

ỨNG XỬ CỦA CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP TRONG KẾT CẤU KÈ BẢO VỆ BỜ SÔNG KHU VỰC QUẬN 2 THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

TS. NGUYỄN MINH TÂM

Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh

KS. HÀN THỊ XUÂN THẢO

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trong quá trình thi công đắp cát cho công trình bảo vệ bờ sông dạng tường chắn kết hợp với hệ cọc bê tông cốt thép, do tác dụng của áp lực cát đắp, tải trọng thi công và các yếu tố khác, có thể gây mất ổn định cho đất nền, ảnh hưởng đến chuyển vị và nội lực trong cọc. Nếu chuyển vị và nội lực trong cọc vượt quá giới hạn cho phép thì cọc bị phá hoại. Nội dung bài viết tập trung mô phỏng ứng xử của cọc bê tông cốt thép trong kết cấu kè bảo vệ bờ sông khu vực quận 2 thành phố Hồ Chí Minh. Dựa trên số liệu quan trắc từ sự cố của công trình và đặc trưng của địa chất khu vực nghiên cứu, tác giả phân tích ngược bài toán bằng chương trình Plaxis để tìm ra một giải pháp kết cấu kè thích hợp cho khu vực quận 2, Thành phố Hồ Chí Minh.

1. Giới thiệu

Để chống sạt lở và bảo vệ công trình ven sông có rất nhiều loại kết cấu công trình được sử dụng như: tường chắn đất trên hệ cọc bê tông cốt thép (BTCT) kết hợp với tường vữa địa kỹ thuật, tường cọc bản với nhiều loại kết cấu và vật liệu khác nhau, tường bán trọng lực kết hợp cọc BTCT,... Tùy thuộc vào đặc điểm địa chất của từng vùng mà chọn các giải pháp thích hợp.

Trong nội dung bài viết này, tác giả mô phỏng ứng xử của cọc bê tông cốt thép khi chịu tác dụng của áp lực cát đắp và tải trọng thi công trong kết cấu kè bảo vệ bờ sông khu vực quận 2, Tp. Hồ Chí Minh. Dựa vào số liệu quan trắc từ sự cố của công trình và đặc trưng của địa chất khu vực nghiên cứu, tác giả phân tích ngược bài toán bằng chương trình phần tử hữu hạn Plaxis với mô hình đất Mohr-Coulomb ứng xử không thoát nước. Các đặc trưng C_u , ϕ_u , E^{ref} sẽ được thay đổi để tìm bộ thông số phù hợp với chuyển vị của cọc và nền đất trong mô phỏng Plaxis và kết quả

quan trắc hiện trường. Từ đó, các thông số mô hình này sẽ được dùng phân tích cho các bài toán khác để tìm ra một giải pháp kết cấu kè thích hợp cho khu vực.

2. Điều kiện công trình và kết quả quan trắc

2.1. Điều kiện công trình

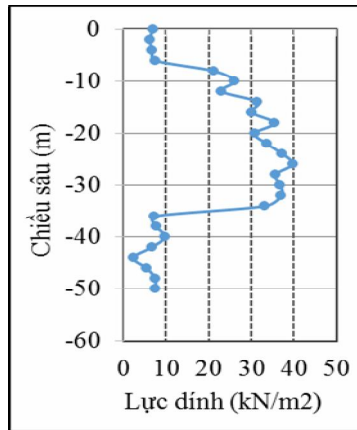
Kè bảo vệ sông Sài Gòn, quận 2 – Tp. Hồ Chí Minh.

Vị trí công trình nằm sát mép bờ sông Sài Gòn nên chịu trực tiếp chế độ thủy triều của sông Sài Gòn, có thể gây trở ngại đến vấn đề thoát nước trong khu vực khi có triều cường.

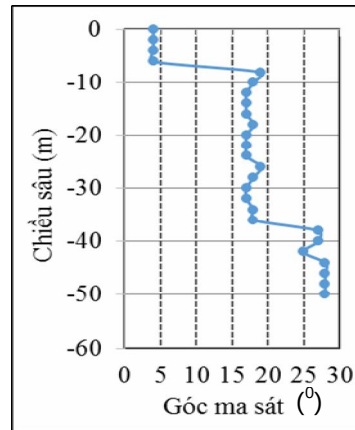
Từ mặt đất hiện hữu đến độ sâu khảo sát là 50m, nền đất tại khu vực khảo sát gồm 6 lớp:

- Lớp 1: Cát san lấp hạt mịn màu vàng. Độ sâu là 0,2 và 0,1m;
- Lớp 2: Bùn sét màu xám đen, trạng thái chảy. Bề dày trung bình lớp là 9,30m. Đây là lớp đất có đặc trưng cơ lý yếu;
- Lớp 3: Sét màu xám xanh, nâu đỏ, trạng thái dẻo cứng. Bề dày trung bình 10,00m;
- Lớp 4: Sét pha màu xám vàng, xám xanh, trạng thái nửa cứng. Bề dày trung bình của lớp này là 1,03m;
- Lớp 5: Sét màu xám xanh, nâu đỏ trạng thái nửa cứng đến cứng. Bề dày trung bình là 13,30m;
- Lớp 6: Cát mịn, trung màu vàng nhạt, trạng thái chặt vừa. Bề dày lớp 13,5m;

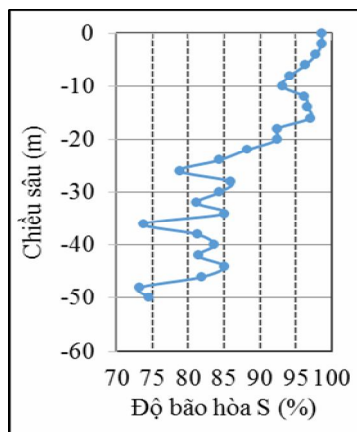
Tổng hợp các thông số địa chất thể hiện ở hình 1 (Hồ sơ thiết kế, khảo sát địa chất công trình Kè bảo vệ sông Sài Gòn, quận 2 – Tp. Hồ Chí Minh, 2012) [4].



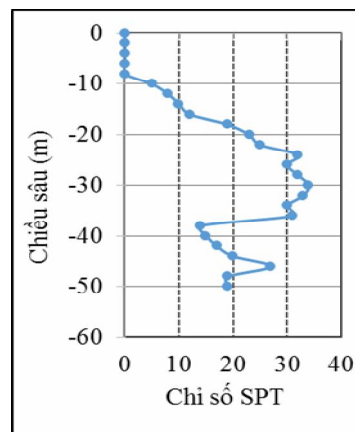
a) Lực dính của đất nền



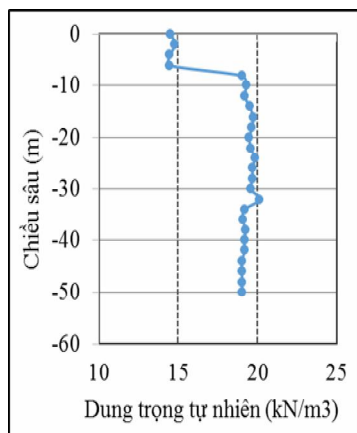
b) Góc ma sát trong



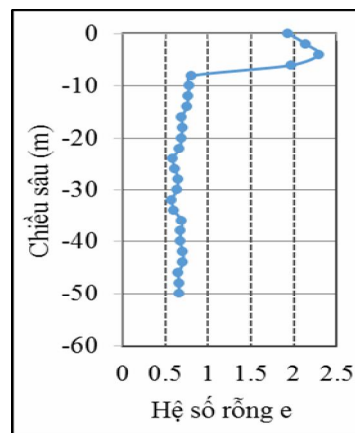
c) Độ bão hòa



d) Chỉ số SPT



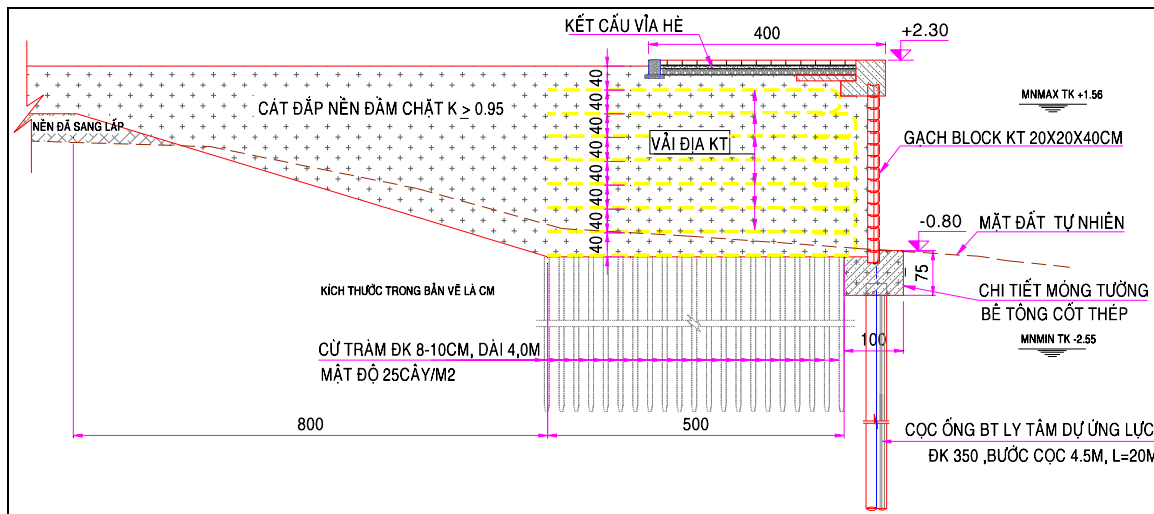
e) Dung trọng tự nhiên



f) Hệ số rỗng

Hình 1. Thông số địa chất công trình

Sử dụng tường chắn dạng gạch Block cao 3,2 m để làm kết cấu bao che, bên dưới tường là các cọc bê tông cốt thép dự ứng lực (cọc PC D350 dài 20 m), phía trong tường gạch Block là tường vải địa kỹ thuật cuộn cát đầm chặt, bên dưới tường vải địa kỹ thuật gia cố nền bằng cử tràm chiều dài 4 m. Kết cấu và các kích thước cụ thể xem hình 2.



Hình 2. Mặt cắt ngang kết cấu cầu kè

2.2. Kết quả quan trắc

Căn cứ hồ sơ thiết kế, hồ sơ thi công công trình và kết quả đo đạc hiện trường, khi thi công cát đắp đến chiều cao 2,40m, đã xảy ra sự cố thể hiện ở hình 3:

- Tường chắn chuyển vị ra phía sông, cọc bị

ngiêng, phần đất đắp cũng chuyển vị ra phía sông, phần nền phía bờ cao bị trượt và lún.

- Chuyển vị ngang đầu cọc: $u_{cọc}^{ht} = 0,70(m)$.
- Chuyển vị của đất nền về phía sông (tại mép bờ cao): $u_{nền}^{ht} = 1,10(m)$.



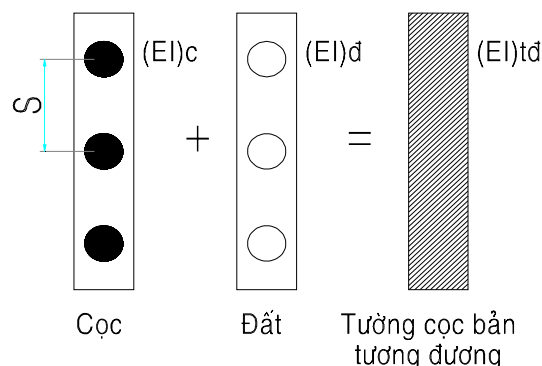
Hình 3. Hiện trạng công trình

3. Mô phỏng bài toán bằng chương trình phần tử hữu hạn PLAXIS

3.1. Mô hình bài toán

Sử dụng phần mềm địa kỹ thuật Plaxis 2D để phân tích bài toán theo phương pháp phần tử hữu hạn. Đất nền, cọc và kết cấu tường được chia thành các phần tử 15 nút. Căn cứ vào hồ sơ thiết kế và thi

công công trình, kích thước mô hình được xác định với chiều rộng là 60,0m; chiều cao là 30,0m. Tuyến công trình kéo dài theo phương dọc nên có thể sử dụng mô hình bài toán ứng suất phẳng. Trong bài toán 2D, xem hàng cọc trong đất như một tường cọc bản tương đương, tường cọc bản có độ cứng trên một đơn vị bề rộng tường (Đặng Hữu Chinh, 2004).



Hình 4. Quy đổi độ cứng tương đương giữa cọc và đất nền

Độ cứng khi uốn $(EI)_{td}$ mô phỏng như sau:

$$(EI)_{td} = [(EI)_{cọc} + (EI)_{đất}] / (\text{Khoảng cách 2 cọc}) \quad (1)$$

Trong đó:

$(EI)_{td}$ – Độ cứng chống uốn tương đương từ cọc và đất.

$(EI)_{cọc}$ – Độ cứng chống uốn của cọc.

$(EI)_{đất}$ – Độ cứng chống uốn của đất giữa 2 hàng cọc (rất nhỏ so với cọc nên bỏ qua).

Độ cứng khi nén $(EA)_{td}$ mô phỏng như sau:

$$(EA)_{td} = (EA)_{cọc} / A_{chung} \quad (2)$$

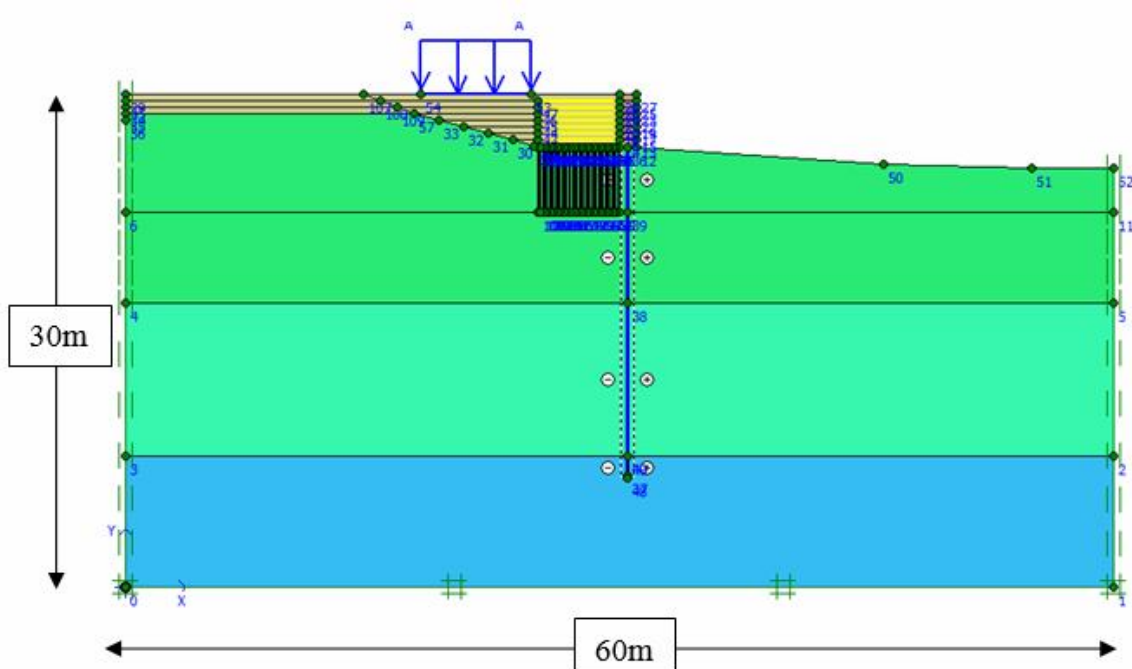
Trong đó:

$(EA)_{td}$ – Độ cứng khi nén tương đương từ cọc và đất.

$(EA)_{cọc}$ – Độ cứng khi nén của cọc.

A_{chung} – Diện tích của cọc và đất.

Dùng phần tử Plate để mô phỏng cọc bê tông dự ứng lực làm việc như kết cấu chịu uốn, phần tử “Node to node anchor” mô phỏng cừ tràm làm việc như kết cấu chịu nén, các phần tử phân giới (interface) được sử dụng để mô phỏng sự làm việc đồng thời giữa cọc và đất nền. Tường gạch Block mô phỏng như lớp đất làm việc đồng thời với tường vải địa kỹ thuật. Dùng phần tử Geogrid để mô phỏng tường vải địa kỹ thuật (William Cheang Wai Lum et al, 2013) [5].



Hình 5. Mô hình bài toán bằng chương trình Plaxis

3.2. Đặc trưng địa chất và vật liệu kết cấu

Phân tích bài toán bằng mô hình: Mohr – Coulomb theo phương pháp B (William Cheang Wai Lum et al, 2013).

Đối với lớp cát đắp được đầm chặt, phân tích theo bài toán thoát nước, thông số độ bền và độ cứng tham khảo 22TCN-219-94.

KẾT CẤU - CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Đối với lớp bùn sét và sét: Các thông số độ bền C_u , $\phi_u = 0$, $\psi_u = 0$: lấy từ kết quả thí nghiệm cắt nhanh không thoát nước trong phòng thí nghiệm. Riêng lớp đất bùn (lớp 1), dựa vào kết quả thí nghiệm cắt nhanh không thoát nước trong phòng và thí nghiệm cắt cánh hiện trường, tác giả chọn thông số sức kháng cắt không thoát nước thay đổi từ $c_u = (10 \div 18) \text{ kN/m}^2$.

Thông số độ cứng: dựa vào kết quả xác định module từ thí nghiệm nén cố kết Oedometer và các biểu thức tương quan giữa thông số module với sức kháng cắt không thoát nước (Châu Ngọc Ân, 2012), tác giả chọn thông số độ cứng thay đổi từ: $E_{50}^{ref} = (500 \div 1500) \text{ kN/m}^2$.

Các thông số đầu vào của mô hình được tổng hợp từ bảng 1 đến bảng 6.

Bảng 1. Bộ thông số độ bền và độ cứng sử dụng phân tích

E_{50}^{ref} (kN/m ²)	Sức kháng cắt không thoát nước C_u (kN/m ²)				
$E_{50}^{ref} = 500 \text{ kPa}$	10	12	14	16	18
$E_{50}^{ref} = 1000 \text{ kPa}$					
$E_{50}^{ref} = 1500 \text{ kPa}$					

Bảng 2. Các thông số của đất nền cho mô hình Mohr – Coulomb (B)

Thông số	Đơn vị	Cắt đắp	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 5
Tên đất	-	-	Bùn sét	Sét dẻo cứng	Sét cứng
Chiều dày	m	3,20	9,3	10	13,3
Mô hình vật liệu	-	MC	MC	MC	MC
Ứng xử vật liệu	-	Drained	Undrained	Undrained	Undrained
Dung trọng tự nhiên	kN/m ³	19,0	14,8	19,2	19,8
Dung trọng bão hòa	kN/m ³	20,0	14,8	19,2	19,8
Mô đun đàn hồi	kN/m ²	2500	Bảng 1	7500	10500
Lực dính	kN/m ²	7,0	Bảng 1	53,0	103
Góc ma sát	°	32°0'	0,0	0,0	0,0
Hệ số Poisson	-	0,25	0,33	0,25	0,25
Góc giãn nở	°	2°	0	0	0
Hệ số thấm đứng	m/ngày	1,0	1,6e ⁻⁵	1,2e ⁻⁵	6,4e ⁻⁶
Hệ số thấm ngang	m/ngày	1,0	1,6e ⁻⁵	1,2e ⁻⁵	6,4e ⁻⁶
Hệ số R_{inter}	-	0,90	0,90	0,90	0,90

Bảng 3. Đặc trưng của tường chắn gạch Block cao 3,20m

Thông số	Tên	Đơn vị	Tường
Chiều cao	h	m	3,2
Mô hình vật liệu	Model		Linear Elastic
Ứng xử vật liệu	Type		Non-porous
Dung trọng tự nhiên	γ_{unsat}	kN/m ³	24,0
Mô đun đàn hồi	E_{ref}	kN/m ²	19000000
Hệ số Poisson	ν		0,2
Hệ số R_{inter}	R_{inter}		1,0

Bảng 4. Thông số cọc BTCT dự ứng lực D350 dài 20,0m

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Ứng xử vật liệu	-	Elastic
Diện tích ngang của cọc ($A_{cọc}$)	m ²	582×10 ⁻⁴

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Module đàn hồi (E_{ref})	kN/m^2	$4,0 \times 10^7$
Module quán tính (I)	m^4	$8,25 \times 10^{-4}$
Khoảng cách giữa 2 cọc (L)	m	4,50
Độ cứng dọc trục 2D (EA)	kN/m	1478095
Độ cứng chống uốn 2D (EI)	kNm^2/m	7333
Trọng lượng (w)	$kN/m/m$	8,23
Hệ số Poisson (ν)	-	0,20

Bảng 5. Thông số vải địa kỹ thuật TS30

Thông số	Tên	Đơn vị	Giá trị
Ứng xử vật liệu	Loại vật liệu	-	Đàn hồi
Độ cứng dọc trục	EA	kN/m	115

Bảng 6. Thông số cừ tràm D100 dài 4,0m

Thông số	Tên	Đơn vị	Giá trị
Ứng xử vật liệu	Loại vật liệu	-	Đàn hồi
Độ cứng dọc trục	EA	KN/m	785
Khoảng cách cọc	$L_{spacing}$	m	0,20

Xem đất nền xung quanh công trình được ổn định bởi mái dốc tự nhiên và lún ổn định dưới tác dụng của trọng lượng bản thân đất nền. Tiến hành thi công cọc, tường gạch Block và san lấp lớp cát. Các giai đoạn tính toán như sau:

Giai đoạn 1: Tính toán ổn định nền dưới tác dụng của tải trọng bản thân.

Giai đoạn 2: Thi công đóng cọc và cừ tràm.

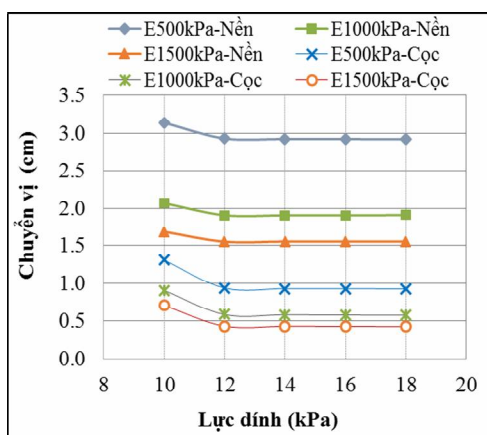
Giai đoạn (3÷10): Xây tường và thi công đắp cát lớp (1÷8).

Giai đoạn 11: Kè chịu tải trọng phân bố do $q = 10kN/m$.

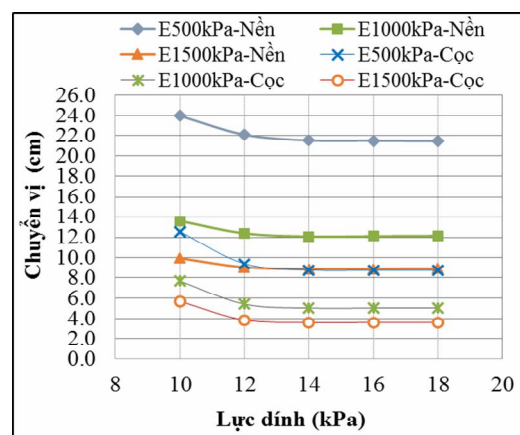
4. Kết quả phân tích

4.1. Chuyển vị của đất nền và chuyển vị đầu cọc do tác dụng của khối đất đắp

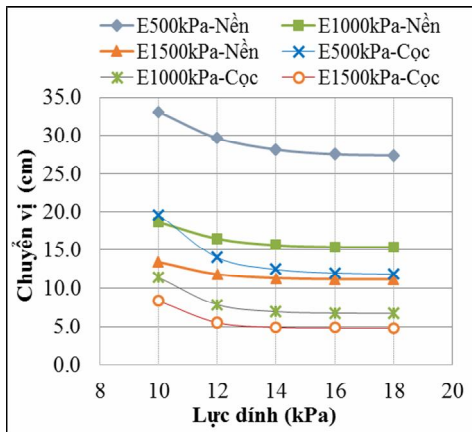
Hình 6 thể hiện giá trị chuyển vị lớn nhất của đất nền và chuyển vị đầu cọc ứng với sự thay đổi sức chống cắt c_u và sự thay đổi của $E_{50}^{ref} = (500 \div 1500) kN/m^2$ khi đắp cát theo từng lớp dày 0,4m với chiều cao $h_1 = (0,4 \div 2,8)m$.



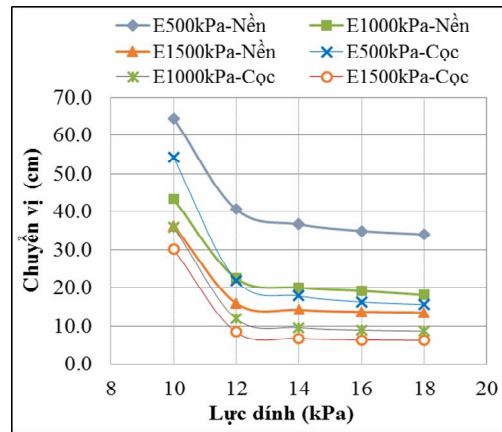
a) Chiều cao đắp $h_1 = 0,4 m$



b) Chiều cao đắp $h_5 = 2,0 m$



c) Chiều cao đắp $h_6 = 2.4m$



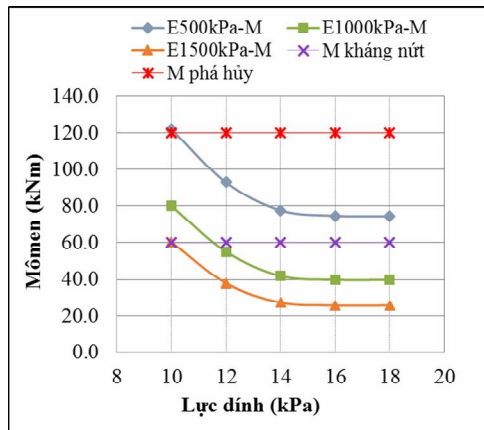
d) Chiều cao đắp $h_7 = 2.8m$

Hình 6. Chuyển vị lớn nhất của đất nền và đầu cọc theo chiều cao đất đắp ứng với các bộ thông số module và sức chống cắt

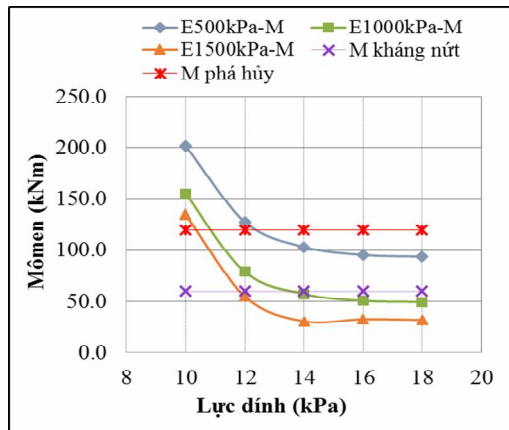
Căn cứ vào hình 6, có thể thấy rằng: với kết cấu công trình đang phân tích, khi thông số độ bền thay đổi từ $C_u = (12 \div 18)$ kPa và chiều cao đất đắp thay đổi từ $h = (0.4 \div 2.0)m$ nhưng thông số độ cứng không đổi thì chuyển vị của đất nền và chuyển vị của cọc cũng không đổi hoặc có sự chênh lệch rất nhỏ. Vấn đề trên có thể giải thích như sau, với chiều cao đất đắp $h = (0.4 \div 2.0)m$ và $C_u = (12 \div 18)$ kPa thì áp lực tác dụng lên nền bé hơn sức chịu tải tiêu chuẩn của đất nền nên chuyển vị của đất nền chỉ phụ thuộc vào module biến dạng của đất nền, chuyển vị của đất nền tác động lên cọc và làm cho cọc chuyển vị.

Với $E_{50} = 500kPa$, $C_u = 10kPa$, chuyển vị của đất nền và chuyển vị của cọc đạt giá trị lớn nhất. Tại chiều cao đất đắp $h_6 = 2.4m$ tương ứng với chiều cao đất đắp hiện trường, $U_{nền} = 33cm$ và $U_{cọc} = 19.6cm$, độ chênh lệch chuyển vị của nền với cọc khoảng 68%. Khi chiều cao đất đắp $h_7 = 2.8m$ thì $U_{nền} = 64.38cm$ và $U_{cọc} = 54.18cm$, độ chênh lệch chuyển vị của nền với cọc khoảng 19%, như vậy cọc có xu hướng chuyển vị cùng độ lớn với chuyển vị của đất nền và chuyển vị của đất nền tăng khoảng 95% so với trường hợp $h_6 = 2.4m$.

4.2. Phân tích mômen của cọc do tác dụng của khối đất đắp gây ra



a) Chiều cao đắp $h_6 = 2.4m$



b) Chiều cao đắp $h_7 = 2.8m$

Hình 7. Mômen lớn nhất của cọc ứng với các bộ thông số module và lực đỉnh c_u

Với $E'_{50} = 500kPa$, $C_u = 10kPa$, mômen của cọc đạt giá trị lớn nhất. Tại chiều cao đất đắp $h_6 = 2.4m$ tương ứng với chiều cao đất đắp hiện trường, $M_{max} = 121.76kNm$.

Mômen kháng nứt cho phép của cọc $[M]_{kháng nứt} = 60kNm$, mômen phá hủy của cọc $[M]_{phá hủy} = 120kNm$ (Cọc BTCT ứng suất trước PC D350).

Như vậy, khi đắp cát đến chiều cao $h_6 = 2,4\text{m}$ (hình 7a) ứng với thông số $E_{50}^{ref} = 500\text{kPa}$ và $C_u = 10\text{kPa}$ thì mômen trong cọc vượt qua giá trị $[M]_{phá\ hủy} = 120\text{kNm}$, nên cọc bị gãy.

Theo kết quả hình 6, chuyển vị của cọc có sự tăng đột biến khi chiều cao đất đắp tăng từ $h_6 = 2,4\text{m}$ đến $h_7 = 2,8\text{m}$ và có xu hướng chuyển vị cùng giá trị với đất nền. Điều này chứng tỏ khi đắp đến chiều

cao $h_6 = 2,4\text{m}$ thì áp lực tác dụng lên nền vượt quá sức chịu tải của nền, dẫn đến nền bị phá hoại, chuyển vị của đất nền tăng, làm tăng chuyển vị và mômen trong cọc, khi giá trị mômen trong cọc tăng đến giá trị phá hoại thì cọc bị gãy nên không thể chống giữ được kết cấu tường Block bên trên, cả kết cấu tường bị chuyển vị cùng với chuyển vị của đất nền.

Bảng 7. So sánh kết quả chuyển vị của đất nền, chuyển vị của cọc với kết quả hiện trường

Yếu tố đánh giá	Kết quả phân tích bằng phần mềm	Kết quả hiện trường/ Giá trị cho phép	Chênh lệch
Chuyển vị cọc ở giai đoạn 7	54,18 cm	70 cm	29%
Chuyển vị nền ở giai đoạn 7	64,38 cm	110cm	71%
Mômen cọc ở giai đoạn 7	207,76 kPa	120kPa	73%

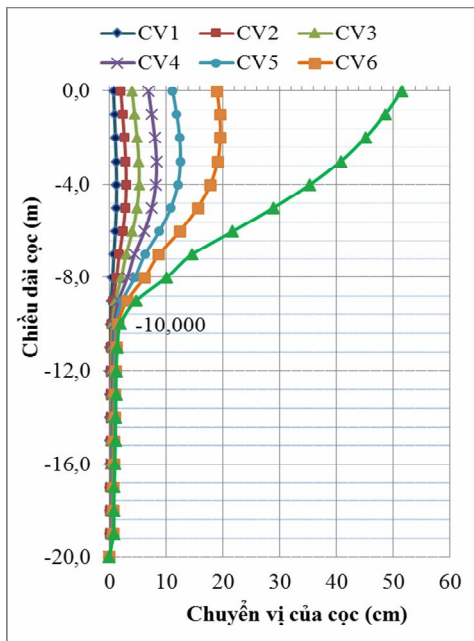
Theo kết quả hiện trường, khi thi công đắp cát đến chiều cao $h_6 = 2,4\text{m}$ thì sự cố xảy ra, nhưng trong mô hình tác giả cho đắp tải đến $h_7 = 2,8\text{m}$, mục đích là để đánh giá sự chuyển vị của đầu cọc và đất nền sau khi cọc bị phá hủy sẽ như thế nào. Hình 7b cho thấy, với $h_7 = 2,8\text{m}$ và $E^{ref} = (500 \div 1500)\text{kPa}$, $C_u (S_u) = (10 \div 12)\text{kPa}$, mômen trong cọc vượt qua giá trị giá trị $[M]_{phá\ hủy} = 120\text{kNm}$, nên cọc bị phá hoại ở tất cả các tổ hợp thông số đầu vào. Bảng 7 cho thấy chuyển vị của cọc theo hiện trường và kết quả mô phỏng ở giai đoạn 7 có sự chênh lệch 29%, chuyển vị của đất nền chênh lệch khoảng 71%.

Nguyên nhân chính của sự chênh lệch giữa kết quả mô hình và kết quả hiện trường là do việc mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 2D chưa xét được tất

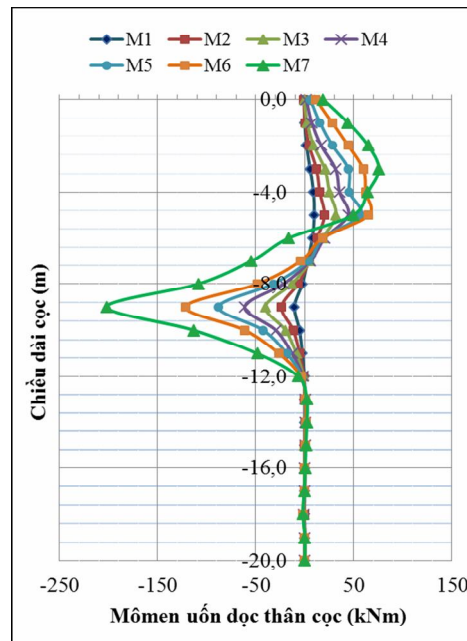
cả các tác động đến sự ổn định của công trình (dòng chảy mặt, sóng, kỹ thuật thi công...), sau khi nền bị phá hủy, cọc bị gãy, tường vãi địa kỹ thuật cuộn cát và tường gạch Bock bị dịch chuyển ra phía sông, dưới tác động của dòng chảy, sóng, triều cường.....gây xói lở và cuốn trôi phần tường vãi địa kỹ thuật cuộn cát và tường gạch Bock, xem kết quả hiện trường ở hình 3.

4.3. Phạm vi ảnh hưởng của chiều cao đất đắp đến mômen và chuyển vị thân cọc

Tác giả chọn mô hình bài toán ứng với bộ thông số đầu vào $E_{50}^{ref} = 500\text{kPa}$ và $C_u = 10\text{kPa}$ để xác định phạm vi ảnh hưởng chiều cao đất đắp đến mômen và chuyển vị thân cọc.



a) Quan hệ chiều cao đất đắp với chuyển vị của cọc



b) Quan hệ chiều cao đất đắp với mô men thân cọc

Hình 8. Quan hệ giữa chiều cao đất đắp với mômen và chuyển vị của cọc

Từ hình 8 nhận thấy, chuyển vị ngang tại đầu cọc có giá trị lớn nhất và giảm dần theo độ sâu. Khi đắp từ chiều cao h_1 - h_6 chuyển vị của cọc tăng đều theo từng cấp tải, khi đắp đến chiều cao h_7 chuyển vị tăng nhanh đột biến. Chiều sâu cọc bị ảnh hưởng tải trọng ngang do khối đất đắp gây ra $h_{ah} \approx 10m$, tương ứng với chiều dày lớp đất bùn yếu tại hiện trường, dưới độ sâu này cọc gần như không bị chuyển vị ngang. Điều này có thể lý giải là phần cọc nằm trong lớp bùn sét phân bố gần bề mặt có phản lực ngang nhỏ nên khi đầu cọc chịu tác dụng của lực ngang, chuyển vị ngang của cọc sẽ lớn; trong khi đó, phần cọc nằm trong các lớp địa chất tốt hơn sẽ có phản lực ngang lớn hơn và giúp ngăn cản cọc chuyển vị ngang. Mômen cọc đạt giá trị lớn nhất ở giữa thân cọc gần vị trí đáy lớp đất yếu.

5. Kết luận

Khi phân tích ổn định của kết cấu kè dạng tường chắn trên hệ cọc BTCT ở khu vực Quận 2, các thông số thích hợp để đưa vào mô hình Mohr – Coulomb ứng xử không thoát nước nên chọn $E^{ref} = (500 \div 1500)kPa$, $C_u (S_u) = (10 \div 12)kPa$.

Dưới tác dụng của khối đất đắp, chuyển vị ngang tại đầu cọc có giá trị lớn nhất và giảm dần theo

độ sâu. Chiều sâu cọc bị ảnh hưởng tải trọng ngang do khối đất đắp gây ra tương ứng với chiều dày lớp đất bùn yếu. Mômen cọc đạt giá trị lớn nhất ở gần vị trí đáy lớp đất yếu tiếp giáp với lớp đất tốt. Khi sử dụng kết cấu kè dạng tường chắn trên hệ cọc BTCT, cần phải có giải pháp giảm tải trọng tác dụng lên nền đất yếu để hạn chế chuyển vị ngang của nền gây ảnh hưởng đến sự làm việc của cọc BTCT bố trí dưới tường chắn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. “22TCN-219-94: Công trình bến cảng sông – Tiêu chuẩn thiết kế”. Bộ Giao thông vận tải, 1994, pp. 91-96.
2. CHÂU NGỌC ẨN. Cơ học đất. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2012, pp 284-286.
3. ĐẶNG HỮU CHINH. “Nghiên cứu kết cấu kè trên nền đất yếu bảo vệ chống sạt lở - Khu vực Thanh Đa Tp. Hồ Chí Minh”, Luận văn thạc sỹ, ĐH Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh, 2004.
4. Hồ sơ thiết kế, khảo sát địa chất công trình Kè bảo vệ sông Sài Gòn, quận 2 – Tp. Hồ Chí Minh, 2012.
5. WILLIAM CHEANG WAI LUM và PHÙNG ĐỨC LONG. “Hướng dẫn sử dụng plaxis”, Plaxis Introductory Course, Đà Nẵng, 2013.

Ngày nhận bài: 24/3/2014.

