



TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Phân tích ổn định hố móng đào sâu gia cố bằng tường cừ Larsen khi thi công cống hộp

Analysis of a deep excavation reinforced by Larsen sheet pile when constructing box culverts

**TS Phạm Văn Hùng^{1,2}, PGS.TS Vũ Minh Ngạn^{1,2,*},
TS Đặng Quang Huy^{1,2}, THS Ngô Thị Hương Trang¹**

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở - Địa chất

²Nhóm nghiên cứu mạnh “Địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững”, Trường Đại học Mở - Địa chất

*Email: vuminhngan@humg.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 16/6/2026

Ngày sửa bài: 19/6/2026

Ngày chấp nhận đăng: 01/7/2026

Ngày xuất bản Online: 10/7/2026

Tác giả liên hệ:

Email: vuminhngan@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Công nghệ gia cố hố móng đào sâu bằng tường cừ Larsen là giải pháp mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật, đặc biệt trong điều kiện nền đất yếu hoặc nước ngầm nằm nông. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích ổn định của tường cừ gia cố hố móng đào sâu khi thi công cống hộp tại dự án Khu đô thị Hồng Hạc City, phường Song Liễu, tỉnh Bắc Ninh. Số liệu hình học, số liệu về địa tầng và thông số địa kỹ thuật được lấy từ số liệu tại dự án và tính đối tượng đương. Mô hình số 2D được xây dựng bằng phần mềm Plaxis 2D V20 nhằm mô phỏng quá trình thi công hố móng đào sâu gia cố bằng tường cừ Larsen. Hệ tường cừ - hố móng chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều bằng 5 kN/m² trên diện rộng 5 m. Kết quả phân tích số chỉ ra rằng việc lựa chọn chiều dài tường cừ sẽ mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật. Ngoài ra, trong quá trình đào đất hố móng, chuyển vị ngang của tường và độ lún nền đất xung quanh tăng lên đáng kể trong khi hệ số ổn định tổng thể giảm dần khi chiều sâu đào tăng lên.

Từ khóa: Ổn định; hố móng đào sâu; tường cừ; chuyển vị; độ lún.

ABSTRACT

The sheet pile-reinforced deep excavation technique is an economically and technically effective solution, especially in conditions of weak soil or shallow groundwater. This study uses the Finite Element Method to analyze the stability of sheet pile walls that reinforce deep excavations during the construction of box culverts at the Hong Hac City urban area project, Song Lieu ward, Bac Ninh province. Geometric data, stratigraphic data, and geotechnical parameters were obtained from project data and equivalent conversions were performed. A 2D numerical model using Plaxis 2D V20 software was established to simulate the construction process of excavation pits reinforced with Larsen sheet pile walls. The sheet pile wall-excavation hole system is subjected to a uniformly distributed load of 5 kN/m² over a 5 m area. The analysis results indicate that selecting the appropriate sheet pile wall length will bring economic and technical benefits. Furthermore, during excavation, the lateral displacement of the wall and the settlement of the surrounding soil increase significantly and the slope stability coefficient decreases gradually as the excavation depth increases.

Keywords: Dtability; deep excavation; sheet pile; displacement; settlement.

1. TỔNG QUAN GIA CỐ HỒ MÓNG ĐÀO SÂU BẰNG TƯỜNG CỬ LARSEN

Công nghệ gia cố hồ móng đào sâu bằng tường chắn đã được sử dụng phổ biến trong thi công các công trình dân dụng và công nghiệp, công trình giao thông, hạ tầng kỹ thuật và các công trình biển. Nhờ sức kháng uốn cao, tường chắn có thể chống được lực xô ngang của đất và tải trọng ngang. Các loại hình tường chắn đất hồ đào sâu thường được sử dụng bao gồm tường chắn bằng cọc đất xi măng, cọc bản thép (cừ Larsen), cọc bản bê tông cốt thép (BTCT), cọc ống thép nhồi bê tông, cọc khoan nhồi, vách BTCT.

Một số công bố trong nước đã làm sáng tỏ ứng xử hồ móng đào sâu gia cố bằng tường cừ [5, 6, 7, 8]. Lê Hoàng Việt (2013) chỉ ra độ ổn định của hồ móng, nội lực và biến dạng của tường cừ thay đổi trong quá trình thi công, do đó cần phải lựa chọn những giai đoạn thi công đặc trưng nhất để phân tích đánh giá sự ổn định. Ngoài ra, nội lực và biến dạng cũng phải được tính toán trong quá trình làm việc lâu dài của công trình [8]. Sử dụng mô hình số phân tích ảnh hưởng của hồ đào sâu đến độ lún của bề mặt đất xung quanh, Hồ Sỹ Đán và Đào Văn Hưng (2017) thấy rằng mô hình tăng bền (Hardening Soil, HS) là mô hình phù hợp nhất để mô phỏng độ lún của bề mặt đất. Ngoài ra, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng những điểm càng xa hồ móng và đỉnh tường thì thông số biến dạng giảm dần [4]. Kết quả phân tích lún của tác giả Đỗ Tuấn Nghĩa và nnk. 2018 đã chỉ ra rằng quá trình sụt lún của nền đất khó có thể dự báo chính xác; nó có thể chịu sự chi phối của một số yếu tố như loại móng của công trình lân cận, mô hình đất nền và chất lượng thi công [5]. Nguyễn Ngọc Thắng (2023) chỉ ra rằng sự phân bố nội lực trong kết cấu tường chắn chịu sự ảnh hưởng lớn bởi công nghệ thi công, trình tự xây dựng và loại tường chắn.

So với các phương pháp đào hở, tường chắn và neo, phương pháp gia cố bằng cọc cừ Larsen có một số điểm ưu việt như thời gian thi công nhanh chóng, nền đất xung quanh ít bị biến dạng, khối lượng đào đắp nhỏ và công nghệ thi công đơn giản. Đặc biệt, trong đô thị, khi mà không gian xây dựng chật hẹp, việc thi công các hồ móng đào sâu đòi hỏi thời gian thi công ngắn, giảm thiểu sụt lún và mất ổn định của công trình xung quanh [7]. Khi xem xét sự làm việc của kết cấu tường cừ Larsen, Nguyễn Ngọc Thanh (2024) cho rằng cừ Larsen là loại tường mềm, có độ mảnh cao, khi gia cố hồ đào sâu có thể dẫn đến chuyển vị ngang lớn, do đó cần phải nghiên cứu đến số lượng điểm văng chống ngang hay neo sâu vào nền, dựa trên cơ sở bài toán tính lặp để đảm bảo độ an toàn cho thành hồ đào. Với những khu vực có chiều dày lớp đất yếu lớn, tác giả khuyến

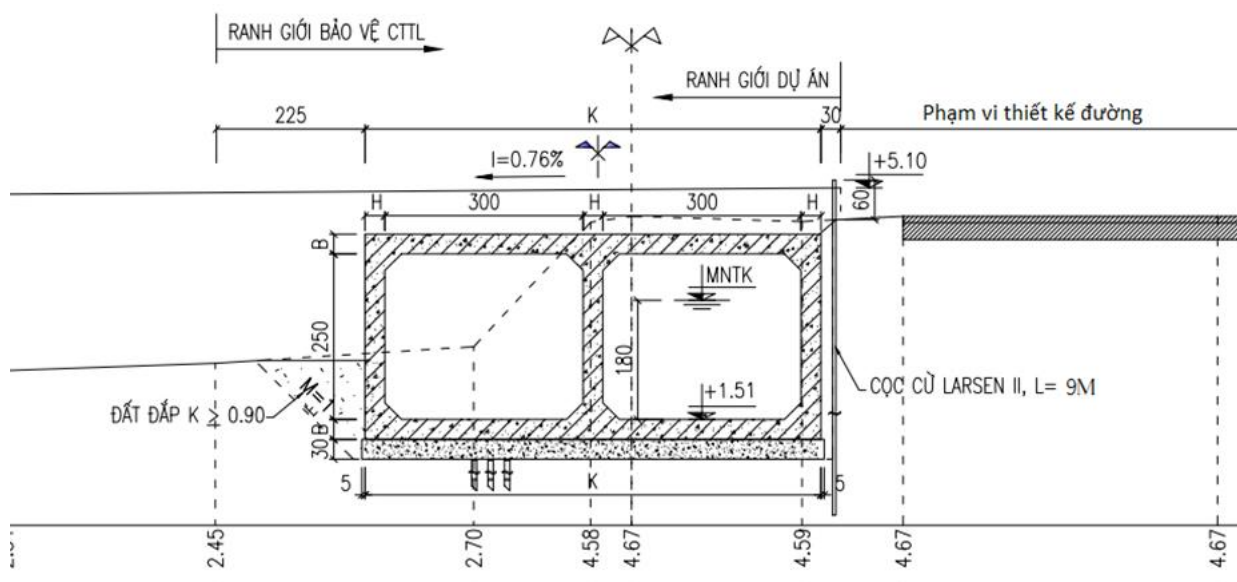
ngiht sử dụng phương pháp neo để làm giảm chuyển vị ngang của tường cừ Larsen. Khi phân tích mô phỏng số, tác giả nhấn mạnh rằng khi kích thước hố đào rất lớn, có thể sử dụng bài toán phân tích 2D để phân tích sự làm việc của hệ tường cừ - hố đào - khối đất xung quanh. Tuy nhiên, việc lựa chọn mô hình nền phù hợp với từng loại đất đóng vai trò hết sức quan trọng vì điều này sẽ ảnh hưởng đến kết quả dự báo của mô hình. Các mô hình nền thông dụng phổ biến hiện nay gồm các mô hình đàn hồi, mô hình dẻo như mô hình Mohr - Coulomb (MC), Soft Soil (SS) và Hardening Soil (HS) [6].

Dựa trên việc phân tích kết quả nghiên cứu đã được tiến hành, có thể thấy rằng những phân tích ảnh hưởng của quá trình đào hố móng đến độ ổn định của hệ tường cừ - hố đào - khối nền xung quanh cần được làm sáng tỏ. Vì vậy, nghiên cứu phân tích ổn định của hố móng đào sâu gia cố bằng tường cừ được tiến hành nhằm làm rõ sự thay đổi chuyển vị ngang tại đỉnh tường cừ, độ lún của bề mặt đất, sự đẩy bùng của hố móng và hệ số ổn định tổng thể khi chiều sâu đào thay đổi.

2. GIẢI PHÁP GIA CỐ HỒ ĐÀO KHI THI CÔNG CÔNG HỘP

2.1. Giới thiệu dự án và đặc điểm địa kỹ thuật

Khu đô thị Hồng Hạc City tại Phường Song Liễu, tỉnh Bắc Ninh có quy mô khoảng 198 ha đang được đầu tư xây dựng. Trong quá trình thi công các công trình hạ tầng kỹ thuật ngầm, do điều kiện mặt bằng thi công chật hẹp và tiếp giáp với các khu dân cư xung quanh đặt ra yêu cầu các giải pháp lập biện pháp thi công phải khả thi và cụ thể. Hệ thống cống hộp thiết kế nhằm tiêu thoát nước mưa của dự án, với kích thước đường cống chính bằng BTCT, gồm hai ngăn, kích thước rộng x cao bằng (2x3,0x2,5)m, chiều sâu đặt cống tính từ cốt hoàn thiện bằng 3,75 m (Hình 1). Cống hộp được thiết kế nằm ngay sát tuyến đường dân sinh, mặt đường bê tông nhựa. Yêu cầu kỹ thuật đặt ra là việc thi công cống hộp không làm ảnh hưởng đến quá trình khai thác tuyến đường giao thông bên cạnh [3].



Hình 1. Mặt cắt ngang khi thi công cống hộp

Căn cứ vào mặt bằng bố trí lỗ khoan, lỗ khoan HK5 và HKC3 là gần với khu vực thiết kế cống hộp. Cao độ của đỉnh lỗ khoan bằng +3,55 đến +3,64 m. Mức nước ngầm được điều tra tại lỗ khoan ở cao độ +2,35 m (Hình 1). Kết quả phân tích hình trụ lỗ khoan cho thấy địa tầng khu vực thi công cống hộp gồm lớp sét pha trạng thái dẻo chảy đến dẻo mềm có chiều dày khoảng 4,7 m, phía dưới là lớp cát hạt nhỏ kết cấu kém chặt có

chiều dày không xác định. Các chỉ tiêu cơ học của các lớp đất được lấy từ số liệu lỗ khoan và kết quả thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Thông số cơ học của lớp sét pha dẻo chảy đến dẻo mềm gồm góc ma sát trong bằng $8^{\circ}30'$ và lực dính đơn vị bằng $1,10 \text{ kN/cm}^2$. Lớp cát hạt nhỏ có mô-đun đàn hồi bằng 20 MPa , góc ma sát trong bằng 28° và lực dính đơn vị 1 kPa , chỉ số xuyên tiêu chuẩn $N_{30} = 8$ búa [2].

2.2. Giải pháp ổn định hố đào trong quá trình thi công

Theo số liệu khảo sát thực tế tại hiện trường, cao độ của mặt đất tự nhiên bằng $+4,65 \text{ m}$, cao độ mực nước ngầm bằng $+2,35 \text{ m}$, cao độ đáy hố đào bằng $+0,9 \text{ m}$. Như vậy, chiều sâu của hố đào bằng $3,75 \text{ m}$. Đây là chiều sâu đào lớn, nếu thi công bằng phương pháp đào hở có mái dốc thì diện tích đào rất lớn và ảnh hưởng đến tuyến đường giao thông bên cạnh. Giải pháp được đề xuất là hố đào được gia cố bằng tường cừ Larsen loại IV không sử dụng thanh chống, có chiều dài từ 7 m đến 10 m . Cừ được ép dọc theo chiều dài cống, phía bên phải, cách tim cống $4,0 \text{ m}$. Tường cừ nhô cao hơn so với mặt đất bằng $0,5 \text{ m}$ để đảm bảo an toàn cho máy móc và nhân công trong quá trình thi công. Sau đó, tiến hành đào hố móng bằng máy đến cốt thiết kế đảm bảo chiều sâu cừ ngầm trong đất khoảng 4 m đến 7 m (Hình 1).

Bảng 1. Các kích thước và thông số tường cừ FSP-IV được sử dụng trong tính toán

Chủng loại	Kích thước (cm)			Đặc trưng tiết diện của một cọc				Đặc trưng tiết diện của 1 m ngang tường			
	Chiều rộng	Chiều cao	Độ dày	Diện tích mặt cắt (cm^2)	Mô-men quán tính (cm^4)	Mô-men kháng uốn mặt cắt (cm^3)	Khối lượng (kg/m)	Diện tích mặt cắt (cm^2)	Mô-men quán tính (cm^4)	Mô-men kháng uốn mặt cắt (cm^3)	Khối lượng (kg/m)
FSP-IV	400	170	1,55	96,99	4670	362	76.1	242,5	38.600	2.270	190

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ 2D BẰNG PHẦN MỀM PLAXIS 2D

Dựa vào kích thước hình học, điều kiện địa chất công trình đã được xác định, tiến hành xây dựng mô hình số để phân tích độ lún của nền, chuyển vị ngang của tường và hệ số ổn định hố đào. Plaxis 2D là phần mềm thương mại được sử dụng phổ biến để phân tích sự làm việc của đất nền và kết cấu móng, đất nền và kết cấu chống giữ dựa trên lời giải phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Kết quả phân tích bằng phần mềm Plaxis 2D đã được kiểm chứng thông qua các kết quả thí nghiệm, dự án thực tế hay với các phần mềm tương tự đảm bảo độ tin cậy. Do đó, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thiết lập mô hình số 2D bằng phần mềm Plaxis 2D V20 [1]. Cấu trúc nền gồm lớp sét yếu dày $4,7 \text{ m}$; phía dưới là lớp đất cát hạt nhỏ trạng thái kém chặt. Mực nước ngầm tại độ sâu $-2,3 \text{ m}$ so với bề mặt đất. Bề rộng hố móng bằng 8 m (khoảng cách từ tim cừ đến mép hố đào bên phải). Để giảm sự tác động của điều kiện biên của mô hình, khoảng cách từ mép hố đào lấy sang mỗi bên là 20 m . Chiều sâu hố đào bằng $2,75 \text{ m}$ (tại cốt $+0,9 \text{ m}$). Chiều dài cừ thay đổi từ 7 m đến 10 m (Hình 2). Tải trọng máy móc phục vụ thi công lấy bằng 5 kN/m^2 với bề rộng phân bố bằng 5 m .

Mô hình vật liệu sử dụng trong tính toán, lớp đất sét yếu được mô phỏng bằng mô hình Soft Soil (SS). Lớp cát pha được mô phỏng bằng mô hình Mohr-Coulomb. Vật liệu tường cừ được mô phỏng bằng mô hình đàn hồi (Bảng 2). Các thông số của mô hình được xác định dựa trên kết quả thí nghiệm và các phương pháp quy đổi tương đương. Các thông số của mô hình Soft Soil và Mohr-Coulomb được biểu diễn như trong Bảng 3 và 4.

Bảng 2. Các mô hình vật liệu sử dụng trong phân tích mô hình số 2D

Lớp đất	Lớp đất sét yếu	Lớp cát hạt nhỏ	Cừ larsen
Tên mô hình	Soft Soil	Mohr-Column	Đàn hồi

Bảng 3. Các thông số mô hình Soft Soil cho lớp đất yếu

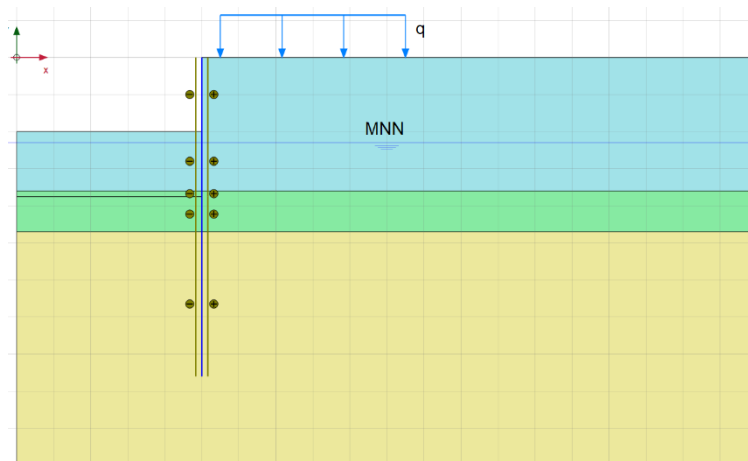
Lớp đất	λ^*	κ^*	e_0	c' (kPa)	φ' (độ)	γ (kN/m ³)
Đất sét yếu	0,082	0,016	0,938	1,07	17,4	17

Bảng 4. Các thông số mô hình Mohr-Column cho lớp đất cát

Lớp đất	E (MPa)	ν	c' (kPa)	φ' (độ)	γ (kN/m ³)
Đất cát	20	0,33	1,0	28	17,5

Do đặc điểm quá trình thi công tường cừ và đào đất diễn ra nhanh, dẫn đến áp lực nước lỗ rỗng chưa bị phân tán hoàn toàn. Do đó, mô hình được phân tích trong điều kiện bài toán không thoát nước [1]. Trình tự phân tích được tiến hành theo một số bước thi công, bao gồm:

- Bước 1: Thiết lập trạng thái ứng suất ban đầu. Đóng cọc cừ và chắt tải trọng thi công.
- Bước 2: Đào lớp đất dày 2 m, đến cốt +2,65 m.
- Bước 3: Phân tích điều kiện ổn định tổng thể tại cốt +2,65 m.
- Bước 4: Tiếp tục đào lớp đất dày 1,75 m, đến cốt +0,9 m.
- Bước 5: Phân tích điều kiện ổn định tổng thể tại cốt +0,9 m.



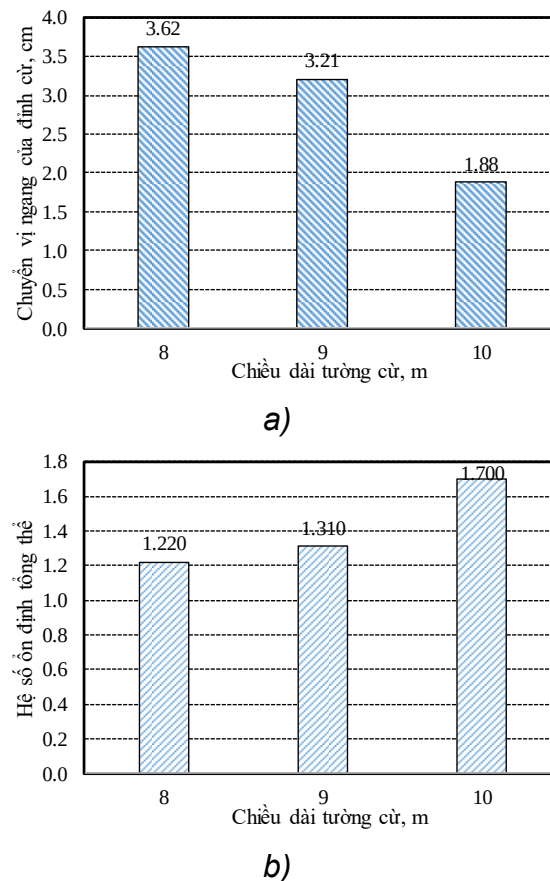
Hình 2. Mô hình số trong phần mềm Plaxis 2D

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH MÔ HÌNH VÀ THẢO LUẬN

4.1. Phân tích lựa chọn chiều dài của tường cừ

Với cùng điều kiện đất nền nghiên cứu, chiều dài tường cừ được lựa chọn bằng 7 m, 8 m, 9 m và 10 m. Kết quả phân tích và đánh giá chuyển vị ngang tại đỉnh tường cừ và hệ số ổn định ổn thể hố móng là cơ sở để quyết định lựa chọn được chiều dài tường cừ tối ưu. Kết quả phân tích số đã chỉ ra rằng, khi chiều dài tường cừ bằng 7 m, chuyển vị ngang của tường cừ rất lớn và hố đào mất ổn định. Khi chiều dài tường cừ

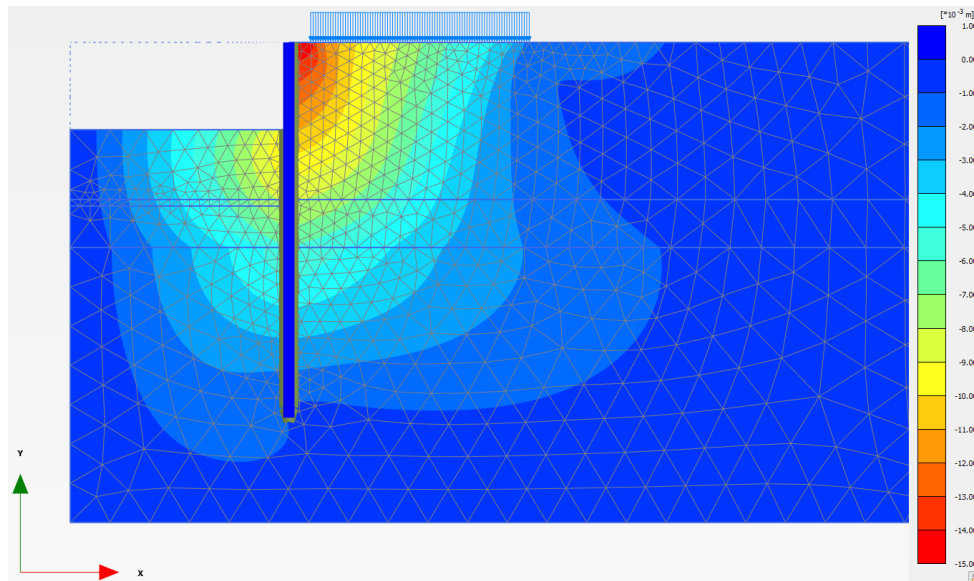
từ 8 m đến 10 m, kết quả chuyển vị ngang của đỉnh cừ và hệ số ổn định hố móng được biểu thị trên Hình 3. Hình 3a cho thấy rằng chuyển vị tại đỉnh tường cừ có giá trị khá nhỏ và chấp nhận được khi chiều dài tường cừ từ 8 m đến 10 m. Nhưng khi xét dưới góc độ ổn định tổng thể (Hình 3b), khi chiều dài tường cừ bằng 8 m, hệ số ổn định tổng thể bằng 1,22 (nhỏ hơn 1,30). Khi chiều dài tường cừ bằng 9 m và 10 m, hệ số ổn định tổng thể tương ứng bằng 1,31 và 1,70. Xét về mặt kinh tế, kiến nghị lựa chọn chiều dài tường cừ bằng 9 m cho các phân tích tiếp theo.



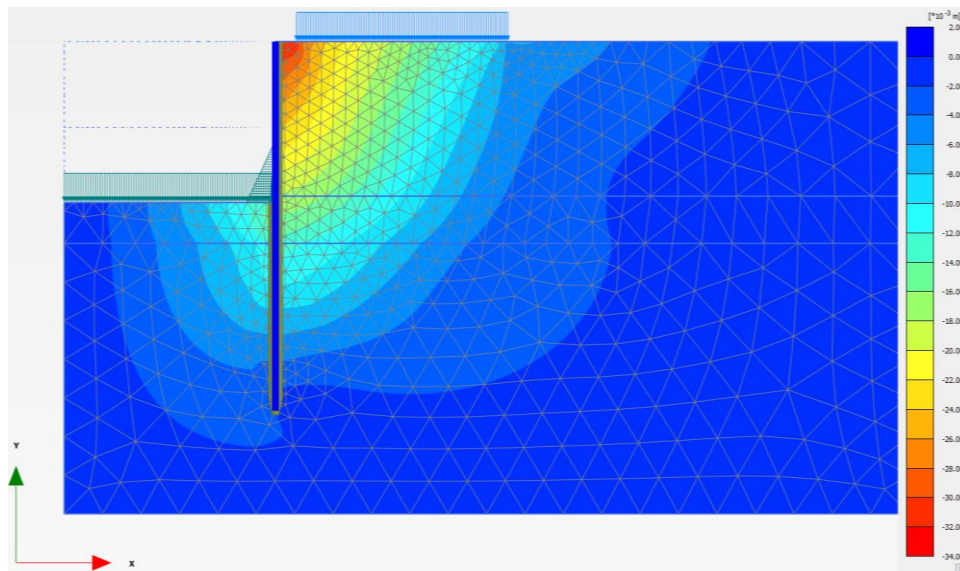
Hình 3. Chuyển vị ngang tải đỉnh tường cừ và hệ số ổn định tổng thể của hố móng trong trường hợp chiều dài tường cừ khác nhau

4.2. Chuyển vị ngang của tường cừ

Tiến hành phân tích quá trình đào đất đến cốt +2,65 m và cốt +0,90 m, tương ứng với chiều sâu hố đào bằng 2 m và 3,75 m. Trong quá trình phân tích, tải trọng bên trên và mực nước ngầm không thay đổi. Kết quả phân tích chuyển vị ngang của khối nền và tường cừ được biểu diễn trên Hình 4. Có thể thấy rằng, chuyển vị ngang của tường và khối nền phía sau lưng tường lớn nhất nằm ngay sát bề mặt đất và giảm dần dọc theo độ sâu của hố móng. Khi chiều sâu đào tăng, chuyển vị ngang của khối nền và tường cừ đã tăng lên đáng kể. Chuyển vị ngang tại đỉnh tường cừ bằng 1,48 cm và 3,21 cm tương ứng với chiều sâu hố đào bằng 2,0 m và 3,75 m. Các kết quả chuyển vị ngang tính được thỏa mãn điều kiện chuyển vị, vì chúng nhỏ hơn giá trị chuyển vị cho phép $L/100$ bằng 9 cm. Điều này có thể được giải thích rằng, tường cừ được cắm xuống nền đất làm việc tương tự như một dầm công-xôn với đầu tự do là phía đỉnh tường. Dưới tác dụng của tải trọng phân bố, đầu tự do sẽ có xu hướng chuyển vị nhiều hơn. Khi chiều sâu hố đào lớn thì chiều dài tính toán của dầm công-xôn lớn hơn và có chuyển vị ngang lớn hơn.



a) - Chuyển vị ngang u_x lớn nhất tại đỉnh tường cừ: 1,48 cm



b) - Chuyển vị ngang u_x lớn nhất tại đỉnh tường cừ: 3,21 cm

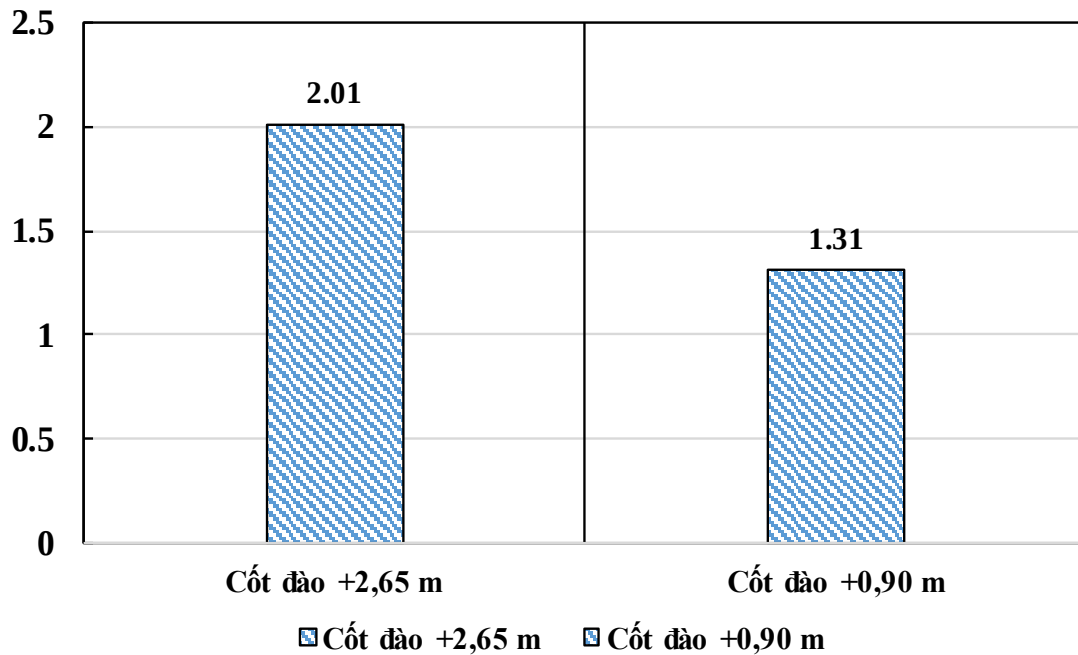
Hình 4. Chuyển vị theo phương ngang của khối đất xung quanh:
(a) tại cốt đào +2,65 m và (b) tại cốt đào +0,90 m

4.3. Hệ số ổn định tổng thể của hố đào

Trong phần mềm PLAXIS, phương pháp kiểm tra ổn định tổng thể là phương pháp suy giảm cường độ Phi/c (Phi/c reduction). Phần mềm sẽ giảm dần các thông số cường độ kháng cắt của đất gồm lực dính và góc ma sát trong theo cùng một tỉ lệ cho đến khi hố đào xảy ra hiện tượng phá hoại, theo công thức (1) [1].

$$\tan(\varphi_{reduced}) = \frac{\tan(\varphi_{input})}{\Sigma M_{sf}} \text{ và } c_{reduced} = \frac{c_{input}}{\Sigma M_{sf}} \quad (1)$$

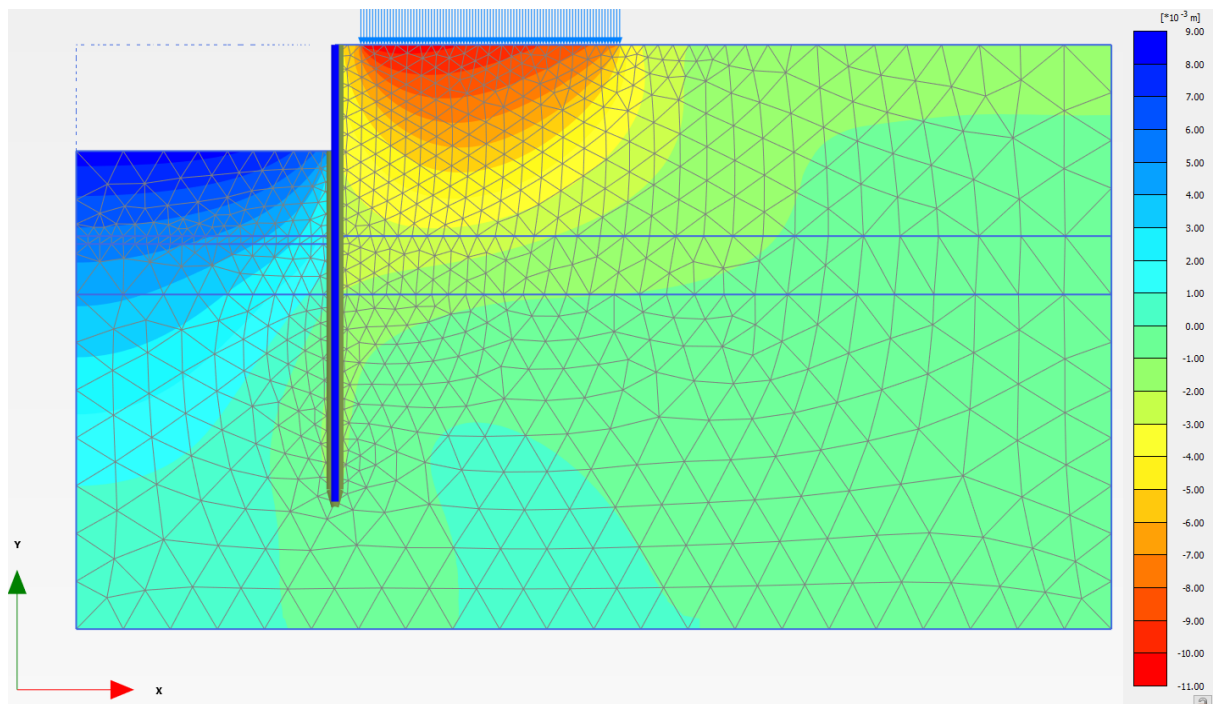
Khi phân tích ổn định tổng thể của hố móng, hệ số ổn định tổng thể bằng 2,01 khi chiều sâu đào bằng 2 m và nó giảm bằng 1,31 khi chiều sâu đào móng bằng 3,75 m (tại cốt +0,90 m) (Hình 5). Từ kết quả phân tích chuyển vị ngang, ta thấy rằng tường cừ và hố đào làm việc an toàn.



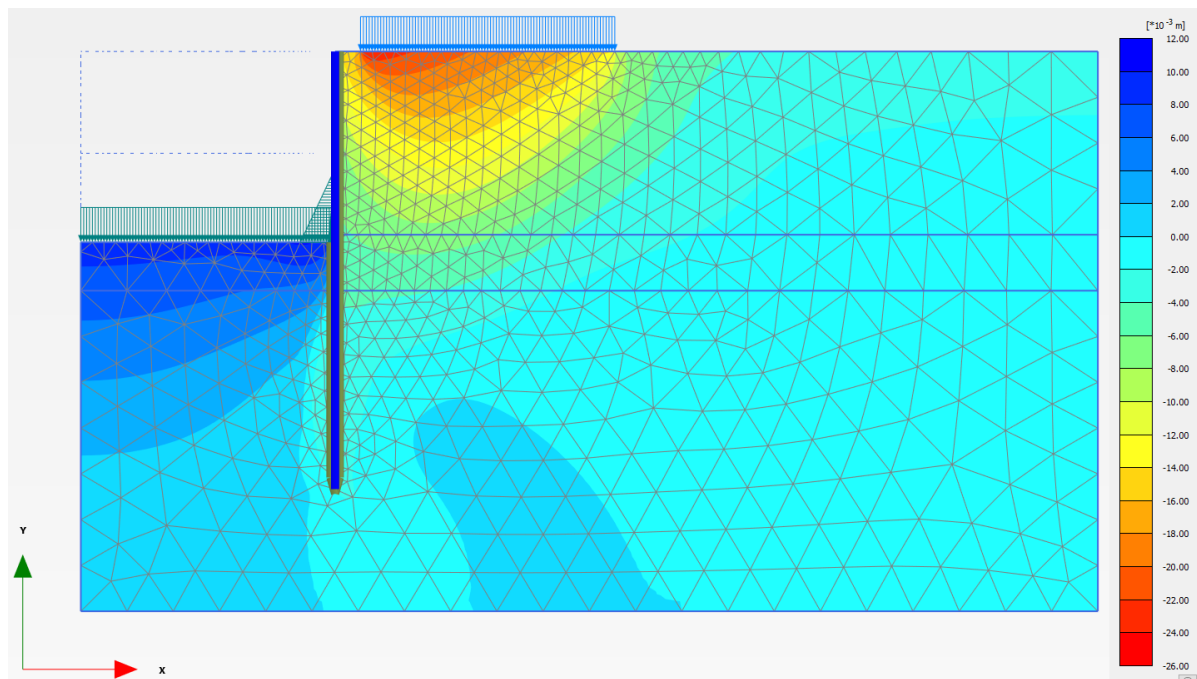
Hình 5. Hệ số ổn định tổng thể của hố móng tại cốt đào +2,65 m và +0,90 m

4.4. Độ lún của nền đất và đánh giá khả năng bù đắp nền trong hố đào

Kết quả về độ lún của nền đất xung quanh phía trên đỉnh cừ và độ bù đắp nền được biểu diễn trong Hình 6. Có thể thấy rằng, khi chiều sâu đào móng bằng 2,0 m, độ lún của nền khá bé, chỉ bằng -1,07 cm (tại vị trí đặt tải trọng) và độ đẩy trôi đất trong hố móng bằng 0,85 cm. Khi chiều sâu hố đào bằng 3,75 m, độ lún của nền bằng -2,41 cm và độ đẩy trôi bằng 1,02 cm. Có thể thấy rằng, khi chiều sâu chôn của tường cừ đủ lớn, thường từ 1/2 chiều dài cừ thì độ bù đắp nền hầu như không đáng kể.



a) - Độ lún của nền lớn nhất (màu đỏ): -1,07 cm;
độ đẩy trôi nền trong hố đào (màu xanh đậm): 0,85 cm



*b) - Độ lún của nền lớn nhất (màu đỏ): -2,41 cm;
độ đẩy trời nền trong hố đào (màu xanh đậm): 1,02 cm*

Hình 6. Độ lún của mặt đất và độ đẩy trời trong hố móng: (a) tại cốt đào +2,65 m và (b) tại cốt đào +0,90 m

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Tiến hành phân tích ổn định của hố móng đào sâu gia cố bằng tường cừ Larsen khi thi công công hợp bằng phương pháp số đã làm sáng tỏ một số nội dung sau:

- Chiều dài tường cừ có ảnh hưởng lớn đến sự ổn định của hệ hố móng và tường cừ. Kết quả phân tích đã chỉ ra khi chiều dài tường cừ bằng 9 m, chuyển vị ngang tại đỉnh tường cừ và hệ số ổn định tổng thể của hố móng đều thỏa mãn yêu cầu kinh tế - kỹ thuật;
- Chuyển vị ngang của tường và khối nền phía sau lưng tường lớn nhất nằm ngay sát bề mặt đất và chuyển vị ngang giảm dần theo chiều sâu của hố móng.
- Chiều sâu đào tăng dẫn đến chuyển vị ngang của tường cừ tăng lên đáng kể. Chuyển vị ngang đỉnh tường tính được 1,48 cm và 3,21 cm tương ứng với chiều sâu đào bằng 2,0 m và 3,75 m.
- Hệ số ổn định tổng thể của hệ tường chắn - hố móng giảm đáng kể khi chiều sâu móng tăng. Hố móng làm việc an toàn khi chiều sâu hố đào bằng 3,75 m, với hệ số ổn định tổng thể bằng 1,31.
- Độ lún của bề mặt và độ đẩy trời trong hố móng đã tăng lên đáng kể khi chiều sâu hố đào tăng lên nhưng hố móng vẫn làm việc trong phạm vi an toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bentley Systems. PLAXIS 2D CONNECT Edition V20 [Computer software]. Exton, PA: Bentley Systems, Inc., 2020.
- [2] Công ty Cổ phần Tư vấn Việt Delta. Báo cáo khảo sát địa chất công trình dự án: Đầu tư xây dựng hạ tầng kỹ thuật khu đô thị sinh thái Hồng Hạc - Xuân Lâm, huyện Thuận Thành, tỉnh Bắc Ninh, 2012.

[3] Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Bắc Ninh. Thiết kế kỹ thuật hạng mục: Hoàn thiện kênh tiêu S7, kênh tiêu S7 và kênh tưới C5 thuộc dự án Khu đô thị sinh thái Hồng Hạc - Xuân Lâm, huyện Thuận Thành, tỉnh Bắc Ninh.

[4] Hồ Sỹ Đán và Đào Văn Hưng. Đánh giá mức độ phá hoại công trình do việc xây dựng những hố đào sâu ở Hà Nội. Tạp chí Địa kỹ thuật, số 1, tr. 36-43, 2017.

[5] Đỗ Tuấn Nghĩa và nnk. Ảnh hưởng của thi công hố đào sâu tới sụt lún của công trình lân cận. Tạp chí Địa kỹ thuật, số 4, 2018.

[6] Nguyễn Ngọc Thanh. Một số vấn đề khi thiết kế biện pháp để ổn định hố đào sâu trong điều kiện nền đất yếu tại Ecopark. Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng, số 52, tr. 15-19, 2024.

[7] Nguyễn Ngọc Thắng. Tường cừ Larsen hai lớp cho hố đào sâu. Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, số 03, tr. 168-171, 2023.

[8] Lê Hoàng Việt. Tổng quan về thiết kế - thi công hố đào sâu, công trình ngầm. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, số 11, tháng 12, tr. 26-31, 2013.