



DYNAMICS RESPONSE OF CABLE-STAYED BRIDGE UNDER THE EFFECT OF CABLE RUPTURE BY FEM MODEL

Nguyen Huu Hung

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 20/5/2019

Revised: 2/8/2019

Accepted: 28/8/2019

Published online: 15/11/2019

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.2.33>

* *Corresponding author*

Email: nhhungttp@utc.edu.vn; Tel: 0912178594

Abstract. In the cable-stayed bridge design, the designers often model the cable rupture load as static force with the force of cable tension and multiply the dynamic amplification factor. This calculation does not fully reflect the dynamic response of the structure under the effect of cable rupture load. This paper deals with the problem of cable rupture by nonlinear time history analysis on 3D finite element model, the cable rupture phenomenon modeled by loading that may vary with time. The results of the paper show the dynamic response of cable tension, mid-span displacement and bridge tower displacement.

Keywords: dynamic amplification factors, dynamic response, nonlinear time history analysis.

© 2019 University of Transport and Communications



PHẢN ỨNG ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CẦU DÂY VĂNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỨT CẤP TRÊN MÔ HÌNH PTHH

Nguyễn Hữu Hưng

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 20/5/2019

Ngày nhận bài sửa: 2/8/2019

Ngày chấp nhận đăng: 28/8/2019

Ngày xuất bản Online: 15/11/2019

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.2.33>

* Tác giả liên hệ

Email: nhhunggttp@utc.edu.vn; Tel: 0912178594

Tóm tắt. Trong thiết kế cầu dây văng, các nhà thiết kế thường mô hình tải trọng đứt cáp như là lực tĩnh độ lớn bằng lực căng cáp và nhân thêm hệ số hệ số xung kích. Cách tính này chưa phản ánh hết được phản ứng động lực học của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng đứt cáp. Bài báo này đi giải quyết bài toán đứt cáp bằng phân tích lịch sử thời gian phi tuyến trên mô hình phần tử hữu hạn 3D, hiện tượng đứt cáp được mô hình bằng lực thay đổi theo thời gian. Kết quả của bài báo thể hiện phản ứng động lực học của lực căng của cáp văng, chuyển vị giữa nhịp và chuyển vị đỉnh tháp.

Từ khóa: hệ số xung kích, phản ứng động lực học, phân tích lịch sử thời gian phi tuyến.

© 2019 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. GIỚI THIỆU

Cầu dây văng đã và đang được xây dựng phổ biến tại Việt Nam và trên thế giới, từ cầu dây văng hoàn thành đầu tiên năm 2000 đến nay Việt Nam đã có khoảng 20 cầu xây văng nhịp chính từ 150m trở lên đưa vào khai thác. Trong thiết kế các cầu dây văng đều có xét đến tổ hợp tải trọng đứt cáp (ví dụ như cầu Cao Lãnh, Vàm Cống và Bạch Đằng mới đưa vào khai thác) nhưng hầu như đó là phân tích tĩnh (phân tích giả động) và có xét đến hệ số động bằng 2 (hệ số xung kích) được lấy theo hướng dẫn của PTI [1]. Theo một số nghiên cứu hệ số động lấy như vậy chưa hoàn toàn phù hợp với các bộ phận của một công trình cụ thể, có một số trường hợp nhỏ hơn, có một số trường hợp lớn hơn, như nghiên cứu của một số tác giả [2,3,4]. Như vậy rất cần có những nghiên cứu về phản ứng động lực học cho các bộ phận của mỗi công trình cầu cụ thể.

Nghiên cứu về bài toán đứt cáp tại Việt Nam chưa có nhiều, một số bài báo có đóng góp của người Việt Nam có thể kể đến như bài báo của tác giả Hoàng Vũ và các cộng sự [2], trong bài báo này nhóm tác giả vừa nghiên cứu lý thuyết vừa nghiên cứu thực nghiệm hiện tượng đứt cáp. Các nghiên cứu thực nghiệm làm rõ hơn cơ chế phá hoại cũng như độ lớn của hệ số động lấy vào khi phân tích tĩnh, cách làm hay được các kỹ sư sử dụng khi thiết kế cầu dây. Ngoài ra, bài báo cũng phân tích được sự ảnh hưởng của các số lượng cáp đứt đến các bộ phận của kết cấu cầu dây. Bài báo của tác giả Nguyễn Trọng Nghĩa và Vanja Samec [3] cũng phân tích bài toán đứt cáp nhưng tập trung vào ảnh hưởng của một tham số đến hệ số động khi đưa vào phân tích tĩnh, bài báo cũng minh họa một số kết quả phân tích với thông số của một số công trình cầu ở Việt Nam. Tuy nhiên các bài báo cũng chưa đề cập đến sự lan truyền hiện tượng đứt cáp với nhau theo thời gian (tương tác lực căng giữa các cáp trước và sau khi đứt theo thời gian), phản ứng của kết cấu theo thời gian và chưa xét đến các ảnh hưởng điều kiện ban đầu khi phân tích đứt cáp (cáp đứt khi chịu tải trọng gì trước đó). Trên thế giới nghiên cứu về bài toán đứt cáp đã được thực hiện từ những năm 1994 bởi E. Hyttinen và các cộng sự [4]. Bài toán này đặc biệt được nghiên cứu và quan tâm trở lại sau sự kiện 11/9/2001 ở Mỹ, trong những năm 2009, 2010 M. Wolff và U. Starossek [5a, b] có những nghiên cứu liên quan đến hiện tượng sụp đổ lan truyền từ bài toán đứt cáp trong cầu dây văng. Trong nghiên cứu của mình tác giả đã sử dụng mô hình phi tuyến để phân tích ứng xử của các bộ phận cầu dây văng dưới tác dụng của tải trọng đứt cáp, tác giả tập trung phân tích phản ứng của dầm và tháp với các trường hợp hệ số cản khác nhau để tìm ra hệ số động phù hợp cho các bộ phận này. Do đó trong các nghiên cứu này cũng chưa làm rõ mối quan hệ giữa cáp đứt với các cáp còn lại, hay làm rõ hơn cáp kế tiếp có nguy cơ bị đứt là cáp nào. Chưa chỉ rõ số lượng, vị trí cáp đứt nào thì cầu dây văng sẽ gặp nguy hiểm. Gần đây hơn trong những năm 2016, 2017 một số các tác giả cũng công bố nghiên cứu của mình cho bài toán đứt cáp như R. Das và các cộng sự [6], Harshil Jani và Jignesh Amin [7]. Trong nghiên cứu của mình R. Das và các cộng sự đã nghiên cứu được nhiều trường hợp đứt cáp và chỉ ra được vị trí cáp đứt nguy hiểm cho công trình cầu, tuy nhiên mô hình nghiên cứu là 3D nhưng tác giả vẫn giả thiết cáp đứt theo từng mặt cắt (đồng thời cả thượng lưu và hạ lưu cầu) chưa mô tả từng cáp riêng lẻ đứt. Với Harshil Jani và Jignesh Amin nghiên cứu thêm ảnh hưởng của sự ăn mòn làm thay đổi cơ tính của cáp trước khi bị đứt cáp, và kết quả cũng chỉ dừng lại thay đổi lực căng trong cáp và chuyển vị ứng với các sơ đồ bố trí dây văng khác nhau.

Với các nghiên cứu ở trên cho thấy vẫn cần phải làm rõ hơn một số vấn đề đó là cáp nào bị đứt có mức độ ảnh hưởng lớn nhất đến nội lực trong các cáp khác hay trong dầm và tháp, thể hiện sự biến đổi theo thời gian các phản ứng của kết cấu khi cáp đứt đang hoặc sau khi chịu lực tác dụng và chỉ ra được số lượng vị trí cáp đứt dẫn đến sụp đổ lan truyền trong kết cấu. Từ những vấn đề trên bài báo tập trung đi phân tích mô hình phân tử hữu hạn 3D để làm rõ các vấn đề còn tồn đọng như đã nêu trên.

2. MÔ PHỎNG SỐ VÀ KẾT QUẢ

2.1. Thông số đầu vào mô phỏng số

Để minh họa cho bài toán đã nêu bài báo tiến hành phân tích cho cầu dây văng bằng phương pháp PTHH [8] với các số liệu chính như sau:

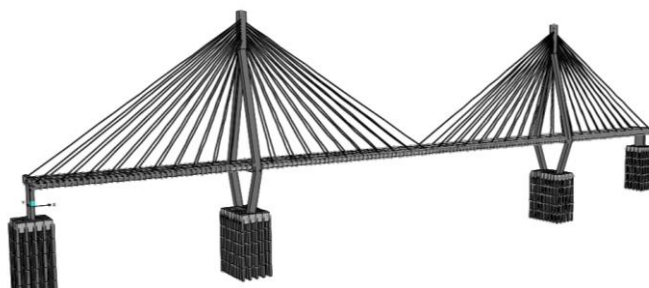
Sơ đồ kết cấu 130m+300m+130m.

Dạng mặt cắt ngang: dạng chữ π , chiều cao 3m, chiều rộng 30m, hai dầm dọc (chân chữ π) có bề rộng 1m cách nhau 24m; có diện tích=13m²; $I_y=10,65\text{m}^4$; $I_z=1290,33\text{m}^4$; Vật liệu bê tông với các tham số $f_c=35\text{Mpa}$; $E_c=27789\text{Mpa}$; Trọng lượng riêng 23,5631 KN/m³;

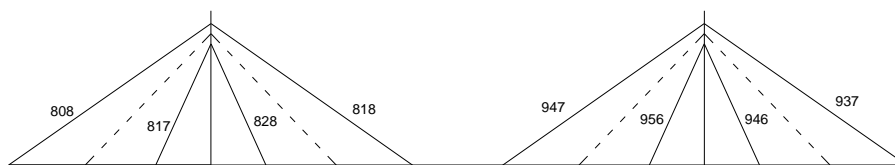
Trụ tháp dạng kim cương chiều cao tháp 100m tính từ mặt cầu, trụ cao 35m; có kích thước hình chữ nhật 4,5x3,375m; diện tích 15,19m²; $I_y=25,63\text{m}^4$; $I_z=14,42\text{m}^4$; Vật liệu bê tông với các tham số $f_c=35\text{Mpa}$; $E_c=27789\text{Mpa}$; Trọng lượng riêng 23,5631 KN/m³;

Hai mặt phẳng dây bố trí theo sơ đồ harp, dây văng có đường kính danh định 8cm, diện tích bố cáp $5,027 \times 10^{-3}\text{m}^2$; $F_u=1861\text{Mpa}$; $F_y=1690\text{Mpa}$; mô đun đàn hồi ban đầu $E=196500\text{Mpa}$; Trọng lượng riêng 76,9729 KN/m³;

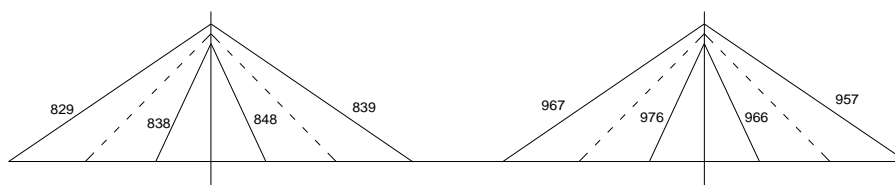
Điều kiện biên: bố trí gối cố định tại 1 trụ tháp, các vị trí còn lại bố trí gối di động.



Hình 1. Mô hình kết cấu công trình cầu.



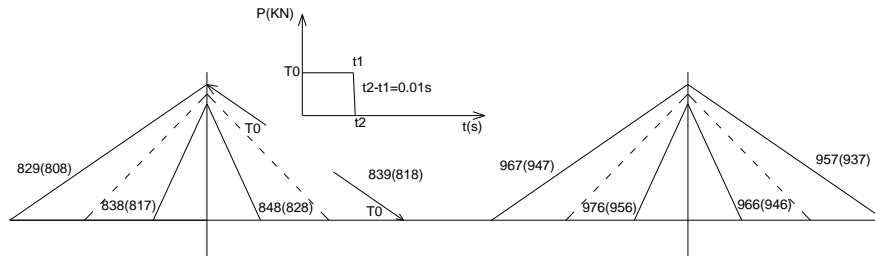
Hình 2. Sơ đồ dây văng mặt phẳng thượng lưu.



Hình 3. Sơ đồ dây văng mặt phẳng hạ lưu.

Giả thiết tải trọng tác dụng ban đầu là trọng lượng bản thân của kết cấu;

Tải trọng đứt cáp được miêu tả là tải trọng thay đổi theo thời gian độ lớn bằng lực căng, hiện tượng đứt xảy ra trong 0,01s như minh họa ở hình bên dưới



Hình 4. Minh họa tải trọng cho một trường hợp đứt cáp.

Bài toán phân tích: đứt cáp đồng thời chịu tác dụng của trọng lượng bản thân, dưới sự hỗ trợ của phần mềm CSI Bridge v20. Trong bài báo sử dụng phần tử shell cho hệ dầm cầu, phần tử cáp có xét đến biến dạng (độ võng của cáp) cho cáp văng và phần tử khung (frame) cho tháp cầu.

2.2. Các trường hợp tính toán và kết quả

2.2.1. Các trường hợp tiến hành phân tích như sau:

- + Trường hợp 1: đứt dây dài phía trụ neo (cáp 808, 829) hoặc phía giữa nhịp (cáp 818 và 839).
- + Trường hợp 2: đứt dây ngắn phía trụ neo (cáp 817, 838) hoặc phía giữa nhịp (cáp 828, 848).
- + Trường hợp 3: đứt dây dài và dây kế tiếp phía trụ neo (cáp 808, 809 và 829, 830) hoặc phía giữa nhịp (cáp 818, 819 và 839, 840).

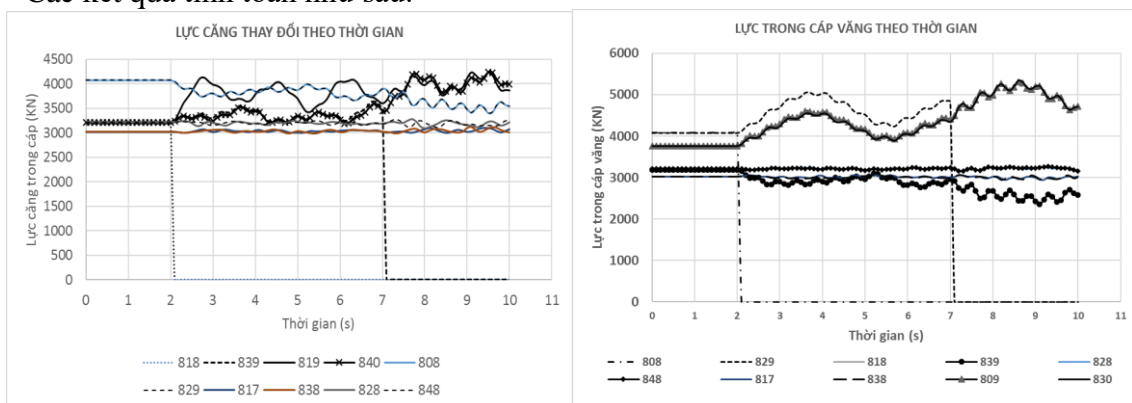
Các trường hợp trên miêu tả theo trật tự thời gian như sau: dây đầu tiên (thượng lưu) đứt ở thời điểm 2s, dây tiếp theo (hạ lưu) đứt ở thời điểm 7s đối với trường hợp thứ 1 và thứ 2. Trường hợp thứ 3 dây đầu tiên đứt ở thời điểm 2s, dây tiếp theo đứt ở thời điểm 5s, dây kế tiếp theo đứt ở thời điểm 8s và 11s.

Để thấy được phản ứng uốn xoắn đồng thời của dầm chuyển vị tại hai điểm phía thượng lưu và hạ lưu tại mặt cắt giữa nhịp được thể hiện để phân tích (tương ứng là nút (joint) 2019 và 2017). Để làm rõ phản ứng của tháp, chuyển vị đỉnh tháp theo phương dọc cầu và ngang cầu được thể hiện (tương ứng là nút số 6). Cuối cùng là thể hiện sự thay đổi theo thời gian lực căng trong một số dây văng ứng với các trường hợp đứt cáp miêu tả ở trên.

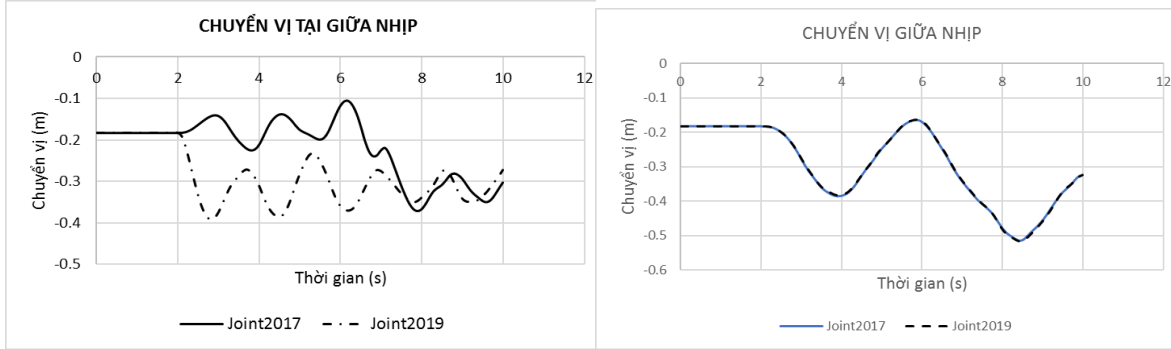
2.2.2. Kết quả tính toán

Trường hợp 1:

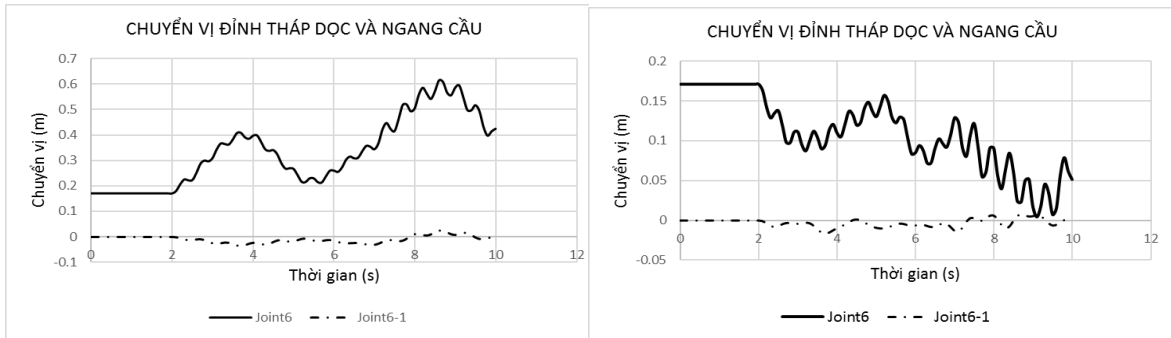
Các kết quả tính toán như sau:



Hình 5. Lực trong cáp văng thay đổi theo thời gian khi đứt cáp 818, 839 và 808, 829.



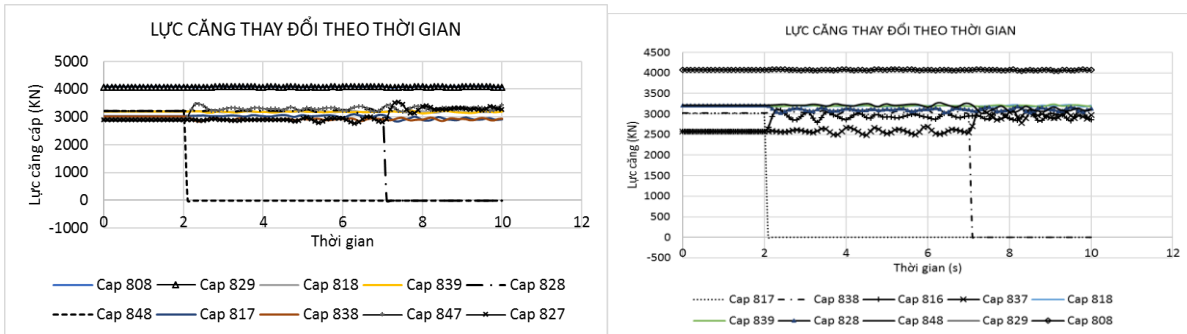
Hình 6. Chuyển vị tại giữa nhịp khi đứt cáp 818, 839 và cáp 808, 829.



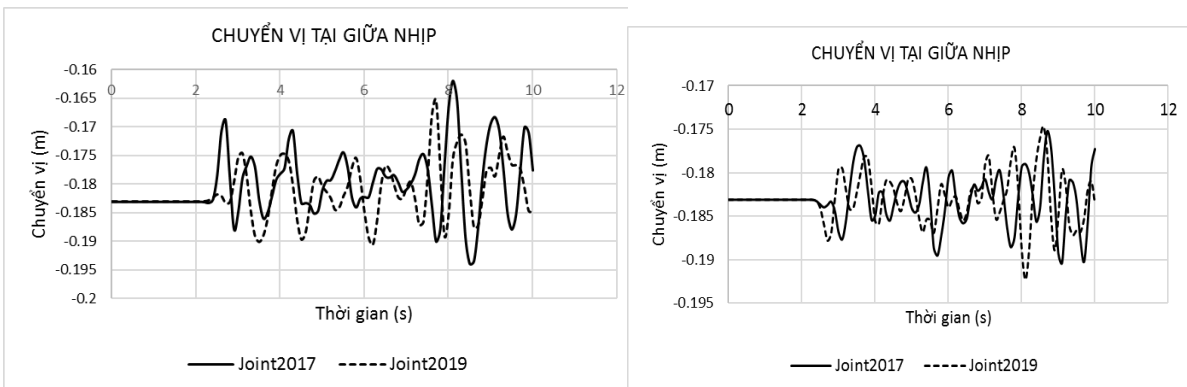
Hình 7. Chuyển vị đỉnh tháp khi đứt cáp 808, 829 và cáp 818, 839.

Trường hợp 2:

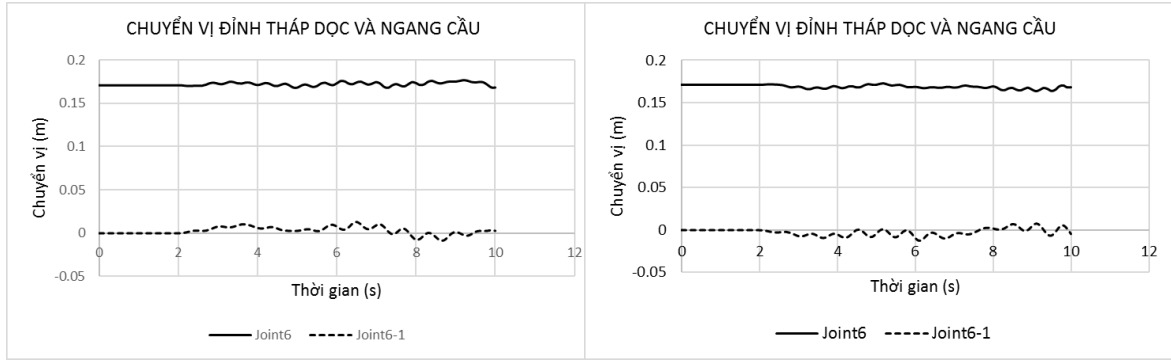
Các kết quả tính toán như sau:



Hình 8. Lực trong cáp vắng thay đổi theo thời gian khi đứt cáp 848, 828 và 817, 838



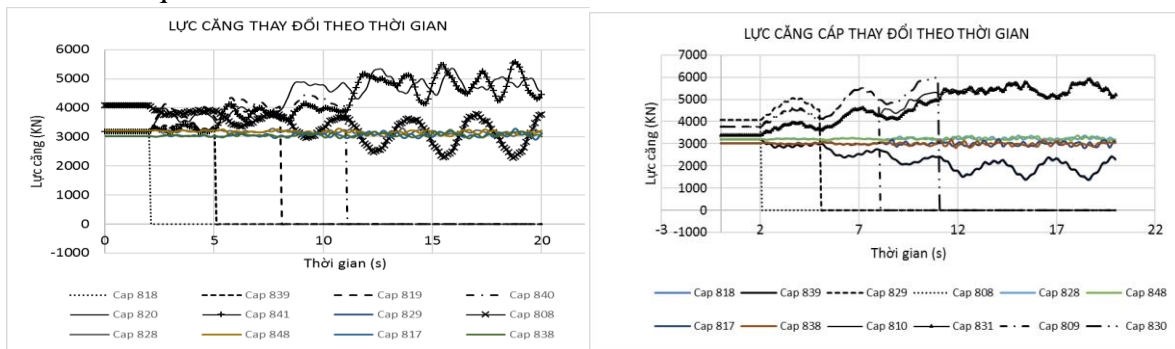
Hình 9. Chuyển vị tại giữa nhịp khi đứt cáp 828, 848 và cáp 817, 838



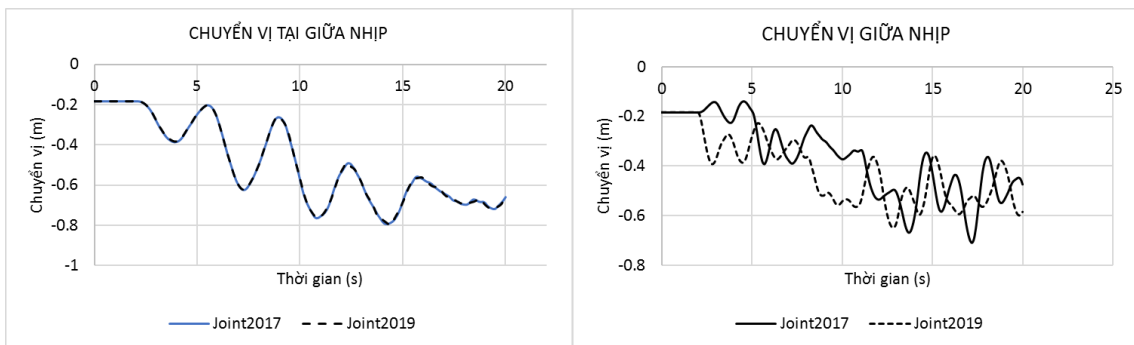
Hình 10. Chuyển vị tại đỉnh tháp khi đứt cáp 828, 848 và cáp 817, 838

Trường hợp 3:

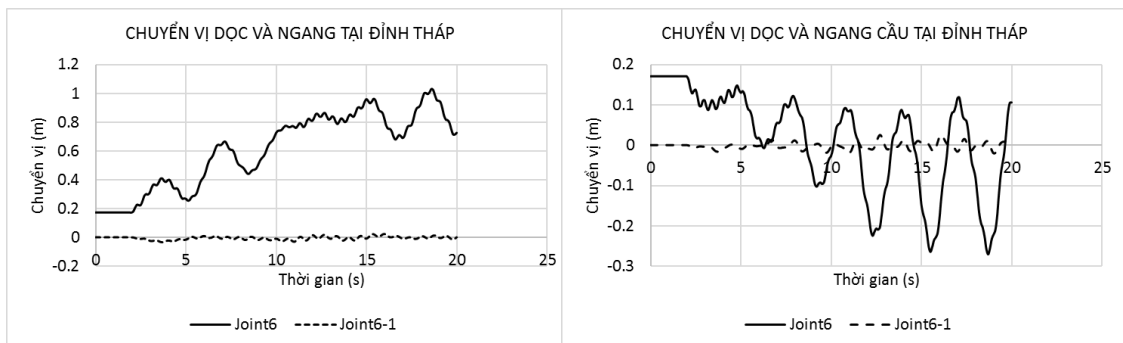
Các kết quả tính toán như sau:



Hình 11. Lực trong cáp vắng khi đứt cáp 818, 819, 839, 840 và 808, 809, 829, 830



Hình 12. Chuyển vị giữa nhịp khi đứt cáp 808, 809, 829, 830 và cáp 818, 819, 839, 840



Hình 13. Chuyển vị đỉnh tháp khi đứt cáp 808, 809, 829, 830 và cáp 818, 819, 839, 840.

3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Từ hình 5 cho thấy ảnh hưởng của sự cố dây cáp dài (808, 818, 829, 839) đối với các cáp liên kề (809, 819, 830, 840) là rất lớn, lực căng trong cáp thay đổi từ (3207KN, 3766KN, 3189KN, 3766KN) tới (4242KN, 5313KN, 4238KN, 5340KN) tăng 32%, 41%, 33%, 42%. Như vậy nguy cơ gặp sự cố đứt các cáp liên kề cáp dài nhất là rất lớn.

Từ hình 6, 12 cho thấy khi xảy ra đứt cáp theo kịch bản đã trình bày ở trên tại vị trí giữa nhịp có hiện tượng xoắn uốn kết hợp (chuyển vị theo thời gian của hai điểm trên mặt cắt ngang không đều nhau), tại vị trí nhịp biên không có xuất hiện dao động uốn xoắn kết hợp.

Hình 7, 13 cho thấy khi đứt cáp chuyển vị theo phương dọc cầu, bộ cáp giữa nhịp đứt sẽ ảnh hưởng nhiều đến chuyển vị trụ tháp hơn so với bộ cáp nhịp biên.

Từ hình 8, 9, 10 cho thấy ảnh hưởng của cáp ngắn đứt là không đáng kể, ít ảnh hưởng đến các bộ phận của kết cấu.

Từ hình 11 cho thấy ảnh hưởng của sự cố đứt 02 cáp dài (808, 809; 829, 830; 818, 819; 839, 840) đối với các cáp liên kề (820, 841, 810, 831) là rất lớn, lực căng thay đổi từ (3140KN, 3139KN, 3395KN, 3395KN) tới (5364KN, 5575KN, 5867KN, 5930KN) tăng 69%, 78%, 73%, 75%. Như vậy nếu các lực trong cáp thiết kế bằng 45% lực tới hạn của bó cáp thì lực căng xuất hiện trong cáp liên kề sau khi đứt hai cáp bằng 80% lực tới hạn. Do đó có nguy cơ một hiện tượng sụp đổ lan truyền sẽ xảy ra khi hai cáp dài bị đứt. Kết hợp với kết quả hình 13 cho thấy khi hai cáp dài phía giữa nhịp bị đứt nguy cơ xảy ra sụp đổ lan truyền xảy ra rất lớn vì ngoài hiện tượng dao động uốn của dầm thì trong dầm còn có dao động xoắn.

4. KẾT LUẬN

Qua kết quả phân tích trên cho thấy các cáp liên kề với cáp bị đứt sẽ bị ảnh hưởng lớn hơn so với các cáp còn lại và các cáp dài bị đứt sẽ ảnh hưởng lớn đến phản ứng động lực học của kết cấu. Với mô hình các cáp đứt theo thời gian khác nhau cho thấy rõ dao động uốn xoắn trong dầm. Với việc phân tích mô hình PTHH cho thấy rõ lực căng trong cáp tại thời điểm đứt, sau khi đứt cáp và ảnh hưởng của thứ tự các cáp bị đứt.

Kết quả trên góp phần làm rõ hơn bài toán đứt cáp trong thiết kế cầu dây văng, qua đó có những thiết kế phù hợp hạn chế rủi ro khi xảy ra tải trọng này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. PTI, Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation, fifth ed., Post Tension Institute, USA, 2007.
- [2]. Vu Hoang, Osamu Kiyomiya, Tongxiang An, Experimental and dynamic response analysis of cable-stayed bridge due to sudden cable loss, Journal of Structural Engineering, 62A (2016) 50-60. <https://doi.org/10.11532/structcivil.62A.50>

- [3]. Nguyen Trong Nghia, Vanja Samec, Cable-Stay Bridges—Investigation of Cable Rupture, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10 (2016) 270-279. doi: 10.17265/1934-7359/2016.05.006.
- [4]. E. Hyttinen, J. Valimaki, E. Jarvenpaa, Cable stayed bridges effect, of breaking of a cable, In: *Cable stayed and suspension bridges*, Proceedings AFPC Conference, Paris, France: AFPC 1994, 1994, 303-311.
- [5a]. M. Wolff, U. Starossek, Cable loss and progressive collapse in cable-stayed bridges, *Bridge Structures*, 5 (2009) 17–28. <https://doi.org/10.1080/15732480902775615>
- [5b]. M. Wolff, U. Starossek, Cable-loss analyses and collapse behavior of cable-stayed bridges, in *The Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, Philadelphia, USA, 2010.
- [6]. R. Dasa, A. D. Pandeyb, Soumyac, M. J. Maheshd, P. Sainie, S. Anvesh, Progressive Collapse of a Cable Stayed Bridge, *Procedia Engineering* 144 (2016) 132 – 139. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.016>
- [7]. H.Jani, J. Amin, Analysis of cable stayed bridge under cable loss, *International Journal of Bridge Engineering*, 5 (2017) 61-78.
- [8]. Edward L. Wilson, *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, 2002.

ⁱHình 2, 3, 4 chỉ minh họa dây văng ngoài cùng, 8 dây trong minh họa thông qua nét đứt, các dây tiếp theo có chỉ số (nhãn) tăng dần về phía trụ thấp.