

NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA ỐNG DẪN TRONG NỀN SAN HỒ

HOÀNG XUÂN LƯỢNG, PHẠM TIẾN ĐẠT, NGUYỄN THÁI CHUNG ⁽¹⁾

LÊ TÂN ⁽²⁾

Tóm tắt. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu bài toán tương tác giữa ống dẫn thành dày chịu áp lực trong và nền san hô dưới tác dụng của tải trọng ngắn hạn trên bề mặt của nền bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Với việc sử dụng phần tử tiếp xúc, các tác giả đã thể hiện được tính làm việc một chiều của vật liệu san hô. Kết quả tính toán của bài báo có thể làm tài liệu tham khảo giải các bài toán tương tác giữa công trình và nền san hô nói chung.

I. MỞ ĐẦU

Nghiên cứu về san hô và nền san hô theo quan điểm cơ học phục vụ việc tính toán, thiết kế các công trình biển đảo ngày nay đã được các nhà khoa học rất quan tâm. Việc giải các bài toán tương tác giữa công trình và nền san hô hiện tại còn gặp nhiều khó khăn do nhiều yếu tố, một trong những yếu tố quan trọng là chúng ta còn thiếu hiểu biết về tính chất cơ lý của vật liệu nền.

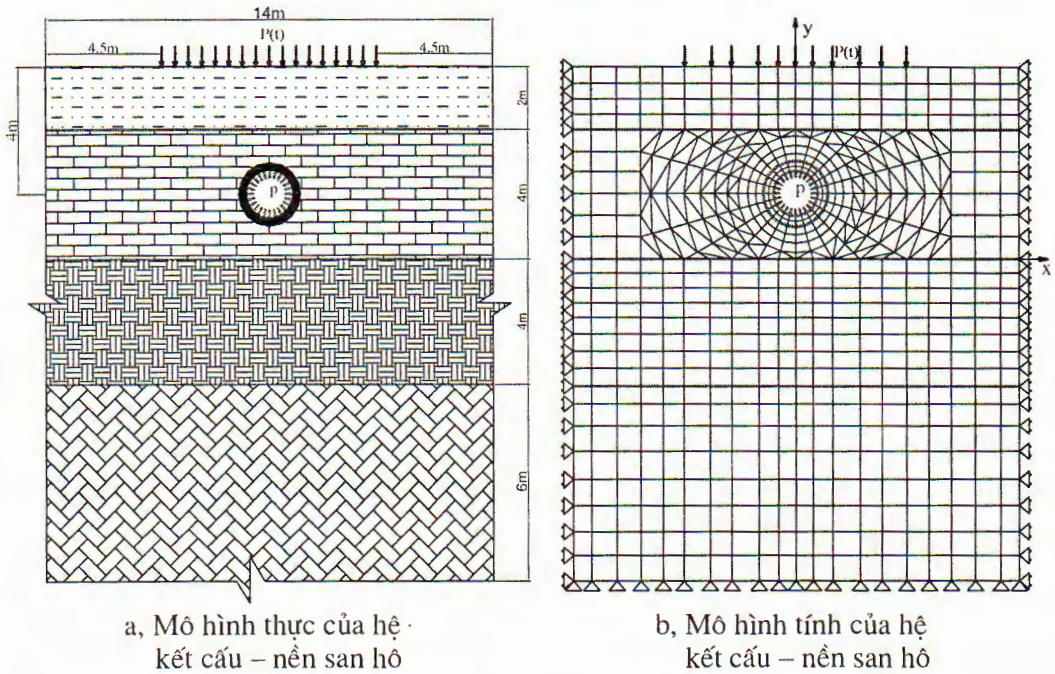
Đặc thù của vật liệu san hô và nền san hô là loại vật liệu giòn, quan hệ ứng suất – biến dạng gần như tuyến tính và là loại vật liệu làm việc một chiều (chỉ chịu nén, không chịu kéo) [1,2,3], do đó khi tính toán các công trình làm việc trong nền san hô thì một trong những điểm khó là đưa ra được mô hình tính thích hợp, thể hiện được tính chất này của nền. Điều này sẽ được khắc phục khi ta đưa vào phần tiếp xúc giữa kết cấu và công trình một loại phần tử đặc biệt [4,7], đó là phần tử tiếp xúc. Trong công trình này, các tác giả đã ứng dụng các kết quả nghiên cứu về san hô và nền san hô [1,2,3] làm số liệu đầu vào cho việc xây dựng mô hình, tính toán giải quyết bài toán tương tác giữa ống dẫn thành dày chịu áp lực trong và nền san hô dưới tác dụng của tải trọng ngắn hạn trên bề mặt của nền phục vụ an ninh Quốc phòng và nền kinh tế Quốc dân.

II. MÔ HÌNH TÍNH VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

1. Mô hình tính và các giả thiết cơ bản

Đối với ống dẫn nằm sâu dọc trong nền, xét trên một tiết diện ngang cố định có thể xem xét, tính toán như bài toán phẳng. Vì vậy, không mất tính tổng quát, trong nội dung

bài báo các tác giả giải quyết bài toán với mô hình bài toán phẳng. Các tác giả sử dụng phần tử biến dạng phẳng kết hợp phần tử tiếp xúc và áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn cho việc tính toán. Tách từ hệ thực bán vô hạn ra một miền hữu hạn bao gồm ống dẫn và một phần nền gọi là miền nghiên cứu (hình 1). Để đơn giản, các tác giả chọn miền nghiên cứu là miền chữ nhật. Xác định kích thước vùng làm việc này được thực hiện nhờ phép tính lặp. Điều kiện dừng của phép lặp (miền nghiên cứu xác định) là ứng suất trên biên nhỏ hơn giá trị ϵ cho phép [1,2].



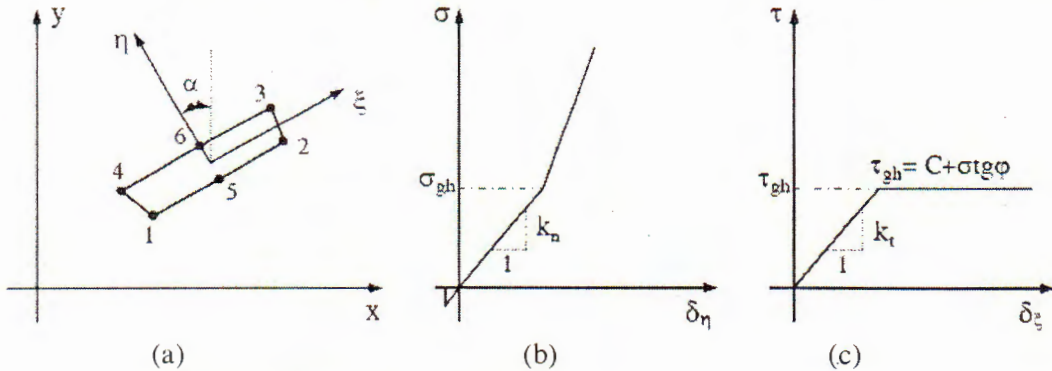
Hình 1. Mô hình bài toán và sơ đồ tính

Dựa vào kết quả nghiên cứu về san hô và nền san hô [1,2,3], việc giải quyết bài toán dựa trên các giả thiết sau:

- Ống dẫn là kết cấu đàn hồi, biến dạng tuyến tính, tiết diện ngang và khối lượng riêng không đổi trên 1 mặt cắt ngang.
- Mỗi lớp nền là vật liệu đồng nhất, đẳng hướng, đàn hồi tuyến tính. Quá trình ống dẫn làm việc trong nền san hô, không có hiện tượng trượt giữa các lớp nền.
- Hệ ống dẫn và nền làm việc trong điều kiện biến dạng phẳng. Liên kết giữa ống 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 giữa phần tử thuộc ống dẫn và phần tử thuộc nền thông qua phần tử trung gian - phần tử tiếp xúc). Liên kết tiếp xúc giữa ống dẫn và nền san hô là liên kết một chiều.
- Khi tính toán, đối với vật liệu san hô, bỏ qua lực dính giữa ống và nền.

2. Phương trình chuyển động của hệ

Miền nghiên cứu của hệ được rời rạc bằng các phần tử hữu hạn (PTHH) phẳng, như phần tử tứ giác và tam giác (hình 1b), mỗi nút của phần tử hữu hạn 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 phần tử tiếp xúc có chiều dày (độ mở) bằng không để mô tả liên kết giữa kết cấu ống dẫn với nền san hô [4,7]. 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÷6 – các nút)

Quan hệ giữa số gia ứng suất và số gia biến dạng được thể hiện thông qua biểu thức:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma \\ \Delta\tau \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta\gamma \end{Bmatrix} \quad (1)$$

trong đó ma trận $[D]$ được xác định theo biểu thức sau:

$$[D] = \begin{bmatrix} k_\eta & 0 \\ 0 & k_\xi \end{bmatrix} \quad (2)$$

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 [1,4,6]:

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

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 trục tọa độ tổng thể và góc lệch trục α :

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

Khi sử dụng phần tử tiếp xúc 4 điểm nút, biến dạng trong phần tử là đều. Sử dụng phương pháp tích phân số với thuật toán cầu phương Gauss - Legendre và sử dụng sơ đồ tích phân với 1 điểm tích phân ($\xi = 0, w = 2$) để tính ma trận độ cứng phần tử $[K_{sc}]$, ta có ma trận độ cứng của phần tử tiếp xúc trong hệ trục tọa độ tổng thể như sau [1,5,7]:

$$[K_{sc}] = \frac{L}{4t^2} \begin{bmatrix} B & A & B & A & -B & -A & -B & -A \\ A & C & A & C & -A & -C & -A & -C \\ B & A & B & A & -B & -A & -B & -A \\ A & C & A & C & -A & -C & -A & -C \\ -B & -A & -B & -A & -B & -A & B & A \\ -A & -C & -A & -C & -A & -C & A & C \\ -B & -A & -B & -A & B & A & -B & -A \\ -A & -C & -A & -C & A & C & -A & -C \end{bmatrix} \quad (5)$$

với: $A = (k\xi - k\eta)\sin\alpha\cos\alpha$; $B = k\eta\sin 2\alpha + k\xi\cos 2\alpha$ và $C = k\eta\cos 2\alpha + k\xi\sin 2\alpha$

Với thuật toán của phương pháp PTHH, bỏ qua cản tại biên, ta có thể xây dựng được phương trình chuyển động của hệ ống dẫn - nền san hô có dạng:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{R\} \quad (6)$$

trong đó: $[M]$, $[C]$, $[K]$ tương ứng là các ma trận khối lượng, cản nhớt và độ cứng của hệ kết cấu, chúng được tổ hợp từ các ma trận phần tử tương ứng.

$\{R\}$ 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. Ma trận $[C]$ và $[K]$ trong bài toán động lực học có kể đến hiện tượng tách, trượt (phi tuyến liên kết) và vật liệu tuyến tính được xác định:

$$[K] = \sum_c [K]_c = \sum_m [K]_m + \sum_l [K_{sc}]_l = [K\{U\}] \quad (7)$$

$$[C\{U\}] = \sum_c [C]_c = \alpha[M] + \beta[K] = \alpha[M] + \beta[K\{U\}], \quad (8)$$

với: $\alpha = \frac{2\xi}{\omega_1 + \omega_2}$; $\beta = \omega_1 \omega_2 \alpha$ (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, ống) và phần tử tiếp xúc. Còn ma trận khối lượng được xác định: $[M] = \sum_e [M]_e$ (phần tử nền, ống và phần tử tiếp xúc).

Với bài toán liên kết như trên, ứng suất $\{\sigma\}$ phụ thuộc vào chuyển vị nút $\{U\}$ nên ma trận độ cứng là một hàm của chuyển vị nút $[K] = [K(\{U\})]$ (7), do đó ma trận cản cũng là hàm của chuyển vị nút $[C] = [C(\{U\})]$ (8), phương trình (6) là phương trình phi tuyến. Phương trình (6) được giải bằng phương pháp lặp.

Vậy, đối với vật liệu nền san hô, khi biết được đặc trưng vật liệu và quy luật thay đổi độ cứng pháp tuyến k_n và độ cứng tiếp tuyến k_ξ [1,2], sử dụng phương pháp chung của PTHH tính và tổ hợp các ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, véc tơ tải trọng nút của phần tử ta hoàn toàn giải được phương trình (6) bởi phương pháp giải lặp.

III. THUẬT TOÁN PTHH GIẢI BÀI TOÁN TƯƠNG TÁC GIỮA ỐNG DẪN VÀ NỀN SAN HÔ

Để giải phương trình phi tuyến (6), các tác giả xây dựng thuật toán bằng cách kết hợp phương pháp tích phân trực tiếp của Newmark với phương pháp lặp Newton-Raphson. Theo đó, 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 ta 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 thoả mãn điều kiện tiếp xúc trên bề mặt giữa ống dẫn và nền san hô.

Tuyến tính hoá hệ (6) và viết lại dưới dạng số gia [3,4]:

$$[K_{t+\Delta t}^*]^{(i-1)} \{\Delta U\}^{(i)} = \{R_{t+\Delta t}^*\}^{(i-1)} - \{P_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} \quad (9)$$

ở đây: $[K_{t+\Delta t}^*]^{(i-1)}$ - ma trận độ cứng tiếp tuyến hiệu quả; $\{R_{t+\Delta t}^*\}^{(i-1)}$ - véc tơ tải trọng hiệu quả và $\{P_{t+\Delta t}\}^{(i-1)}$ - véc tơ nội lực được xác định theo trạng thái của hệ tại bước lặp thứ $(i-1)$ tương ứng với cấp tải trọng ở thời điểm $t + \Delta t$:

$$[K_{t+\Delta t}^*]^{(i-1)} = [K_{t+\Delta t}]^{(i-1)} + a_0 [M] + a_1 [C_{t+\Delta t}]^{(i-1)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \{R_{t+\Delta t}^*\}^{(i-1)} = & \{R_{t+\Delta t}\} - [M] [a_0 (\{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} - \{U_t\}) - a_2 \{\dot{U}_t\} - a_3 \{\ddot{U}_t\}] - \\ & - [C_{t+\Delta t}]^{(i-1)} [a_1 (\{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} - \{U_t\}) - a_4 \{\dot{U}_t\} - a_5 \{\ddot{U}_t\}] \end{aligned} \quad (11)$$

$$\{P_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} = \sum_m \{P_{t+\Delta t}\}_m^{(i-1)} \quad (12)$$

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

$$\{U_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{U_t\}; \{P_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{P_t\}; [K_{t+\Delta t}]^{(0)} = [K_t] \quad (13)$$

Vậy, từ hệ phương trình (9) 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 hữu hạn và phần tử tiếp xúc).

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

$$\{U_{t+\Delta t}\}^{(i)} = \{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} + \{\Delta U\}^{(i)} \quad (14)$$

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

$$\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} = a_0 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_2 \{\dot{U}_t\} - a_3 \{\ddot{U}_t\} \quad (15)$$

$$\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} = a_1 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_4 \{\dot{U}_t\} - a_5 \{\ddot{U}_t\} \quad (16)$$

trong đó:

$$a_0 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}; \quad a_1 = \frac{\delta}{\alpha \Delta t}; \quad a_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}; \quad a_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1; \quad (17)$$

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

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

Tiêu chuẩn dừng của phép lặp là sự hội tụ của chuyển vị nút hay nội lực quy nút theo biểu thức sau:

- Tiêu chuẩn dừng của phép lặp theo sự hội tụ của chuyển vị nút:

$$\frac{\|\{\Delta U\}^{(i)}\|}{\|\{U_{t+\Delta t}\}^{(i)} - \{U_t\}\|} \leq \epsilon_D \quad (18)$$

- Tiêu chuẩn dừng của phép lặp theo sự hội tụ của lực quy nút:

$$\frac{\|\{R_{t+\Delta t}\} - \{P_{t+\Delta t}\}^{(i)} - [M]\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\}^{(i)}\|}{\|\{R_{t+\Delta t}\} - \{P_t\} - [M]\{\ddot{U}_t\}\|} \leq \epsilon_F \quad (19)$$

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

ϵ_F là độ chính xác yêu cầu theo lực

ký hiệu $\|\ \|$ là biểu diễn phép tính chuẩn của một véc tơ.

Nếu điều kiện hội tụ chưa thoả mãn thì tăng chỉ số lặp và tính lại từ (10).

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 ống dẫn và nền san hô thông qua điều kiện ứng suất pháp và ứng suất tiếp trên phần tử tiếp xúc [1,2,4]: Nếu có hiện tượng tách, trượt xảy ra, ta tiến hành tính lại ma trận độ cứng $[K^{se}]$ của phần tử tiếp xúc theo giá trị mới của k_n và k_s , cập nhật ma trận độ cứng tổng thể $[K_{t+\Delta t}]^{(i)}$, vòng lặp mới được tiếp tục.

IV. CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH VÀ VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Trên cơ sở thuật toán đã nêu, các tác giả đã tiến hành lập trình trong môi trường Matlab. Chương trình có tên ONSH-2006, cho phép giải bằng số các bài toán tương tác giữa ống dẫn thành dày chịu áp lực trong với nền đàn hồi có kể đến sự tách, trượt giữa bề mặt công trình và nền với tải trọng đặt trên mặt nền. Khảo sát công trình ống dẫn dạng tiết diện vành khăn đặt trong nền san hô chịu tác dụng của áp lực trong $p = \text{const}$ và tải trọng đặt trên mặt nền (Hình 3) theo quy luật như hình 4. Sơ đồ lưới PTHH của bài toán thể hiện như trên hình 1b.

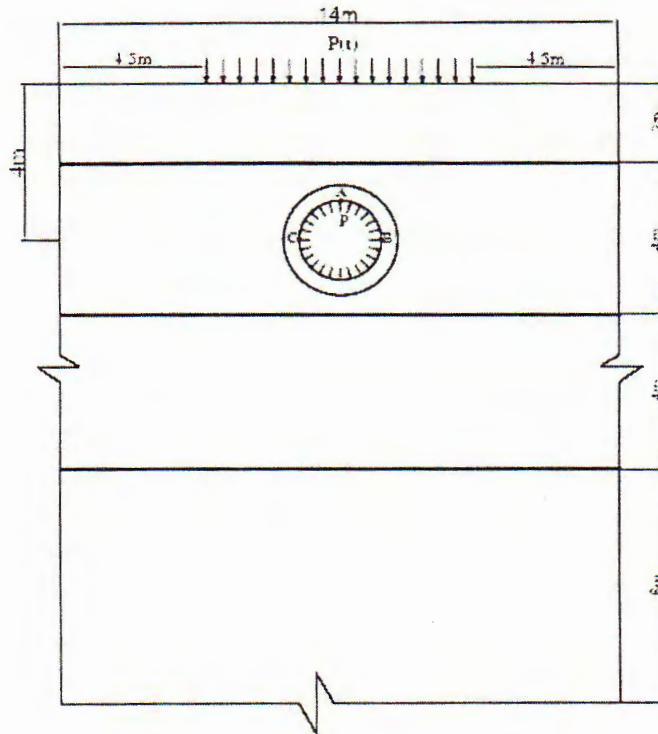
- Số liệu nền san hô: Các tác giả lấy số liệu nền là kết quả phân tích đặc điểm địa chất công trình và tính chất cơ lý của lỗ khoan sâu 51,2m tại đảo Song Tử Tây - Quần đảo Trường Sa. Các số liệu tính toán thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thuộc tính vật liệu nền san hô

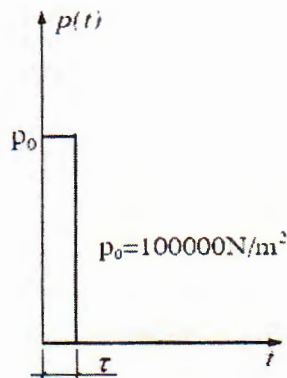
Lớp	Độ sâu (m)	E (N/cm ²)	ν	ρ (kg/cm ³)	Hệ số ma sát f	Hệ số giảm chấn ξ
1	2	$2,8 \cdot 10^4$	0,22	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,21	0,02
2	6	$2,1 \cdot 10^5$	0,25	$2,8 \cdot 10^{-3}$	0,32	
3	10	$2,0 \cdot 10^6$	0,25	$2,9 \cdot 10^{-3}$	0,41	
4	16	$2,6 \cdot 10^5$	0,25	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,47	

- Số liệu ống dẫn: Đường kính ngoài $D = 1\text{m}$, đường kính trong $d = 0,6\text{m}$, mô đun đàn hồi $E = 2,1 \cdot 10^7\text{N/cm}^2$, hệ số Poisson $\nu = 0,3$ và khối lượng riêng vật liệu $\rho = 7,8 \cdot 10^3\text{kg/cm}^3$.

- Tải trọng tính toán (hình 3): bao gồm trọng lượng bản thân, áp suất trong $p = 10000\text{N/m}^2$ của ống dẫn, tải trọng ngắn hạn tác dụng lên bề mặt nền theo quy luật như hình 4.



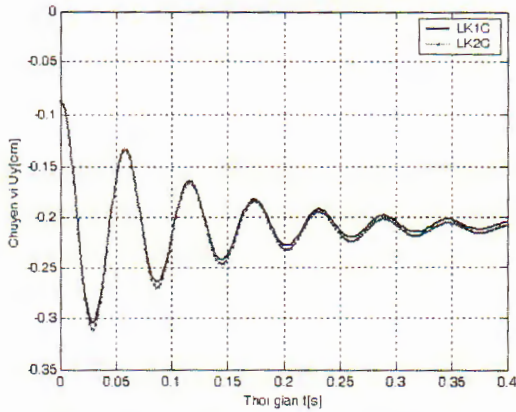
Hình 3. Mô hình bài tính



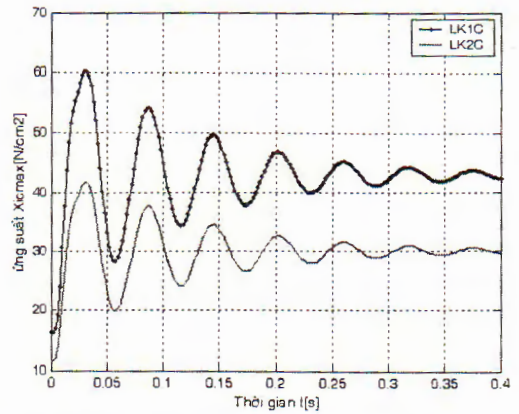
Hình 4. Quy luật biến thiên tải trọng

Trạng thái ban đầu của hệ được tính theo bài toán tĩnh đàn hồi tuyến tính chịu tác dụng của trọng lượng bản thân, áp suất trong của ống dẫn. Khi chất tải trọng ngắn hạn, sử dụng chương trình đã lập, tiến hành tính toán cho hai trường hợp: có kể đến tách, trượt giữa ống dẫn – nền (nền san hô) ký hiệu LK1C và trường hợp không kể đến tách, trượt giữa ống dẫn – nền ký hiệu LK2C, với thời gian tác dụng tải $\tau = 0,4s$.

Đồ thị hình 5 thể hiện chuyển vị u_y theo phương đứng (phương y) của điểm A, trên hình 6 là quan hệ ứng suất σ_x và thời gian tại điểm A (các điểm A, B và C nằm ở mép trong của ống dẫn – hình 3).



Hình 5. Chuyển vị đứng của điểm A



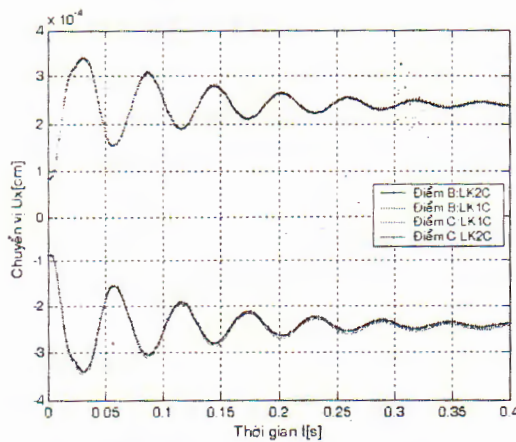
Hình 6. Ứng suất σ_x tại A

Qua kết quả đồ thị hình 5 và hình 6, ta thấy có sự khác nhau về kết quả tính, nó phụ thuộc vào từng loại liên kết:

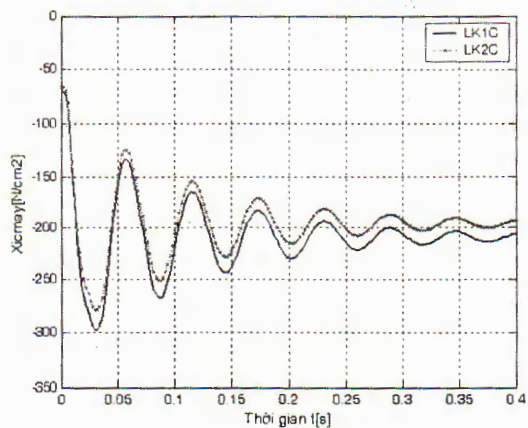
- LK1C: $u_y^{\max} = 0,3047 \text{ cm}$ ($t = 0,03\text{s}$), $\sigma_x^{\max} = 60,1719 \text{ N/cm}^2$ ($t = 0,032\text{s}$)

- LK2C: $u_y^{\max} = 0,3112 \text{ cm}$ ($t = 0,03\text{s}$), $\sigma_x^{\max} = 41,7712 \text{ N/cm}^2$ ($t = 0,032\text{s}$)

Trên hình 7 thể hiện sự thay đổi theo thời gian của chuyển vị ngang u_x tại điểm B và C. Hình 8 là đồ thị ứng suất σ_y tại điểm B.



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



Hình 8. Quan hệ $\sigma_y - t$ tại điểm B

Qua kết quả tính ở hình 7 và 8, ta thấy từng loại liên kết ảnh hưởng đến kết quả tính, cụ thể:

- LK1C: $u_x^{\max} = 0,3434 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$ ($t = 0,032 \text{ s}$), $\sigma_y^{\max} = -298,2792 \text{ N/cm}^2$ ($t = 0,032 \text{ s}$)

- LK2C: $u_x^{\max} = 0,3391 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$ ($t = 0,032 \text{ s}$), $\sigma_y^{\max} = -279,1726 \text{ N/cm}^2$ ($t = 0,032 \text{ s}$)

V. KẾT LUẬN

Việc đưa phần tử tiếp xúc vào giữa bề mặt ống dẫn và nền thể hiện được tính liên kết một chiều của nền san hô. Từ các kết quả nghiên cứu đạt được, ta thấy ảnh hưởng của tính liên kết một chiều đến trạng thái ứng suất – biến dạng của hệ kết cấu ống dẫn và nền là đáng kể. Đặc biệt tính liên kết một chiều của nền ảnh hưởng rất đáng kể đến ứng suất, cụ thể:

- Tại điểm A, cả hai trường hợp đều cho thấy, theo phương x ống chịu kéo, giá trị ứng suất pháp σ_x lớn nhất của trường hợp LK1C lớn hơn trường hợp LK2C là 30,58%.

- Tại điểm B, cả hai trường hợp đều cho thấy, theo phương y ống chịu nén, giá trị ứng suất pháp σ_y lớn nhất của trường hợp LK1C lớn hơn trường hợp LK2C là 6,41%.

Vì vậy, khi tính toán thiết kế các công trình dạng ống dẫn trong nền san hô cần phải tính đến tính liên kết một chiều của vật liệu nền để kết quả đạt được có tính chính xác và hiệu quả hơn.

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, 2005.** Tuyển tập tổng kết đề tài KC.09.08. Học viện Kỹ thuật quân sự.
4. **A.B.Fadeev, 1995.** Phương pháp phần tử hữu hạn trong địa cơ học. NXB Giáo dục.
5. **Klaus-Jürgen Bath and Edward L. Wilson, 1982.** Numerical Method in Finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
6. **O. C. Zienkiewicz, FRS and R.L. Taylor, 1986.** The Finite Element Method. Mcgraw-Hill Book Company.
7. **Amir Rahim, 1998.** Crisp Development Report JOINT INTERFACE (SLIP) ELEMENTS IN CRISP IN 2D AND 3D SPACE.

STUDY OF WORKING OF PIPE IN CORAL FOUNDATION

HOANG XUAN LUONG, PHAM TIEN DAT, NGUYEN THAI CHUNG ⁽¹⁾
LE TAN ⁽²⁾

Summary. In this paper, the authors present some results in the research of interaction between the pipe and the coral foundation of Truong Sa Archipelago by finite element method using slip elements. By using the slip elements to bring essence true of coral foundation. The results can be used in design as reference for constructions on the coral foundation.

Công trình này hoàn thành dưới sự hỗ trợ của Chương trình Nghiên cứu cơ bản và Chương trình KC.09

Ngày nhận bài: 20 - 10 - 2006

Người nhận xét: TS. Nguyễn Thế Tiếp

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

⁽²⁾ Trung tâm tư vấn ứng dụng khoa học Địa chất và công trình giao thông TP. Hồ Chí Minh