

Phân tích động lực học của bể nước ngầm có xét sự tương tác của nước và kết cấu

Dynamic analysis of underground watertank considering water and structural interaction

> **KS ĐẶNG DUY LINH¹, PGS. TS NGUYỄN TRỌNG PHƯỚC²**

¹Học viên Cao học, Trường Đại Học Mở TP.Hồ Chí Minh

Điện thoại: 0913800825, Email: duylinhvnpcc@gmail.com

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở TP.Hồ Chí Minh

Điện thoại: 0906907609, Email: phuoc.nguyen@ou.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này phân tích ứng xử động của bể nước ngầm chịu tác động của tải trọng động có xét tương tác nước và kết cấu. Kết cấu bể nước ngầm và nước chứa trong bể được rời rạc hóa bằng phương pháp phần tử hữu hạn của chất rắn và lỏng, có xét đến hiện tượng tương tác động lực học đa môi trường. Tải trọng động được dùng là tải điều hòa có tần số thay đổi xoay quanh tần số riêng. Kết quả số cho thấy khi mực nước trong bể càng tăng thì tần số dao động riêng giảm và chuyển vị động tăng lên và sự thay đổi này đủ lớn so với khi không xét tương tác động của nước và kết cấu. Kết quả này có ý nghĩa khi mô tả ứng xử thật hơn của hệ.

Từ khóa: Phân tích động, Bể nước ngầm, Tương tác động, Phương pháp phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

This study analyzes the dynamic behavior of underground water tanks under the loads considering water and structural interactions. The structure of the underground water tank and the water in the tank are discretized by the finite element method with solid and liquid elements, taking into account the phenomenon of multi-environment interaction. The loads are used as variable frequency harmonic loads. The numerical results show that the water level has a significant effect on the dynamic characteristic of the structure system and dynamic response of water tank interaction under the dynamic loads and almost have more increasing dynamic displacements than others without the effect of the interaction. Therefore, it can be seen that the study has meaning practice, and the water quite agrees to describe the true behaviour of the dynamic response of the system.

Key words: Dynamic Analysis, Underground Water Tanks, Structural Water Interaction, Finite Element Method.

1. GIỚI THIỆU

Sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể, ảnh hưởng của chuyển động nước trong bể chứa nước lên kết cấu là điểm quan trọng cần phải xem xét. Các nghiên cứu trước đây thường bỏ qua tính chất này để đơn giản trong tính toán bằng cách giả thiết thành bể tuyệt đối cứng giúp tiện lợi cho việc thiết kế, tuy nhiên đã có những tác hại không nhỏ xảy ra trong thực tế do sự tương tác này. Những hư hỏng kết cấu xuất phát từ sự đơn giản hóa đó trở thành mục tiêu để tương tác chất lỏng thành bể được quan tâm nhiều hơn trong nghiên cứu.

Hầu hết các nghiên cứu trước thập niên 1980 chủ yếu tập trung vào việc phân tích động lực của sóng chất lỏng sao cho cung cấp cho kỹ sư một công cụ đơn giản nhưng đủ độ chính xác để thiết kế bể chứa. Tuy nhiên, sau này do các hư hỏng của bể khi công trình trải qua tải trọng động đã làm động lực thúc đẩy các kỹ sư thiết kế và các nhà nghiên cứu phải xem xét lại các giả thiết trước đây. Bởi vì, khi dao động trong bể, chất lỏng không dao động đồng thời với bể mà toàn bộ phần chất lỏng được chia ra làm hai phần, phần chất

lỏng bên dưới thì dao động đồng thời với bể còn phần bên trên dao động tách rời so với bên dưới và phần đó được gọi là "sóng chất lỏng bề mặt" (*Sloshing*), phần sóng chất lỏng bề mặt này dao động không những không đồng thời với phần chất lỏng bên dưới mà còn gây ra tương tác giữa chất lỏng - thành bể dẫn đến sự thay đổi đặc trưng động lực học của bể và ngoài ra còn tiêu tán một phần năng lượng kích thích thông qua sự tương tác này.

Bùi Phạm Đức Tường (2010) đã khảo sát bể chứa chất lỏng (Dài 2 m, chứa 0,2 m nước) đặt trên mái một toà nhà cao tầng (8 tầng cao 24 m) chịu tải trọng động đất, đã chỉ ra hầu hết các đặc trưng từ tần số dao động tự nhiên của chất lỏng, dao động sóng bề mặt, lực tác dụng lên thành bể, đến hệ số tiêu tán năng lượng trong bể do sóng chất lỏng tạo ra. Sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể mà đặc trưng cho sự tương tác này là độ dày thành có ảnh hưởng rất lớn đến tần số dao động sóng chất lỏng. Tần số bể có tỷ lệ thuận với độ dày thành, bằng cách tăng hoặc giảm độ dày thành bể thì tần số của bể có thể được kiểm soát. Lương Văn Chính (2016) đã khảo sát bể

chứa nước (sử dụng làm hệ cản chất lỏng) đặt trên tấm thép được đỡ bằng 4 trụ đặt trên bàn rung nhân tạo để tạo lực động. Khảo sát với chiều cao mực nước thay đổi từ 0 cm đến 19 cm trong thời gian $t = 40$ s. Cho thấy việc bố trí bể chứa lỏng vào khung kết cấu có tác dụng làm giảm chuyển vị. Nghiên cứu này mô tả dao động sóng bề mặt của nước trong bể chỉ phù hợp với tính toán gần đúng dựa trên mô hình 2D, chưa xét đến sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể. Võ Đình Nhật Khánh (2016) khảo sát bể chứa chất lỏng dạng trụ tròn (cao 9,6 m bán kính bể 10 m, chiều cao mực nước 8 m) các thông số Mode dao động, dao động sóng, dao động thành bể, dao động của hệ bể chứa, có xét đến sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể. Có xét đến ảnh hưởng của sự tương tác này đến các thông số của bể như tần số dao động. Nghiên cứu chỉ dừng lại ở bể chứa nước đặt trên mặt đất.

Hamada (2014) phân tích các ứng xử động của cấu trúc dưới lòng đất trong động đất và thiết kế chống động đất. Các ứng xử động lực học của các công trình ngầm như bể ngầm, đường hầm ngập nước và hang đá trong các trận động đất đã được quan sát. Dựa trên các kết quả quan sát này, phương pháp chuyển vị tương ứng đã được đề xuất cho thiết kế chịu động đất của các công trình ngầm như đường ống chôn, bể ngầm và đường hầm ngập nước. Asgari (2020) thực hiện phân tích sự bất thường của địa hình đến phản ứng địa chấn của bể chứa chất lỏng hình chữ nhật bằng bể tông có xét đến sự tương tác giữa đất, kết cấu và chất lỏng. Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về sự bất thường của địa hình cho thấy sự khuếch đại thêm ở những vị trí này do sóng địa chấn. Một số tham số đã được thực hiện bằng phương pháp phần tử hữu hạn trong không gian hai chiều. Jing (2015) đã thực hiện phân tích bể chứa bê tông khối lớn dưới phản ứng địa chấn. Nghiên cứu này đã sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn ABAQUS để theo dõi lịch sử phản ứng động của bể chứa bê tông cốt thép khối lớn trong các đợt kích thích địa chấn khác nhau. Các đặc điểm động lực học và hư hỏng của kết cấu đã được nghiên cứu bằng cách xem xét ảnh hưởng của cốt thép.

Để đánh giá ảnh hưởng của sự bất thường của địa hình, xét đến các bề mặt đất bằng phẳng và nghiêng với ba loại đất khác nhau. Kích thước bể rộng và mảnh được nghiên cứu dưới tác dụng của sáu chuyển động địa chấn khác nhau với các tỷ lệ khác nhau giữa gia tốc đỉnh trên mặt đất và tốc độ cao nhất trên mặt đất. Ngoài ra, để đánh giá ảnh hưởng của sự có mặt của chất lỏng đến phản ứng của bể, bể đầy và bể rỗng được nghiên cứu. Sử dụng các thông số khác nhau này, một số so sánh được thực hiện trên lực cắt cơ bản, chuyển vị thành bể và phản ứng khi nổ. Kết quả cho thấy rằng sự khuếch đại do sự bất thường của địa hình có ảnh hưởng đáng kể đến phản ứng của bể. Hơn nữa, người ta kết luận rằng tần số động đất ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính động của các bể chứa chất lỏng. Joseph (2018) phân tích ứng xử động của bồn chứa nước hình trụ được đặt trên mặt đất. Ứng xử động học của các bể chứa nước bê tông được đặt trên mặt đất hình trụ với các tỷ lệ kích thước khác nhau được nghiên cứu bằng cách sử dụng phần mềm phân tích theo phương pháp phần tử hữu hạn ANSYS. Các tần số tự nhiên và các phản ứng theo phương thức thu được đối với các chế độ rung động đối lưu và xung động. Tần số dao động tự nhiên của bể được quan sát là thấp nhất ở độ sâu mực nước tối đa. Tần số tăng khi mực nước giảm và đối với mực nước nhỏ hơn 1/3 chiều cao bể, không có sự thay đổi đáng kể nào về tần số.

Tại Hội nghị Thế giới về Kỹ thuật Động đất tổ chức ngày 17 tháng 10 năm 2008, Bắc Kinh, Trung Quốc, Báo cáo của Sarokolayi phân tích động học của kết cấu có tương tác giữa chất lỏng và kết cấu. Các phương pháp xem xét sự tương tác giữa chất lỏng và cấu trúc rất đa dạng và tiếp tục phát triển trong nghiên cứu của chính

nhóm này năm 2014. Pandit (2020) mô phỏng số lượng các thùng chứa chất lỏng chứa nước có dạng đáy đặc biệt dưới tác động của động đất. Phản ứng động của bể đáy phẳng đã được thực hiện rất nhiều nhưng vẫn chưa rõ ràng. Hiệu quả của mô hình số hiện tại được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả với kết quả đã công bố. Phương pháp phần tử hữu hạn của Galerkin được sử dụng để suy ra các phương trình chuyển động. Theo kết quả phân tích động lực học, kích thước lớn hơn của hộp đáy làm giảm đáng kể dao động của chất lỏng trong bể, giữ cho vật chứa ở bên trong an toàn hơn so với hộp có đáy phẳng. Sivý (2017) phân tích địa chấn của bồn chứa chất lỏng sử dụng phương pháp tiếp cận và mô hình phân tích của phần tử hữu hạn. Bài báo đề cập đến phân tích địa chấn của bể chứa chất lỏng hình tròn thẳng đứng được đặt trên mặt đất với mục đích xác định các đặc tính động lực học (ví dụ: tần số tự nhiên và sự tương tác của bể và chất lỏng) và các đặc điểm địa chấn (ví dụ: áp suất thủy động lực phân bố, lực cắt, mômen lật và chiều cao sóng lớn nhất). Bài báo cũng so sánh các kết quả thu được từ phân tích địa chấn được tính bằng phương pháp phần tử hữu hạn của ANSYS. Yang (2019) đã thực hiện nghiên cứu định luật tỷ lệ cho các thí nghiệm tương tác giữa nước và động đất gây ra. Một số hệ số đã được sử dụng trong tất cả các thí nghiệm vật lý về lực thủy động do động đất tác động lên trụ cầu nước sâu mà chưa được xác nhận rõ ràng và cho thấy thủy động lực học dưới động đất là quan trọng.

Qua những nhận xét tổng quan trên, có thể thấy rằng hướng nghiên cứu tương tác chất lỏng và rắn của kết cấu rất thu hút và thời sự thông qua những nghiên cứu gần đây, nhưng kết quả chưa nhiều. Nhờ sự phát triển ngày càng mạnh của công nghệ máy tính, phương pháp số được ứng dụng nhiều hơn để giải các bài toán trong kỹ thuật. Phương pháp phần tử hữu hạn trở nên vô cùng mạnh mẽ nhờ công nghệ máy tính và ngày càng nhiều các công trình nghiên cứu về phân tích động lực học của bể chứa nước bằng phương pháp phần tử hữu hạn được ra đời, vấn đề tương tác chất lỏng và thành bể được mô phỏng dễ dàng hơn tuy nhiên hiện tượng này vẫn cần được xem xét kỹ hơn nữa để có thể ứng dụng trong áp dụng thực tế. Bài báo này cũng tiến hành phân tích ứng xử động lực học của bể nước ngầm chịu tải điều hòa có xét đến các tương tác đó.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1 Phương trình chuyển động

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

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{p(t)\}$$

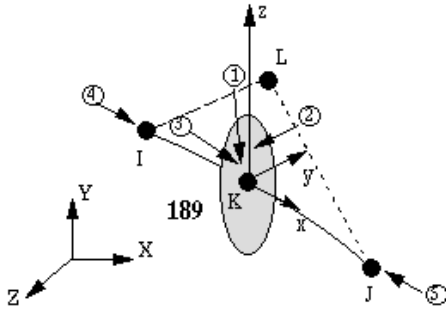
Trong đó các ma trận khối lượng, cản và độ cứng của hệ và vec tơ tải trọng được xây dựng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn. Trong bài toán này, kết cấu được rời rạc dưới dạng phần tử khối ba chiều hoặc phần tử tấm hai chiều hoặc phần tử thanh một chiều. Nước trong bể chứa được rời rạc bởi các phần tử Fluid80. Đất xung quanh bể được rời rạc bởi các phần tử của đất ba chiều trong phần mềm ANSYS. Sơ lược các phần tử này như sau.

2.2 Phần tử bê tông và phần tử nước trong ANSYS

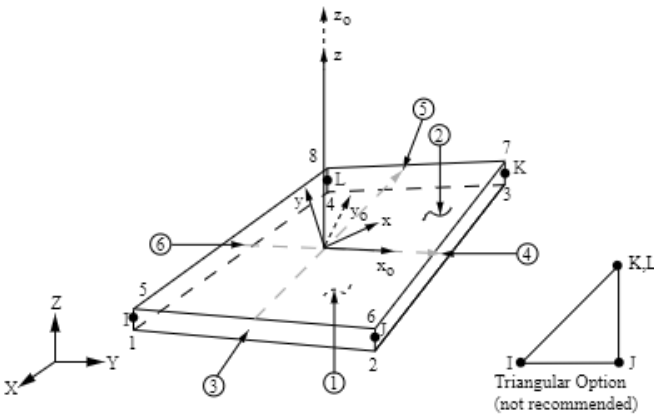
Phần tử được sử dụng để mô phỏng phần tử sàn, thành bể bê tông là phần tử Shell181, thanh kết cấu dùng phần tử Beam189 và phần tử nước là phần tử Fluid80. Phần tử này được định nghĩa bởi 8 nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo trục tọa độ x , y và z .

Phần tử Beam189 phù hợp cho việc phân tích các kết cấu dày (thick) từ mảnh đến vừa phải. Phần tử được dùng làm cơ sở cho dầm Timosenko. Bao gồm cả hiệu ứng biến dạng cắt. BEAM189 là phần tử dầm có hàm nội suy bậc hai ba Node trong không gian 3D với sáu bậc tự do tại mỗi Node. Bậc tự do tại mỗi Node bao

gồm chuyển vị tịnh tiến theo ba phương x , y , z và góc xoay quanh ba trục x , y , z . Độ cong của mặt cắt ngang được giả thiết là tự do. Phần tử dầm này phù hợp cho hệ tuyến tính, góc quay lớn và hệ phi tuyến có biến dạng lớn. Phần tử Shell181 rất phù hợp cho các ứng xử phi tuyến tính tuyến tính, góc xoay lớn hoặc biến dạng lớn. Thay đổi độ dày tấm được tính trong các phần tích phi tuyến. Trong miền phần tử, cả hai lược đồ tích hợp đầy đủ và giảm đều được hỗ trợ. Hình dáng của 02 phần tử được thể hiện như trên hình 1 và hình 2.

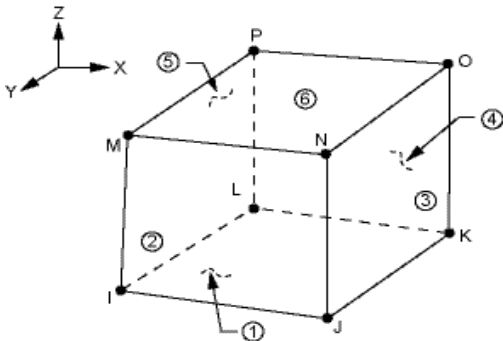


Hình 1. Phần tử dầm Beam 189 biến dạng tuyến tính



Hình 2: Phần tử tấm Shell 181 biến dạng tuyến tính

Phần tử chất lỏng Fluid80 là phần tử sử dụng dạng kết cấu khối trong không gian như trên hình 3. Phần tử này được định nghĩa bởi 8 nút, mỗi nút có ba bậc tự do theo trục x , y và z . Phần tử Fluid80 sử dụng modul đàn hồi Bulk và hệ số nhớt chất lỏng.



Hình 3. Mô hình phần tử Fluid 80 trong ANSYS.

2.3 Xây dựng mô hình trong phần mềm ANSYS

Bước 1: Tiến hành mô phỏng ANSYS trong module “Geometry” các trường hợp với kết cấu bể nước ngầm có nhiều mực nước khác nhau. Tiến hành khai báo vật liệu trong module “Material” với các đặt trưng vật liệu được xác định.

Bước 2: Phân tích tần số, dạng dao động riêng của bể nước ngầm: bằng mô đun “Modal Analysis” của bể chứa nước ngầm ở các mực nước khác nhau.

Cập nhật các dữ liệu đã thiết lập vào các mục “Geometry” và “Material” của mô đun “Modal Analysis”.

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 cấu công trình bể nước ngầm. Khai báo tiếp xúc giữa đất, nước và kết cấu bê tông cốt thép. Thiết lập phân tích cho bể nước ngầm trong miền tần số phù hợp với mục tiêu nghiên cứu.

Lựa chọn thông số của kết quả phân tích, trong nghiên cứu này là các dạng dao động từ 1 tới 6.

Bước 3: Phân tích chuyển vị của bể nước ngầm có nhiều mực nước khác nhau dưới tác động của tải trọng điều hòa: sử dụng mô đun “Harmonic Analysis”.

Cập nhật các dữ liệu đã thiết lập vào các mục “Geometry”, mục “Material” và mục “mesh” của mô đun “Harmonic Analysis”.

Khai báo tải tác dụng lên bể nước ngầm về độ lớn, điểm đặt, phương truyền lực.

Khai báo liên kết giữa đất, nước và kết cấu, liên kết gối cố định là lớp đất ngoài cách tường bể chứa 5m.

Thiết lập miền chu kỳ và miền thời gian khảo sát cho hệ kết cấu bể nước ngầm.

Thiết lập thời gian, bước thời gian, số phân tích trong bước thời gian khảo sát.

Lựa chọn “Frequency Response” để trích xuất kết quả phân tích, xác định biên độ dao động của hệ trên miền tần số khảo sát cần thiết đã được xác định trước đó.

Xác định đối tượng cần trích xuất dữ liệu kết quả trên hệ kết cấu và xuất ra kết quả để tiến hành khảo sát.

Mục tiêu của bài báo là phân tích ứng xử động của bể nước ngầm chịu tác động của tải trọng động có xét tương tác nước và kết cấu. Đánh giá dựa vào kết quả ứng xử động lực học của kết cấu chịu tác động của lực động điều hòa.

3. KẾT QUẢ SỐ

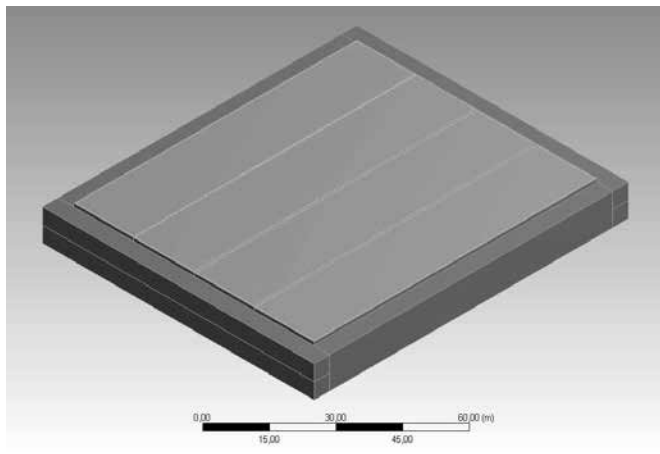
Phần này trình bày các kết quả số của bài báo. Đầu tiên là mô hình kết cấu và những thông số cơ bản nhất trong bài toán và cấu hình máy tính sử dụng. Tiếp đó, tần số dao động riêng với các mực nước khác nhau được trình bày và cuối cùng là ứng xử động lực học của cả hệ với tải trọng điều hòa được thảo luận.

3.1 Mô hình kết cấu

Bể chứa này được lấy từ số liệu thật của một dự án cấp nước thành phố Thủ Dầu Một, Bình Dương. Bể bằng bê tông cốt thép chia ra làm 4 ngăn riêng biệt như trên hình 1, diện tích tổng cộng khoảng 7000 m² với kích thước hai cạnh là 90 m x 75 m. Chiều cao mực nước tối đa có thể có trong bể là 5 m. Kết cấu bể nước gồm có chiều dày lớp bê tông bản đáy là 0,5 m, bản thành là 0,3 m, đặt trên lớp đất nền là đất sét pha và nằm sâu trong lòng đất là 5 m. Đất xung quanh và dưới đáy bể nước được xem như đồng nhất sâu và rộng vô hạn với các đặc trưng của đất sét pha có khối lượng riêng là 1733 kg/m³, mô đun đàn hồi là 5,6.10⁶ Pa. Bể có thể chứa 30.000 m³ nước và chịu tác dụng của tải trọng động với tần số thay đổi.

Phần mềm ANSYS được dùng để mô tả kết cấu này. Mô hình thể hiện như trên hình 4 và mô hình phần tử hữu hạn như hình 5. Trong bài toán này, bể nước ngầm có nhiều mực nước khác nhau chịu tải

điều hòa, các phản ứng của kết cấu với tải trọng động, một số kết quả dự kiến của nghiên cứu là: mực nước ảnh hưởng đến phản ứng tần số riêng và ứng xử động của kết cấu.



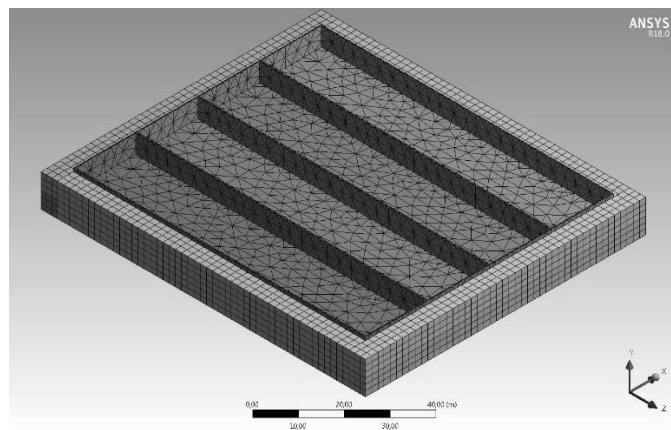
Hình 4. Mô hình bể chứa được thiết lập thông qua ANSYS WORKBENCH

Số lượng phần tử của kết cấu cũng là đại lượng quan tâm. Số lượng phần tử quá nhiều thì khả năng tính toán của máy tính cá nhân có hạn. Vì bể nước có kích thước khá lớn, thể tích nước cũng nhiều, đất dưới đáy và bên thành cũng khá nhiều nên bài báo này chọn lưới phần tử được chia vừa đủ mịn như trên Hình 5. Bảng 1 trình bày số lượng phần tử của mỗi thành phần kết cấu. Số lượng phần tử nhiều nhất khi bể chứa đầy nước có thể lên đến vài chục triệu phần tử. Cấu hình máy tính được sử dụng như bên dưới, máy tính chạy mất hàng chục giờ mới giải hoàn chỉnh được 01 bài toán trong nghiên cứu này.

Operating System: Windows 10 Pro 64-bit (Build 19041).
 System Manufacturer: Gigabyte Technology Co., Ltd.
 System Model: Z590 GAMING X BIOS: F2 (type: UEFI).
 Processor: Intel Core i9-10900K @ 3.70GHz (20 CPUs).
 Memory: 32768MB Available Memory: 32636MB RAM.

Bảng 1: Bảng chia phần tử mô hình

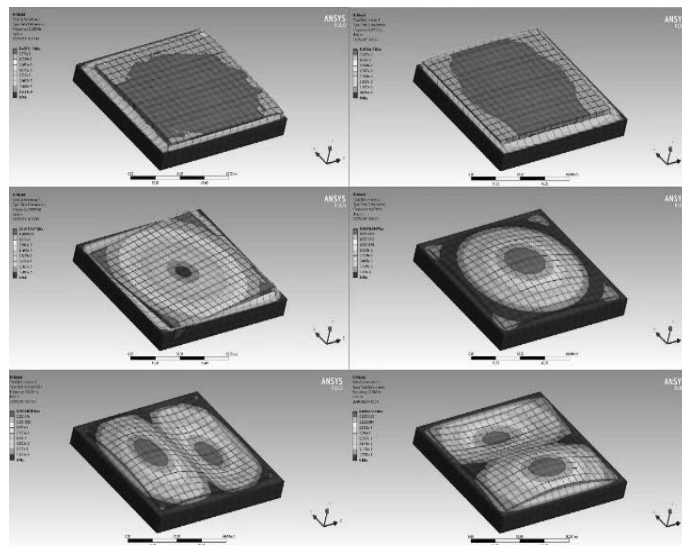
Bể không chứa nước		Bể chứa đầy nước	
Số phần tử	Số nút phần tử	Số phần tử	Số nút phần tử
17.744	66.936	18.478.122	28.424.593



Hình 5. Mô hình chia lưới phần tử của bể chứa nước ngầm

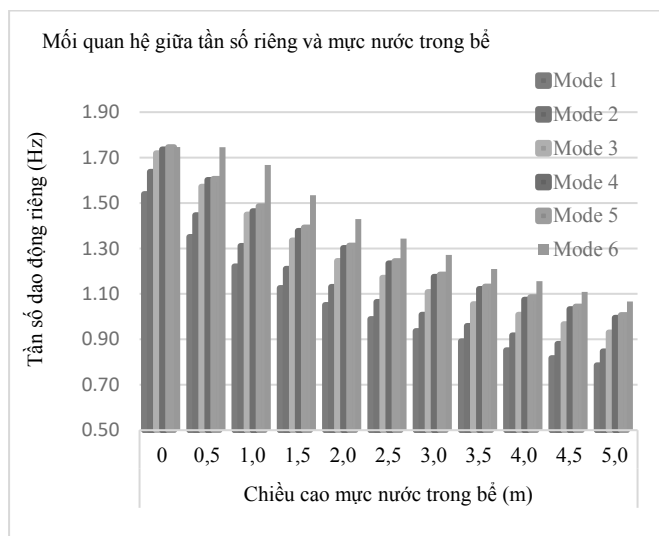
3.2 Dao động tự do

Để phân tích bài toán với mực nước thay đổi, nghiên cứu lựa chọn với các trường hợp cấp tăng dần 0,5 m mét nước, từ 0 đến 5 m nước (là mực nước lớn nhất của bể).

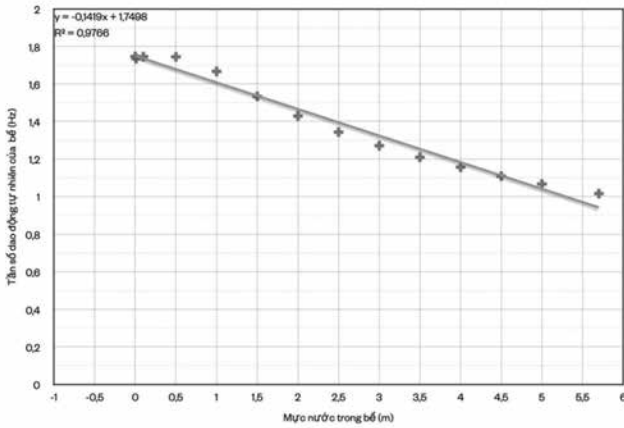


Hình 6. Sáu dạng (mode) dao động của bể chứa nước ngầm

Kết quả các dạng dao động được thể hiện như trên hình 6. Sáu tần số dao động đầu tiên của bể nước ngầm cũng được cho trong hình 7 với số liệu chi tiết như trong bảng 2. Nhận xét về kết quả ảnh hưởng của mực nước đến giá trị của tần số như trong hình 8. Từ đây có thể nhận thấy rằng các tần số dao động của 06 dạng dao động đầu tiên khá gần nhau về giá trị xoay quanh từ 1.5 Hz đến 1.7 Hz. Điều này có tác động đáng kể đến ứng xử động khi hệ chịu tải trọng động điều hòa. Một nhận xét nữa được rút ra là tần số của hệ giảm đều khi mực nước tăng lên, với kết cấu này thì qui luật giảm có vẻ như tuyến tính đối với mực nước như trên hình 8.



Hình 7. Tần số dao động của bể chứa khi mực nước thay đổi



Hình 8. Tương quan giữa mực nước và tần số riêng của bể

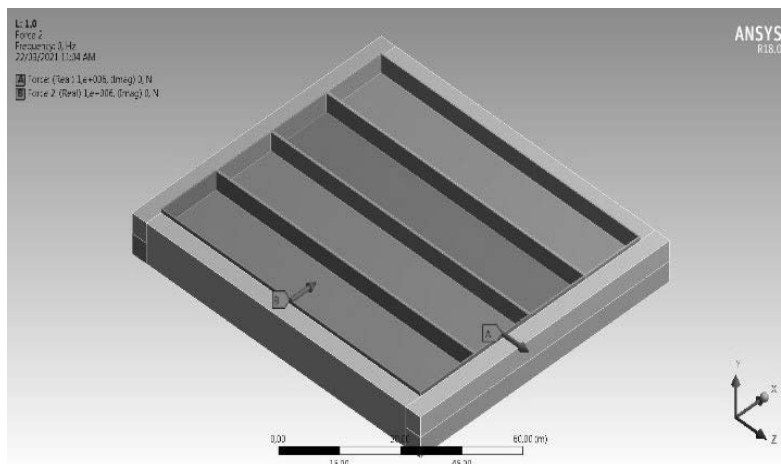
Bảng 2: Tần số dao động riêng với mực nước khác nhau

H(m)	f ₁ (Hz)	f ₂ (Hz)	f ₃ (Hz)	f ₄ (Hz)	f ₅ (Hz)	f ₆ (Hz)
0	1.539	1.637	1.719	1.736	1.745	1.747
0.5	1.350	1.446	1.572	1.601	1.606	1.745
1.0	1.221	1.311	1.449	1.464	1.486	1.667
1.5	1.126	1.210	1.335	1.378	1.392	1.534
2.0	1.051	1.130	1.245	1.302	1.313	1.429
2.5	0.989	1.064	1.171	1.234	1.244	1.343
3.0	0.936	1.008	1.108	1.175	1.185	1.271
3.5	0.891	0.959	1.054	1.122	1.132	1.209
4.0	0.851	0.917	1.008	1.075	1.085	1.156
4.5	0.817	0.880	0.966	1.033	1.044	1.108
5.0	0.786	0.846	0.930	0.995	1.007	1.066

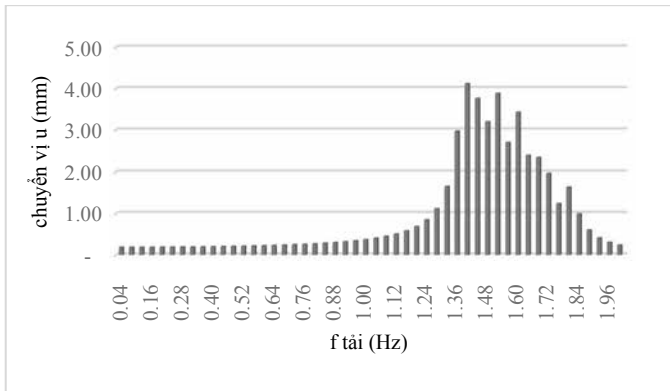
3.3 Phân tích bể chịu tải điều hòa

Khảo sát đáp ứng của hệ kết cấu bể chứa nước chịu tác dụng của tải trọng điều hòa $P(t) = P_0 \sin \omega t$ như trên hình 9. Lực $P_0 = 10^6$ (N); $\omega = 2\pi f$ ($rad.s^{-1}$) với $f = 0 \div 2$ (Hz). Tải trọng tác dụng lên bể ở miền tần số 0 Hz đến 2 Hz, tỷ số cản $\xi = 0.05$ trong trường hợp bể chứa có mực nước thay đổi.

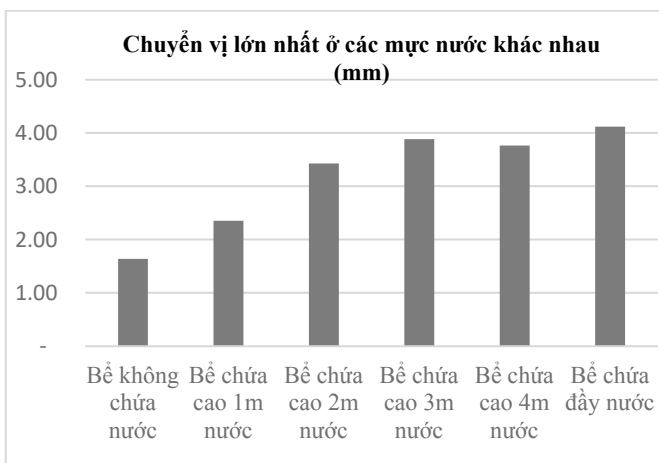
Với tần số của ngoại lực được chọn trong vùng từ 0 Hz đến 2.0 Hz, xoay quanh vùng tần số riêng của hệ kể cả các mực nước khác nhau, kết quả ứng xử của hệ được thể hiện trên các hình 10, 11 và 12. Có thể thấy rằng kết quả này khá nhạy của chuyển vị bể nước khi mực nước thay đổi và lại có khuynh hướng tăng lên khi mực nước tăng lên. Đây là nội dung quan trọng và giải thích rõ hơn sự khác biệt giữa mô hình có xét tương tác chất lỏng - kết cấu và không xét.



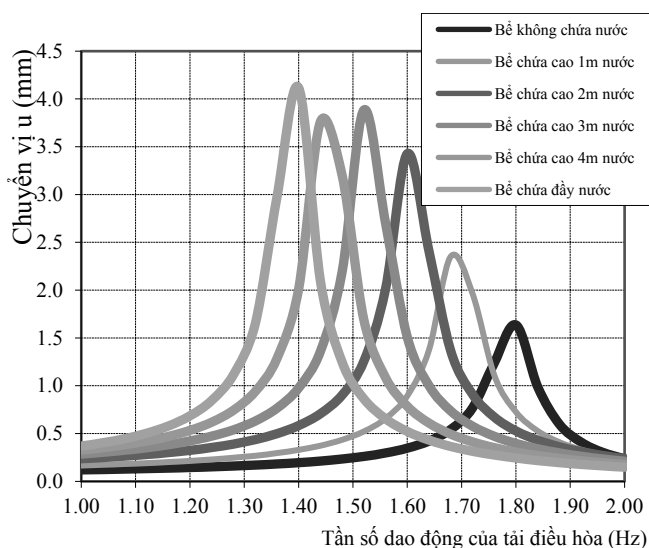
Hình 9. Tải trọng tác dụng lên bể ở miền tần số 0Hz đến 2Hz



Hình 10. Chuyển vị lớn nhất của bể chịu tải trọng điều hòa



Hình 11. Chuyển vị lớn nhất ở các mực nước khác nhau



Hình 12. Ứng xử của hệ với các mực nước khác nhau trên dải tần số khác nhau

4. KẾT LUẬN

Kết quả phân tích cho thấy khi mực nước thay đổi ảnh hưởng lớn tới tần số dao động của kết cấu bể chứa. Khi chiều cao của nước chứa trong bể càng lớn thì tần số dao động riêng của bể càng nhỏ.

Điều này đồng nghĩa với bể càng chứa nhiều nước thì càng “mềm”. Chênh lệch tần số dao động riêng lúc bể không chứa nước và bể chứa đầy nước lên đến gần gấp đôi. Từ đó thông qua việc thay đổi lượng nước trong bể chứa có thể trực tiếp thay đổi tần số dao động của hệ kết cấu bể chứa nước ngầm.

Khảo sát bể đáp ứng của tải điều hòa: Giá trị chuyển vị đỉnh cộng hưởng của bể chứa tăng lên khi mực nước trong bể chứa tăng lên. Nước trong bể chứa có khả năng làm tăng dao động của kết cấu bể chứa nước lớn nhất lên đến hơn 150%. Tần số dao động của ngoại lực ảnh hưởng nhiều tới chuyển vị đỉnh của bể chứa khi mực nước thay đổi nằm trong khoảng từ 1,2 Hz đến 1,9 Hz. Tại tần số dao động của tải điều hòa là 1,4 Hz thì chuyển vị đỉnh là lớn nhất. Các miền tần số khác của ngoại lực không ảnh hưởng nhiều đến chuyển vị đỉnh của bể chứa. Sự bỏ qua tương tác động đôi khi làm cho kết cấu nguy hiểm hơn.

Khi mực nước trong bể càng tăng thì biến dạng về chuyển vị càng lớn. Có thể thay đổi tần số dao động riêng của bể khi thay đổi mực nước trong bể.

Mực nước trong bể và chuyển vị lớn nhất của thành bể có sự tương quan tuyến tính. Phương trình tương quan: $Y = 0.8863X + 0.111$; $R^2 = 0.9105$, điều này cho thấy sự tương quan tuyến tính gần như tuyến tính trong bài toán này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Công ty Cổ Phần Nước Thủ Dầu Một, “Báo cáo khảo sát, tập bản vẽ và thuyết minh thiết kế bể chứa nước 30.000m³ Nhà máy nước Dĩ An”, Phê duyệt năm 2014.
- Bùi Phạm Đức Tường, “Phân tích khả năng kháng chấn của công trình sử dụng các bể chứa trong đó có xét đến sự tương tác giữa chất lỏng và thành bể”, LVTHS, Đại học Bách Khoa TPHCM, 2010.
- Lương Văn Chính, “Phân tích thực nghiệm ảnh hưởng của sóng chất lỏng trong bể chứa đến hiệu quả giảm chấn cho nhà nhiều tầng”, LVTHS, Đại học Bách Khoa TPHCM, 2016.
- Võ Đình Nhật Khánh, “Phân tích tương tác của chất lỏng và thành bể dạng trụ tròn dung tích lớn có chiều dày thành bể thay đổi chịu tải trọng động đất”, LVTHS, Đại học Bách Khoa TPHCM, 2016.
- 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.
- Hamada M., “Dynamic Behaviors of Underground Structures during Earthquakes and Earthquake-Resistant Design”, Engineering for Earthquake Disaster Mitigation. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, Springer, Tokyo, 2014.
- Jing Y. L., et al, “Analysis of large concrete storage tank under seismic response”, Mech Sci Technol 29, 85-91, Journal of Mechanical Science and Technology (2015).
- Joseph A., Joseph G., “Dynamic Behaviour and Seismic Response of Ground Supported Cylindrical Water Tanks”, J. Institution of Engineers (India), 2018.
- Pandit, Biswal, “Numerical simulation of partially filled liquid containers with special type bottom geometry under earthquake excitation”, Int. J. Dynam. Control 8, 91-100, 2020.
- Sarokolayi K., Navayineya B., Hosainalibegi M., Amiri J.V, “Dynamic analysis of water tanks with interaction between fluid and structure”, The World Conference on Earthquake Engineering, China, 2008.
- Sarokolayi K., et al, “Dynamic Analysis of Elevated Water Storage Tanks due to Ground Motions’ Rotational and Translational Components”, Arabian Journal for Science and Engineering, 2014.
- Sivý M., Musil M., “Procedure for Seismic Analysis of Liquid Storage Tanks using FEM Approach and Analytical Models”, Advances in Mech. Design II. Mech. and Machine Science, 44. Springer, Cham, 2017.
- Yang W., et al “Scaling law study for earthquake induced pier-water interaction experiments”, Environ Fluid Mech 19, 55-79 (2019).