

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**BÁO CÁO TÓM TẮT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CẤP ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN DÀM TENSAIRITY
TRONG XÂY DỰNG**

Mã số: B2018-ĐN02-49

Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Quang Tùng

Đà Nẵng, Tháng 09/2020

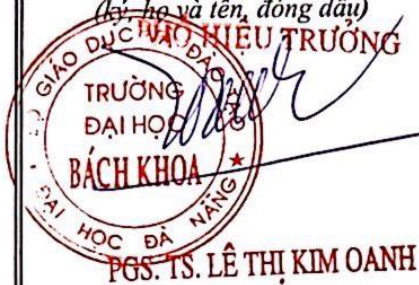
**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**BÁO CÁO TÓM TẮT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CẤP ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN DÀM TENSAIRITY
TRONG XÂY DỰNG**

Mã số: B2018-ĐN02-49

Xác nhận của cơ quan chủ trì đề tài
(kí, họ và tên, đóng dấu)



PGS. TS. LÊ THỊ KIM OANH

Chủ nhiệm đề tài

TS. Nguyễn Quang Tùng

Đà Nẵng, Tháng 09/2020

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA

Chủ nhiệm đề tài

GV.TS. Nguyễn Quang Tùng

Khoa Xây Dựng Dân Dụng và Công Nghiệp, ĐHBK, ĐHĐN

Thành viên tham gia

GVC.TS. Lê Khánh Toàn

Khoa Xây Dựng Dân Dụng và Công Nghiệp, ĐHBK, ĐHĐN

GV.TS. Đỗ Minh Đức

Khoa Xây Dựng Dân Dụng và Công Nghiệp, ĐHBK, ĐHĐN

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
Chương 1	TỔNG QUAN VỀ CẤU KIỆN CHỊU UỐN.....3
1.1	Cấu kiện chịu uốn cổ điển 3
1.2	Một số kết cấu chịu uốn mới 3
1.3	Một số công trình nghiên cứu về sự làm việc của dầm Tensairity 4
1.4	Kết luận chương..... 4
Chương 2	NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CỦA DẦM TENSAIRITY..... 5
2.1	Phương trình cho bài toán dầm Tensairity chịu uốn..... 5
2.2	Nghiên cứu ứng xử của dầm Tensairity bằng phương pháp PTHH..... 6
2.3	Xác minh mô hình phần tử hữu hạn của dầm Tensairity 6
2.4	Kết luận..... 7
Chương 3	NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ..... 8
CỦA DẦM TENSAIRITY 8
3.1	Tổng quan về mô hình thí nghiệm 8
3.2	Cấu tạo dầm Tensairity 8
3.3	Các dụng cụ đo 9
3.4	Đo biến dạng của dầm màng mỏng khi bị thổi phồng 10
3.5	Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử dầm Tensairity 11
3.6	Kết luận..... 15
KẾT LUẬN	16
KIẾN NGHỊ	16
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	17

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Hình 0-1: Kết cấu Tensairity	1
Hình 2-1: Sơ đồ làm việc của dầm Tensairity	5
Hình 3-1. Mô hình dầm Tensairity	8

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2-1. So sánh chuyển vị dầm Tensairity tính bằng lý thuyết và PTHH	6
--	---

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung

- Tên đề tài: **Nghiên cứu, tính toán dầm Tensairity trong xây dựng**
- Mã số: **B2018-ĐN02-49**
- Chủ nhiệm: **TS. Nguyễn Quang Tùng**
- Cơ quan chủ trì: **Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng**
- Thời gian thực hiện: **08/2018-07/2020**

2. Mục tiêu

- Tổng hợp và đề xuất các công thức tính toán dầm Tensairity;
- Nghiên cứu ứng xử của dầm Tensairity bằng mô hình phần tử hữu hạn và bằng thực nghiệm;

3. Tính mới và sáng tạo

- Xây dựng được mô hình phần tử hữu hạn của dầm Tensairity;
- Thiết lập được quy trình thí nghiệm để nghiên cứu ứng xử thực tế của dầm Tensairity.

4. Kết quả nghiên cứu

- Mô phỏng được ứng xử của dầm Tensairity bằng phương pháp phần tử hữu hạn;
- Xây dựng được quy trình thực nghiệm để nghiên cứu ứng xử và kiểm chứng lý thuyết.

5. Sản phẩm

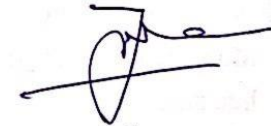
- Báo cáo phân tích “*Ứng xử của dầm Tensairity*”
- Bài báo “*Nguyen Quang Tung, Experimental characterization of Tensairity beams, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, pp.6150-6154, 2019*” đăng trong tạp chí quốc tế, thuộc danh mục SCOPUS.
- 01 học viên cao học “*Lê Văn Quang, lớp K34.XDD QNg*” bảo vệ thành công luận văn thạc sĩ .

6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng

- Các sản phẩm ứng dụng của đề tài sẽ đẩy mạnh công tác nghiên cứu về hiệu quả sử dụng vật liệu thông qua việc tối ưu hóa sơ đồ làm việc của kết cấu, hướng đến phát triển bền vững.
- Việc ứng dụng các kết cấu dầm Tensairity trong thực tế sẽ giúp giải quyết các bài toán nan giải về việc xây dựng các nhà tạm, cầu tạm tại những nơi vừa xảy ra thiên tai hoặc những vùng miền xa xôi của tổ quốc (hải đảo, vùng cao), nơi mà việc cung ứng vật liệu xây dựng là vô cùng khó khăn;
- Các lý thuyết tính toán, chương trình máy tính, các số liệu thí nghiệm có thể được sử dụng bởi các cơ quan quản lý, các công ty tư vấn xây dựng, các trường Đại học liên quan đến công tác quản lý, tư vấn thiết kế, bảo trì, sửa chữa các công trình màng mỏng thổi phồng.

Đà Nẵng, ngày 22 tháng 09 năm 2020

Chủ nhiệm đề tài



TS. Nguyễn Quang Tùng



PGS. TS. LÊ THỊ KIM OANH

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information

- Project title: Analysis and calculation the Tensairity beam in construction
- Code number: **B2018-ĐN02-49**
- Coordinator: PhD. Quang Tung NGUYEN
- Implementing institution: Danang University of Science and Technology
- Duration: from 08/2018 to 07/2020

2. Objective(s)

- Summary the formulation of Tensairity beam;
- Study the behaviors of Tensairity beam by FEM and experimentation;

3. Creativeness and innovativeness

- Modeling the Tensairity beam by FEM;
- Experimental prototol for characteristic properties of Tensairity beam.

4. Research results

- Model of the Tensairity beam by FEM;
- Experimental prototol for characteristic properties of Tensairity beam.

5. Products

- Analysis report “*Response of Tensairity beam*”.
- One scientific paper “*Nguyen Quang Tung, Experimental characterization of Tensairity beams, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, pp.6150-6154, 2019*” in SCOPUS journal list;

- 01 graduated master "*Lê Văn Quang, Class K34.XDD QNg*", thesis "*Experimental study of the response of Tensairity lightweightss structure*"

6. Effects, transfer alternatives of research results and applicability

- Acceleration the researches for the technical textiles and light structure;
- Contribution a way for solving the difficult problems in construction;
- The analytical analysis and finite element code can be used by the University management agency, construction company for the conception, maintenance the inflatable structures.

Danang, September 22th, 2020

Implementing institution

Coordinator



PhD. Nguyễn Quang Tùng

MỞ ĐẦU

1) Tính cấp thiết

Nhằm mục đích cải thiện hiệu quả sử dụng vật liệu, tăng khả năng chịu lực mà không làm tăng trọng lượng bản thân kết cấu, dạng kết cấu chịu uốn Tensairity ra đời. Kết cấu này sở hữu ưu điểm của các kết cấu truyền thống là khả năng chịu lực cao; và ưu điểm của kết cấu thổi phồng là trọng lượng bản thân nhẹ, tính cơ động cao. Hiện nay trên thế giới, đã có nhiều công trình được thực hiện theo dạng này, điển hình có thể kể đến cầu Pont de Val-Cenis ở Pháp và rất nhiều kết cấu khác (xem Hình 1).



a) Pont de Val-Cenis (Pháp)



b) Garage ô-tô (Thụy Sĩ)

Hình 0-1: Kết cấu Tensairity

Với tầm quan trọng như vậy, nhưng đến nay, vẫn chưa có nhiều kết quả nghiên cứu được đưa ra, không có nhiều bài báo khoa học đề cập đến việc nghiên cứu ứng xử của loại kết cấu mới này. Do đó, đề tài:

“Nghiên cứu, tính toán dầm Tensairity trong xây dựng”

là cần thiết và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

2) Mục tiêu của đề tài

- Tổng hợp các công thức tính toán dầm Tensairity;
- Nghiên cứu ứng xử của dầm Tensairity bằng mô hình phân tử hữu hạn và bằng thực nghiệm;

3) Cách tiếp cận, phương pháp nghiên cứu

❖ Cách tiếp cận:

- Dựa trên những kết quả nghiên cứu mới nhất về kết cấu màng mỏng thổi phồng, kết cấu dây cáp chịu lực và kết cấu dầm Tensairity, chủ

nhiệm đề tài tổng hợp các lý thuyết tính toán để phân tích ứng xử của dầm Tensairity;

- Kết hợp với việc phân tích mô hình máy tính với các số liệu thí nghiệm, chủ nhiệm đề tài phân tích ứng xử của dầm Tensairity.

❖ **Phương pháp nghiên cứu:**

- Sử dụng các phương pháp phân tích giải tích để tổng hợp các công thức tính toán dầm Tensairity;
- Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn để nghiên cứu ứng xử của kết cấu dầm Tensairity;
- Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm Tensairity để kiểm chứng lý thuyết và mô hình phần tử hữu hạn.

4) Nội dung nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu gồm:

Mở đầu

Chương 1 Tổng quan về cấu kiện chịu uốn

Chương 2 Nghiên cứu ứng xử của dầm tensairity

Chương 3 Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm tensairity

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Chương 1 TỔNG QUAN VỀ CẤU KIỆN CHỊU UỐN

1.1 Cấu kiện chịu uốn cổ điển

1.1.1 Dầm thép

Dầm thép được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng như cấu kiện chịu lực chính trong công trình thép hoặc công trình liên hợp thép – bê tông cốt thép. Tùy vào hình dạng công trình, không gian, ứng dụng... mà người ta sử dụng những hệ kết cấu phù hợp.

1.1.2 Dầm bê tông cốt thép

Bê tông cốt thép ngày nay được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp xây dựng và trở thành một trong những vật liệu được xây dựng chủ yếu trong và ngoài nước.

1.1.3 Kết cấu dàn chịu lực

Về mặt tổng quát, dàn cũng là cấu kiện chịu uốn như dầm, tuy nhiên dàn được thiết kế tối ưu hơn, loại bỏ được những phần không cần thiết, các thành phần của dàn hầu như chỉ chịu kéo hoặc nén nên có khả năng làm việc tốt hơn kết cấu dầm.

1.2 Một số kết cấu chịu uốn mới

1.2.1 Dầm thổi phồng

Kết cấu màng mỏng là những kết cấu được làm bằng vải kỹ thuật và được ổn định bằng cách tạo ra một ứng suất trước trong vải.

1.2.2 Kết cấu Tensegrity

Kết cấu chịu uốn này được cấu tạo từ hai phần chính là thanh thép chịu nén và dây cáp chịu kéo. Kết cấu chịu uốn theo nguyên lý Tensegrity đã được ứng dụng trong xây dựng một số công trình như: Cầu có khả năng vượt nhịp lớn. Tuy nhiên vẫn chưa được ứng dụng nhiều do kết cấu dễ mất ổn định.

1.2.3 Kết cấu Tensairity

Tensairity là một ý tưởng thiết kế kết cấu chịu lực nhẹ hướng đến phát triển bền vững; được tổ hợp từ thanh nén, dây cáp chịu kéo và dầm màng mỏng thổi phồng. Trong kết cấu Tensairity, từng thành phần chịu lực được phát huy tối đa hiệu quả sử dụng: thanh nén chỉ chịu nén, dây cáp chỉ chịu

kéo và dầm màng mỏng thổi phồng có tác dụng tạo cánh tay đòn cho cặp ngẫu lực “kéo-nén” cũng như đảm bảo sự ổn định cho thanh nén. Do đó, dầm Tensairity sẽ nhẹ hơn rất nhiều so với một dầm cổ điển.



Hình 1-9: Một số công trình ứng dụng Tensairity

1.3 Một số công trình nghiên cứu về sự làm việc của kết cấu dầm Tensairity

1.3.1 Ứng xử của vật liệu

- ❖ *Cấu tạo của vải kỹ thuật*
- ❖ *Ứng xử cơ học của vải kỹ thuật*

Hầu hết các tấm vải kỹ thuật đều được mô hình như những màng mỏng chịu ứng suất phẳng.

- ❖ *Thí nghiệm đo các hệ số đàn hồi của vải kỹ thuật*

1.3.2 Ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng

Hệ phương trình phi tuyến, cho phép tính toán các hệ số thay đổi kích thước ở trạng thái thổi phồng:

$$\begin{aligned}
 (k_{\theta}^2 - 1)k_x &= pR \left[C_{\theta\theta\theta}^* \left(R^2 k_{\theta}^2 k_{\beta}^2 + 2k_x^2 \right) + C_{\theta\theta xx}^* k_{\theta}^2 - C_{\theta\theta x\theta}^* R k_{\theta}^2 k_{\beta} \right] \\
 \left[k_x^2 + (Rk_{\theta}k_{\beta})^2 - 1 \right] k_x &= pR \left[C_{xx\theta\theta}^* \left(R^2 k_{\theta}^2 k_{\beta}^2 + 2k_x^2 \right) + C_{xxxx}^* k_{\theta}^2 - C_{xxx\theta}^* R k_{\theta}^2 k_{\beta} \right] \\
 2Rk_{\theta}^2 k_{\beta} k_x &= pR \left[C_{\theta x\theta\theta}^* \left(R^2 k_{\theta}^2 k_{\beta}^2 + 2k_x^2 \right) + C_{\theta xxx}^* k_{\theta}^2 - C_{\theta xx\theta}^* R k_{\theta}^2 k_{\beta} \right]
 \end{aligned} \quad (1-1)$$

1.4 Kết luận chương

Chương này chủ yếu đề cập đến các nghiên cứu về vật liệu vải kỹ thuật và lý thuyết tính toán sự thổi phồng của dầm màng mỏng thổi phồng, thành phần quan trọng trong sự cấu tạo và hoạt động của dầm Tensairity.

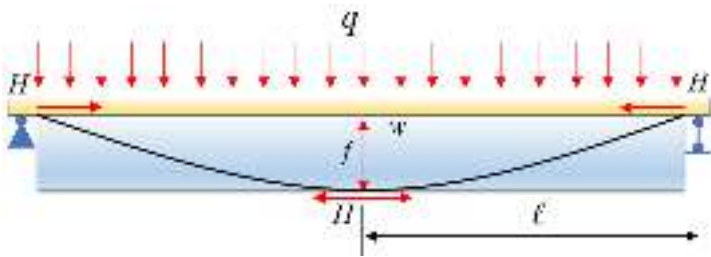
Chương 2 NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CỦA DÀM TENSAIRITY

2.1 Phương trình cho bài toán dầm Tensairity chịu uốn

Các nghiên cứu về dầm Tensairity đã được nhóm nghiên cứu Luchsinger (2011) thực hiện, đưa ra các phương trình cân bằng cũng như đề xuất các công thức tính độ võng cho hệ dầm này.

2.1.1 Hệ phương trình cân bằng

Theo nghiên cứu của sơ đồ cấu tạo của dầm được thể hiện như hình bên dưới:



Hình 2-1: Sơ đồ làm việc của dầm Tensairity

- w : Độ võng của thanh nén – độ võng của dầm
- f : Đường kính ống

2.1.2 Chuyển vị của dầm Tensairity

Tổng kết lại, độ võng của thanh nén w_1 và dây cáp w_2 tại một tiết diện bất kỳ của dầm Tensairity có thể được xác định như sau:

$$w_1 = \frac{1}{\lambda^4} C_0 \cosh(\lambda x) + C_1 x + C_2 x^2 + C_3$$

Với các hằng số tích phân như sau:

$$C_0 = \frac{k}{EI\lambda^2 \cosh(\lambda l)} \left(\frac{-qH}{EI k} + \frac{2f}{l^2} \right); \quad C_1 = \frac{k}{24EI\lambda^2} \left(\frac{q}{H} - \frac{2f}{l^2} \right)$$

$$C_2 = -\frac{C_0}{2\lambda^2} \cosh(\lambda l) - 6C_1 l^2; \quad C_3 = -\frac{C_0}{\lambda^4} \cosh(\lambda l) - C_1 l^4 - C_2 l^2$$

2.1.3 Lực căng trong dây cáp

Theo nghiên cứu của Luchsinger (2008), lực căng trong dây cáp bao gồm hai thành phần:

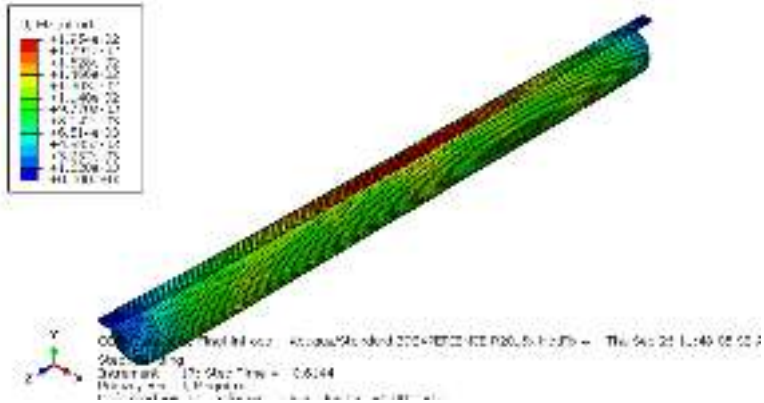
$$H = H_0 + H_1 \quad (2-1)$$

2.2 Nghiên cứu ứng xử của dầm Tensairity bằng phương pháp phần tử hữu hạn

2.2.1 Tổng quan về phương pháp phần tử hữu hạn

2.2.2 Loại phần tử trong mô phỏng

2.2.3 Các bước mô hình hóa trên phần mềm ABAQUS.

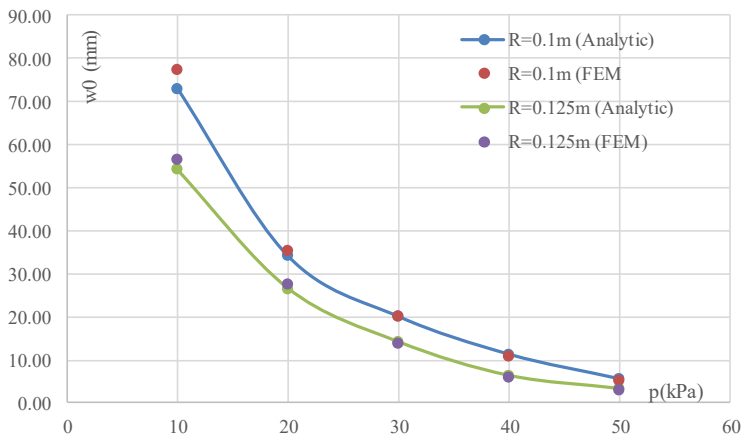


Hình 2-26: Kết quả phân tích mô hình

2.3 Xác minh mô hình phần tử hữu hạn của dầm Tensairity

Bảng 2-1. So sánh chuyển vị dầm Tensairity tính bằng lý thuyết và PTHH

R (m)	p (kPa)	δ (mm)	H ₀ (kN)	H (kN)	k (kN/m ²)	λ (m ⁻¹)	Chuyển vị giữa dầm w ₀ (mm)		
							Lý thuyết	PTHH	Chênh lệch
0.1	10	0.300	0.009	5.428	15.708	1.378	73.20	77.37	-5.7%
	20	0.600	0.037	5.456	31.416	2.181	34.23	35.53	-3.8%
	30	0.899	0.084	5.503	47.124	2.749	20.12	20.42	-1.5%
	40	1.198	0.149	5.567	62.832	3.204	11.37	10.97	3.5%
	50	1.496	0.232	5.650	78.540	3.587	5.65	5.28	6.5%
0.125	10	0.469	0.015	4.350	15.708	1.678	54.36	56.64	-4.2%
	20	0.937	0.058	4.393	31.416	2.519	26.75	27.50	-2.8%
	30	1.404	0.131	4.466	47.124	3.120	14.33	14.06	1.9%
	40	1.870	0.232	4.567	62.832	3.595	6.51	6.15	5.5%
	50	2.335	0.360	4.695	78.540	3.984	3.45	3.24	6.1%



Hình 2-28: Chuyển vị giữa dầm Tensairity (Lý thuyết – PTHH)

2.4 Kết luận

Mô hình dầm Tensairity đã được mô phỏng tính toán theo hai phương pháp giải tích và phương pháp Phần tử hữu hạn. Các phương trình cân bằng cơ bản của dầm Tensairity đã được tổng hợp, từ đó giúp đưa ra công thức tính chuyển vị của dầm khi chịu tải trọng. Bên cạnh đó, mô hình dầm Tensairity cũng được thiết lập bằng phần mềm ABAQUS 2016. Các kết quả phân tích chuyển vị của dầm theo hai phương pháp là khá tương thích. Do đó có thể nói các mô hình phân tích ứng xử dầm Tensairity là khá hứa hẹn và có thể được sử dụng để mô phỏng, tính toán dầm Tensairity trong các điều kiện khác nhau.

Chương 3 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG DỤNG CỦA DẦM TENSARITY

3.1 Tổng quan về mô hình thí nghiệm

Dầm Tensairity được tạo nên từ ba thành phần chính: thanh thép hộp chịu nén, dây cáp chịu kéo và ống thổi phồng làm nền đàn hồi. Ống thổi phồng được liên kết chắc chắn và làm điểm tựa cho thanh nén thông qua hệ thống dây cáp được kéo hình xoắn ốc theo trục ống. Thông qua sự liên kết chặt chẽ đó mà 3 bộ phận của dầm tạo thành một thể thống nhất, đảm bảo khả năng chịu lực cho dầm Tensairity, xem Hình 3-1.



Hình 3-1. Mô hình dầm Tensairity

Trong nghiên cứu này, có hai phương pháp kéo và neo cáp được thực hiện:

- Phương pháp 1: Thổi phồng trước neo sau.
- Phương pháp 2: Neo trước, thổi phồng sau

3.2 Cấu tạo dầm Tensairity

3.2.1 Dầm màng mỏng thổi phồng

Trong nghiên cứu này, 2 dầm màng mỏng thổi phồng có chiều dài giống nhau $L = 3\text{m}$ và bán kính lần lượt là $R = 10\text{cm}$ và 12.5cm được chế tạo.

3.2.2 Thanh nén bằng thép hộp

Thanh thép chịu nén được sử dụng trong thí nghiệm này là thép hộp Hòa Phát có kích thước $b \times h \times \delta = 30 \times 60 \times 1$ (mm^3) có khối lượng riêng 1.375 kg/m .

3.2.3 Dây cáp chịu kéo

Dây cáp được sử dụng trong thí nghiệm này có đường kính 1mm, được cung cấp bởi công ty Perfect Connection, cường độ chịu kéo $R_s = 1000MPa$.

3.2.4 Liên kết ống thổi phồng với thanh nén thông qua hệ dây cáp

Thanh nén đặt lên trên dầm thổi phồng và được liên kết chặt chẽ bởi các dây cáp nối xoắn ốc từ đầu này đến đầu kia của ống. Có 4 đoạn dây khác nhau được lắp đặt và liên kết theo hình xoắn ốc lên dầm:

- Hai đoạn dây có được bắt đầu từ đầu này của dầm, kéo xoắn ốc qua vị trí giữa dầm rồi được neo vào đầu kia của dầm.
- Hai đoạn dây còn lại được kéo xoắn ốc qua vị trí 1/4 dầm, tiếp tục đi qua ren tại vị trí 1/2 dầm, lại được kéo xoắn ốc qua vị trí 3/4 dầm rồi cuối cùng được neo ở đầu kia.

3.3 Các dụng cụ đo

Trong thí nghiệm này, chúng tôi mong muốn thực hiện các phép đo đơn giản để thu được các thông tin về sự thay đổi kích thước hình học của ống/dầm (bán kính R và chiều dài L).

3.3.1 Máy nén khí và cảm biến đo áp suất trong ống

Thiết bị bơm hơi là máy nén khí Sunny Compressor 2. 5Hp, 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 Strain gauges đo biến dạng ống

Để đo biến dạng của ống, chúng tôi sử dụng các cảm biến đo biến dạng Strain Gauge PL-60-11. Đây là cảm biến điện trở, có chiều dài 60mm và có giới hạn biến dạng tương đối là $\varepsilon = \pm 2\%$.

Các cảm biến đo biến dạng này được nối với bộ thu tín hiệu trung tâm và cho ra kết quả ở thiết bị đọc tín hiệu.

3.3.3 Indicator đo chuyển vị

Để đo chuyển vị, chúng tôi sử dụng thiết bị đo chuyển vị bằng

phương pháp vật lý. Thiết bị này có cho phép xác định chuyển vị của dầm với độ chính xác lên đến $\pm 0.01mm$.

3.3.4 Van an toàn

Do kết cấu thổi phồng sẽ bị nổ nếu chịu áp suất lớn, trong thí nghiệm này, một van an toàn được sử dụng để không cho áp suất vượt qua giới hạn.

3.3.5 Thiết bị bảo hộ

3.4 Đo biến dạng của dầm màng mỏng khi bị thổi phồng

3.4.1 Dụng cụ lắp đặt

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.



Hình 3-15. Sơ đồ bố trí các cảm biến đo biến dạng

3.4.2 Đo một dầm mẫu

- ❖ *Giả thiết về trạng thái rỗng của ống*
- ❖ *Thời gian chờ để lấy kết quả thí nghiệm*
- ❖ *Sự ổn định của ứng xử vật liệu*

3.4.3 Quy trình thí nghiệm

Sau khi đã thực hiện các phép đo đối với 1 dầm mẫu, nhận thấy các vấn đề liên quan đến thời gian chờ lấy kết quả thí nghiệm, số vòng gia tải để vật liệu có thể đạt đến trạng thái ổn định.

3.4.4 Kết quả thí nghiệm và nhận định

- ❖ *Kết quả*

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.

$$\varepsilon_P = \frac{\Delta P}{P} = \frac{2\pi\Delta R}{2\pi R} = \frac{\Delta R}{R} = \varepsilon_R$$

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

Bảng 3-2. Kết quả đo biến dạng ống màng mỏng trong quá trình thổi phồng

R (m)	p (kPa)	Chỉ số strain gauge		Biến thiên bán kính				Sai số (%)
		$S2 \times 10^6$	$S5 \times 10^6$	ε_{R1} (%)	ε_{R2} (%)	ε_{R-ex} (%)	ε_{R-ana} (%)	
0.1	0	-732	-472	0	0	0	0	0
	10	1748	1971	0.248	0.244	0.246	0.300	18.0
	20	4215	4458	0.495	0.493	0.494	0.600	17.7
	30	6287	6438	0.702	0.691	0.696	0.899	22.5
	40	8272	8506	0.900	0.898	0.899	1.198	24.9
	50	11698	11903	1.243	1.238	1.240	1.496	17.1
0.125	0	-615	-243	0	0	0	0	0
	10	1751	1962	0.237	0.221	0.229	0.375	39.1
	20	5017	5106	0.563	0.535	0.549	0.750	26.7
	30	7150	7769	0.777	0.801	0.789	1.123	29.8
	40	9907	10118	1.052	1.036	1.044	1.496	30.2
	50	14209	15011	1.482	1.525	1.504	1.868	19.5

3.5 Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử đàn Tensairity



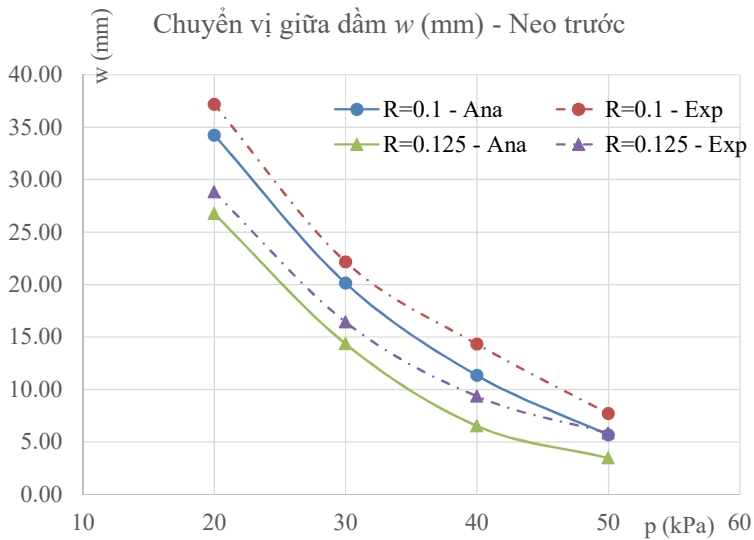
Hình 3-18. Gia tải và đo chuyển vị

3.5.1 Kết quả thí nghiệm

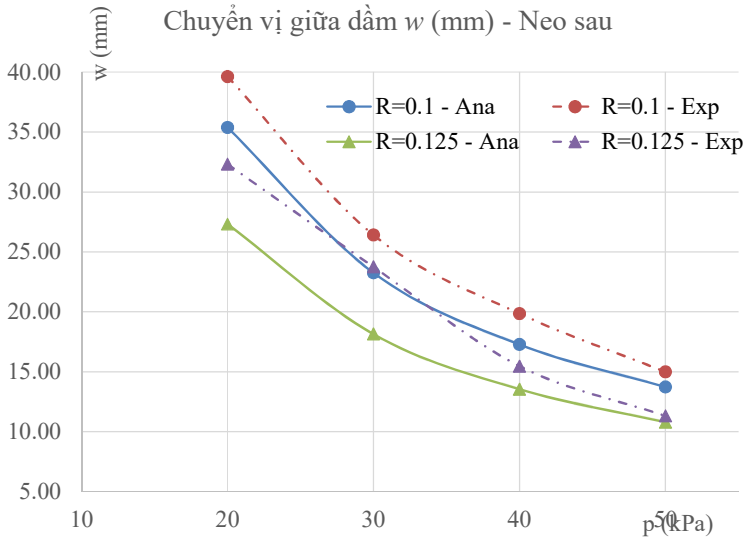
Các kết quả thực nghiệm, các biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị được thể hiện trong các Hình đến Hình .

Bảng 3-3. Chuyển vị giữa dầm Tensairity $w(\text{mm})$ – Trường hợp căng trước

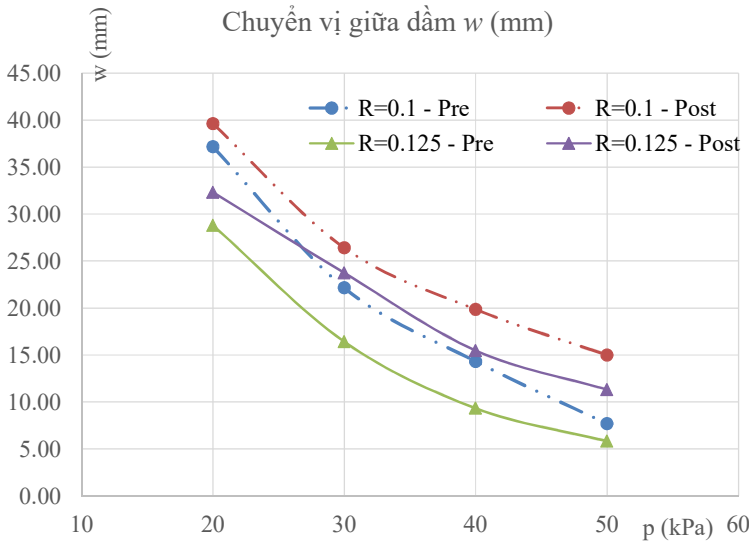
R (m)	p (kPa)	Thực nghiệm	Lý thuyết	FEM	Chênh lệch (%)	
0.1	10	>50	>50	>50		
	20	37.16	34.23	35.53	7.89	4.40
	30	22.15	20.12	20.42	9.15	7.81
	40	14.31	11.33	10.97	20.82	23.34
	50	7.68	5.65	5.28	26.43	31.25
0.125	10	>50	>50	>50		
	20	28.80	26.75	27.50	7.14	4.52
	30	16.41	14.33	14.06	12.68	14.32
	40	9.33	6.51	6.15	30.23	34.08
	50	5.82	3.45	3.24	40.72	44.33



Hình 3-19. Chuyển vị giữa dầm Thực nghiệm vs Lý thuyết – Neo trước



Hình 3-20. Chuyển vị giữa dầm Thực nghiệm vs Lý thuyết – Neo sau



Hình 3-21. Chuyển vị giữa dầm Neo trước vs Neo sau (kết quả thực nghiệm)

3.5.2 Bàn luận

❖ *Ảnh hưởng của áp suất thổi phồng đến khả năng chịu uốn của dầm:*

Từ kết quả thu được, ta nhận thấy khả năng chịu lực của dầm Tensairity phụ thuộc vào áp suất thổi phồng trong dầm, khi áp suất tăng từ 10 đến 50 kPa, chuyển vị giữa dầm giảm mạnh, giảm hơn 5 lần trong trường hợp neo trước và giảm xấp xỉ 3 lần trong trường hợp neo sau. Điều này có thể hiểu là do độ cứng của dầm được tăng lên, dẫn đến lực căng trong dây cáp tăng, tạo nên khả năng chịu mô men cho dầm.

❖ *Ảnh hưởng của bán kính ống thổi phồng đến khả năng chịu uốn của dầm:*

Bán kính ống thổi phồng đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra cánh tay đòn ngẫu lực giữa lực căng trong dây cáp và lực nén trong thanh nén. Tạo ra khả năng chịu uốn cho dầm. Do đó khi tăng bán kính dầm sẽ làm tăng khả năng chịu uốn cho dầm. Điều này được thể hiện qua các kết quả đo được, cùng một áp suất thổi phồng như nhau $p=30$ kPa thì chuyển vị của dầm có bán kính $R=0.125$ m ít hơn 25% so với dầm có bán kính $R=0.1$ m.

❖ *Ảnh hưởng của phương pháp neo cáp đến khả năng chịu uốn của dầm:*

Theo như kết quả thu thập được, phương pháp neo cáp (neo trước – neo sau) ảnh hưởng rất lớn đến khả năng chịu uốn của dầm. Một cách sơ bộ, ta nhận thấy khả năng chịu uốn của dầm phụ thuộc rất lớn vào lực căng trong dây cáp. Theo như công thức (2-1), lực căng này phụ thuộc vào phương pháp neo cáp.

- Trong trường hợp neo sau, lực căng trong cáp chỉ do thành phần tải trọng ngang tác dụng mà thành.
- Trong trường hợp neo trước, lực căng này còn được đóng góp thêm bởi sự căng trước do quá trình thổi phồng.

❖ *Hiệu năng sử dụng của dầm:*

Có thể nói, sử dụng cùng một trọng lượng riêng, cùng một điều kiện làm việc như nhau thì dầm Tensairity có khả năng chịu lực lớn hơn dầm thép hộp

và tất nhiên sẽ lớn hơn hẳn dầm gỗ và dầm bê tông cốt thép.

❖ **Sai số giữa các kết quả lý thuyết và thực nghiệm:**

Sai số giữa kết quả thực nghiệm và lý thuyết phụ thuộc vào phương pháp neo cáp:

- Neo sau: trong phương pháp này, ta hoàn toàn có thể bỏ qua ảnh hưởng của sai số về lực căng trước trong cáp đến chuyển vị của dầm, do đó các sai số vào khoảng 15% (ngoại trừ giá trị 23.61%) là có thể chấp nhận được.
- Neo trước: ngược lại với phương pháp neo sau, trong phương pháp này, sai số của phép đo bán kính thối phòng ảnh hưởng rất lớn đến kết quả thí nghiệm. Lực căng trước trong dây cáp bị ảnh hưởng rất lớn bởi sự biến thiên bán kính. Khi dùng các thông số bán kính thối phòng đo được từ thực nghiệm để thay thế cho các kết quả thu được từ hệ phương trình (1-23) trong việc tính chuyển vị của dầm, sai số giảm mạnh.

Ngoài ra sai số cũng có thể đến từ việc liên kết hai đầu dầm, từ tương tác không lý tưởng giữa các bộ phận kết cấu. Để có thể nghiên cứu rõ hơn, cần phát triển trong các đề tài tiếp theo.

3.6 Kết luận

Dầm Tensairity đã được chế tạo và nghiên cứu thực nghiệm. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy chuyển vị của dầm Tensairity phụ thuộc rất lớn vào độ cứng của thanh thép hộp chịu nén, áp suất thối phòng, kích thước của dầm màng mỏng thối phòng và phương pháp neo cáp. Quan hệ giữa các đại lượng được nghiên cứu như áp suất thối phòng, lực căng trong dây cáp, kích thước dầm màng mỏng đến chuyển vị của dầm Tensairity là rất phù hợp với dự báo của lý thuyết được phát triển. Tuy nhiên còn tồn tại sai số khá lớn giữa lý thuyết và thực nghiệm. Điều này có thể được giải thích bởi các sai sót trong quá trình chế tạo và thí nghiệm dầm Tensairity. Nhưng nhìn chung, hiệu quả sử dụng của dầm là rất cao và đáng được ứng dụng trong thực tế.

KẾT LUẬN

Mục đích của nghiên cứu này là phân tích ứng xử của dầm Tensairity – loại kết cấu chịu uốn mới được kết hợp từ 3 thành phần chính: thanh nén, dầm màng mỏng thổi phồng và hệ dây cáp nhằm tối ưu hóa khả năng chịu lực và tối ưu hóa hiệu quả sử dụng vật liệu. Các mục tiêu được đặt ra ngay từ phần đầu của báo cáo đã được thực hiện và cho phép thu thập một số kết quả sau:

➤ ***Lời giải giải tích chuyển vị của dầm Tensairity***

Lý thuyết tính toán kích thước hình học của dầm màng mỏng thổi phồng và lực căng trong dây cáp được tích hợp trong lời giải giải tích của dầm Tensairity nhằm phát triển lý thuyết tính toán này sát với thực tế hơn.

➤ ***Mô hình phần tử hữu hạn của dầm Tensairity***

Dầm Tensairity được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm ABAQUS) và được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả với lời giải giải tích. Sự tương thích giữa hai phương pháp mô phỏng hứa hẹn sự đúng đắn của lý thuyết và mô hình được phát triển.

➤ ***Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm Tensairity***

Mô hình dầm Tensairity theo tỷ lệ thực đã được thiết kế và chế tạo. Quy trình thí nghiệm và hệ thống thiết bị đo được cân nhắc kỹ lưỡng nhằm có được những kết quả khả dĩ nhất. Các kết quả thực nghiệm thu được là gần sát với lý thuyết, sai số giữa thực nghiệm và lý thuyết là không lớn. Do đó có thể nói các kết quả thu được là đáng tin cậy.

KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu cho thấy dầm Tensairity có hiệu năng sử dụng tốt, đảm bảo khả năng chịu lực cao nhưng vẫn hạn chế được trọng lượng bản thân kết cấu. Tuy nhiên, do khó đảm bảo độ bền của ống màng mỏng nên kết cấu này chỉ nên được ứng dụng trong các trường hợp khẩn cấp, làm cấu kiện chịu lực trong các kết cấu tạm thời.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bridgens.B.N, Gosling. P.D, and M.J.S. Birchall, Membrane material behaviour : concepts, practise and developments. *Structural Engineer*, 82(14) :28–33., 2004.
- [2]. Cavallaro.P.V, Jonhson.M.E, and A.M. Sadegh, Mechanics of plain-woven fabrics for inflated structures. *Composite structures*, 61 :375–393, 2003.
- [3]. Comer, R.L. and Levy.S, Deflections of an inflated circular cylindrical cantilever beam. *AIAA Journal*, 1(7) :1652–1655, 1963
- [4]. Cook.R.D, Malkus.D.S, and Plesha.M.E, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. 1989.
- [5]. Davids.W.G, Finite-element analysis of tubular fabric beams including pressure effects and local fabric wrinkling. *Engineering Structures*, 44 :24–33, 2007.
- [6]. Douglass WJ. Bending stiffness of an inflated cylindrical cantilever beam. *AIAAJ* 1969;7:1248–53.
- [7]. Fichter.W.B, A theory for inflated thin-wall cylindrical beams. Technical report, NASA TND-3466, 1966.
- [8]. Galliot C. And Luchsinger .R , A simple model describing the non-linear biaxial tensile behaviour of PVCcoated polyester fabrics for use in finite element analysis. *Composite Structures*, 90 :437–447, 2009.
- [9]. Galliot C. and Luchsinger.R, A simple model describing the non-linear biaxial tensile behaviour of PVCcoated polyester fabrics for use in finite element analysis. *Composite Structures*, 90 :437–447, 2009.
- [10]. Gosling.P.D, Tensinet analysis and materials working group - basic philosophy and calling notice. *Tensinews Newsletter*, 13 :12–15, 2007.
- [11]. Guidanean K. and Williams.G, An inflatable rigidizable struss strucrure with complex joint. The 39th

- AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structure, Structural Dynamics and Materials Conference, California, USA, 1998
- [12]. Hinson.W.F, and Keafer. L.S, Large inflated antenna systems. Technical report, NASA N84-17234, 1984.
- [13]. Jiang.Z, Contribution à la dynamique des poutres gonflables. PhD thesis, Université de Nantes, 2007.
- [14]. Le van A. and Wielgosz.C, Finite element formulation for inflatable beams. *Thin-Walled Structures*, 45 :221–236, 2007.
- [15]. Le van.A and Wielgosz.C, Bending and buckling of inflatable beams : some new theoretical results. *Thin-Walled Structures*, 43 :1166–1187, 2005.
- [16]. Nguyen.Q.T, Tính toán và ứng dụng các kết cấu thổi phồng trong xây dựng, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở, Đà Nẵng 2015.
- [17]. Luchsinger R, Pedretti A, Steingruber.P, and Pedretti.M, *The New Structural Concept Tensairity : Basic Principles*. London : A.A. Balkema Publishers, 2004.
- [18]. Luchsinger.R, Pedretti.M, and Reinhard.A, Pressure induced stability : from pneumatic structure to tensairity. *Journal of Bionics Engineering*, 1(3) :141–148, 2004.
- [19]. Luchsinger.R, Antje S., René C., Structural behavior of asymmetric spindle-shaped Tensairity girders under bending loads, *Thin-Walled Structures*, Volume 49, Issue 9, September 2011, Pages 1045-1053.
- [20]. Võ Ngọc Quang, “Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm màng mỏng thổi phồng”, Luận văn cao học Khóa K34 Cao học Quảng Ngãi, Đại học Đà Nẵng, 2018.
- [21]. Lê Văn Quang, “Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của kết cấu chịu uốn siêu nhẹ Tensairity”, Luận văn cao học Khóa K34 Cao học Quảng Ngãi, Đại học Đà Nẵng, 2018.