

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ CỦA DÀM THỎI PHÒNG CHỊU UỐN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO THE RESPONSE OF THE BENDING OF INFLATABLE BEAM

Nguyễn Quang Tùng¹, Lê Khánh Toàn^{1*}

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: lktoan@dut.udn.vn

(Nhận bài: 27/4/2021; Chấp nhận đăng: 21/5/2021)

Tóm tắt - Dầm màng mỏng thổi phồng là một kết cấu nhẹ, được cấu tạo từ vật liệu vải kỹ thuật, được tạo hình thành ống kín và được thổi phồng nhờ áp suất không khí. Khác với dầm cổ điển, đặc trưng của loại dầm này là trạng thái thổi phồng đóng vai trò quan trọng đối với ứng xử của vật liệu cũng như của kết cấu. Độ cứng của dầm không chỉ phụ thuộc vào đặc tính cơ lý của vật liệu, đặc trưng hình học của tiết diện mà còn phụ thuộc vào áp suất thổi phồng của dầm. Trong nghiên cứu này, lý thuyết tính toán về chuyển vị của dầm màng mỏng thổi phồng khi chịu uốn được tổng hợp và trình bày sơ lược. Thí nghiệm dầm màng mỏng thổi phồng được đầu tư thực hiện theo 2 giai đoạn thổi phồng và chịu uốn. Kích thước hình học thật của dầm ở trạng thái thổi phồng được sử dụng để tính toán chuyển vị của dầm theo lý thuyết đã có. Các kết quả thu được từ thực nghiệm và lý thuyết là khá tương đồng.

Từ khóa - Ống thổi phồng; vải kỹ thuật; nội áp suất; chịu uốn; thực nghiệm

1. Đặt vấn đề

Vải kỹ thuật đã và đang được sử dụng rộng rãi trong công nghệ xây dựng. Các tấm vải này tạo hình thành dạng kín và được thổi phồng thì có thể sử dụng như kết cấu chịu lực. Nhờ có khả năng tạo hình đa dạng, màu sắc phong phú mà dạng kết cấu này thường được sử dụng trong các hội nghị triển lãm, các công trình chào đón. Ngoài ra, do trọng lượng bản thân rất bé nên kết cấu thổi phồng còn được sử dụng cho các kết cấu tạm thời, các công trình nghệ thuật... Đa phần các kết cấu thổi phồng đều được tạo hình dạng ống và được thổi phồng. Các kết cấu này còn được gọi tên là dầm màng mỏng thổi phồng. Việc tính toán kết cấu màng mỏng thổi phồng phải được thực hiện qua hai giai đoạn: Giai đoạn thổi phồng và giai đoạn chịu tải trọng ngoài.

Những biểu thức giải tích đầu tiên về quan hệ ứng suất - biến dạng cũng như tải trọng gây phá hoại một ống công xôn màng mỏng thổi phồng ở áp suất thấp có thể được tìm thấy trong nghiên cứu của Comer và Levy [1]; Trong nghiên cứu này, tác giả đã xây dựng mô hình dầm tuân theo quy luật dầm cổ điển của Euler-Bernoulli và vật liệu là đẳng hướng và đàn hồi tuyến tính. Trong những năm tiếp theo, Webber [2] đã mở rộng lý thuyết của Comer và Levy trong trường hợp dầm màng mỏng thổi phồng chịu một tác động phức hợp uốn-xoắn để dự đoán các ảnh hưởng của mô men xoắn lên độ võng và tải trọng gây phá hoại công trình. Với việc sử dụng mô hình của Euler-Bernoulli, áp suất - một nhân tố cơ bản của các kết cấu thổi phồng - không hề xuất hiện trong các biểu thức về độ võng. Để cải thiện các mô hình tính toán trước, rất nhiều các tác giả khác

Abstract - An inflatable membrane beam is a light structure, made of a soft technical fabric, with airtight form and subjected to an internal pressure. There are distinctions between this type of beam and traditional beam. The inflation plays an important role in the behavior of the beam as well as its structure. The rigidity of the beam depends not only on the physical properties of the material, the geometry of the section but also on the beam inflation pressure. In this study, the theoretical calculation of deflection of inflatable beams is briefly reviewed. The inflatable beam test was investigated and carried out including both inflation and bending stages. The theoretical results of the beam with actual geometrical dimensions and in inflation are available. The theoretical results fit well with the experimental results.

Key words - Inflatable tubes; technical textile; internal pressure; bending; experiment

đã sử dụng mô hình của Timoshenko, thích hợp hơn cho các kết cấu dầm có thành mỏng để xây dựng lý thuyết tính toán kết cấu màng mỏng thổi phồng. Một sự đóng góp quan trọng đã được Fichter [3] mang đến, tác giả đã phát triển một lý thuyết tính toán ống màng mỏng thổi phồng dựa trên việc tối thiểu hóa thế năng toàn phần. Kết quả của lý thuyết tính toán này là một hệ các phương trình giải tích cho bài toán uốn phẳng ống màng mỏng thổi phồng. Le van và Wielgosz [4], Apedo et al. [5], đã cải tiến lý thuyết tính toán của Fichter bằng cách phát triển các công thức trong hệ quy chiếu Lagrange trên nguyên lý cân bằng công ảo. Các tác giả đã giải bài toán với giả thiết chuyển vị và biến dạng lớn để có thể kể đến tất cả các thành phần phi tuyến và ảnh hưởng của áp suất trong các phương trình cân bằng. Các vấn đề về uốn phẳng và uốn dọc của dầm thổi phồng được cấu tạo từ một màng mỏng đồng chất đã được xét đến.

Hầu hết các nghiên cứu trước đây về kết cấu thổi phồng đều chỉ quan tâm đến ứng xử của kết cấu khi chịu tải trọng ngoài mà bỏ qua giai đoạn thổi phồng ống màng mỏng, một giai đoạn quan trọng trước khi có thể nghiên cứu ứng xử của kết cấu. Bài toán này sau đó đã được nhóm nghiên cứu của Nguyễn và Lê [6], Nguyen et al. [7] giải quyết. Trạng thái quy chiếu được sử dụng trong nghiên cứu này là trạng thái tự nhiên chưa thổi phồng. Bài toán được thực hiện trong khuôn khổ biến dạng lớn, với các hàm số của Lagrang.

Trong nghiên cứu này, dầm màng mỏng thổi phồng được nghiên cứu thực nghiệm theo hai giai đoạn thổi phồng và chịu uốn. Sự thay đổi kích thước hình học của dầm ở trạng thái thổi phồng sẽ được đo và sử dụng như thông số đầu vào

¹ The University of Danang - University of science and technology (Nguyen Quang Tung, Le Khanh Toan)

cho bài toán dầm thời phỏng chịu uốn. Lý thuyết tính toán chuyên vị của dầm được nêu trong nghiên cứu [7] sẽ được sử dụng để tính toán và so sánh với kết quả thực nghiệm.

2. Độ võng của dầm màng mỏng thời phỏng chịu uốn

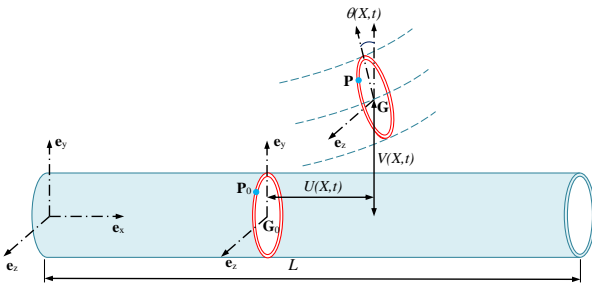
Để xây dựng bài toán, các công thức Lagrang tổng quát và các biến Lagrang đã được sử dụng. Các phương trình cân bằng được suy ra từ nguyên lý công suất ảo, các phương trình từ (1 – 9) trong mục này được trích dẫn từ nghiên cứu [7] của Nguyễn và cộng sự:

$$\forall \mathbf{V}^* \Leftrightarrow - \int_{\Omega_0} (\mathbf{F}\boldsymbol{\Sigma})^T : \mathbf{grad} \mathbf{V}^* d\Omega_0 + \int_{\Omega_0} \rho_0 \mathbf{f}_0 \mathbf{V}^* d\Omega_0 + \int_{\partial\Omega_0} \mathbf{T}\mathbf{V}^* dS_0 = 0 \quad (1)$$

2.1. Sự chuyển động

Trong bài toán uốn phẳng ống thời phỏng này, mô hình dầm Timoshenko được sử dụng để triển khai các phương trình cân bằng.

Ký hiệu X là hoành độ của tâm G_0 của tiết diện ngang trong trạng thái quy chiếu, $\mathbf{U}(X) = (U(X), V(X), 0)$ là vector chuyển vị của tâm G_0 và θ_0 là góc xoay quanh trục e_z của tiết diện ngang. Vị trí của một phần tử quy chiếu trên tiết diện ngang là $\mathbf{P}_0(X, Y, Z)$, vị trí của chính phần tử P này tại trạng thái chịu uốn được tính toán theo vị trí của phần tử quy chiếu P_0 (xem Hình 1).



Hình 1. Mô hình chuyển động của ống màng mỏng thời phỏng chịu uốn

$$\mathbf{P} = \Phi(\mathbf{P}_0) = \mathbf{P}_0 + \mathbf{U}(X) + (\mathbf{R} - \mathbf{I}) \mathbf{G}_0 \mathbf{P}_0 \quad (2)$$

Trong đó, \mathbf{R} là ten-xơ chuyển vị xoay.

2.2. Chuyển động ảo

Nếu ký hiệu $\mathbf{V}^*(\mathbf{G}_0) = (U^*(X), V^*(X), 0)$ là vận tốc ảo của tâm G_0 và $\boldsymbol{\theta}^*(\mathbf{G}_0) = (0, 0, \theta^*(X))$ là góc xoay ảo của tiết diện ngang đang xét. Vận tốc ảo $\mathbf{V}^*(P_0)$ của phần tử quy chiếu được chọn như sau:

$$\mathbf{V}^*(\mathbf{P}_0) = \mathbf{V}^*(\mathbf{G}_0) + \boldsymbol{\theta}^*(\mathbf{G}_0) \times \mathbf{G}\mathbf{P} \quad (3)$$

2.3. Công suất ảo của nội ứng suất

Công suất ảo của nội ứng suất được xác định như sau:

$$\begin{aligned} W_{\text{int}}^* &= - \int_{\Omega_0} (\mathbf{F}\boldsymbol{\Sigma})^T : \mathbf{grad} \mathbf{V}^* d\Omega_0 \\ &= - \int_0^L \left\{ N(1 + U_{,X}) + M \cos \theta_{,X} - T \sin \theta \right\} U^*_{,X} \\ &\quad + (N V_{,X} + M \sin \theta_{,X} + T \cos \theta) V^*_{,X} \\ &\quad + \left\{ \begin{aligned} &-M(1 + U_{,X}) \sin \theta_{,X} + M V_{,X} \cos \theta_{,X} \\ &-[(1 + U_{,X}) \cos \theta + V_{,X} \sin \theta] T \end{aligned} \right\} \theta^* \\ &\quad + [M(1 + U_{,X}) \cos \theta + M V_{,X} \sin \theta + M^{(2)} \theta_{,X}] \theta^*_{,X} \} dX \end{aligned} \quad (4)$$

2.4. Công ảo của tải trọng ngoài

Áp suất thổi phỏng gây nên một ứng suất trước trong màng mỏng, điều này tạo ra độ cứng và độ ổn định cho ống. Trong nghiên cứu này, áp suất thổi phỏng được xem như một tải trọng ngoài. Trong phần này, hai dạng tải trọng ngoài được xét đến, cụ thể là: Tải trọng tĩnh và tải trọng động gây ra do áp suất.

❖ Tải trọng tĩnh

Tĩnh tải được mô tả trong bài toán là lực tập trung F được đặt giữ dầm (xem Hình 2). Mô tả tải trọng tĩnh như công thức (5) dưới đây:

$$\begin{aligned} W_{\text{dead}}^* &= \int_{\Omega_0} \rho_0 \mathbf{f}_0 \mathbf{V}^* d\Omega_0 + \int_{\partial\Omega_0} \mathbf{T}\mathbf{V}^* dS_0 \\ &= \int_0^L (p_x U^* + p_y V^* + \mu \theta^*) dX + X(0) U^*(0) \\ &\quad + Y(0) V^*(0) + \Gamma(0) \theta^*(0) \\ &\quad + X(L) U^*(L) + Y(L) V^*(L) + \Gamma(L) \theta^*(L) \end{aligned} \quad (5)$$

❖ Tải trọng động

Bên cạnh tĩnh tải, ống còn chịu áp lực $p\mathbf{n}$ phân bố đều trên toàn bộ bề mặt của nó, bao gồm diện tích xung quanh và hai đầu. Với mô hình chuyển động của dầm được sử dụng trong nghiên cứu này, trong quá trình chịu áp suất thổi phỏng và chịu uốn, các tiết diện ngang, đặc biệt là hai đầu ống vẫn giữ được dạng hình tròn với bán kính R . Như vậy, công suất ảo do áp suất thổi phỏng gây ra được tính như sau:

$$\begin{aligned} W_{\text{pression}}^* &= \int_{S_p} \mathbf{V}^* p \mathbf{n} dS = \int_{S_{\text{lat}}} \mathbf{V}^* p \mathbf{n} dS + \int_{S_{\text{base}}} \mathbf{V}^* p \mathbf{n} dS \\ &= P \int_0^L [U^* \sin \theta_{,X} - V^* \cos \theta_{,X} \\ &\quad + \theta^* [V_{,X} \cos \theta - (1 + U_{,X}) \sin \theta]] dX + P(U^* \cos \theta + V^* \sin \theta) \Big|_0^L \end{aligned} \quad (6)$$

Trong đó, S_p là diện tích ống chịu áp suất p , sẽ tương ứng với diện tích xung quanh S_{lat} và diện tích hai đầu S_{base} .

2.5. Phương trình cân bằng phi tuyến

Đưa các công thức tính công suất ảo gây ra bởi nội ứng suất (4), bởi tải trọng tĩnh (5) và bởi áp suất thổi phỏng (6) vào nguyên lý công suất ảo (1), với mọi trường chuyển vị ảo (U^*, V^*, θ^*) . Thực hiện các phép tính tích phân từng phần tương ứng, ta có được hệ phương trình cân bằng cho ống màng mỏng thời phỏng chịu uốn:

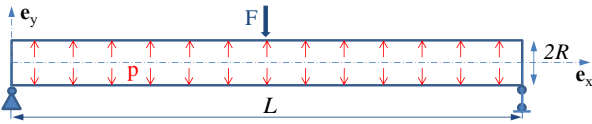
$$\begin{aligned} -N_{0,X} &= p_x \\ -(N_0 + kG_{tt}S_0)V_{,X}^2 + (P + kG_{tt}S_0)\theta_{,X} &= p_y \\ -(E_t + \frac{N_0}{S_0})I_0\theta_{,X}^2 - (P + kG_{tt}S_0)(V_{,X} - \theta) &= \mu \end{aligned} \quad (7)$$

2.6. Chuyển vị của dầm đơn giản thời phỏng chịu uốn ngang

Ở trạng thái quy chiếu, dầm có dạng hình trụ tròn xoay, chiều dài L , bán kính R , chịu áp suất thổi phỏng p . Dầm bị ngàm ở đầu có tọa độ $X = 0$ và $X = L$ chịu tải trọng tập trung có phương vuông góc với trục dầm $-F\mathbf{e}_y$ tại đầu có tọa độ $X = L/2$, xem Hình 2.

Giải hệ phương trình cân bằng (7) ta được độ võng giữa dầm như bên dưới:

$$V(L/2) = \frac{FL}{48(E_t + \frac{P}{S_0})I_0} + \frac{PL}{4(P + kG_{tt}S_0)} \quad (8)$$



Hình 2. Dầm đơn giản đỡ hai đầu chịu uốn ngang

3. Thí nghiệm đo biến dạng ống màng mỏng thổi phồng

3.1. Ống màng mỏng thổi phồng

Trong nghiên cứu này, 2 ống màng mỏng thổi phồng có chiều dài giống nhau $L = 3m$ và bán kính lần lượt là $R = 10cm$ và $12,5cm$ được chế tạo. Các ống này được cấu tạo từ cùng một loại vải kỹ thuật. Để đảm bảo tính chính xác trong khâu chế tạo, các mẫu vật này được đặt hàng chế tạo bởi công ty TNHH Nguyễn Như, thành phố Hồ Chí Minh.

3.2. Vật liệu vải kỹ thuật của ống màng mỏng thổi phồng

Các ống màng mỏng được sử dụng trong thí nghiệm này được cấu tạo từ vải kỹ thuật Ferrari F502. Các thông số kỹ thuật của loại vải này được cung cấp bởi nhà phân phối S. F. A (Pháp), xem Bảng 1

Bảng 1. Tính chất cơ lý của vải Ferrari F502

Chỉ tiêu kỹ thuật	Sợi dọc	Sợi ngang
Sợi vải	550 Dtex	550 Dtex
Cách dệt vải	10 sợi/1cm	10 sợi/1cm
Cường độ chịu kéo	140 daN/5cm	150 daN/5cm
Cường độ chịu xé	10 daN/5cm	12 daN/5cm
Mô đun đàn hồi E	305 kN/m	294 kN/m

3.3. Các dụng cụ đo

3.3.1. Bơm khí và đo áp suất trong ống

Dầm dùng để thí nghiệm có dạng ống kín, không rò rỉ nên áp suất trong ống luôn được giữ ở mức ổn định. Khi thổi phồng ống, cần phải cung cấp một lượng khí nén cần thiết cho ống nên cần phải có một van khí phù hợp. Trong nghiên cứu này, để phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam, các van xe máy được dùng cho dầm hơi.



a) Máy nén khí Sunny Compressor



b) Đồng hồ đo áp suất Flexbimec 7301



c) Tire Gauge 4 in 1

Hình 3. Thiết bị bơm khí và đo áp suất

Hình 3 trình bày một số thiết bị để thí nghiệm. Thiết bị bơm hơi là máy nén khí Sunny Compressor 2.5Hp thường được sử dụng để bơm xe máy và ô tô. Ống bơm được kết nối với đầu bơm có gắn đồng hồ đo áp suất mã hiệu Flexbimec 7301 để sơ bộ kiểm soát áp suất trong ống. Sau khi sơ bộ kiểm soát được áp suất vào ống, áp suất khí trong ống được kiểm tra chính xác hơn bằng cảm biến đo áp suất Tire Gauge 4 in 1.

3.3.2. Đo biến dạng ống và chuyển vị

Biến dạng của ống được đo bằng các cảm biến đo biến dạng Strain Gauge PL-60-11. Đây là cảm biến điện trở, chiều dài 60mm và có giới hạn biến dạng tương đối là $\epsilon = \pm 2\%$. Các cảm biến đo biến dạng này được nối với bộ thu tín hiệu trung tâm cho ra kết quả ở thiết bị đọc tín hiệu.

Chuyển vị của dầm được đo bằng phương pháp vật lý. Thiết bị này có cho phép xác định chuyển vị của dầm với độ chính xác lên đến $\pm 0,01mm$, xem Hình 4.(a,b,c).



a) Strain gauge PL-60-11



b) Thiết bị thu tín hiệu và xuất kết quả



c) Indicator

Hình 4. Thiết bị đo biến dạng và chuyển vị

3.4. Lắp đặt thiết bị đo

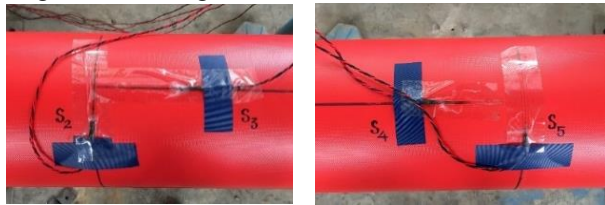
3.4.1. Dụng cụ lắp đặt

Ống màng mỏng được kê lên các gối tựa, cách nhau 2m. Do khí bị thổi phồng, một đoạn dài khoảng 20cm ở phía đầu ống bị méo, không có dạng hình trụ tròn xoay, không phù hợp với lý thuyết tính toán. Vậy nên, để đảm bảo các tiết diện ngang của ống đều có dạng hình tròn, các phép đo biến dạng của ống màng mỏng được thực hiện trong phạm vi chiều dài $L = 1m$ ở giữa ống.

Để đo sự thay đổi bán kính ống, hai cảm biến đo biến dạng được lắp đặt đối xứng với vị trí giữa ống, cách trục đối xứng về mỗi bên là 50cm. Các cảm biến này được định hướng theo chu vi ống và được đánh số để tránh nhầm lẫn. Kết quả thay đổi bán kính ống sẽ được lấy là giá trị trung bình của các số liệu đo được từ hai cảm biến này.

Dùng các dụng cụ tương tự cũng có thể giúp xác định sự thay đổi chiều dài của ống. Các cảm biến này có số hiệu

là S3 và S4, được bố trí dọc theo trục ống, trong phạm vi 1m giữa ống. Các kết quả cuối cùng được lấy từ giá trị trung bình của các giá trị đo của S3 và S4, xem Hình 5.



a) Cảm biến S2 đo ở bên trái b) Cảm biến S5 đo ở bên phải



Hình 5. Sơ đồ bố trí các cảm biến đo biến dạng

3.5. Kết quả thí nghiệm

Biến dạng thu được là chênh lệch chỉ số thu được từ thiết bị đo của trạng thái áp suất hiện tại so với trạng thái tự nhiên. Các strain gauges S2 và S5 được dán theo phương chu vi của ống, do đó có thể đo được sự biến thiên chu vi ε_P . Do chu vi P và bán kính R tỷ lệ thuận ($P = 2\pi R$) nên các kết quả đo được từ S2 và S5 cũng có thể được sử dụng để đánh giá sự thay đổi bán kính ε_R .

$$\varepsilon_P = \frac{\Delta P}{P} = \frac{2\pi\Delta R}{2\pi R} = \frac{\Delta R}{R} = \varepsilon_R \quad (9)$$

Kết quả đo biến thiên bán kính sẽ là giá trị trung bình của hai số liệu đo được.

Các strain gauges S3 và S4 được dán theo trục ống của ống, do đó có thể đo được sự biến thiên chiều dài của ống. Kết quả đo biến thiên chiều dài cũng được lấy là giá trị trung bình của các kết quả đo được. Các kết quả đo được cho trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả đo biến dạng ống màng mỏng trong quá trình thổi phồng

R (m)	p (kPa)	Chỉ số strain gauge				Biến thiên ε (%)	
		S ₂ ×10 ⁶	S ₃ ×10 ⁶	S ₄ ×10 ⁶	S ₅ ×10 ⁶	R	L
0,1	0	-732	-279	-1119	-472	0	0,000
	10	1748	721	31	1971	0,246	0,108
	20	4215	1767	1364	4458	0,494	0,226
	30	6287	3284	2552	6438	0,696	0,362
	40	8272	4711	3921	8506	0,899	0,502
	50	11698	6102	5288	11903	1,240	0,639
0,125	0	-615	-583	-621	-243	0	0,000
	10	1751	805	712	1962	0,229	0,136
	20	5017	2605	2421	5106	0,549	0,312
	30	7150	4141	3942	7769	0,789	0,464
	40	9907	5333	5238	10118	1,044	0,589
	50	14209	6871	6692	15011	1,504	0,738

4. Chuyển vị của ống màng mỏng thổi phồng chịu uốn

4.1. Lắp đặt thiết bị đo

Trong thí nghiệm này, hệ vật nặng được sử dụng để tạo ra lực tập trung tác dụng lên dầm thổi phồng. Do dầm có

độ cứng không lớn và hai đầu dầm không có dạng tròn xoay, thí nghiệm sẽ không được thực hiện với toàn bộ chiều dài dầm, mà chỉ giới hạn trong đoạn dầm dài 2m ở giữa dầm. Tải trọng sẽ được tạo ra bằng cách treo các vật nặng lên hệ giá tải được đặt ở chính giữa dầm. Cảm biến đo chuyển vị cũng sẽ được đặt giữa dầm để đo chuyển vị lớn nhất của dầm, xem Hình 6.



Hình 6. Mô hình thí nghiệm

4.2. Quy trình thí nghiệm

Các phép đo được thực hiện theo hai dạng sau đây:

- Giữ nguyên áp suất thổi phồng p và thay đổi tải trọng tác dụng. Phép đo này nhằm mục đích kiểm tra sự phụ thuộc tuyến tính của chuyển vị theo tải trọng tác dụng. Trong thí nghiệm này, ta chọn áp suất thổi phồng p = 30 kPa và tải trọng tác dụng F biến thiên từ 0 đến 40N;

- Giữ nguyên tải trọng tác dụng ở F = 30N và thay đổi áp suất thổi phồng p = 10÷50 kPa.

Các kết quả đo chuyển vị được thể hiện trong biểu đồ Hình 7, 8 và trong Bảng 3, và Bảng 4.

Bảng 3. Kết quả đo chuyển vị theo tải trọng tác dụng

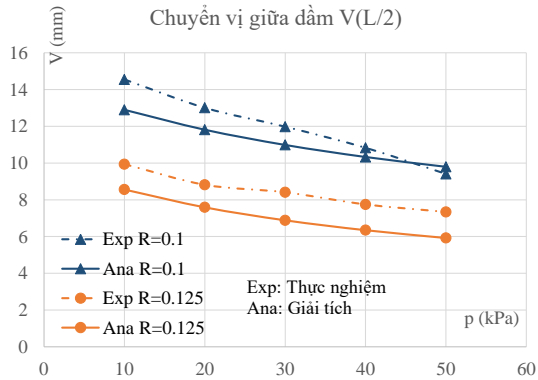
R (m)	F (N)	VL (mm)		Sai số (%)
		Thực nghiệm	Lý thuyết	
0,1	7,5	3,52	2,75	22,0
	15	6,21	5,49	11,5
	20	8,43	7,32	13,1
	30	11,88	10,99	7,5
	40	15,67	14,65	6,5
0,125	7,5	2,14	1,72	19,6
	15	4,05	3,44	15,0
	20	5,98	4,59	23,3
	30	8,35	6,88	17,6
	40	10,24	9,18	10,4

Bảng 4. Kết quả đo chuyển vị theo áp suất thổi phồng

R (m)	p (kPa)	VL (mm)		Sai số (%)
		Thực nghiệm	Lý thuyết	
0,1	10	14,55	12,90	11,4
	20	13,01	11,81	9,2
	30	11,98	10,99	8,3
	40	10,83	10,33	4,6
	50	9,41	9,80	-4,1
	10	9,94	8,56	13,9
0,125	20	8,82	7,59	13,9
	30	8,41	6,88	18,1
	40	7,75	6,35	18,1
	50	7,34	5,92	19,3

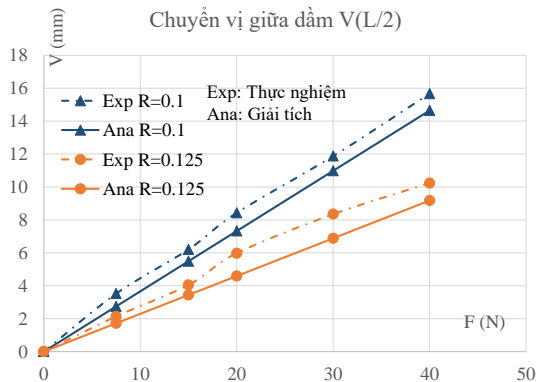
Sự biến thiên của chuyển vị của tiết diện ngang theo tải trọng tác dụng và theo áp suất là phù hợp với dự đoán.

- Trường hợp áp suất không đổi (Hình 7), các biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị và áp suất đo được từ thí nghiệm gần như là tuyến tính, phù hợp với kết quả giải tích;



Hình 7. Biến thiên của độ võng theo áp suất $F=30N$

- Trường hợp tải trọng không đổi (Hình 8), chuyển vị biến thiên phi tuyến theo áp suất thổi phồng.



Hình 8. Biến thiên độ võng theo tải trọng tác dụng $p=30\text{ kPa}$

Tuy nhiên vẫn còn sai lệch khoảng 23% giữa kết quả giải tích và kết quả thí nghiệm (xem Bảng 3 và Bảng 4). Các sai số này có thể được giải thích như sau:

- Sai sót trong quá trình thực hiện phép đo biến dạng ống trong quá trình thổi phồng như: Ống không được tuyệt đối thẳng, các số liệu đo được chưa chính xác, sai số của cảm biến... Điều này dẫn đến các sai số không thể tránh

khỏi trong việc xác định các hệ số đàn hồi của vật liệu.

- Sai sót trong quá trình đo chuyển vị ống thổi phồng chịu uốn như: Ống không được tuyệt đối thẳng, tải trọng tác dụng lên ống tuyệt đối ngang, sai số của cảm biến...

Với tất cả những khó khăn đó, có thể xem như sai số 23% giữa kết quả lý thuyết và kết quả thí nghiệm là có thể chấp nhận được.

5. Kết luận

Các nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng đã được thực hiện nhằm mục đích kiểm chứng lý thuyết dầm màng mỏng thổi phồng chịu uốn đã được xây dựng trước đây. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, chuyển vị của dầm thổi phồng chịu uốn thu được phù hợp với xu hướng biến thiên chuyển vị đã được dự báo từ lý thuyết. Sai số giữa kết quả thực nghiệm và lý thuyết được dự đoán xuất phát từ một số sai sót trong quá trình thực nghiệm và sai số của thiết bị đo, do giá trị chuyển vị là nhỏ, nên sai số này là không quá lớn, nên kết quả thu được giữa thực nghiệm và lý thuyết là tương đồng. Do đó, mô hình nghiên cứu thực nghiệm này có thể được sử dụng để nghiên cứu một số ứng xử khác của kết cấu dầm màng mỏng thổi phồng như uốn dọc, dao động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.L. Comer, S. Levy, "Deflections of an inflated circular cylindrical cantilever beam", *AIAA Journal*, 1963, pp. 1652-1655.
- [2] JPH. Webber, "Deflections of inflated cylindrical cantilever beams subjected to bending and torsion", *The Aeronautical Journal*, Volume 86, Issue 858, 1982, pp. 306 – 312.
- [3] W.B. Fichter, *A theory for inflated thin-wall cylindrical beams*, NASA Technical Note, 1966.
- [4] A. Le van and C. Wielgosz, "Bending and buckling of inflatable beams: some new theoretical results", *Thin-Walled Structures*, 43, Elsevier, 2005, pp.1166 –1187.
- [5] K.L. Apedo, S. Ronel, E. Jacquelin, M. Massenzio, A. Bennani, "Theoretical analysis of inflatable beams made from orthotropic fabric", *Thin-Walled Structures*, 47, Elsevier, 2009, pp.1507–1522.
- [6] Q.T. Nguyen, K.T. Le, "Ảnh hưởng của sự thay đổi hệ số đàn hồi của vật liệu đến sự uốn dọc của dầm màng mỏng thổi phồng", *Tạp chí Xây dựng*, 02, Bộ xây dựng, 2017, pp.149-153.
- [7] Nguyen QT, Thomas JC, Le van A. "Inflation and bending of an orthotropic inflatable beam". *Thin-Walled Structures*, 88, Elsevier, 2015, pp.129–144.
- [8] <http://nhahoinquyennhu.com>