

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 48 Agustus 2016)

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. 48 Agustus 2016: Isi

<i>Isu Khusus: Pemeliharaan Struktur Baja Pelabuhan</i>	
Laporan Capaian Riset Uji Paparan Lepas Pantai 30-tahunan	1
Simposium Riset Struktur Baja Teknik Sipil ke 20	1
Uji Paparan di Teluk Suruga (1)	
Garis Besar Uji Paparan Jangka Panjang pada Fasilitas Riset Teknik Kelautan	2
Uji Paparan di Teluk Suruga (2)	
Uji Paparan Jangka Panjang untuk Struktur Baja dan Metode Proteksi Korosi	5
Uji Paparan Jangka Panjang untuk Metode Proteksi Korosi untuk Tiang Pancang Baja di HORS	7
Administrasi Kepelabuhanan di Jepang:	
Pemeliharaan dan Manajemen Fasilitas Pelabuhan	10
Sistem Desain Struktur dalam Konsep Manajemen Siklus Hidup	13
Metode Penilaian Integritas Struktural untuk Dermaga Baja Tipe Jacket dengan Kerusakan Korosi	15
Inspeksi dan Teknologi Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan Rusak Korosi	17
Operasi FBBJ	Sampul Belakang

Halaman mengikuti versi Inggris No. 48.
Versi Indonesia: ©Federasi Besi dan Baja Jepang 2016

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 surat: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

Isu Khusus: Pemeliharaan Struktur Baja Pelabuhan

(Halaman 1)

Laporan Capaian Riset Uji Paparan Lepas Pantai 30-tahunan

Produk baja merupakan material utama untuk konstruksi fasilitas pelabuhan, namun ada kekurangannya—korosi. Lingkungan laut merupakan daerah keras bagi produk baja karena produk baja dapat terkorosi. Oleh karenanya untuk memelihara struktur baja lepas pantai agar tetap dalam kondisi baik selama periode lama, dibutuhkan penanganan proteksi korosi yang sesuai.

Federasi Besi dan Baja Jepang bersama dengan Institut Riset Pekerjaan Umum telah melakukan uji paparan lepas pantai jangka panjang sejak tahun 1982 di fasilitas yang komprehensif untuk riset teknologi lepas pantai di Suruga Bay, lepas pantai Prefektur Shizuoka. Tujuan pengujian ini adalah bagaimana meningkatkan durabilitas struktur baja lepas pantai, atau bagaimana mencegah terjadinya korosi pada produk baja pada aplikasi lepas pantai. Disamping itu, ada uji jangka panjang lainnya yang telah dilakukan sejak 1984 di Stasiun Riset Oseanografi Hasaki yang terletak di laut terbuka Kashima-nada, lepas pantai Prefektur Ibaraki. Semua pengujian ini dipromosikan bersama dengan Institut Riset Pelabuhan Laut dan Pelabuhan Udara, Institut Teknologi Pengembangan Pantai dan Asosiasi Teknis Tiang Baja Pipa dan Turap Baja Jepang dengan tujuan mengembangkan teknologi proteksi terhadap korosi untuk tiang pipa baja lepas pantai.

Untuk menyampaikan hasil riset kedua uji paparan setelah lebih dari 30 tahun, diadakan pertemuan bersama untuk menyampaikan laporan capaian yang dilakukan pada tanggal 16 Pebruari 2016 di Tokyo.

Garis besar kedua pengujian disampaikan pada halaman 2 hingga 9.

Foto: Pertemuan bersama penyampaian hasil riset uji paparan

Simposium Riset Struktur Baja Teknik Sipil ke 20

Federasi Baja dan Besi Jepang menyelenggarakan Simposium Riset Struktur Baja Teknik Sipil ke 20 pada tanggal 26 Februari 2016 di Tokyo. Pada tahun 1995,

FBBJ memulai ‘ sistem subsidi untuk riset dan pelatihan struktur baja’ dan sejak itu telah memberikan subsidi bagi peneliti di bidang konstruksi baja. Simposium ini dilaksanakan tiap tahun dengan tujuan publikasi hasil riset, yang didukung oleh sistem subsidi di bidang struktur baja teknik sipil serta juga promosi aplikasi secara luas struktur baja dalam bidang teknik sipil.

Dalam bidang struktur teknik sipil, terdapat kekhawatiran terhadap penurunan serta perpanjangan masa layan struktur baja pelabuhan eksisting. Untuk itu diselenggarakan sebuah symposium berjudul “Inisiatif untuk Membuat Disain Siklus Layan Struktur Baja Pelabuhan” dimana disampaikan berbagai kuliah yang dipusatkan pada capaian riset terkait teknologi manajemen struktur baja pelabuhan jangka-panjang serta asesmen durabilitasnya. Simposium tersebut terselenggara dengan sukses dan dihadiri 300 peneliti dan insinyur.

Garis besar dari beberapa kuliah yang disampaikan pada symposium tersebut dijabarkan pada halaman 10 hingga 18.

Foto: Simposium Riset Struktur Baja Teknik Sipil ke 20



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



20th Symposium on Research on Civil Engineering Steel Structures

(Halaman 2~4)

Uji Paparan di Teluk Suruga (1)

Garis Besar Uji Paparan Jangka Panjang pada Fasilitas Riset Teknik Kelautan di Teluk Suruga

oleh Iwao Sasaki

Institut Riset Pekerjaan Umum

Di Jepang, semenjak tahun 1960an telah dilakukan berbagai usaha peningkatan tanah nasional—proyek jalan raya untuk jalan lurus – simpang, jaringan jalan raya dan fasilitas preservasi pantai. Kebanyakan proyek ini berlokasi di berbagai lingkungan korosif parah di lepas pantai dan di daerah pantai, yang membutuhkan teknologi proteksi korosi untuk memastikan durabilitas struktur. Institut Riset Pekerjaan Umum *The Public Works Research Institute* (PWRI) sejak 1960an sudah mendorong uji paparan atmosferik untuk meningkatkan teknologi pelapisan (*coating*) jembatan bentang panjang, dan riset mengenai karakteristik korosi struktur baja pada zona percikan, pasang, rendam dan lumpur serta metode proteksi korosi untuk struktur tersebut di lokasi wilayah Teluk Tokyo dan di Ajigaura dan lokasi lainnya dalam lingkungan laut yang menghadap Lautan Pasifik.

Kondisi ini mendorong dilakukannya uji paparan untuk material konstruksi di Teluk Suruga. Pada tahun 1983 dimulai “riset mengenai utilisasi ruang lepas pantai yang efektif dengan menggunakan struktur lepas pantai” yang didukung oleh Dana Koordinasi Khusus untuk Peningkatan Sains dan Teknologi dari Badan Sains dan Teknologi. Laboratorium Riset Kimia dari Kementrian Konstruksi (saat ini menjadi Kelompok Riset Material dan Sumber Daya PWRI melakukan “riset mengenai teknologi peningkatan durabilitas struktur lepas pantai dengan cara proteksi korosi.” Uji paparan yang saat ini berasal diawali dari proyek penelitian ini. PWRI sudah memasang instalasi *Marine Engineering Research Facility* (MERF) untuk fasilitas uji paparan di Teluk Suruga di Prefektur Shizuoka.

Uji paparan dengan menggunakan MERF telah dijadikan proyek bersama antara PWRI dengan beberapa organisasi swasta. Uji eksposur untuk teknologi proteksi korosi struktur baja yang diterapkan pada zona percikan, pasang dan terendam telah dipromosikan bersama dengan Kozai Club (sekarang Federasi Besi dan Baja Jepang); untuk struktur beton di zona percikan dan pasang dengan Asosiasi Kontraktor Beton Prategang Jepang; dan

untuk teknologi pelapisan tipe proteksi korosi jangka panjang di zona atmosferik lepas pantai dan teknologi disain proteksi katodik dengan Pusat Riset Pekerjaan Umum.

Pada tahun 2014, uji paparan di Teluk Suruga telah mencapai tahun ke 30. Dalam artikel ini disampaikan garis besar uji paparan jangka panjang selama periode 30 tahun.

Garis Besar Fasilitas Uji

Untuk uji paparan, digunakan MERF yang terletak di Teluk Suruga menghadap laut bebas Lautan Pasifik. Lokasi uji dipilih yang dapat mewakili zona pantai di Jepang.

Di MERF, dilakukan uji paparan untuk material proteksi korosi. Bersamaan dengan itu dilaksanakan riset terkait pencegahan erosi pantai—angin lepas pantai, gelombang dan kondisi laut lainnya, fenomena terkait suplai pasir ke pantai, klarifikasi deformasi pantai dan fenomena pergerakan pasir, dan pengembangan penanganan pencegahan erosi pantai.

Fasilitas uji paparan berlokasi 250 m lepas pantai Teluk Suruga dengan pemandangan indah Gn. Fuji. Foto 1 menunjukkan keseluruhan tampilan MERF. Fasilitas ini berada di luar pemecah gelombang terpisah dan mengalami gelombang langsung dari laut bebas. Fasilitas ini dibangun di daerah gelombang tinggi, termasuk zona *surf*, dimana pasir dasar laut mengalami pergerakan besar.

Bangunan MERF dapat dilihat pada Gbr. 1 dengan struktur jaket baja yang dipasang pada tiang pancang pipa baja yang ditumpu oleh dasar laut berpasir. Keseluruhan fasilitas ditujukan untuk uji proteksi korosi. Struktur di atas muka laut terdiri dari tiga lantai sebagai tempat menyusun berbagai spesimen uji dengan ukuran besar hingga ukuran kecil. Pipa dan turap baja dan spesimen uji proteksi katodik dapat dipasang pada area terendam. Kedalamannya sampai ke dasar laut adalah sekitar 7.5 m, dan ketinggian hingga ke atas sekitar 30 m. Pada fasilitas ini, uji material dapat dilakukan dalam lingkungan korosif dengan rentang yang besar mulai dari zona atmosferik lepas pantai, ke zona percikan (*splash zone*) dan pasang-surut (*tidal zone*) hingga ke zona terendam (*submerged zone*)

Foto 1 Tampilan lengkap Fasilitas Riset Teknik Kelautan

Gbr. 1 Garis Besar Fasilitas Riset Teknik Kelautan

Lingkungan Korosif dalam Uji Paparan

Karena instalasi MERF ditujukan terutama untuk pelaksanaan uji durabilitas pada material konstruksi, maka dipilih lingkungan korosif yang menghadap ke laut lepas dan terpapar sejumlah besar garam melalui udara.

Dalam ISO/TC156/WG4, uji paparan internasional bersama dilakukan dalam 49 area dari 13 negara selama rentang waktu 5 tahun sejak 1986. Tujuan utama uji ini adalah untuk mempersiapkan sebuah pangkalan data menurut standar. Di Jepang, telah dibentuk sebuah komite riset/survei khusus untuk melaksanakan uji paparan di empat lokasi di Suruga, Choshi, Okinawa dan Tokyo.

Dalam survei di MERF di Teluk Suruga, diukur berbagai faktor pengaruh dengan menggunakan berbagai peralatan pengukuran (Wet Candle Method, JIS Gauze Method, PWRI-type Tank Method)—temperatur, kelembaban, durasi basah (diestimasi dari temperature dan kelembaban, sulfur dioksida dan butiran garam laut. Survei lingkungan dan hasil survei mengenai kehilangan korosi produk baja memperjelas hubungan antara faktor korosi dengan jarak dari permukaan laut dan kondisi cuaca. Garam dalam udara, yang sangat mempengaruhi korosi, dipengaruhi arah angin dan kecepatannya dan lenyap akibat percikan air pada permukaan laut.

Hasil survei menunjukkan bahwa fasilitas uji saat ini masuk kategori C (Tinggi) dalam hal korosivitas lingkungan berdasarkan standar klasifikasi lingkungan korosi (ISO12944-2). Oleh karena itu, MERF dapat digunakan sebagai lokasi standar untuk paparan yang termasuk lingkungan korosif dari perspektif global.

Gbr. 2 menunjukkan hasil survei dalam Tahun Fiskal 1986~1989 dan Gbr. 3 menunjukkan hasil dalam Tahun Fiskal 2013~2015, baik yang diperoleh dengan menggunakan kolektor garam dalam udara tipe PWRI (metode tangki). Jumlah garam dalam udara berada dalam rentang 0,1 hingga beberapa mg/dm²/d, tidak termasuk nilai numerik abnormal, yang menunjukkan nilai yang konsisten dengan rentang dari hasil survei di area Tokai (termasuk Teluk Suruga) dari survei nasional yang dilakukan Institut Riset Pekerjaan Umu terdahulu.

Dalam lingkungan laut, lingkungan korosif sangat berbeda menurut ketinggian vertikal dari muka laut. Dalam survei terdahulu yang dilakukan di MERF, terlihat bahwa percepatan kerusakan berbeda-beda tergantung lantai yang digunakan untuk survei. Pada MERF terdapat beberapa lantai ke arah vertikal

sehingga dapat dilakukan survei lingkungan garam dalam udara.

Gbr. 4 menunjukkan efek ketinggian lantai dari muka laut terhadap penetrasi garam yang didapat dengan metode spesimen mortar tipis. Tingkat penetrasi garam tertinggi adalah pada lantai No. 3 yang berada sekitar 2 m dari muka laut, dan berkurang ketika tinggi lantai bertambah, dan kemudian menunjukkan tren menyatu hingga tingkat yang identik.

Gbr. 2 Perubahan Sekuler Jumlah Garam dalam Udara dengan Metode Tangki Tipe PWRI (Perubahan Sekuler dari Hasil Survei Terdahulu: Permukaan Timur dan Barat Lantai No. 1)

Gbr. 3 Perubahan Sekuler Jumlah Garam dalam Udara dengan Metode Tangki Tipe PWRI

Gbr. 4 Efek Ketinggian dari Muka Laut terhadap Jumlah Garam dalam Udara dengan Metode Potongan Mortar Tipis

Bidang-Bidang Riset dan Material Utama Pengujian

Dalam riset saat ini, uji paparan diterapkan terutama pada struktur baja dan beton, dan berbagai metode proteksi korosi untuk struktur ini diuji dengan menggunakan logam yang sangat tahan korosi, pelapisan/pengecatan dan proteksi katodik. Bidang-bidang riset dan tema ditentukan menurut metode proteksi korosinya, sedangkan uji dan survei paparan dijadikan proyek bersama antar organisasi. (Lihat Tabel 1).

Tabel 1 Bidang-Bidang dan Tema Riset, dan Peruntukan Riset

Pengetahuan yang diperoleh dari Uji Paparan serta Prospek di Masa Depan

Dalam uji paparan jangka panjang yang telah dilakukan di Teluk Suruga selama lebih dari 30 tahun, telah diperoleh pengetahuan yang luar biasa mengenai mekanisme dan tingkat perusakan akibat korosi tidak saja terkait dengan material dasar tetapi juga material baru.

Dalam uji paparan untuk produk baja tanpa proteksi korosi, jelas bahwa tingkat korosi berbeda-beda tergantung pada posisi paparan dan bagaimana sel makro terbentuk, dan juga dipastikan bahwa laju korosi secara bertahap mencapai tingkat yang konstan dengan selang waktu pemaparan. Terkait proteksi metal tahan

korosi, terlihat efek kerusakan gores (*scratch damage*) pada zona pasang surut dan juga area yang perlu diperhatikan dalam aplikasi gabungan antara metal tahan korosi dengan proteksi katodik. Dalam proteksi korosi dengan cara pelapisan, diyakini bahwa penting untuk meningkatkan durabilitas dengan menggunakan pelapisan primer tipe cat yang kaya akan zinc.

Asesmen jangka-panjang mengenai daya tahan struktur lepas pantai dimungkinkan bila dilakukan uji paparan terus-menerus di masa depan, dan capaian yang diperoleh dalam uji tersebut akan dapat digunakan sebagai acuan dalam asesmen perkiraan lamanya bertahan. Uji serupa telah dilakukan di Okinotorishima dan lokasi lain dengan lingkungan korosi yang berbeda. Dalam hal ini dianggap bahwa ketahanan di berbagai lokasi termasuk yang di blok Asia dapat diperkirakan secara komprehensif dengan memeriksa hasil tes paparan tidak hanya di Teluk Suruga tetapi juga di lokasi lain yang disebutkan di atas. Kami bermaksud untuk menggiatkan pemeriksaan terus menerus agar terbentuk pendekatan penilaian kinerja yang diperlukan untuk metode korosi perlindungan untuk dan struktur baja dan beton lepas pantai dan pendekatan peramalan kinerja untuk masa depan



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



Photo 1 Full view of Marine Engineering Research Facility

Fig. 1 Outline of Marine Engineering Research Facility

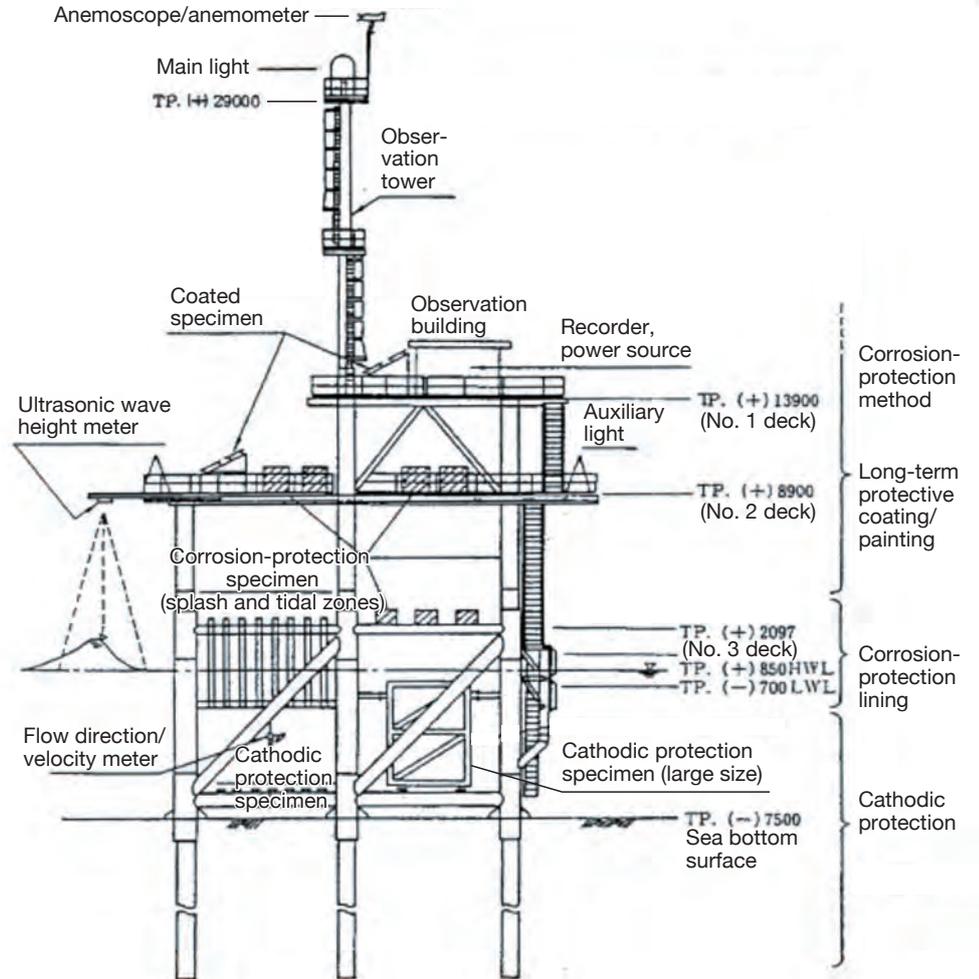


Fig. 2 Secular Change of Airborne Salt Amount by Means of PWRI-type Tank Method (Secular Changes of Past Survey Results: East and West Sides of No. 1 Deck)

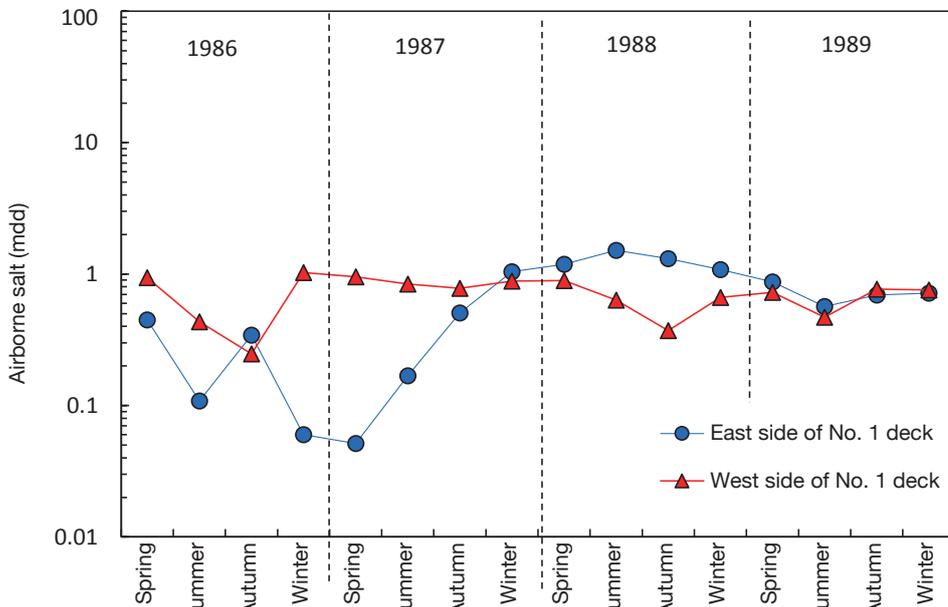


Fig. 3 Secular Change of Airborne Salt Amount by Means of PWRI-type Tank Method

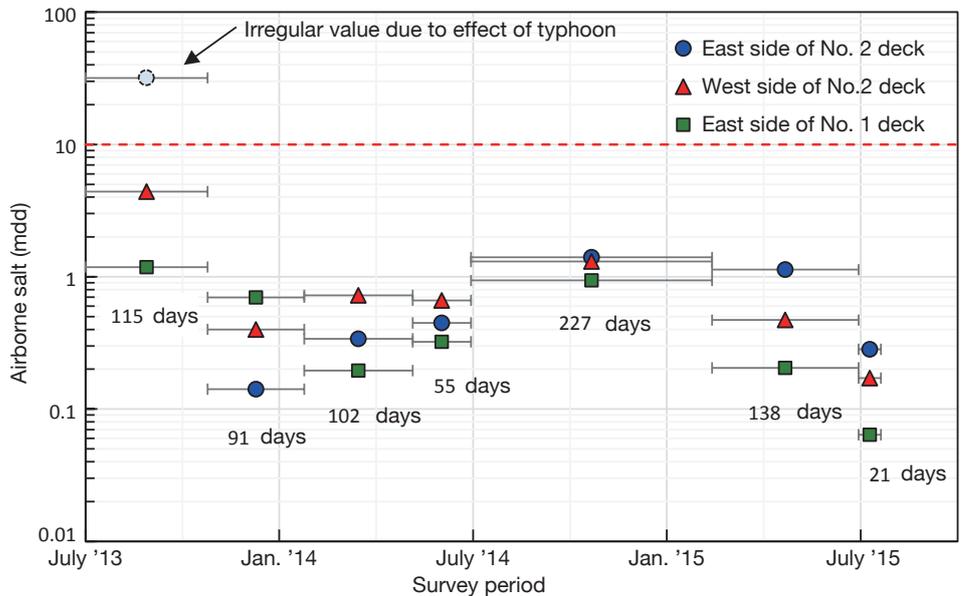


Fig. 4 Effect of Height from Sea Surface on Airborne Salt Amount by Means of Mortar Thin Plate Method

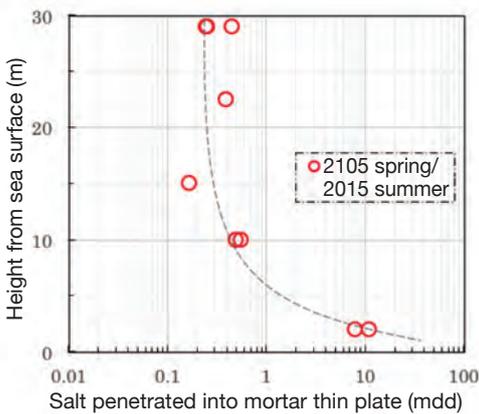


Table 1 Research Fields and Themes, and Research Allotment

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

Research allotment:

A: Public Works Research Institute

B: The Japan Iron and Steel Federation

C: Japan Prestressed Concrete Contractors Association

D: Public Works Research Center

(Halaman 5~6)

Uji Paparan di Teluk Suruga (2)

Uji Paparan Jangka Panjang untuk Struktur Baja dan Metode Proteksi Korosi di Teluk Suruga

Oleh Kenichiro Imafuku

Laboratorium Riset Baja, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation

Untuk meningkatkan durabilitas struktur baja untuk daerah laut, Federasi Besi dan Baja Jepang dan Institut Riset Pekerjaan Umum bersama-sama melakukan uji paparan jangka panjang terhadap struktur terkait. Objektif utama uji ini adalah untuk mengembangkan teknologi proteksi korosi mutakhir untuk struktur baja daerah laut dan untuk menilai durabilitas jangka panjang teknologi ini. Semua uji dilakukan menggunakan Fasilitas Riset Teknik Kelautan yang terletak di Teluk Suruga—250 m lepas pantai Prefektur Shizuoka.

Artikel ini melaporkan perilaku korosi dan teknologi proteksi korosi struktur baja daerah laut, dan kinerja proteksi korosi teknologi ini serta hal yang perlu diperhatikan dalam aplikasinya berdasarkan hasil uji paparan jangka panjang hingga periode maksimum 30 tahun.

Jenis Spesimen Uji Paparan

Dalam riset ini, berbagai spesimen uji produk baja diberikan uji paparan dalam lingkungan laut mulai dari zona percikan hingga zona rendaman: produk baja tanpa proteksi, produk baja yang ditutupi dengan berbagai metal yang sangat tahan korosi, produk baja dicat, produk baja dilapis organik dan lainnya.

Garis Besar Hasil Uji Paparan

Kondisi uji paparan ditampilkan dalam Foto 1, dan hasil uji paparan dirangkum di bawah ini:

• Produk Baja tanpa Proteksi Korosi

Sebagai hasil uji paparan produk baja selama 19,5 tahun tanpa proteksi (140×140×18×3,800 mm), diperoleh fakta sebagai berikut:

- Laju korosi menjadi tinggi dalam lingkungan laut, khususnya pada zona percikan.
- Laju korosi menjadi agak rendah pada daerah atas dari zona pasang-surut (penyebab utama: pada zona pasang surut terbentuk sel makro besar pada struktur baja).
- Laju korosi pada daerah terendam rendah

(penyebab utama: suplai oksigen di zona terendam lebih sedikit dibanding di zona percikan dan pasang-surut).

- Laju korosi menurun dengan bertambahnya waktu, dan secara bertahap mendekati suatu laju korosi konstan serupa dengan yang dijelaskan dalam *Standar Teknis dan Penjelasan untuk Fasilitas Pelabuhan di Jepang*.

(Lihat Gbr. 1 dan 2)

• Produk Baja Dilapis (*Coated*) (Pengecatan Biasa, Pengecatan Lapisan Film)

Pada produk baja yang dicat biasa (inorganic zinc 25 µm+epoxy resin 600 µm), area korosi bertambah pada saat dan setelah tahun ke 5 pada zona pasang surut dan terendam (Gbr. 3). Sebaliknya, pada produk baja dengan pengecatan film tebal (cat mengandung seng organik 15 µm+ resin epoxy tipe film ultra-tebal 2,000 µm+fluorine 25 µm), ditemukan bahwa korosi terjadi pada seksi yang rusak diperkirakan diakibatkan oleh kayu hanyut, tetapi tidak terlihat berkurangnya lapisan film pengecatan, maupun keretakan dan rusaknya cat, dan juga terlihat bahwa cat tetap terlihat baik. (Lihat Gbr. 4)

• Produk Baja dengan Lapis Organik (Poliuretan, Polietilena)

Tidak terlihat kerusakan pada pelapisan poliuretan bahkan sampai 23 tahun terpapar, dan pelapisan tetap dalam kondisi baik (Gbr. 5). Bagian normal pelapisan polyethylene juga masih dalam kondisi baik bahkan hingga 10 tahun terpapar, tetapi pada bagian yang dengan kerusakan gores (lebar: 1mm. panjang 10 mm) yang sengaja dibuat di awal, terlihat bahwa korosi terjadi dengan pengurangan ketebalan (*thickness loss*) pelat maksimum sebesar 1,2 mm. Sementara itu, seksi dimana bagian rusak terpapar selama satu tahun dan kemudian diperbaiki dengan deposisi di lokasi, terlihat kondisinya tetap baik bahkan setelah 9 tahun paparan

• Penyelubungan (*Covering*) Baja *Stainless* Sangat Tahan Korosi

Pengamatan dilakukan terhadap kondisi korosi pada pipa baja *stainless* sangat tahan korosi (Cr+3Mo+10N≥38 (% massa))-yang diselubungi dan diberikan proteksi katodik. Hasilnya, pada bagian baja *stainless* yang diselubungi tidak terlihat korosi pada permukaan, bagian las maupun bagian yang diperbaiki dengan las bahkan hingga setelah 10 tahun terpapar.

Dalam hal terjadi kerusakan gores pada zona pasang-surut, korosi pada logam dasar pipa baja tidak nampak akibat efek dari proteksi katodik. Sebaliknya,

ketika terdapat kerusakan akibat penetrasi gores pada zona percikan, karena efek proteksi katodik tidak menyebar ke zona percikan, terlihat korosi pada logam dasar pipa baja (sekitar 0,05 mm/tahun).

Selanjutnya, ketika tidak diberikan proteksi katodik, terlihat korosi (korosi celah) pada celah (seksi spesimen) yang timbul selama instalasi spesimen pada zona percikan dan terendam.

Berdasarkan pengetahuan yang diperoleh sejauh ini, dibuat daftar permasalahan terkait lingkungan laut dalam pemberian proteksi baja *stainless* yang sangat tahan korosi, seperti ditunjukkan pada Table 1.

• **Penyelubungan dengan Titanium**

Pada pipa baja yang diselubungi dengan titanium setelah 29 tahun paparan, sekalipun terlihat hilangnya warna, tidak terlihat adanya korosi (Gbr. 6). Bahkan pada seksi di bawah organisme yang menempel dan celah yang sengaja dibuat dengan memasukkan lembar titanium pada lembar titanium lainnya, tidak terlihat adanya korosi.

• **Metode Proteksi terhadap Korosi Lainnya**

Disamping metode proteksi korosi di atas, *cupronickel*, metode selubung proteksi korosi dan metode gabungan dengan menggunakan baja *stainless*, titanium atau material lainnya di uji paparan, disimpulkan bahwa metode-metode tersebut memiliki durabilitas jangka panjang.

Foto 1 Kondisi uji paparan

Gbr. 1 Distribusi Korosi ke Arah Tebal (Baja biasa)

Gbr. 2 Perubahan Sekuler Laju Korosi terhadap Lingkungan Laut

Gbr. 3 Tampilan Produk Baja dengan Pengecatan Biasa setelah Pembersihan Karat (atas: paparan 5 tahun; bawah: paparan 19,5 tahun)

Gbr. 4 Tampilan Produk Baja dengan Pengecatan Tipe Film Tebal (Paparasi 19,5 tahun)

Gbr. 5 Tampilan Pelapisan dengan Poliuretan setelah Pembersihan Karat (Paparasi 23 tahun)

Gbr. 6 Tampilan Pipa Baja dengan Selubung Titanium setelah Pelepasan Cangkang (Paparasi 29 tahun)

Tabel 1 Penanganan Aplikasi Metode Proteksi Penyelubungan Baja *Stainless* Tahan Korosi

Uji Paparan Akan Dilanjutkan

Beragam jenis metode proteksi korosi dilakukan dengan uji paparan jangka panjang, yang memastikan efektifitas aplikasinya dalam lingkungan laut. Perlu direncanakan selanjutnya uji paparan untuk metode proteksi tipe metal yang sangat tahan korosi yang

diharapkan akan menghasilkan durabilitas jangka panjang.



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



Photo 1 Exposure test conditions

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

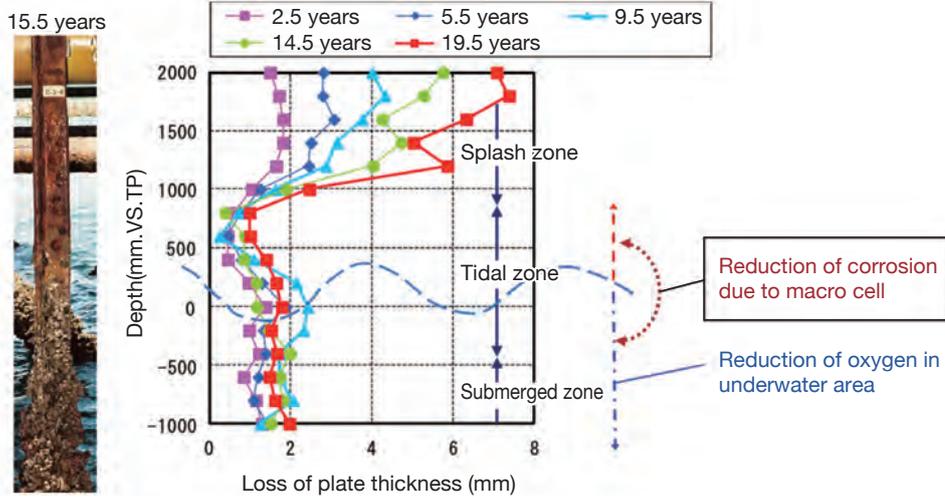


Fig. 2 Secular Change in Corrosion Rate by Marine Environment

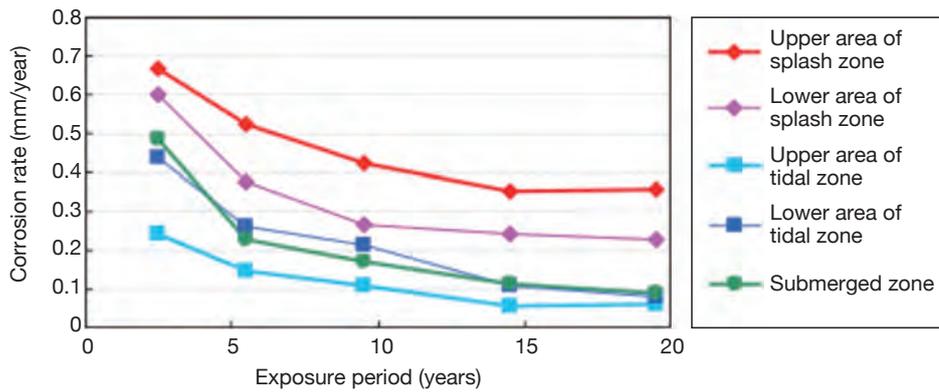


Fig. 3 Appearance of Common Painted Steel Products after Rust Removal (top: 5-year exposure; bottom: 19.5-year exposure)

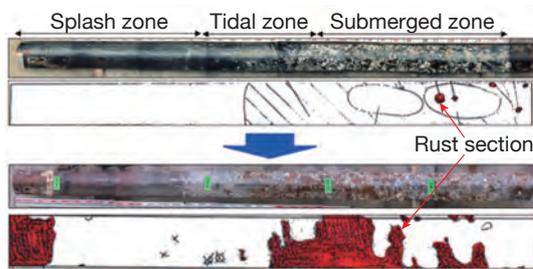


Fig. 4 Appearance of Thick Film-type Painted Steel Products (19.5-year Exposure)

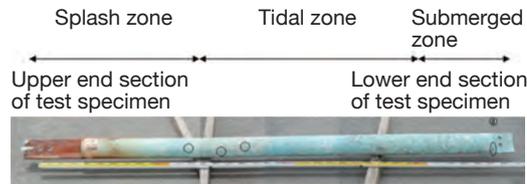


Fig. 5 Appearance of Polyurethane Coating after Rust Removal (23-year Exposure)



Table 1 Cares in Application of Highly Corrosion-resistant Stainless Steel Covering Protection Method

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

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

Gap (between titanium and titanium)



(Halaman 7~9)

Uji Paparan Lepas Pantai Jangka Panjang untuk Metode Proteksi Korosi untuk Tiang Pancang Pipa Baja di HORS

oleh Toru Yamaji

Institut Riset Pelabuhan Laut dan Pelabuhan Udara

Produk Baja merupakan material konstruksi penting yang digunakan untuk memperbaiki fasilitas infrastruktur, dan banyak digunakan untuk fasilitas pelabuhan laut dan struktur lepas pantai. Sementara itu, bila produk baja dibiarkan tanpa penanganan proteksi korosi untuk waktu yang lama, akan timbul masalah penurunan durabilitas fasilitas struktur baja akibat korosi baja, yang kemudian menurunkan fungsi dan keamanannya. Oleh karenanya, untuk mempertahankan kondisi struktur baja dalam periode lama, khususnya dalam lingkungan lepas pantai, perlu dilakukan penanganan yang tepat untuk proteksi korosi.

Dengan kondisi demikian, Institut Riset Pelabuhan Laut dan Pelabuhan Udara, Institut Teknologi Pengembangan Pantai dan Asosiasi Teknis Tiang pancang pipa Baja dan Turap baja bersama-sama melakukan uji lapangan pada tahun 1984 berbagai metode perlindungan korosi yang telah diterapkan pada tiang pancang pipa baja struktur baja praktis yang berada di lepas pantai. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk memeriksa metode proteksi korosi yang dapat memberikan proteksi jangka panjang. Pada tahun 2014, pengujian lapangan ini mencapai tahun ke 30.

Artikel ini menyampaikan garis besar hasil pengujian paparan lepas pantai jangka panjang tahun ke 31.

Garis Besar Lokasi Uji Paparan

Untuk uji lapangan ini digunakan Stasiun Riset Oseanografi Hazaki—*Hazaki Oceanographical Research Station* (HORS), yang terletak di laut terbuka di Kashima-nada di Prefektur Ibaraki (Foto 1). Area laut terbuka Kashima-nada merupakan area gelombang tinggi, termasuk zona *surf*, dimana pasir di dasar laut mengalami pergerakan besar. Karena gelombang tinggi dan arus pasang yang cepat mengenai langsung dermaga HORS, lokasi ini terpapar pada lingkungan yang sangat keras dan menjadi lapangan uji metode proteksi korosi yang sangat baik.

Di HORS, dibuat sebuah superstruktur di atas tiang pancang pipa baja dengan diameter 600~800 mm

dimana di atasnya dipasang gelagar beton prategang (Gbr. 1). Panjang total dermaga adalah 427 m dengan 47 tiang pancang pipa baja. Pengujian lapangan sudah dilakukan dengan aplikasi berbagai metode proteksi korosi pada tiang pancang pipa ini.

Foto 1 Tampak keseluruhan Stasiun Riset Oseanografi Hazaki

Gbr. 1 Contoh Bagian-Bagian Stasiun Riset Oseanografi Hazaki

Metode Proteksi Korosi yang Diterapkan di Lapangan Uji

Metode proteksi korosi yang diterapkan untuk pengujian lapangan dapat dikelompokkan menjadi lima tipe: pelapisan organik, pelapisan anorganik, pelapisan petrolatum, pengecatan dan proteksi katodik. Fitur utama tiap metode adalah sebagai berikut:

• Metode Pelapisan Organik

Metode pelapisan organik adalah metode proteksi korosi dimana permukaan produk baja dilapisi dengan polietilena, material tipe bawah air atau material organik lainnya. Ketebalan pelapisan umumnya 2~10 mm, lebih berat dibandingkan ketebalan pada pengecatan.

Metode pelapisan dengan polietilena memberikan durabilitas tinggi, ketahanan korosi air laut dan ketahanan korosi atmosferik. Metode ini digunakan pada struktur yang baru dibangun. (Lihat Foto 2)

Pada pelapisan bawah air, digunakan cat tipe bawah air pada permukaan produk baja hingga membentuk lapisan tebal. Aplikasi ini efektif bahkan sebagai metode perbaikan. (Lihat Foto 3)

• Metode Pelapisan Anorganik

Metode pelapisan anorganik merupakan metode proteksi korosi dimana permukaan produk baja dilapisi dengan mortar semen, beton bertulang ataupun material anorganik, termasuk logam. Permukaan produk baja diproteksi dari korosi oleh lapisan film pasif yang terbentuk pada permukaan baja akibat dari alkalinitas yang ada pada mortar semen atau beton.

• Metode Pelapisan Petrolatum

Metode pelapisan petrolatum merupakan metode proteksi korosi yang menggabungkan penggunaan material proteksi korosi yang terdiri dari petrolatum (semacam lilin dengan dasar petroleum) dan selubung yang melindungi material proteksi korosi. Ini merupakan metode proteksi korosi yang sangat andal dan telah sangat banyak diaplikasikan.

• Metode Pengecatan

Metode pengecatan merupakan metode proteksi korosi dimana substrata permukaan baha dilapisi pertama-tama dengan primer yang mengandung seng (cat yang mengandung bubuk seng) dan kemudian dengan cat cair atau semicair. Metode ini banyak diaplikasikan.

Beberapa cat yang sering digunakan dalam metode pengecatan di lapangan pengujian adalah cat resin epoksi tipe film tebal ekstrakental, cat resin epoksi serpihan kaca, dan cat resin epoksi ter.

• Metode Proteksi Katodik

Sistem proteksi katodik secara umum dapat dikelompokkan menjadi sistem anoda galvanik dan *impressed current system*. Metode arus-utama yang saat ini diadopsi untuk struktur baja pelabuhan adalah sistem anoda galvanis.

Pada sistem anoda galvanis, sepotong logam yang lebih rendah dari produk bajanya dihubungkan secara elektrik ke produk baja, kemudian diberikan arus proteksi korosi ke produk baja dengan cara aksi sel menggunakan perbedaan potensial antara logam dan produk baja. Dalam hal aplikasi praktis, proteksi katodik menjadi layak ketika potensial listrik dari permukaan produk baja lebih rendah dari -780 mV dengan *silver-silver chloride* dengan elektroda reference air laut

Foto 2 Pelapisan polietilena (bagian hitam: polietilena)
Foto 3 Pelapisan tipe bawah air (pelapisan dengan lapisan dasar)

Hasil Survei setelah Uji Paparan 30 Tahun

• Metode Pelapisan Organik

— Pelapisan polietilena

Disimpulkan bahwa metode pelapisan polietilena efektif dalam pengujian proteksi korosi selama 30 tahun. Dalam uji FT-IR (*Fourier transform infrared spectrometer*), hampir tidak terlihat kerusakan akibat sinar ultraviolet (Gbr. 2). Selanjutnya, ketahanan insulasi menunjukkan tidak ada masalah dengan kinerja proteksi korosi, dan diasumsikan bahwa pelapisan polietilena akan menghasilkan durabilitas jangka panjang di masa depan.

Disimpulkan juga bahwa resistivitas volume (dihitung dari ketahanan insulasi) berguna sebagai indikator dalam menilai kinerja pelapisan polietilena.

— Pelapisan Tipe Bawah Air

Setelah 20 tahun semenjak dimulainya pengujian, pelapisan tipe bawah air menunjukkan kinerja proteksi korosi yang bagus. Akan tetapi, setelah 30 tahun,

semakin terlihat kerusakan pada lapisan. Karenanya, disimpulkan bahwa kinerja pelapisan menurun dalam hal kinerja insulasi dan kedalaman penetrasi ion klorida.

Dipastikan bahwa ketahanan insulasi dan kedalaman penetrasi ion klorida merupakan indikator penting dalam penilaian kinerja pelapisan tipe bawah air.

• Metode Pelapisan Anorganik

Disimpulkan bahwa setelah 30 tahun metode pelapisan beton tidak saja menunjukkan tidak terdapatnya degradasi pada tampilan luar tetapi juga menunjukkan bahwa kinerja proteksi korosinya bertahan (Foto 4). Sementara itu, pada pelapisan beton yang terpapar di zona terendam dan zona pasang, tidak terdapat korosi nyata bahkan ketika terjadi akumulasi ion klorida dengan densitas tinggi pada permukaan produk baja, ataupun ketika ditemukan penetrasi ion klorida dari antarmuka produk baja. Kedua hasil survei menunjukkan bahwa tidak mudah memprediksi kapan korosi produk baja akibat penetrasi ion klorida akan terjadi.

Terkait perkiraan kerusakan lapisan beton, kiranya perlu dilakukan pemeriksaan lanjutan di masa depan.

• Metode Pelapisan Petrolatum

Kondisi proteksi korosi dengan metode pelapisan petrolatum setelah 30 tahun menunjukkan bahwa, walaupun selubung pelindung masih terlihat bagus, terjadi kerusakan pada baut dan member tambahan yang digunakan untuk memasang selubung pelindung (Foto 5).

Rasio residual minyak biasanya yang digunakan sebagai indikator penilaian kinerja metode pelapisan petrolatum. Akan tetapi, akurasi pengukuran dengan menggunakan rasion residual minyak tidaklah tinggi, dan ternyata ada faktor-faktor kerusakan lain disamping yang ditemukan dengan menggunakan rasio residual minyak, dan masih banyak yang harus dilakukan terkait penilaian kinerja yang sesuai dalam metode pelapisan petrolatum. Di masa depan, kiranya perlu memeriksa lebih jauh lagi mekanisme kerusakan pada metode pelapisan petrolatum untuk menentukan pendekatan yang sesuai untuk menilai kinerja metode ini.

• Metode Pengecatan

Pemeriksaan dilakukan terutama pada cat resin epoksi tipe film tebal. Walaupun tampilan luar metode pengecatan terlihat baik setelah 30 tahun, disimpulkan bahwa garam secara perlahan-lahan masuk ke dalam lapisan film cat dan mengakibatkan penurunan kinerja

proteksi korosi daripada film secara perlahan.

Diyakini bahwa impedance merupakan indikator penting dalam menilai kinerja berbagai metode pengecatan (Foto 6)

• Metode Proteksi Katodik

Dalam survei mengenai sistem anoda galvanis yang biasa dalam metode proteksi katodik, terlihat bahwa periode konsumsi anoda dapat segera diperkirakan dengan membagi kriteria penilaian kerusakan dari 2 tingkat menjadi lebih banyak. Akan tetapi, mengenai nilai ambang batas, kiranya perlu ditetapkan dengan hati-hati.

Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan terhadap metode pemasangan anoda pada produk baja dengan menggunakan magnet, dan ternyata tidak ada anoda yang jatuh selama 5 tahun sejak pemasangan dan kondisi proteksi korosi tetap terjaga (Foto 7). Akan tetapi, karena ada kasus dimana potensial listrik berfluktuasi akibat gelombang, kiranya perlu menerapkan observasi jangka panjang untuk melihat perkembangan kondisinya.

Gbr. 2 Hasil Analisa FT-IT pada Permukaan yang Dilapisi Polietilena

Foto 4 Struktur internal pelapisan beton

Foto 5 Tampilan selubung pelindung metoda pelapisan dengan petrolatum

Foto 6 Pengukuran impedans untuk metode pengecatan

Foto 7 Magnet pada seksi dengan anode pada metode proteksi katodik

Hasil yang Berguna dari Pengujian Paparan Jangka Panjang

Survei kami mengenai uji eksposur lepas pantai untuk tiang pancang pipa baja menunjukkan bahwa terdapat berbagai metode korosi yang menunjukkan kinerja proteksi korosi yang pasti untuk periode lebih dari 30 tahun. Hal ini dimungkinkan dengan melanjutkan uji paparan di masa depan untuk menilai durabilitas jangka panjang metode-metode proteksi korosi yang diaplikasikan di lepas pantai. Sementara itu, capaian saat ini dapat dijadikan titik acuan dalam menilai durabilitas metode proteksi korosi yang diharapkan.

Pendekatan yang digunakan dalam menilai kinerja berbagai metode proteksi korosi dikelompokkan menjadi dua: pendekatan dimana parameter dapat diekstraksi untuk dijadikan indikator penilaian kinerja; dan pendekatan lainnya dengan masih banyak tugas lainnya. Dalam rangka menetapkan pendekatan yang

akan digunakan dalam menilai kinerja yang dibutuhkan untuk metode proteksi korosi lapisan dan menetapkan metode perkiraan kinerja proteksi korosi dari berbagai metode, kami akan terus melakukan pemeriksaan di masa depan.



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



Photo 1 Full view of Hazaki Oceanographical Research Station

Fig. 1 Example of Sections of Hazaki Oceanographical Research Station

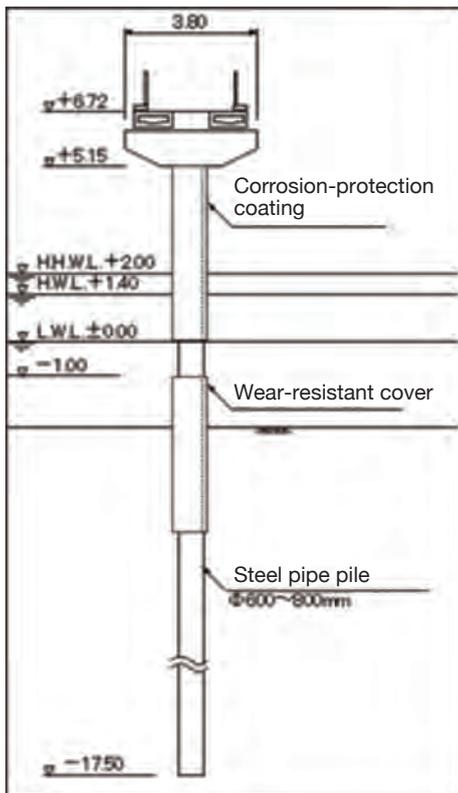


Photo 2 Polyethylene coating (black section: polyethylene)



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

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

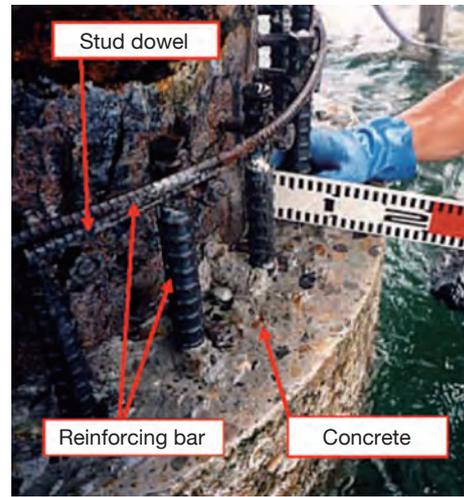
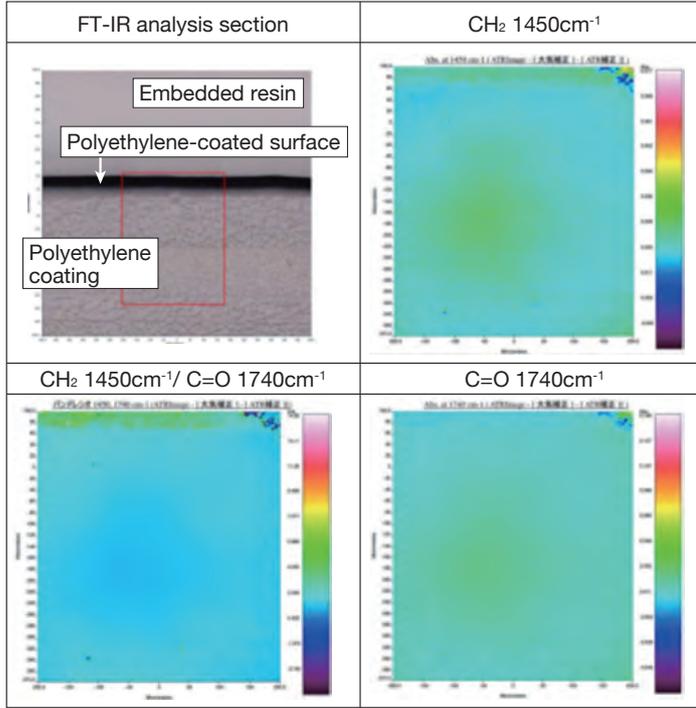


Photo 4 Internal structure of concrete coating



Photo 5 Appearance of protective cover of petrolatum coating method



Photo 6 Impedance measurement for painting method



Photo 7 Magnet at anode-affixed section in cathodic protection method

(Halaman 10~12)

Administrasi Kepelabuhanan di Jepang: Pemeliharaan dan Manajemen Fasilitas Pelabuhan

oleh Isao Sakai

Biro Pelabuhan, Kementerian Pertanahan, Infrastruktur, Transport dan Pariwisata

Bagi Jepang, sebagai negara yang semua sisinya dikelilingi oleh laut dan dimana populasi dan properti terakumulasi di daerah pantai, pelabuhanlah yang mendukung distribusi barang dan arus orang sebagai titik simpul baik bagi transport laut maupun darat. Juga, pelabuhan memiliki infrastruktur internasional yang penting dalam penanganan ekspor dan impor hampir seluruh barang dan material yang dibutuhkan sehari-hari dan dibutuhkan dalam industri manufaktur yang merupakan basis ekonomi Jepang.

Tuntutan baru dalam kepelabuhanan saat ini semakin meningkat. Pertama adalah untuk membentuk jaringan transport yang efisien dan stabil, dalam pasar global, yang terhubung dengan pelabuhan di luar negeri untuk menjamin daya saing dunia usaha yang ada di Jepang. Berikutnya adalah untuk memperkuat daya saing seluruh industri yang beroperasi di Jepang dengan meningkatkan efisiensi logistik internasional dalam rangka menciptakan pekerjaan dan penghasilan baru.

Situasi tersebut berakibat pada semakin banyaknya fasilitas pelabuhan yang telah melampaui 50 tahun semenjak konstruksinya, dan dengan demikian sekarang dibutuhkan pemeliharaan dan manajemen yang tepat dengan mempertimbangkan keseluruhan manajemen stok pelabuhan di Jepang.

Berikut ini diperkenalkan berbagai penanganan yang sedang digiatkan untuk pemeliharaan dan manajemen fasilitas pelabuhan di Jepang.

Entitas Manajemen untuk Pelabuhan dan Fasilitasnya di Jepang

• Peran dan Jenis Pelabuhan

Pelabuhan di Jepang diklasifikasikan ke dalam empat jenis: “Pelabuhan Kontainer *Hub* Internasional” yang mengutamakan menguatkan daya saing internasional sebagai *hub* dari transport kontainer laut internasional; “Pelabuhan *Hub* Internasional” yang berfungsi sebagai *hub* dari jaringan transport kargo laut internasional; “Pelabuhan Utama” yang berfungsi sebagai *hub* dari jaringan transport laut dan memiliki relasi penting dengan kepentingan nasional; dan

pelabuhan lokal selain yang disebut di atas. Jumlah pelabuhan di Jepang keseluruhan ada 933 (Lihat Tabel 1)

• Entitas Pemanfaatan dan Manajemen untuk Fasilitas Pelabuhan

Fasilitas inti pelabuhan dikelompokkan ke dalam dua jenis: fasilitas publik yang dimanfaatkan dan dikelola untuk penggunaan umum oleh pemerintah pusat dan administrator pelabuhan (entitas publik setempat); dan fasilitas swasta yang dimanfaatkan dan dikelola untuk digunakan secara eksklusif oleh badan usaha swasta. Pada prakteknya, manajemen fasilitas pelabuhan yang akan dimanfaatkan oleh pemerintah pusat diserahkan ke administrator pelabuhan yang mengelola fasilitas publik dengan sistem misal. (Lihat Gbr. 1)

Tabel 1 Jenis dan Jumlah Pelabuhan di Jepang

Gbr. 1 Entitas Pemanfaatan dan Manajemen Fasilitas Pelabuhan

Fasilitas pelabuhan yang Menua dan Pemeliharaan Pencegahannya

• Penambahan Fasilitas yang Menua

Fasilitas pelabuhan di Jepang diperbaiki sejalan dengan pertumbuhan ekonomi Jepang. Kebanyakan fasilitas ini dibangun selama periode 1970-an hingga 1980-an, dan sejauh ini berperan banyak sebagai infrastruktur dasar untuk pertumbuhan ekonomi dan distribusi fisik di Jepang

Disamping itu, fasilitas-fasilitas ini sekarang sudah menua. Sebagai ilustrasi menggunakan dermaga *wharf* yang merupakan bagian penting dalam fasilitas pelabuhan: dari sekitar 5.000 dermaga di seluruh negeri dengan kedalaman air 4,5 m atau kurang, yang telah melampaui 50 tahun atau lebih sejak konstruksinya akan meningkat dari 10% dari total pada bulan Maret 2014 menjadi 60% di bulan 2034 seperti ditunjukkan dalam Gbr. 2.

• Pemeliharaan Preventif

Untuk fasilitas pelabuhan yang cepat menua, kiranya perlu direncanakan pemeliharaan yang tepat untuk mengurangi biaya siklus hidup serta juga menjamin berfungsinya fasilitas dengan stabil. Untuk mencapai ini, perlu digiatkan ke pemeliharaan preventif dan pembaruan yang memperhitungkan perpanjangan masa layan dan pengurangan biaya siklus hidup, dibandingkan ke pemeliharaan korektif dimana tidak dilakukan penanganan sampai periode pembaruan. (Lihat Gbr. 3)

Gbr. 2 Rasio Dermaga *Wharf* dengan Kedalaman Air 5,4 m atau Lebih dan Jumlah yang Melampaui 50 Tahun sejak Konstruksi terhadap Keseluruhan Dermaga *Wharf*

Gbr. 3 Gambar Pemeliharaan Preventif

Mekanisme Pemeliharaan Fasilitas Pelabuhan

• Siklus Pemeliharaan untuk Fasilitas Pelabuhan

Tujuan dari pemeliharaan fasilitas pelabuhan adalah untuk memenuhi tuntutan kinerja selama periode layanan tertentu. Untuk itu, perlu dilakukan inspeksi yang sistematis, diagnosis dan perbaikan, serta juga melakukan monitoring selama periode layan.

Secara khusus, pemeliharaan fasilitas pelabuhan dilakukan dengan siklus pemeliharaan seperti dalam Gbr. 4. Untuk dapat melaksanaannya dengan benar, sudah dipersiapkan undang-undang terkait dan berbagai petunjuk juga telah disiapkan yang akan berguna dalam menerapkan rencana pemeliharaan/manajemen dan dalam melakukan inspeksi dan diagnosis.

• Rencana Pemeliharaan oleh Pihak Fasilitas dan Manajemen Stok oleh Pihak Pelabuhan

Pemeliharaan fasilitas pelabuhan terdiri dari dua roda: rencana pemeliharaan yang dibutuhkan untuk melakukan pemeliharaan dengan benar oleh pihak fasilitas, dan rencana pemeliharaan preventif yang dibutuhkan untuk mengelola stok fasilitas oleh pihak pelabuhan (Gbr. 5).

Dalam rencana preventif yang dikerjakan oleh pihak pelabuhan, prioritas dalam pemeliharaan dan pembaruan tiap fasilitas ditentukan berdasarkan pada rencana pemeliharaan yang dikerjakan oleh pihak fasilitas, dan pengeluaran yang dibutuhkan untuk pemeliharaan tiap fasilitas disamakan. Peran lain daripada rencana pemeliharaan preventif adalah untuk mendorong manajemen stok oleh pihak pelabuhan, seperti integrasi fasilitas, penggantian aplikasi dan perbaikan kualitatif, sejalan dengan perubahan yang timbul dalam situasi sosial dan ekonomi.

Gbr. 4 Siklus Pemeliharaan untuk Fasilitas Pelabuhan

Gbr. 5 Rencana Pemeliharaan dan Rencana Pemeliharaan Preventif



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

Table 1 Kind and Number of Ports in Japan

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

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

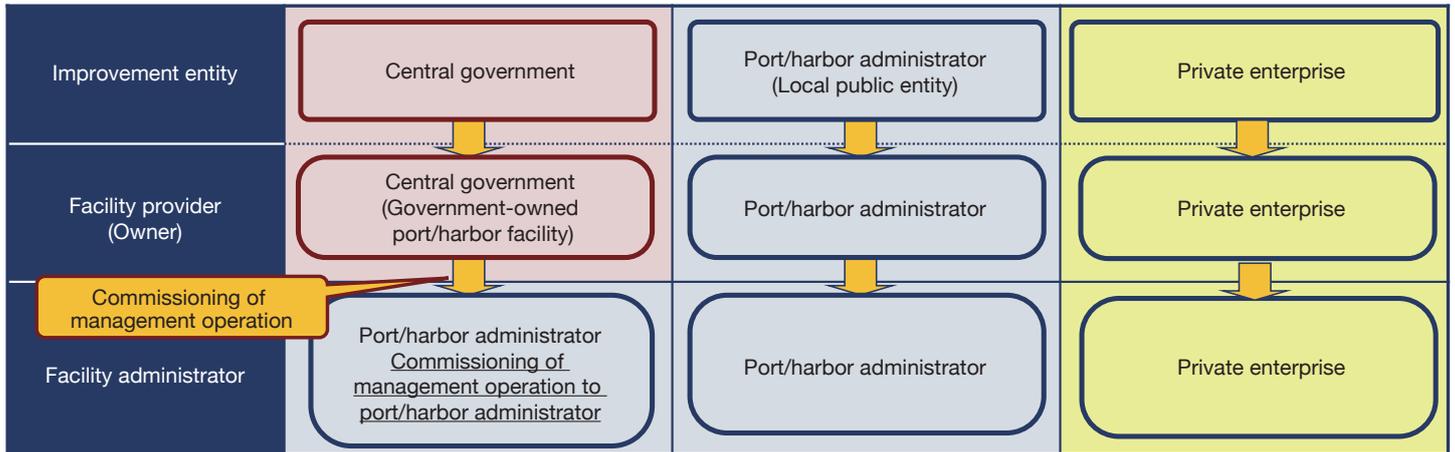


Fig. 2 Ratio of Public Wharfs with Water Depth of 4.5 m or Deeper and Pass of 50 Years since Start of Service to Total Wharfs

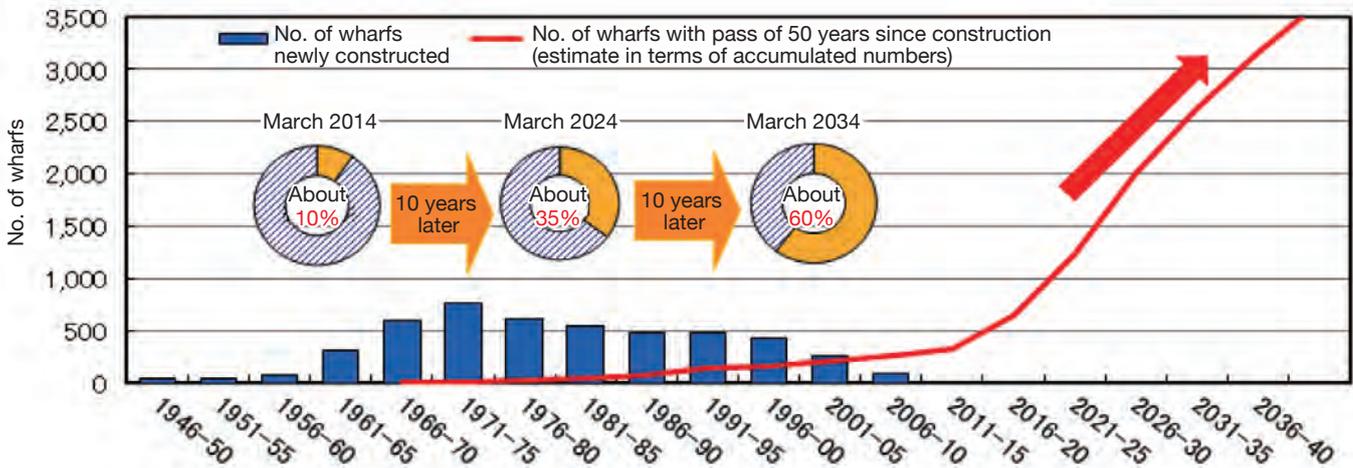


Fig. 3 Image of Preventive Maintenance

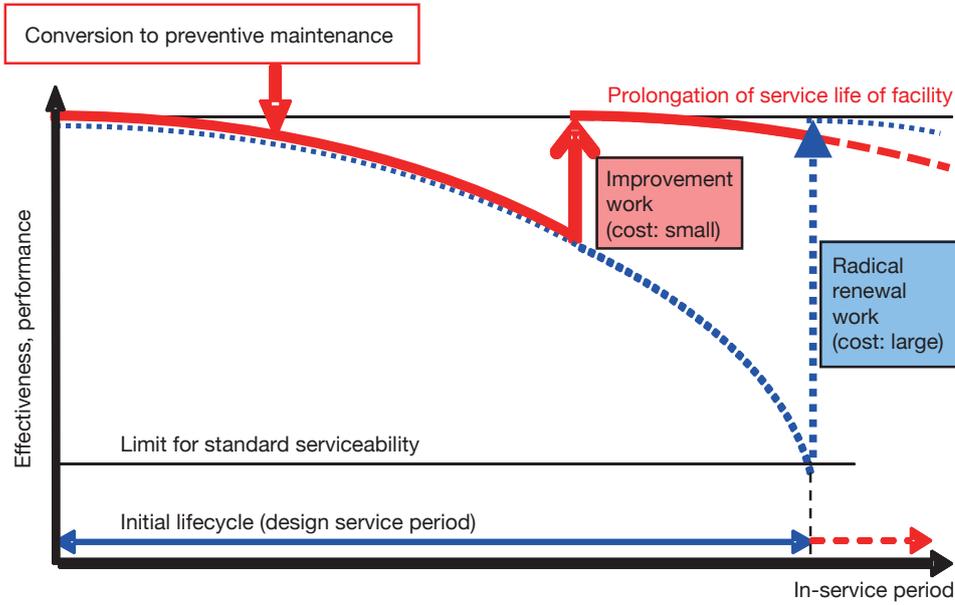


Fig. 4 Maintenance Cycle for Port/harbor Facilities

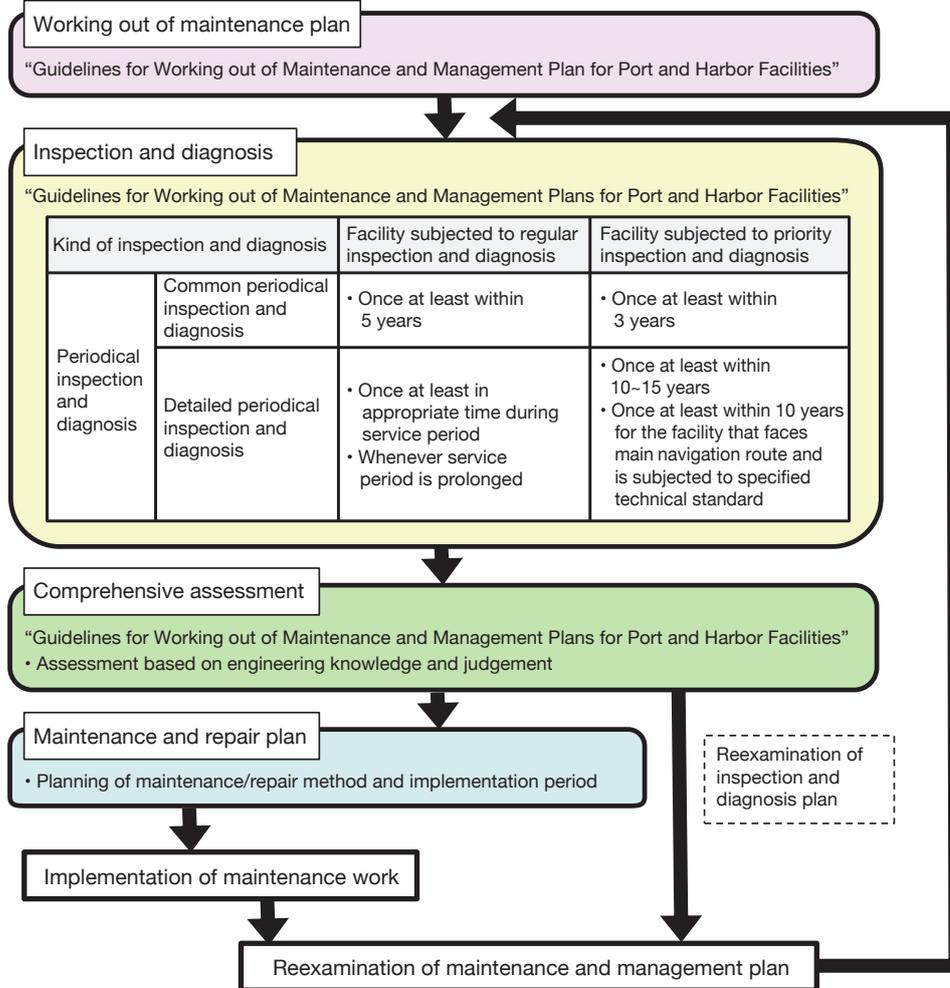
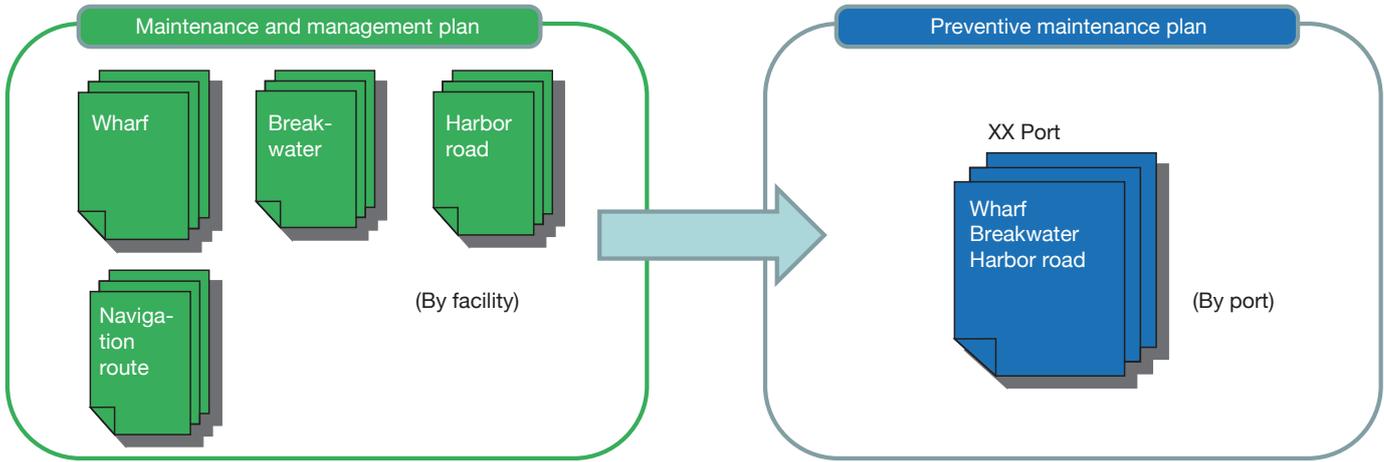


Fig. 5 Maintenance/Management Plan and Preventive Maintenance Plan



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

(Halaman 13~14)

Sistem Desain Struktur dalam Konsep Manajemen Siklus Hidup

Oleh Hiroshi Yokota

Profesor, Universitas Hokkaido

Pendahuluan

Sebuah struktur tentunya telah direncanakan dan dirancang dengan baik untuk menghasilkan kinerja strukturalnya sesuai dengan persyaratannya selama siklus hidupnya. Akan tetapi, kerusakan serius member structural dapat disebabkan oleh berbagai alasan. Untuk itu, sangatlah penting untuk melakukan koordinasi antara desain dengan pemeliharaan. Manajemen siklus hidup merupakan sistem dibuat untuk mendukung pengambilan keputusan keteknikan untuk memastikan kinerja struktural yang memadai dan masa pakai sebuah stuktur pada saat desain, pemeliharaan, dan pekerjaan terkait lainnya selama siklus hidupnya. Isi artikel ini adalah mengenai sitem desain struktural dalam konsep manajemen siklus hidup.

Manajemen Siklus Hidup (*Life-Cycle Management*)

Masa layan sebuah struktur tersusun dalam semua kegiatan yang meliputi perencanaan (*planning*), desain dasar (konsep) dan detil (*basic and detail design*), eksekusi (*execution*), pemeliharaan (*maintenance*) dan perbaikan (*repair*) serta dekomisioning (*decommissioning*). Manajemen masa hidup merupakan konsep terpadu dalam manajemen kegiatan siklus masa layan keseluruhan sebuah struktur berdasarkan manajemen tiap tahapan untuk menjamin fungsi dan kinerja struktural serta untuk sustainabilitasnya sebagaimana digambarkan dalam Gbr. 1. Dengan kata lain, manjemen siklus hidup dapat memberikan strategi menyeluruh untuk menjamin bahwa sebuah struktur memenuhi persyaratan kinerja yang ditentukan saat desain maupun setelah adanya modifikasi. Gbr. 2 menunjukkan siklus PDCA yang merupakan prosedur kunci dalam manajemen siklus hidup. Siklus PDCA diimplementasikan berdasarkan data yang dikumpulkan pada tahap pemeliharaan. Untuk prosedur pemeliharaan, untuk mengidentifikasi ketidak-seusain atau perbedaan asumsi desain dengan situasi sebenarnya (*Check*), *Plan* (Perencanaan) dan *Do* (Lakukan) yang diterapkan untuk peningkatan pemeliharaan, desain dan/atau eksekusi (*Action*) di masa depan. Selama proses tersebut, luaran dari sistem dapat dijadikan masukan kembali untuk tahapan

perencanaan (*planning*), desain (*design*), dan/atau eksekusi (*execution*) apabila dibutuhkan. Oleh karenanya, dapat dikatakan bahwa data pemeliharaan sangatlah penting.

Gbr. 1 Siklus Hidup Struktur dan Manajemennya

Gbr. 2 Siklus P-D-C-A dalam LCM

Desain Masa Layan

Konsep dasar bagaimana menjamin kinerja struktural harus mempertimbangkan kondisi, masa layan desain, karakteristik structural, property material, kesulitan dalam asesmen dan tindakan remedial, kepentingan sosial dan ekonomi, dll. Selama tahap desain awal, desain masa layan (durabilitas) diaplikasikan dalam memperkirakan seberapa jauh degradasi kinerja. Beberapa metodologi desain masa layan struktur menggunakan dasar konsep pendekatan probabilitas penuh, pendekatan faktor keselamatan parsial, pendekatan *deemed-to-satisfy* dan pendekatan menghindari-kerusakan.

Untuk struktur baja, korosi baja merupakan penyebab utama degradasi kinerja yang perlu dipertimbangkan dalam desain awal. Karenanya, korosi baja itu sendiri dan/atau memburuknya sistem proteksi korosi harus dipertimbangkan penuh. Prediksi pada tahap desain dilakukan berdasarkan model teoritis atau nilai tertentu yang ditentukan melalui investigasi struktur eksisting atau temuan eksperimental. Ketika digunakan pendekatan probabilitas penuh, semua parameter desain harus dimodelkan dengan fungsi probabilistik. Contoh mengenai perubahan dalam probabilitas kegagalan setelah suatu periode waktu akibat korosi baja dapat dijumpai dalam beberapa referensi. Selain itu, proteksi korosi juga sudah diaplikasikan sebagai bagian dari pendekatan menghindari-kerusakan seperti penyelubungan permukaan dan proteksi katodik. Dalam pendekatan tersebut, model deteriorasi proteksi korosi harus diperhitungkan dalam desain masa layan.

Deteriorasi serius dapat disebabkan oleh desain durabilitas yang tidak mencukupi dan dilakukan dengan asumsi optimistik untuk kondisi material yang merosot dan oleh kurangnya pemeliharaan yang tepat setelah konstruksi struktur. Berdasarkan konsep desain berbasis-kinerja, diperlukan metode yang dapat menjamin kinerja struktural yang disyaratkan diatas batas minimum selama tahap desain dan pemeliharaan.

Penilaian Kinerja dalam Pemeliharaan

Pemeliharaan merupakan strategi utama untuk melawan degradasi, yang dilaksanakan untuk menilai kondisi struktur saat ini dan untuk mengkuantifikasi tingkat kinerja struktur. Disamping itu, perlulah untuk memprediksi pergerakan degradasi kinerja di masa depan. Selama tahap pemeliharaan, ahli pemeliharaan akan mengikuti skenario (skenario manajemen siklus hidup; skenario LCM) yang sudah diasumsikan di tahap desain. Luaran desain kemudian harus diverifikasi dengan pekerjaan pemeliharaan karena kecepatan deteriorasi kondisi tidak akan mengikuti asumsi desain. Pergerakan korosi berbeda-beda berdasarkan lokasi karena karakteristik material yang tidak homogen serta keragaman kondisi lingkungan. Dengan menggunakan data korosi riil, skenario LCM harus diperbaharui.

Tingkat inspeksi dan investigasi mempengaruhi metode penilaian kinerja structural. Penilaian dapat dilakukan dengan konsep berbasis-kondisi dan konsep berbasis-kinerja. Dari inspeksi visual hanya akan diperoleh perubahan tampilan member struktur, sedangkan kinerja structural harus dievaluasi sepresisi mungkin. Bila hubungan antara kinerja structural dan tingkat deteriorasi dapat diperoleh dengan *margin of error* yang dapat ditoleransi, maka intervensi yang akan dilakukan dapat didiskusikan berdasarkan tingkat deteriorasinya.

Umpan Balik Hasil Pemeliharaan

Sebagaimana digambarkan dalam Gbr. 3, prediksi pada tahap desain biasanya dilakukan berdasarkan model teoritis, sedangkan pada tahap pemeliharaan berdasarkan model matematis stokastik seperti *survival analysis* dan mode Markov. Beberapa aturan teoritis, model simulais, formula verifikasi, dll digunakan untuk memprediksi kecepatan deteriorasi. Akan tetapi, tren yang diamati saat pekerjaan pemeliharaan, contohnya tingkat korosi terukur, memiliki potensi untuk digunakan dalam menentukan progress deteriorasi dan/atau degradasi selama tahap pemeliharaan. Berdasarkan data, aturan dan proses penilaian deteriorasi dan/atau degradasi kinerja harus dimodifikasi dan skenarionya harus diperbaharui guna prediksi selanjutnya.

Bila kegagalan member dapat mengakibatkan resiko bahaya, maka kegagalan yang mungkin terjadi harus dikategorikan menurut konsekuensinya. Untuk mengurangi risiko gagal yang terjadi selama masa desain dimana konsekuensi gagal dianggap kritis, dapat dipertimbangkan untuk mensyaratkan masa desain

yang panjang untuk member tertentu atau untuk menambah persyaratan untuk inspeksi dan pemeliharaan.

Gbr. 3. Penilaian dan Prediksi

Indikator Sustainability

Manajemen siklus hidup (*life-cycle management*) mempertimbangkan indikator sustainability seperti biaya siklus hidup, dampak lingkungan, dll seperti dalam Gbr. 4. Menentukan skenario LCM dengan memasukkan satu atau lebih indikator sustainability akan sangat berguna. Dalam mengevaluasi skenario LCM, biaya atau biaya siklus hidup biasanya digunakan sebagai indikator dan skenario dengan biaya/ biaya siklus hidup terendah yang akan dipilih sebagai skenario yang tepat. Akan tetapi, dari sudut pandang sustainability, tidak cukup untuk menggunakan indikator dari aspek ekonomi saja melainkan diharapkan di masa depan juga menggunakan indikator aspek sosial dan lingkungan. Indikator-indikator ini, sebagai contoh, harus ditentukan dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Penggunaan sumber daya energy dan material;
- Emisi ke udara, air dan tanah;
- Produksi dan manajemen limbah;
- Spesies dan ekosistem;
- Lansekap;
- Sistem komunitas dan territorial, dll

Gbr. 4 Indikator Sustainability

Kesimpulan Penutup

Konsep manajemen siklus hidup harus diterapkan dalam desain structural stuktur baja sehingga sistem penilaian kinerja dapat segera dibuat. Hal ini akan mengarah ke realisasi struktur dengan desain berdasarkan siklus hidup. Untuk terus mengembangkan sistem ini, masih dibutuhkan riset dalam bidang-bidang:

- Verifikasi kinerja dalam tahap desain dan pemeliharaan yang meliputi prediksi degradasi kinerja di masa depan;
- Pendekatan probabilitas;
- Manajemen risiko; dan
- Indikator sustainability yang tepat



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

Fig. 1 Life-Cycle of Structure and Its Management

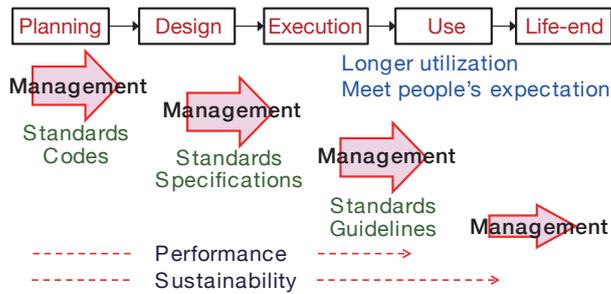


Fig. 2 P-D-C-A Cycle in LCM²

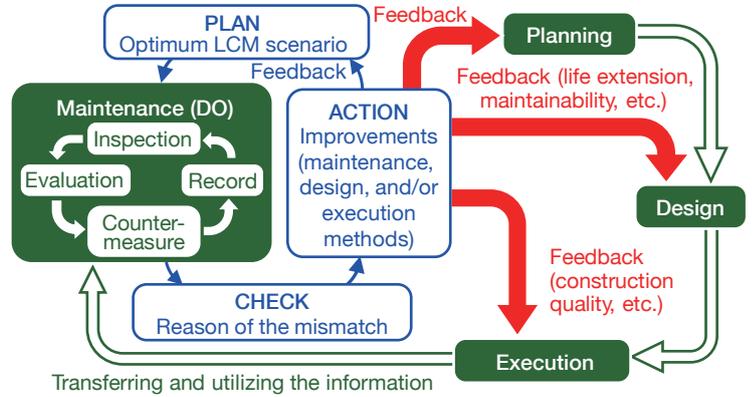


Fig. 3 Assessment and Prediction

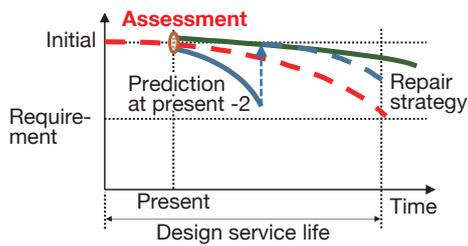
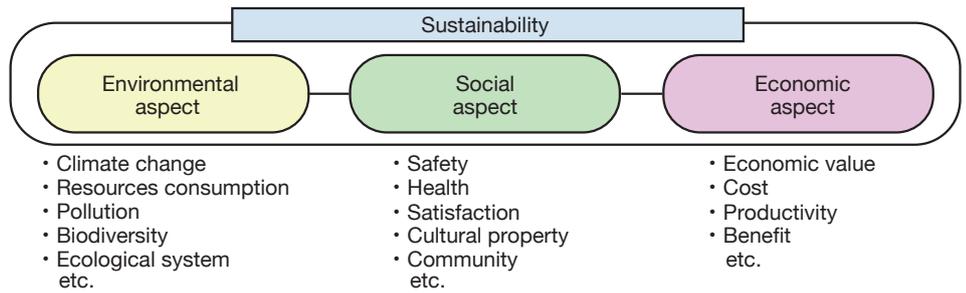


Fig. 4 Sustainability Indicators



(Halaman 15~16)

Metode Penilaian Integritas Struktural untuk Dermaga Baja Tipe Jacket dengan Kerusakan Korosi

oleh Kunitomo Sugiura, Profesor, Universitas Kyoto

Ke Arah Masa Layan Fasilitas Pelabuhan yang Lebih Panjang

Setelah Kolaps Langit-Langit Terowongan Sasago pada Jalan Ekspres pada tahun 2012, Kementerian Infrastruktur, Pertanahan, Transport dan Pariwisata Jepang, *the Ministry of Infrastructure, Land, Transport and Tourism of Japan* (MILT) telah mengeluarkan peraturan untuk melakukan inspeksi periodik terhadap semua infrastruktur, contohnya, tiapa 5~10 tahun untuk menilai kondisi kesehatannya. Khususnya, pengembangan dalam teknologi deteksi kerusakan dan penilaian kondisi kesehatan bersifat mendesak agar dapat mengimplementasikan “pemeliharaan preventif” untuk memperpanjang masa layan stok besar dari fasilitas tersebut.

Karena kemudahan dalam aplikasi turap baja dalam konstruksi cepat, produk baja ini sangat banyak digunakan dalam fasilitas pelabuhan. Akan tetapi, karena baja fasilitas pelabuhan terpapar air laut dan lingkungan korosif berat, maka banyak dilakukan pengembangan dalam rangka mendapatkan pemahaman mengenai mekanisme korosi, berbagai metode proteksi korosi, metode inspeksi dan peningkatan metode perbaikan dan perkuatan. Sementara itu, korosi diketahui mengurangi ketebalan pelat member struktural dalam struktur baja dan mengakibatkan deteriorasi dalam hal kapasitas dukung. Berbagai parameter kemudian dinilai dengan pendekatan analitis dan eksperimental untuk mengevaluasi kapasitas dukung member baja akibat gabungan gaya seksional dengan berbagai bentuk profil. Akan tetapi, kebanyakan pendekatan eksperimental dan analitis didasarkan pada profil korosi tertentu dari member struktural, dan karenanya jarang dilakukan evaluasi dengan kondisi in-situ dan penilaian kinerja keseluruhan struktur yang terdiri dari tiang pancang pipa baja dan slab RC dengan kerusakan korosi.

Di bawah ini, dilakukan penilaian dengan menggunakan karakteristik getaran yang dilakukan pada sebuah dermaga tipe jacket yang terdiri dari tiang pancang pipa baja dan lantai RC (dermaga Shiomi No. 3 eksisting pada Pelabuhan Sakai-Senboku dalam Foto 1). Diskusi ini menampilkan karakteristik frekuensi yang diringkas berdasarkan analisis FE serta uji

pembebanan pada dermaga baja eksisting dan kelayakannya untuk menilai integritas struktural berdasarkan karakteristik getaran.

Foto 1 Dermaga Shiomi No. 3 Pelabuhan Sakai Senboku

Analisis FE Dermaga Baja Tipe Jacket Ruang dengan Tiang Pancang pipa dan Penilaiannya dengan Uji Pembebanan

Sebuah struktur rangka ruang (panjang pancang: 26,0 m; interval pancang: 4,0 ke arah sejajar dengan garis pantai dan 4,5 m arah tegak lurus (daratan-laut)), dimana disusun 20 tiang pancang pipa (diameter luar: 812,8 mm; ketebalan dinding: 14 mm) ke arah memanjang dan melintang dengan interval sama, digunakan sebagai model dermaga tipe jacket dengan tiang pancang pipa baja dan lantai RC dengan lebar 20 m, kedalaman 17,5 m dan ketebalan 1,2 m dengan mengacu ke pada detil struktural dermaga *Wharf Shiomi No. 3* Pelabuhan Sakai-Senboku di Prefektur Osaka. Akibat kerusakan korosi pada tiang pancang pipa baja dan juga deteriorasi pada lantai RC, dermaga ini sekarang sedang di rekonstruksi. Oleh karenanya, efek rangka ruang dengan kerusakan tertentu pada kapasitas dukung horisontal dinilai dengan uji getaran dengan menggunakan *shaker* bersamaan dengan analisis frekuensi dengan perubahan pola deteriorasi korosi pada tiang pancang pipa baja dan dengan berbagai kondisi. Dalam analisisnya, digunakan kode analisis elemen hingga ABAQUS (Ver. 6.12). Gbr. 1 menunjukkan model rangka ruang yang distrukturkan sebagai model dermaga dengan elemen cangkang dan elemen balok dalam analisis FEM.

Tiang pancang pipa baja dipancang ke dasar laut dengan kedalaman 15, 15, 13 dan 11 (m) pada tiap baris dari garis pantai. Tiang pancang pipa dimodelkan dengan elemen cangkang (*4 node reduced integration shell elements*) untuk bagian atas sepanjang 6 m dan dengan elemen pipa untuk bagian bawah sepanjang 20 m untuk efisiensi penghitungan. Sementara itu, elemen cangkang dan elemen pipa disambung secara rijid pada tiap simpul, jumlah elemen cangkang pada arah keliling pipa baja ditentukan sejumlah 24, dan saling bertautan dalam arah aksial member dengan dimensi yang sama. Disamping itu, lantai RC dimodelkan agar elastis dengan elemen solid, dan disambung secara rijid dengan area cangkang pada bagian kepala tiang. Tepi dasar tiang pancang pipa dijepit penuh pada pegas tanah-tiang pancang pada arah vertikal dan tiang

pancang pipa yang dipancang ke dasar laut juga dihubungkan ke pegas tanah-tiang pancang pada arah horisontal. Konstanta pegas dari tanah dasar yang digunakan dalam analisis FE adalah berdasarkan profil tanah dasar hasil investigasi Osaka Prefektur dan dihitung menurut spesifikasi untuk jembatan jalan raya yang diberikan dalam Tabel 1. Sedangkan untuk tiang pancang pipa baja, diasumsikan densitas $7,85 \text{ (ton/m}^3\text{)}$, modulus elastisitas $210 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$ dan rasio Poisson $0,3$. Selanjutnya, untuk lantai RC digunakan asumsi densitas $2,4 \text{ (ton/m}^3\text{)}$, modulus elastisitas $23,1 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$, dan rasio Poisson $0,2$. Untuk analisis frekuensi eigen digunakan *consistent mass matrix* dan digunakan *Rayleigh Damping* dengan asumsi faktor peredaman sebesar $0,03$. Frekuensi natural diringkas dalam Tabel 2. Frekuensi natural dipengaruhi secara signifikan oleh reaksi lapisan tanah dasar (*subgrade*) di dasar laut. Juga perlu diperhatikan bahwa *riprap* di permukaan dasar laut dapat mengakibatkan perubahan pada frekuensi natural. Sebaliknya, kekakuan lantai RC kurang berpengaruh. Hal ini disebabkan karena momen lentur menjadi besar pada seksi dekat dasar laut dan juga pada seksi yang dekat dengan lantai RC untuk mode getaran horisontal pertama. Oleh karenanya, disimpulkan bahwa interaksi dinamik daripada truk dengan beban penuh yang bergerak di atas lantai RC dermaga baja dapat digunakan untuk penilaian integritas struktur.

Shaker dengan kapasitas beban $19,6 \text{ kN}$ ditetapkan di tengah lantai RC. Massa *shaker*, sebesar 500 kg diberikan dalam bentuk gelombang sinusoidal dengan akselerasi maksimum $4g$ (g : percepatan gravitasi). Karenanya, gaya inersia maksimum ini, $19,6 \text{ kN}$ dinilai untuk menentukan karakteristik getaran daripada sebuah dermaga. Dalam Gbr. 2, respon akselerasi maksimum dalam simulasi numerik diplot berdasarkan berbagai pemberian frekuensi. Terlihat bahwa akselerasi puncak diperoleh pada frekuensi natural $0,7\text{-}1,5 \text{ Hz}$ seperti diperoleh dari analisis frekuensi eigen, dan bahwa nilai puncak dipengaruhi secara signifikan oleh reaksi lapisan tanah dasar dari dasar laut dan *riprap*. Juga disepakati mengenai respon akselerasi sebagaimana ditunjukkan dalam Gbr. 3, bahwa model FE dan kondisi batas cukup baik untuk digunakan menilai karakteristik getaran secara kualitatif.

Pekerjaan Pembaruan Dermaga *Wharf Shioimi No. 3*, tiang pancang pipa diinspeksi dengan mengukur ketebalannya pada kedalaman $0,75$ dan $1,75 \text{ m}$ di bawah muka air rendah dan dilaporkan bahwa rasio

pengurangan ketebalan rata-rata sebesar $5,0\%$ dan $4,25\%$ pada tiap lokasi telah menyebabkan Pemerintah Prefektur Osaka memutuskan untuk menggunakan kembali tiang pancang pipa baja dalam rekonstruksinya. Dalam analisis FE dermaga dengan kerusakan korosi pada tiang pancang pipa baja, diasumsikan pengurangan tebal fiktif pada tiang pancang pipa, sebesar $2, 12, \text{ dan } 39\%$ menurut pengukuran tebalnya dan analisis respon dinamik dibuat akibat eksitasi sinusoidal pada lantai RC. Table 3 meringkas pengurangan respons akselerasi maksimum untuk semua kasus. Diketahui bahwa akselerasi puncak berkurang 58% paling banyak, dan terlihat bahwa integritas struktur dapat dinilai dengan perubahan dalam karakteristik getaran.

Gbr. 1 Model Elemen Hingga Dermaga Wharf Shioimi No. 3

Tabel 1 Konstanta Pegas Tanah Dasar yang digunakan dalam analisis Elemen Hingga

Tabel 2 Frekuensi Natural yang Diperoleh dengan Model Elemen Hingga (mode getaran horisontal orde pertama)

Gbr. 2 Respon Akselerasi Lantai RC pada Arah Horisontal

Gbr. 3 Perbandingan Respon Akselerasi

Tabel 3 Pengurangan Respon Akselerasi menurut Kerusakan Korosi

Penutup dan Ucapan Terima Kasih

Dari hasil analisis rangka ruang pada dermaga baja tipe jaket dengan tiang pancang pipa baja dan lantai RC, dapat dipelajari bahwa frekuensi natural sebuah dermaga baja dipengaruhi terutama oleh kekakuan tiang pancang pipa, dan kurang dipengaruhi oleh kekakuan slab RC. Oleh karena itu, tiang pancang pipa baja terkorosi dapat dinilai dari perubahan karakteristik getaran seperti moda getaran horisontal pertama karena kekakuan sebuah seksi yang diperkirakan akan mengalami korosi parah dapat berperanterhadap frekuensi natural mode getaran yang rendah. Disimpulkan pula bahwa karena *shaker* dengan kapasitas beberapa ton pun dapat digunakan untuk mengevaluasi frekuensi natural, interaksi dinamik daripada truk beban penuh yang bergerak di atas dek RC dengan dermaga baja praktis dapat digunakan untuk penilaian integritas.

Akhirnya, ucapan terima kasih disampaikan kepada Otorita Pelabuhan Pemerintah Prefektur Osaka untuk pengujian pembebanan pada dermaga baja eksisting

dan untuk pemberian informasi desain struktural dan kondisi tanah. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Toyo Construction Co. Ltd. atas bantuannya.

(Catatan: Isi teks versi terjemahan berbeda dari versi Inggrisnya karena teks dalam versi Inggris sudah dikurangi agar sesuai dengan tata letak 2 halaman dalam versi Inggris.)



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

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



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

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

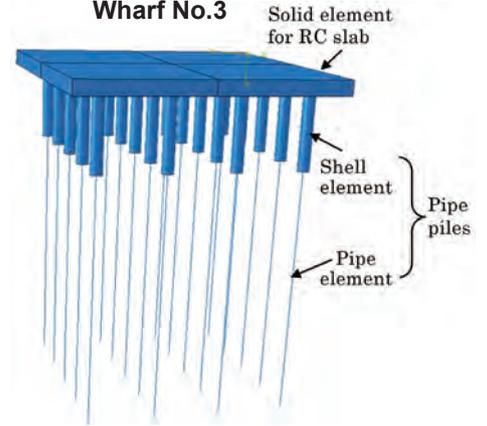


Table 1 Ground Spring Constants Assumed in FE Analysis

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

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

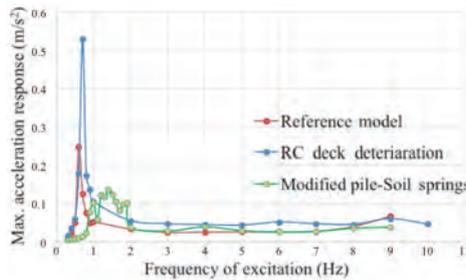


Table 3 Reduction in Acceleration Response by Corrosion Damages

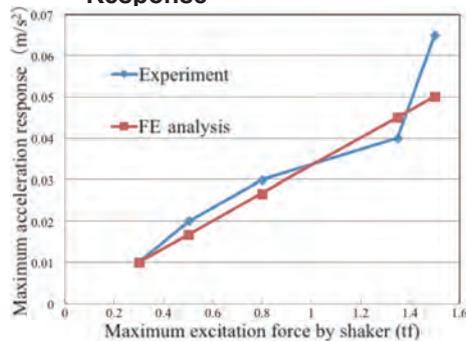
Reduction in cross sectional area (%)	Maximum acceleration response (m/s ²)	Reduction (%)
Intact	0.158	—
2	0.157	0.62
12	0.125	20.8
39	0.090	57.5

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

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

Note: Torsional vibration mode with 0.843 Hz

Fig. 3 Comparison of Acceleration Response



(Halaman 17~18)

Inspeksi dan Teknologi Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan Rusak Korosi

oleh Yoshito Itoh, Presiden, Institut Teknologi Nasional, *Gifu College*; Yasuo Kitane, *Associate Professor*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Nagoya; Kazuo Furunishi, Manajer Senior, *Toyoko-Giken Consulting Civil Engineers Inc.*; dan Mikihiro Hirohata, *Associate Professor*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Nagoya

Pendahuluan

Untuk menjaga agar pelabuhan tetap berada dalam kondisi dengan biaya pemeliharaan rendah, siklus pemeliharaan yang terdiri dari inspeksi, evaluasi kondisi, perbaikan/penguatan, dan pencatatan harus diulangi selama masa layanan sebuah struktur. Artikel ini mendiskusikan sebuah metode inspeksi yang efisien untuk menangani ketebalan member baja dan desain perbaikan untuk tiang pancang pipa baja rusak korosi agar tetap memiliki kinerja seismik.

Inspeksi dan Evaluasi Kondisi

Korosi mengurangi luas potongan member baja, yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas dukung. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi kondisi saat ini sebuah struktur baja, perlu dilakukan pengukuran ketebalan member baja pada saat inspeksi. Metode pengukuran ketebalan yang paling populer adalah metode pengujian ultrasonic, *ultrasonic testing method* (UT), yang menghasilkan pengukuran yang akurat, namun membutuhkan persiapan permukaan untuk menghilangkan organisme laut yang menempel, pelapisan dan karat sebelum dilakukan pengukuran. Karena pembersihan permukaan membutuhkan waktu dan sumber daya, dibutuhkan metode pengukuran ketebalan yang lebih efisien.

Salah satu metode pengukuran ketebalan yang efisien adalah *pulsed eddy current testing method* (PEC) yang tidak membutuhkan pembersihan permukaan karena PEC menggunakan bidang magnetik bergetar untuk menghasilkan arus eddy pada lapis permukaan pelat baja. PEC sudah digunakan untuk mendeteksi korosi pada jalur pipa, *riser*, dan pipa dengan insulasi. Dikatakan bahwa perlu memberi ketebalan rata-rata pada daerah tertentu yang disebut *footprint*, yang kemudian biasanya digunakan dalam proses skrining dalam inspeksi. Setelah pendeteksian korosi dengan PEC, pengukuran yang lebih akurat biasanya dilakukan dengan pembersihan pelapisan dan

karat.

Pengukuran Ketebalan PEC

Untuk memeriksa kelayakan pengukuran ketebalan PEC untuk pekerjaan inspeksi bawah air pada struktur baja pelabuhan, pengukuran lapangan ketebalan tiang pancang pipa baja dengan PEC dilakukan pada sebuah dermaga (*quay*) di Pelabuhan Nagoya, dan hasilnya kemudian dibandingkan dengan nilai dari UT. Gbr. 1 menunjukkan tiang pancang pipa yang diukur. Dermaga tersebut berusia 41,5 tahun pada saat pengukuran. Karena bagian tiang pancang pada zona bawah laut sudah diproteksi secara katodik, dan pada zona atmosferis, percikan dan pasang surut telah diproteksi dengan pelapisan (*coating*), tidak terlihat kerusakan korosi parah pada tiang-tiang pancang tersebut.

Pengukuran pertama-tama dilakukan dengan PEC. Kemudian, permukaan pancang dibersihkan untuk menghilangkan organisme laut yang menempel dan karat, dan ketebalannya diukur dengan UT. Akhirnya, pengukuran PEC dilakukan lagi untuk memeriksa efek dari pembersihan permukaan. Gbr. 2 meringkas hasil pengukuran pada L.W.L. -2,5 m pancang A dan pada L.W.L. -1,25 m pancang B. Sumbu horisontal pada Gbr. 2 menunjukkan lokasi keliling pada potongan melintang tiang pancang, dan 12 h dan 6 h masing-masing menunjukkan sisi laut dan sisi darat.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perbedaan pengukuran antara PEC dengan UT berkisar 1 hingga 8% dari ketebalan dengan nilai rata-rata 5.5%, dan bahwa efek pembersihan permukaan pada pengukuran PEC tidak signifikan. Selanjutnya, waktu yang dibutuhkan untuk pengukuran adalah 15 hingga 20 menit untuk tiap lokasi dengan UT dan hanya 15 hingga 30 detik untuk tiap lokasi dengan PEC. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran ketebalan dengan PEC berpotensi untuk digunakan dalam inspeksi struktur baja pelabuhan.

Gbr. 1 Tiang Pancang Pipa yang Diukur

Gbr. 2 Ketebalan yang Diukur

Desain Perbaikan Pelat Tambal

Satu metode perbaikan yang populer untuk tiang pancang pipa terkorosi adalah dengan pengelasan pelat tambal pada area rusak korosi, dan dalam praktek desain tipikal, digunakan sebuah pelat tambal dengan ketebalan yang ekuivalen dengan pengurangan ketebalan. Akan tetapi, untuk mengembalikan kinerja

seismik tiang pancang pipa hingga ke level awal, mungkin dibutuhkan ketebalan yang lebih besar untuk mengembalikan kapasitas penyerapan energi. Dalam studi ini, dikembangkan pemodelan elemen hingga untuk tiang pancang pipa yang diperbaiki dengan pelat tambal, dan dilakukan analisis *pushover* tiang pancang pipa dengan beberapa parameter struktural yang berbeda untuk memeriksa ketebalan pelat tambal yang dibutuhkan untuk menghasilkan kapasitas penyerapan energi yang sama berdasarkan kurva beban-displasemen dengan yang dihasilkan tiang pancang pipa yang utuh.

Sebuah tiang pancang pipa dimodelkan sebagai sebuah kantilever yang merupakan 60% teratas dari keseluruhan tiang pancang. Gbr. 3 menunjukkan model kantilever yang diambil dari bagian atas tiang pancang pipa. Pada model, pengurangan ketebalan diasumsikan seragam untuk panjang 3.000 mm. Gaya aksial, N , diberikan pertama pada ujung pembebanan, dan analisis *pushover* dilakukan dengan menambah displasemen horisontal secara bertahap.

Diameter pipa yang digunakan dalam analisis adalah 600 mm, 700 mm, 800 mm, dan 900 mm. Ketebalan asli pipa baja adalah 12 mm ataupun 16 mm, Pengurangan ketebalan diasumsikan 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Panjang kantilever dianggap 6.000 m, 7.500 mm, dan 8.000 mm. Tiang pancang baja yang digunakan adalah SKK490 dan SKK400. Rasio gaya aksial terhadap gaya aksial luluh dari sebuah pipa baja utuh, N/N_y , dianggap berada dalam rentang analisis dari 0% hingga 20%. Analisis dilakukan terhadap 106 kasus.

Ketebalan pelat tambal yang dibutuhkan dari 106 kasus digambarkan dalam Gbr. 4. Dalam Gbr. 4, parameter sumbu horisontal dipilih dengan mengacu kepada Ref. 4), dimana λ_p adalah parameter rasio kerampingan daripada tiang pancang pipa baja yang ketebalannya berkurang, dan R_p adalah parameter rasio radius-ketebalan tiang. Sumbu vertikal adalah parameter yang mewakili rasio ketebalan pelat tambal terhadap ketebalan pipa utuh, dimana t_s , t_{p0} , σ_{ys} , σ_{y0} masing-masing adalah ketebalan pelat tambal, ketebalan pipa utuh, tegangan luluh pelat tambal, dan tegangan luluh SKK490. Rasio ketebalan pelat tambal terhadap pengurangan ketebalan diperoleh berada dalam rentang 1,0 hingga 1,4.

Dalam Gbr. 4 digambarkan sebuah kurva tren nilai rata-rata yang diperoleh dengan metode kuadrat terkecil dalam bentuk garis putus-putus, dan garis penuh adalah kurva batas atas ketebalan pelat tambal

sebesar nilai rata-rata ditambah dua kali simpangan baku. Persamaan kurva batas atas juga digambarkan dalam Gbr. 4. Dengan menggunakan rumus empiris, dapat ditentukan ketebalan pelat tambal yang dibutuhkan.

Gbr. 3 Model Kantilever Pipa dengan Ketebalan Berkurang yang Diperbaiki dengan Pelat Tambal

Ringkasan

Untuk memperoleh manajemen siklus hidup struktur baja pelabuhan yang sesungguhnya, kinerja siklus hidup keseluruhan struktur harus dipahami. Metode inspeksi yang efisien dan metode perbaikan yang efektif yang dibahas dalam artikel ini akan memberikan kontribusi terhadap teknik manajemen siklus hidup yang lebih baik.



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

Fig. 1 Measured Pipe Piles

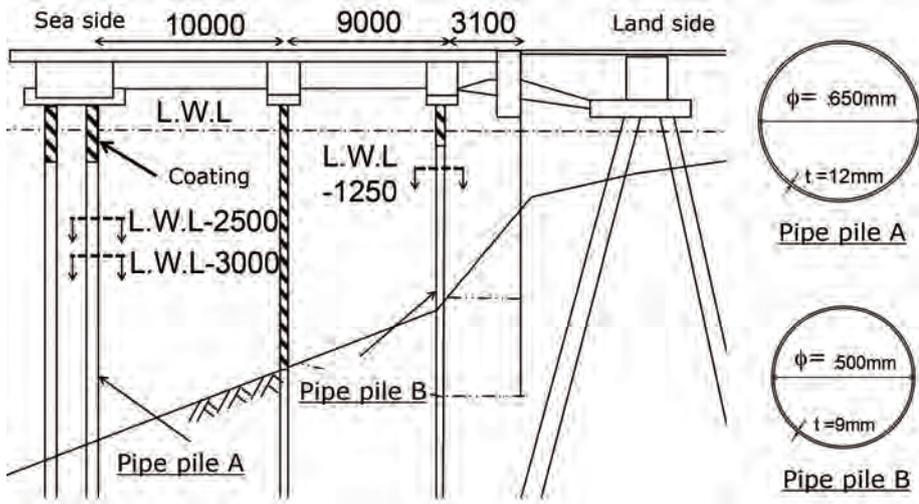


Fig. 2 Measured Thickness

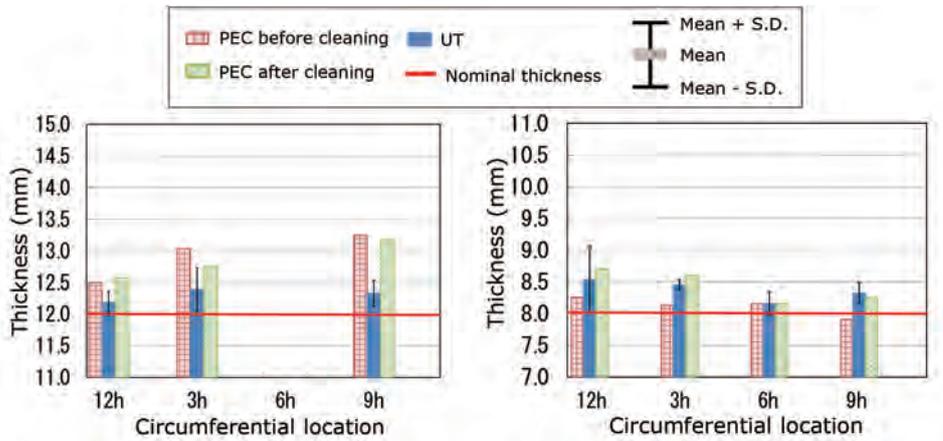


Fig. 3 A Cantilever Model of Thickness-reduced Pipe Repaired by Patch Plate

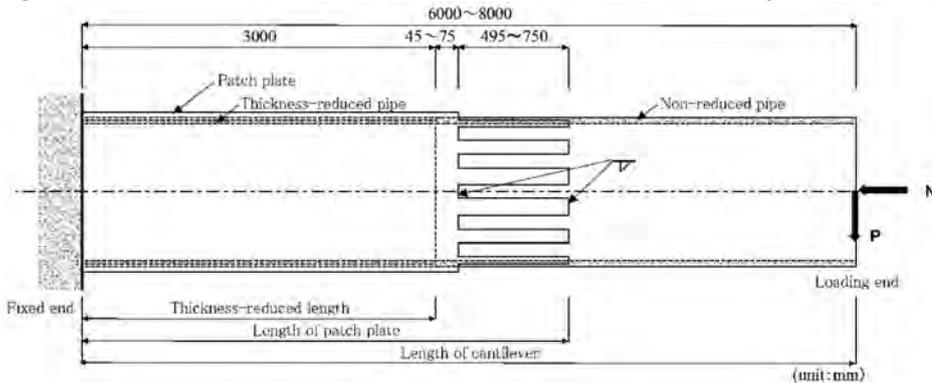
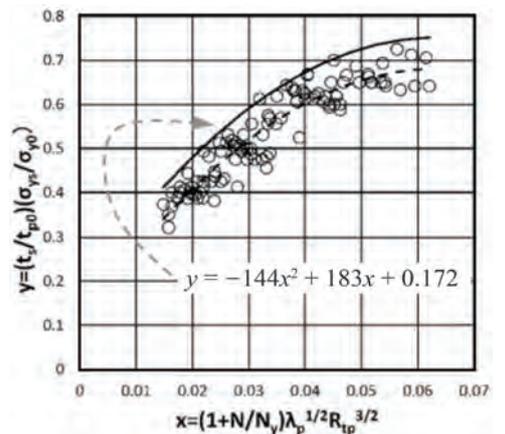


Fig. 4 Required Patch Plate Thicknesses from 106 Analytical Cases



(Sampul Belakang)

Operasi FBBJ

Dua Seminar untuk Program Kerjasama Industri Baja KKE Jepang-Thailand

Federasi Besi dan Baja Jepang bekerjasama dengan Institut Baja Thailand, *Steel Institute of Thailand* (ISIT) mengadakan dua seminar baja di Jepang. Kedua seminar ini direncanakan sebagai bagian dari proyek kerjasama inisiatif pemerintah setelah Kesepakatan Kemitraan Ekonomi Jepang-Thailand

• Seminar Konstruksi Baja

Seminar Konstruksi Baja satu minggu diadakan pada bulan Desember 2015 di Tokyo, dan dihadiri oleh 18 insinyur Thailand. Seminar ini dilaksanakan tiap tahun sejak dimulainya KKE Jepang-Thailand, dan seminar tahun 2015 ini merupakan tahun ke delapan.

Program seminar, yang dipilih berdasarkan minat terhadap Thailand, meliputi berbagai bidang dalam konstruksi baja—jembatan, pengelasan struktur tabung baja-isi-beton, desain gempa dan desain tahan-angin. Paralel dengan kuliah, dilakukan tur ke lokasi-lokasi konstruksi dan pabriknya yang terkait dengan program seminar. Selanjutnya, kondisi terkini konstruksi jembatan beton di Thailand disampaikan oleh peserta dari Thailand. Dalam seminar untuk pertukaran pendapat, disampaikan berbagai langkah penanganan yang sedang digiatkan untuk aplikasi jembatan baja yang lebih luas di Jepang.

Foto: Seminar Konstruksi Baja

• Program Pelatihan Insinyur Muda dan Rekrut Baru

Sebagai program baru dari Program Kerjasama Industri Baja, diadakan dua Program Pelatihan, yang pertama pada bulan September 2015 dan berikutnya pada bulan Maret 2016 (masing-masing selama satu minggu) di Osaka. Program ini diikuti oleh sekitar 50 insinyur muda dari pemerintah Thailand, produsen baja, perusahaan perdagangan dan entitas lainnya. Program pelatihan program pertama mencakup metalurgi dasar dan baja untuk mobil, dan program kedua mencakup baja untuk mesin dan konstruksi dan teknik sipil yang ditambahkan berdasarkan permintaan pihak Thailand. Selanjutnya juga dilakukan tur ke proyek konstruksi baja dan lokasi lainnya.

Foto: Program Pelatihan untuk Rekrut Baru dan Insinyur Muda



Dalam Kesepakatan Kemitraan Ekonomi Jepang-Thailand: Program Kerjasama Industri Baja, disamping yang telah disebutkan di atas terdapat berbagai program yang dilaksanakan di Jepang dan di Thailand.

Konferensi Struktur Baja di Kamboja

Federasi Besi dan Baja Jepang menyelenggarakan sebuah konferensi berjudul “Teknologi Terkini Struktur Baja 2015” di Phnom-Penh, Kamboja pada tanggal 3 Desember 2015. Konferensi ini dilaksanakan bersama oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Transportasi Kamboja dan Institut Teknologi Kamboja, dan didukung oleh Kedutaan Jepang di Kamboja, JICA Kantor Kamboja, JETRO PHNOMPENH dan Asosiasi Bisnis Jepang di Kamboja

Dalam konferensi di atas, lima kuliah yang mencakup topik pelabuhan, jembatan dan konstruksi bangunan disampaikan oleh ahli baik dari Kamboja maupun dari Jepang, dan sekitar 120 insinyur dan mahasiswa dari Kamboja hadir. Pemrasaran dari kedua negara berpartisipasi dalam Sesi Kelompok Kecil, dimana terjadi pertukaran pendapat mengenai situasi standarisasi dan legislasi di Kamboja saat ini dan penyebaran struktur baja di masa depan di Kamboja.

Konferensi ini adalah seri yang ketiga setelah yang diselenggarakan pada tahun 2012 dan 2014. Konferensi keempat direncanakan akan diselenggarakan di Kamboja pada tahun 2016.

Foto: Konferensi Struktur Baja di Kamboja



Steel Construction Seminar



Newly Recruited and Young Engineer Training Program



Steel Structure Conference in Cambodia