

Tính toán đáy buồng ụ khô theo mô hình dầm neo vào nền đàn hồi

■ TS. NGUYỄN THANH SƠN - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Ụ khô là một trong những công trình thủy công quan trọng và phổ biến trong các nhà máy đóng tàu. Các tải trong tác động và quá trình tính toán ụ khô là rất phức tạp. Việc tính toán, thiết kế ụ khô bao gồm tính toán các bộ phận gồm tường, mố, đáy buồng, đầu, nền của chúng và các công trình phụ trợ, hệ thống thiết bị đi kèm. Trong đó, việc tính toán đáy buồng ụ khô là rất khó khăn do kết cấu công trình phức tạp, các loại tải trong tác động lên đáy ụ đa dạng, có tính biến động cao, đặc biệt tải trong nguy hiểm là tải trọng đáy nổi và hiện nay còn tồn tại nhiều phương pháp tính toán khác nhau. Trong bài báo, tác giả trình bày phương pháp tính toán đáy buồng ụ khô theo mô hình dầm neo vào nền đàn hồi.

TỪ KHÓA: Ụ khô, nhà máy đóng tàu, đáy buồng, tải trong đáy nổi, neo, nền đàn hồi

ABSTRACT: Dry dock is the one of most important marine construction in shipyards. The analysis of impacting loads and the design of dry dock are very complex and difficult. The analysis and design of the dry dock components include walls, abutments, bottoms, head, base, auxiliary structures and equipments. In which, the calculation of the dry dock bottom is very complicated and difficult due to the impacting load including the dangerous floating load. This paper presents the method of calculating the dry dock bottom in the model of the beam anchored to the elastic foundation.

KEYWORDS: Dry dock, shipyard, dry dock bottom, floating load, anchor, elastic ground.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ụ khô là một công trình thủy công chịu tải trọng phức tạp. Các kết cấu xây dựng các bộ phận của ụ cần phải có độ bền cần thiết khi tiếp nhận tải trọng đứng và ngang do tàu, thiết bị nâng chuyển, đất và nước. Việc tính toán các bộ phận của ụ khô bao gồm việc xác định các kích thước hợp lý sao cho bảo đảm điều kiện khai thác bình thường, tin cậy trong những điều kiện tự nhiên xác định và với những tải trọng khai thác cụ thể. Các bộ phận của ụ khô cần phải tính toán là tường, mố, đáy buồng và đầu, nền của chúng, kết cấu tram bơm, đường dẫn trực,

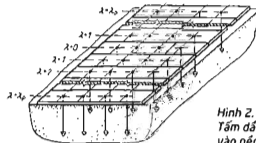
đường hầm công nghiệp, kết cấu kê bờ, hệ thống cấp thoát nước và thiết bị tiêu nước... Trong đó, kết cấu nền cần phải được tính toán theo hai trạng thái giới hạn.

Các tải trọng tác động lên đáy buồng ụ bao gồm: Tải trọng đứng do trọng lượng bản thân tường và đất tác dụng lên lưng tường, mô-men do các lực này gây ra lấy đối với giao điểm giữa biên tường mặt của tường với mặt trung hòa của bản đáy; lực ngang gây nên bản đáy và bằng tổng tất cả các lực ngang tác dụng lên buồng ụ; trọng lượng nước trong buồng ụ; trọng lượng bản thân đáy; áp lực đáy nổi; phản lực của đất nền. Trong đó, áp lực đáy nổi có thể xem là tải trọng nguy hiểm nhất đối với buồng ụ.

Ụ khô có thể đảm bảo được độ ổn định với các phương pháp phổ biến như kết cấu dạng buồng ụ trong lực, buồng ụ neo vào đất với cọc bê tông cốt thép suất trước và buồng ụ neo vào đất với các thiết bị neo (hệ thống neo mém). Trong đó, thiết bị neo là một trong những phương tiện có hiệu quả trong việc giảm trọng lượng kết cấu xây dựng, giảm giá thành và rút ngắn thời gian thi công. Phạm vi áp dụng thiết bị neo ngày càng được mở rộng với các ụ khô hiện đang được xây dựng hiện nay. Vì vậy, nhu cầu xây dựng một mô hình tính toán đáy buồng ụ nổi riêng và các bộ phận buồng ụ nói chung là rất cần thiết.

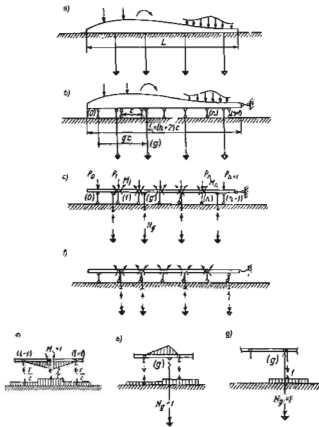
2. TÍNH TOÁN GẮN ĐUNG ĐÁY Ụ ĐƯỢC NEO VÀO NỀN ĐÀN HỒI

Cát tẩm đáy thành các dải ngang có chiều rộng b , bằng bước của các neo trong các hàng dọc (Hình 2.1). Giả sử, tất cả các dải đều nằm trong những điều kiện hoàn toàn tương tự và tương tác với nhau chỉ qua nền đất, còn tất cả các neo của một hàng dọc thể hiện tác động lên nền và đáy dưới dạng tập hợp các tải trọng bằng nhau về trị số và cách đều nhau. Chúng ta sẽ tính toán một dải khi xét tới ảnh hưởng lên nó của các dải còn lại và của các neo thuộc nó. Ta sẽ gán cho tất cả các dải số hiệu: $\lambda = 0$ đã được tính toán, còn các dải còn lại theo thứ tự, như đã trình bày trên hình: $\lambda = 1, 2, \dots, \lambda_p$, trong đó λ_p là số dải theo mỗi phía so với dải đã được tính toán, có thể ảnh hưởng thực sự tới nó.



Hình 2.1:
Tầm dầm được neo
vào nền đàn hồi

Như vậy, dải được xét là dải có độ cứng thay đổi (Hình 2.2a), tựa lên nền đàn hồi và các gối đàn hồi mềm (các neo), tương tác với nền và với nhau. Thay sự tiếp xúc liên tục của dải với nền bằng $n + 2$ gối giả định có bước là c (Hình 2.2b). Việc rời rạc hóa diện tiếp xúc ở đây đặc biệt có ý nghĩa, vì dải ngay từ đầu đã có t gối tập trung (các neo).



Hình 2.2: Dải có độ cứng thay đổi, được neo vào nền đàn hồi (a); sơ đồ tính toán của dải (b); sơ đồ tương đương (c); các phân lực gối do các ản lực đơn vị (d, e) ; sơ đồ tính toán đơn giản (f) và sự phân bố tương ứng của các phân lực gối do các lực trong neo gây ra (g)

Chúng ta tiếp nhận hệ cơ bản phù hợp với phương pháp lực (Hình 2.2c). Các lực chưa biết gồm các mô-men uốn trên n thanh "tiếp xúc" và các phản lực ở t thanh "neo" là mối quan tâm trước hết trong số tất cả các kết quả tính toán. Trong trường hợp neo có căng trước các ản lực N_j cần phải hiểu là độ chênh lệch của các nội lực căng của các dây neo so với giá trị căng trước T_j .

Biểu diễn hệ phương trình chính tắc dưới dạng ma trận [7]:

$$\begin{bmatrix} [A] & [B] \\ [B]^T & [C] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{u\} \\ \{N\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{F\} \\ \{G\} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: Dấu "" có nghĩa là toán tử chuyển trí của ma trận.

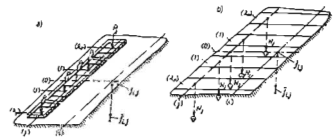
Khối $[A]$ có kích thước $n \times t$ và phần tử a_{ij} của nó là góc mở của khớp thứ i dưới tác dụng của $N_j = 1$ gây ra. Chuyển vị này chỉ liên quan tới các biến dạng đàn hồi của nền dưới tác dụng các nội lực phân bố trên mặt nền và bên trong nền $N_j = 1$ gây ra.

Phần tử a_{ij} của khối $[A]$ là chuyển vị tổng quát trên hướng lực N_j dưới tác dụng của $M_j = 1$ gây ra; nó chỉ liên quan tới biến dạng đàn hồi của nền và là tổng hợp của

chuyển vị đứng của nút liên kết với dải của dây neo g và độ lún của bản thân dây neo đó.

Khối $[B]$ là ma trận cấp t . Phần tử b_{ij} của nó là chuyển vị tổng quát trên hướng của lực N_j dưới tác dụng của $N_k = 1$. Chuyển vị này là tổng hợp chuyển vị hướng lên của nút liên kết dây neo vào dải g và độ lún của neo g do tải trọng được tạo ra trên bề mặt nền và bên trong nền bởi các lực $N_k = 1$ gây ra. Khi $g = h$ chuyển vị b_{ij} bao gồm độ dẫn dải của dây neo dưới tác dụng của lực đơn vị gây ra.

Phần tử b_{ij} của khối của các số hạng tự do $[b]$ là chuyển vị tổng quát trên hướng của lực N_j dưới tác dụng của các ngoại lực gây ra. Chuyển vị này chỉ liên quan tới các biến dạng đàn hồi của nền, vì các ngoại tải nút không gây ra ứng các đạo của dải và được truyền theo các thanh "tiếp xúc" lên bề mặt của nền. Các thành phần b_{ij} do tác dụng của nhiệt độ gây ra bằng không.



Hình 2.3: Độ lún của nền đàn hồi dưới tác dụng của các tải trọng đặt trên bề mặt (a) và dưới độ sâu gần neo (b)

Các biểu thức độ lún của trung tâm đoạn tiếp xúc thứ i của dải đang xét với nền và điểm nằm ở độ sâu thấp hơn trung tâm này, tương ứng dưới dạng sau:

$$f_i = sF_i P_i \text{ và } f_{ij} = sF_{ij} P_j \quad (2)$$

Khi $\lambda \rightarrow \infty$ chúng ta sẽ có trường hợp biến dạng phẳng của lớp đàn hồi, do đó đối với hàm $F_i = F_{ij} (\rho = |i-j|)$ đã biết và biểu thức giải tích và cả giá trị số.

Độ lún của trung tâm của đoạn thứ i theo diện tiếp xúc của dải tính toán với nền và độ lún của neo thứ i , thuộc về dải này, do tải trọng được lên nền bởi một neo đơn có số hiệu (λ) của hàng dọc thứ j , tương ứng dưới dạng sau:

$$\begin{aligned} \bar{f}_{i,j}^{(A)} &= s\bar{F}_{i,j}^{(A)} N_j \text{ và } \bar{f}_{i,j}^{(B)} = s\bar{F}_{i,j}^{(B)} N_j \\ \bar{f}_{i,j} &= s\bar{F}_{i,j} N_j \text{ và } \bar{f}_{i,j} = s\bar{F}_{i,j} N_j \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó:

$$\bar{F}_{i,j} = \bar{F}_{i,j}^{(0)} + 2 \sum_{k=1}^{\lambda} \bar{F}_{i,j}^{(k)} \text{ và } \bar{F}_{i,j} = \bar{F}_{i,j}^{(0)} + 2 \sum_{k=1}^{\lambda} \bar{F}_{i,j}^{(k)}$$

Hệ số không thứ nguyên s tất cả các công thức cần phải cùng là một. Khi xây dựng hệ phương trình chính tắc, tất cả các phần tử của nó đều được nhân với c^2/s .

Theo các giá trị tìm được từ việc giải hệ phương trình của các mô-men uốn ở gối M_1, \dots, M_n sẽ xây dựng được biểu đồ mô-men trong dải. Các nội lực trong các thanh "tiếp xúc" được tìm theo công thức sau:

$$R_i = P_i + \frac{1}{c} (M_{i-1} - 2M_i + M_{i+1}) - N_i \begin{cases} 1 \text{ khi } i = 1 \\ 0 \text{ khi } i \neq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Các lực gây kéo trong các dây neo là:

$$S_n = T_n - N_n \quad (5)$$

Trong đó: T_n - Nội lực căng trước.

Lực T_n được xem xét như các nội lực đã biết trong

các thanh "neo" ($N_k = -T_k$) khi không tồn tại các tác động ngoài. Các nội lực tương ứng với vị trí này trong dải được tìm từ việc giải hệ sau:

$$[A][m] = [\bar{X}][f] \quad (6)$$

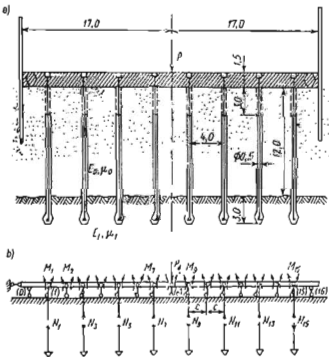
Trong đó:

$$\{f\}_{(n)} = \{ \dots T_g T_k \dots \}^T$$

Còn các ma trận $[A]$, $[\bar{A}]$ và $[m]$ cũng như trong hệ (1).

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN ĐÂY Ụ ĐƯỢC NEO TRƯỚC BẰNG CÁC NEO VÀO NỀN ĐÀN HỒI

Xét một dầm bê tông cốt thép của buống ụ (Hình 3.1), được giữ chống đỡ nổi nhờ neo ứng suất trước. Đây là lớp đất dầy 12m có các đặc trưng $E_0 = 400 \text{ kG/cm}^2$ và $\mu_0 = 0.3$. Dưới lớp đất này là lớp đất có thông số cơ lý tốt hơn ($E_1 = 5000 \text{ kG/cm}^2$ và $\mu_1 = 0.2$). Dây neo (cáp) là bó sợi, có tiết diện chung là $F_s = 9 \text{ cm}^2$, bằng thép cường độ cao ($E_s = 1.8 \cdot 10^4 \text{ kG/cm}^2$). Chiều dài của dây từ đầu căng đến khối neo $l_0 = 16.2 \text{ m}$. Khi độ dãn dài của dây cáp trượt tự do bên trong ống bảo vệ - thân bê tông có đường kính 0.5m. Nồi lực căng trước của tất cả các dây neo là như nhau và bằng 100 T. Bước của các neo trên hướng dọc buống ụ bằng 3m. Đây ụ được tính với tải trọng $P = 150 \text{ T/m}$ dài do trong lượng của tàu được đặt trong buống ụ gây ra và tính với lực căng trước của các dây neo.



Hình 3.1: Một cắt ngang dầm ụ, được neo trước bởi các neo vào nền đàn hồi (a) và sơ đồ dầm tương đương (b)

Chúng ta tính toán dải có chiều rộng $b = 3 \text{ m}$, được cắt ra từ dầm ở phần trung gian theo chiều dọc buống ụ.

Do tính đối xứng của hệ tương đương, hệ phương trình của phương pháp lực có thể được thiết lập đối với 12 ẩn là 8 mô-men uốn (M_1, \dots, M_8) trong dải trên các thanh "tiếp xúc" và 4 lực (N_1, N_2, N_3, N_0) trong các thanh "neo". Do độ cứng của dải không đổi nên:

$$i_{i,j} = \psi_{|i-j|} + \begin{cases} 4\psi & \text{khí } |i-j| = 0, \\ \psi & \text{khí } |i-j| = 1, \\ 0 & \text{khí } |i-j| \geq 2. \end{cases}$$

Hệ số không thứ nguyên của độ mềm tương đối của đoạn tính như sau:

$$\alpha = \frac{1-\mu_0^2}{\pi E_0 b} = \frac{1-0.3^2}{\pi \cdot 40000 \cdot 3} = 0,2411 \cdot 10^{-4} \text{ m/T};$$

$$\nu = \frac{1}{\alpha} \frac{e^2}{6EI} \left[1 + 1,4 \left(\frac{h}{c} \right)^2 \right] = \frac{10^2 \cdot 2^2 \cdot 12}{0,2411 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 3 \cdot 1,5^2} \left[1 + 1,4 \left(\frac{1,5}{2} \right)^2 \right] = 0,0586.$$

Việc giải hệ phương trình tương ứng với trường hợp tính toán đây ụ chịu tải trọng do trong lượng của tàu, được cho dưới đây:

Hệ phương trình dưới dạng số

17,0994	-9,5334	0,3149	0,2795	0,0654	0,0184	0,0186	0,0082	-4,492	-0,0605	-0,1586	0,0793
17,0974	-9,5827	0,3162	0,2776	0,0681	0,0129	0,0132	0,0132	-1,9104	-1,9138	-0,2881	-0,1267
17,0987	-9,5806	0,3193	0,2822	0,0759	0,0247	-0,0818	-0,4766	-0,7012	-0,2096		
17,1018	-9,5760	0,3271	0,2987	0,0827	-0,2795	-1,6224	-1,9467	-0,3683			
17,1096	-9,5598	0,3766	0,3266	-0,1386	-0,7022	-0,4356	-0,8517				
37,1591	9,3102	0,8139	0,1034	-0,3114	-2,0026	2,1873					
17,9104	0,5042	-0,0781	-0,2096	0,8317	5,8027						
8,5482	-0,0349	0,0918	-0,2369	-1,8900							
147,508	1,3582	0,3169	-0,0096								
47,477	1,3584	0,4232									
47,584	1,7672										

M_1	-35,3
M_2	-56,3
M_3	-89,1
M_4	-144,2
M_5	-255,6
M_6	-613,7
M_7	-1704
M_8	2942
N'_1	1,62
N'_2	180,2
N'_3	714,4
N'_4	2497

Kết quả giải hệ phương trình tìm được:

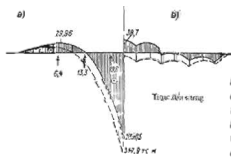
$$M_1 = -36,879; M_2 = -70,558; M_3 = -89,865;$$

$$M_4 = -68,813; M_5 = -4,543; M_6 = 148,79;$$

$$M_7 = 387,64; M_8 = 775,53; N'_1 = 775,53;$$

Trên Hình 3.2a biểu đồ mô-men uốn do tải trọng này gây ra được chỉ ra bởi đường nét liền. Tung độ của biểu đồ được tính cho một mét dài dầm, trong đó cũng chỉ ra các phần lực của các dây neo dặt vào đây, nghĩa là các lực N'_i , mà lực căng trước của dây neo dưới tác dụng của khối lượng tàu lên đây làm giảm bớt chúng. Tổng cộng các phần lực của dây neo của một hàng neo ngang chiếm vào khoảng 80.7 T, hoặc gần 18% tải trọng do khối lượng tàu phân bố lên dải đây có chiều rộng $b = 3 \text{ m}$ mà các neo này neo giữ.

Trong trường hợp bỏ qua sự làm việc của neo trong tính toán, biểu đồ mô-men uốn trong đây ụ có dạng được chỉ ra trên Hình 3.2a bằng đường nét gạch đứt.



Hình 3.2: Các biểu đồ mô-men uốn trong đây ụ do trọng lượng tàu gây ra (a) và lực căng trước của dây neo (b)

Trên Hình 3.2b đường nét liền chỉ ra biểu đồ mô-men uốn trong đáy do lực căng trước của các dây neo gây ra. Đường nét gạch chỉ ra biểu đồ mô-men uốn, tương ứng với trường hợp bỏ qua nội lực T_i trong tính toán, đất trong nền, nghĩa là biểu đồ này tương ứng với trường hợp đáy không có neo, được tính toán với tải trọng tập trung $P_1 = P_2$.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, rõ ràng là sự làm việc của các neo làm giảm trạng thái ứng suất - biến dạng của đáy \bar{u} . Cùng với việc tăng độ cứng của các dây neo, tỷ lệ tham gia của các neo vào tiếp nhận tác dụng ngoại tải tác dụng lên đáy sẽ càng lớn. Tuy nhiên, nên lưu ý rằng giới hạn thay đổi nội lực do neo truyền lên nền càng nhỏ, mức bảo đảm ổn định của nó ở trong đất càng lớn.

Qua những phân tích và ví dụ tính toán ở trên, bài báo đã trình bày phương pháp tính toán đáy buồn \bar{u} khó theo mô hình dầm neo và nền đàn hồi, là phương pháp hiện đại và hiện đang được áp dụng phổ biến đối với các \bar{u} khó trên thế giới hiện nay. Đây cũng là sự tham khảo hữu ích cho các kỹ sư, giáo viên và sinh viên của ngành xây dựng công trình thủy.

Tài liệu tham khảo

[1]. PGS. TS. Phạm Văn Thứ (2007), *Công trình thủy công trong nhà máy đóng tàu thủy và nhà máy sửa chữa tàu thủy*, NXB. GTVT.

[2]. Nguyễn Xuân Tùng (1975), *Công trình thủy công trong xưởng đóng tàu*, tập 1, Đại học Đường thủy.

[3]. N. A. Tsytoich (1987), *Cơ học đất*, NXB. Mir Moscow (NXB. Nông nghiệp Hà Nội (bản dịch của Đỗ Bằng, Nguyễn Công Mẫn; người hiệu đính: Nguyễn Công Mẫn).

[4]. [3] PIANC (2010), *The World Association of Waterborne Transport Infrastructure*, Technical Report.

[5]. Federal Highway Administration (2006), *Geotechnical Circular No. 6 - Shallow Foundation*, National Highway Institute.

[6]. N. S. V. Kameswara Rao (2011), *Foundation Design - Theory and Practice*, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.

[7]. Дубровский М.П., Яковлев П.И., Бутаев В.Т., Князев Е.А., *Морские шельфовые и речные гидротехнические сооружения*, - М.: Недра, 1995. - 245 с.

Ngày nhận bài: 10/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 22/4/2019

Người phản biện: TS. Nguyễn Hoàng