

TỰ ĐỘNG HÓA THIẾT KẾ CẦU ĐƯỜNG

Phân phân tích kết cấu với MIDAS/Civil

1 Giới thiệu về phân tích kết cấu và phần mềm phân tích kết cấu

1.1. Một số khái niệm cơ bản về phân tích kết cấu

1.2. Phần mềm phân tích kết cấu

2 Mô hình hóa và phân tích kết cấu với phần mềm MIDAS/Civil

2.1 Giới thiệu về phần mềm MIDAS/Civil

2.1.1 Các khả năng của phần mềm

2.1.2 Lịch sử phát triển

2.2 Các qui ước cơ bản

2.3 Tổ chức giao diện của phần mềm

2.4 Mô hình hóa kết cấu với MIDAS/Civil

2.4.1 Mô hình hóa hình học

2.4.2 Mô hình hóa vật liệu

2.4.3 Mô hình hóa mặt cắt

2.4.4 Mô hình hóa liên kết

2.4.5 Mô hình hóa tải trọng

2.5 Phân tích kết cấu

2.5.1 Phân tích tĩnh

2.5.2 Phân tích tải trọng di động

2.5.3 Phân tích trị riêng

2.5.4 Phân tích phi tuyến vật liệu

2.5.5 Phân tích phi tuyến hình học

2.5.6 Phân tích P-Delta

2.5.7 Phân tích theo giai đoạn thi công

2.5.8 Phân tích phổ phản ứng

2.6 Xử lý kết quả tính toán

2.6.1 Kiểm tra kết quả theo biểu đồ và bảng

2.6.2 Kiểm tra nội lực, ứng suất trên mặt cắt

2.6.3 Kiểm tra ứng suất cáp dự ứng lực

2.6.4 Điều chỉnh độ võng thi công

2.6.5 Tổng hợp kết quả phân tích

2.6.6 Xuất kết quả ra file và máy in

3 Mô hình hóa và phân tích một số kết cấu cầu điển hình

3.1 Cầu dầm bê tông liên hợp

3.2 Cầu dầm thép liên hợp bê tông

4 Các phân tích đặc biệt

4.1 Phân tích ứng suất cục bộ với MIDAS/Civil

4.1.1 Khái niệm về phân tích ứng suất cục bộ

Trong phân tích kết cấu, hai nội dung phân tích chính thường được thực hiện là phân tích tổng thể và phân tích cục bộ. Phân tích tổng thể nghiên cứu sự làm việc chung của cả hệ thống kết cấu quan tâm đến ứng xử tương tác giữa các bộ phận kết cấu (các phần tử) với nhau. Ngược lại, phân tích cục bộ tập trung nghiên cứu ứng xử của vùng cục bộ nào đó trong kết cấu. Để thực hiện một phân tích cục bộ, cần thiết trước đó phải thực hiện phân tích tổng thể nhằm xác định điều kiện biên cho kết cấu cục bộ. Ngược lại, kết quả của phân tích cục bộ có thể được xem xét để hiệu chỉnh lại mô hình phân tích tổng thể làm chính xác hơn sự làm việc của kết cấu.

Trong phân tích tổng thể, giả thiết tính toán được sử dụng thường đơn giản. Loại phần tử hay được sử dụng nhất là phần tử thanh. Chính vì lý do này đã hạn chế việc phản ánh sự làm việc đúng của một số bộ phận kết cấu. Để khắc phục các hạn chế này, trong phân tích cục bộ thường sử dụng ít hơn các giả thiết nhằm tạo mô hình tính toán sát thực với ứng xử thực tế của bộ phận kết cấu đó. Chú ý rằng, nguyên lý Xanh-vơ-năng và giả thiết Becluly rất hay được sử dụng để định hướng cho việc lựa chọn mô hình phân tích tổng thể và phân tích cục bộ.

Về mặt cơ học, có thể hiểu đơn giản rằng một bộ phận kết cấu làm việc cục bộ như tồn tại ứng suất cục bộ là do các điều kiện biên xác lập kết cấu đó không liên tục. Những điều kiện biên này bao gồm: điều kiện hình học, vật liệu, liên kết và tải trọng.

Một số ví dụ về các điều kiện biên không liên tục phổ biến trong công trình cầu:

- Các vị trí có sự thay đổi đột ngột kích thước hình học như các chỗ giao của vách đứng và bản cánh trên mặt cắt ngang của dầm cầu.
- Tại vị trí gối cầu: đó là nơi điều kiện liên kết thay đổi đột ngột.
- Khu vực tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông: là nơi có sự thay đổi về vật liệu.
- Các vị trí đặt lực tập trung như vị trí đầu neo đối với các kết cấu dự ứng lực.

Mục đích của phân tích cục bộ là xem xét qui luật ứng xử vùng cục bộ để đánh giá kết quả thiết kế hoặc tìm các giải pháp hạn chế hoặc khắc phục những sự làm việc

bất lợi của cấu kiện. Kết quả phân tích của ứng suất cục bộ bổ sung cho kết quả phân tích tổng thể.

Phạm vi tính toán và phân tích cục bộ thường bao gồm các nội dung sau:

- Phân tích ứng suất cục bộ
- Phân tích ổn định cục bộ
- Xác định phạm vi phân bố hoặc truyền của tải trọng đối với vùng cục bộ.
- Xác định quan hệ hay ảnh hưởng của hiệu ứng làm việc vùng cục bộ đối với cấu kiện liên quan hoặc kết cấu tổng thể.

4.1.2 Phân tích ứng suất cục bộ trong kết cấu cầu

Trong phân tích cục bộ, người ta đưa ra khái niệm vùng D và vùng B. Vùng D là vùng có sự phân bố ứng suất phức tạp. Nói cách khác, vùng D là khu vực có sự thay đổi đột ngột điều kiện biên. Vùng B là vùng mà ứng suất phân bố theo các qui luật được tính theo các công thức như trong Sức bền vật liệu.

Trong vùng D, để cân bằng với điều kiện biên ứng suất thay đổi đột ngột về mặt giá trị hay hướng, gây nguy hiểm cho kết cấu. Hiện tượng sự phân bố ứng suất bị thay đổi đột ngột gọi là hiện tượng tập trung ứng suất. Ứng suất tại vị trí bất thường này được gọi là ứng suất cục bộ. Vật liệu tại các vị trí có sự tập trung ứng suất nếu là vật liệu dẻo thì sự phát triển nhanh chóng của ứng suất cục bộ đến giới hạn dẻo sẽ làm mất sự tập trung ứng suất, nhưng đối với vật liệu giòn hay vật liệu có thêm chảy dẻo ngắn sẽ bị phá hoại đột ngột. Do đó trong thực tế tại các khu vực tập trung ứng suất người ta đã phải có biện pháp cấu tạo đặc biệt.

Sự hiểu biết sâu sắc về sự phân bố ứng suất cục bộ cũng giúp cho người kỹ sư thực hiện các thiết kế kết cấu chịu lực cục bộ hiệu quả hơn, chẳng hạn như việc nắm rõ qui luật phân bố của các dòng lực giúp cho việc xây dựng một mô hình chống và giằng hay mô hình dãn ảo (Strut and Tie) hợp lý hơn để tính toán và bố trí cốt thép ở vùng ứng suất cục bộ.

4.1.3 Mô hình hóa kết cấu trong phân tích ứng suất cục bộ

4.1.2.2.1 Phương pháp mô hình hóa trong MIDAS/Civil

Quá trình mô hình hóa kết cấu cục bộ có thể theo trình tự sau:

- Nghiên cứu kỹ cấu tạo của cấu kiện về đặc tính vật liệu, mối nối hay liên kết, đặc điểm và sự phân bố tải trọng.
- Dự đoán trạng thái ứng suất cục bộ (trạng thái ứng suất phẳng, không gian).
- Lựa chọn mô hình phần tử hữu hạn thích hợp để mô hình hóa các phần của kết cấu cục bộ.
- Xác định sơ bộ kích thước vùng cục bộ.
- Xây dựng mô hình và tính toán kết cấu tổng thể có bộ phận kết cấu cục bộ tham gia, lấy các kết quả phân tích về nội lực và chuyển vị tại các mặt cắt biên của cấu kiện được phân tích ứng suất cục bộ.
- Xây dựng mô hình kết cấu cục bộ.
- Đưa các điều kiện biên vào kết cấu cục bộ.
- Thực hiện tính toán và hiệu chỉnh lại mô hình lưới phần tử hữu hạn trên cơ sở phân tích kết quả tính toán.

Một số loại phần tử hữu hạn hay được sử dụng để mô hình hóa kết cấu cục bộ:

1. Phần tử thanh:

Thường được sử dụng để mô tả bộ phận chuyển tiếp về tải trọng hay điều kiện biên đối với vùng cục bộ. Phần tử thanh không gian có đầy đủ 6 bậc tự do (3 chuyển vị đường và 3 chuyển vị góc) tại mỗi điểm nút.

2. Phần tử phẳng:

Gồm hai nhóm chính: phần tử ứng suất phẳng và phần tử biến dạng phẳng.

Phần tử ứng suất phẳng thường được dùng để mô hình kết cấu dạng tường, đặc biệt cho các phần cánh, sườn của kết cấu thép hình, vỏ thép,..

Phần tử biến dạng phẳng được dùng để mô hình một lớp cắt của nền đường hoặc trong tính toán đê, đập.

Phần tử ứng suất phẳng và biến dạng phẳng đều chỉ có 2 chuyển vị đường (trong mặt phẳng phần tử) tại mỗi điểm nút.

3. Phần tử tấm, vỏ:

Có thể dùng phần tử tấm để mô tả các bản sàn, bản mặt cầu, dầm bản,... Đó là những cấu kiện chịu uốn là chính có kích thước hai chiều lớn hơn nhiều so với một chiều còn lại (bề dày của tấm). Phần tử tấm có 3 bậc tự do (1 chuyển vị đường và 2 chuyển vị góc) tại mỗi điểm nút.

Phần tử vỏ là sự kết hợp của phần tử ứng suất phẳng và phần tử tấm uốn. Đây là loại phần tử hay được sử dụng nhất vì trong kết cấu dạng tấm bản thường cần phải xem xét cả ứng xử trong mặt phẳng tấm và ngoài mặt phẳng tấm. Vì vậy, có thể dùng phần tử vỏ để thay thế cho cả phần tử ứng suất phẳng và phần tử tấm uốn. Phần tử vỏ thường có 5 bậc tự do (2 chuyển vị góc và 3 chuyển vị đường) ở mỗi điểm nút. Cá biệt có thể có đầy đủ 6 bậc tự do ở mỗi điểm nút (từ phiên bản 6.7.1 của MIDAS/Civil có loại phần tử này).

4. Phần tử khối:

Loại phần tử này thường được dùng để mô hình hóa bộ phận kết cấu chịu ứng suất không gian, nghĩa là các ứng suất theo cả ba phương chính đều lớn. Những bộ phận cần được mô hình hóa bằng loại phần tử này thường có kích thước cả ba chiều đều gần bằng nhau giống như các cục, các khối. Phần tử khối có 3 bậc tự do là các chuyển vị đường ở mỗi nút.

5. Phần tử liên kết:

Nhóm phần tử này đặc biệt quan trọng và được dùng để mô tả quan hệ giữa các bộ phận (liên kết trong) cũng như tại các biên của kết cấu (liên kết ngoài). Phần tử liên kết thường gồm có liên kết theo nút, liên kết theo đường, liên kết theo mặt. Các phần tử liên kết đặc biệt và hay sử dụng là các phần tử liên kết một chiều (phần tử liên kết chỉ chịu nén, phần tử liên kết chỉ chịu kéo). Những phần tử liên kết cứng, đàn hồi tổng quát và các mô tả liên kết biên như chuyển vị cưỡng bức cũng rất hay được sử

dụng. Ngoài ra, các phần tử hữu hạn cơ bản nêu trên cũng có thể được sử dụng như là các phần tử liên kết bằng cách xem xét thông số độ cứng một cách thích hợp.

Lựa chọn mô hình phần tử hữu hạn là một công việc quan trọng. Thông thường, phần tử phẳng tứ giác 4 điểm nút cho độ chính xác tốt hơn phần tử tam giác 3 điểm nút. Phần tử khối lục diện 8 điểm nút phản ánh ứng xử của kết cấu hợp lý hơn phần tử khối tứ diện 4 điểm nút. Các phần tử bậc cao nên được lựa chọn so với các phần tử tuyến tính. Tuy nhiên, cần thiết sử dụng các phần tử tam giác và tứ diện cho các trường hợp mô tả các biên hình học phức tạp của kết cấu vì chúng được sự hỗ trợ của các thuật toán phát sinh lưới phần tử hữu hạn rất hiệu quả so với các loại phần tử khác như thuật toán Delaunay. Để tăng độ chính xác mô hình tính cho các vùng chịu ứng suất phức tạp, lưới phần tử hữu hạn cũng được chia có mật độ dày hơn ở những vùng cục bộ đó.

Một điểm quan trọng khác trong việc mô hình hóa các cấu kiện chịu lực cục bộ là phải đảm bảo sự tương thích giữa các phần tử. Sự phối hợp các loại phần tử khác chiều (1 chiều, 2 chiều, 3 chiều) nên chú ý đặc điểm cấu tạo của chúng. Ví dụ, phần tử thanh nếu thêm một chiều thì có thể trở thành phần tử phẳng hoặc tấm phẳng, phần tử tấm thêm một chiều thì thành phần tử khối. Ngoài các nút thì các cạnh của phần tử cũng cần phải tương thích với nhau (xem xét sự phù hợp của các hàm dạng). Chú ý rằng phần tử khối chỉ có 3 bậc tự do là các chuyển vị đường tại mỗi điểm nút, do vậy, khi mô hình cùng với các phần tử khác nên dùng các liên kết cứng (Rigid Link) để ràng buộc các bậc tự do này một cách chặt chẽ.

Với cùng một cấu kiện, việc mô hình hóa kết cấu không nên chỉ dừng lại ở một mô hình duy nhất. Trạng thái ứng suất phức tạp của cấu kiện phụ thuộc rất nhiều vào các điều kiện biên. Sự thay đổi của tải trọng và liên kết ảnh hưởng rất nhiều đến sự phân bố ứng suất. Việc phân tích cấu kiện với nhiều trường hợp nghiên cứu khác nhau sẽ cho kết quả đầy đủ và nắm bắt được ứng xử của cấu kiện một cách hoàn chỉnh hơn.

Khi phân tích ứng suất cục bộ, cần phải chú ý đến đặc điểm phá hoại của loại từng vật liệu. Ví dụ, vật liệu thép thường phá hoại dẻo trong đó vật liệu bê tông thường phá hoại giòn. Như vậy, các ứng suất tương ứng cần xem xét kỹ tương ứng là các ứng suất tiếp lớn nhất và ứng suất pháp cực trị.

Những khái niệm hay được sử dụng liên quan đến việc phát sinh các phần tử hữu hạn:

Lưới phần tử hữu hạn (finite element mesh): là một mô hình phần tử hữu hạn bao gồm các phần tử và các nút.

Phát sinh lưới phần tử hữu hạn (mesh generation): là việc tạo lưới bằng cách công cụ và thuật toán nhất định.

Tự động phát sinh lưới phần tử hữu hạn: việc tạo lưới được thực hiện một cách tự động, một số thông tin về hình học và nút được xem như các điều kiện ban đầu được đưa vào. Những điểm nút và phần tử sẽ được phát sinh và bổ sung không cần sự can thiệp trực tiếp của người sử dụng.

Đánh giá thông số hình học của phần tử trong lưới: việc đánh giá thông số hình học của phần tử nhằm đánh giá độ chính xác (hợp lý) của lưới và cũng như độ chính xác của mô hình tính. Tiêu chuẩn đánh giá thường là kích thước phần tử, tỷ lệ kích thước giữa phần tử lớn nhất và nhỏ nhất, mật độ nút và độ lớn góc, cạnh của các phần tử. Các phần tử được gọi là hợp lý nói chung có các cạnh xấp xỉ bằng nhau hoặc các góc bằng nhau. Góc nhỏ nhất (hoặc góc trung bình nhỏ nhất) của phần tử thường được xem xét để đánh giá. Chất lượng lưới phần tử hữu hạn càng tốt khi góc nhỏ nhất này càng lớn.

Hiệu chỉnh lưới: là việc thay đổi vị trí của nút hoặc cạnh của phần tử nhằm tăng độ hợp lý của lưới phần tử.

Tối ưu lưới: là việc thực hiện việc hiệu chỉnh một cách hệ thống với các số lượng nút chia thường giữ nguyên nhưng tọa độ nút và hình học của phần tử có thể thay đổi nhằm đạt tính hợp lý của lưới và độ chính xác của mô hình là tốt nhất có thể. Các tiêu chuẩn để tối ưu thường tập trung về mặt hình học (góc, cạnh). Cũng có thể tối ưu lưới theo trạng thái ứng xử của kết cấu (phản ánh các dòng lực, ứng suất, biến dạng), trong trường hợp này, lưới được hiệu chỉnh để đạt sự cân bằng tối ưu theo tiêu chuẩn lực và mật độ của lưới theo độ lớn của giá trị ứng suất, biến dạng. Quá trình tối ưu thường được thực hiện bằng phép lặp, sau mỗi lần hiệu chỉnh lưới (tại một số điểm nút), lưới mới sẽ được tạo lập và công việc đánh giá lưới được thực hiện. Kết thúc quá trình này khi các tiêu chí đánh giá được thỏa mãn (hội tụ).

Lựa chọn các thông số lưới cần phải cân nhắc giữa các yếu tố thời gian phân tích, không gian lưu trữ của máy tính và độ chính xác. Nói chung, để tăng độ chính xác của phân tích đòi hỏi tốn kém nhiều thời gian và không gian lưu trữ hơn. Trước khi quyết định mật độ lưới phần tử được chia, nên kiểm tra và thử nghiệm cho các kết

cấu đơn giản theo hai phương pháp giải tích và số để có những kết luận về tương quan giữa độ chính xác với kích thước, mật độ của lưới phần tử trong phần mềm được chọn.

Để tiết kiệm thời gian phân tích cũng như không gian lưu trữ dữ liệu trong máy tính, cần phải để ý tính đối xứng của kết cấu. Việc thực hiện mô hình cho một nửa hay một phần tư của kết cấu đối xứng tăng hiệu quả phân tích lên rất nhiều, đôi khi hiệu quả này không phải chỉ đơn giản là biến thiên tuyến tính.

Mô hình được coi là đối xứng nếu nó đối xứng trong các phương diện sau:

Hình học

Các thông số vật liệu

Các điều kiện tải trọng

Các điều kiện liên kết

Việc tạo mô hình đại diện cho một mô hình đầy đủ có tính đối xứng thường dễ dàng hơn và cũng đồng thời cho phép tạo ra mô hình mịn hơn, chi tiết hơn so với mô hình đầy đủ và như vậy đem lại hiệu quả phân tích tốt.

Các kiểu đối xứng thường gặp trong kết cấu:

Đối xứng mặt,,đối xứng trục, tính lặp theo một quỹ đạo tròn hoặc tịnh tiến.

Đối xứng mặt: đây là loại đối xứng hay gặp nhất trong thực tế của kết cấu công trình. Một nửa kết cấu là ảnh gương của nửa còn lại, gương là mặt phẳng đối xứng. Tải trọng và các điều kiện liên kết có thể đối xứng hoặc phản xứng so với mặt phẳng đối xứng.

Đối xứng trục: là đối xứng qua trục trung tâm. Sử dụng một mặt cắt ngang bất kỳ đi qua trục đối xứng có thể dùng làm kết cấu đại diện để thực hiện việc phân tích. Tải trọng thường là đối xứng. Trường hợp tải trọng không đối xứng trong phân tích tuyến tính, có thể dùng phương pháp tổ hợp tải trọng thành tải trọng đối xứng và phản đối xứng để dùng phương pháp cộng tác dụng thực hiện việc tính toán được hiệu quả.

Kết cấu có tính lặp: thường xuất hiện nhiều trong các chi tiết cấu tạo cơ khí, kết cấu thép, như: các bánh răng, đai ốc,.. Các bộ phận cầu tại các nút giàn, gối cầu thép thường có tính lặp theo quỹ đạo tròn. Những ván khuôn thép định hình được xem như kết cấu có tính lặp tịnh tiến. Bằng cách chỉ mô hình phần đặc trưng của kết cấu với tải trọng trong trường hợp đối xứng sẽ đem lại hiệu quả phân tích cao.

Quá trình phát sinh lưới phần tử hữu hạn phục vụ cho phân tích cục bộ như sau:

- Tạo các đường biên và điểm nút chính
- Tạo các đối tượng hình học mô phỏng cấu kiện (điểm, đường, mặt, khối)
- Thực hiện các tính toán hình học (tìm giao, hợp, trừ,..)
- Thực hiện việc chia lưới phần tử hữu hạn dựa trên mô hình hình học
- Lược bỏ các đối tượng hình học ban đầu
- Đánh giá lưới phần tử hữu hạn được tạo
- Hiệu chỉnh và tối ưu lưới.
- Bổ sung các điều kiện biên, vật liệu và tải trọng.

Mô hình hóa phần tử hữu hạn cho phân tích tổng thể nói chung và đặc biệt cho phân tích cục bộ nói riêng là một công việc không đơn giản, đòi hỏi sự trợ giúp rất lớn của phần mềm máy tính. Chính vì vậy, sự thân thiện và tiện nghi của các phần mềm là một tiêu chí quan trọng trong sự lựa chọn phần mềm của phía người sử dụng.

Trong các phần mềm ứng dụng, để mô hình hóa phần tử hữu hạn phục vụ tính toán cục bộ, thường có những chương trình chuyên dụng riêng. Ví dụ, trong họ sản phẩm của MIDAS, FEModeler và sau này là FX+ là các chương trình chuyên dụng để hỗ trợ việc tạo lưới phần tử hữu hạn cho các phần mềm phân tích kết cấu khác như MIDAS/Civil, SAP2000, LUSAS,..

Việc sử dụng một phần mềm đầy đủ tính năng mô hình hóa các kết cấu đặc biệt và phân tích kết cấu tổng quát thường không làm hiệu quả kinh tế cho người sử dụng vì

giá thành sản phẩm cao. Một số hệ thống mô hình hóa và phân tích phần tử hữu hạn mạnh như: ANSYS, ABAQUS, ADINA, LUSAS,... là các ví dụ minh họa.

Tuy nhiên, sự hiểu biết và vận dụng hiệu quả những tính năng cơ bản của các phần mềm phân tích kết cấu không gian cũng có thể đạt được kết quả mong muốn. Những lệnh hay được sử dụng của MIDAS/Civil để mô hình hóa kết cấu cục bộ là:

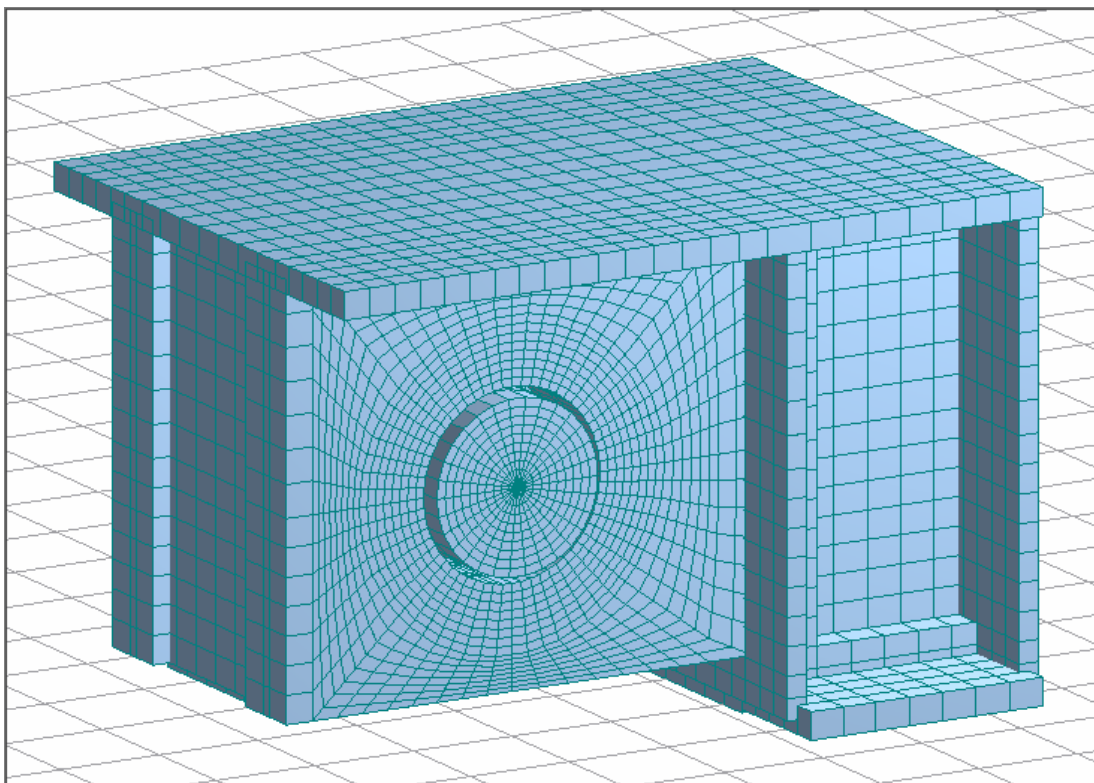
- Nhóm lệnh phát sinh nút: copy và dịch chuyển (translate), chiếu (project), lấy đối xứng (mirror), chia nút.
- Nhóm lệnh phát sinh phần tử: copy và dịch chuyển (translate), chia (divide), thêm một chiều phần tử bằng cách kéo dài (extrude), lấy đối xứng (mirror).
- Nhóm lệnh quan sát: quan sát theo chiều trục đo, theo các mặt phẳng chiếu
- Nhóm lệnh lựa chọn đối tượng: theo thuộc tính, theo kiểu phần tử, theo cách chọn trực tiếp bằng cửa sổ bao và cắt trên màn hình. Chú ý, lựa chọn đối tượng bằng cách chọn kiểu đối tượng trong mục Works rất tiện lợi.

4.1.2.2.2 Mô hình hóa và phân tích ứng suất cục bộ cho một số cấu kiện

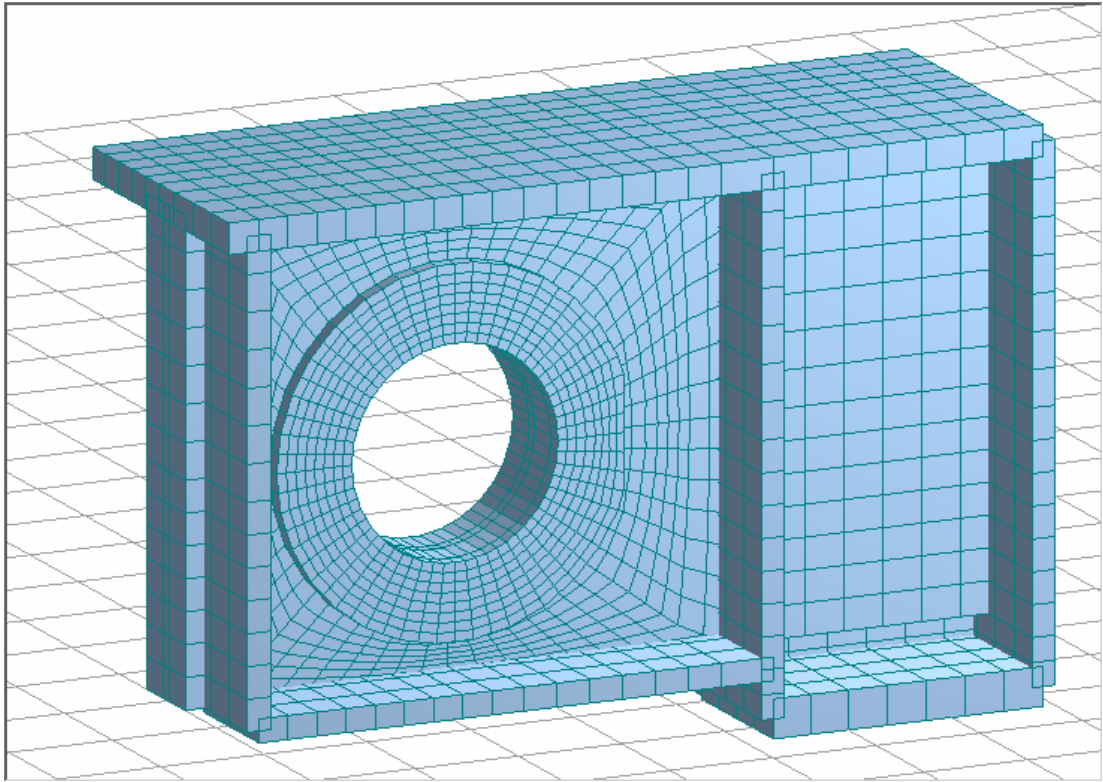
Ở phần này trình bày một số ví dụ minh họa cho công tác mô hình hóa và phân tích ứng suất cục bộ đối với một số cấu kiện điển hình như: nút giàn thép, đốt K0 của cầu dầm bê tông cốt thép đúc hẫng cân bằng.

4.1.2.2.2.1 Đoạn nút giàn Beilay

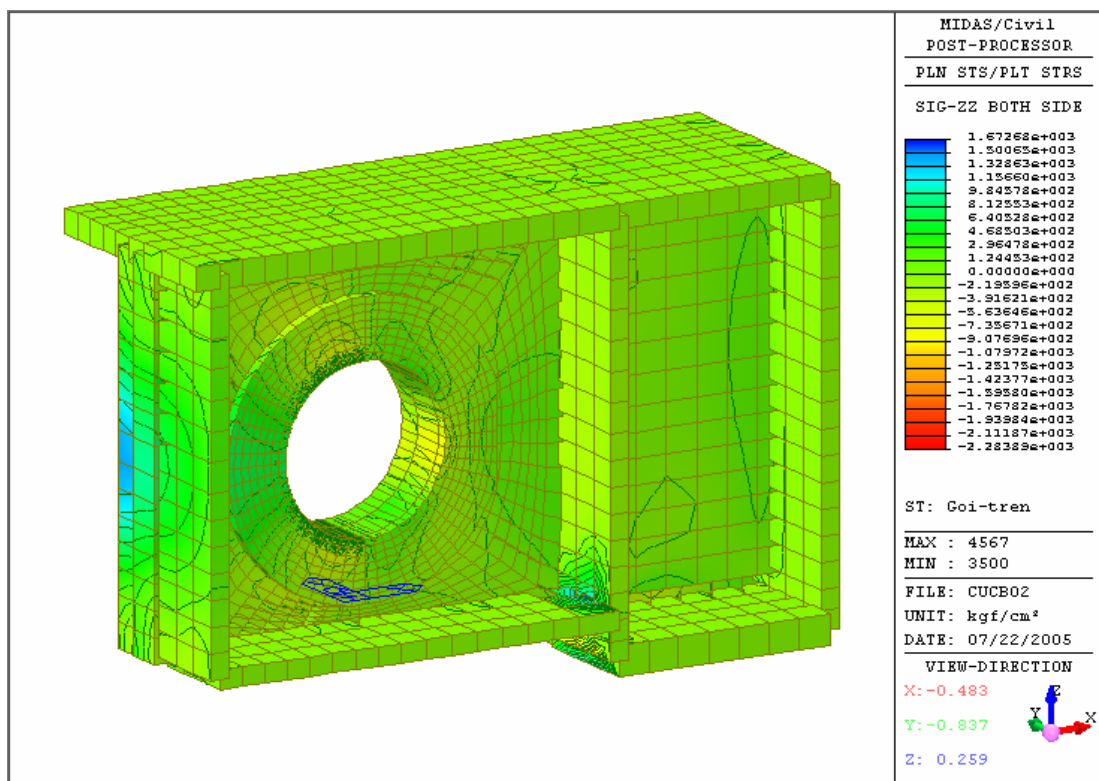
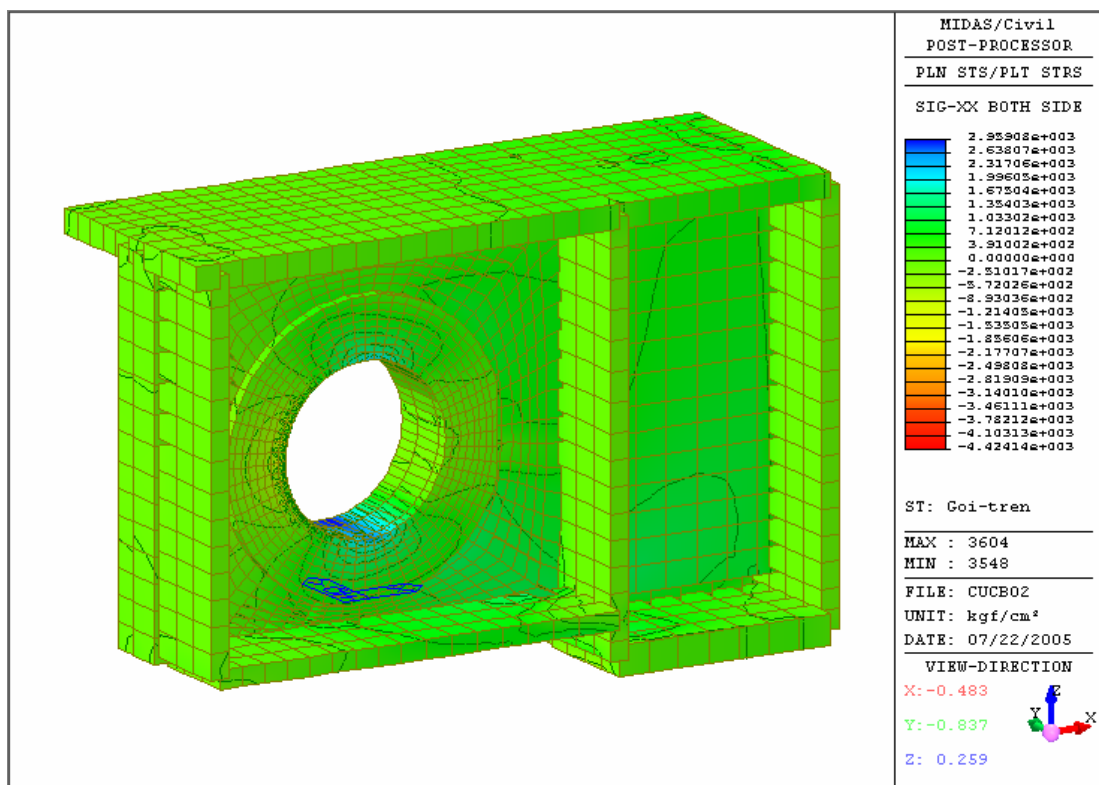
Mô hình trong MIDAS/Civil:

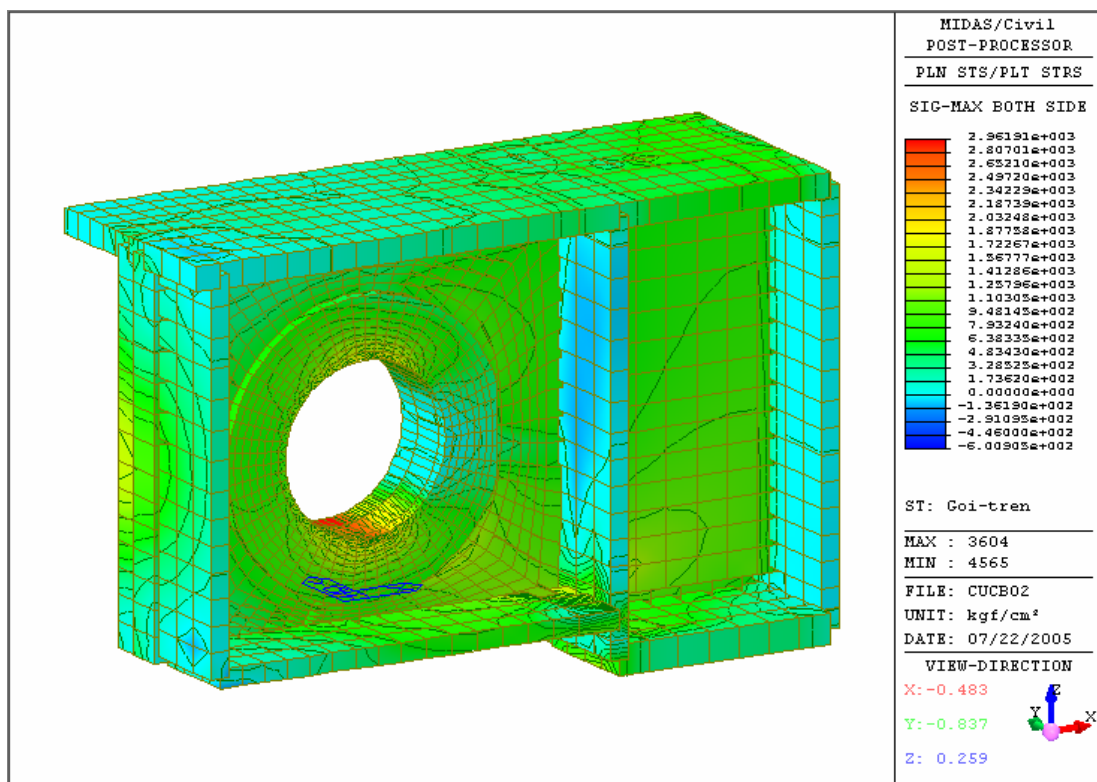
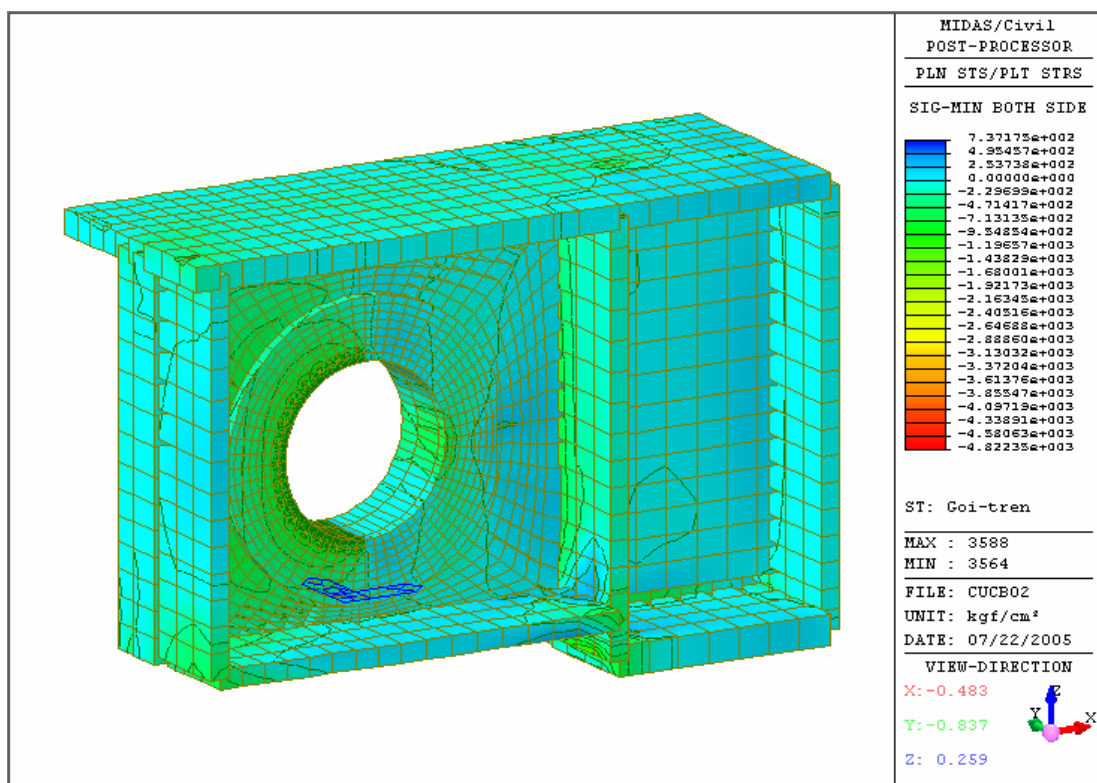


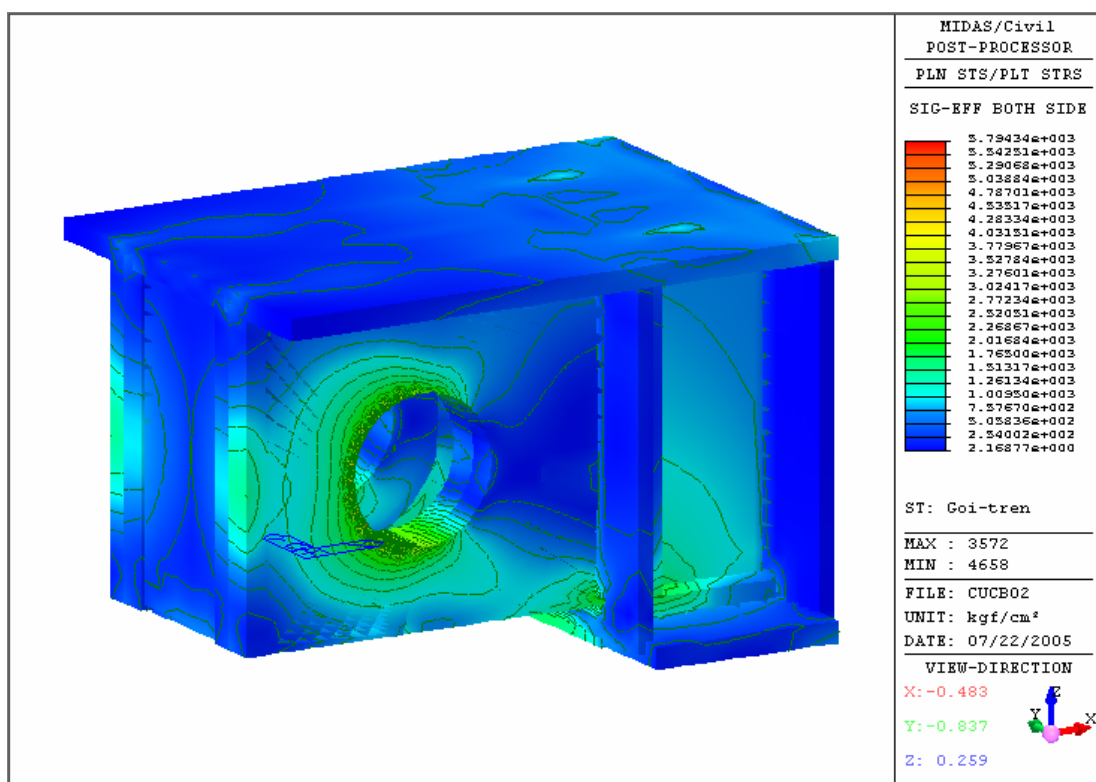
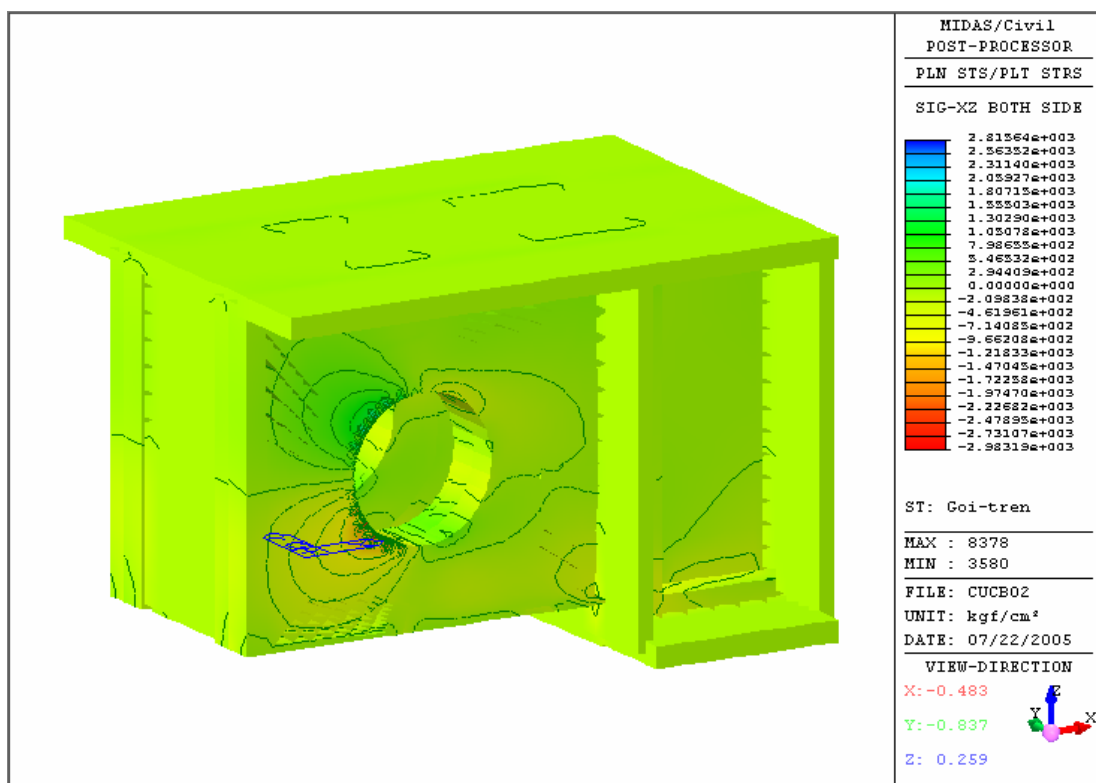
Mặt cắt giữa và không có con xỏ:

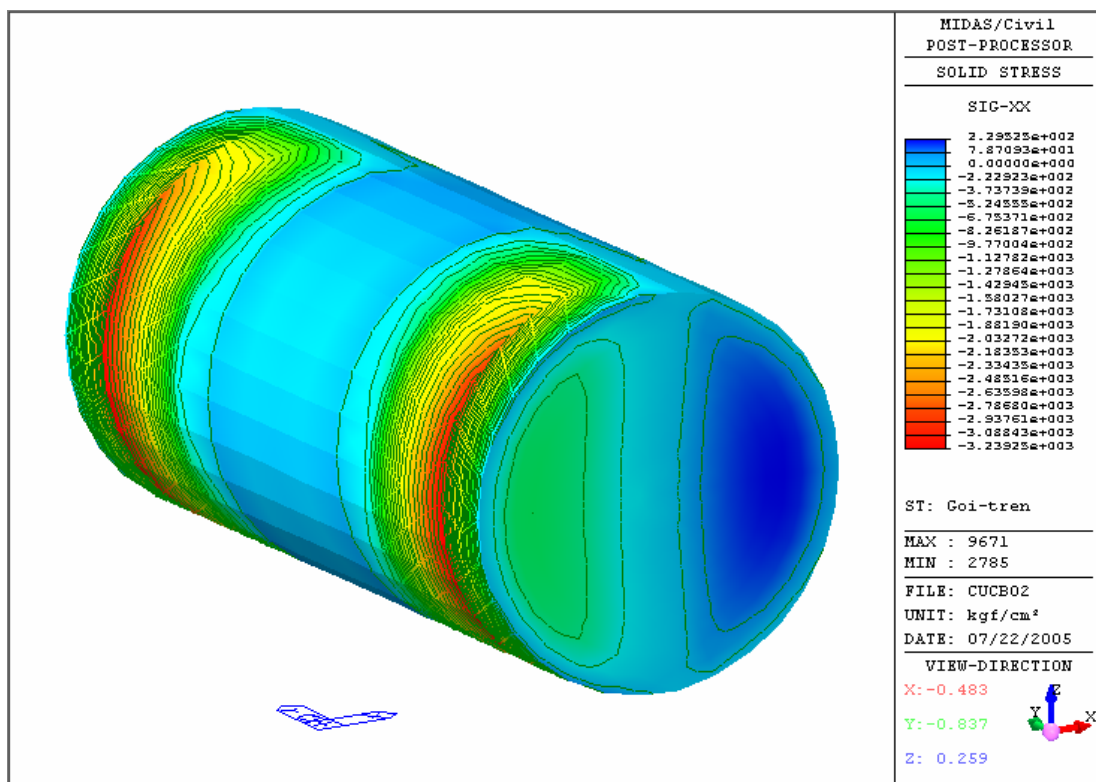
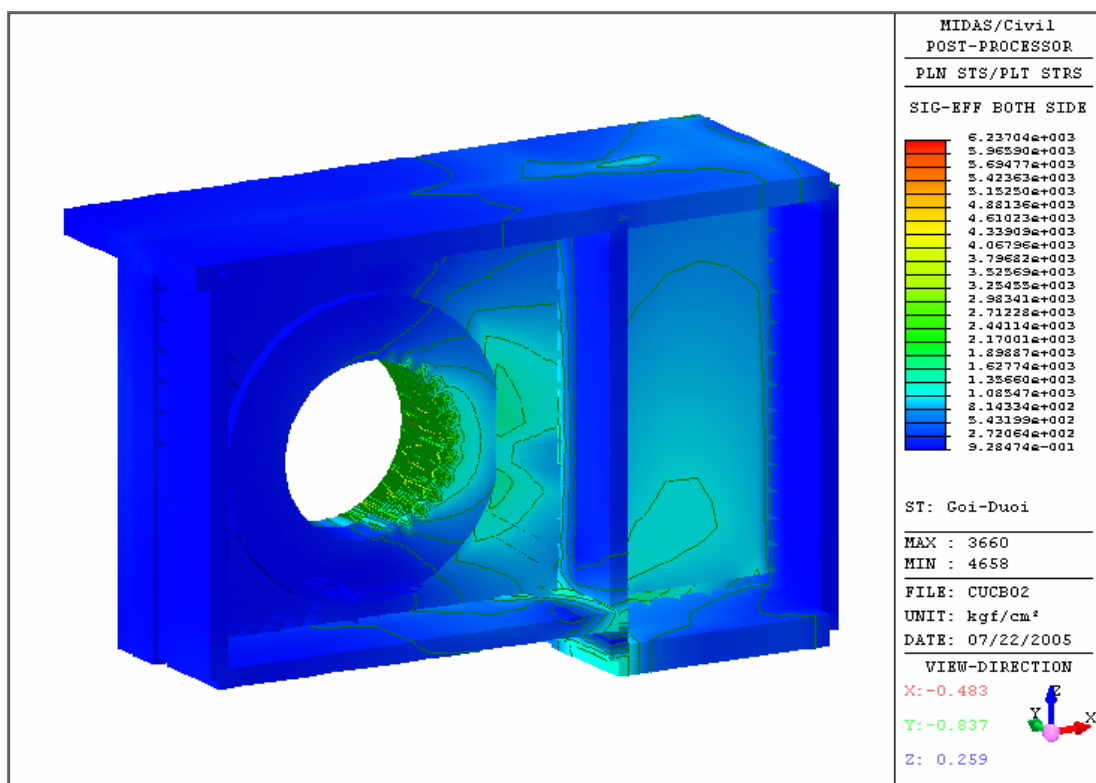


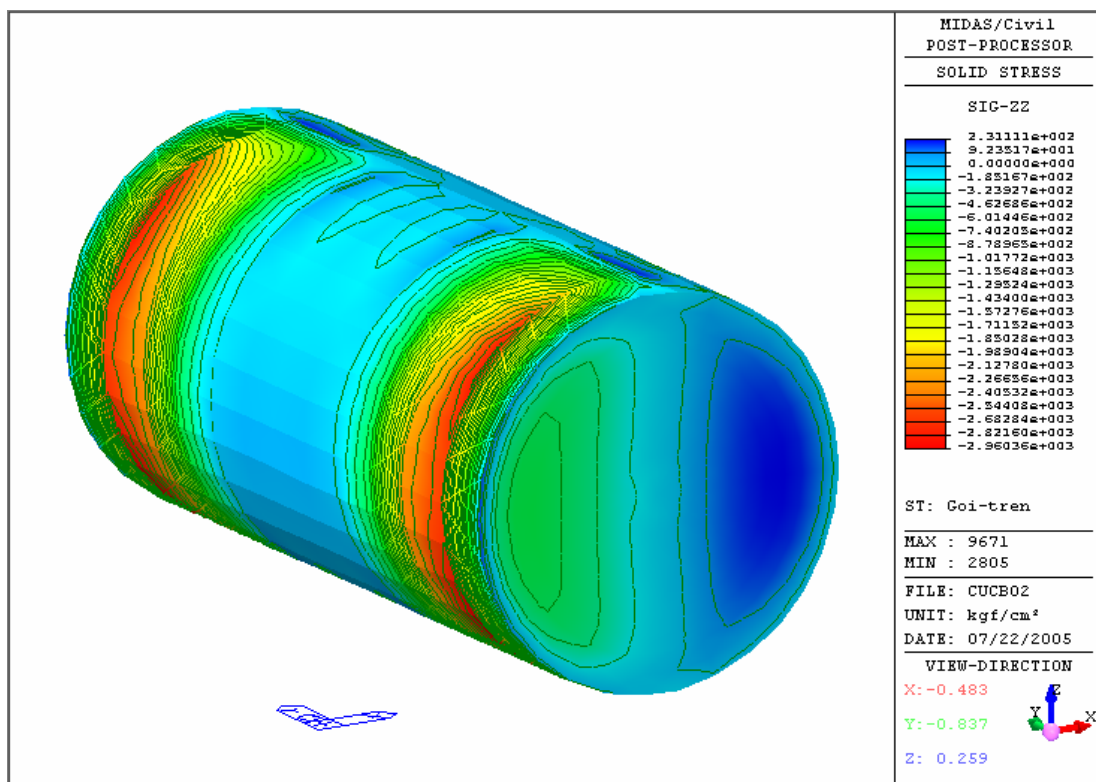
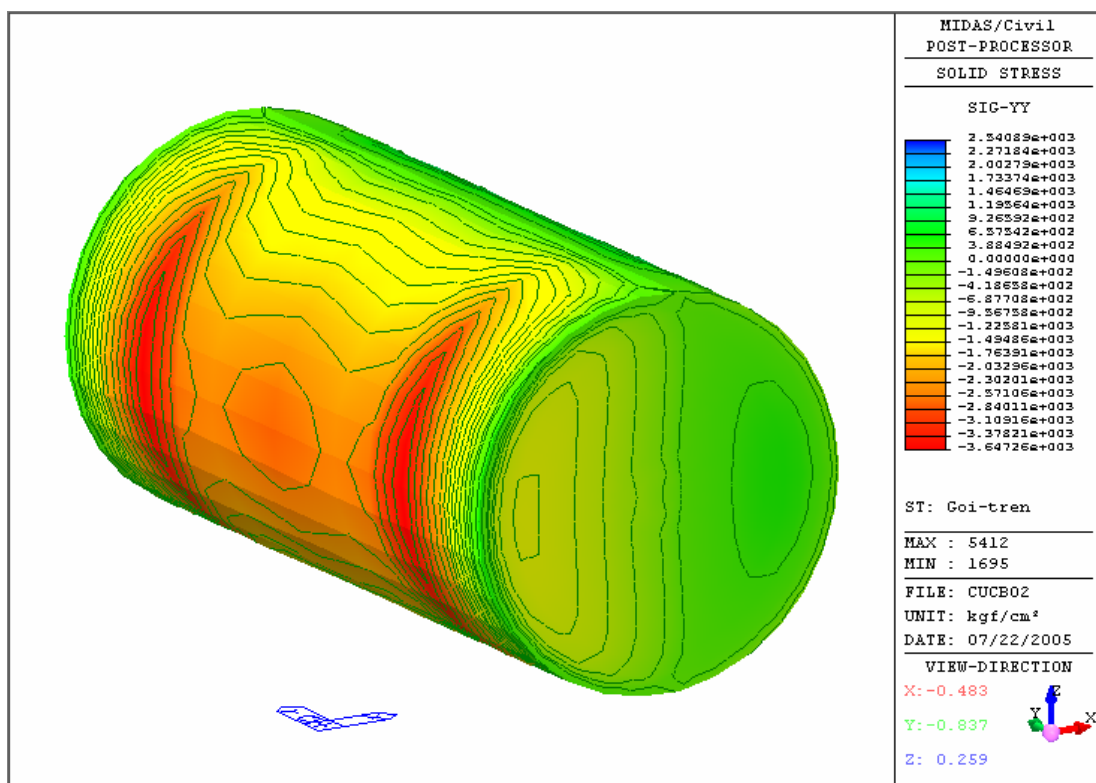
Các kết quả phân tích:

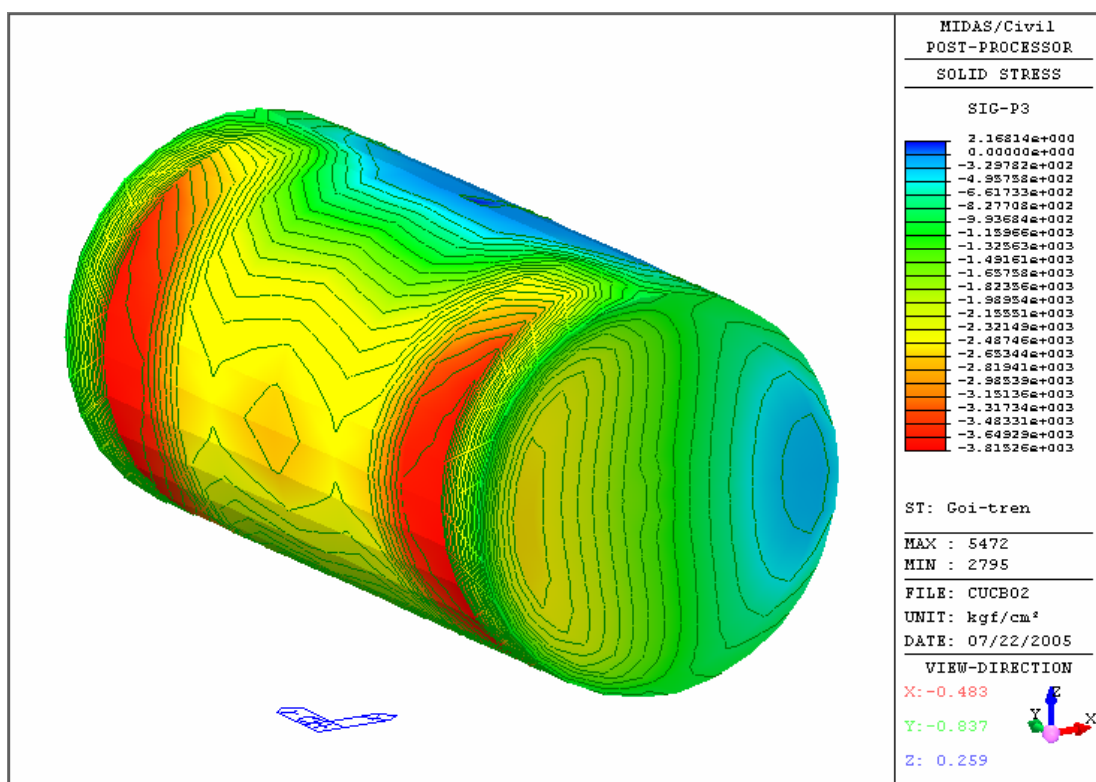
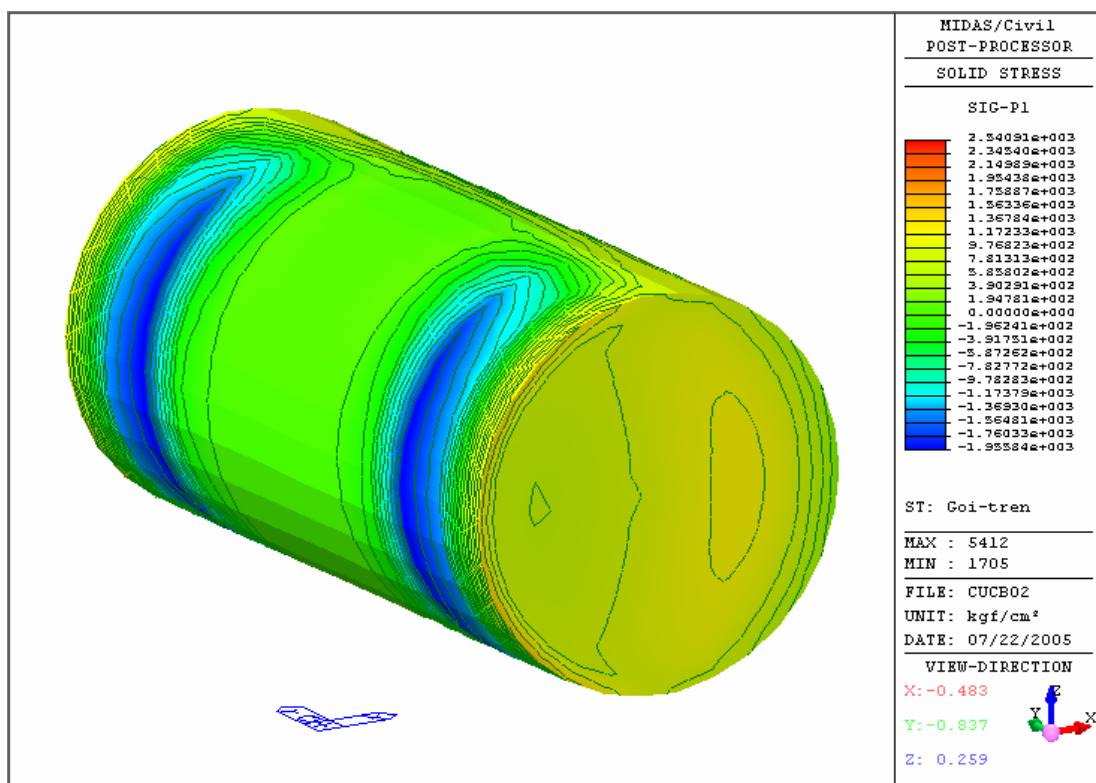












4.1.2.2.2 Kết cấu đốt K0 trong cầu đúc hẫng

4.2 Phân tích động

4.2.1 Phân tích dao động riêng