

## TƯƠNG TÁC GIỮA SÓNG ĐIỀU HÒA VỚI VẬT THỂ CỐ ĐỊNH ĐỐI XỨNG TRỤC

NGUYỄN TIẾN ĐẠT

### §1. MỞ ĐẦU

Ở nước ta, hiện nay việc tính toán, thiết kế, xây dựng công trình biển đòi hỏi phải làm ch được việc tính toán tải trọng đối với vật thể có kích cỡ lớn hơn giới hạn sử dụng của công thức Morison quen thuộc. Đề tài cấp trung tâm khoa học tự nhiên và công nghệ quốc gia giai đoạn 1992-1996 do Phân viện Cơ học Biển chủ trì đặt ra nhiệm vụ tạo dựng phần mềm, cho phép tính toán tải trọng sóng và dòng chảy biển tác động lên công trình cố định có hình dạng và kích cỡ tùy ý. Phần mềm đó, một mặt sẽ được áp dụng để tính toán cho các công trình cụ thể, mặt khác sẽ được coi như là một công cụ nghiên cứu các bài toán thủy động lực học có liên quan mà phương pháp giải tích khó áp dụng. Đề tài được chia thành nhiều bước. Trong năm 1992-1993 bước một đã được thực hiện. Bước này nhằm giải quyết bài toán đối với lớp công trình biển rất phổ biến, đó là loại đối xứng qua trục thẳng đứng. Về vấn đề tương tác của sóng điều hòa với vật thể đối xứng theo trục thẳng đứng có thể kể đến công trình của Mac Camy và Fuchs [7]. Công trình này đã đưa ra lời giải giải tích đối với vật thể là hình trụ tròn trong nước sâu hữu hạn. Black [1] và Fenton [4] đã nghiên cứu bài toán đối với vật thể có tiết diện ngang tùy ý bằng việc sử dụng hàm Grin đối xứng trục song gặp phải hàm Grin khá phức tạp, gây khó khăn cho việc xử lý các điểm kỳ dị. Các tác giả Kiyokawa và Ohyama [6] đã đưa ra phương pháp phần tử biên lai (PPPTBL) để nghiên cứu bài toán như của Black, Fenton còn Chau và Yuen [3] nghiên cứu đối với hình dạng vật thể là bất kỳ (không cần đối xứng trục) cũng bằng phương pháp này. Lợi thế của PPPTBL là đơn giản hóa được biểu thức tính toán trong phương trình tích phân biên, xác định được sự phân bố biên độ sóng xung quanh vật thể, tuy khối lượng tính toán lớn hơn.

Thuật toán của Chau và Yuen khá phức tạp và chắc rằng chương trình tính rất cồng kềnh. Ở đây sử dụng PPPTBL như trong [6], tác giả xây dựng phần mềm cho các công trình loại đối xứng theo trục thẳng đứng. Theo sự hiểu biết của tác giả, ở Việt Nam, vấn đề tương tác của sóng với vật thể có kích cỡ lớn được đặt ra nghiên cứu lần đầu tiên và đang là đòi hỏi thực sự của việc xây dựng công trình biển.

Bài báo này giới thiệu phần mềm xây dựng được, các tính toán so sánh với một số kết quả đã biết, các nhận xét về sử dụng công thức Morison và gợi ý cho bài toán truyền sóng qua bãi đá ngầm.

### §2. BÀI TOÁN BIÊN

Để nghiên cứu sự tương tác của sóng điều hòa tuyến tính biên độ  $A_0$ , tần số  $\sigma$  với vật thể đối xứng theo trục thẳng đứng trong nước có độ sâu không đổi  $H$ , ta xét bài toán trong hai hệ tọa độ cố định sau:

- Hệ tọa độ đề các vuông góc  $Oxyz$ , trong đó mặt phẳng  $z = 0$  trùng với mặt nước khi yên tĩnh, trục  $Oz$  hướng thẳng đứng lên trên và là trục đối xứng của vật thể, trục  $Ox$  trùng với hướng truyền sóng.

- Hệ tọa độ trụ  $(r, \theta, z)$  có mặt phẳng  $z = 0$  và trục  $Oz$  như hệ tọa độ nêu trên, trục  $Ox$  ứng với  $\theta = 0$ .

Giả thiết rằng chất lỏng là không nhớt, không nén được và chuyển động của chất lỏng là có thể. Có thể biểu diễn thế vận tốc của chất lỏng dưới dạng.

$$\phi(r, \theta, z, t) = (\varphi_0(r, \theta, z) + \varphi(r, \theta, z))e^{-i\sigma t} \quad (2.1)$$

ở đây  $\varphi_0(r, \theta, z)$  - thế vận tốc của sóng tới, xem như được cho trước:

$$\varphi_0(r, \theta, z) = \frac{igA_0 \operatorname{ch} K(z+H)}{\sigma \operatorname{ch} KH} e^{iKr \cos \theta} \quad (2.2)$$

$g$  - gia tốc trọng trường;  $K$  - số sóng,

$K \cdot \text{th} KH = \sigma^2/g = \nu$ ,  $t$  - biến thời gian

$\varphi(r, \theta, z)$  - thế vận tốc của sóng nhiễu xạ, thỏa mãn phương trình Laplace trong miền chất lỏng

$$\Delta \varphi(r, \theta, z) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.3)$$

và các điều kiện biên:

- Trên mặt thoáng  $S_F$ : khi  $z = 0$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} - \nu \varphi = 0 \quad (2.4)$$

- Trên đáy biển  $S_b$ :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=-H} = 0 \quad (2.5)$$

- Trên bề mặt thấm ướt của vật thể  $S_V$ :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = -\frac{\partial \varphi_0}{\partial n} = -\left( n_r \frac{\partial \varphi_0}{\partial r} + n_z \frac{\partial \varphi_0}{\partial z} \right) \quad (2.6)$$

ở đây  $\vec{n}(n_r, n_z)$  - véc tơ đơn vị pháp tuyến của  $S_V$ .

- Điều kiện phóng xạ ở vô cùng (điều kiện đảm bảo tính duy nhất nghiệm)

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial \varphi}{\partial r} - iK\varphi \right) = 0 \quad (2.7)$$

Giải (2.3) với các điều kiện biên (2.4)-(2.7), thu được hàm thế vận tốc nhiễu xạ  $\varphi(r, \theta, z)$ . Thay vào (2.1) và sử dụng phương trình Bernoulli, tìm được áp suất thủy động  $p$  của chất lỏng tác động lên bề mặt  $S_V$ . Từ đó xác định được các tải trọng  $F_x$ ,  $F_z$  và mô men lật  $M_y$  như sau:

$$p(r, \theta, z, t) = -\rho \frac{\partial \phi(r, \theta, z, t)}{\partial t} \quad (2.8)$$

ở đây  $\rho$  - mật độ của chất lỏng.

$$\begin{aligned} \vec{F}(t) &= \iint_{S_V} p(r, \theta, z, t) \vec{n} dS \\ \vec{M}(t) &= \iint_{S_V} p(r, \theta, z, t) (\vec{R} \times \vec{n}) dS \end{aligned} \quad (2.9)$$

$R$  - khoảng cách từ tâm lạt đến vị trí của điểm đang xét trên  $S_V$ .  
 Theo [8] có thể khai triển hàm  $e^{iKr \cos \theta}$  dưới dạng:

$$e^{iKr \cos \theta} = \sum_{m=0}^{\infty} \varepsilon_m i^m J_m(Kr) \cos m\theta \quad (2.10)$$

với  $\varepsilon_m = 1$  nếu  $m = 0$ ;  $\varepsilon_m = 2$  nếu  $m \neq 0$   
 $J_m(Kr)$  - hàm Bessel loại 1 cấp  $m$ . Khi đó

$$\varphi_0(r, \theta, z) = \sum_{m=0}^{\infty} \psi_0^{(m)}(r, z) \cos m\theta \quad (2.11)$$

và (2.6) được viết là:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_m(r, z) \cos m\theta \quad (2.12)$$

### §3. GIẢI BÀI TOÁN BIÊN

Theo [6], ta chia miền chất lỏng thành 2 vùng: vùng trong và vùng ngoài được ngăn cách bởi một biên ảo là hình trụ tròn thẳng đứng có bán kính  $a$  đồng trục với vật thể sao cho vật thể nằm trọn trong vùng trong.

a) Nghiệm đối với vùng ngoài [6]:

Do vật thể đối xứng theo trục  $Oz$  và hướng của sóng tới trùng với trục  $Ox$  nên hàm  $\varphi(r, \theta, z)$  được biểu diễn đối với vùng ngoài và vùng trong dưới dạng chuỗi Fourier chỉ theo cosin của biến  $\theta$

$$\varphi(r, \theta, z) = \sum_{m=0}^{\infty} \psi^{(m)}(r, z) \cos m\theta \quad (3.1)$$

Hàm  $\psi^{(m)}(r, z)$  được tìm dưới dạng tách biến theo  $r$  và  $z$  Sau một số tính toán, ta có :

$$\varphi(r, \theta, z) = \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} q_n Z_n(z) F_n^{(m)}(r) \int_{-H}^0 \psi^{(m)}(a, \zeta) Z_n(\zeta) d\zeta \right\} \cos m\theta \quad (3.2)$$

ở đây

$$q_0 = \frac{2K^2}{H(K^2 - \nu^2) + \nu}; \quad q_n = \frac{2K_n^2}{H(K_n^2 + \nu^2) - \nu}$$

$$Z_0(z) = \frac{\operatorname{ch} K(z+H)}{\operatorname{ch} KH}; \quad Z_n(z) = \frac{\cos K_n(z+H)}{\cos K_n H}$$

$$F_0^{(m)}(r) = \frac{H_m^{(1)}(Kr)}{H_m^{(1)}(Ka)}; \quad F_n^{(m)}(r) = \frac{K_m(K_n r)}{K_m(K_n a)}$$

$K_1, K_2, \dots$  - nghiệm của phương trình  $K_n \operatorname{tg} K_n H = -\nu$

$K_m(K_n u), H_m^{(1)}(K u)$  là hàm Macdonan, Hanken loại 1 cấp  $m$ .

b) Nghiệm đối với vùng trong [6]:

Vùng trong là vùng không gian  $\Omega$  3 chiều bị giới hạn bởi mặt  $S$  (gồm mặt thoáng  $S_F$ , biên ảo  $S_I$ , mặt đáy  $S_b$  và mặt vật thể  $S_V$ ) khi đó giá trị của hàm  $\varphi(r, \theta, z)$  tại điểm  $P \in S$  có thể biểu

điễn qua giá trị và đạo hàm của  $\varphi(r, \theta, z)$  trên toàn biên  $S$  cùng với hàm cơ sở  $1/R$  của (2.3) bởi công thức Grin sau:

$$\varphi(r, \theta, z) = \frac{1}{2\pi} \iint_S \frac{1}{R} \frac{\partial \varphi}{\partial n} - \varphi \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{1}{R} \right) dS \quad (3.3)$$

ở đây  $R$  - khoảng cách từ điểm  $P$  tới điểm bất kỳ trên biên  $S$   
 $n$  - véc tơ đơn vị pháp tuyến ngoài của  $S$

Vì các hàm  $\psi^{(m)}(r, z)$ ,  $\alpha_m(r, z)$  không phụ thuộc vào biến  $\theta$  nên có thể chia  $S$  thành một số hữu hạn mặt phân tố vành khăn mà trên mỗi mặt phân tố đó, các hàm  $\psi^{(m)}(r, z)$ ,  $\alpha_m(r, z)$  và đại lượng  $r, z$  được coi là không đổi và nhận giá trị tại đường tròn trung tâm. Các mặt phân tố được đánh số như sau; Từ 1 đến  $N_1$  trên  $S_V$ , từ  $N_1 + 1$  đến  $N_2$  trên  $S_F$ , từ  $N_2 + 1$  đến  $N_3$  trên  $S_b$ , từ  $N_3 + 1$  đến  $N$  trên  $S_I$ . Khi đó với mỗi điểm  $P(r_I, \theta_i, z_I)$ ,  $\theta_i = \overline{0, 2\pi}$  nằm trên mặt phân tố thứ  $I$  ( $I = \overline{1, N}$ ) có thể viết như sau:

$$\begin{aligned} 2\pi \sum_{m=0}^{\infty} \psi^{(m)}(I) \cos m\theta_i &= \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ \sum_{J=1}^{N_1} \alpha_m(I) \iint_{S(J)} \frac{1}{R} \cos m\theta_j dS - \right. \\ &- \sum_{J=N_1+1}^{N_2} \nu \psi^{(m)}(J) \iint_{S(J)} \frac{1}{R} \cos m\theta_j dS - \sum_{J=N_1+1}^{N_2} \psi^{(m)}(J) \iint_{S(J)} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{R} \right) \cos m\theta_j dS + \\ &+ \sum_{J=N_2+1}^{N_3} \psi^{(m)}(J) \iint_{S(J)} \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{R} \right) \cos m\theta_j dS + \\ &+ \sum_{J=N_3+1}^N \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} C_n^{(m)} q_n Z_n(z_J) \sum_{L=N_3+1}^N \psi^{(m)}(L) \bar{Z}_n(z_L) \Delta C_L \right\} \iint_{S(J)} \frac{1}{R} \cos m\theta_j dS - \\ &- \sum_{J=N_3+1}^N \psi^{(m)}(J) \iint_{S(J)} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{R} \right) \cos m\theta_j dS \left. \right\} \quad (3.4) \end{aligned}$$

ở đây  $S(J)$ ,  $J = \overline{1, N}$  mặt phân tố thứ  $J$

$\theta_j$  - tọa độ của điểm bất kỳ trên  $S(J)$  theo biến  $\theta$  nên  $\theta_j = \overline{0, 2\pi}$  Trong tự  $\theta_i = \overline{0, 2\pi}$

$$\bar{Z}_n(z_L) = \frac{1}{\Delta C_L} \int_{z_L - \frac{\Delta C_L}{2}}^{z_L + \frac{\Delta C_L}{2}} Z_n(z) dz$$

$\Delta C_L$  - độ rộng của mặt phân tố thứ  $L$  ( $L = \overline{1, N}$ )

$$C_0^{(m)} = K \cdot \frac{H_m^{(1)'}(Ka)}{H_m^{(1)}(Ka)}; \quad C_n^{(m)} = K_n \frac{K_m'(K_n a)}{K_m(K_n a)}; \quad n = 1, 2, \dots$$

$$R = [a_{IJ} - b_{IJ} \cos(\theta_i - \theta_j)]^{1/2}, \quad a_{IJ} = r_I^2 + r_J^2 + (z_I - z_J)^2; \quad b_{IJ} = 2r_I r_J$$

$\alpha_m(I)$  được biết từ (2.12), (2.10) và (2.6)

Tính các biểu thức tích phân trong (3.4), cho  $I$  chạy từ 1 tới  $N$  và sắp xếp lại tương ứng với  $\cos m\theta_i$ , thu được hệ phương trình đại số tuyến tính để xác định  $\psi^{(m)}(J)$ ,  $J = \overline{1, N}$  như sau:

$$[A^{(m)}] \{ \psi^{(m)} \} = \{ B^{(m)} \} \quad (3.1)$$

ở đây  $[A^{(m)}(I, J)]_{N \times N}$ ;  $\{B^{(m)}(J)\}_{N \times 1}$  là các đại lượng đã biết.

Giải (3.5), tìm được giá trị phức  $\psi^{(m)}(I)$ ,  $I = \overline{1, N}$  ứng với mỗi  $m = 0, 1, \dots$  đem thay vào (2.1) ta tìm được thế vận tốc của chất lỏng.

#### §4. XÁC ĐỊNH TẢI TRỌNG SÓNG LÊN VẬT THỂ

Từ (2.8), (2.9) và với chú ý:

$$n_x = n_r \cos \theta; \quad (z - z_0)n_x - xn_z = [(z - z_0)n_r - rn_z] \cos \theta \quad (4.1)$$

đồng thời các hàm  $\cos m\theta$ ,  $m = 0, 1, \dots$  trực giao với nhau trong  $[0, 2\pi]$  nên:

$$F_x(t) = f_x e^{-i\sigma t}; \quad F_z(t) = f_z e^{-i\sigma t}; \quad M_y(t) = m_y e^{-i\sigma t}$$

với

$$f_x = \pi \rho \sigma \sum_{L=1}^{N_1} r_L n_r(L) (\psi_0^{(1)}(L) + \psi^{(1)}(L)) \Delta C_L \quad (4.2)$$

$$f_z = 2\pi \rho \sigma \sum_{L=1}^{N_1} r_L n_z(L) (\psi_0^{(0)}(L) + \psi^{(0)}(L)) \Delta C_L \quad (4.3)$$

$$m_y = \pi \rho \sigma \sum_{L=1}^{N_1} r_L [(z_L - z_0)n_r(L) - r_L n_z(L)] (\psi_0^{(1)}(L) + \psi^{(1)}(L)) \Delta C_L \quad (4.4)$$

trong đó:  $z_0$  - tọa độ tâm lật.

$\psi_0^{(1)}(L)$ ,  $\psi_0^{(0)}(L)$ ,  $L = \overline{1, N_1}$  được xác định bởi (2.11)

$\psi^{(0)}(L)$ ,  $\psi^{(1)}(L)$ ,  $L = \overline{1, N_1}$  được xác định bởi (3.5)

Nếu cần biết phân bố biên độ sóng trên mặt thoáng xung quanh vật thể thì:

$$\begin{aligned} \eta(r_I, \theta) &= -\frac{1}{g} \frac{\partial \phi(r_I, \theta, 0, t)}{\partial t} = \\ &= \frac{i\sigma}{g} \sum_{m=0}^{\infty} \{ \psi_0^{(m)}(r_I, 0) + \psi^{(m)}(r_I, 0) \} \cos m\theta \end{aligned} \quad (4.5)$$

ở đây  $I = \overline{N_1 + 1, N_2}$ ;  $\theta \in [0, 2\pi]$

#### §5. BỘ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH

Đã xây dựng một bộ chương trình tính toán bằng ngôn ngữ FORTRAN IV trên máy PC theo thuật toán trên với khoảng hơn 1000 dòng lệnh bao gồm 1 chương trình chính và 22 chương trình con. Số liệu đưa vào là các thông số sóng: biên độ, bước sóng, độ sâu đáy biển và hình dạng vật thể. Các kết quả đưa ra là các tải trọng  $F_x$ ,  $F_z$  và mô men  $M_y$ ; đồng thời cho biết cả bức tranh biên độ sóng mặt ở gần vật thể. Bộ chương trình tuy lớn song thời gian tính toán không

nhieu. Khi  $N = 22$ , thời gian tính cho mỗi phương án sóng để xác định tải trọng là  $\approx 2$  phút, còn nếu biết phân bố biên độ sóng trên mặt thoáng ở gần vật thể thì thời gian tính  $\approx 4,5$  phút (trên máy AT/386). Đã tính toán cho các trường hợp khi vật thể có hình dạng tiết diện ngang tùy ý, đối xứng theo trục thẳng đứng gần từ đáy lên đến mặt thoáng hoặc nổi trên mặt nước hoặc chìm trong nước... cho kết quả phù hợp tốt với các kết quả đã biết. Sự khó khăn cơ bản trong thuật toán trên là việc tính các tích phân trong (3.5) tại các điểm kỳ dị khi  $R = 0$  (khi  $I = J$ ,  $\theta_i = \theta_j$ ).

## §6. CÁC KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

a) Đã tính toán, so sánh với lời giải giải tích của bài toán tương tác của sóng điều hòa tuyến tính với hình trụ tròn thẳng đứng, thu nhận được bởi Mac Camy và Fuchs [7] theo phương pháp giải tích với  $H = 30$  (m), đường kính hình trụ  $D = 88$  (m), sóng tuyến tính Airy có biên độ  $A_0 = 4,00$  (m), bước sóng  $L$  thay đổi từ  $1,2D$  đến  $2D$ . Kết quả so sánh cho sự trùng hợp rất tốt và có thể đưa ra các nhận xét sau:

- Khi lấy  $n = 5$ ,  $n = 7$ ,  $n = 10$ ; kết quả chỉ sai khác dưới 1%. Vì vậy chỉ cần lấy đến  $n = 5$  là đủ.

- Bán kính biên ảo được lấy bằng 1,2; 1,5; 2 lần bán kính hình trụ  $D/2$  không làm ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Điều này có thể lý giải được vì tiết diện ngang của vật thể là không thay đổi.

- Nếu chọn  $\max_{I=1,N} \left( \frac{\Delta C_I}{L} \right) \leq 0,07$  thì sai số giữa nghiệm số và nghiệm giải tích chỉ  $\leq 2,3\%$ .

Vì vậy cần lấy  $\max_{I=1,N} (\Delta C_I) \leq 0,07L$  ( $I = \overline{1,N}$ ) để kết quả đủ chính xác.

b) Đã tính toán cho trường hợp chưa có lời giải tích là vật thể dạng hai hình trụ tròn đồng trục, có chiều cao bằng nhau và bằng 1/2 độ sâu của nước, đặt chồng lên nhau. Kết quả tính toán và so sánh với các kết quả của Chau và Yuen [3] (hình 1) cho thấy sự trùng hợp tốt. Đường số 1 và 2 tương ứng là kết quả ứng với  $D_2/D_1 = 0,5$ ;  $D_2/D_1 = 0,75$  ( $D_1, D_2$  là đường kính hình trụ dưới và trên). Ở đây bán kính biên ảo được lấy là  $0,6D_1$ , số phân tử vành khăn  $N = 22$  ( $N_1 = 7$ ;  $N_2 = 12$ ;  $N_3 = 16$ );  $A_0$  - biên độ sóng;  $R = D_1/2$ ;  $\rho$  - mật độ khối lượng nước;  $z_0 = -H$ .

c) Biết rằng khi  $D < 0,2L$  (có tài liệu ghi  $D < 0,1L$ ) thì tải trọng sóng (Airy hoặc Stokes cấp 2, 3, 4, 5) tác động lên hình trụ tròn thẳng đứng (sau mở rộng cho hình trụ nghiêng hoặc có tiết diện ngang bất kỳ) có thể được xác định bằng công thức gần đúng Morison [2]:

$$F_X = \int_{-H}^0 \left[ C_M \left( \rho \frac{\pi}{4} \right) D^2 \dot{u} + \frac{1}{2} C_D \rho D \cdot u |u| \right] dl$$

Mô men quán tính  $M_y$  cũng có biểu thức tương tự.

ở đây  $C_M, C_D$  - hệ số quán tính và hệ số cản. Do vậy  $F_X, M_y$  thường cũng được tính làm 2 phần: phần do lực quán tính và phần do lực cản.

$D$  - đường kính hình trụ

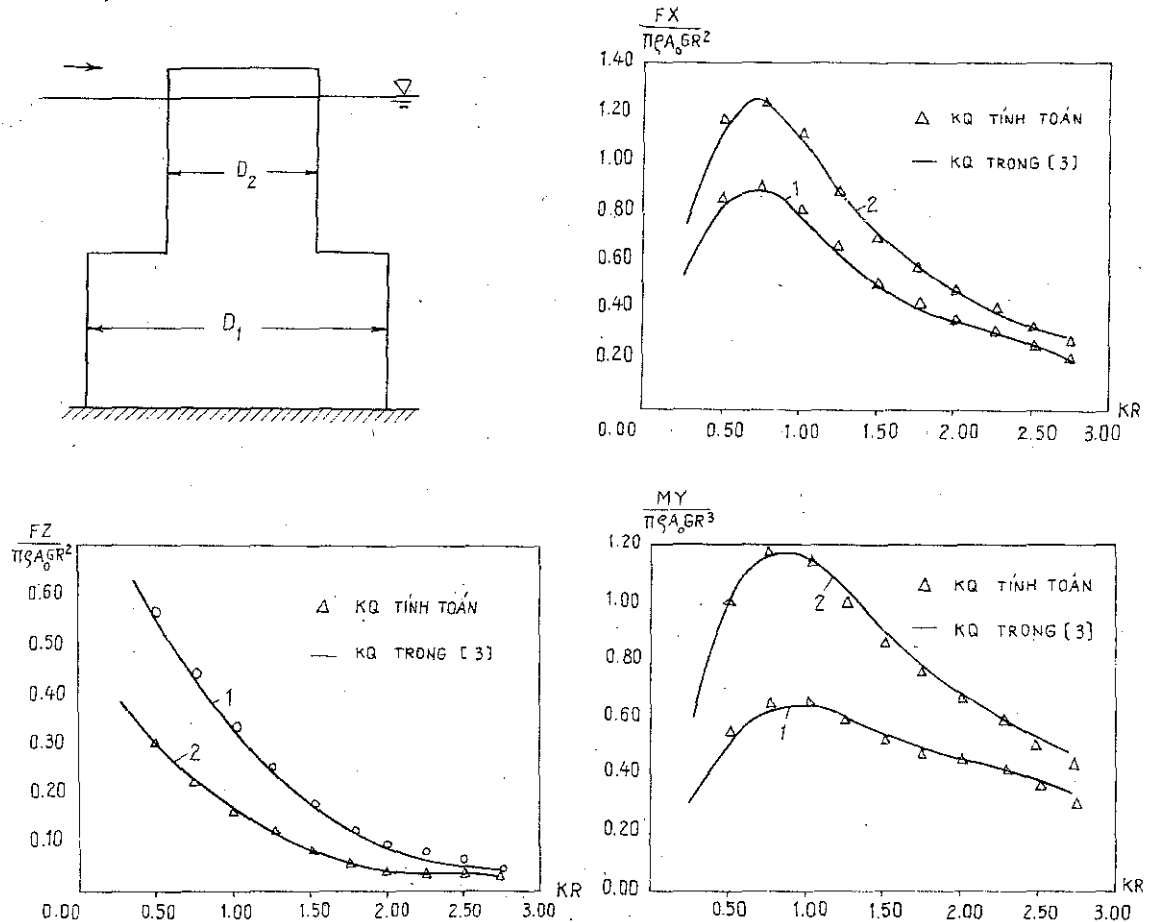
$u, \dot{u}$  - vận tốc, gia tốc của chất lỏng tại vị trí  $(0, 0, l)$  theo trục  $Ox$ ,  $l \in [0, -H]$

$C_D$  - được lấy trong khoảng  $(0,6 \div 1,0)$  và  $C_M$  được lấy trong khoảng  $(1,5 \div 2,0)$

Thông thường để đảm bảo an toàn cao người ta thường lấy  $C_D = 1,0$ ;  $C_M = 2,0$ .

Như một thử nghiệm của chương trình tính toán cho trường hợp vật thể là hình trụ tròn thẳng đứng có kích cỡ nhỏ so với bước sóng. Các tính toán đã được thực hiện đối với sóng Airy có biên độ  $A_0 = 3,45$  (m), bước sóng  $L = 115$  (m), độ sâu của nước  $H = 46$  (m);  $z_0 = -H$ , còn đường kính hình trụ thay đổi từ  $0,01L$  đến  $0,4L$ .

Kết quả tính bằng PPPTBL và công thức Morison được chỉ ra trên bảng 1 với  $\overline{F_X} = f_x / (2\rho g D A_0 H)$ ;  $\overline{M_Y} = m_y / (2\rho g (\frac{\pi}{4} D^2) A_0 H)$  là các đại lượng không thứ nguyên.



Hình 1. Hai hình trụ tròn đồng trục, bán kính khác nhau (a-step cylinder)

Kết quả trên bảng 1 cho thấy:

- Việc chọn  $C_D = 0,6$  hay  $C_D = 1,0$  không gây ảnh hưởng lớn (sai khác  $\leq 6\%$ ) đến kết quả tính toán bằng công thức Morison. Điều đó có nghĩa là: Với sóng tuyến tính Airy, thành phần lực cản là nhỏ so với thành phần lực quán tính. Trong trường hợp khi sóng là phi tuyến thì nhận định trên chưa chắc đúng.

- Khi  $D < 0,2L$  thì sự sai khác giữa lý thuyết nhiễu xạ và công thức Morison chỉ  $\leq 5\%$ . Như vậy, nếu sóng là tuyến tính Airy, vật thể là hình trụ tròn thẳng đứng thì cần lấy  $C_M = 2,0$

- Khi  $D \geq 0,2L$  thì sự sai khác khá lớn. Sự sai khác càng lớn khi  $D$  càng tăng và kết quả tính theo công thức Morison lớn hơn kết quả tính theo lý thuyết nhiễu xạ.

d) Đã tính toán cho trường hợp vật thể là bể chứa dầu hoặc hình trụ tròn nổi trên mặt nước. Kết quả tính toán được so sánh với các kết quả trong [6, 5] cho sự trùng hợp tốt. Biên độ sóng mặt xung quanh bể chứa dầu được so sánh với [6] cũng cho thấy sự trùng hợp tốt.

e) Trên hình 2 và 3 biểu diễn phân bố biên độ sóng mặt (so với biên độ sóng tới) gần hình trụ tròn thẳng đứng có chiều cao  $\geq$  độ sâu của nước và bằng  $7/8$  độ sâu của nước ở đây  $D = 40(m)$ ;  $L = 63(m)$ ;  $H = 40(m)$ ,  $m$  lấy bằng 5 trong (4.5). Kết quả cho thấy:

+ Khi hình trụ có chiều cao  $\geq$  độ sâu của nước thì biên độ sóng mặt bằng 1, 2 ÷ 1, 4 tại mặt trụ gặp sóng và bằng 0, 6 ÷ 0, 8 tại phía sau mặt trụ. Các kết quả này có thể thấy nhận được một cách định tính tốt.

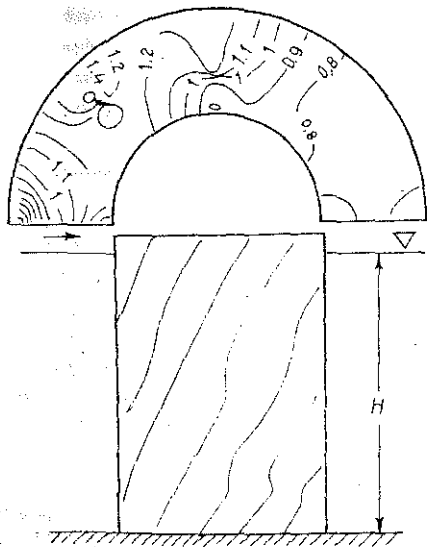
+ Khi hình trụ nằm cách mặt nước  $1/8$  chiều sâu  $H$  thì biên độ sóng mặt bằng 1,2 khi tràn tới mặt trụ và tăng lên đến  $1,8 \div 2$  khi tràn qua mặt trụ. Trong vùng phía trên mặt trụ thì  $\approx 1,0$ .

+ Trong trường hợp khi trụ cách mặt nước  $1/2$  chiều sâu  $H$  thì phân bố biên độ sóng mặt hầu như không thay đổi, xấp xỉ bằng 1.

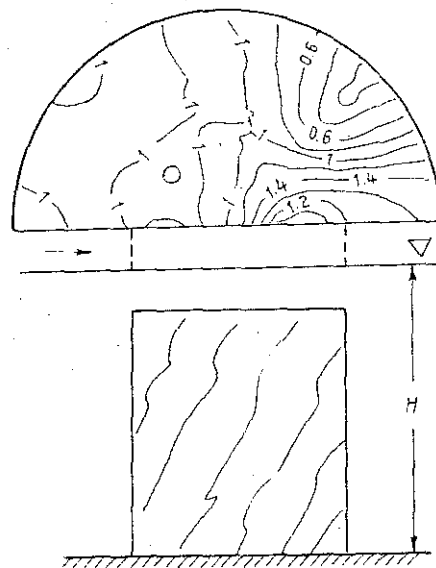
Những kết quả này có thể đưa ra gợi ý nào đó cho bài toán truyền sóng qua bãi ngầm và cho phép sử dụng phần mềm tạo dựng được như một công cụ nghiên cứu đáng kể.

Bảng 1. So sánh với công thức Morison

| $\frac{D}{L}$ | lý thuyết nhiễu xạ     |                        | Công thức Morison      |                        |                        |                        |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|               | $\overline{F_X}(\max)$ | $\overline{M_Y}(\max)$ | $\overline{F_X}(\max)$ |                        | $\overline{M_Y}(\max)$ |                        |
|               |                        |                        | $C_D=1,0$<br>$C_M=2,0$ | $C_D=0,6$<br>$C_M=2,0$ | $C_D=1,0$<br>$C_M=2,0$ | $C_D=0,6$<br>$C_M=2,0$ |
| 0,01          | 0,039                  | 1,308                  | 0,044                  | 0,041                  | 1,725                  | 1,461                  |
| 0,02          | 0,078                  | 1,312                  | 0,080                  | 0,079                  | 1,431                  | 1,381                  |
| 0,06          | 0,237                  | 1,335                  | 0,238                  | 0,237                  | 1,370                  | 1,365                  |
| 0,10          | 0,400                  | 1,349                  | 0,395                  | 0,394                  | 1,365                  | 1,363                  |
| 0,16          | 0,621                  | 1,309                  | 0,631                  | 0,630                  | 1,363                  | 1,361                  |
| 0,18          | 0,681                  | 1,275                  | 0,709                  | 0,708                  | 1,363                  | 1,361                  |
| 0,20          | 0,731                  | 1,232                  | 0,788                  | 0,787                  | 1,362                  | 1,361                  |
| 0,26          | 0,824                  | 1,065                  | 1,028                  | 1,027                  | 1,362                  | 1,360                  |
| 0,30          | 0,844                  | 0,948                  | 1,182                  | 1,181                  | 1,361                  | 1,360                  |
| 0,40          | 0,822                  | 0,693                  | 1,575                  | 1,574                  | 1,361                  | 1,360                  |



Hình 2. Biên độ sóng mặt quanh hình trụ



Hình 3. Trụ ngầm cách mặt nước  $1/8$  độ sâu



Tác giả chân thành cảm ơn TS Phạm Văn Ninh đã đặt vấn đề nghiên cứu và cho nhiều gợi ý, ý kiến quý báu trong quá trình thực hiện.

Địa chỉ:  
Phân viện cơ học biển, Viện Cơ học

Nhận ngày 28/9/1991

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Black J. L. Wave forces on vertical axisymmetric bodies JFM, Vol. 67, Part.2, 1975, 369-376.
2. Chakrabarti S. K. Hydrodynamics of offshore engineering 1987, 440.
3. Chau F. P., Yuen M. M. F. A hybrid integral-equation method for wave forces on three-dimensional offshore structures. Proceedings of the 5th Int. offshore mechanics and arctic engineering (OMAE) symposium, 1986, Vol. 1, 174-181p.
4. Fenton J. D. Wave forces on vertical bodies of revolution JFM, Vol. 85, part.2, 1978, 241-255p.
5. Garrett C. J. R. Wave forces on a circular dock, JFM Vol. 46, 1971, 129-139p.
6. Kiyokawa T., Ohshima T. Hybrid method for analyzing hydrodynamic forces on axisymmetric bodies and its applications. Proceedings of the 5th OMAE, 1986, Vol.1, 166-173p.
7. Mac Camy R. C. and Fuchs R. A. Wave forces on piles a diffraction theory "Tech. Memo" No 69, 1954, 1-17p.
8. Никифоров А. Ф., Уваров В. Б. Основы теории специальных функций, Москва 1974.

#### SUMMARY

##### WAVE FORCES ON FIXED VERTICAL AXISYMMETRIC BODIES

In this paper, wave forces on fixed vertical axisymmetric bodies are considered by the hybrid boundary element method. A program package on Fortran IV on PC has been developed and applied for the cases of a vertical circular (large and small diameter), step circular cylinder, circular dock,.. The results have been given good agreement with the one obtained by others.