TIÊU CHUẨN CƠ SỞ
TCCS

CỌC VÍT ỐNG THÉP CÓ CÁNH MŨI
"CỌC TSUBASA"
YÊU CẦU THIẾT KẾ

Rotary penetration steel pipe pile with toe wing
"Tsubasa pile"
Technical requirement for design

MỤC LỤC

MỤC LỤC 2
Lời nói đầu 3
1. Giới thiệu chung - Phạm vi áp dụng 4
2. Tài liệu viện dẫn 4
3.Thuật ngữ và định nghĩa 5
3.1. Cánh mũi (Toe wing) 5
3.2. Lớp đất chống mũi cọc (Supporting layer) 5
3.3. Mũi cọc (Pile end) 5
4. Nguyên lý thiết kế 6
4.1. Nguyên lý cơ bản 6
4.2. Quy trình thiết kế 6
5. Vật liệu cọc 7
5.1. Cấu tạo cọc 7
5.2. Kích thước ống thép 7
5.3. Thông số kỹ thuật của vật liệu và ứng suất cho phép 9
5.4. Chiều dày ăn mòn 9
6. Sức chịu tải của cọc 10
6.1. Sức chịu tải nén giới hạn theo đất nền 10
6.2. Sức chịu nhổ giới hạn theo đất nền 11
6.3. Hệ số nền theo phương ngang 12
6.4. Độ cứng dọc trục của cọc 13
6.5. Độ cứng cọc theo phương thẳng đứng 13
7. Thiết kế chi tiết 15
7.1. Lựa chọn cánh mũi 15
7.2. Khoảng cách giữa các cọc 21
TÀI LIỆU THAM KHẢO: 21

Lời nói đầu

“Cọc vít ống thép có cánh mũi, cọc Tsubasa - Yêu cầu thiết” được biên dịch dựa trên cơ sở tham khảo tài liệu "Rotary Penetration Steel Pipe Pile with Toe Wing - Tsubasa Pile" (Open-End Type and Closed-End Type) - Design Manual của Hiệp hội kỹ thuật cọc Tsubasa.

CỌC VÍT ỐNG THÉP CÓ CÁNH MŨI, CỌC TSUBASA - YÊU CẦU THIẾT KẾ

Rotary penetration steel pipe pile with toe wing, Tsubasa pile

Technical requirement for design

1. Giới thiệu chung - Phạm vi áp dụng

Cọc Tsubasa là cọc ống thép có cánh ở mũi đi vào trong nền đất do lực quay sử dụng động cơ điện hoặc thủy lực. Cánh ở mũi được cấu tạo bằng hai tấm thép hình bán nguyệt chéo nhau ở vị trí đầu dưới của cọc ống thép. Các cánh này sẽ tạo ra lực kéo khi đầu cọc đi vào đất trong quá trình thi công cọc và do đó quá trình thi công sẽ không có đất thải, tiếng ồn nhỏ và độ rung thấp. Cánh mũi có đường kính từ 1,5 đến 2 lần đường kính cọc và tạo ra sức chịu tải lớn.

Tiêu chuẩn này quy định những vấn đề cơ bản trong thiết kế cọc Tsubasa (Cọc vít ống thép có cánh ở mũi) cho móng cọc các công trình xây dựng.

Việc áp dụng cọc Tsubasa cho các điều kiện địa chất nào cần xem xét đến tính khả thi và hiệu quả của công tác thi công như đề cập trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1 - Các loại nền đất có thể áp dụng cọc Tsubasa

Lớp đất chống mũi cọc	Độ sâu		Tối đa 60m
	Loại đất		Đất cát, đất đá (đất sét cứng, đá phong hóa) *
	Độ cứng		Giá trị N tương đương: 150 hoặc thấp hơn **
	Đường kính hạt sỏi/cuội		Đường kính sỏi tối đa 15 cm hoặc nhỏ hơn
Lớp đất cọc xuyên qua là cát hoặc sỏi cuội	Giá trị N	Khoảng 40	Dầy 4m hoặc nhỏ hơn
		50 hoặc lớn hơn	Dầy 2m hoặc nhỏ hơn
	Đường kính hạt sỏi/cuội		15 cm hoặc nhỏ hơn

* Các loại nền đất trong ngoặc đơn được coi là nằm ngoài phạm vi xem xét và kiểm chứng mặc dù có những báo cáo thi công nhưng mối quan hệ giữa sức chịu tải của cọc và cường độ đất nền chưa được xác thực một cách đầy đủ.

** Giá trị N tương đương là số nhát búa hiệu chỉnh được tính theo tỷ lệ, tương ứng với chiều dài xuyên 300 mm trong trường hợp đóng 50 nhát búa mà chiều dài xuyên nhỏ hơn 300 mm.

Phạm vi áp dụng của cọc này được quy định như sau:

	Loại cánh mở	Loại cánh đóng
Đường kính cọc (D_p)	φ318.5 đến φ1600 mm	φ318.5 *đến* φ1200 mm
Đường kính cánh mũi	D_p = φ318.5 đến 1200mm $D_w = D_p$ ×*1.5 đến 2.0* D_p = φ1300 đến 1600mm $D_w = D_p$ ×*1.5*	D_p = φ318.5 *đến* 1200mm $D_w = D_p$ ×*1.5 to 2.0*
Chiều sâu hạ cọc tối đa	77 m	60 m
Lớp đất chống mũi cọc	Đất cát, cuội sỏi	Đất cát, cuội sỏi
Góc nghiêng của cọc	Lớn nhất 15°	Lớn nhất 15°

Việc lựa chọn nền đất để áp dụng cọc vít ống thép cánh mũi cần xem xét đến tính chất của lớp đất chống mũi cọc và các lớp cát (cuội, sỏi) cọc đi qua.

2. Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết khi áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các bản sửa đổi, bổ sung (nếu có).

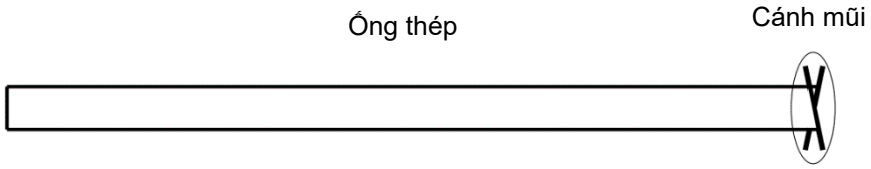
- Sổ tay thiết kế móng cọc (2015) - Pile foundation design handbook (2015), Japan Road Association
- Chỉ dẫn kỹ thuật cho công trình Cầu đường cao tốc (Phần I tới Phần V)/tháng 11 năm 2017 - Specifications for Highway Bridges (Part I to Part V), Japan Road Association
- TCVN 9245 :2012, Cọc ống thép.

– Loại vật liệu thép TMCP cho các công trình xây dựng.

3.Thuật ngữ và định nghĩa

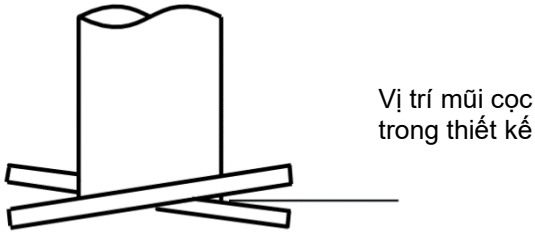
3.1. Cánh mũi (Toe wing)

Phần gắn vào phần cuối của ống thép gồm hai tấm thép hình bán nguyệt ở vị trí ngang nhau (Hình 1).



Hình 1 - Cấu tạo cọc Tsubasa

Hai tấm thép hình bán nguyệt ở vị trí ngang nhau tạo hình chữ V ở phần cuối của ống thép, và được hàn cố định. Thực tế một đoạn cuối của cọc là cạnh của cánh, nhưng trong thiết kế thì coi cánh được đặt tại đầu của ống thép (Hình 2).



Hình 2 - Mũi cọc trong thiết kế

3.2. Lớp đất chống mũi cọc (Supporting layer)

Lớp đất tại mũi cọc tạo ra sức kháng mũi được dự kiến trong thiết kế

3.3. Mũi cọc (Pile end)

Vị trí thấp nhất của ống thép

4. Nguyên lý thiết kế

4.1. Nguyên lý cơ bản

Tiêu chuẩn này quy định công tác thiết kế cho cọc Tsubasa. Các vấn đề không được đề cập trong tài liệu này thì theo "Sổ tay thiết kế móng cọc (2015)" và các tiêu chuẩn khác có liên quan như "Chỉ dẫn kỹ thuật cho công trình Cầu đường cao tốc (Phần I tới Phần V)"/tháng 11 năm 2017.

4.2. Quy trình thiết kế

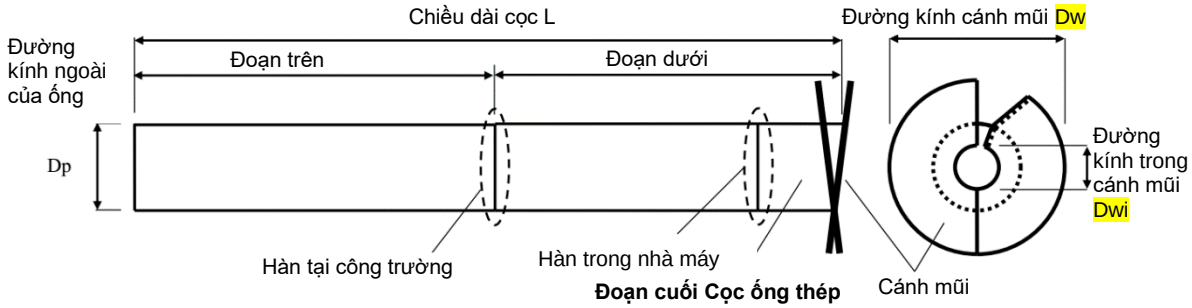
Thiết kế cọc vít cánh mũi có quy trình như thiết kế cọc trong móng cọc nói chung.

Cánh mũi sẽ được chọn từ bảng thống kê, bảng tiêu chuẩn hóa cho kích thước cọc và vật liệu.

5. Vật liệu cọc

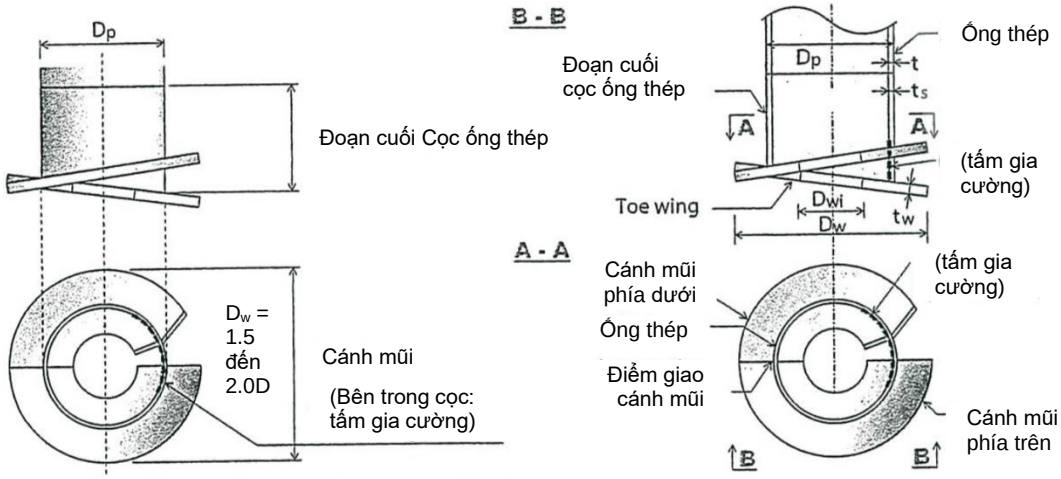
5.1. Cấu tạo cọc

Cấu tạo cọc Tsubasa gồm ống thép và các cánh mũi ở đầu dưới của ống thép hàn cố định trong nhà máy.

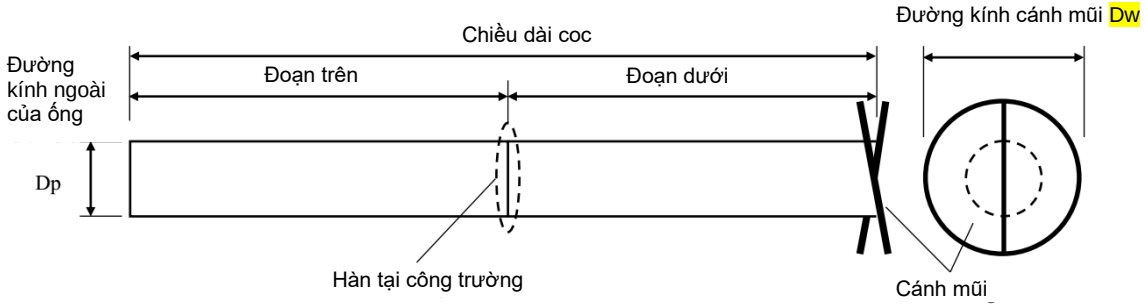


Đoạn cuối Cọc ống thép

Chiều dài đoạn cuối cọc phải lớn hơn hoặc bằng 0.5 D_p. Chiều dày của các tấm được tra trong bảng 2(1). Tấm thép gia cường có thể được bổ sung phía bên trong cọc để thuận tiện cho việc thi công.



Cấu tạo cọc Tsubasa (đáy hở)



Cấu tạo cọc Tsubasa (đáy kín)

Hình 3 - Cấu tạo cọc

5.2. Kích thước ống thép

Cấu tạo cọc Tsubasa gồm ống thép và các cánh mũi ở đầu dưới của ống thép hàn cố định trong nhà máy.

Phạm vi kích thước áp dụng cho cọc vít được liệt kê trong Bảng 2(1) và Bảng 2(2).

Bảng 2(1) - Bảng kích thước tiêu chuẩn của Cọc Tsubasa (đáy hở)

Ống thép		Cánh mũi			Ống thép ở đoạn cuối
Đường kính ngoài Dp mm	Chiều dày t mm	Đường kính ngoài của cánh Dw mm	Đường kính trong của cánh Dw mm	Chiều dày tw mm	Chiều dày ts mm
318.5	9 ~ 12	477.8 ~ 637.0	159.3	19 ~ 28	9 ~ 15
355.6	9 ~ 13	533.4 ~ 711.2	177.8	19 ~ 32	9 ~ 15
400 / 406.4	9 ~ 15	600 ~ 812.8	200 / 203.2	19 ~ 32	9 ~ 15
450 / 457.2	9 ~ 17	675 ~ 914.4	225 / 228.7	22 ~ 40	10 ~ 16
500 / 508.0	9 ~ 18	750 ~ 1016	250 / 254.0	22 ~ 45	10 ~ 19
600 / 609.6	9 ~ 21	900 ~ 1219.2	300 / 304.8	22 ~ 55	12 ~ 23
700	10 ~ 25	1050 ~ 1400	350	25 ~ 65	14 ~ 27
800	11 ~ 25	1200 ~ 1600	400	28 ~ 75	16 ~ 30
900	12 ~ 25	1350 ~ 1800	450	32 ~ 80	18 ~ 31
1000	13 ~ 25	1500 ~ 2000	500	36 ~ 90	20 ~ 32
1100	15 ~ 25	1650 ~ 2200	550	40 ~ 95	22 ~ 32
1200	16 ~ 25	1800 ~ 2400	600	45 ~ 100	24 ~ 32
1300	17 ~ 25	1950	650	50 ~ 70	25 ~ 29
1400	19 ~ 25	2100	700	55 ~ 75	25 ~ 29
1500	20 ~ 25	2250	750	60 ~ 80	25 ~ 29
1600	21 ~ 25	2400	800	65 ~ 80	25 ~ 29

Độ dày của cánh mũi và cọc ống thép được lựa chọn dựa trên đặc trưng kỹ thuật về kích thước và vật liệu của ống thép (với đoạn cọc dưới) (xem Bảng 8(1) đến Bảng 8(8)).

Bảng 2(2) - Bảng kích thước tiêu chuẩn của Cọc Tsubasa (đáy kín)

Ống thép		Cánh mũi	
Đường kính ngoài Dp mm	Chiều dày t mm	Đường kính cánh Dw mm	Chiều dày tw mm
318.5	9 ~ 16	477.75 ~ 637.0	25 ~ 30
355.6	9 ~ 16	533.4 ~ 711.2	25 ~ 35
400 / 406.4	9 ~ 18	600 ~ 812.8	25 ~ 35
450 / 457.2	9 ~ 20	675 ~ 914.4	30 ~ 40
500 / 508.0	9 ~ 22	750 ~ 1016	30 ~ 40
600	9 ~ 25	900 ~ 1200	30 ~ 45
700	9 ~ 25	1050 ~ 1400	35 ~ 50
800	9 ~ 30	1200 ~ 1600	40 ~ 55
900	10 ~ 30	1350 ~ 1800	40 ~ 60
1000	11 ~ 35	1500 ~ 2000	45 ~ 65
1100	12 ~ 35	1650 ~ 2200	45 ~ 70
1200	13 ~ 40	1800 ~ 2400	50 ~ 80

Chiều dày của cánh mũi được lựa chọn dựa trên kích thước và vật liệu của ống thép (đoạn cọc dưới) (xem Bảng 8(9) đến Bảng 8(12)).

5.3. Thông số kỹ thuật của vật liệu và ứng suất cho phép

Các thông số kỹ thuật vật liệu áp dụng cho các ống thép SPP400 và SPP490, được quy định trong tiêu chuẩn TCVN 9245 :2012, (Cọc ống thép).

Các thông số kỹ thuật vật liệu của thép cánh mũi hình bán nguyệt là SM490A và HBL385B (550N/mm^2 loại vật liệu thépTMCP cho các công trình xây dựng).

Bảng 3 thể hiện các tiêu chuẩn vật liệu và ứng suất đơn vị cho phép cho ống thép và các tấm thép cánh mũi. Ngoài ra, hệ số bổ sung cho ứng suất đơn vị cho phép trong trường hợp động đất là 1.5.

Bảng 3 - Thông số kỹ thuật của vật liệu và ứng suất đơn vị cho phép

Bộ phận		Loại	Chiều dày mm	Giới hạn chảy N/mm^2	Ứng suất đơn vị cho phép* N/mm^2	
					Kéo/Nén	Cắt
Ống thép		SPP400		235 hoặc lớn hơn	140	80
		SPP490		315 hoặc lớn hơn	185	105
Cánh mũi	Đáy hở		16<t≤40	315 hoặc lớn hơn	185	105
			40<t ≤100	295 hoặc lớn hơn		
			19 đến 100	385 hoặc lớn hơn 505 hoặc nhỏ hơn	226	130
	Đáy kín		19 đến 100	385 hoặc lớn hơn 505 hoặc nhỏ hơn	226	130

* Theo tiêu chuẩn "Chỉ dẫn kỹ thuật cho công trình Cầu đường cao tốc Phần II Cầu thép và Phần IV Cấu kiện"

5.4. Chiều dày ăn mòn

Chiều dày ăn mòn thiết kế cho đường ống thép là 1 mm trên mặt ngoài và 0 mm trên mặt trong. Chiều dày ăn mòn thiết kế cho cánh mũi tổng là 2 mm cho mặt trên và dưới. Tuy nhiên, tốc độ ăn mòn nên được kiểm tra riêng cho đất có tính ăn mòn cao như đất chua, chiều dày ăn mòn thiết kế cần được xác định riêng như bằng cách thực hiện khảo sát về tính ăn mòn của đất vv.

6. Sức chịu tải của cọc

6.1. Sức chịu tải nén giới hạn theo đất nền

Sức chịu tải giới hạn của cọc Tsubasa có cánh ở mũi nên tham khảo "Sổ tay thiết kế móng cọc (2015)" và được tính theo công thức dưới đây. Với loại có đường kính cánh mũi bằng 1,75 đường kính cọc không được mô tả trong "Sổ tay thiết kế móng cọc (2015)" sẽ được tính toán như loại đường kính cánh mũi bằng 2.0 đường kính cọc.

Sức chịu tải giới hạn theo đất nền được tính theo công thức sau

$$R_u = q_d \times A_w + U \times \Sigma L \times f$$

R_u : Sức chịu tải giới hạn của cọc đơn (kN)

q_d : Sức kháng mũi đơn vị giới hạn tại mũi cọc (kN/m^2), được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4 - Sức kháng mũi đơn vị giới hạn tại mũi cọc q_d

Loại đất	Đường kính ngoài cánh mũi/Đường kính cọc	Sức kháng mũi đơn vị giới hạn tại mũi cọc q_d(kN/m^2)
Cát	1.5	120 N (≤ 6000)
	2.0	100 N (≤ 5000)
Sỏi cuội	1.5	130 N (≤ 6500)
	2.0	115 N (≤ 5750)

Trong đó, N là giá trị N_{SPT} của thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn của lớp đất chống mũi cọc.

A_w : diện tích cánh mũi (m^2) $A_w = \pi \times D_w^2/4$

D_w : đường kính cánh mũi (m)

U : chu vi ngoài của ống thép (m)

L : Chiều dày của lớp đất tính ma sát bên (m)

f : Sức kháng ma sát đơn vị giới hạn giữa cọc và nền đất (kN/m^2)

Đất rời $f = 3N\ (\leq 150)$

Đất dính $f = c$ *hoặc* $10N\ (\leq 100)$, c là lực dính đơn vị ($= q_u/2$)

N là giá trị N của lớp đất tương ứng

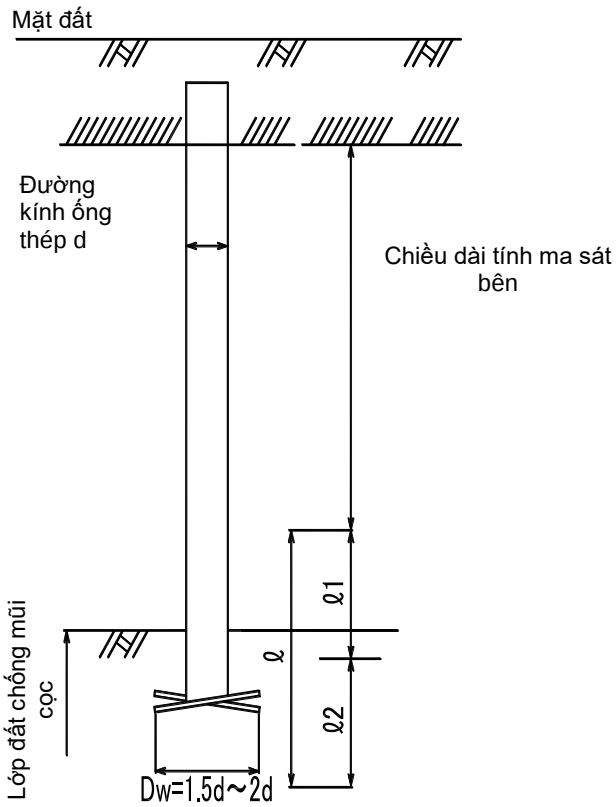
Sức kháng mũi đơn vị giới hạn cho đất sét cứng hoặc đá phong hóa cần được xác định riêng.

Chiều sâu ngàm của mũi cọc trong lớp đất chống mũi cọc cần tối thiểu bằng đường kính cọc (1d) hoặc lớn hơn.

Nói chung việc sử dụng gầu đào để xuyên qua các lớp đất cứng trung gian khi hạ cọc nên bị cấm. Tuy nhiên trong trường hợp bất khả kháng, nếu phải sử dụng phương pháp này do lớp đất bị mềm hóa nên sức kháng ma sát đơn vị giới hạn sử dụng trong thiết kế, trong phạm vi bị ảnh hưởng cần được giảm xuống còn 1/2 giá trị ban đầu vì lý do an toàn. Biện pháp này chỉ nên áp dụng cho các lớp đất phía trên đỉnh cọc, và đường kính hố đào phải bằng hoặc nhỏ hơn đường kính cánh mũi.

Trong trường hợp phát sinh ma sát âm hoặc đất nền có khả năng hóa lỏng, hoặc trong trường hợp chiều dày lớp đất chống mũi cọc quá mỏng thì cần tham khảo các tiêu chuẩn liên quan khác vv.

Nếu lớp đất chống mũi cọc đủ cứng, chiều sâu ngàm mũi cọc có thể được giảm theo hướng dẫn thi công. Trong trường hợp này, giá trị $\bar{N}$ được sử dụng trong thiết kế có thể không cần thay đổi.



l : vùng tính giá trị $\bar{N}$ (giá trị N cho tính toán sức chịu tải đầu cọc)
D_w : Đường kính cánh mũi

Hình 4 - Tính toán sức chịu tải nén

6.2. Sức chịu nhổ giới hạn theo đất nền

Sức chịu nhổ giới hạn của cọc Tsubasa dựa trên "Sổ tay thiết kế móng cọc (2015)", theo công thức sau.

Phương trình sau đây được áp dụng để tính Sức chịu nhổ giới hạn của cọc:

$$P_u = U \Sigma L_i f_i + P_w$$

P_u : Sức chịu nhổ giới hạn (kN)

P_w : Sức chịu nhổ giới hạn của cánh mũi (kN)

Đối với các cọc Tsubasa, ngoài thành phần lực ma sát của cọc, lực neo của cánh mũi cũng có ảnh hưởng nhất định đến Sức chịu nhổ của cọc và ảnh hưởng này đã được xác nhận trong thí nghiệm kéo cọc. Hình 5 thể hiện mô hình tính toán tác dụng của cánh mũi. Dựa trên các kết quả thí nghiệm kéo, sức chịu kéo giới hạn được xác định bằng phương trình dưới đây với tỷ lệ đường kính ngoài của cánh mũi / đường kính cọc (D_w/D_p) là 1.5 hoặc 2.0 và chiều sâu ngàm của mũi cọc vào lớp đất chống mũi cọc bằng đường kính cọc D hoặc lớn hơn:

$$P_w = \pi D_w \left(\Sigma r_i' L_i + \gamma \frac{H}{2} \right) H\beta \tan\varphi$$

Với:

D_w : đường kính ngoài của cánh mũi (m)

r_i': trọng lượng riêng hữu hiệu của lớp thứ i từ mặt đất, ở vị trí cao hơn lớp đất mũi cọc (kN/m^3)

L_i: chiều dày của lớp thứ i từ mặt đất, ở vị trí cao hơn lớp đất mũi cọc (m)

γ: trọng lượng riêng hữu hiệu của lớp đất chống mũi cọc (kN/m^3)

H: chiều sâu ngàm của mũi cọc vào lớp đất chống mũi cọc, tại độ cao mà đất phía trên cánh

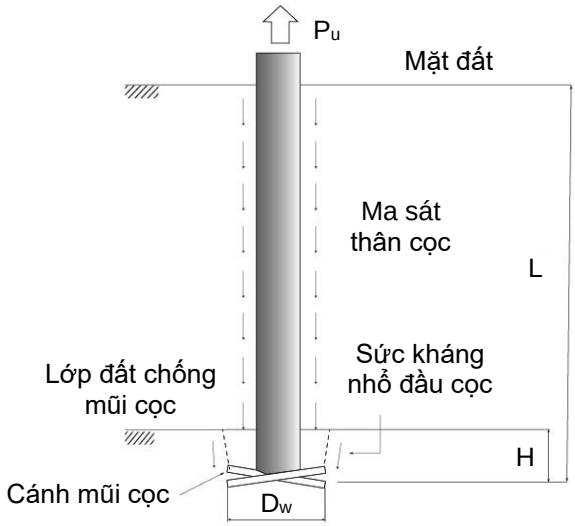
xảy ra phá hoại trượt, tuy nhiên $H \leq 2.5\ H_w$

β : hệ số kháng nhổ, thể hiện hệ số kháng trên mặt phá hoại cắt, và giá trị này phụ thuộc vào góc ma sát trong của lớp đất chống mũi cọc. (Bảng 5)

φ : góc ma sát trong của lớp đất chống mũi cọc (°)

Bảng 5 - Quan hệ giữa β và φ

Góc ma sát trong φ	Hệ số kháng nhổ β
35°	2.1
40°	3.3
45°	5.3



* Hình vẽ thể hiện trường hợp cọc đóng

Hình 5 – Sơ đồ mô hình tính toán hiệu ứng neo

6.3. Hệ số nền theo phương ngang

Khi thi công cọc vít, đất xung quanh cọc bị xáo trộn tạm thời trong quá trình mũi cọc đi xuống, một thể tích đất tương đương với thể tích cọc bị ép sang hai bên. Hiện tượng này làm cho mật độ đất xung quanh cọc cao hơn ban đầu, và hệ số áp lực đất theo phương ngang tương tự hoặc thậm chí cao hơn trường hợp thi công cọc đóng hoặc ép. Hiệu ứng này đã được xác nhận bằng thí nghiệm nén ngang tại hiện trường. Vì lý do đó, áp lực đất theo phương ngang có thể được tính theo phương trình trong "Cẩm nang thiết kế móng cọc của Hiệp hội đường bộ Nhật Bản" (2015).

$$k_H = k_{H0}\left(\frac{B_H}{0.3}\right)^{-3/4}$$

k_H : Hệ số nền theo phương ngang (kN/m^3)

k_{H0} : được tính theo phương trình

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3}\alpha E_0$$

$E_0 = 2800N$

$\alpha = 1$ *(tải trọng tĩnh)* $\alpha = 2$ *(tải trọng động đất)*

B_H : chiều rộng quy đổi của tải tác dụng lên cọc vuông góc với hướng tải tác dụng (m)

$B_H = \sqrt{D/\beta}$

D : chiều rộng của tải tác dụng lên cọc vuông góc với hướng tải tác dụng (m)

1/β : Chiều sâu của đất liên quan đến sức kháng ngang (m), thường là độ sâu chôn móng hiệu quả của móng hoặc nhỏ hơn.

β : giá trị đặc trưng của cọc $\sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$ (m^{-1})

EI : độ cứng kháng uốn của cọc (kN m^2)

Khi thi công cọc vít, quá trình cọc đi xuống sẽ tạo ra lực xoắn có thể làm mềm đất tuy nhiên trong quá trình tính toán không nên chiết giảm áp lực ngang.

6.4. Độ cứng dọc trục của cọc

Theo kết quả của thí nghiệm nén cọc, hệ số *a* trong phương trình tính toán độ cứng dọc trụccủa cọc xấp xỉ hệ số *a* của cọc rỗng trong cả "Sổ tay thiết kế móng cọc (2015)" và kết quả thí nghiệm nén.

Do đó, độ cứng dọc trục của cọc vít cánh mũi đứng được tính bằng phương trình cho cọc rỗng trong cả hai trường hợp nén và kéo.

Độ cứng của cọc vít ống thép cánh mũi theo dọc trục:

$$K_v = a \times \left(\frac{A_p E_p}{L}\right)$$

a : hệ số với cọc rỗng $a = 0.010\ \frac{L}{D} + 0.36$

K_v : độ cứng dọc trục (kN/m)

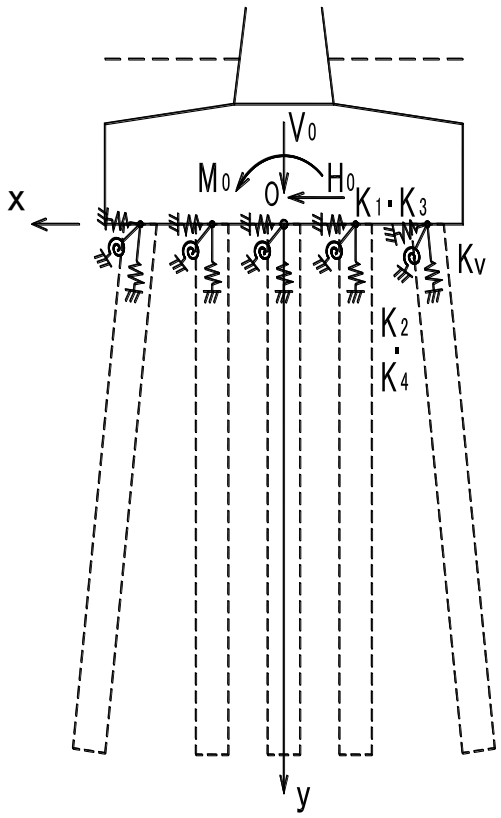
A_p : tiết diện ngang nguyên của ống thép (m^2)

L : chiều dài cọc (m)

E_p : mô đun đàn hồicủa cọc (kN/m^2)

6.5. Độ cứng cọc theo phương thẳng đứng

Độ cứng theo phương thẳng đứng của cọc Tsubasa được tính toán dựa trên lý thuyết dầm trên nền đàn hồi, sử dụng áp lực đất theo phương ngang.



Độ cứng theo phương thẳng đứng của cọc vít K_1 đến K_4, được định nghĩa như sau:

K_1, K_3: lực dọc trục (kN/m) và moment uốn (kN·m/m) tác dụng trên đầu cọc làm đầu cọc chuyển vị theo phương thẳng đứng một đơn vị chiều dài mà không gây chuyển vị xoay

K_2, K_4: lực dọc trục (kN/rad) và và moment uốn (kN·m/rad) tác dụng trên đầu cọc làm đầu cọc quay một đơn vị góc mà không gây chuyển vị theo phương thẳng đứng.

Độ cứng của cọc được tính toán dựa trên các mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị thu được dựa trên lý thuyết dầm trên nền đàn hồi bằng cách sử dụng hệ số nềntheo phương ngang.

Khi hệ số nền theo phương ngang là hằng số không phụ thuộc vào chiều sâu và chiều dài cọc đủ lớn thì cọc được coi là có chiều dài bán vô hạn (βLe ≥ 3) và các giá trị có thể được tính toán theo các công thức trong Bảng 6 dựa trên lý thuyết của Hayashi-Chang.

Bảng 7 - Độ cứng theo phương thẳng đứng của cọc

	Đầu cọc liên kết cứng		Đầu cọc liên kết khớp	
	h≠0	h=0	h≠0	h=0
K_1	$\frac{12EI\beta^3}{(1+\beta h)^3+2}$	$4EI\beta^3$	$\frac{3EI\beta^3}{(1+\beta h)^3+0.5}$	$2EI\beta^3$
K_2, K_3	$K_1\frac{\lambda}{2}$	$2EI\beta^2$	0	0
K_4	$\frac{4EI}{1+\beta h}\frac{(1+\beta h)^3+0.5}{(1+\beta h)^3+2}$	$2EI\beta^2$	0	0

Với:

β : giá trị đặc trưng của cọc $\sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$ (m^{-1})

λ : $h+\frac{1}{\beta}$ (m)

k_H : Hệ số nền theo phương ngang (kN/m^3)

D : đường kính cọc (m)

EI : độ cứng kháng uốn ($kN\cdot m^2$)

h : chiều dài theo phương dọc trục của đoạn cọc nằm trên mặt đất (m)

7. Thiết kế chi tiết

7.1. Lựa chọn cánh mũi

Chiều dày của cánh mũi được chọn để có khả năng chịu lực tương đương với của ống thép gắn cánh mũi.

Bảng 7(1) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi *(Loại đáy hở đường kính cánh bằng 1,5 lần đường kính ống)*

(Ống thép: SPP 400/ Đoạn cọc ống thép cuối : SPP 490)

Chiều dầy ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)							
	318.5	355.6	400, 406.4	450, 457.2	500, 508	600, 609.6	700	800
9	9-19	9-19	9-19	10-22	10-22	12-22	-	-
10	10-19	10-19	10-22	10-22	10-22	12-25	14-25	-
11	11-19	11-19	11-22	11-22	11-25	12-25	14-28	16-28
12	12-19	12-22	12-22	12-25	12-25	12-25	14-28	16-32
13	-	-	-	-	13-25	13-28	14-32	16-32
14	-	-	-	-	14-28	14-28	14-32	16-32
15	-	-	-	-	15-28	15-32	15-32	16-36
16	-	-	-	-	-	16-32	16-32	16-36
17	-	-	-	-	-	17-32	17-36	17-36
18	-	-	-	-	-	18-32	18-36	18-36
19	-	-	-	-	-	-	19-36	19-40
20	-	-	-	-	-	-	20-36	20-40
21	-	-	-	-	-	-	21-40	21-40
22	-	-	-	-	-	-	-	22-45
23	-	-	-	-	-	-	-	23-45

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(2) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 1,5 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 400/ Đoạn cọc ống thép cuối : SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)									
		900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
12		18-32	-	-	-	-	-	-	-	
13		18-32	20-36	-	-	-	-	-	-	
14		18-36	20-36	-	-	-	-	-	-	
15		18-36	20-40	22-40	-	-	-	-	-	
16		18-40	20-40	22-45	24-45	-	-	-	-	
17		18-40	20-40	22-45	24-45	25-50	-	-	-	
18		18-40	20-45	22-45	24-50	25-50	-	-	-	
19		19-45	20-45	22-50	24-50	25-55	25-55	-	-	
20		20-45	20-45	22-50	24-50	25-55	25-55	25-60	-	
21		21-45	21-45	22-50	24-55	25-55	25-60	25-60	25-65	
22		22-45	22-50	22-50	24-55	25-60	25-60	25-60	25-65	
23		23-45	23-50	23-55	24-55	25-60	25-60	25-65	25-65	
24		24-50	24-50	24-55	24-60	25-60	25-60	25-65	25-70	
25		-	25-50	25-55	25-60	25-60	25-65	25-65	25-70	

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(3) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 1,5 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 490/ Đoạn cọc ống thép cuối: SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)							
	318.5	355.6	400,406.4	450,457.2	500,508	600,609.6	700	800
9	10-19	10-22	10-22	10-22	10-25	12-25	-	-
10	11-22	11-22	11-22	11-25	11-25	12-28	14-32	-
11	12-22	12-22	12-25	12-25	12-28	12-28	14-32	16-32
12	13-22	13-25	13-25	13-28	13-28	13-32	14-32	16-36
13	-	-	-	-	15-28	15-32	15-36	16-36
14	-	-	-	-	16-32	16-32	16-36	16-40
15	-	-	-	-	17-32	17-36	17-36	17-40
16	-	-	-	-	-	18-36	18-40	18-45
17	-	-	-	-	-	19-36	19-40	19-45
18		-	-	-	-	21-40	21-40	21-45
19		-	-	-	-	-	22-45	22-45
20	-	-	-	-	-	-	23-45	23-50
21	-	-	-	-	-	-	24-45	24-50
22	-	-	-	-	-	-	-	25-50
23	-	-	-	-	-	-	-	26-55

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(4) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 1,5 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 490/ Đoạn cọc ống thép cuối: SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)								
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
12	18-40	-	-	-	-	-	-	-	
13	18-40	20-40	-	-	-	-	-	-	
14	18-45	20-45	-	-	-	-	-	-	
15	18-45	20-45	22-50	-	-	-	-	-	
16	18-45	20-45	22-50	24-55	-	-	-	-	
17	19-45	20-50	22-55	24-55	25-60	-	-	-	
18	21-50	21-50	22-55	24-60	25-60	-	-	-	
19	22-50	22-55	22-55	24-60	25-60	25-65	-	-	
20	23-50	23-55	23-60	24-60	25-65	25-65	25-65	-	
21	24-55	24-55	24-60	24-60	25-65	25-65	25-70	25-75	
22	25-55	25-60	25-60	25-65	25-65	25-70	25-70	25-75	
23	26-55	26-60	26-65	26-65	26-70	26-70	26-75	26-75	
24	28-60	28-60	28-65	28-65	28-70	28-75	28-75	28-80	
25	-	29-60	29-65	29-70	29-70	29-75	29-80	29-80	

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(5) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 2 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 400/ Đoạn cọc ống thép cuối: SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)					
	318.5	355.6	400,406.4	450,457.2	500,508	600,609.6
9	9-22	9-22	9-25	10-25	10-25	12-28
10	10-22	10-25	10-25	10-28	10-28	12-32
11	11-22	11-25	11-28	11-28	11-32	12-32
12	12-25	12-28	12-28	12-32	12-32	12-36
13	-	13-28	13-32	13-32	13-32	13-36
14	-	-	14-32	14-32	14-36	14-40
15	-	-	15-32	15-36	15-36	15-40
16	-	-	-	16-36	16-40	16-45
17	-	-	-	17-36	17-40	17-45
18	-	-	-	-	18-45	18-45
19	-	-	-	-	-	19-50
20	-	-	-	-	-	20-50
21	-	-	-	-	-	21-50

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(6) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 2 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 400/ Đoạn cọc ống thép cuối: SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)					
	700	800	900	1000	1100	1200
10	14-32	-	-	-	-	-
11	14-36	16-40	-	-	-	-
12	14-40	16-45	18-45	-	-	-
13	14-40	16-45	18-50	20-50	-	-
14	14-45	16-45	18-50	20-50	-	-
15	15-45	16-50	18-50	20-55	22-55	-
16	16-50	16-50	18-55	20-55	22-60	24-60
17	17-50	17-50	18-55	20-60	22-60	24-65
18	18-50	18-55	18-60	20-60	22-65	24-65
19	19-50	19-55	19-60	20-65	22-65	24-70
20	20-55	20-60	20-60	20-65	22-70	24-70
21	21-55	21-60	21-65	21-65	22-70	24-75
22	-	22-60	22-65	22-70	22-75	24-75
23	-	23-65	23-65	23-70	23-75	24-80
24	-	-	24-70	24-70	24-75	24-80
25	-	-	-	25-75	25-80	25-80

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(7) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 2 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 490/ Đoạn cọc ống thép cuối: SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)					
	318.5	355.6	400,406.4	450,457.2	500,508	600,609.6
9	11-25	11-25	11-28	11-32	11-32	12-36
10	12-25	12-28	12-32	12-32	12-36	12-36
11	14-28	14-28	14-32	14-36	14-36	14-40
12	15-28	15-32	15-32	15-36	15-40	15-45
13	-	-	-	16-40	16-40	16-45
14	-	-	-	-	18-45	18-45
15	-	-	-	-	19-45	19-50
16	-	-	-	-	-	20-50
17	-	-	-	-	-	22-50
18	-	-	-	-	-	23-55

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(8) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy hở đường kính cánh bằng 2 lần đường kính ống)

(Ống thép: SPP 490/ Đoạn cọc ống thép cuối: SPP 490)

Chiều dày ống thép (mm)	Đường kính cọc (mm)					
	700	800	900	1000	1100	1200
10	14-40	16-45	-	-	-	-
11	14-45	16-50	18-50	-	-	-
12	15-45	16-50	18-55	20-55	-	-
13	16-50	16-50	18-55	20-60	-	-
14	18-50	18-55	18-60	20-60	22-65	-
15	19-55	19-55	19-60	20-65	22-70	24-70
16	20-55	20-60	20-65	20-65	22-70	24-75
17	22-60	22-60	22-65	22-70	22-75	24-75
18	23-60	23-65	23-70	23-70	23-75	24-80
19	24-60	24-65	24-70	24-75	24-80	24-85
20	26-65	26-70	26-75	26-80	26-80	26-85
21	27-65	27-70	27-75	27-80	27-85	27-90
22	-	28-70	28-80	28-85	28-90	28-90
23	-	30-75	30-80	30-85	30-90	30-95
24	-	-	31-80	31-85	31-90	31-95
25				32-90	32-95	32-100

* ○ - Δ (○: Chiều dày của đoạn cuối của cọc ống thép (mm); Δ: Chiều dày cánh mũi (mm))

Bảng 7(9) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy kín SPP400)

Chiều dày ống thép (mm) SPP400	Đường kính cọc (mm)					
	318.5	355.6	400,406.4	450,457.2	500,508	600
9, 10	25	25	25	30	30	35
11, 12	25	30	30	30	35	35
13, 14	30	30	30	35	35	40
15, 16	30	30	30	35	35	40
17, 18	-	-	-	-	-	40

Bảng 7(10) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy kín SPP400)

Chiều dày ống thép (mm) SPP400	Đường kính cọc (mm)					
	700	800	900	1000	1100	1200
9, 10	35	40	40	-	-	-
11, 12	40	40	45	45	45	-
13, 14	40	45	45	50	50	50
15, 16	45	45	50	50	55	55
17, 18	45	50	50	55	55	60
19, 20	-	-	55	55	60	60
21, 22	-	-	-	60	60	65
23, 24	-	-	-	-	65	65
25, 26	-	-	-	-	-	70

Bảng 7(11) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy kín SPP490)

Chiều dày ống thép (mm) SPP490	Đường kính cọc (mm)					
	318.5	355.6	400,406.4	450,457.2	500,508	600
9, 10	25	30	30	35	35	35
11, 12	30	30	35	35	35	40
13, 14	30	35	35	40	40	40
15, 16	30	35	35	40	40	45
17, 18	-	-	-	-	-	45

Bảng 7(12) - Độ dày thành tiêu chuẩn cho cánh mũi (Loại đáy kín SPP490)

Chiều dày ống thép (mm) SPP490	Đường kính cọc (mm)					
	700	800	900	1000	1100	1200
9, 10	40	40	45	-	-	-
11, 12	45	45	50	50	55	-
13, 14	45	50	50	55	55	60
15, 16	50	50	55	55	60	65
17, 18	50	55	55	60	65	65
19, 20	-	-	60	65	65	70
21, 22	-	-	-	65	70	70
23, 24	-	-	-	-	70	75
25, 26	-	-	-	-	-	80

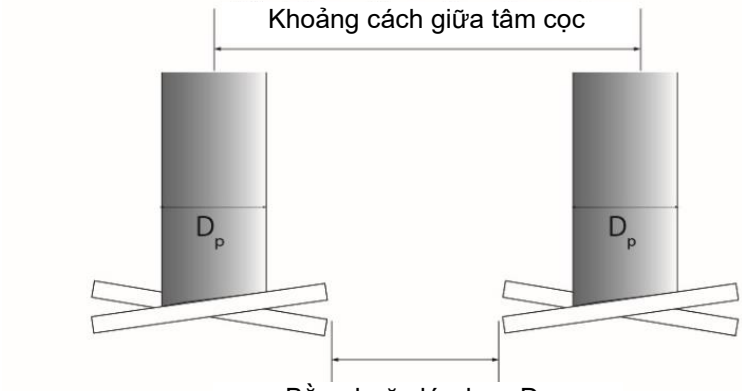
7.2. Khoảng cách giữa các cọc

Khoảng cách tối thiểu giữa các tâm cọc nên tham khảo mục "Cọc vít" trong "Sổ tay thiết kế móng cọc (2015)".

Bảng 8 thể hiện khoảng cách tối thiểu giữa các tâm cọc

Bảng 8 - Khoảng cách tối thiểu giữa các tâm cọc

Tỷ lệ đường kính cánh mũi	Khoảng cách tối thiểu giữa tâm cọc
1.5 lần	2.5 D_p
2.0 lần	3 D_p



*Hình vẽ dành cho trường hợp cọc đáy kín

Hình 6 – Khoảng cách giữa các cọc

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Japan Road Association, *Chỉ dẫn kỹ thuật cho cầu đường cao tốc (Phần I tới Phần V) - Specifications for Highway Bridges (Part I to Part V)*

Japan Road Association, *Sổ tay thiết kế móng cọc - Pile foundation Design handbook*