

# Phân tích kết cấu dàn cầu kiewitt 8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất theo ba phương

Analysis kiewitt 8 domes supported by substructure columns to severe earthquake motions

> TS PHẠM VĂN ĐẠT

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: datpv.hau@gmail.com

## TÓM TẮT

Một trong những nguyên nhân gây ra các thảm họa chết người, sập công trình là do các trận động đất gây ra. Do đó việc nghiên cứu phân tích khả năng chịu động đất cho các công trình là một trong những nhiệm vụ rất quan trọng cho các Nhà khoa học. Hiện nay hầu hết các nghiên cứu phân tích kết cấu dàn chịu động đất thường chỉ phân tích kết cấu dàn phía trên được liên kết trực tiếp với móng, bỏ qua sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới. Vì vậy kết quả phân tích và sự làm việc của kết cấu thực tế có sự khác nhau. Trong bài báo này, tác giả áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để phân tích kết cấu dàn cầu Kiewitt 8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tải trọng động đất theo ba phương.

**Từ khóa:** Dàn Kiewitt 8; kết cấu bên dưới; tải trọng động đất; dạng phá hoại

## ABSTRACT:

It is considered that earthquake is one of the causes for the deadly disasters and the building collapses. Therefore the analysis of structural seismic resistance is one of the important tasks for scientists. Nowadays, in most of the trusses seismic analysis, it is considered that the above trusses structures directly supported by foundations without consideration the relationship with the below column. Hence, the analysis results and the structure behavior are different. This paper presents the using of the finite element method (FEM) for single-layer Kiewitt 8 trusses analysis taking into consideration the relationship with substructures columns under severe earthquake motions

**Keywords:** Kiewitt 8; substructure; earthquake motions; failure modes

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu dàn không gian là một trong những kết cấu nhẹ được sử dụng làm phương án kết cấu cho rất nhiều công trình yêu cầu vượt khẩu độ lớn [11]. Kết cấu dàn không gian một lớp là một trong những dạng kết cấu dàn không gian thường được lựa chọn để xây dựng các công trình trong các khu vực có yêu cầu thiết kế và cấu tạo kháng chấn [13]. Tuy nhiên, khi phân tích kết cấu dàn không gian một lớp chịu tác dụng của động đất có một vấn đề khó khăn là phải nghiên cứu sự làm việc của vật liệu trong giai đoạn đàn dẻo cũng như phân tích phi tuyến hình học của kết cấu.

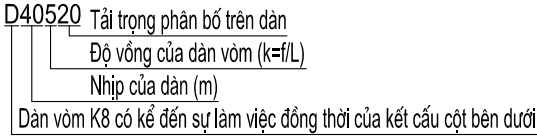
Hiện nay, khi công nghệ máy tính phát triển ngày càng có nhiều phần mềm sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng và phân tích đầy đủ các thông số đầu vào của kết cấu [4, 15]. Năm 2010 trong bài báo [1] tác giả đã trình bày kết quả phân tích các dạng phá hoại dàn vòm không gian một lớp dưới tác động của tải trọng điều hòa có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột, giằng bên dưới. Năm 2014 Nakazawa và cộng sự [12] đã nghiên cứu khả năng chịu động đất của kết cấu dàn không gian một lớp. Năm 2017 Ye và các cộng sự [14] đã trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích động lực học kết cấu dàn cầu không gian một lớp. Năm 2019 [2] bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu các dạng phá hoại dàn cầu Kiewitt 8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất theo phương thẳng đứng. Năm 2018 Yang và các cộng sự đã trình bày kết quả nghiên cứu của mình [13] về cơ cấu hỏng của kết cấu dàn cầu không gian một lớp có kể đến ảnh hưởng của cột và giằng phía dưới khi chịu tác dụng của động đất.

Như trình bày ở trên, khi phân tích kết cấu dàn không gian một lớp chịu tác dụng của tải trọng động đất khi kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới, vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn dẻo và phân tích phi tuyến hình học các nghiên cứu chưa nhiều hoặc chưa đầy đủ [5,6,7,8,9,10]. Trong bài báo này, tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu phân tích kết cấu dàn cầu Kiewitt 8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất theo phương ba phương.

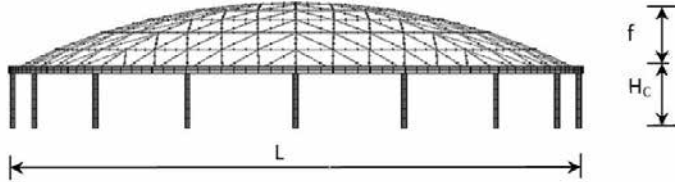
## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ CÁC THAM SỐ CỦA MÔ HÌNH

Thông qua phần mềm ANSYS, bài báo đã mô phỏng được mô hình kết cấu dàn cầu Kiewitt 8 (K8) và kết cấu cột bên dưới làm việc đồng thời, với các thông số của bài toán như sau:

- Khẩu độ của dàn:  $L=40m$ ;
  - Tải trọng tính toán phân bố đều trên bề mặt của dàn là:  $q=2kN/m^2$ ;
  - Độ võng của dàn:  $f/L=1/3, 1/5$  và  $1/7$ .
- Ký hiệu mô hình kết cấu phân tích như hình 1:



Hình 1. Ký hiệu mô hình phân tích kết cấu dàn K8

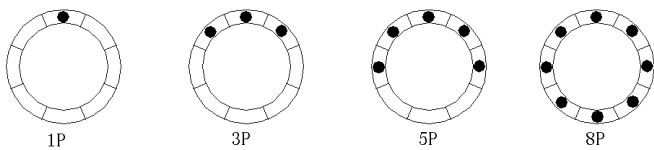


Hình 2. Mô hình kết cấu dàn K8 làm việc đồng thời cùng kết cấu cột bên dưới

Các thông số của mô hình phân tích (hình 2): Chiều cao cột là  $H_c=5m$ , liên kết giữa đỉnh cột và dàn là liên kết khớp. Tải trọng phân bố trên dàn được đưa về thành lực tập trung tại các nút dàn, vật liệu của mô hình là đàn dẻo lý tưởng, liên kết giữa các nút của dàn là liên kết cứng, liên kết giữa các nút ngoài cùng của dàn với dầm biên là liên kết khớp. Tác giả tham khảo tiêu chuẩn thiết kế dàn không gian của trung quốc JGJ 61-2003, dựa vào tính tải để xác định kích thước sơ bộ các cấu kiện của kết cấu (cột, dầm biên và các thanh dàn) như sau (bảng 1):

Bảng 1: Kích thước của kết cấu

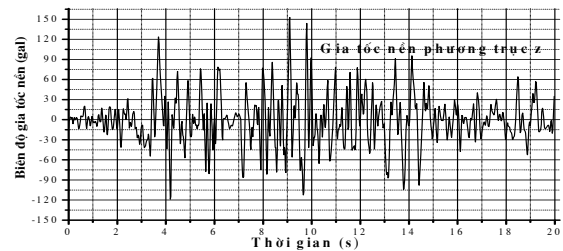
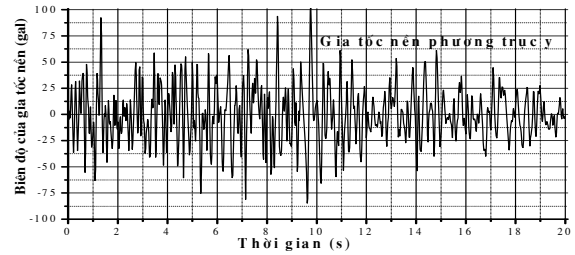
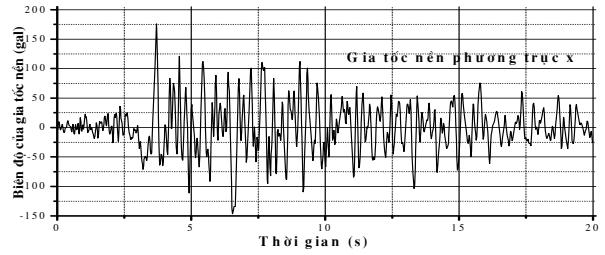
Vị trí	Dàn mái		Dầm biên	Cột
	Thanh sườn và thanh vành	Thanh xiên		
Kích thước	$\phi 140 \times 4.5$	$\phi 133 \times 4$	$600 \times 600 \times 12$	$\phi 351 \times 16$



Hình 3. Sự phát triển biến dạng dẹt trên mặt cắt ngang của các thanh dàn

Sự phát triển biến dạng dẹt của mặt cắt trên thanh dàn khi chịu tải trọng động đất được chia ra từ 1P đến 8P. Trong đó: 1P thể hiện mặt cắt bắt đầu xuất hiện biến dạng dẹt, 8P thể hiện toàn bộ mặt cắt chảy dẹt. Trong nghiên cứu này chỉ trích ra các thời điểm mặt cắt xuất hiện 1P thể hiện 1/8 phần mặt cắt xuất hiện biến dạng dẹt, 3P thể hiện 3/8 phần mặt cắt xuất hiện biến dạng dẹt, 5P thể hiện 5/8 phần mặt cắt xuất hiện biến dạng dẹt và 8P thể hiện toàn bộ mặt cắt chảy dẹt (hình 3).

Thông qua việc phân tích tác dụng của động đất theo thời gian của kết cấu bằng việc cho gia tốc nền của một trận động đất thực tế Taft (Kern County, California Earthquake July 21, 1952 - 0453 PDT) được ghi lại tại Mỹ vào năm 1952. Trong đó phương ngang là phương x và z còn phương đứng là phương y với biên độ lớn nhất của gia tốc nền theo ba phương x:y:z=176:103:153. Khi nghiên cứu tác dụng của tải trọng động đất này vào mô hình bài toán ta có thể điều chỉnh cường độ (cấp) của động đất bằng cách thay đổi biên độ của gia tốc nền này và thời gian phân tích tác dụng của tải trọng động đất là 20 giây. Trong phạm vi bài báo chỉ trình bày phân tích kết cấu chịu gia tốc nền của tải trọng động đất theo ba phương như hình 4.



Hình 4. Gia tốc nền ghi được theo 3 phương của trận động đất Taft (1952)

### 3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU D40520 DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT THEO BA PHƯƠNG

Nghiên cứu kết cấu dàn không gian K8 có kể sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới D40520, khi chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo ba phương được thể hiện trong bảng 2 và hình 5 đến hình 10.

Bảng 2. Ảnh hưởng cường độ của tải trọng động đất theo phương ngang tác dụng nền kết cấu có độ dốc 1/5

Biên độ gia tốc nền (gal)	Thời gian (s)	Chuyển vị lớn nhất của mắt dàn (m)	1P (%)	8P (%)	Chuyển vị của đỉnh cột (m)
50	6,16	0,0178	0	0	0,0114
100	6,14	0,0286	0	0	0,0206
200	6,14	0,0505	0	0	0,0387
350	13,54	0,0675	0	0	0,0544
500	5,62	0,0856	0	0	0,0669
600	5,64	0,0978	0	0	0,0782
650	5,64	0,104	0	0	0,0881

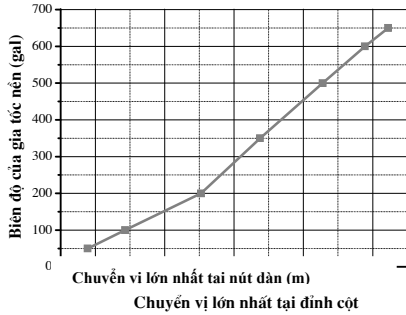
Theo kết quả phân tích bảng 2 ta thấy rất rõ là khi biên độ gia tốc nền của tải trọng động đất tác dụng đạt đến 650gal, thì lúc này tỷ lệ các thanh dàn xuất hiện biến dạng dẹt rất ít, hình dạng của kết cấu dàn bên trên biến dạng ít, nhưng chuyển vị của đỉnh cột thì tương đối lớn là 76,94mm. Nếu ta tiếp tục tăng biên độ của tải trọng động đất vượt qua 650gal thì sẽ làm cho chuyển vị của đỉnh cột đột nhiên tăng rất nhanh làm cho kết cấu nhanh chóng bị đổ

sự sụp. Điều này cho ta thấy dạng phá hoại của kết cấu này là do sự phá hoại của cột bên dưới gây ra. Như vậy cần không gian một lớp có kể đến ảnh hưởng của kết cấu cột bên dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất theo 3 phương kết cấu thông thường bị phá hoại theo sự phá hoại của kết cấu cột bên dưới.

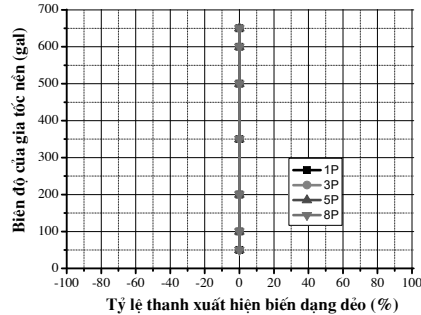
Theo kết quả phân tích hình 8 ta có thể thấy, tùy theo sự gia tăng biên độ gia tốc nền của tải trọng động đất thì chuyển vị lớn nhất tại đỉnh cột cũng tăng theo. Khi biên độ gia tốc nền của tải trọng động đất vượt qua tải trọng giới hạn thì sẽ làm cho chuyển vị

lớn nhất tại đỉnh cột đột nhiên tăng nhanh và làm cho kết cấu nhanh chóng bị sụp đổ.

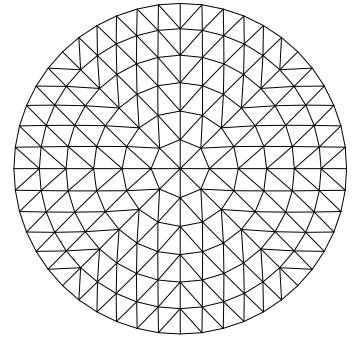
Theo kết quả phân tích hình cho ta thấy kết cấu dàn không gian K8 một lớp có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới D40520 khi chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo 3 phương thì chuyển vị lớn nhất của đỉnh cột thường xuất hiện trong khoảng thời gian từ 3 tới 10 giây kể từ sau khi xuất hiện động đất.



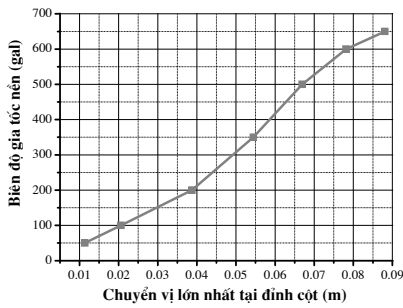
Hình 5. Biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị lớn nhất tại các nút dàn và biên độ của gia tốc nền



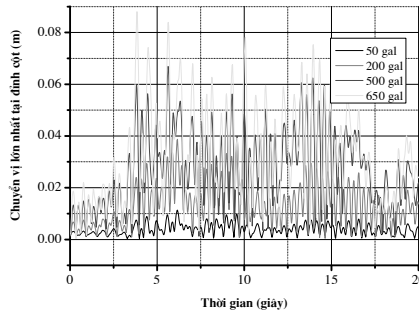
Hình 6. Biểu đồ quan hệ giữa biên độ của gia tốc và mặt cắt dẻo của thanh dàn



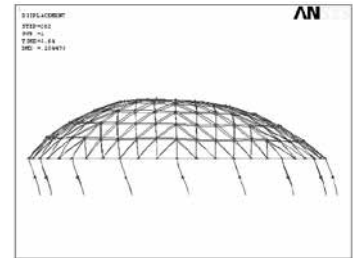
Hình 7. Sự phân bố khớp dẻo



Hình 8. Biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị lớn nhất tại đỉnh cột và biên độ của gia tốc nền



Hình 9. Biểu đồ chuyển vị lớn nhất tại đỉnh cột theo thời gian

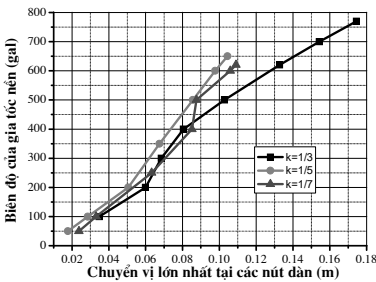


Hình 10. Hình dạng của kết cấu khi bị phá hoại

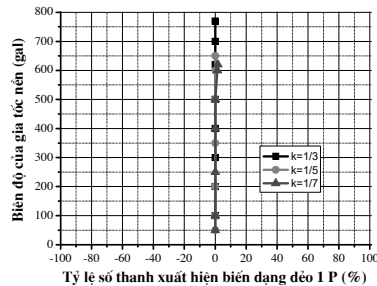
#### 4. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ ĐỐC CỦA DÀN ĐẾN SỰ PHÁ HOẠI CỦA KẾT CẤU

Một trong những tham số hình học quan trọng của kết cấu dàn là độ vồng của kết cấu dàn và để nghiên cứu sự ảnh hưởng của độ vồng kết cấu dàn đến dạng phá hoại của kết cấu dàn K8 có kể đến

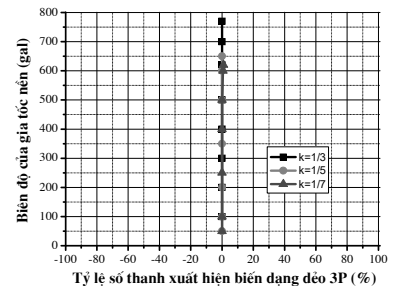
sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất theo 3 phương. Trong phần này của bài báo sẽ phân tích một số ví dụ kết cấu dàn K8 có kể đến sự làm việc của kết cấu cột giằng bên dưới với các độ vồng (1/3; 1/5; 1/7) chịu tác dụng của tải trọng động đất theo 3 phương.



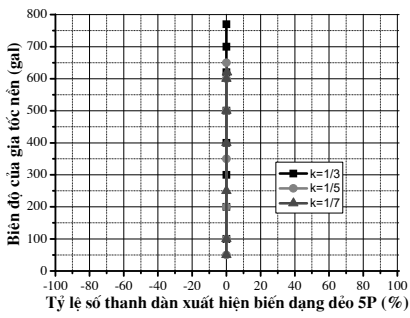
Hình 11. Chuyển vị lớn nhất của mặt dàn- cường độ tải trọng động đất



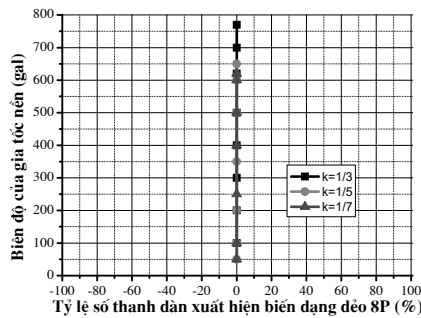
Hình 12. Ảnh hưởng độ đốc của dàn đối với sự xuất hiện của 1P



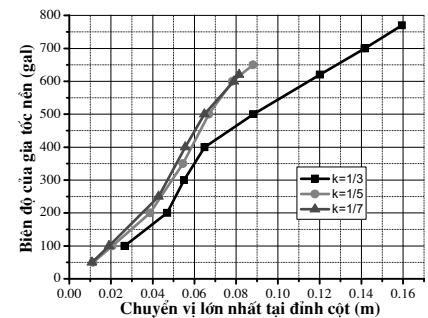
Hình 13. Ảnh hưởng độ đốc của dàn đối với sự xuất hiện của 3P



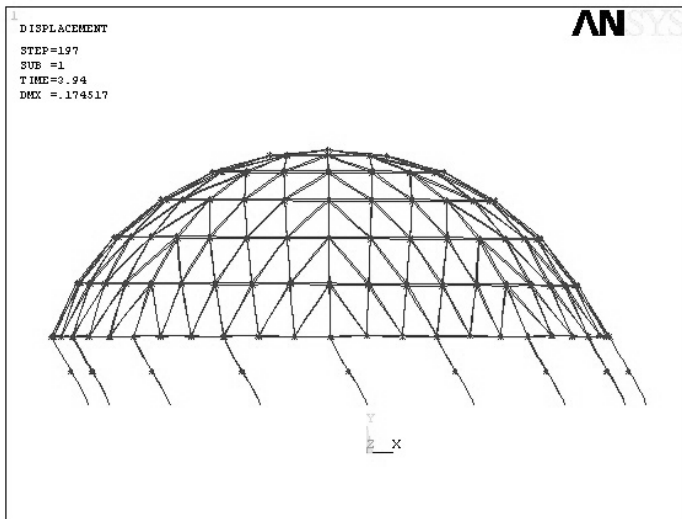
Hình 14. Ảnh hưởng độ dốc của dàn đối với sự xuất hiện của SP



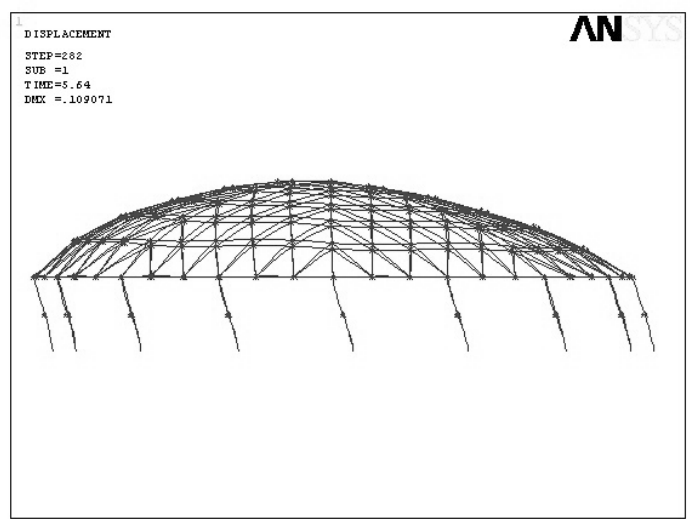
Hình 15. Ảnh hưởng độ dốc của dàn đối với sự xuất hiện của 8P



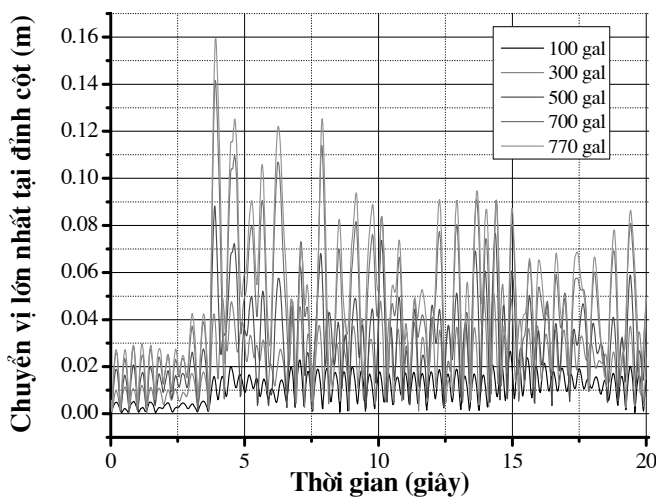
Hình 16. Ảnh hưởng độ dốc của dàn đối với chuyển vị đỉnh cột



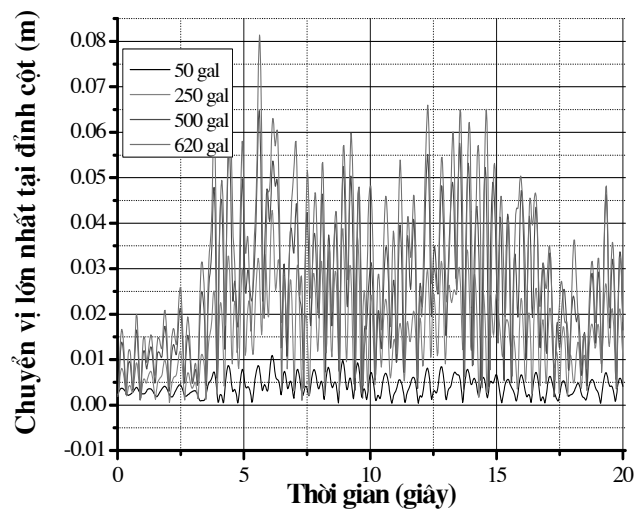
Hình 17. Hình dạng kết cấu trước khi bị phá hoại ứng với k=1/3



Hình 18. Hình dạng kết cấu trước khi bị phá hoại ứng với k=1/7



Hình 19. Chuyển vị lớn nhất tại đỉnh cột theo thời gian khi k=1/3



Hình 20. Chuyển vị lớn nhất tại đỉnh cột theo thời gian khi k=1/7

Kết quả phân tích kết cấu dàn chịu tải trọng động đất theo phương ngang với các giá trị độ võng khác nhau, được thể hiện từ hình 11 đến hình 20 và theo kết quả phân tích cho thấy:

- Kết cấu dàn không gian một lớp K8 có kể đến sự ảnh hưởng của kết cấu cột bên dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo 3 phương với các độ dốc khác nhau (hình 10, hình 17 và hình 18) thì dạng phá hoại rất tương đồng. Trước khi kết cấu bị sụp đổ thì kết cấu dàn phía trên hầu như không thay đổi hình dạng nhiều, gần như toàn bộ các thanh dàn không xuất hiện mặt cắt dẻo nhưng kết cấu cột bên dưới thì biến dạng tương đối lớn như dàn D40320 chuyển vị lớn nhất của đỉnh cột là 0.159m còn dàn D40720 chuyển vị lớn nhất của đỉnh cột là 0.081m. Vì vậy có thể phán đoán đối với kết cấu dàn không gian một lớp có kể đến ảnh hưởng của cột phía dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất theo 3 phương thì dạng phá hoại thông thường là dạng phá hoại của cột.

- Kết cấu dàn không gian K8 một lớp có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo 3 phương với các độ võng của kết cấu dàn khác nhau thì trước khi kết cấu phá hoại thì kết cấu dàn phía trên hầu như không thay đổi hình dạng nhiều (hình 10, hình 17 và hình 18), gần như toàn bộ các thanh dàn không xuất hiện các biến dạng dẻo (hình 12, hình 13, hình 14 và hình 15), nhưng kết cấu cột bên dưới thì thường biến dạng lớn so với kết cấu dàn phía trên. Vì vậy có thể phán đoán đối với kết cấu dàn không gian một lớp K8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột phía dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất theo 3 phương thì kết cấu thường phá hoại theo dạng phá hoại của cột.

- Kết cấu dàn không gian K8 một lớp có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo 3 phương thì kết cấu thường bị phá hoại theo dạng phá hoại của kết cấu cột bên dưới. Khi độ võng của kết cấu dàn càng lớn thì kết cấu càng có khả năng kháng chấn (hình 11, hình 16).

- Kết cấu dàn không gian một lớp K8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới khi chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo 3 phương thì chuyển vị lớn nhất của đỉnh cột thường xuất hiện trong khoảng thời gian từ 3~10 giây kể từ khi xuất hiện động đất (hình 5, hình 19 và hình 20).

## 5. KẾT LUẬN

Qua các kết quả nghiên cứu trong bài báo đã trình bày ở trên có thể dẫn đến một số kết luận sau đây:

- Khi kết cấu dàn K8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo ba phương thì kết cấu thường bị phá hoại theo dạng phá hoại cột. Tại thời điểm kết cấu bị phá hoại thường khi chuyển vị của đỉnh cột  $f/l \geq 1/50$ .

- Khi kết cấu dàn K8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft theo ba phương thì kết cấu thường bị phá hoại trong khoảng thời gian từ 3 đến 10 giây kể từ khi có động đất xuất hiện.

- Khi kết cấu dàn K8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất Taft

theo ba phương thì kết cấu dàn có độ võng càng lớn thì khả năng kháng chấn càng tốt.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] Phạm Văn Đạt (2010), Các dạng phá hoại dàn vòm không gian một lớp dưới tác động của tải trọng điều hòa có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột, giằng bên dưới, *Tạp chí khoa học Kiến trúc và Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Số 3 11/2010*, tr41-45.
- [2] Phạm Văn Đạt (2019), Các dạng phá hoại dàn cầu Kiewitt 8 có kể đến sự làm việc đồng thời của kết cấu cột bên dưới chịu tác dụng của tải trọng động đất theo phương thẳng đứng, *Tạp chí Xây dựng Việt Nam, Số 07/2019*, tr78-81.
- [3] Phạm Văn Hội, Nguyễn Quang Viên, Phạm Văn Tư, Đoàn Ngọc Tranh, Hoàng Văn Quang (2006), *Kết cấu thép Công trình Dân dụng và Công nghiệp*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [4] Chu Quốc Thắng (1997), *Phương pháp phân tử hữu hạn*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- [5] Hosseini. M, Hajnasrollah. S, Herischian. M (2012), A Comparative Study on the Seismic Behavior of Ribbed, Schwedler, and Diamatic Space Domes by Using Dynamic Analyses, *The 15th World Conference on Earthquake Engineering*.
- [6] Ishikawa. K, Kato. S (1993), Dynamic Buckling Behavior of Single and Double Layer Latticed Domes due to Vertical Earthquake Motion. *Space Structures 4*, Thomas Telford, London, vol12, p: 466-475.
- [7] Kato. S (1996), Dynamic Response and Collapse Acceleration of Single Layer Reticular Domes under Earthquake Motions, *Proc. Of Asia-Pacific Conference on Shell and Spatial Structures*, Beijing, China, p: 704-711.
- [8] Kato. S (2000), Seismic Design Method of Single Layer Reticular Domes with Braces Subjected to Severe Earthquake Motions, *The Sixth Pacific Conference on Shell and Spatial Structures*, Seoul, Korea, 2000(10), p:131-140.
- [9] Kato. S, Nakazawa. S, Minegishi. T, Niho. Y (2000), Dynamic Collapse Mechanism of Single Layer Reticular Domes with Braces Subjected to Severe Earthquake Motions, *Proc. Of IASS Symposium 2000*, Istanbul, Turkey, p: 319-326.
- [10] Murata. M, Hirata. M (2001), Nonlinear Dynamic Analysis System for Large-scale Space Structures under Multiple Loadings. *Proc. of IASS Symposium 2001*, Nagoya, Japan.
- [11] Lan. T. T (1999), *Space Frame Structures*, Structural Engineering Handbook Boca Raton: CRC Press LLC.
- [12] Nakazawa. S, Yanagisawa. T, Kato. S (2014), Seismic loads for single layer reticular domes and seismic performance evaluation, *Journal of Structural and Construction Engineering*, Vol. 79 (2014) No. 703 p. 1287-1297.
- [13] Yang. D.B, Yun. C. G, Wu. J. Zh, Yao. Y. L (2018), Seismic response and failure mechanism of single-layer latticed domes with steel columns and braces as substructures, *Thin-Walled structures 124* (2018) 458-467.
- [14] Ye. J, Qi. N, Progressive collapse simulation based on DEM for single-layer reticulated domes, *J. Constr. Steel; Res 128* (2017) 721-731.
- [15] Saka. T, Taniguchi. Y (1997), Damage to Spatial Structures by the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake in Japan, *International Journal of Space Structures*, 1997 (3&4), p: 125-133.