

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

-----*

NGUYỄN HỒNG HẢI

**NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÀ CAO
TẦNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ TẦNG CỨNG
CHỊU TÁC ĐỘNG CỦA ĐỘNG ĐẤT Ở VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2015

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

-----*

NGUYỄN HỒNG HẢI

**NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÀ CAO TẦNG
BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ TẦNG CỨNG CHỊU TÁC
ĐỘNG CỦA ĐỘNG ĐẤT Ở VIỆT NAM**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT
CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH
DÂN DỤNG VÀ CÔNG NGHIỆP**

MÃ SỐ: 62.58.20.08

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

- 1. PGS. TS. NGUYỄN XUÂN CHÍNH**
- 2. TS. NGÔ TUẤN**

HÀ NỘI – 2015

Luận án được hoàn thành tại
Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng – Bộ Xây dựng

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. PGS. TS. Nguyễn Xuân Chính**
- 2. TS. Ngô Tuấn**

Phản biện:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện tại phòng họp tầng 2 – Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng – Bộ Xây dựng, 81 Trần Cung, Nghĩa Tân, Cầu Giấy, Hà Nội.

vào hồi ... giờ phút, ngày ... tháng.... năm 2105.

Có thể tìm hiệu luận án tại:

1. Thư viện Quốc gia Việt Nam;
2. Thư viện Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng – Bộ Xây dựng

1 CHƯƠNG 1 – TỔNG QUAN

1.1 Đặt vấn đề

Đối với nhà cao tầng, việc áp dụng các tiêu chuẩn hiện hành như UBC, IBC, EC 8 trong thiết kế kháng chấn bộc lộ nhiều hạn chế, trong đó việc sử dụng duy nhất một tiêu chí độ lệch tầng để đánh giá mức độ hư hỏng là chưa đầy đủ. Mặt khác, dùng phương pháp phân tích đàn hồi đi đôi với việc sử dụng một hệ số giảm (hệ số R trong UBC, IBC; hệ số ứng xử q trong EC 8) áp dụng cho toàn hệ kết cấu tổng thể là khó có thể phản ánh một cách đáng tin cậy ứng xử của công trình trong giai đoạn đàn hồi dẻo, đặc biệt là đối với hệ kết cấu gồm nhiều dạng (khung lẫn vách) hoặc sử dụng vật liệu khác nhau (bê tông lẫn thép). Hơn nữa, bên cạnh việc đưa ra các hạn chế như chiều cao hay tính đều đặn, các tiêu chuẩn nói trên không có điều khoản thích hợp cho nhiều dạng kết cấu (ví dụ kết cấu có tầng cứng) hoặc áp dụng các giải pháp kỹ thuật tiên tiến (ví dụ damping). Việc này gây khó khăn cho công tác thiết kế các công trình siêu cao, kết cấu đặc biệt hoặc áp dụng kỹ thuật, công nghệ mới.

Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng (Performance based seismic design, viết tắt là PBSO) là xu hướng thiết kế kháng chấn mới, đặc biệt phù hợp trong việc thiết kế các kết cấu phức tạp, kết cấu nhà siêu cao tầng. PBSO sử dụng các kỹ thuật phân tích phi tuyến để đánh giá ứng xử kết cấu và đảm bảo sao cho kết cấu thỏa mãn các *mục tiêu tính năng* (performance objectives) đặt ra ứng với từng mức kháng chấn dự kiến. Phương pháp này có nhiều ưu điểm như khảo sát được ứng xử của kết cấu dưới tác động động đất một cách tin cậy hơn, (2) cho phép áp dụng vật liệu mới hay giải pháp kỹ thuật tiên tiến một cách hiệu quả, (3) giúp đạt được các sáng tạo về hình thái kiến trúc nhờ sự đáp ứng tin cậy của giải pháp kết cấu và (4) giảm chi phí xây dựng.

Đối với các kết cấu phức tạp (ví dụ như kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng) hoặc kết cấu ứng dụng công nghệ mới (ví dụ thiết bị giảm chấn), ngoài việc áp dụng phương pháp phân tích phi tuyến tĩnh và/hoặc động tiên tiến, việc đánh giá ứng xử tổng thể hoặc/và cục bộ còn được thực hiện thông qua kiểm chứng bằng thí nghiệm mô hình thu tỉ lệ. Kết quả thí nghiệm không những hữu ích cho bản thân kết cấu công trình đang

xét mà còn góp phần thúc đẩy lý thuyết tính toán, quy trình thiết kế và cấu tạo cho loại công trình mà nó làm đại diện.

Xem xét xu hướng và yêu cầu trong phân tích đối với kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng chịu tải trọng động đất trình bày ở trên thấy rằng, việc nghiên cứu ứng xử thông qua phân tích phi tuyến và thực nghiệm mô hình cho dạng kết cấu này là vấn đề đặt ra cho luận văn.

1.2 Kết cấu nhà cao tầng và xu hướng phát triển

Thông qua phân tích về sự phát triển của các dạng kết cấu nhà cao tầng, vật liệu xây dựng, các công nghệ mới áp dụng trong thiết kế kết cấu nhà cao tầng trên thế giới trong nửa thế kỷ qua, có thể rút ra một số nhận xét như sau:

- Nhà cao tầng được xây ngày càng cao với các dạng kết cấu ngày càng đa dạng. Trong đó có nhân mạnh, theo thống kê của hiệp hội nhà cao tầng thế giới, từ năm 2000 đến nay, có đến trên 73% tòa nhà cao tầng trên thế giới sử dụng hệ kết cấu lõi – tầng cứng, trong đó có hơn 50% sử dụng kết cấu bê tông cốt thép;
- Vật liệu sử dụng cho nhà cao tầng có cường độ ngày càng cao.;
- Sử dụng các giải pháp công nghệ mới để điều khiển đặc trưng động lực của công trình.

Với xu hướng phát triển như vậy, đa phần các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành trở nên không thực sự phù hợp, không theo kịp xu hướng phát triển nêu trên. Việc áp dụng các tiêu chuẩn mang tính định trước trong thiết kế có thể dẫn đến sự không tối ưu trong thiết kế. Đây cũng là một trong các lý do mà các học giả, tổ chức (ví dụ FEMA, CTBUH) trên thế giới kiến nghị sử dụng phương pháp thiết kế dựa theo tính năng trong thiết kế nhà cao tầng, đặc biệt là các công trình có kết cấu phức tạp.

1.3 Phương pháp thiết kế kết cấu chịu tải trọng động đất

Thiệt hại trong các trận động đất lớn vào thập niên 90 của thế kỷ trước (Northridge - Mỹ, 1994; Kobe - Nhật Bản, 1995; Chichi - Đài Loan, 1999) cho thấy nếu kết cấu công trình được thiết kế theo phương pháp kháng chấn hiện hành thì xác suất gây ra sụp đổ là rất nhỏ, số lượng thương vong do động đất gây ra cũng không nhiều, tuy nhiên thiệt hại về kinh tế do động đất gây ra lại quá lớn. Thống kê về thiệt hại do động đất

ở Mỹ trong giai đoạn từ 1988~1997 nhiều hơn 20 lần so với tổng thiệt hại của 30 năm trước, trong đó thiệt hại gián tiếp do công trình không thể tiếp tục vận hành bình thường chiếm một tỷ lệ không nhỏ. Từ các bài học thực tiễn trong quá khứ, chúng ta có thể rút ra kết luận **sự hư hỏng trực tiếp liên quan đến biến dạng, việc thiết kế chỉ dựa vào điều kiện về cường độ (strength design) là không đầy đủ.**

Từ các bài học thực tế như vậy, các học giả (chủ yếu là ở Mỹ) mới bắt đầu nghiên cứu đưa phương pháp thiết kế dựa theo tính năng (vốn đã phát triển từ lâu trong các lĩnh vực khác) áp dụng trong thiết kế kháng chấn đối với công trình. Đặc điểm chính của phương pháp này là sự chuyển đổi nội dung thiết kế từ mục tiêu định tính tổng quát thành nhiều mục tiêu được định lượng cụ thể; chủ đầu tư có thể lựa chọn mục tiêu tính năng của công trình, đồng thời nhấn mạnh việc phân tích và luận chứng để thực thi mục tiêu tính năng trong thiết kế kháng chấn, tạo điều kiện thuận lợi cho sự sáng tạo trong thiết kế kết cấu, dựa vào luận chứng (bao gồm cả thí nghiệm) để có thể sử dụng các hệ kết cấu mới, kỹ thuật mới, vật liệu mới mà không được quy định trong tiêu chuẩn hiện hành.

Phần cuối của mục này liệt kê một số tài liệu, chỉ dẫn kỹ thuật liên quan có liên quan đến PBSĐ. Đây là các tài liệu quan trọng, có giá trị tham khảo cao khi nghiên cứu về lĩnh vực này.

1.4 Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng

1) Nghiên cứu lý thuyết

Các công trình nghiên cứu về tầng cứng của các nhà khoa học và các tổ chức ở trên thế giới, có thể chia làm một số nội dung chủ yếu sau:

a) Nghiên cứu về ảnh hưởng và vị trí tối ưu của tầng cứng

Các học giả tiêu biểu trong lĩnh vực nghiên cứu này bao gồm Taranath, Staford Smith và Salim, Hoenderkamp, J.R. Wu và Q. S. Li, Su Yuan, Alex Coull và Otto Lau. Các nghiên cứu của các học giả trên chủ yếu dựa vào mô hình phẳng đơn giản hóa của kết cấu lõi – tầng cứng. Thông qua một số giả thiết để đơn giản hóa mô hình, để có thể đưa ra nghiệm giải tích về vị trí tối ưu của tầng cứng đối với nhà có từ 1 đến 2 tầng cứng.

b) Nghiên cứu về cản trong tầng cứng (damped outrigger)

Các nghiên cứu chủ yếu được phát triển bởi công ty Arup trong việc đưa hệ thống cần vào vị trí liên kết giữa tầng cứng và cột biên nhằm tăng khả năng tiêu tán năng lượng khi công trình chịu tải trọng gió và động đất.

c) Chỉ dẫn thiết kế về kết cấu cao tầng có tầng cứng

Hiện tại mới chỉ có tiêu chuẩn thiết kế nhà cao tầng Trung Quốc có quy định liên quan đến việc thiết kế kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng. Theo tiêu chuẩn này thì kết cấu có tầng cứng được phân vào nhóm nhà cao tầng có kết cấu phức tạp, khi tiến hành phân tích kết cấu phải sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi theo lịch sử thời gian để tính toán bổ sung, đồng thời tiêu chuẩn cũng kiến nghị nên sử dụng phương pháp phân tích phi tuyến đầy đủ hoặc phương pháp phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian để kiểm tra biến dạng đàn hồi dẻo.

Năm 2012, hiệp hội nhà cao tầng thế giới xuất bản chỉ dẫn kỹ thuật về thiết kế nhà cao tầng có tầng cứng. Tài liệu cung cấp cho người đọc một cái nhìn tổng quan về hệ kết cấu có tầng cứng, các vấn đề cần xét đến và các kiến nghị trong thiết kế dạng kết cấu này và các ví dụ cụ thể trong thực tế. Các vấn đề cần được xem xét trong thiết kế đều được nêu ở mức khái niệm để người thiết kế nhận thức được vấn đề cần quan tâm trong thực hành. Ngoài ra, khi bàn về phương pháp thiết kế kháng chấn đối với kết cấu có tầng cứng, tài liệu cũng nêu rõ các tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn hiện hành như IBC, EC8 không phù hợp khi áp dụng vào thiết kế dạng kết cấu này và kiến nghị sử dụng phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng.

2) Nghiên cứu thông qua thí nghiệm

Hiện tại có thể tìm thấy một số thí nghiệm mô hình kết cấu tổng thể trên bàn rung nhằm phục vụ cho việc thiết kế công trình thực. Năm 2013, Nie Jianguo và Ding Ran thực hiện việc nghiên cứu ứng xử kháng chấn của nút liên kết giữa giàn cứng bằng thép dạng chữ K với lõi bằng thí nghiệm tựa tĩnh, gia tải lặp đảo chiều theo chu kỳ được thực hiện tại đại học Thanh Hoa.

3) Nghiên cứu trong nước

Liên quan đến nghiên cứu về kết cấu có tầng cứng, hiện tại cũng có một số luận văn thạc sỹ nghiên cứu về vấn đề này, như nghiên cứu của

Nguyễn Tất Tâm (2010) về tính toán kết cấu nhà cao tầng bê tông cốt thép chịu tác động của động đất theo tiêu chuẩn TCXDVN 375-2006; nghiên cứu của Lục Thiên Bình (2011) về ứng dụng tầng cứng ảo (virtual outrigger) trong kết cấu nhà nhiều tầng; hoặc nghiên cứu của Nguyễn Văn Thanh (2014) về thiết kế lõi cứng bê tông cốt thép trong kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng, tập trung vào nghiên cứu để đưa ra một số công thức đơn giản để xác định chuyển vị và mô men trong nhà cao tầng có từ 1~2 tầng cứng.

Ngoài ra còn có một số nghiên cứu liên quan khác như luận án của Nguyễn Thế Đệ (2003) đã công bố những kết quả nghiên cứu về “*Hợp lý hóa phản ứng của kết cấu nhà cao tầng chịu tải trọng động đất khu vực Hà Nội*”; nghiên cứu của Võ Thanh Lương nghiên cứu về “*Tính toán động lực học nhà cao tầng dạng kết cấu thanh chịu tác dụng động đất có kể đến tính dẻo của vật liệu*”; nghiên cứu của Nguyễn Quốc Hùng về “*Phân tích khung phẳng có xét đến độ mềm của liên kết, chịu tải trọng ngang thay đổi lặp có chu kỳ*”; hay nghiên cứu của Lê Trung Phong về “*Hệ số ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép dùng trong tính toán tác động động đất lên công trình xây dựng*”.

Nghiên cứu thực nghiệm về thiết kế kháng chấn đối với công trình ở nước ta còn khá khiêm tốn. Năm 2012, nhóm đề tài của Viện KHCN Xây dựng do PGS. TS. Trần Chung chủ trì đã tiến hành thí nghiệm mối nối nhà công nghiệp hóa chịu tải trọng động đất. Đối tượng thí nghiệm là một khung bê tông cốt thép bê tông ứng lực trước lắp ghép hai tầng chịu tải trọng lặp đổi chiều. Đây là thí nghiệm lần đầu tiên được thực hiện ở Việt Nam với quy mô lớn và được thực hiện với tải trọng lặp đổi chiều. Kết quả của đề tài đã giúp đưa ra được đường cong trễ biểu thị sự làm việc của kết cấu ngoài miền đàn hồi và dạng phá hoại của kết cấu khung.

1.5 Giới thiệu về luận án

Có thể thấy rằng các nghiên cứu lý thuyết về nguyên lý làm việc tổng thể của kết cấu có tầng cứng đã được thực hiện từ lâu trên thế giới và công thức tính toán cho mô hình phẳng đơn giản cũng đã được đưa ra. Mặc dù vậy, thiết kế kháng chấn đối với dạng kết cấu này vẫn được coi là phức tạp và không có quy trình chung áp dụng cho mọi công trình. Nghiên cứu thực nghiệm tập trung trực tiếp vào kết cấu khu vực tầng cứng

chỉ mới tìm thấy một thí nghiệm đối với nút liên kết giàn cứng bằng thép dạng chữ K và một số thí nghiệm bàn rung xem xét ứng xử của kết cấu tổng thể, chưa tìm thấy các thí nghiệm liên quan đến khu vực tầng cứng đối với kết cấu bê tông cốt thép.

Ở Việt Nam, các thí nghiệm kết cấu chịu tải trọng động đất nói chung còn rất ít. Chưa có nghiên cứu kháng chấn kết cấu tầng cứng bằng thí nghiệm nào được thực hiện. Việc nghiên cứu kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng mới chỉ dừng ở việc xem xét ứng xử chung của kết cấu dựa trên phân tích đàn hồi tuyến tính hoặc tính toán thiết kế theo tiêu chuẩn. Ngoài ra, có thể thấy nghiên cứu ứng xử ngoài đàn hồi của dạng kết cấu này bằng phân tích phi tuyến và thiết kế dựa trên tính năng vẫn còn là mới mẻ tại Việt Nam. Đề tài nghiên cứu liên quan tới phương pháp này cũng không được tìm thấy.

Do vậy, nghiên cứu ứng xử ngoài đàn hồi bằng lý thuyết và thí nghiệm mô hình kết cấu nhà cao tầng có tầng cứng bê tông cốt thép chịu động đất là vấn đề đặt ra cho luận án. Sự làm việc của nút liên kết cột-dầm cứng là nội dung quan trọng của chương trình nghiên cứu. Áp dụng phương pháp thiết kế dựa trên tính năng, đánh giá ứng xử của kết cấu thông qua phân tích phi tuyến (tĩnh và động) có xét tới điều kiện động đất và địa chất xây dựng tại Việt Nam cần được thực hiện.

2 CHƯƠNG 2 – PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KHÁNG CHẤN DỰA THEO TÍNH NĂNG CHO NHÀ CAO TẦNG

Chương này đi sâu trình bày các nội dung quan trọng của phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng, bao gồm phương pháp xác định mục tiêu tính năng của công trình ứng với các mức nguy cơ động đất, phương pháp mô hình hóa và phân tích phi tuyến, cách xác định động đất đầu vào trong phân tích phi tuyến. Quy trình thiết kế dựa theo tính năng đã được thiết lập để làm cơ sở lý thuyết đi sâu vào nghiên cứu ứng xử của kết cấu cao tầng có tầng cứng thông qua phân tích và thực nghiệm.

2.1 Xác định mục tiêu tính năng của công trình

Mục tiêu tính năng (performance objective) của công trình là mức độ ứng xử mong muốn của công trình khi chịu tác động của động đất ở một độ lớn nhất định. Việc lựa chọn mục tiêu tính năng của công trình là tiền đề và cơ sở để tiến hành thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng. Nếu mục tiêu tính năng yêu cầu cao thì độ an toàn của công trình được nâng cao, nhưng chi phí đầu tư xây dựng tăng lên nhiều; nếu mục tiêu tính năng đặt ra thấp, tuy có thể làm giảm chi phí đầu tư ban đầu nhưng sẽ làm tăng nguy cơ hư hỏng của công trình, cũng như làm tăng chi phí duy tu bảo dưỡng.

Để xác định được mục tiêu tính năng của công trình, cần hiểu rõ các khái niệm về mức nguy cơ động đất; mức tính năng của công trình - liên quan đến mức tính năng của cấu kiện kết cấu và cấu kiện phi kết cấu. Các nội dung này được trình bày tương đối chi tiết trong luận án.

2.2 Phân tích kết cấu bằng phương pháp phi tuyến

Hiện tại có nhiều phương pháp phân tích có thể được sử dụng để đánh giá kết cấu công trình đối với các mục tiêu tính năng đã xác định. Phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính (linear elastic analysis) thường được dùng khi phân tích kết cấu chịu tác động của động đất nhỏ, khi đó các cấu kiện kết cấu về cơ bản vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Phương pháp phân tích phi tuyến tĩnh đẩy dần (nonlinear static push over analysis) hay phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian (nonlinear time history analysis) thường được dùng khi phân tích kết cấu khi chịu tác động của động đất mạnh và rất mạnh.

Trong khuôn khổ của luận án, nghiên cứu sinh sử dụng phần mềm Ruaumoko (phiên bản 2D) để thực hiện các phân tích phi tuyến liên quan và trong luận án cũng trình bày cơ sở lý thuyết của các phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến dùng để xác định chuyển vị mục tiêu (ví dụ như phương pháp phổ khả năng, phương pháp hệ số chuyển vị, phương pháp N2) và phương pháp động phi tuyến.

2.3 Mô hình hóa kết cấu trong phân tích phi tuyến

Việc phân tích phi tuyến yêu cầu một tư duy về ứng xử ngoài đàn hồi và các trạng thái giới hạn (phụ thuộc vào biến dạng cũng như lực) đối với người kỹ sư. Trong phân tích này, cần phải định nghĩa các mô hình ứng xử của cấu kiện để có thể phản ánh mối quan hệ lực - biến dạng của cấu kiện dựa vào đặc trưng cường độ và độ cứng kỳ vọng và biến dạng lớn. Tùy thuộc vào loại hình kết cấu, kết quả phân tích phi tuyến có thể rất nhạy cảm với các thông số giả thuyết đầu vào và các mô hình ứng xử được sử dụng.

Luận án trình bày một số phương pháp mô hình hóa phần tử thanh như mô hình biến dạng dẻo tập trung, mô hình biến dạng dẻo phân bố và các quan hệ lực – biến dạng trong phân tích phi tuyến. Đồng thời giới thiệu về cách mô hình hóa phần tử thanh trong phần mềm Ruaumoko và quan hệ lực – biến dạng hai đoạn thẳng mà nghiên cứu sinh sử dụng trong phân tích phi tuyến đối với mô hình kết cấu khảo sát trong chương 3.

2.4 Quy trình thiết kế theo PBSĐ

Từ các nghiên cứu liên quan đến phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng được trình bày trong các phần trên của chương, nghiên cứu sinh đã tổng hợp để thiết lập quy trình thiết kế theo phương pháp này để các kỹ sư tiện áp dụng.

2.5 Tóm tắt chương 2

1. Nguyên lý cơ bản của phương pháp thiết kế dựa theo tính năng và nội dung quan trọng của các phương pháp phân tích phi tuyến đã được trình bày. Phương pháp thiết kế này được xem là có nhiều ưu điểm. So với phương pháp thiết kế dựa theo lực truyền thống, điểm khác biệt lớn nhất là cho phép đánh giá sự làm việc của mọi bộ phận công trình (cả kết cấu và phi kết cấu) một cách định lượng ở nhiều mức

động đất khác nhau, thậm chí suốt quá trình xảy ra động đất. Thông qua việc theo dõi quá trình hình thành khớp dẻo trong kết cấu, người thiết kế có thể chủ động kiểm soát cơ chế tiêu tán năng lượng theo ý muốn, theo đó khống chế các dạng phá hoại nguy hiểm (cơ cấu gây mất ổn định tổng thể hoặc sụp đổ công trình) do sự hình thành các khớp dẻo bất hợp lý.

2. Thách thức của phương pháp thiết kế này là (1) quyết định các mục tiêu tính năng phù hợp kèm theo tiêu chí chấp thuận tương ứng cho từng cấu kiện kết cấu hoặc phi kết cấu, (2) xác định động đất đầu vào và lựa chọn mô hình ứng xử phi tuyến phù hợp cho kết cấu phục vụ phân tích phi tuyến tĩnh và/hoặc động, và (3) cuối cùng là xử lý kết quả phân tích thu được nhằm đánh giá các mục tiêu tính năng đã xác định.
3. Thiết lập quy trình thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng để có thể áp dụng trong thực hành thiết kế.

3 CHƯƠNG 3 – SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÀ CAO TẦNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ TẦNG CỨNG CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT Ở VIỆT NAM

3.1 Mở đầu

Có thể nói, không thể có công thức chung trong việc thiết kế kết cấu cao tầng có tầng cứng, mà cần xét đến các vấn đề quan trọng như kiến nghị của Hiệp hội nhà cao tầng thế giới đối với từng công trình cụ thể. Để giải quyết những vấn đề đã nêu trong chương 1 về sự làm việc của nhà cao tầng có tầng cứng trong điều kiện Việt Nam, chương này tập trung phân tích một số mô hình cụ thể nhằm làm rõ các nội dung sau:

1. Nghiên cứu sự phù hợp khi lựa chọn phổ mục tiêu theo TCVN 9386:2012 trong tính toán phân tích phi tuyến;
2. Nghiên cứu ảnh hưởng của tầng cứng (vị trí, độ cứng) đến ứng xử của công trình;
3. Kiểm chứng các mục tiêu tính năng trong giới hạn ngăn chặn sụp đổ của công trình. Các kết quả tính toán sẽ được so sánh với kết quả thí nghiệm kiểm chứng trong Chương 4.

3.2 Mô hình kết cấu khảo sát

Kết cấu công trình thực tế là kết cấu không gian. Việc bố trí mặt bằng cấu kiện sẽ quyết định sự làm việc có tính “không gian” của kết cấu công trình, ở đây là phản ứng của nó đối với tải trọng ngang, cụ thể là tải trọng động đất. Về mặt lý thuyết, với tải trọng động đất, kết cấu cần được thiết kế sao cho chịu được sóng đến từ mọi hướng bất kỳ. Trong thực hành, kết cấu thường được thiết kế chịu tải trọng động đất theo những phương nhất định, thường là hai phương vuông góc, tùy thuộc vào hướng bố trí cấu kiện chịu lực chính trên mặt bằng. **Với những kết cấu có mặt bằng đối xứng**, việc phân tích nghiên cứu ứng xử tổng thể có thể được thực hiện thông qua mô hình đơn giản hóa - mô hình phẳng 2D. Trong trường hợp này, những đặc trưng ứng xử quan trọng của loại kết cấu áp dụng cho công trình đang xét (như đường truyền lực, phân bố biến dạng theo chiều cao, quá trình hình thành khớp dẻo và dạng cơ cấu, vv...) hoàn toàn có thể được đánh giá thông qua mô hình đơn giản 2D.

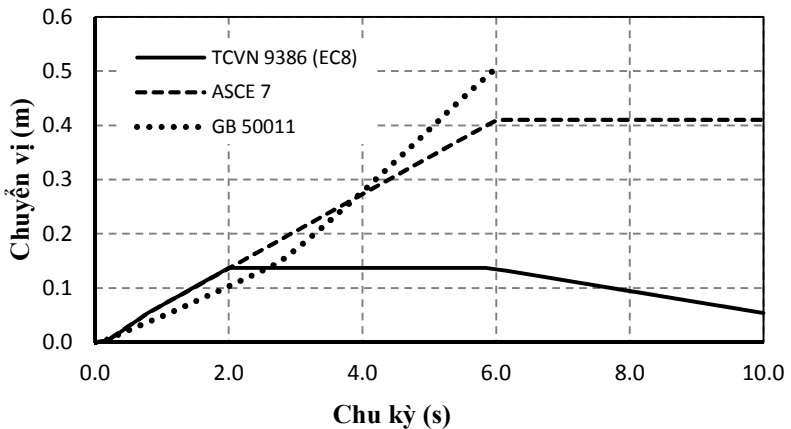
Vấn đề chính được nghiên cứu có liên quan tới các nội dung: đặc trưng phân phối lực - đường truyền lực - trong các cấu kiện chính (cột biên, dầm cứng, lõi), chuyển vị tổng thể, đặc trưng hình thành khớp dèo, phân tán năng lượng trong kết cấu, ứng xử cục bộ của liên kết cột-dầm cứng chịu lực dọc và mô men xoắn... Ảnh hưởng của sự làm việc không gian của kết cấu nằm ngoài phạm vi nghiên cứu. Do vậy, mô hình kết cấu phục vụ khảo sát về mặt lý thuyết và thực nghiệm được xác định là mô hình đơn giản 2D. Việc thực hiện thí nghiệm gia tải ngang lập đôi chiều hai phương là quá phức tạp với điều kiện hiện có. Mô hình khảo sát được xây dựng dựa trên việc tham khảo mô hình kết cấu của một số công trình cao tầng và siêu cao tầng của Việt Nam. Sơ đồ kết cấu được đơn giản hóa với các thông số chính như sau:

Bảng 1: Các tham số của mô hình khảo sát

Tham số		Giá trị
Khung	Số tầng	55 tầng
	Chiều cao tầng	4m, riêng tầng cứng 6.5m (tầng 34)
Kích thước cấu kiện	Lõi	$t=1200\text{mm}$
	Cột	$b \times h=1500 \times 2500, 1500 \times 1800, 1200 \times 1500$
	Dầm	$b \times h=2000 \times 500$
	Dầm cứng	$b \times h=800 \times 6500$
Vật liệu	Bê tông	$f'c = 28 \text{ MPa}$
	Cốt thép	$f_y=490 \text{ MPa}$
Tải trọng	Tĩnh tải	Xác định theo kích thước cấu kiện
	Tĩnh tải phụ thêm	1.1 kN/m^2 lớp hoàn thiện và 0.5 kN/m^2 phần ME
	Hoạt tải	2.0 kN/m^2 (văn phòng)
	Gió	Vùng gió IIB, địa hình dạng B
	Động đất	$a_{gR} = 0.103g$, đất nền loại D
Tiêu chuẩn thiết kế		ACI 318-05

3.3 Lựa chọn sóng động đất phù hợp với điều kiện Việt Nam trong phân tích phi tuyến

Việc xác định chuyển vị mục tiêu theo phương pháp tĩnh phi tuyến cũng như việc lựa chọn điều chỉnh giảm đồ gia tốc đều phải dựa vào phổ gia tốc (hoặc chuyển vị) chuẩn. Thông qua việc phân tích, so sánh phổ gia tốc và phổ chuyển vị của tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 với các tiêu chuẩn khác như ASCE 7-10 (Mỹ), GB 50011 (Trung Quốc) cho thấy hình dáng của phổ gia tốc giữa các tiêu chuẩn không sai khác nhau nhiều, tuy nhiên hình dáng của phổ chuyển vị (Hình 3-7) lại sai khác nhau khá nhiều. Có thể thấy phổ chuyển vị đàn hồi giữa tiêu chuẩn TCVN 9386 và hai tiêu chuẩn còn lại có sai khác rất lớn ở đoạn chu kỳ lớn hơn 2s.



Hình 3-7: So sánh phổ chuyển vị giữa ba tiêu chuẩn

Sự sai khác này cũng được các học giả khác trên thế giới nói đến. Nghiên cứu của Bommer, Sinan Akkar cũng đưa ra các nhận định: phổ chuyển vị theo EC8 (cũng chính là TCVN 9386) cho giá trị quá thấp, đặc biệt đối với phần chu kỳ trung bình và dài, mà nguyên nhân chính là do việc lựa chọn giá trị $T_D=2s$ là điểm bắt đầu của đoạn chuyển vị không đổi. Việc ấn định giá trị thấp đối với chu kỳ góc cho độ lớn của phổ chuyển vị thiên về không an toàn.

Nghiên cứu sinh đã tiến hành việc tính toán chuyển vị mục tiêu cho 02 công trình dựa vào kết quả phân tích tĩnh phi tuyến. Kết quả cho thấy, giá trị chuyển vị (đỉnh) mục tiêu xác định theo phổ chuyển vị của TCVN

9386 cho giá trị không hợp lý (quá nhỏ) so với quy mô của công trình, trong khi nếu tính theo tiêu chuẩn ASCE 7-10 cho giá trị phù hợp hơn. Ngoài tính toán trên, khi so sánh chuyển vị đỉnh xác định bằng phân tích động phi tuyến với giản đồ gia tốc được điều chỉnh theo TCVN 9386 và ASCE 7-10 cũng cho kết quả tương tự. Từ đó, luận án đưa ra nhận xét về sự chưa thích hợp trong việc áp dụng phổ vị theo TCVN 9386 (hay EC8) để xác định chuyển vị mục tiêu trong phân tích ứng xử của kết cấu nhà cao tầng (chu kỳ dài) bằng phương pháp tính phi tuyến hoặc để điều chỉnh giản đồ gia tốc dùng cho phân tích động phi tuyến. Trong trường hợp này kiến nghị sử dụng phổ chuyển vị theo ASCE 7 để phân tích, trừ khi có các kết quả chính xác hơn thông qua đánh giá nguy cơ động đất (*seismic hazard assessment*) cho trường hợp đang xét.

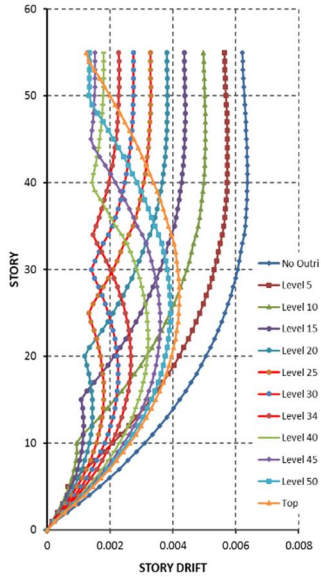
3.4 Ảnh hưởng của tầng cứng đến ứng xử của công trình

Để phục vụ mục đích khảo sát ảnh hưởng của tầng cứng đến ứng xử của công trình, luận án đã thiết lập hai chương trình dùng để tính toán chuyển vị mục tiêu và hệ số ứng xử của công trình theo phương pháp N2 (xem Chương 2) với số liệu đầu vào là đường cong quan hệ lực biến dạng có được từ kết quả phân tích tĩnh phi tuyến.

1) Ảnh hưởng của vị trí tầng cứng

Để kiểm chứng ảnh hưởng của vị trí tầng cứng, luận án khảo sát công trình nêu trên với các thay đổi vị trí tầng cứng ở tầng thứ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 34, 40, 45, 50 và mái. Hình 3-29 là biểu đồ chuyển vị lệch tầng của công trình khi chịu tác động của tải trọng động đất xác định theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 ứng với gia tốc nền $a_g=0.1g$ trên nền đất loại D.

Kết quả phân tích cho thấy, chuyển vị của công trình thay đổi rất lớn khi thay đổi vị trí của tầng cứng. Chuyển vị đỉnh có thể giảm đến 2,5 lần (chuyển vị đỉnh khi không có tầng cứng là 1,105m so với chuyển vị đỉnh 0,439m khi tầng cứng ở tầng 34). Đặc biệt các hình trên cũng thể hiện rõ, khi tầng cứng nằm ở các vị trí tầng 25, 30 và 34 (đường nét đỏ) thì chuyển vị tầng của công trình là nhỏ nhất so với trường hợp tầng cứng nằm ở các vị trí khác. Kết quả phân tích trên cho thấy, đối với nhà cao tầng có 1 tầng cứng, vị trí tầng cứng ở khoảng giữa công trình là tối ưu, điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đó đã được công bố.

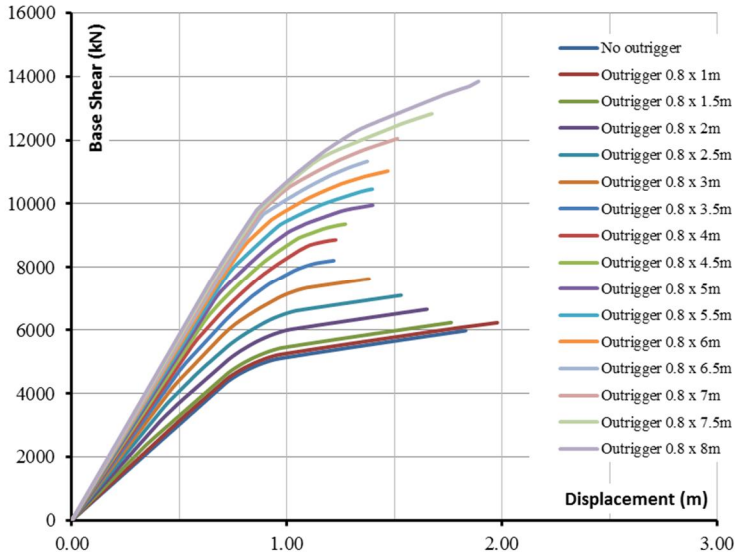


Hình 3-29: Chuyển vị lệch tầng tương ứng với vị trí tầng cứng

2) Ảnh hưởng của độ cứng tầng cứng

Khảo sát tiếp theo được thực hiện để xem xét ảnh hưởng của độ cứng của tầng cứng đến ứng xử của công trình. Vẫn sử dụng mô hình nêu trên với vị trí tầng cứng được cố định tại tầng 34 nhưng thay đổi tiết diện dầm cứng từ $0.8 \times 1.0\text{m}$ đến $0.8 \times 8.0\text{m}$.

Kết quả phân tích đầy dần thông qua đường cong khả năng thực hiện với các độ cứng của dầm cứng khác nhau thể hiện trên Hình 3-33. Ảnh hưởng của độ cứng của dầm cứng rất lớn đối với đường cong khả năng của công trình. Độ cứng của dầm cứng càng lớn, khả năng chịu tải trọng ngang càng lớn, đồng thời chuyển vị đỉnh của công trình càng giảm. Theo kết quả phân tích, khi tăng độ cứng bắt đầu từ kích thước của dầm thường ($0.8 \times 1\text{m}$), cho đến độ cứng của dầm cứng rất lớn ($0.8\text{m} \times 8\text{m}$), đường cong khả năng thay đổi rất nhanh trong giai đoạn đầu, sau đó ảnh hưởng của dầm cứng giảm dần. Kết quả kiểm tra đối với ảnh hưởng của dầm cứng cho thấy, ảnh hưởng của dầm cứng lớn nhất khi mô men dẻo của của dầm cứng lớn hơn tổng mô men của cột trên và cột dưới dầm cứng. Trong mô hình khảo sát xảy ra đối với trường hợp dầm cứng có kích thước từ $0.8 \times 3.5\text{m}$ trở lên.



Hình 3-33: Đường cong khả năng tương ứng với sự thay đổi của dầm cứng

3) Hệ số ứng xử của công trình

Hệ số ứng xử của các mô hình dầm cứng có độ cứng thay đổi trong mục nêu trên được xác định (xem Bảng 3-6). Có thể thấy, hệ số ứng xử có xu hướng tăng khi độ cứng của tầng cứng tăng, hay nói cách khác độ dẻo của kết cấu tăng. Trong khi đó, khi phân tích kết cấu bằng phương pháp đàn hồi tuyến tính hệ số ứng xử của kết cấu khi kể đến sự không đều đặn theo phương đứng chỉ cho một giá trị duy nhất ($q=3.12$).

Như vậy, đối với kết cấu phức tạp không có tính đều đặn, việc xác định hệ số ứng xử của công trình trong tính toán theo phương pháp phổ phản ứng để thiết kế cấu kiện nhiều khi chưa phản ánh đúng ứng xử thật của công trình. Do vậy, kiến nghị cần tiến hành phân tích phi tuyến tính để kiểm chứng lại.

Bảng 3- 1: Hệ số ứng xử của công trình theo kích thước dầm cứng

TT	Kích thước dầm cứng	q	TT	Kích thước dầm cứng	q
1	Không dầm cứng	2.01	9	0.8x4.5m	2.46
2	0.8x1.0m	2.17	10	0.8x5.0m	2.76
3	0.8x1.5m	2.12	11	0.8x5.5m	2.83
4	0.8x2.0m	2.21	12	0.8x6.0m	3.02
5	0.8x2.5m	2.31	13	0.8x6.5m	2.92
6	0.8x3.0m	2.29	14	0.8x7.0m	3.22
7	0.8x3.5m	2.18	15	0.8x7.5m	3.52
8	0.8x4.0m	2.30	16	0.8x8.0m	3.87

3.5 Đánh giá tính năng kháng chấn theo PBSĐ

Việc kiểm chứng các mục tiêu tính năng ở trạng thái ngăn ngừa sụp đổ theo quy trình thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng nêu trong Chương 2 đã được thực hiện với công trình nêu trên. Sóng động đất đầu vào bao gồm 07 sóng trong đó có 5 sóng được điều chỉnh từ sóng thực (được lấy từ cơ sở dữ liệu về động đất mạnh PEER) và 2 sóng nhân tạo (được tạo bởi phần mềm Shake91, có xét đến các đặc trưng nền đất tại Hà Nội). Tất cả các giản đồ gia tốc này được điều chỉnh để phù hợp với phổ thiết kế theo tiêu chuẩn ASCE 7 ứng với mức động đất rất mạnh (xác suất vượt 2% trong 50 năm, tức ứng với chu kỳ lặp là 2475 năm).

Kết quả phân tích thể hiện rõ các nội dung sau:

- Lực dọc, lực cắt và mô men của cột biên ở vị trí sát tầng cứng có sự thay đổi đột ngột so với tầng khác. Do vậy, khi tính toán thiết kế dạng kết cấu này cần quan tâm đặc biệt đối với kết cấu xung quanh tầng cứng;
- Việc thiết kế để đảm bảo sự truyền lực từ dầm cứng sang cột hay từ dầm cứng sang lõi là một trong những nội dung quan trọng trong việc thiết kế kết cấu dạng này. Đây cũng là lý do

để tiến hành thí nghiệm nghiên cứu sự làm việc của nút liên kết cột – dầm cứng trong chương 4;

- Từ biểu đồ phân bố năng lượng và các kiểm tra về tiêu chí tính năng của kết cấu (chuyển vị đỉnh, độ lệch tầng, góc xoay dẻo) cho thấy kết cấu chỉ mới làm việc trong giai đoạn đàn dẻo. Kết cấu vẫn có thể được tối ưu hơn nữa.

3.6 Kết quả đạt được của chương 3

1. Phổ gia tốc (hoặc phổ chuyển vị) theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 chưa thật sự phù hợp để xác định chuyển vị mục tiêu trong phân tích tĩnh phi tuyến hoặc để điều chỉnh giản đồ gia tốc dùng cho phân tích động phi tuyến ở khoảng chu kỳ dài (dạng công trình cao tầng/siêu cao tầng). Kiến nghị sử dụng phổ theo tiêu chuẩn ASCE.
2. Phổ gia tốc xét tới bài toán khuếch đại sóng động đất đối với điều kiện nền đất tại một số địa điểm ứng với nền loại D ở Hà Nội đã được nghiên cứu. So sánh với phổ gia tốc theo EC8 (hay TCVN 9386), phổ thu được có giá trị lớn hơn ở chu kỳ ngắn hơn 1.5s, nhưng biên độ phổ có giá trị nhỏ hơn ở chu kỳ dài. Mặc dù vậy, để đánh giá được đầy đủ hơn ảnh hưởng của yếu tố nền đất địa phương tới ứng xử của công trình cụ thể, cần có những nghiên cứu sâu hơn, việc này nằm ngoài phạm vi của luận văn.
3. Với công trình được khảo sát, vị trí tầng cứng nằm tại cao độ khoảng $0.5-0.6H$ (H là chiều cao nhà) là tối ưu về yếu tố giảm chuyển vị đỉnh và chuyển vị lệch tầng. Ngoài ra, phân tích cho thấy khi có bố trí tầng cứng (ở tầng 34) chuyển vị đỉnh công trình giảm 2.5 lần so với khi không có tầng cứng.
4. Độ cứng của dầm cứng ảnh hưởng nhiều tới ứng xử tổng thể của công trình. Độ cứng dầm cứng càng lớn, lực cắt tầng càng cao, đồng nghĩa với sự biến thiên đột ngột của nội lực kết cấu khu vực tầng cứng càng nhiều. Do đó khi thiết kế cần điều chỉnh độ cứng dầm cứng phù hợp sao cho vừa đảm bảo yêu cầu khống chế chuyển vị tổng thể, vừa hạn chế nội lực khu vực dầm cứng ở mức hợp lý, để thuận tiện cho công tác thiết kế cấu kiện khu vực này.
5. Thông qua phân tích tĩnh phi tuyến, hệ số ứng xử của kết cấu đã được xem xét ứng với sự thay đổi độ cứng của dầm cứng. Hệ số ứng xử

thay đổi từ 2.17 tới 3.87, tương đối khác so với hệ số ứng xử lựa chọn ban đầu ($q=3.12$) khi phân tích đàn hồi tuyến tính. Qua đó có thể thấy, đối với nhà cao tầng có tầng cứng việc đánh giá ứng xử kết cấu thông qua phân tích phi tuyến là quan trọng.

6. Qua phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian, đã mô tả được diễn biến của quá trình hình thành khớp dẻo đối với mỗi thay đổi của kết cấu cũng như tải trọng động đất đầu vào, đồng thời đánh giá tính năng kết cấu công trình dựa trên các tiêu chí chuyển vị tổng thể, góc xoay cầu kiện và đặc trưng phân tán năng lượng cho thấy, công trình mới bắt đầu làm việc trong giai đoạn sau đàn hồi. Kết cấu khảo sát thỏa mãn các tiêu chí đánh giá. Bằng các phân tích phi tuyến tĩnh và động cho thấy, kết cấu của công trình này vẫn có thể được tối ưu thêm, nếu cần thực hiện một thiết kế thực.

4 CHƯƠNG 4 – THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH NÚT CỘT-DÀM CỨNG

4.1 Nhiệm vụ, mục đích và đối tượng khảo sát thí nghiệm

Mục đích của thí nghiệm là nghiên cứu sự làm việc của liên kết cột-dầm cứng chịu tải trọng động đất, nhằm làm rõ các vấn đề sau:

- Ứng xử (cường độ, độ cứng và độ dẻo) của liên kết: khi chịu tải trọng động đất, kết cấu công trình cần có khả năng hấp thụ năng lượng, kết cấu làm việc ngoài miền đàn hồi mà không bị suy giảm cường độ và độ cứng tới mức làm mất ổn định và tính toàn vẹn của kết cấu khi chịu các biến dạng dẻo nói trên.
- Xem xét dạng phá hoại của của nút liên kết cột – dầm cứng.
- Xem xét, kiểm chứng mô hình đàn dẻo của kết cấu cột liên kết với dầm cứng trong phân tích phi tuyến.

Đối tượng thí nghiệm là 02 mẫu nút liên kết giữa cột biên và dầm cứng, có tỉ lệ thu nhỏ $S_L = 5.0$. Xem xét điều kiện năng lực Phòng thí nghiệm động đất IBST, phương pháp thí nghiệm được chọn là **tựa tĩnh**, gia tải lặp đảo chiều theo chu kỳ (quasi-static cyclic loading test).

4.2 Phân tích và xây dựng mô hình khảo sát thực nghiệm

Mô hình thí nghiệm được thiết kế căn cứ vào kết cấu khung phẳng bê tông cốt thép cao 55 tầng, có tầng cứng ở tầng 34 như đã nêu ở chương 3. Để xác định phương án thí nghiệm và tỉ lệ mô hình phù hợp, cần xem xét trạng thái làm việc của nút liên kết. Phân tích lý thuyết cho thấy dầm cứng và cột biên **chịu lực đối chiều**. Ứng suất lực dọc trong cột khi chỉ có tải trọng đứng khoảng $0.15f'_c$; khi chịu tải trọng động đất ứng suất lực trong cột khoảng từ 0 đến $0.25f'_c$ đối với cả 2 cột.

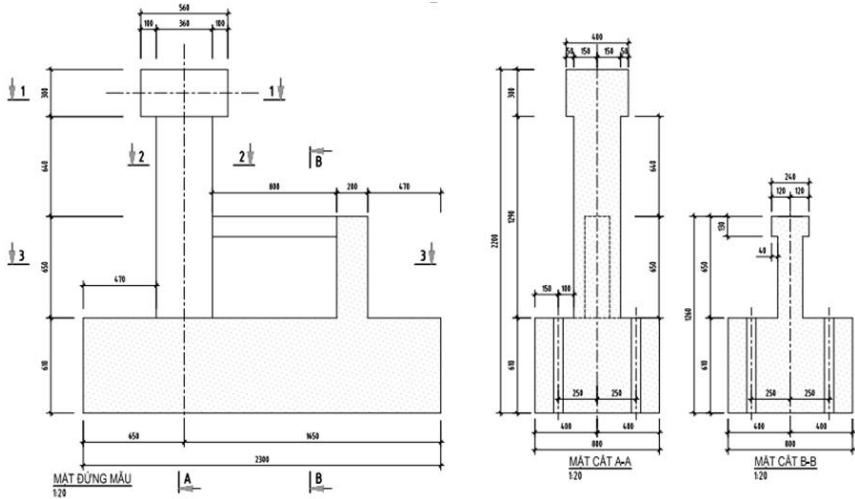
Cường độ của nguyên mẫu cột được xác định sơ bộ thông qua tính toán lý thuyết. Cường độ (chịu uốn) lớn nhất của cột khoảng 22.000kNm, ứng với mức ứng suất lực dọc $0.2f'_c$ (16.200kN). Với những lý do trên đồng thời căn cứ vào năng lực thiết bị của phòng thí nghiệm IBST, tỉ lệ mô hình phù hợp được chọn là $S_L = 5.0$.

4.3 Thiết kế, cấu tạo mẫu thí nghiệm

Mẫu cột được tính toán khả năng chịu cắt và uốn. Khả năng chịu cắt tính theo ACI 318-05, công thức 21.7, đạt 272 kN. Giá trị này tương

ứng với mô men chân cột bằng $272\text{kN}\cdot 0.79\text{m} = 215\text{kNm}$, lớn hơn khả năng chịu mô men của cột (theo ACI 318-05) 160kN ($0.2f'_c$) hay 140kNm ($0.1f'_c$). Điều này cho phép dự đoán rằng cột sẽ có phá hoại do uốn, nhưng ảnh hưởng của lực cắt sẽ là đáng kể. Cường độ của mẫu thí nghiệm được kiểm tra thêm bằng phần mềm Response2000. Cường độ tính toán của mẫu là 180kNm và 204kNm , ứng với **lực đẩy đầu cột** 225kN và 254kN , phụ thuộc vào lực nén đỉnh cột $0.1f'_c$ và $0.2f'_c$.

Cấp phối bê tông được thiết kế tại Viện KHCN Xây dựng (IBST). Cốt liệu thô là loại đá nhỏ đường kính 5mm. Cường độ nén mẫu trụ f'_c từ 28.5-31.9Mpa. Cốt thép có giới hạn chảy 510Mpa ($\phi 14$) và 415Mpa ($\phi 8$). Kích thước mẫu thí nghiệm như hình 4-10.

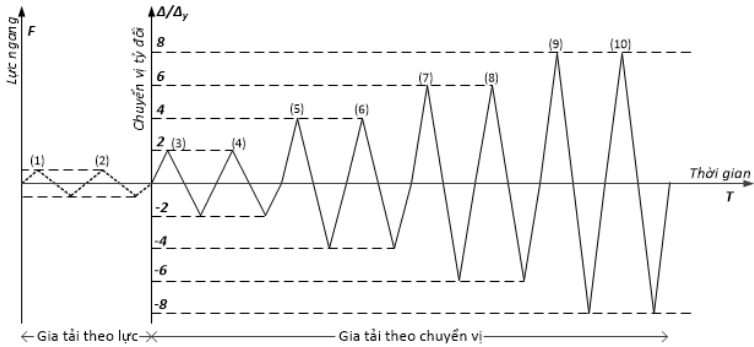


Hình 4-10: Mẫu thí nghiệm

4.4 Quy trình gia tải

Hai mẫu thí nghiệm C1 và C2 được gia tải như sau:

- Gia tải đứng: Duy trì lực nén trong mẫu cột C1 300kN ($0.1f'_c$) và 600kN ($0.2f'_c$) với mẫu C2.
- Gia tải ngang: Quy trình gia tải ngang mẫu C1 và C2 được tiến hành theo quy trình đề xuất bởi Park (1989), gồm hai bước (1) gia tải theo lực và (2) gia chuyển vị, thể hiện như Hình 4-15.

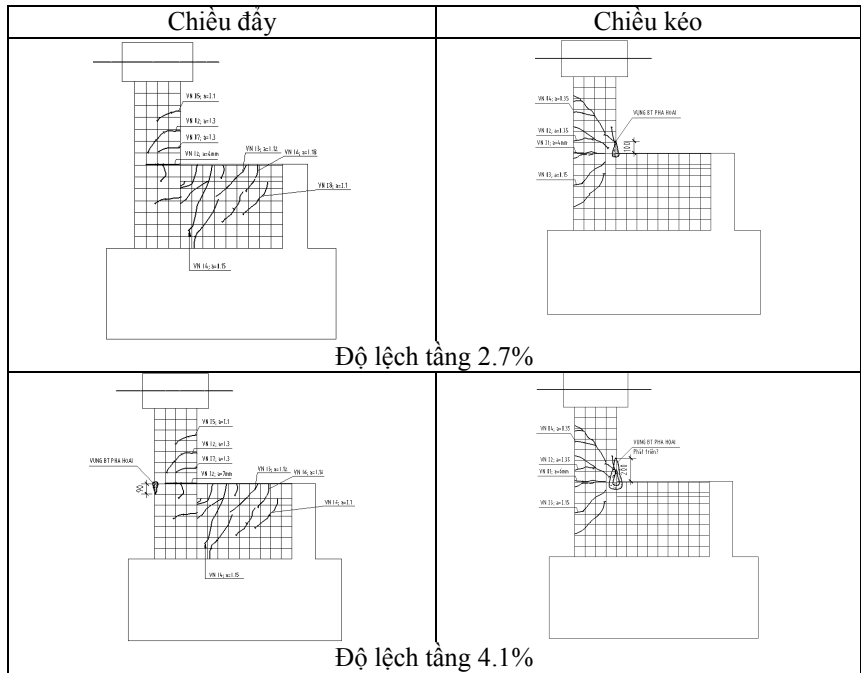


Hình 4-15: Quy trình gia tải kiểm soát bằng lực và chuyển vị

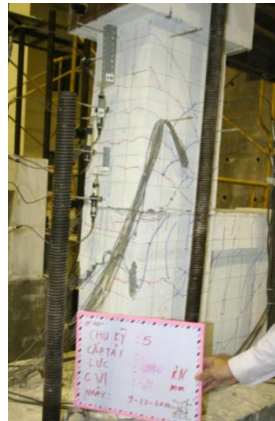
4.5 Kết quả thí nghiệm

1) Ứng xử của liên kết cột-dầm cứng

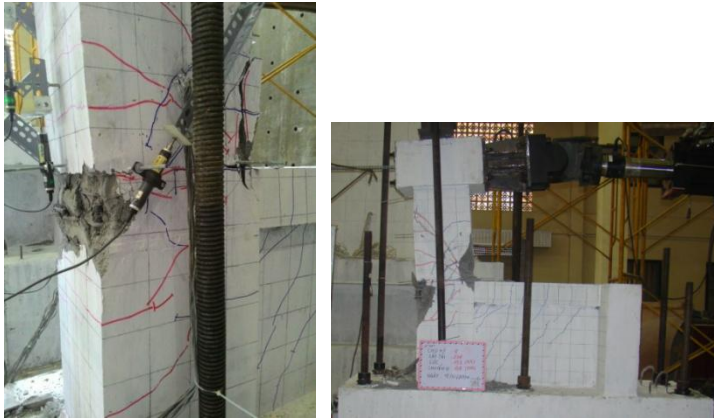
Các vết nứt mở xuất hiện từ sớm, nhưng mẫu thí nghiệm có ứng xử đàn hồi cho tới mức chuyển vị ứng với độ lệch tầng khoảng 0.7%. Độ cứng ban đầu của mẫu C2 lớn hơn mẫu C1, do ảnh hưởng của lực dọc làm tăng cường độ của cột. Các vết nứt xuất hiện nhiều và độ cứng bắt đầu giảm từ mức độ lệch tầng 1%, cho tới 1.5% thì các vết nứt mở rộng và nhiều vết phân bố rộng trên bề mặt nút liên kết. Thép dọc bắt đầu xuất hiện chảy dẻo ở mức độ lệch tầng 1.5%. Các vết nứt kéo sâu xuống phía trong phạm vi phần dầm cứng. Kết cấu làm việc ổn định cho tới chuyển vị ở mức độ lệch tầng 2.0% bắt đầu thấy hiện tượng bê bắt đầu vỡ. Tại mức chuyển vị 2.5-2.7%, bê tông chân cột bị nén vỡ hoàn toàn và bong tách để lộ cốt thép. Tuy nhiên, cho tới thời điểm này đường cong trở vẫn ổn định, mặc dù độ cứng và cường độ có sự suy giảm. Tại mức chuyển vị lớn nhất 4.4% (mẫu C1) và 5.4% (mẫu C2) sự phá hoại bê tông chân cột phát triển lên phía trên cột và sâu bên dưới liên kết dầm cứng, đặc biệt là với mẫu C2. Khi dừng thí nghiệm các vết nứt chéo hình thành rõ rệt, do ảnh hưởng của ứng suất cắt.



Hình 4-16: Dạng sơ đồ nứt – Mẫu C2



Hình 4-17: Hình ảnh thí nghiệm mẫu C1



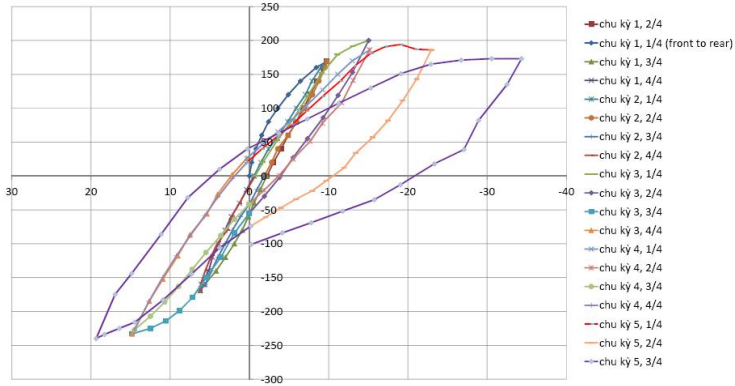
Hình 4-18: Hình ảnh thí nghiệm mẫu C2

2) Ứng xử trễ, sự suy giảm cường độ và độ cứng

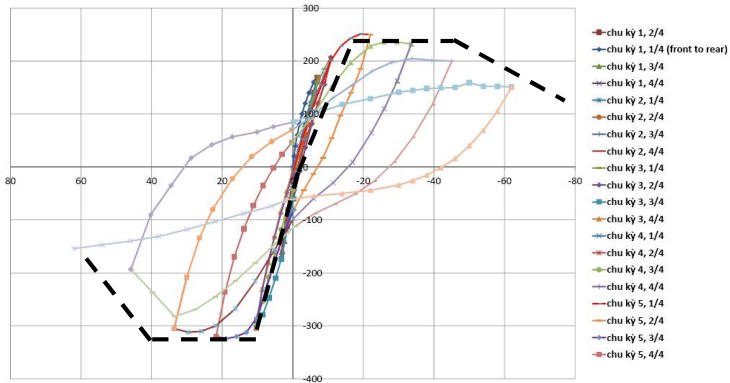
Đường cong trễ của mẫu thí nghiệm thể hiện đặc trưng hấp thụ phân tán năng lượng tốt và ổn định. Ảnh hưởng của lực dọc đối với cường độ của liên kết được thể hiện rõ qua kết quả thí nghiệm. Cường độ lớn nhất của mẫu C2 và C1 đạt 315kN và 247kN, ứng với ứng suất nén duy trì $0.1f^c$ (300kN) và $0.2f^c$ (600kN) trong các mẫu. Hiện tượng này phù hợp với tính toán lý thuyết theo tiêu chuẩn. Bên cạnh đó, từ đường cong thí nghiệm có thể thấy cường độ của liên kết theo chiều đẩy (ra phía ngoài nhà) thấp hơn cường độ ứng với chiều kéo, 200kN so với 247kN của mẫu C1 và 250kN so với 315kN của mẫu C2. Ảnh hưởng ngăn cản của dầm cứng đối với biến dạng của khu vực chân cột đã gây ra hiện tượng trên. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy ảnh hưởng bất lợi của lực nén lớn.

Liên kết ứng xử cơ bản là đàn hồi khi chuyển vị tương đương với độ lệch tầng ở mức $\pm 0.25\%$. Khi độ lệch tầng tăng lên, sự giảm độ cứng được biểu hiện ở các chu kỳ hồi tải. Sự suy giảm mạnh về cường độ và độ cứng xảy ra ở các chu kỳ ứng với độ lệch tầng ở mức $\pm 1.5\%$ trở lên. Với mẫu C1, cường độ giảm 13% giữa giá trị lớn nhất đạt được ứng với độ lệch tầng 1.9% và giá trị cường độ tại mức độ lệch tầng 4.3%. Đối với mẫu C2, mức độ suy giảm cường độ lớn hơn 40%, khi so sánh giá trị cường độ ứng với mức độ lệch tầng 2.6% và 7.7%. Mặc dù vậy, khi cường độ suy giảm quá 20% thì kết cấu đã được xem là phá hoại, trong trường hợp này là ứng với độ lệch tầng 5.7%. Xu hướng suy giảm cường độ

nhanh hơn ở mẫu C2 so với mẫu C1 là do ảnh hưởng của lực dọc. Mẫu C2 chịu nén ở mức 0.2'fc so với 0.1'fc của mẫu C1.



Hình 4-19: Đường cong ứng xử trễ mẫu thí nghiệm C1



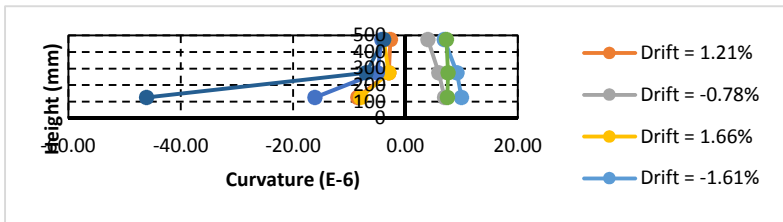
Hình 4-20: Đường cong ứng xử trễ mẫu thí nghiệm C2

3) Độ dẻo

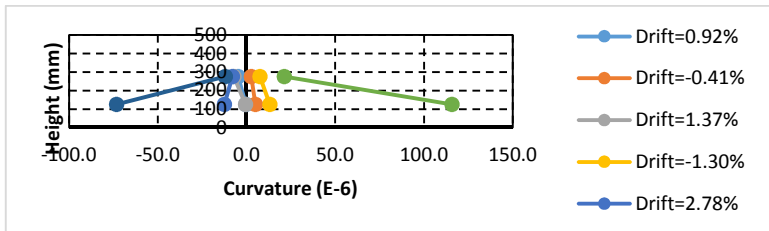
Độ dẻo của cấu kiện được xác định bằng tỉ số giữa chuyển vị lớn nhất tại thời điểm phá hoại và chuyển vị ứng với lúc cốt thép đạt giới hạn chảy. Theo kết quả thí nghiệm, độ dẻo của liên kết cột-dầm cứng khoảng 2.5 tới 2.9. Trong đó chuyển vị lớn nhất và chuyển vị chảy bằng 35mm và 12mm, 42mm và 17mm, ứng với mẫu C1 và C2. Điều này cho thấy ảnh hưởng của lực dọc tới độ dẻo của liên kết. Liên kết sẽ có độ dẻo cao hơn khi ứng suất nén thấp.

4) Đánh giá kết cấu dựa trên tính năng

Biểu đồ biến thiên độ cong của mẫu cột C1 và C2 thể hiện trên Hình 4-21 và Hình 4-22. Có thể nhận thấy sự không đối xứng của phân bố độ cong phía dẩy và kéo của mẫu do tính không đối xứng của liên kết. Nhìn chung ở phía kéo độ cong lớn hơn phía dẩy. Với mẫu C2 có điểm dị biệt tại chiều dẩy độ cong tăng đột biến ứng với mức độ lệch tầng 4.26%, có thể do ảnh hưởng của việc bê tông bị nén vỡ mạnh tại mức chuyển vị này. Chiều cao đoạn hình thành khớp dẻo của cột khoảng 200mm dưới chân cột, bằng 0.25H, trong đó H là chiều cao của cột.

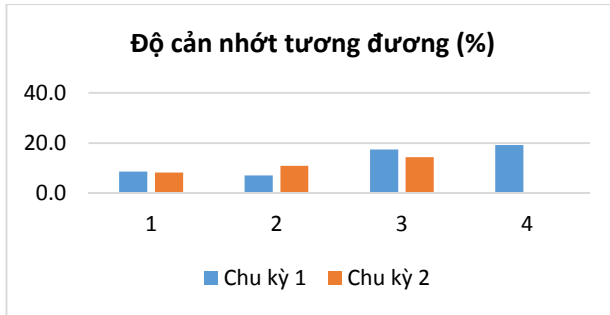


Hình 4-21: Biểu đồ độ cong theo chiều cao mẫu thí nghiệm C1

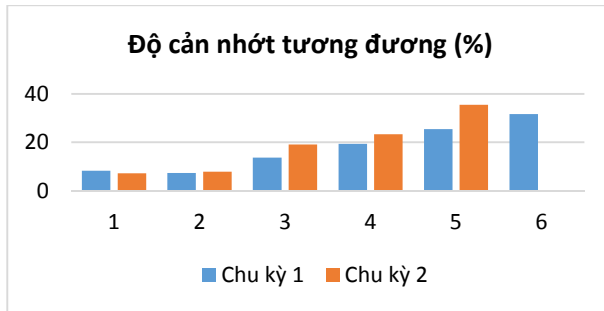


Hình 4-22: Biểu đồ độ cong theo chiều cao mẫu thí nghiệm C2

Đặc tính phân tán năng lượng của mẫu liên kết có thể được đánh giá thông qua độ cản nhót tương đương của mỗi chu kỳ gia tải. Các chu kỳ sau có mức tiêu tán năng lượng cao hơn. So sánh độ cản nhót của chu kỳ đầu của 4 vòng gia tải đầu tiên cho thấy, ảnh hưởng của lực dọc tới khả năng tiêu tán năng lượng của liên kết là không đáng kể.



Hình 4-23: Độ cản nhót tương đương mẫu thí nghiệm C1



Hình 4-24: Độ cản nhót tương đương mẫu thí nghiệm C2

5) *Đánh giá mục tiêu tính năng dựa vào kết quả thí nghiệm*

Độ lệch tăng trung bình và lớn nhất cho phép ứng với mục tiêu tính năng ở mức ngăn ngừa sụp đổ là 3.0% và 4.5%. Kết quả thí nghiệm thấy rằng cho tới mức chuyển vị tương đương 4.5% độ lệch tăng, liên kết làm việc tốt. Cường độ suy giảm nằm trong phạm vi cho phép, 15% đối với mẫu C1 và 20% với mẫu C2. Kết cấu được coi là phá hoại khi suy giảm cường độ lớn hơn 20%.

Phân tích động phi tuyến đối với kết cấu khảo sát cho kết quả góc xoay chân cột tại nút liên kết cột-dầm cứng khá nhỏ, mới chỉ đạt 0,002 rad. Ở giá trị góc xoay này, liên kết vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Theo kết quả thí nghiệm, cốt thép chảy dẻo khi giá trị góc xoay đạt từ 0.0025 rad. Liên kết duy trì cường độ cho tới giá trị góc xoay khoảng 0.025 rad, đáp ứng tiêu đánh giá chí mục tiêu tính năng đối với kết cấu cột trình bày trong chương 2, bảng 2.4, giá trị góc xoay cho phép lớn nhất của cột 0.02 rad.

Như vậy thông qua kiểm chứng bằng thí nghiệm cho thấy rằng, với nút liên kết cột-dầm cứng thiết kế phù hợp theo tiêu chuẩn, có thể đảm bảo được các mục tiêu tính năng ứng với mức động đất rất mạnh (chu kỳ 2500 năm) hoặc lớn hơn.

4.6 Nhận xét

Phân tích kết quả thí nghiệm có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Thiết kế liên kết cột-dầm cứng tuân thủ tiêu chuẩn cho thấy sự đáp ứng tốt của liên kết về mặt hấp thụ, tiêu tán năng lượng. Bê tông chỉ bắt đầu bị vỡ tách ứng với khi độ lệch tầng 2.0%.
- Dạng phá hoại của liên kết là do uốn kết hợp cắt. Khi liên kết phá hoại, bê tông phần dầm cứng (phía ngoài nhà) và của cột (phía trong nhà) bị nén vỡ. Cần lưu ý thiết kế cốt đai đảm bảo ổn định của thép dọc tránh suy giảm sớm cường độ của liên kết, đặc biệt là cốt đai đầu cột ở vùng đi vào dầm cứng.
- Mẫu thí nghiệm có tỉ số nhịp chịu cắt bằng 2.2, ảnh hưởng của cắt là đáng kể và dạng phá hoại có sự tham gia rõ rệt của các vết nứt chéo. Việc thiết kế cột chịu cắt tại vị trí tầng cứng là rất quan trọng và càng phải lưu ý khi tỉ số nhịp chịu cắt thấp hơn.
- Trong thí nghiệm này, độ dẻo của cột (liên kết) khoảng 2.5.
- Kiến nghị điều chỉnh hệ số ứng xử phù hợp khi thiết kế cột và dầm cứng và thiết kế sao cho kết cấu khu vực này dư khả năng chịu cắt và đáp ứng độ dẻo kỳ vọng.
- Không nên thiết kế cột tầng cứng có tỉ số lực dọc lớn nhằm tránh suy giảm sớm cường độ khi chịu động đất mạnh.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. Các kết quả chính đạt được

- 1) Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng là xu hướng phát triển của thiết kế kháng chấn. So với phương pháp thiết kế dựa theo lực truyền thống, phương pháp này có nhiều ưu điểm đối với công trình có kết cấu phức tạp, cho phép đánh giá một cách định lượng sự làm việc của kết cấu ở nhiều mức động đất khác nhau, thậm chí suốt quá trình xảy ra động đất. Việc chủ động thiết kế kết cấu một cách hợp lý, tránh hình thành dạng phá hoại hoặc mất ổn định nguy hiểm có thể được thực hiện thông qua sự kiểm soát cơ chế hình thành khớp dẻo một cách hợp lý bằng các phân tích phi tuyến. Phân tích phi tuyến cũng cho phép đánh giá kiểm chứng sự hợp lý của hệ số ứng xử sử dụng trong phân tích sơ bộ ban đầu theo tiêu chuẩn.
- 2) Luận án đã xây dựng các bước thiết kế kháng chấn cho nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép theo phương pháp thiết kế dựa theo tính năng, giúp cho việc áp dụng phương pháp này được thuận tiện hơn trong thực hành thiết kế tại Việt Nam.
- 3) Bằng nghiên cứu tổng quan về lý thuyết và tính toán cụ thể cho thấy, phổ phản ứng gia tốc, phổ phản ứng chuyển vị theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 với việc sử dụng chu kỳ góc tại 2s, chưa thực sự phù hợp khi sử dụng để lựa chọn giản đồ gia tốc trong phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian hoặc sử dụng để xác định chuyển vị mục tiêu theo phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến đối với công trình cao tầng. Kiến nghị có thể sử dụng phổ phản ứng gia tốc hoặc chuyển vị theo tiêu chuẩn ASCE 7 để thay thế.
- 4) Khi tạo giản đồ gia tốc nhân tạo trong phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian, cần xem xét hiệu ứng khuếch đại từ đá sang đất nền theo điều kiện địa chất khu vực xây dựng.
- 5) Xây dựng được chương trình xác định chuyển vị mục tiêu và tính toán hệ số ứng xử của công trình từ đường cong khả năng có được từ kết quả phân tích tĩnh phi tuyến.
- 6) Cần điều chỉnh độ cứng dầm cứng phù hợp sao cho vừa đảm bảo yêu cầu không chế chuyển vị tổng thể, đồng thời hạn chế sự biến thiên

đột ngột của nội lực khu vực dầm cứng ở mức độ hợp lý, nhằm tối ưu thiết kế cấu kiện ở khu vực này.

- 7) Tiến hành nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của nút liên kết cột – dầm cứng thông qua 02 mẫu thí nghiệm. Từ kết quả thí nghiệm, một số nhận xét đã được đưa ra đối với thực hành thiết kế dạng kết cấu này như sau:
 - a. có thể sử dụng mô hình đàn dẻo hai đoạn thẳng để mô hình hóa nút liên kết cột biên- dầm cứng trong phân tích phi tuyến;
 - b. thiết kế nút liên kết cột - dầm cứng sao cho dư khả năng chịu cắt và đáp ứng độ dẻo kỳ vọng. Việc này có thể được thực hiện tốt bằng phân tích phi tuyến nhằm khống chế cường độ mẫu ở mức hợp lý, duy trì lực cắt tại và đảm bảo độ dẻo (đồng thời với việc thỏa mãn yêu cầu biến dạng tổng thể) theo mong muốn.
 - c. không nên thiết kế cột tại khu vực lân cận tầng cứng có tỉ số lực dọc lớn nhằm tránh suy giảm sớm cường độ khi chịu động đất mạnh.
 - d. khi thiết kế chi tiết nút liên kết này cần lưu ý khoảng cách cốt đai để đảm bảo ổn định thép dọc, tránh suy giảm cường độ của liên kết. Đặc biệt là cốt đai đầu cột ở vùng đi vào dầm cứng.

II. Đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo

- 1) Việc nghiên cứu ứng xử của công trình có tầng cứng chịu tải trọng động đất bằng phương pháp phi tuyến sử dụng mô hình không gian sẽ mang lại nhiều kết quả và đánh giá được tổng thể sự làm việc của công trình chịu động đất theo nhiều tiêu chí giúp cho việc đánh giá ảnh hưởng của động đất đầy đủ hơn.
- 2) Cần có những nghiên cứu sâu hơn về các dạng tầng cứng cũng như loại vật liệu như kết cấu thép, kết cấu composite...
- 3) Các thí nghiệm của kết cấu xung quanh tầng cứng với tỉ lệ mô hình lớn nên được thực hiện nhằm kiểm chứng sự làm việc của các cấu kiện kết cấu này bằng lý thuyết.
- 4) Thí nghiệm tổng thể nhà cao tầng có tầng cứng trên bàn rung là một trong những sự lựa chọn tốt cho việc kiểm chứng và đánh giá sự làm việc của dạng kết cấu này.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyễn Hồng Hải. Phân tích khung bê tông cốt thép bằng phương pháp đẩy cưỡng bức. Báo cáo tại Hội nghị khoa học lần thứ 8, tháng 7 năm 2003 tại Hà Nội
2. Nguyễn Hồng Hải, Nguyễn Tiên Chương, Nguyễn Văn Hùng. Kiểm tra biến dạng kết cấu nhịp lớn. Một báo cáo tại Hội nghị sự cố và hư hỏng công trình lần thứ 3 tại Hà Nội, Việt Nam, 2003.
3. Nguyễn Hồng Hải, Nguyễn Tiên Chương, Dương Đình Hân. Những sai sót thường gặp trong tính toán và thiết kế kết cấu. Báo cáo tại Hội nghị sự cố và hư hỏng công trình lần thứ 3 tại Hà Nội, Việt Nam, 2005.
4. Nguyễn Hồng Hải, Nguyễn Xuân Chính. Tầng cứng trong nhà cao tầng. Tạp chí Viện KHCN XD 6-2012.
5. Nguyễn Hồng Hải, Nguyễn Xuân Chính. Tối ưu hóa vị trí tầng cứng. Một báo cáo tại Hội nghị Cơ học vật rắn biến dạng 1-2013.
6. Nguyễn Hồng Hải, Nguyễn Xuân Chính, Vũ Xuân Thương. Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa theo tính năng cho nhà cao tầng. Tạp chí Viện KHCN XD 3+4-2013.
7. Nguyễn Hồng Hải, Nguyễn Hồng Hải, Vũ Xuân Thương. Lựa chọn phổ phản ứng chuyển vị trong phân tích ứng xử của nhà cao tầng chịu động đất ở Việt Nam bằng phương pháp tính phi tuyến. Tạp chí Viện KHCN XD 12-2014.
8. Nguyễn Mạnh Cường, Đỗ Hoàng Lâm, Nguyễn Hồng Hải, Đặng Sỹ Lâm. Tính toán tải trọng gió lên hệ mặt dựng kính theo Tiêu chuẩn Việt Nam, Hoa Kỳ và Châu Âu. Tạp chí Viện KHCN XD 12-2014.
9. Nguyễn Hồng Hải, Đỗ Tiến Thịnh, Nguyễn Hồng Hải, Vũ Xuân Thương. Nghiên cứu ứng xử của nút liên kết cột – dầm cứng chịu tải trọng động đất thông qua thí nghiệm mô hình. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật số 159(2-2015) – Học Viện KTQS (dự kiến đăng).