

Phụ lục 2 : Hệ thống kiểm tra và chẩn đoán công trình cảng bằng tàu không người lái

1. Giới thiệu

Hiện nay, các công trình cảng tại Nhật Bản đang bước vào giai đoạn lão hóa và dự kiến trong vòng 20 năm tới hơn 60% số công trình sẽ vượt quá 50 năm tuổi kể từ khi xây dựng. Vì vậy, việc duy tu và nâng cấp công trình một cách hiệu quả là hết sức cần thiết. Tuy nhiên, khó khăn lớn là việc kiểm tra phần phía dưới của các cầu cảng dạng cọc — vốn tồn tại với số lượng rất lớn ở Nhật Bản — bị hạn chế bởi điều kiện thời gian và không gian làm việc. Ngoài ra, trong phương pháp phân loại mức độ hư hỏng của cầu cảng dạng cọc, mức độ xuống cấp của các cấu kiện hiện nay được đánh giá thủ công theo tiêu chuẩn bốn cấp tại Nhật Bản. Cách đánh giá này có thể dẫn đến sai lệch do khác biệt chủ quan giữa các cá nhân.

Vi những lý do đó, chúng tôi đã phát triển một phương pháp kiểm tra sử dụng tàu không người lái được trang bị camera. Đồng thời, công nghệ xây dựng mô hình 3D và kỹ thuật trích xuất vết nứt từ ảnh chụp cũng đã được thiết lập. Ngoài ra, một phương pháp chẩn đoán tự động nhằm xác định mức độ xuống cấp của cấu kiện cũng đã được phát triển. Trong bài báo này¹⁾, các công nghệ trên đã được giới thiệu và áp dụng cho một cầu cảng dỡ hàng dạng cọc đã vận hành 45 năm, và tính hữu ích của hệ thống đã được xác nhận thông qua so sánh với phương pháp kiểm tra và chẩn đoán do con người thực hiện.

2. Tổng quan về kỹ thuật

2.1 Phương pháp kiểm tra

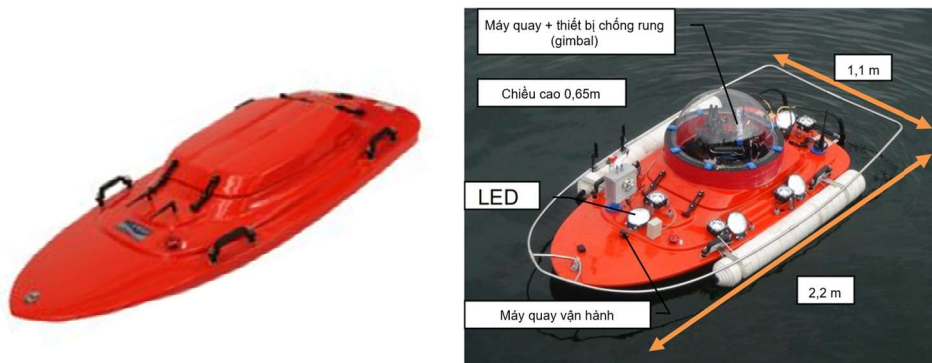
Phương pháp kiểm tra sử dụng tàu không người lái như thể hiện ở Hình 1 để khảo sát phần phía dưới của cầu cảng dạng cọc, như minh họa ở Hình 2. Kích thước của tàu không người lái là dài 2,2 m, rộng 1,1 m và cao 0,65 m. Nếu không gian bên dưới cầu cảng khoảng 80 cm thì có thể sử dụng tàu không người lái để tiến hành khảo sát.

Phương pháp ghi hình phần phía dưới cầu cảng là cho tàu không người lái di chuyển trên mặt nước và quay video bằng camera độ phân giải cao. Tuy nhiên, khi gắn camera trực tiếp lên tàu, rung lắc do sóng gây mờ hình ảnh, và chuyển động lắc ngang/lắc dọc của tàu khiến không thể ghi hình đúng khu vực dự kiến. Để khắc phục vấn đề này, một bộ ổn định chống rung hiệu suất cao (gimbal) đã được lắp cho camera.

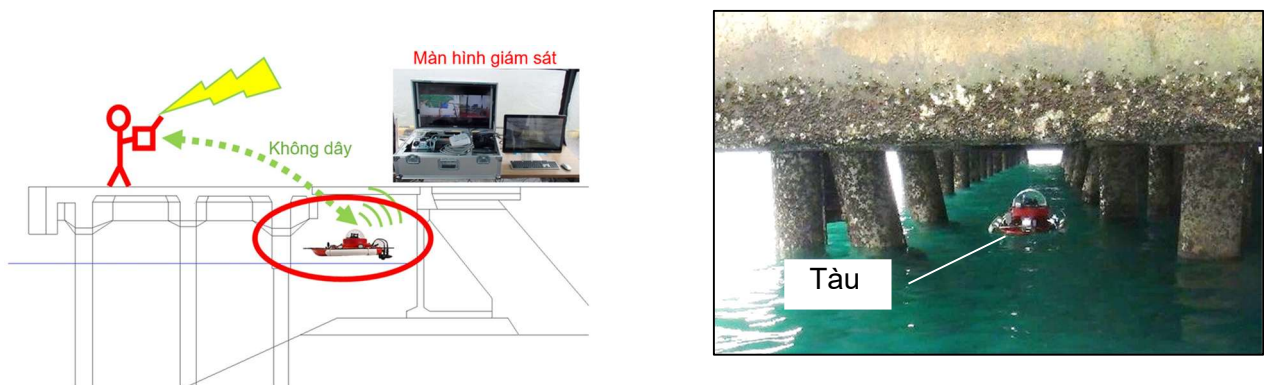
Ngoài ra, do ánh sáng khó chiếu vào khu vực dưới cầu cảng, các mô-đun đèn LED đã được lắp trên tàu để đảm bảo đủ độ chiếu sáng khi quay. Nhờ đó, điều kiện ánh sáng phù hợp cho việc ghi hình đã được đạt được.

Đối với việc điều khiển tàu không người lái, hệ thống sử dụng thiết bị truyền không dây băng tần 2,4 GHz cho khoảng cách liên lạc ngắn. Đồng thời, một thiết bị vô tuyến băng tần 350 MHz được sử dụng làm hệ thống liên lạc khẩn cấp. Thiết bị này cho phép liên lạc ở khoảng cách xa hơn, dù độ trễ truyền tín hiệu lớn hơn. Hình 2 minh họa người vận hành trên bờ nhận hình ảnh camera

truyền từ tàu không người lái hoạt động dưới cầu cảng bằng tín hiệu truyền hình ảnh băng tần 5,6 GHz.



Hình 1 Tàu không người lái (bên trái; trước khi lắp đặt thiết bị, bên phải; sau khi lắp đặt thiết bị)



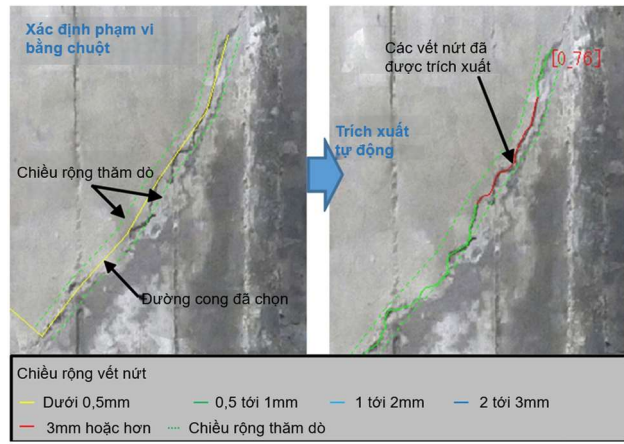
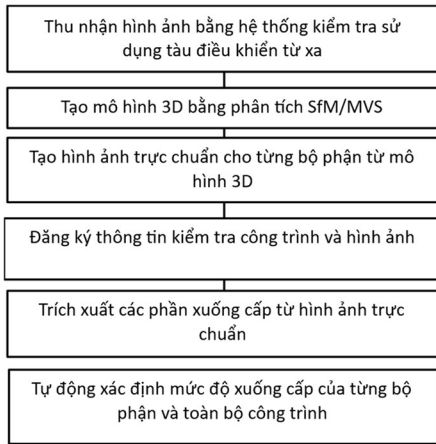
Hình 2 Khảo sát hiện trạng của cầu cảng dạng cọc

2.2 Phương pháp chẩn đoán

Quá trình xử lý hậu kỳ ảnh chụp được thực hiện theo quy trình thể hiện ở Hình 3. Trước hết, vị trí chụp ảnh được ước tính và một mô hình 3D thực tế của công trình được tạo bằng phương pháp phân tích Cấu trúc từ Chuyển động / Đa góc nhìn lập thể - Structure from Motion / Multi View Stereo (SfM/MVS), do không thể thu nhận tín hiệu định vị GNSS dưới cầu cảng dạng cọc. Phân tích SfM/MVS là phương pháp khôi phục đồng thời mô hình 3D và vị trí camera từ nhiều ảnh chụp với các góc nhìn khác nhau. Nhờ mô hình 3D được xây dựng bằng phương pháp này, có thể xác định vị trí tương đối của các khu vực hư hỏng như vết nứt và nước rỉ rỉ. Điều này giúp việc đánh giá tình trạng xuống cấp của công trình trở nên trực quan và dễ hiểu hơn.

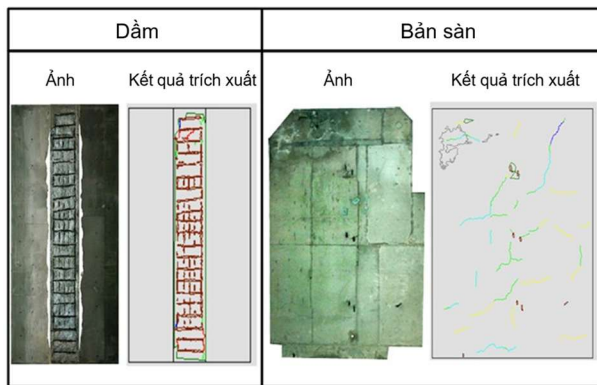
Tiếp theo, ảnh trực giao (orthophoto) của từng cấu kiện được trích xuất từ mô hình 3D, và các khu vực hư hỏng như vết nứt và rỉ rỉ được nhận dạng từ ảnh này như thể hiện ở Hình 4. Ví dụ về việc trích xuất vùng hư hỏng được trình bày ở Hình 5. Dựa trên kết quả đó, mức độ xuống cấp của từng cấu kiện được phân loại thành bốn cấp theo tiêu chí đánh giá trong Bảng 1. Hơn nữa, từ các kết quả phân tích, có thể thực hiện chẩn đoán mức độ xuống cấp cho toàn bộ cầu

cảng dạng cọc. Ngoài ra, bằng cách xây dựng cơ sở dữ liệu từ ảnh thu được và các thông tin liên quan, hoặc theo dõi sự thay đổi xuống cấp theo thời gian, có thể dự đoán xu hướng suy giảm và thời điểm cần bảo trì trong tương lai.



Hình 3 Quy trình xử lý dữ liệu chẩn đoán

Hình 4 Phương pháp trích xuất vết nứt



Chiều rộng vết nứt	Loại hư hỏng	Loại hư hỏng
— Dưới 0,5mm	— Lộ cốt thép	— Mạch ngừng lạnh
— 0,5 tới 1mm	— Lộ cốt liệu	— Thanh thép
— 1 tới 2mm	— Kết tinh muối	— Rò rỉ nước
— 2 tới 3mm	— Bê tông bị bong tróc	— Hư hỏng khác
— 3mm hoặc hơn	— Vùng rỉ thép bị rửa trôi	

Hình 5 Kết quả trích xuất phần bị hư hỏng

Bảng 1. Tiêu chí mức độ xuống cấp

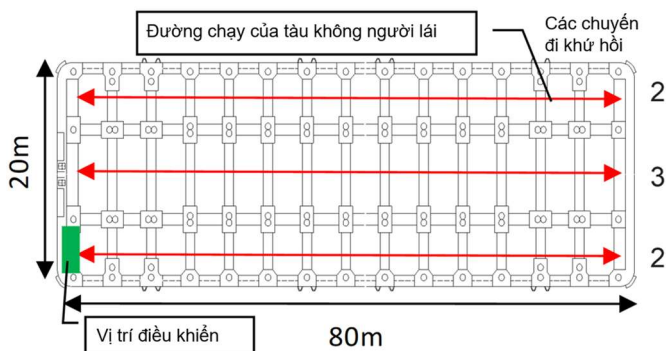
(a) Bản sàn		
a	Mật độ vết nứt	từ 2 m/m ² trở lên
	Diện tích bê tông bong tróc	từ 1% trở lên
b	Diện tích rỉ thép bị rửa trôi và diện tích lộ thép	từ 50% trở lên
	Mật độ vết nứt	từ 1 m/m ² đến 2 m/m ²
c	Diện tích rỉ thép bị rửa trôi và diện tích lộ thép	từ 20% đến 50%
	Diện tích muối trắng	nhỏ hơn 1 m/m ²
d	Hư hỏng khác	nhỏ hơn 20%
	Hư hỏng khác	có tồn tại

(b) Dầm		
a	Vết nứt theo phương trục cốt thép có bề rộng từ 3 mm trở lên	có tồn tại
	Diện tích bê tông bong tróc	từ 1% trở lên
b	Diện tích rỉ thép bị rửa trôi và diện tích lộ thép	từ 50% trở lên
	Vết nứt theo phương trục cốt thép có bề rộng nhỏ hơn 3 mm	có tồn tại
c	Diện tích rỉ thép bị rửa trôi và diện tích lộ thép	từ 20% đến 50%
	Vết nứt không theo phương trục cốt thép	có tồn tại
d	Diện tích rỉ thép bị rửa trôi và diện tích lộ thép	nhỏ hơn 20%
	Hư hỏng khác	có tồn tại
	Hư hỏng khác	không tồn tại

2.3 Thử nghiệm hiện trường

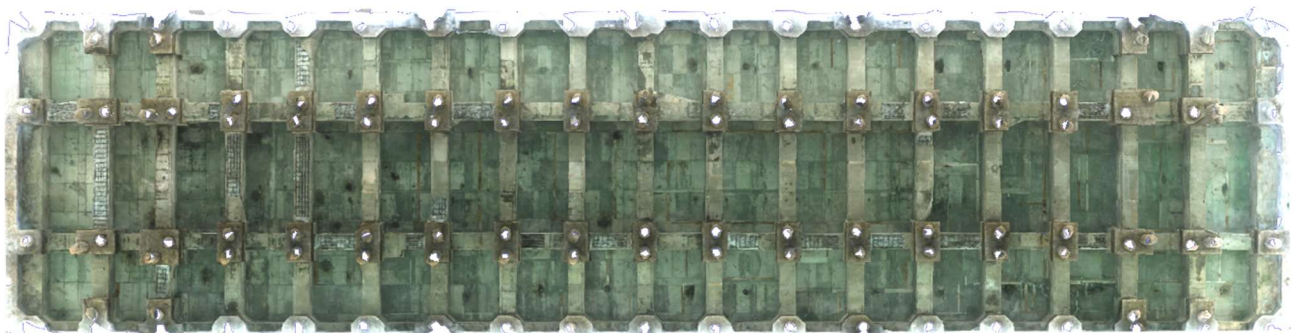
Thử nghiệm hiện trường được thực hiện tại một cầu cảng dạng cọc dùng cho dỡ hàng đã xây dựng cách đây 45 năm, có chiều dài 80 m và chiều rộng 20 m, như thể hiện ở Hình 6. Kết quả được so sánh và kiểm chứng với phương pháp kiểm tra thủ công do con người thực hiện. Như thể hiện ở Hình 7, tàu không người lái đã được vận hành để ghi hình toàn bộ phần phía dưới cầu cảng. Kết quả cho thấy có thể hoàn thành việc chụp ảnh khoảng 1.600 m² trong vòng 2 giờ, nhanh hơn khoảng 2,5 lần so với phương pháp kiểm tra tiêu chuẩn do con người thực hiện tại Nhật Bản.

Ngoài ra, mô hình 3D của toàn bộ khu vực phía dưới cầu cảng đã được xây dựng từ 2.064 ảnh (độ phân giải 8.290.000 pixel). Mô hình 3D tạo ra được thể hiện ở Hình 8. Kết quả từ phương pháp tự động xác định mức độ xuống cấp cũng được so sánh với kết quả đánh giá của con người. Cuối cùng, mức độ trùng khớp cao được ghi nhận ở Hình 9: 100% (54/54 cấu kiện) đối với bản và 90% (116/129 cấu kiện) đối với dầm.

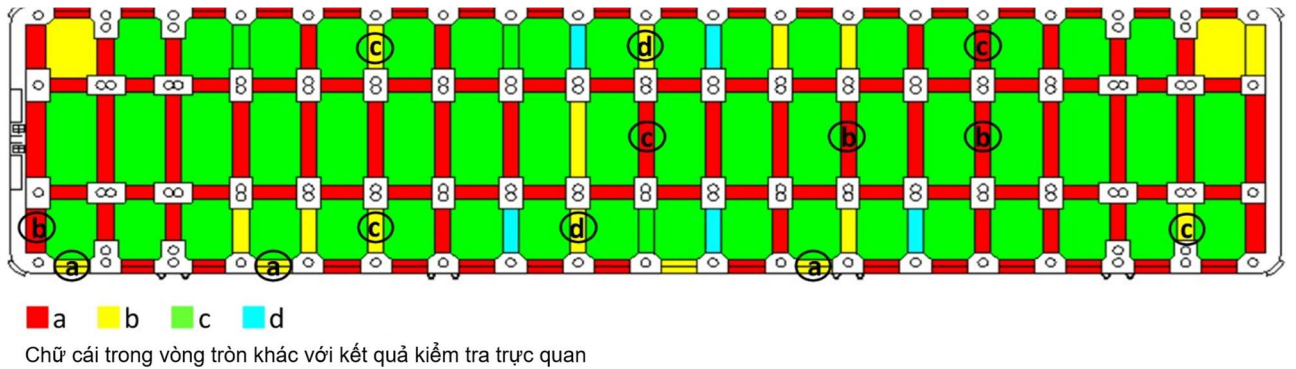


Hình 6 Kiểm tra cầu cảng dạng cọc

Hình 7 Mặt bằng cầu cảng dạng cọc



Hình 8 Mô hình 3D của cầu cảng dạng cọc (Nhìn từ dưới lên)



Hình 9 Xác định mức độ xuống cấp (Nhìn từ dưới lên)

3. Kết luận

Chúng tôi đã phát triển phương pháp kiểm tra bằng tàu không người lái và phương pháp chẩn đoán, đồng thời áp dụng các công nghệ này cho cầu cảng dạng cọc. Kết quả thử nghiệm hiện trường cho thấy kết quả chẩn đoán của hệ thống được phát triển phù hợp tốt với hệ thống kiểm tra tiêu chuẩn tại Nhật Bản. Ngoài ra, hiệu suất của hệ thống mới cao hơn khoảng 2,5 lần. Qua đó, tính hữu ích của hệ thống đã được xác nhận.

Tham khảo

- 1) Kenichi Mizuno: System of Inspection and Diagnosis for Port Structures Using Unmanned Boat, PIANC Yearbook, PIANC, pp.3-20, 2018. (*Hệ thống kiểm tra và chẩn đoán cho kết cấu cảng sử dụng tàu không người lái, PIANC Yearbook, PIANC, tr.3-20, 2018*).