

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 54 August 2018)

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

หนังสือ Steel Construction Today & Tomorrow เวอร์ชันภาษาอังกฤษ จะมี
การจัดพิมพ์ปีละ 3 ครั้ง และจะมีการกระจายไปยังผู้บริหาร และบุคลากรของบริษัท
ในกลุ่มอุตสาหกรรม และองค์กรต่างๆ ทั่วโลก วัตถุประสงค์ของหนังสือนี้ คือการ
นำเสนอถึงมาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการโครงสร้างเหล็ก ตัวอย่าง
โครงการก่อสร้างยุคใหม่ เทคโนโลยีงานก่อสร้างอันทันสมัย และหัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
กับงานก่อสร้างอาคาร และงานวิศวกรรมโยธา

เพื่อให้ผู้อ่านชาวไทย ได้เข้าใจบทความในหนังสือนี้ได้ดียิ่งขึ้น ก็ได้มีการดำเนินการ
จัดเตรียมเวอร์ชันภาษาไทย เพื่อแนบไปกับหนังสือเวอร์ชันภาษาอังกฤษ ในส่วนของรูป
ถ่าย ภาพและตาราง จะแสดงในเวอร์ชันภาษาไทยเฉพาะชื่อภาพและชื่อตาราง ซึ่งควร
ต้องดูเวอร์ชันภาษาอังกฤษประกอบไปด้วยเพื่อความสมบูรณ์ชัดเจนของเนื้อหา
นอกจากนี้หากต้องการอ้างอิงรายละเอียดในเชิงเทคนิค ก็โปรดอ้างอิงจากหนังสือเวอร์
ชันภาษาอังกฤษเป็นหลัก

ฉบับที่ 54 เดือนสิงหาคม 2018: สารบัญ

บทความประจำฉบับ: มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว	
ข้อกำหนดสำหรับสะพานทางหลวง	
-ปรับปรุงแก้ไขในปี 2017 โดยกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน คมนาคม และการท่องเที่ยว	1
คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กให้มีความยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว	4
การออกแบบสะพานโครงสร้างเหล็กให้ประหยัด และการประเมินด้านน้ำหนักในงานบำรุงรักษา	6
การปรับปรุงกำลังต้านทานการล้าของสะพานโครงสร้างเหล็กและการประเมินผลของการซ่อมแซมและการเสริมกำลัง	9
การใช้งานและการบำรุงรักษาสะพานโครงสร้างเหล็กต้านทานการกัดกร่อน และการซ่อมแซมความเสียหายจากการกัดกร่อนสำหรับสะพานโครงสร้างเหล็ก	12
บทความพิเศษ: การใช้เหล็กกล้าไร้สนิมประเภท	
ความเป็นไปได้ในการพัฒนานวัตกรรมการก่อสร้างที่มีการใช้ข้อมูลทางสถิติ	15
JSSC Operations	ปกหลัง

หมายเลขหน้าที่กำกับ อ้างอิงนิตยสารฉบับภาษาอังกฤษ ฉบับที่ 54

ฉบับภาษาไทย: ©The Japan Iron and Steel Federation 2017

The Japan Iron and Steel Federation

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

โทรศัพท์: 81-3-3667-0245

โทรศัพท์ : 81-3-3669-4815

ที่อยู่อีเมล: sunpou@jissf.or.jp

เว็บไซต์: <http://www.jissf.or.jp>

บทความฉบับ

มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว

(หน้า 1~3)

มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว (1)

ข้อกำหนดสำหรับสะพานทางหลวง

-ปรับปรุงแก้ไขในปี 2017 โดยกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน คมนาคม และการท่องเที่ยว-

โดย Masahiro Shirato

หัวหน้าแผนกสะพานแรงงานโครงสร้าง สถาบันการจัดการที่ดินและโครงสร้างพื้นฐาน
แห่งชาติ

บทนำ

ข้อกำหนดสำหรับงานสะพานทางหลวงของประเทศญี่ปุ่น (ซึ่งต่อไปจะใช้คำว่า SHB) ได้มีการปรับปรุงแก้ไขในปี 2017 โดยกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคม และการท่องเที่ยว หรือ MLIT และได้ดำเนินการเผยแพร่ให้กับเจ้าหน้าที่งานทาง SHB เป็นข้อกำหนดการออกแบบที่เป็นตัวบทกฎหมายสำหรับงานทางหลวงทางด่วน และถนนประเภทอื่นๆ ในประเทศญี่ปุ่น

ที่มาของการปรับปรุงแก้ไขในครั้งนี้สืบเนื่องมาจากนโยบายล่าสุดของกระทรวงฯ ซึ่งประกอบไปด้วย

- ✓ การพัฒนาผลของงานก่อสร้างและการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานให้ดียิ่งขึ้น
- ✓ การสร้างความมั่นใจในการใช้สะพานโดยพยายามควบคุมต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตให้ต่ำลงในขณะที่มีระดับความเชื่อมั่นที่สูงขึ้น

สิ่งสำคัญที่จะต้องดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวคือการรวบรวมพัฒนาการที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรมและภาควิชาการภายในระยะเวลาอันจำกัด ดังนั้นแล้วจึงได้มีการปรับโครงสร้างของ SHB ใหม่ทั้งในด้านข้อกำหนดของการออกแบบและกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องซึ่งส่งผลให้ผู้นำไปใช้มีข้อมูลและหลักการอ้างอิงเพื่อประกอบการตัดสินใจว่าจะบูรณะบำรุงสะพานให้สอดคล้องกับข้อกำหนดได้อย่างไร

ข้อกำหนดเกณฑ์สมรรถนะ

ในการพิจารณาสิ่งก่อสร้างซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุและระบบโครงสร้างที่หลากหลาย มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการร่างข้อกำหนดที่ชัดเจนที่สามารถจะนำไปใช้ในการตรวจสอบสมรรถนะของโครงสร้างแบบทางตรงไม่เฉพาะจะพิจารณาแต่เพียงแค่ด้านความสอดคล้องกับมาตรฐานเท่านั้น ดังนั้นแล้วจึงได้มีการจัดทำโครงสร้างข้อกำหนดเกณฑ์สมรรถนะในมาตรฐานฉบับปรับปรุงปี 2017 โดยมีใจความสำคัญ 5 ประเด็นคือ

- #1. ข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้งานสะพานระบบต่างๆ ซึ่งจำแนกออกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้แก่ สมรรถนะด้านกำลัง สมรรถนะด้านความทนทาน และสมรรถนะองค์ประกอบ
- #2. อายุการใช้งานของสะพานกำหนดไว้ที่ 100 ปี
- #3. ทั้งข้อกำหนดสมรรถนะด้านกำลังรับและความทนทานได้มีการเรียงลำดับในการพิจารณาจาก ระดับของระบบโครงสร้างสะพานระดับของระบบย่อย (โครงสร้าง

ส่วนบน โครงสร้างส่วนล่าง และจุดต่อระหว่างโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง) ไปจนถึงระดับของชิ้นส่วนย่อยที่นำมาประกอบ

#4. ในแต่ละหัวข้อจะมีการแสดงข้อกำหนดเชิงสมรรถนะและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องไปพร้อมๆ กัน

#5. ข้อกำหนดสมรรถนะด้านกำลังของสะพานจะมีการกำหนดไว้โดย เมตริกสมรรถนะซึ่งประกอบไปด้วยเงื่อนไขในการออกแบบและสภาพของสะพาน/ข้อกำหนดในการใช้งาน ซึ่งมีระบุทั้งระดับความเชื่อมั่นของการพิจารณาเงื่อนไขในการออกแบบและสภาพของสะพาน/ข้อกำหนดในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

โครงสร้างเชิงสมรรถนะ

รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ และตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบนิยามของสมรรถนะด้านกำลังและด้านความทนทาน สมรรถนะด้านกำลังของสภาพเป็นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับน้ำหนักของระบบโครงสร้างสะพาน และเป็นหนึ่งในสมรรถนะหลักของข้อกำหนดเชิงสมรรถนะพื้นฐานที่มีอยู่ 3 ด้าน

ระบบสะพานจำเป็นจะต้องคงระดับความปลอดภัยให้อยู่ในระดับที่สูงเพียงพอลดเสี่ยงต่อภาวะวิบัติ และยังคงรักษาระดับของความปลอดภัยและระดับการใช้งานได้ดีต่อลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่หลากหลายตลอดอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้

สำหรับสมรรถนะด้านความทนทานนิยามว่าเป็นข้อกำหนดที่จำเป็นที่ควรต้องพิจารณาก่อนสมรรถนะด้านกำลังของสะพาน ระบบโครงสร้างสะพานจำเป็นจะต้องมีสมรรถนะด้านกำลัง ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการตลอดอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้ โดยพิจารณาถึงการเสื่อมสภาพจากสาเหตุต่างๆ

หรืออีกนัยหนึ่ง SHB ไม่ได้ระบุถึงความจำเป็นที่จะต้องทำนายกำลังรับน้ำหนักที่เหลือของสะพานเมื่อสิ้นอายุการใช้งานโดยพิจารณาถึงปัจจัยของการเสื่อมสภาพด้วยเหตุที่การประเมินกำลังรับน้ำหนักที่แปรเปลี่ยนไปตามระยะเวลาซึ่งต้องรับน้ำหนักบรรทุกที่หลากหลายรูปแบบ และในขณะเดียวกันจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในทางปฏิบัติ

SHB จึงระบุเฉพาะความจำเป็นที่จะต้องประเมินระดับความเชื่อมั่นในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ อันเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ในขั้นตอนของการคำนวณโดยไม่ไปขัดแย้งกับการเสื่อมสภาพของวัสดุหรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยสมมติฐานที่กล่าวถึงดังเช่นพื้นที่หน้าตัดประสิทธิภาพ หรือกำลังรับน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง

ข้อกำหนดสมรรถนะความทนทานของสะพาน หมายถึงการตรวจสอบอายุการให้บริการซึ่งเรียกว่าการออกแบบตลอดอายุการใช้งาน ด้วยเหตุที่จะต้องพิจารณาถึงความทนทานของส่วนประกอบ ระบบย่อย ความเป็นไปได้ของการเกิดความเสียหายในกรณีที่ย่ำแย่ที่สุด และความจำเป็นในการบำรุงรักษาซ่อมแซมหรือกระทั่งการเปลี่ยนส่วนประกอบต่างๆ

หรืออาจกล่าว SHB การพิจารณาถึงความน่าจะเป็นของสมรรถนะด้านความรู้ของสะพาน ซึ่งเหมือนกับการพิจารณาความเป็นไปได้ในมิติต่างๆ ทางด้านความทนทาน ความสะดวกในการเข้าถึงเพื่อตรวจสอบ ความยากง่ายในการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมตลอดจนการเปลี่ยนส่วนต่างๆ ของสะพานภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ตลอดอายุการใช้งานของสะพาน

รูปที่ 1 ข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ

ตารางที่ 1 นิยามของข้อกำหนดเชิงสมรรถนะตามระดับความเชื่อมั่น

การออกแบบตามอายุการใช้งานของสะพาน

การออกแบบตามอายุการใช้งานของสะพานเป็นคำที่เพิ่งจะนิยามออกมา ว่าเป็นระยะเวลาซึ่งระบบโครงสร้างสะพานสามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้โดยสอดคล้องกับแผนการปรับปรุงรักษา โดยระยะเวลาให้บริการที่เป็นมาตรฐานทั่วไปสำหรับโครงสร้างสะพานได้ถูกกำหนดไว้ที่ 100 ปี

ทั้งนี้จากข้อกำหนดใน SHB ระยะเวลาให้บริการมาตรฐานที่ใช้ในการออกจะต้องพิจารณาถึงระยะเวลาอ้างอิงที่สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกทุกลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะด้านกำลัง ในทางปฏิบัติวิศวกรจำเป็นต้องอ้างอิงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบเมื่อได้มีการตรวจสอบถึงระดับของความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างหนึ่งๆ ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านการบูรณะบำรุงที่มีลักษณะเฉพาะ โดยเปรียบเทียบระหว่างแผนในการบูรณะบำรุงกับการบูรณะบำรุงที่แย่ที่สุดที่อาจเกิดขึ้น

กระบวนการในการตรวจสอบสมรรถนะอย่างเป็นระบบ

ในทางปฏิบัติตรวจสอบเพื่อยืนยันถึงสมรรถนะระบบโครงสร้างสะพานทำได้ค่อนข้างยาก ด้วยเหตุที่สะพานเป็นระบบโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นการจัดทำข้อกำหนดเพื่อให้สามารถใช้ครอบคลุมกับสะพานซึ่งมีอยู่หลากหลายรูปแบบและประกอบขึ้นจากวัสดุหลากหลายประเภททำได้ค่อนข้างยาก

ดังนั้น ในทางปฏิบัติ SHB จึงยอมให้สามารถตรวจสอบสมรรถนะขององค์ประกอบสะพานแต่ละส่วนทั้งสมรรถนะด้านกำลังและสมรรถนะด้านความทนทานแล้วจึงนำมาพิจารณารวมเข้าด้วยกัน ในแง่ของการตรวจสอบสมรรถนะด้านกำลัง สมรรถนะของระบบโครงสร้างสะพานจะถูกนำเสนอในรูปของสมรรถนะด้านกำลังของระบบหรือส่วนประกอบแยกย่อยที่เป็นส่วนสำคัญ

ในส่วนของการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานได้มีการจำแนกประเภทในการประเมินออกเป็น 3 รูปแบบ ซึ่งประกอบไปด้วยความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างส่วนบน ของโครงสร้างส่วนล่าง และของจุดต่อระหว่างโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง

การพิจารณาเสถียรภาพของระบบย่อยซึ่งมีจุดหมุนพลศาสตร์สามารถดำเนินการได้ที่ระดับนี้ ในทำนองเดียวกัน ประเภทของการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานทั้ง 3 รูปแบบจะได้มีการกำหนดเอาไว้อย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ที่ดำเนินการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบน โครงสร้างส่วนล่างและจุดต่อระหว่างโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่างสามารถทำได้อย่างมีหลักการและเป็นระบบ

สำหรับด้านสมรรถนะความทนทานของสะพาน ในมาตรฐานได้ยอมให้มี การกำหนดระยะเวลาของความทนทานในการออกแบบขึ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่คุณสมบัติของวัสดุและขนาดของหน้าตัดประสิทธิภาพยังคงอยู่ในช่วงที่คาดการณ์ไว้ในช่วงของการประเมินสมรรถนะด้านกำลังของสะพาน

การกำหนดระยะเวลาของความทนทานในการออกแบบขึ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนนั้นไม่จำเป็นต้องกำหนดที่ระยะเวลา 100 ปี กล่าวคือชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนเท่านั้นที่มีความจำเป็นจะต้องออกแบบให้สามารถใช้งานได้ถึง 100 ปี ซึ่งส่งผลทำให้วัฏกรรมที่นักวิจัยแต่ละรายได้พยายามคิดค้นขึ้นมานั้นมีความเป็นไปได้สำหรับการออกแบบเพื่อความคงทนในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้การพิจารณาว่าชิ้นส่วนสามารถถอดเปลี่ยนได้ก็จะส่งผลให้โครงสร้างสะพานสามารถคงสมรรถนะด้านกำลังไว้ได้อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างการใช้งานชิ้นส่วนองค์ประกอบต่างๆ เช่น พื้นสะพาน อุปกรณ์รองรับการกด หรือระบบการค้ำยันที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ เป็นต้น ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนนั้นก็จะมีการพัฒนาเทคนิคนวัตกรรมต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกด้านการตรวจสอบหรือการซ่อมแซมที่สามารถดำเนินการได้ง่าย แม้ว่าจะมีข้อมูลการทดสอบและผลการยืนยันที่จำกัดก็ตาม

ในทางกลับกัน ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนอาจจะมีการกำหนดระยะเวลาของความทนทานในการออกแบบไว้ให้นานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการเข้าถึงเพื่อสำรวจหรือซ่อมแซมเพื่อให้โครงสร้างสะพานมีอายุการใช้งานยาวนานตามที่ออกแบบสามารถทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ทั้งหมดที่กล่าวถึงนั้นแล้วรายละเอียดต่างๆ ในมาตรฐานก็ยังประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็นพื้นฐานที่จำเป็นตลอดจนข้อกำหนดด้านสมรรถนะ ตลอดจนมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและมีความเกี่ยวข้องสอดคล้องกับหลักการที่ใช้ในการประเมิน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วหลักการที่กล่าวถึงนี้ได้ถูกหยิบยกเข้ามาในมาตรฐานฉบับปรับปรุงในปี 2003

องค์ความรู้ต่างๆ ที่ได้รวบรวมไว้ได้แสดงให้เห็นว่าสมการที่ใช้ในการออกแบบ ตัวคูณกำลัง เล็กกว่าที่คิดจำกัดอื่นๆ ไม่ได้เป็นสิ่งที่บังคับให้ทำ หรือกล่าวได้ว่าผู้ใช้มีทางเลือกที่จะเลือกใช้แต่สิ่งที่เลือกใช้จะต้องไม่ขัดกับข้อกำหนดภาคบังคับในด้านสมรรถนะ

กล่าวโดยสรุปแล้วมาตรฐานจะใช้สำหรับเป็นเกณฑ์อ้างอิงในการกำหนดระดับสมรรถนะเป้าหมายตามระดับความน่าจะเป็นหนึ่งๆ ดังนั้นแล้วสมรรถนะของการใช้งานที่พิจารณาเป็นทางเลือกสามารถที่จะนำมาใช้ได้ครบถ้วนวิธีการดังกล่าวสามารถพิสูจน์ได้ว่าจะให้ผลเชิงสมรรถนะที่เทียบเท่าหรือดีขึ้นกว่าที่ระบุในมาตรฐานตามระดับความน่าจะเป็นนั้นๆ

สมรรถนะด้านกำลังของสะพานและหลักการระดับความเชื่อมั่น

ตารางที่แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของเมตริกเชิงสมรรถนะ

เกณฑ์ในการออกแบบสำหรับการพิจารณาระยะเวลาในการให้บริการ (การใช้งาน) ที่ 100 ปี ซึ่งพิจารณาน้ำหนักบรรทุกในรูปแบบที่แตกต่างกัน ตามระดับของความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้น ได้ถูกแบ่งไปตามสภาพการใช้งานในลักษณะต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยสภาพที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง สภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง และสภาพที่นานๆ จะเกิดขึ้นครั้ง

นอกจากนี้สำหรับการออกแบบในแต่ละกรณี สภาพของสะพานจะต้องคงระดับอัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างให้มากเพียงพอเพื่อป้องกันการวิบัติความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น และต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้น แต่ทั้งนี้ระดับความเชื่อมั่นเพราะอาจแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนความปลอดภัยและข้อกำหนดในการออกแบบในแต่ละสภาพการใช้งาน

กล่าวอีกนัยหนึ่ง คำว่า “ข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ” ใน SHB ได้รวมถึงขอบเขตสำหรับระดับความเชื่อมั่นในแต่ละลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่พิจารณา รวมไปถึงจนถึงความต้านทานในแต่ละรูปแบบ โดยสำหรับการนำเสนอหรือการขยายความของคำว่าเมตริกเชิงสมรรถนะ จะอธิบายว่าเป็นข้อกังวลของผู้ใช้รถใช้ถนนยกตัวอย่างเช่น “การออกแบบได้พิจารณาเงื่อนไขอะไร” “สะพานจะปลอดภัยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวหรือเหตุการณ์อันตรายอื่นๆ หรือไม่” “ระดับความเชื่อมั่นมีมากน้อยเพียงใด” ฯลฯ

ข้อกำหนดฉบับปรับปรุงล่าสุดนี้ได้มีการนำปัจจัยบางส่วนที่ใช้สำหรับการออกแบบในมิติของสมรรถนะด้านกำลังแทนที่จะใช้รูปแบบของอัตราส่วนความปลอดภัยใน

ลักษณะเดิม การใช้การรวมน้ำหนักบรรทุก (load combination) ในการออกแบบจะถูกมองว่า เป็นการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกลักษณะต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กันตลอดอายุการใช้งานของสะพาน ณ ความเป็นไปได้ของความเสียหายในการเกิดซ้ำที่กำหนดไว้

ตัวคูนน้ำหนักบรรทุกและการรวมน้ำหนักบรรทุกจะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงโอกาสและระดับความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างสะพาน โดยทั้งนี้ได้เคยมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการรวมน้ำหนักบรรทุกในขั้นตอนของการออกแบบและผลที่ได้รับของข้อกำหนดฉบับก่อน เทียบกับตัวคูนที่นำมาใช้ในการพิจารณาตามข้อกำหนดปัจจุบัน

ถึงแม้ว่าข้อกำหนดฉบับนี้จะสามารถใช้อ้างอิงเกณฑ์ในการรวมน้ำหนักบรรทุก แต่ก็ได้มีการนำแบบจำลองมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) เข้ามาใช้ในการพิจารณากลุ่มน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบให้มีสมรรถนะ 100 ปี กับจำนวนสะพานรวมกว่า 60 แห่ง โดยพร้อมกันนี้ขอให้มีการพิจารณาแบบจำลองน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างตามระดับความน่าจะเป็น โดยใช้แบบจำลองกลุ่มน้ำหนักบรรทุกของ Ferry-Borges Castanheta ซึ่งเป็นการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ทั้งน้ำหนักบรรทุกจร ผลจากอุณหภูมิแรงลม ผลจากแผ่นดินไหว และน้ำหนักบรรทุกจากหิมะ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ากลุ่มน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบในสถานการณ์ที่แตกต่างกันนั้นตามข้อกำหนดของมีระดับความน่าจะเป็นถึง 95% โดยพิจารณาระยะเวลาของการเกิดซ้ำของกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่ 100 ปี

ระดับขีดจำกัดของความต้านทานได้ถูกนิยามว่าเป็นขอบเขตของสภาวะ 2 สภาวะดังตารางที่ 2 ตัวคูนความต้านทานและตัวคูนประกอบอื่นๆ ได้ถูกกำหนดให้นำมาใช้กับความต้านทานระบุ (nominal resistance) อันเป็นไปตามสภาวะที่ขีดจำกัด โดยที่ตัวคูนความต้านทานจะพิจารณาว่าอยู่ภายใน 5% ของการกระจายตัวของความต้านทาน โดยที่ตัวคูนความต้านทานจะไม่สัมพันธ์กับความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำ

ตารางที่ 2 เมทริกซ์สมรรถนะสำหรับงานทางด่วนและทางหลวงของประเทศญี่ปุ่นตลอดจนถนนสายรองอื่นๆ

หมายเหตุ

ข้อกำหนดเกณฑ์สมรรถนะเป็นสิ่งที่จำเป็นยิ่ง ต่อการพัฒนาในมิติต่างๆ ตั้งแต่ มิติของวัสดุ ไปจนถึงมิติของส่วนประกอบที่ใช้สำหรับเป็นระบบโครงสร้างสะพาน

มาตรฐานฉบับปรับปรุงแก้ไขนี้ได้รับการคาดหวังว่าจะช่วยส่งเสริมขับเคลื่อนให้เกิดพัฒนาการด้านการออกแบบและเทคโนโลยีการก่อสร้างเชิงนวัตกรรม เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการสาธารณะที่หลากหลายทั้งในด้านการลดต้นทุนและระยะเวลาที่ต้องใช้ในขณะที่ยังคงระดับความเชื่อมั่นและคุณภาพของงานก่อสร้าง สำหรับข้อกำหนดฉบับปรับปรุงแก้ไขของ SHB นี้ก็ได้ผนวกการพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ และตัวคูนสำหรับหลักสมรรถนะสูงซึ่งอยู่ในหมวดที่เรียกว่า SBHS (steel for bridge high-performance structure) และสลักเกลียวรับแรงดึงสูงเกรด S14T

หลักการของข้อกำหนดเชิงสมรรถนะยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาข้อกำหนดด้านการออกแบบสำหรับงานซ่อมแซมโครงสร้างที่ใช้อยู่เดิม ด้วยเหตุที่ข้อกำหนดในการออกแบบสำหรับโครงสร้างที่ใช้อยู่เดิมนี้นี้จะต้องมีการรองรับปัจจัยแวดล้อมที่หลากหลายมากกว่าโครงสร้างใหม่

เราหวังว่าจะมีพัฒนาการของข้อกำหนด SHB สำหรับงานซ่อมแซมบูรณะบำรุง โดยนำหลักการเชิงสมรรถนะนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป



Masahiro Shirato: Head of Bridge and Structures Division, National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM), Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan

Fig. 1 Performance Requirements

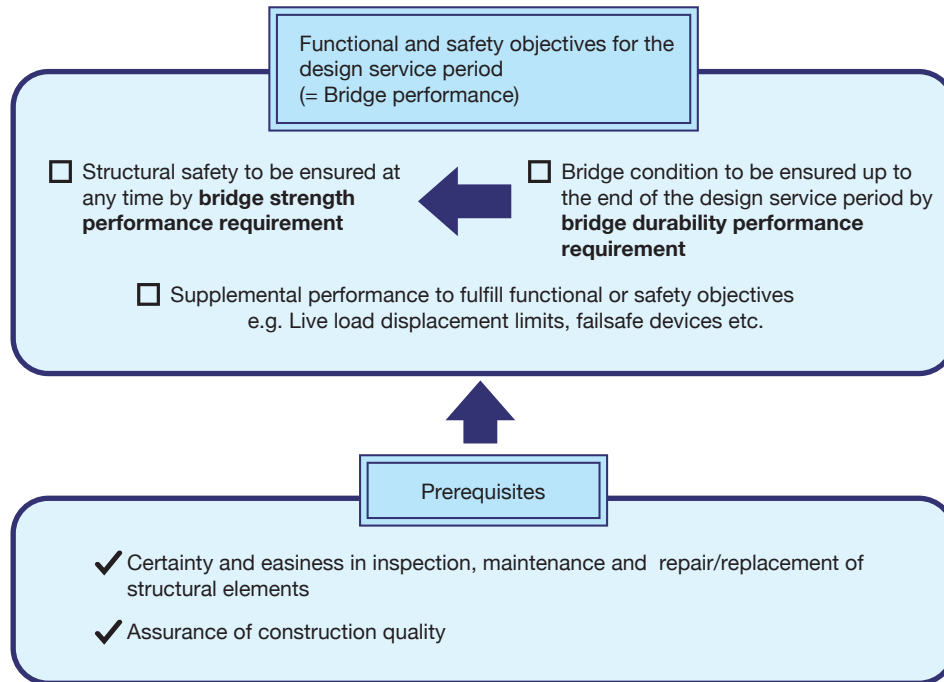


Table 1 Definitions of Performance Requirements Including Reliability

	Bridge strength performance	Bridge durability performance
Action/load requirements	Instantaneous simultaneous actions and loads at any time during the design service life (=100 years)	Accumulation of persistent actions/effects and long-lasting cyclic actions/effects up to the end of design service life (=100 years)
Resistance/durability requirements	The bridge and its components (elements) shall maintain the relevant strength margins for required safety and load-carrying functions, respectively.	It shall be ensured that material deterioration or distress to structural elements will not violate design assumptions to hold the bridge strength performance by the end of the given design service life.
Typical verification index	Strength or displacement on load-displacement curves	Period on the time axis in terms of maintaining strength design assumptions

Table 2 Performance Matrix for National Expressways and Highways and Other Related Arterial Roads

States	States from the viewpoint of load-carrying function		State from the viewpoint of structural safety
	Function State 1: The bridge is intact to carry loads.	Function State 2: While the load-carrying function degrades at parts of elements, the bridge still holds the load-carrying function prescribed for the corresponding situation.	Safety State: The bridge has a relevant safety margin to avoid a critical state.
Design situations			
Prevailing a permanent or variable load	The fulfillment of the state is required with a given reliability which is supposed to be different from that for structural safety.	(Not required)	The fulfillment of the state is required with a given reliability.
Prevailing rare kind or scale of load	(Not required)	The fulfillment of the state is required with a given reliability which is supposed to be different from that for structural safety.	The fulfillment of the state is required with a given reliability.
LS1 LS2 LS3 LS1, LS2, and LS3 = Limit State 1, Limit State 2, and Limit State 3, respectively			

(หน้า 4~5)

มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว (2)

คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กให้มีความยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว

โดย Kazuo Tateishi

ประธานคณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กให้มีความยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว
(อาจารย์มหาวิทยาลัย Nagoya)

ณ ปัจจุบันในประเทศญี่ปุ่นมีความจำเป็นต้องมีการเตรียมการเพื่อรองรับกับการเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่มีการคาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ยกตัวอย่างเช่นแผ่นดินไหวภายในมหานครโตเกียวและแผ่นดินไหว Nankai/Tonankai ซึ่งมีความต้องการ ข้อกำหนดด้านโครงสร้างที่จะสร้างความมั่นใจในด้านความปลอดภัยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ขึ้น ไม่เฉพาะกับโครงสร้างที่จะมีการก่อสร้างในอนาคตแต่ยังรวมถึงโครงสร้างจำนวนมากที่ก่อสร้างแล้วเสร็จไปเรียบร้อยแล้ว และในขณะเดียวกันก็มีความจำเป็นที่จะต้องบูรณะบำรุงโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันให้เกิดความปลอดภัยได้งบประมาณที่จำกัด

ในการที่จะดำเนินกิจกรรมต่างๆให้สอดคล้องกับข้อจำกัดดังกล่าวมีความจำเป็นที่จะต้องส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาด้านเทคโนโลยีที่สามารถช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการบูรณะบำรุงซ่อมแซมโครงสร้างพื้นฐานในขณะที่ยังคงระดับความปลอดภัยไว้ได้ โดยสำหรับงานโครงสร้างเหล็กมีความจำเป็นที่จะต้องคัดกรองเทคโนโลยีที่สามารถประเมินสมรรถนะของโครงสร้างได้อย่างแม่นยำนอกจากนี้ยังมีความจำเป็นที่จะต้องส่งเสริมการพัฒนาด้านเทคโนโลยีไม่เฉพาะด้านการออกแบบให้เกิดความประหยัดเท่านั้น แต่รวมถึงไปถึงด้านการลดต้นทุนค่าก่อสร้างตลอดจนประสิทธิผลของการบูรณะบำรุงโครงสร้างเหล็กที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเพื่อยืดอายุการใช้งานของโครงสร้างให้ยาวนานมากยิ่งขึ้น

ในท้ายที่สุดมีคำอยู่สองคำคือ “ความยืดหยุ่นที่สูงขึ้น” และ “อายุการใช้งานงานที่ยาวนานขึ้น” ซึ่งอธิบายความถึงกิจกรรมที่ตามมาของคณะกรรมการงานวิจัยชุดนี้

ขอบเขตการดำเนินงานของคณะกรรมการวิจัย

คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กให้มีความยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาวได้ถูกก่อตั้งขึ้นในปี 2015 ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้สมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทยหรือ Japanese Society of Steel Construction (JSSC) โดยเป็นโครงการศึกษาวิจัยที่สนับสนุนโดยสมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย หรือ Japan Iron and Steel Federation (JISF) แผนการปฏิบัติการของคณะกรรมการได้แสดงไว้ดังรูปที่ 1

คณะกรรมการวิจัยจำนวนมากได้รับการสนับสนุนโดย JISF และเริ่มกิจกรรมด้านงานวิจัยตั้งแต่ต้นปี 1997 (ดูตารางที่ 1) คณะกรรมการเหล่านี้ได้มุ่งเน้นทางด้านงานวิจัยในระยะยาว โดยในระหว่างทางมีความจำเป็นที่จะต้องแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับสะพานโครงสร้างเหล็กโดยทั้งนี้ผลงานวิจัยก็ได้สะท้อนไปสู่การเตรียมการสำหรับการจัดทำมาตรฐานและแนวทางปฏิบัติต่างๆ ที่ตามมา คณะทำงานของคณะกรรมการวิจัยได้สรุปผลงานที่ได้ดำเนินการมาและตีพิมพ์ออกมาเป็นรายงานทางเทคนิคของ JSSC (ฉบับภาษาญี่ปุ่น)

วัตถุประสงค์หลักประการหนึ่งของคณะกรรมการวิจัยชุดปัจจุบันเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมงานวิจัยเพื่อพัฒนาให้งานก่อสร้างสะพานโครงสร้างเหล็กเกิดความยืดหยุ่นและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนักเพื่อที่จะขยายการใช้

งานสะพานโครงสร้างเหล็กให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้นต่อไป เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายดังกล่าวนี้มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบการมีส่วนร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบสะพานโครงสร้างเหล็กที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และนำผลงานวิจัยไปใช้สำหรับประกอบการจัดทำมาตรฐานและแนวทางสำหรับการออกแบบในอนาคต

ทั้งนี้ ผู้เขียนได้ถูกเรียนเชิญโดย JSSC ให้ดำรงตำแหน่งประธานคณะกรรมการ โดยมี Prof. Yoshiaki Okui จาก Saitama University และ Prof. Jun Murakoshi จาก Tokyo Metropolitan University เข้ามาดำรงตำแหน่งเป็นรองประธานคณะกรรมการ นอกจากนี้ยังมีผู้เชี่ยวชาญอีก 25 ท่านจากสาขาต่างๆ ทั้งจากภาคอุตสาหกรรม หน่วยงานราชการ ตลอดจนหน่วยงานภาคการศึกษาเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของคณะกรรมการวิจัยชุดนี้

รูปที่ 1 แผนการปฏิบัติงานด้านงานวิจัยของคณะกรรมการด้านสะพานโครงสร้างเหล็กให้มีความยืดหยุ่นและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

คณะทำงานสามชุดเพื่อส่งเสริมงานวิจัยเฉพาะทาง

ได้มีการแต่งตั้งคณะทำงานจำนวนสามชุดภายในคณะกรรมการวิจัย เพื่อการดำเนินกิจกรรมด้านการสำรวจและการวิจัยในประเด็นเฉพาะ อันประกอบไปด้วย:

- คณะทำงานด้านการออกแบบให้เกิดความประหยัด: มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการให้สามารถออกแบบสะพานโครงสร้างเหล็กได้อย่างประหยัดแต่ยังคงมีความสามารถในการต้านทานต่อน้ำหนักบรรทุกและต้านทานต่อแผ่นดินไหว (หัวหน้าทีม: Prof. Yoshiaki Okui จาก Saitama University)
- คณะทำงานเพื่อศึกษาถึงกำลังต้านทานการล้าของสะพานของสะพานโครงสร้างเหล็ก: มีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงการออกแบบเพื่อต้านทานการล้าของสะพานโครงสร้างเหล็ก ตลอดจนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการลดผลกระทบจากปัญหาด้านการล้า (หัวหน้าทีม: Prof. Kengo Anami จาก Shibaura Institute of Technology)
- คณะทำงานด้านความทนทานต่อการกัดกร่อนของสะพานโครงสร้างเหล็ก: มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีในการต้านทานการกัดกร่อนสำหรับสะพานโครงสร้างเหล็กที่ใช้เหล็กธรรมดาและเหล็กต้านทานการกัดกร่อน (หัวหน้าทีม: Prof. Eiji Iwasaki จาก Nagaoka University of Technology)

เพื่อให้เกิดการพัฒนาด้านความยืดหยุ่นและอายุการใช้งานของสะพานโครงสร้างเหล็ก มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับปรุงสมรรถนะของอาคารโครงสร้างในมิติต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ความสามารถในการต้านทานน้ำหนักบรรทุก ความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว และความคงทนถาวรของโครงสร้าง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการศึกษาเชิงลึกในด้านพฤติกรรมและการแตกและพฤติกรรมการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นได้กับโครงสร้างเหล็ก นอกจากนี้การที่จะทำให้การใช้งานสะพานโครงสร้างเหล็กมีอายุที่ยืนยาวขึ้นเป็นไปดังที่คาดการณ์ไว้ได้นั้น จำเป็นจะต้องมีการบูรณะบำรุงที่เหมาะสม มีการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพทั้งเทคโนโลยีด้านการตรวจสอบ การซ่อมแซม และการเสริมกำลังให้กับสะพานโครงสร้างเหล็ก อันเป็นสาระที่สำคัญของการพัฒนาทางเทคโนโลยี

คณะทำงานทั้ง 3 กลุ่ม ได้มีการจัดกิจกรรมด้านการวิจัยและพัฒนาในมิติต่างๆ โดยสำหรับแผนการปฏิบัติงานระยะ 3 ปี เริ่มตั้งแต่การสำรวจข้อมูลและการวิจัยในหัวข้อที่ได้กล่าวถึงตั้งแต่ปี 2015 ได้มีการสรุปผลการสำรวจและการวิจัยออกมา ดังบทความจำนวนทั้งสิ้น 3 บทความ ในหน้า 6-14 ของนิตยสารฉบับนี้

การมุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว

ระดับเชิงสมรรถนะที่ต้องการสำหรับสะพานโครงสร้างเหล็กได้มีการปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวิธีที่ใช้ในการออกแบบก็ได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ตัวอย่างที่พบเห็นได้ทั่วไปคือข้อกำหนดในการออกแบบโครงสร้างใหม่อันเป็นผลสืบเนื่องจากแผ่นดินไหว Kumamoto ในปี 2016 ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับการออกแบบโครงสร้างสะพานให้ทนต่อแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ ยังมีการปรับปรุงแก้ไขวิธีการออกแบบด้วยตัวคุณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกสำหรับสะพานทางหลวงที่ตีพิมพ์ออกมาในปี 2017 ซึ่งส่งผลต่อความจำเป็นในการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมในส่วนขอระดับความเชื่อมั่นของการควบคุมความเสียหาย และความง่ายในการบูรณะบำรุง ทั้งนี้ ได้มีประเด็นเพิ่มเติมที่ตามมาคือ การดำเนินการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพและแนวทางการควบคุมและการปรับปรุงแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุใดในช่วงของการเริ่มต้นการสำรวจสะพาน

จากเหตุการณ์ที่กล่าวถึงนี้ มีสิ่งที่ต้องดำเนินการเพิ่มเติมอยู่ 2 ประเด็นคือ การจัดการต่อปัญหาที่กล่าวถึงในข้างต้น และ แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานทางเทคนิคในอนาคต การดำเนินการเพื่อการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานและข้อกำหนดทางเทคนิคโดยนำผลที่ได้รับจากงานวิจัยจะเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการสร้างความยืดหยุ่นและอายุการใช้งานที่ยาวนานให้กับโครงสร้างสะพาน ในท้ายที่สุดนี้ คณะกรรมการด้านสะพานโครงสร้างเหล็ก ที่มีความยืดหยุ่นสูงและมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ก็ได้รับการจัดตั้งขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งในปี 2018 โดยมุ่งหวังที่จะส่งเสริมกิจกรรมด้านงานวิจัยเพื่อให้สะพานโครงสร้างเหล็กเกิดความยืดหยุ่นที่สูงขึ้นและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

ตารางที่ 1 รายชื่อคณะกรรมการด้านสะพานโครงสร้างเหล็ก ตามลำดับเวลา



Kazuo Tateishi: After finishing the master course at the Tokyo Institute of Technology, he entered East Japan Railway Company in 1988. Then, he served as associate professor at the Tokyo Institute of Technology and The University of Tokyo in 1997. He assumed his current position as professor of the Graduate School of Engineering, Nagoya University in 2003.

Fig. 1 Road Map to Attain Respective Research Tasks of the Committee on Steel Bridges with Higher Resilience and Longer Service Life

Tasks	~ FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019
① Subtask 1 Working Group on Rationalized Design	Verification of load-carrying capacity of column and un-stiffened plate		Presentation of load and resistance factor for column and stiffened plate and presentation of constitutive law for seismic analysis that can deal with cyclic loading	Revision of <i>Specifications for Highway Bridges</i> : Introduction of load and resistance factor design method	★ Presentation of example of application of SBHS (steel for bridge high-performance structure) member in seismic design	★
		Collection of load rating data and its trial analysis		Preparation of load rating manual (draft)	Structuring of design, inspection and rating systems; Organization of manual for bridge assessment	▼
② Subtask 2 Working Group on Fatigue Strength of Steel Bridges	Expansion of design fatigue class	Effect on fatigue life improvement including that by the use of high-strength steel (experiment, analysis and design method)		★	Standardization of effect on fatigue life improvement	★
	Trial for and arrangement of fatigue life improvement	Collection of information on detective method for fatigue crack, proving of repairing and reinforcing methods for fatigue crack			Preparation of guideline for crack repair and service life prolongation methods	
③ Subtask 3 Working Group on Corrosion and Durability of Steel Bridges	Surveys of task submitted by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism	Assessment of practical bridge data and examination of reliability improvement measure		Guideline for maintenance and corrosion diagnosis data	Preparation of handbook on design and maintenance and its reflection in standard	▼
	Survey and assessment of practical example of corrosion of bridge	Examination about steel bridge corrosion diagnosis technology		Preparation of corrosion map and corrosion-protection manual	Technical data on steel bridge having high corrosion resistance	
Interdisciplinary tasks in above-mentioned three subtasks Steering Conference		① Interdisciplinary assessment of attainments of each working group→Proposal of attainments to society ② Tackling with the research task that supplements the niche between fields (between subtasks and different fields) ③ Creation of research theme for future				

Table 1 Chronology of Research Committees on Steel Bridges

FY	Research Committee	Working Group
1997-1999	Research Committee on Next-generation Civil Engineering Steel Structures	• Working Group on Design of Rationalized Steel Bridge Girders • Working Group on Seismic Design Method for Steel Bridges • Working Group on Application of High-performance Steel Products for Steel Bridges
2000-2002	Research Committee on the Performance-based Design of Steel Bridges	• Working Group on Safety and Applicability of Steel Bridges • Working Group on Corrosion Protection and LCC for Steel Bridges • Working Group on Seismic Resistance of Steel Bridges • Working Group on Higher Performance of Steel Bridges
2003-2005	Research Committee to Improve Steel Bridge Performance	• Working Group on Rationalized Design Methods • Working Group on Improvement of Steel Bridge Durability • Working Group on Seismic Design Guidelines for Steel Bridges • Working Group on Weathering Steel Bridges
2006-2008	Research Committee to Improve Performance and Reliability of Steel Bridges	• Working Group on Rationalized Structure and Design for Steel Bridges • Working Group on Fatigue Strength of Steel Bridges • Working Group on Seismic Design Guidelines for Steel Bridges • Working Group on Weathering Steel Bridges
2009-2012	Research Committee on Improvement of Structures and Design Method for Steel Bridges	• Working Group on Rationalized Structure and Design for Steel Bridges • Working Group on Fatigue Strength of Steel Bridges • Working Group on Seismic Design Method for Steel Bridges • Working Group on Weathering Steel Bridges
2013-2014	Research Committee on Improvement of Structures and Durability of Steel Bridges	• Working Group on Rationalized Structure and Design for Steel Bridges • Working Group on Fatigue Strength of Steel Bridges • Working Group on Maintenance for Weathering Steel Bridges
2015-2017	Research Committee on Steel Bridges with Higher Resilience and Longer Service Life	• Working Group on Rationalized Design • Working Group on Fatigue Strength of Steel Bridges • Working Group on Corrosion and Durability of Steel Bridges

(หน้า 6~8)

มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว (3)

การออกแบบสะพานโครงสร้างเหล็กให้ประหยัด และการประเมิน ด้านน้ำหนักในงานบำรุงรักษา

โดย Yoshiaki Okui

หัวหน้าทีมคณะกรรมการด้านการออกแบบเพื่อความประหยัด คณะกรรมการวิจัยด้าน
สะพานโครงสร้างเหล็ก เพื่อความยืดหยุ่นที่สูงขึ้นและอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
(ศาสตราจารย์จาก Saitama University)

ได้มีการจัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมให้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีไม่เฉพาะเพื่อสร้าง
ความยืดหยุ่นให้กับการใช้อาคาร และการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้งานมานาน
เท่านั้นแต่ยังเพื่อวัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงสร้างเหล็กให้มีความประหยัด
สามารถแข่งขันได้ในระดับสากล ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ดังกล่าวคณะกรรมการด้าน
การออกแบบโครงสร้างให้ประหยัด อันเป็นส่วนหนึ่งของคณะกรรมการวิจัยสะพาน
โครงสร้างเหล็กที่มีความยืดหยุ่นและมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ก็ได้มีการส่งเสริม
งานวิจัยด้านสะพานโครงสร้างเหล็กตั้งแต่ปี 2015 โดยมีงานหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบข้อมูลสถิติที่ระดับขีดจำกัดสูงสุดและระดับการใช้งานของแผ่น
เสริมกำลัง
- การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งเดาะเฉพาะที่และการโก่งเดาะของ
เสาทั้งเสา
- การสำรวจแนวทางในการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับคานวัสดุประกอบ
- การศึกษาการต่อโครงสร้างด้วยสลักเกลียวรับแรงดึงสูงที่เหมาะสม
- การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ขั้นสูงในการออกแบบ
- การตรวจสอบการออกแบบเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวที่เหมาะสม
- การประเมินสะพานที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

ความสำเร็จที่รับจากการวิจัยทั้ง 3 หัวข้อ หัวข้อที่ 1 ที่ 4 และที่ 7 จะนำเสนอ
ตามลำดับในบทความต่อไปนี้

การตรวจสอบข้อมูลสถิติที่ระดับขีดจำกัดสูงสุดและระดับการใช้งานของแผ่น เสริมกำลัง

เหล็กสำหรับโครงสร้างสะพานที่มีสมรรถนะสูง หรือ Steel for bridge
high-performance structures (SBHS) ได้ถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานในมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (JIS) และได้มีการอนุมัติให้ใช้งานดังระบุไว้ใน
ข้อกำหนดสำหรับสะพานทางหลวงในปี 2017 1) โดยแม้ว่าจะมีการตีพิมพ์รายงาน
ออกมาหลายฉบับที่กล่าวถึงผลการทดสอบวัสดุจำนวนมากที่สามารถใช้เป็น SBHS แต่
มีรายงานวิจัยฉบับที่แสดงความสามารถในการรับน้ำหนักขององค์อาคารโครงสร้าง
เหล็กที่มีการนำ SBHS เข้ามาใช้

เพื่อให้สามารถจัดการกับสถานการณ์ดังกล่าว เราได้มีการดำเนินการทดสอบการ
รับแรงอัดของแผ่นเสริมกำลังซึ่งใช้ SBHS (หน่วยแรงดึงที่จุดคราก 500 นิวตันต่อตาราง
มิลลิเมตร) เทียบกับเหล็กเกรดปกติ SM490Y (หน่วยแรงดึงที่จุดคราก 355 นิวตันต่อ
ตารางมิลลิเมตร) โดยที่ได้มีการเตรียมตัวอย่างออกเป็นสองกลุ่ม (ค่าความชะลุด: $R_R =$
0.5 และ 1.2) ซึ่งแต่ละกลุ่มจะใช้เหล็กสองประเภทคือ SBHS500 และ SM490Y โดยที่
ค่าความชะลุดได้มีนิยามเอาไว้ว่า

$$R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1 - \mu^2)}{4n^2\pi^2}}$$

โดยที่

b และ t: ความกว้างและความหนาของแผ่นเสริมกำลัง

σ_y : หน่วยแรงดึงที่จุดคราก

μ : อัตราส่วนปัวซอง

n: จำนวนของช่องที่จะถูกแบ่งด้วยแผ่นเสริมกำลัง

ดังที่ปรากฏในภาพที่ 1 ได้แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างทดสอบซึ่งเป็นเสาท่อเหล็ก
สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการใช้แผ่นเสริมกำลังจำนวนทั้งสิ้น 4 แผ่น ซึ่งแต่ละแผ่นได้มีการ
ทดสอบการรับแรงอัดในแนวแกน

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดตามแนวแกน P และระยะการ
เสถียรตามแนวแกนจากแรงอัดที่กระทำ U จากรูปแกนตั้งและแกนนอนเป็นค่าที่ไม่มี
หน่วยซึ่งถูกหารด้วยแรงในแนวแกนที่จุดคราก P_y และการเสียรูป ณ จุดคราก U_y
ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเสาท่อเหล็กที่ผลิตขึ้นจาก SBHS มี
ความสามารถในการรับแรงอัดที่ใกล้เคียงหรือดีกว่าเสาท่อเหล็กที่ผลิตขึ้นจากเหล็ก
เกรดปกติทั่วไป

ในการกำหนดวิธีการออกแบบที่ใช้ SBHS ออกมาเป็นมาตรฐาน มีความจำเป็นที่
จะต้องมีข้อมูลของความน่าจะเป็นที่แสดงถึงความแปรปรวนของความสามารถในการ
รับแรงขององค์อาคารโครงสร้าง ในประเด็นนี้จึงได้มีการตรวจสอบโดยใช้แบบจำลอง
มอนติคาร์โล ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์แบบจำลองไฟในต้อลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น และ
วิธีการหาค่าผลตอบสองของผิว

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความ
ชะลุดและ กำลังของแผ่นเสริมกำลัง 2) จากรูป ได้มีการแสดงค่ากำลังสูงสุดที่ขีดจำกัด
หรือ ultimate limit strength (ULS) และค่ากำลังที่ระดับการให้บริการ หรือ
serviceability limit strength (SLS) ที่ได้จากแบบจำลองมอนติคาร์โล โดยมีจุด
วงกลมซึ่งแสดงถึงค่าเฉลี่ยของกำลัง โดยแท่งที่อยู่เหนือและใต้จุดวงกลมแสดงให้เห็นถึง
ค่าที่ 5% และ 95% ตามลำดับ

รูปที่ 2 แสดงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของ SBHS500 และ
SM490Y ซึ่งได้จากการทดสอบการกดในแนวแกนซึ่งได้กล่าวถึงในข้างต้นและเส้นกราฟ
แสดงความสามารถในการรับน้ำหนัก (JSHB) ได้มีการนำเสนอไว้ในข้อกำหนดสำหรับ
งานสะพานทางหลวง 1) ที่ใช้ในปัจจุบัน

ภาพที่ 1 การทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างแผ่นเสริมกำลัง เกรด SBHS500 (เหล็ก
สำหรับงานสะพานที่ต้องการสมรรถนะทางโครงสร้างที่สูง)

รูปที่ 1 การเปรียบเทียบเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงและระยะการเสียรูป
ของ SBHS500 และ SM490Y จากการทดสอบการกดในแนวแกน

รูปที่ 2 กำลังที่ขีดจำกัดสูงสุดและกำลังที่ขีดจำกัดการให้บริการ ของแผ่นเสริมกำลังที่
ตรวจสอบโดยใช้แบบจำลองมอนติคาร์โล

การศึกษาความเหมาะสมในการใช้ข้อต่อสลักเกลียวรับแรงดึงสูง

ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดของคานเหล็กหน้าตัดอัดแน่นจะสามารถรับ
แรงดึงได้สูงสุดถึงระดับโมเมนต์พลาสติกสมบูรณ์ และพร้อมกันนั้นจำเป็นจะต้องมีการ
พิจารณาการออกแบบการต่อด้วยสลักเกลียวเพื่ออำนวยความสะดวกในการรับแรงดึงได้ถึง

โมเมนต์พลาสติกสมบูร์น ตลอดจนถึงต้องมีการตรวจสอบวิธีการออกแบบเพื่อรองรับการเกิดแรงวิกฤตขึ้น เพื่อให้สามารถพัฒนาวิธีการออกแบบที่สนองต่อความต้องการต่างๆ เหล่านี้ จึงได้มีการทดสอบการรับแรงดัดของจุดต่อด้วยสลักเกลียวของคานรูปตัวโอ (I-girder bolt joint) ในห้องปฏิบัติการทดสอบ (ภาพที่ 2)

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ P ทารด้วยแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดที่จุดคราก P_y กับอัตราส่วนไร้นหน่วยแสดงระยะการเสีรูปของรู้อยู่สลักเกลียว δ_0 ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของสลักเกลียว d โดยทั้งนี้ค่าที่ 5% ของอัตราส่วนไร้นหน่วย δ_0/d นิยามว่าเป็นค่าขีดจำกัดกำลังสูงสุด จากรูปจะเห็นว่า จุดต่อรับโมเมนต์ที่ใช้สลักเกลียวมีความสามารถในการรับน้ำหนักที่มีค่าเกินกว่า 1.3 เท่าของค่าโมเมนต์ดัดที่จุดคราก

โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดที่จุดพลาสติกสมบูร์น มีค่าประมาณ 1.3 เท่าของค่าโมเมนต์ดัดที่จุดคราก ซึ่งจากนิยามของขีดจำกัดความแข็งแรงสูงสุดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นก็จะสามารถนำไปพิจารณาออกแบบการต่อด้วยสลักเกลียวที่ต้องใช้กับหน้าตัดอัดแน่น คณะทำงานด้านการออกแบบให้เกิดความประหยัดก็จะประชาสัมพันธ์งานวิจัยดังกล่าวโดยมุ่งหวังที่จะให้ความกระจ่างถึงพฤติกรรมของจุดต่อด้วยสลักเกลียวภายหลังจากที่เกิดการขยับเขยื้อนตัวของจุดต่อโดยพิจารณาผลจากการทดสอบและการวิเคราะห์ เป้าหมายสูงสุดคือต้องการกำหนดแนวทางให้เป็นมาตรฐานการออกแบบการต่อด้วยสลักเกลียวแบบถ่ายแรงเสียดทานที่ขีดจำกัดสูงสุดที่เหมาะสมต่อไป

ภาพที่ 2 การทดสอบการดัดของจุดต่อด้วยสลักเกลียวของคานรูปตัวโอ

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงที่กระทำและระยะการเสีรูปของรู้อยู่สลักเกลียวในการทดสอบการดัดของจุดต่อด้วยสลักเกลียวของคานรูปตัวโอ

การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน สำหรับงานบำรุงรักษา

งานที่สำคัญงานหนึ่งของในหลายประเทศที่เป็นงานเร่งด่วนคือการประเมินสมรรถนะของสะพานที่ได้ก่อสร้างตามมาตรฐานการออกแบบในอดีตซึ่งปรากฏความเสื่อมสภาพและความเสียหายขึ้น ซึ่งรวมถึงประเทศญี่ปุ่นด้วยงานวิจัยครั้งนี้ได้มีการตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อการประเมินสมรรถนะของสะพานที่ยังใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาสะพานประเภทคานเหล็กรูปตัวโอช่วงเดี่ยวที่ใช้ระบบวัสดุผสม (simply-supported composite I-girder bridge) ดังแสดงในรูปที่ 4 สะพานได้ก่อสร้างในช่วงต้นทศวรรษ 1970 และถูกออกแบบโดยอ้างอิงวิธีการออกแบบโดยใช้เกณฑ์หน่วยแรงที่ยอมให้ และใช้น้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบ (L20) ตามข้อกำหนดฉบับเก่า 3)

การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ถูกดำเนินการโดยใช้น้ำหนักบรรทุกที่ระบุไว้ในมาตรฐานการออกแบบสะพานทางหลวงฉบับปัจจุบัน โดยค่าสัดส่วนความสามารถในการรับน้ำหนัก หรือ Rating Factor (RF) สามารถคำนวณได้ดังสมการ โดยที่

C : กำลัง

D และ L : ผลที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

IM : ค่าตัวคูณพลวัต

$\mathcal{H}_d$ และ $\mathcal{H}_j$: ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร

รูปที่ 5 แสดงผลการคำนวณค่า RF ของการรับแรงดัดคานสะพานรูปตัวโอ ค่า RF ได้คำนวณโดยอ้างอิงกับมาตรฐานต่างๆ ทั้งสี่ฉบับซึ่งประกอบไปด้วย มาตรฐานสะพานทางหลวงฉบับเก่า (old SHB: Specifications for Highway Bridges3) มาตรฐานสะพานทางหลวงฉบับปัจจุบัน current SHB: Specifications for Highway Bridges1) มาตรฐานข้อกำหนดสำหรับโครงสร้างเหล็กและวัสดุผสม ของสมาคมวิศวกรรมโยธาแห่งประเทศไทย JSCS SSSCS: Standard Specifications for Steel and Composite Structures4) และมาตรฐานของสมาคมทางหลวงแห่งมลรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ AASHTO MBE 5

สะพานที่ทำการศึกษามีได้ทุกแบบโดยอ้างอิงมาตรฐานสะพานทางหลวงฉบับเก่าซึ่งใช้วิธีการออกแบบที่เรียกว่าวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้โดยใช้อัตราส่วนความปลอดภัย 1.7 น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบและเปลี่ยนจาก TL-20 ไปเป็น B ซึ่งพบว่าค่า RF ที่ได้จากการประเมินมีค่าต่ำกว่า 1.0

แต่อย่างไรก็ดีด้วยเหตุที่ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยได้กำหนดให้ลดค่าลงอันเนื่องมาจากการปรับให้ใช้อัตราส่วนความปลอดภัยแบบแยกส่วน ตามมาตรฐานสะพานทางหลวงฉบับปัจจุบัน ค่า RF ก็มีค่าขยับเข้าใกล้ 1.0 แต่หากอ้างอิงมาตรฐาน JSCS SSSCS และ AASHTO MBE แล้วก็จะทำให้ค่า RF มีค่าที่สูงขึ้นเนื่องมาจากการพิจารณาโมเมนต์ดัดของการเกิดพลาสติกสมบูร์น

สำหรับหัวข้องานวิจัยในอนาคต มีความจำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจริง และการตรวจสอบระดับความปลอดภัยของสะพานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยการพิจารณาผลการตรวจสอบย่อยที่ทำในแต่ละรอบ คณะทำงานด้านการออกแบบเพื่อให้เกิดความประหยัดจะพยายามศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ เหล่านี้และจะดำเนินการภายหลังปีงบประมาณ 2019 ต่อไป

รูปที่ 4 แบบแสดงรูปตัดของสะพานที่ใช้ในการศึกษา (คานเหล็กรูปตัวโอช่วงเดี่ยวที่ใช้ระบบวัสดุผสม)

รูปที่ 5 ผลการคำนวณค่าอัตราส่วน RF ที่พิจารณากำลังต้านทานการดัด

เอกสารอ้างอิง

- 1) Japan Road Association: Specifications for Highway Bridges, Maruzen, 2017 (in Japanese).
- 2) Rahman, Md., Okui, Y., Shoji, T., Komuro, M.: Probabilistic ultimate buckling strength of stiffened plates, considering thick and high-performance steel, J. of Constructional Steel Research, Vol.138, pp.184-195, 2017.
- 3) Japan Road Association: Specifications for Highway Bridges, Maruzen, 1956 (in Japanese).
- 4) Japan Society of Civil Engineers (JSCE): Standard Specifications for Steel and Composite Structures, 2007.
- 5) AASHTO: Manual for Bridge Evaluation, 2018.



Yoshiaki Okui: After graduating from the Graduate School of Science and Engineering, Saitama University, he joined Kawasaki Heavy Industries, Ltd. in 1985. Then he served as associate professor at Saitama University in 1993 and visiting researcher at Delft University of Technology in Netherlands in 1996. He assumed his current position as professor at Saitama University in 2009. His profession covers structural engineering and bridge engineering.



Photo 1 Stiffening plate compressive test specimen prepared using SBHS500 (steel for bridge high-performance structures)

Fig. 1 Comparison of Load-Displacement Curve between SBHS500 and SM490Y in Axial Compressive Loading Test

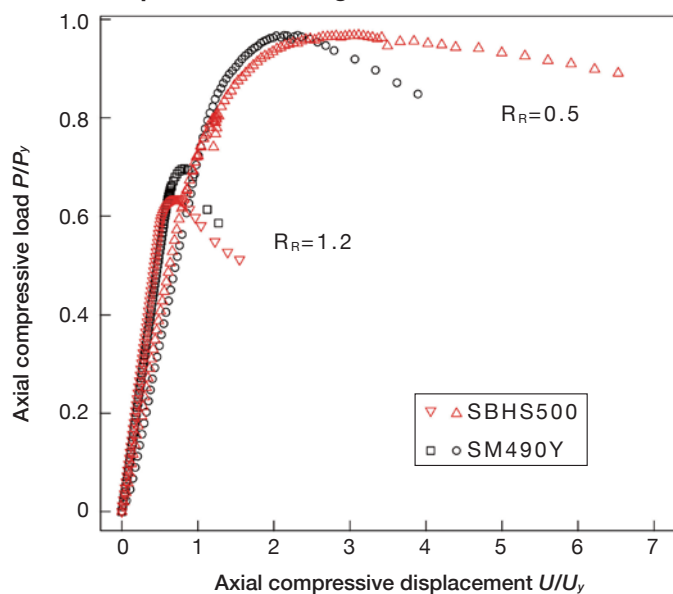


Fig. 2 Ultimate Limit Strength and Serviceability Limit Strength of Stiffening Plates Examined by Means of Monte Carlo Simulations

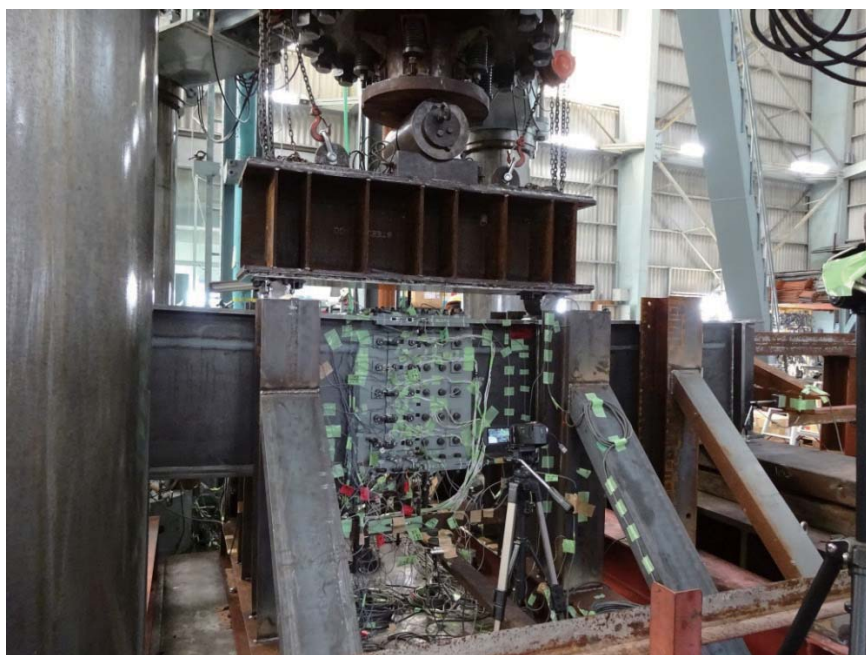
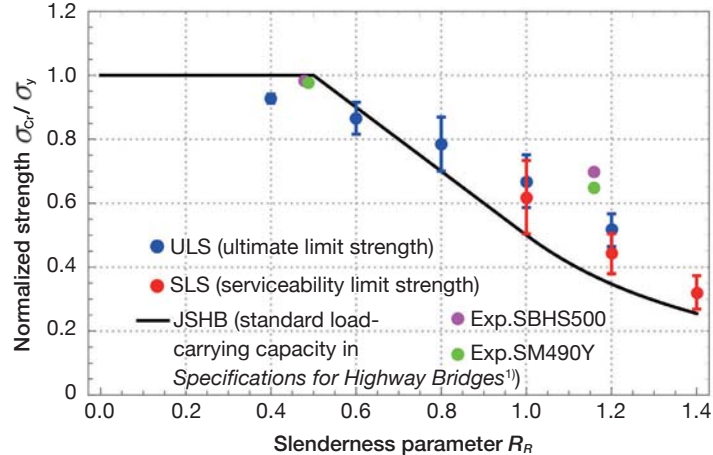


Photo 2 Flexural bending test for I-girder bolt joint

Fig. 3 Relationship between Applied Load P/P_y and Bolt Hole Displacement Amount δ_b/d in Flexural Bending Test for I-girder Bolt Joint

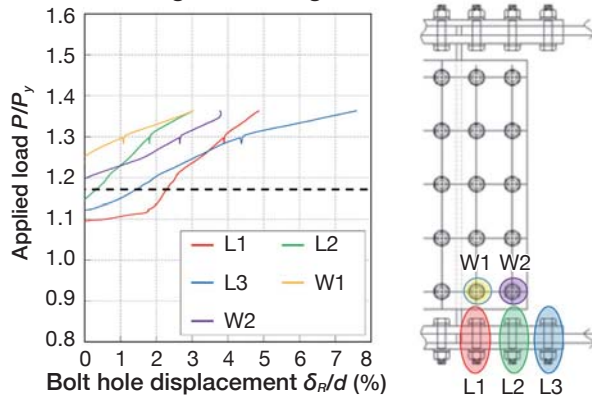


Fig. 4 Sectional Drawing of the Bridge Targeted in Case Study (Simply-supported Composite I-girder; Span: 34.4 m)

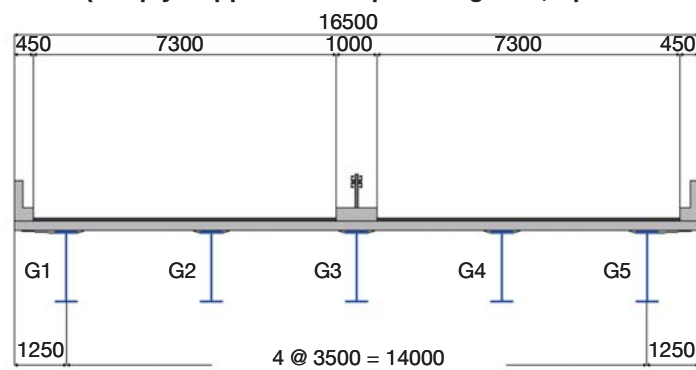
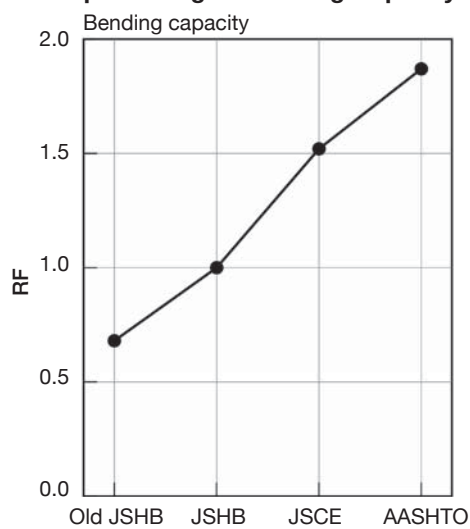


Fig. 5 Results of Calculation of RF Values pertaining to Bending Capacity



(หน้า 9~11)

มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว (4)

การปรับปรุงกำลังต้านทานการล้าของสะพานโครงสร้างเหล็กและการประเมินผลของการซ่อมแซมและการเสริมกำลัง

โดย Kengo Anami

หัวหน้าคณะทำงานด้านกำลังต้านทานการล้าของสะพานโครงสร้างเหล็ก คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กเพื่อความยืดหยุ่นที่สูงขึ้นและอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

ที่ประเทศญี่ปุ่นในช่วงนี้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการล้าในหลากหลายรูปแบบหนึ่งที่สามารถพบเห็นกันได้ทั่วไปกับสะพานโครงสร้างเหล็ก โดยเพื่อที่จะยืดอายุการใช้งานสะพานโครงสร้างเหล็กให้ยาวนานจึงมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้นในอนาคตในการปรับแก้แนวทางปฏิบัติเพื่อปรับปรุงวิธีการในการเพิ่มกำลังต้านทานการล้าตลอดจนแนวทางในการบูรณะบำรุงที่มีประสิทธิภาพซึ่งประกอบไปด้วยการซ่อมแซมและการเสริมกำลัง

เพื่อให้สามารถบรรลุถึงวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้คณะทำงานด้านกำลังต้านทานการล้าของสะพานโครงสร้างเหล็ก ภายใต้คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กเพื่อความยืดหยุ่นที่สูงขึ้นและอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น จึงได้รับการจัดตั้งโดยสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทย โดยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลักในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อการยืดอายุการใช้งานของสะพานโครงสร้างเหล็กในมิติที่เกี่ยวข้องกับการล้า คณะทำงานได้ดำเนินการศึกษาในกิจกรรมต่างๆ จำนวน 3 กิจกรรมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากำลังต้านทานการล้า

- วิธีการปรับปรุงกำลังต้านทานการล้าโดยการศึกษาในรายละเอียดบริเวณรอยเชื่อม
- วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการล้า
- วิธีการประเมินผลการซ่อมแซมและการเสริมกำลังของการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการล้า

ขั้นตอนและแนวทางในการศึกษาวิจัย ในกิจกรรมที่ 1 และกิจกรรมที่ 3 ดังแสดงด้านล่าง:

การศึกษาวิธีการเพิ่มกำลังต้านทานการล้าโดยการปรับปรุงรายละเอียดบริเวณขอบรอยเชื่อม

การตีกระแทก (peening) เป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถเพิ่มกำลังต้านทานการล้าของรอยเชื่อมได้ ซึ่งปัจจุบันสามารถพบเห็นการใช้วิธีการตีกระแทกนี้กับรอยเชื่อมของสะพานโครงสร้างเหล็กมากมายในประเทศญี่ปุ่น สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้มีการดำเนินการตรวจสอบผลที่ได้รับจากการทำการตีกระแทกที่บริเวณรอยเชื่อม ผลกระทบจากการให้ความร้อนหลังจากการตีกระแทกแตกก่อนการเคลือบผิว และสัดส่วนระหว่างค่าความเค้นสูงสุดและค่าความเค้นต่ำสุดที่คาดการณ์อันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกทุกที่

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างทดสอบการล้าของแผ่นประกบนอกกระนาบ (out-of-plane gusset) ผลิตภัณฑ์เหล็กที่ใช้ในการทดสอบเป็นเกรด SM490 (เหล็กสำหรับงานโครงสร้างเชื่อมประกอบ) และ SBHS500 (เหล็กสำหรับโครงสร้างสะพานสมรรถนะสูง) ได้มีการทำการตีกระแทกตัวอย่างทดสอบโดยวิธีการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยการใช้คลื่นความถี่สูงกระแทก หรือ ultrasonic impact treatment (UIT) การใช้ค้อนตีกระแทก หรือ base metal hammer peening (HP) เล็กการใช้

หัวเข็มอัดอากาศตีกระแทก หรือ air-type needle peening (PPP) ทั้งนี้ได้มีการพ่นเม็ดโลหะในการปรับสภาพพื้นผิวซึ่งเป็นวิธีทั่วไปที่ใช้ในโรงงานแปรรูปสะพาน โดยได้มีการทดสอบการล้า ซึ่งกำหนดเกณฑ์อัตราส่วนความเค้นที่ $R=0$ และ $R=0.5$ โดยใช้วิธีการทดสอบการล้าด้วยกันดัดแผ่นเหล็ก

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของผลการทดสอบการล้า ไม่พบความแตกต่างของกำลังต้านทานการล้าในแต่ละการตีกระแทกแต่ละวิธี

จากการทดสอบการล้าที่ระดับ $R=0$ พบว่ารอยเชื่อมที่ไม่ได้ทำการตีกระแทกไม่ได้มีกำลังต้านทานการล้าที่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังจากการพ่นขัดผิว ในขนาดที่กำลังต้านทานกันนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจากการที่รอยเชื่อมได้รับการตีกระแทก ในทางกลับกันสำหรับการทดสอบที่สัดส่วนความเค้น $R=0.5$ แม้ว่าขีดจำกัดการล้าของตัวอย่างที่ได้รับการตีกระแทกจะดีขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้รับการตีกระแทก แต่ผลของการตีกระแทกต่อกำลังต้านทานการล้ากลับลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ค่าสัดส่วนความเค้น $R=0$

โดยณปัจจุบันข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบการล้าหรือกำลังอยู่ในช่วงของการรวบรวมและตรวจสอบกับ S-N curve ภายหลังจากการตีกระแทก

รูปที่ 1 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบและการทดสอบการล้า

รูปที่ 2 ผลการทดสอบการล้า (วัสดุเกรด SBHS500)

การตรวจสอบวิธีในการประเมินผลการซ่อมแซมและการเสริมกำลังเมื่อเกิดการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการล้า

วิธีการหยุดการล้าด้วยการเจาะรู (stop-hole method) และการเพิ่มแผ่นเสริมกำลังเป็นวิธีการที่ใช้กันทั่วไปในการซ่อมแซมและการเสริมกำลังรอยแตกร้าวอันเนื่องมาจากการล้าของสะพานโครงสร้างเหล็ก สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นจากการซ่อมแซมและการเสริมกำลังทั้งสองวิธี โดยได้มีการตรวจสอบวิธีที่ใช้ในการประเมินผลที่เกิดขึ้นดังนี้

- Examination of Method to Assess the Effect of the Stop-hole Method การตรวจสอบวิธีการประเมินผลจากการเจาะรู

การเจาะรูเพื่อระงับการแตกร้าวอันเนื่องมาจากการล้า หรือ stop-hole method (SH) ทำได้โดยการเจาะรูที่ปลายยอดแหลมของรอยแตกร้าว (crack tip) ในกรณีนี้ก็ไม่ได้มีการตรวจสอบการแตกร้าวตามแนวขอบรอยเชื่อมมากนัก งานวิจัยชิ้นนี้ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์การแตกร้าวที่เกิดขึ้นตามแนวขอบรอยเชื่อมเพื่อที่จะตรวจสอบถึงประสิทธิภาพของการใช้การเจาะรูเพื่อหยุดการแตกร้าว

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างทดสอบการล้า (ชิ้นตัวอย่างรูปทรงกากบาทที่ประกอบขึ้นด้วยการเชื่อม ตัวอย่างทดสอบรูปตัวเอชที่มีการเจาะรูอย่างเดียวย และ ตัวอย่างทดสอบที่มีการตัดให้เป็นรอยแตกและเจาะรูเพื่อหยุดการแตกร้าว)

สำหรับงานวิจัยนี้ ด้วยเหตุที่จะต้องมีการเตรียมรูเจาะที่ขอบรอยเชื่อม จึงได้มีการเตรียมตัวอย่าง 2 ตัวอย่างเพื่อป้องกันการเกิดความเค้นรวมศูนย์ (stress concentration) ที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมซึ่งมีการเตรียมรูเจาะไว้ห่างจากขอบรอยเชื่อม 1 มิลลิเมตรและ 5 มิลลิเมตรตามลำดับ ตำแหน่งของรอยแตกร้าวอันเนื่องมาจากการล้าเกิดขึ้นที่จุดตัดของตำแหน่งรูเจาะและขอบรอยเชื่อมของตัวอย่างก่อนหน้า และปลายรูเจาะที่ขอบรอยเชื่อมอีกด้านหนึ่งของปลายรูเจาะในอีกตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งตำแหน่งที่ปรากฏตามงานวิจัยก็สอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดหน่วยแรงสูงสุดซึ่งหาได้จากงานวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของตัวอย่างทั้งสองตัวอย่าง

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบการล้า เพื่งจัดเรียงข้อมูลพิสัยความเค้นเฉพาะที่ (Local stress range) ของการเกิดการล้า ณ ตำแหน่งที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยไม่พบความแตกต่างที่มากนักระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบการล้าของแฉ่แต่ละตัวอย่าง ยิ่งไปกว่านั้นผลการทดสอบที่ได้รับค่อนข้างจะสอดคล้องกับผลการทดสอบ ตัวอย่างที่มีรูเจาะ ณ ตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดการแตกร้าบริเวณขอบรอยเชื่อมและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวไปยังเนื้อเหล็กส่วนที่อยู่ถัดออกไป

ผลการทดสอบที่ได้รับดังกล่าวนี้ก็ได้นำมาแสดงในรูปของพิสัยความเค้นเฉพาะที่ โดยพิจารณาผลของความเค้นรวมศูนย์ที่รอยเชื่อมและความเค้นรวมศูนย์ที่เกิดขึ้นจากการเจาะรู (SH method) ดังนั้นแล้ว จากผลที่ได้รับซึ่งแม้ว่าเป็นผลการทดสอบของการใช้การเจาะรูที่ครอบรอยเชื่อมก็ตาม แต่ก็สามารถขยายผลที่ได้ศึกษานี้กับการเจาะรูเมื่อเกิดการแตกร้าวลายของรอยแตกอยู่ที่ตำแหน่งอื่นๆ

รูปที่ 3 ตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่มีรูเจาะ

รูปที่ 4 ผลการทดสอบแรงดึง

• การตรวจสอบวิธีการประเมินผลของการเสริมกำลังด้วยการใช้แผ่นเสริมกำลัง

แผ่นเสริมกำลังเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการซ่อมแซมการแตกร้าอันเนื่องมาจากการล้า โดยเพื่อเพิ่มสมรรถนะการเสริมกำลังจึงได้มีการออกแบบวิธีการติดตั้งแผ่นเสริมกำลังและตรวจสอบผลที่ได้รับภายหลังจากการเสริมกำลัง สำหรับงานวิจัยนี้ได้พิจารณาปัจจัยของค่าตัวประกอบความเค้นรวมศูนย์ (α_{SH}) ที่เกิดขึ้นกับรูเจาะซึ่งอยู่ใต้แผ่นเสริมกำลังว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับสมรรถนะของการเสริมกำลังหรือไม่ ซึ่งจากผลการศึกษาก็ทำให้สามารถหาค่า α_{SH} ในรูปของสมการที่สามารถประเมินหน่วยแรงที่รูเจาะจากความเครียดที่เกิดขึ้นที่แผ่นเสริมกำลัง

ในเบื้องต้นการทดสอบแรงดึงในแนวนอน (รูปที่ 5(c)) และการวิเคราะห์แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 5(d)) ได้มีการดำเนินการผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยกำหนดตัวแปรในการพิจารณาเป็นขนาดมิติของแผ่นเสริมกำลัง รูปที่ 5(e) แสดงค่า α_{SH} เกิดการเกิดการเลื่อนตัวของแผ่นเสริมกำลัง จากที่ปรากฏดังรูป จะเห็นว่าในขณะที่ค่าตัวประกอบความเค้นรวมศูนย์ α_{SH} มีค่าลดลงอย่างมากจากการใช้แผ่นเสริมกำลังในทุกตัวอย่างที่นำมาทดสอบ แต่ก็เห็นได้ว่าระดับการลดลownั้นจะเป็นผลมาจากขนาดของเหล็กแผ่นเสริมกำลังเป็นสำคัญ

สำหรับในขั้นตอนต่อไป ก็ได้มีการดำเนินการวิเคราะห์ในเชิงพฤติกรรมของความเค้นรวมศูนย์บริเวณรูเจาะโดยวิธีการที่คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จากผลการวิเคราะห์พบว่าผลที่เกิดขึ้นจากความเค้น f_1 ซึ่งเกิดจากการที่รอยแตกร้าเกิดการขยายตัวนั้นมีค่าที่ลดลงอันเนื่องมาจากการใช้แผ่นเสริมกำลัง และนอกจากนี้การขยายตัวของรอยแตกร้า f_2 (ผลจากการเชื่อมต่อของอนุภาควัสดุ) ก็ถูกจำกัดลงจากการใช้แผ่นเสริมกำลัง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมานี้ก็ได้นำไปสู่ข้อเสนอข้อซึ่งประกอบไปด้วย ข้อแรกเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดมิติของแผ่นเสริมกำลังและค่าตัวประกอบความเค้นรวมศูนย์ α_{SH} และอีกข้อเป็นวิธีการในการออกแบบแผ่นเสริมกำลัง

นอกจากนี้ยังได้มีการเรียบเรียงหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรูเจาะและแผ่นเสริมกำลังกับค่าความเค้น ซึ่งนำไปสู่ข้อเสนอถึงวิธีในการประเมินหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณรูจากที่ขสกรินที่วัดได้เหนือรูเจาะไปเล็กน้อย (รูปที่ 7) รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเค้นรวมศูนย์ที่รูเจาะ และรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบของความเครียดที่รูเจาะ ในกรณีที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในรูเจาะ

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ก็มีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะมีการนำเสนอถึงสมการที่ใช้สำหรับการประเมินค่า α_{SH} ได้อย่างแม่นยำสูง และวิธีการเพื่อยืนยันถึงผลที่ได้รับจากการใช้แผ่นเสริมกำลังเพื่อเสริมความแข็งแรงบริเวณรอยแตกร้าโดยการพิจารณาค่าความเค้นที่จุดอ้างอิง ซึ่งเป็นที่คาดหวังกันว่าในอนาคตข้อเสนอนี้จะนำมาใช้ในการประเมินผลที่ได้รับจากการนำแผ่นเสริมกำลังเข้ามาใช้ในบริเวณที่ความเค้นมีลักษณะที่สลับซับซ้อนตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้นกับสะพานโครงสร้างเหล็กที่ใช้งานอยู่จริง

รูปที่ 5 การทดสอบแรงดึง

(a) ตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงดึง

(b) ตัวแปรขนาดมิติของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

(c) การทดสอบแรงดึง

(d) แบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรม

(e) ความเค้นรวมศูนย์บริเวณรูเจาะ

รูปที่ 6 ผลการทดสอบค่าความเค้นรวมศูนย์ที่รูเจาะ

รูปที่ 7 ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นที่รูเจาะ (สมการที่ 2, แบบจำลองคอมพิวเตอร์)



Kengo Anami: After graduating from the School of Engineering, Tokyo Institute of Technology in 1993, he served as research associate at Lehigh University in the US in 2001 and as associate professor at Shibaura Institute of Technology in 2008. He assumed his current position as professor at the Department of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology in 2014. His profession covers steel structures and their maintenance.

Fig. 1 Test Specimens and Fatigue Tests

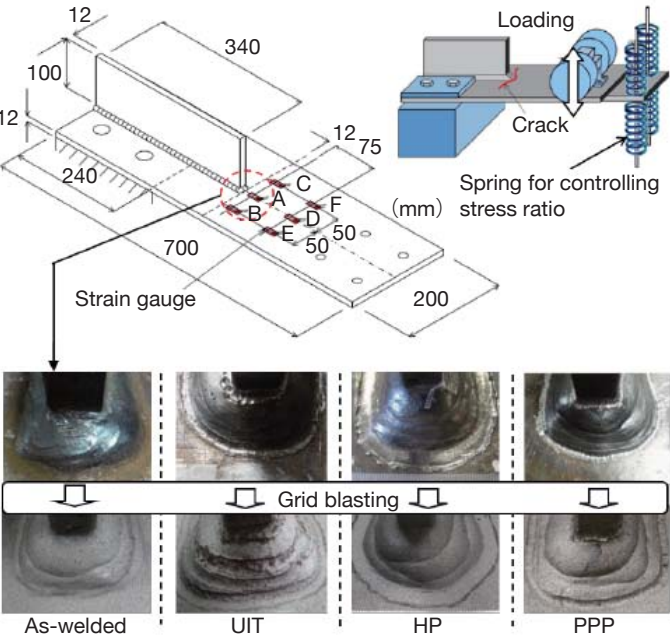


Fig. 2 Fatigue Test Results (SBHS500 Specimen)

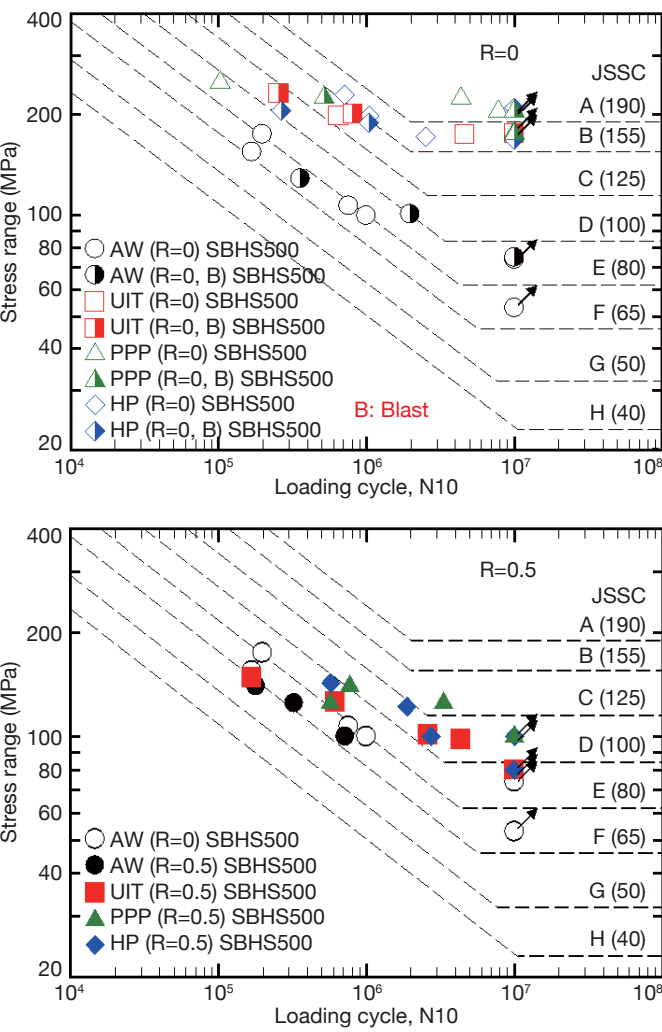


Fig. 3 Tension Test Specimens with Stop Holes

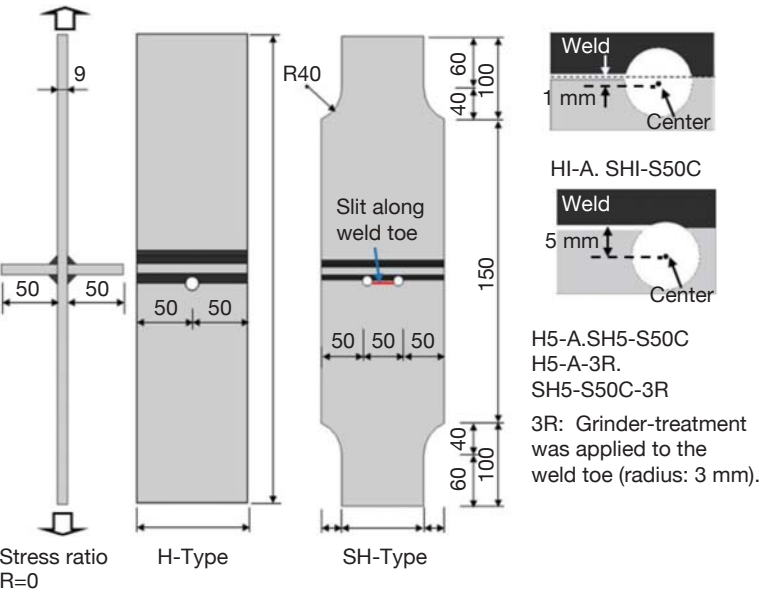


Fig. 4 Fatigue Test Results

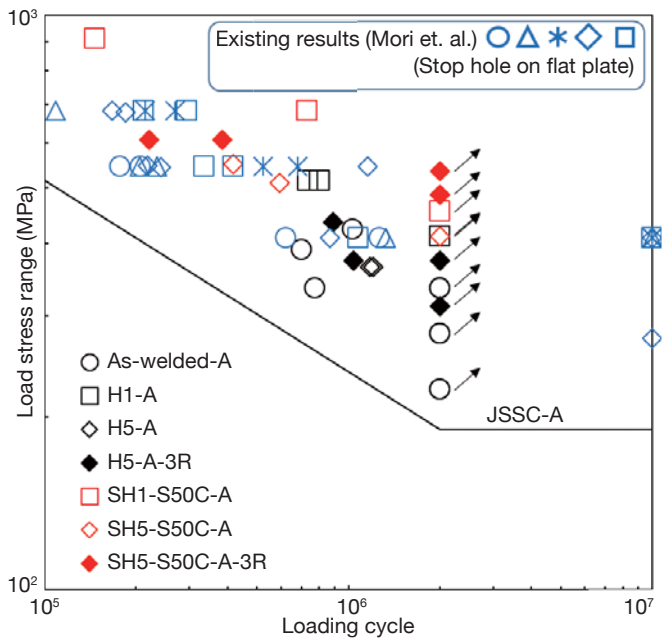


Fig. 5 Tension Tests

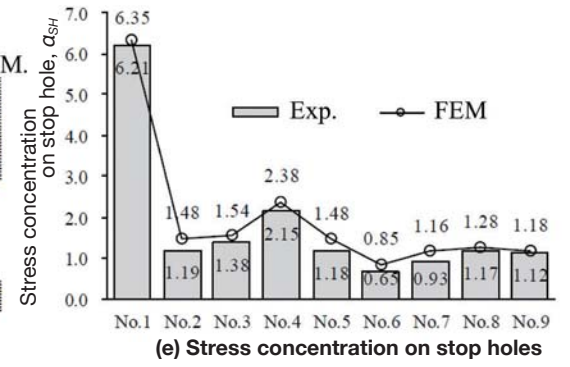
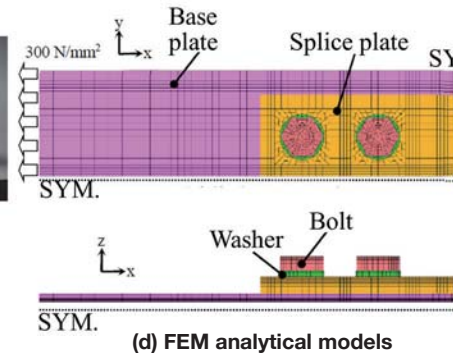
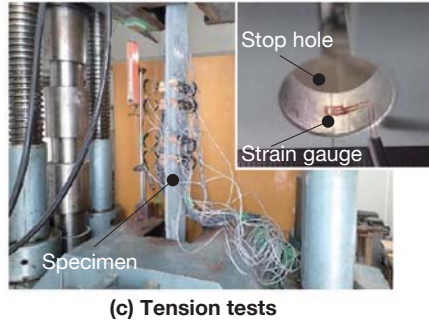
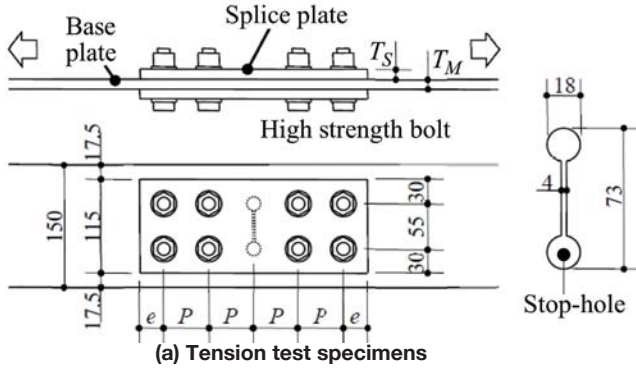


Fig. 6 Comparison of Stress Concentrations on Stop Holes (Eq. 1 and FEM)

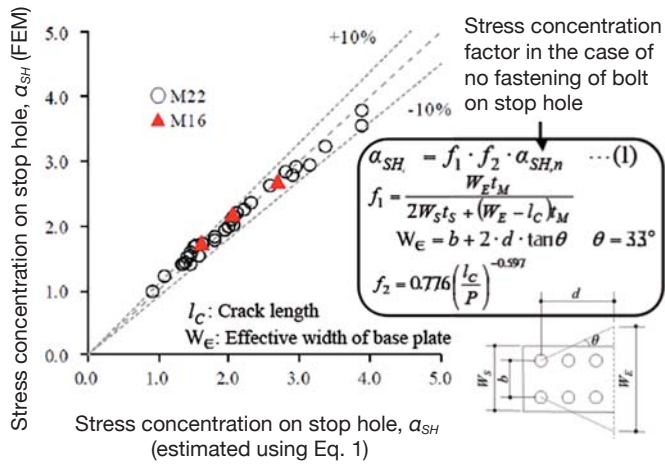
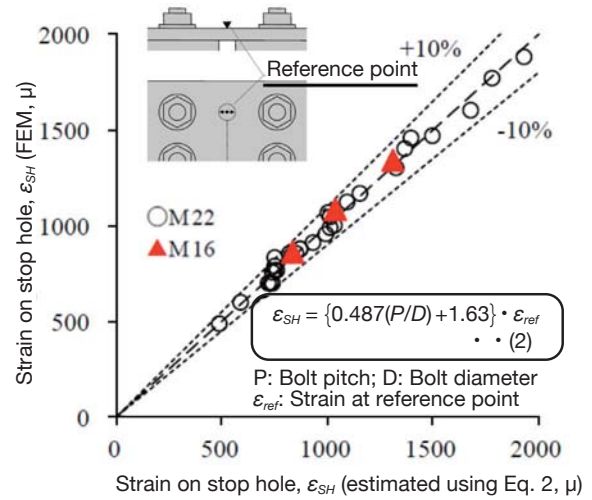


Fig. 7 Comparison of Strains Occurring in Stop Holes (Eq. 2, FEM)



(หน้า 12~14)

มุ่งหน้าสู่สะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว (5)

การใช้งานและการบำรุงรักษาสะพานโครงสร้างเหล็กด้านทานการกัดกร่อน และการซ่อมแซมความเสียหายจากการกัดกร่อนสำหรับสะพานโครงสร้างเหล็ก

โดย Eiji Iwasaki

หัวหน้าคณะทำงานด้านความทนทานต่อการกัดกร่อนของสะพานโครงสร้างเหล็ก คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว

สำหรับสะพานโครงสร้างเหล็ก นอกเหนือไปจากการเสนอแนะแนวทางในการต่อสู้กับปัญหาการกัดกร่อนซึ่งส่งผลต่อการลดต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต หรือ Life cycle cost (LCC) และผลในเชิงเศรษฐกิจในภาพรวม แต่ก็ยังมีความต้องการเทคโนโลยีและมาตรการในการบำรุงรักษาที่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพอันเกิดขึ้นจากการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อรองรับต่อสถานการณ์ดังกล่าว โดยพิจารณาถึงการลดต้นทุนในการป้องกันปัญหาการกัดกร่อนและการใช้เทคโนโลยีในการป้องกันการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากการกัดกร่อน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการศึกษาและตรวจสอบในประเด็นต่างๆ เช่น การก่อสร้างสะพานซึ่งตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการใช้เหล็กด้านทานการกัดกร่อนซึ่งช่วยลดต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) วิธีในการปรับปรุงความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนและความทนทานของสะพานโครงสร้างเหล็ก วิธีที่ใช้วัสดุด้านทานการกัดกร่อน และวิธีที่คงสมรรถนะด้านทานการกัดกร่อนให้กับสะพานโครงสร้างเหล็ก ตลอดจนวิธีในการแก้ไขปัญหาการกัดกร่อนของสะพานโครงสร้างเหล็กผลที่ได้รับจากงานวิจัยในครั้งนี้แสดงไว้ในลำดับถัดไป

ด้วยเหตุดังกล่าว คณะทำงานด้านความทนทานต่อการกัดกร่อนของสะพานโครงสร้างเหล็ก คณะกรรมการวิจัยสะพานโครงสร้างเหล็กที่ยืดหยุ่นและมีอายุยืนยาว ซึ่งจัดตั้งขึ้นโดยสมาคมเหล็กก่อสร้างแห่งประเทศไทย หรือ Japanese Society of Steel Construction (JSCE) จึงได้มีมาตรการในการส่งเสริมงานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานผลิตภัณฑ์เหล็กด้านทานการกัดกร่อนสำหรับงานก่อสร้างสะพาน ตลอดจนเทคโนโลยีในการบำรุงรักษา รวมไปถึงวิธีในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น โดยส่วนหนึ่งของผลสำเร็จที่ได้รับ จะแสดงไว้ดังรายละเอียดต่อไป:

การใช้งานและการบำรุงรักษาสะพานโครงสร้างเหล็กด้านทานการกัดกร่อน

- การใช้สะพานโครงสร้างเหล็กด้านทานการกัดกร่อนในพื้นที่ที่ต้องมีการโรยเกลือเพื่อขจัดน้ำแข็งในบริเวณที่หนาวจัดและมีหิมะตก

การใช้สะพานโครงสร้างเหล็กด้านทานการกัดกร่อนในพื้นที่ที่ต้องมีการโรยเกลือได้ส่งผลต่อความเสียหายต่อการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเจือปนของเกลือกับน้ำฝน โดยพบได้ทั่วไปกับสะพานโครงสร้างเหล็กหลายแห่ง นอกจากนี้ยังมีปรากฏให้เห็นถึงตัวอย่างของการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการกระเซ็นของเกลือจากผิวถนนอีกด้วย

จากปัญหาในข้างต้นก็ได้มีการศึกษาสะพานโครงสร้างเหล็กในพื้นที่ที่เผชิญไอเกลือจากน้ำทะเลในระดับที่ต่ำ โดยได้มีการสำรวจปริมาณของเกลือที่นำมาโรยและปริมาณของเกลือที่กระเซ็นไปยังคานสะพานโครงสร้างเหล็ก ตลอดจนการกัดกร่อนอันส่งผลต่อการลดลงของเนื้อเหล็ก ดังนั้นจึงต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเกลือที่ละลายน้ำแข็งที่กระเซ็นและตัวอย่างชิ้นงานเหล็กที่นำมาใช้ทดสอบ โดยได้

นำมาแสดงไว้ดังภาพที่ 1

รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเกลือที่ละลายน้ำแข็งที่โรยลงไปกับผิวถนนและปริมาณของเกลือที่กระเซ็นไปสู่ด้านบนของปีกล่างของคานสะพานโครงสร้างเหล็ก ปริมาณของเกลือที่กระเซ็นไปสู่คานสะพานโครงสร้างเหล็กสามารถประมาณการได้จากสมการดังรูป รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือละลายน้ำแข็งที่กระเซ็นและปริมาณที่แผ่นเหล็กสูญเสียเนื้อเหล็กที่ต้องเผชิญกับเหตุการณ์ดังกล่าวเป็นระยะเวลา 1 ปี ในภาพยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของไอเกลือจากน้ำทะเลและปริมาณความสูญเสียเนื้อเหล็กของแผ่นเหล็ก ซึ่งในขณะที่มีความแตกต่างขององค์ประกอบระหว่างไอเกลือที่หลอมจากน้ำทะเลและเกลือละลายน้ำแข็งที่กระเซ็น แต่ก็ยังพบเห็นถึงความสัมพันธ์ที่เหมือนกันระหว่างปริมาณเกลือที่ลอยมาและปริมาณของความสูญเสียเนื้อวัสดุที่ได้แสดงในรูป

ภาพที่ 1 การจัดวางตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดไอเกลือที่ลอยในอากาศและตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหล็กสำหรับการทดสอบ

รูปที่ 1 ปริมาณของเกลือละลายน้ำแข็งที่นำมาโรยและปริมาณของเกลือที่กระเซ็นไปสู่คานสะพาน

รูปที่ 2 ปริมาณของเกลือละลายน้ำแข็งที่ลอยในอากาศและความหนาของแผ่นเหล็กที่ลดลง

- กรณีศึกษาการสำรวจโครงถัก โครงอาร์ช และสะพานโครงสร้างเหล็กประเภทอื่นที่มีการใช้เหล็กด้านทานการกัดกร่อน

ตัวอย่างความเสียหายและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับสะพานโครงสร้างเหล็กรูปคานตัวไอและคานรูปกล่องที่มีการใช้เหล็กด้านทานการกัดกร่อนก็ได้มีการรวบรวมบันทึกไว้ อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างความเสียหายกับสะพานโครงถักและโครงอาร์ชก็ปรากฏดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบเห็นไม่มากนัก จากผลการสำรวจข้อมูลพบว่าสะพานโครงสร้างเหล็กที่มีการใช้เหล็กด้านทานการกัดกร่อน เป็นสะพานทางหลวงถึงราว 92% เป็นสะพานตามเส้นทางรถไฟประมาณ 4% และเป็นสะพานประเภทอื่นอีก 4% ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นถึงการใช้เหล็กด้านทานการกัดกร่อนกับสะพานทางหลวงที่มีปริมาณมาก ทั้งนี้มีสะพานที่เป็นระบบโครงสร้างลักษณะพิเศษประมาณ 9% ของสะพานโครงสร้างเหล็กด้านทานการกัดกร่อนทั้งหมด

นอกจากนี้ยังได้มีการสำรวจรายละเอียดของโครงสร้างและสมรรถนะในการป้องกันการกัดกร่อนของสะพานโครงสร้างเหล็กด้านทานการกัดกร่อนจำนวน 27 สะพานซึ่งก่อสร้างในบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก จากผลการสำรวจที่ได้รับพบว่าไม่ปรากฏความเสียหายขึ้นกับสะพานที่ก่อสร้างในบริเวณที่สภาพแวดล้อมเหมาะสมคือพื้นที่ก่อสร้างสะพานอยู่ห่างจากทะเล ในขณะที่จะพบเห็นสนิมกับสะพานที่ก่อสร้างใกล้กับทะเล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของสมอึดและส่วนที่ไม่ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนโดยการขยายพื้นที่ทดสอบให้มากยิ่งขึ้นในบริเวณที่อยู่ใกล้กับทะเลและบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อผลกระทบจากเกลือละลายน้ำแข็งที่โรยอยู่ด้านบน

ภาพที่ 2 สะพานโครงสร้างเหล็กชนิดพิเศษที่ก่อสร้างด้วยเหล็กด้านทานการกัดกร่อน

- การศึกษาหาแนวทางในการประเมินสภาพและระดับของการกัดกร่อนของเหล็กด้านทานการกัดกร่อนโดยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

แม้ว่าเหล็กด้านทานการกัดกร่อนจะมีสมรรถนะในการต้านทานการเกิดสนิมจากการใช้แผ่นฟิล์มสนิมที่เกิดขึ้นอย่างพิเศษนี้มากป้องกันผิวเหล็ก แต่อย่างไรก็ดี ในสภาพแวดล้อมบางลักษณะฟิล์มสนิมก็สามารถที่จะพัฒนาขึ้นมาได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินระดับของการกัดกร่อนจากการเข้าไปสำรวจตรวจสอบโครงสร้าง ซึ่งการจะตรวจสอบว่าฟิล์มสนิมได้เกิดขึ้นหรือไม่นั้นก็มีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการเข้าสำรวจตรวจสอบด้วยสายตา แต่อย่างไรก็ดีการเข้าสำรวจตรวจสอบด้วยสายตาที่มีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวิจรรย์ณญาณที่แตกต่างกันของวิศวกรที่ได้เข้าไปสำรวจสภาพดังกล่าวนี้

เพื่อเป็นการลดความคาดเคลื่อนของผลการตรวจสอบดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาวิธีการประเมินระดับของการเกิดสนิมด้วยการใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายของสนิมที่เก็บตัวอย่างจากหน้างานมาทดสอบโดยใช้เทปกาที่ทาจากกระดาษแก้ว ที่เรียกว่า cellophane tape test ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ ระดับของการสึกกร่อนก็สามารถที่จะตรวจสอบได้จากขนาดของอนุภาคสนิมแต่ละชนิด แต่ทั้งนี้หากชนิดของอนุภาคสนิมมีเป็นจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 3 ก็จะสามารถให้ผลการตรวจสอบได้อย่างแม่นยำ ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั้นได้มีการตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุภาคสนิม ทำให้สามารถตรวจสอบขนาดของอนุภาคสนิม ซึ่งไม่มีสนิมที่ขึ้นผิวในบริเวณใกล้เคียง

รูปที่ 3 อนุภาคสนิมที่ทับซ้อนกัน

มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาการเกิดสนิมของสะพานโครงสร้างเหล็ก

- การจัดเตรียมและการใช้แผนที่แสดงความรุนแรงต่อการกัดกร่อนโดยใช้แบบจำลองสามมิติ

โดยส่วนใหญ่แล้วการตรวจสอบสภาพและการบันทึกระดับของการเกิดสนิมจากการตรวจสอบสภาพจะขึ้นอยู่กับความชำนาญและประสบการณ์ของวิศวกรผู้เข้าสำรวจ นอกจากนี้แผนที่แสดงสภาพความรุนแรงต่อการกัดกร่อนที่ใช้ในปัจจุบันยังอ้างอิงจากแบบจำลองสองมิติและข้อมูลภาพถ่ายซึ่งยังไม่ได้มีการพัฒนาแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความรุนแรงต่อการกัดกร่อน เทียบกับลักษณะหรือระดับของความรุนแรงของการเกิดสนิมที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง โดยเพื่อเป็นการเตรียมการสำหรับการบูรณะบำรุงสะพานโครงสร้างเหล็ก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการบันทึกสภาพของการกัดกร่อนในระหว่างการตรวจสอบโครงสร้างเพื่อควบคุมจัดการข้อมูลให้มีความเหมาะสมต่อไป

หนึ่งในวิธีการที่สามารถผลักดันให้ไปสู่เป้าหมายดังกล่าวได้จึงได้มีการเตรียมแผนที่แสดงระดับความรุนแรงต่อการกัดกร่อนแบบสามมิติ (รูปที่ 4) โดยการใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายสามมิติเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้สำหรับยืนยันและตรวจสอบระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งได้มีการเสนอว่าเป็นหนึ่งในวิธีการสำหรับการบริหารจัดการข้อมูลในการบำรุงรักษาและใช้สำหรับฝึกอบรมวิศวกรผู้ตรวจสอบต่อไป

แผนที่แสดงระดับความรุนแรงต่อการกัดกร่อนแบบสามมิตินี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการระบุสาเหตุของการกัดกร่อน และเป็นข้อมูลเพื่อประยุกต์ใช้ในการจะเตรียมมาตรการในการบูรณะบำรุง นอกเหนือจากนี้วิธีการดังกล่าวก็ยังนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพ สำหรับวิศวกรผู้ตรวจสอบที่จะช่วยอธิบายถึงวิธีการในการบูรณะบำรุงที่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนการแสดงถึงวิธีการใช้แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนแบบสามมิติต่อไป

รูปที่ 4 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนแบบสามมิติ

- วิธีการในการประเมินกำลังที่เหลือ ณ ตำแหน่งปลายคานที่เกิดสนิมและการปรับปรุงแก้ไข

ความถี่ของการเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนพบได้ค่อนข้างมากในบริเวณปลายคานซึ่งสูงถึงราว 40% ของความเสียหายจากการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยสำหรับความเสียหาย ณ ตำแหน่งดังกล่าวนี้ ก็ได้มีการตรวจวัดระดับความหนาที่เหลืออยู่ของแผ่นเหล็กและประเมินกำลังรับแรงที่เหลือโดยอ้างอิงจากผลการสำรวจขนาดมิติดังกล่าวอันนำไปสู่วิธีการที่ใช้ในการซ่อมแซมและการเสริมกำลังต่อไป

แต่อย่างไรก็ดี มีความเป็นกังวลต่อความเหมาะสมในการดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าว ซึ่งก็ได้มีการตรวจวัดขนาดความหนาของแผ่นเหล็กที่เหลืออยู่โดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Eddy current) โดยไม่ต้องสกัดนิมออกจากผิว (อ้างอิงรูปที่ 5) นอกจากนี้ยังได้มีการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์การเสียรูปแบบอีลาสติก-พลาสติก ซึ่งสามารถประเมินกำลังรับแรงเฉือน ณ บริเวณปลายคานที่มีการเกิดสนิมขึ้นได้ นอกจากนั้นแล้วยังได้มีการนำแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เข้ามาใช้ในการซ่อมแซมและเสริมกำลังให้กับบริเวณที่เกิดการสูญเสียเนื้อเหล็กอันเนื่องมาจากการเกิดสนิมขึ้นที่บริเวณปลายคาน ซึ่งผู้วิจัยก็ได้มีการตรวจสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นด้วย

รูปที่ 5 การกระจายตัวของระดับความหนาที่เหลืออยู่ของแผ่นเหล็ก ณ ตำแหน่งปลายคาน

- การตรวจสอบผลการใช้แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนเพื่อปรับปรุงสมรรถนะโดยรวม

แผ่นพื้นด้านทานการกัดกร่อนได้ถูกพัฒนาขึ้นจากคณะทำงานหลายชุด แผ่นพื้นนี้ไม่ได้ใช้สำหรับการปรับน้ำหนักเท่านั้น แต่ยังใช้ในการป้องกันไม่ให้คานสะพานต้องเผชิญกับสภาวะการกัดกร่อนที่รุนแรง (จากรูปที่ 6 และภาพที่ 3)

คณะทำงานได้ดำเนินการศึกษาถึงสมรรถนะของแผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนไปทำการพิจารณาประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตระหว่างสะพาน 2 สะพาน โดยสะพานแรกมีการใช้แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนและอีกสะพานไม่ได้มีการใช้แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อน นอกไปจากนั้นแล้วยังได้มีการนำเสนอถึงผลการทดสอบเพื่อยืนยันถึงสมรรถนะในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นพื้นดังกล่าวด้วย

จากการทดสอบที่ได้นำไปดำเนินการ โดยพิจารณาถึงปัจจัยหลักหลายประการก็ได้ข้อสรุปว่า แผ่นพื้นดังกล่าวสามารถป้องกันไอเกลือที่ลอยมาในอากาศและสามารถลดระยะเวลาในการแห้งตัวของผิวน้ำที่เกาะอยู่ด้านใน นอกจากนี้ผลการทดสอบกับสภาพภายนอกจริงก็แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะในการป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นพื้น แต่

อย่างไรก็ตามแผ่นพื้นก็ไม่ได้ถูกนำมาใช้กับงานก่อสร้างสะพานจริงเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งส่งผลให้เทคโนโลยีดังกล่าวมีตัวอย่างที่สามารถจะนำมาใช้อ้างอิงตรวจสอบสมรรถนะของการใช้งานจริงได้อย่างจำกัด ซึ่งหมายความว่ายังมียังมีการมียุติออกมาที่ยังต้องดำเนินการในการยืนยันถึงสมรรถนะของการใช้แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนในสภาพการใช้งานจริง

รูปที่ 3 แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อน

ภาพที่ 6 แผ่นพื้นป้องกันการกัดกร่อนที่อยู่ด้านใน

Reference

- 1) Public Works Research Institute of the Ministry of Construction, Kozai Club and Japan Bridge Association: Joint Research Report on Application of Weathering Steel to Bridges XVIII, 2003 (in Japanese)



Eiji Iwasaki: After finishing the doctoral course at the Graduate School, Nagaoka University of Technology in 1990, he served as associate professor of Nagaoka University of Technology. He assumed his current position as professor, Graduate School of Nagaoka University of Technology in 2012. His profession covers structural engineering, steel structure engineering and structural analysis.

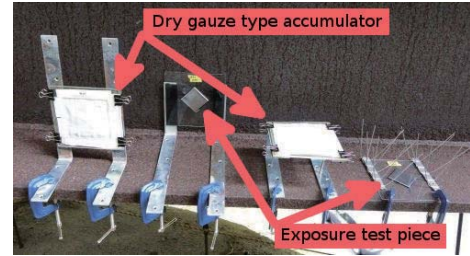


Photo 1 Arrangement of flying salt accumulator and exposed steel product test pieces

Fig. 1 Amount of Deicing Salt Sprayed and Amount Flying onto Girders

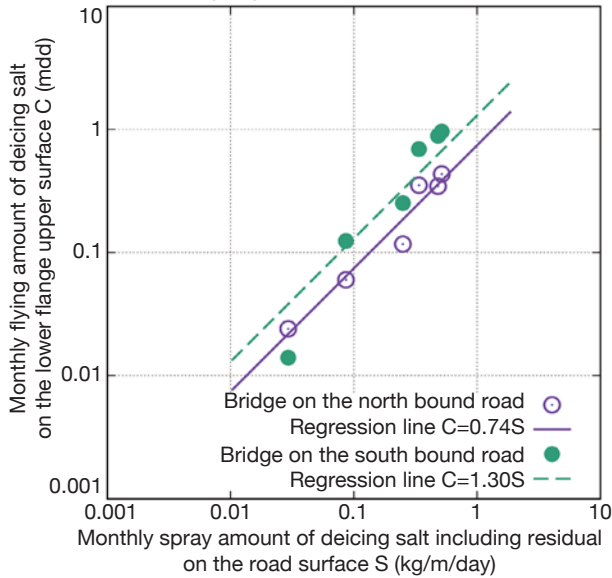


Fig. 2 Amount of Flying Deicing Salts and Corrosion Loss of Plate Thickness

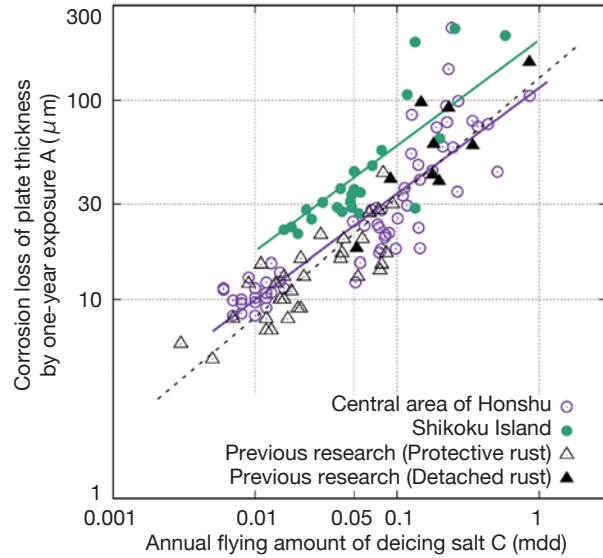


Photo 2 Special-type bridges constructed using weathering steel

Fig. 3 Overlapped Rust Particles



Fig. 4 Three-dimensional Corrosion Map

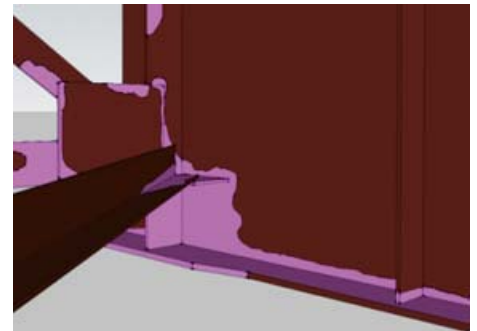


Fig. 5 Distribution of Residual Plate Thickness in Girder Web Ends

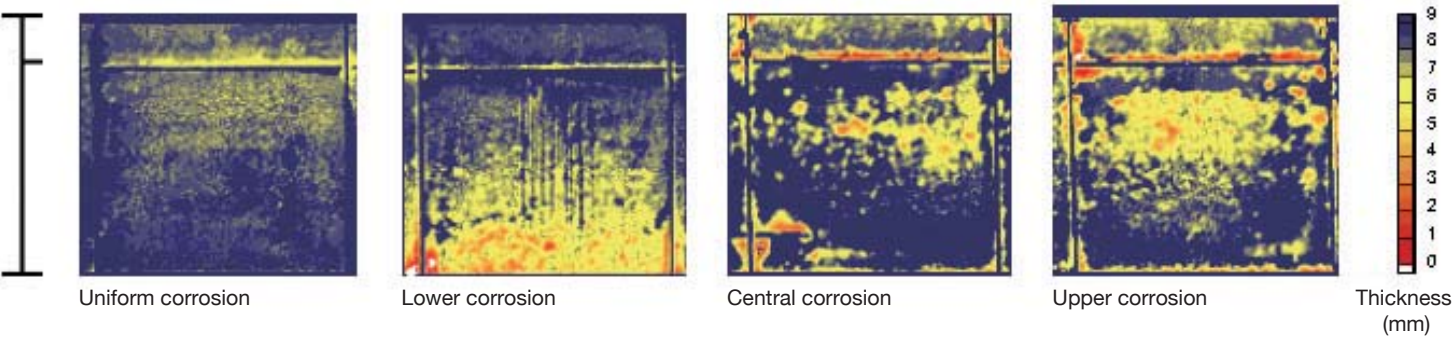


Fig. 6 Multi-function Corrosion-protection Deck

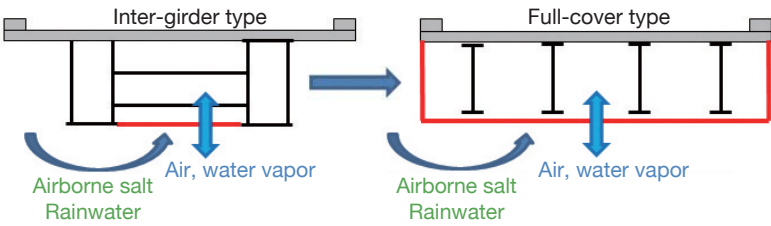


Photo 3 Interior of multi-function corrosion-protection deck

(หน้า 15~18)

หัวข้อพิเศษ

ความเป็นไปได้ในการพัฒนานวัตกรรมการก่อสร้างที่มีการใช้ข้อมูลทางสถิติ

โดย Tomoyuki Higuchi

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยด้านข้อมูลและระบบ ผู้อำนวยการสถาบันคณิตศาสตร์สถิติ

คำว่า “สถิติคณิตศาสตร์” และ “คณิตศาสตร์สถิติ” เป็นคำที่มีความหมายใกล้เคียงกันและมักจะทำให้เกิดความสับสน แต่ทั้งสองคำนี้แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงในแง่ของเนื้อหาและเป้าหมายในเชิงวิชาการ ในขณะที่คำว่าสถิติคณิตศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของทฤษฎีทางสถิติ แต่คำว่าคณิตศาสตร์สถิติเป็นคำที่คิดขึ้นโดยผู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อตั้งสถาบันคณิตศาสตร์สถิติในปี 1944

คณิตศาสตร์สถิติถูกมองว่าเป็นระบบของกระบวนการที่เป็นไปตามหลักเหตุผลและผล โดยพิจารณาปัจจัยสำคัญที่เป็นประเด็นในเชิงปฏิบัติ หากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ตลอดจนการจัดทำแผนการทดสอบแต่การศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นอันนำไปสู่การจัดทำเป็นข้อเสนอแนะ และแนวทางการปฏิบัติงานต่อไป ดังนั้นขอบเขตของคณิตศาสตร์สถิติจึงมีความครอบคลุมการปฏิบัติงานในสาขาต่างๆ มากมาย

องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data science) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence)

วิทยาศาสตร์ข้อมูลได้ถูกมองว่าเป็นระบบของศูนย์กลางซึ่งผนวกรวมวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายสาขาที่เกี่ยวข้องกับความรู้ในเชิงสถิติ ซึ่งประกอบไปด้วย การทำให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ได้ด้วยตัวเองโดยใช้ข้อมูล (Machine learning) การทำเหมืองข้อมูล (Data mining) การหาประโยชน์สูงสุดจากข้อมูล (Data optimization) รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงหลักการของวิทยาศาสตร์ข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงสาขาทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ โดยจะเกี่ยวข้องกับสาขาปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งเป็นเนื้อหาที่กว้างกว่าวิทยาศาสตร์ข้อมูล แต่อย่างไรก็ตามก็มีความรู้ต่างๆ เหล่านี้ก็มีแนวโน้มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

หากพิจารณาปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในมุมมองด้านคณิตศาสตร์ จะหมายถึงเทคโนโลยีการคำนวณที่ผนวกรวมองค์ความรู้ด้านต่างๆ ทั้ง ด้าน machine learning ด้านสถิติ ด้าน data optimization และด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Machine learning อาจนิยามได้ว่าเป็นระบบการเรียนรู้ที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญสามประการคือ เป้าหมาย โมเดลทางคณิตศาสตร์ และตรรกะการเรียนรู้

เป้าหมายจะสัมพันธ์กับวิธีในการประมวลผลข้อมูล ทั้งการหาความสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนของความสัมพันธ์กับข้อมูลที่รวบรวมได้ การจำแนกและการแยกแยะข้อมูล สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะมีการพิจารณาแบบจำลองจำนวนมากและหลากหลายรูปแบบ ในส่วนของการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) นั้นโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ หรือ Artificial Neural Network (ANN) จะถูกนำมาใช้เป็นหนึ่งในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวถึง ANN เป็นแบบจำลองที่ไม่ได้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นที่สามารถเชื่อมโยงปัจจัยเข้า (input) กับผลที่ได้ (output) โดยมีการพัฒนาระบบเส้นประสาทสมอง (cranial nerve) ที่ลดความสลับซับซ้อนลง จากที่กล่าวถึง deep learning จึงเป็น machine learning ประเภทหนึ่ง และด้วยเหตุที่มีตัวแปรที่ไม่ทราบอีกมากที่อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ deep learning จึงต้องมีการเรียนรู้

จากข้อมูลที่มี วิธีการที่ใช้ในการหาตัวแปรเหล่านี้เรียกว่า ตรรกะการเรียนรู้ (learning algorithm)

เมื่อองค์ประกอบทั้งสามประการนี้ครบถ้วนสมบูรณ์ ก็อาจกล่าวได้ว่า Machine learning ก็จะสามารถดำเนินการตามโปรแกรมไว้ได้

รูปที่ 1 ภาพรวมของสาขาวิชาคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูล

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึกเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเส้นตรงซึ่งโดยหลักการแล้วก็เป็นสิ่งเดียวกับระบบเส้นประสาทแต่เป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในช่วงทศวรรษ 1980 (ช่วงที่ปัญญาประดิษฐ์หรือ AI ได้รับความนิยมเป็นครั้งที่สอง) ส่วนที่อยู่ระหว่างปัจจัยเข้า (input) กับผลที่ได้ (output) เรียกว่า ชั้นระหว่างกลาง (interim layer) ซึ่งมีจุดเชื่อมต่อ (node) หลายจุดอยู่ในชั้นนั้น โดยจำนวนของชั้นระหว่างกลางจะมีเพียงแค่หนึ่งชั้นหรือสองชั้นในช่วงทศวรรษ 1980 แต่ในปัจจุบันจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นเป็นหลัก 10 ในบางกรณีอาจจะเพิ่มถึง 100 และสำหรับในกรณีที่เป็นการประยุกต์ใช้งานในด้านภาษาอาจจะถึง 1000 ชั้น

ด้วยเหตุดังกล่าว จำนวนของตัวคูณถ่วงน้ำหนัก (weighting factor) ที่เชื่อมต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อ (node) ก็จะมีจำนวนมากมายมหาศาล และด้วยเหตุที่ตัวคูณถ่วงน้ำหนักเป็นตัวแปรประเภทหนึ่ง ในหลายครั้งก็พบว่าจะมีตัวเลขไม่ทราบค่าที่มากมายถึงเกือบ 1,000,000,000 ตัวเลข ประเด็นที่สำคัญยิ่งที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเรื่องของการ over learning ที่มักจะเกิดขึ้นเมื่อจำนวนตัวแปร มีค่าน้อยกว่าจำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังเช่นในปัจจุบันซึ่งเป็นยุคของ big data

จำนวนของจุดเชื่อมต่อ (node) ที่อยู่ในชั้นระหว่างกลาง (interim layer) ตลอดจนรูปแบบที่จุดเชื่อมต่อแต่ละจุดมีการเชื่อมต่อกัน ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นโครงสร้างของชั้นระหว่างกลางเป็นสิ่งที่ควรต้องพิจารณาให้เกิดความเหมาะสม ด้วยลักษณะการเป้าหมายการใช้งานของระบบการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ให้ผลที่สำเร็จมากมาย การใช้เสียง การใช้ภาษาธรรมชาติ และการใช้ภาษาจึงเป็นพื้นฐานที่เป็นเป้าหมายที่สำคัญ

โครงสร้างระบบการเรียนรู้เชิงลึกมากมายหลายประเภทได้ถูกนำมาจัดกลุ่มตามลักษณะทางโครงสร้างและการนำไปใช้งาน โดยแสดงเป็นภาพคร่าวๆ ไว้ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การจัดกลุ่มโครงข่ายประสาท (DNN) ของการเรียนรู้เชิงลึก

จุดอ่อนของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

การทำให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ได้ด้วยตัวเองโดยใช้ข้อมูล (Machine learning) คือการหาข้อสรุปที่มีเหตุผลอันเป็นไปตามกฎเกณฑ์ที่ได้สร้างเอาไว้ และการตัดสินใจที่อ้างอิงจากข้อมูลที่มี โดยสำหรับการหาข้อสรุปที่มีเหตุผลนั้น มีจุดอ่อนอยู่หลายประการ ดังนั้นแล้วเพื่อให้สามารถนำระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจถึงจุดอ่อนดังกล่าวอย่างลึกซึ้ง

อันดับแรก ข้อสรุปที่มีเหตุผลจะมีความน่าเชื่อถือหากเป็นการประมาณการภายในช่วงข้อมูลที่มีอยู่ (Interpolation) ไม่ใช่เป็นการประมาณการนอกช่วงข้อมูล (Extrapolation) ดังนั้นการประมาณการหาข้อสรุปของเหตุการณ์ที่นานๆ จะเกิดขึ้นครั้งหนึ่ง ก็จะต้องเห็นถึงความผิดพลาดดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ในทางกลับกันการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบเพื่อประมาณการนอกช่วงข้อมูลจะให้ผลลัพธ์ที่มีความเชื่อมั่นมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะ

มีข้อเสียในด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูงกว่า

นอกจากนี้จำเป็นจะต้องมีความเข้าใจอย่างถูกต้องถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล กล่าวคือเมื่อมีการนำ Machine Learning เข้ามาประยุกต์ใช้เพราะจะสามารถหาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างไม่ยากเย็นนัก ทั้งนี้สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลก็มีคำกล่าวที่แนะนำไว้โดยผู้ทำธุรกิจด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ว่า “ถ้าหากได้มีการทำกิจกรรมต่างๆ ไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และปรากฏผลเป็นยอดขายที่เพิ่มขึ้น กิจกรรมที่ดำเนินการดังกล่าวก็เป็นสิ่งที่ถูกต้องและเหมาะสม” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเป้าหมายในทางธุรกิจคือการหาความสัมพันธ์ที่ถูกต้องและเหมาะสม

ในทางกลับกัน สำหรับปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตของมนุษย์โดยตรง เช่น การจัดการด้านความปลอดภัยของโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐาน ก็มีความจำเป็นที่จะต้องหาความสัมพันธ์ของเหตุและผลดังที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องมีการนำข้อมูลมาบังคับใช้เป็นเครื่องมือ ดังเช่นในกรณีของการทำธุรกิจที่ต้องมีเครื่องมือทางการเงิน ก็มีความจำเป็นที่จะต้องประยุกต์การใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภคในลักษณะการใช้งาน

ดังนั้นแล้ว สำหรับการส่งเสริมงานวิจัยในเชิงวิทยาศาสตร์และการดำเนินการของภาคอุตสาหกรรม ก็มีความจำเป็นที่จะต้องหาความเชื่อมโยงของผลอันเกิดจากสาเหตุต่างๆ (หาความสัมพันธ์) ซึ่งก็ต้องทำความเข้าใจถึงข้อจำกัดของ machine learning ที่จะเป็นเครื่องมือในการหาความสัมพันธ์ดังกล่าว กล่าวคือด้วยเหตุที่โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ หรือ Artificial Neural Network (ANN) ที่ได้จาก Machine learning เป็นเสมือน “กล่องดำ” ถึงควรต้องหาความสัมพันธ์ของปัจจัยเข้า (input) กับผลลัพธ์ที่ได้ (output) และทำให้เกิดความกระจ่างเป็น “กล่องใส” แทน

นอกจากสำหรับวิธีการในการหาข้อสรุป ก็มีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบถึงความถูกต้องของข้อสรุปที่ได้ซึ่งขึ้นกับลักษณะของปัญหาที่แตกต่างกัน ไม่มีข้อสรุปใดที่ให้ผลสรุปถึงความผิดพลาดในเชิงบวกหรือความผิดพลาด ผิดพลาดในเชิงลบอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่นในกรณีของการตรวจมะเร็งของคนไข้ เพื่อไม่ให้เกิดข้อสรุปว่าคนไข้ไม่มีความเสี่ยง หรือไม่มีความผิดพลาดในเชิงลบ (คนไข้ไม่มีปัญหาต่อการเป็นโรคมะเร็ง แต่มีความเจ็บปวดจากโรคมะเร็ง) ก็อาจพิจารณาว่าคนไข้มีความเสี่ยงเป็นโรคมะเร็งที่ไม่แน่ชัดเป็นการทดแทน สำหรับในกรณีของรถยนต์ไร้คนขับ โดยเหตุที่การควบคุมพวงมาลัยอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ระบบการแจ้งเตือนภัยในกรณีที่ไม่มีความปลอดภัย จึงไม่ได้ถูกนำมาใช้ในแผนการควบคุม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง การออกแบบระบบรถยนต์ไร้คนขับจะไม่ได้มีการนำหลักการของความผิดพลาดในเชิงบวกเข้ามาใช้

ที่ได้กล่าวถึงนี้ พอจะสรุปได้ว่ายังมีข้อจำกัดในการหาข้อสรุปจากกฎเกณฑ์ที่สร้างขึ้นโดยการใช้ข้อมูลที่มี และการหาจุดสมดุลระหว่างความผิดพลาดในเชิงลบและความผิดพลาดในเชิงบวกซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยากยิ่งในการนำระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ามาใช้ในการดำเนินกิจกรรมทางธุรกิจ

คู่แฝดดิจิทัล (Digital Twins)

ยังไม่ปรากฏให้เห็นความแตกต่างระหว่างคู่แฝดดิจิทัล (Digital twins) กับระบบกายภาพไซเบอร์ (Cyber physical systems) ทั้งนี้ก็มีองค์ประกอบสำคัญสามประการที่ควรต้องพิจารณา 1) ข้อมูลที่วัดได้ 2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3) ประสิทธิภาพและสัญญาณ หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทั้งสามประการนี้ก็จะสามารถพบได้ถึง พัฒนาการที่ก้าวล้ำด้านเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงในลำดับถัดไป

เมื่อสมการพื้นฐานเพื่อการประเมินผลหนึ่งๆ ยังไม่ได้รับการพัฒนาออกมาแบบจำลองก็ได้รับการพัฒนาขึ้นจากชุดข้อมูลที่มีเพื่อใช้สำหรับการประมาณตามเป้าหมายที่ต้องการ ขนาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ก็มีการเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลองอย่างง่ายที่มีตัวแปรอยู่จำนวนหนึ่งพร้อมระดับความเชื่อมั่นของความสัมพันธ์ (self regression) ไปสู่แบบจำลองขนาดใหญ่ที่มีระบบการเรียนรู้เชิงลึกเข้ามาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน

การตรวจสอบตัวเลขหรือค่าที่ไม่ปกติเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งของการปฏิบัติงานในภาคอุตสาหกรรม โดยการตรวจสอบค่าที่ไม่ปกติของการปฏิบัติงานโดยพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญสามประการดังที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น แบบจำลองที่ใช้สำหรับทดสอบค่าที่ไม่ปกติจะถูกพัฒนาขึ้นโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีการนำประสบการณ์และสัญญาณมาทดสอบข้อมูลที่วัดออกมาได้ผ่านระบบ Machine learning

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการและโครงสร้างของแบบจำลองที่มีการนำองค์ประกอบที่สำคัญทั้งสามประการนี้เข้ามาใช้ในการพิจารณาหาค่าที่ไม่ปกติ - เป็นเทคนิคที่มีการใช้ข้อมูลที่ตรวจวัดได้มาเป็นข้อมูลควบคุม และพัฒนาแบบจำลองที่สามารถสร้างขึ้นได้โดยการใช้ Machine learning โดยอ้างอิงจากผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยส่วนใหญ่แล้วแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักจะต้องใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน ต่างกับกรณีของการสร้างแบบจำลองด้วยตัวเอง ที่จะใช้เวลาค่อนข้างสั้นและไม่สลับซับซ้อนลักษณะคล้ายครั้งกับแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น (linear regression model) ซึ่งส่งผลให้การหาตัวแปรที่ต้องการสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงหน้าที่ขององค์ประกอบที่สำคัญทั้งสามประการ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่วัดได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมไปถึงประสิทธิภาพและสัญญาณ

วิธีการที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลจากทั้งสามองค์ประกอบจากแหล่งข้อมูลที่เก็บมาได้ นั้น อ้างอิงทฤษฎีที่เรียกว่า Bayes' theorem รูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้งสามประการในภาพของคู่แฝดดิจิทัล โดยมีการสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมข้อมูลในช่วงกลางทศวรรษ 1990 โดยในปัจจุบันการรวบรวมข้อมูลเป็นสิ่งที่ใช้กันมากกับการพยากรณ์อากาศ ซึ่งนับได้ว่าเทคโนโลยีที่ใช้ในการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลที่เป็นสิ่งที่มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

รูปที่ 3 การตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติที่พิจารณาได้ว่าเป็น ข้อมูลหลดกรอบ ช่วงที่ผิดปกติ และจุดที่มีการเปลี่ยนแปลง

รูปที่ 4 การตรวจวัดแบบเลียนแบบและแบบเสมือน

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่สำคัญทั้งสามประการในภาพของคู่แฝดดิจิทัล

การใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลและเทคโนโลยีเชื่อมต่อ

งานวิจัยที่ได้มีการนำประสบการณ์และสัญญาณที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้แบบจำลองที่สามารถสร้างขึ้นได้ซึ่งอ้างอิงกับวัตถุประสงค์ที่สนใจโดยการใช้ข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากตามหลักการของ Machine learning เป็นหัวข้อที่ได้รับการส่งเสริมอย่างมาก ในปัจจุบัน ซึ่งด้วยองค์ความรู้ที่ค่อนข้างแตกต่างจากสาขาวิชาทางด้านวิศวกรรมโยธางานวิจัยในกลุ่มนี้จึงสามารถที่จะอธิบายได้อย่างอิงจากตัวอย่าง

ของพัฒนาการทางด้านเภสัชกรรม

เมื่อข้อมูลจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารประกอบออร์แกนิกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลได้ถูกนำมาแสดงในรูปภาพ แนวโน้มของความสัมพันธ์จะมีลักษณะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงหากพิจารณาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลต่อบุคคลดังที่ปรากฏในระบบฐานข้อมูลโครงข่ายประกันสังคม หรือ social network services (SNS) หรือกล่าวอีกในหนึ่งในขณะที่สามารถหาความสัมพันธ์ได้แนวโน้มของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบออร์แกนิก แต่เป็นสิ่งที่ยากลำบากสำหรับมนุษย์ที่จะหาความสัมพันธ์ดังกล่าวซึ่งอ้างอิงจากฐานข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากได้ Machine learning จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้สำหรับการดำเนินการดังกล่าวนี้

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างโมเลกุลสามารถที่จะประมาณการออกมาได้โดยการ ใช้สมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ทางเคมี (สมการโครงสร้างทางเคมี) ในขณะที่ความสัมพันธ์อาจไม่ได้สอดคล้องกับโครงสร้างขององค์ประกอบทั้งสามมิติ แต่ก็ยังสามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะของสารประกอบออร์แกนิก และเมื่อข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างโมเลกุลได้ถูกแปลงไปเป็นสัมพันธ์ดังที่ได้นำเสนอไปในข้างต้น ก็มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีด้านภาษาที่มีอยู่หลากหลายที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมาในปัจจุบัน

ตัวอย่างเช่น หากว่ามีสมการทางเคมีสำหรับการประมาณค่าหนึ่งๆ แล้วจะสามารถหาสมการที่เกี่ยวข้องโดยการนำหลักของความน่าจะเป็นที่สามารถคาดการณ์จากคำพูดที่มีการใช้กันทั่วไปกับโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์ที่ทันสมัยต่างๆ เมื่อความสัมพันธ์นี้ได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ก็มีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถผลิตข้อมูลจำลองที่สะท้อนกับองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ฐานข้อมูลได้ ถึงจุดนี้ในส่วนที่การนำ Machine learning เข้ามาใช้ นั่น การนำความรู้ที่ซ่อนอยู่ในฐานข้อมูลเข้ามาใช้ประโยชน์ควรจะต้องมีการหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการทำแบบจำลองที่สอดคล้องกับข้อมูลที่มี

โดยสรุปแล้วเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดการกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล และในขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณานำเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงข้อมูลเข้ามามีประโยชน์กับข้อมูลที่มี ในกรณีของการนำ Internet of Things (IoT) เข้ามาใช้ในการเก็บข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานอย่างต่อเนื่อง การจัดการกับชุดข้อมูลเพียงชุดเดียวนั้นก็ยังไม่เพียงพอซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องเชื่อมโยงข้อมูลมากมายหลายชนิดเข้าด้วยกัน (เป็นข้อมูลที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้และเป็นข้อมูลที่เก็บโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอื่นๆ) ในการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าด้วยกันนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์มากมายหลายชนิดสำหรับกิจกรรมหลายอย่างเช่นการจัดการต่อการสูญเสียและการการันตีคุณภาพ

ตัวอย่างเช่นในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งที่ติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ของสะพาน ข้อมูลที่บันทึกได้จากกล้องวิดีโอเพื่อเก็บภาพยานพาหนะจะเป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง นอกเหนือไปจากข้อมูลที่เก็บได้แล้วข้อมูลสภาพอากาศที่สัมพันธ์กับปริมาณรังสีจากแสงอาทิตย์และข้อมูลความเร็วลมควรที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ร่วมกันด้วย พื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ในการเชื่อมโยงข้อมูลดังกล่าวนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ ตามหลักการของ Bayesian' statistics ดังนั้นจึงต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณประมวลผลค่อนข้างมากเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆซึ่งเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้จึงต้องมีการใช้อุปกรณ์จำนวนมากเพื่อลดระยะเวลาในการประมวลผลให้สั้นลง



Tomoyuki Higuchi: After finishing the doctoral course at the School of Science, The University of Tokyo, he entered The Institute of Statistical Mathematics in 1989. He is currently engaged in a position as Director of the Research Organization of Information and Systems (Inter-University Research Institute Corporation) and Director-General of The Institute of Statistical Mathematics since 2011. His profession covers Bayesian modeling. He is focusing his research efforts on data assimilation and emulation (simple alternative method for simulation by means of machine learning).

Fig. 1 Overview of Mathematical Fields Relating to Data

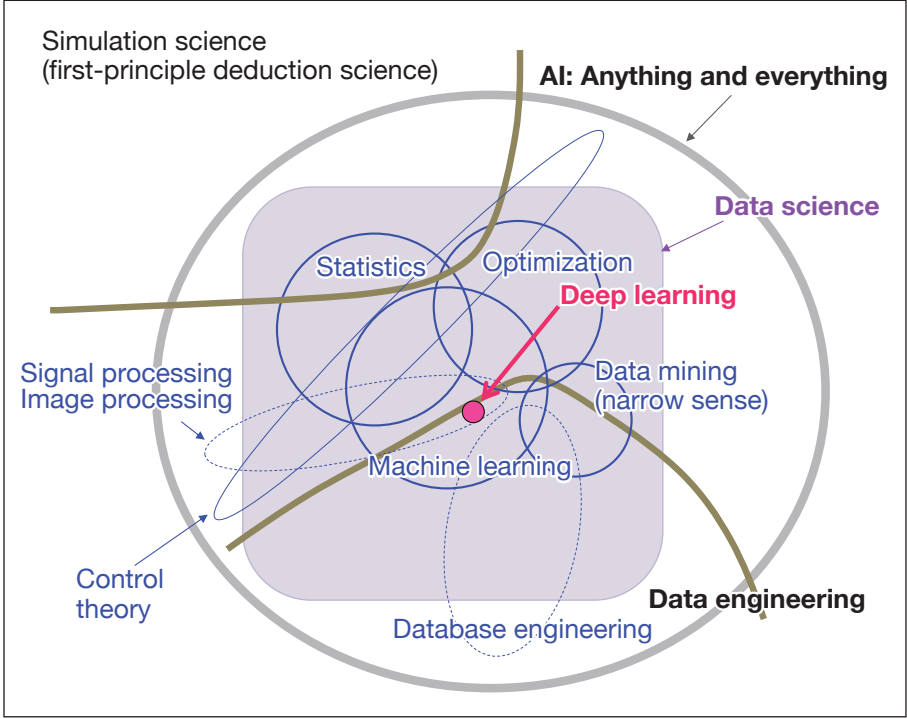


Fig. 2 Classification of Deep Neural Networks (DNN) in Deep Learning

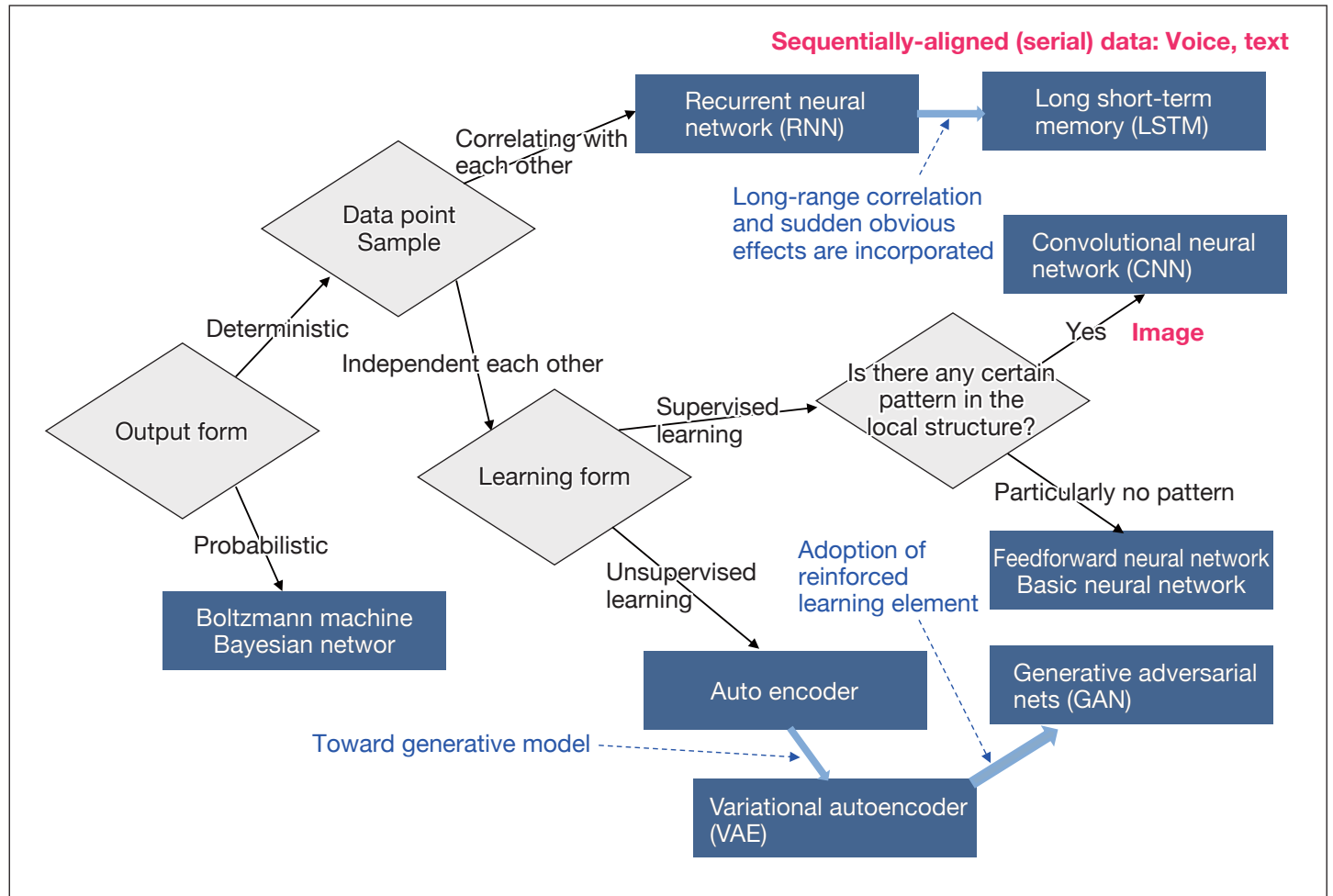


Fig. 3 Detection of Abnormal Values such as Outliers, Abnormal Sections and Change Points

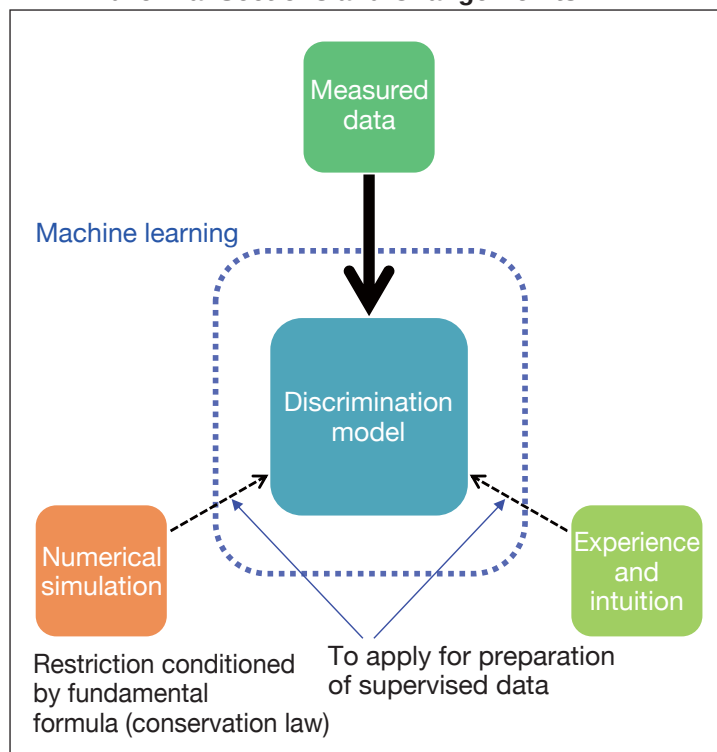


Fig. 4 Emulation and Virtual Measurement

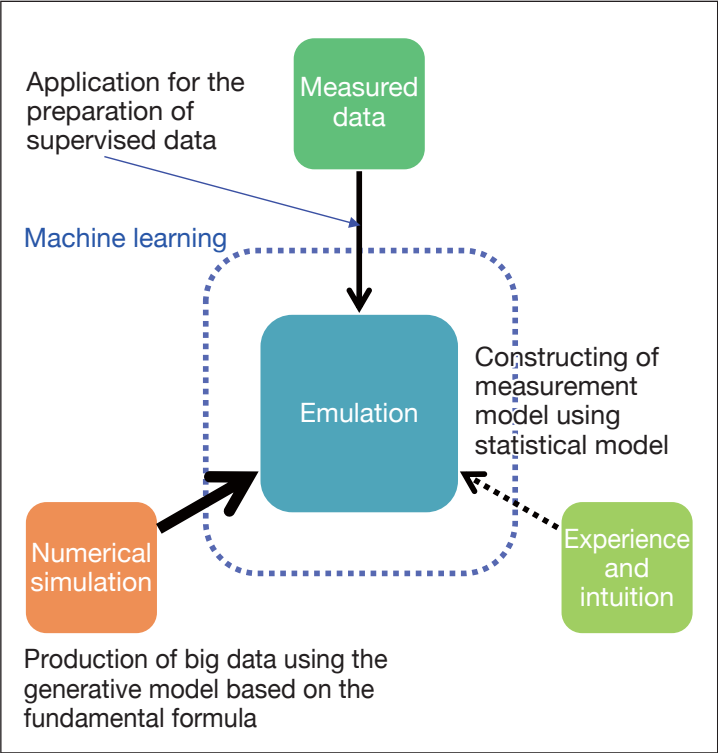
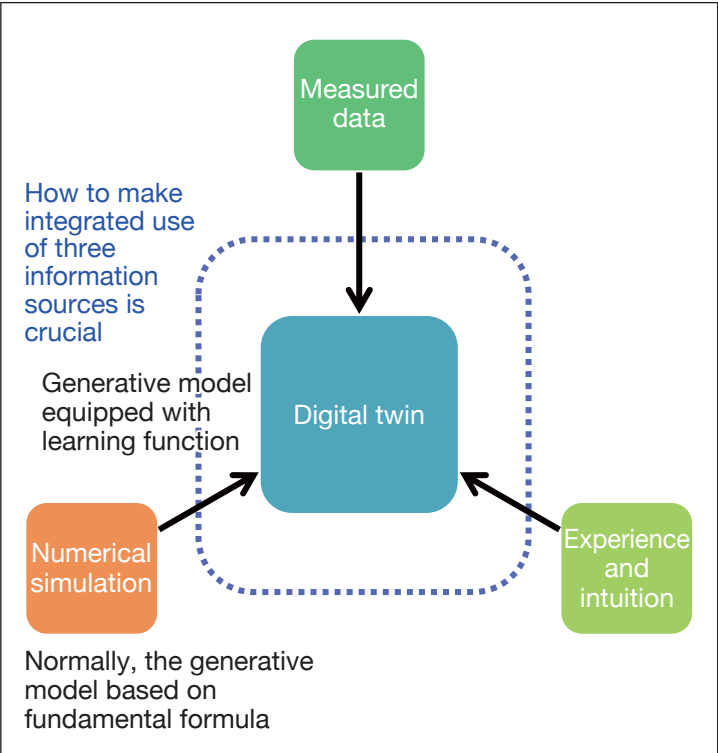


Fig. 5 Relationship among Three Elements in Digital Twins



(ปกหลัง)

การปฏิบัติงานของสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย โครงการฝึกอบรมของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ตะวันออกเฉียงใต้ (SEAISI) ที่ประเทศญี่ปุ่น

สมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย หรือ Japan Iron and Steel Federation (JISF) ได้จัดโครงการฝึกอบรมให้กับสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ตะวันออกเฉียงใต้ หรือ South East Asia Iron and Steel Institute (SEAISI) ที่ประเทศญี่ปุ่นในช่วงระหว่างวันที่ 23 ถึง 27 ตุลาคม 2017 โครงการนี้ได้รับเงินสนับสนุนจาก SEAISI โดยเป็นการจัดฝึกอบรมประจำปี มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มทักษะให้กับบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานเหล็กในกลุ่มประเทศสมาชิกสามัญของ SEAISI จำนวน 6 ประเทศ โดยคณะผู้จัดงานนอกจากจะมาจากประเทศญี่ปุ่นแล้วยังมาจากประเทศผู้สนับสนุนหลักของ SEAISI ซึ่งประกอบไปด้วยประเทศเกาหลีใต้ ฮ่องกง และออสเตรเลีย โดยจะมีการย้ายสถานที่จัดไปยังประเทศผู้สนับสนุนดังกล่าวในปีถัดไป โครงการนี้จัดขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นในปี 2013 โดยการจัดครั้งนี้เป็นกิจกรรมที่หมุนเวียนมายังประเทศญี่ปุ่นภายหลังจากการจัดครั้งแรก 4 ปี มีผู้เชี่ยวชาญร่วมกิจกรรมจำนวนทั้งสิ้น 17 ท่านที่ทำงานอยู่ในโรงงานผลิตเหล็กกล้าจากประเทศสมาชิกสามัญทั้ง 6 ประเทศ

โครงการฝึกอบรมที่จัดขึ้นในปี 2017 ที่ประเทศญี่ปุ่นนี้มีหัวข้อหลักเป็นเรื่อง “ผลิตภัณฑ์เหล็กสมรรถนะสูงจากประเทศญี่ปุ่น” (ตัวชี้วัดเชิงสมรรถนะที่สำคัญในกระบวนการผลิตและการวิจัยพัฒนา) โดยมีการฝึกอบรมจำนวนทั้งสิ้น 3 หัวข้อ ซึ่งประกอบไปด้วย:

- การใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กสมรรถนะสูงสำหรับงานก่อสร้างสะพานในประเทศญี่ปุ่น
- การใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กสมรรถนะสูงสำหรับงานก่อสร้างอาคารในประเทศญี่ปุ่น
- การใช้งานและการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้า

นอกจากนี้ยังมีการเข้าเยี่ยมชมโรงงานเหล็กของ Kimitsu Works of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation ที่ East Japan Works of JFE Steel Corporation และที่ Kakogawa Works of Kobe Steel Ltd. ซึ่งได้มีการบรรยายให้ความรู้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดเชิงสมรรถนะที่สำคัญในกระบวนการผลิตเพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้จัดการกระบวนการผลิตภายในโรงงาน ตลอดจนหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการถลุงเหล็กในปัจจุบันและวิธีการในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเป้าหมายในระยะกลางถึงระยะยาว

นอกจากที่ได้กล่าวถึงไปทั้งหมดแล้ว ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เข้าเยี่ยมชมสถาบันวิทยาศาสตร์วัสดุแห่งชาติ หรือ National Institute for Material Science ใจพิเศษที่เกี่ยวกับงานวิจัยมีการส่งเสริมในด้านเทคโนโลยีวัสดุสำหรับงานโครงสร้างเทคโนโลยีวัสดุกำลังสูงและด้านท่อน้ำมัน

ภาพ: ผู้เข้าร่วมกิจกรรมฝึกอบรมของ SEAISI

สำหรับงานสัมมนาวิชาการประจำปีของ SEAISI

สำหรับงานสัมมนาวิชาการประจำปีของ SEAISI หรือ SEAISI Forum นั้นสมาพันธ์เหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย (JISF) ได้ส่ง คุณ Masamichi Sasaki ซึ่งเป็นหนึ่งในคณะกรรมการดำเนินงานส่งเสริมตลาดต่างประเทศของ JISF มาบรรยายในเวที

2017 ASEAN Iron and Steel Sustainability Forum ที่กรุงมะนิลาประเทศฟิลิปปินส์ในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2017 โดยได้มีการบรรยายในหัวข้อ “Market Development of Steel Structures in Japan: Standardization, Building Codes and Steel Products” ซึ่งเป็นหัวข้อที่ทางคณะกรรมการดำเนินงานเหล็กสำหรับงานก่อสร้างของ SEAISI ได้ขอความอนุเคราะห์มายังประเทศญี่ปุ่นในฐานะผู้สังเกตการณ์ในคณะกรรมการดังกล่าว

เนื้อหาที่ตัวแทนจากประเทศญี่ปุ่นได้บรรยาย มีทั้งในส่วนของ โครงการต่างๆ ที่ได้มีการริเริ่มขึ้นเพื่อขยายตลาดงานโครงสร้างเหล็กในประเทศญี่ปุ่น รวมไปถึงการนำเสนอถึงสาเหตุว่าทำไมโครงสร้างเหล็กในประเทศญี่ปุ่นถึงได้มีพัฒนาการที่ก้าวไกล ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวางระบบ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง วิธีที่ใช้ในการออกแบบ พัฒนาการด้านเทคโนโลยีตลอดจนรูปแบบโครงสร้าง ที่ส่งผลให้เกิดงานก่อสร้างและงานด้านการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

