phép hệ kết cấu và các cấu kiện làm việc vượt quá giai đoạn đàn hồi của vật liệu nhưng vẫn đảm bảo công trình không bị

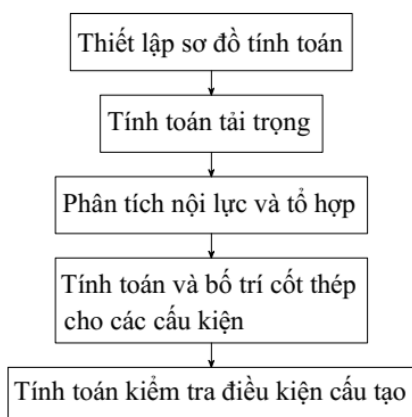
sụp đổ. Tùy thuộc vào mức độ cho phép biến dạng dẻo trong các cấu kiện và hệ kết cấu, tiêu chuẩn cũng đưa ra các cấp độ dẻo khác nhau khi thiết kế công trình chịu động đất như sau: cấp độ dẻo thấp (DCL), cấp độ dẻo trung bình (DCM) và cấp độ dẻo cao (DCH). Với mức độ động đất xảy ra trên lãnh thổ Việt Nam, thiết kế công trình bê tông cốt thép với DCL và DCM là phù hợp và an toàn, còn với DCH thì một số yêu cầu về vật liệu và cấu tạo sẽ làm cho giá thành công trình tăng lên rất cao và thực sự không phù hợp với vùng động đất yếu và trung bình khi áp dụng cho công trình thực tế ở Việt Nam. Ngoài ra tiêu chuẩn còn đưa ra “khuyến nghị” kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) được thiết kế theo DCL chỉ nên sử dụng ở những vùng có động đất yếu, tuy nhiên đây chỉ là khuyến nghị nên các phụ lục áp dụng của các quốc gia châu Âu vẫn không thống nhất rõ ràng trong quy định phạm vi sử dụng công trình BTCT thiết kế theo DCL.

Như vậy nên lựa chọn cấp độ dẻo DCL hay DCM khi thiết kế công trình khung bê tông cốt thép? Trả lời câu hỏi này luôn là vấn đề đối với các kỹ sư kết cấu của Việt Nam và thế giới [3][4][5][6]. Qua bài báo này, tác giả muốn làm sáng tỏ những khác biệt cơ bản giữa thiết kế nhà khung BTCT kháng chấn theo DCL và DCM, từ đó các kỹ sư có thêm cơ sở lựa chọn cấp độ dẻo để thiết kế nhà khung BTCT chịu động đất theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012.

## 2. Những khác biệt cơ bản khi thiết kế nhà khung BTCT theo DCL và DCM

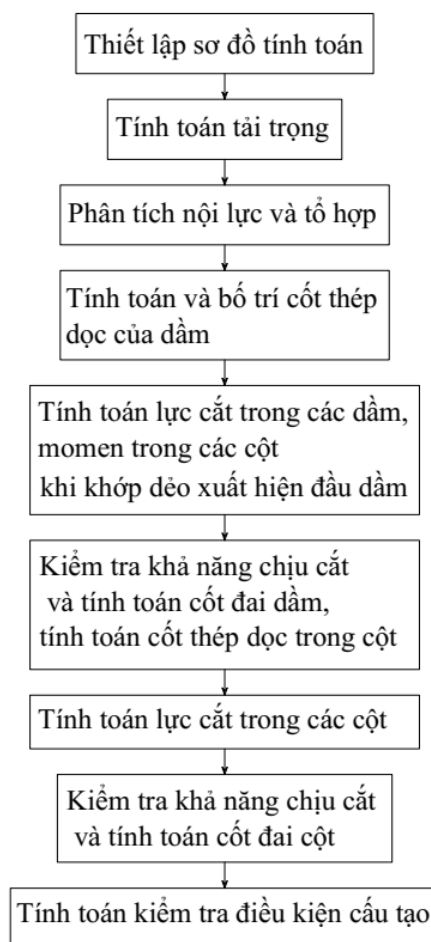
### 2.1 Trình tự tính toán

Khi lựa chọn thiết kế khung theo cấp độ dẻo DCL, các bước tính toán cơ bản cũng tương tự như khi tính toán khung với các loại tải trọng thông thường (tính tải, gió,...). Theo trình tự này, các bước tính toán tải trọng, phân tích nội lực, tính toán và cấu tạo cốt thép được tiến hành độc lập và tuần tự (hình 1) với lý thuyết tính toán dựa trên yêu cầu của EN 1992-1-1:2004 [14].



Hình 1. Trình tự tính toán theo DCL

Khi lựa chọn thiết kế với DCM, trình tự tính toán được tiến hành theo sơ đồ trên hình 2. Theo trình tự này, bước tính toán nội lực, tính toán và cấu tạo cốt thép của các cấu kiện không được tiến hành độc lập và tuần tự như khi thiết kế với DCL. Lực cắt tính toán trong dầm, mômen và lực cắt trong cột đều phải tính toán lại sau khi bố trí cốt thép dọc trong dầm (từ các giá trị mômen khớp dẻo tại các đầu dầm có thể tính toán được các thành phần lực cắt trong dầm, mômen và lực cắt trong cột), điều này được giải thích thêm trong mục 2.4.2. Ngoài ra còn có thêm nhiều quy định cấu tạo về cốt thép dọc và cốt thép đai trong dầm, cột và nút cần được tuân thủ (bảng 1,2) [7].



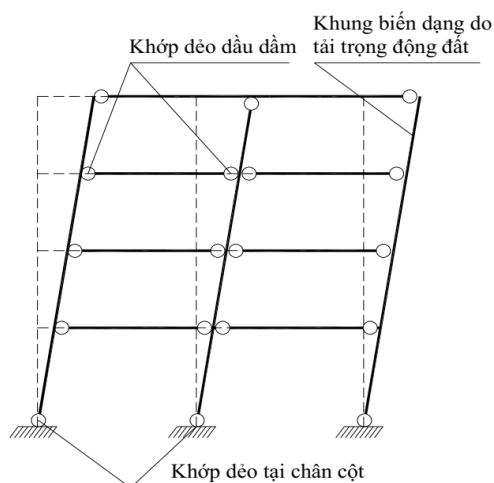
Hình 2. Trình tự tính toán theo DCM

### 2.2 Sơ đồ tính toán

Khác biệt cơ bản về sơ đồ tính toán là việc cho phép xuất hiện cơ cấu biến dạng dẻo trong kết cấu và các cấu kiện khi tính toán theo DCM. Khi phân tích tổng thể hệ kết cấu chịu tác động động đất theo DCL, cũng giống như dưới tác động của các loại tải trọng khác, thông thường đều dựa trên giả thiết bê tông cốt thép làm việc đàn hồi tuyến tính với các

thông số về độ cứng của các cấu kiện được điều chỉnh giảm để kể đến biến dạng dẻo của bê tông và sự xuất hiện vết nứt [8][9][10].

Khi phân tích theo DCM, yêu cầu hệ kết cấu khi chịu tải trọng động đất vừa đảm bảo về cường độ vừa có thể chịu biến dạng lớn nhưng không sụp đổ. Để đạt được yêu cầu này, hệ kết cấu phải được tính toán theo sơ đồ biến dạng dẻo (sơ đồ khớp dẻo) và có khả năng tiêu tán được năng lượng thông qua hệ thống khớp dẻo này. Tuy nhiên để cơ cấu khớp dẻo này hình thành được đúng như mong muốn của người thiết kế thì cần phải có quy trình thực hiện thích hợp. Với kết cấu khung khi chịu tải trọng động đất, các khớp dẻo cần phải được hình thành tại các đầu dầm và sau đó là tại chân cột (hình 3). Sơ đồ khớp dẻo này vẫn được phân tích bằng những phần mềm phân tích kết cấu thông thường với những giả thiết đàn hồi của vật liệu, tuy nhiên trong các giá trị nội lực trong mô hình phân tích chỉ sử dụng các giá trị mômen trong dầm để tính toán thiết kế cấu kiện.



Hình 3. Sơ đồ khớp dẻo khung BTCT

Với DCL, hệ thống kết cấu kháng chấn thường được tận dụng triệt để, tất cả các khung đều được huy động cùng chịu tải trọng ngang. Với DCM, các kỹ sư có thể lựa chọn một phần hoặc toàn bộ trong hệ thống kết cấu để chịu tải trọng động đất, phần này được gọi là hệ kết cấu kháng chấn chính, phần còn lại là các kết cấu kháng chấn phụ. Thông thường, hệ kết cấu kháng chấn chính được lựa chọn là vách, lõi hoặc khung dẻo có khả năng tiêu tán năng lượng (cột liên tục theo phương đứng liên kết với móng, liên kết dầm cột phải được đảm bảo để khớp dẻo có thể được hình thành ở đầu dầm). Còn các khung không có khả năng tiêu tán năng

lượng thường là kết cấu kháng chấn phụ. Độ cứng ngang của tất cả các cấu kiện kháng chấn phụ không được vượt quá 15% độ cứng ngang của tất cả các cấu kiện kháng chấn chính [1]. Thông thường các khung có dầm chuyển sẽ không được lựa chọn vào hệ kháng chấn chính.

## 2.3 Tính toán tải trọng

Khi sử dụng phương pháp phân tích phổ phản ứng, tải trọng động đất tác dụng vào công trình tương ứng với dạng dao động nào đó được tính toán như sau:

- Bước 1: xác định giá trị của phổ thiết kế  $S_d(T_k)$ ;
- Bước 2: xác định lực cắt đáy.

Lực cắt đáy do động đất được xác định theo biểu thức sau:

$$F_b = S_d(T_k) \cdot m_k \cdot \lambda \quad (1)$$

trong đó:  $S_d(T_k)$  - tung độ của phổ thiết kế dạng dao động thứ  $k$  ứng với chu kỳ  $T_k$ ;

$T_k$  - chu kỳ dạng dao động thứ  $k$ ;  $m_k$  - khối lượng tham gia dao động của nhà ở trên móng hoặc trên đỉnh của phần cứng phía dưới ứng với dạng dao động thứ  $k$ ;  $\lambda$  - hệ số hiệu chỉnh.

- Bước 3: Phân bố lực động đất nằm ngang.

Tác động động đất được xác định bằng cách đặt các lực ngang vào tất cả các tầng:

$$F_i = F_b \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j} \quad (2)$$

trong đó:  $F_i$  - lực ngang tác dụng tại tầng thứ  $i$ ;  $F_b$  - lực cắt đáy do động đất;  $m_i$ ,  $m_j$  - khối lượng của các tầng;  $s_i$ ,  $s_j$  lần lượt là chuyển vị của các khối lượng  $m_i$ ,  $m_j$  trong dạng dao động đang xét.

Khác biệt duy nhất trong phần tính toán tải trọng này là việc lựa chọn hệ số ứng xử  $q$ . Khi tính toán hệ kết cấu khung với DCL, hệ số  $q$  được chọn là 1.5, còn với DCM thì hệ số  $q$  được chọn cao hơn (với hệ khung BTCT thường là từ 3.3 đến 3.9) vì hệ kết cấu có khả năng biến dạng dẻo [1]. Với những công trình sử dụng kết cấu khung chịu tải trọng động đất dưới 20 tầng thì chênh lệch tải trọng khi thiết kế với DCL và DCM là rất lớn (từ 2.2 đến 2.6 lần).

## 2.4 Tính toán và cấu tạo kết cấu khung bê tông cốt thép

Khi tính toán với DCM, cần phải tiến hành thêm một số bước tính toán để đảm bảo hệ khớp dẻo

hình thành đúng vị trí (tại chân cột và các đầu mút dầm) khi chịu động đất. Có nhiều giải pháp khác nhau để đảm bảo khung làm việc dẻo và sau đây là những điều kiện đơn giản nhất để tính toán thiết kế.

## 2.4.1 Yêu cầu về cấu tạo khi thiết kế theo DCM

### a) Yêu cầu về kích thước cấu kiện

- Chiều rộng  $b_w$  của dầm kháng chấn chính phải thỏa mãn biểu thức:

$$b_w \leq \min\{b_c + h_w; 2b_c\} \quad (3)$$

trong đó:  $h_w$  - chiều cao của dầm và  $b_c$  - chiều rộng tiết diện cột.

- Cột kích thước tiết diện ngang của cột kháng chấn chính không nên nhỏ hơn 1/10 của khoảng cách lớn nhất giữa điểm uốn và các đầu mút của cột, đối với trường hợp uốn trong phạm vi mặt phẳng song song với kích thước cột.

- Trong các cột kháng chấn chính, tỷ số lực dọc nén  $\nu_d = N_{Ed}/A_c f_{cd}$  không được vượt quá 0.65.

Trong đó:  $N_{Ed}$  là lực dọc trong cột ứng với tổ hợp có tải trọng động đất;  $A_c$  là diện tích tiết diện cột;  $f_{cd}$  là cường độ chịu nén thiết kế của bê tông. Đây là điều kiện mà các kỹ sư thiết kế rất muốn tránh vì ảnh hưởng lớn đến diện tích sử dụng của công trình. Tuy nhiên theo những nghiên cứu và các tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới (Nga, Trung Quốc, New Zealand) thì điều kiện này là không thể thiếu để đảm bảo độ dẻo của hệ khung kháng chấn chính. Vì vậy trong hệ kết cấu tổng thể chỉ nên sử dụng vừa đủ kết cấu kháng chấn chính, còn các kết cấu còn lại là kết cấu kháng chấn phụ để vừa đảm bảo độ dẻo của cả hệ kết cấu vừa đảm bảo tính hợp lý trong sử dụng.

### b) Yêu cầu về cấu tạo cốt thép [1][7][11]

Các yêu cầu về cấu tạo cốt thép của dầm, cột và nút dầm-cột thiết kế theo DCM so sánh với DCL được tổng hợp trong bảng 1, bảng 2 và bảng 3.

**Bảng 1. Quy định về dầm kháng chấn chính theo DCM và DCL**

Quy định	Cấp độ dẻo DCM	Cấp độ dẻo DCL
Chiều dài vùng tới hạn	$h_w$	$h_w$
Hàm lượng cốt thép dọc nhỏ nhất $\rho_{min}$	$0.5f_{ctm}/f_{yk}$	$0.26f_{ctm}/f_{yk}$ 0.13%
Hàm lượng cốt thép dọc lớn nhất trong vùng tới hạn $\rho_{max}$	$\rho' + 0.0018f_{cd}/(\mu_0 \varepsilon_{sy,d} f_{yd})$	4%
Diện tích cốt thép dọc thứ dưới nhỏ nhất trong vùng tới hạn $A_{s,bottom,min}$	Một nửa diện tích cốt thép dọc thứ trên trong vùng tới hạn $A_{s,top}$	Không quy định
$d_{bL}/h_c$ - tỷ số giữa đường kính cốt thép kéo qua nút và chiều cao tiết diện cột tại nút khung giữa	$\leq \frac{7.5(1 + 0.8\nu_d) f_{ctm}}{(1 + 0.5 \frac{\rho'}{\rho_{max}}) f_{yd}}$	Không quy định
$d_{bL}/h_c$ - tỷ số giữa đường kính cốt thép kéo qua nút và chiều cao tiết diện cột tại nút khung biên	$\leq 7.5(1 + 0.8\nu_d) \frac{f_{ctm}}{f_{yd}}$	Không quy định
Khoảng cách cốt đai ngoài vùng tới hạn	$\leq 0.75d$	
Hàm lượng cốt đai ngoài vùng tới hạn	$\geq \frac{0.08f_{ck}}{f_{yk}}$	
Đường kính cốt đai trong vùng tới hạn $d_{bw}$	$\geq 6mm$	
Khoảng cách cốt đai trong vùng tới hạn	$8d_{bL}, h_w/4, 24d_{bw}, 225mm$	Không quy định

trong đó:  $f_{ctm}$  - cường độ chịu kéo trung bình của bê tông;  $f_{yk}$  - cường độ chịu kéo đặc trưng của cốt thép;  $f_{yd}$  - cường độ chịu kéo thiết kế của cốt thép;  $\rho'$  - hàm lượng cốt thép của vùng nén;  $\mu_0$

- giá trị yêu cầu của hệ số dẻo kết cấu khi uốn;  $\varepsilon_{sy,d}$  - giá trị thiết kế của biến dạng cốt thép chịu kéo tại điểm chảy;  $d$  - chiều cao làm việc của tiết diện dầm.

**Bảng 2. Quy định về cột kháng chấn chính theo DCM và DCL**

Quy định	Cấp độ dẻo DCM	Cấp độ dẻo DCL
Chiều dài vùng tới hạn	$h_c, b_c, 0.45m, l_c/6$	$h_c, b_c$
Hàm lượng cốt thép dọc nhỏ nhất $\rho_{min}$	1%	$0.1N_{Ed}/A_c f_{yd}$ 0.2%
Hàm lượng cốt thép dọc lớn nhất $\rho_{max}$	4%	

Quy định	Cấp độ dẻo DCM	Cấp độ dẻo DCL
Số thanh thép dọc tối thiểu trên 1 cạnh	3	2
Khoảng cách giữa các thép dọc bị kiểm chế	$\leq 200\text{mm}$	Không quy định
Khoảng cách giữa thép dọc không bị kiểm chế đến thép dọc bị kiểm chế gần nhất	$\leq 150\text{mm}$	
Đường kính đai $d_{bw}$ ngoài vùng tới hạn	6mm, $d_{bl}/4$	
Khoảng cách đai $s_w$ ngoài vùng tới hạn	$12d_{bl}, 0.6h_c, 0.6b_c, 240\text{mm}$	$20d_{bl}, h_c, b_c, 400\text{mm}$
Đường kính đai $d_{bw}$ trong vùng tới hạn	6mm, $d_{bl}/4$	
Khoảng cách đai $s_w$ trong vùng tới hạn	$8d_{bl}, b_o/2, 175\text{mm}$	$20d_{bl}, h_c, b_c, 400\text{mm}$
Tỷ số thể tích cơ học $\omega_{wd}$ trong vùng tới hạn chân cột	$\geq 0.08$	Không quy định
$\alpha\omega_{wd}$ trong vùng tới hạn chân cột	$\geq \frac{30\mu_\phi v_d \epsilon_{sy,d} b_c}{b_o} - 0.035$	Không quy định

trong đó:  $h_c$  - chiều cao tiết diện cột;  $l_c$  - chiều dài thông thủy của cột;  $b_o$  - chiều rộng của lõi có cốt đai hạn chế biến dạng;  $\alpha$  - hệ số hiệu ứng hạn chế biến dạng.

**Bảng 3. Quy định về nút dầm-cột kháng chấn chính theo DCM và DCL**

Quy định	Cấp độ dẻo DCM	Cấp độ dẻo DCL
Số thanh thép dọc trên 1 cạnh đoạn cột trong nút	3	2
Đường kính đai $d_{bw}$ trong nút	6mm, $d_{bl}/4$	
Khoảng cách đai $s_w$ trong nút	$8d_{bl}, b_o/2, 175\text{mm}$	$20d_{bl}, h_c, b_c, 400\text{mm}$

## 2.4.2 Yêu cầu về tính toán: có 3 yêu cầu cơ bản như sau khi thiết kế theo DCM

- Trong các dầm kháng chấn chính, lực cắt thiết kế phải được xác định phù hợp với quy tắc thiết kế theo khả năng chịu lực và tiêu tán năng lượng, dựa trên cơ sở sự cân bằng của dầm dưới tác động của tải trọng tác dụng ngang với trục dầm trong tình huống thiết kế chịu động đất và mômen đầu mút dầm tương ứng với sự hình thành khớp dẻo theo các chiều dương và âm của tải trọng động đất. Khi đó lực cắt trong dầm được sử dụng để thiết kế trong tình huống có động đất được tính toán theo công thức sau đây:

$$V_{b,Ed} = \frac{\sum M_{Rb}}{l_{b,cl}} \pm V_{o,g+\psi_2 q} \quad (4)$$

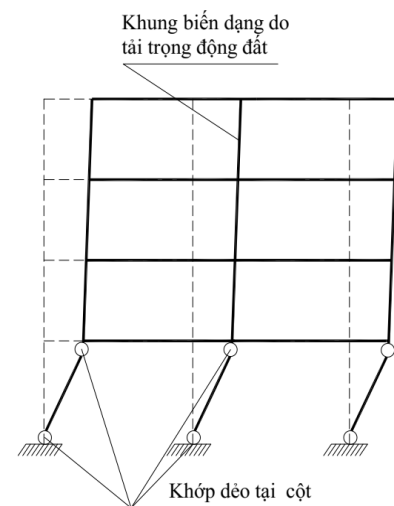
Với:  $l_{b,cl}$  - chiều dài thông thủy của dầm;  $V_{o,g+\psi_2 q}$  - lực cắt trong dầm do tải trọng đứng gây ra;  $\sum M_{Rb}$  - tổng các giá trị thiết kế khả năng chịu mômen uốn của hai đầu mút dầm đang xét.

- Cần ngăn ngừa sự hình thành khớp dẻo tại các đầu mút của cột (cơ cấu tầng mềm - hình 4), trong nhà khung cần thỏa mãn điều kiện sau đây tại tất cả các nút giữa các dầm kháng chấn chính hoặc phụ với các cột kháng chấn chính:

$$\sum M_{Rc} \geq 1.3 \sum M_{Rb} \quad (5)$$

trong đó:  $\sum M_{Rc}$  là tổng giá trị thiết kế của khả năng chịu mômen uốn của các cột quy tụ vào nút;

$\sum M_{Rb}$  tổng các giá trị thiết kế của khả năng chịu mômen uốn của các dầm quy tụ vào nút. Điều kiện này cần được kiểm tra cho tất cả các nút khung trừ tầng trên cùng.



**Hình 4. Cơ cấu tầng mềm**

- Tương tự trong dầm, trong những cột kháng chấn chính, các giá trị thiết kế của lực cắt phải được xác định theo các quy tắc thiết kế theo khả năng chịu lực và tiêu tán năng lượng, trên cơ sở cân bằng của cột dưới tác dụng của mômen đầu mút cột, tương ứng với sự hình thành khớp dẻo theo các chiều dương và âm của tải trọng động đất tại các đầu mút của các dầm liên kết vào đầu cột. Khi đó lực cắt trong cột được sử dụng để thiết kế trong

tình huống có động đất được tính toán theo công thức sau đây:

$$V_{c,Ed} = 1.1 \frac{\sum M_{Rc}}{l_{c,cl}} \quad (6)$$

Với  $l_{c,cl}$  - chiều dài thông thủy của cột;  $\sum M_{Rc}$  - tổng giá trị thiết kế của khả năng chịu mômen uốn của hai đầu mút cột đang xét.

Như vậy, các yêu cầu về tính toán này làm thay đổi cơ bản về phương pháp thiết kế mà các kỹ sư đã quen thuộc khi thực hiện cho các công trình không chịu động đất hoặc khi thiết kế theo DCL, tức là các giá trị lực cắt và mômen sử dụng để thiết kế dầm và cột được lấy trực tiếp từ mô hình phân tích nội lực. Khi thiết kế theo DCM, chỉ giá trị mômen sử dụng thiết kế dầm được lấy trực tiếp từ mô hình, còn các nội lực khác (lực cắt dầm, mômen và lực cắt cột) không được lấy trực tiếp từ mô hình mà phải xác định phụ thuộc vào lượng cốt thép được bố trí tại vị trí đầu mút các dầm kháng chấn chính vì lượng cốt thép bố trí thực tế lớn hơn lượng cốt thép từ kết quả tính toán.

Giá trị lực cắt sử dụng để thiết kế dầm được tính theo công thức (4) sau khi tính được khả năng chịu mômen  $M_{Rb}$  tại các đầu mút dầm dựa vào lượng cốt thép đã bố trí thực tế. Tổng giá trị momen đầu mút các cột  $\sum M_{Rc}$  được lấy tối thiểu bằng  $1.3 \sum M_{Rb}$  (công thức (5)), dựa vào trạng thái hình thành khớp dẻo ở các đầu mút dầm quy tụ vào nút. Giá trị tổng mômen đầu mút các cột quy tụ vào nút được phân phối vào đầu cột tầng trên và tầng dưới theo tỷ lệ thích hợp (thường là 45% cho cột trên và 55% cho cột dưới) phụ thuộc vào tỷ lệ lực dọc trong các cột. Giá trị lực cắt sử dụng để thiết kế cột được tính theo công thức (6) sau khi tính được khả năng chịu mômen  $M_{Rc}$  tại các đầu mút cột dựa vào lượng cốt thép đã bố trí thực tế trong cột.

Các công thức tính khả năng chịu lực của dầm và cột theo DCM đều phải tuân thủ theo EN 1992-1-1:2004 và các nghiên cứu của Fardis [7].

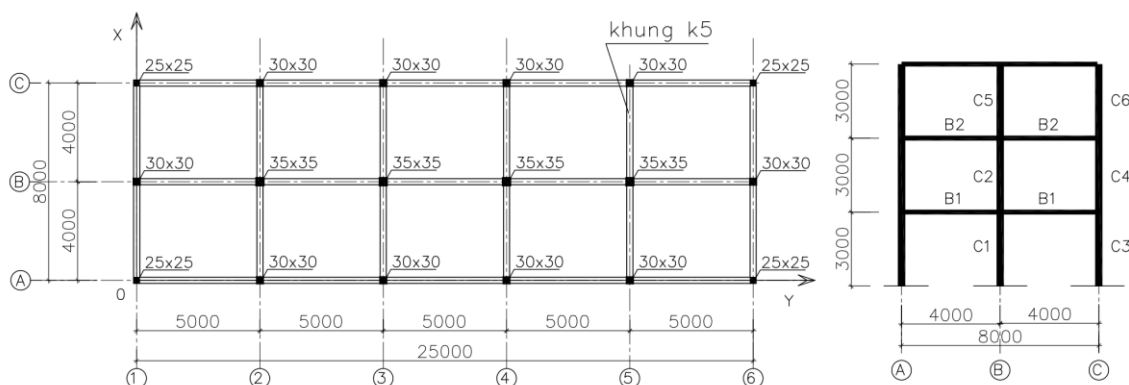
### 3. Ví dụ tính toán

Nhà khung BTCT liên khối cao 3 tầng có mặt bằng hình chữ nhật với các kích thước như sau:  $L_x = 8$  m theo phương X và  $L_y = 25$  m theo phương Y (hình 5). Hệ kết cấu chịu lực của nhà bao gồm: sáu khung ngang theo phương X, mỗi khung có 2 nhịp với chiều dài mỗi nhịp  $L = 4$  m; ba khung 5 nhịp theo phương Y với chiều dài nhịp không đổi  $L = 5$  m.

Chiều cao tầng  $H = 3$  m. Các cột có tiết diện vuông với kích thước như sau:  $h_{c,tr} = 0,35$  m cho các cột trong;  $h_{c,ng} = 0,30$  m cho các cột biên;  $h_{c,go} = 0,25$  m cho 4 cột ở góc nhà. Tất cả các dầm có bề rộng  $b_w = 0,25$  m với chiều cao tiết diện như sau:  $h_b = 0,5$  m cho các dầm trong;  $h_b = 0,45$  m cho các dầm biên.

Bản sàn BTCT ở tất cả các tầng và mái có bề dày bằng 0.15 m. Tải trọng tác dụng lên hệ kết cấu chịu lực được giả định như sau: Tải trọng trọng trường gần như thường xuyên trong tình huống động đất ở mỗi tầng (kể cả mái):  $g + \psi_2 q = 9 \text{ kN/m}^2$  tương ứng với tải trọng phân bố đều tác động lên các dầm ngang B1:  $g + \psi_2 q = 20 \text{ kN/m}$  và lên các dầm biên.

Công trình được xây dựng ở Quận Thanh Xuân, thành phố Hà Nội trên nền đất loại D. Công trình được sử dụng để làm nhà văn hóa của quận có cấp độ trung bình (DCM). Vật liệu được sử dụng để thi công hệ kết cấu chịu lực của công trình như sau: Bê tông B30; cốt thép dọc nhóm CB300V; cốt thép đai nhóm CB240T.



Hình 5. Sơ đồ mặt bằng và khung ngang nhà

## KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

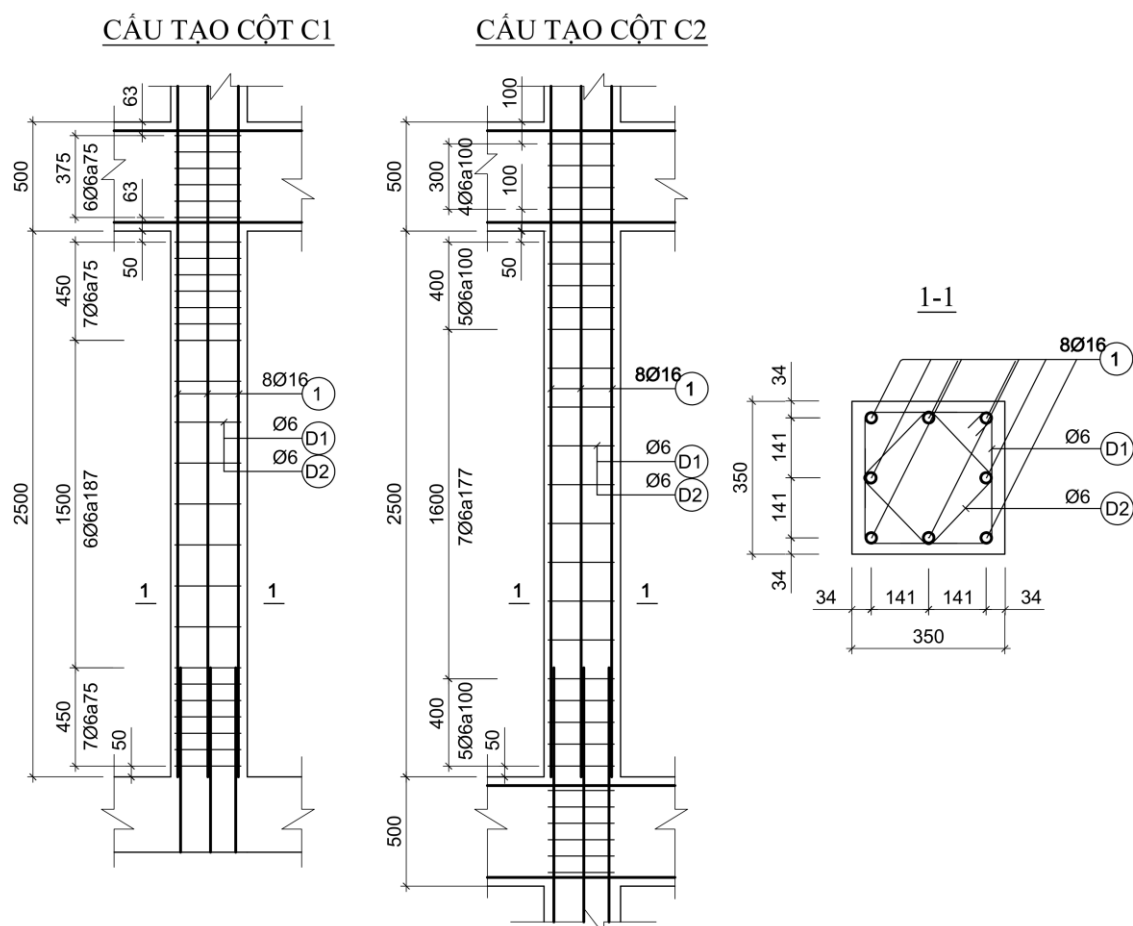
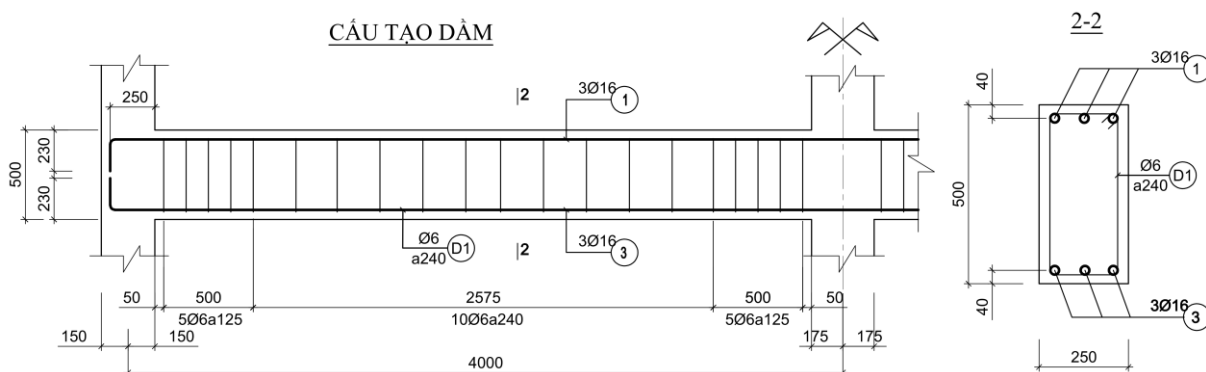
Trình tự thiết kế khung phẳng trục 5 (K5) như sau:

- Bước 1: Xác định tải trọng động đất tác dụng lên hệ khung;
- Bước 2: Xác định nội lực của dầm và cột từ mô hình tính toán;
- Bước 3: Tính toán và bố trí cốt thép dọc của các dầm theo nội lực lấy từ mô hình;

- Bước 4: Tính toán lực cắt trong các dầm theo công thức (4) và tính toán cốt đai dầm;
- Bước 5: Tính toán mômen các đầu cột theo công thức (5) và cùng với lực dọc lấy từ mô hình tính toán và bố trí cốt thép dọc cho cột;
- Bước 6: Tính toán lực cắt trong các cột theo công thức (6) và kiểm tra khả năng chịu cắt của cột;
- Bước 7: Kiểm tra các điều kiện cấu tạo.

Kết quả tính toán thiết kế:

Tên cấu kiện	Nội lực phân tích từ sơ đồ		Cấp độ dẻo DCM	
	Mômen (kN.m)	Lực cắt (kN)	Mômen (kN.m)	Lực cắt (kN)
B1	72.57	39.49	72.57	50.31
C1	79.17	54.54	131.1	98.17



### Nhận xét:

- Trình tự tính toán thiết kế khung với cấp độ dẻo DCM không quá phức tạp, tuy nhiên có sự liên quan khá chặt chẽ về sự làm việc chịu uốn và chịu cắt của dầm và cột;

- Cốt thép dọc trong dầm và cột không nên bố trí quá thừa so với tính toán vì lực cắt trong dầm và mômen trong cột phụ thuộc vào lượng cốt thép dọc được bố trí tại các đầu mút dầm và lực cắt tính toán trong cột phụ thuộc vào lượng cốt thép dọc trong cột;

- Cốt thép dọc trong cột sẽ tăng lên so với cách tính toán lấy thẳng mômen từ mô hình phân tích (đây là cách làm khi tính với cấp độ dẻo DCL);

- Cốt thép đai tại các vùng tới hạn của dầm và cột là khá lớn, tuy nhiên đây là yếu tố quan trọng để dầm và cột không bị phá hoại khi hình thành khớp dẻo tại các đầu mút dầm.

### 4. Kết luận

- Kết cấu khung bê tông cốt thép chịu động đất ở Việt Nam thường được thiết kế với cấp độ dẻo thấp và trung bình. Trình tự tính toán khung BTCT chịu động đất với cấp độ dẻo thấp và cấp độ dẻo trung bình có sự khác biệt lớn;

- Khung bê tông cốt thép độ dẻo thấp được phân tích theo sơ đồ đàn hồi còn khung độ dẻo trung bình được phân tích theo sơ đồ khớp dẻo với các khớp dẻo hình thành tại các đầu mút dầm và chân cột;

- Tải trọng động đất tác dụng vào khung độ dẻo thấp lớn hơn nhiều so với khung có độ dẻo trung bình, vì vậy khung độ dẻo trung bình có thể tổn thất cốt thép để cấu tạo cốt đai tại vùng tới hạn của dầm và cột nhưng cốt thép dọc trong dầm và cột sẽ nhỏ hơn so với khung độ dẻo thấp;

- Trong khung có độ dẻo trung bình, lượng cốt thép dọc trong dầm và cột cần được bố trí phù hợp với kết quả tính toán, vì việc bố trí quá thừa sẽ làm tăng giá trị nội lực tính toán trong chính các cấu kiện này cũng như các cấu kiện lân cận.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 9386:2012(2012), Thiết kế công trình chịu động đất, Nhà Xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
2. EN 1998-1:2004 (2004), Design of structures for earthquake resistance.
3. Vu Ngoc Son, Nguyen Ngoc Ba (2018), Parametric study on seismic design to Eurocode 8 of RC frame structures with medium and low ductility classes, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Viện Khoa học công nghệ xây dựng*.
4. Mahmoud Helal (2017), Ductility Considerations in Seismic Design of Reinforced Concrete Building, *Dissertation Master, the School of Technology and Management of the Polytechnic Institute of Leiria*.
5. Huệ P. V. (2019), Ảnh hưởng của tường chèn tới việc kiểm soát cơ cấu phá hoại khung bê tông cốt thép chịu động đất, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 13(4V), 58-72.
6. Nguyễn Lê Ninh, Võ Mạnh Tùng (2015), Một số vấn đề về việc thiết kế nút khung bê tông cốt thép toàn khối chịu động đất, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng số 25, tháng 9, Trường Đại học Xây dựng*.
7. B. Acun, A. Athanasopoulou, A. Pinto E. Carvalho, M. Fardis (2012), Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples, *European Commission Joint Research Centre*.
8. Nguyễn Lê Ninh, Võ Mạnh Tùng (2016), Ảnh hưởng của khe nứt đến phản ứng của khung bê tông cốt thép chịu động đất, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng số 2, Viện Khoa học công nghệ xây dựng*.
9. Ahmed M., Dad Khan M. K., Wamiq M (2008), Effect of concrete cracking on the lateral response of RCC buildings, *Asian Journal of civil engineering (Building and housing) vol. 9, No. 1*.
10. Elwood KJ, Eberhard MO (2006), Effective stiffness of reinforced concrete columns, *PEER report 1-5, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley*.
11. EN1992-1-1:2004 (2004), Design of concrete structures, *European Standard*.

Ngày nhận bài: 20/9/2021.

Ngày nhận bài sửa: 25/10/2021.

Ngày chấp nhận đăng: 11/11/2021.