

Phân tích ứng xử động khung phẳng bê tông cốt thép dưới tải trọng va chạm

The dynamic behavior of a reinforced concrete planar frame under collision load

> **TRẦN VĂN HOÀNG ANH¹, ĐỖ VĂN TÍN^{2*}**

¹HVCH Ngành Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Mở TP.HCM; Email: anhtvh.218c@ou.edu.vn

²GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở TP.HCM; Email: tin.do@ou.edu.vn

*Corresponding author

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu về khung phẳng bê tông cốt thép (BTCT) bị va chạm bởi các phương tiện giao thông, đặc biệt xe tải tầm trung. Khung BTCT có 3 nhịp 2 tầng được áp một tải tĩnh có giá trị 1000kN tại vị trí 1.5m từ mặt đường sau đó thiết kế cốt thép chịu tải trọng tĩnh này. Mô phỏng tất cả khung trong phần mềm LS-DYNA và cho mô hình xe tải tầm trung có tổng trọng lượng là 7.5 tấn và va chạm trực diện vào khung với vận tốc từ 40km/h lên 100km/h. Kết quả số thu được từ việc phân tích bằng phần mềm phần tử hữu hạn (PTHH) là lực va chạm lớn nhất từ 1546kN lên 9844kN và lực cắt chân cột bị va chạm từ 1530kN lên 5589kN. Các kết quả đã chứng minh rằng lực va chạm tác động lên cột và sự hư hỏng kết cấu thay đổi theo vận tốc của xe, do đó việc sử dụng lực tĩnh tương đương trong thiết kế có thể dẫn đến kết quả chưa được đảm bảo an toàn. Ngoài ra, dưới lực va chạm lớn nhất, năng lượng va chạm chủ yếu được hấp thụ bởi cột bị va chạm chứ không phải cho toàn bộ khung. Kết quả trong mô hình cho thấy lực cắt ở chân cột bị va chạm xấp xỉ 99% độ lớn của đỉnh lực va chạm, trong khi đó các cột còn lại trong khung là dưới 10%.

Từ khóa: Tải trọng va chạm; khung phẳng BTCT; LS-DYNA; ứng xử động.

ABSTRACT

Research article on planar reinforced concrete (RC) frames being collided by vehicles, mainly medium-range trucks. The RC frame has 3 spans and 2 floors, and applied with a static load of 1000kN at position 1.5 m from top of the road then design the reinforcement to bear this load. Using LS-DYNA software, simulate the RC frames colliding directly with the frame at speeds ranging from 40km/h to 100km/h by 7.5 tons medium truck. The maximum impact force ranges from 1546kN to 9844kN, and the shear force at the impacted column base ranges from 1530kN to 5589kN. The results showed that the impact force acting on the column and structural damage differ with vehicle speed, using static force in the design unsafe. Furthermore, at maximum impact force, the impact energy is absorbed mostly by the impacted column and not by the other frame columns. The simulation's results show that the shear force at the base of the impacted column is approximately 99% of the peak impact force, whereas the remaining columns in the frame are less than 10%.

Keywords: Collision load; reinforced concrete planar frame; LS-DYNA; dynamic behavior.

1. GIỚI THIỆU

Những năm gần đây cùng với sự phát triển của các đô thị lớn, hệ thống giao thông và các tuyến đường cao tốc trong nước ngày càng phát triển để liên kết các khu đô thị lại với nhau. Sự phát triển nhanh chóng của các tuyến đường cao tốc và cầu vượt trên khắp cả nước giúp việc đi lại thuận tiện với vận tốc lưu thông ngày càng tăng cao. Tuy nhiên, sự phát triển trên dẫn đến việc các kết cấu công trình như cột bê tông hoặc dầm bê tông có thể bị va chạm bởi các phương tiện giao thông như xe ô tô, xe tải tầm trung và cỡ lớn xảy ra thường xuyên hơn. Thêm vào đó, các khu dân cư và nhà dân trên các tuyến đường cao tốc cũng có nguy cơ bị va chạm bởi các phương tiện giao thông dẫn đến sụp đổ nếu không được thiết kế chịu tải trọng va chạm. Thống kê trong những năm gần đây, số lượng xe tải va chạm vào nhà dân dẫn đến sụp đổ công trình và thiệt hại về người ngày càng tăng cao những vụ va chạm được thống kê theo Bảng 1. Với đặc thù của việc phân tích động cần phải được nghiên cứu nhằm đưa ra các thông số khuyến cáo trong công tác khảo sát thiết kế các

công trình chống chịu lại tải trọng va chạm bởi phương tiện giao thông.

Báo cáo của Malvar L [18] đề xuất công thức nhằm xác định hệ số gia tăng ứng suất (DIF) cho cốt thép trong bê tông cho ứng suất kéo nén theo tiêu chuẩn Mỹ. Bên cạnh đó vật liệu bê tông cũng có công thức đã được công bố trong đó thể hiện hệ số gia tăng ứng suất và ứng suất nén được thể hiện thành hai công thức riêng biệt thông qua bài báo Hao and Hao [13]. Bên cạnh đó, Pham and Hao [19] phát hiện vị trí khớp dẻo được cho là có ảnh hưởng đáng kể đến trạng thái va đập của dầm, đồng thời khi chịu lực tác động thì khớp dẻo không nhất thiết xuất hiện trên toàn bộ mà nó xuất hiện cục bộ tại vị trí bị va chạm. Thêm vào đó Pham and Hao [20] cho thấy một dầm tự do, không có ràng buộc biên và dầm tham chiếu có ràng buộc biên cho thấy phản ứng giống hệt nhau trong xung tác động đầu tiên, chứng tỏ phản ứng va chạm của dầm trong giai đoạn ban đầu không phụ thuộc vào độ cứng tổng thể của dầm.

Bảng 1: Tổng hợp các trường hợp va chạm phương tiện với kết cấu tại Việt Nam trong những năm gần đây

Thời gian	Sự kiện	Địa điểm	Tình trạng hư hỏng của kết cấu	Thiệt hại về người
02/04/2023	Xe giường nằm đâm vào quán café ven đường	Gia Lai	Làm sập mái hiên, tường nhà, phần đầu và hông của ô tô khách biển dạng	Phụ xe bị thương
22/03/2023	Xe tải lớn đâm vào nhà dân ven đường	Khánh Hòa	Làm sập nhà máy tole ven đường	1 người bị thương
22/03/2023	Xe Container va chạm vào nhà dân	TP.HCM	Bất ngờ mất lợp tổng sập ba nhà dân	Lái xe bị thương
03/06/2021	Xe tải lao vào nhà dân ven đường	Bình Phước	Xuyên thủng phần trước của tòa nhà	1 người bị thương
06/05/2021	Xe tải lao vào nhà dân ven đường	Bình Thuận	Sụp đổ một nhà dân và nhiều rào chắn ven đường	1 người bị thương nghiêm trọng
05/03/2021	Xe bồn va chạm vào nhà dân ven đường	TP.HCM	Sụp đổ phần trước tòa nhà	1 người chết
29/11/2020	Xe bồn chở xăng va vào ba nhà dân bên đường	Lâm Đồng	Nhà dân bị hư hỏng nặng và hai trụ điện sụp đổ	Lái xe tải bị thương
07/12/2020	Xe tải nặng va vào nhiều nhà dân ven đường	Quảng Nam	Sụp đổ một nửa tòa nhà và hư hại sáu nhà dân xung quanh	Lái xe tải bị thương
24/10/2020	Xe tải va chạm vào nhà dân	Quảng Ngãi	Sụp đổ phần trước tòa nhà	2 người chết 7 bị thương
19/10/2020	Xe tải va chạm hệ thống rào chắn ven đường và lao vào nhà dân	Bình Phước	Sụp đổ phần trước tòa nhà và trụ điện bê tông	Nhiều người bị thương

Những nghiên cứu [9, 12] cho thấy các phản ứng động và các dạng phá hủy của cột cầu BTCT sau khi bị va chạm bởi xe tải tầm trung sẽ được đánh giá dựa vào mô hình trên phần mềm LS-DYNA mà đã được xác thực với thực nghiệm và đập của cột trong phòng thí nghiệm, kết quả cho thấy chuyển vị và lực va chạm tương đương nhau. Từ đó có độ tin cậy cho mô hình cột cầu BTCT và kết quả chỉ ra rằng lực va chạm sẽ bị ảnh hưởng không chỉ tổng khối lượng mà còn dựa vào khối lượng của động cơ xe. Từ độ tin cậy đó thì nghiên cứu này cũng sử dụng mô hình cột cầu bị va chạm bởi xe tải 8 tấn với vận tốc 100km/h làm mô hình xác thực cho mô hình vật liệu nhằm đưa ra kết quả có độ tin cậy cao. Bên cạnh đó các công bố của [6, 10, 14-16] cho thấy phản ứng của cột cầu BTCT chịu va chạm không những xe tải tầm trung mà còn xe mooc cỡ lớn đã được mô phỏng qua phần mềm LS-DYNA, sau khi đánh giá độ hư hỏng của cột và khả năng cắt động tối đa của cột và lực va chạm đỉnh (PIF), dạng phá hoại của cột có thể được phân thành hai nhóm riêng biệt, đó là phá hoại uốn và phá hoại cắt. Từ đó có thể đề xuất một quy trình thiết kế kết cấu cột cầu BTCT chịu được tải trọng và va chạm cho mọi phương tiện dựa vào khối lượng động cơ, tổng khối lượng và vận tốc của xe mà không phải dựa vào tính lực tương đương được đề xuất trong các tiêu chuẩn.[3, 11]

Cai et al. [5] nghiên cứu thực nghiệm cho 15 cây cột bê tông cốt thép có diện tích mặt cắt là 120mmx120mm, 150mmx150mm và 180mmx180mm, chiều cao cột là 1150mm, phần móng có kích thước 900mmx900mmx300mm, phần đỉnh cột là 300mmx300mmx200mm cho va chạm với khối lượng và vận tốc khác nhau đã nhận xét rằng công thức và giá trị tính lực tương đương được thể hiện trong tiêu chuẩn AASHTO [2] chỉ xét đến trọng lượng và vận tốc, mà không xem xét đến độ cứng của bộ phận kết cấu, nên việc thiết kế cấu chịu tải trọng và đập chỉ dựa vào tính lực có thể sẽ không đánh giá hết được phản ứng động lên toàn bộ kết cấu. Chen et al. [8] đề xuất công thức cải tiến cho hàng cột cầu BTCT, những mô phỏng trên máy tính đã nhận xét rằng lực tính tương đương dựa theo AASHTO [2] để xuất là không an toàn trong nhiều trường hợp đặc biệt. Bên cạnh đó nghiên cứu Sohel et al. [21] cho các xe ô tô nhỏ có tổng khối lượng từ 2000kg đến 2500kg va chạm với cột nhà xe và các cột BTCT từ đó so sánh lực tính tương đương với tiêu chuẩn châu Âu [7] cũng cho kết quả là các cột có mặt cắt nhỏ hơn 300mmx300mm hoàn toàn không chịu được lực va chạm của

những phương tiện này ở vận tốc nhỏ hơn 60km/h.

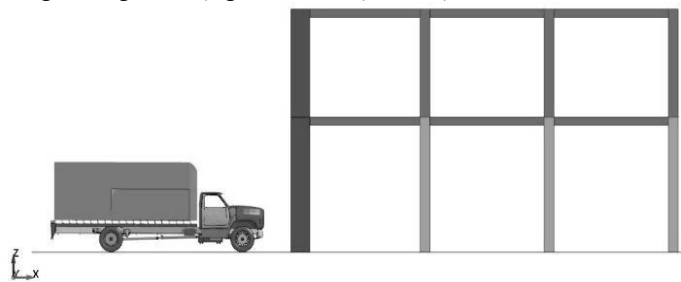
Mặc dù tải trọng va chạm đã được đề xuất sử dụng trong quá trình thiết kế ở các nước trên thế giới nhưng việc áp dụng đó ở Việt nam vẫn chưa được đề cao. Bên cạnh đó, việc thiếu kiến thức chuyên môn về các ứng xử động lực học của kết cấu và cách tiếp cận sơ đồ thiết kế chưa chính xác dẫn đến các thiết kế thiếu an toàn. Hiện nay, các tiêu chuẩn thiết kế trên thế giới như Mỹ AASHTO [2] thì khuyến nghị dùng tải trọng tĩnh có giá trị gần 2700kN thay cho tải động và giá trị lực được đặt tại vị trí 1.5m cách mặt đường, bên cạnh đó thì tiêu chuẩn Úc AS-5100.2 [4] thì khuyến nghị sử dụng giá trị tải tĩnh thay cho tải va chạm là 1000kN... Để hiểu rõ ứng xử của kết cấu khung phẳng BTCT khi bị xe tải tầm trung chịu tải va chạm thì bài báo này đề ra nhằm có cái nhìn chi tiết về ứng xử cũng như xác định được lực va chạm lớn nhất so với tính lực tương đương được khuyến nghị trong các tiêu chuẩn trên thế giới.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Bài báo sử dụng phương pháp nghiên cứu là phần mềm 3D chuyên xử lý các mô phỏng động có độ chính xác tương đối cao đã và đang được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước sử dụng để mô phỏng. Kết quả số đã được xác thực với một bài báo công bố quốc tế nên việc sử dụng các mô hình vật liệu là phù hợp và tin cậy hơn.

2.1 Sơ đồ tính

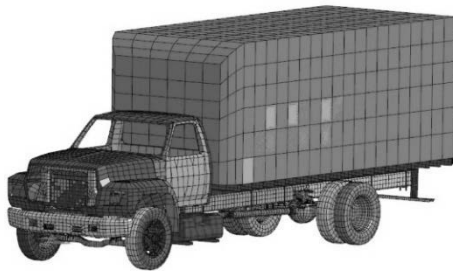
Sơ đồ tính toán cho khung phẳng này được sử dụng phần tử hữu hạn 3D mô phỏng. Các chân cột được ngàm chặt với nền đất. Phần trên khung thì cột nối với dầm là nối cứng. Mô hình lực va chạm là xe tải tầm trung có tổng khối lượng là 7.5 tấn được thể hiện ở Hình 1



Hình 1. Sơ đồ tính toán 3D mô phỏng

2.2 Tải trọng va chạm

Tải trọng sử dụng trong bài báo là xe tải tầm trung có khối lượng tổng là 7.5 tấn, khối lượng động cơ 0.64 tấn. Động cơ được liên kết với khung xe theo thẻ liên kết *CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE. Cần lưu ý rằng penalty-based contact là một trong những yếu tố quan trọng nhất khi sử dụng thẻ này trong mô phỏng va chạm, đã được thể hệ qua hai thông số SFSA và SFSB (Scale Factor on Penalty Stiffess). Sự thay đổi của hai thông số này sẽ ảnh hưởng đến sự độ lớn của lực va chạm cũng như sự phá hoại của kết cấu. Ảnh hưởng của hai thông số này lên kết quả mô phỏng đã được nghiên cứu và phân tích trước đây bởi Phạm and Hao [20]. Trong nghiên cứu này, thông số mặc định, i.e., SFSA = 1 và SFSB = 1, được sử dụng như trong nghiên cứu trước đây của Do et al. [9]. Bên cạnh đó, FS = 0.3 và FD = 0.2 cũng đã được lựa chọn trong mô hình dựa trên các nghiên cứu trước đây của các nghiên cứu trước đây [9, 11]. Sự thay đổi của FS và FD có thể ảnh hưởng nhỏ đến lực va chạm tuy nhiên sự biến dạng của kết cấu là không thay đổi đáng kể. Bên cạnh đó sự thay đổi các hệ số FS và FD không làm ảnh hưởng đến những nhận xét và kết quả chung của nghiên cứu này. Các phần tử trong mô hình xe đã được lược giản bớt nhằm giảm khối lượng xử lý cho máy tính. Tổng cộng có 35400 phần tử trong đó phần tử dầm (beam) là 548, tấm (shell) là 33861, phần tử khối (solid) là 886 và các phần tử khác trong phần mềm được thể hiện qua Hình 2.



Hình 2. Mô hình xe tải tầm trung sử dụng trong nghiên cứu này

2.3 Mô hình vật liệu

Trong mô hình phân tích động lực học thì một trong những hệ số quan trọng được xét là hệ số gia tăng ứng suất (DIF) cho cả bê tông lẫn cốt thép. Riêng phần bê tông sử dụng DIF dựa vào nghiên cứu của Hao and Hao [13]. Công thức xác định DIF cho vật liệu bê tông như sau:

$$CDIF = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \begin{cases} 0.0419(\log \dot{\epsilon}_d) + 1.2165 & \text{với } \dot{\epsilon}_d \leq 30s^{-1} \\ 0.08988(\log \dot{\epsilon}_d)^2 - 2.5255(\log \dot{\epsilon}_d) + 3.4907 & \text{với } \dot{\epsilon}_d > 30s^{-1} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó CDIF là DIF cho bê tông chịu nén, f_{cd} khả năng chịu nén động ở hệ số $\dot{\epsilon}_d$; $\dot{\epsilon}_d$ là tốc độ biến dạng là đạo hàm theo thời gian của biến dạng vật liệu bê tông. Tốc độ biến dạng có thứ nguyên nghịch đảo thời gian và đơn vị SI của nghịch đảo giây (s^{-1}); f_{cs} là khả năng chịu nén tĩnh.

Và công thức

$$TDIF = \frac{f_{td}}{f_{ts}} = \begin{cases} 0.26(\log \dot{\epsilon}_d) + 2.06 & \text{với } \dot{\epsilon}_d \leq 1s^{-1} \\ 2.0(\log \dot{\epsilon}_d) + 2.06 & \text{với } 1s^{-1} < \dot{\epsilon}_d \leq 2s^{-1} \\ 1.44331(\log \dot{\epsilon}_d) + 2.2276 & \text{với } 2s^{-1} < \dot{\epsilon}_d \leq 150s^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

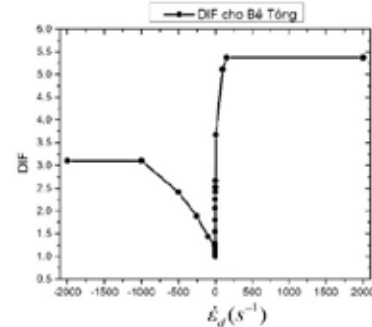
Trong đó TDIF là DIF cho bê tông chịu kéo, f_{td} khả năng chịu kéo động ở hệ số $\dot{\epsilon}_d$; $\dot{\epsilon}_d$ là tốc độ biến dạng là đạo hàm theo thời

gian của biến dạng vật liệu bê tông. Tốc độ biến dạng có thứ nguyên nghịch đảo thời gian và đơn vị SI của nghịch đảo giây (s^{-1}); f_{ts} là khả năng chịu kéo tĩnh.

Tương tự cho cốt thép sử dụng trong bê tông cũng cần phải có một hệ số gia tăng ứng suất theo báo cáo của Malvar L [18]

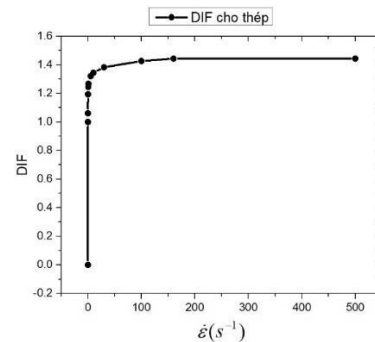
$$DIF = \left(\frac{\dot{\epsilon}}{10^{-4}} \right)^\alpha \quad \alpha = 0.074 - \frac{0.04f_y}{414} \quad (3)$$

trong đó f_y là ứng suất chảy dẻo của thép đơn vị là MPa, $\dot{\epsilon}$ là tốc độ biến dạng cho cốt thép



Hình 3. Hệ số gia tăng ứng suất DIF cho bê tông

Theo Hình 3 thì hệ số DIF sẽ không tăng khi hệ số biến dạng lớn hơn 150



Hình 4. Hệ số gia tăng ứng suất DIF cho cốt thép

Theo Hình 4 thì hệ số DIF sẽ không tăng khi hệ số biến dạng lớn hơn 160

2.4 Giới thiệu về phần mềm LS-DYNA

Phần mềm LS-DYNA [17] là một trong những công cụ mô phỏng tiên tiến để phân tích cấu trúc phi tuyến tính. Các tính năng chính của phần mềm là đa vật lý, nhiều giai đoạn và đa xử lý. Khả năng phân tích liên hệ hoàn toàn tự động và các tính năng kiểm tra lỗi đã cho phép người dùng trên toàn thế giới giải quyết thành công nhiều sự cố phức tạp và các sự cố phát sinh khởi điểm. Phần mềm LS-DYNA đã được sử dụng rất nhiều trong các mô phỏng và nghiên cứu về động lực học cũng như va chạm giữa các vật chất, phương tiện giao thông và chạm với kết cấu, và cũng như ảnh hưởng của tải trọng nổ lên kết cấu. Kết quả mô phỏng LS-DYNA tương quan nhất quán với dữ liệu thử nghiệm đã được thực hiện trước đây. Cho nên phần mềm LS-DYNA được cân nhắc là một trong những phần mềm có độ chính xác cao nhất trong việc mô phỏng ứng xử của kết cấu dưới các tải trọng động.

3. KẾT QUẢ SỐ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Giới thiệu và xác thực mô hình từ các nghiên cứu đã thực hiện

Mô hình xác thực được thực hiện là mô hình trụ cầu có các thông số và thông số vật liệu theo Bảng 2

Bảng 2: Bảng thông số kích thước và vật liệu cho mô hình xác thực theo phần mềm LS-DYNA.

Thông số	Kích thước		Mô hình vật liệu trong LS-DYNA	Khối lượng riêng	Ứng suất kéo	Ứng suất nén	Mô đun đàn hồi
			Ký hiệu vật liệu	Kg/m ³	MPa	MPa	GPa
Móng							
Chiều dài móng	5200	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Chiều rộng móng	5200	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Chiều sâu móng	1500	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Cột							
Chiều cao cột	9600	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	210
Chiều sâu cột	1200	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Chiều rộng cột	1200	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Thép dọc cột	24D30		*MAT-024_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	
Thép đai cột	D16a200		*MAT-024_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	300	300	
Dầm trên đỉnh cột							
Rộng	7600	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Cao	1500	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	
Sâu	1200	mm	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400	5	34	



Mô hình lại

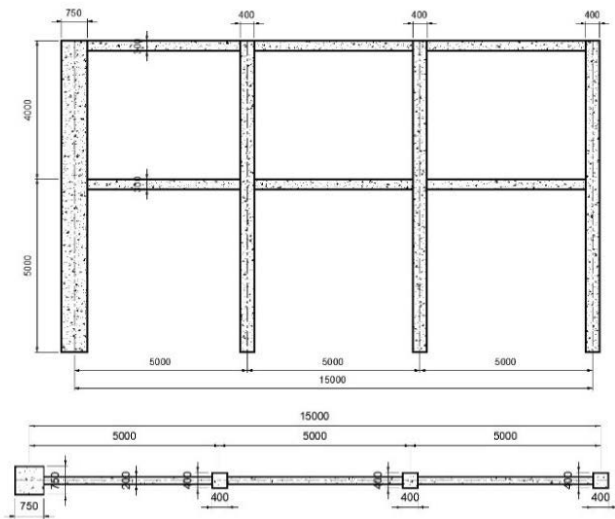


Mô hình trong bài báo công bố

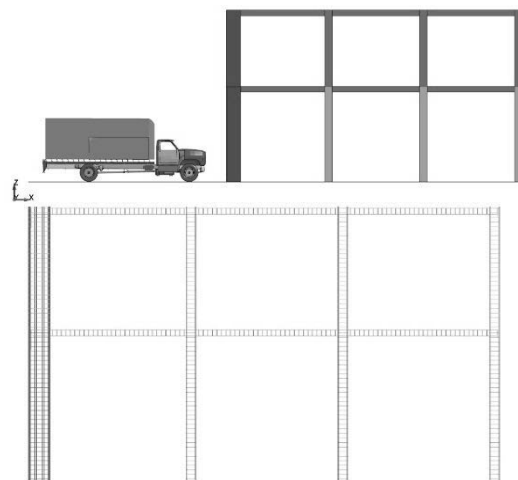
Hình 5. Hình thành vết nứt bê tông cột, xe bị phá hủy trong mô hình và bài báo công bố

Cho mô hình xe có tổng khối lượng là 8 (tấn) va chạm vào cột cầu BTCT. Mô hình trong bài báo công bố của [9] có kết quả của lực va chạm cực đại là 8260 KN và trong mô hình số mô phỏng lại thì mô hình chạy sau cũng có kết quả gần 7761 KN, chênh lệch 6.43%

3.2. Khung phẳng BTCT chịu tải va chạm bởi xe tải 7.5 tấn



a) Mô hình khung phẳng BTCT 2 tầng 3 nhịp

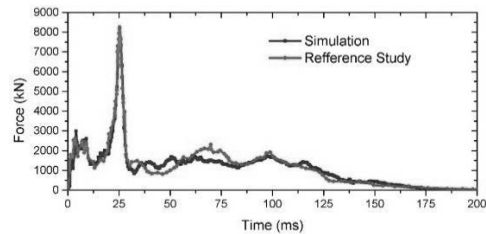


b) Mô hình khung phẳng trong LS-DYNA

Hình 7. Mô hình khung phẳng BTCT

Theo Hình 7a thì ta có khung bê tông cốt thép có kích thước tiết diện cột và dầm được áp một lực tĩnh có giá trị 1000kN tại vị trí cột thứ 1 cách mặt đất 1.5m, dựa vào tiêu chuẩn Úc, sau đó dùng tiêu

nhu Hình 6. Vết nứt trên cột bê tông giữa nghiên cứu này và từ nghiên cứu [9] là giống nhau với sự chênh lệch rất nhỏ như Hình 5. Từ đó việc sử dụng mô hình vật liệu đầu vào cũng như phương pháp nghiên cứu trong bài báo này đã được xác thực và cho ra kết quả nghiên cứu hợp lý. Cho nên ta dùng mô hình vật liệu này để sử dụng cho việc khảo sát xe va chạm vào khung phẳng bê tông cốt thép là hoàn toàn hợp lý.



Hình 6. Lực va chạm từ mô hình số và bài báo

chuẩn 5574-TCVN: [1] để thiết kế tiết diện thép trong cột và dầm. Các thông số vật liệu cũng như kích thước được thể hiện trong Bảng 3 sau:

Bảng 3: Kích thước và thông số kỹ thuật của khung phẳng BTCT

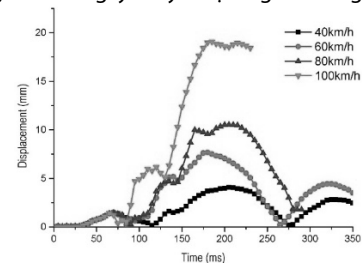
Thông số	Kích thước (mm)			Mô hình vật liệu trong LS-DYNA	Khối lượng riêng Kg/m ³	Ứng suất kéo MPa	Ứng suất nén MPa	Mô đun đàn hồi GPa	Hệ số Poisson
	Cao	Rộng	Sâu						
Bê Tông Cột 1	9000	750	750	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400		40		0.3
Cốt dọc Cột 1	12D32			*MAT-024_PICEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	200	0.3
Cốt đai Cột 1	D14a150			*MAT-024_PICEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	200	0.3
Bê Tông Cột 2,3 & 4	9000	400	400	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400		40		0.3
Cốt dọc Cột 2,3 & 4	4D16			*MAT-024_PICEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	200	0.3
Cốt đai Cột 2,3 & 4	D10a150			*MAT-024_PICEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	200	0.3
Bê Tông Dầm Lầu 1 & 2	15000	200	300	*MAT-072R3_CONCRETE_DAMAGE_REL3	2400		40		0.3
Cốt Dầm Lầu 1 & 2	4D16			*MAT-024_PICEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	200	0.3
Cốt đai Dầm Lầu 1 & 2	D10a150			*MAT-024_PICEWISE_LINEAR_PLASTICITY	7850	500	500	200	0.3

Đa số các phần mềm PTHH tính toán phân tích gần đúng nên việc chia nhỏ các phần tử vô cùng quan trọng. Tham khảo các công bố trước đây thì để đảm bảo cho mô hình chạy ra kết quả tương đối gần đúng nhất thì vị trí cột chịu va chạm sẽ chia phần tử nhỏ nhất là 25mm, những cấu kiện còn lại để giảm số lượng phần tử nhằm tối ưu tài nguyên thì chúng ta chia lên 50mm. Cụ thể là trong mô hình để phân tích thì phần tử dầm (beam) sử dụng mô phỏng cho các cốt thép là 29.340 phần tử được chia lưới dựa vào phần tử khối (solid). Phần tử tấm (shell) sử dụng cho xe là 33.861 phần tử, phần tử khối sử dụng mô phỏng cho bê tông và các cấu kiện còn lại của xe là 524.758 phần tử. Các phần cốt thép (beam) và phần tử bê tông (solid) được găng chặt thành một khối (merge) trước khi chạy phân tích để tránh xảy ra lỗi cho việc trùng lặp các phần tử trong mô hình. Với tổng số phần tử thì để phân tích được một hình có thể phải mất thời từ 16h đến 30h để hoàn thành tùy theo mức độ phá hủy của các phần tử.

• Kết quả chuyển vị

Từ biểu đồ của Hình 8 ta có thể thấy mô hình xe ở vận tốc 40km/h thì ngay đỉnh cột tầng một có chuyển vị lớn nhất là 4mm tại thời điểm 205ms, ở vận tốc 60km/h thì chuyển vị lớn nhất là 8mm tại thời điểm 180ms,

tương tự khi mô hình xe ở vận tốc 80km/h thì chuyển vị lớn nhất là 10mm tại thời điểm 165ms, ở vận tốc 100km/h thì chuyển vị lớn nhất là 19mm tại thời điểm 185ms. Việc tăng vận tốc từ 40 km/h lên 100 km/h, động năng của xe tăng lên 6.25 lần và chuyển vị khung tăng từ 4mm lên 19mm. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng việc thay đổi vận tốc xe va chạm làm thay đổi chuyển vị trong khung, với cùng khối lượng xe và độ cứng khung thì vận tốc càng lớn thì sẽ gây chuyển vị càng lớn trong khung.

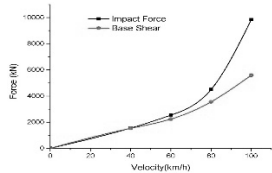


Hình 8. Chuyển vị đỉnh cột chịu va chạm khi xe có vận tốc 40km/h, 60km/h, 80km/h và 100km/h

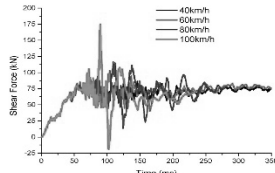
• Kết quả lực va chạm lớn nhất và lực cắt lớn nhất

Bảng 4: Thông số của lực va chạm cực đại và lực cắt lớn nhất của cột và dầm

Vị trí khảo sát	Vị trí & Mô tả	Đơn vị	Vận tốc xe va chạm (km/h)							
			40	Thời điểm (ms)	60	Thời điểm (ms)	80	Thời điểm (ms)	100	Thời điểm (ms)
1	Lực va chạm lớn nhất	KN	1546	125	2538	113	4497	110	9844	86
2	Lực cắt đáy cột 1	KN	1530	126	2235	114	3551	110	5589	87
3	Lực cắt tại vị trí 1.5m cột 1	KN	-232	110	-378	73	-609	110	-2065	86
4	Lực cắt tại vị trí đỉnh cột 1	KN	-254	126	-394	116	-727	113	-999	91
5	Lực cắt đáy cột 2	KN	52	128	87	146	76	125	134	101
6	Lực cắt tại vị trí đỉnh cột 2	KN	44	141	79	119	74	166	153	92
7	Lực cắt đáy cột 3	KN	44	149	75	133	78	123	108	110
8	Lực cắt tại vị trí đỉnh cột 3	KN	41	155	59	140	70	116	136	94
9	Lực cắt đáy cột 4	KN	57	141	74	137	91	133	148	112
10	Lực cắt tại vị trí đỉnh cột 4	KN	55	135	63	128	81	141	128	97
11	Lực cắt tại mặt cắt 1 của dầm	KN	86	146	103	104	117	109	175	90
12	Lực cắt tại mặt cắt 2 của dầm	KN	93	152	100	109	125	114	190	94



Hình 9. So sánh lực va chạm lớn nhất và lực cắt tại chân cột bị va chạm theo vận tốc



Hình 10. Lực cắt của dầm tầng 1 tại vị trí tiếp giáp với cột bị va chạm

Theo như Hình 9 cho thấy rằng ở vận tốc 40km/h thì lực va chạm lớn nhất (PIF) là 1546 kN tại thời điểm 126ms, xe ở vận tốc 60km/h thì PIF là 2530kN tại thời điểm 113ms, tương tự cho xe ở vận tốc 80km/h thì PIF là 4497 kN tại thời điểm 110ms, còn xe ở vận tốc 100km/h thì PIF là 9844 kN tại thời điểm 86ms. Lực va chạm lớn nhất tăng lên gần 5 lần khi vận tốc thay đổi từ 40km/h đến 100km/h. Bên cạnh đó, các lực va chạm lớn nhất này đều lớn hơn so với lực tĩnh tương đương từ các tiêu chuẩn Úc (AS-5100.2 là 1000KN).

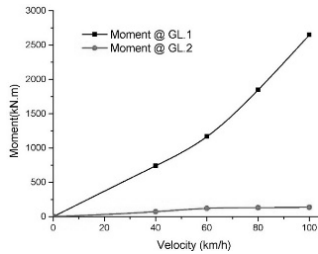
Bên cạnh đó, lực cắt xuất hiện lớn nhất ở chân cột trực 1 là cột bị va chạm, trong khi đó những vị trí khác trong khung giá trị lực cắt đều rất nhỏ so với lực va chạm, lực cắt tại chân cột 2,3,4 chỉ chiếm khoảng 2.5-5% giá trị đỉnh lực va chạm. Do đó có thể thấy rằng cột bị va chạm hấp thụ hầu hết năng lượng từ vụ va chạm trong khi đó các cấu kiện khác trong khung chỉ hấp thụ phần nhỏ năng lượng, xem Bảng 4 để thấy giá trị các lực nguy hiểm gây ra cho kết cấu.

Từ mô hình và biểu đồ của Hình 10 thì thể hiện các mặt cắt ở cột bị va chạm, việc gia tăng vận tốc của mô hình xe va chạm, lực cắt trong dầm khung cũng gia tăng theo. Ở mặt cắt 1 của dầm lầu 1 nhịp 1, lực cắt tăng từ 86 kN dưới vận tốc 40 km/h đến 173 kN dưới vận tốc 100 km/h. Đặc biệt với vận tốc 100km/h thì lực cắt lớn nhất rơi về lực cắt bé nhất trong một khoảng thời gian cực ngắn $\Delta t = 7ms$. Điều này ảnh hưởng xấu cho dầm vật liệu bê tông cốt thép cho nên khả năng bê tông chịu tải trọng động sẽ nguy hiểm cho trường hợp cần lưu ý này.

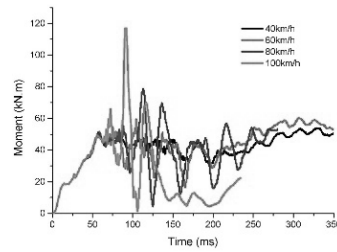
• Kết quả mô men

Tương tự như lực cắt, xem Hình 11 mô men trong khung chủ yếu tập trung ở cột bị va chạm. Mô men tại chân cột 1 lớn gấp từ 10 lần đến 19 lần moment tại chân cột 2 theo vận tốc từ 40km đến 100km/h.

Cũng giống như biểu đồ lực cắt thì theo Hình 12 biểu đồ mô men cho thấy việc gia tăng vận tốc của xe va chạm, mô men trong dầm khung cũng gia tăng. Đặc biệt ở vận tốc 100km/h thì mô men bé nhất rồi lên mô men lớn nhất trong một khoảng thời gian cực ngắn $\Delta t = 12ms$. Ở đây cũng cần lưu ý cho trường hợp này nhằm gia tăng độ cứng của dầm hoặc gia cố cho vị trí dầm tiếp xúc với cột bị va chạm.

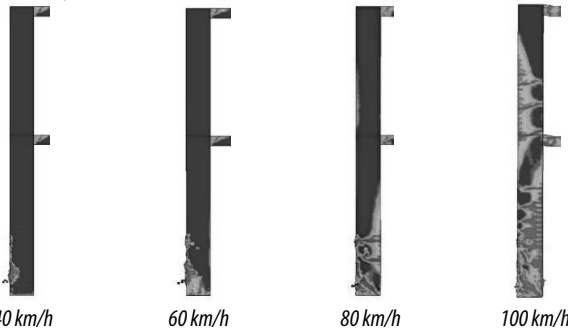


Hình 11. So sánh mô men tại chân cột bị va chạm và cột kế tiếp theo vận tốc.



Hình 12. Mô men của dầm tầng 1 tại vị trí tiếp giáp với cột bị va chạm

• Hình thành vết nứt hoặc phá hoại của kết cấu khung và xe xảy ra với vận tốc 40km/h, 60km/h, 80km/h và 100km/h



Hình 13. Hình thành vết nứt của cột bị va chạm khi xe có vận tốc 40km/h, 60km/h, 80km/h và 100km/h

Khi vận tốc là 100 km/h, cột trục 1 bị phá hoại nghiêm trọng với rất nhiều vết nứt do uốn xuất hiện ở mặt dương của cột và vết nứt cắt tại chân cột. Bên cạnh đó, vết nứt cũng xuất hiện trên tầng 2 của cột này. Cần nhận xét rằng trong mô hình tải tĩnh đặt ở vị trí 1500mm phía trên mặt đường thì mô men uốn trong cột 1 tầng 2 là rất nhỏ (chỉ có 3% giá trị mô men tại chân cột 1 tầng 1), nhưng trong mô hình động vết nứt uốn lại xuất hiện ở cột tầng 2 do sự dẫn truyền ứng suất. Một lần nữa khẳng định rằng việc sử dụng tải tĩnh trong thiết kế khung có thể dẫn đến kết quả không chính xác. Ngoài ra, sự phá hoại tại vị trí nối dầm và cột cũng đã xuất hiện được thể hiện qua Hình 13 ở vận tốc mô hình xe là 100km/h.

4. KẾT LUẬN

Việc xem xét đến lực cắt và mô men trong mặt cắt dầm tầng 1 tại vị trí tiếp giáp với cột va chạm có sự thay đổi từ giá trị nhỏ nhất lên giá trị lớn nhất xảy ra trong thời điểm từ 7ms đến 12ms khi xe va chạm ở vận tốc 100km/h gây ra phá hoại hoàn toàn bê tông dầm. Điều này hầu như không xảy ra trong việc phân tích tĩnh lực tương đương. Cho nên việc này cũng phải được xem xét cẩn thận hơn trong quá trình thiết kế các công trình chịu tải trọng va chạm. Có thể nhận thấy rằng việc gia tăng vận tốc va chạm làm gia tăng lực va chạm, lực cắt và mô men uốn tại tất cả các vị trí quan trọng trong khung. Do đó yếu tố vận tốc đầu vào là một trong những yếu tố quan trọng cần phải được đề cập trong quá trình thiết kế.

Khi vận tốc va chạm là 40 km/h và 60 km/h, cột bị va chạm chỉ chịu hư hỏng nhẹ tại vị trí va chạm mà không có vết nứt do cắt xảy ra và khung bê tông cốt thép vẫn không có dấu hiệu bị phá hoại. Tuy nhiên, vết nứt cắt xuất hiện khi vận tốc va chạm là 80 km/h, cần lưu ý rằng vết nứt cắt hoặc ứng xử cắt là cần phải kiểm soát trong quá trình thiết kế động vì nó có thể dẫn đến phá hoại cục bộ và hoàn toàn của khung, vết nứt cắt được xác định là phá hoại dòn và thường được yêu cầu phải kiểm soát trong các tiêu chuẩn thiết kế. Khi vận tốc va chạm là 100 km/h thì vết nứt cắt xuất hiện lớn hơn ở chân cột bị va chạm. Thêm vào đó phá hoại cũng xảy ra ở các vị trí cột chịu va chạm trên tầng 2 và mối nối dầm cột này. Sự thay đổi của vận tốc làm thay đổi ứng xử của khung từ biến dạng uốn (40 km/h hoặc 60 km/h) đến biến dạng cắt và phá hoại khung (80 km/h hoặc 100 km/h).

Hạn chế của đề tài là việc nghiên cứu khung 2D làm cho cái nhìn chưa tổng quát về ứng xử thực tế của khung bê tông cốt thép khi bị tác động của tải trọng va chạm vì lý do tài nguyên và thời gian nghiên cứu chưa đáp ứng. Bên cạnh đó hướng phát triển để tài nghiên cứu có thể thay đổi nhiều loại bê tông với ứng suất nén khác nhau làm cho khung thay đổi độ cứng sẽ thu được nhiều kết quả nghiên cứu hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. 5574-TCVN; "Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế," in Bộ Xây dựng. 2018: Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [2]. AASHTO, *AASHTO LRFD bridge design specifications (customary U.S. units)*. 2012, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): 6th Ed., Washington, DC.
- [3]. Abdelkarim, O.I., and M.A. ElGawady, *Performance of bridge piers under vehicle collision*. Engineering Structures, 2017. **140**: p. 337-352.
- [4]. AS-5100.2, *Part 2 - Design Load*, in *Bridge Design*. 2017, SAI Global Limited under licence from Standards Australia Limited: GPO Box 476, Sydney, NSW 2001, Australia.
- [5]. Cai, J., et al., *Dynamic behaviour of axially-loaded RC columns under horizontal impact loading*. Engineering Structures, 2018. **168**: p. 684-697.
- [6]. Cao, R., et al., *Heavy Truck Collision with Bridge Piers: Computational Simulation Study*. Journal of Bridge Engineering, 2019. **24**(6).
- [7]. CEN, *Actions on structures. Part 1-1: General actions-densities, self-weight, imposed loads for building*, in *European Committee for Standardization*. 2002, BS EN 1991-1-1:2002: Brussels, Belgium.
- [8]. Chen, L., et al., *Shear Performance Evaluation of Reinforced Concrete Piers Subjected to Vehicle Collision*. Journal of Structural Engineering, 2020. **146**(4).
- [9]. Do, T.V., et al., *Dynamic responses and failure modes of bridge columns under vehicle collision*. Engineering Structures, 2018. **156**: p. 243-259.
- [10]. Do, T.V., et al., *Impact force profile and failure classification of reinforced concrete bridge columns against vehicle impact*. Engineering Structures, 2019. **183**: p. 443-458.
- [11]. Do, T.V., et al., *Proposed design procedure for reinforced concrete bridge columns subjected to vehicle collisions*. Structures, 2019. **22**: p. 213-229.
- [12]. El-Tawil, S., et al., *Vehicle collision with bridge piers*. Journal of Bridge Engineering, 2005. **10**(3): p. 345-353.
- [13]. Hao, Y., and H. Hao, *Numerical evaluation of the influence of aggregates on concrete compressive strength at high strain rate*. International Journal of Protective Structures, 2011. **2**(2): p. 177-206.
- [14]. Heng, K., et al., *Dynamic responses of highway bridge subjected to heavy truck impact*. Engineering Structures, 2021. **232**.
- [15]. Li, R.W., et al., *Experimental and numerical study on impact resistance of RC bridge piers under lateral impact loading*. Engineering Failure Analysis, 2020. **109**.
- [16]. Li, R.W., et al., *Collapse analysis and damage evaluation of typical simply supported double-pier RC bridge under truck collision*. Structures, 2021. **33**: p. 3222-3238.
- [17]. LSTC, L.S.T.C., *LS-DYNA, Keyword user's manual, Version R10.0*, in *LS-DYNA Manual*. 2017.
- [18]. Malvar L, C., *Dynamic increase factors for steel reinforcing bars* ACI Master, 1998. **95**: p. 609-616.
- [19]. Pham, T.M., and H. Hao, *Plastic hinges and inertia forces in RC beams under impact loads*. International Journal of Impact Engineering, 2017. **103**: p. 1-11.
- [20]. Pham, T.M., and H. Hao, *Influence of global stiffness and equivalent model on prediction of impact response of RC beams*. International Journal of Impact Engineering, 2018. **113**: p. 88-97.
- [21]. Sohel, K.M.A., et al., *Behavior and design of reinforced concrete building columns subjected to low-velocity car impact*. Structures, 2020. **26**: p. 601-616.