



CK.0000070654

TS. NGUYỄN THÁI
(Chủ biên)



GS. TS. VŨ CÔNG NGŨ

Móng cọc

phân tích và thiết kế



UYÊN
LIÊU



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

ThS. NGUYỄN THÁI (Chủ biên)
GS. TS. VŨ CÔNG NGŨ

Móng cọc

phân tích và thiết kế



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2014

Lời nói đầu

Ở nước ta những năm gần đây đã có khá nhiều sách về nền móng công trình được xuất bản. Tuy nhiên, các thông tin mới về thiết kế nền và móng lại được trình bày rải rác và chưa đầy đủ. Cuốn sách này tập hợp khá kỹ lưỡng các kiến thức mới về móng cọc, như các phương pháp mới dự báo sức chịu tải của cọc, đặc biệt là cọc nhồi; phương pháp tính toán đồng thời cọc – nền đất; các phương pháp thí nghiệm cọc (thí nghiệm PDA, Osterberg, Statnamic). Lần tái bản này, chúng tôi cập nhật chủ yếu ở chương 5, thêm phụ lục về kinh nghiệm đóng cọc (Phụ lục 2). Ngoài ra, một số lỗi ở các chương khác cũng đã được chỉnh sửa. Hy vọng rằng cuốn sách này sẽ bổ ích cho các kỹ sư tư vấn và học viên cao học ở Việt Nam.

Vì trình độ và kinh nghiệm có hạn nên không tránh khỏi thiếu sót. Chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý của độc giả theo địa chỉ:

Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội;

hoặc: Bộ môn Cơ học Đất - Nền móng,

Đại học Xây dựng, số 5 đường Giải Phóng, Hà Nội,

Email: Ctfe@fpt.vn hoặc ngthai@ufl.edu

Các tác giả

MỤC LỤC

Trang

LỜI NÓI ĐẦU.....	3
BẢNG KÝ HIỆU.....	10

Chương 1 **TỔNG QUAN VỀ MÓNG CỌC**

1.1. GIỚI THIỆU	11
1.2. SỨC CHỊU TẢI DỌC TRỰC CỦA CỌC.....	11
1.2.1. Phương trình tổng quát về sức chịu tải dọc của cọc	13
1.2.2. Ảnh hưởng của quá trình thi công cọc đến sức chịu tải của cọc	15
1.2.3. Ảnh hưởng của chiều sâu ngâm cọc đến sức chịu tải của cọc	17
1.2.4. Tóm tắt về sức kháng bên của cọc	19
1.2.5. Tóm tắt về sức kháng mũi của cọc.....	21
1.2.6. Thiết kế cọc theo sức chịu tải cho phép	22
1.2.7. Thiết kế cọc theo sức chịu tải cực hạn (hệ số thành phần LRFD – Load and Resistance Factor Design).....	25
1.3. HIỆN TƯỢNG MA SÁT ÂM.....	27
1.4. SỨC CHỊU TẢI NGANG CỦA CỌC	29
1.4.1. Phương pháp dự báo sức chịu tải ngang của Broms	31
1.4.2. Phương pháp dự báo sức chịu tải ngang của Meyerhof.....	38
1.5. HIỆU ỨNG NHÓM	41

Chương 2 **CỌC CHẾ SẴN**

2.1. GIỚI THIỆU VỀ CỌC CHẾ SẴN	45
2.2. THIẾT BỊ ĐÓNG CỌC	46
2.2.1. Giới thiệu về thiết bị đóng cọc.....	46
2.2.2. Sơ bộ chọn búa đóng cọc	52
2.3. THIẾT BỊ ÉP CỌC	53
2.4. DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI THEO PHƯƠNG PHÁP THỐNG KÊ.....	54

2.5. DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI THEO SỨC KHÁNG CẮT CỦA ĐẤT	54
2.5.1. Sức kháng bên của cọc trong đất dính	54
2.5.2. Sức kháng mũi của cọc trong đất dính	58
2.5.3. Sức kháng bên của cọc trong đất rời.....	59
2.5.4. Sức kháng mũi của cọc trong đất rời.....	63
2.5.5. Nhận xét.....	63
2.6. DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC THEO THÍ NGHIỆM SPT.....	65
2.6.1. Sức kháng bên.....	65
2.6.2. Sức kháng mũi.....	66
2.6.3. Hiệu chỉnh sức kháng do chiều sâu ngầm.....	67
2.6.4. Ví dụ dự báo sức chịu tải của cọc từ thí nghiệm SPT.....	68
2.7. DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC THEO THÍ NGHIỆM CPT	77
2.7.1. Cách tính LCPC cũ (1982) (TCXD 205-1998) cho mọi loại cọc	77
2.7.2. Cách tính LCPC mới (1983 + 1992) cho mọi loại cọc.....	78
2.7.3. Cách tính của Schmertmann CPT.....	82
2.7.4. Cách tính của De Ruiter và Beringen.....	84
2.7.5. Ví dụ tính sức chịu tải của cọc từ thí nghiệm CPT	85
2.8. DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI NÉN DỌC TRỰC CỦA CỌC CHẾ SẴN TRONG ĐẤT SÉT THEO THÍ NGHIỆM DMT	92
2.9. PHẦN MỀM DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI THEO PHƯƠNG PHÁP TÍNH	93
2.10. DỰ BÁO SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC THEO PHƯƠNG PHÁP ĐỘNG.....	96
2.10.1. Công thức động (Dynamic formulas).....	97
2.10.2. Phân tích động bằng phương trình sóng (Dynamic analysis by wave equation).....	98
2.10.3. Thí nghiệm thử động biến dạng lớn (PDA – Pile Dynamic Analysis).....	108
2.11. ẢNH HƯỞNG VÀ CÁC BIỆN PHÁP GIẢM ẢNH HƯỞNG DO ĐÓNG CỌC ĐẾN CÔNG TRÌNH LÂN CẬN	109
2.12. ĐỘ LÚN CỦA CỌC ĐƠN.....	113

Chương 3 CỌC NHỎ

3.1. GIỚI THIỆU VỀ CỌC NHỎ.....	117
3.2. TÓM TẮT VỀ CÔNG TÁC THI CÔNG CỌC NHỎ.....	118
3.3. CÁC SỐ LIỆU VỀ ĐẤT NÉN.....	120

3.4. SỨC KHÁNG BÊN CỦA CỌC NHỒI THEO FHWA 1999 (REESE VÀ O'NEILL)..	124
3.4.1. Sức kháng bên của cọc nhồi trong đất dính (nhóm 1)	124
3.4.2. Sức kháng bên của cọc nhồi trong đất cát (nhóm 2)	125
3.4.3. Sức kháng bên f_t trong cát sỏi hoặc sỏi có $N \geq 15$	126
3.4.4. Sức kháng bên f_t của cọc nhồi trong IGM hạt thô (nhóm 3, IGM3)	127
3.4.5. Sức kháng bên f_t của cọc nhồi trong IGM hạt mịn (nhóm 3, IGM1)	127
3.4.6. Sức kháng bên f_t của cọc nhồi trong đá (nhóm 4)	133
3.5. SỨC KHÁNG MŨI CỦA CỌC NHỒI THEO FHWA 1999 (REESE VÀ O'NEILL)...	134
3.5.1. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong đất dính (nhóm 1) không thoát nước	134
3.5.2. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong đất cát (nhóm 2) thoát nước	134
3.5.3. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong IGM hạt thô (nhóm 3, IGM3)	135
3.5.4. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong IGM hạt mịn (IGM1) và đá (nhóm 4) nguyên khối (ít nứt nẻ) không thoát nước	135
3.5.5. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong IGM hạt mịn (IGM1) và đá (nhóm 4) nứt nẻ không thoát nước	136
3.5.6. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong đá (nhóm 4) có nứt nghiêng, thoát nước	137
3.6. CÁC CÁCH TÍNH KHÁC DỰA TRÊN CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ LÝ	139
3.6.1. Sức kháng bên của cọc nhồi trong IGM hạt mịn và đá	139
3.6.2. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong IGM hạt mịn (nhóm 3, IGM1) và đá (nhóm 4)	140
3.6.3. Sức kháng mũi của cọc nhồi trong IGM hạt mịn (nhóm 3, IGM1) và đá (nhóm 4) nứt nẻ không thoát nước	140
3.7. CÁC CÁCH TÍNH KHÁC DỰA TRÊN KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM CPT	141
3.7.1. Cách tính của LCPC dựa trên thí nghiệm CPT	141
3.7.2. Cách tính của Alsamman (1995) dựa trên thí nghiệm CPT	141
3.8. SỨC CHỊU TẢI KÉO DỌC TRỰC CỦA CỌC NHỒI	143
3.8.1. Sức kháng bên của cọc nhồi chịu kéo	143
3.8.2. Sức kháng mũi của cọc nhồi chịu kéo	143
3.9. DỰ BÁO ĐỘ LÚN CỦA CỌC NHỒI ĐƠN	144
3.9.1. Dự báo độ lún của cọc nhồi trong đất	144
3.9.2. Dự báo độ lún của cọc nhồi trong đá và IGM1	148
3.9.3. Dự báo độ lún của cọc nhồi trong IGM3	152
3.9.4. Dự báo độ lún của cọc nhồi trong đá giòn	156
3.10. MỘT SỐ VÍ DỤ THIẾT KẾ CỌC NHỒI	158

Chương 4

TÍNH TOÁN CỌC LÀM VIỆC ĐỒNG THỜI VỚI NỀN

4.1. GIỚI THIỆU	167
4.2. ĐƯỜNG CONG P-Y	169
4.2.1. Đường cong p-y của đất sét yếu/dẻo dưới mực nước ngầm chịu tải tĩnh	169
4.2.2. Đường cong p-y của đất sét yếu/dẻo dưới mực nước ngầm chịu tải lặp	171
4.2.3. Đường cong p-y của đất sét cứng dưới mực nước ngầm chịu tải tĩnh	173
4.2.4. Đường cong p-y của đất sét cứng dưới mực nước ngầm chịu tải lặp	175
4.2.5. Đường cong p-y của đất sét cứng trên mực nước ngầm chịu tải tĩnh	175
4.2.6. Đường cong p-y của đất sét cứng trên mực nước ngầm chịu tải lặp	176
4.2.7. Đường cong p-y của đất cát theo Reese	176
4.2.8. Đường cong p-y của đất cát theo Robertson	179
4.2.9. Đường cong p-y của cát theo Gabr và Borden	179
4.2.10. Đường cong p-y của đá vôi	180
4.3. ĐƯỜNG CONG T-Z	180
4.3.1. Đường cong t-z với sức kháng bên	182
4.3.2. Đường cong t-z với sức kháng mũi	182

Chương 5

MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM CỌC

5.1. THÍ NGHIỆM THỬ ĐỘNG BIẾN DẠNG LỚN (PDA – PILE DYNAMIC ANALYSIS)	185
5.1.1. Giới thiệu	185
5.1.2. Ứng dụng của PDA và CAPWAP	186
5.1.3. Thiết bị thí nghiệm	186
5.1.4. Giới thiệu về cơ học sóng (Wave Mechanics)	188
5.1.5. Phương pháp CASE	194
5.1.6. Xác định tỷ lệ năng lượng tiếp thu	196
5.1.7. Trình bày kết quả từ bộ xử lý PDA	197
5.1.8. Biểu đồ sóng lên (Wave-up)	199
5.1.9. Biểu diễn bằng PDAPlot	201
5.2. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH CAPWAP	202
5.2.1. Tìm hiểu thuật toán bên trong CAPWAP	202
5.2.2. Kết quả của CAPWAP	203
5.3. THÍ NGHIỆM BIẾN DẠNG NHỎ KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG CỌC (PIT)	208

5.3.1. Giới thiệu	208
5.3.2. Phương pháp phản hồi xung (Pulse Echo method – PEM).....	209
5.3.3. Phương pháp ứng xử nhanh (hay phân tích theo tần số dao động Transient Response method – TRM).....	212
5.3.4. Phương pháp tín hiệu phù hợp (Signal Matching method – SMM).....	213
5.4. THÍ NGHIỆM NÉN TĨNH CỌC	214
5.4.1. Nguyên lý	214
5.4.2. Diễn dịch kết quả theo số đọc cuối cùng.....	216
5.4.3. Diễn dịch theo tốc độ biến dạng	219
5.5. THÍ NGHIỆM OSTERBERG	220
5.5.1. Giới thiệu về thí nghiệm Osterberg.....	220
5.5.2. Thiết bị và nguyên lý thí nghiệm Osterberg.....	221
5.5.3. Quy trình thí nghiệm và diễn dịch kết quả thí nghiệm Osterberg	225
5.5.4. Ví dụ thực tế	228
5.5.5. Ưu điểm và nhược điểm của thí nghiệm Osterberg	232
5.6. THÍ NGHIỆM STATNAMIC	233
5.6.1. Giới thiệu về thí nghiệm Statnamic.....	233
5.6.2. Thiết bị và nguyên lý thí nghiệm Statnamic.....	234
5.6.3. Diễn dịch kết quả thí nghiệm Statnamic theo phương pháp UPM.....	236
5.6.4. Ưu điểm và nhược điểm của thí nghiệm Statnamic	239
5.6.5. Ví dụ thực tế	240
5.7. THÍ NGHIỆM SIÊU ÂM KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG CỌC	241
5.8. THÍ NGHIỆM NHIỆT KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG CỌC	243
Chương 6	
LỰA CHỌN GIẢI PHÁP MÓNG CỌC	
6.1. CỌC CHẾ SẴN.....	245
6.2. CỌC NHỎI	250
Phụ lục 1. MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN SỨC CHỊU TẢI CỦA CỌC.....	253
Phụ lục 2. KINH NGHIỆM CỌC ĐÓNG.....	256
Phụ lục 3. MỘT SỐ PHƯƠNG TRÌNH XẤP XỈ.....	274
TÀI LIỆU THAM KHẢO	278

BẢNG KÝ HIỆU

Ký hiệu	Ý nghĩa	Ký hiệu	Ý nghĩa
ν hay μ	: hệ số Poisson (ở ngang)	OCR (R_c)	: hệ số quá cố kết (σ'_c / σ'_{vo})
γ	: trọng lượng riêng tự nhiên	pa	: ký hiệu của bar (1 bar là áp suất khí quyển $\approx 1 \text{ kg/cm}^2$)
γ	: hệ số tải trọng trong thiết kế LRFD	P_D	: tải trọng truyền từ kết cấu bên trên (KCBT) xuống cọc
φ	: góc ma sát trong	P_L	: hoạt tải truyền từ KCBT xuống cọc
φ_p	: góc ma sát trong đỉnh (cực đại)	P	: tổng tải trọng dọc trục từ KCBT
φ_{cv}	: góc ma sát trong dư (ở biến dạng lớn)	p	: tải trọng ngang trên một đơn vị dài cọc
Φ	: hệ số sức kháng trong LRFD	p_u	: tải trọng ngang cực hạn trên một đơn vị dài cọc
σ'_{vo}	: ứng suất hữu hiệu đứng	[P]	: sức chịu tải cho phép dọc trục
σ'_{ho}	: ứng suất hữu hiệu ngang	P_u	: sức chịu tải cực hạn dọc trục
σ'_c hay p_c		q_c	: sức kháng mũi thí nghiệm CPT
hay σ'_p	: áp lực tiến cố kết	q_T	: q_c hiệu chỉnh do có vòng đá trầm
B (hay d)	: cạnh (hay đường kính) cọc	q_u	: sức kháng nén đơn ($q_u = 2 S_u$)
D_r	: độ chặt tương đối (tỷ đối)	q_p	: sức kháng mũi đơn vị của đất lên cọc
e	: hệ số rỗng	Q	: tải trọng ngang
e	: độ chối (độ lún đo được do một nhát búa đóng cọc)	[Q]	: sức chịu tải cho phép ngang trục
E' hay E	: mô đun thoát nước, có nở hông	Q_u	: sức chịu tải cực hạn ngang trục
E_t	: mô đun vi mô của sỏi đá/ IGM	Q_t (hay Q_s)	: sức kháng bên
E_m	: mô đun vi mô của khối đá/ IGM	Q_p (hay Q_c)	: sức kháng mũi
E_s	: mô đun của thép	Q_{hd} (hay P_{hd})	: sức chịu tải huy động ở một chuyển vị nào đó
E_c	: mô đun của cọc	RQD	: chỉ số chất lượng đá/ IGM
$E_{búa}$: năng lượng của búa đóng cọc	r	: tỷ lệ năng lượng hiệu quả của búa
f_s	: sức kháng bên của CPT	R_{28}	: cường độ nén mẫu trụ tròn bê tông
f_t	: sức kháng bên đơn vị (ma sát bên) của đất lên cọc	R_{sd}	: cường độ cho phép đóng cọc thép
F_s	: hệ số an toàn nói chung	R_{nd}	: cường độ nén cho phép đóng cọc bê tông
F_r	: hệ số an toàn cho sức kháng bên	R_{kd}	: cường độ kéo cho phép đóng cọc bê tông
Γ_p	: hệ số an toàn cho sức kháng mũi	s (hay z)	: chuyển vị đứng (lún) của cọc
H(m)	: chiều cao rơi búa (stroke)	S_u (hay C_u)	: lực dính không thoát nước
IGM	: vật liệu trung gian giữa đất và đá	t	: sức kháng đất - cọc (hoặc f_t hoặc q_p) khi thể hiện đường cong t-z
K_D	: chỉ số nén ngang DMT	u	: chu vi thân cọc
L	: chiều dài cọc	y	: chuyển vị ngang của cọc
L_{ng}	: chiều dài đoạn cọc ngầm trong đất/ đá tốt		
M	: mô đun không nở hông		
N	: số nhát búa đóng cọc		
N	: kết quả (số nhát đập thô) SPT		
N_{60}	: N chuẩn hoá theo 60% năng lượng		
N'_{60} hay $(N')_{60}$: N chuẩn hoá cuối cùng		

CÁC THỨ NGUYÊN THƯỜNG DÙNG

100 kPa = 100 kN/m² = 1 bar = 1 pa \approx 1 kg/cm² = 10T/m² \approx 1 tsf = 2ksf.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ MÓNG CỌC

1.1. GIỚI THIỆU

Móng cọc là một loại móng sâu, thường dùng khi tải trọng công trình lớn, và/hoặc lớp đất tốt nằm rất sâu dưới lòng đất. Hai loại cọc phổ biến nhất là *cọc chế sẵn* và *cọc nhồi* (cọc đổ tại chỗ).

Cọc chế sẵn có thể làm bằng bê tông đúc sẵn hoặc thép.

Còn cọc đổ tại chỗ, thường gọi là cọc nhồi, có dạng hình tròn. Đường kính cọc nhồi trong khoảng $0.6 \div 5$ m, với kích thước thường gặp ở Việt Nam hiện nay là $1 \div 2$ m. Một dạng cọc đổ tại chỗ khác là cọc baret, thường có dạng hình chữ nhật và thường được dùng làm móng công trình có tải trọng rất lớn.

1.2. SỨC CHỊU TẢI DỌC TRỰC CỦA CỌC

Sức chịu tải của cọc dọc trục được phân biệt làm hai loại:

- 1) Sức chịu tải theo vật liệu (P_v);
- 2) Sức chịu tải theo đất nền (P_{dn}).

Về phương diện sức chịu tải **theo vật liệu**, sức chịu tải cực hạn ($P_{u(vl)}$) sẽ được tính toán dựa trên cường độ cực hạn của vật liệu. Với cọc thép, cường độ cực hạn của thép thường lấy là giới hạn chảy (R_{ach} , còn kí hiệu là f_y). Trước đây đa số các loại thép làm cọc có $R_{ach} = 248 \text{ MPa} \approx 2500 \text{ kG/cm}^2$. Hiện nay nhiều cọc thép có cường độ là $R_{ach} = 345 \text{ MPa}$ hoặc lớn hơn. Với cọc bê tông, cường độ cực hạn thường lấy là cường độ thí nghiệm ở ngày thứ 28 (R_{28} , còn ký hiệu là f_c') trên mẫu trụ tròn⁽¹⁾, và $R_{28} \approx 25 \div 35 \text{ MPa}$ với cọc thường, $R_{28} \approx 35 \div 45 \text{ MPa}$ với cọc ứng suất trước.

⁽¹⁾ Thí nghiệm trên mẫu lập phương thường thu được R_{28} cao hơn. Khi đó cần hiệu chỉnh về cường độ tương đương của mẫu trụ tròn.