

ỨNG DỤNG THIẾT BỊ GIẢM CHẤN THỦY LỰC ĐỂ GIẢM DAO ĐỘNG CHO NHÀ CAO TẦNG CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT

● HOÀNG QUỐC THẮNG

TÓM TẮT:

Để chống lại tác động của động đất cho các công trình xây dựng, nhiều giải pháp được thiết kế và áp dụng như: cách chấn, giảm chấn hoặc sử dụng các kết cấu, vật liệu hấp thụ và tiêu tán năng lượng để giảm dao động.

Trong bài viết này, tác giả đề cập đến một trong những giải pháp giảm rung chấn cho nhà cao tầng khi chịu tải trọng động đất bằng thiết bị cản dao động TLD (Tune Liquid Damper).

Từ khóa: thiết kế nhà cao tầng, giảm chấn, thiết bị TLD, thiết kế chống động đất, thiết kế kháng chấn.

1. Đặt vấn đề

Trong tính toán thiết kế xây dựng nhà cao tầng, tải trọng tác dụng có thể kể đến như: Trọng lượng bản thân, các hoạt tải sử dụng, gió, động đất v.v... Trong các tải trọng này, tải trọng động đất là nguy hiểm nhất, vì nó xuất hiện đột ngột không được dự báo trước, giá trị và hướng tác dụng thường xuyên thay đổi khi động đất xảy ra.

Để chống lại tác động của động đất lên công trình xây dựng, nhiều giải pháp đã được nghiên cứu và ứng dụng như biện pháp cách chấn, giảm chấn hay sử dụng các kết cấu, vật liệu có thể hấp thụ và tiêu tán được năng lượng do động đất gây ra để giảm dao động cho công trình.

Trong bài báo này, tác giả đề cập đến một trong các giải pháp để giảm dao động cho kết cấu nhà cao tầng khi chịu tải trọng động đất bằng ứng dụng thiết bị cản dao động TLD (Tune Liquid Damper).

Việc nghiên cứu và ứng dụng thiết bị cản dao động TLD có ý nghĩa khoa học và thực tế giúp các kỹ sư tư vấn thiết kế có thêm phương án để xem xét lựa chọn giải pháp tối ưu khi tính toán thiết kế nhà cao tầng.

2. Thiết bị cản dao động TLD (Tune Liquid Damper).

2.1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của thiết bị TLD

Thiết bị TLD có cấu tạo đơn giản nhất là một bể chứa chất lỏng hình chữ nhật. Thành bể làm bằng thép hoặc BTCT được gắn chặt vào kết cấu công trình. Kích thước bể chứa là (a, b, c) . Chiều sâu chất lỏng chứa trong bể chứa là h (Hình 1a). Có kết hợp việc sử dụng bể chứa nước phòng cháy đặt trên mái nhà làm thiết bị TLD nên chi phí sẽ tiết kiệm, cũng có thể lắp đặt tại các tầng kỹ thuật khác để tăng thêm hiệu quả giảm chấn cho kết cấu.

Thiết bị TLD hoạt động dựa trên sơ đồ nguyên lý được thể hiện trong Hình 1. Khi có lực kích thích vào kết cấu bể chứa chất lỏng (thiết bị TLD), nước trong bể chứa chuyển động văng ngược chiều với chiều chuyển động của kết cấu, lực va đập này tạo ra các hiệu ứng tiêu tán năng lượng (Hình 1b).

2.2. Cơ sở lý thuyết

Xét bể chứa chất lỏng mô tả như Hình 2:

- Phương trình vi phân cơ bản của vận tốc dòng chảy áp dụng cho chất lỏng không nén được:

$$\nabla \Phi = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

trong đó: u là Vận tốc theo phương x; w là Vận tốc theo phương z.

- Thế năng của dòng chảy tại 1 điểm được thể hiện qua phương trình Bernoulli:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{p}{\rho} + gz + \frac{1}{2}(u^2 + w^2) = f(z) \quad (2)$$

Biểu diễn véc tơ lưu tốc Φ dưới dạng hàm điều hòa với tần số góc ω . Giải phương trình điều kiện biên, xác định được tần số dao động (Hình 3)

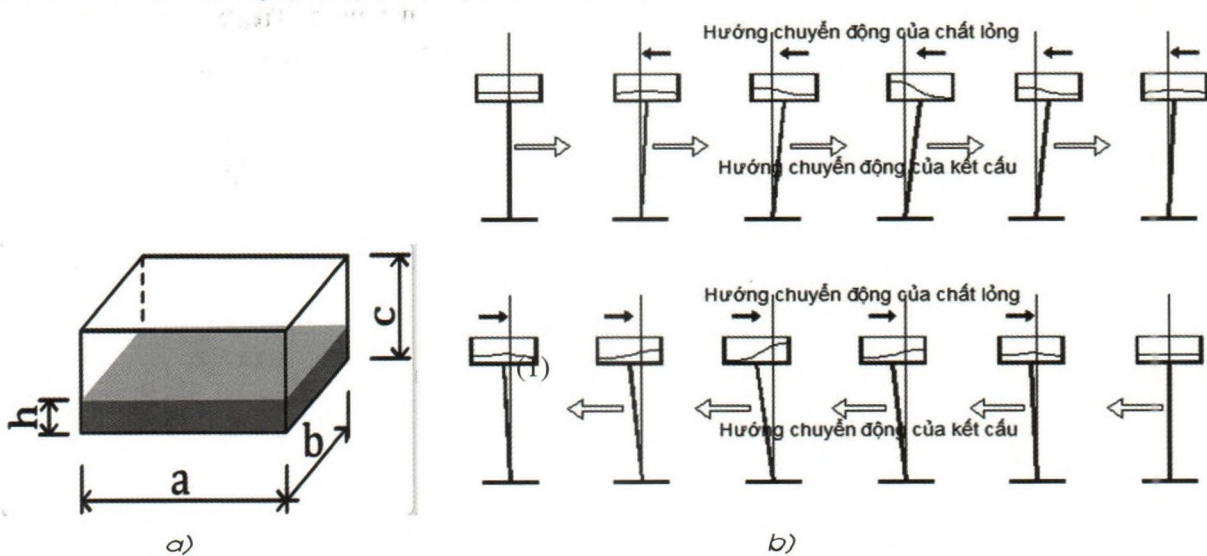
$$\omega_n^2 = (2n-1) \cdot \left(\frac{g}{a}\right) \tanh\left[\pi(2n-1) \cdot \left(\frac{h}{a}\right)\right] \quad (3)$$

Khi lựa chọn chiều dài bể tối ưu chọn dạng $n=1$ (Hình 3). Khi đó tần số dao động tính theo công thức:

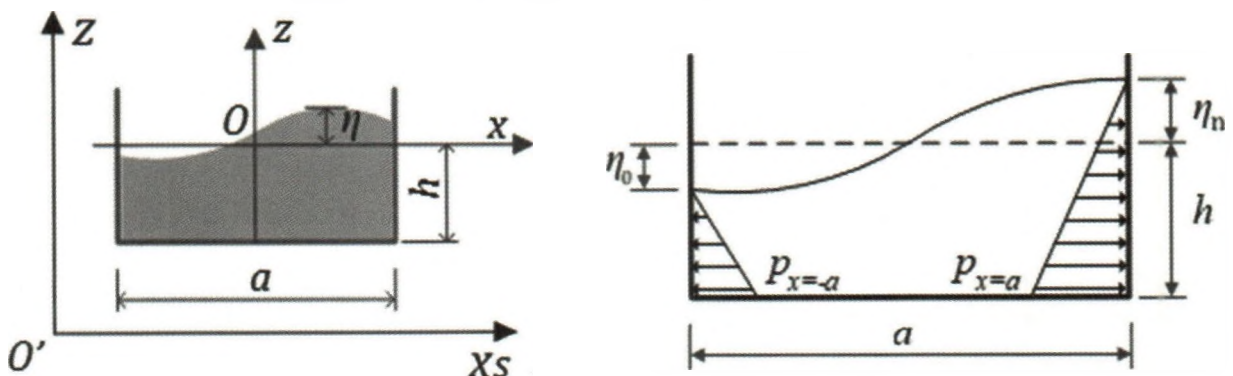
$$\omega = \sqrt{\frac{\pi g}{a} \tanh\left(\frac{\pi h}{a}\right)} \quad (4)$$

Từ điều kiện biên, nhận thấy véc tơ vận tốc theo Oz tại mặt thoáng có thể được biểu diễn qua véc tơ vận tốc theo Ox.

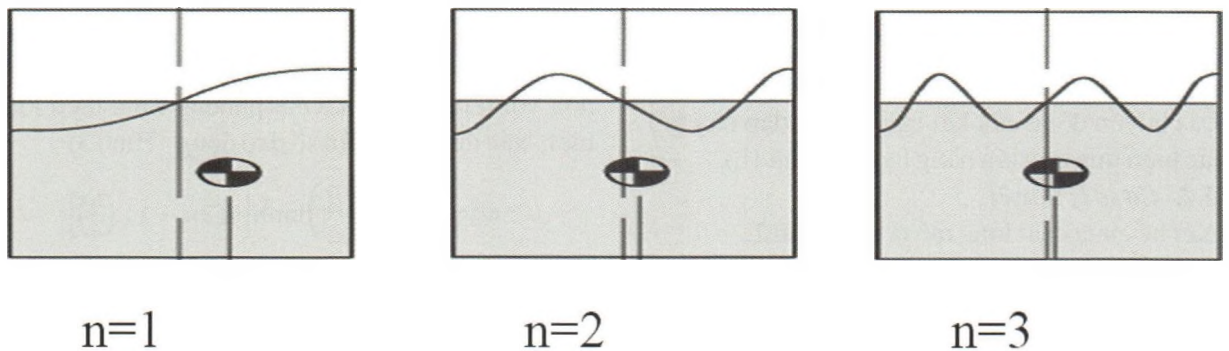
Hình 1: Cấu tạo và nguyên lý làm việc của thiết bị TLD



Hình 2: Dao động sóng nước và áp lực lên thành bể chứa



Hình 3: Các dạng dao động sóng trong bể chứa TLD



Phương trình chuyển động liên tục của chất lỏng [4]:

$$\frac{\partial \eta(x,t)}{\partial t} + h\sigma \frac{\partial [\Phi u(x,\eta,t)]}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (1 - T_H^2)u \frac{\partial u}{\partial x} + C_{fr}^2 g \frac{\partial \eta}{\partial x} + gh\sigma \Phi \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} = -C_{da} \lambda u - \ddot{x}_s \quad (6)$$

Phương trình đường mặt sóng được viết như sau:

$$\eta(x,t) = -\frac{H}{2} [\cos(kx + \omega_1) - \cos(kx - \omega_1)] \quad (7)$$

H là chiều cao sóng, xác định thông qua tính toán độ dâng của sóng tại thành bể theo George W.Housner (1963) đề nghị tính theo công thức:

$$H = 2.0,84 . A_1 \cdot \frac{k_1 g}{M_1 g} \cdot \frac{1}{1 - \frac{A_1}{a} \left(\frac{k_1 g}{M_1 g} \right)^2} \quad (8)$$

Hiệu ứng lực va đập của nước vào bể chứa FTLT trong quá trình dao động của chất lỏng được xác định theo công thức (9):

$$F_{TLD} = \frac{\rho g b}{2} (h_l^2 - h_r^2) \quad (9)$$

Trong đó: h_l , h_r là chiều cao mực nước trước và sau bể.

2.3. Mô hình tính toán và các tham số của TLD

Khi nghiên cứu hiệu quả giảm chấn của thiết bị TLD người ta xem bể chứa chất lỏng TLD như một hệ giảm chấn quen thuộc, đó là hệ giảm chấn khối lượng (TMD). Tác dụng giảm chấn của khối lượng

chất lỏng tương đương với khối lượng m_2 gắn vào kết cấu với các thông số về độ cứng tương đương gọi là k_{TLD} và độ cản tương đương gọi là c_{TLD} .

- Khối lượng chất lỏng trong bể chứa (m_2) và Tỷ số khối lượng μ

Hiệu quả tiêu tán năng lượng của TLD phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Trước hết là khối lượng chất lỏng trong thiết bị TLD. Khối lượng chất lỏng trong một bể chứa m_2 phụ thuộc vào số lượng bể chứa (n); đặc trưng chiều dài bể (a), chiều rộng bể (b) và độ sâu mực nước (h) và được xác định theo công thức (10):

$$m_2 = n . a . b . h . \gamma_n \quad (10)$$

- Thông số về tỷ số khối lượng μ , được xác định theo công thức (11):

$$\mu = \frac{m_2}{m_1} . 100(\%) \quad (11)$$

Trong đó: m_1 là khối lượng kết cấu chính; m_2 là khối lượng nước trong bể chứa. Nghiên cứu của Roshni. V. Kartha đã chỉ ra μ càng lớn thì hiệu quả giảm chấn càng lớn. Tuy nhiên, việc chọn giá trị μ còn phụ thuộc vào không gian đặt bể. Với các nhà cao tầng m_1 rất lớn, khi đó người ta thường lấy $\mu \leq 1\%$.

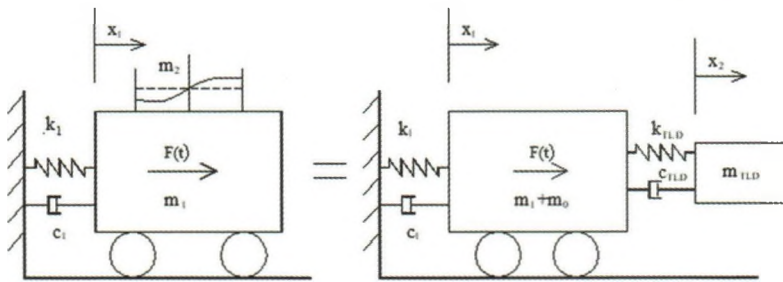
- Khối lượng chất lỏng tham gia hiệu quả m_{TLD} [5]

Điều đáng chú ý là không phải toàn bộ khối lượng chất lỏng trong TLD đều đóng góp vào việc tạo ra hiệu quả giảm chấn do sự tuần hoàn của dòng chảy chất lỏng trong TLD. Các nghiên cứu [Graham và Rodriquex (1952)] sử dụng lý thuyết dòng chảy tiềm năng đã chỉ ra được khối lượng chất lỏng hiệu quả (m_{TLD}) và khối lượng không tham gia (m_0).

$$m_{TLD} = \frac{8 \cdot \tanh\left(\frac{\pi h}{a}\right)}{\pi^2 \left(\frac{h}{a}\right)} \cdot m_2 \quad (12)$$

Như vậy, khối lượng chất lỏng m_2 được phân thành khối lượng chất lỏng tham gia tạo lực va đập chống lại lực kích thích là m_{TLD} và khối lượng chất lỏng không tham gia m_0 chống lại lực kích thích được coi như gắn chặt vào kết cấu (Hình 4).

Hình 4: Khối lượng chất lỏng tham gia giảm chấn hiệu quả



- Tần số dao động riêng và Độ cứng tương đương của thiết bị TLD xác định theo công thức (13):

$$\omega_{TLD} = 2\pi f_{TLD} = \sqrt{\frac{\pi g}{a} \cdot \tanh\left(\frac{\pi h}{a}\right)};$$

$$k_{TLD} = m_{TLD} \cdot \omega_{TLD}^2 \quad (13)$$

- Hệ số cản của thiết bị c_{TLD} được xác định theo công thức (14):

$$c_{TLD} = 2\nu \sqrt{k_{TLD} \cdot m_{TLD}}$$

với $\nu = \frac{1}{2h} \cdot \sqrt{\frac{\zeta}{\pi f}} \cdot \left(1 + \frac{h}{a}\right) \quad (14)$

Trong đó: ν là hệ số cản của công trình được xác định theo công thức (14)

ζ là hệ số nhớt động học của chất lỏng trong TLD. Chất lỏng trong bể chứa là nước được xét với nhiệt độ 30°C nên thường chọn $\zeta = 0,0081 \text{ (cm}^2/\text{s)}$.

3. Nghiên cứu thử nghiệm số

3.1. Phân mềm và công cụ nghiên cứu

Phần mềm sử dụng để thử nghiệm số và phân tích trong nghiên cứu này là phần mềm tính toán kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn ETABS 2016. Khi xây dựng mô hình tính toán trên Etabs, việc rời rạc hóa kết cấu liên tục thành một số hữu hạn các phần tử với kích thước hữu hạn được liên

kết với nhau tại các điểm nút. Các liên kết nối đất của công trình trong nghiên cứu này được giả thiết là liên kết ngàm cứng.

3.2. Công trình nghiên cứu

Công trình lựa chọn tính toán là công trình nhà cao 11 tầng. Kết cấu công trình thuộc dạng kết cấu khung - vách chịu lực. Phần vách lõi được sử dụng làm vách cầu thang máy có tác dụng làm tăng độ cứng theo phương ngang, tăng sức chịu tải cho công trình. Vật liệu sử dụng là bê tông cốt thép thông thường, cấp độ bền bê tông B22.5.

Địa điểm xây dựng công trình: Quận Thanh Xuân - TP. Hà Nội. Giả thiết công trình xây dựng cách xa những nơi đứt gãy hoạt động.

Với đặc điểm tỷ lệ về kích thước chiều dài và chiều rộng công trình $L/B > 2$, nên để đơn giản hóa cho sơ đồ tính, để dễ quan sát kết quả phân tích khi tính toán xong mà vẫn đảm bảo được độ tin cậy cần thiết ta chọn phương án tính toán theo sơ đồ khung phẳng. Các thông số khai báo khi mô phỏng trong ETAB bao gồm:

- Tĩnh tải và hoạt tải tác dụng (TCVN 2737-1995)

Giá trị tĩnh tải và hoạt tải tác dụng lên sàn công trình được quy về tính toán tác dụng lên khung K4 với dạng tải trọng phân bố đều với các giá trị như sau:

Tĩnh tải: Sàn tầng điển hình: $q_{TT} = 36,24 \text{ (kN/m)}$; Sàn ban công tầng điển hình: $q_{TT} = 32,53 \text{ (kN/m)}$; Sàn mái: $q_{TT} = 32,53 \text{ (kN/m)}$.

Hoạt tải: Văn phòng: $q_{HT} = 17,28 \text{ (kN/m)}$; Ban công: $q_{HT} = 17,28 \text{ (kN/m)}$; Mái không sử dụng: $q_{HT} = 7,02 \text{ (kN/m)}$; Tổng khối lượng công trình: 11037,539 (kN).

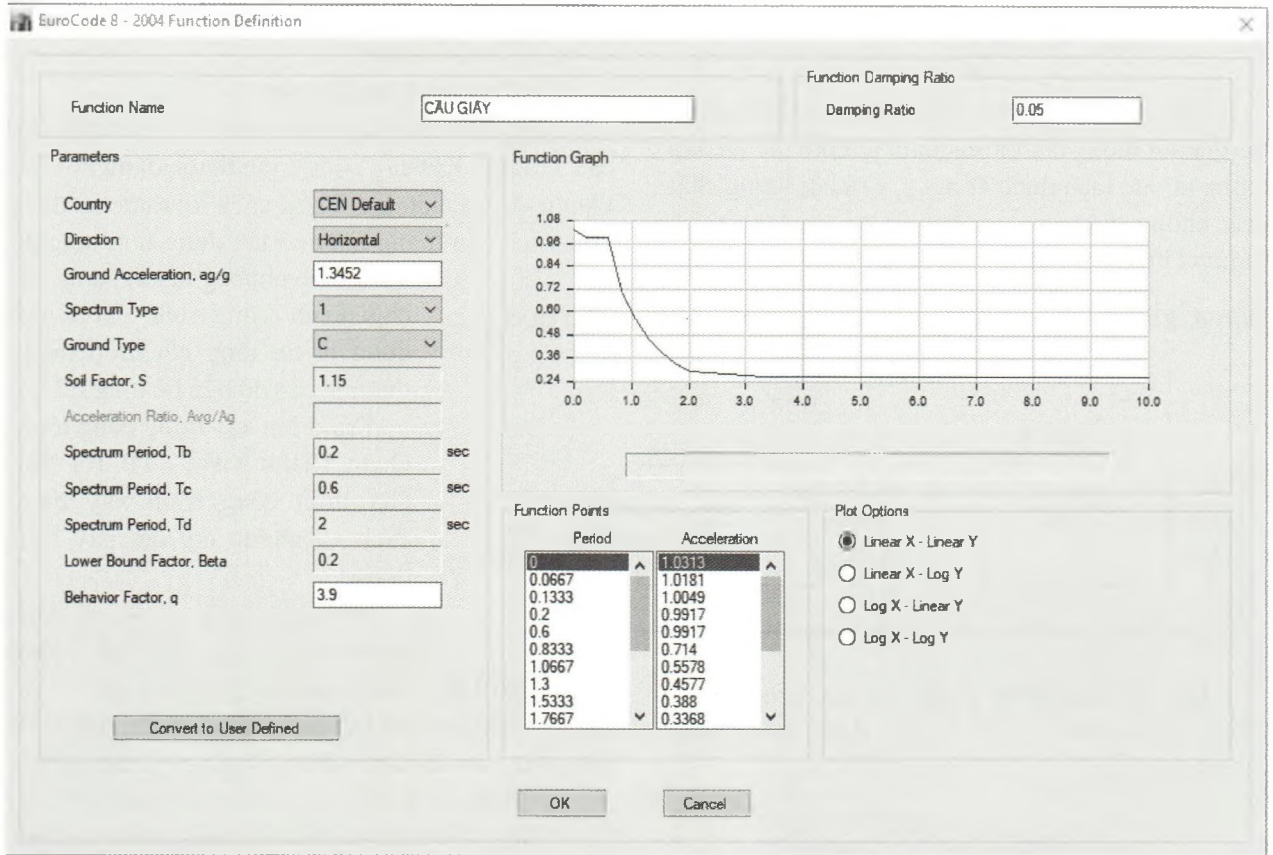
- Tải trọng động đất (TCVN 9386-2012)

Chuyển động động đất tại một điểm được biểu diễn theo phương pháp phân tích phổ phản ứng gia tốc đàn hồi, được khai báo trong ETABS theo Hình 5, Hình 6.

3.3. Mô hình hóa thiết bị TLD trong Etabs

Thiết bị TLD với các thông số m_{TLD} ; K_{TLD} ; C_{TLD} được khai báo trong sơ đồ như Hình 7.

Hình 5: Khai báo phổ phản ứng của công trình trong Etabs



Hình 6: Chi tiết khung dầm và Mặt bằng tầng điển hình



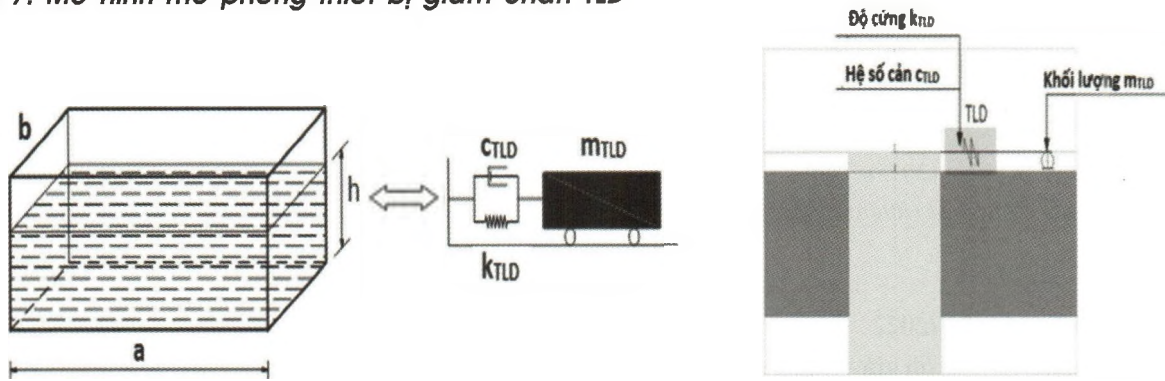
3.4. Kết quả nghiên cứu về chuyển vị của công trình

Qua phân tích thử nghiệm số cho thấy, nhìn chung biên độ dao động của kết cấu nhà đều giảm. Hiệu quả giảm dao động được so sánh ứng với các độ sâu mực nước h trong bể chứa khác nhau theo tỷ lệ h/a.

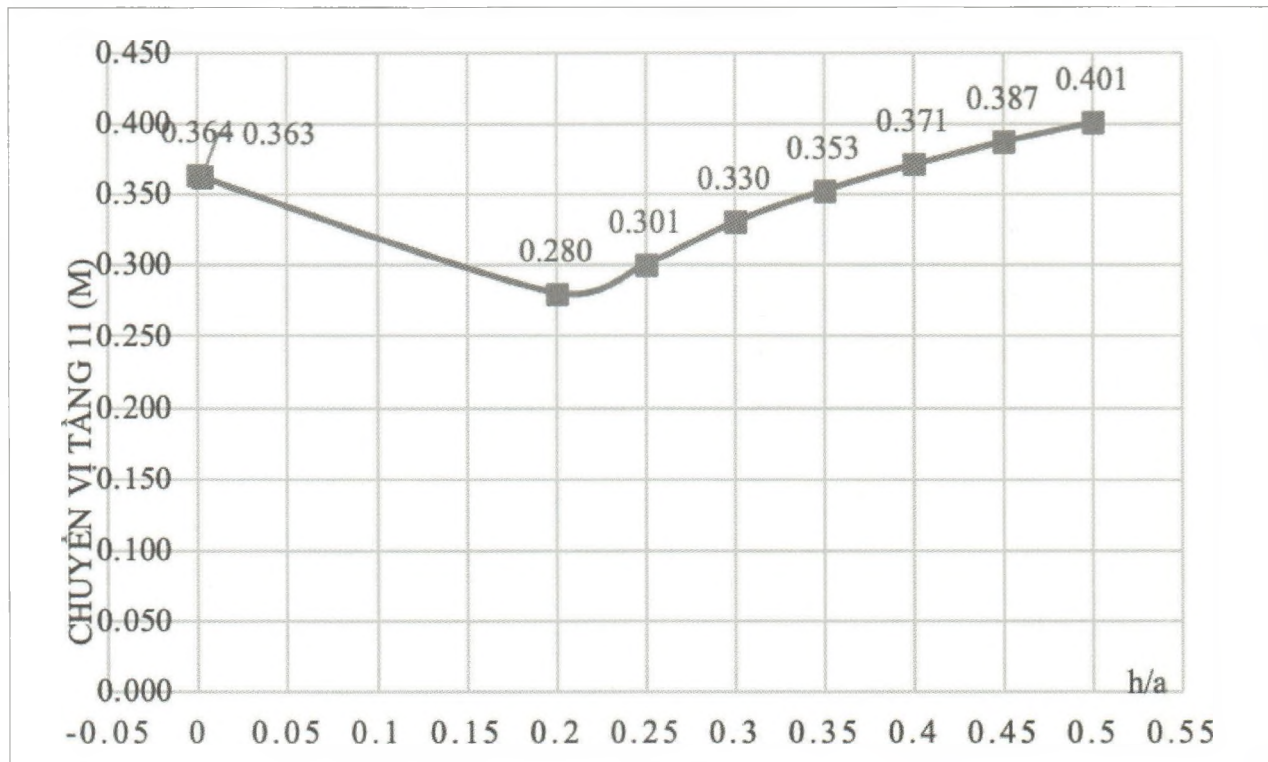
Hình 8 biểu diễn kết quả chuyển vị của công trình với điểm quan sát ở tầng 11, với chiều sâu mực nước trong bể chứa thay đổi. Kết quả cho thấy, với độ sâu mực nước h/a=0,2 cho hiệu quả giảm chấn tốt nhất, với biên độ dao động giảm từ 0.363 m xuống còn 0.280m.

Trong thực tế, chiều sâu mực nước bể chứa có thể thay đổi do việc giám sát duy trì mực nước trong bể chứa, nên tác dụng giảm dao động có sự thay đổi.

Hình 7: Mô hình mô phỏng thiết bị giảm chấn TLD



Hình 8: Chuyển vị kết cấu công trình



4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu và thử nghiệm số cho thấy hiệu quả rõ rệt về biên độ dao động lớn nhất của tất cả các tầng nhà đều giảm. Chứng tỏ hiệu quả của thiết bị TLD đối với việc giảm dao động cho tòa nhà khi có động đất xảy ra.

Các thử nghiệm số cũng chứng tỏ hiệu quả giảm chấn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như đặc điểm kết cấu tòa nhà; độ sâu mực nước h/a trong bể chứa, số lượng bể chứa. vì vậy khi tính toán và lựa chọn thiết bị giảm chấn TLD, phải kiểm tra để lựa chọn được các thông số tối ưu cho một công trình cụ thể ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 9386:2012 (2012), *Thiết kế công trình chịu động đất Hà Nội 2012*.

2. Phan Văn Cúc, Nguyễn Lê Ninh (1994). *Tính toán và cấu tạo kháng chấn các công trình nhiều tầng*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 1994.
3. Nguyễn Lê Ninh (2011). *Cơ sở lý thuyết tính toán công trình chịu động đất*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 2011.
4. Roshni, V. Kartha. (2015). Tuned Liquid Damper to Control Earthquake Response in a Multi-Storied Building Frame. ISSN2248-9622 (*International journal of engineering research and applications*) Vol. 5, Issue 8 (Part - 4), pp.49-56.

Ngày nhận bài: 3/4/2022

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 21/4/2022

Ngày chấp nhận đăng bài: 15/5/2022

Thông tin tác giả:

ThS. HOÀNG QUỐC THẮNG

Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

APPLICATION OF HYDRAULIC- DAMPER TO REDUCE THE VIBRATION FOR HIGH-RISE BUILDINGS UNDER EARTHQUAKE-LOAD

● **Master. HOANG QUOC THANG**
Hanoi Architectural University

ABSTRACT:

To protect buildings from earthquakes, many solutions are applied including seismic resistant, damping, energy absorption materials and structures to reduce vibration. This paper presents the use of Tune Liquid Damper equipment to reduce the vibration of high-rise buildings during earthquakes.

Keywords: design of high-rise buildings, damping, Tune Liquid Damper equipment, earthquake resistant design, seismic resistant design.