

Khả năng kháng chấn của nước trong kết cấu tháp sử dụng chịu tải trọng điều hòa

The reductional vibration of water in tower structures to harmonic loading

Ngày nhận bài: 13/5/2017

Ngày sửa bài: 12/6/2017

Ngày chấp nhận đăng: 5/7/2017

**Nguyễn Thành Trung,
Nguyễn Trọng Phước**

TÓM TẮT

Bài báo này phân tích khả năng giảm dao động của nước trong kết cấu tháp nước bằng bể tổng trong không gian chịu tác động của tải trọng điều hòa. Hệ kết cấu tháp được mô phỏng bằng phần mềm mã nguồn mở ANSYS, kết cấu tháp nước được rời rạc hóa thành các phần tử khối. Phần tử nước fluid80 được dùng để mô tả nước trong bể chứa có tương tác với thành bể. Bài toán kết cấu chịu tải trọng điều hòa được giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn và lý thuyết động lực học để phân tích sự giảm chấn của nước đến phản ứng động của hệ. Mức nước và tần số tải trọng điều hòa là thông số nghiên cứu đánh giá giảm chấn của nước trong kết cấu thông qua tần số riêng, chuyển vị và nội lực xuất hiện trong kết cấu.

Từ khóa: Hệ giảm chấn chất lỏng, tháp nước, phần tử hữu hạn, tải điều hòa.

ABSTRACT

This paper analyses the reductional vibration of water to concrete tower structures in three dimension for harmonic loading. Tower structure is simulation by ANSYS open code software, the structure and water in tower are discretized by solid elements considering the interaction. The system to harmonic loading is solved by finite element method and dynamic balance to analyse the reductional vibration to dynamic responses of structures. The parameters are the level of water and frequency of loadings to natural frequency and dynamic responses of structures.

Key words: Tuned liquid damper, tower structure, finite element method, harmonic loadings.

Nguyễn Thành Trung

Học viên Cao học Trường Đại Học Bách Khoa Tp. HCM

Nguyễn Trọng Phước

Trường Bộ môn Sức bền Kết cấu, Khoa Xây Dựng và Điện,
Trường Đại Học Mở Tp.HCM.

1. Giới thiệu

Tháp nước được xây dựng rất phổ biến ở nhiều nơi trên thế giới và cả Việt Nam, mục đích chủ yếu là dự trữ và cung cấp nước cho thành phố và các khu công nghiệp. Trong quá trình sử dụng, kết cấu tháp nước chịu sự tác động của các tải trọng động gây ra như gió, bão hoặc các tải trọng động khác. Kết cấu tháp nước được xây dựng với nhiều hình dạng kiến trúc khác nhau, nhưng thông thường có các bộ phận chính là phần trụ chịu lực và phần đài để tích trữ nước. Khi chịu tác động do tải trọng động gây ra kết cấu tháp nước trở nên nguy hiểm hơn do lực quán tính xuất hiện trên đỉnh tháp khá lớn. Nghiên cứu về sự ảnh hưởng tương tác của nước và kết cấu tháp nước đến phản ứng động của hệ là bài toán có ý nghĩa cả lý thuyết và thực tiễn.

Nhiều nghiên cứu trên thế giới và trong nước về hiệu quả giảm chấn của chất lỏng đối với kết cấu đã được thực hiện. Các thiết bị giảm dao động bằng chất lỏng đầu tiên đã được sử dụng với mục đích giữ ổn định cho chuyển động của tàu thuyền dưới tác động của tải trọng động như sóng biển và gió bão, bằng hai thùng chất lỏng nối với nhau sao cho tần số dao động của chất lỏng gần bằng tần số dao động tự nhiên của tàu. Bauer năm 1984 [1], là người đầu tiên nghiên cứu và ứng dụng thiết bị TLD cho công trình xây dựng để giảm ứng xử dao động của kết cấu dưới tác động của tải trọng động. Kareem (1987) [2] với những nghiên cứu về việc áp dụng các thùng chứa chất lỏng để giảm dao động do gió bằng việc nghiên cứu khả năng cản dao động của sóng chất lỏng. Banerji và các cộng sự (2000) [3] nghiên cứu hệ TLD hình chữ nhật trong việc giảm ứng xử của kết cấu chịu động đất với các giá trị khác nhau của chu kỳ tự nhiên và tỷ số cản của kết cấu. Kaneko S. và Mizota Y. (2000) [4] cũng đã mở rộng mô hình TLD nước sâu hình chữ nhật đã phát triển cho mô hình TLD nước sâu hình tròn với 1 mức nước ngập được thiết lập trong khoảng giữa thùng chất lỏng tròn. Ikeda (2003) [5] nghiên cứu ứng xử phi tuyến của TLD khi gần với kết cấu đàn hồi chịu kích thích điều hòa theo phương dòng Li và Wang (2004) [6] để xuất sử dụng nhiều TLD để giảm phản ứng của nhiều mode dao động của các kết cấu cao tầng khi chịu kích thích của động đất. Tait và các cộng sự (2007, 2008) [7, 8] nghiên cứu khả năng của TLD hoạt động theo hai hướng, khi thực hiện thí nghiệm trên mô hình kết cấu và thiết lập chuyển động của bề mặt tự do Love và Tait (2013) [9] nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trên mô hình TLD có hình dạng bể chứa phức tạp chịu kích thích điều hòa và ngẫu nhiên theo một phương và hai phương. Malekghasemi và cộng sự (2013) [10] nghiên cứu đưa ra mô hình số sử dụng đồng thời hai phương pháp thể tích hữu hạn (Finite Volume Method) cho chất lỏng và phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method) đối với bể chứa và kết cấu. Raji Ruth George và Asha Josegh (2016) [11] thực hiện phân tích động lực học chất lỏng với bể chứa nước hình chữ nhật có các mức nước khác nhau, đặt trên khung không gian 3D chịu tải trọng động bất kỳ theo thời gian là một trận động đất.

Bài báo này phân tích sự giảm chấn của nước đến kết cấu tháp nước chịu tải điều hòa bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Nước và kết cấu

$$F_i^b = \int_V \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \sum \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y} \sum \frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{\partial N_i}{\partial z} \sum \frac{\partial N_j}{\partial z} \right) dV \quad (17)$$

$$F_i^c = \int_V N_i \frac{\partial p}{\partial n} d\Gamma \quad (18)$$

Trong đó $[F]$ là ma trận lực tác động trên miền chất lỏng. Lực này liên quan đến điều kiện biên tại bề mặt phần tử, $[F]$ có thể được tính từ công thức sau

$$[F] = -\rho[Q]^T \left(\{\ddot{U}\} + \{\ddot{U}_g\} \right) \quad (19)$$

Trong đó $[Q]$ là ma trận kết hợp liên hệ giữa ứng suất của chất lỏng và lực nút tương đương và ngược hướng. $\{\ddot{U}\}$ là vector gia tốc của nút tại

phần tử biên trong miền kết cấu, và $\ddot{U}_g$ là vector gia tốc tác dụng vào hệ. Do đó, công thức dao động đối với phần tử bề mặt có thể được viết như sau

$$[G][P] + [C][\dot{P}] + [H][P] = -\rho[Q]^T \left(\{\ddot{U}\} + \{\ddot{U}_g\} \right) \quad (20)$$

Trong đó, $[F_g] = -\rho[Q]^T \{\ddot{U}_g\}$, là công thức dao động của miền chất lỏng có thể được suy ra

$$[G][P] + [C][\dot{P}] + [H][P] = [F_g] - \rho[Q]^T \{\ddot{U}\} \quad (21)$$

Phương trình dao động của chất lỏng trên miền thời gian và phương trình dao động của kết cấu trên miền thời gian, được xem như là ma trận kết hợp đối với hệ kết hợp được xác định, chuyển vị và ứng suất có thể được suy ra theo mỗi bước thời gian. Ma trận kết hợp theo miền thời gian là

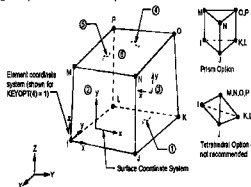
$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ \rho Q^T & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{U} \\ \dot{P} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{P} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K & -Q \\ 0 & H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ F_g \end{bmatrix} \quad (22)$$

Trong các phương pháp bước thời gian phương pháp Newmark's được sử dụng. Theo đó tham số trong công thức (22) và đạo hàm có thể được giải theo công thức cơ bản sau

$$\begin{bmatrix} U \\ P \end{bmatrix}_{n+1} = \begin{bmatrix} U \\ P \end{bmatrix}_n + (1-\gamma)\Delta t \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{P} \end{bmatrix}_n + (\gamma\Delta t) \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{P} \end{bmatrix}_{n+1} \quad (23)$$

$$\begin{bmatrix} U \\ P \end{bmatrix}_{n+1} = \begin{bmatrix} U \\ P \end{bmatrix}_n + \Delta t \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{P} \end{bmatrix}_n + \left[(0.5-\beta)(\Delta t)^2 \right] \begin{bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{P} \end{bmatrix}_n + \left[\beta(\Delta t)^2 \right] \begin{bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{P} \end{bmatrix}_{n+1} \quad (24)$$

Trong đó $\gamma = 1/2$ và $1/6 \leq \beta \leq 1/4$.



Hình 1: Mô hình phần tử Solid45 trong ANSYS.

2.3 Phần tử bê tông và phần tử nước trong ANSYS

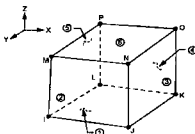
Để phân tích mô hình tháp nước, phần tử được sử dụng để mô phỏng phần tử bê tông là phần tử khối Solid45 và phần tử nước là phần tử Fluid80. Phần tử khối Solid45 là phần tử sử dụng dạng kết cấu khối trong không gian. Phần tử này được định nghĩa bởi 8 nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo trục tọa độ x, y và z. Phần tử khối Solid45 có tính đàn hồi, có tính kéo và nén, có khả năng chịu uốn, có ứng suất và biến dạng lớn.

Phần tử chất lỏng Fluid80 là phần tử sử dụng dạng kết cấu khối trong không gian. Phần tử này được định nghĩa bởi 8 nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo trục tọa độ x, y và z. Phần tử Fluid80 sử dụng modul đàn hồi Bulk và hệ số nhớt chất lỏng.

3. Kết quả số

3.1 Dao động tự do

Để phân tích chu kỳ dao động của tháp nước trong các trường hợp tháp có mực nước thay đổi. Thông số mô hình kết cấu đưa ra trong Bảng 1 và Bảng 2. Phân tích mode dao động của tháp trong các trường hợp mực nước thay đổi, tháp không chứa nước, tháp chứa 1/3 nước, tháp chứa 2/3 nước, và tháp đầy nước.



Hình 2: Mô hình phần tử Fluid80 trong ANSYS.

Bảng 1: Bảng thông số hình học của mô hình phân tích

Trụ tháp		
Bề dày	Bề dày	Chiều cao
0.5m	3m	30m
Đài nước		
Bề dày	Đường kính	Chiều cao
0.3m	14m	9m

Bảng 2: Bảng thông số vật liệu mô hình phân tích

Nước		
Hệ số nhớt	Khối lượng riêng	Modul Bulk
0.005(m2/s)	1000(kg/m3)	2.2e9(N/m2)
Bê tông		
Tỉ số Poisson	Khối lượng riêng	Modul đàn hồi
0.27	2400(kg/m2)	2e10(N/m2)

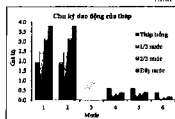
Bảng 3: Chu kỳ dao động T(s) của tháp khi không có nước

Mode	1	2	3	4	5	6
Chu kỳ T(s)	1.94	1.94	0.62	0.62	0.61	0.38

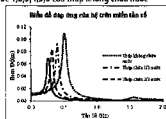


Hình 4: Mô hình và chu kỳ dao động của tháp nước trong ANSYS

Hình 4: Mode 1,2,3,4,5,6 của tháp không chứa nước



Hình 5: Chu kỳ dao động của tháp với mực nước thay đổi



Hình 6: Đáp ứng của hệ trên miền tần số 0Hz đến 2Hz

3.2 Phân tích đáp ứng của hệ trên miền tần số

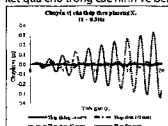
Hệ kết cấu tháp nước chịu tác dụng của tải trọng điều hòa $P(t) = P_0 \sin(\omega t)$. Trong đó: $P_0 = 3e4$ (N), $\omega = 2\pi f$ (rad.s⁻¹) với $f = 0 + 2$ (Hz). Khảo sát đáp ứng của hệ kết cấu tháp nước trên miền tần số với tỷ số cản $\xi = 0.05$ trong trường hợp tháp có mực nước thay đổi.

Bảng 5: Bảng độ giảm chuyển vị đỉnh của tháp

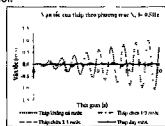
Trường hợp	Biên độ (cm)	Độ giảm chuyển vị (%)
Tháp không chứa nước	11	0%
Tháp chứa 1/3 nước	9	18.2%
Tháp chứa 2/3 nước	8	27.3%
Tháp đầy nước	7	36.4%

3.3 Kết quả phân tích đáp ứng của hệ đối với tải điều hòa

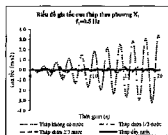
Hệ kết cấu tháp nước chịu tác dụng của tải trọng điều hòa $P(t) = P_0 \sin(\omega t)$. Trong đó: $P_0 = 3e4$ (N), $\omega = 2\pi f$ (rad.s⁻¹) với $f_1 = 0.5$ (Hz), $f_2 = 0.7$ (Hz). Phân tích đáp ứng của hệ với tải điều hòa tỷ số cản $\xi = 0.05$ trong trường hợp mực nước thay đổi, tháp không chứa nước, tháp chứa 1/3 nước, tháp chứa 2/3 nước, và tháp đầy nước. Các kết quả cho trong các hình vẽ bên dưới.



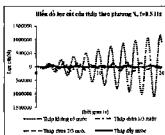
Hình 7: Đáp ứng chuyển vị của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_1 = 0.5$ (Hz)



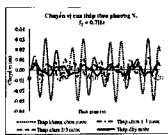
Hình 8: Đáp ứng vận tốc của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_1 = 0.5$ (Hz)



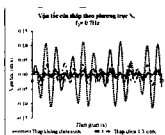
Hình 9: Đáp ứng gia tốc của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_2 = 0.5$ (Hz)



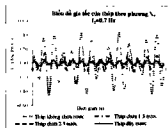
Hình 10: Đáp ứng lực cắt của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_2 = 0.5$ (Hz)



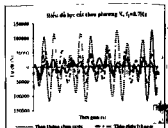
Hình 11: Đáp ứng chuyển vị của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_2 = 0.7$ (Hz)



Hình 12: Đáp ứng vận tốc tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_2 = 0.7$ (Hz)



Hình 13: Đáp ứng gia tốc của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_2 = 0.7$ (Hz)



Hình 14: Đáp ứng lực cắt của tháp khi mực nước thay đổi, đối với tải điều hòa tần số ngoại lực $f_2 = 0.7$ (Hz)

Từ các kết quả của phân ứng động của tháp, có thể thấy rằng hiệu quả giảm chấn của nước là đáng kể, nhiều trường hợp phản ứng động giảm hẳn. Như vậy sự tương tác giữa nước và thành bể mang lại hiệu quả giảm chấn nhất định.

4. Kết luận

Các kết quả được sơ lược như sau:

- Khi mực nước trong tháp tăng lên kỳ dao động của hệ tăng theo.
- Kết quả cho thấy giá trị chuyển vị đỉnh lớn nhất của tháp trong trường hợp có nước giảm 36.4% so với khi không có nước.
- Khi chịu tác dụng của tải trọng điều hòa, phản ứng của nước trong tháp làm giảm đáng kể chuyển vị, vận tốc, gia tốc, và lực cắt chân tháp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H.F. Bauer (1984), "Oscillations of immiscible liquids in a rectangular container: A new damper for excited structures", *Journal of Sound and Vibration*, 93 (1), pp.117-133.
- [2] Kareem Ahsan (1990), "Reduction of Wind Induced Motion Utilizing a Tuned Sloshing Damper", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36, pp.725-737.
- [3] P. Banerji, M. Muradi, A.H. Shah, N. Poppellwell (2000), "Tuned liquid dampers for controlling earthquake response of structures", *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, (29), pp.587-602.
- [4] S. Kaneko, Y. Mizota (2000), "Dynamical Modeling of Deepwater-Type Cylindrical Tuned Liquid Damper with a Submerged Net", *Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol. 122, pp.96-104.
- [5] Takashi Ikeda, "Nonlinear Parametric Vibrations of an Elastic Structure with a Rectangular Liquid Tank", *Nonlinear Dynamics* (2003), Vol. 33, pp.43-70.
- [6] H.N. Li et al, "Theoretical and Experimental Studies on Reduction for Multi-Modal Seismic Response of High-Rise Structure by Tuned Liquid Dampers", *Journal of Vibration and Control* (2004), Vol. 10, 1041.
- [7] M.J. Tait et al, "Effectiveness of a 2D TLD and Its Numerical Modeling", *Journal of Structural Engineering* (2007), Vol. 133, No. 2, pp.251-263.
- [8] M.J. Tait (2008), "Modelling and preliminary design of a structure-TLD system", *Engineering Structures*, (30), pp.2644-2655.
- [9] J.S. Love and M. J. Tait (2013), "Equivalent Mechanical Model for Tuned Liquid Damper of Complex tank geometry coupled to a 2D structure", *Structural Control and Health Monitoring*, DOI 10.1002/stc.
- [10] Hadi Malekghasemi et al (2013), "Experimental and numerical investigations of the dynamic interaction of tuned liquid damper-structure systems", *Journal of Vibration and Control*, DOI 10.1177/07546313134759.
- [11] Raji Ruth George và Asha Joseph (2016), "Dynamic analysis of elevated cement concrete water tank", *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Vol 3, Issue 03, ISSN: 2349-6010.