

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ



NGUYỄN CÔNG NGHỊ

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG VẬT LIỆU CÓ
CẤU TRÚC LỖ RỒNG ĐỂ GIẢM ÁP LỰC
NỖ LÊN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH**

Ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình đặc biệt

Mã số : 9 58 02 06

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2023

Công trình được hoàn thành tại:
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Người hướng dẫn khoa học:

1. GS.TS Vũ Đình Lợi
2. TS Lê Anh Tuấn

Phản biện 1: GS.TS Nguyễn Tiến Chương

Phản biện 2: GS.TS Nguyễn Quốc Bảo

Phản biện 3: PGS.TS Vũ Quốc Anh

Luận án sẽ được bảo vệ tại: Hội đồng chấm luận án cấp Học viện
Hội tại Học viện Kỹ thuật Quân sự
Cố Nhuế 1 - Bắc Từ Liêm - Hà Nội

Vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia
- Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN ĐÃ CÔNG BỐ

1. Lê Anh Tuấn, Nguyễn Công Nghi, Tạ Đức Tuấn (2017). *Thí nghiệm khả năng giảm áp lực nổ lên kết cấu đặt trong môi trường đất bằng vật liệu đàn hồi*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), ISSN 1859-1566, số 3/2017.
2. Nguyễn Công Nghi, Lê Anh Tuấn, Trần Trung Đức (2018). *Nghiên cứu cơ chế giảm tác dụng nổ của vật liệu xốp*. Hội nghị Cơ học toàn quốc lần X, ISBN: 978-604-913-722-8, Tập III - Cơ học Vật rắn - Quyển 2, Hà Nội, 08-09/12/2017.
3. Nguyễn Công Nghi, Lê Anh Tuấn, Tạ Đức Tuấn, Đinh Quang Trung (2020). *Nghiên cứu ảnh hưởng kích thước lưới mô hình phần tử hữu hạn với hội tụ kết quả thông qua xác minh chéo với kết quả thực nghiệm vụ nổ trong không khí*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), ISSN 1859-1566, số 4/2020.
4. Nguyễn Công Nghi, Lê Anh Tuấn, Đinh Quang Trung (2021). *Nghiên cứu mô hình vật liệu trong LS-DYNA của xốp cứng không phục hồi chịu tải trọng nổ thông qua dữ liệu thực nghiệm*. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học Cán bộ trẻ lần thứ XVI - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST), ISBN: 978-604-82-6534-2, 11/2021.
5. Nguyễn Công Nghi, Lê Anh Tuấn, Đinh Quang Trung (2022). *Nghiên cứu đánh giá mô hình vật liệu xốp XPS trong LS-DYNA thông qua dữ liệu thực nghiệm*. Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng - Đại học Xây dựng Hà Nội, ISSN 2615-9058, Tập 16 số 2V, 5/2022.
[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(2V\)-13](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(2V)-13).

MỞ ĐẦU

1. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài luận án

Những vụ nổ có chủ đích (khủng bố) đã thúc đẩy các nghiên cứu mạnh mẽ và sâu rộng nhằm giảm thiệt hại cho các công trình và đảm bảo an toàn cho con người. Các tiêu chuẩn và phương pháp thiết kế đã được phát triển để phân tích tính năng của kết cấu chịu tác động của vụ nổ và hướng dẫn cho các kỹ sư thiết kế. Tuy nhiên, đối với những công trình đã được thiết kế và xây dựng mà chưa được tính toán đến khả năng chịu tác động của vụ nổ, rất cần những giải pháp nhằm giảm thiểu tác động của loại tải trọng đặc biệt này. Vụ nổ bao gồm nhiều tác động khác nhau, trong đó áp lực của sóng xung kích có tác động lớn, trên diện rộng và được coi là tác nhân chính gây phá hoại công trình.

Đã có nhiều giải pháp được đưa ra để giảm thiểu tác động của áp lực nổ lên kết cấu công trình như đẩy xa tâm nổ ra khỏi công trình, gia cường cho kết cấu để gia tăng khả năng chịu lực. Một giải pháp được đưa ra là tận dụng khả năng hấp thụ năng lượng của vật liệu có cấu trúc lỗ rỗng (vật liệu xốp) để hấp thụ năng lượng tác động của áp lực nổ, điều này sẽ cho phép kết cấu không phải tiếp nhận trực tiếp tác động của áp lực nổ nên sẽ làm gia tăng khả năng bảo vệ và hạn chế bị phá hoại. Hướng nghiên cứu này đã và đang tiếp tục được quan tâm nghiên cứu, ứng dụng và phát triển. Vì vậy, luận án **“Nghiên cứu ứng dụng vật liệu có cấu trúc lỗ rỗng để giảm áp lực nổ lên kết cấu công trình”** là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục đích của luận án

Mục đích của luận án là nghiên cứu cơ chế ứng xử và khả năng ứng dụng của vật liệu xốp trong việc hấp thụ năng lượng khi chịu tác động của áp lực từ vụ nổ. Từ đó đưa ra giải pháp cấu tạo phù hợp của kết cấu bảo vệ sử dụng vật liệu xốp để giảm tác dụng của áp lực nổ lên kết cấu công trình.

3. Đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Đối tượng nghiên cứu của luận án là vật liệu xốp và ứng dụng vật liệu xốp để tạo thành kết cấu bảo vệ cho kết cấu công trình khi chịu tác động của áp lực từ vụ nổ gây ra.

Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu tập trung vào vật liệu xốp không phục hồi khi chịu tác động của lực nén ép; Đối với tải trọng nghiên cứu chỉ xác định tác động do áp lực từ vụ nổ gây ra mà không kể đến các tác động khác từ vụ nổ; Đối

tượng kết cấu được bảo vệ trong cả thí nghiệm và mô phỏng là vật liệu bê tông cốt thép thông thường.

Phương pháp nghiên cứu: Nghiên cứu lý thuyết, xây dựng các thí nghiệm trên mô hình trong phòng thí nghiệm và ngoài thực địa. Xây dựng và chuẩn hóa mô hình mô phỏng vụ nổ, tương tác đa vật liệu dựa trên việc xác minh chéo kết quả mô phỏng với kết quả thí nghiệm. Từ kết quả mô phỏng số đã được chuẩn hóa, tiến hành các thử nghiệm số để khảo sát, đánh giá hiệu quả của kết cấu bảo vệ có cấu trúc khác nhau và ứng dụng vào bảo vệ kết cấu công trình.

4. Nội dung của luận án

Trong chương 1 trình bày sơ lược về đặc tính của vụ nổ, tổng quan về các giải pháp để giảm thiểu tác hại cho kết cấu khi chịu áp lực nổ. Trình bày các nghiên cứu sử dụng vật liệu xốp để giảm tác động của áp lực nổ, các phương pháp mô hình hóa tính chất cơ học của vật liệu xốp và khó khăn khi tính toán vật liệu xốp với kích thước lớn. Đánh giá khả năng ứng dụng mô phỏng số cho vụ nổ và tính toán vật liệu xốp kích thước lớn. Chương 2 trình bày cơ chế ứng xử của vật liệu xốp chịu tác dụng nén ép nói chung và ứng xử của vật liệu khi chịu tác động tốc độ cao. Nghiên cứu ứng dụng mô phỏng số, lựa chọn mô hình vật liệu để đáp ứng xử thực tế của vật liệu xốp, thông qua việc xác minh chéo với dữ liệu thí nghiệm. Trình bày ứng dụng hấp thụ áp lực tác động, giảm rung và giảm chấn của vật liệu xốp, phương thức cấu tạo và tính toán kết cấu bảo vệ hấp thụ áp lực nổ. Chương 3 với mục tiêu là chuẩn hóa mô hình mô phỏng số vụ nổ đầy đủ bao gồm các miền vật liệu khác nhau như thuốc nổ, không khí, bê tông, cốt thép, vật liệu xốp... bằng cách xác minh chéo thông qua kết quả thử nghiệm hiện trường, cho phép xây dựng được bài toán mô phỏng số đủ tin cậy để và có thể thay thế cho thử nghiệm nổ hiện trường. Trong chương 4 dựa trên các kiến thức về vật liệu xốp và kỹ thuật mô phỏng số, tiến hành nghiên cứu cấu tạo hợp lý cho kết cấu bảo vệ nhằm giảm thiểu tác động của áp nổ lên kết cấu công trình. Từ kết quả khảo sát lựa chọn cấu trúc hợp lý cho kết cấu bảo vệ sử dụng vật liệu xốp, ứng dụng bảo vệ cho cấu kiện BTCT thực tế chịu áp lực nổ lớn. Trong phần kết luận nêu các kết quả chính, các đóng góp mới của luận án và phương hướng nghiên cứu tiếp theo. Sau phần kết luận là danh mục các công trình đã công bố liên quan đến nội dung của luận án. Cuối luận án là danh mục các tài liệu tham khảo.

Chương 1

TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trong chương trình bày sơ lược về đặc tính của vụ nổ, tổng quan về các giải pháp để giảm thiểu tác hại cho kết cấu khi chịu áp lực nổ. Trình bày các nghiên cứu sử dụng vật liệu xốp để giảm tác động của áp lực nổ, các phương pháp mô hình hóa tính chất cơ học của vật liệu xốp và khó khăn khi tính toán vật liệu xốp với kích thước lớn. Đánh giá khả năng ứng dụng mô phỏng số cho vụ nổ để khắc phục những khó khăn trong thực nghiệm nổ và cũng là giải pháp khả thi nhằm tính toán vật liệu xốp kích thước lớn.

1.1 Sơ lược về cơ chế và đặc tính của vụ nổ

Khi vụ nổ trong không khí xảy ra sẽ tạo ra một số tác động đến công trình như tác động cháy, tác dụng mảnh văng và tác dụng nổ. Đối với tác dụng nổ thì tùy thuộc vào vị trí của vụ nổ, công trình có thể chịu tác dụng xung nổ tiếp xúc hoặc chịu áp lực nổ do sóng xung kích lan truyền trong không khí. Áp lực của sóng xung kích, nhất là áp lực phản xạ là nguyên nhân tác động chính gây phá hoại các phần tử kết cấu công trình trên diện rộng. Vì vậy, trong nội dung nghiên cứu giới hạn của tài trọng là áp lực của sóng xung kích từ vụ nổ.

1.2 Một số giải pháp giảm tác dụng áp lực nổ lên công trình

Trong thực tế ứng dụng đã có rất nhiều giải pháp khác nhau được đưa ra để giảm thiểu tác động của vụ nổ lên công trình.

Một số giải pháp chung: giải pháp đẩy xa tâm nổ khỏi công trình; giải pháp sử dụng kết cấu bảo vệ phía trước công trình.

Giải pháp ứng dụng vật liệu: vật liệu tăng cường khả năng kháng lực cho kết cấu như bê tông cốt sợi, bê tông cốt sợi thép cường độ siêu cao, bê tông được gia cường bằng tấm cốt sợi,... Bên cạnh đó, giải pháp sử dụng vật liệu xốp hấp thụ năng lượng tác động để bảo vệ kết cấu dựa trên thêm biến dạng dài của vật liệu, được nghiên cứu và cho thấy hiệu quả khả quan.

1.3 Ứng dụng vật liệu xốp giảm tác động của áp lực nổ

Nội dung tập trung vào các nghiên cứu ứng dụng đánh giá hiệu quả của vật liệu xốp giảm tác dụng của áp lực nổ, và các phương pháp mô hình hóa để mô tả ứng xử của vật liệu xốp phục vụ tính toán.

Các kết quả nghiên cứu đều cho thấy hướng nghiên cứu sử dụng vật liệu xốp để tạo thành kết cấu bảo vệ kết cấu công trình chịu áp lực nổ là vấn đề rất có

nghiên cứu thực tế và tiềm năng ứng dụng cao. Các phương pháp mô hình hóa cấu trúc vi mô của vật liệu để áp dụng tính toán trên kết cấu lớn là khó khăn. Vì vậy, nghiên cứu mô hình vật liệu dựa trên mô phỏng số có kể đến đặc tính ứng xử của vật liệu xốp thực là hướng tiếp cận phù hợp với tính toán kết cấu có kể đến sự làm việc của vật liệu xốp.

1.4 Nghiên cứu thực nghiệm nổ và mô phỏng số

Nội dung tập trung đánh giá những khó khăn trong thực nghiệm nổ và thậm chí không thể thực hiện được, nên trong thực tế nghiên cứu hiện nay việc sử dụng thí nghiệm vụ nổ trên mô hình mô phỏng số, ngày càng được ứng dụng nhiều trong thực tế. Hiện nay có nhiều phần mềm được phát triển để phân tích mô phỏng số động lực học kết cấu chịu tác động của vụ nổ như LS-DYNA, DYTRAN, ABAQUS, ANSYS, HYPERWORKS,... Trong các phần mềm mô phỏng nêu trên thì LS-DYNA là phần mềm mô phỏng đáp ứng đầy đủ và được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực công nghiệp và quân sự.

1.5 Kết luận chương

Qua nghiên cứu tổng quan đã mở ra cho nghiên cứu sinh những vấn đề cần nghiên cứu có tính khoa học và thực tiễn cao:

Nghiên cứu ứng xử của vật liệu xốp khi chịu tác dụng của áp lực nén ép và khả năng ứng dụng của vật liệu khi chịu tải xung kích. Từ đó thấy rõ được đặc tính cơ học đặc trưng của vật liệu, cơ sở khoa học để có thể ứng dụng vật liệu xốp nhằm cấu tạo thành kết cấu bảo vệ cho kết cấu công trình chịu tác dụng của áp lực nổ. Nghiên cứu phương pháp mô hình hóa vật liệu xốp trong phần mềm mô phỏng dựa trên dữ liệu thí nghiệm để phản ánh sát nhất ứng xử thực của vật liệu xốp.

Nghiên cứu mô phỏng số bằng phần mềm LS-DYNA kết hợp với kết quả thực nghiệm hiện trường nhằm đưa ra phương pháp mô hình hóa phù hợp cho bài toán mô phỏng nổ đa vật liệu. Mục tiêu là chuẩn hóa được bài toán mô phỏng số bằng cách xác minh chéo với kết quả của thực nghiệm.

Sử dụng mô hình mô phỏng số đã được chuẩn hóa để khảo sát hiệu quả của các giải pháp cấu tạo kết cấu bảo vệ sử dụng vật liệu xốp nhằm nâng cao hiệu quả bảo vệ. Từ kết quả đó, xây dựng mô hình thử nghiệm số để kiểm chứng khả năng kết cấu bảo vệ sử dụng vật liệu xốp giảm tác dụng của áp lực nổ lên kết cấu công trình thực tế.

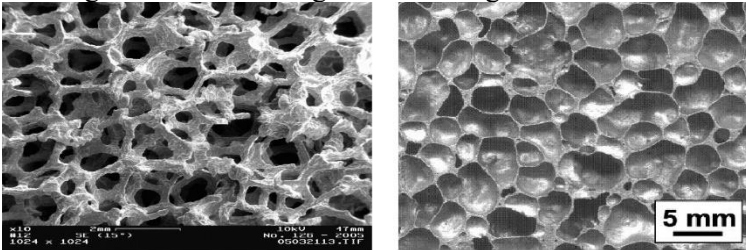
Chương 2

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẤP THỤ ÁP LỰC CỦA VẬT LIỆU XÓP VÀ ỨNG DỤNG

Nội dung của chương sẽ trình bày cơ chế ứng xử của vật liệu xốp chịu tác dụng nén ép nói chung và ứng xử của vật liệu khi chịu tác động tốc độ cao. Nghiên cứu ứng dụng mô phỏng số, lựa chọn mô hình vật liệu để đáp ứng xử thực tế của vật liệu xốp, thông qua việc xác minh chéo với dữ liệu thí nghiệm. Trình bày ứng dụng hấp thụ áp lực tác động, giảm rung và giảm chấn của vật liệu xốp, phương thức cấu tạo và tính toán kết cấu bảo vệ.

2.1 Giới thiệu chung về vật liệu xốp

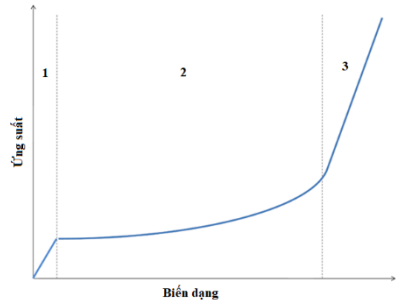
Vật liệu xốp được tạo ra với hai yếu tố quan trọng là vật liệu nền và hình thái của pha khí. Có hai hình thái pha khí trong vật liệu xốp là lỗ rỗng mở và lỗ rỗng đóng kín (Hình 2.1). Các lỗ rỗng mở có cấu trúc dạng xương cho phép không khí có thể luân chuyển giữa các lỗ rỗng, còn đối với cấu trúc lỗ rỗng đóng kín ngoài cấu trúc xương như lỗ rỗng mở còn được ngăn cách bởi các vách ngăn bằng pha rắn, ngăn không cho khí thoát ra ngoài các lỗ rỗng.



Hình 2.1. Cấu trúc lỗ rỗng mở (trái) và lỗ rỗng kín (phải)

2.2 Ứng xử cơ học của vật liệu xốp chịu nén

Một đặc điểm quan trọng của xốp là tính chất cơ học của nó phụ thuộc vào mật độ tương đối ρ_f / ρ_s (tỷ số giữa mật độ của vật liệu xốp ρ_f và mật độ của vật liệu nền ρ_s). Khi mật độ tương đối tăng lên, cấu trúc xương và màng tạo nên vật liệu xốp sẽ tăng độ dày khi thành phần pha rắn của xốp chiếm nhiều không gian hơn làm cho thể tích rỗng chứa khí trong

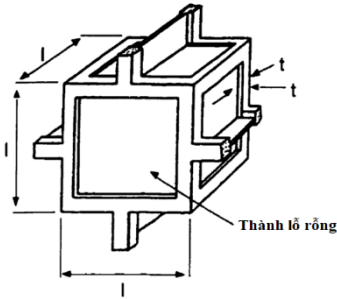


Hình 2.4. Đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng vật liệu xốp

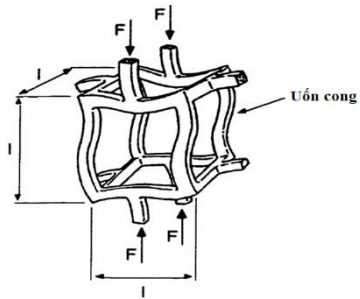
vật liệu bị

thu nhỏ lại. Về cơ bản ứng xử khi chịu nén của vật liệu xốp thường trải qua ba giai đoạn điển hình. Trong Hình 2.4 minh họa đặc tính ứng suất nén của vật liệu xốp trải qua ba giai đoạn (Vùng 1 - Vùng 2 - Vùng 3).

Một phương pháp tiếp cận dễ hiểu và cơ bản nhất đã được Gibson và Ashby cung cấp, ứng xử vi mô của cấu trúc lỗ rỗng được mô tả thông qua quá trình bị uốn cong và kéo giãn của khung xương, thành lỗ rỗng. Các lỗ rỗng được mô hình hóa đơn giản như một khối lập phương gồm các phần tử dạng dầm tiết diện vuông.



Hình 2.8. Mô hình của Gibson và Ashby cho phần tử lỗ rỗng đóng kín



Hình 2.9. Ứng xử của phần tử lỗ rỗng đóng kín khi chịu nén

Mô đun đàn hồi của vật liệu xốp lỗ rỗng đóng kín:

$$\frac{E_f}{E_s} \approx \phi^2 \left(\frac{\rho_f}{\rho_s} \right)^2 + (1 - \phi) \frac{\rho_f}{\rho_s} + \frac{p_0(1 - 2\nu_f)}{E_s(1 - \rho_f/\rho_s)} \quad (2.16)$$

Quan hệ giữa ứng suất vật liệu xốp và mô đun đàn hồi vật liệu nền có dạng:

$$\frac{\sigma^f}{E_s} \approx 0,05 \left(\frac{\rho_f}{\rho_s} \right)^2 + \frac{p_0 \varepsilon}{E_s(1 - \varepsilon - \rho_f/\rho_s)} \quad (2.20)$$

Biến dạng bắt đầu giai đoạn nén chặt (Vùng 3):

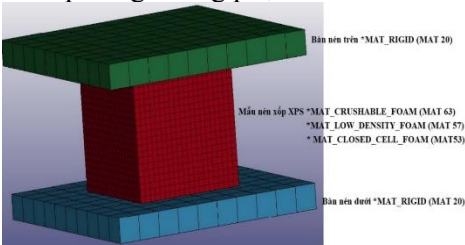
$$\varepsilon_D = 1 - 1.4 \left(\frac{\rho_f}{\rho_s} \right) \quad (2.21)$$

Nhìn chung ứng xử của vật liệu tăng lên khi tốc độ biến dạng tăng. Nghiên cứu của Deshpande và Fleck gợi ý rằng ứng suất đoạn bằng tăng theo tốc độ biến dạng, nhiều nhất là 30%. Thí nghiệm mẫu nhôm bọt NCS tiến hành, cho thấy trong khoảng biến dạng đến 60% gần như không thay đổi. Do đó, việc sử dụng

quan hệ ứng suất - biến dạng trong thí nghiệm nén tĩnh áp dụng cho bài toán tác động tốc độ cao là hoàn toàn có thể chấp nhận được.

2.3 Nghiên cứu phương pháp mô hình hóa vật liệu xốp chịu áp lực nén

Như trong phần tổng quan đã trình bày một số phương pháp mô hình hóa vật liệu xốp mật độ thấp. Các phương pháp mô tả vi mô cấu trúc vật liệu này chỉ phù hợp cho các nghiên cứu vật liệu dùng ở đánh giá mẫu kích thước nhỏ. Một vấn đề đặt ra là khi tính toán vật liệu xốp ở dạng kết cấu lớn, cần phải có một phương pháp tiếp cận khác. Nội dung nghiên cứu đánh giá đáp ứng của các mô hình trong phần mềm LS-DYNA cho ứng xử thực của vật liệu xốp, phương pháp tiến hành là xác minh chéo giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm. Kết quả cho thấy mô hình MAT_CRUSHABLE_FOAM (MAT_63), phù hợp và đáp ứng tốt ứng xử của xốp cứng không phục hồi.



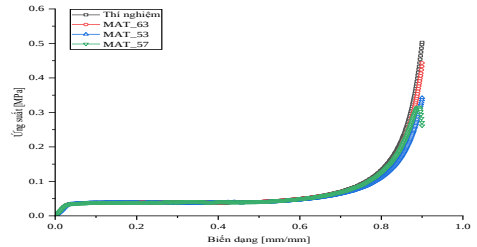
Hình 2.25. Mô hình mô phỏng mẫu nén xốp XPS trong LS-DYNA

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp mô hình hóa dựa trên phần tử khối, kết hợp với đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng từ thí nghiệm và lựa chọn mô hình vật liệu phù hợp sẽ phản ánh được ứng xử thực của vật liệu xốp chịu nén. Phương pháp tiếp cận này trong tính toán cũng khắc phục được những khó khăn của phương pháp tính toán dựa trên cấu trúc vi mô của vật liệu xốp, nhất là với kích thước vật liệu lớn.

2.4 Ứng dụng hấp thụ áp lực tác động của vật liệu xốp

Vật liệu xốp được ứng dụng rộng rãi trong các ứng dụng cách âm, cách nhiệt và hấp thụ tác động. Đối với ứng dụng hấp thụ tác động bao gồm các ứng dụng như hấp thụ áp lực nổ, hấp thụ động năng va chạm, giảm rung động và giảm chấn đã được đề cập cụ thể trong nội dung của luận án.

Đối với ứng dụng như hấp thụ áp lực nổ, phương pháp tính toán bộ hấp thụ áp lực nổ (gồm tấm đệm đặt phía trên vật liệu xốp), được tính toán dựa trên sự



Hình 2.30. Tương quan kết quả nén mẫu xốp giữa các mô hình mô phỏng

cân bằng năng lượng. Xung động từ vụ nổ làm tăng tốc tấm đệm, động năng của tấm đệm bị tiêu tán bởi vật liệu xốp hấp thụ năng lượng. Công thức xác định chiều dày của xốp liên hệ với chiều dày của tấm đệm và xung lượng của vụ nổ:

$$h_{blast} = \frac{J_s^2}{2\rho_{td}\delta_{td}W_{vol}} \quad (2.32)$$

2.5 Kết luận chương

Cơ chế ứng xử cho thấy vật liệu xốp có tính năng rất hữu ích là khả năng hấp thụ năng lượng tác động, giảm rung và giảm chấn. Khả năng hấp thụ năng lượng tác động có được thông qua quá trình biến dạng cấu trúc bên trong của vật liệu.

Tốc độ biến dạng của vật liệu xốp ảnh hưởng không nhiều đến ứng suất đoạn bằng, điều đó cho phép sử dụng đoạn bằng trong thí nghiệm nén tĩnh đơn trục để dự đoán và tính toán kết cấu bảo vệ chịu áp lực nổ phù hợp và thiên về an toàn do xu thế tăng của ứng suất đoạn bằng ở tốc độ tác động cao.

Thông qua nghiên cứu phương pháp xử lý mô hình trong LS-DYNA, cho thấy phương pháp dựa trên phần tử khối kết hợp với đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng từ thí nghiệm và lựa chọn mô hình vật liệu phù hợp để mô phỏng vật liệu xốp cứng chịu nén là khả thi.

Hiệu quả hấp thụ áp lực nổ của vật liệu xốp thông qua việc chuyển hóa xung lượng vụ nổ thành động năng của tấm đàn lực. Các công thức tính toán trong chương cho phép có cơ sở để tính toán và chế tạo kết cấu bảo vệ.

Chương 3

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG VÀ CHUẨN HÓA MÔ HÌNH MÔ PHỎNG SỐ

Mục tiêu của chương là chuẩn hóa mô hình mô phỏng số vụ nổ đầy đủ bao gồm các miền vật liệu khác nhau như thuốc nổ, không khí, bê tông, cốt thép, vật liệu xốp... Từ các kết quả mô phỏng số và xác minh chéo thông qua kết quả thử nghiệm hiện trường, cho phép xây dựng được bài toán mô phỏng số đủ tin cậy để và có thể thay thế cho thử nghiệm nổ hiện trường phức tạp, khó khăn mà khuôn khổ luận án chưa thực hiện được. Các kết quả nghiên cứu của chương là căn cứ cho các khảo sát bằng mô phỏng số cho chương tiếp sau.

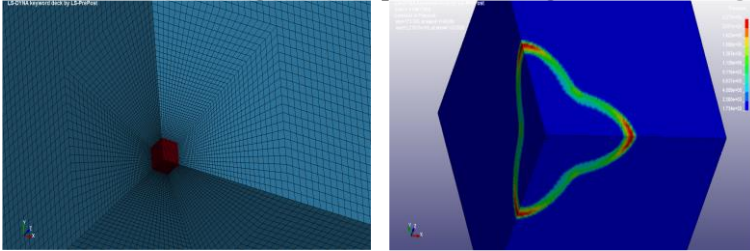
3.1 Mô phỏng vụ nổ trong không khí

Mục tiêu nhằm nghiên cứu để xác định ảnh hưởng của các yếu tố như kích thước lưới chia môi trường không khí, yếu tố tỉ lệ bước thời gian, kích thước lưới chia lượng nổ TNT và ảnh hưởng của bề rộng biên không khí. Thông qua việc

xác minh chéo giữa kết quả mô phỏng và thí nghiệm, cho phép rút ra được những khuyến cáo cụ thể khi mô phỏng nhằm đạt được mô hình số tốt nhất.

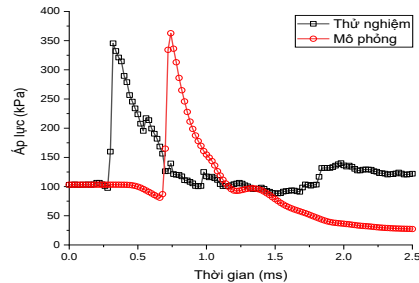


Hình 3.2. Bố trí thí nghiệm đo áp lực nổ không khí hiện trường



Hình 3.3. Mô hình số trên LS-DYNA

Qua nghiên cứu khảo sát, khuyến cáo sử dụng: Mật độ lưới phần tử không khí không quá 0.5 lần chiều dài cạnh bên của lượng nổ, hệ số tỉ lệ bước thời gian bằng 0.3, lưới chia lượng nổ bằng 1/20 cạnh lượng nổ và bề rộng biên từ điểm khảo sát áp lực tối thiểu bằng 15 lần chiều dài phần tử.



Hình 3.14. Áp lực mô phỏng LS-DYNA và thực nghiệm nổ hiện trường

3.2 Mô phỏng số vật liệu bê tông cốt thép

Nội dung này mục là lựa chọn mô hình mô phỏng số vật liệu BTCT chịu tác dụng của áp lực nổ bằng cách xác minh chéo kết quả mô phỏng với thực nghiệm hiện trường. Có nhiều mô hình khác nhau nhau về vật liệu bê tông và cốt thép có trong LS-DYNA, dựa trên các đánh giá, phân tích, cũng như tham khảo các nghiên cứu trước, đây đã rút ra lựa chọn mô hình Winfrith (MAT_084) cho bê tông và mô hình 003-PLASTIC_KINEMATIC (MAT_003) cho cốt thép. Trong nội dung nghiên cứu, trình bày phương pháp xây dựng mô hình hóa sử dụng

phương pháp nhúng phù hợp cho xây dựng các cấu trúc kết cấu bê tông cốt thép phức tạp. Các mô hình vật liệu của không khí và TNT, phương pháp xây dựng mô hình số lấy theo mục 3.1.

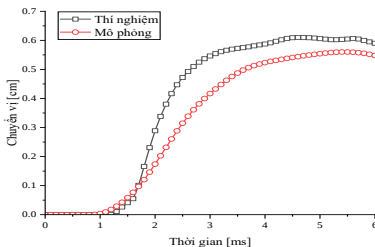
Trong nghiên cứu tiến hành 02 thí nghiệm nhằm xác định các đặc trưng động học tấm bê tông (TN_01) và thí nghiệm kết cấu chịu tác dụng của nổ gần (TN_02). Các thiết bị thí nghiệm: máy đo động đa kênh NI SCXI-1000DC, đầu đo chuyển vị không tiếp xúc Sharp GP2Y0A21YK0F và đầu đo gia tốc PCB 353M231. Các đầu đo được kết nối với máy đo NI SCXI-1000DC thông qua các card đo thích hợp, toàn bộ hệ thống đo được điều khiển trên máy tính bằng phần mềm LabVIEW SignalExpress 2015.



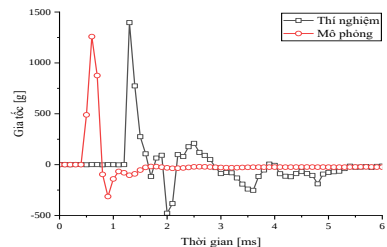
Hình 3.19. Thí nghiệm xác định đặc trưng động học tấm BTCT



Hình 3.23. Hình thành vết nứt mặt dưới tấm BTCT (TN_01)



Hình 3.25. Chuyển vị tấm BTCT (TN_01)



Hình 3.26. Gia tốc tấm BTCT (TN_01)

Bảng 3.5. Bảng tổng hợp kết quả

Nội dung	Tham số	Đơn vị	Thí nghiệm	Mô phỏng	Chênh lệch (%)
TN_01	Chuyển vị	cm	0.61	0.56	8.15
	Gia tốc	g	1395.77	1258.21	9.86
TN_02	Chuyển vị	cm	1.16	1.07	7.93

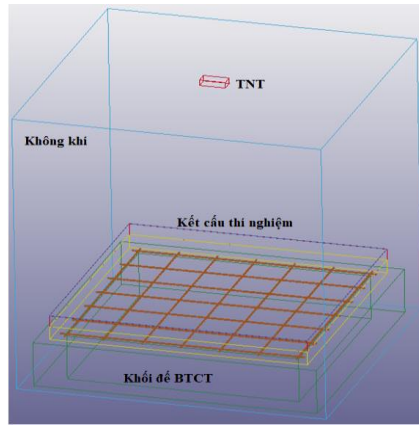
Từ kết quả mô phỏng cả về hình thái phá hoại trên tấm bê tông cũng như dạng biểu đồ và giá trị chuyển vị giữa tấm, cho thấy bằng cách sử dụng các mô hình vật liệu phù hợp với những thông số đầu vào cơ bản của mô hình bê tông MAT_084 trong LS-DYNA, là đáng tin cậy khi mô phỏng vật liệu bê tông chịu tác dụng từ vụ nổ.

3.3 Mô phỏng số vật liệu xốp cứng không phục hồi chịu áp lực nổ

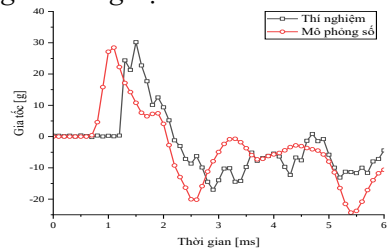
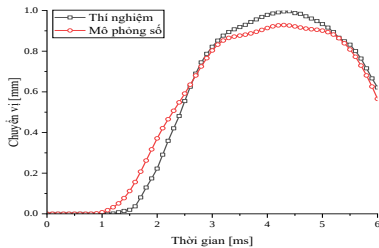
Trong phần này nghiên cứu khảo sát và đánh giá mô hình MAT_63 cho vật liệu xốp cứng không phục hồi chịu áp lực nổ, thông qua xác minh chéo với kết quả thực nghiệm. Tiến hành thử nghiệm với lượng nổ TNT 0.4kg treo cách mặt tấm 1m, phía trên kết cấu thí nghiệm đặt tấm xốp XPS dày 50mm, một tấm dãn lực bằng thép dày 2mm được đặt ở phía trên. Các thông số đo để khảo sát thí nghiệm gồm gia tốc và chuyển vị theo phương thẳng đứng của tấm thí nghiệm. Các thiết bị đo tham số động học của tấm thí nghiệm tương tự như trong TN_01. Tiến Phương pháp thiết lập số sử dụng các khuyến cáo đã được rút ra trong các mục trên.



Hình 3.28. Công tác thí nghiệm hiện trường



Hình 3.29. Mô hình mô phỏng số thí nghiệm



Hình 3.31. Chuyển vị của tấm thí nghiệm

Hình 3.32. Gia tốc của tấm thí nghiệm

Bảng 3.7. Bảng tổng hợp kết quả

Nội dung	Tham số	Đơn vị	Thí nghiệm	Mô phỏng số	Sai lệch (%)
Tham số động học tấm	Chuyển vị	mm	0.97	0.93	6.82
	Gia tốc	g	30.17	28.44	5.73

So sánh giữa thí nghiệm với mô phỏng số cho thấy hình dạng biểu đồ các tham số động học được khảo sát tương đối tương đồng về hình dạng, các giá trị cực đại của chuyển vị và gia tốc sai lệch nhau nhỏ hơn 10%. Các kết quả khảo sát cho thấy việc mô phỏng số cho kết quả khả quan với các mô hình vật liệu đã lựa chọn trong nghiên cứu.

Từ kết quả khảo sát cho thấy mô hình MAT_63 phù hợp và sát với kết quả thí nghiệm, các tham số mô hình cơ bản đòi hỏi khá đơn giản. Việc sử dụng biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng bằng thí nghiệm nén đơn trực áp dụng vào mô hình

vật liệu trong mô phỏng nổ cho kết quả khả quan. Đề xuất sử dụng mô hình MAT_63 cho các nghiên cứu tiếp theo, khi mô phỏng các loại xốp cứng không phục hồi chịu tác dụng của áp lực nổ với đầu vào là biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng từ thí nghiệm nén đơn trục và các tham số cơ bản của vật liệu.

3.4 Bàn luận chung về kết quả chuẩn hóa mô hình

Từ các kết quả so sánh giữa mô phỏng số và thực nghiệm nhận thấy:

Xét về mặt định tính của kết quả, cho thấy hình dạng của các biểu đồ đặc trưng động học cũng như xu thế phá hoại giữa mô phỏng và thí nghiệm là phù hợp và khẳng định được tính đúng đắn của phương pháp xây dựng mô hình mô phỏng, lựa chọn mô hình vật liệu và xử lý tiếp xúc giữa các miền vật liệu nhất là giữa vật liệu mềm và cứng.

Xét về mặt định lượng của kết quả, có thể thấy rằng sai lệch giá trị đỉnh của các đặc trưng động học từ 5 đến dưới 10%, là một kết quả sát và có sai lệch nhỏ.

Một số yếu tố dẫn đến sự sai khác giữa kết quả mô phỏng và thí nghiệm:

Sự sai lệch có thể xảy ra do liên kết trên kết cấu thí nghiệm khó là các liên kết lý tưởng như mô phỏng, quá trình chịu lực có sự sắp xếp lại liên kết ở một mức độ nhỏ.

Sự không đồng nhất của vật liệu kết cấu cũng có ảnh hưởng đến kết quả khi thí nghiệm.

Sự sai lệch nhỏ của kích thước kết cấu giữa mô phỏng và thí nghiệm.

Kết quả so sánh giữa mô phỏng số với thí nghiệm cho thấy kết quả mô phỏng có xu hướng thấp hơn thí nghiệm với giá trị đỉnh dưới 10%. Để đảm bảo tính an toàn và tăng độ tin cậy cho kết quả mô phỏng kết cấu, có thể xem xét đưa vào kết quả tính hệ số toàn từ 1.1 đến 1.15 tùy vào cấp công trình.

3.5 Kết luận chương

Từ những nghiên cứu của chương cho thấy kết quả mô phỏng số khá tương đồng với kết quả thí nghiệm, cho thấy có thể sử dụng mô phỏng số khảo sát thực nghiệm vụ nổ. Thông qua kết quả nghiên cứu rút ra những khuyến cáo cụ thể như sau:

Mô phỏng vụ nổ trong không khí đề xuất sử dụng lưới lưới chia miền không khí không vượt quá 0.5 lần chiều dài cạnh lượng nổ; lưới chia lượng nổ bằng 1/20 chiều dài cạnh lượng nổ; độ rộng biên miền không khí tối thiểu bằng 15 lần chiều dài phần tử và hệ số tỉ lệ bước thời gian TSSFAC lấy bằng 0.3.

Sử dụng mô hình vật liệu Winfrith (MAT_084) cho vật liệu bê tông, mô hình 003-PLASTIC_KINEMATIC (MAT_003) cho vật liệu cốt thép để mô phỏng kết cấu BTCT chịu tác dụng nổ.

Sử dụng mô hình MAT_CRUSHABLE_FOAM (MAT_63), kết hợp với các thông số cơ bản của vật liệu và đường cong quan hệ ứng suất - biến dạng thu được từ thí nghiệm nén đơn trục tĩnh để mô phỏng xốp cứng không phục hồi chịu áp lực nổ.

Ngoài ra phương pháp xây dựng mô hình mô phỏng, lựa chọn các mô hình vật liệu và xác định tham số cho mô hình vật liệu, phương pháp mô hình hóa cốt thép trong bê tông, tiếp xúc giữa các miền vật liệu,... đã trình bày trong chương sẽ được sử dụng cho nghiên cứu trên mô hình số trong nội dung tiếp theo.

Các kết quả nghiên cứu trong nội dung của chương sẽ được ứng dụng trong bài toán nghiên cứu tổng thể ở chương tiếp theo bao gồm vụ nổ trong không khí, kết cấu bảo vệ, kết cấu được bảo vệ và hệ thống giá thí nghiệm.

Chương 4

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG KẾT CẤU BẢO VỆ BẰNG VẬT LIỆU XỐP GIẢM TÁC ĐỘNG CỦA ÁP LỰC NỔ

Trong chương này dựa trên các kiến thức về vật liệu xốp và kỹ thuật mô phỏng số, tiến hành nghiên cứu cấu tạo hợp lý cho kết cấu bảo vệ nhằm giảm thiểu tác động của áp nổ lên kết cấu công trình. Từ kết quả khảo sát lựa chọn cấu trúc hợp lý cho kết cấu bảo vệ sử dụng vật liệu xốp, ứng dụng bảo vệ cho cấu kiện BTCT thực tế chịu áp lực nổ lớn.

4.1 Tính toán kết cấu bảo vệ cơ bản

Trong mục 3.3 của chương 3 đã sử dụng mô phỏng số và thí nghiệm để đánh giá khả năng đáp ứng của mô hình MAT_63 cho vật liệu xốp cứng không phục hồi (XPS) chịu tác dụng của áp lực nổ, với cách tiếp cận đang dừng trong phạm vi nhấn mạnh đánh giá khả năng đáp ứng của mô hình vật liệu xốp chịu áp lực nổ. Trong nội dung nghiên cứu này tiếp tục sử dụng thí nghiệm nổ nêu trên với cách tiếp cận cụ thể hơn từ việc tính toán lựa chọn kết cấu bảo vệ, thí nghiệm hiện trường đánh giá hiệu quả phương án chọn, chuẩn hóa mô hình mô phỏng số làm mô hình chuẩn cho các khảo sát số tiếp theo. Từ đó, khảo sát các giải pháp kết cấu bảo vệ khác nhau để tìm ra được giải pháp hữu ích nhất, cũng như có tính khả thi trong thực tế sản xuất và lắp dựng.

Đặt bài toán với kết cấu tấm bê tông cốt GFRP kích thước 100x100x6cm kê bốn cạnh tự do trên khối đế bằng BTCT, thuốc nổ TNT có khối lượng 0.4kg treo cách mặt trên tấm bê tông 100cm.

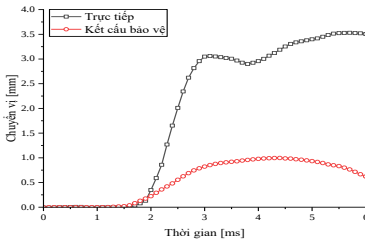
Thực tế sản xuất hiện nay trên thị trường thường có các loại xốp XPS có chiều dày nhất định từ nhà sản xuất. Để phù hợp với sản phẩm thông dụng trên thị trường trong nghiên cứu lựa chọn tấm xốp cứng XPS dày 50mm. Do tấm xốp được lựa chọn trước chiều dày nên tấm đàn lực phía trên sẽ được tính toán dựa trên loại vật liệu lựa chọn. Lựa chọn vật liệu thép cho tấm đàn lực vì đây là loại vật liệu thông dụng và có cường độ cao phía trên đặt tấm thép đàn lực. Công thức xác định chiều dày tấm đàn lực được suy ra từ công thức (2.32):

$$\delta_{td} = \frac{J_s^2}{2h_{blast}\rho_{td}W_{vol}} \quad (4.1)$$

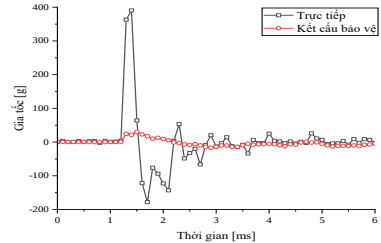
Bảng 4.1. Bảng kết quả tính kết cấu bảo vệ

Thông số	J_s Nsm^{-2}	W_{vol} J/m^3	h_{blast} m	ρ_{td} kg/m^3	δ_{td} m	δ_{td} (chọn)
Kết quả	191.725	2.291E4	0.05	7850	2.044E-3	2.0E-3

Để tiến hành đánh giá khả năng hấp thụ và làm giảm tác dụng áp lực nổ lên kết cấu của xốp cứng XPS, tiến hành thí nghiệm nổ tại hiện trường với đối tượng là tấm bê tông cốt GFRP (dạng thanh đường kính 10mm) mác 300 có kích thước 100x100x6cm được kê bốn cạnh lên khối đế cố định bằng BTCT. Thí nghiệm cho hai trường hợp: tấm bê tông cốt GFRP chịu tác dụng trực tiếp của nổ và tấm bê tông cốt GFRP có kết cấu bảo vệ đặt phía trên (lớp xốp XPS dày 50mm và tấm thép đàn lực dày 2mm). Lượng nổ TNT 0.4kg treo giữa tấm tấm và cách mặt tấm 100cm. Đo các tham số động học gồm gia tốc và chuyển vị theo phương thẳng đứng tại tâm của mặt dưới tấm thí nghiệm.



Hình 4.3. Chuyển vị tấm bê tông cốt GFRP thí nghiệm



Hình 3.32. Gia tốc tấm tấm bê tông cốt GFRP mô phỏng

Bảng 4.2. Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm

Nội dung	Tham số	Đơn vị	Trực tiếp	Kết cấu bảo vệ	Chênh lệch (%)
Tham số động học tấm thí nghiệm	Chuyển vị	mm	3.53	0.97	71.78
	Gia tốc	g	390.54	30.17	92.27

Từ kết quả đo thực nghiệm cho thấy việc tính toán và lựa chọn giải pháp kết cấu bảo vệ bằng vật liệu xốp XPS kết hợp với tấm thép dãn lực phía trên là khả thi và đem lại hiệu quả cao. Làm giảm mạnh chuyển vị trên 70%, gia tốc trên 90% và giảm thiểu được việc phá hoại kết cấu trước tác động của áp lực nổ, kết cấu không bị nứt.

Tiến hành mô phỏng số so sánh kết quả với thí nghiệm cho thấy hình dạng biểu đồ các tham số động học được khảo sát tương đối tương đồng về hình dạng, các giá trị cực đại của chuyển vị và gia tốc sai lệch nhau không quá lớn.

Bảng 4.4. Bảng tổng hợp kết quả so sánh giữa thí nghiệm và mô phỏng

Nội dung	Tham số	Đơn vị	Thí nghiệm	Mô phỏng số	Chênh lệch (%)
Trực tiếp	Chuyển vị	mm	3.53	3.24	8.22
	Gia tốc	g	390.54	361.29	7.49
Có kết cấu bảo vệ	Chuyển vị	mm	0.97	0.93	6.82
	Gia tốc	g	30.17	28.44	5.73

Các kết quả này cho thấy việc mô phỏng số cho kết quả khả quan với các mô hình vật liệu, phương pháp mô phỏng đã lựa chọn trong nghiên cứu. Từ đó có thể sử dụng mô phỏng số để khảo sát các cấu trúc khác nhau của kết cấu bảo vệ, cũng như các khảo sát số trên cấu kiện lớn mà không có đủ điều kiện để thực hiện tất cả các thí nghiệm. Ngoài ra, những kết quả nêu trên đã khẳng định cho việc nghiên cứu giải pháp tạo ra kết cấu bảo vệ từ vật liệu xốp nói chung và vật liệu xốp cứng không phục hồi tạo thành kết cấu bảo vệ công trình trước các tác động của áp lực nổ gây ra là khả thi.

Trong các nội dung tiếp theo sẽ tiếp tục sử dụng mô hình số đã được xác minh này để khảo sát các dạng cấu tạo khác nhau của kết cấu bảo vệ.

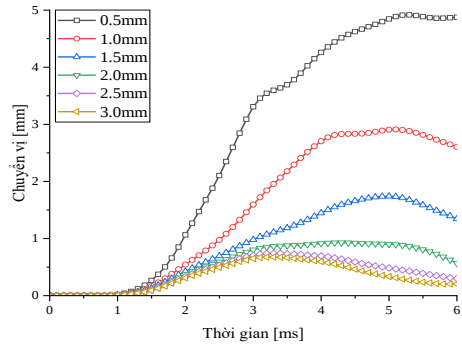
4.2 Nghiên cứu khảo sát cấu tạo cho kết cấu bảo vệ

Nội dung nghiên cứu tiến hành khảo sát các yếu tố như chiều dày của tấm dãn

lực, kết cấu nhiều lớp, đặc tính vật liệu đàn lực và phân nhỏ kết cấu bảo vệ, để tìm ra giải pháp kết cấu phù hợp nhất.

Khảo sát chiều dày tấm thép đàn lực:

Kết cấu bảo vệ sử dụng giống như cấu trúc cơ bản được tính toán ở mục trên với tấm xốp XPS dày 50mm và tấm đàn lực phía trên. Khảo sát tấm thép đàn lực với các độ dày khác nhau để đánh giá kết quả tính toán dựa trên công thức (4.1) có thực sự phù hợp. Tiến hành khảo sát thí nghiệm số với sự thay đổi chiều dày tấm từ 0.5 đến 3mm.

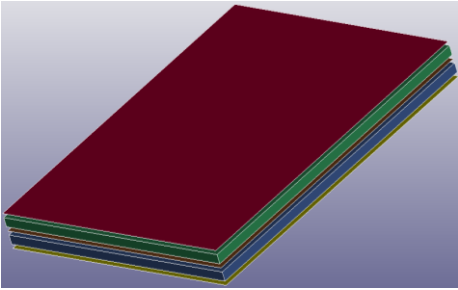


Hình 4.11. Chuyển vị tấm bê tông

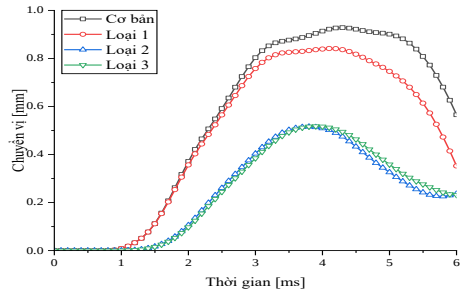
Từ kết quả khảo sát cho thấy chiều dày tính toán và lựa chọn của tấm thép đàn lực với $\delta_{td} = 2\text{mm}$ đem lại hiệu quả giảm tác động từ vụ nổ xem xét là đủ tốt. Khi tăng chiều dày tấm thép đàn lực thêm ($\delta_{td} = 2.5\text{mm}$ và $\delta_{td} = 3.0\text{mm}$) cho thấy hiệu quả vẫn có xu thế tăng nhẹ và không quá rõ rệt. Điều này cho thấy các tính toán cơ bản cho bộ hấp thụ năng lượng từ áp lực nổ đề cập trong luận án là hướng tiếp cận đúng đắn và phù hợp.

Khảo sát kết cấu bảo vệ dạng nhiều lớp:

Các nghiên cứu gần đây cho thấy hiệu quả của cấu trúc nhiều lớp với lõi vật liệu xốp trong ứng dụng hấp thụ áp lực nổ, là gợi ý quan trọng cho vấn đề nghiên cứu khảo sát về cấu trúc nhiều lớp của luận án. Trong khảo sát và đánh giá hiệu quả của giải pháp cấu trúc nhiều lớp của kết cấu bảo vệ, sử dụng xốp XPS loại dày 50mm cho cấu trúc cơ bản (thép - xốp) và cấu trúc nhiều lớp loại 1 (thép-xốp-thép). Sử dụng xốp XPS dày 25mm cho mỗi lớp xốp (tổng chiều dày xốp 50mm bằng cấu trúc cơ bản), cho cấu trúc nhiều lớp loại 2 (thép-xốp-thép-xốp) và cấu trúc nhiều lớp loại 3 (thép-xốp-thép-xốp-thép). Các lớp xốp này được kết hợp với các tấm thép 2mm để cấu tạo thành các cấu trúc nhiều lớp nhằm đánh giá sự gia tăng hiệu quả bảo vệ so với cấu trúc cơ bản như đã nghiên cứu phía trên.



Hình 4.18. Cấu trúc nhiều lớp loại 3



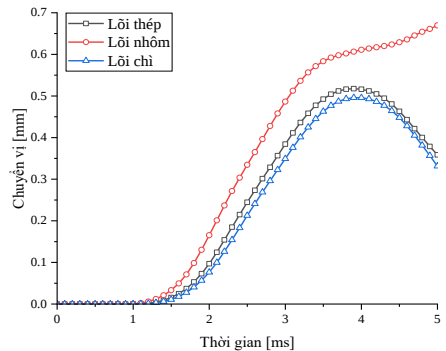
Hình 4.19. Kết quả chuyển vị tấm

Bảng 4.5. Bảng tổng hợp hiệu quả so với cấu trúc cơ bản

Tham số	Cấu trúc	Đơn vị	Kết quả	Chênh lệch (%)
Chuyển vị	Cơ bản	mm	0.93	-
	Loại 1		0.84	9.38
	Loại 2		0.52	44.43
	Loại 3		0.52	44.43
Gia tốc	Cơ bản	g	28.44	-
	Loại 1		25.05	11.91
	Loại 2		13.25	53.40
	Loại 3		12.23	56.99

Khảo sát đặc tính vật liệu dãn lực:

Vật liệu chì có khối lượng riêng vượt trội so với vật liệu thép (11430 kg/m³ so với 7850 kg/m³), với cùng kích thước (chiều dày) vật liệu chì sẽ cho phép khối lượng của tấm tăng lên đáng kể so với vật liệu thép. Tuy nhiên, độ bền của chì thấp hơn nhiều so với thép nên không thể thay thế làm tấm dãn lực phía trước để tiếp nhận trực tiếp áp lực nổ.



Hình 4.21. Kết quả chuyển vị tấm

Với ý tưởng này đề xuất giải pháp thay thế lõi thép giữa hai lớp xốp bằng lõi

chì với cùng chiều dày. Trong nội dung khảo sát này thực hiện khảo sát các bài toán với cấu trúc nhiều lớp loại 3 bằng cách sử dụng lõi thép giữa hai lớp xốp bằng lớp nhôm (trọng lượng nhẹ hơn thép) và lớp chì.

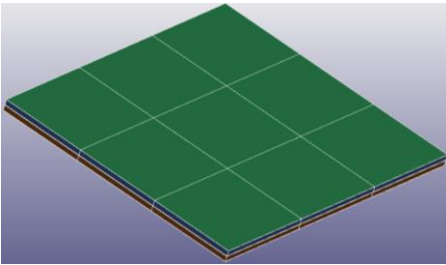
Bảng 4.7. Bảng tổng hợp hiệu quả so với cấu trúc lõi thép

Tham số	Cấu trúc	Đơn vị	Kết quả	Chênh lệch (%)
Chuyển vị	Lõi thép	mm	0.52	-
	Lõi nhôm		0.67	+ 29.38
	Lõi chì		0.50	- 8.41
Gia tốc	Lõi thép	g	12.23	-
	Lõi nhôm		16.16	+ 32.07
	Lõi chì		11.20	- 8.41

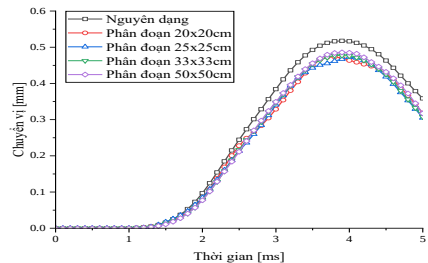
Phân nhỏ kết cấu bảo vệ:

Một vấn đề khác được đặt ra trong nghiên cứu đó là khi các kết cấu công trình cần bảo vệ có kích thước lớn, việc chế tạo kết cấu bảo vệ đủ lớn để bao phủ toàn bộ bề mặt kết cấu là hoàn toàn không khả thi trong thực tế. Do đó, trong nội dung này sẽ nghiên cứu việc chia nhỏ kết cấu bảo vệ (kết cấu bảo vệ hiện tại 100x100cm) thành các tấm nhỏ ghép lại với nhau và sử dụng cấu trúc nhiều lớp loại 3 với lõi giữa hai lớp xốp bằng vật liệu chì.

Để đánh giá ảnh hưởng của việc chia nhỏ kết cấu bảo vệ so với kích thước nguyên khối ban đầu, tiến hành chia nhỏ kết cấu bảo vệ thành các phân đoạn nhỏ với các kích thước khác nhau: 20x20cm, 25x25cm, 33x33cm và 50x50cm.



Hình 4.25. Phân đoạn kết cấu bảo vệ



Hình 4.27. Chuyển vị tấm mô phỏng

Bảng 4.8. Bảng tổng hợp hiệu quả phân đoạn kết cấu bảo vệ

Tham số	Cấu trúc	Đơn vị	Kết quả	Chênh lệch (%)
Chuyển vị	Nguyên dạng	mm	0.518	-
	20x20cm		0.474	-8.52
	25x25cm		0.472	-8.76
	33x33cm		0.477	-7.80
	50x50cm		0.486	-6.18
Gia tốc	Nguyên dạng	g	12.23	-
	20x20cm		16.19	+32.38
	25x25cm		10.29	-15.88
	33x33cm		11.45	-6.39
	50x50cm		11.29	-7.67

Bàn luận kết quả khảo sát:

Việc sử dụng các công thức trong chương 2, để tính toán kết cấu bảo vệ cơ bản (tấm đàn lực - xoắn) cho thấy các kết quả tính toán là phù hợp và đem lại hiệu quả tốt bảo vệ kết cấu trước tác động của áp lực nổ. Dựa trên cấu trúc cơ bản này làm căn cứ để phát triển các cấu trúc nhiều lớp khác và chia nhỏ kết cấu bảo vệ nhằm nâng cao hiệu quả bảo vệ cũng như phù hợp với thực tế chế tạo và lắp dựng.

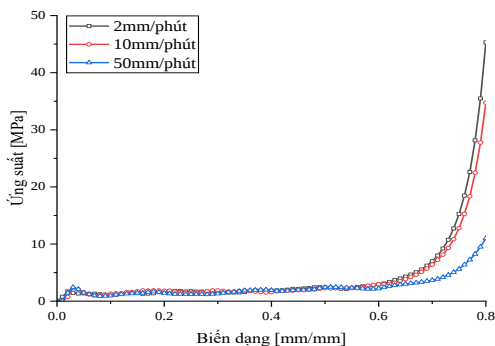
Cấu trúc dạng nhiều lớp cho thấy hiệu quả giảm tải gia tăng đáng kể (chuyển vị trên 40% và gia tốc trên 50%) so với kết cấu cơ bản được cấu tạo chỉ gồm lớp xoắn và tấm đàn lực ở phía trên. Bên cạnh đó việc bổ sung lõi chì thay cho lõi thép giữa các lớp xoắn sẽ làm gia tăng hiệu quả bảo vệ tốt hơn (chuyển vị và gia tốc khoảng 8%).

Kết quả khảo sát cũng cho thấy việc chia nhỏ kết cấu bảo vệ hợp lý và phù hợp với thực tế kết cấu công trình cần bảo vệ để đảm bảo tốt hơn việc chế tạo và thi công vẫn cho hiệu quả bảo vệ tốt (xu hướng tiếp tục giảm khoảng 6 - 8%).

Từ kết quả khảo sát khuyến cáo cấu tạo kết cấu bảo vệ: tính toán cơ bản bộ hấp thụ theo công thức (2.32), sử dụng kết cấu nhiều lớp loại 3 chia đôi chiều dày lớp xoắn, sử dụng vật liệu có trọng lượng riêng lớn cho lớp đàn lực giữa hai lớp xoắn, phân nhỏ kết cấu bảo vệ phù hợp.

4.3 Cấu tạo kết cấu bảo vệ giảm tác dụng của áp lực nổ lên kết cấu công trình

Từ kết quả thử nghiệm nổ hiện trường và mô phỏng số cho thấy hiệu quả của của vật liệu xốp trong việc cấu tạo thành kết cấu bảo vệ dạng để bảo vệ kết cấu công trình. Trong nội dung này sử dụng vật liệu xốp là nhôm bọt với ứng suất đoạn bằng cao hơn (được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu và thực tiễn trên thế giới) để bảo vệ cho kết cấu công trình thực tế chịu tác

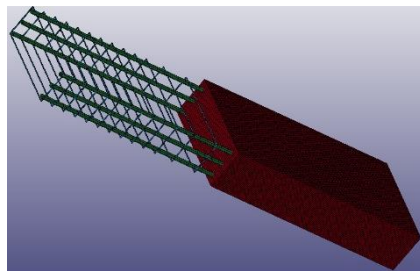


Hình 4.31. Quan hệ ứng suất - biến dạng nén đơn trục mẫu nhôm bọt

dụng từ vụ nổ có khối lượng nổ tương đối lớn thông qua khảo sát bằng mô phỏng số, nhôm bọt sử dụng mẫu nhôm thực tế trên thị trường để xác định các tham số của vật liệu thông qua các thí nghiệm cơ bản.

Với kết cấu công trình dạng khung chịu lực thì cấu kiện cột khi bị tổn thương sẽ nguy hại rất lớn đến khả năng chịu lực và ổn định của công trình. Do đó, để nghiên cứu giải pháp giảm tác động của áp lực nổ lên kết cấu công trình, thực hiện nghiên cứu tác động của áp lực nổ lên cấu kiện cột tầng 1. Giả thiết vụ nổ cách vị trí cột tầng 1 với khoảng cách 2m và cách mặt đất 1.55m (vị trí giữa cột), trọng lượng thuốc nổ là 50kg (TNT).

Cấu tạo cột nghiên cứu với chiều cao 3.1m, kích thước tiết diện cột 22x45cm, sử dụng 6 thanh thép $\phi 20$ bố trí làm việc 1 phương theo phương chịu lực chính của công trình, sử dụng thép đai $\phi 6$ khoảng cách 100mm cho 1/3 về phía chân và đỉnh cột còn lại giữa cột khoảng cách là 200mm giữa các đai.



Hình 4.35. Cấu tạo cột nghiên cứu

Lựa chọn tấm nhôm bọt dày 10cm, phía trên đặt tấm thép dãn lực. Kết quả

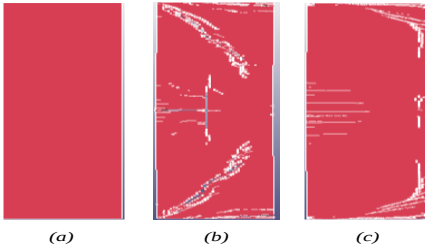
tính toán kết cấu bảo vệ như trong Bảng 4.10.

Bảng 4.10. Bảng kết quả tính kết cấu bảo vệ

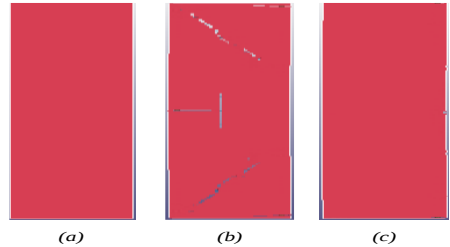
Thông số	J_s Nsm^{-2}	W_{vol} J/m^3	h_{blast} m	ρ_b kg/m^3	δ_{td} mm	δ_{td} (chọn) mm
Kết quả	2715.65	1.022×10^6	0.1	7850	4.60	5.0

Từ các kết quả khảo sát về cấu trúc hợp lý cấu tạo kết cấu bảo vệ như đã khảo sát ở mục 4.2, lựa chọn kết cấu bảo vệ với cấu trúc nhiều lớp và lớp chỉ dày 5mm đặt giữa hai lớp nhôm bột dày 50mm. Sử dụng phương án phân nhỏ kết cấu bảo vệ thành các phân đoạn dài 310mm đặt phía trước cột để tiếp nhận tác động trực tiếp của áp lực nổ.

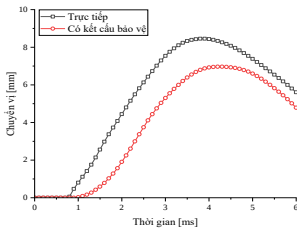
Nhằm đánh giá hiệu quả của kết cấu bảo vệ được tính toán lựa chọn như trên, tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng số với các phương pháp mô phỏng và lựa chọn mô hình đã được kiểm chứng trong chương 3, mục 4.1 và 4.2.



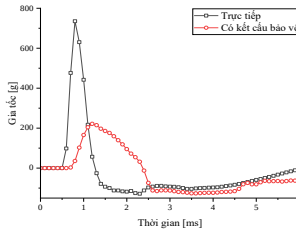
Hình 4.39. Hình ảnh vết nứt: (a) ban đầu, (b) trực tiếp, (c) bảo vệ



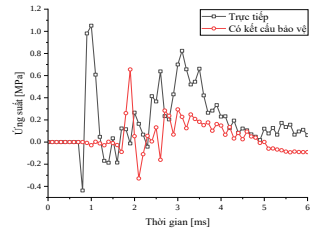
Hình 4.40. Hình ảnh phá hủy: (a) ban đầu, (b) trực tiếp, (c) bảo vệ



Hình 4.41. Chuyển vị cột mô phỏng



Hình 4.42. Gia tốc cột mô phỏng



Hình 4.43. Ứng suất theo phương chịu lực

Bảng 4.11. Bảng tổng hợp kết quả

Tham số	Đơn vị	Trực tiếp	Kết cấu bảo vệ	Chênh lệch (%)
Chuyển vị	mm	8.46	6.97	17.60
Gia tốc	g	735.34	221.47	69.88
Ứng suất	MPa	1.05	0.66	37.63

Thông qua kết quả mô phỏng cho thấy vật liệu xốp, khi được cấu tạo phù hợp để tạo thành kết cấu bảo vệ có khả năng làm giảm mạnh mẽ tác động của áp lực nổ lên kết cấu công trình đem lại hiệu quả bảo vệ tốt. Khi thiết kế kết cấu bảo vệ cần luôn lưu ý đến khối lượng của lượng nổ, khoảng cách từ tâm nổ đến kết cấu và khả năng hấp thụ xung lượng nổ của vật liệu để có những lựa chọn phù hợp nhất.

4.4 Kết luận chương

Nội dung của chương đã nghiên cứu giải pháp sử dụng kết cấu bảo vệ bằng vật liệu xốp cứng không phục hồi để giảm tác động của áp lực nổ lên kết cấu công trình, bao gồm các nội dung tính toán và lựa chọn kết cấu bảo vệ. Các kết quả tính toán, lựa chọn kết cấu bảo vệ được kiểm chứng thông qua thực nghiệm hiện trường và cho kết quả khả quan. Điều này cho thấy các kết quả tính toán lý thuyết được dẫn luận trong luận án có thể áp dụng được cho tính toán và thiết kế thực tế bộ hấp thụ năng lượng bằng vật liệu xốp.

Các nội dung khảo sát thông qua thử nghiệm số dựa trên mô hình được chuẩn hóa đã đưa ra được các giải pháp cụ thể như sử dụng cấu trúc nhiều lớp, kết hợp lõi vật liệu nặng và phân nhỏ kết cấu bảo vệ để vừa tăng khả năng bảo vệ, cũng như phù hợp hơn với công tác chế tạo, thi công lắp đặt ngoài thực tế. Các nội dung khảo sát cho thấy hiệu quả bảo vệ gia tăng tốt, làm giảm trên 40% chuyển vị đỉnh và trên 50% gia tốc đỉnh.

Kết quả áp dụng giải pháp kết cấu bảo vệ nhiều lớp với lõi nhôm bọt ứng dụng bảo vệ cấu kiện cột BTCT chịu áp lực vụ nổ lớn cho thấy hiệu quả rõ rệt. Chuyển vị đỉnh giữa cột giảm hơn 17%, gia tốc đỉnh giữa cột giảm gần 70% và ứng suất đỉnh giữa cột giảm hơn 37%.

Từ những kết quả nghiên cứu trong chương cho thấy hiệu quả tốt khi sử dụng vật liệu xốp cấu tạo thành kết cấu bảo vệ với cấu trúc phù hợp để tiếp nhận, giảm áp lực nổ gây ra. Việc dự tính áp lực nổ là hết sức quan trọng để có thể thiết kế được kết cấu bảo vệ phù hợp cho kết cấu công trình cần được bảo vệ. Với kết cấu

bảo vệ có cấu trúc nhiều lớp thì ngoài lõi là vật liệu xốp, việc lựa chọn và cấu tạo tấm đàn lực cũng hết sức quan trọng.

KẾT LUẬN CHUNG

Những kết quả chính của luận án:

Tổng quan được vấn đề cần nghiên cứu từ đó nêu bật được những nội dung khoa học cần nghiên cứu trong luận án.

Làm rõ được cơ chế ứng xử, khả năng ứng dụng của vật liệu xốp khi chịu áp lực nổ. Xác định và lựa chọn được phương pháp tính toán vật liệu xốp kích thước lớn dựa trên mô phỏng số.

Xây dựng và chuẩn hóa được mô hình mô phỏng số trên phần mềm LS-DYNA thông qua việc xác minh chéo kết quả mô phỏng với kết quả thí nghiệm.

Nghiên cứu, đề xuất giải pháp cấu tạo kết cấu bảo vệ sử dụng vật liệu xốp giảm áp lực nổ cho kết cấu công trình.

Những đóng góp của luận án:

Xác định được tính chất cơ học của vật liệu xốp, khả năng hấp thụ năng lượng của áp lực sóng nổ, giảm rung và giảm chấn của vật liệu.

Bằng thực nghiệm kết hợp với mô phỏng số trong LS-DYNA đã chỉ ra được phương thức mô phỏng, các khuyến cáo cho việc sử dụng mô hình vật liệu và xử lý tiếp xúc.

Đề xuất được giải pháp kết cấu bảo vệ kết cấu công trình bằng sử dụng vật liệu xốp cứng không phục hồi, kết cấu nhiều lớp và phân nhỏ kết cấu bảo vệ.

Hạn chế của luận án và hướng nghiên cứu tiếp theo:

Chưa nghiên cứu ảnh hưởng của cấu trúc vi mô vật liệu xốp đến hiệu quả hấp thụ năng lượng áp lực nổ.

Mới đề cập đến vật liệu xốp cứng không phục hồi, cần tiếp tục nghiên cứu các loại vật liệu đàn hồi và vật liệu tự nhiên khác.

Mới nghiên cứu trường hợp áp lực nổ do sóng xung kích trong không khí, cần tiếp tục nghiên cứu cấu trúc bảo vệ cho các trường hợp nổ gần, nổ trong các môi trường khác.