

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Giang Văn Khiêm

NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ PHI TUYẾN CỦA VÁCH BÊ
TÔNG CỐT THÉP NHÀ CAO TẦNG CHỊU TẢI TRỌNG
LẬP ĐẢO CHIỀU

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng

Mã số: 9580201

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2023

Công trình được hoàn thành tại:
VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Người hướng dẫn khoa học:

- 1) PGS.TS Nghiêm Mạnh Hiến
- 2) GS.TS Nguyễn Tiến Chương

Phản biện 1:

PGS.TS Nguyễn Xuân Huy – ĐH Giao thông Vận tải

Phản biện 2:

PGS.TS Nguyễn Ngọc Phương – ĐH Kiến trúc Hà Nội

Phản biện 3:

PGS.TS Nguyễn Tuấn Trung - ĐH Xây dựng Hà Nội

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện,
họp tại: Phòng họp tầng 2, Viện khoa học công nghệ xây dựng
vào hồi giờ ngày tháng năm 2023

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Viện Khoa học công nghệ xây dựng
- Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài nghiên cứu

Hiện nay vách bê tông cốt thép đang sử dụng rộng rãi trong kết cấu chịu lực của các công trình từ 20-40 tầng tại Việt Nam, mặc dù đã có một số nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về vấn đề này, nhưng các kết quả vẫn còn hạn chế và chưa đầy đủ.

Trước đây, quan điểm về thiết kế kết cấu bê tông cốt thép thường tập trung vào việc đảm bảo độ bền và độ cứng của kết cấu. Tuy nhiên hiện nay phương pháp thiết kế kết cấu dựa theo chuyển vị đã được áp dụng rộng rãi tại các nước trên thế giới. Việc nghiên cứu ứng xử phi tuyến của vách bê tông cốt thép sẽ làm sáng tỏ các giai đoạn làm việc của vách từ giai đoạn đàn hồi đến khi bị sụp đổ.

Các phần mềm phân tích kết cấu phổ biến hiện nay như Etabs, Sap2000, Robot, và Midas vv... chưa có mô hình phi tuyến đối với vật liệu hỗn hợp là bê tông cốt thép cho kết cấu vách cứng. Do vậy, đề tài này có tính cấp thiết và thực tiễn trong việc phân tích ứng xử phi tuyến của kết cấu vách bê tông cốt thép nhà cao tầng chịu tải trọng lặp đảo chiều.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Xây dựng phần tử hữu hạn tám phẳng để mô hình hóa ứng xử phi tuyến của vách bê tông cốt thép.

Nghiên cứu thực nghiệm vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều để làm rõ ứng xử phi tuyến của vách bê tông cốt thép.

Xây dựng chương trình phân tích ứng xử phi tuyến vách bê tông cốt thép.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Vách phẳng bê tông cốt thép trong nhà cao tầng được thiết kế, cấu tạo phù hợp với tiêu chuẩn Việt Nam.

Phạm vi nghiên cứu: Ứng xử phi tuyến của vách bê tông cốt thép chịu đồng thời tải trọng đứng không đổi và tải trọng ngang lặp đảo chiều.

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết: Phương pháp phần tử hữu hạn: xây dựng các ma trận độ cứng, ma trận khối lượng, ma trận đàn dẻo và véc tơ tải nút; phương pháp phân tích kết cấu và giải các bài toán phân tích phi tuyến tĩnh và động;

Nghiên cứu thực nghiệm: thí nghiệm cấu kiện vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều.

5. Nội dung nghiên cứu của luận án

Nội dung nghiên cứu của luận án được trình bày trong 4 chương, trình bày các vấn đề liên quan tới vách bê tông cốt thép và ứng xử phi tuyến của vách BTCT chịu tải trọng lặp đảo chiều.

Phân tích phần tử hữu hạn và nghiên cứu thực nghiệm vách BTCT, từ đó làm rõ được ứng xử phi tuyến của vách BTCT chịu tải trọng lặp đảo chiều.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu

- Xây dựng phần tử hỗn hợp bê tông cốt thép trong đó kể đến tính phi tuyến của vật liệu.

- Cung cấp bộ số liệu về kết quả nghiên cứu thực nghiệm vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều.

- Xây dựng chương trình phân tích ứng xử phi tuyến của vách bê tông cốt thép.

7. Cấu trúc luận án

Ngoài Mở đầu, tài liệu tham khảo, các công trình khoa học đã công bố, luận án được bố cục trong 4 chương: Chương 1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu; Chương 2. Xây dựng phần tử hỗn hợp bê tông cốt thép theo phương pháp phần tử hữu hạn; Chương 3. Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều; Chương 4. Xây dựng chương trình phân tích ứng xử phi tuyến vách bê tông cốt thép CSW; Phụ lục.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trong Chương 1 về nghiên cứu tổng quan sẽ đề cập đến bốn vấn đề chính, đó là: giới thiệu chung về phần tử vách bê tông cốt thép (BTCT), các mô hình phân tích vách BTCT, mô hình vật liệu trong phân tích phi tuyến kết cấu. Ngoài ra, trong phần nghiên cứu tổng quan, luận án cũng đã giới thiệu về tình hình nghiên cứu thực nghiệm vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều trên thế giới, để từ đó rút ra được những vấn đề còn tồn tại trong các nghiên cứu, qua đó đề xuất được vấn đề nghiên cứu và hướng tiếp cận bằng thực nghiệm và phân tích phi tuyến thực hiện trong luận án.

1.1. Giới thiệu chung về vách BTCT

Trong phần này trình bày khái niệm về vách bê tông cốt thép, phân loại vách BTCT theo các tiêu chí khác nhau: phân loại vách theo chiều cao, theo công năng sử dụng và theo phương pháp thi công. Ngoài ra, trong phần này trình bày cách thiết kế vách BTCT theo một số tiêu chuẩn như: thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam, thiết kế theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ.

1.2. Các mô hình phân tích vách bê tông cốt thép

Trong phần này tác giả giới thiệu một số mô hình phân tích vách BTCT như: Mô hình dầm tương đương, mô hình dạng giàn, mô hình tổ hợp, mô hình thớ, mô hình vi mô. Từ việc phân tích này để thấy được sự khác nhau và ưu nhược điểm của mỗi mô hình trong phân tích vách BTCT.

1.3. Mô hình vật liệu trong phân tích phi tuyến kết cấu

Trong phần này luận án giới thiệu các mô hình cơ bản cho vật liệu bê tông và cốt thép để phân tích ứng xử phi tuyến kết cấu trong các tài liệu và các nghiên cứu trên thế giới.

1.4. Nghiên cứu thực nghiệm vách BTCT chịu tải trọng lặp

Vấn đề nghiên cứu vách BTCT chịu tải trọng lặp được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm thực hiện. Luận án giới thiệu đến một số nghiên cứu điển hình như:

- Thí nghiệm của Lefas và cộng sự [33]
- Thí nghiệm của Thosen và Wallace [34]
- Thí nghiệm của Deng và cộng sự [13]
- Thí nghiệm của Yiquiu Lu và cộng sự [94a]
- Thí nghiệm của Bing Li và cộng sự [5a].

Từ các nghiên cứu thực nghiệm điển hình trên thế giới theo các giai đoạn thời gian khác nhau, luận án rút ra được các ưu nhược điểm trong các nghiên cứu, tham khảo được các kinh nghiệm trong việc lựa chọn mô hình và cách chế tạo mô hình trong nghiên cứu thực nghiệm của luận án.

1.5. Nhận xét Chương 1

Vách bê tông cốt thép đã được nhiều tác giả trên thế giới nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm trong nhiều thập kỷ qua. Có rất nhiều mô hình tính toán được đề xuất như mô hình dầm tương đương, giàn, tổ hợp, thớ và mô hình phần tử hữu hạn. Các mô hình trước đây đều xem xét riêng lẻ bê tông và cốt thép cho nên chỉ phù hợp với mục đích nghiên cứu, việc áp dụng vào phân tích thiết kế còn khó khăn.

Các biểu thức của mô hình vật liệu bê tông còn chưa đáp ứng được hoàn toàn để mô tả ứng xử phi tuyến của vật liệu bê tông khi chịu tải trọng lặp, đặc biệt là đối với quan hệ ứng suất biến dạng khi chuyển trạng thái từ nén sang kéo hoặc kéo sang nén.

Trong các mô hình tính toán thì mô hình phân tích phi tuyến theo phương pháp phần tử hữu hạn cho phép mô phỏng cấu kiện vách bê tông cốt thép sát với sự làm việc thực tế nhất.

Các nghiên cứu về thực nghiệm được nhiều tác giả trên thế giới thực hiện với việc sử dụng nhiều loại mô hình thí nghiệm khác nhau, trong các nghiên cứu thực nghiệm về vách BTCT thì các tác giả thường thu nhỏ kích thước so với kích thước thực tế hoặc theo kích thước thực tế nhưng giảm hàm lượng cốt thép cho nên mẫu thí nghiệm chưa phản ánh đúng ứng xử của vách trong thực tế. Do đó, trong khuôn khổ luận án, tác giả đề xuất nghiên cứu vách BTCT bằng thực nghiệm với tỉ lệ kích thước 1:1 trên 2 mẫu thí nghiệm để khảo sát ứng xử của vách bê tông cốt thép chịu tải trọng thay đổi theo thời gian.

CHƯƠNG 2. XÂY DỰNG PHẦN TỬ HỖN HỢP BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

2.1. Ứng suất và biến dạng

Trong phần này luận án giới thiệu về thành phần ứng suất và thành phần biến dạng, quan hệ giữa ứng suất và biến dạng cũng như ứng xử đàn hồi dẻo của vật liệu và thuật toán xác định ứng suất trên mặt chảy dẻo.

2.2. Mô hình vật liệu bê tông

Phần này trình bày thí nghiệm nén và kéo động mẫu bê tông để nghiên cứu ứng xử của vật liệu bê tông dưới tác dụng của tải trọng động, giới thiệu kết quả thí nghiệm vật liệu trong nhiều nghiên cứu của các tác giả khác nhau.

Ngoài ra, luận án cũng trình bày cách xây dựng mô hình phi tuyến vật liệu bê tông của nhiều nghiên cứu trên thế giới, các mặt chảy dẻo mô hình phi tuyến vật liệu bê tông.

2.3. Mô hình vật liệu của cốt thép

Mô hình vật liệu cốt thép được thể hiện bằng đường cong ứng suất-biến dạng của cốt thép dưới tác dụng của tải trọng động, thể hiện các công thức xác định ứng suất biến dạng của cốt thép, giới thiệu mô hình do Jeng (2002) [5] đề xuất.

2.4. Phương pháp phần tử hữu hạn

Nội dung của phần này trình bày về phương trình của phương pháp phần tử hữu hạn, cách thiết lập phương trình, về một số đặc trưng của các phần tử áp dụng trong luận án như phần tử tam tứ giác đẳng tham số, phần tử cốt thép, phần tử hỗn hợp BTCT.

2.5. Giải hệ phương trình cân bằng

Việc giải hệ phương trình cân bằng được thực hiện theo trình tự:

- + Tam giác hóa ma trận độ cứng;
- + Giải phương trình tìm véc tơ
- + Giải phương trình tìm chuyển vị nút.

2.6. Phương pháp giải lặp phi tuyến

Phân tích kết cấu theo mô hình phi tuyến vật liệu hay phi tuyến hình học, ma trận độ cứng hoặc véc tơ tải trọng phụ thuộc vào chuyển vị. Các phương pháp phổ biến áp dụng là Newton-Raphson và Newton – Raphson cải tiến.

2.7. Phương pháp giải bài toán động lực học

Để giải bài toán động lực học kết cấu chịu tải trọng động đất gọi là phương pháp Newmark. Ưu điểm của phương pháp Newmark là sự lựa chọn tham số để thỏa mãn yêu cầu hội tụ. Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, tác giả sử dụng phương pháp gia tốc trung bình do thỏa mãn hội tụ không điều kiện.

2.8. Nhận xét Chương 2

Chương 2 trình bày cơ sở lý thuyết của phân tích phi tuyến vách bê tông cốt thép chịu tải trọng động theo phương pháp phần tử hữu hạn. Mô hình vật liệu phi tuyến đối với bê tông được đề xuất thông qua việc xây dựng mặt chảy dẻo. Phần tử hỗn hợp bê

tông cốt thép theo phương pháp phần tử hữu hạn đã được xây dựng. Phần tử hỗn hợp bê tông và thép được phát triển nhằm mục đích đơn giản hóa việc mô hình hóa kết cấu nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ỨNG XỬ CỦA VÁCH BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU TẢI TRỌNG LẶP ĐẢO CHIỀU

3.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm

Khảo sát ứng xử của vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều.

Kiểm chứng kết quả mô phỏng số phân tích phi tuyến vách bê tông cốt thép chịu tải trọng thay đổi theo thời gian bằng mô hình phần tử hỗn hợp bê tông cốt thép.

3.2. Mẫu thí nghiệm và vật liệu chế tạo

Mẫu thí nghiệm

Để thực hiện được các nội dung trên nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm được tiến hành trên 02 mẫu vách với tỉ lệ 1-1 được thiết kế, cấu tạo theo tiêu chuẩn TCVN 5574-2018 [101] và TCVN 9386-2012 [102]. Các mẫu có cùng kích thước hình học 150x800x3250 mm và đặc trưng vật liệu.

Bảng 3.1 Thông số kỹ thuật của các mẫu sử dụng nghiên cứu thực nghiệm

STT	Cốt thép dọc		Cốt ngang	Cốt đai vùng biên	Bê tông
	Vùng biên	Giữa vách			
Mẫu 1	Ø14	Ø12	Ø10	Ø6	B20
Mẫu 2	Ø16	Ø12	Ø10	Ø6	B20

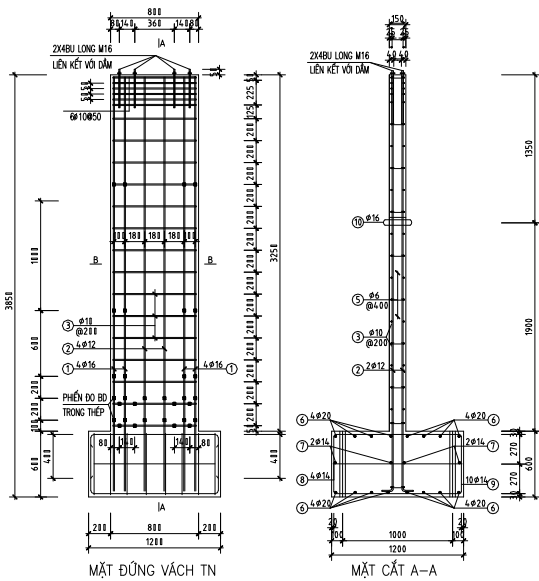
3.2.2. Vật liệu chế tạo mẫu thí nghiệm

a) Bê tông chế tạo mẫu

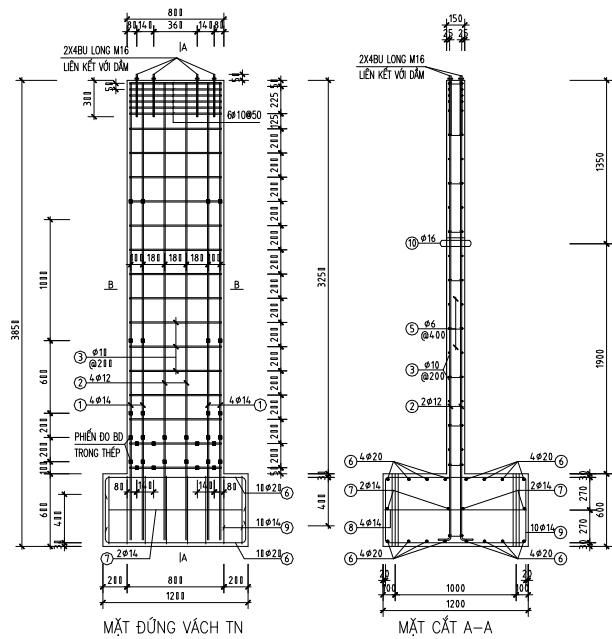
Cả 2 mẫu vách thí nghiệm đều được chế tạo từ cùng loại bê tông có cấp độ bền B20.

Bảng 3.2. Cấp phối vật liệu chế tạo bê tông B20 (Kg/m³)

Xi măng PCB30 (Kg)	Cát vàng (Kg)	Đá 1x2 (Kg)	Nước (Kg)	Tỷ lệ nước/xi măng
390	720	1160	190	0,487



Hình 3.1. Cấu tạo mẫu vách V1



Hình 3.2. Cấu tạo mẫu vách V2

Bảng 3.3. Cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của bê tông

Mẫu	1	2	3
R_i (MPa)	33.2	30	29.3
R_i^{tb} (MPa)	30,83		
E (Mpa)	31675	28222	31587
E_i^{tb} (MPa)	30494.67		

b) Cốt thép trong vách

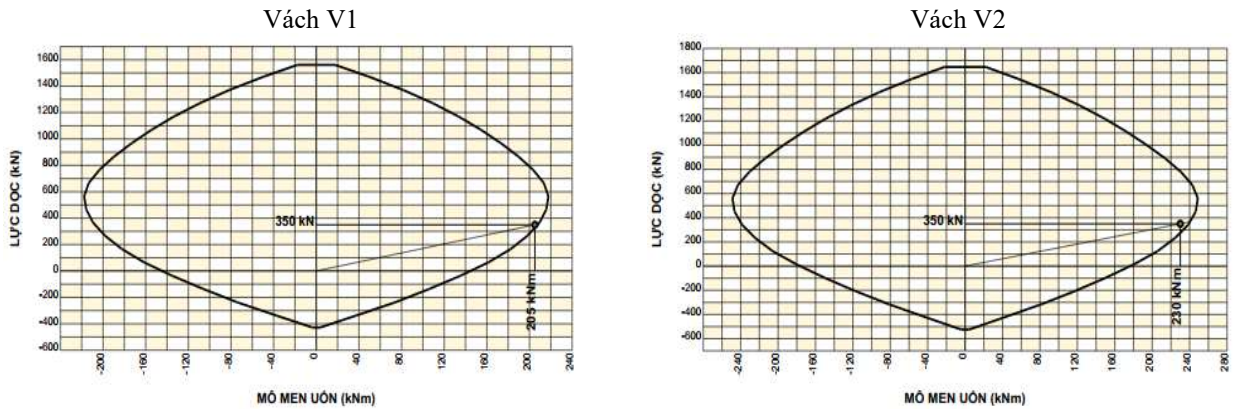
Cốt thép dọc, cốt thép ngang trong vách và cốt thép trong đế móng sử dụng thép CB300 - V của Hòa Phát, cốt thép đai trong vùng biên của vách dùng thép CB240 - T của Hòa Phát.

Bảng 3.4. Các đặc trưng cơ lý của cốt thép

Đường kính cốt thép	Ø16	Ø14	Ø10	Ø6
f_y (Mpa)	355	345	350	235
f_u (Mpa)	500	518	520	405
E_s (Mpa)	200000	200000	200000	200000

3.2.3 Tính toán khả năng chịu lực của mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm sẽ chịu tác dụng của tải trọng gây nén-uốn đồng thời trong khi làm việc, xác định được khả năng chịu lực của mẫu như thể hiện trên Hình 3.6.



Hình 3.3. Khả năng chịu lực của vách

3.2.4. Chế tạo mẫu thí nghiệm

Các mẫu thí nghiệm được đúc nằm ngang tại Phòng thí nghiệm và Kiểm định công trình, trường Đại học Xây dựng Hà Nội.



Hình 3.4 Chi tiết chế tạo mẫu

3.3. Sơ đồ tác dụng tải trọng và quy trình gia tải trong thí nghiệm

3.3.1. Sơ đồ tác dụng tải trọng

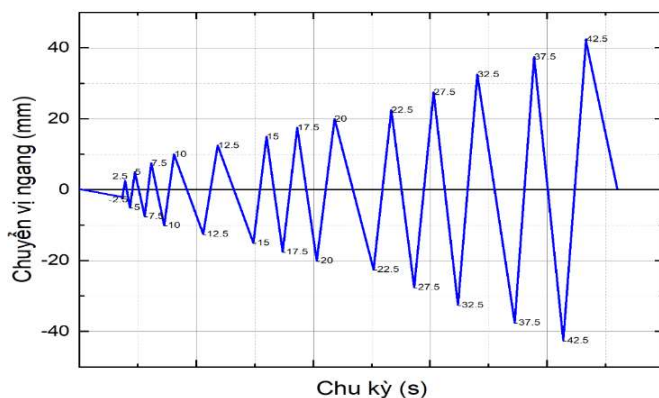
Hệ thống gia tải lên mẫu thí nghiệm gồm kích thủy lực tĩnh loại 1000KN tạo ra lực nén dọc trục và kích thủy lực động gia tải ngang 1000KN tạo ra lực cắt, mô men uốn trong vách.

Tải trọng tác dụng lên mẫu thí nghiệm gồm tải trọng dọc trục N và tải trọng ngang P lắp đảo chiều đặt ở đỉnh vách

Giá trị lực ngang P tác dụng ở đỉnh vách tăng dần theo từng cấp, được kiểm soát thông qua chuyển vị ngang ở đỉnh vách, cho đến khi vách bị phá hoại.

3.3.2. Quy trình gia tải thí nghiệm

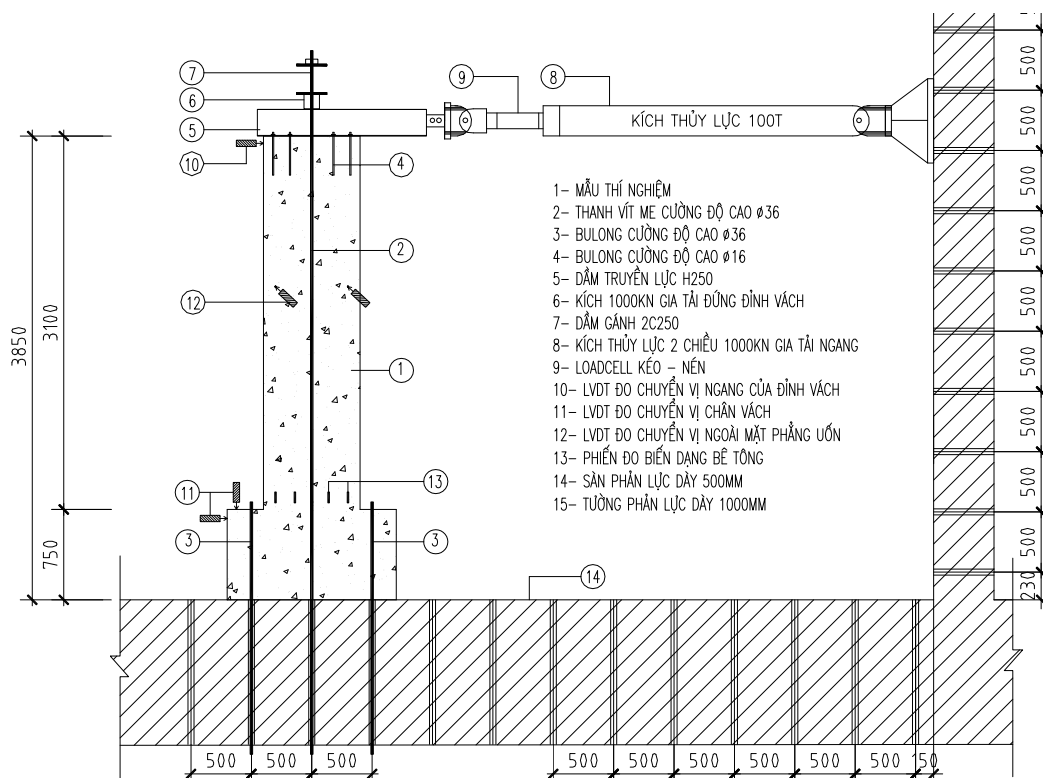
Gia tải thí nghiệm được thực hiện lần lượt theo các bước.



Hình 3.5. Gia tải ngang tác dụng lên vách

3.4. Sơ đồ thí nghiệm và sơ đồ bố trí thiết bị dụng cụ đo

3.4.1. Sơ đồ thí nghiệm



Hình 3.6. Lắp dựng mẫu thí nghiệm tại phòng thí nghiệm

3.4.2. Sơ đồ bố trí thiết bị đo, dụng cụ đo

Các thiết bị đo sau đây đã được sử dụng để thu thập các số liệu thí nghiệm:

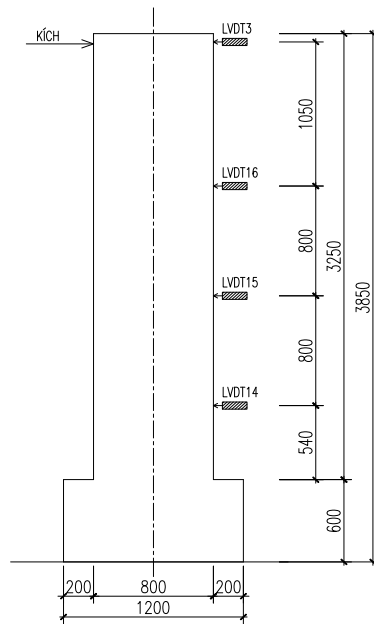
- 1 - Các đầu đo LVDT (Linear Variable Differential Transformers) (Hình 3.7a);
- 2 - Các phiên đo biến dạng có độ giãn dài cao (Hình 3.7b);

- 3 - Thiết bị đo chuyển vị ngang chuyên dùng;
- 4 - Bộ thu thập và xử lý số liệu TDS 530 và máy tính ghi dữ liệu (Hình 3.7c);
- 5 - Các thiết bị kiểm soát kích thủy lực.

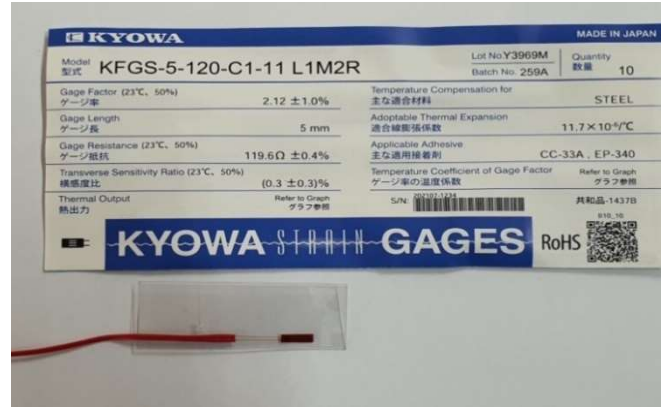
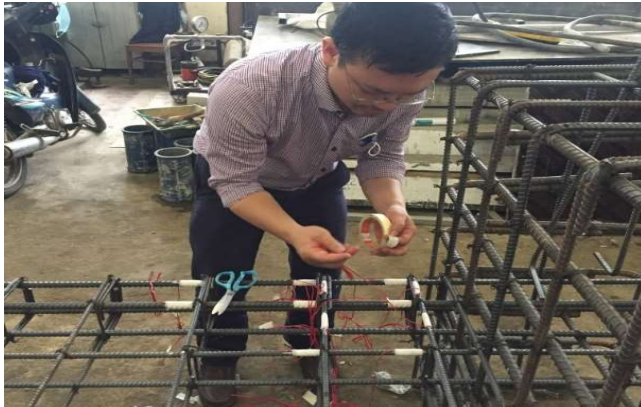


Hình 3.7. Các dụng cụ đo và bộ thu số liệu

a. Thiết bị đo chuyển vị LVDT; b. Máy đọc tín hiệu TDS 530: 30 kênh; c. Phiến đo biến dạng.



Hình 3.8. Sơ đồ bố trí các LVDT đo chuyển vị ngang của vách

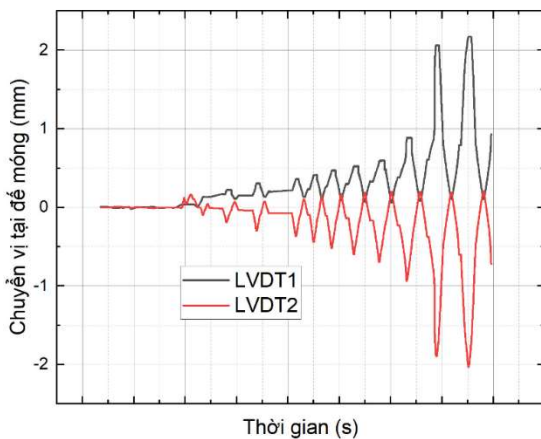


Hình 3.9. Vị trí các phiến điện trở đo biến dạng của cốt thép.

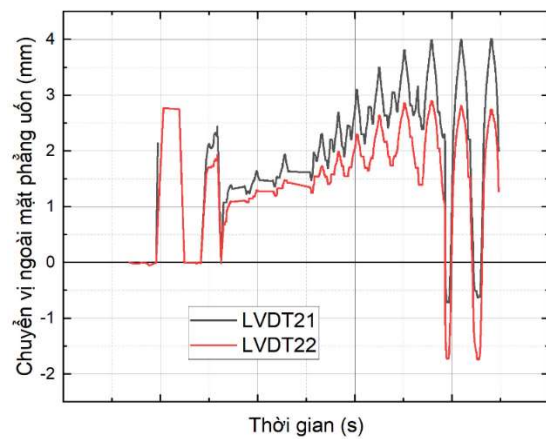
3.5. Phân tích và đánh giá ứng xử của các mẫu thí nghiệm

3.5.1. Kiểm soát thí nghiệm

- Các số liệu, đồ thị thể hiện trong suốt quá trình thí nghiệm móng của vách chuyển vị rất nhỏ, vách coi như được ngàm vào móng. Hình 3.10 thể hiện chuyển vị của đế móng trong suốt quá trình thí nghiệm.



Hình 3.10. Chuyển vị tại đế móng trong quá trình thí nghiệm

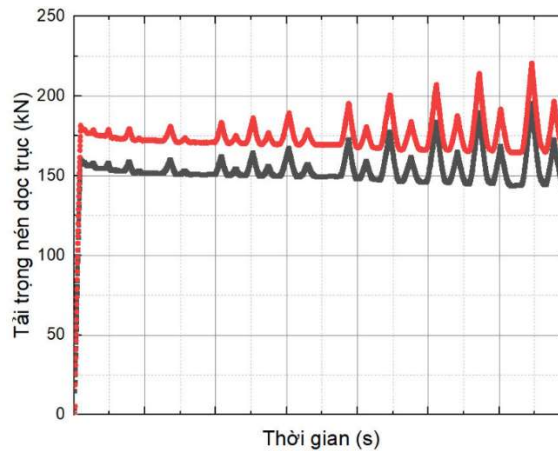


Hình 3.11. Chuyển vị của vách theo phương ngoài mặt phẳng uốn

- Chuyển vị ngoài mặt phẳng uốn của vách trong quá trình thí nghiệm thể hiện trên hình 3.11.

- Lực dọc tác dụng lên đỉnh vách trong quá trình thí nghiệm được kiểm soát thông qua biến dạng của 02 thanh thép cường độ cao Ø36 được liên kết với sàn phản lực của phòng thí nghiệm thể hiện trên hình 3.12. Một số thời điểm lực dọc trong thanh thép Ø36 tăng lên so với giá trị trung bình, tuy nhiên hiện tượng này chỉ xảy ra

tức thời trong thời gian rất ngắn (khoảng 1,0 giây) không ảnh hưởng đến ứng xử của mẫu trong quá trình thí nghiệm kéo dài 9,0 giờ.



Hình 3.12. Lực dọc trong thanh thép tạo lực nén trong vách

3.5.2. Sự phá hoại của các mẫu thí nghiệm

3.5.2.1. Mẫu thí nghiệm V1

Ở cấp chuyển vị 1,0cm bắt đầu xuất hiện vết nứt nhỏ dài 8cm. Khi tăng chuyển vị lên mức 1,5cm bắt đầu xuất hiện vết nứt có bề rộng lớn hơn 0,3mm. Ở cấp chuyển vị 1,75cm bắt đầu xuất hiện vết nứt nghiêng dài khoảng 20cm. Tiếp tục gia tải đến 1,88cm thì cốt thép dọc ở biên ngoài cùng bị chảy dẻo, đến cấp chuyển vị 2,2cm (chu kỳ 9) thì toàn bộ cốt thép dọc tại vùng biên đã bị chảy dẻo. Ở cấp chuyển vị 3,5cm thì bê tông đã bắt đầu bị ép vỡ. Hình 3.13 thể hiện hình ảnh bê tông chân vách bị ép vỡ, chiều dài vết nứt ngang tại chân vách V1.



Bê tông bị ép vỡ

Vết nứt ngang trên toàn bộ tiết diện

Hình 3.13. Bê tông chân vách V1 khi dừng thí nghiệm

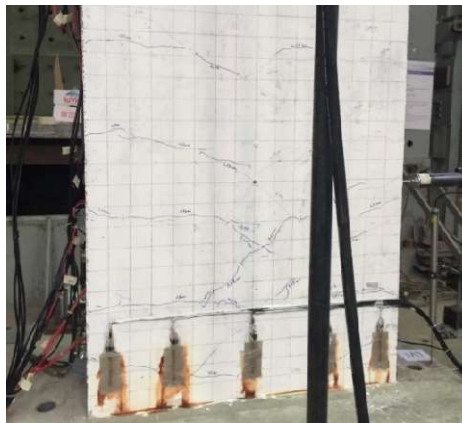
Hình 3.14 thể hiện hình ảnh, số lượng, chiều dài vết nứt trong vách V1 khi dừng thí nghiệm. Khối móng hoạt động tương tự như một đài móng nguyên khối tương đương, không có hư hỏng nào của đế móng được quan sát thấy trong quá trình thí nghiệm.



Hình 3.14. Nứt vỡ trong bê tông vách V1 khi dừng thí nghiệm

3.5.2.2. Mẫu thí nghiệm V2

Ở cấp chuyển vị 0,75cm bắt đầu xuất hiện vết nứt nhỏ dài 8cm. Khi tăng chuyển vị lên mức 1,25cm bắt đầu xuất hiện vết nứt có bề rộng lớn hơn 0,3mm. Ở cấp chuyển vị 1,75cm bắt đầu xuất hiện vết nứt nghiêng dài khoảng 20cm. Trong phạm vi 1/3 chiều cao của vách xuất hiện nhiều vết nứt uốn vuông góc với trục vách, số lượng và hình dạng vết nứt ở hai phía vùng biên của vách là gần giống nhau do tác động đối xứng của tải trọng. Thời điểm vết nứt mở rộng, cốt thép dọc ở vùng biên đều đã chảy dẻo từ đó thấy rằng vách đã xảy ra phá hoại dẻo. Do tải trọng dọc trục cao, trượt cắt không đáng kể trong suốt quá trình thí nghiệm. Hình ảnh khe nứt cũng cho thấy cơ cấu phá hoại của vách hoàn toàn giống với kết quả thực nghiệm của nhiều tác giả khác đã thực hiện trước đây [94a].



Hình 3.15. Nứt vỡ trong bê tông vách V2

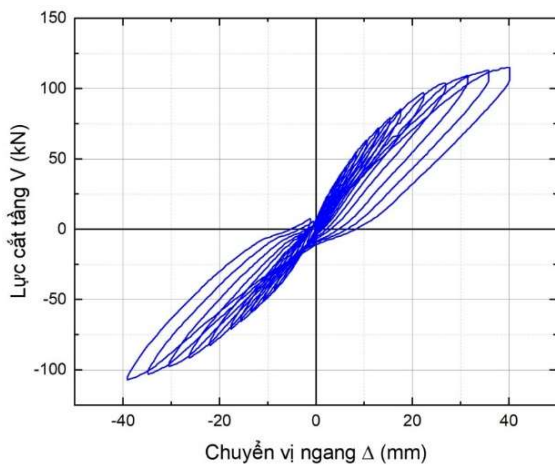
Hình 3.15 thể hiện hình ảnh, số lượng, chiều dài vết nứt trong vách V2 khi dừng thí nghiệm.

Khối móng hoạt động tương tự như một đài móng nguyên khối tương đương, không có hư hỏng nào trong đế móng được quan sát thấy trong quá trình thí nghiệm.

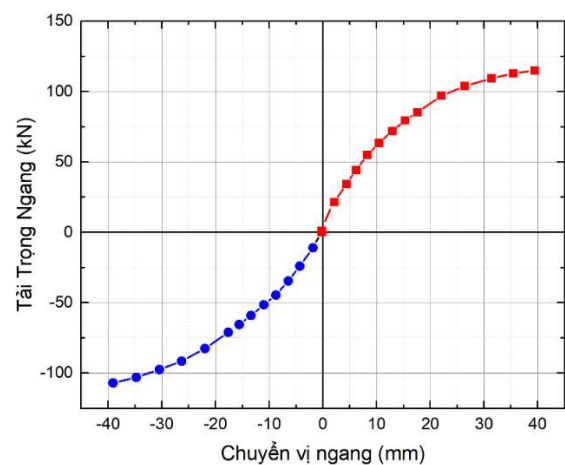
Do đường kính cốt dọc trong mẫu V1 lớn hơn trong mẫu V2 làm cho lực dính giữa bê tông và cốt thép tăng lên nên khi thí nghiệm vết nứt ngang xuất hiện trong mẫu V1 muộn hơn tại mẫu V2.

3.5.3. Quan hệ giữa tải trọng ngang và chuyển vị ngang đỉnh mẫu

Trong quá trình thí nghiệm mẫu V2, thiết bị thu số liệu của kích gia tải ngang bị lỗi, giá trị tải trọng ngang không lưu lại được, cho nên việc phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm mẫu V2 chủ yếu dựa trên các hình ảnh vết nứt, thời điểm chảy dẻo trong cốt thép dọc. Ứng xử phi tuyến của mẫu thí nghiệm chủ yếu dựa trên kết quả thu được của quá trình thí nghiệm mẫu V1. Hình 3.16 thể hiện quan hệ giữa tải trọng ngang – chuyển vị ngang ở đỉnh vách V1. Hình 3.17 thể hiện đường bao quan hệ tải trọng ngang – chuyển vị ngang ở đỉnh vách V1.



Hình 3.16. Quan hệ giữa tải trọng ngang V - Chuyển vị ngang Δ đỉnh vách

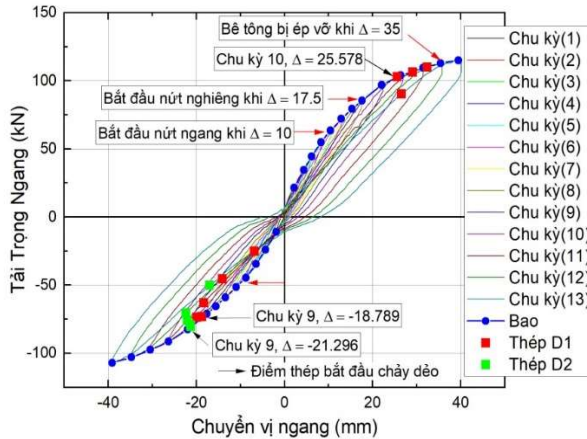


Hình 3.17. Đường bao tải trọng ngang - Chuyển vị ngang tại đỉnh vách

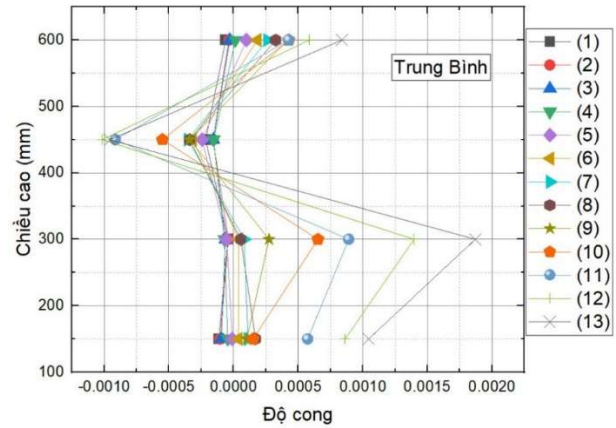
3.5.4. Phân bố độ cong theo chiều cao vách.

Sự phân bố độ cong trung bình được tính toán từ các LVDT đo chuyển vị nằm trên chiều cao vách, thể hiện trong Hình 3.19.

Sự phân bố độ cong chứng minh được rằng vách cứng thí nghiệm có sự biến đổi tương quan khớp với các dạng vết nứt được thể hiện trong Hình 3.15. Đỉnh cong rõ nét tại vị trí của các vết nứt rộng và phân bố liên tục các độ cong trên suốt chiều cao của vách.



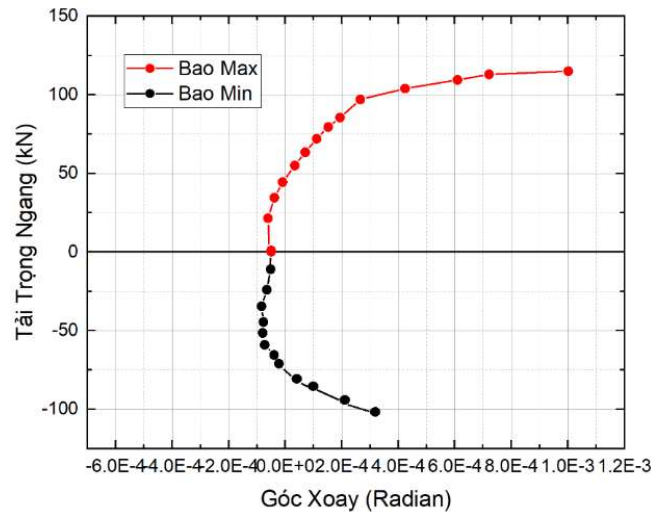
Hình 3.18. Thời điểm cốt thép chảy dẻo; bê tông nứt khi thí nghiệm



Hình 3.19. Phân bố độ cong theo chiều cao vách

3.5.5. Quan hệ tải trọng ngang - góc xoay tại chân vách

Hình 3.20 trình bày quan hệ giữa tải trọng ngang và góc xoay tại chân vách. Giai đoạn đầu khi tải trọng ngang còn nhỏ, bê tông chưa bị nứt nên góc xoay chân vách bé, quan hệ giữa tải trọng ngang và góc xoay là tuyến tính. Khi tải trọng ngang tiếp tục tăng lên $P=60,4\text{KN}$ làm cho bê tông vùng kéo bị nứt, sau đó đến tải trọng ngang $P=88,8\text{KN}$ thì cốt thép chảy dẻo, tiết diện ngang của chân vách bị suy giảm so với tiết diện nguyên ban đầu, độ cứng của vách bị suy giảm và quan hệ tải trọng ngang - chuyển vị xoay chân vách là đường cong. Khi tải trọng ngang tiếp tục tăng lên $P=113,5\text{KN}$, bê tông bắt đầu bị ép vỡ, một số vết nứt ngang có chiều dài phát triển trên cả tiết diện ngang của vách.



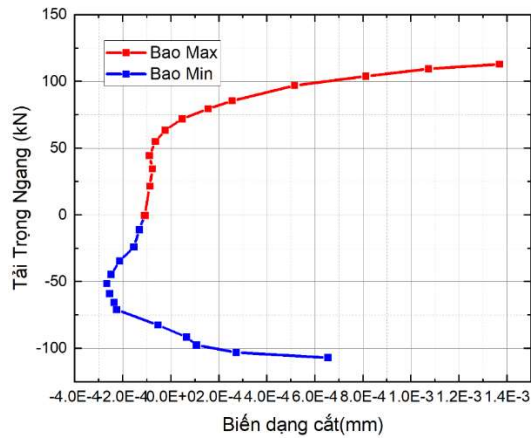
Hình 3.20. Tải trọng ngang - góc xoay chân vách

3.5.6. Quan hệ giữa tải trọng ngang - biến dạng cắt

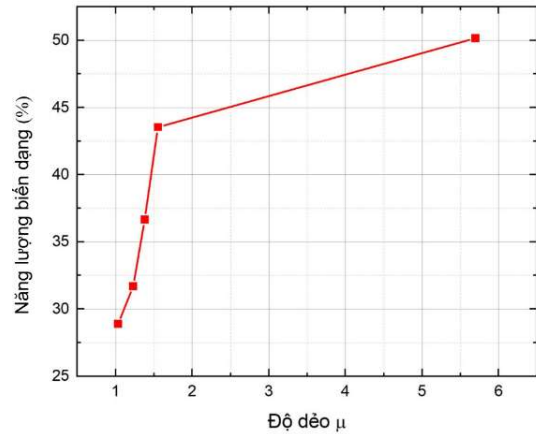
Trong quá trình thí nghiệm, biến dạng cắt trong vách vẫn tăng đều đến khi quan hệ tải trọng ngang - biến dạng cắt là đường nằm ngang. Mẫu bị phá hoại vẫn chưa có bước nhảy đột biến qua đó thấy rằng phá hoại của vách là phá hoại do uốn gây ra. Hình 3.21 trình bày quan hệ giữa tải trọng ngang và biến dạng cắt tại chân vách.

3.5.7. Mối quan hệ giữa năng lượng biến dạng và độ dẻo

Hình 3.22 trình bày mối quan hệ giữa năng lượng biến dạng và độ dẻo của mẫu thí nghiệm. Ở giai đoạn đầu, tải trọng tác dụng lên vách nhỏ, vách làm việc trong giai đoạn đàn hồi độ dẻo của vách lúc này được xác định bởi tính chất đàn hồi của bê tông và cốt thép. Khi tải trọng được loại bỏ, vách có khả năng hồi phục về hình dạng ban đầu, năng lượng biến dạng bị tiêu tán ít. Khi tải trọng ngang tăng lên đến một mức nào đó sẽ làm cho bê tông bị nứt, cốt thép bị chảy dẻo, vách không phục hồi được về hình dạng ban đầu sau khi biến dạng và một phần năng lượng biến dạng bị tiêu tán. Tuy nhiên vách vẫn còn khả năng chịu tải và không bị hư hỏng hoàn toàn. Tải trọng ngang tiếp tục tăng lên, các vết nứt trong bê tông sẽ mở rộng, số lượng, chiều dài vết nứt cũng tăng lên, vách sẽ bị mất dần tính dẻo và không thể phục hồi được về hình dạng ban đầu khi dỡ tải. Năng lượng biến dạng dẻo bị tiêu hao trong giai đoạn này là cao nhất.

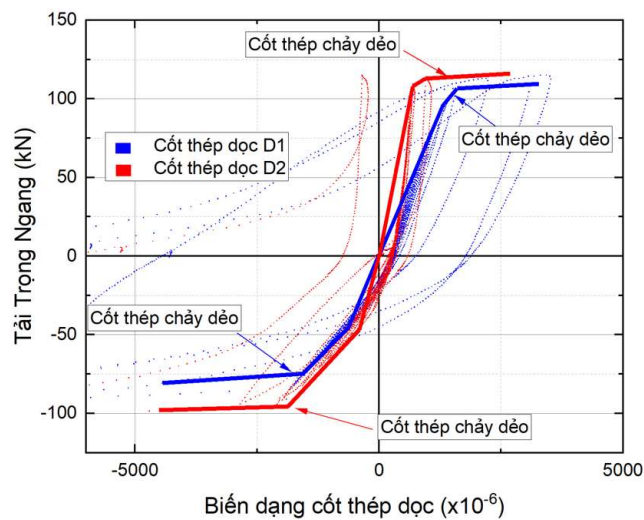


Hình 3.21. Tải trọng ngang - biến dạng cắt



Hình 3.22. Mối quan hệ giữa năng lượng biến dạng - độ dẻo

3.5.8. Mối quan hệ giữa tải trọng ngang và biến dạng trong cốt thép dọc ở vùng biên



Hình 3.23. Mối quan hệ giữa tải trọng ngang - biến dạng cốt thép dọc

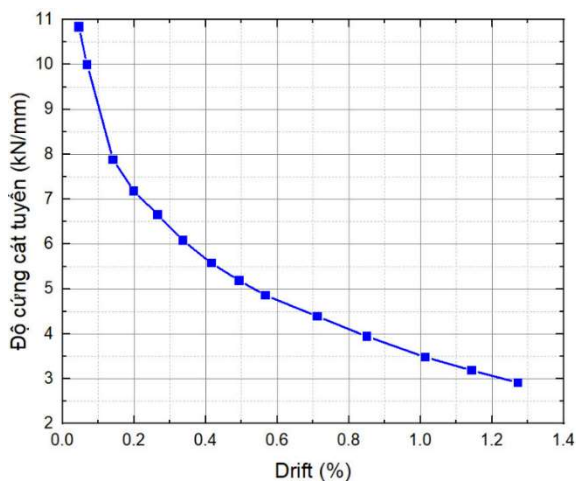
Khi tải trọng ngang là $P = 88,8\text{KN}$ vết nứt trong bê tông vùng kéo tiếp tục phát triển, sự mở rộng vết nứt trong bê tông vách là nguyên nhân chính làm cho cốt thép dọc D1 chảy dẻo. Tải trọng ngang tiếp tục tăng lên cốt thép tiếp tục biến dạng và vết nứt ngày càng mở rộng dẫn đến các thanh thép dọc D2 ở phía trong D1 tiếp tục chảy dẻo. Khi tải trọng ngang $P = 113,5\text{KN}$, bê tông bắt đầu bị ép vỡ, một số vết nứt ngang có chiều dài phát triển trên cả tiết diện ngang của vách, độ cứng của mẫu suy giảm,

mẫu bị phá hoại. Hình 3.23 thể hiện quan hệ giữa tải trọng ngang – biến dạng cốt thép dọc.

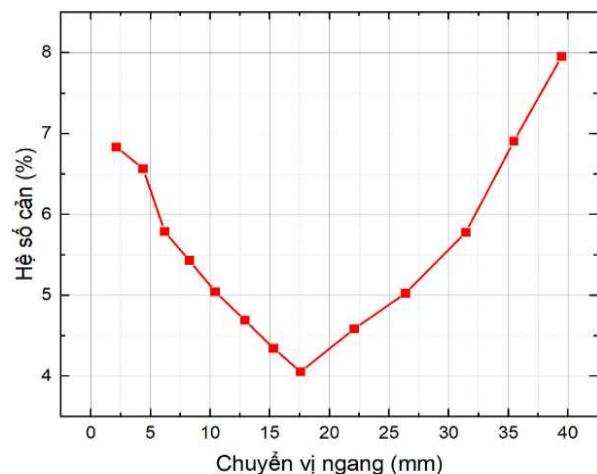
3.5.9. Sự suy giảm độ cứng của vách

Một hệ kết cấu chịu động đất tốt là hệ kết cấu được thiết kế để có một sự cân bằng giữa độ bền, độ cứng, độ dẻo và khả năng tiêu tán năng lượng. Độ cứng phải đủ lớn để kiểm soát chuyển vị ngang và đồng thời không bị suy giảm hoặc ít bị suy giảm khi chịu tải trọng đảo chiều. Phần lớn các cấu kiện bê tông cốt thép đều bị suy giảm độ cứng khi chịu tải. Sự suy giảm độ cứng là do lực dính giữa cốt thép và bê tông bị suy giảm, sự bong tách bê tông khỏi cốt thép và sự phát triển của các vết nứt mở ra đóng lại không hết. Độ cứng của các mẫu thí nghiệm được xác định bằng cách dùng độ cứng cát tuyến (đỉnh đến đỉnh) dựa vào biểu đồ lực – chuyển vị và được tính toán như độ dốc đối với trục ngang của đường thẳng nối hai đỉnh của cùng một chu kỳ dỡ tải.

Hình 3.24 thể hiện quan hệ giữa độ cứng - Drift trong quá trình thí nghiệm.



Hình 3.24. Quan hệ giữa độ cứng - Drift



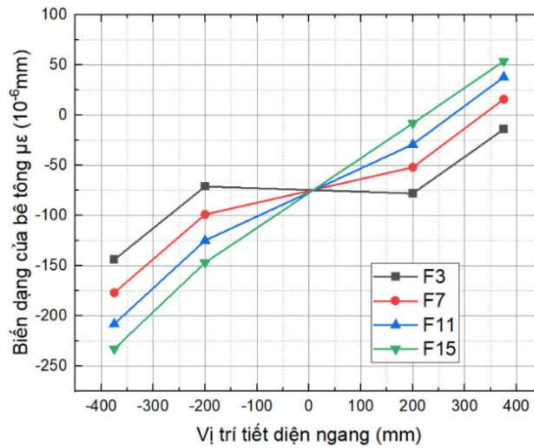
Hình 3.25. Hệ số cản của mẫu V1

3.6 Biến dạng của bê tông trên tiết diện ngang của vách

Từ kết quả đo biến dạng của 4 tem dán cách chân vách 2000mm, Hình 3.26 thể hiện quan hệ của biến dạng của bê tông trên mặt cắt ngang vách là không tuyến tính.

Đường F3 ứng với thời điểm chuyển vị ngang đỉnh vách là 1,86mm. Đường F7 ứng với thời điểm chuyển vị ngang đỉnh vách là 4,3mm, lúc này trên tiết diện ngang của vách có 1 phần bê tông chịu kéo nhỏ. Đường F11 ứng với thời điểm chuyển vị

ngang đỉnh vách là 6,5mm. Đường F15 ứng với thời điểm chuyển vị ngang đỉnh vách là 8,8mm, biến dạng kéo trong bê tông đã tăng lên và bê tông đã sắp xuất hiện vết nứt.



Hình 3.26. Biến dạng của bê tông tại tiết diện ngang cách chân vách 2000mm trong giai đoạn đàn hồi.

3.7 Nhận xét rút ra từ các kết quả nghiên cứu thí nghiệm

Sự phân bố độ cong của vách cứng thí nghiệm không tuyến tính và có một số đỉnh nhọn trên biểu đồ thể hiện sự tập trung các giá trị độ cong và biến dạng tại các vị trí có vết nứt uốn lớn.

Biến dạng của bê tông trên 1 tiết diện ngang vách khi vách làm việc trong giai đoạn đàn hồi là không tuyến tính.

Khi lực nén tác dụng lên vách chiếm khoảng 0,25R_{bA}, vách thuộc loại vách cao thì phá hoại của vách khi chịu tải trọng đảo chiều là phá hoại dạng uốn.

CHƯƠNG 4. XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH PHÂN TÍCH ỨNG XỬ PHI TUYẾN VÁCH BÊ TÔNG CỐT THÉP

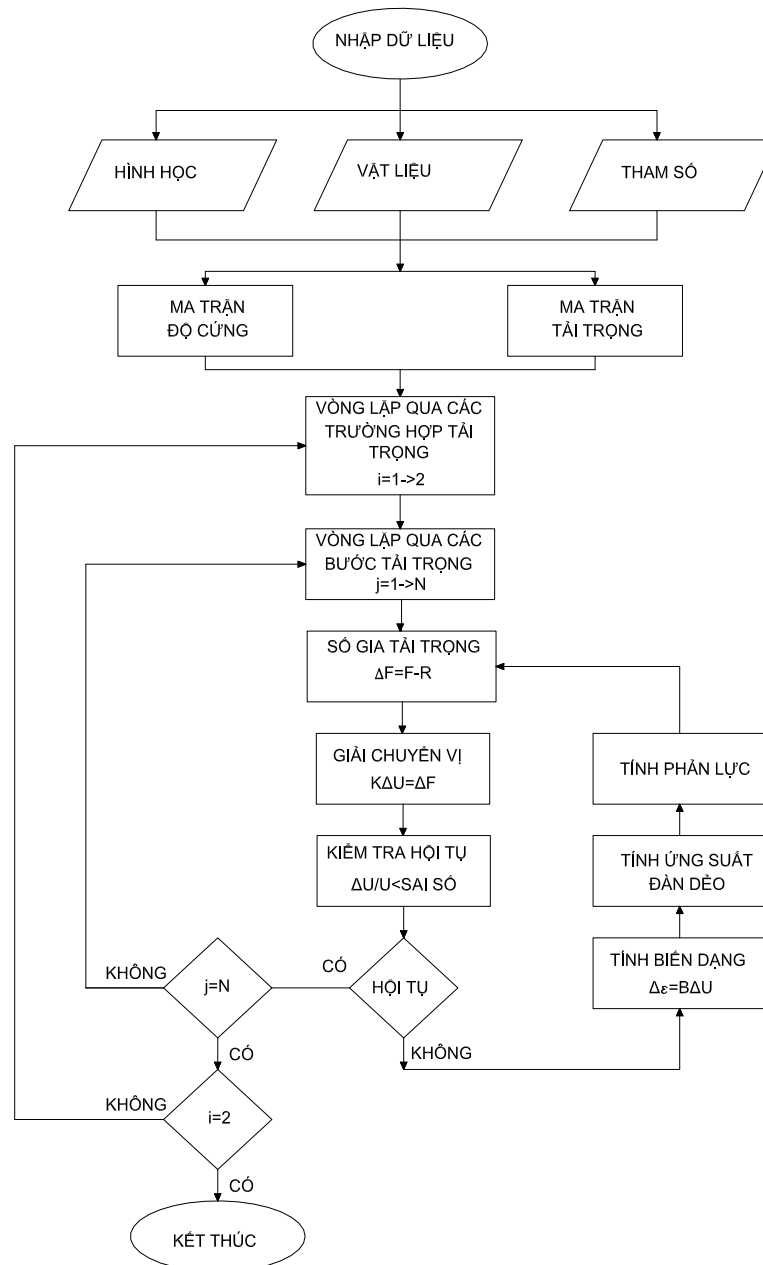
4.1. Chương trình phân tích ứng xử phi tuyến vách bê tông cốt thép CSW

4.1.1. Giới thiệu chương trình CSW

Chương trình phân tích ứng xử phi tuyến vách bê tông cốt thép CSW được xây dựng dựa trên lý thuyết phần tử hữu hạn được trình bày trong Chương 2 của luận án. Tải trọng tác dụng bao gồm hai giai đoạn: 1) tải trọng theo phương đứng; 2) tải trọng theo phương ngang. Kết quả phân tích bao gồm chuyển vị các điểm nút, ứng suất trong phần tử mô hình bê tông và cốt thép, vị trí xuất hiện nứt.

4.1.2. Sơ đồ khối của chương trình CSW

Sơ đồ khối của chương trình CSW được trình bày trong hình 4.1.



Hình 4.1. Sơ đồ khối

4.1.3. Sơ đồ hình học của vách thí nghiệm

Vách thí nghiệm trong chương 3 khi đưa vào chương trình CSW được chia thành 3 phần theo chiều cao, phần đế, phần thân vách và phần gia cường đỉnh vách. Hình 4.2 trình bày hộp thoại nhập dữ liệu hình học của vách trong chương trình CSW.

Hình 4.2. Nhập dữ liệu hình học của vách

4.1.4. Dữ liệu tải trọng trong chương trình CSW

Tải trọng tác dụng lên vách theo hai giai đoạn. Ở giai đoạn 1, tải trọng đứng được gia tải từ 0 đến giá trị đặt vào vào vách. Ở giai đoạn 2, tải trọng đứng được giữ không đổi ở giá trị đặt vào vách ở giai đoạn 1 đồng thời tải trọng ngang thay đổi theo thời gian được đặt vào đỉnh vách.

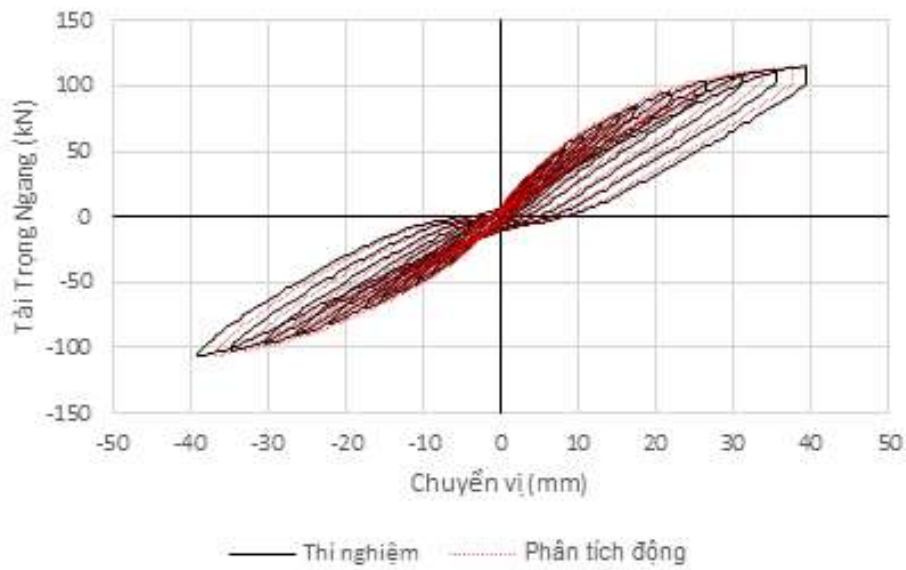
4.1.5. Các đặc trưng về vật liệu trong chương trình CSW

Hình 4.3. Dữ liệu vật liệu bê tông

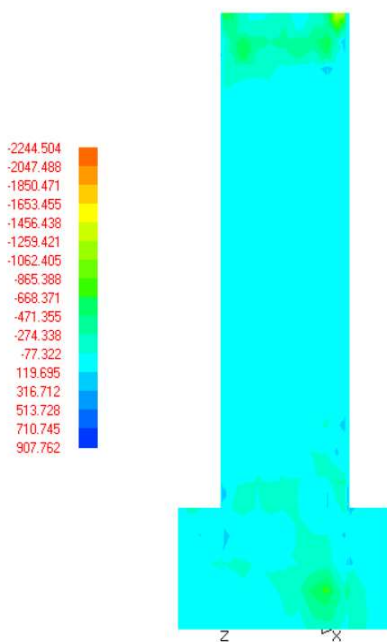
Hình 4.4. Dữ liệu vật liệu cốt thép

4.2. Phân tích vách bê tông cốt thép đã thí nghiệm trong chương 3 bằng chương trình CSW

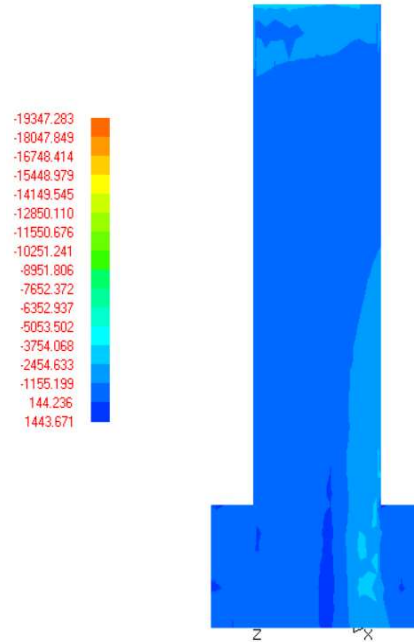
So sánh quan hệ tải trọng ngang - chuyển vị từ kết quả phân tích ứng xử bằng chương trình CSW với kết quả thí nghiệm



Hình 4.5. So sánh kết quả quan hệ tải trọng ngang – chuyển vị tại đỉnh vách



Hình 4.6. Ứng suất trong vách theo phương ngang (T/m^2)

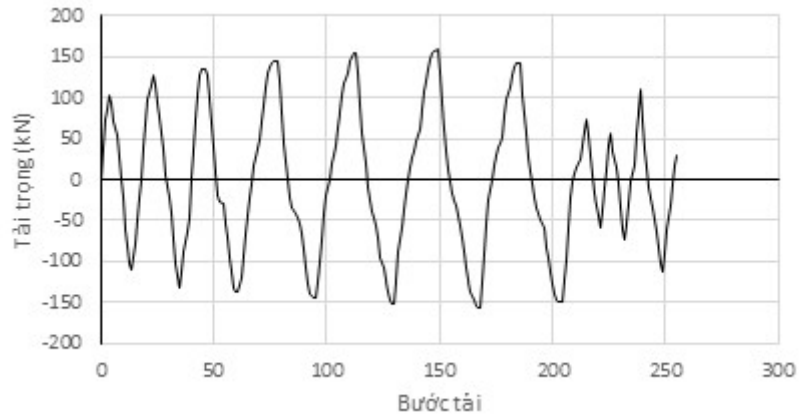


Hình 4.7. Ứng suất trong vách theo phương đứng (T/m^2)

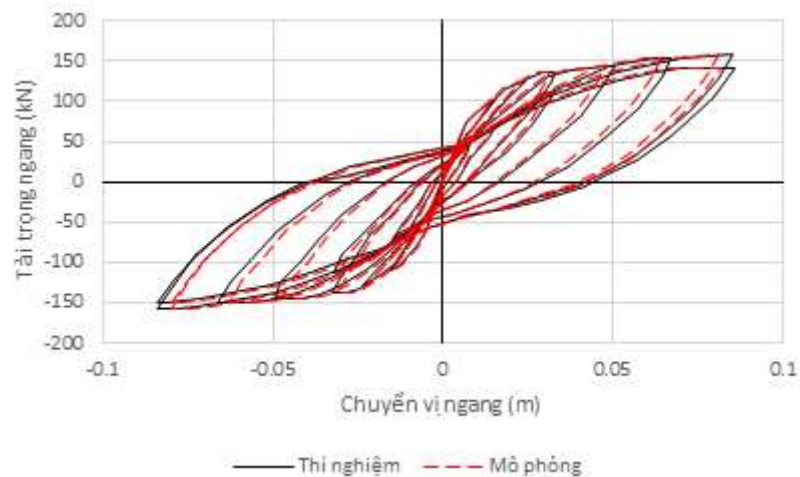
4.3. Phân tích vách bê tông cốt thép trong thí nghiệm của Thosen và Wallace bằng chương trình CSW

Thosen và Wallace thí nghiệm hai vách tiết diện chữ nhật (RW1 và RW2) với chiều cao tiết diện 1,219 m. Các mẫu vách được thiết kế theo tỷ lệ thu nhỏ $\frac{1}{4}$ của vách

thực tế theo tiêu chuẩn UBC với bổ sung thêm phần chân vách. Các mẫu thí nghiệm có chiều cao là 3,658 m, chiều dày 0,102 m.



Hình 4.8. Sơ đồ gia tải ngang trong mô hình phân tích



Hình 4.9. So sánh kết quả quan hệ tải trọng ngang – chuyển vị tại đỉnh vách

4.4. Nhận xét chương 4

Chương 4 trình bày sơ đồ khối và một số hình ảnh giao diện của chương trình mô phỏng và phân tích ứng xử phi tuyến vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều. Lý thuyết cơ bản để xây dựng chương trình được trình bày trong Chương 2 và nội dung lập trình được trình bày trong phần phụ lục. Độ chính xác của chương trình được kiểm chứng thông qua việc phân tích ứng xử phi tuyến vách bê tông cốt thép do tác giả thí nghiệm và trình bày trong Chương 3 và vách bê tông cốt thép do Thosen và

Wallace thực hiện. Kết quả phân tích sử dụng chương trình CSW phát triển khá sát khi so sánh với kết quả thí nghiệm vách bê tông cốt thép.

NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI VỀ KHOA HỌC CỦA LUẬN ÁN

- Phát triển mô hình phi tuyến vật liệu bê tông trong không gian ứng suất ba chiều.
- Đề xuất phần tử hỗn hợp bê tông cốt thép trong đó kể đến tính phi tuyến của vật liệu có thể tích hợp trong các phần mềm phân tích PTHH.
- Đã làm rõ ứng xử của kết cấu vách BTCT và cung cấp bộ số liệu về kết quả nghiên cứu thực nghiệm vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều;
- Xây dựng chương trình phân tích ứng xử phi tuyến của vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều với độ tin cậy được đánh thông qua việc so sánh kết quả phân tích và kết quả thực nghiệm.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. KẾT LUẬN

Qua các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm như đã trình bày, luận án đã đạt được một số kết quả chính như sau:

1. Xây dựng được phần tử hữu hạn hỗn hợp bê tông cốt thép dạng tấm trong phân tích phi tuyến vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều.
2. Đã nghiên cứu thực nghiệm mô hình vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều, làm rõ ảnh hưởng các tham số đến ứng xử của kết cấu.
3. Áp dụng phần tử hỗn hợp tấm BTCT phân tích ứng xử của vách bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp đảo chiều.

B. KIẾN NGHỊ

Cần có thêm các nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết về ứng xử của vách ngăn, vách chịu tác dụng của lực dọc thay đổi để từ đó hoàn thiện được bài toán thiết kế vách bê tông cốt thép có kể đến phi tuyến về vật liệu và hình học.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Khiem Van Giang, Hien Manh Nghiem and Chuong Tien Nguyen (2022), Finite element modeling of reinforced concrete shear wall subjected to static loading, Science journal of Architecture & Construction, December 2022, ISSN 1858-350X, tr63-66.
2. Khiem Van Giang, Hien Manh Nghiem and Chuong Tien Nguyen (2022), Finite element modeling of reinforced concrete shear wall subjected to static loading, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị khoa học quốc tế VẬT LIỆU, KẾT CẤU, CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG VÀ KIỂM ĐỊNH CÔNG TRÌNH 2022 -MSC 2022, Hà Nội, 8/2022, tr373-379.
3. Giang Văn Khiêm, Đào Ngọc Khánh Vy (2023), Nghiên cứu sự làm việc của vách bê tông cốt thép chịu tải trọng đảo chiều bằng thực nghiệm, Tạp chí Người Xây dựng - Tổng hội Xây dựng Việt Nam, số 374 tháng 6/2023, tr31-36.
4. Khiem Van Giang, Hien Manh Nghiem and Chuong Tien Nguyen (2023), Quasi-static Test of Full-Scaled Reinforced Concrete Shear Wall. Structures, (dự kiến đăng).
5. Khiem Van Giang, Hien Manh Nghiem and Chuong Tien Nguyen (2023), Numerical Modeling of Full-Scaled Reinforced Concrete Shear Wall. Structures, (dự kiến đăng).