CHƯƠNG 1: CƠ HỌC KẾT CẤU TÀU THỦY

1.1. Đặt vấn đề

Phân tích kết cấu khung giàn bằng ma trận độ cứng là một phương pháp tính toán và mô phỏng hành vi cơ học của các kết cấu khung giàn, chẳng hạn như các cấu trúc công trình, nhà cao tầng, cầu, dầm, và các công trình kỹ thuật khác. Phương pháp này rất hữu ích trong thiết kế và xác định tính chất cơ học của các khung giàn phức tạp, giúp các kỹ sư tối ưu hóa cấu trúc và đảm bảo an toàn và độ bền của chúng.

- Xây dựng ma trận độ cứng (stiffness matrix): Quá trình xây dựng ma trận độ cứng là bước quan trọng trong phân tích kết cấu khung giàn. Các yếu tố liên kết (gồm dầm, cột, mối nối...) và đặc tính cơ học của vật liệu sẽ được biểu diễn dưới dạng ma trận độ cứng. Vấn đề đặt ra là làm thế nào để xây dựng ma trận độ cứng cho một kết cấu khung giàn phức tạp và cần lưu ý những yếu tố nào trong quá trình này.

- Giải phương trình cân bằng: Sau khi xây dựng ma trận độ cứng, chúng ta cần giải phương trình cân bằng để tính toán các biến dạng, lực phản ứng và các thông số cơ học khác của khung giàn. Vấn đề đặt ra là cách tiếp cận và giải quyết hiệu quả các phương trình cân bằng này khi kích thước của ma trận độ cứng rất lớn.

- Tính toán và đánh giá độ cứng: Ma trận độ cứng giúp ta tính toán độ cứng tổng thể của khung giàn. Tuy nhiên, để đảm bảo tính chính xác của kết quả, cần phải đánh giá sự ảnh hưởng của các yếu tố như biến dạng chủ yếu, độ cứng của các yếu tố chưa xem xét, tính đối xứng của ma trận, và sai số trong quá trình tính toán.

- Điều kiện biên và giới hạn lý thuyết: Trong phân tích kết cấu, điều kiện biên đóng vai trò quan trọng để xác định lực phản ứng và biến dạng của khung giàn. Vấn đề đặt ra là cách xác định và áp dụng đúng các điều kiện biên phù hợp với bài toán cụ thể. Ngoài ra, cần xem xét giới hạn lý thuyết của phương pháp ma trận độ cứng để biết rõ những trường hợp mà phương pháp này không còn hiệu quả.

- Tối ưu hóa kết cấu: Một ứng dụng quan trọng của phân tích kết cấu khung giàn bằng ma trận độ cứng là tối ưu hóa kết cấu. Tối ưu hóa giúp tìm ra bố trí tối ưu của các yếu tố trong khung giàn nhằm giảm thiểu khối lượng, tối ưu hóa độ cứng hoặc chi phí xây dựng. Vấn đề đặt ra là làm thế nào để áp dụng phương pháp tối ưu hóa vào phân tích kết cấu khung giàn và cần xem xét các ràng buộc cụ thể khi tối ưu hóa kết cấu.

Trong tính toán thiết kế kết cấu tàu thủy, phân tích kết cấu khung giàn bằng được sử dụng để mô phỏng và đánh giá hành vi cơ học của tàu thủy trong các tình huống tải trọng và điều kiện biên khác nhau. Dưới đây là một số ứng dụng chính của phương pháp này trong lĩnh vực thiết kế tàu thủy:

- Đánh giá độ cứng tổng thể của tàu: Phân tích kết cấu khung giàn giúp tính toán độ cứng tổng thể của tàu thủy. Điều này rất quan trọng để đảm bảo tàu có độ chịu tải và chịu biến dạng phù hợp khi đối mặt với các điều kiện biển khác nhau, như sóng biển, gió mạnh, tải trọng hàng hóa và hệ thống trang bị trên tàu.

- Xác định sự phân bổ tải trọng và lực phản ứng: Phương pháp ma trận độ cứng cho phép tính toán sự phân bổ tải trọng và lực phản ứng tại các điểm cụ thể trên tàu thủy, giúp kỹ sư hiểu rõ hơn về các vùng chịu tải nặng và đảm bảo tính cân đối của tàu.

- Phân tích cấu trúc tháo lắp: Trong trường hợp tàu thủy cần tháo lắp và vận chuyển, phân tích kết cấu khung giàn có thể giúp xác định cách thức tháo lắp, các yếu tố cần chú ý để đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình này.

- Tối ưu hóa kết cấu tàu: Phân tích kết cấu khung giàn cũng được sử dụng để tối ưu hóa thiết kế kết cấu tàu thủy. Kỹ sư có thể tối ưu hóa bố trí và kích thước các thành phần để đạt được cân bằng giữa độ cứng, trọng lượng và khả năng vận chuyển của tàu.

- Đánh giá tải trọng chịu tải tĩnh và động: Phân tích kết cấu khung giàn cung cấp thông tin về khả năng chịu tải tĩnh và động của tàu thủy dưới tác động của các yếu tố như sóng biển, gió, va đập. Điều này giúp đảm bảo rằng tàu có thể chịu đựng các điều kiện môi trường khắc nghiệt trong quá trình hoạt động.

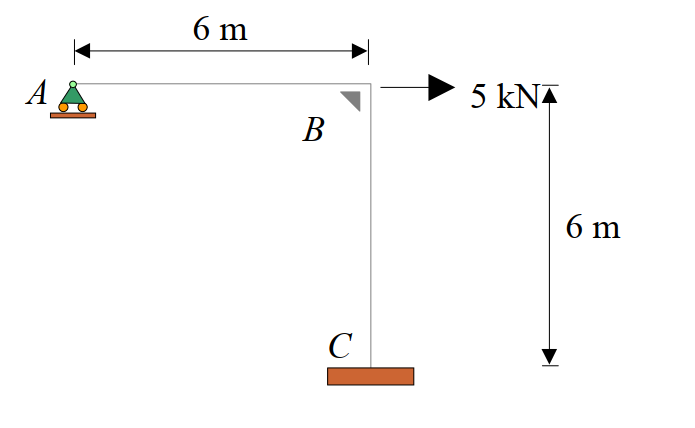
- Phân tích độ tin cậy: Kết cấu khung giàn cũng được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của tàu thủy dưới tác động của các yếu tố xấu khác nhau. Điều này giúp dự đoán được tuổi thọ và hiệu suất dài hạn của tàu.

Trong giới hạn của bài báo cáo, học viên xin trình bày một bài toán khung giàn đơn giản được sử dụng bằng phương pháp ma trận độ cứng bên cạnh đó là mô phỏng trên phần mềm Ansys.

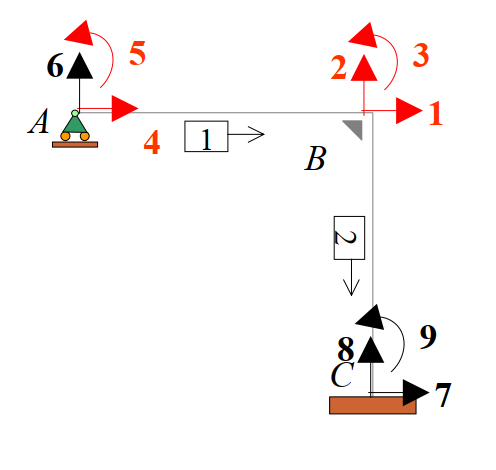
1.2. Giải quyết bài toán bằng ma trận độ cứng

Đề bài cụ thể:

Cho khung như hình 1.1 với các thông số sau: , , . Vẽ đồ thị momen uốn.



Đặt các lực và momen như hình dưới đây:



Ta có:

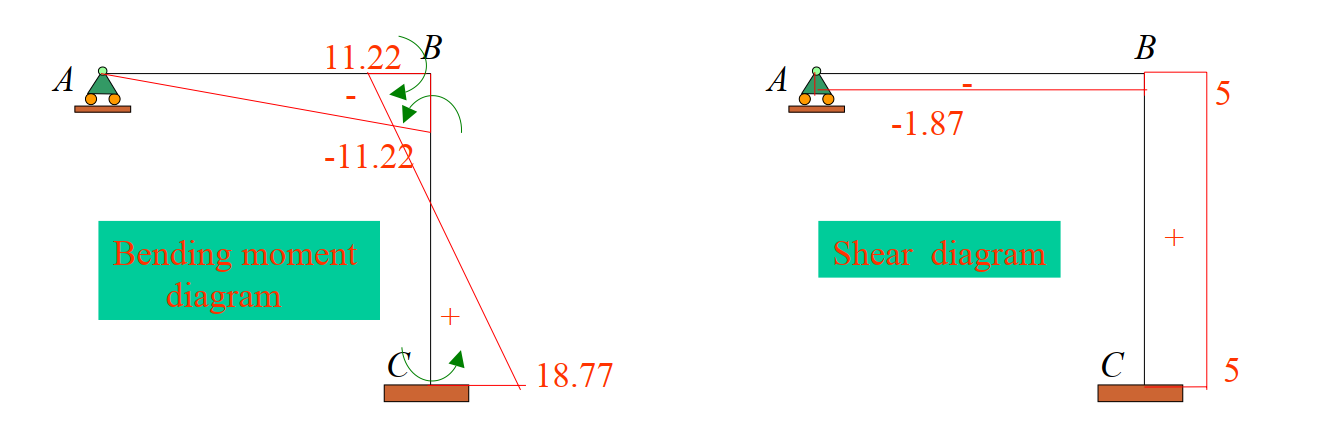
Tiếp tục

Mà

Mà

Vậy ta có:

Vậy ta có thể vẽ đồ thị momen uốn và lực cắt như hình dưới đây



1.3. Giải quyết bài toán bằng phần mềm Ansys

Bài toán được tính toán và thiết lập tiết diện mặt cắt ngang của thanh sao cho diện tích tiết diện là và momen quán tính tiết diện là

A blue sky with a red and yellow flag

Description automatically generated

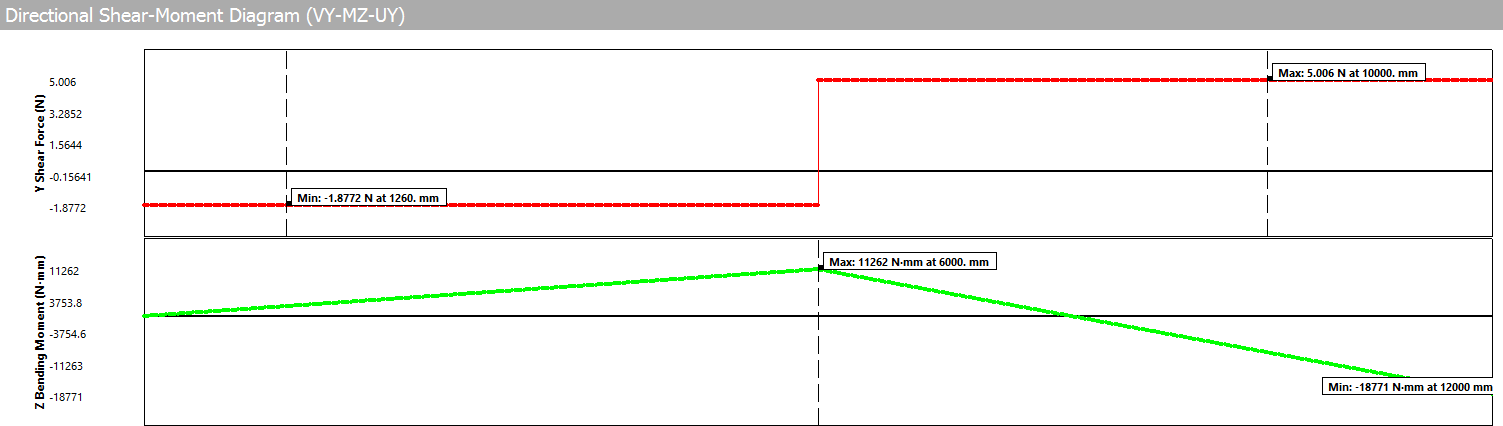
Bài toán được thiết lập với các điều kiện biên và lực cụ thể như sau:

Node A: Không chế chuyển động tịnh tiến theo trục X và trục Y

Node C: Khống chế toàn bộ chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay

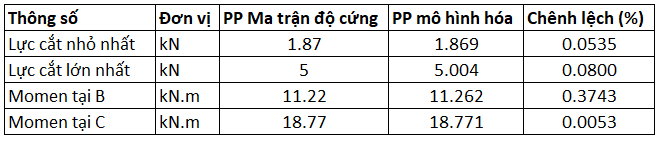
Node B: Đặt lực 5000N (5kN) theo phương Z

Kết quả đồ thị momen uốn, lực cắt tương tự như kết quả tính toán theo ma trận độ cứng



1.4. So sánh và kết luận

Tiến hành so sánh kết quả giữa 2 phương pháp, ta có bảng:



Như vậy, kết quả giữa 2 phương pháp không có chênh lệch đáng kể (Hoàn toàn dưới 0.5%), điều này kết luận rằng chúng ta có thể giải quyết các bài toán khung phẳng phức tạp bằng cách mô hình hóa và tính toán với sự hỗ trợ của máy tính.

CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH MỎI THÂN TÀU VÀ CÔNG TRÌNH NỔI

2.1. Đặt vấn đề

Phân tích độ bền mỏi thân tàu bằng phương pháp phần tử hữu hạn (finite element method - FEM) là một phương pháp tính toán số học phổ biến trong lĩnh vực kỹ thuật cơ khí và cơ học kết cấu. Lý do chọn phương pháp này để phân tích độ bền mỏi thân tàu có thể là như sau:

* Độ chính xác cao: Phương pháp phần tử hữu hạn cho phép mô phỏng chính xác các biến đổi phức tạp của thân tàu, như khối lượng tải trọng và tải trọng động. Việc này giúp xác định được các vị trí chịu lực tải cao nhất và những vùng có khả năng gây mỏi mệt tốt nhất.
* Linh hoạt trong mô hình hóa: Phương pháp phần tử hữu hạn cho phép chia tàu thành các phần tử nhỏ, điều này giúp đơn giản hóa quá trình mô hình hóa và tính toán. Bằng cách tinh chỉnh kích thước và hình dạng của các phần tử, bạn có thể tăng độ chính xác và hiệu quả của phân tích.
* Xác định các điểm yếu: Phương pháp phần tử hữu hạn cho phép xác định các điểm yếu và các vùng có nguy cơ hỏng hóc của thân tàu. Điều này giúp tối ưu hóa thiết kế và tăng cường độ bền của tàu.
* Đánh giá hiệu năng tải trọng: Phương pháp phần tử hữu hạn cho phép bạn đánh giá hiệu năng của thân tàu dưới tải trọng đa dạng, bao gồm cả điều kiện biến đổi và động.

Sử dụng phần mềm Ansys để thực hiện phân tích độ bền mỏi thân tàu vì Ansys là một phần mềm mạnh mẽ và phổ biến trong lĩnh vực phân tích kết cấu và động cơ cơ khí. Nó cung cấp nền tảng cho phép mô phỏng phần tử hữu hạn một cách hiệu quả và chính xác, cũng như tích hợp nhiều tính năng giúp dễ dàng mô hình hóa và phân tích các tải trọng phức tạp trên thân tàu.

Trên thế giới cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu với các đề tài tính toán và phân tích độ bền mỏi cho tàu thủy. Tiêu biểu như một số công trình dưới đây:

Tác giả: Wolfgang Fricke, Hans Paetzold với đề tài nghiên cứu “Full-scale fatigue tests of ship structures to validate the S–N approaches for fatigue strength assessment” tập trung vào việc thực hiện các thử nghiệm mệt mỏi quy mô đầy đủ trên các cấu trúc tàu thủy để xác nhận các phương pháp đánh giá sức mệt mỏi dựa trên đường cong S-N.

Bài nghiên cứu nhấn mạnh đến vấn đề độ bền mỏi của các kết cấu tàu thủy dựa trên đường cong S-N, vì chúng phải chịu những tải trọng tuần hoàn cao. Tuy nhiên, đối với việc đánh giá độ bền mỏi của các kết cấu này có nhiều phương pháp khác nhau và không đồng nhất. Vì vậy, để hài hòa các phương pháp đánh giá độ bền mỏi, các thử nghiệm độ bền mỏi quy mô đầy đủ đã được thực hiện ở Đức trong một dự án nghiên cứu chung của ngành công nghiệp đóng tàu.

Hai loại kết cấu tàu đã được chọn để thử nghiệm quy mô đầy đủ. Loại đầu tiên là các vị trí giao điểm giữa các khung web, phổ biến trong tàu roll-on/roll-off (ro/ro). Ba mô hình đã được thử nghiệm dưới tải trọng biên độ không đổi. Loại thứ hai là các giao điểm giữa dầm dọc và khung web, đã xuất hiện các hỏng hóc do độ bền mỏi gần đây trên tàu chở container. Năm mô hình đã được thử nghiệm, ba dưới tải trọng biên độ không đổi và hai dưới tải trọng biên độ biến đổi.

Tất cả các thử nghiệm đã cho thấy giai đoạn lan truyền nứt tương đối dài sau khi xuất hiện các nứt đầu tiên, đòi hỏi một tiêu chuẩn hợp lý. Đối với phân tích số, đã sử dụng cả phương pháp ứng suất điểm nóng kết cấu và phương pháp ứng suất rãnh hiệu quả. Phương pháp ứng suất rãnh hiệu quả cho phép xem xét hình dạng hàn, điều này có thể giải thích một phần sự khác biệt trong hành vi hỏng hóc được quan sát và tính toán.

Từ các kết quả của các nghiên cứu thử nghiệm, đã đạt được cái nhìn tổng quát về hành vi cường độ của các cấu trúc tàu hàn phức tạp và các vấn đề hiện tại. Các nghiên cứu này đóng góp quan trọng cho việc cải thiện phương pháp thiết kế và xây dựng các kết cấu tàu an toàn và đáng tin cậy hơn.

Các tác giả: Byoung-Hoon Jung, In-Gyu Ahn, Sun-Kee Seo và Beom-Il Kim trong nghiên cứu “Fatigue Assessment of Very Large Container Ships Considering Springing Effect Based on Stochastic Approach” đã xây dựng một phương pháp đánh giá độ bền mỏi xem xét thành phần co giãn tuyến tính trong miền tần số. Dựa trên một mô hình toàn cầu ba chiều, thực hiện phân tích tương tác cơ - cấu và áp dụng phương pháp kết hợp các mode để xác định ứng suất điểm nóng tại góc vòi hầm của tàu chở container rất lớn. Hư hỏng mệt mỏi được ước tính trực tiếp bằng cách sử dụng hàm chuyển đổi ứng suất với phản ứng co giãn tuyến tính.

Bài nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng một phương pháp đánh giá độ bền mỏi dựa trên kỹ thuật phân tích thống kê tuyến tính. Nghiên cứu xem xét hiệu ứng co giãn ("springing effect") của các tàu chở container rất lớn, và tiến hành đánh giá tính khả dụng của quy trình đối với một tàu thực tế.

Phương pháp đã được thiết lập để tính toán trực tiếp hư hỏng mỏi tại các điểm nóng trên tàu bằng cách sử dụng mô hình toàn cầu ba chiều. Sau đó, đề xuất một phương pháp ước tính hư hỏng mỏi cuối cùng, kết hợp hư hỏng tính toán từ phân tích độ bền mỏi phổ cứng cơ học, và áp dụng tỷ lệ giữa hư hỏng mệt mỏi tính toán từ giai đoạn đánh giá thiết kế tàu và hư hỏng do hiệu ứng co giãn từ một lý thuyết khác.

Phương pháp đề xuất cũng được sử dụng để ước tính hư hỏng mỏi của các điểm nóng trên tàu theo hướng dọc. Từ các kết quả tính toán, đã phân tích các đặc điểm và kết quả hư hỏng mỏi từ từng phương pháp.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng gặp một số hạn chế khi áp dụng và đánh giá phương pháp đề xuất trong thiết kế tàu thực tế. Trong tương lai, cần nghiên cứu kỹ hơn về hàm chuyển đổi ứng suất và phản ứng ứng suất được sử dụng để tính toán hư hỏng mỏi, và tiến hành các nghiên cứu liên quan đến các yếu tố phi tuyến.

2.2. Nội dung nghiên cứu

Trong khuôn khổ bài báo cáo, học viên tập trung phân tích và đánh giá hệ số tập trung ứng suất của tấm với lỗ tròn. Đề bài cụ thể như hình:

A diagram of a circle with numbers and a circle

Description automatically generated

Theo “Roark's Formulas For Stress And Strain” chúng ta có công thức cụ thể để tính toán hệ số tập trung ứng suất như sau:

A white board with numbers and symbols

Description automatically generated

Áp dụng công thức ở bảng 7a như trên ta có:

Trong đó:

Tiến hành mô hình hóa toàn bộ mô hình và thiết lập các điều kiện biên, và áp lực các điều kiện về lực.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Cạnh A đặt lực 10000 N, cạnh B đặt điều kiện khống chế toàn bộ chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay.

Chia lưới thành 5 trường hợp, và kết quả tính toán cụ thể như các hình dưới đây:

* Trường hợp 1: Size lưới 10 mm

Schematic

Description automatically generated

* Trường hợp 2: Size lưới 5mm

A picture containing schematic

Description automatically generated

* Trường hợp 3: Size lưới 1mm

Graphical user interface

Description automatically generated

* Trường hợp 4: Size lưới 10mm, chia lưới mịn khu vực lỗ 2mm

A picture containing schematic

Description automatically generated

* Trường hợp 5: Size lưới 5mm, chia lưới mịn khu vực lỗ 2mm

Graphical user interface

Description automatically generated with low confidence

Tiếp theo, phân tích trường hợp mô hình hóa ¼ mô hình và thiết lập điều kiện đối xứng cho các cạnh tương ứng.

A grey rectangular object with black text

Description automatically generated

Ta có: Cạnh A đặt lực 5000 N, node B đặt điều kiện khống chế chuyển động tịnh tiến theo trục Y và trục Z.

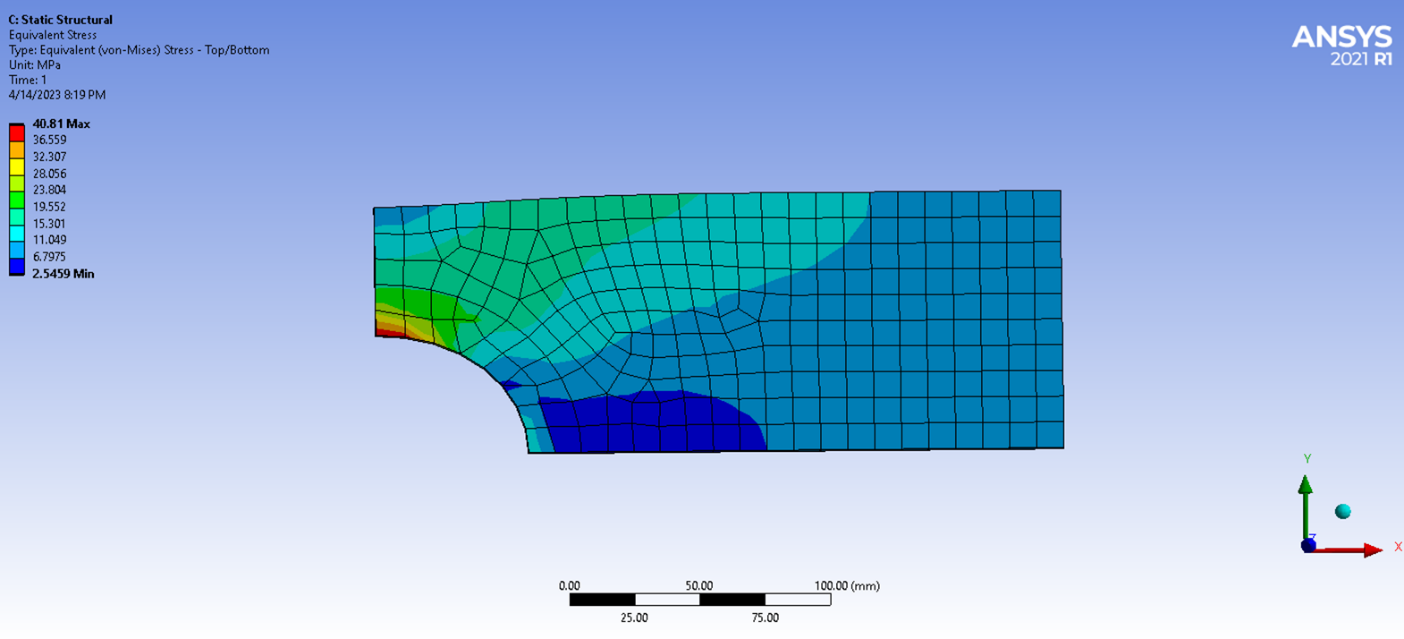
Tiếp tục thiết lập điều kiện đối xứng:

A map of the state of washington

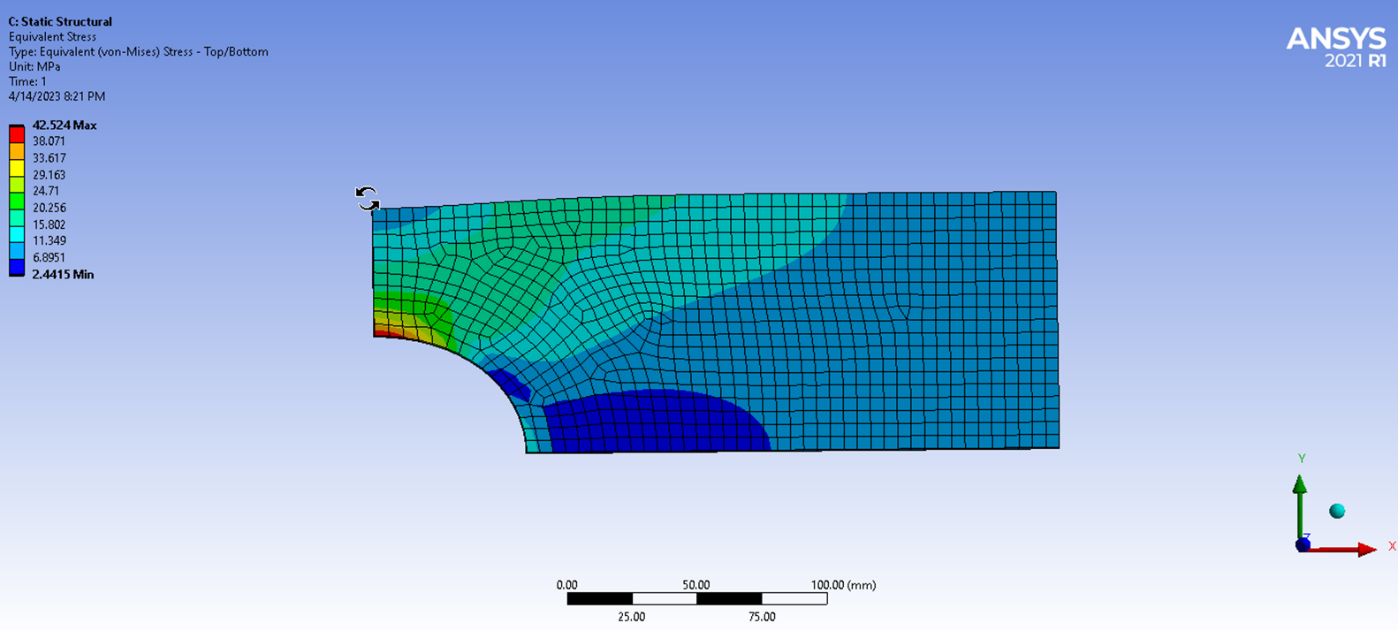
Description automatically generated

Tính toán cụ thể theo 5 trường hợp như trình bày ở trên:

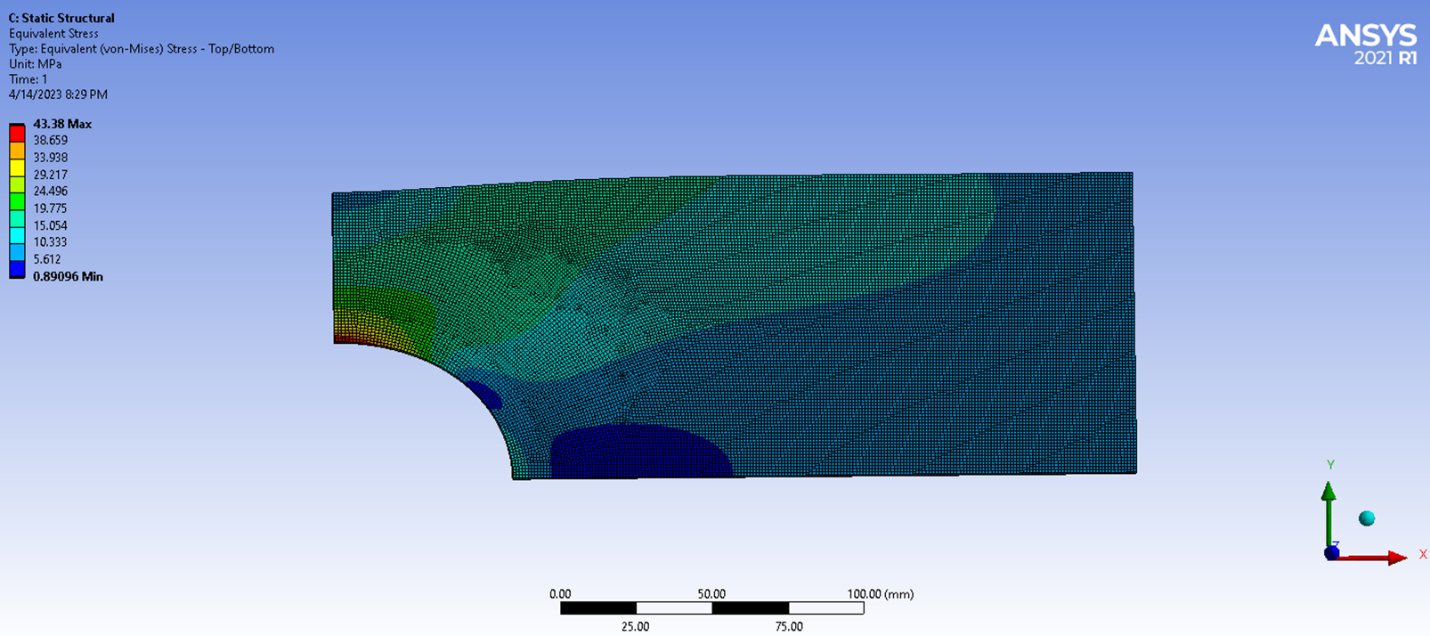
* Trường hợp 1: Size lưới 10 mm



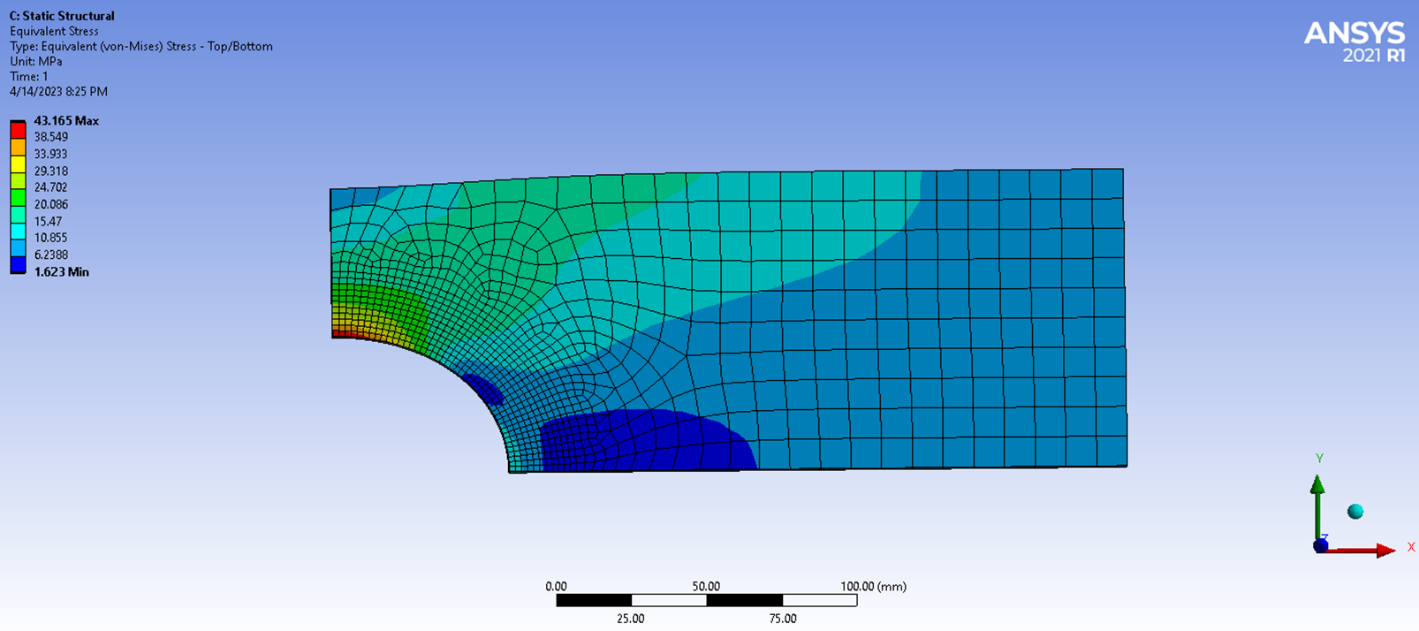
* Trường hợp 2: Size lưới 5mm



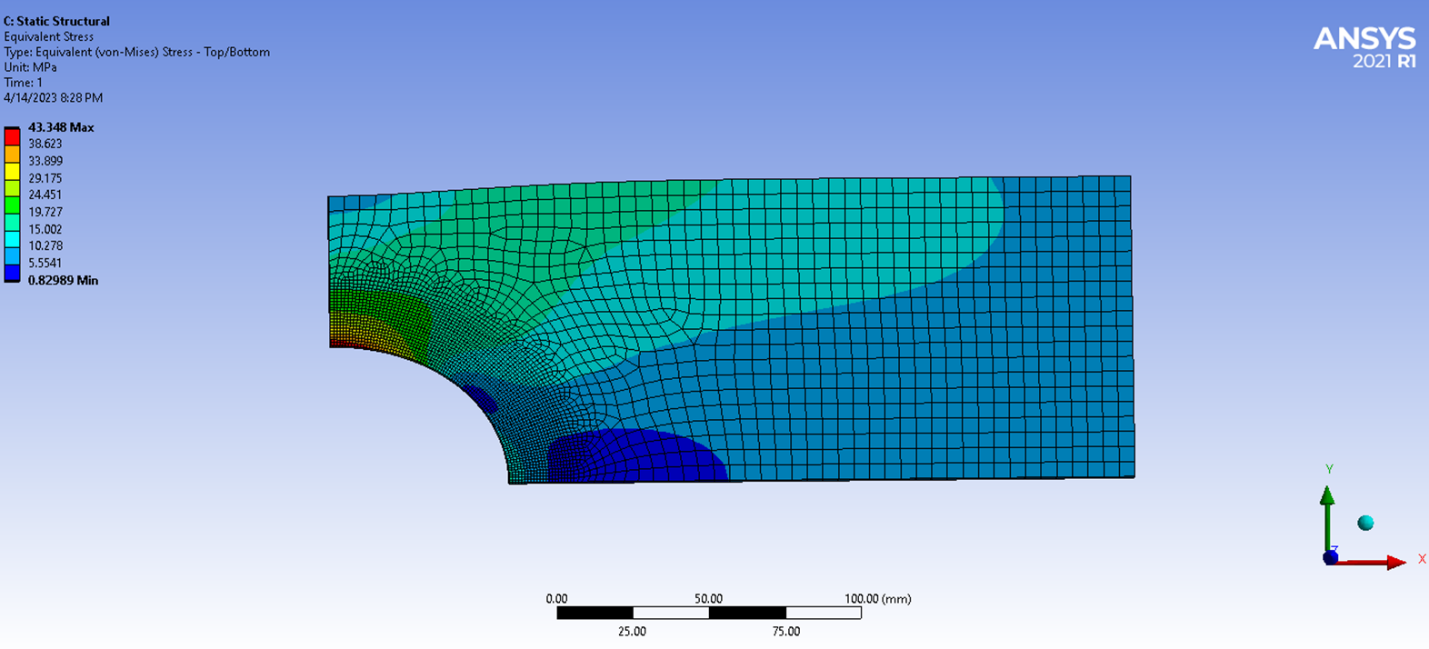
* Trường hợp 3: Size lưới 1mm



* Trường hợp 4: Size lưới 10mm, chia lưới mịn khu vực lỗ 2mm



* Trường hợp 5: Size lưới 5mm, chia lưới mịn khu vực lỗ 2mm



2.3. So sánh và thảo luận

Ta có bảng tổng hợp kết quả của 2 trường hợp mô hình toàn bộ tấm và mô hình ¼ tấm, cụ thể như sau:

* Đối với trường hợp mô hình toàn bộ tấm

A screenshot of a computer

Description automatically generated

* Đối với trường hợp mô hình ¼ tấm:

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Sai lệch hệ số (%): Sai lệch hệ số được tính bằng cách so sánh hệ số tập trung ứng suất tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEA) và hệ số tập trung ứng suất lý thuyết (Kt). Trong cả hai bảng, sai lệch hệ số thấp, chỉ từ 0.02% đến 5.48%. Điều này cho thấy phương pháp phần tử hữu hạn (FEA) được sử dụng có độ chính xác tương đối cao trong việc tính toán ứng suất tối đa trên thân tàu.

Thời gian tính toán (s): Thời gian tính toán trong các trường hợp khác nhau có thể thay đổi đáng kể. Tuy nhiên, nó có xu hướng tăng khi kích thước phần tử nhỏ hơn. Điều này phản ánh rõ ràng sự tăng đáng kể về độ phức tạp của phân tích tính toán khi tàu có kích thước phần tử nhỏ hơn. Tuy nhiên chúng ta có thể lựa chọn cách chia lưới một cách tổng quát, sau đó chia lưới mịn ở một số khu vực phức tạp, để đảm bảo thời gian tính toán trên phần mềm được tốt và hiệu quả hơn.