

TÍNH TOÁN CÔNG TRÌNH NGẦM TRONG NỀN SAN HỒ CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG

HOÀNG XUÂN LƯỢNG ⁽¹⁾, NGUYỄN THÁI CHUNG ⁽¹⁾, NGUYỄN TÁT NGÂN ⁽²⁾

Tóm tắt. Bài báo trình bày phương pháp tính toán và một số kết quả nghiên cứu đối với bài toán tương tác giữa công trình ngầm và nền san hô chịu tải trọng động tác dụng trên bề mặt nền. Bài toán được các tác giả giải quyết bằng việc sử dụng phần tử biến dạng phẳng kết hợp với phần tử tiếp xúc theo phương pháp phần tử hữu hạn. Phần tử tiếp xúc được đưa vào bài toán đã thể hiện được tính chất liên kết một chiều của vật liệu nền san hô (chỉ chịu nén, không chịu kéo). Kết quả của bài báo có thể làm tài liệu tham khảo cho việc nghiên cứu và giải các bài toán tương tác giữa công trình ngầm và nền san hô nói chung.

I. MỞ ĐẦU

Các đảo ngoài khơi của Việt Nam hầu hết là đảo san hô, ngày nay chúng đang được khai thác, sử dụng nhiều cho việc đảm bảo đời sống, điều kiện tác chiến của bộ đội và sinh hoạt của nhân dân. Vì vậy việc nghiên cứu về san hô và nền san hô phục vụ xây dựng các công trình trên biển, đảo là vấn đề hết sức quan trọng và có ý nghĩa chiến lược. Công trình ngầm là loại công trình nằm sâu trong nền, công trình ngầm nói chung và đặc biệt là các công trình ngầm trên các đảo san hô xa bờ đóng một vai trò rất quan trọng trong sinh hoạt thường nhật của bộ đội, cất giấu vũ khí, trang bị, cũng như phục vụ trong chiến đấu. Các công trình này có đặc điểm là kích thước dài theo chiều trục của nó lớn hơn rất nhiều so với kích thước tiết diện ngang, do đó dưới tác dụng của tải trọng trên bề mặt nền, việc tính toán công trình thường được thực hiện trên mô hình bài toán phẳng [3,5]. Thực tế hiện nay cho thấy, nghiên cứu tính toán loại công trình này trên các đảo san hô là cần thiết và có một ý nghĩa lớn, góp phần vào phát triển kinh tế và an ninh Quốc phòng.

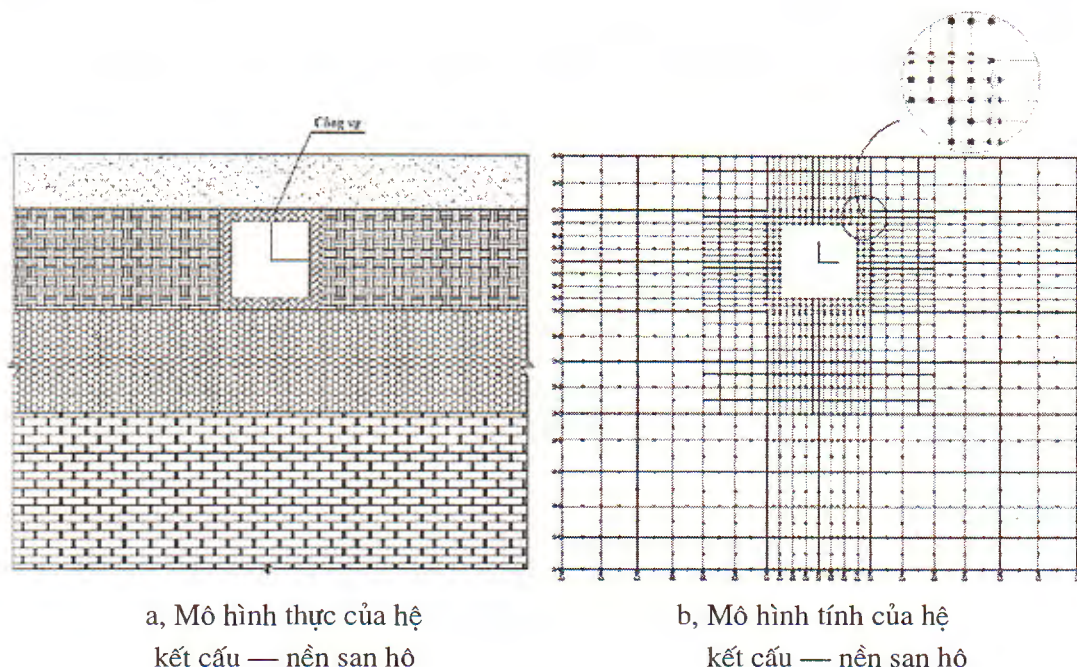
Khi tính toán các công trình làm việc trong nền san hô, một trong những điểm khó là đưa ra được mô hình tính thích hợp, thể hiện được tính chất làm việc một chiều của vật liệu nền. Trong báo cáo này, các tác giả sử dụng các kết quả nghiên cứu tính chất cơ lý về san hô và nền san hô [1,2] làm số liệu đầu vào cho việc xây dựng mô hình, giải bài toán trên cơ sở sử dụng kết hợp phần tử biến dạng phẳng và phần tử tiếp xúc Goodman 4 điểm nút (PTTX) bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH).

II. MÔ HÌNH TÍNH VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

1. Mô hình tính và các giả thiết

Như đã trình bày ở trên, đối với công trình nằm sâu, dọc trong nền, việc tính toán bài toán được thực hiện theo mô hình bài toán phẳng, cụ thể trong nội dung bài báo này các tác giả sử dụng mô hình biến dạng phẳng để tính toán. Tách từ hệ thực bán vô hạn ra một miền hữu hạn bao gồm kết cấu và một phần nền — gọi là miền nghiên cứu (vùng làm việc). Về nguyên tắc, hình dạng của miền nghiên cứu có thể là bất kỳ, song để đơn giản trong tính toán, các tác giả chọn miền nghiên cứu có dạng hình chữ nhật (hình 1). Xác định kích thước vùng làm việc được thực hiện nhờ phép tính lặp. Điều kiện dừng của phép lặp (miền nghiên cứu được xác định) là chuyển vị trên biên đạt giá trị nhỏ nhất cho phép:

$$\varepsilon = \frac{u_i}{u_{\max}} [1,6],$$
 với u_i và u_{\max} lần lượt là chuyển vị lớn nhất trên biên và trong vùng làm việc.



Hình 1. Mô hình bài toán và sơ đồ tính

Tính toán bài toán dựa trên các giả thiết sau:

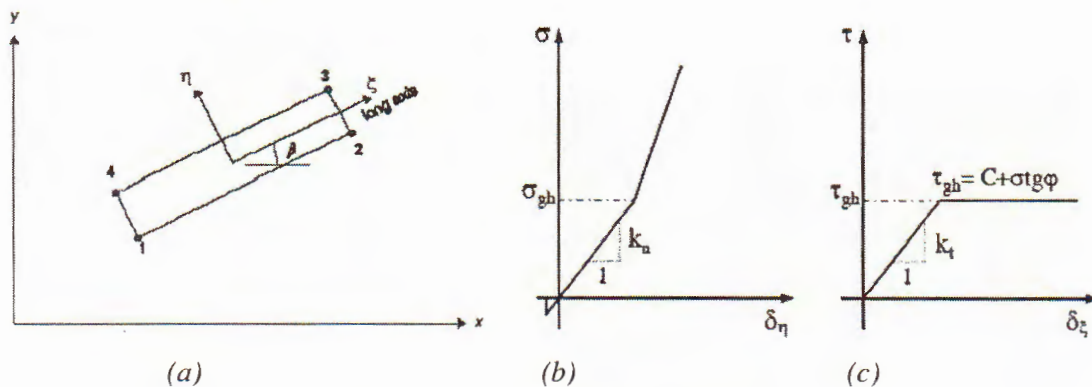
- Công trình là kết cấu đàn hồi, biến dạng tuyến tính.
- Mỗi lớp nền là vật liệu đồng nhất, đẳng hướng, đàn hồi tuyến tính. Quá trình công trình làm việc trong nền san hô, không có hiện tượng tách, trượt giữa các lớp nền với nhau.

- Hệ công trình ngầm và nền làm việc trong điều kiện biến dạng phẳng. Liên kết giữa công trình và nền san hô được thay thế bằng liên kết nút giữa các phần tử biến dạng phẳng thông qua liên kết với phần tử tiếp xúc. Liên kết tiếp xúc giữa công trình và nền san hô là liên kết một chiều.

- Khi tính toán, đối với vật liệu san hô, bỏ qua lực dính giữa công trình và nền.

2. Phương trình chuyển động của hệ

Miền nghiên cứu của hệ được rời rạc bằng các PTHH phẳng, như phần tử tứ giác và tam giác — tùy theo hình dạng tiết diện ngang của công trình. Xét cho công trình cụ thể là công sự có tiết diện như hình 1a (Các công trình khác hoàn toàn tương tự) thì việc chọn phần tử là tứ giác 4 và 8 điểm nút. Mỗi nút của PTHH trong bài toán có hai bậc tự do tương ứng với hai chuyển vị thẳng theo các trục tọa độ. Tại bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu với nền ta sử dụng PTTX có chiều dày (độ mờ) bằng không để mô tả liên kết giữa công trình với nền san hô [1,2,5] — phần tử tiếp xúc Goodman. Do tính đặc biệt của nó, trong phân này các tác giả xin đề cập đến PTTX, còn các phần tử biến dạng phẳng đã được đề cập trong các tài liệu PTHH [5,6]. Mô hình phần tử tiếp xúc có chiều dày bằng không được chỉ ra như trên hình 2, do chiều dày t của phần tử gần như bằng 0 nên các cặp nút 1 và 4, 2 và 3, 5 và 6 có cùng tọa độ.



a) Sơ đồ hình học của phần tử tiếp xúc
 b) Quan hệ ứng suất pháp tuyến với biến dạng pháp tuyến
 c) Quan hệ ứng suất tiếp tuyến với biến dạng tiếp tuyến

Hình 2. Mô hình phần tử tiếp xúc Goodman (1÷4 — các nút)

$$\text{Quan hệ giữa số gia ứng suất và số gia biến dạng: } \begin{Bmatrix} \Delta\sigma \\ \Delta\tau \end{Bmatrix} = [D_{se}] \begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta\gamma \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{trong đó ma trận } [D] \text{ được xác định theo biểu thức: } [D_{se}] = \begin{bmatrix} k_\eta & 0 \\ 0 & k_\xi \end{bmatrix} \quad (2)$$

với: k_η và k_ξ tương ứng là độ cứng pháp tuyến và độ cứng tiếp tuyến của phần tử. Các hệ số này có thể được xác định bằng thực nghiệm hoặc xác định thông qua các đặc trưng của nền [1,5]:

$$k_\eta = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}; k_\xi = G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

với: ν và E tương ứng là hệ số Poisson và mô đun Young của vật liệu nền.

Chuyển vị một điểm bất kỳ của phần tử trong hệ trục tọa độ địa phương được xác định thông qua chuyển vị của nó trong hệ tọa độ tổng thể và góc lệch trục α :

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\beta \\ -\sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$\text{Ma trận độ cứng trong hệ tọa độ chung: } [K_{se}] = \iint [B_{se}]^T [D_{se}] [B_{se}] dx dy \quad (5)$$

$$\text{trong đó: } [B_{se}] = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\beta \\ \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} [B_{local}] \quad (6)$$

Đối với PTTX 4 điểm nút, biến dạng trong phần tử là đều, ta có:

$$[B_{local}] = \begin{bmatrix} 0 & N'_1 & 0 & N'_2 & 0 & -N'_3 & 0 & -N'_4 \\ N'_1 & 0 & N'_2 & 0 & -N'_3 & 0 & -N'_4 & 0 \end{bmatrix}$$

với: $N'_i = \frac{dN_i}{d\xi}$, ξ (Từ -1 đến +1) dọc theo chiều dài phần tử, N_i là hàm dạng của PTTX [1].

Sử dụng phép biến đổi $\iint dx dy = \int_{-1}^1 \det|J| d\xi$, ma trận độ cứng PTTX được xác định:

$$[K_{se}] = \int_{-1}^1 [B_{se}]^T [D_{se}] [B_{se}] \det|J| d\xi \quad (7)$$

trong đó $[J]$ là ma trận Jacobin [5].

Sử dụng phương pháp tích phân số, với thuật toán cầu phương Gauss-Legendre và sử dụng sơ đồ 1 điểm tích phân ($\xi = 0$, $w = 2$), ma trận độ cứng PTTX trong (7) hoàn toàn được xác định. Dễ dàng nhận thấy $[K_{se}]$ phụ thuộc vào k_η và k_ξ :

$$[K_{se}] = [K_{sc}(k_\eta, k_\xi)] \quad (8)$$

Với thuật toán của phương pháp PTHH, bỏ qua cản tại biên, ta có phương trình chuyển động của hệ công trình — nền san:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{R\} \quad (9)$$

trong đó: $[M]$, $[C]$, $[K]$ tương ứng là các ma trận khối lượng, cản và độ cứng của hệ.

$\{R\}$ là véc tơ tải trọng nút của hệ, được tổ hợp từ véc tơ tải trọng nút của các phần tử.

$\{U\}$, $\{\dot{U}\}$, $\{\ddot{U}\}$ tương ứng là véc tơ chuyển vị, vận tốc, gia tốc nút của hệ.

Đối với bài toán động lực học, véc tơ tải trọng $\{R\}$ được xác định tại mỗi thời điểm. Trong trường hợp hệ ứng xử tuyến tính thì các ma trận $[C]$ và $[K]$ là hằng số, còn đối với hệ có ứng xử phi tuyến thì các ma trận này phụ thuộc vào trạng thái của hệ.

$$\text{Ta có: } [K] = \sum_c [K]_e = \sum_m [K]_m + \sum_l [K]_{sc} \quad (10)$$

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (11)$$

với: $\alpha = \omega_1 \omega_2 \beta$; $\beta = \frac{2\xi}{\omega_1 + \omega_2}$; (ω_1, ω_2 là 2 tần số đầu tiên của dao động tự do; ξ là tỷ số cản); m, l tương ứng là chỉ số của phần tử hữu hạn (nền, công trình) và PTTX. Còn ma trận khối lượng được xác định: $[M] = \sum_c [M]_e$ (phần tử nền, công trình và PTTX).

Với bài toán động lực học, khi kể đến hiện tượng tách, trượt tại bề mặt tiếp xúc, trên PTTX: véc tơ ứng suất $\{\sigma\}$ phụ thuộc vào véc tơ chuyển vị nút $\{U\}$, do đó ma trận độ cứng phần tử cũng phụ thuộc $\{U\}$: $[K]_{sc} = [K]_{sc}(\{U\})$. Vậy $[C] = [C(\{U\})]$, do đó (9) là hệ phương trình phi tuyến hình học, được viết lại như sau:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C(\{U\})]\{\dot{U}\} + [K(\{U\})]\{U\} = \{R\} \quad (12)$$

Để giải (12), các tác giả kết hợp phương pháp lặp Newton-Raphson và phương pháp tích phân trực tiếp Newmark.

III. THUẬT TOÁN PTHH GIẢI BÀI TOÁN TƯƠNG TÁC ĐỘNG LỰC HỌC GIỮA CÔNG TRÌNH NGẦM VÀ NỀN SAN HỒ

Bằng việc kết hợp phương pháp lặp Newton-Raphson và phương pháp tích phân trực tiếp Newmark, tải trọng ngoài được phân ra nhiều cấp tương ứng với các bước thời gian tích phân $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, 4\Delta t, \dots$ Trong mỗi bước tích phân, dùng phương pháp lặp để phân phối lại nội lực và ứng suất trong hệ nhằm xác định trạng thái cân bằng động của hệ và thoả mãn điều kiện tiếp xúc trên bề mặt giữa công trình và nền san hồ.

Sử dụng phương pháp độ cứng hiệu quả, tuyến tính hoá hệ (12), viết dưới dạng [1,6]:

$$[K_{t+\Delta t}^*]^{(i-1)} \{\Delta U\}^{(i)} = \{R_{t+\Delta t}^*\}^{(i-1)} - \{P_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} \quad (13)$$

với: $[K_{t+\Delta t}^*]^{(i-1)} = [K_{t+\Delta t}]^{(i-1)} + a_0[M] + a_1[C_{t+\Delta t}]^{(i-1)}$ - ma trận độ cứng tiếp tuyến hiệu quả;

$$\begin{aligned} \{R_{t+\Delta t}^*\}^{(i-1)} &= \{R_{t+\Delta t}\} - [M][a_0(\{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} - \{U_t\}) - a_2\{\dot{U}_t\} - a_3\{\ddot{U}_t\}] - \\ &- [C_{t+\Delta t}]^{(i-1)}[a_1(\{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} - \{U_t\}) - a_4\{\dot{U}_t\} - a_5\{\ddot{U}_t\}] \end{aligned}$$

- véc tơ tải hiệu quả;

$$\{P_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} = \sum_m \{P_{t+\Delta t}\}_m^{(i-1)} - \text{véc tơ nội lực tại bước lặp thứ } (i-1).$$

Điều kiện ban đầu của phép lặp trong mỗi bước tích phân là:

$$\{U_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{U_t\}; \{P_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{P_t\}; [K_{t+\Delta t}]^{(0)} = [K_t] \quad (14)$$

Vậy, từ hệ phương trình (13) xác định được véc tơ số gia chuyển vị nút $\{\Delta U\}^{(i)}$, từ đó cho phép xác định véc tơ số gia biến dạng $\{\Delta \epsilon\}$ và véc tơ số gia ứng suất $\{\Delta \sigma\}$ của các phần tử (phần tử thuộc nền, kết cấu và phần tử tiếp xúc).

Véc tơ chuyển vị nút tại thời điểm $t + \Delta t$ ở bước lặp thứ i được xác định:

$$\{U_{t+\Delta t}\}^{(i)} = \{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} + \{\Delta U\}^{(i)} \quad (15)$$

Véc tơ vận tốc và gia tốc nút tại thời điểm $t + \Delta t$ được xác định:

$$\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} = a_0 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_2 \{\dot{U}_t\} - a_3 \{\ddot{U}_t\} \quad (16)$$

$$\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} = a_1 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_4 \{\dot{U}_t\} - a_5 \{\ddot{U}_t\} \quad (17)$$

trong đó:

$$a_0 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}; \quad a_1 = \frac{\delta}{\alpha \Delta t}; \quad a_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}; \quad a_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1; \quad (18)$$

$$a_4 = \frac{\delta}{\alpha} - 1; \quad a_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\delta}{\alpha} - 2 \right);$$

với δ và α là các tham số, được chọn với điều kiện: $\delta \geq 0,5$; $\alpha \geq 0,25(0,5 + \delta)^2$.

$$\text{Tiêu chuẩn dừng của phép lặp: } \frac{\|\{\Delta U\}^{(i)}\|}{\|\{U_{t+\Delta t}\}^{(i)} - \{U_t\}\|} \leq \epsilon_D \quad (19)$$

trong đó: ϵ_D là độ chính xác yêu cầu theo chuyển vị.

Nếu điều kiện hội tụ chưa thoả mãn thì tăng chỉ số lặp và tiến hành lại từ (13).

Khi xác định được chuyển vị nút, ta sẽ xác định được biến dạng và ứng suất tại các điểm Gauss trong các phần tử.

Trong mỗi bước lặp, tiến hành kiểm tra sự tách, trượt trên bề mặt tiếp xúc giữa công sự và nền san hô thông qua điều kiện ứng suất pháp và ứng suất tiếp trên PTTX [1,5,6]:

- Nếu tại bước lặp thứ (i) , ứng suất pháp trên phần tử tiếp xúc $\sigma^{(i)} < 0$ (kéo): Tại đó xuất hiện tách cục bộ giữa kết cấu và nền, gán $k_\eta^{(i)} = 10^{-4} k_\eta$; $k_\xi^{(i)} = 10^{-4} k_\xi$ cho $[K_{se}]^{(i)}$;

- Nếu tại bước lặp thứ (i) , ứng suất tiếp trên phần tử tiếp xúc $\tau^{(i)} > \tau_{gh}$: Tại đó xuất hiện trượt cục bộ giữa kết cấu và nền, gán $k_\eta^{(i)} = k_\eta$; $k_\xi^{(i)} = 10^{-4} k_\xi$ cho $[K_{se}]^{(i)}$;

- Tại bước lặp thứ (i), ứng suất pháp trên phần tử tiếp xúc $\sigma^{(i)} \geq 0$ (nén) và $\tau^{(i)} \leq \tau_{gh}$:
 Tại đó không xuất hiện tách, trượt giữa kết cấu và nền, gán $k_{\eta}^{(i)} = k_{\eta}$; $k_{\xi}^{(i)} = k_{\xi}$ cho $[K_{se}]^{(i)}$.

Cập nhật ma trận độ cứng tổng thể $[K_{t+\Delta t}]^{(i)}$, vòng lặp mới được tiếp tục.

IV. VÍ DỤ SỐ

Với thuật toán đã nêu, các tác giả đã tiến hành lập trình trong môi trường Matlab. Chương trình có tên UD-Struc2008, cho phép giải bằng số các bài toán tương tác động lực học giữa công trình ngầm với nền đàn hồi theo mô hình bài toán phẳng, khi có kể đến sự tách, trượt cục bộ giữa bề mặt công trình và nền.

Khảo sát công sự đặt trong nền san hô chịu tác dụng của tải trọng đặt trên mặt nền theo quy luật như hình 4 (Mô phỏng tải trọng nổ do bom đạn gây ra). Sau khi lập xác định được kích thước miền tính toán: $B_0 = 20m$, chiều cao $H_0 = 16m$, với sai số chuyển vị $\varepsilon = 1,31\%$ (Hình 3). Sơ đồ lưới PTHH của bài toán thể hiện như trên hình 1b.

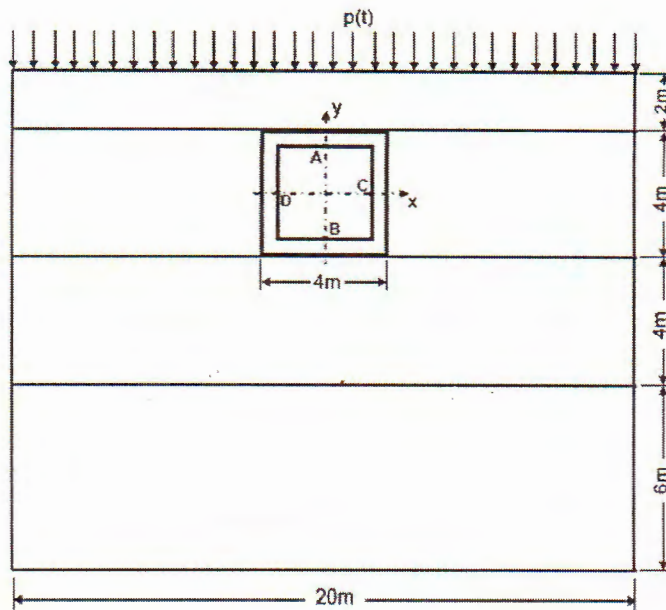
- Số liệu nền san hô [1,2]: Thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thuộc tính vật liệu

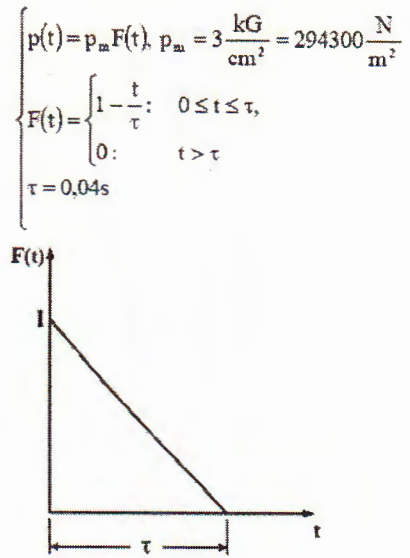
Lớp	Độ sâu (m)	E (N/cm ²)	ν	ρ (kg/cm ³)	Hệ số ma sát f	Hệ số giảm chấn ξ
1	2	$2,8 \cdot 10^4$	0,22	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,21	0,05
2	6	$2,1 \cdot 10^5$	0,25	$2,8 \cdot 10^{-3}$	0,32	
3	10	$2,0 \cdot 10^6$	0,25	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,41	
4	16	$2,6 \cdot 10^5$	0,25	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,47	

- Vật liệu công sự (hình 3): Là bê tông, có mô đun đàn hồi $E = 0,34 \cdot 10^7 N/cm^2$, hệ số Poisson $\nu = 0,3$, khối lượng riêng $\rho = 2,5 \cdot 10^{-3} kg/cm^3$ và chiều dày công sự $t = 0,5m$.

- Tải trọng tính toán: Bao gồm trọng lượng bản thân, tải trọng ngắn hạn được mô phỏng là sóng xung kích do bom đạn nổ trong không khí gây ra tác dụng lên bề mặt nền theo quy luật như hình 4. Thời gian tải tác dụng $\theta = 0,4s$, thời gian tính toán $t = 3\theta$, chọn bước thời gian tính $\Delta t = \frac{1}{25} \theta$.

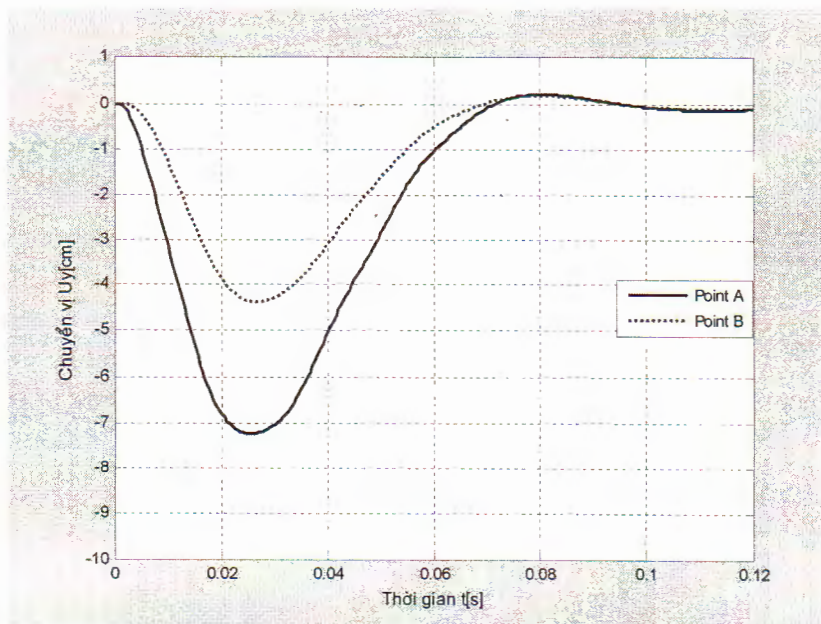


Hình 3. Mô hình bài tính

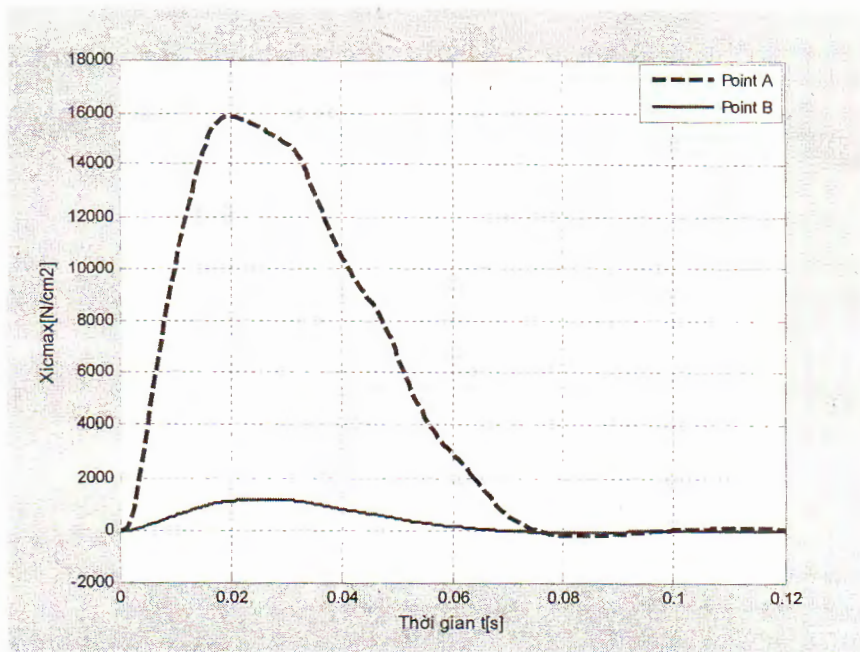


Hình 4. Quy luật biến thiên tải trọng

Khi chất tải trọng ngắn hạn, sử dụng chương trình đã lập, tiến hành tính toán bài toán, kết quả đồ thị hình 5 và 6 tương ứng là đáp ứng chuyển vị U_y theo phương đứng và ứng suất σ_x của điểm A, B (các điểm A, B, C và D nằm ở mép trong của công sự — hình 3).

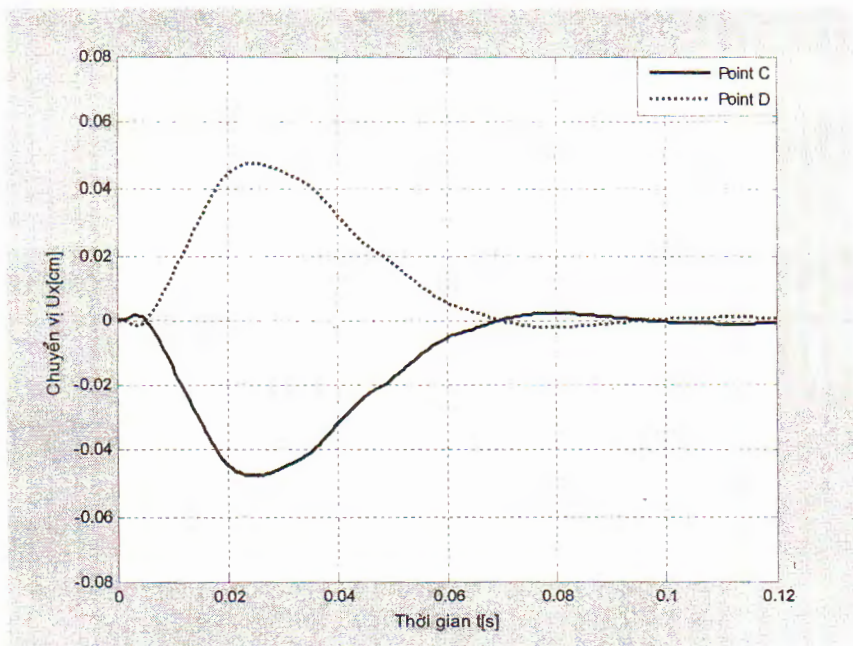


Hình 5. Chuyển vị đứng của điểm A và B

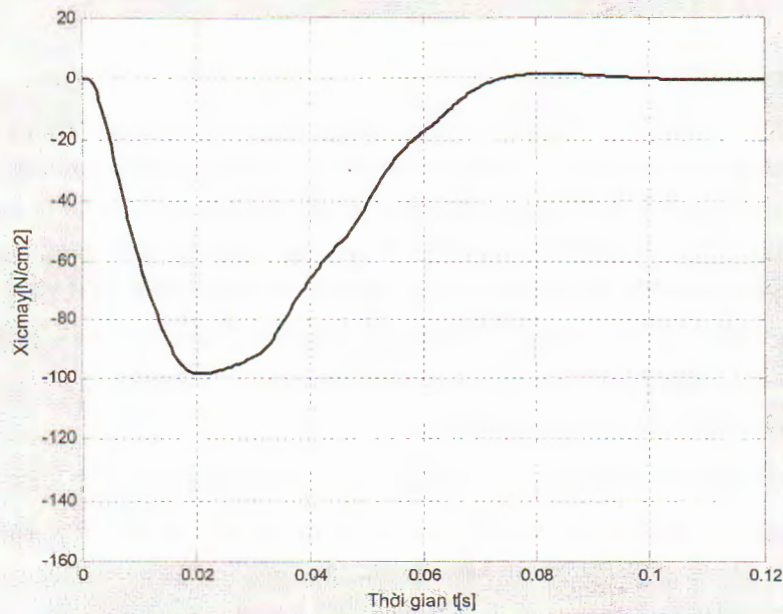


Hình 6. Ứng suất σ_x tại A và B

Trên hình 7 thể hiện sự thay chuyển vị ngang u_x đối theo thời gian tại điểm C và D. Hình 8 là đáp ứng ứng suất σ_y tại điểm C. Bảng 2 là kết quả các giá trị lớn nhất của các đại lượng tính toán tại các điểm tính A, B, C và D thuộc kết cấu.



Hình 7. Quan hệ $u_x - t$ tại điểm C, D



Hình 8. Quan hệ σ_y — t tại điểm C

Bảng 2. Kết quả giá trị lớn nhất của các đại lượng tại các điểm tính toán.

Vị trí	Đại lượng tính			
	U_x^{\max} [cm]	U_y^{\max} [cm]	σ_x^{\max} [N/cm ²]	σ_y^{\max} [N/cm ²]
Điểm A	-	7,2215	15880,0	-
Điểm B	-	4,3900	1205,6	-
Điểm C	0,0476	-	-	98,8527
Điểm D	0,0476	-	-	98,8527

Nhận xét:

- Tại điểm A: Chuyển vị U_y^{\max} gấp 1,65 lần tại điểm B ;
- Tại điểm A: Ứng suất σ_x^{\max} gấp 13,17 lần tại điểm B.

Do đó, với công sự loại này, khi thiết kế yếu cầu cấu tạo sao cho đối với mặt phía trên (Chứa điểm A) có độ cứng lớn hơn mặt dưới (Chứa điểm B), hai mặt bên của công sự (Chứa C, D) có độ cứng yếu cầu bằng nhau.

V. KẾT LUẬN

Nội dung bài báo đã đạt được:

- Xây dựng mô hình và đề xuất phương pháp giải quyết bài toán. Trên cơ sở đó xây dựng thuật toán và chương trình tính toán cho công trình ngầm trong nền san hô dưới tác dụng của tải trọng động (Dưới dạng sóng xung kích). Với thuật toán và chương trình đã lập, việc áp dụng để giải quyết bài toán đối với các loại công có hình dạng mặt cắt ngang khác nhau là hoàn toàn thực hiện được sau khi đã đưa các thông số PTHH vào.

- Giải bài toán cụ thể đối với 1 loại công sự, với số liệu nền san hô và kết cấu công sự là thực, nên kết quả phần nào sẽ có ý nghĩa khoa học và thực tiễn hơn.

Hướng phát triển tiếp theo của bài báo:

- Tính toán đối với nhiều dạng tải trọng trên các mô hình công trình khác nhau.
- Khảo sát các yếu tố của nền, kết cấu và tải trọng đến sự làm việc của công trình ngầm trong nền san hô phục vụ tối ưu hoá các kết cấu dạng này trên các đảo xa bờ.

Công trình này hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Chương trình Nghiên cứu cơ bản và Chương trình KC.09.06/10

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Nguyễn Thái Chung, 2006.** Nền san hô và sự làm việc của cọc trong nền san hô. Luận án Tiến sỹ kỹ thuật.
2. **Nguyen Thai Chung, Hoang Xuan Luong, Pham Tien Dat, 2006.** “Study of interaction between pile and coral foundation”. National Conference of Engineering Mechanics and Automation, Vietnam National University Publishers, Hanoi.
3. **Hoàng Xuân Lượng, Phạm Tiến Đạt, Nguyễn Thái Chung, Lê Tân, 2007.** “Nghiên cứu sự làm việc của ống dẫn trong nền san hô”, T7(2007). Số 1. Tr 01 — 11.
4. **Lee, Yoong-Joo, 2005.** “P-S Characteristics for End-bearing Pile in Granular Material”, Jour. of the KGS, Vol. 21, No. 2. March 2005, pp. 85 — 91.
5. “Stress — Deformation Modeling with SGMA/W 2007 an Engineering Methodology”, Geo-Slope International Ltd, Second Edition, Canada May 2007.
6. **Klaus-Jürgen Bath and Edward L. Wilson, 1982.** Numerical Method in Finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

ANALYSIS OF THE UNDERGROUND STRUCTURE IN THE CORAL FOUNDATION UNDER DYNAMIC LOADING

HOANG XUAN LUONG ⁽¹⁾, NGUYEN THAI CHUNG ⁽¹⁾, NGUYỄN TÁT NGÂN ⁽²⁾

Summary. In this study, the authors present the calculating method for the underground structure in the coral foundation of Truong Sa Archipelago under dynamic loading (Blast loading) by finite element method using slip element. By using the slip elements to bring essence true-natured of the coral foundation, example the opening or slip at the interface between the structure and coral foundation. The paper results can be used in design as reference for underground structures in the coral foundation.

Ngày nhận bài: 02 - 7 - 2008

Địa chỉ: ⁽¹⁾ Học viện Kỹ thuật quân sự

Người nhận xét: TSKH. Vũ Cao Minh

⁽²⁾ Trường Cao đẳng giao thông vận
tải I – Hà Nội