

## PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH HỆ SỐ MA SÁT CỐI QUAY CỦA VAN CUNG

Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Thái Hoàng  
Trường Đại học Thủy lợi

**Tóm tắt:** Trong quá trình vận hành hệ số ma sát tại cối quay cửa van cung tăng lên do nhiều nguyên nhân khác nhau. Sự gia tăng hệ số ma sát này đã gây ra nhiều sự cố nghiêm trọng được ghi nhận trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Hiện nay ở nước ta phương pháp đo đạc xác định hệ số ma sát tại cối quay chưa được nghiên cứu và đề xuất. Từ kết quả nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng phần cối động của cụm cối quay bằng mô hình số nhóm nghiên cứu đề xuất phương pháp xác định hệ số ma sát tại hiện trường. Kết quả từ mô hình số được kiểm nghiệm trên mô hình vật lý của cụm cối quay cửa van cung công trình Hồ chứa nước Cửa Đạt từ đó xây dựng quy trình đo đạc tại hiện trường.

**Từ khóa:** cối quay cửa van cung, mô hình số, hệ số ma sát, trạng thái ứng suất – biến dạng, mô hình vật lý

**Summary:** The friction coefficient at the trunnion bearing increases rapidly during operation of the gate due to a variety of reasons. Many serious failures have occurred in the world as well as in Vietnam due to increased bearing friction. However, there is a lack of research in Vietnam on measurement method to examine this friction coefficient. Within this research, the authors propose an empirical method for determining the friction coefficient at the trunnion bearing by analyzing the stress and strain state simulated/obtained from the numerical model. The simulated results are then validated with the one obtained from the physical model of the tainter gate in Cua Dat reservoir. The appropriate measurement procedure on site is then established.

**Keywords:** trunnion bearing of tainter gate, numerical model, friction coefficient, the stress and strain state, physical model.

### 1. GIỚI THIỆU

Cửa van là một bộ phận kết cấu quan trọng liên quan đến độ an toàn và hiệu quả của công trình. Trong công trình ngăn sông lớn với mức độ yêu cầu cao, hệ thống cửa van trong quá trình khai thác, vận hành phải đáp ứng rất nhiều nhiệm vụ: giữ nước, thoát lũ, đảm bảo điều kiện giao thông thủy qua công trình...

Cửa van cung là loại cửa van có mặt cắt ngang dạng hình cung tròn, tâm cung thường trùng với tâm quay của cửa van, phần chắn nước là tổ hợp bản mặt lắp ghép, thông qua kết cấu giàn càn truyền lực lên trụ pin thông qua cối quay. Cửa

van cung có khả năng chịu lực lớn, lúc nâng hạ cửa van có lợi về lực vì quá trình cửa van đóng mở quay quanh cối bán lẻ cho nên một phần trọng lượng cửa van được truyền lên trụ pin thông qua cối quay, ngoài ra nhờ bản mặt hình cung nên có thể lợi dụng sức nước để giảm lực nâng cửa van.

Thực tế vận hành các cửa van trên thế giới cũng như ở nước ta cho thấy rất nhiều hư hại của đập có liên quan đến sự cố cửa van.

Ngày 02/7/1967 một trong bốn cửa van cung với chiều cao 12m, chiều rộng 9m, nặng 32 tấn tại đập Wachi, Nhật Bản bị cuốn trôi xuống phía

Ngày nhận bài: 25/7/2019  
Ngày thông qua phản biện: 15/8/2019

Ngày duyệt đăng: 20/8/2019

hạ lưu 136m, nguyên nhân sự cố được xác định là sự mất ổn định động do biến thiên của lực ma sát tại cối quay trong quá trình vận hành cửa van [3].

Ngày 17/7/1995 một sự cố nghiêm trọng xảy ra tại đập Folsom (California, Mỹ) khi cửa van cung số 3 không thể vận hành dẫn đến dòng nước với lưu lượng  $1135\text{m}^3/\text{s}$  tràn xuống hạ lưu trong thời gian hơn 7h. Sự cố trên tuy không gây ra thiệt hại nghiêm trọng nhưng 40% lượng nước dự trữ trong hồ chứa dung tích 18 dặm vuông đã bị mất. Nguyên nhân sau đó được tìm ra là do lực ma sát tại cối quay đã bị bỏ qua khi thiết kế cửa van vào giữa thập niên 50, theo thời gian do hiện tượng ăn mòn trên bề mặt trụ quay, do các tác động từ môi trường và do không được bảo trì thường xuyên nên lực ma sát này lớn dần lên đến mức gây ra phá hủy tại còng van. Sau sự cố này đã có một chương trình kiểm tra toàn diện các cửa van cung trên phạm vi toàn nước Mỹ [2].

Tháng 2 năm 2008, ghi nhận một sự cố liên quan đến ma sát cối quay cửa van cung tại đập Lenthalls ở Queensland. Do lực ma sát lớn, cửa van không thể vận hành dẫn đến nước tràn qua đỉnh với cao trình lớn hơn mực nước lũ thiết kế là 1,27m [1].

Tại Na Uy cũng ghi nhận ít nhất 5 sự cố cửa van cung có liên quan đến ma sát tại cối quay [1]. Các nghiên cứu sau đó chỉ ra nguyên nhân là do sự thiếu hụt cũng như giảm chất lượng theo thời gian của chất bôi trơn dẫn đến sự gia tăng lực ma sát tại cối quay. Mô men uốn tại còng van do mô men cản tại gối bản lề khi kéo cửa van là nguyên nhân gây ra phá hủy còng van.

Các cửa van cung trên các công trình lớn hiện nay ở nước ta đa phần được xây dựng tương đối lâu, vấn đề duy tu bảo dưỡng còn chưa được chú trọng nhiều. Liên quan trực tiếp đến ảnh hưởng của lực ma sát tại cối quay có thể kể đến sự cố bu lông hãm trục cối quay cửa van tràn xả lũ hồ chứa nước Cửa Đạt bị đứt, các đánh giá ban đầu

về nguyên nhân đứt bu lông hãm trục cối quay cửa van xả lũ hồ chứa nước Cửa Đạt đã xác định nguyên nhân là do mô men của lực ma sát tại cối quay lớn hơn mô men giữ trục (theo Báo cáo Bộ của hội đồng kỹ thuật đánh giá nguyên nhân đứt bu lông hãm trục cối quay cửa van tràn xả lũ công trình đầu mối hồ chứa nước Cửa Đạt ngày 13/10/2016).

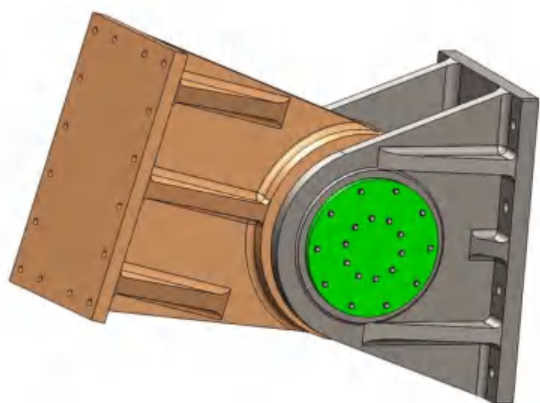
Trong nghiên cứu của mình [1], Henning Fosker và cộng sự đã chỉ ra các nguyên nhân gây ra sự gia tăng lực ma sát tại cối quay cửa van cung và đề xuất cách xác định lực ma sát này bằng cách đo biến dạng tại còng van trong quá trình vận hành cửa van. Phương pháp này tuy chỉ áp dụng cho một trường hợp cụ thể nhưng đã mở ra một hướng mới trong việc xác định ma sát tại cụm cối quay cửa van cung. Nghiên cứu trên cho thấy việc xác định lực ma sát tại cối quay bằng cách đo trạng thái ứng suất biến dạng có tính khả thi cao và có thể tiếp tục nghiên cứu để hoàn thiện phương pháp này nhằm áp dụng cho các trường hợp khác.

Hiện nay ở nước ta phương pháp đo hệ số ma sát của cối quay tại hiện trường vẫn chưa được nghiên cứu và đề xuất. Trong khuôn khổ báo cáo này nhóm tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng phần cối động của cụm cối quay bằng mô hình số từ đó đưa ra phương pháp xác định hệ số ma sát tại hiện trường. Kết quả nghiên cứu được áp dụng trên mô hình vật lý cụm cối quay cửa van cung công trình hồ chứa nước Cửa Đạt.

## 2. PHƯƠNG PHÁP VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

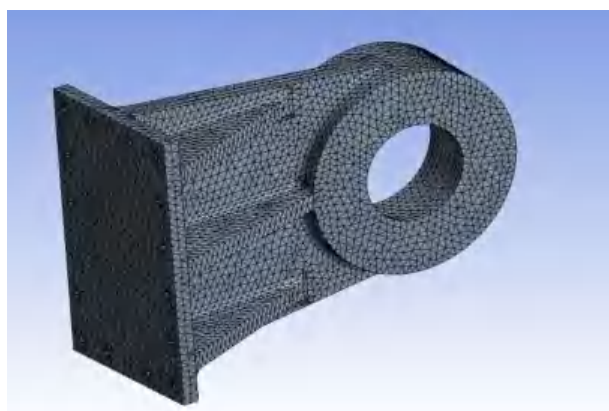
### 2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của ma sát đến trạng thái ứng suất biến dạng phần cối động trên mô hình số và đưa ra phương pháp xác định hệ số ma sát tại hiện trường

Mô hình cụm cối quay được thể hiện ở hình 2.1:



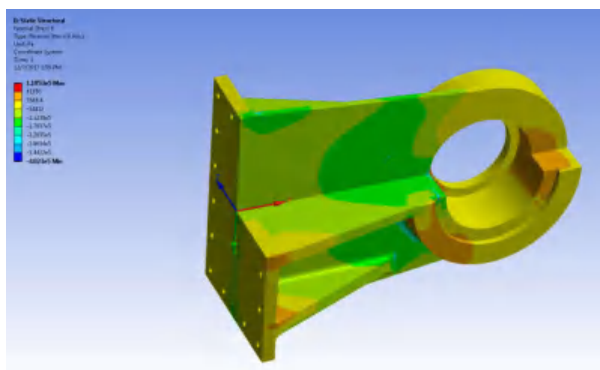
Hình 2.1: Mô hình cụm cối quay cửa van cung

Trong quá trình vận hành, phần cối động chịu tác dụng của lực dọc trục truyền từ cang van và mô men uốn do ma sát gây ra. Giá trị của thành phần mô men uốn phụ thuộc vào độ lớn của lực dọc trục và hệ số ma sát tại cối quay. Tính toán được thực hiện tại thời điểm cửa van bắt đầu chuyển động, lúc này lực ma sát đạt giá trị lớn nhất. Lời giải của bài toán ứng suất biến dạng không gian của cối quay động có được bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH). Lưới phần tử của phần cối động được thể hiện trên hình 2.2:

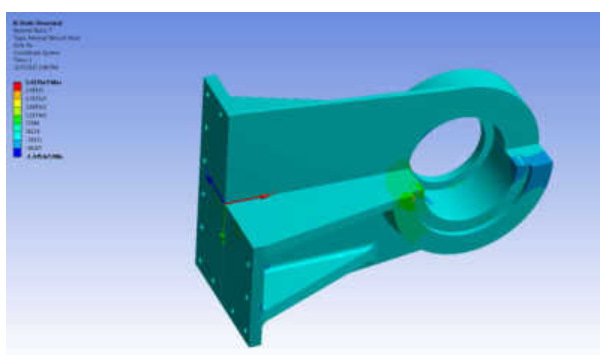


Hình 2.2: Lưới phần tử

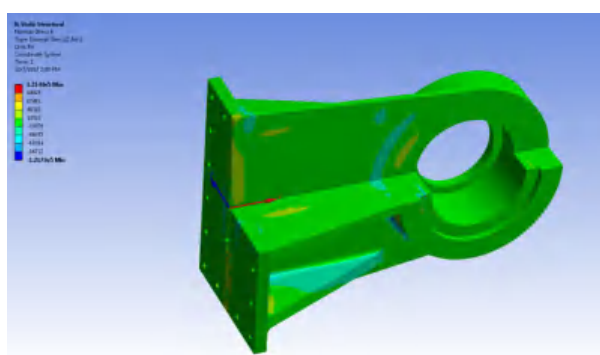
Ảnh hưởng của hệ số ma sát đến trạng thái ứng suất biến dạng của cối động được thể hiện qua 5 trường hợp tính toán với 5 giá trị hệ số ma sát  $k = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5$ . Kết quả phân bố ứng suất pháp theo 3 phương thu được đối với trường hợp hệ số ma sát bằng 0.1 được thể hiện ở hình 2.3, 2.4 và 2.5:



Hình 2.3: Phân bố ứng suất pháp theo phương dọc trục  $x$ ,  $\sigma_x$



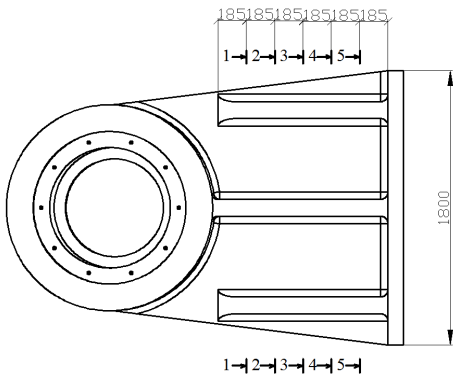
Hình 2.4: Phân bố ứng suất pháp theo phương  $y$ ,  $\sigma_y$



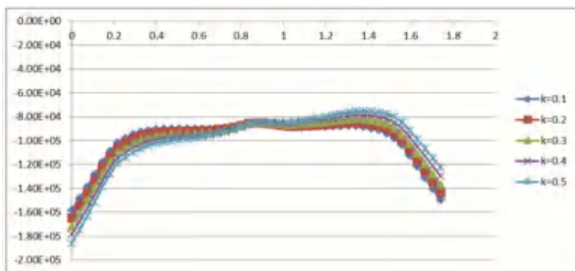
Hình 2.5: Phân bố ứng suất pháp theo phương  $z$ ,  $\sigma_z$

Phân bố các thành phần ứng suất pháp theo 3 phương cho thấy các thành phần ứng suất  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  thay đổi rất ít tập trung tại các vị trí có sự biến thiên lớn về kích thước, nhiều vị trí các giá trị này gần bằng không.

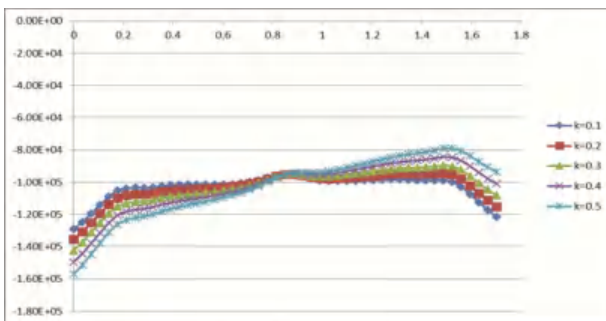
Tiến hành nghiên cứu phân bố thành phần ứng suất pháp theo phương  $x$ ,  $\sigma_x$  tại 5 mặt cắt, vị trí các mặt cắt được thể hiện trên hình 2.6:



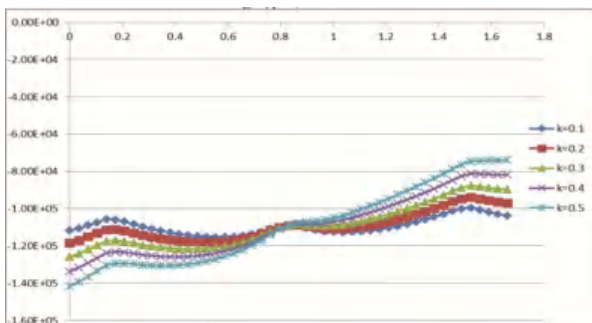
Hình 2.6: Vị trí các mặt cắt nghiên cứu



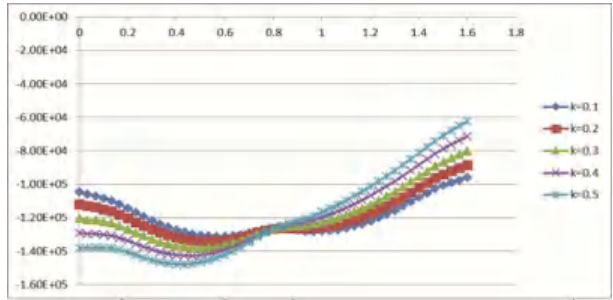
Hình 2.7: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương X,  $\sigma_x$  (Pa) tại mặt cắt 1-1 với 5 trường hợp hệ số ma sát



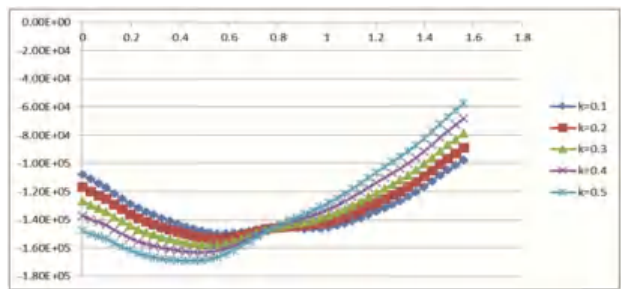
Hình 2.8: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương X,  $\sigma_x$  (Pa) tại mặt cắt 2-2 với 5 trường hợp hệ số ma sát



Hình 2.9: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương X,  $\sigma_x$  (Pa) tại mặt cắt 3-3 với 5 trường hợp hệ số ma sát



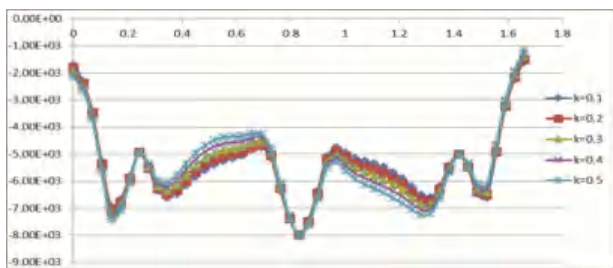
Hình 2.10: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương X,  $\sigma_x$  (Pa) tại mặt cắt 4-4 với 5 trường hợp hệ số ma sát



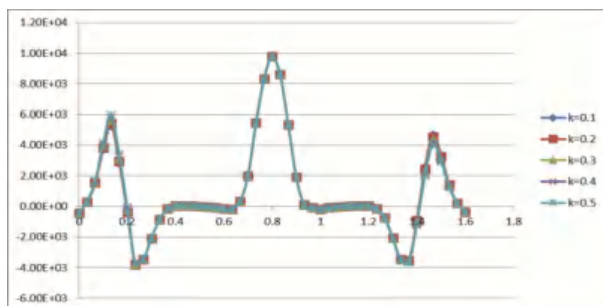
Hình 2.11: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương X,  $\sigma_x$  (Pa) tại mặt cắt 5-5 với 5 trường hợp hệ số ma sát

Kết quả tính toán cho thấy, các điểm ở khu vực giữa các gân trên mặt cắt 3-3 có thành phần ứng suất pháp  $\sigma_x$  phân bố gần theo quy luật bậc nhất. Như vậy tại mặt cắt 3-3 chỉ cần xác định ứng suất theo phương x tại 2 điểm bất kỳ chúng ta có thể xác định gần đúng phân bố ứng suất pháp  $\sigma_x$  tại mặt cắt này.

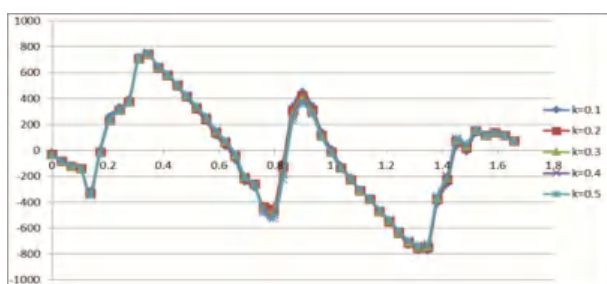
Phân bố các thành phần ứng suất khác tại các mặt cắt 3-3 được trình bày trên các hình 2.12 ÷ 2.14:



Hình 2.12: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương Y,  $\sigma_y$  (Pa) tại mặt cắt 3-3 với 5 trường hợp hệ số ma sát

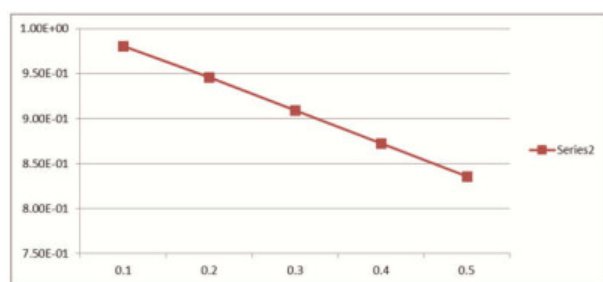


Hình 2.13: Phân bố của thành phần ứng suất pháp theo phương Z,  $\sigma_z$  (Pa) tại mặt cắt 3-3 với 5 trường hợp hệ số ma sát



Hình 2.14: Phân bố của thành phần ứng suất tiếp trên mặt phẳng yz,  $\tau_x$  (Pa) tại mặt cắt 3-3 với 5 trường hợp hệ số ma sát

Nhìn vào phân bố các thành phần ứng suất khác tại mặt cắt 3-3 chúng ta thấy tại hai điểm đối xứng với nhau qua trục y của mặt cắt 3-3 và cách trục đối xứng 0,2m có các thành phần ứng suất  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  và  $\tau_x$  gần bằng 0, trạng thái ứng suất tại hai điểm này có thể xem như trạng thái ứng suất đơn. Vì vậy tại hai điểm này để xác định thành phần ứng suất theo phương x,  $\sigma_x$  ta chỉ cần đo biến dạng dọc theo phương x,  $\sigma_x$ .



Hình 2.15: Biểu đồ thể hiện tỷ số ứng suất pháp  $\sigma_x$  tại hai điểm cần đo (ứng suất pháp  $\sigma_x$  tại điểm phía dưới trục đối xứng chia cho ứng suất pháp  $\sigma_x$  tại điểm phía trên) và hệ số ma sát k

Sau khi bằng thực nghiệm xác định được giá trị ứng suất pháp theo phương x,  $\sigma_x$  tại hai điểm trên mặt cắt 3-3 đối xứng với nhau qua trục y và cách trục đối xứng của mặt cắt 20cm, xác định tỷ lệ ứng suất tại hai điểm này và sử dụng biểu đồ thể hiện trên hình 2.15 chúng ta có thể xác định được hệ số ma sát k.

## 2.2 Thực nghiệm trên mô hình vật lý và xây dựng quy trình đo đạc tại hiện trường

Mô hình cụm cối quay kích thước đủ nhỏ được chế tạo để mô phỏng các quá trình đo đạc xác định hệ số ma sát. Trên cơ sở các hệ thống máy gia tải hiện có của Phòng thí nghiệm Sức bền - Kết cấu Trường Đại học Thủy lợi, nhóm tác giả đã lựa chọn mô hình thí nghiệm có kích thước bằng 1:20 so với kích thước thực của cụm cối quay công trình hồ chứa nước Cửa Đạt. Vật liệu chế tạo mô hình cần lựa chọn loại vật liệu có độ cứng nhỏ và độ bền cao, qua nghiên cứu tìm hiểu nhóm tác giả lựa chọn nhôm 6061.

Quá trình thí nghiệm sử dụng máy gia tải GT-20K có 20 kênh gia tải với các cấp áp lực khác nhau. Để đo biến dạng nhóm nghiên cứu sử dụng các thiết bị đo với thông số kỹ thuật như sau:

### a) Máy đo biến dạng động TMR-200

- Giá trị đo biến dạng nhỏ nhất: 1mst
- Khoảng đo: 0-20.000mst
- Tốc độ lấy mẫu tối thiểu: 1000Hz
- Số kênh đo: 32

### b) Đầu đo biến dạng động (tảm cảm biến điện trở Strain Gauge)

- Chung loại: dùng cho vật liệu thép, xuất xứ Nhật Bản.
- Chuẩn đo: 5-20mm
- Giá trị biến dạng lớn nhất đo được: 2000mst

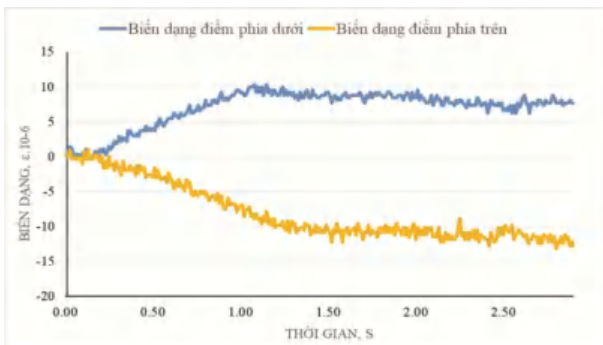
Sử dụng 2 cảm biến điện trở dán theo phương dọc trục cối động tại 2 vị trí được xác định từ mô hình số.



Hình 2.16: Vị trí cảm biến điện trở trên mô hình cốt động



Hình 2.17: Hình ảnh quá trình gia tải và đo đặc biến dạng



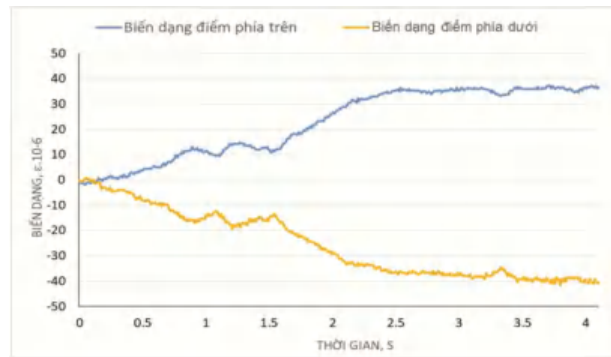
Hình 2.18: Kết quả đo biến dạng ứng với cấp tải  $P=385\text{kg}$



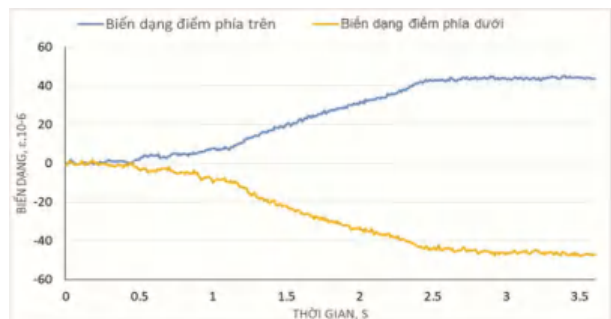
Hình 2.18: Kết quả đo biến dạng ứng với cấp tải  $P=770\text{kg}$



Hình 2.18: Kết quả đo biến dạng ứng với cấp tải  $P=1115\text{kg}$



Hình 2.18: Kết quả đo biến dạng ứng với cấp tải  $P=1540\text{kg}$



Hình 2.18: Kết quả đo biến dạng ứng với cấp tải  $P=1925\text{kg}$

Kết quả đo biến dạng theo phương dọc trục cối động tại thời điểm bắt đầu nâng cửa van ứng với

các năm cấp tải khác nhau được thể hiện ở bảng tổng hợp sau:

**Bảng 2.1: Kết quả đo biến dạng trên mô hình vật lý**

Cấp tải	Thay đổi biến dạng tại điểm số 1 ( $\Delta\epsilon_1$ )	Thay đổi biến dạng tại điểm số 2 ( $\Delta\epsilon_2$ )	Tỷ lệ $\Delta\epsilon_1 / \Delta\epsilon_2$
1 - P= 385kg	9,3	9,9	0,939
2 - P= 770kg	19,8	21,2	0,934
3 - P= 1155kg	28,6	30,6	0,935
4 - P= 1540kg	35,2	37,5	0,938
5 - P= 1925kg	42,3	45,3	0,934

Từ kết quả thí nghiệm ta nhận thấy rằng tỷ lệ giữa hai số gia biến dạng gần bằng nhau, không phụ thuộc vào tải trọng. Kết quả thí nghiệm trên mô hình vật lý chứng minh kết quả thu được từ mô hình số là chính xác. Sử dụng đồ thị Hình 2.15 ta có thể xác định được hệ số ma sát tại mô hình cối quay  $k=0,2$ .

### 3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày quá trình nghiên cứu ảnh hưởng của ma sát đến trạng thái ứng suất biến dạng phần cối động của cụm cối quay cửa van

cung từ đó đề xuất phương án xác định hệ số ma sát tại hiện trường.

Kết quả tính toán từ mô hình số được kiểm nghiệm trên mô hình vật lý cụm cối quay cửa van cung công trình hồ chứa nước Cửa Đạt nhằm xây dựng quy trình đo đạc tại hiện trường.

Cách tiếp cận từ mô hình số kết hợp với đo trạng thái ứng suất biến dạng để xác định lực ma sát tại cối quay có tính khả thi cao và có thể áp dụng cho nhiều loại cửa van cung khác nhau.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Henning Fosker, Halvard Bjorndal, Terje Ellefsrod. "Strain gauge measurements of friction on radial gate bearings".
- [2] Fiedler, W.R. Case Histories - Spillway Gates: Folsom Dam Radial Gates. Dam Failures and Lessons Learned Seminar. Denver: Federal Emergency Management Agency.
- [3] Todd, R. Spillway Tainter Gate Failure at Folsom Dam, California. Waterpower '99: pp. 1-10, 1999.