
**PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ TIN CẬY CỦA MÓNG CỌC
ĐÀI THẤP TRONG CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG**
THE RELIABILITY DETERMINATION METHOD OF LOW STAGE PILE
FOUNDATIONS IN CONSTRUCTION

KS. NGUYỄN TRỌNG ĐIỀU
Ban Quản lý HTX&PTNN
TS. PHẠM VĂN THỨ
Khoa Đào tạo Sau đại học, ĐHHH

Tóm tắt:

Bài báo này viết về phương pháp xác định độ tin cậy của móng cọc đài thấp trong công trình xây dựng. Trong thực tế, việc tính toán và thiết kế móng cọc đài thấp là một công việc khó khăn, phức tạp, đòi hỏi nhiều thời gian và công sức. Việc tính toán phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố có tính chất bất định mà trong thực tế những yếu tố này chưa được xem xét một cách đầy đủ cũng như chưa xét đến những yếu tố ngẫu nhiên, nên có nhiều công trình xảy ra sự cố như lún không đều, nứt... dẫn đến việc kết cấu công trình bị phá hủy mà khó tìm ra nguyên nhân chính xác. Do đó, việc nghiên cứu các yếu tố ngẫu nhiên để bổ sung cho tính toán và thiết kế móng cọc đài thấp theo phương pháp xác định độ tin cậy là rất cần thiết.

Abstract:

The article addresses the reliability determination method of low stage pile foundations in construction field. In fact, the calculation and design of low stage pile foundations are complex and difficult processes, which requires a great deal of time and effort. Such workings on low stage pile foundations depend much on unpredictable factors which have never been sufficiently considered. Also, random elements are not considered. This leads to such problems in construction site as settlement and cracks, destroying the construction structure. Therefore, the research of random elements to supplement the calculation and design of low stage pile foundations using the reliability determination method is essential.

Tính toán móng cọc theo phương pháp hiện hành được gọi là phương pháp các trạng thái giới hạn. Đặc điểm của phương pháp các trạng thái giới hạn là mang tính tiên định, không xét một cách đầy đủ đặc tính ngẫu nhiên của các tham số kết cấu và tải trọng được đưa vào tính toán, cũng như không xét đến yếu tố thời gian.

Tính toán móng cọc theo quan điểm của lý thuyết độ tin cậy là vấn đề còn tương đối mới ở nước ta. Bản chất chủ yếu của phương pháp là xét đến tính ngẫu nhiên của các tham số dùng trong tính toán xác suất làm việc an toàn của các bộ phận chịu tải và của cả công trình trong thời hạn khai thác xác định. Đây là phương pháp tiên tiến để tính toán các kết cấu xây dựng đã và đang được áp dụng ở nhiều nước phát triển trên thế giới.

Nội dung cơ bản của phương pháp xác định độ tin cậy là xác định xác suất độ chối. Tất cả các chỉ tiêu độ tin cậy có thể được sử dụng khi xây dựng các yêu cầu có tính tiêu chuẩn đối với kết cấu xây dựng là những hàm đủ đơn giản của xác suất độ chối trong một khoảng thời gian xác định. Vì vậy, bài toán cơ bản tính toán xác suất là tính toán xác suất độ chối.

Điều kiện xảy ra độ chối về mặt toán học được biểu thị bởi bất phương trình sau:

$$R - S \leq 0 \quad (1)$$

Trong trường hợp chung R và S là những đại lượng ngẫu nhiên. Trong một vài trường hợp R có thể là giới hạn tiên định.

Xác suất độ chối là xác suất thể hiện bất phương trình (1.1), tính theo công thức sau:

$$P_f = \text{Prob}\{R - S < 0\} = \int_0^{\infty} F_R(x) \cdot f_S(x) dx, \quad (2)$$

ở đây P_f – là xác suất độ chối;

$\text{Prob}(A)$ – là xác suất thể hiện biến cố A ;

F_R – là hàm phân phối xác suất của đại lượng R ;

f_S - là mật độ phân phối của đại lượng S .

Các đại lượng R và S có thể là hàm của nhiều biến ngẫu nhiên (như tải trọng, đặc trưng độ bền, độ cứng của vật liệu và các tham số hình học).

Trong quá trình tính toán độ tin cậy của các bộ phận chịu tải nói riêng cũng như độ tin cậy của toàn bộ công trình nói chung, ta cần phải biết luật phân phối hoặc các đặc trưng số của các đại lượng ngẫu nhiên và hàm của chúng. Qua kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả, mật độ phân phối của các tham số kết cấu và tải trọng hầu hết theo quy luật phân bố chuẩn hoặc rất gần với phân bố chuẩn [2]. Đặc trưng phân phối của chúng có thể được xác định thông qua nghiên cứu thống kê, tuy nhiên, do dung lượng mẫu thống kê bị hạn chế bởi nhiều lý do khác nhau nên người ta thường tìm đến các giải pháp khác để làm giảm chi phí nghiên cứu. Để mô hình hóa các đại lượng ngẫu nhiên có thể dùng một trong những phương pháp đó là phương pháp thực nghiệm thống kê, phương pháp Monte-Carlo.... Khi đã có các đặc trưng thống kê của các đại lượng ngẫu nhiên tham gia tính toán, để tìm được các đặc trưng số của hàm độ bền, hàm tải trọng của các bộ phận chịu tải, hoặc của công trình, từ đó tính toán độ tin cậy hoặc tìm xác suất phá hoại của chúng người ta có thể áp dụng nhiều giải pháp khác nhau như phương pháp tuyến tính hóa, phương pháp điểm nóng, phương pháp thực nghiệm thống kê, phương pháp Monte – Carlo. Trong phần này ta tìm hiểu nội dung chủ yếu của một số phương pháp tính.

+ Phương pháp tuyến tính hóa: Nếu khả năng chịu tải R và hiệu ứng tải trọng S phân phối theo luật chuẩn thì tích phân (1-2) được biểu thị qua công thức sau:

$$P = 1 - \Phi \left\{ \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \right\} \quad (3)$$

Trong đó: P - xác suất độ chối, $\bar{S}, \sigma_S, \bar{R}, \sigma_R$ - tương ứng là kỳ vọng toán và độ lệch chuẩn của hàm tải trọng S và hàm độ bền R của cấu kiện; Φ - là hàm phân bố chuẩn.

Ưu điểm của phương pháp này là tính đơn giản của nó. Nhược điểm của phương pháp này là ở việc hạn chế chỉ áp dụng cho luật phân phối chuẩn. Phương pháp này có thể được sử dụng khi áp dụng cho luật chuẩn loga. Khi đó cần phải xét đến điều kiện là nếu R và S là hàm của một số biến ngẫu nhiên thì chúng có thể có phân phối chuẩn chỉ trong trường hợp khi tất cả các biến xuất phát đều phân phối chuẩn.

+ Phương pháp Monte-Carlo: Đây là một phương pháp số, nghĩa là ở mỗi giai đoạn tính toán máy tính sẽ tính toán những con số cụ thể và kết quả cuối cùng nhận được không phải là công thức giải tích mà là dưới dạng số, đó chính là xác suất của một biến cố hoặc các đặc trưng số của những đại lượng ngẫu nhiên (kỳ vọng toán, phương sai và ...) [1].

Tích phân (2) cho độ phân tán nhỏ hơn ước lượng xác suất độ chối so với phương pháp nêu trên đó là phương pháp mô hình hóa thống kê mang tên phương pháp Monte – Carlo, theo định nghĩa đó chính là kỳ vọng toán của hàm F_k , còn ước lượng không chệch hiệu quả của kỳ vọng toán là giá trị trung bình mẫu.

$$\bar{P}_f = \int_0^{\infty} F_R(x) f_S(x) dx = \bar{F}_R(S) \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_R(S) \quad (4)$$

ở đây $\bar{\xi}$ - là kỳ vọng toán của đại lượng ξ ,

m - là số lần thử nghiệm.

Nghĩa là ở mỗi lần thử nghiệm theo mật độ xác suất của đại lượng S thể hiện S_i của nó được mô hình hóa và giá trị hàm phân phối của đại lượng R với biến S được xác định. Sau đó xác định trị trung bình của các giá trị này theo các thử nghiệm đã tiến hành.

Nếu đại lượng S là hàm của một số biến

$$S = \varphi_S(S_1, S_2, \dots, S_n), \quad (5)$$

thì ở mỗi lần thử theo mật độ xác suất của đại lượng s_i ta mô hình hóa các thể hiện của chúng s_{ij} , tính toán giá trị tiếp theo như trong trường hợp một chiều.

Nếu đại lượng R là hàm của một số biến

$$R = \varphi_R(r_1, r_2, \dots, r_n), \quad (6)$$

thì hàm phân phối của nó cần phải nhận được trước bằng giải tích bằng cách xử lý thống kê các kết quả mô hình hóa toán học hoặc vật lý.

Biểu thức (4) có thể biểu diễn dưới dạng

$$P_f = \int_0^{\infty} [1 - F_s(x)] f_R(x) dx = [1 - F_s(R)] \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [1 - F_s(R_i)]. \quad (7)$$

Khi đó cần phải biết trước hàm phân phối của đại lượng S , còn đại lượng R_j được mô hình hóa theo mật độ xác suất của chúng.

Ưu điểm của phương pháp là tính đơn giản và hiệu quả cao hơn so với phương pháp ước lượng xác suất theo tần số, nghĩa là yêu cầu thời gian máy ít hơn.

Nhược điểm của phương pháp chính là ở chỗ trong trường hợp nhiều chiều một trong các hàm phân phối của đại lượng R và S cần phải biết trước. Ngoài ra, việc phân tích độ chính xác và độ tin cậy của kết quả ở đây được tiến hành có sử dụng phân phối tiệm cận của ước lượng nhận được, chứ không phải là xác suất cần tìm như trong phương pháp trước. Đối với điều này người ta sử dụng những thủ tục phức tạp và hiệu quả hơn.

Để xác định độ tin cậy của công trình nói chung và móng cọc đài thấp nói riêng ta cần xác định độ tin cậy của từng cấu kiện chịu tải và của toàn bộ công trình.

+ Độ tin cậy của cấu kiện chịu tải: Đối với các công trình xây dựng, mật độ phân phối của các tham số kết cấu và tải trọng hầu hết theo phân bố chuẩn hoặc rất gần với phân bố chuẩn [2]. Vì vậy để tính kết cấu có thể xác định xác suất làm việc an toàn của các cấu kiện theo phương pháp tuyến tính hóa, khi đó vào thời điểm t bất kỳ, xác suất làm việc không xảy ra sự cố hay độ tin cậy của cấu kiện được xác định theo công thức (3). Mục đích tính toán các công trình về độ tin cậy là với xác suất đủ cao, không cho phép nảy sinh sự cố trong các cấu kiện và nền của công trình vào thời kỳ xây dựng và khai thác. Nhưng đối với một cấu kiện có thể xảy ra một số sự cố. Vì thế, vào thời điểm t bất kỳ, điều kiện làm việc an toàn của cấu kiện j theo dạng sự cố i tương ứng với xác suất P_{ij} không được thấp hơn xác suất tiêu chuẩn P_{tc} .

$$P_{ij} = P(Y_{ij}, t) \geq P_{tc}, \text{ với } Y_{ij} = R_{ij} - S_{ij} > 0. \quad (8)$$

Trong đó:

Y_{ij} - Dự trữ của tham số được kiểm tra của trạng thái ứng suất hoặc biến dạng của của cấu kiện j ;

R_{ij} - Giá trị giới hạn của tham số được kiểm tra của trạng thái ứng suất hoặc biến dạng của cấu kiện j , là đại lượng ngẫu nhiên;

S_{ij} - Giá trị thực tế (được lấy theo kết quả tính toán xác suất kết cấu) của tham số được kiểm tra của trạng thái ứng suất hoặc biến dạng của cấu kiện j , là đại lượng ngẫu nhiên;

P_{tc} - Xác suất làm việc an toàn tiêu chuẩn, tức độ tin cậy tiêu chuẩn.

Khi đó, xác suất làm việc an toàn P_j của cấu kiện theo tập hợp các sự cố có thể xảy ra với nó, được xác định xuất phát từ quan niệm về các sự cố, như các biến cố ngẫu nhiên xung khắc, phù hợp với định lý cộng xác suất [2], [3], được tính theo công thức:

$$P_j = 1 - \sum_{i=1}^T (1 - P_i). \quad (9)$$

Trong đó: T - Số các sự cố (coi như trạng thái giới hạn) có thể xảy ra với cấu kiện j ; i - độ chói thứ i ; j - phần tử thứ j .

Các P_{ij} được xác định theo phương pháp tuyến tính hóa hoặc phương pháp bán bất biến của I.U. A. Pavlóp.

+ Độ tin cậy của công trình: Xác suất làm việc an toàn của công trình nói chung người ta tính toán xuất phát từ việc biểu thị các độ chói của các bộ phận khác nhau của công trình như là những biến cố ngẫu nhiên độc lập trên cơ sở định lý nhân xác suất [2], [3]:

$$P_s = \prod_{j=1}^k P_j \quad (10)$$

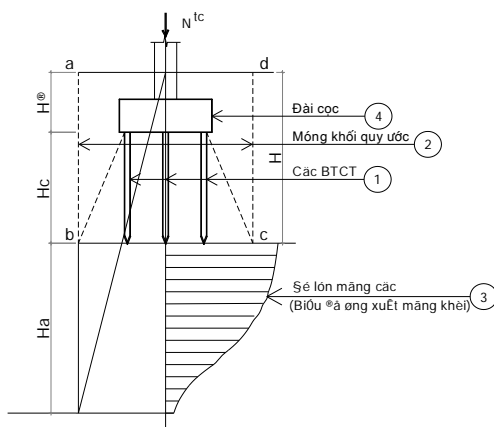
Trong đó: k - là số bộ phận (cấu kiện) của công trình;

P_j - là xác suất tin cậy của bộ phận thứ j .

Để xác định độ tin cậy móng cọc đài thấp ta cần xác định các dạng phá hoại, xác suất làm việc an toàn của cấu kiện và của toàn bộ móng cọc. Các dạng phá hoại có thể xảy ra với móng cọc đài thấp là:

- (1) Mất ổn định của cọc;
- (2) Mất ổn định của móng khối quy ước;
- (3) Mất ổn định móng cọc do độ lún quá giới hạn cho phép;
- (4) Mất ổn định của đài cọc.

Phân tích các dạng phá hoại của các kết cấu chủ yếu chỉ ra rằng hầu như mỗi một dạng phá hoại nêu trên đều dẫn đến phá hoại hoàn toàn hoặc một phần công trình đang khai thác.



Hình 1. Các dạng sự cố có thể xảy ra của công trình móng cọc

Căn cứ vào việc phân tích các dạng sự cố có thể xảy ra của công trình móng cọc ta lập thành bảng ma trận xác suất làm việc an toàn của móng cọc đài thấp như bảng 1.

Bảng (1): Ma trận xác suất làm việc an toàn của móng cọc đài thấp

Sự cố	Cấu kiện			
	(1) Cọc	(2) Móng khối quy ước	(3) Độ lún của móng cọc	(4) Đài cọc
Xác suất làm việc an toàn của cọc theo vật liệu làm cọc	P_{11}			
Xác suất làm việc an toàn của cọc theo điều kiện đất nền	P_{21}			
Xác suất chịu tải lớn nhất an toàn dưới móng khối quy ước		P_{32}		
Xác suất chịu tải trung bình an toàn của móng khối quy ước		P_{42}		
Xác suất chịu tải an toàn do độ lún trong giới hạn cho phép			P_{53}	
Xác suất chịu lực xuyên thủng an toàn của đài cọc				P_{64}
Xác suất chịu tải an toàn của đài cọc				P_{74}

+ Đối với cấu kiện 1- Cọc

Xác suất mất khả năng chịu tải theo vật liệu làm cọc là \bar{P}_{11} , xác suất an toàn $P_{11} = 1 - \bar{P}_{11}$;
 Xác suất mất khả năng chịu tải theo nền đất là \bar{P}_{21} , xác suất an toàn $P_{21} = 1 - \bar{P}_{21}$.

Xác suất làm việc an toàn của cọc được xác định bằng công thức:

$$P_1 = 1 - \left[(1 - P_{11}) + (1 - P_{21}) \right] = P_{11} + P_{21} - 1$$

+ Đối với cấu kiện 2 - Móng khối quy ước

Xác suất không bảo đảm ứng suất nền trung bình là \bar{P}_{32} , xác suất an toàn $P_{32} = 1 - \bar{P}_{32}$

Xác suất không bảo đảm ứng suất nền max là \bar{P}_{42} , xác suất an toàn $P_{42} = 1 - \bar{P}_{42}$

Xác suất làm việc an toàn của móng khối quy ước được xác định bằng công thức:

$$P_2 = 1 - \left[(1 - P_{32}) + (1 - P_{42}) \right] = P_{32} + P_{42} - 1$$

+ Đối với cấu kiện 3 - Độ lún của móng cọc

Xác suất không bảo đảm độ lún giới hạn là \bar{P}_{53} , xác suất bảo đảm là $P_{53} = 1 - \bar{P}_{53}$.

+ Đối với cấu kiện 4- Đài cọc

Xác suất không bảo đảm điều kiện chống đâm thủng đài là P_{64} , xác suất an toàn $P_{64} = 1 - \bar{P}_{64}$;

Xác suất không bảo đảm điều kiện uốn đài là \bar{P}_{74} , xác suất an toàn $P_{74} = 1 - \bar{P}_{74}$.

Xác suất làm việc an toàn theo khả năng chịu tải của đài cọc được xác định bằng công thức:

$$P_4 = 1 - \left[(1 - P_{64}) + (1 - P_{74}) \right] = P_{64} + P_{74} - 1$$

Độ tin cậy chung của móng cọc đài thấp được xác định theo công thức sau:

$$P_S = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4$$

+ Ứng dụng vào thực tế tính toán móng cọc đài thấp cho công trình Trung tâm phát thanh Truyền hình Hải phòng.

Bảng (2): Tổng hợp các giá trị kỳ vọng và độ lệch chuẩn của tải trọng tác dụng lên móng cọc

TT	Các đại lượng	Đơn vị	Kỳ vọng toán	Độ lệch
1	Mômen	Tm	0,904	0,079
2	Lực dọc	T	204,241	30,053
3	Lực ngang	T	2,192	0,336

Bảng (3) Tổng hợp cường độ tính toán của đất nền

STT lớp đất	Cường độ tính toán R dưới mũi cọc (T/m ²)		Cường độ tính toán f theo mặt xung quanh cọc (T/m ²)		Góc ma sát trong	
	Kỳ vọng m_R	Độ lệch σ_R	Kỳ vọng m_f	Độ lệch σ_f	Kỳ vọng φ_i	Độ lệch σ_{φ_i}
1	-	-	0,4	0,04	18 ⁰ 00	1 ⁰ 48'

2	-	-	0,267	0,0267	7°42'	0°46'
3	-	-	0,680	0,0680	3°41'	0°22'
4	350	35	5,000	0,5000	11°57'	1°12'
5	-	-	-	-	12°30'	1°9'

Sử dụng phương pháp Monte- Carlo để mô phỏng các đại lượng ngẫu nhiên khi tính toán, đối với các đại lượng ta tìm được giá trị có thể của kỳ vọng và độ lệch chuẩn của các đại lượng. Kết quả tính được tổng hợp và so sánh với phương pháp tính toán tiêu chuẩn trong Bảng (4).

Bảng (4): Bảng tổng hợp kết quả tính toán theo phương pháp tiêu chuẩn và phương pháp độ tin cậy

T	Các đại lượng	Đơn vị	Theo tiêu chuẩn hiện hành			Theo phương pháp xác suất				
			Hàm S	Hàm R	Hệ số AT	Hàm tải trọng S		Hàm độ bền R		Xác suất an toàn
						m_S	σ_S	m_R	σ_R	
1	Xác suất chịu tải an toàn của cọc									
	Xác suất làm việc an toàn của cọc theo vật liệu làm cọc P11	T	24,68	138,0	5,6	22,859	3,474	112,973	31,941	0,9974
	Xác suất làm việc an toàn của cọc theo điều kiện đất nền P21	T	24,68	36,36	1,5	22,859	3,474	33,992	4,304	0,9772
2	Xác suất chịu tải an toàn của móng khối quy ước									
	Xác suất chịu tải lớn nhất an toàn dưới móng khối quy ước P32	T/m 2	67,179	160,56	2,4	57,066	2,908	159,684	0,8676	1,0000
	Xác suất chịu tải trung bình an toàn của móng khối quy ước P42	T/m 2	60,514	133,8	2,2	56,941	2,865	133,07	0,723	1,0000
3	Xác suất chịu tải an toàn do độ lún trong giới hạn cho phép P53	cm	7,0	8,0	1,1	6,4	0,6	8	0	0,9650
4	Xác suất chịu tải an toàn của đài cọc									
	Xác suất chịu lực xuyên thủng an toàn của đài cọc P64	T	196,08	351	1,8	145,96 6	5,089	300,572	39,279	0,9985
	Xác suất chịu tải an toàn của đài cọc P74	T	24,68	51,83	2,1	56,063	8,113	77,854	6,246	0,9861

Độ tin cậy của cấu kiện chịu tải:

Với cọc: $P_1 = P_{11} + P_{21} - 1 = 0,9746$;

Đất nền dưới móng khối quy ước: $P_2 = P_{32} + P_{42} - 1 = 1,000$;

Độ lún: $P_3 = P_{53} = 0,9650$

Đài cọc: $P_4 = P_{64} + P_{74} - 1 = 0,9846$

Độ tin cậy chung của móng cọc đài thấp là:

$P_s = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 = 0,9746 \times 1,0 \times 0,9650 \times 0,9846 = 0,9260$

4. Kết luận:

Phương pháp tính toán theo lý thuyết độ tin cậy là phương pháp tiên tiến, phản ánh đúng bản chất của bài toán, đó là hướng phát triển hoàn thiện các phương pháp tính toán, thiết kế công trình của hiện tại và tương lai.

Phương pháp tính toán theo lý thuyết độ tin cậy phân tích một cách khoa học, cụ thể mức đóng góp của các bộ phận cấu thành công trình vào độ tin cậy chung của công trình. Tuy nhiên, nó đòi hỏi phải tốn nhiều công sức trong việc nghiên cứu thống kê các đại lượng tham gia bài toán và tốn nhiều chi phí thời gian về máy cho việc phân tích xác suất của bài toán, nhưng với sự phát triển khoa học kỹ thuật thì việc tính toán bằng phương pháp lý thuyết độ tin cậy không phải là vấn đề không thể giải quyết.

Vì vậy, phương pháp tính toán theo lý thuyết độ tin cậy trong thiết kế công trình nói chung và móng cọc đài thấp nói riêng cần được tiêu chuẩn hóa để làm cơ sở áp dụng vào thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] TS. Phạm Văn Thứ (2003), *Phương pháp Monte-Carlo trong việc mô hình hóa các đại lượng ngẫu nhiên*, Tạp chí khoa học Hàng hải, Số đặc biệt chào mừng 20/11/2003;
- [2] TS. Nguyễn Vi (2009), *Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước trong tính toán độ tin cậy của các công trình cảng*, Nhà xuất bản giao thông vận tải;
- [3] В. Д. Костюков. Надёжность морских причалов и их реконструкция (1987), 'Транспорт', Москва.
- [4] TCXD205-98, Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế.

Người phản biện: TS. Đào Văn Tuấn
