

KHẢO SÁT TÁC DỤNG CHỐNG GIÓ CỦA HỆ CẢN TMD TRONG NHÀ NHIỀU TẦNG

Nguyễn Hữu Anh Tuấn, Chu Quốc Thắng

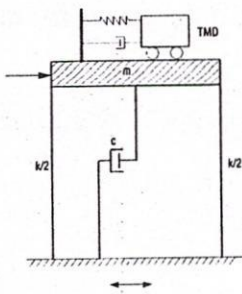
Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 16 tháng 6 năm 2003)

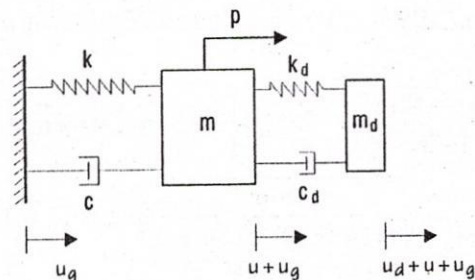
TÓM TẮT: Bài báo khảo sát tác dụng chống gió của hệ cản điều chỉnh khối lượng (Tuned mass damper, TMD) qua kết quả phân tích động lực học một công trình 20 tầng bằng BTCT. Lực gió được mô tả dưới dạng xung với nhiều trường hợp chu kỳ xung khác nhau. Phản ứng cực đại của kết cấu sẽ được xác định cho trường hợp kết cấu có dùng TMD và kết cấu không dùng TMD nhưng được tăng độ cứng (đây là giải pháp mang tính truyền thống). Từ đó, hiệu quả vượt trội của giải pháp TMD so với giải pháp truyền thống sẽ được thấy rõ. Ảnh hưởng của khối lượng hệ cản đối với hiệu quả giảm phản ứng kết cấu cũng được khảo sát.

1. GIỚI THIỆU

Sử dụng các hệ thống điều khiển kết cấu trong công trình là một quan điểm mới và tiến bộ để chống lại các tác động của gió, động đất, sóng biển ... Trong các hệ thống đó thì TMD là một giải pháp khá phổ biến. TMD gồm có một khối lượng được gắn vào công trình tại nơi có chuyển động lớn nhất, thường là tầng trên cùng, thông qua liên kết đàn hồi và liên kết cản (hình 1). Tần số của TMD được điều chỉnh đến một tần số riêng của kết cấu để khi tần số này được kích động thì hệ cản sẽ cộng hưởng lệch pha với chuyển động của kết cấu. Năng lượng sẽ tiêu tán do lực quán tính của hệ cản tác dụng vào kết cấu. Bài báo sẽ khảo sát một ví dụ bằng số để làm rõ tác dụng chống gió của TMD trong nhà nhiều tầng.



Hình 1. Kết cấu với hệ cản TMD



Hình 2. Sơ đồ tính hệ một bậc tự do + TMD

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Xét hệ một bậc tự do có khối lượng m , độ cứng k và hệ số cản c được liên kết với TMD có khối lượng m_d , độ cứng k_d và hệ số cản c_d như hình 2. Hệ chịu tác dụng của lực $p(t)$ và chuyển động nền $u_g(t)$. Gọi u là chuyển động tương đối của khối lượng chủ m so với chuyển động nền, u_d là chuyển động tương đối của m_d (hệ cản) so với m . Các phương trình chủ đạo của chuyển động sẽ là

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g + p + c_d\dot{u}_d + k_d u_d \quad (1)$$

$$m_d\ddot{u}_d + c_d\dot{u}_d + k_d u_d = -m_d\ddot{u} - m_d\ddot{u}_g \quad (2)$$

Gọi ω, ξ là tần số riêng, tỷ số cản của khối lượng chủ; ω_d, ξ_d là tần số riêng, tỷ số cản của TMD

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad c = 2\xi\omega m \quad \omega_d^2 = \frac{k_d}{m_d} \quad c_d = 2\xi_d\omega_d m_d \quad (3)$$

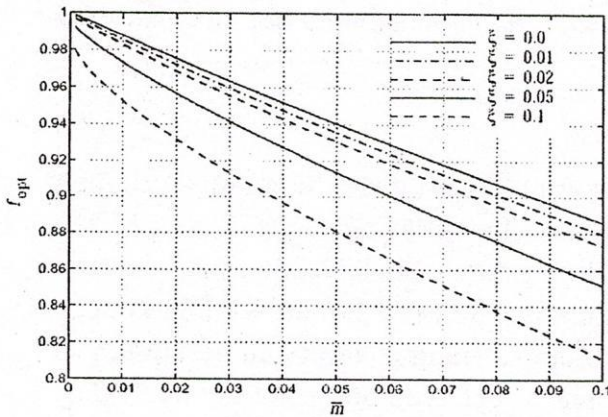
Định nghĩa tỷ số khối lượng $\bar{m} = \frac{m_d}{m}$, và tỷ số tần số $f = \frac{\omega_d}{\omega}$ (4)

Lý thuyết TMD xác định các thông số m_d, k_d và c_d của TMD sao cho phản ứng của kết cấu (chuyển vị, gia tốc, ...) thỏa mãn yêu cầu thiết kế. Việc xác định m_d, k_d và c_d cũng tương đương với việc xác định các đại lượng không thứ nguyên là \bar{m}, f và ξ_d .

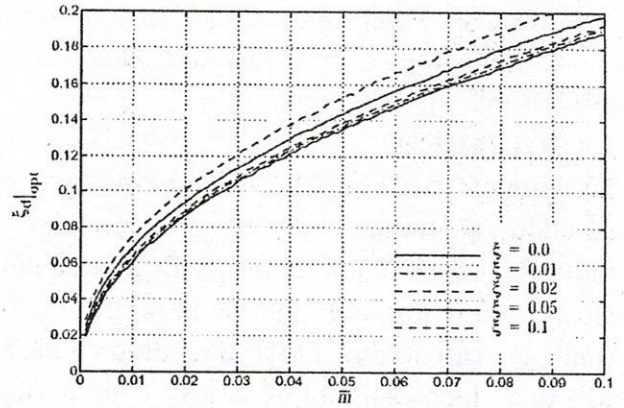
Trong trường hợp p là tải trọng điều hòa và $a_g = \ddot{u}_g$ là gia tốc nền điều hòa có tần số Ω

$$a_g = \hat{a}_g \sin \Omega t \quad p = \hat{p} \sin \Omega t \quad (5)$$

thì các thông số tối ưu của TMD để cực tiểu hóa chuyển vị của kết cấu có thể được tìm bằng phương pháp mô phỏng số (*Numerical simulations*) [1], kết quả cho ở các đồ thị hình 3 và 4 thể hiện sự phụ thuộc của các giá trị tối ưu của f và ξ_d vào \bar{m} và ξ .



Hình 3. Tỷ số tần số tối ưu cho TMD



Hình 4. Tỷ số cản tối ưu cho TMD

Tsai & Lin (1993) đã xấp xỉ các đồ thị trên thành các công thức xác định giá trị tối ưu của f và ξ_d

$$f_{opt} = \left(\frac{\sqrt{1-0.5\bar{m}}}{1+\bar{m}} + \sqrt{1-2\xi^2} - 1 \right) - (2.375 - 1.034\sqrt{\bar{m}} - 0.426\bar{m})\xi\sqrt{\bar{m}} - (3.730 - 16903\sqrt{\bar{m}} + 20496\bar{m})\xi^2\sqrt{\bar{m}} \quad (6)$$

$$\xi_{d|opt} = \sqrt{\frac{3\bar{m}}{8(1+\bar{m})(1-0.5\bar{m})}} + (0.151\xi - 0.170\xi^2) + (0.163\xi + 4.980\xi^2)\bar{m} \quad (7)$$

Tương tự, để cực tiểu hoá gia tốc của kết cấu chịu các tác động điều hòa thì Ioi & Ikeda (1978) [2] đã đưa ra công thức xác định thông số tối ưu của TMD như sau

$$f_{opt} = \frac{1}{\sqrt{1+\bar{m}}} + (0.096 + 0.88\bar{m} - 1.8\bar{m}^2)\xi + (1.34 - 2.9\bar{m} + 3\bar{m}^2)\xi^2 \quad (8)$$

$$\xi_{d|opt} = \sqrt{\frac{3\bar{m}(1+0.49\bar{m}-0.2\bar{m}^2)}{8(1+\bar{m})}} + (0.13 + 0.72\bar{m} + 0.2\bar{m}^2)\xi + (0.19 + 1.6\bar{m} - 4\bar{m}^2)\xi^2 \quad (9)$$

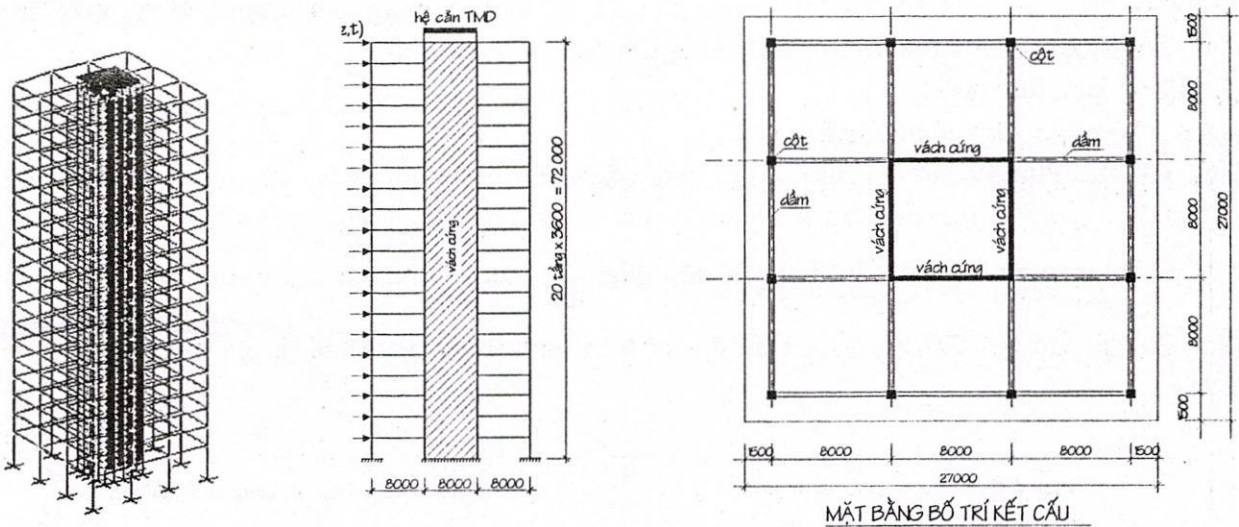
Nếu kết cấu cần điều khiển là hệ nhiều bậc tự do thì ta vẫn có thể áp dụng cách xác định các thông số TMD như trên. Ta chỉ cần thay m, ω và ξ bởi khối lượng M_i , tần số ω_i và tỷ số

cản ξ_i ứng với mode dao động riêng thứ i của kết cấu, là mode cần điều khiển (thường là mode thứ nhất).

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN BẰNG SỐ

3.1. Mô tả bài toán

Xét một nhà 20 tầng, kết cấu khung kết hợp với vách (lõi) cứng BTCT như hình 5. Chiều dày vách cứng là 300 mm. Khối lượng mỗi tầng là $720 \text{ kNs}^2/\text{m}$, của toàn công trình là $14400 \text{ kNs}^2/\text{m}$. Khi chưa có TMD thì ứng với dạng dao động riêng đầu tiên kết cấu có chu kỳ $T_1 = 2.095 \text{ s}$, tần số vòng $\omega_1 = 3 \text{ rad/s}$, khối lượng (modal mass) là $M_1 = 9360 \text{ kNs}^2/\text{m}$ (bằng 65% tổng khối lượng toàn công trình).

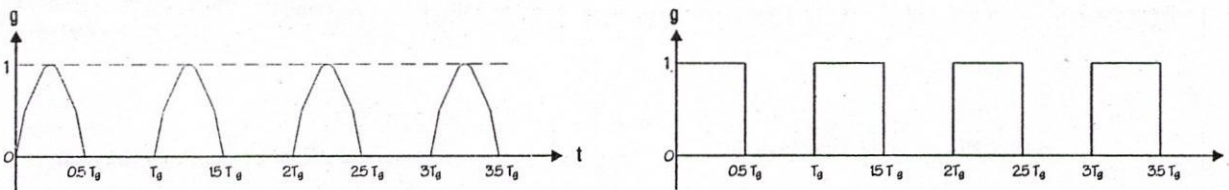


Hình 5. Sơ đồ kết cấu công trình

Lực gió động Q_j tại cao trình z được mô tả dưới dạng xung

$$Q_j(z,t) = P_j(z) g(t) \tag{10}$$

trong đó $P_j(z)$ là lực gió tĩnh, được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 2737-1995 về tải trọng và tác động. Hàm số $g(t)$ phụ thuộc thời gian, được giả thiết là có dạng 4 nửa hình sin gián đoạn và 4 nửa hình chữ nhật gián đoạn, như hình 6.



Hình 6. Các hàm thời gian để mô tả tải xung

Để xét tới tính ngẫu nhiên của gió, ứng với mỗi dạng xung ta khảo sát nhiều trường hợp chu kỳ gió T_g bằng cách thay đổi tỷ số T_g / T_1 như bảng 1.

Bảng 1. Các trường hợp chu kỳ gió được khảo sát												
T_g / T_1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.5	2	2.5
T_g (s)	0.419	0.838	1.257	1.676	1.886	2.095	2.305	2.514	2.724	3.143	4.190	5.238

3.2. Nội dung khảo sát

So sánh phản ứng của kết cấu ứng với các trường hợp :

- (1) Không có hệ cản TMD. Tỷ số cản của kết cấu là $\xi = 2\%$.
- (2) Có hệ cản TMD trên mái với tỷ số khối lượng $\bar{m} = m_d/M_1$ thay đổi từ 1% đến 5%. Khối lượng m_d có thể được cấu tạo bằng khối bê tông có kích thước mặt bằng là 8×8 m, chiều cao $0.56m \div 2.87m$ khi $\bar{m} = 1\% \div 5\%$. Khối lượng m_d được đỡ bởi 4 gối với thông số được xác định theo biểu thức (8) và (9).
- (3) Không có hệ cản TMD, nhưng tăng độ cứng công trình bằng cách tăng chiều dày vách cứng thành 35cm, 40cm. Đây là giải pháp mang tính truyền thống.

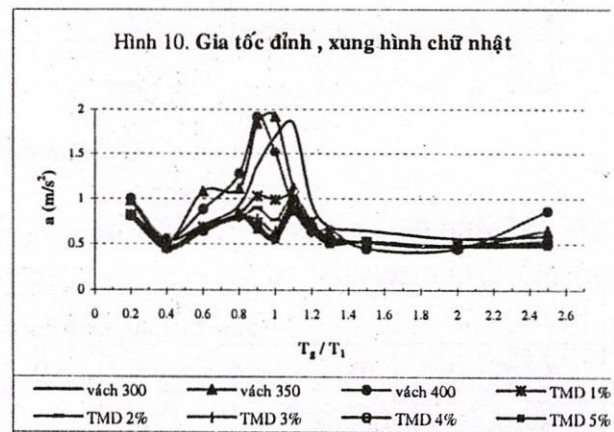
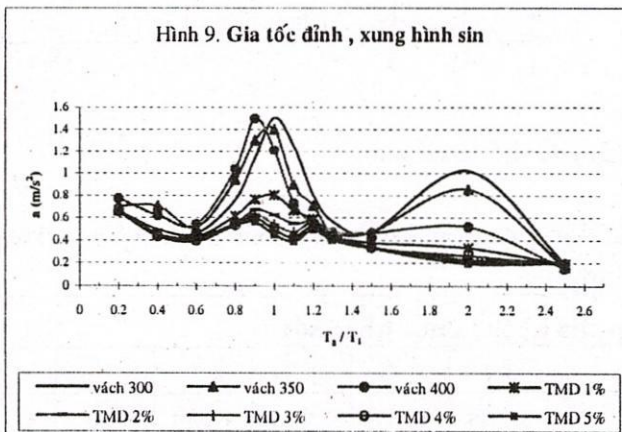
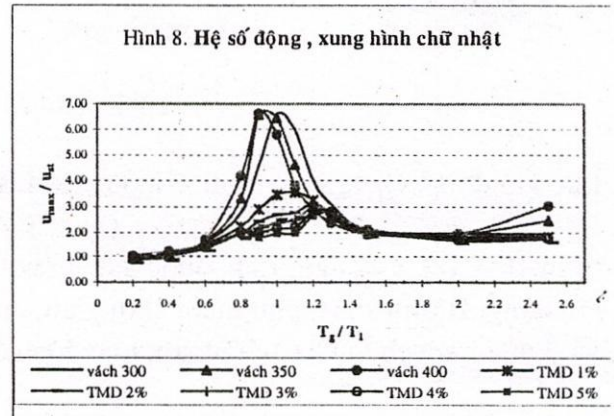
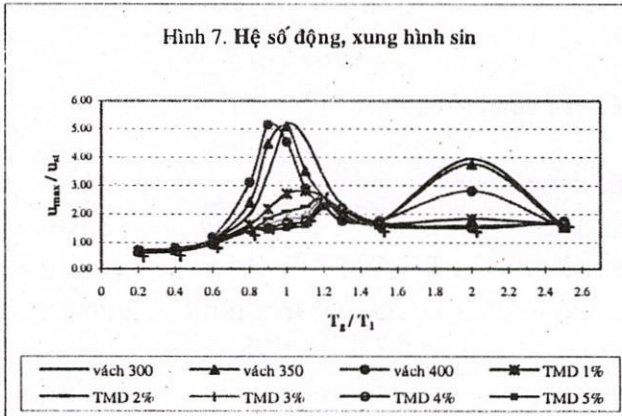
Phân tích động lực học theo lịch sử thời gian với 8 sơ đồ kết cấu, bao gồm 3 sơ đồ không có TMD và 5 sơ đồ có TMD. Mỗi sơ đồ sẽ chịu 24 trường hợp xung gió với chu kỳ T_g thay đổi như bảng 1. Dùng phần mềm Sap2000 Non Linear.

3.3. Phân tích kết quả

3.3.1. Phổ phản ứng của kết cấu

Ứng với mỗi chu kỳ gió T_g , mỗi dạng xung (hình sin, hình chữ nhật), ta xác định được các giá trị đỉnh (peak value) của chuyển vị u và gia tốc a của tầng 20 cho mỗi sơ đồ kết cấu.

Các đồ thị trên hình 7 và 8 thể hiện hệ số động $\frac{u}{u_{st}}$ theo T_g/T_1 , với u_{st} là chuyển vị tĩnh của tầng 20 (do lực gió tĩnh $P_j(z)$). Các đồ thị trên hình 9 và 10 thể hiện gia tốc đỉnh a theo T_g/T_1 .



Nhân xét :

Khi $T_g/T_1 < 1$, tăng chiều dày vách sẽ làm tăng hệ số động của chuyển vị và gia tốc của kết cấu vì chu kỳ của nó đã giảm (và tiến đến gần chu kỳ của ngoại lực).

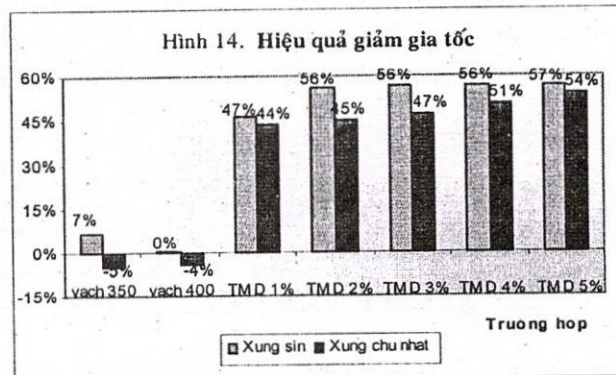
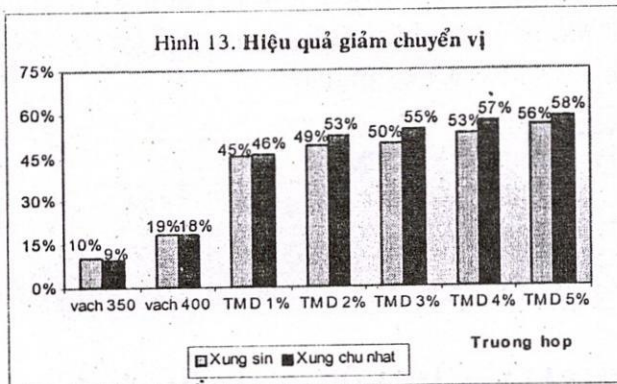
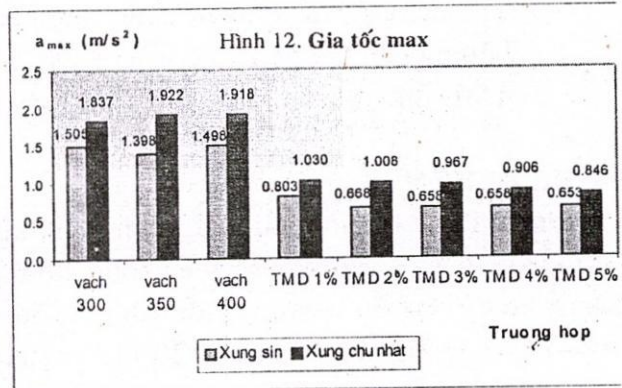
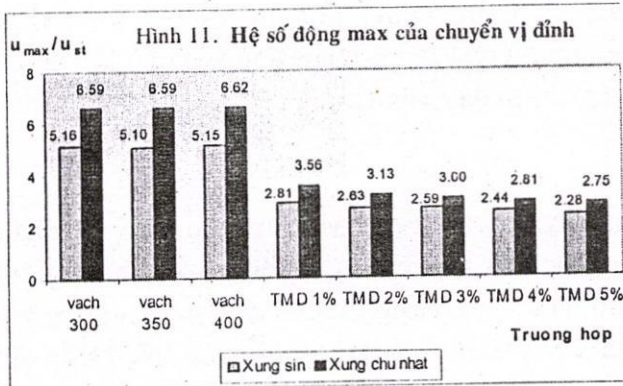
Với xung hình sin, khi $T_g/T_1 = 2$ thì phổ phản ứng có điểm cực đại lần thứ hai với các trường hợp không có TMD; còn nếu dùng TMD thì chuyển vị giảm 53% ÷ 62%, gia tốc giảm 67% ÷ 81%.

Với xung hình chữ nhật, khi $T_g/T_1 = 2.5$ thì hệ số động của chuyển vị lại tăng từ 1.97 lên 3.04 khi ta tăng chiều dày vách cứng, nhưng sẽ giảm từ 1.84 xuống 1.70 khi dùng TMD với $\bar{m} = 1\% \div 5\%$.

Xung quanh điểm cộng hưởng ($T_g/T_1 = 0.9 \div 1.1$), kết cấu có chuyển vị và gia tốc rất lớn nếu không dùng hệ cản. Lúc này, các đường cong phản ứng của các trường hợp không dùng hệ cản thì nằm về phía trên và cách khá xa so với các đường cong ứng với trường hợp có dùng TMD, chứng tỏ TMD rất có hiệu quả trong việc giảm cả chuyển vị lẫn gia tốc của kết cấu. Chỉ cần TMD có $\bar{m} = 1\%$ thì phản ứng đã giảm khoảng 45%, và sẽ càng giảm khi ta càng tăng \bar{m} , nhưng mức độ giảm sẽ chậm dần.

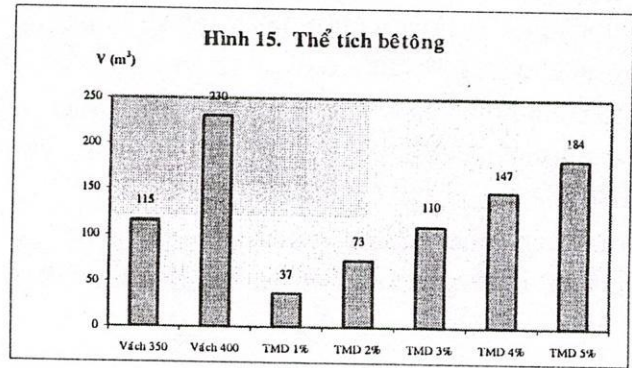
3.3.2. Phản ứng cực đại trong miền chu kỳ gió đã khảo sát

Từ mục 3.3.1, ta tìm được hệ số động cực đại của chuyển vị cũng như gia tốc cực đại trong miền chu kỳ gió đã khảo sát ($T_g/T_1 = 0.2 \div 2.5$). Kết quả được trình bày trong các biểu đồ hình 11 và 12.



3.3.3. Đánh giá hiệu quả giảm phản ứng kết cấu

Từ 3.3.2, ta xác định được hiệu quả giảm phản ứng cực đại của kết cấu do từng giải pháp mang lại, so với kết cấu được lấy làm chuẩn là kết cấu không có TMD với vách cứng dày 300 mm. Kết quả được thể hiện ở các biểu đồ hình 13 và 14. Đồng thời, biểu đồ trên hình 15 thể hiện thể tích bê tông cần thiết để tăng chiều dày vách hoặc để cấu tạo khối lượng của hệ cản TMD.



Với nhóm giải pháp truyền thống (tăng độ cứng nhà, không dùng hệ cản phụ trợ) :

- Chuyển vị giảm trung bình từ 9.9% đến 18.6% .
- Gia tốc có xu hướng tăng hoặc giảm rất ít (7% ÷ 0%) tùy dạng xung. Đây là điều bất lợi vì trong nhà cao tầng thì gia tốc có ảnh hưởng rất lớn đến cảm giác bình thường của con người.

Với nhóm giải pháp dùng hệ cản TMD, không tăng độ cứng nhà :

- Hệ cản chỉ cần có khối lượng nhỏ ($\bar{m} = 1\% \div 2\%$) là đã có hiệu quả đáng kể
- Hiệu quả tăng nhanh khi tăng \bar{m} từ 1% lên 2%, nhưng sẽ tăng chậm hơn nếu ta tiếp tục tăng dần \bar{m} lên 5%.
- Thể tích bê tông dùng để tăng chiều dày vách thêm 5 cm thì tương đương với thể tích bê tông cấu tạo hệ cản với $\bar{m} = 3\%$, nhưng hiệu quả giảm phản ứng kết cấu khi dùng TMD thì vượt khoảng 5 lần so với khi tăng chiều dày vách cứng .

4. KẾT LUẬN

Sử dụng TMD là một giải pháp đơn giản, kinh tế và có hiệu quả vượt trội so với giải pháp tăng độ cứng kết cấu trong việc chống gió động cho nhà nhiều tầng. TMD có tác dụng giảm đáng kể cả chuyển vị lẫn gia tốc với mức độ gần như nhau (bảng 2). Chỉ cần dùng hệ cản với tỷ số khối lượng nhỏ ($\bar{m} = 1\% \div 2\%$) thì hiệu quả giảm phản ứng đã rất đáng kể. Nếu tiếp tục tăng tỷ số khối lượng (đi kèm với tăng chi phí cấu tạo hệ cản TMD) thì hiệu quả cũng tăng nhưng với xu hướng chậm dần.

Như vậy, để chống gió thì TMD không cần phải có khối lượng quá lớn, mà nên được dùng với tỷ số khối lượng 1% ÷ 2% là lợi nhất (chi phí cấu tạo thấp, hiệu quả cao). Các số liệu trên có thể dùng làm tài liệu tham khảo hữu ích cho các thiết kế thực tế.

Tỷ số khối lượng	1%	2%	3%	4%	5%
Hiệu quả giảm chuyển vị	46%	52%	52%	55%	57%
Hiệu quả giảm gia tốc	45%	50%	52%	54%	55%

THE EFFECTIVENESS OF TUNED MASS DAMPER (TMD) FOR CONTROL OF STRUCTURES UNDER WIND EXCITATION

Nguyễn Hữu Anh Tuấn, Chu Quốc Thang

ABSTRACT: Numerical simulations of a 20-storey reinforced concrete building are considered to investigate the effectiveness of tuned mass damper (TMD) for control of structures under wind excitation. Many impulsive load cases with different period are used to model wind excitation. The response of the structure with TMD is compared to the response of the structure with increased stiffness and without TMD (this is a traditional design approach). It is demonstrated that the TMD approach is far better than the traditional approach for response reduction of the structure. The effect of TMD's mass on its efficiency is also discussed.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jerome J. Connor, *Introduction to Structural Motion Control*, MIT, 2000
- [2] T.T. Soong, G.F. Dargush, *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley & Sons, 1997.
- [3] Y. Fujino, T.T. Soong, B.F. Spencer Jr., *Structural Control : Basic Concepts and Applications*, Proceedings of the 1996 ASCE Structures Congress, Chicago, Illinois , 1996
- [4] Nguyễn Hữu Anh Tuấn, *Khảo sát giải pháp điều khiển bị động kết cấu với hệ cản TMD*, Luận văn thạc sĩ khoa học kỹ thuật , ĐH Bách Khoa Tp HCM, 2002.