

SO SÁNH KHẢ NĂNG GIẢM CHẤN CỦA HỆ CẢN CÓ ĐỘ CỨNG THAY ĐỔI VỚI HỆ CẢN MA SÁT BIẾN THIÊN

Nguyễn Quang Bảo Phúc⁽¹⁾, Phạm Nhân Hòa⁽²⁾, Chu Quốc Thắng⁽³⁾

(1) ĐHQG-HCM; (2) Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Tp. Hồ Chí Minh

(3) Trường Đại học Quốc tế, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 26 tháng 02 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 16 tháng 04 năm 2009)

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu mô hình của kết cấu được trang bị hệ cản có độ cứng thay đổi (CSD-Controlled Stiffness Damper) được điều khiển bán chủ động cũng như thuật toán điều khiển nó. Các tính toán số được thực hiện nhằm khảo sát và đánh giá mức độ hiệu quả giảm chấn công trình sử dụng CSD được điều khiển bán chủ động với hệ cản ma sát biến thiên (VFD-Variable Stiffness Damper). Các kết luận sơ bộ về ưu và khuyết điểm của CSD so với VFD cũng được nêu lên ở cuối bài báo.

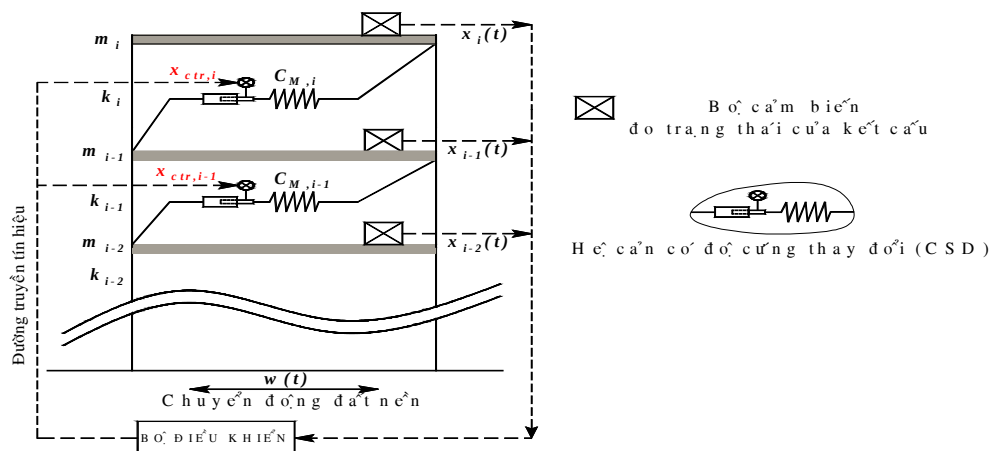
Từ khóa: hệ cản có độ cứng thay đổi, hệ cản ma sát biến thiên, điều khiển bán chủ động.

1. GIỚI THIỆU

Các trận động đất xảy ra ngày càng nhiều kèm theo ảnh hưởng của các dư chấn trong thời gian gần đây trong khu vực đặt ra vấn đề nghiên cứu áp dụng các biện pháp kháng chấn cho công trình xây dựng mới và cải tạo. Do đó khảo sát một loại thiết bị mới nhằm mở rộng hơn nữa khả năng áp dụng các thiết bị giảm chấn vào việc cải tạo tăng cường khả năng kháng chấn các nhà cao tầng hiện có và các công trình xây mới trước các hiểm họa động đất là việc làm cần thiết.

Thiết bị giảm chấn có độ cứng thay đổi được điều khiển bán chủ động (CSD) là thiết bị sử dụng các lò xo và các cơ cấu điều chỉnh nhằm tạo ra lực đàn hồi. Lực này đóng vai trò như là lực điều khiển chủ động và nó sẽ được giới hạn trong khả năng làm việc của các lò xo. CSD với ưu điểm đơn giản, không bị ảnh hưởng bởi vận tốc và chuyển vị nhỏ tác động vào thiết bị [6] nên CSD dễ điều khiển và hiệu quả về mặt kinh tế.

2. THIẾT BỊ GIẢM CHẤN CÓ ĐỘ CỨNG THAY ĐỔI



Hình 1. Mô hình kết cấu được trang bị hệ cản CSD và hệ thống điều khiển bán chủ động

Xét kết cấu n tầng trang bị r hệ cản CSD như **Error! Reference source not found.**. Trong đó, các ký hiệu: m_i, k_i và $x_i(t)$ lần lượt là khối lượng, độ cứng và chuyển vị so với đất nền của tầng thứ i^{th} . Giảm được xem là tuyệt đối cứng. $x_{ctr,i}$ là chuyển vị của thanh điều khiển để thay đổi độ giãn dài của lò xo chính và $C_{M,i}$ độ cứng của lò xo chính trong CSD tại tầng thứ i^{th} .

Khi kết cấu chịu động đất, phương trình chuyển động của kết cấu được mô tả trong không gian véc tơ trạng thái như sau [2]:

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \mathbf{A}.\mathbf{z}(t) + \mathbf{B}.\mathbf{u}(t) + \mathbf{E}.\mathbf{w}(t) \quad (1)$$

trong đó: $\mathbf{z}(t)$ diễn tả trạng thái của kết cấu bao gồm chuyển vị tương đối và vận tốc tương đối của các tầng so với đất nền; $\mathbf{u}(t)$: vector lực điều khiển được sinh ra bởi hệ cản; $\mathbf{w}(t)$: vector gia tốc nền của trận động đất; $\mathbf{A}$: ma trận xác định đặc trưng của kết cấu bao gồm các ma trận khối lượng, ma trận cản và ma trận độ cứng của kết cấu; $\mathbf{B}$ và $\mathbf{E}$: ma trận phân bố lực điều khiển và gia tốc nền.

Nghiệm của phương trình (1) sau khi đã rời rạc hóa miền thời gian được cho như sau:

$$\mathbf{z}[k+1] = \mathbf{A}_d.\mathbf{z}[k] + \mathbf{B}_d.\mathbf{u}[k] + \mathbf{E}_d.\mathbf{w}[k] \quad (2)$$

$$\text{trong đó: } \begin{cases} \bullet \mathbf{A}_d = e^{\mathbf{A}.\Delta t} \\ \bullet \mathbf{B}_d = \mathbf{A}^{-1} (e^{\mathbf{A}.\Delta t} - \mathbf{I}) \mathbf{B} \\ \bullet \mathbf{E}_d = \mathbf{A}^{-1} (e^{\mathbf{A}.\Delta t} - \mathbf{I}) \mathbf{E} \end{cases} \quad \text{với: } \begin{cases} \bullet \Delta t \text{ là bước thời gian} \\ \bullet \mathbf{I} \text{ là ma trận đơn vị} \end{cases}$$

3.XÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỀU KHIỂN CHO HỆ CẢN CSD

Lực điều khiển sinh ra trong hệ cản CSD tại tầng thứ i^{th} được tính theo công thức sau [5]:

$$u_{i,CSD}(t) = C_{M,i} \left[x_i(t) - x_{i-1}(t) + x_{i,ctr}(t) \right] + n_{C,i} C_{C,i} \left\{ x_{0,i} - [x_i(t) - x_{i-1}(t)] \right\} \cdot \left\{ \sqrt{\frac{\frac{a^2}{4} + x_0^2}{\frac{a^2}{4} + \{x_{0,i} - [x_i(t) - x_{i-1}(t)]\}^2}} - 1 \right\} \quad (3)$$

trong đó:

- C_M và C_C lần lượt là độ cứng của lò xo chính và lò xo hỗ trợ.
- n_C là số lượng các lò xo hỗ trợ.
- a là đường kính trong của xy lanh.
- x_0 là hình chiếu theo phương ngang của chiều dài lò xo hỗ trợ ở trạng thái nghỉ.

Lò xo phụ ngoài tác dụng giữ cho hệ cân không mất ổn định ngoài mặt phẳng kết cấu đang xét, nó còn làm cho lực điều khiển được sinh ra trong CSD ổn định quanh một giá trị cố định trước khi kết cấu được điều khiển bởi lò xo chính. Điều này được thể hiện ở số hạng thứ 2 trong công thức (3).

Khi làm việc, độ giãn của lò xo chính phải nằm trong miền đàn hồi nên $x_{i,ctr}(t)$ phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$x_{limit,n} \leq x_i(t) - x_{i-1}(t) + x_{i,ctr}(t) \leq x_{limit,k} \quad (4)$$

trong đó: $x_{limit,n}$ & $x_{limit,k}$ là giới hạn đàn hồi của lò xo chính khi chịu nén và kéo.

Để điều khiển kết cấu cho độ giảm đáp ứng tốt nhất, ta phải có thuật toán điều khiển chủ động phù hợp. Trong bài báo này, $u_{CSD}(t)$ được lấy theo lực điều khiển chủ động $\hat{u}$ với thuật toán điều khiển: *sử dụng dữ liệu phản hồi chuyển vị và vận tốc* (Instantaneous Control with Displacement and Velocity Feedback) [1][2] như sau:

$$\hat{F} = B_2^{-1} [\Phi_{2c} \cdot \text{diag}(l_i)_c - A_2 \cdot \Phi_c] \cdot (C \cdot \Phi_c)^{-1} \quad (5)$$

trong đó: Φ_c là ma trận chứa vectơ riêng theo mục đích điều khiển; A_2 , B_2 và Φ_{2c} là ma trận được lấy ra từ r hàng dưới của các ma trận A , B và Φ_c

Tham số $(l_i)_c$ trong công thức (5) được chọn trước như sau:

$$l_{2i-1}^{(c)} = -z_i \cdot w_i \pm j \cdot w_i \sqrt{1 - z_i^2} \quad (6)$$

trong đó: w_i là tần số gốc của dao động riêng và z_i là tỉ số cản theo mục tiêu điều khiển.

4. SO SÁNH HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN GIỮA CSD VÀ VFD

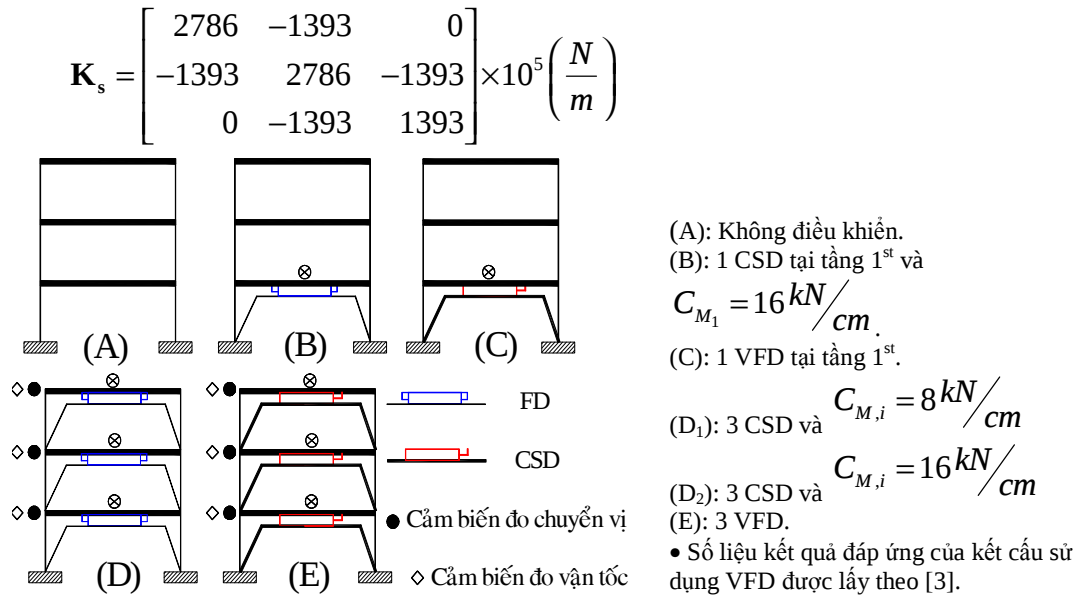
4.1. Kết cấu 3 tầng

Để so sánh hiệu quả giảm chấn của 2 hệ cân CSD và VFD, ta xét chúng trong cùng kết cấu khung 3 tầng của tòa nhà mẫu [3]. Các đặc điểm động lực học của kết cấu được cho như sau:

Các ma trận khối lượng, cản và độ cứng:

$$M_s = \begin{bmatrix} 4.78 & 0 & 0 \\ 0 & 4.78 & 0 \\ 0 & 0 & 5.18 \end{bmatrix} \times 10^5 (kg)$$

$$D_s = \begin{bmatrix} 8.6979 & -2.8402 & 0 \\ -2.8402 & 4.3796 & -1.5394 \\ 0 & -1.5394 & 1.5394 \end{bmatrix} \times 10^5 \left(\frac{N.s}{m} \right)$$



Hình 2: Các trường hợp kết cấu được trang bị hệ CSD và VFD

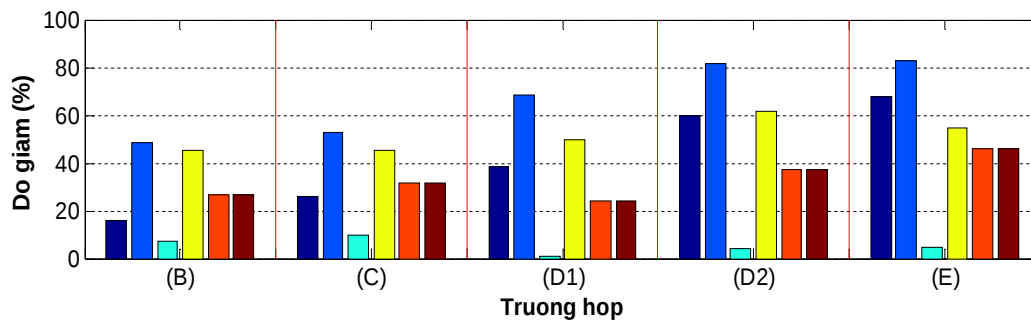
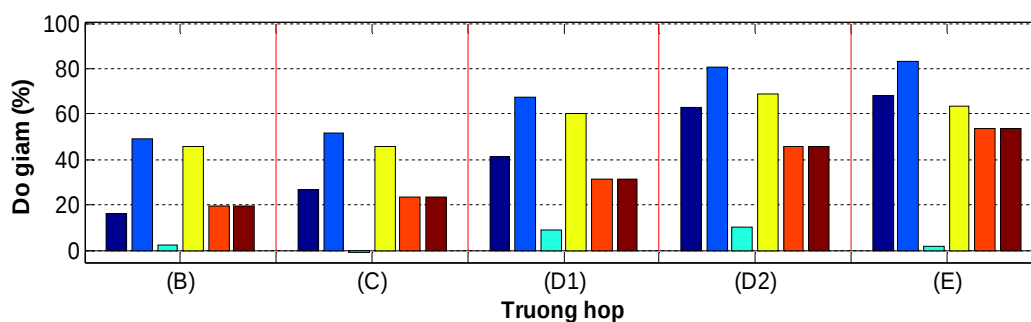
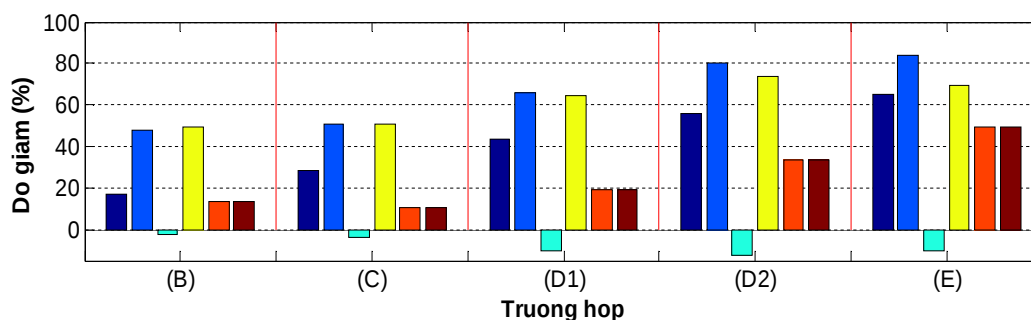
Với tải trọng động đất ElCentro, lấy $z = 0.9$ và các thông số của CSD được lấy như sau:

$$n_c = 4; C_c = \frac{C_M}{n_c}; a = 40(\text{cm}); x_0 = 0; x_{\text{limit}} = \pm 7.5(\text{cm})$$

Bảng 1. Kết quả đáp ứng của kết cấu

Trường hợp	Hệ cản	$x_{\max} (\text{cm})$			$\ddot{x}_{\max} (\text{m/s}^2)$			$SF_{\max} (\text{kN})$		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
(A)	—	2.68	4.68	5.77	5.36	3.77	4.20	1405.4	1432.9	1746.5
(B)	1 CSD	2.25	3.91	4.79	4.98	3.67	4.30	1035.2	1153.6	1509.7
(C)	1 VFD	1.98	3.43	4.13	4.84	3.80	4.35	962.8	1095.6	1559.4
(D) ₁	3 CSD	1.65	2.74	3.25	5.30	3.42	4.63	1069.6	985.4	1411.6
(D) ₂	3 CSD	1.08	1.74	2.57	5.15	3.37	4.73	878.6	772.6	1162.7
(E)	3 VFD	0.87	1.48	2.03	5.12	3.69	4.64	758.8	662.7	886.0

Trường hợp	Hệ cản	$x_{\text{ave}} (\text{cm})$			$\ddot{x}_{\text{ave}} (\text{cm/s}^2)$			$SF_{\text{ave}} (\text{kN})$		
		1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
(A)	—	0.70	1.26	1.58	0.68	0.96	1.17	267.1	362.3	478.2
(B)	1 CSD	0.36	0.64	0.82	0.37	0.52	0.59	177.4	204.1	266.6
(C)	1 VFD	0.33	0.61	0.78	0.37	0.52	0.58	141.9	191.5	263.4
(D) ₁	3 CSD	0.22	0.41	0.54	0.34	0.38	0.42	135.5	141.4	192.2
(D) ₂	3 CSD	0.13	0.24	0.31	0.26	0.30	0.31	95.0	85.2	114.3
(E)	3 VFD	0.12	0.21	0.26	0.31	0.35	0.36	94.9	77.1	102.1

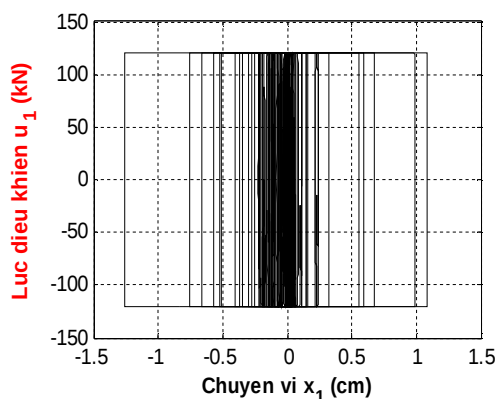
Hình 3. Độ giảm đáp ứng tầng 1stHình 4. Độ giảm đáp ứng tầng 2ndHình 5. Độ giảm đáp ứng tầng 3rd

Nhận xét: (Hình 3, Hình 4 và Hình 5)

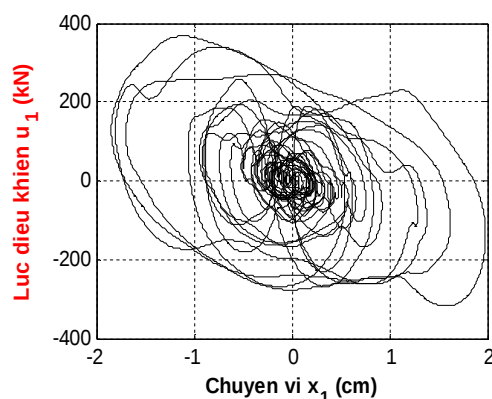
– Đối với kết cấu đều sử dụng 1 CSD (trường hợp (B)) hoặc 1 VFD (trường hợp (C)) thì cho độ giảm đáp ứng là gần như nhau. Điều này cũng cho kết quả tương tự khi kết cấu trang bị cả 3 CSD (trường hợp (D₂)) hay cả 3 VFD (trường hợp (E)).

– Khi sử dụng cả 3 CSD và $C_{M,i}$ tăng gấp 2 (trường hợp (D₁) và (D₂)) thì độ giảm đáp ứng lớn nhất tăng nhưng độ giảm đáp ứng trung bình tăng không đáng kể.

– Chu trình tiêu tán năng lượng của CSD (Hình 6) có dạng hình chữ nhật, trong khi VFD có dạng hình elip.



Hình 6. Chu trình trễ của CSD^{1st} với (D₂)



Hình 7. Lực điều khiển tại tầng 1st với (D₂)

4.2.Kết cấu 9 tầng

Để đánh giá mức độ hiệu quả của CSD và VFD có tính thực tế, ta xét kết cấu tòa nhà 9 tầng mẫu [3] chịu tải trọng động đất ElCentro. Đặc điểm kết cấu được cho trong Bảng 2.

Bậc tự do $n=10$, khung làm bằng thép có $E=200GPa=2 \times 10^4 kN/cm^2$.

Bảng 2. Đặc điểm của khung 9 tầng

Tầng	Ngầm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m ($\times 10^3 kg$)	483	505	495	495	495	495	495	495	495	532
k (kN/cm)	2641	2641	2313	2313	1750	1750	1235	1235	1094	1094

Tỉ số cản của khung bằng thép được lấy: $x_j = 0.02$ ($j = 1, 2, \dots, 10$). Kết cấu sử dụng cả 10 CSD hoặc cả 10 VFD (lấy $z = 0.9$), các đặc trưng của CSD được lấy như sau:

$$C_M = 18 \frac{kN}{cm} = 1\% \times k_{tb}; \quad \left(\text{với: } k_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^{10} k_i}{n} \approx 1800 \frac{kN}{cm} \right);$$

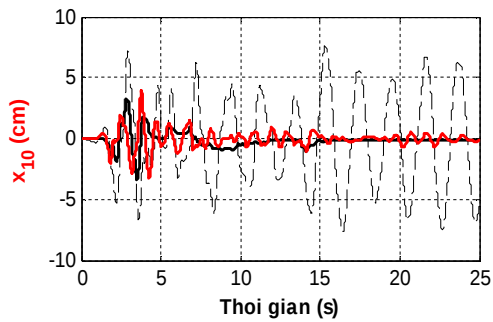
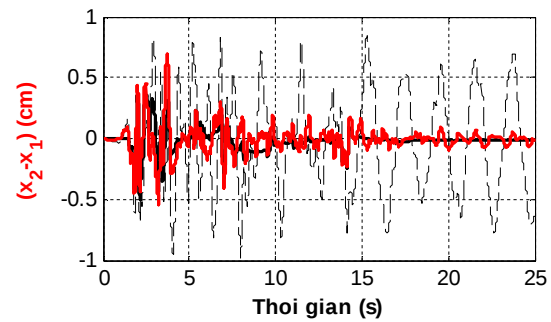
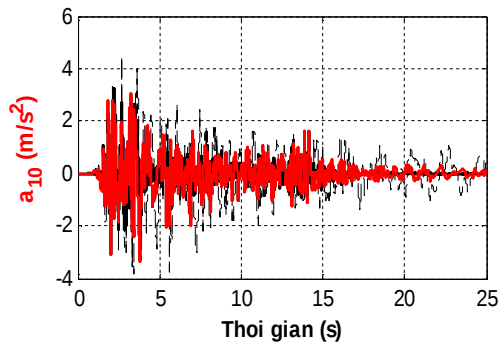
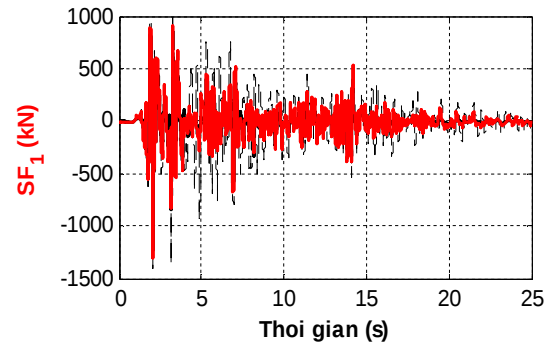
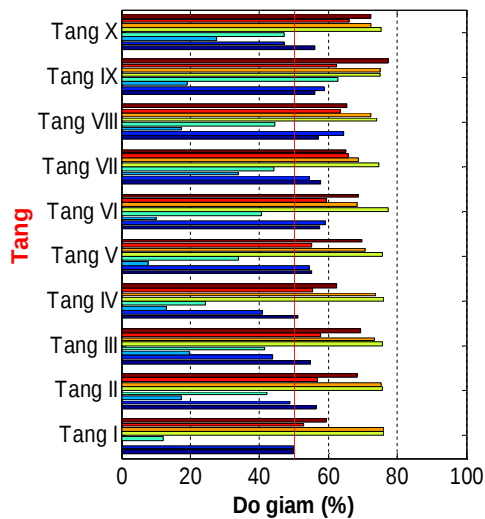
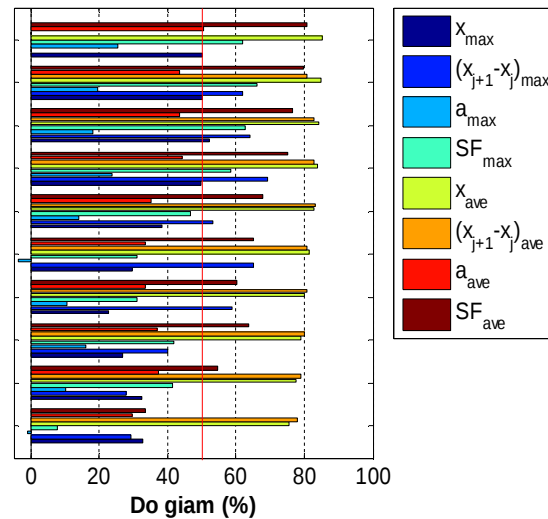
$$n_C = 4; \quad C_C = \frac{C_M}{n_C}; \quad a = 40(cm); \quad x_0 = 0; \quad x_{\text{limit}} = \pm 7.5(cm)$$

Nhận xét: (Hình 12 & Hình 13)

- Chỉ với $1\% \times k_{tb}$;
- Độ giảm đáp ứng lớn nhất (chuyển vị lớn nhất, gia tốc lớn nhất, lực cắt lớn nhất) của kết cấu sử dụng CSD là tốt hơn khi sử dụng VFD.
- Độ giảm đáp ứng trung bình ở CSD và VFD là gần như nhau.
- CSD không cho đáp ứng âm (tức làm tăng đáp ứng) như VFD.

Đáp ứng của kết cấu sử dụng hệ cản CSD hoặc VFD:

— — — Không điều khiển — VSD — VFD

**Hình 8.** Chuyển vị tầng đỉnh**Hình 9.** Chuyển vị tương đối tầng 1st & 2nd**Hình 10.** Gia tốc tầng đỉnh**Hình 11.** Lực cắt chân cột tầng 1st**Hình 12:** Độ giảm đáp ứng của kết cấu khi sử dụng cả 10 CSD**Hình 13:** Độ giảm đáp ứng của kết cấu khi sử dụng cả 10 VFD

5.KẾT LUẬN

– Bài báo đưa ra mô hình cũng như thuật toán điều khiển kết cấu sử dụng hệ cản CSD để kháng chấn. Phương trình chuyển động của kết cấu chịu tải trọng động đất cũng như lời giải của nó được xây dựng trên cơ sở lý thuyết véc tơ không gian trạng thái. Đối với kết cấu sử dụng hệ cản được điều khiển bán chủ động thì có thể có nhiều thuật toán tối ưu cho nó, với hệ cản CSD thì thuật toán điều khiển đã nêu ra trong bài cho đáp ứng độ giảm đáp ứng ở một mức độ nào đó là có thể chấp nhận được.

– Phần ví dụ tính toán số cũng chỉ ra rằng: với các CSD có độ cứng chỉ bằng 1% độ cứng của tầng thì độ giảm đáp ứng của CSD đã bằng với VFD (thậm chí còn tốt hơn). Tuy nhiên, khi chúng ta sử dụng CSD có độ cứng lò xo chính càng lớn thì lợi ích về mặt kinh tế của công trình cũng giảm đi.

– Cũng giống như VFD, CSD chỉ thích hợp để kháng chấn cho các công trình cao tầng hoặc ở các nước xảy ra các trận động đất mạnh.

COMPARE THE EFFICIENCY OF CONTROLLED STIFFNESS DAMPER WITH VARIABLE FRICTION DAMPER FOR SEISMIC PROTECTION OF BUILDING

Nguyen Quang Bao Phuc⁽¹⁾, Pham Nhan Hoa⁽²⁾, Chu Quoc Thang⁽³⁾

(1)VNU-HCM

(2) Hochiminh city University of Technology

(3) International University, VNU-HCM

ABSTRACT: *The implementation of variable friction dampers (VFD) for vibration mitigation of seismic structures generally requires an efficient semi-active control law. In this paper, a semi-active modal control method is proposed to determine the controllable clamping force of a variable friction damper. A comparative study was performed on a multiple DOF structure controlled by passive friction dampers, variable friction dampers in subsection numerical examples. Finally, this paper also provides preliminary conclusions about the advantages and disadvantages for friction dissipators.*

Keyword: *controlled stiffnessdamper, variable friction damper, semi-active control*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Jerome J. Connor, *Introduction to structural motion control*, Massachusetts Institute of Technology, (2000).
- [2].Leonard Meirovitch, *Dynamics and control of structures*, John Wiley và Sons, (1990).
- [3].Phạm Nhân Hòa, Chu Quốc Thắng, *Đánh giá hiệu quả giảm chấn của hệ cản ma sát biến thiên với công trình chịu tải trọng động đất*, Tạp chí Khoa Học và Phát Triển, (2007).
- [4].Phạm Nhân Hòa, Chu Quốc Thắng, *Các phương án sử dụng hệ cản ma sát biến thiên trong kết cấu 9 tầng*, Tạp chí Khoa Học và Phát Triển, (2007).

- [5].Y. Ribakov, A. N. Dancygier, *Optimal Control of MDOF Structures with Controlled Stiffness Dampers*, Structural design Tall Special Buildings 12, 351-369, (2003).
- [6].Y. Ribakov, *Semi-Active predictive control of nonlinear structures with controlled stiffness devices and friction dampers*, Structural design Tall Special Buildings 13, 165-178, (2004).