

PHÂN TÍCH ĐỘ ỔN ĐỊNH CAO ĐỘ MỐC CHUẨN KHI QUAN TRẮC ĐỘ LÚN CÔNG TRÌNH

ANALYSIS OF ELEVATION STABILITY OF BENCHMARKS WHEN MONITORING CONSTRUCTION SETTLEMENT

ĐÀO XUÂN LỘC(*)

TÓM TẮT: Qua bình sai chênh cao đo lặp lưới cơ sở cao độ tự do theo 2 chu kỳ và kết quả thực nghiệm trên các mô hình toán chuyển dịch các mốc chuẩn khác nhau, bài viết phân tích, đề xuất bình sai kết quả đo 2 chu kỳ kế nhau, thay vì bình sai chênh cao đo chu kỳ bất kỳ với cao độ khởi tính chu kỳ đầu như hướng dẫn phụ lục I [1, tr.45]. Ngoài ra, đề xuất các bước đánh giá độ ổn định mốc chuẩn trong lưới cao độ cơ sở thông dụng tối thiểu 3 mốc hiện nay và nên dùng loại lưới 5 mốc chuẩn thay vì dùng lưới 4 mốc.

Từ khóa: bình sai lưới tự do; độ ổn định mốc chuẩn.

ABSTRACT: Through the height adjustment of repeated measurements in the baseline elevation free network in two cycles, and the experimental results on displacement math models of different benchmarks, the paper analyzes and proposes an adjustment of 2-cycle measurement results, instead of a height adjustment measured any cycle with the elevation the first period starting measure as guided in appendix I. In addition, the author proposes steps to assess the benchmark stability in the current basic elevation mesh at least 3 points and using of 5-point network instead of 4-point network.

Key words: adjustment of free network; benchmark stability.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay phương pháp bình sai lưới tự do được áp dụng trong các phần mềm như HHmap, Dpsurvey, BKHCM để phân tích độ ổn định cao độ mốc chuẩn trong đo lún công trình. Trong bài viết này, chúng tôi xây dựng mô hình toán lưới cơ sở cao độ gồm 3 mốc chuẩn (loại thông dụng, tối thiểu số mốc theo quy định [1, tr.10]), 4 mốc chuẩn và 5 mốc chuẩn và tính toán, khảo sát phân tích, đánh giá, nhằm mục đích áp dụng thực tế cách thức phân tích đánh giá độ ổn định mốc chuẩn.

2. NỘI DUNG

2.1. Lý thuyết bình sai tham số

Bình sai tham số (gián tiếp) n trị chênh cao đo h' trong lưới cao độ, có K điểm cần xác

định, được tiến hành theo các bước sau: Lập ma trận hệ số phương trình số cải chính A và hệ phương trình chuẩn. Nếu ký hiệu V - là ma trận cột số cải chính, h' - chênh cao đo, $l=h_0-h'$ - số hạng tự do phương trình số cải chính, $p_{(n \times n)}$ là ma trận đường chéo trọng số trị chênh cao đo; $\delta_{(k \times 1)}$ là ma trận cột số hiệu chỉnh cao độ gần đúng H_0 ; $A_{(n \times k)}$ ma trận hệ số phương trình số cải chính, thì phương trình số cải chính có dạng: $V=A\delta+l$ (1). Việc tìm V khi bình sai trị đo, theo nguyên tắc $V^{TPV} = \min$ (2), nghĩa là đi tới giải hệ phương trình chuẩn sau [2, tr.110]:

$$A^T P A \delta + A^T P l = 0 \quad (3)$$

Ký hiệu $N=A^T P A$ - là ma trận hệ số phương trình chuẩn; $L=A^T P l$ -số hạng tự do phương trình chuẩn, ta có: $N\delta+L=0$ (4).

(*) PGS.TS. Trường Đại học Văn Lang, loc.dx@vlu.edu.vn, Mã số: TCKH25-02-2021

Giải (4) tìm δ , thay vào (1) tìm V và cuối cùng tìm trị độ cao bình sai $H=H_0+\delta$ (5) và chênh cao bình sai $h=h'+V$ (6).

2.2. Phân tích độ ổn định mốc chuẩn bằng thuật toán bình sai lưới tự do

Khi phân tích độ ổn định mốc chuẩn, bởi bình sai lưới tự do chu kỳ J với cao độ gần đúng H_0 , là cao độ bình sai các mốc chuẩn chu kỳ $J-1$ liền kề trước đó, thì δ là trị chuyển dịch mốc giữa 2 chu kỳ, hệ phương trình (4) được giải, kèm điều kiện $C\delta=0$ (7), trong đó: $C=(1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1)$.

Nói cách khác, giải hệ phương trình chuẩn (4) kèm điều kiện (7) [2, tr.156]: $\begin{pmatrix} N & C^T \\ C & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \\ k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} L \\ 0 \end{pmatrix} = 0$ (8), trong đó k – số liên hệ.

Kết quả giải (8) có $\begin{pmatrix} \delta \\ k \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} N & C^T \\ C & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} L \\ 0 \end{pmatrix}$ (9). Điều kiện (7) đồng nghĩa với cao độ bình sai trung bình các mốc chuẩn ổn định hai chu kỳ j và $j-1$ là như nhau, vì $H^j=H^{j-1}+\delta^j$.

Để xét mốc chuẩn nào ổn định, so sánh δ với các sai số giới hạn độ dịch chuyển [5, tr.261] $\Delta_{i,gh}=2\mu\sqrt{2Q_{ii}}$ (10). Trong đó, μ sai số trung phương đơn vị trọng số, trong trường hợp trọng số chênh cao đo tính theo $p_i=1/n_i$, với n_i là số trạm đo tuyến chênh cao, thì $\mu=m_{td}$ – sai số trung phương chênh cao 1 trạm đo [3, tr.142], Q_{ii} là phần tử i trên đường chéo ma trận giả nghịch đảo. Hiện nay, theo quy trình đo cấp 1 lưới cơ sở, tại [1, tr.46] lấy $\Delta_{gh}=0.5\text{mm}$.

Quá trình tính (9) và so sánh $\delta_i \leq \Delta_{i,gh}$ (11), theo các bước lập: Sau lần giải thứ nhất, mốc nào không thỏa (11), nghĩa là đã dịch chuyển, thì mốc đó cần loại ra, không tham gia vào (7). Ví dụ: mốc m có giá trị $\delta_m > \Delta_m$, đồng nghĩa với phần tử $c_m=0$ trong C và quay lại tìm δ theo (9). Quá trình giải (9) lặp lại cho đến khi tất cả các mốc ổn định, nghĩa là các số hiệu chỉnh δ_i , tương ứng phần tử $c_i=1$ trong C đều thỏa (11) thì dừng lại và có kết luận về mốc ổn định, dịch chuyển trong phạm vi sai số đo và mốc không ổn định.

Ngoài việc áp dụng bình sai lưới tự do, với

điều kiện cao độ trung bình các mốc ổn định hai chu kỳ đo như nhau để phân tích độ ổn định mốc chuẩn nêu trên, còn dùng phương pháp cao độ 1 mốc gốc, bản chất như sau: Trong chu kỳ J chọn lần lượt các mốc trong lưới cơ sở làm mốc gốc, bình sai lưới tự do bậc 0, tính cao độ các mốc chuẩn còn lại. Mốc được chọn làm gốc trong từng phương án, có cao độ H_0 bằng cao độ của nó ở chu kỳ $J-1$. Tiếp theo, tính độ lệch cao độ mốc I khi nó là gốc so với các phương án K khác $\Delta_i^k = H_i^k - H_0$, giá trị trung bình cộng $\Delta_i^b = [\Delta]/N$ (12), với N – tổng số mốc chuẩn lưới cơ sở và $\Phi = [\Delta\Delta]$ (13). Phương án được chọn, nếu (12) và (13) có giá trị bé nhất. Trong phương án được chọn, mốc chuẩn được chọn làm gốc, có cao độ bằng cao độ chu kỳ liền kề trước đó, còn cao độ các mốc chuẩn khác chu kỳ J , là kết quả bình sai chênh cao đo lưới tự do bậc 0 với mốc chuẩn gốc vừa chọn.

Cả 2 phương pháp nêu trên đều có thể chỉ ra các mốc chuẩn ổn định và mốc chuẩn dịch chuyển, khi số lượng mốc ổn định lớn hơn 50% tổng số mốc chuẩn trong lưới [3, tr.160]. Trong trường hợp ngược lại, nếu chỉ dựa vào thuật toán, cả 2 phương pháp nêu trên đều không phát hiện ra các mốc ổn định và mốc dịch chuyển giữa 2 chu kỳ đo. Trường hợp này, nếu chỉ dựa vào thuật toán, mà kết luận các mốc ổn định và dịch chuyển thì bức tranh có khi ngược lại với thực tế chuyển dịch mốc. Để có chuyển dịch đúng, phải phân tích thêm kết cấu mốc chuẩn, vị trí đặt mốc và các điều kiện khác rồi mới có thể kết luận được.

Dù dùng phương pháp nào để phân tích độ ổn định mốc, thì trước tiên phải dựa vào độ lệch chênh cao giữa 2 chu kỳ kế nhau mà dự báo sơ bộ, cụ thể tính hiệu chênh cao giữa mốc I , k và giữa chu kỳ $j-1$ và j : $dh_{i,k}^{j-1,j} = h_{i,k}^j - h_{i,k}^{j-1}$ (14), với sai số giới hạn $\Delta_{dh,gh} = 2m_{td}\sqrt{2n}$ (15), trong đó n – số trạm đo trên tuyến ik . Nếu theo (14), giá trị tuyệt đối nhỏ hơn (15), nghĩa là có thể dự báo mốc i , k liên quan, ổn định. Trong trường hợp, nếu các dh theo (14), tính ra đều

lớn hơn $\Delta_{dh,gh}$, ví dụ có 3 mốc 1,2,3, ta sẽ xét dh_{1-2} , dh_{2-3} và dh_{3-1} , xem xét từng cặp dh và mốc ổn định sẽ là mốc tham gia cặp có dh bé nhất (trường hợp này khá rõ khi trong lưới 3 mốc, 1 mốc ổn định còn 1 mốc lún, 1 mốc trồi).

2.3. Xây dựng mô hình thực nghiệm và kết quả tính

Trên thực tế để phân tích độ ổn định cao độ mốc chuẩn, lưới cơ sở cao độ phải có ít nhất 3 mốc chuẩn [1, tr.10]. Vì vậy, chúng tôi xây dựng mô hình toán các trường hợp: lưới cơ sở gồm 3 mốc chuẩn, 4 mốc chuẩn và 5 mốc chuẩn. Mỗi mô hình gán cho mốc chuẩn cao độ thực ở các chu kỳ đo, trên cơ sở này, tính ra chênh cao thực h_{thuc} giữa các mốc chuẩn; với sai số chuẩn (sai số chênh cao trạm đo) cần đạt (ví dụ hiện nay, theo [1, tr.19] quy định, $m_{td}=0.15mm$ cho lưới cao độ cấp 1), tính chênh cao “đo” tuyến đo $h_{do}=h_{thuc}+\Delta$ (16), với $\Delta=tm_{td}\sqrt{n}$; t – bốc ngẫu nhiên, là biên của quy luật

phân bố chuẩn sai số ngẫu nhiên trong đo đạc. Để đơn giản, coi như các chênh cao “đo” giữa các mốc chuẩn bởi 1 trạm đo, nghĩa là $n=1$.

Nếu ta gọi trị dịch chuyển mốc giữa chu kỳ 0 và 1 là S_{0-1} ; 1 và 2 là S_{1-2} ; vv... thì [3, tr.101]:

$$S_{0-k}=S_{0-1}+S_{1-2}+S_{2-3}+\dots +S_{k-1,k} \quad (17).$$

Các giá trị S_{0-1} , S_{1-2} , S_{2-3} , ... $S_{k-1,k}$ là các giá trị dịch chuyển, từ xử lý các chênh cao đo 2 chu kỳ liên kế nhau. Tuy nhiên, theo hướng dẫn phụ lục I [1, tr.45] lại tính độ chuyển dịch giữa chu kỳ 0 với các chu kỳ khác, thông qua xử lý số liệu đo chu kỳ 0 và chu kỳ tương ứng. Với mục đích làm sáng tỏ cách xử lý số liệu này, chúng tôi tiến hành xây dựng và tính toán theo 3 mô hình sau với phần mềm tính toán BKHCM, đã được kiểm chứng [4].

Mô hình 1: Gồm 3 mốc chuẩn với cao độ thực (đơn vị là mm) 10 chu kỳ đo như bảng 1.

Bảng 1. Cao độ thực 3 mốc trong 10 chu kỳ

Mốc		3, trồi	2, lún	2 trồi, 1 lún	2, 3 lún	1, lún	1, 3 lún	2 trồi, 3 lún	3, lún	2, 3 lún	2 lún
	Chu kỳ 0	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4	Chu kỳ 5	Chu kỳ 6	Chu kỳ 7	Chu kỳ 8	Chu kỳ 9	Chu kỳ 10
1	0	-0.1	0.2	-0.9	-0.8	-1.7	-2.7	-2.8	-2.9	-2.95	-3
2	5	5.2	4.4	5.3	4.5	4.4	4.45	5.2	5.3	4.3	3.6
3	-10	-9.25	-9.1	-9.2	-10.1	-10	-11.2	-11.8	-12.7	-13.6	-13.7

Ghi chú: Chu kỳ 1-mốc 3 trồi; chu kỳ 2-mốc 2 lún; chu kỳ 3-mốc 2 trồi, mốc 1 lún... các mốc thay đổi cao độ nhỏ, trong sai số giới hạn $\pm 0.5 mm$, theo quy định [1, tr.46] là ổn định, chuyển dịch nhỏ trong phạm vi sai số đo.

Bảng 2. Hiệu cao độ hai chu kỳ là trị chuyển dịch thực giữa 2 chu kỳ

Mốc	3, trồi	2, lún	1, lún; 2-trồi	2, 3 lún	1, lún	1, 3 lún	2-trồi; 3 lún	3, lún	2, 3 lún	2, lún
	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10
1	-0.10	0.30	-1.10	0.10	-0.90	-1.00	-0.10	-0.10	-0.05	-0.05
2	0.20	-0.80	0.90	-0.80	-0.10	0.05	0.75	0.10	-1.00	-0.70
3	0.75	0.15	-0.10	-0.90	0.10	-1.20	-0.60	-0.90	-0.90	-0.10

Bảng 3. Chênh cao “đo” tính theo (16) 10 chu kỳ và W-sai số khép vòng đo

h “đo”	Chu kỳ 0	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4	Chu kỳ 5	Chu kỳ 6	Chu kỳ 7	Chu kỳ 8	Chu kỳ 9	Chu kỳ 10
1-2	4.80	5.05	4.25	5.94	5.25	5.80	7.05	8.05	8.10	7.32	6.52
2-3	-15.02	-14.25	-13.17	-14.42	-14.60	-14.47	-15.74	-16.85	-18.15	-18.02	-17.24
3-1	10.00	9.09	9.02	8.28	9.45	8.47	8.52	8.92	9.75	10.55	10.87
W=	-0.22	-0.11	0.10	-0.20	0.10	-0.20	-0.17	0.12	-0.30	-0.15	0.15

Bảng 3’. Tính dh theo (14), hàng cuối là dự báo sơ bộ các mốc ổn định

dh	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10
1-2	0.25	-0.80	1.69	-0.69	0.55	1.25	1.00	0.05	-0.78	-0.80
2-3	0.77	1.08	-1.25	-0.18	0.13	-1.27	-1.26	-1.15	0.13	0.78
3-1	-0.91	-0.07	-0.74	1.17	-0.98	0.05	0.73	0.50	0.80	0.32
Dự báo	1,2	1,3	3	2,3	2,3	1,3	1	1,2	2,3	1,3

Bảng 4. Kết quả phân tích độ ổn định mốc bằng xử lý chênh cao đo 2 chu kỳ liên kế

ΔH	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10
1	-0.11	-0.07	-0.63	0.93	-0.77	0.02	0.15	-0.10	0.80	0.11
2	0.11	-0.94	1.15	0.14	-0.11	1.26	1.05	0.10	-0.04	-0.79
3	0.84	0.07	0.00	-0.14	0.11	-0.02	-0.15	-1.06	0.04	-0.11

Bảng 4’. Xử lý chu kỳ 3-4, chu kỳ 5-6, chu kỳ 8-9 với giả thiết mốc không trôi

ΔH	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10
1	-0.11	-0.07	-0.63	0.00	-0.77	-1.24	0.00	-0.10	0.00	0.11
2	0.11	-0.94	1.15	-0.79	-0.11	0.00	0.90	0.10	-0.84	-0.79
3	0.84	0.07	0.00	-1.07	0.11	-1.28	-0.30	-1.06	-0.76	-0.11

Mô hình 2: Gồm 3 mốc chuẩn, mô hình được xây dựng các mốc lún là chính.

Bảng 5. Cao độ thực 3 mốc trong 10 chu kỳ

Mốc		3, trời	2, lún	1, lún	3, lún	1, lún	1,3, lún	2,3, lún	3, lún	3, lún	2, lún
	Chu kỳ 0	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4	Chu kỳ 5	Chu kỳ 6	Chu kỳ 7	Chu kỳ 8	Chu kỳ 9	Chu kỳ 10
1	0.00	-0.10	0.20	-0.90	-0.80	-1.70	-2.70	-2.80	-2.90	-2.95	-3.00
2	5.00	5.20	4.40	4.70	4.50	4.40	4.45	3.43	3.32	3.50	2.20
3	-10.00	-9.25	-9.10	-9.20	-10.10	-10.00	-11.20	-11.80	-12.70	-13.60	-13.70

Bảng 6. Hiệu cao độ hai chu kỳ là trị chuyển dịch thực giữa 2 chu kỳ

Mốc	3, trời	2, lún	1, lún	3, lún	1, lún	1,3, lún	2,3, lún	3, lún	3, lún	2, lún
	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10
1	-0.10	0.30	-1.10	0.10	-0.90	-1.00	-0.10	-0.10	-0.05	-0.05
2	0.20	-0.80	0.30	-0.20	-0.10	0.05	-1.02	-0.11	0.18	-1.30
3	0.75	0.15	-0.10	-0.90	0.10	-1.20	-0.60	-0.90	-0.90	-0.10

Bảng 7. Chênh cao “đo” (16)10 chu kỳ và W- sai số khép vòng đo

h “đo”	Chu kỳ 0	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4	Chu kỳ 5	Chu kỳ 6	Chu kỳ 7	Chu kỳ 8	Chu kỳ 9	Chu kỳ 10
1-2	4.80	5.15	4.25	5.74	5.25	5.89	7.05	6.35	6.20	6.32	5.52
2-3	-15.02	-14.25	-13.37	-14.02	-14.75	-14.47	-15.74	-15.03	-16.15	-17.02	-16.24
3-1	10.00	9.29	9.19	8.38	9.15	8.47	8.52	8.92	9.75	10.55	10.87
W=	-0.22	0.19	0.07	0.10	-0.35	-0.11	-0.17	0.24	-0.20	-0.15	0.15

Bảng 7. Tính dh theo (14), hàng cuối là dự báo sơ bộ các mốc ổn định

dh	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10
1-2	0.35	-0.90	1.49	-0.49	0.64	1.16	-0.70	-0.15	0.12	-0.80
2-3	0.77	0.88	-0.65	-0.73	0.28	-1.27	0.71	-1.12	-0.87	0.78
3-1	-0.71	-0.10	-0.81	0.77	-0.68	0.05	0.40	0.83	0.80	0.32
Dự báo mốc ổn định	1,2	1,3	3	1,2	2,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3

Bảng 8. Kết quả phân tích độ ổn định bằng xử lý chênh cao đo 2 chu kỳ liên kế

ΔH	3, trời	2, lún	1, lún, 2 trời	3, lún	1, lún	2, trời	2, lún	3, lún	3, lún	2 lún	3 mốc lún
	chu kỳ 0-1	chu kỳ 1-2	chu kỳ 2-3	chu kỳ 3-4	chu kỳ 4-5	chu kỳ 5-6	chu kỳ 6-7	chu kỳ 7-8	chu kỳ 8-9	chu kỳ 9-10	lún 0-10
1	-0.11	-0.03	-0.81	0.17	-0.67	0.04	0.13	0.00	-0.05	0.11	-1.22
2	0.11	-0.89	0.66	-0.17	-0.10	1.22	-0.71	0.00	0.05	-0.79	-0.62
3	0.74	0.03	0.00	-0.75	0.10	-0.04	-0.13	-0.98	-0.83	-0.11	-1.97

Bảng 9. Kết quả tính lại chu kỳ 5-6 với giả thiết mốc không trời

Mốc	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10	Chu kỳ 0-10
1	-0.11	-0.03	-0.81	0.17	-0.67	-1.18	0.13	0.00	-0.05	0.11	-2.44
2	0.11	-0.89	0.66	-0.17	-0.10	0.00	-0.71	0.00	0.05	-0.79	-1.84
3	0.74	0.03	0.00	-0.75	0.10	-1.25	-0.13	-0.98	-0.83	-0.11	-3.18

Bảng 10. Kết quả tính theo hướng dẫn phụ lục I [1, tr.45] độ dịch chuyển S_{0-k}

Mốc	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 0-2	Chu kỳ 0-3	Chu kỳ 0-4	Chu kỳ 0-5	Chu kỳ 0-6	Chu kỳ 0-7	Chu kỳ 0-8	Chu kỳ 0-9	Chu kỳ 0-10
1	-0.11	0.65	-0.83	-0.65	-1.57	-1.50	-1.31	-0.13	0.53	-0.60
2	0.11	0.00	0.00	-0.16	-0.51	0.74	0.08	1.27	2.02	0.00
3	0.74	1.55	0.89	0.16	0.00	0.00	-0.08	0.13	0.00	-1.34

Bảng 11. Từ bảng 10, tính dịch chuyển các chu kỳ liên kế $S_{k-1,k} = S_{0,k} - S_{0,k-1}$ (18)

Mốc	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 8-9	Chu kỳ 9-10	Chu kỳ 0-10
1	-0.11	0.76	-1.48	0.18	-0.92	0.07	0.19	1.18	0.66	-1.13	-0.60
2	0.11	-0.11	0.00	-0.16	-0.35	1.25	-0.66	1.19	0.75	-2.02	0.00
3	0.74	0.81	-0.66	-0.73	-0.16	0.00	-0.08	0.21	-0.13	-1.34	-1.34

Mô hình 3: Lấy cao độ bình sai chu kỳ 0 và 4 chu kỳ tiếp ở phụ lục I [1, tr.45], từ chu kỳ 5 đến chu kỳ 8 cao độ các mốc được xây dựng tại bảng 12.

Bảng 12. Cao độ thực 3 mốc trong 8 chu kỳ

Mốc	Chu kỳ 0	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4	Chu kỳ 5	Chu kỳ 6	Chu kỳ 7	Chu kỳ 8
1	7225.00	7225.00	7225.10	7224.90	7224.90	7224.70	7224.85	7224.00	7224.15
2	7436.20	7436.20	7436.00	7435.30	7434.80	7434.92	7434.95	7434.75	7434.00
3	6771.50	6771.50	6771.50	6771.60	6771.70	6771.00	6771.15	6771.28	6770.42
4	6567.40	6567.30	6567.40	6567.30	6567.20	6567.15	6566.00	6566.15	6566.25

Bảng 13. Hiệu cao độ hai chu kỳ là trị chuyển dịch thực giữa 2 chu kỳ

Mốc	ổn định	ổn định	2, lún	2, lún	3, lún	4, lún	1, lún	2,3 lún	tổng
	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 0-8
1	0.00	0.10	-0.20	0.00	-0.20	0.15	-0.85	0.15	-0.85
2	0.00	-0.20	-0.70	-0.50	0.12	0.03	-0.20	-0.75	-2.20
3	0.00	0.00	0.10	0.10	-0.70	0.15	0.13	-0.86	-1.08
4	-0.10	0.10	-0.10	-0.10	-0.05	-1.15	0.15	0.10	-1.15

Bảng 14. Chênh cao “đo” (16) 8 chu kỳ

h “đo”	Chu kỳ 0	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2	Chu kỳ 3	Chu kỳ 4	Chu kỳ 5	Chu kỳ 6	Chu kỳ 7	Chu kỳ 8
2-4	-868.54	-868.90	-868.40	-868.00	-867.50	-867.65	-868.65	-868.68	-867.65
4-3	203.98	204.13	204.20	204.30	204.50	203.68	204.88	205.32	203.98
3-1	453.42	453.61	453.50	453.30	453.00	453.50	453.65	452.55	453.50
1-2	211.14	211.33	210.80	210.40	209.80	210.39	210.39	210.65	210.09
2-3	-664.56	-664.51	-664.70	-663.70	-663.20	-663.75	-663.75	-663.50	-663.65

Bảng 15. Kết quả phân tích độ ổn định bằng xử lý chênh cao đo 2 chu kỳ liên kế

Mốc	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	Chu kỳ 7-8 (hiệu chỉnh)	Chu kỳ 0-8
1	0.06	0.1	-0.11	-0.06	-0.27	0.05	-0.6	0.76	0	-0.83
2	0.13	-0.22	-0.6	-0.53	0.16	-0.03	-0.14	0.13	-0.62	-1.86
3	0	0	0.17	0.12	-0.63	-0.01	0.29	-0.12	-0.87	-0.94
4	-0.19	0.1	-0.06	-0.05	0.1	-1.12	-0.16	1.19	0.43	-0.95

Bảng 16. Áp dụng hướng dẫn phụ lục I [1, tr.45], tính độ dịch chuyển $S_{0,k}$, sau đó tính (18)

Mốc	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 1-2	Chu kỳ 2-3	Chu kỳ 3-4	Chu kỳ 4-5	Chu kỳ 5-6	Chu kỳ 6-7	Chu kỳ 7-8	chu kỳ 0-8
1	0.06	0.11	-0.14	-0.06	-0.01	0.10	0.26	-0.04	0.28
2	0.13	-0.21	-0.63	-0.54	0.43	0.03	0.71	-0.54	-0.62
3	0.00	0.00	0.15	0.11	-0.36	0.04	1.15	-1.04	0.05
4	-0.19	0.11	-0.09	-0.06	0.37	-1.07	0.70	-0.11	-0.34

Bảng 17. So sánh kết quả xử lý trị đo 5 chu kỳ liên kế đầu và kết quả tính tại phụ lục I [1, tr.45]

Mốc	Xử lý các chu kỳ kế nhau, sau dùng (17)				Kết quả tính từ phụ lục I [1]			
	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 0-2	Chu kỳ 0-3	Chu kỳ 0-4	Chu kỳ 0-1	Chu kỳ 0-2	Chu kỳ 0-3	Chu kỳ 0-4
1	0.06	0.16	0.07	0.01	0	0.1	-0.1	-0.1
2	0.13	-0.09	-0.64	-1.21	0	-0.2	-0.9	-1.4
3	0	0.02	0.18	0.28	0	0	0.1	0.2
4	-0.19	-0.09	-0.16	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.2

2.4. Phân tích và bàn luận

Khi chỉ *duy nhất 1 mốc dịch chuyển* trong mô hình (mốc 2, mô hình 3: chu kỳ 0-3, chu kỳ 0-4, xem bảng 17; mốc 3, chu kỳ 0-1, mô hình 2; mốc 3, chu kỳ 0-1, mô hình 1; so sánh chu kỳ 0-1, chu kỳ 1-2, chu kỳ 2-3 và chu kỳ 3-4 Bảng 13,15,16) thì xử lý bình sai lưới tự do giữa hai chu kỳ liên kế với các điểm khởi tính cao độ là cao độ bình sai chu kỳ trước đó, sau đó mới tính (17), cho kết quả độ dịch chuyển mốc tương đương theo hướng dẫn tại phụ lục I [1, tr.45].

Khi giữa 2 chu kỳ kế nhau chỉ có một mốc dịch chuyển, có thể số hiệu mốc khác nhau (xem mô hình 1, bảng 2: mốc 3, chu kỳ 0-1; mốc 2, chu kỳ 1-2; mốc 1, chu kỳ 4-5; mốc 3, chu kỳ 7-8; mốc 2, chu kỳ 9-10; xem mô hình 2, bảng 6: mốc 3, chu kỳ 0-1; mốc 2, chu kỳ 1-2; mốc 1, chu kỳ 2-3; mốc 3, chu kỳ 3-4; mốc 1, chu kỳ 4-5; mốc 3, chu kỳ 7-8; mốc 3, chu kỳ 8-9; mốc 2, chu kỳ 9-10; xem mô hình 3, bảng 13: mốc 2, chu kỳ 2-3; mốc 2 chu kỳ 3-4; mốc 3, chu kỳ 4-5; mốc 4, chu kỳ 5-6; mốc 1, chu kỳ 6-7), từ xử lý bình sai lưới tự do 2 chu kỳ kế nhau, mà các cao độ bình sai chu kỳ trước là cao độ khởi tính khi bình sai chu kỳ sau (xem bảng 4, bảng 8, bảng 15, và so sánh với bảng 2, bảng 6, bảng 13), với số cải chính cao độ chính là độ dịch chuyển, ta thấy rằng hoàn toàn phát hiện ra trị chuyển dịch, mặc dù đó là trôi hay lún.

Với 1 mốc dịch chuyển giữa 2 chu kỳ liên kế, nhưng số hiệu mốc dịch chuyển khác nhau (xem mô hình 2, bảng 6: chu kỳ 0-1, mốc 3; chu kỳ 1-2, mốc 2; chu kỳ 2-3, mốc 1; chu kỳ 3-4, mốc 3; chu kỳ 4-5, mốc 1; chu kỳ 7-8, mốc 3; chu kỳ 8-9, mốc 3; mô hình 3, bảng 13: chu kỳ 2-3, mốc 2; chu kỳ 3-4, mốc 2; chu kỳ 4-5, mốc 3; chu kỳ 5-6, mốc 4; chu kỳ 6-7, mốc 1), xử lý tính độ dịch chuyển theo 2 chu kỳ liên kế trước, sau đó mới tính độ dịch chuyển giữa chu kỳ đầu với các chu kỳ còn lại theo (17) là hoàn toàn chính xác. Xem kết quả tính bảng 8, bảng 15 và so sánh với giá trị thực tại bảng 6 và bảng

13. Còn theo hướng dẫn tại phụ lục I [1, tr.45], sau bình sai lưới tự do chu kỳ đầu, lấy cao độ làm cao độ khởi tính để bình sai lưới tự do các chu kỳ còn lại, kèm phân tích độ ổn định mốc giữa chu kỳ đầu và các chu kỳ khác là không hoàn toàn chính xác. Xem mô hình 2, bảng 11, mô hình 3, bảng 16, trị dịch chuyển tính theo (18) và so với trị dịch chuyển thực bảng 6, bảng 13, ta thấy có độ lệch lớn giữa lún tính được so với trị thực lún, nhất là ở các chu kỳ cuối. Điều này dẫn tới độ lún tích lũy chu kỳ 0-10 mô hình 2 và chu kỳ 0-8 mô hình 3, tính theo hướng dẫn phụ lục I [1, tr.45] (cột cuối bảng 11 và bảng 16), khác biệt nhiều so với giá trị thực ở cột cuối bảng 6 và bảng 13. Còn độ lún tích lũy 2 mô hình trên khi xử lý 2 chu kỳ liên kế (cột cuối bảng 9 và bảng 15) khác biệt ít so với giá trị thực lún. *Như vậy, khi có số liệu đo nhiều chu kỳ, cách thức xử lý đúng, là xử lý phân tích độ ổn định mốc 2 chu kỳ kế nhau trước, rồi tính độ chuyển dịch chu kỳ bất kỳ với chu kỳ đầu theo (17).*

Khi giữa 2 chu kỳ có 2 mốc chuyển dịch (xem mô hình 1 bảng 2: chu kỳ 2-3, mốc 1, mốc 2; chu kỳ 3-4, mốc 2, mốc 3; chu kỳ 5-6, mốc 1, mốc 3; chu kỳ 8-9, mốc 2, mốc 3; mô hình 2 bảng 6: chu kỳ 5-6, mốc 1, mốc 3; chu kỳ 6-7, mốc 2, mốc 3; mô hình 3 bảng 13: chu kỳ 7-8, mốc 2, mốc 3), kết quả phân tích bằng thuật toán bình sai lưới tự do, xử lý 2 chu kỳ liên kế, chỉ phát hiện duy nhất 1 trường hợp là mô hình 1 bảng 4: chu kỳ 2-3, có mốc 1 lún và mốc 2 trôi, các trường hợp khác đều sai (xem bảng 4: chu kỳ 3-4; chu kỳ 5-6; chu kỳ 6-7; chu kỳ 8-9; bảng 8: chu kỳ 5-6; chu kỳ 6-7; bảng 15: chu kỳ 7-8). Điều này khẳng định một lần nữa rằng, nếu số lượng mốc dịch chuyển lớn hơn hoặc bằng 50% tổng số mốc lưới cơ sở, thì chỉ dựa vào thuật toán bình sai lưới tự do mà kết luận về sự dịch chuyển các mốc là sai lệch so với thực tế chuyển dịch.

Xem xét mô hình 3 mốc, mà có 2 mốc lún, bảng 2: chu kỳ 3-4; chu kỳ 5-6; chu kỳ 8-9;

bảng 6: chu kỳ 5-6, nhận thấy rằng, khi dùng bình sai lưới tự do 2 chu kỳ liên kề, điểm ổn định sẽ bị trôi lên còn 2 mốc lún sẽ ổn định (xem bảng 4, bảng 8 với các chu kỳ tương ứng). Trong trường hợp này, phải bổ sung thêm giả thuyết, ví như các mốc không thể trôi vì chúng có kết cấu cọc bê tông cốt thép, độ sâu lớn, nên chỉ có thể lún và mốc trời vừa nhận thấy trên 2 mô hình 1 và 2 phải là mốc lún ít nhất hay là ổn định nhất, nghĩa là cao độ của nó chu kỳ này và chu kỳ liên kề trước đó là không đổi. Sau khi hiệu chỉnh, số liệu cập nhật tại bảng 4' và bảng 9, rồi so sánh với bảng 2 và bảng 6 chúng ta thấy kết quả khá phù hợp tương đồng.

Trong mô hình 3 giữa chu kỳ 7-8, được xây dựng có 2 mốc 2, 3 lún. Tuy nhiên, áp dụng bình sai lưới tự do, không phát hiện ra (xem bảng 15, chu kỳ 7-8), mà phải thêm giả thiết rằng, các mốc chuẩn không trôi (xem bảng 15, chu kỳ 7-8 hiệu chỉnh). Nếu trong lưới, trước chu kỳ 7, bổ sung thêm mốc chuẩn số 5 (trường hợp này trên thực tế công trường có thể lợi dụng những cọc ép bê tông cốt thép, sau khi cần trục thi công hết chức năng thi công...), ổn định và tiến hành đo các chênh cao liên quan, ví như đo h_{3-5} và h_{4-5} , sau đó áp dụng phương pháp bình sai xử lý 2 chu kỳ 7, 8 thì hoàn toàn phát hiện độ lún của 2 mốc 2 và 3. Với cao độ thực mốc 5, chu kỳ 7 và chu kỳ 8 là 7500mm và 7500,3 mm, các giá trị chênh cao “đo” chu kỳ 7: h_{3-5} và h_{4-5} là 728,5 mm và 933,78 mm; Chu kỳ 8: h_{3-5} và h_{4-5} là 729,72 mm và 933,85 mm, kết quả tính, cho độ chuyển dịch 5 mốc 1,2,3,4,5 giữa chu kỳ 7-8 là $(-0.27 -0.91 -1.14 0.13 0.14)^T$. So với trị lún thực mốc 2 và mốc 3 chu kỳ này ở bảng 13, chênh nhau không đáng kể.

3. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Khi áp dụng bình sai lưới tự do với điều kiện ràng buộc cao độ trung bình các mốc

chuẩn ổn định giữa 2 chu kỳ không đổi, nên xử lý 2 chu kỳ kề nhau với cao độ khởi tính (cao độ các điểm định vị, theo cách gọi trong [6]) là cao độ bình sai lưới tự do chu kỳ trước đó. Không dùng bình sai lưới tự do các chu kỳ khác với số liệu cao độ khởi tính là cao độ chu kỳ đầu (chu kỳ 0), như hướng dẫn trong phụ lục I [1, tr.45]. Hướng dẫn phụ lục I [1] chỉ phù hợp khi lưới chỉ duy nhất 1 mốc chuẩn chuyển dịch trong tất cả các chu kỳ.

Kết quả tính toán trên mô hình khẳng định một lần nữa rằng, phương pháp bình sai lưới tự do chỉ có thể chắc chắn kết luận mốc ổn định, khi số lượng mốc chuyển dịch nhỏ hơn 50% tổng số mốc định vị ban đầu trong lưới (1 mốc dịch chuyển trong lưới 3 mốc hoặc 2 mốc dịch chuyển trong lưới 5 mốc).

Việc dự báo ổn định mốc cho lưới 3 mốc chuẩn (thường dùng trên thực tế), bắt đầu từ so sánh các chênh cao đo lặp 2 chu kỳ, tiếp theo dùng phương pháp bình sai lưới tự do hai chu kỳ liên kề, nếu sự chuyển dịch mốc bị khả nghi, thì xem xét thêm điều kiện ngoại cảnh bổ sung (vị trí đặt mốc, chiều sâu đặt mốc, khả năng mốc bị lún hoặc trôi do ngoại lực tác động... ví như tất cả mốc là cọc bê tông cốt thép ép sâu đến lớp đất cứng, thì khả năng trôi là hầu như không có), để có thể sử dụng phương pháp 1 mốc gốc dùng phân tích độ ổn định mốc chuẩn khác.

Trong quá trình quan trắc lún công trình, có thể tận dụng những móng cọc kiên cố, làm thêm các mốc chuẩn bổ sung, để việc dùng phương pháp bình sai lưới tự do, phân tích độ ổn định mốc chuẩn tin cậy hơn. Số lượng mốc chuẩn nên là số lẻ 3 hoặc 5. Không nên dùng loại lưới 4 mốc vì khi dịch chuyển 1 mốc thì lưới 3 mốc đã phát hiện được, còn dịch chuyển 2 mốc giữa 2 chu kỳ liên kề thì lưới 4 mốc không phát hiện ra mà cần lưới 5 mốc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tiêu chuẩn Quốc gia (2012), *Quy trình kỹ thuật xác định độ lún công trình dân dụng và công nghiệp bằng phương pháp đo cao hình học*, TCVN 9360:2012, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
- [2] Đào Xuân Lộc (2009), *Cơ sở lý thuyết xử lý số liệu đo đạc*, Nxb Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [3] Đào Xuân Lộc (2012), *Trắc địa công trình*, Nxb Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [4] Đào Xuân Lộc, Vũ Duy Hưng, Dương Tuấn Việt, Thái Văn Hòa, Nguyễn Duy Vũ (2014), *Xây dựng phần mềm đánh giá độ chính xác và bình sai lưới trắc địa BK HCM*, mã số: C2013-20-12, Báo cáo đề tài cấp bộ, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [5] Đào Xuân Lộc, Dương Tuấn Việt, Nguyễn Duy Vũ (2013), *Về thiết lập sai số giới hạn khi áp dụng phép biến đổi Helmert để phân tích độ ổn định các mốc cơ sở. Kỹ thuật xây dựng cho sự phát triển bền vững*, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
- [6] Trần Khánh, Lê Đức Tình, Trần Ngọc Đông (2009), *Phân tích độ ổn định hệ thống mốc độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình*, Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học lần thứ 11 Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

Ngày nhận bài: 16-8-2020. Ngày biên tập xong: 02-01-2021. Duyệt đăng: 22-01-2021