

Phân tích động lực học khung 20 tầng có xét bể chất lỏng

Dynamic analysis of 20 stories frame structure considering tuned liquid damper

> PGS. TS NGUYỄN TRỌNG PHƯỚC¹, THS VẴNG QUỐC KHÁNH², THS SHARMA KUMAR GREESH³.

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở TP.HCM. Email: phuoc.nguyen@ou.edu.vn

² Sở Xây dựng An Giang Email: quockhanh260993@gmail.com

³ Procurement and Contract Management, Individual Consultant. Email: gksharmagk@yahoo.co.in

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu về hiệu quả giảm chấn của bể nước mái trong kết cấu nhà nhiều tầng chịu tải trọng động với thiết bị là hệ thống giảm chấn sử dụng chất lỏng (Tuned Liquid Damper - TLD) của chính bể nước. Kết cấu nhà nhiều tầng được chọn để mô phỏng là khung không gian 20 tầng và chịu tác dụng của tải trọng động với tần số thay đổi. Hệ thống giảm chấn sử dụng chất lỏng hoạt động trên nguyên lý tiêu tán năng lượng thông qua các yếu tố như: độ nhớt của chất lỏng, sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể, biến dạng của thành bể, hình dạng của bể chứa, thể tích chất lỏng trong bể chứa. Các mô hình này được thiết lập thông qua ANSYS Workbench, việc phân tích tiến hành trên cơ sở sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả số cho thấy bể nước có hiệu quả giảm chấn nhất định và các thông số của nó ảnh hưởng đến kết quả cũng được nhận dạng. **Từ khóa:** Hệ giảm chấn chất lỏng có tấm nổi, hệ kết cấu kết hợp cần chất lỏng có tấm nổi, phần tử hữu hạn, tải điều hòa.

ABSTRACT

This paper analyses the reductional vibration of Tuned Liquid Damper with Floating Roof in 3D frame structures for harmonic loading. TLD and frame structure are simulated 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, frame structure, finite element method, harmonic loadings.

1. GIỚI THIỆU

Trong lĩnh vực kỹ thuật kết cấu, đặc biệt là kết cấu nhà nhiều tầng chịu tải trọng ngang có ý nghĩa về thực tiễn và liên quan đến thiết kế, học thuật vì sự mới lạ của nó. Hầu hết các thiết kế kết cấu dạng này là quy đổi tải trọng về dạng tĩnh và để kể đến tính chất động thì xét thêm hệ số động. Tuy vậy, lời giải là gần đúng dù có tiện lợi hơn cho người thiết kế nhưng chưa mô tả hết bản chất thực của tải trọng. Do vậy lời giải của ứng xử động do kết cấu chịu tải trọng động được quan tâm gần đây, khi kết cấu chịu tải trọng tác động của gió theo phương ngang hoặc động đất, gây ra dao động cho kết cấu và có thể làm cho kết cấu trở nên nguy hiểm hơn. Do đó, việc phân tích ứng xử động lực học kết cấu phải được nghiên cứu, tìm hiểu để thu thập các kết quả mà qua đó thu được ứng xử của kết cấu đối với các dạng tải trọng phức tạp hơn để từ đó đề xuất những giải pháp cần thiết có giải pháp xử lý nhằm gia tăng độ an toàn cho kết cấu. Theo các giải pháp phổ biến thường được áp dụng, để công trình an toàn hơn khi chịu tải trọng ngang có tính chất động, các kết cấu trong công trình thường được thiết kế tăng tiết diện để tăng độ bền, giảm ứng suất và mức độ chịu đựng của cấu kiện. Tuy nhiên, giải pháp này mang lại hiệu quả chưa cao do tăng tiết diện cấu kiện thì dẫn đến khối lượng tăng, nghĩa là lực quán tính cũng tăng theo hệ chịu tải trọng động do vậy cần có giải pháp khác hơn để giải quyết bài toán này. Trong hướng nghiên cứu này, vấn đề giảm chấn cho kết cấu cũng được các nhà khoa học quan tâm rất nhiều.

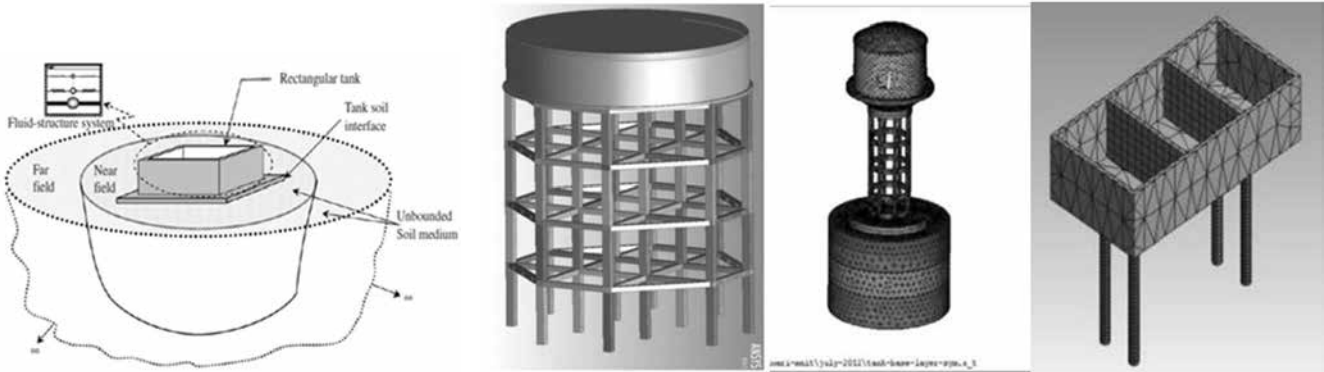
Để đảm bảo sự an toàn cho kết cấu chịu lực phương pháp thường sử dụng là sử dụng thiết bị làm giảm dao động. Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, các nhà khoa học, kỹ sư đã nghiên cứu và đưa ra rất nhiều loại thiết bị kháng chấn hiệu quả như thiết bị cách chấn đáy, thiết bị giảm chấn có điều khiển, thiết bị giảm chấn không có điều khiển hoặc kết hợp thiết bị cách chấn với thiết bị giảm chấn. Hệ tiêu tán năng lượng bị động là các thiết bị hệ cản kim loại, hệ cản ma sát, hệ cản đàn nhớt, hệ cản chất lỏng nhớt, hệ cản khối lượng, hệ cản chất lỏng. Hệ không cần phụ thuộc thuật toán điều khiển cũng như nguồn năng lượng cung cấp trong quá trình hoạt động. Theo đó, chức năng chính của hệ tiêu tán năng lượng bị động là thay đổi đặc trưng của kết cấu như tính cản và độ cứng. Do dễ dàng lắp đặt và mang lại hiệu quả cao trong việc giảm dao động cho kết cấu nên hệ tiêu tán năng lượng bị động thường được áp dụng trong các công trình xây dựng dân dụng. Thiết bị giảm chấn bằng hệ cản chất lỏng (Tuned Liquid Dampers, TLD) là loại thiết bị dạng hệ tiêu tán năng lượng bị động thuộc loại đơn giản, dễ dàng sử dụng và lắp đặt linh hoạt vào các công trình xây

dụng. Giải pháp này cũng đã xuất hiện trên thế giới khá lâu và được ứng dụng nhiều công trình thực tế. Tuy nhiên, cho đến nay giải pháp này vẫn đang là vấn đề thời sự trong lĩnh vực giảm chấn cho kết cấu chịu động đất.

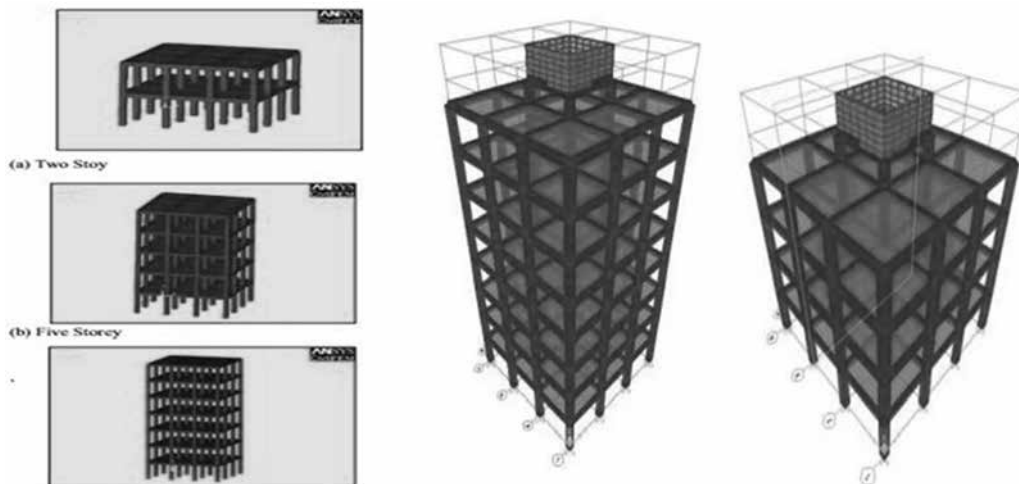
Nghiên cứu của Asgari (2020) thực hiện phân tích phản ứng động của bể chứa chất lỏng chữ nhật có xét đến sự tương tác giữa đất, kết cấu và chất lỏng, các nghiên cứu được thực hiện bằng lý thuyết và kết hợp thực nghiệm cho thấy sự gia tăng thêm ở chuyển vị của hệ do động đất, song song đó, một số tham số đã được nghiên cứu thêm thông qua phương pháp phần tử hữu hạn trong không gian hai chiều.

Livaoglu [2007, 2008] tính toán phản ứng động lực học của hệ chất lỏng - bể chữ nhật - nền đất/móng bằng phương pháp phân tích địa chấn đơn giản và nhanh chóng. Hệ tương đương 2 khối lượng của Housner sử dụng để làm mô hình tính cho chất lỏng và mô hình hình nón để làm mô hình tính cho hệ đất nền/móng. Với các tiếp cận này, tác giả có thể xác định được chuyển vị theo độ cao của xung khối lượng, chuyển vị của sóng chất lỏng và lực đẩy trong cả trường hợp đất mềm và đất cứng. Thêm vào đó, tác giả còn thực hiện so sánh các lực tác dụng lên đáy bể và phản ứng dao động của sóng giữa hai trường hợp đất mềm và đất cứng. Kết quả nghiên cứu cho thấy chuyển vị và lực cắt đáy giảm khi độ cứng của đất giảm, tuy nhiên tác giả lại phát biểu là sự bám dính của đất, độ uốn của tường không ảnh hưởng đến chuyển vị của dao động sóng. Naveen và Gomez [2015] nghiên cứu về tác dụng của thủy động lực lên đài nước bằng bê tông cốt thép. Độ dẻo yêu cầu của dầm được tính

toán riêng để xác định tiết diện an toàn. Phân tích khả năng kháng chấn của bể nước được thực hiện trong phần mềm ANSYS. Kết quả nghiên cứu cho thấy, do tác dụng của hiệu ứng thủy động lực học nên độ dẻo yêu cầu của hệ chống đỡ tăng. Tiwari và Hora [2015] phân tích quá độ của hệ đài nước - chất lỏng - nền đất. Để tính toán nguyên lý ứng suất trong các bộ phận của đài nước và khối đất đỡ đài nước, mô hình phân tích tương tác 3D của hệ đài nước - chất lỏng - và các lớp đất được mô phỏng lại bằng phần mềm ANSYS. Các giá trị như độ võng, ứng suất Von-mises, tần số tự nhiên của bể nước được tính toán và ngoài ra giá trị gia tốc cũng được ước lượng bằng phương pháp phân tích quá độ dưới các điều kiện thể tích chất lỏng trong bể khác nhau của đài nước. Nghiên cứu chỉ ra rằng, tần số dao động tự nhiên của hệ tương tác giảm khi trọng lượng nước trong bể tăng và từ đó có thể suy ra các tiêu chuẩn phá hoại sẽ khác nhau nếu lượng nước trong bể khác nhau. Dhupal và Suryawanshi [2016] cho rằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn là một kỹ thuật số hữu ích trong việc giải quyết các vấn đề kết cấu phức tạp. Cụ thể tác giả thực hiện mô phỏng bể chứa nước hình chữ nhật có màng chắn bằng mô hình phần tử hữu hạn trong phần mềm ANSYS. Những thông số về độ dày màng chắn, khoảng cách màn chắn, so sánh tác dụng giữa bể chứa có màn chắn và bể chứa không có màn chắn được tập trung nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, tần số tự nhiên và chu kỳ thời gian của bể tăng khi có màng chắn, ngoài ra ứng suất biến dạng và ứng suất cắt dọc theo cạnh dài của bể giảm đáng kể khi có màng chắn.



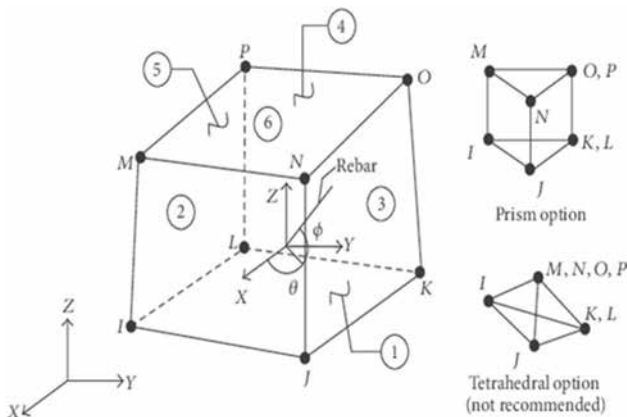
Hình 1. Mô hình TLD của các tác giả Livaoglu, Naveen, Tiwari và Dhupal



Hình 2. Mô hình trong nghiên cứu của Mehboob và Kumar

Mehboob và cộng sự [2013] Nội dung của nghiên cứu này bao gồm khảo sát phản ứng dao động của mô hình không gian của một công trình có bể nước mái. Việc nghiên cứu được thực hiện bằng cách xem bể nước mái như một hệ cân chất lỏng (TLD). Gia tốc nền của hai trận động đất là El Centro (1940) và Muzafrabad Kashmir (2005) được sử dụng để mô phỏng lại tác dụng của động đất lên công trình. Khảo sát sẽ được thực hiện trên 3 mô hình khung khác nhau về số tầng, bể nước sẽ được đặt ở những vị trí khác nhau trên tầng mái của công trình và mực nước trong bể sẽ khác nhau. Qua khảo sát, tác giả đưa ra được một số kết luận như bể nước mái có thể làm tốt vai trò như một hệ cân chất lỏng, với điều kiện là các thông số về vị trí, lượng nước trong bể và hệ số khối lượng phải ăn khớp với nhau, Khi lượng nước trong bể từ 1/4 đến 1/2 chiều cao bể thì phản ứng cực đại của kết cấu có xu hướng giảm đi, nhưng khi lượng nước nhiều hơn 1/2 bề thì xu hướng giảm không ổn định, nếu mức nước trong bể nằm trong khoảng từ 0,32h đến 0,81h thì có thể giảm dao động của kết cấu khung bê tông cốt thép khi chịu tác dụng của động đất. Kumar và cộng sự [2017] Thực hiện nghiên cứu về tính khả thi của việc xem bể nước mái như một TLD thụ động và nhằm mục đích tìm ra mực nước tối ưu đối với việc giảm phản ứng của kết cấu công trình khi chịu động đất. Nghiên cứu sử dụng hai mô hình 3 tầng và 5 tầng bằng khung bê tông cốt thép chịu lực, mô hình được xây dựng bằng phần mềm SAP2000. Kết quả nghiên cứu chỉ ra mực nước từ tối ưu để giảm phản ứng của công trình khi chịu động đất và kiến nghị phát triển một công cụ để thiết kế TLD cho các toàn nhà, nhằm tăng khả năng chịu động đất.

Bài báo này phân tích sự giảm chấn của bể nước mái trên kết cấu nhà nhiều tầng chịu tải trọng điều hòa bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả cho thấy rằng bể nước tác dụng giảm chấn đáng kể với phổ tần số của tải điều hòa tuy nhiên có những mực nước có thể gây tác dụng ngược.



Hình 3 Phân tử SOLID65 khối bê tông cốt thép trong không gian và phân tử FLUID80 chất lỏng trong không gian

Phần tử FLUID80 được sử dụng để mô hình hóa môi trường chất lỏng và bề mặt tương tác giữa chất lỏng và kết cấu; Phần tử Fluid80 sử dụng modul đàn hồi Bulk và hệ số nhớt chất lỏng; Các ứng dụng điển hình bao gồm sự truyền sóng và động lực học của kết cấu. Phương trình điều khiển sự lan truyền, gọi là phương trình sóng 3-D, được rời rạc khi xét đến sự kết hợp của áp suất lan truyền và chuyển động của kết cấu tại bề mặt tiếp xúc giữa chất lỏng và kết cấu. Phần tử này có tám nút góc với bốn bậc tự do cho mỗi nút: chuyển động tịnh tiến tại các nút x, y, z và áp suất. Các chuyển động tịnh tiến này chỉ áp dụng tại các nút trên bề mặt tiếp xúc giữa chất lỏng và kết cấu. Lựa chọn phần tử đặt tên và khai báo vật liệu cho phần tử, khai báo liên kết giữa các phần tử và chia lưới cho hệ kết

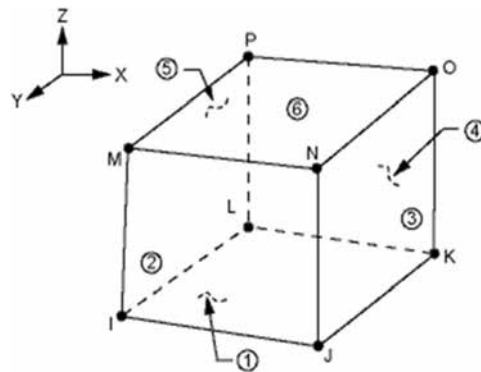
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Phương trình chuyển động của hệ kết cấu tổng thể chịu tác dụng tải trọng động được thiết lập ở dạng tổng quát như sau $[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{p(t)\}$

Trong đó các ma trận khối lượng, cản và độ cứng của hệ và vec tơ tải trọng được xây dựng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn. Trong bài toán này, kết cấu được rời rạc dưới dạng phần tử khối ba chiều hoặc phần tử tấm hai chiều hoặc phần tử thanh một chiều. Nước trong bể chứa được rời rạc bởi các phần tử Fluid80. Trong các phương pháp bước thời gian, phương pháp Newmark's được sử dụng.

Với mục tiêu phân tích mô hình làm việc của công trình cao tầng có lắp bể nước mái, phần tử được sử dụng để mô phỏng hệ khung bê tông cốt thép của công trình gồm cột, dầm, sàn, và các thành phần cấu tạo của bể chứa nước gồm thành bể, nắp bể dùng phần tử SOLID65 để mô phỏng. Đối với chất lỏng trong bể chứa sử dụng phần tử Fluid80 để mô phỏng nước trong bể như trên hình 3.

Phần tử SOLID65 thuộc phần mềm Ansys Workbench là phần tử chuyên mô phỏng những vật liệu có khả năng chịu nén lớn hơn rất nhiều khả năng chịu kéo như bê tông, đá,... Nó có thể mô phỏng cốt thép gia cường trong bê tông (hoặc thép lưới, thép hình...), cùng với hiện tượng kéo nứt và nén vỡ của vật liệu. Đây là phần tử 3D - 8 điểm nút dựa trên nền tảng của phần tử SOLID65 bổ sung thêm tham số tính năng của bê tông và tổ hợp thức mô hình cốt thép. Phần tử SOLID65 nhiều nhất có thể định nghĩa ba loại vật liệu gia cố khác nhau, tức là phần tử này cho phép đồng thời dùng cùng lúc bốn loại vật liệu. Vật liệu bê tông có khả năng nứt, nén vỡ, biến dạng dẻo và xoắn; vật liệu gia cường chỉ có khả năng chịu kéo nén, không có khả năng chịu lực cắt.



cấu công trình cao tầng có bể nước mái. Chọn liên kết cho hệ kết cấu công trình cao tầng có bể nước mái tại chân cột. Khai báo gia tốc nền cho các hệ kết cấu công trình cao tầng có bể nước mái về độ lớn, điểm đặt, phương truyền lực. Thiết lập thời gian, bước thời gian, số phân tích trong bước thời gian khảo sát cho hệ kết cấu công trình cao tầng có bể nước mái. Xác định vị trí nút cần trích xuất dữ liệu kết quả trên hệ kết cấu công trình cao tầng có bể nước mái và xuất ra kết quả để tiến hành khảo sát.

3. KẾT QUẢ SỐ

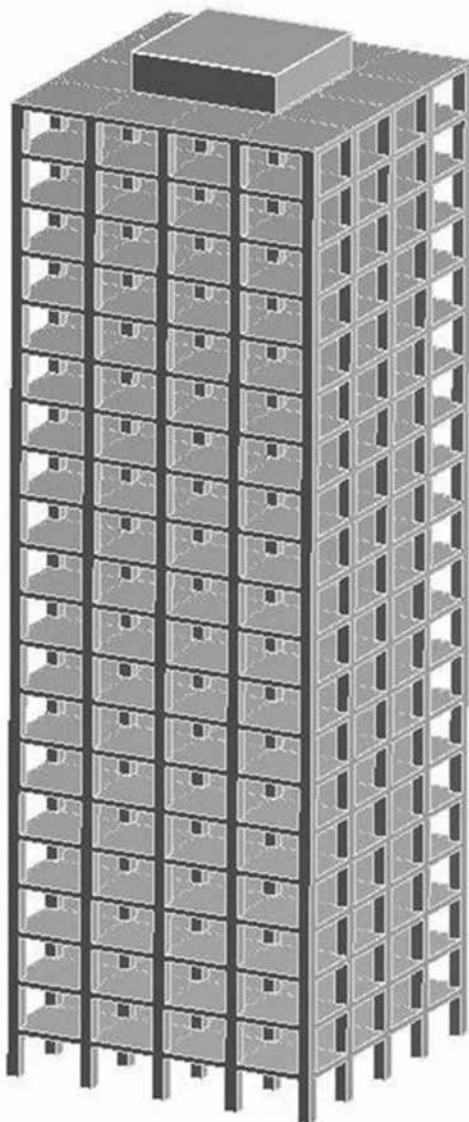
Để xác định giá trị tần số của hệ kết cấu, dựa vào các thông số đầu vào của mô hình kết cấu như Hình 4, tiến hành tạo mô hình và

chia lưới phần tử trong Ansys Workbench, so sánh kết quả với phần mềm ETABS. Độ tin cậy của chương trình tính được đánh giá thông qua kết quả chu kỳ dạng dao động giữa ANSYS và ETABS. Kết quả tính được trình bày trong Bảng 1.

Nhận xét: Kết quả phân tích dạng dao động giữa ANSYS và ETABS có kết quả tương đương. Kết quả chu kỳ của các dạng dao động của kết cấu trong ANSYS và ETABS là xấp xỉ nhau. Từ kết quả tần số riêng của kết cấu cho thấy mô hình ANSYS có thể tin cậy được.

Tải trọng điều hòa tác dụng lên hệ kết cấu công trình cao tầng có bể nước mái $P(t) = P_0 \sin \omega t$ Trong đó $P_0 = 1000kN$ và $\omega = 2\pi f (rad.s^{-1})$ với $f = 0 \div 3(Hz)$

Trong mục này, tiếp tục kiểm chứng lại độ tin cậy của chương trình tính thông qua việc đánh giá phản ứng của công trình khi không có nước chịu tải trọng điều hòa giữa hai phần mềm là ANSYS và ETABS. Tiến hành tạo mô hình và chia lưới phần tử trong Ansys Workbench so sánh kết quả với phần mềm ETABS. Nội dung kiểm chứng này thực hiện trong trường hợp công trình cao tầng có bể nước mái nhưng bể không chứa nước. Từ kết quả phản ứng của công trình với tải trọng điều hòa, tổng hợp kết quả biên độ dao động cực đại tương ứng với từng mực nước cụ thể trong Bảng 2.



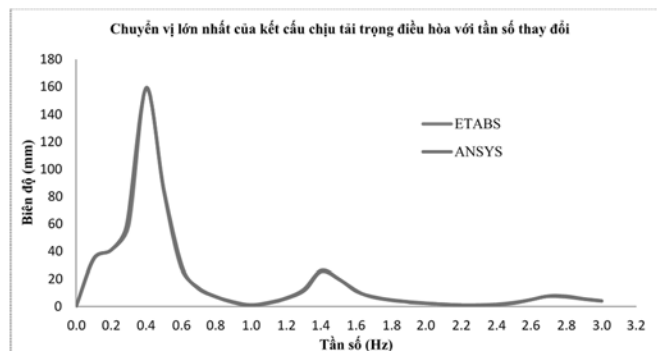
Hình 4: Mô hình và chia lưới phần tử trong ANSYS

Bảng 1 Kết quả phân tích chu kỳ dao động bằng ANSYS và ETABS

Dạng dao động	ANSYS	ETABS	Sai số (%)
1	2,281	2,288	0,31
2	2,275	2,288	0,57
3	1,811	1,883	3,82
4	0,733	0,700	4,50
5	0,732	0,700	4,37
6	0,591	0,588	0,51

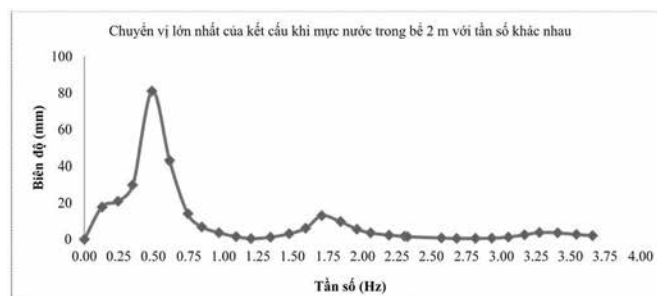
Bảng 2 Kết quả phân tích chuyển vị lớn nhất của hệ kết cấu

Mực nước (m)	Chuyển vị cực đại (mm)	Tỷ lệ giảm (%)
0,00	158,223	0,00
0,05	158,540	0,20
0,50	124,443	-21,35
1,00	105,776	-33,15
1,50	96,256	-39,16
2,00	81,057	-48,77
2,50	79,963	-49,46
2,80	326,209	106,17

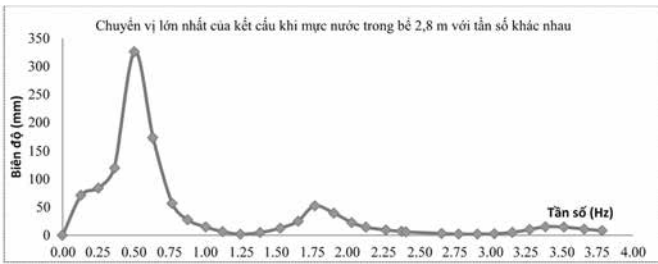


Hình 5 Biểu đồ so sánh phản ứng công trình giữa ETABS và ANSYS

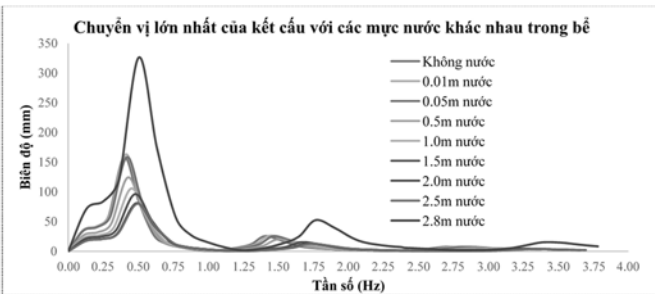
Nhận xét: Kết quả phân tích phản ứng của công trình khi không có nước chịu tải trọng điều hòa giữa phần mềm ANSYS và ETABS có kết quả tương đương. Kết quả biên độ dao động của kết cấu khi chịu tác dụng của cùng một tải trọng điều hòa trong ANSYS và ETABS là xấp xỉ nhau. Tuy nhiên, phản ứng của công trình khi so sánh kết quả giữa hai phần mềm vẫn có sai số nhất định, nguyên nhân có thể do việc chia lưới phần tử không đồng bộ hoặc sai số giữa các phần mềm khác nhau,... Tóm lại, từ kết quả phản ứng của công trình cao tầng có bể nước mái (trường hợp bể không chứa nước) chịu tải trọng điều hòa cho thấy việc sử dụng mô hình ANSYS để thực hiện khảo sát có thể tin cậy.



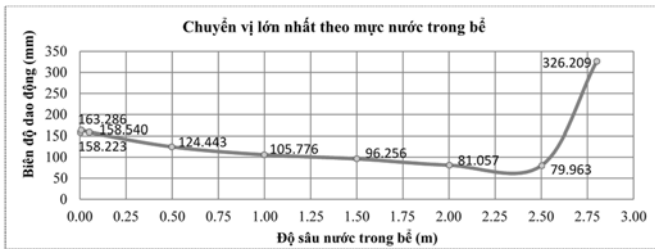
Hình 6 Chuyển vị lớn nhất của kết cấu khi mực nước trong bể 2 m với tần số khác nhau



Hình 7 Chuyển vị lớn nhất của kết cấu khi mực nước trong bể 2,8 m với tần số khác nhau



Hình 8 Chuyển vị lớn nhất của kết cấu với các mực nước khác nhau và tần số ngoại lực khác nhau



Hình 9 Hiệu quả giảm chấn của bể nước

Nhận xét: Giá trị chuyển vị đỉnh của công trình giảm xuống khi mực nước trong tháp tăng lên (xấp xỉ từ 0,05m đến khoảng 2,5m). Mực nước trong bể có khả năng làm giảm dao động trong các trường hợp khảo sát, tỷ lệ giảm chuyển vị lớn nhất lên đến khoảng 49%. Tuy nhiên, bên cạnh đó có thể thấy, trường hợp mực nước gần đầy bể có thể làm tăng chuyển vị đỉnh của công trình, cụ thể theo khảo sát này tỷ lệ tăng lên đến khoảng 106% với trường hợp nước trong bể có mực nước cao nhất là 2,8m. Tần số dao động của ngoại lực tác dụng có ảnh hưởng lớn đến chuyển vị đỉnh của công trình trong các trường hợp mực nước khác nhau, nhìn chung miền tần số này nằm trong khoảng từ 0,25Hz đến 1,25Hz, còn các miền tần số khác có ảnh hưởng đến chuyển vị của công trình, tuy nhiên các ảnh hưởng này không đáng kể.

4. KẾT LUẬN

Việc mô phỏng lại một kết cấu nhà nhiều tầng trong thực tế sử dụng hệ giảm chấn bằng chất lỏng chịu gia tốc nền động đất của nghiên cứu này là phù hợp trong điều kiện chi phí thấp và kết quả nghiên cứu khá toàn diện, tổng quát về các phản ứng của kết cấu với tải trọng động dạng điều hòa, một số kết quả như sau:

- Dùng phương pháp phần tử hữu hạn và lý thuyết động lực học để giải quyết bài toán này thông qua phần mềm chuyên

dụng ANSYS cho kết quả phù hợp dù tốn nhiều tài nguyên máy tính.

- Mô phỏng lại sự tương tác giữa chất lỏng và kết cấu, qua đó đánh giá được sự ảnh hưởng của nó đến phản ứng của công trình.

- Các giá trị chuyển vị của công trình với các mực nước khác nhau và tần số tải trọng khác nhau được phân tích, kết quả cho thấy bể nước có khả năng giảm chấn cho kết cấu trong hầu hết chiều cao mực nước; tuy nhiên vẫn có trường hợp gây tác dụng ngược lại khu vực mực nước quá cao. Do vậy cần đánh giá cụ thể hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bùi Phạm Đức Tường, “Ứng dụng bể chứa chất lỏng có thành mỏng trong việc kháng chấn và điều khiển dao động công trình.”, *Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật T. PHCM, VN, 2020.*

Lê Ngọc Linh, “Ảnh hưởng của bể nước mái có gắn tấm nổi lên kết cấu khung phẳng chịu tải trọng động”, *Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP. HCM, VN, 2018.*

Ngô Khánh Tiễn, “Hiệu quả giảm dao động cho kết cấu bằng nhiều hệ cản chất lỏng có màn chắn”, *Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP. HCM, VN, 2017.*

Nguyễn Đức Thu Định, “Nghiên cứu ứng dụng hệ giảm chấn chất lỏng trong kiểm soát dao động cho cầu dây văng tại Việt Nam”, *Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông Vận tải, 2015.*

Văng Quốc Khánh, “Phân tích ảnh hưởng của bể nước mái trong kết cấu nhà nhiều tầng chịu gia tốc nền động đất”, *Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP. HCM, VN, 2019.*

Asgari, Khodakarami, Vahdani, “The Effect of Topographic Irregularities on Seismic Response of the Concrete Rectangular Liquid Storage Tanks Incorporating Soil–Structure–Liquid Interaction”, *Iranian J. of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 2020*

Dhumal and Suryawanshi, “A Study of Effect of Baffle Wall on Dynamic Response of Elevated Water Tank using Ansys 16”, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology, 2016.*

Livaoglu, “Investigation of seismic behaviour of fluid-rectangular tank-soil/foundation systems in frequency domain”, *Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol. 28 (2), pp.134-146, 2008.*

Livaoglu and Dogangun, “Effect of foundation embedment on seismic behaviour of elevated tanks considering fluid-structure-soil interaction”, *Soil dynamics and earthquake engineering, Vol. 27 (9), pp. 855-863, 2007.*

Mehboob, Khan, Tahir, Ahmad, “Investigation of Water Tank as TLD for Vibration Control of Frame Structure under Seismic Excitations”, *Life Science Journal, (2013).*

Naveen and Gomez, “Study of hydrodynamic effect on RC elevated water tanks under seismic excitation”, *International journal of engineering and research, (2015).*

Tiwari and Hora, “Transient analysis of elevated intze water tank-fluid-soil system”, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences, (2015).*