

**TƯƠNG TÁC ĐỘNG LỰC HỌC GIỮA HỆ DÀN PHẪNG VÀ
NỀN SAN HỒ DƯỚI TÁC DỤNG CỦA ĐỘNG ĐẤT**

NGUYỄN THÁI CHUNG

Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt: Bài báo trình bày thuật toán phần tử hữu hạn và chương trình tính giải bài toán tương tác động lực học hệ dàn phẳng và nền san hô, trong đó sử dụng phần tử tiếp xúc mô tả tính chất liên kết một chiều của nền. Hệ phương trình động lực học phi tuyến được giải trên cơ sở kết hợp phương pháp tích phân trực tiếp Newmark và lặp Newton-Raphson, chương trình tính được xây dựng trong môi trường Matlab. Kết quả nghiên cứu của bài báo có thể làm tài liệu tham khảo trong tính toán và thiết kế các công trình trên nền san hô chịu tác dụng của tải trọng động nói chung.

I. MỞ ĐẦU

Đặc điểm nổi bật của các loại công trình biển đảo nói chung là điều kiện thi công khó khăn, chịu các loại tải trọng phức tạp và môi trường khắc nghiệt. Bên cạnh đó có những công trình do yêu cầu về mặt tác chiến, về chính trị nên phải tính toán, thiết kế và thi công trong một thời gian ngắn. Do đó, nghiên cứu, đề xuất và thực hành tính toán kết cấu công trình trên nền san hô làm cơ sở cho việc lựa chọn các giải pháp tối ưu các công trình biển đảo phục vụ cho thời bình, thời chiến và cả phát triển kinh tế quốc dân là vấn đề cấp bách hiện nay.

Trên cơ sở nghiên cứu về mô hình vật liệu san hô và nền san hô, bài báo trình bày phương pháp và một số kết quả giải bài toán tương tác giữa kết cấu công trình dạng hệ thanh phẳng và nền san hô dưới tác dụng đồng thời của tải trọng và động đất.

II. ĐẶT BÀI TOÁN, CÁC GIẢ THIẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH

1. Mô hình hoá nền san hô

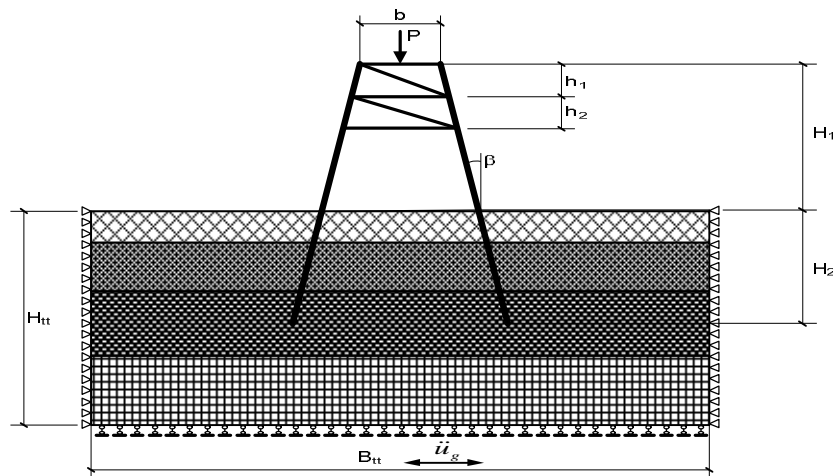
Theo [1,3], có thể khái quát mô hình nền san hô phục vụ tính toán công trình như sau:

- San hô là vật liệu giòn, quan hệ ứng suất – biến dạng gần tuyến tính, liên kết giữa nền san hô và kết cấu có tính chất một chiều (nền san hô chỉ chịu nén, không chịu kéo).
- Nền san hô phân lớp, trong đó mỗi lớp nền vật liệu được xem như đồng nhất.
- Mô đun đàn hồi của các lớp vật liệu san hô biến thiên từ $0,19 \times 10^4$ (kG/cm²) đến $3,79 \times 10^4$ (kG/cm²), hệ số Poisson biến thiên từ 0,14 đến 0,47, khối lượng riêng dao động

từ $2,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ đến $2,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Hệ số ma sát giữa vật liệu san hô và bê tông biến thiên từ 0,43 đến 0,45, giữa san hô và thép biến thiên từ 0,29 đến 0,36.

2. Mô hình hoá bài toán

Xét hệ thanh phẳng tương tác với nền san hô gồm các thanh đứng và các thanh giằng làm việc đồng thời với nền theo mô hình bài toán phẳng (hình 1). Các thanh đứng cắm vào nền san hô với góc lệch β , chiều sâu ngấp trong nền là H_2 , phần còn lại có chiều dài H_1 . Tải trọng tác dụng lên hệ gồm: tải trọng thẳng đứng P (không đổi) và tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang. Do sự làm việc đồng thời giữa kết cấu và nền, nên việc tính toán được thực hiện trên mô hình gồm kết cấu và một phần nền (gọi là miền nghiên cứu). Miền nghiên cứu của bài toán được xác bằng phương pháp giải lập [1,2,5].



Hình 1: Mô hình bài toán tương tác hệ thanh – nền san hô chịu tải trọng động đất

3. Các giả thiết và phương pháp giải bài toán

Các giả thiết:

- Vật liệu kết cấu là đàn hồi tuyến tính, chuyển vị và biến dạng của hệ là bé.
- Mỗi lớp nền là vật liệu đồng nhất, đẳng hướng, đàn hồi tuyến tính.
- Liên kết giữa các thanh đứng và nền là liên kết một chiều, được thay thế bằng liên kết nút giữa các phần tử dầm chịu uốn ngang phẳng và phần tử biến dạng phẳng thông qua liên kết với phần tử tiếp xúc.

- Các thành phần chuyển vị thẳng đứng và xoay của nền do động đất gây ra là bé so với chuyển vị ngang, do vậy chỉ khảo sát thành phần chuyển vị ngang của nền.

Phương pháp giải: Để giải bài toán đặt ra, các tác giả sử dụng phương pháp PTHH.

III. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA KẾT CẤU CHỊU TÁC DỤNG ĐỒNG THỜI CỦA TẢI TRỌNG VÀ ĐỘNG ĐẤT

1. Các phần tử sử dụng

1.1. Phần tử thanh phẳng 2 nút:

Các thành phần của hệ thanh phẳng được mô hình hóa bằng các phần tử thanh 2 nút chịu kéo (nén), uốn, trong đó mỗi nút có 3 bậc tự do u, v, θ (hình 2). Các thành phần nội lực được xác định thông qua véc tơ chuyển vị và hàm dạng của phần tử.



Hình 2: Phần tử thanh 2 nút với hệ trục tọa độ cục bộ

Chuyển vị của một điểm bất kỳ thuộc phần tử m được nội suy theo véc tơ chuyển vị nút:

$$\{u\}_m = [N]_m \{U\}_m, \quad (1)$$

trong đó: $\{u\}_m = \{u \quad v \quad \theta\}^T$ - véc tơ chuyển vị tại điểm bất kỳ thuộc phần tử m , u, v - chuyển vị thẳng theo phương trục x và trục y , θ là chuyển vị xoay quanh trục z , $[N]_m$ - ma trận các hàm dạng của phần tử có cấp 3×6 , $\{U\}_m$ là véc tơ chuyển vị nút của phần tử:

$$\{U\}_m = \{U_{ix} \quad U_{iy} \quad U_{i\theta} \quad U_{jx} \quad U_{jy} \quad U_{j\theta}\}^T \quad (2)$$

Các ma trận khối lượng, cân, độ cứng phần tử được xác định theo nguyên lý dùm của thế năng toàn phần của phần tử [6]:

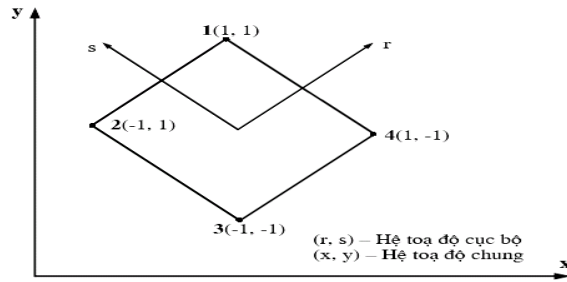
$$\text{Ma trận khối lượng phần tử: } [M]_m = \int_{V_m} \rho [N]_m^T [N]_m dV_m \quad (3)$$

$$\text{Ma trận độ cứng phần tử: } [K]_m = \int_{V_m} [B]_m^T [D] [B]_m dV_m \quad (4)$$

Với: ρ - khối lượng riêng vật liệu, $[D]$ - ma trận vật liệu, $[B]_m$ - ma trận quan hệ biến dạng - chuyển vị phần tử, chúng được xác định tùy theo loại phần tử.

1.2. Phần tử biến dạng phẳng đẳng tham số 4 điểm nút:

Các lớp nền được mô hình hóa bởi hữu hạn các phần tử biến dạng phẳng đẳng tham số 4 điểm nút, trong đó mỗi nút có 2 bậc tự do.



Hình 3: Phân tử tứ giác 4 điểm nút với hệ trục tọa độ

Chuyển vị của 1 điểm bất kỳ thuộc phần tử được nội suy theo chuyển vị nút:

$$\{u\}_e = [N]_e \{U\}_e \quad (5)$$

$$\text{trong đó: } \{U\}_e = \{U_{1x} \quad U_{1y} \quad U_{2x} \quad U_{2y} \quad \dots \quad U_{4x} \quad U_{4y}\}^T \quad (6)$$

$[N]_e$ - ma trận hàm dạng phần tử, có cấp 1×4 .

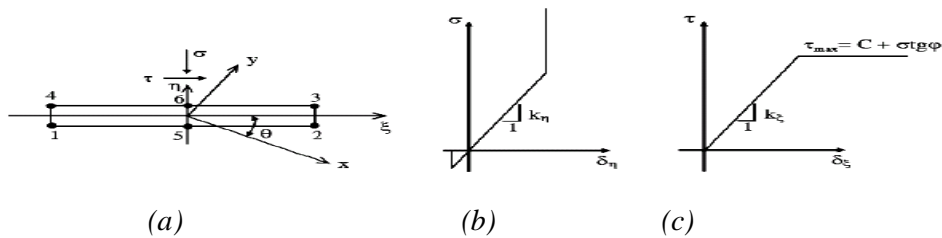
$$\text{Ma trận khối lượng phần tử: } [M]_e = \int_{V_e} \rho [N]_e^T [N]_e dV_e \quad (7)$$

$$\text{Ma trận độ cứng phần tử: } [K]_e = \int_{V_e} [B]_e^T [D][B]_e dV_e \quad (8)$$

với: $[B]_e$ – ma trận quan hệ biến dạng – chuyển vị phần tử.

1.3. Phân tử tiếp xúc phẳng 2 chiều:

Phân tử tiếp xúc (PTTX) được sử dụng để mô hình hóa lớp tiếp xúc giữa bề mặt kết cấu và nền san hô, điều này cho phép thể hiện tính chất liên kết một chiều của nền san hô. Mô hình PTTX được thể hiện như trên hình 4.



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

Hình 4: Mô hình phân tử tiếp xúc Goodman (1÷6 là các nút)

Quan hệ giữa số gia ứng suất và số gia biến dạng được xác định [4,7]:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma \\ \Delta\tau \end{Bmatrix} = [D_{se}] \begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta\gamma \end{Bmatrix} \quad (9)$$

$$\text{trong đó: } [D_{se}] = \begin{bmatrix} k_\eta & 0 \\ 0 & k_\xi \end{bmatrix} \quad (10)$$

với: k_η và k_ξ tương ứng là độ cứng pháp tuyến và tiếp tuyến của phần tử :

$$k_\eta = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}; k_\xi = G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (11)$$

trong đó: 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 nút PTTX trong hệ tọa độ tổng thể và góc lệch trục θ :

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (12)$$

Khi sử dụng phần tử tiếp xúc 4 điểm nút, biến dạng trong phần tử là đều. Ma trận độ cứng của phần tử tiếp xúc trong hệ tọa độ chung được xác định theo biểu thức:

$$[K_{se}] = \iint [B_{se}]^T [D_{se}] [B_{se}] dx dy \quad (13)$$

$[B_{se}]$ là ma trận biến dạng - chuyển vị của phần tử trong hệ tọa độ chung, xác định:

$$[B_{se}] = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} [B_{local}] \quad (14)$$

với góc α được thể hiện trên hình 5 và được xác định:

$[B_{local}]$ là ma trận biến dạng - chuyển vị của phần tử trong hệ tọa độ cục bộ:

$$[B_{local}] = \begin{bmatrix} 0 & N'_1 & 0 & N'_2 & 0 & -N'_3 & 0 & -N'_4 & 0 & N'_5 & 0 & -N'_6 \\ N'_1 & 0 & N'_2 & 0 & -N'_3 & 0 & -N'_4 & 0 & N'_5 & 0 & -N'_6 & 0 \end{bmatrix}$$

trong đó: $N'_i = \frac{dN_i}{d\xi}$, trong tọa độ cục bộ ξ có giá trị thay đổi từ -1 đến +1.

Quan hệ giữa số gia chuyển vị nút của phần tử trong hệ tọa độ chung với các số gia biến dạng pháp tuyến và biến dạng tiếp tuyến của phần tử tiếp xúc được xác định:

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon \\ \Delta \gamma \end{Bmatrix} = [\mathbf{B}_{se}] \{\Delta \mathbf{U}_{se}\} \quad (15)$$

trong đó: $\{\Delta \mathbf{U}_{se}\}$ là véc tơ số gia chuyển vị nút của phần tử tiếp xúc trong hệ tọa độ chung: $\{\Delta \mathbf{U}_{se}\} = \{\delta u_1 \quad \delta v_1 \quad \delta u_2 \quad \delta v_2 \quad \dots \quad \delta u_6 \quad \delta v_6\}^T$.

$$\text{Đổi biến: } \iint dx dy = \int_{-1}^1 \det |\mathbf{J}| d\xi, \quad (13) \text{ trở thành: } [\mathbf{K}_{se}] = \int_{-1}^1 [\mathbf{B}_{se}]^T [\mathbf{D}_{se} [\mathbf{B}_{se}]] \det |\mathbf{J}| d\xi \quad (16)$$

Các ma trận phần tử (3), (4), (7), (8), (16) được xác định bằng phương pháp tích phân số với thuật toán cầu phương Gauss – Legendre [6].

2. Phương trình chuyển động của hệ

Khảo sát kết cấu chịu tác dụng đồng thời của tải trọng và động đất. Động đất xảy ra theo phương ngang (phương x) với gia tốc nền là \ddot{u}_g . Gia tốc này sẽ gây ra gia tốc của các khối lượng tập trung tại các nút của kết cấu: $\{\ddot{\mathbf{U}}_g\} = \{\mathbf{r}\} \ddot{u}_g$, (17)

trong đó: $\{\ddot{\mathbf{U}}_g\}$ là véc tơ có số chiều bằng số chiều véc tơ chuyển vị nút $\{\bar{\mathbf{U}}\}$ của kết cấu, $\{\mathbf{r}\}$ là véc tơ hệ số ảnh hưởng, gồm các giá trị 1 và 0: giá trị 1 ứng với phương chuyển vị nút có ảnh hưởng của gia tốc động đất, giá trị 0 ứng với phương chuyển vị nút không ảnh hưởng của gia tốc động đất.

Véc tơ tải trọng do động đất $\{\bar{\mathbf{R}}_e\}$ tác dụng lên các nút (bằng lực quán tính do gia tốc nền gây ra đối với khối lượng tập trung tại các nút) của toàn kết cấu:

$$\{\bar{\mathbf{R}}_e\} = -[\bar{\mathbf{M}}] \{\ddot{\mathbf{U}}_g\} = -[\bar{\mathbf{M}}] \{\mathbf{r}\} \ddot{u}_g. \quad (18)$$

Lúc này phương trình chuyển động của hệ có dạng sau:

$$[\bar{\mathbf{M}}] \{\ddot{\mathbf{U}}\} + [\bar{\mathbf{C}}] \{\dot{\mathbf{U}}\} + [\bar{\mathbf{K}}] \{\bar{\mathbf{U}}\} = \{\bar{\mathbf{R}}_d\} + \{\bar{\mathbf{R}}_e\}, \quad (19)$$

trong đó: $\{\ddot{\mathbf{U}}\}, \{\dot{\mathbf{U}}\}, \{\bar{\mathbf{U}}\}$ tương ứng là véc tơ gia tốc, véc tơ vận tốc và véc tơ chuyển vị nút của hệ, $[\bar{\mathbf{M}}], [\bar{\mathbf{C}}], [\bar{\mathbf{K}}]$ tương ứng là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng của hệ, $\{\bar{\mathbf{R}}_d\}$ là véc tơ tải trọng nút của hệ do tải trọng gây ra.

Các ma trận khối lượng, độ cứng được tập hợp từ các ma trận phần tử, còn ma trận cản $[\bar{C}]$ thường được xác định bằng tổ hợp tuyến tính của ma trận khối lượng và ma trận độ cứng của hệ, theo biểu thức: $[\bar{C}] = \bar{\alpha}[\bar{M}] + \bar{\beta}[\bar{K}]$, (20)

với: α, β là các hằng số và được gọi là các hệ số cản Rayleigh [6].

Sau khi đưa vào các điều kiện biên, hệ phương trình (19) có dạng sau:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{R_d\} + \{R_e\} = \{R\} \quad (21)$$

Khi xuất hiện sự tách hoặc trượt (hoặc đồng thời) tại bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu và nền san hô, ma trận độ cứng PTTX phụ thuộc véc tơ chuyển vị nút: $[K_{se}] = [K_{se}(\{U\})]$ và do đó ma trận độ cứng tổng thể của hệ $[K] = \sum_e [K]_e$ cũng phụ thuộc véc tơ chuyển vị nút: $[K] = [K(\{U\})]$. Theo (20), ma trận cản tổng thể cũng phụ thuộc véc tơ chuyển vị nút: $[C] = [C(\{U\})]$.

Vậy, hệ phương trình chuyển động (19) được viết lại như sau:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C(\{U\})]\{\dot{U}\} + [K(\{U\})]\{U\} = \{R_d\} + \{R_e\} = \{R\} \quad (22)$$

là hệ phương trình động lực học phi tuyến.

IV. THUẬT TOÁN PTHH GIẢI PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA HỆ

Các tác giả kết hợp phương pháp tích phân trực tiếp Newmark và phương pháp lặp Newton-Raphson để giải phương trình (22). Sử dụng phương pháp ma trận độ cứng tiếp tuyến hiệu quả và véc tơ tải trọng hiệu quả, tuyến tính hoá hệ (22) dưới dạng [5,6,7]:

$$[K_{t+\Delta t}^*]^{(i-1)} \{\Delta U\}^{(i)} = \{R_{t+\Delta t}^*\}^{(i-1)} - \{P_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} \quad (23)$$

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 $t + \Delta t$ [6].

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

$$\{U_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{U_t\}; \{\dot{U}_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{\dot{U}_t\}; \{P_{t+\Delta t}\}^{(0)} = \{P_t\}; [K_{t+\Delta t}]^{(0)} = [K_t] \quad (24)$$

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

$$\{U_{t+\Delta t}\}^{(i)} = \{U_{t+\Delta t}\}^{(i-1)} + \{\Delta U\}^{(i)} \quad (25)$$

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

$$\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} = a_0 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_2 \{\dot{U}_t\} - a_3 \{\ddot{U}_t\} \quad (26)$$

$$\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} = a_1 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_4 \{\dot{U}_t\} - a_5 \{\ddot{U}_t\} \quad (27)$$

$$\text{với: } \begin{cases} a_0 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}; & a_1 = \frac{\delta}{\alpha \Delta t}; & a_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}; & a_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1; \\ a_4 = \frac{\delta}{\alpha} - 1; & a_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\delta}{\alpha} - 2 \right); \end{cases} \quad (28)$$

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

Trong mỗi bước lặp, tiến hành kiểm tra sự tách, trượt trên bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu và nền san hô thông qua điều kiện ứng suất pháp (σ); và ứng suất tiếp (τ); trên mỗi phần tử tiếp xúc. Tiêu chuẩn dừng của phép lặp là sự hội tụ của chuyển vị nút.

V. CHƯƠNG TRÌNH MÁY TÍNH VÀ VÍ DỤ SỐ

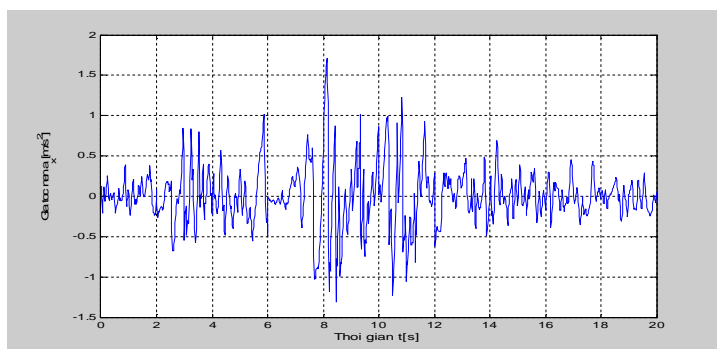
Trên cơ sở thuật toán đã nêu, các tác giả tiến hành lập trình trong môi trường Matlab. Chương trình có tên Fram_Coral, cho phép giải bằng số các bài toán tương tác giữa kết cấu hệ thanh phẳng với nền có tính chất liên kết 1 chiều như nền san hô, nền đá, nền cát, vv... chịu tác dụng đồng thời của tải trọng và động đất.

Khảo sát công trình hệ dàn phẳng, các kích thước như hình 1, sai số lặp biên miền tính toán $\varepsilon_{tt} = 1,0\%$. Các số liệu cụ thể: $B_{tt} = 24m$, $H_{tt} = 14m$, $H_1 = 20m$, $H_2 = 8m$, $h_1 = h_2 = 5m$, $b = 4m$, $\beta = 8^0$. Đường kính 2 thanh đứng $d_1 = 0,6m$, đường kính các thanh xiên $d_2 = 0,2m$. Vật liệu dàn bằng thép, có $E = 2,1.10^{11}N/m^2$, hệ số Poisson $\nu = 0,3$, khối lượng riêng $\rho = 7800kg/m^3$. Số liệu nền san hô [1,3] như trong bảng 1.

Bảng 1: Thuộc tính vật liệu nền san hô

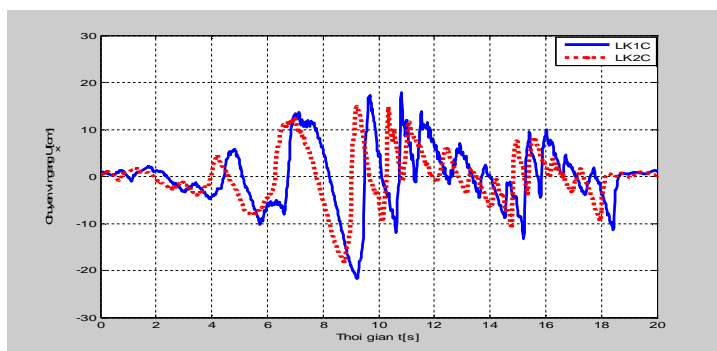
Lớp	Độ sâu (m)	E (N/cm ²)	ν	ρ (kg/cm ³)	Hệ số ma sát f	Hệ số giảm chấn ξ_s
1	2	$0,28.10^4$	0,22	$2,5.10^{-3}$	0,21	0,05
2	6	$2,1.10^5$	0,25	$2,8.10^{-3}$	0,32	
3	10	$20,0.10^5$	0,25	$2,9.10^{-3}$	0,41	
4	16	$2,6.10^5$	0,25	$2,0.10^{-3}$	0,47	

Hệ chịu tải trọng thẳng đứng $P = 10000kg$ và động đất, gia tốc nền tác dụng theo phương ngang, với giản đồ gia tốc như hình 5.



Hình 5: Giảm độ gia tốc nền với $a_x^{\max} = 1,7085m/s^2 = 170,85cm/s^2$

Trạng thái ban đầu của hệ được tính theo bài toán tĩnh đàn hồi tuyến tính chịu tác dụng của trọng lượng bản thân. Khi chất tải, sử dụng chương trình đã lập, với sai số lặp xác định miền tính toán $\varepsilon_D = 0,5\%$, tính cho hai trường hợp: có kể đến tách, trượt giữa kết cấu và nền (LK1C) và trường hợp không kể đến tách, trượt giữa kết cấu và nền (LK2C). Kết quả đáp ứng chuyển vị ngang tại đỉnh giàn thể hiện như hình 6.



Hình 6: Chuyển vị đứng của đỉnh dàn

Qua kết quả tính, ta thấy giá trị chuyển vị ngang lớn nhất trong trường hợp quan niệm nền liên kết 1 chiều là 21,7500cm, trong khi quan niệm nền liên kết 2 chiều cho thấy giá trị lớn nhất của chuyển vị xác định được là 18,1594cm, mức độ chênh lệch 19,77%. Điều này có thể khẳng định, nếu xét theo tiêu chí chuyển vị lớn nhất thì tính theo quan niệm nền liên kết 1 chiều thiên về an toàn hơn.

VI. KẾT LUẬN

- Đã thiết lập thuật toán PTHH và chương trình máy tính phân tích động lực học phi tuyến tương tác giữa kết cấu hệ dàn phẳng và nền san hô chịu tác dụng đồng thời của tải trọng và động đất.

- Tính toán ví dụ số với mô hình nền san hô cụ thể đối với 2 quan niệm: nền liên kết 2 chiều (quan niệm cũ) và nền liên kết 1 chiều (nội dung bài báo giải quyết) cho thấy mức độ sai khác về chuyển vị của dầm cho 2 trường hợp, đưa ra khuyến cáo có tính chất tham khảo cho tính toán kết cấu tương tác với nền san hô.

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, pp.35-44.
3. **Hoàng Xuân Lượng, 2010.** *Tuyển tập tổng kết đề tài KC.09.07/06-10*, 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. **NTUST – CT 6006, (2006).** *Advanced Dynamics of Structures*.
6. **O. C. Zienkiewicz, FRS and R.L. Taylo, 1986.** *The Finite Element Method*, Mcgraw-Hill Book Company.
7. **Joint Interface (Slip), 1998.** Elements in Crisp in 2D and 3D Space, Amir Rahim, March.

DYNAMIC ANALYSIS OF INTERACTION BETWEEN FRAME AND CORAL FOUNDATION UNDER EARTHQUAKE LOADING

NGUYEN THAI CHUNG

Summary: In this study, the author present the calculating method and some results studying interaction between frame and coral foundation of Truong Sa archipelago under static loading and earthquake loading simultaneous. The problem analysis with finite element method and using strain plane element (for coral foundation), two nodes beam element (for frame), 2D slip element (for layers between frame and coral foundation). The paper results can be used in design as reference for frame structures in the coral foundation under static and dynamic loading.

Ngày nhận bài: 16 - 12 - 2011

Người nhận xét: GS. TS. Hoàng Xuân Lượng