

ĐÁNH GIÁ CÔNG NGHỆ QUAN TRẮC NGHIÊNG BẰNG THIẾT BỊ PORTABLE TILTMETER Ở VIỆT NAM

Lương Ngọc Dũng^{a,*}, Bùi Duy Quỳnh^a, Phạm Quốc Khánh^b, Hoàng Văn Long^c, Dương Thị Oanh^c

^aKhoa Cầu Đường, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Trắc địa - Bản đồ và quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất,
18 Phố Viên, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

^cKhoa Xây dựng, Trường Cao đẳng xây dựng số 1,
đường Trung Văn, quận Nam Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 22/02/2021, Sửa xong 16/03/2021, Chấp nhận đăng 19/03/2021

Tóm tắt

Trong một vài năm trở lại đây, tại Việt Nam xuất hiện công nghệ đo nghiêng bằng Tiltmeter giúp quan trắc nghiêng công trình rất hiệu quả, đặc biệt là các công trình được xây dựng trên khuôn viên nhỏ, chiều cao lớn. Đây là một phương pháp đo nghiêng mới nhưng chưa có những tiêu chuẩn Việt Nam quy định và những nghiên cứu đánh giá về hiệu quả của công nghệ. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu công nghệ quan trắc nghiêng Tiltmeter về cách thức đo đạc và tính toán; phân tích, so sánh công nghệ Tiltmeter với phương pháp đo khoảng cách ngang khi xác định nghiêng kết cấu thẳng đứng và phương pháp đo cao thủy chuẩn hình học khi xác định nghiêng kết cấu nằm ngang giúp đánh giá khả năng áp dụng của phương pháp này. Thực nghiệm xác định nghiêng một kết cấu thẳng đứng cao 3 m, cho kết quả giá trị độ lệch ngang giữa hai phương pháp là 1,8 mm/1 m và 0,2 mm/2 m tương ứng giá trị lệch góc khoảng 6' và 21". Thực nghiệm xác định nghiêng cho kết cấu nằm ngang, kết quả giữa hai phương pháp gần như đồng nhất, với giá trị lệch ngang 0,2 mm/0,103 m, tương đương giá trị lệch góc khoảng 6'.

Từ khoá: quan trắc nghiêng; thiết bị Tiltmeter; nguyên lý đo nghiêng Tiltmeter; GeoKon; GeoSlope.

ASSESEMENT OF TILT MORNITORING BY PORTABLE TILTMETER IN VIETNAM

Abstract

In the past few years in Vietnam, the Tiltmeter technology has appeared to help the effective tilt monitoring, especially the works built on a small campus with large height. This is a new method, but there are no Vietnamese standards and no assessment studies on the efficiency of the technology. In this article, we present Tiltmeter technology about measuring and calculating method; analysis and comparison of Tiltmeter technology with the horizontal distance measurement method when determining the inclination of the vertical structure and the geometric leveling method when determining the horizontal structure inclination helps to assess the applicability of this method. The experiment on determining the tilt of a 3-meter-high vertical structure, results in horizontal deviation values between the two methods as 1.8 mm/1 m and 0.2 mm/2 m, angle deviation values about 6' and 21", respectively. When experimenting the determination of inclination for horizontal structure, the results between the two methods are almost identical, deviation value of 0.2 mm/0.103 m, corresponding an angle deviation value about 6'.

Keywords: tilt monitoring; tiltmeter instruments; tiltmeter theory; GeoKon, Geoslope GK-604D, DigiPro2.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(1V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-12) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: dungln@nuce.edu.vn (Dũng, L. N.)

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới vấn đề quan trắc bằng Tiltmeter đã được áp dụng từ rất lâu cho các hoạt động về địa chấn như sự hoạt động của núi lửa, sạt lở đất [1]. Trong quan trắc nghiêng, thiết bị Tiltmeter được đánh giá có hiệu quả, có độ chính xác cao và chi phí thấp [2]. Hiện nay, rất nhiều các công trình lớn trên thế giới ứng dụng công nghệ mới này vào công tác giám sát sự dịch chuyển của công trình, cảnh báo sạt lở. Điển hình có thể kể đến hệ thống cảnh báo sạt lở đất (Landslide Warning System – Taiwan) [3] ở Đại học Quốc gia Sun-Yat-Sen, Đài Loan. Đây là vị trí nằm trên sườn thấp của núi Sao-San, tiềm ẩn nguy cơ sạt lở đất cao nên đòi hỏi một hệ thống giám sát rộng rãi. Công ty Cổ phần Công nghệ San Lien đã lắp đặt hệ thống giám sát bao gồm 10 áp kế được cài đặt trên các sườn núi phía trên núi, 17 máy đo nghiêng Tiltmeter đặt trên các bức tường chắn và 12 inclinometers được cài đặt trên các mặt phẳng trượt. Các máy đo độ nghiêng Tiltmeter có nhiệm vụ theo dõi độ nghiêng của các bức tường chắn.

Ở một công trình khác khi quan trắc cấu trúc đường hầm của hệ thống tàu điện ngầm Sân bay Quốc tế Đào Viên Đài Loan MRT System for Airport Access (Đài Bắc, Đài Loan) [4], các thiết bị đo nghiêng Tiltmeter cũng đã được áp dụng. Thiết bị Tiltmeter được gắn trên cầu, trụ và thép tạm thời để theo dõi độ nghiêng trong quá trình thi công đào, lắp. Hay như công trình tòa nhà quốc hội, Portcullis House (London, Anh) [5], thiết bị Tiltmeter được sử dụng để kiểm tra độ thẳng đứng tại các cấu trúc chuyển góc.

Cùng với việc đo nghiêng các hệ thống tường chắn tầng hầm bằng thiết bị cảm biến Inclinometer [6], thiết bị Tiltmeter cũng bắt đầu được ứng dụng rộng rãi tại Việt Nam trong công tác quan trắc, kiểm tra độ nghiêng công trình, đặc biệt là đo nghiêng trong kết cấu như nhà cao tầng. Năm 2012, Viện Khoa học công nghệ xây dựng – IBST đã thực hiện dự án “Nghiên cứu xây dựng chương trình và tài liệu giảng dạy về quan trắc công trình xây dựng” [7]. Trong dự án này, nội dung đề cập đến quan trắc nghiêng bằng Tiltmeter chỉ mang tính chất giới thiệu, chưa có các kết quả đo đạc thực nghiệm, đánh giá độ chính xác của thiết bị và phương pháp. Ngoài ra, trong sản xuất thực tế, cũng đã có một số đơn vị tư vấn triển khai áp dụng công nghệ quan trắc Tiltmeter vào các công trình nhà cao tầng tại Việt Nam.

Ví dụ ở một số dự án như khu du lịch sinh thái và nghỉ dưỡng cao cấp Eurowindow Nha Trang gồm 3 khách sạn thuộc xã Cam Hải Đông, huyện Cam Lâm, tỉnh Khánh Hòa, 1) Tại khách sạn Condotel, 08 thiết bị đo nghiêng được gắn lên sàn các tầng 6 (03 đĩa), tầng 9 (03 đĩa) và tầng mái (02 đĩa) của tòa nhà. Qua kết quả quan trắc 3 chu kỳ cho thấy độ nghiêng lớn nhất tại điểm T3_09 theo chiều A và B là 3,22 mm [8]. 2) Tại khách sạn Movenpick, kết quả quan trắc 3 chu kỳ ở 09 điểm quan trắc nghiêng gắn ở các tầng 5, 10 và 13 cho thấy độ nghiêng lớn nhất tại điểm T2_10 theo chiều A là -1,92 mm và chiều B là 2,88 mm [8]. Và 3) tại khách sạn Radisson Blue, các đĩa đo nghiêng được gắn lên sàn các tầng 5, 10 và của tòa nhà. Kết quả quan trắc độ nghiêng lớn nhất tại điểm T3_10 theo chiều A là -2,88 mm và chiều B là 3,9 mm [9].

Trong một dự án khác tại Tòa nhà Asahi Tower ở 201 Minh Khai, phường Minh Khai, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội [9]. Trong quá trình thi công xây dựng đã khoan gắn 36 đĩa cho 3 block tại các tầng 5, 10, 15, 20 và tầng 24. Qua 4 chu kỳ quan trắc, độ nghiêng lớn nhất tại mốc T15-2 là 19,0 mm và mốc nghiêng nhỏ nhất là 4,6 mm tại mốc 15-1.

Trong báo cáo về quan trắc nghiêng trụ lò nung nhà máy sản xuất vật liệu Cristabolite - KCN Phong Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế [10], 12 thiết bị Tiltmeter đo nghiêng được khoan gắn cho 3 trụ lò nung (2 vị trí tại vách trụ và 2 tại đỉnh trụ). Qua 8 chu kỳ quan trắc, độ nghiêng lớn nhất tại vách trụ lò nung theo chiều A là 7,9 mm tại mốc N6, và theo chiều B là 2,1mm tại mốc N2-1.

Một điểm chung trong các dự án quan trắc nghiêng Tiltmeter ở Việt Nam là chỉ nêu ra được giá

trị dịch chuyển ngang tại điểm quan trắc mà chưa thể hiện được giá trị nghiêng của công trình. Mặt khác, theo nguyên lý hoạt động của thiết bị, việc lắp đặt các đĩa đo nghiêng tại mặt sàn hay đỉnh trụ công trình để xác định độ nghiêng của công trình theo phương thẳng đứng là không phù hợp.

Bài báo này giới thiệu về phương pháp quan trắc nghiêng với thiết bị Tiltmeter trong phần 2 và tiến hành thực nghiệm so sánh với các kết quả quan trắc nghiêng truyền thống bằng máy toàn đạc điện tử (TĐĐT) hoặc máy thủy bình ở phần 3. Trong phần 4 tác giả đưa ra một số kết luận đối với việc quan trắc nghiêng bằng thiết bị Tiltmeter.

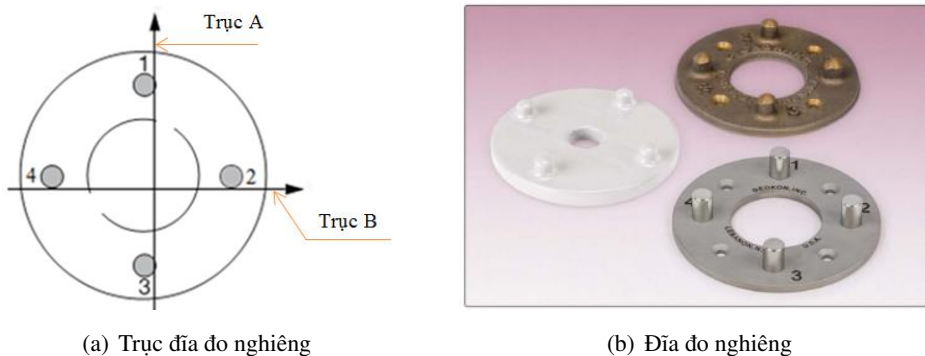
2. Thiết bị và nguyên lý quan trắc nghiêng Tiltmeter

2.1. Hệ thống quan trắc nghiêng Tiltmeter

Tiltmeter là hệ thống đo độ nghiêng được thiết kế cầm tay để xác định chính xác những thay đổi nhỏ so với phương chuẩn, hoặc trên mặt đất, hoặc trong các cấu trúc. Tiltmeter có thể được chế tạo hoàn toàn bằng cơ khí hoặc cảm biến điện phân để đo lường điện tử. Một hệ thống Tiltmeter gồm ba bộ phận sau cơ bản là thiết bị đo nghiêng - Portable Tiltmeter, bộ phận thu nhận hiển thị số liệu - Readout và đĩa đo nghiêng - Tiltplate, Hình 1.



Hình 1. Các bộ phận của hệ thống Tiltmeter

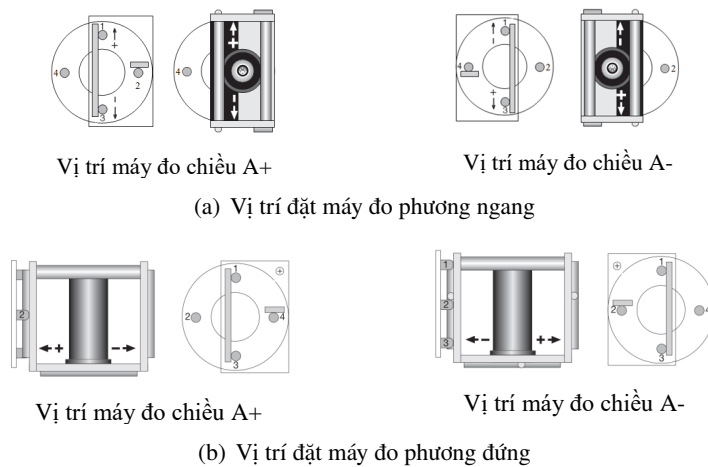


Hình 2. Cấu tạo đĩa đo nghiêng

Đĩa đo nghiêng là bộ phận dùng để đặt máy đo nghiêng lên và đo. Các đĩa này được gắn cố định trên các cấu trúc quan trắc nghiêng của công trình. Đĩa được cấu tạo gồm 4 núm, tạo thành 2 trục vuông góc với nhau, Hình 2(a). Vật liệu làm đĩa có thể là sắt, đồng hoặc sứ, Hình 2(b), có các thông số kích thước cơ bản đường kính 140 mm, chiều cao 24 mm, lỗ trung tâm 63 mm và trọng lượng khoảng 0,68 kg [11].

2.2. Nguyên lý đo và tính toán

Đo nghiêng bằng Tiltmeter là phép đo trực tiếp độ nghiêng của đối tượng thông qua máy Tiltmeter đặt trên các đĩa đo nghiêng đã gắn trên các đối tượng cần đo. Với các cảm biến là 2 sensors MEMS – Micro Electro Mechanical Systems được đặt vuông góc với nhau; một sensor sẽ xác định độ nghiêng chiều A (hướng trục 1-3), sensor còn lại sẽ xác định chiều B (hướng trục 2-4), Hình 2(a). Các sensors này được đặt trong 1 vỏ máy để bảo vệ tránh va đập, không thấm nước từ bên ngoài. Các giá trị đo được sẽ kết nối với màn hình hiển thị (Readout) thông qua dây cáp nối hoặc Bluetooth.



Hình 3. Vị trí đặt máy đo Tiltmeter [11]

Trên Hình 3(a) là vị trí máy đặt đo độ nghiêng mặt phẳng nằm ngang (Horizontal Tilt Plate) để xác định giá trị tại chiều A+ và quay máy 180 °C để xác định giá trị chiều A-. Các giá trị A+ và A- thường được đo từ 2-3 lần đo để loại trừ sai số sai lầm, sai số bù trừ hai cảm biến và tăng độ chính xác kết quả đo. Về lý thuyết, giá trị A+ và A- sẽ giống nhau và ngược dấu. Tuy nhiên, trong thực tế sẽ có sự khác biệt ngẫu nhiên lên đến 50 đơn vị giữa 2 lần đọc số do sự thiên lệch của cảm biến hoặc các bất thường nhỏ của đĩa nghiêng [12]. Để xác định chiều B làm tương tự như chiều A. Trong trường hợp xác định độ nghiêng mặt phẳng thẳng đứng (Vertical Tilt Plate), vị trí máy đo nghiêng được đặt như Hình 3(b).

Hiện nay, các loại máy đo nghiêng thường hiển thị giá trị nghiêng ở đơn vị số - Digitilt (đơn vị Digitilt thường ở dạng số thập phân), tuy nhiên một số loại máy có thể hiển đơn vị dạng Volt hoặc Degrees. Việc chuyển đổi giữa các đơn vị cũng tùy thuộc vào từng hãng [11, 12].

a. Đối với máy của hãng Slope Indicator

Với hướng dẫn sử dụng của hãng Slope [11], giá trị hiển thị trên màn hình thu được là đơn vị số - Digitilt, tuy nhiên có thể cài đặt đơn vị Digitilt chuyển đổi sang các dạng đơn vị dạng Metric hoặc

English. Trong công thức (1) thể hiện nguyên lý số đọc đơn vị Digitilt hiển thị giá trị độ nghiêng của công trình.

$$\text{Reading} = \sin \phi \times \text{Instrument Constant} \quad (1)$$

trong đó ϕ là giá trị góc nghiêng; Instrument Constant là hằng số thiết bị, đối với máy của hãng Slope hằng số là 25000.

Việc xác định độ nghiêng bằng cách so sánh số liệu đo hiện tại với số liệu của lần đo đầu tiên (số liệu gốc), tính theo đơn vị đo góc độ phút giây (degrees) ở công thức (2) hoặc tính theo đơn vị đo dài milimet bằng công thức (3).

$$\text{ChangeinDegrees} = \arcsin\left(\frac{\text{ChangeinDIFF}}{2 \times \text{InstrumentConstant}}\right) \quad (2)$$

$$\text{Displacement} = \left(\frac{\text{ChangeinDIFF}}{2 \times \text{InstrumentConstant}}\right) \quad (3)$$

trong đó DIFF = (+Reading) – (–Reading); DIFF_{Current} là tổng giá trị số đọc 2 chiều dương, âm lần đo hiện tại; DIFF_{Initial} là tổng giá trị số đọc 2 chiều dương, âm thời điểm đo đầu tiên, ChangeinDIFF = (DIFF_{Current} – DIFF_{Initial}).

b. Đối với máy của hãng Geokon

Với hướng dẫn của hãng Geokon [12], giá trị số DIGITS được tính theo công thức (4)

$$\text{DIGITS} = ((2500 \times R1) - R0) \times GF + G0 \quad (4)$$

trong đó R1 là giá trị điện áp nội bộ của module MEMS (đơn vị volts); R0 là giá trị dịch chuyển chiều A hoặc B; GF là giá trị bù của chiều A hoặc B; G0 là giá trị dịch chuyển của chiều A hoặc B (giá trị này thường bằng 0).

Giá trị số ở đơn vị DIGITS được chuyển sang đơn vị Volts theo công thức (5) hoặc chuyển sang đơn vị đo góc độ phút giây (degree) theo công thức (6).

$$\text{PV} = \frac{\text{DIGITS}}{2500} \quad (5)$$

$$\text{DEGREES} = \arcsin\left(\frac{\text{DIGITS}}{38637,03305}\right) \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

Lúc này giá trị độ nghiêng tính theo đơn vị milimet được xác định theo công thức (7).

$$\begin{aligned} \text{DIFF} &= (+\text{Reading}) - (-\text{Reading}) \\ \text{Change} &= \left(\frac{\text{DIFF}_{\text{Current}} - \text{DIFF}_{\text{Initial}}}{2}\right) \\ \text{DISP} &= \text{Change} \times 3600 \times 0,0048 \\ D_{\max} &= \sqrt{\text{DISP}_A^2 + \text{DISP}_B^2} \end{aligned} \quad (7)$$

trong đó +Reading, –Reading là số đọc được xác định ở 2 hướng 0° và 180° của các trục A hoặc B ở mỗi thời điểm; 0,0048 là hằng số chiều dài 1 giây cung; 3600 là hằng số chuyển đổi từ độ sang giây.

Góc nghiêng ε của công trình là mối quan hệ giữa độ lệch ngang D_{\max} và chiều cao H , thể hiện trong công thức (8).

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{D_{\max}}{H}\right) \quad (8)$$

Hướng nghiêng của công trình được thể hiện bởi yếu tố góc định hướng α và xác định trong công thức (9).

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\text{DISP_B}}{\text{DISP_A}}\right) \quad (9)$$

trong đó DISP_A là độ dịch chuyển theo chiều trục A; DISP_B là độ dịch chuyển theo chiều trục B, vuông góc với trục A.

Lưu ý trong cả hai nguyên lý tính toán, giá trị Displacement ở công thức (3) và D_{\max} ở công thức (7) có đơn vị là mm/m, do đó khi tính giá trị chuyển dịch (độ lệch ngang hoặc độ lệch dọc) cần nhân thêm tỷ lệ chiều cao H hoặc chiều dài L với đơn vị mét của đối tượng quan trắc.

2.3. Độ chính xác của phương pháp

Càng lên cao thì độ chính xác của phương pháp Tiltmeter càng giảm. Theo tài liệu lý lịch máy của thiết bị hãng Geokon [12] cung cấp độ chính xác của thiết bị là $\pm 0,05$ mm/m (tương đương giá trị dây cung $\pm 10''$). Như vậy, nếu điểm đo có độ cao là 100 m thì sai số đo độ nghiêng là 5,0 mm.

Tuy nhiên, ta cũng có thể tính được sai số mỗi lần xác định độ nghiêng theo lý thuyết sai số trung phương hàm đại lượng đo [13]. Trong công thức (7), chuyển sang sai số trung phương ta có:

$$m_{\text{Change}}^2 = m_1^2 + m_2^2 \quad (10)$$

trong đó m_{Change}^2 là sai số trung phương của kết quả đo nghiêng; m_1 là sai số trung phương của giá trị $\text{DIFF}_{\text{Current}}$; m_2 là sai số trung phương của giá trị $\text{DIFF}_{\text{Initial}}$.

Giá trị m_1 và m_2 được tính theo công thức (11)

$$m_1^2 = m_2^2 = m_{+\text{Reading}}^2 + m_{-\text{Reading}}^2 \quad (11)$$

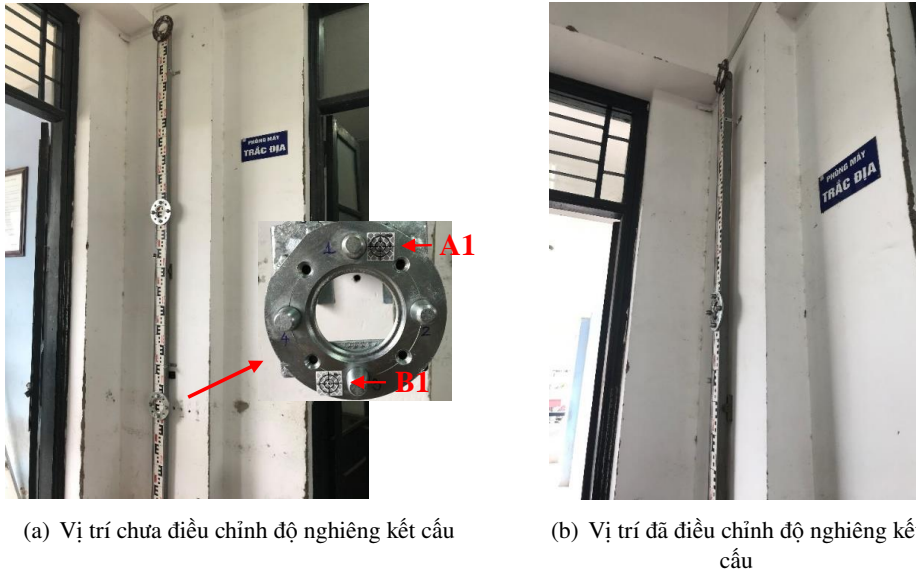
Giá trị $m_{+\text{Reading}}$ và $m_{-\text{Reading}}$ là sai số trung phương trị trung bình cộng của dãy kết quả đo theo chiều 0° và dãy kết quả đo chiều 180° tương ứng. Theo [13], các sai số này được tính bằng công thức sai số trung phương trị trung bình cộng của Bessel, công thức (12).

$$m_{+/-\text{Reading}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n v_i^2}{n(n-1)}} \quad (12)$$

3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

Để kiểm chứng lý thuyết về Tiltmeter như đã trình bày ở các phần trên, chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm đo độ nghiêng kết cấu thẳng đứng bằng thiết bị Tiltmeter và kiểm tra so sánh với kết quả đo bằng toàn đạc điện tử (TĐĐT). Thực nghiệm được tiến hành cho hai thời điểm của đĩa đo nghiêng là trạng thái ban đầu và trạng thái điều chỉnh nghiêng. Trong thực nghiệm, ba đĩa đo nghiêng được gắn vào 3 vị trí có độ cao 1 m, 2m và 3 m của một kết cấu thẳng đứng cao 3 m, Hình 4.

Sử dụng thiết bị Tiltmeter Geokon số hiệu 1726015 quan trắc ở hai thời điểm, thời điểm ban đầu của kết cấu thẳng đứng và thời điểm chủ động điều chỉnh để kết cấu nghiêng về phía trước, Hình 4(b).



Hình 4. Thực nghiệm đo nghiêng bằng Tiltmeter tại 3 vị trí trên kết cấu thẳng đứng

Bảng 1. Kết quả quan trắc Tiltmeter cho kết cấu thẳng đứng

Vị trí	Thời điểm quan trắc	Trục	Số đọc Trung bình		DIFF
			+Reading	-Reading	
TN2-1 (H = 1 m)	Ban đầu	A	0,277	-0,226	0,252
		B	-0,750	0,722	-0,736
	Điều chỉnh nghiêng	A	-0,362	0,382	-0,372
		B	-0,764	0,722	-0,743
TN2-2 (H = 2 m)	Ban đầu	A	0,039	-0,035	0,037
		B	0,118	-0,102	0,110
	Điều chỉnh nghiêng	A	-0,494	0,488	-0,491
		B	0,075	-0,083	0,079
TN2-3 (H = 3 m)	Ban đầu	A	1,007	-0,984	0,995
		B	0,561	-0,601	0,581
	Điều chỉnh nghiêng	A	0,236	-0,229	0,233
		B	0,514	-0,501	0,508

Mỗi thời điểm đo ba lần các hướng chiều A và B cho ba vị trí độ cao đĩa đo nghiêng rồi lấy kết quả trung bình, Bảng 1.

Từ số đọc quan trắc trung bình bằng Tiltmeter ở Bảng 1, theo công thức (7) tính được giá trị độ lệch ngang D_{\max} của các đĩa đo nghiêng tương ứng các vị trí 1 m, 2 m, 3 m lần lượt là -10,8 mm, -18,3 mm và -39,7 mm, Bảng 2. Đánh giá độ chính xác phương pháp theo công thức (10), (11), (12) nhận thấy sai số trung phương độ lệch ngang D_{\max} trong khoảng $\pm 0,5$ mm.

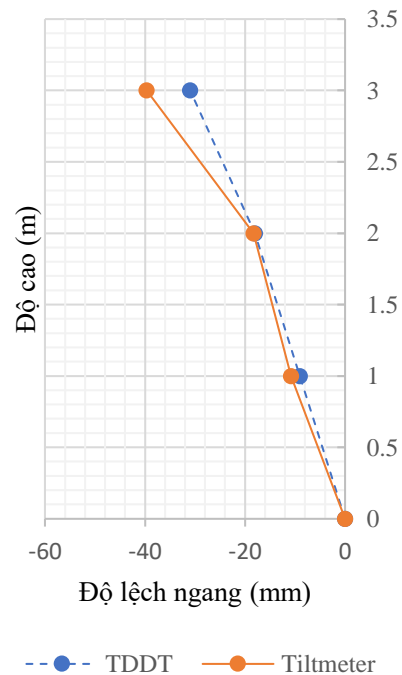
Bảng 2. Kết quả tính toán độ lệch ngang theo Tiltmeter

Vị trí	Trục	Thời điểm quan trắc		Độ lệch ngang		
		Ban đầu	Điều chỉnh nghiêng	Change	DISP \times H (mm)	D_{\max} (mm)
		DIFF	DIFF			
TN2-1 (H = 1 m)	A	0,252	-0,372	-0,624	-10,77	-10,8
	B	-0,736	-0,743	-0,007	-0,13	
TN2-2 (H = 2 m)	A	0,037	-0,491	-0,528	-18,25	-18,3
	B	0,110	0,079	-0,031	-1,07	
TN2-3 (H = 3 m)	A	0,995	0,233	-0,763	-39,55	-39,7
	B	0,581	0,508	-0,073	-3,78	

Nhằm so sánh, đánh giá kết quả đo nghiêng D_{\max} của thiết bị Tiltmeter, thực nghiệm đồng thời tiến hành đo độ nghiêng của kết cấu thẳng đứng theo nguyên lý khoảng cách ngang [14] bằng toàn đạc điện tử Leica TCR1011 với độ chính xác đo khoảng cách $m_s = 2 + 2\text{ppm}$. Máy toàn đạc điện tử được bố trí cố định và giả định hệ tọa độ phẳng cho điểm đặt máy với trục X vuông góc với bề mặt kết cấu thẳng đứng. Tại các đĩa đo nghiêng ở vị trí quan trắc TN2-1, TN2-2, TN2-3, bố trí 2 gương giấy phản xạ A_i, B_i đối xứng nhau qua tâm đĩa, Hình 4(a). Bảng 3 thể hiện kết quả tọa độ trung bình các điểm gương giấy của phương pháp đo khoảng cách ngang bằng máy toàn đạc điện tử Leica TCR 1101 ở hai thời điểm.

Giá trị độ lệch ngang ở các vị trí cao độ được xác định là D bằng căn bậc hai tổng bình phương giá trị độ lệch theo mỗi hướng X và Y. Như vậy có thể tính được độ lệch ngang của tâm đĩa đo nghiêng D_{tb} bằng trung bình cộng của độ lệch ngang các cặp điểm A_i, B_i và có giá trị lần lượt 9,0 mm, 18,1 mm và 31,1 mm tương ứng ở các vị trí độ cao 1 m, 2 m và 3 m. Biểu đồ Hình 5 biểu diễn đúng quy luật nghiêng của kết cấu thẳng đứng càng lên cao thì độ nghiêng càng lớn mặc dù góc nghiêng của kết cấu đo ở ba vị trí gần như không thay đổi. Bên cạnh đó, quy định về dấu của giá trị để thể hiện hướng nghiêng công trình, biểu đồ còn cho thấy sự tương đồng giữa kết quả quan trắc bằng toàn đạc điện tử và Tiltmeter.

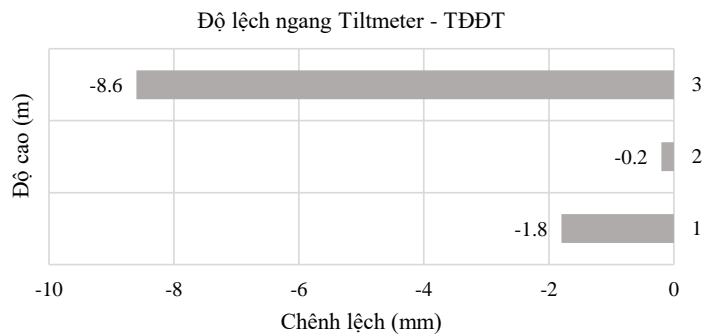
Giá trị độ lệch ngang xác định bằng toàn đạc điện tử D_{tb} và D_{\max} xác định bằng Tiltmeter trong thực nghiệm được xác định theo các nguyên lý khác nhau nhưng có sự thống nhất tương đối về mặt giá trị. Trong biểu đồ Hình 6, biểu diễn sự chênh lệch của D_{\max} so với D_{tb} ở các vị trí độ cao lần lượt là -1,8 mm/1 m, -0,2 mm/2 m và -8,6 mm/3 m.



Hình 5. Biểu đồ nghiêng kết cấu thẳng đứng

Bảng 3. Kết quả đo bằng máy Toàn đạc điện tử TCR 1101

Vị trí	Điểm	Tọa độ thời điểm kết cấu ban đầu (m)		Tọa độ thời điểm kết cấu nghiêng (m)		Độ lệch ngang (mm)		
		X	Y	X	Y	Dx	Dy	D
TN2-1 (H = 1 m)	A1	105,949	500,021	105,939	500,020	-10	-1	10,0
	B1	105,949	499,980	105,941	499,980	-8	0	8,0
$D_{tb} = 9,0$								
TN2-2 (H = 2 m)	A2	105,954	500,021	105,935	500,019	-19	-2	19,1
	B2	105,955	499,979	105,938	499,978	-17	-1	17,0
$D_{tb} = 18,05$								
TN2-3 (H = 3 m)	A3	105,962	500,022	105,930	500,020	-32	-2	32,1
	B3	105,961	499,981	105,931	499,980	-30	-1	30,0
$D_{tb} = 31,05$								



Hình 6. Chênh lệch độ lệch ngang của Tiltmeter và toàn đạc điện tử

Ở vị trí độ cao 1 và 3 m xuất hiện sự chênh lệch lớn trong kết quả quan trắc, lớn hơn 3 lần sai số trung phương xác định độ lệch ngang D_{\max} , của hai loại thiết bị được cho là do thiếu ổn định của số đọc Tiltmeter. Khó khăn trong việc giữ vững máy đo nghiêng di động (Portable Tiltmeter) là nguyên nhân chính gây ra sự mất ổn định số đọc này.

Trong thực nghiệm 2, đánh giá hoạt động của thiết bị Tiltmeter Geokon trong đo nghiêng theo phương ngang (độ lệch dọc), chúng tôi đã lắp đặt đĩa đo nghiêng trên một bề mặt nằm ngang. Bề mặt này được tăng dần độ nghiêng để tạo ra ba trạng thái là ban đầu, điều chỉnh nghiêng lần 1 và điều chỉnh nghiêng lần 2, Hình 7(a). Kết quả đo Tiltmeter được so sánh với kết quả xác định độ nghiêng theo phương pháp đo cao hình học bằng máy thủy chuẩn điện tử DiNi 03 kết hợp mia mã vạch, Hình 7(b).

Trong thực nghiệm này, việc thu nhận số liệu bằng thiết bị Tiltmeter được thực hiện ba lần cho mỗi chiều A để xác định độ lệch dọc bề mặt ngang theo hướng trục nứm 1 và 3, kết quả số liệu thực nghiệm quan trắc được thể hiện trong Bảng 4.

Áp dụng công thức (7) tính toán giá trị độ lệch dọc kết cấu nằm ngang (trục nứm 1 và 3) có độ dài $L = 0,103$ m ở ba trạng thái, kết quả thể hiện trong Bảng 5. Trong Bảng 5 chúng ta có thể thấy độ lệch dọc của mặt nằm ngang có chiều dài $L = 0,103$ m lần lượt là $-19,0$ mm và $-29,5$ mm, tương ứng với



Trạng thái ban đầu



Trạng thái nghiêng

(a) Đo nghiêng mặt phẳng nằm ngang bằng Tiltmeter



(b) Đo nghiêng mặt phẳng nằm ngang bằng thủy bình điện tử Dini 03

Hình 7. Thực nghiệm đo nghiêng 3 trạng thái mặt phẳng nằm ngang

Bảng 4. Số liệu quan trắc Tiltmeter cho mặt phẳng nằm ngang

Trạng thái	Chiều	Lần 1		Lần 2		Lần 3		Trung bình		DIFF
		(+)	(−)	(+)	(−)	(+)	(−)	(+)	(−)	
Ban đầu	A	−0,426	0,423	−0,426	0,423	−0,430	0,462	−0,427	0,436	−0,432
Điều chỉnh nghiêng lần 1	A	−11,120	11,096	−11,120	11,090	−11,123	11,099	−11,120	11,095	−11,108
Điều chỉnh nghiêng lần 2	A	−17,072	16,973	−17,082	16,972	−17,085	16,972	−17,080	16,972	−17,026

Bảng 5. Kết quả tính toán độ lệch dọc theo Tiltmeter

Chiều	Thời điểm	Thời điểm quan trắc		Độ lệch dọc	
		Ban đầu	Điều chỉnh nghiêng	Change	DISP \times L
		DIFF	DIFF	(Degree)	(mm)
A	Điều chỉnh lần 1 so với ban đầu	-0,4316	-11,1075	-10,676	-19,0
	Điều chỉnh lần 2 so với ban đầu		-17,0260	-16,594	-29,5

hai lần điều chỉnh nghiêng so với trạng thái ban đầu. Độ chính xác phương pháp Tiltmeter tính theo các công thức (10), (11), (12) nhận được $m_{\text{Change}} = \pm 0,2 \text{ mm}$.

Thực nghiệm đo cao bằng máy thủy bình điện tử Dini 03 các nứm 1 và 3 (chiều A) ở ba trạng thái của đĩa đo nghiêng. Chênh cao các nứm được đo hai lần rồi lấy giá trị trung bình, kết quả thể hiện trong Bảng 6. Độ cao các nứm 1 và 3 tính toán dựa trên một mốc cố định với độ cao giả định $H = 10,00000 \text{ m}$, kết quả được thể hiện trong Bảng 7.

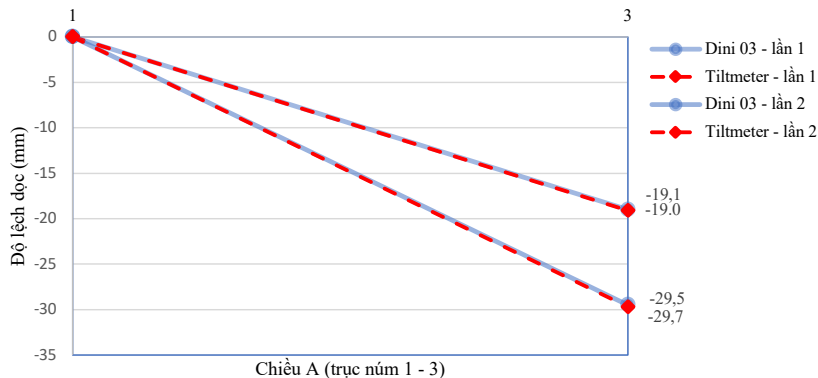
Bảng 6. Số liệu quan trắc bằng thủy bình điện tử Dini 03

Vị trí đo	Trạng thái								
	Ban đầu (m)			Điều chỉnh nghiêng lần 1 (m)			Điều chỉnh nghiêng lần 2 (m)		
	Lần 1	Lần 2	Trung bình	Lần 1	Lần 2	Trung bình	Lần 1	Lần 2	Trung bình
Chiều A	1	0,33268	0,33296	0,33282	0,34268	0,34712	0,34490	0,34909	0,34920
	3	0,33402	0,33369	0,33386	0,36504	0,36599	0,36502	0,37988	0,37994

Bảng 7. Kết quả tính toán độ cao, độ lệch dọc bằng thủy bình điện tử Dini 03

Vị trí	Độ cao ban đầu (m)	Chênh lệch độ cao nứm 3-1 (mm)	Độ cao điều chỉnh nghiêng lần 1 (m)	Chênh lệch độ cao nứm 3-1 (mm)	Độ lệch dọc (mm)	Độ cao điều chỉnh nghiêng lần 2 (m)	Chênh lệch độ cao nứm 3-1 (mm)	Độ lệch dọc (mm)
Chiều A	H	h_1	H	h_2	$h_2 - h_1$	H	h_3	$h_3 - h_1$
nứm 1	9,66718	-1,0	9,65510	-20,1	-19,1	9,65086	-30,7	-29,7
nứm 3	9,66615		9,63499			9,62009		

Trong Bảng 7, có thể dễ dàng tính được chênh lệch độ cao giữa nứm 3 và nứm 1 ở từng trạng thái lần lượt là -1 mm , $-20,1 \text{ mm}$ và $-30,7 \text{ mm}$. Độ lệch dọc được tính toán dựa trên chênh lệch độ cao ở hai thời điểm điều chỉnh nghiêng so với ban đầu, các giá trị độ lệch dọc khi thay đổi trạng thái lần lượt là $-19,1 \text{ mm}$ và $-29,7 \text{ mm}$.



Hình 8. Biểu đồ nghiêng kết cấu nằm ngang

Biểu đồ Hình 8 biểu diễn bề mặt nằm ngang theo chiều A (hướng trục nứm 1 - 3) sau hai trạng thái điều chỉnh độ nghiêng. Trong thực nghiệm này, so sánh kết quả nhận thấy phù hợp giữa hai phương

pháp xác định độ nghiêng mặt phẳng nằm ngang bằng Tiltmeter và đo cao thủy chuẩn hình học và có sự sai khác không đáng kể, khoảng $\pm 0,2$ mm (tương đương lệch 1 góc khoảng 6'). Sai lệch này nằm trong phạm vi sai số trung phương m_{Change} của thiết bị Tiltmeter. Sự tương đồng của hai phương pháp về mặt giá trị và quy luật nghiêng trong thực nghiệm đã minh chứng khả năng của thiết bị Tiltmeter khi quan trắc nghiêng kết cấu nằm ngang.

4. Kết luận

Thực nghiệm quan trắc nghiêng kết cấu thẳng đứng, tại vị trí thiết bị Tiltmeter không ổn định, chênh lệch kết quả giữa 2 phương pháp lớn hơn ba lần sai số trung phương xác định độ lệch ngang D_{max} , xấp xỉ 1 cm/3 m (tương đương giá trị lệch góc xấp xỉ 10'). Sự sai khác này có thể lý giải là do trong quá trình đo tại cao độ 3 m, đầu kết cấu thẳng đứng không được cố định chặt nên máy đo Tiltmeter không ổn định. Do đó trong thực tế, cần lắp đặt đĩa đo nghiêng tại các vị trí độ cao thích hợp, vững chắc để số đọc quan trắc Tiltmeter đạt được sự tin cậy.

Thực nghiệm quan trắc nghiêng kết cấu nằm ngang được thực hiện bằng việc xác định sự thay đổi độ lệch dọc của trục nứm 1 và 3 của đĩa đo nghiêng có chiều dài 0,103 m. So sánh với phương pháp xác định độ nghiêng mặt sàn bằng nguyên lý đo cao thủy chuẩn hình học, phương pháp Tiltmeter cho kết quả với mức độ sai lệch là 0,2 mm/0,103 m (tương đương giá trị lệch góc khoảng 6'). Với điều kiện ổn định được thiết bị Tiltmeter, sự sai lệch này được đánh giá là không đáng kể vì nằm trong khoảng sai số trung phương m_{Change} của thiết bị Tiltmeter.

Phương pháp Tiltmeter là một phương pháp có khả năng phù hợp với thực tế và có thể áp dụng trong quan trắc nghiêng các công trình cao tầng ở Việt Nam, đặc biệt là khu vực công trình lân cận hoặc khi không có điều kiện không gian để đo theo các phương pháp truyền thống.

Tài liệu tham khảo

- [1] DGSI. *Portable Tiltmeter*. Truy cập ngày 13/12/2020.
- [2] Woschitz, H., Macheiner, K. (2007). Static and kinematic testing of tiltmeters: facilities and results. *Vermessung Geoinf*, 2:134–142.
- [3] DGSI. *Landslide Warning System – Taiwan*. Truy cập ngày 13/11/2020.
- [4] DGSI. *Airport MRT Taipei City*. Truy cập ngày 13/12/2020.
- [5] DGSI. *Real-Time Monitoring Portcullis House, UK*. Truy cập ngày 13/12/2020.
- [6] Dũng, L. N., Quỳnh, B. D., Nghiêm, N. Đ. (2020). **Đánh giá phương pháp inclinometer trong quan trắc tường vây tầng hầm ở Việt Nam**. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐH XD*, 14(2V): 152–161.
- [7] Viện Khoa học và Công nghệ Xây dựng (2013). *Bài giảng quan trắc công trình xây dựng – Quyển 2: Quan trắc công trình bằng phương pháp phi Trắc địa*. Hà Nội.
- [8] Công ty Cổ phần đầu tư và xây dựng ADCom (2018). *Báo cáo kết quả quan trắc nghiêng công trình Condote, Movenpick, Radisson Blu*.
- [9] Công ty cổ phần Tư vấn quản lý dự án xây dựng Cmaxx (2018). *Báo cáo kết quả quan trắc biến dạng công trình tòa nhà Asahi Tower*.
- [10] Công ty Cổ phần đầu tư và xây dựng ADCom (2019). *Báo cáo kết quả quan trắc nghiêng công trình trụ lò nung nhà máy sản xuất Cristobalite, KCN Phong Điền, Huế*.
- [11] DGSI. *Portable Tiltmeter*. Truy cập ngày 13/12/2020.
- [12] GEOKON. *Instruction Manual – MEMS Portable Tiltmeter*. Truy cập ngày 13/12/2020.
- [13] Trọng, T. Đ., et al. (2017). *Trắc địa*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [14] TCVN 9400:2012. *Nhà và công trình xây dựng dạng tháp – xác định độ nghiêng bằng phương pháp trắc địa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.