

Ứng xử cầu vòm thép có thanh căng với sơ đồ dây treo dạng lưới

■ PGS. TS. HỒ XUÂN NAM

Trường Đại học Giao thông vận tải

■ ThS. VŨ QUANG NGHĨA

Tổng công ty Tư vấn Thiết kế giao thông vận tải

■ ThS. NGUYỄN HỮU QUYẾT

Công ty TNHH Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Cùng với việc phát triển chiều dài nhịp thì cầu vòm cũng rất đa dạng về kiểu dáng, vật liệu cũng như loại hình kết cấu, trong đó cầu vòm thép dây treo dạng lưới là loại kết cấu có tính thẩm mỹ cao, vượt được nhịp tương đối lớn. Hiện nay ở Việt Nam, với nhu cầu xây dựng các công trình cầu nhịp trung bình, trọng lượng kết cấu nhẹ, thời gian thi công nhanh, tính kinh tế trong tương lai đồng thời về sự đặc sắc của loại hình kết cấu này nên trong thời gian sắp tới đặt ra yêu cầu nghiên cứu chuyên sâu và toàn diện, trên các mặt lý thuyết cũng như thực nghiệm. Bài báo này, các tác giả sẽ tập trung nghiên cứu nội lực của cầu vòm thép có thanh căng với sơ đồ dây treo dạng lưới và sự ảnh hưởng của các thông số hình học đến ứng xử của kết cấu cầu.

TỪ KHÓA: Cầu vòm thép, ứng xử cầu vòm, sơ đồ dạng lưới.

ABSTRACT: Along with the development of span length, the arch bridge is also very diverse in terms of styles, materials as well as types of structures; In which, the steel wire arch bridge in the form of a mesh is a structure with high aestheticism, exceeding a relatively large span. Currently in Vietnam with the need to build medium span bridges, light weight structures, fast construction time, future economy and the special characteristics of this type of structure should be in In the coming time, there are requirements for in-depth and comprehensive research, in both theoretical and experimental aspects. In this article, the authors will focus on the internal force of the steel arch bridge with tension bars with the grid suspension diagram and the influence of geometrical parameters on the bridge structure behavior.

KEYWORDS: Steel arch bridge, behavior of arch bridge, network arch bridge.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay trên thế giới, công nghệ xây dựng cầu đã có những bước phát triển vượt bậc về sự đa dạng hóa các loại

cầu cũng như khả năng vượt nhịp rất lớn. Một trong những dạng cầu được xây dựng với kiến trúc đẹp là cầu treo, cầu vòm và đã được ưu tiên xây dựng ở nhiều thành phố lớn trên thế giới. Hình dạng cầu vòm với đường cong trục vòm sẽ tạo được dáng hài hòa trong cảnh quan đô thị, đồng thời khi áp dụng những tiến bộ kỹ thuật về công nghệ thiết kế, cầu vòm sẽ khắc phục được các hạn chế của cầu vòm. Dạng kết cấu cầu vòm thép dây treo dạng lưới với độ thanh mảnh, kiến trúc đẹp được ưa chuộng tại nhiều nơi trên thế giới. Kết cấu này đang được phát triển mạnh mẽ ở châu Âu, Nga, Nhật Bản. Tại Việt Nam, một số cầu lớn với kết cấu vòm thép có thanh căng đã được xây dựng và trở thành biểu tượng tại đó. Các cây cầu này đều là các cầu lớn, kết cấu vòm thép kết hợp với các thanh căng giúp vượt nhịp lớn, đồng thời có kiến trúc đẹp, nổi bật tại nơi xây dựng. Trong tương lai, khả năng áp dụng kết cấu cầu vòm thép có thanh căng sơ đồ dây treo dạng lưới vẫn là một hướng mở và hoàn toàn có thể phát triển tốt trong tương lai vì tính kinh tế và mỹ thuật so với các kết cấu cầu thông thường.



Hình 1.1: Cầu Bugrinsky, Nga (2014)



Hình 1.2: Cầu vượt Lê Hồng Phong - Hải Phòng

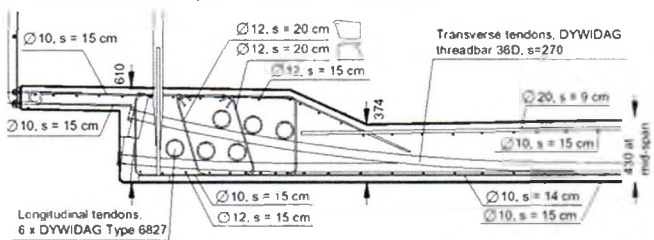
Sơ đồ bố trí dây treo ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử kết cấu, quyết định đến nội lực và biến đổi nội lực bên trong các bộ phận kết cấu, phụ thuộc nhiều yếu tố như chiều dài nhịp, chiều cao đường tên vòm, số lượng dây treo, tải

trọng và đường tên vành vòm. Do vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng các sơ đồ thanh treo trong cầu vòm là rất cần thiết để tiếp tục phát triển loại cầu này tại Việt Nam.

2. CẤU TẠO KẾT CẤU NHỊP CẦU VÒM THÉP CÓ THANH CĂNG

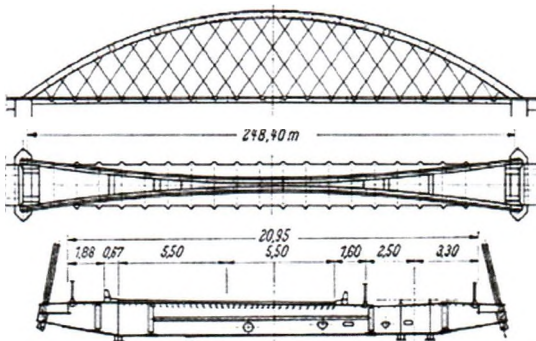
2.1. Cầu vòm dây treo dạng lưới

Kết cấu cầu vòm dây treo dạng lưới (Network Arch Bridge - NAB) được kỹ sư người NaUy Per Tveit phát minh vào cuối những năm 1950. Ông định nghĩa NAB là cầu vòm với các dây treo xiên cắt nhau ít nhất hai lần. Giải pháp kết cấu tối ưu cho cầu vòm dây treo dạng lưới với khoảng cách các vành vòm không quá lớn là sử dụng thanh căng bằng bản bê tông dự ứng lực dọc một phần. Thông thường, bản mặt cầu bị uốn ngang lớn hơn so với uốn dọc.



Hình 2.1: Mặt cắt ngang bản mặt cầu bê tông cốt thép [3]

Sơ đồ dây treo đơn giản, đạt hiệu quả cao là bố trí các dây treo có các điểm giao cắt hướng tâm đã được Benjamin Brunn và Frank Schanack phát triển vào năm 2003 [3]. Với cách bố trí dây treo này, khoảng cách giữa điểm trên của các dây treo và góc giữa dây treo và vành vòm là không đổi. Bố trí dây treo là vấn đề cơ bản của tất cả các cầu vòm dây treo dạng lưới và làm cho nó khác biệt cơ bản với cầu vòm thanh căng có dây treo thẳng đứng. Số lượng, góc xiên và khoảng cách giữa các dây treo ảnh hưởng rất lớn đến sự làm việc của cả kết cấu [5,6].



a) - Kết cấu nhịp và bản mặt cầu

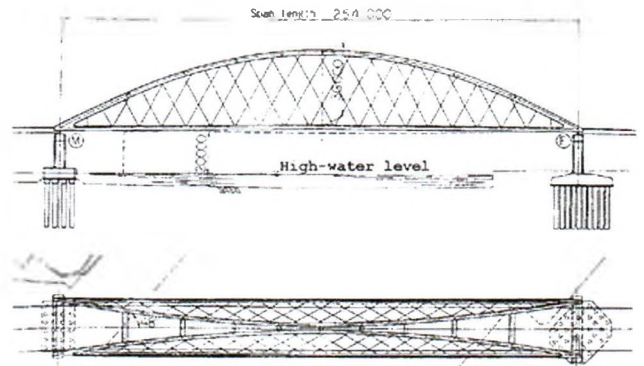


b) - Hình ảnh thực tế
Hình 2.2: Cầu Fehmarnsund, Đức (1963) [4]

Hệ dây treo dạng lưới làm cho kết cấu cầu vòm trở nên thanh mảnh hơn rất nhiều, vì chúng làm việc như hệ dàn với mô-men uốn rất nhỏ tại thanh căng và vành vòm. So sánh với các loại cầu vòm thông thường, cầu vòm dây treo dạng lưới với thanh căng bằng bản mặt cầu bê tông có thể tiết kiệm được một nửa khối lượng thép, tuy nhiên giá thành tính trên mỗi tấn thép lại rất cao.

2.2. Cầu vòm dây treo dạng lưới Nhật Bản

Sau khi xem xét nhiều mô hình thí nghiệm cho cầu Fehmarn Sound tại Hannover vào năm 1960, Giáo sư người Nhật Bản Masao Naruok đã có ý tưởng phát triển loại kết cấu cầu vòm dây treo dạng lưới ở Nhật Bản. Hơn 50 cầu loại này đã được xây dựng và hầu hết đều sử dụng dây treo có góc xiên không đổi. Khoảng một nửa các cầu vòm dây treo dạng lưới của Nhật Bản có các vành vòm song song, còn lại là vành vòm nghiêng để tăng cường ổn định. Người Nhật Bản gọi cầu vòm dây treo dạng lưới là cầu Nielsen-Lohse, mặc dù cách gọi này chưa hoàn toàn chính xác.



a) - Kết cấu nhịp và bản mặt cầu



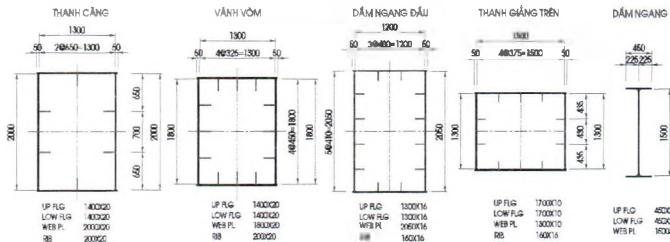
b) - Hình ảnh thực tế

Hình 2.3: Cầu Shinhamadera, Sakai, Nhật Bản (1991) [4]

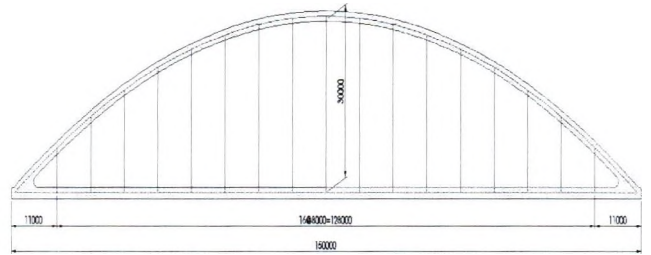
3. PHÂN TÍCH NỘI LỰC VÒM THÉP CÓ THANH CĂNG

3.1. Ảnh hưởng của sơ đồ dây treo đến nội lực

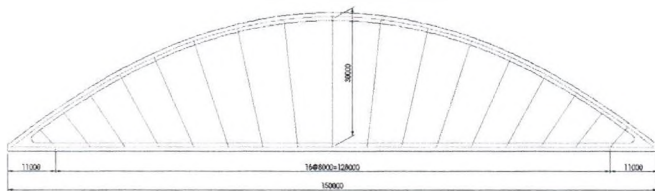
Để đánh giá ảnh hưởng của sơ đồ bố trí dây treo đến ứng xử cầu vòm thép có thanh căng, nhóm tác giả tiến hành phân tích theo tiêu chuẩn thiết kế hiện hành [1,2], nghiên cứu sơ đồ cầu vòm với các thông số sau: chiều dài nhịp $L = 150$ m; chiều cao đường tên vòm 30 m; khoảng cách giữa các điểm neo dây trên thanh căng 8 m. Với 3 dạng sơ đồ dây treo: thẳng đứng, hướng tâm và lưới cắt chéo nhau.



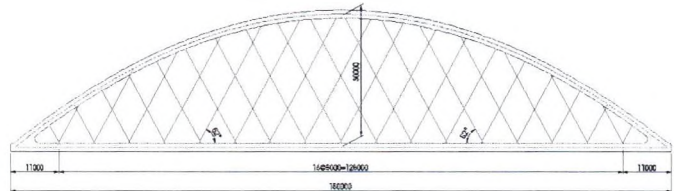
Hình 3.1: Mặt cắt ngang các cấu kiện vòm



Hình 3.2: Sơ đồ dây treo thẳng đứng

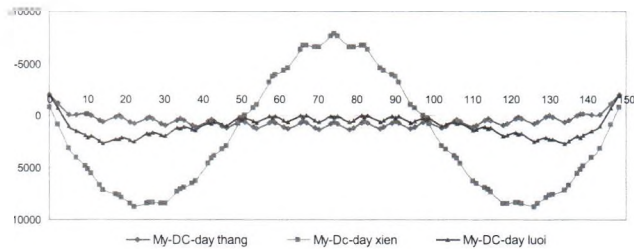


Hình 3.3: Sơ đồ dây treo xiên hướng tâm

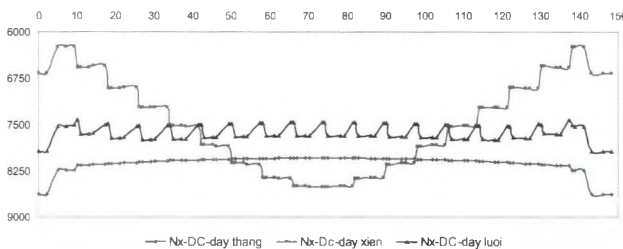
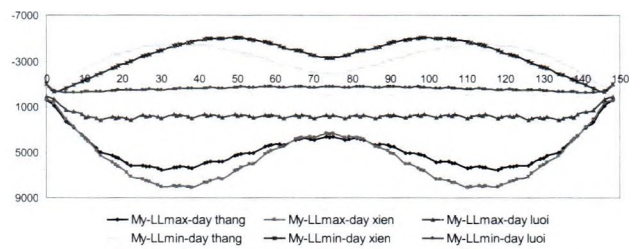


Hình 3.4: Sơ đồ dây treo dạng lưới cắt chéo nhau

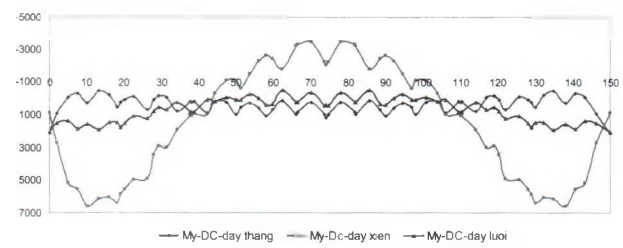
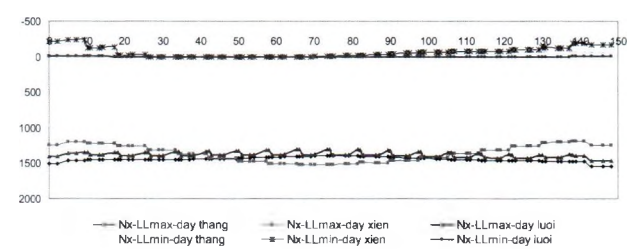
Kết quả phân tích bằng phần mềm phần tử hữu hạn (MidasCivil): Biểu đồ mô-men uốn M_y , lực dọc N_x do tĩnh tải và hoạt tải cho mỗi cấu kiện vòm như các hình dưới đây:



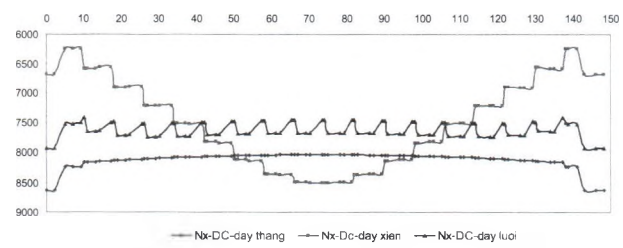
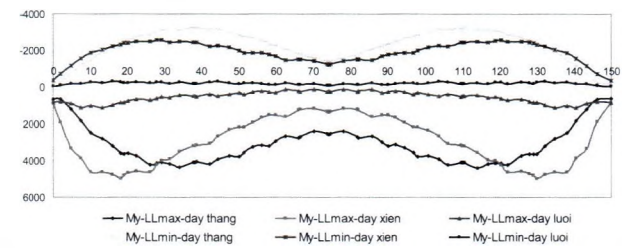
Hình 3.5: Biểu đồ mô-men uốn M_y trong thanh căng (đơn vị KN.m)



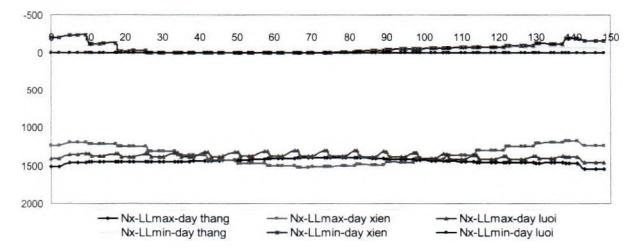
Hình 3.6: Biểu đồ lực dọc N_x trong thanh căng (đơn vị KN)

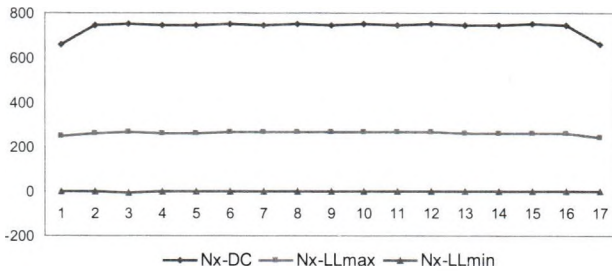


Hình 3.7: Biểu đồ mô-men uốn M_y trong vành vòm (đơn vị KN.m)

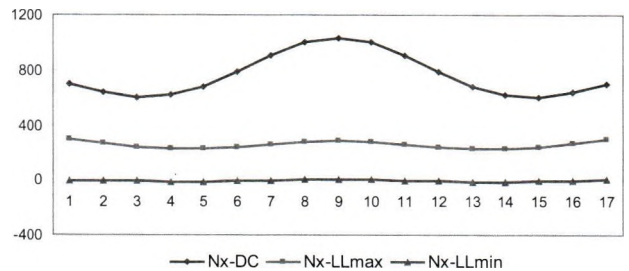


Hình 3.8: Biểu đồ lực dọc N_x trong vành vòm (đơn vị KN)

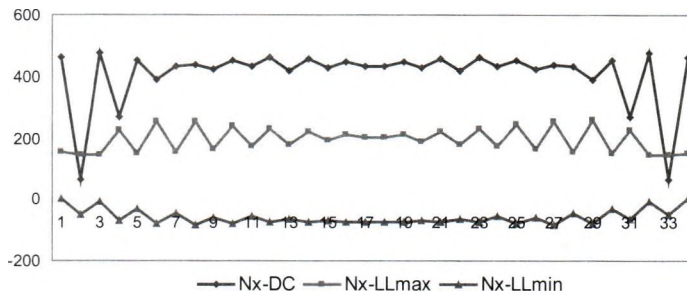




Hình 3.9: Biểu lực dọc trong dây treo - Sơ đồ dây thẳng đứng (đơn vị KN)



Hình 3.10: Biểu lực dọc trong dây treo - Sơ đồ dây xiên hướng tâm (đơn vị KN)



Hình 3.11: Biểu lực dọc trong dây treo - Sơ đồ dây xiên dạng lưới (đơn vị KN)

Một số nhận xét:

- **Đối với thanh căng:** Biểu đồ mô-men uốn do tĩnh tải phương án dây treo thẳng đứng có giá trị nhỏ nhất, tiếp đó đến phương án dây treo dạng lưới và thay đổi lớn ở phương án dây treo xiên hướng tâm; sơ đồ bố trí dây dạng lưới có giá trị mô-men do hoạt tải nhỏ nhất chỉ bằng 30% so với sơ đồ dây treo thẳng đứng, bằng 26% so với sơ đồ dây xiên hướng tâm và phân bố đồng đều nhất trong các sơ đồ dây. Lực dọc trong thanh căng không có sự thay đổi lớn qua các sơ đồ dây treo, phân bố đồng đều nhất ở sơ đồ dây treo dạng lưới.

- **Đối với vành vòm:** Biểu đồ mô-men uốn do tĩnh tải phương án dây treo thẳng đứng có giá trị nhỏ nhất, tiếp đó đến phương án dây treo dạng lưới và thay đổi lớn ở phương án dây treo xiên hướng tâm. Tuy nhiên, ở phương án dây treo dạng lưới, giá trị mô-men uốn lớn chỉ cục bộ trong phạm vi 1/4 nhịp vòm. Sơ đồ bố trí dây dạng lưới có giá trị mô-men do hoạt tải nhỏ nhất chỉ bằng 14% so với sơ đồ dây treo thẳng đứng, bằng 16% so với sơ đồ dây xiên hướng tâm và phân bố đồng đều nhất trong các sơ đồ dây. Lực dọc trong vành vòm không có sự thay đổi lớn qua các sơ đồ dây treo, phân bố đồng đều nhất ở sơ đồ dây treo dạng lưới.

- **Đối với dây treo:** Nội lực trong dây treo khi chịu tĩnh tải phân bố đồng đều nhất ở sơ đồ dây treo thẳng đứng. Tuy nhiên, giá trị lực dọc của sơ đồ dây dạng lưới nhỏ nhất do số lượng dây tăng lên trên cùng vị trí khoảng cách neo dây trên thanh căng. Biến thiên lực dọc do hoạt tải trong sơ đồ bố trí dây xiên hướng tâm là lớn nhất.

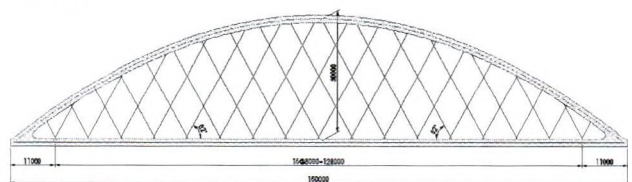
Sơ đồ dây treo thẳng đứng phát huy hiệu quả khi chịu tải trọng phân bố đều, thường áp dụng cho các cầu có tĩnh tải lớn nhất là các cầu vòm có kết cấu bê tông cốt thép hoặc ống thép nhồi bê tông. Sơ đồ dây treo xiên hướng tâm cho thấy không hợp lý về mặt chịu lực nhất là với tĩnh tải bản

thân, tuy nhiên có ưu điểm lớn yếu tố mỹ thuật, điểm nhấn về cảnh quan, độ thông thoáng. Sơ đồ bố trí dây treo xiên dạng lưới cắt chéo nhau cho thấy sự chịu lực hợp lý hơn so với sơ đồ dây treo thẳng đứng và dây treo xiên hướng tâm, mô-men trong thanh căng và vành vòm có giá trị tương đối đồng đều, giá trị mô-men uốn giảm đáng kể và chỉ lớn nhất ở chân chân vòm và khoảng 1/4 chiều dài nhịp. Do đó, chỉ cần có các giải pháp thay đổi bề dày tiết diện vòm mà không ảnh hưởng đến hình dạng các kết cấu vòm. Sơ đồ bố trí dây này thường áp dụng với kết cấu vòm thép trọng lượng nhẹ nhưng chịu hoạt tải lớn.

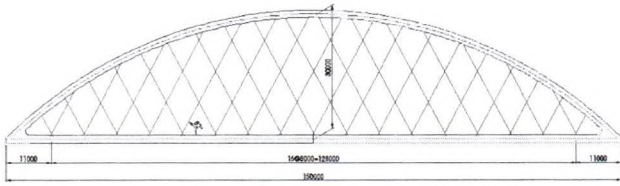
Như vậy, sơ đồ dây treo xiên dạng lưới cắt chéo nhau là hợp lý nhất về mặt chịu lực so với sơ đồ dây treo thẳng đứng và dây treo xiên hướng tâm. Tuy nhiên, đối với sơ đồ bố trí dây xiên, do đặc điểm chiều dài dây dài hơn so với dây thẳng đứng, do đó các ảnh hưởng đến độ cứng của tổng thể kết cấu cũng như độ chùng bản thân dây treo, điều này đòi hỏi phải có những phân tích chi tiết hơn để lựa chọn ra hình dạng vành vòm, góc nghiêng dây treo, số lượng dây treo... hợp lý để thỏa mãn cả yêu cầu chịu lực và thẩm mỹ công trình.

3.2. Ảnh hưởng của hình dạng vành vòm đến nội lực

Xét hai trường hợp hình dạng vành vòm đối với sơ đồ dây treo xiên dạng lưới cắt chéo: đường cong vành vòm dạng hình Parabol bậc hai có chiều cao đường tên $f = 30$ m và đường cong vành vòm có dạng hình cong tròn bán kính $R = 106$ m.

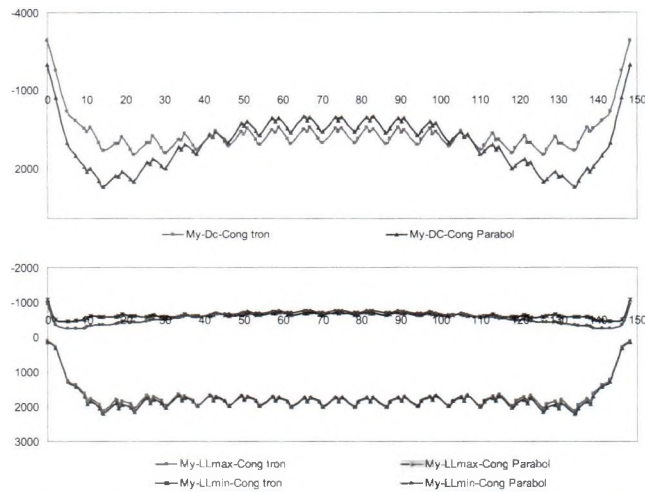


Hình 3.12: Vòm Parabol bậc hai

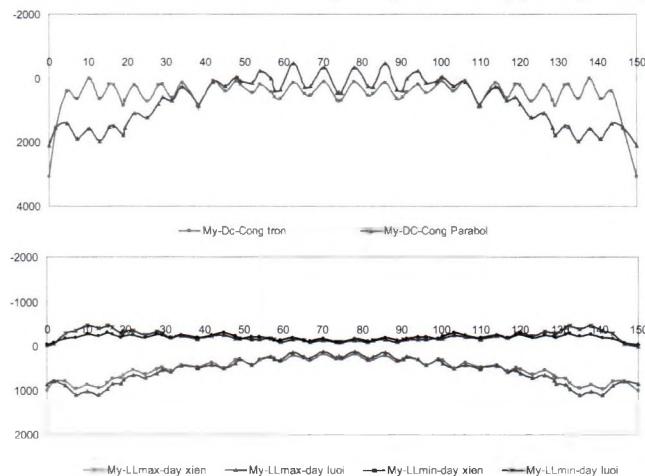


Hình 3.13: Vòm đường cong tròn, $R=106\text{ m}$

Kết quả phân tích bằng phần mềm phần tử hữu hạn (Civil Midas) cho các biểu đồ dưới đây:



Hình 3.14: Biểu đồ mô-men uốn My trong thanh cẳng (đơn vị KN.m)



Hình 3.15: Biểu đồ mô-men uốn My trong vành vòm (đơn vị KN.m)

Một số nhận xét:

Mô-men do hoạt tải có giá trị tương tự nhau ở hai dạng đường cong vành vòm. Đối với vòm cong tròn, giá trị mô-men trung bình do tĩnh tải giảm so với vòm cong Parabol, tuy nhiên giá trị mô-men do tĩnh tải lại tăng đột biến tại khối đầu vòm, điều này gây bất lợi do khu vực chân vòm chịu lực dọc và mô-men lớn sẽ gây ứng suất cục bộ, do đó cấu tạo sẽ phức tạp; khả năng mất ổn định tổng thể của phương án vành vòm cong Parabol bậc hai lớn hơn phương án vòm cong tròn.

4. KẾT LUẬN

Thông qua các nội dung nghiên cứu, cho thấy vòm dạng Parabol hay dạng cong tròn không ảnh hưởng nhiều

đến nội lực thanh cẳng, vành vòm, tuy nhiên vòm dạng cong tròn có mô-men chân vòm lớn hơn, ứng suất cục bộ chân vòm lớn nên cấu tạo chân vòm phức tạp. Do đó, nên sử dụng dạng đường cong vòm dạng Parabol để tránh cho khu vực chân vòm chịu lực cục bộ lớn và có tính thẩm mỹ cao hơn. Sử dụng sơ đồ dây treo xiên dạng lưới là sơ đồ bố trí có lợi nhất về mặt chịu lực, tuy nhiên vì chiều dài các dây treo thay đổi nhiều nên cần phải xét đến ảnh hưởng của các yếu tố khác như chiều cao đường tên vòm, góc nghiêng của dây xiên, số lượng dây xiên, bố trí dây xiên. Loại kết cấu cầu có dây treo với sơ đồ dạng lưới phù hợp cho việc áp dụng tại Việt Nam để xây dựng các công trình cầu trong thời gian ngắn cũng như yếu tố mỹ quan tạo điểm nhấn cho các đô thị lớn hoàn toàn là có khả thi.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22 TCN 272-05.
- [2]. TCVN 11823-1:2017, Thiết kế cầu đường bộ.
- [3]. Benjamin Brunn, Frank Schanack, Uwe Steimann (2004), *Network Arches for Railway Bridges*, 4th International Conference on Arch Bridges, Barcelona, Spain.
- [4]. Wolfgang Graße, Stephan Teich, Per Tveit, Stefan Wendelin (2004), *Network arches for road bridges*, Arch bridges Arch'04, CIMNE, Barcelona.
- [5]. Ketan Rane, Simon Jayasingh, Visuvasam J, Suraj Sangtiani (2018), *Structural Evaluation of Bow String and Network Arch Bridge with Different Design Parameters and Bracings*, International Journal of Civil Engineering and Technology, vol.9, Issue 3.
- [6]. Fabrizio Greco, Paolo Lonetti, Arturo Pascuzzo (2019), *Structural integrity of tied arch bridges affected by instability phenomena*, 25th International Conference on Fracture and Structural Integrity.

Ngày nhận bài: 07/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2021

Người phản biện: TS. Hoàng Việt Hải

TS. Nguyễn Thị Cẩm Nhung