

Đánh giá áp lực đất lên ống chôn sâu và khả năng ổn định trong môi trường xung quanh theo điều kiện thi công

• **Bùi Trường Sơn**

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 14 tháng 10 năm 2014, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 25 tháng 04 năm 2015)

TÓM TẮT

Áp lực đất lên công trình ống chôn sâu phụ thuộc vào loại đất, hình dạng và kích thước công trình, độ sâu, hình dạng và kích thước hố móng và các tác nhân khác như tải trọng ngoài, mực nước ngầm. Trên cơ sở chọn lựa, số sung sơ đồ tính và chương trình tính toán tự thiết lập, tiến hành phân tích đánh giá áp lực đất lên công trình ống chôn sâu theo điều kiện thi công thực tế. Đối với công trình được thi công bằng phương pháp đào hở, cần thiết chọn lựa độ sâu chôn hợp lý trên cơ sở độ sâu chôn mà từ đó trở

đi, ảnh hưởng của áp lực đất thay đổi không đáng kể. Việc thay một phần vật liệu rời bằng đất dính giảm đáng kể áp lực đất lên vỏ công trình. Ngoài ra, việc đánh giá mức độ tiếp cận trạng thái giới hạn trong môi trường xung quanh công trình trong quá trình thi công đào kín còn cho phép phân tích khả năng ổn định trong môi trường địa chất khác nhau thông qua sự xuất hiện vùng biến dạng dẻo. Kết quả nghiên cứu có ích cho việc tính toán, bố trí công trình hợp lý với điều kiện thực tế.

Từ khóa: áp lực đất, ống chôn sâu, ổn định, công trình ngầm.

1. PHƯƠNG PHÁP THI CÔNG VÀ ĐÁNH GIÁ ÁP LỰC ĐẤT LÊN ỐNG NGẦM

Tồn tại hai phương pháp cơ bản là đào hở và đào kín. Phương pháp đào hở thường áp dụng cho công trình đặt nông. Từ mặt đất, tiến hành đào hố có vách xiên tự nhiên theo khả năng ổn định mái dốc hoặc vách thẳng đứng với hệ thống chống vách. Sau đó, tiến hành xây dựng kết cấu ngầm rồi lấp đất, khôi phục mặt bằng đến cao độ tự nhiên hoặc xây dựng những công trình trên mặt như đường xá, nhà cửa [3]. Phương pháp đào kín bao gồm đào dưới nắp và khiên đào hay kích đẩy.

Phương pháp đào dưới nắp là làm nắp trước rồi mới đào đất. Phương pháp này được tiến hành bằng cách lắp dầm thép che chống hố đào, lát mặt đường để đảm bảo giao thông trên mặt đất. Phương pháp khiên đào là phương pháp thi công cơ giới dùng khiên đào đường hầm ngầm dưới mặt đất.

Khi thi công hệ thống công trình ngầm như hầm ô tô, hầm cho người đi bộ, hầm kỹ thuật hay các công trình cấp thoát nước đặt không quá sâu bên dưới những công trình trên mặt, phương pháp đào lộ thiên hay khiên đào có thể gây lún công

trình trên mặt do biến dạng của khối đất đá xung quanh. Trong trường hợp này, phương pháp đẩy ép (hay phương pháp kích đẩy) được xem là phù hợp với những điều kiện ràng buộc trong khu vực đô thị.

Các nghiên cứu lý thuyết về áp lực đất lên công trình ngầm theo một số tài liệu có thể phân làm các hướng sau [1], [2], [3], [4]: Hướng thứ nhất: giả thiết môi trường đất đá xung quanh công trình là rời rạc và sử dụng cơ sở lý thuyết sức bền vật liệu để tính toán. Đây là những công trình nghiên cứu áp lực đất không xét đến sự làm việc tương hỗ của khối địa tầng, dựa trên các số liệu thực tế và những giả thiết riêng cùng với việc sử dụng các phương pháp tính gần đúng như các giả thiết tạo vòm của M.M.Protodiakonov và một số người khác, giả thiết về các lăng thể trượt ở bên vách hang, các giả thiết dựa trên quan sát thực tế cũng như các giả thiết dựa trên việc sử dụng lý thuyết đàn hồi và cơ học kết cấu. Hướng thứ hai: giả thiết môi trường đất đá là liên tục, đàn hồi và dùng cơ sở lý thuyết đàn hồi và lý thuyết dẻo để tính toán. Người đặt nền móng cho hướng này vào năm 1938 là R. Phenher.

Theo giả thiết của nhà địa chất A. Heim, áp lực do trọng lượng cột đất có chiều cao bằng chiều sâu đặt công trình tác dụng lên vòm công trình ngầm có giá trị: $p=\gamma H$. Trong đó: γ – trọng lượng riêng của đất; H – chiều sâu từ mặt đất đến đỉnh công trình.

Đây là giả thiết đơn giản và do đó chỉ áp dụng cho trường hợp hầm đặt trong đất bão hòa nước, khi áp lực đất gần như áp lực thủy tĩnh hoặc khi công trình đặt rất nông. Trong hầu hết các trường hợp khác, áp lực tính theo giả thiết này cho kết quả lớn hơn thực tế rất nhiều. Thực vậy, do hiệu ứng vòm và tương tác với khối đất đá kề cận nên áp lực thực tế tác dụng lên nóc công trình ngầm có giá trị

bé hơn đáng kể so với giá trị ứng suất do trọng lượng bản thân cột đất.

Phorkhemier chấp nhận rằng áp lực bằng cột đất dạng lăng trụ thẳng đứng có đáy tựa lên nóc công trình. Khi đó, trọng lượng cột đất bị giảm yếu do lực ma sát phát sinh trên các mặt phẳng trượt thẳng đứng. Đồng với quan điểm tính toán này là Birbauner khi xem áp lực lên công trình là do một khối dạng nêm. Ngoài ra, còn có giả thiết dựa trên nguyên tắc tụt cột địa tầng được nghiên cứu bởi Zanxen và Ketter.

2. ĐÁNH GIÁ ÁP LỰC ĐẤT LÊN CÔNG TRÌNH CHÔN SÂU KHI THI CÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐÀO HỒ

Đặc trưng cho các phương pháp tính toán áp lực đất lên công trình khi đào hồ được thiết lập bởi K. Terzaghi [3] và sơ đồ áp lực tác dụng lên công trình như hình 1.

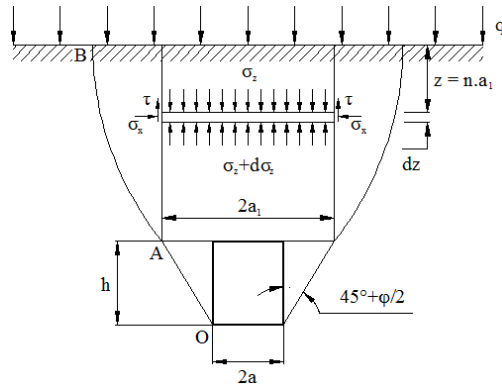
Biểu thức xác định áp lực lên công trình có dạng:

$$\sigma_z = \frac{a_1 \left(\gamma - \frac{c}{a_1} \right)}{K_o \operatorname{tg} \varphi} \left(1 - e^{-K_o n \operatorname{tg} \varphi} \right) + q e^{-K_o n \operatorname{tg} \varphi} \quad (1)$$

Trong đó: a_1 – bề rộng khối trượt, $a_1 = a + h \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$; γ – trọng lượng riêng của đất; K_o – hệ số áp lực ngang, $K_o = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$; c – lực dính; φ – góc ma sát trong; q – tải trọng phân bố trên bề mặt; $n = \frac{z}{a_1}$, với z là độ sâu kể từ mặt đất đến đỉnh hầm.

Từ công thức (1), có thể thấy rằng áp lực đất theo phương đứng tác dụng lên công trình thay đổi theo chiều sâu chôn, kích thước công trình, đặc

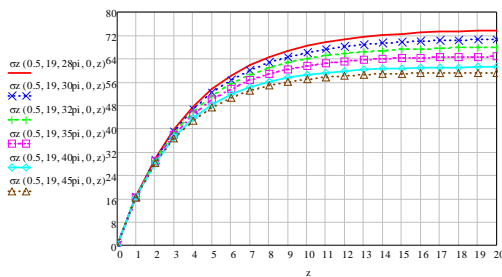
trung cơ lý của đất đắp. Dựa trên công thức này, có thể khảo sát sự thay đổi áp lực đất theo chiều sâu khi đắp bằng các loại đất khác nhau.



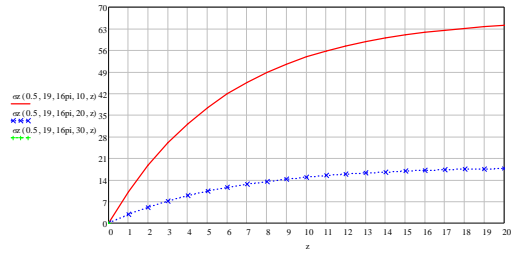
Hình 1. Sơ đồ tính toán áp lực lên công trình chôn sâu theo K. Terzaghi

Đối với các công trình thi công bằng phương pháp khai đào, đất đắp lại lên công trình sau khi thi công có thể là đất rời hoặc đất dính hoặc đất đắp nhiều lớp.

Việc phân tích áp lực lên vòm công trình ngầm chôn sâu được thực hiện bằng chương trình tự thiết lập trên cơ sở công thức (1). Kích thước công trình tính toán có bán kính 0,5m với các độ sâu chôn khác nhau với các loại vật liệu san lấp khác nhau.



(a)



(b)

Hình 2. Quan hệ của áp lực địa tầng lên vòm công trình ngầm σ_z theo độ sâu z với kích thước công trình $a = 0,5m$ (hình vuông $h = 2a = 1,0m$) được san lấp: (a) bằng đất rời có góc ma sát trong khác nhau; (b) bằng đất dính có lực dính khác nhau

(chú ý: $\sigma_z(z)$ tại $c = 30 \text{ KN/m}^2$ có giá trị bằng 0)

Với vật liệu san lấp bên trên là cát không có lực dính, góc ma sát trong thay đổi từ $28^\circ, 30^\circ, 32^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ đến 45° , dung trọng $\gamma_{\text{cát}} = 19 \text{ KN/m}^3$, kết quả tính toán ở hình 2 cho thấy ở độ sâu chôn bé, áp lực địa tầng lên công trình không có sự khác biệt nhiều với các loại cát có góc ma sát trong khác nhau khi không xét đến áp lực do tải trọng ngoài. Tuy nhiên, áp lực địa tầng lên vòm công trình ngầm có giá trị bé hơn áp lực do trọng lượng bản thân đất do hiệu ứng vòm. Trong trường hợp này, để áp lực đất tác dụng lên công trình thì đất phải trượt theo mặt trượt do quá trình khai đào hay theo mặt trượt yếu nhất, chính sức chống cắt của bản thân đất làm giảm giá trị áp lực đất tác dụng lên công trình. Do đó, càng xuống sâu, ứng suất do trọng lượng bản thân đất nền càng lớn, sức chống cắt càng tăng nên áp lực giảm dần đến giá trị không đổi ở độ sâu giới hạn nào đó.

Có thể thấy rằng nếu có thành phần lực dính, áp lực đất tác dụng lên công trình sẽ nhỏ hơn. Kết quả tính toán cho trường hợp san lấp bằng đất dính có dung trọng 19 KN/m^3 với góc ma sát trong xem như không đổi $\phi = 16^\circ$ và lực dính thay đổi từ $c = 10, 20$ đến 30 KN/m^2 cho thấy khi không xét tải trọng ngoài, với $a_1 \leq (\gamma / c)$, giá trị σ_z được xem bằng

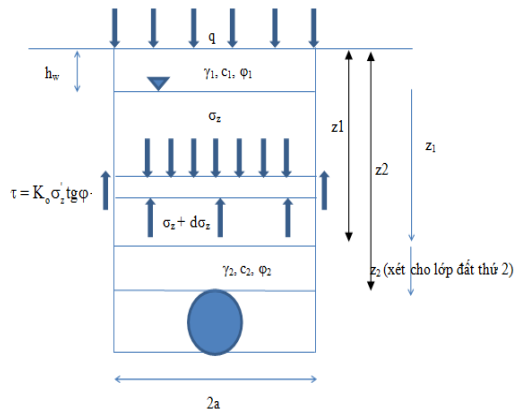
0, tức là không phát sinh áp lực lên công trình. Điều này chứng tỏ việc sử dụng đất dính làm vật liệu san lấp sẽ giảm áp lực lên công trình đáng kể so với trường hợp môi trường xung quanh công trình ngầm là vật liệu rời.

Trong thực tế thi công công trình ống chôn sâu ở khu vực thành phố Hồ Chí Minh bằng phương pháp đào hờ, vật liệu đất rời thường được sử dụng để san lấp mặt bằng sau khi thi công. Khi đó, do áp lực địa tầng lớn, một số mối nối có thể bị dịch chuyển, vật liệu đất rời chui vào đường ngầm thể hiện qua sự sụt lún mặt đất cục bộ ở một số vị trí. Trong những trường hợp này, vật liệu san lấp cần thiết phải được thay thế bằng vật liệu có thành phần lực dính.

Khi thi công các công trình ngầm trong thành phố, người ta thường dùng các bản cừ thép đóng hai bên thành đào, sau khi thi công lấp đất công trình xong, tiến hành lấp đất đồng thời rút bản cừ. Khi đó mặt trượt của khối đất sẽ là mặt khai đào thẳng đứng.

Theo các tài liệu đã có, việc xác định áp lực lên công trình hầu như không xét đến ảnh hưởng của mực nước ngầm và trường hợp thi công lấp bằng nhiều lớp đất. Ở khu vực đồng bằng ven biển, mực nước ngầm thường xuất hiện khi khai đào rất nông cho nên việc toán tính toán áp lực đất lên công trình ngầm cần thiết xét đến ảnh hưởng của mực nước ngầm.

Sơ đồ bài toán như hình 3 được phát triển trên cơ sở lý thuyết của Terzaghi phục vụ tính toán áp lực địa tầng lên công trình ngầm trong điều kiện có mực nước ngầm và khi đất lấp nhiều lớp.



Hình 3. Sơ đồ bài toán đất lấp nhiều lớp

Xét từ mặt nước ngầm tới mặt trên lớp đất thứ 2 (z_1): $h_w < z \leq z_1$, gốc tọa độ $z_1 = 0$ đặt tại $z = h_w$:

$$\sigma_{z_1} = \gamma_w z_1 + \frac{a \left(\gamma'_1 - \frac{c_1}{a} \right)}{K_{o1} \text{tg} \phi_1} \left(1 - e^{-\frac{K_{o1} \text{tg} \phi_1}{a} z_1} \right) + q_1 e^{-\frac{K_{o1} \text{tg} \phi_1}{a} z_1}$$

Tại $z = z_1$:

$$\sigma_{A(z=z_1)} = \gamma_w (z_1 - h_w) + \frac{a \left(\gamma'_1 - \frac{c_1}{a} \right)}{K_{o1} \text{tg} \phi_1} \left(1 - e^{-\frac{K_{o1} \text{tg} \phi_1}{a} (z_1 - h_w)} \right) + q_1 e^{-\frac{K_{o1} \text{tg} \phi_1}{a} (z_1 - h_w)}$$

Xét từ độ sâu $z = z_1$ tới $z = z_2$, lúc này coi σ_z tại $z = z_1$ là tải trọng ngoài q đối với lớp 2, gốc tọa độ $z_2 = 0$ đặt tại $z = z_1$, tương tự ta có:

$$\sigma_{z_2} = \gamma_w z_2 + \frac{a \left(\gamma'_2 - \frac{c_2}{a} \right)}{K_{o2} \text{tg} \phi_2} \left(1 - e^{-\frac{K_{o2} \text{tg} \phi_2}{a} z_2} \right) + q_2 e^{-\frac{K_{o2} \text{tg} \phi_2}{a} z_2}$$

Tại $z = z_2$:

$$\sigma_{A(z=z_2)} = \gamma_w (z_2 - z_1) + \frac{a \left(\gamma'_2 - \frac{c_2}{a} \right)}{K_{o2} \text{tg} \phi_2} \left(1 - e^{-\frac{K_{o2} \text{tg} \phi_2}{a} (z_2 - z_1)} \right) + q_2 e^{-\frac{K_{o2} \text{tg} \phi_2}{a} (z_2 - z_1)} \quad (2)$$

Như vậy, công thức trên cho phép tính áp lực đất lên công trình tại độ chôn sâu z trong bài toán có mực nước ngầm và đất lấp nhiều lớp.

Xét bài toán cụ thể với các thông số theo bảng 1:

Bảng 1. Thông số đất nền trên công trình ống chôn sâu

Lớp đất	Lực dính c (KN/m ²)	Góc ma sát trong φ°	Trọng lượng riêng γ (KN/m ³)	Cao trình
1	30	16	19	-4,5
2	0	30	19	-5,0
Mực nước ngầm			10	-2,0

Kết quả tính toán cho công trình chôn tại độ sâu: z = 5m, bán kính r = 0,5m, rãnh đào rộng 2a = 3m cho giá trị σ_z (z = 5m) = 9,762 KN/m². Bài toán tính toán thực hiện trong trường hợp này có ý nghĩa thực tiễn cao. Thực vậy, xung quanh công trình thì việc san lấp và đầm chặt đất dính rất khó thực hiện so với sử dụng vật liệu rời san lấp phủ qua nóc công trình. Để hạn chế áp lực lên vòm công trình cần thiết sử dụng vật liệu có lực dính. Kết quả tính toán cho thấy áp lực lên công trình chôn ở độ sâu 5m có giá trị không đáng kể σ_z (z = 5m) = 9,762 KN/m².

3. PHÂN BỐ ỨNG SUẤT VÀ KHẢ NĂNG ỔN ĐỊNH TRONG MÔI TRƯỜNG ĐÀN HỒI XUNG QUANH CÔNG TRÌNH DẠNG TRÒN KHI THI CÔNG ĐÀO KÍN

Nghiên cứu áp lực địa tầng thực chất là xác định trạng thái ứng suất của nền đất trước và sau khi thi công công trình ngầm. Với các công trình

thi công đào kín, sử dụng lý thuyết tính toán ứng suất của Kirsch [] có thể xác định được trị số ứng suất tại các điểm xung quanh công trình, từ đó xác định được vùng ảnh hưởng xung quanh công trình ngầm và mức độ tiếp cận giới hạn của nền đất xung quanh công trình. Theo lý thuyết đàn hồi, các thành phần ứng suất trong môi trường xung quanh công trình dạng ống tròn được Kirsch đề nghị xác định bằng các biểu thức sau:

$$\sigma_r = \frac{p_1 + p_2}{2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta$$

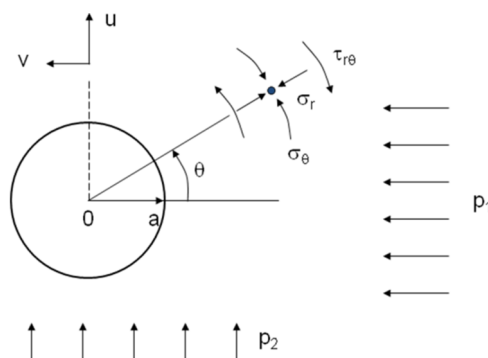
$$\sigma_\theta = \frac{p_1 + p_2}{2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta$$

(3)

$$\tau_{r\theta} = -\frac{p_1 - p_2}{2} \left(1 + \frac{2a^2}{r^2} - \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\theta$$

Trong đó: p₁, p₂ – ứng suất pháp lớn nhất và nhỏ nhất do trọng lượng bản thân.

σ_r, σ_θ, τ_{rθ} - các thành phần ứng suất theo hệ tọa độ cực.



Hình 4. Sơ đồ xác định ứng suất xung quanh công trình ngầm trong tọa độ cực

Ứng suất theo phương đứng và phương ngang có thể xác định được từ các giá trị của các thành phần ứng suất theo tọa độ cực như sau:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2} \cos 2\theta - \tau_{r\theta} \sin 2\theta$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} - \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2} \cos 2\theta + \tau_{r\theta} \sin 2\theta$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2} \sin 2\theta + \tau_{r\theta} \cos 2\theta$$

(4)

Từ đó có thể xác định được các giá trị ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất theo các biểu thức:

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_3 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2}$$

(5)

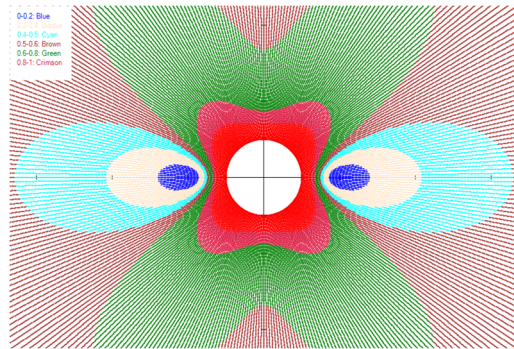
Hiện nay, với các thiết bị thi công hiện đại, một số cáp ngầm hay công trình cấp thoát nước ngầm được thi công bằng phương pháp khiên đào hay rô bốt. Sự phân bố áp lực lên công trình trong trường hợp này khác biệt so với phương pháp đào hở. Do đặc điểm điều kiện thi công, trong hầu hết các trường hợp, công trình có dạng hình tròn theo mặt cắt ngang. Việc tính toán các thành phần ứng suất được thực hiện nhờ sự trợ giúp của các chương trình tính toán tự thiết lập. Trong các môi trường đất đá khác nhau, ứng suất xuyên tâm σ_r xung quanh công trình ở hông ($\theta = 0^\circ$) có khuynh hướng lớn hơn ở đỉnh ($\theta = 90^\circ$) và ở góc ($\theta = 45^\circ$) trong khi ứng suất tiếp tuyến σ_θ thì ngược lại. Ngoài ra, ứng suất tiếp $\tau_{r\theta}$ không hình thành ở hông và ở đỉnh mà chỉ xuất hiện ở góc với giá trị lớn nhất tại vô hạn và giảm nhanh về phía xa công trình. Phạm

vi ảnh hưởng xung quanh công trình theo các thành phần ứng suất trong các trường hợp ở vị trí bằng 5 lần kích thước công trình.

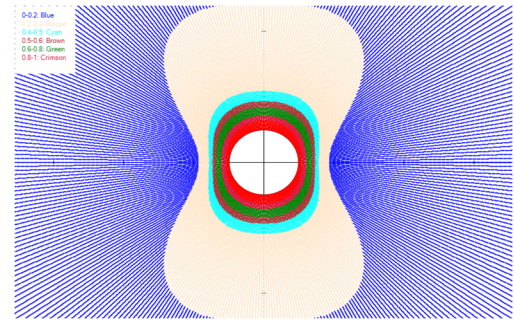
Từ các giá trị của các thành phần ứng suất chính lớn nhất và bé nhất có thể xác định được mức độ tiếp cận trạng thái giới hạn trong môi trường đất đá xung quanh công trình:

$$\omega = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sin \varphi (\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cot \varphi)}$$

(6)



(a)



(b)

Hình 5. Mức độ tiếp cận trạng thái giới hạn xung quanh công trình ngầm dạng tròn ($a = 0,5m$) ở độ sâu 5m: (a) trong môi trường đất rời; (b) trong môi trường đất dính.

Kết quả tính toán cho công trình có kích thước (bán kính) $a = 0,5m$ chôn ở độ sâu 5m thể hiện ở hình 5 (a, b) cho thấy độ ổn định trong môi trường đất dính lớn hơn so với trong môi trường đất rời. Trong môi trường đất rời, ở phạm vi kế cận công

trình, trạng thái ứng suất vượt quá trạng thái cân bằng giới hạn, đất có thể bị sụp đổ nếu không bố trí kịp thời vỏ công trình nhằm chống giữ. Trong môi trường đất dính, hố khoan có thể tự ổn định và không cần biện pháp chống giữ. Điều tương tự cũng được ghi nhận trong môi trường đào hở.

Từ kết quả tính toán có thể thấy rằng trong môi trường đất rời, phạm vi đất nền bị biến dạng dẻo (vượt quá trạng thái cân bằng giới hạn) phát triển sâu rộng ở các góc công trình ($\theta = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ và 315°). Trong môi trường đất dính, vùng nguy hiểm có thể có là ở đỉnh và ở đáy công trình.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ kết quả tính toán bằng các chương trình tự thiết lập trên cơ sở các lý thuyết đã có (trên cơ sở phần mềm lập trình phổ biến là MathCad và C#) và bổ sung sơ đồ tính, có thể rút ra các kết luận đánh giá áp lực đất lên công trình dạng ống chôn sâu như sau:

Áp lực địa tầng lên vỏ công trình thi công đào hở:

- Áp lực địa tầng tăng theo độ sâu chôn trong phạm vi $z/d = 15 \div 20$. Từ độ sâu này trở đi, áp lực địa tầng trong đất rời không tăng lên nữa.

- Áp lực địa tầng trong đất rời tăng theo độ sâu chôn và phụ thuộc không đáng kể vào giá trị góc ma sát trong của đất.

- Áp lực địa tầng khi chôn công trình trong đất dính với ống có kích thước từ 1m trở lại có giá trị không đáng kể hoặc bằng không có đối ở các độ sâu chôn khác nhau, công trình có thể tự ổn định.

Trong trường hợp thi công đào kín:

- Trong môi trường đất dính xung quanh công trình, độ ổn định (thể hiện thông qua mức độ tiếp cận trạng thái giới hạn) tốt hơn đáng kể so với trong môi trường đất rời.

- Vùng nguy hiểm xung quanh công trình trong môi trường đất rời là ở các góc, còn vùng nguy hiểm trong môi trường đất dính là ở đỉnh và đáy công trình.

Như vậy, môi trường đất dính là môi trường phù hợp để bố trí hoặc sử dụng làm vật liệu san lấp bên trên công trình ngầm. San lấp công trình ngầm bằng vật liệu cát có thể gây bất lợi cho điều kiện làm việc ổn định của công trình, có thể lấp qua công trình bằng cát, còn bên trên sử dụng đất loại sét đầm chặt. Khi đó, áp lực lên công trình giảm đi đáng kể, đảm bảo điều kiện ổn định công trình.

Evaluation of earth pressure on buried pipes and stability of surroundings according to construction condition

• Bui Truong Son

Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT

Earth pressure on buried pipes structure depends not only on soil type, shape and dimension of structure but also on depth, shape and dimension of excavated holes and other factors such as structure load, underground water level. Based on the selected and modified computational scheme with self-established program, the earth pressure on pipe structures according to the construction condition is evaluated and analysed. It is recommended to choose the buried depth for structure in “cut and cover” excavation method so that the influence of earth pressure is reasonably steady from the

buried point downward. The replacement of backfill material to cohesive material partially can help to reduce significantly the earth pressure on the buried structure. In addition, evaluation of the the degree of approaching to limit state in surroundings in bored tunnelling excavation allows for analysing the stability in various geological conditions according to the appearance of plastic zone. The research results are useful for calculating and arranging underground structures reasonably in actual condition.

Keywords: earth pressure, buried pipes, stability, underground construction.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Quang Chiêu, Trần Tuấn Hiệp. *Thiết kế cống và cầu nhỏ trên đường ô tô*. NXB Giao thông vận tải (2004).
- [2]. Lê Văn Thương, Đinh Xuân Bằng, Nguyễn Tiến Cường, Phí Văn Lịch. *Cơ sở thiết kế công trình ngầm*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật (1981).
- [3]. N.A. Xurtovich. *Cơ học đất (bản dịch)*, Nhà xuất bản Nông nghiệp (1987).
- [4]. L. V. Makópski. *Công trình Ngầm Giao thông Đô thị (bản dịch)*. NXB Xây dựng (2004).
- [5]. Trần Thanh Giám, Tạ Tiến Đạt. *Tính toán công trình ngầm*. NXB Xây dựng (2002).

- [6]. Nguyễn Xuân Trọng. *Thi công hầm và công trình ngầm*. NXB Xây dựng Hà Nội (2004).
- [7]. Trần Quang Huy, Bùi Trường Sơn. *Đặc điểm ứng suất - biến dạng của đất nền xung quanh công trình chôn sâu ở khu vực Thành phố Hồ Chí Minh*. Tạp chí Cầu đường Việt Nam, số 11, năm 2007, trang 21- 25.
- [8]. Trần Hồng Minh, Bùi Trường Sơn, Đặng Phúc Tuấn. *Ứng suất – biến dạng của khối đá xung quanh công trình ngầm trên cơ sở mô hình đàn hồi dẻo với tiêu chuẩn phá hoại Hoek – Brown*. Tập 12 (trang 677-686), Tuyển tập kết quả khoa học công nghệ 2009, NXB Nông nghiệp
- [9]. Lee, C. J., and B.R. Wu, H.T. Chen, K.H. Chiang. *Tunnel stability and arching effects during tunneling in soft clayey soil*. Tunnelling and Underground Space Technology 21, p. 119-132 (2006).