

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

Bùi Đức Năng

**TÍNH XÁC SUẤT KHÔNG HỎNG CỦA KẾT CẤU HỆ THANH CÓ KÊ ĐẾN
CÁC YẾU TỐ NGẪU NHIÊN VỀ VẬT LIỆU, HÌNH HỌC CỦA KẾT CẤU VÀ
TẢI TRỌNG**

Chuyên ngành: Xây dựng công trình đặc biệt

Mã số: 62.58.50.05

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

Hà Nội – 2010

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

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS Nguyễn Quốc Bảo

PHẢN BIỆN 1: GS.TS Lê Xuân Huỳnh
Đại học Xây dựng Hà Nội

PHẢN BIỆN 2: GS.TSKH Nguyễn Cao Mệnh
Viện Cơ học Việt Nam

PHẢN BIỆN 3: GS.TSKH Đào Huy Bích
Đại học Quốc gia Hà Nội

Luận án được bảo vệ tại: Hội đồng chấm luận án cấp Nhà nước họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự, 100 Hoàng Quốc Việt - Hà Nội

Vào hồi 08 giờ 30 ngày 12 tháng 7 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại:

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

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyễn Quốc Bảo, Bùi Đức Năng (2003), "Mô hình hóa cao độ sóng biển bằng phương pháp tổng trượt", *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, Học viện Kỹ thuật quân sự, số 104, tr. 49-53.
2. Bùi Đức Năng (2006), "Đánh giá ảnh hưởng tàn mát của độ bền vật liệu đến xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh", *Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học các nhà nghiên cứu trẻ năm 2006*, Học viện Kỹ thuật quân sự, tr. 102-109.
3. Nguyễn Quốc Bảo, Bùi Đức Năng (2006), "Tính xác suất không hỏng kết cấu hệ thanh", *Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học toàn quốc cơ học vật rắn biến dạng lần thứ 8*, Thái Nguyên, tr. 42-49.
4. Nguyễn Quốc Bảo, Bùi Đức Năng (2008), "Xây dựng phân phối xác suất của chuyển vị và nội lực trên các tiết diện điển hình của kết cấu hệ thanh", *Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật*, Học viện Kỹ thuật quân sự, số 104, tr. 45-51.
5. Nguyễn Quốc Bảo, Bùi Đức Năng (2008), "Thí nghiệm và mô hình hóa các yếu tố bất định cơ bản trong bài toán độ tin cậy của kết cấu", *Tạp chí Xây dựng*, số 483 (5/2008), tr. 42-44.

MỞ ĐẦU

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

Trong thiết kế truyền thống thường tính kết cấu công trình theo ứng suất cho phép và theo trạng thái giới hạn. Các phương pháp này chưa phản ánh được toàn diện sự làm việc thực của kết cấu, bởi chưa kể đến đầy đủ và hợp lý ảnh hưởng của các yếu tố ngẫu nhiên về tính chất cơ lý của vật liệu, hình học của kết cấu, tác động của môi trường và tải trọng. Để khắc phục tình trạng đó, việc phân tích, đánh giá và thiết kế công trình theo độ tin cậy liên quan đến các yếu tố ngẫu nhiên của các biến thiết kế đã trở thành yêu cầu cấp thiết của nhiều quốc gia.

Phương pháp độ tin cậy cho phép xem xét toàn diện hơn sự làm việc của kết cấu. Tuy vậy, phương pháp này gặp khó khăn trong việc xác định các phân phối của hiệu ứng tải trọng khi coi các đặc trưng hình học và vật liệu là những đại lượng ngẫu nhiên. Bài toán này nói chung là không thể giải bằng các phương pháp giải tích của lý thuyết xác suất. Nếu xét đến tải trọng là các quá trình ngẫu nhiên thì việc xác định các quá trình ngẫu nhiên mô tả ứng suất nảy sinh trong kết cấu càng trở nên phức tạp. Vì vậy, nghiên cứu giải quyết các khó khăn trên là một vấn đề rất cần thiết.

Trong tính toán độ tin cậy kết cấu công trình, đã áp dụng những phương pháp đơn giản hóa tùy thuộc vào từng điều kiện cụ thể và mức độ thông tin thống kê hiện có - đó là các phương pháp tiếp cận theo mức 2. Tuy vậy, với những nhược điểm của nhóm các phương pháp này thì song song với chúng cần nghiên cứu và phát triển các phương pháp khác để bổ sung, hoàn thiện.

Phương pháp mô phỏng Monte-Carlo được áp dụng để thay cho lời giải giải tích đối với các biến ngẫu nhiên (hoặc quá trình ngẫu nhiên), chuyển về lời giải bằng số đối với các bài toán tiền định bằng cách phát ra các thể hiện của các biến ngẫu nhiên. Ưu điểm của phương pháp là ở tính hiệu quả và tính vạn năng của nó, đặc biệt khi áp dụng để tính các đặc trưng xác suất của hàm có đối số là biến ngẫu nhiên hoặc quá trình ngẫu nhiên. Nhược điểm cơ bản của phương pháp là khối lượng tính toán lớn. Chính vì vậy, chỉ đến những năm gần đây, cùng với sự phát triển vượt bậc của công nghệ máy tính về dung lượng và tốc độ, phương pháp Monte-Carlo mới từng bước được áp dụng.

Với những lý do nêu trên đề tài nghiên cứu của luận án được chọn là “*Tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh có kể đến các yếu tố ngẫu nhiên về vật liệu, hình học của kết cấu và tải trọng*”.

Mục tiêu, nội dung, phạm vi và phương pháp nghiên cứu của luận án

- **Mục tiêu của luận án**

Xây dựng mô hình, thuật toán và chương trình tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh có kể đến các yếu tố bất định về kích thước hình học, vật liệu và tải trọng dưới dạng biến và quá trình ngẫu nhiên trên cơ sở kết hợp phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo và phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH).

- ***Đối tượng và phạm vi nghiên cứu***

- Trong luận án chỉ nghiên cứu đối với kết cấu hệ thanh Becnuli với vật liệu đàn hồi tuyến tính.

- Độ tin cậy được hiểu theo nghĩa hẹp hơn là xác suất không hỏng của kết cấu. Nội dung tính toán xác suất không hỏng được phân ra thành hai trường hợp tùy thuộc vào các biến tham gia có phụ thuộc vào thời gian hay không.

- + Khi mọi biến ngẫu nhiên không biến đổi theo thời gian, xác suất không hỏng cũng không phụ thuộc vào thời gian. Với loại biến này việc tính toán kết cấu được thực hiện theo quan điểm tính tĩnh và tính xác suất không hỏng được dựa trên cơ sở lý thuyết xác suất. Đối với bài toán này sẽ giải quyết trọn vẹn đến nội dung cuối cùng theo mục tiêu của luận án là tính xác suất không hỏng của kết cấu.

- + Khi một biến nào đó biến đổi theo thời gian, việc tính toán kết cấu được tiến hành theo quan điểm động lực học, còn việc tính xác suất không hỏng dựa trên cơ sở lý thuyết các quá trình ngẫu nhiên. Đối với bài toán này, do tính phức tạp của nó nên chỉ dừng lại ở mức độ nghiên cứu cơ sở khoa học cho việc tính toán xác suất không hỏng, cụ thể dừng lại ở bước tính toán các thể hiện đầu ra (chưa đi đến bước tính toán xác suất hư hỏng của kết cấu).

- Tải trọng dạng quá trình ngẫu nhiên được xét trong luận án giới hạn là quá trình ngẫu nhiên chuẩn, dừng, ergodic và được cho dưới dạng mật độ phổ công suất.

- ***Nội dung của luận án***

- 1- Xây dựng mô hình và các bước tính toán xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh trên cơ sở kết hợp phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo và phương pháp PTHH.

- 2- Xây dựng các phương trình thuật toán và chương trình tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh có kể đến các yếu tố bất định dưới dạng biến ngẫu nhiên về hình học, vật liệu của kết cấu và tải trọng theo phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo kết hợp với phương pháp PTHH.

- 3- Xây dựng các thuật toán và chương trình mô hình hóa tải trọng dạng quá trình ngẫu nhiên chuẩn, dừng, ergodic từ mật độ phổ đã cho và thuật toán, chương trình tính toán động học của kết cấu thanh không gian đối với các thể hiện tiền định của tải trọng đã được mô hình hóa.

- 4- Nghiên cứu bằng số để minh họa cho khả năng tính toán của các chương trình đã lập và làm sáng tỏ ảnh hưởng của một số yếu tố về vật liệu, hình học và tải trọng đối với xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh.

- ***Phương pháp nghiên cứu***

Nghiên cứu bằng lý thuyết kết hợp với thử nghiệm và thử nghiệm số trên máy tính. Về lý thuyết, trong luận án dùng phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo kết hợp với phương pháp PTHH.

Cấu trúc của luận án

Luận án gồm có: Phần mở đầu, 4 chương, phần kết luận, danh mục tài liệu tham khảo và phụ lục. Nội dung chính trình bày trong 120 trang, 39 hình vẽ và đồ thị, 13 bảng biểu, 88 tài liệu tham khảo, 5 bài báo liên quan tới nội dung nghiên cứu của luận án. Phần phụ lục trình bày mã nguồn của chương trình viết trong môi trường MATLAB.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ TÍNH KẾT CẤU THEO ĐỘ TIN CẬY

Các nội dung chủ yếu được trình bày trong chương:

- Tổng quan sự phát triển về lý thuyết độ tin cậy của kết cấu công trình trên thế giới; việc nghiên cứu phát triển và ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong tính toán kết cấu công trình tại Việt Nam.
- Phân tích những thuận lợi, khó khăn, các ưu, nhược điểm của các phương pháp hiện hành tính xác suất không hỏng của kết cấu công trình, gồm: phương pháp “chính xác” - phương pháp mức 3, các phương pháp mức 2 và phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo.

Từ tổng quan có thể rút ra kết luận:

- Sự phát triển của các phương pháp tính toán - thiết kế độ an toàn của kết cấu xây dựng đã trải qua 3 giai đoạn: theo ứng suất cho phép, theo các trạng thái giới hạn và theo độ tin cậy. Hai phương pháp đầu tuy đơn giản nhưng chỉ mới kể đến được các yếu tố ảnh hưởng mang tính chất tiền định. Trong thực tế, các yếu tố ảnh hưởng đến độ an toàn của kết cấu (vật liệu, hình học kết cấu, tải trọng,...) về bản chất là bất định. Do đó, quan điểm tính toán độ an toàn kết cấu theo lý thuyết độ tin cậy có kể đến các yếu tố ngẫu nhiên là quan điểm tính toán hiện đại, phản ánh sát thực hơn với thực tế.

- Các phương pháp giải tích đánh giá độ tin cậy (thông qua xác suất không hỏng) của kết cấu là phương pháp chính xác nhưng gặp rất nhiều khó khăn về mặt toán học liên quan đến việc tính các tích phân chứa các hàm phân phối xác suất và mật độ xác suất, đặc biệt đối với các bài toán nhiều biến và các biến là quá trình ngẫu nhiên. Trong các trường hợp phức tạp như vậy thì phương pháp số là phương tiện duy nhất để giải các bài toán đặt ra.

- Một trong các phương pháp số có hiệu quả để đánh giá độ tin cậy của kết cấu là phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo. Ưu điểm của của phương pháp này là tính đơn giản và tính vạn năng của nó. Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của tin học đã mở ra các khả năng to lớn cho việc áp dụng phương pháp mô phỏng Monte-Carlo để giải các bài toán kỹ thuật, trong đó có bài toán về độ tin cậy của kết cấu công trình. Đây là hướng nghiên cứu có nhiều triển vọng cần được áp dụng rộng rãi và phát triển mạnh mẽ hơn nữa. Phương pháp này sẽ được vận dụng trong luận án để giải quyết các bài toán có biến số là các đại lượng ngẫu nhiên cũng như các biến số là quá trình ngẫu nhiên.

Chương 2

TÍNH XÁC SUẤT KHÔNG HỎNG HỆ THANH CÓ KỂ ĐẾN CÁC YẾU TỐ BẤT ĐỊNH DẠNG BIẾN NGẪU NHIÊN VỀ HÌNH HỌC, VẬT LIỆU CỦA KẾT CẤU VÀ TẢI TRỌNG

Mô hình bài toán tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh

Trên cơ sở phân tích mô hình tổng quát tính độ tin cậy của kết cấu hệ thanh theo quan điểm hệ thống tin cậy, thực hiện xây dựng mô hình bài toán tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh theo các bước sau:

- Chọn các biến ngẫu nhiên cơ bản của bài toán: kích thước hình học của phần tử, độ bền của vật liệu, tải trọng;

- Lựa chọn cấu kiện, tiết diện và các trạng thái giới hạn tính toán.

Việc giới hạn về cấu kiện, tiết diện và trạng thái giới hạn làm giảm nhẹ quá trình tính toán, là bước cơ bản xây dựng mô hình tin cậy cho hệ khung nhà dân dụng và công nghiệp.

Mỗi trường hợp kiểm tra trạng thái giới hạn tại một tiết diện được xem là một phần tử của hệ thống. Như vậy, đánh giá độ tin cậy của kết cấu hệ thanh (hệ thống) có thể quy về kiểm tra liên tiếp các trạng thái giới hạn tại các tiết diện (phần tử).

Theo quan điểm thiết kế kết cấu công trình, có thể coi kết cấu hệ thanh là hệ nối tiếp có các tiết diện (TD) cần quan tâm:

- Trên các dầm: 2 TD đầu (giới hạn bên theo σ và theo τ), TD giữa dầm (giới hạn bên theo σ và giới hạn độ võng f).

- Trên các cột: TD đầu (giới hạn chuyển vị U), TD chân cột (giới hạn bên theo σ).

Điều kiện kiểm tra có dạng chung:

Tiết diện vi phạm giới hạn chịu lực khi:

Nội lực trong tiết diện > giới hạn chịu lực.

$$N > RF \quad \text{hay} \quad \sigma = \frac{N}{F} > R \quad (2.7)$$

Các ký hiệu thành phần trong (2.7) mang ý nghĩa tổng quát chứ không phải là các ký hiệu mang ý nghĩa đặc trưng trong các trường hợp cụ thể.

Ứng dụng phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo để tính toán xác suất không hỏng của kết cấu

Mô phỏng là quá trình thiết lập và bắt chước các diễn biến của quá trình thực trên mô hình. Mô phỏng số Monte-Carlo là một công cụ toán học rất mạnh để mô hình hóa các hệ thống phức tạp, trong đó có sự tham gia của các yếu tố ngẫu nhiên.

Nội dung của phương pháp mô phỏng Monte-Carlo gồm 3 giai đoạn: 1- Mô phỏng số các thể hiện của các biến ngẫu nhiên đầu vào từ các hàm mật độ hoặc hàm phân phối xác suất cho trước của chúng thành các giá trị tiền định; 2- Tính toán nhiều lần trên mô hình tiền định của hệ theo các thể hiện đầu vào để nhận các thể hiện đầu

ra (cũng tiền định); 3- Xử lý thống kê các thể hiện đầu ra để tìm các đặc trưng xác suất của nó và kiểm tra các giả thiết thống kê. Nếu số thể hiện (phép thử) được tạo ra càng lớn thì kết quả càng chính xác.

Xác suất phá hủy có thể được đánh giá theo hai cách:

$$\text{- Thứ nhất: } P_f = P(M \leq 0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{k}{n} \quad (2.8)$$

trong đó: M - lượng dự trữ an toàn (quãng an toàn) là khoảng cách chênh lệch giữa sức kháng của kết cấu công trình và hiệu ứng tải trọng; n là tổng số phép thử; k là số phép thử mà $f(\bar{x}) \leq 0$.

- Cách thứ hai là từ các giá trị thể hiện m , xác định hàm phân phối phù hợp M bằng các phép kiểm nghiệm luật phân phối. Khi đó xác suất phá hủy gần đúng bằng:

$$P_f = \int_{-\infty}^0 f_M(m) dm \quad (2.9)$$

trong đó $P_M(m)$ là hàm mật độ xác suất của quãng an toàn M .

Các thuật toán mô hình hóa biến ngẫu nhiên

Bước đầu tiên của phương pháp mô phỏng Monte-Carlo là tạo ra các thể hiện của biến ngẫu nhiên cơ bản. Các thể hiện này được tạo phát giả ngẫu nhiên từ các thuật toán phát. Từ thể hiện của biến ngẫu nhiên phân phối đều trên đoạn $[0,1]$ ký hiệu $u_i \sim U(0,1)$, trên máy tính có thể mô hình hóa biến ngẫu nhiên với phân phối bất kỳ. Về thực hành thường sử dụng 4 nhóm thuật toán mô hình hóa: thuật toán hàm ngược (Inverse Transform), thuật toán chồng hàm (Composition), thuật toán chồng biến (Convolution) và thuật toán Acceptance-Rejection.

Trong luận án sử dụng thuật toán chồng hàm (Composition).

Thuật toán PTHH tính thể hiện hiệu ứng tải trọng cho kết cấu hệ thanh

Sau khi đã tạo phát ra các thể hiện (tiền định) từ các đặc trưng xác suất của các biến số ngẫu nhiên đầu vào, công việc tiếp theo là xây dựng các thuật toán để tính hiệu ứng tải trọng của kết cấu, nói cách khác là tính toán các thể hiện đầu ra, chịu tác động của các biến đầu vào nói trên. Công cụ được sử dụng để tính toán kết cấu ở đây là phương pháp PTHH. Vì tải trọng ở đây là tải trọng tĩnh, nên các thuật toán được dẫn ra thuộc bài toán tĩnh.

Phương trình cân bằng tổng quát của toàn hệ được biểu diễn dưới dạng ma trận như sau:

$$[\bar{K}]\{\bar{q}\} = \{\bar{P}\} \quad (2.50)$$

trong đó: $[\bar{K}]$ - ma trận độ cứng của toàn hệ; $\{\bar{q}\}$ - véctơ chuyển vị chứa các bậc tự do của toàn hệ; $\{\bar{P}\}$ - véctơ tải trọng tương ứng các bậc tự do $\{\bar{q}\}$.

Xử lý thống kê các thể hiện đầu ra của hiệu ứng tải trọng

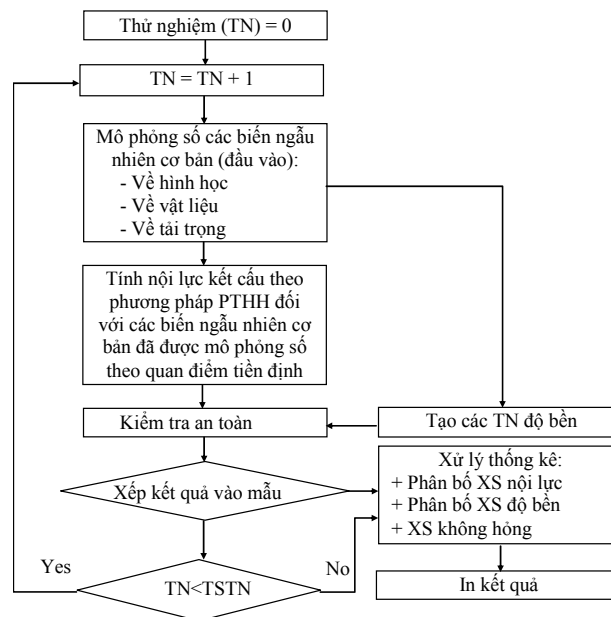
Khi kể đến các yếu tố bất định thì hiệu ứng của tải trọng (chuyển vị, biến dạng, nội lực, ứng suất) trong kết cấu cũng như giới hạn bền của vật liệu và tiết diện đều được mô tả dưới dạng các phân phối xác suất. Bằng phương pháp mô phỏng, sau các chiến

lược thử nghiệm ta thu được dãy thể hiện của các biến đầu ra nói trên. Bước xử lý thống kê nhằm đánh giá các đặc trưng số và luật phân phối xác suất của các đại lượng đầu ra trên cơ sở các thể hiện đã nhận được. Phương pháp đánh giá được sử dụng ở đây là các phương pháp thống kê toán học.

Để kiểm định giả thuyết về quy luật phân phối xác suất, Kiểm định giả thiết về quy luật phân phối xác suất của đại lượng thống kê có thể dùng tiêu chuẩn χ^2 do Pearson đề xuất hoặc tiêu chuẩn Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Chương trình tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh bằng phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo kết hợp với tính kết cấu theo phương pháp PTHH

Sơ đồ khối của chương trình được thể hiện trên hình 2.10.



Hình 2.10. Sơ đồ khối của chương trình tính xác suất không hỏng kết cấu hệ thanh

Trên cơ sở sơ đồ khối và các thuật toán đã lập ở trên, đã xây dựng chương trình tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh (có tên ROS - Reliability of Structure) trong môi trường MATLAB.

Khả năng của chương trình ROS:

- Mô hình hóa biến ngẫu nhiên theo các phân phối xác suất thường gặp.
- Mô hình hóa biến ngẫu nhiên theo phân phối thực nghiệm.
- Tính toán thể hiện của hiệu ứng tải trọng.
- Tính toán thể hiện của độ bền.
- Xây dựng đặc trưng xác suất cho chuyển vị tại nút bất kỳ và nội lực tại phần tử bất kỳ.

- Kiểm tra trạng thái giới hạn trên các tiết diện điển hình.

- Tính xác suất không hỏng của tiết diện khi kể đến các bất định dạng biến ngẫu nhiên.

Dưới đây trình bày kết quả tính toán bằng số kiểm tra độ tin cậy của chương trình ROS và minh họa cho khả năng tính toán của nó.

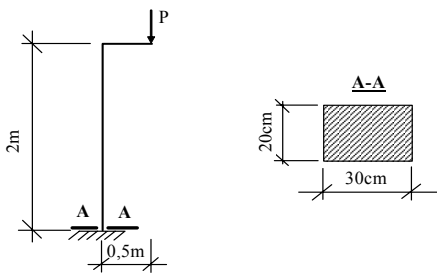
* *Bài toán 1*: Kết cấu khung 1 tầng 1 nhịp đối xứng chịu tải trọng đối xứng.

* *Bài toán 2*: Kết cấu khung 1 tầng 1 nhịp đối xứng chịu tải trọng không đối xứng.

Hai bài toán 1 và 2 để kiểm tra độ tin cậy của chương trình tại bước tính nội lực kết cấu theo phương pháp PTHH của chương trình ROS với lời giải bằng phương pháp giải tích.

Kết quả 2 bài toán trên cho thấy sai số giữa kết quả giải tích và kết quả tính bằng chương trình ROS là không lớn. Sai số lớn nhất bằng 1,002% (1 trường hợp), còn lại đều nhỏ hơn 1%. Như vậy chương trình tính tiền định nội lực kết cấu theo thuật toán PTHH đã lập có cơ sở để tin cậy.

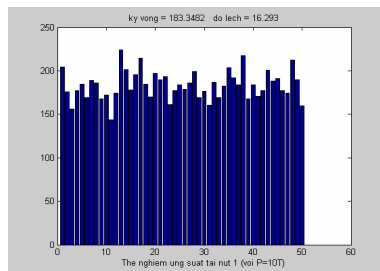
* *Bài toán 3*: Tính xác suất không hỏng của thanh BTCT (hình 2.13) trong vùng chịu nén tại mặt cắt chân cột (A-A) khi cho lực P thay đổi trong khoảng $8T \div 15T$.



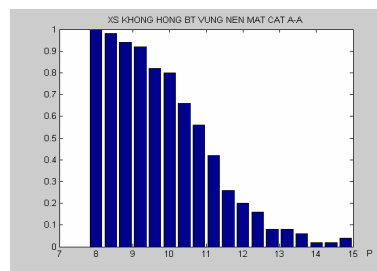
Hình 2.13. Sơ đồ tính xác suất không hỏng của kết cấu trong bài toán 3

Các kết quả tính toán được thể hiện trên các hình

vẽ 2.16 và 2.17.



Hình 2.16. Một tập thể hiện của ứng suất chân cột khi $P = 10T$



Hình 2.17. Xác suất không hỏng BT tại vùng nén chân cột với $P=8 \div 15T$

Nhận xét: Từ kết quả hình 2.17, ta thấy vùng BT chịu nén tại chân cột (mặt cắt A-A) khi $P \leq 9T$ sẽ không bị hỏng với xác suất $\geq 0,9$.

* *Bài toán 4*: Đánh giá mức độ hư hỏng của công trình thông qua xác suất hư hỏng.

Kết cấu tính toán là khung bê tông cốt thép của một trường phổ thông trung học gồm 3 tầng 2 nhịp. Các giá trị đầu vào của kỳ vọng, độ lệch chuẩn của các tham số về cường độ bê tông, cường độ cốt thép, các kích thước tiết diện của các cấu kiện thuộc khung được lấy theo phụ lục I trong [5]. Các tham số trên được thừa nhận là ngẫu nhiên có phân phối chuẩn, được phát với số thử nghiệm $n_{TN} = 10.000$.

Dưới đây là bảng kết quả tính toán theo [5] và theo chương trình ROS.

Bảng 2.3. Xác suất hư hỏng của các dầm

Dầm	Xác suất hỏng P_f		
	Kết quả của [5]	Kết quả theo ROS	Sai khác (%)
4 - 5	0,1445	0,1440	-0,346
5 - 6	0	0,0001	0,0001
7 - 8	0	0	0
8 - 9	0,0001	0,0001	0
10 - 11	0	0	0
11 - 12	0	0	0

Bảng 2.4. Xác suất hư hỏng của các cột

Cột	Xác suất hỏng P_f		
	Kết quả của [5]	Kết quả theo ROS	Sai khác (%)
1	0,1112	0,1123	0,989
2	0,0244	0,0238	-2,459
3	0	0	0
4	0,0107	0,0111	3,738
5	0,0359	0,0345	-3,9
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0,0166	0,0158	-4,819
9	0	0	0

Nhận xét chung: Từ kết quả tính toán đối với 4 bài toán trên cho thấy chương trình ROS đã lập có cơ sở để tin cậy.

Các kết quả chính của chương 2

- Xây dựng mô hình tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh theo lý thuyết độ tin cậy, trong đó các yếu tố vật liệu, hình học của kết cấu và tải trọng được chọn làm các tham số ngẫu nhiên đầu vào. Sự phá hỏng của phần tử được khảo sát tại các tiết diện điển hình, các trạng thái giới hạn bao gồm cả độ bền, độ võng và độ ổn định.
- Đã dẫn ra ý tưởng cơ bản của phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo và vận dụng nó để giải bài toán về xác suất không hỏng theo mô hình đã lập, trong đó đã xây dựng nội dung và các bước tính toán của phương pháp.
- Xây dựng các phương trình, thuật toán để tính toán các thể hiện tiên định của hiệu ứng tải trọng đối với kết cấu hệ thanh theo phương pháp PTHH.

- Xây dựng chương trình tính xác suất không hỏng kết cấu hệ thanh (ROS) có kể đến các yếu tố ngẫu nhiên về vật liệu, hình học kết cấu, tải trọng, trên cơ sở phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo và phương pháp PTHH.
- Từ sự so sánh các kết quả tính toán bằng số về xác suất hư hỏng của kết cấu nhận được từ chương trình ROS và các lời giải đã có cho thấy độ sai lệch không đáng kể (từ -4,819% đến 3,738%), chứng tỏ bộ chương trình ROS có cơ sở để tin cậy.

Chương 3

CƠ SỞ KHOA HỌC CHO VIỆC TÍNH XÁC SUẤT KHÔNG HỎNG CỦA KẾT CẤU HỆ THANH CHỊU TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG DẠNG QUÁ TRÌNH NGẪU NHIÊN

Vấn đề tính toán xác suất không hỏng của kết cấu dưới tác dụng động của tải trọng dạng quá trình ngẫu nhiên (QTNN) là bài toán rất phức tạp. Việc giải bài toán về xác suất không hỏng của kết cấu bằng phương pháp giải tích gặp khó khăn gấp bội khi các yếu tố đầu vào là các QTNN. Phương tiện duy nhất để vượt qua các khó khăn trên, có thể, là các phương pháp số và một trong các phương pháp có hiệu quả trong số đó là phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo.

Trong chương này, phát triển tư tưởng và các thuật toán của ROS đã nghiên cứu trong chương 2 hướng tới tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh chịu tác dụng của tải trọng động dạng QTNN. Cũng như trong chương 2, phương pháp mô phỏng Monte-Carlo được áp dụng để tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh gồm 3 bước. Do sự phức tạp và khối lượng tính toán đối với cả 3 bước trên rất lớn, nên trong luận án chỉ hạn chế đến bước thứ 2 của bài toán (bước thứ 3 sẽ là nội dung nghiên cứu tiếp theo sau luận án). Vì lý do đó, nên các nội dung nghiên cứu dưới đây được gọi là “cơ sở khoa học cho việc tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh chịu tác dụng của tải trọng dạng QTNN”.

Một số cơ sở toán học

Trong luận án trình bày những nội dung liên quan đến QTNN và biến đổi QTNN gồm:

- Phép biến đổi Fourier - chuyển hàm theo thời gian $x(t)$ thành hàm theo tần số $X(f)$ và phép biến đổi Fourier ngược - chuyển hàm theo tần số $X(f)$ thành hàm theo thời gian $x(t)$.
- Khái niệm cơ bản về QTNN. Trong luận án chỉ xét cho QTNN chuẩn, dừng, ergodic với đặc trưng quan trọng là hàm mật độ phổ công suất (gọi tắt là phổ) được định nghĩa như sau:

- Định nghĩa qua phép biến đổi Fourier:

$$S_{xx}(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2\pi}{T} |X_T(\omega)|^2 \quad (3.30)$$

- Định nghĩa thông qua các hàm tương quan:

$$S_{xx}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau \quad (3.32)$$

trong đó R_{xx} là hàm tự tương quan của QTNN.

- Thực chất về mặt toán học, phát QTNN là quá trình xây dựng hệ tuyến tính để lọc ồn trắng. Vì vậy các khái niệm: hệ tuyến tính, bộ lọc và bộ lọc số cũng được trình bày vắn tắt.

Xây dựng thuật toán và chương trình mô hình hóa các quá trình ngẫu nhiên đầu vào từ các hàm mật độ phổ công suất

Khi tính toán kết cấu với các loại tải trọng sóng, gió, động đất, thường sử dụng giả thiết quá trình ngẫu nhiên mô tả các đại lượng trên là chuẩn, dừng, ergodic. Về lý thuyết, biết hàm tự tương quan là biết hàm mật độ phổ công suất và ngược lại. Tuy nhiên về thực hành thì các quá trình ngẫu nhiên trên thường được cho dưới dạng hàm mật độ phổ công suất $S_{\xi}(\omega)$. Để tăng tính thực hành của mô hình, vấn đề mô hình hóa (mô phỏng, tạo phát) quá trình ngẫu nhiên thường xuất phát từ $S_{\xi}(\omega)$ (số liệu đầu vào).

Luận án trình bày chi tiết 2 phương pháp mô hình hóa QTNN. Phương pháp bộ lọc tạo hình thể hiện chi tiết bản chất toán học của quá trình. Phương pháp tổng trượt là phương pháp thực hành được thử nghiệm lập trình trong chương trình ROS.

Thuật toán tổng trượt phát quá trình ngẫu nhiên $\xi(t)$ có phổ cho trước $S_{\xi}(\omega)$ được thực hiện qua 3 bước sau:

Bước 1: Từ phổ $S_{\xi}(\omega)$ tính hàm phản ứng xung của bộ lọc $h(t)$:

$$h(t) = F^{-1}[H(\omega)] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \sqrt{S_{\xi}(\omega)} e^{i\omega t} d\omega \quad (3.67)$$

trong đó $H(\omega)$ - hàm truyền của bộ lọc là tỉ số ảnh Fourier đầu ra trên ảnh Fourier đầu vào.

Bước 2: Chọn bước thời gian Δt , tính các trọng số của tổng trượt:

$$a_j = \sqrt{\Delta t} \cdot h(j\Delta t); \quad j = 0, \pm 1, K, \pm M \quad (3.68)$$

Bước 3: Phát theo công thức tổng trượt:

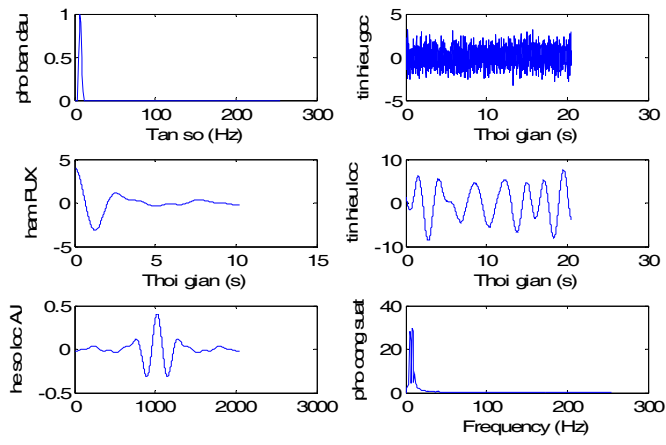
$$\xi_k = \sum_{j=-M}^M a_j \varepsilon_{k-j} \quad (3.69)$$

trong đó $\varepsilon_h \sim N(0,1)$ là các thể hiện của biến ngẫu nhiên phân phối chuẩn quy tâm (phân phối chuẩn có kỳ vọng 0 và phương sai bằng 1).

Trên cơ sở lý thuyết và thuật toán đã trình bày ở trên, đã xây dựng được chương trình mô phỏng các thể hiện của một QTNN khi biết phổ của nó. Chương trình được xây dựng trên môi trường MATLAB và có tên là MPNN1, là một function phục vụ mô hình ROS.

Dưới đây minh họa kết quả làm việc của chương trình theo trình tự làm việc của thuật toán tổng trượt bằng các thí dụ số.

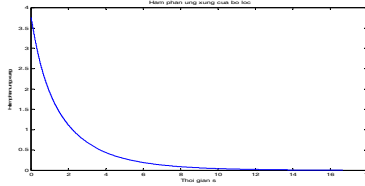
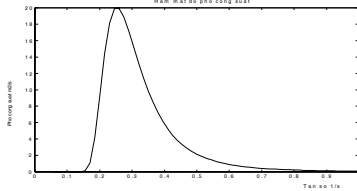
Thí dụ 1: Khi phổ ban đầu nhận một dãy giá trị



Hình 3.7. Kết quả quá trình phát QTNN với phổ ban đầu nhận 1 dãy giá trị

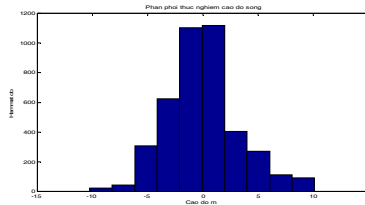
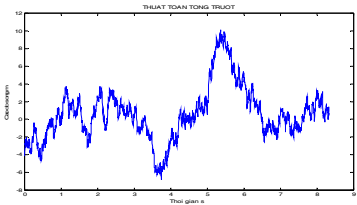
Thí dụ 2:

Chương trình mô phỏng cao độ sóng được đặc trưng bằng phổ Pierson-Mostkowitz (phổ P-M). Kết quả của quá trình mô phỏng được thể hiện qua một số biểu đồ sau (các hình từ 3.8 đến 3.11):



Hình 3.8. Biểu đồ phổ sóng P-M (phổ công suất)

Hình 3.9. Biểu đồ hàm phản ứng xung của bộ lọc



Hình 3.10. Một thể hiện của cao độ sóng

Hình 3.11. Biểu đồ phân phối thực nghiệm cao độ sóng

Xây dựng các thuật toán tính kết cấu hệ thanh chịu tải trọng động theo phương pháp PTHH

Phương trình chuyển động của toàn hệ kết cấu chịu tải trọng động có dạng:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P\} \quad (3.94)$$

trong đó $[M], [C], [K]$ - tương ứng là các ma trận khối lượng, cản nhớt và độ cứng của hệ kết cấu và được tổ hợp từ các ma trận phần tử tương ứng; $\{U\}, \{\dot{U}\}, \{\ddot{U}\}$ tương ứng là các vectơ chuyển vị, vận tốc, gia tốc nút của hệ.

Trong luận án đã thiết lập các ma trận trên cho các phần tử thanh Benuli.

Phương trình (3.94) được giải theo phương pháp tích phân trực tiếp Newmark, theo đó phương trình trên dẫn tới phương trình tựa tĩnh:

$$[K^*]\{U_{t+\Delta t}\} = \{R^*_{t+\Delta t}\}, \quad (3.95)$$

trong đó: $[K^*], \{R^*\}$ - ma trận độ cứng hiệu quả và vectơ tải trọng hiệu quả, $[K^*] = [K] + a_0[M] + a_1[C]$;

$$\{R_{t+\Delta t}^*\} = \{R_{t+\Delta t}\} + [M](a_0\{U_t\} + a_2\{U_t^*\} + a_3\{U_t^{**}\}) + \\ + [C](a_1\{U_t\} + a_4\{U_t^*\} + a_5\{U_t^{**}\}),$$

Δt - bước thời gian, $a_0 \div a_5$ - các hệ số phụ thuộc vào Δt và các tham số xác định độ chính xác, độ ổn định của phương pháp.

Chương trình tính hiệu ứng tải trọng của kết cấu theo các thể hiện của QTNN

Chương trình được xây dựng trên cơ sở kết hợp các thuật toán tính toán kết cấu theo phương pháp PTHH với các thuật toán tạo phát các thể hiện của tải trọng đã lập ở trên.

Dưới tác dụng của tải trọng dạng QTNN, hiệu ứng của tải trọng (chuyển vị, nội lực) tại mỗi tiết diện đều là các QTNN. Trên cơ sở giả thiết các QTNN mô tả tải trọng là chuẩn dừng ergodic, kết quả tính được cho dưới dạng một thể hiện đủ dài theo thời gian của mỗi hiệu ứng tải trọng. Kết quả này nhận được bằng cách tích phân trực tiếp theo từng thể hiện của tải trọng.

Trên cơ sở các thuật toán đã xây dựng ở trên, đã thiết lập chương trình tính toán động lực học kết cấu theo các thể hiện của tải trọng ngẫu nhiên, chương trình có tên ROS-SP. Kết quả được trình bày thông qua tính toán bằng số một bài toán tại mục 4.4.

6. Kết quả của chương 3

- Phát triển phương pháp tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh đối với các biến ngẫu nhiên, đã xây dựng được nội dung và các bước tính toán đối với bài toán trên khi tải trọng đầu vào là QTNN trên cơ sở phương pháp Monte-Carlo và phương pháp PTHH.
- Đã xây dựng các thuật toán và chương trình mô phỏng các thể hiện của QTNN khi biết hàm mật độ phổ của nó theo thuật toán tổng trượt. Sử dụng chương trình đã lập tiến hành các thử nghiệm số trên máy tính để kiểm tra độ tin cậy của thuật toán và chương trình đã lập. Các kết quả nhận được đã xác nhận độ tin cậy của chương trình.
- Đã xây dựng các thuật toán và chương trình tính hiệu ứng tải trọng của kết cấu theo các thể hiện của tải trọng được mô phỏng từ hàm mật độ phổ.

Chương 4

MỘT SỐ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN BẰNG SỐ

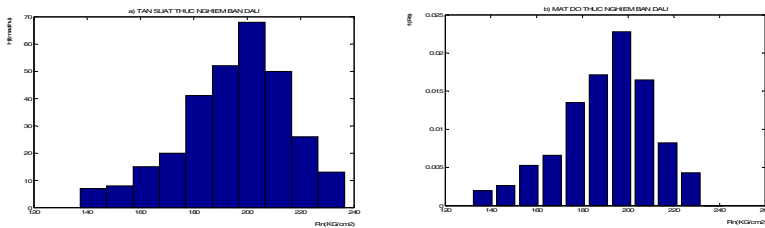
Sử dụng các chương trình đã lập trong chương 2 và 3, trong chương này tiến hành tính toán bằng số đối với xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh khi tham số đầu vào là các biến ngẫu nhiên về vật liệu, hình học kết cấu, tải trọng và tính toán các thể hiện của chuyển vị, nội lực kết cấu khi tải trọng là quá trình ngẫu nhiên. Các kết quả nhận được sẽ minh họa cho khả năng tính toán của các chương trình đã lập.

1. Xây dựng phân phối xác suất thực nghiệm đối với độ bền nén của bê tông

Đã tiến hành thí nghiệm đối với độ bền nén của bê tông và xử lý thống kê các kết quả thí nghiệm để nhận được phân phối xác suất thực nghiệm của nó phục vụ cho tính xác suất không hỏng của kết cấu.

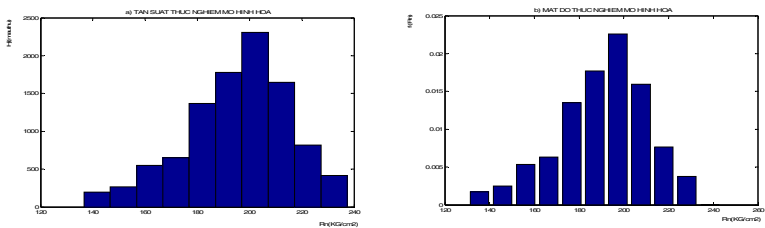
Dựa trên thuật toán mô hình hóa composition, trong luận án thiết lập chương trình mô hình phát các thể hiện ngẫu nhiên về độ bền nén của bê tông mác 200 nhận được từ thí nghiệm. Hàm *phathyst* được lập trình trong môi trường Matlab có thể thực hiện cả hai nội dung: xử lý thống kê kết quả thí nghiệm và mô hình hóa dựa trên kết quả thí nghiệm nhận được.

Kết quả xử lý thống kê số liệu thí nghiệm được thể hiện trên hình 4.1.



Hình 4.1. Biểu đồ mật độ thực nghiệm từ thí nghiệm nén 300 mẫu bê tông

Kết quả mô hình hóa cho phân phối thực nghiệm mới về cường độ nén của mẫu bê tông với số lượng mẫu là 10.000 và được thể hiện trên hình 4.2.



Hình 4.2. Mô hình hóa phân phối thực nghiệm từ 10.000 thử nghiệm

Phương pháp trên đây còn có thể sử dụng để xây dựng phân phối cho các yếu tố ngẫu nhiên cơ bản khác khi kết quả thực nghiệm hạn chế. Các kết quả nhận được sẽ trực tiếp đưa vào giải bài toán xác suất không hỏng của kết cấu công trình.

2. Phân phối xác suất của nội lực và chuyển vị (hiệu ứng của tải trọng) trên các tiết diện điển hình

Phân phối xác suất của hiệu ứng tải trọng phụ thuộc vào bất định của các yếu tố ngẫu nhiên về vật liệu, kích thước hình học của kết cấu, tải trọng và nói chung sẽ khác nhau trên các tiết diện. Về xác suất, các đại lượng này là các hàm đối số ngẫu nhiên. Việc xây dựng các phân phối xác suất của hiệu ứng tải trọng (chuyển vị và nội lực) trên các tiết diện khảo sát là một trong các mục tiêu của quá trình xây dựng mô hình mô phỏng.

Sau đây là một số kết quả xây dựng các phân phối xác suất của hiệu ứng tải trọng theo chương trình ROS đã lập ở chương 2.

Bài toán: Xây dựng phân phối xác suất của chuyển vị và nội lực trên các tiết diện điển hình cho hệ khung phẳng trên hình 4.3.

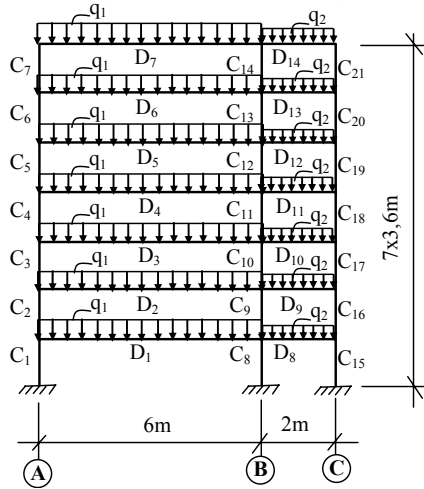
* Lần lượt giải bài toán với các trường hợp:

- Khảo sát ảnh hưởng đến chuyển vị và nội lực tại các tiết diện cần quan tâm do các bất định riêng rẽ của:

- + Vật liệu (thông qua mô đun đàn hồi);
- + Kích thước hình học của tiết diện;
- + Tải trọng.

- Khảo sát ảnh hưởng đến chuyển vị và nội lực tại các tiết diện cần quan tâm do các bất định của đồng thời 3 yếu tố trên.

- Xử lý thống kê các kết quả tính toán để tìm ra các đặc trưng xác suất (kỳ vọng, độ lệch) của các chuyển vị và nội lực nhận được ứng với từng trường hợp; dùng kiểm nghiệm K-S để kiểm định giả thuyết các đại lượng ngẫu nhiên này là phù hợp phân phối chuẩn với xác suất nhầm $\alpha = 0,1$.

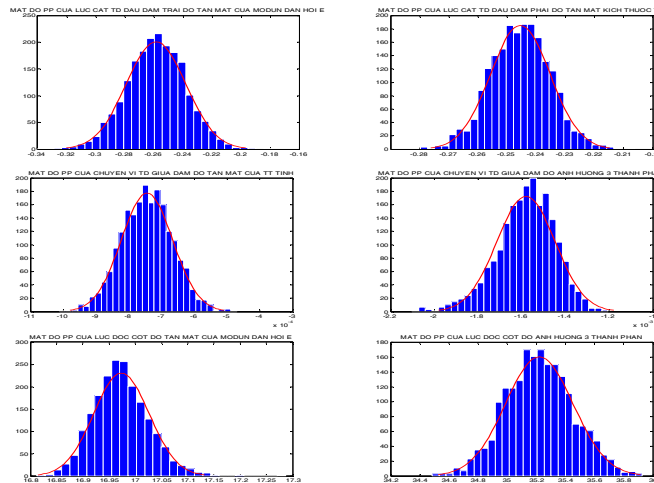


Hình 4.3. Sơ đồ tính của bài toán

Bài toán được giải trong từng trường hợp với số thể hiện là $nTN = 2000$. Các giá trị chuyển vị và nội lực trên các tiết diện quan tâm được tính theo các bước bằng chương trình ROS. Ở đây chỉ đưa ra hình ảnh minh họa cho kết quả xây dựng phân phối của chuyển vị và nội lực tại các tiết diện điển hình trên dầm D1 và trên cột C1. Các kết quả trên được thể hiện bằng biểu đồ mật độ phân phối thống kê ở hình 4.4.

Từ các kết quả nhận được đưa ra nhận xét:

- Với kết quả này cho thấy hệ cột là khâu yếu.
- Có thể nhận thấy rõ ràng phần tử nào là yếu nhất trong mỗi khâu.
- Khi các biến ngẫu nhiên cơ bản đầu vào đưa vào càng nhiều, càng phản ánh chi tiết hơn tình trạng làm việc của kết cấu: số lượng các tiết diện có khả năng hỏng tăng lên.



Hình 4.4. Một số biểu đồ mật độ phân phối thực nghiệm của chuyển vị và nội lực tại các tiết diện điển hình của dầm D1 và cột C1 được tính và xấp xỉ theo phân phối chuẩn

3. Tính xác suất không hỏng kết cấu hệ thanh

Bằng chương trình ROS, có thể tiến hành khảo sát các trạng thái giới hạn bên tại các tiết diện cần quan tâm của các phần tử cột và các phần tử dầm như đã chỉ ra trong chương 2, theo điều kiện (2.7). Sau đây sẽ khảo sát bằng số đối với một kết cấu cụ thể. Bài toán được xây dựng như sau:

- Mô hình kết cấu thiết kế được lấy theo bài toán có sơ đồ tính trên hình 4.3.
- Tính số lần hỏng tại các tiết diện quan tâm trong 2 trường hợp:
 - + Khi chỉ có bất định 1 thành phần tác động tới hiệu ứng tải trọng, trong bài toán cụ thể tính với bất định của hình học.
 - + Khi bất định có mặt cả 3 thành phần.

Trong cả hai trường hợp, khi tính hiệu ứng sức bền đều sử dụng giá trị R_n của bê tông từ kết quả đã xây dựng theo phương pháp được trình bày trong mục 4.1.

Trường hợp 1: Xác suất không hỏng kết cấu hệ thanh khi kể đến tính bất định của một trong các thành phần: vật liệu, hình học, tải trọng.

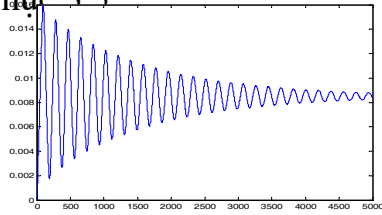
Trường hợp 2: Xác suất không hỏng kết cấu hệ thanh khi kể đến tính bất định của cả 3 thành phần.

4. Tính các thể hiện của chuyển vị trên các tiết diện điển hình khi kết cấu chịu tải trọng dạng quá trình ngẫu nhiên

Trong mục này trình bày kết quả tính toán các thể hiện của chuyển vị và nội lực khi tải trọng động là tải trọng gió có dạng QTNN và bài toán được giải trên sơ đồ kết cấu đã trình bày trên hình 4.3.

Các bước giải bài toán động lực học của kết cấu bằng phương pháp PTHH và Newmark đã được trình bày trong mục 3.4. Các bước tính toán động trong luận án đã thực hiện như sau:

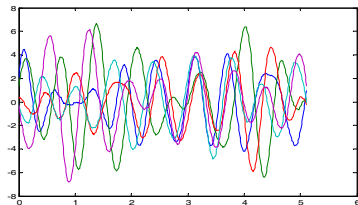
- Xây dựng hàm *tinhdonghoc* và tính chuyển vị động của kết cấu theo hàm thời gian là hàm bậc thang đơn vị để kiểm tra tính đúng đắn của tích phân Newmark theo nội dung tại mục 3.5



Hình 4.5. Chuyển vị động theo phương X tại nút 34 (đỉnh cột C7) với hàm thời gian là hàm bậc thang đơn vị

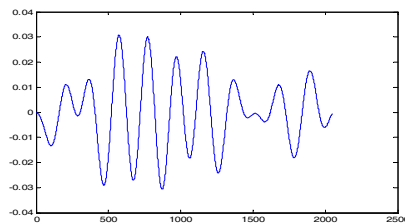
Kết quả cho thấy chuyển vị động đã tiến đến chuyển vị tĩnh khi hàm thời gian được cho dưới dạng hàm bậc thang đơn vị, chứng minh quá trình phát triển mô hình kết cấu sang tính toán động là chính xác.

- Sử dụng hàm *QTNN* để tạo phát các thể hiện của tải trọng gió theo phổ cho trước.



Hình 4.6. 05 thể hiện của tốc độ gió được phát theo giả thiết là QTNN chuẩn, dừng, ergodic

- Tính toán chuyển vị động dưới tác dụng của tải trọng dạng QTNN đã được mô hình hóa dưới dạng các thể hiện.



Hình 4.7. Một thể hiện của thành phần ngẫu nhiên của chuyển vị theo phương X tại nút 34 dưới tác dụng của một thể hiện của tải động dạng QTNN.

Kết quả bài toán trên cho chuyển vị động lớn nhất

$$(U_x)_{\max} = 0,032m < [U_x] = \frac{1}{500}H = 0,0704m$$

Như vậy trong trường hợp này công trình chưa vi phạm trạng thái giới hạn của chuyển vị đỉnh.

5. Kết luận chương 4

Từ các kết quả tính toán bằng số về phân phối xác suất của nội lực - chuyển vị và xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh khi các tham số đầu vào là các biến ngẫu nhiên cũng như kết quả tính toán thể hiện của chuyển vị khi tải trọng là quá trình ngẫu nhiên có thể rút ra các kết luận sau đây:

- Trong các trường hợp số liệu thống kê của các biến đầu vào không đủ để giải bài toán độ tin cậy của kết cấu theo phương pháp giải tích thì phương pháp mô phỏng Monte-Carlo tỏ ra rất hiệu quả. Lúc đó, sử dụng các phân phối thực nghiệm xây dựng được từ 4.1 có thể trực tiếp tính toán phân phối xác suất của chuyển vị, nội lực (bài toán 4.2) và xác suất không hỏng của kết cấu (bài toán trong 4.3).

- Chương trình ROS là một công cụ tính toán hiệu quả và thân thiện để giải bài toán về xác suất không hỏng của kết cấu. Các kết quả thực hiện theo ROS không chỉ cho biết xác suất bị hỏng (hay không hỏng) của kết cấu, mà còn thông báo chi tiết về tình trạng hỏng hóc của mỗi phần tử và có thể nhận thấy rõ ràng phần tử nào là yếu nhất trong mỗi khâu.

- Với tải trọng là các QTNN thì việc xác định các quá trình ngẫu nhiên của chuyển vị và nội lực trong kết cấu (hiệu ứng của tải trọng) càng trở nên phức tạp. Các kết quả nhận được trong luận án đối với bài toán trên chỉ mới là cơ sở khoa học của quá trình nghiên cứu về xác suất không hỏng của kết cấu đối với loại tải trọng này. Để đi đến đích cuối cùng là xác định xác suất không hỏng của kết cấu khi tải trọng là QTNN còn cần phải thực hiện bước 3 của phương pháp Monte-Carlo - bước xử lý thống kê các QTNN đầu ra để xác định các đặc trưng xác suất của chúng và tính xác suất không hỏng của kết cấu. Do tính phức tạp của bài toán và khối lượng tính toán còn rất lớn, vượt ngoài phạm vi của luận án, nên các nội dung còn lại này sẽ là phương hướng nghiên cứu tiếp theo sau luận án.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Quan điểm tính toán độ an toàn kết cấu theo lý thuyết độ tin cậy có kể đến các yếu tố ngẫu nhiên là quan điểm tính toán hiện đại, phản ánh sát sự làm việc của kết cấu sát với thực tế hơn. Tuy nhiên, các phương pháp chính xác bằng giải tích đánh giá độ tin cậy của kết cấu theo quan điểm trên gặp rất nhiều khó khăn về mặt toán học liên quan đến việc tính các tích phân chứa các hàm phân phối xác suất và mật độ xác suất, đặc biệt đối với bài toán nhiều biến và các biến là quá trình ngẫu nhiên. Trong trường hợp này phương pháp mô phỏng số Monte-Carlo để đánh giá độ tin cậy của kết cấu tỏ ra có hiệu quả hơn cả do tính đơn giản và tính vạn năng của nó, đặc biệt là trong trường hợp sử dụng các phân phối thực nghiệm của các biến đầu vào từ các số liệu thống kê không đủ lớn.

1. Các kết quả chính và mới của luận án

1/ Xây dựng mô hình, thuật toán và chương trình (ROS) để tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh có kể đến các yếu tố ngẫu nhiên về vật liệu, hình học kết

cấu và tải trọng trên cơ sở kết hợp mô phỏng số Monte-Carlo và phương pháp phân tử hữu hạn.

Chương trình ROS có các khả năng tính toán:

- Phát các thể hiện của biến ngẫu nhiên theo các phân phối thực nghiệm trên cơ sở thuật toán composition.

- Xây dựng phân phối xác suất của chuyển vị và nội lực trên các tiết diện khảo sát.

- Tính xác suất không hỏng hệ thanh có kể đến bất định dạng biến ngẫu nhiên của hình học, vật liệu của kết cấu và tải trọng.

2/ Phát triển phương pháp Monte-Carlo đã nghiên cứu các cơ sở khoa học để tính xác suất không hỏng hệ thanh chịu tải trọng dạng quá trình ngẫu nhiên (chuẩn, dừng, ergodic), bao gồm : lập được các thuật toán và chương trình để tạo phát các thể hiện của tải trọng ngẫu nhiên và tính toán các thể hiện của phản ứng động của kết cấu (chuyển vị, nội lực) theo các thể hiện của tải trọng.

3/ Sử dụng các chương trình đã lập đã tiến hành tính toán bằng số về xác suất không hỏng của một số kết cấu khung khi kể đến các biến ngẫu nhiên về vật liệu, hình học kết cấu, tải trọng và tính toán các thể hiện của phản ứng động kết cấu khi tải trọng là quá trình ngẫu nhiên. Các kết quả nhận được là tin cậy và chứng tỏ chương trình đã lập là công cụ tính toán có hiệu quả, tiện lợi và thân thiện để giải các bài toán đặt ra trong luận án.

2. Những vấn đề kiến nghị nghiên cứu tiếp theo của đề tài

2.1. Để chương trình ROS thực sự là một công cụ thực hành thân thiện, cần phải thiết lập bổ sung và hoàn thiện chương trình tính, bao gồm những nội dung về giao diện chương trình, một số hàm lệnh và thủ tục con để mở rộng khả năng ứng dụng của chương trình với các loại khung có vật liệu, tiết diện... khác nhau.

2.2. Đối với tải trọng là quá trình ngẫu nhiên, do khuôn khổ hạn chế của luận án, các kết quả nhận được trong luận án tạo ra các cơ sở khoa học bước đầu cho bài toán tính xác suất không hỏng của kết cấu hệ thanh. Trên cơ sở kết quả đã nhận được về mô hình hóa quá trình ngẫu nhiên chuẩn, dừng, ergodic và tính hiệu ứng tải trọng, cần nghiên cứu tiếp theo các nội dung về xử lý thống kê các thể hiện đầu ra, xác định các đặc trưng xác suất của chúng, tiến tới xác định xác suất không hỏng của kết cấu đối với từng loại tải trọng động cụ thể (sóng, gió, động đất...).