

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘNG ĐẤT ĐẾN KẾT CẤU KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ XÉT ĐẾN SỰ LÀM VIỆC CỦA TƯỜNG NGĂN BAO CHE

EFFECTS OF EARTHQUAKES ON STRUCTURE OF CONCRETE FRAMES CONSIDERING THE ENCLOSURE WALL'S INFLUENCE

Lê Chí Phát

Trường Cao đẳng Công nghệ - Đại học Đà Nẵng; chiphatxd@gmail.com

Tóm tắt - Động đất là một trong những thảm họa thiên nhiên khủng khiếp nhất đối với nhân loại mà cho đến nay khoa học kỹ thuật đương đại vẫn chưa dự báo chính xác thời điểm và địa điểm xảy ra. Hiện nay, động đất và tính toán công trình xây dựng chịu tải trọng động đất là chủ đề được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu. Tuy nhiên, khi tính toán động đất tác dụng lên kết cấu khung bê tông cốt thép thì hầu như chúng ta bỏ qua sự làm việc đồng thời của tường ngăn bao che. Trong nội dung bài báo này, tác giả nghiên cứu ứng xử của kết cấu khung bê tông cốt thép chịu tải trọng động đất trong trường hợp có xét và không có xét đến sự làm việc đồng thời của tường ngăn bao che, và xét trường hợp tường có đục lỗ. Kết quả của bài báo giúp cho việc đánh giá chính xác mức độ ảnh hưởng của động đất đến kết cấu khung bê tông cốt thép trong các công trình xây dựng.

Từ khóa - động đất; tường ngăn; phổ phản ứng; khung bê tông cốt thép; mô hình tính toán.

1. Đặt vấn đề

Động đất là một trong những thảm họa thiên nhiên khủng khiếp nhất đối với nhân loại mà cho đến nay khoa học kỹ thuật đương đại vẫn chưa dự báo chính xác thời điểm và địa điểm xảy ra. Hiện nay ở nước ta, công trình sử dụng kết cấu khung bê tông cốt thép (BTCT) chiếm đa số; tuy nhiên trong tính toán hiện nay, chỉ xem tường xây chèn trong khung là tải trọng, bỏ qua độ cứng [3, 6]. Điều này chưa phản ánh đúng ứng xử thật của công trình. Do vậy, nội dung bài báo đánh giá ảnh hưởng của động đất đến kết cấu khung bê tông cốt thép có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che là rất cần thiết.

Khung có tường xây chèn do Polyakov đặt nền tảng nghiên cứu từ năm 1960 [7] và tiếp tục được nghiên cứu, hoàn thiện cho đến ngày nay. Mỗi nghiên cứu đều có một hướng tiếp cận và quan điểm giải quyết riêng. Chẳng hạn, quan niệm thay thế khối xây bằng mô hình các lò xo [8, 12, 16]; mô hình thanh chống chịu nén [7, 8, 11, 12, 18]; mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) [1, 9, 10, 13]; ... Trong nội dung bài báo này, tác giả ứng dụng phương pháp PTHH để mô hình và xét ảnh hưởng của tường ngăn bao che trong kết cấu khung BTCT chịu tải trọng động đất trong phần mềm ETABS v9.2.0.

Động đất và tính toán công trình chịu tải trọng động đất là chủ đề được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu động đất được thể hiện trong các công trình nghiên cứu của một số tác giả trong và ngoài nước [2, 14, 15]. Bên cạnh đó, mỗi nước đều ban hành các tiêu chuẩn tính động đất riêng, xuất phát từ chiến lược phát triển kinh tế xã hội cũng như cơ sở vật chất kỹ thuật của nước mình.

Hiện nay, theo Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 9386:2012 được ban hành trên cơ sở chấp nhận Eurocode 8, tùy thuộc dạng kết cấu, cấp công trình xây dựng, vị trí phân vùng động đất phù hợp với đặc điểm và quy mô công trình cụ thể, chúng

Abstract - Earthquakes are one of the most devastating natural disasters ever faced by humans. Up to now, scientists have not accurately predicted location and time of an earthquake's occurrence. Currently, earthquakes and analyzing buildings subjected to earthquake loads are subjects of interest. However, the enclosure walls are almost removed when considering an earthquake load that affects the concrete frame structure. This paper investigates the behavior of concrete frame structures that are subjected to earthquake loads. The first case study includes the simultaneous operation of enclosure walls and the other case removes this factor. The author also considers the behavior of reinforced concrete frame structures when the enclosure walls are perforated. The experimental results may accurately assess the impact of earthquakes on the structure of concrete frames in buildings.

Key words - earthquakes; walls; spectral response; concrete frame; computational models.

ta có thể tính toán động đất bằng các phương pháp tĩnh lực ngang tương đương, phương pháp phân tích phổ phản ứng nhiều dạng dao động, phương pháp lịch sử thời gian, ... [4]. Trong nội dung bài báo, tác giả sử dụng phương pháp phổ phản ứng nhiều dạng dao động để tính toán động đất. Phương pháp này cho kết quả tính toán với độ chính xác cao vì có xét đến nhiều thành phần tham gia dao động với giả thiết rằng nội lực và chuyển vị do động đất gây ra được ước lượng bằng cách kết hợp các phản ứng của các dạng dao động chính riêng biệt.

Các bước tính toán công trình chịu tải trọng động đất bằng phương pháp phổ phản ứng theo TCVN 9386:2012.

*** Bước 1:** Xác định điều kiện áp dụng (có thể áp dụng cho tất cả các loại công trình).

*** Bước 2:** Xác định chu kỳ dao động riêng của công trình.

*** Bước 3:** Xác định số dạng dao động cần xét theo phương pháp phổ phản ứng nhiều dạng dao động. Các dạng dao động góp phần đáng kể vào phản ứng tổng thể của công trình phải được xét đến; nếu thỏa mãn một trong hai trường hợp sau:

- Tất cả các dạng dao động có trọng lượng hữu hiệu lớn hơn 5% của tổng trọng lượng của kết cấu;

- Tổng các trọng lượng hữu hiệu của các dạng dao động được xét đến chiếm ít nhất 90% tổng trọng lượng của kết cấu. Trọng lượng hữu hiệu ứng với dạng dao động thứ i được xác định như sau:

$$W_i = \frac{(\sum_{j=1}^n X_{i,j} W_j)^2}{\sum_{j=1}^n X_{i,j}^2 W_j} \quad (1)$$

Trong đó:

- n : Tổng số bậc tự do (số tầng);

- X_{ij} : Giá trị chuyển vị của công trình tại điểm đặt trọng lượng thứ j của dạng dao động thứ i ;

- W_j : Trọng lượng tập trung tại tầng thứ j của công trình.

* **Bước 4:** Xác định phổ phản ứng không thứ nguyên $\overline{S_d}(T_i)$ ứng với từng dạng dao động (i : dạng dao động riêng thứ i tương ứng).

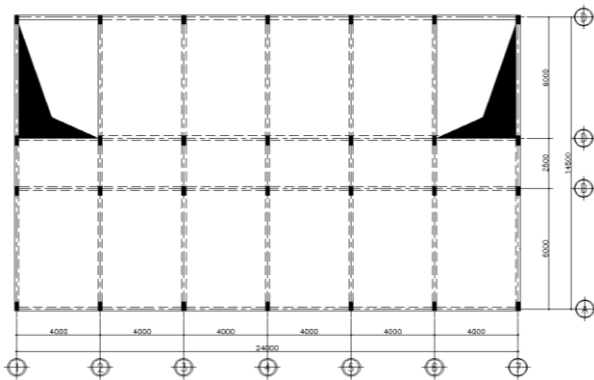
* **Bước 5:** Xác định lực cắt đáy tại chân công trình.

* **Bước 6:** Phân phối lực cắt đáy cho các tầng.

* **Bước 7:** Tổ hợp các dạng dao động. Có 2 phương pháp tổ hợp: Lấy căn bậc hai các tổng bình phương SRSS hoặc phương pháp cộng các giá trị tuyệt đối ABSSUM.

2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

Để đánh giá ảnh hưởng của động đất đến kết cấu công trình xây dựng chịu động đất có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che, tác giả khảo sát công trình chung cư xây dựng tại huyện Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam, giải pháp kết cấu bê tông cốt thép 4 tầng có mặt bằng kết cấu tầng điển hình như Hình 1:



Hình 1. Mặt bằng kết cấu tầng điển hình công trình khảo sát

2.1. Số liệu phân tích

a. Vật liệu

- Bê tông cốt thép, bê tông cấp bền B20 có: $W_{BT} = 25$ (kN/m^3); $E_{BT} = 27.10^3$ (MPa); $\nu_{BT} = 0,2$ và cốt thép dọc nhóm CII; thép đai nhóm CI với các đặc trưng: $E_s = 21.10^4$ (MPa); $\nu_s = 0,3$;

- Tường gạch rỗng dày 220 mm có $E_g = 10^4$ (MPa).

b. Chiều cao tầng

Chiều cao tầng điển hình 3,6 m; khoảng cách từ nền nhà đến đài móng 1,5 m.

b. Tiết diện

Sàn dày 10 cm; dầm chính các trục 1-7 (20x50) cm; dầm phụ các trục A-D (20x35) cm; cột (20x45) cm;

d. Tải trọng [3, 4, 5, 6]

- Tính tải do trọng lượng bản thân kết cấu: sàn, dầm, cột, ... khai báo để phần mềm ETABS v9.2.0 tự tính;

- Tính tải các lớp cấu tạo sàn (không tính phần bê tông): $g^t = 1,1$ (kN/m^2);

- Tính tải khối xây gạch rỗng dày 220 mm xây trên dầm: $g_{\text{tường}} = 12,24$ kN/m ;

- Hoạt tải sàn: sàn phòng ngủ $p^t = 2,4$ (kN/m^2); sàn hành lang, sảnh thang $p^t = 3,6$ (kN/m^2);

- Tải trọng động đất [3, 4];

+ Vị trí công trình và gia tốc đỉnh

Bảng 1. Vị trí xây dựng công trình và gia tốc đỉnh

Địa danh	Tọa độ		Gia tốc đỉnh a_{gR}
Huyện Bắc Trà My (Quảng Nam)	Kinh độ	Vĩ độ	0,0693g
	108,2228	15,34354	

+ Loại đất nền dưới chân công trình: đất loại B với các thông số như sau:

Bảng 2. Loại nền đất dưới đáy công trình

Loại	Mô tả	Các tham số		
		$V_s, 30$ (m/s)	N_{SPT} (nhát/30cm)	Cu (Pa)
B	Đất cát, cuội sỏi rất chặt hoặc đất sét rất cứng có bề dày ít nhất hàng chục mét, tính chất cơ học tăng dần theo độ sâu.	360-800	> 50	> 250

+ Xây dựng phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang cho đất nền loại B với gia tốc nền cực đại $a_{gR} = 0,0693.9,81 = 0,68$ m/s^2 . Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang $S_e(T)$ được xác định như sau [4]:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (2)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (3)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (4)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (5)$$

Trong đó:

- $S_e(T)$: Ký hiệu phổ phản ứng đàn hồi;

- T : Chu kỳ dao động của hệ tuyến tính một bậc tự do;

- a_g : Gia tốc nền thiết kế trên nền loại A ($a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR}$);

- η : Hệ số điều chỉnh độ cân với giá trị $\eta = 1$ và độ cân nhớt 5%;

- T_B : Giới hạn dưới của chu kỳ (đoạn nằm ngang của phổ phản ứng);

- T_C : Giới hạn trên của chu kỳ (đoạn nằm ngang của phổ phản ứng);

- T_D : Giá trị xác định điểm bắt đầu của phần phản ứng dịch chuyển không đổi trong phổ phản ứng;

- S : Hệ số nền;

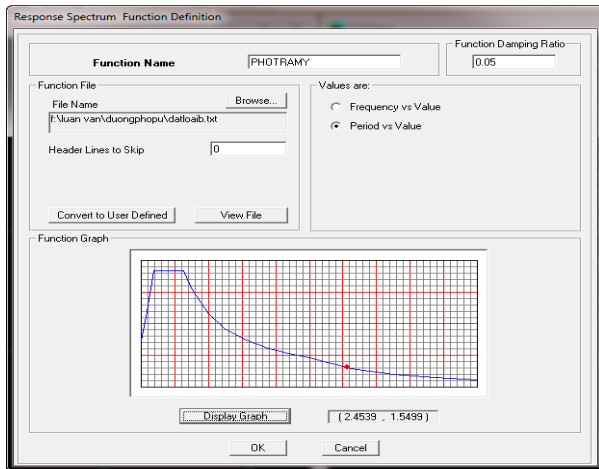
- T_B ; T_C ; T_D và hệ số nền S mô tả dạng phổ phản ứng đàn hồi phụ thuộc vào loại nền đất xác định theo [4].

Bảng 3. Phổ phản ứng đàn hồi

$0 \leq T \leq T_B$ ($0 \leq T \leq 0,15$)		$T_B \leq T \leq T_C$ ($0,15 \leq T \leq 0,5$)	
T	$S_e(T)$	T	$S_e(T)$
0	0,0832	0,2	0,2079
0,1	0,1663	0,4	0,2079
0,15	0,2079	0,5	0,2079
$T_C \leq T \leq T_D$ ($0,5 \leq T \leq 2$)		$T_D \leq T \leq 4s$ ($2 \leq T \leq 4$)	
T	$S_e(T)$	T	$S_e(T)$
0,6	0,1733	2,5	0,0333

0,8	0,1299	3	0,0231
1	0,1040	4	0,0130
1,5	0,0693		
2	0,0520		

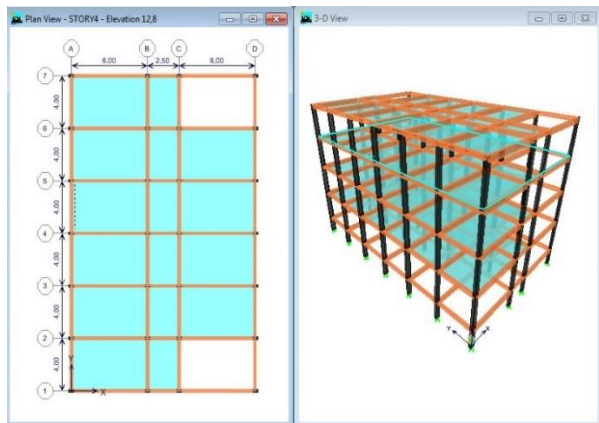
Tiến hành khai báo phổ phản ứng đàn hồi vào phần mềm ETABS v9.2.0 [13].



Hình 2. Kết quả khai báo đường phổ động đất trong phần mềm ETABS v9.2.0

2.2. Các trường hợp phân tích

2.2.1. Trường hợp 1: Mô hình công trình không xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che (chỉ gán tải trọng tường tác dụng lên dầm, bỏ qua độ cứng tường) [13]

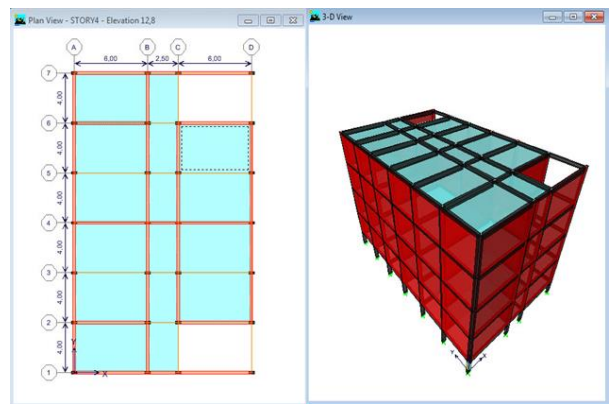


Hình 3. Mô hình công trình không xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che trong phần mềm ETABS v9.2.0

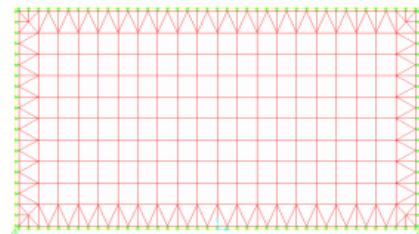
2.2.2. Trường hợp 2: Mô hình công trình có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che [10, 13]

Sử dụng mô hình theo phương pháp PTHH [1, 9, 10, 13] với các giả thiết:

- Vật liệu là đồng nhất, đẳng hướng;
- Biến dạng nhỏ;
- Lực ma sát xuất hiện tại vùng tiếp xúc tuân theo quy luật Coulomb;
- Xem khung là phần tử thanh (frame), tường là phần tử tấm (area có mô-đun đàn hồi E_g), bỏ qua ma sát giữa bề mặt tiếp xúc thì có thể thay thế các phần tử tấm tiếp giáp giữa khung và tường xây chèn bằng thanh liên kết tương đương chịu nén lý tưởng "gap element".

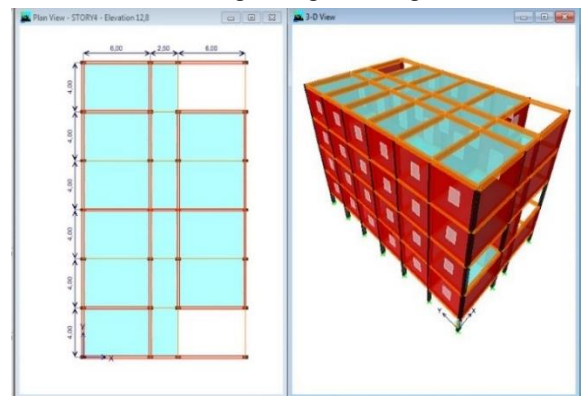


Hình 4. Mô hình công trình có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che trong phần mềm ETABS v9.2.0



Hình 5. Sơ đồ chia lưới phần tử tám (tường) và thanh liên kết tương đương chịu nén lý tưởng [10]

2.2.3. Trường hợp 3: Xét trường hợp tường ngăn có đục các ô cửa và một số tầng không có tường [10, 13]



Hình 6. Mô hình công trình trong đó tường có xét đến các lỗ cửa và một số tầng không có tường

Phân tích động đất tác dụng lên công trình với các trường hợp 1, 2 và 3 như trên. Tiến hành tổng hợp và đánh giá kết quả phân tích chuyển vị, nội lực đối với khung trục 2 (K2).

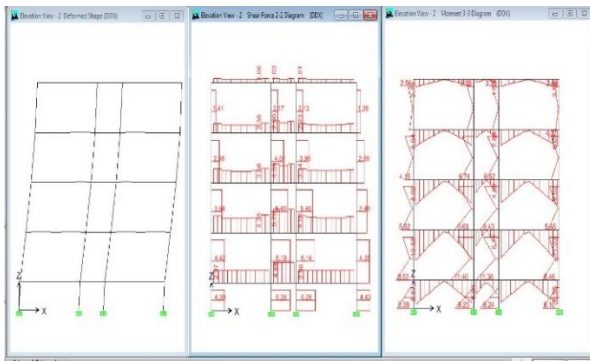
2.3. Kết quả các trường hợp phân tích

2.3.1. Kết quả chuyển vị, nội lực khung K2 trường hợp 1 (Hình 7)

* **Nhận xét:** khi mô hình khung BTCT chịu động đất không xét đến độ cứng của tường xây chèn thì hệ quả chuyển vị, nội lực của khung phụ thuộc vào độ cứng các phần tử dầm, cột trong khung BTCT. Các giá trị chuyển vị, nội lực phân bố đều theo chiều cao công trình.

- Chuyển vị khung tăng đều theo chiều cao và đạt giá trị lớn nhất tại đỉnh;

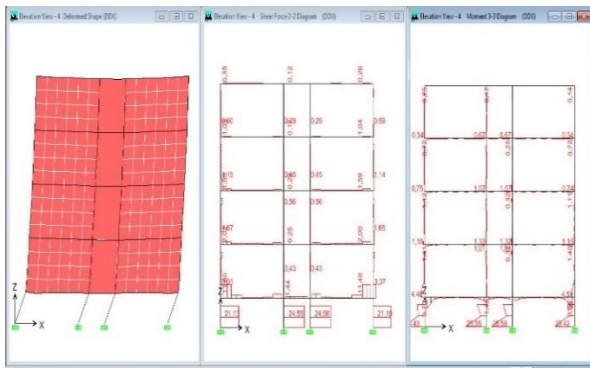
- Mô-men, lực cắt trong cột đạt giá trị lớn nhất tại mặt móng; mô-men dầm căng dưới tại gối dầm (ngược chiều so với tải trọng thẳng đứng).



a. Chuyển vị b. Lực cắt c. Mô-men

Hình 7. Kết quả chuyển vị, nội lực khung K2 khi phân tích động đất với trường hợp 1 (không mô hình tường)

2.3.2. Kết quả chuyển vị, nội lực khung K2 trường hợp 2



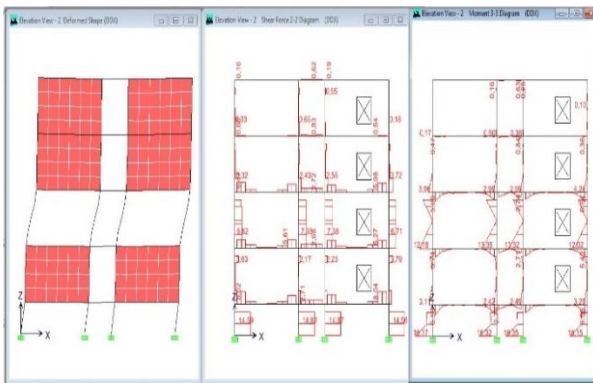
a. Chuyển vị b. Lực cắt c. Mô-men

Hình 8. Kết quả chuyển vị, nội lực khung K2 khi phân tích động đất với trường hợp 2 (mô hình có xét đến sự làm việc của tường xây chèn)

* **Nhận xét:** khi mô hình khung BTCT chịu động đất có xét đến độ cứng của tường xây chèn thì có sự phân bố lại độ cứng trong khung BTCT đáng kể. Khi đó:

- Chuyển vị ngang của khung giảm đáng kể;
- Mô-men, lực cắt trong dầm và cột giảm đi đáng kể và chủ yếu tập trung tại chân công trình.

2.3.3. Kết quả chuyển vị, nội lực trường hợp 3



a. Chuyển vị b. Lực cắt c. Mô-men

Hình 9. Kết quả chuyển vị, nội lực khung K2 khi phân tích động đất với trường hợp 3 (mô hình tường có lỗ cửa)

* **Nhận xét:** khi mô hình khung BTCT chịu động đất xét đến độ cứng của tường xây chèn trường hợp tường có đục lỗ và một số tầng không phân bố tường thì chuyển vị, nội lực

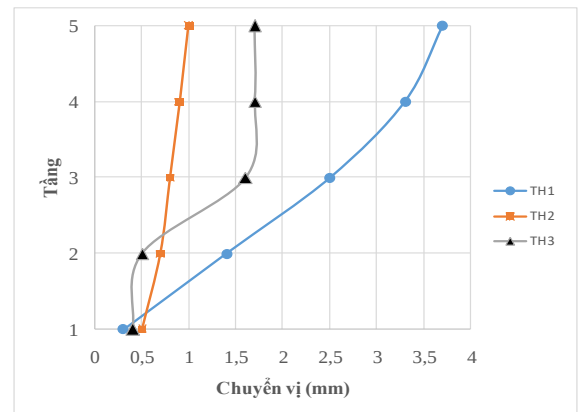
(mô-men, lực cắt) trong khung chủ yếu tập trung tại các tầng không có tường. Ngoài ra, tại vị trí các tường có đục lỗ thì nội lực cũng tăng so với vị trí các tường xây đặc không đục lỗ.

2.4. Tổng hợp kết quả tính toán

2.4.1. Kết quả chuyển vị khung trực 2

Bảng 4. So sánh chuyển vị khung K2 (mm) khi phân tích động đất với các trường hợp 1, 2, 3

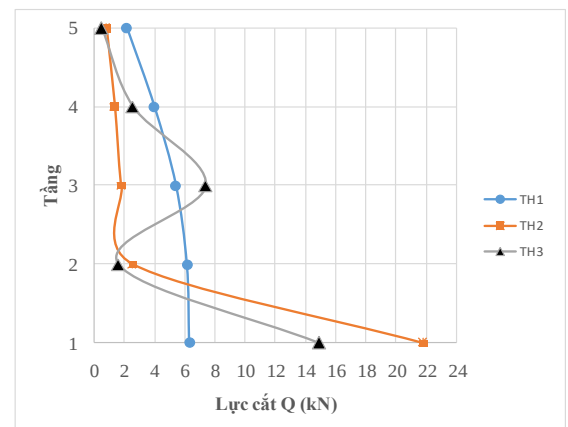
Tầng	TH1 (1)	TH2 (2)	TH3 (3)	So sánh (1) và (2)	So sánh (2) và (3)
Mái (5)	3,7	1,0	1,7	270%	70%
4	3,3	0,9	1,7	266,67%	88,89%
3	2,5	0,8	1,6	212,5%	100%
2	1,4	0,7	0,5	100%	28,57%
1	0,3	0,5	0,4	40%	20%



Hình 10. Chuyển vị khung K2 (mm) khi phân tích động đất với các trường hợp 1, 2, 3

* **Nhận xét:** trường hợp mô hình khung BTCT chịu tải trọng động đất có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che làm cho chuyển vị khung giảm đi đáng kể (có thể chênh lệch đến 270%).

2.4.2. Kết quả lực cắt trong cột trực C khung K2



Hình 11. Lực cắt trong cột khung K2 (kN) khi phân tích động đất với các trường hợp 1, 2, 3

Bảng 5. So sánh lực cắt trong cột trực C khung K2 (kN) khi phân tích động đất với các trường hợp 1, 2, 3

Tầng	TH1 (1)	TH2 (2)	TH3 (3)	So sánh (1) và (2)	So sánh (2) và (3)
Mái (5)	2,13	0,79	0,47	62,91%	40,51%
4	3,95	1,35	2,55	65,82%	88,89%

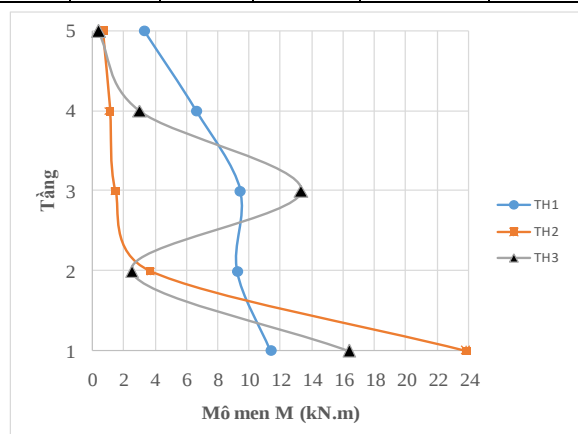
3	5,4	1,8	7,35	66,67%	308,33%
2	6,14	2,55	1,6	58,47%	37,25%
1	6,28	21,77	14,87	246,66%	31,69%

* **Nhận xét:** trường hợp mô hình khung BTCT chịu tải trọng động đất có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che làm cho lực cắt cột khung tăng lên đáng kể (có thể chênh lệch đến 250%).

2.4.3. Kết quả mô-men trong cột trục C khung K2

Bảng 6. So sánh mô-men trong cột trục C khung K2 (kN.m) khi phân tích động đất với các trường hợp 1, 2, 3

Tầng	TH1 (1)	TH2 (2)	TH3 (3)	So sánh (1) và (2)	So sánh (2) và (3)
Mái (5)	3,286	0,68	0,377	62,91%	40,51%
4	6,624	1,122	2,993	65,82%	88,89%
3	9,433	1,479	13,32	66,67%	308,33%
2	9,243	3,671	2,486	58,47%	37,25%
1	11,358	23,829	16,347	100,66%	31,69%



Hình 12. Mô-men trong cột khung K6 (kN.m) khi phân tích động đất với các trường hợp 1, 2, 3

* **Nhận xét:** trường hợp mô hình khung BTCT chịu tải trọng động đất có xét đến sự làm việc của tường ngăn bao che làm cho mô-men cột khung tăng lên đáng kể (có thể chênh lệch đến 100%).

3. Bàn luận

Hệ quả của động đất đến kết cấu khung bê tông cốt thép công trình xây dựng được phản ánh như sau:

- Chuyển vị tầng dần theo chiều cao công trình và đạt giá trị lớn nhất đối với phần kết cấu tại đỉnh (xem Hình 7, 8, 9).

- Chuyển vị khung khi mô hình có tường ngăn bao che (TH2) ít hơn so với khung khi mô hình không xét tường ngăn bao che (TH1) là 270% (xem Bảng 4). Trong đó, nội lực (mô-men; lực cắt) cột khung trường hợp có tường ngăn (TH2) tăng đáng kể so với trường hợp không xét tường ngăn bao che (TH1) (xem Bảng 5, 6).

- Khi chịu tải trọng động đất, nội lực của khung bê tông cốt thép khi mô hình không có tường (TH1) (Hình 7) sẽ được phân đều ra các tầng và được giảm dần từ thấp đến cao. Trong khi đó, nội lực trong công trình có mô hình tường ngăn bao che (khối xây gạch) chỉ tập trung ở các tầng có tường bị đục lỗ hoặc một số cột không có tường (xét TH3) (Hình 8, 9).

4. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu ứng dụng phương pháp phổ phản ứng vào phân tích kết cấu khung bê tông cốt thép công trình xây dựng chịu tải trọng động đất có xét đến sự làm việc đồng thời của tường ngăn bao che. Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, tác giả có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Tường ngăn bao che đóng vai trò ngăn cản chuyển vị ngang của khung bê tông cốt thép khi chịu tải trọng động đất rất đáng kể (trường hợp có và không có xét đến sự làm việc của tường ngăn thì chuyển vị khung bê tông cốt thép khi chịu tải trọng động đất chênh lệch đến 270%).

- Tường ngăn bao che trong khung bê tông cốt thép làm cho nội lực khung (mô-men, lực cắt) khi chịu tải trọng động đất phân bố không đều. Nội lực (mô-men, lực cắt) chủ yếu tập trung tại các tầng có tường bị đục lỗ hoặc các cột không có tường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Amato G, Fossetti M, Cavaleri L, Papia M, *An updated model of equivalent diagonal strut for infill panels*, Eurocode 8 perspectives from Italian standpoint workshop, 2009, pp. 119-128.
- [2] Anil K. Chopra, *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, International Edition, Prentice –Hall, UK, 1995, pp. 794.
- [3] Bộ Xây dựng, TCVN 2737:1995 *Tải trọng và tác động (soát xét lần 2)*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 1996.
- [4] Bộ Xây dựng, TCVN 9386:2012 *Thiết kế công trình chịu động đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2012.
- [5] Bộ Xây dựng, TCVN 5573:2011 *Kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2011.
- [6] Bộ Xây dựng, TCVN 5574:2012 *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2012.
- [7] Bùi Ngọc Dũng, *Mô hình hai thanh chống không song song cho khung bê tông cốt thép có tường chèn*, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2014.
- [8] Chen, Yi-Hsin, *Seismic Evaluation of RC Buildings Infilled with Brick Walls*, PhD thesis, National ChengKung University, 2003.
- [9] Đinh Lê Quốc Khánh, Bùi Công Thành, Nguyễn Văn Yên, “Phân tích ứng xử phi tuyến của khung bê tông cốt thép có tường xây chèn”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, Số 4, 2012, trang 19-24.
- [10] H. S. Jing and M. L. Liao, “An Improved Finite Element Scheme for Elastic Contact Problems with Friction”, *Computures & Structures*, Vol. 35, No. 5, 1990, pp. 571-578.
- [11] Lý Trần Cường, *Sự làm việc đồng thời của khung bê tông cốt thép với khối xây chèn dưới tác dụng của tải trọng ngang*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 1991.
- [12] Madan A, Reinhorn A. M, Fellow, Mander J. B, “Modeling of masonry infill panels for structural analysis”, *Journal of structural engineering*, 1997.
- [13] Makar Nageh, *How to model and design high rise building using ETABS Program*, Scientific Book House, Cairo, A.R.E., 2007.
- [14] Nguyễn Lê Ninh, *Động đất và thiết kế công trình chịu động đất*, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2007.
- [15] Penelis, G. G. and Kappos, A. J., *Earthquake-resistant concrete structures*, E & FN Spon, An Imprint of Chapman & Hall, London, UK, 1997, pp. 572.
- [16] Phương Hữu Thơ, *Mô hình lò xo cho khung bê tông cốt thép có tường chèn*, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2015.
- [17] Polyakov S. V., *On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall*, Translations in Earthquake Engineering Research Institute, San Francisco, 1960, pp. 36-42.
- [18] Tăng Bá Bay, *Nghiên cứu ảnh hưởng của khối xây chèn có lỗ cửa đến sự làm việc của khung bê tông cốt thép nhà cao tầng*, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2010.