



Ths. Lê Sỹ Hồng Minh*

TÍNH TOÁN KẾT CẤU NHÀ CAO TẦNG CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT NGHIÊN CỨU BẰNG SỐ

CALCULATION OF HIGH-RISE
BUILDING STRUCTURES SUBJECTED
TO EARTHQUAKE LOADS -
NUMERICAL STUDY

Tóm tắt: Động đất là một thảm họa của thiên nhiên gây ra, khi xảy ra động đất sẽ tổn thất rất lớn về người và các công trình xây dựng. Việt Nam tuy nằm ngoài vành đai động đất Thái Bình Dương nhưng các nghiên cứu mới đây chỉ ra rằng: Việt Nam vẫn ẩn chứa các nguy cơ về động đất. Những trận động đất gần đây ở Lai Châu, Điện Biên, Nghệ An chính là biểu hiện của nguy cơ đó. Nội dung bài báo sử dụng phần mềm ETABS để tính toán kết cấu nhà cao tầng chịu tải trọng động đất, đồng thời nghiên cứu sự thay đổi về nội lực cũng như chuyển vị của phần tử, nút phần tử khi thay đổi độ cứng của sàn và vách.

Từ khóa: Động đất, nhà cao tầng, chịu tải, nghiên cứu số, kết cấu.

Abstract: An earthquake is a natural disaster. When an earthquake occurs, there will be huge losses in people and buildings. Although Vietnam is outside the Pacific earthquake belt, recent studies have shown that Vietnam still contains hidden risks of earthquakes. The recent earthquakes in Lai Chau, Dien Bien, and Nghe An are manifestations of that risk. The article uses

ETABS software to calculate high-rise building structures subjected to earthquake loads, and studies the changes in internal forces as well as displacements of elements and element nodes when changing the stiffness of the floors and walls.

Key words: Earthquake, high-rise buildings, load-bearing, numerical research, structure.

Nhận bài ngày 15/2/2024, chỉnh sửa ngày 28/2/2024, chấp nhận đăng ngày 10/4/2024.

Trong giai đoạn công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước hiện nay cùng với nhịp độ đô thị hóa ngày càng nhanh, các công trình nhà cao tầng được xây dựng với tốc độ ngày càng cao. Đối với các công trình này, yếu tố kháng chấn là yêu cầu bắt buộc khi thiết kế và xây dựng chúng, thiết kế đều phải tính đến động đất theo các tiêu chuẩn kháng chấn như Nga, Mỹ, Trung Quốc, Châu Âu,... Ở Việt Nam hiện nay dùng TCXDVN 375:2006.

Nghiên cứu phương pháp (bao gồm mô hình tính, phương trình, thuật toán và chương trình) tính toán động lực học nhà cao tầng dạng kết cấu thanh chịu tác dụng

của động đất. Đồng thời qua nghiên cứu bằng số, hình học và lực đến trạng thái ứng suất- biến dạng của hệ làm cơ sở để kiến nghị mô hình tính chính xác hơn khi tính toán thiết kế nhà cao tầng chịu tác dụng của động đất.

BÀI TOÁN: Xác định nội lực chuyển vị của hệ thống kết cấu nhà cao tầng chịu tác dụng của động đất.

1. Các số liệu đầu vào

a. Sơ đồ hình học kết cấu:

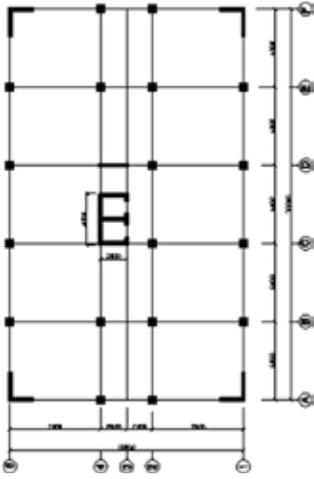
+ Mặt bằng kết cấu: Công trình thiết kế là nhà 15 tầng với mặt bằng đối xứng. Hệ kết cấu là khung, lõi vách chịu lực làm việc theo sơ đồ khung giằng. Mặt bằng kích thước LxB = 18m x 30m, theo phương Ox gồm 6 trục, theo phương Oy gồm 5 trục (hình 1).

+ Khung: Dầm chính kích thước 700 x 250 mm, dầm phụ kích thước 500 x 250 mm. Tiết diện cột chịu lực là 800 x 800 mm với cột giữa và 600 x 600 mm với cột biên.

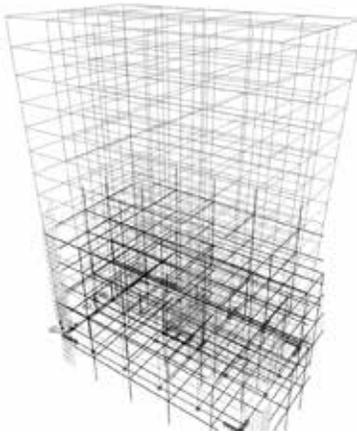
+ Vách: Công trình có 4 hệ vách bố trí ở 4 góc. Mỗi vách dài 2m, vách dày 300mm.

+ Lõi: Hệ lõi đặt tại trung tâm của công trình gồm 2 lõi thang máy có chiều dài 4m, độ dày của lõi có kích thước 300mm.

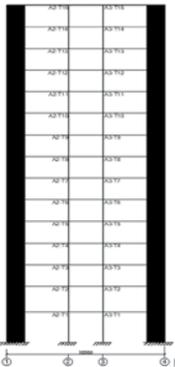
*Phòng Thanh tra khảo thí và Kiểm định chất lượng- Trường CE nghề Vinh Phúc
Email: leminh291175@gmail.com



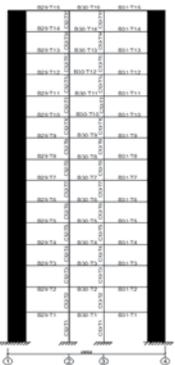
Hình 1: Mặt bằng kết cấu công trình



Hình 2: Sơ đồ không gian



Hình 3: Sơ đồ đánh số nút phần tử khung trục A

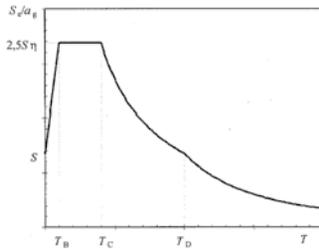


Hình 4: Sơ đồ đánh số phần tử khung trục A

b. Vật liệu:

Bê tông cốt thép B25 (M350) có $R_b = 14,5$ Mpa, $R_{bt} = 1,05$ Mpa. Cốt thép chịu lực CII có $R_s = R_{sc} = 280$ Mpa.

c. Tải trọng: Công trình nằm trong khu vực huyện Từ Liêm, địa chất nền đất loại C. Phổ phản ứng với nền địa chất loại C cho ở hình 5



Hình 5: Phổ phản ứng với nền đất xây dựng công trình thuộc loại C

2. Xác định tải động đất

2.1. Xác định tải trọng động đất theo phương pháp phổ phản ứng

a. Xác định phổ phản ứng thiết kế
Công trình tính toán được xây dựng trên địa bàn huyện Từ Liêm. Phổ phản ứng thiết kế như hình 5.

b. Công thức xác định tải trọng động đất theo TCVN 375-2006.

Lực động đất tác dụng vào tầng thứ k ở dạng dao động thứ i được xác định như sau:

$$F_{k,i} = S_d(T) \cdot m_k \cdot \Phi_{k,i} (\Sigma (m_k \cdot \Phi_{k,i})) / (\Sigma (m_k \cdot \Phi_{k,i}^2)) = S_d(T) \cdot m_k \cdot \Phi_{k,i} \cdot B_i / M_i$$

Trong đó:

$S_d(T)$: phổ thiết kế đàn hồi ứng với chu kỳ dao động T ở dạng dao động thứ i

m_k : khối lượng tham gia dao động tầng thứ k;

$\Phi_{k,i}$: chuyển vị ngang của trọng tâm phần tử thứ k ứng với dạng dao động thứ i;

$$\Phi_{k,i} = \text{sqrt}(x_{k,i}^2 + y_{k,i}^2) (\text{sqrt-căn bậc 2});$$

$x_{k,i}$ - Chuyển vị ngang theo phương X của trọng tâm tầng thứ k ứng với dạng dao động thứ i;

$y_{k,i}$ - Chuyển vị ngang theo phương Y của trọng tâm tầng thứ k ứng với dạng dao động thứ i;

B_i - Hệ số tham gia của dạng dao động thứ i $= B_i = \Sigma (m_k \cdot \Phi_{k,i})$

M_i^* - Khối lượng tổng quát ở dạng dao động thứ i $= M_i^* = \Sigma (m_k \cdot \Phi_{k,i}^2)$

$M_{td, i}$ - Khối lượng hữu hiệu của công trình ở dạng dao động thứ i $= M_{td, i} = B_i^2 / M_i$.

b. Xác định phổ thiết kế đàn hồi ứng với chu kỳ T của dạng dao động thứ i

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot [2/3 + T/T_B] \cdot (2,5/q - 2/3) \quad \text{khi } T \leq T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot 2,5/q \quad \text{khi } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot 2,5/q \cdot [T_C/T] \geq 0,2 \cdot a_g \quad \text{khi } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot 2,5/q \cdot [T_C \cdot T_D / T^2] \geq 0,2 \cdot a_g \quad \text{khi } T_D \leq T$$

* Xác định hệ số nền và các thông số giới hạn của chu kỳ

T_B - Giới hạn dưới của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc.

T_C - Giới hạn trên của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc.

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.

Loại nền đất công trình	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
C	1,15	0,2	0,6	2

* Xác định gia tốc nền thiết kế a_g

- Công thức xác định: $a_g = g \cdot \gamma_1 \cdot a_{gR}$

- Định gia tốc nền tham chiếu a_{gR} :

(xác định theo địa danh hành chính - Phụ Lục I trang 237-TCVN375-2006)

Công trình thiết kế thuộc địa danh:

Từ Liêm - Hà Nội có $a_{gR} = 0,10810$ m/s².

- Hệ số tầm quan trọng γ_1 : (theo Phụ lục F trang 225-TCVN375-2006) có $\gamma_1 = 1,00$.

Gia tốc nền thiết kế: $a_g = 1,060461$ m/s².

* Xác định hệ số ứng xử với tác động theo phương ngang q

- Công thức xác định: $q = q_0 \cdot k_w$

- Hệ số ứng xử phụ thuộc vào loại

kết cấu và tính đều đặn của nó theo mặt đứng q_0 (tra bảng 5.1-trang 77,78-TCVN375-2006).

Với hệ khung, hệ hỗn hợp, hệ tầng kép: $q_0 = \lambda \cdot (\alpha_w / \alpha_1)$.

λ phụ thuộc vào cấp độ dẻo của kết cấu: DCM (cấp dẻo trung bình) $(\alpha_w / \alpha_1) = 1,3$

(α_w / α_1) tỉ số phụ thuộc vào loại hệ kết cấu: $(\alpha_w / \alpha_1) = 1,3$.

Do đó ta có $q_0 = 3,9$

- Hệ số phản ánh dạng phá hoại phổ biến trong hệ kết cấu có tường k_w .

Với hệ khung, hệ hỗn hợp tương đương khung: $k_w = 1$

Vậy hệ số ứng xử với tác động theo phương ngang của công trình: $q = 3,9$.

2.2. Xác định tải trọng động đất tác dụng lên các tầng

Từ kết quả chạy mô hình ta có các bảng tính toán về các nội dung:

+ Chu kỳ và khối lượng dao động hữu hiệu của công trình

+ Chuyển vị với các dao động tính toán theo phương X (Mode 2, 5)

+ Chuyển vị với các dao động theo phương Y (Mode 1, 4,7)

+ Khối lượng dao động của các tầng
a. Tải trọng động đất theo phương Ox

Dạng dao động 1X	MODE2	$T_{1x}=$	4.672011	(s)	$S(T_{1x})=$	0.2120922
Dạng dao động 2X	MODE5	$T_{2x}=$	1.241735	(s)	$S(T_{2x})=$	0.3777376

a1. Dạng dao động 1X (Mode 2)

a2. Dạng dao động 2X (Mode 5)

b. Tải trọng động đất theo phương Oy

Dạng dao động 1Y	MODE1	$T_{1y}=$	4.859579	(s)	$S(T_{1y})=$	0.2120922
Dạng dao động 2Y	MODE4	$T_{2y}=$	1.314173	(s)	$S(T_{2y})=$	0.3568993
Dạng dao động 3Y	MODE7	$T_{3y}=$	0.618928	(s)	$S(T_{3y})=$	0.3568993

b1. Dạng dao động 1Y (Mode 1)

b2. Dạng dao động 2Y (Mode 4)

b3. Dạng dao động 3Y (Mode 7)

+ Tổng tải trọng động đất tác dụng theo phương Ox

Tầng	Theo phương Ox		Tổng cộng
Story	Mode 2	Mode 5	kN
STORY1	4.5186	9.857	10.844
STORY2	11.6798	19.110	22.396
STORY3	20.4396	38.219	43.342
STORY4	30.6594	52.552	60.842
STORY5	41.6092	76.439	87.030
STORY6	52.5589	95.549	109.050
STORY7	63.5087	119.436	135.271
STORY8	73.7285	138.546	156.942
STORY9	83.9483	162.433	182.844
STORY10	93.4381	181.543	204.177
STORY11	102.1979	200.652	225.179
STORY12	110.2278	219.762	245.857
STORY13	117.5276	234.094	261.941
STORY14	124.0975	253.204	281.980
STORY15	113.4792	229.477	256.003

+ Tổng tải trọng động đất tác dụng theo phương Oy

Tầng	Theo phương Oy			Tổng cộng
Story	Mode 1	Mode 4	Mode 7	kN
STORY1	4.787	89.494	89.494	126.655
STORY2	12.374	218.755	218.755	309.613
STORY3	23.202	362.077	362.077	512.579
STORY4	34.803	486.541	486.541	688.952
STORY5	47.177	573.288	573.288	812.124
STORY6	59.552	611.005	611.005	866.141
STORY7	71.152	588.375	588.375	835.124
STORY8	83.527	509.171	509.171	724.904
STORY9	94.354	377.163	377.163	541.671
STORY10	104.408	211.212	211.212	316.420
STORY11	113.689	18.858	18.858	116.775
STORY12	122.197	-181.038	-181.038	283.693
STORY13	129.157	-377.163	-377.163	548.804
STORY14	136.118	-558.202	-558.202	801.066
STORY15	123.605	-625.843	-625.843	893.665

Từ việc xác định được tải trọng động đất tác dụng lên công trình, ta tiến hành tính toán cho 2 trường hợp: Khi công trình chịu tác dụng của tải trọng động đất và khi không chịu tác dụng của tải trọng động đất.

Ta được kết quả theo 2 trường hợp như sau:

Bảng 1: Nội lực của một số phần tử khung trục A

Trường hợp tính	Nội lực phần tử B29 - T7		Nội lực phần tử B29 - T14	
	M (KNm)	Q (KN)	M (KNm)	Q (KN)
1. Khi không tính động đất (A)	-32,5	-29,81	-65,67	-44,07
2. Khi tính đến động đất (B)	-65,72	-95,84	-113,1	-112,3
Độ gia tăng nội lực (%) (B-A)/A*100%	102,22	320,84	72,22	154,82

Bảng 2: Chuyển vị của một số nút phần tử khung trục A

Trường hợp tính	Chuyển vị nút phần tử A2 - T7		Chuyển vị nút phần tử A2 - T14	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
1. Khi không tính động đất (A)	-0,0001	-0,0004	-0,0009	-0,0042
2. Khi tính đến động đất (B)	-0,0002	0,003	-0,0012	0,0193
Độ gia tăng chuyển vị (%) (B-A)/A*100%	100,0	250,18	33,33	359,52

***Nhận xét:** Từ kết quả tính toán nội lực và chuyển vị từ bảng 1 và 2 trong hai trường hợp khi không tính động đất và khi tính động đất, ta thấy dưới tác dụng của tải trọng động đất, giá trị nội lực và chuyển vị các phần tử trong kết cấu khi tính với trường hợp động đất lớn hơn nhiều so với khi không tính. Như vậy, với kết cấu nhà cao tầng khi tính toán thiết kế thì tải trọng động đất là loại tải gây nguy hiểm cho công trình và cần phải được kiểm tra trong quá trình thiết kế.

KẾT LUẬN

Tiến hành tính toán và thử nghiệm số bằng phần mềm ETABS cho bài toán kết cấu nhà cao tầng chịu tải trọng động đất, từ đó, nghiên cứu ảnh hưởng của sàn, lõi, vách đến khả năng chịu lực của toàn hệ kết cấu.

Qua việc nghiên cứu bài toán động đất cho kết cấu nhà cao tầng nhận thấy: Khi chiều dày sàn thay đổi thì nội lực và chuyển vị của phần tử trong hệ kết cấu cũng thay đổi. Sự thay đổi theo xu hướng chiều dày sàn tăng thì giá trị nội lực và chuyển vị của phần tử giảm. Sự thay đổi về giá trị chuyển vị và nội lực là rất đáng kể, qua đó ta nhận thấy vai trò phân phối tải trọng, nhất là tải trọng ngang của sàn trong kết cấu công trình là rất quan trọng.

Như vậy, trong bài toán xét trường hợp kết cấu làm việc không tính đến sàn và độ cứng vách nhỏ thì đây là trường hợp nguy hiểm nhất trong tất cả các trường hợp đã xác định vì lúc này sàn mất khả năng truyền tải trọng ngang và vách cũng mất khả năng chịu tải trọng ngang.



Tài liệu tham khảo:

1. Phạm Đình Ba, Nguyễn Văn Hợi (1995), *Động Lực học công trình*. Trường in Học viện Kỹ thuật Quân sự.
2. Tạ Văn Đĩnh (2001), *Phương pháp tính*, Nhà xuất bản Giáo dục.
3. Nguyễn Văn Hợi, Phạm Đình Ba (1994), *Giáo trình động lực học công trình*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
4. Nguyễn Bá Kế, Nguyễn Tiến Chương, Nguyễn Hiền, Trịnh Thành Huy. (2004), *Móng nhà cao tầng*. Nhà xuất bản Xây dựng.
5. Vũ Thanh Lương (2006), *Tính toán động lực học nhà cao tầng dạng kết cấu thanh chịu tác động động đất có kể đến tính dẻo của vật liệu*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật. Học viện Kỹ thuật Quân sự.
6. Nguyễn Thị Thu Nga (2008), *Tính toán nhà cao tầng có tầng hầm chịu tải trọng sùng nổ bằng phương pháp phần tử hữu hạn*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Học viện kỹ thuật Quân sự.
7. Đinh Văn Phong (2006), *Phương pháp số trong cơ học kết cấu*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
8. Vũ Ngọc Quang (2011), *Kết cấu nhà cao tầng*, Bài giảng, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
9. Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam. 375 - 2006. Tiêu chuẩn về kháng chấn.
10. TCXDVN 198 (1997), *Nhà cao tầng - Thiết kế kết cấu BTCT toàn khối*, *Tuyển tập Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam*. Nhà xuất bản Xây dựng.