

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 54 Agustus 2018)

Publikasi Bersama Federasi Besi dan Baja Jepang dan
Masyarakat Konstruksi Baja Jepang

Versi Bahasa Indonesia

Versi Bahasa Inggris *Steel Construction Today & Tomorrow* diterbitkan tiga kali dalam setahun dan disirkulasikan ke seluruh dunia kepada para eksekutif, perusahaan perdagangan industri, dan organisasi administratif yang berminat. Tujuan utama publikasi ini adalah memperkenalkan standar dan spesifikasi mengenai konstruksi baja, contoh-contoh proyek konstruksi mutakhir, teknologi dan material konstruksi mutakhir dan lainnya di bidang konstruksi bangunan dan keteknik-sipil. Agar pembaca Indonesia dapat memahami artikel yang ada, disiapkan versi Bahasa Indonesia yang berisi teks saja, dan dilampirkan pada versi Bahasa Inggris. Terkait foto, ilustrasi dan tabel, pada halaman terakhir tiap artikel dilampirkan versi Bahasa Inggrisnya.

Juga, bila dibutuhkan konfirmasi teknis ataupun rincian yang lebih teknis dari sebuah teks, silakan merujuk ke publikasi versi Bahasa Inggris.

No. 54 Agustus 2018: Isi

<i>Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama</i>	
Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya—Revisi 2017 oleh Kementerian Pertanian, Infrastruktur, Transportasi dan Pariwisata	1
Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang	4
Desain Rasional Jembatan Baja dan Peningkatan Beban untuk Pemeliharaan	6
Perbaikan Kekuatan Fatik Jembatan Baja dan Asesmen Efek Perbaikan dan Perkuatan	9
Aplikasi dan Pemeliharaan Jembatan Baja Cuaca dan Metode Perbaikan Korosi untuk Jembatan Baja	12
<i>Topik Khusus</i>	
Peluang Inovasi Teknologi dalam Konstruksi Menggunakan Pendekatan Matematika Statistikal	15
Operasi FBBJ	Sampul Belakang

Nomor halaman di atas mengikuti versi Bahasa Inggris terbitan No. 54

Versi Indonesia: ©Federasi Besi dan Baja Jepang 2017

Federasi Besi dan Baja Jepang
3-2-10 Nihonbashi-Kayabacho, Chuo-ku, Tokyo
103-0025, Jepang
Fax: 81-3-3667-0245 Telpon: 81-3-3669-4815
Alamat surel: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

Artikel Fitur

Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama

(Halaman 1~3)

Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama (1)

Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya— Revisi 2017 oleh Kementerian Pertanian, Infrastruktur, Transportasi dan Pariwisata

Oleh Masahiro Shirato

Kepala Divisi Jembatan dan Struktur, Institut Nasional Manajemen Pertanian dan Infrastruktur

Pengantar

Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya Jepang (Selanjutnya disebut SJJ) direvisi pada bulan Juli 2017 oleh Kementerian Pertanian, Infrastruktur, Transportasi dan Pariwisata atau *Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism* (MLIT) dan kemudian diterbitkan bagi administrator jalan. SJJ merupakan peraturan legal untuk jalan raya nasional dan jalan bebas hambatan dan juga pada kenyataannya merupakan standar untuk jalan lainnya

Latar belakang revisi kali ini timbul dari kebijakan MLIT saat ini:

- ✓ Meningkatkan produktifitas dalam pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur
- ✓ Memastikan fungsionalitas jembatan dengan siklus layan biaya rendah dan reliabililitas tinggi

Sangat penting untuk mengembangkan sektor industri dan akademik pada saat yang tepat agar kebijakan ini dapat tercapai, dengan tetap menjamin reliabilitas dan kualitas. Karenanya, SJJ telah merubah struktur peraturan dan proses verifikasi sedemikian rupa sehingga dapat memberikan prinsip-prinsip untuk dipakai ketika menentukan kesesuaian sebuah jembatan terhadap persyaratan peraturan.

Spesifikasi Berdasarkan Kinerja

Dengan pertimbangan adanya diversifikasi jenis material dan struktur, diperlukan struktur peraturan yang dapat memverifikasi kinerja secara langsung, tidak hanya dengan konformitas dengan standar. Karenanya, struktur peraturan berdasarkan kinerja dalam revisi 2017 terdiri dari lima aspek utama:

- #1. Persyaratan fungsional untuk sistem jembatan dibagi menjadi kinerja kekuatan, kinerja durabilitas dan kinerja tambahan.
- #2. Masa layan jembatan standar diperjelas 100 tahun
- #3. Persyaratan kinerja kekuatan dan durabilitas terstruktur secara hirarki mulai dari sistim tingkatan jembatan, tingkatan subsistem (superstruktur substruktur, dan koneksi antara superstruktur dengan substruktur) hingga ke tingkatan elemen.
- #4. Pada tiap pembagian, persyaratan kinerja dan standar terkait/ *deemed-to-satisfy* secara serentak dijadikan satu paket.
- #5. Persyaratan kinerja kekuatan jembatan diberikan dengan menggunakan matriks kinerja, yang terdiri dari situasi desain, persyaratan kondisi/fungsi jembatan, termasuk tingkat reliabilitas yang disyaratkan untuk tiap kombinasi situasi desain dan persyaratkan kondisi/fungsi jembatan.

Struktur Kinerja

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara persyaratan kinerja dan Tabel 1 membandingkan definisi kinerja kekuatan dan kinerja durabilitas.

Kinerja kekuatan jembatan merupakan persyaratan untuk fungsi menerima beban sebagai suatu sistem jembatan dan merupakan persyaratan kinerja utama diantara ketiga persyaratan kinerja. Suatu sistim jembatan akan mempertahankan margin aman ketika berada dalam kondisi kritis seperti kondisi kolaps dan juga menawarkan tingkat layan yang dibutuhkan ketika menerima kombinasi beban dan waktu selama periode layan rencana, dan sistim akan memenuhi kebutuhan akan margin keamanan serta tingkat layan dengan reliabilitas yang diharapkan.

Kinerja durabilitas jembatan didefinisikan sebagai prasyarat bagi kinerja kekuatan. Sistem jembatan harus terus mencapai kinerja kekuatan rencana dengan kepastian yang diharapkan selama periode layan rencana, dengan mempertimbangkan penuaan dan kerusakan.

Dengan kata lain, SJJ tidak perlu memprediksi kekuatan residual jembatan pada akhir periode layan berdasarkan pertimbangan penuaan dan kerusakan akibat waktu, karena tidaklah praktis mengukur reliabilitas kekuatan dengan varian waktu ataupun fungsionalitas terhadap kombinasi beban dengan varian waktu, dengan mempertimbangkan degradasi kekuatan elemen-elemen dan rijiditasnya dengan kerusakan dan penuaan akibat waktu.

Sebaliknya, SJJ mensyaratkan kepastian reliabilitas selama periode dimana asumsi fisik yang digunakan dalam perhitungan verifikasi kinerja kekuatan jembatan tidak dilanggar akibat kerusakan material atau distress, dan disini asumsi fisik berarti luas potongan melintang ataupun kekuatan material elemen struktur.

Persyaratan kinerja durabilitas sebuah jembatan selama periode layan rencana ekuivalen dengan pemeriksaan isu-isu masa layan dalam perencanaan masa layan, karena perlu dipertimbangkan periode durabilitas masing-masing elemen, komponen, atau sub-sistem, moda paling mungkin dan paling buruk dan tingkat kegagalan, serta kebutuhan lainnya terkait pemeliharaan, perbaikan atau penggantian elemen.

Dengan demikian, SJJ praktis mempertimbangkan bahwa reliabilitas kinerja durabilitas jembatan adalah ekuivalen dengan kelayakan dalam kesetimbangan antara durabilitas, daya inspeksi, daya pemeliharaan atau penggantian elemen dalam batasannya selama periode layan jembatan.

Gbr 1. Persyaratan Kinerja
Tabel 1 Definisi Persyaratan Kinerja Termasuk Reliabilitas

Perode Layan Rencana untuk Sistem Jembatan
Periode layan rencana jembatan sekarang

didefinisikan sebagai periode dimana sistem jembatan diharapkan dapat memberikan fungsi rencana dengan diikuti pemeliharaan yang relevan. Periode layan rencana untuk sistem jembatan adalah 100 tahun

Perlu dicatat bahwa dalam SJJ, periode layan rencana standar juga memperhitungkan periode referensi untuk menentukan kombinasi beban dalam verifikasi kinerja kekuatan jembatan. Dalam prakteknya, perencana perlu mengacu pada periode layan rencana ketika memeriksa tingkat kelayakan pemeliharaan rencana dan pemeliharaan dalam kasus terburuk serta pekerjaan remedial dengan batasan-batasannya pada tiap proyek.

Proses Verifikasi Kinerja Sistematis

Pada prakteknya, sulit membuktikan capaian kinerja jembatan karena jembatan merupakan sistem yang kompleks. Demikian juga, terlalu awal untuk membuat peraturan yang universal untuk mengukur kinerja kekuatan jembatan sebagai sebuah sistem secara langsung karena terlalu banyak kombinasi material dan elemen serta pengaturan elemen sebagai bagian dari sistem jembatan dalam menentukan kriteria numerikal untuk verifikasi.

Dengan demikian, SJJ memungkinkan verifikasi sistem jembatan untuk dilakukan dengan memecah verifikasi kinerja semua elemen baik untuk kinerja kekuatan jembatan maupun kinerja durabilitas. Dalam hal verifikasi kinerja kekuatan jembatan, kinerja sistem jembatan dapat diwakili oleh kinerja kekuatan daripada subsistem atau elemen yang kritis.

Definisi klasifikasi tiga-tingkat kondisi pembebanan sistem jembatan telah dibuat, yang dapat diartikan masing-masing sebagai kombinasi kondisi pembebanan superstruktur, substruktur dan koneksi superstruktur-substruktur. Klasifikasi tiga-tingkat kondisi pembebanan juga didefinisikan masing-masing untuk superstruktur, substruktur, dan koneksi superstruktur-substruktur.

Stabilitas sebuah subsistem dengan sendi plastis secara teoritis dapat digunakan pada tahap ini apabila diperlukan. Dengan cara

serupa, klasifikasi kondisi pembebanan tiga-tingkat untuk elemen struktur juga didefinisikan sehingga masing-masing dapat mewakili ketiga klasifikasi kondisi pembebanan superstruktur, substruktur dan koneksi superstruktur-substruktur dengan menggunakan kombinasi pembebanan elemen yang relevan.

Dalam hal kinerja durabilitas jembatan, periode durabilitas rencana elemen diperbolehkan untuk ditetapkan untuk masing-masing elemen, dimana periode durabilitas elemen desain adalah periode dimana karakteristik mekanikal material dan luas potongan melintang efektif daripada elemen masih dapat bertahan dalam kondisi asumsi dalam evaluasi kinerja kekuatan jembatan.

Periode durabilitas rencana elemen tidak harus 100 tahun. Dengan tidak menyatakan bahwa tidak semua elemen harus berfungsi baik selama 100 tahun maka diharapkan muncul inovasi lain sehingga desain durabilitas menjadi lebih wajar.

Sebuah elemen jembatan dapat digantikan selama jembatan dapat tetap memiliki kinerja kekuatannya. Sebagai contoh, penggantian dek, dukungan, sistem bresing dapat dilakukan, juga dapat dilakukan pengembangan baru untuk mempertahankan elemen struktur selama dapat dipastikan apakah dapat dilakukan inspeksi dan perbaikan dengan data dan pengalaman sedikit.

Sebaliknya, dalam beberapa kasus, semua elemen mungkin dapat diberikan periode durabilitas rencana selama mungkin khususnya ketika tidak dapat dilakukan pekerjaan pemeliharaan selama periode layanan rencana jembatan.

Disamping itu, semua paket ketentuan ini mengandung sejumlah persyaratan fundamental dan kewajiban persyaratan kinerja dan yang harus dipenuhi/ standar terkait yang diterima secara umum. Konsep ini sebenarnya telah diperkenalkan dalam revisi sebelumnya pada tahun 2003.

Dengan paket semacam ini, jelaslah bahwa dengan persamaan yang diberikan, kekuatan faktor atau nilai-nilai batas lainnya, detail struktur dll. menjadi tidak wajib dan dapat

digunakan alternatif selama memenuhi bagian yang wajib dalam persyaratan kinerja.

Dalam konteks ini, standar juga diharapkan berfungsi untuk memberi contoh tingkat target kinerja termasuk reliabilitas, sehingga dapat dilihat apakah kinerja solusi metode alternatif memberikan kinerja setara atau lebih baik dibandingkan yang standar, termasuk reliabilitas.

Kinerja Kekuatan Jembatan dan Konsep Reliabilitas

Tabel 2 menunjukkan contoh matriks kinerja.

Dalam menentukan periode layanan, situasi desain dikelompokkan kedalam situasi permanen, situasi variabel dan situasi langka, dengan model kombinasi beban untuk target probabilitas kejadian kombinasi beban untuk 100 tahun.

Kedua, untuk tiap situasi desain, kondisi jembatan harus dapat mempertahankan margin aman struktural untuk menghindari kegagalan fatal/kolaps serta juga dapat memenuhi persyaratan fungsi pembebanan, dimana reliabilitas yang dibutuhkan untuk margin aman struktural berbeda dengan untuk persyaratan fungsi untuk situasi desain tertentu.

Dalam konteks ini, istilah “persyaratan kinerja” dalam SJJ termasuk akuntabilitas untuk reliabilitas dalam kombinasi beban dan resistansi yang diberikan. Dari sudut pandang akuntabilitas ke publik, deskripsi matriks kinerja ini mencontohkan hal yang dipermasalahkan pengguna jalan seperti “Situasi seperti apa yang dipertimbangkan dalam desain?”, “Apakah jembatan dapat berfungsi ketika ada gempa bumi atau bencana?”, “Seberapa yakinkah?” dan lainnya.

Revisi saat ini memasukkan format faktor parsial untuk persamaan desain dalam hal verifikasi untuk kinerja kekuatan, dan bukan format faktor keamanan tunggal (atau format tegangan ijin). Kombinasi beban desain yang dianggap mewakili proses pembebanan simultan stokastik pada jembatan selama dalam periode layanan dan diberikan untuk memenuhi target tingkat kejadian.

Faktor beban dan faktor kombinasi beban

digunakan untuk menggambarkan kombinasi beban, dan ternyata keduanya ditentukan dengan mengacu pada studi probabilistik, berbagai analisis mengenai hubungan antara kombinasi beban desain terdahulu dengan hasil desain, dan contoh desain uji coba dengan faktor parsial.

Sekalipun ini merupakan salah satu acuan untuk menentukan kombinasi beban, telah dilakukan simulasi intensif Monte Carlo dengan proses pembebanan stokastik simultan untuk 100 tahun untuk 60 jembatan pada berbagai lokasi, dengan menggunakan model kombinasi beban Ferry-Borges Castanheta dengan beban berbeda, yaitu, beban hidup, efek panas, beban angin, efek gempa dan beban salju. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi beban untuk situasi desain variabel dalam SJJ revisi pada dasarnya yang mengakibatkan 95% probabilitas tidak-terlampaui dalam nilai maksimum 100-tahunan dengan beban kombinasi.

Kondisi batas dalam resitansi didefinisikan sebagai perbatasan antara dua kondisi dalam Tabel 2. Faktor resistansi dan faktor parsial lainnya diaplikasikan pada resistansi nominal sesuai dengan kondisi batasnya, dimana faktor resistansi pada dasarnya diperkirakan 5% fraktil dalam distribusi resitansi, dimana faktor resistansi tidak dikaitnya dengan ketidakpastian pembebanan.

Tabel 2 Matriks Kinerja untuk Jalan Nasional Bebas Hambatan dan Jalan Raya dan Jalan Arteri Terkait Lainnya

Catatan

Spesifikasi berdasakan kinerja perlu mempertimbangkan berbagai jenis dan tingkat perkembangan dari suatu material atau tingkat elemen ke sistim struktural jembatan.

Revisi ini diharapkan dapat mendorong penerimaan akan desain inovatif dan teknologi konstruksi secara proaktif untuk memenuhi kebutuhan publik yang berragam dalam hal biaya dan penghematan waktu, dengan tetap menjamin reliabilitas dan kualitas struktur. Dalam konteks ini, contohnya, resivi SJJ tahun 2017 memasukkan nilai karakteristik dan faktor parsial untuk baja mutu tinggi seperti

seri SBHS (*steel for bridge high-performance structure*) dan baut mutu tarik tinggi S14T

Konsep spesisfiksi berdasarkan kinerja juga harus mengembangkan peraturan desain retrofit atau pembaharuan untuk struktur eksisting, karena peraturan desain untuk struktur eksisting harus menghadapi lingkungan beban dan kondisi elemen yang lebih berragam dibandingkan dengan struktur baru.

Kami saat ini sedang mencari penambahan SJJ dalam hal desain retrofit, perbaikan dan pemeliharaan dengan menggunakan konsep spesifikasi berdasarkan kinerja.



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

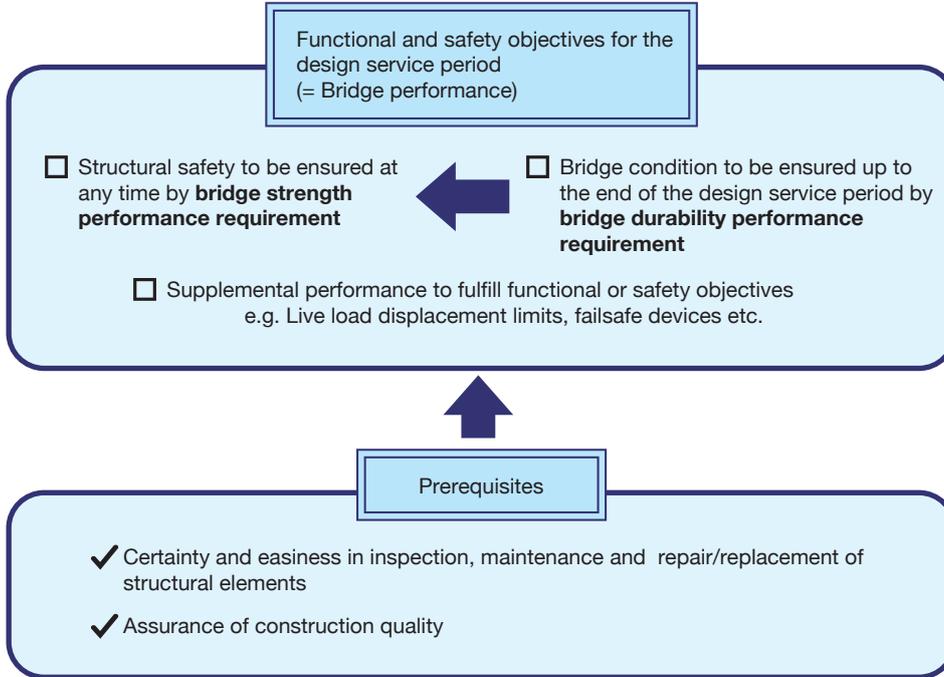
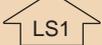


Table 1 Definitions of Performance Requirements Including Reliability

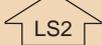
	Bridge strength performance	Bridge durability performance
Action/load requirements	Instantaneous simultaneous actions and loads at any time during the design service life (=100 years)	Accumulation of persistent actions/effects and long-lasting cyclic actions/effects up to the end of design service life (=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

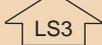
States	States from the viewpoint of load-carrying function		State from the viewpoint of structural safety
Design situations	Function State 1: The bridge is intact to carry loads.	Function State 2: While the load-carrying function degrades at parts of elements, the bridge still holds the load-carrying function prescribed for the corresponding situation.	Safety State: The bridge has a relevant safety margin to avoid a critical state.
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

(Halaman 4~5)

Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama (2)

Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang

Oleh Kazuo Tateishi

Ketua Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang (Profesor, Universitas Nagoya)

Saat ini Jepang perlu melakukan persiapan menghadapi gempa bumi besar yang diramalkan akan terjadi di masa dekat seperti gempa bumi daratan Tokyo dan gempa bumi Nankai/Tonankai. Selain itu juga dibutuhkan kinerja struktural yang menjamin keamanan ketika terjadi gempa bumi besar, tidak saja untuk struktur yang akan dibangun di masa depan tetapi juga untuk sejumlah besar struktur yang sudah terbangun. Pada saat yang sama, juga diperlukan perbaharuan dan perbaikan sejumlah besar infrastruktur sosial eksisting dengan kondisi finansial terbatas

Untuk memenuhi kebutuhan ini, perlu didukung pengembangan teknologi yang akan mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk perbaruan dan perbaikan infrastruktur dengan tetap menjamin keamanan. Terkait hal tersebut, dalam hal struktur baja, penting dilakukan pemilahan teknologi yang dapat mengestimasi dengan akurat kinerja berbagai struktur. Disamping itu, perlu didorong pengembangan teknologi yang kondusif untuk rasionalisasi desain struktur baja dan pengurangan biaya konstruksi serta juga perawatan yang efisien bagi struktur baja eksisting dengan perpanjangan masa layan.

Istilah “daya tahan yang lebih tinggi” dan “masa layan lebih panjang” yang menggambarkan tugas yang ada sekarang selanjutnya digunakan dalam penamaan Komite Riset.

Garis Besar Komite Riset

Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang didirikan pada tahun 2015 dalam Masyarakat Konstruksi Baja Jepang (MKBJ) sebagai suatu

proyek riset yang ditugaskan oleh Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ). Peta jalan untuk memenuhi tugas riset terkait digambarkan dalam Gbr. 1

Ada beberapa komite riset yang ditugaskan oleh FBBJ dan sudah memulai kegiatan risetnya awal 1997 (lihat Tabel 1). Dengan lamanya kegiatan riset, semua komite telah memberikan kontribusi dalam memecahkan berbagai isu terkait jembatan baja, dan hasil riset yang dicapai dimasukkan dalam persiapan standar dan petunjuk desain. Ringkasan capaian riset kelompok-kelompok kerja komite riset ini telah dipublikasikan dalam *Laporan Teknis MKBJ* (Bahasa Jepang).

Salah satu tujuan utama komite riset ini adalah promosi riset yang mendukung konstruksi jembatan baja tahan tinggi dan tahan lama dengan biaya rendah untuk lebih memperluas aplikasi jembatan baja. Untuk mencapainya, perlu dibangun sebuah sistem dimana terdapat partisipasi berbagai organisasi terkait yang mendorong pengembangan jembatan baja dan hasil riset perlu dimasukkan ke dalam standar dan petunjuk desain di masa depan.

Sesuai permintaan MKBJ, saya menduduki posisi ketua komite, dan Prof. Yoshiaki Okui dari Universitas Saitama dan Prof. Jun Murakoshi dari Universitas Metropolitan Tokyo menduduki posisi wakil ketua komite. Selain itu, terdapat 25 ahli yang bekerja dalam berbagai bidang mulai dari industri, pemerintahan dan akademis yang juga berpartisipasi dalam komite riset ini.

Gbr. 1 Peta Jalan dalam Menjalankan Tugas Riset Komite Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang

Tiga Kelompok Kerja untuk Promosi Riset Spesifik

Ketiga kelompok kerja di bawah ini dibentuk di bawah komite riset untuk mengimplementasikan survei dan riset spesifik:

- **Kelompok Kerja Rasionalisasi Desain:**
Bertujuan untuk merasionalisasi metode desain terkait kapasitas dukung beban dan ketahanan gempa jembatan baja (Dikepalai oleh: Prof Yoshiaki Okui dari Universitas

Saitama)

- Kelompok Kerja Kekuatan Fatik Jembatan Baja: Bertujuan untuk menyelaraskan desain fatik jembatan baja dan teknologi penanganan fatik (Dikepalai oleh: Prof. Kengo Anami dari Institut Teknologi Shibaura)
- Kelompok Kerja Korosi dan Durabilitas Jembatan Baja: Bertujuan untuk membangun metode proteksi korosi untuk baja cuaca dan baja biasa (Dikepalai oleh: Prof. Eiji Iwasaki dari Universitas Teknologi Nagaoka)

Untuk meningkatkan daya tahan dan masa layan jembatan baja, perlu dilakukan perbaikan kinerja masing-masing bidang struktur: kapasitas dukung beban, ketahanan gempa dan durabilitas. Untuk itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai mekanisme fraktur dan mekanisme perusakan khusus member baja. Selanjutnya, masa layan jembatan baja yang lebih panjang hanya dapat diperoleh dengan pemeliharaan yang tepat, sehingga dengan demikian dalam pemeliharaan jembatan baja, teknologi inspeksi, perbaikan dan perkuatan merupakan isu penting dalam pengembangan teknologinya.

Ketiga Kelompok Kerja telah meningkatkan aktifitas litbangnya mengikuti berragamnya isu seperti disebut diatas. Dalam kesempatan peringatan tiga tahun sejak dimulainya survei dan riset masing-masing kelompok kerja pada tahun 2015, telah dibuat ringkasan hasil survei dan risetnya. Ketiga tulisan pada halaman 6~14 berisi garis besar capaian riset.

Menuju Daya Tahan yang Lebih Tinggi dan Masa Layan yang Lebih Panjang

Tingkat kinerja yang disyaratkan untuk jembatan baja terus berubah, dan metode desainnya juga telah mengalami berbagai perubahan. Salah satu contoh yang tipikal adalah persyaratan desain yang dipicu oleh Gempa Bumi Kumamoto tahun 2016. Sekarang struktur jembatan disyaratkan agar dapat menahan gerakan gempa ganda skala besar. Selanjutnya, revisi besar mengenai pengenalan metode faktor beban dan resistan juga dibuat dalam *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya* yang diterbitkan pada tahun 2017, dan sekarang sebagai hasilnya reliabilitas kontrol kerusakan dan kemudahan pemeliharaan harus

lebih ditingkatkan. Isu lain yang timbul: isu bagaimana mengimplementasikan inspeksi dan penanganan efektif terhadap kerusakan yang belum terlihat bersamaan dengan inspeksi jembatan secara lengkap.

Dengan kondisi demikian, terdapat dua tuntutan yang muncul dalam bidang jembatan baja—penanganan isu yang disebut di atas dan kontribusi yang dibutuhkan bagi revisi standar teknis untuk dikemudian hari. Kontribusi bagi revisi standar dan spesifikasi teknis dengan mengumpulkan hasil riset akan efektif mendorong realisasi peningkatan daya tahan dan masa layan yang lebih lama jembatan baja. Untuk itu, Komite Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang dibentuk kembali pada tahun 2018, dan akan terus mempromosikan kegiatan riset yang kondusif untuk meningkatkan daya tahan dan masa layan yang lebih panjang jembatan baja

Tabel 1 Kronologi Komite Riset Jembatan Baja



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 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, design method)		analysis and	★ 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	▼	▼
			Maintenance and corrosion diagnosis	Preparation of handbook on design and maintenance and its reflection in standard		
Interdisciplinary tasks in above-mentioned three subtasks Steering Conference	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	
		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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • Working Group on Rationalized Design • Working Group on Fatigue Strength of Steel Bridges • Working Group on Corrosion and Durability of Steel Bridges

(Halaman 6~8)

Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama (3)

Desain Rasional Jembatan Baja dan Pemingkatan Beban untuk Pemeliharaan

Oleh Yoshiaki Okui

Kepala Kelompok Kerja Desain Rasional.

Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang (Profesor, Universitas Saitama)

Berbagai usaha dilakukan dalam rangka mengembangkan teknologi yang kondusif untuk membangun daya tahan bangsa dan membangkitkan kembali infrastruktur sosial yang usang serta juga mendesain struktur baja berdaya saing internasional. Sejalan dengan hal itu, Kelompok Kerja Desain Rasional Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang telah melakukan berbagai riset mengenai jembatan baja sejak tahun 2015 dengan fokus tema sebagai berikut:

- Pemeriksaan informasi statistik kekuatan batas ultimit dan kekuatan batas daya layan pelat pengaku
- Asesmen tekuk kolom akibat interaksi lokal-global
- Investigasi desain rasional gelagar komposit
- Studi sambungan baut tarik tinggi rasionalisasi
- Aplikasi pendekatan analitis terdepan dalam desain
- Pemeriksaan desain gempal rasional
- Pemingkatan beban jembatan eksisting

Garis besar pencapaian riset dalam tiga tema—pertama, keempat dan ketujuh—masing-masing disampaikan dalam artikel berikut

Pemeriksaan Informasi Statistik Kuat Batas Ultimit dan Daya Layan Pelat Pengaku

Baja untuk struktur kinerja tinggi atau *steel for bridge high-performance structures* (SBHS) distandarisasi dalam Standar Industri Jepang atau *Japanese Industrial Standards* (JIS) pada tahun 2008, dan aplikasinya telah disetujui dalam *Specifications for Highway Bridges*¹⁾ pada

tahun 2017. Disamping laporan berbagai hasil uji material yang telah ada untuk SBHS, terdapat juga beberapa laporan mengenai kapasitas dukung beban member struktur yang dimanufaktur dengan menggunakan SBHS.

Untuk menghadapi situasi demikian, kami telah melakukan sebuah uji beban tekan untuk pelat pengaku menggunakan SBHS500 (kuat leleh: 500 N/mm²) untuk membandingkan kapasitas dukung beban antara baja lunak. SM490Y (kuat leleh: 355 N/mm²) dan baja kinerja tinggi SBHS500. Masing-masing spesimen (parameter kerampingan: R_R=0.5, 1.2) disiapkan dengan menggunakan SBHS500 dan SM490Y. Parameter kerampingan didefinisikan sebagai:

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

Dimana,

b and *t*: Lebar dan ketebalan keseluruhan pelat yang diperkaku

σ_y : Kekuatan leleh

μ : Rasio Poisson

n: Jumlah panel yang akan dibagi menurut pelat pengaku

Seperti terlihat pada Foto 1, uji beban dilakukan pada sebuah spesimen uji yang berupa kolom pipa baja kotak yang dibuat menggunakan empat pelat pengaku Gbr. 1 menunjukkan hubungan antara beban tekan aksial *P* dan displasemen tekan aksial *U*. Pada gambar, sumbu vertikal dan horisontal masing-masing dinormalkan dengan menggunakan gaya aksial leleh *P_y* dan displasemen leleh *U_y*. Hasil uji menunjukkan bahwa kolom pipa baja SBHS memiliki kapasitas dukung beban serupa atau lebih baik dibandingkan dengan kolom baja lunak.

Untuk menstandarkan desain dengan SBHS, diperlukan informasi probabilistik yang menunjukkan variasi kapasitas dukung beban member struktur. Dalam hal ini, pemeriksaan sudah dilakukan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo dengan analisis elemen hingga dan metode permukaan respons.

Gbr. 2 menunjukkan sebuah contoh hasil pengujian—hubungan antara parameter kerampingan dengan kekuatan normalisasi pelat pengaku²⁾. Dalam gambar ini, kekuatan

batas ultimit atau *ultimate limit strength* (ULS) dan kekuatan batas daya layan atau *serviceability limit strength* (SLS) yang diperoleh dari simulasi Monte Carlo diperlihatkan, dan tanda bulatan menunjukkan nilai rata-rata kekuatan, dan garis eror di atas dan bawah tanda bulatan masing-masing menunjukkan nilai fraktil 5% dan 95%.

Gbr. 2 juga menunjukkan kapasitas dukung beban SBHS500 dan SM490Y (Exp. SBHS500, Exp. SM490Y) yang diperoleh dari uji beban tekan aksial seperti disebut di atas dan kurva kapasitas dukung beban (JSHB) sebagaimana digambarkan dalam *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya* yang saat ini digunakan.

Foto 1 Spesimen uji tekan pelat pengaku yang disiapkan dengan menggunakan SBHS500 (baja untuk jembatan dengan struktur performa tinggi)

Gbr. 1 Perbandingan Kurva Beban-Displasemen antara SBHS500 dan SM490Y dalam Uji Beban Tekan Aksial

Gbr. 2 Kekuatan Limit Ultimit dan Kekuatan Limit Daya Layan Pelat Pengaku Diperiksa dengan Simulasi Monte Carlo

Studi Mengenai Sambungan Baut dengan Kekuatan Tarik Tinggi Rasionalisasi

Kapasitas lentur ultimit gelagar baja dengan susunan seksi tersusun rapat akan mencapai momen lentur plastis penuh. Karenanya, dalam mendesain sambungan baut yang membutuhkan seksi susun rapat, perlu didefinisikan kondisi kritis yang dapat memastikan kapasitas lentur sambungan baut hingga momen lentur plastis penuh dan untuk memeriksa metode desain yang dapat diaplikasikan dalam kondisi kritis demikian. Untuk mengembangkan metode desain yang dapat memenuhi kebutuhan ini, dilakukan uji beban fleksur pada sambungan baut gelagar-I (Foto 2).

Gbr. 3 menunjukkan hubungan antara beban P dibagi dengan P_y pada momen lentur leleh, dengan deformasi lubang baut δ_b yang dijadikan tidak berdimensi dengan dibagi diameter aksial baut d . Bila 5% dari deformasi lubang baut δ_b/d didefinisikan sebagai batas kekuatan ultimit, dapat diartikan dari gambar bahwa kapasitas

dukung beban untuk sambungan baut adalah sebesar 1,3 kali atau lebih dari momen lentur leleh.

Biasanya, momen lentur plastis penuh adalah sekitar 1,3 kali momen lentur leleh, sehingga dalam hal dimana definisi kekuatan batas ultimit diatas yang diterapkan, maka dimungkinkan mendesain sambungan baut untuk konstruksi dengan seksi yang menyambung. Kelompok Kerja Desain Rasional akan melakukan riset yang ditujukan untuk memperjelas perilaku sambungan baut setelah glincir dengan cara eksperimen dan analisis. Tujuan akhirnya adalah standarisasi metode desain kondisi batas rasional untuk baut sambungan friksi kekuatan tinggi.

Foto 2 Uji lentur fleksural untuk sambungan baut gelagar-I

Gbr. 3 Hubungan antara Beban P/P_y dengan Besarnya Displasemen Lubang Baut δ_b/d dalam Uji Tekuk Fleksural untuk Sambungan Baut gelagar-I

Pemeringkatan Beban Jembatan Eksisting untuk Pemeliharannya

Di berbagai negara, asesmen kinerja jembatan yang telah dibangun sesuai dengan standar desain lama namun telah mengalami penurunan fungsi saat ini merupakan pekerjaan mendesak. Dalam riset ini, kami telah melakukan pemeriksaan pemeringkatan beban yang bertujuan untuk asesmen kinerja jembatan eksisting.

Sebagai studi kasus, digunakan sebuah jembatan target sederhana gelagar-I komposit seperti pada Gbr. 4. Jembatan ini dibangun pada awal 1970an dan dirancang berdasarkan metode desain tegangan ijin dengan menggunakan beban hidup rencana (L20) dengan spesifikasi desain lama³⁾.

Pemeringkatan beban dilakukan dengan menggunakan beban rencana beban hidup B sebagaimana digambarkan dalam *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya* sekarang, dan faktor peringkat RF dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RF = \frac{C - \gamma_d D}{\gamma_1(L + IM)}$$

Dimana,

C : Kekuatan

D dan L : Efek beban mati dan hidup

IM : Faktor ijin dinamik

γ_d dan γ_i : Faktor beban mati dan hidup

Gbr. 5 menunjukkan hasil perhitungan nilai RF untuk kekuatan lentur gelagar-I. Nilai RF dihitung mengikuti empat spesifikasi berbeda (SHB lama: *Specifications for Highway Bridges*³⁾ atau *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya*; JSCE SSSCS: *Standard Specifications for Steel and Composite Structures*⁴⁾ atau *Spesifikasi Standar untuk Struktur Baja dan Komposit*; dan AASHTO: AASHTO MBE⁵⁾).

Jembatan target dirancang menurut SHB lama, dimana digunakan metode desain tegangan ijin dengan faktor keamanan 1,7. Kemudian beban hidup desain dirubah dari TL-20 menjadi beban hidup B, dan karenanya nilai RF yang saat ini digunakan dalam pemeringkatan beban berkurang 1,0.

Akan tetapi, karena faktor keamanan substansial sudah dikurangi karena revisi pada metode faktor keamanan parsial dalam SHB yang ada, nilai RF mencapai hampir 1,0. Dalam JSCE SSSCS dan AASHTO MBE nilai RF menjadi lebih besar karena momen lentur plastis diambil sebagai kapasitas lentur.

Untuk riset selanjutnya, dirasa perlu memperhitungkan tingkat beban lalu lintas nyata pada lokasi tertentu dan perlu melakukan investigasi tingkat keamanan jembatan eksisting dengan mempertimbangkan hasil inspeksi berkala. Kelompok Kerja Desain Rasional akan berusaha untuk menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan ini selama dan setelah tahun fiskal 2019.

Gbr. 4 Gambar Potongan dari Jembatan Targe dalam Studi Kasus (Gelagar-I Komposit Sederhana; Bentang: 34,4 m)

Gbr. 5 Hasil Perhitungan Nilai RF terkait Kekuatan Lentur

Referensi

- 1) Asosiasi Jalan Jepang: Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya, Maruzen, 2017 (dalam bahasa Jepang)
- 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) Asosiasi Jalan Jepang: Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya, Maruzen, 1956 (dalam bahasa Jepang)
- 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

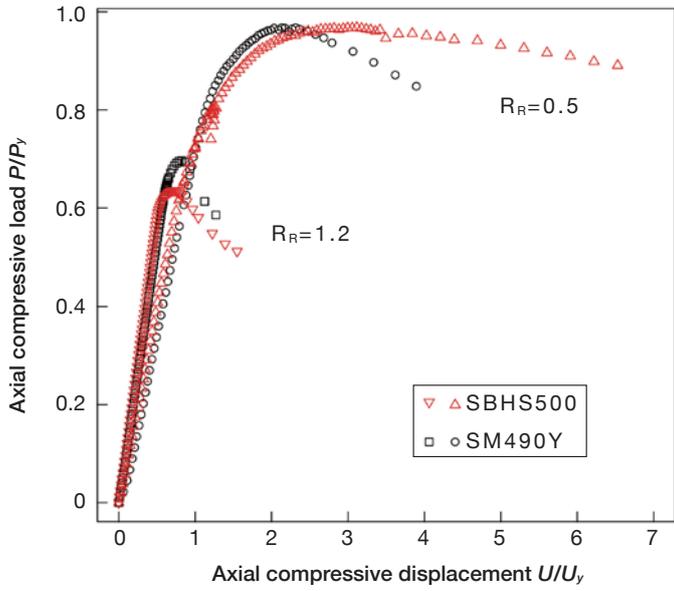


Fig. 2 Ultimate Limit Strength and Serviceability Limit Strength of Stiffening Plates Examined by Means of Monte Carlo Simulations

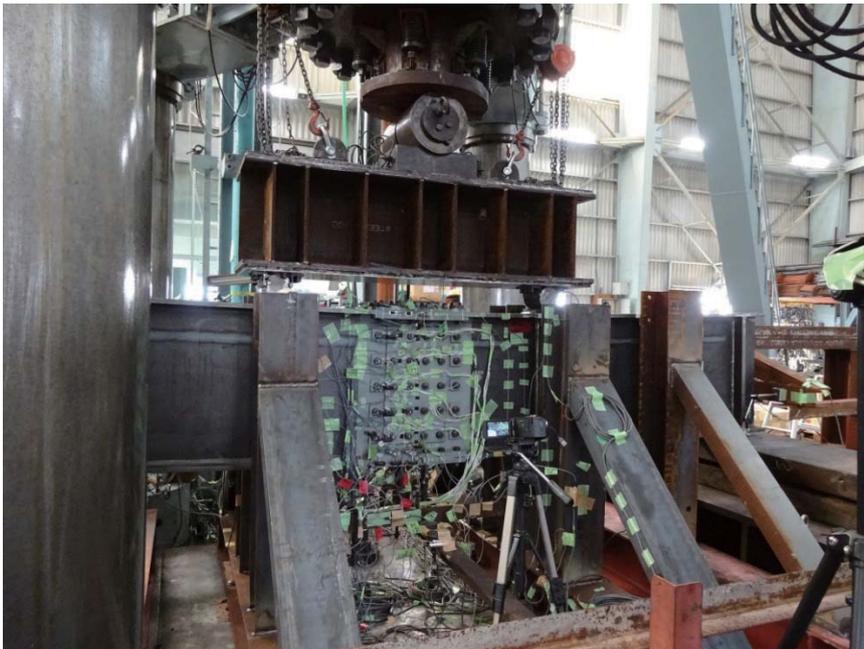
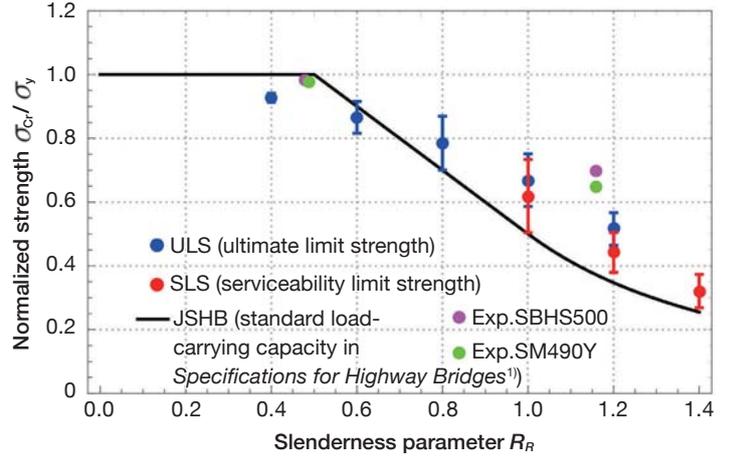


Photo 2 Flexural bending test for I-girder bolt joint

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

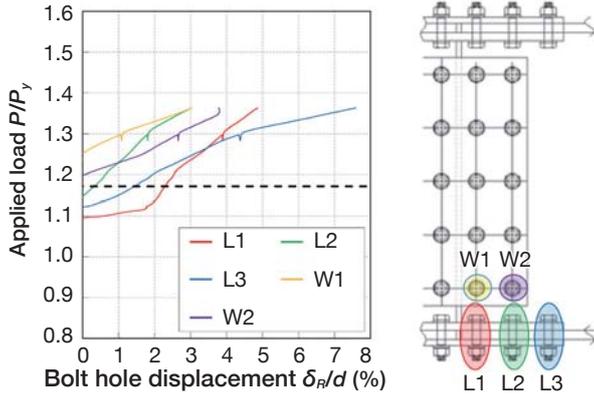


Fig. 4 Sectional Drawing of the Bridge Targeted in Case Study (Simply-supported Composite I-girder; Span: 34.4 m)

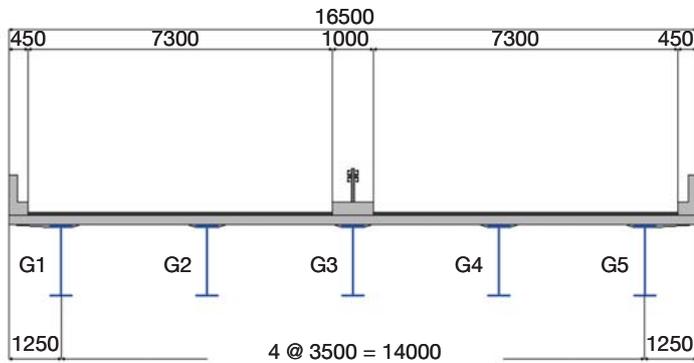
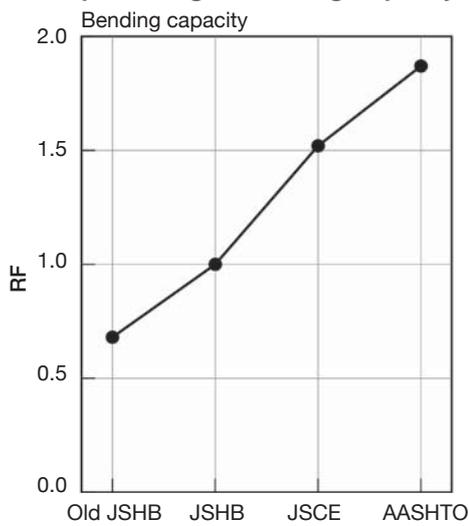


Fig. 5 Results of Calculation of RF Values pertaining to Bending Capacity



(Halaman 9~11)

Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama (4)

Perbaikan Kekuatan Fatik Jembatan Baja dan Asesmen Efek Perbaikan dan Perkuatan

Oleh Kengo Anami

Kepala Kelompok Kerja Kekuatan Fatik Jembatan Baja, Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang (Profesor, Institut Teknologi Shibaura)

Saat ini di Jepang berbagai jenis masalah fatik sangat nyata terlihat pada jembatan baja. Untuk memperpanjang masa layannya, di masa datang perlu dilakukan perubahan pendekatan untuk memperbaiki kekuatan fatik dan untuk pemeliharaan yang efektif termasuk perbaikan dan perkuatan.

Untuk itu, Kelompok Kerja Kekuatan Fatik Jembatan Baja, Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layan Lebih Panjang dibentuk di bawah Masyarakat Konstruksi Baja Jepang. Dengan tujuan mengumpulkan informasi yang penting untuk masa layan jembatan baja yang lebih panjang dari sisi isu aspek fatik, Kelompok Kerja telah melakukan berbagai pemeriksaan terkait tiga pekerjaan yang berperan dalam perbaikan kekuatan fatik:

- Metode memperbaiki kekuatan fatik dengan cara perlakuan pada jari kaki las atau *weld toe*
- Metode untuk meningkatkan efisiensi inspeksi retak fatik
- Metode untuk melakukan asesmen terhadap efek perbaikan dan perkuatan pada retak fatik

Di bawah ini diberikan garis besar pemeriksaan dan riset dalam pekerjaan pertama dan ketiga:

Pemeriksaan Metode untuk Perbaikan Kekuatan Fatik dengan Cara Perlakuan Jari kaki Las

Perlakuan *peening* merupakan salah satu metode untuk memperbaiki kekuatan fatik sambungan las, dan berbagai contoh aplikasinya terlihat semakin meningkat pada

jembatan baja di Jepang, khususnya pada jembatan baja eksisting. Dalam riset ini, dilakukan pemeriksaan eksperimental mengenai efek yang diperoleh dari *peening treatment*: pengaruh *blast treatment* setelah *peening* dan sebelum *coating* atau pelapisan dan pengaruh besarnya fluktuasi tegangan dalam rasio tegangan minimum terhadap tegangan maksimum, yang diperkirakan akan terjadi akibat tegangan beban mati.

Gbr. 1 menunjukkan spesimen uji fatik buhul luar bidang atau *out-of-plane*. Produk baja yang digunakan dalam uji adalah SM490 (baja gulung untuk stuktur las) dan SBH500 (baja gulung untuk struktur jembatan kinerja tinggi). Perlakuan *peening* dalam pemeriksaan ini meliputi *ultrasonic impact treatment* (UIT), *base metal hammer peening* (HP) dan *air-type needle peening* (PPP). Untuk perlakuan *blasting* digunakan *grit blasting*, yang dilakukan di pabrik fabrikasi memberi jembatan dalam kondisi yang umum. Uji fatik dilakukan dengan dua kondisi rasio tegangan, R=0 dan R=0.5 dengan cara uji fatik lentur pelat.

Gbr. 2 menunjukkan contoh hasil uji fatik. Dalam berbagai kondisi uji, tidak terdapat perbedaan kekuatan fatik walaupun diberikan perlakuan *peening* yang berbeda.

Dalam uji fatik yang dilakukan pada rasio tegangan R=0, baik spesimen uji *as-welded* dan yang diberi perlakuan *peening* tidak menunjukkan perbedaan kekuatan fatik sebelum dan sesudah *blasting*, dan terlihat efek nyata pada peningkatan kekuatan fatik setelah dilakukan *peening*. Sebaliknya, dalam uji yang dilakukan pada rasio tegangan R=0,5, sementara limit fatik spesimen dengan *peening* lebih baik dibandingkan uji spesimen *as-welded*, efek *peening* terhadap perbaikan kekuatan fatik jauh berkurang dibandingkan kasus uji pada rasio tegangan R=0.

Saat ini, data yang diperoleh dalam uji dan hasil uji fatik eksisting sedang dikumpulkan untuk memeriksa lengkung S-N desain setelah perlakuan *peening*.

Gbr. 1 Spesimen Uji dan Uji Fatik
Gbr. 2 Hasil Uji Fatik (spesimen SBH500)

Pemeriksaan Metode Asesmen Efek Perbaikan dan Perkuatan Retak Fatik

Metode *stop-hole* dan perkuatan pelat pengaku (*splice*) sudah dipakai dalam metode perbaikan dan perkuatan untuk retak fatik pada jembatan baja. Dalam riset ini dengan memperhatikan kedua metode, kami memeriksa metode asesmen efek dari penggunaannya.

• Pemeriksaan Metode Asesmen Efek Metode *Stop-hole*

Dalam metode *stop-hole* (SH), propagasi retak lanjut dicegah dengan membuat sebuah lubang pada ujung retak. Dalam hal ini, hanya ada sedikit pemeriksaan pada retak sepanjang jari kaki las atau *weld toe*. Dalam riset ini, dilakukan eksperimen dan analisis dengan target retak yang terjadi sepanjang jari kaki las untuk memeriksa sejauh mana metode SH dapat diterapkan dan metode pemeriksaan untuk kekuatan fatik setelah aplikasi metode SH.

Gbr. 3 menunjukkan spesimen uji (spesimen sambungan las *cruciform* tidak dukung beban: Spesimen tipe H yang hanya diberikan lubang; dan spesimen tipe SH yang diberikan celah dan *stop hole*).

Dalam penelitian ini, karena *stop hole* dibuat untuk jari kaki las, disiapkan dua spesimen untuk mencegah superposisi konsentrasi tegangan agar tidak terjadi pada las sebagai akibat dari adanya *stop hole*—yaitu spesimen dimana pusat *stop hole* berada 1 mm dan 5 mm dari jari kaki las. Posisi terjadinya retak fatik adalah titik silang *stop hole* dan jari kaki las pada spesimen pertama, dan pada spesimen kedua pada ujung *stop hole* atau pada jari kaki las di sisi sebaliknya ujung *stop hole*, dan posisi tersebut dalam riset ini sesuai dengan posisi terjadinya tegangan maksimum yang diperoleh dalam analisis FEM yang digunakan pada kedua model spesimen.

Gbr. 4 menunjukkan hasil uji fatik yang disusun berdasarkan rentang tegangan lokal pada posisi terjadinya retak fatik yang disebut di atas. Tidak ada perbedaan nyata dalam hasil uji fatik masing-masing spesimen. Selanjutnya, terlihat hasil uji fatik ini pada dasarnya sejalan dengan hasil spesimen *stop-hole* eksisting dimana retak diasumsikan terjadi dari jari kaki

las dan kemudian menyebar ke pelat datar.

Hasil uji ini kemudian disusun dalam rentang tegangan lokal yang memperhitungkan konsentrasi tegangan pada las dan konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh penggunaan metode SH. Hasilnya, bahkan ketika metode SH digunakan untuk mencegah retak pada jari kaki, kami dapat menunjukkan kemungkinan melakukan asesmen efek perbaikan metode SH dengan cara yang sama ketika mengadopsi metode SH ketika ada ujung retak pada pelat datar konvensional.

Gbr. 3 Spesimen Uji Tarik dengan Stop Holes
Gbr. 4 Hasil Uji Tarik

• Pemeriksaan Metode untuk Asesmen Efek Aplikasi Perkuatan Pelat Pengaku

Pelat pengaku (*splice*) sudah banyak diaplikasikan sebagai metode perkuatan retak fatik. Untuk lebih meningkatkan perkuatan pelat pengaku, perlu dibangun sebuah metode desain untuk pelat pengaku dan suatu pendekatan untuk mengkonfirmasi efek aplikasi setelah dilakukan perkuatan. Dalam riset ini, dengan memperhatikan bahwa faktor konsentrasi tegangan (α_{SH}) *stop hole* yang berada di bawah pelat pengaku berhubungan langsung dengan efek perkuatan, kami memeriksa persamaan sebuah estimasi untuk α_{SH} dan sebuah pendekatan yang mengestimasi tegangan *stop-hole* dari regangan yang terjadi pada pelat pengaku.

Awalnya, uji tarik aksial (Gbr. 5 (c)) dan analisis FEM (Gbr. 5 (d)) dilakukan dengan menggunakan spesimen uji (Gbr. 5 (a) dan (b)) yang dipersiapkan menggunakan parameter dimensi struktur pelat pengaku. Gbr. 5 (e) menunjukkan α_{SH} sebelum terjadinya pergeseran pelat pengaku. Sebagaimana terlihat dalam gambar, ketika faktor konsentrasi tegangan α_{SH} berkurang banyak dalam semua parameternya dengan adanya pelat pengaku, tingkat pengurangannya dipengaruhi oleh dimensi pelat pengaku.

Selanjutnya dilakukan lebih banyak analisis pada kasus-kasus konsentrasi tegangan dengan menggunakan pendekatan analitis serupa dengan yang disebut di atas. Berdasarkan hasil analitis, kami mencatat efek pengurangan

tegangan f_1 akibat pertumbuhan area retak dengan penggunaan pelat pengaku dan efek supresi bukaan retak (efek saling silang) f_2 akibat penggunaan pelat pengaku yang menggiring ke dua proposal: Persamaan untuk mengestimasi hubungan antara dimensi pelat pengaku dengan faktor konsentrasi tegangan α_{SH} (Gbr. 6) dan pendekatan desain rasional untuk pelat pengaku.

Selanjutnya kami menyusun hubungan tegangan antara *stop hole* dengan pelat pengaku, yang kemudian mengarah ke sebuah proposal: metode estimasi regangan yang terjadi di *stop hole* dari nilai regangan terukur tepat di atas *stop hole* (Gbr. 7). Gbr. 6 menunjukkan perbandingan konsentrasi tegangan pada *stop hole* dan Gbr. 7 perbandingan regangan pada *stop hole* dalam kasus tanpa pengencangan baut pada *stop hole*.

Dalam riset ini, dapat diusulkan persamaan estimasi α_{SH} yang sangat akurat untuk mengkonfirmasi efek pelat pengaku pada perkuatan retak dengan menggunakan regangan pada titik acuan. Di masa datang dapat diharapkan proposal ini dapat diaplikasikan secara meluas untuk asesmen efek perkuatan pelat pengaku dalam kondisi tegangan yang lebih kompleks dan kondisi yang mendekati kondisi praktis jembatan.

Gbr. 5 Uji Tarik

- (a) Spesimen uji tarik
- (b) Parameter geometris spesimen
- (c) Uji Tarik
- (d) Model analitikal FEM
- (e) Konsentrasi tegangan pada *stop-hole*

Gbr. 6 Perbandingan Konsentrasi Tegangan dalam Uji *Stop-Hole*

Gbr. 7 Perbandingan Regangan yang Terjadi pada *Stop-Hole*



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

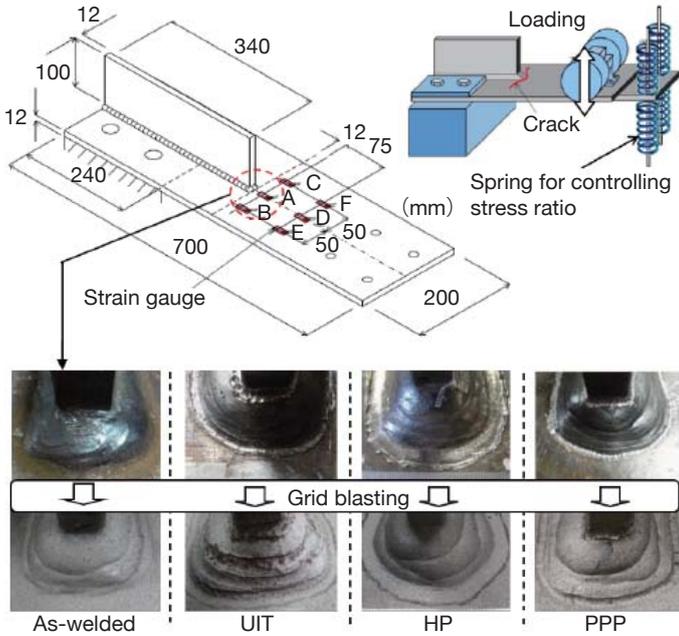


Fig. 2 Fatigue Test Results (SBHS500 Specimen)

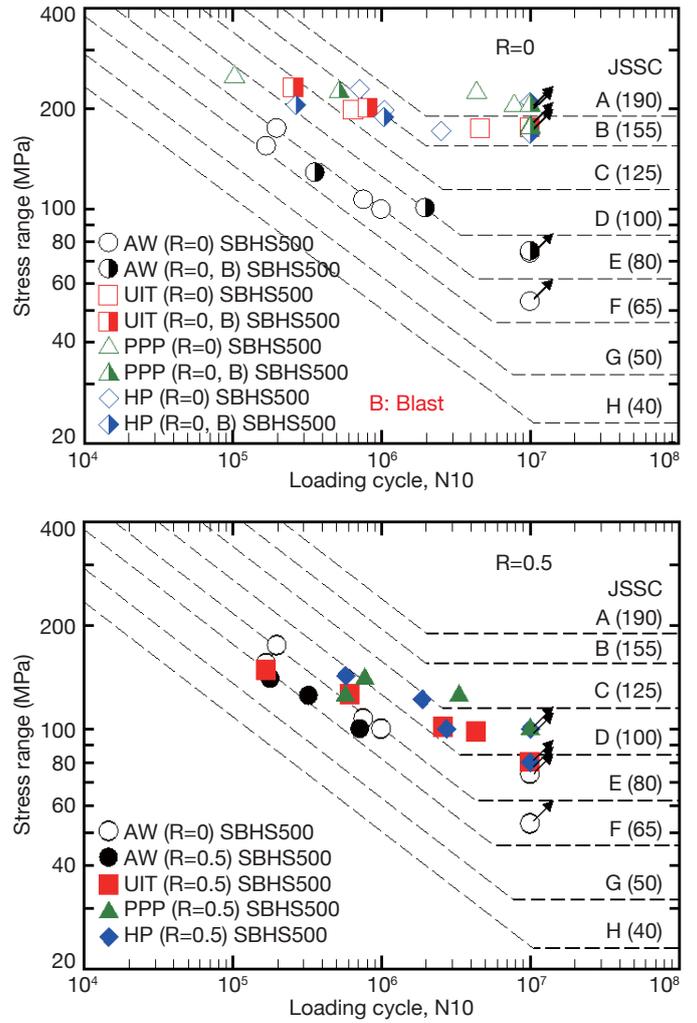


Fig. 3 Tension Test Specimens with Stop Holes

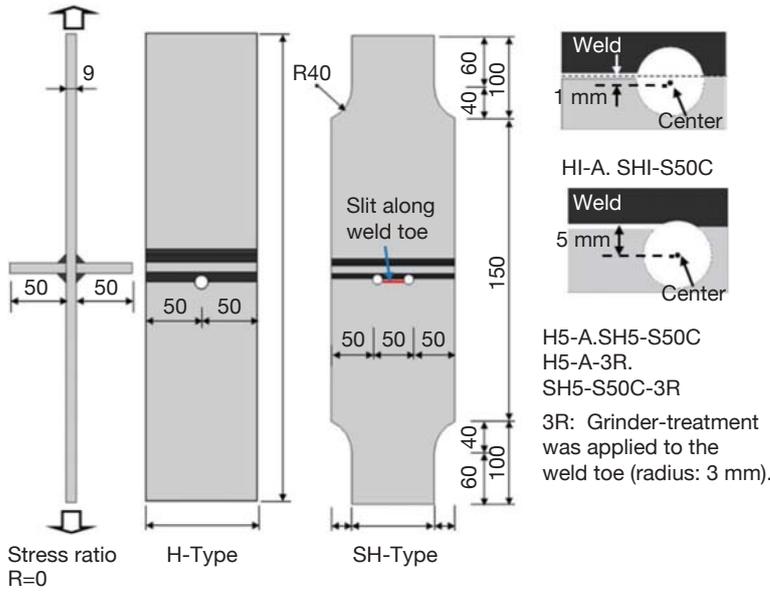


Fig. 4 Fatigue Test Results

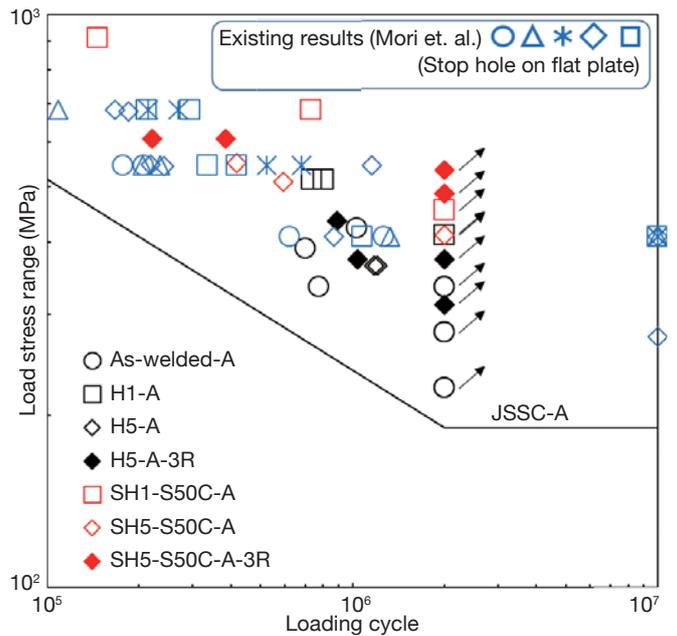
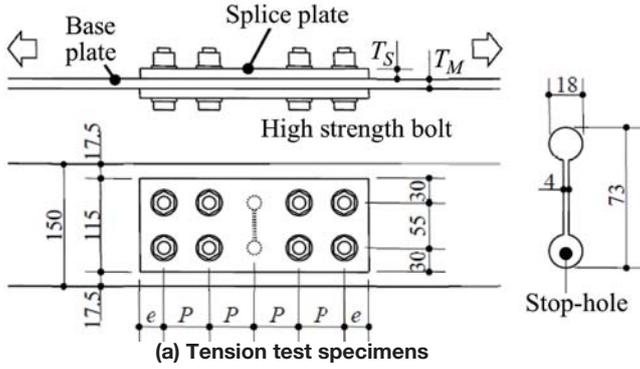


Fig. 5 Tension Tests



No	t_M	T_S	P	e	*1	
1	12	12	55	30	×	No. 1: Without splice plate Surface conditions: The splice and base plates of all specimens were coated with inorganic zinc-rich paint (thickness: 75 μm), except for specimen No. 3 in which the base plate was grinder-finished.
2	12	12	55	30	×	
3	12	12	55	30	×	
4	12	12	55	30	×	
5	6	6	55	30	×	
6	6	12	55	30	×	
7	12	12	40	25	×	
8	12	12	50	30	○	
9	12	12	40	25	○	

o: Application of high-strength bolt to stop hole; x: No application of high-strength bolt to stop hole

(b) Geometrical parameters of specimens

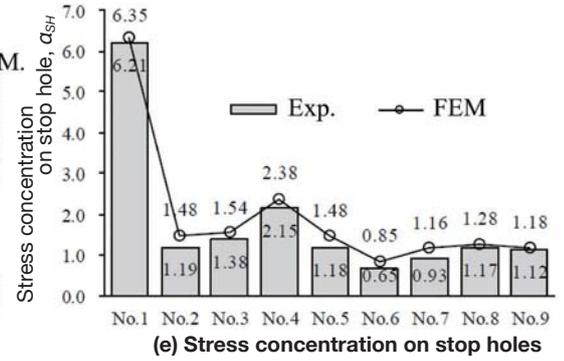
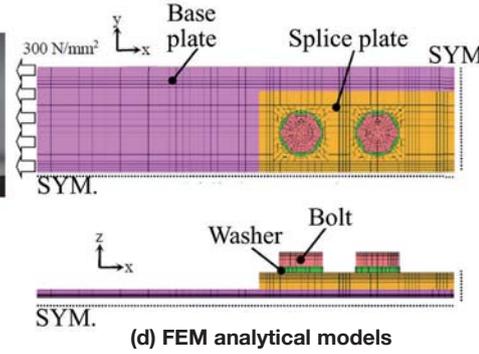
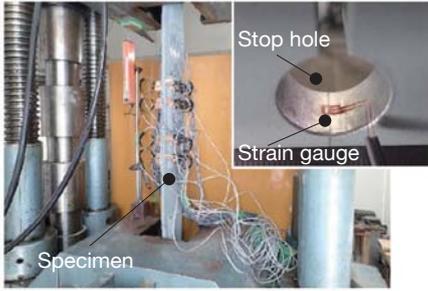


Fig. 6 Comparison of Stress Concentrations on Stop Holes (Eq. 1 and FEM)

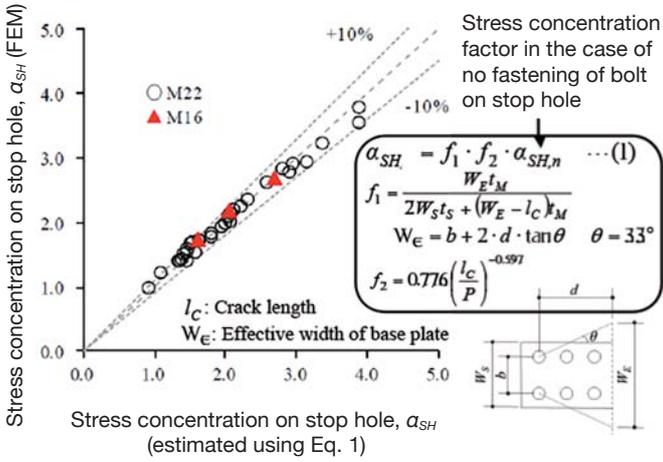
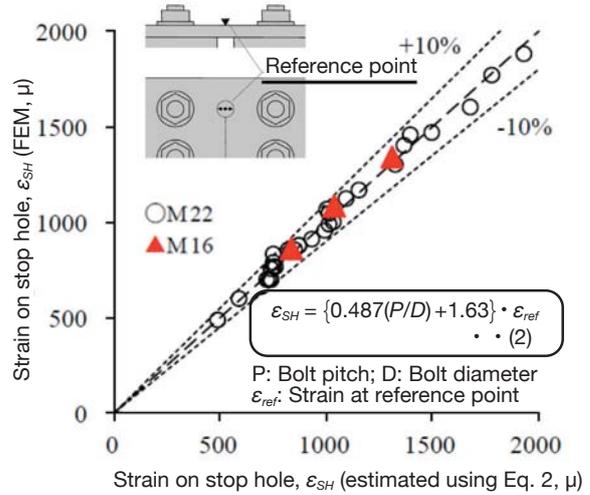


Fig. 7 Comparison of Strains Occurring in Stop Holes (Eq. 2, FEM)



(Halaman 12~14)

Menuju Jembatan Baja Berdaya Tahan Tinggi dan Lebih Tahan Lama (5)

Aplikasi dan Pemeliharaan Jembatan Baja Cuaca dan Metode Perbaikan Korosi untuk Jembatan Baja

Oleh Eiji Iwasaki

Kepala Kelompok Kerja Korosi dan Durabilitas Jembatan Baja, Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layanan Lebih Panjang (Profesor, Universitas Teknologi Nagaoka)

Untuk jembatan baja, disamping perlu diusulkan mengenai cara efektif melawan korosi yang mempertimbangkan LLC (*lifecyle cost*) atau biaya siklus hidup dan rasionalitas ekonomi lainnya, juga perlu diusulkan teknologi pemeliharaan yang dapat efektif mencegah penurunan kinerja yang diakibatkan oleh korosi.

Untuk menghadapi situasi demikian, dan dengan memperhatikan pengurangan biaya proteksi korosi dan teknologi pencegah kerusakan dan penurunan kinerja akibat korosi, dirasa penting untuk memeriksa hal-hal sebagai berikut: aplikasinya pada konstruksi jembatan baja cuaca yang memungkinkan pengurangan LCC dalam kondisi korosi tertentu dan teknologi pemeliharaan jembatan baja cuaca; dan penanganan untuk meningkatkan resistansi korosi dan durabilitas jembatan baja, metode yang mengaplikasikan materi tahan korosi, dan penanganan untuk mempertahankan dan memulihkan kinerja proteksi korosi jembatan baja.

Menghadapi kondisi demikian, Kelompok Kerja Korosi dan Durabilitas Jembatan Baja Komite Riset Jembatan Baja Komite Riset Jembatan Baja Berdaya Tahan Lebih Tinggi dan Masa Layanan Lebih Panjang yang dibentuk di bawah Masyarakat Konstruksi Baja Jepang, telah menggalakkan riset mengenai aplikasi jembatan baja cuaca dan teknologi pemeliharaannya, serta juga langkah penanganan terhadap korosi jembatan baja. Sebagian capaian riset disampaikan di bawah ini:

Aplikasi dan Pemeliharaan Jembatan Baja Cuaca

• Aplikasi Jembatan Baja Cuaca di Area Terkena Semprotan Garam Penghancur Es

Di area bersalju dan dingin, kerusakan korosi akibat bocornya air hujan yang mengandung garam penghancur es dapat ditemukan pada banyak jembatan baja. Selain itu, juga banyak dilaporkan kerusakan akibat tersebarnya garam penghancur es dari permukaan jalan.

Oleh karena itu, dengan mentarget jembatan baja yang dibangun di area dengan kandungan garam dari laut yang terbawa udara lebih sedikit, kami melakukan survei mengenai jumlah garam penghancur es yang disemprotkan, jumlah garam yang melayang ke gelagar jembatan baja, dan kehilangan tebal baja akibat korosi. Untuk tujuan tersebut, alat pengumpul garam penghancur es yang melayang dan kelengkapan uji produk baja yang terekspose disusun seperti dalam Foto 1.

Gbr. 1 menunjukkan hubungan antara jumlah garam penghancur es yang disemprotkan ke permukaan jalan dengan jumlah garam yang melayang ke bagian atas permukaan flens bawah gelagar. Perkiraan jumlah garam yang melayang ke gelagar jembatan dapat diasumsikan dari hubungan dalam gambar. Gbr. 2 menunjukkan hubungan antara jumlah garam penghancur es dengan kehilangan tebal pelat baja akibat korosi dengan eksposur selama 1 tahun. Gambar tersebut juga menunjukkan hubungan antara jumlah garam yang terbawa udara dari laut dengan kehilangan tebal akibat korosi seperti disebutkan di atas¹⁾. Sekalipun terdapat perbedaan dalam hal materi yang melayang, yaitu, garam yang terbang dari laut (garam terbawa udara) dan garam penghancur es yang melayang, dapat terlihat dari gambar bahwa terdapat hubungan identik terkait jumlah garam yang melayang dengan kehilangan tebal akibat korosi.

Foto 1 Penyusunan akumulator garam yang melayang dan kelengkapan uji produk baja ekspose

Gbr. 1 Jumlah Garam Penghancur Es yang Disemprotkan dan Jumlah yang Melayang ke

Gelagar

Gbr. 2 Jumlah Garam Penghancur Es yang Melayang dan Kehilangan Tebal Pelat akibat Korosi

• Studi Kasus Survei Jembatan Rangka Batang, Lengkung dan Jembatan Khusus Lainnya yang Menggunakan Baja Cuaca

Berbagai contoh kerusakan dan penanganannya untuk jembatan gelagar-I dan gelagar kotak dengan baja cuaca telah banyak dikumpulkan. Akan tetapi informasi mengenai contoh kerusakan untuk jembatan rangka batang dan lengkung sebagaimana ditunjukkan dalam Foto 2 masih terbatas. Berbagai survei literatur menunjukkan bahwa 92% dari jembatan baja cuaca merupakan jembatan jalan raya, 4% jembatan jalan rel dan jembatan lainnya 4%, yang menunjukkan tingginya peran jembatan jalan raya. Dengan demikian, jelaslah bahwa jembatan tipe khusus mengisi 9% jembatan baja cuaca keseluruhan.

Selanjutnya, banyak survei telah dilakukan mengenai detail struktur dan kinerja proteksi korosi dari 27 jembatan baja cuaca yang dibangun di area pesisir Pasifik. Berdasarkan hasil survei, sekalipun tidak ditemukan masalah kerusakan pada jembatan yang dibangun di lokasi dengan lingkungan jauh dari laut, ditemukan karat yang dapat dikupas pada jembatan-jembatan yang dibangun di sekitar laut. Terkait hal tersebut, kiranya penting untuk mengkonfirmasi kondisi korosi simpul, pengangkuran dan bagian yang tertanam daripada jembatan dengan memperluas target survei ke lokasi dekat laut dan di area yang disemprot dengan garam penghancur es.

Foto 2 Jembatan tipe khusus yang dibangun menggunakan baja cuaca

• Pemeriksaan Pendekatan untuk Menentukan Kondisi Korosi Baja Cuaca dengan Cara Pemrosesan Citra

Walaupun baja cuaca menunjukkan kinerja proteksi korosi dengan bermodalkan karat protektifnya, terdapat juga kasus dimana karat protektifnya tidak timbul tergantung lingkungan korosinya. Oleh karena itu, perlu melakukan asesmen kondisi korosi dengan

inspeksi. Apakah karat protektif timbul atau tidak dinyatakan dengan cara inspeksi visual dari tampilan karat. Akan tetapi, dalam menerapkan inspeksi visual, terdapat variasi penilaian tergantung insinyur yang melakukan inspeksi.

Untuk mencegah hasil yang tidak sama, kami telah memeriksa sebuah metode untuk menilai kondisi korosi dengan cara pemrosesan citra dari karat yang diambil dengan menggunakan uji plester *cellophane*. Dengan cara ini, kondisi korosi dapat dinilai dari ukuran partikel karat, tetapi bila angkanya tumpang tindih seperti pada Gbr. 3, tidak mungkin dilakukan penilaian yang akurat. Untuk memecahkan masalah ini, kami memeriksa metode pemotongan partikel karat yang tumpang tindih, dan hasilnya dapat menunjukkan diameter partikel karat dimana hampir tidak terjadi karat yang dapat dikupas.

Gbr. 3 Partikel Karat Tumpang Tindih

Penanganan Korosi Jembatan Baja

• Persiapan dan Aplikasi Peta Korosi dengan Model Tiga Dimensi

Kebanyakan pencatatan dan penilaian kondisi korosi pada tahap inspeksi dipercayakan kepada keahlian insinyur yang menjalankan inspeksi. Selanjutnya karena peta korosi yang sekarang digunakan dibuat dengan menggunakan model dua dimensi dan citra foto, maka belum ada suatu pendekatan praktis yang dapat menghubungkan kondisi korosi dengan penyebab korosi. Untuk dapat dilakukan pemeliharaan jembatan baja di masa depan, kiranya perlu dicari suatu metode efektif untuk mencatat kondisi korosi selama inspeksi dan untuk mengontrol informasi terkait.

Untuk menangani masalah ini kami telah menyiapkan sebuah peta korosi tiga dimensi sebagai salah satu solusinya (Gbr. 4). Lebih spesifiknya, kami menyiapkan peta korosi tiga dimensi dengan menggunakan citra tiga dimensi untuk membuat alat konfirmasi korosi yang dapat menunjukkan seksi terkorosi secara visual, yang diusulkan sebagai salah satu pendekatan yang mengintegrasikan informasi pemeliharaan dan juga merupakan cara melatih insinyur yang melakukan inspeksi.

Pemetaan tiga dimensi untuk tingkat dan rentang korosi dapat berfungsi sebagai cara untuk menentukan penyebab korosi dan dapat diaplikasikan untuk memilih cara pemeliharaan. Selanjutnya, pendekatan ini dapat berfungsi sebagai alat yang efektif untuk mendidik insinyur yang menginspeksi yang akan menjelaskan langkah-langkah yang akan diambil dalam metode inspeksi korosi dan metode bagaimana mengaplikasikan media peta korosi tiga dimensi ini.

Gbr. 4 Peta Korosi Tiga Dimensi

- **Pendekatan untuk Penilaian Kekuatan Residual Ujung Gelagar Terkorosi dan untuk Pemulihan Fungsinya**

Frekuensi kejadian kerusakan korosi pada ujung gelagar tinggi, dan praktis 40% dari total kerusakan korosi terjadi disini. Untuk dapat memeriksa metode perbaikan dan perkuatan seksi terkorosi, ketebalan pelat residual diukur, dan kekuatan residual dinilai berdasarkan hasil pengukuran sehingga kemudian dapat dilakukan pemeriksaan metode perbaikan dan perkuatan.

Akan tetapi, ternyata masih ada masalah pada tahap yang disebut di atas. Kemudian, kami memeriksa metode pengukuran ketebalan pelat residual yang menggunakan arus eddy yang tidak membutuhkan perlakuan pada permukaan seperti pembuangan karat. (Lihat Gbr. 5) Selanjutnya, dengan menggunakan metode elemen hingga berdasarkan analisis displasemen hingga elasto plastik, kami memeriksa metode penilaian kekuatan geser untuk ujung gelagar dimana terjadi korosi setempat. Disamping itu, dengan memperhitungkan metode perbaikan aplikasi serat karbon sebagai pendekatan untuk perkuatan kekuatan yang menurun karena kehilangan akibat korosi pada ujung gelagar, kami melakukan pemeriksaan mekanisme perbaikan kekuatan untuk ujung gelagar terkorosi.

Gbr. 5 Distribusi Ketebalan Pelat Residual pada Ujung Web Gelagar

- **Pemeriksaan Dek Proteksi Korosi Multi**

Fungsi sebagai Cara untuk Memperbaiki Lingkungan Korosif

Dek proteksi korosi multi fungsi sudah dikembangkan oleh beberapa tim. Dek ini tidak saja berperan sebagai perancah tetapi juga mencegah faktor-faktor korosi untuk memperbaiki lingkungan korosif sekitar gelagar jembatan. (Lihat Gbr. 6 dan Foto 3)

Kami sudah memeriksa kinerja yang dibutuhkan untuk dek proteksi korosi multi fungsi. Kami juga sudah memeriksa keuntungan ekonomis dari aplikasinya dengan membandingkan LCC antara dua jembatan yang diaplikasikan dan yang tidak diaplikasikan. Selanjutnya, kami akan sampaikan hasil uji verifikasi kinerja yang dilakukan untuk mengkonfirmasi kinerja proteksi korosi dari dek tersebut.

Hasil uji verifikasi kinerja menunjukkan efek yang dihasilkan dengan penggunaan dek proteksi korosi multi fungsi menjadi jelas—pencegahan garam yang terbawa angin dan penurunan waktu basah di dalam dek. Di samping itu, hasil uji eksposur produk baja menunjukkan tingginya kinerja dek proteksi korosi ini.

Akan tetapi, penggunaan dek belum lama diaplikasikan pada jembatan aktual, dan ini merupakan teknologi yang belum memiliki banyak contoh verifikasi kinerja dalam aplikasi praktisnya. Oleh karena itu, masih terdapat sejumlah pekerjaan terkait penggunaan dek proteksi korosi multi fungsi, sehingga masih diperlukan pemeriksaan lanjutan mengenai aplikasi praktisnya.

Gbr. 6 Dek Proteksi Korosi Multi Fungsi
Foto 3 Bagian interior dek proteksi korosi multi fungsi

Referensi

- 1) Institut Riset Pekerjaan Umum Kementerian Konstruksi, Kozai Club dan Asosiasi Jembatan Jepang: Laporan Riset Bersama Aplikasi Baja Cuaca pada Jembatan XVIII, 2003 (dalam bahasa Jepang)



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.

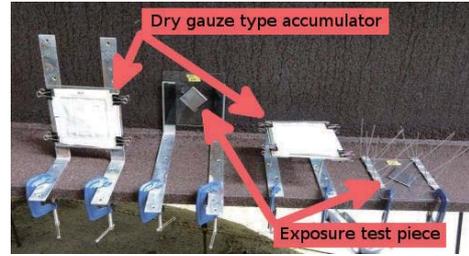


Photo 1 Arrangement of flying salt accumulator and exposed steel product test pieces

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

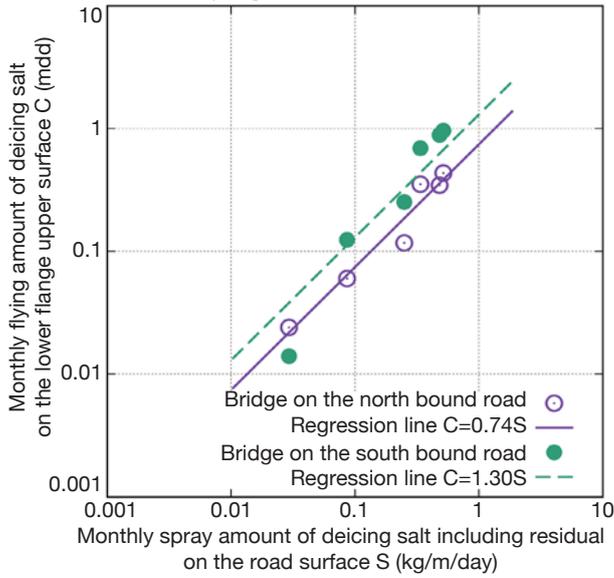


Fig. 2 Amount of Flying Deicing Salts and Corrosion Loss of Plate Thickness

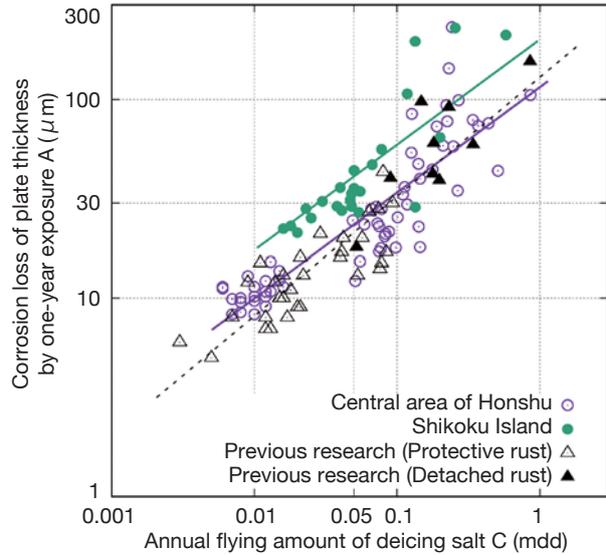


Photo 2 Special-type bridges constructed using weathering steel

Fig. 3 Overlapped Rust Particles



Fig. 4 Three-dimensional Corrosion Map

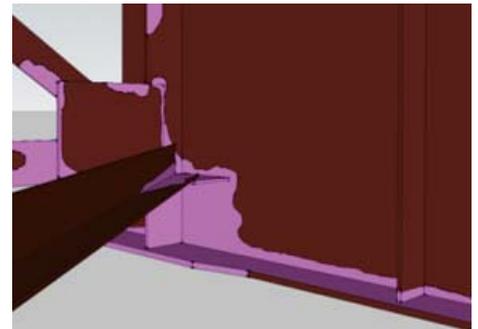


Fig. 5 Distribution of Residual Plate Thickness in Girder Web Ends

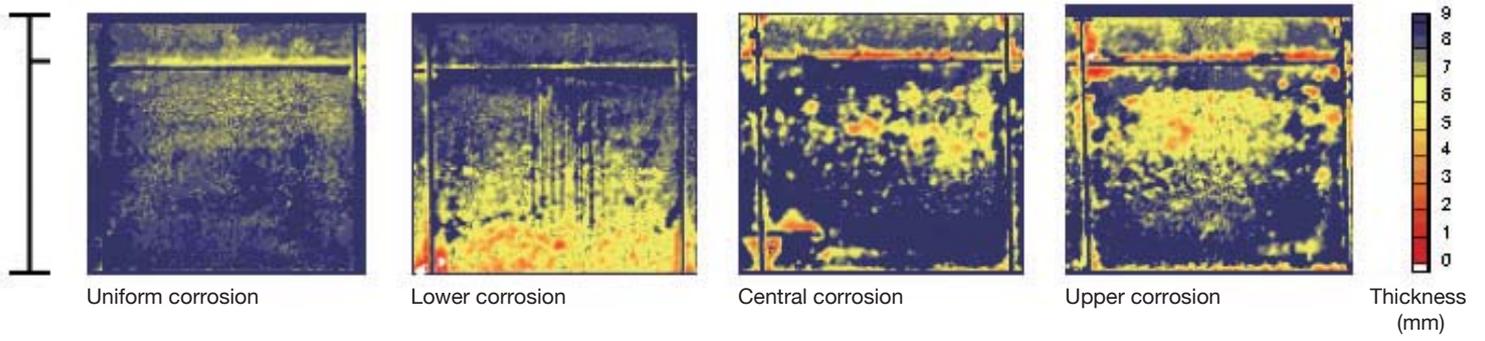


Fig. 6 Multi-function Corrosion-protection Deck

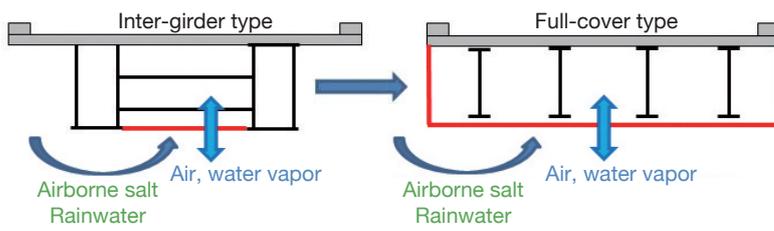


Photo 3 Interior of multi-function corrosion-protection deck

(Halaman 15~18)

Topik Khusus

Peluang Inovasi Teknologi dalam Konstruksi Menggunakan Pendekatan Matematika Statistik

Oleh Tomoyuki Higuchi

Direktur Organisasi Riset Informasi dan Sistem (Korporasi Institut Riset Antar Universitas),
Direktur Jenderal Institut Matematika Statistik

Istilah “statistika matematikal” dan “matematika statistik” sangat serupa, dan sering menimbulkan kebingungan. Keduanya pada dasarnya sangat berbeda dalam hal orientasi akademik dan kontennya. Statistik matematikal adalah cabang statistik teoritis, sedangkan matematik statistik adalah istilah yang dilontarkan ketika Institut Matematika Statistik didirikan pada tahun 1944.

Matematika statistik dianggap sebagai suatu sistem metodologi rasional dan empirikal. Matematika ini melihat apa yang krusial dalam isu-isu praktis dan merumuskannya serta mengeluarkan rancangan untuk eksperimen dan pemeriksaannya, menghasilkan data yang analisisnya beserta prediksinya akan mengarah ke pembuatan petunjuk aksi. Karenanya, bidang-bidang lingkup matematika statistik sangatlah luas.

Ilmu Data dan Kecerdasan Buatan atau *Artificial Intelligence*

Ilmu data (*data science*) dianggap sebagai bagian integral dari sistem yang meliputi beragam bidang ilmu dalam statistik, termasuk pembelajaran mendalam (*machine learning*), penggalian data (*data mining*) dan optimisasi data (*data optimization*). Gbr. 1 menunjukkan konsep ilmu data yang menunjukkan pengaturan beragam bidang ilmu dari perspektif matematika dan menunjukkan tumpang tindihnya beragam bidang ilmu. Ranah cakupan kecerdasan buatan atau diistilahkan *artificial intelligence* (AI) lebih luas dibandingkan dengan ilmu data. Tetapi, dari gambar konseptual tersebut terlihat cepatnya perubahan dengan bertambahnya waktu.

Dari perspektif matematik, AI merupakan teknologi penghitungan yang menggabungkan *machine learning*, statistik, optimasi data dan bidang lainnya. *Machine learning* dapat didefinisikan sebagai sistem pemebelajaran yang terdiri dari kombinasi tiga elemen: objektif, model matematis dan algoritma pembelajaran.

Objektif berhubungan dengan bagaimana memproses data—regresi, diskriminasi dan klasifikasi data. Ada banyak dan beragam model matematis. Dalam *deep learning*, jaringan saraf tiruan atau *artificial neural network* (ANN) diadopsi sebagai salah satu model matematis. ANN adalah fungsi jenis non-linier yang merealisasi kinerja *input-output* dimana link saraf kranial psikologis sangat disederhanakan. Karenanya, *deep learning* merupakan salah satu pendekatan pembelajaran. Karena parameter yang tidak diketahui termasuk dalam model matematis, maka *deep learning* menggunakan data dalam prosesnya. Metode untuk menentukan parameter ini disebut algoritma pembelajaran atau *learning algorithm*.

Bila sudah dipastikan kombinasi ketiga elemen ini, pemrograman dapat dilakukan dengan metode *machine learning*

Gbr. 1 Ikhtisar Bidang Matematika Terkait Data

Deep Learning

Deep learning merupakan fungsi nonlinier yang pada dasarnya identik dengan jaringan saraf yang terkenal pada tahun 1980an (periode ledakan AI kedua). Interval antara input dan output disebut sebagai lapisan interim, termasuk didalamnya sejumlah simpul atau *node*. Pada tahun 1980an jumlah lapisan interim hanya satu atau dua, sementara saat ini jumlah dapat mencapai lusinan. Bahkan ada kasus dimana jumlahnya mencapai 100, dan dalam kasus contoh aplikasi untuk bahasa alami atau *natural language*, dapat mencapai hampir 1.000.

Hasilnya, jumlah faktor pembobot yang menghubungkan *node* satu sama lainnya menjadi sangat besar. Karena faktor pembobot merupakan suatu parameter, sering terjadi kasus dimana jumlahnya mencapai hampir 1

milyar. Isu pembelajaran berlebih yang pasti terjadi bila jumlah parameter kurang daripada jumlah data terus dimitigasi dalam era mahadata atau *big data*.

Jumlah *node* yang termasuk dalam lapisan interim dan bagaimana tiap *node* saling terhubung, yakni, struktur lapisan interim dari pertanyaan aplikasi, haruslah diseleksi dengan benar. *Deep learning* sudah mencapai keberhasilan untuk target aplikasinya, suara, bahasa dan citra alami dan dipilih sebagai tiga target utama.

Berbagai jenis *deep learning* diklasifikasikan menurut jenis struktur dan contoh aplikasinya, yang digambarkan secara sistematis dalam Gbr. 2.

Gbr. 2 Klasifikasi Jaringan Saraf Dalam atau *Deep Neural Networks* (DNN) dalam *Deep learning*

Kelemahan Kecerdasan Buatan

Machine learning merupakan penalaran induktif dimana dibangun sebuah aturan, dan pengambilan keputusan dicapai berdasarkan data. Terdapat beberapa kelemahan dalam penalaran induktif. Karenanya, untuk dapat menerapkan AI dengan tepat, kelemahan-kelemahannya harus dimengerti dengan benar.

Pertama, inferensi induktif kuat dalam hal interpolasi tetapi lemah dalam hal ekstrapolasi. Dalam estimasi menggunakan inferensi induktif dari suatu fenomena yang sangat langka yang belum pernah terjadi, kelemahan ini menjadi sangat nyata. Sebaliknya, simulasi numerikal untuk memecahkan suatu formula fundamental secara numerikal kuat dalam ekstrapolasi, tetapi mengadopsi simulasi numerikal untuk interpolasi tidak menguntungkan dalam hal biaya.

Selanjutnya, perlu dimengerti dengan benar perbedaan antara korelasi dan sebab/akibat. Dengan menggunakan *machine learning*, akan mudah untuk mencari korelasi dari *big data*. Terkait perbedaan antara korelasi dan sebab/akibat, ada sebuah rekomendasi pada situs dagang elektronik yang mengatakan: “Apabila dilakukan tindakan yang dibutuhkan dan apabila ternyata sebagai hasilnya

penjualan meningkat, maka hal itu berarti berhasil.” Dengan kata lain, tujuan dalam bidang perdagangan hanya tercapai bila ada korelasi.

Sebaliknya, untuk permasalahan yang berhubungan langsung dengan hidup manusia, seperti manajemen keamanan infrastruktur, perlu diidentifikasi sebab dan akibat, atau perlu membaca hubungan antara sebab dan akibatnya. Juga, apabila dibutuhkan akuntabilitas legal seperti pada penjualan instrumen finansial, instrumen tersebut perlu disesuaikan dengan kebutuhan konsumen dan kondisi penerapannya.

Dengan demikian, untuk mendorong riset ilmiah dan operasional industri manufaktur, perlu diidentifikasi dengan jelas rute yang menghubungkan sebab dengan hasil (dengan kata lain, hubungan sebab-akibat). Namun demikian, terdapat keterbatasan dalam penentuan hubungan sebab-akibat bila hanya dengan *machine learning*. Secara khusus, karena jaringan saraf buatan atau artificial neural network (ANN) yang diperoleh dari *machine learning* merupakan sebuah “kotak-hitam”, harus diusahakan untuk membuat hubungan input/output menjadi sebuah “kotak putih”.

Selanjutnya, dalam model induktif, harus dilakukan pemeriksaan yang serius mengenai bagaimana menangani *false-positives* atau *false-negatives*, tergantung pada jenis permasalahannya, yang tidak dapat begitu saja diperlakukan sebagai nol. Contohnya, dalam diagnosis kanker untuk menghindari *false-negative* (dimana pasien tidak memiliki masalah dalam sebuah diagnosis kanker, walaupun sebenarnya menderita kanker), maka *false-positive* dapat diterima. Sementara itu dalam hal swa-kemudi kendaraan, karena laju kendaraan dapat berbahaya, alarm palsu yang ditimbulkan oleh sensor tidak digabungkan satu persatu ke dalam rancang (kontrol) operasional. Dengan kata lain dalam hal ini diadopsi konsep desain untuk menghindari *false-positive*.

Dengan cara ini, metode induktif memiliki batasan dimana peraturan dibuat hanya dengan penggunaan data, dan dengan demikian untuk menyelaraskan keseimbangan antara

false-positive dengan *false-negative* menjadi masalah sulit dalam penerapan AI dalam operasionalisasi bisnis.

Digital Twins

Antara *digital twins* dan sistem fisik siber tidak terdapat perbedaan konseptual dan dapat dijelaskan dengan tiga elemen berikut—1) data yang diukur, 2) simulasi numerik, dan 3) pengalaman dan intuisi. Dengan melihat hubungan antara ketiga elemen, teknologi yang canggih ini dapat digambarkan sebagai berikut:

Karena suatu formula dasar tidak dapat menggambarkan sebuah fenomena target, model turunan disiapkan secara konvensional maupun empiris dengan menggunakan data yang diukur untuk mengontrol fenomena target. Skala model matematis yang digunakan telah mengalami perubahan dari model sederhana seperti model regresi multivariat yang sebelumnya digunakan untuk model skala besar dalam *deep learning* yang saat ini diterapkan.

Mendeteksi nilai yang abnormal merupakan hal yang paling penting untuk keseluruhan industri. Untuk mendeteksi nilai abnormal yang terjadi dalam operasional industri dengan menggunakan ketiga elemen utama di atas, model diskriminasi untuk mendeteksi nilai abnormal dibuat dengan simulasi numeris dan pengalaman/ intuisi yang diperoleh sebagai data supervisi dan dari data ukur yang diperoleh dari *machine learning*. Gbr. 3 menunjukkan proses dan struktur model diskriminasi menggunakan ketiga elemen utama dalam deteksi nilai abnormal. Kebalikannya adalah pendekatan emulasi—teknik yang menggunakan data ukur sebagai data supervisi dan yang menurunkan model untuk data ukur dengan cara *machine learning*, berdasarkan simulasi numerikal.

Simulasi numerikal biasanya membutuhkan waktu hitung yang panjang. Tetapi, dalam hal emulasi, model turunan terstruktur merupakan model yang sangat sederhana dan karenanya pekerjaan mencari ruang parameter desain dapat dilakukan dengan kecepatan tinggi. Gbr. 4 menunjukkan peran ketiga elemen penting

dalam emulasi—data ukur, simulasi numerikal, dan pengalaman dan intuisi.

Integrasi ketiga sumber informasi dilakukan oleh asimilasi data dari data ukur, simulasi numerikal dan pengalaman/intuisi dengan teorema Bayes. Gbr. 5 menunjukkan hubungan antara ketiga elemen dalam *digital twin*. Riset mengenai asimilasi data sudah meluas sejak pertengahan 1990an, dan saat ini asimilasi data tidak dapat dipisahkan dari ramalan kondisi cuaca. Artinya, asimilasi data saat ini dianggap sebagai teknologi yang diterapkan secara rutin.

Gbr. 3 Deteksi Nilai Abnormal seperti *Outlier*, Seksi Abnormal dan Titik Ubah
Gbr. 4 Emulasi dan Pengukuran Virtual
Gbr. 5 Hubungan antara Ketiga Elemen dalam *Digital Twin*

Utilisasi Pangkalan Data dan Teknologi *Linkage*

Riset-riset yang menggambarkan pengalaman dan intuisi dengan formula numerikal saat ini sedang banyak dikembangkan dengan cepat dengan strukturisasi model turunan untuk berbagai target dengan pangkalan data yang sangat besar dan dengan cara *machine learning*. Sekalipun riset ini sangat jauh berada dari bidang teknik sipil, riset ini dapat menjelaskan dengan contoh perkembangan medis baru.

Ketika informasi mengenai struktur sejumlah besar senyawa organik yang diakumulasikan dalam sebuah pangkalan data digambarkan dalam grafik, polanya sangat berbeda dari pola grafik yang menggambarkan link orang-ke-orang sebagaimana terlihat dalam layanan jaringan sosial atau *social network services* (SNS). Dengan kata lain, sekalipun terdapat pola tertentu dalam grafik terkait senyawa organik, sulit bagi orang untuk menemukan pola dari sejumlah pangkalan data yang sangat besar yang terkumpul. *Machine learning* telah terbukti dapat menangani pekerjaan demikian.

Informasi mengenai struktur molekuler dapat ditransformasi dengan menggunakan rumus transformasi tertentu menjadi *string* yang dapat menggambarkan formula kimiawi (yang dimaksud adalah formula struktur

kimiawi). *String* ini tidak sesuai dengan struktur tiga-dimensi senyawa aslinya secara satu-satu, tetapi dapat sepenuhnya menggambarkan fitur karakteristik senyawa organik. Ketika informasi mengenai struktur molekuler ditransformasi ke bentuk *string* seperti dijelaskan di atas, dimungkinkan untuk mengaplikasikan berbagai teknologi perlakuan bahasa alami yang sejauh ini sudah terlihat kemajuannya.

Sebagai contoh, bila sebuah formula kimiawi tertentu diberikan, formula selanjutnya dapat dibentuk secara probabilistik dengan menggunakan fungsi prediksi kata yang ada pada ponsel cerdas atau alat canggih lainnya. Ketika fungsi ini terus diterapkan, maka dapat dihasilkan banyak molekul virtual yang mencerminkan berbagai pola yang ada pada senyawa di pangkalan data. Karenanya, penggunaan pendekatan *machine learning*, yang merupakan pengetahuan tersembunyi dalam pangkalan data, harus digambarkan secara matematis sebagai model turunan yang berhubungan dengan informasi sebelumnya.

Informasi tersembunyi dalam pangkalan data perlu diperjelas dan pada saat bersamaan juga perlu memperkenalkan teknologi *linking* yang dapat menangani informasi terkait secara terpadu. Dalam penerapan the *Internet of Things* (IoT) untuk memantau infrastruktur sosial, tidaklah memadai untuk menyusun hanya satu set data tunggal, dan tidak dapat dielakkan keharusan untuk mengintegrasikan berbagai jenis informasi (data yang tidak dapat diperoleh segera dan data yang disimpan oleh organisasi terkait lainnya). Dalam integrasi data, perlu menghadirkan berbagai alat seperti alat untuk perlakuan kehilangan atau *loss treatment* (tuduhan) dan jaminan mutu.

Sebagai contoh, dalam menganalisa data yang diperoleh dari berbagai sensor posisi/akselerasi yang dipasang pada sebuah jembatan, penggunaan informasi video kendaraan yang lewat dengan menggunakan kamera tetap sangat berguna. Di samping informasi yang diperoleh, informasi meteorologis terkait jumlah radiasi matahari dan kecepatan angin harus dianalisis. Dasar matematis teknologi information linking

hampir selalu menggunakan statistik Bayesian, sehingga dibutuhkan waktu perhitungan yang panjang untuk melakukan supposisi rasional. Untuk memperbaikinya, telah banyak tersedia alat yang dapat digunakan untuk membuat supposisi lebih sederhana.



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

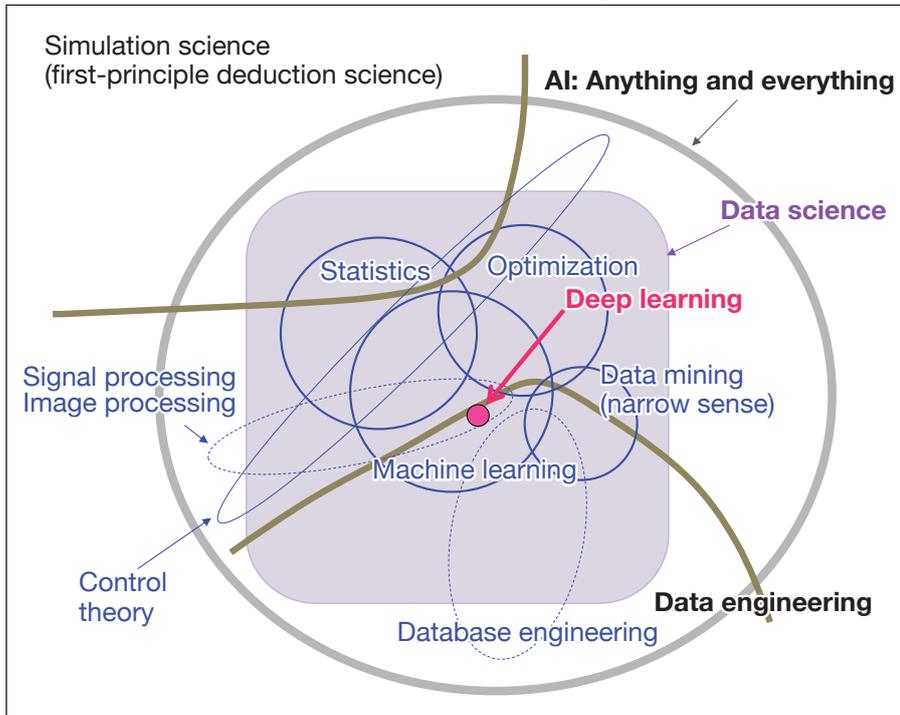


Fig. 2 Classification of Deep Neural Networks (DNN) in Deep Learning

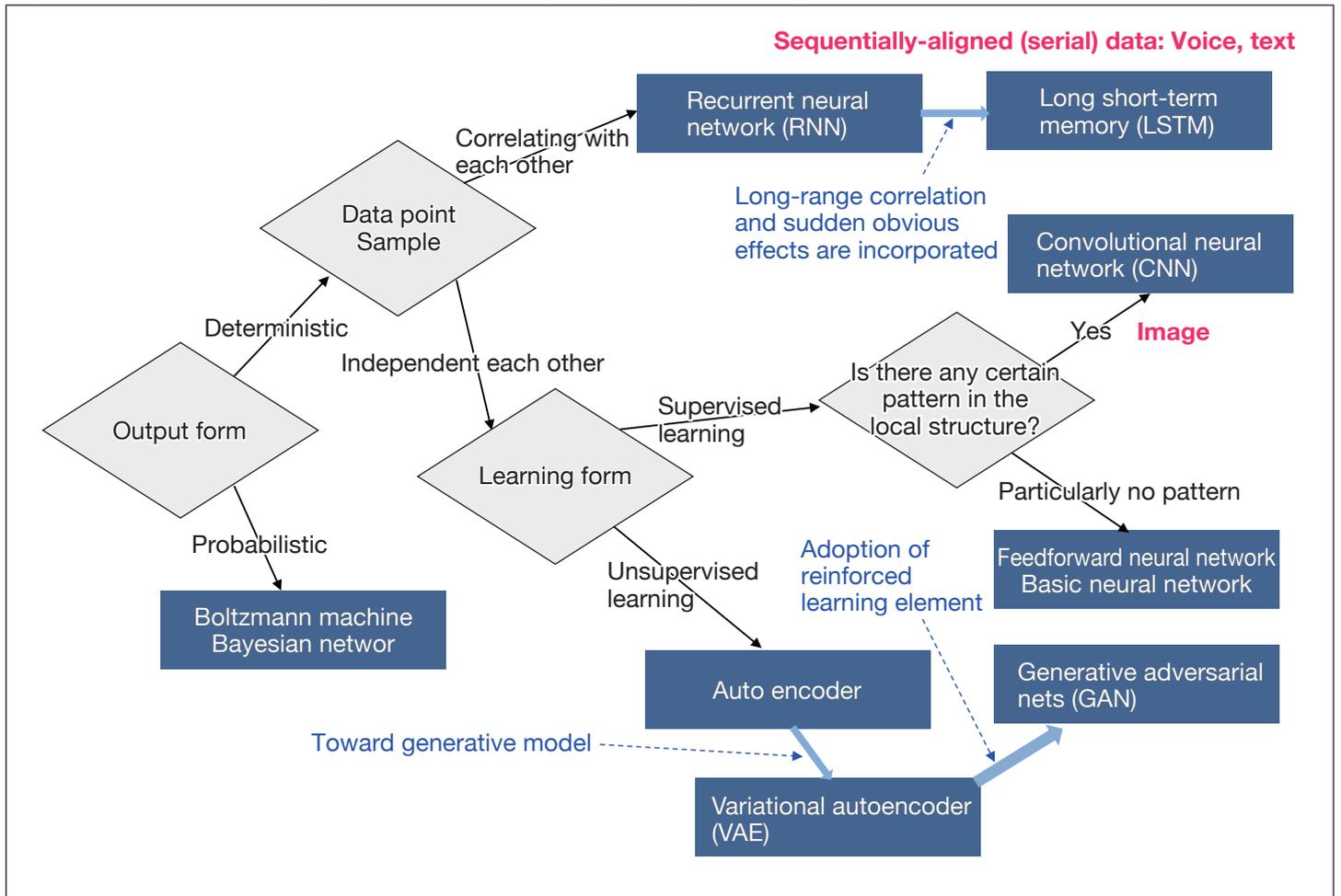


Fig. 3 Detection of Abnormal Values such as Outliers, Abnormal Sections and Change Points

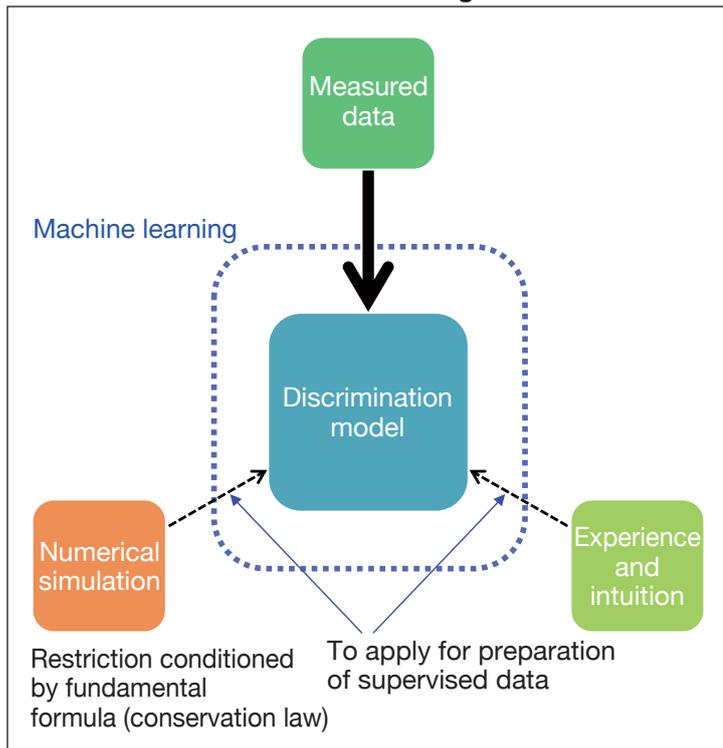


Fig. 4 Emulation and Virtual Measurement

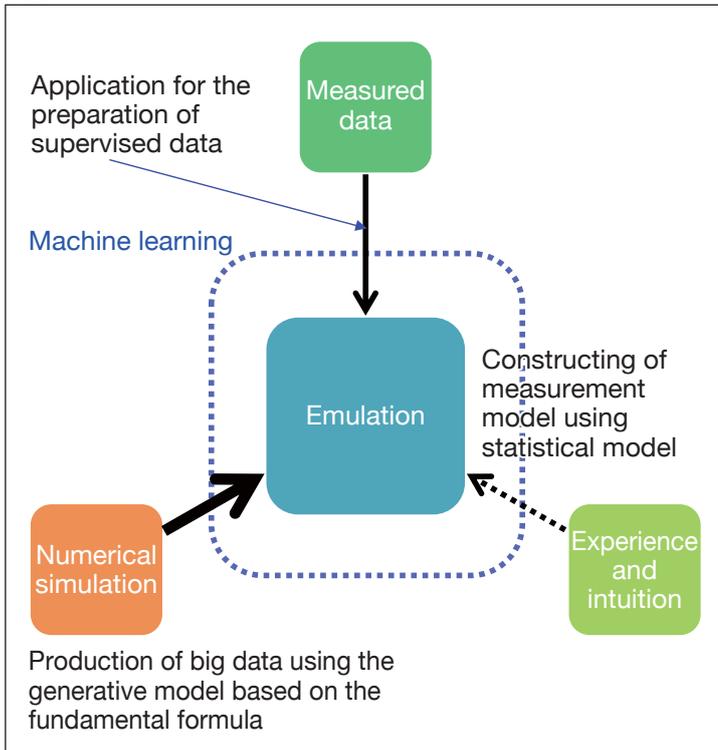
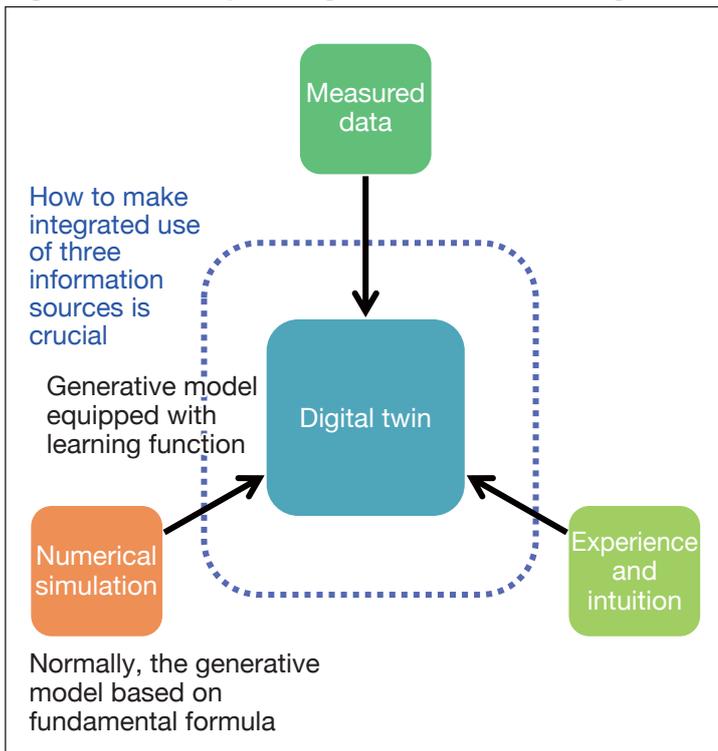


Fig. 5 Relationship among Three Elements in Digital Twins



(Sampul Belakang)

Operasi FBBJ

Program Pelatihan SE AISI di Jepang

Federasi Besi dan Baja Jepang mengadakan Program Pelatihan SE AISI di Jepang pada tanggal 23 hingga 27 Oktober 2017. Program yang disponsori oleh Institut Besi dan Baja Asia Tenggara atau *South East Asia Iron and Steel Institute* (SE AISI) ini diselenggarakan tiap tahun dengan tujuan meningkatkan berragam keahlian terkait baja bagi enam “negara anggota reguler biasa” SE AISI. Jepang dan tiga “negara anggota reguler pendukung” SE AISI—Korea, Taiwan dan Australia—telah memperluas kerjasama dalam penlaksanaan program bergantian diantara keempat negara. Program ini diselenggarakan di Jepang untuk pertama kalinya sejak 2013. Program ini menerima 17 orang untuk bekerja pada pabrik baja di enam negara anggota reguler biasa.

Program 2017 di Jepang dilaksanakan dengan tema “Produk Baja Kinerja Tinggi (Fitur, Indikator Kinerja Utama atau *Key Performance Indicator* dalam Proses Produksi dan Litbang),” dimana disampaikan tiga kuliah:

- Aplikasi Produk Baja Kinerja Tinggi dalam Konstruksi Jembatan di Jepang
- Aplikasi Produk Baja Kinerja Tinggi dalam Konstruksi Bangunan di Jepang
- Aplikasi dan Operasi Standar Industri Jepang atau *Japanese Industrial Standard* (JIS) dalam Bidang Produk Besi dan Baja

Program ini meliputi kunjungan ke lokasi ke Kimitsu Works of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, the East Japan Works of JFE Steel Corporation dan the Kakogawa Works of Kobe Steel Ltd., dimana juga diberikan kuliah mengenai Indikator Kinerja Utama dalam proses produksi yang mendukung manajemen keseluruhan operasi produksi baja, teknologi baru dalam pembuatan besi dan metodologi untuk mengurangi emisi CO₂ dari perspektif jangka menengah dan panjang.

Disamping itu, peserta program mengunjungi Institut Nasional Ilmu Kelautan, dimana juga disampaikan kuliah terkait riset yang sedang dilakukan dalam bidang teknologi material struktur, kekuatan material dan teknologi gempa.

Foto: Peserta dan pemandangan dalam Program Pelatihan SE AISI

Penyampaian Kuliah di Forum SE AISI

Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ) mengirim Masamichi Sasaki, angora Komite Promosi Pasar Luar Negeri FBBJ ke Forum Sustainability Besi dan Baja ASEAN yang diselenggarakan oleh Institute Besi dan Baja Asia Tenggara atau *South East Asia Iron and Steel Institute* di Manila, Filipina pada tanggal 27 Nopember, 2017. Dalam kesempatan itu disampaikan kuliah dengan judul “Pengembangan Pasar Struktur Baja di Jepang—Standardisasi, Perturan Bangunan dan Produk Baja.” Kuliah ini disampaikan menjawab permintaan Sub Komite Aplikasi Baja dalam Sektor Konstruksi SE AISI. Kuliah ini merupakan salah satu kuliah yang disampaikan oleh anggota komite dan orang terkait lainnya. Jepang berpartisipasi dalam Sub Komite sebagai pengamat.

Dalam kuliah dari Jepang, berbagai prakarsa disampaikan untuk mendukung pengembangan pasar struktur baja di Jepang yang dimulai dengan pernyataan—mengapa struktur baja mencapai perkembangan pesat di Jepang adalah disebabkan karena persiapan yang sistematis dalam hal hukum dan pendekatan desain terkait struktur, perkembangan teknologi dan perencanaan konstruksi dan logistik yang efisien.

