

### 1. Chỉ dẫn kỹ thuật

#### 1-1. Đặc điểm của Trụ va/ neo

Bền trụ va/neo là dạng công trình có kết cấu bệ cọc cao bao gồm các trụ va, các trụ neo và sàn công tác. Việc xác minh tính năng kết cấu của trụ neo bao gồm các dạng tải trọng khác nhau của lực va neo tàu, tải trọng khai thác, cũng như trong điều kiện bão và động đất cấp 1. Do có nhiều ví dụ trụ neo được sử dụng kèm với các công trình tàu chở khí hóa lỏng (LNG – Liquefied Natural Gas) và dầu, nên khi xét đến tình huống bất thường liên quan đến động đất cấp 2, mức độ hư hại cần được xác minh thông qua phân tích động (dynamic analysis).

Vì ở Việt Nam chỉ có động đất với chu kỳ lặp lại 500 năm, nên người thiết kế phải cân nhắc kỹ lưỡng chuyển động nền hoặc mức hiệu năng cần áp dụng.

Ngoài ra, tùy thuộc vào loại hàng hóa được bốc xếp, các công trình cảng còn phải đáp ứng các yêu cầu tính năng do các quy định liên quan khác đặt ra, ngoài các tiêu chuẩn công trình cảng được mô tả trong tài liệu này. Do đó, khi thực hiện các nhiệm vụ thiết kế cụ thể, cần xác nhận xem công trình đó có thuộc phạm vi áp dụng của các yêu cầu pháp lý bổ sung hay không.

Trong tập tài liệu này, chúng tôi sẽ giới thiệu loại trụ neo dạng cọc trong số các dạng kết cấu khác như cọc vây ô, và dạng kết cấu thùng chìm. Các hạng mục công trình điển hình cấu thành bến trụ va neo, bao gồm trụ va (Breasting Dolphin, BD), trụ neo (Mooring Dolphin, MD) và sàn công tác xếp dỡ hàng (Working Platform, WP), sẽ được giới thiệu. Sau đó, như một ví dụ minh họa việc sẽ được trình bày phần xác minh tính năng dưới các tác động của Tải trọng biển đổi/ tạm thời đối với BD.

#### 1-2. Cơ sở cho việc xác minh tính năng

##### (1) Quy trình xác minh

Khi thực hiện xác minh tính năng của trụ va neo, cần phải xác định bố trí mặt bằng của từng hạng mục công trình. Bố trí của trụ va và trụ neo được thiết lập như sau:

##### 1) Bố trí Trụ va neo

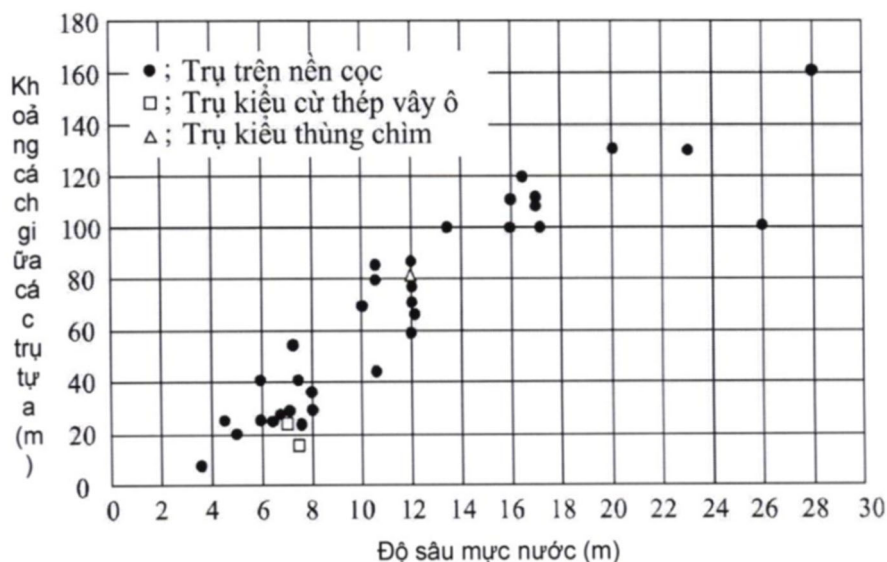
Khi cần sử dụng thiết bị bốc dỡ chuyên dụng cho việc bơm hút dầu, một sàn công tác bốc dỡ hàng lỏng sẽ được lắp đặt ở giữa các trụ va. Trong trường hợp này, nên bố trí sàn công tác hơi lùi về phía sau so với trụ va để lực va đập khi tàu cập bến không tác động trực tiếp lên sàn công tác.

Trụ va neo được thiết kế sao cho trục dọc của chúng song song với hướng chủ đạo của gió, sóng và dòng chảy. Cách bố trí này giúp tàu dễ dàng điều động tàu hơn trong quá trình cập bến, đồng thời giảm các lực tác động bên ngoài lên trụ va neo trong quá trình buộc tàu. Ngoài ra, việc bố trí trụ va neo như vậy còn có lợi thế là bảo đảm được độ sâu thiết kế trong phạm vi mực nước hiện có.

##### 2) Trụ va (BD)

Một con tàu điển hình có phần mũi và lái cong chiếm khoảng 1/8 chiều dài tổng thể  $L$  của tàu, và khoảng 3/4 phần giữa thân tàu là đoạn thẳng. Việc bố trí trụ va tại các đoạn thẳng này là phù hợp nhằm cải thiện khả năng neo đậu khi tàu áp sát cầu. Khoảng cách giữa các trụ va càng rộng thì càng có lợi về mặt lực va

cập bến, nhưng đồng thời cũng làm cho việc cập song song khó khăn hơn và hạn chế không gian để điều chỉnh vị trí sau khi tàu đã áp mạn. Ngược lại, nếu khoảng cách quá hẹp, trọng tâm của tàu sẽ nằm gần hơn với các trụ va, điều này lại bất lợi cho việc phân tán lực va cập bến. Vì vậy, khoảng cách tối ưu giữa các trụ neo thường được xem là khoảng 1/3 chiều dài tổng thể của tàu ( $L$ ). Khoảng cách giữa các trụ va có mối liên hệ chặt chẽ với chiều dài tổng thể ( $L$ ) của tàu thiết kế. Hình 1.1 minh họa mối quan hệ giữa khoảng cách trụ va và độ sâu luồng, được rút ra từ dữ liệu các công trình đã xây dựng trước đây để tham khảo.



Nguồn: TCVN 11820-5-2021

Hình 1.1- Khoảng cách giữa các trụ va

### 3) Trụ neo (MD)

Trụ neo thường được bố trí với trụ va neo ngoài để buộc dây neo mũi (head line) và dây neo lái (stern line) từ phía mũi và lái tàu, và trụ va neo trong để buộc dây neo mạn và neo mũi. Vị trí của từng trụ va được sắp xếp như sau.

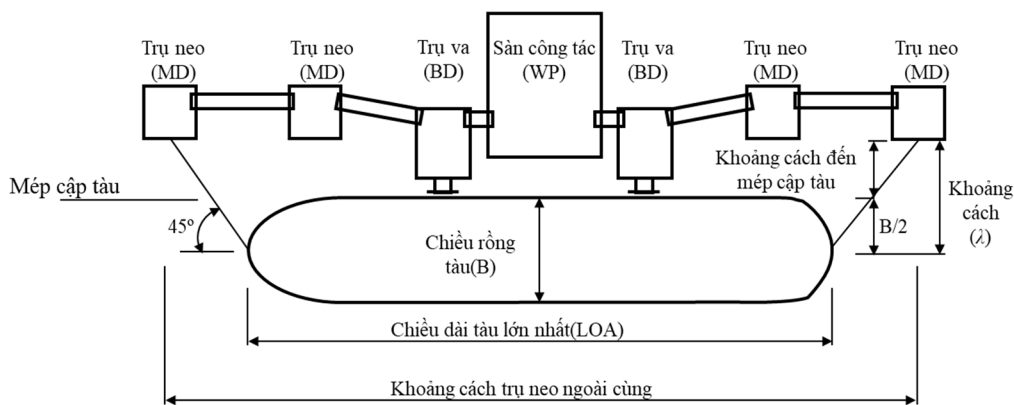
Các trụ neo thường được bố trí ở một góc 45° so với vị trí bích neo (rope bits) ở mũi và lái tàu, đồng thời lùi vào một khoảng nhất định so với mặt trước của trụ neo va. Số lượng trụ neo được xác định dựa trên lực kéo (tractive force) của tàu, nhưng theo các công trình đã xây dựng trước đây, thường sử dụng từ 2 đến 4 trụ neo. Ngoài ra, cũng có thể lắp đặt cột buộc trên trụ neo và sử dụng chúng để buộc các tàu thiết kế cũng như các tàu nhỏ

Như thể hiện trong Hình 1.2, khoảng cách và góc từ vị trí buộc tàu đến trụ neo (MD) cần được xem xét.

- ✓ Khoảng cách ( $\lambda$ ):  $B/2 +$  khoảng cách tách rời từ đường cập bến (berthing line)
- ✓ Khoảng cách giữa các trụ neo ngoài: Chiều dài toàn bộ tàu (LOA) +  $\lambda / \tan 45^\circ \times 2$

Khi việc buộc tàu được thực hiện ở góc nhỏ hơn 45°, cần tiến hành phân tích neo để xác minh độ ổn định trong quá trình buộc tàu cũng như cách bố trí các trụ neo.

TCVN  
11820  
Phần 5:  
2021,  
Hình 66



**Hình 1.2- Bố trí trụ neo**

**4) Sàn công tác (WP)**

Sàn công tác là một hạng mục công trình chính được sử dụng để xếp dỡ hàng hóa và sẽ không được xếp vào loại “công trình cảng” trừ khi nó đồng thời được trang bị chức năng neo đậu tàu. Tuy nhiên, trong tài liệu này, WP được xem là một phần của hạng mục công trình cảng và được đưa vào như một ví dụ thiết kế.

**5) Catwalk – Cầu công tác (Cầu đi bộ)**

Các trụ va là những công trình chuyên biệt cho từng chức năng riêng, và mỗi công trình được kết nối với nhau bằng các cầu công tác. Các phản lực từ trụ đỡ của cầu công tác tác dụng lên từng trụ va/neo dưới dạng tải trọng theo phương đứng và theo phương ngang.

**1-3. Xác minh tính năng**

**(1) Các hạng mục và phương pháp xác minh**

Phân loại tình huống thiết kế và các hạng mục cho việc xác minh tính năng chịu lực của trụ va/neo được thể hiện trong Bảng 1.1, phù hợp với nội dung quy định trong Phần 2 – Cầu cảng dạng hở trên cọc (Open-type Wharves on Piles).

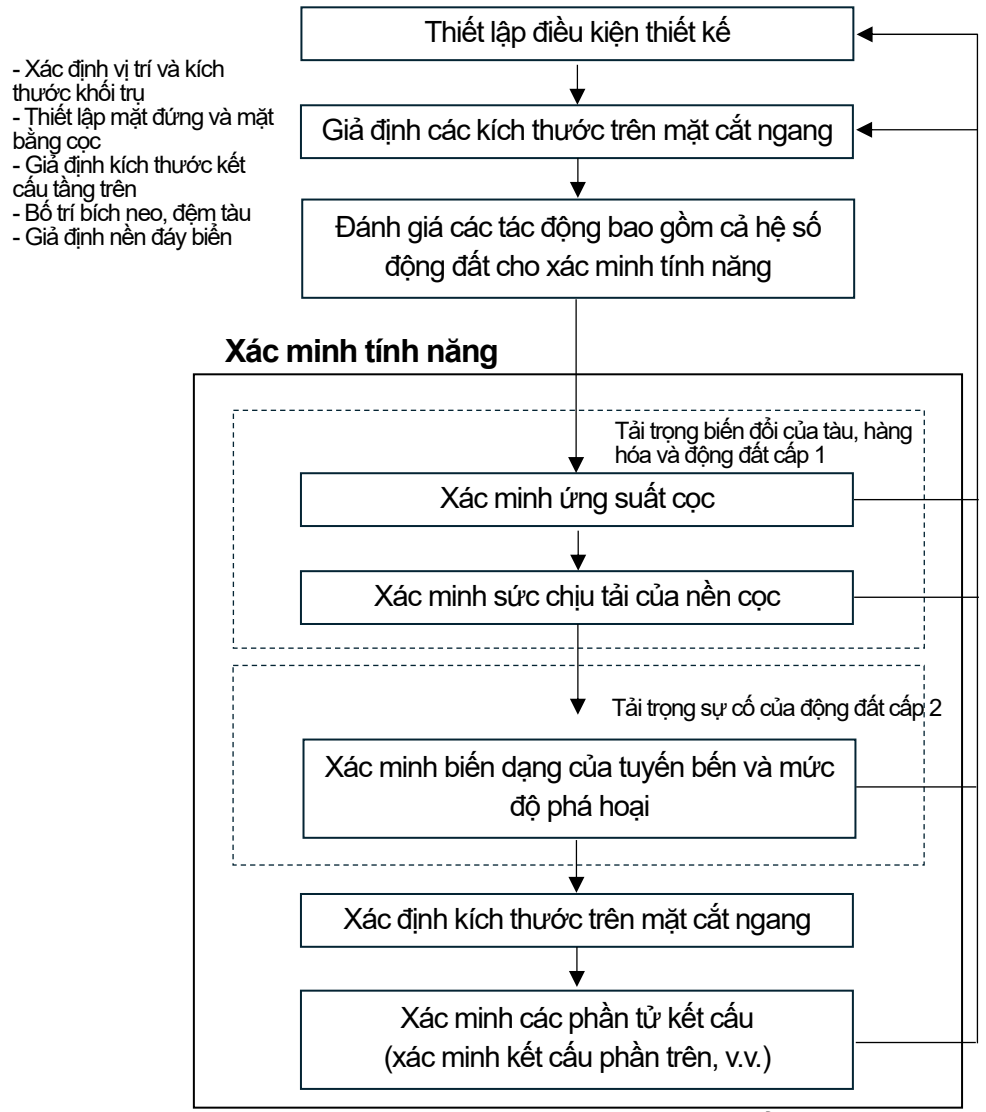
**Bảng 1.1- Các hạng mục xác minh**

Tình huống thiết kế	Phá hoại mặt cắt kết cấu phần trên	Phá hoại do mỏi kết cấu phần trên	Chảy dẻo cọc (Ứng suất cọc)	Lực dọc trục (khả năng chịu lực)	Biến dạng đường mép bến
Tải trọng biến đổi/tạm thời (lực va tàu, lực neo tàu, động đất cấp 1)	○		○	○	
Tải trọng biến đổi/tạm thời (tải trọng chất thêm)	○		○		
Tải trọng biến đổi/tạm thời (tải trọng chất thêm lặp lại)	○	○	○	○	
Tải trọng biến đổi/tạm thời (tải trọng	○	○		○	

sóng)					
Sự cố (động đất cấp 2)	○		○	○	○

Phần 1: Phương pháp thiết kế dựa trên tính năng (Performance-based Design Approach) phân loại động đất thành cấp độ 1 (Level 1) và cấp độ 2 (Level 2).

Việc xác minh tính năng chịu lực của từng trụ va/neo được thực hiện theo quy trình minh họa trong Hình 1.3, mặc dù có sự khác biệt về tải trọng cần xác minh.



Chỉnh sửa từ TCVN 11820 Phần 5: 2021, Hình 3

Lưu ý: Việc đánh giá ảnh hưởng của hóa lỏng và lún không được thể hiện trong sơ đồ; do đó, cần phải xem xét riêng các ảnh hưởng này.

Nguồn: TCVN 11820-5-2021

**Hình 1.3- Sơ đồ quy trình xác minh tính năng**

Việc xác minh tính năng chịu lực của trụ va/neo cần được thực hiện có xét đến các hạng mục sau. Đối với các hạng mục khác, nên tiến hành xác minh tính năng chịu lực phù hợp với từng dạng kết cấu.

- ✓ Hướng tác động lên cọc trụ va không nhất thiết là cố định; do đó, cần tiến hành xác minh theo nhiều hướng khi cần thiết.

- ✓ Mô men xoắn trong trường hợp kết cấu dạng cọc và chuyển vị quay trong trường hợp kết cấu dạng thùng chìm chưa được nghiên cứu một cách toàn diện. Tuy nhiên, các yếu tố này có thể ảnh hưởng đến sự ổn định của kết cấu trong một số trường hợp; vì vậy cần phải cân nhắc cẩn thận.
- ✓ Kết cấu phần trên của cọc trụ va phải có cao trình sao cho không bị ảnh hưởng bởi sóng, và cao trình đỉnh (crown height) của cọc trụ va cần được thiết lập phù hợp với chức năng của nó. Liên quan đến điều này, cần xem xét vị trí lắp đặt thiết bị chống va (fenders) đối với trụ va, cao trình boong tàu đối với trụ neo (mooring trụ neo), và phạm vi làm việc của cần bốt dờ đối với sàn công nghệ. Đối với cầu dẫn (connecting bridge), chiều cao phải đủ để đảm bảo không bị ảnh hưởng bởi tác động của sóng.

### 1) Phân loại điều kiện thiết kế

Điều kiện thiết kế cho trụ va/neo có thể được phân thành hai trạng thái chính:

- ✓ Tải trọng biến đổi/ tạm thời (Variable actions): tác động do tàu cập/neo (tractive force), tải trọng chất thêm (surcharge load), động đất cấp độ 1, và tác động của sóng.
- ✓ Tải trọng sự cố (Accidental actions): động đất cấp độ 2.

Thông thường, việc xác minh tính năng chịu lực cho các loại trụ va/neo nói chung được thực hiện trong điều kiện tác động biến đổi nêu trên. Tuy nhiên, đối với các công trình yêu cầu khả năng kháng chấn cao, như trụ va/neo phục vụ tàu chở khí hóa lỏng LNG, cần được xác minh thêm trong điều kiện tác động sự cố.

### 2) Các hạng mục xác minh

Việc xác minh tính năng chịu lực của trụ va/neo thường bao gồm các nội dung sau:

- ✓ Xác minh ứng suất trong cọc.
- ✓ Xác minh tính năng chịu tải.
- ✓ Xác minh kết cấu trên.

Đối với các công trình yêu cầu khả năng kháng chấn cao, cần bổ sung thêm hai hạng mục xác minh dưới tác động sự cố do động đất cấp độ 2:

- ✓ Thực hiện phân tích động để xác minh tính năng hư hỏng của cọc.
- ✓ Khi có quy định giới hạn chuyển vị đối với sàn công nghệ (working platforms), cần tiến hành phân tích bằng phương pháp ứng suất hữu hiệu để xác minh chuyển vị của trụ va/neo và khả năng chịu lực của cọc.

### (2) Xác minh ứng suất của cọc

Việc xác minh ứng suất của cọc trong điều kiện tác động biến đổi (tải trọng chất thêm, lực tác động khi tàu cập, lực kéo của tàu, và động đất cấp độ 1). Ứng suất phát sinh trong cọc của một trụ va/neo có thể được xác minh bằng Công thức (1.1). Trong các công thức sau,  $\gamma$  biểu thị hệ số riêng phần tương ứng với chỉ số dưới, trong đó các chỉ số phụ  $k$  và  $d$  lần lượt biểu thị giá trị đặc trưng và giá trị thiết kế. Đối với các hệ số thành phần trong các công thức liên quan, có thể sử dụng các giá trị được nêu trong Bảng 1.2. Các giá trị được hiển thị bằng dấu “-” trong Bảng 1.2 có thể được xác minh bằng các giá trị nằm trong ngoặc đơn “( )” để thuận tiện. Nếu lực dọc trục là lực kéo, thì  $S_k$  và  $R_k$  có thể được tính lần lượt bằng Công thức (1.1 (b)) và Công thức (1.1 (c)), và mỗi giá trị này cần thỏa mãn Công thức (1.1).

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1,0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k \quad (1.1)$$

✓ Khi lực dọc trục là lực nén

$$S_k = \left( \frac{\sigma_{c_k}}{red} + \sigma_{bc_k} \right) \quad R_k = \sigma_{by_k} \quad (1.1 (a))$$

✓ Khi lực dọc trục là lực kéo

$$S_k = \sigma_{t_k} + \sigma_{bt_k} \quad R_k = \sigma_{ty_k} \quad (1.1 (b))$$

$$S_k = -\sigma_{t_k} + \sigma_{bc_k} \quad R_k = \sigma_{by_k} \quad (1.1 (c))$$

Trong đó:

- red* : Hệ số được định nghĩa là giá trị ứng suất chảy nén dọc trục (tham khảo Bảng 1.4) chia cho giá trị đặc trưng của ứng suất chảy
- $\sigma_t$  và  $\sigma_c$  : Ứng suất kéo do lực kéo dọc trục tác dụng lên tiết diện và ứng suất nén do lực nén dọc trục gây ra, tương ứng (N/mm<sup>2</sup>).
- $\sigma_{bt}$  và  $\sigma_{bc}$  : Ứng suất kéo lớn nhất và ứng suất nén lớn nhất do mô men uốn tác dụng lên tiết diện, tương ứng (N/mm<sup>2</sup>).
- $\sigma_{ty}$  và  $\sigma_{cy}$  : Ứng suất chảy kéo dọc trục và ứng suất chảy nén dọc trục, tương ứng (N/mm<sup>2</sup>).
- $\sigma_{by}$  : Ứng suất chảy nén do uốn (N/mm<sup>2</sup>)
- R* : Thành phần sức kháng (N/mm<sup>2</sup>)
- S* : Thành phần tải trọng (N/mm<sup>2</sup>)
- $\gamma_R$  : Hệ số thành phần nhân với sức kháng
- $\gamma_S$  : Hệ số thành phần nhân với tải trọng
- m* : Hệ số điều chỉnh

**Bảng 1.2- Hệ số thành phần được sử dụng để xác minh ứng suất cọc của bển dạng trụ.**

Mục tiêu xác minh	Chiều sâu bển	Hệ số thành phần nhân với sức kháng: $\gamma_R$	Hệ số thành phần nhân với tải trọng: $\gamma_S$	Hệ số điều chỉnh: <i>m</i>
Ứng suất xuất hiện trong các cọc (Tải trọng biến đổi/ tạm thời chất thêm (trong điều kiện khai thác)).	Mọi độ sâu	- (1,00)	- (1,00)	1,67
Ứng suất xuất hiện trong các cọc (Tải trọng biến đổi/ tạm thời chất thêm (trong điều kiện bão)).	Mọi độ sâu	- (1,00)	- (1,00)	1,12
Ứng suất xuất hiện trong các cọc (tác động biến đổi do lực kéo của tàu).	Mọi độ sâu	- (1,00)	- (1,00)	1,67
Ứng suất nén xuất hiện trong các cọc (tác động biến đổi do lực cập bển của tàu).	Dưới 12m	0,97	1,34	- (1,00)
	12m và	1,01	1,29	

	sâu hơn			
Ứng suất kéo xuất hiện trong các cọc (tác động biến đổi do lực cập bến của tàu).	Mọi độ sâu	- (1,00)	- (1,00)	1,67
Ứng suất xuất hiện trong các cọc (tác động do động đất cấp 1).	Mọi độ sâu	- (1,00)	- (1,00)	1,12

Nguồn: Chính sửa từ OCDI 2020

Các hệ số thành phần được sử dụng để xác minh ứng suất nén phát sinh trong trụ tại thời điểm tàu cập bến trong Bảng 1.2 là các hệ số được hiệu chỉnh theo quy chuẩn (code calibration), sao cho kích thước thiết kế thu được trung bình tương đương với tiết diện của cầu cảng dạng hở trên cọc đứng được thiết kế bằng các phương pháp trước đây.

Do đó, khi áp dụng các công thức xác minh khác hoặc hệ số thành phần khác, phải tiến hành hiệu chỉnh theo quy chuẩn thích hợp và phải xem xét liệu khả năng chịu lực có được đảm bảo đầy đủ hay không.

Khi phân tích bằng khung phẳng hai chiều và bố trí cọc xiên kết hợp theo phương ngang của mặt cắt, khuyến nghị rằng ứng suất của từng cọc theo phương ngang nên nhỏ hơn ứng suất chảy (yield stress) từ 20 đến 30%, dựa trên xác minh tính năng chịu lực đối với cầu cảng dạng hở trên cọc đứng, để xét đến mô men uốn hoặc ứng suất thứ cấp không được tính đến trong xác minh.

Ngoài ra, các hệ số thành phần liên quan đến các trạng thái thiết kế khác cũng được thiết lập bằng cách tham chiếu đến ứng suất cho phép của các cấu kiện thép trong các phương pháp thiết kế trước đây.

Các giá trị thiết kế trong Công thức (1.1) được tính toán theo Công thức (1.2).

$$\sigma_{t_k} = \frac{P_k}{A}, \quad \sigma_{c_k} = \frac{P_k}{A}$$

$$\sigma_{bt_k} = \frac{M_k}{Z}, \quad \sigma_{bc_k} = \frac{M_k}{Z}$$

(1.2)

Trong đó:

- $A$  : Diện tích mặt cắt ngang (mm<sup>2</sup>)
- $P$  : Lực dọc trục (N)
- $Z$  : Mô đun kháng uốn của cọc (mm<sup>3</sup>)
- $M$  : Mô men uốn cọc (N·mm)

**Bảng 1.3- Giá trị đặc trưng của ứng suất chảy đối với cọc thép**

Loại thép	TCVN 9245:	TCVN 9246:
	2012	2012
Loại ứng suất	SPP400	SPP490
Ứng suất kéo dọc trục (theo diện tích tiết diện hữu hiệu)	235	315
Ứng suất kéo do uốn (theo diện tích tiết diện hữu hiệu)	235	315
Ứng suất nén do uốn (theo diện tích toàn bộ tiết diện)	235	315
Ứng suất cắt (theo diện tích toàn bộ tiết diện)	136	182

Nguồn: Chính sửa từ TCVN 11820-4-1-2020

**Tham khảo:**

Ứng suất chảy nén dọc trục của cọc ống thép điển hình tại Việt Nam có thể

OCDI  
2020  
Phần III  
Chương  
5  
Công  
thức  
(5.2.7)

TCVN  
11820  
Phần 4-  
1:  
2020,  
Bảng  
C.12

được tính theo công thức nêu trong Bảng 1.4 của OCDI 2020. Do các trụ va/neo thường được lắp đặt xa bờ, nên hiếm khi xét đến mặt đất giả định. Tuy nhiên, đối với chiều dài uốn hữu hiệu của các cấu kiện, có thể sử dụng khoảng cách từ đáy kết cấu trên đến  $1/\beta$  nằm dưới mặt đất giả định, như minh họa trong Hình 1.4.

**Bảng 1.4- Ứng suất chảy nén dọc trục**

SPP400	SPP490
a) Khi $\frac{l}{r} \leq 19$ 235	a) Khi $\frac{l}{r} \leq 16$ 315
b) Khi $19 < \frac{l}{r} \leq 93$ $235 - 1,4 \left( \frac{l}{r} - 19 \right)$	b) Khi $16 < \frac{l}{r} \leq 80$ $315 - 2,1 \left( \frac{l}{r} - 16 \right)$
c) Khi $\frac{l}{r} > 93$ $\frac{2,0 \times 10^6}{6,7 \times 10^3 + \left( \frac{l}{r} \right)^2}$	c) Khi $\frac{l}{r} > 80$ $\frac{2,0 \times 10^6}{5,0 \times 10^3 + \left( \frac{l}{r} \right)^2}$

Nguồn: Chính sửa từ OCDI 2020

Trong đó:

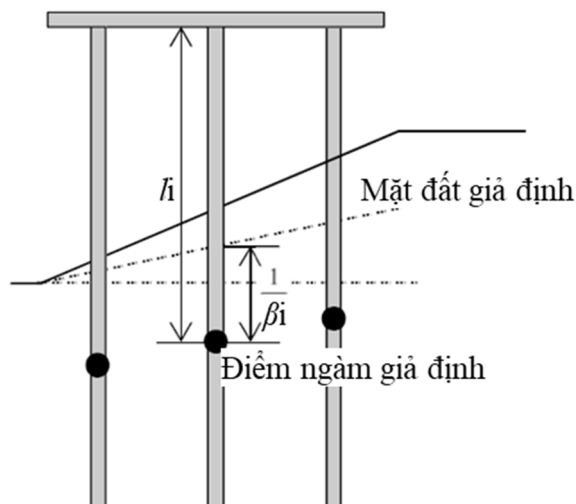
- $l$  : Chiều dài uốn dọc hữu hiệu của cấu kiện (mm)
- $r$  : Bán kính quán tính của tiết diện toàn phần của cấu kiện (mm).

Khi có đá gốc, có thể sử dụng cọc cường độ cao như cọc ngàm vào đá (socketed piles, tham khảo Phần 2 – Cầu cảng dạng hờ trên cọc, Hình 1.3) để chống lại lực nhỏ, từ đó cho phép giảm số lượng cọc. Bảng 1.5 đưa ra các ví dụ về ứng suất chảy nén dọc trục của các loại cọc cường độ cao.

**Bảng 1.5 – Ứng suất chảy nén dọc trục của vật liệu cường độ cao**

SM490Y	SM570
a) Khi $\frac{l}{r} \leq 15$ 355	a) Khi $\frac{l}{r} \leq 13$ 450
b) Khi $15 < \frac{l}{r} \leq 76$ $355 - 2,6 \left( \frac{l}{r} - 15 \right)$	b) Khi $13 < \frac{l}{r} \leq 67$ $450 - 3,7 \left( \frac{l}{r} - 13 \right)$
c) Khi $\frac{l}{r} > 76$ $\frac{2,0 \times 10^6}{4,4 \times 10^3 + \left( \frac{l}{r} \right)^2}$	c) Khi $\frac{l}{r} > 67$ $\frac{2,0 \times 10^6}{3,5 \times 10^3 + \left( \frac{l}{r} \right)^2}$

Nguồn: OCDI 2020



Chính  
sửa từ  
OCDI  
2020  
Phần III  
Chương  
5  
Bảng  
5.2.2

OCDI  
2020  
Phần III  
Chương  
5  
Bảng  
5.2.2

2020  
Phần III  
Chương  
5  
Hình  
5.2.12

**Hình 1.4- Xác định chiều dài uốn dọc hiệu dụng**

**(3) Xác minh tính năng chịu tải của cọc**

Khả năng chịu tải của cọc có thể được xác minh bằng Công thức (1.3). Trong công thức này, ký hiệu  $\gamma$  là hệ số thành phần tương ứng với chỉ số dưới, trong đó các chỉ số dưới  $k$  và  $d$  lần lượt biểu thị giá trị đặc trưng và giá trị thiết kế.

Đối với các hệ số thành phần trong công thức liên quan, có thể sử dụng các giá trị được nêu trong Bảng 1.6. Các giá trị được ký hiệu bằng dấu “-” trong Bảng 1.6 có thể được xác minh bằng các giá trị trong ngoặc đơn “( )” để thuận tiện.

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1,0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k \quad (1.3)$$

Trong đó:

- $m$  : Hệ số điều chỉnh
- $S$  : Giá trị đặc trưng của tải trọng (kN/m)
- $R$  : Giá trị đặc trưng của sức kháng (kN/m)
- $\gamma_S$  : Hệ số thành phần của tải trọng
- $\gamma_R$  : Hệ số thành phần của sức kháng

Lực kháng ngang của cọc có thể được tính toán dựa trên lớp đất hữu hiệu phía dưới mặt đất giả định. Nếu dự kiến sóng sẽ tác động lên boong, cần xem xét lực kháng nhỏ của cọc chống lại áp lực nhỏ của sóng, cũng như thiệt hại do ngập nước các thiết bị trên boong và các hư hỏng khác.

Lực kháng dọc trục nên được xác định bằng thí nghiệm tải trọng cọc. Tuy nhiên, nếu khó thực hiện thí nghiệm tải trọng trong quá trình thiết kế, có thể ước tính dựa trên công thức nêu trong Phần 2 – Cầu cảng dạng hờ trên cọc, Mục 1-4.(3). Tuy vậy, ngay cả khi sử dụng công thức, vẫn cần tiến hành thí nghiệm tải trọng cọc trong giai đoạn thi công.

**Bảng 1.6-Các hệ số thành phần được sử dụng để xác minh tính năng chịu tải của cọc**

Mục đích xác minh	Loại cọc	Hệ số thành phần $\gamma_R$	Hệ số thành phần $\gamma_S$	Hệ số điều chỉnh $m$
Sức chịu tải của cọc (Tải trọng biến đổi/ tạm thời do tải chất thêm và tàu)	Cọc nhỏ	- (1,00)	- (1,00)	3,00
	Cọc nén	- (1,00)	- (1,00)	2,50
Sức chịu tải của cọc (Tải trọng biến đổi/ tạm thời do bão, sóng, và động đất cấp 1)	Cọc nhỏ	- (1,00)	- (1,00)	2,50
	Cọc nén (cọc chống)	- (1,00)	- (1,00)	1,50
	Cọc nén (cọc ma sát)	- (1,00)	- (1,00)	2,00

Nguồn: TCVN 11820-5-2021, OCDI 2020

TCVN  
11820  
Phần 5:  
2021,  
Công  
thức (78)

TCVN  
11820  
Phần 5:  
2021,  
Bảng 11  
  
OCDI  
2020  
Phần III  
Chương  
5  
Bảng  
5.2.3

## 1-4. Tải trọng và tác động

### (1) Các tải trọng cần xem xét

Các tải trọng tác động trụ va/neo cần được xác định theo điều kiện khai thác. Các tải trọng và tác động thiết kế điển hình cần xem xét được thể hiện trong Bảng 1.7.

**Bảng 1.7- Tải trọng và tác động thiết kế**

Tải trọng và tác động đứng	Tải trọng và tác động ngang
1. Tải trọng bản thân (kết cấu trên và cọc)	1. Lực động đất tác dụng lên kết cấu trên và cọc
2. Các tải trọng tác dụng lên kết cấu trên: - Tải trọng chất thêm (surcharge) - Tải trọng xe cộ - Tải trọng thiết bị xếp dỡ hàng - Tải trọng đi bộ (catwalk)	2. Lực động đất tác dụng lên tải chất thêm, tải xe, tải thiết bị xếp dỡ và tải lối đi
3. Lực kéo của tàu (tractive force)	3. Tải trọng sóng và tải do dòng chảy
4. Lực nâng (uplift)	4. Phản lực của đệm va (fender)
5. Lực ma sát âm tác dụng lên cọc	5. Lực kéo của tàu (tractive force)

### (2) Phản lực của đệm tàu (Fender Reaction Force)

Đối với phản lực của hệ thống chống va, tham khảo Phần 2 – Cầu cảng dạng hồ trên cọc, Mục 1.4 (2) Lực phản ứng của thiết bị chống va.

Khi tàu tiếp cận để cập cảng, thường phần mũi hoặc lái tàu sẽ tiếp xúc ban đầu với hệ thống chống va; do đó, năng lượng cập cảng có thể được tính toán với giả định rằng nó được hấp thụ bởi một trụ va.

Đối với các tàu lớn, chẳng hạn như tàu chở dầu, quá trình cập cảng thường diễn ra với một góc nghiêng so với cầu cảng. Trong các trường hợp này cần thận trọng, vì đặc tính làm việc của thiết bị chống va thay đổi tùy theo góc tiếp cận.

Ngoài ra, thiết bị chống va phải đủ khả năng chịu được lực cắt phát sinh do lực ma sát tác động theo phương dọc (vuông góc với hướng cập cảng) trong quá trình cập cảng có góc. Thông thường, lực cắt này có thể được tính bằng công thức do Vasco Costa đề xuất. Với các góc cập cảng khoảng từ 6° đến 14° so với phương vuông góc của công trình neo, lực cắt thường vào khoảng 10–25% lực cập cảng.

### (3) Lực kéo của tàu (Tractive Force by Ships)

Đối với lực kéo của tàu, tham khảo Bảng 1.8.

**Bảng 1.8- Giá trị tiêu chuẩn lực neo tàu**

GT của tàu (tấn)	Lực tác động lên bích neo (kN)	Lực tác động lên trụ neo (kN)
Trên 200 và lớn hơn 500	150	150
Trên 500 và lớn hơn 1.000	250	250
Trên 1.000 và lớn hơn 2.000	250	350
Trên 2.000 và lớn hơn 3.000	350	350
Trên 3.000 và lớn hơn 5.000	350	500
Trên 5.000 và lớn hơn 10.000	500	700
Trên 10.000 và lớn hơn 20.000	700	1.000
Trên 20.000 và lớn hơn 50.000	1.000	1.500
Trên 50.000 và lớn hơn 100.000	1.000	2.000

TCVN  
11820  
Phần 2:  
2025,  
Bảng 48

Nguồn: TCVN 11820-2-2025

#### **(4) Hệ số động đất (Seismic Coefficient)**

Đối với hệ số động đất của trụ va/neo, tham khảo Phần 2 – Cầu cảng dạng hở trên cọc, Mục 1.4 (3) Hệ số động đất.

#### **(5) Lực sóng (Wave Force)**

Đối với lực sóng tác động lên trụ va/neo, tham khảo Phần 2 – Cầu cảng dạng hở trên cọc, Mục 1.4 (4) Lực sóng.

#### **(6) Lực dòng chảy (Current Force)**

Đối với lực dòng chảy tác động lên trụ va/neo, tham khảo Phần 2 – Cầu cảng dạng hở trên cọc, Mục 1.4 (5) Lực dòng chảy.

#### **(7) Lực nâng (Uplift Force)**

Đối với lực nâng tác động lên trụ va/neo, tham khảo Phần 2 – Cầu cảng dạng hở trên cọc, Mục 1.4 (6) Lực nâng tác động lên bển trên cọc.

### **1-5. Phân tích khung (Frame Analysis)**

#### **(1) Mặt đất giả định (Virtual Ground Surface)**

Khi bề mặt đáy biển tại vị trí lắp đặt trụ va/neo bị dốc do nạo vét hoặc các yếu tố khác, cao trình tham chiếu để xác minh ứng suất cọc và khả năng chịu tải (gọi là “mặt đất giả định”) có thể được xác định tại điểm trung gian giữa đáy biển hiện hữu và cao trình đáy biển sau nạo vét tại tim cọc.

#### **(2) Góc nghiêng của cọc xiên (Inclination Angle of Batter Piles)**

Góc nghiêng của cọc xiên cần được xác định dựa trên các yếu tố: yêu cầu về khả năng chịu lực của kết cấu trụ va/neo, chiều dài và trọng lượng cọc, mối quan hệ vị trí với các cọc khác, cũng như các hạn chế thi công như năng lực thiết bị đóng cọc.

#### **(3) Bố trí nút (Node Placement)**

Phân tích kết cấu của trụ va/neo thường được thực hiện bằng phương pháp phân tích khung không gian ba chiều. Trong phân tích khung, các nút được sử dụng để xác định hình học kết cấu và từng cấu kiện. Do đó, cần bố trí nút tại những vị trí mà đặc tính tiết diện, điều kiện tải trọng và điều kiện biên thay đổi, nhằm xác định chính xác các cấu kiện.

#### **(4) Thông số đầu vào của cấu kiện (Input of Member Properties)**

Các tham số chính cần nhập cho từng cấu kiện bao gồm:

##### **1) Vị trí và chiều dài của các cấu kiện**

Vị trí và chiều dài của một cấu kiện được xác định bằng cách sử dụng tọa độ của các nút.

##### **2) Điều kiện vật liệu**

Các đặc trưng vật liệu chính đối với các cấu kiện kết cấu chính bao gồm bốn đặc tính vật lý sau:

- ✓ Mô đun đàn hồi (Mô đun Young):  $E$  (kN/m<sup>2</sup>)
- ✓ Mô đun trượt (mô đun đàn hồi trượt):  $G$   
 $G = E / (2 \times (1 + \nu))$  (kN/m<sup>2</sup>)

Lưu ý: Mô đun trượt  $G$  không cần thiết cho phân tích liên quan đến mô hình kết cấu phẳng hai chiều.

✓ Hệ số giãn nở tuyến tính:  $\alpha$  ( $1/^\circ\text{C}$ ).

Lưu ý: Nếu ứng suất do biến đổi nhiệt độ không được xét đến thì có thể giả thiết  $\alpha = 0$ .

✓ Tỷ số Poisson:  $\nu$

### 3) Điều kiện liên kết các cấu kiện (Member Connection Conditions)

Điều kiện liên kết các cấu kiện thay đổi tùy theo yêu cầu kết cấu và mục đích phân tích. Về nguyên tắc, nếu cho phép truyền mô men giữa các cấu kiện thì liên kết cần được coi là ngàm cứng (rigid connection). Nếu mô men không được truyền, liên kết sẽ được coi là khớp (pinned connection). Ví dụ: các khớp nối trong kết cấu khung thường là liên kết ngàm cứng, trong khi các khớp nối trong giàn (truss) thường là liên kết khớp.

### 4) Nhập các đặc trưng tiết diện của cấu kiện (Input of Member Cross-Section Properties)

Trong phân tích khung, cần nhập diện tích tiết diện, mô men quán tính, và đối với phân tích khung không gian 3D, cần thêm hằng số xoắn ( $J = 2 \times$  mô men quán tính). Trong bước tính toán này không xét đến ảnh hưởng của ăn mòn.

### 5) Xác định hệ số phản lực nền ngang (Coefficient of Horizontal Subgrade Reaction)

Khi tiến hành phân tích khung, cần lưu ý những điểm sau liên quan đến hệ số phản lực nền ngang:

Hệ số phản lực nền ngang ( $k_{CH}$ ) được xác định từ điều kiện địa chất. Đơn vị của  $k_{CH}$  là  $\text{kN/m}^3$  (hoặc  $\text{N/cm}^3$ ). Giá trị này được sử dụng làm cơ sở để xác định hằng số lò xo ngang của cọc ( $K_H$ ) trong phân tích khung.

$$K_H = k_{CH} \times D \quad (1.4)$$

Trong đó:

$K_H$  : Hằng số đàn hồi ngang của cọc ( $\text{kN/m}^2$ )

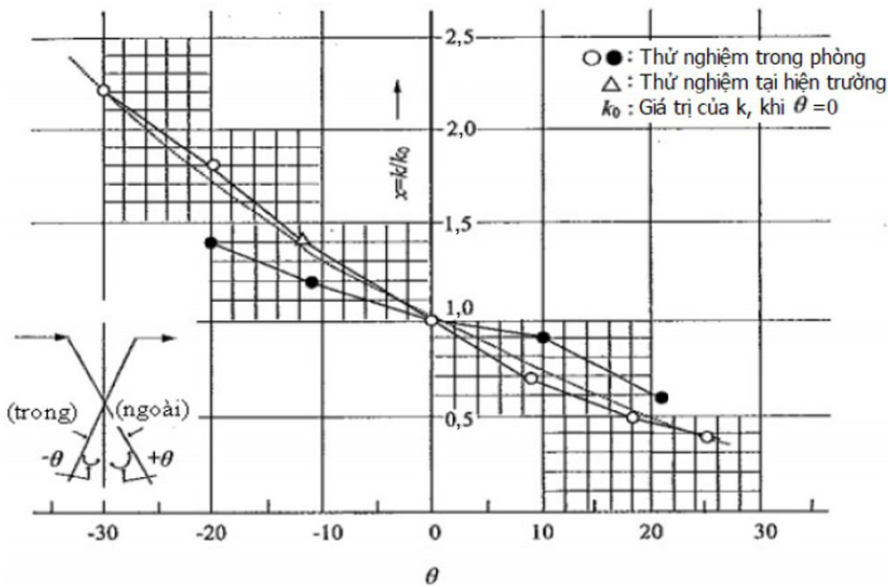
$k_{CH}$  : Hệ số phản lực ngang của nền ( $\text{kN/m}^3$ )

$D$  : Đường kính cọc (m)

Khi cọc được đặt nghiêng, hệ số phản lực nền ngang vuông góc với trục cọc sẽ thay đổi tùy theo góc nghiêng. Do đó, khi tính toán độ lệch của cọc nghiêng, cần hiệu chỉnh hệ số phản lực nền ngang ( $k_{CH}$ ) để xét đến ảnh hưởng của góc nghiêng của cọc.

Lực kháng ngang của cọc theo phương vuông góc với trục cọc nhìn chung có xu hướng giảm khi tải trọng tác động theo hướng nâng cọc lên. Ngược lại, lực kháng ngang có xu hướng tăng khi tải trọng tác động theo hướng ép cọc xuống đất. Vì vậy, ảnh hưởng của góc nghiêng của cọc cần được xét đến bằng cách hiệu chỉnh hệ số phản lực nền ngang khi tính toán độ lệch của cọc xiên.

Hình 1.5 thể hiện mối quan hệ giữa góc nghiêng của cọc và tỷ số hệ số kháng ngang. Ở đây, tỷ số hệ số kháng ngang của nền đất được hiểu là tỷ số giữa hệ số phản lực nền ngang dùng trong tính toán cọc xiên và hệ số phản lực nền ngang dùng trong tính toán cọc đứng.



Nguồn: TCVN 11820-2-2025, TCVN 11820-4-1-2020

**Hình 1.5- Tỷ số giữa góc nghiêng của cọc và hệ số sức kháng ngang của nền đất**

Trong thiết kế trụ va/neo, hướng tác động tải trọng thường thay đổi, và việc bố trí cọc thường phải điều chỉnh để tránh giao thoa với các cọc lân cận. Việc hiệu chỉnh hệ số phản lực nền ngang cho từng góc nghiêng có thể trở nên quá phức tạp.

Xét đến việc ảnh hưởng của các hiệu chỉnh theo góc thường chỉ giới hạn ở khu vực gần mặt đất (trong phạm vi độ sâu khoảng  $1/\beta$ ) và rằng nhóm cọc thường được kỳ vọng chịu tải trọng dọc trục, nên trong một số trường hợp, các hiệu chỉnh theo góc nói trên có thể được bỏ qua.

## (5) Tải trọng thiết kế

### 1) Tải trọng ngang (Horizontal Load)

Trong các phép tính thủ công truyền thống, tỷ số phân bố tải trọng ngang cho nhóm cọc được xác định dựa trên sơ đồ bố trí cọc, với giả định rằng toàn bộ lực ngang tác dụng lên nhóm cọc chỉ được chịu bởi các cọc xiên. Giả định này ngụ ý rằng lực ngang được phân chia và thiết kế riêng cho cọc đứng và cọc xiên.

Trong phân tích khung, phương pháp tính tỷ số phân bố tải trọng ngang trong nhóm cọc vẫn tương tự như trong tính toán thủ công. Tuy nhiên, giả định rằng chỉ có cọc xiên chịu toàn bộ lực ngang không còn áp dụng. Thay vào đó, lực ngang được kháng bởi toàn bộ nhóm cọc như một hệ thống thống nhất, trong đó cọc đứng và cọc xiên cùng tham gia cùng chịu tải trọng ngang.

### 2) Tải trọng đứng (Vertical Load)

Trong tính toán thủ công truyền thống, để đơn giản hóa, tải trọng đứng được phân chia cho các cọc bằng cách gán một diện tích ảnh hưởng riêng cho từng cọc. Các tải trọng phân bố đứng này sau đó được thay thế bằng tải trọng tập trung tương đương tác dụng lên từng cọc riêng lẻ.

Ngược lại, trong phân tích khung, không cần gán diện tích ảnh hưởng riêng cho từng cọc trong nhóm. Thay vào đó, chiều rộng phân bố cho từng hàng cọc được xác định, và các tải trọng phân bố đứng không được quy đổi thành tải trọng tập trung, mà được xử lý trực tiếp dưới dạng tải trọng phân bố trong suốt quá

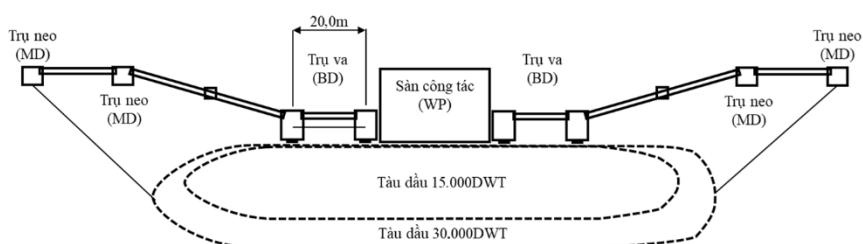
trình phân tích. Ví dụ: tải trọng bản thân bản mặt, hoạt tải phân bố đều, và tải trọng bản thân cọc đều được xem là tải trọng phân bố đứng.

Với cách tiếp cận nêu trên, việc xử lý tải trọng trong phân tích khung phản ánh sát hơn điều kiện tải trọng thực tế so với các phép tính thủ công truyền thống. Điều này cho phép phân tích khung mô phỏng chính xác hơn ứng xử kết cấu trong điều kiện thực tế.

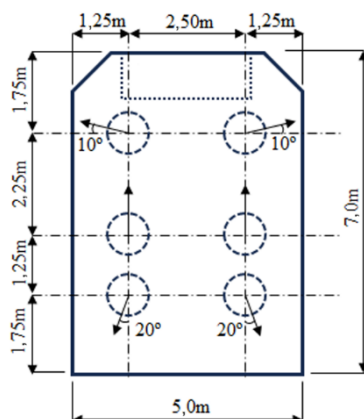
## 2. Ví dụ thiết kế (Design Example)

Ví dụ thiết kế được thể hiện trong sơ đồ bố trí tại Hình 2.1, minh họa trụ va và dành cho tàu chở dầu. Sơ đồ bố trí và mặt cắt điển hình của trụ va được thể hiện trong Hình 2.2 và Hình 2.3.

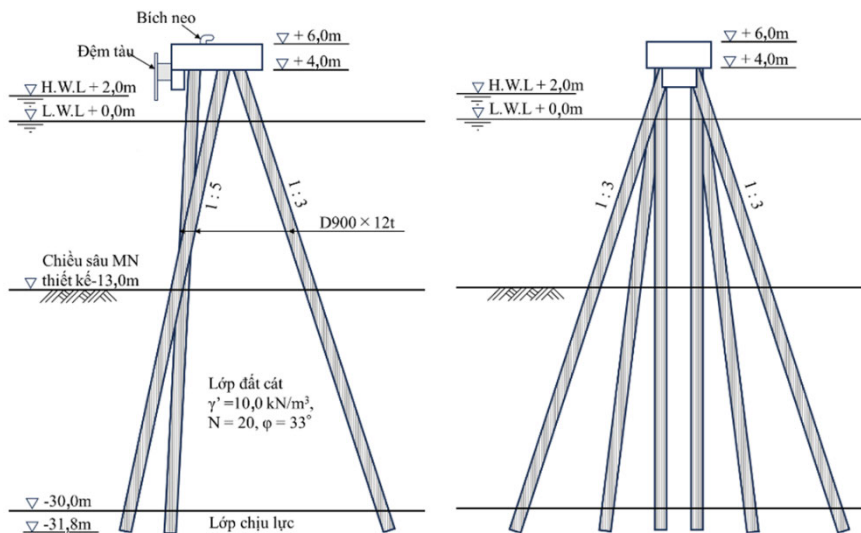
### 2-1. Bố trí cho xác minh tính năng chịu lực (Layout for Performance Verification)



Hình 2.1- Ví dụ mặt bằng thiết kế



Hình 2.2- Mặt bằng điển hình của trụ va



**Hình 2.3- Mặt đứng điển hình của trụ va**

## 2-2. Điều kiện thiết kế

### (1) Điều kiện mặt bằng

- Độ sâu nước thiết kế (theo kế hoạch): *D.L.* – 12,5 m  
Độ sâu nước theo kế hoạch được xác định là –12,5 m, xét đến mớn nước khi tàu đầy tải và ảnh hưởng của dao động sóng.
- Độ sâu nước thiết kế (thi công): *D.L.* – 13,0 m  
Độ sâu nước thiết kế được xác định là –13,0 m, bao gồm phần nạo vét vượt (over-dredging depth) 0,5 m dưới độ sâu nước theo kế hoạch.
- Cao trình mặt boong (crown height of deck): *D.L.* +6,0 m
- Cao trình đáy boong (bottom height of deck): *D.L.* +4,0 m

### (2) Điều kiện tự nhiên

#### 1) Mục nước

- Mục nước cao thiết kế (Design High Water Level): *D.L.* +2,0 m
- Mục nước trung bình (Mean Sea Level): *D.L.* +1,0 m
- Mục nước thấp thiết kế (Design Low Water Level): *D.L.* ±0,0 m

#### 2) Điều kiện địa chất

*D.L.* -12,5 m (mục nước thiết kế)

Lớp cát

$\gamma' = 10,0 \text{ kN/m}^3$ ,  $N = 20$ ,  $\varphi = 33^\circ$

*D.L.* -30,0 m

Lớp cát thô (tầng chịu lực)

$\gamma' = 10,0 \text{ kN/m}^3$ ,  $N = 50$ ,  $\varphi = 40^\circ$

#### 3) Điều kiện sóng

- $H_{1/3} = 1,8 \text{ (m)}$ : bão
- $H_{\max} = 1,8 \times 1,8 = 3,24 \text{ (m)}$
- $T = 7,0 \text{ (giây)}$

#### 4) Điều kiện dòng chảy

- $U = 0,25 \text{ (m/s)}$

### (3) Điều kiện sử dụng

#### 1) Kích thước tàu

- Tàu dầu. 30.000 DWT (15.000 đến 30.000 DWT)
- Chiều dài lớn nhất:  $L_{oa} = 177,0$  m
- Chiều dài giữa hai đường vuông góc  $L_{pp} = 168,0$  m
- Chiều rộng:  $B = 26,9$  m
- Mớn nước:  $d = 10,50$  m
- Lượng dẫn nước:  $DT = 1,688DWT^{0,976} = 39.540$  t
- Tổng trọng tải:  $GT = 0,523DWT = 0,523 \times 30.000 = 15.690$  t

#### 2) Tuổi thọ và chống ăn mòn

- Tuổi thọ thiết kế của công trình: 50 năm
- Biện pháp chống ăn mòn

Bảo vệ catốt và lớp phủ bảo vệ: giả thiết có hiệu lực 50 năm. Tỷ lệ kiểm soát ăn mòn giả định đạt 90 %.

Lớp phủ chống ăn mòn cường độ cao (Heavy anticorrosion coating): được áp dụng cho vùng triều của cọc thép, từ mực nước thấp (L.W.L.) –1,00 m đến đáy dầm boong. Hiệu quả bảo vệ chống ăn mòn giả định trong trường hợp này đạt 100 %.

Chiều dày ăn mòn của cọc trong ví dụ này được giả định là 1,5 mm

#### 3) Tải trọng chất thêm

- Trạng thái thường xuyên:  $5,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Trạng thái tạm thời khi neo và cập tàu:  $5,0$  kN/m<sup>2</sup>
- Trạng thái tạm thời khi bão và động đất cấp 1:  $2,5$  kN/m<sup>2</sup>

#### 4) Lực neo tàu

- Lực ngang:  $700$  kN (Bích neo)

### (4) Điều kiện động đất (Seismic Condition)

- Loại đất nền: Loại C
- Hệ số tầm quan trọng:  $1,25$  (Công trình kho dầu)
- Gia tốc nền:  $0,10g$
- Hệ số ứng xử:  $1,0$  (Kết cấu cọc xiên – Batter piled structure)

Hệ số động đất dùng để kiểm toán trong Trạng thái tạm thời (variable situation) được xác định dựa trên chu kỳ dao động tự nhiên ước tính và dạng phổ phản ứng đàn hồi thể hiện trong Hình 2.4.

#### 1) Hằng số đàn hồi ngang

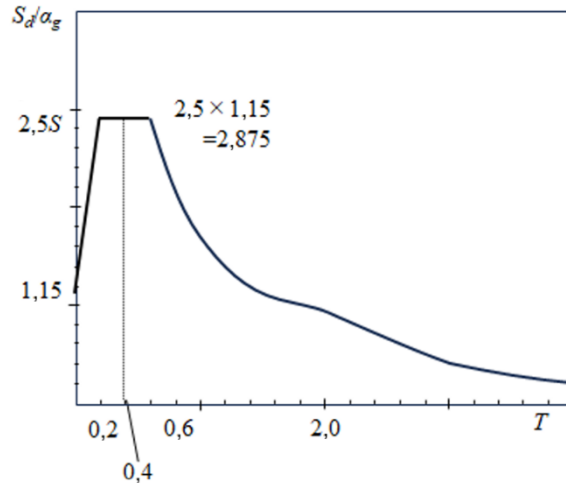
Hằng số lò xo ngang ( $k_{CH}$ ) cho lớp đất cát được tính như sau:

Khi tính chu kỳ dao động tự nhiên tại điều kiện động đất cấp 1, hằng số lò xo ngang có thể được nhân đôi, tuy nhiên để tiếp cận theo hướng bảo thủ, giá trị không nhân đôi sẽ được sử dụng. Trong ví dụ thiết kế này, chu kỳ dao động tự nhiên không thay đổi dù hệ số phản lực nền ngang ( $k_{CH}$ ) được nhân đôi hay giữ nguyên bằng  $1,0$ . Do đó, ví dụ này cho thấy cách tiếp cận bảo thủ đã được áp dụng trong việc tính toán hằng số lò xo ngang mà không nhân đôi và không xét đến góc nghiêng của cọc xiên.

- $k_{CH} = 1500N_{avg} = 1500 \times 20 = 30.000$  kN/m<sup>3</sup>

## 2) Hệ số động đất

- Chu kỳ dao động riêng của kết cấu: 0,40 giây, tính theo sơ đồ không gian
- Hệ số tầm quan trọng: 1,25
- Loại nền: loại C
- Hệ số động đất:  $k_h = 0,10g \times 2,875 \times 1,25 / q (=1,0, \text{ hệ số ứng xử}) = 0,36$



Hình 2.4- Hình dạng phổ phản ứng động đất

## (5) Lực va

### 1) Tính toán Năng lượng va tàu

Giá trị đặc trưng ( $E_{fk}$ ) của năng lượng va tàu được xác định như sau: (tham khảo Phần 2, công thức (1.4)).

$$E_{fk} = \frac{1}{2} M_{sk} V_{bk}^2 C_{mk} C_{ek} C_{sk} C_{ck}$$

Trong đó:

- $E_f$  : Năng lượng va tàu (kJ)
- $M_s$  : Khối lượng tàu (t)
- $V_b$  : Vận tốc cập tàu (m/s)
- $C_m$  : Hệ số khối lượng ảo
- $C_e$  : Hệ số lệch tâm
- $C_s$  : Hệ số mềm = 1,0
- $C_c$  : Hệ số hình dạng bền = 1,0

- Khối lượng tàu

$$M_{sk} = DT = 1,688DWT^{0,976} = 39.540 \text{ t}$$

- Vận tốc cập tàu

$$V_{bk} = 0,15 \text{ m/s}$$

- Hệ số hình học

Chiều dài giữa hai đường vuông góc  $L_{pp} = 168,0 \text{ m}$

Hệ số hình học ( $C_b$ ) được xác định như sau:

$$C_{bk} = \frac{\nabla}{L_{bb} B d} = \frac{39.540/1,03}{168,0 \times 26,9 \times 10,5} = 0,809$$

- Hệ số khối lượng ảo

$$C_{mk} = 1 + \frac{\pi d}{2C_{bk}B} = 1 + \frac{\pi}{2 \times 0,809} \times \frac{10,5}{26,9} = 1,76$$

- Hệ số lệch tâm

Bán kính quán tính  $r$

$$r = (0,19 C_{bk} + 0,11) L_{pp} = (0,19 \times 0,809 + 0,11) \times 168,0 = 44,3 \text{ m}$$

Khoảng cách  $L_i$  từ điểm cập tàu theo phương vuông góc với công trình neo đậu đến tâm trọng lực của tàu

$$L_1 = \{0,5\alpha + e(1-k)\} L_{pp} \cos\theta$$

$$= \{0,5 \times 0,50 + 0,120 \times (1 - 0,5)\} \times 168,0 \times \cos 6^\circ = 51,79 \text{ m}$$

$$L_2 = (0,5\alpha - ek) L_{pp} \cos\theta$$

$$= (0,5 \times 0,50 - 0,120 \times 0,5) \times 195,0 \times \cos 6^\circ = 51,79 \text{ m}$$

$e$  = khoảng cách giữa các đệm va (= 20,0m) /  $L_{pp} \cos\theta$

$$= 20,0 / (168,0 \times \cos 6^\circ) = 0,120$$

Trong đó:

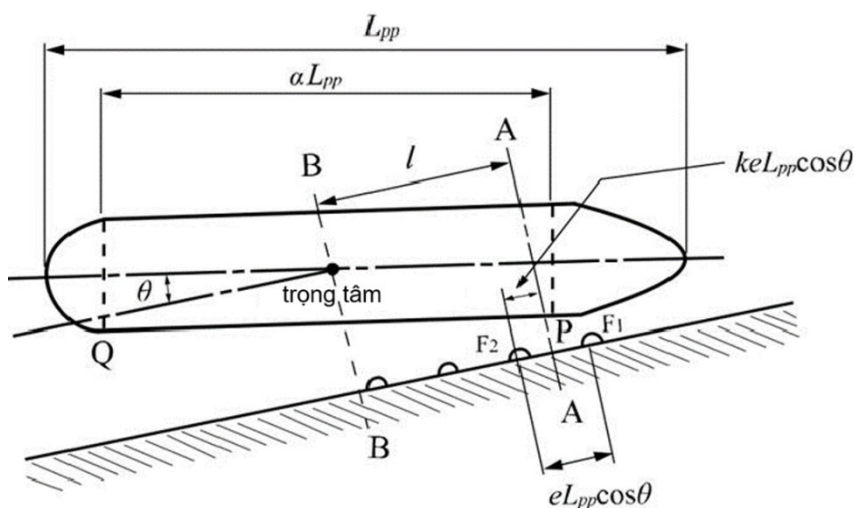
$\theta$  : Góc cập tàu  $6^\circ$

$e$  : Tỷ số giữa khoảng cách các đệm va và chiều dài giữa hai đường vuông góc ( $L_{pp}$ )

$\alpha$  : Khi giả định rằng chiều dài phần thân song song của tàu (parallel body length) thường bằng  $\alpha L$  (với  $L$  là chiều dài tàu), có thể sử dụng hệ số song song  $\alpha \approx 1/2$  làm hướng dẫn đối với tàu hàng rời hoặc tàu chở dầu. Vì vậy, trong trường hợp này  $\alpha = 0,50$  được sử dụng.

$k$  : Tham số (0,50)

$$C_{ek} = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{51,79}{44,30}\right)^2} = 0,423$$



Nguồn: TCVN 11820-2-2025

**Hình 2.5- Phác họa tàu cập bến**

Theo đó, năng lượng va cập bến  $E_{fk}$  của tàu được xác định như sau.

$$\begin{aligned}
 E_{f_k} &= \frac{1}{2} M_{S_k} V_{D_k}^2 C_{m_k} C_{e_k} C_{S_k} C_{C_k} \\
 &= \frac{1}{2} \times 39.540 \times 0,15^2 \times 1,76 \times 0,423 \times 1,0 \times 1,0 \\
 &= 331,2 \text{ kJ (kN}\cdot\text{m)}
 \end{aligned}$$

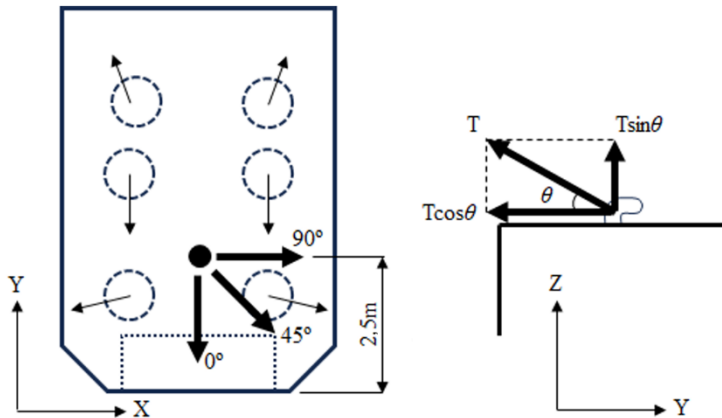
## 2) Lựa chọn đệm

Ở đây sử dụng đệm va dạng Cell (vật liệu cao su tự nhiên).

- Kích thước đệm va: loại Cell 1.250H
- Hàm lượng cao su: E1,5
- Năng lượng hấp thụ: 393 kN·m
- Lực phản ứng: 716 kN
- Lực phản ứng thiết kế:  $716 \times 1,1 = 787,6 \text{ kN}$
- Lực cắt thiết kế:  $787,6 \times 0,2 = 157,5 \text{ kN}$

Lực cắt này được áp dụng theo phương X trong ví dụ này.

## (6) Lực neo



Hình 2.6- Các trường hợp khác nhau của lực neo

Bảng 2.1- Các trường hợp khác nhau của lực neo

TH	Góc ngang (°)	Góc đứng (°)	Lực kéo (kN)	X (kN)	Y (kN)	Z (kN)
M1	0	0	700,0	0,0	-700,0	0,0
M2	45	0		495,0	-495,0	0,0
M3	90	0		700,0	0,0	0,0
M4	0	45		0,0	-495,0	495,0
M5	45	45		350,0	-350,0	495,0
M6	90	45		495,0	0,0	495,0

## (7) Lực sóng

Lực sóng được tính tự động bằng phần mềm SAP2000 theo công thức của Morison, như thể hiện trong Công thức (2.1).

$$\vec{f}_n = \frac{1}{2} C_D \rho_0 |\vec{u}_n| \vec{u}_n D \Delta S + C_M \rho_0 \vec{a}_n A \Delta S \quad (2.1)$$

Trong đó:

- $\vec{f}_n$  : Lực tác dụng lên một đoạn nhỏ  $\Delta S$  (m) theo phương trục của cấu kiện, trong đó phương của lực này nằm trong mặt phẳng chứa trục cấu kiện và phương chuyển động của các hạt nước, đồng thời vuông góc với trục cấu kiện (kN).
- $\vec{u}_n, \vec{a}_n$  : Các thành phần của vận tốc (m/s) và gia tốc (m/s<sup>2</sup>) của hạt nước theo phương vuông góc với trục cấu kiện, nằm trong mặt phẳng chứa trục cấu kiện và phương chuyển động của các hạt nước (tức là cùng phương với  $\vec{f}_n$ ). (Các thành phần này được xét đối với sóng tới chưa bị ảnh hưởng bởi sự có mặt của cấu kiện).
- $|\vec{u}_n|$  : Giá trị tuyệt đối của  $\vec{u}_n$  (m/s)
- $C_D$  : Hệ số cản
- $C_M$  : Hệ số quán tính
- $D$  : Chiều rộng của cấu kiện theo phương vuông góc với trục cấu kiện, khi nhìn từ phương  $\vec{f}_n$  (m)
- $A$  : Diện tích mặt cắt ngang của cấu kiện trên một mặt phẳng vuông góc với trục cấu kiện (m<sup>2</sup>).
- $\rho_0$  : Mật độ nước biển (lấy bằng 1,03 t/m<sup>3</sup>)

### (8) Lực dòng chảy

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2$$

Trong đó:

- $F_D$  : Lực cản tác dụng lên vật thể theo phương dòng chảy (kN)
- $C_D$  : Hệ số cản = 1,0
- $\rho_0$  : Mật độ nước biển (lấy bằng 1,03 t/m<sup>3</sup>)
- $A$  : Diện tích chiếu của vật thể theo phương dòng chảy (m<sup>2</sup>) đến nước cao nhất (HWL) đến độ sâu thiết kế = 2,0 + 13,0 = 15,0 (m),  $A = 15,0 \times 0,9 = 13,5$  (m<sup>2</sup>)
- $U$  : Tốc độ dòng chảy (m/s) = 0,25 (m/s)

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,0 \times 1,03 \times 13,5 \times 0,25^2 \\ &= 0,43 \text{ (kN/cọc)} \end{aligned}$$

### (9) Áp lực nước động

Để xác minh áp lực nước động tác động lên cọc, phương pháp được tham khảo từ công thức áp lực nước động dành cho công trình dạng cột trong “Quy chuẩn thiết kế cầu đường ở Nhật Bản” (*Road Bridge Design Specifications in Japan*). Công thức này có xét đến sự giảm áp lực do hiện tượng tách dòng chảy và dòng chảy vòng quanh cột. Áp lực nước động được biểu diễn theo tỷ số giữa bề rộng cấu kiện ngập nước và chiều sâu nước. Công thức với đường kính cọc  $b=900$  mm và chiều sâu nước  $h=13,0$  m (tại triều thấp) được trình bày như sau:

$$P = \frac{3}{4} k_h w_0 A_0 h \left( \frac{b}{a} \right) \left( 1 - \frac{b}{4h} \right)$$

$$h_g = \frac{3}{7} h$$

Trong đó:

- $P$  : Áp lực nước động tổng hợp tác dụng lên công trình. (kN)
- $k_h$  : Hệ số động đất tại chuyển động nền động đất Cấp 1. (=0.36)
- $w_0$  : Trọng lượng nước biển (=10,1 kN/m<sup>3</sup>)
- $h$  : Chiều sâu nước (= 15,0 m)
- $h_g$  : Khoảng cách từ mặt đáy biển đến điểm đặt của áp lực nước động tổng hợp (m),
- $b$  : Chiều rộng của cấu kiện theo phương vuông góc với phương của áp lực nước động (m),
- $a$  : Chiều rộng của cấu kiện theo phương của áp lực nước động (m),
- $A_0$  : Tiết diện ngang của kết cấu (=0,636 m<sup>2</sup>)

Lưu ý rằng, do cọc móng được lắp đặt với góc nghiêng, nên đường kính hữu hiệu của cọc theo phương song song với tải trọng động đất và theo phương vuông góc với nó có sự khác biệt nhỏ; tuy nhiên, sự khác biệt này có thể bỏ qua. Vì vậy, giả thiết  $a=b=D$  (đường kính cọc).

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{3}{4} k_h w_0 A_0 h \left(\frac{b}{a}\right) \left(1 - \frac{b}{4h}\right) \\
 &= \frac{3}{4} \times 0,36 \times 10,1 \times 0,636 \times 15,0 \times \left(\frac{0,9}{0,9}\right) \left(1 - \frac{0,9}{4 \times 15,0}\right) \\
 &= 25,6 \text{ (kN)} \\
 h_g &= \frac{3}{7} h \\
 &= \frac{3}{7} \times 15,0 \\
 &= 6,43 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

## 2-3. Phân tích kết cấu (Structural Analysis)

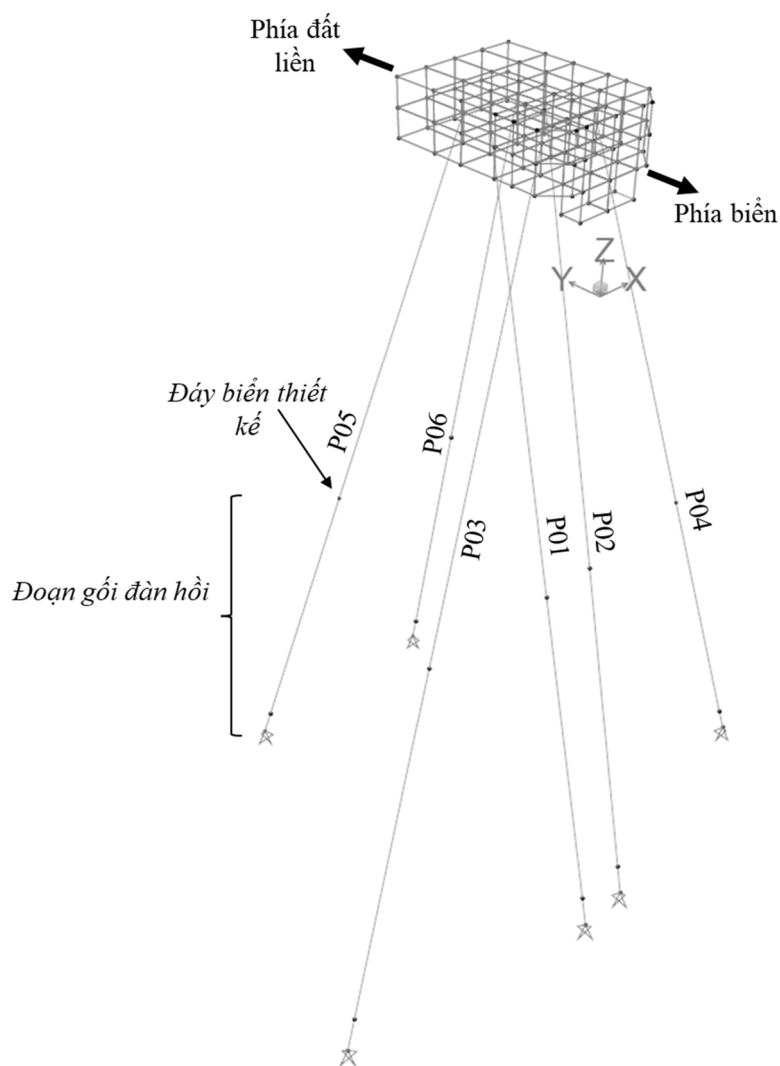
### (1) Mô hình phân tích (Analysis Model)

#### 1) Mô hình không gian ba chiều (Three-dimensional model)

Tính toán kết cấu của trụ neo được thực hiện bằng mô hình không gian ba chiều, trong đó hàng số lò xo ngang được áp dụng cho các cọc chôn trong đất. Mô hình phân tích được thể hiện trong Hình 2.7. Trong ví dụ tính toán này, các yếu tố sau không được xét đến:

- Trọng lượng nước bên trong cọc và lực quán tính của nó.

Ngoài ra, các phần tiếp theo sẽ trình bày kết quả đánh giá khả năng chịu lực, với ống thép sau ăn mòn được dùng làm trường hợp đại diện.



Hình 2.7- Mô hình 3 chiều

## 2) Thông số vật liệu

Thông số cọc được thể hiện trong Bảng 2.2

**Bảng 2.2 Thông số cọc**

Hạng mục	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú
Kích thước		D900×t12,0	
Vật liệu		SPP400	
Mô đun đàn hồi Young (E)	kN/m <sup>2</sup>	200	
Mô men quán tính hình học ban đầu (I <sub>0</sub> )	cm <sup>4</sup>	330,000	trước khi ăn mòn
Mô men quán tính hình học (I)	cm <sup>4</sup>	287,000	sau khi ăn mòn
Mô đun chống uốn ban đầu (Z <sub>0</sub> )	cm <sup>3</sup>	7,330	trước khi ăn mòn
Mô đun chống uốn (Z)	cm <sup>3</sup>	6,410	sau khi ăn mòn
Bán kính trong (r)	cm	31.345	sau khi ăn mòn

Chiều dài uốn hữu hiệu và cường độ chảy của cọc được thể hiện trong Bảng 2.3.

**Bảng 2.3- Chiều dài uốn hữu hiệu và cường độ chảy của cọc**

Hạng mục	ĐVT	P01	P02	P03	P04	P05	P06
Giá trị N của phần cọc chôn		20	20	20	20	20	20
Hằng số đàn hồi theo phương ngang: $k_{CH}$	kN/m <sup>3</sup>	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Giá trị đặc trưng của cọc: $\beta$	m <sup>-1</sup>	0,3292	0,3292	0,3292	0,3292	0,3292	0,3292
Điểm ngàm cố định: $1/\beta$	m	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04
Cao độ đỉnh cọc	m	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Cao độ đáy biển thiết kế	m	-13,00	-13,00	-13,00	-13,00	-13,00	-13,00
Chiều dài uốn hữu hiệu: $l$	m	20,43	20,43	21,12	21,12	21,12	21,12
Bán kính trong: $r$	m	0,31345	0,31345	0,31345	0,31345	0,31345	0,31345
$l/r$		65,19	65,19	67,38	67,38	67,38	67,38
Cường độ chảy nén dọc trục: $\sigma_{cy}$	MPa	170,35	170,35	167,27	167,27	167,27	167,27
$red$		0,725	0,725	0,712	0,712	0,712	0,712

**(2) Trường hợp và tổ hợp tải trọng**

- LC 1 : Tải trọng bản thân
- LC 2 : Tải trọng bản thân phụ thêm (Bích neo, đệm chống va, ...)
- LC 3.1 : Tải trọng tạm thời (trạng thái thường xuyên)
- LC 3.2 : Tải trọng tạm thời (Trạng thái tạm thời)
- LC 4 : Lực va cập bến (lực cắt tác dụng theo hướng X(+))
- LC 5 : Lực neo (xem Hình 2.6)
- LC 6 : Tải trọng sóng (Trạng thái tạm thời, trong điều kiện bão)
- LC 7 : Tải trọng dòng chảy (Trạng thái tạm thời, trong điều kiện bão)
- LC 8 : Áp lực động của nước (Trạng thái tạm thời, trong điều kiện động đất)
- LC 9 : Tải trọng động đất (chuyển động nền động đất cấp độ 1)

**Bảng 2.4. Hệ số tải trọng và tổ hợp tải trọng**

Tổ hợp	Trường hợp tải trọng (LC)									Điều kiện	
	Bản thân	Kết cấu phần trên	Hoạt tải		Va tàu	Neo	sóng	Tải trọng dòng chảy	Áp lực nước động		Động đất
			Bình thường	Sự cố							

	LC1	LC2	LC3.1	LC3.2	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9	
B1	1,0	1,0	1,0		1,0						Va
M1	1,0	1,0	1,0			1,0					neo (Bảng 2.1)
M2	1,0	1,0	1,0			1,0					neo (Bảng 2.1)
M3	1,0	1,0	1,0			1,0					neo(Bảng 2.1)
M4	1,0	1,0	1,0			1,0					neo (Bảng 2.1)
M5	1,0	1,0	1,0			1,0					Neo (Bảng 2.1)
M6	1,0	1,0	1,0			1,0					neo (Bảng 2.1)
S1	1,0	1,0		1,0			1,0	1,0			bão
S2	1,0	1,0		1,0			1,0	1,0			bão
S3	1,0	1,0		1,0			1,0	1,0			bão
E1	1,0	1,0		1,0					1,0	1,0	Động đất ( $\pm X$ -DIR)
E2	1,0	1,0		1,0					1,0	1,0	Động đất ( $\pm Y$ -DIR)

### (3) Nội lực

#### 1) Cập tàu

**Bảng 2.5- Nội lực (B1: Điều kiện cập tàu)**

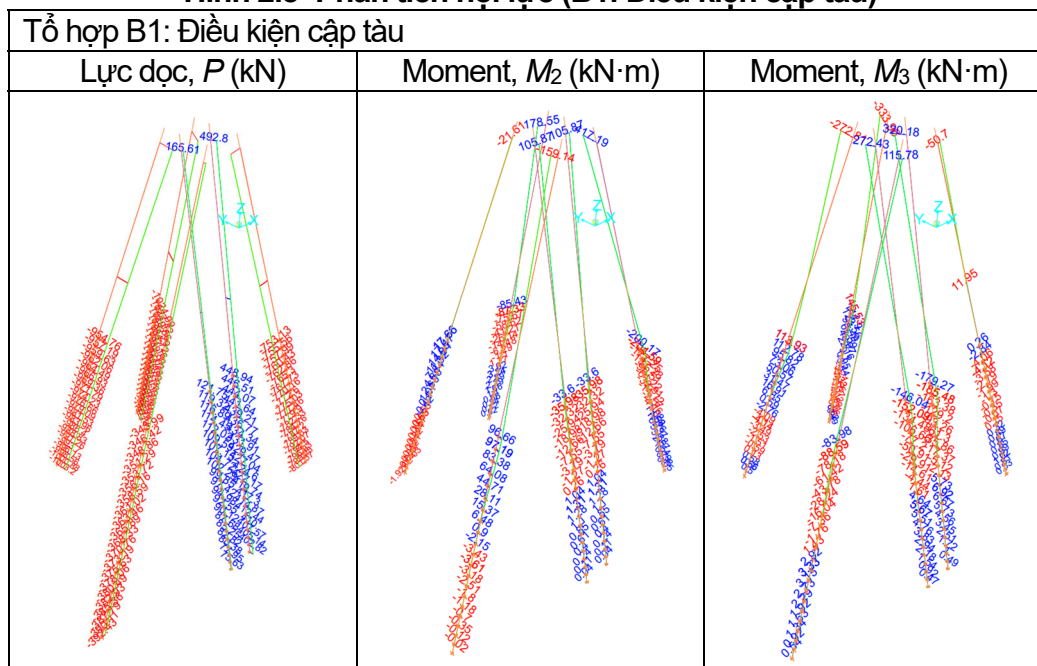
Hàng cọc	Vị trí	Nội lực			Xác minh
		P	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	
		kN	kN·m	kN·m	
P01	Max P	-165,6	105,9	272,4	0,364
	Min P	-73,3	0,0	0,0	0,018
	Max M <sub>2</sub>	-165,6	105,9	272,4	0,364
	Min M <sub>2</sub>	-119,3	-36,0	-152,1	0,202
	Max M <sub>3</sub>	-165,6	105,9	272,4	0,364
	Min M <sub>3</sub>	-119,3	-36,0	-152,1	0,202
P02	Max P	-492,8	105,9	320,2	0,494
	Min P	-400,5	0,0	0,0	0,097
	Max M <sub>2</sub>	-165,6	105,9	272,4	0,364
	Min M <sub>2</sub>	-119,3	-36,0	-152,1	0,202
	Max M <sub>3</sub>	-492,8	105,9	320,2	0,494
	Min M <sub>3</sub>	-446,5	-36,0	-185,5	0,318
P03	Max P	300,1	-159,1	115,8	0,321
	Min P	392,4	0,0	0,0	0,134
	Max M <sub>2</sub>	346,4	97,2	-88,6	0,264
	Min M <sub>2</sub>	300,1	-159,1	115,8	0,321
	Max M <sub>3</sub>	300,1	-159,1	115,8	0,321
	Min M <sub>3</sub>	346,4	97,2	-88,6	0,264
P04	Max P	709,2	417,2	-50,7	0,708
	Min P	801,6	0,0	0,0	0,274
	Max M <sub>2</sub>	709,2	417,2	-50,7	0,708
	Min M <sub>2</sub>	755,6	-204,6	-2,8	0,485
	Max M <sub>3</sub>	736,6	32,6	12,0	0,290
	Min M <sub>3</sub>	709,2	417,2	-50,7	0,708
P05	Max P	910,8	-21,6	-272,8	0,615
	Min P	1,003,2	0,0	0,0	0,343
	Max M <sub>2</sub>	954,8	17,7	113,9	0,454
	Min M <sub>2</sub>	910,8	-21,6	-272,8	0,615
	Max M <sub>3</sub>	954,8	17,7	113,9	0,454
	Min M <sub>3</sub>	910,8	-21,6	-272,8	0,615

P06	Max P	981,1	178,5	-334,0	0,755
	Min P	1,073,4	0,0	0,0	0,366
	Max $M_2$	981,1	178,5	-334,0	0,755
	Min $M_2$	1,027,4	-87,3	144,9	0,538
	Max $M_3$	1,025,0	-85,4	145,5	0,537
	Min $M_3$	981,1	178,5	-334,0	0,755

Ghi chú

$M_2$ ,  $M_3$ : Mômen theo trục cục bộ 2 và trục 3 của tiết diện cọc.

**Hình 2.8- Phân tích nội lực (B1: Điều kiện cập tàu)**



Ghi chú:

Dấu bị đảo ngược do thiết lập của chương trình phân tích.

## 2) Neo

**Bảng 2.6- Nội lực (M1-M6: Điều kiện neo)**

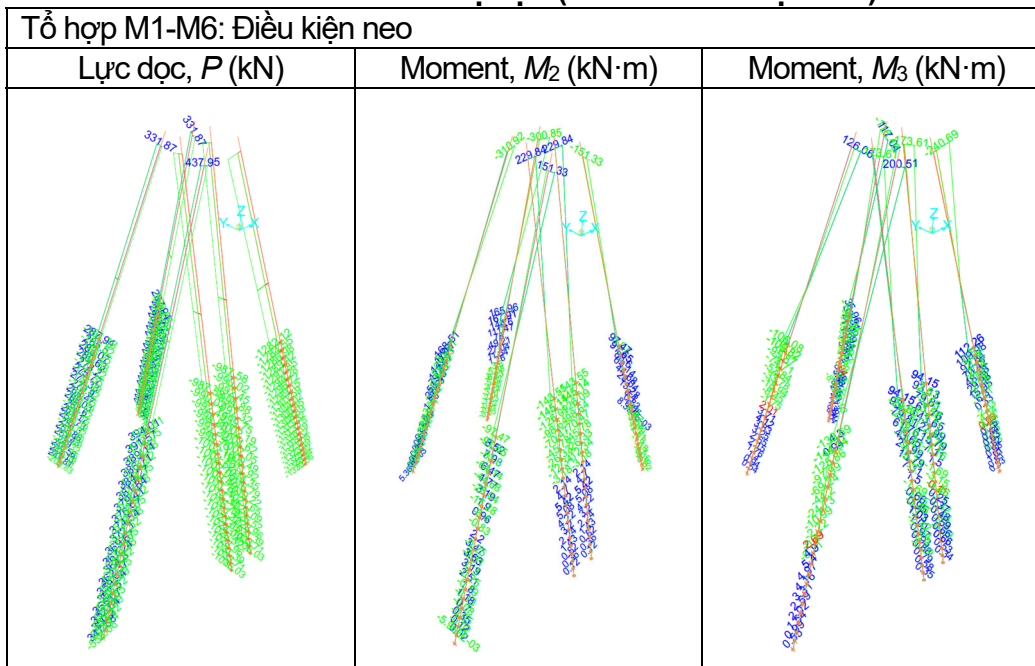
Hàng cọc	Vị trí	Nội lực			Xác minh
		$P$ kN	$M_2$ kN·m	$M_3$ kN·m	
P01	Max P	367,8	162,5	-20,5	0,305
	Min P	1,036,0	0,0	0,0	0,347
	Max $M_2$	450,9	229,8	18,6	0,407
	Min $M_2$	497,2	-145,1	-24,9	0,330
	Max $M_3$	987,6	0,0	94,1	0,436
	Min $M_3$	943,7	0,0	-173,6	0,509
P02	Max P	273,1	162,5	-43,0	0,278
	Min P	1,036,0	0,0	0,0	0,347
	Max $M_2$	450,9	229,8	18,6	0,407
	Min $M_2$	497,2	-145,1	-24,9	0,330
	Max $M_3$	987,6	0,0	94,1	0,436
	Min $M_3$	943,7	0,0	-173,6	0,509
P03	Max P	-437,9	-43,3	200,5	0,334
	Min P	558,1	0,0	0,0	0,191
	Max $M_2$	465,7	151,3	-49,8	0,336
	Min $M_2$	512,0	-97,6	0,9	0,283
	Max $M_3$	-437,9	-43,3	200,5	0,334
	Min $M_3$	-391,6	8,5	-144,3	0,256

P04	Max P	296,6	133,4	-49,3	0,259
	Min P	1,330,6	0,0	0,0	0,454
	Max $M_2$	512,0	97,6	0,9	0,283
	Min $M_2$	465,7	-151,3	-49,8	0,336
	Max $M_3$	1,282,1	-0,1	112,3	0,562
	Min $M_3$	1,238,2	-14,4	-240,7	0,690
P05	Max P	-331,9	52,6	117,0	0,223
	Min P	209,8	0,0	0,0	0,072
	Max $M_2$	147,0	170,7	-56,0	0,249
	Min $M_2$	100,6	-310,9	38,5	0,382
	Max $M_3$	-293,1	-180,6	126,1	0,316
	Min $M_3$	-246,7	96,1	-109,8	0,222
P06	Max P	-331,9	52,6	117,0	0,223
	Min P	617,1	0,0	0,0	0,211
	Max $M_2$	571,1	167,9	33,3	0,385
	Min $M_2$	524,7	-300,9	-116,2	0,537
	Max $M_3$	-331,9	52,6	117,0	0,223
	Min $M_3$	524,7	-300,9	-116,2	0,537

Ghi chú

$M_2$ ,  $M_3$ : Mômen theo trục cục bộ 2 và trục 3 của tiết diện cọc.

**Hình 2.9- Phân tích nội lực (M1-M6: Điều kiện neo)**



Ghi chú:

Dấu bị đảo ngược do thiết lập của chương trình phân tích.

### 3) Bão

**Bảng 2.7- Nội lực (S1-S3: Điều kiện bão)**

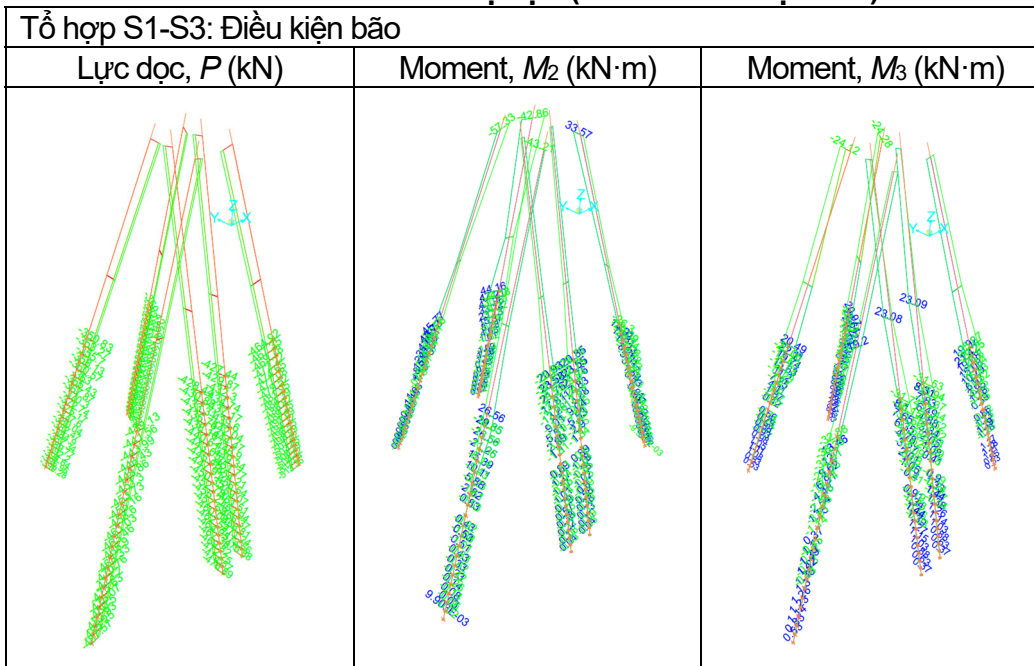
Hàng cọc	Vị trí	Nội lực			Xác minh
		$P$	$M_2$	$M_3$	
		kN	kN·m	kN·m	
P01	Max P	294,7	0,1	14,8	0,077
	Min P	476,9	0,0	0,0	0,107
	Max $M_2$	375,4	23,6	-7,1	0,103
	Min $M_2$	405,5	-32,5	-15,4	0,118
	Max $M_3$	309,6	0,5	23,1	0,087
	Min $M_3$	320,5	-0,8	-36,2	0,099
P02	Max P	293,7	0,1	14,5	0,077

	Min P	475,9	0,0	0,0	0,107
	Max M <sub>2</sub>	404,1	23,5	-13,2	0,111
	Min M <sub>2</sub>	368,3	-32,8	-5,4	0,108
	Max M <sub>3</sub>	308,6	0,5	23,1	0,087
	Min M <sub>3</sub>	319,5	-0,8	-35,9	0,099
P03	Max P	328,6	-43,2	13,2	0,109
	Min P	487,6	0,0	0,0	0,112
	Max M <sub>2</sub>	432,4	29,4	-14,8	0,123
	Min M <sub>2</sub>	328,6	-43,2	13,2	0,109
	Max M <sub>3</sub>	343,4	-3,8	19,2	0,093
P04	Min M <sub>3</sub>	343,4	11,1	-36,4	0,107
	Max P	346,2	29,4	2,6	0,101
	Min P	513,4	0,0	0,0	0,118
	Max M <sub>2</sub>	351,6	33,6	4,3	0,106
	Min M <sub>2</sub>	435,1	-29,1	-13,3	0,123
P05	Max M <sub>3</sub>	461,6	3,4	21,4	0,122
	Min M <sub>3</sub>	369,4	-7,5	-29,3	0,107
	Max P	278,6	-4,9	-17,3	0,077
	Min P	399,3	0,0	0,0	0,091
	Max M <sub>2</sub>	323,1	48,7	-13,8	0,112
P06	Min M <sub>2</sub>	307,3	-57,3	-17,7	0,115
	Max M <sub>3</sub>	353,3	11,6	22,1	0,099
	Min M <sub>3</sub>	294,1	-9,5	-24,1	0,087
	Max P	278,1	3,0	-17,4	0,077
	Min P	398,9	0,0	0,0	0,091
	Max M <sub>2</sub>	307,5	47,2	7,4	0,106
	Min M <sub>2</sub>	291,9	-42,9	-22,1	0,103
	Max M <sub>3</sub>	352,9	-9,3	22,6	0,099
	Min M <sub>3</sub>	300,3	-1,1	-24,3	0,087

Ghi chú

M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>: Mômen theo trục cục bộ 2 và trục 3 của tiết diện cọc.

**Hình 2.10- Phân tích nội lực (S1-S3: Điều kiện bão)**



Ghi chú:

Dấu bị đảo ngược do thiết lập của chương trình phân tích.

#### 4) Động đất

**Bảng 2.8- Nội lực (E1-E2: Điều kiện động đất)**

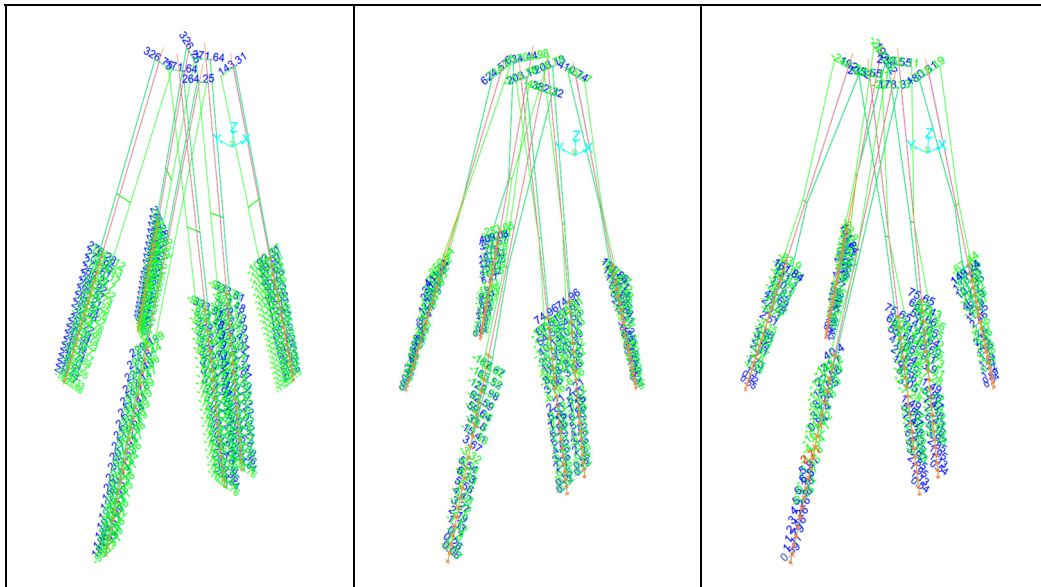
Hàng cọc	Vị trí	Nội lực			Xác minh
		$P$	$M_2$	$M_3$	
		kN	kN·m	kN·m	
P01	Max P	-371,6	0,0	233,5	0,234
	Min P	1,036,8	0,0	0,0	0,233
	Max $M_2$	41,6	203,1	104,4	0,179
	Min $M_2$	767,6	-215,8	-84,2	0,345
	Max $M_3$	-371,6	0,0	233,5	0,234
	Min $M_3$	947,5	0,0	-255,1	0,403
P02	Max P	-371,6	0,0	233,5	0,234
	Min P	1,036,8	0,0	0,0	0,233
	Max $M_2$	41,6	203,1	104,4	0,179
	Min $M_2$	767,6	-215,8	-84,2	0,345
	Max $M_3$	-371,6	0,0	233,5	0,234
	Min $M_3$	947,5	0,0	-255,1	0,403
P03	Max P	-264,2	382,3	178,4	0,357
	Min P	998,3	0,0	0,0	0,229
	Max $M_2$	-264,2	382,3	178,4	0,357
	Min $M_2$	912,1	-480,1	-221,1	0,602
	Max $M_3$	-264,2	382,3	178,4	0,357
	Min $M_3$	912,1	-480,1	-221,1	0,602
P04	Max P	-143,3	410,7	180,3	0,357
	Min P	1,135,2	0,0	0,0	0,260
	Max $M_2$	-143,3	410,7	180,3	0,357
	Min $M_2$	1,033,1	-451,7	-219,2	0,610
	Max $M_3$	-143,3	410,7	180,3	0,357
	Min $M_3$	1,033,1	-451,7	-219,2	0,610
P05	Max P	-326,8	80,7	192,5	0,209
	Min P	1,091,7	0,0	0,0	0,250
	Max $M_2$	209,6	624,6	31,4	0,513
	Min $M_2$	429,5	-714,8	-108,9	0,636
	Max $M_3$	-326,8	80,7	192,5	0,209
	Min $M_3$	989,6	-78,0	-244,8	0,418
P06	Max P	-326,8	80,7	192,5	0,209
	Min P	1,091,7	0,0	0,0	0,250
	Max $M_2$	169,5	634,4	31,3	0,511
	Min $M_2$	389,4	-705,0	-109,0	0,620
	Max $M_3$	-326,8	80,7	192,5	0,209
	Min $M_3$	989,6	-78,0	-244,8	0,418

Ghi chú

$M_2, M_3$ : Mômen theo trục cục bộ 2 và trục 3 của tiết diện cọc.

**Hình 2.11- Phân tích nội lực (E1-E2: Điều kiện động đất)**

Tổ hợp E1-E2: Điều kiện động đất		
Lực dọc, $P$ (kN)	Moment, $M_2$ (kN·m)	Moment, $M_3$ (kN·m)



## 2-4. Xác minh ứng suất cọc và khả năng chịu lực của cọc

### (1) Xác minh ứng suất cọc

**Bảng 2.9- Tổng hợp ứng suất cọc (điều kiện va và neo)**

Hạng mục	Công thức	Đơn vị	Trường hợp	
			VA	NEO
Lực dọc	$P_k$	kN	981,1	1.238,2
Mô men uốn	$M_{2k}$	kN·m	178,5	14,4
Mô men uốn	$M_{3k}$	kN·m	334,0	240,7
Đường kính ngoài	$D_o$	mm	900	900
Độ dày	$t$	mm	12	12
Chiều dày ăn mòn	$\delta$	mm	1,5	1,5
Chiều dài uốn	$l$	m	21,12	21,12
Đường kính ngoài sau khi ăn mòn	$D = D_o - 2\delta$	mm	897	897
Đường kính trong	$d = D_o - 2t$	mm	876	876
Diện tích tiết diện	$A = \pi(D^2 - d^2) / 4$	m <sup>2</sup>	0,02924	0,02924
Mômen quán tính tiết diện	$I = \pi(D^4 - d^4) / 64$	m <sup>4</sup>	0,00287	0,00287
Mômen kháng uốn	$Z = \pi(D^4 - d^4) / (32D)$	m <sup>3</sup>	0,00641	0,00641
Bán kính quán tính	$r = \sqrt{I/A}$	m	0,313	0,313
Tỷ số mảnh	$l/r$	-	67,38	67,38
Ứng suất kéo dọc trục	$\sigma_{tk} = P_k / A$	kN/m <sup>2</sup>	—	—
Ứng suất nén dọc trục	$\sigma_{ck} = P_k / A$	kN/m <sup>2</sup>	33.550	42.342
Ứng suất kéo uốn	$\sigma_{btk} = -\sqrt{[(M_{2k}/Z)^2 + (M_{3k}/Z)^2]}$	kN/m <sup>2</sup>	-59.118	-37.642
Ứng suất nén uốn	$\sigma_{bck} = \sqrt{[(M_{2k}/Z)^2 + (M_{3k}/Z)^2]}$	kN/m <sup>2</sup>	59.118	37.642
Ứng suất kéo chảy	$\sigma_{yk}$	kN/m <sup>2</sup>	235.000	235.000
Ứng suất nén chảy	$\sigma_{yk} = 235.000 - 1,4(l/r - 19)$	kN/m <sup>2</sup>	167.268	167.268
Ứng suất uốn chảy	$\sigma_{yk}$	kN/m <sup>2</sup>	235.000	235.000
Hệ số giảm	$red = \sigma_y / \sigma_y$	-	0,712	0,712
Khi $P_k$ là nén	$S_k = \sigma_{ck} / red + \sigma_{bck}$	kN/m <sup>2</sup>	106.253	97.129
	$R_k = \sigma_{yk}$	kN/m <sup>2</sup>	235.000	235.000
Hệ số thành phần tải trọng	$\gamma_s$	-	1,00	1,00

Hệ số thành phần sức kháng	$\gamma_R$	-	1,00	1,00
Hệ số điều chỉnh	$m$	-	1,67	1,67
Thành phần tải trọng	$S_d = \gamma_S \cdot S_k$	kNm <sup>2</sup>	106.253	97.129
Thành phần sức kháng	$R_d = \gamma_R \cdot R_k$	kNm <sup>2</sup>	235.000	235.000
Xác minh	$m \cdot S_d / R_d$	-	0,755	0,690
Đánh giá	$m \cdot S_d / R_d \leq 1,0$		OK	OK

**Bảng 2.10- Tổng hợp ứng suất cọc (Điều kiện bão và động đất)**

Hạng mục	Công thức	Đơn vị	Điều kiện	
			Bão	Động đất
Lực dọc	$P_k$	kN	435,1	429,5
Mô men uốn	$M_{2k}$	kN·m	29,1	714,8
Mô men uốn	$M_{3k}$	kN·m	13,3	108,9
Đường kính ngoài	$D_o$	mm	900	900
Độ dày	$t$	mm	12	12
Chiều dày ăn mòn	$\delta$	mm	1,5	1,5
Chiều dài uốn	$l$	m	21,12	21,12
Đường kính ngoài sau khi ăn mòn	$D = D_o - 2 \cdot \delta$	mm	897	897
Đường kính trong	$d = D_o - 2 \cdot t$	mm	876	876
Diện tích tiết diện	$A = \pi(D^2 - d^2) / 4$	m <sup>2</sup>	0,02924	0,02924
Mômen quán tính tiết diện	$I = \pi(D^4 - d^4) / 64$	m <sup>4</sup>	0,00287	0,00287
Mômen kháng uốn	$Z = \pi(D^4 - d^4) / (32D)$	m <sup>3</sup>	0,00641	0,00641
Bán kính quán tính	$r = \sqrt{I / A}$	m	0,313	0,313
Tỷ số mảnh	$l / r$	-	67,38	67,38
US kéo dọc trục	$\sigma_{tk} = P_k / A$	kNm <sup>2</sup>	—	—
US nén dọc trục	$\sigma_{ck} = P_k / A$	kNm <sup>2</sup>	14.879	14.687
US kéo uốn	$\sigma_{btk} = - \sqrt{[(M_{2k} / Z)^2 + (M_{3k} / Z)^2]}$	kNm <sup>2</sup>	-4.995	-112.871
US nén uốn	$\sigma_{bck} = \sqrt{[(M_{2k} / Z)^2 + (M_{3k} / Z)^2]}$	kNm <sup>2</sup>	4.995	112.871
US kéo chảy	$\sigma_{yk}$	kNm <sup>2</sup>	235.000	235.000
US nén chảy	$\sigma_{yk} (= 235.000 - 1,4(l/r - 19))$	kNm <sup>2</sup>	167.268	167.268
US uốn chảy	$\sigma_{yk}$	kNm <sup>2</sup>	235.000	235.000
Hệ số giảm	$red = \sigma_y / \sigma_y$	-	0,712	0,712
Khi $P_k$ là nén	$S_k = \sigma_{ck} / red + \sigma_{bck}$	kNm <sup>2</sup>	25.898	133.506
	$R_k = \sigma_{byk}$	kNm <sup>2</sup>	235.000	235.000
Hệ số thành phần tải trọng	$\gamma_S$	-	1,00	1,00
Hệ số thành phần sức kháng	$\gamma_R$	-	1,00	1,00
Hệ số điều chỉnh	$m$	-	1,12	1,12
Thành phần tải trọng	$S_d = \gamma_S \cdot S_k$	kNm <sup>2</sup>	25.898	133.506
Thành phần sức kháng	$R_d = \gamma_R \cdot R_k$	kNm <sup>2</sup>	235.000	235.000
Xác minh	$m \cdot S_d / R_d$	-	0,123	0,636
Đánh giá	$m \cdot S_d / R_d \leq 1,0$		OK	OK

## (2) Xác minh sức chịu tải của cọc

Việc xác minh tính năng chịu tải của cọc dưới tác động của chuyển động nền động đất sẽ được thực hiện theo Công thức (1.3)

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1,0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

Trong đó:

- $m$  : Hệ số điều chỉnh
- $S$  : Giá trị đặc trưng của tải trọng (kN/m)
- $R$  : Giá trị đặc trưng của sức kháng (kN/m)
- $\gamma_S$  : Hệ số thành phần tải trọng
- $\gamma_R$  : Hệ số thành phần sức kháng

Mục tiêu xác minh	Loại cọc	Hệ số thành phần sức kháng: $\gamma_R$	Hệ số thành phần tải trọng: $\gamma_S$	Hệ số điều chỉnh: $m$
Khả năng chịu lực của cọc (tải trọng tàu)	Cọc chịu kéo	1,00	1,00	3,00
	Cọc chịu nén	1,00	1,00	2,50
Khả năng chịu lực của cọc (bão, động đất cấp 1)	Cọc chịu kéo	1,00	1,00	2,50
	Cọc chịu nén (cọc chống)	1,00	1,00	1,50
	Cọc chịu nén (cọc ma sát)	1,00	1,00	2,00

$$R_k = R_{pk} + R_{fk}$$

Trong đó:

- $R_{fk}$  : Giá trị đặc trưng của lực kháng đẩy của cọc theo phương trục (kN)
- $R_{pk}$  : Giá trị đặc trưng của lực kháng mũi cọc (kN)
- $R_{fk}$  : Giá trị đặc trưng của lực ma sát thành cọc (kN)

### 1) Giá trị đặc trưng sức kháng mũi cọc ( $R_{pk}$ )

$$R_{pk} = 300N \times \alpha \times A_p$$

Trong đó:

$$N_1 = 50$$

$$N_2 = (1,80 \times 20 + 1,80 \times 50) / (4 \times 0,90) = 35$$

$$N = (N_1 + N_2) / 2 = (50 + 35) / 2 = 42,5$$

$$A_p = \pi \times 0,90^2 / 4 = 0,636 \text{ (m}^2\text{)}$$

$\alpha$ : là tỷ lệ bịt kín của mũi cọc (hoặc tỷ lệ đóng kín đầu mũi cọc, =0,6)

Do vậy,

$$R_{pk} = 300 \times 42,5 \times 0,6 \times 0,636 = 4.865,4 \text{ (kN)}$$

### 2) Giá trị đặc trưng của ma sát cọc ( $R_{fk}$ )

$$R_{fk} = \sum \bar{V}_{fki} \times A_{Si} = 2 \sum \bar{N}_i \times A_{Si}$$

Trong đó:

$$A_{Si} = \pi \times 0,90 \times l_i = 2,827 \times l_i \text{ (m}^2\text{)}$$

- Sức kháng ma sát của P01, P02

$$R_{fk} = 2 \times 20 \times 17,34 \times 2,827 + 2 \times 50 \times 1,84 \times 2,827$$

$$= 2.481,0 \text{ (kN)}$$

- Sức kháng ma sát của P03, P04, P05, P06

$$R_{fk} = 2 \times 20 \times 17,92 \times 2,827 + 2 \times 50 \times 1,90 \times 2,827$$

$$= 2.563,5 \text{ (kN)}$$

### 3) Giá trị đặc trưng của sức kháng dọc trục ( $R_{tk}$ )

- Sức kháng dọc trục của cọc P01, P02: (nén)

$$R_{tk} = 4.865,4 + 2.481,0 = 7.346,4 \text{ (kN)}$$

- Sức kháng dọc trục của cọc P03, P04, P05, P06: (nén)

$$R_{tk} = 4.865,4 + 2.563,5 = 7.428,9 \text{ (kN)}$$

### 4) Xác minh sức chịu tải của cọc

Các giá trị thiết kế của lực kháng dọc trục được tính toán từ sức kháng mũi cọc và sức kháng ma sát thành cọc của từng cọc, và kết quả xác minh về khả năng chịu tải của cọc được thể hiện trong Bảng 2.11.

**Bảng 2.11- Xác minh sức chịu tải của cọc**

Điều kiện	Cọc	Trường Hợp	$m$	TP tải trọng (kN)	TP sức kháng (kN)	$m(S_d/R_d)$	Đánh giá
Va	P01	Đẩy	2,5	—	7.346,4	—	O.K.
	P02	Đẩy	2,5	—	7.346,4	—	O.K.
	P03	Đẩy	2,5	392,4	7.428,9	0,132	O.K.
	P04	Đẩy	2,5	801,6	7.428,9	0,270	O.K.
	P05	Đẩy	2,5	1003,2	7.428,9	0,338	O.K.
	P06	Đẩy	2,5	1073,4	7.428,9	0,361	O.K.
	P01	Kéo	3,0	165,6	2.481,0	0,200	O.K.
	P02	Kéo	3,0	492,8	2.481,0	0,596	O.K.
	P03	Kéo	3,0	—	2.563,5	—	O.K.
	P04	Kéo	3,0	—	2.563,5	—	O.K.
	P05	Kéo	3,0	—	2.563,5	—	O.K.
	P06	Kéo	3,0	—	2.563,5	—	O.K.
Neo	P01	Đẩy	2,5	1036,0	7.346,4	0,353	O.K.
	P02	Đẩy	2,5	1036,0	7.346,4	0,353	O.K.
	P03	Đẩy	2,5	558,1	7.428,9	0,188	O.K.
	P04	Đẩy	2,5	1330,6	7.428,9	0,448	O.K.
	P05	Đẩy	2,5	209,8	7.428,9	0,071	O.K.
	P06	Đẩy	2,5	617,1	7.428,9	0,208	O.K.
	P01	Kéo	3,0	—	2.481,0	—	O.K.
	P02	Kéo	3,0	—	2.481,0	—	O.K.
	P03	Kéo	3,0	437,9	2.563,5	0,513	O.K.
	P04	Kéo	3,0	—	2.563,5	—	O.K.
	P05	Kéo	3,0	331,9	2.563,5	0,388	O.K.
	P06	Kéo	3,0	331,9	2.563,5	0,388	O.K.
Bão	P01	Đẩy	1,5	476,9	7.346,4	0,097	O.K.
	P02	Đẩy	1,5	475,9	7.346,4	0,097	O.K.
	P03	Đẩy	1,5	487,6	7.428,9	0,098	O.K.
	P04	Đẩy	1,5	513,4	7.428,9	0,104	O.K.
	P05	Đẩy	1,5	399,3	7.428,9	0,081	O.K.

	P06	Đẩy	1,5	398,9	7.428,9	0,081	O.K.
	P01	Kéo	2,5	—	2.481,0	—	O.K.
	P02	Kéo	2,5	—	2.481,0	—	O.K.
	P03	Kéo	2,5	—	2.563,5	—	O.K.
	P04	Kéo	2,5	—	2.563,5	—	O.K.
	P05	Kéo	2,5	—	2.563,5	—	O.K.
	P06	Kéo	2,5	—	2.563,5	—	O.K.
Động đất	P01	Đẩy	1,5	1036,8	7.346,4	0,212	O.K.
	P02	Đẩy	1,5	1036,8	7.346,4	0,212	O.K.
	P03	Đẩy	1,5	998,3	7.428,9	0,202	O.K.
	P04	Đẩy	1,5	1135,2	7.428,9	0,229	O.K.
	P05	Đẩy	1,5	1091,7	7.428,9	0,220	O.K.
	P06	Đẩy	1,5	1091,7	7.428,9	0,220	O.K.
	P01	Kéo	2,5	371,6	2.481,00	0,374	O.K.
	P02	Kéo	2,5	371,6	2.481,00	0,374	O.K.
	P03	Kéo	2,5	264,2	2.563,50	0,258	O.K.
	P04	Kéo	2,5	143,3	2.563,50	0,140	O.K.
	P05	Kéo	2,5	326,8	2.563,50	0,319	O.K.
	P06	Kéo	2,5	326,8	2.563,50	0,319	O.K.

## 2-5. Xác minh các cấu kiện kết cấu (Verification of Structural Members)

Kết cấu trên của trụ neo thường được xây dựng bằng bê tông khối. Khi thiết kế cốt thép cho kết cấu trên, không chỉ cần tiến hành tính toán dựa trên ứng suất theo Phần 2, mà còn phải đảm bảo rằng cốt thép đáp ứng yêu cầu cốt thép tối thiểu đối với kết cấu bê tông cốt thép.

## 2-6. Ghi chú bổ sung

Trụ va/neo thường được sử dụng tại bến tàu chở dầu (*tanker berths*) và bến LNG (*LNG berths*). Tùy thuộc vào loại hàng hóa được xếp dỡ, có thể cần phải đảm bảo khả năng chịu lực phù hợp với các tiêu chuẩn và/hoặc quy định liên quan khác ngoài TCVN hoặc OCDI 2020.

- Hết -