

## KHẢO SÁT ĐỘ ỔN ĐỊNH MỐC LƯỚI ĐỘ CAO CƠ SỞ BẰNG THUẬT TOÁN BÌNH SAI LƯỚI TỰ DO

**Đào Xuân Lộc, Chu Mạnh Hùng**

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 06 tháng 10 năm 2008, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 15 tháng 04 năm 2009)

**TÓM TẮT:** Bài báo trình bày quy trình tính toán bình sai lưới cao độ tự do để phân tích độ ổn định mốc độ cao cơ sở. Kết quả khảo sát tính toán bằng chương trình "CBSCI" với lưới đo lặp cao độ gồm 3,4,5 mốc cho thấy so với phương pháp cao độ trung bình và phương pháp 1 mốc góc độ lệch độ cao từ 0.1 đến 0.2 mm. Do đó, có thể sử dụng phương pháp này để phân tích độ ổn định mốc gốc khi đo lún công trình.

**Từ khóa:** mốc lưới độ cao, độ ổn định mốc gốc.

Phân tích, đánh giá độ ổn định hệ thống mốc gốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình là yêu cầu bắt buộc [7], nhất là các công trình nhà cao tầng, các nhà máy công nghiệp, có hệ móng cọc vững chắc mà độ lún tuyệt đối của chúng không lớn.

Trong [1], [2] đã trình bày phương pháp cao độ trung bình hệ thống mốc cơ sở và phương pháp 1 mốc để phân tích sự thay đổi cao độ các mốc gốc. Trong bài báo này chúng tôi áp dụng thuật toán bình sai lưới tự do để khảo sát cho một số loại lưới cơ sở dưới dạng cụm 3 mốc, 4 mốc hoặc 5 mốc là dạng hay dùng ngoài thực tế sản xuất hiện nay.

### 1. TÓM TẮT CƠ SỞ LÝ THUYẾT BÌNH SAI LƯỚI TỰ DO

Lưới độ cao có số lượng mốc gốc tối thiểu 1 mốc là lưới tự do bậc "0", còn số lượng mốc gốc lớn hơn 1 là lưới phụ thuộc. Nếu lưới cao độ không có điểm gốc nào cả thì đây chính là lưới tự do.

Lưới tự do có một số ưu việt so với lưới phụ thuộc ở chỗ kết quả bình sai không bị ảnh hưởng sai số số liệu gốc, sai số trung phương cao độ được phân bố đều cho các điểm trong lưới, trong khi đối với lưới bậc "0" thì sai số trung phương cao độ điểm càng xa gốc có giá trị càng lớn, điểm càng gần gốc sai số càng nhỏ. Như vậy, độ lún điểm xa gốc có độ tin cậy kém hơn hẳn so với điểm gần gốc. Tuy nhiên, sai số trung phương hàm trị đo trong cả hai lưới là như nhau. Ngoài ra, cả 2 trường hợp đều theo nguyên tắc  $V^T P V = \min$ .

Khi bình sai lưới tự do với phương trình số hiệu chỉnh  $v = A\Delta x + l$  (1) thì số khuyết  $d > 0$  (đề lưới cao độ  $d_{\max} = 1$ ), bổ sung  $d$  phương trình:

$$C^T \Delta x + L_C = 0 \quad (2)$$

(Đối với lưới độ cao thì tổng các số cải chính vào các cao độ bằng 0)

Nghĩa là  $L_C = 0$ . Ta có hệ phương trình chuẩn:

$$\begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b \\ L_C \end{pmatrix} = 0 \quad (3)$$

Trong đó  $K$  là vector số liên hệ.

Ta có thể nhận thấy rằng (3) chính là hệ phương trình chuẩn khi bình sai tham số kèm điều kiện, có thể tham khảo cơ sở lý thuyết phương pháp này tại mục 6.5.1 tr 172 trong [3]. Khi kèm điều kiện (2) thì ma trận

$$R_C = \begin{pmatrix} R & C \\ C^T & 0 \end{pmatrix} \text{ không suy biến và do đó,}$$

ma trận nghịch đảo tổng quát có dạng:

$$R_C^{-1} = \begin{pmatrix} \bar{R} & T \\ T^T & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Theo [5] tr.84  $T = B(C^T B)^{-1}$  và

$$\bar{R} = (R + C C^T)^{-1} - T T^T. \text{ Nói cách khác } \bar{R} \text{ là ma trận } R \text{ hiệu chỉnh sai số gốc.}$$

Như vậy, sau khi tìm véc tơ ảnh  $\Delta x = -\bar{R} b$  (5) quay lại (1) tính các số cải chính  $V$ . Còn sai số đơn vị trọng số  $\mu$  và trọng số đảo hàm  $Q_f$  được tính:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pvv]}{n-k+d}} \quad (6)$$

$$Q_f = \bar{f} R_x f^T \quad (7)$$

Với  $f$  là ma trận hàng đạo hàm riêng  $f = \left( \frac{\partial F}{\partial x_1} \frac{\partial F}{\partial x_2} \dots \frac{\partial F}{\partial x_n} \right)$ ,  $n$  và  $k$  là tổng trị

đo và số điểm trong lưới. Cần phải lưu ý thêm một điều là giá trị độ cao gần đúng trong bình sai lưới độ cao tự do không phải là giá trị gần đúng như lưới phụ thuộc mà đó chính là cao độ bình sai của lưới bậc "0" vì chính điều kiện (2) ràng buộc nguyên tắc vừa nêu. Lấy ví dụ lưới có 3 mốc và đo 3 chênh cao giữa các mốc này, nếu chọn ma trận  $C^T = (1 \ 1 \ 1)$  nghĩa là sau bình sai lưới tự do này tổng  $\delta_{H1} + \delta_{H2} + \delta_{H3} = 0$  hay tổng cao độ gần đúng  $H^0$  bằng tổng cao độ bình sai  $H^{bs}$ , hay:

$$H_1^0 + H_2^0 + H_3^0 = H_1^{bs} + H_2^{bs} + H_3^{bs} \quad (8)$$

Đối với lưới cơ sở đo lún, với cách lựa chọn ma trận  $C$  như trên có nghĩa là tổng cao độ các mốc lưới cơ sở chu kỳ sau bằng tổng cao độ của chính các mốc này ở chu kỳ trước. Cách lựa chọn này chỉ đúng trong trường hợp tất cả các mốc lưới cơ sở ổn định không thay đổi cao độ. Như vậy, nếu phát hiện mốc cơ sở nào đó có độ cao bị thay đổi vượt quá giới hạn sai số đo thì phải được loại, điều này đồng nghĩa với việc lựa chọn ma trận  $C$ . Ví dụ ở chu kỳ 2 phát hiện mốc số 1 có dịch chuyển, vậy thì ma trận

$C^T = (0 \ 1 \ 1)$ , nếu chỉ phát hiện mốc số 2 thay đổi cao độ thì  $C^T = (1 \ 0 \ 1)$ , còn nếu chỉ mốc số 3 thay đổi cao độ thì  $C^T = (1 \ 1 \ 0)$ .

Như vậy, về mặt lý thuyết phương pháp này và phương pháp cao độ trung bình nêu trong [1] là tương đồng và dựa trên cơ sở: *cao độ trung bình các mốc gốc ổn định không thay đổi giữa các chu kỳ đo.*

Tiêu chuẩn để phát hiện mốc bị dịch chuyển, thay đổi độ cao quá giới hạn là

$$|S_i^{j-1,j}| \leq t\mu\sqrt{2Q_H} \quad (9)$$

Trong đó  $\Delta S_i^{j-1,j} = H_i^j - H_i^{j-1}$

(10) là chênh lệch cao độ mốc  $i$  giữa chu kỳ  $j-1$  và  $j$ ,  $t$  theo tiêu chuẩn xây dựng Việt nam bảng 2,  $Q_H$  là trọng số đảo cao độ  $i$  (phần tử thứ  $i$  trên đường chéo ma trận  $\bar{R}$ ).

Như vậy, dùng thuật toán bình sai lưới tự do để khảo sát sự ổn định mốc cao độ cơ sở có thể tiến hành theo trình tự sau:

1. Bình sai lưới tự do bậc "0" cho chu kỳ đo 0. Có thể chọn điểm bất kỳ trong lưới độ cao cơ sở làm mốc gốc để bình sai.

2. Bình sai lưới tự do chu kỳ 1 với cao độ gần đúng, lấy kết quả bình sai giai đoạn 1 và điều kiện lựa chọn là ma trận  $C^T = (1 \ 1 \ \dots \ 1)$  (11) đồng nghĩa với sự lựa chọn là tổng các số cải chính vào các mốc cao độ bằng 0, kết quả bình sai tìm được các số cải chính vào các cao độ theo (5) và cao độ bình sai lưới tự do kèm đánh giá độ chính xác (6),(7);.

3. Kiểm tra độ ổn định các mốc qua (9). Nếu tất cả các mốc lưới độ cao cơ sở thỏa mãn (9) thì kết luận lưới ổn định, không có mốc nào dịch chuyển cao độ hoặc giá trị dịch chuyển bé trong phạm vi sai số đo. Nếu mốc  $J$  không thỏa (9) thì trong sự lựa chọn (11) ở phần tử  $j$  phải bằng 0. Tiến hành bình sai lại và kiểm tra (9) cho đến khi các mốc được lựa chọn là ổn định phải thỏa mãn (9).

4. Các chu kỳ 2,3,4 vv... thực hiện các bước 3,4 theo trình tự này.

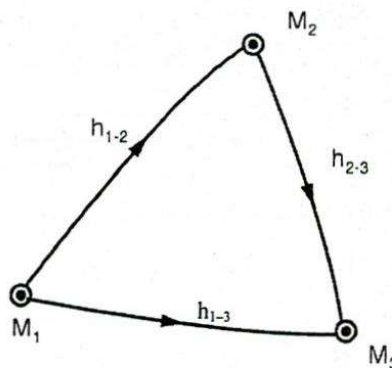
Có một thực tế cần lưu ý là sau khi thực hiện mục 3 nêu trên có thể phát hiện số lượng mốc thay đổi cao độ lớn hơn 1. Khi đó, phần tử  $j$  trong (11) sẽ được chọn cho mốc  $j$  có thay đổi cao độ lớn nhất, vì có một thực tế là cao độ mốc  $j$  thay đổi lớn sẽ có phản ứng đến các mốc khác trong lưới như phân tích trong [2]. Chỉ sau sự lựa chọn này bình sai lại lưới mà mốc gốc nào đó vẫn không thỏa (9) thì mới bổ sung lựa chọn tiếp theo và bình sai tiếp.

Dựa trên cơ sở thuật toán bình sai lưới tự do, chúng tôi đã viết phần mềm "CBSC1" để xử lý tính toán.

**2. KHẢO SÁT ĐỘ ỔN ĐỊNH MỐC GÓC CỦA MỘT SỐ DẠNG LƯỚI**

Lấy ví dụ tr.112 [2] với số liệu bảng sau:

Chu kỳ	$h_{1-2}$ mm	$h_{1-3}$ mm	$h_{2-3}$ mm
1	+0,90	-0,34	-1,24
2	0,82	-0,50	-1,32
3	0,76	-0,58	-1,34
4	0,62	-0,78	-1,40
5	-0,24	-0,86	-0,62
6	-0,40	-0,96	-0,56
7	-0,52	-1,12	-0,60
8	-0,68	-1,22	-0,54
9	-0,84	-1,28	-0,46
10	-1,00	-1,48	-0,48
11	-1,04	-1,98	-0,94
12	-1,08	-2,00	-0,92

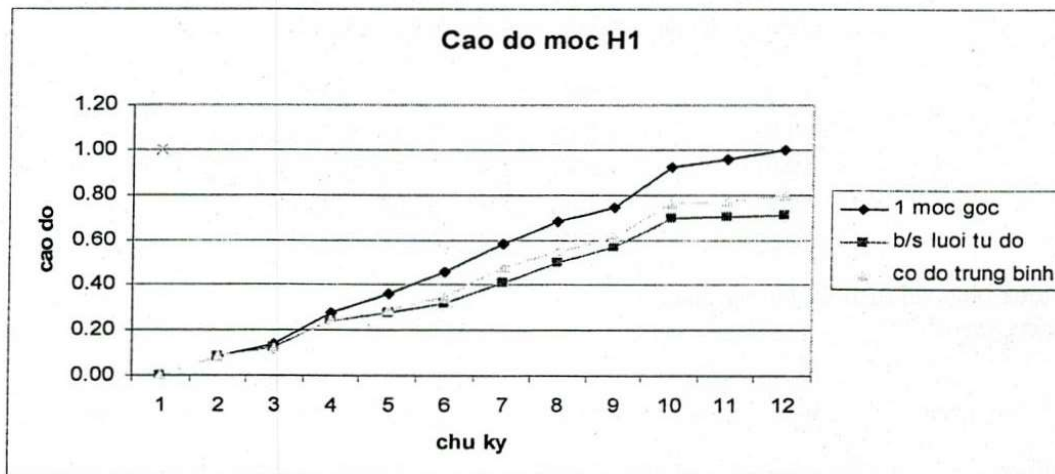


Hình 1.

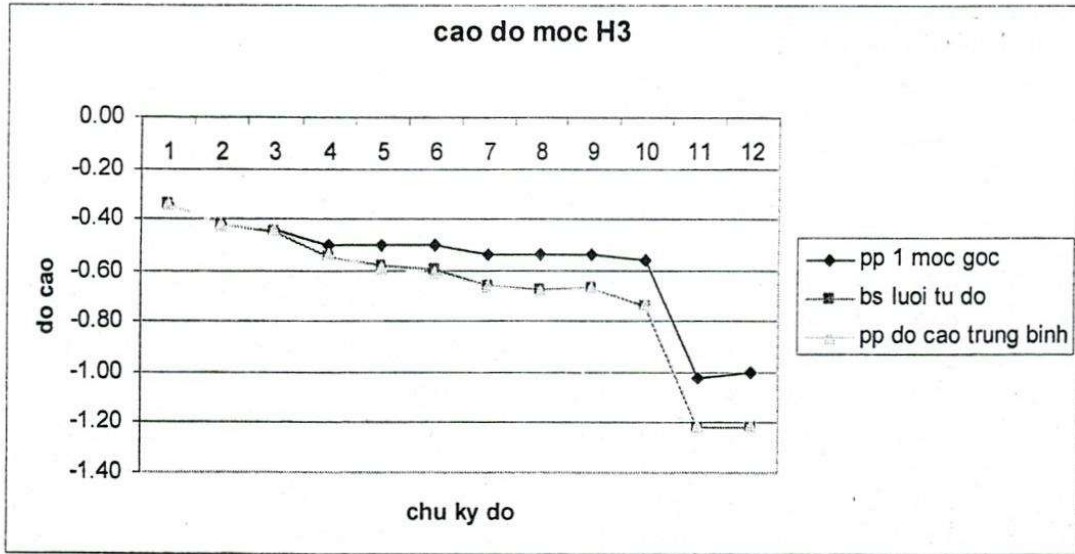
Kết quả khảo sát độ ổn định 3 mốc  $M_1, M_2, M_3$  theo 3 phương pháp được trình bày ở bảng dưới đây:

Phương pháp 1 mốc góc			Phương pháp bs lưới tự do			phương pháp cao đo tb		
H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
0.00	0.90	-0.34	0.00	0.90	-0.34	0.00	0.90	-0.34
0.08	0.90	-0.42	0.08	0.90	-0.42	0.08	0.90	-0.42
0.14	0.90	-0.44	0.13	0.89	-0.45	0.12	0.88	-0.44
0.28	0.90	-0.50	0.24	0.86	-0.54	0.24	0.86	-0.54
0.36	0.12	-0.50	0.28	0.04	-0.58	0.29	0.05	-0.59
0.46	0.06	-0.50	0.32	0.02	-0.60	0.35	-0.05	-0.61
0.58	0.06	-0.54	0.41	-0.01	-0.66	0.48	-0.04	-0.66
0.68	0.00	-0.54	0.50	-0.09	-0.68	0.55	-0.13	-0.68
0.74	-0.08	-0.54	0.57	-0.17	-0.67	0.61	-0.23	-0.67
0.92	-0.08	-0.56	0.69	-0.21	-0.74	0.76	-0.24	-0.73
0.96	-0.08	-1.02	0.70	-0.22	-1.22	0.77	-0.27	-1.21
1.00	-0.08	-1.00	0.71	-0.23	-1.22	0.80	-0.28	-1.21

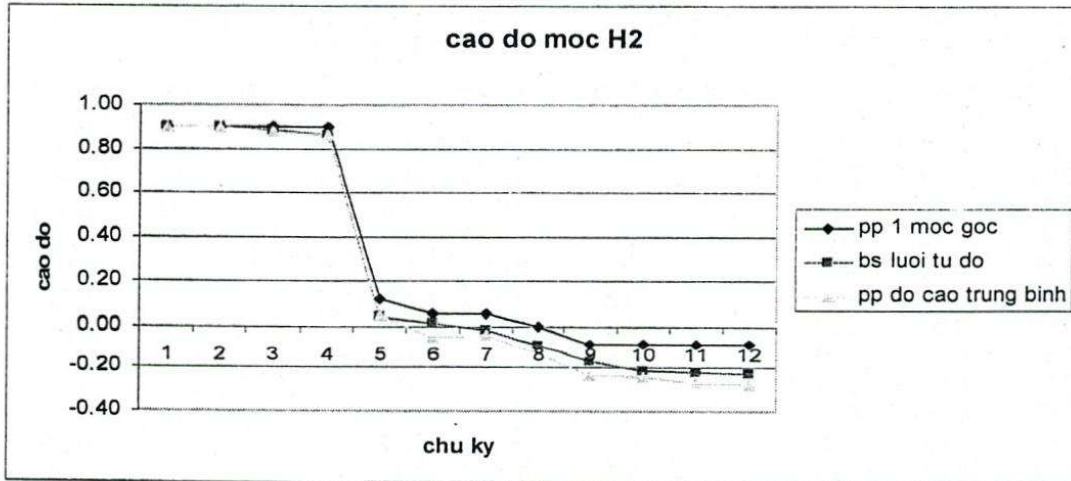
Qua kết quả khảo sát, đồ thị biến đổi cao độ các mốc thể hiện ở các hình 2,3,4.



Hình 2



Hình 3



Hình 4

Để khảo sát lưới có 4 mốc, chúng tôi lấy kết quả đo tại tr.45[7] cho 4 chu kỳ. Cần lưu ý rằng  $h_{1-2}, h_{3-1}, h_{4-3}$  phải thay đổi dấu so với số liệu ở [7]. Số liệu đo từ tr.45 [7](đơn vị mét)

Tuyen đo	so tram đo	chu ky 1	chu ky 2	chu ky3	chu ky 4
M1-M2	1	-0.86856	-0.86839	-0.8605	-0.86752
M4-M3	1	0.20413	0.20423	0.20433	-0.20448
M3-M1	1	0.45361	0.45351	0.45332	0.45304
M1-M2	1	0.21133	0.21084	0.21043	0.20781
M2-M3	1	-0.66451	-0.66465	-0.66375	-0.66319

Kết quả bình sai theo 2 phương pháp trình bày tại bảng sau (d:

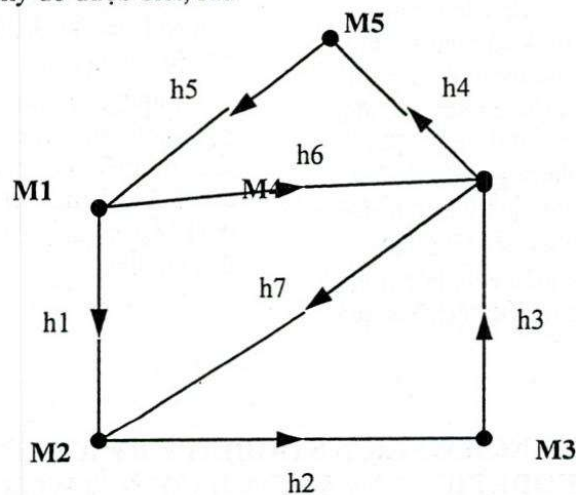
	Phương pháp 1 mốc góc				Phương pháp bs lưới tu do			
	Hm1	Hm2	Hm3	Hm4	Hm1	Hm2	Hm3	Hm4
Chu ky1	7.22500	7.43620	6.77152	6.56736	7.22500	7.43620	6.77152	6.56737
Chu ky2	7.22509	7.43598	6.77152	6.56744	7.22510	7.43599	6.77154	6.56746
Chu ky3	7.22509	7.43551	6.77177	6.56745	7.22502	7.43544	6.77170	6.56738
Chu ky 4	7.22509	7.43500	6.77194	6.56747	7.22495	7.43487	6.77181	6.56734

Ket qua tai [7]			
Hm1	Hm2	Hm3	Hm4
7.22500	7.43620	6.77150	6.56730
7.22510	7.43600	6.77150	6.56740
7.22490	7.43530	6.77160	6.56730
7.22490	7.43480	6.77170	6.56720

	lech cao do tu phuong phap 1 moc goc va bs luoit tu do				lech cao do tu[7] va bs luoit tu do			
	lech H1	lech H2	lech H3	lech h4	lech H1	lech H2	lech H3	lech h4
Chu ky 1	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00001	0.00000	0.00000	-0.00002	-0.00007
Chu ky 2	-0.00001	-0.00001	-0.00002	-0.00002	0.00000	0.00001	-0.00004	-0.00006
Chu ky 3	0.00007	0.00007	0.00007	0.00007	-0.00012	-0.00014	-0.00010	-0.00008
Chu ky 4	0.00014	0.00013	0.00013	0.00013	-0.00005	-0.00007	-0.00011	-0.00014

Mô hình lưới 5 điểm, 10 chu kỳ đo Hình 5 được xây dựng như sau: Cao độ các điểm các chu kỳ đo được cho, nghĩa là giá trị ‘dịch chuyển’ thực giữa các chu kỳ đo được biết, sau

đó tính lại các chênh cao “đo” và số lượng mốc dịch chuyển tối đa là 2 (đảm bảo số mốc dịch chuyển nhỏ hơn 50% tổng số mốc).



Hình 5

Kết quả tính dịch chuyển theo phương pháp 1 mốc gốc:

Kết quả tính dịch chuyển theo phương pháp bình sai lưới tự do (mm):

Chu ky	M1	M2	M3	M4	M5
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.08	0.00	-0.01	-0.02	0.09
3	0.08	0.09	0.18	-0.41	-0.21
4	0.26	0.15	0.18	-0.78	-0.44
5	0.70	0.66	0.81	-0.78	-1.00
6	0.90	0.75	0.81	-1.63	-1.75
7	0.90	0.88	0.99	-2.48	-2.84
8	1.03	0.88	0.93	-2.53	-2.66
9	0.96	0.90	0.93	-2.51	-2.78
10	1.03	0.87	0.93	-2.55	-2.68

Chu ky	M1	M2	M3	M4	M5
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.05	-0.03	-0.03	-0.05	0.06
3	-0.05	-0.03	0.06	-0.53	-0.33
4	0.06	-0.05	-0.02	-0.98	-0.64
5	-0.03	-0.07	0.08	-1.51	-1.73
6	0.08	-0.07	-0.02	-2.45	-2.58
7	-0.03	-0.05	0.07	-3.41	-3.77
8	0.06	-0.09	-0.03	-3.50	-3.63
9	0.02	-0.04	-0.00	-3.45	-3.72
10	0.07	-0.09	-0.03	-3.50	-3.65

Độ lún thực :

Chu k	M1	M2	M3	M4	M5
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.01	-0.01	0.01	-0.02	-0.02
3	0.02	-0.02	0.02	-0.56	-0.24
4	0.03	-0.03	0.03	-0.95	-0.71
5	0.05	-0.05	0.05	-1.53	-1.63
6	0.05	-0.04	0.04	-2.41	-2.65
7	0.04	-0.04	0.03	-3.43	-3.67
8	0.04	-0.05	0.03	-3.45	-3.69
9	0.04	-0.04	0.03	-3.47	-3.71
10	0.04	-0.05	0.03	-3.47	-3.72

### 3.KẾT LUẬN

Với kết quả khảo sát cho các loại lưới độ cao cơ sở 3 mốc, độ lệch cao độ các mốc giữa phương pháp cao độ trung bình và bình sai lưới tự do là rất bé vì bản chất 2 phương pháp này là cao độ trung bình của các mốc cơ sở ổn định, giữa 2 chu kỳ không thay đổi. Độ lệch 2 phương pháp này so với phương pháp 1 điểm gốc có lớn hơn, nhưng không quá 0,2 mm. Độ lệch này tăng dần, khi số chu kỳ đo tăng lên.

Đối với lưới cơ sở có 4 mốc gốc, bức tranh biến đổi cao độ cũng tương tự. Độ lệch kết quả

bình sai lưới tự do qua phần mềm “CBSC1” do chúng tôi viết và [7], trong phạm vi 0.14 mm. Nguyên nhân chính, theo chúng tôi, là sai số làm tròn số, vì số liệu bình sai tại [7] chỉ lấy 4 số lẻ. Ngoài ra, độ chính xác các mốc cao độ, sai số đơn vị trong số từ [7] và số liệu chúng tôi tính là hoàn toàn phù hợp.

Đối với lưới 5 điểm 10 chu kỳ đo, kết quả tính cho thấy độ lệch giữa trị dịch chuyển thực và dịch chuyển qua sử dụng thuật toán bình sai lưới tự do là rất bé nhỏ hơn 0.1 mm. Độ lệch giữa phương pháp 1 một mốc gốc và phương pháp bình sai lưới tự do đạt tới đơn vị mm cho những chu kỳ cuối. Qua khảo sát nhận thấy sử dụng thuật toán bình sai lưới tự do để đánh giá độ ổn định mốc gốc là hoàn toàn hợp lý.

Điều này cho phép có thể dùng phần mềm “CBSC1” do chúng tôi viết để xử lý số liệu lưới cơ sở và phân tích độ ổn định mốc gốc để làm số liệu gốc chính xác nhằm xử lý lưới quan trắc lún công trình.

Cũng cần lưu ý rằng tất cả các phương pháp nêu trên chỉ có thể phát hiện nếu số lượng mốc bị dịch chuyển nhỏ hơn 50% tổng số mốc của lưới, vì thế khi xây dựng lưới cơ sở phải thiết kế kết cấu mốc và chọn lựa vị trí đặt mốc thật ổn định.

## ESTIMATION OF BENCHMARK'S STABILITY BY ADJUSTMENT OF FREE GEODETIC ELEVATION BASE NETWORK

Dao Xuan Loc, Chu Manh Hung  
University of Technology, VNU-HCM

**ABSTRACT:** *The paper presents a procedure to estimate benchmark's stability by adjustment of free geodetic elevation base network. The changes of adjusted height by software "CBSC1" for free networks consisted 3,4,5 benchmarks are 0.1-0.2 mm when to compare this method with a method one benchmark is unchanged in height and method the mean of height for benchmark group is unchanged. So, we can use this method for estimation of benchmark's stability when to measure settlement for engineering constructions.*

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Đào Xuân Lộc, *Khảo sát đánh giá độ ổn định mốc gốc trong quan trắc lún công trình*, Tạp chí Phát triển khoa học công nghệ, NXB Đại học quốc gia tp. Hồ Chí Minh, Tập 6, 12/2003.
- [2]. Đào Xuân Lộc, *Trắc địa công trình trong thi công hầm và quan trắc biến dạng công trình*, Nhà xuất bản Đại học quốc gia tp. Hồ Chí Minh, (2003).
- [3]. Đào Xuân Lộc, *Cơ sở lý thuyết xử lý số liệu đo đạc*, Nxb Đại học Quốc gia Tp. HCM, (2007).
- [4]. Trần Khánh, *Quan trắc và phân tích chuyển dịch biến dạng công trình*, Trường Đại học mở địa chất, Hà Nội, (2005).
- [5]. IU.I.Markuze, Hoàng Ngọc Hà, *Bình sai lưới trắc địa không gian mặt đất và vệ tinh*, Nhà xuất bản Nhedra, Moxocova, (1991) (tiếng Nga).
- [6]. IU.I.Markuze, *Cơ sở tính toán bình sai*, NXB Nhedra, (1990). (tiếng Nga);
- [7]. *Quy trình kỹ thuật xác định độ lún công trình dân dụng và công nghiệp bằng phương pháp đo cao hình học*, TCXDVN 271:2002, Nxb XD, Hà Nội, (2002).