

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 48 August 2016)

A Joint Publication of the Japan Iron and Steel Federation and
Japanese Society of Steel Construction

ฉบับภาษาไทย

หนังสือ Steel Construction Today & Tomorrow เวอร์ชันภาษาอังกฤษ จะมีการจัดพิมพ์ปีละ 3 ครั้ง และจะมีการกระจายไปยังผู้บริหาร และบุคลากรของบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรม และองค์กรต่างๆ ทั่วโลกวัตถุประสงค์ของหนังสือนี้ คือการนำเสนอถึงมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างเหล็ก ตัวอย่างโครงการก่อสร้างยุคใหม่ เทคโนโลยีงานก่อสร้างอันทันสมัย และหัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคาร และงานวิศวกรรมโยธา

เพื่อให้ผู้อ่านชาวไทย ได้เข้าใจบทความในหนังสือนี้ดียิ่งขึ้น ก็ได้มีการดำเนินการจัดเตรียมเวอร์ชันภาษาไทย เพื่อแนบไปกับหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษ ในส่วนของรูปถ่าย ภาพและตาราง จะแสดงในเวอร์ชันภาษาไทยเฉพาะชื่อภาพและชื่อตาราง ซึ่งควรต้องดูเวอร์ชันภาษาอังกฤษประกอบไปด้วยเพื่อความสมบูรณ์ชัดเจนของเนื้อหา นอกจากนี้หากต้องการอ้างอิงรายละเอียดในเชิงเทคนิค ก็โปรดอ้างอิงจากหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษเป็นหลัก

ฉบับที่ 48 เดือนเมษายน 2016: สารบัญ

หัวข้อพิเศษ: การบำรุงรักษา ทำเรือและอาคารโครงสร้างเหล็กตามแนวชายฝั่ง รายงานผลการศึกษาวิจัย ถึงสภาพการกัดกร่อนของโครงสร้างนอกชายฝั่ง ตลอด ระยะเวลา 30 ปี	1
งานแสดงผลงานวิจัยวิศวกรรมโยธาต้านโครงสร้างเหล็กครั้งที่ 20	1
การทดสอบสภาพการกัดกร่อนในบริเวณอ่าว Suruga (1) แนวทางการทดสอบผลกระทบจากสภาพความรุนแรงในพื้นที่ ณ ศูนย์วิจัยวิศวกรรม ทางทะเล ที่อ่าว Suruga	2
การทดสอบสภาพการกัดกร่อนในบริเวณอ่าว Suruga (2) การทดสอบสภาพการกัดกร่อนของโครงสร้างเหล็กในระยะยาว และวิธีการป้องกันการ กัดกร่อนของโครงสร้าง ในบริเวณอ่าว Suruga	5
การศึกษาวิจัยระยะยาวในสภาวะแวดล้อมจริง ถึงวิธีการป้องกันการกัดกร่อนให้กับ เสาเข็มท่อเหล็ก ที่สถานีวิจัยสมุทรศาสตร์ Hazaki	7
การจัดการทำเรือ และโครงสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น: การบำรุงรักษาและการ บริหารจัดการทำเรือ และโครงสร้างริมชายฝั่ง	10
ระเบียบวิธีในการออกแบบโครงสร้าง ตามแนวทางการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้ งาน	13
วิธีการประเมินความสมบูรณ์ของโครงสร้างต่อมอเสาเข็มเหล็กแบบ Jacket ที่มีความ เสียหายจากการกัดกร่อน	15
เทคโนโลยีการตรวจสอบและการซ่อมแซมความเสียหายจากการกัดกร่อนของ โครงสร้างเหล็กทำเรือ	17
JSSC Operations	ปกหลัง

Page number applies to English-version No. 48 issue.

ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2016

The Japan Iron and Steel Federation

3-2-10 Nihonbashi-Kayabacho, Chuo-ku, Tokyo 103-0025, Japan

โทรสาร: 81-3-3667-0245

โทรศัพท์ : 81-3-3669-4815

ที่อยู่อีเมล: sunpou@jssf.or.jp

เว็บไซต์: <http://www.jssf.or.jp>

หัวข้อพิเศษ: การบำรุงรักษา ท่าเรือและอาคารโครงสร้างเหล็กตามแนวชายฝั่ง

(Page 1)

รายงานผลการศึกษาวิจัย ถึงสภาพการกัดกร่อนของโครงสร้างนอกชายฝั่ง ตลอดระยะเวลา 30 ปี

ผลิตภัณฑ์เหล็ก เป็นวัสดุหลักที่นำมาใช้ก่อสร้างท่าเรือและอาคารตามแนวชายฝั่ง แต่ปัญหาด้านการกัดกร่อน ถือเป็นปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นกับเหล็ก โดยสภาพแวดล้อมบริเวณทะเลถือเป็นสภาพแวดล้อมที่รุนแรงสำหรับการใช้งานโครงสร้างเหล็ก เนื่องจากเหล็กมีแนวโน้มจะถูกกัดกร่อนได้ง่าย โดยเพื่อเป็นการอนุรักษ์โครงสร้างเหล็กรอบนอกชายฝั่งให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน จึงมีความจำเป็นที่ต้องจัดเตรียมมาตรการป้องกันการกัดกร่อนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพให้กับโครงสร้างเหล็ก

สมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ร่วมกับสถาบันวิจัยโยธาธิการ ได้ร่วมกันทำการทดสอบพฤติกรรมการกัดกร่อนภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ตั้งแต่ปี 1982 จนกระทั่งปัจจุบัน ณ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยี ที่อ่าว Sugura นอกชายฝั่งจังหวัด Shizuoka โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหามาตรการในการเพิ่มความคงทนถาวรให้กับโครงสร้างเหล็กรอบนอกชายฝั่ง หรือมาตรการในการป้องกันปัญหาการกัดกร่อนต่อผลิตภัณฑ์เหล็กที่ต้องนำไปใช้กับโครงสร้างนอกชายฝั่ง นอกจากนี้ศูนย์วิจัยโครงนอกชายฝั่งภายใต้สภาวะจริงอีกแห่ง ที่มีชื่อว่า Hasaki Oceanographical Research Station ซึ่งตั้งอยู่ในทะเลKashima-nada นอกชายฝั่งจังหวัด Ibaraki ก็ได้มีการดำเนินการศึกษามาตั้งแต่ปี 1984 ก็ได้มีการวิจัยค้นคว้า ภายใต้การสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยท่าเรือและท่าอากาศยาน หรือ Port and Airport Research Institute สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีชายฝั่ง หรือ Coastal Development Institute of Technology และสมาคมเข็มพืดท่อเหล็กและเข็มพืดเหล็ก แห่งประเทศญี่ปุ่น หรือ Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles เพื่อเป้าหมายในการพัฒนาเทคโนโลยีเทคโนโลยีป้องกันการกัดกร่อน สำหรับเข็มพืดท่อเหล็กในงานโครงสร้างนอกชายฝั่ง

ในโอกาสที่งานวิจัยจากทั้งสองแห่งนี้ได้ดำเนินการมาถึงปีที่ 30 จึงได้มีการจัดประชุมเพื่อรายงานผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบในสภาวะจริง ในวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2016 ที่กรุงเทพฯ

ผลการศึกษาวิจัยได้นำเสนอในหน้า 2 ถึงหน้า 9

ภาพ: การประชุมเพื่อรายงานผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบในสภาวะจริง

งานแสดงผลงานวิจัยวิศวกรรมโยธาต้านโครงสร้างเหล็กครั้งที่ 20

สมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ได้มีการจัดแสดงผลงานวิจัยวิศวกรรมโยธาต้านโครงสร้างเหล็กครั้งที่ 20 ขึ้น ในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2016 ณ กรุงเทพฯ โดยในปี 1995 สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ได้มี “แผนการสนับสนุนงานวิจัยและการฝึกอบรมงานเหล็กโครงสร้าง” ซึ่งนับจากบัดนั้นเป็นต้นมา ก็ได้มีการสนับสนุนด้านงบประมาณเพื่อการวิจัยค้นคว้าให้กับงานก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก สำหรับการแสดงผลงานวิจัยนี้ นั้น ได้มีการจัดขึ้นทุกปีเพื่อเป็นเวทีในการนำเสนอผลงานวิจัยที่ได้รับสนับสนุนในสาขาวิศวกรรมโครงสร้างเหล็ก และในขณะเดียวกันก็เป็นการส่งเสริมให้เกิดการใช้งานโครงสร้างเหล็กในงานวิศวกรรมโยธาให้เกิดความแพร่หลายเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง

อย่างไรก็ดี สิ่งหนึ่งที่เป็นข้อสงสัยและเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความไม่มั่นใจในการใช้งานผลิตภัณฑ์เหล็กในงานก่อสร้าง คือ การเสื่อมสภาพ ตลอดจนการยืดอายุการใช้งานของท่าเรือและโครงสร้างอาคารตามแนวชายฝั่ง โดยเพื่อให้เกิดความกระจ่างในประเด็นดังกล่าว จึงได้มีการจัดแสดงผลงานวิจัย ในหัวข้อ “การพัฒนามาตรฐานการออกแบบท่าเรือ และอาคารโครงสร้างเหล็กตามแนวชายฝั่งตลอดอายุการใช้งาน” โดยมีหัวข้อการนำเสนอมากมายที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการจัดการท่าเรือ และอาคารโครงสร้างเหล็กตามแนวชายฝั่ง และการประเมินความคงทนถาวร โดยการนำเสนอผลงานนี้ ก็ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี มีนักวิจัยและวิศวกรเข้าร่วมงานสัมมนา กว่า 300 ราย

หัวข้อการนำเสนอในงานแสดงผลงานวิจัย ได้แสดงไว้ในหน้า 10 - 18

ภาพ: งานแสดงผลงานวิจัยวิศวกรรมโยธาต้านโครงสร้างเหล็กครั้งที่ 20



Joint report meeting on the research attainments obtained in the exposure tests



20th Symposium on Research on Civil Engineering Steel Structures

การทดสอบสภาพการกัดกร่อนในบริเวณอ่าว Suruga (1)

แนวทางการทดสอบผลกระทบจากสภาพความรุนแรงในพื้นที่ ณ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล ที่อ่าว Suruga

โดย Iwao Sasaki

สถาบันวิจัยโยธาธิการ

จากแผนพัฒนาพื้นที่ในประเทศญี่ปุ่นที่มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ทศวรรษ 1960 เป็นต้นมา งานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโครงการก่อสร้างทางแยก โครงข่ายทางหลวง และโครงสร้างเพื่อปกป้องชายฝั่ง มักจะตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสภาพความรุนแรงต่อการกัดกร่อนสูง โดยโครงสร้างนอกชายฝั่ง หรือโครงสร้างตามแนวชายทะเล จำเป็นที่จะต้องมีการมาตรการและเทคโนโลยีเพื่อป้องกันการสึกกร่อนเพื่อเพิ่มความคงทนถาวรให้กับโครงสร้าง ทั้งนี้สำหรับสถาบันวิจัยโยธาธิการ หรือ Public Works Research Institute (PWRI) ได้มีการดำเนินการวิจัยสภาพความรุนแรงของสภาพแวดล้อมมาตั้งแต่ทศวรรษ 1960 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการป้องกันสนิมและการสึกกร่อนสำหรับโครงสร้างสะพานช่วงยาว ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมและการสึกกร่อนของเหล็กโครงสร้างในบริเวณที่มีน้ำขึ้นน้ำลง บริเวณที่เกิดการกัดเซาะของคลื่นชายฝั่ง ตลอดจนบริเวณที่อยู่ใต้ดิน รวมไปถึงระบบหรือวิธีที่ใช้ในการป้องกันการสึกกร่อนของโครงสร้างในบริเวณดังกล่าว ณ ศูนย์ที่ตั้งอยู่ในบริเวณอ่าวโตเกียวที่ Ajigaura และที่อื่น ๆ ในบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก

จากสถานการณ์ดังกล่าว จึงได้มีแผนการทดสอบสภาพความรุนแรงในพื้นที่สำหรับวัสดุก่อสร้าง ในบริเวณอ่าว Suruga ในปี 1982 ภายใต้ชื่อโครงการ “การวิจัยเกี่ยวกับการใช้โครงสร้างนอกชายฝั่งอย่างมีประสิทธิภาพ” โดยได้รับการสนับสนุนจากกองทุนพิเศษเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขององค์กรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแรก ๆ ที่ได้ดำเนินการคือ การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มความคงทนป้องกันการสึกกร่อนให้กับโครงสร้างนอกชายฝั่ง โดยศูนย์วิจัยทดสอบทางเคมี สังกัดกระทรวงก่อสร้าง ซึ่งปัจจุบัน เป็นกลุ่มงานวิจัยวัสดุและทรัพยากร ของ PWRI ทั้งนี้การทดสอบสภาพความรุนแรงของพื้นที่ในปัจจุบัน ก็ได้เริ่มมาจากโครงการดังกล่าว โดย PWRI ได้มีการจัดตั้งศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเลขึ้นบริเวณชายฝั่ง อ่าว Suruga ในเขตจังหวัด Shizuoka เพื่อทดสอบสภาพความรุนแรงของพื้นที่

การทดสอบสภาพความรุนแรงของพื้นที่ ณ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล หรือ Marine Engineering Research Facility (MERF) ได้เริ่มจากโครงการวิจัยร่วมระหว่าง PWRI และองค์กรเอกชนบางแห่ง การทดสอบสภาพความรุนแรงของพื้นที่และเทคโนโลยีการป้องกันการสึกกร่อนให้กับโครงสร้างเหล็ก ได้มีการทำตัวอย่างทดสอบมาติดตั้งในบริเวณคลื่นซัดสาด บริเวณน้ำขึ้นน้ำลง และบริเวณที่จมอยู่ใต้ดิน ภายใต้ความร่วมมือของกลุ่ม Kozai (ปัจจุบันเป็น สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย) และสำหรับเทคโนโลยีสำหรับโครงสร้างคอนกรีต ก็ได้ดำเนินการร่วมกับสมาคมผู้รับเหมาโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแห่งประเทศไทย ซึ่งเทคโนโลยีการป้องกันการสึกกร่อนในระยะยาวในบริเวณพื้นที่นอกชายฝั่ง ก็เช่น การป้องกันด้วยเทคโนโลยีการเคลือบ เทคโนโลยี cathodic protection

ในปี 2014 การทดสอบสภาพความรุนแรงในบริเวณอ่าว Suruga ก็

ครบรอบปีที่ 30 แนวทางการทดสอบตลอดระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา จะได้เสนอคร่าว ๆ ดังต่อไปนี้

แนวทางการจัดตั้งศูนย์ทดสอบ

สำหรับการทดสอบสภาพความรุนแรงในพื้นที่ ณ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเลได้ถูกจัดตั้งขึ้นโดยตั้งอยู่ในบริเวณอ่าว Suruga ซึ่งเป็นชายฝั่งของมหาสมุทรแปซิฟิก โดยได้มีการเลือกพื้นที่ทดสอบเพื่อเป็นตัวแทนของชายฝั่งทะเลในประเทศญี่ปุ่น

ที่ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล การทดสอบสภาพความรุนแรงในพื้นที่สำหรับวัสดุที่นำมาใช้ในการป้องกันการสึกกร่อน และการป้องกันการกัดเซาะได้เริ่มดำเนินการไปพร้อม ๆ กัน โดยได้มีการพิจารณาถึงสภาพลมนอกชายฝั่ง คลื่น ตลอดจนสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น การทับถมของทรายในทะเล การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ชายฝั่งทะเล รวมไปถึงงานพัฒนาการในการปกป้องชายฝั่งทะเลจากการกัดเซาะ

พิกัดของศูนย์วิจัยดังกล่าว จะสามารถมองเห็นภูเขาไฟฟูจิอย่างเด่นชัด โดยในภาพ 1 แสดงให้เห็นสภาพโดยรวมของศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล ซึ่งตั้งอยู่ในกลางทะเลห่างจากชายฝั่ง Suruga ออกไปราว 250 เมตร นอกบริเวณแนวป้องกันคลื่น ซึ่งเป็นจุดที่ต้องเผชิญกับคลื่นขนาดใหญ่ในท้องทะเลโดยตรง นอกจากนี้พื้นที่ดังกล่าวยังเป็นบริเวณที่ท้องทะเลมีการเคลื่อนตัวค่อนข้างมาก ซึ่งเรียกว่าเป็นบริเวณ surf zone

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล แสดงดังรูปที่ 1 โดยเป็นโครงสร้างหลักที่มีลักษณะคล้ายแท่นขุดเจาะ ที่ติดตั้งแบบสวมลงบนเสาเข็มที่ทำจากท่อเหล็กที่เจาะลงไปในชั้นทรายในทะเล โครงสร้างทั้งหมดของศูนย์แห่งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการทดสอบการป้องกันการสึกกร่อน โดยส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลจะมีจำนวน 3 ชั้น ซึ่งมีตัวอย่างทดสอบทั้งขนาดเล็ก ไปจนถึงขนาดใหญ่วางเรียงกันอยู่ สำหรับในบริเวณที่จมอยู่ใต้น้ำ ท่อเหล็กและเข็มพิตเหล็ก รวมไปถึงจนถึงระบบ cathodic protection ก็ได้มีการติดตั้งเพื่อศึกษาวิจัยด้วย ความลึกของโครงสร้างส่วนล่างจนถึงระดับท้องทะเลอยู่ที่ราว 7.5 เมตร ตัวโครงสร้างทั้งหมดสูงราว 30 เมตร ที่ศูนย์วิจัยดังกล่าวนี้ การทดสอบวัสดุสามารถดำเนินการได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ทั้งสภาพแวดล้อมที่อยู่เหนือท้องทะเลนอกชายฝั่ง ไปจนถึงกระทั่งสภาพที่ต้องเผชิญกับน้ำขึ้นน้ำลง และสภาพที่จมอยู่ใต้น้ำ

ภาพที่ 1 ภาพวิวดูของศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล

รูปที่ 1 แบบโครงสร้างของศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล

สภาพความรุนแรงต่อการกัดกร่อนที่ศึกษา

ด้วยที่ศูนย์วิจัยแห่งนี้ได้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการทดสอบความทนทานของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างหลากหลายประเภท ดังนั้นพิกัดที่ได้เลือกเพื่อก่อสร้างศูนย์วิจัยแห่งนี้ จึงต้องให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์หลักดังกล่าว ซึ่งต้องสภาพการกัดกร่อนที่รุนแรง ซึ่งมีไอเกลือลอยอยู่ในอากาศปริมาณมาก

สำหรับการศึกษาวิจัยในต่างประเทศ ISO/TC156/WG4 ได้มีการทดสอบการกัดกร่อนในสภาพพื้นที่ต่าง ๆ ใน 13 ประเภท 49 พื้นที่ ตลอดระยะเวลา 5 ปี เริ่มจากปี 1986 วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบคือการเตรียมข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการจัดทำมาตรฐาน สำหรับในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการแต่งตั้ง

คณะกรรมการวิจัยและสำรวจขึ้นเพื่อทำการทดสอบ การสึกกร่อนในสี่พื้นที่คือ บริเวณ Suruga, Choshi, Okinawa และ Tokyo

สำหรับการศึกษาวิจัยที่ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล ที่อ่าว Sugura นั้นนั้น ได้มีการตรวจวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีการและอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น ISO Wet Candle Method, JIS Gauze Method, PWRI-type Tank Method เป็นต้น โดยมีการวัด อุณหภูมิ ความชื้น ระยะเวลาที่เปียกชุ่ม ปริมาณ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปริมาณเกลือในทะเล สภาพแวดล้อมที่ได้ทำการสำรวจ อันนำไปสู่ผลสรุปที่เกี่ยวข้องกับการสึกกร่อนของผลิตภัณฑ์เหล็กนี้ ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อน กับ ระยะห่างจาก ผิวระดับน้ำทะเล ตลอดจนลักษณะของบรรยากาศ โดยปริมาณไอเกลือในชั้น บรรยากาศ ซึ่งมีผลมากต่ออัตราการกัดกร่อน จะสัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วของกระแสลม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการกระเซ็นของน้ำจากผิว ระดับน้ำทะเล

ผลการวิจัยดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่า สภาพความรุนแรงต่อการกัดกร่อนที่ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล จะสัมพันธ์กับสภาพความรุนแรง ระดับ C (สภาพค่อนข้างรุนแรง) ตามระดับที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO (ISO12944-2) ด้วยเหตุดังกล่าว เราสามารถนำผลการศึกษาที่ศูนย์วิจัยแห่งนี้ ไปเปรียบเทียบกับยอดกับ สภาพความรุนแรงในมาตรฐานสากลได้

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงผลการสำรวจ ตั้งแต่ปี 1986 ถึงปี 1989 และในรูปที่ 3 แสดงผลสำรวจ ตั้งแต่ปี 2013 ถึงปี 2015 โดยการเก็บข้อมูลปริมาณไอเกลือในทะเลได้จากการเก็บผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า PWRI-type airborne salt collector ปริมาณไอเกลือในอากาศ ตั้งแต่ 0.1 mg/dm²/d ไปถึงระดับที่สูงขึ้นอีกเป็นสิบเท่า (แต่ตัดตัวเลขที่กระโดดจนผิดปกติ) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไอเกลือที่เก็บข้อมูลได้ในบริเวณศูนย์วิจัยจะใกล้เคียงกับ บริเวณ Tokai (ซึ่งรวมถึง บริเวณ อ่าว Sukura) ซึ่งได้ทำการสำรวจโดยสถาบันวิจัยยุทธศาสตร์มาโนฮิด

สำหรับสภาพแวดล้อมในทะเลนั้น สภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน จะแตกต่างออกไปตามความสูงจากผิวน้ำทะเล โดยจากการสำรวจในอดีตที่ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล พบว่าอัตราการเสื่อมสภาพจะแตกต่างออกไปตาม ตำแหน่งระดับความสูงของพื้นที่ ซึ่งด้วยศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเลแห่งนี้มี ระดับชั้นหลายระดับ ดังนั้นการสำรวจปริมาณไอเกลือที่ระดับชั้นต่าง ๆ จึงสามารถดำเนินการได้

รูปที่ 4 แสดงถึง ผลกระทบของปัจจัยจากความสูงของพื้นที่วัดจากระดับผิวน้ำทะเล ต่อปริมาณไอเกลือในชั้นบรรยากาศ ซึ่งวัดได้ด้วยวิธี thin mortar specimen method โดยปริมาณไอเกลือในชั้นบรรยากาศ นี้ จะสูงที่สุดที่ ตัวอย่างหมายเลข 3 ซึ่งวางอยู่ที่ระดับ 2 เมตร จากระดับน้ำทะเล โดยหาก ระดับความสูงยิ่งเพิ่มขึ้น ระดับการแทรกซึมก็จะ “ลู่เข้า (converging)” จนแสดงให้เห็นว่าระดับความสูงที่มากเกินไปนั้น จะแทบไม่ส่งผลต่อปริมาณไอเกลือในชั้นบรรยากาศได้อีก

รูปที่ 2 ส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอเกลือในบรรยากาศที่วัด ด้วยวิธี PWRI-type Tank Method (ตรวจวัดในอดีต ที่พื้นระดับหมายเลข 1 ทางฝั่งตะวันออกและตะวันตก)

รูปที่ 3 ส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอเกลือในบรรยากาศที่วัด ด้วยวิธี PWRI-type Tank Method

รูปที่ 4 ผลกระทบจากความสูงเหนือผิวน้ำทะเล ต่อปริมาณไอเกลือในอากาศ ด้วยวิธี Thin Mortar Piece Method

การวิจัยวัสดุ

งานวิจัยในปัจจุบัน ได้มีการทดสอบกับโครงสร้างเหล็กและโครงสร้าง คอนกรีต ตลอดจนวิธีการป้องกันการกัดกร่อนให้กับโครงสร้างประเภทต่าง ๆ นี้ โดยได้มีการนำโลหะป้องกันการสึกกร่อน ระบบสีเคลือบป้องกัน และ cathodic protection เข้ามาศึกษาด้วย หัวข้อ ขอบข่าย ระเบียบวิธี และวัตถุประสงค์ ของงานวิจัยได้มีการตกลงร่วมกันเป็นโครงการวิจัยร่วมระหว่างองค์กรที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขอบข่าย หัวข้อ และกรอบงานวิจัย

องค์ความรู้ที่ได้รับ จากการทดสอบผลกระทบจากความรุนแรง และแนวทางการศึกษาในอนาคต

สำหรับการทดสอบผลกระทบของความรุนแรงต่อการกัดกร่อนผลิตภัณฑ์เหล็กที่ไม่มีมาตรการป้องกันใด ๆ พบว่าอัตราการกัดกร่อนแปรเปลี่ยนไปตาม ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวอย่างทดสอบ และรูปแบบที่เกิดการฟอร์มตัวของ “macro cell” นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสามารถยืนยันได้ว่าอัตราการกัดกร่อนจะเกิด ในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงระยะเวลาหนึ่ง อัตราการกัดกร่อนจะคงที่ สำหรับเหล็กที่ป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้โลหะมาหุ้มป้องกันนั้น ผลกระทบต่อ ความเสียหายจากการขูดขีดในบริเวณน้ำขึ้นน้ำลงได้มีการพิจารณาโดยพบว่า บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนนี้ สามารถป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการใช้โลหะหุ้มป้องกัน ควบคู่ไปกับการใช้ cathodic protection และ สำหรับการป้องกันโดยใช้ระบบสีเคลือบ ก็พบว่าการนำสีประเภทที่มีสังกะสีเป็นส่วนผสมมาทาสีพื้น จะช่วยเพิ่มความคงทนแก่โครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องในอนาคต ถึงผลกระทบของความรุนแรงต่อการกัดกร่อน จะช่วยให้สามารถประเมินความคงทนของโครงสร้างนอกชายฝั่ง ในระยะยาวได้ และยังสามารถประเมินความคงทนในอนาคต การทดสอบลักษณะที่คล้ายคลึงกันนี้ ได้มีการดำเนินการที่ Okinotorishima และ รวมไปถึงพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลให้ในอนาคต เราจะสามารถคาดการณ์ถึงความคงทนถาวรของโครงสร้างในพื้นที่ต่าง ๆ ในทวีปเอเชีย ไม่แต่เฉพาะในบริเวณอ่าว Sugura เท่านั้น

เรามีความตั้งใจที่จะส่งเสริมให้เกิดการศึกษา และกำหนดเป็นมาตรการเพื่อการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างในแต่ละรูปแบบของระบบการป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างนอกชายฝั่ง ที่ไม่ว่าจะสร้างด้วยเหล็กหรือคอนกรีต และเพื่อการคาดการณ์ถึงสมรรถนะของโครงสร้างในอนาคต



Iwao Sasaki: He has been studying application and durability of construction materials since fledgling researcher of PWRI Chemistry Division in 1989. B.Eng.: Tokyo University of Agriculture and Technology, Ms. International development studies: National Graduate Institute for Policy Studies, Dr.Eng.: Hokkaido University



Photo 1 Full view of Marine Engineering Research Facility

Fig. 1 Outline of Marine Engineering Research Facility

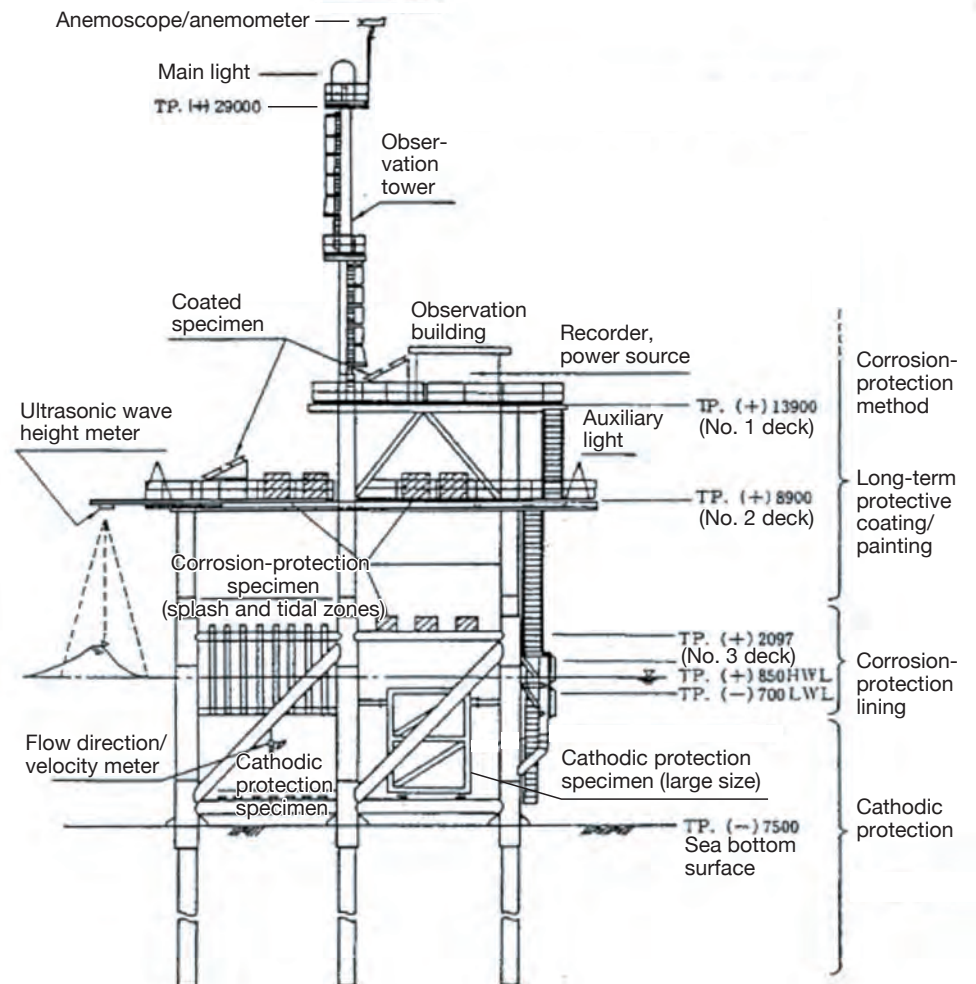


Fig. 2 Secular Change of Airborne Salt Amount by Means of PWRI-type Tank Method (Secular Changes of Past Survey Results: East and West Sides of No. 1 Deck)

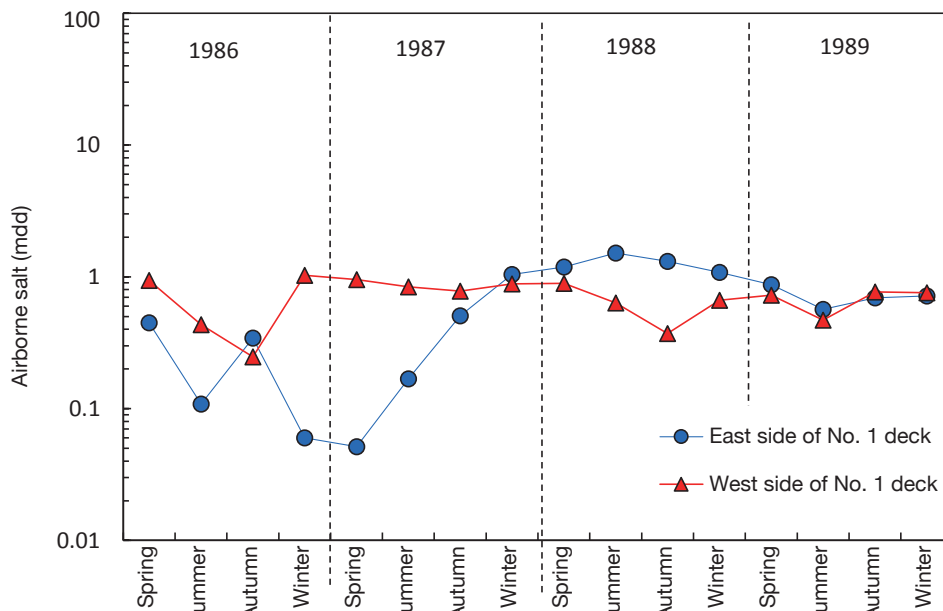


Fig. 3 Secular Change of Airborne Salt Amount by Means of PWRI-type Tank Method

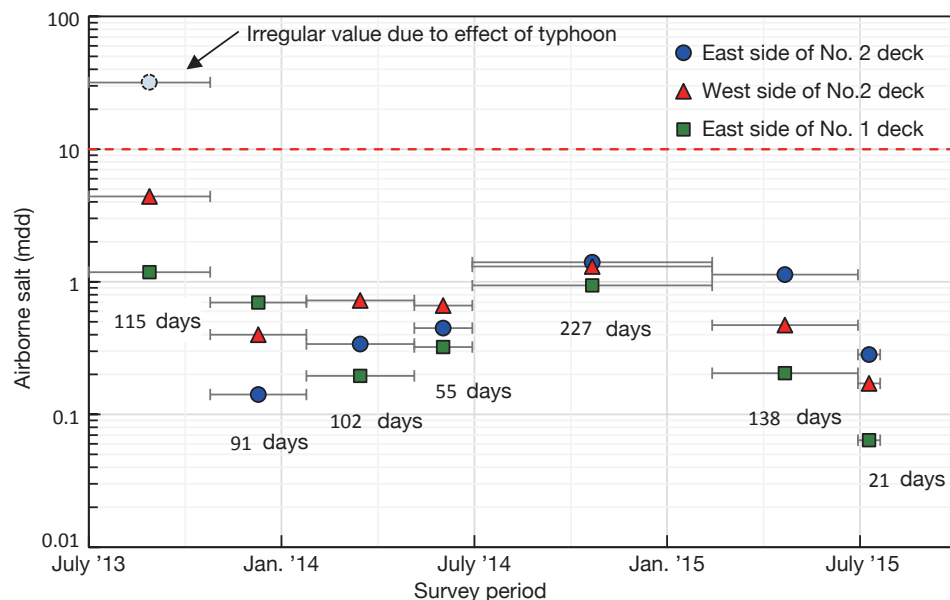


Fig. 4 Effect of Height from Sea Surface on Airborne Salt Amount by Means of Mortar Thin Plate Method

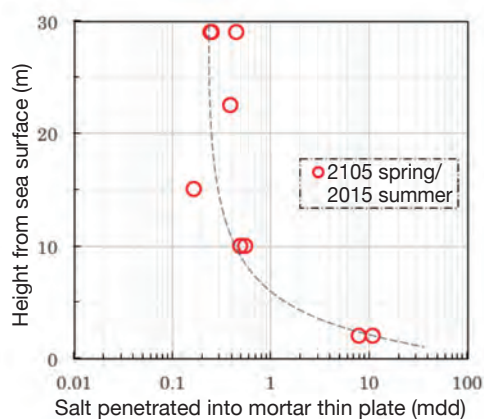


Table 1 Research Fields and Themes, and Research Allotment

Research field	Specific research theme	Research allotment		
		1st WG	2nd WG	3rd WG
Research on corrosion-protection technology for steel structures in splash and tidal zones	1) Application test for corrosion-protection coating/painting materials (MERF structure)	A B		
	2) Durability test for corrosion-protection coating/painting materials (test specimen)	B		
Research on corrosion-protection technology for concrete structures in splash zone	1) Corrosion-protection technology for steel product used in concrete		A C	
	2) Development of design technology for seawater-resistant concrete member		A C	
Research on cathodic protection design technology in submerged zone	1) Development of cathodic protection design method according to structure shape			A D
	2) Development of combined coating-cathodic protection design technology			A D
Research on long-term protective coatings in marine atmospheric zone	1) Application test for long-term protective coating system			A D
	2) Durability test for long-term protective coating system			A D
Arrangement of research attainments		A B C D		

Research allotment:

A: Public Works Research Institute

B: The Japan Iron and Steel Federation

C: Japan Prestressed Concrete Contractors Association

D: Public Works Research Center

การทดสอบสภาพการกัดกร่อนในบริเวณอ่าว Suruga (2)

การทดสอบสภาพการกัดกร่อนของโครงสร้างเหล็กในระยะยาว และวิธีการป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้าง ในบริเวณอ่าว Suruga

โดย Kenichiro Imafuku

ศูนย์วิจัยทดสอบเหล็ก

บริษัท Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation

เพื่อให้เกิดการเพิ่มความทนทานของโครงสร้างเหล็กที่อยู่ในทะเล สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย และ สถาบันวิจัยโยธาธิการ ได้ร่วมกันดำเนินการทดสอบโครงสร้างดังกล่าวในสภาพแวดล้อมจริงในระยะยาว โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีการป้องกันการกัดกร่อนให้กับโครงสร้างเหล็กในทะเลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และเพื่อหาแนวทางการประเมินความคงทนในระยะยาวของเทคโนโลยีที่ใช้เพิ่มความคงทนถาวรต่าง ๆ เหล่านี้ การศึกษาวิจัยได้ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเล ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณ อ่าว Suruga ประมาณ 250 เมตร นอกชายฝั่งจังหวัด Shizuoka

บทความฉบับนี้ได้รายงานถึง พฤติกรรมของการกัดกร่อนและเทคโนโลยีป้องกันการกัดกร่อนให้กับโครงสร้างเหล็กในทะเล ตลอดจนสมรรถนะของการป้องกันการกัดกร่อนในแต่ละวิธี รวมไปถึงวิธีที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบป้องกันการกัดกร่อนประเภทต่าง ๆ โดยอ้างอิงถึงผลการทดสอบในสถานที่จริงตลอดระยะเวลา 30 ปี

ประเภทของตัวอย่างทดสอบ

สำหรับงานวิจัยในปัจจุบัน ผลลัพธ์หลักประเภทต่าง ๆ มากมาย ตั้งแต่ผลลัพธ์หลักที่ไม่มีระบบการป้องกันการกัดกร่อน ไปจนถึงผลลัพธ์หลักที่มีการหุ้มป้องกันด้วยโลหะที่ทนทานต่อการกัดกร่อน ผลลัพธ์หลักเคลือบสี ฯลฯ ได้ถูกนำมาทดสอบในสภาพแวดล้อมในทะเล เพิ่มเติมจากบริเวณที่ถูกน้ำทะเลกัดเซาะต่อเนื่องไปจนถึงบริเวณที่จมอยู่ใต้ทะเล

ผลการทดสอบ

สภาพแวดล้อมลักษณะต่าง ๆ ได้แสดงดัง ภาพที่ 1 และ ผลการทดสอบได้แสดงไว้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

● ผลลัพธ์หลักที่ไม่มีระบบการป้องกันการกัดกร่อน

จากผลการทดสอบผลลัพธ์หลัก (140×140×18×3,800 mm) ที่ไม่มีระบบการป้องกันการกัดกร่อน ตลอดระยะเวลา 19 ปีครึ่ง พบว่า

- อัตราการกัดกร่อนจะสูงในบริเวณทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เกิดการกัดเซาะของคลื่น
- อัตราการกัดกร่อนค่อนข้างน้อยในบริเวณโครงสร้างส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลที่ขึ้น/ลง (สาเหตุหลักคือ ในบริเวณที่น้ำทะเลขึ้นลงนี้จะเกิด “macro cell” ขนาดใหญ่ ที่ผิวโครงสร้างเหล็ก)

- อัตราการกัดกร่อนบริเวณที่จมอยู่ใต้ดินจะต่ำ (สาเหตุหลักเป็นเพราะปริมาณออกซิเจนในบริเวณที่จมอยู่ใต้ดินจะน้อยกว่าบริเวณที่มีคลื่นกัดเซาะหรือบริเวณที่มีน้ำขึ้นลงค่อนข้างมาก)
- อัตราการกัดกร่อนจะลดลงตามระยะเวลาที่ยาวนานออกไป และจะค่อย ๆ คงที่ ดังที่ได้แสดงไว้ใน มาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะ สำหรับงานก่อสร้างท่าเรือและอาคารริมทะเล ในประเทศญี่ปุ่น (Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan) (อ้างอิงรูปที่ 1 และ รูปที่ 2)

● ผลลัพธ์หลักเหล็กเคลือบ (เคลือบทั่วไป และเคลือบหนา)

สำหรับผลลัพธ์หลักเคลือบทั่วไป (ประกอบไปด้วย inorganic zinc หนา 25 ไมครอน และ อีพ็อกซีเรซิน หนา 600 ไมครอน) การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นในปีที่ 5 ในบริเวณน้ำขึ้นลง และบริเวณที่จมอยู่ใต้น้ำ (ดังรูปที่ 3) ในทางกลับกัน ผลลัพธ์หลักเคลือบหนา (inorganic zinc หนา 15 ไมครอน อีพ็อกซีเรซิน หนา 2,000 ไมครอน และ ฟลูออรีน 25 ไมครอน) พบว่าจะเกิดการกัดกร่อนบริเวณที่เกิดความเสียหายจากการกระแทกของไม้ที่ลอยมากับน้ำ ส่งผลทำให้ระบบสีเคลือบหลุดออกไป ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนตามมา ส่วนในบริเวณอื่น ๆ นั้น ไม่พบว่าการเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น และระบบสียังคงสภาพดีอยู่ (ดังรูปที่ 4)

● ผลลัพธ์หลักเหล็กเคลือบโพลียูรีเทน และโพลีเอธิลีน

ไม่พบความเสียหายใด ๆ กับระบบเคลือบด้วยโพลียูรีเทน ตลอดระยะเวลา 23 ปี โดยระบบสียังคงสภาพดีอยู่ (รูปที่ 5) สำหรับส่วนที่เคลือบด้วยโพลีเอธิลีน พบว่ายังอยู่ในสภาพดีหลังจากผ่านการทดสอบมาเป็นระยะเวลา 10 ปี ทั้งนี้ บริเวณที่มีการขีดข่วน (กว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้เตรียมไว้ก่อนล่วงหน้า พบว่าจะเกิดการกัดกร่อนความหนาหายไปราว 1.2 มิลลิเมตร โดยสำหรับหน้าตัดที่วางทดสอบไว้เป็นระยะเวลา 1 ปี และได้ทำการซ่อมแซมแก้ไขด้วยวิธีทาหุ้ม จะสามารถทำให้สภาพโดยรวมอยู่ในสภาพที่ดีเป็นระยะเวลา 9 ปี

● การหุ้มด้วยแผ่นสแตนเลส

ท่อเหล็กที่ได้หุ้มด้วยสแตนเลส ($Cr+3Mo+10N \geq 38$ (mass%)) และเพิ่มการป้องกันด้วยระบบ cathodic protection ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างทดสอบ โดยไม่พบว่าการเกิดการสึกกร่อนใด ๆ แม้ว่าจะผ่านระยะเวลาการทดสอบไป 10 ปี

ในบริเวณที่เกิดความเสียหายจากการขีดข่วน ซึ่งอยู่บริเวณที่เกิดน้ำขึ้นลง ก็ยังไม่พบการกัดกร่อนที่ท่อเหล็ก อันเนื่องมาจากการป้องกันด้วย cathodic protection ในทางกลับกัน ในบริเวณที่เกิดความเสียหายจากการขีดข่วน ซึ่งอยู่บริเวณที่เกิดคลื่นกัดเซาะ พบว่าจะเกิดความเสียหายขึ้น ด้วยเหตุที่ผลจาก cathodic protection ไม่ได้แผ่ขยายครอบคลุมไปยังบริเวณที่คลื่นกัดเซาะ ซึ่งวัดอัตราการเกิดการกัดกร่อนของท่อเหล็กได้ราว 0.05 มิลลิเมตรต่อปี

นอกจากนี้ บริเวณที่ไม่ได้มีการติดตั้ง cathodic protection ก็มีการตรวจพบการกัดกร่อนขึ้น (crevice corrosion) ณ ตำแหน่งช่องว่าง ที่เกิดขึ้นระหว่างการติดตั้งตัวอย่าง ในบริเวณที่มีคลื่นกัดเซาะ และบริเวณที่จมใต้น้ำ

จากองค์ความรู้ที่ได้รับดังกล่าว จึงได้มีการจัดทำรายการที่เป็นข้อพึงระวัง สำหรับงานก่อสร้างที่อยู่ในทะเล เมื่อมีการนำสแตนเลส มาหุ้มโครงสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 1

● การหุ้มด้วยแผ่นไทเทเนียม

เหล็กที่ถูกหุ้มด้วยแผ่นไทเทเนียม แม้ว่าจะพบการเสื่อมสภาพไปบ้าง แต่ก็ไม่พบการกัดกร่อนใด ๆ ภายหลังจากที่วางทดสอบเป็นระยะเวลากว่า 29 ปี แม้กระทั่งที่หน้าตัดที่มีช่องว่างที่แผ่นไทเทเนียมมาซ้อนทับกัน ก็ไม่พบว่ามีกรเกิดการกัดกร่อนขึ้น

● การป้องกันด้วยวิธีการอื่น ๆ

นอกเหนือจากวิธีการป้องกันสนิมรูปแบบต่าง ๆ ข้างต้น วิธีการป้องกันการกัดกร่อนอื่น ๆ เช่น cupronickel หรือการหุ้มด้วยวัสดุที่มาผสมกันระหว่างสแตนเลส ไทเทเนียม หรือ วัสดุอื่น ๆ ก็ได้มีการนำมาทดสอบในสภาวะจริงเช่นกัน และก็พบว่า วัสดุหุ้มต่าง ๆ นี้ก็ช่วยเพิ่มความคงทนถาวรให้กับโครงสร้างเหล็กได้เช่นกัน

ภาพที่ 1 สภาพแวดล้อมของการทดสอบ

รูปที่ 1 การกระจายตัวของการกัดกร่อนตามความลึก (เหล็กปกติทั่วไป)

รูปที่ 2 ส่วนหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงอัตราการกัดกร่อน จากสภาวะแวดล้อมในทะเล

รูปที่ 3 สภาพภายนอกของผลิตภัณฑ์เหล็กเคลือบทั่วไป ภายหลังจากการที่ชุดเอาสนิมออก (รูปบน ทดสอบเป็นระยะเวลา 5 ปี รูปล่าง ทดสอบเป็นระยะเวลา 19.5 ปี)

รูปที่ 4 สภาพภายนอกของผลิตภัณฑ์เหล็กเคลือบหนาพิเศษ (ทดสอบเป็นระยะเวลา 19.5 ปี)

รูปที่ 6 สภาพภายนอกของผลิตภัณฑ์ท่อเหล็กที่หุ้มป้องกันด้วยแผ่นไทเทเนียม ภายหลังจากที่ลอกแผ่นไทเทเนียมออก (ทดสอบเป็นระยะเวลา 29 ปี)

ตารางที่ 1 ข้อควรระวังในการติดตั้งระบบป้องกันการกัดกร่อนด้วยแผ่นสแตนเลส

การทดสอบสภาพการกัดกร่อนจะคงดำเนินต่อไป

วิธีการป้องกันการกัดกร่อนหลากหลายประเภท ได้ผ่านการทดสอบในสภาวะจริงมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน อันส่งผลต่อความมั่นใจต่อประสิทธิภาพ และต่อความมั่นใจในการใช้งาน ในงานก่อสร้างที่อยู่ในทะเล โดยการทดสอบระบบการหุ้มป้องกันก็ยังคงดำเนินการต่อไป เพื่อให้โครงสร้างเกิดความคงทนในระยะยาว



Kenichiro Imafuku: After graduating from Department of Civil Engineering of Tohoku University in 1993, he entered Nippon Steel Corporation (currently Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation) and then was assigned to the company's Steel Research Laboratories. He assumed his current position as Senior Researcher, Materials Reliability Research Lab. Steel Research Laboratories in 2013.



Photo 1 Exposure test conditions

Fig. 1 Distribution of Depth-direction Corrosion (Ordinary Steel)

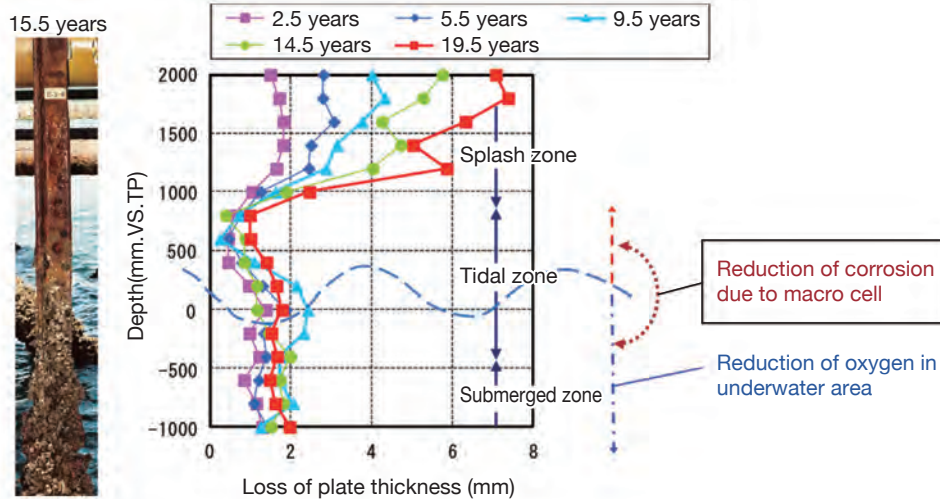


Fig. 2 Secular Change in Corrosion Rate by Marine Environment

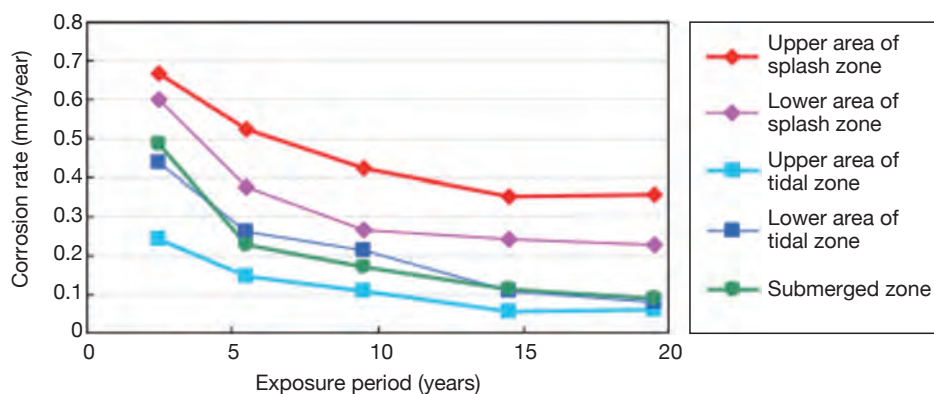


Fig. 3 Appearance of Common Painted Steel Products after Rust Removal (top: 5-year exposure; bottom: 19.5-year exposure)

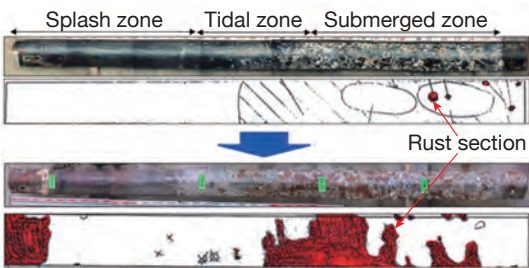


Fig. 4 Appearance of Thick Film-type Painted Steel Products (19.5-year Exposure)

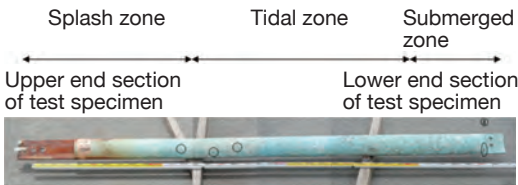


Fig. 5 Appearance of Polyurethane Coating after Rust Removal (23-year Exposure)



Table 1 Cares in Application of Highly Corrosion-resistant Stainless Steel Covering Protection Method			
Corrosion-protection method	Highly corrosion-resistant stainless steel cover (Cr+3Mo+10N≥38 (mass%))		
	Combined use of cathodic protection (about -770~-1000 mV (vs. SCE))		
Section	Weld	Damage-penetrated section	Gap section
Environment			
Splash zone	Weld-repaired section		
Tidal zone	Selection of appropriate welding material and implementation of appropriate welding	Repair is necessary	No production of gap in specimen installation
Submerged zone		Cathodic protection is effective	Cathodic protection is effective

Fig. 6 Appearance of Titanium-covered Steel Pipe after Shell Removal (29-year Exposure)

Gap (between titanium and titanium)



การศึกษาวิจัยระยะยาวในสภาวะแวดล้อมจริง ถึงวิธีการป้องกันการกัดกร่อนให้กับเสาเข็มท่อเหล็กที่สถานีวิจัยสมุทรศาสตร์ Hazaki (Hazaki Oceanographical Research Station: HORS)

โดย Toru Yamaji

กลุ่มงานวัสดุ สถาบันวิจัยท่าเรือและท่าอากาศยาน

ผลิตภัณฑ์เหล็ก เป็นวัสดุที่สำคัญที่ใช้ในงานก่อสร้างอาคารและระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน สำหรับโครงสร้างท่าเรือ อาคารตามแนวชายฝั่ง และโครงสร้างนอกชายฝั่ง ในขณะเดียวกัน ผลิตภัณฑ์โครงสร้างเหล็กที่นำมาใช้ไม่ได้มีการจัดเตรียมมาตรการป้องกันการกัดกร่อนที่เหมาะสม อันส่งผลต่อความทนทานของโครงสร้าง และสมรรถนะในการใช้งานที่ลดลง อันส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพและความปลอดภัยในการใช้งานโครงสร้าง โดยเพื่อให้สมรรถนะในการใช้งานอยู่ในระดับที่สูงภายในกรอบระยะเวลาเป้าหมายที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสำหรับงานโครงสร้างนอกชายฝั่ง การนำมาตรการการป้องกันการกัดกร่อนที่เหมาะสมเข้ามาใช้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว สถาบันวิจัยท่าเรือและท่าอากาศยาน หรือ Port and Airport Research Institute (PARI) สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีชายฝั่ง หรือ Coastal Development Institute of Technology และสมาคมเข็มพืดท่อเหล็กและเข็มพืดเหล็ก แห่งประเทศญี่ปุ่น หรือ Japanese Technical Association for Steel Pipe Piles and Sheet Piles ได้ร่วมมือกันทำการทดสอบ ในปี 1984 ซึ่งได้มีการทดสอบ วิธีการป้องกันการกัดกร่อนให้กับเข็มพืดท่อเหล็กที่ติดตั้งในพื้นที่นอกชายฝั่งหลากหลายวิธี โดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อสำรวจวิธีการป้องกันการกัดกร่อน เพื่อคงสมรรถนะในการใช้งานให้ยาวนานตามที่ต้องการ โดยในปี 2014 ที่ผ่านมา การทดสอบในสภาวะจริงก็ได้ดำเนินมาถึงปีที่ 30

บทความฉบับนี้ จะมีการนำเสนอผลการศึกษาที่เก็บรวบรวมตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ดังต่อไปนี้

สภาพพื้นที่ที่ใช้ทดสอบจริง

การทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะจริง นั้น ได้มีการดำเนินการที่ สถานีวิจัย HORS ซึ่งตั้งอยู่ในทะเลเปิด Kashima-nada จังหวัด Ibaraki (ดังภาพที่ 1) โดยทะเลแห่งนี้ เป็นบริเวณที่มีคลื่นสูง และอยู่ในบริเวณที่ท้องทะเลเป็นทราย ซึ่งมีการเคลื่อนตัวค่อนข้างมาก

ด้วยเหตุที่คลื่นในทะเลมีความสูงค่อนข้างมาก ประกอบกับกระแสน้ำที่รุนแรงที่กระทำต่อตอม่อของ HORS บริเวณสถานีวิจัยแห่งนี้ จึงถือได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีสภาวะการกัดกร่อนที่รุนแรง อันเป็นสถานที่ที่ดีย่อมสำหรับการศึกษาลงวิธีการป้องกันการกัดกร่อนต่อไป

สำหรับโครงสร้างของสถานีวิจัยแห่งนี้ ระบบโครงสร้างส่วนบนเป็นคอนกรีต วางอยู่บนฐานตอม่อที่ทำขึ้นจากเข็มพืดท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 – 800 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรง (ดังรูปที่ 1) ความยาวทั้งหมดของท่า อยู่ที่ราว 427 เมตร โดยมีจำนวน

ตอม่อที่ทำจากท่อเหล็กทั้งสิ้น 47 ตอม่อ การทดสอบวิธีการป้องกันการกัดกร่อนในสภาวะจริงหลากหลายวิธี ได้มีการดำเนินการกับตอม่อท่อเหล็กเหล่านี้

ภาพที่ 1 สถานีวิจัยสมุทรศาสตร์ Hazaki

รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพตัดขวางของ สถานีวิจัยสมุทรศาสตร์ Hazaki

วิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่นำมาทดสอบในสภาวะจริง

วิธีการป้องกันการกัดกร่อนในการทดสอบที่สภาวะจริงที่สถานีวิจัยแห่งนี้ ประกอบไปด้วยวิธีการต่าง ๆ 5 วิธี อันได้แก่ การเคลือบป้องกันด้วย organic coating การเคลือบป้องกันด้วย inorganic coating การเคลือบป้องกันด้วย petrolatum coating การทาสีเคลือบป้องกันด้วย และ การป้องกันด้วยวิธี cathodic protection ลักษณะการเคลือบป้องกันแต่ละวิธีมีลักษณะดังต่อไปนี้

● การเคลือบป้องกันด้วย organic coating

การเคลือบป้องกันด้วย organic coating เป็นการทาเคลือบป้องกันเหล็ก โดยใช้วัสดุเคลือบประเภท โพลีเอธิลีน หรือเป็น วัสดุที่สามารถบ่มตัวได้ น้ำ หรือ วัสดุที่สกัดจากสารอินทรีย์อื่น ๆ ความหนาที่ใช้ ราว 2 – 10 มิลลิเมตร ซึ่งหนา มากกว่าความหนาปกติที่ใช้ในการทาเคลือบทั่วไปมาก

โพลีเอธิลีน เป็นวัสดุที่เคลือบที่มีความคงทนสูง สามารถต้านทานการกัดกร่อนจากน้ำทะเล และสภาพอากาศที่รุนแรงได้ดี โดยนำมาใช้ทดสอบกับการทาสีให้กับโครงสร้างใหม่ (ดูภาพที่ 2)

สำหรับการทาเคลือบด้วยวัสดุที่สามารถบ่มตัวได้ น้ำนั้น สีทาเคลือบประเภทดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เพื่อความหนาของชั้นสี โดยจะมีประสิทธิภาพที่ดีกับการซ่อมแซมอีกด้วยเช่นกัน (ดูภาพที่ 3)

● การเคลือบป้องกันด้วย Inorganic coating

การเคลือบป้องกันด้วย inorganic coating เป็นวิธีการที่ต้องเคลือบผิวเหล็กด้วยปูนฉาบ ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือด้วยวัสดุที่ผลิตจากสารอนินทรีย์อื่น ๆ รวมไปถึงจนถึงโลหะประเภทต่าง ๆ ผิวเหล็กจะได้รับการปกป้องด้วยชั้นเคลือบที่มีความหนา และหากเคลือบด้วยปูนก็จะมีคุณสมบัติเป็นต่าง ที่ช่วยปกป้องการกัดกร่อนได้ดี

● การเคลือบป้องกันด้วย Petrolatum Coating

การเคลือบป้องกันด้วย Petrolatum Coating เป็นวิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่ได้มีการนำวัสดุที่เป็นสายผลิตภัณฑ์ของปิโตรเลียม เช่น petrolatum และผลิตภัณฑ์เคลือบที่ช่วยปกป้องการกัดกร่อนได้ดี การเคลือบป้องกันด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งมีการใช้งานกันอยู่ทั่วไป

● การทาสีเคลือบป้องกัน

วิธีการทาสีเคลือบป้องกัน เป็นวิธีการที่ใช้สีรองพื้นที่มีผงสังกะสีผสมอยู่ (zinc-rich primer) และด้วยเนื้อสีที่เหลว หรือหนืด ๆ ก็มีส่วนช่วยให้สามารถนำไปใช้กับสภาพงานที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สีเคลือบป้องกันที่ใช้ในการทดสอบที่สภาวะจริง จะมีความหนาที่มากเป็นพิเศษ หรือสีประเภทอีพ็อกซีเรซินที่ชั้นสีหนา หรือสีอีพ็อกซีที่มีผงแก้วผสม หรือ

เป็นสื่อพอกซีที่ผสมน้ำมันดิน

● การป้องกันด้วยวิธี Cathodic Protection

cathodic protection เป็นวิธีการป้องกันที่ใช้หลักการทางไฟฟ้า หรือ ไฟฟ้าเคมี โดยวิธีการที่นิยมในงานทำเรือ และโครงสร้างเหล็กกริมชายฝั่ง มักใช้ระบบที่เป็นการติดตั้งแอโนดเข้ากับตัวโครงสร้างเหล็ก

ระบบที่การป้องกันการกัดกร่อนที่มีการติดตั้งแท่งแอโนดนั้น ใช้หลักการว่า แอโนดจะมีความเสถียรน้อยกว่าเหล็ก ซึ่งเมื่อเกิดการครวญจของระบบไฟฟ้าเคมี แอโนดที่นำมาติดตั้งจะสูญเสียอิเล็กตรอนแทนเหล็ก ส่งผลให้เหล็กไม่เกิดการกัดกร่อน ทั้งนี้การป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี cathodic protection จำเป็นต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวเหล็กต่ำกว่า -780 mV โดยมีน้ำทะเลเป็นตัวกลาง

ภาพที่ 2 การเคลือบป้องกันด้วยโพลีเอธิลีน (ส่วนสีดำ เป็นโพลีเอธิลีน)

ภาพที่ 3 การเคลือบป้องกันด้วยวัสดุที่สามารถบ่มตัวได้น้ำ

ผลการสำรวจภายหลังจากการทดสอบในสภาวะจริง มา 30 ปี

● การเคลือบป้องกันด้วย Organic Coating

— โพลีเอธิลีน

จากผลการสำรวจพบว่า หลังจากผ่านไป 30 ปี วิธีการเคลือบป้องกันด้วย โพลีเอธิลีนเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ โดยจากการทดสอบด้วยแสงอินฟราเรด (FT-IR) แทบจะไม่สำรวจพบความเสียหายใด ๆ (ดังรูปที่ 2)

นอกจากนี้ ยังไม่พบปัญหาเกี่ยวกับความต้านทานการนำไฟฟ้า (insulation resistance) ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า โพลีเอธิลีน สามารถนำมาใช้เคลือบผิวเหล็กให้ความทนทานแก่โครงสร้างเหล็กในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ยังสามารถสรุปได้ว่า การพิจารณาความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนด้วยค่า volume resistivity (ซึ่งคำนวณจาก insulation resistance) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ

— การเคลือบป้องกันด้วยวัสดุที่สามารถบ่มตัวได้น้ำ

ภายหลังจากผ่านทดสอบในสภาวะจริงไป 20 ปี ยังพบว่า วัสดุเคลือบป้องกันด้วยวัสดุที่สามารถบ่มตัวได้น้ำยังอยู่ในสภาพที่ดี อย่างไรก็ตาม หลังจากปีที่ 30 พบการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพของสีเคลือบเสื่อมลงจากการประเมินความสามารถในการต้านทานไฟฟ้า และการแทรกซึมของคลอไรด์ไอออน

ผลการสำรวจสามารถยืนยันได้ว่า การพิจารณาความสามารถในการต้านทานไฟฟ้า และการแทรกซึมของคลอไรด์ไอออน สามารถนำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพของการเคลือบป้องกันด้วยวัสดุที่สามารถบ่มตัวได้น้ำได้เป็นอย่างดี

● การเคลือบป้องกันด้วย Inorganic Coating

จากผลการสำรวจสามารถยืนยันได้ว่า การเคลือบป้องกันด้วยคอนกรีตสามารถนำมาใช้ป้องกันการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าจะผ่านการทดสอบไปแล้ว 30 ปี (ดังภาพที่ 4) นอกจากนี้ การเคลือบป้องกันการกัดกร่อนด้วยคอนกรีตในส่วนที่จมอยู่ใต้น้ำ และส่วนที่ต้องเผชิญกับน้ำขึ้นน้ำลง ยังไม่พบเห็นถึงการกัดกร่อนที่ผิวเหล็กที่มากมายนักแม้ว่าปริมาณคลอไรด์ไอออน จะมีการสะสมอย่างหนาแน่นบริเวณผิวเหล็กก็ตาม แต่อย่างไรก็ดี การทำนายอัตราการกัดกร่อนที่เนื้อเหล็ก จากการที่คลอไรด์ไอออนทะลุผ่านวัสดุเคลือบยังไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำนัก

ในการศึกษาขั้นต่อไป จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการสำรวจตรวจสอบรายละเอียดอื่น ๆ เพื่อจะได้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการหาวิธีการประเมินอายุการใช้งานของการเคลือบประเภทนี้ต่อไป

● การเคลือบป้องกันด้วย Petrolatum Coating

ผลสำรวจประสิทธิภาพการเคลือบป้องกันด้วย Petrolatum ภายหลังจากการทดสอบจริง 30 ปี พบว่าสภาพของวัสดุเคลือบป้องกันยังอยู่ในสภาพที่ดี แต่ก็มีพบว่าบางส่วนของโครงสร้าง เช่น สลักเกลียว หรือวัสดุองค์ประกอบ เกิดการเสื่อมสภาพขึ้น (ดังภาพที่ 5)

สัดส่วนของน้ำมันเคลือบที่เหลือค้างอยู่ มักใช้เป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของวัสดุเคลือบที่ทำจาก petrolatum อย่างไรก็ดี ผลการวัดน้ำมันที่เหลืออยู่นี้มีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างมาก นอกจากนี้ ควรทำการวัดสิ่งอื่น ๆ เพิ่มเติมจากสัดส่วนของน้ำมันเคลือบที่เหลือค้างเพื่อประเมินอัตราการเสื่อมสภาพ ซึ่งในอนาคต ควรต้องดำเนินการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อศึกษาพฤติกรรม และหาแนวทางในการประเมินหาอัตราการเสื่อมสภาพของเหล็กที่เคลือบป้องกันด้วย petrolatum ต่อไป

● การทาสีเคลือบป้องกัน

การทดสอบได้ดำเนินการกับสีเคลือบประเภท สีอีพอกซีเรซินความหนาพิเศษ ซึ่งพบว่าผิวด้านนอกจะอยู่ในสภาพที่ดีแม้ว่าจะผ่านไป 30 ปี แต่อย่างไรก็ดี พบว่ามีการแทรกซึมของเกลือเข้าไปในเนื้อสี ส่งผลให้ความสามารถในการเคลือบป้องกันลดน้อยลง

นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้า (impedance) เป็นค่าที่สำคัญในการประเมินสมรรถนะของสีเคลือบอีกด้วย (ดูภาพที่ 6)

● การป้องกันการกัดกร่อนด้วย Cathodic Protection

ในการสำรวจ ลักษณะทางไฟฟ้าเคมีพบว่า อัตราการสูญเสียแอโนดสามารถประเมินได้อย่างรวดเร็ว โดยการหารอัตราการเสื่อมสภาพ ด้วยระดับกระแสที่สูงขึ้น

ทั้งนี้ การศึกษาได้ทำการติดตั้งแอโนดเข้ากับเหล็กด้วยการใช้แม่เหล็ก ซึ่งพบว่าไม่มีแอโนดแท่งใดเกิดการหลุดออกแม้จะผ่านไปถึง 5 ปี โดยสมรรถนะการป้องกันการกัดกร่อนก็ยังอยู่ในสภาพที่ดี อย่างไรก็ตามด้วยเหตุนี้

บางกรณีมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าจากผลของกระแสคลื่น จึงมีความจำเป็น
อย่างยิ่งที่ต้องมีการสำรวจถึงสมรรถนะการกัดกร่อนในระยะยาวต่อไป

รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะการเคลือบด้วยโพลีเอธิลีน ด้วยวิธี FT-IR

ภาพที่ 4 สภาพภายในของการเคลือบด้วยคอนกรีต

ภาพที่ 5 การเคลือบป้องกันด้วย petrolatum

ภาพที่ 6 การวัดความต้านทานไฟฟ้าของสีเคลือบ

ภาพที่ 7 การใช้แม่เหล็กติดแท่งแอโนด เพื่อป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธี
cathodic protection

ผลที่ได้จากการสำรวจการทดสอบการกัดกร่อนในระยะ ยาว

ผลที่ได้จากการสำรวจทดสอบการกัดกร่อนของเสาเข็มท่อเหล็กในระยะ
ยาว แสดงให้เห็นว่ามีวิธีการป้องกันการกัดกร่อนหลายวิธีที่มีประสิทธิภาพดี
เพียงพอที่จะปกป้องเหล็กให้สามารถใช้งานได้ถึง 30 ปี โดยมีความเป็นไปได้ที่
จะหามาตรการในการประเมินความทนทานของการป้องกันการกัดกร่อนให้กับ
โครงสร้างนอกชายฝั่ง จากการป้องกันแต่ละประเภทได้หากมีการศึกษาเก็บ
ข้อมูลเพิ่มเติม โดยสำหรับข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้นี้จะเป็นข้อมูลอ้างอิงที่
สำคัญสำหรับการประเมินหาแนวทางการพิจารณาความทนทานของการ
ป้องกันการกัดกร่อนได้ในอนาคต

แนวทางในการประเมินสมรรถนะของการป้องกันการกัดกร่อนสามารถแยก
ได้เป็นสองแนวทาง แนวทางแรกคือการหาตัวแปรที่สามารถบ่งชี้ถึงสมรรถนะ
ของระบบป้องกันการกัดกร่อน และอีกแนวทางหนึ่งคือการหาตัวแปรที่ใช้ในการ
ประเมินประสิทธิภาพของระบบป้องกันที่ยังใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

การศึกษาในอนาคต จะเป็นการหามาตรการที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะ
ในช่วงเริ่มต้น และการหาวิธีการที่จะทำนายประสิทธิภาพที่เหลืออยู่ของระบบ
ป้องกันการกัดกร่อนแต่ละประเภท ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายนักวิจัยในลำดับถัด ๆ ไป



Toru Yamaji: After graduating from the University of Kyushu in 1997, he entered the Ministry of Transport and was assigned to Researcher, Port and Harbour Research Institute in 1998. He became Head of Materials Group, Port and Airport Research Institute in 2010, and assumed his current position as Director of Structural Engineering Field, Port and Airport Research Institute in 2012.



Photo 1 Full view of Hazaki Oceanographical Research Station

Fig. 1 Example of Sections of Hazaki Oceanographical Research Station

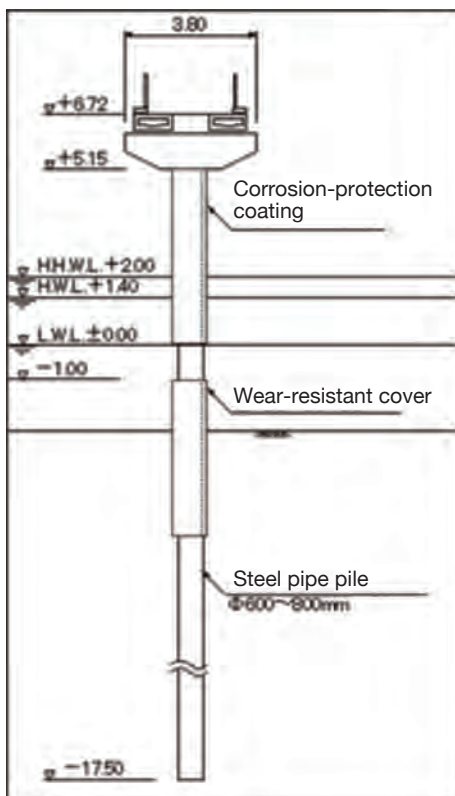
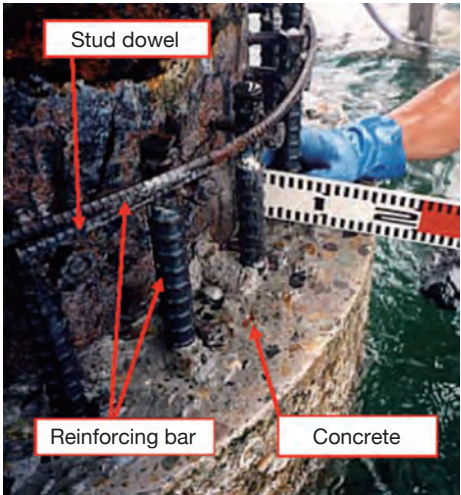
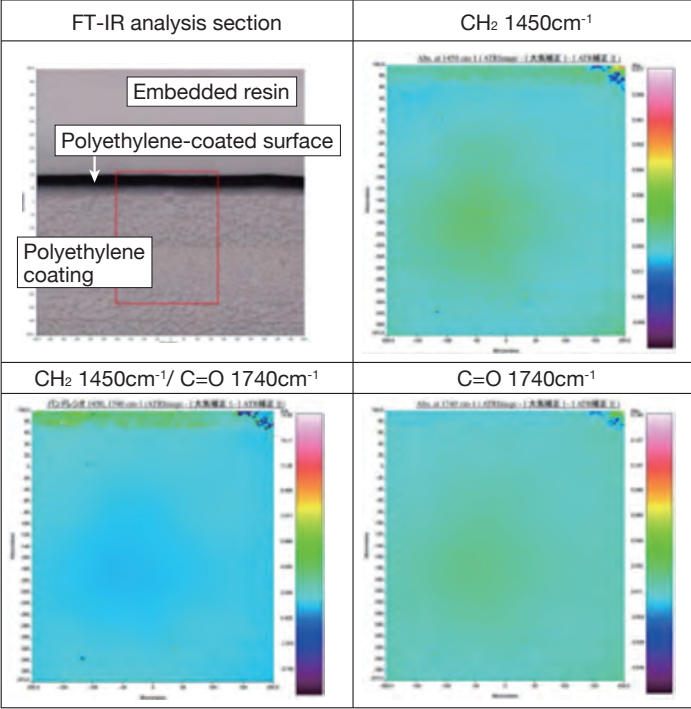


Photo 2 Polyethylene coating (black section: polyethylene)



Photo 3 Underwater cured-type coating (coating of putty-state coat)

Fig. 2 FT-IR Analysis Results of Polyethylene-coated Surface



การจัดการท่าเรือ และโครงสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น: การบำรุงรักษาและการบริหารจัดการท่าเรือ และโครงสร้างริมชายฝั่ง

โดย Isao Sakai

กองท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง

กระทรวงที่ดิน สาธารณูปโภค ขนส่ง และการท่องเที่ยว

ด้วยประเทศญี่ปุ่น เป็นประเทศที่ล้อมรอบไปด้วยทะเล และประชากรส่วนใหญ่ก็อาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเล ดังนั้น ท่าเรือ และโครงสร้างริมชายฝั่ง จึงเป็นส่วนที่คอยสนับสนุนให้เกิดวงจรการค้า การขนส่ง และการท่องเที่ยว ทั้งทางบกและทางเรือ นอกจากนั้นแล้ว ท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งยังเป็นระบบสาธารณูปโภคสากลที่ขาดไม่ได้ อันจะช่วยกระจายสินค้าเข้าและส่งออกที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน และสินค้าอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นพื้นฐานการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศญี่ปุ่น

สำหรับท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งเหล่านั้นนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการสิ่งเหล่านี้ให้เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันดับแรกคือความแข็งแรงปลอดภัยของโครงสร้างและเสถียรภาพของระบบขนส่งที่จะต้องเชื่อมต่อกับท่าเรืออื่น ๆ ในต่างประเทศเพื่อรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการในประเทศญี่ปุ่น อีกสิ่งหนึ่งคือการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการทุกอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่นผ่านระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดการจ้างงานและรายได้ที่เพิ่มสูงขึ้น

ด้วยเหตุดังกล่าว จำนวนของท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งจึงเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากตลอด 50 ปีที่ผ่านมาในประเทศญี่ปุ่น และดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะพยายามหาแนวทางในการจัดการและบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

มาตรการการจัดการและบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งที่ได้มีการส่งเสริมในประเทศญี่ปุ่นหลากหลายวิธีต่อไปนี้ จะมีการนำเสนอในลำดับถัดไป

ผู้ประกอบการบริการจัดการท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น

● บทบาทหน้าที่และประเภทของท่าเรือ

ท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ “ท่าเรือที่เป็นศูนย์กลางตู้คอนเทนเนอร์นานาชาติ” ที่ให้ความสำคัญกับการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันระดับนานาชาติ โดยเป็นศูนย์กลางของการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางเรือ “ท่าเรือที่เป็นศูนย์กลางการขนส่งนานาชาติ” โดยเป็นศูนย์กลางของโครงข่ายการเดินเรือสินค้าทั่วโลก “ท่าเรือแห่งสำคัญ” ซึ่งเป็นทั้ง ศูนย์กลางของโครงข่ายการเดินเรือสินค้าทั่วโลก และเป็นจุดยุทธศาสตร์กับส่วนอื่นของประเทศ และท้ายสุดคือ ท่าเรืออื่น ๆ ที่ไม่ได้จัดอยู่ในสามประเภทข้างต้น ทั้งนี้ในปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นมีท่าเรือจำนวนทั้งสิ้น 933 แห่ง (ดูตารางที่ 1)

● การปรับปรุง และการจัดการท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง

ท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง สามารถจำแนกได้เป็นสองประเภทคือ ท่าเรือสาธารณะที่ใช้สำหรับกิจการของรัฐบาลกลางและบริหารจัดการโดยรัฐบาลเอง อีกประเภทเป็นท่าเรือเอกชน ซึ่งเป็นสถานที่สำหรับผู้ประกอบการเอกชนได้ใช้และบริหารจัดการเอง โดยในทางปฏิบัติทั่วไป การปรับปรุงระบบบริหารจัดการของท่าเรือที่ดำเนินการโดยรัฐบาลกลาง จะมีการจัดจ้างโดยฝ่ายธุรการของท่าเรือผู้ซึ่งมีหน้าที่จัดการส่วนต่าง ๆ ของท่าเรือทั้งระบบ (อ้างอิง รูปที่ 1)

ตารางที่ 1 ประเภทและจำนวนท่าเรือในประเทศญี่ปุ่น

รูปที่ 1 การปรับปรุงและการและการจัดการท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง

การบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งเชิงป้องกัน

● การเพิ่มขึ้นของท่าเรือ

และการจัดการท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่นได้มีการพัฒนาปรับปรุงขึ้นให้สอดคล้องกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศญี่ปุ่น งานก่อสร้างส่วนใหญ่ได้ดำเนินการในช่วงราวทศวรรษ 1970 และ 1980 ซึ่งยังคงเป็นระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานที่สำคัญในการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายและการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศญี่ปุ่น

ในทางกลับกัน ท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งเหล่านี้ได้มีการเสื่อมสภาพไปตามเวลา พิจารณาท่าจอดเรือที่เป็นส่วนสำคัญของท่าเรือ พบว่าท่าจอดเรือราว 5,000 แห่งทั่วประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีความลึกของระดับน้ำราว 4.5 เมตรหรือน้อยกว่านี้ จะมีอายุมากกว่า 50 ปี ในสัดส่วนราว 10% ในเดือน มีนาคมปี 2014 ไปสู่ราว 60% ในเดือนมีนาคม ปี 2034 ดังแสดงในรูปที่ 2

● การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ด้วยจำนวนท่าเรือที่มีอายุมากจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดแผนการบำรุงรักษา เพื่อที่จะลดต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน โดยที่ยังจะรักษาเสถียรภาพเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะหาต่อมาตรการในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หรือการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น ลดต้นทุนการใช้งานวัฏจักรชีวิตลงโดยไม่ต้องทำการซ่อมแซมครั้งใหญ่ (อ้างอิงรูปที่ 3)

รูปที่ 2 สัดส่วนของท่าเรือน้ำลึกเกิน 4.5 เมตรที่อายุเกินกว่า 50 ปีเทียบกับจำนวนท่าเรือทั้งหมด

รูปที่ 3 การบูรณะเชิงป้องกัน

กลไกในการบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง

• วงจรการบำรุงรักษา

วัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งคือการรักษาสรรณการใช้งานให้อยู่ในระดับที่ดี ด้วยวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการตรวจสอบอย่างเป็นระบบ การวิเคราะห์สาเหตุความเสียหายและดำเนินการซ่อมแซม และในขณะเดียวกันก็ดำเนินการตรวจสอบติดตามในระหว่างการให้บริการอย่างต่อเนื่อง

หากเฉพาะเจาะจงลงไป การบูรณะบำรุงท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งจะดำเนินการเป็นวงรอบ ดังรูปที่ 4 โดยเพื่อให้สามารถดำเนินการได้อย่างเหมาะสมตามวงรอบของการบำรุงรักษา กฎระเบียบและแนวทางทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ได้มีการบัญญัติออกมาเพื่อให้เกิดความชัดเจนกับการจัดเตรียมแผนงานการตรวจสอบและการบำรุงรักษาต่อไป

• แผนการบำรุงรักษา และการบริหารจัดการโดยท่าเรือ

การบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งประกอบไปด้วย กิจกรรมสองขั้นตอน คือ การจัดแผนบำรุงรักษาโดยผู้ดูแลโดยตรง และแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยส่วนกลาง (รูปที่ 5)

สำหรับแผนการบำรุงรักษาที่จัดเตรียมโดยส่วนกลางนั้น การจัดลำดับความสำคัญในการบูรณะบำรุงและการซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ ของท่าเรือ เช่น ถนน แนวกันคลื่น ฯลฯ จะถูกจัดทำขึ้นโดยอาศัยแผนการบูรณะบำรุง และแผนการจัดสรรงบประมาณที่ดำเนินการโดยผู้ดูแลส่วนต่าง ๆ ดังกล่าวนี้นี้ เป้าหมายที่สำคัญอีกประการในการจัดทำแผนการบูรณะบำรุงคือการจัดการส่วนต่าง ๆ ในเชิงกลยุทธ์ ให้เกิดการบูรณาการร่วมกัน เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาในเชิงคุณภาพต่อไป

รูปที่ 4 วงรอบการบริหารจัดการท่าเรือ/โครงสร้างริมชายฝั่ง

รูปที่ 5 แผนการบริหารจัดการ และแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน



Isao Sakai: After finishing the master's course of School of Engineering, The University of Tokyo, he entered the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) in 1992. In 2010, he served as Director, Port and Airport Research Institute. He assumed his current position as Director, Engineering Administration Office, Engineering Planning Division, Ports and Harbors Bureau, MLIT in 2016.

Table 1 Kind and Number of Ports in Japan

Kind	Number
International Container Hub Port	5
International Hub Port	18
Major Port	102
Local ports	808
Total	933

Fig. 1 Improvement and Management Entities of Ports and Harbor Facilities

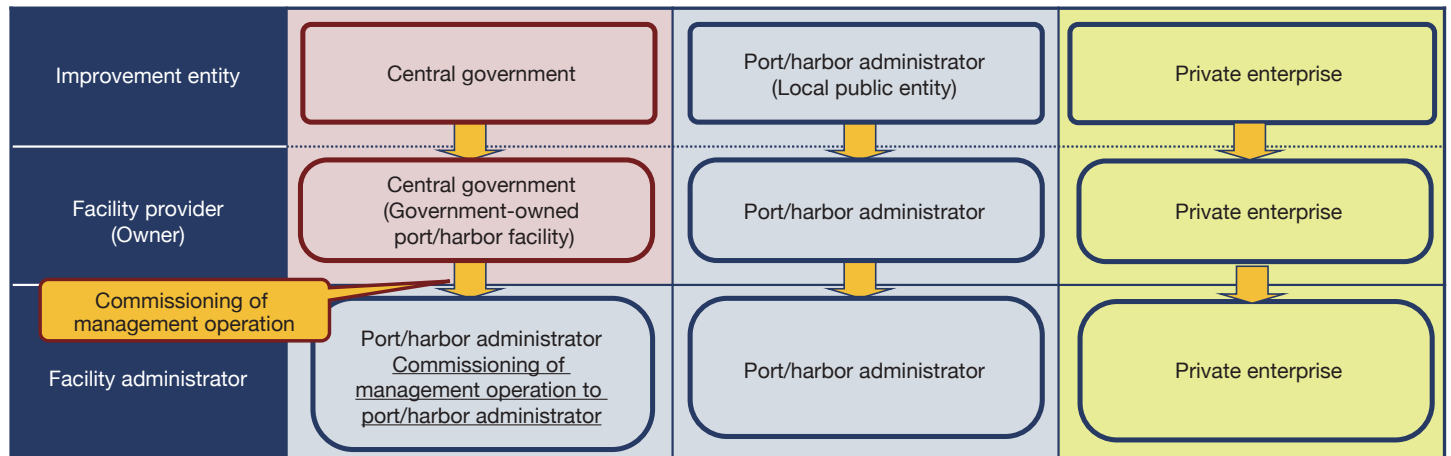


Fig. 2 Ratio of Public Wharfs with Water Depth of 4.5 m or Deeper and Pass of 50 Years since Start of Service to Total Wharfs

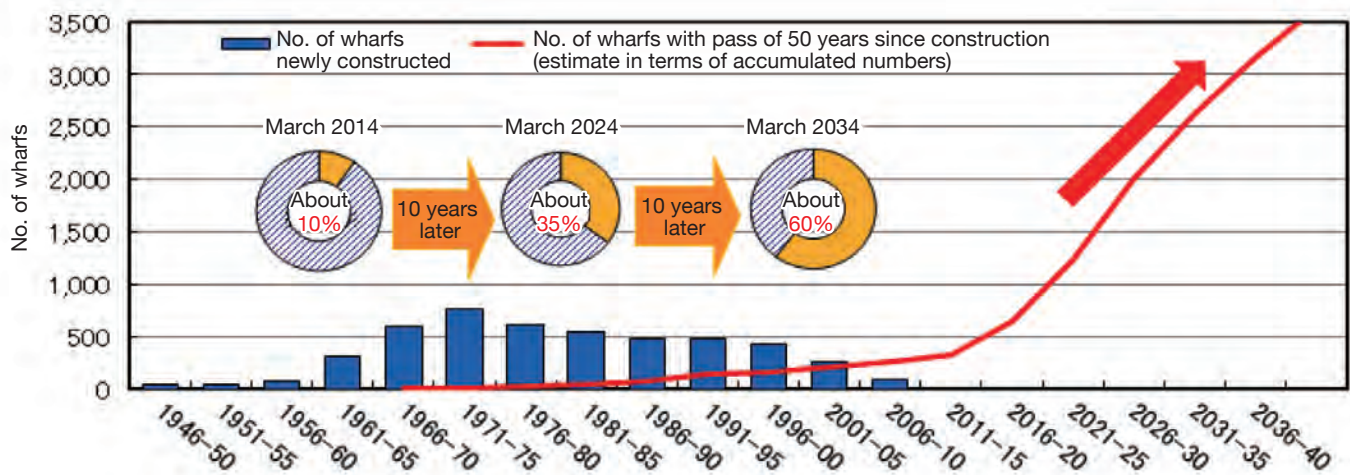


Fig. 3 Image of Preventive Maintenance

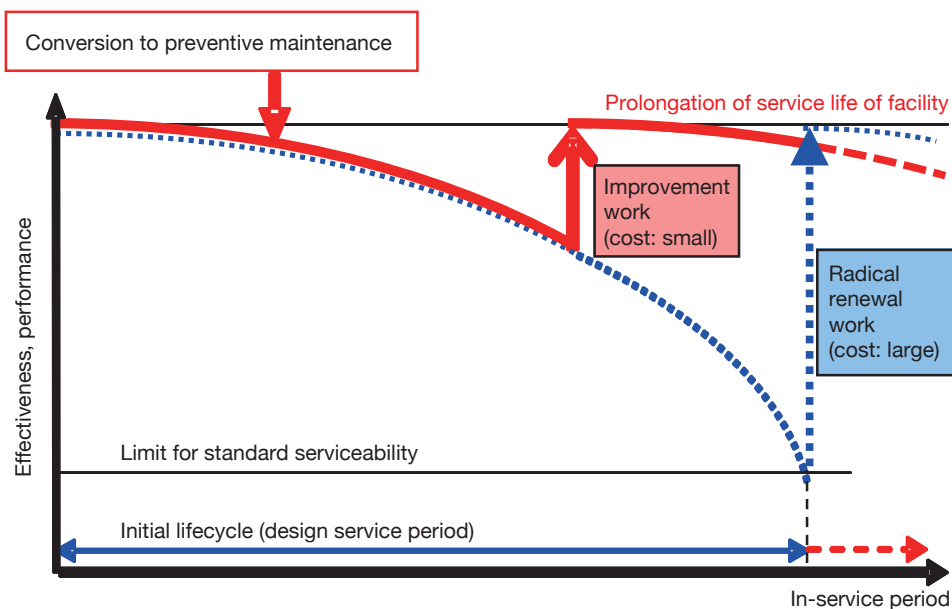


Fig. 4 Maintenance Cycle for Port/harbor Facilities

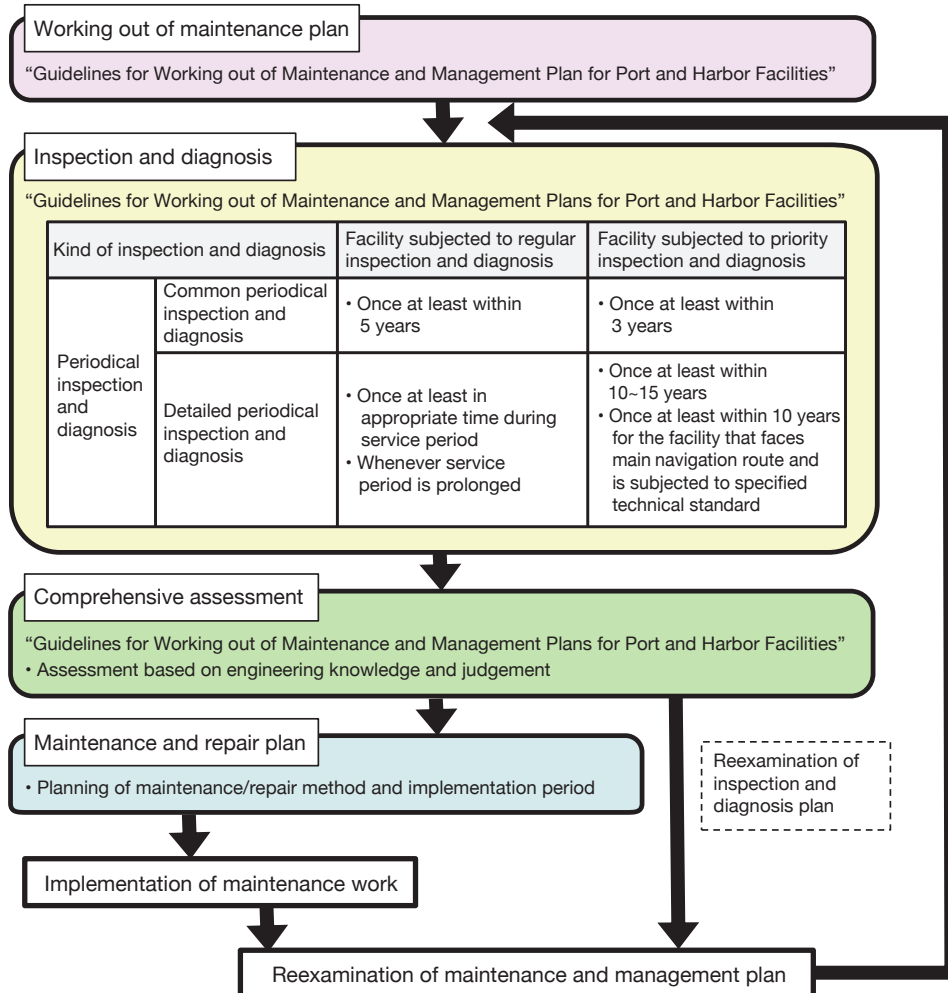
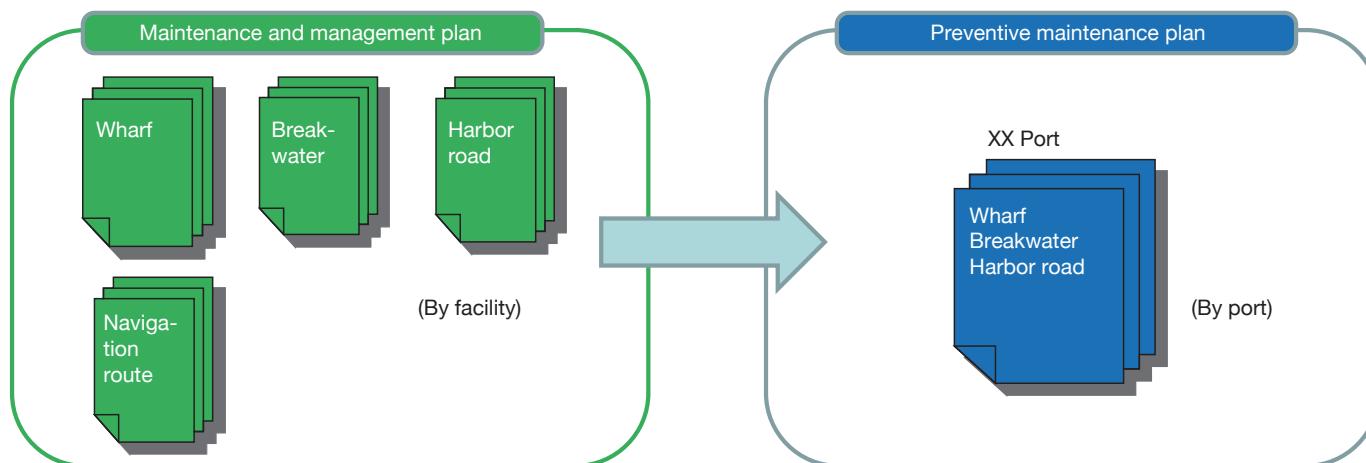


Fig. 5 Maintenance/Management Plan and Preventive Maintenance Plan



Plan	Maintenance and management plan	Preventive maintenance plan
Plan unit	By each facility	By each port and harbor
Objective	To contribute towards promotion of appropriate maintenance and management (inspection, maintenance, etc.) by each facility	To contribute towards planned implementation of countermeasure against superannuation by each port and harbor
Plan content	Working out of basic concept for facility maintenance and management, planned and appropriate inspection and diagnosis of relevant facility and their implementation period, maintenance content and its implementation period	Working out of countermeasure against superannuation and prioritizing of implementation of countermeasure depending on importance level of facility by taking superannuation and application condition for respective facility into consideration

ระเบียบวิธีในการออกแบบโครงสร้าง ตามแนวทาง การบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน

โดย Hiroshi Yokota

Professor, Hokkaido University

บทนำ

โครงสร้างหนึ่ง ๆ จะต้องได้รับการวางแผนและออกแบบให้มีประสิทธิภาพตลอดช่วงอายุการใช้งานที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม การเสื่อมสภาพของโครงสร้างอาจเกิดขึ้นได้จากหลายเหตุผลหลักๆ โดยเพื่อบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นในอนาคต ผู้ออกแบบและผู้ดำเนินการบำรุงรักษามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทำงานร่วมกัน โดยการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งานจะเป็นสิ่งที่จัดเตรียมไว้อย่างเป็นระบบเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเชิงวิศวกรรม อันจะช่วยให้เกิดความมั่นใจได้ว่าจะไม่ส่งผลในเชิงลบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง และอายุการใช้งานของโครงสร้างตลอดช่วงอายุการใช้งาน บทความฉบับนี้จะเกี่ยวข้องกับระเบียบวิธีที่นำมาใช้ในการออกแบบในรอบของการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน

การบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน

อายุการใช้งานของโครงสร้าง จะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ อันประกอบไปด้วย การวางแผน การออกแบบเบื้องต้นและการออกแบบรายละเอียด การก่อสร้าง การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม ไปจนถึงการรื้อถอน การบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งานเป็นแนวคิดที่ต้องการบูรณาการการบริหารจัดการในแต่ละส่วนเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดความมั่นใจถึงสมรรถนะการใช้งานทางโครงสร้าง และเพื่อให้เกิดความยั่งยืน ดังแสดงในรูปที่ 1 หรืออีกนัยหนึ่งการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งานจะสามารถนำกลยุทธ์การจัดการทั้งกระบวนการ ไปเป็นข้อกำหนดในช่วงของการออกแบบ หรืออาจนำไปใช้ในการปรับเปลี่ยนในช่วงต่อ ๆ ไป รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า วงจรของ PCDA หรือวางแผน-ปฏิบัติ-ตรวจสอบ-ปรับปรุง ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญของการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน โดยวงจรของ PCDA จะจัดเตรียมขึ้นโดยนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการบูรณะบำรุง และสำหรับกระบวนการบริหารจัดการ เพื่อที่จะชี้ชัดให้ได้ว่าอะไรคือความแตกต่างระหว่างสมมติฐานในขั้นตอนของการออกแบบและสภาพที่เกิดขึ้นจริง ขั้นตอนการ “วางแผน (P)” และ “ปฏิบัติ (D)” จะถูกนำมาใช้พัฒนากระบวนการบำรุงรักษา การออกแบบ และกระบวนการปฏิบัติงานในอนาคต โดยในระหว่างการปฏิบัติงานนี้ ผลที่ได้รับจากระบบจะนำไปเป็นข้อมูลย้อนกลับ ไปสู่การวางแผน การออกแบบ และ/หรือการปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลการบำรุงรักษาจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

รูปที่ 1 บริหารจัดการตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง

รูปที่ 2 วงจร P-D-C-A ของการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน

การออกแบบโครงสร้างให้มีอายุการใช้งานตามต้องการ

หลักการพื้นฐานในการที่จะได้มาซึ่งสมรรถนะในการรับน้ำหนักของโครงสร้างคือการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมโดยรวม ระยะเวลาการใช้งาน ลักษณะทางโครงสร้าง คุณสมบัติของวัสดุ ความยุ่งยากในการประเมินโครงสร้าง

และการบูรณะบำรุง ปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคม ฯลฯ โดยในระหว่างการออกแบบเบื้องต้น ต้องมีการพิจารณาระยะเวลาการใช้งาน (ความทนทาน) ของโครงสร้าง ซึ่งสัมพันธ์กับการประเมินการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง โดยกระบวนการที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างให้มีอายุการใช้งานตามที่ต้องการนั้น จะมีที่มาจากหลักการทางสถิติและความน่าจะเป็น การพิจารณาสัดส่วนความปลอดภัย การพิจารณาความต้องการของผู้ใช้ และการป้องกันการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง

สำหรับโครงสร้างหลัก การกักตรอนของเนื้อเหล็กถือเป็นสาเหตุหลักที่จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาตรวจสอบเป็นครั้งแรกในช่วงต้นของการออกแบบทั้งในประเด็นของการกักตรอนของเนื้อเหล็กและการเสื่อมสภาพของระบบที่ใช้เคลือบป้องกัน เพราะการกักตรอนที่เกิดขึ้นนี้จะไปส่งผลต่อสมรรถนะของโครงสร้าง การคาดการณ์ในช่วงของงานออกแบบนั้นจะอ้างอิงกับแบบจำลองทางทฤษฎี หรือ ค่าที่กำหนดขึ้นมาจากผลการสำรวจโครงสร้างหรือการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเมื่อได้มีการพิจารณาความน่าจะเป็นของการเกิดความเสียหาย ตัวแปรในการออกแบบก็ควรจะนำมาทำแบบจำลองในรูปแบบของฟังก์ชันความน่าจะเป็น ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวิบัติตามเวลาอันเกิดจากการกักตรอนของเนื้อเหล็กได้มีแสดงไว้ในเอกสารหลายฉบับ ทั้งในระบบป้องกันการกักตรอน ทั้งการเคลือบป้องกัน หรือระบบ cathodic protection ก็จะถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น โดยในกรณีนี้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของการป้องกันการกักตรอนก็ควรจะนำมาพิจารณาในขั้นตอนของการออกแบบโครงสร้างให้มีอายุการใช้งานตามต้องการ

การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง อาจเกิดจากการออกแบบเพื่อให้เกิดความทนทานซึ่งยังไม่เพียงพอ โดยอาจเกิดจากสมมติฐานเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของวัสดุที่ตั้งไว้อ่อนเกินไป และอาจเกิดจากการบำรุงรักษาที่ไม่ได้ตามแผนการณีกที่กำหนดภายหลังจากที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยหากพิจารณาอ้างอิงจากหลักการออกแบบบนฐานสมรรถนะการใช้งานแล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องจัดเตรียมมาตรการเพื่อรักษาระดับสมรรถนะการใช้งานโครงสร้างให้เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งมาตรการในช่วงการออกแบบ และมาตรการในช่วงของการบำรุงรักษาระหว่างการใช้งาน

การประเมินสมรรถนะของการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษา ถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยปกป้องโครงสร้างไม่ให้เสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องอันประกอบไปด้วย การประเมินสภาพของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน และการคำนวณหาสมรรถนะของโครงสร้างโดยนอกเหนือจากที่กล่าวแล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการคาดการณ์ถึงแนวโน้มการเสื่อมสภาพของโครงสร้างในอนาคต โดยในช่วงของการบำรุงรักษา วิศวกรซ่อมบำรุงจะต้องดำเนินการตามแนวทางที่ได้ระบุไว้ในขั้นตอนของการออกแบบ (อาจได้จากการพิจารณาอายุการใช้งาน) ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนของการออกแบบจะต้องนำไปตรวจสอบกับงานบำรุงรักษา ด้วยเหตุที่สิ่งที่เกิดขึ้นจริงที่หน้างานกับสิ่งที่ได้สมมติในขั้นตอนของการออกแบบอาจไม่ตรงกัน โดยสำหรับการกักตรอนของเนื้อเหล็กนั้นอาจจะแตกต่างออกไปอย่างมากเพราะการกักตรอนจะไปเกี่ยวข้องกับวัสดุหลายชนิด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงผันแปรได้ตลอด โดยข้อมูลที่ปรากฏขึ้นจริงเก็บรวบรวมมาจริงนี้จะเป็นข้อมูลที่นำไปใช้ปรับแก้แผนการจัดการตลอดอายุการใช้งานโครงสร้างต่อไป

ระดับของการสำรวจและตรวจสอบ มีอิทธิพลอย่างมากต่อวิธีการในการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง ทั้งนี้การประเมินดังกล่าว สามารถดำเนินการได้โดยอาศัยหลักการที่อิงสภาพ และหลักการที่อิงสมรรถนะ การสำรวจสภาพด้วยสายตาสามารถให้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพภายนอกของชิ้นส่วนโครงสร้างเท่านั้น แต่สมรรถนะของโครงสร้างจะต้องได้รับการประเมินให้ใกล้เคียงความจริงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยหากความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของโครงสร้างและอัตราการเสื่อมสภาพไม่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน การประชุมหารือเพื่อหาข้อยุติก็ควรต้องดำเนินการต่อไป

การประมวลผลการบำรุงรักษา

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 การคาดการณ์อายุการใช้งานในช่วงขั้นตอนของการออกแบบมักจะดำเนินการโดยอ้างอิงแบบจำลองทางทฤษฎี แต่การคาดการณ์อายุการใช้งานในช่วงขั้นตอนของการบำรุงรักษาอาจมีการพิจารณาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติ เช่น survival analysis และ Markov model โดยทฤษฎีที่ใช้ในการประเมิน แบบจำลองคอมพิวเตอร์ สมการที่ใช้สอบทวน ฯลฯ ก็จะใช้ในการคาดการณ์แนวโน้มของการเสื่อมสภาพในอนาคต อย่างไรก็ตาม แนวโน้มที่พบผ่านกิจกรรมการบำรุงรักษาทั่ว ๆ ไป ตัวอย่างเช่น อัตราการกัดกร่อนที่วัดออกมาได้ อาจจะถูกนำไปใช้ปรับแบบจำลองเพื่อหาอัตราการเสื่อมสภาพในอนาคตในช่วงของการบำรุงรักษา โดยอ้างอิงจากข้อมูลและผลการประเมินที่จัดทำขึ้นมานี้ กฎเกณฑ์เงื่อนไขในการพิจารณาการเสื่อมสภาพ (การลดลงของสมรรถนะการใช้งาน) ก็อาจต้องถูกปรับเปลี่ยนเพื่อใช้สำหรับการคาดการณ์เหตุการณ์ต่อไปในอนาคต

หากมีความเป็นไปได้ที่การวิบัติเสียหายของโครงสร้างจะส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นก็ควรต้องถูกนำเสนอออกมาเป็นลำดับ ๆ และเพื่อจะลดความเสี่ยงของความเสียหาย ที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการใช้งาน หากพบว่าความเสียหายที่พบหนึ่ง ๆ เป็นความเสียหายที่วิกฤติ ก็อาจต้องมีการซ่อมแซมหรือการเสริมกำลังเพื่อรักษาระดับสมรรถนะต่อไป

รูปที่ 3 การประเมินและการคาดการณ์

ตัวชี้วัดความยั่งยืน

การบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน ได้มีการพิจารณา ตัวชี้วัดความยั่งยืนค่าต่าง ๆ เช่น ต้นทุนค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 4 และในการประเมินความเป็นไปได้ของรูปแบบการจัดการตลอดอายุการใช้งาน ตัวชี้วัดความยั่งยืนจะมีประโยชน์เป็นอย่างมาก เช่น การประเมิน วิธีการจัดการตลอดอายุการใช้งานรูปแบบหนึ่ง ๆ ต้นทุนก่อสร้างหรือต้นทุนทุกสิ่งอย่างตลอดอายุการใช้งานก็มักจะถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัด โดยเหตุการณ์ที่มีต้นทุนก่อสร้างหรือต้นทุนทุกสิ่งอย่างตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดก็จะเป็นเหตุการณ์ที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในมิติของความยั่งยืน ไม่เพียงแค่ว่าจะต้องพิจารณาตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจเท่านั้นแต่ก็ยังควรต้องพิจารณาตัวชี้วัดทางสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งก็หวังว่าในอนาคต ตัวชี้วัดต่าง ๆ ดังตัวอย่างด้านล่างจะถูกนำมาพิจารณาประกอบต่อไป

- การใช้พลังงานและทรัพยากร
- การปลดปล่อยสารพิษสู่ ดิน น้ำ อากาศ
- การผลิตและการบริหารจัดการของเสีย

- สายพันธ์และระบบนิเวศน์วิทยา
- ภูมิประเทศ
- ชุมชน และระบบการจัดการพื้นที่ ฯลฯ

รูปที่ 4 ตัวชี้วัดความยั่งยืน

บทสรุปส่งท้าย

หลักการบริหารจัดการตลอดอายุการใช้งาน ควรจะต้องนำมาพิจารณาการออกแบบโครงสร้างหลัก และแนวทางการประเมินสมรรถนะควรต้องมีการกำหนดในเร็ววัน ข้อมูลที่ได้จะส่งผลไปสู่การออกแบบโครงสร้างให้สามารถใช้งานได้ตลอดอายุอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการพัฒนาแนวทางการประเมินดังกล่าว ก็ควรต้องมีการดำเนินการในสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้

- การตรวจสอบสมรรถนะของโครงสร้างในช่วงของการออกแบบและช่วงการบำรุงรักษา ซึ่งรวมถึงการทำนายสมรรถนะที่เสื่อมไปในอนาคต
- การประเมินด้วยหลักการความน่าจะเป็น
- การบริหารความเสี่ยง และ
- การกำหนดตัวชี้วัดความยั่งยืนที่เหมาะสม



Hiroshi Yokota: After finishing the M. Eng course at Graduate School of Engineering, Tokyo Institute of Technology, he entered Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport (currently Port and Airport Research Institute) in 1980. He assumed his current position as Professor, Faculty of Engineering, Hokkaido University in 2009. His specialized field covers concrete structure and maintenance engineering.

Fig. 1 Life-Cycle of Structure and Its Management

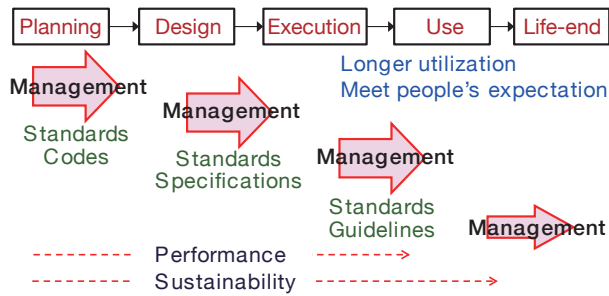


Fig. 2 P-D-C-A Cycle in LCM²⁾

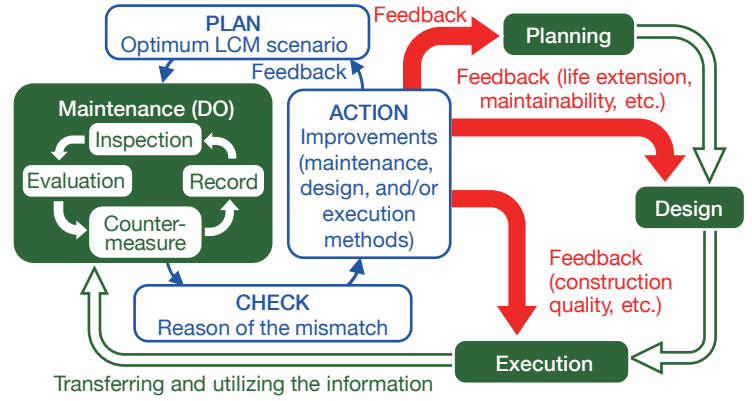


Fig. 3 Assessment and Prediction

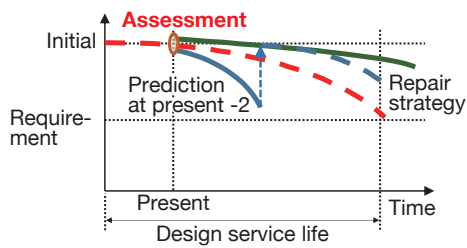
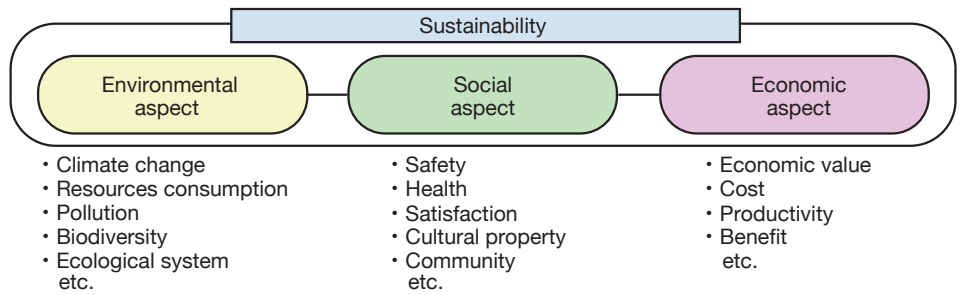


Fig. 4 Sustainability Indicators



วิธีการประเมินความสมบูรณ์ของโครงสร้างต่อม่อเสาะเข็มเหล็กแบบ Jacket ที่มีความเสียหายจากการกัดกร่อน

โดย Kunitomo Sugiura, Professor, Kyoto University

พัฒนาการในการยืดอายุการใช้งานโครงสร้างท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่ง

ภายหลังจากที่อุโมงค์ Sasago ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งบนทางด่วน Chuo เกิดพังถล่มลงมาในปี 2012 กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน คมนาคม และการท่องเที่ยว (MLIT) ของประเทศญี่ปุ่น ก็ได้สั่งการให้มีการกำหนดมาตรการในการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐานอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง เช่น ทุก ๆ 5-10 ปี เพื่อที่จะประเมินสภาพความสมบูรณ์ของโครงสร้าง ทั้งนี้การพัฒนาสร้างเทคโนโลยีและเครื่องมือในการประเมินสภาพและตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้าง จึงถือได้ว่าเป็นเรื่องจำเป็น เพราะถือเป็นส่วนสำคัญของการบูรณะเชิงป้องกัน เพื่อยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างระบบสาธารณูปโภค ซึ่งมีอยู่มากมายในปัจจุบัน

และด้วยเหตุที่มีงานก่อสร้างที่มีการใช้เข็มตอกเหล็กในหลากหลายโครงการที่ต้องการความรีบด่วน ผลลัพธ์ที่เหล็กเหล่านี้ก็ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายกับโครงการก่อสร้างท่าเรือและโครงสร้างริมชายฝั่งด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ดี โครงสร้างเหล็กที่เป็นส่วนหนึ่งของท่าเรือนี้ก็จะต้องเผชิญสภาพแวดล้อมที่รุนแรงจากโอเลอและน้ำทะเล ส่งผลให้ต้องทำความเข้าใจกับกลไกของการเกิดการกัดกร่อน วิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่หลากหลาย วิธีในการตรวจสอบ รวมไปถึงการพัฒนาด้านการซ่อมแซมและการเสริมกำลัง ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่า การเกิดการกัดกร่อนจะส่งผลต่อหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างที่ลดลง อันส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างโดยรวม ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินสภาพโครงสร้างซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างทดสอบหลากหลายรูปแบบ ด้วยแรงกระทำที่หลากหลายทิศทาง อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์และการทดสอบก็จะอิงกับปริมาณการกัดกร่อนที่จำเป็นต้องตรวจวัดอย่างแม่นยำ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง การประเมินจะไม่ได้อ้างอิงกับสภาพที่ปรากฏจริงบนงาน ซึ่งทำให้การประเมินสมรรถนะทางโครงสร้างท่าเรือที่ประกอบไปด้วยต่อม่อท่อเหล็กและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยรวมที่เกิดการกัดกร่อนนั้น ไม่สอดคล้องกับสภาพที่ปรากฏจริง

ในลำดับต่อไป จึงจะนำเสนอถึงการประเมินด้วยการพิจารณาพฤติกรรมการสั่นของโครงสร้างต่อม่อท่าเรือแบบ Jacket ที่ประกอบไปด้วยเสาเข็มท่อเหล็กและพื้นคอนกรีต (ท่า Shioimi หมายเลข 3 ของท่าเรือ Sakai-Senboku ดังภาพที่ 1) ลักษณะของความสัมพันธ์ของโครงสร้างได้พิจารณาจากการวิเคราะห์ด้วย Finite Element (FE) และการทดสอบการรับน้ำหนักจริงกับท่าเรือโครงสร้างเหล็กดังกล่าว และก็จะกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการประเมินสภาพความสมบูรณ์โดยรวมของโครงสร้างที่พิจารณาการถึงพฤติกรรมการสั่นไหวในลำดับต่อไป

ภาพที่ 1 ภาพโดยรวมของ ท่า Shioimi หมายเลข 3 ของท่าเรือ Sakai-Senboku

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element สำหรับโครงสร้างเหล็กต่อม่อประเภท Jacket ติดตั้งบนเสาเข็มท่อกลวง และการประเมินด้วยวิธีการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจริง

ได้มีการทำแบบจำลองโครงสร้างเหล็กสามมิติของ ท่า Shioimi หมายเลข 3 ของท่าเรือ Sakai-Senboku จังหวัด Osaka (ความยาวของเสาเข็ม 26 เมตร ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 4 เมตรในทิศทางตามแนวของชายฝั่ง และ 4.5 เมตรในทิศทางตั้งฉากกับชายฝั่ง) โดยมีเสาเข็มท่อกลวง 20 ต้น (เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 812.8 มิลลิเมตร หนา 14 มิลลิเมตร) ถูกจัดตำแหน่งในทิศทางตามยาวและตามขวาง ได้ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลทำแบบจำลองของสำหรับโครงสร้างเหล็กต่อม่อ Jacket โดยที่มีพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 20 x 17.5 เมตร หนา 1.2 เมตร ซึ่งด้วยเหตุที่เสาเข็มท่อเหล็กกลวงเกิดการกัดกร่อนตลอดจนการเสื่อมสภาพของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำจอดเรือแห่งนี้จึงต้องได้รับการปรับปรุงซ่อมแซม ดังนั้นผลของโครงสร้างที่มีรูปทรงที่อยู่ในพิภคสามมิติที่เกิดความเสียหายเกิดขึ้นอันส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงทางด้านข้าง ก็ได้ทำการประเมินด้วยการทดสอบการสั่นไหวของโครงสร้าง โดยใช้เครื่องสั่น และการวิเคราะห์ความถี่การสั่นของโครงสร้าง ซึ่งได้มีการเปลี่ยนลักษณะหรือรูปแบบการสั่นของเสาเข็มท่อเหล็ก พร้อมกับการเปลี่ยนตัวแปรอื่น ๆ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างนี้ ได้มีการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ Finite Element ชื่อว่า ABAQUS (เวอร์ชัน 6.12) รูปที่ 1 แสดงลักษณะแบบจำลองสามมิติ โดยมีการกำหนดลักษณะของชิ้นส่วนของอาคารแต่ละส่วนให้เป็น shell element และ beam element ในแบบจำลอง

เสาเข็มท่อเหล็กที่ได้จมตัวอยู่ใต้ชั้นทรายในทะเล โดยมีความลึก 15, 13 และ 11 เมตร ในแต่ละแถวตามแนวชายฝั่ง เสาเข็มกลวงเหล่านี้ได้ถูกกำหนดให้เป็น shell element (แต่ละ element มี 4 node) ตลอดระยะส่วนบนนับจากพื้นคอนกรีตลงไป 6 เมตร และสำหรับส่วนที่ยาวต่อลงไปอีก 20 เมตร ได้ถูกจำลองให้เป็น pipe element เพื่อลดระยะเวลาการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ ที่จุดต่อระหว่าง shell element และ pipe element ได้กำหนดให้มีลักษณะเป็น rigid joint โดยจำนวนของ shell element ต่อเสาเข็มต่อม่อเหล็ก 1 ต้น เท่ากับ 24 element โดยได้จำลองขนาดชิ้นส่วนตามแนวแกนให้สอดคล้องกับขนาด shell element สำหรับ พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น ได้ถูกจำลองให้เป็น solid element โดยมีพฤติกรรมเป็น elastic โดยส่วนที่ต่อเข้ากับต่อม่อเหล็กที่ได้จำลองให้เป็น shell element นั้น ก็ได้กำหนดให้เป็น rigid joint สำหรับที่ปลายของ pipe element ที่อยู่ในชั้นทรายใต้ทะเล จะถูกจำลองให้ตรึงแน่นบนสปริงในแนวดิ่ง และเสาเข็มท่อกลวงส่วนที่ฝังในชั้นทรายใต้ทะเลก็ถูกจำลองให้ติดกับสปริงในแนวนอน โดยค่าคงที่ของสปริงที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ ก็หาได้จากการสำรวจชั้นดินโดยหน่วยงานของจังหวัด Osaka ซึ่งได้คำนวณตามข้อกำหนดของงานสะพานทางหลวงดังแสดงในตารางที่ 1 และสำหรับเสาเข็มท่อเหล็ก กำหนดให้มีความหนาแน่นของเหล็กที่ 7.85 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่าอึลาสติคโมดูลัสที่ 210 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร Poisson's ratio ที่ 0.3 สำหรับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น กำหนดให้มีความหนาแน่นของเหล็กที่ 2.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่าอึลาสติคโมดูลัสที่ 23.1 กิโลนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร Poisson's ratio ที่ 0.2 ในการวิเคราะห์ Eigen-frequency analysis ได้มีการใช้วิธี consistent mass matrix และใช้ค่าความหน่วง Rayleigh damping โดยสมมติให้ค่าตัวแปรความหน่วงอยู่ที่ 0.03 ความถี่ธรรมชาติได้สรุปไว้ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลที่ปรากฏออกมานี้จะพอจะคาดการณ์ได้ว่า ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างได้รับอิทธิพลอย่างมากจากแรงปฏิกิริยาที่ชั้นทรายที่ต่อน้ำทะเล ซึ่งต้องตระหนักไว้ว่า riprap ที่นำไป

ติดตั้งที่ชั้นทรายนั่น จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของโครงสร้างได้มาก ในทางกลับกัน ความแข็งแรงของพื้นคอนกรีตถือได้ว่ามีผลกับพฤติกรรมของโครงสร้างโดยรวมไม่มากนักด้วยเหตุที่โมเมนต์ดัดจะมีค่ามากที่ตำแหน่งของตอม่อต่อเหล็กใกล้กับชั้นทราย และตำแหน่งที่ตอม่อต่อเหล็กติดกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการสั่นโหมดที่ 1 ในแนวนอน ดังนั้นพอจะสรุปได้ว่า การสั่นไหวอันเกิดจากรถบรรทุกสินค้าที่วิ่งบนพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่เหนือตอม่อต่อเหล็กอาจจะนำมาใช้ได้กับการประเมินสภาพความสมบูรณ์ของโครงสร้างโดยรวม

เครื่องสั่นซึ่งมีกำลัง 19.6 กิโลวัตต์ ได้นำมาติดตั้งที่กึ่งกลางของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก มวลขนาดใหญ่ที่ติดตั้งมากับเครื่องสั่นหนัก 500 กิโลกรัม ได้ถูกทำให้สั่นเป็นวงรอบ ด้วยความเร่งเป็นสี่เท่าของแรงโน้มถ่วง (หรือ 4g โดย g เป็นค่าแรงโน้มถ่วงของโลก) ดังนั้นแรงเฉื่อยสูงสุดที่กระทำ 19.6 กิโลวัตต์นี้ จะถูกประเมินเพื่อหาพฤติกรรมการสั่นของตอม่อเหล็ก ในรูปที่ 2 แสดง ค่าผลตอบสนองต่อความเร่งสูงสุดพล็อตเทียบกับความถี่ที่ใส่เข้าไป จากรูปแสดงให้เห็นว่า ค่าความเร่งสูงสุด เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งธรรมชาติของโครงสร้าง ซึ่งอยู่ที่ราว 0.7 ถึง 1.5 Hz (ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Eigen-frequency analysis โดยอย่างที่ได้นำเสนอไป ค่าดังกล่าวจะขึ้นกับแรงปฏิกิริยาจากชั้นทรายและ riprap นอกจากนี้ยังพบว่าผลตอบสนองของความเร่งยังมีความสอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Finite Element และ boundary condition ที่ได้กำหนดไว้ น่าจะพอใช้ได้ในการนำไปประเมินพฤติกรรมการสั่นไหวของโครงสร้าง

จากงานปรับปรุงท่าเทียบเรือ Shiomi หมายเลข 3 เสาค้ำตอม่อเหล็กได้ถูกตรวจสอบด้วยวิธีการวัดความหนาที่ความลึกที่ต่ำกว่าระดับ L.W. level 0.75 และ 1.75 เมตร และพบว่าความหนาที่ลดลงอยู่ที่ราว 5.0% และ 4.25% ตามลำดับ ส่งผลให้จังหวัด Osaka ได้ตัดสินใจนำตอม่อต่อเหล็กมาใช้ซ้ำในงานก่อสร้างอีกครั้ง ทั้งนี้สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างท่าเทียบเรือด้วย Finite Element ซึ่งทำการจำลองอัตราการสูญเสียของหน้าตัดตอม่อต่อเหล็กที่ 2% 12% และ 39% ก็สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงพลวัตจากแรงสั่นสะเทือนเป็นรอบที่ใส่เข้าไปที่พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังตารางที่ 3 โดยพบว่าผลตอบสนองสูงสุดจะลดลงในทุกกรณี โดยลดลงมากที่สุดถึงราว 58% ซึ่งบ่งชี้ว่า ความสมบูรณ์ของโครงสร้าง สามารถประเมินได้จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการสั่นไหวของโครงสร้าง

รูปที่ 1 แบบจำลอง Finite Element ของท่าเทียบเรือ Shimoi หมายเลข 3

ตารางที่ 1 ค่าคงที่สปริงของพื้น ที่สมมติขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ FE

ตารางที่ 2 ความถี่ธรรมชาติที่ได้จากแบบจำลอง FE (โหมดที่ 1 ในรูปแบบการสั่นแนวนอน)

รูปที่ 2 ความเร่งตอบสนองของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในแนวนอน

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความเร่งตอบสนอง

ตารางที่ 3 การลดลงของความเร่งตอบสนองจากผลของการกักการสั่น

บทสรุปสัปดาห์

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างท่าเทียบเรือประเภท Jacket ซึ่งมีการก่อสร้างด้วยเสาตอม่อต่อเหล็กและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าพฤติกรรมของโครงสร้าง จะแปรผันกับความแข็งแรงของตอม่อต่อเหล็ก มากกว่าความแข็งแรงของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น ความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนที่เสาตอม่อต่อเหล็กจะสามารถประเมินได้โดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการสั่นไหวของโครงสร้าง (เช่น การสั่นไหวที่โหมดที่ 1 ในแนวนอน) เพราะความแข็งแรงของหน้าตัดที่เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง อาจส่งผลต่อพฤติกรรม (ของโหมดการสั่นโหมดแรก ๆ) และนอกจากนี้ด้วยเหตุที่เครื่องสั่นที่มีกำลังมากพอสมควร สามารถนำมาใช้ในการประเมินหาพฤติกรรมของโครงสร้าง ดังนั้นความสัมพันธ์เชิงพลวัตของรถบรรทุกหนักที่วิ่งบนพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่รองรับด้วยตอม่อต่อเหล็ก ก็สามารถนำไปพิจารณาความสมบูรณ์แข็งแรงของโครงสร้างต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณการทำเรื่องของจังหวัด Osaka ที่ได้สนับสนุนให้มีการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจริงบนท่าเทียบเรือเหล็กที่ได้ใช้งานอยู่ และได้ให้ข้อมูลทางโครงสร้าง และข้อมูลสภาพพื้นดิน และขอขอบพระคุณบริษัท Tokyo Construction จำกัด สำหรับการสนับสนุนด้านเทคนิค มา ณ โอกาสนี้

(Note: The text content of the translated version differs from that of English version because the text in the English version has been reduced to fit to 2-page layout in the English version.)



Kunitomo Sugiura: After finishing the doctor's course at State University of New York at Buffalo, he became Assistant Professor at Kyoto University in 1988. He assumed his current position as Professor, Department of Civil and Earth Resources Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University in 2006.

Photo 1 Overview of Shiomi Wharf No.3 of Sakai-Senboku Port (Osaka Prefecture, Port Authority)



<http://www.pref.osaka.lg.jp/kowan/kankatsu/sakasen-all.html>

Fig. 1 Finite Element Model of Shiomi Wharf No.3

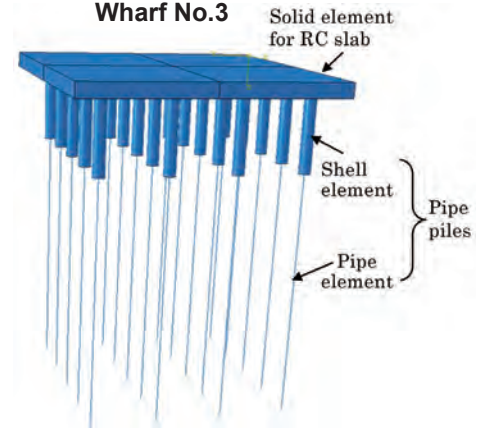


Table 1 Ground Spring Constants Assumed in FE Analysis

Ground spring constants	Height from ground reference in seabed (m)		
	0-11	11-13	13-15
Vertical (kN/m)	49,247		
Horizontal (kN/m)	5,294	3,208	2,088
Rotation (kN·m/m)	29,136	20,863	15,647

Fig. 2 Acceleration Response of RC Deck in the Horizontal Direction

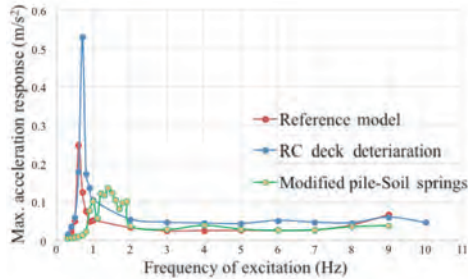


Table 3 Reduction in Acceleration Response by Corrosion Damages

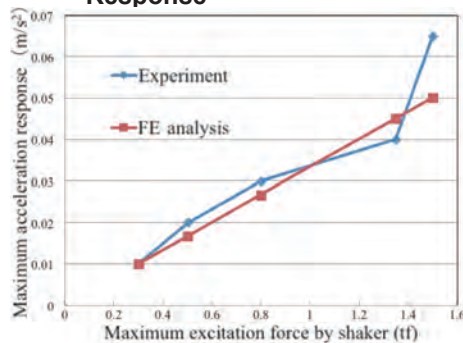
Reduction in cross sectional area (%)	Maximum acceleration response (m/s²)	Reduction (%)
Intact	0.158	—
2	0.157	0.62
12	0.125	20.8
39	0.090	57.5

Table 2 Natural Frequency Obtained by FE Model (1st order horizontal vibration mode)

Condition	Parallel to the shoreline	Perpendicular to the shoreline
Fixed at seabed (top surface)	1.037 (Hz)	1.091 (Hz)
Fixed at seabed (bottom surface)	0.393 (Hz)	0.389 (Hz)
Ground spring considered	0.688 (Hz)	0.718 (Hz)

Note: Torsional vibration mode with 0.843 Hz

Fig. 3 Comparison of Acceleration Response



(Pages 17~18)

เทคโนโลยีการตรวจสอบและการซ่อมแซมความเสียหายจากการกัดกร่อนของโครงสร้างเหล็กทำเรือ

โดย

Yoshito Itoh ประธานสถาบันเทคโนโลยีแห่งชาติ วิทยาลัย Gifu,
Yasuo Kitane รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย
Nagoya, Kazuo Furunishi วิศวกรอาวุโส บริษัท Toyo-Giken Consulting
Civil Engineers, Mikihiro Hirohata รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชา
วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย Nagoya

บทนำ

ในการรักษาสภาพของโครงสร้างเหล็กสำหรับงานก่อสร้างท่าเรือ และโครงสร้างริมชายฝั่ง โดยใช้งบประมาณอย่างประหยัดนั้น การพิจารณาด้านวงรอบการบำรุงรักษา การประเมินสภาพ การซ่อมแซม/เสริมกำลัง และการเก็บบันทึกข้อมูล จำเป็นต้องมีการทำซ้ำระหว่างการออกแบบอาคารใช้งาน โครงสร้าง บทความฉบับนี้ ได้เสนอวิธีการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพเพื่อวัดความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก และการออกแบบการซ่อมแซมเสาเข็มเหล็กที่เกิดการกัดกร่อนเพื่อให้มีสมรรถนะด้านทานแผ่นดินไหว

การตรวจสอบและการประเมินสภาพ

การกัดกร่อน เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็ก อันส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการรับน้ำหนัก ดังนั้น เพื่อให้สามารถประเมินสภาพของโครงสร้างเหล็ก ณ เวลาหนึ่งได้อย่างแม่นยำ การวัดความหนาของหน้าตัดโครงสร้างเหล็กจึงมีความสำคัญยิ่ง ทั้งนี้ วิธีการที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในการวัดความหนา คือ การทดสอบด้วยการใช้คลื่นเสียง (UT) ซึ่งให้ความแม่นยำที่ดี แต่จำเป็นต้องเตรียมผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เหล็ก ให้ปราศจากพืชหรือสิ่งมีชีวิตในทะเล สีเคลือบ และสนิม ก่อนทำการตรวจวัด อันเป็นการเสียเวลาและสิ้นเปลืองทรัพยากรค่อนข้างมาก ดังนั้น การวัดความหนาด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีอื่น จึงเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการต้องการยิ่ง

วิธีการวัดความหนาที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง คือ การใช้กระแสไฟฟ้ากระตุ้น หรือที่เรียกว่า Pulsed Eddy Current (PEC) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องการเตรียมผิวมากนัก ด้วยเหตุที่ PEC ใช้หลักการใส่สนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดกระแสเอ็ดดี้ที่ผิวของแผ่นเหล็ก ทั้งนี้ PEC ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการวัดการกัดกร่อนของแนวท่อส่งแก๊ส ท่อเย็น และท่อที่มีฉนวนไฟฟ้าติดตั้ง วิธีการนี้จะให้ค่าความหนาเฉลี่ยในพื้นที่ขนาดหนึ่ง ๆ เรียกว่า footprint ดังนั้น วิธีการนี้จึงเป็นวิธีที่เบื่อง่ายในการตรวจสอบ โดยหากพบว่าความหนาของเหล็กลดลงจากการตรวจวัดด้วยวิธี PEC วิธีการตรวจวัดประเภทอื่น ๆ ที่มีความละเอียดเพิ่มเติม ซึ่งต้องมีการเตรียมพื้นผิว จึงค่อยดำเนินการในลำดับถัดไป

การวัดความหนาด้วยวิธีการใช้กระแสไฟฟ้า (PEC)

ในการตรวจสอบความเป็นไปได้ในการวัดความหนาเสาเข็มท่อเหล็กใต้น้ำด้วยวิธี PEC ได้ดำเนินการกับเสาเข็มท่อเหล็กของท่าเรือ Nagoya โดยผลการตรวจวัด ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากกรวัดด้วยคลื่นเสียง (UT) รูปที่ 1 แสดงภาพเสาเข็มท่อเหล็กของท่าเทียบเรือที่มีอายุกว่า 41 ปี ที่ได้รับ

การตรวจวัดขนาด ด้วยเหตุที่เสาเข็มส่วนที่จมอยู่ลงไปใต้ชั้นทรายจะได้รับการปกป้องด้วยวิธี cathodic แต่ในส่วนของเสาเข็มที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล อยู่ในส่วนของคลื่นกัดเซาะ และอยู่ในส่วนที่ต้องเผชิญกับการขึ้นลงของกระแสน้ำ จะได้รับการปกป้องด้วยการทาสีเคลือบ ซึ่งไม่พบการกัดกร่อนระดับรุนแรง

การวัดขนาดความหนา ได้ใช้วิธีการวัด PEC ก่อนเป็นลำดับแรก จากนั้นจึงทำความสะอาดผิวเสาเข็มเพื่อกำจัดสิ่งต่าง ๆ ที่ติดอยู่ออก จากนั้นจึงทำการวัดด้วยคลื่นเสียงอีกครั้งหนึ่ง และท้ายสุด การวัดความหนาด้วยวิธี PEC ได้มีการดำเนินการอีกครั้งหนึ่งเพื่อศึกษาผลกระทบอันเกิดจากการเตรียมพื้นผิว รูปที่ 2 แสดงผลสรุปที่ได้จากการตรวจวัด ณ ระดับ -2.5 เมตร จากระดับน้ำต่ำสุด (L.W.L) ของเสาเข็ม A และที่ระดับ -1.25 เมตร จากระดับน้ำต่ำสุด (L.W.L) ของเสาเข็ม B แกนนอนดังรูปที่ 2 แสดงถึงตำแหน่งตามเส้นรอบวงของเสาเข็ม พิจารณาจากหน้าตัดของเสาเข็ม และ 12h (ทิศทาง 12 นาฬิกา) และ 6h (ทิศทาง 6 นาฬิกา) จะสัมพันธ์กับทิศทางที่ออกไปทางด้านฝั่งทะเล และทิศทางที่เข้าสู่ชายฝั่ง ตามลำดับ

ผลสรุปแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความหนา ระหว่างการวัดด้วยวิธี PEC และ UT ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 – 8% โดยเฉลี่ยราว 5.5% และการเตรียมพื้นผิวจากการวัดอีกรอบด้วยวิธี PEC พบว่าไม่มีนัยสำคัญมากนัก นอกเหนือจากนี้ ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการวัดด้วยวิธี UT อยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 นาที ต่อตำแหน่ง และระยะเวลาที่ต้องใช้ในการวัดด้วยวิธี PEC อยู่ระหว่าง 15 ถึง 30 วินาที ต่อตำแหน่ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่ค่อนข้างสูงในการใช้การวัดด้วยวิธี PEC ในการตรวจสอบท่าเรือโครงสร้างเหล็ก

รูปที่ 1 เสาเข็มกลางที่ได้รับการตรวจวัด

รูปที่ 2 ความหนาที่วัดได้

การออกแบบการซ่อมแซมด้วยการแปะด้วยแผ่นเหล็ก

วิธีการซ่อมแซมเสาเข็มท่อเหล็กที่ผุกร่อน มักใช้วิธีการแปะเชื่อมแผ่นเหล็ก ณ ตำแหน่งที่เกิดการกัดกร่อน โดยสำหรับวิธีที่ใช้ในการออกแบบทั่ว ๆ ไปนั้น ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กที่นำมาแปะ จำเป็นต้องมีความหนาเท่ากับความหนาของเสาเข็มท่อเหล็กที่หายไปอันเนื่องมาจากการผุกร่อน อย่างไรก็ตาม สมรรถนะในการรับแรงจากแผ่นดินไหวของเสาเข็มท่อเหล็ก ที่ต้องเคลื่อนตัวจากแรงแผ่นดินไหวกลับไปสู่ตำแหน่งเดิมนั้น อาจต้องสามารถดูดซับพลังงานให้มากขึ้นจากขนาดความหนาที่มากขึ้น ซึ่งได้มีการศึกษาแบบจำลองโครงสร้างเสาเข็มท่อเหล็กที่ได้รับการซ่อมแซมด้วยการแปะด้วยแผ่นเหล็ก ด้วยวิธี Finite Element ซึ่งได้มีวิเคราะห์ด้วยการใส่แรงเพิ่มขึ้นในแบบจำลอง (pushover analysis) เพื่อหาขนาดความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องการ เพื่อให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานเท่าเดิม (อ้างอิง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการเสียรูปของเสาเข็มท่อเหล็ก)

รูปแบบการทำแบบจำลองของเสาเข็มท่อเหล็กนี้ ทำให้มีลักษณะเป็นคานยื่น ซึ่งยื่นออกราว 60% ของความยาวท่อทั้งหมด รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองคานยื่น ที่พิจารณาเฉพาะส่วนบนของเสาเข็มท่อเหล็ก โดยในแบบจำลอง ได้มีการลดความหนาของเสาเข็มท่อเหล็กลงอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะความยาวทั้งสิ้น 3,000 มิลลิเมตร แรงในแนวแกน (N) ได้ถูกจำลองให้มากระทำที่ปลายก่อนเป็นลำดับแรก หลังจากนั้นจึงได้เพิ่มแรงผลักด้วยวิธี pushover analysis ด้วยการเพิ่มขนาดการเสียรูปในแนวนอนที่ปลาย

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ในการวิเคราะห์มีค่า 600 700 800 และ 900 มิลลิเมตร ความหนาตั้งต้นของเสาเข็มต่อเหล็กมีค่า 12 และ 16 มิลลิเมตร ความหนาที่ลดลงสมมติให้เหลือ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร ความยาวเสาเข็มต่อเหล็ก มีค่า 6,000 7,500 และ 8,000 มิลลิเมตร ท่อเหล็กใช้เกรด SKK490 และ SKK400 อัตราส่วนของแรงในแนวแกนต่อความสามารถรับแรงในแนวแกน ณ จุดคราก (N/N_c) ได้พิจารณาว่าอยู่ในช่วง 0% ถึง 20% โดยมีการวิเคราะห์กรณีต่าง ๆ ทั้งหมด 106 กรณี

ความหนาของแผ่นเหล็กที่นำมาแปะที่ต้องการ จากการวิเคราะห์ทั้ง 106 กรณี ได้ถูกนำมาพล็อตดังรูปที่ 4 (ตัวแปรในทิศทางตามแกนในแนวนอนได้ถูกเลือกอ้างอิงจากรูปที่ 4) ทั้งนี้ λ_p คือค่าอัตราส่วนความชะลุดของเสาเข็มต่อเหล็กที่ลดความหนา และ R_{tp} คืออัตราส่วนเส้นรอบรูปต่อความหนาของเสาเข็มแกนในแนวดิ่ง เป็นตัวแปรที่แสดงอัตราส่วนระหว่างความหนาของแผ่นเหล็กที่นำมาแปะ ต่อความหนาเสาเข็มต่อเหล็กที่จะนำแผ่นเหล็กมาแปะติดกัน โดยที่ t_s คือความหนาแผ่นเหล็กที่นำมาแปะ t_{p0} คือความหนาเสาเข็มต่อเหล็กที่จะนำแผ่นเหล็กมาแปะติดกัน σ_{ys} คือหน่วยแรงดึงที่จุดครากของแผ่นเหล็กที่นำมาแปะ และ σ_{y0} หน่วยแรงดึงที่จุดครากของ SKK490 อัตราส่วนของแผ่นเหล็กที่นำมาแปะต่อความหนาเสาเข็มต่อเหล็กที่ลดลงอยู่ในช่วงระหว่าง 1.0 ถึง 1.4

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีการ “nonlinear least square method” ตามเส้นประ และเส้นทึบแสดงกรอบบนของความหนาแผ่นเหล็กที่ต้องการ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ย รวมกับค่า standard deviation ยกกำลังสอง สมการที่คำนวณหาค่ากรอบบน แสดงไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งด้วยการใช้สมการดังกล่าวนี้ ก็สามารถหาความหนาของแผ่นเหล็กที่ต้องการได้

รูปที่ 3 แบบจำลองคานยื่น ในการซ่อมแซมท่อเหล็กที่ความหนาลดลงด้วยวิธีการแปะด้วยแผ่นเหล็ก

บทสรุป

เพื่อให้สามารถหาอายุการใช้งาน สำหรับการบริหารจัดการโครงสร้างเหล็กสำหรับท่าเรือ ความเข้าใจโครงสร้างในภาพรวม และสมรรถนะตลอดอายุการใช้งานเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง วิธีการตรวจสอบและการซ่อมแซมที่มีประสิทธิภาพ ได้มีการนำเสนอในบทความนี้เพื่อให้เกิดเทคนิควิธีที่ดียิ่งขึ้นในการบริหารจัดการโครงสร้างตลอดอายุการใช้งาน



Yoshito Itoh: After graduating from Graduate School of Engineering, Nagoya University in 1977, he served as a research associate, Nagoya University. He became Associate Professor, Nagoya University in 1988 and Professor in 1995. He assumed his current position as Invited Professor and Emeritus Professor, Nagoya University, and President, National Institute of Technology of Gifu College in 2016.

Fig. 1 Measured Pipe Piles

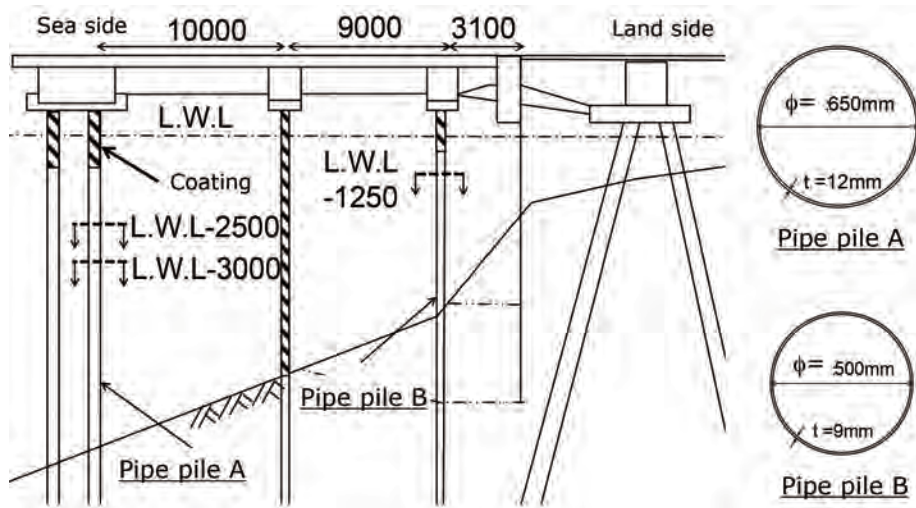


Fig. 2 Measured Thickness

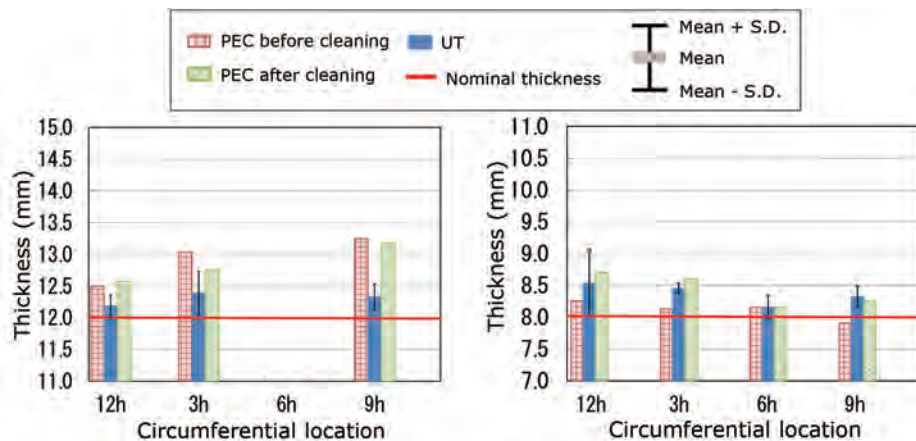


Fig. 3 A Cantilever Model of Thickness-reduced Pipe Repaired by Patch Plate

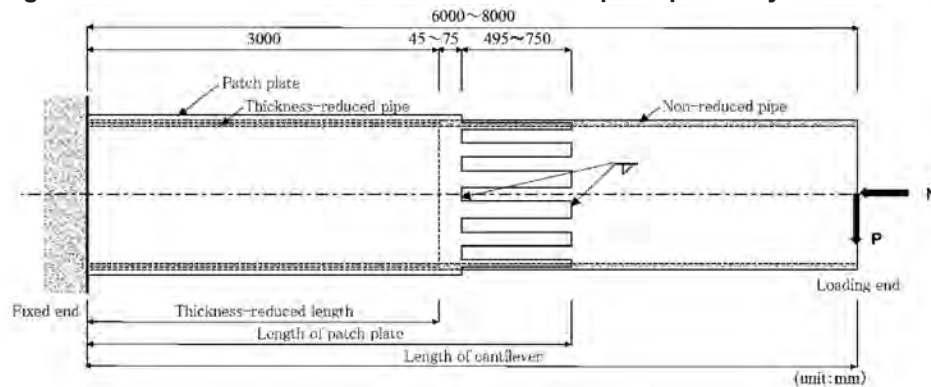
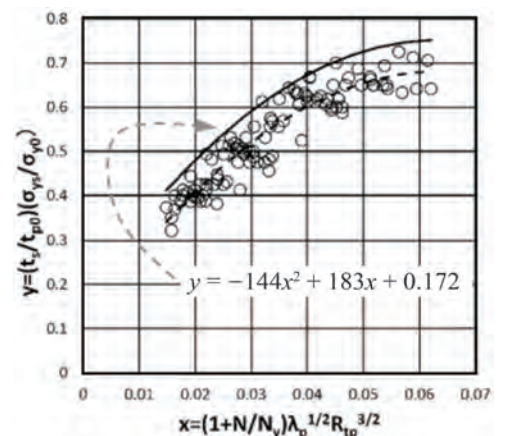


Fig. 4 Required Patch Plate Thicknesses from 106 Analytical Cases



(Back cover)

การปฏิบัติงานของ สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้า แห่งประเทศไทย

การจัดอบรมสัมมนาจำนวนทั้งสิ้น 2 ครั้ง ภายใต้กรอบ ความตกลงหุ้นส่วนทางเศรษฐกิจระหว่างไทย-ญี่ปุ่น

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) ร่วมกับ สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (ISIT) ได้ดำเนินการจัดสัมมนาจำนวนทั้งสิ้น 2 ครั้ง ภายใต้กรอบความตกลงหุ้นส่วนทางเศรษฐกิจระหว่างไทย-ญี่ปุ่น ที่รัฐบาลทั้งสองฝ่ายได้ร่วมกันเพื่อประสานความร่วมมือระหว่างสองประเทศ

● งานสัมมนาด้านโครงสร้างเหล็ก

งานสัมมนาด้านโครงสร้างเหล็กตลอดระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ ได้ถูกจัดขึ้นในเดือนธันวาคม 2015 ณ กรุงโตเกียว โดยมีจำนวนผู้เข้าร่วมสัมมนา ซึ่งเป็นวิศวกรชาวไทย จำนวนทั้งสิ้น 18 คน โดยงานสัมมนานี้ได้ถูกจัดขึ้นทุกปีตั้งแต่เริ่มต้นโครงการกรอบความตกลงระหว่างประเทศไทยและญี่ปุ่น ซึ่งนับเป็นการจัดครั้งที่ 8

หัวข้องานสัมมนาในครั้งนี้ ได้สนองตอบตามหัวข้อที่ฝ่ายไทยได้เสนอมาครอบคลุมประเด็นต่าง ๆ ด้านงานก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก เช่น งานสะพาน งานเชื่อม โครงสร้างท่อเหล็กกรอกคอนกรีต การออกแบบเพื่อต้านทานต่อแรงลมและแรงแผ่นดินไหว รวมไปถึงการเยี่ยมชมโครงการก่อสร้าง และโรงงานผลิต นอกจากนี้ได้มีการแลกเปลี่ยนสถานการณ์งานก่อสร้างสะพานคอนกรีตในประเทศไทย โดยผู้เข้าร่วมกิจกรรมชาวไทย ควบคู่ไปกับมาตรการส่งเสริมการใช้งานสะพานเหล็กโดยวิทยากรชาวญี่ปุ่น

ภาพ: งานสัมมนาด้านการก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก

● การฝึกอบรมวิศวกรรุ่นใหม่

การฝึกอบรมวิศวกรรุ่นใหม่ เป็นโปรแกรมล่าสุดภายใต้กรอบความตกลงความร่วมมือ โดยได้มีการจัดครั้งแรกในเดือนกันยายน 2015 และครั้งที่สองในเดือนมีนาคม 2016 (แต่ละครั้ง จำนวนทั้งสิ้น 1 สัปดาห์) ที่เมืองโอซาก้า มีวิศวกรรุ่นใหม่เข้าร่วมโครงการจำนวนทั้งสิ้น 50 คน ซึ่งมาจากกลุ่มข้าราชการ กลุ่มผู้ผลิตเหล็ก กลุ่มผู้ค้า ฯลฯ โดยการอบรมครอบคลุมเนื้อหาทั้งด้าน พื้นฐานทางโลหวิทยา ผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมก่อสร้าง ตลอดจนการเยี่ยมชมโรงถลุงเหล็ก และสถานที่ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ซึ่งหัวข้อต่าง ๆ นี้ ก็ได้สนองตอบต่อข้อเสนอจากฝั่งไทย

ภาพ: โครงการการฝึกอบรมวิศวกรรุ่นใหม่



สำหรับโครงการความร่วมมือความเป็นหุ้นส่วนทางเศรษฐกิจระหว่างประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่นของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กนี้ ก็ยังมีโปรแกรมการแลกเปลี่ยนถ่ายทอดเทคโนโลยีอื่น ๆ นอกเหนือจากโครงการในข้างต้น ซึ่งได้มีการจัดขึ้นทั้งที่ประเทศญี่ปุ่น และประเทศไทย

การจัดแสดงผลงานด้านโครงสร้างเหล็กในประเทศ กัมพูชา

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) ร่วมกับ กระทรวงโยธาธิการและการคมนาคม และ สถาบันเทคโนโลยีแห่งประเทศกัมพูชา ภายใต้การสนับสนุน ของสถานทูตญี่ปุ่นในประเทศกัมพูชา และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (JICA) สำนักงานประเทศกัมพูชา องค์การส่งเสริมการค้าต่างประเทศของญี่ปุ่น (JETRO) ณ กรุงพนมเปญ และ สมาคมธุรกิจประเทศญี่ปุ่นในประเทศกัมพูชา ได้มีการจัดแสดงผลงาน (conference) ภายใต้หัวข้อ “เทคโนโลยีล่าสุดสำหรับงานโครงสร้างเหล็ก 2015” ที่กรุงพนมเปญ ประเทศกัมพูชา ในวันที่ 3 ธันวาคม 2015

ภายในงาน ได้มีการจัดการบรรยายในหัวข้อต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยีงานก่อสร้างท่าเรือ โครงสร้างริมชายฝั่ง สะพาน และอาคาร โดยมีวิศวกรผู้เชี่ยวชาญจากทั้งประเทศญี่ปุ่นและกัมพูชาเข้าร่วมงานจำนวนทั้งสิ้นกว่า 120 คน รวมไปถึงนักศึกษาชาวกัมพูชาด้วย บุคลากรหลักจากทั้งสองประเทศได้มีการแลกเปลี่ยนทัศนะในหัวข้อการจัดทำมาตรฐานและการตรวจกฎหมายในประเทศกัมพูชา ตลอดจนอนาคตของโครงสร้างเหล็กในประเทศกัมพูชา

การจัดแสดงผลงานในครั้งนี้ เป็นได้จัดขึ้นครั้งที่สาม โดยครั้งแรกและครั้งที่สองได้จัดขึ้นในปี 2012 และ 2014 ทั้งนี้ การจัดแสดงผลงานในครั้งต่อไป ได้วางแผนไว้ว่าจะจัดในปี 2016

ภาพ: การจัดแสดงผลงานด้านโครงสร้างเหล็กในประเทศกัมพูชา



Steel Construction Seminar



Newly Recruited and Young Engineer Training Program



Steel Structure Conference in Cambodia