THÀNH LẬP MÔ HÌNH LÚN NỀN MÓNG CÔNG TRÌNH THEO SỐ LIỆU QUAN TRẮC LÚN

TS.**TRẦN NGỌC ĐÔNG**, KS. **NGUYỄN CHÍ CÔNG**
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: *Bài báo có nội dung trình bày phương pháp xây dựng mô hình lún nền móng công trình trong không gian và mô hình lún theo thời gian cùng với đề xuất sử dụng mô hình lún được thành lập để nội suy giá trị độ lún đối với những mốc quan trắc lún bị hỏng trong 1 chu kỳ quan trắc lún nào đó để nhằm đảm bảo tại vị trí gắn mốc quan trắc lún đó có độ lún tổng cộng tính từ khi bắt đầu quan trắc đến khi dừng quan trắc.*

Abstract: *This article describes the method of building a foundation settlement model based on space and time. It also proposes a settlement model for interpolating settlement levels of marks which is broken in a cycle of monitoring. This is to ensure that the total settlement of these marks can be measured during the settlement monitoring.*

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, một vấn đề thường gặp phải trong suốt quá trình quan trắc lún là trong 1 chu kỳ quan trắc nào đó sẽ có mốc quan trắc bị va đập làm biến dạng thân mốc hoặc mốc bị mất dẫn tới các vị trí gắn mốc này giá trị theo dõi độ lún sẽ bị gián đoạn làm ảnh hưởng đến kết quả đánh giá độ lún tổng thể của công trình. Vì vậy, việc thành lập mô hình lún theo số liệu quan trắc là công việc cần thiết vì khi thành lập mô hình sẽ cho phép nội suy độ lún ở các vị trí khác nhau của công trình cũng như cho phép thực hiện tính toán, dự báo chuyển dịch công trình trong thời gian tương lai. Khi đó, có thể sử dụng giá trị độ lún nội suy được từ mô hình để xác định giá trị độ lún đối với các mốc bị biến dạng hoặc bị mất trong 1 chu kỳ quan trắc nào đó.

2. Nguyên tắc thành lập mô hình lún công trình theo số liệu quan trắc

Về mặt hình thức, mô hình lún công trình có thể được mô tả thông qua các nhóm yếu tố sau:

1- Các yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định của công trình, gồm có:

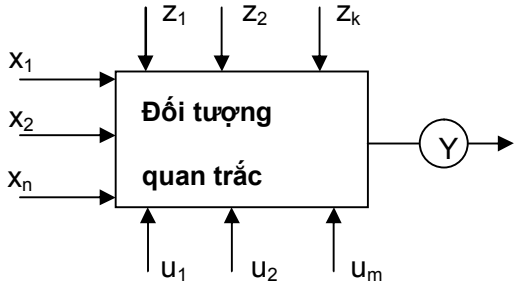
- Các yếu tố thuộc nhóm nguyên nhân chủ đạo gây nên lún công trình (x_1, x_2,... x_n). Trong giai đoạn thi công xây dựng yếu tố chủ đạo là tải trọng công trình, ở giai đoạn đầu vận hành yếu tố chủ đạo là thời gian, đến thời kỳ sau yếu tố chủ đạo có thể là sự thay đổi mực nước ngầm (đối với nhà và công trình dân dụng)...;

- Sự thay đổi của các điều kiện ngoại cảnh do tác động của con người (u_1, u_2, ... u_m), những yếu tố này là có thể kiểm soát được nhưng không thể thay đổi chúng, ví dụ: điều kiện môi trường);

- Các yếu tố tức thời không thể xác định trước mức độ tác động của chúng tới công trình (z_1, z_2,... z_k), ví dụ: gió, bão, động đất,....

2- Tham số đầu ra: là các giá trị định lượng (Y), đặc trưng cho mức độ lún công trình. Trong thực tế quan trắc, các tham số đầu ra (Y) còn chịu ảnh hưởng của sai số đo (w).

Sơ đồ mô tả mối quan hệ tương hỗ giữa các yếu tố trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình được đưa ra trong hình 1 [1].



Hình 1. *Mô hình đối tượng quan trắc*

Khi tổng hợp độ lún công trình ở nhiều chu kỳ chúng ta cần trả lời các câu hỏi sau:

1- Xu hướng lún của công trình trong không gian.

2- Xu hướng lún của công trình theo thời gian.

3- Mức độ phụ thuộc độ lún công trình vào một số yếu tố ngoại cảnh.

Để giải quyết các vấn đề nêu trên cần phải xây dựng mô hình lún của công trình mà thực chất mô tả quá trình lún của công trình bằng một số hàm

toán học nào đó. Về nguyên tắc mô hình lún công trình được thể hiện thông qua hàm số:

$$\Phi = \Phi[F_1(x)] + F_2(u) + F_3(z) + w] \quad (1)$$

trong đó:

$F_1(x)$ - thành phần ảnh hưởng của các yếu tố thuộc nhóm nguyên nhân chủ đạo gây nên lún công trình;

$F_2(u)$ - thành phần ảnh hưởng sự thay đổi của các điều kiện ngoại cảnh do tác động của con người;

$F_3(z)$ - thành phần ảnh hưởng của các yếu tố tức thời không thể xác định trước mức độ tác động của chúng tới công trình.

w - ảnh hưởng sai số đo đạc.

Thông thường chỉ cần xây dựng mô hình với các yếu tố chủ đạo là đủ.

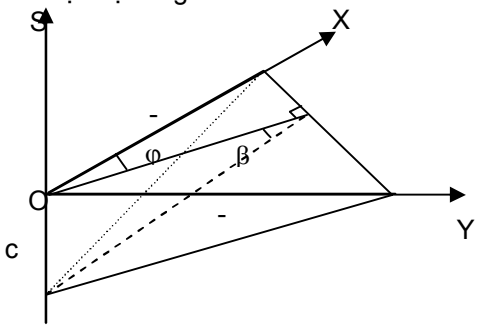
3. Mô hình lún đối với các kết cấu móng cứng trong không gian

3.1 Cơ sở lý thuyết

Đối với kết cấu móng cứng (móng băng, móng bè, móng cọc,...) có dạng vùng, các điểm quan trắc phân bố không trên cùng một đường thẳng mà trên toàn bộ diện tích móng công trình, khi đó có khái niệm về *"bề mặt lún"* của móng công trình ở mỗi thời điểm (chu kỳ) như sau:

Bề mặt lún của móng công trình trong mỗi chu kỳ quan trắc là một đa diện chứa các điểm quan trắc, với điều kiện ở chu kỳ đầu các điểm quan trắc cùng nằm trong một mặt phẳng.

Mặt phẳng lún của móng công trình trong mỗi chu kỳ quan trắc là mặt phẳng gần đúng nhất (được xác định bằng điều kiện $[V_S^2] \rightarrow$ Min) so với mặt đa diện đã được định nghĩa ở trên.



Hình 2. *Tham số lún công trình dạng vùng*

Như vậy, vấn đề xây dựng mô hình lún của kết cấu móng cứng sẽ được giải quyết theo các bước sau:

1- Lập phương trình của mặt phẳng lún

Phương trình của mặt phẳng lún có thể được viết dưới dạng [1]: $S_i = a.x_i + b.y_i + c$ (2)

Trong đó: x_i, y_i, S_i là tọa độ theo trục OX, OY và giá trị độ lún của điểm quan trắc i, còn các tham số a, b, c của mặt phẳng (2) có ý nghĩa hình học như được thể hiện trên hình 2.

2- Xác định các tham số của mặt phẳng

Nếu trên mặt bằng móng, chúng ta triển khai quan trắc tại n vị trí với vector tọa độ và độ lún tương ứng là x, y, S. Khi đó sẽ lập được n phương trình (2) viết dưới dạng ma trận có dạng sau:

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ ... \\ S_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ . & . & . \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (3)$$

Để xác định được 3 tham số (a, b, c) cần có ít nhất 3 phương trình dạng (3), tức là cần phải có số liệu 3 điểm quan trắc. Khi số điểm quan trắc n >3, bài toán sẽ được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất.

Ký hiệu:

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ ... \\ S_n \end{bmatrix}; \; A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ . & . & . \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}; \quad z = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}; \; V = \begin{bmatrix} V_{S_1} \\ V_{S_2} \\ ... \\ V_{S_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Khi đó hệ phương trình số hiệu chỉnh viết dưới dạng ma trận là:

$$V_S = A.z - S \quad (5)$$

Áp dụng nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, sẽ xác định được vector z theo công thức:

$$z = \left(A^T A\right)^{-1}.A^T S \quad (6)$$

Sai số mô hình (m_{MH}) được xác định theo công thức sau:

$$m_{MH} = \sqrt{\frac{[V^2]}{n-k}} \quad (7)$$

Trong công thức (7): n - số điểm quan trắc; k - số lượng tham số của mô hình.

3- Ý nghĩa các tham số

Dựa vào các tham số của mặt phẳng, tính được hệ tham số lún tổng quát của mặt phẳng lún theo công thức:

- Độ lún tại gốc tọa độ (thường là điểm trọng tâm công trình):

$$S_{TT} = c \quad (8)$$

- Góc nghiêng lớn nhất của mặt phẳng lún:

$$\beta = Arctg\sqrt{a^2+b^2} \quad (9)$$

- Hướng nghiêng lớn nhất (tính từ trục OX theo chiều kim đồng hồ):

$$\varphi = Arctg\frac{b}{a} \quad (10)$$

4- Trường hợp đặc biệt

Trong trường hợp đặc biệt các điểm quan trắc phân bố trên một đường thẳng (hoặc khi cần xây dựng mô hình lún theo trục), khi đó biểu diễn độ lún thông qua phương trình đường thẳng. Phương trình đường thẳng có dạng sau:

$$S_i = a.x_i + b \quad (11)$$

trong đó: S_i - độ lún của điểm i(i=1÷n); x_i - là tọa độ theo hướng ngang của điểm quan trắc (i=1÷n).

Khi số điểm quan trắc lớn hơn 2 điểm thì quá trình xác định các tham số của đường thẳng được thực hiện theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất. Sai số mô hình được xác định theo công thức (7). Ý nghĩa của các tham số: b- độ lún của công trình tại gốc tọa độ; a = tgα (α - Góc nghiêng của đường thẳng so với phương nằm ngang).

Phương trình đường thẳng thường được sử dụng để xây dựng mô hình lún theo trục hoặc xây dựng mô hình lún đối với công trình dạng thẳng.

3.2 Ứng dụng phân tích phương sai để đánh giá biến dạng công trình

Khi xây dựng mô hình chuyển dịch công trình trong không gian thì mô hình sử dụng đã được biết trước. Do vậy, trong trường hợp này có thể ứng dụng phân tích phương sai để đánh giá mức độ biến dạng công trình.

Trong bài toán xác định tham số của mô hình biến dạng công trình, sai số mô hình tính theo công thức (6) là tổng hợp của 2 yếu tố: sai số đo và độ biến dạng thực tế của công trình, nếu công trình không biến dạng thì sai số mô hình chỉ do sai số đo gây nên và trong trường hợp này với xác suất được chọn, giá trị sai số mô hình (m_{MH}) không thể vượt quá sai số giới hạn.

Với ký hiệu m_1, m_2, m_3,... m_n là sai số trung phương độ chuyển dịch của các điểm quan trắc, tiến hành tính đại lượng:

$$m_0 = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2}{n}} \quad (12)$$

Có thể coi m_0 là sai số trung phương trung bình độ chuyển dịch của các điểm quan trắc, nếu công trình không bị biến dạng thì:

$$m_0 = m_{MH} \quad (13)$$

Để kiểm tra giả thiết (12) cần áp dụng tiêu chuẩn kiểm định Fisher, bằng cách lập tỉ số:

$$F = \frac{m_{MH}^2}{m_0^2} \quad (14)$$

với bậc tự do bằng (n-k) và (n), trong đó: n là số lượng trị đo tham gia xây dựng mô hình, k là số lượng tham số của mô hình.

So sánh giá trị F với giá trị tới hạn F_{gh} tra được từ bảng phân phối Fisher. Nếu $F \le F_{gh}$ thì có thể coi m_{MH} và m_0 có cùng độ chính xác và kết luận rằng công trình không bị biến dạng. Trong trường hợp ngược lại, nếu $F > F_{gh}$ thì chứng tỏ rằng công trình có bị biến dạng.

4. Mô hình lún nền móng công trình theo thời gian

4.1 Cơ sở lý thuyết dự báo chuyển dịch công trình theo số liệu quan trắc

Giả sử mô hình chuyển dịch công trình theo thời gian được thể hiện thông qua hàm số ở dạng tổng quát:

$$q = f(t) \quad (15)$$

Giả sử hàm số (14) được triển khai tuyến tính với vector tham số Z gồm k phần tử:

$$Z = (z_1, z_2,..., z_k)^T \quad (16)$$

Bài toán đặt ra là, cần dựa vào chuỗi kết quả đo chuyển dịch trong n chu kỳ để xác định vector tham số của hàm (16). Ký hiệu dãy thời gian và giá trị chuyển dịch thu được trong các chu kỳ quan trắc bằng các vector $T = (t_1, t_2,..., t_n)^T$; $q = (q_1, q_2, ..., q_n)^T$. Khi số chu kỳ quan trắc lớn hơn số lượng tham số (n > k), bài toán được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất theo trình tự sau:

Triển khai tuyến tính biểu thức (14) theo các biến z_i với vector tham số gần đúng $Z_0 = (z_1^0, z_2^0 ,..., z_k^0)^T$, xác định được:

$$q_i = a_{i1}dz_1 + a_{i2}dz_2 + ... + a_{ik}dz_k + q_i^0 ; (i = 1 \div n) \quad (17)$$

với:

$$q_i^0 = a_1z_1^0 + a_2z_2^0 + ... + a_kz_k^0 \quad (18)$$

Coi vector chuyển dịch q là vector trị đo, chuyển sang hệ phương trình số hiệu chỉnh sẽ có:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ ... \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & ... & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & ... & a_{2k} \\ ... & ... & ... & ... \\ a_{n1} & a_{n2} & ,,, & a_{nk} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} dz_1 \\ dz_2 \\ ... \\ dz_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ ... \\ l_n \end{bmatrix} \quad (19)$$

Hoặc viết dưới dạng ma trận:

$$V = A.dZ + L \quad (20)$$

trong đó: vector số hạng tự do $L = q - q^0$.

Theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất ($[v^2]$ = Min) xác định được vector ẩn số và từ đó tính vector tham số của mô hình:

$$\begin{aligned} dZ &= -(A^TA)^{-1}.A^TL \\ Z &= Z^0 + dZ \end{aligned} \quad (21)$$

Sai số mô hình (m_{MH}) được xác định theo công thức:

$$m_{MH} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-k}} \quad (22)$$

Trong công thức (22): n - số chu kỳ quan trắc tham gia xây dựng mô hình; k - số lượng tham số của mô hình.

Hàm số (15) với các tham số tính được là biểu thức thể hiện mô hình chuyển dịch theo thời gian. Mô hình chuyển dịch theo thời gian cho phép thực hiện tính toán, dự báo chuyển dịch công trình trong thời gian tương lai.

4.2 Ứng dụng phân tích phương sai để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình

Trong trường hợp xây dựng mô hình chuyển dịch theo thời gian, mô hình lựa chọn là mô hình dự đoán, chưa biết trước được thực tế mô hình như thế nào. Do vậy, trong trường hợp này có thể sử dụng phân tích phương sai để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình.

Khi xây dựng mô hình chuyển dịch theo thời gian, sai số mô hình có thể do sai số đo gây nên và làm cho sự chuyển dịch không tuân thủ chặt chẽ theo mô hình ấy. Chọn mô hình đúng gần sát thực tế thì sai số mô hình tương đương sai số đo. Khi đó có thể sử dụng phân tích phương sai để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình thông qua tiêu chuẩn Fisher. Với ký hiệu m_1, m_2, m_3,... m_n là sai số trung phương độ chuyển dịch của điểm quan trắc ở các chu kỳ đo, tiến hành tính đại lượng:

$$m_0 = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2}{n}} \quad (23)$$

Để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình cần áp dụng tiêu chuẩn kiểm định Fisher, bằng cách lập tỷ số:

$$F = \frac{m_{MH}^2}{m_0^2} \quad (24)$$

với bậc tự do là (n-k) và (n). Trong đó: n - số chu kỳ quan trắc (không kể chu kỳ quan trắc đầu tiên); k - số lượng tham số của mô hình.

So sánh giá trị F với giá trị tới hạn F_{gh} tra được từ bảng phân phối Fisher. Nếu $F \le F_{gh}$ thì mô hình lựa chọn là phù hợp.

4.3 Một số mô hình lún và chuyển dịch nền móng công trình theo thời gian

a. Mô hình hàm số mũ

Theo lý thuyết cơ học đất nền móng thì độ lún công trình ở thời điểm t có thể được tính theo công thức [1]:

$$S_t = S_{TP}(1 - e^{\alpha.t}) \quad (25)$$

trong đó: S_{tp}- độ lún toàn phần của công trình; α - hệ số nén tương đối của nền.

Trong giai đoạn thiết kế, độ lún công trình được

tính toán dựa theo các tham số thực nghiệm S_{TP} và α. Đến giai đoạn thi công hoặc vận hành công trình, kết quả đo lún được sử dụng để xác định các tham số S_{TP}, α và dựa vào công thức (25) để tính (dự báo) độ lún ở thời điểm bất kỳ. Nếu đã thực hiện n chu kỳ quan trắc lún (n > 2) thì hai tham số trên được xác định theo phương pháp bình phương nhỏ nhất.

b. Mô hình hàm đa thức

Khi sử dụng đa thức, chuyển dịch công trình được thể hiện dưới dạng [1]:

$$q_t = a_0 + a_1.t + a_2.t^2 + ... + a_k.t^k \quad (26)$$

trong đó: q_t - độ chuyển dịch công trình ở thời điểm t, còn a_0, a_1, a_2,....a_k là các hệ số của đa thức.

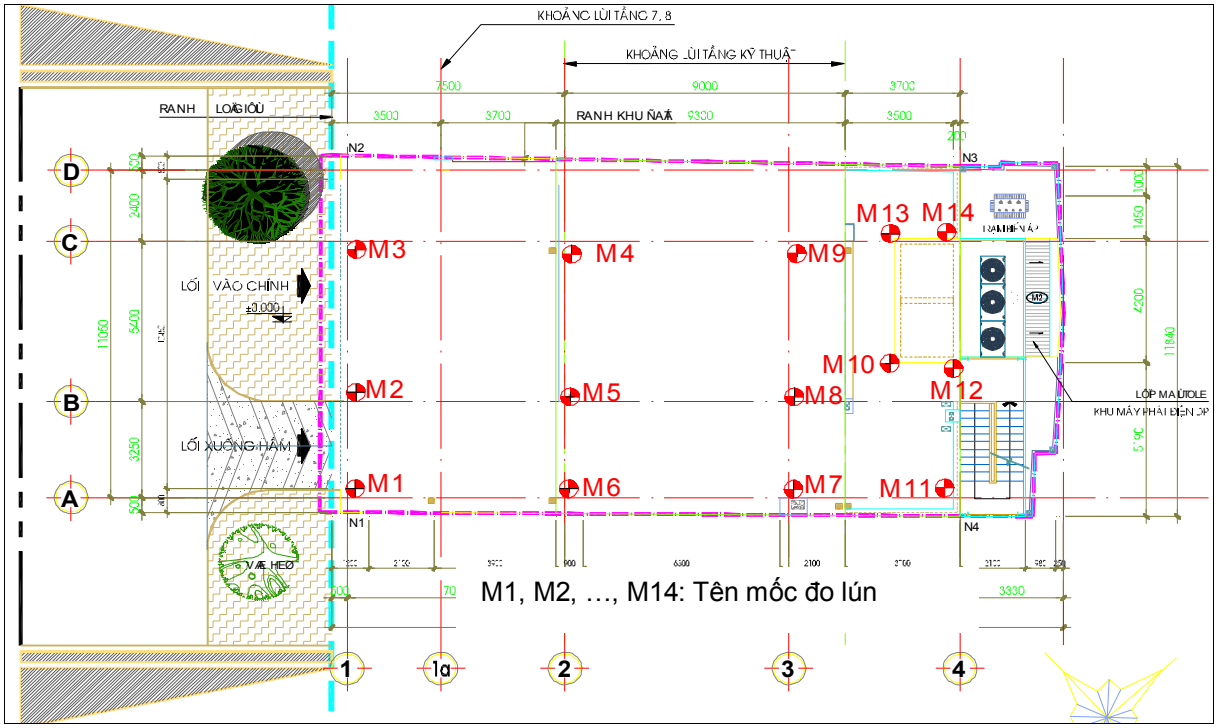
Trong hàm đa thức việc chọn bậc đa thức k có thể thực hiện theo nguyên tắc: *"Đa thức được chọn là đa thức có số bậc nhỏ nhất mà sai số của mô hình đó tương đương với sai số đo độ lún"*.

Hàm đa thức có tính tổng quát và có thể áp dụng với bất kỳ công trình nào.

5. Thực nghiệm

5.1 Thực nghiệm thành lập mô hình lún đối với móng công trình Nhà Văn phòng tại đường Mạc Thị Bưởi, TP. Hồ Chí Minh

Quá trình thực nghiệm được thực hiện đối với móng của công trình Nhà Văn phòng tại đường Mạc Thị Bưởi, Quận 1, TP. Hồ Chí Minh. Công trình có quy mô 2 tầng hầm và 9 tầng nổi, diện tích móng là khoảng 280m^2, móng của công trình được thiết kế là loại móng bè. Sau khi đổ bê tông móng tiến hành quan trắc lún tại 14 vị trí của móng. Vị trí bố trí mốc quan trắc như ở hình 2.



Hình 2. *Vị trí mặt bằng bố trí mốc quan trắc lún móng bè*

Bảng 1 là số liệu tọa độ, độ lún và sai số trung phương độ lún của các mốc quan trắc ở thời điểm chu kỳ 03 so với chu kỳ 01 (thời điểm ngày 22/10/2012 so với thời điểm ngày 27/06/2012).

Bảng 1. *Tọa độ và độ lún của các mốc quan trắc lún móng bè*

STT	Tên mốc quan trắc	Tọa độ		Độ lún và sai số	
		X(m)	Y(m)	Độ lún S(mm)	Sai số m_S (mm)
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*
1	M2	-0.710	-10.601	-7.71	0.45
2	M2	-0.710	-10.601	-7.71	0.45
3	M3	4.075	-10.609	-8.03	0.45

4	M4	3.990	-3.591	-8.10	0.45
5	M6	-3.989	-3.720	-8.02	0.46
6	M7	-3.981	3.494	-7.96	0.46
7	M8	-0.871	3.524	-7.92	0.45
8	M11	-3.951	8.351	-7.77	0.44
9	M12	0.074	8.630	-7.96	0.41
10	M13	4.662	6.615	-7.78	0.42
11	M14	4.701	8.408	-7.85	0.42
12	**M5**	**-0.879**	**-3.690**	**-7.85**	**0.46**
13	**M9**	**3.998**	**3.619**	**-8.09**	**0.45**
14	**M10**	**0.258**	**6.583**	**-7.41**	**0.45**

Từ số liệu ở bảng 1, sử dụng các mốc quan trắc có số thứ tự từ 1 đến 11 để xây dựng mô hình. Các mốc có số thứ tự từ 12 đến 14 (M5, M9, M10) còn lại không tham gia xây dựng mô hình mà để so sánh với độ lún nội suy từ mô hình. Quá trình xây dựng mô hình lún được thực hiện bằng chương trình do chúng tôi lập trình và kết quả cuối cùng thu được như sau:

Phương trình mặt phẳng lún:

S = -0.0000001x + 0.0000056y -0.00792 (m)

1. Lún tại trọng tâm của móng: -7.92 mm

2. Góc nghiêng lớn nhất của mặt phẳng lún: 0º 0' 0"

3. Hướng nghiêng lớn nhất: -89º 27' 48"

4. Sai số mô hình: 0.13 mm

Đánh giá biến dạng móng công trình:

Từ số liệu ở cột (6) của bảng 1 đối với các mốc có số thứ tự từ 1 đến 11, tính được m_0 = 0.44 mm. Khi đó:

$$F = \frac{0.13^2}{0.44^2} = 0.09 \; ; \; F_{gh} = F_{\alpha=0.05}(8,11) = 2.948$$

Trong trường hợp này $F < F_{gh}$, nên có thể coi sai số mô hình nằm trong giới hạn của sai số xác định độ lún, điều đó chứng tỏ móng công trình không bị biến dạng. Bảng 2 là kết quả so sánh độ lún đo thực tế với độ lún nội suy từ mô hình đối với các mốc quan trắc M5, M9 và M10.

Bảng 2. *Kết quả so sánh độ lún đo thực tế với độ lún nội suy từ mô hình*

STT	Tên mốc quan trắc	Tọa độ		Độ lún (mm)		
		X(m)	Y(m)	Đo thực tế	Nội suy theo mô hình	Độ lệch
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)=(5)-(6)*
1	M5	-0.879	-3.690	-7.85	-7.94	0.09
2	M9	3.998	3.619	-8.09	-7.90	-0.19
3	M10	0.258	6.583	-7.41	-7.88	0.47

Từ bảng 2 có thể nhận thấy rằng độ lệch giữa độ lún đo thực tế và độ lún nội suy từ mô hình là nhỏ và nằm trong giới hạn của sai số xác định độ lún, trong trường hợp này sử dụng phương trình mặt phẳng để xây dựng mô hình lún của móng công trình là phù hợp.

Cũng từ bảng 2, giả sử mốc M5, M9 và M10 là các mốc bị mất do quá trình thi công xây dựng hoặc hoàn thiện công trình gây nên ở chu kỳ 3 thì dựa vào kết quả xây dựng mô hình ở chu kỳ 3 nội suy được giá trị độ lún của các mốc này ở chu kỳ 3, sử dụng giá trị nội suy này sẽ tính được độ lún từ chu kỳ 1 đến chu kỳ 3 đối với các mốc bị mất này (quá trình tính độ lún không bị gián đoạn). Từ lý thuyết và thực nghiệm chúng tôi đề xuất sử dụng mô hình lún trong không gian để nội suy độ lún của mốc quan trắc bị va đập (bị biến dạng) hoặc bị mất ở 1 chu kỳ quan trắc nào đó để quá trình tính toán độ lún không bị gián đoạn. Đồng thời với việc nội suy độ lún từ mô hình thì phải gắn mốc mới thay thế cho mốc cũ bị mất ở chu kỳ đó để có mốc quan trắc ở các chu kỳ tiếp theo (chỉ nội suy 1 chu kỳ, không

nội suy nhiều hơn 1 chu kỳ liên tiếp). Đối với công trình có nhiều mốc quan trắc (các mốc quan trắc có sự lún không đều) thì nên sử dụng các mốc quan trắc ở gần mốc bị va đập hoặc bị mất để xây dựng mô hình lún và nội suy độ lún cho mốc bị va đập hoặc mốc bị mất đó.

Thực nghiệm xây dựng mô hình lún theo trục A của móng

Trong phần thực nghiệm này tiến hành xây dựng mô hình lún theo trục A của móng để minh chứng cụ thể về xây dựng mô hình lún theo trục.

Trên hình 2 trục A được bố trí 4 mốc quan trắc lún, tọa độ dọc theo trục, độ lún và sai số trung phương độ lún của các mốc quan trắc được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. *Tọa độ và độ lún của các mốc trên trục A*

STT	Tên mốc quan trắc	Tọa độ X (m)	Độ lún và sai số	
			Độ lún S (mm)	Sai số m_S (mm)
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	M1	-8.547	-8.05	0.46
2	M6	-1.762	-8.02	0.46
3	M11	10.309	-7.77	0.44
4	**M7**	**5.452**	**-7.96**	**0.46**

Từ số liệu ở bảng 3, sử dụng các mốc quan trắc M1, M6, M11 để xây dựng mô hình. Mốc M7 còn lại không tham gia xây dựng mô hình mà để so sánh với độ lún nội suy theo mô hình. Quá trình xây dựng mô hình lún thu được như sau:

Phương trình đường thẳng lún:

S = 0.0000155x -0.00795 (m)

1. Lún tại trọng tâm So: -7.95 mm

2. Góc nghiêng : 0º 00’03"

3. Sai số mô hình : 0.06 mm

Bảng 4 là kết quả so sánh độ lún đo thực tế với độ lún nội suy từ mô hình đối với mốc quan trắc M7.

Bảng 4. *Kết quả so sánh độ lún đo thực tế với độ lún nội suy từ mô hình*

STT	Tên mốc quan trắc	Tọa độ	Độ lún (mm)		
		X(m)	Đo thực tế	Nội suy theo mô hình	Độ lệch
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)=(4)-(5)*
1	M7	5.452	-7.96	-7.87	-0.09

Từ kết quả xây dựng mô hình và kết quả so sánh độ lún đo thực tế với độ lún nội suy được từ mô hình cho thấy trong trường hợp này sử dụng phương trình đường thẳng để xây dựng mô hình lún theo trục là phù hợp.

Nhận xét: Trên cơ sở kết quả thực nghiệm xây dựng mô hình lún đối với móng bè có kết cấu cứng ở trên cho thấy việc sử dụng phương trình mặt phẳng để xây dựng mô hình lún cho toàn bộ móng công trình và phương trình đường thẳng để xây dựng mô hình lún theo trục của móng công trình đối với các móng công trình có kết cấu cứng là phù hợp. Khi xây dựng mô hình, áp dụng phân tích phương sai sẽ cho phép đánh giá xem móng công trình có bị biến dạng hay không.

5.2 Thực nghiệm dự báo độ lún nền công trình theo hàm đa thức

Quá trình thực nghiệm được thực hiện đối với 1 mốc (mốc NT12) đo lún nền đất nguyên thổ của công trình tại đường Giải Phóng, Hà Nội được đo 10 chu kỳ (không kể chu kỳ quan trắc đầu tiên), số liệu quan trắc gồm thời gian, độ lún và sai số trung phương độ lún (bảng 5).

Sử dụng số liệu 07 chu kỳ (chu kỳ 1 đến chu kỳ 7) để lập mô hình, số liệu chu kỳ 8 đến 10 được dùng để làm kết quả đánh giá mức độ phù hợp của phân tích lý thuyết và thực tế.

Lần lượt xây dựng mô hình từ bậc 0 đến bậc 5, kết quả tính toán hệ số đa thức và sai số mô

hình bằng chương trình do chúng tôi lập được đưa ra trong bảng 6.

Bảng 5. *Kết quả quan trắc lún nền đất nguyên thổ tại mốc NT12*

Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Độ lún và sai số	
		Độ lún S (mm)	Sai số m_S (mm)
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*
0	0.00	0.00	-
1	1.06	-3.97	0.55
2	2.06	-6.75	0.60
3	3.13	-11.24	0.51
4	4.16	-16.45	0.67
5	5.23	-21.12	0.58
6	6.23	-25.77	0.56
7	7.23	-29.94	0.52
8	**8.50**	**-35.53**	**0.53**
9	**9.43**	**-39.09**	**0.62**
10	**10.46**	**-43.34**	**0.48**

Bảng 6. *Kết quả xây dựng mô hình theo hàm đa thức*

STT	Bậc đa thức	Hệ số đa thức						Sai số mô hình (mm)
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	
1	0	-16.463	----	----	----	----	----	9.727
2	1	1.608	-4.347	----	----	----	----	0.628
3	2	0.465	-3.612	-0.089	----	----	----	0.557
4	3	-2.113	-0.803	-0.880	0.064	----	----	0.268
5	4	-4.186	2.324	-2.323	0.321	-0.015	----	0.197
6	5	-5.374	4.566	-3.770	0.735	-0.069	0.003	0.267

Từ kết quả xây dựng mô hình ở bảng 6, tiến hành đánh giá mức độ tin cậy của mô hình. Kết quả đánh giá mức độ tin cậy của mô hình được đưa ra trong bảng 7.

Bảng 7. *Kết quả đánh giá mức độ tin cậy của mô hình*

STT	Bậc đa thức	Sai số mô hình (mm)	Sai số trung bình xác định độ lún (mm)	F	F_{gh}	Ghi chú
1	0	9.727	0.57	288.975	3.866	$F_{gh}=F_{0.05}(6,7)$
2	1	0.628	0.57	1.205	3.972	$F_{gh}=F_{0.05}(5,7)$
3	2	0.557	0.57	0.948	4.120	$F_{gh}=F_{0.05}(4,7)$
4	3	0.268	0.57	0.219	4.347	$F_{gh}=F_{0.05}(3,7)$
5	4	0.197	0.57	0.119	4.737	$F_{gh}=F_{0.05}(2,7)$
6	5	0.267	0.57	0.218	5.591	$F_{gh}=F_{0.05}(1,7)$

Từ kết quả đưa ra ở bảng 7, đa thức từ bậc 1 đến bậc 5 đều có $F<F_{gh}$. Đa thức bậc 2 là đa thức có số bậc nhỏ và có sai số mô hình tương đương với sai số đo độ lún nên được chọn làm mô hình dự báo và mô hình là:

$$S_t = 0.465 - 3.612t - 0.089t^2 \text{ (mm)}$$

Sử dụng mô hình đa thức bậc 2 này để dự báo độ lún từ chu kỳ 8 đến chu kỳ 10. Kết quả dự báo được so sánh với độ lún đo thực tế và được đưa ra ở bảng 8.

Bảng 8. *Kết quả so sánh độ lún đo và độ lún dự báo từ chu kỳ 8 đến chu kỳ 10*

Chu kỳ	Thời gian quan trắc so với chu kỳ đầu (tháng)	Độ lún đo thực tế (mm)	Độ lún dự báo theo mô hình đa thức bậc 2 (mm)	Sai số dự báo (mm)	Độ lệch giữa độ lún đo và độ lún dự báo (mm)
(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6=3-4)*
8	8.50	-35.53	-36.67	0.98	1.14
9	9.43	-39.09	-41.51	1.48	2.42
10	10.46	-43.34	-47.05	2.16	3.71

Nhận xét: Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, có thể thấy rằng khi sử dụng hàm đa thức để dự báo độ lún, kết quả dự báo càng chính xác khi điểm nội suy có thời gian càng gần với chu kỳ quan trắc cuối cùng. Thời điểm dự báo càng xa thời điểm quan trắc chu kỳ cuối thì sai số dự báo càng lớn, giá trị độ lún dự báo nhận được có độ chính xác thấp. Trong quá trình xây dựng mô hình cần tiến hành phân tích phương sai để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình.

Khi đã thực hiện được nhiều chu kỳ quan trắc, chúng ta cũng có thể sử dụng mô hình lún theo thời gian để nội suy cho mốc quan trắc bị va đập (mốc bị biến dạng) hoặc mốc bị mất để quá trình tính toán độ lún không bị gián đoạn. Quá trình nội suy cũng chỉ thực hiện đối với chu kỳ kế tiếp của chu kỳ cuối cùng đưa vào xây dựng mô hình. Đồng thời với việc nội suy độ lún từ mô hình thì phải gắn mốc mới thay thế cho mốc cũ bị mất ở chu kỳ đó để có mốc quan trắc ở các chu kỳ tiếp theo (chỉ nội suy 1 chu kỳ, không nội suy nhiều hơn 1 chu kỳ liên tiếp).

6. Kết luận

Từ lý thuyết và thực nghiệm ở trên chúng tôi rút ra một số kết luận như sau:

- Mô hình lún của công trình có kết cấu móng cứng trong không gian sẽ cho phép nội suy độ lún ở các vị trí khác nhau của công trình. Khi xây dựng mô hình kết hợp với phân tích phương sai sẽ đánh giá được công trình có bị biến dạng hay không;

- Mô hình lún theo thời gian cho phép thực hiện tính toán, dự báo độ lún của công trình trong thời gian tương lai. Quá trình xây dựng mô hình cần kết hợp với phân tích phương sai để đánh giá mức độ tin cậy của mô hình;

- Mô hình lún trong không gian và mô hình lún theo thời gian có thể sử dụng để nội suy độ lún của mốc quan trắc bị va đập (mốc bị biến dạng) hoặc mốc bị mất ở một chu kỳ nào đó để đảm bảo tại vị trí gắn mốc quan trắc lún đó có độ lún tổng cộng tính từ khi bắt đầu quan trắc đến khi dừng quan trắc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010), Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình, *Nhà Xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.*

[2] Trần Ngọc Đông (2009), "Phân tích đánh giá kết quả quan trắc độ lún công trình", *Tạp chí KHCN Xây dựng số 1/2009*, *Hà Nội*.

[3] Huang Sheng Xiang, Yin Hui, Jiang Zheng (Biên dịch: Phan Văn Hiến, Phạm Quốc Khánh, hiệu đính: Dương Vân Phong) (2012), Xử lý số liệu quan trắc biến dạng, *Nhà Xuất bản Khoa học và kỹ thuật.*

[4] GB50026 - 2007: Code for engineering surveying.

Ngày nhận bài:20/3/2017.

Ngày nhận bài sửa lần cuối:03/4/2017.