

NGHIÊN CỨU ĐỘ BỀN CỦA TRỤ CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP KHI VA CHẠM VỚI TÀU THỦY

RESEARCH ON THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE PIER BODY
WHEN IMPACTED BY THE SHIP

Khuất Đức Dương¹, Trần Thị Thu Thủy²

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TÓM TẮT

Trụ cầu bê tông cốt thép là kết cấu có dạng thanh có mặt cắt hình tròn hoặc mặt cắt hình chữ nhật được bo tròn bốn góc, một đầu đỡ dầm cầu, còn một đầu được ngàm chặt xuống đáy sông. Trụ cầu là kết cấu chịu lực chính cho cả hệ thống dầm cầu và phương tiện di chuyển trên cầu. Khi các phương tiện tàu thủy hoạt động có thể xảy ra va chạm với trụ cầu, làm cho trụ cầu bị biến dạng mạnh và ảnh hưởng lớn đến độ an toàn của toàn bộ kết cấu. Bài báo này nghiên cứu giải pháp mô phỏng bằng phần mềm Abaqus để phân tích độ bền của trụ cầu bê tông cốt thép khi va chạm với mũi tàu thủy, từ đó chọn vật liệu và kết cấu hợp lý để tăng độ an toàn cho trụ cầu.

Từ khóa: *Trụ cầu; Bê tông cốt thép; Mô phỏng; Va chạm; Biến dạng.*

ABSTRACT

Reinforced concrete pier body is a bar-shaped structure with a circular or rectangular cross-section with rounded corners, one end supporting the bridge girder and the other being bonded in the river bed. The pier body is the main bearing structure for both the bridge system and the vehicles on the bridge. When the ships are operating, collisions with the pier body may occur, causing the pier body to be strongly deformed and greatly affecting the safety of the entire structure. This paper studies a simulation solution using Abaqus software to analyze the durability of reinforced concrete pier bodies when impacted by the bow of a ship, from there, choose a reasonable material and structure to increase the safety of the pier body.

Keywords: *Pier body; Reinforced concrete; Simulation; Impact; Deformation.*

1. GIỚI THIỆU

Kết cấu bê tông cốt thép là loại kết cấu được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng hiện nay. Nhiều đề tài nghiên cứu về sự làm việc của các kết cấu bê tông cốt thép, nhất là các kết cấu làm việc chịu tải trọng tĩnh, tải trọng động hoặc chịu va chạm như kết cấu cầu, dầm nhà bê tông cốt thép, đã và đang được tiến hành. Các nghiên cứu về ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép làm việc chịu tải trọng động thường được tiến hành bằng các phương pháp như nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm và nghiên cứu mô phỏng.

Hiện nay, phương pháp mô phỏng số dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) nhằm nghiên cứu cải thiện sự làm việc của kết cấu bê tông cốt thép là một phương pháp nghiên cứu hiệu quả, hợp lý. Hiện đã có một số công trình nghiên cứu về va chạm của các phương tiện ô tô, mô tô như trong công trình [1], Muhammand Aamir Hasan và các cộng sự đã nghiên cứu phân tích so sánh sự biến dạng kết cấu và thiệt hại về người ngồi trong xe ô tô khi xảy ra va chạm trực diện vào mặt tường và cây cột, tuy nhiên không đề xuất hoặc cải tiến nhằm giảm tổn thương con người. Tác giả Chawla. A và cộng sự [2] đã sử dụng FEM để mô phỏng va chạm của xe máy với xe ô tô theo bốn tiêu chuẩn của xe máy theo ISO13232. Công trình [3], tác giả đã đề xuất giải pháp Mô phỏng va chạm trong thiết kế chống va tàu khi dùng đệm chống va. Các nghiên cứu khác [4], [5] đã nghiên cứu mô phỏng các dạng va chạm khác như va chạm kết cấu tấm với một vật thể chuyển động với vận tốc cao và nhiều dạng va chạm khác. Tuy vậy, nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm Abaqus để phân tích, đánh giá độ bền trụ cầu bê tông cốt thép nhằm cải thiện độ an toàn bằng thay đổi kết cấu và vật liệu gần như chưa được đề cập nghiên cứu.

2. MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG VA CHẠM

2.1. Mô hình va chạm

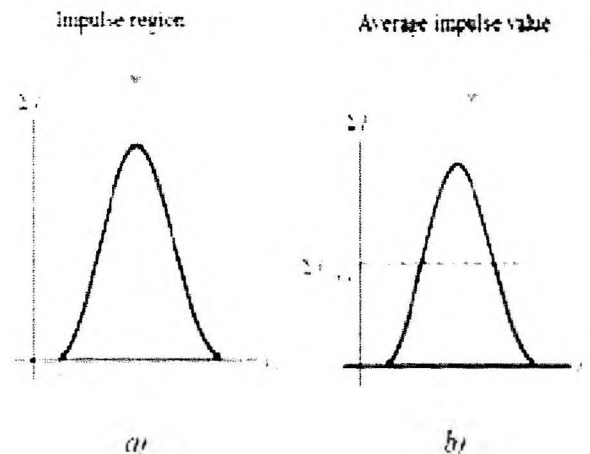
Va chạm tàu thủy với trụ cầu là dạng va chạm bao gồm cả va chạm đàn hồi và va chạm mềm. Trong quá trình va chạm, một phần động năng của vật đã chuyển thành nhiệt và công biến dạng.

Xung lượng của tàu thủy khi va chạm với trụ cầu chính là độ biến thiên động lượng và xung của các lực tác dụng. Ta có phương trình động lượng của tàu thủy thay đổi từ \bar{p}_i tại thời điểm t_i tới \bar{p}_f tại thời điểm t_f .

$$D\bar{p} = \bar{p}_f - \bar{p}_i = \int_{t_i}^{t_f} \bar{F} dt \tag{1}$$

Xung của hợp lực \bar{F} tác dụng lên tàu thủy trong khoảng thời gian $\Delta t = t_f - t_i$:

$$\bar{I} = \int_{t_i}^{t_f} \bar{F} dt \tag{2}$$



Hình 1. Vùng xung lực va chạm

Vùng xung lực có dạng như hình 1a, do hợp lực truyền xung lực thường thay đổi theo thời gian nên để thuận lợi trong tính toán, ta thay bằng hợp lực trung bình như hình 1b với phương trình toán học như sau:

$$\left(\sum \bar{F}\right)_{avg} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} \sum \bar{F} dt \quad (3)$$

Phương trình (2) có thể được biểu diễn như sau:

$$\bar{I} = \left(\sum \bar{F}\right)_{avg} \Delta t \quad (4)$$

Giả thiết lực tác dụng lên chất đệm là

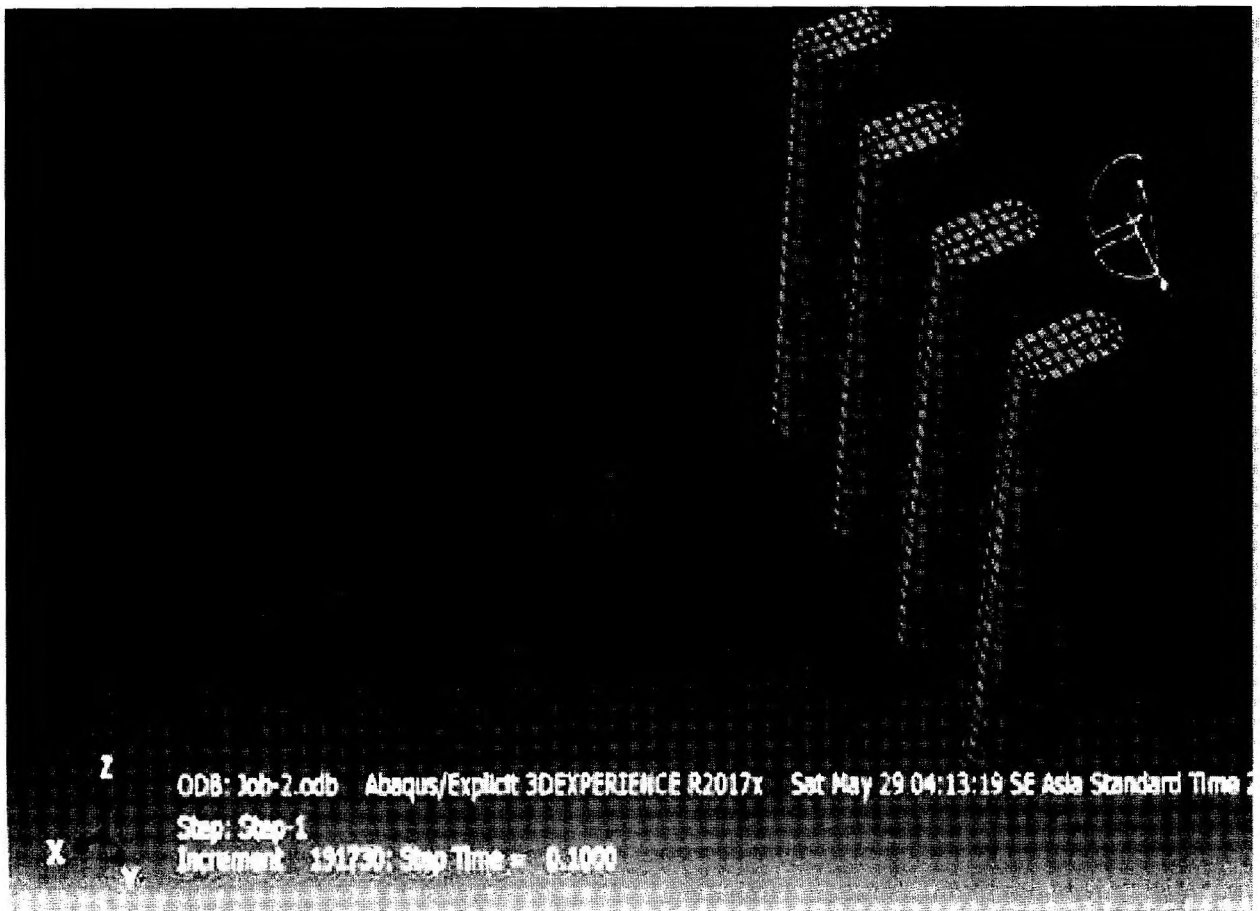
không đổi $\left(\sum \bar{F}\right)_{avg} = \sum \bar{F}$, do đó:

$$\bar{I} = \sum \bar{F} \Delta t \quad (5)$$

Do đó, ta có độ biến thiên động lượng bằng với xung lực, được thể hiện trong phương trình (6):

$$\Delta \bar{p} = \bar{I} \quad (6)$$

Mô hình va chạm giữa tàu thủy và trụ cầu bê tông cốt thép được thể hiện như hình 2.

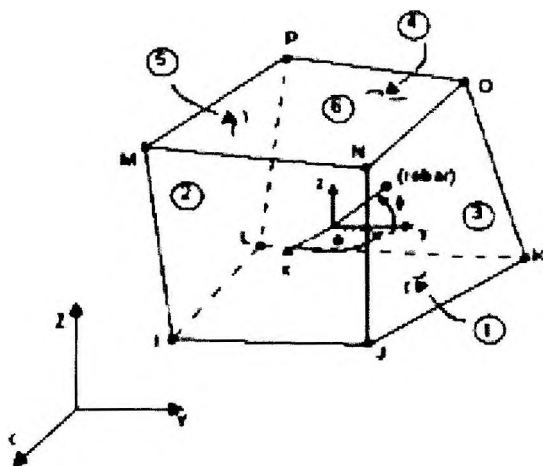


Hình 2. Mô hình va chạm giữa tàu thủy và trụ cầu bê tông cốt thép

2.2. Mô hình vật liệu

2.2.1. Phân tử bê tông

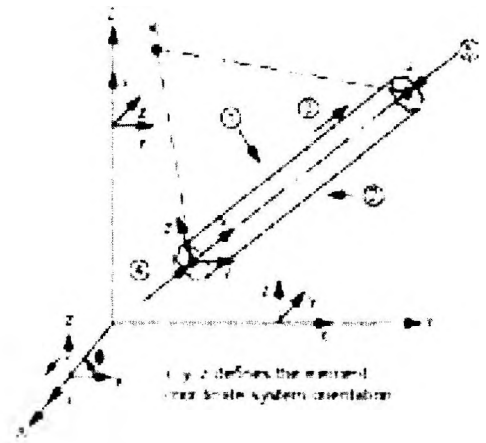
Trong phân tích sự làm việc của kết cấu bê tông cốt thép bằng mô phỏng trên phần mềm Abaqus, mô hình bê tông có vai trò quan trọng. Để mô hình hóa phần tử bê tông, phần tử SOLID65 được lựa chọn. Phần tử SOLID65 là phần tử khối gồm tám nút với ba bậc tự do tại mỗi nút theo phương x, y, z. Tính chất quan trọng của phần tử này là cho phép định nghĩa vật liệu phi tuyến xét được nứt (theo ba phương), nén vỡ, biến dạng dẻo và từ biến, dùng để mô tả vật liệu bê tông có chứa hàm lượng cốt thép.



Hình 3. Loại phần tử bê tông

2.2.2. Phân tử cốt thép

Trong Abaqus, phần tử LINK180 được lựa chọn để mô hình hóa cho cốt thép. Phần tử gồm hai nút, mỗi nút có 03 bậc tự do theo các phương x, y, z. Phần tử này làm việc kéo, nén một phương, có khả năng biến dạng dẻo do vậy thích hợp để mô phỏng cốt thép. Hình dạng hình học, vị trí các nút và hệ tọa độ của phần tử được thể hiện như hình 4:



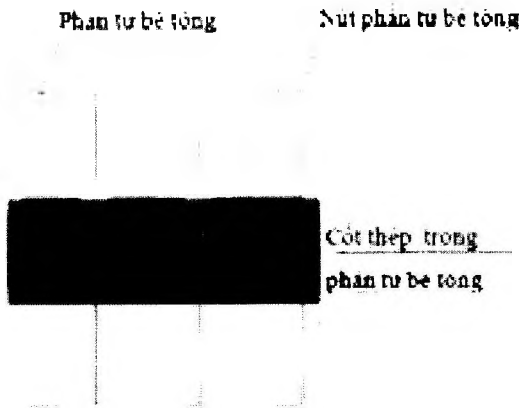
Hình 4. Phần tử cốt thép

2.2.3. Mô hình phần tử bê tông cốt thép

Có ba mô hình khác nhau để mô hình hóa cốt thép trong cấu kiện bê tông cốt thép bằng mô hình phần tử hữu hạn: mô hình smeared (phân tán), mô hình embedded (nhồi), mô hình discrete (rời rạc).

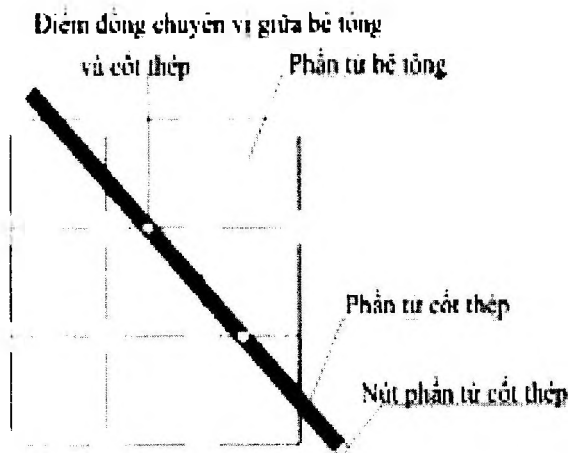
- Mô hình “smeared”: Cốt thép được giả thiết là phân tán vào các phần tử bê tông theo một góc định hướng cho trước. Phương pháp này cho phép chia lưới phần tử hữu hạn cốt thép dưới dạng một miền đều chạy dọc theo các phần tử bê tông.

Để có thể xem bê tông và cốt thép là một vật liệu tổ hợp bê tông-thép thì cần giả thiết lực dính bám giữa chúng là hoàn toàn.



Hình 5. Mô hình “smeared”

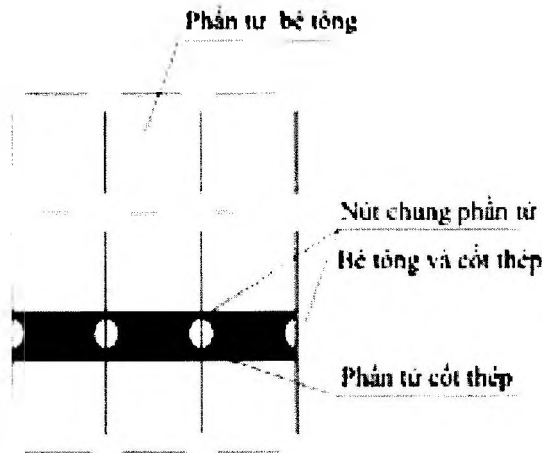
- Mô hình “embedded”: Các phần tử cốt thép được liên kết với các phần tử bê tông tại các nút, và chuyển vị của cốt thép tương thích với phần tử bê tông. Khi hàm lượng cốt thép lớn hơn thì mô hình này rất hiệu quả. Tuy nhiên, khi đó làm tăng thời gian tính toán. Đồng thời, việc định nghĩa điểm có đồng chuyển vị giữa bê tông và thép khiến mô hình hóa trở nên phức tạp nên mô hình này ít được sử dụng. Đây là mô hình có lực bám dính hoàn toàn giữa bê tông và cốt thép.



Hình 6. Mô hình “embedded”

- Mô hình “discrete”: Cốt thép được mô hình hóa bằng phần tử thanh rời rạc có liên kết

chốt ở hai đầu, thông qua nút chung của phần tử bê tông và cốt thép. Vì thế, việc khảo sát ứng suất trong bê tông và cốt thép thuận tiện hơn. Trong khi hai mô hình ở trên coi lực bám dính giữa bê tông và cốt thép là hoàn toàn, thì ở mô hình này có thể xét được sự trượt của chúng. Nhược điểm của mô hình này là việc chia lưới bê tông và cốt thép phụ thuộc lẫn nhau, đồng thời, cũng như mô hình “embedded”, mô hình này không xét được thể tích chiếm chỗ của cốt thép trong bê tông.

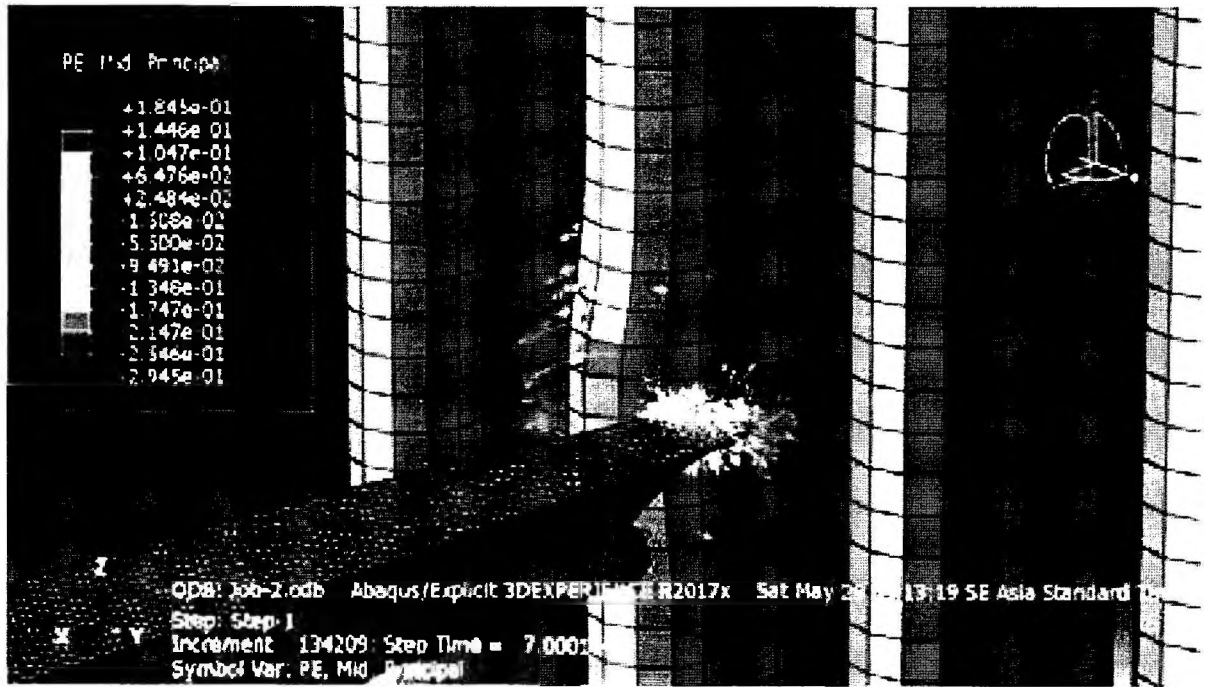


Hình 7. Mô hình “discrete”

Tiến hành mô phỏng và chạm với ba mô hình phần tử bê tông cốt thép để phân tích độ bền của kết cấu trụ cầu. Các kết quả được mô phỏng tính toán và phân tích trên phần mềm Abaqus.

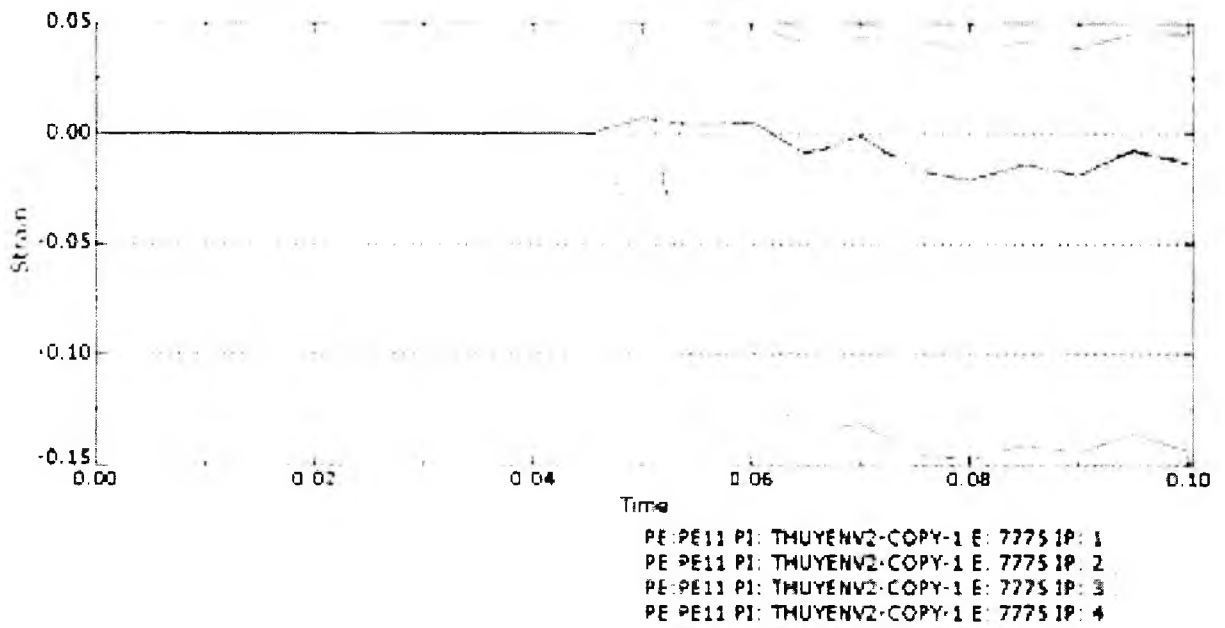
3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Mô phỏng và chạm theo phương đâm vuông góc của mũi tàu với mô hình phần tử bê tông cốt thép “smeared”. Các véc tơ ứng suất, biến dạng với mô hình “smeared” được thể hiện như hình 8.



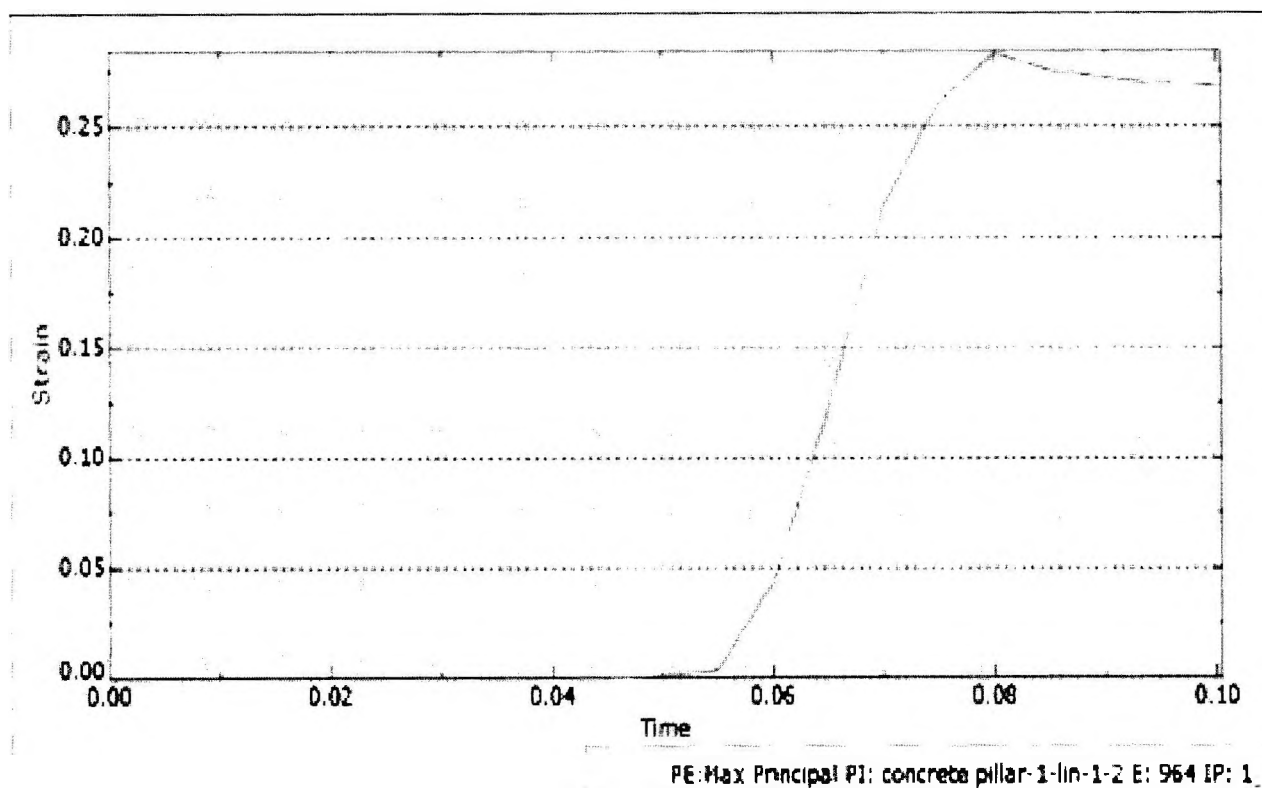
Hình 8. Các véc tơ biến dạng trên thân tàu và trụ cầu

Biểu đồ biến dạng của phần bê tông khi va chạm thể hiện như hình 9. Có thể thấy rằng, trên kết cấu trụ cầu bị va chạm có phần biến dạng dương theo phương va chạm (tức là lõm vào) và phần biến dạng âm theo phương va chạm (tức là lồi ra).



Hình 9. Biểu đồ biến dạng tại phần kết cấu bê tông

Biểu đồ biến dạng của cốt thép được thể hiện như hình 10. Có thể thấy rằng, lượng biến dạng bắt đầu tăng khi thời gian va chạm 0,5s, tức là khi phần bê tông đã bị biến dạng và tác động đến cốt thép, dẫn tới một phần kết cấu bê tông bị vỡ và cốt thép bị biến dạng dẻo.



Hình 10. Biểu đồ biến dạng tại phần cốt thép

Sau đó, tiến hành mô phỏng cho hai mô hình phần tử bê tông cốt thép “embedded” và “discrete”, các kết quả so sánh về biến dạng được thể hiện như bảng 1.

Bảng 1. Kết quả biến dạng của ba mô hình bê tông cốt thép:

| Thông số | Mô hình smeared | Mô hình embedded | Mô hình discrete |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| Biến dạng của bê tông, m (theo phương va chạm) | 0,15 | 0,15 | 0,14 |
| Biến dạng của cốt thép, m (theo phương va chạm) | 0,28 | 0,22 | 0,25 |

Từ bảng 1 có thể thấy rằng, biến dạng của bê tông theo phương va chạm đối với mô hình discrete là nhỏ hơn so với mô hình smeared và embeded nhưng biến dạng của cốt thép theo phương va chạm đối với mô hình smeared lớn nhất, sau đó đến mô hình discrete và mô hình embeded là nhỏ nhất. Từ kết quả này thấy rằng, mô hình phần tử bê tông cốt thép embeded phù hợp với va chạm giữa trụ cầu và tàu thủy.

4. KẾT LUẬN

Đã xây dựng mô hình va chạm kết cấu trụ cầu bê tông cốt thép với mũi tàu thủy, đưa ra ba mô hình phần tử bê tông cốt thép, thiết lập các mô hình đó trong phần mềm Abaqus và phân tích ưu, nhược điểm của từng mô hình.

Đã mô phỏng va chạm giữa tàu thủy và trụ cầu với ba mô hình bê tông cốt thép smeared, embeded, và discrete. Mô hình embeded cho kết quả tốt nhất về độ bền và do đó giúp kết cấu được an toàn hơn khi va chạm. ❖

Ngày nhận bài: **07/02/2022**

Ngày phản biện: **16/02/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Muhammad Aamir Hassan, Comparison of structural damage and occupant injuries corresponding to a vehicle collision onto a pole versus a flat barrier, Bachelor of Engineering, N.E.D. University of Engineering and technology Karachi, Pakistan, 2002.
- [2]. Chawla A, Mukherjee, S, Mohan D, Singh M, Sakurai M and Nakatani T, A Methodology for car – motorcycle crash simulation, Jari Research Journal, 2001, Vol 23, No 2, pp 18-21 (2001).
- [3]. Vương Duy Hùng, Mô phỏng va chạm trong thiết kế chống va tàu khi dùng đệm chống va, Tạp chí Cầu – Hàm, số 3, 2017.
- [4]. Milan Žmindák, Zoran Pelagić, Peter Pastorek, Martin Močilan, Martin Vyboštok, Finite element modelling of high velocity impact on plate structures. The 20th International Conference: Machine Modeling and Simulations, MMS 2015.
- [5]. R Kostek1 and P Aleksandrowicz1, Simulation of car collision with an impact block, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 252 (2017) 012008 doi:10.1088/1757-899X/252/1/012008.
- [6]. Roger T Fenner, Finite Element Methods for Engineers. Imperial College Press, 2018.
- [7]. Abaqus, Example Problems Manual, 2017.