

MÔ HÌNH PHÂN TÍCH ĐÁP ỨNG ĐỘNG ĐẤT CỦA BỂ CHỨA CHẤT LỎNG

ThS. NGUYỄN HOÀNG TÙNG
Trường Cao đẳng Xây dựng số 1

Tóm tắt: EC8.4 (EN1998-4)[1] là phần thứ 4 của Tiêu chuẩn châu Âu - EC8 hướng dẫn thiết kế công trình chịu động đất liên quan đến silo, bể chứa, đường ống. Đây là phần mới được phát triển vào năm 2006 chứa đựng nhiều chỉ dẫn, quy định, quy lục còn mang tính nguyên tắc chung để tham khảo, chưa phải là những chỉ dẫn cụ thể bắt buộc áp dụng. Ví dụ như phụ lục A hướng dẫn quy trình phân tích đáp ứng động đất đối với bể chứa nêu rõ việc lựa chọn quy trình, thuật toán, mô hình phân tích đáp ứng động đất phụ thuộc vào người thiết kế và phụ lục này chỉ mang tính gợi mở cho việc áp dụng. Để làm rõ hơn về việc lựa chọn mô hình phân tích của bể chứa chất lỏng, bài báo này giới thiệu một trong các mô hình phổ biến hiện nay được EC8.4 lựa chọn và gợi ý, đó là mô hình do Haroun đề xuất vào năm 1983[4].

1. Tổng quan

Bể chứa chất lỏng sử dụng phổ biến là bể trụ đứng. Dưới tác dụng của động đất, có sự tương tác rất phức tạp liên quan đến tương tác động của ba thành phần là chất lỏng, kết cấu bể chứa và liên kết bể chứa với đất nền (móng). Các mô hình tính toán đơn giản hóa sự tương tác phức tạp giữa chất lỏng và bể chứa bằng cách thay thế chất lỏng bằng các khối lượng liên kết với thành bể thông qua các lò xo. Từ đó ta có thể dự đoán được ứng xử động đất của bể chứa thông qua các giá trị đặc trưng như: lực cắt đáy, mômen lật và chiều cao lớn nhất của sóng sloshing.

Các nghiên cứu về ứng xử động đất của bể chứa chất lỏng đã có từ hơn 30 năm. Housner, 1963[2] đã đề xuất một mô hình đơn giản dạng lò xo (*mass spring model*) và mô hình này vẫn còn sử dụng rộng rãi đến ngày nay. Chất lỏng được chia thành hai phần: thành phần xung cứng (*impulsive*) sát với đáy bể, gắn cố định với thành bể coi là tuyệt đối cứng; thành phần đối lưu (*convective hay sloshing*) gắn với mặt thoáng của chất lỏng, gắn với thành bể bằng các lò xo.

Trong nghiên cứu tiếp theo, Housner đã điều chỉnh mô hình trên khi kể tới độ mềm của thành bể (hay biến dạng của thành bể) và được Veletsos và Yang, 1976 [3] phát triển.

Haroun, 1983[4] xây dựng mô hình bằng cách chia thành phần xung cứng thành hai phần, một phần liên kết gắn cứng với đáy bể và một phần còn lại tham gia vào quan hệ dịch chuyển có kể tới biến dạng thành bể cùng với thành phần đối lưu.

Tiếp theo là mô hình do Veletsos, 1984 đề xuất phát triển từ mô hình của Housner, 1963[2] chia chất lỏng thành các phần bao gồm thành phần xung cứng gắn cố định với thành bể, còn thành phần đối lưu được chia thành n phần gắn với thành bể bằng các lò xo. Mô hình này có tính đến biến dạng của thành bể.

Mô hình của Malhotra, 2000 đã làm đơn giản hóa mô hình của Veletsos, 1984. EC8.4 đã giới thiệu tất cả các mô hình trên trong phần phụ lục A. Bài báo này sẽ giới thiệu mô hình của Haroun[4] khi phân tích ứng xử động đất của bể chứa chất lỏng đặt trên cao được cách chấn đáy.

2. Mô hình kết cấu của bể chứa chất lỏng theo Haroun, 1983 [4]

Haroun, 1983 [4] đề xuất mô hình ba bậc tự do của bể chứa trụ đứng. Chất lỏng trong bể chứa được giả thiết không nén, không nhớt và không xoáy. Trong quá trình chịu kích động động đất, khối lượng tổng cộng của chất lỏng dao động chia thành ba phần riêng biệt (hình 1):

m_c - khối lượng sloshing hay đối lưu (phần nằm ngay dưới mặt thoáng, làm thay đổi bề mặt thoáng của chất lỏng);

m_i - khối lượng xung cứng (phần chất lỏng ở khoảng giữa, dao động cùng với thành bể);

m_r - khối lượng gắn cứng với đáy bể (phần dưới cùng, chuyển động như vật thể rắn cùng thành bể).

Khối lượng đối lưu m_c và khối lượng xung cứng m_i liên kết với thành bể bằng những lò xo có độ cứng tương ứng là k_c , k_i và có độ cản tương ứng là c_c , c_i .

Dịch chuyển tuyệt đối của khối lượng đối lưu, khối lượng xung cứng và trụ đỡ theo phương tác động ngang của kích động động đất lần lượt là: u_c , u_i và u_r . Trụ đỡ coi là cố định vào đất nền.

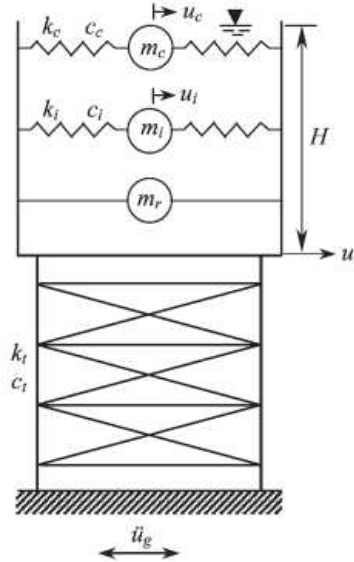
Bể chứa trên cao được cách chấn theo hai cách (hình 2):

- Cách thứ nhất: Gối cách chấn được đặt giữa đáy của trụ đỡ và móng như dạng I;

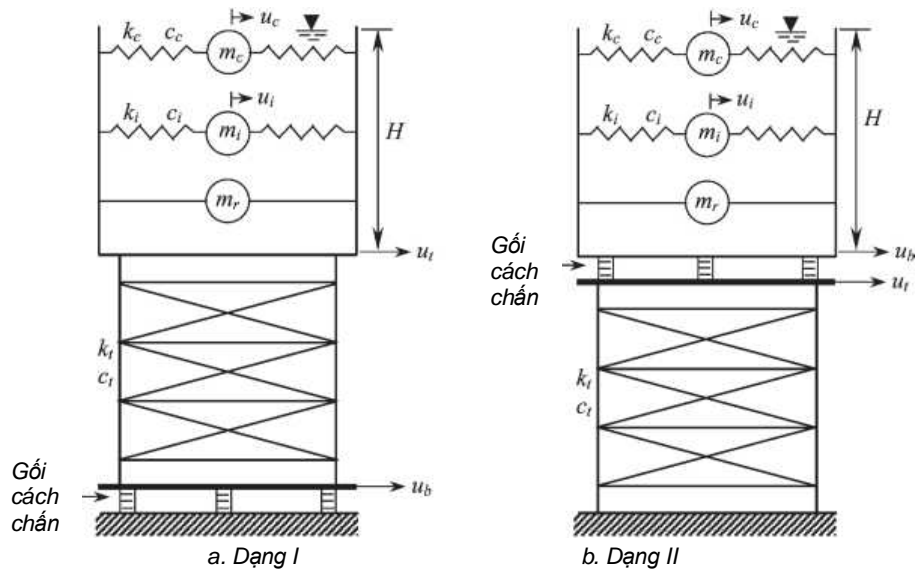
- Cách thứ hai: Gối cách chấn được đặt giữa đáy của bể chứa và đỉnh của trụ đỡ như dạng II;

Phụ thuộc vào hệ cách chấn, bể chứa có thêm một bậc tự do tương ứng với biến dạng của hệ cách chấn

được ký hiệu là u_b . Hệ cách chấn trong bài báo này đề cập là dạng gói cao su dạng tấm với các lớp xen kẽ là các tấm thép và cao su. Các tấm thép có tác dụng làm tăng độ cứng chống lại dịch chuyển ngang. Quan hệ lực - biến dạng của gói cách chấn là tuyến tính có kể tới cản nhớt. Ảnh hưởng của dịch chuyển và rung lắc không được kể tới. Trọng lượng bản thân của trụ đỡ, hệ cách chấn được giả thiết bằng 10%; 5% của khối lượng chất lỏng [5].



Hình 1. Mô hình tính toán theo đề xuất của Haroun, 1983



Hình 2. Mô hình tính toán theo đề xuất của Haroun, 1983 dưới hai dạng cách chấn đáy

Các tham số hình dạng được định nghĩa như sau:

- H - chiều cao chất lỏng;
- R - bán kính bề trụ đứng;
- t_h - chiều dày trung bình của thành bể;
- m - khối lượng của chất lỏng trong bể.

Các khối lượng hiệu dụng m_c , m_b , m_r được xác định theo khối lượng của chất lỏng m từ các tham số sau:

$$Y_c = \frac{m_c}{m}$$

$$Y_i = \frac{m_i}{m}$$

$$Y_r = \frac{m_r}{m}$$

$$m = \pi R^2 H \rho_w$$

Y_c, Y_i, Y_r - các đại lượng không thứ nguyên, là tỷ số khối lượng tương ứng với các thành phần đối lưu, xung cứng và gắn cứng;

ρ_w - trọng lượng riêng của chất lỏng.

Các tham số Y_c, Y_i, Y_r và P là các hàm số theo tỷ số hình dạng $S=H/R$ (hay còn gọi là hệ số điền đầy), lấy từ các đường cong điều chỉnh trong các biểu đồ cho trường hợp $t_f/R=0.004$ được xác định theo các biểu thức đề xuất bởi Haroun, 1983[4]:

$$Y_c = 1.01327 - 0.87578.S + 0.35708.S^2 + 0.06692.S^3 + 0.00439.S^4$$

$$Y_i = -0.15467 + 1.21716.S - 0.62839.S^2 + 0.14434.S^3 - 0.0125.S^4$$

$$Y_r = -0.01599 + 0.86356.S - 0.30941.S^2 + 0.04083.S^3$$

$$P = 0.037085 + 0.084302.S - 0.05088.S^2 + 0.012523.S^3 - 0.0012.S^4$$

hay dưới dạng ma trận:

$$\begin{Bmatrix} Y_c \\ Y_i \\ Y_r \\ P \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.01327 & -0.8757 & 0.35708 & 0.06692 & 0.00439 \\ -0.15467 & 1.21716 & -0.62839 & 0.14434 & -0.0125 \\ -0.01599 & 0.86356 & -0.30941 & 0.04083 & 0 \\ 0.037085 & 0.084302 & -0.05088 & 0.012523 & -0.0012 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ S \\ S^2 \\ S^3 \\ S^4 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Các tần số tự nhiên của khối lượng xung cứng và đối lưu cũng được xác định theo phương trình đề xuất bởi Haroun, 1983[4]:

$$\omega_i = \frac{P}{H} \sqrt{\frac{E}{\rho_s}} \quad (2)$$

$$\omega_c = \sqrt{1,84 \left(\frac{g}{R} \right) \tanh(1,84S)} \quad (3)$$

ω_c và ω_i - tần số dao động tự nhiên tương ứng của thành phần đối lưu và xung cứng;

P - tham số không thứ nguyên nhằm xác định tần số tự nhiên của khối lượng xung cứng;

ρ_s - trọng lượng riêng của thành bể;

E - mô đun đàn hồi của vật liệu thành bể;

g - gia tốc trọng trường;

1,84 là một trong năm giá trị λ đầu tiên của hàm Bessel bậc nhất loại 1: 1.8412; 5.3314; 8.5363; 11.706; 14.8631.

Độ cứng tương đương, độ cản của khối lượng đối lưu và xung cứng được xác định:

$$k_c = m_c \omega_c^2 \quad (4)$$

$$k_i = m_i \omega_i^2 \quad (5)$$

$$c_c = 2\xi_c m_c \omega_c \quad (6)$$

$$c_i = 2\xi_i m_i \omega_i \quad (7)$$

với ξ_c, ξ_i lần lượt là tỷ số cản của khối lượng đối lưu, khối lượng xung cứng tương ứng được lấy bằng các giá trị 0,5% và 2% tương ứng [5].

3. Phương trình chuyển động

Phương trình chuyển động của bể chứa chất lỏng dưới tác động của kích động động đất theo phương ngang được diễn tả theo dạng ma trận như sau:

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = -[m]\{r\}\ddot{u}_g \quad (8)$$

trong đó:

$\{x\}$ - vector dịch chuyển;

$[m]$, $[c]$ và $[k]$ lần lượt là ma trận khối lượng, độ cản và độ cứng của hệ;

$\{r\}$ - vector hệ số ảnh hưởng;

\ddot{u}_g - gia tốc nền theo phương ngang.

3.1 Trường hợp I

Khi hệ không có cách chắn đáy theo mô hình hình 1, khi đó vector dịch chuyển được xác định.

$$\{x\} = \{x_c, x_i, x_t\}^T$$

với: $x_c = u_c - u_t$ - dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;

$x_i = u_i - u_t$ - dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;

$x_t = u_t - u_g$ - dịch chuyển tương đối của trụ đỡ với đất nền.

Các ma trận được xác định như sau:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c \\ 0 & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M + m_b \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[c] = \text{diag}[c_c, c_i, c_t] \quad (10)$$

$$[k] = \text{diag}[k_c, k_i, k_t] \quad (11)$$

$$\{r\} = \{0, 0, 1\}^T \quad (12)$$

$M = m_c + m_i + m_t$ là khối lượng hiệu dụng của bể chứa;

$m_b = 0,05m$ (hay 5% khối lượng chất lỏng) là khối lượng hệ gối cách chắn đáy.

Độ cứng k_t và độ cản c_t của trụ đỡ được tính theo giả thiết hệ tương đương một bậc tự do được xác định như sau:

$$k_t = \left(\frac{2\pi}{T_t} \right)^2 (M + 0.05m) \quad (13)$$

$$c_t = 2\xi_t (M + 0.05m)\omega_t \quad (14)$$

Ở đây T_t , ξ_t lần lượt là chu kỳ và tỉ số cản của kết cấu trụ đỡ.

3.2 Trường hợp II: Khi hệ có cách chắn đáy

a. *Dạng I*: Khi cách chấn được đặt giữa đáy của trụ đỡ và móng theo mô hình (a) - hình 2.

$$\{x\}=\{x_c, x_i, x_t, x_b\}^T$$

$x_c=u_c-u_t$ là dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;

$x_t=u_t-u_i$ là dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;

$x_t=u_t-u_b$ - dịch chuyển của trụ đỡ;

$x_b=u_b-u_g$ - dịch chuyển tương đối của gối.

Các ma trận được xác định:

$$[m]=\begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c & m_c \\ 0 & m_i & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M+m_b & M+m_b \\ m_c & m_i & M+m_b & M+3m_b \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$[c]=\text{diag}[c_c, c_i, c_s, c_b] \quad (16)$$

$$[k]=\text{diag}[k_c, k_i, k_s, k_b] \quad (17)$$

$$\{r\}=\{0, 0, 0, 1\}^T \quad (18)$$

Độ cứng k_b và độ cản c_b của gối cách chấn được xác định như sau:

$$k_b = \left(\frac{2\pi}{T_b} \right)^2 (M + 0.15m) \quad (19)$$

$$c_b = 2\xi_b (M + 0.15m)\omega_b \quad (20)$$

Ở đây: T_b , ξ_b lần lượt là chu kỳ, tỉ số cản của hệ gối cách chấn;

ω_b - tần số của hệ gối cách chấn.

b. *Dạng II*: Khi cách chấn được đặt giữa đáy của bể chứa và đỉnh của trụ đỡ theo mô hình (b) - hình 2.

$$\{x\}=\{x_c, x_i, x_b, x_t\}^T$$

$x_c=u_c-u_b$ - dịch chuyển tương đối của khối lượng đối lưu;

$x_t=u_t-u_b$ - dịch chuyển tương đối của khối lượng xung cứng;

$x_b=u_b-u_t$ - dịch chuyển của trụ đỡ;

$x_t=u_t-u_g$ - dịch chuyển tương đối của gối.

Các ma trận được xác định:

$$[m]=\begin{bmatrix} m_c & 0 & m_c & m_c \\ 0 & m_i & m_i & m_i \\ m_c & m_i & M & M \\ m_c & m_i & M & M+2m_b \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$[c]=\text{diag}[c_c, c_i, c_b, c_t] \quad (22)$$

$$[k]=\text{diag}[k_c, k_i, k_b, k_t] \quad (23)$$

$$\{r\}=\{0, 0, 0, 1\}^T \quad (24)$$

Độ cứng k_b và độ cản c_b của gối cách chấn được xác định như sau:

$$k_t = \left(\frac{2\pi}{T_t} \right)^2 (M + 0.1m) \quad (25)$$

$$k_b = \left(\frac{2\pi}{T_b} \right)^2 M \quad (26)$$

$$c_t = 2\xi_t (M + 0.1m)\omega_t \quad (27)$$

$$c_b = 2\xi_b M\omega_b \quad (28)$$

4. Kết luận

Trên cơ sở phát triển các mô hình của Housner và Veletsos, mô hình do Haroun đề xuất vào năm 1983[4] đã làm giảm khối lượng tính toán các tham số trong phương trình vi phân chuyển động của bể chứa trụ đứng trên cao được cách chấn đáy chịu kích động động đất theo phương ngang. Từ công thức (2) đến (28) có thể xác định được đầy đủ các khối lượng hiệu dụng, độ cứng và độ cản của từng thành phần trong hệ bể chứa-chất lỏng-trụ đỡ, các giá trị này nằm trong các ma trận là các tham số của phương trình chuyển động. Nhiệm vụ tiếp theo trên cơ sở phương trình chuyển động (8) đã xây dựng được, giải bài toán động nhằm xác định đáp ứng động đất của bể chứa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. EC 8, part 4 (EN1998-4:2006), Silos, tanks and pipelines, *Eurocode*, 2006.
2. W.HOUSNER, The dynamic behavior of water tanks, *Bulletin of the seismological society of America*, Vol 53, 1963.
3. G.YAZICI, F.CILI, Evaluation of the liquid storage tank failures in the 1999 Kocaeli earthquake, *14th WCEE*, 2008.
4. M.HAROON, Vibration studies and test of liquid storage tanks. *Earthquake Eng Struct Dyn*, 1983.
5. M.SHRIMALI, R.JANGID, The seismic response of elevated liquid storage tanks isolated by lead-rubber bearings, *Bulletin of NZSEE*, Vol 36, 2003.