

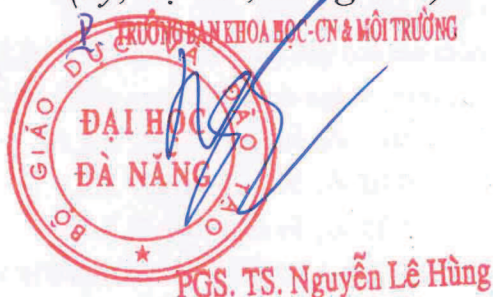
**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

**BÁO CÁO TÓM TẮT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP BỘ**

**NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG GIẢI PHÁP CÁCH CHẴN
CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG CHỊU TÁC ĐỘNG
CỦA ĐỘNG ĐẤT**

Mã số: B2016.ĐNA.03

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


PGS. TS. Nguyễn Lê Hùng

**Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ tên)**


Hoàng Phương Hoa

Đà Nẵng, tháng 3 / 2018

DANH SÁCH CÁ NHÂN THAM GIA ĐỀ TÀI:

1. TS. Đào Đình Nhân	Trường Đại học Kiến trúc TP. Hồ Chí Minh
2. ThS. NCS. Nguyễn Văn Nam	Khoa KT Xây dựng ĐH Công nghiệp, TP. HCM
3. ThS.NCS. Phan Hoàng Nam	Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN. (NCS tại Ý)
4. ThS. Nguyễn Hoàng Vĩnh	Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN
5. ThS.NCS. Phạm Đình Trung	Trường Đại học Quang Trung, Bình Định
6. ThS.NCS. Huỳnh Tấn Tiến	Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN
7. GVC.TS. Nguyễn Lan	Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN
8. ThS.NCS. Nguyễn Duy Thảo	Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN
9. GV.TS. Lê Anh Tuấn	Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN

ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH:

1. Sở Giao thông Công chính TP Đà Nẵng
2. Công ty Cổ phần Tư vấn đầu tư Xây dựng BK ECC
3. Trung tâm nghiên cứu quản lý rủi ro và Khoa học an toàn, ĐHQĐHN

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG ĐẤT VÀ THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH CHỐNG ĐỘNG ĐẤT	2
ĐỘNG ĐẤT	2
1.1. Tổng quan về động đất và thiết kế công trình chịu động đất	2
1.1.1. Định nghĩa	2
1.1.2. Các thông số quan trọng chuyển động nền.....	2
1.1.3. Sức mạnh của động đất.....	3
1.1.4. Giải pháp thiết kế công trình chịu động đất	3
1.2. Kỹ thuật cách chấn đáy (cô lập móng)	4
1.3. Tổng quan tình hình nghiên cứu gói cô lập trượt ma sát.....	5
1.3.1. Nghiên cứu về gói SFP.....	5
1.3.2. Nghiên cứu về gói DFP	5
1.3.3. Nghiên cứu về gói TFP	5
CHƯƠNG 2. MÔ HÌNH CÁC DẠNG GỐI TRƯỢT MA SÁT	5
2.1. Cơ sở lý thuyết	5
2.1.1. Mô hình tính toán	5
2.1.2. Phương trình chuyển động	5
2.1.3. Mô hình tính toán lực ma sát trong gói trượt.....	6

2.2. Mô hình gói con lắc ma sát đơn (gói SFP).....	6
2.2.1. Quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang	6
2.2.2. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gói SFP.....	6
2.3. Mô hình gói con lắc ma sát đôi (gói DFP).....	7
2.3.1. Quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gói.....	7
2.3.2. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gói DFP	7
2.4. Mô hình gói con lắc ma sát ba (gói TFP).....	7
2.4.1. Quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gói.....	7
2.4.2. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gói TFP	8
2.5. Phân tích ví dụ số	8
CHƯƠNG 3. THIẾT KẾ CẤU TẠO KÍCH THƯỚC GỐI	9
3.1. Đặt vấn đề	9
3.2. Thiết kế cấu tạo gói SFP cho công trình chịu trận động đất Northridge-01.....	9
3.2.1. Khảo sát ứng xử gói SFP khi động đất xảy ra đối với công trình 1 tầng.....	9
3.2.2. Khảo sát cấu tạo gói SFP khi động đất xảy ra đối với công trình 5 tầng	9
3.3. Thiết kế cấu tạo gói DFP cho công trình chịu động đất TABAS, Iran	10
3.3.1. Hiệu quả giảm chấn của gói DFP cho nhà 1 tầng.....	10
3.3.2. Hiệu quả giảm chấn của gói DFP cho nhà nhiều tầng.....	12
CHƯƠNG 4. HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA GỐI TFP TRONG NHÀ CAO TẦNG Ở VIỆT NAM	13
4.1. Giới thiệu	13
4.2. Phân tích hiệu quả gói TFP trong nhà cao tầng xây dựng tại Hà Nội.....	13
4.2.1. Thông số kết cấu.....	13
4.2.2. Lựa chọn thông số gia tốc nền phân tích.....	13
4.2.3. Lựa chọn các thông số kỹ thuật hợp lý cho gói TFP với điều kiện đất nền Hà Nội.....	14
4.2.4. Hiệu quả giảm chấn của gói cho công trình	14
4.3. Kết luận chương 4	15
KẾT LUẬN & KIẾN NGHỊ	15

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

SFP	Single friction pendulum
DFP	Double friction pendulum
TFP	Triple friction pendulum
ASCE	American Society of Civil Engineers
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
NRB	Natural rubber bearing
HDR	High-damping rubber
LRB	Lead rubber bearing
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research (Trung tâm nghiên cứu động đất Thái Bình Dương Đại học Berkeley)
1D	One Dimension (Một chiều)
2D	Two Dimensions (Hai chiều)
EPS	Earthquake Protection Systems (Công ty sản xuất gói cách chấn, Mỹ)
SLE	Service Level Earthquake (Cấp động đất nhỏ, chu kỳ lặp 72 năm)
DBE	Design Basic Earthquake (Cấp động đất mạnh, chu kỳ lặp 475 năm)
MCE	Maximum Considered Earthquake (Cấp động đất rất mạnh, chu kỳ lặp 2475 năm)
SRSS	Square Root of the Sum of the Squares (Căn bậc hai các tổng bình phương)

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Nghiên cứu áp dụng giải pháp cách chấn công trình xây dựng chịu tác động của động đất.
- Mã số: **B2016.DNA.03.**
- Chủ nhiệm: PGS.TS. Hoàng Phương Hoa
- Cơ quan chủ trì: Đại học Đà Nẵng, Bộ Giáo dục và Đào tạo
- Thời gian thực hiện: 2016-2017

2. Mục tiêu:

Mục tiêu tổng quát: Đánh giá hiệu quả giảm chấn cho công trình xây dựng khi sử dụng các gói cô lập trượt ma sát (có dạng con lắc và còn được gọi là gói con lắc ma sát) bao gồm: Gói một mặt trượt ma sát-SFP, gói hai mặt trượt ma sát-DFP và gói ba mặt trượt ma sát-TFP; Nghiên cứu chi tiết với các gói SFP và DFP.

Mục tiêu cụ thể: Xây dựng mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng các dạng gói trượt ma sát chịu tải trọng động đất. Từ đó, nghiên cứu đánh giá hiệu quả của các dạng gói này và ứng dụng vào các công trình xây dựng ở Việt Nam.

3. Tính mới và sáng tạo:

Đề tài có những đóng góp mới cho khoa học như sau:

- Xây dựng mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng các dạng gói trượt ma sát SFP, DFP và TFP.
- Đánh giá chi tiết được hiệu quả giảm chấn của các dạng gói SFP, DFP và TFP sử dụng trong công trình chịu động đất.
- Thiết kế cấu tạo các loại gói đảm bảo kỹ thuật, kinh tế và mỹ quan công trình.

4. Kết quả nghiên cứu:

Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng trong các công trình xây dựng dân dụng (Nhà cao tầng) và giao thông (Công trình cầu) nhằm làm giảm ảnh hưởng của tải trọng động đất đến công trình.

5. Sản phẩm:

Toàn bộ sản phẩm của đề tài đã được hoàn thành. Trong đó, số liệu trong ngoặc là số liệu vượt mức so với đăng ký ban đầu:

- 01 Sơ đồ bản thiết kế mô hình;
- 01 Mô hình thí nghiệm;
- 12 Chi tiết của bộ gối SFP;
- 01 Chương trình tính toán;
- 01 Bài báo đăng trong tạp chí Scopus;
- 07 Bài báo đăng trong tạp chí trong nước (vượt 5 bài);
- 02 Bài báo đăng kỷ yếu Hội nghị, Hội thảo quốc tế (vượt 1 bài);
- 02 Đào tạo học viên Cao học;
- 01 NCS bảo vệ thành công luận án Tiến sĩ kỹ thuật;
- 01 Sách tham khảo (tại Nhà xuất bản Xây dựng)

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

Kết quả nghiên cứu đã đánh giá hiệu quả giảm chấn khi áp dụng gối con lắc một, hai và ba mặt trượt ma sát đối với các công trình xây dựng khi chịu tác động của động đất. Kết quả so sánh khi dùng gối con lắc ma sát với các trường hợp: kết cấu khung nhà ngàm với móng (như công trình xây dựng dân dụng) kết cấu dùng gối chịu thông thường (như đối với công trình cầu) cho thấy: giá trị nội lực, gia tốc, vận tốc của công trình giảm đáng kể;

Nhóm thực hiện đề tài cũng xây dựng được chương trình tính hiệu quả giảm chấn sử dụng hàm **ode15s** trong ngôn ngữ lập trình Matlab. Nhóm cũng đã chế tạo (chế tạo tại Viện Cơ khí chế tạo Trường Đại học Bách khoa, ĐHQĐHN) mô hình gối

con lắc một mặt trượt ma sát SFP và một mô hình kết cấu thép nhà 3 tầng để có thể tiến hành thí nghiệm khi Trường có hệ thống thí nghiệm mô phỏng động đất.

Toàn bộ kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo cho việc xây dựng tiêu chuẩn thiết kế công trình xây dựng chống động đất, làm tài liệu tham khảo cho nhà quản lý khai thác công trình trên địa bàn thành phố Đà Nẵng (nút giao thông Ngã Ba Huế, Đà Nẵng) và cả nước cũng như cho học viên Đại học, Cao học và NCS sử dụng sau này.

Cơ quan chủ trì
(ký, họ và tên, đóng dấu)



PGS. TS. Nguyễn Lê Hùng

Ngày 28 tháng 3 năm 2018
Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

Hoàng Phương Hoa

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Research and apply solutions to damage the construction works affected by earthquakes.

Code number: **B2016.DNA.03.**

Coordinator: Hoang Phuong Hoa (Ph.D)

Implementing institution: The Ministry of Education and Training, The University of Da Nang-University of Science and Technology.

Duration: from 01/2016 to 30/11/2017

2. Objective(s):

Overall objectives: Computational modeling for base isolated structures with the friction sliding bearings including SFP, DFP and TFP bearings for constructions subjected to earthquake load. Via this model, we evaluated the effectiveness of reduce seismic of the base isolation bearings. Detailed research with SFP and DFP bearings.

Specific Objectives: Develop a model for calculating the shock structure by friction bearings subject to earthquake loads. Since then, the study evaluated the effectiveness of these pillows and applied to the construction works in Vietnam.

3. Creativeness and innovativeness:

Topics are new contributions for the science as follows:

- Build up the model for calculating the structure of the isolation by the friction pendulum bearings such as SFP, DFP and TFP.
- Detailed evaluation of the damping effect of SFP and DFP bearings used in buildings earthquake resistant.
- Designing bearings to ensure technical, economic and aesthetic works.

4. Research results:

Research results can be applied reinforcement calculated construction works were damaged and calculated plan renovation and upgrading works demand load capacity in the process of exploitation.

5. Products:

- 01 Diagram of the model design;
- 01 Experimental model;
- 12 Details of the SFP bearing;
- 01 Calculation program;
- 01 Article published in Scopus;
- 07 Articles published in the National journal;
- 02 Articles published in the proceedings of International Conference;
- 02 Training master students;
- 01 PhD student successfully defended his thesis;
- 01 Reference book (at Construction Publishing House).

6. Effects, transfer alternatives of reserach results and applicability:

The results of the study have evaluated the damping effect when Single, Double and Triple friction pendulum bearings are applied to constructions subjected to the earthquake. Comparison results of the use of friction pendulum bearings with the cases of the structure of the house with nails (such as civil engineering works) and the structure of ordinary bearings (as for the bridge) show that internal strength, acceleration, velocity of the works decreased significantly;

The team that implemented the project also built a program of damping efficiency using **ode15s** in the Matlab programming language. The team also built (made at the Mechanical Institute, University of Science and Technology, the University of Danang) model of a single friction pendulum bearings SFP and a model of steel structure 3-storey house to be able to conduct experiments when the University of Science and Technology has a simulation system for earthquakes.

All research results can be used as reference material for construction design standards of earthquake-proof constructions. Furthermore, these results can be employed as reference materials for construction managers in Da Nang City, especially in traffic junction at Ngã Ba Huế, Danang as well as for undergraduate and postgraduate students.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Động đất là một trong những thảm họa lớn do thiên nhiên gây ra đối với tính mạng con người, công trình xây dựng và nền kinh tế nói chung. Nó càng nguy hiểm hơn khi vấn đề dự báo về động đất rất khó khăn, gần như không thể dự báo chính xác thời điểm, vị trí xảy ra và tính chất các trận động đất.

Ở Việt Nam, mặc dù không nằm trong “vành đai lửa” của các chấn tâm động đất mạnh trên thế giới. Nhưng Việt Nam vẫn là quốc gia nằm trong khu vực có môi hiểm họa động đất khá cao. Đó là báo cáo của các nhà khoa học tại Hội thảo quốc tế "Nguy hiểm động đất, sóng thần và các hệ thống cảnh báo sớm khu vực Châu Á - Thái Bình Dương" do Viện Vật lý địa cầu - Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam tổ chức trong hai ngày (5 và 6-9.2011). Một số khu đô thị lớn hiện đang nằm trên các đới đứt gãy và có khả năng xảy ra những trận động đất có cấp độ rất mạnh như Hà Nội, đang nằm trên các đới đứt gãy sông Hồng, sông Chảy, sông Mã, Sơn La được dự báo phải chịu đựng chấn động cấp độ 8 theo thang độ Richter.

Trong lịch sử, Việt Nam đã ghi nhận một số trận động đất với cấp độ khá mạnh (6.7 – 6.8 độ richter) tại những đới đứt gãy dài hàng trăm kilômét, như đới đứt gãy: sông Hồng, sông Chảy, Sơn La, Sông Mã, đứt gãy Lai Châu - Điện Biên. Theo các chuyên gia, từ năm 1900 tới nay, cũng có hai trận động đất cấp 8 ở Điện Biên (1935) và Tuần Giáo (1983), 17 trận động đất cấp 7 và 115 trận cấp 6 - 7 ở khắp các vùng miền.

Từ các phân tích như trên cho thấy rằng, các công trình xây dựng cần được thiết kế kháng chấn, đặc biệt là thiết kế kháng chấn theo quan điểm hiện đại, khái niệm này gắn với thuật ngữ “điều khiển dao động kết cấu” và tương đối còn mới mẻ ở Việt Nam. Do đó, việc nghiên cứu và tìm hiểu về chúng là rất cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao và đây cũng là lý do để Nhóm tác giả nghiên cứu đề tài: “*Nghiên cứu áp dụng giải pháp cách chấn công trình xây dựng chịu tác động của động đất*” nhằm đưa ra một giải pháp làm giảm tác hại do động đất gây ra cho công trình xây dựng.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát: Đánh giá hiệu quả giảm chấn cho công trình xây dựng khi sử dụng các gối cô lập trượt ma sát (có dạng con lắc và còn được gọi là gối con lắc ma sát) bao gồm: Gối một mặt trượt ma sát-SFP, gối hai mặt trượt ma sát-DFP và gối ba mặt trượt ma sát-TFP; Nghiên cứu chi tiết với các gối SFP và DFP.

Mục tiêu cụ thể: Xây dựng mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng các dạng gối trượt ma sát chịu tải trọng động đất. Từ đó, nghiên cứu đánh giá hiệu quả của các dạng gối này và ứng dụng vào các công trình xây dựng ở Việt Nam.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Đối tượng nghiên cứu trong đề tài là các dạng gối trượt ma sát bao gồm: gối SFP, gối DFP và gối TFP, đặc biệt là gối con lác một và hai mặt trượt ma sát ứng dụng trong các công trình xây dựng chịu tải trọng động đất.

Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu phản ứng kết cấu cho cục bộ từng gối (không xét đến sự làm việc đồng thời nhiều gối trong một công trình); Ứng xử kết cấu bên trên là tuyến tính, ứng xử của gối là phi tuyến.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu mô hình tính toán lý thuyết, mô hình này được giải bằng phương pháp số Runge-Kutta bậc 4 với chương trình được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình Matlab. Kết quả nghiên cứu sẽ được so sánh kiểm chứng bằng một mô hình thí nghiệm thực tế của tác giả khác đã được công bố.

5. Bố cục đề tài

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ ĐỘNG ĐẤT VÀ THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH CHỐNG ĐỘNG ĐẤT

1.1. Tổng quan về động đất và thiết kế công trình chịu động đất

1.1.1. Định nghĩa

Động đất là hiện tượng dao động rất mạnh của nền đất xảy ra khi một nguồn năng lượng lớn được giải phóng trong thời gian rất ngắn do sự rạn nứt đột ngột trong phần vỏ hoặc trong phần áo trên của trái đất.

1.1.2. Các thông số quan trọng chuyển động nền

- Biên độ lớn nhất [9]:

Biên độ lớn nhất thông thường thể hiện dưới các dạng đỉnh của chuyển động nền, bao gồm: gia tốc đỉnh (PGA, Peak Ground Acceleration), vận tốc đỉnh (PGV, Peak Ground Velocity) và chuyển vị đỉnh (PGD, Peak Ground Displacement). Trong đó, đại lượng gia tốc đỉnh thường có ý nghĩa quan trọng hơn. Tải trọng động đất tác dụng vào công trình thường tỉ lệ với gia tốc đỉnh, đặc biệt là các công trình có độ cứng lớn. Hai đại lượng vận tốc đỉnh và chuyển vị đỉnh thì ít ảnh hưởng hơn, nó thường chỉ có ý nghĩa với những kết cấu mềm, nhà cao tầng. Những đại lượng này thu được trên cơ sở các số ghi địa chấn.

- Khoảng thời gian kéo dài của chuyển động mạnh [9], [59]:

Khoảng thời gian kéo dài của chuyển động mạnh là khoảng thời gian cần để giải phóng năng lượng của trận động đất, một thông số quan trọng trong đánh giá phản ứng của kết cấu, đặc biệt là kết cấu làm việc phi tuyến. Những kết cấu có hiện tượng sụt giảm độ cứng và cường độ vật liệu thì rất nhạy cảm với tải trọng lặp của động đất. Có nhiều cách xác định khoảng thời gian kéo dài chuyển động mạnh, trong đó phổ biến nhất:

+ Khoảng thời gian quan trọng (D_{5-75} và D_{5-95}): được xác định thông qua giá trị phần trăm gia tốc nền bình phương tích lũy $H(t)$ như phương trình 1.1.

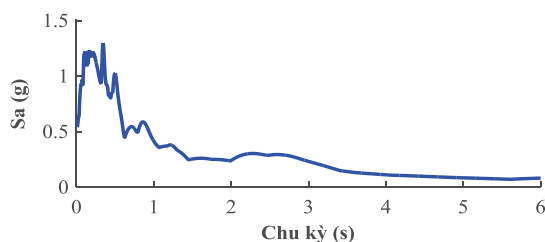
$$H(t) = \frac{\int_0^{t_D} a^2(t) dt}{\int_0^{t_T} a^2(t) dt} \quad (1.1)$$

trong đó: $a(t)$ là gia tốc nền, t_T là toàn bộ thời gian chuyển động nền, t_D là thời gian cần xác định. $H(t)$ có giá trị từ 5% đến 75% khi xác định D_{5-75} và từ 5% đến 95% khi xác định D_{5-95} . Và theo cách xác định này, bằng gia tốc nền trên hình 1.1 sẽ có $D_{5-95} = 9.6$ s và $D_{5-75} = 3.8$ s [80].

+ Khoảng thời gian kéo dài đồng hạng (D_{bracket} , bracketed duration): khoảng thời gian được xác định bắt đầu với đỉnh gia tốc bằng 0.05g và kết thúc khi đỉnh gia tốc nhỏ hơn 0.05g (ngoài khoảng thời gian D_{bracket} thì gia tốc đỉnh luôn nhỏ hơn 0.05g).

- Nội dung tần số [9]:

Tải trọng động đất thường phức tạp, dàn trải trên một miền tần số rộng. Nội dung tần số của một băng gia tốc thường được các nhà thiết kế thể hiện dưới dạng phổ phản ứng. Hình 1.3 trình bày phổ phản ứng của băng gia tốc El Centro trên. Trên phổ phản ứng, vùng chu kỳ trội của các trận động đất sẽ được nhìn thấy rõ ràng, điều này có ý nghĩa rất lớn trong thiết kế.



Hình 1.3. Phổ phản ứng băng gia tốc nền của trận động đất Imperial Valley (15/10/1979), đo tại trạm El Centro Array

1.1.3. Sức mạnh của động đất

Sức mạnh của động đất được tính toán thông qua:

- Thang cường độ động đất; và
- Thang độ lớn động đất (magnitude).

1.1.4. Giải pháp thiết kế công trình chịu động đất

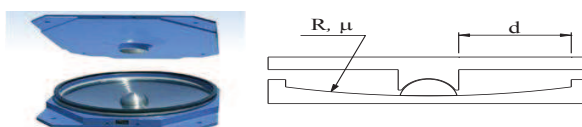
Theo quan điểm thiết kế kháng chấn truyền thống, người thiết kế chỉ quan tâm đến vấn đề lực tác dụng, chưa quan tâm đến vấn đề năng lượng.

Ngày nay, quan điểm thiết kế kháng chấn hiện đại thường gắn với kỹ thuật điều khiển kết cấu [33]. Kỹ thuật này làm giảm các dao động có hại của kết cấu thông qua việc lắp đặt những thiết bị điều khiển vào kết cấu. Các thiết bị này sẽ hấp thụ, tiêu tán hay có thể cách ly nguồn năng lượng do động đất truyền vào kết cấu.

Trong kỹ thuật điều khiển kết cấu, ta có thể chia thành 3 nhóm chính như sau: điều khiển bị động (passive control), điều khiển chủ động (active control) và điều khiển bán chủ động (semiactive control).

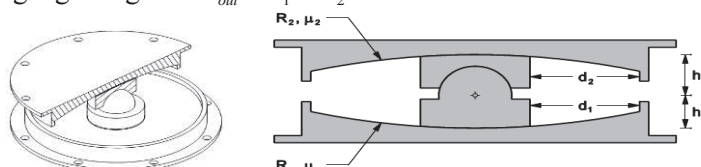
1.2. Kỹ thuật cách chấn đáy (cô lập móng)

Hình 1.8 giới thiệu cấu tạo gối SFP, nó được giới thiệu sớm nhất, vào năm 1987 [108]. Cấu tạo của gối gồm một mặt cong bán kính R và một con lăn trượt trên mặt cong có hệ số ma sát μ . Khả năng chuyển vị ngang lớn nhất của gối là d .



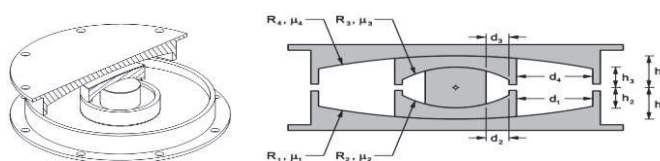
Hình 1.8. Gối con lăn ma sát đơn, gối SFP (EPS, 2011)

Gối DFP có cấu tạo như Hình 1.9. Nó bắt nguồn từ sáng kiến của Touaillon năm 1870 [93], sử dụng những viên bi tròn lăn trên những mặt cong như một hệ cô lập móng. Gối DFP được giới thiệu sau gối SFP với mục đích cải thiện khả năng chuyển vị ngang của gối SFP [34], [101]. Cấu tạo gồm 2 mặt cong bán kính R_1 và R_2 và 1 con lăn trượt trên 2 mặt cong có hệ số ma sát $\mu_1 < \mu_2$. Khả năng chuyển vị ngang của gối là $d_{out} = d_1 + d_2$.



Hình 1.9. Gối con lăn ma sát đôi, gối DFP (Fenz, 2008e)

Gối TFP chỉ được giới thiệu gần đây nhất [40]. Cấu tạo gồm 4 mặt cong có bán kính $R_2 = R_3 \ll R_1 = R_4$ và 3 con lăn trượt trên 4 mặt cong có hệ số ma sát $\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 < \mu_4$. Khả năng chuyển vị trên từng mặt cong là d_i và trên toàn bộ gối là $d_{out} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$. Ưu điểm của gối này là ngoài khả năng chuyển vị ngang lớn như gối DFP nó còn thích nghi với nhiều cấp độ động đất khác nhau do có cấu tạo gồm nhiều bán kính cong và hệ số ma sát. Trong nghiên cứu của Morgan [74], tác giả đề nghị đây là một thiết bị phù hợp trong thiết kế đa mục tiêu (theo tính năng công trình).



Hình 1.10. Gối con lăn ma sát ba, gối TFP (Fenz, 2008e)

1.3. Tổng quan tình hình nghiên cứu gối cô lập trượt ma sát

1.3.1. Nghiên cứu về gối SFP

Gối SFP được giới thiệu lần đầu tiên vào năm 1987 bởi Zayas và cộng sự với tên gọi là FPS [108], cấu tạo của gối như Hình 1.8. Chu kỳ tự nhiên của gối SFP được xác định phụ thuộc vào bán kính mặt cong R như sau:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1.6)$$

trong đó: g là gia tốc trọng trường.

Khi gối trượt tạo ra một chuyển vị u , thành phần lực ngang F bên trong gối bằng tổng lực phục hồi F_k và lực ma sát F_f như phương trình:

$$F = F_k + F_f = k_u u + \mu W \text{sign}(\dot{u})$$

1.3.2. Nghiên cứu về gối DFP

1.3.3. Nghiên cứu về gối TFP

CHƯƠNG 2

MÔ HÌNH CÁC DẠNG GỐI TRƯỢT MA SÁT

2.1. Cơ sở lý thuyết

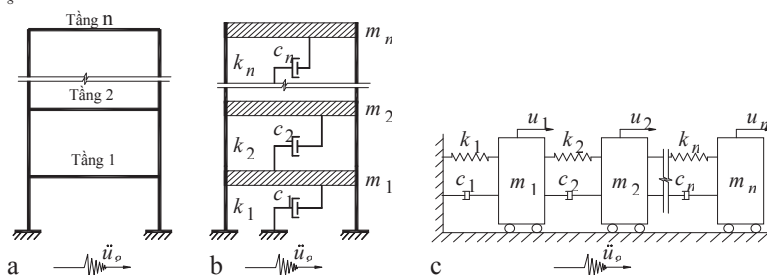
2.1.1. Mô hình tính toán

Trong phân tích động lực công trình, kết cấu xây dựng thường là một hệ phân bố khối lượng dao động và sẽ có vô hạn bậc tự do. Tuy nhiên, để việc tính toán đơn giản, ta chấp nhận một số giả thiết mang tính gần đúng nhưng đảm bảo tính an toàn trong thiết kế, hệ kết cấu sẽ được đưa về hữu hạn bậc tự do (hệ nhiều bậc tự do).

2.1.2. Phương trình chuyển động

Phương trình vi phân chuyển động của mô hình kết cấu sẽ được thiết lập theo phương pháp chuyển vị (phương pháp ma trận độ cứng).

Khi chịu động đất, móng công trình xem như tuyệt đối cứng chịu một chuyển vị nền cường độ là u_g , chuyển vị ngang tương đối là u_i và chuyển vị ngang tuyệt đối sẽ là: $u_g + u_i$. Vận tốc tương đối \dot{u}_i , vận tốc tuyệt đối: $\dot{u}_i + \dot{u}_g$. Gia tốc tương đối \ddot{u}_i và gia tốc tuyệt đối của khối lượng thứ i là: $\ddot{u}_i + \ddot{u}_g$.



Hình 2.1. Mô hình hệ kết cấu nhiều bậc tự do chịu động đất

Các thành phần lực tác dụng lên khối lượng thứ i bao gồm: lực quán tính do gia tốc tuyệt đối, lực đàn hồi do chuyển vị tương đối và lực cản do vận tốc tương đối. Áp dụng nguyên lý cân bằng động d'Alembert cho mỗi khối lượng, ta sẽ có các phương trình chuyển động như sau [1], [11], [32]:

$$\begin{cases} m_1(\ddot{u}_1 + \ddot{u}_g) + c_1\dot{u}_1 + k_1u_1 + c_2(\dot{u}_1 - \dot{u}_2) + k_2(u_1 - u_2) = 0 \\ m_2(\ddot{u}_2 + \ddot{u}_g) + c_2(\dot{u}_2 - \dot{u}_1) + k_2(u_2 - u_1) + c_3(\dot{u}_2 - \dot{u}_3) + k_3(u_2 - u_3) = 0 \\ \dots \\ m_n(\ddot{u}_n + \ddot{u}_g) + c_n(\dot{u}_n - \dot{u}_{n-1}) + k_n(u_n - u_{n-1}) = 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Sắp xếp lại hệ phương trình 2.1, ta có thể viết dưới dạng ma trận như sau:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{1\}\ddot{u}_g \quad (2.2)$$

trong đó: $[M]$ là ma trận khối lượng, $[K]$ là ma trận độ cứng và $[C]$ là ma trận cản. $\{u\}$, $\{\dot{u}\}$ và $\{\ddot{u}\}$ lần lượt là các vec tơ chuyển, vận tốc và gia tốc tương đối.

2.1.3. Mô hình tính toán lực ma sát trong gối trượt

Lực ma sát trong chuyển động có quy luật tự nhiên tương đối phức tạp. Nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: bề mặt vật liệu, áp lực, vận tốc trượt và lịch sử tải trọng... Có nhiều mô hình được thiết lập để xác định lực ma sát động. Những mô hình đã sử dụng trong các nghiên cứu về gối cách chấn trượt ma sát như: mô hình Coulomb, mô hình Coulomb hiệu chỉnh, Mô hình dẻo (Viscoplasticity model, mô hình Bouc - Wen). Trong đó, mô hình dẻo là cho kết quả chính xác nhất, đây là mô hình sử dụng trong nghiên cứu này.

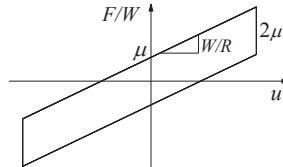
2.2. Mô hình gối con lắc ma sát đơn (gối SFP)

2.2.1. Quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang

Phương trình tổng quát chuyển động của gối SFP thể hiện quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gối. Đường ứng xử trễ thể hiện trên Hình 2.5.

$$F = \frac{W}{R}u + \mu WZ + F_r$$

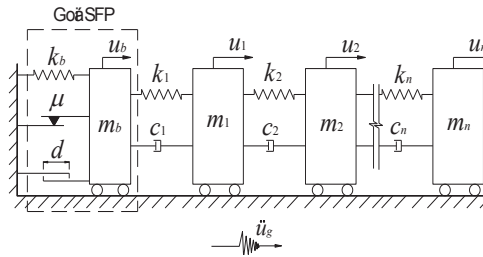
trong đó: thành phần thứ 1 của phương trình là lực phục hồi, thành phần thứ 2 là lực ma sát, lực va chạm là thành phần thứ 3.



Hình 2.5. Đường ứng xử trễ trong gối SFP

2.2.2. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối SFP

Mô hình tính toán được trình bày như hình 2.6.



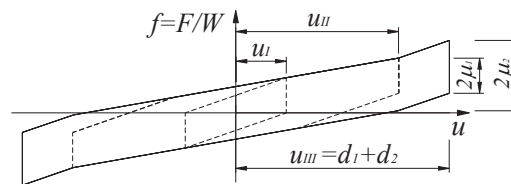
Hình 2.6. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối SFP

Hệ phương trình vi phân chuyển động, gồm $(n+1)$ phương trình, của kết cấu cách chấn chịu gia tốc nền được viết như phương trình 2.26 (theo nguyên lý d'Alembert).

2.3. Mô hình gối con lăn ma sát đôi (gối DFP)

2.3.1. Quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gối

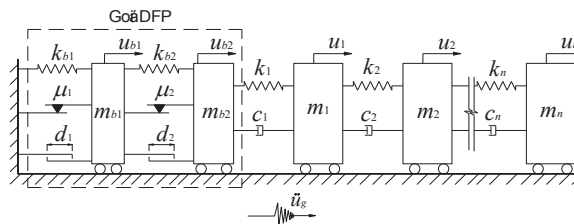
Gối DFP có cấu tạo như hình 1.8. Chuyển động của gối gồm 3 giai đoạn trượt khác nhau. *Giai đoạn I*: mặt 1 trượt trước (mặt 2 chưa trượt). *Giai đoạn II*: mặt 2 sẽ trượt cùng với mặt 1 (cả hai mặt cùng trượt). *Giai đoạn III*: trượt chỉ còn xảy ra ở mặt 2 (mặt 1 dừng trượt).



Hình 2.8. Đường ứng xử trễ trong gối DFP (----: giai đoạn I, II)

2.3.2. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối DFP

Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối DFP chịu động đất trình bày như hình 2.9. Hệ phương trình vi phân chuyển động được viết như phương trình 2.42 (theo nguyên lý d'Alembert).

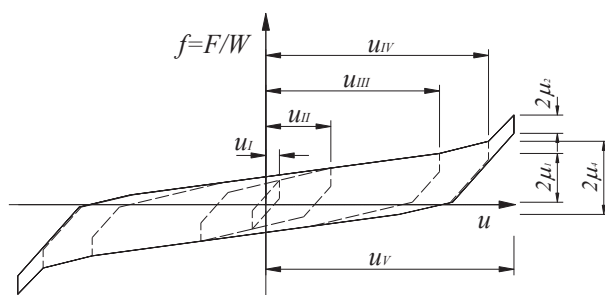


Hình 2.9. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối DFP

2.4. Mô hình gối con lăn ma sát ba (gối TFP)

2.4.1. Quan hệ giữa lực và chuyển vị ngang trong gối

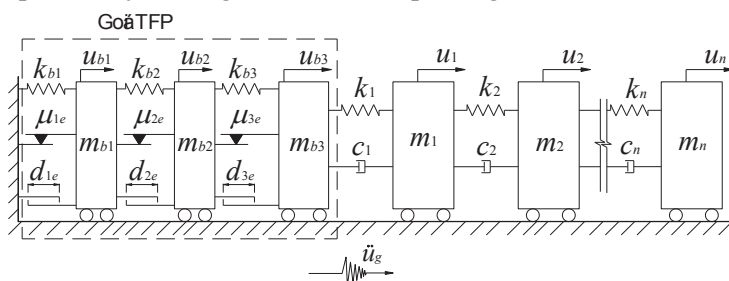
Chuyển động của gối bao gồm 5 giai đoạn được Fenz và Morgan mô tả chi tiết. *Giai đoạn I*: trượt trên mặt 2 và 3; *Giai đoạn II*: trượt trên mặt 1 và 2; *Giai đoạn III*: trượt trên mặt 1 và 4; *Giai đoạn IV*: trượt trên mặt 2 và 4; *Giai đoạn V*: trượt trên mặt 2 và 3. Phương trình chuyển động từng giai đoạn tương ứng như 2.51, 2.55, 2.59, 2.63 và 2.67. Đường ứng xử trễ như hình 2.11.



Hình 2.11. Đường ứng xử trễ trong gối TFP (----: giai đoạn I đến IV)

2.4.2. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối TFP

Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối TFP chịu động đất trình bày như Hình 2.12. Hệ phương trình vi phân chuyển động được viết như phương trình 2.84.



Hình 2.12. Mô hình tính toán kết cấu cách chấn bằng gối TFP

2.5. Phân tích ví dụ số

Để minh họa kết quả mô hình lý thuyết, một ví dụ số kết cấu nhà 5 tầng được cách chấn bằng các trường hợp gối trượt ma sát khác nhau gồm: gối SFP, DFP và TFP chịu các trận động đất được phân tích. Ví dụ số sẽ minh họa các giá trị đặc trưng vật lý của kết cấu, gối cách chấn và phản ứng của kết cấu.

- Kết cấu nhà 5 tầng: khối lượng mỗi tầng như nhau $m_i = 450/g$ (kN.s²/mm), độ cứng các tầng $k_i = 80$ kN/mm và tỉ số cản $\xi = 5\%$. Chu kỳ cơ bản kết cấu $T_1 = 0.529$ s.

- Thông số của gối: Kích thước và các thông số kỹ thuật của gối trình bày như hình 2.13.

- Thông số gia tốc nền: gồm 7 băng gia tốc thực của những trận động đất khác nhau được lấy từ trung tâm nghiên cứu động đất Thái Bình Dương của đại học Berkeley, dữ liệu như trong bảng 2.1.

- Kết quả phân tích:

Kết quả phân tích bao gồm đường ứng xử trễ của gối (hình 2.14 đến 2.20), hiệu quả giảm lực cắt tầng 1 (Hình 2.21 đến 2.27) và hiệu quả giảm gia tốc tuyệt đối tầng 5 (Hình 2.28 đến 2.34). Kết quả chuyển vị gối phù hợp với đường cong phổ chuyển vị tương đối và hiệu quả giảm chất của gối xấp xỉ khoảng 80% (phù hợp với nhiều nghiên cứu trước). So sánh hiệu quả làm việc của 3 gối SFP, DFP và TFP trình bày trong các Hình 2.35 đến 2.41.

CHƯƠNG 3

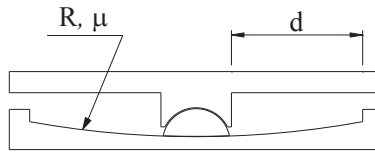
THIẾT KẾ CẤU TẠO KÍCH THƯỚC GỐI

3.1. Đặt vấn đề

Trong chương 3 của đề tài, chúng ta đi tính toán để chọn các thông số gối hợp lý cho mục đích trên đối với 2 loại gối SFP và DFP.

3.2. Thiết kế cấu tạo gối SFP cho công trình chịu trận động đất Northridge-01

Cấu tạo gối cách chấn một mặt trượt ma sát đã được đề cập trong Chương 1. Cấu tạo gối xem Hình 3.1.



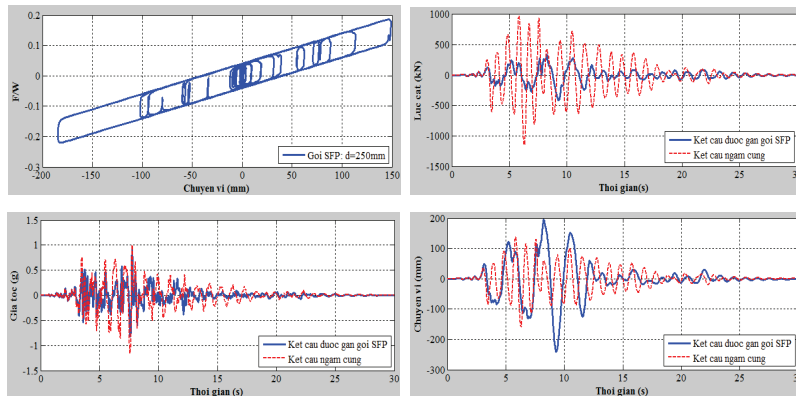
Hình 3.1. Cấu tạo gối SFP

3.2.1. Khảo sát ứng xử gối SFP khi động đất xảy ra đối với công trình 1 tầng

Kết quả tính toán ta thấy nếu chọn $d=250\text{mm}$ đường ứng xử trễ của gối được giới thiệu trong Hình 3.2.

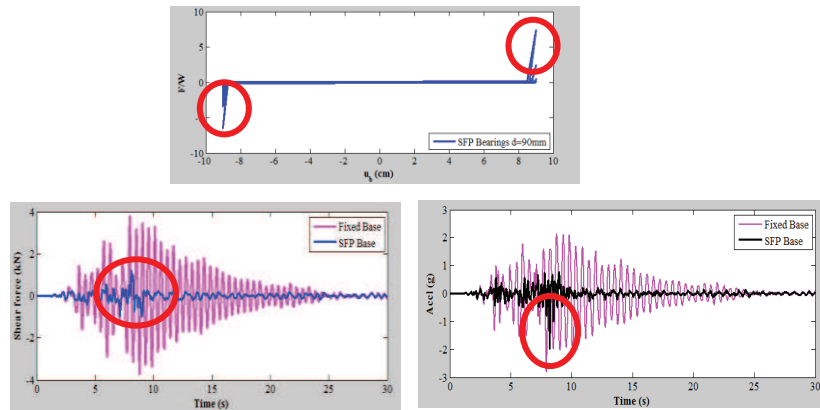
3.2.2. Khảo sát cấu tạo gối SFP khi động đất xảy ra đối với công trình 5 tầng

Khảo sát số đối với công trình nhà 5 tầng (hệ gồm 6 bậc tự do) chịu tác động của trận động đất Northridge-01 xảy ra ngày 17/1/1994 sẽ cho chúng ta diễn biến việc chọn khoảng cách dịch chuyển d của gối con lắc một mặt trượt ma sát này:

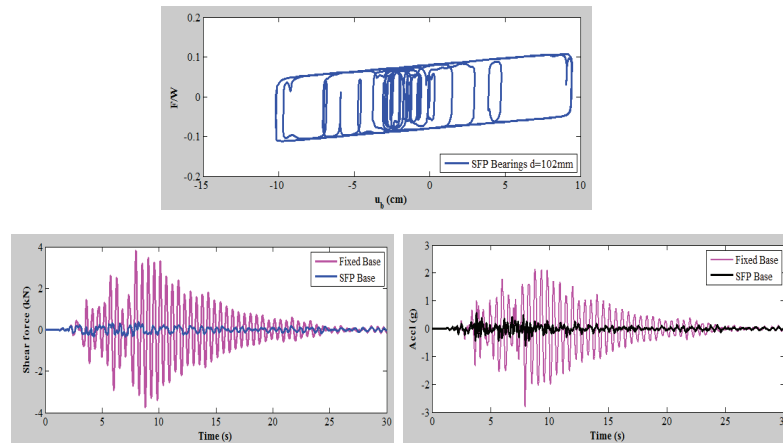


Hình 3.2. Ứng xử gối SFP nhà 1 tầng chịu trận động đất Northridge-01

+ Trường hợp tính toán gối SFP với: $R=1000\text{mm}$ và $d=90\text{mm}$. Kết quả tính toán được giới thiệu trong các Hình từ 3.7 đến 3.13.

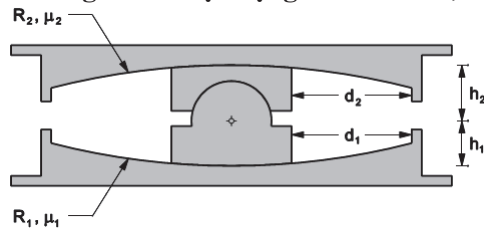


Hình 3.7. Ứng xử gối SFP do trận động đất Northridge-01, $d=90\text{mm}$



Hình 3.13. Ứng xử gối SFP do trận động đất Northridge-01, $d=102\text{mm}$

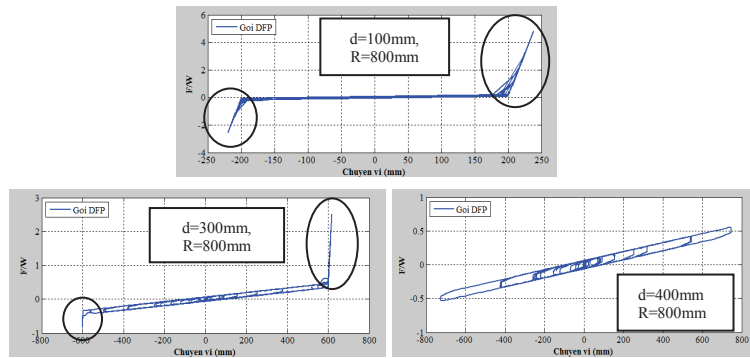
3.3. Thiết kế cấu tạo gối DFP cho công trình chịu động đất TABAS, Iran



Hình 3.14. Cấu tạo gối DFP

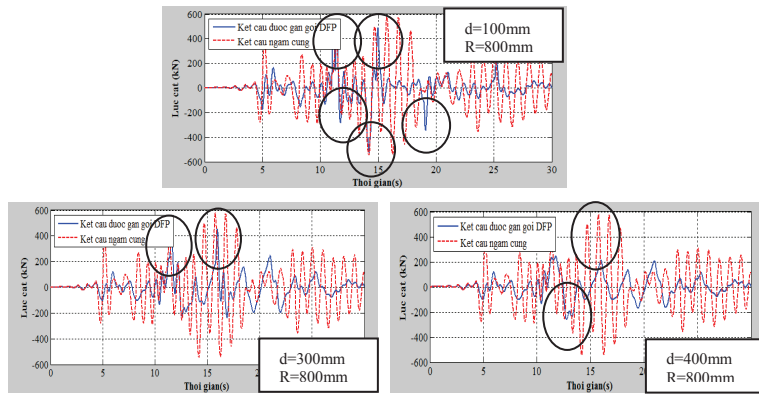
3.3.1. Hiệu quả giảm chấn của gối DFP cho nhà 1 tầng

Trong nghiên cứu này, chúng ta xét hiệu quả giảm chấn của gối DFP khi cố định bán kính lõm thót dưới gối $R = 800\text{mm}$, tham số thay đổi là d tuần tự $d = 100\text{mm}$, $d = 300$ và $d = 400\text{mm}$. Trên các Hình từ 3.16 đến 3.18 giới thiệu đường ứng xử trễ của gối theo kích thước d .



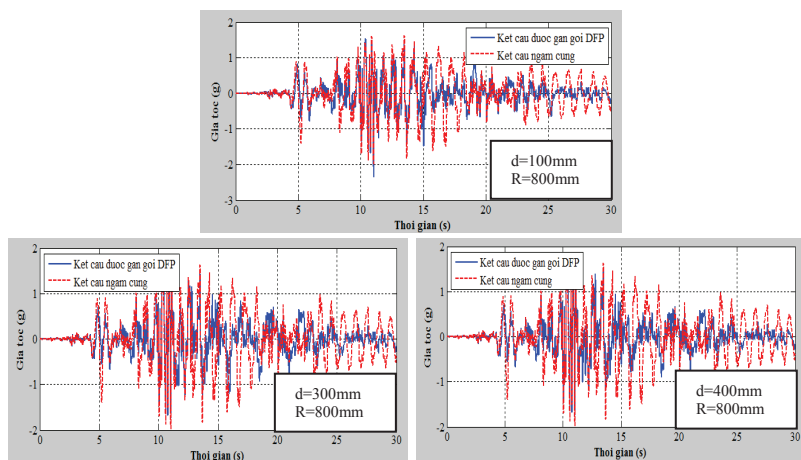
Hình 3.16. Đường ứng xử trễ gói DFP, khi d thay đổi, R cố định

Tương ứng với các trường hợp chọn d chúng ta vẽ được các biểu đồ về hiệu quả giảm chấn đối với lực cắt của hệ kết cấu. Các Hình từ 3.19 đến 3.21.



Hình 3.19. Lực cắt chân cột chịu trận Tabas, khi d thay đổi, R cố định

Đối với gia tốc đỉnh công trình. Hiệu quả giảm chấn cũng được thể hiện trên các Hình từ 3.22 đến 3.24. Tuy nhiên, đối với gia tốc hiệu quả giảm chấn không cao đặc biệt khi có hiện tượng va chạm xảy ra.



Hình 3.22. Gia tốc đỉnh chịu trận Tabas, khi d thay đổi, R cố định

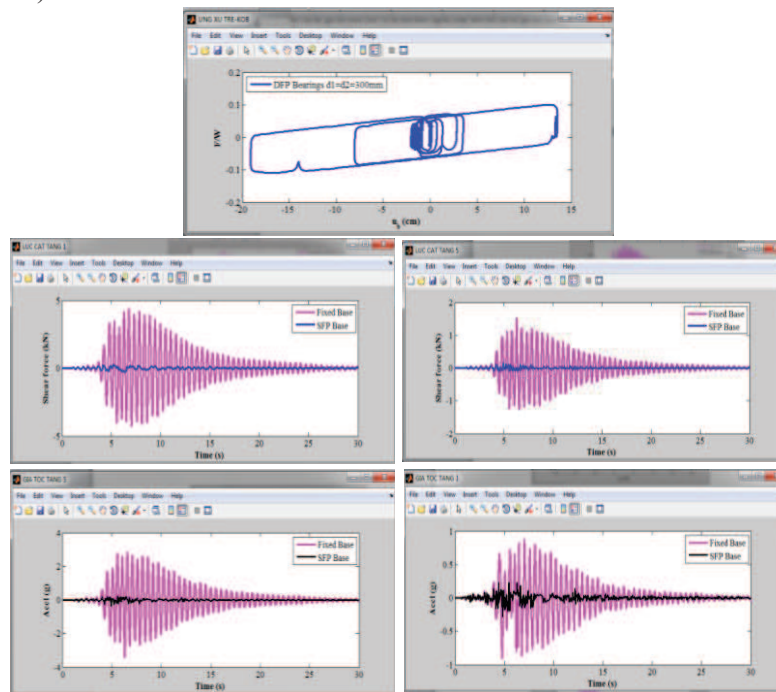
3.3.2. Hiệu quả giảm chấn của gối DFP cho nhà nhiều tầng

Ví dụ được tính toán cho trận động đất Kobe tại Nhật Bản xảy ra ngày 17/1/1995. Trận động đất kéo dài 20 giây, mạnh 6.8 độ Richter, độ sâu chấn tiêu 16 km. Trận động đất đã làm thiệt mạng hơn 6400 người và phá hủy nhiều công trình xây dựng.

Thông số hiệu chỉnh biến trễ Z : $A = 1$, $Y = 0.25\text{mm}$, $\gamma = 0.9$, $\beta = 0.1$, $\eta = 2$. Tỷ số cản $\xi = 5\%$, độ cứng $k_s = 80$ (kN/mm), chu kỳ dao động $T = 1$ s và khối lượng $m = 450/\text{g}$ (kN.s²/mm).

Thông số gối: $R_1 = 3000\text{mm}$, $h_1 = 40\text{mm}$, $R_{\text{eff1}} = R_1 - h_1$, $d_1 = 300\text{mm}$, hệ số ma sát mặt 1: $\mu_{\text{max}} = 0.06$, $\mu_{\text{min}} = 0.02$; $R_2 = 3000\text{mm}$, $h_2 = 60\text{mm}$, $R_{\text{eff2}} = R_2 - h_2$, $d_2 = 300\text{mm}$, hệ số ma sát mặt 2: $\mu_{\text{max}} = 0.1$, $\mu_{\text{min}} = 0.06$.

Hình 3.31. Giới thiệu đường ứng xử của gối DFP trận động đất Kobe đối với công trình nhà 5 tầng (Hệ gồm 7 bậc tự do).



Hình 3.31. Hiệu quả giảm chấn gối DFP trận động đất Kobe, năm 1995

Nội dung nghiên cứu trong chương 3 có thể rút ra các kết luận như sau:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của tham số cấu tạo gối đến ứng xử của công trình. Từ đó có thể thiết kế gối phù hợp với công trình và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật và mỹ thuật của công trình khi sử dụng gối con lăn trượt ma sát loại SFP và DFP.

CHƯƠNG 4

HIỆU QUẢ GIẢM CHẤN CỦA GỐI TFP TRONG NHÀ CAO TẦNG Ở VIỆT NAM

4.1. Giới thiệu

Hà Nội được dự báo là có thể xảy ra động đất cấp 8. Thiết kế công trình chịu động đất cho khu vực này là bắt buộc trong các công trình xây dựng gần đây. Tuy nhiên, phương pháp thiết kế kháng chấn hiện nay vẫn còn theo truyền thống. Trong nghiên cứu của chương này, giải pháp thiết kế kháng chấn với kỹ thuật cách chấn đáy bằng gối TFP cho công trình nhà cao tầng được tiến hành.

4.2. Phân tích hiệu quả gối TFP trong nhà cao tầng xây dựng tại Hà Nội

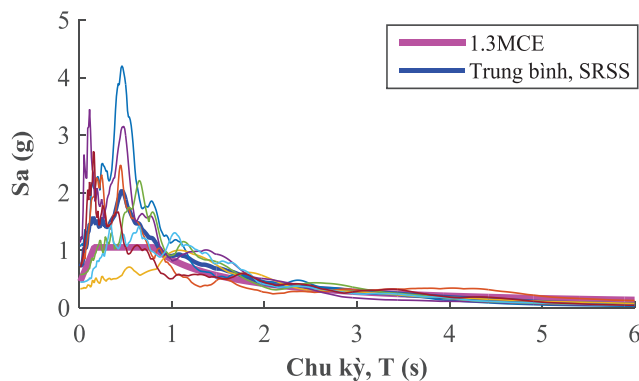
4.2.1. Thông số kết cấu

Kết cấu nhà 9 tầng bằng Bê tông cốt thép, với giả thiết bản sàn tuyệt đối cứng, khối lượng và độ cứng các tầng giả định giống nhau, trong đó: khối lượng $m_i=100 \text{ N.s}^2/\text{mm}$, độ cứng $k_i=150 \text{ kN/mm}$, tỉ số cản $\xi = 5\%$. Chu kỳ cơ bản $T_1 = 1 \text{ s}$ (phù hợp cho nhiều công trình cùng quy mô).

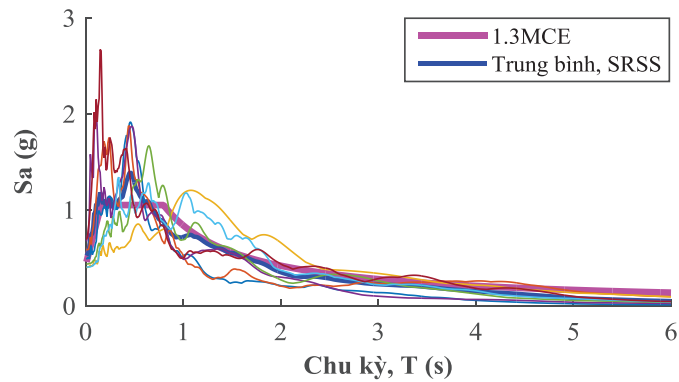
4.2.2. Lựa chọn thông số gia tốc nền phân tích

Với phương pháp thiết kế kháng chấn đa mục tiêu và kết cấu được phân tích theo lịch sử thời gian, gia tốc nền được lựa chọn theo quy định của ASCE 7-2010 gồm 7 băng gia tốc và mỗi băng gia tốc được ghi cả 2 phương. Kết cấu được phân tích và đánh giá với 3 cấp độ động đất khác nhau bao gồm: cấp SLE (động đất nhỏ), cấp DBE (động đất mạnh) và cấp MCE (động đất rất mạnh). Độ lớn các băng gia tốc ứng với từng cấp độ được điều chỉnh bằng hệ số SF như phương trình. Kết quả băng gia tốc và hệ số SF tính như bảng. Hình 4.2 và 4.3 sẽ minh họa phổ gia tốc trung bình SRSS và phổ mục tiêu sau khi điều chỉnh độ lớn.

$$SF = \frac{\int_{T_1}^{T_2} S_{SRSS} 1.3S_a dT}{\int_{T_1}^{T_2} S_{SRSS}^2 dT}$$



Hình 4.2. Phổ mục tiêu MCE so với trung bình SRSS kết cấu cách chấn



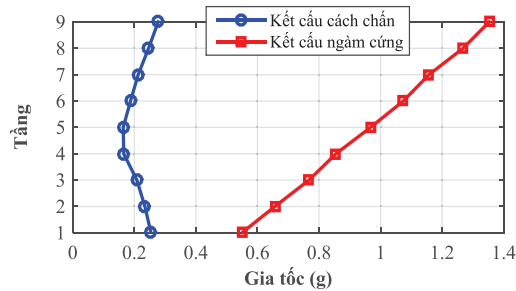
Hình 4.3. Phổ mục tiêu MCE so với trung bình SRSS trong kết cấu ngàm cứng

4.2.3. Lựa chọn các thông số kỹ thuật hợp lý cho gói TFP với điều kiện đất nền Hà Nội

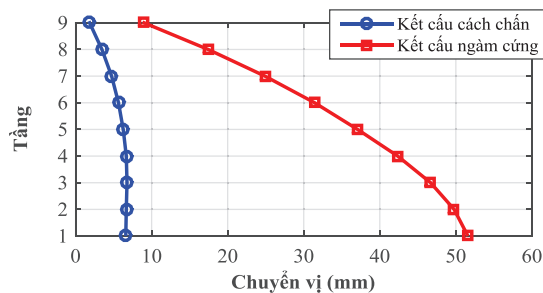
Theo như cấu tạo, sẽ có 7 thông số kỹ thuật của gói cần được lựa chọn là: $\mu_2 = \mu_3$; $R_{eff2} = R_{eff3}$; $d_2 = d_3$; μ_1 ; μ_4 ; $R_{eff1} = R_{eff4}$; $d_1 = d_4$ đảm bảo sự trượt xảy ra trên 5 giai đoạn. Tiêu chí để chọn các thông số hợp lý này được đưa ra: 1. Thích nghi nhiều cấp độ động đất thiết kế; 2. Phản ứng của kết cấu nhỏ nhất có thể. Quy trình lựa chọn bộ thông số tối ưu cho gói TFP được thực hiện như sơ đồ hình 4.24. Kết quả ta có bộ thông số tối ưu của gói như sau: $R_2 = R_3 = 500$ mm; $R_1 = R_4 = 4000$ mm; $\mu_2 = \mu_3 = 0.01 - 0.02$; $\mu_1 = 0.02 - 0.06$; $\mu_4 = 0.04 - 0.08$; $d_2 = d_3 = 40$ mm; $d_1 = d_4 = 170$ mm.

4.2.4. Hiệu quả giảm chấn của gói cho công trình

Với bộ thông số tối ưu tìm được, ta tiến hành phân tích kết cấu trong hai trường hợp: Kết cấu ngàm cứng và kết cấu cách chấn bằng gói TFP. Hiệu quả giảm chấn được đánh giá thông qua gia tốc tuyệt đối và chuyển vị tương đối trong các tầng. Với cấp độ MCE, kết quả thể hiện như hình 4.20 và 4.21. Cấp SLE và DBE cho kết quả tương tự. Chuyển vị gói, tổng lực cắt đáy trong 2 trường hợp và hiệu quả giảm chấn của gói TFP được tính toán chi tiết trong bảng 4.4.



Hình 4.20. Gia tốc tuyệt đối trong các tầng, cấp MCE



Hình 4.21. Chuyển vị tương đối trong các tầng, cấp MCE

Bảng 4.4. Chuyển vị gối và hiệu quả giảm lực cắt đáy trong kết cấu nhà 9 tầng cách chấn bằng gối TFP

Cấp độ	Chuyển vị gối, u_b (mm)		Tổng lực cắt đáy, F_b (kN)		
	Kết cấu ngàm cứng	Kết cấu cách chấn	Kết cấu ngàm cứng	Kết cấu cách chấn	Hiệu quả giảm (%)
SLE	0	65.8	2415	697	71
DBE	0	176	5183	1103	79
MCE	0	311	7791	1451	81

Từ kết quả phản ứng kết cấu, những điều kiện về lực ngang trong gối (theo 17.2.4.4, ASCE 7-2010) và các thông số giả thiết ban đầu được kiểm tra thỏa mãn yêu cầu.

4.3. Kết luận chương 4

Gối TFP là thiết bị cách chấn hiệu quả trong thiết kế kháng chấn đa mục tiêu. Nghiên cứu ứng dụng gối TFP cho nhà cao tầng chịu động đất ở Hà Nội theo ASCE 7-2010 mang lại hiệu quả cao (xấp xỉ từ 70% đến 80%). Một phương pháp xác định bộ thông số tối ưu cho gối TFP được trình bày. Theo đó, một thông số tối ưu cho gối TFP sử dụng cho nhà cao tầng xây dựng tại Hà Nội được tìm ra.

KẾT LUẬN & KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Trong phạm vi nghiên cứu của đề tài, những kết luận được rút ra như sau:

1. Dựa vào nguyên lý cấu tạo và chuyển động của các dạng gối trượt ma sát bao gồm: Gối con lăn ma sát đơn SFP, gối con lăn ma sát đôi DFP và gối con lăn ma sát ba TFP từ các nghiên cứu trước, đề tài đã xây dựng mô hình kết cấu cách chấn bằng các gối trên chịu động đất. Nội dung bao gồm: đưa ra mô hình tính toán, thiết lập phương trình vi phân chuyển động và đưa ra phương pháp số để giải phương trình vi phân chuyển động tìm ra phản ứng của kết cấu. Đề tài thực hiện một mô phỏng ví dụ số cho kết cấu chịu nhiều băng gia tốc nền khác nhau để đánh giá hiệu quả giảm chấn của thiết bị. Kết quả thu được cho thấy hiệu quả giảm chấn của các dạng gối này là rất tốt.
2. Nghiên cứu ứng dụng gối TFP cho công trình nhà cao tầng với điều kiện động đất ở Hà Nội được thực hiện trong nội dung của đề tài. Nội dung nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả cách chấn cho công trình khi sử dụng gối cách chấn TFP.

2. Kiến nghị

Trong điều kiện và phạm vi nghiên cứu của đề tài, một số vấn đề chưa được đề cập và làm rõ cần có các nghiên cứu tiếp theo sau:

Cần nghiên cứu một mô hình va chạm hợp lý để mô phỏng ứng xử kết cấu khi con lăn đạt đến chuyển vị giới hạn. Khi kích thước của gối nhỏ chịu các băng gia tốc nền lớn sẽ xảy ra hiện tượng va chạm giữa con lăn và vành cứng ngăn chuyển vị của con lăn. Va chạm này ảnh hưởng đến phản ứng của kết cấu.