

PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ QUAN TRẮC ĐỘ LÚN CÔNG TRÌNH

KS. TRẦN NGỌC ĐÔNG
Viện KHCN Xây dựng

1. Đặt vấn đề

Trong giai đoạn hiện nay, công tác quan trắc độ lún công trình đã trở thành phổ biến đối với các công trình xây dựng. Dựa vào số liệu độ lún thu được chúng ta cần phân tích đánh giá kết quả quan trắc để biết được mức độ tin cậy của giá trị độ lún thu được. Cũng từ số liệu độ lún thu được, có thể biểu diễn hình ảnh lún của công trình thông qua các phần mềm đồ hoạ. Số liệu quan trắc độ lún thu được không những cho chúng ta biết giá trị độ lún của công trình tại thời điểm quan trắc mà còn cho phép chúng ta dự báo độ lún của công trình ở thời gian tiếp theo. Trong bài báo này, tác giả trình bày một số nội dung phân tích đánh giá kết quả quan trắc độ lún công trình để có cái nhìn tổng quát và trực quan về độ lún của công trình.

2. Đánh giá mức độ tin cậy giá trị độ lún của các điểm quan trắc

Độ lún của các điểm quan trắc được tính theo công thức (1) và (2).

- So sánh giữa 2 chu kỳ (chu kỳ j so với chu kỳ i);

$$S_{j,i} = H_j - H_i \quad (1)$$

- So với chu kỳ đầu (chu kỳ 1)

$$S_{j,1} = H_j - H_1 \quad (2)$$

Trong công thức (1) và (2):

- $S_{j,i}$ độ lún chu kỳ j so với chu kỳ i;

- $S_{j,1}$ độ lún chu kỳ j so với chu kỳ 1;

- H_1, H_j, H_i độ cao chu kỳ 1, độ cao chu kỳ j, độ cao chu kỳ i.

Trong kết quả đo luôn kèm theo sai số đo, do đó để đánh giá mức độ tin cậy của giá trị độ lún xác định được cần so sánh nó với sai số giới hạn. Ký hiệu m_{H_i} và m_{H_j} là sai số trung phương của độ cao mốc xác định ở chu kỳ t_j và t_i ta sẽ tính được sai số trung phương của giá trị độ lún:

$$m_S = \sqrt{m_{H_i}^2 + m_{H_j}^2} \quad (3)$$

Trong đó:

$$m_{H_i} = \mu \sqrt{Q_i Q_j} \quad (4)$$

Với μ là sai số trung phương trọng số đơn vị, m_{H_i} sai số độ cao mốc i, Q_i là trọng số đảo của độ cao mốc i. m_{H_i} có được sau khi bình sai lưới, đây chính là sai số độ cao sau bình sai của mốc quan trắc ở thời điểm đo chu kỳ i.

Có thể khẳng định có sự trôi hoặc lún tại điểm quan trắc nếu thoả mãn.

$$S > 2.m_S \quad (5)$$

Bảng 1. Đánh giá độ tin cậy giá trị độ lún của các điểm quan trắc

STT	Tên mốc	Độ cao CK1 H_1 (m) 04/08/2008	m_{H1} (mm)	Độ cao CK2 H_2 (m) 16/09/2008	m_{H2} (mm)	Độ lún CK2 - CK1 S (mm)	Sai số giới hạn	So sánh độ lún với SS giới hạn	Kết luận
1	M1	7.65701	0.14	7.65653	0.14	-0.48	0.40	>	Lún
2	M2	7.61829	0.16	7.61873	0.16	0.44	0.45	<	Trong sai số đo
3	M3	7.55310	0.15	7.55312	0.14	0.02	0.41	<	Trong sai số đo
4	M4	7.60827	0.17	7.60795	0.16	-0.32	0.47	<	Trong sai số đo
5	M5	7.43354	0.13	7.43303	0.13	-0.51	0.37	>	Lún

Các đánh giá mức độ tin cậy giá trị độ lún của điểm quan trắc chỉ đúng khi giả thiết ổn định của các mốc gốc (mốc chuẩn) là đúng. Vì vậy, để kiểm định giả thiết này, các mốc chuẩn được bố trí thành cụm và

đo nối với nhau. Trên cơ sở trị đo nối (đo lặp theo các chu kỳ) có thể đánh giá được ổn định của mốc chuẩn và có thể xác định được mốc ổn định nhất. Để có điều kiện kiểm tra nâng cao độ tin cậy của lưới cơ sở thì đối

với mỗi công trình quan trắc cần xây dựng không dưới 3 mốc chuẩn bố trí thành cụm mốc hoặc rải đều xung quanh công trình. Trong mỗi chu kỳ đo tiến hành đo đạc, tính toán bình sai đánh giá độ ổn định của các

mốc chuẩn và lựa chọn mốc ổn định nhất để tính độ lún công trình. Một trong những phương pháp hiện nay thường dùng để phân tích đánh giá độ ổn định của các mốc chuẩn là phương pháp bình sai lưới tự do.

Bảng 2. Kết quả đánh giá độ ổn định của các mốc chuẩn

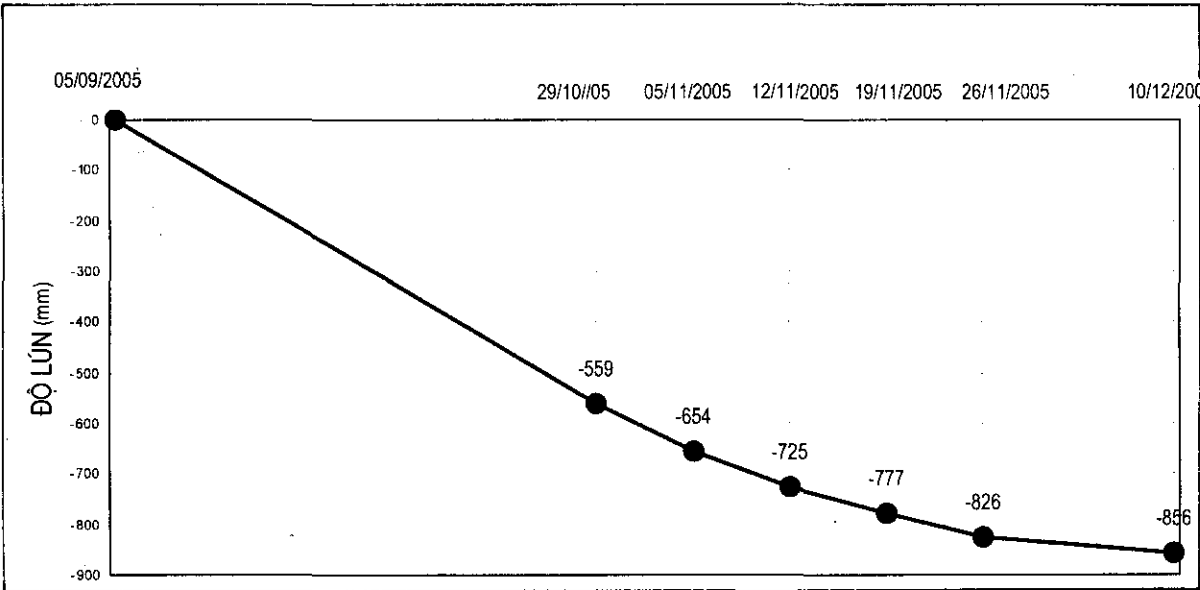
Tên điểm	Độ cao chu kỳ 1, H(m)	Độ cao chu kỳ 2, H(m)	Độ trôi, lún S (mm)	Kết luận
R1	6.00000	6.00028	0.28	Ổn định
R2	6.13056	6.12815	-2.41	Không ổn định
R3	5.92438	5.92410	-0.28	Ổn định

Theo các thuật toán phân tích, đánh giá độ ổn định của các mốc chuẩn đo lún hiện nay nếu chúng ta xây dựng các mốc chuẩn nhỏ hơn 3 mốc thì không đánh giá được độ ổn định của các mốc. Để khẳng định độ tin cậy của giá trị độ lún thu được trong các chu kỳ đo thì cần phân tích đánh giá độ ổn định của các mốc chuẩn. Như ở bảng 2, nếu chúng ta không phân tích đánh giá độ ổn định của chúng mà chọn mốc R2 làm

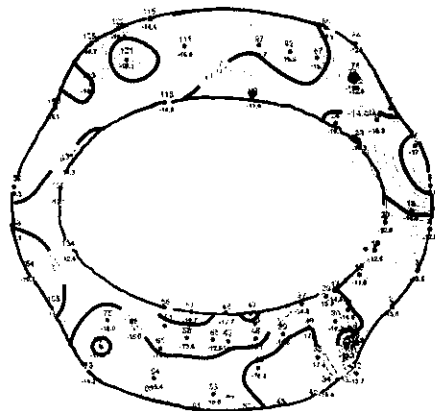
số liệu gốc cho các chu kỳ quan trắc thì giá trị độ lún thu được không phản ánh chính xác giá trị độ lún của công trình.

3. Biểu diễn độ lún công trình thông qua các phần mềm đồ họa

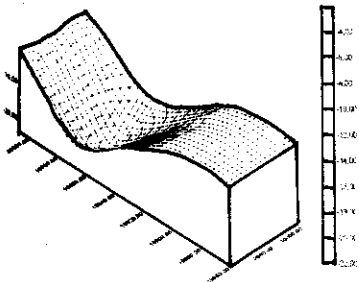
Chúng ta có thể sử dụng các phần Excel, Autocad, Surfer,... để biểu diễn giá trị độ lún công trình.



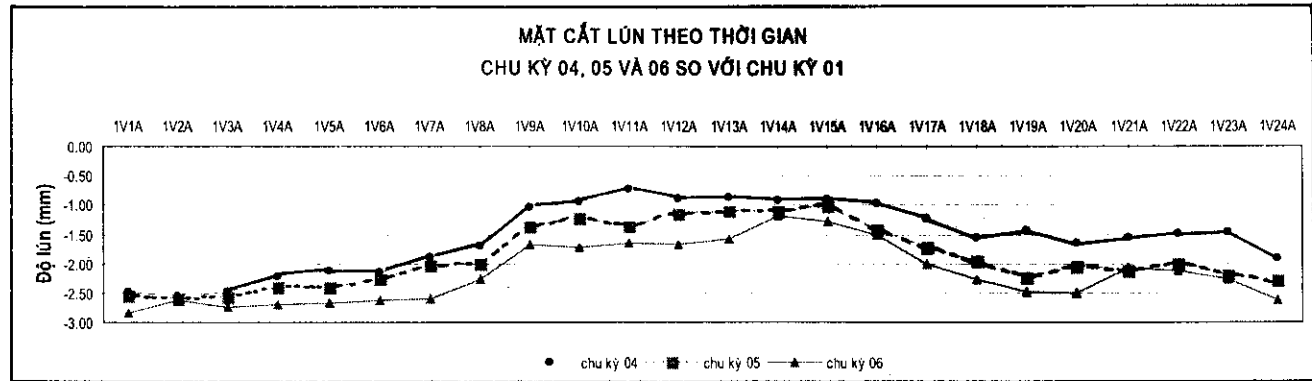
Hình 1. Đồ thị biểu diễn độ lún của điểm đo theo thời gian đo (theo chu kỳ đo)



Hình 2. Bình đồ lún khán đài sân vận động



Hình 3. Mô hình lún nền đường giao thông



Hình 4. Mặt cắt lún theo thời gian đo của trục công trình

Từ các hình vẽ trên cho chúng ta một cách nhìn tổng quát, trực quan về độ lún của công trình:

- Đồ thị lún cho chúng ta thấy diễn biến lún cục bộ của công trình tại điểm quan trắc;
- Bình đồ lún bao quát cho chúng ta thấy hình ảnh lún của toàn bộ công trình trong mặt phẳng nằm ngang.
- Mô hình lún của công trình trong không gian 3 chiều cho chúng ta thấy vùng nào công trình có độ lún lớn nhất.
- Mặt cắt lún cho chúng ta biết độ lún theo hướng, theo trục của công trình ở các chu kỳ đo.

4. Dự báo độ lún công trình theo số liệu quan trắc

Để dự báo độ lún công trình theo số liệu quan trắc chúng ta thường sử dụng hàm số mũ và hàm đa thức. Trong bài báo này chúng tôi dự báo độ lún công trình theo hàm đa thức. Hàm đa thức sử dụng có dạng sau:

$$S_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + ... + a_nt^n \tag{6}$$

Trong đó: S_t - độ lún công trình ở thời điểm t ;

t - thời điểm xảy ra độ lún S_t ;

$a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ - hệ số của đa thức.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & ... & t_1^n \\ 1 & t_2 & t_2^2 & ... & t_2^n \\ . & . & . & . & . \\ 1 & t_k & t_k^2 & ... & t_k^n \end{bmatrix}; \quad S = (-S_1 - S_2 - ... - S_k)^T; \quad Z = (a_0 \quad a_1 \quad a_2 \quad ... \quad a_n)^T$$

$$v = (v_1 \quad v_2 \quad ... \quad v_k)^T$$

Thành lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh dạng:

$$V = A.Z + S \tag{9}$$

Áp dụng nguyên lý số bình phương nhỏ nhất lập được hệ phương trình chuẩn:

$$A^T A.Z + A^T S = 0 \tag{10}$$

Như vậy để tính độ lún của công trình theo công thức (6) thì cần phải xác định được:

- Số bậc đa thức;
- Các hệ số của đa thức $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$.

Nếu bậc của đa thức (n) đã được xác định thì các hệ số a_i ($i=1-n$) được tính từ số liệu đo lún trong k chu kỳ đã quan trắc. Mỗi chu kỳ đo sẽ thành lập được một phương trình:

$$S_i = a_0 + a_1t + a_2t^2 + ... + a_nt^n \tag{7}$$

Từ k chu kỳ quan trắc thành lập được k phương trình dạng (7) trong khi có $(n+1)$ hệ số cần xác định. Để xác định được các hệ số a_i cần phải có $k \geq (n+1)$.

Trường hợp nếu $k=n+1$, véc tơ hệ số a được xác định trên cơ sở giải hệ phương trình tuyến tính (7).

Khi $k>n+1$ bài toán được giải theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất theo trình tự sau:

Coi (7) là phương trình trị đo (thứ i) sẽ lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$v_i = a_0 + a_1t_i + a_2t_i^2 + ... + a_nt_i^n - S_i^{do} \tag{8}$$

Ký hiệu:

Từ (10) suy ra véc tơ nghiệm:

$$Z = -(A^T A)^{-1}.A^T S \tag{11}$$

Sai số trung phương đơn vị trọng số μ được tính theo công thức đã biết:

$$\mu = \sqrt{\frac{V^T V}{k - (n + 1)}} \tag{12}$$

Độ chính xác của các tham số nhận được được tính theo công thức: $m_a = \mu \sqrt{Q_{aa}}$ (13)

Q_{aa} là các phần tử trên đường chéo chính của ma trận Q (Q là ma trận nghịch đảo của ma trận hệ số hệ phương trình chuẩn $Q = (A^T A)^{-1}$).

Khi đã xác định được các tham số Z của hàm, có thể tính được giá trị bất kỳ của hàm ứng với giá trị t , và độ chính xác của giá trị hàm nội suy (hay ngoại suy). Vectơ hàm nội (ngoại) suy có dạng:

$$F = \begin{pmatrix} 1 \\ t_i \\ t_i^2 \\ . \\ . \\ . \\ t_i^n \end{pmatrix} \tag{14}$$

Sai số trung phương của hàm giá trị nội (ngoại) suy được tính:

$$m_{Si} = \mu \sqrt{F^T Q F} \tag{15}$$

Khi sử dụng hàm thực nghiệm để nội suy hay ngoại suy cho kết quả tốt đáng tin cậy khi điểm nội suy ở lân cận miền giá trị quan trắc.

Để chọn bậc của đa thức có thể sử dụng nguyên tắc [1]: Đa thức được chọn là đa thức có mô hình nhỏ nhất. Lần lượt lập các đa thức với số bậc tăng dần từ 0 đến $k-2$, với mỗi đa thức (bậc n_i) tính các hiệu: $\delta_i = S^{do} - S^{dt}$, (S_i^{do} là độ lún đo được ở chu kỳ thứ i , còn S_i^{dt} là độ lún tính theo đa thức ở thời điểm chu kỳ đo thứ i), sau đó tính tổng: $\sum_i [\delta^2]$ đa thức nào có tổng $\sum_i$ nhỏ nhất sẽ được chọn để dự đoán lún.

Thực tế cho thấy đối với rất nhiều công trình, chỉ cần chọn đa thức đến bậc 2 hoặc 3 là đủ.
 Bảng 3 là số liệu quan trắc độ lún nền của một công trình ở Vũng Tàu mà Viện KHCN Xây dựng đã tiến hành quan trắc 23 chu kỳ trong thời gian 8.1 năm.

Bảng 3. Giá trị độ lún của công trình ở các thời gian đo

Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Giá trị độ lún (mm)
1	0.00	0.00
2	1.10	-3.20
3	2.77	-16.70
4	3.87	-24.60
5	4.94	-31.80
6	19.87	-102.10
7	21.87	-112.20
8	24.30	-120.90
9	25.93	-125.10
10	27.86	-134.20
11	29.69	-153.40
12	39.19	-191.55
13	43.26	-210.83
14	47.09	-229.83
15	51.69	-245.51
16	60.62	-275.74
17	64.62	-288.98
18	68.62	-302.79
19	72.62	-314.04
20	79.12	-330.69
21	85.82	-347.47
22	91.19	-361.54
23	97.19	-374.63

Để dự báo độ lún của công trình ở các chu kỳ về sau và dự báo giá trị độ lún cực đại, tác giả đã sử dụng hàm đa thức bậc 2 có dạng: $S_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$

Trong dãy số liệu trên đã sử dụng 16 chu kỳ đầu để tìm hàm đa thức bậc 2:

- Từ dãy trị đo 16 chu kỳ đầu lập được ma trận hệ số hệ phương trình số hiệu chỉnh A và ma trận số hạng tự do S :

	1.00	1.10	1.21	3.2
	1.00	2.77	7.67	16.7
	1.00	3.87	14.98	24.6
	1.00	4.94	24.40	31.8
	1.00	19.87	394.82	102.1
	1.00	21.87	478.30	112.2
	1.00	24.30	590.49	120.9
A =	1.00	25.93	672.36	S = 125.1
	1.00	27.86	776.18	134.2
	1.00	29.69	881.50	153.4
	1.00	39.19	1535.86	191.6
	1.00	43.26	1871.43	210.8
	1.00	47.09	2217.47	229.8
	1.00	51.69	2671.86	245.5
	1.00	60.62	3674.78	275.7

- Lập ma trận hệ số hệ phương trình chuẩn và giải hệ phương trình chuẩn:

$$\begin{aligned}
 &= A^T A \begin{pmatrix} 15.000000 & 404.050000 & 15813.300100 \\ 404.050000 & 15813.300100 & 704528.179549 \\ 15813.300100 & 704528.179549 & 33986887.036477 \end{pmatrix} \\
 &= (A^T A)^{-1} \begin{pmatrix} 0.352996 & -0.022266 & 0.000297 \\ -0.022266 & 0.002232 & -0.000036 \\ 0.000297 & -0.000036 & 0.000001 \end{pmatrix} \\
 A^T S &= \begin{pmatrix} 1977.66 \\ 76115.40 \\ 3357779.54 \end{pmatrix} \quad Z = \begin{pmatrix} a \\ a1 \\ a2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.66 \\ -5.28 \\ 0.01 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

- Đánh giá độ chính xác:

$$V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \\ v_9 \\ v_{10} \\ v_{11} \\ v_{12} \\ v_{13} \\ v_{14} \\ v_{15} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4.3 \\ 0.5 \\ 2.7 \\ 4.3 \\ 0.0 \\ 0.5 \\ -2.3 \\ -5.8 \\ -5.7 \\ 5.0 \\ 0.5 \\ 2.1 \\ 4.9 \\ 1.5 \\ -4.0 \end{pmatrix}$$

$$V^T V = 188.100$$

Sai số trung phương đơn vị trọng số:

$$\mu = \sqrt{\frac{V^T V}{k - (n + 1)}} = \sqrt{\frac{188.100}{15 - (2 + 1)}} = 3.96mm$$

Từ kết quả tính toán ở trên chúng ta tìm được hàm đa thức bậc 2 dự báo độ lún như sau:

$$S_t = -1.66 - 5.28t + 0.01t^2$$

Từ hàm đa thức tìm được chúng tôi tiến hành so sánh độ lún đo được với độ lún dự báo từ chu kỳ 17 đến chu kỳ 23 với khoảng thời gian dự báo tính từ chu kỳ 16 trở đi là 3 năm.

Bảng 4. Kết quả so sánh đo lún đo và độ lún dự báo từ chu kỳ 17 đến chu kỳ 23

Chu kỳ	Thời gian quan trắc (tháng)	Giá trị độ lún đo được (mm)	Giá trị độ lún dự báo theo hàm xấp xỉ đa thức bậc 2 (mm)	Sai số dự báo (mm)	Độ lệch giữa độ lún đo và độ lún dự báo (mm)
17	64.62	-288.98	-295.11	3.92	6.13
18	68.62	-302.79	-310.13	4.83	7.34
19	72.62	-314.04	-324.79	5.86	10.75
20	79.12	-330.69	-347.82	7.77	17.13
21	85.82	-347.47	-370.55	10.04	23.08
22	91.19	-361.54	-388.03	12.06	26.49
23	97.19	-374.63	-406.77	14.54	32.14

Từ bảng 4 nhận thấy: Độ chính xác của kết quả dự báo độ lún công trình càng chính xác khi mà số chu kỳ quan trắc càng lớn và điểm nội suy ở lân cận miền giá trị quan trắc. Thời điểm dự báo càng xa thời điểm quan trắc thì sai số dự báo càng lớn, giá trị dự báo nhận được có độ chính xác thấp.

Kết quả dự báo độ lún công trình chỉ mang tính chất tương đối bởi vì từ thực tế quan trắc độ lún của một vài công trình trong thời gian dài cho thấy độ lún của công trình ở một vài thời điểm nào đó không tuân theo một qui luật nhất định.

5. Kết luận

- Khi tiến hành quan trắc độ lún công trình cần phân tích đánh giá mức độ tin cậy của chúng theo công thức (5) để biết được chắc chắn điểm đo nào bị lún, bị trôi và các điểm không bị trôi, lún là các điểm có giá trị âm hoặc dương nhỏ hơn sai số giới hạn cho phép;

- Độ lún của công trình được phản ánh một cách tổng thể khi chúng ta sử dụng các phần mềm đồ họa để biểu diễn giá trị độ lún của chúng;

- Cần tiến hành phân tích, đánh giá độ ổn định của các mốc chuẩn tìm ra mốc chuẩn ổn định nhất để tính lún cho công trình;

- Kết quả dự báo độ lún công trình theo số liệu quan trắc đạt độ tin cậy cao khi mà số chu kỳ quan trắc càng lớn và điểm nội suy ở lân cận miền giá trị quan trắc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TRẦN KHÁNH. Quan trắc và phân tích biến dạng công trình. *Bài giảng cao học ngành kỹ thuật trắc địa, Hà Nội, 2007.*
2. ĐẶNG NAM CHINH. Quan trắc chuyển dịch mặt đất. *Bài giảng cao học ngành kỹ thuật trắc địa, Hà Nội, 2007.*
3. PHAN VĂN HIỂN và nnk. Trắc địa công trình. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội, 1999.*

Ngày nhận bài: 7/1/2009