

ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ PHÂN BỐ HỆ CẢN CHẤT LỎNG NHỚT ĐẾN KHẢ NĂNG KHÁNG CHẤN CỦA KẾT CẤU

Bùi Đông Hoàn ⁽¹⁾, Nguyễn Hữu Anh Tuấn ⁽²⁾, Chu Quốc Thắng ⁽³⁾

(1) Công ty LICOGI, (2) Đại học Kiến Trúc TP HCM

(2) Đại học Quốc Tế- ĐHQG- HCM

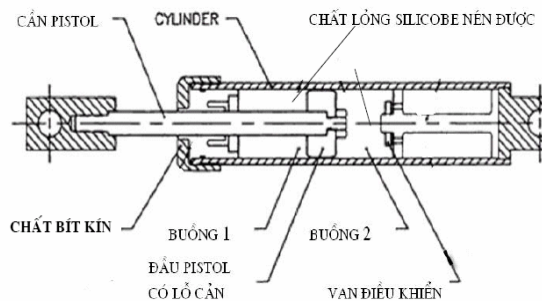
(Bài nhận ngày 24 tháng 11 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 27 tháng 03 năm 2006)

TÓM TẮT: Bài báo khảo sát tác dụng chống động đất của hệ cản chất lỏng nhớt (Fluid viscous damper, FVD) qua kết quả phân tích động lực học một công trình 10 tầng bằng bê tông cốt thép (BTCT) chịu tác động động đất. Phản ứng cực đại của kết cấu được xác định cho trường hợp kết cấu không dùng FVD và kết cấu có dùng FVD với các cách phân bố FVD khác nhau và các giá trị hệ số cản khác nhau. Từ đó, hiệu quả kháng chấn của từng giải pháp phân bố FVD sẽ được đánh giá.

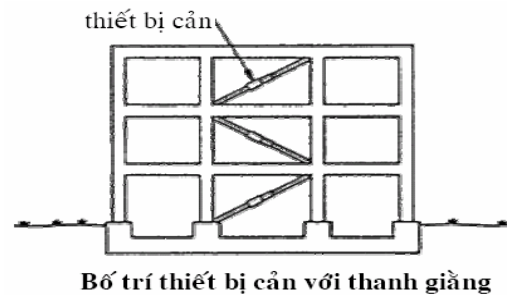
1. GIỚI THIỆU

Các hệ thống điều khiển kết cấu chống động đất thường được sử dụng là hệ cô lập móng và các thiết bị cản làm việc theo nguyên lý khác nhau (cản nhớt, cản đàn nhớt, cản ma sát, ...) [2]. Hình 1 trình bày cấu tạo một dạng hệ cản lợi dụng tính nhớt của chất lỏng silicone do hãng Taylor Devices chế tạo. Lỗ cản hình vành khuyên được tạo thành bởi khoảng hở giữa mặt trong của cylinder và mặt ngoài của đầu pistol làm bằng đồng. Chất lỏng chuyển động với vận tốc cao qua lỗ hình vành khuyên tạo ra sự chênh áp suất tại đầu pistol và sinh ra lực cản.

Hình dạng đầu pistol quyết định đặc trưng cản của thiết bị. Quan hệ giữa lực cản nhớt FD và vận tốc tương đối $\dot{u}$ giữa hai đầu thiết bị là $FD = C|\dot{u}|^\alpha \text{sgn}(\dot{u})$. Khi $\alpha = 1$ ta có hệ cản nhớt tuyến tính; khi $\alpha < 1$ ta có hệ cản nhớt phi tuyến, thường có hiệu quả cao với chấn động mạnh; còn hệ cản có $\alpha > 1$ thì ít gặp trong thực tế.



Hình 1. Cấu tạo thiết bị cản nhớt của hãng Taylor Devices



Hình 2. Công trình có lắp đặt thiết bị cản

Do các thiết bị cản thường được bố trí ở vị trí các thanh giằng (hình 2) nên chúng làm việc song song với kết cấu, làm cho ứng xử của hệ kết cấu có thiết bị cản trở nên vô cùng phức tạp. Bài báo sẽ khảo sát tác dụng kháng chấn của hệ cản chất lỏng nhớt với một số cách phân bố hệ số cản khác nhau.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Hệ một bậc tự do có hệ cản nhớt tuyến tính

Xét hệ một bậc tự do có gắn thiết bị cản nhớt tuyến tính chịu chuyển vị điều hòa theo thời gian $u = u_0 \sin \omega t$ với u_0 là biên độ chuyển vị và ω là tần số góc của kích động. Hệ cản nhớt tuyến

tính sẽ cho lực cản $FD = C\dot{u}$ với C là hệ số cản của thiết bị cản nhớt và $\dot{u}$ là vận tốc tương đối của hệ.

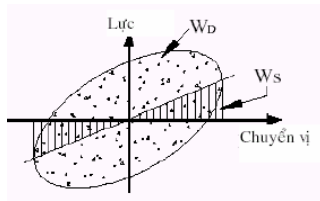
$$\text{Năng lượng WD tiêu tán bởi hệ cản: } W_D = \oint F_D du = \oint C\dot{u} du = \int_0^{2\pi/\omega} C\dot{u}^2 dt = \pi C u_0^2 \omega \quad (1)$$

Gọi ξ_d là tỷ số cản do sự đóng góp của thiết bị cản; K , m và ω_0 lần lượt là độ cứng, khối lượng và tần số tự nhiên (tần số riêng) của kết cấu; W_S năng lượng biến dạng đàn hồi của hệ (hình 3). Ta có:

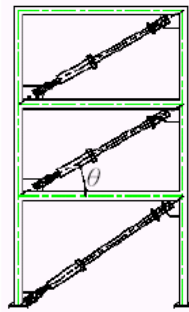
$$\omega_0^2 = \frac{K}{m} \quad C = 2\xi_d \omega_0 m = 2\xi_d \frac{K}{\omega_0} \quad W_S = \frac{1}{2} K u_0^2 \quad (2)$$

$$\text{Từ (1) và (2) ta được} \quad W_D = 2\pi\xi_d W_S \frac{\omega}{\omega_0} \quad \xi_d = \frac{W_D}{2\pi W_S} \frac{\omega_0}{\omega} \quad (3)$$

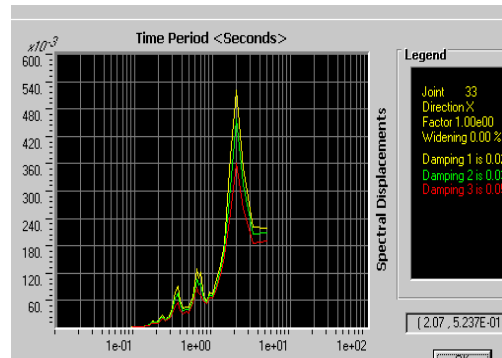
$$\text{Ở điều kiện cộng hưởng } (\omega = \omega_0) \text{ thì} \quad \xi_d = \frac{W_D}{2\pi W_S} \quad (4)$$



Hình 3. Định nghĩa ED và ES của hệ một bậc tự do có thiết bị cản nhớt



Hình 4. Hệ nhiều bậc tự do có thiết bị cản nhớt



Hình 5. Phân tích phổ chuyển vị tầng 10 với động đất Northridge

2.2. Hệ nhiều bậc tự do có các hệ cản nhớt tuyến tính

Xét một hệ nhiều bậc tự do có gắn các hệ cản nhớt tuyến tính như hình 4. Tỷ số cản hiệu quả ξ_{eff} của hệ (kết cấu + thiết bị cản nhớt) là $\xi_{eff} = \xi_0 + \xi_d$ với ξ_0 là tỷ số cản của riêng kết cấu và ξ_d là tỷ số cản do sự đóng góp của các thiết bị cản nhớt.

Mở rộng quan điểm đối với hệ một bậc tự do ở phần 2.1 vào hệ nhiều bậc tự do, ta có:

$$\xi_d = \frac{\sum W_j}{2\pi W_K}$$

với W_j là năng lượng tiêu tán do thiết bị cản nhớt thứ j và W_K là năng lượng biến dạng đàn hồi của kết cấu. Động đất là một quá trình ngẫu nhiên, do đó đáp ứng đầu ra của kết cấu cũng là quá trình ngẫu nhiên, trong đó ta cần tìm một mode chủ đạo (predominant mode) ứng với một tần số mà phổ đáp ứng sẽ có giá trị lớn nhất. Chẳng hạn qua phân tích phổ đáp ứng (hình 5) một nhà BTCT 10 tầng (hình 6) chịu động đất Northridge (California, 1994) bằng phần mềm SAP2000, ta nhận xét rằng mode chủ đạo là mode thứ nhất.

Gọi K , m , Φ_1 lần lượt là ma trận độ cứng, ma trận khối lượng thu gọn và mode shape chủ đạo của hệ; ϕ_i là chuyển vị của tầng thứ i trong mode chủ đạo; m_i là khối lượng tầng thứ i . Gọi u_j và ϕ_{ij} lần lượt là chuyển vị tương đối theo phương dọc trục và phương ngang của thiết bị cản nhớt thứ j (có góc nghiêng θ_j so với phương ngang) trong mode chủ đạo. Ta có W_K và

ΣW_j được xác định theo (5) và (6), suy ra tỷ số cản hiệu quả của hệ nhiều bậc tự do có các thiết bị cản nhớt tuyến tính được xác định theo (7).

$$WK = \Phi_1^T K \Phi_1 = \Phi_1^T \omega^2 m \Phi_1 = \sum_i \omega^2 m_i \phi_i^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \phi_i^2 \quad (5)$$

$$\sum_j W_j = \sum_j \pi C_j u_j^2 \omega_0 = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j u_j^2 = \frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j \quad (6)$$

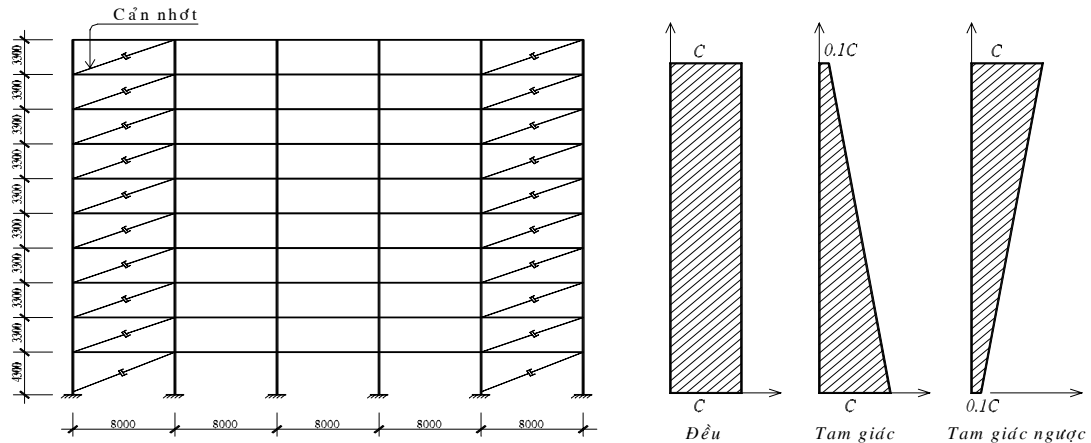
$$\xi_{\text{eff}} = \xi_0 + \frac{\frac{2\pi^2}{T} \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{2\pi \frac{4\pi^2}{T^2} \sum_i m_i \phi_i^2} = \xi_0 + \frac{T \sum_j C_j \phi_{rj}^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (7)$$

Từ (7) ta thấy rõ ràng hệ cản nhớt đã làm tăng tỷ số cản của kết cấu từ ξ_0 thành ξ_{eff} .

3. TÍNH TOÁN BẰNG SỐ

3.1. Mô tả bài toán

- Một khung cứng BTCT 10 tầng (hình 6) với khối lượng mỗi tầng là $m = 240 \text{ kNs}^2/\text{m}$ và tỷ số cản của bản thân kết cấu là $\xi_0 = 5\%$, chịu tác động của trận động đất Northridge được mô tả dưới dạng gia tốc nền thay đổi trong 60 giây. Trị số lớn nhất PGA của gia tốc nền được khuếch đại thành $0.387 \text{ cm/s}^2 \approx 0.4g$. Hệ số cản của một thiết bị cản nhớt FVD tuyến tính là c , của các FVD ở mỗi tầng là $C=2c$.



Hình 6. Sơ đồ kết cấu và các trường hợp phân bố damper theo chiều cao

Khảo sát với 3 cách phân bố hệ số cản C theo chiều cao công trình:

- Phân bố đều : hệ số cản của FVD là giống nhau cho các tầng.
- Phân bố tam giác : hệ số cản của FVD tầng 1 là C , rồi giảm tuyến tính dần đến giá trị $0.1C$ cho tầng trên cùng. Cách phân bố này tương tự với sự phân bố trọng lượng công trình.
- Phân bố tam giác ngược: hệ số cản của FVD tầng trên cùng là C , rồi giảm tuyến tính dần đến giá trị $0.1C$ cho tầng 1. Cách phân bố này tương tự với sự phân bố lực động đất tương đương theo các quy phạm thiết kế kháng chấn.

3.2. Xác định sơ bộ giá trị hệ số cản của thiết bị cản nhớt dùng để khảo sát

Phân tích phổ phản ứng (hình 5) cho thấy mode chủ đạo của kết cấu là mode thứ nhất có chu kỳ $T=2s$, ta tìm được ϕ_{rj} và ϕ_{rj} ứng với mode này.

Như vậy, nếu hệ số cản của thiết bị được phân bố đều theo các tầng và giả sử ta muốn đưa tỷ số cản ξ_{eff} lên bằng 20% thì từ (7) rút ra được $C = 11494 \text{ kNs/m}$ hay $c = C/2 = 5747 \text{ kNs/m}$.

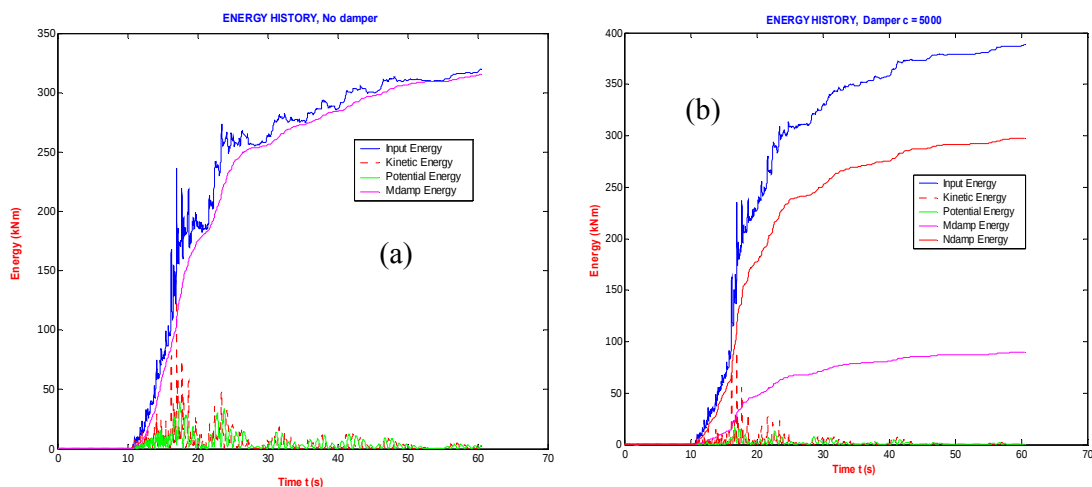
Vậy, để khảo sát ảnh hưởng độ lớn của hệ số cản c đến phản ứng kết cấu, thì ứng với mỗi cách phân bố damper (đều, tam giác, tam giác ngược) ta sẽ xét 10 trường hợp c thay đổi từ 1000 đến 10000 kNs/m. Dùng phần mềm Sap2000 NonLinear để phân tích động lực học kết cấu phi tuyến chịu động đất, trong đó hệ cản chất lỏng nhớt được mô tả bằng phần tử damper.

3.3. Phân tích kết quả

3.3.1. Sự hấp thụ và tiêu tán năng lượng

Khi kết cấu không có thiết bị cản nhớt thì năng lượng đầu vào do xung động đất (input energy) được chuyển thành động năng (kinetic energy), thế năng (Potential energy) tích lũy trong kết cấu và năng lượng bị tiêu tán do cản của kết cấu (modal damping energy). Trường hợp kết cấu có thiết bị cản nhớt phân bố đều với $c = 5000 \text{ kNs/m}$ thì hầu hết năng lượng đầu vào được hấp thụ bởi các thiết bị cản nhớt (Ndamp energy). Điều này được thể hiện rõ trên hình 7 (lịch sử thời gian) và bảng 1 (giá trị đỉnh của các thành phần năng lượng).

Bảng 1. Giá trị đỉnh của các thành phần năng lượng (kNm)				
	Tiêu tán do kết cấu	Thế năng	Động năng	Tiêu tán do thiết bị cản nhớt
khi không damper	315	40	126	0
khi có damper	90	18	90	298



Hình 7. Các thành phần năng lượng. (a) : không có thiết bị cản nhớt; (b): có thiết bị cản nhớt

Mặc dù các giá trị cực đại của các thành phần năng lượng khác nhau thì thường xảy ra tại các thời điểm khác nhau, nhưng ta cũng thấy rằng: do các thiết bị cản nhớt đã hấp thụ phần lớn năng lượng đầu vào nên năng lượng mà bản thân kết cấu phải tiêu tán sẽ giảm đi đáng kể (giảm 71%), tức là khả năng hư hỏng và phá hoại kết cấu cũng giảm theo. Ngoài ra, thiết bị cản còn

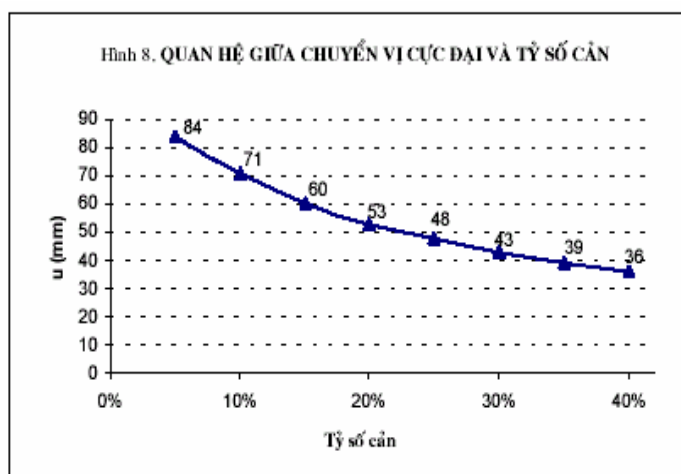
giúp giảm chuyển vị (do thể năng giảm 55%) và giảm vận tốc dao động của sàn (do động năng giảm 29%). Có thể nói **hệ cản nhớt đã bảo vệ kết cấu**.

3.3.2. Xác định tỷ số cản hiệu quả ξ_{eff} của các phương án phân bố thiết bị cản nhớt

Chúng tôi đề nghị phương pháp xác định ξ_{eff} thông qua phân tích động lực học kết cấu chịu động đất như sau:

(i) Xác định chuyển vị sàn cực đại của kết cấu không có thiết bị cản nhớt với tỷ số cản của kết cấu thay đổi từ thấp đến cao. Kết quả được cho ở hình 8.

(ii) Với 30 sơ đồ kết cấu có bố trí thiết bị cản nhớt (gồm 3 cách phân bố: đều, tam giác, tam giác ngược; xét 10 trường hợp hệ số cản thay đổi cho mỗi cách), nhận định xem chuyển vị cực đại của từng trường hợp gần bằng với giá trị nào trong các giá trị đã tìm được từ phân tích (i) ở trên. Từ đó nội suy ra tỷ số cản tương đương của hệ kết cấu có gắn thiết bị cản nhớt. Kết quả được cho trong bảng 2.



Bảng 2. Tỷ số cản hiệu quả										
c (kNs/m)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Đều	10%	12%	15%	18%	20%	23%	25%	27%	28%	30%
Tam giác	9%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	23%	24%
Tam giác ngược	9%	10%	10%	12%	13%	13%	15%	16%	17%	18%

3.3.3. Hiệu quả giảm chuyển vị, gia tốc, nội lực do động đất của thiết bị cản nhớt

Từ phân tích động lực học phi tuyến, ta tìm được các giá trị đỉnh của phản ứng (peak value) gồm chuyển vị sàn, gia tốc sàn, moment và lực cắt cột giữa tầng trệt, moment dầm giữa tầng trệt; ứng với sơ đồ kết cấu không có thiết bị cản nhớt được lấy làm chuẩn và 30 sơ đồ kết cấu có bố trí thiết bị cản nhớt khác nhau. Hiệu quả giảm phản ứng kết cấu của thiết bị cản nhớt được thể hiện trên các đồ thị hình 9a→ 9e, đồng thời tổng hệ số cản cần thiết cho mỗi phương án phân bố thiết bị cản được cho trên đồ thị hình 9f.

3.3.4. Đánh giá hiệu quả kháng chấn của các phương án hệ cản nhớt

- Phương án thiết bị cản nhớt phân bố đều đòi hỏi tổng hệ số cản ΣC gấp $10/5.5=1.8$ lần so với các phương án tam giác hay tam giác ngược tương ứng (cùng c , chỉ khác ΣC). Khi $c = 5000 \div 10000$ kNs/m (khoảng giá trị phổ biến), ta có một số nhận định sau (xem bảng 3):

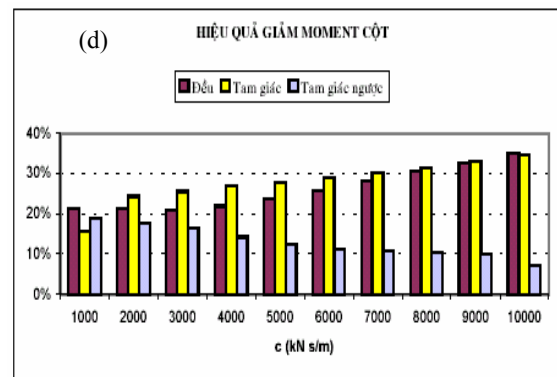
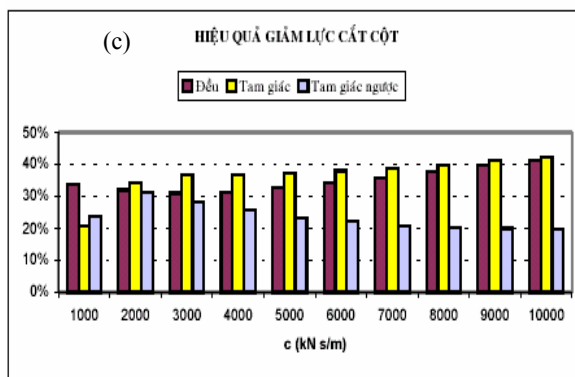
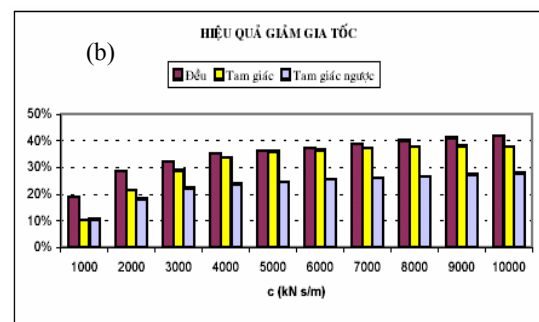
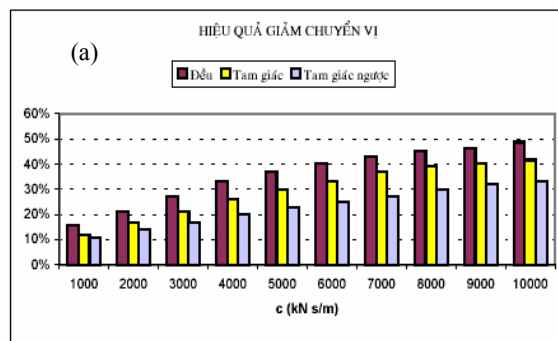
- Hệ cản nhớt có thể dễ dàng đưa tỷ số cản của kết cấu từ giá trị $\leq 5\%$ ban đầu lên giá trị $\geq 20\%$, với thiết bị cản nhớt được phân bố đều hoặc theo kiểu tam giác, làm giảm đáng kể phản ứng của kết cấu.

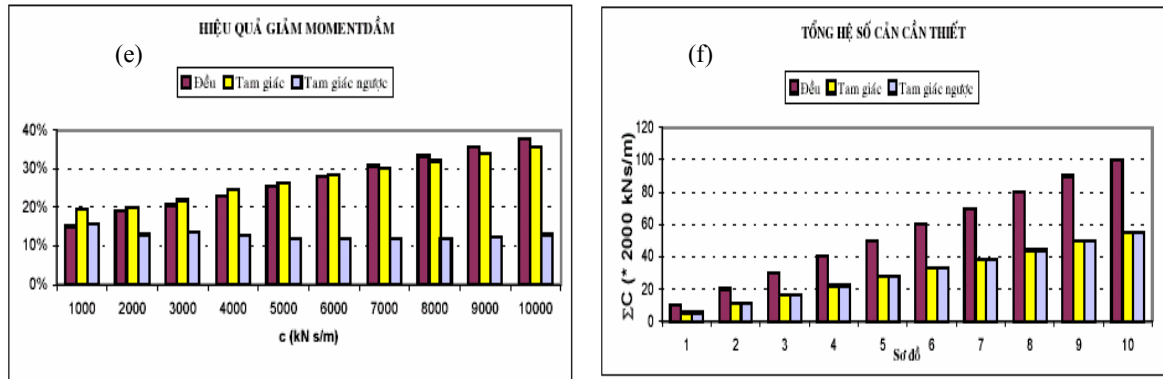
- Dù cùng đòi hỏi tổng hệ số cản của thiết bị như nhau, nhưng phương án *tam giác ngược* cho hiệu quả *thấp hơn* khoảng từ 1.5 đến 2.5 lần so với phương án *tam giác*.

- Cách phân bố *tam giác* chỉ đòi hỏi tổng hệ số cản thiết bị cản nhớt bằng 55% so với cách phân bố *đều*, có thể cho hiệu quả giảm chuyển vị và gia tốc bằng khoảng 80÷ 85% so với cách phân bố *đều*. Ngoài ra, hiệu quả giảm lực cắt và moment cột, dầm của phương án *tam giác* không thua kém mà đôi khi còn trội hơn cả phương án phân bố *đều* các thiết bị cản. Từ đó ta dự đoán rằng, nếu tăng hệ số cản của phương án *tam giác* cho nó bằng với phương án phân bố *đều* thì hiệu quả giảm nội lực cột, dầm của phương án *tam giác* càng vượt xa phương án phân bố *đều*.

Bảng 2. Hiệu quả kháng chấn của các phương án phân bố thiết bị cản nhớt

	Tổng hệ số cản của damper	Tỷ số cản hiệu quả	Giảm chuyển vị	Giảm gia tốc	Giảm lực cắt cột	Giảm moment cột	Giảm moment dầm
<i>Đều</i>	n	20÷30 %	37÷ 49 %	36÷ 42 %	33÷ 41 %	24÷ 35 %	26÷ 38 %
<i>Tam giác</i>	0.55n	16÷24 %	30÷ 42 %	36÷ 38 %	37÷ 42 %	28÷ 35 %	26÷ 36%
<i>Tam giác ngược</i>	0.55n	13÷18 %	23÷ 33 %	25÷ 28 %	23÷ 20 %	12÷ 7 %	12÷ 13 %





Hình 9. So sánh hiệu quả giảm phản ứng kết cấu và tổng hệ số cản cần thiết của các phương án bố trí thiết bị cản nhớt

4. KẾT LUẬN

Sử dụng hệ cản chất lỏng nhớt là một giải pháp hiệu quả để giúp công trình chống chọi với tác động động đất. Cần tiến hành nhiều nghiên cứu lý thuyết lẫn thực nghiệm hơn nữa để có thể bảo đảm độ tin cậy của giải pháp điều khiển kết cấu này, từ đó ứng dụng vào thực tiễn một cách tối ưu. Do hệ cản nhớt làm việc song song với kết cấu nên đáp ứng với động đất của kết cấu có hệ cản nhớt rất phức tạp, không chỉ thay đổi tùy theo các đặc trưng của kết cấu và hệ cản mà còn tùy vào cách phân bố thiết bị cản. Trong số các phương án bố trí thiết bị cản đã khảo sát thì phương án tập trung hệ số cản ở các tầng dưới rồi giảm dần khi lên cao như cách phân bố *tam giác* tỏ ra ưu việt nhất trong việc giảm chuyển vị, gia tốc dao động cũng như nội lực của kết cấu, tức là giảm thiểu khả năng phá hoại công trình.

THE INFLUENCE OF FLUID VISCOUS DAMPERS' DISTRIBUTION ON STRUCTURAL CONTROL OF DYNAMIC EARTHQUAKE LOADING

Bui Dong Hoan⁽¹⁾, Nguyen Huu Anh Tuan⁽²⁾, Chu Quoc Thang⁽³⁾

(1) LIGICO company, (2) University of architecture, HCMC

(3) International University, VNUH-HCM

ABSTRACT: Numerical simulations of a 10-storey reinforced concrete building are conducted to investigate the effectiveness of fluid viscous damper (FVD) for control of structures under dynamic earthquake loading. The responses of the structure without FVD are compared to the responses of the structure with FVD. Various damping coefficient and various installation locations of dampers are studied to evaluate the effectiveness of the FVD approach.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Anil K. Chopra, *Dynamics of Structures*, International Edition, Prentice -Hall, 1995
- [2]. Jerome J. Connor, *Introduction to Structural Motion Control*, MIT, 2000
- [3]. Douglas P. Taylor, *History, Design and Application of Fluid Dampers in Structural Engineering*, Taylor devices inc.,

- [4]. Bùi Đông Hoàn, *Khảo sát tác dụng kháng chấn của hệ cản chất lỏng nhớt*, Luận văn thạc sĩ khoa học kỹ thuật , ĐH Bách Khoa Tp HCM, 2004.
- [5]. Trevor E Kelly, *In-Structure Damping and Energy Dissipation*, Holmes Consulting roup, 2001
- [6]. Stephen H. Crandall, William D. Mark, *Random Vibration in Mechanical Systems*, Academic Press Inc, 1973