

DỰ BÁO ÁP LỰC ĐẤT LÊN HẦM GIAO THÔNG NẦM NÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT

TS NGUYỄN NGỌC TUẤN
TRƯỜNG ĐH XÂY DỰNG

1. Đặt vấn đề

Áp lực đất là tải trọng chủ yếu tác dụng lên công trình ngầm nói chung và hầm giao thông nói riêng, vì vậy dự báo chính xác áp lực đất có ý nghĩa hết sức quan trọng trong việc đảm bảo tính kinh tế, và độ an toàn của công trình. Kinh nghiệm thiết kế và thi công hầm ở nhiều nước trên thế giới cho thấy áp lực đất tác dụng lên hầm giao thông là một đại lượng ngẫu nhiên phụ thuộc vào nhiều yếu tố khó xác định, bao gồm cả các yếu tố có nguồn gốc tự nhiên (đặc điểm địa chất, tính chất cơ lý của đất đá...), và nguồn gốc nhân tạo (kích thước và độ cứng của kết cấu hầm, phương pháp và chất lượng thi công công trình...). Xác định chính xác ảnh hưởng của các yếu tố này tới trị số áp lực đất tác dụng lên hầm là vấn đề hết sức khó khăn.

Trong quy phạm thiết kế hầm giao thông hiện nay, áp lực đất được xác định bằng phương pháp bán xác suất có kể đến tính bất định của các yếu tố nêu trên thông qua một hệ số tổng hợp chung đó là hệ số vượt tải hay hệ số tin cậy của áp lực đất. Hệ số này được quy định sẵn trong quy phạm [3, 4, 8] tùy thuộc vào sơ đồ tính áp lực đất, ví dụ đối với hầm giao thông nằm nông áp lực đất được tính với trọng lượng của toàn bộ cột đất trên nóc hầm: hệ số vượt tải của áp lực đất thẳng đứng $n_d = 1,1$, của áp lực đất nằm ngang $n_n = 1,2$ hay $n_n = 0,8$. Đối với trường hợp hầm nằm sâu áp lực đất xác định theo lý thuyết tạo vòm $n_d = 1,5$ cho loại đất sét và $n_d = 1,4$ cho đất cát. Rõ ràng rằng hệ số vượt tải của áp lực đất xác định theo quy phạm là một hằng số, do vậy không thể coi là thoả mãn vì không xét đến mức độ phân tán của tính chất cơ lý đất và các yếu tố ảnh hưởng khác trong điều kiện cụ thể của công trình.

2. Nội dung xác định áp lực đất bằng phương pháp xác suất

Khác với phương pháp xác định áp lực đất hiện tại dùng trong quy phạm thiết kế, phương pháp xác suất coi áp lực đất tác dụng lên hầm giao thông là đại lượng ngẫu nhiên và biểu diễn nó dưới dạng hàm của các tham số ngẫu nhiên ảnh hưởng khác

$$q = g(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (1)$$

Đòi hỏi phải xác định được hàm phân phối xác suất của đại lượng ngẫu nhiên này trên cơ sở sử lý thống kê số liệu thí nghiệm các tham số ngẫu nhiên ảnh hưởng x_i rồi từ đó xác định áp lực đất tính toán dựa trên cơ sở xác suất tin cậy.

3. Quá trình tính áp lực đất bằng phương pháp xác suất bao gồm các bước sau đây

1. Chọn mô hình xác định (1) áp lực đất và số tham số ngẫu nhiên ảnh hưởng x_i .

2. Thí nghiệm và sử lý thống kê số liệu để xác định quy luật phân bố $f(x_i)$ và các đặc trưng thống kê của các tham số ảnh hưởng.

3. Xác định hàm mật độ phân phối của áp lực đất $f(q)$ trên cơ sở quy luật phân phối đã biết của các tham số. Mật độ phân phối của hàm m biến ngẫu nhiên có dạng [1]

$$f(q) = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} f(h, x_2, \dots, x_m) \left| \frac{\partial h}{\partial q} \right| dx_2 \dots dx_m \quad (2)$$

Trong đó: $x_1, x_2, \dots, x_m$ - Các tham số ngẫu nhiên có mật độ phân phối tương ứng là $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_m)$; h - Hàm biến đổi ngược của biến x_1 , là hàm đơn trị đối với q các biến ngẫu nhiên $x_2, \dots, x_m$; $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ - Mật độ phân phối chung của các biến ngẫu nhiên.

4. Xác định hàm tích phân phân phối xác suất của áp lực đất

$$F(q) = \int_0^q f(q) dq \quad (3)$$

5. Tính áp lực đất tiêu chuẩn q_k như là vọng số của đại lượng ngẫu nhiên q

6. Giải phương trình tích phân xác định áp lực đất tính toán q_n

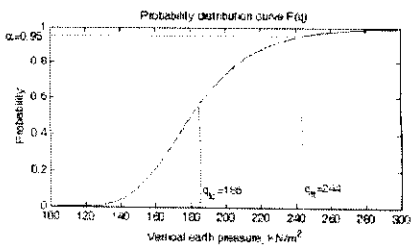
$$\int_0^{q_n} f(q) dq = \alpha \quad (4)$$

Trong đó: α - Trị số xác suất tin cậy tiêu chuẩn, được xác định trên cơ sở luận cứ kinh tế kỹ thuật, kinh nghiệm xây dựng và khai thác hầm. Đối với áp lực đất tác dụng lên hầm giao thông lấy $\alpha = 0,95$.

Áp lực đất tính toán có thể xác định bằng đồ hoạ trên cơ sở đồ thị hàm phân phối xác suất $F(q)$ và xác suất tin cậy α như trên hình 1. Rõ ràng xác suất tin cậy α càng lớn thì trị số áp lực đất tính toán cũng càng lớn.

Đối với bài toán xác định áp lực đất lên hầm giao thông, các tham số ảnh hưởng quan trọng nhất chính là các đặc trưng cơ lý đất. Thông thường quy luật phân bố và các đặc số của nó được xác định trên cơ sở sử lý thống kê các số

liệu thí nghiệm đất. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên thế giới cho thấy các tính chất cơ lý của đất, với nguồn gốc tự nhiên, gần đúng có thể coi là phân phối chuẩn^[2] với hai tham số là vọng số $M(x)$ và độ lệch quân phương σ . Điều này cho phép áp dụng quy luật phân phối chuẩn trong trường hợp không đủ số liệu thí nghiệm.



Hình 1. Sơ đồ xác định áp lực đất tính toán bằng đồ thị
Thông thường để tính tích phân bội (2) đòi hỏi phải sử dụng các phương pháp số và tính toán trên máy tính. Phương pháp giải tích chỉ có thể áp dụng trong trường hợp đơn giản với 1 hoặc 2 tham số ngẫu nhiên. Bài báo này giới hạn xem xét vấn đề xác định áp lực đất cũng như hệ số vượt tải của áp lực đất như hàm của một biến ngẫu nhiên $q = g(x)$, thường gặp trong trường hợp hầm giao thông nằm nông khá phổ biến trong thực tế xây dựng hầm ở thành phố. Khi đó công thức xác định hàm mật độ phân phối (2) có dạng đơn giản như sau^[6, 7, 9]:

$$f(q) = f[h(q)] \cdot \left| \frac{dh(q)}{dq} \right| \tag{5}$$

Trong đó: $f(x) = f[h(q)]$ - Mật độ phân phối của biến ngẫu nhiên x ; $h(q)$ - Hàm ngược của biến x đối với q .
Xác định áp lực đất thẳng đứng bằng phương pháp xác suất
Đối với hầm giao thông nằm nông áp lực đất thẳng đứng được tính với trọng lượng của toàn bộ cột đất phía trên nóc hầm theo công thức^[3, 4, 8]

$$q = \gamma \cdot H \tag{6}$$

Trong đó: γ , H - trọng lượng riêng và chiều dày lớp đất phía trên nóc hầm.
Nếu coi γ và H là các đại lượng ngẫu nhiên thì áp lực đất thẳng đứng xác định như hàm của hai biến ngẫu nhiên $q = g(\gamma, H)$. Tuy nhiên trong công thức trên đại lượng ngẫu nhiên H có mức độ phân tán nhỏ hơn nhiều so với γ . Do vậy gần đúng có thể coi H như đại lượng đã xác định, chỉ còn γ là đại lượng ngẫu nhiên. Khi đó ta xem áp lực đất thẳng đứng như hàm của một biến ngẫu nhiên $q = g(\gamma)$ và có thể áp dụng công thức (5) để xác định hàm mật độ phân phối bằng phương pháp giải tích.

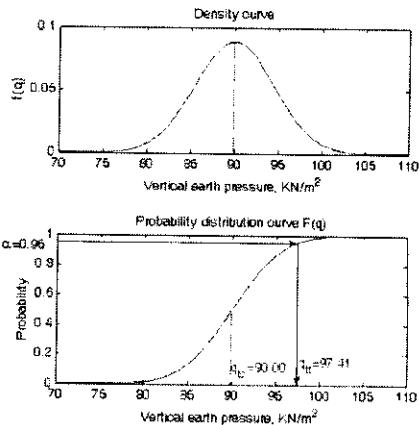
Ví dụ nếu biến γ là đại lượng ngẫu nhiên phân phối chuẩn, dựa trên cơ sở lý thuyết xác suất thống kê ta tìm được công thức xác định mật độ phân phối của áp lực đất thẳng đứng trong trường hợp hầm nằm nông như sau:

$$f(q) = \frac{1}{H\sigma_\gamma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(q - H.a_\gamma)^2}{2H^2\sigma_\gamma^2} \right] \tag{7}$$

Trong đó: a_γ , σ_γ - vọng số và độ lệch quân phương của biến ngẫu nhiên γ .

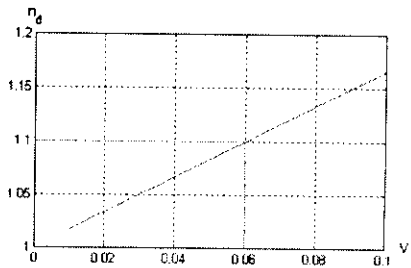
Biết công thức giải tích $f(q)$ của hàm mật độ phân phối (quy luật bất kỳ) toàn bộ quá trình tính toán xác định áp lực đất theo các bước nêu trên có thể thực hiện nhanh chóng thuận lợi nhờ chương trình tính chuyên dụng do tác giả lập trong môi trường phần mềm MATLAB.

Ví dụ với hàm mật độ phân phối của áp lực đất thẳng đứng biểu diễn bằng công thức (7) và các số liệu tính toán: $H = 5\text{m}$; $a_\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$; $\alpha = 0,95$; hệ số biến thiên trọng lượng riêng của đất $V = \sigma_\gamma / a_\gamma = 0,05$. Đồ thị hàm mật độ và hàm phân phối xác suất cùng giá trị áp lực đất thẳng đứng tiêu chuẩn q_c và tính toán q_u cho bởi chương trình được thể hiện trên hình vẽ 2. Hệ số vượt tải $n_d = 1,08$ nhỏ hơn so với quy định trong tiêu chuẩn thiết kế.



Hình 2. Mật độ và hàm phân phối áp lực đất thẳng đứng tác dụng lên hầm

Tính toán với các trị số H , a_γ và V khác nhau cho thấy hệ số vượt tải n_d thay đổi theo hệ số biến thiên V của trọng lượng riêng và có thể vượt quá quy định trong quy phạm. Kết quả tính toán cũng cho thấy n_d hầu như không phụ thuộc vào H và a_γ ngoài ra giữa hệ số vượt tải n_d và hệ số biến thiên V của trọng lượng riêng tồn tại mối quan hệ bậc nhất rất rõ ràng (hình 3). Có thể thấy trên đồ thị hệ số vượt tải theo quy định của quy phạm $n_d = 1,1$ tương ứng với hệ số biến thiên trọng lượng riêng của đất $V = 0,06$.



Hình 3. Quan hệ giữa hệ số vượt tải n_d và hệ số biến thiên V

Xác định áp lực ngang của đất bằng phương pháp xác suất

Áp lực ngang phân bố đều của đất tác dụng lên hầm giao thông nằm nông xác định theo công thức^[3, 4, 8]

$$p = \gamma(H + 0,5h) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) = A \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (8)$$

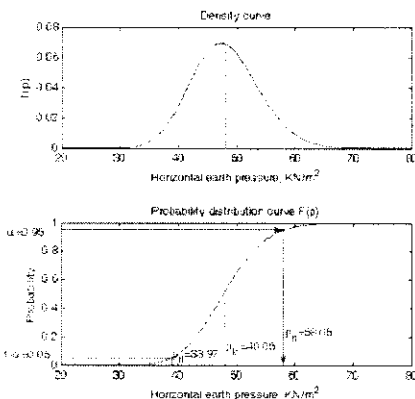
Trong đó: γ - Trọng lượng riêng của đất; H - Chiều dày lớp đất đắp phía trên nóc hầm; h - Chiều cao của hầm; φ - Góc nội ma sát của đất. Ký hiệu: $A = \gamma \cdot (H + 0,5h)$.

Góc nội ma sát của đất theo kết quả nghiên cứu có mức độ phân tán lớn hơn nhiều so với các tham số γ , H và h . Do vậy gần đúng có thể coi φ là đại lượng ngẫu nhiên phân phối chuẩn với giá trị trung bình a_φ và độ lệch chuẩn σ_φ , còn các tham số khác là các đại lượng xác định. Khi đó áp lực đất nằm ngang được coi như hàm của một biến ngẫu nhiên $p = g(\varphi)$. Áp dụng công thức (5) ta có mật độ phân phối của áp lực đất nằm ngang như sau:

$$f(p) = \frac{1}{\sigma_\varphi \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{(p + A) \cdot \sqrt{\frac{p}{A}}} \exp \left[-\frac{\left(90^\circ - 2 \cdot \arctg \sqrt{\frac{p}{A}} - a_\varphi \right)^2}{2 \cdot \sigma_\varphi^2} \right] \quad (9)$$

Biết hàm mật độ $f(p)$, tương tự như đối với áp lực đứng sử dụng chương trình tính với các số liệu đầu vào: $H = 5\text{m}$; $h = 5,5\text{m}$; $\gamma = 18,5 \text{ KN/m}^3$; $a_\varphi = 30^\circ$; $\alpha = 0,95$ và hệ số biến thiên góc nội ma sát của đất $V = \sigma_\varphi / a_\varphi = 0,10$ ta được kết quả như trên hình 4.

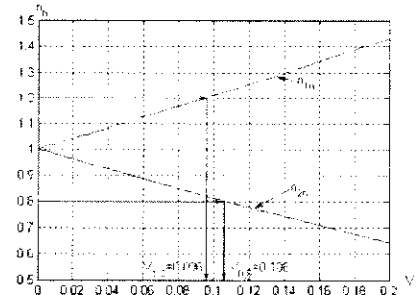
Đối với áp lực ngang của đất, quy phạm thiết kế quy định với hai hệ số vượt tải tùy thuộc vào tính bất lợi của nó khi tính toán công trình $n_{1n} = 1,2$ và $n_{2n} = 0,8$. Ta coi hệ số thứ nhất tương ứng với xác suất xuất hiện tải trọng nhỏ hơn tải trọng tính toán là $\alpha = 0,95$, còn hệ số thứ hai tương ứng với xác suất xuất hiện tải trọng lớn hơn tải trọng tính toán là $0,95$. Trong ví dụ nêu trên các hệ số $n_{1n} = 1,21$ và $n_{2n} = 0,81$ theo tính toán sắp xếp giá trị tiêu chuẩn nêu trong quy phạm.



Hình 4. Mật độ và hàm phân phối áp lực ngang của đất tác dụng lên hầm

Tính toán với các trị số H , h , γ khác nhau cho thấy các tham số này hầu như không ảnh hưởng đến hệ số vượt tải n_{1n}

và n_{2n} , do vậy có thể bỏ qua khi xem xét sự biến thiên của các hệ số này. Mặt khác với mỗi giá trị a_φ cố định, giữa hệ số vượt tải của áp lực ngang và hệ số biến thiên góc nội ma sát của đất V tồn tại mối quan hệ bậc nhất rất rõ ràng (hình 5).



Hình 5. Quan hệ giữa hệ số vượt tải áp lực ngang n_{1n} , n_{2n} và hệ số biến thiên góc nội ma sát của đất V khi $a = 30^\circ$
Kết luận.

Phương pháp xác suất cho phép xét tới ảnh hưởng cụ thể của các tham số ngẫu nhiên tới áp lực đất tác dụng lên hầm và công trình ngầm, vì vậy cho kết quả dự báo áp lực đất chính xác hơn. Áp dụng phương pháp xác suất trong tính toán xác định áp lực đất lên hầm giao thông nằm nông cho ta căn cứ khoa học giải thích và xác định hệ số vượt tải tùy thuộc vào mức độ bất ổn định của các tham số ảnh hưởng như trọng lượng riêng và góc nội ma sát của đất. ■

Tài liệu tham khảo

1. Болотин В. В. Применение методов теорий вероятностей и теорий надежности в расчетах сооружений. - М.: Издательство литературы по строительству, 1971.
2. ГОСТ 20522-96 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний
3. СП 32-105-2004. Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены. - М.: Госстрой России, 2004.
4. СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автодорожные. - М.: Госстрой России, 1999.
5. Каган А.А. Расчетные характеристики грунтов. - М.: Стройиздат, 1985.
6. Венцель Е. С. Теория вероятностей. - М.: Высшая школа, 1999.
7. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 2003.
8. Tiêu chuẩn thiết kế hầm đường sắt và hầm đường ô tô: TCVN 4527-88.
9. Trần Tuấn Diệu, Lý Hoàng Tú. Lý thuyết xác suất và thống kê toán học. Nhà xuất bản giáo dục 1999.