

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 57 August 2019)

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

หนังสือ Steel Construction Today & Tomorrow เวอร์ชันภาษาอังกฤษ จะมีการจัดพิมพ์ปีละ 3 ครั้ง และ มีการกระจายไปยังผู้บริหารและบุคลากรของบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรม และองค์กรต่างๆ ทั่วโลก วัตถุประสงค์ของหนังสือนี้ คือการนำเสนอถึงมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการโครงสร้างเหล็ก ตัวอย่างโครงการก่อสร้างยุคใหม่ เทคโนโลยีงานก่อสร้างอันทันสมัย และหัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอาคาร และงานวิศวกรรมโยธา

เพื่อให้ผู้อ่านชาวไทยได้เข้าใจบทความในหนังสือนี้ได้ดียิ่งขึ้น ก็ได้มีการดำเนินการจัดเตรียมเวอร์ชันภาษาไทย เพื่อแนบไปกับหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษ ในส่วนของรูปถ่าย ภาพและตาราง จะแสดงในเวอร์ชันภาษาไทยเฉพาะชื่อภาพและชื่อตาราง ซึ่งควรต้องดูเวอร์ชันภาษาอังกฤษประกอบไปด้วยเพื่อความสมบูรณ์ชัดเจนของเนื้อหา นอกจากนี้หากต้องการอ้างอิงรายละเอียดในเชิงเทคนิค ก็โปรดอ้างอิงจากหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษเป็นหลัก

ฉบับที่ 57 เดือนสิงหาคม 2019: สารบัญ

บทความประจำฉบับ: แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างทำเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง	
กรอบของการปรับปรุงมาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะสำหรับทำเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง ในประเทศญี่ปุ่น	1
การบำรุงรักษา การปรับปรุงและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน – โครงการการวิจัยและพัฒนาของรัฐบาลประเทศญี่ปุ่น	5
การบำรุงรักษา การปรับปรุงและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน SIP - การพัฒนางจรของระบบการจัดการสำหรับโครงสร้างทำเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง: กรอบของการตรวจสอบเพื่อการประเมิน-	7
การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเสาเข็มท่อเหล็กและฐานรากแบบเสาเข็มในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	9
การประเมินความทนทานระยะยาวของวัสดุก่อสร้างในกลุ่มโลหะด้วยวิธีการทดสอบความคงทนต่อสภาพภูมิประเทศ ที่อ่าวโอกินาโวะ และอ่าวซูริกะ	12
ท่อเหล็กสำหรับงานอาคารและระบบโครงสร้าง CFT	13

บทความพิเศษ

ข้อเสนอแนะเพื่อมุ่งไปสู่ “แผนการสร้างความปลอดภัยอาคารแห่งชาติ” ด้วยการใช้โครงสร้างเหล็ก	15
การนำเสนอหัวข้อการบรรยายในงานประชุม SEASI	ปกหลัง

หมายเลขหน้าที่กำกับ อ้างอิงนิตยสารฉบับภาษาอังกฤษ ฉบับที่ 57

ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2019

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@jissf.or.jp

เว็บไซต์: <http://www.jissf.or.jp>

บทความประจำฉบับ:

แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

(หน้า 1 ~ 4)

แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง (1)

กรอบของการปรับปรุงมาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะสำหรับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง ในประเทศญี่ปุ่น

โดย Masafumi Miyata กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยวญี่ปุ่น (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยเกียวโต) และ Takashi Niimura กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยวญี่ปุ่น

บทนำ

การปรับปรุงมาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะสำหรับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น (ต่อจากนี้ใช้คำว่า “มาตรฐานทางเทคนิค” หรือ “Technical Standards”) เป็นมาตรฐานที่ถือได้ว่าเป็นคัมภีร์สำหรับการออกแบบท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งและการออกแบบท่าเรือ/สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้มีการปรับปรุงแก้ไขทั้งหมดในเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2018 (ต่อจากนี้ใช้คำว่า “TSCPHF2018”) ถือเป็นการปรับปรุงครั้งแรกในรอบ 11 ปี โดยกรอบของมาตรฐานทางเทคนิค ได้ถูกแก้ไขในสองส่วนดังต่อไปนี้

- กรอบของมาตรฐานทางเทคนิค การประเมินของ TSCPHF2018 และการเผยแพร่มาตรฐานทางเทคนิคในภาษาญี่ปุ่น และ อังกฤษ
- กรอบของเนื้อหาสำคัญที่ได้รับการปรับปรุงใน TSCPHF2018

กรอบของมาตรฐานทางเทคนิค การประเมินของTSCPHF2018 และการเผยแพร่มาตรฐานทางเทคนิคใน ภาษาญี่ปุ่น และ อังกฤษ

• กรอบของมาตรฐานทางเทคนิค

พระราชบัญญัติท่าเรือ (มาตรา 56-2-2) ของประเทศญี่ปุ่นระบุว่า “โครงสร้างพื้นฐานทางน้ำ การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันโครงสร้างริมชายฝั่ง อุปกรณ์สำหรับการเทียบท่า และ โครงสร้างพื้นฐานของท่าเรืออื่นๆ ที่คณะรัฐมนตรีได้กำหนด (ต่อจากนี้ใช้คำว่า “โครงสร้างพื้นฐานสำหรับท่าเรือภายใต้มาตรฐานทางเทคนิค”) จำเป็นต้องได้รับการก่อสร้าง ปรับปรุง และ บำรุงรักษา เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานทางเทคนิค”

เนื้อหาของมาตรฐานทางเทคนิค ถูกกำหนดใหม่ไว้ในกฎกระทรวงและประกาศกระทรวงที่เกี่ยวข้อง โดยเนื้อหาของมาตรฐานทางเทคนิค ที่ถูกกำหนดไว้ในกฎกระทรวง ประกอบไปด้วย เหตุผลของการมีสิ่งปลูกสร้าง (วัตถุประสงค์) และข้อกำหนดด้านสมรรถนะของสิ่งปลูกสร้างสำหรับท่าเรือ (ข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ) ส่วนเนื้อหาของประกาศกระทรวงจะเป็นบทบัญญัติที่อธิบายถึงข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ (กฎเกณฑ์เชิงสมรรถนะ) (อ้างอิงรูปที่ 1) นอกจากนี้ มาตรฐานทางเทคนิคยังระบุเกณฑ์ที่ใช้ในการตีความสำหรับกฎกระทรวงและประกาศกระทรวง โดยใช้การแจ้งเตือนอย่างเป็นทางการ และอธิบายวิธีการตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าสิ่งปลูกสร้างสำหรับท่าเรือเป็นไปตามข้อกำหนดเชิงสมรรถนะหรือไม่ (การตรวจสอบเชิงสมรรถนะ)

ในมาตรฐานทางเทคนิคฉบับก่อนที่จะมีการแก้ไข มีเพียงข้อกำหนดเชิงสมรรถนะของ

โครงสร้างพื้นฐานของท่าเรือและกรอบของข้อกำหนดเชิงสมรรถนะโดยไม่ได้รับระบุขั้นตอนการออกแบบจนถึงผลลัพธ์ของการออกแบบ ในกรอบของข้อกำหนดเชิงสมรรถนะดังกล่าวมีเพียงแค่วัตถุประสงค์ ความต้องการเชิงสมรรถนะและข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ โดยวิธีการตรวจสอบเชิงสมรรถนะเป็นเพียงทางเลือก ดังนั้นผู้ออกแบบจึงสามารถออกแบบได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

รูปที่ 1 โครงสร้างทางกฎหมายตามมาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะสำหรับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

• การประเมินของ TSCPHF2018

TSCPHF2018 เป็นเอกสารทางเทคนิค (จำนวน 2,218 หน้า) ออกโดยการท่าเรือภายใต้กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยวญี่ปุ่น โดยหัวข้อหลักของเนื้อหาแสดงในตารางที่ 1

ใน TSCPHF2018 ได้มีการบัญญัติ “การตีความ” และ “ข้อเสนอแนะ” ไว้ในมาตรฐานทางเทคนิค ในส่วนของ “การตีความ” จะแสดงถึงแนวความคิดที่สามารถปฏิบัติได้จริง ซึ่งถูกพิจารณาแล้วว่ามีความเหมาะสม และครอบคลุมถึงข้อเสนอแนะสำหรับการใช้งาน (เนื้อหาจะถูกตรวจสอบในกรณีที่ใช้กับองค์กรระดับชาติ) ในส่วนของ “ข้อเสนอแนะ” ได้แสดงไว้ 2 ส่วน - ข้อมูลทางเทคนิค ที่ถูกใช้เป็นการอ้างอิงถึงขั้นตอนการก่อสร้าง การปรับปรุงหรือการบำรุงรักษาให้เป็นไปตามมาตรฐานทางเทคนิค และตัวอย่างการออกแบบในแต่ละขั้นตอน อย่างไรก็ตามในส่วนของ “ข้อเสนอแนะ” เป็นเพียงทางเลือกสำหรับการออกแบบเท่านั้น ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้วิธีการออกแบบอื่นๆได้ ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจในการออกแบบ

ตารางที่ 1 กรอบของเนื้อหาในมาตรฐานทางเทคนิคและข้อเสนอแนะสำหรับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น (ฉบับปรับปรุงปี 2018)

• การเผยแพร่มาตรฐานทางเทคนิคในภาษาญี่ปุ่นและอังกฤษ

ตารางที่ 2 จะแสดงถึงการตีพิมพ์มาตรฐานทางเทคนิคในภาษาญี่ปุ่น/ภาษาอังกฤษฉบับล่าสุด โดยในฉบับแรก เป็นเวอร์ชันภาษาญี่ปุ่น ตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1979 ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาได้มีการปรับปรุงแก้ไขทุกๆ 10 ปี ส่วนฉบับภาษาอังกฤษจะตีพิมพ์ออกมาในทุกๆ 2 ปีหลังจากมีการตีพิมพ์ภาษาญี่ปุ่น

ในฉบับภาษาอังกฤษ ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งจำนวนมากโดยใช้ความช่วยเหลือเพื่อการพัฒนาอย่างเป็นทางการของประเทศญี่ปุ่นหรือ Japan's official development assistance (ODA) เนื่องจากฉบับภาษาอังกฤษ TSCPHF2018 จะมีการเผยแพร่บนเว็บไซต์โดยไม่มีค่าใช้จ่าย สำหรับผู้อ่านที่สนใจจึงสามารถไปดาวน์โหลดได้ ทั้งนี้ฉบับภาษาอังกฤษหรือ TSCPHF2018 ได้มีกำหนดการตีพิมพ์ในเดือนมีนาคม ค.ศ. 2020

ตารางที่ 2 ประวัติการตีพิมพ์ของมาตรฐานทางเทคนิค (ในฉบับภาษาญี่ปุ่นและภาษาอังกฤษ)

กรอบของกรอบของเนื้อหาสำคัญที่ได้รับการปรับปรุงในมาตรฐานทางเทคนิค ปี 2018

• การปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันระดับนานาชาติ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการขนส่งทางน้ำ ข้อกำหนดด้านขนาดของเรือถูกปรับปรุงตามแนวโน้มของขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใหญ่ขึ้นและการรองรับเรือสำราญจากแนวโน้มดังกล่าวจึงได้มีการปรับปรุงท่าเทียบเรือ อุปกรณ์สำหรับเทียบท่า เช่น พุกผูกเรือ หรือ mooring posts และวัสดุที่ใช้สำหรับทำที่กันกระแทกท่าเรือ หรือ fender materials ในการแก้ไขครั้งนี้มีไว้เพื่อรองรับเรือขนส่งที่มีความจุ 20,000 TEUs ขึ้นไป และเรือสำราญที่มีขนาด 220,000 GT ขึ้นไป หรือสามารถรองรับการใช้งานของเรือ และ เรือที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง สำหรับการประเมินขนาดของแอ่งจอดเรือ ได้มีการเพิ่มคำอธิบายด้านการวิเคราะห์ AIS-applied track ที่นำมาใช้ในการอ้างอิงการเทียบท่า

ยังมีการเพิ่มคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับมาตรการในการป้องกันการเอียงล้มของเครนเนื่องจากแรงลมและอุบัติเหตุที่เกิดระหว่างการเทียบท่าและการออกจากท่า การแก้ไขในครั้งนี้ไม่ได้เพียงแค่ส่งเสริมให้เกิดการยอมรับต่อการขนถ่ายด้วยเรือขนาดใหญ่ขึ้นเท่านั้น แต่เพื่อสร้างความมั่นใจด้านความปลอดภัยและการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่งสินค้าขึ้น-ลงเรือ เพื่อสร้างเสริมความปลอดภัย พัฒนาความสามารถในการแข่งขันในภาคอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่นให้อยู่ในระดับสากล

สำหรับการแก้ไขฉบับล่าสุด มีข้อเพิ่มเติมในส่วนของผู้ประกอบการควบคุมระยะไกลสำหรับการขนส่งสินค้าขึ้น-ลงเรือ ให้เป็นไปตามมาตรฐานทางเทคนิค และมาตรการต่างๆ ได้ถูกรวมเข้าไปในข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ กฎเกณฑ์เชิงสมรรถนะและการป้องกันอันตรายที่ถูกกำหนดเพื่อรักษาความปลอดภัย และการทำงานของท่าเรือที่มีประสิทธิภาพ (รูปที่ 2) สำหรับอุปกรณ์การขนส่งสินค้าขึ้น-ลงเรือ ที่ถูกกล่าวถึงนั้นประกอบไปด้วย เครนขาสูงล้อยางหรือ rubber-tired gantry cranes (RTG) รถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติหรือ automated guided cargo vehicles (AGV) และ รถขนถ่ายลำเลียงวัสดุหรือ straddle carriers

รูปที่ 2 รูปแสดงกระบวนการควบคุมระยะไกลของเครื่องขนสินค้าขึ้น-ลงเรือ

• การปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของการบำรุงรักษาและการป้องกันการเสื่อมสภาพ

เนื่องจากการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องของโครงสร้างพื้นฐานที่ได้รับการก่อสร้าง หลังจากยุคที่เศรษฐกิจรุ่งเรือง จึงได้มีการกำหนดรายการในการบำรุงรักษาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ เช่น การติดตั้งช่องเปิดและทางเดินเพื่อการสำรวจ (รูปที่ 3) ทำให้การบำรุงรักษาท่าเรือเป็นไปได้ง่ายและแม่นยำ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีมาตรการต่างๆ ที่ช่วยยืดอายุการใช้งานด้วยการใช้วัสดุก่อสร้างที่มีความคงทนและสมรรถนะสูง และได้มีการเสนอวิธีการก่อสร้างโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่เพื่อรักษาความปลอดภัยในการก่อสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง นอกจากนี้ยังได้มีการส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารหรือ information and communication technology (ICT) และการทำแบบจำลองข้อมูลสามมิติที่เริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบก่อสร้าง ไปจนถึงการบำรุงรักษา และพัฒนาแนวคิดในการออกแบบให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ท่าเทียบที่สุดแล้ว มาตรฐานทางเทคนิคฉบับใหม่ได้ถูกกำหนดโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเสริมสร้างความร่วมมือการประสานงานตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบก่อสร้าง และการบำรุงรักษา เพื่ออำนวยความสะดวกให้การบำรุงรักษาเป็นไปได้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

รูปที่ 3 ตัวอย่างการออกแบบที่พิจารณาถึงการบำรุงรักษา (การตรวจสอบทางเดินเพื่อการสำรวจ ที่ใช้ในงาน Jacket-type Wharf)

• การปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของวิธีการออกแบบ

เนื่องด้วยในปัจจุบันจำนวนประชากรในวัยทำงานมีแนวโน้มที่ลดลง จึงทำให้มีการหยิบยกประเด็นเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพขึ้นมา ซึ่งได้มีการอธิบายแนวคิดเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพ ในมาตรฐานทางเทคนิค (Technical Standards) ด้วยเหตุนี้การออกแบบโดยอาศัยหลักความน่าเชื่อถือ (การออกแบบด้วยวิธี Partial Factor) จึงได้ถูกรวมเข้าไปใน TSCPHF2007 ในขณะที่การออกแบบมิได้มีการพัฒนา การออกแบบโดยอาศัยหลักความน่าเชื่อถือก็มีความน่ากังวลอยู่ประการหนึ่ง คือขั้นตอนของการออกแบบมีความซับซ้อน และเพื่อจัดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการสอบทานการออกแบบด้วยวิธี Partial Factor อีกครั้ง

การแก้ไขฉบับล่าสุดได้นำวิธีการออกแบบ Partial Factor มาปรับปรุง จากเดิมที่เป็นการการออกแบบด้วยวิธี Partial Factor ที่พิจารณาตัวคุณวัสดุหรือ material factor โดยที่วัสดุหรือตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณก็จะมีค่าคงที่ด้วยค่า partial factor เปลี่ยนไปเป็น การออกแบบด้วยวิธี Partial Factor ที่พิจารณาตัวคุณน้ำหนักบรรทุกและความต้านทานโดยที่วัสดุและตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณก็จะคูณด้วย partial factor และนำไปพิจารณาร่วมกันทั้งความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (รูปที่ 4) ข้อได้เปรียบของการออกแบบด้วยวิธี partial factor design ที่ขึ้นกับ load และ resistance factor คือ ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถเข้าใจพฤติกรรมของโครงสร้างไปจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบได้ เป้าหมายหลักของการปรับปรุงวิธีการออกแบบแบบ partial factor design คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพของงานออกแบบและเตรียมพร้อมการออกแบบโครงสร้างให้พร้อมสำหรับเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับรายละเอียดในการปรับปรุงในส่วน of load และ resistance factor สามารถดูได้ในส่วนของการอ้างอิง

ในขณะเดียวกันการออกแบบโดยอาศัยหลักความน่าเชื่อถือ ด้วยวิธี Monte Carlo Simulation (MCS) ถูกนำมาใช้แทนวิธี First-Order Reliability Method (FORM) เนื่องจากการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี MCS มีข้อได้เปรียบที่หลากหลาย อันได้แก่ ง่ายต่อการนำการกระจายของค่าความน่าจะเป็นมาพิจารณาประกอบร่วมกัน และง่ายต่อการปรับแก้ตัวแปรที่เกิดขึ้นอันเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น หรือ nonlinearity นอกจากนี้ยังสามารถสร้างแบบจำลองให้สอดคล้องกับการออกแบบบนหลักการของความน่าเชื่อถือในระดับ 3 หรือ Level 3 Reliability-Based Design เพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงการออกแบบโครงสร้างใหม่หรือการออกแบบปรับปรุงโครงสร้างที่มีอยู่เดิม นอกเหนือจากข้อได้เปรียบเหล่านี้ การออกแบบโดยอาศัยหลักความน่าเชื่อถือด้วยวิธี MCS ยังได้รับการประเมินว่าเป็นวิธีที่นำไปใช้ได้แพร่หลายในอนาคต

ในการคำนวณ partial factor ได้นำผลจากการทำ MCS มาใช้ ด้วยผลลัพธ์ดังกล่าวจะช่วยให้สามารถคำนวณ partial factor ได้อย่างง่ายดาย โดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรลักษณะเฉพาะ หรือ characteristic value (เป็นค่าที่ขึ้นกับแรงลัพท์ของน้ำหนักบรรทุกและความต้านทาน) และจุดวิกฤติของการออกแบบ (จุดที่มักเกิดการวิบัติ) ท่าเทียบให้ทำการหาร ค่าพิสัยของจุดวิกฤติของการออกแบบด้วยพิสัยของตัวแปรลักษณะเฉพาะ (รูปที่ 5)

รูปที่ 4 ความแตกต่างระหว่างวิธีการคำนวณวัสดุและวิธีการคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก

รูปที่ 5 การประเมินความน่าจะเป็นของการวิบัติและความสัมพันธ์ระหว่างจุดวิกฤติของการออกแบบและตัวแปรลักษณะเฉพาะที่ใช้สำหรับการคำนวณ Partial Factor

การปรับปรุงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันภัยพิบัติและผลกระทบทางธรรมชาติ

เพื่อเตรียมการสำหรับการป้องกันภัยพิบัติทางธรรมชาติขนาดใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวรอนันไกหรือ Nankai Trough และแผ่นดินไหวที่โตเกียวหรือ Tokyo inland earthquakes ที่ได้คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นอีกในอนาคตอันใกล้ ประกอบกับเหตุการณ์แผ่นดินไหว Great East Japan Earthquake ที่เพิ่งเกิดขึ้นเมื่อเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 2011 ที่ผ่านมา จึงได้มีการปรับปรุงและเพิ่มเติมเนื้อหาในส่วนของมาตรฐานการป้องกันและลดผลกระทบจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และคลื่นยักษ์สึนามิ

ในการออกแบบโครงสร้างป้องกันแผ่นดินไหว ความสามารถในการรับแรงดัดของเสาเข็มต่อเหล็กที่ใช้เป็นโครงสร้างของท่าเรือได้ถูกนำมาพิจารณาสอบทาน ส่งผลให้การออกแบบความคงทนของการรับแรงแผ่นดินไหวสามารถรองรับแผ่นดินไหวที่ระดับ 2 (เป็นแรงแผ่นดินไหวที่รุนแรงที่สุด) หากผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และความหนาของท่อเหล็ก (t) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงดัดที่แสดงขึ้นด้วยค่าของโมเมนต์พลาสติกสมบูรณ์ที่คำนวณด้วยการพิจารณาหน้าตัดก็จะลดลง ยิ่งไปกว่านั้นเมื่ออัตราส่วนของแรงในแนวแกนเพิ่มขึ้น แนวโน้มของการลดความสามารถในการต้านทานการดัดตัวก็จะส่งผลชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งในท้ายที่สุดสมรรถนะในการต้านทานการดัดตัวของเสาเข็มต่อเหล็กที่ได้มีการพิจารณาต่างๆตามข้างต้นก็ได้มีการนำเสนอในมาตรฐานฉบับปรับปรุงนี้

ในทางปฏิบัติมักจะมีการใช้เสาเข็มต่อเหล็กที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และความหนาของท่อเหล็ก (t) ที่ค่าน้อยๆ (ความหนาของท่อมาก) ซึ่งสำหรับโครงสร้างของฐานรากที่ใช้ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว จะไม่ส่งผลกระทบถึงการลดทอนของกำลังรับแรงเมื่อเกิดการดัดตัวที่มาก ในขณะที่เดียวกันยังหลีกเลี่ยงการลดลงของกำลังรับต้านทานการดัดตัวสูงสุดด้วย

ในการออกแบบโครงสร้างป้องกันคลื่นยักษ์สึนามิ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความคงทนของโครงสร้างเชื่อมกันคลื่น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าวจึงมีการขยายความของเนื้อหาในส่วนนี้รวมถึงวิธีการหาขนาดของแรงกระทำเนื่องจากคลื่นยักษ์สึนามิ วิธีการออกแบบการขยายความกว้างเชื่อมกันคลื่นที่จะถูกติดตั้งบริเวณแนวหลังของเชื่อมกันคลื่นเดิม นอกจากนี้ในการพิจารณาอย่างต้องคำนึงถึงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ลดลงเนื่องจากผลของการไหลของคลื่นเข้าสู่บริเวณฐานรากของเชื่อมกันคลื่น (รูปที่ 6) คำอธิบายเหล่านี้จะช่วยส่งเสริมมาตรการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยให้มีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันจะนำไปสู่การเสริมสร้างความปลอดภัยของพื้นที่แนวหลังของท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

รูปที่ 6 ภาพของโครงสร้างป้องกันคลื่นยักษ์สึนามิ

การปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของการพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม

ในหัวข้อ เป้าหมายของการพัฒนาท่าเรือที่ยั่งยืนตลอดจนการฟื้นฟูและรักษาสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ได้มีการขยายขอบเขตของเนื้อหา ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างของการสร้างโครงสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตใต้น้ำ (เป็นท่าเรือที่ไม่เพียงแต่จะเป็นโครงสร้างเท่านั้นแต่ยังสามารถเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณน้ำขึ้น-น้ำลงและแนวชายฝั่ง ดังรูปที่ 7) เทคโนโลยีการฟื้นฟูธรรมชาติในบริเวณ

น้ำตื้นและแหล่งของสาหร่ายทะเลและการใช้วัสดุรีไซเคิลที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์หลักของการแก้ไขมาตรฐานทางเทคนิคไม่เพียงแต่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมของท่าเรือเท่านั้น แต่ยังเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมใต้น้ำที่อุดมสมบูรณ์และสามารถเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจได้อีกด้วย

รูปที่ 7 ตัวอย่างของโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตใต้น้ำ

การปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของเทคโนโลยีการสำรวจ

การปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของเทคโนโลยีการสำรวจยกตัวอย่างเช่น การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการสำรวจและผลการทดสอบเกี่ยวกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ใช้สำหรับการออกแบบและการกำหนดเงื่อนไขการออกแบบ การเพิ่มเนื้อหาในส่วนและเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น เทคโนโลยีการสำรวจภูมิสารสนเทศทางกายภาพของท้องน้ำที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป้าหมายหลักของการแก้ไขเหล่านี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างให้มากที่สุด โดยพิจารณาให้ครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้างและการบำรุงรักษา



Masafumi Miyata: After graduating from the Graduate School of Engineering of the Tokyo Institute of Technology in 1994, he worked at the Port and Airport Research Institute of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (current name) and the Ministry's National Institute for Land and Infrastructure Management. He assumes his current position as Director, Port Research Department of the National Institute for Land and Infrastructure Management since 2012.



Takashi Niimura: After graduating from the Graduate School of Engineering of the Kobe University in 2003, he worked at the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. He assumes his current position as Director for Technical Standards, Engineering Planning Division, Ports and Harbours Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism since 2018.

Fig. 1 Legal Framework for *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan*



Table 1 Outline of Contents of *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan* (Revised in 2018)

Part I General		Chapter 3 Waterways and Basins
Chapter 1 General Rules		Chapter 4 Protective Facilities for Harbours
Chapter 2 Construction, Improvement, or Maintenance of Facilities Subject to the <i>Technical Standards</i>		Chapter 5 Mooring Facilities
Chapter 3 Environmental Considerations on Facilities Subject to the <i>Technical Standards</i>		Chapter 6 Port Transportation Facilities
		Chapter 7 Cargo Sorting Facilities
		Chapter 8 Storage Facilities
		Chapter 9 Facilities for Ship Service
		Chapter 10 Other Port Facilities
Part II Actions and Material Strength Requirements		Part IV Reference Technical Information
Chapter 1 General		[For Part I]
Chapter 2 Meteorology and Oceanography		Chapter 1 Major reference documents
Chapter 3 Geotechnical Conditions		Chapter 2 Reliability-Based Design
Chapter 4 Earthquakes		Chapter 3 Environmental Considerations
Chapter 5 Earth Pressure and Water Pressure		[For Part II]
Chapter 6 Ground Liquefaction		Chapter 1 Observations, Investigations and Tests
Chapter 7 Ground Subsidence		Chapter 2 Investigations and Tests after Large Earthquake with Tsunami Attack
Chapter 8 Ships		[For Part III]
Chapter 9 Environmental Actions		Chapter 1 Basic Information on Seismic Design
Chapter 10 Self Weight and Surcharge		Chapter 2 Dedicated Use Barthes
Chapter 11 Materials		Chapter 3 Planning Method of Port Transportation Facilities
Part III Facilities		Chapter 4 Tables and Charts for Design Calculations
Chapter 1 General		
Chapter 2 Items Common to Facilities Subject to the <i>Technical Standards</i>		

Table 2 History of TSCPHE (Japanese Version and English Version)

Japanese version		English version
Issue year	Pages	Issue year
1979	692	1980
1989	968	1991
1999	1,181	2002
2007	1,485	2009
2018	2,218	2020 (planned)

Fig. 3 Example of Design with Consideration to Maintenance Stage (Inspection Catwalk Applied in Jacket-type Wharf)



Installation of inspection catwalk from the design stage so as to allow for easy maintenance

Fig. 2 Image of Remote-control Operation of Movable Loading/Unloading Machinery

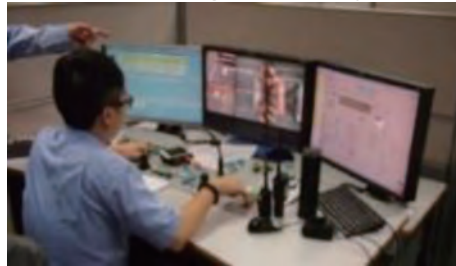


Fig. 4 Difference between Material Factor Approach and Load and Resistance Factor Approach

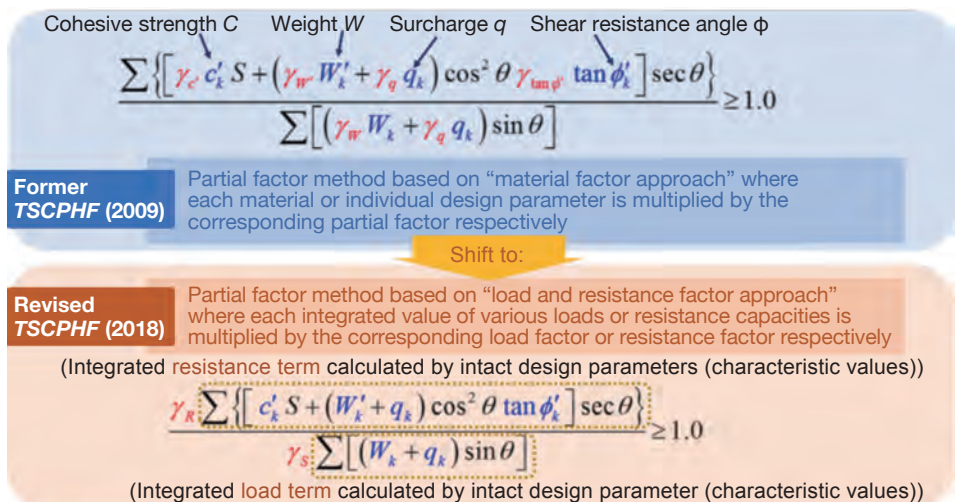


Fig. 5 Evaluation of Collapse Probability, and Relation between Design Point and Characteristic Value Applied in Settling Partial Factor

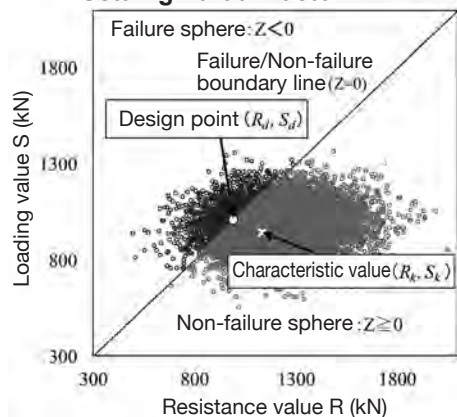


Fig. 6 Image of Persistent Breakwater in Tsunami-resistant Design

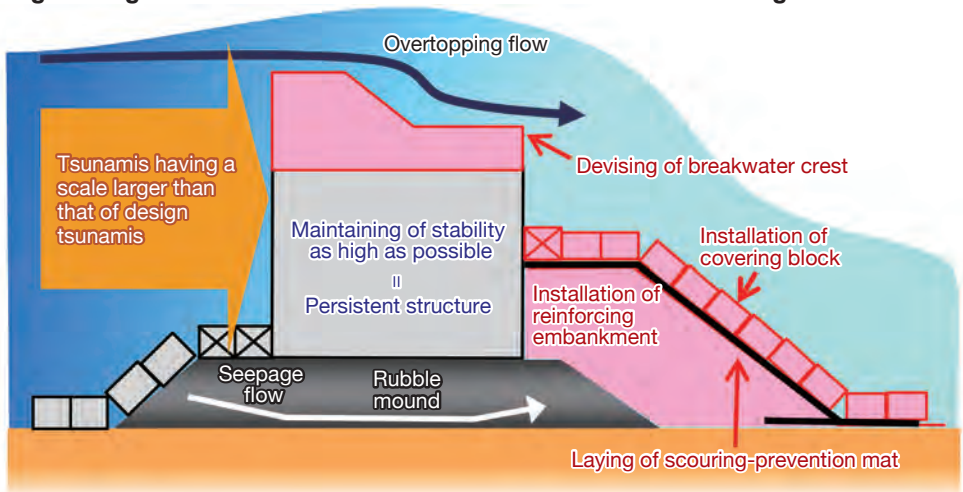
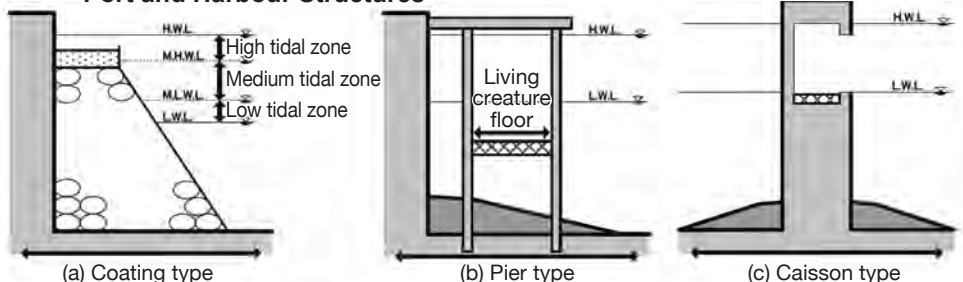


Fig. 7 Examples of Structural Types of Living Creature Symbiosis-type Port and Harbour Structures



(หน้า 5 ~ 6)

แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง (2)

การบำรุงรักษา การปรับปรุงและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน – โครงการวิจัยและพัฒนาของรัฐบาลประเทศญี่ปุ่น

โดย ศาสตราจารย์ Yozo Fujino

มหาวิทยาลัยโยโกฮาม่า

บทนำ

โครงการ โปรแกรมการส่งเสริมนวัตกรรมเชิงยุทธศาสตร์บูรณาการ หรือ The Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) ซึ่งสภาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม หรือ The Council for Science, Technology and Innovation (CSTI) มีบทบาทหลักในการเป็นศูนย์กลางด้านนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ในฐานะที่เป็นโครงการข้ามสาขา SIP ได้มีบทบาทในการขับเคลื่อนไปข้างหน้าด้วยการมุ่งเน้นตั้งแต่การวิจัยขั้นพื้นฐานไปจนถึงในระดับการค้า/อุตสาหกรรม

"การบำรุงรักษา การปรับปรุงและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน" (ต่อจากนี้ใช้คำว่า "โครงสร้างพื้นฐาน SIP") เป็นหนึ่งในหัวข้อที่โครงการให้ความสนใจในปัจจุบัน โครงสร้างพื้นฐานด้านวิศวกรรมโยธา เช่น ถนน ทางรถไฟ ท่าเรือและสนามบิน ช่วยส่งเสริมการใช้ชีวิตประจำวัน และ กิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม อย่างไรก็ตามหลายสิ่งได้ถูกสร้างขึ้นในช่วงที่เศรษฐกิจมีการเติบโตสูง เมื่อสิ่งเหล่านี้ถูกใช้งานนานวัน การเพิ่มของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม รวมถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงในระหว่างการใช้บริการได้กลายเป็นปัญหาสังคมที่สำคัญ โปรแกรมนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและลดภาระในการบำรุงรักษา โดยการสร้างระบบการจัดการโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหุ่นยนต์

โครงสร้างพื้นฐานต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในจำนวนมาก เช่น ยานพาหนะ แล็บท็อป เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อการผลิตแบบเฉพาะ โดยโครงสร้างพื้นฐานจะเป็นสิ่งที่เราสร้างขึ้นแบบเดียวๆ ได้รับการออกแบบ ก่อสร้าง และผลิตเป็นรายการโครงการ เงื่อนไขเบื้องต้นของโครงสร้างพื้นฐานแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเวลาและเงื่อนไขที่จะถูกกำหนดขึ้นมา ส่งผลให้ออกเหนือจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อมความเร็วของการเสื่อมสภาพยังแตกต่างกันไปด้วย โครงสร้างพื้นฐานหลายประเภทที่ถูกใช้งานมาหลายสิบปีอาจมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและการจัดการการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่มีประสิทธิภาพให้กับโครงสร้างพื้นฐานและการสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานที่ปลอดภัย จึงต้องใช้เทคโนโลยีที่สามารถตรวจสอบและตรวจวัดโครงสร้างพื้นฐานจำนวนมากได้อย่างเหมาะสมแม่นยำ นอกจากนี้ระบบโครงสร้างพื้นฐานที่ปลอดภัยจะช่วยลดอันตรายและความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย

การจัดการโครงสร้างพื้นฐานดำเนินการโดยการปกครองส่วนท้องถิ่น การลดต้นทุนเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ปัจจุบันโครงสร้างพื้นฐานได้ถูกสร้างขึ้นทั่วเอเชีย การบำรุงรักษาจึงกลายเป็นปัญหาใหญ่ "โครงสร้างพื้นฐาน SIP" จึงมุ่งหวังที่จะนำเสนอเทคโนโลยีขั้นสูง เพื่อริเริ่มการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการกับโครงสร้างพื้นฐาน ตัวอย่างเช่น การนำหุ่นยนต์มาช่วยหรือการใช้หุ่นยนต์แทนคนในการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การตรวจสอบความเสียหายในชิ้นส่วนโครงสร้างของคอนกรีต การตรวจสอบโครงสร้างอุโมงค์และสะพานโดยใช้เครื่องมือตรวจจับที่ไม่ต้องใช้ระบบการควบคุมการรับส่งข้อมูล เทคโนโลยีการตรวจจับความเสียหาย /การเสียรูป

ของแนวเขื่อนแม่น้ำ เขื่อนและท่าเรือ เทคโนโลยีการประมาณค่าความเสี่ยงสภาพของคอนกรีต การพัฒนาวัสดุที่มีความคงทนสูงเป็นพิเศษ เทคโนโลยีการจัดการโครงสร้างพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพโดยการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่และปัญญาประดิษฐ์

มูลค่าของโครงสร้างพื้นฐานของญี่ปุ่นคาดว่าจะมีมูลค่ามากกว่า 800 ล้านล้านเยน ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ได้รับการก่อสร้างมานานหลายทศวรรษแล้ว ความรับผิดชอบของเราต่ออนาคต คือ การสร้างแพลตฟอร์มข้อมูลของโครงสร้างพื้นฐานและการส่งผ่านโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยโดยที่มีการบำรุงรักษาน้อยที่สุดสำหรับคนรุ่นต่อ ๆ ไป วัตถุประสงค์ของ "โครงสร้างพื้นฐาน SIP" คือการสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพและเพิ่มความพยายามเพื่อประสิทธิผลสำเร็จ

เค้าโครง

ในประเทศญี่ปุ่น โครงสร้างพื้นฐานได้เสื่อมสภาพลง ซึ่งส่งผลต่อความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง ดังเช่น อุบัติเหตุอุโมงค์ Sasago ในปี ค.ศ.2012 และนอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาและซ่อมแซมก็เป็นเรื่องที่น่ากังวล การจัดการโครงสร้างพื้นฐานโดยใช้ระบบเทคโนโลยีสมัยใหม่จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการป้องกันอุบัติเหตุด้วยระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายต่ออายุการใช้งานของโครงสร้างพื้นฐานนั้นๆ ภายใต้ข้อจำกัดทางการเงินและจำนวนวิศวกรที่มีทักษะลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยี ICRT คาดว่าจะสร้างโอกาสทางธุรกิจใหม่ในตลาดการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานและสามารถขยายธุรกิจไปยังประเทศในแถบเอเชียที่ประสบปัญหาคล้ายๆกัน

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้เราจะปรับปรุงมาตรฐานการบำรุงรักษาโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ใช้ต้นทุนต่ำ โดยยังคงเน้นความจำเป็นเพื่อให้ตรงกับความต้องการของการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานด้วยการคิดค้นพัฒนาทางเทคนิค และพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่น่าสนใจ สามารถนำมาใช้งานได้จริง เพื่อให้บรรลุเป้าหมายนี้เราจึงตั้งเป้าหมายที่จะมีส่วนร่วมฟื้นฟูโครงสร้างพื้นฐานในภูมิภาค รวมถึงการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญภายในประเทศให้มีมาตรฐานที่สูง นอกจากนี้เราจะสร้างตลาดของการบำรุงรักษาที่มีความน่าเชื่อถือและการขยายตัวอย่างต่อเนื่องไปยังต่างประเทศ โดยใช้ต้นแบบจากภูมิภาคที่ประสบความสำเร็จมาเป็นต้นแบบในการพัฒนา

รูปที่ 1 การวิจัยและพัฒนา SIP สำหรับการบำรุงรักษา การซ่อมแซมและการจัดการเทคโนโลยีของโครงสร้างพื้นฐาน

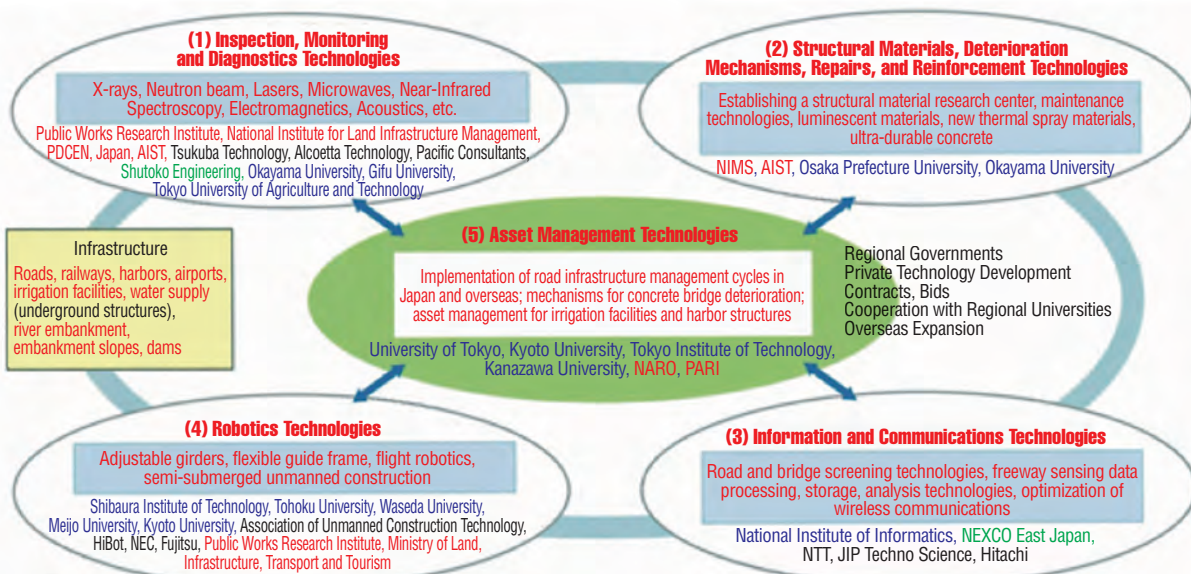
(หมายเหตุ: เนื่องจากผู้เขียนกำลังดำเนินการตรวจสอบบางส่วนของข้อความ จึงขอแนะนำสำหรับผู้อ่านในการอ้างอิงถึงฉบับภาษาอังกฤษ)



Yozo Fujino: After receiving the Ph. D from the University of Waterloo, Canada, he became Assoc. Professor in 1982 and Professor in 1990 of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo. He assumed his current position as Distinguished YNU Professor of the Institute of Advanced Science, Yokohama National University in 2014. He received the Japan Academy Prize in 2019. He serves as the Program Director of the Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) of the Cabinet Office.



Fig. 2 SIP Research and Development for Infrastructure Maintenance, Renovation, and Management Technologies



*Infrastructure Operations and Management Overview (participating organizations as of November 13, 2014)

Fig. 3 Drones Being Developed in SIP for Inspection of Bridge Girders and Piers

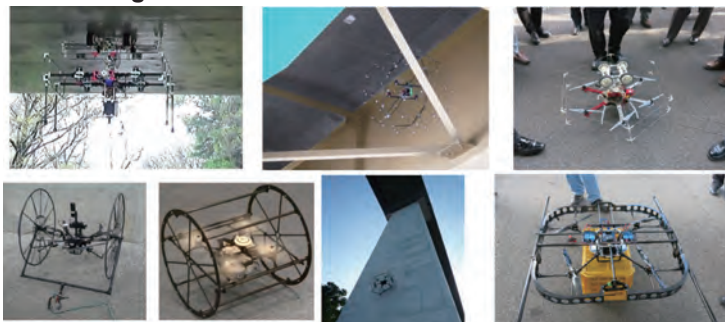
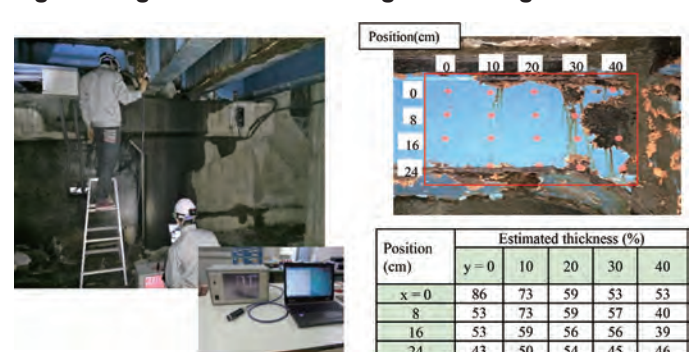


Fig. 4 Bridge Corrosion Investigation Using ELECT



(หน้า 7-8)

แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง (3)

การบำรุงรักษา การปรับปรุงและการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน SIP - การพัฒนางจรของระบบการจัดการสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง: กรอบของการตรวจสอบเพื่อประเมิน -

โดย Ema Kato

สถาบันวิจัยท่าเรือและท่าอากาศยาน

ระบบ SIP (โปรแกรมการสร้างความตระหนักรู้เชิงยุทธศาสตร์) และ LCM สำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

เพื่อให้บรรลุถึงการบำรุงรักษาเชิงกลยุทธ์ของท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง ซึ่งผู้เขียนกำลังดำเนินการตรวจสอบโดยมุ่งเน้นไปยังการสร้างระบบการจัดการโครงสร้างพื้นฐานตลอดวัฏจักรชีวิต หรือ the life-cycle management (LCM) ดังแสดงในรูปที่ 1 และการปรับปรุงเทคโนโลยีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ระบบ LCM มี 2 วัตถุประสงค์หลัก วัตถุประสงค์แรกคือการทำให้เกิดผลที่แน่ชัดในการทำงานร่วมกันระหว่างขั้นตอนการวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง การบำรุงรักษา การรื้อถอนและการฟื้นฟูโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่ง คือ การปรับปรุงเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน เช่น การตรวจสอบ การวินิจฉัย การทำนาย การประเมินและการรับมือในขั้นตอนการบำรุงรักษาโครงสร้างของท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

ผู้เขียนได้มีส่วนร่วมในการส่งเสริมโครงการวิจัยใน ช่วงปี ค.ศ. 2014 ~ 2018 ในหัวข้อ “การพัฒนาการจัดการตลอดวัฏจักรชีวิต สำหรับโครงสร้างของท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง:กรอบการทำงานแบบบูรณาการตั้งแต่การตรวจสอบไปจนถึงการประเมินผล” เพื่อได้ทดลองนำเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการตรวจสอบและการวินิจฉัยเข้ามาใช้ รวมถึงแนวทางการจัดการสินทรัพย์ของท่าเรือ จากผลลัพธ์ที่ได้ในโครงการวิจัยนี้มี 2 เทคโนโลยีที่ได้รับการแนะนำ คือ การใช้ระบบ PTC Sensor ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจสอบ มีเป้าหมายเพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนของโครงสร้างที่คาดผิวด้วยสารซีเมนต์ (petrolatum lining) ของท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งของโครงสร้างท่าเรือที่ใช้เหล็ก นอกจากนี้ยังมีระบบ SAMSWING ซึ่งเป็นระบบตรวจสอบที่ทำให้การตรวจสอบระยะไกลสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 1 ระบบการจัดการตลอดวัฏจักรชีวิตสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

เซ็นเซอร์ PTC (บริษัท Nakabohtec Corrosion Protecting จำกัด)

การตรวจสอบและวินิจฉัยการเกิดการกัดกร่อนของโครงสร้างที่คาดผิวด้วยสารซีเมนต์ (petrolatum lining) ยังคงต้องอาศัยการตรวจสอบวัสดุป้องกันผิวด้วยสายตาในโครงสร้างเหล็ก ทันทีที่สังเกตพบความเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวเหล็ก ก็จะดำเนินการตรวจสอบแก้ไข ณ ตำแหน่งดังกล่าวในทันที ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้มีการพัฒนาวิธีเชิงปริมาณเพื่อประเมินสมรรถนะและการป้องกันการถูกกัดกร่อนของโครงสร้างที่คาดผิวด้วยสารซีเมนต์ (petrolatum lining) โดยใช้ PTC Sensor นอกจากนี้เกณฑ์ในการบำรุงรักษา (กระแสไฟฟ้าสะสม 0.018 A ·hr) ได้ถูกเสนอให้ใช้เป็นระดับในการ

พิจารณาการเสื่อมสภาพของระบบการป้องกันการถูกกัดกร่อน (อ้างอิงรูปที่ 2)

รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของ PTC Sensor

SAMSWING (บริษัท Toa)

SAMSWING (ระบบการบำรุงรักษาโดยใช้เซ็นเซอร์ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ) เป็นระบบบำรุงรักษาที่เปิดเผยข้อมูลที่ตรวจวัดได้ให้กับผู้ใช้ (ท่าเรือ การก่อสร้างท่าเรือ ส่วนงานบริการ และวิศวกร) ผ่านเว็บไซต์ ระบบนี้ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Toa ในปี 2004 SAMSWING มีคุณสมบัติเชิงสมรรถนะสองประการ คือ สมรรถนะในการส่งค่าเตือนอัตโนมัติไปยังผู้ใช้ในกรณีเซ็นเซอร์ตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติและความสามารถในการแสดงผลการตรวจสอบความผิดปกติเบื้องต้นและวิธีการที่ต้องดำเนินการต่อไปลงในเว็บไซต์ โดยวิศวกรมืออาชีพ

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ระบบ SAMSWING ได้รับการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้งานจริงในระบบเซ็นเซอร์ 4 ประเภท คือ เซ็นเซอร์ที่ประเมินค่าความคงทนของคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวนสองชนิด เซ็นเซอร์อีกสองชนิด สำหรับยืนยันสภาพการถูกกัดกร่อนของเสาเข็มท่อเหล็ก (หนึ่งในสองเซ็นเซอร์นี้ คือ PTC Sensor ดังกล่าวข้างต้น) และเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิ ความชื้น ความสูงคลื่น และความเร็ว เป็นต้น) (ดูรูปที่ 3)

รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของ SAMSWING

การส่งเสริมเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการตรวจสอบที่ได้รับการปรับปรุง

เพื่อที่จะเผยแพร่และสร้างเทคโนโลยีการตรวจสอบนี้ขึ้นมาให้เป็นรูปธรรม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรวบรวมองค์ความรู้และเทคโนโลยีต่างๆ เหล่านี้ ในขณะเดียวกันต้องคำนึงถึงระบบการบำรุงรักษาสำหรับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้เราจึงมุ่งมั่นที่จะเผยแพร่เทคโนโลยีเพื่อการตรวจสอบนี้ไว้ในคู่มือที่ชื่อว่า แนวทางการตรวจสอบและวินิจฉัยสิ่งก่อสร้างท่าเรือ หรือ Guidelines for Inspection and Diagnosis of Port Facilities (ฉบับแก้ไขบางส่วนเดือนมิถุนายน 2018) คู่มือการบำรุงรักษาส่งก่อสร้างท่าเรือ หรือ The Maintenance Manual for Port Facilities (ฉบับแก้ไขเดือนกรกฎาคม 2018) และคู่มือการบำรุงรักษาอื่นๆ ที่จัดทำโดยการท่าเรือ ภายใต้กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยว ในขณะเดียวกันคู่มือการบำรุงรักษานี้ได้ถูกเตรียมที่จะเผยแพร่ไปสู่การอบรมหลักสูตรระดับประเทศ รวมถึงการบรรยายให้กับกลุ่มพนักงานในสังกัดกระทรวงที่เกี่ยวข้องในการกำกับดูแลท่าเรือ/สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งต่อไป

คู่มือการบำรุงรักษานี้ได้ถูกจัดทำขึ้นและใช้ในท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งส่วนใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น โดยแสดงแผนการบำรุงรักษาที่ได้มาตรฐานสำหรับโครงสร้างท่าเรือและมาตรฐานทางด้านเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการตรวจสอบ การวินิจฉัย และมาตรการการบำรุงรักษา

สำหรับแนวทางการปฏิบัติในการบำรุงรักษาท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งจะต้องวางแผนการบำรุงรักษา เพื่อพิจารณาแผนการให้บริการ เงินอุดหนุนสถานที่วัสดุโครงสร้างที่ใช้ และเงื่อนไขการก่อสร้างที่ไม่ปกติของสิ่งปลูกสร้าง และมีการนำแผนไปปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนที่น้อยลงและได้งานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น การบรรลุเป้าหมายสูงสุดต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างขั้นตอนการวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาท่าเรือซึ่งจะถูกนำไปใช้ในอนาคตได้

Emi Kato: After graduating from the School of Engineering of the Tokyo Institute of Technology in 1997 and receiving the degree of Ph. D from the University of Tokyo in 2002, she entered the Port and Airport Research Institute (PARI). She served as chief researcher at PARI's Life Cycle Management Research Center in 2007 and assumed her current position as group leader at PARI's Structural Engineering Department in 2013. Her specialization is concrete engineering.

Fig. 1 Life-Cycle Management System for Port and Harbor Facilities¹⁾

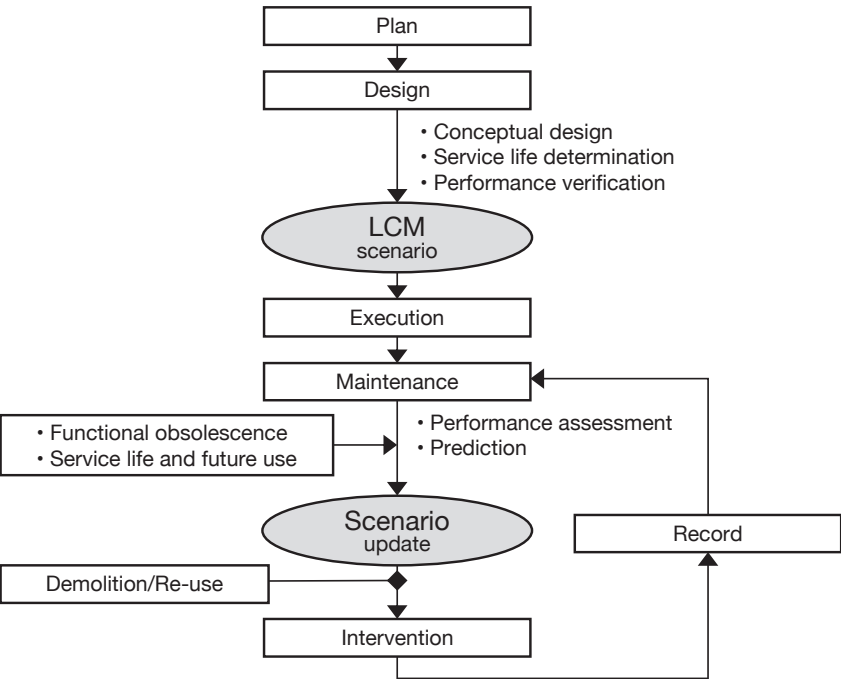


Fig. 2 PTC Sensor and Petrolatum Lining System

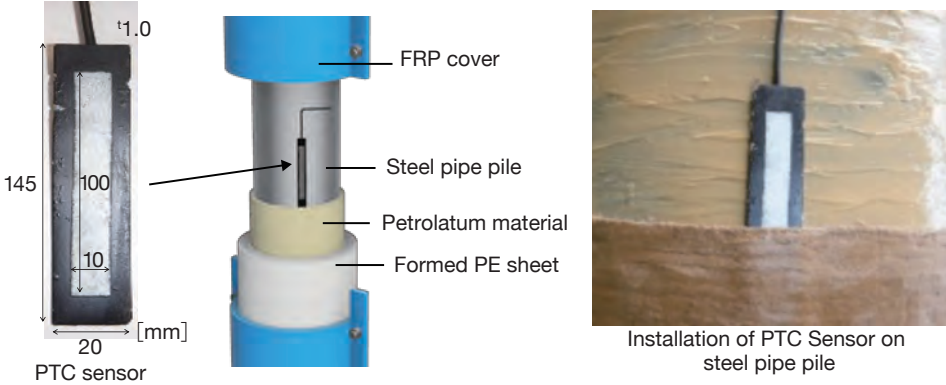
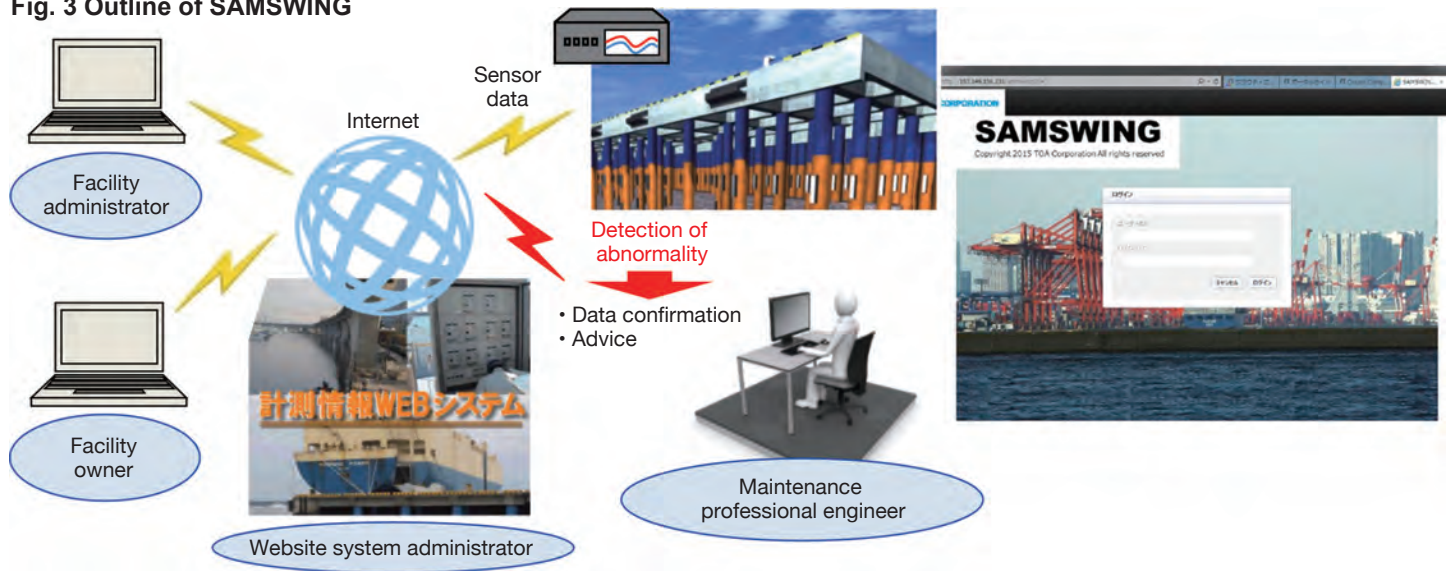


Fig. 3 Outline of SAMSWING



(หน้า 9~11)

แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง (4)

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับเสาเข็มท่อนเหล็กและฐานรากแบบเสาเข็มในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

โดย ศาสตราจารย์ Yoshiaki Kikuchi,

Tokyo University of Science

บทนำ

ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีการใช้ฐานรากเสาเข็มในรูปแบบของเสาเข็มคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อพิจารณาจากความต้องการใช้เสาเข็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ความยาวที่มาก ความต้านทานในการป้องกันการถูกกัดกร่อน รวมถึงความต้องการในการรับแรงดัดของเสาเข็ม เป็นที่คาดการณ์ว่าการนำเสาเข็มท่อนเหล็กเข้ามาใช้จะมีเพิ่มมากขึ้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายหลัก 3 ส่วนดังต่อไปนี้:

- การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสำหรับการหาค่าความสามารถในการรับแรงแบกตามแนวตั้งของเสาเข็ม ที่ใช้ในประเศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และประเทศในสหภาพยุโรป โดยวิธีการเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะประยุกต์ใช้ในประเศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เช่นกัน
- การตรวจสอบกลไกความสามารถของค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มปลายเปิด; และ
- การทำความเข้าใจเงื่อนไขในการออกแบบและการก่อสร้างในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายใต้การประเมินความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็ม

เนื้อหาของการศึกษา

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมการประเมินค่าความสามารถในการรับแรงแบกทานแบบสถิตซึ่งใช้กับการประมาณค่าความต้านทานตามแนวแกนของเสาเข็ม เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มจะต้องพิจารณาความสามารถในการรับแรงเสียดทานระหว่างผิวของเสาเข็มกับดินที่อยู่ภายนอกและค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็ม สำหรับการแบ่งประเภทของชั้นดินในทางปฐพีกลศาสตร์สามารถแบ่งชั้นดินออกได้เป็นชั้นดินทราย (Sandy soils) และชั้นดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive soils) ซึ่งสามารถทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความสามารถในการรับแรงแบกทานได้โดยง่าย ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันในการประเมินค่าความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มในชั้นดินทรายมีผลอย่างมากต่อการประเมินความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็ม ซึ่งจะมีการพิจารณาในลำดับถัดไป

ในขณะที่วิธีการประเมินค่าความสามารถในการรับแรงที่ส่วนปลายของเสาเข็ม ในชั้นดินทรายในสหรัฐอเมริกา (USACE: US Army Corps of Engineers) และประเทศกลุ่มสหภาพยุโรป (EC7: Eurocode 7) จะใช้วิธีการที่อิงตามทฤษฎี แต่ในประเทศญี่ปุ่น (JSPH: มาตรฐานทางเทคนิคและข้อแนะนำสำหรับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่งในประเทศญี่ปุ่น) จะใช้วิธีเชิงประจักษ์ หรือ empirical method อย่างไรก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 1 ความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในวิธีการประเมินแบบสหรัฐอเมริกาและประเทศกลุ่มสหภาพยุโรปมีค่ามุมของแรงเสียดทานภายในสูงมากขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งยังไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าวิธีการที่อิงตามทฤษฎีเหล่านี้เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆเสมอไป

ในด้านของวิธีการประเมินค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มเป็นวิธีที่รู้จักกันดีคือทฤษฎีการขยายตัวของช่องว่างหรือ cavity expansion theory โดยผู้เสนอสมการนี้คือ Yasufuku

(สมการ: อ้างอิงถึงฉบับภาษาอังกฤษ)

รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปร 4 ตัวแปร โดยประมาณค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มในชั้นดินทรายโดยใช้สมการที่ระบุอยู่ใน JSPH, USACE และ EC7 รวมถึงทฤษฎีการขยายตัวของช่องว่างหรือ cavity expansion theory แม้ว่าจำเป็นที่จะต้องทราบค่าของมุมของแรงเสียดทานภายในก่อนจึงจะสามารถหาค่าของสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับแรงแบกทาน แต่ค่าดังกล่าวก็สามารถที่จะประเมินได้โดยใช้วิธีการของประเทศญี่ปุ่น (วิธีการ JSPH ใช้เพื่อประเมินมุมของความสามารถในการรับแรงเฉือนโดยการใช้ N value) โดยผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ EC7 มีแนวโน้มที่จะประเมินความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มได้มากเกินไป และในวิธี JSPH พบว่าค่ากำลังรับแรงแบกทานที่เปลี่ยนแปลงในแนวของความสามารถจะไม่สามารถระบุได้

นอกจากนี้ รูปที่ 3 ยังได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มที่ได้จากการวัดและการคำนวณ จากรูปที่ 3 (a) ในวิธี EC7 มีแนวโน้มที่จะให้ผลการประเมินมากเกินไป ส่วนในวิธี JSPH หรือทฤษฎีการขยายตัวของช่องว่างเป็นวิธีการประเมินที่มีความเหมาะสม อย่างไรก็ตามดังแสดงในรูปที่ 3 (b) เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มมีค่ามากกว่า 1,000 มม. ค่าที่ได้จากการวัดจะน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณอย่างชัดเจน และผลของดินที่อุดอยู่ด้านในของเสาเข็มท่อนเหล็กจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงแบกทานที่ส่วนปลายของเสาเข็มอย่างชัดเจน

จากผลการเปรียบเทียบข้างต้น พบว่ามีค่าจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบการเลือกใช้วิธีในการประเมินค่าที่มีความเหมาะสม ในการประเมินค่าความสามารถในการรับแรงที่ส่วนปลายของเสาเข็มแบบปลายเปิด ดังเช่นการใช้เสาเข็มท่อนเหล็ก ค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มปลายเปิด หรือ R_{open} ซึ่งหาได้จากผลรวมของความสามารถในการรับแรงที่ส่วนปลายของเสาเข็ม หรือ R_p และ แรงเสียดทานระหว่างผิวภายในของเสาเข็มและดิน R_{sk} (รูปที่ 4) ในกรณีนี้การประเมินค่า R_{sk} อย่างเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญที่สุด การใช้สมมติฐานของ Yamahara ที่ว่าแรงดันดินในแนวตั้ง S_v ภายในเสาเข็มส่วนที่ห่างจาก x ไปตามแนวแกนจากส่วนปลายเสาเข็ม โดยในส่วนเสาเข็มที่ถูกฝังในดิน z ตามสมการต่อไปนี้

(สมการ: อ้างอิงถึงฉบับภาษาอังกฤษ)

ในสมการดังกล่าวนี้ ปัญหาที่สำคัญที่สุดคือการไม่ทราบค่า μ_{K_0} จึงต้องทำการทดสอบเพื่อที่จะหาค่ามา โดยดำเนินการทดลองการเจาะเสาเข็มภายนอกด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. และความหนาของผนังดินทราย 2 3 และ 4 มิลลิเมตร (ความหนาแน่นสัมพัทธ์ $D_r = 80\%$)

ผลของการทดสอบดังกล่าว ค่า μ_{K_0} ภายในเสาเข็มในกรณีของการเจาะที่ 100 มม. ตามที่แสดงในรูปที่ 5 ได้ผลของการทดลองว่า ค่า μ_{K_0} จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้ ที่ตำแหน่งใกล้ปลายเสาเข็มมากจะมีค่า μ_{K_0} ที่มากตามไปด้วย และที่ตำแหน่งห่างจากปลายเสาเข็มก็จะมีค่า μ_{K_0} ที่น้อยตามเช่นกัน นอกจากนี้ยังได้ข้อ

สรุปว่า ค่า μK_n ไม่ได้เปลี่ยนตามความหนาของหน้าตัดเสาเข็มที่เปลี่ยนไป เพราะค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน μ มีค่าประมาณ 0.5 ทำให้สรุปได้ว่า ค่า K_n ในบริเวณใกล้เคียงปลายเสาเข็มจะมีค่าประมาณ 7 ~ 10 ในอนาคตการทดลองจะทำการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มและความหนาแน่นของชั้นดินเพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อ K_n หรือไม่

ในงานสำรวจโครงการการวางฐานรากเสาเข็มทั้งหมด 8 โครงการใน 6 ประเทศของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยสำรวจเสาเข็มในโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างบริเวณชายฝั่งเป็นจำนวน 8 โครงการ มาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มมีดังนี้ ใช้มาตรฐานของประเทศอังกฤษในการคำนวณ 3 โครงการ ใช้มาตรฐานจาก API และมาตรฐานทางเทคนิคของญี่ปุ่น (JSPH) ในการคำนวณอย่างละ 2 โครงการ และ มาตรฐานจากกลุ่มวิศวกรของกองทัพสหรัฐอีก 1 โครงการ หรือ US Army Corps of Engineers เหตุผลที่จำนวนของมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มไม่ตรงกับจำนวนของโครงการที่ทำการสำรวจเพราะว่ามาตรฐาน JSPH และ มาตรฐานของประเทศอังกฤษได้ถูกใช้ในการคำนวณร่วมกันในโครงการเดียว

ตารางที่ 2 แสดงสภาพชั้นดินและการทดสอบการรับน้ำหนักทั้ง 8 โครงการ โดยใช้วิธีการทดสอบกำลังน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ หรือ Dynamic Loading Tests นอกจากนี้การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ หรือ Static Loading Tests ด้วย ส่วนในแง่ของสภาพดินดูเหมือนว่าไม่ว่าสภาพพื้นดินจะดีหรือไม่ดีก็ไม่ได้เป็นปัจจัยในการพิจารณาการทดสอบ การทดสอบการรับน้ำหนักแบบ Static Loading Tests จะยึดตามกฎความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มเป็นสองเท่าของน้ำหนักบรรทุก จากการทดสอบการรับน้ำหนักดังกล่าวมีเพียงโครงการเดียวเท่านั้นที่ต้องมีการแก้ไขการออกแบบ ตามหลักการทดสอบการรับน้ำหนักถูกนำไปใช้เพื่อยืนยันความเหมาะสมของการออกแบบ

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบการรับน้ำหนักเสาเข็มในด้านของการควบคุมความลึกของการตอกเสาเข็ม โดยใช้สมการของ Hiley ซึ่งสมการจะได้รับการปรับแก้ตลอดการตอกเสาเข็มดังนี้: ในช่วงเริ่มต้นของงานเสาเข็มจะทำการทดสอบ Static (rapid) และ Dynamic Loading Tests ผลของการทดสอบจะมีความสัมพันธ์กับสมการ Hiley เพื่อนำมาปรับแก้สมการสำหรับการควบคุมความลึกในการตอกเสาเข็ม จากนั้นจะทำการทดสอบ Dynamic Loading Tests ทุกๆ 20% ของความลึกการตอกเสาเข็ม โดยที่งานเสาเข็มจะดำเนินการไปพร้อมๆกับการตรวจสอบว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่กำหนดนั้นมีความปลอดภัยหรือไม่ ซึ่งระบบการตอกเสาเข็มดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายๆประเทศ

ในอนาคตหากมีการใช้เสาเข็มท่อน้ำหนักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากขึ้น การคำนึงถึงระดับการดูดของดินภายในเสาเข็มปลายเปิด หรือ Soil Plugging Level จะส่งผลกระทบต่อค่าความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่ใช้ในการประเมินหาความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มปลายเปิดได้อย่างเหมาะสมและง่ายต่อการใช้งานในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมการสำหรับการประเมินหาความสามารถในการรับแรงแบกทานแบบสถิตของเสาเข็มท่อน้ำหนัก

รูปที่ 1 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มระหว่าง Eurocode 7 กับ Army Corps of Engineers

(ค่าขีดจำกัดบน USACE-U และค่าขีดจำกัดล่าง USACE-L ได้ถูกระบุไว้ในมาตรฐานจากกลุ่มวิศวกรของกองทัพสหรัฐ หรือ US Army Corps of Engineers)

รูปที่ 2 การเปรียบเทียบผลของการประมาณสำหรับค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็ม ในกรณีที่มีค่า N Value ของดิน = 50

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความต้านทานส่วนปลายของเสาเข็มจากการวัดและการคำนวณความต้านทานส่วนปลายของเสาเข็ม

รูปที่ 4 ค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มปลายเปิด

รูปที่ 5 การประมาณค่า μK_n ตามทิศทางในแนวแกนเสาเข็ม

ตารางที่ 2 สภาพของชั้นดินและการทดสอบกำลังน้ำหนักของเสาเข็ม

สรุปผลการวิจัย

ผลสรุปของการศึกษาในครั้งนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

- เมื่อใช้เสาเข็มท่อน้ำหนักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 มม. วิธีการประเมินค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มตามมาตรฐานทางเทคนิคของประเทศญี่ปุ่น (JSPH) และทฤษฎีการขยายตัวของช่องว่าง ทั้งสองวิธีเป็นวิธีการประเมินที่เหมาะสม โดยไม่คำนึงถึงระดับการดูดของดินภายในเสาเข็มปลายเปิด หรือ Soil Plugging Level ในส่วนของวิธีการประเมินตาม Eurocode 7 มีแนวโน้มที่จะประเมินค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มได้มากเกินไป ในทางตรงกันข้ามการใช้เสาเข็มเหล็กขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 มม. หากไม่ได้ระดับการดูดของดินภายในเสาเข็มปลายเปิดมาคิดในการคำนวณ ความสามารถในการรับแรงแบกทานของเสาเข็มจะไม่สามารถประเมินได้อย่างเหมาะสมเช่นกัน
- จากข้างต้น หากทำการตรวจสอบค่าความต้านทานรวมที่ตำแหน่งปลายของเสาเข็มก็จำเป็นต้องทำการตรวจสอบการรับแรงเสียดทานของผิวด้านในของเสาเข็ม ซึ่งได้มีการนำแนวคิดของ Yamaharaw มาใช้ในการตรวจสอบดังกล่าว อย่างไรก็ตามควรมีการพิจารณาและตรวจสอบตามหลักของความเป็นจริงด้วย กล่าวโดยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินภายในเสาเข็มจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของเสาเข็ม
- จากการสำรวจการใช้เสาเข็มเหล็กในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่าได้มีการใช้มาตรฐานการออกแบบของสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่นในการออกแบบเสาเข็ม นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าการทดสอบการรับน้ำหนักในหลายๆแบบจะช่วยยืนยันการออกแบบและยังช่วยในการควบคุมงานเสาเข็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในแง่ของการส่งเสริมการนำเสาเข็มท่อน้ำหนักไปประยุกต์ใช้ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สิ่งสำคัญคือการจัดหาวิธีการประเมินค่าที่มีความแม่นยำในการคำนวณความสามารถในการรับแรงแบกทาน แม้กระทั่งในกรณีของเสาเข็มท่อน้ำหนักที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มาก



Yoshiaki Kikuchi: After finishing the master's course at the University of Tokyo in 1983, he entered the Ministry of Transport (currently Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: MLIT). Then, he worked at MLIT's Port and Airport Research Institute. He assumed his current position as Professor, Faculty of Science and Technology of the Tokyo University of Science in 2012. His specialization is geotechnical engineering and geo-environmental engineering.

Table 1 International Comparison of Static Bearing Capacity Estimation Equations for Steel Pipe Piles

		Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan (JSPH)	Eurocode 7 (EC7)	US Army Corps of Engineers (USACE)
Sandy soil ground	Toe resistance q_p (kN/m ²)	300N	$N_{qs}\sigma'_{v0}$	$N_q\sigma'_{v0}$
	Shaft resistance q_s (kN/m ²)	2N	$K_s\sigma'_{v0}\tan\delta$	$K_s\sigma'_{v0}\tan\delta$
Cohesive soil ground	Toe resistance q_p (kN/m ²)	$6c_u$	$9c_u + \sigma'_{v0}$	$9c_u$
	Shaft resistance q_s (kN/m ²)	c_u	αc_u	αc_u

Notes

N: SPT-N value; c_u : shear strength of the ground; N_q : bearing capacity coefficient; σ'_{v0} : effective over burden pressure; K_s : earth pressure coefficient; α : adhesion factor; δ : shaft friction angle between pile and ground

Fig. 1 Comparison of Bearing Capacity Coefficients between Eurocode 7 and US Army Corps of Engineers

(Both upper limit value USACE-U and lower limit value USACE-L are specified in US Army Corps of Engineers)

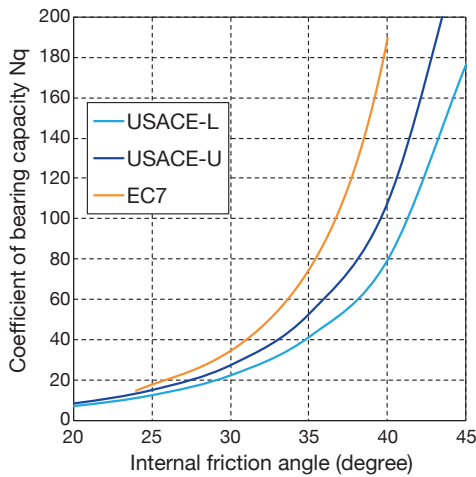


Fig. 2 Comparison of Estimation Results for Pile Toe Bearing Capacity in the Case of N Value of Ground=50

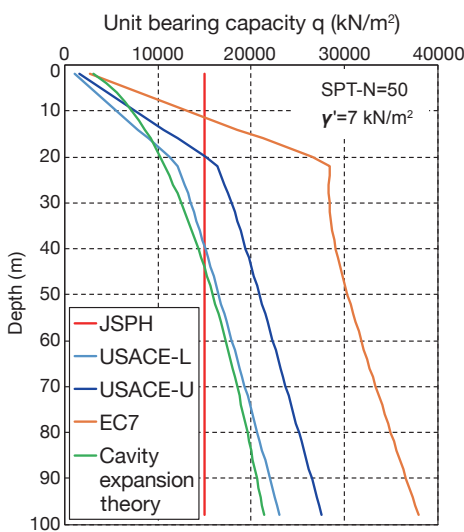


Fig. 3 Comparison between Measured Pile Toe Resistance and Calculated Pile Toe Resistance

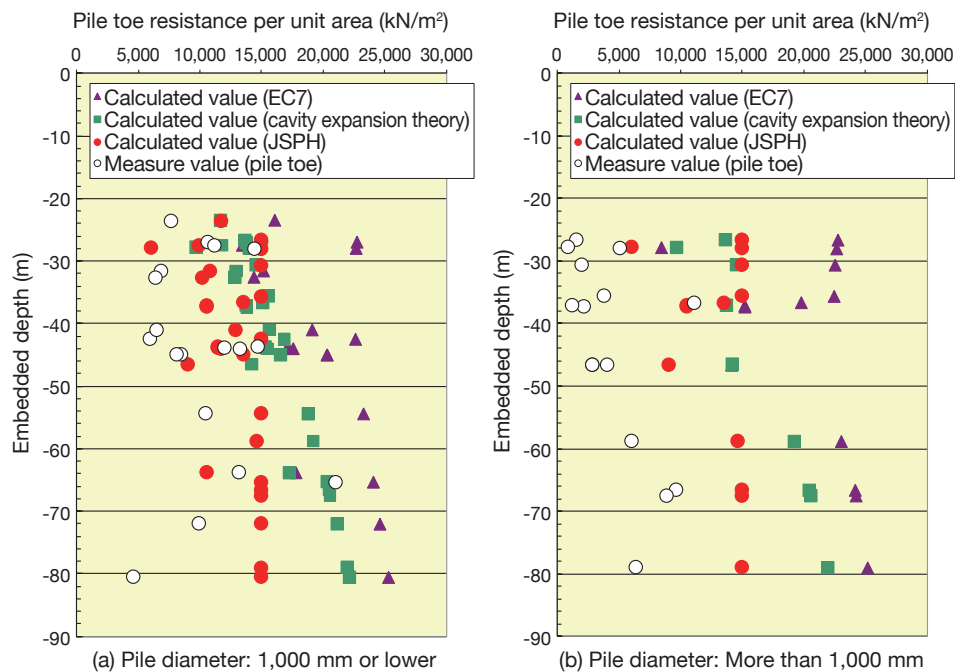


Fig. 4 Pile Toe Resistance of Open-ended Piles

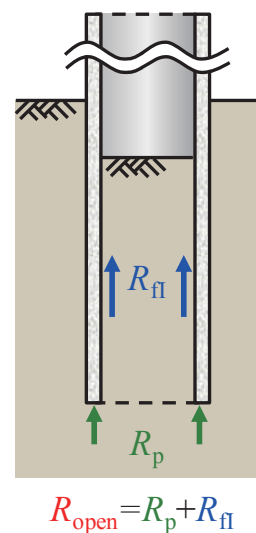


Fig. 5 Estimated μK_h along Pile Axial Direction ($z=100$ mm)

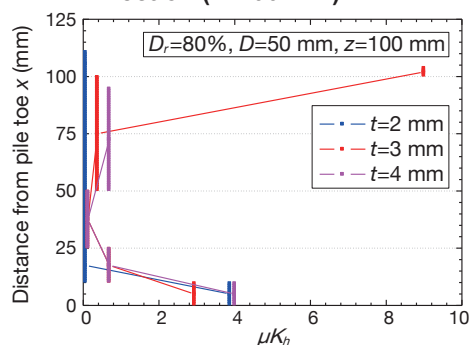


Table 2 Ground Conditions and Loading Tests Applied

Project number	Loading tests applied			Ground condition
	Static loading test	Rapid loading test	Dynamic loading test	
1	○		⊙	Solid cohesive soil
2			⊙	Good
3		○	⊙	Bad
4	⊙	⊙	⊙	Cohesive soil
5	○		⊙	Soft
6	○		⊙	Sandy soil
7	○		⊙	Sandy soil
8	○		⊙	Hard cohesive soil/Soft rock

Note: ⊙: Plural tests, ○: Singular test

(หน้า 12 ~ 14)

แนวโน้มของเทคโนโลยีล่าสุดสำหรับโครงสร้างท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง (5)

การประเมินความทนทานระยะยาวของวัสดุก่อสร้างในกลุ่มโลหะ ด้วยวิธีการทดสอบความคงทนต่อสภาพภูมิประเทศ ที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ และอ่าวซูรุกะ

โดยTomonori Tomiyama

สถาบันวิจัยโยธาธิการ

เกาะโอโกโนโตริซิมะเป็นเกาะที่อยู่ทางใต้ของประเทศญี่ปุ่นตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ที่ไม่เพียงแต่มีปัจจัยด้านอุณหภูมิ ความชื้นและแสงแดด แต่ยังมีกระแสน้ำขึ้นน้ำลงและมีคลื่นที่สูง ยิ่งไปกว่านั้นยังมีคลื่นที่เข้ามาระทบฝั่งที่รุนแรงอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงมีสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนของโครงสร้างมากกว่าในพื้นที่ชายฝั่งทะเลอื่นๆในประเทศญี่ปุ่น

ในการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันการกัดกร่อนและประเมินความทนทานในระยะยาวของโครงสร้างเหล็กนอกชายฝั่ง สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยจึงได้ร่วมมือกันทดสอบการกัดกร่อนจากการสัมผัสกับบรรยากาศของวัสดุสำหรับการก่อสร้างที่ทำจากโลหะมากกว่า 19.5 ปี ที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ (รูปที่ 1) ควบคู่ไปกับการศึกษาเรื่องความทนทานในระยะยาวของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างในพื้นที่ที่ติดกับทะเล นอกจากนี้ยังดำเนินการทดสอบการกัดกร่อนจากการสัมผัสกับบรรยากาศบริเวณนอกชายฝั่งเป็นระยะเวลากว่า 24 ปีโดยศูนย์วิจัยวิศวกรรมทางทะเลในอ่าวซูรุกะ (รูปที่ 1) ซึ่งอยู่นอกชายฝั่งของ Yaizu, Shizuoka Pref เป็นระยะ 250 เมตร ในบทความนี้ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากการสัมผัสกับบรรยากาศระหว่างสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน 2 รูปแบบ จะถูกนำมาเปรียบเทียบและศึกษา

รูปที่ 1 ภาพรวมของพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน

วิธีการทดสอบการกัดกร่อน

พื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองแห่ง ได้มีการใช้วัสดุทั้งหมด 28 ประเภท ในกลุ่ม A~D (ตารางที่ 1) โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบรูปแผ่น หรือ Plate-shaped ที่มีขนาด $210 \times 30 \sim 75$ มิลลิเมตร และมีความหนา $1.2 \sim 9$ มิลลิเมตร ตัวอย่างการทดสอบจะถูกเตรียมโดยวางทำมุม 5° (60°) กับแนวราบ หันหน้าไปทางทิศใต้ ที่ความสูง 15 เมตร (13 เมตร) จากระดับน้ำทะเล (ค่าในวงเล็บแสดงค่าที่อ่าวซูรุกะ) ตารางที่ 2 แสดงเงื่อนไขด้านสภาพแวดล้อมของการทดสอบในพื้นที่ที่ใช้ทดสอบทั้งสองแห่ง และตารางที่ 3 แสดงรายการของวัสดุที่ทำการสำรวจ

ตารางที่ 1 รายการตัวอย่างการทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบการกัดกร่อน

ตารางที่ 2 เงื่อนไขด้านสภาพแวดล้อมของการทดสอบในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ (การดำเนินการทดสอบการกัดกร่อน: พื้นที่บริเวณที่มีน้ำทะเลโดยรอบ หรือ Atmospheric Zone)

ตารางที่ 3 รายการสำรวจที่ใช้ทดสอบความการกัดกร่อน

การศึกษาและผลการทดสอบการกัดกร่อน

• เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Ordinary Carbon Steel) กลุ่ม A

หลังจากการทดสอบการกัดกร่อน พบการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting corrosion) บนพื้นผิวของตัวอย่างหลายชิ้นที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ แต่กลับไม่พบการกัดกร่อนแบบรูเข็มที่อ่าวซูรุกะ จากนั้นคำนวณอัตราการกัดกร่อนโดยใช้ค่าจากผิวของตัวอย่างหลังจากทดสอบการกัดกร่อนแล้ว พบว่าอัตราการกัดกร่อนที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ มีค่าเท่ากับ 0.18 mm/a ส่วนที่อ่าวซูรุกะได้ค่าเท่ากับ 0.015 mm/a ซึ่งหมายความว่าอัตราการกัดกร่อนที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะมีค่าประมาณ 12 เท่าเมื่อเทียบกับที่อ่าวซูรุกะ

• เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) กลุ่ม B

ที่อ่าวซูรุกะพบการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting corrosion) เล็กน้อย และมีเกิดการกัดกร่อนในที่อับ (crevice corrosion) ที่ช่องว่างระหว่างแหวนรองแบบยาง (insulation washer) และที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบยกเว้นตัวอย่างที่ B-07 ซึ่งการกัดกร่อนทั้งสองประเภทได้รับการประเมินว่าเป็นการสูญเสียเนื้อเหล็กจากการถูกกัดกร่อนที่ไม่เด่นชัดนัก ในขณะที่เดียวกันที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะพบการกัดกร่อนแบบรูเข็มเล็กน้อย และเกิดการกัดกร่อนในที่อับบนวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมทุกประเภทซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มของความเสี่ยงของการถูกกัดกร่อนที่มีมากกว่าที่อ่าวซูรุกะ

ความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนแบบรูเข็มและความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนในที่อับที่ช่องว่างระหว่างแหวนรองถูกจัดเรียงโดยใช้จำนวนสมมูล หรือ equivalent number ของความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม

(PREN: $[\text{Cr} (\%)] + [3.3 \times \text{Mo} (\%)] + [16 \times \text{N} (\%)]$) และจากผลของการจัดเรียงพบว่าความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนหรือความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนแบบที่อับ และ PREN มีความสัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 2 และ 3)

ในการจัดเรียงผลการทดสอบที่อ่าวซูรุกะ เมื่อ PREN มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 30 ความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนแบบรูเข็มและการกัดกร่อนในที่อับจะมีความเสี่ยงไม่เกิน $100 \mu\text{m}$ เช่นเดียวกับที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ เมื่อ PREN มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 30 ความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนแบบรูเข็มที่หน้าตัดทั่วไปจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน $100 \mu\text{m}$ ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับที่อ่าวซูรุกะ แต่ในกรณีนี้ค่า PREN มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 40 ความเสี่ยงการกัดกร่อนในที่อับสูงสุดไม่เกิน $100 \mu\text{m}$

ในขณะที่ความแตกต่างของความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนแบบรูเข็มระหว่างอ่าวซูรุกะและอ่าวโอโกโนโตริซิมะมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนในที่อับที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ จะสูงกว่าที่อ่าวซูรุกะอย่างชัดเจน สืบเนื่องมาจากที่อ่าวโอโกโนโตริซิมะ มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่มากกว่าถึง 11 องศาเซลเซียสและมีในสภาพเปียกชื้นที่ยาวนานกว่าที่อ่าวซูรุกะ

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนแบบรูเข็มที่ส่วนทั่วไปและ PREN ของเหล็กกล้าไร้สนิม

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงสูงสุดของการกัดกร่อนในที่อับที่ช่องแหวนรองและ PREN ของเหล็กกล้าไร้สนิม

• โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (กลุ่ม C)

บนไทเทเนียมบริสุทธิ์ (C-01) ไม่พบการกัดกร่อนทั้งการกัดกร่อนแบบรูเข็มที่หน้าตัดทั่วไปและการกัดกร่อนในที่อับในช่องว่างระหว่างแหวนรองของชิ้นงาน ในส่วนของทองแดง (C-02) และอลูมิเนียมอัลลอยด์ (C-03) ก็ไม่พบการสูญเสียมวลเนื่องจากการกัดกร่อนทั้งสองรูปแบบ จึงไม่สามารถที่จะเข้าใจแนวโน้มของระดับความแตกต่างระหว่างการเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็มและการกัดกร่อนในที่อับอันเนื่องมาจากความ

แตกต่างของสภาพแวดล้อม

• เหล็กแผ่นเคลือบ (กลุ่ม D)

- สารเคลือบประเภทโลหะ

ในขณะที่การก่อตัวของสารเนื่องจากการกัดกร่อนที่ถูกพบบนแผ่นอลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม (D-01) ในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองแห่ง ชั้นเคลือบอลูมิเนียม ยังคงหลงเหลืออยู่ นับได้ว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนได้ดีตลอดทั้ง กระบวนการทดสอบ (รูปที่ 4 (a)) ในขณะที่ชั้นเคลือบของเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี แบบจุ่มร้อน (Hot dip galvanized steel sheet) ยังคงหลงเหลือชั้นเคลือบอยู่ในการ ทดสอบที่อ่าวชูรุเก แต่ที่อ่าวโอกินโตรีชิมะชั้นเคลือบโดนกัดกร่อนจนเหลือปริมาณที่ น้อยมากจนเกือบหายไป (รูปที่ 4 (b))

เหล็กแผ่นเคลือบอลูมิเนียมผสมสังกะสี (D-03) และเหล็กแผ่นเคลือบอลูมิเนียม (D-04) ชั้นเคลือบยังคงอยู่และมีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนได้ดีตลอดทั้ง กระบวนการทดสอบ (รูปที่ 4 (c) และ (d)) ความหนาของชั้นเคลือบบนเหล็กแผ่น เคลือบอลูมิเนียมผสมสังกะสีหลังจากที่ผ่านกระบวนการทดสอบแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก ความหนาก่อนนำไปทดสอบเนื่องจากการก่อตัวของสารเนื่องจากการกัดกร่อน โดยการ ทดลองที่อ่าวชูรุเกมีค่าที่สูงกว่าที่อ่าวโอกินโตรีชิมะ เช่นเดียวกับความหนาของชั้น เคลือบของเหล็กแผ่นที่เคลือบด้วยอลูมิเนียม แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างความหนา ของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทดสอบที่อ่าวชูรุเก และอ่าวโอกินโตรีชิมะ

- สารเคลือบโพลิเมอร์และสีอุตสาหกรรมหนัก

ในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองแห่งพบการลอกออกของผิวโพลีเอธิลีนที่ปลาย แผ่น (D-05) เนื่องจากวัสดุเคลือบผิวที่ปลายของแผ่นมีคุณภาพต่ำ ส่วนเหล็กแผ่นที่ เคลือบด้วยโพลิเมอร์ (D6 ~ D10) ชั้นเคลือบผิวยังคงอยู่บนเหล็กแผ่นทั้งหมด ในขณะที่ ความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า หรือ insulation resistance (สภาพความต้านทาน ไฟฟ้า) ของชั้นเคลือบผิวลดลงเนื่องจากการกัดกร่อน ความต้านทานของ ฉนวนไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับ $10^{10} \Omega/\text{cm}$ โดยพบว่าไม่มีการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิว เหล็กภายใต้การเคลือบผิวประเภทนี้ในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองแห่ง ดังนั้นถือได้ ว่าการเคลือบประเภทนี้มีประสิทธิภาพสำหรับการป้องกันการกัดกร่อนได้ดี (รูปที่ 5) เนื่องจากการลดลงของความต้านทานของฉนวนไฟฟ้าที่อ่าวโอกินโตรีชิมะ มากกว่าที่ อ่าวชูรุเก จึงสันนิษฐานว่าอ่าวโอกินโตรีชิมะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีระดับความ รุนแรงในการกัดกร่อนมากกว่าทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของชั้นเคลือบผิวที่มาก

เหล็กแผ่นที่เคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทนแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในแง่ของ ค่าเฉลี่ยรายปีของการสูญเสียพื้นผิวการเคลือบ (ความแตกต่างของความหนาของผิว เคลือบก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนหารด้วยจำนวนปีที่ทำการทดสอบการ กัดกร่อน) และอัตราการสูญเสียพื้นผิวการเคลือบที่อ่าวโอกินโตรีชิมะคิดเป็น 1.5 เท่า ของที่อ่าวชูรุเก ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราส่วนของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่ 1.3 (รูปที่ 6) ใน เหล็กแผ่นที่เคลือบผิวด้วยสารชนิดอื่นๆ พบว่าอัตราการสูญเสียพื้นผิวการเคลือบที่อ่าว โอกินโตรีชิมะมีมากกว่าที่อ่าวชูรุเก แต่จากผลการทดสอบ การเคลือบเหล็กแผ่นด้วยอี พอกซี เรซิน/อะคริลิก ซิลิโคนเรซิน นั้นพบการสูญเสียพื้นผิวการเคลือบที่อ่าวชูรุเก มากกว่าที่โอกินโตรีชิมะ

รูปที่ 4 ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงส่วนต่าง ๆ ของเหล็กแผ่นที่ เคลือบผิวด้วยสารเคลือบประเภทโลหะ

รูปที่ 5 ความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า (สภาพต้านทานไฟฟ้า) ของการเคลือบผิวด้วย

โพลิเมอร์และสีอุตสาหกรรมหนัก

รูปที่ 6 การสูญเสียความหนาของผิวเคลือบแบบโพลิเมอร์ (ตารางด้านล่าง: การสูญเสีย ทั้งหมด/สถานที่)

ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากบรรยากาศ

การทดสอบการกัดกร่อนจากบรรยากาศบริเวณนอกชายฝั่งที่ดำเนินการในสอง สถานที่ที่มีสภาพของการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน โดยผลการทดสอบอัตราการกัดกร่อน บนเหล็กกล้าคาร์บอนทั่วไปที่อ่าวโอกินโตรีชิมะจะพบค่าที่รุนแรงกว่าที่อ่าวชูรุเก ผล การทดสอบกับเหล็กกล้าไร้สนิม, โลหะนอกกลุ่มเหล็กและวัสดุเคลือบโลหะที่ไม่รวม วัสดุขุขังสังกะสีไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนในการกัดกร่อนโดยเหล็กในกลุ่มเหล่านี้ แสดงค่าความต้านทานการกัดกร่อนที่สูง ส่วนการเคลือบด้วยสารอินทรีย์และการ เคลือบด้วยสีอุตสาหกรรมหนัก พิจารณาจากความต้านทานของฉนวนไฟฟ้า (สภาพ ต้านทานไฟฟ้า) พบว่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนยังคงมีอยู่ โดยค่าความต้านทาน ของฉนวนไฟฟ้าจะลดมากที่อ่าวโอกินโตรีชิมะ



Tomonori Tomiyama: After receiving Dr. Eng. from the Tokyo Institute of Technology, he entered the Public Works Research Institute (PWRI) in 2003 and served as Senior Researcher at PWRI's Advanced Materials Research Team in 2007. He assumed his current position as Senior Researcher at PWRI's Materials and Resources Research Group in 2015. His main research fields cover durability of polymeric materials and anti-corrosion engineering for steel structures.

Table 1 A List of Test Specimens Used for Exposure Tests

Group	Type of materials	Specimen No.
A: Ordinary carbon steel		
	Ordinary carbon steel (SS400)	A-01
B: Stainless steel		
Austenitic type	18Cr-8Ni (SUS304)	B-01
	17Cr-12Ni-2.5Mo (SUS316L)	B-02
	19Cr-13Ni-3.5Mo (SUS317L)	B-03
	18Cr-13Ni-3Mo-0.15N	B-04
	20Cr-25Ni-5Mo-Ti	B-05
	20Cr-17Ni-4.5Mo-N-L.C	B-06
	20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N (SUS312L)	B-07
	25Cr-13Ni-0.9Mo-0.3N (SUS317J2)	B-08
	25Cr-22Ni-4.5Mo-0.2N	B-09
	22Cr-23Ni-5Mo-1.5Cu-0.2N	B-10
Dual-phase type	25Cr-6Ni-3.5Mo-0.2N (SUS329J4L)	B-11
	25Cr-7Ni-3.5Mo-0.5Cu-0.16N (SUS329J4L)	B-12
Ferritic type	19Cr-2Mo-Ti-Nb-Zr (SUS444)	B-13
	26Cr-4Mo	B-14
C: Nonferrous metal		
Titanium	Titanium [JIS H 4600 TP35H(KS50)]	C-01
Copper	Copper [C-1220]	C-02
Aluminum alloy	Aluminum alloy [5083]	C-03
D: Coated/lined steel plate		
Metallic coating	Aluminized stainless steel plate	D-01
	Hot-dip galvanized steel plate	D-02
	Zinc-aluminum alloy-sprayed steel plate	D-03
	Aluminum-sprayed steel plate	D-04
Polymer lining	Polyethylene-lined steel plate	D-05
	Polyurethane-lined steel plate	D-06
	Ultra high build epoxy resin-lined steel plate	D-07
Heavy-duty corrosion-protection coating	(Epoxy resin/polyurethane resin)-coated steel plate	D-08
	(Epoxy/fluororesin)-coated steel plate	D-09
	(Epoxy resin/acrylic silicone resin)-coated steel plate	D-10

**Table 2 Main Environmental Conditions at Exposure Test Sites
(Implementation of Exposure Test: Marine Atmospheric Zone)**

Exposure test site	Location	Annual average			Annual time of wetness (ISO 9223)	Sunlight radiation index (setting Suruga Bay as 1.0)
		Temp. (°C)	Seawater temp.(°C)	Humidity (%)		
Okino-torishima	20°25'N 136°5'E	27.2*	28*	73*	4476 hrs	1.3
Suruga Bay	34°47'N 138°19'E	16.6**	21**	67**	1392 hrs	1.0

Note: Data *JAMSTEC (2001) ** Japan Meteorological Agency (2001)

Table 3 Major Survey Items at Exposure Tests

Survey item	Ordinary carbon steel (A)	Stainless steel (B)	Non-ferrous metal (C)	Coated/lined steel plate (D)		
				Metallic coating	Polymer lining	Heavy-duty coating
Appearance observation	○	○	○	○	○	○
Mass loss	○	○	○	○		
Local corrosion depth	○	○	○			
Film thickness				○	○	○
Insulation resistance (volume resistivity)					○	○
Coating section observation (SEM)				○	○	○

Fig. 1 Overview of Exposure Test Sites

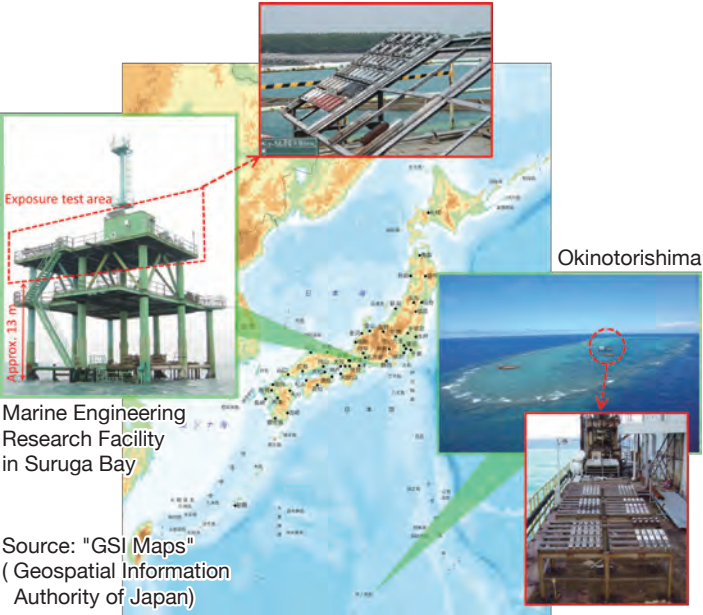


Fig.2 Relation between Maximum Pitting Corrosion Depth at General Section and PREN of Stainless Steel

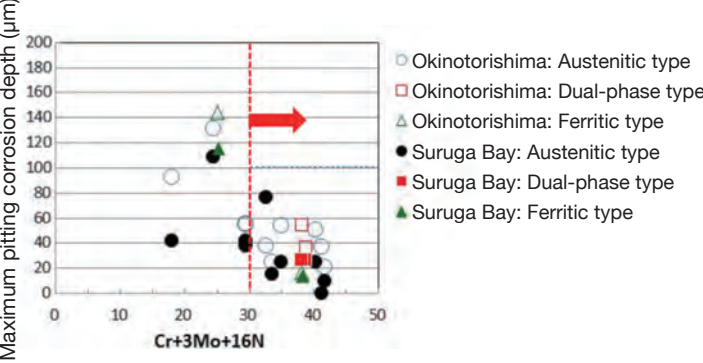


Fig. 3 Relation between Maximum Crevice Corrosion Depth at Washer-Specimen Gap and PREN of Stainless Steel

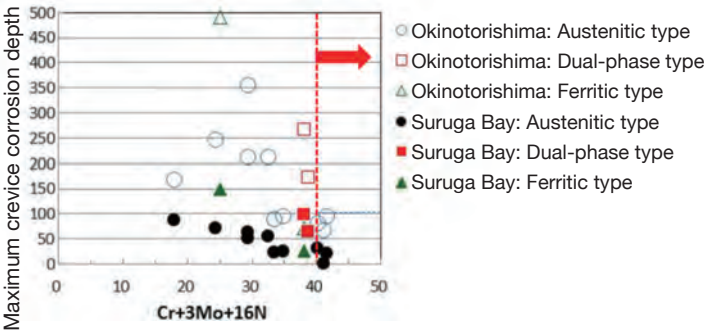


Fig. 4 SEM Images of Sections of Metallic-coated Steel Plates

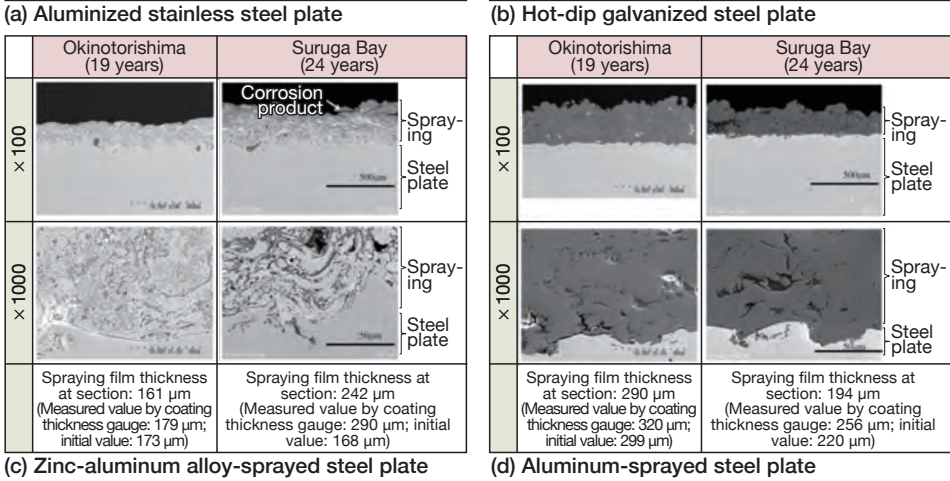
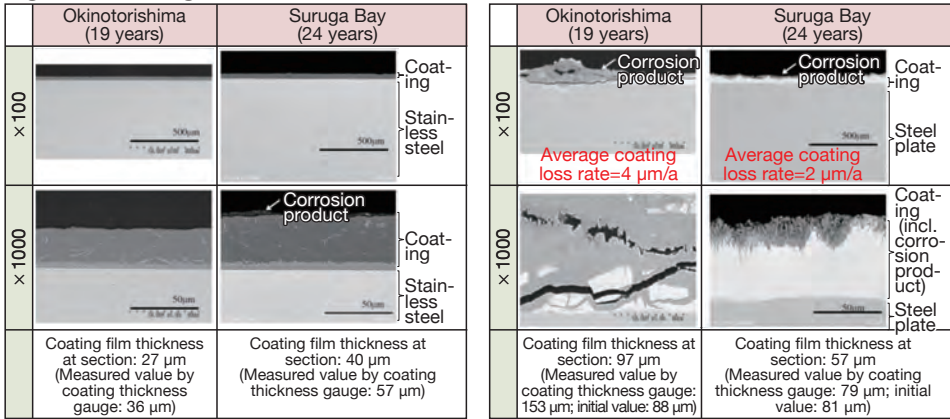


Fig. 5 Insulation Resistance (Volume Resistivity) of Polymer Lining and Heavy-duty Coating

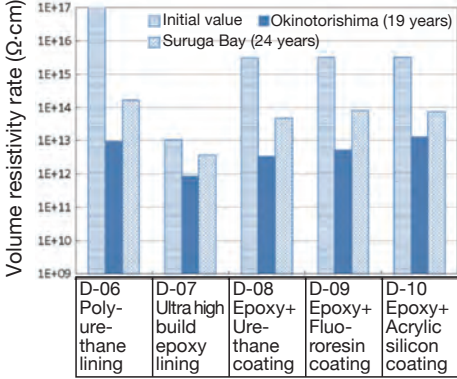
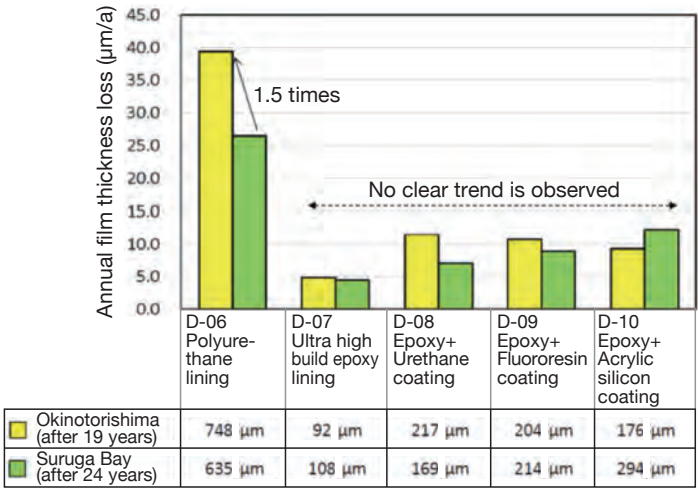


Fig. 6 Film Thickness Loss of Polymer Lining and Coating (Lower Table: Total Loss/Site)



(หน้า 15~ปกหลัง)

หัวข้อพิเศษ

ข้อเสนอแนะเพื่อมุ่งไปสู่ “แผนการสร้างความปลอดภัยอาคารแห่งชาติ” ด้วยการใช้โครงสร้างหลัก

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Great East Japan Earthquake ในเดือนมีนาคม 2011 ก็ได้ส่งผลให้มี “กฎเกณฑ์พื้นฐานเพื่อป้องกันและลดความรุนแรงจากภัยพิบัติต่อความปลอดภัยของประชาชน” ในเดือนธันวาคม 2013 และภายหลังจากนั้นในเดือนมิถุนายน 2014 คณะรัฐบาลของประเทศญี่ปุ่นก็ได้อนุมัติ “แผนปฏิบัติการพื้นฐานเพื่อความปลอดภัยแห่งชาติ” ที่สอดคล้องกับกฎเกณฑ์พื้นฐานที่กล่าวถึงในข้างต้น

เพื่อให้สามารถก้าวทันกับนโยบายภาครัฐ อุตสาหกรรมเหล็กของประเทศญี่ปุ่นก็ได้มีการแต่งตั้งคณะกรรมการความปลอดภัยแห่งชาติขึ้นในเดือนเมษายน 2014 ซึ่งคณะกรรมการชุดนี้อยู่ภายใต้สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย โดยมุ่งหวังให้เป็นหน่วยงานที่มาช่วยหาแนวทางในการพัฒนาให้กับกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคม และการท่องเที่ยวตลอดจนรัฐบาลท้องถิ่น ซึ่งคณะกรรมการชุดนี้ได้ส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ มากมายทั้งการนำเสนอถึงเทคโนโลยีงาน โครงสร้างเหล็ก และวิธีการที่ช่วยป้องกันและลดผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่างๆ

ด้วยเหตุที่ภัยธรรมชาติต่างๆ ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในประเทศญี่ปุ่น หน่วยงานภาครัฐก็ได้แก้ไขปรับปรุงแผนการขึ้นพื้นฐานในเดือนธันวาคม 2018 และได้มีการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอย่างเร่งด่วนในเดือนพฤศจิกายน 2018 คณะรัฐบาลญี่ปุ่นก็ได้อนุมัติ “มาตรการเร่งด่วนระยะสามปีเพื่อป้องกันและลดผลกระทบจากภัยพิบัติตลอดจนส่งเสริมความปลอดภัยของอาคาร” เพื่อเร่งรัดให้เกิดการเสริมความมั่นคงแข็งแรงให้กับระบบโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญๆ ที่ใช้ในการป้องกันภัยพิบัติทั่วประเทศญี่ปุ่น โดยใช้งบประมาณทั้งสิ้น 7,000,000 ล้านเยน (62,500 ล้านดอลลาร์อเมริกา) ตลอดระยะเวลาโครงการจำนวนทั้งสิ้นสามปี

ด้วยความมุ่งมั่นที่จะเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงให้กับอาคารเพื่อต้านทานภัยพิบัติด้วยเทคโนโลยีหรือวิธีการต่างๆ จากโครงสร้างหลัก เช่น การเสนอแนะวิธีการและเทคโนโลยีต่างๆ ให้กับหน่วยงานพัฒนาท้องถิ่นและรัฐบาลท้องถิ่นเพื่อสร้างความเข้าใจถึงสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นจากการใช้โครงสร้างหลักและสามารถนำเข้ามาประยุกต์ใช้เมื่อมีความจำเป็นเร่งด่วน นอกจากนี้ความรู้ที่ได้รับจากกิจกรรมมากมายจากคณะกรรมการวิจัยและจากกิจกรรมสนับสนุนผ่านงานวิจัยและการฝึกอบรมต่างๆ ของสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย คณะกรรมการมีความพยายามที่จะศึกษารายละเอียดข้อเสนอกิจกรรมที่หลากหลายเพื่อจัดแผนงานและจัดการข้อมูลที่ได้รับเป็นจำนวนมาก โดยรายละเอียดของข้อเสนอที่กล่าวถึงได้มีการนำมาแสดงดังด้านล่าง

มาตรการหลักของประเทศในการเพิ่มความสามารถต้านทานต่อภัยพิบัติของโครงสร้างพื้นฐาน

กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคม และการท่องเที่ยว ได้ส่งเสริมมาตรการไม่เฉพาะการฟื้นฟูและการก่อสร้างอาคารต่างๆ ขึ้นมาใหม่ในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว Great East Japan Earthquake แต่รวมไปจนถึงการเตรียมการรับมือกับภัยพิบัติทางธรรมชาติขั้นรุนแรงที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้เช่นแผ่นดินไหว Tokai, Tonankai and Nankai Great

Earthquakes และรวมไปถึงน้ำท่วมครั้งใหญ่

- สนับสนุนการปรับปรุงโครงสร้างสาธารณะ (ขอบคันทาง สะพาน ทางหลวง ท่าเรือ สนามบิน รถไฟ แม่น้ำ บ้าน อาคาร) ให้สามารถต้านทานต่อแผ่นดินไหวและลดผลกระทบจากคลื่นสึนามิ
- เสริมกำลังเชิงป้องกันและปรับปรุงระบบป้องกันน้ำท่วม (ในเขตพื้นที่มหานครโตเกียว โอซาก้า และนาโงย่า ตลอดจนเมืองสำคัญๆ ในเขตที่เสี่ยงภัยต่อน้ำท่วม)
- การเสริมกำลังเชิงป้องกันต่อภัยในพื้นที่ที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดน้ำท่วมและความเสียหายจากดินถล่ม
- การปรับปรุงระดับความปลอดภัยทางโครงสร้างของบ้านและอาคาร (ส่งเสริมให้มีการความต้านทานต่อแผ่นดินไหว และการก่อสร้างอาคารสำหรับผู้พลัดถิ่นที่ยกย่อง)

เทคโนโลยีโครงสร้างหลักและวิธีที่ใช้ในการพัฒนาปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อต้านทานภัยพิบัติ

ผลิตภัณฑ์โครงสร้างหลักมีสมรรถนะที่สูงที่สามารถสนองต่อความต้องการในด้านคุณภาพที่เสถียร ที่นอกเหนือจากสมรรถนะพื้นฐานที่ต้องมีความต้านทานต่อการกระแทกหรือการที่สามารถทำงานก่อสร้างได้ง่าย โครงสร้างหลักที่ใช้ผลิตภัณฑ์หลักสมรรถนะสูงยังมีประโยชน์ในด้านการใช้งานมากมายดังต่อไปนี้:

- ความสามารถในการลดระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง
- ความสามารถในการก่อสร้างในพื้นที่คับแคบและบนสภาพดินที่มีความอ่อนนุ่มซึ่งโครงสร้างหลักจะมีประโยชน์มากเนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา
- ความยืดหยุ่นในการออกแบบเช่นการทำให้อายุของโครงสร้างมีลักษณะที่โค้ง
- ความยืดหยุ่นและความง่ายในการใช้งานร่วมกับคอนกรีต ไม้ กระเบื้อง และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ
- ความสามารถในการจัดสรรพื้นที่ใช้สอยและการจัดภูมิทัศน์ได้อย่างหลากหลาย

ด้วยประโยชน์ในเชิงสมรรถนะที่มากมายจากการใช้โครงสร้างหลัก สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยก็ได้มีการนำเสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุง และการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานเพื่อต้านทานต่อภัยพิบัติโดยมีการนำเทคโนโลยีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างหลักเข้ามาใช้ อันส่งผลต่อประโยชน์ทางสังคมและสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของแนวทางต่างๆ ประกอบไปด้วย

การใช้เทคโนโลยีโครงสร้างหลักและวิธีการต่างๆ เพื่อพัฒนาปรับปรุงอาคารสาธารณะที่ใช้ต้านทานภัยธรรมชาติ

ตารางที่ 1 และรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการป้องกันภัยธรรมชาติ รวมถึงวิธีการต่างๆ ที่มีการนำโครงสร้างหลักเข้ามาใช้ ที่ได้มีการนำเสนอโดยสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วย

- การปรับปรุงอาคารสาธารณะที่ใช้สำหรับต้านภัยภัยธรรมชาติและ disaster preventive bases (อาคารที่ก่อสร้างใหม่ได้มีการใช้วัสดุทนทานรวมถึงระบบโครงสร้างหลักภายในอาคารที่ใช้ในการต้านภัยธรรมชาติ อาคารด้านภัยจากแผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ อาคารเพื่อการศึกษาที่ใช้ระบบโครงสร้างหลัก)
- บ้านต้านทานแผ่นดินไหว (บ้านโครงสร้างเหล็ก ฯลฯ)
- การฟื้นฟูและปรับปรุงท่าเรือและอาคารตามแนวชายฝั่งตลอดจนมาตรการต่างๆ เพื่อรองรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวหรือคลื่นยักษ์สึนามิ (การปรับปรุงท่าเรือโดยใช้ผลิตภัณฑ์โครงสร้างหลัก การเสริมกำลังให้กับท่าเรือ การปรับปรุงแนวตลิ่งและระบบ

ด้านทานคลื่น มีการใช้เสาเข็มท่อนเหล็กและเสาเข็มพืด รวมถึงวิธีการในการด้านทานคลื่นขนาดใหญ่ด้วยการใช้ผลิตภัณฑ์เหล็ก)

- การฟื้นฟูปรับปรุงสะพานเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว (ด้วยการเสริมกำลังให้กับฐานรากสะพานด้วยเหล็กสมรรถนะสูงที่นำมาใช้เป็นเสาเข็มพืดท่อนเหล็กและเสาเข็มท่อนเหล็ก)
- มาตรการเพื่อรับมือกับการไหลของดิน (มาตรการสำหรับการไหลออกทางด้านข้างของดินตามแนวตลิ่งในพื้นที่ริมชายฝั่ง และมาตรการสำหรับป้องกันการไหลของดินและแผ่นดินไหวโดยการใช้เข็มพืดเหล็ก)
- การปลูกต้นไม้และมาตรการป้องกันน้ำท่วม (การใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเหล็กที่มีลักษณะเป็นโครงตะแกรงเพื่อป้องกันสิ่งที่ย่อยมากับน้ำ และมาตรการป้องกันดินสไลด์โดยใช้ผลิตภัณฑ์เหล็ก)

จากความสัมพันธ์อันดีกับสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทยป็นตลอดจนหน่วยงานอื่นๆ ทั้งภาครัฐ และภาคอุตสาหกรรม สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยก็ได้ส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้โครงสร้างเหล็กเพื่อเข้ามาช่วยป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากภัยธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ ในท้ายที่สุดนี้สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยก็ได้เล็งเห็นว่าเทคโนโลยีและวิธีการต่างๆ ที่ได้นำเสนอไม่ได้เพียงเข้ามาช่วยด้านทานภัยพิบัติอันส่งผลต่อพัฒนาการของภาคอุตสาหกรรมเท่านั้นแต่ยังช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนชาวญี่ปุ่นอย่างยั่งยืนสืบไป

ตารางที่ 1 เทคโนโลยีการใช้โครงสร้างเหล็กและวิธีการด้านทานภัยธรรมชาติ

รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโครงสร้างเหล็กและวิธีการด้านทานภัยธรรมชาติ

ตัวอย่างของเทคโนโลยีในการด้านทานภัยพิบัติและวิธีในการสร้างจุดสนใจ

ณ หน่วยพัฒนาพื้นที่ และองค์กรภาครัฐในพื้นที่ซึ่งมีคณะกรรมการเพิ่มขีดความปลอดภัยแห่งชาติได้ร่วมสนับสนุนผลักดันมาตรการต่างๆ นั้น คณะกรรมการมีความเป็นกังวลไม่เฉพาะต่อความปลอดภัยของสิ่งปลูกสร้างที่สร้างขึ้นใหม่เท่านั้นแต่ยังรวมถึงวิธีที่ใช้ในการบำรุงรักษาสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่เดิมตลอดจนการซ่อมแซมและการเสริมกำลัง และนอกจากนี้ด้วยเหตุที่ได้เกิดมีปัญหาลูกท่อนน้ำท่วมเกิดขึ้นบ่อยครั้งซึ่งมีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นยิ่งขึ้นในประเทศญี่ปุ่น อันส่งผลต่อการให้ความสำคัญของภาครัฐที่จะระงับหรือบรรเทาปัญหาดังกล่าวนี้ โดยเทคโนโลยีในปัจจุบันที่ได้มีการนำมาใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

• เทคโนโลยีการบำรุงรักษาท่าเรือและโครงสร้างเหล็กที่ใช้สำหรับสิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

โครงสร้างเหล็กที่ใช้กับท่าเรือและสิ่งปลูกสร้างเป็นชายฝั่งมักจะได้รับผลกระทบจากการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมที่รุนแรง ซึ่งหากต้องการสมรรถนะในด้านความทนทานต่อการกัดกร่อนที่สูงมากยิ่งขึ้นกว่าเกณฑ์สมรรถนะปกติ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องนำเทคโนโลยีพิเศษเข้ามาใช้ในการที่จะช่วยระงับการเกิดสนิมของผลิตภัณฑ์เหล็ก ตลอดจนเทคโนโลยีที่ใช้ในการประเมินความสมบูรณ์รวมไปจนถึงเทคโนโลยีในการบูรณะบำรุงที่เหมาะสมในการที่จะฟื้นฟูโครงสร้างเหล็กที่เสื่อมสภาพลงและเทคโนโลยีในการเคลือบป้องกันเพื่อให้โครงสร้างเหล็กกลับมาสู่สมรรถนะที่ต้องการเช่นเดิม ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2 3 และ 4 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- วิธีการป้องกันการกัดกร่อน

การป้องกันการกัดกร่อนด้วยการทาสีและการเคลือบผิว: วิธีการในการป้องกันการ

กัดกร่อนให้กับผลิตภัณฑ์โครงสร้างเหล็กสามารถใช้การทาสีและการเคลือบผิวเพื่อป้องกันและลดผลกระทบจากการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการดังกล่าวสามารถจำแนกได้หลายประเภททั้งการทาสี การเคลือบผิวด้วยวัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ การเคลือบผิวด้วยปิโตรลาตัม (petrolatum) ซึ่งทั้งหมดนี้มักจะใช้ในบริเวณที่เป็นระดับน้ำทะเลช่วงต่ำ หรือ Low tidal level (L.W.L)

การป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก หรือ Cathodic Protection: วิธีการป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอก จ่ายส่งต่อไปยังผลิตภัณฑ์เหล็กอย่างต่อเนื่อง สามารถทำได้ 2 วิธีคือ: วิธีแอโนดิก (Anodic) และวิธีแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากภายนอก โดยมากจะถูกนำมาใช้ในบริเวณที่จมอยู่ใต้น้ำและกันทะเล

- วิธีการซ่อมบำรุงและการเสริมกำลังให้กับโครงสร้าง

ในกรณีของการเสริมกำลังให้องค์อาคารในโครงสร้างเหล็ก: ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้างที่สูญเสียพื้นที่หน้าตัดไปจากการกัดกร่อนสามารถทำได้โดยการใช้เหล็กแผ่นหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในกรณีของการซ่อมแซมโครงสร้างทั้งหมดเพื่อป้องกันการกัดกร่อน: วิธีการซ่อมแซมโครงสร้างที่หน้างานสามารถทำได้โดยการใช้ปูนมอร์ตาร์มาหุ้มตัวโครงสร้างไว้ การทาผิวด้วยสารซีเมนต์ (petrolatum lining) และการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่แข็งตัวใต้น้ำ (underwater hardening-type coating)

ในกรณีของการซ่อมแซมโครงสร้างบางส่วนเพื่อป้องกันการกัดกร่อน: ใช้วิธีการเคลือบผิวใหม่ในส่วนที่โพลียูรีเทนเสื่อมสภาพ

รูปที่ 2 ประเภทของมาตรการป้องกันการกัดกร่อนในโครงสร้างเหล็กท่าเรือ/สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

รูปที่ 3 ตัวอย่างการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างท่าเรือ/สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

รูปที่ 4 ตัวอย่างของการซ่อมแซมและการเสริมกำลังให้กับโครงสร้างเหล็กของท่าเรือ/สิ่งปลูกสร้างริมชายฝั่ง

การเสริมกำลังให้กับเสาเข็มเหล็ก

• มาตรการควบคุมสิ่งที่ย่อยมากับน้ำโดยการใช้ท่อเหล็ก

มาตรการควบคุมสิ่งที่ย่อยมากับน้ำโดยการใช้ท่อเหล็ก สภาพแวดล้อมของกระแสน้ำจากภูเขา (ความลาดชันที่ต่อเนื่องของเส้นทางน้ำไหลผ่าน) ได้รับการป้องกันในกรณีที่ดินได้มีการจัดตั้งการดักจับการไหลผ่านของดินและกระแสน้ำผ่านโครงสร้างเหล็กที่ใช้ควบคุมสิ่งที่ย่อยมากับน้ำในช่วงเวลาปกติอื่นๆ และในช่วงที่มีสิ่งที่ย่อยมากับน้ำและเศษไม้ก็จะถูกดักจับโดยการแยกสิ่งที่ย่อยมาจากทางน้ำไหล และดิน หิน และเศษไม้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 1 คุณสมบัติที่สำคัญ คือ

- การดักจับสิ่งที่ย่อยมากับน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

ในการจัดเรียงท่อเหล็กในแนวตั้งและแนวขวาง พื้นที่การดักจับจะถูกตั้งค่าไว้ที่ 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของหินกรวดมน (conglomerate) ในพื้นที่ โดยแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงกระแทกในกรณีที่ได้รับแรงกระทบโดยตรงกับสิ่งที่ย่อยมากับน้ำ; และความสามารถในการดักจับสิ่งที่ย่อยมากับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- การดักจับเศษไม้ที่ย่อยมารวมกับทราย หิน

การดักจับเศษไม้ไม่อย่างมีประสิทธิภาพโดยการแยกสิ่งที่ย่อยมากับน้ำและเศษไม้

- การกันพื้นที่ดักจับ

การกันพื้นที่ที่มีการดักจับการไหลของดินในช่วงเวลาปกติเนื่องจากการยอมรับในเรื่องโครงสร้างชนิดที่ดูดซับน้ำได้

- การอนุรักษ์สภาพแวดล้อมของทางน้ำไหลบนภูเขา

โครงสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะช่วยรักษาความลาดชันอันต่อเนื่องของเส้นทางน้ำโดยไม่มีการแบ่งแยกเส้นทางไหลของน้ำ

หลังจากกำจัดสิ่งที่ย่อยมากับน้ำได้แล้วมีความจำเป็นต้องกู้คืนประสิทธิภาพของโครงสร้างหลักให้กลับสู่สภาพเดิม ดังนั้นจึงมีการใช้มาตรการซ่อมแซมและเสริมกำลังขึ้นอยู่กับระดับความเสียหายของแผงท่อเหล็ก รูปที่ 5 แสดงการประเมินความสมบูรณ์ของโครงสร้างหลักที่ใช้ควบคุมสิ่งที่ย่อยมากับน้ำและมาตรการการซ่อมแซม

ภาพที่ 1 ตัวอย่างของมาตรการควบคุมสิ่งที่ย่อยมากับน้ำโดยการใช้ท่อเหล็ก รูปที่ 5 การประเมินความสมบูรณ์และวิธีการซ่อมแซมสำหรับมาตรการควบคุมสิ่งที่ย่อยมากับน้ำโดยการใช้ท่อเหล็ก

• การใช้ Weathering Steel ในการก่อสร้างสะพาน

ในเหล็ก Weathering Steel ชั้นสนิมจะเกิดขึ้นบนพื้นผิวในช่วงเริ่มต้นของการใช้งาน ต่อมาชั้นป้องกันดังกล่าวนี้จะช่วยยับยั้งการกัดกร่อนไปเอง ประโยชน์ของชั้นป้องกันสนิมของ Weathering Steel คือ มีความต้านทานการกัดกร่อนที่สูงโดยไม่ต้องใช้สารเคลือบผิวใดๆ ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของการใช้งาน Weathering Steel ในโครงสร้างสะพาน ข้อดีด้านการใช้งานคือ:

- การลดต้นทุนตลอดวัฏจักรของโครงสร้าง: การตัดขั้นตอนการใช้สารเคลือบ
- การลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม: การใช้งานโดยไม่ต้องใช้สารเคลือบ
- การปรับปรุงสภาพให้เข้ากับสภาพแวดล้อม: เมื่อเวลาผ่านไปชั้นป้องกันสนิมจะสร้างรูปลักษณะที่กลมกลืนกับธรรมชาติ

ด้วยคุณสมบัติที่ผิดปกติของเหล็ก Weathering Steel จำเป็นต้องทำการตรวจสอบชั้นสนิม และ ทำการประเมินความแข็งแรงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาสภาพของโครงสร้างไว้ การประเมินความสมบูรณ์ของชั้นป้องกันสนิมจะวัดระดับตั้งแต่ 1 ถึง 5 ขึ้นอยู่กับสภาพของสนิม โดยที่ระดับ 3 ~ 5 สภาพของสนิมจะถูกประเมินว่ายังอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ในระดับ 2 จำเป็นที่จะต้องมีการเฝ้าสังเกตอย่างต่อเนื่อง และ ในระดับ 1 จำเป็นต้องทำการตรวจสอบโดยละเอียด และ ต้องมีการซ่อมแซม รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของการประเมินความแข็งแรงของเหล็ก Weathering Steel

ภาพที่ 2 โครงสร้างเหล็กเหล็กที่ใช้ Weathering Steel ในพื้นที่สูงที่และห่างไกล

รูปที่ 6 ตัวอย่างการประเมินความสมบูรณ์ของเหล็ก Weathering Steel

• วิธีการเสริมกำลังของคันดินโดยการใช้เหล็กเชื่อมพืด (Steel Sheet Piles)

ด้วยวิธีนี้การพังทลายของคันดินในช่วงน้ำท่วม และ แผ่นดินไหวจะได้รับการป้องกันเนื่องจากเหล็กเชื่อมพืดที่ปักอยู่ในบริเวณที่มีความลาดชันของคันดิน หรือ ในคันดิน รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของการเสริมกำลังให้กับคันดินโดยการใช้เหล็กเชื่อมพืด มาตรการเฉพาะคือ:

- มาตรการการป้องกันการรั่วซึมที่ฐานคันดิน

ในกรณีที่คันดินด้านใต้ของคันดินเป็นชั้นดินทรายและกรวด เมื่อระดับน้ำสูงขึ้น

อย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการพังทลายของคันดินเนื่องจากการรั่วซึมของน้ำเข้าสู่ฐานคันดินได้ โดยเหล็กเชื่อมพืดที่ปักอยู่บริเวณทางลาดของคันดินจะช่วยสกัดกั้นการไหลของน้ำ ซึ่งจะช่วยป้องกันการพังทลายของคันดิน

- มาตรการการแก้ไขน้ำล้นสันเขื่อนและการรั่วซึมของคันดิน

เพื่อที่จะหยุดวงจรการพังทลายของคันดิน – การกัดเซาะในบริเวณทางลาดของคันดินเนื่องจากน้ำล้นสันเขื่อน → การลดลงของความสูงคันดิน → การเพิ่มขึ้นของน้ำล้นสันเขื่อน → โอกาสการพังทลายที่มากขึ้น การลดลงของความสูงคันดินเนื่องจากน้ำล้นสันเขื่อน ป้องกันได้ด้วยวิธีการวางเหล็กเชื่อมพืดทั้งสองด้านของคันดิน การตอกเสาเข็มเข้าไปในคันดินก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำในคันดินเช่นกัน

- มาตรการการรับมือกับสถานะที่ชั้นดินทรายเป็นตัวด้วยน้ำและเปลี่ยนสภาพเสมือนของเหลว (Liquefaction) เมื่อเกิดแผ่นดินไหว

การเปลี่ยนสภาพของพื้นดินในชั้นของเหลวในคันดินนั้นสามารถป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้เหล็กเชื่อมพืดที่ฝังลงในชั้นดินที่มีสภาพไม่เป็นของเหลว หรือ non-liquefying layer ในบริเวณใกล้เคียงของทางลาดของคันดิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการหยุดยั้งการพังทลายของคันดินที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการเกิดแผ่นดินไหวได้

รูปที่ 7 ตัวอย่างของการเสริมกำลังของคันดินโดยการใช้เหล็กเชื่อมพืด

Table 1 Proposed Steel-structure Technologies and Methods Resistant to Disasters

Application fields Proposed technologies and methods	Tsunami evacuation building, disaster-prevention base during damaging	Seismic retrofitting and multi-purpose application of public facility	Reconstruction and seismic retrofitting of house	Repair and improvement of breakwater and tide embankment	Tsunami measure for coastal facility	Improvement and seismic retrofitting of bridge	Measure for liquefaction	Restoration of ground sunken/flooded area	Measure for flooding/earthquake-induced collapse of river embankment	Slope stabilization and measure for debris flow
①-1 New structural system building using innovative steel materials	○	○	○							
①-2 Steel-structure disaster-prevention base	○	○								
①-3 Seismic/tsunami resistant manmade platform	○	○	○		○			○		
② Steel-structure school facility	○	○								
③ Steel-framed house			○							
④ Port renewal method using steel product				○						
⑤ Seismic reinforcing of pier, revetment and breakwater using steel product				○	○		○			
⑥ Reinforcing of existing bridge foundation using steel pipe sheet pile and pipe pile						○				
⑦ Embankment reinforcement using steel sheet pile									○	
⑧ Permeable debris flow-control dam using steel pipe										○
⑨ Land slide-prevention method using steel product										○
⑩ Bridge applying bridge high-performance steel						○				
⑪ Cut-off revetment using steel sheet pile and steel pipe sheet pile				○				○		
⑫ Measure for side liquefaction of revetment in coastal area				○			○			
⑬ Floating disaster-prevention base	○									
A Measure for liquefaction and earthquake using steel sheet pile							○	○		
B Measure for high tide and tsunamis using steel product				○	○					
C Measure for high tide using steel product (double wall-cofferdam sheet pile method)				○	○					

Fig. 1 Application of Steel-structure Technologies and Methods Resistant to Disasters

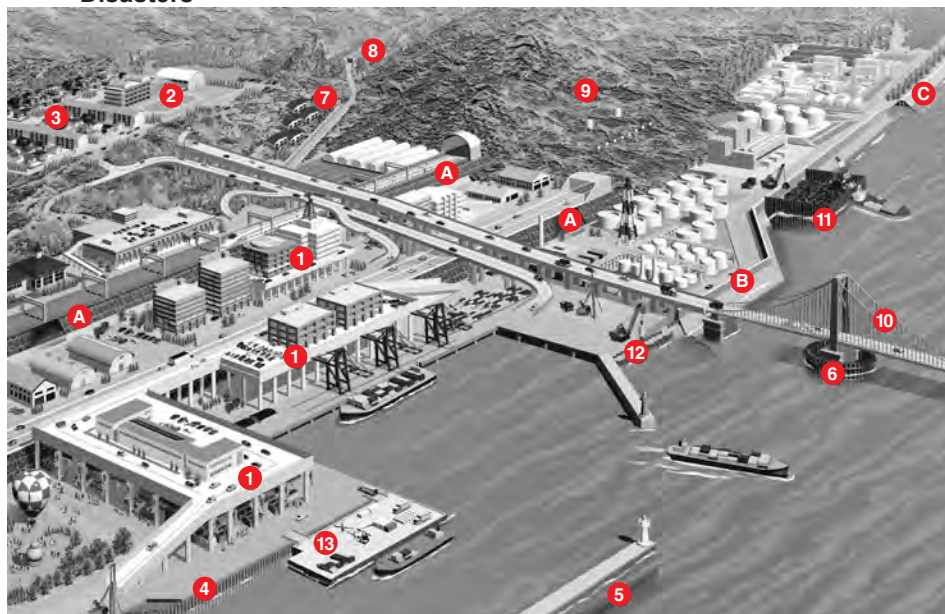


Fig. 2 Type of Corrosion-protection Measures for Port/Harbor Steel Structures

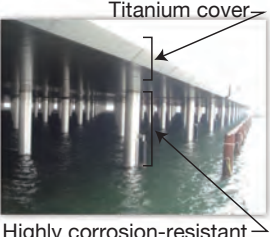
Coating, lining, cladding			Cathodic protection
Coating 	Organic lining 	Metal cladding Titanium cover  Highly corrosion-resistant stainless steel cover	Anodic system 

Fig. 3 Examples of Assessment of Soundness of Port/Harbor Steel Structures

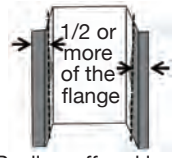
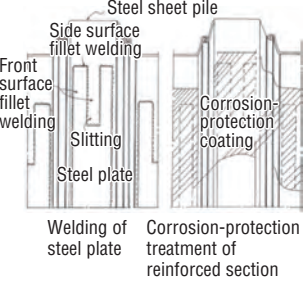
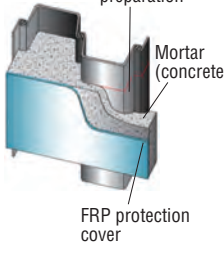
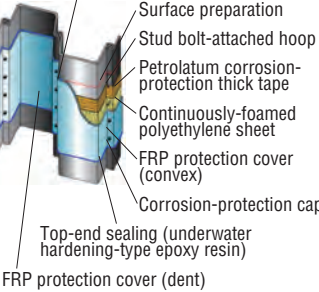
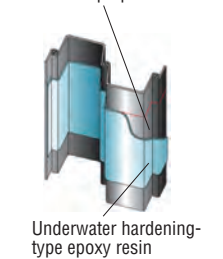
Loss of function ← Deterioration level → Maintaining of function				
	Entire repair	Partial repair	No need for repair	No need for repair
Application condition of corrosion-protection measures	Lining corrosion-protection (example of urethane-lined steel sheet pile)  Peeling-off and loss of lined material are notable, steel product is exposed, and rusting occurs	 Damage that reaches steel product occurs in part of corrosion-protection measure, and occurrence of rusting is judged	 Many damages that do not reach steel product are observed	Coated/lined section  Nearly no change from initial condition is seen, and lined section shows sound condition
	Cathodic corrosion-protection (example of anodic system)  Example in which anode completely disappears	Whether or not the corrosion-protection electric potential (-800 mV) is maintained		 Anode in initial conditions

Fig. 4 Examples of Repair and Reinforcement of Port/Harbor Steel Structures

In the case of reinforcement of steel member	In the case of entire repair of corrosion-protection measure			In the case of partial repair of corrosion-protection measure
Reinforcement using steel plate  Steel sheet pile Side surface fillet welding Front surface fillet welding Slitting Steel plate Welding of steel plate Corrosion-protection treatment of reinforced section	Mortar coating method  Surface preparation Mortar (concrete) FRP protection cover Mortar is filled inside FRP protective cover	Petrolatum coating method Top-end sealing (underwater hardening-type epoxy resin)  Surface preparation Stud bolt-attached hoop Petrolatum corrosion-protection thick tape Continuously-foamed polyethylene sheet FRP protection cover (convex) Corrosion-protection cap Top-end sealing (underwater hardening-type epoxy resin) FRP protection cover (dent) Steel member is coated with petrolatum and covered with FRP buffer material	Underwater hardening-type coating method Surface preparation  Underwater hardening-type epoxy resin Steel member is coated with underwater hardening-type epoxy resin	Repair method using repairing polyurethane  Repairing polyurethane is coated on polyurethane coating-deteriorated section

Note: Source of information on Figs. 2, 3 and 4—Extraction and compilation of data from:
1) Manual for Corrosion Protection and Repair of Port and Harbor Steel Structures (1999, 2009), Costal Development Institute of Technology
2) Handbook on Practical Applications of Port and Harbor Steel Structures, Research Working Group on Corrosion Protection and Repair



During ordinary time: Passing of earth and sand and running water



Condition of capturing of debris flow



Photo 1 Examples of debris flow-control measures using steel pipes



Photo 2 Application of weathering steel bridge in remote mountainous area

Fig. 5 Soundness Assessment of and Repair Methods for Debris Flow-control Measures Using Steel Pipes

Inspection and Soundness Assessment

Damage level	Performance-deteriorated level and definition	Repair measure	Judgement (hollow pipe)
Level 1: Sound	No lowering of performance compared to the level at completion and no obstacle in use	No need for repair	Deformation rate of steel pipe: less than 10% of steel pipe diameter
Level 2: Damaged	Lowering of member durability and fears for lowering of performance compared to the level at completion	Examination of need for repair by means of structural verification	Deformation rate of steel pipe: 10% or more to less than 40% of steel pipe diameter
Level 3: Collapsed	Loss of performance and impossible to demonstrate performance when design load subsequently works	Sure implementation of repair	Deformation rate of steel pipe: 40% or more of steel pipe diameter

*Extraction from Design Handbook on Steel Erosion-control Structures, Sabo & Landslide Technical Center

Level 1
Deformation rate:
 $D_0/D < 10\%$

Before debris removal

After debris removal

Because of no damage, service is continued without repair

Level 2
Deformation rate:
 $10\% \leq D_0/D < 40\%$

*Extraction from the website of Research Group on Erosion-control Steel Structure

Structural verification is conducted, and the section in which occurrence stress surpasses yield stress is repaired by welding two semicircular-divided steel pipes on damaged section

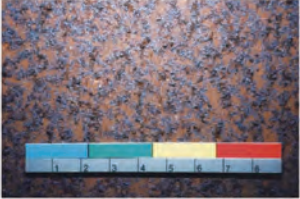
Level 3
Deformation rate:
 $D_0/D \geq 40\%$

*Extraction from Design Handbook on Steel Erosion-control Structures, Sabo & Landslide Technical Center

Damaged section is on-site cut and repaired by on-site welding factory-manufactured new members

Fig. 6 Examples of Assessment of Soundness of Weathering Steel (Examples of bridge with lapse of more than 10 years after erection)

Appearance rating 5



Rust amount is less, and appearance presents comparatively bright color (Standard for future treatment: no need) (Less than about 200 μm)*

Appearance rating 4



Rust particle size is about 1 mm or lower, and rust is fine and uniform (Standard for future treatment: no need) (Less than about 400 μm)*

Appearance rating 3



Rust particle size is 1~5 mm, and rust is coarse (Standard for future treatment: no need) (Less than about 400 μm)*

Appearance rating 2



Rust particle size is 5~25 mm, and rust is scale-shaped (Standard for future treatment: need for follow-up observation) (Less than about 800 μm)*

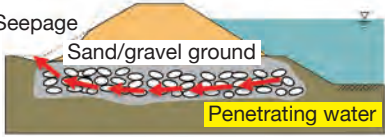
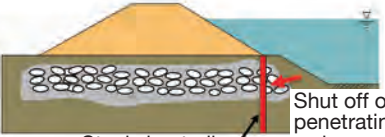
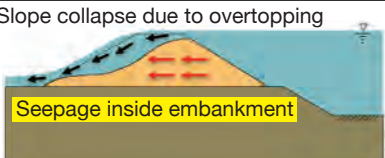
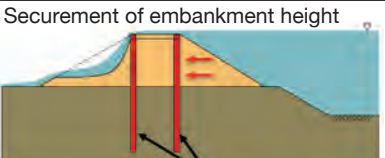
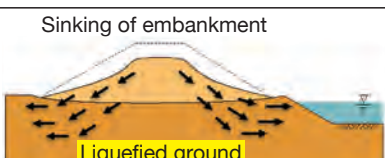
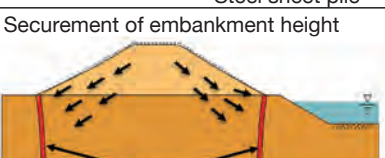
Appearance rating 1



Layered peeling off of rust occurs (Standard for future treatment: measurement of plate thickness) (More than about 800 μm)*

*Figures in parenthesis show standard rust thickness measured as a supplementary means for assessing rust appearance.

Fig. 7 Examples of Embankment Reinforcement Using Steel Sheet Piles

	No provision of measure	After provision of measure
Seepage at foundation	 Seepage Sand/gravel ground Penetrating water	 Shut off of penetrating water Steel sheet pile
Overtopping, seepage into bank structure	 Slope collapse due to overtopping Seepage inside embankment	 Securement of embankment height Steel sheet pile
Liquefaction	 Sinking of embankment Liquefied ground	 Securement of embankment height Steel sheet pile or drainage function-attached pile

(ปกหลัง)

การดำเนินงานของสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้า

การนำเสนอหัวข้อการบรรยายในงานสัมมนา SEAISI

สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (SEAISI) ได้จัดงานสัมมนา 2018 ASEAN Iron and Steel Sustainability Forum ที่นครโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม ในวันที่ 26 พฤศจิกายน ค.ศ. 2018 โดยสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้ส่ง Dr. Masahide Takagi จาก Nippon Steel Corporation (เดิมเรียกว่า Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation) มาให้การบรรยายหัวข้อ “การใช้เหล็กด้านทานกัดกร่อนในโครงสร้างสะพาน” หรือ “Introduction of Weathering Steel & Actual Application for Bridge Structure”

เนื้อหาสำหรับการบรรยายในงานสัมมนาครั้งนี้ได้สอดคล้องกับเนื้อหาที่คณะกรรมการดำเนินงานก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้ขอให้พิจารณา โดยหนึ่งในหัวข้อที่มีการนำเสนอที่มีชื่อว่า “การก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก พัฒนาการ และการประยุกต์ใช้งาน” ซึ่งมีเนื้อหาส่วนหนึ่งเกี่ยวกับการนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาใช้ในงานก่อสร้าง – คุณสมบัติ แนวโน้มในด้านการก่อสร้างสะพานในประเทศญี่ปุ่น ตลอดจนข้อควรระวังในการใช้งาน การตรวจสอบสภาพการกัดกร่อน และวิธีการในการซ่อมแซมหน้าตัดที่เกิดการกัดกร่อน ตลอดจนตัวอย่างกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นจริง โดยสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทยได้มีส่วนร่วมในคณะกรรมการนี้ในฐานะผู้สังเกตการณ์