

GIẢI PHÁP HỢP LÝ KHI QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH NGANG CÁC CẦU ĐƯỜNG BỘ CÓ CHIỀU DÀI NGẮN BẮC QUA SÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRẮC ĐỊA

KS. TRẦN NGỌC ĐÔNG

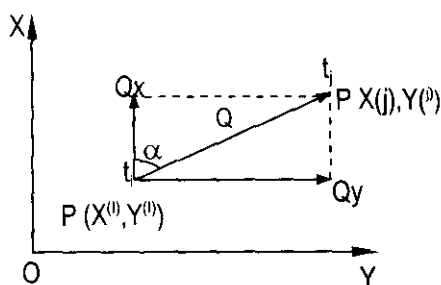
Viện KHCN Xây dựng

1. Đặt vấn đề

Trong công tác quan trắc chuyển dịch công trình ở nước ta hiện nay, việc đề xuất các phương pháp và quy trình quan trắc thích hợp cho các công trình là một vấn đề đáng được quan tâm và là một việc làm rất cần thiết. Vì vậy, trong bài báo này chúng tôi kiến nghị giải pháp hợp lý cho công tác quan trắc chuyển dịch ngang các cầu đường bộ có chiều dài ngắn bắc qua sông bằng phương pháp trắc địa nhằm giải quyết một số vấn đề trong quan trắc chuyển dịch ngang của cầu cũng như quan trắc chuyển dịch ngang công trình nói chung thường gặp như: thiết kế hệ thống lưới quan trắc, sử dụng thiết bị gì để đo (toàn đạc điện tử, GPS hay kết hợp cả GPS và toàn đạc điện tử), quy trình xử lý số liệu như thế nào để kết quả quan trắc chuyển dịch ngang phản ánh một cách chính xác nhất giá trị chuyển dịch của công trình.

2. Nguyên tắc quan trắc chuyển dịch ngang bằng phương pháp trắc địa

2.1. Nguyên tắc chung



Hình 1. Sơ đồ chuyển dịch của một điểm trong hệ tọa độ phẳng

Chuyển dịch của một điểm trong hệ tọa độ phẳng được coi là sự thay đổi vị trí của điểm đó trong mặt phẳng nằm ngang, vì vậy ta có thể viết công thức định lượng xác định chuyển dịch của đối tượng bất kỳ như sau [1]:

- Chuyển dịch theo hướng trục X:

$$Q_x = X(j) - X(i) \quad (1)$$

- Chuyển dịch theo hướng trục XY:

$$Q_y = Y(j) - Y(i) \quad (2)$$

- Giá trị vectơ chuyển dịch toàn phần:

$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} \quad (3)$$

- Hướng chuyển dịch của điểm quan trắc:

$$\alpha = \arctg \frac{Q_y}{Q_x} \quad (4)$$

Từ các công thức (1), (2) và (3) suy ra: chuyển dịch của một điểm có thể tính được bằng cách đo tọa độ của các điểm đó ở những thời điểm khác nhau trong một hệ tọa độ thống nhất, như vậy việc đo chuyển dịch ngang thực chất là lập lưới để đo tọa độ các điểm quan trắc gắn trên công trình theo thời gian (theo chu kỳ đo).

2.2. Nguyên tắc thiết kế lưới quan trắc chuyển dịch ngang công trình

Sự thay đổi vị trí công trình được xác định dựa trên hai loại điểm mốc: điểm mốc khống chế và điểm mốc quan trắc.

- Điểm mốc khống chế được đặt tại các vị trí cố định bên ngoài phạm vi ảnh hưởng chuyển dịch của công trình, các điểm mốc này có tác dụng xác định tọa độ gốc cho toàn bộ công tác quan trắc. Yêu cầu đối với điểm mốc khống chế là phải có vị trí ổn định trong suốt quá trình quan trắc.

- Điểm mốc quan trắc là các mốc gắn trên công trình, cùng chuyển dịch với công trình. Trong mỗi chu kỳ quan trắc cần thực hiện các phép đo để xác định vị trí tương đối giữa các điểm mốc khống chế nhằm kiểm tra và đánh giá tính ổn định của các mốc đó, như vậy sẽ tạo thành một mạng lưới được gọi là lưới khống chế. Các phép đo nối giữa hệ thống mốc quan trắc với các mốc khống chế tạo ra bậc lưới thứ 2, được gọi là bậc lưới quan trắc.

Trong một số trường hợp, có thể bỏ qua việc thành lập bậc lưới khống chế nếu xây dựng được các mốc

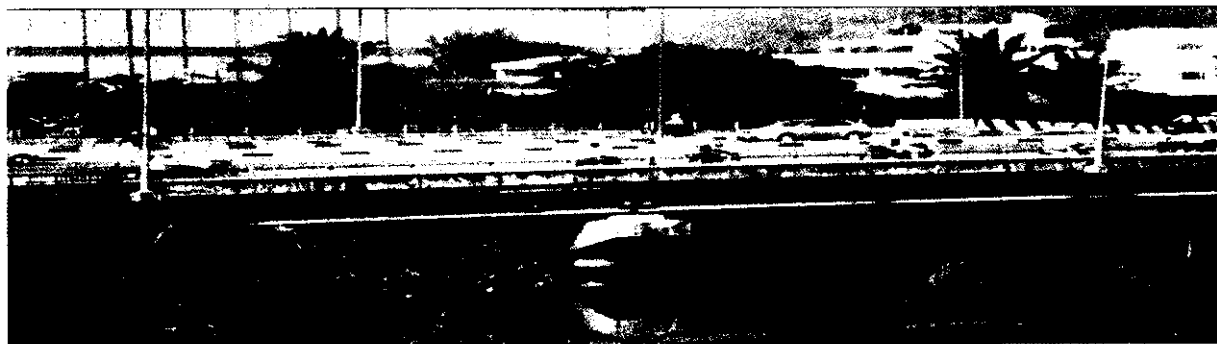
khống chế chắc chắn ổn định (Ví dụ: mố được chôn trên nền đá gốc và có cấu trúc theo phương pháp dây dọi ngược), nhưng do giá thành xây dựng các mố nêu trên là rất cao, việc thi công, bảo quản và sử dụng cũng phức tạp nên các loại mố đó chưa được sử dụng trong thực tế ở Việt Nam.

Giải pháp hợp lý và có hiệu quả kinh tế là thành lập mạng lưới cơ sở với các mố chôn nông. Trong mỗi chu kỳ, tiến hành đo và chọn biện pháp xử lý số liệu thích hợp để đánh giá mức độ chuyển dịch của các mố trong lưới, từ đó lựa chọn các mố ổn định làm cơ sở tọa độ gốc cho toàn bộ công tác quan trắc. Bậc lưới quan trắc được xây dựng như lưới phụ thuộc, trên cơ sở số liệu đo đạc tiến hành bình sai, tính toán tọa độ các mố quan trắc và các tham số chuyển dịch biến dạng công trình.

3. Phương pháp quan trắc chuyển dịch ngang của cầu đường bộ

3.1. Những yếu tố cơ bản của cầu

Khi xây dựng các tuyến đường giao thông trên mặt đất, thường phải xây dựng các công trình để vượt qua các chướng ngại như khe núi, sông, hồ... Vượt qua những chướng ngại đó thường là những công trình xây dựng rất phức tạp, bao gồm: cầu, các đoạn cầu dẫn bằng đất đắp, các công trình dùng để điều chỉnh chế độ dòng chảy ở vị trí cầu vượt. Cầu là hệ thống cơ bản thường dùng để vượt các chướng ngại kể trên, nó bao gồm 2 mố, các trụ và nhịp. Mố là bộ phận liên kết cầu với các đoạn cầu dẫn. Các trụ đặt sâu dưới lòng sông là chỗ tựa cho các giàn nhịp trên đó. Ngoài tính phức tạp về mặt xây dựng, khi đưa vào sử dụng, cầu còn chịu áp lực ngang của dòng chảy và liên tục chịu tải trọng của phương tiện giao thông qua lại. Tải trọng này là nguyên nhân làm cho cầu bị dao động và bị chuyển dịch ngang.



Hình 2. Cầu đường bộ bắc qua sông

3.2. Lựa chọn phương án thiết kế hệ thống lưới quan trắc

Để tiến hành quan trắc chuyển dịch ngang của cầu đường bộ bắc qua sông, chúng ta có thể áp dụng các phương pháp xây dựng lưới như sau:

3.2.1. Phương pháp truyền thống

Khi xây dựng lưới theo công nghệ truyền thống thì có thể xây dựng lưới tam giác đo góc, lưới tam giác đo cạnh hoặc lưới đo góc - cạnh [2].

- Lưới tam giác đo góc có nhược điểm là độ chính xác của mạng lưới phụ thuộc vào kết cấu đồ hình lưới.

- Lưới tam giác đo cạnh, trong mỗi tam giác không có đại lượng đo thừa nên không có điều kiện kiểm tra kết quả đo ngay trên thực địa. Lưới tam giác đo cạnh có độ chính xác xác định hướng kém nên gây ra dịch vị ngang lớn đối với các điểm, ảnh hưởng không tốt đến độ chính xác của lưới.

- Lưới đo góc - cạnh kết hợp được xem là tốt nhất. Loại lưới này có độ chính xác cao, đồ hình lưới có thể vượt ra ngoài những quy định thông thường mà vẫn đảm bảo độ chính xác.

Hiện nay, nhờ những tiến bộ vượt bậc trong công nghệ đo đạc điện tử cùng với ưu điểm của lưới đo góc - cạnh nên hệ thống lưới quan trắc thường được xây dựng dưới hình thức lưới đo góc -- cạnh kết hợp.

Lưới được thiết kế theo phương pháp truyền thống đòi hỏi tính thông hướng của các điểm đo, do vậy đây là nhược điểm của phương pháp truyền thống.

3.2.2. Phương pháp sử dụng thiết bị định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System)

Sử dụng công nghệ GPS để tiến hành quan trắc có ưu điểm hơn so với công nghệ truyền thống đó là không cần phải thông hướng giữa các điểm đo và cho phép xây dựng các điểm khống chế nằm ngoài phạm

vì chuyển dịch của công trình (có thể nằm cách xa công trình một vài km) hơn nữa trong trường hợp này lưới chỉ cần xây dựng một cấp (đo đạc chung tất cả điểm khống chế và điểm quan trắc thành mạng lưới thống nhất). Nhược điểm của phương pháp này là phải đảm bảo góc ngưỡng của điểm quan sát (góc ngưỡng của điểm quan sát $\geq 15^\circ$) [3].

3.2.3. Phương pháp sử dụng kết hợp giữa GPS và toàn đạc điện tử (TĐĐT)

Phương pháp này có thể được coi là tối ưu hơn cả bởi vì GPS khắc phục được sự đòi hỏi thông hướng giữa các điểm đo và thuận lợi cho việc xây dựng mốc khống chế ở những vị trí ổn định, còn toàn đạc điện tử lại thuận lợi đo đạc những điểm quan trắc khi mà GPS không đo được.



Hình 3. Máy GPS Trimble R3



Hình 4. Máy TĐĐT TCA2003



Hình 5. Gương đơn và mốc định tâm bắt buộc

Bảng 1. Một số tính năng chủ yếu của máy GPS Trimble R3 và máy toàn đạc điện tử TCA2003

Độ chính xác của máy GPS Trimble R3	Độ chính xác của máy TĐĐT TCA 2003
- Đo tĩnh và đo tĩnh nhanh Mặt bằng: $\pm(5\text{mm} + 0.5\text{ppm})$ RMS Độ cao: $\pm(5\text{mm} + 1.0\text{ppm})$ RMS - Đo động Mặt bằng: $\pm(10\text{mm} + 1.0\text{ppm})$ RMS Độ cao: $\pm(20\text{mm} + 1.0\text{ppm})$ RMS	- Đo góc với độ chính xác $m_\beta = \pm 1.0''$ - Đo cạnh với độ chính xác $m_s = \pm (1\text{mm} + 1\text{pmm}.D)$

3.4. Xử lý số liệu quan trắc chuyển dịch ngang

3.4.1. Xử lý số liệu mạng lưới khống chế khi đo đạc bằng máy TĐĐT

Để xử lý số liệu mạng lưới khống chế, chúng ta sử dụng thuật toán bình sai lưới tự do. Phương pháp bình sai lưới tự do có 2 đặc điểm cơ bản [1], [4]:

- Luôn bảo tồn cấu trúc nội tại của mạng lưới, cho phép loại trừ sai số số liệu gốc đối với kết quả bình sai.
- Khả năng định vị lưới đa dạng và linh hoạt.

Với những đặc điểm nêu trên, phương pháp bình sai lưới tự do là giải pháp thích hợp cho công tác xử lý số liệu lưới khống chế. Phương pháp bình sai tự do đáp ứng được yêu cầu đặc điểm của mạng lưới khống chế trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình.

Quá trình thiết kế lưới và đo đạc lưới GPS cần tuân thủ theo TCXDVN 364 : 2006: "Tiêu chuẩn kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình".

Quan trắc chuyển dịch ngang công trình bằng công nghệ GPS vẫn là mới mẻ và bắt đầu được áp dụng vào thực tế ở một số nơi.

3.3. Lựa chọn thiết bị quan trắc

Quan trắc chuyển dịch ngang của cầu đòi hỏi độ chính xác rất cao vì vậy chúng ta nên sử dụng các thiết bị máy có độ chính xác cao như máy TĐĐT TCA2003, máy GPS Trimble R3 (hoặc các máy có độ chính xác tương đương), gương chùm hoặc gương đơn kết hợp với bảng ngắm hoặc tiêu ngắm và nên sử dụng mốc khống chế, mốc quan trắc có dạng định tâm bắt buộc nếu có thể được là tốt nhất để loại trừ sai số định tâm máy và định tâm gương.

- Lưới không bị biến dạng do ảnh hưởng của sai số số liệu gốc.

- Lưới được định vị với các tiêu chuẩn phù hợp.

Việc áp dụng phương pháp bình sai lưới tự do trong xử lý số liệu của công tác quan trắc biến dạng công trình đã cho phép giải quyết hai nhiệm vụ:

- Kiểm tra đánh giá độ ổn định của hệ thống điểm lưới cơ sở;
- Tính toán bình sai xác định tọa độ điểm trong lưới.

Lý thuyết bình sai lưới tự do đã được giới thiệu trong [1], [4].

3.4.2. Xử lý số liệu mạng lưới quan trắc

Quá trình xử lý số liệu mạng lưới quan trắc được thực hiện bằng phương pháp bình sai gián tiếp thông

thường sau khi đã có tọa độ các điểm khống chế cơ sở.

3.4.3. Xử lý số liệu hệ thống mạng lưới quan trắc khi sử dụng công nghệ GPS

Kết quả đo GPS có thể xử lý bằng phần mềm GPSurvey 2.35, Trimble Geomatic Office hoặc các phần mềm khác có cùng tính năng.

Do GPS sử dụng hệ thống tọa độ toàn cầu WGS – 84 (hệ tọa độ Quốc tế), trong khi đó hệ tọa độ quan trắc chuyển dịch công trình thường sử dụng là hệ tọa độ địa phương (hệ tọa độ khu vực). Vì vậy, khi tính chuyển từ hệ tọa độ trắc địa Quốc tế của lưới GPS sang hệ tọa độ khu vực thì cần chọn kinh tuyến trục hợp lý để độ biến dạng chiều dài không vượt quá 1:200000 (1km biến dạng chiều dài cho phép tính chuyển là ± 5 mm).

- Khi sử dụng hệ tọa độ Quốc gia HN72 (phép chiếu Gauss sử dụng Ellipsoid Krasovskiy, tỉ lệ chiếu $m_0 = 1$) thì sử dụng kinh tuyến trục đi qua tâm khu vực xây dựng công trình sao cho $y_{tb} = 500$ km là tốt nhất.

- Khi sử dụng hệ tọa độ Quốc gia VN 2000 (phép chiếu UTM sử dụng Ellipsoid WGS – 84).

+ Đối với múi 3° (phép chiếu UTM, tỉ lệ chiếu $m_0 = 0.9999$) thì sử dụng kinh tuyến trục sao cho $y_{tb} = (500\text{km} \pm 90\text{km})$ và kiểm tra độ biến dạng theo công thức:

$$m = 0.9999 + \frac{\bar{y}^2}{2R^2} \quad (5)$$

+ Đối với múi 6° (phép chiếu UTM, tỉ lệ chiếu bằng 0.9996) thì sử dụng kinh tuyến trục sao cho $y_{tb} = (500\text{km} \pm 180\text{km})$ và kiểm tra độ biến dạng theo công thức sau:

$$m = 0.9996 + \frac{\bar{y}^2}{2R^2} \quad (6)$$

Trong công thức (5) và (6) $\bar{y}$ là trị trung bình của các ($y-500$ km), R: bán kính Trái đất. Sau khi kiểm tra nếu $m=1$ là tốt nhất.

Một vấn đề cũng cần lưu ý là độ chính xác của một cạnh (baseline) sau xử lý phụ thuộc vào tọa độ khái lược của hai điểm đầu, tọa độ khái lược càng gần với hệ WGS – 84 Quốc tế cho độ chính xác xử lý càng cao [5]. Nói cách khác véc tơ gia số tọa độ giữa hai điểm đầu của baseline $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$ là hàm số khá nhạy cảm của véc tơ tọa độ gần đúng của một điểm đầu $[X, Y, Z]^T$. Vì vậy cần đặc biệt lưu ý tới việc xác

định tọa độ gần đúng ít nhất một điểm gốc của toàn lưới trong hệ tọa độ WGS – 84 Quốc tế. Theo hãng sản xuất Trimble thì khi sai lệch giá trị tọa độ gần đúng khoảng 10m thì giá trị gia số tọa độ của baseline sẽ sai khoảng một vài phần triệu.

3.4.4. Xử lý số liệu khi kết hợp GPS và TĐĐT

Xử lý số liệu GPS theo phần 5.3.3 sau đó lấy tọa độ của các điểm GPS làm tọa độ khởi tính cho mạng lưới quan trắc và tiến hành bình sai mạng lưới quan trắc.

4. Thực nghiệm

Để kiểm chứng kết quả lý thuyết, tác giả đã tiến hành thiết kế lưới, đo đạc lưới theo các phương án, xử lý số liệu đo đạc đối với cầu X. ở Tp. Hồ Chí Minh. Cầu có dạng hình 2 với yêu cầu sai số xác định độ dịch chuyển của mỗi cầu $m_0 = 5$ mm. Chúng ta xác định được sai số trung phương vị trí điểm yếu nhất tổng hợp là:

$$m_p = \frac{m_0}{\sqrt{2}} = \pm \frac{5}{\sqrt{2}} = \pm 3.5\text{mm} \quad (7)$$

4.1. Thiết kế lưới theo phương pháp truyền thống (lưới đo góc - cạnh kết hợp)

- Sai số vị trí điểm tổng hợp gồm hai nguồn sai số gây nên, đó là sai số do ảnh hưởng của lưới khống chế cơ sở (m_{kc}) và sai số của lưới quan trắc (m_q). Do đó ta có:

$$m_p = \sqrt{m_{kc}^2 + m_q^2} \quad (8)$$

- Nếu giả thiết giữa các bậc lưới có cùng hệ số tăng giảm độ chính xác k, khi đó ta có:

$$m_q = k.m_{kc} \quad (9)$$

Từ công thức (10) và (11) chọn $k=2$, khi đó chúng ta lần lượt tính được $m_{kc}=1.6\text{mm}$ và $m_q=3.1\text{mm}$.

Để quan trắc chuyển dịch ngang của mỗi cầu X ở hình 2, việc thiết kế lưới gặp nhiều khó khăn do phải đảm bảo tính thông hướng của các mốc chuẩn với nhau, các mốc chuẩn phải có vị trí ổn định (tác giả đã xây dựng 4 điểm mốc khống chế cơ sở ở vị trí ổn định là MC1, MC2, MC3, MC4). Do các mốc chuẩn không hoàn toàn thông hướng với nhau nên đã sử dụng thêm 2 điểm quan trắc QT1 và QT2 để cùng với các điểm khống chế kết nối thành mạng lưới, các điểm có cùng chung hệ tọa độ. Sơ đồ thiết kế lưới khống chế cơ sở và lưới quan trắc được thể hiện ở hình 6 và 7.

Từ sơ đồ lưới ở hình 6, tiến hành đo đạc lưới bằng máy TCA2003 (sai số đo góc theo thiết kế là $1''$ và sai số đo cạnh là $1\text{mm}+1\text{ppm.D}$) góc được đo 6 vòng đo, cạnh đo 2 chiều đi và về. Bình sai lưới theo 2 phương

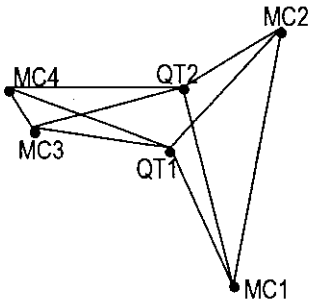
pháp: phương pháp bình sai lưới phụ thuộc và phương pháp bình sai lưới tự do. Khi bình sai lưới theo phương pháp bình sai lưới tự do tọa độ gần đúng của các điểm được tính từ tọa độ điểm gốc. Về hệ tọa độ quan trắc, có thể sử dụng hệ tọa độ đã có ở khu vực hoặc hệ tọa độ giả định. Đối với cầu X ở hình 2, có 2 điểm gốc ở gần cầu, tọa độ của chúng được ghi ở bảng 2.

Bảng 2. Tọa độ của các điểm gốc

Tên điểm	Tọa độ	
	X (m)	Y (m)
MC2	1193254.266	499618.858
MC3	1193175.011	499365.180

Bảng 3. Trị đo góc của lưới khống chế cơ sở

Số TT	Tên góc			Giá trị góc 0 "	Số TT	Tên góc			Giá trị góc 0 "
	Trái	Giữa	Phải			Trái	Giữa	Phải	
1	MC1	MC2	QT2	45 48 02.6	8	QT2	MC4	QT1	14 17 17.8
2	MC2	QT2	MC3	199 13 00.0	9	MC3	QT2	MC4	11 54 00.7
3	QT2	MC3	QT1	16 34 47.9	10	MC4	MC3	QT2	123 22 32.3
4	MC4	QT1	MC1	220 01 25.3	11	MC2	QT2	MC1	98 30 41.5
5	QT1	MC1	MC2	48 46 19.8	12	MC2	QT1	MC1	95 29 10.0
6	MC3	QT1	MC4	09 36 31.6	13	MC1	QT2	MC3	100 42 13.6
7	QT1	MC4	MC3	30 26 05.9	14	MC4	QT1	MC2	124 32 20.2



Hình 6: Sơ đồ lưới khống chế cơ sở

Bảng 4. Trị đo cạnh của lưới khống chế cơ sở

Số TT	Tên cạnh		Giá trị (m)	Số TT	Tên cạnh		Giá trị (m)
	Trạm máy	Trạm gương			Trạm máy	Trạm gương	
1	MC1	MC2	210.4464	6	QT1	MC4	164.2146
2	MC2	QT2	124.1354	7	MC4	QT3	172.5454
3	QT2	MC3	145.3981	8	MC4	MC3	42.6058
4	MC3	QT1	129.2916	9	QT1	MC2	159.0052
5	QT1	MC1	123.4999	10	QT2	MC1	152.5540

Bảng 5a. Bình sai lưới GPS theo phương pháp bình sai lưới phụ thuộc (dùng nhiều hơn 1 điểm gốc)				Bảng 5b. Bình sai lưới GPS theo phương pháp bình sai lưới tự do (dùng một điểm gốc)			
Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm m_p (mm)	Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm m_p (mm)
	X (m)	Y(m)			X (m)	Y(m)	
MC1	1193052.4616	499559.1725	0.0022	MC1	1193052.4610	499559.1729	0.0010
MC2	1193254.2660	499618.8580	0.0000	MC2	1193254.2672	499618.8614	0.0010
MC3	1193175.0110	499365.1800	0.0000	MC3	1193175.0110	499365.1800	0.0007
MC4	1193206.7315	499336.7354	0.0015	MC4	1193206.7313	499336.7334	0.0008
QT1	1193156.8561	499493.1897	0.0015	QT1	1193156.8555	499493.1901	0.0007
QT2	1193196.5197	499508.9753	0.0015	QT2	1193196.5199	499508.9755	0.0009

Từ kết quả bảng 5a và bảng 5b ở trên chúng ta thấy phương pháp bình sai lưới phụ thuộc có sai số vị trí điểm lớn hơn phương pháp bình sai lưới tự do (do ảnh hưởng của sai số số liệu gốc) và độ chính xác sai số vị trí điểm $m_p > 1.6\text{mm}$ không đảm bảo yêu cầu độ chính xác để ra. Phương pháp bình sai lưới tự do có sai số vị trí điểm đạt yêu cầu để ra $m_p \leq 1.6\text{mm}$ (loại trừ được sai số liệu gốc) đảm bảo yêu cầu độ chính xác để ra.

Lưới quan trắc được thiết kế như ở hình 7 với sai số thiết kế đo góc là 1.5" và sai số đo cạnh là 1mm+1ppm.D, các góc trong lưới được đo 4 vòng đo,

cạnh đo 2 chiều đi và về số liệu được ghi ở bảng 6 và bảng 7.

Sau khi có tọa độ các điểm khống chế cơ sở được xác định bằng phương pháp bình sai lưới tự do thì tiến hành bình sai mạng lưới quan trắc (lấy tọa độ điểm MC1, MC2, MC3 và MC4 làm số liệu khởi tính cho mạng lưới quan trắc). Kết quả tính tọa độ và sai số vị trí điểm lưới quan trắc được ghi ở bảng 8a.

Từ bảng 8a, chúng ta thấy sai số vị trí điểm lớn nhất là $m_p = 2.2\text{mm} < 3.1\text{ mm}$. Do đó thiết kế lưới và lựa chọn thiết bị đo đạc như trên hoàn toàn đảm bảo độ chính xác định chuyển dịch với sai số $m_d \leq 5\text{ mm}$.

Bảng 6. Trị đo góc của lưới quan trắc

Số TT	Tên góc	Giá trị góc 0 "	Số TT	Tên góc	Giá trị góc 0 "
	Trái Giữa Phải			Trái Giữa Phải	
1	QT1 MC1 QT4	40 03 30.3	13	QT2 MC4 QT1	14 17 17.8
2	MC1 QT4 QT1	91 47 39.1	14	MC3 QT2 MC4	11 54 00.7
3	QT1 QT4 QT3	102 18 01.1	15	MC4 MC3 QT2	123 22 32.3
4	MC2 QT2 QT3	36 42 37.8	16	QT1 MC4 MC3	30 26 05.9
5	QT3 QT2 QT1	102 42 49.3	17	MC4 QT1 MC1	220 01 25.3
6	QT2 QT1 QT4	77 51 26.4	18	MC3 QT1 MC4	09 36 31.6
7	QT4 QT1 MC1	48 08 55.2	19	QT2 QT3 MC2	104 51 54.7
8	QT2 MC3 QT1	16 34 47.9	20	QT3 MC2 QT2	38 25 31.6
9	MC2 QT2 MC3	199 13 00.0	21	MC2 QT2 MC1	98 30 41.5
10	MC1 MC2 QT2	45 48 02.6	22	MC1 QT2 MC3	100 42 13.6
11	QT1 MC1 MC2	48 46 19.8	23	MC4 QT1 MC2	124 32 20.2
12	QT4 QT3 QT2	77 07 54.7	24	MC2 QT1 MC1	95 29 10.0

Bảng 7. Trị đo cạnh của lưới quan trắc

Số TT	Tên cạnh		Giá trị (m)	Số TT	Tên cạnh		Giá trị (m)
	Tr.máy	T.gương			Tr.máy	T.gương	
1	QT4	MC1	92.0322	18	QT6	MC1	113.3802
2	QT4	QT1	79.5201	19	QT7	MC3	135.9114
3	QT4	QT3	43.5224	20	MC3	QT8	135.4515
4	QT3	MC2	76.7773	21	MC1	QT5	112.4681
5	QT3	MC1	134.6683	22	MC2	QT2	124.1354
6	QT3	QT2	79.8154	23	MC3	QT2	145.3981
7	QT2	QT7	21.3398	24	MC3	QT1	129.2916
8	QT2	QT6	77.8044	25	QT1	MC4	164.2146
9	QT6	QT3	21.6659	26	QT1	MC1	123.4999
10	QT3	QT7	87.0475	27	MC4	QT2	172.5454
11	QT3	QT5	22.6097	28	QT7	MC4	167.0690
12	QT1	QT8	20.2575	29	QT8	MC4	166.8076
13	QT1	QT5	86.2804	30	QT7	MC2	141.0309
14	QT8	QT5	79.6140	31	QT8	QT2	22.4301
15	QT8	QT4	77.8796	32	QT4	QT5	20.9120
16	QT7	QT6	79.5966	33	QT1	MC2	159.0052
17	QT2	QT7	21.3398	34	QT2	MC1	152.5540

Bảng 8a. Kết quả tọa độ và sai số vị trí điểm sau bình sai của lưới quan trắc đo bằng máy TĐĐT				Bảng 8b. Kết quả tọa độ và sai số vị trí điểm sau bình sai của lưới quan trắc đo bằng máy GPS kết hợp máy TĐĐT			
Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm m _p (mm)	Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm m _p (mm)
	X (m)	Y(m)			X (m)	Y(m)	
QT1	1193156.8563	499493.1904	0.0009	QT1	1193156.8447	499493.1919	0.0012
QT4	1193143.6522	499571.6074	0.0010	QT4	1193143.6337	499571.6080	0.0014
QT3	1193184.0489	499587.8125	0.0009	QT3	1193184.0286	499587.8166	0.0012
QT2	1193196.5199	499508.9757	0.0009	QT2	1193196.5069	499508.9808	0.0011
QT8	1193175.7000	499500.6281	0.0019	QT8	1193175.6879	499500.6307	0.0021
QT5	1193163.1236	499579.2426	0.0021	QT5	1193163.1044	499579.2444	0.0024
QT7	1193176.6957	499501.0781	0.0020	QT7	1193176.6838	499501.0809	0.0021
QT6	1193163.9782	499579.6503	0.0022	QT6	1193163.9588	499579.6521	0.0025

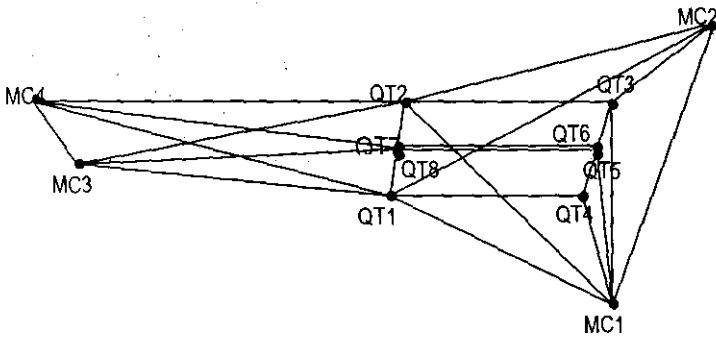
4.2. Thiết kế lưới theo phương pháp đo GPS

Việc thiết kế lưới GPS tuân thủ theo TCXDVN 364 : 2006. Thiết bị đo là máy Trimble R3. Thời gian đo của mỗi ca là 60'. Sơ đồ lưới ở hình 8, kết quả bình sai bằng phần mềm Survey 2.35, hệ tọa độ HN72, kinh tuyến trục 106° 43' 00", phép chiếu Gauss sử dụng Ellipsoid Krasovxky, tỉ lệ chiếu m₀ = 1. Tọa độ và sai số vị trí điểm sau bình sai của các phương án số liệu được trình bày ở bảng 9a và 9b.

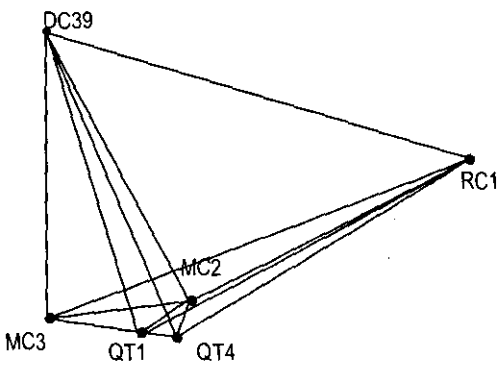
Bảng 9a. Tọa độ và sai số vị trí điểm lưới GPS theo phương pháp bình sai lưới phụ thuộc (dùng hai điểm gốc MC2 và MC3)				Bảng 9b. Tọa độ và sai số vị trí điểm lưới GPS theo phương pháp bình sai lưới tự do (dùng một điểm gốc MC3)			
Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm m_p (mm)	Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm m_p (mm)
	X (m)	Y(m)			X (m)	Y(m)	
DC39	1194520.204	499353.435	0.0084	DC39	1194520.240	499353.564	0.0019
MC2	1193254.266	499618.858	0.0000	MC2	1193254.244	499618.872	0.0017
RC1	1194100.079	500399.885	0.0082	RC1	1194100.003	500400.001	0.0018
MC3	1193175.011	499365.180	0.0000	MC3	1193175.011	499365.180	0.0000
QT4	1193143.655	499571.605	0.0014	QT4	1193143.634	499571.607	0.0016
QT1	1193156.860	499493.189	0.0014	QT1	1193156.848	499493.190	0.0014

RATIO lớn nhất bằng 65.4, RATIO nhỏ nhất 9.4; R.VA lớn nhất = 4.3 và nhỏ nhất là 1.7; RMSmax = 0.009, RMSmin = 0.006.

Từ bảng 9a và bảng 9b, chúng ta nhận thấy do các điểm gốc có sai số cho nên xử lý lưới GPS theo phương pháp bình sai lưới phụ thuộc không đảm bảo độ chính xác để ra còn bình sai lưới tự do với một điểm gốc thì hoàn toàn đảm bảo độ chính xác để ra. Kết quả đo GPS hoàn toàn đạt độ chính xác sai số vị trí điểm $m_p \leq 3.1\text{mm}$, do vậy hoàn toàn đảm bảo độ chính xác đo chuyển dịch ngang với độ chính xác yêu cầu $m_0 = 5\text{mm}$ khi xây dựng lưới 1 cấp.



Hình 7. Sơ đồ lưới quan trắc đo bằng TĐĐT



Hình 8. Sơ đồ lưới GPS

4.3. Thiết kế lưới theo phương pháp đo GPS kết hợp với TĐĐT

Do đo GPS và TĐĐT cùng chung thời điểm cho nên từ số liệu tọa độ của các điểm GPS kết hợp với các trị đo góc cạnh của lưới quan trắc, tiến hành bình sai mạng lưới quan trắc với số liệu gốc là tọa độ các điểm xác định bằng GPS (sử dụng điểm MC2 và MC3 để làm tọa độ khởi tính cho lưới quan trắc). Kết quả tọa độ và sai số vị trí điểm sau bình sai được ghi ở bảng 8b và từ bảng này chúng ta nhận thấy sai số vị trí điểm yếu nhất bằng 2.5mm nhỏ hơn $m_p = 3.1\text{mm}$. Do đó, phương pháp kết hợp này hoàn toàn đảm bảo độ chính xác theo yêu cầu xác định chuyển dịch với $m_0 = 5\text{mm}$.

Trong quan trắc chuyển dịch ngang công trình dù áp dụng phương pháp nào để quan trắc đi nữa thì mốc khống chế cơ sở (mốc chuẩn) vẫn là yếu tố quyết định

đến sự chính xác của mức độ dịch chuyển công trình. Vì vậy cần có biện pháp kiểm tra, đánh giá độ ổn định của mốc chuẩn. Có thể kiểm tra độ ổn định của mốc chuẩn theo một trong những cách hay dùng sau đây:

Khi xây dựng lưới khống chế cơ sở theo phương pháp truyền thống thì áp dụng thuật toán bình sai lưới tự do ở trên để phân tích, đánh giá độ ổn định của mốc chuẩn. Sau khi bình sai lần 1 theo lưới tự do nếu tìm được điểm nào không ổn định thì cần tiến hành lặp lại lần 2 với điều kiện $C_i = B_i$ đối với những điểm ổn định và $C_i = 0$ đối với những điểm không ổn định.

- Tiêu chuẩn ổn định của các điểm khống chế [1], [6]:

$$|Q_i| < t.m_{Q_i} \quad (t \text{ bằng } 2 \text{ hoặc } 3) \tag{10}$$

Trong đó Q_i là giá trị chênh lệch tọa độ của điểm khống chế i trong hai chu kỳ quan trắc (chu kỳ 1 và

chu kỳ i), m_{Q_i} là sai số độ lệch Q_i , được xác định từ kết quả bình sai lưới:

$$m_{Q_i} = \sqrt{m_{P_i}^2 + m_{R_i}^2} \tag{11}$$

Khi sử dụng GPS để đo lưới khống chế cơ sở thì lần lượt lấy các điểm khống chế và tính toán bình sai để tìm ra các điểm ổn định và tiêu chuẩn ổn định của các điểm, trong trường hợp này là:

$$|Q_i| < t.m_{k_c}.\sqrt{2} \text{ (} m_{k_c}: \text{sai số lưới khống chế) } \tag{12}$$

Bảng 10. Kết quả so sánh tọa độ hai phương án lập lưới

Tên điểm	Tọa độ đo bằng máy TĐĐT		Tọa độ đo bằng máy GPS		Độ lệch tọa độ		
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	$ \Delta X $ (m)	$ \Delta Y $ (m)	$ \Delta $ (m)
QT1	1193156.8561	499493.1897	1193156.8600	499493.1890	0.0039	0.0007	0.0040

Từ kết quả ở bảng 10 ta nhận thấy: tọa độ của các điểm theo hai phương án lập lưới có độ sai khác nhau về tọa độ là khoảng 4mm. Do vậy, việc lập lưới theo phương án nào đi chăng nữa thì vẫn đảm bảo về phương diện tọa độ.

Đây chỉ là so sánh bước đầu. Để khẳng định một cách chính xác thì cần khảo sát thêm nhiều lần cho hai phương án này.

5. Kết luận

Từ các kết quả thực nghiệm trên chúng ta nhận thấy các phương án xây dựng lưới, lựa chọn thiết bị đo đạc lưới và quy trình xử lý số liệu theo phương pháp bình sai lưới tự do như trên đều đảm bảo yêu cầu quan trắc chuyển dịch ngang của cầu với sai số xác định độ dịch chuyển là $m_0=5\text{mm}$. Tuy nhiên, có thể nhận thấy rằng để quan trắc chuyển dịch ngang của cầu có chiều dài ngắn bắc qua sông thì phương pháp sử dụng kết hợp GPS và TĐĐT là hợp lý nhất bởi vì:

- Ngày nay đã có máy GPS và máy TĐĐT độ chính xác rất cao;
- Khắc phục được nhược điểm của phương pháp truyền thống và phương pháp GPS;

4.4. So sánh tọa độ phương án đo lưới bằng TĐĐT với phương án đo lưới bằng GPS

Để khảo sát tọa độ của 2 phương án lập lưới nêu trên chúng tôi tiến hành đo đạc lưới theo hai phương án, để so sánh được thì hai lưới này phải được tính toán bình sai trong cùng một hệ tọa độ. Do đó, sử dụng cả hai điểm gốc là MC2 và MC3 để làm số liệu khởi tính cho 2 mạng lưới. Kết quả so sánh tọa độ của 2 phương án lập lưới được trình bày ở bảng 9.

- Hoàn toàn có thể sử dụng để quan trắc chuyển dịch ngang các cầu có chiều dài lớn và các công trình gần bờ.

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. PHAN VĂN HIẾN và NNK. Trắc địa công trình. NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 1999.
3. TCXDVN 364 : 2006: Tiêu chuẩn kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình.
4. HOÀNG NGỌC HÀ. Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS. NXB khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
5. Báo cáo khoa học. Xây dựng hệ tọa độ quy chiếu và hệ thống điểm tọa độ quốc gia. Tổng cục địa chính, 2000.
6. TCXDVN 351 : 2005: Quy trình kỹ thuật quan trắc chuyển dịch ngang nhà và công trình.
7. Phân Viện KHCN Xây dựng Miền Nam. Báo cáo tổng hợp kết quả đo chuyển dịch ngang cầu Văn Thánh 2, Tp. Hồ Chí Minh, 2007.

Ngày nhận bài: 25/4/2008