

LAI DẮT THÙNG CHÌM TRONG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH BIỂN

PGS.TS. HỒ SĨ MINH

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Sóng, dòng, tốc độ di chuyển tàu kéo sẽ làm cho thùng chìm chuyển động đứng và ngang ở các dạng nhấp nhô, quay, bồng bênh, lắc lư. Để tính toán các chuyển động đó, sử dụng phương pháp hàm Response và số liệu đo trong mô hình vật lý.

1. GIỚI THIỆU

Một giai đoạn quan trọng trong xây dựng công trình biển bằng thùng chìm trọng lực là kéo thùng từ nơi chế tạo đến vị trí công trình. Để xác định được công suất tàu kéo, góc kéo phối hợp giữa các tàu với nhau để đưa thùng vào vị trí, cần tính toán lực kéo, tốc độ di chuyển hợp lý, trong điều kiện vùng biển có sóng, dòng rất phức tạp. Nội dung trình bày dưới đây, cùng với bài “Neo giữ và đánh chìm caisson (thùng chìm) trong xây dựng công trình biển”(cùng số của tạp chí) là một phần quan trọng trong tổ chức thi công thùng chìm, mà thực tiễn ở nước ta chưa thực hiện.

2. NỘI DUNG

2.1. Chuyển động thùng chìm khi kéo, đẩy

Trong quá trình kéo, đẩy thùng chìm, có hai dạng chuyển động xảy ra: chuyển động thẳng đứng và chuyển động ngang do sóng và lực kéo, lực đẩy của các tàu dặt. Chuyển động thẳng đứng nhấp nhô, chuyển động ngang đu đưa, lắc lư theo trục ngang và nhấp nhô theo trục dọc, quay theo trục đứng. Tất cả chuyển động này là do lực tổng hợp của sóng, dòng, trọng lực và áp lực đẩy nổi thùng chìm. Phương trình vi phân dao động thùng chìm do sóng tác dụng theo hướng chuyển động của thùng chìm một góc α là:

$$a_\phi \frac{d^2\phi}{dt^2} + b_\phi \frac{d\phi}{dt} + c_\phi \phi = M(t) = M_a \cos(\omega t + \varepsilon_\phi) \quad (1)$$

Trong đó:

$M(t)$ - Moment gây chuyển động do sóng.

a_ϕ - Hệ số thủy động khối lượng phần chìm bao gồm cả phần nước bị chiếm chỗ, b_ϕ - hệ số thủy động tắt dần, c_ϕ - hệ số thủy tĩnh hồi phục.

ϕ - Đặc trưng biên độ, được xác định:

$$\phi = \phi_a e^{f(\omega t + \varepsilon_\phi)} \quad (2)$$

Trong đó: $\text{tga}_\phi = -\frac{v\mu}{1-\mu^2}$

$$f = \frac{\phi_a}{\phi_{st}} \frac{1}{\sqrt{\{(1-\mu^2)^2 + v^2\mu^2\}}} \quad (3)$$

ϕ_{st} - Góc dao động tĩnh lực,

$$\phi_{st} = M_a / c_\phi \quad v = b_\phi / \sqrt{a_\phi c_\phi}$$

μ - Hệ số cộng hưởng,

$\mu = \omega / \omega_e$, ω - Tần số sóng

$\omega_e = \sqrt{\frac{c_\phi}{a_\phi}}$ - Tần số sóng ngẫu nhiên, có thể tính

$\omega_e = \frac{\pi\sqrt{GM}}{k_{\phi\phi}}$. Đối với thùng chìm có khối hộp

$$k_{\phi\phi} = (0.45 - 0.55)B$$

ε_ϕ - đặc trưng pha .

Phương trình vi phân chuyển động quay tịnh tiến:

$$a_x \frac{d^2x}{dt^2} + b_x \frac{dx}{dt} + c_x x = F(t) \quad (4)$$

Trong đó:

$F(t)$ - Lực tác dụng theo thời gian.

a_x, b_x, c_x - Hằng số

Coi trường sóng trong tự nhiên gồm những sóng đơn hình sin có chu kỳ, pha và biên độ riêng. Trường sóng được đặc trưng bởi phổ năng lượng: $S_h(\omega)[m^2 s]$. Phổ chuyển động phụ thuộc phổ năng lượng và hằng số kích tần. $R(\omega)[m / m]$

$$S_X(\omega) = R^2(\omega) \cdot S_h(\omega) [m^2 \cdot s] \quad (5)$$

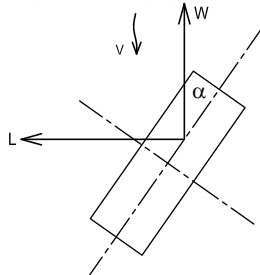
Để xác định biên độ chuyển động trong phạm vi cho phép, sử dụng phương pháp mức bảo đảm theo phân bố Rayleigh và thu thập số liệu trong mô hình vật lý:

$$P(\phi \geq \phi_a) = e^{-\frac{\phi_a^2}{m_0}} \quad (6)$$

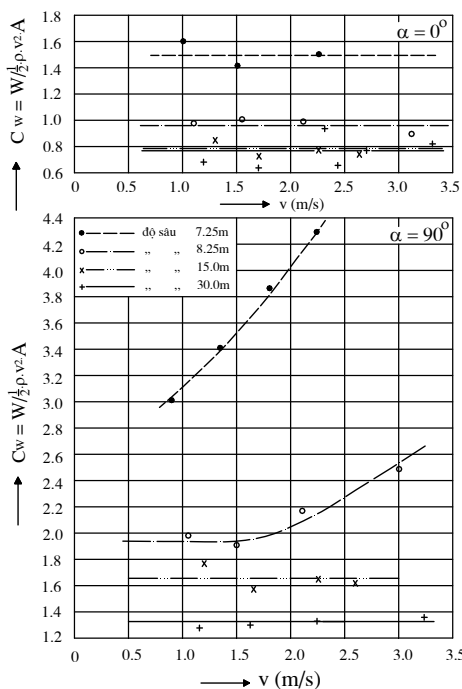
Trong đó: m_0 là phân diện tích nằm dưới đường cong phân phối S_ϕ

$$\phi_{ic} = \phi_{0.135} = 2\sqrt{m_0} \quad \text{hoặc} \quad P(\phi \geq \phi_{ic}) = 13.5\%$$

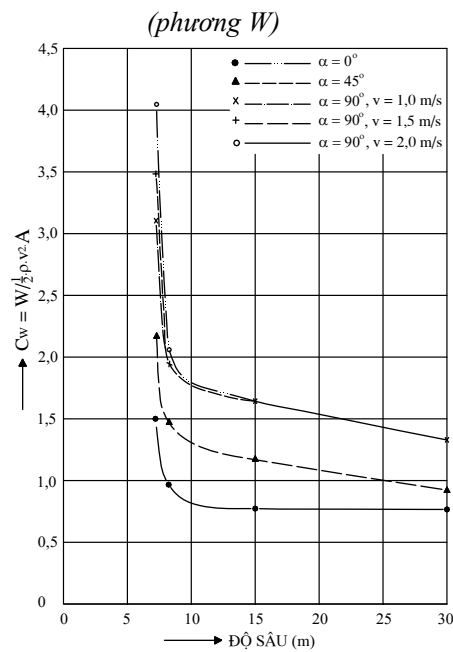
Dưới đây là một số kết quả thí nghiệm của Delft Hydraulics Laboratory về hệ số sức cản khi kéo thùng ứng với độ sâu nước, lưu tốc và góc α khác nhau, hình 1,2,3,4



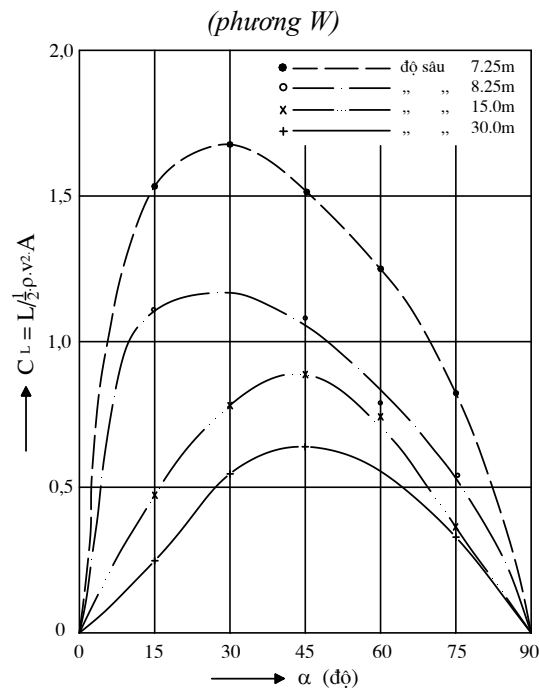
Hình 1. Kéo thùng chìm



Hình 2. Hệ số sức cản phụ thuộc lưu tốc



Hình 3. Hệ số sức cản phụ thuộc độ sâu.



Hình 4. Hệ số sức cản phụ thuộc góc kéo (phương L)

$$c_w = \frac{w}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad c_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

Trong đó:

C_w - Hệ số sức cản thùng chìm kéo ngược.

C_L - Hệ số sức cản khi thùng chìm kéo ngang

L - Lực kéo ngang thùng chìm (kN)

W - Lực kéo dọc thùng chìm (kN)

v - Lưu tốc dòng (m/s)

A - Diện tích phần chìm cân nước khi kéo (m²).

ρ - Khối lượng riêng của nước (kg/m³)

Khi kéo, ghép nối (hình 5) và neo giữ thùng chìm (hình 6), lực do gió và dòng đều phải tính thành 2 phần: lực quán tính và lực kéo:

$$F = F_1 + F_2 \quad (7)$$

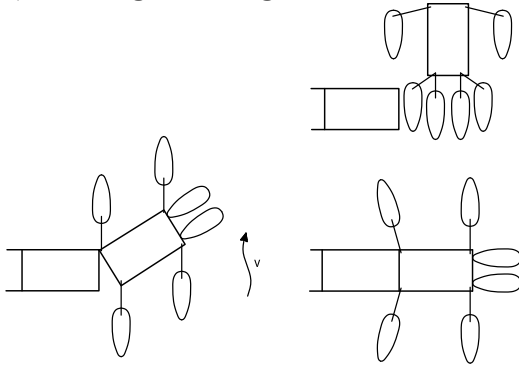
Trong đó:

$$F_1: \text{lực quán tính, } F_1 = C_m \rho V \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

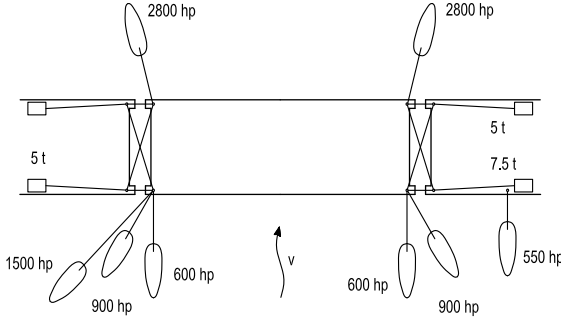
$$F_2: \text{lực kéo, } F_2 = C_d \rho A v^2 \quad (9)$$

2.2. Lực tác dụng

1) Lực do gió và dòng:



Hình 5: Kéo, ghép thùng chìm



Hình 6: Neo giữ thùng chìm cuối cùng

Trong (8) và (9):

$C_m = \frac{a}{m}$ - Hệ số quán tính, là tỷ số giữa khối lượng thùng chìm a (kg) và khối lượng nước thùng chìm chiếm chỗ m (kg).

ρ - Khối lượng riêng của nước khi tính lực do dòng, của không khí khi tính lực do gió (kg/m³).

V - Thể tích nước bị chiếm chỗ (m³).

v - Tốc độ gió hoặc lưu tốc dòng (m/s).

C_d - Hệ số cản lực, phụ thuộc độ nhám, hình

dạng thùng và số Reynolds.

A - Diện tích phần trên mặt nước (do gió) và phần dưới nước (do dòng) (m²).

$dv/dt = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s² (do gió),

$dv/dt = 0,3 \cdot 10^{-3}$ m/s² (do dòng)

2) Lực do sóng:

$$P = -\rho g z + \frac{1}{2} \rho g H \frac{\cosh[k(z+d)]}{\cosh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (10)$$

Trong đó:

z - Trục đứng tính từ mực nước M.S.L trở lên.

H - Chiều cao sóng (m)

k- số sóng, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (rad/m)

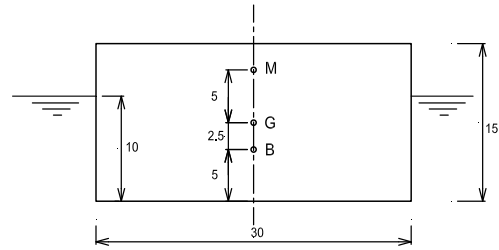
λ - chiều dài bước sóng (m)

d- chiều sâu đáy tính từ $z = -d$ (m)

x - trục ngang theo hướng truyền sóng.

Ví dụ: Tính ổn định, chuyển động, lực tác dụng lên thùng chìm (ví dụ tính như cho một tàu thùy) có các thông số sau: $m = 45 \cdot 10^6$ kg, kích thước $L \cdot b \cdot d = 150 \cdot 30 \cdot 15$ m. (hình 7)

- Tính ổn định:



Hình 7. Các thông số tính ổn định

- Chuyển động thùng chìm

Giả sử $K_{\phi\phi} = 15m$ thì $\omega_e = 0,468 [s^{-1}]$ và $T_e = 13,4s$. Nếu sóng có chu kỳ 5s thì

$\omega = 1,257$, $\mu = \frac{\omega}{\omega_e} = 2,69$. Trường hợp chỉ có

sóng hướng ngang, $\phi_{st} = kH = \frac{2\pi H}{\lambda}$.

- Tính lực: Cũng ví dụ trên, với $C_d = 1,4$ và $C_m = 1,2$, Các lực tác dụng được tính như sau:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ (rad/s),}$$

T- chu kỳ sóng (s).

Tích phân hữu hạn (10) từ $z=D$ đến $z=0$, ta có lực tác dụng lên thùng chìm do sóng:

$$F = \frac{1}{2} \rho g D^2 + \frac{1}{2} \rho g \frac{H}{k} f_k \cos(kx - \omega t) \quad (11)$$

Trong đó:

$$f_k = \frac{[\sinh(kd) - \sinh(kd - kD)]}{\cosh(kd)} \quad (12)$$

D - Mớn nước (m)

λ - Chiều dài bước sóng (m)

$$V = \frac{m}{\rho} = 45.10^3 \text{ m}^3, \quad D = \frac{V}{L.b} = 10\text{m}$$

$$I = \frac{1}{12} L.b^3 = 337.5.10^3 \text{ m}^4$$

$$BM = \frac{I}{V} = \frac{337.5.10^3}{45.10^3} = 7.5\text{m}$$

Lực do gió:

$$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 5 \cdot 150 \cdot 30 = 22.5.10^3 \text{ m}^3$$

$$dv/dt = 5.10^{-3} \text{ m/s}^2$$

$$v = 40 \text{ m/s}$$

$$A = 5 \cdot 150 = 750 \text{ m}^2$$

$$F_I = 162 \text{ N}, \quad F_{II} = 10^6 \text{ N}$$

Lực do dòng:

$$dv/dt = 0.3.10^{-3} \text{ m/s}^2$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$F_I = 16.10^3 \text{ N}$$

$$F_{II} = 4.2.10^6 \text{ N}$$

Lực do sóng:

$$D = 10 \text{ m}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$\lambda = 39 \text{ m}$$

$$d = 30 \text{ m}$$

$$F = 491.10^3 + 61.10^3 \cos(kx - \omega t) \text{ (N/m)}$$

Nếu $\phi < 15^\circ$ thì cánh tay đòn tĩnh lực là: $GZ = (5 + 3.75 \text{tg}^2 \phi) \sin \phi$ sẽ được tính cho đến tối đa $\phi = 15^\circ$

Trong vùng nước sâu: $\lambda = 1.56T^2 = 39 \text{ m}$, chiều cao sóng $H = 2.5 \text{ m}$, $\phi_{st} = 0.40 \text{ rad} = 23.1^\circ$. Khi v là nhỏ (biên độ giao động sóng ít), hệ số $f = 0.025$ và $\phi_a = 0.6^\circ$. Giả sử trọng tâm G cao hơn đáy thùng 7.5 m , tâm nổi B nằm giữa mớn nước D (cách đáy 5 m) thì $BG = 2.5 \text{ m}$ và $GM = 5 \text{ m}$

2.3. Ổn định nổi trong quá trình lai đất

Lai đất thùng chìm là công việc khó khăn trong xây dựng công trình bằng thùng chìm. Thông qua ví dụ sau đây để thấy ảnh hưởng ổn định động trong quá trình lai đất.

Ví dụ: Một thùng chìm bằng bê tông cốt thép với kích thước: rộng 9 m , cao 12.5 m , tường dày 0.5 m , khối lượng riêng bê tông 24 kN/m^3 . Thùng chìm này có các đặc trưng: (tính cho một m chiều dài)

Tâm trọng lực G cao hơn đáy (g_b) 4.80 m

Trọng lượng 396 kN

Mô men quán tính ($I = \frac{1}{12} LB^3$) 60.75 m^4

Thể tích phần chìm (V) 39.6 m^3

Mớn nước (d_r) 4.40 m

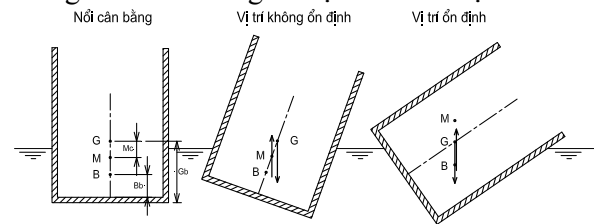
$MB = \frac{I}{V} = 1.53 \text{ m}$

Độ cao (m_b) theo chiều xuống 1.07 m

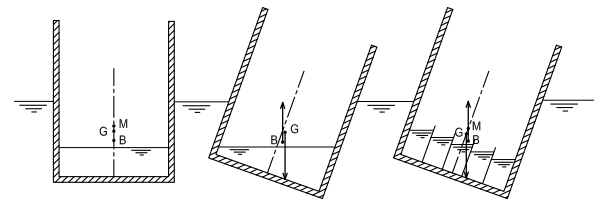
Tâm nổi B cao hơn đáy (b_b) 2.20 m

Từ đó $MB + b_b = (3.73 \text{ m}) < g_b (4.80 \text{ m})$ nên

thùng chìm sẽ không ổn định và sớm lật.



Hình 8. Sự ổn định của thùng chìm



Hình 9. Gia trọng tăng ổn định thùng chìm

Hình 8. chỉ ra vị trí lật nghiêng. Tâm nổi B của phần chìm bị chuyển sang trái tâm trọng lực G và trong chốc lát sẽ nghiêng. Để giảm bớt độ nghiêng, người ta gia trọng cát hoặc nước vào thùng (hình 9). Cũng thùng chìm trên, nếu bơm

thêm 2m nước thì các đặc trưng của nó sẽ thay đổi như sau:

Trong lượng (G) = 536 kN, *tăng thêm* 160kN
 Tâm trọng lực (g_b) = 3.85 m, *thấp xuống* 0.85 m
 Mô men quán tính (I) = 60.75 m⁴, *không đổi*
 Thể tích nước chiếm chỗ (V) = 55.6 m³, *tăng thêm* 16 m³
 Mớn nước (d_r) = 6.18 m, *tăng* 1.78 m
 Tâm nổi (b_b) = 3.09 m, *cao lên* 0.89 m
 MB = 1.09 m, *giảm* 0.44 m
 Độ cao khuynh tâm (m_b) = 0.33 m, *tăng* 1.40 m
 MB + b_b = 0.33 m > g_b và nó sẽ ổn định trở lại
 Để giảm hiện tượng chòng chành, người ta bố trí thêm tường ngăn phía trong thùng

Một số trị số lực kéo tham khảo

v (m/s)	Lực kéo F (tấn)	
	Kéo ngang dòng chảy	Kéo ngược dòng chảy
1.0	4.6 - 9.2	2.3 - 4.6
1.5	10.3 - 2.6	5.2 - 10.3
2.0	18.4 - 36.7	9.2 - 18.3

3. KẾT LUẬN:

Tính toán chuyển động thùng chìm trong quá trình kéo, đẩy đến vị trí xây dựng đòi hỏi phải nghiên cứu đầy đủ các yếu tố sóng, dòng và phương tiện lai dắt. Phương pháp tính toán trên và kết quả thí nghiệm cho ta chọn được loại tàu kéo phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trường Đại học Thủy lợi (2007). Đề tài NCKH cấp Bộ “Nghiên cứu tính toán thủy lực và công nghệ ngăn dòng công trình ở vùng triều”. Chủ nhiệm: PGS.TS. Hồ Sĩ Minh
 [2] Delft Hydraulics Laboratory (1967) *The Closure of Estuarine channels in tidal region* Experimental research ICD-10-67.
 [3] J.C Huis in't Veld and Authors (1984). *The Closure of Tidal Basins* . Delft University Press

Abstract:

TOWING OF THE CAISSONS TO THE CLOSURE GAP IN TIDAL REGIONS

The vertical and horizontal motions can be caused by waves and the forward speed of a caisson. Current induced motions are inverse speed induced motions. The speed induced motions are squat-a uniform sinking due to a drop in the level of the surrounding water as a result of the return flow. The wave induced motion are heavy- a uniform vertical motion; pitch- a rotation about the transverse axis; and roll- a rotation about the longitudinal axis.

The horizontal motions are sway-a motion along the transverse axis; and yaw- a rotation about vertical axis.

The computation of the motion can be done by using a response function method and by model tests