

Nghiên cứu mô phỏng số đánh giá khả năng chịu lực của dầm thép bị ăn mòn

Tạ Quốc Việt^{1*}, Đoàn Tấn Thi², Phạm Văn Phê¹

¹Trường đại học Giao thông Vận Tải, Hà Nội

²Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường đại học Giao thông vận tải

TỪ KHOÁ

Dầm thép bị ăn mòn bản bụng
Liên kết đầu dầm
Abaqus

TÓM TẮT

Dầm thép là loại cấu kiện được sử dụng nhiều trong các công trình xây dựng do có nhiều ưu điểm như khả năng chịu lực cao, dễ thi công. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của dầm thép là dễ bị ăn mòn. Bài báo nghiên cứu khả năng chịu lực của dầm thép bị ăn mòn liên kết và ăn mòn bản bụng bằng phần mềm phần tử hữu hạn Abaqus. Ba trường hợp được nghiên cứu: (i) bu lông bị ăn mòn, (ii) bản bụng bị ăn mòn, (iii) kết hợp bu lông và bản bụng bị ăn mòn. Kết quả cho thấy rằng dầm thép bị ăn mòn bị suy giảm đáng kể khả năng chịu lực.

KEYWORDS

Corroded steel beam webs
Beam end connections
Abaqus

ABSTRACT

Steel beams are widely used in construction projects due to their advantages, such as high load-bearing capacity and ease of installation. However, their major drawback is their susceptibility to corrosion. The study investigates the load-bearing capacity of corroded steel beams at connections and webs using the finite element software Abaqus. Three cases are examined: (i) corroded bolts, (ii) corroded webs, (iii) a combination of corroded bolts and webs. The results show that corroded steel beams experience a significant reduction in load-bearing capacity.

1. Đặt vấn đề

Do có nhiều ưu điểm như dễ chế tạo, thi công nhanh, dầm thép được sử dụng nhiều trong các kết cấu cầu. Bên cạnh đó, dầm thép có nhược điểm lớn là dễ bị ăn mòn, điều này càng cần đặc biệt lưu ý ở nước ta do có đường bờ biển dài kết hợp với khí hậu nóng ẩm. Trong đó, khu vực đầu dầm thép thường là khu vực dễ bị tấn công bởi các yếu tố ăn mòn. Các khe co giãn tại hai đầu cầu thường dễ bị nứt do tác động của xe cộ. Điều này dẫn tới nước mưa dễ bị thấm tới khu vực dầm tại khu vực đầu cầu. Thêm vào đó, cần lưu ý rằng không gian đầu cầu là nơi tập trung nhiều cấu kiện như dầm ngang, gối cầu, các liên kết, các sườn tăng cường làm giảm việc lưu thông của không khí. Đây là các yếu tố thúc đẩy quá trình ăn mòn tại khu vực đầu dầm thép. Hình 1 thể hiện hư hại tại đầu dầm thép do ăn mòn.



Hình 1. Hư hại dầm thép ở khu vực đầu cầu do ăn mòn.

Một số dạng hư hỏng thường gặp ở khu vực đầu cầu như: bản bụng bị ăn mòn, liên kết bu lông bị phá hoại, bản bụng bị tách khỏi bản cánh. Bản bụng bị ăn mòn dẫn tới suy giảm diện tích chịu cắt, điều này cần đặc biệt lưu ý do khu vực đầu cầu là nơi có lực tập trung lớn, ứng xử chịu lực phức tạp, có thể dẫn tới sự cố sập cầu.

Số lượng các nghiên cứu thực nghiệm về dầm thép bị ăn mòn [1-3] là tương đối hạn chế do việc thực hiện thí nghiệm tương đối khó khăn. Ngược lại, nhiều nghiên cứu mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn cho dầm thép bị ăn mòn đã được tiến hành [4]. Khurram và các cộng sự sử dụng phần mềm Abaqus [4], kết hợp phần tử tấm với phần tử khối, để nghiên cứu ảnh hưởng của ăn mòn đều và không đều trên sườn tăng cường và khu vực gần bản bụng với sườn tăng cường. Ăn mòn trên sườn được giả thiết bị mất một phần chiều cao sườn và giảm chiều dày. Ăn mòn trên bản bụng được giả thiết do suy giảm chiều dày. Gerasimidis và Brena [5] đề xuất mô hình mô phỏng bằng phần mềm Abaqus để kiểm chứng với thí nghiệm dầm thép bị ăn mòn của nhóm. Phần đầu dầm được chia thành các vùng có mức độ ăn mòn khác nhau, được miêu tả bằng cách giảm chiều dày bản bụng, được miêu tả bằng phần tử tấm (S4R). Phần tử kể trên có ưu điểm miêu tả một cách trực tiếp hiện tượng biến dạng ở bản bụng do mất ổn định. Các lỗ mở được sử dụng để miêu tả mất mát vật liệu do ăn mòn ở bản bụng. Ahn và các cộng sự [6] tiến hành nghiên cứu sức kháng cắt còn lại của dầm thép bị ăn mòn ở khu vực đầu dầm bằng phần mềm MARC mentat 2010. Khu vực dầm thép bị ăn mòn được miêu tả thông qua việc giảm chiều dày bản bụng. Amanda Bao và cộng sự

*Liên hệ tác giả: tqviet@utc.edu.vn

Nhận ngày 13/02/2025, sửa xong ngày 26/02/2025, chấp nhận đăng ngày 27/02/2025

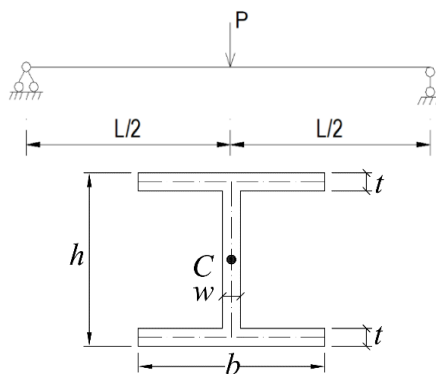
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2025.838>

[7] tiến hành nghiên cứu khảo sát khả năng chịu lực kết cấu của các dầm thép bị ăn mòn làm thủng tiết diện, sử dụng mô hình phần tử hữu hạn 3-D được xây dựng trong ABAQUS, nghiên cứu tập trung vào việc làm mất 1 phần diện tích bản bụng và làm mỏng tiết diện bản bụng do ăn mòn cũng như hậu quả của chúng đối với việc giảm khả năng chịu tải trọng. Liu và các cộng sự [8] sử dụng phần mềm DIANA để mô phỏng sức kháng cắt của dầm thép bị ăn mòn cục bộ tại khu vực gối. Khu vực bị ăn mòn cục bộ được miêu tả bằng cách giảm chiều dày và được mô phỏng bằng phần tử tám 8 nút.

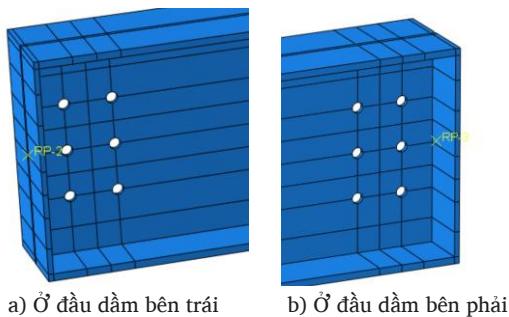
Các nghiên cứu kể trên mới tập trung vào việc nghiên cứu ăn mòn bản bụng dầm thép bằng cách giảm chiều dày hoặc mô phỏng sự mất vật liệu bằng cách tạo các lỗ trên bản bụng. Bài báo này nhằm mục đích đánh giá khả năng chịu lực của dầm thép bị ăn mòn đồng thời liên kết và sự mất mát vật liệu do ăn mòn bằng phần mềm Abaqus.

2. Mô tả bài toán

Dầm đơn giản có tiết diện chữ I cánh rộng có số hiệu W360x51, nhịp $L = 5$ m có sơ đồ tính và hình dạng mặt cắt ngang được thể hiện ở Hình 2, mỗi liên kết biên ở hai đầu dầm có 6 bu lông với đường kính lỗ $d = 18$ mm được thể hiện ở Hình 3, chịu tác dụng của tải trọng tập trung giữa nhịp $P = 250$ kN. Vật liệu thép được giả định là vật liệu đàn hồi – dẻo tuyệt đối, có mô đun đàn hồi $E = 200$ GPa, giới hạn chảy $F_y = 355$ MPa và hệ số Poisson là 0,3. Ảnh hưởng của ăn mòn được xem xét. Nghiên cứu hiện tại sẽ đi phát triển các mô hình số trong ABAQUS để kể đến các ảnh hưởng của ăn mòn đến khả năng chịu lực.



Hình 2. Sơ đồ tính của dầm và hình dạng mặt cắt ngang.



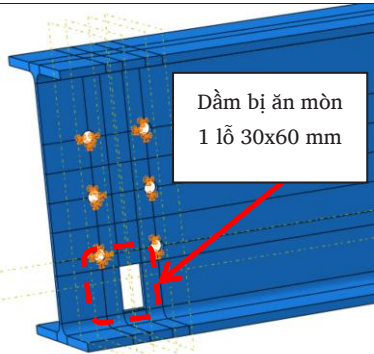
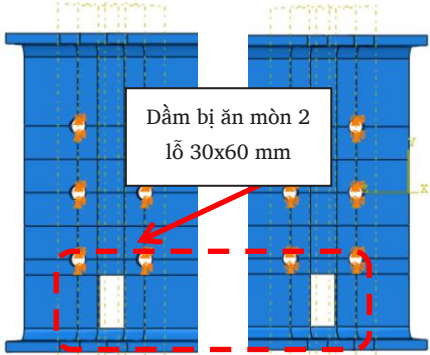
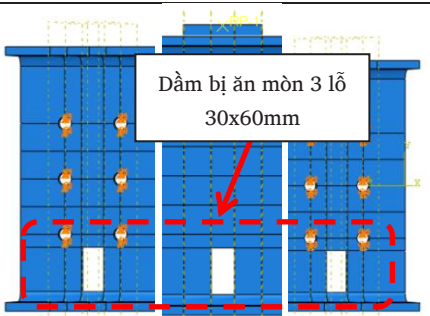
Hình 3. Mỗi liên kết biên ở 2 đầu dầm có 6 bu lông với đường kính lỗ 18 mm.

Xây dựng mô hình ABAQUS: các mô hình ABAQUS phát triển trong nghiên cứu này được dựa trên các phần tử khối ba chiều C3D8R trong thư viện ABAQUS. Phần tử ba chiều có 8 nút và mỗi nút có 3 chuyển vị thẳng theo 3 phương độc lập. Một phần tử sẽ có tổng cộng 24 bậc tự do và có một điểm tích phân ở trọng tâm của phần tử. ABAQUS được sử dụng để mô hình hóa dầm bị ăn mòn do rỉ sét làm mất diện tích chịu lực và đứt mất một phần liên kết biên. Sự mất mát diện tích chịu lực được mô hình hóa bằng cách loại bỏ một phần diện tích bản bụng. Ảnh hưởng của sự mất mát diện tích có hình dạng và kích thước khác nhau đến độ cứng cũng như khả năng chịu lực của kết cấu dầm được nghiên cứu. Dạng mất mát diện tích bản bụng là hình chữ nhật có cạnh dài hơn song song với chiều cao bản bụng. Trong khi đó, ảnh hưởng của đứt mất liên kết biên được mô hình hóa bằng cách loại bỏ một hay nhiều bu lông ở liên kết biên.

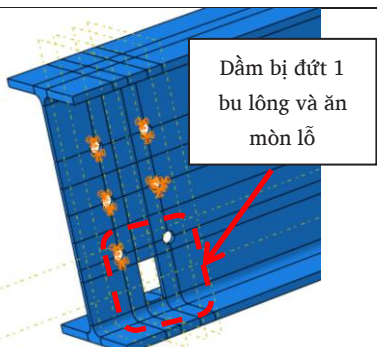
Bảng 1. Các trường hợp mô phỏng số dầm bị ăn mòn làm đứt mất liên kết biên.

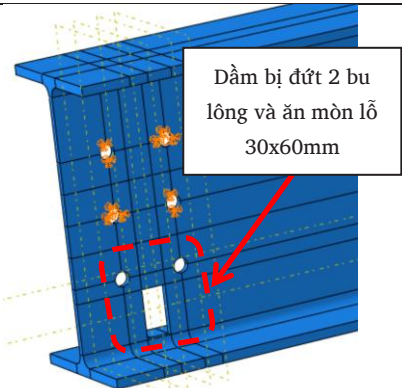
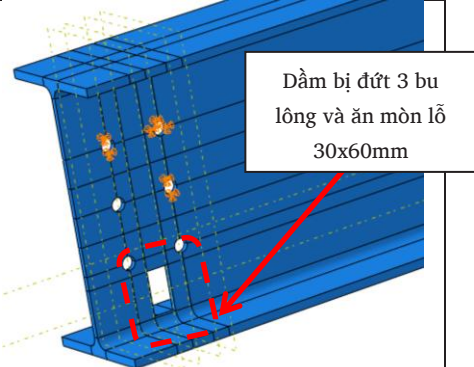
Các trường hợp khảo sát	Mô tả hình học
Trường hợp 1 (Dầm bị đứt mất 1 bu lông ở 1 phía của liên kết biên)	
Trường hợp 2 (Dầm bị đứt mất 2 bu lông ở 1 phía của liên kết biên)	
Trường hợp 3 (Dầm bị đứt mất 3 bu lông ở 1 phía của liên kết biên)	

Bảng 2. Các trường hợp mô phỏng số dầm bị ăn mòn làm thủng tiết diện bản bụng.

Các trường hợp khảo sát	Mô tả hình học
Trường hợp 4 (Dầm bị ăn mòn 1 lỗ ở đầu dầm có kích thước 30x60 mm)	
Trường hợp 5 (Dầm bị ăn mòn 2 lỗ ở 2 đầu dầm có kích thước 30x60 mm)	
Trường hợp 6 (Dầm bị ăn mòn 3 lỗ ở 2 đầu dầm và giữa nhịp dầm có kích thước 30x60 mm)	

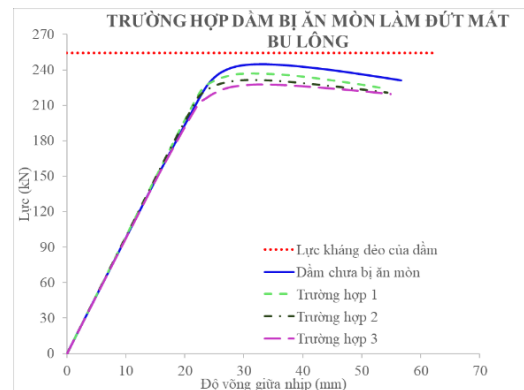
Bảng 3. Các trường hợp mô phỏng số dầm bị ăn mòn làm đứt liên kết biên và thủng tiết diện bản bụng.

Các trường hợp khảo sát	Mô tả hình học
Trường hợp 7 (Dầm bị đứt mất 1 bu lông và bị ăn mòn 1 lỗ ở đầu dầm có kích thước 30x60mm)	

Các trường hợp khảo sát	Mô tả hình học
Trường hợp 8 (Dầm bị đứt mất 2 bu lông và bị ăn mòn 1 lỗ ở đầu dầm có kích thước 30x60 mm)	
Trường hợp 9 (Dầm bị đứt mất 3 bu lông và bị ăn mòn 1 lỗ ở đầu dầm có kích thước 30x60 mm)	

3. Kết quả

3.1. Dầm bị ăn mòn làm đứt liên kết biên

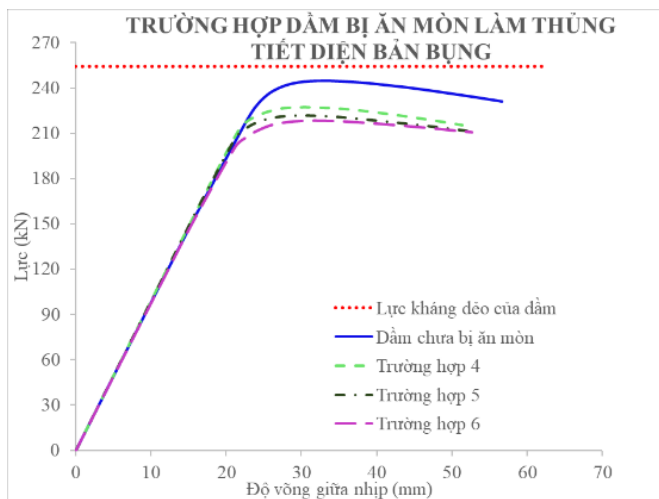


Hình 4. Các mối quan hệ giữa lực và độ võng giữa nhịp của dầm chưa bị ăn mòn (hoàn hảo) và dầm bị ăn mòn làm đứt mất bu lông.

Hình 4 trình bày mối quan hệ giữa tải trọng phi tuyến và độ võng giữa nhịp dầm trong các trường hợp bị ăn mòn (trường hợp 1, 2 và 3) chưa được tăng cường. Các kết quả trình bày trong hình này gồm lực kháng dẻo ($P_p = 254,2$ kN) và tải trọng ổn định phi tuyến khi không và khi có xét tới ảnh hưởng của ăn mòn (Bảng 1). Các tải trọng ổn định phi tuyến có được từ lời giải số phát triển trong nghiên cứu hiện tại. Kết quả so sánh cho thấy, khi không xét tới ảnh hưởng của ăn mòn, đường cong

lực-độ võng của giữa nhịp tiệm cận và xấp xỉ bằng với lực kháng dẻo của dầm. Tuy nhiên, khi có xét tới ảnh hưởng của ăn mòn làm đứt mắt bu lông, sức kháng của dầm giảm dần. Với dầm bị ăn mòn làm đứt mắt 1 bu lông (trường hợp 1), đỉnh của tải trọng đạt được là 236,8 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 6,8 %. Với dầm bị ăn mòn làm đứt mắt 2 bu lông (trường hợp 2), đỉnh của tải trọng đạt được là 231,4 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 9 %. Với dầm bị ăn mòn làm đứt mắt 3 bu lông (trường hợp 3), đỉnh của tải trọng đạt được là 227,5 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 10,5 %.

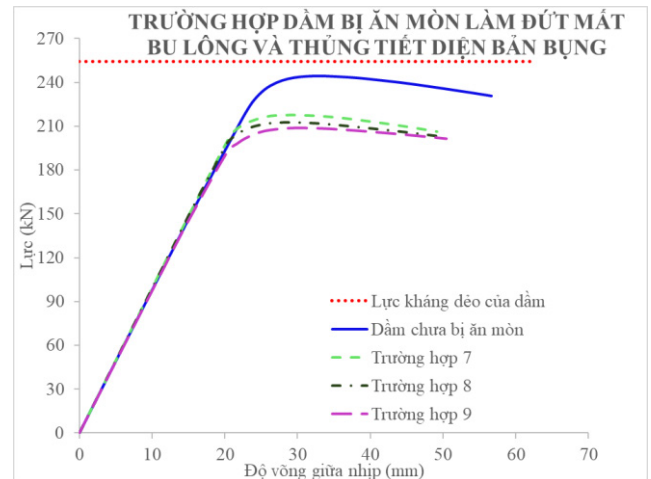
3.2. Dầm bị ăn mòn làm làm thủng tiết diện chịu lực



Hình 5. Các mối quan hệ giữa lực và độ võng giữa nhịp của dầm chưa bị ăn mòn (hoàn hảo) và dầm bị ăn mòn làm thủng tiết diện bản bụng.

Hình 5 trình bày mối quan hệ giữa tải trọng phi tuyến và độ võng giữa nhịp dầm trong các trường hợp bị ăn mòn (trường hợp 4, 5 và 6) chưa được tăng cường. Các kết quả trình bày trong hình này gồm lực kháng dẻo ($P_p = 254,2$ kN) và tải trọng ổn định phi tuyến khi không và khi có xét tới ảnh hưởng của ăn mòn (Bảng 2). Các tải trọng ổn định phi tuyến có được từ lời giải số phát triển trong nghiên cứu hiện tại. Kết quả so sánh cho thấy, khi không xét tới ảnh hưởng của ăn mòn, đường cong lực-độ võng của giữa nhịp tiệm cận và xấp xỉ bằng với lực kháng dẻo của dầm. Tuy nhiên, khi có xét tới ảnh hưởng của ăn mòn làm thủng tiết diện bản bụng, sức kháng của dầm giảm dần. Với dầm bị ăn mòn 1 lỗ kích thước 30x60mm (trường hợp 4), đỉnh của tải trọng đạt được là 227,2 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 10,6 %. Với dầm bị ăn mòn 2 lỗ kích thước 30x60mm (trường hợp 5), đỉnh của tải trọng đạt được là 222 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 12,7 %. Với dầm bị ăn mòn 3 lỗ kích thước 30x60mm (trường hợp 6), đỉnh của tải trọng đạt được là 218,2 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 14,2 %.

3.3. Dầm bị ăn mòn làm đứt mắt liên kết biên và thủng tiết diện chịu lực



Hình 6. Các mối quan hệ giữa lực và độ võng giữa nhịp của dầm chưa bị ăn mòn (hoàn hảo) và dầm bị ăn mòn làm đứt mắt liên kết biên và thủng tiết diện bản bụng.

Hình 6 trình bày mối quan hệ giữa tải trọng phi tuyến và độ võng giữa nhịp dầm trong các trường hợp bị ăn mòn (trường hợp 7, 8 và 9) chưa được tăng cường. Các kết quả trình bày trong hình này gồm lực kháng dẻo ($P_p = 254,2$ kN) và tải trọng ổn định phi tuyến khi không và khi có xét tới ảnh hưởng của ăn mòn (Bảng 3). Các tải trọng ổn định phi tuyến có được từ lời giải số phát triển trong nghiên cứu hiện tại. Kết quả so sánh cho thấy, khi không xét tới ảnh hưởng của ăn mòn, đường cong lực-độ võng của giữa nhịp tiệm cận và xấp xỉ bằng với lực kháng dẻo của dầm. Tuy nhiên, khi có xét tới ảnh hưởng đồng thời của ăn mòn làm đứt mắt bu lông liên kết và thủng tiết diện bản bụng, sức kháng của dầm giảm dần. Với dầm bị ăn mòn làm đứt mắt 1 bu lông và 1 lỗ kích thước 30x60mm ở đầu dầm (trường hợp 7), đỉnh của tải trọng đạt được là 217,5 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 14,4 %. Với dầm bị ăn mòn làm đứt mắt 2 bu lông và 1 lỗ kích thước 30x60mm ở đầu dầm (trường hợp 8), đỉnh của tải trọng đạt được là 212,5 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 16,4 %. Với dầm bị ăn mòn làm đứt mắt 3 bu lông và 1 lỗ kích thước 30x60mm ở đầu dầm (trường hợp 9), đỉnh của tải trọng đạt được là 208,9 kN, giảm so với lực kháng dẻo (254,2 kN) tới 17,8 %.

4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã tiến hành đánh giá khả năng chịu lực của dầm thép bị ăn mòn với giả thiết các trường hợp: bu lông bị ăn mòn, bản bụng bị ăn mòn bằng cách giả thiết vùng ăn mòn có dạng hình chữ nhật, kết hợp bu lông và bản bụng bị ăn mòn. Kết quả cho thấy rằng, với mẫu dầm được lựa chọn trong bài báo, trường hợp bu lông bị ăn mòn làm giảm khả năng chịu lực của dầm thép từ 6,8 - 10,5 %. Bản bụng bị ăn mòn bằng cách giảm diện tích chịu lực bị giảm khả năng chịu lực từ 10,6 - 14,2 %. Kết hợp kết hợp bu lông và bản bụng bị ăn mòn làm giảm khả năng chịu lực từ 14,4-17,8 %. Trong các nghiên cứu sắp tới, chúng tôi sẽ tiến hành đánh giá khả năng chịu lực của các dầm thép bị ăn mòn được tăng cường khả năng chịu lực.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2024-XD-007.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Gerasimidis, S., S. Brena, Development of Load Rating Procedures for Deteriorated Steel Beam Ends, massDOT Report 19-008, 2019.
- [2]. I.-T. Kim, M.-J. Lee, J.-H. Ahn, S. Kaiuma, Experimental evaluation of shear buckling behaviors and strength of locally corroded web, J. Constr. Steel Res. 83 (2013) 75–89.
- [3]. J. Mash, C. Rogers, K.A. Harries, Experimental study of the repair of corroded steel bridge girder end regions, J. Constr. Steel Res. 207 (2023) 107975.
- [4]. N. Khurram, E. Sasaki, H. Katsuchi, H. Yamada, Experimental and numerical evaluation of bearing capacity of steel plate girder affected by end panel corrosion, Int. J. Steel Struct. 14 (3) (2014) 659–676.
- [5]. S. Gerasimidis, S. Brena, Development of Load Rating Procedures for Deteriorated Steel Beam Ends, massDOT Report 19-008, 2019.
- [6]. J.-H. Ahn, I.-T. Kim, S. Kainuma, M.-J. Lee, Residual shear strength of steel plate girder due to web local corrosion, J. Constr. Steel Res. 89 (2013) 198–212.
- [7]. Amanda Bao, Michael Gulasey, Caleb Guillaume, Nadezhda Levitova, Alana Moraes, Christopher Satter, Structural Capacity Analysis of Corroded Steel Girder Bridges, Proceedings of the 3rd International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'18), Niagara Falls, Canada – June 10 – 12, 2018, Paper No. 118.
- [8]. C. Liu, T. Miyahita, M. Nagai, Analytical study on shear capacity of steel I-girders with local corrosion nearby supports, Proc. Eng. 14 (2011) 2276–2284.