

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 33 Juli 2011)

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. Dalam versi Bahasa Indonesia, foto, gambar dan tabel hanya ditampilkan judulnya saja. Oleh karenanya perlu merujuk ke publikasi versi Bahasa Inggris untuk melihat isinya. Juga, bila dibutuhkan konfirmasi teknis ataupun rincian yang lebih teknis dari sebuah teks, silakan merujuk ke publikasi versi Bahasa Inggris.

No. 33 Juli 2011: Isi

Fitur Khusus

Tiang Pancang dan Turap Pipa Baja

Turap dan Tiang Pipa Baja untuk Struktur Baja
Pelabuhan: Teknologi Proteksi Korosi _____ 1

Tiang Pancang dan Turap Pipa Baja: Teknologi
Perbaikan dan Perkuatan _____ 6

Jembatan Nhat Tan di Vietnam: Disain Jembatan
dan Konstruksi Substruktur _____ 10

Jembatan Gerbang Tokyo: Disain dan Konstruksi
Pondasi Sumur Turap Pipa Baja _____ 14

Gempa Besar Jepang Timur dan Tsunami _____ Sampul
Belakang

(Halaman 1~5)

Turap dan Tiang Pancang Pipa Baja untuk Struktur Baja Pelabuhan — Teknologi Proteksi Korosi: Hari ini & Esok —

Oleh Hidenori Hamada (Dr., Professor Universitas Kyushu)

Toru Yamaji (Dr., Pimpinan Grup Institut Riset Pelabuhan dan Bandara)

Yoshikazu Akira (Dr., Peneliti Institut Riset Pelabuhan dan Bandara)

Sejarah teknologi proteksi korosi di Jepang telah berlangsung selama lebih dari 50 tahun. Sebagai hasilnya, teknologi ini telah berkembang hingga ke tingkat yang luar biasa dimana proteksi terhadap korosi pelabuhan hampir selesai. Demikian juga, kondisi yang mempengaruhi aplikasi teknologi proteksi korosi berbeda di tiap negara, sehingga metode yang digunakan juga akan berbeda. Akan tetapi, keragaman pengalaman yang diperoleh dalam bidang ini di Jepang dapat juga berguna di negara lain. Artikel ini membahas teknologi perlindungan korosi yang diterapkan pada pelabuhan dengan struktur baja di Jepang. Kami yakin artikel ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi proteksi korosi struktur baja di dunia.

Struktur Baja untuk Pelabuhan di Jepang

• Sejarah

Struktur pelabuhan baja tertua yang dibangun di Jepang adalah dermaga dengan konstruksi tiang sekrap baja di Pelabuhan Kobe pada 1876, diikuti selanjutnya dengan Pelabuhan Yokohama, Nagoya, Osaka dan Tsuruga. Selama paruh terakhir era Taisho (1912~1926), turap baja diimpor untuk memperbaiki kerusakan akibat Gempa Bumi Besar Kanto. Dermaga tambat jenis turap baja pertama dibangun pada 1926 di pelabuhan Osaka.

Memasuki era Showa (1926~1989), impor turap baja meningkat, menjadi total 25.000~35.000 ton per tahun. Kemudian pada tahun 1929, percobaan manufaktur turap baja dimulai di Pabrik Baja Yawata yang dijalankan pemerintah, dan produksi penuh dimulai tahun 1930. Pada 1931, di Pelabuhan Miyako untuk pertama kalinya digunakan turap baja produksi domestik untuk struktur baja pelabuhan. Juga, dermaga tambat dengan turap baja dibangun di awal era Showa

di Osaka, Naoya, Fushiki, Hakodate dan Rumoi. Selama periode akhir perang, tiang pancang baja digunakan secara meluas untuk fasilitas pelabuhan. Aplikasi tiang pancang untuk struktur pondasi dermaga diperluas setelah konstruksi Pelabuhan Shiogama pada tahun 1954. Dermaga tambat pertama tipe-sel yang menggunakan turap baja datar dibangun di Pelabuhan Shiogama (1954~1959), diikuti dengan Port Tobata, Nagoya, Naoetsu, Aomori dan Yokohama.

Memasuki 1960 an, pilar tiang pancang baja dikembangkan dan secara bertahap digunakan untuk membangun dermaga tambat kapasitas besar di banyak pelabuhan. Dermaga Yamashita di Pelabuhan Yokohama dan dermaga Maya di Pelabuhan Kobe merupakan struktur demikian.

Belakangan ini, struktur baja tipe-jaket semakin banyak diadopsi untuk fasilitas pelabuhan. Dermaga Ooi dan Landas-Pacu D di Bandara Internasional Tokyo merupakan contoh tipikal struktur ini.

• Fitur Struktur Baja Pelabuhan

Saat ini hampir separuh dermaga tambat di Jepang dibangun dengan menggunakan produk baja. Ini telah menjadi fitur pelabuhan-pelabuhan di Jepang. Salah satu alasan utama banyaknya penggunaan produk baja di Jepang adalah perkembangan industri baja Jepang sebagai unsur utama pertumbuhan ekonomi negara yang tinggi pada tahun 1960-an. Karena pertumbuhan ekonomi Jepang yang tinggi pada tahun 1960-an menuntut pengembangan fasilitas pelabuhan dengan segera, maka peluang konstruksi cepat menjadi alasan tambahan untuk segera mengadopsi struktur baja. Total panjang dermaga tambat yang menggunakan struktur baja sudah mencapai 490 km. Di Pelabuhan Tokyo, rasio struktur baja terhadap total fasilitas pelabuhan (termasuk pemecah gelombang) meningkat dengan cepat. Dari total pengembangan lebih dari 200 km fasilitas pelabuhan, fasilitas dengan baja telah melampaui 150 km.

• Struktur Tipikal Baja Pelabuhan

— Dermaga Tipe Turap Baja

Dermaga tambat baja tipe turap dibangun dengan menancapkan turap baja ke tanah untuk membentuk dinding penahan tanah (Gbr. 1). Dermaga tambat baja tipe turap pada umumnya dibentuk dengan menggunakan *tie rod* untuk menghubungkan dinding turap baja dengan struktur *strut* (pipa baja, turap baja, profil, dll) yang dipasang dibelakang dinding.

Berdasarkan skala beban yang didukung, digunakan dua jenis tiang untuk turap—turap baja tipe U yang paling banyak digunakan dan tiang pancang baja dengan koneksi sambungan. Dalam hal beban kecil, seperti pada pelabuhan di air dangkal, struktur dinding beban-sendiri diadopsi tanpa menggunakan struktur *strut* dan *tie rod*. Sekalipun menggunakan turap baja ataupun tiang pancang baja, muka depan dinding tiang terkena lingkungan laut yang korosif.

Gbr. 1 Struktur Tipikal Dermaga Tambat Tipe Turap Baja

— Dermaga Tambat Tipe-Pilar

Dermaga tambat tipe-pilar dibangun dengan cara menempatkan struktur atas di atas kolom (Gbr. 2). Dermaga tipe-pilar terdiri atas sebuah pilar yang dipasang di depan dermaga dan sebuah struktur penahan tanah di belakangnya, dengan banyak menggunakan produk baja untuk pilar depan. Pada struktur atas dipasang balok dan slab lantai beton bertulang atau cetak. Diantara fasilitas pelabuhan, struktur atas beton bertulang merupakan lokasi yang paling banyak mengalami kerusakan akibat garam.

Gbr. 2 Struktur Tipikal Dermaga Tambat Tipe-Tiang Pancang Baja

Fitur Korosi di Lingkungan Laut

Lingkungan dimana struktur baja pelabuhan diaplikasikan dapat di golongkan ke dalam lima zona, yaitu, zona atmosferik, zona percikan, zona pasang, zona terendam, dan zona lumpur. Apabila produk baja ukuran panjang seperti turap baja dan tiang pancang baja berada pada lingkungan berragam (zona pasang, zona rendam, dan zona lumpur), akan terjadi korosi sel-makro yang diakibatkan oleh perbedaan dalam lingkungan tempat keberadaan struktur. Area yang mengalami masalah korosi serius terhadap struktur baja bila tanpa proteksi korosi adalah daerah tepat di bawah zona basah dan tinggi muka air rendah rata-rata (*MLWL*). Kecenderungan korosi dibedakan berdasarkan jenis lingkungan korosi (Gbr. 3).

● Zona Atmosferik

Biasanya, tingkat korosi (kehilangan korosi) untuk struktur seperti ini adalah sekitar 0,1 mm/tahun

● Zona Percikan

Pada zona percikan, bagian struktur terus-menerus

terkena percikan air laut, dan karenanya permukaan baja terkena banyak air laut dan oksigen. Oleh sebab itu zona percikan merupakan lingkungan yang paling korosif. Umumnya tingkat korosi pada zona ini mencapai tingkat 0,3 mm/tahun. Berdasarkan survei di daerah Okinawa, terdapat tingkat korosi yang mencapai 0,5~0.6 mm/tahun sebagai pengaruh temperatur dan kelembaban yang tinggi.

Gbr. 3 Contoh Tingkat Korosi Arah-Vertikal Pipa Baja dan Turap

● Zona Pasang

Zona pasang adalah area dimana struktur secara berkala mengalami perendaman air laut dan terpapar atmosfer karena air pasang. Pada zona ini tingkat korosi di lingkungan rata-rata tinggi muka laut (*M.S.L*) kecil, akan tetapi, tingkat korosi di lingkungan tepat di bawah tinggi muka air rendah rata-rata (*M.L.W.L*) sangat besar. Alasannya adalah terbentuknya sel makro dengan area katoda di sekitar *M.S.L* (konsentrasi tinggi oksigen terlarut). Ada kasus dimana, tergantung keadaannya, dimana tingkat korosi di daerah di bawah *M.L.W.L* melebihi zona percikan. Fenomena ini disebut “korosi terpusat”. Korosi terpusat ini menyebabkan kolaps struktural pada beberapa struktur baja.

● Zona Terendam dan zona lumpur

Korosi pada zona terendam hampir seragam. Tingkat korosi pada kedalaman dibawah -1 m atau lebih adalah sekitar 0,1-0,2 mm/tahun. Pada zona lumpur, tingkat korosi menjadi lebih kecil: sekitar 0,03 – 0,05 mm/tahun dikarenakan pasokan oksigen yang berkurang dibandingkan pada zona terendam.

Teknologi Proteksi Korosi untuk Struktur Baja Pelabuhan

● Sejarah Teknologi Proteksi Korosi

Konsep proteksi korosi yang paling lazim sebelumnya adalah “*corrosion allowance*.” Sehubungan dengan itu, ketebalan produk-produk baja ditambahkan lebih dulu sebagai margin untuk kehilangan karat. Proteksi katodik baru diterapkan pada struktur baja pelabuhan pada tahun 1953, yaitu pada Pelabuhan Amagasaki dimana digunakan sistem anodik dengan anoda paduan magnesium. Proteksi ini adalah sistem dengan sumber arus eksternal.

Memasuki tahun 1960 an, mulai digunakan proteksi katodik (sistem sumber arus eksternal) pada berbagai struktur pelabuhan. Sekitar 1960-1970, cat minyak dan

cat resin epoksi ter dikembangkan dan mulai digunakan untuk proteksi karat pada zona diatas zona terendam. Dalam proteksi korosi salutan/pelapisan, cat dengan kandungan seng tingi dikembangkan dan digunakan sebagai lapisan dasar untuk salutan resin epoksi ter. Usaha selanjutnya adalah bagaimana menutupi bagian atas tiang baja dermaga dengan beton sebagai metode proteksi korosi untuk struktur diatas muka air laut dimana efek dari proteksi katodik tidak terjadi. Sekitar 1970, cat karet berklorinasi dikembangkan, diikuti dengan pengembangan cat uretan pada 1972. Untuk proteksi katodik, kemudian dikembangkan anoda paduan aluminium performa-tinggi, dan aplikasi skala penuh proteksi korosi anodik dimulai. Pada sekitar 1970 juga, teknologi pengelasan bawah air dikembangkan untuk mengurangi periode kerja dan meningkatkan keselamatan pada saat memasang anoda paduan aluminium.

Dimulai pada tahun 1980 dan beberapa tahun selanjutnya, berbagai jenis metode salutan/pelapisan tahan lama untuk proteksi korosi dikembangkan, diantaranya adalah metode penutup mortar/FRP, metode pelapisan petrolatum, dan metode pelapisan pengerasan bawah air. Sekitar 1982, pelapisan dengan polietilena dan poliuretana (juga disebut metode proteksi korosi yang kuat) dikembangkan. Dalam sistem tipe-salutan, dikembangkan cat resin epoksi ultra kuat/tebal dan cat resin fluorin yang sangat tahan cuaca.

Akan tetapi, bahkan pada masa-masa itu, sistem proteksi korosi tidak terlalu digunakan untuk semua fasilitas pelabuhan, sedangkan sistem "*corrosion allowance*" masih digunakan. Hasilnya, pada 1983, terjadi kecelakaan di Pelabuhan Yokohama yang mengakibatkan menurunnya sebuah fasilitas pelabuhan. Dipicu oleh kecelakaan ini, pada tahun 1984 proteksi katodik kemudian diwajibkan sebagai metode standar proteksi korosi untuk struktur baja eksisting pada zona terendam dan zona lumpur, dan proteksi salutan/pelapisan diwajibkan sebagai metode standar proteksi korosi bagi struktur baja eksisting pada zona pasang, percikan dan atmosferik.

Pada periode yang sama, dimulai aplikasi titanium sebagai material proteksi korosi dalam bentuk *cladding* titanium untuk pelat baja, demikian juga penggunaan pelapisan baja *stainless* tahan korosi. Material titanium sudah diadopsi untuk struktur seperti dermaga jembatan Trans-Tokyo Bay Highway (untuk tinggi air dengan rentang antara -2m dan +3 m) dan Jembatan

Yumemai (tipe apung-putar). Pelapisan baja baja *stainless* tahan air laut diaplikasi sebagai penanganan proteksi korosi untuk dermaga tipe jaket (*jacket-type quay*) yang digunakan untuk meningkatkan Dermaga Ooi (untuk tinggi air -1m keatas).

Selanjutnya, dalam "*Standar Teknis untuk Fasilitas Pelabuhan*" yang direvisi pada bulan April 1999, metode proteksi korosi berdasarkan "*corrosion allowance*" dihilangkan, dan ditetapkan proteksi korosi katodik untuk zona di bawah tinggi pasang rata-rata dan metode proteksi dengan salutan/pelapisan untuk semua zona-zona diatasnya mulai dari 1 m di bawah tinggi pasang rata-rata.

• Konsep Metode Proteksi Korosi Standar

Mengenai korosi terpusat yang terjadi tepat di bawah *M.L.W.L*, sulit untuk menemukannya secara visual dan, terlebih untuk memperbaikinya dengan menggunakan salutan, sehingga perlu dilaksanakan penanganan yang tepat. Ada tiga sistem proteksi korosi standar yang diterapkan untuk perlakuan korosi terpusat (Gbr. 4)

(A): Metode ini mengaplikasikan proteksi korosi dengan salutan/pelapisan untuk bagian diatas tinggi muka air rendah (*L.W.L*) -1 m dan proteksi katodik untuk bagian di bawah *M.L.W.L*. Metode ini merupakan metode yang paling sering diterapkan.

(B): Metode ini menerapkan metode proteksi korosi dengan salutan/pelapisan pada metode (A) untuk bagian yang lebih dalam ke arah dasar laut. Metode ini paling ekonomis dan efektif pada kasus-kasus dimana diperlukan densitas besar arus proteksi korosi katodik di laut terbuka dan di area yang terkena pasang naik. Banyak contoh aplikasi metode (B) pada jembatan bentang-panjang dan pintu-pintu air.

(C): Metode ini menerapkan salutan/pelapisan proteksi korosi pada bagian-bagian: zona percikan dimana terjadi korosi paling parah, zona pasang, zone terendam, dan zona lumpur. Secara umum, metode ini diterapkan untuk perlindungan tiang baja yang dipasang di daerah air dangkal. Untuk aplikasi ini, metode salutan/pelapisan harus memberikan proteksi korosi dan durabilitas sangat baik. Biasanya, pelapisan dengan polietilen dan elastomer-uretan diaplikasikan untuk struktur yang baru dipasang, dan pelapisan petrolatum dan pelapisan adukan diaplikasikan pada struktur eksisting. Biasanya, batas tinggi untuk aplikasi metode salutan/pelapisan adalah hingga muka tanah (*G.L*) -1 m. Metode proteksi korosi tidak diaplikasikan pada zona lumpur pada *G.L* -1 m kebawah. Untuk

hal-hal demikian, perlu mengadopsi produk baja yang memiliki ketebalan yang mencukupi untuk kemungkinan kehilangan korosi pada area yang bersangkutan.

Gbr. 4 Metode Proteksi Korosi standar untuk Struktur baja Pelabuhan

• **Material untuk Proteksi Korosi Salutan/Pelapisan**

Ada lima metode proteksi korosi salutan/pelapisan utama yang diaplikasikan untuk struktur baja pelabuhan—salutan, pelapisan organik, pelapisan petrolatum, pelapisan mortar dan pelapisan metalik.

Sistem salutan yang umum menggunakan cat yang mengandung banyak seng dengan lapisan film tebal plus cat resin epoksi. Pelapisan organik memiliki ketahanan korosi yang lebih tinggi. Pelapisan organik yang diaplikasikan pada struktur baja pelabuhan adalah pelapisan polietilen, pelapisan elastomer uretana, pelapisan tipe-film ekstra tebal, dan pelapisan-bawah air. Pelapisan bawah-air terdapat dalam dua tipe—tipe dempul dimana material pelapis berbentuk seperti dempul dan diaplikasikan dengan *cladding* manual; dan tipe cat dimana material pelapis diaplikasikan dengan menggunakan rol dan sikat. Salah satu fitur sistem pelapisan bawah-air adalah pelapisan dapat diaplikasikan pada struktur dengan bentuk kompleks seperti bagian-bagian tempat sambungan turap.

Pelapisan petrolatum tercatat telah banyak diaplikasikan dan efektif sebagai metode proteksi korosi untuk struktur baja pelabuhan. Dalam sistem ini, lapisan tipe-petrolatum dilekatkan kuat pada permukaan baja, yang dilindungi dengan penutup plastik atau plastik berserat atau penutup metalik tahan korosi. Ada kasus-kasus dimana material penyangga disisipkan diantara material petrolatum dan penutup. Keterpaduan sistem ini menjadi fitur aplikasi bawah-air, kemudahan dalam pengkilasan permukaan, dan tidak dibutuhkan periode pengeringan setelah pelapisan.

Pelapisan mortar adalah metode dimana proteksi korosi dicapai dengan membentuk film padat pada permukaan baja dengan mencampur alkalin dengan semen. Bila pelapisan menggunakan beton, metode ini biasa disebut pelapisan mortar. Pelapisan mortar sudah lama diaplikasikan sebagai proteksi korosi struktur baja pelabuhan. Bila terjadi kerusakan pelapisan mortar dalam bentuk retak, terkelupas, terjadi netralisasi mortar pelapis, maka kemampuan proteksi korosi pelapisan ini akan hilang. Untuk memperbaikinya, dilakukan berbagai penanggulangan—menambah

ketebalan lapisan, mencampur polimer organik dan serat baja, penyalutan permukaan, dan penggunaan protektor yang juga digunakan sebagai FRP dan cetakan metal.

Pelapisan metalik sesungguhnya lebih unggul dalam hal ketahanan benturan dan abrasi, dan memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Sebagai material pelapis metalik digunakan baja *stainless* dan titanium dengan ketahanan korosi yang tinggi.

• **Proteksi Katodik**

—Prinsip

Dalam sistem proteksi katodik, arus langsung yang melampaui arus korosi yang mengalir dari produk baja ke elektrolisa (air laut) dialirkan secara menerus dari sumber eksternal ke dalam produk baja untuk mencegah ionisasi (korosi) pada produk baja. Ada dua jenis proteksi katodik—sistem sumber arus eksternal dan sistem anodik *sacrificial*. Dalam sistem anodik *sacrificial*, tren besar/kecil dan/atau tinggi/rendah ke arah ionisasi material metalik dipergunakan sedemikian rupa sehingga material metalik seperti aluminium, seng, magnesium, dll. dihubungkan ke baja dan diionisasi (dikorosi) sehingga melindungi baja dari korosi.

—Penerapan

Rentang aplikasi untuk proteksi katodik adalah mulai dari M.L.W.L ke bawah. Proteksi katodik sangat efektif untuk mencegah korosi terpusat terjadi pada baja yang berada tepat di bawah M.L.W.L. Dalam proteksi katodik sebagaimana sekarang diterapkan, sistem anodik *sacrificial* yang menggunakan anoda aluminium paduan merupakan yang paling banyak diadopsi. Alasan utamanya adalah banyaknya keuntungan yang ditawarkan sistem anodik *sacrificial* --tidak perlu menggunakan sumber arus eksternal apabila sistem sudah terpasang (kebalikan dengan sistem sumber arus eksternal), tidak perlu pengeluaran untuk power sertakemungkinan inspeksi dan perawatan berkala mengukur potensial listrik.

Topik Baru dalam Teknologi Proteksi Korosi

—Bandara Internasional Tokyo (Bandara Haneda)-

Gbr. 5 menunjukkan Bandara Haneda yang sekarang dengan Landas-pacu ke 4 (pada 2009, dalam pengerjaan). Fitur landas pacu ini terdiri dari bagian reklamasi (panjang 2.020 m) dan bagian *wharf* (panjang 1.100). Sebagaimana pengalaman sebelumnya pada “Struktur Baja Pelabuhan” yang digambarkan di

atas, maka teknologi pencegahan korosi yang mantap dibutuhkan pada struktur *wharf* dengan masa layan jangka panjang, 100 tahun untuk landas pacu ke-4 yang baru. Untuk struktur yang sangat penting ini, tiang baja yang membentuk jaket baja semuanya diproteksi dengan pelat baja *stainless* dengan ketebalan 0,4 mm di daerah pasang dan zona percikan (Gbr. 6). Balok baja pembentuk kerangka struktur bagian atas diproteksi dengan salutan resin epoksi. Masa layan selama 100 tahun merupakan tantangan untuk struktur baja di laut, yang terpapar kondisi lingkungan yang berat. Sebagaimana dijelaskan, teknologi proteksi korosi dengan peringkat yang paling tinggi diadopsi untuk struktur baja tipe-jaket. Akan tetapi, ini tidak bisa dipungkiri bahwa perawatan yang tepat sangat dibutuhkan untuk mencapai masa layan hingga 100 tahun.

Gbr. 5 Bandara Haneda Baru dengan Landas-pacu ke 4
Gbr. 6 Struktur Bawah Landas-pacu Tipe *Wharf*

Wawasan kedepan dalam Hal Disain Berkinerja dan Teknologi Perawatan Pencegahan Korosi

Secara garis besar, dalam sejarah teknologi proteksi korosi di Jepang, sejak tahun 1980 an, “teori *corrosion allowance*” dihilangkan dan timbul “metode prevensi korosi” seperti proteksi katodik dan penyalutan/pelapisan. Pada tahun 2000-an bagian terbesar manajemen infrastruktur berubah dari konstruksi baru menjadi perawatan struktur eksisting. Dan, sistim disain secara bertahap bergeser dari “spesifikasi” menjadi “berkinerja”. Juga, disain sistim proteksi korosi bergeser bertahap ke arah metode berkinerja. Definisi kinerja sistim prevensi korosi adalah “dalam masa layan, untuk mencegah korosi baja (berkarat).”

Masa layan struktur baja pada umumnya adalah 50 tahun, kecuali untuk landas pacu baru Bandara Haneda (100 tahun). Tabel 1 menunjukkan metoda pelapisan atau penyalutan dan perkiraan masa layan. Dengan kondisi teknologi saat ini, periode 50 tahun adalah ketahanan tertinggi. Biasanya, diperkirakan 20 tahun atau 30 tahun. Hal ini berarti sistim perawatan yang tepat diperlukan untuk mencapai masa layan lebih dari 50 tahun untuk struktur baja pantai. Pada dekade sekarang ini sejak tahun 2000, banyak diskusi difokuskan pada sistim perawatan struktur pelabuhan, baik struktur beton (*RC, PC*, hibrida baja-beton) dan struktur baja (turap baja, tiang pancang baja, tipe jaket).

Gbr. 7 menunjukkan kurva penurunan kinerja dan efek perawatan. Dalam gambar ini, ditunjukkan tiga level perawatan yang berbeda. Level perawatan dinyatakan sebagai “level I” yang merupakan tingkat tertinggi, “level II” untuk tingkat menengah, dan “level III” untuk tingkat terendah. Level ditentukan untuk tiap struktur dengan pertimbangan beberapa faktor penting seperti “level penting struktur”, “kondisi lingkungan”, dan “kesulitan inspeksi/survei”. Pekerjaan perawatan sebaiknya berdasarkan konsep LCM masing-masing struktur. Satu seri perawatan terdiri dari beberapa “inspeksi periodik”, “investigasi yang dibutuhkan” dan “evaluasi kerusakan atau penurunan kinerja,” dan bila diperlukan, “perbaikan dan perkuatan” dan “konstruksi data untuk sistim perawatan tingkat tinggi dan biaya rendah”

Pada tahun 2011 ini, teknologi proteksi korosi sudah berkembang. Akan tetapi, untuk semakin meningkat, di masa depan perlu diciptakan 1) sistim proteksi korosi dengan sistim disain berkinerja dan 2) sistim perawatan level yang lebih tinggi

Tabel 1 Metode Pelapisan atau Penyalutan dan Perkiraan Masa Layan

Gbr. 7 Kurva Penurunan Kinerja dan Efek Perawatan

Penutup dan Ucapan Terima Kasih

Untuk artikel ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Institut Riset Pelabuhan dan Bandara yang telah memberikan banyak data dan bahan-bahan yang berguna. Sekalipun jelas bahwa teknologi proteksi korosi telah banyak kemajuan, bukan berarti teknologi saat ini sudah sempurna. Di Jepang, penelitian dan pengembangan banyak dilakukan di bidang ini, dan para penulis berharap dapat sedikit banyak berkontribusi. Dalam hal ini, kami akan sangat berterima kasih jika dapat berkolaborasi dengan insinyur-insinyur dan peneliti dari seluruh dunia yang berkaitan dengan proteksi korosi pada konstruksi struktur baja pelabuhan.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 6~9)

Tiang Pancang dan Turap Baja —Teknologi Perbaikan dan Perkuatan—

Oleh Kazuhiro Masuda (Yoshikawa-Kaiji Co., Ltd.), Hiroshi Shiraishi (Nakabohtec Corrosion Protecting Co., Ltd.), dan Atsuo Moriwake (Toa Corporation), Group Riset Proteksi Korosi dan Metode Perbaikan

untuk Struktur Baja Pantai

Masalah Korosi Terpusat

Karena struktur baja pelabuhan terpapar lingkungan korosif parah, penerapan proteksi korosi dan perawatan yang tidak tepat dapat berakibat pada penurunan struktural yang fatal, seperti pengurangan kapasitas pembebanan yang signifikan. Selama periode pertumbuhan ekonomi tinggi di Jepang dari paruh akhir tahun 1950-an hingga 1960-an, sejumlah banyak fasilitas pelabuhan dibangun, demikian juga berbagai struktur baja lainnya. Pada saat itu, teknologi proteksi korosi untuk struktur demikian belum dikembangkan, tidak seperti tingginya kemajuan teknologi tersebut pada saat ini. Sebagai akibatnya, diantara struktur yang dibangun, terdapat struktur yang menderita kerusakan parah akibat korosi terpusat.

Foto 1 menunjukkan contoh korosi terpusat yang terjadi pada produk baja yang dibangun di bawah air. Foto 2 menunjukkan contoh korosi sumuran (*pitting corrosion*) dalam penyalutan proteksi korosi yang diaplikasikan pada zona percikan sebuah produk baja. Dengan kondisi layan dalam contoh-contoh tersebut, apabila kontrol perawatan yang memadai tidak diterapkan tepat waktu, kerusakan akan berkembang dan dapat mengarah ke kerusakan struktural yang fatal.

Foto 1 Contoh korosi terpusat pada struktur baja bawah-air

Foto 2 Contoh korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada penyalutan proteksi korosi

Pengembangan teknologi proteksi korosi untuk struktur baja pelabuhan di Jepang dapat digambarkan seperti pada Gbr. 1¹⁾. Sejak paruh akhir tahun 1950 an hingga 1960 an ketika sejumlah struktur pelabuhan dibangun, proteksi korosi katodik yang bergantung pada sumber daya eksternal diaplikasikan pada struktur terendam dan metode disain yang menggunakan *corrosion allowance* diaplikasikan pada struktur yang dibangun di atas zona pasang.

Gbr. 1 Perkembangan Teknologi Proteksi Korosi untuk Struktur Baja Pelabuhan di Jepang¹⁾

Di masa itu, dikarenakan pentingnya perawatan belum disadari sebagaimana masa sekarang, banyak kasus struktur baja yang mengalami kerusakan fatal akibat korosi terpusat dan korosi sumuran, seperti digambarkan di atas. Sebuah contoh tipikal kerusakan

fatal terjadi pada tahun 1981 ketika korosi terpusat menyebabkan tekuk pada tiang pancang baja dan kolapsnya superstruktur Dermaga Yamashita di Pelabuhan Yokohama.

Dipicu kecelakaan ini, pentingnya teknologi proteksi korosi dipertimbangkan, dan pengembangan teknologi mutakhir ditingkatkan dan, secara bersamaan, disiapkan *Manual Proteksi Korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan*. Saat ini, sebagai akibat dari kecelakaan sejenis, pemberian proteksi korosi pada struktur baja yang baru dibangun merupakan praktek standar, dan juga, implementasi perawatan yang tepat bagi struktur tersebut bersifat wajib.

Sekalipun demikian, sejumlah struktur baja yang didisain dengan kriteria *corrosion allowance* masih digunakan, dan korosi baja masih terjadi akibat praktek perawatan baja sebelumnya yang kurang memadai. Akibatnya, struktur baja yang masih ada mungkin dapat mengalami kerusakan serius. Oleh karenanya, sekarang diperlukan perbaikan dan perkuatan struktur-struktur ini berdasarkan *Manual Proteksi Korosi dan Perbaikan*.

Artikel ini memperkenalkan teknologi terakhir untuk perbaikan dan perkuatan struktur baja dimana telah terjadi korosi.

Perbaikan dan Perkuatan Menggunakan Beton Bertulang

● Praktek Dasar dalam Disain

Praktek dasar dalam metoda ini adalah menggunakan beton bertulang untuk perbaikan dan perkuatan bagian baja struktural yang mengalami penurunan kemampuan profil (*cross-section capacity*) disain akibat dari korosi parah dan oleh karenanya kekurangan gaya elemen disain (lihat ke garis titik-titik pada Gbr. 2). Dalam hal ini, perbaikan dan perkuatan diberikan sehingga memenuhi Persamaan (1).

$$\gamma_i S_d / R_d \leq 1.0 \quad (1)$$

Dimana

S_d : Gaya elemen disain

R_d : Kapasitas disain Kemampuan Profil

γ_i : Koefisien struktur (bila digunakan beton bertulang)

Gbr. 2 Gambar Konsep Penurunan Parah Kemampuan Profil akibat Korosi

Secara khusus, beton bertulang di pasang dengan menggunakan penyokong (stud) bawah air ke bagian tiang baja atau turap baja yang merupakan target perbaikan dan perkuatan, untuk memadukan beton dan tiang baja sedemikian rupa sehingga beton bertulang, elemen perbaikan dan perkuatan, dapat mempertahankan kekuatan seksional konstruksi.

Gbr. 3 menunjukkan gambar konsep metode perbaikan dan perkuatan menggunakan beton bertulang. Penyokong bawah air disambung dengan las ke kedua sisi elemen target perbaikan dan perkuatan dimana beton perkuatan dipasangkan dengan susunan batang perkuatan untuk memenuhi persamaan (1)

Kemampuan profil yang dipulihkan dengan penggunaan metode ini ditunjukkan dengan garis titik pada Gbr. 4

Gbr. 3 Gambar Konsep Perbaikan dan Perkuatan menggunakan Beton Bertulang

Gbr. 4 Gambar Konsep Pemulihan Kemampuan Profil Produk Baja setelah Perbaikan dan Perkuatan

• Garis Besar Pelaksanaan

Dalam pelaksanaan metode ini, organisme pantai dan karat lepas yang melekat pada struktur target dihilangkan menggunakan batang kikis (*scraping bars*), pencacah udara (*air chippers*) dll dan selain itu dilakukan persiapan permukaan sambungan baut penyokong agar permukaan sesuai untuk pengelasan (Foto 3).

Karena penyokong bawah air merupakan elemen penting untuk memadukan tiang atau turap dengan beton bertulang, diadopsi metode pengelasan penyokong bawah tanah yang aman (Foto 4). Untuk memastikan kontrol mutu pengelasan bawah tanah penyokong, diadopsi metode yang menghasilkan kualitas las dengan menggunakan bentuk gelombang arus yang mengalir selama pengelasan.

Kemudian, batang perkuatan dipasang pada tiang sesuai kebutuhan. Dan, pada saat pemasangan batang perkuatan pada turap, metode yang paling umum digunakan adalah penggunaan batang yang telah dirakit di darat.

Beton yang diaplikasikan adalah yang umum sebagai beton bawah tanah, akan tetapi apabila dampak pada kualitas air sekitar merupakan masalah, maka yang umum digunakan adalah beton yang anti gerus dengan ketahanan tinggi.

Foto 5 menunjukkan kondisi setelah pelepasan cetak beton. Seperti terlihat dalam foto, pekerjaan

pemaduan dapat dilaksanakan tanpa merusak konfigurasi tiang pancang atau turap, dan, oleh karenanya, pada saat melakukan perawatan lanjutan, dapat dilakukan inspeksi visual seperti juga pada tiang terpancang lainnya.

Foto 3 Penandaan posisi las penyokong dan persiapan permukaan

Foto 4 Pengelasan penyokong bawah air

Foto 5 Beton bertulang setelah diselesaikan

Perbaikan dan Perkuatan Menggunakan Pelat Baja

• Praktek Dasar dalam Disain

Dalam metode ini, pelat baja digunakan sebagai ganti beton. Khususnya, pelat baja dengan ketebalan yang dibutuhkan dilekatkan pada seksi tiang pancang atau turap dimana telah terjadi korosi yang mengakibatkan pengurangan batas kekuatan dibagai kekuatan disain seksi. Pelat dipasang dengan pengelasan bawah air pada salah satu ujung tiang atau turap yang membutuhkan perbaikan atau pergantian

Kondisi dasar penurunan dan pemulihan kekuatan seksi sama dengan pada beton bertulang. Akan tetapi, satu fitur penting dari metode pelat baja ini adalah, karena ketebalan elemen pelat baja ini lebih kecil dibandingkan elemen beton, tegangan yang terjadi pada tiang pancang atau turap setelah perbaikan ataupun perkuatan serupa dengan yang ada sebelum perbaikan dan perkuatan. Oleh karenanya, lebih sedikit dampak buruk yang diakibatkan oleh perbaikan dan perkuatan.

• Garis Besar Pelaksanaan

Setelah menggunakan pencacah udara dll untuk membersihkan organisme pantai dan karat lepas yang melekat pada baja target, pelat prefabrikasi yang digunakan untuk perbaikan dan perkuatan dipasang pada tempat yang telah ditentukan. Pelat baja perkuatan yang diaplikasikan pada tiang pancang biasanya difabrikasi dalam dua bagian (Foto 6).

Kemudian, pelat baja prafabrikasi disambung las ke tiang pancang atau turap dengan pengelasan bawah air tipe basah (Foto 7). Dalam penyambungan las, karena mutu las ditentukan oleh kemampuan pengelas dan kondisi hidrogafis, penting sekali untuk menyediakan panjang las aman yang cukup. Untuk itu, nilai karakteristik tegangan leleh las bawah air tipe basah dipasang pada 70% nilai yang diperoleh pada pengelasan lain dengan metode sama. Akan tetapi, dalam kasus lingkungan kerja yang berat dengan

adanya gerakan gelombang atau ketika tiang pancang atau turap terkena tegangan berulang, nilai 70% terkadang tidak memenuhi, dan karenanya perlu memberi perhatian lebih terhadap aplikasi las.

Sementara itu, karena metode yang akan dipilih mendasari penentuan metode proteksi korosi, perlu untuk mengaplikasikan proteksi korosi katodik pada tiang pancang baja dan penyalutan proteksi korsi pada tiang baja yang digunakan pada zona pasang dan atmosferik dengan mengacu pada *Manual Proteksi Korosi dan Perbaikan*

Foto 6 Instalasi pelat baja untuk perbaikan dan perkuatan

Foto 7 Perbaikan/perkuatan terpadu untuk pelat baja dan tiang baja

Manual Proteksi Korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan

Saat ini, banyak tiang pancang baja dan turap yang masih berfungsi tetapi membutuhkan perbaikan dan perkuatan. Akan tetapi, dengan kondisi ekonomi berat saat ini, sulit melakukan perbaikan dan perkuatan bagi tiang-tiang tersebut dalam waktu singkat.

Sehubungan dengan itu, *Manual Proteksi Korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan (2009)*², diterbitkan pada bulan Nopembar 2009, yang berisi tidak saja mengenai perlunya merawat struktur baja *Pelabuhan* tetapi juga mengenai pendekatan praktis untuk perawatan. Apabila *Manual* digunakan secara tepat untuk pelaksanaan perbaikan dan perawatan dalam konteks biaya masa-pakai terkait dengan struktur baja yang sebelumnya tidak terawat dengan baik, maka usaha tersebut akan berkontribusi bagi tersedianya infrastruktur sosial yang aman. Kami berharap artikel ini akan bermanfaat bagi usaha-usaha demikian.

Ucapan Terima Kasih

Dalam menyiapkan artikel ini, dilakukan acuan terhadap hasil-hasil yang diperoleh dari revisi *Manual Proteksi-Korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan (2009)*, yang merupakan pekerjaan gabungan Kelompok Riset Metode Proteksi Korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pantai dan Institut Teknologi Pengembangan Pantai. Demikian juga dilakukan acuan pada hasil-hasil yang diperoleh dari revisi *Buku Proteksi-Korosi dan Perawatan Praktis*³ (dijadwalkan untuk publikasi pada musim gugur 2011 oleh Kelompok Riset Metode Proteksi Korosi dan

Perbaikan untuk Struktur Baja Pantai). Kami menyampaikan banyak terima kasih kepada individu-individu yang telah banyak bekerja-sama

Referensi

- 1) Masami Abe: "Pengembangan Teknologi Proteksi-korosi untuk Struktur Baja Pelabuhan," *Material dan Lingkungan*, No.60. hal 3-8, 2011
- 2) Institut Teknologi Pengembangan Pantai: *Manual Proteksi-korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pelabuhan (2009)*, Nop 2009
- 3) Kelompok Riset Metode Proteksi Korosi dan Perbaikan untuk Struktur Baja Pantai: *Buku Diagnosis Praktis, Proteksi-korosi dan Perawatan untuk Struktur Baja Pelabuhan*

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 10~13)

Jembatan Nhat Tan di Vietnam

—Disain Jematan dan Konstruksi Substruktur—

Oleh Hiroki Ikeda, Shigeyoshi Ando, Tsukasa Akiba dan Harukazu Ohashi, Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

Garis Besar Proyek

Proyek Jembatan Nhat Tan terdiri dari proyek konstruksi jalan raya sepanjang 8,5 km menyebrangi Sungai Merah dan terbentang dari selatan ke utara di Hanoi, ibukota Vietnam. Proyek ini menandai peringatan ke 1.000 (Oktober 2010) dijadikannya Hanoi sebagai ibukota negara. Jembatan baru ini merupakan struktur kabel dengan lima menara dan diharapkan dapat menjadi simbol persahabatan antara Vietnam dan Jepang.

Pelaksanaan kontrol disain dan proyek dilakukan bersama antara [HI1] Chodai Co., Ltd. dan Nippon Engineering Consultants Co., Ltd. Paket konstruksi 1, termasuk konstruksi jembatan utama, dilakukan bersama antara IHI Corporation and Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd. Dan dibiayai dengan dana pinjaman *STEP (Special Term for Economic Partnership)* dengan basis yen, yang merupakan dana pinjaman khusus *ODA* pemerintah Jepang. Pekerjaan konstruksi dimulai pada bulan Oktober 2009.

Berikut ini disampaikan terutama konstruksi dan disain pondasi sumur turap pipa baja yang diadopsi untuk pondasi menara jembatan utama

Rencana dan Disain Jembatan Utama Nhat Tan

• Garis Besar Jembatan

— Pemberi pekerjaan: Kementerian Transport Vietnam, Manajemen Proyek Unit 85

— Panjang Jembatan: 1.500 m

— Panjang bentang: 150 m + 4 × 300 m + 150 m

— Tipe

Superstruktur: Jembatan kabel gelagar I ganda

komposit menerus enam bentang

Slab: Slab beton bertulang pracetak

Menara utama: menara beton bertulang bentuk-A

Pondasi: Pondasi sumur turap pipa baja

(Lihat Gbr. 1~2)

Gbr. 1 Seksi Superstruktur

Gbr 2. Gambar Umum Menara utama P12

• Pemilihan Tipe Jembatan

Sungai Merah mengalir dari barat ke timur di Hanoi, dan di lingkungan lokasi konstruksi jembatan mengalir dari barat ke timur dan melewati gunung pasir.

Berdasarkan catatan sejarah, dasar sungai diketahui berubah dengan waktu mengikuti alur sungai dan gunung pasir. Oleh karena itu, pergerakan alur sungai dan gunung pasir menjadi pertimbangan dalam pemilihan rencana jembatan kabel menerus enam bentang dengan panjang bentang seragam. (Gbr 3,4).

Gbr. 3 Elevasi Jembatan Keseluruhan

Gbr. 4 Perspektif Jembatan Nhat Tan setelah Selesai (Grafik Komputer)

• Standar yang Diterapkan

Disain jembatan sesuai dengan *Spesifikasi Disain Jembatan 22TCN-272-05* Vietnam, yang berdasarkan AASHTO-LRFD Amerika. Selanjutnya, *item* pondasi sumur turap pipa baja dan *base-isolated bearings* yang tidak terdapat dalam *Spesifikasi*, mengikuti spesifikasi standar disain Jepang.

• Material Struktural Utama

Material struktural utama adalah sebagai berikut:

— Produk baja: SS400, SM400, SM490, SM490Y, SM520, SM570

— Kabel: *strand* paralel menggunakan kawat baja galvanis diameter 7 mm

— Turap pipa baja: SKY400, SKY490

— Standar disain kekuatan beton: 40Mpa (menara

utama, slab); 30 Mpa (tiang ujung, tiang cetak-di-tempat); 25 M Pa (slab atas pondasi turap pipa baja)

— Batang tulangan: SD390

— *Strand* PC: SWPR7BL

• Komposisi Jalan

Komposisi jalan mulai dari tengah: dua lajur mobil (lebar 3,75 m), lajur bis (lebar 3,75 m), lajur bersama motor dan sepeda (lebar 3,3 m), dan lajur pejalan kaki (0,75 m) sepanjang tepi luar.

• Superstruktur

Superstruktur berupa struktur menerus yang membentang sepanjang total 1.500 m. Struktur induk terdiri dari dua gelagar-I induk sepanjang kedua tepi jalan yang di atasnya diletakkan balok silang untuk menahan slab dengan interval 4 m. Kabel diangkur ke permukaan luar web gelagar induk. Gelagar utama dan balok silang membentuk struktur gelagar komposit, tempat bagi slab pracetak kemudian dihubungkan dengan batang dowel. *Fairing* dipasang pada tepi luar slab untuk meningkatkan stabilitas terhadap angin.

Kabel dengan *strand* kawat paralel disusun dengan bentuk kipas, dan gelagar menggantung dengan format bidang ganda dari menara utama.

• Menara utama

Menara utama beton bertulang mengadopsi struktur bentuk A untuk menjamin kekakuan tegak lurus sumbu jembatan. Di bawah balok silang yang mendukung superstruktur, kolom pendukung tiap menara secara berangsur semakin ke bawah semakin masuk ke dalam, sehingga memperkecil ruang antar kolom agar mengurangi bentuk datar pondasi.

Karena gaya tarik aksial bekerja pada balok silang, maka diadopsi bentuk struktur beton prategang. Kotak angkur pelat baja ditanam dekat puncak menara, dan kabel diangkur ke *bearing brackets* di dalam kotak.

• Pondasi Sumur Turap Pipa Baja

Dengan Tujuan meningkatkan kualitas konstruksi tiang cetak-di-tempat yang kadang kala menjadi masalah di Vietnam, pondasi sumur turap pipa baja diadopsi untuk pertama kalinya di Vietnam. Karena tipe pondasi ini dikembangkan di Jepang, diadopsi dua spesifikasi Jepang untuk disain dan konstruksi—*Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya IV* (2002) dan *Manual Disain dan Konstruksi untuk Pondasi Turap Pipa Baja* (1997).

Kedalaman penggalian yang diperhitungkan dalam disain diperkirakan, maksimum, 15 m dari dasar sungai. Metode pemancangan untuk instalasi tiang digunakan untuk memastikan kapasitas dukung. Tiang harus ditanam dalam strata tumpu (*bearing stratum*), lapisan kerikil dengan $N > 50$, pada kedalaman lebih dari lima kali diameter tiang. Permukaan atas slat atas ditetapkan pada posisi sama dengan muka air laut -3 m, dengan memperhitungkan perubahan pada dasar sungai.

Tiang yang diadopsi berdiameter 1.200 mm, dan ketebalam dinding tiang adalah 16~21 mm. Pondasi sumur memiliki bentuk bidang oval dengan dimensi $48.7 \text{ m} \times 16.9 \text{ m}$. Panjang maksimum pondasi sumur turap pipa baja, termasuk *cofferdam* sementara, adalah 50 m. Jumlah tiang pipa yang digunakan, termasuk sekat (*bulkhead*) dan tiang tengah berjumlah 632. Metode balok sokong penguat (*reinforcing bar stud*) diadopsi untuk menyambung slab atas. (Lihat Gbr. 5)

Gbr. 5 Diagram Skematis Pondasi P13

Kemajuan Konstruksi

Pada akhir Mei 2011, konstruksi pondasi menara utama sedang dilakukan pada P13~P15; dan pemancangan turap pipa baja telah selesai dan penggalian bawah air, instalasi slab bawah dan slab atas, dll sedang dikerjakan pada P12 dan P16 (Foto 1, 2).

Foto 1 Tampak keseluruhan lokasi konstruksi

Foto 2 Konstruksi darat pada gundukan pasir

• Lapangan Kerja dan Peralatan

Gundukan pasir di Sungai Merah dimana P14 sedang dikerjakan dimanfaatkan sebagai lahan untuk material struktur, lapangan fabrikasi batang tulangan, dan pangkalan evakuasi darurat. Di P12, P13 dan P15, yang terletak di dalam sungai, konstruksi bawah air dilakukan dengan menggunakan kapal derek, pengangkut material dan tongkang lainnya (Foto 3).

Foto 3 Tongkang yang digunakan untuk konstruksi bawah air

• Pemancangan Tiang Pipa Baja

Untuk konstruksi pondasi skala besar dan untuk memancang dan menutup turap pipa baja dengan panjang maksimum 50 m, ketepatan pemancangan vertikal sangat diperlukan. Di lokasi kerja, tiang pipa dipancang dengan menggunakan palu getar hidrolis

yang dikombinasikan dengan metode jet air. Metode pemancangan ini diaplikasikan untuk memancang tiang hingga kedalaman $6D$ (D =diameter tiang) diatas ujung tiang, sementara pemancangan akhir ke strata tumpu dilakukan dengan palu diesel. (Lihat Foto 4, 5)

Untuk tiap pondasi, dipancang sebuah tiang uji, dan kapasitas dukung dikonfirmasi dengan PDA (*pile driving analyzer*)

Foto 4 Nozel jet air

Foto 5 Pemancangan akhir tiang pipa baja dengan palu diesel

• Cofferdam Sementara

Dalam tahap disain, untuk menetapkan tinggi muka air laut pada saat konstruksi + 9,5 m, digunakan data historis muka air laut Sungai Merah, tidak termasuk data dua bulan musim panas ketika air naik hingga level tertinggi. Karena perbedaan yang besar antara tinggi air, digunakan berbagai cara untuk mengurangi tegangan residu pada tiang terpancang. Termasuk disini adalah studi dan pengembangan-pengembangan untuk pemasangan kayu bertahap, pengaturan air, dan penyusunan periode pengecoran slab di dasar dan peralatan lainnya.

Dalam pelaksanaannya, muka air naik hingga sekitar + 7 m akibat kurangnya air pada tahun 2010. Oleh karenanya, pekerjaan konstruksi dapat berlanjut tanpa gangguan bahkan selama musim panas, lebih lagi, dapat dilakukan penurunan tinggi *cofferdam* hingga 1 m di bawah tinggi rencana.

• Ekskavasi Bawah Air

Metode yang diadopsi untuk melaksanakan ekskavasi bawah air di dalam sumur turap pipa baja adalah penggunaan pompa untuk membuang baik air maupun pasir dasar sungai (Foto 6, 7)

Foto 6 Bagian dalam pondasi sumur

Foto 7 Lubang pembuangan pompa bor bawah air

• Proses Selanjutnya

Setelah ekskavasi, pengecoran slab beton di dasar, pengelasan penyokong, penyusunan batang tulangan dan pengecoran beton slab atas dilakukan; diikuti oleh konstruksi menara utama. Proses selanjutnya ini akan disampaikan pada kesempatan berikut. (Lihat Foto 8)

Foto 8 Model Skala penuh yang disiapkan untuk memeriksa instalasi sangkar batang tulangan untuk

bagian dasar menara utama

Harapan Tinggi akan Teknologi Jepang

Dalam dua setengah tahun ke depan, akan terlihat kelanjutan pekerjaan konstruksi di-tempat dengan presisi tinggi, seperti konstruksi menara utama, instalasi kotak angkur di atas menara dan pemasangan kantilever gelagar induk. Kami berharap, dengan pemanfaatan kemampuan teknologi Jepang, Jembatan Nhat Tan akan selesai dengan selamat dan dibuka untuk lalu lintas dan jembatan ini akan menyumbang bagi perkembangan ekonomi Vietnam.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih mendalam kepada Bpk, Yamaji, Manajer Proyek, dan Bpk, Mimura, Manajer Disain Jembatan Nhat Tan dari Kantor Lapangan Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd. atas kerjasama yang baik selama inspeksi terhadap pekerjaan konstruksi pondasi sumur turap pipa baja.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 14~18)

Jembatan Gerbang Tokyo —Disain dan Konstruksi Pondasi Turap Pipa Baja—

Oleh Dr. Osamu Kiyomiya
Profesor, Universitas Waseda

Garis Besar Proyek

Di Pelabuhan Tokyo, proyek konstruksi sudah dimulai pada sebuah seksi sepanjang 8 km Jalan Raya Pantai Pelabuhan Tokyo untuk meningkatkan kelancaran distribusi kargo internasional antara Pelabuhan Tokyo dengan kota-kota pantainya. Jembatan Gerbang Tokyo, yang merupakan satu segmen dari jalan raya ini, merupakan struktur skala besar yang terdiri dari jembatan utama (jembatan komposit rangka kotak 3 bentang menerus) yang menghubungkan alur pelayaran No. 3 Pelabuhan Tokyo dan dua jembatan pendekat di daratan dan lepas pantai (jembatan gelagar kotak slab baja menerus bentang banyak) pada kedua sisi jembatan utama. Panjang total jembatan adalah 2,9 km dan dijadwalkan selesai pada tahun fiskal 2011.

Karena area konstruksi Jembatan Gerbang Tokyo berada pada lapisan lempung aluvial (Nilai $N \approx 0$) yaitu setebal 30 m atau lebih, pondasi jembatan berada

pada strata tumpu pasir dan kerikil pada seksi terdalam strat no 7. Dan karena pondasi berada paling tidak 65 m di bawah garis lumpur laut, maka dibangun tipe struktur sangat dalam. Karena pondasi dituntut untuk memiliki kapasitas deformasi seismik yang sesuai untuk gerakan gempa perkiraan antara 534,7 Gal dan -434,2 Gal dan karena harus dibangun seksi struktural ekonomis, diputuskan untuk mengadopsi pondasi sumur turap pipa baja diameter besar (diameter pipa: 1.500 mm; pelat baja berpetak + sambungan saling-kunci kekuatan tinggi isi mortar).

Dalam artikel ini, digambarkan pondasi turap pipa baja diameter besar yang diadopsi dalam konstruksi Jembatan Gerbang Tokyo dan didiskusikan metode konstruksi yang digunakan

Ada dua fitur yang perlu dikutip sehubungan dengan konstruksi Jembatan Gerbang Tokyo. Yang pertama adalah bahwa jembatan ini membentangi alur pelayaran No.3 Pelabuhan Tokyo (lebar jangkauan: sekitar 310 m; jarak bebas di bawah gelagar: A.P. 54,6 m), dan yang kedua adalah bahwa pekerjaan konstruksi harus beradaptasi dengan halangan yang timbul akibat adanya daerah larangan sekitar Bandara Internasional Tokyo (A.P. +98,1 m). Untuk dapat memenuhi keterbatasan baik pada tahap disain maupun tahap konstruksi dan untuk membangun jembatan yang lebih berkualitas tinggi dan lebih aman berdasarkan rasionalitas struktural dan ekonomis, penting sekali mengadopsi teknologi jembatan mutakhir: slab baja dengan rusuk ukuran besar, las rangka diperoleh dengan menghilangkan penggunaan pelat sambung, produk *BHS (bridge high-performance steel)*, *base-isolated shoes* ukuran besar, dll.

Disain pondasi sumur pipa baja dibuat berdasarkan *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya (Asosiasi Jalan Jepang)* dan *Disain dan Konstruksi Tiang Panjang Baja (Asosiasi Tiang Pancang Baja Jepang)*. Kedua spesifikasi ini menyatakan bahwa performa yang dituntut adalah bahwa pondasi harus tetap memenuhi daya dukung dan guling dan bahwa, dalam gerakan gempa level 1, material struktur tetap berada pada tegangan ijin dan pergeseran horisontal tidak melebihi 50 mm, dan bahwa, pada gerakan gempa level 2, material tetap berada dalam nilai leleh dan leleh dasar pondasi tidak melebihi 40%.

Struktur Pondasi

Substruktur Jembatan Gerbang Tokyo (panjang total: 2,9 km) terdiri dari 2 pangkal jembatan (*abutment*) dan 21 pilar (Gbr. 1) dimana 9 pilar

substruktur berada lepas pantai (perpanjangan: sekitar 1,6 km). Untuk pilar-pilar lepas pantai, pilar utama (MP 2,3) adalah tipe dinding RC (Foto 1) dan pilar bentang samping (MP1,) adalah tipe RC rongga.

Gbr. 1 Gambar Keseluruhan Jembatan Gerbang Tokyo Foto 1 Pemancangan tiang pipa baja di MP2

Sebagaimana ditunjukkan pada Gbr. 2, selapis lempung aluvial lunak (lapis AC2, Nilai $N \approx 0$) ditimbun di atas tanah pondasi disekitar pondasi sumur pipa baja. Selanjutnya, lapisan-lapisan yang berfungsi sebagai strata tumpu bagi pilar ditempatkan sangat dalam: lapisan kerikil (lapisan Dg1) untuk dermaga CP9~MP2 ditempatkan pada A.P. -75 m atau lebih dalam, dan lapisan pasir (lapis Ds2) untuk pilar MP3~WP6 pada A.P.-50 m atau lebih dalam. Lapisan kerikil pada A.P.-75.5 m lebih berfungsi sebagai strata tumpu untuk pilar CP9~MP2, dan lapisan pasir di sekitar A.P.-54,5 m~-50,5 m, lebih dangkal dari yang di atas, berfungsi sebagai strata tumpu untuk pilar PM3~WP6.

Foto 2 menunjukkan pemancangan tiang pipa. Masing-masing tiang dipancang hingga strata tumpu dengan menggunakan palu getar dan kemudian palu hidrolis. Palu yang digunakan adalah IHC-S280 dan IHC-S200. Panjang peletakkan direncanakan 3,0D~3,2D. Diameter luar tiang pipa baja yang digunakan adalah 1.500 mm, dan ketebalan dinding dari ujung tiang adalah 17 mm. Foto 3 menunjukkan konstruksi pondasi sumur turap pipa baja.

Gbr. 2 Struktur Pondasi dan Properti Tanah

Foto 2 Pemancangan tiang pipa baja

Foto 3 Konstruksi pondasi sumur turap pipa baja

Uji Pembebanan untuk Kapasitas D

Dalam aplikasi turap pipa baja (diameter: 1.500 mm) dalam konstruksi Jembatan Gerbang Tokyo, dilakukan uji pembebanan di-lokasi pada tahun 2003 sebelum dimulainya pekerjaan konstruksi. Tujuan dari uji ini adalah untuk memperjelas mekanisme dukung turap pipa baja karena implementasi pekerjaan serupa di Pantai Tokyo sebelumnya mengalami masalah dan untuk mendapatkan desain dan manajemen konstruksi pondasi yang rasional.

Ada tiga jenis uji pembebanan yang dilakukan: uji beban dinamis (DLT), uji beban statis (SLT) (horisontal dan tekan-ke-dalam) dan uji beban cepat (STN), yang memberikan hasil sebagai berikut:

- Tahanan ujung tiang dengan cara analisis kecocokan

gelombang dari uji dinamis

- Tahanan gesek permukaan dari uji pembebanan statis
- *Set-up ratio* (perbandingan tahanan statis ujung tiang selama instalasi dengan tahanan setelah pemulihan tanah)
- Hubungan antara tahanan gesek permukaan dan nilai N dari uji pembebanan cepat (Lihat Tabel 1 dan 2, Gbr. 3)

Tabel 1 Tiang Pancang Uji dan Jenis-Jenis Uji Pembebanan

Tabel 2 Jenis-Jenis dan Objektif Uji Pembebanan

Gbr. 3 Hubungan antara Ketebalan Strata tumpu dengan Nilai N di Posisi Uji

Dalam hubungannya dengan desain pondasi sumur tiang pipa baja, panjang peletakkan tiang pipa baja ke dalam lapisan pondasi dan *enclosure ratio* ujung pipa ditentukan. Selanjutnya, koefisien reaksi tanah, reaksi tanah arah vertikal dan faktor lainnya yang digambarkan dalam *Spesifikasi Jembatan Jalan Raya* dipenuhi. Foto 4 menunjukkan uji pembebanan statis. Dengan menggunakan empat tiang pancang sebagai tiang reaksi, tiang pipa uji ditekan ke dalam strata tumpu hingga kedalaman tiga kali diameter tiang dengan cara sistem muti-siklus menggunakan dongkrak hidrolis. Kapasitas dongkrak hidrolis adalah 48.000 kN untuk tiang ④, dan 56.000 kN untuk tiang ⑤.

Gbr. 4 menunjukkan hubungan antara beban dengan pergeseran vertikal tiang ⑤. Beban maksimum adalah 36.000 kN, dan pergeseran maksimum. 280 mm. Pergeseran hingga sekitar 60 mm terlihat masih dalam rentang elastis, dan beban leleh adalah 2.000 kN. Regangan diukur pada 13 seksi tiang, dan distribusi gaya aksial dan tahanan gesek permukaan dihitung dari hasil pengukuran. Gbr. 5 menunjukkan distribusi gaya aksial tiang. Gaya aksial dihitung dari pengukur regangan pada tiang pipa. Perbedaan gaya aksial antara seksi-seksi yang diukur dapat dikonversi menjadi tahanan gesek. Tahanan gesek permukaan agak lebih kecil pada lapisan lempung bagian atas, tetapi menjadi lebih besar pada lapisan-lapisan yang lebih rendah. Gbr. 6 menunjukkan hubungan antara kapasitas dukung ujung tiang dengan pergeseran beban total, yang diperoleh dengan memisahkan gaya total. Terlihat dari gambar bahwa tahanan gesek permukaan jauh lebih besar dibandingkan kapasitas dukung ujung tiang ⑤. Lebih jauh, tahanan gesek permukaan dalam dan luar tiang dapat dipisahkan dari tahanan gesek pada ujung tiang. Uji menunjukkan bahwa tahanan gesek

permukaan dalam menjadi jauh lebih besar dibanding tahanan gesek permukaan luar dan bahwa pasir dan kerikil di dalam tiang menjadi padat.

Foto 4 Uji pembebanan statis

Gbr. 4 Hasil Uji Pembebanan Statis

Gbr. 5 Distribusi Vertikal Uji Pembebanan Aksial

Gbr. 6 Kapasitas Dukung Ujung Tiang dan Kapasitas Dukung Total

Sebagaimana ditunjukkan pada Gbr. 7, dalam uji pembebanan cepat, massa dengan reaksi 160-ton yang dipasang pada kepala tiang diangkat keatas dengan percepatan sekitar 20G dengan tekanan pembakaran, dan beban diberikan secara pseudo-dinamis ke kepala tiang dengan menggunakan rekasi yang dihasilkan oleh pengangkatan dengan waktu pembebanan sekitar 0,1 detik. Uji ini menawarkan keuntungan seperti waktu uji yang lebih singkat dan penghilangan tiang reaksi. Foto 5 menunjukkan alat pembebanan. Gaya aksial dan distribusi percepatan dihitung menggunakan sel beban, pengukur regangan dan akselerometer yang dipasang pada tiang pancang. Gbr. 8 menunjukkan hubungan antara beban yang diukur dengan pergeseran. Gbr. 9 menunjukkan model yang digunakan untuk perhitungan kapasitas dukung ujung tiang dan tahanan gesek permukaan. Perhitungan dibuat dengan menetapkan tiang pancang sebagai komponen elastis dan dengan mengaitkan tanah sekeliling, pegas dan *dashpot* dan pada saat bersamaan mengganti konstanta tanah dengan menggunakan beban input kepala tiang sedemikian sehingga *waveform* pengukuran dan perhitungan cocok. Gbr. 8 menunjukkan perubahan temporal beban dan pergeseran yang dihitung bersama dengan hasil pengukuran. Selanjutnya, gelombang input (beban palu) dan gelombang refleksi (tahanan tanah) dapat dihitung dari gaya aksial dan percepatan. Nilai *form* ini ditampilkan pada Gbr. 10.

Foto 5 Alat Pembebanan

Gbr. 7 Struktur Alat Uji Pembebanan Cepat

Gbr. 8 Kondisi Cocok untuk *Wave Form*

Gbr. 9 Model Perhitungan untuk Kapasitas Dukung Ujung Tiang dan Tahanan gesek Permukaan

Gbr. 10 *Wave Form* Input F_d dan *Wave Form* Tahanan F_u

Gbr. 11 menunjukkan gaya aksial dan tahanan gesek permukaan yang diperoleh dari analisis pencocokan

wave-form. Disain pondasi turap pipa baja pada dasarnya diimplementasi berdasarkan metode yang digambarkan pada *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya*, sementara berbagai nilai yang diaplikasi dalam disain dimodifikasi berdasarkan hasil uji pembebanan. Modifikasi dibuat terutama untuk:

- Kedalaman pemancangan pipa dengan diameter luar 1.500 mm (D) ditetapkan sebesar $3D$. *Enclosure ratio* semu 53% untuk lapisan pasir dan 74% untuk lapisan kerikil. Ketika rusuk silang ditempatkan di ujung tiang, tahanan ujung tiang meningkat sekitar 30%.
- Tahanan gesek permukaan diperkirakan untuk ditambahkan ke tahanan dalam-tiang, dan diadopsi nilai pada Tabel 3.
- Dari uji pembebanan horisontal diperoleh bahwa koefisien deformasi tanah adalah 2~3 kali lebih besar dari yang dideskripsikan pada *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya*

Gbr. 11 Hasil Analisis Pencocokan *Wave Form*

Tabel 3 Penetapan Tahanan gesek Permukaan

Uji Pembebanan untuk Sambungan Turap Pipa Baja Kekuatan Tinggi

Biasanya, kekuatan deformasi sumur turap pipa baja diperoleh dari kekakuan tekuk struktur turap pipa baja dan tahanan geser dari sambungan saling-kunci. Dalam hal penentuan sambungan pipa-ke-pipa yang biasa dipakai, tiang pipa dipasang saling-kunci dengan menggunakan pipa baja dengan diameter 165,2 mm, dan mortar dengan kuat tekan sekitar 20 Mpa digunakan untuk mengisi sambungan pipa saling-kunci. Pada proyek Jembatan Gerbang Tokyo ini, diperlukan peningkatan kekakuan sambungan agar pergeseran horisontal pondasi sumur turap pipa baja tetap berada dalam batas ijin selama gempa bumi. Untuk meningkatkan kekakuan tiang pancang turap pipa baja, digunakan mortar kekuatan tinggi untuk mengisi bukaan pada sambungan (Gbr. 12) untuk meningkatkan adhesi antara mortar dengan sambungan pipa. Dalam proyek ini, kekuatan mortar isi ditingkatkan menjadi lebih dari dua kali lipat (40 Mpa) dari tingkat konvensional, dan selanjutnya digunakan pelat baja berpetak sebagai material sambungan pipa untuk meningkatkan adhesi. Sebagai hasilnya, tahanan geser (lintang) yang cukup besar dapat diperoleh dari kedua pendekatan tersebut.

Sebagai hasil uji pembebanan model, diperoleh tahanan geser maksimum sekitar 1.640 KN/m seperti

pada Gbr. 13. Hasil yang diperoleh dalam uji adalah sekitar enam kali batas atas (200 KN/m) tahanan geser yang diberikan dalam spesifikasi disain untuk material sambungan pipa baja (*Manual untuk Disain dan Konstruksi Pondasi Turap Pipa Baja*, Asosiasi Jalan Jepang).

Konfigurasi pondasi turap pipa baja yang didisain pada tahap awal banyak mengalami pengurangan setelah hasil uji pembebanan yang sesuai dan pemeriksaan ulang koefisien tanah, yang akhirnya memungkinkan konstruksi yang ekonomis. (Tabel 4).

Gbr. 12 Struktur Saling-Kunci dan Alat Uji Pembebanan

Gbr. 13 Hubungan antara Beban dan Pergeseran
Tabel 4 Perbandingan Disain Pondasi Sumur Turap Pipa Baja

Penurunan Biaya Konstruksi dan Peningkatan Kualitas

Pondasi sumur turap pipa baja Jembatan Gerbang Tokyo dibangun pada tanah lunak, dan, dalam konstruksinya, diperlukan gaya seksional yang besar dan kapabilitas deformasi selama gempa bumi. Oleh karenanya, dalam tahap disain, struktur pondasi menjadi cukup besar dalam hal konfigurasi struktur.

Setelah memperoleh pengetahuan mengenai mekanisme tumpuan pada lokasi konstruksi dari uji pembebanan yang dilakukan pada turap pipa baja diameter besar, dilakukan pertimbangan ulang berbagai faktor disain. Berdasarkan hal ini, dihasilkan konfigurasi pondasi yang lebih kompak dengan penggunaan kombinasi antara tiang pipa baja diameter besar dengan sambungan saling-kunci yang terbuat daripelat baja berpetak yang diisi dengan mortar kekuatan tinggi. Demikian juga, prosedur manajemen konstruksi juga ditentukan oleh penggunaan hasil uji pembebanan secara efektif. Sebagai hasil dari pertimbangan ini dimensi struktural pondasi turap pipa baja diperkecil, dan secara bersamaan juga mengakibatkan pengurangan besar dalam biaya konstruksi serta peningkatan kualitas struktural.

■ ■ ■ ■ ■

(Sampul Belakang)

Gempa Bumi Besar dan Tsunami

Takeshi Oki

Ketua, Komite Promosi Pasar Luar Negeri Federasi Besi dan Baja Jepang

Gempa bumi besar Jepang yang terjadi pada pukul 14:46 tanggal 11 Maret, 2011, mencatat besaran 9.0, menjadikannya gempa terbesar yang terrekam di Jepang. Belum pernah terjadi kerusakan sebesar ini sebelumnya yang tersebar terutama sepanjang pantai Pasifik Jepang Timur (Prefektur Iwate, Miyagi, Fukushima dan Ibaragi). Jumlah korban mati dan hilang secara keseluruhan mencapai lebih dari 27.000 dan jumlah bangunan yang hancur melebihi 65.000.

Gempa bumi besar ini merupakan tipe antar lempeng dengan epicentrum berada di bawah muka air laut 24 km lepas pantai Sanriku di Lautan Pasifik (sekitar 130 km ke timur – tenggara Semenanjung Oshika). Pengamatan skala menunjukkan variasi dari 7 pada skala intensitas Jepang tujuh-tahap hingga 6—pada sebaran area mulai dari Prefektur Iwate ke Ibaraki. Setelah pergeseran awal patahan pada pusat gempa bumi lepas pantai Sanriku, pergeseran lempeng patahan kemudian terjadi pada daerah hiposentrum gempa bumi awal, yang meliputi area sangat luas lepas garis pantai yang bergerak dari Iwate ke Ibaraki dengan ukuran sekitar 500 km arah selatan-utara dan 200 km arah timur-barat. Tidak lama setelah guncangan utama, sejumlah guncangan susulan besar dengan besaran 7,0 atau lebih segera terjadi berturut-turut di wilayah itu.

Tsunami yang memporak-porandakan yang mengikuti gempa bumi mengakibatkan kerusakan menjadi lebih kritis. Gelombang Tsunami yang lebih tinggi dari 3 m menghantam pelabuhan-pelabuhan sepanjang Lautan Pasifik dan mengakibatkan kerusakan besar. Gelombang setinggi 9,5 m terrekam menyapu ke arah dalam Pelabuhan Ofunato. Berdasarkan gambar skema daerah banjir yang disiapkan oleh Otorita Informasi Geospasial Jepang, Kementerian Pertanian, Infrastruktur, Transport dan Pariwisata, area daratan hingga sejarak 5 km atau lebih dari pantai ke arah daratan terkena banjir, yang menutupi area daratan mulai dari Ishinomaki di Prefektur Miyagi ke bagian pusat Prefektur Fukushima.

Ucapan Terima Kasih

Kami menyampaikan rasa duka bagi semua warga negara dan keluarganya yang telah mengalami penderitaan sebagai akibat dari Gempa-bumi Besar Jepang Timur. Sangat banyak surat yang menunjukkan simpati dan dorongan untuk menghadapi kondisi berat yang telah diterima tidak saja dari orang-orang di

Jepang tetapi juga dari luar negeri. Kami ingin menggunakan kesempatan ini untuk menyampaikan rasa terima kasih kami yang dalam kepada semua orang, termasuk para pembaca kami, yang telah memberikan dukungan dan kebaikan yang luar biasa.

Federasi Besi dan Baja Jepang menawarkan berbagai metode dan teknologi konstruksi baja dalam bidang rekayasa sipil dan konstruksi bangunan yang akan sangat berguna bagi restorasi dan rekonstruksi awal daerah-daerah yang terkena bencana. Di masa datang, kami akan melakukan riset dan survei mengenai kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi dan tsunami, dan akan terus mengembangkan dan menyebarkan konstruksi baja sebagai tautan bagi semua usaha yang dilakukan untuk meningkatkan langkah-langkah pencegahan-bencana.

(Foto)

Kapal besar mengarah ke dermaga Pelabuhan Sendai akibat Tsunami

Gambar daerah yang diterjang Tsunami dekan Sungai Natori, Prefektur Miyagi

Versi Indonesia: © Federasi Besi dan Baja Jepang 2011