Ảnh hưởng của tải trọng sóng biển đến kết cấu công trình biển

(*) Ths. **LÊ TIẾN DŨNG**

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sóng biển đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu nhưng vì tính chất phức tạp của nó mà trong nhiều trường hợp, các tác giả đã dùng nhiều giả thiết để mô hình nghiên cứu phù hợp với điều kiện nghiên cứu cụ thể. Trong phạm vi bài báo này, tác giả đề cập đến tải trọng của sóng biển tác động tác động lên kết cấu công trình biển đảo như nhà giàn, giàn khoa, nhà nổi, tàu biển…bằng cách mô tả nó thông qua hàm sóng.

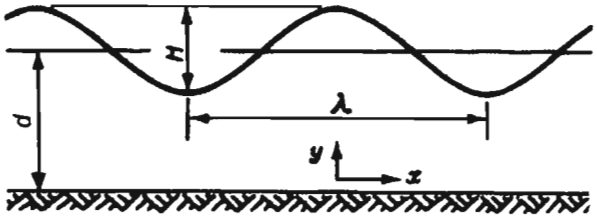
2. NỘI DUNG

2.1. Môi trường sóng biển

Nhiều lý thuyết sóng biển khác nhau đã được phát triển và ứng dụng trong các điều kiện môi trường khác nhau phụ thuộc vào các tham số cụ thể của môi trường như chiều sâu nước, chiều cao sóng và chu kỳ sóng…. Các lý thuyết sóng dùng trong thiết kế công trình biển là dựa trên ba tham số cơ bản này.

a-*Lý thuyết sóng tuyến tính Airy*

Lý thuyết sóng tuyến tính được Airy đưa ra dựa trên quan niệm biên dạng sóng là hình sin và chiều cao sóng H là bé so với chiều dài sóng L và độ sâu nước d.



Hình 1: Sóng tuyến tính

Lý thuyết sóng Airy được sử dụng để tính toán các công trình biển ở vùng nước sâu.

Nếu các trục toạ độ có phương như hình vẽ thì độ lệch của mặt sóng so với mực nước tĩnh được biểu diễn dưới dạng:

$$h_{(x,t)} = \frac{H}{2}\cos(kx - wt)$$

Thành phần vận tốc theo phương ngang và phương đứng của phần tử nước tại toạ độ (x, y) được xác định bằng các biểu thức:

$$u = \frac{pH\cos k(y+d)\cos(kx - wt)}{t\sin kd}$$

$$v = \frac{pH\sin k(y+d)\sin(kx - wt)}{T\sin kd}$$

Theo lý thuyết sóng Airy, các đại lượng này quan hệ với nhau theo biểu thức: $w^2 = gk\tan(kd)$.

Trong đó, g là gia tốc trọng trường. Vận tốc lan truyền của sóng biển được xác định như sau: $c = \frac{L}{T}$

Thành phần gia tốc của phần tử nước theo các phương tìm được bằng cách lấy đạo hàm của vận tốc theo thời gian.

b-Lý thuyết sóng Stokes

Stokes đã tiến hành nghiên cứu và chỉ giữ lại trong phương trình 3 số hạng của chuỗi phân tích theo độ dốc của sóng (H/L). Do vậy, lý thuyết này còn được gọi là lý thuyết sóng Stokes bậc 3. Do sự hội tụ của chuỗi chậm lại khi chiều sâu của nước giảm nên lý thuyết sóng Stokes chỉ được dùng khi độ sâu tương đối d/L lớn hơn 0,1. Theo lý thuyết sóng Stokes bậc 5, khi sóng có chiều cao H, số sóng k, tần số □ và lan truyền theo chiều dương của trục x thì thì độ lệch của mặt sóng so với mực nước tĩnh được biểu diễn dưới dạng:

$$h = aF_n\cos n(kx - wt)/k$$

Các thành phần vận tốc của phần tử nước chuyển động trong sóng nhận được từ biểu thức:

$$u = waG_n\frac{\cos nky\cos n(kx - wt)}{k.\sin nkh}$$

(*) Học viện Kỹ thuật Quân sự

$$v = waG_n \frac{\sin nky.\sin n(kx - wt)}{\sin nkh}$$

Trong các công thức trên, các hệ số $F_{11}, F_{22}, K, G_{11}, G_{22}, K$ là các tham số sóng Stokes, phụ thuộc vào kd.

Quan hệ giữa tần số sóng □ và số sóng k có dạng sau: $w^2 = gk(1 + a^2c_1 + a^4c_2)\tan kd$

Vận tốc lan truyền sóng:

$$c = \sqrt{g \tan gkd(1 + a^2c_1 + a^4c_2)/k}$$

Thành phần gia tốc theo các phương của phần tử nước được xác định từ vận tốc:

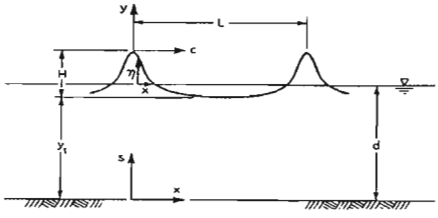
$$u = kc^2aR_n \sin n(kx - wt)/2$$

$$v = kc^2aS_n \cos n(kx - wt)/2$$

c-*Lý thuyết sóng Cnoidal*

Lý thuyết sóng Stokes chỉ được sử dụng khi thoả mãn điều kiện $d/L > 0{,}1$. Còn đối với các vùng nước có $d/L < 0{,}1$ các tham số sóng được tính theo lý thuyết sóng Cnoidal. Lý thuyết này được Corteverg và De Phriz đề xuất năm 1895 và sau đó được một số tác giả khác phát triển thêm.

Sóng Cnoidal là sóng có chu kỳ, biên dạng sóng có dạng các ngọn sóng cao, ở giữa là những khoảng lõm rộng và tương đối bằng (hình vẽ).



Hình 2: Hình dạng sóng Cnoidal

Biên dạng của sóng Cnoidal được mô tả bởi tần số □ và số sóng k:

$$h(x,t) = h_{min} + H\,cn^2(kx - wt, m)$$

Trong đó, h_{min} là độ lệch của biên dạng sóng so với mực nước tĩnh tại vị trí thấp nhất; cn là hàm elliptic Jacobi với mô đun m ($0 < m < 1$). Mô đun m quan hệ với chiều cao sóng, chiều dài sóng và độ sâu nước theo biểu thức: $mK^2 = \frac{3}{16}\frac{HL^2}{d^3}$

Trong đó, K là thông số phụ thuộc vào m.

Quan hệ của số sóng, tần số sóng với chiều dài và chu kỳ sóng:

$$k = \frac{2K}{L}; w = \frac{2K}{T}$$

Ngoài ra, tần số sóng và số sóng quan hệ với nhau theo biểu thức:

$$w^2 = ghk^2\left[1 + \frac{H}{2mh} - \frac{E}{K}\right]^2$$

Trong đó, E là thông số phụ thuộc vào m.

Đại lượng h_{min} được biểu diễn qua chiều cao sóng:

$$\frac{h_{min}}{H} = \frac{K(1-m) - E}{mK}$$

Bởi vì K và E phụ thuộc vào m nên quan hệ này thực chất chỉ phụ thuộc vào m. Chúng ta có:

$$\frac{h(x,t) - h_{min}}{H} = cn^2(q,m)$$

Trong đó, $q = kx - wt$. Hàm cn được tra bảng từ các giá trị của □ và m.

Đối với các vùng nước thích hợp với lý thuyết sóng Cnoidal, vận tốc theo phương ngang của phần tử nước được tính bằng công thức:

$$v_x = \sqrt{\frac{g}{d}}h$$

Gia tốc theo phương ngang của phần tử nước:

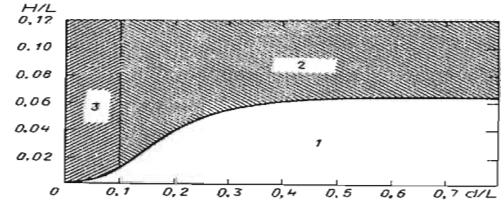
$$a_x = \pm 2kH(c - v_x)A\sqrt{g/d}$$

Trong đó, c là vận tốc lan truyền sóng: $c = \frac{w}{k}$

* *Phạm vi ứng dụng của các lý thuyết sóng*

Phạm vi ứng dụng của lý thuyết sóng được xác định dựa trên sự phù hợp của các lý thuyết trên cả hai mặt – lý thuyết tính và thực nghiệm. Nói chung, các lý thuyết sóng phụ thuộc vào ba tham số cơ bản là d, H và T. Phạm vi ứng dụng của các lý thuyết sẽ được mô tả qua hai tham số đã được chuẩn hoá H/L và d/L.

Lý thuyết sóng Airy thường được sử dụng trong tính toán sơ bộ và thậm chí với các chiều cao sóng mà khi đó kết cấu có khả năng bị phá huỷ nếu tỷ số H/L là nhỏ. Để tính toán chính xác hơn cần sử dụng lý thuyết sóng Stokes với điều kiện $L/d < 10$. Đối với sóng có chiều dài lớn hơn thì sử dụng lý thuyết sóng Cnoidal.



Hình 3: Phạm vi sử dụng của các lý thuyết sóng

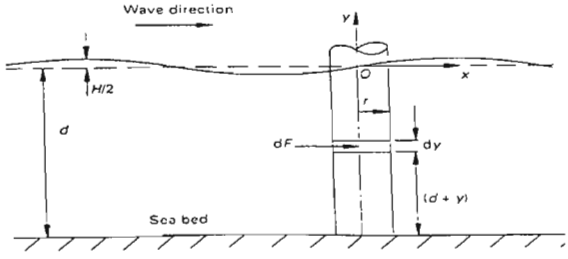
Hình trên chỉ ra phân giới phạm vi ứng dụng của các lý thuyết sóng. Vùng (1) tương ứng với lý thuyết sóng Airy, vùng (2) tương đương với lý thuyết sóng Stokes và vùng (3) tương đương với Lý thuyết sóng Cnoidal.

2.2. Tải trọng sóng biển tác dụng lên công trình biển đảo

Công trình biển nói chung đồng thời chịu các tác động của gió, dòng chảy và sóng biển. Gió gây ra tải trọng tác dụng lên phần nổi của công trình. Mặc dù có các hiện tượng giật và chảy rối gây ra các lực mạnh và không ổn định lên các phần tử của công trình nhưng nói chung hiện tượng này là không thường xuyên. Dòng chảy cũng là một thành phần tải trọng tác động lên phần công trình dưới nước. Tuy nhiên, tải trọng do sóng biển gây ra trên kết cấu là lớn nhất, vượt xa tải trọng của gió và dòng chảy. Dưới đây chúng ta sẽ nghiên cứu xác định tải trọng do sóng biển tác dụng lên công trình.

a. Tải trọng sóng biển lên thanh trụ thẳng đứng - Công thức Morison

Công thức Morison giả thiết rằng sự tồn tại của kết cấu trong môi trường không làm ảnh hưởng tới các tham số của sóng biển và tải trọng sóng biển tác dụng lên kết cấu gồm có lực quán tính và lực cản vận tốc.



Hình 4: Lực sóng tác dụng lên thanh trụ thẳng đứng

Xem xét một phân tố *dy* của thanh trụ thẳng đứng có đường kính *D* (hình vẽ). Lực *dF* tác dụng lên phân tố *dy* theo phương truyền sóng và bằng tổng của lực quán tính và lực cản vận tốc.

$$dF = C_M rp\frac{D^2}{4}dy + \frac{1}{2}C_D rD|u|udy$$

Trong đó, *dF* là lực tác dụng lên thanh, *u* là vận tốc tức thời của phần tử nước theo phương vuông góc với trục phần tử, □ là mật độ của nước, C_M và C_D là các hệ số quán tính và hệ số cản vận tốc. Lấy tích phân trên toàn bộ thanh ta được lực *F* tổng cộng tác dụng lên thanh:

$$F = C_M rp\frac{D^2}{4}udy + C_D\frac{1}{2}rD|u|udy$$

b. Tải trọng sóng biển lên thanh trụ xiên

Đối với các thanh xiên, vận tốc của phần tử nước đập vào thanh được chia làm hai thành phần: một thành phần vuông góc với trục thanh và một thành phần dọc theo trục thanh. Thành phần thứ hai không gây ra lực tác động lên thanh và bị bỏ qua.

Công thức Morison được mở rộng cho thanh xiên và viết lại dưới dạng véc tơ như sau:

$$f = C_m rp\frac{D^2}{4}u + C_D\frac{1}{2}rD|u_n|u_n$$

Trong đó, **f** là véc tơ lực phân bố vuông góc với trục thanh, $\mathbf{u}_n$ là véc tơ của thành phần vận tốc vuông góc với trục thanh của phần tử nước lên các trục toạ độ.

Ta được công thức tính lực Morison lên thanh dao động trong sóng với u^* là gia tốc sóng:

$$f = \frac{1}{4}C_M rpD^2u^* - C_A rp\frac{D^2}{4}u^* + C_D\frac{1}{2}rD|u|u - C_D\frac{1}{2}rD|u|u - C_D\frac{1}{2}rD|u^*|u^*$$

Dưới dạng vận tốc tương đối, công thức được viết lại như sau:

$$f = \frac{1}{4}C_M rpD^2u^* - C_A rp\frac{D^2}{4}u^* + C_D\frac{1}{2}rD|u-u^*|(u-u^*)$$

Giả thiết tải trọng sóng phân bố đều trên suốt chiều dài phần tử, khi đó chúng ta có tổng lực tác dụng lên kết cấu là:

$$F_{(k,n)} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ & 5 & \\ & 5 & \end{bmatrix}$$

3. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của tải trọng sóng biển đến kết cấu các công trình biển là hoàn toàn có thể thực hiện được thông qua việc xây dựng các hàm sóng. Dựa vào hệ số phụ thuộc của các thành phần tác động sóng đến kết cấu công trình thông qua hàm sóng, khi tính toán thiết kế công trình biển hay tính toán động lực học cho các kết cấu máy trên tàu biển ta có thể lượng hóa được các yếu tố này.

Tài liệu tham khảo:

1. Nguyễn Xuân Hùng. Động lực học công trình biển. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1999.

2. Dowson T.H. Offshore structural engineering. Prentice Hall, 1986.

3. Brebbia C.A., Walker S. Dynamics Analysis of Offshore structures. Butterworths, 1979.