

KHẢ NĂNG KHÁNG CHẤN CỦA BỂ CHỨA BẰNG CHẤT LỎNG CÓ XÉT TƯƠNG TÁC CHẤT LỎNG - THÀNH BỂ

Bùi Phạm Đức Tường*, Nguyễn Hoài Sơn*,
Phan Đức Huỳnh*, Lê Bá Cường**

Nhà máy, thiết bị kháng chấn cho các công trình dân dụng, đặc biệt nhà cao tầng đang được quan tâm và đầu tư nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới. Việc sử dụng bể nước mái như giải pháp kháng chấn cho công trình được xem là một trong những phương pháp có nhiều ưu điểm vì thiết bị này có giá thành rẻ, ít bảo trì, dễ lắp đặt và không tốn nhiều không gian sử dụng, đặc biệt là khả năng ứng dụng cho hầu hết các công trình với quy mô khác nhau. Bể chứa chất lỏng được thiết kế sao cho tần số dao động tự nhiên gần bằng tần số dao động riêng của công trình nhằm mục đích tạo ra cộng hưởng khi dao động. Khi đó biên độ dao động sóng đạt giá trị cực đại và ngược chiều với ngoại lực tác động lên công trình.

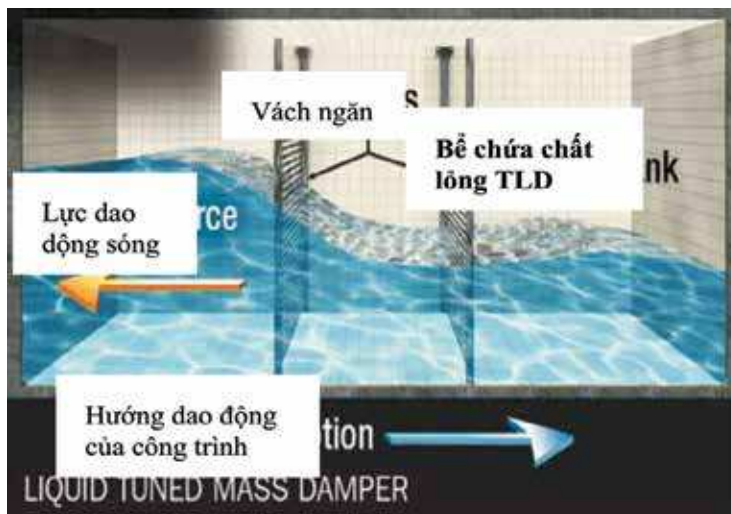
Bài báo này phân tích khả năng kháng chấn khi sử dụng dạng thiết bị trên bằng cách cho hệ kết cấu chịu tải trọng điều hòa và chịu ảnh hưởng động đất. Qua đó khảo sát công trình có xét đến sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể nước trong các trường hợp có và không có sử dụng bể nước mái đóng vai trò như thiết bị kháng chấn. Thông qua các bài toán cụ thể, kết quả phân tích cho thấy chuyển vị đỉnh của công trình giảm từ 50% đến 80% và các thành phần nội lực trong kết cấu cũng giảm đáng kể. Ngoài ra, thiết bị có khối lượng xấp xỉ 1% khối lượng của hệ và tạo ra hiện tượng cộng hưởng với công trình được xem là có khả năng kháng chấn cao nhất.

Từ khóa: kháng chấn, điều khiển dao động, sự tương tác chất lỏng và thành bể

1. Giới thiệu

Thiết kế kháng chấn cho các hệ kết cấu đã cho ra đời rất nhiều thiết bị và có nhiều tiêu chí để phân loại các thiết bị này, nhưng phổ biến nhất là phân theo tính năng làm việc (Soong & Spencer, 2002). Các thiết bị kháng chấn được chia ra làm ba dạng chính là chủ động, bán chủ động và bị động. Bể nước mái được thiết kế như thiết bị kháng chấn sử dụng chất lỏng dạng bị động (Tuned Liquid Damper-TLD) vì không cần sử dụng thêm năng lượng bên ngoài hay thiết bị phụ trợ nào cho quá trình hoạt động. Khi công trình dao động

lỏng trong bể dao động theo hướng ngược lại giúp đưa hệ về vị trí cân bằng. Có thể minh họa cơ chế hoạt động của TLD qua Hình 1 như sau.



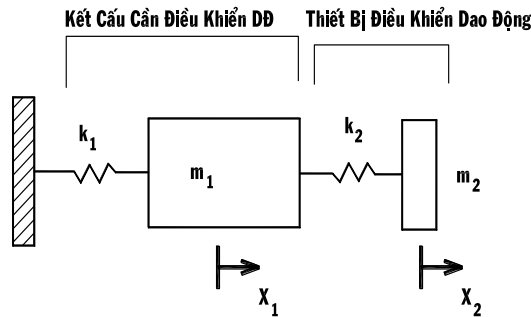
Hình 1. Cơ chế hoạt động của TLD

Khái niệm TLD được Modi và Welt (1987) đề xuất đầu tiên cho việc kháng chấn trong nhà cao tầng, mặc dù thực tế thiết bị này đã được ứng dụng từ khá lâu cho tàu thuyền cũng như trong kỹ thuật hàng không (Van Hai, 2008). Tiếp đó Fujino và Pacheco (1988) đã kiểm định tính đúng đắn của đề xuất này bằng các nghiên cứu thực nghiệm đối với TLD. Sun (1992) thiết lập mô hình toán dựa trên các thực nghiệm của Fujino và Pacheco (1988) với điểm nổi bật là khả năng tiên lượng hiện tượng sóng vỡ bằng cách đưa ra hai hệ số thực nghiệm. Tam (1997) phân tích khả năng kháng chấn của TLD trong hệ khung phẳng, qua đó xem xét dao động sóng chất lỏng bằng cách ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Trong cùng thời gian này Yu (1997) đã giải quyết thành công vấn đề phi tuyến của sóng chất lỏng dao động trong bể. Tuy nhiên các nghiên cứu trên đều bỏ qua sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể vì sự phức tạp của mô hình toán học. Gần đây, do tầm quan trọng của vấn đề này nên sự tương tác đã được xét đến trong các nghiên cứu. Jun và Yingmin (2006) sử dụng ADINA mô phỏng công trình ứng dụng bể nước mái như thiết bị TLD, sau đó đánh giá khả năng kháng chấn của thiết bị khi công trình chịu ảnh hưởng của động đất. Gradinscark (2009) kể đến vấn đề tương tác giữa chất lỏng và thành bể trong việc điều khiển tần số cho bể chứa có thành mềm bằng ANSYS.

Trong bài báo này, sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể mà đặc trưng là độ dày thành được trình bày. Bài toán thiết kế bể nước mái như dụng cụ kháng chấn sử dụng chất lỏng được giải quyết bằng cách xem xét đáp ứng động lực học của hệ kết cấu và đánh giá khả năng kháng chấn của hệ kết cấu khi chịu động đất El Centro. Từ đó so sánh chuyển vị đỉnh

2. Cơ sở thiết kế TLD

Cơ chế hoạt động của thiết bị TLD tương tự thiết bị Tuned Mass Damper-TMD (Fujino và Pacheno, 1988). Có thể đơn giản hóa TLD thành TMD như sau:



Hình 2. Mô hình đơn giản của TLD

Giả thiết kết cấu chính có khối lượng m_1 và độ cứng k_1 như Hình 2. Thiết bị kháng chấn có khối lượng và độ cứng m_2, k_2 . Cho khối lượng m_1 chịu tác động điều hòa $F_0 e^{i\omega t}$, ta thu được hệ hai phương trình động lực học:

$$m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 + k_2 (y_2 - y_1) = F_0 e^{i\omega t} \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) = 0 \quad (2)$$

Giả thiết biên độ dao động của hệ có dạng:

$$y_1 = X_1 e^{i\omega t} \Rightarrow \ddot{y}_1 = -\omega^2 X_1 e^{i\omega t} \quad (3)$$

$$y_2 = X_2 e^{i\omega t} \Rightarrow \ddot{y}_2 = -\omega^2 X_2 e^{i\omega t} \quad (4)$$

Thay (3), (4) vào (1), (2) ta thu được:

$$X_1 = F$$

Phương trình (8) cho thấy tần số của thiết bị tiêu tán năng lượng bằng tần số lực kích thích. Trong trường hợp thiết bị kháng chấn được dùng để giảm dao động cho hệ kết cấu thì cần điều khiển sao cho tần số tự nhiên của hệ bằng tần số tự nhiên của thiết bị. Tức là:

$$(k_1 / m_1)^{1/2} = (k_2 / m_2)^{1/2} \quad (9)$$

Thiết bị kháng chấn được thiết kế thỏa (9) thì xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Đặt:

$$\delta_{st} = F_0 / k_1 \quad (10)$$

$$\omega_1^2 = k_1 / m_1, \omega_2^2 = k_2 / m_2 \quad (11)$$

là tần số dao động tự nhiên của kết cấu và thiết bị kháng chấn. Sau đó chia (5) và (6) cho δ_{st} để được hệ phương trình:

$$\begin{aligned} X_1 / \delta_{st} &= \left[1 - (\omega / \omega_2)^2 \right] / \\ &\left\{ \left[1 + k_2 / k_1 - (\omega / \omega_1)^2 \right] \left[1 - (\omega / \omega_2)^2 \right] - k_2 / k_1 \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} X_2 / \delta_{st} &= 1 / \\ &\left\{ \left[1 + k_2 / k_1 - (\omega / \omega_1)^2 \right] \left[1 - (\omega / \omega_2)^2 \right] - k_2 / k_1 \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

Khi $X_1=0$ và $\omega=\omega_2$ từ (13) thu được:

$$X_2 = -k_1 / k_2 \delta_{st} = -F_0 \times k_2 \quad (14)$$

$$k_2 X_2 = -F_0 \quad (15)$$

trong đó $k_2 X_2 =$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & 0 \\ \mathbf{S} & \mathbf{M}_f \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \ddot{\mathbf{p}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_s & -\mathbf{S}^T \\ 0 & \mathbf{K}_f \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{p} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (16)$$

trong đó $\mathbf{M}_f$, $\mathbf{K}_f$ là các ma trận khối lượng và ma trận độ cứng của chất lỏng; $\mathbf{M}_s$, $\mathbf{K}_s$ là các ma trận khối lượng và ma trận độ cứng của thành bể; $\mathbf{S}$ là ma trận tương tác giữa chất lỏng và thành bể; $\mathbf{q}$ là ma trận nút chuyển vị của thành; $\mathbf{p}$ là áp suất động lực học chất lỏng và được khai triển theo chuỗi Fourier sau:

$$P(x, z, t) = \sum_{j=1}^N N_j(x, z, z) \overline{P_j}(t) \quad (17)$$

với N_j là hàm dạng, $\overline{P_j}(t)$ là áp suất chất lỏng tại nút theo thời gian.

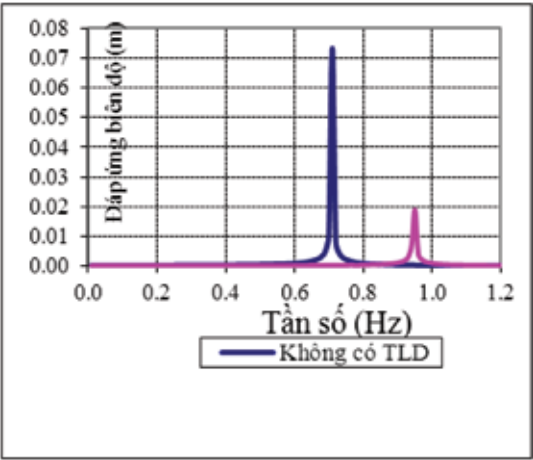
Giải phương trình (16) thu được hàm dạng cũng như tần số tự nhiên của bể chứa có kể đến tương tác chất lỏng - thành bể.

4. Ví dụ

Phân tích công trình bằng thép chịu tác dụng của tải trọng điều hòa và chịu ảnh hưởng của động đất El Centro khi sử dụng bể nước mái như thiết bị giảm chấn. Phương pháp số Newmark được dùng để phân tích dao động của công trình trên miền thời gian. Quĩ mô công trình gồm một nhịp và cao 15 tầng, mỗi tầng cao 5m với các đặc trưng sau: dầm cột tiết diện $b \times h = 0.6m \times 0.8m$, vật liệu thép có module đàn hồi $E = 2.1 \times 10^{11} N/m^2$, khối lượng riêng $\rho_s = 780$

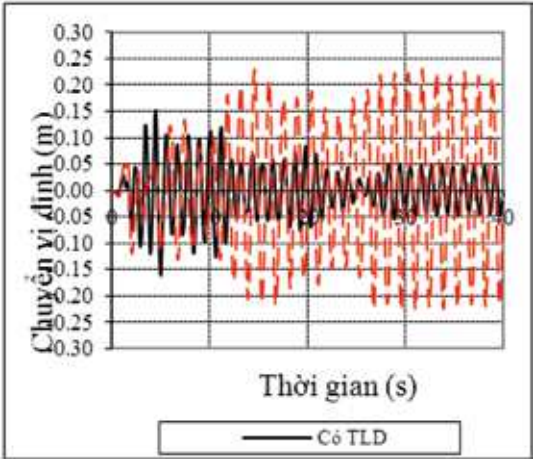
Như vậy bài toán thiết kế còn hai ẩn số là bề rộng TLD b_t và chiều cao mực nước h_f . Giải hệ hai phương trình trên thu được nghiệm gần đúng $b_t = 1.2m$ và $h_f = 0.5m$. Khi đó tần số dao động TLD là: $f_{TLD} = 0.749Hz$.

Đầu tiên phân tích hệ kết cấu dưới tác dụng của tải trọng điều hòa $P = P_0 \sin \omega t = 1000 \sin \omega t (N)$ trên miền tần số từ $0 \rightarrow 1.2Hz$ để từ đó xác định đáp ứng của công trình. Kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 2, ta thấy khi không sử dụng TLD thì biên độ dao động cực đại của đỉnh khung ($0.072m$) đạt được khi tần số lực kích thích bằng tần số riêng của hệ (xấp xỉ $0.71Hz$). Mặt khác, công trình sử dụng TLD thì đáp ứng dao động đỉnh khung giảm đến 3.6 lần ($0.02m$) và sự cộng hưởng xảy ra ở tần số khác ($0.94Hz$). Ngoài ra, biên độ dao động của bể đạt cực đại ở một tần số khác với tần số tự nhiên của hệ, điều này sẽ được giải thích khi phân tích Ví dụ 2.

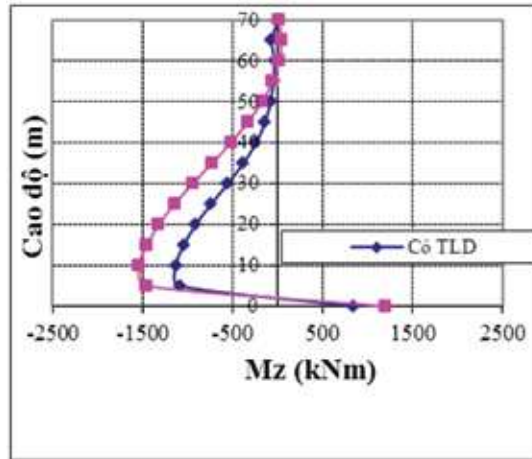


Hình 2. Đáp ứng dao động đỉnh công trình khi không và có TLD

Trong phân tích đáp ứng được tiến hành cho công trình trên chịu ảnh hưởng động đất Elcentro. Kết quả được thể hiện trên Hình 3 và 4 như sau.



Đồ thị Hình 4 cho thấy chuyển vị đỉnh của công trình đã giảm đi đáng kể đến 80% khi hệ dao động ổn định, momen nội lực trong cột giảm 25%. Điều này cho thấy hiệu quả khá tốt của việc sử dụng TLD như giải pháp kháng chấn cho các công trình.



Hình 4. So sánh mômen M_z phía trái khung

5. Kết luận

1. Khả năng kháng chấn của TLD rất tốt, đặc biệt khi khối lượng của thiết bị xấp xỉ khoảng 1% khối lượng công trình. Khi đó dao động đỉnh khung của công trình giảm từ 50% đến 80% (phù hợp với kết luận của Fujino et al., 1992). Điều này giúp momen nội lực xuất hiện trong khung giảm đi đáng kể 25%

2. Nội lực trong khung không khác nhau nhiều giữa việc sử dụng TLD có thành bể tuyệt đối cứng và thành bể mềm. Vì vậy khi thiết kế thì nên chọn TLD có thành bể tuyệt đối cứng để tránh làm biến dạng thành do sự tương tác gây ra.

tác chất lỏng-thành bể cũng có thể được dùng như một công cụ điều khiển tần số dao động nhưng cần phải được xét cẩn thận để phòng tránh trường hợp thành bể bị phá hoại do sóng chất lỏng dao động khi cộng hưởng xảy ra. Từ những ưu điểm đó có thể khẳng định TLD phù hợp với việc thiết kế kháng chấn ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Phạm Đức Tường. *Khả năng kháng chấn của bể chứa cho công trình có xét sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể*, Luận văn thạc sỹ, Đại học Bách Khoa TP HCM, 2010.
2. Bùi Thanh Tâm. *A displacement based formulation of nearly incompressible fluid element for analysis of large amplitude liquid sloshing for tuned liquid damper applications*, Luận án tiến sỹ, Asian Institute of Technology-AIT, 1997.
3. Han Jun và Li Yingmin. *Numerical modelling on the damping control of TLD structure*, 4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan, Paper No. 183, 2006.
4. Hsiung và Weingarten. *Dynamic analysis of hydro-elastic systems using the finite element method*. Report USCCE013, Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Đại học Southern California, USA, 1973.
5. Jin Kyu Yu. *A non linear numerical model of the tuned liquid dampers*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28, 671-686, 1999 .
6. Li Min Sun. *Semi-analytical modelling of tuned liquid damper (TLD) with emphasis on damping of liquid sloshing*, Luận án tiến sỹ, University of Tokyo, 1992.
7. Lương Văn Hải. *Modelling, simulation and behaviour of sloshing liquid-tank-ship coupled system*, Luận án tiến sỹ, National University of Singapore, 2008.
8. Marija Gradinscak. *Liquid sloshing in containers with flexibility*, Luận án tiến sỹ, Victoria University, Australia, 2009.
9. Modi và Welt. *Vibration control using Nutation Damper*, International Conference on Flow Induced Vibration, England, May 1987.
10. T.T. Soong và Spencer. *Supplemental energy dissipation: state of the art and state of the practice*, Engineering Structures, 24, 243-259, 2002.

Ngày nhận bài: 1/12/2015

Ngày gửi phản biện: 18/12/2015