

Ứng dụng thiết bị cản điều chỉnh khối lượng trong thiết kế giảm dao động cho công sự qua mô hình kết cấu không gian

Nguyễn Thành Đồng*

Viện Kỹ thuật Công binh/Binh chủng Công binh.

*Email: thanhdongm2m@gmail.com.

Nhận bài: 01/6/2022; Hoàn thiện: 15/7/2022; Chấp nhận đăng: 10/8/2022; Xuất bản: 26/8/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.81.2022.156-163>

TÓM TẮT

Kết cấu công sự được tính toán với các loại tải trọng động có cường độ lớn, gây rung động mạnh. Nội dung thiết kế kết cấu công sự chủ yếu nhằm đảm bảo điều kiện bền mà chưa đề cập đến các giải pháp kháng chấn. Thiết bị giảm chấn điều chỉnh khối lượng (Tuned Mass Damper) có hiệu quả cao trong việc giảm dao động cho kết cấu công trình. Bài báo nghiên cứu giải pháp ứng dụng thiết bị TMD trong thiết kế giảm chấn cho công sự chỉ huy chịu tác dụng của tải trọng động. Các phương trình giải tích được thiết lập trên hệ dao động đơn giản một bậc tự do. Các mô hình kết cấu không gian của công sự chịu tải trọng động được phân tích bằng phần mềm SAP2000. Hiệu quả giảm chấn của TMD được khảo sát thông qua so sánh đáp ứng động của kết cấu sử dụng TMD và kết cấu không sử dụng TMD. Kết quả cho thấy, thiết bị TMD có hiệu quả tốt trong việc giảm biên độ và tần số dao động của công trình.

Từ khoá: Thiết kế kháng chấn; Thiết bị điều chỉnh khối lượng; Phân tích động lực học kết cấu; Giảm chấn công sự.

1. MỞ ĐẦU

Công sự là những công trình được xây dựng phục vụ các yêu cầu chiến đấu nhất định, nhằm để bảo vệ sinh lực, vũ khí thiết bị và nâng cao khả năng chiến đấu của bộ đội. Tải trọng tác dụng lên kết cấu công sự, ngoài tĩnh tải do bản thân công trình và đất đá phía trên, công sự chủ yếu được tính toán thiết kế chịu tác dụng của bom đạn với các đặc trưng chủ yếu: cường độ lớn, đột ngột, gây rung động mạnh.

Sự phát triển mạnh mẽ về ngành công nghiệp quốc phòng ngày nay dẫn đến ngày càng có nhiều loại vũ khí được chế tạo mới với sức công phá mạnh, uy lực lớn gây ảnh hưởng nhiều đến các kết cấu công trình chiến đấu, trong đó có công sự. Vì vậy, việc tính toán thiết kế các loại công sự ngoài yêu cầu đảm bảo khả năng chịu lực và sức sống cho công trình để tránh sát thương, còn có yêu cầu đảm bảo khả năng hoạt động, chiến đấu của bộ đội và trang thiết bị bên trong.

Hiện nay, công tác thiết kế công sự thông thường chủ yếu tập trung vào các giải pháp kết cấu để đảm bảo độ bền, độ ổn định của công trình, bao gồm các giải pháp điển hình như tăng kích thước kết cấu và/hoặc tăng cấp độ bền của vật liệu nhằm thay đổi độ cứng để đảm bảo khả năng chịu lực cho kết cấu. Trong khi đó, các giải pháp làm giảm dao động cho kết cấu khi chịu tải trọng động thường chưa (hoặc rất ít) được quan tâm.

Các giải pháp kết cấu thường thể hiện nhiều hạn chế vì gây ra tốn kém đồng thời có thể gây hạn chế khả năng khai thác sử dụng do ảnh hưởng đến không gian bên trong. Ngoài ra, độ cứng của kết cấu tăng làm tăng gia tốc, tần số dao động của kết cấu, gây ảnh hưởng xấu đến hoạt động và khả năng tác chiến của bộ đội và vũ khí trang bị bên trong. Ngoài ra, kinh nghiệm từ thực tế cho thấy, sự phá hoại do dao động quá mức của kết cấu công trình khi chịu tải trọng động là rất lớn. Do đó, việc nghiên cứu các giải pháp làm giảm dao động cho kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng động có ý nghĩa cấp thiết, đặc biệt là trong bối cảnh hiện nay khi các nước thường sử dụng các loại vũ khí có uy lực lớn trong chiến tranh hiện đại.

Theo quan niệm thiết kế kháng chấn hiện đại, kết cấu được thiết kế cần đảm bảo khả năng chịu lực (độ bền đủ lớn) và khả năng phân tán năng lượng (gia tốc chuyển động và chuyển vị

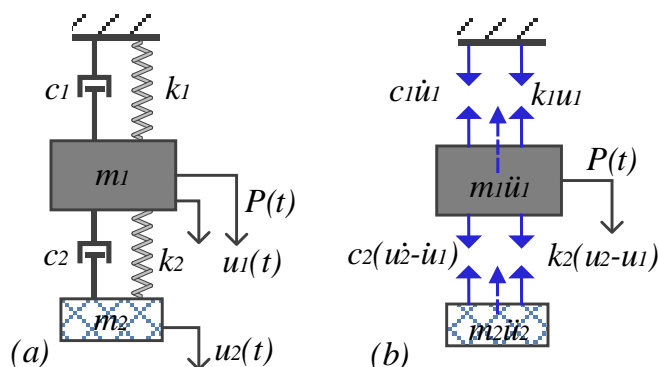
không quá lớn). Do đó, các giải pháp thiết kế giảm chấn thường tập trung vào khả năng tiêu tán năng lượng, trong đó, ý tưởng chủ đạo là bổ sung hệ phụ nhằm hấp thụ và tiêu tán năng lượng dao động của kết cấu chính [2].

Thiết bị giảm chấn điều chỉnh khối lượng (Tuned Mass Damper - TMD) là thiết bị giảm chấn thụ động, có hiệu quả tốt trong việc giảm chấn cho công trình và được ứng dụng rộng rãi trong thiết kế chống động đất, đặc biệt là kết cấu cầu và nhà cao tầng [6, 7, 10]. Một số nghiên cứu về thiết bị TMD cho thấy thiết bị này cũng có hiệu quả cao khi áp dụng đối với kết cấu công sự [1].

Bài báo nghiên cứu ứng dụng thiết bị TMD để giảm dao động cho kết cấu công sự chỉ huy, công sự lâu bền chịu tác dụng của tải trọng động. Đầu tiên, cơ sở lý thuyết tính toán thiết bị TMD được trình bày khái quát qua mô hình đơn giản hệ dao động hai bậc tự do. Sau đó, các phân tích số được thực hiện bằng phần mềm SAP2000 trên mô hình không gian của kết cấu công sự có lớp đệm không khí, với các trường hợp tải trọng khác nhau để khảo sát và đánh giá hiệu quả của việc sử dụng thiết bị TMD trong việc giảm chấn cho kết cấu.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN THIẾT BỊ TMD

Thiết bị cân điều chỉnh khối lượng TMD (Tuned Mass Damper) thực chất là một hệ tích hợp gồm khối lượng liên kết với hệ chính bằng liên kết đàn nhớt (lò xo đàn hồi và thiết bị cản nhớt), lấy năng lượng dao động của hệ chính để thực hiện các dao động. Cụ thể, thiết bị TMD sử dụng khối lượng của bản thân để tạo ra chuyển vị tương đối với hệ chính, chuyển động này có xu hướng ngược chiều với dao động của hệ chính nên có tác dụng làm tiêu tán năng lượng dao động và làm giảm dao động của hệ kết cấu chính [1, 3, 5, 8]. Với nguyên lý hoạt động như vậy, việc sử dụng TMD không làm thay đổi những tính chất cơ học của kết cấu nên được ứng dụng nhiều trong thực tiễn.



Hình 1. Hệ dao động sử dụng thiết bị TMD.

Xét hệ dao động như minh họa trong hình 1. Hệ dao động chính gồm: khối lượng m_1 chịu tác dụng của tải trọng động $P(t)$, chuyển vị động của khối lượng là $u_1(t)$. Hệ được gắn lò xo có hệ số độ cứng đàn hồi k_1 , hệ số cản nhớt c_1 , khối lượng của lò xo là không đáng kể và không được kể đến trong tính toán.

Hệ phụ (hệ giảm chấn TMD) gồm: khối lượng m_2 , được gắn với hệ chính bằng lò xo không trọng lượng có hệ số độ cứng đàn hồi k_2 , hệ số cản nhớt c_2 , chuyển vị động của khối lượng hệ phụ là $u_2(t)$. Giả thiết các khối lượng chỉ chuyển động theo phương thẳng đứng. Các đại lượng tính toán có đơn vị cơ bản thuộc hệ đơn vị SI.

Các lực tác dụng lên hệ chính và hệ phụ:

Lực đàn hồi:

$$f_{S1} = k_1 \cdot u_1 - k_2 (u_2 - u_1); f_{S2} = k_2 (u_2 - u_1) \quad (1)$$

Lực cản:

$$f_{D1} = c_1 \dot{u}_1 - c_2 (\dot{u}_2 - \dot{u}_1); f_{D2} = c_2 (\dot{u}_2 - \dot{u}_1) \quad (2)$$

Lực quán tính:

$$f_{I1} = m_1 \ddot{u}_1; f_{I2} = m_2 \ddot{u}_2 \quad (3)$$

Ngoại lực tác dụng: $P(t)$

Hệ phương trình vi phân dao động của hệ hai bậc tự do khi đó có dạng [4]:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{u}_1 + (c_1 + c_2) \dot{u}_1 + (k_1 + k_2) u_1 - c_2 \dot{u}_2 - k_2 u_2 = P(t) \\ m_2 \ddot{u}_2 + c_2 \dot{u}_2 + k_2 u_2 - c_2 \dot{u}_1 - k_2 u_1 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Tính toán dao động của hệ được thực hiện bằng việc giải hệ phương trình vi phân dao động. Tuy nhiên, việc tính toán hệ bằng phương pháp giải tích thông thường rất khó áp dụng đối với các dạng tải trọng ngẫu nhiên như tải trọng xung. Do đó, trong nội dung tìm lời giải tích cho bài toán, ta thường đưa vào các trường hợp đặc biệt, cụ thể là hệ chịu tải trọng điều hòa.

Trong trường hợp tổng quát, bằng phương pháp biến đổi Fourier [4], hàm tải trọng động $P(t)$ được biểu diễn thông qua 1 hàm khả tích bất kỳ theo thời gian $f(t)$ ta đều biến đổi sang miền tần số góc ω dưới dạng hàm điều hòa [4, 8]:

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad (5)$$

Trong đó: i là số phức; ω là số thực bất kỳ.

Do đó, không mất tính tổng quát, tính toán bằng phương pháp giải tích cho hệ dao động chịu tải trọng điều hòa. Hệ phương trình vi phân dao động khi đó trở thành:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{u}_1 + (c_1 + c_2) \dot{u}_1 + (k_1 + k_2) u_1 - c_2 \dot{u}_2 - k_2 u_2 = P \sin \omega t \\ m_2 \ddot{u}_2 + c_2 \dot{u}_2 + k_2 u_2 - c_2 \dot{u}_1 - k_2 u_1 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Trong giai đoạn dao động ổn định, nghiệm của hệ phương trình có dạng:

$$u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1); u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

Bằng các phương pháp đặt ẩn số phụ, nghiệm của hệ phương trình được biến đổi về dạng:

$$u_1(t) = P \sqrt{\frac{(k_2 - m_2 \omega^2)^2 + c_2^2 \omega^2}{A^2 + B^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \varphi); u_2(t) = P \sqrt{\frac{k_2^2 + c_2^2 \omega^2}{A^2 + B^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \gamma) \quad (7)$$

Với:

$$\varphi = \tan^{-1} \left\{ \frac{[-(k_2 - m_2 \omega^2)B + c_2 A] \omega}{(k_2 - m_2 \omega^2)A + c_2 B \omega^2} \right\}; \gamma = \tan^{-1} \left[\frac{(c_2 A - k_2 B) \omega}{k_2 A + c_2 B \omega^2} \right] \quad (8)$$

$$A = (k_1 - m_1 \omega^2)(k_2 - m_2 \omega^2) - k_2 m_2 \omega^2 - c_2 c \omega^2$$

$$B = c_2 (k_1 - m_1 \omega^2) + c_1 (k_2 - m_2 \omega^2) - c_2 m_2 \omega^2$$

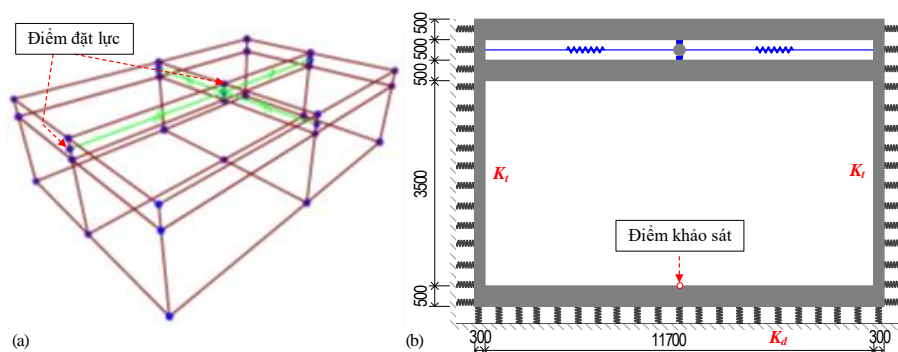
3. ỨNG DỤNG THIẾT BỊ TMD CHO KẾT CẤU CÔNG SỰ

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất giải pháp bố trí thiết bị TMD cho kết cấu công sự có lớp đệm không khí nhằm thuận tiện trong việc bố trí kết cấu mà không làm ảnh hưởng đến không

gian sử dụng bên trong công sự. Các phân tích dao động của kết cấu công sự được thực hiện bằng phần mềm Sap2000, tính toán theo phương pháp tích phân theo bước thời gian (phương pháp Newmark). Trong các nghiên cứu về thiết bị TMD gần đây, các tác giả Vương Tuấn Hải [5], Nguyễn Xuân Đại [6] đã tiến hành các phân tích thiết kế tối ưu thông số của TMD qua mô hình hệ dao động một bậc tự do, kết quả các nghiên cứu này được lựa chọn làm cơ sở để xác định sơ bộ các thông số của TMD dùng trong các phân tích thuộc nội dung bài báo.

3.1. Mô hình kết cấu

Phân tích mô hình công sự như hình 2. Kết cấu công sự bằng bê tông cốt thép cấp độ bền B20. Kích thước công sự dài x rộng x cao = 12,3 m x 12,3 m x 5,5 m. Độ dày các tấm nóc và đáy là 500 mm, độ dày tường là 300 mm.



Hình 2. Mô hình kết cấu sử dụng phân tích: (a) Mô hình không gian; (b) Chi tiết mặt cắt ngang điển hình.

Tải trọng tác dụng lên công sự được xem xét trong hai trường hợp độc lập gồm: tải trọng tác dụng tại giữa nóc công sự và tải trọng đặt tại tường (xem hình 2). Tải trọng được nghiên cứu là tải trọng tác dụng động, với hai dạng hàm tải trọng theo thời gian gồm tải trọng điều hòa $P = 11 \cdot \sin(2\pi \cdot t)$ (kN) và tải trọng xung $P = 11 \cdot (1 - t/0,15)$ (kN). Khối lượng của hệ phụ được chọn bằng 1000 kNm/s², gán tại nút trong mô hình phân tích (các nội dung về kích thước, cấu tạo khối lượng hệ phụ không đề cập đến trong nội dung bài báo). Giả thiết không xét đến tỷ số cản của liên kết giữa hệ TMD và công sự, hệ kết cấu được phân tích với tỷ số cản chung bằng 5%.

Hiệu quả giảm chấn của thiết bị TMD được đánh giá thông qua chuyển vị động tại chính giữa tấm đáy công sự bằng cách so sánh đáp ứng động giữa mô hình kết cấu sử dụng TMD và kết cấu không sử dụng TMD.

Giả thiết tính toán: Coi lớp đất đá xung quanh công sự làm việc đàn hồi tuyến tính.

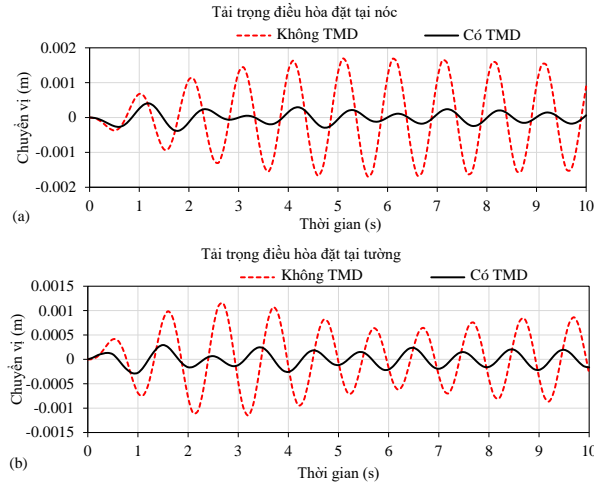
3.2. Hiệu quả giảm chấn của TMD

Trong phần này, bài báo khảo sát hiệu quả giảm chấn của TMD cho kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng động. Để đơn giản trong phân tích, giả thiết nền đất có độ cứng không đổi và được thay thế bằng hệ số nền như bảng 1 dưới đây. Độ cứng liên kết khối lượng hệ phụ được xác định sơ bộ theo quan điểm đáp ứng tiêu chí thiết kế tối ưu như các kết quả đã được công bố [5, 6].

Bảng 1. Hệ số nền tương đương và độ cứng liên kết hệ phụ.

| Vị trí | Hệ số nền | Đơn vị |
|-------------------------------|-----------|-------------------|
| Nền tường bên | 200 | kN/m ² |
| Nền đáy | 200 | kN/m ² |
| Liên kết khối lượng (độ cứng) | 2400 | kN/m |

Sử dụng phần mềm SAP2000 phân tích kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng điều hòa đối với hai trường hợp: tải trọng tác dụng tại nóc công sự và tải trọng tác dụng tại tường. Kết quả so sánh chuyển vị động tại đáy công sự đối với hai trường hợp được thể hiện trong hình 3.



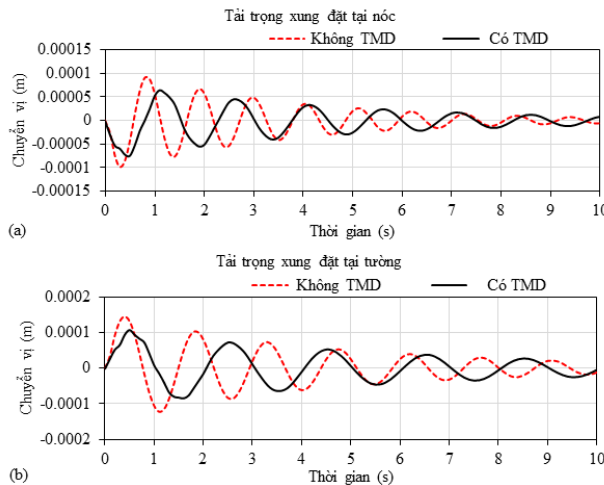
Hình 3. Hiệu quả giảm dao động của thiết bị TMD: (a) Tải trọng điều hòa tác dụng tại nóc; (b) Tải trọng điều hòa tác dụng tại tường.

Từ kết quả thu được ta nhận thấy, biên độ dao động tại đáy công sự giảm đáng kể khi hệ kết cấu có lắp đặt thiết bị TMD (giảm 76% với tải trọng đặt tại nóc, 74,5% với tải trọng đặt tại tường), chứng tỏ thiết bị TMD có hiệu quả cao trong việc giảm dao động cho kết cấu chính. Ngoài ra, tần số dao động của kết cấu sau khi lắp hệ phụ cũng giảm rõ rệt, từ $12,39 \text{ s}^{-1}$ xuống còn $0,54 \text{ s}^{-1}$ (tải trọng đặt tại nóc). Chi tiết kết quả khảo sát được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả khảo sát hiệu quả giảm chấn của TMD với tải trọng điều hòa.

| Vị trí đặt tải trọng | Đại lượng khảo sát | | Trước khi lắp hệ phụ | Sau khi lắp hệ phụ |
|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Tải trọng đặt tại nóc | Biên độ dao động | 10^{-3} m | 1,69 | 0,403 |
| | Chu kì dao động | s | 0,081 | 1,847 |
| | Tần số | s^{-1} | 12,389 | 0,542 |
| Tải trọng đặt tại tường | Biên độ dao động | 10^{-3} m | 1,15 | 0,293 |
| | Chu kì dao động | s | 0,081 | 1,847 |
| | Tần số | s^{-1} | 12,389 | 0,542 |

Thực hiện các phân tích tương tự trong trường hợp kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng xung. Kết quả chuyển vị động tại đáy công sự được trình bày trong hình 4 và bảng 3.



Hình 4. Hiệu quả giảm dao động của thiết bị TMD: (a) Tải trọng xung tác dụng tại nóc; (b) Tải trọng xung tác dụng tại tường.

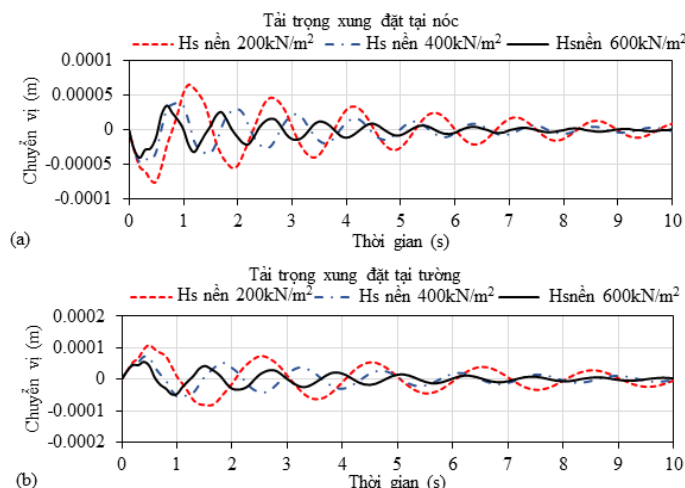
Bảng 3. Khảo sát hiệu quả giảm chấn của TMD với tải trọng tác dụng dạng xung.

| Vị trí đặt tải trọng | Đại lượng khảo sát | | Trước khi lắp hệ phụ | Sau khi lắp hệ phụ |
|-------------------------|--------------------|-------------|----------------------|--------------------|
| Tải trọng đặt tại nóc | Biên độ dao động | 10^{-4} m | 0,898 | 0,649 |
| | Chu kỳ dao động | s | 0,081 | 1,847 |
| | Tần số | s^{-1} | 12,389 | 0,542 |
| Tải trọng đặt tại tường | Biên độ dao động | 10^{-4} m | 1,44 | 1,08 |
| | Chu kỳ dao động | s | 0,081 | 1,847 |
| | Tần số | s^{-1} | 12,389 | 0,542 |

Nhìn chung, các kết quả thu được về đáp ứng động (biên độ, tần số) của kết cấu công sự chịu tác dụng của tải trọng xung cho hiệu quả giảm chấn có xu hướng tương tự (nhưng hiệu quả thấp hơn) khi so với trường hợp tải trọng điều hòa. Cụ thể, giá trị chuyển vị cực đại giảm 28% với tải trọng đặt tại nóc, 25% với tải trọng đặt tại tường.

3.3. Ảnh hưởng của độ cứng nền đất và khối lượng TMD

Trong phần này, nội dung bài báo tiến hành các phân tích tham số nhằm đánh giá ảnh hưởng của khối lượng TMD và ảnh hưởng của đất nền (bằng cách thay đổi hệ số nền) đến hiệu quả giảm dao động cho công sự. Theo đó, ảnh hưởng của độ cứng nền đất được thực hiện thông qua phân tích khảo sát với 03 giá trị hệ số nền điển hình khác nhau. Kết quả phân tích được thể hiện trong hình dưới đây tương ứng đối với tải trọng xung đặt tại nóc (hình 5(a)) và tại tường (hình 5(b)).



Hình 5. Ảnh hưởng của độ cứng nền đất đến hiệu quả TMD: (a) Tải trọng tác dụng tại nóc; (b) Tải trọng tác dụng tại tường.

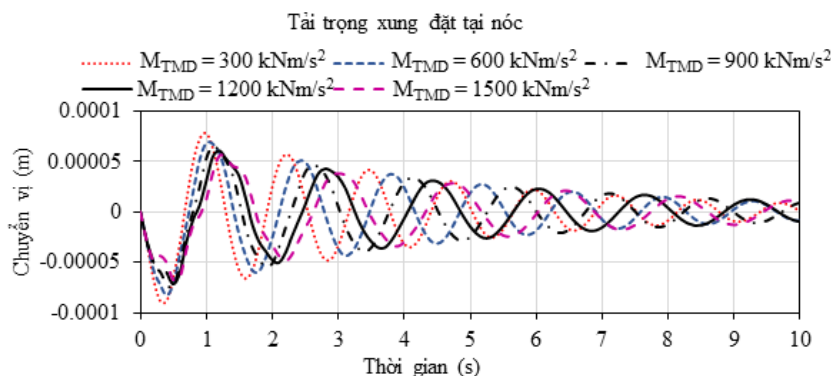
Kết quả độ giảm giá trị chuyển vị cực đại tại giữa tầm đáy của mỗi trường hợp phân tích so với hệ kết cấu ban đầu (không sử dụng TMD) được trình bày chi tiết trong bảng 4.

Bảng 4. Độ giảm biên độ dao động với hệ số nền khác nhau

| Hệ số nền (kN/m^2) | 200 | 400 | 600 |
|-------------------------|-----|-----|-----|
| Độ giảm biên độ (%) | | | |
| Tải trọng đặt tại nóc | 28 | 38 | 44 |
| Tải trọng đặt tại tường | 25 | 29 | 29 |

Kết quả cho thấy, khi độ cứng của nền đất tăng, biên độ dao động của kết cấu giảm. Với trường hợp tải trọng đặt tại tường, độ giảm biên độ dao động kém hiệu quả hơn so với trường hợp tải trọng đặt tại nóc. Kết quả thu được này phù hợp với nguyên lý cơ học, đồng thời gợi ý rằng giải pháp cải tạo nền đất quanh công sự có thể làm tăng hiệu quả của thiết bị TMD trong việc giảm chấn cho công sự.

Ảnh hưởng của khối lượng TMD cũng được khảo sát thông qua phân tích với 05 giá trị khối lượng khác nhau. Hình 6 và bảng 5 thể hiện kết quả chuyển vị động tại đáy công sự khi tải trọng xung tác dụng tại nóc.



Hình 6. Ảnh hưởng của khối lượng thiết bị TMD đến hiệu quả giảm chấn.

Bảng 5. Độ giảm biên độ dao động với khối lượng TMD khác nhau.

| Khối lượng TMD (kNm/s ²) | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| Độ giảm biên độ (%) | 13 | 24 | 28 | 33 | 38 |

Kết quả khảo sát cho thấy, khi khối lượng TMD tăng, biên độ dao động của hệ kết cấu chính giảm. Điều này được giải thích như sau: khối lượng TMD tăng làm tăng lực quán tính của thiết bị (lực này ngược chiều với lực quán tính của hệ kết cấu chính); Trong bối cảnh năng lượng dao động của TMD được lấy từ năng lượng dao động của hệ kết cấu chính, việc tăng khối lượng TMD dẫn đến năng lượng dao động của hệ kết cấu chính bị tiêu tán nhiều hơn, kết quả là biên độ dao động của kết cấu chính giảm. Tuy nhiên, việc tăng khối lượng TMD quá mức có thể ảnh hưởng đến khối lượng tổng thể của hệ kết cấu – TMD.

3.4. Nhận xét kết quả và bình luận

Từ kết quả khảo sát thu được từ phân tích trên, ta có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Thiết bị TMD có hiệu quả giảm dao động rõ rệt cho hệ kết cấu. Trong trường hợp công sự chịu tác dụng của tải trọng điều hòa, thiết bị TMD thể hiện hiệu quả giảm chấn cao hơn đáng kể (chuyển vị giảm khoảng 75%) so với trường hợp chịu tải trọng xung (chuyển vị giảm khoảng 25%). Điều này có thể lý giải do xuất phát từ việc xác định các hệ số tối ưu của TMD có thể được tính toán phù hợp thông qua lời giải giải tích. Với dạng tải trọng động ngẫu nhiên như tải trọng xung, rất khó để tính toán giải tích, do đó, các thông số của TMD không được lựa chọn tối ưu, do vậy, hiệu quả giảm dao động của TMD thấp hơn. Hơn nữa, do năng lượng dao động của hệ TMD được lấy từ năng lượng dao động của hệ chính. Do đó dao động của hệ TMD có độ trễ pha so với hệ chính. Hệ quả là, hiệu quả giảm chấn của hệ TMD thường được thể hiện ở các chu kỳ sau. Với tải trọng xung, biên độ dao động của chu kỳ đầu tiên là lớn nhất, do đó, khả năng tiêu tán năng lượng của thiết bị TMD chưa đạt hiệu suất cao nhất. Mặt khác, hiệu quả giảm chấn của TMD khi tải trọng tác dụng tại nóc và tại tường là khá tương đồng.

- Khối lượng của TMD và độ cứng của nền đất xung quanh kết cấu công sự đều có ảnh hưởng đến hiệu quả giảm dao động của thiết bị. Cụ thể, khi tăng khối lượng của TMD, hiệu quả giảm dao động sẽ tăng. Tuy nhiên, việc tăng khối lượng TMD quá lớn có thể ảnh hưởng đáng kể đến kết cấu chịu lực vì làm tăng tải trọng tác dụng lên công sự. Mặt khác hiệu quả giảm dao động của TMD có chịu ảnh hưởng bởi nền đất xung quanh công sự. Với nền đất cứng, chuyển vị của kết cấu sẽ giảm. Các giải pháp cải tạo nền đất làm tăng độ cứng (và độ cản) có thể được đề xuất để tăng hiệu quả giảm chấn. Tuy nhiên, việc thay đổi độ cứng của nền đất để giảm biên độ dao động cũng cần lưu ý đến tần số dao động của kết cấu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo phân tích hiệu quả giảm chấn của thiết bị TMD ứng dụng cho công sự với các trường hợp tải trọng động khác nhau, tác dụng lên công trình ở các vị trí khác nhau. Một số kết luận được rút ra từ kết quả phân tích như sau:

- Thiết bị TMD, thông qua dao động tương đối của khối lượng bản thân so với dao động của hệ kết cấu chính, có hiệu quả giảm dao động rõ rệt cho hệ kết cấu chính.

- Với các tải trọng khác nhau, hiệu quả giảm dao động của TMD là khác nhau. So sánh hai trường hợp tải trọng điều hòa và tải trọng xung, kết quả cho thấy hiệu quả giảm dao động của TMD đối với tải trọng điều hòa là tốt hơn.

- Với hệ số nền khác nhau, hiệu quả giảm dao động của công trình cũng khác nhau. Tuy nhiên, việc nâng cao hiệu quả giảm dao động của TMD bằng cách thay đổi độ cứng nền đất cần căn cứ vào tần số dao động riêng của kết cấu, từ đó xác định được các tham số TMD phù hợp.

- Với khối lượng của thiết bị TMD khác nhau, hiệu quả giảm dao động khác nhau, khối lượng TMD lớn hơn, hiệu quả giảm dao động của TMD lớn hơn. Tuy nhiên, cần giới hạn giá trị khối lượng của TMD để tránh có ảnh hưởng ngược tới kết cấu chính.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Xuân Đại, Nguyễn Văn Công, “Nghiên cứu hiệu quả giảm chấn bằng phương pháp TMD cho công sự”, Tạp chí Khoa học & Kỹ thuật – Học viện Kỹ thuật quân sự, số 154, (2013).
- [2]. N. Đ. Anh, L. Đ. Việt, “Giảm dao động bằng thiết bị tiêu tán năng lượng”, NXB KHTN&CN, (2007).
- [3]. Đỗ Anh Cường, Vũ Quốc Trụ, Lê Nho Thiết, Tạ Hữu Vinh, Lê Hải Châu, “Lựa chọn tham số tối ưu của bộ hấp thụ dao động TMD (Tuned Mass Dampers) trong một số hệ nhiều bậc tự do”, Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học toàn quốc, (2006).
- [4]. Phạm Đình Ba, Nguyễn Tài Trung, “Động lực học công trình”, Nhà xuất bản Xây dựng, (2009).
- [5]. Vương Tuấn Hải, “Tính toán thiết bị TMD kháng chấn cho công trình chịu tải trọng động đất”, Luận văn cao học, Học viện Kỹ thuật quân sự, (2015).
- [6]. Nguyễn Xuân Đại, Vương Tuấn Hải, Nguyễn Văn Công, “Tính toán tối ưu thiết bị TMD giảm chấn cho hệ kết cấu có 01 bậc tự do”, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng – Viện Khoa học Công nghệ xây dựng, Số 3/2016 (174), (2016).
- [7]. Phạm Thanh Bình, Nguyễn Văn Tú, “Effectiveness of pendulum tuned mass damper system for steel frame structure subjected to seismic action”, Journal of Science and Technology, Section on Special Construction Engineering, Le Quy Don Technical University, No.212, pp.21-30, (2020).
- [8]. Wei-Chau Xie, “Differential Equations for Engineers”, Cambridge University Press, (2010).
- [9]. J.M.Krodkiewski, “Mechanical Vibration”, University of Melbourne, (2008).
- [10]. Rana, Rahul, and T. T. Soong, “Parametric study and simplified design of tuned mass dampers”, Engineering structures 20.3: 193-204, (1998).

ABSTRACT

Application of tuned-mass dampers in vibration reduction design for fortifications by three dimensional structural model

Fortification structures are generally subjected to intense dynamic loads, causing strong vibrations. The fortification structure design focuses mainly to ensure durable conditions without mentioning anti-vibration solutions. The Tuned Mass Damper is known as a highly effective solution in reducing vibrations for structures. The paper study the application of TMD devices in the design of shock absorbers for fortifications subjected to dynamic loads. The analytical solutions are established on a simplified single-degree-of-freedom system. The 3D structural models of a specific fortification subjected to dynamic loads were analyzed using SAP2000 software. The efficiency of TMD was investigated by comparing the dynamic response of the structure using TMD and without TMD. The results show that the TMD device provides high efficiency in reducing the amplitude and frequency of the structural vibration.

Keywords: Anti-vibration design; Tuned-mass damper; Dynamic analysis of structures; Fortification shock absorber.