

Đánh giá khả năng chịu động đất của khung bê tông cốt thép theo phương pháp hệ số chuyển vị

Assessment of earthquake resistance of reinforced concrete frame by displacement coefficient method

Nguyễn Anh Dũng⁽¹⁾, Nguyễn Vĩnh Sáng⁽²⁾, Nguyễn Ngọc Thắng⁽³⁾

Tóm tắt

Bài báo này trình bày cơ sở lý thuyết và ví dụ áp dụng cho việc thiết kế kháng chấn khung bê tông cốt thép dựa theo tính năng (PBSD). Để thực hiện mục đích này, một khung bê tông cốt thép (BTCT) 8 tầng được thiết kế theo TCVN 9386:2012 và TCVN 2737:1995 đại diện cho các công trình BTCT đã và đang được thiết kế tại Việt Nam. Bước tiếp theo, khung BTCT này được đánh giá 'mức tính năng' theo phương pháp hệ số chuyển vị, đây là một phương pháp phân tích tính phi tuyến được giới thiệu trong phương pháp PBSD, để phân tích sự làm việc ngoài miền đàn hồi của khung BTCT khi chịu động đất. Đây sẽ là một công cụ hữu ích cho các kỹ sư khi thiết kế công trình BTCT chịu động đất theo phương pháp thiết kế dựa theo tính năng PBSD.

Từ khóa: Bê tông cốt thép, Kháng chấn theo tính năng, Phương pháp hệ số chuyển vị

Abstract

This paper presents the theoretical basis and applied examples for the performance-based seismic design (PBSD) of reinforced concrete frames. For this purpose, an 8-story reinforced concrete frame designed according to TCVN 9386:2012 and TCVN 2737:1995 represents reinforced concrete buildings that are built in Vietnam. In the next step, this reinforced concrete framework is evaluated for 'performance level' by the Displacement coefficient method (DCM), this method is a nonlinear static analysis method introduced in the PBSD method. This is a useful tool for engineers to design buildings based on the PBSD.

Key words: reinforced concrete, Performance-based seismic design, Displacement coefficient method

1. Giới thiệu

Thực tế nguy cơ động đất tại Việt Nam là rất rõ ràng [1, 2], các văn bản lịch sử ghi chép lại, từ năm 114 đến 2003 đã có 1645 trận động đất từ 3 độ Richter trở lên xảy ra trên lãnh thổ nước ta trong lịch sử. Trong thế kỷ 20 từ năm 1903 đến 1961 xảy ra 46 trận động đất từ cấp V trở lên (theo thang đo MSK-64) trên lãnh thổ Việt Nam. Tuy nhiên trong thực tế rất nhiều công trình trước đây đã được thiết kế mà không có xét tới động đất. Thời gian gần đây khi có tiêu chuẩn kháng chấn ra đời [1] thì việc thiết kế kháng chấn cho các công trình dừng lại ở mức xác định tải trọng có xét tới biến dạng dẻo thông qua hệ số ứng xử q .

Thiết kế kết cấu kháng chấn dựa theo tính năng (PBSD) là phương pháp hiện đại xét sự làm việc ngoài miền đàn hồi khi chịu tác động của động đất đang được phát triển và ứng dụng ở các nước phát triển trên thế giới đứng đầu là Mỹ và Châu Âu. Mục đích của phương pháp này đó là thiết kế kết cấu đáp ứng trước một mục tiêu định trước hay còn gọi là "mục tiêu tính năng". Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng đã được nghiên cứu trên thế giới từ 1930. Khoảng giữa những năm 1990, Ủy ban quản lý thảm họa khẩn cấp liên bang Mỹ (FEMA) đã đưa ra các hướng dẫn đầu tiên và phát triển tới ngày nay. Phương pháp này sử dụng kỹ thuật phân tích phi tuyến để đánh giá ứng xử kết cấu và đảm bảo "mục tiêu tính năng" tương ứng với từng mức kháng chấn dự kiến trước. Xu hướng áp dụng phương pháp thiết kế kháng chấn hiện đại này cho công trình nói chung và công trình đặc biệt nói riêng ngày càng trở nên phổ biến và rõ ràng. Ngoài ra, phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng tại Việt Nam việc nghiên cứu cơ sở lý thuyết, ứng dụng và các thí nghiệm kiểm chứng còn rất hạn chế.

Trong các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành, việc lựa chọn hệ số điều chỉnh ứng xử tổng thể q [1] hoặc R [3, 4, 5] được xem là điểm mấu chốt trong tính toán thiết kế kháng chấn. Mục đích chính của các hệ số này là để đơn giản hóa quy trình phân tích, sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi dự đoán một cách gần đúng ứng xử đàn hồi dẻo của kết cấu khi chịu tác dụng của động đất. Hệ số q (hay R) là giá trị định lượng ở mức độ tổng thể, không thể dùng để đánh giá tính năng của kết cấu ở mức độ cấu kiện. Hạn chế của việc sử dụng hệ số q , R là rất rõ, ví dụ giá trị của các hệ số này không liên quan đến chu kỳ dao động của công trình cũng như đặc trưng của chuyển động đất nền, ngoài ra các hệ số mang tính tổng quát này không thể thể hiện được diễn biến của quá trình phân bố "phi tuyến" giữa các cấu kiện khác nhau, dẫn đến sự phân bố lại nội lực do tác động của động đất gây ra giữa các cấu kiện cũng như các thay đổi xảy ra trong quá trình xảy ra động đất. Thêm vào đó, cơ chế phá hoại của kết cấu, sự phân bố hư hỏng trong các kết cấu khác nhau là khác nhau ngay cả khi chúng được thiết kế với cùng giá trị của hệ số R (hay q).

Có nhiều phương pháp để phân tích phi tuyến tính nhằm tìm được mục tiêu tính năng này như: Phương pháp N2 được trình bày trong TCVN 9386 [1] và EC8 [5], phương pháp phổ khả năng - CSM (Capacity Spectrum Method) được trình bày trong ATC - 40 [6] và FEMA-356 [7], phương pháp hệ số chuyển vị - DCM (Displacement Coefficient Method) được trình bày trong FEMA-356 [7]. Trong nghiên cứu này, phương pháp hệ số chuyển vị - DCM được sử dụng để xác định điểm tính năng cho khung bê tông cốt thép được thiết kế theo Tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành, qua đó đánh giá mức tính năng của kết cấu cho khung đang nghiên cứu.

(1) PGS, TS, Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi, Email: <dung.kcct@tlu.edu.vn>

(2) Giảng viên, ThS, Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi

(3) PGS, TS, Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

2. Phương pháp hệ số chuyển vị - DCM (Displacement Coefficient Method)

2.1. Lý thuyết cơ bản của phương pháp DCM

Phương pháp hệ số chuyển vị đưa ra quy trình tính toán trực tiếp để xác định yêu cầu chuyển vị (displacement demand), hay còn gọi là chuyển vị mục tiêu (target displacement). Phương pháp này không yêu cầu phải chuyển đổi đường cong khả năng về định dạng ADRS (Acceleration Displacement Response Spectrum) như phương pháp CSM. Quy trình tính toán theo phương pháp này bao gồm các bước sau:

Bước 1: Giả thiết chuyển vị mục tiêu δ_t . Chuyển vị δ_t ban đầu thuộc đường cong khả năng nhằm xác định cân bằng diện tích bên trên và bên dưới đường cong khả năng và đường song tuyến tính hóa như trên Hình 1.

Bước 2: Thiết lập quan hệ tuyến tính hóa như Hình 1. Trên đường song tuyến tính, độ cứng ngang hiệu quả ban đầu là K_e và độ cứng sau chảy dẻo thể hiện qua độ dốc α .

Bước 3: Xác định chu kỳ hữu hiệu T_e theo công thức sau:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1)$$

Trong đó: T_i là chu kỳ cơ bản làm việc đàn hồi (s) theo phương đang xét trong phân tích động lực học tuyến tính. K_i , K_e tương ứng là độ cứng đàn hồi và độ cứng ngang hữu hiệu của công trình theo phương đang xét.

Bước 4: Tính toán chuyển vị mục tiêu theo công thức dưới đây:

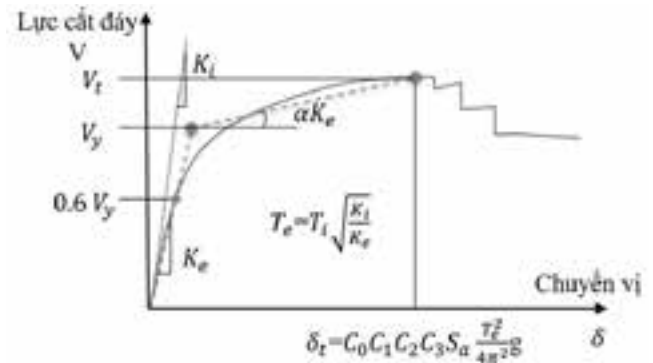
$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (2)$$

Trong đó: C_0 , C_2 tương ứng là hệ số điều chỉnh xét đến việc chuyển đổi từ hệ nhiều bậc tự do (MDOF) sang hệ một bậc tự do (SDOF) tương đương và hệ số xét đến sự giảm độ cứng và suy thoái cường độ. C_1 là hệ số xét đến chuyển vị phi tuyến tính. S_a là giá trị của phổ phản ứng gia tốc đàn hồi ứng với chu kỳ T_e . C_3 là hệ số xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng P- Δ .

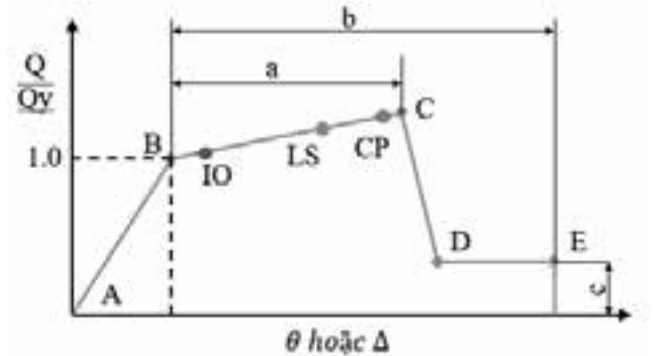
Bước 5: So sánh chuyển vị mục tiêu tính được trong Bước 4 với chuyển vị giả thiết trong Bước 1, nếu hai giá trị sai lệch không nhiều thì đây chính là giá trị cần tìm, còn không tiếp tục quay lại Bước 1.

2.2. Quan hệ lực – chuyển vị trong phân tích phi tuyến kết cấu bê tông

FEMA 356 [7] kiến nghị sử dụng quan hệ lực – biến dạng của cấu kiện bê tông cốt thép như thể hiện trong hình 2. Trong hình vẽ này, đoạn AB thể hiện cấu kiện làm việc ở giai đoạn đàn hồi. Đoạn BC, độ cứng giảm từ điểm B đến điểm C thể hiện sự làm việc đàn dẻo. Đoạn CD thể hiện sự suy giảm cường độ một cách đột ngột, rất khó để mô tả ứng xử ở đoạn CD này. Đoạn DE thể hiện biến dạng tăng lên trong khi



Hình 1: Sơ đồ tuyến tính hóa theo phương pháp hệ số chuyển vị



Hình 2: Quan hệ lực – biến dạng đối với các cấu kiện bê tông cốt thép

độ cứng không đổi đến khi kết cấu sụp đổ tại điểm E. Độ dốc của đoạn BC thường lấy từ 0 đến 10% từ điểm bắt đầu chảy dẻo tại B đến C. Theo [9], tiêu chí chấp nhận ứng xử dẻo xảy ra trong đoạn BC này với ba trường hợp tiếp tục sử dụng (IO), an toàn tính mạng (LS) và ngăn ngừa sụp đổ (CP). Trong khi, đoạn CD mô tả ứng xử giai đoạn phá hoại ban đầu của cấu kiện. Các giá trị a, b, c trong hình cũng được quy định cụ thể đối với từng loại cấu kiện dầm, cột hoặc vách. Trong nghiên cứu này, các mô hình phân tích phi tuyến của kết cấu bê tông cốt thép sẽ được mô phỏng thông qua phần mềm Sap 2000 [8].

2.3. Tiêu chí chấp nhận tính năng theo FEMA 356 [7]

Tính năng giới hạn chấp nhận được đánh giá qua hai tiêu chí: (1) giới hạn kết cấu tổng thể và (2) giới hạn kết cấu cho các cấu kiện.

(1) Tiêu chí đánh giá tổng thể kết cấu: Bao gồm chuyển vị lệch tầng tức thời lớn nhất, chuyển vị lệch tầng dư và sự suy giảm độ cứng tầng.

a) Chuyển vị lệch tầng

Chuyển vị lệch tầng tức thời lớn nhất (Peak transient drift): đối với mỗi tầng, giá trị trung bình của chuyển vị lệch tầng lớn nhất từ các kết quả phân tích theo các giản đồ gia tốc đang xét không được vượt quá 0.03, đồng thời trị lớn nhất do bất kỳ giản đồ nào gây ra cũng không được vượt quá 0.045.

Bảng 1. Tiêu chí chấp nhận tổng thể

	Mức tính năng			
Chuyển vị lệch tầng giới hạn	Tiếp tục sử dụng - IO	Kiểm soát phá hoại - DC	An toàn tính mạng - LS	Ngăn ngừa sụp đổ - CP
Chuyển vị lệch tầng lớn nhất	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 \frac{V_t}{P_t}$
Chuyển vị dẻo lệch tầng lớn nhất	0.005	0.005-0.015	Không xét	Không xét

Chuyển vị lệch tầng dư (Residual drift): đối với mỗi tầng, giá trị trung bình của chuyển vị lệch tầng dư từ kết quả phân tích tích theo các giản đồ gia tốc đang xét không được vượt quá 0.01, đồng thời giá trị lớn nhất không được vượt quá 0.015. Yêu cầu về giới hạn chuyển vị lệch tầng thể hiện ở Bảng 1.

b) Sự suy giảm độ cứng tầng

Trong mọi phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian, biến dạng của mỗi tầng không được gây ra sự suy giảm độ cứng tầng vượt quá 20% so với độ cứng ban đầu.

(2) Tiêu chí đánh giá cấu kiện kết cấu bê tông cốt thép:

Ghi chú: Khi một trong các điều kiện trên xuất hiện đồng thời thì lấy giá trị nhỏ nhất trong Bảng; Ký hiệu C, NC trong Bảng có nghĩa là thỏa mãn hoặc không thỏa mãn yêu cầu về cốt đai của tiêu chuẩn. Nếu khoảng cách cốt đai trong vùng khớp dẻo $\leq d/3$ hoặc khả năng chịu cắt của cốt đai lớn hơn hoặc bằng $3/4$ khả năng chịu cắt thiết kế của tiết diện thì được xem là thỏa mãn tiêu chuẩn, ngược lại được xem là không thỏa mãn. Cho phép tiến hành nội suy tuyến tính. và lần lượt là hàm lượng cốt thép chịu kéo và chịu nén; là hàm lượng cốt thép ở trạng thái cân bằng; và d lần lượt là chiều rộng và chiều cao của tiết diện; V: là lực cắt thiết kế; là cường độ chịu nén của mẫu trụ tròn ở tuổi 28 ngày.

Giới hạn cấu kiện như các phần tử dầm, cột, sàn, vách cùng các liên kết các loại được đánh giá dựa trên khả năng xoay dẻo của khớp dẻo (plastic hinge rotation capacities) được thể hiện trong [7]. Trong nghiên cứu này, tham số và bảng đánh giá khớp xoay dẻo xảy ra trên dầm bê tông cốt thép được trình bày ở Bảng 2, các giá trị cho các cấu kiện khác như cột, vách người đọc xem thêm trong [7].

3. Phân tích phi tuyến khung bê tông cốt thép theo phương pháp DCM

3.1. Mô hình khung bê tông cốt thép

Trong phần này, xét một kết cấu khung BTCT (cột khõe

Bảng 2. Tiêu chí đánh giá cấu kiện dầm bê tông cốt thép

Điều kiện	Tham số mô hình hóa			Tiêu chí chấp nhận				
	Góc xoay dẻo (rad)		Tỷ số cường độ dư	Góc xoay dẻo (rad)				
	a	b	c	IO	LS	CP		
1. Dầm phá hoại do uốn								
$\frac{\rho - \rho_{sd}}{\rho_{sd}}$	Cốt đai	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$						
≤ 0.0	C	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.01	0.02	0.025
≤ 0.0	C	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02
≥ 0.5	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02
≥ 0.5	C	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005

– dầm yếu) có 8 tầng có nhịp có nhịp đều 6m, chiều cao mỗi tầng là 3.6m. Tải trọng tác dụng lên khung có tính tải (cầu tạo kiến trúc, tường xây và trọng lượng bản thân kết cấu) và hoạt tải sử dụng được xác định theo TCVN 2737:1995 [9] với các giá trị như sau: Tĩnh tải cầu tạo kiến trúc 30kN/m, tĩnh tải tường xây trên tất cả các dầm là 15 kN/m, trọng lượng bản thân kết cấu mô hình SAP2000 tự động tính toán và hoạt tải sử dụng 15kN/m. Vật liệu bê tông sử dụng cho kết cấu có cấp bền B22.5 (M300), cốt thép sử dụng loại CB400 theo TCVN 5574 – 2018 [10].

Địa điểm xây dựng công trình tại Quận Hoàng Mai – Thành phố Hà Nội có gia tốc đỉnh nền $a_{gR}=0.1001g_R$, đất nền xem xét là loại D có phổ phản ứng đàn hồi và thiết kế theo TCVN 9386-2012 [1], hệ số cản nhớt kết cấu là 0.05. Kích thước cấu kiện cho khung gồm cột và dầm được thiết kế theo các Tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành và kiểm tra các yêu cầu về thiết kế kháng chấn theo TCVN 9386-2012 [1]. Cốt thép cho cột và dầm của khung được bố trí theo Bảng 3.

Phân tích tĩnh lực ngang tương đương theo TCVN 9386 – 2012 [1] để phân phối tải ngang lên các tầng. Thực hiện đẩy dần (pushover) tìm đường cong khả năng.

Tổng lực cắt đáy:

Bảng 3. Bố trí cốt thép dầm – cột khung 8 tầng theo TCVN 5574 – 2018

Cấu kiện	Tiết diện		Bố trí cốt thép			Thép đai
	b (mm)	h (mm)	A_{st}	Lớp dưới A_s	Lớp trên A_s	
Dầm tầng 1 - 5	300	650		3 ϕ 20	5 ϕ 20	ϕ 8a100
Dầm tầng 6 - 7	300	650		3 ϕ 18	5 ϕ 18	ϕ 8a100
Dầm tầng 8	300	600		3 ϕ 18	3 ϕ 20	ϕ 8a100
Cột giữa tầng 1-3	500	500	16 ϕ 18			ϕ 8a150
Cột giữa tầng 3-6	450	450	12 ϕ 18			ϕ 8a150
Cột giữa tầng 6-8	400	400	8 ϕ 18			ϕ 8a150
Cột biên tầng 1-3	450	450	12 ϕ 18			ϕ 8a150
Cột biên tầng 3-6	450	450	8 ϕ 18			ϕ 8a150
Cột biên tầng 6-8	400	400	8 ϕ 16			ϕ 8a150

$$V = S_a(T)W\lambda \quad (3)$$

$$F_x = V \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (4)$$

3.2. Kết quả phân tích và đánh giá tính năng

Thực hiện đẩy dần tĩnh phi tuyến với toàn bộ tải trọng tĩnh tải và hoạt tải xét đến hệ số chiết giảm là 0.24 theo TCVN 9386-2012 [1] và tải trọng ngang theo phân tích tĩnh lực ngang tương đương. Mô hình khớp dẻo mặc định trong SAP2000 theo FEMA 356 [7] cho phần tử dầm (M3) và cột (PMM) như đã được trình bày ở phần trên. Mô hình xét đến ảnh hưởng hiệu ứng P-Δ.

Các bước tính toán trong SAP2000 [8] cơ bản như sau:

Bước 1: Trong SAP2000 [8] gán các thông số khớp dẻo theo FEMA 356 [7] cho phần tử cột xét cả lực dọc và mô men theo hai phương P – M2 – M3 (PMM) và phần tử dầm xét mô men chịu uốn trong mặt phẳng làm việc M3 (M).

Bước 2: Xác định vị trí khớp dẻo cho tất cả phần tử dầm, cột của khung BTCT.

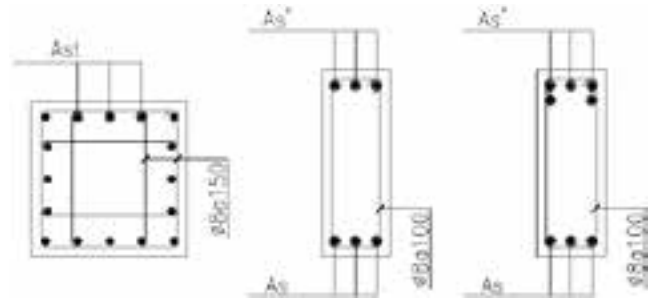
Bước 3: Khai báo tải trọng tĩnh phi tuyến đẩy dần. Thông thường gian đoạn ban đầu đẩy dần của tải trọng theo phương trọng lực (tĩnh tải và hoạt tải có xét đến hệ số chiết giảm), tiếp theo đẩy dần xét đến tải ngang do động đất gây ra. Đồng thời khai báo loại phân tích là kiểm soát lực hoặc chuyển vị.

Bước 4: Chạy mô hình tĩnh phi tuyến đẩy dần

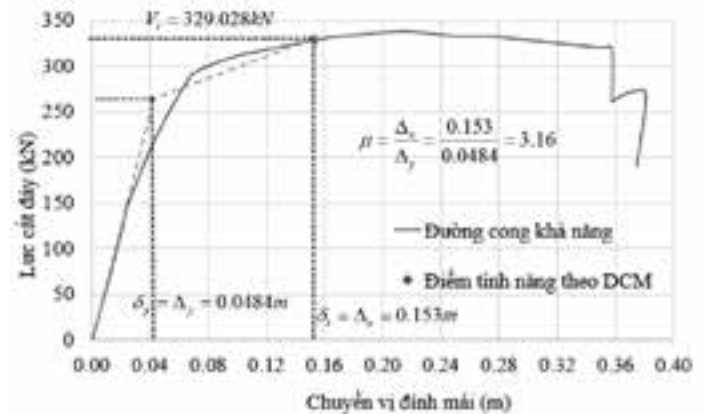
Bước 5: Xem kết quả gồm đường cong đẩy dần của chuyển vị đỉnh mái và lực cắt đáy.

Bước 6: Xem hình dạng chuyển vị của các bản lề xoay dẻo ở từng bước đẩy dần, giá trị của điểm tính năng theo FEMA 356 [7].

Bước 7: Xuất giá trị chuyển vị ở điểm tính năng, đánh giá mức tính năng công trình và các cấu kiện của công trình đang xét. Thiết kế cốt thép cho các cấu kiện theo nội lực tại điểm tính năng.

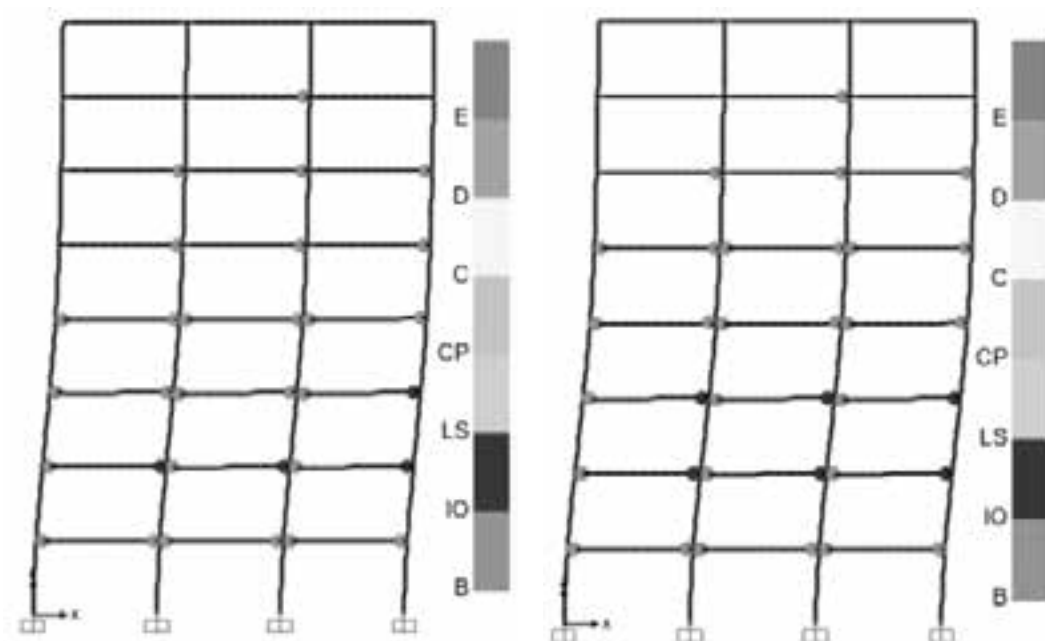


Hình 3: Bố trí cốt thép dầm – cột



Hình 4. Đường cong khả năng từ đẩy dần tĩnh phi tuyến và điểm tính năng theo phương pháp DCM được tính từ SAP2000

Đường cong khả năng của phương pháp đẩy dần và điểm tính năng theo phương pháp DCM được tính toán trực tiếp từ SAP2000 thể hiện ở Hình 4. Điểm tính năng tương ứng với bước 24 của đẩy dần phi tuyến. Kết quả dạng chuyển vị và đánh giá cấu kiện cột và dầm tại vị trí các khớp xoay dẻo được thể hiện ở Hình 5 tại bước đẩy dần thứ 13 và 14. Giữa



Hình 5. Dạng chuyển vị bước 13 và 14 của điểm tính năng

bước thứ 13 và 14, chuyển vị đỉnh có giá trị 0.153m tại điểm tính năng đang xét.

Điểm tính năng theo phương pháp hệ số chuyển vị của FEMA 356 xác định được: $V = 329.028\text{kN}$ và $\Delta_{\text{roof}} = 0.153\text{m}$.

$$\frac{\Delta_{\text{roof}}}{H} = \frac{0.153}{28.8} = 0.0053 < 0.01$$

Dựa vào Bảng 1 ta đánh giá tổng thể kết cấu đạt “Kiểm soát phá hoại DC”

Trong đó: $H = 28.8\text{m}$ là chiều cao đỉnh khung tính từ điểm đặt tác động của lực động đất gây ra.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, một kết cấu khung bê tông cốt thép được đánh giá tính năng theo phương pháp thiết kế

PBSD dựa trên phân tích tĩnh phi tuyến và phương pháp Hệ số chuyển vị - DCM để xác định điểm tính năng. Mô hình số được thực hiện để đánh giá kết cấu theo tiêu chí tổng thể kết cấu và chi tiết các tiết diện nguy hiểm của cấu kiện kết cấu bê tông cốt thép.

Phương pháp thiết kế dựa theo tính năng phân tích kết cấu làm việc ngoài miền đàn hồi, từ đó đánh giá trạng thái kết cấu. Do đó, kỹ thuật phân tích nói chung phức tạp, khó khăn đối với kỹ sư thiết kế. Bài báo đã hệ thống lý thuyết và trình bày phương pháp áp dụng cụ thể cho việc áp dụng phương pháp này vào thực hành thiết kế, đây là một công cụ hữu ích giúp mở rộng cho việc đưa phương pháp thiết kế theo tính năng và giúp nâng cao độ tin cậy trong thiết kế kháng chấn công trình nói chung./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 9386:2012, "Thiết kế công trình chịu động đất," Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng, 2012.
2. Nguyễn Lê Ninh, "Động đất và thiết kế công trình chịu động đất," Nhà xuất bản Xây dựng, 2007.
3. UCB-97, "Uniform Building Code," USA, 1997.
4. ASCE 41, "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings," American Society of Civil Engineer, 2006.
5. Eurocode 8, "Design of structures for earthquake resistance," The European Union, 1998.
6. ATC-40, "Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings," in Applied Technology Council, Redwood City (CA), 1996.
7. FEMA-356, "Pre-standard and commentary for seismic rehabilitation of buildings," in Federal Emergency Management Agency, Washington (DC), 2000.
8. CSI. SAP2000 V-16, "Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual," Computers and Structures Inc, Berkeley (CA, USA), 2016.
9. TCVN 2737 - 1995, "Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế," 1995.
10. TCVN 5574:2018, "Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế," in Bộ Khoa học và Công nghệ, 2018.

Phân tích nguyên nhân sự cố gãy, đổ cột điện bê tông ly tâm...

(tiếp theo trang 42)

thiết kế kết cấu bê tông cốt thép. Tiêu chuẩn thử tải chỉ phục vụ bước nghiệm thu sản phẩm, đưa vào lắp dựng đại trà, tuyệt nhiên không được dùng để thay thế công tác thiết kế kết cấu.

- Hiệu ứng gió giật trên cấp 12 trong các cơn bão, thời gian sử dụng cột dài hơn giả định 15 năm khi thiết kế, sơ đồ phân tích P-delta... cần quan tâm trong thiết kế công trình đường dây tải điện trên không để tăng độ an toàn, kiểm soát chất lượng kết cấu./.

Tài liệu tham khảo

1. QCVN 02:2009/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng. Bộ Xây dựng, 2009.
2. TCVN 2737:1995, Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ KH&CN, 1995.
3. Quy định kỹ thuật điện nông thôn QĐKT.ĐNT-2006. Bộ Công nghiệp, 2006.
4. Tập đoàn Điện lực Việt Nam, Quy định về công tác Thiết kế dự án lưới điện phân phối cấp điện áp đến 35kV. Quyết định số 1299/QĐ-EVN, 03/11/2017.
5. TCVN 5574:2012, Kết cấu bê tông và BTCT- Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ KH&CN, 2012.
6. TCVN 5574:2018, Kết cấu bê tông và BTCT- Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ KH&CN, 2018.
7. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE C2: National Electrical Safety Code, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street, New York, NY 10017-2394, USA. 2nd Printing Corrected Edition, 7 September 1999.
8. Viện KHCN Xây dựng, Kết quả khảo sát thiệt hại của một số công trình xây dựng sau cơn bão số 1 năm 2016, Báo cáo nhanh của Viện KHCN Xây dựng - Bộ Xây dựng, Tháng 8/2016.
9. Phạm Minh Hà và nhiều người khác, Nghiên cứu, đánh giá nguyên nhân hư hỏng của các cột điện bê tông cốt thép ly tâm do gió bão và đề xuất giải pháp khắc phục, Đề tài NCKH cấp Bộ Xây dựng, Mã số RD-19, 2019.
10. Kỳ Nam, Gắn 1.900 trụ điện gãy đổ trong bão 12, Người lao động Online, 2017. (<http://nld.com.vn/thoi-su/vi-sao-gan-1900-tru-dien-gay-do-trong-bao-12-20171117124453296.htm>).
11. TCVN 5846:1994, Cột điện bê tông cốt thép ly tâm - Kết cấu và kích thước. Bộ KH&CN.
12. TCVN 5847:1994, Cột điện bê tông cốt thép ly tâm - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử. Bộ KH&CN, 1994.
13. TCVN 5847:2016, Tiêu chuẩn quốc gia cột điện bê tông cốt thép ly tâm. Bộ KH&CN.
14. Sriram K., Prasad Y., Design of Electrical Transmission Lines. Vol1. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 90-99, 2017.