

HƯỚNG DẪN BẢO TRÌ CÁC CÔNG TRÌNH CẢNG VÀ BẾN CẢNG
(ITST hiệu đính 08.6.2025)

Mục lục

1. Giới thiệu

2. Công nghệ kiểm tra kết cấu cảng và bến cảng

2.1 Tổng quan

2.2 Khảo sát hình dạng bên ngoài

2.2.1 Khảo sát trực quan

2.2.1.1 Khảo sát trực quan trên mực nước biển

2.2.1.2 Khảo sát trực quan dưới mực nước biển

2.2.2 Khảo sát sử dụng thiết bị

2.3 Khảo sát hình dạng và biến dạng

2.3.1 Khảo sát dưới mặt nước biển

2.3.2 Khảo sát trên mặt nước biển

2.3.2.1 Khảo sát độ sâu nước

2.3.2.2 Khảo sát địa hình đáy biển

2.4 Khảo sát hồ rỗng

2.4.1 Tổng quan

2.4.2 Các loại khảo sát hồ rỗng

2.4.3 Khảo sát hồ rỗng bằng phương pháp sóng điện từ

2.5 Khảo sát luồng lạch và bề cảng

2.5.1 Tổng quan

2.5.2 Khảo sát độ sâu nước

2.6 Khảo sát kết cấu bê tông

2.6.1 Tổng quan

2.6.2 Phương pháp kiểm tra/thử nghiệm

2.6.3 Khảo sát sự thoái hóa và hư hỏng của bê tông

2.6.3.1 Cường độ bê tông

2.6.3.2 Nứt, phòng rộp và hồ rỗng bên trong

2.6.4 Ăn mòn cọc thép

2.6.5 Phân bố ion clorua

2.6.5.1 Đo hàm lượng ion clorua

2.6.5.2 Dự đoán sự xâm nhập ion clorua trong bê tông

2.6.6 Hiện tượng cacbonat hóa

2.6.7 Phản ứng kiềm – silic (ASR)

2.7 Khảo sát kết cấu thép

2.7.1 Tổng quan

2.7.2 Khảo sát hệ thống bảo vệ catốt

2.7.3 Điều tra Hệ thống Bảo vệ Bề mặt

2.7.4 Đo độ dày tấm thép

3. Phòng chống ăn mòn, sửa chữa và gia cố

4. Hồ sơ bảo trì

PHỤ LỤC · Giới thiệu các ví dụ sửa chữa cụ thể (2-3 ví dụ)

WORKING GROUP MEMBER

<u>Vinamarine</u> ● : Team Leader ○ : Member			
●	Mr. Vu Huy Thanh	Deputy Director	Maritime Infrastructure
○	Mr. Nguyen Duy <u>Hoan</u>	Officer Staff	Maritime Infrastructure
○	Mr. Le Tung Anh	Officer Staff	Maritime Infrastructure
○	Mr. Nguyen Ha Hai	Deputy Director	IMO-international Cooperation
○	Mr. Nguyen The Hung	Officer Staff	Maritime Infrastructure
JICA Expert Team (OCDI) ● : Main Person in Charge, ▲ : Sub Person in Charge, ○ : Member			
○	Mr. Ryo YAMAMOTO		
▲	Dr. Tsutomu FUKUTE		
●	Dr. <u>Hideharu</u> NAITO		
○	Mr. Masahiro ONO		

1. Giới thiệu chung

Để đạt được sự phát triển kinh tế ổn định, việc quản lý hợp lý các công trình cảng – vốn là cốt lõi của hệ thống logistics – nhằm duy trì tình trạng hoạt động tốt và sử dụng hiệu quả trong thời gian lâu nhất có thể là vô cùng quan trọng. So với các công trình thông thường trên đất liền, Các công trình cảng biển thường có xu hướng bị suy giảm tính năng do phải đối mặt với điều kiện tự nhiên khắc nghiệt và do sự suy giảm tính năng vật liệu, hư hỏng các bộ phận, lún nền móng, xói lở và bồi lắng xung quanh công trình trong quá trình khai thác. Do đó, cần phải thiết kế phương án bảo trì cho từng loại kết cấu ngay trong bước thiết kế và thi công xây dựng cũng như tiến hành bảo trì ngay từ khi bắt đầu sử dụng để liên tục đáp ứng các yêu cầu về tính năng trong thời gian khai thác sử dụng.

Tại Việt Nam, Tiêu chuẩn TCVN 13330 CÔNG TRÌNH CẢNG BIỂN - YÊU CẦU BẢO TRÌ được ban hành năm 2021 nhằm mục tiêu thực hiện bảo trì các công trình cảng một cách phù hợp và có chiến lược. Tiêu chuẩn này trình bày các nguyên tắc bảo trì cho các công trình neo đậu, công trình ngoài bến và công trình thủy, đồng thời đưa ra các ý tưởng cơ bản cho nhiều kỹ thuật kiểm tra và chẩn đoán công trình cũng như các kỹ thuật sửa chữa/khắc phục, dựa trên nguyên tắc quản lý vòng đời. Tuy nhiên, khi thực hiện bảo trì thực tế, các kỹ sư cần nhiều thông tin khác nhau về các phương pháp khảo sát cụ thể và kỹ thuật khảo sát để kiểm tra và chẩn đoán công trình thực tế. Đặc biệt là khi phải xử lý các bất thường đã được xác định, việc có các phương pháp cụ thể và thông tin về sửa chữa, gia cố là vô cùng thiết yếu.

Tài liệu hướng dẫn này được biên soạn nhằm cung cấp thông tin cụ thể và tiêu chuẩn như vậy. Nói cách khác, tài liệu này, cùng với TCVN 13330 hiện hành, đóng vai trò như "hai bánh xe của một chiếc xe" trong việc thúc đẩy bảo trì các công trình cảng một cách hiệu quả.

Chương 2 trình bày các phương pháp khảo sát và kiểm tra đối với các công trình cảng. Đối tượng chính là các công trình thủy như luồng lạch và khu neo đậu, kết cấu bê tông, và lỗ rỗng dưới đất. Bên cạnh đó, tài liệu cũng đề cập các kết cấu thép, được kỳ vọng đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng tại Việt Nam.

Chương 3 trình bày các phương pháp ứng phó khi kết quả khảo sát và kiểm tra cho thấy cần có biện pháp khắc phục, áp dụng cho từng loại công trình thủy, công trình bê tông và công trình thép.

Chương 4 hướng dẫn cách ghi chép, lưu trữ và sử dụng dữ liệu cần thiết cho quản lý vòng đời các công trình cảng biển dựa trên kết quả bảo trì.

Ngoài tài liệu hướng dẫn này, các tài liệu sau đây có thể được sử dụng làm tham khảo liên quan đến bảo trì các công trình cảng và bến cảng:

- Sổ tay kỹ thuật bảo trì các công trình cảng biển và bến cảng*, CDIT, 2018 (đã sửa đổi)
- Tiêu chuẩn kỹ thuật và bình luận cho các công trình cảng và bến cảng tại Nhật Bản (sửa đổi năm 2025), OCDI (<https://ocdi.or.jp/public/>).
- **Hướng dẫn Bảo trì và Sửa chữa các Công trình Cảng và Bến cảng**, CDIT, 2023 (<https://www.cdit.or.jp/english/news/20230525.html>)
(CDIT: Viện Công nghệ Phát triển Ven biển);
OCDI: Viện Phát triển Khu vực Ven biển nước ngoài Nhật Bản)

2. Công nghệ kiểm tra các công trình cảng và bến cảng

2.1 Tổng quan

Kiểm tra công trình là hoạt động quan trọng trong bảo trì và quản lý các công trình cảng và bến cảng. Việc áp dụng các kỹ thuật kiểm tra phù hợp là cần thiết để đánh giá chính xác trạng thái hiện tại của công trình. Hiện nay, bên cạnh các kỹ thuật truyền thống, các công nghệ mới dựa trên công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) cũng đang được triển khai.

Các phương pháp kiểm tra được chia thành khảo sát trực quan và khảo sát bằng thiết bị. Thêm nữa, vị trí khảo sát được chia thành trên mực nước biển (bao gồm cả đất liền) và dưới mực nước biển (dưới nước) (Bảng 2.1.1).

Bảng 2.1.1 Đặc điểm khảo sát trực quan và bằng thiết bị

Phương pháp		Đặc điểm
Khảo sát trực quan	Trên mực nước biển	• Dễ thực hiện và chi phí thấp • Phụ thuộc vào tính chủ quan của người khảo sát • Bị hạn chế về vị trí và thời gian khảo sát
	Dưới mực nước biển (Khảo sát dưới nước)	• Phụ thuộc vào tính chủ quan của thợ lặn • Kết quả phụ thuộc vào điều kiện môi trường
Khảo sát bằng thiết bị	Trên mực nước biển	• Thu thập dữ liệu khách quan và chính xác • Chi phí thực hiện cao.
	Dưới mực nước biển	• Bị hạn chế về phương pháp, vị trí, thời gian, v.v..

2.2 Khảo sát hiện trạng bên ngoài

2.2.1 Khảo sát trực quan

Khảo sát trực quan là phương pháp cơ bản để nắm bắt tình trạng tổng thể của một công trình hoặc kết cấu. Qua đó, có thể nhận diện những bất thường xuất hiện trên bề mặt kết cấu cũng như biến dạng của toàn bộ công trình.

Với các công trình có dấu hiệu xuống cấp, có thể thực hiện khảo sát trực quan liên tục để theo dõi tiến trình xuống cấp. Nếu phát hiện bất kỳ bất thường nào, cần tiến hành bổ sung các khảo sát chi tiết và chẩn đoán bằng thiết bị.

Khảo sát trực quan được chia thành khảo sát trên mực nước biển (bao gồm cả trên bờ) và khảo sát dưới mực nước biển, tùy thuộc vào vị trí của đối tượng khảo sát.

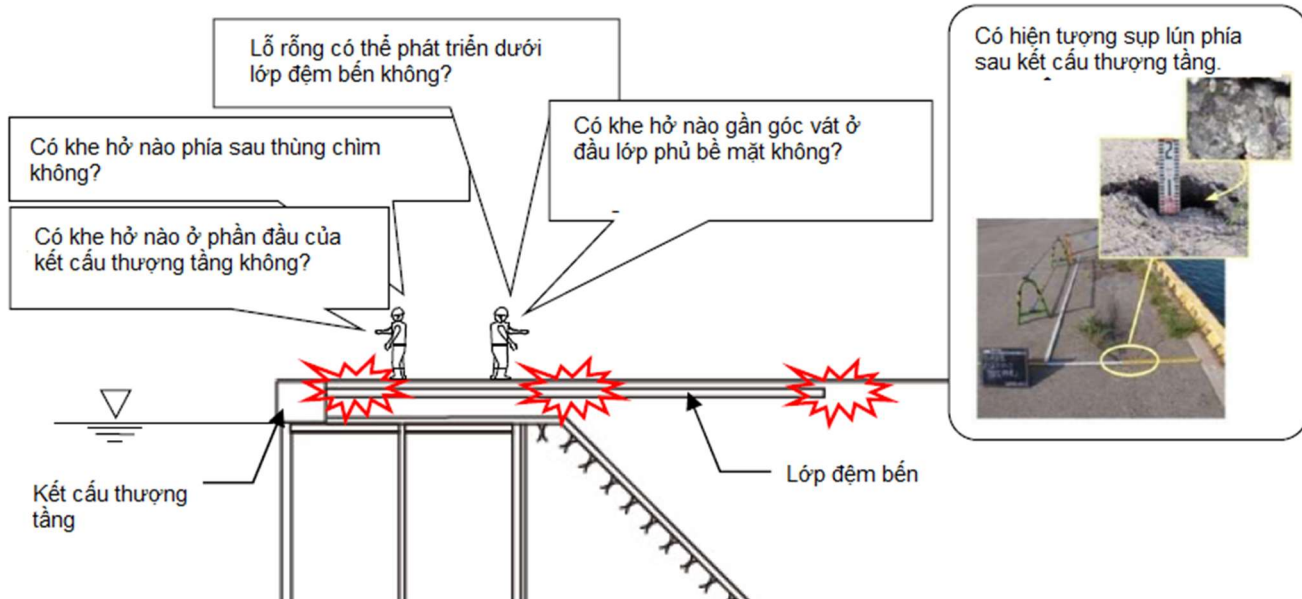
2.2.1.1 Khảo sát trực quan trên mực nước biển

Kiểm tra qua hình ảnh trên các khu vực đất liền phía trên mực nước biển chủ yếu được thực hiện thông qua quan sát trực tiếp ở cự ly gần. Quá trình khảo sát bao gồm chụp ảnh (hoặc quay video) và có thể kèm theo các bản vẽ phác thảo. Sự dịch chuyển của kết cấu xảy ra khi các bộ phận cấu thành của nó lệch khỏi vị trí thiết kế. Khi kiểm tra sự dịch chuyển của các công trình cảng biển, nên sử dụng các dụng cụ đo đơn giản như thước dây, thước thẳng, thước đo góc nghiêng, hoặc thiết bị khảo sát như máy thủy bình và máy kinh vĩ. Đối với việc kiểm tra chiều dài và chiều rộng của vết nứt trên kết cấu bê tông, cần sử dụng thước đo và thang đo vết nứt (xem Ảnh 2.2.1).

Hình ảnh của một cuộc khảo sát trực quan tại một bộ neo đậu của cầu cảng được hiển thị trong Hình 2.2.1



Ảnh 2.2.1 Ví dụ về khảo sát trực quan sử dụng thiết bị đơn giản

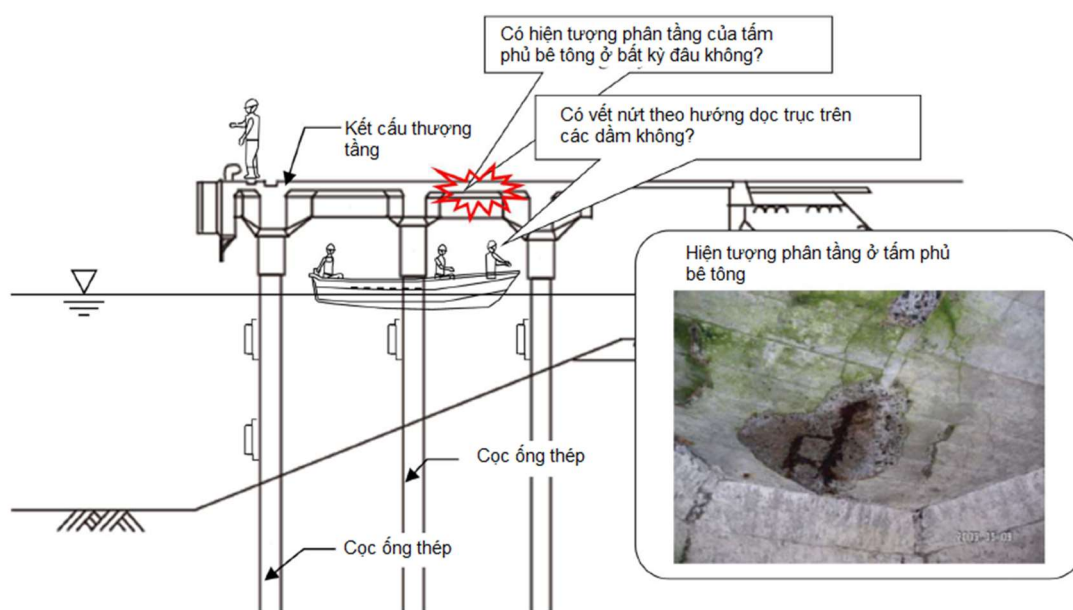


Hình 2.2.1 Minh họa khảo sát trực quan tại mặt bến của cầu cảng

Khảo sát trên mực nước biển (gần mực nước biển) thường được thực hiện chủ yếu từ tàu thuyền. Tùy thuộc vào bộ phận và vị trí của kết cấu được khảo sát, việc tiếp cận và khảo sát trực quan thường gặp nhiều khó khăn. Trong những trường hợp cần đo đặc định lượng sự biến dạng hoặc dịch chuyển nên sử dụng thiết bị khi cần thiết để hỗ trợ cho khảo sát. Ví dụ bao gồm ống nhòm, thước đo, búa kiểm tra, và thước đo vết nứt.

Khi khảo sát vùng triều bằng thuyền, việc lựa chọn thời điểm có mực nước thấp (như lúc triều thấp trong kỳ triều cường) khi khu vực cần khảo sát lộ ra nhiều hơn trên mặt nước.

Để việc kiểm tra đạt hiệu quả, cần tiếp cận gần nhất có thể với đối tượng, ví dụ bằng thuyền nhỏ. Đối với kết cấu bê tông, nên sử dụng búa để thực hiện kiểm tra bằng phương pháp gõ. Hình 2.2.2 và Ảnh 2.2.1 minh họa việc khảo sát trực quan kết cấu phần trên của cầu tàu từ thuyền.



Hình 2.2.2 Hình ảnh khảo sát trực quan kết cấu phần trên của cầu tàu (mặt dưới)



Ảnh 2.2.1 Khảo sát trực quan kết cấu phần trên của cầu tàu

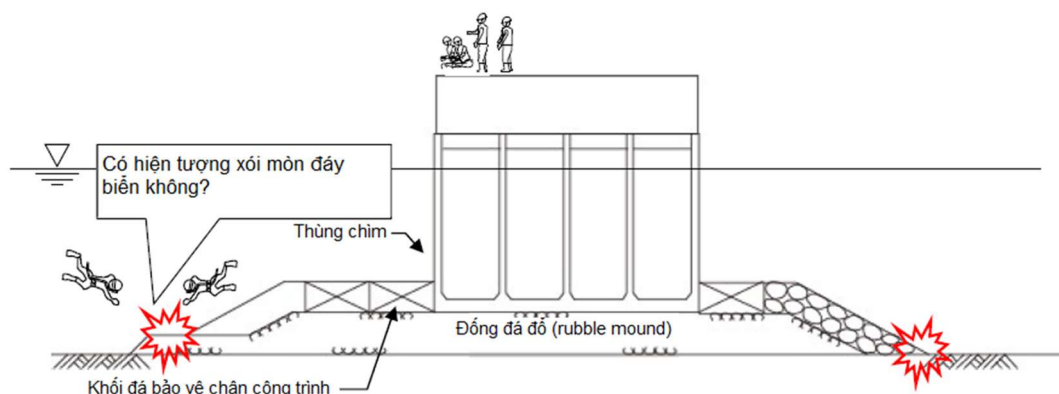
2.2.1.2 Khảo sát trực quan dưới mực nước biển

Kiểm tra bằng mắt thường dưới mực nước biển thường do thợ lặn thực hiện, sử dụng máy ảnh hoặc thiết bị khác để chụp ảnh khu vực cần khảo sát. Trước khi khảo sát, cần trao đổi với thợ lặn về các hạng mục kiểm tra, phương pháp thực hiện và các điểm cần chú ý trong quá trình khảo sát.

Tùy thuộc vào vị trí và điều kiện cụ thể của cảng biển, khu vực nước có thể bị đục, khiến tầm nhìn hạn chế và chỉ thấy được khu vực lân cận, làm giảm hiệu quả khảo sát và kéo dài thời gian thực hiện. Vì lý do an toàn, thời gian làm việc của thợ lặn bị giới hạn tùy theo độ sâu. Ngoài ra, cần đảm bảo an toàn khi khảo sát ở khu vực có dòng chảy mạnh hoặc không gian hẹp. Ảnh 2.2.2 và Hình 2.2.3 minh họa các phần dưới nước được kiểm tra bởi thợ lặn.



Ảnh 2.2.2 Khảo sát trực quan phần dưới mặt nước của tường cừ thép

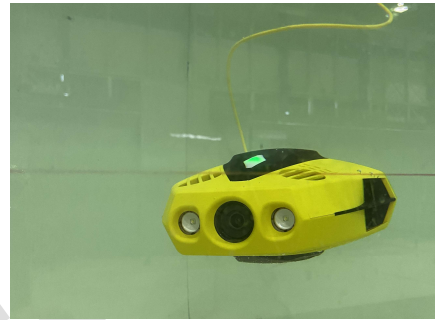
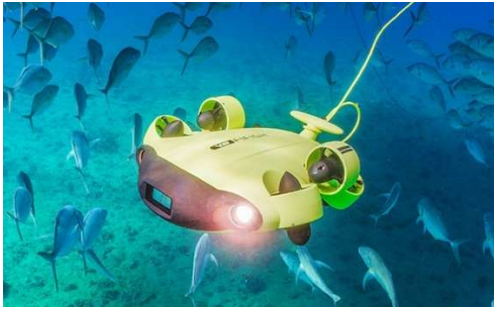


Hình 2.2.3 Khảo sát trực quan địa hình dưới đáy biển thực hiện bởi thợ lặn

2.2.2 Khảo sát bằng thiết bị

Khi cần phát hiện thay đổi hình dạng tổng thể của công trình hoặc khảo sát khu vực xa đất liền, hạn chế về không gian khiến kỹ sư không thể khảo sát trực tiếp, thiết bị quang học là lựa chọn tối ưu. Trong các trường hợp này, nên sử dụng thiết bị quang học như UAV (Máy bay không người lái) để chụp ảnh toàn cảnh công trình từ trên cao trong thời gian ngắn. UAV cũng có thể chụp ảnh các công trình ngoài khơi mà không cần dùng thuyền.

Việc chụp ảnh dưới nước cũng thường được thực hiện bởi thợ lặn, nhưng gần đây, việc chụp ảnh cũng đã được thực hiện bằng các thiết bị như drone dưới nước. Những thiết bị này có ưu điểm là có thể chụp ảnh an toàn ngay cả ở những nơi nguy hiểm cho thợ lặn.

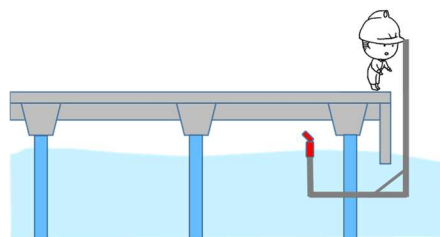


Ảnh 2.2.3 Ví dụ về drone dưới nước

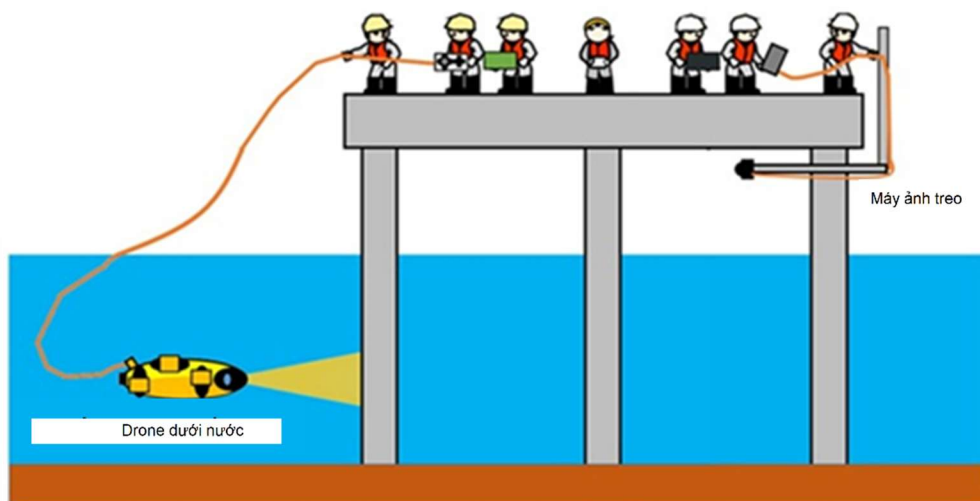
Có nhiều mẫu drone dưới nước trên thị trường, từ giải trí đến sử dụng thương mại, và hầu hết các mẫu đều được trang bị máy ảnh dưới nước, giúp dễ dàng quay video. Hình ảnh từ máy ảnh gắn trên thân drone có thể được xem trên bảng điều khiển (màn hình), giúp dễ dàng vận hành drone và máy ảnh. Độ rõ nét của hình ảnh không chỉ bị ảnh hưởng lớn bởi hiệu suất của máy ảnh mà còn bởi độ đục của nước. Ngoài ra, ở những nơi chịu ảnh hưởng của sóng và thủy triều, drone sẽ bị cuốn trôi và việc kiểm soát tư thế sẽ gặp khó khăn, khiến việc chụp ảnh ở trạng thái tĩnh trở nên khó thực hiện. Do đó, khi sử dụng drone dưới nước để khảo sát diện rộng, cần xem xét độ đục của nước biển, thủy triều và sóng.

Một cách đơn giản và tương đối kinh tế để chụp ảnh là sử dụng máy ảnh treo. Phương pháp này đặc biệt phù hợp để khảo sát các khu vực không thể quan sát bằng mắt thường và không thể tiếp cận bởi thợ lặn hoặc drone dưới nước. Hình 2.2.4 cho thấy hình ảnh phần dưới của kết cấu phần trên của cầu cảng dạng mở được khảo sát bằng máy ảnh treo (gắn vào cần). Hình 2.2.5 cũng cho thấy cách sử dụng drone dưới nước và máy ảnh treo.

Đặc điểm của drone dưới nước và máy ảnh treo được trình bày trong Bảng 2.2.1.



Hình 2.2.4 Ví dụ về cách sử dụng máy ảnh treo



Hình 2.2.5 Hình ảnh của bề cọc được chụp bởi drone dưới nước và máy ảnh treo

Bảng 2.2.1 Đặc điểm của drone dưới nước và máy ảnh treo

Kỹ thuật		Tổng quan	Phạm vi áp dụng	Ưu điểm	Nhược điểm
Thiết bị quang học	Drone dưới nước	Chụp ảnh bằng thiết bị điều khiển từ xa	Áp dụng trong môi trường không quá đục, ít bị ảnh hưởng bởi sóng và thủy triều	- Dễ chuẩn bị và vận hành hơn so với thiết bị âm thanh - Chụp hình nhanh hơn so với thợ lặn	- Cần phải ghi lại chính xác vị trí chụp ảnh - Bị ảnh hưởng lớn bởi độ đục của nước và dòng chảy
	Máy ảnh treo	Chụp ảnh bằng máy ảnh gắn cần treo	Thích hợp cho khu vực gần mặt nước (trong không khí và dưới mặt nước)	- Dễ dàng chụp được từ đất liền - Địa điểm chụp không có vật cản - Chi phí thấp	- Không phù hợp khi chụp khu vực lớn hoặc nước sâu - Dễ bị ảnh hưởng bởi thủy triều
Tham chiếu	Công việc lặn	Quan sát trực quan bởi thợ lặn (Có thể dùng máy ảnh)	Áp dụng cho độ sâu từ 0 đến 30m (Sử dụng thiết bị an toàn phù hợp)	- Kết quả quan sát có thể áp dụng trực tiếp. - Có thể đo lường chi tiết	Độ chính xác của khảo sát phụ thuộc vào chủ quan của thợ lặn

Máy ảnh treo được thiết kế phù hợp để sử dụng trong không gian nhỏ và có thể chụp ảnh hoặc quay video. Máy ảnh này có thể hoạt động cả trên đất liền và dưới nước, do đó nó có thể được sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau. Để chụp ảnh một đối tượng dưới nước mà máy ảnh không bị ảnh hưởng bởi dòng chảy, việc treo máy ảnh đơn thuần bằng dây cáp là khó khả thi. Do đó, cần có giải pháp kỹ thuật như gắn camera vào đầu một thanh đỡ cứng nhằm ổn định tư thế của camera và kiểm soát góc chụp. Ngoài ra, tương tự như các drone dưới nước, hiệu quả ghi hình cao nhất đạt được khi hình ảnh từ máy ảnh được truyền đến màn hình hiển thị tại chỗ để người vận hành quan sát mục tiêu trong khi chụp ảnh. Tuy nhiên, để thực hiện điều này, cần có kết nối giữa máy ảnh và màn hình phải có thể bằng dây hoặc không dây (Wi-Fi, v.v.). Tuy nhiên, kết nối không dây không khả thi dưới nước, do đó cần có những giải pháp đặc biệt.

Ảnh 2.2.4 minh họa ví dụ về máy ảnh treo (gắn vào đầu một thanh đỡ), trong đó máy ảnh được đặt trong vỏ chống nước chuyên dụng và kết nối với máy tính bảng qua Wi-Fi, cho phép người vận hành vừa chụp ảnh vừa quan sát hình ảnh trực tiếp ngay cả trong môi trường dưới nước.

Các loại drone dưới nước và máy ảnh quay dưới nước hiện nay có giá thành tương đối hợp lý và thao tác vận hành đơn giản, do đó rất phù hợp để quan sát những khu vực khó tiếp cận hoặc không thể tiếp cận thường xuyên đối với kỹ sư. Chúng cũng có thể được sử dụng hiệu quả như một phương pháp sàng lọc để thu hẹp phạm vi các vị trí và hạng mục cần kiểm tra trước khi tiến hành một cuộc điều tra chi tiết.



Ảnh 2.2.4 Ví dụ minh họa máy ảnh treo chụp ảnh ở dưới nước

Mặt dưới của cầu cảng có khe hở hẹp và chịu ảnh hưởng của sóng và thủy triều, do đó thường khó khăn để con người tiếp cận vị trí khảo sát. Ngoài ra, đối với công trình đã xuống cấp nghiêm trọng, có nguy cơ phần kết cấu bị sụp đổ gây nguy hiểm cho người khảo sát, việc ghi hình bằng thiết bị ROV kiểm tra kết cấu trên của cầu cảng hoặc tàu điều khiển từ xa cỡ nhỏ là giải pháp hiệu quả và an toàn.



Ảnh 2.2.5 Khảo sát mặt dưới của cầu cảng sử dụng ROV chuyên dụng và tàu điều khiển từ xa cỡ nhỏ

2.3 Khảo sát hình dạng và biến dạng

2.3.1 Khảo sát trên mặt nước biển

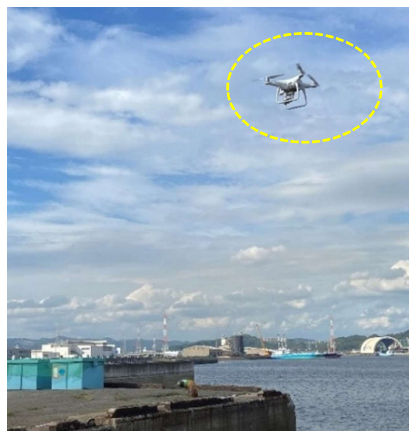
Trắc đạc là phương pháp đo đạc định lượng sự chuyển động và dịch chuyển của các công trình cảng (Ảnh 2.3.1). Các phương pháp khảo sát bao gồm khảo sát bằng máy toàn đạc và máy thủy bình, khảo sát bằng UAV (Thiết bị bay không người lái), và khảo sát bằng GNSS (Hệ thống Định vị Toàn cầu).



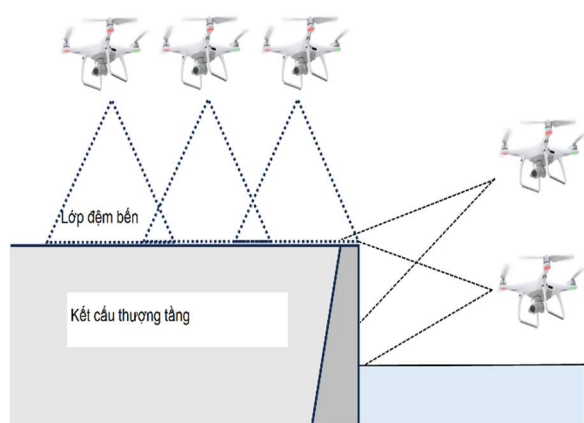
Ảnh 2.3.1 Hiện trạng khảo sát

Hiện nay, khảo sát từ trên không thường được thực hiện bằng UAV. UAV có thể được sử dụng để chụp ảnh công trình từ nhiều độ cao và góc độ khác nhau (Ảnh 2.3.2). Từ đó có thể tạo mô hình 3D từ nhiều dữ liệu

2D bằng phần mềm xử lý hình ảnh. Mô hình 3D được tạo ra từ quá trình này có thể được sử dụng để chẩn đoán sự xuống cấp và tình trạng hư hỏng của công trình. Hình 2.3.1 cho thấy ví dụ về mô hình 3D của cầu cảng được tạo từ nhiều ảnh tĩnh chụp bởi UAV (Ví dụ về phần mềm tạo mô hình 3D từ ảnh: http://www.kobeseiko.co.jp/uav_soft.html, <https://www.bentley.com/>).

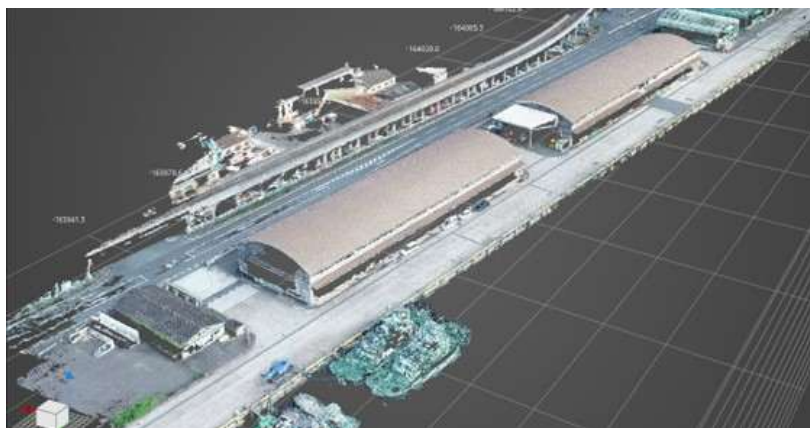


Ảnh 2.3.2 Khảo sát thực hiện bởi UAV



Hình 2.3.1 Ví dụ về mô hình 3D của cầu cảng được tạo từ ảnh chụp bởi UAV

UAV có thể được sử dụng để quan sát toàn bộ công trình trong thời gian thực từ trên không. Dữ liệu đám mây điểm 3D là tập hợp các điểm trong tọa độ 3D, mỗi điểm được biểu diễn bằng tọa độ Đề-các 3D (x, y, z). Mỗi điểm là một điểm độc lập và không có mối quan hệ liên tục giữa các điểm liền kề. Trên đất liền, dữ liệu đám mây điểm 3D có thể được thu thập bằng khảo sát 3D sử dụng máy quét laser. Hình 2.3.2 minh họa ví dụ về biểu diễn dữ liệu đám mây điểm 3D của cầu cảng bằng máy quét laser gắn trên UAV. Ngoài ra, việc sử dụng UAV phải tuân thủ luật pháp và quy định của từng quốc gia.



Hình 2.3.2 Ví dụ về mô hình hóa cầu cảng sử dụng dữ liệu đám mây điểm 3D

2.3.2 Khảo sát dưới mực nước biển

2.3.2.1 Khảo sát độ sâu mực nước

Khi đo độ sâu nước (độ sâu địa hình đáy biển) của luồng lạch, khu neo đậu, bể tàu, v.v., phần lớn công việc được thực hiện trên biển, do đó cần lựa chọn các phương pháp kiểm tra và khảo sát phù hợp dựa trên yêu cầu về độ chính xác mong muốn, các điều kiện quy hoạch của công trình (diện tích, hình dạng công trình, v.v.) và điều kiện tự nhiên (độ sâu nước, dòng triều, tình trạng đất đáy biển, v.v.).

Các phương pháp được sử dụng để đo độ sâu được liệt kê dưới đây.

- 1) Phương pháp dây đo độ sâu
- 2) Phương pháp sóng âm

Máy dò cá (Fish finder) cũng có thể được sử dụng như một máy đo độ sâu đơn giản, với nhiều mẫu giá rẻ, bao gồm loại cầm tay, có sẵn trên thị trường, có thể được sử dụng tùy thuộc vào mục đích.

2.3.2.2 Khảo sát địa hình đáy biển

Thợ lặn thường được sử dụng để khảo sát địa hình của đáy biển hoặc các kết cấu dưới nước của công trình, nhưng gần đây, các thiết bị âm thanh đã được sử dụng rộng rãi để khảo sát nhanh địa hình đáy biển trên diện rộng. Ngoài ra, còn có nhiều công nghệ xử lý các đối tượng như một tập hợp các điểm, tức là đám mây điểm. Các thiết bị âm thanh như sonar chùm hẹp đa tia và máy quét 3D thường được sử dụng để đo đặc hình dạng của các bộ phận dưới nước (như hình dạng đáy biển) và thu thập dữ liệu đám mây điểm 3D. Các đặc tính của thiết bị âm thanh được trình bày trong Bảng 2.3.1.

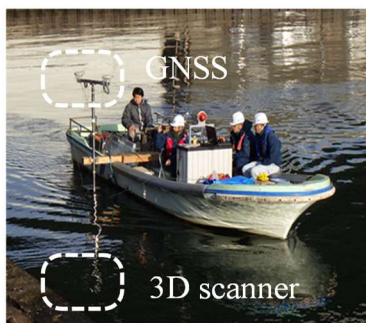
Bảng 2.3.1 Đặc điểm của các thiết bị âm thanh dùng để khảo sát hình dạng dưới nước

Kỹ thuật		Tổng quan	Phạm vi áp dụng	Ưu điểm	Nhược điểm
Thiết bị âm thanh	Máy dò chùm hẹp đa tia Máy quét 3D dưới nước	• Thu thập hình học kết cấu và địa hình dưới dạng dữ liệu đám mây điểm 3D	• Có thể đo từ mặt nước đến độ sâu 400 m (tùy hiệu suất máy)	• Không bị ảnh hưởng bởi độ đục hoặc vùng tối trong nước nhờ đo bằng sóng âm	• Khó phát hiện các vết nứt và khuyết tật trong bê tông, hiện tượng ăn mòn thép và biến đổi màu sắc bề mặt thường khó phát hiện.
Tham chiếu	Kỹ thuật lặn	• Quan sát trực quan bởi thợ lặn (có thể sử dụng máy ảnh)	• Độ sâu nước từ 0 đến 30 m (yêu cầu thiết bị phù hợp)	• Có thể sử dụng ngay kết quả trực quan có thể áp dụng ngay • Có thể đo chi tiết	• Độ chính xác của khảo sát thay đổi tùy thuộc vào kỹ năng của thợ lặn.

Có hai phương pháp sử dụng máy quét 3D: một là đặt thân máy quét trực tiếp trên đáy biển để thực hiện đo đạc, và hai là gắn máy quét lên tàu và tiến hành đo đạc trong khi di chuyển (Ảnh 2.3.3). Hình 2.3.3 thể hiện một ví dụ về dữ liệu đám mây điểm 3D thu thập được gần tường cừ bản thép bằng máy quét 3D. Dữ liệu thu thập từ máy quét 3D có thể chứa các giá trị tọa độ ba chiều, do đó có thể được mã hóa màu theo độ sâu, như được minh họa trong Hình 2.5, giúp dễ dàng nhận biết tình trạng dưới nước hơn.

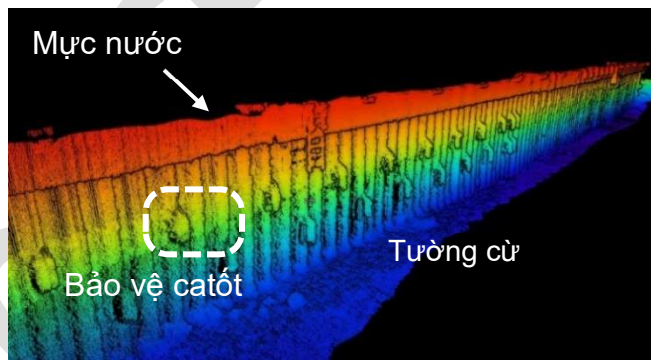
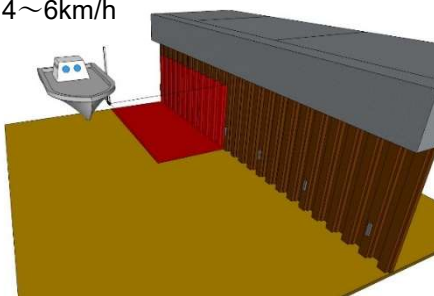
【Trang bị tàu cho công tác đo đạc】

【Thực hiện đo đạc ở đáy biển】



Ảnh 2.3.3 Đo đạc sử dụng máy quét 3D

Tốc độ :4~6km/h

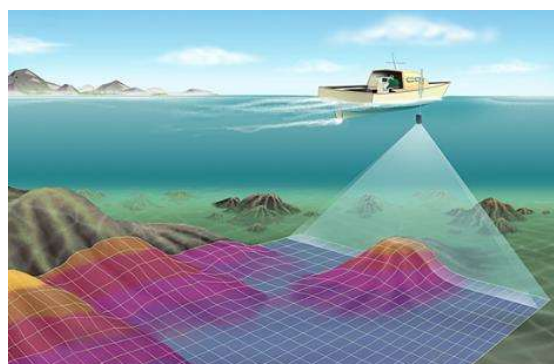
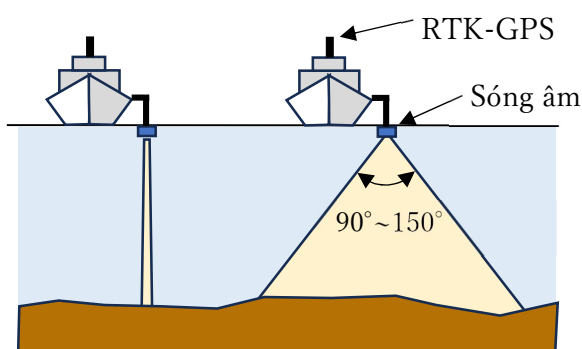


Hình 2.3.3 Ví dụ về dữ liệu đám mây điểm 3D thu thập được của tường cừ bản thép bằng máy quét 3D

Có hai loại phương pháp sonar: sonar chùm đơn và sonar đa chùm hẹp (Hình 2.3.4). Sonar đa chùm hẹp phát và nhận sóng siêu âm định hướng cao theo mô hình dạng quạt, cho phép khảo sát một khu vực đáy biển có diện tích từ 2 đến 7 lần độ sâu nước trong một đường khảo sát, giúp công tác khảo sát hiệu quả hơn nhiều so với các phương pháp truyền thống (Hình 2.3.5). Về phạm vi đo đạc, phương pháp sonar đa chùm hẹp thường phù hợp hơn để đo đạc khu vực rộng hơn so với phương pháp máy quét 3D.

Chùm đơn

Đa chùm hẹp



Hình 2.3.4 Hai phương pháp khảo sát bằng sóng âm

Hình 2.3.5 Khảo sát độ sâu bằng phương pháp sonar đa chùm hẹp

Một phương pháp để đo đặc hình dạng đáy biển trên khu vực rộng là sử dụng phương tiện tự hành dưới nước (AUV - Autonomous Underwater Vehicle). Công nghệ phát triển cho phép AUV thực hiện đo đạc bằng cách tự động di chuyển theo tuyến đường dẫn được lưu trữ trước trong chính AUV. (Hình 2.3.6).



Hình 2.3.6 Ví dụ về sử dụng phương tiện tự hành dưới nước AUV
(<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001864027.pdf>)

2.4 Khảo sát hố rỗng

2.4.1 Tổng quan

Các hố rỗng, chẳng hạn như những hố rỗng bên dưới lớp đệm bến, cần được khảo sát bằng cách kết hợp các phương pháp phù hợp với loại hình và kết cấu của công trình.

Kết quả khảo sát hố rỗng nên được ghi chép và lưu trữ một cách thích hợp, xem xét đến các chương trình kiểm tra và chẩn đoán trong tương lai đối với công trình được khảo sát.

2.4.2 Các phương pháp khảo sát hố rỗng

Việc khảo sát các hố rỗng dưới lòng đất và các vật thể chôn vùi không thể chỉ dựa vào kiểm tra trực quan, mà đòi hỏi phải sử dụng phương pháp khảo sát sử dụng thiết bị. Các phương pháp sau đây chủ yếu được sử dụng để khảo sát các hố rỗng dưới lớp đệm bến (apron), nơi hiện tượng sụt lún thường xuyên xảy ra tại các cảng biển.

- i) Phương pháp va đập búa
- ii) Phương pháp radar sóng điện từ
- iii) Phương pháp đào cục bộ
- iv) Phương pháp khoan lỗ kiểm tra hố rỗng

i) Phương pháp va đập búa

Phương pháp này là việc dùng búa gõ vào các bề mặt như lớp đệm bến và xác định sự tồn tại của hố rỗng

dựa trên sự khác biệt trong âm thanh và đập tạo ra. Trong trường hợp này, phạm vi của hố rỗng có thể được xác định ở một mức độ nhất định; tuy nhiên, độ chính xác phụ thuộc vào độ dày của lớp phủ bề mặt lớp đệm bên và không thể xác định được độ sâu của hố rỗng.

ii) Phương pháp radar sóng điện từ

Phương pháp radar sóng điện từ (EM) là một phương pháp kiểm tra không phá hủy, tận dụng tính chất sóng điện từ phát ra từ ăngten truyền bị phản xạ tại bề mặt phân giới của các vật liệu có đặc tính điện khác nhau (hằng số điện môi, điện trở suất, v.v.). Phương pháp này được mô tả chi tiết trong mục “2.3.2 Khảo sát hố rỗng bằng phương pháp radar sóng điện từ”.

iii) Phương pháp đào cục bộ

Các phương pháp kiểm tra không phá hủy khác nhau có thể phát hiện sự tồn tại và hình dạng gần đúng của hố rỗng, nhưng việc xác định chính xác hình dạng ba chiều và thể tích của chúng là một thách thức. Phương pháp này bao gồm việc đào cục bộ tại các khu vực nghi ngờ có sự hình thành hố rỗng, ví dụ, dựa trên kết quả từ radar sóng điện từ, để trực tiếp xác định độ sâu và quy mô của hố rỗng. Chẳng hạn, khoan lấy lõi trên các kết cấu như lớp đệm bên có thể được sử dụng để đo độ sâu hố rỗng, và khi kết hợp với camera CCD, có thể kiểm tra trực quan tình trạng hố rỗng gần khu vực đào.

Trong những năm gần đây, một phương pháp đã được phát triển, trong đó một lỗ khoan đường kính nhỏ được tạo ra, và một ống nội soi chuyên dụng có thước đo mở rộng theo hướng xuyên tâm từ đầu ống được đưa vào để đo trực tiếp hình dạng ba chiều của hố rỗng.

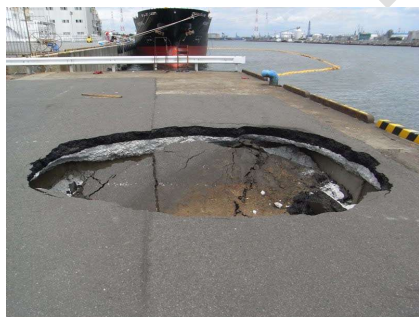
iv) Phương pháp lỗ kiểm tra hố rỗng

Mục đích của phương pháp này là kiểm tra trực tiếp sự xuất hiện và tiến triển của hố rỗng bằng cách bố trí trước các lỗ kiểm tra trên bề mặt lớp phủ. Phương pháp này được kỳ vọng sẽ hiệu quả trong nhiều tình huống thông dụng, vì nó có thể nắm bắt sự xuất hiện và tiến triển của hố rỗng một cách trực tiếp và định lượng, không đòi hỏi kiến thức chuyên môn cao, có thể được thực hiện trong các đợt kiểm tra hàng ngày, và áp dụng được cho cả lớp phủ mới lẫn lớp phủ hiện hữu.

Nếu các lỗ kiểm tra hố rỗng được bố trí để xuyên qua kết cấu trên của thùng chìm, chúng cũng có thể được sử dụng để khảo sát sự mất mát cát lấp phía trong do hư hỏng ở thành thùng chìm.

2.4.3 Khảo sát hố rỗng bằng phương pháp radar sóng điện từ

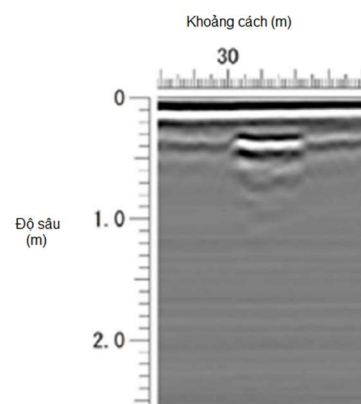
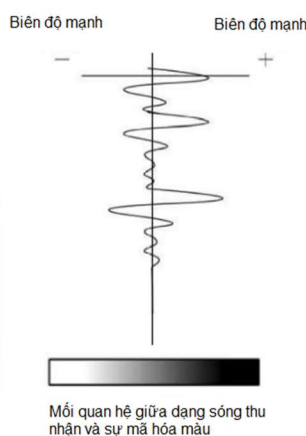
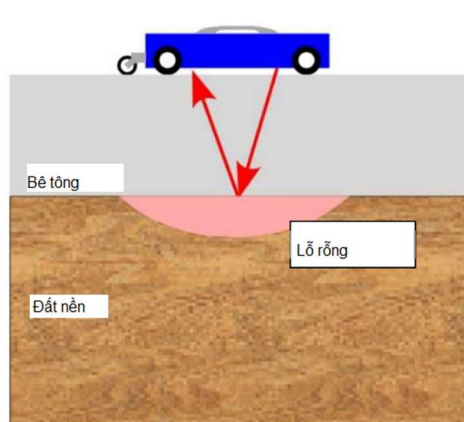
Hố rỗng có thể hình thành ở mặt dưới của lớp đệm bên tại tường bên do sự mất mát đất lấp phía sau cọc ván thép, dẫn đến hiện tượng sụt lún trên lớp đệm bên (Ảnh 2.4.1)



Ảnh 2.4.1 Ví dụ về sụt lún trên lớp đệm bên do hố rỗng gây ra

Như được thể hiện trong Hình 2.4.1, phương pháp radar sóng điện từ (EM) là một phương pháp kiểm tra không phá hủy, tận dụng tính chất của sóng điện từ phát ra từ ăngten truyền bị phản xạ tại bề mặt phân giới của các vật liệu có đặc tính điện khác nhau (như hằng số điện môi hoặc điện trở suất). Khi phương pháp radar sóng điện từ được sử dụng để khảo sát hố rỗng dưới lớp đệm bên, các sóng thu về sẽ có dạng tín hiệu đều đặn khi không có hố rỗng tại điểm kiểm tra. Ngược lại, nếu có tồn tại hố rỗng, các sóng thu về sẽ gồm sóng phản xạ không chỉ từ mặt dưới lớp đệm bên mà còn từ bề mặt của các hố rỗng. Do đó, về lý

thuyết, dạng sóng sẽ phức tạp hơn so với khi không có hố rỗng. Ngoài ra, việc phân tích sự thay đổi trong dạng sóng (như biên độ hoặc pha) có thể giúp ước lượng sự phân bố theo mặt phẳng hoặc không gian ba chiều của hố rỗng. Hình 2.4.2 cho thấy một hình ảnh thu được bằng phương pháp radar sóng điện từ.



Nguồn : https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000040.html

Hình 2.4.1 Sơ đồ khái niệm về đo đạc bằng phương pháp radar sóng điện từ

Hình 2.4.2 Ví dụ về hình ảnh thu được bằng phương pháp radar sóng điện từ

Phương pháp radar sóng điện từ hiện được sử dụng trong khảo sát hố rỗng được chia thành một số loại chính được liệt kê trong Bảng 2.4.1. Một hướng dẫn tham khảo về mối quan hệ giữa tần số và độ sâu khảo sát của sóng điện từ được tóm tắt trong Bảng 2.4.2. Sóng điện từ có tần số cao có ưu điểm là độ phân giải lớn giúp phát hiện các hố rỗng có kích thước nhỏ. Tuy nhiên, một nhược điểm lớn là độ sâu khảo sát bị hạn chế. Do đó, trong quá trình khảo sát hố rỗng thực tế, cần sử dụng thiết bị phù hợp với vật liệu của đối tượng khảo sát cũng như độ sâu cần kiểm tra trong vật liệu đó.

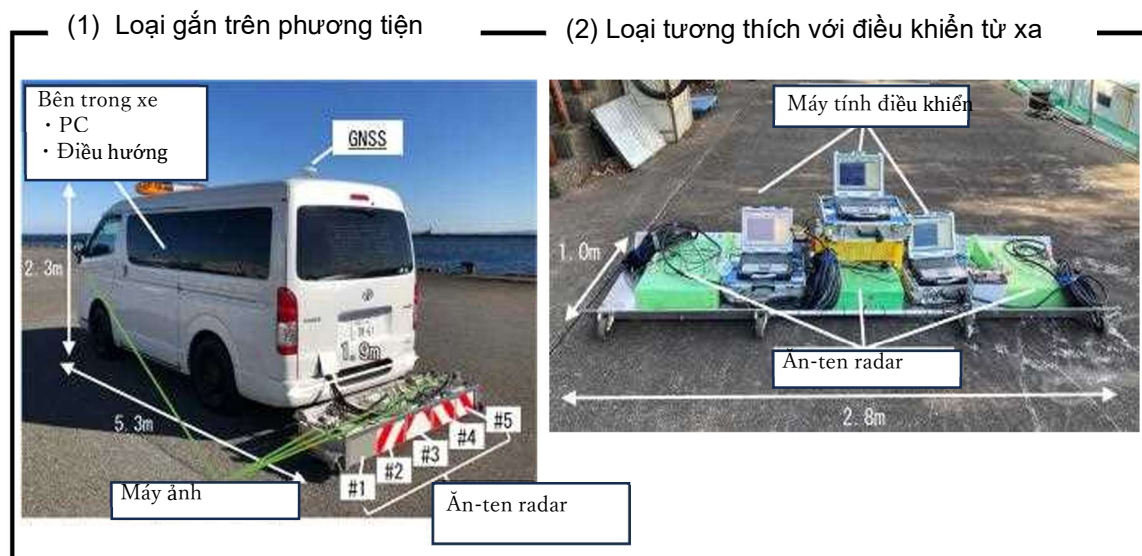
Nói chung, phương pháp radar xung (impulse radar) phù hợp để khảo sát các hố rỗng xuất hiện ở mặt dưới của lớp đệm nền. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng giá trị độ sâu và khả năng phân giải sẽ thay đổi tương ứng tùy thuộc vào loại đất cần khảo sát, mực nước ngầm và các điều kiện khác, cũng như loại và độ dày của lớp phủ bề mặt lớp đệm nền. Ngoài ra, mặc dù phương pháp radar sóng điện từ có thể xác định sự tồn tại và vị trí của hố rỗng, nhưng rất khó để xác định độ dày (độ sâu) của hố rỗng và không thể áp dụng cho việc thăm dò hố rỗng dưới mực nước biển, vì vậy cần xác định vị trí của mực nước ngầm khi tiến hành thăm dò dưới lớp đệm nền.

Bảng 2.4.1 Các loại phương pháp radar sóng điện từ sử dụng trong khảo sát hố rỗng

Phương pháp		Đặc điểm
Phương pháp radar xung	Hố rỗng dưới lòng đất	- Thiết bị radar ngầm thông dụng - Được sử dụng để tìm kiếm hố rỗng dưới mặt đường
	Hố rỗng phía sau kết cấu bê tông	Có khả năng phát hiện các hố rỗng phía sau bê tông cốt thép
Radar sóng liên tục		Độ sâu khảo sát xấp xỉ gấp 5 lần so với độ sâu đo được bằng thiết bị thông thường.
Radar tín hiệu tần số thay đổi (Chirp radar)		Độ sâu khảo sát xấp xỉ gấp 2 lần so với độ sâu đo được bằng thiết bị thông thường.

Thiết bị được sử dụng để khảo sát hố rỗng bị ảnh hưởng bởi thép và các vật liệu dẫn điện khác tồn tại trong khu vực khảo sát. Ảnh 2.4.2 minh họa một ví dụ về các thiết bị khảo sát. Trong khảo sát dưới bề mặt đường

thông thường, do ảnh hưởng của thép và các vật liệu dẫn điện khác thường là nhỏ, có thể sử dụng phương pháp (1), trong đó nhiều cảm biến thăm dò được gắn trên một phương tiện để thực hiện khảo sát di động tốc độ cao. Mặt khác, nếu có nhiều vật liệu thép nằm ngay dưới khu vực thăm dò thì nên áp dụng phương pháp (2), trong đó cảm biến thăm dò được di chuyển với tốc độ thấp.



Ảnh 2.4.2 Ví dụ về các thiết bị khảo sát hồ rỗng

Bảng 2.4.2 Hướng dẫn tham khảo về mối quan hệ giữa tần số và độ sâu khảo sát của phương pháp radar sóng điện từ

Mục tiêu	Tần số sử dụng	Độ sâu khảo sát (m)
Ống ngầm dưới đất	300 đến 500 MHz	0,5 đến 2
	80 đến 120 MHz	2 đến 10
Hồ rỗng dưới mặt đường	500 đến 700 MHz	Ngay dưới bề mặt lớp phủ
	200 đến 500 MHz	0,5 đến 3
Hồ rỗng trong đá gốc	500 MHz	1 đến 2
	300 MHz	2 đến 5
	80 MHz	5 đến 10
Thanh cốt thép trong bê tông	1000 MHz	0,05 đến 3
	900 MHz	0,1 đến 0,5
Độ dày lớp phủ bề mặt	1000 MHz	0,05 đến 0,3
	900 MHz	0,1 đến 0,5

Nếu nghi ngờ có tồn tại hồ rỗng dựa trên kết quả khảo sát bằng phương pháp radar sóng điện từ, vị trí của hồ rỗng sẽ được khoan sau đó ống nội soi quang học được đưa vào để kiểm tra sự tồn tại và độ sâu của hồ rỗng (Ảnh 2.4.3).

Quét bằng radar sóng điện từ

Khoan lớp đệm bên tại các vị trí nghi ngờ có lỗ rỗng

Xác nhận bằng ống nội soi quang học



Ảnh 2.4.3 Ví dụ minh họa khảo sát hố rỗng

2.5 Khảo sát tuyến đường thủy và các khu nước trước bến

2.5.1 Tổng quan

Việc kiểm tra và chẩn đoán các tuyến đường thủy và khu nước trước bến cần được thực hiện một cách phù hợp nhằm đáp ứng các yêu cầu về tính năng trong suốt vòng đời khai thác.

Các hạng mục kiểm tra và chẩn đoán của tuyến đường thủy và khu nước trước bến và cách phân loại chúng cần được xác định có xem xét sự ảnh hưởng của biến dạng đến tính năng của công trình.

Chức năng yêu cầu của các công trình tuyến đường thủy như luồng tàu và khu neo đậu là đảm bảo độ sâu nước theo quy định, và cần duy trì liên tục độ sâu nước cần thiết cho hoạt động hàng hải của tàu thuyền. Trong các công trình tuyến đường thủy, hiện tượng bồi lắng là nguyên nhân chính gây suy giảm tính năng, vì vậy cần nắm bắt sự thay đổi về độ sâu mực nước.

Nguyên nhân của hiện tượng bồi lắng tại các công trình tuyến đường thủy như luồng tàu và khu neo đậu – khiến không thể đảm bảo độ sâu nước yêu cầu – có thể được chia thành hai nhóm chính. Một là sự xâm nhập, lắng đọng và tích tụ của cát trôi, cát bay, và phù sa từ sông từ bên ngoài công trình. Hai là sự hình thành sóng cát ở đáy tuyến đường thủy hoặc sự di chuyển của trầm tích bên trong công trình do sạt lở mái luồng. Ngoài những hiện tượng tiến triển dần theo thời gian dưới tác động của sóng và dòng chảy, cũng có trường hợp diễn tiến nhanh chóng do sóng lớn do bão hoặc do lũ sông gây ra bởi mưa lớn.

Khi tiến hành kiểm tra và khảo sát các luồng tàu và khu neo đậu, cần lựa chọn phương pháp và thời điểm khảo sát phù hợp, có xem xét đầy đủ cơ chế bồi lắng dự kiến để có thể phát hiện sớm các dấu hiệu thiếu hụt độ sâu mực nước do bồi lắng. Đồng thời, cần xây dựng và thực hiện kế hoạch kiểm tra, khảo sát hợp lý, có sự phối hợp trước với các bên liên quan nhằm tránh gây cản trở đến hoạt động của người sử dụng công trình.

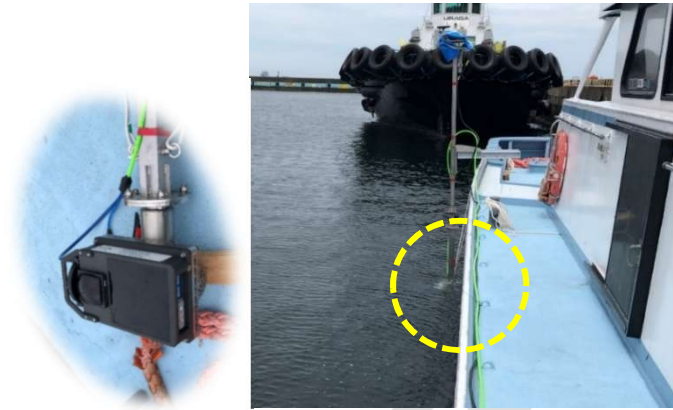
Mục đích chính của việc kiểm tra và chẩn đoán công trình tuyến đường thủy là xác nhận độ sâu hiện tại của khu vực thông qua thiết bị đo sâu do người kiểm tra sử dụng, đồng thời kiểm tra xem có vật nổi nào cản trở việc sử dụng công trình hay không. Các phương pháp cụ thể bao gồm kiểm tra trực quan bằng tuần tra, phỏng vấn các bên liên quan để xác minh tình trạng công trình và khả năng có đồ đất/cát, và đo độ sâu bằng thiết bị đo độ sâu đơn giản hoặc máy đo độ sâu bằng sóng âm do người kiểm tra vận hành. Cần lưu ý rằng độ chính xác của kết quả đo độ sâu phụ thuộc vào phương pháp định vị và phương pháp đo sâu được sử dụng, do đó cần hết sức thận trọng khi xử lý dữ liệu.

Phạm vi kiểm tra và chẩn đoán định kỳ cũng như khoảng cách giữa các tuyến đo cần được xác định phù hợp, có xét đến điều kiện hiện trường và xu hướng bồi lấp tại khu vực khảo sát.

2.5.2 Khảo sát độ sâu của nước

Các thiết bị dùng để đo địa hình đáy biển bao gồm thiết bị đo sâu bằng sóng âm, quả dọi và thước thủ công, trong đó thiết bị đo sâu bằng sóng âm được ưu tiên sử dụng trong khu vực nước sâu hoặc có dòng chảy

manh. Việc sử dụng thiết bị phát sóng âm đa tia hẹp và các thiết bị đo sâu bằng sóng âm khác cho phép thu thập nhanh chóng dữ liệu dạng đám mây điểm 3D về mặt cắt đáy biển trên diện rộng, từ đó nâng cao đáng kể hiệu quả của công tác khảo sát độ sâu. Thiết bị sóng âm thường được lắp đặt trên tàu khảo sát và tiến hành đo đạc khi tàu di chuyển (Ảnh 2.5.1). Một phương pháp khác là sử dụng thiết bị không người lái tự hành UAV di chuyển theo tuyến đường được lập trình sẵn để thực hiện đo đạc. (tham khảo Mục 2.2.1.2 – Khảo sát khu vực dưới mực nước biển).



Ảnh 2.5.1 Lắp đặt thiết bị đo sâu bằng sóng âm trên tàu khảo sát

Hệ thống đa tia hẹp thường được sử dụng để khảo sát hình dạng đáy biển. Tuy nhiên, khi cần khảo sát hai bên của các kết cấu như đê hộp bê tông đúc sẵn (caisson), bản thép... đến mép nước, cũng như hình dạng đáy biển phía trước kết cấu, thì máy quét 3D thường phù hợp hơn so với hệ thống đa tia hẹp. Ngoài ra, có thể thu thập thông tin vị trí ba chiều (dữ liệu địa hình và dịch chuyển) từ đáy biển đến mặt nước bằng cách kết hợp khảo sát độ sâu và hình dạng đáy biển bằng hệ thống đo sâu đa tia với khảo sát ba chiều khu vực mặt nước bằng thiết bị không người lái (UAV), sau đó hiệu chỉnh và tích hợp dữ liệu từ cả hai nguồn. Phương pháp này cho phép thể hiện toàn bộ công trình từ biển đến bờ dưới dạng một mô hình không gian ba chiều thống nhất, giúp dễ dàng đánh giá tình trạng bảo trì tổng thể của công trình và nâng cao hiệu quả trong công tác bảo trì.

Đối với các khu vực nước nông hoặc gần công trình, việc khảo sát độ sâu có thể được thực hiện dễ dàng bằng cách sử dụng sào đo hoặc thước đo thủ công. Tuy nhiên, trong trường hợp nền đáy biển mềm, cần lựa chọn phương pháp khảo sát phù hợp trên cơ sở xem xét đầy đủ các điều kiện tự nhiên, chẳng hạn như kết hợp sử dụng sào đo với thiết bị đo sâu bằng sóng âm, đồng thời lưu ý đến sự tích tụ của lớp bùn nổi.

Ngoài ra, các phương pháp xác định vị trí trên mực nước biển bao gồm: phương pháp quang học, phương pháp sử dụng sóng vô tuyến và phương pháp định vị bằng hệ thống định vị toàn cầu GPS.

2.6 Khảo sát kết cấu bê tông

2.6.1 Tổng quan

Mối quan hệ giữa các biến dạng do nhiều tác động khác nhau gây ra đối với công trình cảng và ảnh hưởng của chúng đến tính năng công trình được gọi là chuỗi biến dạng. Việc hiểu rõ chuỗi biến dạng này rất hữu ích trong quá trình lựa chọn các hạng mục kiểm tra, khảo sát cũng như xác định các vị trí cần sửa chữa, gia cường.

Các kết cấu bê tông trong công trình cảng biển phải chịu các điều kiện khí tượng và hải dương khắc nghiệt hơn nhiều so với các công trình trên đất liền thông thường. Chúng chịu ảnh hưởng nghiêm trọng bởi các tác động vật lý và hóa học của nước biển, dẫn đến sự suy giảm chất lượng vật liệu theo thời gian. Đặc biệt, ion clorua trong nước biển xâm nhập vào bê tông và gây ăn mòn cốt thép, dẫn đến các dạng hư hỏng như: nứt, tách lớp và bong tróc lớp bê tông bảo vệ, được gọi chung là hiện tượng ăn mòn do clorua. Ngoài ra, tại một số khu vực cũng đã ghi nhận nhiều trường hợp xảy ra phản ứng kiềm-silic (ASR) do sự kết hợp của nước biển chứa kiềm và các thành phần trong xi măng, góp phần làm suy giảm chất lượng kết cấu.

2.6.2 Phương pháp kiểm tra/ khảo sát

Các phương pháp kiểm tra và khảo sát thông thường đối với kết cấu bê tông được liệt kê trong Bảng 2.6.1.

Phần này trình bày các phương pháp kiểm tra và khảo sát điển hình, tuy nhiên đây chỉ là các phương pháp tiêu chuẩn. Trong trường hợp cần thiết, những phương pháp không được nêu trong phần này vẫn có thể được áp dụng một cách phù hợp, với điều kiện phải xem xét đầy đủ phạm vi áp dụng và các yếu tố liên quan khác.

Bảng 2.6.1 – Các phương pháp kiểm tra và khảo sát thông thường đối với kết cấu bê tông

Hạng mục kiểm tra/khảo sát		Phương pháp
Cường độ bê tông		Thí nghiệm nén mẫu khoan, súng bật nảy, phương pháp sóng đàn hồi xung kích
Vết nứt trong bê tông		Kiểm tra trực quan, phương pháp siêu âm, sóng đàn hồi xung kích, hồng ngoại, phát xạ âm (AE)
Chiều sâu vết nứt trong bê tông		Phương pháp siêu âm, khoan lấy mẫu lõi
Độ rộng vết nứt trong bê tông		Dùng thước đo vết nứt, đồng hồ đo tiếp xúc
Bong tróc bê tông do khoang rỗng bên trong		Gõ bằng búa, phương pháp siêu âm, sóng đàn hồi xung kích, hồng ngoại, radar sóng điện từ, phương pháp chụp X-quang xuyên qua
Tình trạng ăn mòn cốt thép		Đo điện thế bán pin
Tốc độ ăn mòn cốt thép		Đo điện trở phân cực
Môi trường ăn mòn xung quanh cốt thép		Đo điện trở suất của bê tông (điện trở suất riêng)
Phân tích bê tông	Ăn mòn do ion clorua và hiện tượng cacbonat hóa	Đo hàm lượng ion clorua, đo độ sâu cacbonat hóa
	Phản ứng kiềm-silic (ASR)	Kính hiển vi phân cực, hiển vi điện tử quét (SEM), nhiễu xạ tia X dạng bột
		Thí nghiệm đánh giá phản ứng kiềm-silic

2.6.3 Khảo sát sự xuống cấp/suy giảm của bê tông

2.6.3.1 Cường độ bê tông

Cường độ bê tông của công trình đang khai thác có thể được ước tính và xác định chủ yếu thông qua các phương pháp khảo sát sau:

- 1) Phương pháp sử dụng súng bật nảy
- 2) Thí nghiệm nén mẫu khoan lấy từ kết cấu

1) Phương pháp sử dụng súng bật nảy

Phương pháp này ước tính cường độ chịu nén của bê tông dựa trên giá trị bật nảy sau khi tác động. Một quả nặng được bắn hoặc thả bằng lò xo hoặc trọng lực tự nhiên lên bề mặt bê tông, từ đó đo giá trị bật nảy. Đây là phương pháp kiểm tra không phá hủy đơn giản, thường được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Giá trị bật nảy thu được sẽ được hiệu chỉnh theo hướng dẫn của nhà sản xuất để đưa ra giá trị tham chiếu, từ đó sử dụng công thức quy đổi để ước tính cường độ chịu nén của bê tông. Trước khi tiến hành kiểm tra, lớp hoàn thiện hoặc lớp phủ bổ sung trên bề mặt bê tông cần được loại bỏ để lộ bề mặt bê tông gốc. Các khu vực gồ ghề, bám sinh vật hoặc dị vật trên bề mặt cũng cần được làm sạch, và bề mặt nên được mài nhẵn bằng dụng cụ thích hợp (ví dụ: đá mài) để đảm bảo kết quả đo chính xác.



Ảnh 2.6.1 Ví dụ về súng bật nảy

Lưu ý rằng khi sử dụng giá trị bật nảy, cường độ bê tông đo được bằng búa thử có thể sai lệch so với cường độ nén của mẫu chuẩn hình trụ được chế tạo từ cùng loại bê tông đến $\pm 50\%$ hoặc hơn trong một số trường hợp. Giá trị bật nảy có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau, bao gồm độ ẩm của bề mặt bê tông, loại cốt liệu sử dụng và loại súng bật nảy. Do đó, nếu có thể, nên khoan lấy mẫu lõi để thí nghiệm nén và so sánh với giá trị bật nảy nhằm xác minh độ chính xác của kết quả ước tính. Phương pháp này đặc biệt hiệu quả khi so sánh cường độ tại các vị trí khác nhau của cùng một kết cấu được thi công bằng cùng loại bê tông, cũng như để đánh giá độ đồng nhất của bê tông.

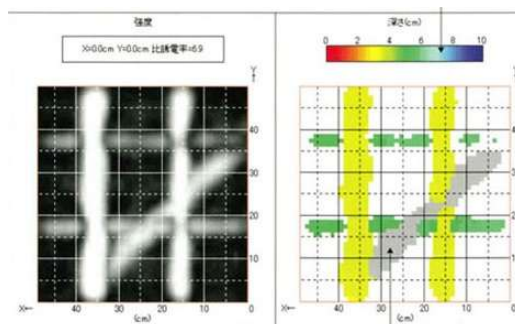
Các tiêu chuẩn của Nhật Bản liên quan đến việc ước tính cường độ nén dựa trên giá trị bật nảy bao gồm:

- Phương pháp đo giá trị bật nảy trên bề mặt bê tông (JIS A 1155:2012)
- Phương pháp thử cường độ bê tông cứng bằng súng bật nảy (JSCE-G 504-2013)
- ASTM C805/C805M – Phương pháp thử tiêu chuẩn cho giá trị bật nảy của bê tông đã đóng rắn

2) Thí nghiệm nén mẫu khoan lấy từ kết cấu

Nếu không thu được dữ liệu đáng tin cậy từ các phương pháp thử không phá hủy nêu trên, hoặc khi cần dữ liệu có độ chính xác cao hơn, thì việc gây hư hại cục bộ cho một phần kết cấu là không thể tránh khỏi. Một phương pháp thường được sử dụng trong nhóm phương pháp gây phá hủy một phần là thí nghiệm nén mẫu lõi bê tông đã được khoan từ kết cấu. Phương pháp này không chỉ cung cấp giá trị cường độ chịu nén của bê tông mà còn có thể đo được cường độ kéo và mô đun đàn hồi của bê tông.

Trước khi khoan lấy mẫu lõi bê tông, cần tiến hành khảo sát vị trí cốt thép bên trong bằng phương pháp radar sóng điện từ hoặc phương pháp cảm ứng điện từ nhằm tránh khoan cắt trúng cốt thép trong quá trình lấy mẫu (xem Hình 2.6.1). Ảnh 2.6.2 minh họa quá trình lấy mẫu lõi tại hiện trường. Trong quá trình khoan, cần lưu ý tránh sử dụng mô-men xoắn quá lớn, vì điều này có thể làm suy giảm cường độ của mẫu lõi. Không nên lấy lõi tại các vị trí mạch ngừng thi công, bề mặt tiếp xúc với cốp pha hoặc tại những khu vực hư hỏng như nứt, rỗ tổ ong. Thay vào đó vị trí khoan lấy mẫu nên được chọn cách xa cốt thép. Sau khi lấy lõi, các hố khoan cần được sửa chữa bằng vật liệu phù hợp, ví dụ như vữa bù co ngót.



Hình.2.6.1 Khảo sát cốt thép bên trong bằng phương pháp cảm ứng điện từ



Ảnh 2.6.2 Quá trình khoan lấy mẫu lõi bê tông

Thông thường, các mẫu lõi bê tông dùng để thí nghiệm cường độ nén cần có đường kính lớn hơn ba lần kích thước lớn nhất của cốt liệu thô. Tỷ lệ chiều cao trên đường kính của mẫu lõi nên nằm trong khoảng từ 1,9 đến 2,1.

Khi tỷ lệ h/d càng nhỏ, kết quả thí nghiệm càng có xu hướng cao hơn thực tế. Với các mẫu có h/d nhỏ hơn 1,90, cần áp dụng hệ số hiệu chỉnh để tính lại giá trị cường độ nén. Tiêu chuẩn Nhật Bản JIS A 1107:2012 đưa ra hệ số hiệu chỉnh trong Bảng 2.6.2 dưới đây. Hệ số hiệu chỉnh này được áp dụng cho các mẫu có cường độ nhỏ hơn 100 N/mm².

Bảng 2.6.2 Hệ số hiệu chỉnh cường độ nén theo tỷ lệ h/d

Tỷ lệ chiều cao trên đường kính (h/d)	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Hệ số hiệu chỉnh	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

Các tiêu chuẩn của Nhật Bản hiện hành liên quan đến việc khoan lấy mẫu lõi và thí nghiệm nén kết cấu bê tông bao gồm:

- Phương pháp khoan lấy mẫu và thí nghiệm cường độ nén của lõi bê tông (JIS A 1107:2012)
- Phương pháp thí nghiệm cường độ nén của bê tông (JIS A 1108:2018)
- Phương pháp thí nghiệm cường độ ép chẻ của bê tông (JIS A 1113:2018)
- Phương pháp thí nghiệm mô đun đàn hồi tĩnh của bê tông (JIS A 1149:2017)

Trong những năm gần đây, đã phát triển một phương pháp sử dụng mẫu lõi bê tông có đường kính nhỏ để giảm thiểu mức độ hư hại lên kết cấu (http://www.softcoring.jp/faq_kyoutu1.html).

2.6.3.2 Vết nứt, bong tróc và khoang rỗng bên trong

(1) Có thể áp dụng nhiều phương pháp kiểm tra và khảo sát đối với các hiện tượng vết nứt, bong tróc và khoang rỗng trong kết cấu bê tông. Tùy thuộc vào loại hư hỏng cần phát hiện và độ chính xác yêu cầu của công tác kiểm tra, cần lựa chọn phương pháp phù hợp với mục đích sử dụng.

(2) Khi kết cấu bê tông xuống cấp, biến dạng thường xuất hiện trên bề mặt. Đối với kết cấu bê tông bị hư hỏng do ăn mòn cốt thép gây ra bởi ion clorua, thường xuất hiện các vết nứt trên bề mặt bê tông do sự ăn mòn của cốt thép. Dịch rỉ từ vết nứt làm đổi màu bề mặt bê tông. Nếu ăn mòn tiếp tục phát triển, lớp bê tông bảo vệ sẽ bị nứt và tách khỏi phần bê tông chính, làm lộ cốt thép ra ngoài và dẫn đến quá trình ăn mòn tiếp theo. Do đó, việc kiểm tra trực quan bề mặt bê tông có ý nghĩa quan trọng trong việc phát hiện sớm hiện tượng ăn mòn do ion clorua. Các dấu hiệu điển hình của sự hư hại do phản ứng kiềm-silic (ASR) bao gồm vết nứt, đổi màu bề mặt và hiện tượng rỉ gel. Nhìn chung, bước đầu tiên của công tác kiểm tra hoặc khảo sát là quan sát trực quan bề mặt bê tông. Trường hợp người kiểm tra không thể tiếp cận trực tiếp bề mặt bê tông, có thể sử dụng các thiết bị hỗ trợ như ống nhòm. Trong những năm gần đây, ảnh kỹ thuật số được chụp bằng máy ảnh số cũng được sử dụng như một phương pháp thay thế cho quan sát trực tiếp.

Đối với hiện tượng bong tróc lớp bê tông bảo vệ, việc kết hợp kiểm tra trực quan với phương pháp gõ kiểm

tra bằng búa là hiệu quả. Trong phương pháp gõ bằng búa, người kiểm tra tác động vào bề mặt bê tông bằng búa, dựa vào âm thanh phản hồi và độ phản lực để ước đoán vị trí tách lớp và xác định sự tồn tại của hiện tượng xuống cấp.

Khi phát hiện có hư hỏng trên bề mặt bê tông trong quá trình kiểm tra trực quan và cần tiến hành đánh giá định lượng, nên sử dụng các dụng cụ đơn giản như thước đo để xác định phạm vi của hư hỏng. Để đo độ rộng vết nứt, thông thường sử dụng thước đo vết nứt vì phương pháp này đơn giản, dễ thao tác. Trong quá trình đo, điểm có độ rộng lớn nhất của từng vết nứt sẽ được lựa chọn để tiến hành ghi nhận giá trị.

Dưới đây là danh mục các hạng mục khảo sát và hiện tượng cụ thể cần lưu ý khi quan sát tình trạng bề mặt bê tông.

- 1) Hiện tượng đổi màu và ổ bần
 - Hiện tượng ăn mòn sản phẩm ăn mòn
 - Hiện tượng ăn mòn gel màu trắng từ bê tông
 - Hiện tượng kết tinh muối (efflorescence)
 - Hiện tượng đổi màu bề mặt bê tông
- 2) Vết nứt trong bê tông
 - Hướng và dạng hình học của vết nứt
 - Số lượng vết nứt
 - Chiều rộng và chiều dài của vết nứt đại diện
 - Hiện tượng ăn mòn từ vết nứt
- 3) Hiện tượng tách lớp của các mảnh bê tông
 - Hiện tượng tách lớp của các mảnh bê tông, số lượng và phạm vi vị trí bị tách lớp
 - Hiện tượng lộ cốt thép và/hoặc ăn mòn cốt thép do tách lớp, số lượng và phạm vi vị trí cốt thép bị lộ và/hoặc bị ăn mòn
- 4) Hiện tượng vỡ bê tông
 - Số lượng và phạm vi vị trí vỡ bê tông
 - Hiện tượng lộ cốt thép, ăn mòn và/hoặc đứt gãy cốt thép do bong tróc, số lượng và phạm vi vị trí bị lộ, ăn mòn và/hoặc đứt gãy

(3) Các phương pháp kiểm tra không phá hủy có hiệu quả cao trong trường hợp cần xác định tình trạng bên trong của bê tông, hoặc khi cần thu thập dữ liệu chi tiết hơn nhằm đánh giá cơ chế và xác định mức độ xuống cấp của kết cấu. Đối với công tác kiểm tra và khảo sát bằng thiết bị kiểm tra không phá hủy, cần lựa chọn phương pháp và thiết bị phù hợp nhất sau khi đã xác định rõ mục đích kiểm tra/khảo sát, phạm vi áp dụng, và độ chính xác cần thiết của việc đánh giá.

Bảng 2.6.3 liệt kê các phương pháp kiểm tra không phá hủy phổ biến đối với vết nứt, bong tróc và khoang rỗng bên trong bê tông. Phương pháp sóng đàn hồi là thuật ngữ chung chỉ nhóm các phương pháp thu thập dữ liệu về khu vực bên trong của bê tông bằng cách đo các đặc tính của sóng đàn hồi lan truyền qua bê tông. Nhóm này bao gồm: phương pháp sóng siêu âm, phương pháp sóng đàn hồi xung kích, và phương pháp phát xạ âm (AE). Phương pháp sóng điện từ cũng là thuật ngữ chung chỉ nhóm các phương pháp sử dụng sóng điện từ được truyền qua hoặc phản xạ lại từ khối bê tông. Nhóm này bao gồm: phương pháp radar sóng điện từ, phương pháp hồng ngoại, và phương pháp chụp X-quang xuyên qua. Các phương pháp này được lựa chọn tùy theo loại sóng điện từ sử dụng.

Bảng 2.6.3 Các loại phương pháp kiểm tra không phá hủy đối với bê tông

Hiện tượng cần đánh giá	Loại phương pháp kiểm tra không phá hủy	Nhóm phương pháp
Vết nứt	Phương pháp siêu âm Phương pháp phát xạ âm (AE)	Nhóm phương pháp sóng đàn hồi
	Phương pháp hồng ngoại Phương pháp chụp X-quang xuyên qua	Nhóm phương pháp sóng điện từ

Tách lớp / Khoảng rỗng bên trong	Phương pháp siêu âm Phương pháp sóng đàn hồi xung kích Phương pháp gõ búa	Nhóm phương pháp sóng đàn hồi
	Phương pháp hồng ngoại Phương pháp radar sóng điện từ Phương pháp chụp X-quang xuyên qua	Nhóm phương pháp sóng điện từ

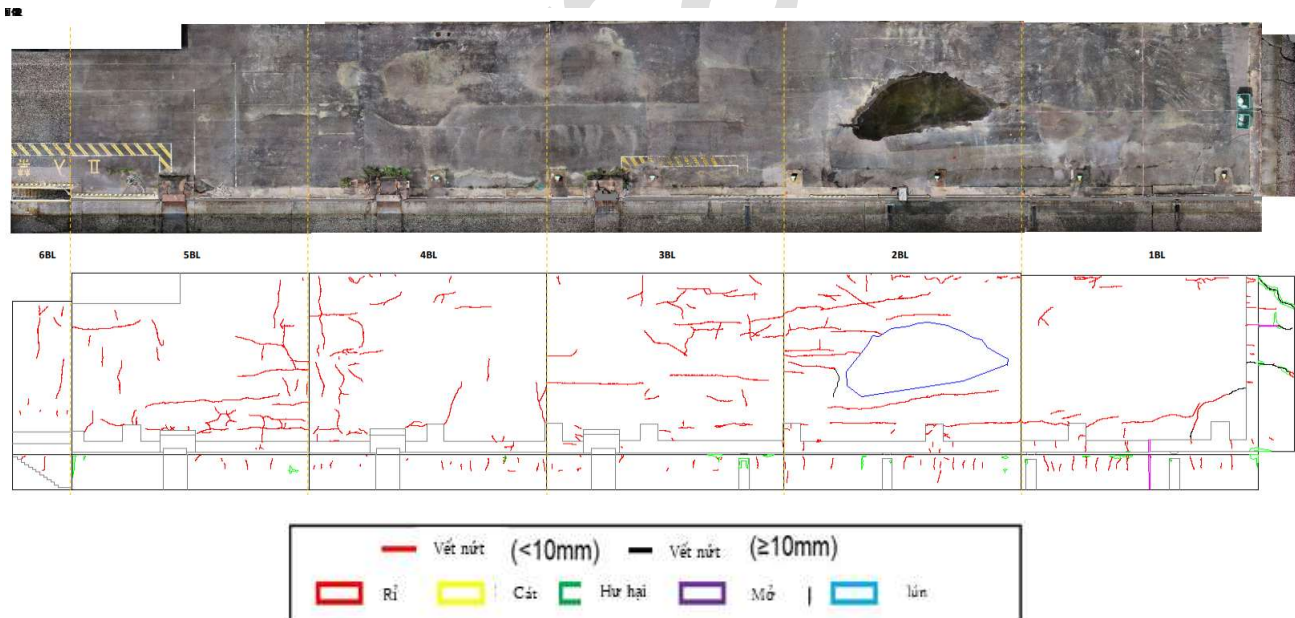
Dưới đây là các ví dụ về phương pháp được áp dụng trong công tác kiểm tra/khảo sát vị trí và phạm vi xuất hiện vết nứt, tách lớp và bong tróc trong các kết cấu bê tông cảng biển và cảng sông.

• Phân tích hình ảnh vết nứt bằng máy ảnh số

Hình ảnh chụp bằng máy ảnh số được xử lý bằng phần mềm để phân tích dạng hình học (ví dụ: hướng phát triển và hình dạng tổ ong), vị trí và mật độ (tổng chiều dài vết nứt trên đơn vị diện tích khảo sát) của các vết nứt. Trong nhiều trường hợp, nguyên nhân của vết nứt có thể được suy đoán dựa trên dạng hình học của vết nứt được nhận diện. Việc định lượng mật độ hoặc số hóa các vết nứt trong bê tông giúp làm rõ bản chất sự phát triển của vết nứt.

Tính năng của máy ảnh số phụ thuộc rất lớn vào hiệu suất của cảm biến CCD (hoặc CMOS) và ống kính quang học. Cảm biến CCD (hoặc CMOS) có số điểm ảnh càng cao thì độ phân giải càng lớn; số khẩu độ (F-number) của ống kính càng nhỏ (tức ống kính càng sáng) thì thông tin hình ảnh được ghi nhận càng chính xác. Mặt khác, chất lượng hình ảnh cũng bị ảnh hưởng bởi bụi bẩn trên bề mặt bê tông được chụp và điều kiện ánh sáng tại thời điểm chụp. Do đó, khi thực hiện khảo sát vết nứt bằng máy ảnh số, cần xem xét đến độ rộng vết nứt cần chụp và điều kiện chụp (phạm vi, độ sáng).

Hình 2.6.2 minh họa mặt trước của cầu cảng được chụp từ trên cao bằng thiết bị bay không người lái (UAV), sau đó hình ảnh được phân tích bằng phần mềm chuyên dụng và các bất thường như vết nứt được thể hiện trên bản vẽ CAD.



Hình 2.6.2 Bản đồ biến dạng của mặt trên tường chắn được thu nhận từ phân tích hình ảnh chụp bằng thiết bị bay không người lái (UAV)

• Đo trực tiếp chiều rộng và chiều dài của các vết nứt

Thước đo vết nứt, đồng hồ đo tiếp xúc, và cảm biến dịch chuyển dạng hình π là các thiết bị có thể đo trực tiếp chiều rộng của vết nứt. Thước đo vết nứt được đặt lên vết nứt, và hình dạng tương ứng với vết nứt sẽ

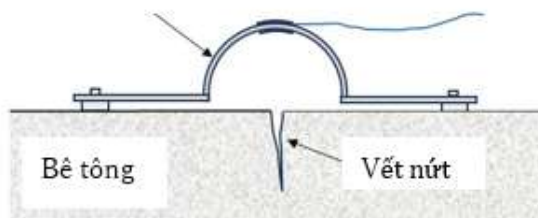
được đọc trực quan bằng mắt thường (Ảnh 2.16). Với đồng hồ đo tiếp xúc, khoảng cách giữa hai điểm đo được đọc trực tiếp trên thiết bị để xác định khoảng cách giữa hai điểm chuẩn nằm ở hai bên vết nứt. Với cảm biến dịch chuyển dạng hình π , sự thay đổi điện trở trong quá trình chịu tải được sử dụng để xác định mức thay đổi chiều rộng của vết nứt (Hình 2.6.3). Để đo chiều dài vết nứt, thước đo được đặt dọc theo vết nứt, và giá trị chiều dài được đọc từ thước.

Dù sử dụng phương pháp nào, việc đo sự thay đổi chiều rộng của vết nứt theo thời gian sẽ giúp xác định khả năng phát triển của vết nứt trong tương lai.



Ảnh 2.6.3 Đo chiều rộng vết nứt bằng thước đo vết nứt

Cảm biến dịch chuyển dạng π



Hình.2.6.3 Đo chiều rộng vết nứt bằng cảm biến dịch chuyển dạng hình π

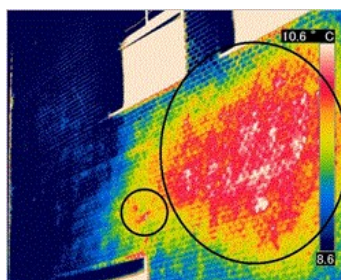
- Đo chiều sâu và chiều rộng của vết nứt bằng phương pháp lấy mẫu lõi

Chiều sâu và chiều rộng của vết nứt quan sát được trên bề mặt bê tông có thể được đo sau khi lấy mẫu lõi tại khu vực có chứa vết nứt. Trong trường hợp vết nứt phát triển từ bề mặt bê tông vào sâu bên trong, như đối với bê tông bị ảnh hưởng bởi phản ứng kiềm-silic (ASR), cần tiến hành lấy mẫu lõi với chiều sâu phù hợp.

- Phân tích hình ảnh tách lớp bằng máy ảnh kỹ thuật số hoặc ảnh nhiệt

Hình ảnh kỹ thuật số độ phân giải cao được chụp và xử lý để tạo thành hình ảnh tổng hợp, từ đó xác định vị trí tách lớp. Phương pháp ảnh kỹ thuật số cho phép thu thập dữ liệu tại những vị trí mà phương pháp kiểm tra trực quan thông thường không thể tiếp cận được. Phương pháp này cũng cho phép sử dụng ống kính tele, giúp tăng hiệu quả làm việc mà không cần lắp dựng giàn giáo.

Phương pháp hồng ngoại (ảnh nhiệt) là phương pháp không tiếp xúc để xác định vị trí tách lớp thông qua phân bố nhiệt độ trên bề mặt bê tông. Phương pháp này dựa trên nguyên lý rằng vùng tách lớp, khoang rỗng hoặc vết nứt trong bê tông truyền nhiệt khác với phần bê tông nguyên khối không bị hư hỏng. Trong khi phương pháp không tiếp xúc cho phép quan sát trên diện rộng, kết quả đo có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như vết bẩn trên bề mặt bê tông, rò rỉ nước và mức độ chiếu xạ của ánh sáng mặt trời. Ngoài ra, giới hạn chiều sâu khảo sát của phương pháp này chỉ từ 30 đến 50 mm.



Hình.2.6.4 Ví dụ về hiện tượng tách lớp trong tường ngoài công trình sử dụng ảnh nhiệt

2.6.4 Ăn mòn cốt thép

Hiện tượng ăn mòn cốt thép không chỉ làm ảnh hưởng đến mỹ quan của kết cấu bê tông thông qua các vết nứt và vết ăn mòn sét, mà còn tác động nghiêm trọng đến khả năng chịu lực của công trình. Đối với các kết cấu bê tông cảng biển được xây dựng trong môi trường có tính ăn mòn nghiêm trọng hơn so với các công trình trên đất liền thông thường, việc xác định mức độ phát triển của ăn mòn cốt thép và dự báo quá trình suy thoái là yếu tố quan trọng trong công tác bảo trì và sửa chữa công trình.

Các phương pháp kiểm tra/khảo sát tình trạng ăn mòn cốt thép trong bê tông có thể được phân loại như sau:

- 1) Ước lượng mức độ ăn mòn của cốt thép bằng phương pháp kiểm tra không phá hủy
- 2) Quan sát trực tiếp tình trạng ăn mòn của cốt thép thông qua phá hủy cục bộ kết cấu bê tông

1) Ước lượng mức độ ăn mòn của cốt thép bằng phương pháp kiểm tra không phá hủy

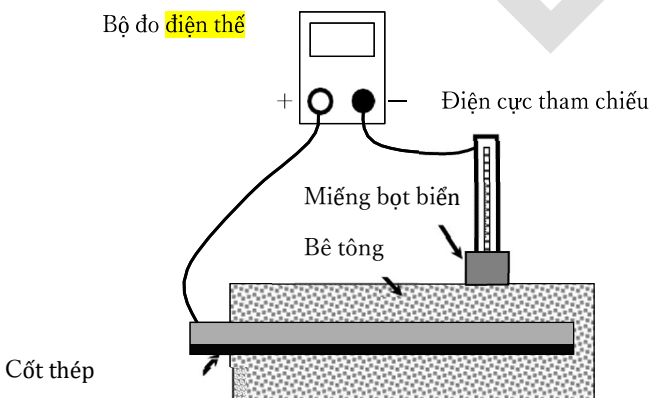
Các phương pháp kiểm tra không phá hủy đối với hiện tượng ăn mòn của cốt thép nhìn chung dựa trên nguyên lý điện hóa. Các phương pháp này, dựa trên phản ứng điện hóa của quá trình ăn mòn cốt thép, cho phép ước lượng mức độ hoạt động ăn mòn và tốc độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông. Các đại lượng đo chính bao gồm điện thế bán pin và điện trở phân cực. Ngoài ra, điện trở suất của bê tông cũng được xem là một chỉ tiêu đo hiệu quả, vì nó ảnh hưởng đáng kể đến quá trình phát triển ăn mòn của cốt thép trong bê tông.

Một vấn đề phổ biến của các phương pháp điện hóa là hàm lượng nước trong khối bê tông mục tiêu dễ ảnh hưởng đến kết quả đo. Nếu bề mặt bê tông hoàn toàn khô hoặc hoàn toàn bị ngập nước, thì không thể ước lượng được tình trạng ăn mòn bằng phương pháp điện hóa. Bên cạnh đó, nếu sử dụng cốt thép được phủ nhựa epoxy, phương pháp điện hóa không thể áp dụng.

Để theo dõi tình trạng ăn mòn của cốt thép trong thời gian dài, có thể sử dụng các cảm biến gắn sẵn trong bê tông. Nhiều loại cảm biến gắn sẵn đã được phát triển, chẳng hạn như cảm biến đo điện thế bán pin hoặc điện trở phân cực của cốt thép, cũng như cảm biến đo dòng điện sinh ra bởi hiện tượng ăn mòn tế bào vĩ mô.

(a) Điện thế bán pin (Half-cell potential)

Điện thế bán pin được đo để ước lượng khả năng xảy ra ăn mòn trong cốt thép. Cực dương (+) được nối với thanh cốt thép, và cực âm (-) được nối với điện cực tham chiếu. Sau đó, điện cực tham chiếu được đặt tiếp xúc với bề mặt bê tông bằng một miếng bọt biển ướt tại vị trí ngay phía trên thanh cốt thép. Trong hầu hết các trường hợp, thanh cốt thép được nối với cực dương (+) sau khi một phần của thanh thép đã được bóc lộ (xem Hình 2.6.5).



Hình.2.6.5 Đo điện thế bán pin

Nói chung, nếu giá trị điện thế bán pin đo được âm hơn so với ngưỡng tiêu chuẩn, điều đó cho thấy khả năng ăn mòn của cốt thép đã phát triển đáng kể; ngược lại, nếu giá trị đo được dương hơn so với ngưỡng tiêu chuẩn, thì khả năng ăn mòn thấp hoặc không có hiện tượng ăn mòn. Bảng 2.6.4 đưa ra các ví dụ về giá trị tiêu chuẩn để đánh giá sự tồn tại của hiện tượng ăn mòn cốt thép dựa trên kết quả đo điện thế bán pin. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng các giá trị tiêu chuẩn này không thể áp dụng trực tiếp đối với các kết cấu bê tông cảng biển nếu không có hiệu chỉnh phù hợp. Trong những trường hợp như vậy, kết quả đánh giá sẽ không

phản ánh đúng tình trạng ăn mòn thực tế. Do đó, các giá trị tiêu chuẩn cần được áp dụng hết sức cẩn trọng và chỉ sau khi đã được rà soát, hiệu chỉnh phù hợp. Rất khó để xác định một tiêu chuẩn đánh giá điện thế bán pin mang tính phổ quát, vì giá trị đo được chịu ảnh hưởng lớn từ nhiều yếu tố môi trường, như độ ẩm trong bê tông, nồng độ ion clorua, và nhiệt độ không khí.

Do vậy, thông thường, nên tiến hành đo điện thế bán pin trên toàn bộ bề mặt của kết cấu hoặc từng bộ phận cụ thể, để lập bản đồ phân bố điện thế bán pin. Một phương pháp hiệu quả là sử dụng các công cụ chuyên dụng đo để kiểm tra trực quan các yếu tố liên quan đến ăn mòn. Chẳng hạn, có thể vẽ đường đồng thế (equipotential lines), tức là bản đồ đường nối các điểm có cùng giá trị điện thế bán pin trong khu vực khảo sát. Nhờ đó, các vị trí có khả năng xảy ra ăn mòn cao có thể được xác định một cách trực quan (xem Hình 2.6.6). Hơn nữa, đối với các khu vực mà biểu đồ đường đồng thế cho thấy khả năng ăn mòn cao, có thể tiến hành bóc lộ và kiểm tra trực tiếp thanh cốt thép, từ đó nâng cao độ chính xác trong đánh giá tình trạng ăn mòn cốt thép trên diện rộng.

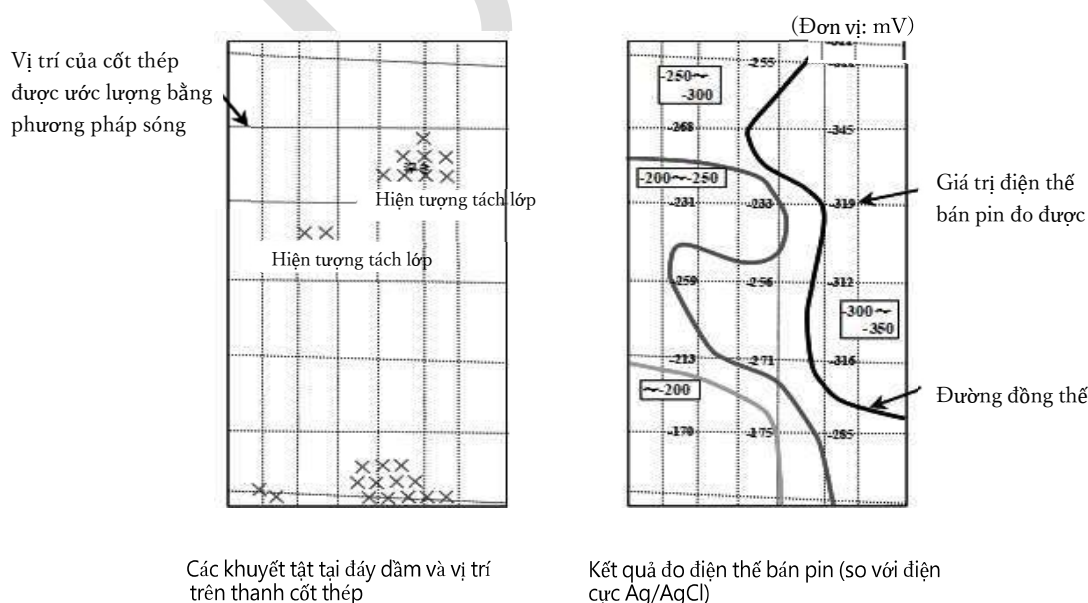
Nếu một phần của thanh cốt thép bị lộ ra tại các vị trí mà đường đồng thế cho thấy khả năng ăn mòn cao, và tình trạng ăn mòn của cốt thép tại đó được đánh giá trực tiếp, thì độ chính xác của việc đánh giá tình trạng ăn mòn cốt thép trên diện rộng sẽ được cải thiện.

Bảng 2.6.4 Tiêu chuẩn đánh giá ăn mòn của cốt thép dựa trên giá trị đo điện thế bán pin (ví dụ)

Điện thế bán pin E		Khả năng xảy ra ăn mòn
Khi sử dụng điện cực đồng – đồng sunfat bão hòa (Cu–CuSO ₄) (*1)	Khi sử dụng điện cực bạc – bạc clorua bão hòa (Ag–AgCl) (*2)	
$-200 \text{ mV} < E$	$E > -80 \text{ mV}$	Không có hiện tượng ăn mòn với xác suất từ 90% trở lên
$-350 \text{ mV} < E \leq -200 \text{ mV}$	$-230 \text{ mV} < E \leq -80 \text{ mV}$	Không chắc chắn
$E \leq -350 \text{ mV}$	$E \leq -230 \text{ mV}$	Có hiện tượng ăn mòn với xác suất từ 90% trở lên

*1 ASTM C 876: Phương pháp tiêu chuẩn để xác định điện thế bán pin của cốt thép không phủ trong bê tông

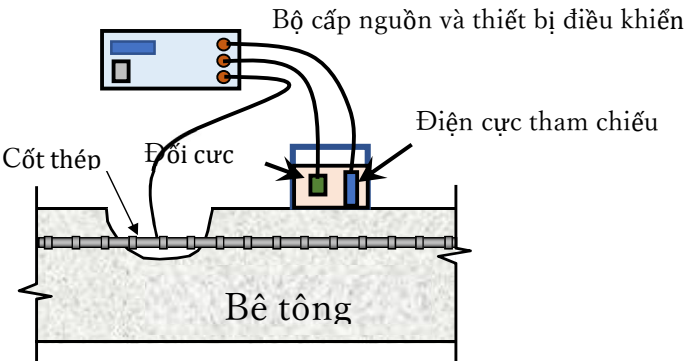
*2 Các giá trị thế điện được chuyển đổi từ điện cực Cu–CuSO₄ sang điện cực Ag–AgCl ở 25°C



Hình.2.6.6 Giá trị điện thế bán pin đo được trong dầm bê tông cốt thép của kết cấu phần trên trụ cầu

(b) Điện trở phân cực

Đo điện trở phân cực là một phương pháp nhằm xác định tốc độ ăn mòn của cốt thép. Một phần của thanh cốt thép trong bê tông sẽ được làm lộ ra để đảm bảo dẫn điện, và cảm biến được đặt tiếp xúc với bề mặt bê tông ngay phía trên thanh thép. Có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để tiến hành phép đo này. Cũng có thể sử dụng thiết bị cầm tay dựa trên nguyên lý trở kháng điện xoay chiều AC.



Hình.2.6.7 Đo điện trở phân cực

Trong phép đo điện trở phân cực, dòng điện sinh ra khi điện thế của vật liệu thép được phân cực nhẹ (tức là điện thế bị cưỡng bức dịch chuyển một chút so với điện thế bán pin ban đầu) sẽ được đo. Điện trở phân cực sau đó được tính theo công thức sau:

$$R_p = \Delta E / \Delta i \tag{2.6.1}$$

Trong đó

- R_p : Điện trở phân cực ($\Omega \text{ cm}^2$)
- ΔE : Độ lệch điện thế so với điện thế bán pin (V)
- Δi : Dòng điện tương ứng với độ lệch điện thế đó (A/cm^2)

Dòng điện ăn mòn (tốc độ ăn mòn) được tính theo công thức sau:

$$I_{corr} = K / R_p \tag{2.6.2}$$

Trong đó

- I_{corr} : Dòng điện ăn mòn (A/cm^2)
- K : Hằng số tùy thuộc vào loại vật liệu thép và điều kiện môi trường (thông thường là 0,026 V)
- R_p : Điện trở phân cực ($\Omega \text{ cm}^2$)

Bảng 2.6.5 trình bày ví dụ về các tiêu chí đánh giá tốc độ ăn mòn của cốt thép dựa trên giá trị đo được của điện trở phân cực. Các tiêu chí này có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo.

Phương pháp điện trở phân cực được sử dụng để ước lượng tốc độ ăn mòn. Nếu giá trị điện trở phân cực được đo liên tục theo thời gian, thì mức độ ăn mòn tích lũy của cốt thép có thể được ước lượng như một tích phân theo thời gian.

Bảng 2.6.5 Tiêu chí đánh giá tốc độ ăn mòn dựa trên giá trị điện trở phân cực

Điện trở phân cực R_p ($\text{k}\Omega \text{ cm}^2$)	Mật độ dòng điện ăn mòn I_{corr} ($\mu\text{A/cm}^2$)	Tốc độ ăn mòn đo được
$R_p \geq 130\text{-}260$	$I_{corr} < 0,1\text{-}0,2$	Trạng thái thụ động (không có ăn mòn)
$52 \leq R_p \leq 130$	$0,2 \leq I_{corr} \leq 0,5$	Tốc độ ăn mòn thấp hoặc trung bình
$26 \leq R_p \leq 52$	$0,5 \leq I_{corr} \leq 1,0$	Tốc độ ăn mòn trung bình hoặc cao
$R_p < 26$	$I_{corr} > 1,0$	Tốc độ ăn mòn rất cao

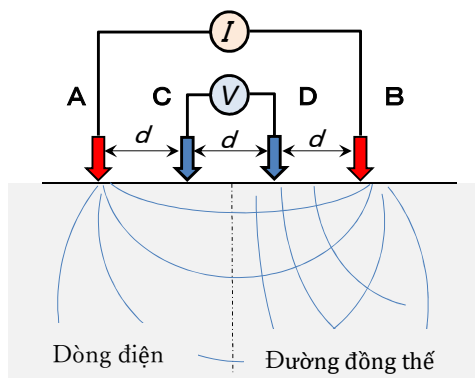
(c) Điện trở suất của bê tông (điện trở riêng)

Điện trở suất của bê tông (điện trở riêng): Ăn mòn của cốt thép trong bê tông khô bên trong (với điện trở suất cao hơn) phát triển chậm hơn so với trong bê tông ít khô (ẩm) (với điện trở suất thấp hơn). Do có một mối quan hệ nhất định giữa hàm lượng nước và điện trở suất của bê tông, các giá trị đo được của điện trở

suất sẽ, đến một mức độ nhất định, chỉ ra tốc độ hoạt động ăn mòn của cốt thép. Có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để đo điện trở suất, chẳng hạn như sử dụng điện trở xoay chiều để đo điện trở suất và điện trở phân cực đồng thời, hoặc sử dụng bốn điện cực để đo điện trở suất.

Hình 2.6.8 trình bày sơ đồ khái niệm của phương pháp đo điện trở sử dụng phương pháp bốn điện cực. Giá trị ρ có thể thu được từ hiệu điện thế $\Delta\varphi$ giữa C và D khi dòng điện I (DC hoặc AC) chảy qua A và B, theo công thức (2.6.3).

$$\rho = 2\pi d \Delta\varphi / I \quad (2.6.3)$$



Hình.2.6.8 Phương pháp đo điện trở bằng phương pháp bốn điện cực

2) Quan sát sự ăn mòn của cốt thép thông qua phá hủy cục bộ

Nếu không thu được dữ liệu thỏa đáng từ phương pháp kiểm tra không phá hủy hoặc nếu cần dữ liệu chính xác hơn, việc phá hủy cục bộ các phần của kết cấu thường là một phương pháp hiệu quả. Khi kết cấu bị phá hủy cục bộ, mức độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông có thể được xác định trực tiếp theo quy trình sau:

Một phần bê tông được loại bỏ để lộ ra cốt thép, sau đó kiểm tra tình trạng của cốt thép bằng mắt thường. Một hạng mục kiểm tra quan trọng là sự xuất hiện của ăn mòn điểm, vì nếu có ăn mòn điểm, cả khu vực tổng thể của cốt thép và khả năng chịu lực của các bộ phận và kết cấu sẽ bị giảm đáng kể. Do đó, kết cấu đang ở trong tình trạng nguy hiểm.

Ngoài việc kiểm tra trực quan, nếu có thể, đo đường kính còn lại thực tế của cốt thép bằng thước cặp. Khi có được dữ liệu ăn mòn định lượng, có thể ước lượng tốc độ ăn mòn cho đến thời điểm hiện tại. Dữ liệu này có giá trị trong việc ước tính khả năng chịu lực còn lại của các bộ phận và kết cấu.

2.6.5 Phân bố ion clorua

2.6.5.1 Đo lường hàm lượng ion clorua

Kiểm tra và khảo sát nồng độ ion clorua trong bê tông đóng vai trò quan trọng trong việc xác định mức độ suy thoái và dự báo tiến trình suy thoái của các kết cấu bê tông do hư hỏng bởi muối. Nồng độ ion clorua trong bê tông có thể được đo bằng phương pháp chuẩn độ điện thế hoặc sắc ký kromatografi ion sử dụng mẫu lõi bê tông hoặc mẫu bê tông lấy từ các kết cấu bê tông hoặc bột bê tông thu được bằng phương pháp khoan.

Kiểm tra và khảo sát nồng độ ion clorua trong bê tông nên bao gồm các bước sau:

- Các phương pháp kiểm tra hàm lượng ion clorua trong bê tông đã đóng rắn (JIS A 1154:2020)
- Các phương pháp xác định sự phân bố tổng hàm lượng ion clorua trong bê tông của các kết cấu thực tế (dự thảo) (JSCE-G 573-2013)

Ion clorua tổng được định nghĩa là tổng hàm lượng ion clorua trong bê tông. Ở đây, ion clorua tổng bao gồm tất cả các ion clorua trong dung dịch mao mạch của bê tông đã đóng rắn, clorua cố định trong xi măng đã đóng rắn dưới dạng muối, và các ion clorua hấp phụ.

Nồng độ ion clorua trong bê tông thường được đo tại vị trí cốt thép (chiều sâu lớp bảo vệ) và tại một số độ sâu dưới bề mặt bê tông.

Nồng độ ion clorua tại vị trí cốt thép được sử dụng để xác định xem cốt thép có bị ăn mòn hay không. Thông thường, cốt thép trong bê tông nằm trong môi trường kiềm cao, với pH từ 12 trở lên, điều này giúp cốt thép chống lại sự ăn mòn. Điều này là do sự hình thành lớp oxit dày gọi là film thụ động trên bề mặt cốt thép. Tuy nhiên, nếu ion clorua xâm nhập vào bê tông và đạt nồng độ vượt quá một mức nhất định tại vị trí của cốt thép (được gọi là nồng độ ion clorua ngưỡng ăn mòn), lớp film thụ động của cốt thép sẽ bị phá vỡ và quá trình ăn mòn bắt đầu, ngay cả khi pH của bê tông vẫn cao.

Giới hạn dưới của nồng độ ion clorua để bắt đầu ăn mòn là $2,0 \text{ kg/m}^3$ trong Tiêu chuẩn kỹ thuật cho công trình cảng và cảng biển và Bình luận của nó. Giá trị $2,0 \text{ kg/m}^3$ là giới hạn dưới của kết quả thí nghiệm ở Nhật Bản. Giá trị này có thể thay đổi tùy theo môi trường địa phương và điều kiện kết cấu.

Bằng cách đo nồng độ ion clorua ở mỗi độ sâu từ bề mặt bê tông, hệ số khuếch tán ion clorua ước tính trong bê tông có thể được tính toán, và hệ số khuếch tán ước tính này có thể được sử dụng để dự báo sự thâm thấu ion clorua trong tương lai.

Khi khảo sát nồng độ ion clorua trong bê tông bằng cách lấy mẫu lõi, cần chú ý đến kích thước tối đa của cốt liệu thô, và đường kính mẫu lõi phải ít nhất gấp ba lần kích thước tối đa của cốt liệu thô. Thông thường, mẫu lõi thường được lấy theo các tiêu chuẩn sau.

- Phương pháp lấy mẫu và thí nghiệm cường độ nén của mẫu lõi bê tông khoan (JIS A 1107:2012) .

Việc ghi lại vị trí lấy mẫu lõi và mặt bê tông nào (bề mặt tiếp xúc) được sử dụng là rất quan trọng. Sau khi lấy mẫu lõi, lõi bê tông nên được bảo quản trong túi nhựa kín để ngăn chặn sự rò rỉ của ion clorua do tiếp xúc với nước.

Khi sử dụng mẫu lõi để xác định nồng độ ion clorua tại mỗi vị trí cốt thép và ở mỗi độ sâu từ bề mặt bê tông, nên sử dụng máy cắt bê tông khô để cắt mẫu bê tông. Việc này nhằm tránh sự rửa trôi của ion clorua từ bê tông do sử dụng nước. Độ dày của các mẫu bê tông cắt ra nên từ 10 đến 20 mm vì sự hiện diện của cốt liệu thô trong mẫu nhỏ có thể ảnh hưởng lớn đến kết quả đo. Các mảnh bê tông được mài mịn đến 0,15 mm hoặc nhỏ hơn, bao gồm cả cốt liệu thô, sẽ được sử dụng làm mẫu để phân tích. Một ví dụ về mẫu lõi đã được lấy và cắt theo chiều sâu được trình bày trong Ảnh 2.6.4.



Ảnh 2.6.4 Lấy mẫu lõi và mẫu lõi cắt theo chiều sâu

Trong việc đo lường tổng hàm lượng ion clorua, axit nitric được thêm vào mẫu để phân tích và đun sôi để chiết xuất ion clorua. Sau đó, dung dịch này được lọc, và nồng độ ion clorua trong dịch lọc được đo bằng phương pháp chuẩn độ điện thế để xác định nồng độ ion clorua trong bê tông.

2.6.5.2 Dự báo sự xâm nhập của ion clorua trong bê tông

(1) Sự xâm nhập ion clorua và tiến trình ăn mòn cốt thép cần được dự báo để ước tính sự hư hại của các kết cấu bê tông do ăn mòn cốt thép gây ra bởi ion clorua.

(2) Về nguyên tắc, sự hư hại nên được dự báo dựa trên kết quả kiểm tra/khảo sát.

Trong ăn mòn do ion clorua, cốt thép trong bê tông bắt đầu bị ăn mòn do sự hiện diện của ion clorua. Sự mở rộng của sản phẩm ăn mòn gây ra vết nứt và bong tróc bê tông, làm giảm diện tích mặt cắt của cốt thép, từ đó giảm hiệu suất của kết cấu. Do đó, để dự báo khi nào cốt thép sẽ bắt đầu bị ăn mòn, cần phải dự báo sự xâm nhập của ion clorua. Dự báo tiến trình ăn mòn cốt thép yêu cầu phải biết tốc độ ăn mòn cốt thép. Tốc độ ăn mòn sau khi cốt thép bắt đầu bị ăn mòn chủ yếu phụ thuộc vào sự có mặt của nước và oxy, là những yếu tố cần thiết cho phản ứng ăn mòn. Do đó, tốc độ ăn mòn sẽ thay đổi tùy thuộc vào môi trường mà kết cấu đó đang tồn tại và chất lượng bê tông. Tốc độ ăn mòn nên được xác định phù hợp khi xem xét các yếu tố ảnh hưởng này. Nếu có thể dự báo được thời điểm bắt đầu và tốc độ ăn mòn cốt thép, sẽ có thể dự báo sự giảm diện tích mặt cắt của cốt thép. Điều này, đến lượt nó, sẽ giúp dự báo sự suy giảm trong hiệu suất kết cấu của các bộ phận bê tông cốt thép.

Về các tham số cần thiết để dự báo sự xâm nhập ion clorua, việc sử dụng kết quả nồng độ ion clorua từ mẫu lõi bê tông lấy từ kết cấu thực tế là thích hợp. Dựa trên kết quả của kiểm tra và thí nghiệm sử dụng phương pháp điện hóa và các phương pháp khác, có thể ước tính tốc độ ăn mòn của cốt thép, điều này là cần thiết để dự báo tiến trình ăn mòn.

Vì sự di chuyển của ion clorua trong bê tông có thể được coi là hiện tượng khuếch tán, việc sử dụng Công thức (2.6.4) hoặc Định lý khuếch tán thứ hai của Fick, được giải quyết bằng cách sử dụng điều kiện biên phù hợp, là chấp nhận được. Công thức (2.6.5) được biết đến rộng rãi và là một giải pháp cho Công thức (2.6.4), giả định rằng nồng độ ion clorua trên bề mặt bê tông là không đổi bất kể thời gian sử dụng. Lưu ý rằng Dap trong Công thức (2.6.5) được đặt là "hệ số khuếch tán ước tính" vì C(x, t) đại diện cho nồng độ tổng của ion clorua trên mỗi đơn vị thể tích bê tông, chứ không phải trong pha lỏng như được định nghĩa trong Công thức (2.6.4). Nếu nồng độ của ion clorua bị ô nhiễm ban đầu Ci không rõ, có thể thay thế bằng nồng độ ion clorua của mẫu lấy từ một vị trí được cho là không bị ảnh hưởng bởi sự xâm nhập của ion clorua.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (2.6.4)$$

Trong đó

C: Nồng độ ion clorua trong pha lỏng (trong dung dịch)

D_c: Hệ số khuếch tán ion clorua ước tính

x: Khoảng cách từ bề mặt bê tông

t: Thời gian

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 x}{2 \sqrt{D_{ap} t}} \right) \right) + C_i \quad (2.6.5)$$

Trong đó

C(x, t) : Nồng độ ion clorua (kg/m³) tại độ sâu x (mm) từ bề mặt bê tông sau thời gian trôi qua t (năm)

C₀ : Nồng độ ion clorua tại bề mặt bê tông (kg/m³)

D_{ap} : Hệ số khuếch tán ước tính của ion clorua (cm²/năm)

C_i : Nồng độ ion clorua bị ô nhiễm ban đầu

erf : Hàm lỗi

Nếu Công thức (2.6.5) được sử dụng để dự báo, hệ số khuếch tán ước tính D_{ap} phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng bê tông. Cụ thể, hệ số khuếch tán ước tính bị ảnh hưởng mạnh bởi tỷ lệ nước/xi măng W/C và loại xi măng. Ngoài ra, nồng độ ion clorua tại bề mặt bê tông C_0 phụ thuộc rất nhiều vào môi trường tiếp xúc (ví dụ, khu vực thủy triều và khu vực bắn nước).

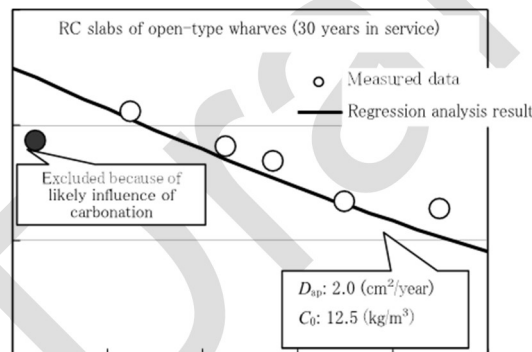
Có ba phương pháp khả thi để xác định các tham số này (C_0 , and D_{ap}), như sau. Lưu ý rằng (iii) chỉ áp dụng cho D_{ap} .

i) Sử dụng kết quả kiểm tra từ kết cấu mục tiêu

Nếu kết quả kiểm tra/thí nghiệm phân bố nồng độ ion clorua đã được thu thập, C_0 và D_{ap} có thể được xác định thông qua phân tích hồi quy của hồ sơ nồng độ ion clorua theo Công thức (2.6.5).

Khi tính toán hệ số khuếch tán ước tính D_{ap} của ion clorua bằng phân bố nồng độ ion clorua trong mẫu lõi bê tông, với độ tin cậy của phân tích hồi quy, nên sử dụng giá trị tại năm vị trí hoặc hơn ở các độ sâu khác nhau từ bề mặt bê tông. Nếu phản ứng trung hòa đã xảy ra trên lớp bề mặt bê tông, do ion clorua trong bê tông đã di chuyển đến và tập trung tại mặt tiền trung hòa, nồng độ ion clorua tại lớp bề mặt bê tông nên được loại trừ khỏi phép tính trong những trường hợp này. Hình 2.6.9 cho thấy một ví dụ về hồ sơ nồng độ ion clorua và kết quả của phân tích hồi quy khi lớp bề mặt bê tông đã bị trung hòa.

Tuy nhiên, kết quả kiểm tra và khảo sát đối với C_0 và D_{ap} cho thấy có sự biến động lớn ngay cả trong cùng một kết cấu, và do đó, cần phải nhận thức rằng có sự biến đổi trong đặc tính xâm nhập của ion clorua vào bê tông.



Hình.2.6.9 Biểu đồ phân bố nồng độ ion clorua trong bê tông có lớp bề mặt đã bị trung hòa, và kết quả phân tích hồi quy

ii) Sử dụng kết quả kiểm tra từ môi trường và kết cấu tương tự cùng với các hồ sơ nghiên cứu hiện có

Nếu không có kết quả kiểm tra/khảo sát, C_0 và D_{ap} có thể được xác định bằng phương pháp sau:

① Hệ số khuếch tán ước tính D_{ap}

Giá trị thiết kế của hệ số khuếch tán D_d có thể được tính từ tỷ lệ nước/xi măng W/C bằng công thức sau. Lưu ý rằng D_d có thể được xem là D_{ap} . Ngoài ra, nếu kết cấu không có vết nứt hoặc chỉ có một vài vết nứt, thì hạng mục thứ hai phía bên phải của Công thức (2.6.6) có thể được loại bỏ.

$$D_d = \gamma_c D_k + \lambda \left(\frac{w}{\ell} \right) D_0 \quad (2.6.6)$$

Trong đó,

γ_c : Hệ số vật liệu của bê tông (thông thường = 1,0)

D_k : Giá trị đặc trưng của hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông ($\text{cm}^2/\text{năm}$)

λ : Hệ số biểu thị ảnh hưởng của các vết nứt hiện có đến hệ số khuếch tán (thông thường = 1,5)

D_0 : Hằng số biểu thị ảnh hưởng của các vết nứt đến sự di chuyển của ion clorua trong bê tông (thông thường = $400 \text{ cm}^2/\text{năm}$)

w/l : Tỷ lệ giữa chiều rộng vết nứt và khoảng cách giữa các vết nứt ($w/l = (\sigma_{se}/E_s + \varepsilon'_{csd})$)

σ_{se} : Tăng cường ứng suất của cốt thép (N/mm^2)

E_s : Mô đun đàn hồi của cốt thép (N/mm^2)

ε'_{csd} : Hằng số dùng để xem xét sự tăng chiều rộng vết nứt do sự co ngót của bê tông, sự chảy và các yếu tố khác

Nếu bê tông thực tế được sử dụng đã được xác định, giá trị đặc trưng của hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông D_k sử dụng trong Công thức (2.6) có thể được xác định từ một thí nghiệm sử dụng mẫu thử được tạo ra từ bê tông đó. Trong các trường hợp khác, có thể đạt được giá trị này bằng cách gán W/C vào Công thức (2.6.7) và Công thức (2.6.8). Tuy nhiên, trong trường hợp này, độ chính xác ước tính của D_k không cao. Các công thức này được xây dựng dựa trên kết quả của các cuộc khảo sát được thực hiện tại Nhật Bản. Các giá trị này có thể thay đổi tùy thuộc vào nguyên liệu sử dụng (xi măng, v.v.).

- Khi sử dụng xi măng Portland thông thường ($0,35 < W/C < 0,55$)

$$\log_{10} D_k = 3,4 (W/C) - 1,9 \quad (2.6.7)$$

- Khi sử dụng xi măng xỉ lò cao hoặc bụi silic ($0,40 < W/C < 0,55$)

$$\log_{10} D_k = 2,5 (W/C) - 1,8 \quad (2.6.8)$$

② Nồng độ ion clorua tại bề mặt bê tông C_0

Theo Tiêu chuẩn Kỹ thuật và Bình luận cho các Công trình Cảng và Cảng biển tại Nhật Bản, có thể xác định C_0 bằng Công thức (2.6.9). Lưu ý rằng công thức này được xác định dựa trên kết quả của một cuộc khảo sát về kết cấu trên của các bến cảng kiểu mở.⁶⁾

$$C_0 = -6,0 x + 15,1 \quad (2.6.9)$$

Trong đó

x: Khoảng cách giữa mực nước cao nhất (H.W.L.) và bề mặt bê tông (m). Tuy nhiên, phạm vi áp dụng của x phải trong khoảng $0 \leq x \leq 2$, và C_0 không được nhỏ hơn $6,0 \text{ kg/m}^3$.

iii) Sử dụng hệ số khuếch tán trong bê tông thu được từ các thí nghiệm gia tốc

Thí nghiệm di chuyển điện (Electrical migration test) là phương pháp ước lượng hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông. Với phương pháp này, ngay cả khi ion clorua chưa xâm nhập qua mẫu lõi bê tông, vẫn có thể ước lượng được hệ số khuếch tán ion clorua trong bê tông.

Thí nghiệm di chuyển điện đo lường độ dễ dàng di chuyển của ion clorua qua bê tông mao quản bằng cách sử dụng gradient điện thế làm lực tác động để di chuyển ion clorua. Hệ số biểu thị độ dễ dàng di chuyển này được gọi là hệ số khuếch tán hiệu quả. Hệ số khuếch tán hiệu quả khác với hệ số khuếch tán ước tính đã đề cập trước đó, vốn được sử dụng cho tất cả các ion clorua trong bê tông. Vì vậy, hệ số khuếch tán hiệu quả ước lượng được bằng thí nghiệm di chuyển điện phải được chuyển đổi thành hệ số khuếch tán ước tính trong bê tông.

Đối với phương pháp thí nghiệm di chuyển điện và phương pháp chuyển đổi hệ số khuếch tán hiệu quả thành hệ số khuếch tán ước tính của ion clorua trong bê tông, nên tham khảo các tài liệu sau

- Phương pháp kiểm tra hệ số khuếch tán hiệu quả của ion clorua trong bê tông bằng phương pháp di chuyển điện (JSCE-G 571-2007).
- Phương pháp tính toán hệ số khuếch tán ước tính sử dụng hệ số khuếch tán hiệu quả qua thí nghiệm điện di (Phụ lục JSCE-G 571-2007).

Thí nghiệm di chuyển điện sau đây chưa được chuẩn hóa tại Nhật Bản. Thí nghiệm này xác định hệ số khuếch tán từ độ sâu xâm nhập của muối sau khi dòng điện được áp dụng.

- Nordtest NT BUILD 492 “Hệ số di chuyển ion clorua từ thí nghiệm di chuyển không ổn định”, Nordtest, Finland (1999)

2.6.6 Hiện tượng cacbonat hóa

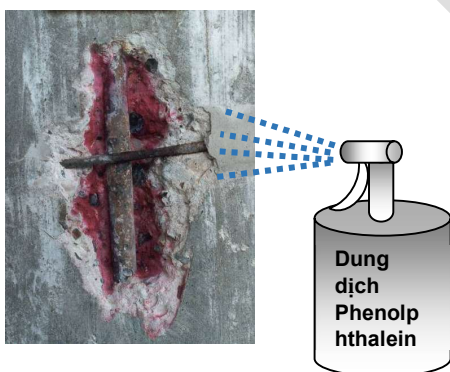
Cacbonat hóa trong các kết cấu bê tông là hiện tượng bê tông dần mất đi tính kiềm từ bề mặt do sự xâm nhập của khí carbon dioxide (CO_2) và các loại axit khác nhau vào bên trong. Khi vùng cacbonat hóa tiến gần đến cốt thép, màng thụ động bảo vệ cốt thép sẽ bị phá hủy, và sự ăn mòn sẽ tiến triển do có sự hiện diện của độ ẩm và oxy. Cacbonat hóa cũng có thể phát triển khi bê tông bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ cao do hỏa hoạn hoặc các sự kiện tương tự.

Thông thường, trong các công trình cảng biển, bê tông thường ở trạng thái ẩm ướt nên quá trình cacbonat hóa diễn ra rất chậm so với hư hại do muối; vì vậy, việc kiểm tra và khảo sát hiện tượng cacbonat hóa thường không được chú trọng trong đánh giá độ bền của các công trình cảng. Tuy nhiên, khi bê tông nằm trong môi trường khí biển hoặc lớp bảo vệ cốt thép mỏng, quá trình cacbonat hóa có thể tiến triển đến mức gây ăn mòn cốt thép bên trong, do đó cần phải hiểu rõ mức độ cacbonat hóa của bê tông. Ngoài ra, khi hiện tượng cacbonat hóa xảy ra tại lớp bề mặt của bê tông, nó có thể ảnh hưởng đến sự phân bố nồng độ ion clorua trong bê tông và làm tăng tốc độ ăn mòn cốt thép. Vì lý do này, việc đánh giá mức độ cacbonat hóa của bê tông cũng trở nên cần thiết ngay cả khi dự đoán và đánh giá tiến trình của hư hại do muối.

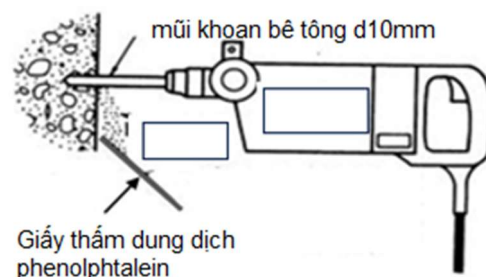
Phương pháp phổ biến nhất để xác định mức độ cacbonat hóa của bê tông là đo độ sâu cacbonat hóa thông qua lõi khoan lấy từ kết cấu bê tông, các mảnh bê tông bị đục vỡ hoặc bề mặt của các bộ phận bị đục, hoặc bột bê tông thu được từ việc khoan lỗ.

Để kiểm tra và khảo sát hiện tượng cacbonat hóa của bê tông, nên tham khảo các tiêu chuẩn sau;

- Phương pháp đo độ sâu cacbonat hóa của bê tông (JIS A 1152:2018)
- Phương pháp thử cacbonat hóa cho kết cấu bê tông bằng bột khoan (NDIS 3419:2011)



Hình 2.6.10 Phương pháp kiểm tra quá trình cacbonat hóa bằng cách phun dung dịch phenolphthalein 1%



Hình 2.6.11 Phương pháp kiểm tra quá trình cacbonat hóa bằng cách khoan

2.6.7 Phản ứng kiềm - silic (ASR)

Sự suy giảm chất lượng bê tông do phản ứng kiềm - silic (ASR) đặc trưng bởi hiện tượng bê tông trương nở do phản ứng ASR và sự xuất hiện cũng như phát triển của các vết nứt. Việc suy giảm chất lượng bê tông

do ASR chủ yếu bị ảnh hưởng bởi độ phản ứng của cốt liệu sử dụng (loại và hàm lượng khoáng phản ứng), thành phần cấp phối bê tông (hàm lượng kiềm trong xi măng và lượng xi măng trong hỗn hợp bê tông), và điều kiện môi trường mà kết cấu tiếp xúc (nguồn cung cấp nước và kiềm, nhiệt độ, v.v.). Ngoài ra, sự xuất hiện và phát triển của các vết nứt còn bị ảnh hưởng bởi lượng cốt thép trong kết cấu và điều kiện kim hãm bê tông.

Trước đây, trong công tác bảo trì và quản lý các công trình có hiện tượng ASR, người ta chủ yếu chú trọng đến việc ăn mòn cốt thép do các vết nứt gây ra, cũng như xem xét yếu tố thẩm mỹ và cảnh quan. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, đã ghi nhận hiện tượng gãy ở các đoạn uốn cong và mối hàn áp lực của cốt thép do ASR, từ đó tiến hành điều tra về thực trạng và cơ chế xảy ra, và đã thấy rằng có khả năng xảy ra hư hỏng nghiêm trọng ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của kết cấu.

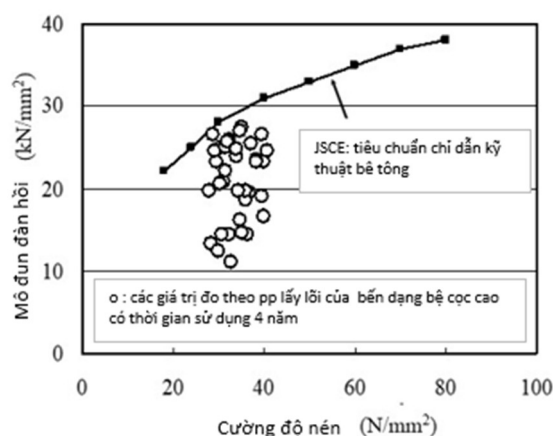
Việc khảo sát các kết cấu bê tông có nguy cơ suy giảm do ASR thường bao gồm các bước như kiểm tra trực quan, khảo sát hiện trường (đo độ rộng vết nứt, mức độ trương nở), và thực hiện các thí nghiệm trong phòng sử dụng mẫu lõi khoan. Danh sách các hạng mục kiểm tra và khảo sát liên quan đến ASR được trình bày trong Bảng 2.6.6. Tuy nhiên, theo báo cáo, ngay cả khi thực hiện nhiều loại thí nghiệm khác nhau thì dữ liệu thu được cũng hiếm khi cung cấp thêm thông tin hữu ích hơn so với khảo sát trực quan. Do đó, phương pháp kiểm tra và khảo sát đối với kết cấu bê tông nghi ngờ có hiện tượng ASR cần được lựa chọn phù hợp dựa trên loại biến dạng cần đánh giá, thông tin cần thu thập và độ chính xác yêu cầu, cũng như khả năng ứng dụng kết quả kiểm tra vào công tác bảo trì sau này.

Một số thí nghiệm sử dụng lõi khoan đòi hỏi chuyên môn cao, và tùy thuộc vào phương pháp thí nghiệm, dữ liệu thu được có thể bị diễn giải sai. Ngoài ra, độ trương nở còn lại của bê tông trong các thí nghiệm gia tốc thường nhỏ hơn so với thực tế tại công trình. Vì vậy, kết quả trương nở của bê tông từ các thí nghiệm gia tốc không nên được sử dụng trực tiếp để đánh giá độ trương nở còn lại của các kết cấu bê tông.

Một phương pháp đơn giản để điều tra ASR là sử dụng mô đun đàn hồi Young của bê tông làm chỉ số đánh giá. Theo các nghiên cứu trước đây, một đặc điểm của bê tông bị suy giảm do ASR là mô đun đàn hồi Young giảm mạnh hơn so với cường độ chịu nén (Hình 2.6.12).

Bảng 2.6.6 Các hạng mục kiểm định và khảo sát tính kiềm (ASR)

	Các hạng mục khảo sát và kiểm tra
Kiểm định trực quan	Nứt (theo hướng bị hạn chế, hình dạng/mẫu), bong tróc/lột, nở ra, dịch chuyển/deformation, biến màu, bậc, sự tiết gel. (gel exudation)
Đo đặc tạo hiện trường	Sự lan rộng của vết nứt (phương pháp đồng hồ tiếp xúc, v.v.) Mở rộng và dịch chuyển (đồng hồ đo dịch chuyển, v.v.) Kiểm tra không phá hủy (đo độ nảy, vận tốc sóng siêu âm, v.v.)
Thí nghiệm lấy mẫu của kết cấu	Các tính chất cơ học (cường độ nén, mô đun Young, v.v.) Khả năng giãn nở dư (ví dụ: lượng giãn nở) Các loại đá kết hợp và loại khoáng chất phản ứng Phản ứng kiềm-silica của các vật liệu kết hợp Xác định gel kiềm-silica Hàm lượng kiềm



Hình .2.6.12 Quan hệ giữa cường độ nén và mô đun đàn hồi bê tông

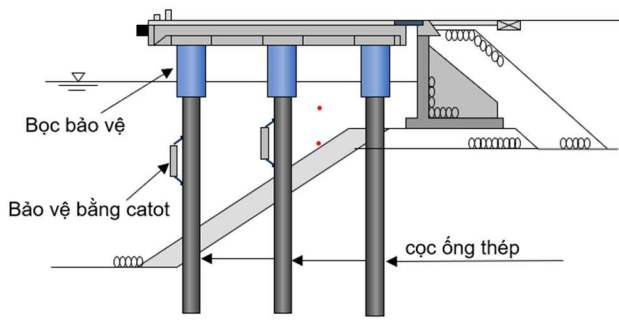
2.7 Khảo sát kết cấu thép

2.7.1 Tổng quan

Các kết cấu thép tại cảng và bến cảng thường xuyên tiếp xúc với môi trường biển, do đó chịu ảnh hưởng bởi điều kiện ăn mòn khắc nghiệt hơn so với các kết cấu thép trên đất liền. Vì lý do này, vật liệu thép trong các công trình này thường được trang bị các biện pháp bảo vệ chống ăn mòn (phòng chống ăn mòn). Các phương pháp phòng chống ăn mòn cho kết cấu thép tại cảng và bến cảng được phân loại như trình bày trong Bảng 2.7.1.

Bảng 2.7.1 Các phương pháp bảo vệ chống ăn mòn cho các kết cấu thép cảng và bến tàu

Dạng bảo vệ		Dạng và tên phương pháp	
Phương pháp catot		Phương pháp anod	
		Phương pháp bảo vệ thép bằng dòng điện cưỡng bức	
Phương pháp bảo vệ bằng lớp phủ	Phủ tại nhà máy	Paint	
		Nhựa epoxy dày dùng cho môi trường biển	
		Phủ hữu cơ	Phủ nhựa Polyethylene
			Lớp phủ đàn hồi urethane
			Phủ nhựa epoxy siêu dày
			Phủ lớp đàn hồi urethane siêu dày
	Phủ tại công trường	Phủ vô cơ	Phủ kim loại chống ăn mòn
			Lớp phủ kim loại titan dày
			Lớp phủ thép bọc dày
		Phủ hữu cơ	Sơn
			Phủ dạng putty
		Phủ lớp Petrolatum	Lớp phủ dưới nước
			Vỏ bảo vệ bằng nhựa
			Lớp phủ bảo vệ kim loại chống ăn mòn
			Vỏ bảo vệ bằng nhựa
	Phủ vô cơ	Phủ vữa	Lớp phủ bảo vệ kim loại chống ăn mòn
		Bọc bê tông cốt thép	Loại ván khuôn tháo dỡ
			Loại ván khuôn tại chỗ



Hình 2.7.1 Ví dụ về phương pháp bảo vệ chống ăn mòn được áp dụng cho bến bệ cọc cao

Thông thường, phương pháp bảo vệ chống ăn mòn bằng sơn phủ được áp dụng cho phạm vi kết cấu nằm từ trong vùng mực nước chiều thay đổi đến khoảng không phía trên, còn phương pháp bảo vệ catốt được áp dụng cho khu vực dưới nước. Tuy nhiên, vì một số lý do, chức năng bảo vệ chống ăn mòn có thể bị mất và hiện tượng ăn mòn có thể xảy ra. Ngoài ra, một số kết cấu thép vẫn chưa được trang bị hệ thống bảo vệ chống ăn mòn do được thiết kế theo khái niệm cũ là bù ăn mòn (corrosion allowance). Do đó, việc kiểm tra định kỳ để xác định sự tồn tại hay không của hiện tượng ăn mòn đối với vật liệu thép trong những môi trường này là rất quan trọng.

Để kiểm tra sự tồn tại và mức độ ăn mòn của thép cũng như sự mất mát của vật liệu lấp sau ở khu vực dưới nước, thường tiến hành kiểm tra trực quan bằng thợ lặn hoặc thiết bị lặn không người lái dưới nước (ROV). Ngoài ra, các phương pháp khác cũng được sử dụng để xác nhận tình trạng bảo vệ chống ăn mòn như đo điện thế của kết cấu thép và kiểm tra mức độ hao mòn của các anốt dùng trong hệ thống bảo vệ catốt.

Chương này chủ yếu đề cập đến các kết cấu thép tại cảng và bến cảng (tường kè, cầu cảng, kè chắn sóng, v.v.) sử dụng cọc ván thép, cọc ván ống thép và cọc ống thép, nhưng cũng có thể áp dụng cho các kết cấu thép cảng biển khác nếu có sự xem xét đầy đủ điều kiện thực tế.

Các phương pháp kiểm tra và khảo sát đối với vật liệu thép và biện pháp chống ăn mòn được trình bày trong chương này được xem là tiêu chuẩn cơ bản.

Chương này mô tả các phương pháp cơ bản, tiêu chuẩn để thực hiện kiểm tra và khảo sát các nội dung sau.

- 1) Phương pháp kiểm tra và khảo sát hệ thống bảo vệ catốt (xem mục 2.7.2)
- 2) Phương pháp kiểm tra và khảo sát sơn phủ bảo vệ (xem mục 2.7.3)
- 3) Đo độ dày tấm thép (xem mục 2.7.4)

Đối với các nội dung không được đề cập trong chương này cũng như các nguyên tắc cơ bản về bảo vệ chống ăn mòn, có thể tham khảo các tài liệu sau:

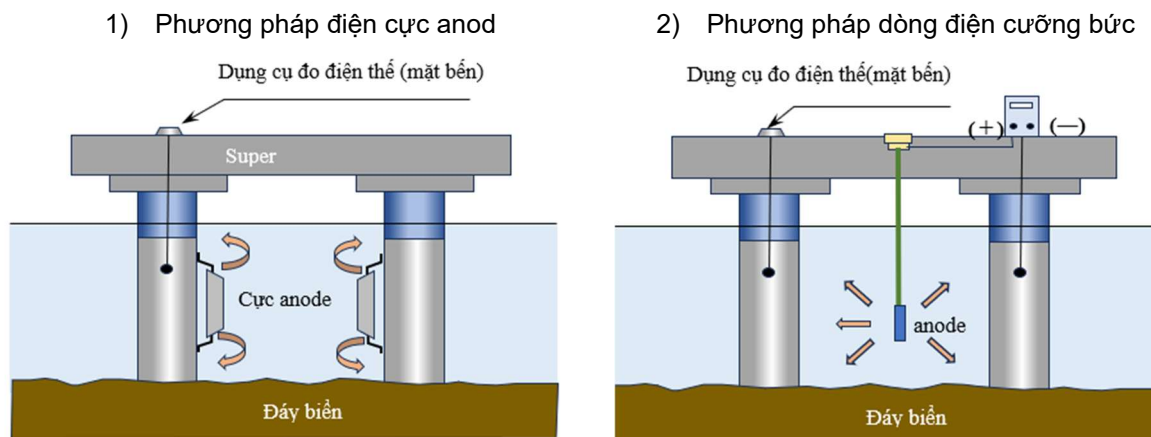
- “Hướng dẫn Bảo trì và Sửa chữa Công trình Cảng và Bến cảng (2023), CDIT”
- “Sổ tay BẢO VỆ CHỐNG ĂN MÒN VÀ SỬA CHỮA CHO CÁC KẾT CẤU THÉP CẢNG BIỂN (1998), OCDF”

2.7.2 Khảo sát hệ thống bảo vệ catốt

Có hai loại hệ thống bảo vệ catốt được áp dụng cho kết cấu thép tại cảng và bến cảng như minh họa trong Hình 2.7.2:

1. Phương pháp anod hy sinh (galvanic anod method)

2. Phương pháp dòng điện cưỡng bức (impressed current method)



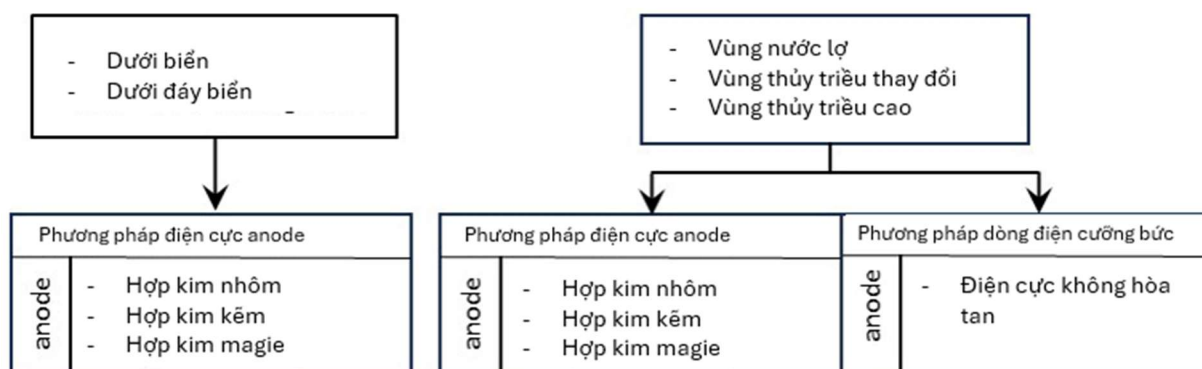
Phương pháp bảo vệ chống ăn mòn này được thực hiện bằng cách kết nối một kim loại có thế điện thấp hơn thép làm anod. Trong các kết cấu thép cảng, thường sử dụng các anod hợp kim nhôm.

Phương pháp này sử dụng một thiết bị nguồn điện ngoài để ép buộc dòng điện bảo vệ từ anode đi qua vật liệu thép.

Hình 2.7.2 Các dạng bảo vệ catốt

Việc lựa chọn phương pháp bảo vệ catốt được quyết định dựa trên độ dẫn điện (hiệu quả của chất điện phân) tại khu vực biển liên quan. Thông thường, phương pháp anode mỗi sử dụng anode hợp kim nhôm được áp dụng, tuy nhiên, trong môi trường có sự pha trộn của nước sông, cần phải lựa chọn và áp dụng phương pháp phù hợp nhất, bao gồm cả phương pháp dòng điện cưỡng bức.

Hình 2.7.3 trình bày phân loại các môi trường ăn mòn và các phương pháp bảo vệ catốt phù hợp.



Hình 2.7.3 Môi Trường Ăn Mòn và Phương Pháp Bảo Vệ Điện Cực Áp Dụng

Việc khảo sát hiện trường của hệ thống bảo vệ catốt sử dụng anode hy sinh thường được thực hiện thông qua:

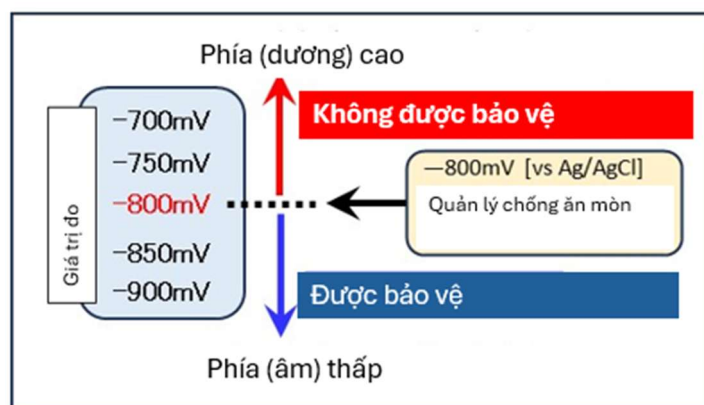
(a) Đo điện thế của vật liệu thép

(b) Khảo sát tình trạng lắp đặt và mức độ tiêu hao của các anod

Việc đo điện thế của kết cấu thép có thể phản ánh trạng thái ăn mòn hiện tại của kết cấu. Điện thế bảo vệ, là tiêu chuẩn để đánh giá liệu thép ngâm trong nước biển có đang trong trạng thái được bảo vệ chống ăn mòn hay không, được xác định là -780 mV khi sử dụng điện cực Ag/AgCl [sw]. Tuy nhiên, cho mục đích bảo trì và quản lý, điện thế quản lý kiểm soát ăn mòn được thiết lập là -800 mV , nhằm bao gồm một khoảng an toàn trong điện thế bảo vệ chống ăn mòn (xem Hình 2.7.4).

Tuy nhiên, nếu điện thế đo được của thép lớn hơn điện thế quản lý kiểm soát ăn mòn, nghĩa là việc kiểm soát ăn mòn không còn hiệu quả. Trong các trường hợp có bất thường như anod bị tiêu hao hết hoặc bị rơi ra, cần tiến hành kiểm tra tình trạng lắp đặt và mức độ tiêu hao của các anod.

Dù áp dụng phương pháp anod hy sinh hay phương pháp dòng điện cưỡng bức, điều quan trọng là phải đảm bảo đạt được điện thế kiểm soát bảo vệ chống ăn mòn đã quy định. Để làm được điều này, cần phải kiểm tra anod (hư hỏng, hao mòn), phương pháp lắp đặt anod, hệ thống dây điện, nguồn cấp điện, v.v., nhằm phát hiện sớm các bất thường, và tiến hành sửa chữa hoặc gia cố các khu vực bị lỗi.



Hình 2.7.4 Ví dụ về xác định hiệu quả chống ăn mòn

(a) Đo điện thế của vật liệu thép

Điện thế của vật liệu thép thường được đo bằng vôn kế điện trở cao, điện cực tham chiếu, và thiết bị đo điện thế được lắp đặt tại kết cấu mục tiêu cần bảo vệ chống ăn mòn.

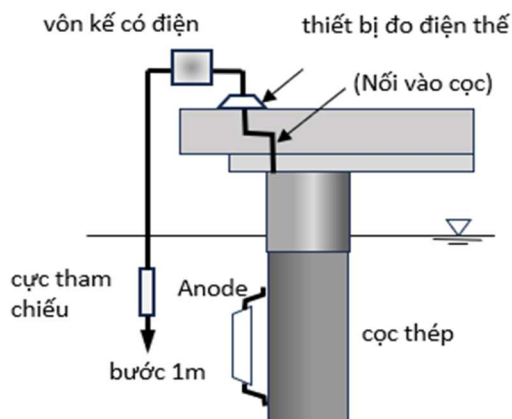
Thông thường, vôn kế một chiều (DC) có điện trở bên trong từ $1\text{ M}\Omega/\text{V}$ trở lên có thể được sử dụng như một vôn kế điện trở cao, và điện cực Ag/AgCl [sw] có thể được sử dụng làm điện cực tham chiếu. Tuy nhiên, nếu điện cực tham chiếu được sử dụng ở những vị trí như đáy biển — nơi khó thay thế điện cực — và phải sử dụng cùng một điện cực trong thời gian dài, thì cần sử dụng điện cực kẽm (Zn), do thành phần của nó có thể duy trì điện thế ổn định và nội tại. Một thử nghiệm thực địa dài hạn (~10 năm) đã xác nhận rằng điện cực kẽm có độ bền cao ngay cả trong môi trường khắc nghiệt như sóng lớn hoặc nơi có chuyển động của cát.

Điện thế của các kết cấu mục tiêu được bảo vệ trong nước biển được đo theo hướng chiều sâu với khoảng cách 1 mét giữa các điểm đo, như minh họa trong Hình 2.7.5. Các điểm đo giống nhau nên được sử dụng trong các lần kiểm tra kế tiếp. Việc theo dõi sự thay đổi trạng thái bảo vệ chống ăn mòn thông qua sự chuyển biến của điện thế là rất quan trọng.

Đối với việc đo điện thế, cực dương của vôn kế điện trở cao được kết nối với thiết bị đo điện thế thông qua dây dẫn, trong khi cực âm được kết nối với điện cực tham chiếu. Các dụng cụ kết nối, chẳng hạn như kẹp cá sấu, thường được sử dụng do có điện trở tiếp xúc thấp. Ngoài ra, cần gắn thêm vật nặng vào điện cực tham chiếu để đảm bảo vị trí đo không thay đổi do các yếu tố như thủy triều.

Thiết bị đo điện thế (xem Ảnh 2.7.1) được lắp đặt cách nhau khoảng 20 đến 50 mét theo hướng kéo dài của kết cấu được bảo vệ chống ăn mòn. Điện thế thường được đo tại các vị trí lắp đặt thiết bị đo điện thế và tại

các điểm giữa các thiết bị.



Hình 2.7.5 Phương pháp đo điện thế



Ảnh 2.7.1 Thiết bị đo điện thế (mặt bên)

(b) Khảo sát tình trạng lắp đặt và mức độ tiêu hao của các anod

Việc kiểm tra bằng mắt thường tình trạng lắp đặt anod, đánh giá mức độ tiêu hao, và đo dòng điện phát ra từ các anod là cần thiết.

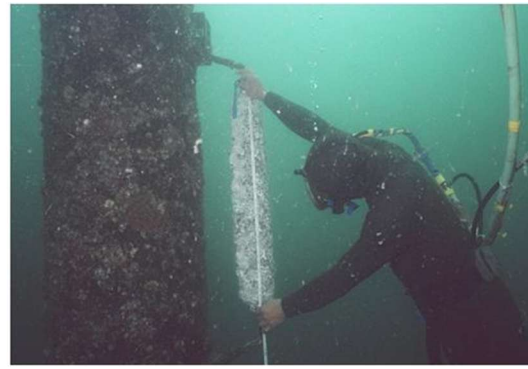
1) Kiểm tra bằng mắt thường tình trạng lắp đặt anod

Việc kiểm tra bằng mắt được thực hiện để xác nhận số lượng anod đã lắp đặt và đảm bảo rằng tình trạng của các anod đó giống như lúc thi công ban đầu. Nếu cần, có thể chụp ảnh bằng camera dưới nước để làm tài liệu xác minh.

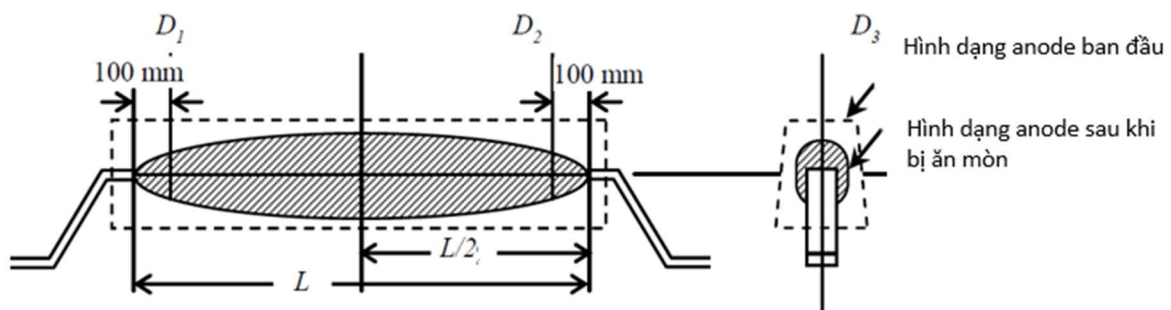
2) Kiểm tra mức độ tiêu hao

Bằng cách đo lường mức độ tiêu hao của anod, có thể xác định được tuổi thọ còn lại của anod cũng như mật độ dòng điện bảo vệ của toàn bộ kết cấu mục tiêu. Để đo mức tiêu hao, khoảng 3 đến 5% trong tổng số anod đã lắp đặt sẽ được lựa chọn ngẫu nhiên tại các vị trí tùy ý, sau đó thợ lặn sẽ đo hình dạng và kích thước anod dưới nước, hoặc kéo anod lên để cân trọng lượng trên bờ.

Khi lựa chọn anod để kiểm tra, cần phải xem xét vị trí và độ sâu lắp đặt, nhằm đảm bảo rằng kết quả đo phản ánh chính xác tình trạng bảo vệ chống ăn mòn của toàn bộ kết cấu. Ngoài ra, cần phải xác nhận trước lịch sử bảo trì của các anod, chẳng hạn như vị trí và thời điểm thay thế anod trong suốt thời gian sử dụng do một số nguyên nhân nào đó. Ảnh 2.7.2 minh họa tình trạng hao mòn anod và các điều kiện khác được khảo sát bởi thợ lặn. Hình 2.7.6 trình bày phương pháp đo hình dạng anod và cách tính khối lượng còn lại của anod.



Ảnh 2.7.2 Khảo sát tính trạng Anod bằng thợ lặn



Khối lượng còn lại của anod $= [(D/4)^2 \cdot L - V] \times \text{mật độ anod}$

Trong đó:

D : chu vi trung bình $= (D_1 + D_2 + D_3)/3$

D_1, D_2 : chu vi tại vị trí khoảng 100 mm về hai phía của anod

D_3 : chu vi kích thước còn lại của anod

L : chiều dài còn lại của anod

Hình 2.7.6 Phương pháp đo hình học anod và tính toán khối lượng còn lại của anod

3) Kiểm tra dòng điện phát ra

Bằng cách đo dòng điện phát ra từ các anod, có thể kiểm tra tốc độ hao mòn của anod và ước tính tuổi thọ còn lại một cách tương đối. Dòng điện phát ra từ anod thường được đo bằng phương pháp sụt áp, trong đó điện áp trên điện trở shunt được đo để tính dòng điện. Để thực hiện đo lường này, thiết bị đo dòng điện cần được gắn sẵn vào anod từ trước.

4) Khảo sát tốc độ ăn mòn bằng mẫu thử

Hiệu quả chống ăn mòn của các kết cấu thép tại cảng và bến tàu có thể được xác nhận thông qua mẫu thử hoặc khảo sát môi trường. Việc sử dụng mẫu thử không chỉ cho phép xác nhận tình trạng ăn mòn trên bề mặt thép, mà còn có thể đánh giá định lượng hiệu quả bảo vệ chống ăn mòn dựa trên mức độ giảm khối lượng do ăn mòn.

Khi sử dụng mẫu thử, một cặp mẫu thử (một mẫu có cấp điện và một mẫu không cấp điện) sẽ được lắp đặt

tại mỗi độ sâu của kết cấu mục tiêu khi hệ thống bảo vệ cathodic được thi công.

Tình trạng bề mặt sẽ được kiểm tra bằng mắt thường, và khối lượng sẽ được đo.

Mức độ ăn mòn được tính từ giảm khối lượng của mẫu thử, dùng để tính tốc độ ăn mòn và hiệu suất bảo vệ ăn mòn của kết cấu mục tiêu. Các công thức tính như sau:

- Tốc độ ăn mòn = Khối lượng giảm do ăn mòn / Diện tích bề mặt mẫu thử / Thời gian thử nghiệm / Mật độ của mẫu thử (2.7.1)
- Hiệu suất bảo vệ ăn mòn = (Khối lượng giảm của mẫu không bảo vệ – Khối lượng giảm của mẫu có bảo vệ) / Khối lượng giảm của mẫu không bảo vệ (2.7.2)

Ở Nhật Bản, hiệu suất bảo vệ ăn mòn 90% thường được sử dụng trong thiết kế hệ thống bảo vệ cathodic.

Ngoài các khảo sát trên, khảo sát môi trường về chất lượng nước và trầm tích đáy tại khu vực biển xung quanh cũng cung cấp dữ liệu hữu ích để hiểu xu hướng hao mòn anod. Các hạng mục khảo sát bao gồm pH, Thế oxy hóa – khử (ORP), sulfides, và vi khuẩn khử sulfate (SRB). Ngoài ra, có thể đánh giá chỉ số ô nhiễm nước thông qua việc khảo sát nồng độ ion clorua, oxy hòa tan, và ion amoni. Bằng cách so sánh kết quả khảo sát với môi trường ăn mòn giả định trong thiết kế ban đầu, có thể xác nhận sự thay đổi của môi trường ăn mòn thực tế. Từ đó, những dữ liệu này có thể được sử dụng để điều tra nguyên nhân khi tình trạng chống ăn mòn không được duy trì trong suốt thời gian phục vụ của anod.

(c) Thiết bị Cung Cấp Nguồn Ngoài

Đối với thiết bị cung cấp nguồn ngoài, cần phải kiểm tra rằng chúng đang hoạt động tốt và cung cấp dòng điện đúng như yêu cầu. Cần kiểm tra các mục sau:

- Tình trạng bảo vệ ăn mòn của thép luôn được duy trì (nếu có thiết bị giám sát điện thế).
- Hoạt động và điều kiện vận hành của thiết bị cung cấp nguồn đáp ứng các yêu cầu thiết kế (điện áp đầu ra, dòng điện đầu ra, v.v.).
- Các bộ phận của thiết bị chưa đạt đến tuổi thọ dự kiến.
- Giá trị điện áp và dòng điện áp dụng cho thiết bị điện cực là phù hợp.
- Trong mạch dây điện, không được có sự đứt gãy dây và điện trở cách điện không bị suy giảm.



Hình 2.7.3 Trạm cung cấp điện bổ sung và tình trạng kiểm định

2.7.3 Khảo sát Hệ thống Bảo vệ Bề mặt

Các phương pháp bảo vệ ăn mòn bằng lớp phủ điển hình được áp dụng cho các kết cấu thép trong cảng và bến tàu được phân loại như trong Bảng 2.7.2 dưới đây.

Bảng 2.7.2 Các phương pháp bảo vệ ăn mòn bằng lớp phủ điển hình áp dụng cho kết cấu thép trong cảng

Phương pháp bảo vệ bằng lớp phủ	Phủ tại nhà máy	Sơn phủ	
		Phủ hữu cơ	Lớp phủ chống ăn mòn công nghiệp

			Lớp phủ nhựa siêu dày
		Phủ vô cơ	Lớp phủ kim loại
	Phủ tại công trường	Phủ hữu cơ	Lớp bọc dưới nước
		Phủ lớp Petrolatum	
		Phủ vô cơ	Bọc vữa bê tông
			Bọc bê tông cốt thép

(1) Mục tiêu chính của việc kiểm tra và khảo sát lớp phủ bảo vệ là phát hiện sự biến dạng của vật liệu lớp phủ có thể đã xảy ra do lão hóa hoặc tác động của vật gỗ trôi và tàu thuyền. Việc bảo vệ này đảm bảo rằng không có tình trạng bất thường nào tồn tại. Nếu quan sát thấy sự biến dạng có hại, cần phải thực hiện một cuộc khảo sát chuyên sâu hơn để xác định chính xác tình trạng và nguyên nhân của sự biến dạng, sau đó áp dụng biện pháp thích hợp.

Kiểm tra trực quan lớp phủ bảo vệ được thực hiện cho toàn bộ khu vực của công trình cần khảo sát. Khuyến nghị kiểm tra tất cả các vật liệu thép. Nếu điều này không thể thực hiện được, các phần thường xuyên bị ảnh hưởng nhất của kết cấu nên được kiểm tra. Các hồ sơ kiểm tra và khảo sát trước đó nên được tham khảo, và các phần của kết cấu có tình trạng bất thường được quan sát trong các cuộc kiểm tra trước đó cần được bổ sung vào các khu vực kiểm tra hiện tại. Ảnh chụp các phần và sự biến dạng này nên được thực hiện.

Trong khi kiểm tra lớp phủ bảo vệ, các khiếm khuyết, chẳng hạn như điều chỉnh vật liệu nền không đủ trong quá trình xây dựng và vít/đai ốc chưa được siết chặt đúng cách, thường được phát hiện trong vòng một năm kể từ khi hoàn thành công trình.

(2) Việc khảo sát để xác định chính xác tình trạng hư hỏng hoặc xuống cấp cần được thực hiện ở vùng chịu tác động sóng, vùng thủy triều và các khu vực dưới biển mà lớp phủ bảo vệ đã được áp dụng. Nhìn chung, các sinh vật và vật thể bám dính dưới khu vực thủy triều cần được loại bỏ trước khi kiểm tra một cọc tại mỗi điểm kiểm tra hoặc một phần lõm và một phần lồi của cọc ván thép tại mỗi điểm kiểm tra.

Biến dạng của lớp phủ bảo vệ có thể có nhiều hình thức khác nhau, tùy thuộc vào vật liệu lớp phủ. Kiểm tra trực quan nên tập trung vào các biến dạng sau dựa trên loại vật liệu lớp phủ:

- ① Sơn: Phồng rộp, nứt, tách lớp phủ; dấu hiệu gỉ sét trên vật liệu thép đã được phủ sơn
- ② Lớp phủ hữu cơ: Tách lớp, phồng rộp và nứt lớp phủ
- ③ Lớp phủ petrolatum: Thiếu lớp bảo vệ, ăn mòn và lõng ốc vít hoặc đai ốc
- ④ Lớp phủ vữa:
 - Loại không có lớp bảo vệ: Rơi, nứt và tách lớp vữa
 - Loại có lớp bảo vệ: Rơi, nứt, biến dạng và tách lớp bảo vệ, ăn mòn và lõng ốc vít, đai ốc
- ⑤ Lớp phủ kim loại: Ăn mòn, gỉ sét, rơi, nứt, hư hỏng, mài mòn và khuyết tật của vật liệu thép

Các phương pháp kiểm tra và khảo sát và các lưu ý cho từng loại vật liệu lớp phủ được chỉ ra như sau:

Khi phát hiện bất kỳ loại biến dạng nào trong lớp phủ bảo vệ, mức độ gỉ sét của kim loại nền (thép) là yếu tố quan trọng, và việc kiểm tra và khảo sát cần được thực hiện với sự tập trung vào điều này.

Các phương pháp kiểm tra và khảo sát cũng như các điểm cần xem xét được mô tả dưới đây, tùy thuộc vào

loại vật liệu lớp phủ. Trong nhiều trường hợp, kiểm tra, khảo sát và đánh giá yêu cầu kiến thức chuyên môn về từng loại lớp bảo vệ.

① Sơn

Sự xuống cấp của lớp sơn có thể biểu hiện dưới các hình thức như phồng rộp, nứt, tách lớp sơn và gỉ sét trên vật liệu thép dưới lớp sơn. Nếu sự xuống cấp của lớp phủ lan đến bề mặt vật liệu thép, gỉ sét sẽ xuất hiện. Việc kiểm tra và khảo sát lớp phủ chủ yếu được thực hiện chi tiết bằng phương pháp trực quan, tập trung vào gỉ sét, phồng rộp, nứt và tách lớp sơn. Trong quá trình kiểm tra trực quan, cần thực hiện kiểm tra bằng búa nhựa để xác định liệu có mảnh vỡ của lớp sơn có độ bám dính giảm còn lại trên vật liệu thép hay không.

Có một số phương pháp để xác định mức độ gỉ sét, phồng rộp, nứt và bong tróc. Ví dụ, các hiện tượng này có thể được đánh giá bằng các hình ảnh tiêu chuẩn tương ứng với kích thước và mật độ phát triển qua nhiều bước, hoặc có thể được định lượng bằng tỷ lệ diện tích.

Tỷ lệ diện tích gỉ sét, phồng rộp và bong tróc được ước tính trực quan, sử dụng tiêu chuẩn cho tỷ lệ diện tích gỉ sét làm tham chiếu. Diện tích gỉ sét là diện tích bề mặt thép bị gỉ. Diện tích gỉ sét không bao gồm diện tích lớp phủ bề mặt bị bao phủ bởi gỉ chảy.

Trong các khu vực có thể tiến hành khảo sát bằng công cụ, cũng có thể xác định định lượng tình trạng xuống cấp của lớp phủ bằng cách kết hợp các phép đo độ dày lớp phủ, độ bám dính, điện trở, và các tham số khác.

② Lớp phủ hữu cơ

Lớp phủ hữu cơ có lớp sơn dày hơn so với sơn thông thường và có độ bền tốt. Các mục cần kiểm tra và khảo sát về cơ bản giống như đối với sơn thông thường, và kiểm tra trực quan tương tự được thực hiện.

③ Lớp phủ Petrolatum

Lớp phủ petrolatum bao gồm một vật liệu chống ăn mòn petrolatum trên bề mặt vật liệu thép và một lớp bảo vệ. Việc kiểm tra trực quan chủ yếu tập trung vào lớp bảo vệ. Trong trường hợp lớp phủ petrolatum, một cuộc khảo sát sau 20 năm kể từ khi xây dựng cho thấy nếu không có các lỗ hổng bên trong và lớp bảo vệ vẫn nguyên vẹn, lớp phủ chống ăn mòn petrolatum bên trong cũng không bị hỏng và không có sự ăn mòn của các cọc thép ống. Do đó, đối với lớp phủ petrolatum, nhìn chung, cần kiểm tra sự biến dạng của lớp bảo vệ và bất kỳ khoảng trống nào bên dưới lớp bảo vệ đó.

Kiểm tra lớp bảo vệ cần tập trung vào việc xem xét có dấu hiệu nứt, biến dạng của lớp bảo vệ và sự ăn mòn cũng như sự lỏng lẻo của các bu lông hoặc đai ốc không. Kiểm tra các khoảng trống cần được thực hiện bằng phương pháp gõ âm thanh, sử dụng búa nhựa hoặc các phương tiện thích hợp khác. Trong trường hợp có các miếng băng hoặc tấm gia cường được áp dụng tại các khớp nối của lớp bảo vệ, nếu có bất kỳ hiện tượng như nứt hoặc biến dạng, cần thực hiện các cuộc khảo sát thích hợp.

Nếu việc kiểm tra âm thanh phát hiện các khoảng trống bên trong chứa nước biển đang di chuyển, lớp bảo vệ nên được tháo ra và bất kỳ sự ăn mòn nào của vật liệu thép cần được kiểm tra.

④ Lớp phủ Inorganic (Lớp phủ vữa)

Lớp phủ vữa có thể có hoặc không có lớp bảo vệ.

- Lớp phủ vữa không có lớp bảo vệ: Cần kiểm tra trực quan sự biến dạng, như nứt trong vật liệu lớp phủ hoặc những phần bị mất. Nếu vật liệu lớp phủ bị hư hỏng, có thể quan sát thấy nứt và/hoặc mất một phần lớp phủ, và "vết gỉ" có thể xuất hiện từ vật liệu thép bị ăn mòn ở phần cuối.
- Lớp phủ vữa có lớp bảo vệ: Vật liệu bên trong thường được xem là còn nguyên vẹn nếu lớp bảo vệ vẫn còn nguyên vẹn, giống như lớp phủ petrolatum. Vì vậy, việc kiểm tra nứt ở lớp bảo vệ cần được thực hiện. Nếu có khoảng trống giữa lớp bảo vệ và lớp vữa, và nếu nước biển chảy vào khoảng trống này, lớp bảo vệ đã mất chức năng bảo vệ. Trong trường hợp này, cần thực hiện kiểm tra âm thanh để xác định có khoảng trống không. Nếu phát hiện có khoảng trống, lớp bảo vệ cần được tháo ra và

kiểm tra như thể đó là lớp phủ vữa không có lớp bảo vệ.

Kiểm tra và khảo sát lớp phủ vữa chủ yếu được thực hiện bằng kiểm tra trực quan. Cũng có thể lấy mẫu vật liệu lõi để đo nồng độ ion clorua nếu cần, vì nồng độ ion clorua xâm nhập vào vật liệu vữa thường cung cấp thông tin có giá trị.

Kiểm tra và khảo sát lớp phủ bê tông cốt thép cũng nên được thực hiện theo cách tương tự. Việc kiểm tra bê tông cốt thép là cần thiết để phát hiện bất kỳ sự ăn mòn nào của thanh cốt thép.

⑤ Lớp phủ kim loại

Kiểm tra các lớp phủ kim loại chống ăn mòn chủ yếu được thực hiện qua kiểm tra trực quan. Khi thực hiện kiểm tra trực quan, cần chú ý vì gỉ do kim loại dạng bột, chẳng hạn như bột sắt, có thể bị nhầm với gỉ đã phát triển trên lớp phủ kim loại chống ăn mòn. Kiểm tra trực quan dưới bề mặt nước biển thường được thực hiện bởi thợ lặn. Nếu phát hiện sự xuống cấp trong quá trình kiểm tra trực quan, một thiết bị đo độ dày siêu âm hoặc các công cụ tương tự sẽ được sử dụng để đo độ dày của lớp kim loại chống ăn mòn tại khu vực bị hư hại.

Thông thường, kim loại chống ăn mòn được sử dụng cho các lớp phủ kim loại. Do đó, nếu vật liệu lớp phủ không bị hư hại, vật liệu nền (thép) vẫn còn nguyên vẹn. Tuy nhiên, một khi lớp phủ bị hư hại, sự ăn mòn bimetallic xảy ra giữa vật liệu thép và kim loại lớp phủ. Sự ăn mòn này có thể phát triển nhanh chóng trong một thời gian ngắn. Việc kiểm tra cần được thực hiện cẩn thận để phát hiện ngay cả những hư hại nhỏ. Nếu phương pháp bảo vệ catot được áp dụng trong nước biển hoạt động đúng cách, sự ăn mòn bimetallic sẽ được ngăn chặn ở vùng thủy triều. Cũng cần đánh giá hiệu quả chống ăn mòn của phương pháp bảo vệ catot trong quá trình kiểm tra và khảo sát lớp phủ kim loại.

2.7.4 Đo độ dày tấm thép

(1) Đo độ dày bằng đồng hồ siêu âm

Đo độ dày của thép tấm được thực hiện để xác định mức độ an mòn của kết cấu thép. Để thực hiện phương pháp đo này, các vị trí kiểm tra, vị trí đo và điểm đo cần được lựa chọn phù hợp với mục tiêu cần đạt được. Ngoài ra, nếu cần, các khu vực ăn mòn cục bộ cũng nên được đo.

Thông thường, phương pháp siêu âm bằng đồng hồ đo được sử dụng. Các xung sóng siêu âm phát ra từ đầu dò đặt trên vật liệu thép sẽ bị phản xạ lại từ đáy vật liệu thép và trở lại đầu dò. Thiết bị này sử dụng nguyên lý rằng thời gian giữa việc phát và phản hồi tỉ lệ với khoảng cách truyền sóng siêu âm. Các đầu dò riêng biệt được sử dụng cho phía trên và dưới mực nước biển. Một đồng hồ đo độ dày siêu âm có khả năng đo cả trên không và dưới nước, sử dụng các đầu dò khác nhau, thường được sử dụng. Cần phải hiệu chỉnh đồng hồ đo độ dày siêu âm trước khi sử dụng. Để có được các phép đo độ dày chính xác, cần sử dụng một tấm thép tham chiếu có độ dày đã biết và gần giống với vật liệu thép mục tiêu.

Hình 2.7.4 cho thấy các phép đo độ dày tấm thép. Sử dụng đồng hồ đo độ dày siêu âm, ba lần đo được thực hiện tại các điểm đo đã chỉ định. Trung bình các giá trị thu được sẽ được sử dụng làm giá trị đo chính thức. Nếu phát hiện giá trị bất thường tại đồng hồ đo, các biện pháp, bao gồm việc đo lại, cần được xem xét.



Hình 2.7.4 Khảo sát đo chiều dày thành cọc

Tất cả các nhân viên vận hành thiết bị đo độ dày tấm thép cần được thông báo trước về các quy trình cụ thể,

bao gồm cả việc áp dụng đầu dò vào bề mặt vật liệu thép. Nên chụp ảnh bề mặt thép tại các điểm đo độ dày tấm trong quá trình thực hiện phép đo.

Đồng hồ đo độ dày siêu âm có ưu điểm là đơn giản và cho kết quả chính xác. Tuy nhiên, cần phải loại bỏ các khu vực bị hư hại của lớp phủ và sự bám dính của sinh vật trước để lộ ra bề mặt vật liệu thép cần đo.

Công việc chuẩn bị này đòi hỏi nguồn nhân lực và mất nhiều thời gian. Các mảnh vụn từ công việc loại bỏ cần được xử lý tại nơi khác.

Một kỹ thuật đo độ dày không tiếp xúc sử dụng sóng siêu âm và cảm ứng điện từ đã được phát triển như một công nghệ mới có thể thu thập dữ liệu trên diện rộng một cách đơn giản và hiệu quả hơn so với phương pháp sử dụng đồng hồ đo độ dày siêu âm thông thường.

(tham khảo ://www.mlit.go.jp/kowan/content/001597154.pdf, <https://www.nipponkaiyo.co.jp/product/cygnus-dive/>). Tuy nhiên, khi sử dụng các công nghệ mới này, cần phải hiểu rõ độ chính xác có thể đạt được.

(2) Lựa chọn điểm kiểm tra và vị trí đo

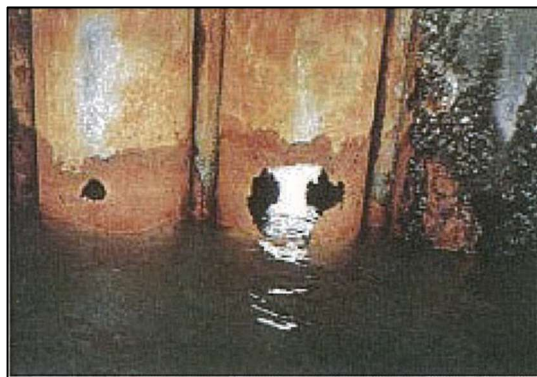
Các điểm kiểm tra là một nhóm các vị trí đo được chiếu lên mặt phẳng của đường thẳng pháp tuyến của kết cấu. Các điểm này phản ánh tình trạng ăn mòn tổng thể. Khi thực hiện đánh giá tính năng của hạng mục, các điểm này được sử dụng để đánh giá toàn bộ kết cấu. Vì vậy, cần lựa chọn các điểm kiểm tra phù hợp. Dựa trên kết quả kiểm tra trực quan của kết cấu, cần xem xét tình trạng của các vết ăn mòn và ăn mòn hố, tình trạng ăn mòn (phạm vi gỉ), tuổi thọ của kết cấu và độ dày tấm thép ban đầu, và các phần bị ăn mòn nghiêm trọng cần có biện pháp xử lý nên được lựa chọn ưu tiên.

Nếu kiểm tra trực quan cho thấy sự phân bố đồng đều của các điểm ăn mòn dọc theo một đoạn dài của đường thẳng pháp tuyến, có thể chọn các điểm kiểm tra cho các đoạn này bằng các phương pháp sau:

- Tình trạng ăn mòn (i): Các vết ăn mòn hố hoặc một nhóm liên tục các điểm gỉ có màu cam được quan sát trên diện rộng từ mức nước thấp trung bình đến mức nước thấp nhất. Nếu cơ sở đã ít nhất năm năm tuổi, một điểm kiểm tra nên được chọn mỗi khoảng 20 mét (20 m) dọc theo đường thẳng pháp tuyến.
- Tình trạng ăn mòn (ii): Các điểm gỉ có màu cam được quan sát một phần từ mức nước thấp trung bình đến mức nước thấp nhất. Nếu kết cấu đã ít nhất mười năm tuổi, một điểm kiểm tra nên được chọn mỗi khoảng 50 mét (50 m) dọc theo đường thẳng pháp tuyến.
- Tình trạng ăn mòn (iii): Đối với các tình trạng khác ngoài (i) và (ii), ví dụ, nếu không có hoặc rất ít điểm gỉ màu cam được quan sát trong phạm vi từ mức nước thấp trung bình đến mức nước thấp nhất, một điểm kiểm tra nên được chọn.



Ảnh 2.7.5 Tình trạng ăn mòn (i)



Ảnh 2.7.6 Tình trạng ăn mòn (i



Ảnh 2.7.5 Tình trạng ăn mòn (ii)



Ảnh 2.7.8 Tình trạng ăn mòn (iii)

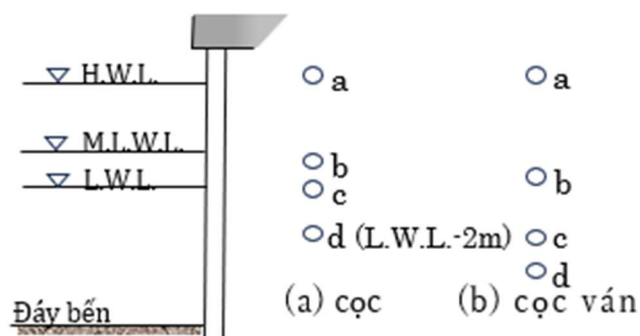
Các hình ảnh từ 2.7.5 đến 2.7.8 có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo. Khi tình trạng không rõ ràng, nên chọn điều kiện ăn mòn nghiêm trọng hơn.

Đối với tình trạng ăn mòn (ii) và (iii), khoảng cách giữa các điểm kiểm tra thường rộng hơn so với trường hợp tình trạng ăn mòn (i). Điều này là do khả năng tồn tại ăn mòn nghiêm trọng cần xử lý ngay lập tức ở các điều kiện (ii) hoặc (iii) thấp hơn so với (i). Do đó, hiệu quả kinh tế của việc kiểm tra được xem xét khi chọn lựa giữa các phương án này. Theo đó, nếu các phép đo độ dày tấm thép cho thấy sự ăn mòn nghiêm trọng hơn so với kết quả kiểm tra trực quan, thì nên chọn thêm các điểm kiểm tra để đạt được tần suất một điểm kiểm tra mỗi khoảng 20 mét (20 m) dọc theo đường thẳng pháp tuyến, giống như trong trường hợp tình trạng ăn mòn (i). Hơn nữa, nên chọn ít nhất hai điểm kiểm tra cho mỗi cơ sở. Để xác định tình trạng ăn mòn ((i), (ii) hoặc (iii)), cần thực hiện kiểm tra trực quan.

Khi đánh giá tính năng của kết cấu dưới của một bến tàu kiểu mở/bệ cọc cao, độ dày tấm của tất cả các cọc dọc theo một hàng vuông góc với đường thẳng pháp tuyến cần được đo tại mỗi điểm kiểm tra để mỗi cọc có thể được đánh giá tùy theo tình trạng ăn mòn.

Các vị trí đo là nhóm các điểm đại diện cho các vị trí điểm kiểm tra độ dày tấm thép theo chiều dọc. Những điểm này được chọn để kiểm tra sự phân bố của các vết ăn mòn ở các phần và bộ phận của một kết cấu theo chiều dọc. Các vị trí đo nên được chọn bằng cách xem xét các chức năng của bảo vệ chống ăn mòn sau khi các điều kiện ăn mòn của vật liệu thép được xác định qua kiểm tra trực quan để xác định loại ăn mòn (ví dụ, ăn mòn tập trung). Hơn nữa, nên chọn các điểm có thể tương ứng với các vị trí của các vấn đề cấu trúc (ví dụ, các điểm nơi tạo ra ứng suất lớn nhất).

Hình 2.2.7 thể hiện các vị trí đo tiêu chuẩn cho các cọc thép và cọc ván thép.



Hình 2.7.7 Các vị trí đo tiêu chuẩn

【Đối với cọc】

Điểm “a” của một cọc nằm ở phần cao nhất và chịu lực kéo lớn nhất và bị ăn mòn nghiêm trọng nhất. Các điểm “b” và “c” không chỉ chịu lực kéo tương đối lớn mà còn bị ăn mòn tập trung. Kết quả phân tích ứng suất cho một kết cấu phụ thuộc nhiều vào độ cứng của các mặt cắt quanh các điểm này. Lượng ăn mòn tối đa nên được xác định một cách chính xác nhất có thể. Vì vậy, các vị trí dự kiến sẽ bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi ăn mòn nên được chọn làm các điểm “b” và “c,” xem xét các điều kiện ăn mòn dọc theo vùng từ mức nước thấp trung bình (M.L.W.L.) đến mức nước thấp nhất (L.W.L.). Nếu sự chênh lệch mức thủy triều hoặc phạm vi ăn mòn nghiêm trọng lớn, nên tăng số lượng vị trí đo. Nếu sự chênh lệch mức thủy triều nhỏ, chỉ cần chọn một vị trí đo quanh phần này. Vị trí “L.W.L.–2 m” là chấp nhận được làm Điểm “d” trong nước biển, vì tỷ lệ ăn mòn không thay đổi nhiều quanh vị trí này dưới mực nước biển ngay cả khi có ăn mòn tập trung. Do đó, vị trí này sẽ không ảnh hưởng đáng kể đến kết quả phân tích ứng suất.

【Đối với cọc ván】

Trong trường hợp cọc ván, các ứng suất quanh mức nước cao nhất (H.W.L.) và vùng từ mức nước thấp trung bình (M.L.W.L.) đến mức nước thấp nhất (L.W.L.) tương đối thấp. Tuy nhiên, nếu một lỗ xuất hiện do sự phát triển của ăn mòn, vật liệu đắp sẽ bắt đầu chảy ra ngoài. Do đó, các điểm đo nên được đặt quanh khu vực này. Một vị trí được dự đoán sẽ bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi ăn mòn nên được chọn làm Điểm “b,” theo kiểm tra trực quan khu vực từ M.L.W.L. đến L.W.L. Vì các ứng suất cao được tạo ra trong nước biển, nên chọn hai điểm trong nước biển để xác định lượng ăn mòn tối đa. Đối với các kết cấu cọc ván, các vị trí đo nên được chọn quanh khu vực mà mô men uốn thiết kế xuất hiện lớn nhất. Khoảng cách theo chiều dọc từ 0,5 m đến 1,0 m nên được đảm bảo giữa các điểm.

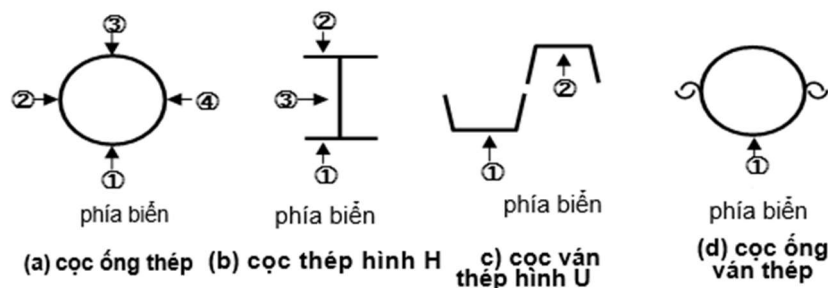
(3) Lựa chọn các điểm đo độ dày tấm thép

Các điểm đo độ dày tấm thép chỉ ra các vị trí mà độ dày của vật liệu thép sẽ được đo. Các phép đo độ dày tương ứng với các hình dạng mặt cắt thực tế của vật liệu thép tại vị trí đo. Hình 2.7.8 cho thấy các điểm đo độ dày chuẩn cho các loại vật liệu thép có hình dạng khác nhau.

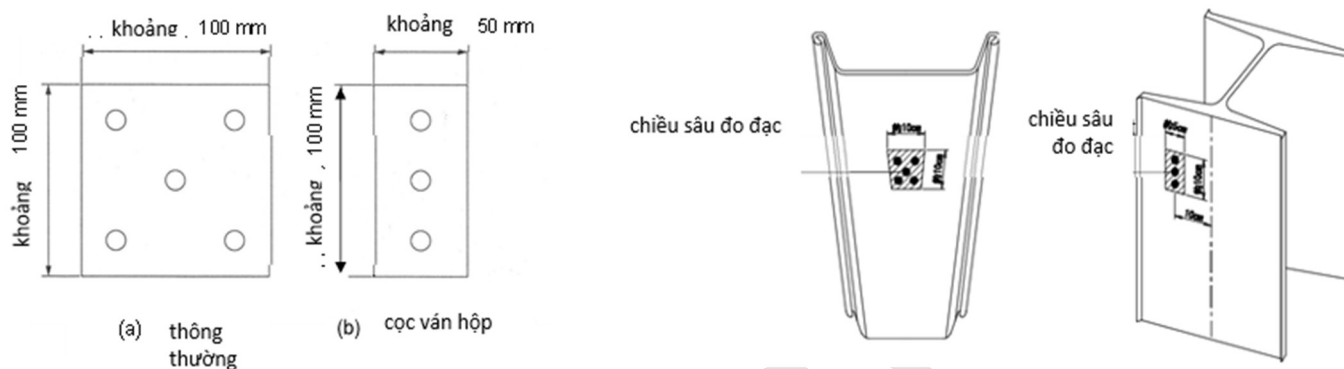
Hệ sinh vật và vật chất nằm trong khu vực 100 mm vuông trên bề mặt tấm thép cần được loại bỏ bằng các công cụ như búa hoặc dụng cụ cạo, và bề mặt vật liệu thép tiếp xúc sau đó cần được làm sạch thêm bằng bàn chải sắt hoặc đá mài để làm sạch bề mặt thép.

Tại mỗi điểm đo độ dày tấm thép, đầu dò của máy đo độ dày nên được đặt tại năm hoặc ba điểm (xem Hình 2.7.9). Giá trị trung bình của năm hoặc ba phép đo sẽ được lấy làm giá trị đo chính thức.

Nếu vật liệu thép có lỗ, vị trí của lỗ (tâm của lỗ) sẽ được chọn làm một trong các điểm đo độ dày, và giá trị “0” sẽ được gán cho độ dày của thép tại điểm này. Nếu lớp bảo vệ phủ bị hư hỏng một phần, các điểm đo nên được đặt ở những phần này. Đối với cọc ván thép ống, các mối nối nên được loại bỏ khỏi việc lựa chọn các điểm đo.



Hình 2.7.8 Các vị trí điểm đo chiều dày tiêu chuẩn



▣ : Phạm vi vùn mặt thép bị phơi chiếu

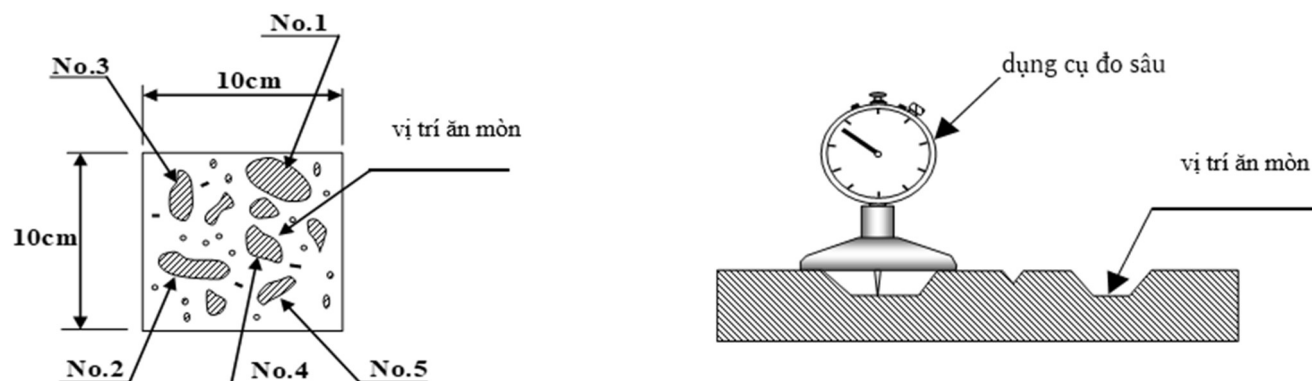
● : Vị trí đặt các thiết bị đo (3 vị trí tại mỗi điểm)

Hình 2.7.9 Vị trí các điểm đo chiều dày thép

4) Đo đặc sự ăn mòn cục bộ

Bề mặt thép bị ăn mòn có thể xuất hiện các vùng ăn mòn phát triển đều và các vùng không đều với nhiều điểm ăn mòn rải rác (ăn mòn pitting) có kích thước khác nhau. Để nâng cao độ chính xác trong việc đánh giá tính năng của vật liệu thép, việc kiểm tra tình trạng của các vùng ăn mòn cục bộ và đo độ sâu của các phần thép bị ăn mòn là rất quan trọng.

Nếu phát hiện bất kỳ vùng ăn mòn cục bộ nào (sâu hơn 3 mm), cần phải lấy mẫu đúc của các phần ăn mòn này hoặc đo độ sâu của chúng bằng thước đo độ sâu để xác định độ dày thép tối thiểu hiện tại. Ngoài ra, hình dạng của các vùng ăn mòn cần được ghi lại. Nếu quan sát thấy nhiều vùng ăn mòn cục bộ, nên chọn năm vùng ăn mòn lớn nhất và đo độ sâu của ăn mòn tại những khu vực này (xem Hình 2.7.10).



Hình 2.7.10 Ví dụ về đo ăn mòn cục bộ bằng dụng cụ đo sâu