

Nghiên cứu sự làm việc của bể chứa chất lỏng chịu tác dụng của tải trọng nổ

Studying the working of liquid storage tanks under the effect of explosive loads.

> PGS.TS VŨ NGỌC QUANG¹, THS THÂN THẾ HÙNG², TS VŨ NGỌC ANH¹, THS NGUYỄN HỮU HÀ¹

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

²Cục Kế hoạch Đầu tư, Bộ Quốc phòng

TÓM TẮT:

Trong quá trình khai thác và sử dụng các bể chứa thường phải chịu tác dụng của các loại tải trọng động như động đất, nổ. Việc thiết kế xây dựng các công trình đặc thù như bể chứa chất lỏng chịu các tác dụng đặc biệt (động đất, nổ) với độ chính xác và an toàn cao đã lôi cuốn sự quan tâm của các nhà khoa học. Tuy nhiên, tính toán tải trọng nổ và thử nghiệm khả năng chịu tác dụng của tải trọng sóng nổ đối với bể chứa chất lỏng là vấn đề phức tạp. Vì vậy việc nghiên cứu tính toán, mô phỏng tác dụng của tải trọng nổ lên bể chứa chất lỏng là vấn đề thiết thực, cần được xem xét, điều này sẽ giúp giảm chi phí thử nghiệm cũng như thiệt hại về người và của.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán và mô phỏng kết cấu bể chứa chất lỏng chịu tác dụng của sóng nổ bằng phần mềm Abaqus. Thông qua các thử nghiệm số nghiên cứu ảnh hưởng của các phương pháp xác định tải trọng, ảnh hưởng của sóng bề mặt và chiều cao mực chất lỏng đến kết quả tính toán kết cấu bể chứa chất lỏng.

Từ khóa: Bể nước độc lập; tải trọng nổ; mô phỏng bằng Abaqus; phương pháp phần tử hữu hạn.

ABSTRACT:

During the exploitation and use of the storage tanks, they are often subjected to dynamic loads such as earthquakes and explosions. The design and construction of specific works such as liquid storage tanks subject to special effects (earthquakes, explosions) with high accuracy and safety has attracted the attention of scientists. However, the calculation of the explosive load and the ability to withstand the bursting wave load for the liquid tank is complicated and expensive. Therefore, the study, calculation and simulation of the effect of explosive loads on the liquid tank is a practical issue that needs to be considered, which will help reduce the cost of testing as well as damage to people and property.

This paper presents a method of calculating and simulating the structure of a liquid storage tank under the impact of explosive waves using Abaqus software. Through numerical tests, the influence of load determination methods, the influence of surface waves and liquid level height on the calculation results of the liquid storage tank structure has been studied.

Keywords: Independent water tank; explosive load; simulation by Abaqus; finite element method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán tương tác nền đất - kết cấu bể chứa - chất lỏng đã được đề cập bởi nhiều tác giả, thông qua việc ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Trong các nghiên cứu được công bố gần đây [1][2][3][4][5][6] các tác giả chủ yếu sử dụng mô phỏng phần tử hữu hạn ba chiều (3D) của bể chứa, trong đó khảo sát các tỷ lệ hình dáng khác nhau của bể, tỷ lệ phần trăm nước được chứa trong bể, độ dày thành bể, điều kiện biên ở đáy bể và độ lớn tải nổ. Công cụ chủ yếu là phần mềm Abaqus.

Tại Việt Nam, tác giả Lương Sĩ Hoàng [7], đã nghiên cứu tính toán động lực học bể chứa chất lỏng chịu tác dụng của sóng nổ, trong đó hướng đi sâu là mô hình tính toán có kể đến sự tương tác đầy đủ giữa các thành phần trong hệ nền đất - kết cấu bể chứa - chất lỏng, tải trọng động là loại sóng nổ, kết cấu bể chứa gồm cả đặt nổi và đặt ngầm trong đất.

Koh và cộng sự (1998), kết hợp phương pháp phần tử biên cho

miền chất lỏng và phương pháp PTHH cho miền kết cấu đã phân tích động lực học bể chứa chất lỏng hình chữ nhật có kể đến sóng bề mặt. H. Mirzabozorg (2012), sử dụng phương pháp PTHH để mô phỏng sóng hai chiều trong bể chứa chữ nhật.

Gần đây các nhà nghiên cứu đã bắt đầu khảo sát bài toán sóng bề mặt có biên độ lớn. Do sóng này có tính phi tuyến nên ở đây các phương pháp số là công cụ hiệu quả để giải bài toán trên.

Bài toán tương tác chất lỏng - kết cấu có kể đến ảnh hưởng của sóng trên bề mặt tự do cũng được khảo sát bởi Zienkiewicz (2000) bằng phương pháp PTHH.

Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng phần mềm ABAQUS để nghiên cứu tính toán bể nước bằng BTCT khi chịu tải trọng nổ.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT TÍNH BỂ CHỨA CHẤT LỎNG CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG NỔ

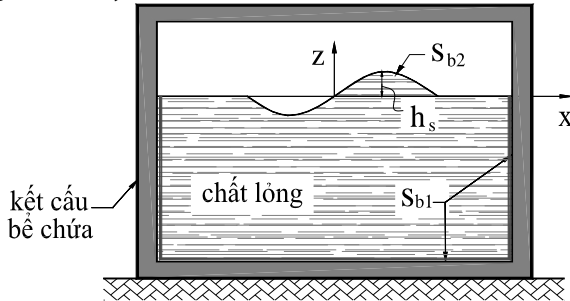
Khảo sát bể chứa chất lỏng chịu tác dụng của tải trọng động

bất kỳ (hình 1). Bài toán sẽ được giải theo quan điểm tương tác động lực học giữa 2 miền: miền kết cấu bể chứa và miền chất lỏng.

Để giải bài toán đặt ra thừa nhận các giả thiết sau đây:

- Chất lỏng lý tưởng (không nhớt, không xoáy), nén được, mật độ thay đổi ít, không tính đến ảnh hưởng của lực khối trong chất lỏng.

- Kết cấu bể chứa có kích thước hữu hạn, vật liệu kết cấu biến dạng đàn hồi tuyến tính.



Hình 1. Mô hình bài toán bể chứa

Mô hình hóa kết cấu bể chứa:

*Các mô hình tính giữa kết cấu bể chứa và chất lỏng [9]:

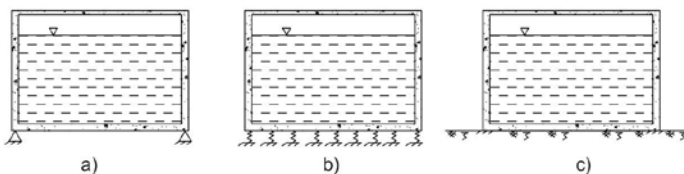
- Tách chất lỏng ra khỏi bể chứa;
- Chất lỏng và bể chứa làm việc đồng thời theo quan điểm tương tác.

*Các mô hình tính giữa kết cấu bể chứa chất lỏng và nền đất:

- Mô hình 1: Tách kết cấu ra khỏi nền, thay liên kết giữa công trình và nền bằng gối khớp tại vị trí dưới đáy bể (hình 2.a);

- Mô hình 2: Thay liên kết giữa kết cấu bể chứa và nền bằng các lò xo đàn hồi tuyến tính theo mô hình nền Winkler, bỏ qua lực quán tính của nền (hình 2.b);

- Mô hình 3: Bể chứa và nền cùng làm việc đồng thời như một hệ kết cấu không gian (gồm có bể chứa chất lỏng và đất nền), tiếp xúc giữa nền và bể chứa là liên tục tại vị trí dưới đáy bể, tính đến cả độ cứng và lực quán tính của nền đất (hình 2.c).



Hình 2. Các mô hình liên kết bể và nền

Trong bài báo sẽ sử dụng mô hình tách kết cấu ra khỏi nền thay liên kết giữa công trình và nền bằng gối khớp tại vị trí dưới đáy bể; Chất lỏng và kết cấu bể chứa làm việc đồng thời theo quan điểm tương tác.

Tải trọng tính toán:

Tải trọng khai báo trong phần mềm Abaqus bao gồm: Tải trọng sóng nổ và tải trọng va chạm của chất lỏng và kết cấu bể. Tải trọng sóng nổ được tính toán theo 2 phương pháp

- Phương pháp 1: Tính toán tải trọng sóng nổ theo mô phỏng tính toán nổ Conwep trong Modul Interaction - Incident wave.

- Phương pháp 2: Xác định theo các công thức thực nghiệm, có kể tới hiện tượng chảy bao.

Trong bài báo sử dụng mô hình Conwep để khai báo tải trọng nổ tác dụng lên công trình.

3. THỬ NGHIỆM SỐ TÍNH BỂ CHỨA CHẤT LỎNG CHỊU TẢI TRỌNG NỔ VỚI PHẦN MỀM ABAQUS

Đặt bài toán: Xác định các ứng xử (ứng suất, chuyển vị) của bể chất lỏng bằng bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng nổ khi

chiều cao mực nước trong bể thay đổi.

Một số thông số cơ bản:

Mô hình tính hệ bể chứa - chất lỏng

- Bể chứa sử dụng kết cấu bê tông cốt thép, dạng hình hộp chữ nhật. Kích thước: dài 20,8m; rộng 8,8m; cao 6,8m; đáy dày 0,5m; thành bể dày 0,4m; nóc bể dày 0,3m.

- Mực nước trong bể thay đổi: H = 1,0m; 2,0m; 3m; 4,0m; 5,0m.

- Bể được đặt trên các gối cứng.

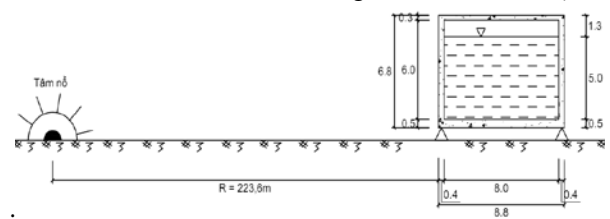
Mô hình vật liệu:

- Bê tông cốt thép B20: Mô đun đàn hồi E = 27.10³ MPa, khối lượng riêng ρ_s = 2500kg/m³, hệ số Poisson u = 0,3.

- Môi trường chất lỏng có các tham số: Khối lượng riêng ρ_f = 1000kg/m³, vận tốc âm thanh truyền qua chất lỏng c = 1500 m/s.

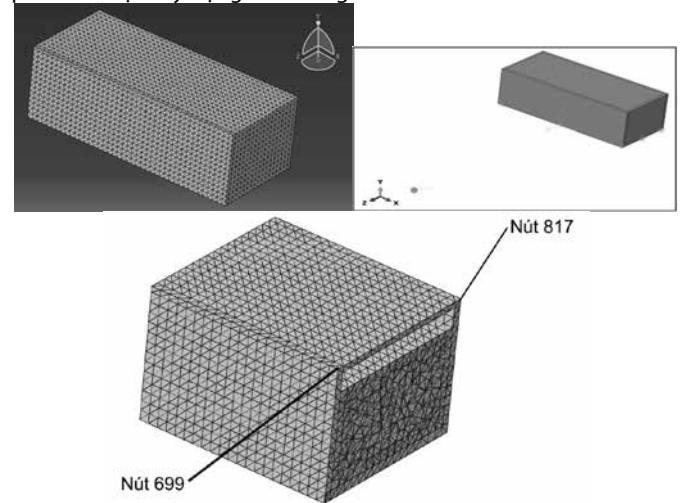
Tải trọng tác dụng:

Tải trọng nổ xác định theo mô hình Conwep [10] [13]; Khối lượng thuốc nổ TNT: C_{tp} = 181,4Tấn; Khoảng cách từ tâm nổ đến mặt trước bể chứa: R = 223,6m; Phương thức nổ: Nổ trên mặt đất.



Hình 3. Mô hình bài toán khảo sát

Mô hình bài toán được xây dựng trên phần mềm Abaqus, lưới phần tử được xây dựng như trong Hình 4.



Hình 4. Lưới phần tử của mô hình

4. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ NHẬN XÉT

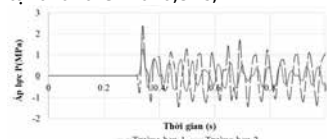
Tính toán tác dụng của sóng nổ lên kết cấu bể nước sát áp lực động lớn nhất (P_{max}) và chuyển vị động tại vị trí của hệ kết cấu bể chứa tương ứng với các mực nước từ H=1÷5m, kết quả tính toán cho 2 trường hợp bằng phương pháp sử dụng phần mềm mô phỏng Abaqus/CAE 6.14-5 (TH1: có kể đến sóng bề mặt; TH2: bỏ qua ảnh hưởng của sóng bề mặt).

Trên hình 5 và hình 6 thể hiện biểu đồ áp lực và biểu đồ chuyển vị tại nút 699 ứng với trường hợp chiều cao mực nước là 1m.

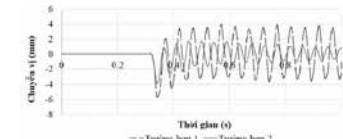
Tại nút 699:

+ Khi xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt: áp lực lớn nhất P_{max}=2,372(Mpa); chuyển vị lớn nhất của nút Z_{max}= 5,669(mm), tại thời điểm t=0,34s;

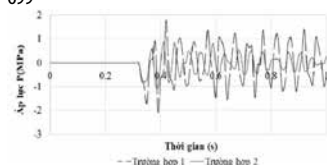
+ Khi không xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt: áp lực lớn nhất $P_{max}=1,279(Mpa)$; chuyển vị lớn nhất của nút $Z_{max}= 3,860(mm)$, tại thời điểm $t=0,34s$;



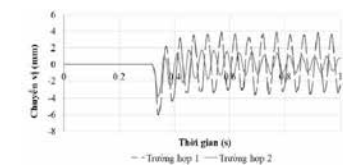
Hình 5. Biểu đồ áp lực theo thời gian tại nút 699



6. Biểu đồ chuyển vị theo thời gian tại nút 699



7. Biểu đồ áp lực theo thời gian tại nút 817



8. Biểu đồ chuyển vị theo thời gian tại nút 817

Trên hình 7 và hình 8 thể hiện biểu đồ áp lực và biểu đồ chuyển vị tại nút 817 ứng với trường hợp chiều cao mực nước là 1m.

Tại nút 817:

+ Khi xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt: áp lực lớn nhất, $P_{max}= 2,073(Mpa)$; chuyển vị lớn nhất của nút $Z_{max}= 5,943(mm)$, tại thời điểm $t=0,34s$;

+ Khi không xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt: áp lực lớn nhất $P_{max}= 1,075(Mpa)$; chuyển vị lớn nhất $Z_{max}= 3,790(mm)$, tại thời điểm $t=0,34s$;

Nhận xét: Qua biểu đồ áp lực và chuyển vị tại các nút 699 và 817 ta thấy khi kể đến ảnh hưởng của sóng bề mặt (TH1) giá trị áp lực nút và chuyển vị nút lớn hơn so với khi không xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt (TH2). Kết quả tính áp lực và chuyển vị tại nút 699 được thể hiện trong bảng 1 và bảng 2 khi thay đổi chiều cao mực nước trong bể từ 1-5m.

Bảng 1. Kết quả áp lực Pmax tại nút 699

Mức nước h(m)	Áp lực P _{max} (MPa)		Chênh lệch (%)
	Trường hợp 1	Trường hợp 2	
1	2,372	1,279	46,08
2	2,228	1,234	44,61
3	1,931	0,770	60,12
4	1,694	0,418	75,32
5	1,320	0,181	86,29

Bảng 2. Kết quả chuyển vị Zmax tại nút 699

Mức nước h(m)	Chuyển vị Z _{max} (mm)		Chênh lệch (%)
	Trường hợp 1	Trường hợp 2	
1	5,669	3,860	31,91
2	5,535	2,865	48,24
3	5,226	1,749	66,53
4	5,120	0,547	89,31
5	4,026	0,169	95,80

Kết quả tính áp lực và chuyển vị tại nút 817 được thể hiện trong bảng 3 và bảng 4 khi thay đổi chiều cao mực nước trong bể từ 1-5m:

Bảng 3. Kết quả áp lực Pmax tại nút 817

Mức nước h(m)	Áp lực P _{max} (MPa)		Chênh lệch (%)
	Trường hợp 1	Trường hợp 2	
1	2,073	1,075	48,14
2	1,861	0,925	50,29
3	1,622	0,484	70,16
4	1,525	0,220	85,57
5	1,240	0,132	89,35

Bảng 4. Kết quả chuyển vị Zmax tại nút 817

Mức nước h(m)	Chuyển vị Z _{max} (mm)		Chênh lệch (%)
	Trường hợp 1	Trường hợp 2	
1	5,943	3,790	36,23
2	5,781	2,842	50,84
3	5,384	1,660	69,17
4	5,006	0,478	90,45
5	4,124	0,180	95,64

Nhận xét: Qua các bảng 1,2,3,4 thể hiện giá trị áp lực lớn nhất và chuyển vị lớn nhất tại các nút tại các nút 699 và 817 ta thấy, khi tăng mực nước trong bể thì giá trị áp lực và chuyển vị tại các nút 699 và nút 817 đều giảm cho cả hai trường hợp tính đến ảnh hưởng của sóng bề mặt (TH1) và không xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt (TH2). Đặc biệt khi ở mực nước cao ảnh hưởng của sóng bề mặt có tác dụng làm giảm giá trị áp lực và chuyển vị là rất đáng kể so với khi không xét đến ảnh hưởng của sóng bề mặt.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp tính toán và mô phỏng kết cấu bể chứa chất lỏng chịu tác dụng của sóng nổ bằng phần mềm Abaqus. Thông qua các thử nghiệm số, đã đưa ra được sự ảnh hưởng của của sóng bề mặt và chiều cao mực chất lỏng đến kết quả tính toán kết cấu bể chứa chất lỏng.

Qua tính toán phân tích giá trị chuyển vị và áp lực tại các nút N-699 và N817 cho các trường hợp ta thấy: khi kể đến sóng bề mặt thì giá trị áp lực và chuyển vị tăng hơn đáng kể so với khi bỏ qua ảnh hưởng này. Do đó, để tăng tính an toàn trong tính toán và thiết kế, chúng ta cần kể đến ảnh hưởng của sóng bề mặt khi mô hình hóa bể chứa chất lỏng chịu các dạng tải trọng động (áp lực sóng nổ, động đất...).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Mittal, V.; Chakraborty, T.; Matsagar, V. Dynamic analysis of liquid storage tank under blast using coupled Euler–Lagrange formulation. *Thin-Walled Struct.* 2014, 84, 91–111.

[2] Jiang, Y.; Zhang, B.; Wei, J.; Wang, W. Study on the dynamic response of polyurea coated steel tank subjected to blast loadings. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 2020, 67, 104234.

[3] Lu, S.; Wang, W.; Chen, W.; Ma, J.; Shi, Y.; Xu, C. Behaviors of Thin-Walled Cylindrical Shell Storage Tank under Blast Impacts. *Shock. Vib.* 2019, 2019, 1–21.

[4] Duong, D.; Hanus, J.; Bouazaoui, L.; Régál, X.; Prod'Homme, G.; Noret, E.; Yalamas, T.; Reimeringer, M.; Bailly, P.; Penetier, O. Response of a tank under blast loading-part II: Experimental structural response and simplified analytical approach. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 2012, 16, 1042–1057.

[5] Lai, E.; Zhao, J.; Li, X.; Hu, K.; Chen, G. Dynamic responses and damage of storage tanks under the coupling effect of blast wave and fragment impact. *J. Loss Prev. Process. Ind.* 2021, 73, 104617.

[6] Tabatabaei, Z.S.; Volz, J.S. A comparison between three different blast methods in LS-DYNA: LBE, MM-ALE, Coupling of LBE and MM-ALE. In *Proceedings of the 12th International LS-DYNA® Users Conference*, Darborn, MI, USA, 3–5 June 2012.

[7] Lương Sỹ Hoàng (LATS 2017), *Tính toán động lực học bể chứa chất lỏng chịu tác dụng của sóng nổ*, Học Viện Kỹ thuật Quân sự.

[8] Architectural Institute of Japan (2010), *Design recommendation for storage tanks and their supports with emphasis on seismic design*.

[9] Bihane Aregawi (2017), *Dynamic Response of Ground Supported Rectangular Water Tanks to Earthquake Excitation*, <http://dx.doi.org/10.4314/mejs.v9i1.5>

[10] Emily L. Guzas, Christopher J. Earls (2009), *Air blast load generation for simulating structural response*, Cornell University, Ithaca, NY, USA.

[11] Housner, G.W., (1963) *The Dynamic Behavior of Water Tanks*, Bulletin of Seismological Society of America, 53(2), pp.381-387.

[12] Martin Larcher (2007), *Simulation of the Effects of an Air Blast Wave*, European Commission, JRC Technical Reports.

[13] Suvranu De Ph.D: *Abaqus Handout*, Department of Mechanical, Aerospace and Nuclear Engineering.