

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ GIẰNG BÊ TÔNG CỐT THÉP LÊN HIỆU QUẢ CHỐNG ĐỘNG ĐẤT CỦA HỆ THỐNG CÔ LẬP MÓNG – BIS (Base Isolation System)

Nguyễn Văn Giang ⁽¹⁾, Chu Quốc Thắng ⁽²⁾

(1) Đại học Kỹ Thuật Công Nghệ Tp.HCM

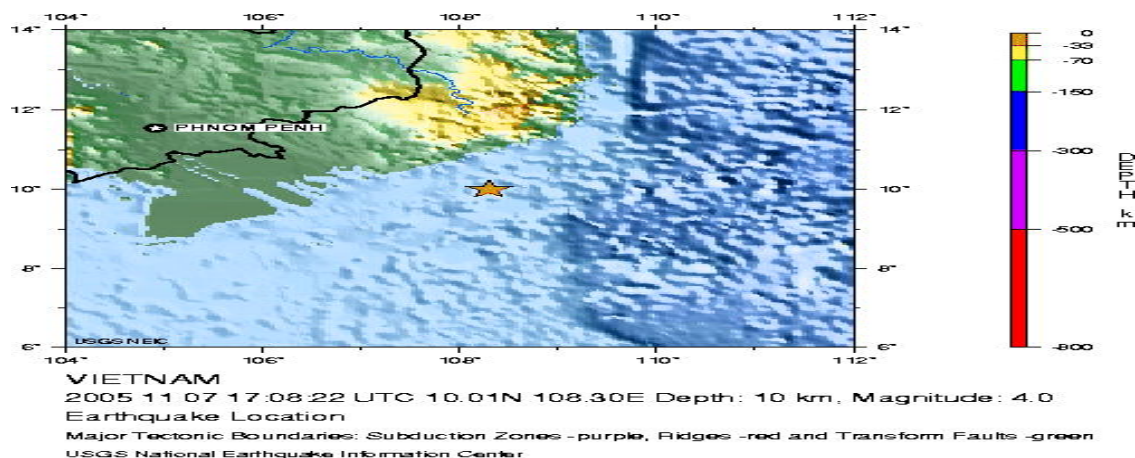
(2) Đại học Quốc Tế, ĐHQG- HCM

(Bài nhận ngày 18 tháng 01 năm 2006, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 03 tháng 09 năm 2006)

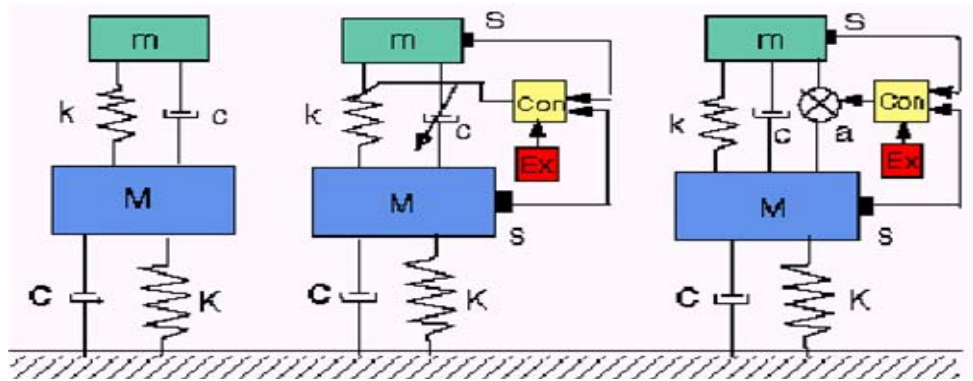
TÓM TẮT : Kết cấu công trình rất nhạy cảm với sự rung động của móng, chỉ cần một sự tác động nhỏ đến móng sẽ ảnh hưởng đến phân kết cấu bên trên, đặc biệt là tải trọng tác động trực tiếp đến móng là động đất. Khi có động đất xảy ra, lực cắt lớn tại chân cột sẽ gây phá hoại trực tiếp cho liên kết giữa cột và móng. Do vậy, để công trình tồn tại, hoặc ta phải cấu tạo công trình thật cứng để kháng lực cắt lớn trên hoặc “làm mềm hóa” liên kết cột và móng, tức giảm các chuyển vị tương đối giữa móng và đỉnh công trình. Với ý tưởng như vậy, tác giả đã khảo sát việc bố trí hệ giằng xiên hợp lý trong công trình (giải pháp làm cứng phân kết cấu bên trên) kết hợp với giải pháp làm mềm hóa phân liên kết bên dưới giữa móng và công trình bằng gối cao su có lõi chì để tìm ra giải pháp tốt nhất nhằm nâng cao hơn nữa hiệu quả chống động đất cho công trình.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, người ta đã nghiên cứu và ứng dụng nhiều kỹ thuật mới trong điều khiển kết cấu nhằm làm giảm phản ứng do tải trọng gió và động đất gây ra. Lĩnh vực này có thể được chia thành ba nhóm chính: cô lập móng (base isolation), cản bị động (passive damping), điều khiển chủ động (active control) [1]. Trong ba giải pháp trên thì giải pháp cô lập móng được ứng dụng sớm và phổ biến hơn. Các lĩnh vực trên đã được nghiên cứu đầu tiên tại Mỹ những năm 1970, tại Nhật từ những năm 1980. Và hội nghị quốc tế lần thứ nhất về điều khiển kết cấu đã được tổ chức tại Pasadena, California - Mỹ vào tháng 8 năm 1984 với hơn 300 đại biểu từ 35 nước đến dự. Còn ở Việt Nam, điều khiển kết cấu là một lĩnh vực rất mới, chưa được nghiên cứu sâu. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, Việt Nam cũng đã xảy ra một số trận động đất, đặc biệt là động đất 5,3 độ Richter đã xảy ra ở Lai Châu vào ngày 19/02/2001, gây thiệt hại hàng trăm tỉ đồng, hàng ngàn ngôi nhà bị hư hỏng nặng. Và gần đây trận động đất ngoài khơi Vũng Tàu đêm 07-11 và dư chấn ngày 08-11 khiến người dân TP.HCM và một số tỉnh hoảng loạn, lo lắng. Do đó, nếu áp dụng đúng các biện pháp kháng chấn đối với những công trình xây dựng, chúng ta hoàn toàn giảm được thiệt hại do động đất gây ra.



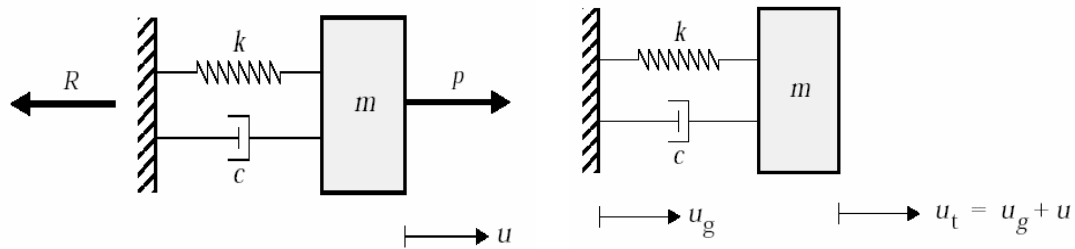
Hình 1a Vị trí tâm chấn của trận động đất mạnh 4 độ Richter ngày 07/11/05.



Hình 1b Các thiết bị cân phụ trợ dùng hiệu ứng quán tính
Con : controller – bộ điều khiển; a: actuator – bộ tác động; S: sensor – bộ cảm biến

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA HỆ THỐNG CÔ LẬP MÓNG

2.1. Phản ứng của hệ một bậc tự do



Hình 2a. Hệ một bậc tự do chịu tải trọng điều hòa

Hình 2b. Hệ một bậc tự do chịu chuyển động của gối tựa

Phương trình chuyển động của hệ như sau:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (1) \quad m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

Với : m, k, c là khối lượng, độ cứng và thông số cản nhớt của hệ

$p(t)$ là tải trọng tác động lên hệ

$u(t)$ là chuyển vị của hệ; $u_g(t)$ là chuyển vị của gối tựa (chuyển vị nền)

Với : m, k, c là khối lượng, độ cứng và thông số cản nhớt của hệ

$p(t)$ là tải trọng tác động lên hệ

$u(t)$ là chuyển vị của hệ; $u_g(t)$ là chuyển vị của gối tựa (chuyển vị nền)

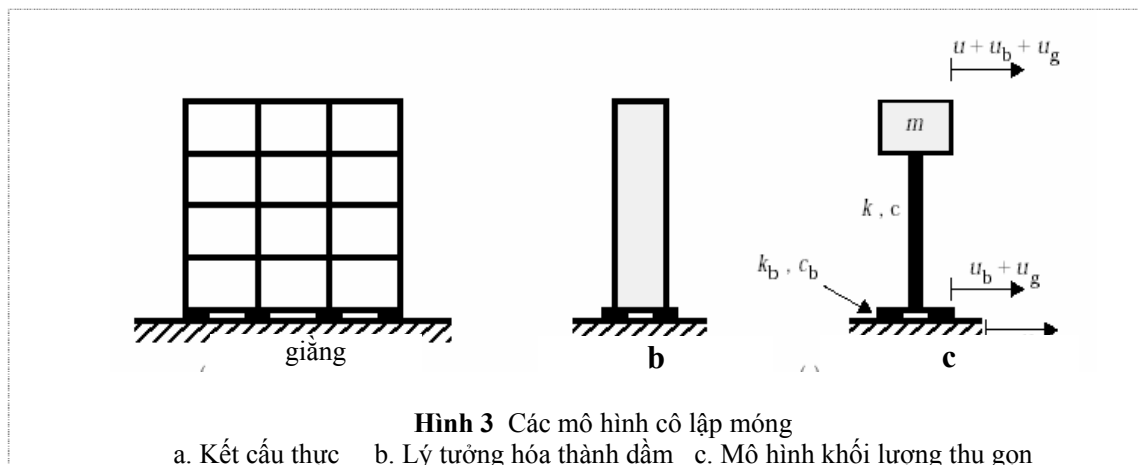
2.2. Phản ứng của hệ nhiều bậc tự do chịu tải trọng động đất

Phương trình chuyển động

Thực tế thì các chuyển động theo phương ngang và đứng xảy ra đồng thời trong trận động đất, tuy nhiên chuyển động ngang thì nguy hiểm hơn, vì ta có thể xem chuyển động đứng như là lực cộng thêm vào tải trọng đứng của công trình [3].

Mô hình ở hình 2b biểu diễn một kết cấu cứng có các gối đỡ mềm chịu cắt. Để kể đến tính mềm của kết cấu thì kết cấu có thể được mô hình thành hệ nhiều bậc tự do. Tuy nhiên, ở hình 3, ta có thể lý tưởng hóa kết cấu thành hệ một bậc tự do với các đặc trưng kết cấu được xác định từ giả

thiết rằng đáp ứng của kết cấu là do mode cơ bản quyết định. Giả thiết này thích hợp nhất cho nhà thấp tầng (vì đối với kết cấu nhà cao tầng, chuyển vị tương đối giữa các tầng lớn do độ cứng của kết cấu mảnh, do vậy không thể đơn giản hóa sơ đồ kết cấu thực (hình 3a) về sơ đồ tính toán đơn giản hệ một bậc tự do như hình 3b). Sau đây ta khảo sát ảnh hưởng của độ cứng gối đỡ đến chuyển vị tương đối của kết cấu u so với chuyển vị móng ($u_b + u_g$).



Hình 3 Các mô hình cô lập móng
a. Kết cấu thực b. Lý tưởng hóa thành dầm c. Mô hình khối lượng thu gọn

Các phương trình chính cho mô hình khối lượng thu gọn bao gồm phương trình cân bằng cho khối lượng, và phương trình quan hệ giữa các lực cắt trong lò xo và gối đỡ [1]:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m(\ddot{u}_b + \ddot{u}_g) \quad (3)$$

$$k_b u_b + c_b \dot{u}_b = k_u + c \dot{u} \quad (4)$$

Trong đó : $k, k_b; c, c_b$ lần lượt là độ cứng; cản của kết cấu bên trên, móng
 u_b, u_g lần lượt là chuyển vị móng, nền; u là chuyển vị tổng.

2.3. Thiết kế các hệ thống cô lập

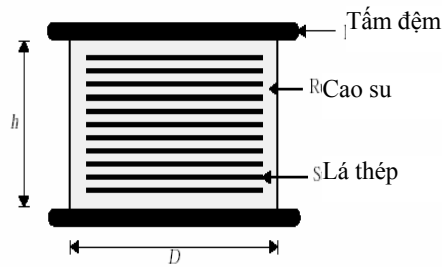
Các yêu cầu quan trọng cho hệ thống cô lập gồm có : tính mềm, tiêu tán năng lượng, độ cứng dưới tác dụng của tải trọng đứng nhỏ (vì hiện nay, các gối đỡ cao su được chế tạo chỉ chịu được các tải trọng đứng nhỏ (thấp tầng, tải trọng truyền xuống mỗi chân cột nhỏ hơn 500 tấn)) [4].

2.3.1. Tính mềm

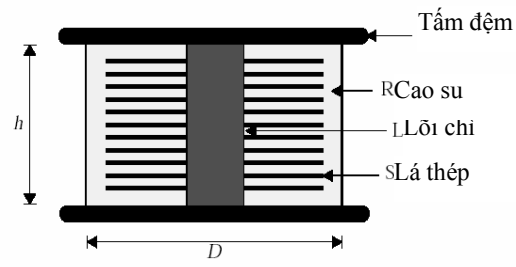
Để gối đỡ có tính mềm thì người ta thường chế tạo gối bằng vật liệu cao su. Gối đỡ này gồm nhiều lớp cao su được dán vào các lá thép (hình 4a,b) để giữ cao su không biến dạng ngang dưới tác dụng của tải trọng đứng, do đó làm cho gối có độ cứng theo phương đứng lớn gấp nhiều lần theo phương ngang. Độ cứng theo phương ngang sẽ càng giảm khi ta càng tăng chiều dày hoặc số lượng lớp cao su. Cao su thiên nhiên là vật liệu đàn nhót phi tuyến, có thể biến dạng đến 300% mà không bị phá hoại [2].

2.3.2. Tính mềm dưới tác dụng của tải trọng nhỏ

Tăng độ mềm theo phương ngang bằng hệ thống cách ly thường đạt hiệu quả khi động đất mạnh. Lúc đó, mặc dù chuyển động tương đối giữa kết cấu và móng đỡ là lớn nhưng chuyển động tuyệt đối thì nhỏ, làm “giảm đi các cảm giác động đất”. Tuy nhiên, dưới tác dụng của lực gió thì tình hình trở nên khác hẳn. Gió tác dụng trực tiếp vào kết cấu, nếu kết cấu có độ cứng ngang nhỏ thì chuyển vị ngang của kết cấu rất lớn. Do vậy, để giải quyết vấn đề này, ta có thể thêm vào gối đỡ một hệ cứng phụ trợ, hệ này chỉ hoạt động ở tải trọng bình thường và không hoạt động ở tải trọng động đất (vì khi đó, lực động đất làm các gối BIS chảy dẻo, do vậy, các chân cột của công trình dù được “tách rời” với móng nhưng vẫn không dịch chuyển quá mức cho phép) [1]. Thực tế, hệ cứng phụ trợ này có thể là các lá thép (steel rod damper) được tính toán có một độ cứng ban đầu, sau đó bị chảy ở tải trọng ngang lớn (tải trọng động đất). Phổ biến nhất là các lá thép kết hợp với lõi chì nằm trong gối đỡ cao su (Lead Rubber Bearings – LRBs) (hình 4b)



Hình 4a Gối đỡ bằng cao su thiên nhiên (NRB)

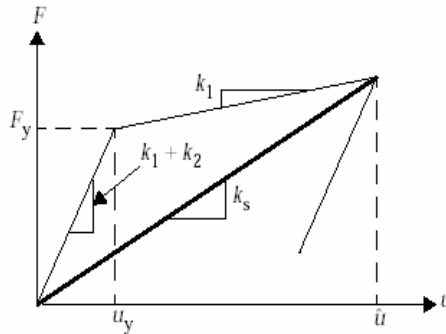


Hình 4b Gối đỡ bằng cao su có lõi chì (LRB)

2.3.3. Mô hình hóa gối đỡ bằng cao su có lõi chì (LRB)

Ta có thể xem LRB gồm hai phần tử (hình 5)

- (i) phần tử đàn nhớt tuyến tính đại diện cho cao su (*rubber*) có độ cứng k_1 , và
- (ii) phần tử đàn-dẻo tuyệt đối đại diện cho lõi chì (*lead*) có độ cứng k_2 .



Hình 5 Mô hình gối đỡ bằng cao su có lõi chì - đáp ứng giả tĩnh



Hình 6 Gối đỡ LRBs chịu lực dọc trục (hình 6a) và chịu cắt (hình 6b)

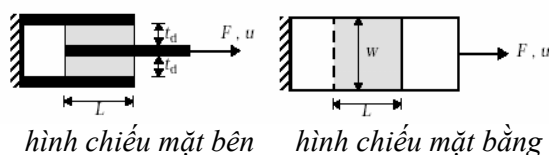
Công thức tính độ cứng có thể dùng cho phần tử gối cao su (k_1)

$$k_{(\text{cao su})} \equiv k_1 = fdGs \quad (5)$$

Nếu xem chì ứng xử đàn hồi tuyến tính (ban đầu) thì độ cứng của lõi chì là

$$k_{(\text{chì})} \equiv k_2 = \frac{A_p G_p}{h_p} \quad (6a)$$

- A_p , h_p và G_p lần lượt là diện tích mặt cắt ngang, chiều cao và module chống cắt của lõi chì.
- G_s mô-đun cắt của vật liệu đàn nhớt.



Hình 6c. Mô hình thiết bị cân đàn nhớt

- Đặc trưng hình học của thiết bị cân

$$fd = \frac{2wL}{t_d} \quad (6b)$$

Độ cứng cát tuyến liên hệ với các độ cứng thành phần k_1, k_2 (xem hình số 5) qua biểu thức

$$k_s = k_1 + \frac{k_2}{\mu} \quad (7)$$

với μ là tỷ số độ dẻo

$$\mu = \frac{\hat{u}}{u_y} = \frac{\hat{\gamma}}{\gamma_y} \quad (8)$$

Trong đó :

- u_y là chuyển vị ứng với thời điểm bắt đầu có biến dạng dẻo trong chi

- $\gamma_y = \frac{u_y}{t_d}$: ứng suất cắt chịu cắt của thiết bị cản, $u = \gamma t_d$ hay $\hat{u} = \hat{\gamma} t_d$

3. VÍ DỤ MINH HỌA

Công trình tính toán minh họa có mặt bằng 24x18m, gồm 05 tầng mỗi tầng cao 3m ($H = 5 \times 3 = 15$ m). Hệ giằng xiên được bố trí trong hai trường hợp : dọc theo chu vi tầng trệt và suốt chiều cao công trình. Các sơ đồ kết cấu trên được cô lập động đất bằng các gối cao su có lõi chì (*Lead Rubber Bearings – LRBs*) có chu kỳ lần lượt là LRB1: 1.5s; LRB2 : 2s; LRB3 : 2.5s; LRB4: 3s.

Sử dụng phần mềm phân tích kết cấu Sap2000 NonLinear [5], [6] phân tích phản ứng của kết cấu chịu trận động đất El Centro theo lịch sử thời gian, với bước thời gian $\Delta t = 0,01$ s trong 12,5s; gia tốc chuyển động của nền đồng thời theo hai phương, với phương X bằng 30% gia tốc nền so với phương Y (theo các qui phạm chống động đất của các nước Bắc Mỹ, Nhật Bản).

3.1. Kết quả tính toán

Bảng 1. Giá trị chu kỳ mode 1 (s)

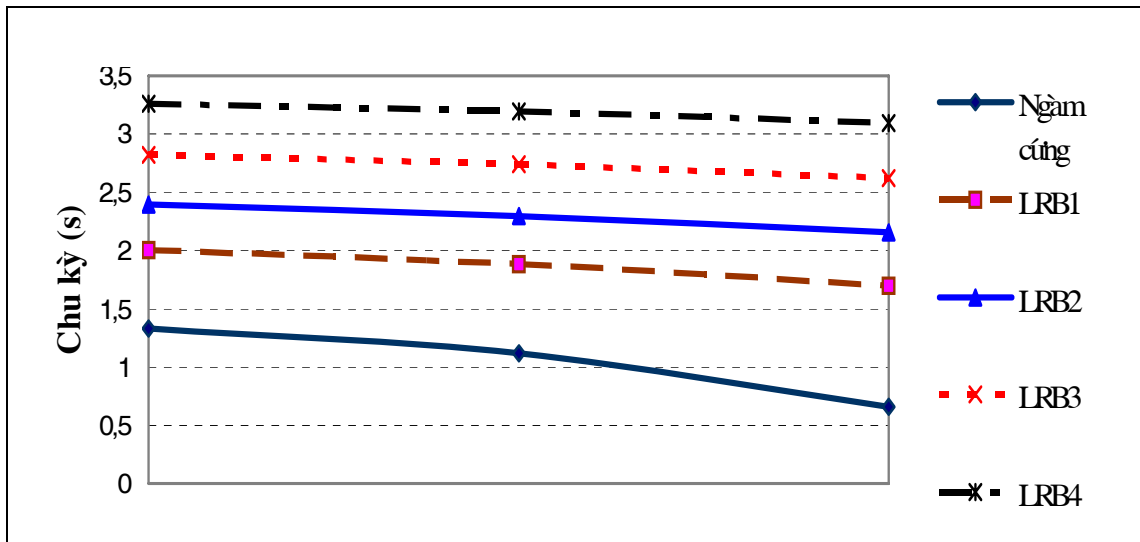
Loại	Ngàm cứng	LRB1	LRB2	LRB3	LRB4
Không giằng	1.3281	2.0026	2.3958	2.8207	3.2605
Giằng trệt	1.1182	1.8821	2.2977	2.7386	3.1964
Giằng 4 góc	0.6596	1.6942	2.158	2.6201	3.0969

Bảng 2. Gia tốc cực đại theo phương Y (m/s^2)

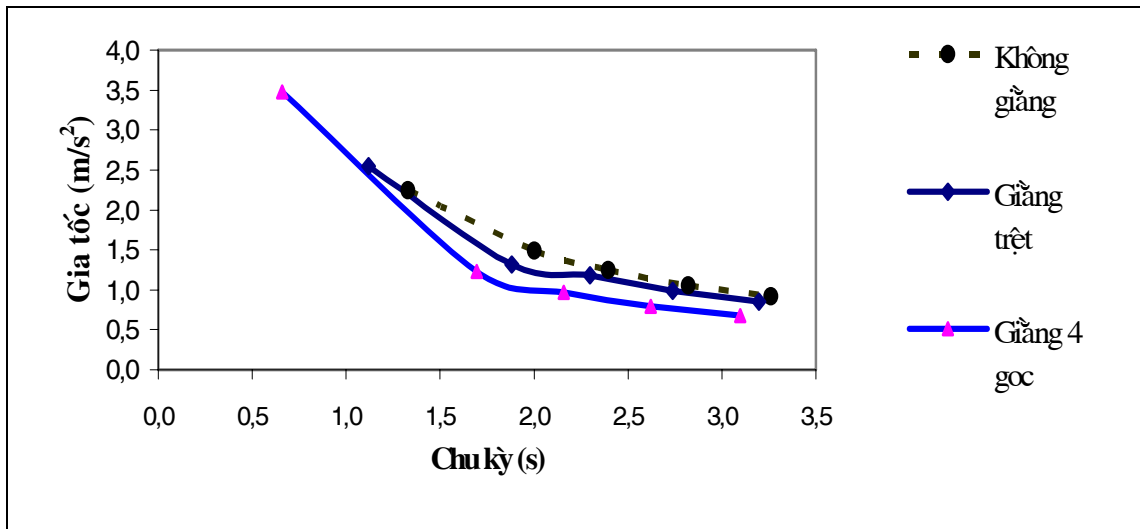
Loại	Ngàm cứng	LRB1	LRB2	LRB3	LRB4
Không giằng	10.3800	6.8839	5.7541	4.8873	4.2281
Giằng trệt	10.6900	6.3512	5.2024	4.3648	3.7397
Giằng 4 góc	12.5600	4.4454	3.4900	2.8745	2.4319

Bảng 3. Chuyển vị cực đại theo phương Y (cm)

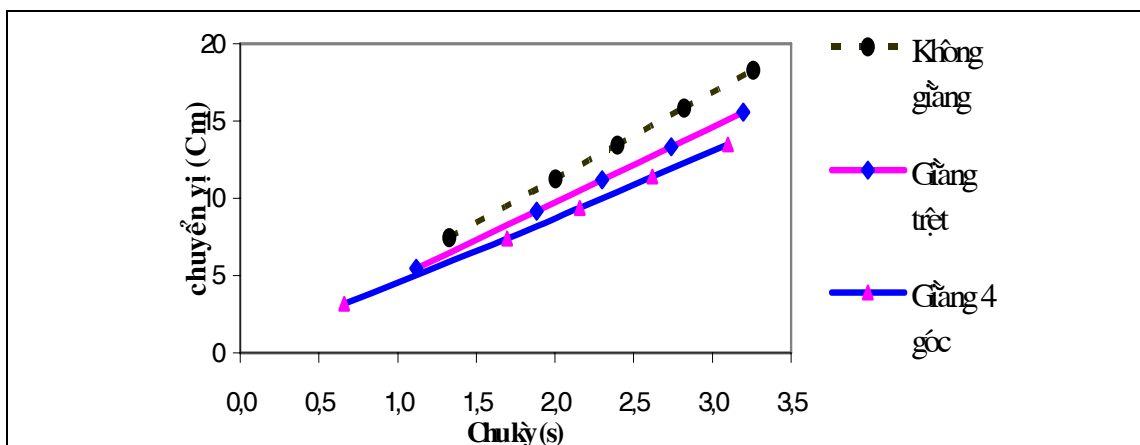
Loại	Ngàm cứng	LRB1	LRB2	LRB3	LRB4
Không giằng	24.398	36.789	44.012	51.818	59.897
Giằng trệt	19.458	32.751	39.983	47.655	55.621
Giằng 4 góc	10.879	27.943	35.593	43.214	51.078



Hình 5 Biểu đồ biểu diễn sự biến thiên của chu kỳ Mode 1



Hình 6 Biểu đồ biểu diễn mối quan hệ giữa gia tốc và chu kỳ



Hình 7 Biểu đồ biểu diễn mối quan hệ giữa chuyển vị và chu kỳ

3.2. Nhận xét

3.2.1. Về phản ứng gia tốc của kết cấu khi công trình chịu động đất

• Giá trị gia tốc cực đại của 3 sơ đồ trên (hình 6) đều giảm theo sự gia tăng của chu kỳ. Trong đó, đối với sơ đồ kết cấu không bố trí giằng sự giảm này là ít nhất và tốc độ giảm nhiều nhất rơi vào trường hợp sơ đồ có bố trí hệ giằng ở 4 góc nhà. Như vậy, kết cấu càng cứng tốc độ giảm phản ứng gia tốc càng nhanh và hiệu quả nhất.

• Trên cả 3 loại sơ đồ, khi chu kỳ $T \leq 2$ (s) tốc độ giảm gia tốc nhiều nhất (tương ứng trên đường cong đồ thị có độ dốc lớn nhất) và chu kỳ ở mức 2.5 đến 3.5 (s), tốc độ giảm rất ít và hầu như không thay đổi (hình 6). Hiệu quả tốt nhất tương ứng với chu kỳ thiết kế từ 1.5 đến 2.5 (s).

• Trong 4 loại gối cô lập LRB1, LRB2, LRB3, LRB4 thì LRB4 (mềm nhất) có tỷ lệ giảm gia tốc nhiều nhất (hơn 80%); LRB1 là ít nhất (hơn 35%). Điều này chứng tỏ gối càng mềm (chu kỳ dài) thì việc giảm gia tốc càng có ý nghĩa. Tuy nhiên, nếu tăng độ mềm của gối mà không tăng tính cản thì chuyển vị của móng và của nhà sẽ tăng. Lúc đó ta cần phải kết hợp tăng cả độ mềm lẫn tính cản cho gối để có thể giảm cả chuyển vị lẫn gia tốc. Vì cao su thiên nhiên vốn có tính cản thấp, nên để tăng tỷ số cản hiệu quả của gối thì thường tăng kích thước lõi chì, điều này ảnh hưởng đến giá thành cũng như việc cấu tạo gối, đây là vấn đề cần xem xét và cân nhắc khi thiết kế thực tế.

3.2.2. Về phản ứng chuyển vị của kết cấu khi công trình chịu động đất

• Khi kết cấu có gắn các gối cô lập, chuyển vị đều gia tăng theo sự gia tăng của chu kỳ (hình 7). Đặc biệt sơ đồ kết cấu khung không bố trí hệ giằng tăng nhanh và nhiều nhất. Điều này chứng tỏ chu kỳ tỷ lệ thuận với chuyển vị, kết cấu càng mềm thì chuyển vị càng lớn.

• Tất cả các sơ đồ kết cấu được cô lập động đất đều có chuyển vị tuyệt đối ở các tầng lớn hơn chuyển vị tuyệt đối của sơ đồ kết cấu bị ngàm tại móng (do ta đã chú ý cho móng được chuyển động). Tuy nhiên, điều quan trọng là chuyển vị tương đối giữa các tầng trong kết cấu có cô lập lại đã giảm rất nhiều. Chính vì vậy, biến dạng cũng như nội lực của kết cấu đã giảm đáng kể, tăng mức độ an toàn cho công trình. Đặc biệt, khi chu kỳ thứ nhất của kết cấu được kéo dài tới 3 s với gối cao su LRB4 thì phản ứng chỉ còn khoảng hơn 10%.

• Trên biểu đồ hình 7 cho thấy độ dốc thay đổi lớn khi đi từ sơ đồ ngàm cứng đến sơ đồ có gối LRB1 ($T_e=1.5$ s) và gối LRB2 ($T_e = 2.0$ s), chứng tỏ hiệu quả giảm phản ứng trong khoảng này là rất cao. Tuy nhiên, khi đi từ gối LRB2 đến LRB3 ($T_e = 2.5$ s) rồi LRB4 ($T_e = 3.0$ s), hiệu quả giảm chuyển vị tương đối hầu như không được cải thiện: biểu đồ gần như nằm ngang.

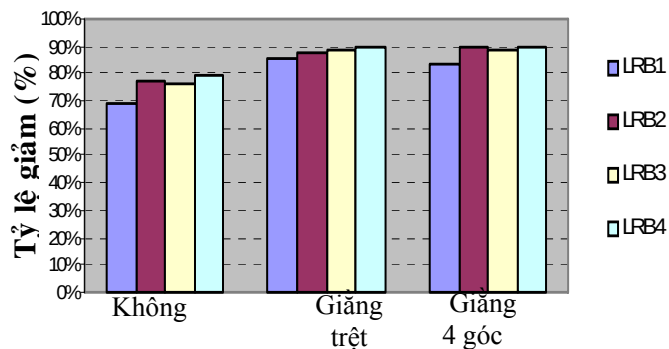
Như vậy, với kết cấu này và mức độ động đất như El Centro thì có thể xem chu kỳ của gối bằng 2s (LRB2) là tốt nhất.

3.2.3. Về khả năng tiêu tán năng lượng của các gối LRBs

• Phần năng lượng do gối cô lập tăng rất nhanh (nonlinear energy) hấp thu hầu hết năng lượng do động đất tác động vào và nhanh chóng tiến tới trị số năng lượng đầu vào. Động năng và thế năng có trị số nhỏ hơn nhiều so với trường hợp không có gối cô lập và tắt rất nhanh. Như vậy, chính gối cô lập đã hấp thu năng lượng tác động vào kết cấu, cùng với tính cản của bản thân kết cấu làm tắt nhanh dao động. Chuyển vị tương đối giữa kết cấu và nội lực trong kết cấu sẽ giảm đáng kể, kết cấu không bị phá hoại.

• Hiệu quả giảm tổng lực cắt tại các chân cột. Hiệu quả giảm tổng lực cắt khá cao (trên 80%). Điều này cho thấy khi gắn thiết bị cô lập móng sẽ đảm bảo an toàn cho công trình khi có xảy ra các trận động đất nguy hiểm với cấp độ như trận động đất El Centro lịch sử. Bởi vì, khi động đất xảy ra thì toàn bộ phần chân cột liên kết với móng sẽ bị phá hoại bởi lực cắt lớn.

• Ở sơ đồ có bố trí hệ giằng suốt các tầng hiệu quả giảm tổng lực cắt cao hơn 2 sơ đồ kia. Điều này chứng tỏ việc đưa hệ giằng vào nhằm nâng cao hiệu quả làm việc cho các gối cô lập là tích cực.



Hình 8 Hiệu quả giảm tổng lực cắt tại chân cột

4.KẾT LUẬN

Việc sử dụng các gối đỡ BIS để cô lập động đất đã đem lại hiệu quả cao. Các gối đỡ đã làm giảm gia tốc dao động của phần kết cấu bên trên cũng như làm giảm tổng lực cắt phá hoại tại chân cột. Điều này càng có ý nghĩa nếu ta bố trí hệ giằng xiên trong công trình, hệ giằng này vừa làm tăng độ cứng, khống chế chuyển vị lớn, đồng thời làm giảm đáng kể tổng lực cắt (trên 80% so với việc không bố trí hệ giằng) khi có động đất.

Việc sử dụng công nghệ cô lập móng ở các nước Bắc Mỹ và Nhật Bản đã đem lại hiệu quả cao và hiện nay đang được chuyển giao các nước có nguy cơ bị động đất cao như Iran, Mexico, Trung Quốc, Thổ Nhĩ Kỳ. Do vậy, ở Việt Nam cũng cần thiết phải xem xét ứng dụng để bảo tồn các công trình văn hóa, hoặc các công trình quan trọng trong các vùng có nguy cơ động đất.

THE EFFECT OF REINFORCED CONCRETE BRACES ON THE EARTHQUAKE RESISTANCE ABILITY OF BASE ISOLATION SYSTEMS

Nguyen Van Giang⁽¹⁾, Chu Quoc Thang⁽²⁾

(1) HCMC University of Technology

(2) International University, VNU-HCM

ABSTRACT: In the last few decades, there has been a great deal of interest in the use of structural control system to mitigate the effects of natural hazards on civil structures. This paper will briefly describe basic concepts and applications on buildings using rubber bearing isolation which is assisted by diagonal brace.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A.K Chopra, *Dynamics of Structure: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall International Inc, Englewood Cliffs, N.J, 1995.

- [2]. James M. Kelly, *Base Isolation: Origin and Development*, National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley, 1998.
- [3]. Jemore J. Connor, *Introduction to Structure Motion control*, Massachusetts, Institute of Technology, USA, 2000.
- [4]. Mehmet Celebi, *Successful Performance of a Base – Isolated Hospital Building During the 17th January 1994 Northridge Earthquake*, *Structural Design of Building*, Vol.5, 95-109, John Wiley and Son., Ltd., 1996.
- [5]. Chu Quốc Thắng , *Phương Pháp Phần Tử Hữu Hạn*, Nhà Xuất Bản Khoa Học Kỹ Thuật.,1996.
- [6]. E.L. Wilson, *Sap 2000 Version 7.42 User Guide – Analysis Reference – Static and Dynamic Finite Element Analysis Structures*, Computer and Structures Inc, Berkeley, California, USA, 2000
- [7]. Nguyễn Văn Giang, *Khảo sát tác dụng chống động đất của hệ thống cô lập móng – BIS*, Luận văn thạc sĩ ngành XDDD & CN khóa 10 – ĐHBK Tp.HCM, tháng 12/2002.