

# Ứng xử dầm thép hình bị ăn mòn hai đầu chịu uốn bốn điểm

## Behavior of corroded steel beam under four point bending test

ĐÀO DUY KIÊN, NGUYỄN THANH HÙNG,  
TRƯƠNG THANH MÃN\*

### TÓM TẮT:

Nhằm đánh giá đúng ứng xử của kết cấu dầm thép bị ăn mòn theo thời gian, chương trình thực nghiệm được tiến hành trên mẫu dầm thép hình có kích thước dài 3m, được tổ hợp từ các tấm thép với nhau. Nghiên cứu tập trung phân tích đường cong ứng xử ( $P-\delta$ ), khả năng chịu lực của dầm thép bị ăn mòn như vậy có đáp ứng được yêu cầu sử dụng hay không, các vị trí xuất hiện phá hoại ra sao, khả năng mất ổn định của kết cấu, đồng thời đánh giá mức độ ăn mòn của kết cấu trong nghiên cứu. Từ đó đánh giá được mức độ an toàn của kết cấu dầm thép trong công trình khi bị ăn mòn theo thời gian.

### ABSTRACT:

In order to properly assess the behavior of steel beam structure corroded over time, the experimental program was conducted on a sample steel beam with a length of 3m, which was composed of steel plates together. The study focuses on analyzing the behavior curve ( $P-\delta$ ), whether the bearing capacity of such a corroded steel beam meets the requirements of use, how destructive appears, function of structural instability, and at the same time assessing the degree of corrosion of the structure in the study. From there, it is assessed that the safety of steel beam structures in the building is corroded over time.

Đào Duy Kiên, Nguyễn Thanh Hùng<sup>1</sup>,  
Trương Thanh Mã<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Trường đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh  
01 đường Võ Văn Ngân, quận Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh  
kiendd@hcmute.edu.vn, nthung@hcmute.edu.vn,  
truongthanhman2017@gmail.com

### 1. Giới thiệu

Ngày nay vật liệu thép có nhiều ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp, xây dựng. Đây là loại vật liệu được sử dụng rộng rãi trong các ngành, đặc biệt là trong các công trình xây dựng có quy mô lớn bởi những đặc tính hữu ích của thép, có thể nói kết cấu thép đang vươn lên và đóng vai trò quan trọng trong lĩnh vực xây dựng hiện đại.

Trong kết cấu xây dựng vượt nhịp lớn, kết cấu thép là giải pháp hiệu quả về tiết diện lẫn thời gian thi công. Những công trình cầu thép vượt sông, vượt biển, cầu vượt thép tại các nút giao thông, sân vận động ra đời ngày càng nhiều. Tuy nhiên vấn đề ăn mòn thép đã làm giảm đi khả năng chịu lực, gây mất tâm lý cho người sử dụng, thiệt hại về kinh tế và ô nhiễm môi trường. Có nhiều nguyên nhân gây ra hiện tượng ăn mòn dầm thép, mức độ ăn mòn thấp hoặc cao tùy theo môi trường như nông thôn, đô thị, biển.

Ăn mòn thép làm giảm khối lượng, giảm khả năng chịu lực và độ ổn định của kết cấu, làm giảm tuổi thọ của kết cấu. Ngoài ra, ăn mòn không chỉ gây tổn thất chi phí cho việc áp dụng các kỹ thuật chống ăn mòn như: sơn, kim loại hóa và sơn, mà còn gây ô nhiễm môi trường khi rỉ sét và vật liệu bảo vệ được rửa, hòa tan và hấp thụ bởi đất và nước. Do đó vấn đề xem xét hiệu suất kết cấu, chi phí và các vấn đề môi trường, đặc tính ăn mòn cần được làm rõ và xem xét trong thiết kế, xây dựng và bảo trì kết cấu thép.

Khảo sát nguyên nhân, tác động của ăn mòn đối với kết cấu dầm thép đã được sự quan tâm của nhiều tác giả trên thế giới.

Hyoung-Seok Kim, Jae-Min Mun, Duy Kien Dao, In-Tae Kim [1] khảo sát khả năng chịu kéo của tấm thép ứng với phần trăm diện tích bề mặt rỉ sét, kết quả xây dựng được đồ thị tương quan giữa lực kéo và độ giãn dài ứng với phần trăm diện tích ăn mòn.

Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAISHI, Somkiat RUNGTHONG BAISUREE, Tamito KIKUTA [2] đã dự toán tốc độ ăn mòn của cầu thép, kết quả đạt được là trình bày mức độ ăn mòn giữa các bộ phận của dầm thép.

M. Morcillo [3] đã nghiên cứu ăn mòn vật liệu thép, kết quả đưa ra công thức xác định tốc độ suy giảm vật liệu theo thời gian của kết cấu dầm thép dưới tác động của môi trường.

Amanda Bao [4] tác giả thí nghiệm 4 mô hình dầm thép bị mất tiết diện do ăn mòn bằng mô hình phần tử hữu hạn và thí nghiệm nén, kết quả cho ra đồ thị đánh giá khả năng chịu tải và độ ổn định của dầm thép ứng với phần trăm diện tích ăn mòn.

Jack R. Kayser and Andrzej S. Nowak [5] đưa ra một phân tích độ nhạy để xác định thông số quan trọng nhất trong phân tích mức độ an toàn của cây cầu thép bị ăn mòn.

Yasser Sharifi [6] đề cập đến 2 phương pháp đánh giá ăn mòn là ăn mòn phân rã và phương pháp đánh giá chính xác, kết quả cho ra 2 đường cong để đánh giá khả năng chịu tải ứng với mức độ ăn mòn.

T. Miyashita & M. Nagai [7] tác giả khảo sát đầu dầm thép bị ăn mòn và phục hồi bằng cách dán các tấm CFRP, kết quả khả năng chịu tải cắt ở đầu dầm có thể được phục hồi bằng cách sử dụng các tấm CFRP một cách thích hợp.

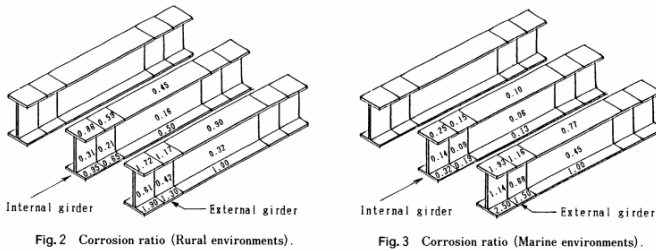
E. Yamaguchi & T. Akagi [8] tác giả nghiên cứu ảnh hưởng ăn mòn đầu dầm thép bằng mô hình FEM phi tuyến, và nhận thấy khả năng chịu tải của một đầu dầm có xu hướng giảm tuyến tính với sự gia tăng độ dày ăn mòn ở đầu dầm.

Hiện tại ở Việt Nam, nghiên cứu ăn mòn dầm thép vẫn chưa được sự quan tâm nghiên cứu chuyên sâu, do đó để đánh giá khả năng chịu lực và ứng xử của dầm thép dưới tác động của ăn mòn theo thời gian vẫn còn là một hướng nghiên cứu mới.

## 2. Thí nghiệm

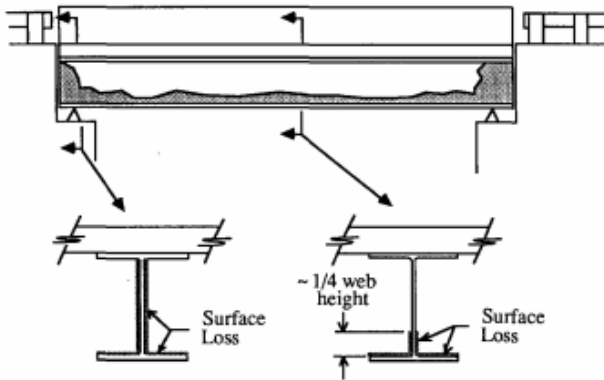
### 2.1 Thông số mẫu dầm thí nghiệm

Tỉ lệ phân bố ăn mòn phụ thuộc vào từng môi trường được Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAIISHI, Somkiat RUNGTHONG BAISUREE, Tamito KIKUTA [2] trình bày, được thể hiện ở hình 1.



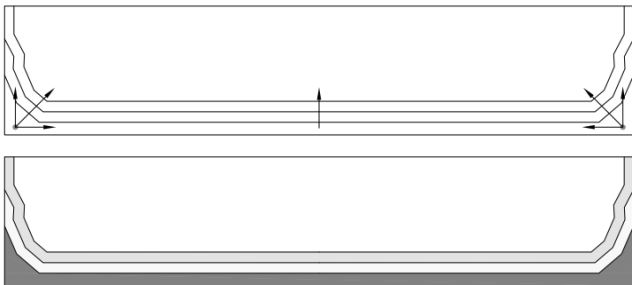
Hình 1: Mức độ ăn mòn các vị trí của dầm thép ở môi trường

Vị trí ăn mòn đặc trưng của dầm cầu thép được trình bày trong các bài báo nghiên cứu của: Jack R. Kayser and Andrzej S. Nowak [5], Kayser (1988), Park (1999) được thể hiện ở hình 2.



Hình 2: Vị trí ăn mòn đặc trưng của dầm cầu thép

Qua những khảo sát trên của các tác giả, mức độ tập trung và phân bố ăn mòn phụ thuộc vào từng môi trường thể hiện ở hình 3.



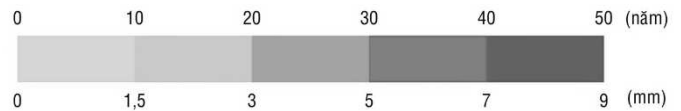
Hình 3: Mức độ lan truyền phân bố ăn mòn dầm cầu thép theo thời gian

Dựa trên các bài báo tạp chí quốc tế về ăn mòn [10], tốc độ ăn mòn được phân loại theo khu vực có môi trường ăn mòn khác nhau được thể hiện ở bảng 1.

**Bảng 1:** Bảng thống kê tốc độ ăn mòn của thép trong từng môi trường (nguồn: Living Steel)

Môi trường	Tốc độ ăn mòn ( $\mu\text{m}/\text{year}$ )
Nông thôn	4 - 60
Đô thị	30 - 70
Công nghiệp	40 - 160
Biển	60 - 170

Căn cứ vào kết quả ở bảng 1, độ sâu ăn mòn theo thời gian ở môi trường biển được thể hiện ở hình 4.



Hình 4: Độ sâu ăn mòn theo thời gian

Theo đó để xuất đặc trưng ăn mòn của dầm thép hình theo thời gian bằng sự suy giảm khối lượng và chiều dày của kết cấu thép theo thời gian. Theo đó mẫu dầm thép chọn có chiều dày bản bụng bằng 8mm, thông số đường kính ăn mòn được tra theo hình 4. Với dầm thép thí nghiệm 3m, chiều cao bản bụng 220mm, xét vị trí ăn mòn nhiều nhất có kích thước là 110x200 mm. Thì khối lượng và độ sâu ăn mòn theo thời gian tính ở bảng 2, bảng 3:

**Bảng 2:** Chiều sâu ăn mòn theo thời gian

Thời gian	10 năm
Chiều dày tấm thép nguyên dạng (mm)	8
Chiều dày ăn mòn (mm)	1,5
Phần trăm chiều dày ăn mòn (%)	18

**Bảng 3:** Khối lượng ăn mòn theo thời gian

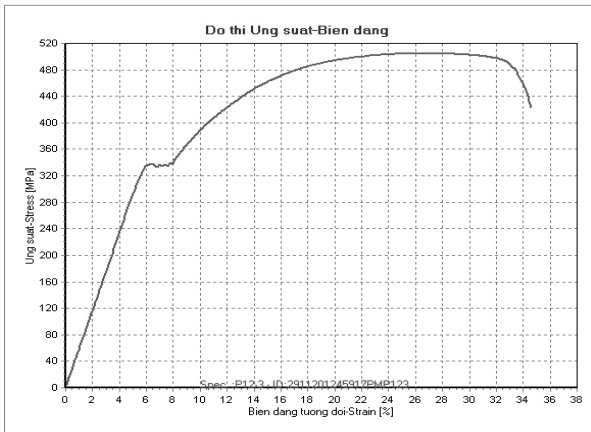
Thời gian	10 năm
Khối lượng tấm thép nguyên dạng 110x200x8 mm (kg)	1,382
Khối lượng ăn mòn (kg)	0,207
Phần trăm khối lượng ăn mòn (%)	15

### 2.2 Vật liệu

Thông số kỹ thuật của thép như giới hạn chảy fy (MPa), giới hạn bền fu (MPa), biến dạng dẻo  $\epsilon_y$  (%), mô đun đàn hồi E (MPa) đều được xác định khi đưa thép vào sử dụng. Trong bài khảo sát này, tiến hành thí nghiệm xác định thông số của thép tấm CT3 của dầm thép hình H. Mỗi thanh thép với chiều dài 50cm được kiểm tra bằng máy kéo thép để xác định các thông số đã nêu ở trên, quá trình thí nghiệm được thể hiện ở hình 5, biểu đồ quan hệ ứng suất - biến dạng hình 5, kết quả xác định các thông số thể hiện ở bảng 4.



Hình 1: Thí nghiệm kéo thép



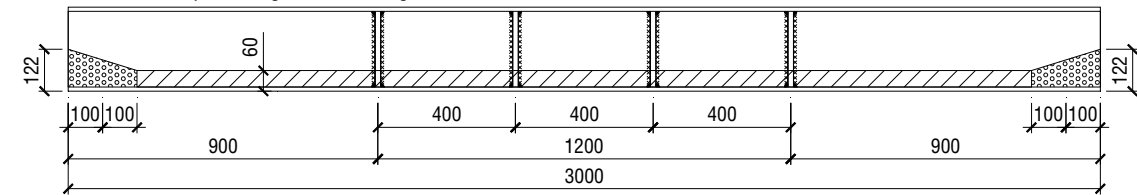
**Bảng 4:** Kết quả xác định thành phần hạt và mô đun đàn hồi của cát

Thông số kỹ thuật	Thép tấm CT3
Giới hạn chảy $f_y$ (MPa)	250
Giới hạn bền $f_u$ (MPa)	390
Biến dạng dẻo $\epsilon_y$ (%)	1.8
Mô đun đàn hồi E (MPa)	$200 \times 10^3$

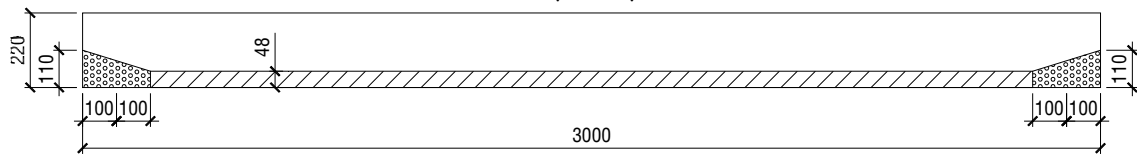
### 2.3 Mẫu thí nghiệm

Mẫu dùng cho thí nghiệm được thiết kế dựa vào tình hình thực tế áp dụng. Thông số về vật liệu, cấu tạo của mỗi mẫu dầm được thể hiện chi tiết ở những hình 6 và hình 7 dưới đây.

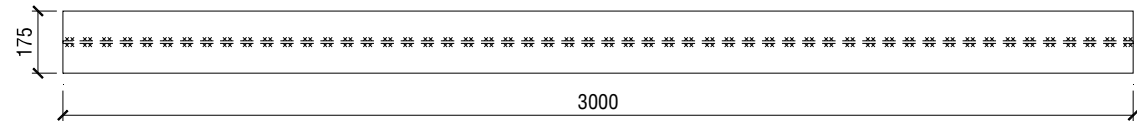
**Hình 5:** Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng



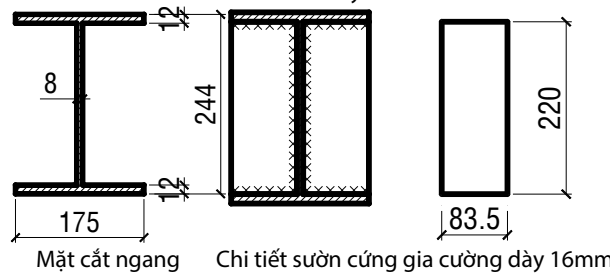
Chi tiết mặt cắt dọc dầm



Chi tiết bản bụng dày 8mm



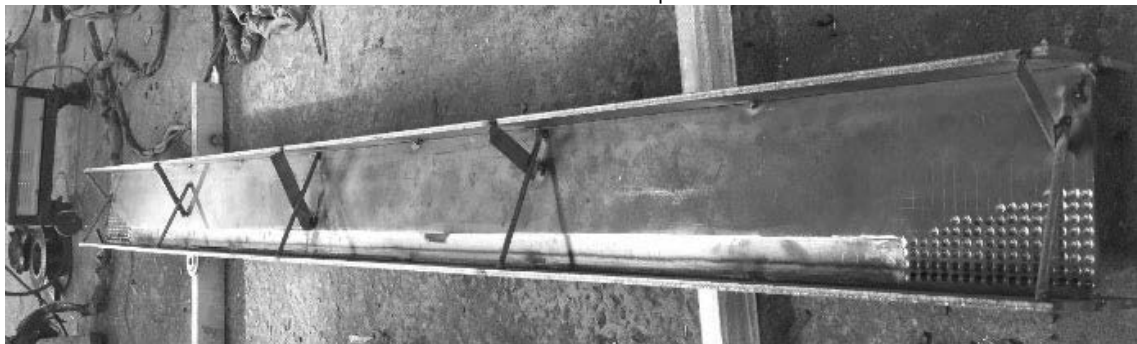
Chi tiết bản cánh dày 12mm



Mặt cắt ngang

Chi tiết sườn cứng gia cường dày 16mm

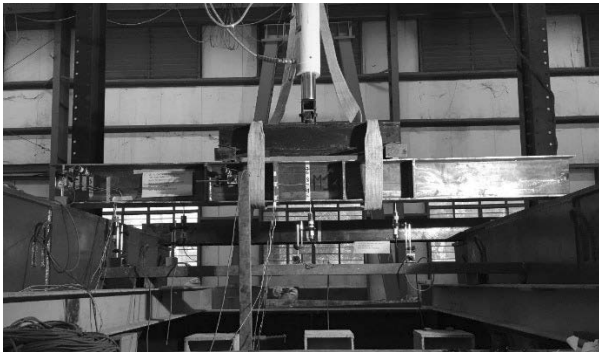
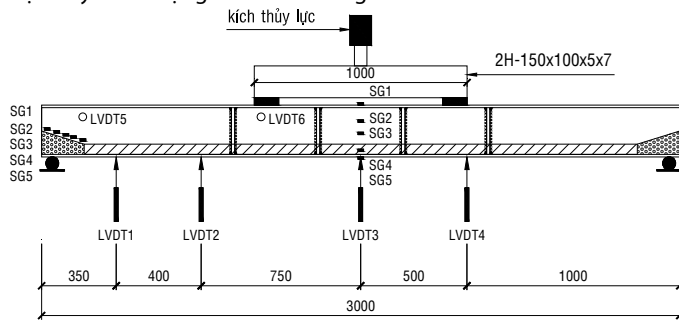
**Hình 6:** Chi tiết dầm thép hình



**Hình 7:** Gia công mẫu dầm

## 2.4 Lắp đặt thí nghiệm

Mẫu dầm được lắp đặt lên khung uốn bằng kết cấu thép. Việc gia tải sẽ được thực hiện bằng cách sử dụng kích thủy lực để tạo ra tải trọng, tải trọng cục bộ từ kích thủy lực sẽ được truyền lên dầm thép bởi hệ dầm truyền lực bằng thép. Kích thước tiết diện của các dầm thép sẽ được tính toán và lựa chọn sao cho đủ khả năng chịu lực và việc truyền tải trọng sẽ diễn ra đồng đều.



Hình 8 Bố trí mẫu dầm thí nghiệm và hệ dầm truyền lực lên khung uốn

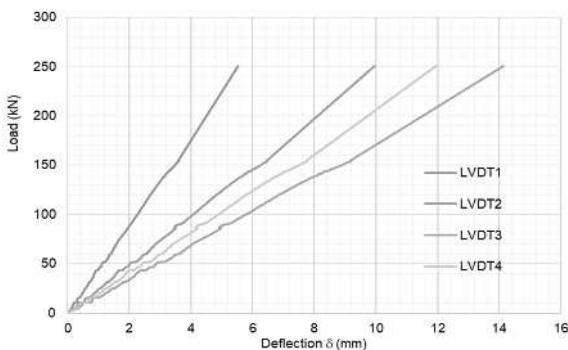
## 3. Kết quả thí nghiệm

### 3.1 Độ võng

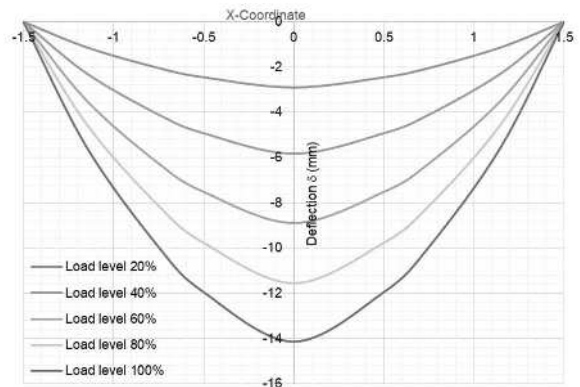
Độ võng của dầm được ghi lại bởi 4 LVDT là LVDT1, LVDT2, LVDT3, LVDT4 được lắp đặt tại các vị trí 0,35m 0,75m 1,5m 2,0m tính từ mép dầm. Qua đó những phân tích, nhận xét cho ứng xử của dầm theo độ võng được rút ra bởi biểu đồ quan hệ giữa lực - độ võng và biểu đồ thể hiện độ võng qua từng cấp tải.

Biểu đồ quan hệ lực - độ võng ở hình 8 cho thấy tính hợp lý trong sự làm việc của dầm thép, tức độ võng của dầm tại tiết diện xa gối tựa lớn hơn so với độ võng của tiết diện gần gối tựa.

Hình 9 cho thấy độ võng của dầm thay đổi theo từng cấp tải trọng, chuyển vị tăng đều theo từng cấp tải trọng. Điều này có thể giải thích dầm vẫn còn làm việc ở trạng thái đàn hồi nhưng do tiết diện bị ăn mòn nên cấu kiện bị phá hoại theo dạng mất ổn định.



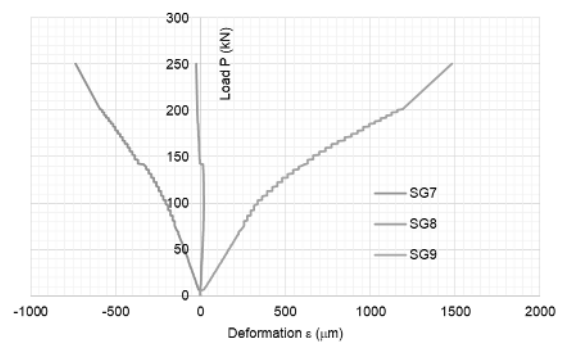
Hình 8: Quan hệ giữa lực-độ võng



Hình 9: Độ võng qua từng cấp tải

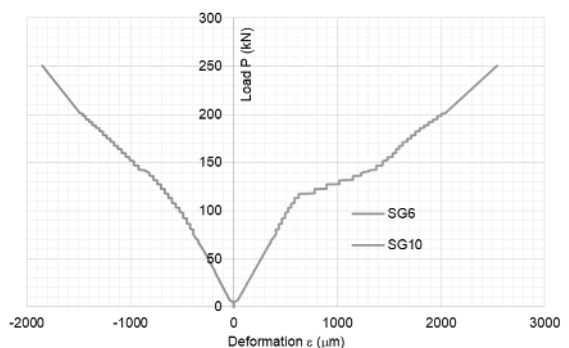
### 3.2 Biến dạng

Biến dạng ở bụng - giữa dầm được ghi lại bởi 3 Strain Gauges là SG7, SG8, SG9 được lắp đặt tại các vị trí giữa dầm, việc đánh giá thông qua biểu đồ quan hệ giữa lực - biến dạng hình 10. Hình cho thấy tính hợp lý trong sự làm việc của dầm thép, tức bụng dầm chia ra 2 miền kéo nén rõ rệt. Biến dạng vùng chịu kéo đo tại SG9 lớn hơn vị trí SG7, SG8.



Hình 10: Quan hệ lực-biến dạng vị trí bụng - giữa dầm

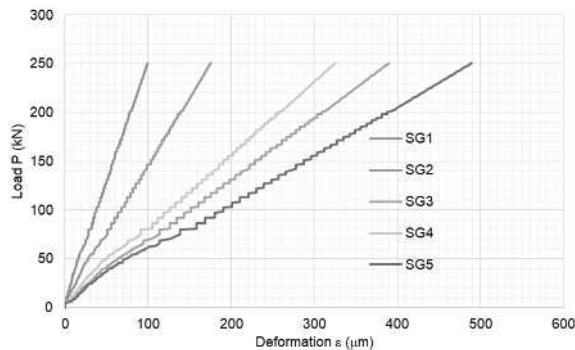
Biến dạng ở cánh - giữa dầm được ghi lại bởi 2 Strain Gauges là SG6, SG10 được lắp đặt tại các vị trí giữa dầm, việc đánh giá thông qua biểu đồ quan hệ giữa lực - biến dạng hình 11. Hình cho thấy tính hợp lý trong sự làm việc của dầm thép, tức cánh dầm trên chịu nén, cánh dưới chịu kéo. Biến dạng vùng chịu kéo đo tại SG10 lớn hơn vị trí SG6.



Hình 11: Quan hệ lực-biến dạng vị trí cánh - giữa dầm

Biến dạng ở đầu dầm được ghi lại bởi 5 Strain Gauges là SG1, SG2, SG3, SG4, SG5 được lắp đặt tại các vị trí đầu dầm, việc đánh giá thông qua biểu đồ quan hệ giữa lực - biến dạng hình 12. Hình

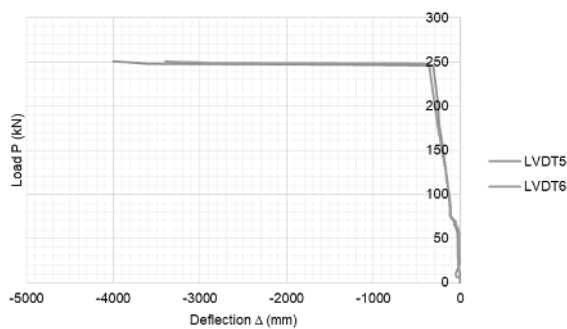
cho thấy thấy biến dạng ở SG5 là lớn nhất, do vị trí này tiếp giáp giữa 2 vùng ăn mòn đầu dầm và bụng dầm nên ứng suất sẽ tập trung lớn ở vị trí này, gây nên biến dạng lớn



Hình 12: Quan hệ lực-biến dạng vị trí bụng – đầu dầm

### 3.3 Phân tích ổn định

Ổn định của dầm được khảo sát bằng LVDT5 và LVDT6, việc đánh giá thông qua biểu đồ quan hệ giữa lực – chuyển vị ngang ở hình 13. Hình cho thấy tính hợp lý của ảnh hưởng ăn mòn đến tính ổn định làm việc của dầm thép, theo đó giá trị chuyển vị ngang của dầm tại thời điểm phá hoại rất lớn.



### 3.4 Dạng phá hoại

Kết thúc thí nghiệm phá hoại của mẫu dầm theo quan sát, phá hoại xảy ra do mất ổn định ở đầu dầm. Điều này phù hợp vì ở vị trí đầu dầm mức độ ăn mòn lớn nên tiết diện dễ bị phá hoại ở vị trí này.



Hình 14: Mẫu dầm sau khi thực hiện thí nghiệm

## 4. Kết luận

- Ảnh hưởng ăn mòn của dầm thép theo thời gian có tác động đến sự an toàn làm việc của kết cấu. Theo đó mẫu dầm đã bị phá hoại do mất ổn định vị trí đầu dầm. Tải dừng thí nghiệm là 250,73kN nhỏ hơn tải trọng giới hạn đàn hồi là  $P_{\text{đàn hồi}} = 260\text{kN}$ . Độ võng của dầm M1 khi bị phá hoại là 14,14mm lớn hơn độ võng tại điểm  $P_{\text{đàn hồi}}$  là 10,7mm. Cho thấy sự hợp lý khi tiết diện bị ăn mòn thì độ cứng sẽ bị giảm, dẫn đến độ võng khi bị phá hoại lớn hơn độ võng đàn hồi.

- Đánh giá tác động ăn mòn đến sự làm việc của kết cấu thép rất quan trọng, qua đó ta có thể ước tính được khả năng làm việc của cấu kiện khi bị ăn mòn thông qua đặc trưng và mức độ ăn mòn như đã trình bày ở trên

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hyoung-Seok Kim, Jae-Min Mun, Duy Kien Dao, In-Tae Kim. Evaluating tensile structural performance of painted steel plates from.
- [2] Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAIISHI, Somkiat RUNGTHONG BAISUREE, Tamito KIKUTA. CORROSION OF STEEL BRIDGES ITS LONG-TERM PREDICTION AND EFFECT ON THE SAFETY.
- [3] M. Morcillo. Evaluating tensile structural performance of painted steel plates from Weathering steels: From empirical development to scientific design. A review. Corros. Sci. 2014, 83, 6–31.
- [4] Amanda Bao. Structural Capacity Analysis of Corroded Steel Girder Bridges”.
- [5] Jack R. Kayser and Andrzej S. Nowak, "RELIABILITY OF CORRODED STEEL GIRDER BRIDGES.
- [6] Yasser Sharifi. RESIDUAL WEB BEARING CAPACITY OF CORRODED STEEL BEAMS.
- [7] T. Miyashita & M. Nagai. Repair method for corroded steel girder ends using CFRP sheet.
- [8] E. Yamaguchi & T. Akagi. Load-carrying capacity of corroded end of I-section steel girder.
- [9] Phạm Văn Hội. Kết cấu thép - cấu kiện cơ bản. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2012.
- [10] International Journal of Corrosion Guest Editors: Blanca M. Rosales, Rosa Vera.