

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 42 Agustus 2014)

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. 42 Agustus 2014: Isi

Standar Disain Struktur Rekayasa Sipil: Disain berdasarkan Kinerja dan Reliabilitas, dan Arahnya di Masa Depan	1
Laporan Perbaikan Retak Fatik Dek Baja Ortotropik di Inggris	4
Pemeliharaan dan Perkuatan Jembatan Baja pada Tokaido Shinkansen	8
Pemeliharaan Metropolitan Expressways	12
Penggantian Slab RC dengan Dek Baja pada Jembatan Mikawaohashi	16
Kegiatan FBBJ	Sampul Belakang

Catatan: Nomor halaman mengacu pada versi Bahasa Inggris terbitan No. 42.

Versi Indonesia: ©Federasi Besi dan Baja Jepang 2014

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

(Halaman 1~3)

Standar Disain Struktur Rekayasa Sipil —Disain berdasarkan Kinerja dan Reliabilitas, dan Arahnya di Masa Depan—

oleh Yusuke Honjo
Profesor, Fakultas Teknik, Universitas Gifu

Artikel ini membahas standar disain struktur rekayasa sipil di Jepang dengan dua tujuan: untuk memperkenalkan tren 15 tahun terakhir dan untuk menentukan arah di masa depan. Istilah kunci dalam bahasan ini adalah disain berdasarkan performa dan disain berdasarkan reliabilitas (*performance-based design* dan *reliability-based design*).

Disini, istilah “*performance-based design*” mengikuti definisi yang diberikan dalam JGS4001-2004, yang menyatakan, “*Performance-based design*: sebuah konsep disain dimana struktur tidak dirancang berdasarkan karakteristik deskriptif, melainkan didisain dengan menentukan performa yang dituntut oleh masyarakat.”

Detil Reliability and Performance-based Design

• Pengenalan Standar Desain Berdasarkan Reliability-based Design

Pengenalan *reliability-based design* atau metode disain kondisi batas, berawal pada tahun 1970-an. Pada saat itu, banyak dilakukan usaha di Eropa untuk mempersiapkan standar disain untuk bangunan dan fasilitas infrastruktur sosial yang banyak digunakan di seluruh komunitas Eropa. Standar yang dipersiapkan sekarang menjadi *Structural Eurocode*. Berdasarkan konsep “anggur baru disimpan di tempat anggur baru”, *Eurocode* memperkenalkan metoda verifikasi berdasarkan disain dengan *reliability-based design*, yang masih baru disusun. Seperti diketahui, *Eurocode* diterapkan mulai tahun 2010 setelah hampir 40 tahun masa persiapan.

Dikembangkan pada tahun 1983 di Amerika Utara, *Ontario Highway Bridge Design Code* (OHBDC) merupakan standar disain yang menggunakan *reliability-based design*. Dan dipicu oleh terbentuknya standar ini, disiapkan kelanjutan dari *Bridge Design Specifications* (BDS) 1980, yang kemudian diterbitkan oleh American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO) dan selanjutnya

menjadi standar disain paling berpengaruh di bidang struktur rekayasa sipil di Amerika Utara. Kemudian pada tahun 1995 LRFD (*load and resistance factor design*) versi AASHTO BDS diterbitkan dan sejak itu dilakukan revisi secara reguler.

Tidak seperti perkembangan di Eropa dan Amerika Utara, Jepang jauh tertinggal dalam hal pengembangan standar disain yang tergantung pada rumus verifikasi dengan tipe faktor parsial yang didasarkan pada metoda disain berdasarkan reliabilitas. *Technical Standards for Port and Harbor Facilities in Japan* adalah yang kemudian menjadi standar disain struktur rekayasa sipil pertama yang diterbitkan pada tahun 2007. *Specifications for Highway Bridges*, referensi yang paling berpengaruh dalam disain struktur rekayasa sipil, saat ini tidak mengadopsi metoda disain faktor parsial. Akan tetapi, spesifikasi tersebut sedang direvisi besar-besaran dan akan selesai segera dan akan memasukkan rumus verifikasi berdasarkan pendekatan LRFD.

Jepang tertinggal dibanding Eropa dan Amerika Utara dalam menerapkan disain berdasarkan reliabilitas dalam standar-standar disainnya, tetapi dalam penerapannya kemudian terdapat fitur yang sangat berbeda dibandingkan negara lainnya. Yaitu, dalam standar disain Jepang, perhatian besar diberikan pada kerangka kerja yang disebut *performance-based design*, dan selanjutnya *reliability-based design* juga diposisikan sebagai metode verifikasi kinerja dan dimasukkan ke dalam standar. Penerapan *performance-based design* dapat diterangkan sebagai berikut:

• Detil Penerapan performance-based design

Bila dilakukan pemeriksaan standar disain di seluruh dunia, terdapat setidaknya ada dua akar dasar (Gbr. 1) dalam *performance-based design*. Yang pertama berasal dari *Nordie 5 Level System*. Dalam rangka meningkatkan harmonisasi standar disain secara internasional, secara konsep, kinerja yang dituntut berjenjang dan dibagi kedalam dua jenis: persyaratan wajib dan dokumen pendukung (petunjuk). Konsep ini sejalan dengan pernyataan dalam Agreement on Technical Barriers to Trade of World Trade Organization (WTO/TBT Agreement): “regulasi teknis berdasarkan persyaratan produk dalam hal kinerja dan bukan karakteristik deskriptif dan disain (Pasal 2.8).” Konsep lainnya berasal dari proposal untuk matriks kinerja syarat (Gbr. 2) yang ditunjukkan dalam Vision 2000 Structural Engineers Association of

California (SEAOC, 1995). Dipicu oleh kerusakan yang dialami ketika Gempa Bumi Northridge dan Loma Prieta, proposal tersebut dimanfaatkan sebagai jalan dialog antara pemilik gedung dan insinyur struktur mengenai ketahanan gempa.

Saat ini di Jepang, ada gerakan untuk membuat standar disain yang memasukkan verifikasi struktur dengan cara disain berdasarkan reliabilitas yang didasari konsep disain berdasarkan kinerja. Dapat dikatakan bahwa tahap pertama gerakan ini menjadi masukan bagi perjanjian WTO/TBT yang dilaksanakan mulai tahun 1995. Dalam kesempatan tersebut, pemerintah Jepang mengimplementasikan kebijakan deregulasi yang lebih luas. Untuk mendukung deregulasi, dibuat beberapa kebijakan seperti kepatuhan internasional Jepang dalam hal standar, spesifikasi kinerja dan eliminasi inspeksi berulang.

Untuk memenuhi tren di atas masyarakat teknik Jepang segera merespon dengan memperkenalkan konsep *performance-based design* sebagaimana diusulkan dalam Perjanjian WTO/TBT ke dalam standar-standar disain. Beberapa pencapaian praktis dalam bidang ini adalah *Geo-code 21* yang disiapkan oleh Masyarakat Geoteknik Jepang pada tahun 2004 dan *code PLATFORM* oleh Masyarakat Rekayasa Sipil Jepang pada tahun 2003, dimana keduanya selanjutnya mempengaruhi revisi berbagai standar disain.

Gbr. 3 menunjukkan konsep posisi *performance-based design* dan *reliability-based design* dan keterkaitannya dengan standar disain yang ada dan Perjanjian WTO/TBT dan standar ISO. Kerangka kerja *performance-based design* adalah berdasarkan perjanjian dalam hal kebijakan perdagangan internasional. Oleh karenanya diyakini bahwa, masa depan peraturan disain, persyaratan kinerja struktur akan ditunjukkan dengan kriteria kinerja, dan bahwa verifikasi criteria kinerja akan menggunakan pendekatan disain berdasarkan reliabilitas sebagaimana digambarkan dalam ISO2394 dan standar internasional lainnya.

Gbr. 1 Dua Akar Dasar dalam Disain berdasarkan Kinerja

Gbr. 2 Matriks Kinerja dalam Vision 2000 SEAOC

Gbr.3 Perjanjian WTO/TBT dan *Performance-Based Design* dan *Reliability-Based Design*

Standar Disain Saat ini untuk Struktur Rekayasa Sipil di Jepang

Sebagaimana disebutkan di atas, *Technical*

Standards for Port and Harbor Facilities in Japan direvisi pada tahun 2007 dan diterapkan, yang pada dasarnya mengadopsi verifikasi kinerja dengan cara metoda faktor parsial yang berdasarkan pendekatan disain berdasar reliabilitas. Garis besar revisi sudah pernah diperkenalkan, contohnya, dalam sebuah makalah teknis dalam bahasa Inggris oleh Nagao et al. (2009) dan karenanya tidak akan dibahas dalam artikel ini.

Pekerjaan revisi tengah dilakukan terhadap *Spesifikasi Jembatan Jalan Raya di Jepang*, suatu standar teknis untuk struktur jalan raya yang paling banyak digunakan dalam struktur rekayasa sipil di Jepang. Di bawah ini diberikan konsep utama revisi dalam *Spesifikasi* tersebut:

Gbr. 4 menunjukkan konsep spesifikasi kinerja untuk jembatan jalan raya, sebagaimana ditunjukkan dalam draft revisi *Spesifikasi*. Gambar ini menunjukkan konsep yang menjelaskan kinerja terkait kapasitas pembebanan jembatan, dan persyaratan kinerja jembatan ditunjukkan dengan menggunakan matriks yang terdiri dari dua kondisi: kondisi batas jembatan (deskripsi kinerja pada kondisi batas) dan situasi disain (yaitu kondisi pembebanan yang akan diperhitungkan dalam disain: kombinasi berbagai kondisi pembebanan tetap, variabel dan tidak terduga). Kemudian, ditentukan bahwa persyaratan kinerja harus memenuhi “jaminan tertentu” selama periode disain layan (biasanya 100 tahun). Yang dimaksud dengan jaminan tertentu disini adalah reliabilitas, dan dapat dimengerti bahwa spesifikasi kinerja dalam *Spesifikasi* yang sedang direvisi ini adalah berdasarkan konsep disain berdasarkan reliabilitas. Bagian bawah Gbr. 4 menunjukkan konsep verifikasi kinerja dengan metode faktor parsial, dan kombinasi situasi disain dan kondisi batas dalam matriks diverifikasi dengan rumus verifikasi menggunakan metoda faktor parsial. Format dalam rumus verifikasi dikembangkan berdasarkan *load and resistance factor design* (LRFD).

Saat ini, revisi *Spesifikasi Jembatan Jalan Raya* sedang dilakukan berdasarkan konsep yang ditunjukkan pada Gbr. 4. Khususnya, sedangkan dikembangkan kriteria verifikasi kinerja yang disyaratkan dalam matriks pada Gbr. 4 untuk tiap elemen struktur. Dalam proses ini dibutuhkan berbagai penilaian enjinereng. Konsep “diperkirakan memenuhi” ditekankan dalam revisi ini. Istilah ini menunjukkan apakah suatu tuntutan kinerja yang diverifikasi dengan metoda verifikasi tertentu diperkirakan dapat memenuhi persyaratan kinerja. Sekalipun demikian,

tetap diperlukan kelonggaran dalam pengertian “diperkirakan memenuhi.” Maksudnya adalah, metode verifikasi tertentu tidak berarti satu-stunya metode verifikasi, sehingga metode lain yang diperkirakan cocok oleh enjiner lainnya dapat juga diterapkan.

Gbr. 4 Konsep Spesifikasi Kinerja untuk Jembatan Jalan Raya yang ditunjukkan dalam Revisi *Spesifikasi Jembatan Jalan Raya di Jepang*

Arah di Masa Depan

Tren menonjol saat ini dalam standar disain struktur rekayasa sipil di Jepang adalah bahwa *performance-based design* dimasukkan dalam standar disain dan bahwa verifikasi kinerja dilaksanakan dengan menggunakan metoda faktor parsial berdasarkan metoda disain faktor beban dan resistan (LRFD). Konsep “standar disain berdasarkan *performance-based design*” hanya ada di Jepang dan tidak ditemukan di *Eurocode* atau *Standard Specifications for Highway Bridges* of AASHTO.

Sebagaimana dibahas di atas, konsep ini awalnya diperkenalkan sebagai link dalam kebijakan deregulasi yang diambil pemerintah sebagai kelanjutan dilaksanakannya Perjanjian WTO/TBT dan kemudian terus berkembang. Akan tetapi, ketika diperiksa, kerangka konsep *Spesifikasi untuk Jembatan Jalan Raya di Jepang* terlihat bergerak ke arah yang berbeda.

Sebagaimana Amerika Serikat dan negara maju lainnya, Jepang memiliki stok infrastruktur sosial yang sangat besar. Konstruksinya terjadi dengan cepat di tahun 1960an dan mencapai jumlah terbesar dalam periode pertumbuhan ekonomi yang pesat antara 1970an hingga 1980an. Saat ini disadari bahwa Pemeliharaan fasilitas infrastruktur sosial yang sangat banyak ini akan menjadi masalah di masa depan.

Dengan situasi ini, nampaknya instansi yang bertanggung jawab terhadap pemeliharaan di Kementerian Insfrastruktur, Tanah, Transport dan Pariwisata dan di instansi pemerintah lainnya sudah memperkirakan adanya kesulitan dalam melakukan Pemeliharaan yang seragam pada infrastruktur sosial yang memburuk. Dalam kaitannya, konsep disain dengan kinerja akan menimbulkan konsensus sosial dalam menilai kinerja struktur, yang merupakan hal yang tidak boleh diabaikan dalam menentukan pengembangan masa depan disain dengan kinerja.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 4~7)

Laporan Perbaikan Retak Fatik Dek Baja Ortotropik di Inggris

oleh Shigeyuki Hirayama, Pusat Riset Teknologi Jalan Raya Highway Technology; Susumu Inokuchi, Yokogawa Bridge Corporation; Daisuke Uchida, Mitsui Engineering & Shipbuilding; and Atsunori Kawabata, JFE Engineering Corporation

Retak fatik sekitar sambungan las antara pelat dek dan *trough rib* jembatan baja ortotropik yang bermula di akar las dan merambat ke seluruh *bead* las bisa ditemukan di Jepang. Baru-baru ini jenis retak yang disebut *bead crack* ini terjadi di jembatan dengan kondisi lalu lintas parah. Terkadang retak ini dapat merambat kearah *trough rib* atau pelat dek dan merusak fungsi jembatan.

Bead crack pertama kali ditemukan di Jepang dilaporkan oleh Hanshin Expressway pada tahun 1993. Dengan meningkatnya ketepatan dan teknik inspeksi jembatan, jumlah *bead crack* yang ditemukan bertambah. Banyak organisasi yang melakukan percobaan atau studi analitis. Sebaliknya, diketemukannya *bead crack* pertama di dunia adalah di Jembatan Richemont, Perancis pada tahun 1970an. Jembatan Severn di Inggris juga dikenal karena *bead crack* yang terjadi pada masa tersebut dan sudah diperbaiki dengan pengelasan ulang. Kami juga sudah mempelajari bagaimana memulai mekanisme atau metode perbaikan *bead crack*. Pada bulan April 2011 dilakukan kunjungan sepuluh hari untuk melihat perbaikan retak fatik jembatan baja ortotropik seperti Jembatan Severn di Inggris Raya. Kunjungan dilakukan ke Jembatan Severn dan Jembatan Erskine. Makalah ini melaporkan kunjungan lapangan mengenai masalah fatik jembatan baja ortotropik di Inggris Raya.

Garis Besar Jembatan Severn dan Jembatan

Jembatan Severn adalah jembatan gantung yang menyeberangi Sungai Severn di baratdaya Inggris. Jembatan Severn disebut Penyeberangan Severn dengan Jembatan Wye, Viaduct Aust dan Viaduct Beachly yang menyebrangi perbatasan antaran Inggris dan Wales. Jembatan Severn dibuka pada tahun 1966. Panjang jembatan adalah 1.600 m dan panjang bentang utama adalah 988 m (Foto 1). Sebagai gelagar pengaku digunakan gelagar kotak berdasarkan hasil uji terowongan angin. Lajur pejalan kaki dan sepeda ditempatkan di tiap sisi gelagar utama dan digunakan

juga sebagai lajur untuk kendaraan pemeliharaan (Gbr. 1). Ketebalan pelat dek adalah 11,5 mm dan bentuk *trough rib* adalah (B) 305 mm × (t) 6 mm × (H) 230 mm. Diafragma dalam ditempatkan tiap 4.600 mm dan *trough ribs* dilas mengelilingi dengan diafragma dalam. *Field joint* pelat dek dilas sambung di tiap arah memanjang dan arah melintang. Pelapisan luar (*surfacing*) menggunakan aspal mastik dengan ketebalan 35 mm. Jembatan Wye merupakan jembatan kabel-penahan bidang tunggal (*single-plane cable-stayed bridge*) dengan menara kembar yang dimensi strukturalnya sama dengan Jembatan Severn.

Pada tahun 1977, tujuh tahun setelah pembukaan Jembatan Severn, retak fatik terlihat pada dek baja ortotropik. Retak ini dapat dikategorikan menjadi tiga menurut lokasi, (1) sambungan las antara pelat dek dan *trough rib*, (2) persilangan antara *trough rib* dan balok melintang, dan (3) sambungan las antara dasar *trough rib* dan diafragma apung (Gbr. 2). Diafragma apung dipasang di tiap ujung blok gelagar kotak untuk mencegah masuknya air ketika diapungkan untuk diangkut melalui air Sungai Severn. Retak fatik sekitar sambungan las antara dasar *trough rib* dengan diafragma apung kemudian timbul karena tidak terjadi pemindahan setelah konstruksi. Pada mulanya, lima belas retak fatik pada sambungan las antara pelat dek dan *trough rib* teramati, kemudian hingga tahun 1985 ditemukan lebih dari 160 retak. Semua retak berada di bawah lajur lalu lintas yang dilalui kendaraan berat.

Foto 1 Jembatan Severn

Gbr. 1 Potongan Melintang Penyeberangan Severn

Gbr. 2 Retak Fatik di Penyeberangan Severn

Perbaikan Las-ulang pada Jembatan Severn dan Jembatan Wye

Banyak studi yang telah dilakukan oleh TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*) untuk menentukan metode perbaikan retak fatik. Studi-studi ini menunjukkan bahwa kekuatan fatik sambungan las antara pelat dek dengan *trough rib* dapat dikembangkan dengan memperbesar ketebalan leher. Selanjutnya perbaikan dengan las ulang pada Jembatan Severn dimulai pada paruh kedua 1980an untuk mempertahankan ketebalan leher.

Pada saat diproduksi, tepi *trough rib* dipotong agar menjadi parallel dengan muka bawah pelat dek. Dalam proses pengelasan ulang, kemudian dipotong kembali (tidak dilubangi seperti biasanya) supaya menjadi vertikal agar dapat dilakukan pengelasan penetrasi

parsial dan agar lebar leher tetap memenuhi. Mesin potong asli dikembangkan (Gbr. 3). Mesin potong ini dapat bergerak longitudinal tiap satu meter dan alat potong ini yang didukung oleh dua *guide flame* ditempatkan agar dapat mengikuti deformasi pelat dek dan *through rib* dari web. Kondisi pengelasan ditentukan dengan lima puluh satu uji coba lapangan dengan tiga belas kondisi dan perbaikan las-ulang dijalankan untuk mempertahankan ketebalan leher 7,5 mm dengan las tiga *pass* sesuai dengan hasil uji (Gbr. 4). Panjang total pengelasan ulang menjadi sekitar 20 km, dan sudah dilakukan pada sambungan las yang berada di bawah posisi roda kendaraan. Untuk mengurangi ketidaknyamanan akibat penutupan lalu lintas, perbaikan dilakukan dengan membatasi lajur, sehingga periode perbaikan memakan waktu delapan belas bulan.

Gbr. 3 Mesin Pemotongan Asli

Gbr. 4 Uji *Macro Etching* untuk Sambungan Las Asli dan Las Ulang

Kunjungan Lapangan ke Jembatan Severn dan Jembatan Wye

Ketika dilakukan kunjungan ke Penyeberangan Severn kami mengobservasi kondisi sambungan las ulang pada gelagar kotak dan kondisi pelapisan aspal. Menurut hemat kami, volume lalu lintas saat itu sangat kecil. Alasannya adalah bahwa hanya sekitar 70% yang dapat melewati Jembatan Severn Kedua yang dibuka pada tahun 1996 di hilir Jembatan Severn. Terlihat banyak penambalan akibat penambalan ulang permukaan aspal yang dilakukan pada tahun 1991 pada posisi roda kendaraan (Foto 2). Dalam kunjungan lapangan ke dalam gelagar kotak, kami mengobservasi kondisi sambungan las ulang antara pelat dek dan *trough rib*, dan juga antara *trough rib* dan diafragma, sambungan las antara dasar *trough rib* dan diafragma apung yang telah diperbaiki (Gbr. 5).

Untuk las ulang, dengan tiga *pass*, dispersi ukuran las antara pelat dek dan *trough rib* terlihat lebih kecil dan kualitasnya lebih baik dibanding aslinya. Perbaikan las dengan pelat las metal telah dilaksanakan untuk retak fatik pada pertemuan antara *trough rib* dan diafragma. Untuk perbaikan retak fatik yang lebih besar pada sambungan las antara *trough rib* dan diafragma apung, dasar *trough rib* dipotong parsial dan dipasang material *bypass* metal. Diafragma apung sudah dipindahkan ketika timbul masalah fatik.

Di Inggris selalu dilakukan inspeksi umum tiap dua

tahun dan inspeksi prinsipil tiap enam tahun untuk jembatan-jembatan bentang panjang seperti Jembatan Severn. Retak atau cacat fatik yang ditemukan pada inspeksi umum segera diperbaiki pada kesempatan tersebut. Walaupun jumlah retak fatik yang terpantau sekarang ini menurun akibat penurunan volume lalu lintas dengan adanya pembukaan Jembatan Severn Kedua, masih terdapat sekitar lima puluh retak atau kerusakan yang perlu diperbaiki tiap tahunnya.

Foto 2 Kondisi pelapisan permukaan Jembatan Severn
Gbr. 5 Perbaikan Retak Fatik Jembatan Severn

Garis Besar Jembatan Erskine

Jembatan Erskine merupakan jembatan kabel-penahan bidang tunggal yang berada di atas Sungai Clyde di Glasgow Barat Skotlandia (Foto 3). Panjang jembatan adalah 1.321 m dan dibuka pada tahun 1971. Jembatan ini terdiri dari rute utama ke arah Skotlandia dan volume lalu lintas melebihi 4.000 per hari. Jelaslah bahwa jembatan ini tidak memenuhi kriteria yang ditunjukkan oleh Laporan Merrison dan pekerjaan perkuatan dan peregangan ulang kabel dilakukan dari 1970 an hingga 1980 an dan pada 2014 (Foto 4). Dek ortotropik pada Jembatan Erskine memiliki ketebalan 12,7 mm dan *rib* bentuk V digunakan sebagai *longitudinal rib* dengan ketebalan 5 mm. Pelapisan permukaan menggunakan aspal mastik dengan tebal 38 mm sama dengan Jembatan Severn.

Foto 3 Erskine Bridge

Foto 4 Perkuatan berdasarkan Laporan Merrison

Kunjungan Lapangan ke Jembatan Erskine

Gbr. 6 menunjukkan ketiga jenis utama retak fatik yang sudah diamati di Jembatan Erskine; (1) sambungan las antara pelat dek dengan diafragma tepi, (3) sambungan las antara pelat dek dengan pengaku vertikal. Lebih dari 1.200 retak atau cacat termasuk yang terlihat tanpa dek ortotropik sudah diperbaiki di Jembatan Erskine. Dalam kunjungan lapangan ini, kami mengobservasi terdapat tiga jenis retak fatik.

Foto 5 menunjukkan contoh retak yang terjadi pada *bead* las yang kami sebut sebagai “retak *through-bead*.” Sekitar sepuluh retak *through bead* ditemukan di jembatan ini dan beberapa sudah diperbaiki dengan memotong tepi *trough rib* dan mengelas ulang dengan tiga pass seperti pada Jembatan Severn. Sekalipun panjang retak fatik pada Foto 5 lebih dari 700 mm, retak tidak merambat ke arah *web* dari *trough rib*

seperti kasus-kasus di Jepang.

Alasannya nampaknya adalah bahwa kondisi las dan pemotongan pada sambungan las antara pelat dek dan *trough rib* dan dimensi atau kekakuan *trough rib* berbeda antara Inggris dengan Jepang dan lain-lain

Gbr. 6 Retak Fatik yang terlihat di Jembatan Erskine
Foto 5 Retak *through Bead* pada Jembatan Erskine

Kesimpulan

Kami dapat mengetahui masalah fatik dek ortotropik dan perlunya pemeliharannya di Inggris melalui kunjungan lapangan. Khususnya untuk jembatan bentang panjang yang kami kunjungi, pemeliharaan telah lama dilakukan juga oleh perusahaan swasta, dan kami merasa bahwa perlu untuk terus mengawasi jembatan-jembatan tersebut secara intens di masa depan. Penting bahwa insinyur yang samalah yang melakukan observasi dan inspeksi dan melakukan pekerjaan perbaikan secara sistematis, dan kiranya kita dapat mereferensikan mereka di Jepang.



(Halaman 8~11)

Pemeliharaan dan Perkuatan Jembatan Baja pada Shinkansen Tokaido

oleh Hideki Kaji, Divisi Operasi Shinkansen, Kazuya Takahashi, Divisi Promosi Shinkansen Chuo dan Yuichi Ito, Divisi Teknologi Umum, Perusahaan Jalan Rel Jepang Sentral

Sepanjang total 22.1 km jembatan jalan rel baja diinstalasi pada Shinkansen Tokaido (jalur kereta peluru). Konstruksi jembatan-jembatan ini memanfaatkan banyak struktur baja las penuh, dan merupakan adopsi metode ini dengan skala besar di Jepang.

Karena jembatan baja merespon beban kereta secara lebih dinamis dibanding jembatan beton dan karena frekuensi kereta lebih tinggi dibanding ketika baru dibuka, fatik zona las dan durabilitasnya timbul menjadi isu penting. Khususnya, karena panjang total *weld beads* longitudinal (selanjutnya disebut *beads* longitudinal) dari elemen struktural sangat besar, sulit untuk berfokus hanya pada seksi tertentu selama inspeksi. Lebih jauh lagi, sekali timbul retak pada suatu *bead* maka akan segera merambat. Dengan alasan ini,

penting dalam Pemeliharaan jembatan baja untuk menekan retak fatik pada *bead* longitudinal (Gbr. 1)

Untuk mencapai tujuan ini, implementasi uji fatik pembebanan dan analisis FEM 3 dimensi pada Laboratorium Riset Komaki dari Perusahaan Jalan Rel Jepang Timur menggunakan model jembatan skala penuh atau potongan jembatan jalan rel baja eksisting. Hal ini selanjutnya menggiring kearah pengembangan teknik perkuatan jembatan baja untuk digunakan dalam pemeliharaan pencegahan, seperti pekerjaan perkuatan sambungan sistim lantai, penggantian dan perkuatan tumpuan, dan insersi tambahan bantalan rel. Teknik ini akan diadopsi dalam proyek skala besar untuk peremajaan jembatan rel baja Shinkansen Tokaido dan akan diperkenalkan di bawah ini.

Selanjutnya setelah dilakukan penanganan untuk menekan degradasi yang terjadi, perusahaan berrencana untuk memastikan kondisi layan struktur jembatan yang terkena dan kemudian menentukan interval untuk penggantian struktur sebagai tindakan peremajaan.

Gbr. 1 *Weld Bead* Longitudinal

Pemeliharaan dan Perkuatan Jembatan Jalan Rel Baja

• Asesmen *Bead* Longitudinal

Seperti diketahui bahwa kekuatan fatik suatu *bead* longitudinal dipengaruhi oleh cacat internal dalam zona las. Berdasarkan hasil survei jembatan aktual menggunakan uji ultrasonik serta sebagai hasil pelepasan jembatan dari Shinkansen Tokaido, dapat diterima bahwa keberadaan *blowhole* adalah suatu kenyataan yang tidak dapat dipungkiri.

Di Laboratorium Riset Komaki, dilakukan uji fatik untuk dua kasus: satu uji menggunakan jembatan baja yang sudah berfungsi selama 35 tahun dengan dibukanya Shinkansen dan dipindahkan setelah instalasi Stasiun Shinagawa baru pada musim gugur 2003; dan uji lain yang menggunakan spesimen gelagar besar yang diinfus dengan *blowhole* (Foto 1). Hasil uji untuk spesimen jembatan skala penuh dan spesimen gelagar memenuhi “Kelas D” sesuai petunjuk disain fatik dari MKBJ dan organisasi lainnya (Gbr. 2). Tetapi tegangan yang timbul yang terukur pada semua jembatan baja di Shinkansen Tokaido berada di bawah batas fatik Kelas D, sekalipun dengan mempertimbangkan koefisien variasi ramalan beban roda kereta dalam pengoperasian kereta. Akan tetapi, ketika terdapat perubahan struktur jembatan akibat

kerusakan lainnya dan mengalami peningkatan tegangan dan ketika terjadi fluktuasi besar pada beban roda yang tergantung pada kondisi Pemeliharaan rel, bantalan dan struktur lainnya, maka tegangan yang timbul akan sangat mungkin melampaui batas fatik *bead* longitudinal.

Ada dua pendekatan yang telah dikembangkan untuk menekan peningkatan tegangan dalam *bead* longitudinal dengan mencegah terjadinya defisiensi yang dapat menimbulkan perubahan pada struktur lantai. Yang pertama adalah memperkuat sambungan sistim lantai (balok dan gelagar melintang) dan yang lainnya adalah dengan menggantikan dan memperkuat tumpuan (Gbr. 3). Kedua pendekatan ini dijelaskan di bawah ini:

Foto 1 Kondisi uji fatik

Gbr. 2 Hasil Uji untuk *Bead* Longitudinal

Gbr. 3 Garis Besar Langkah-Langkah untuk Mengontrol Degradasi

Perkuatan Sambungan Sistim Lantai

Sudah diketahui dalam survei kondisi jembatan aktual yang sudah dilakukan bahwa retak fatik sudah timbul pada sambungan sistim lantai bagian rangka batang menerus dan gelagar pelat menerus. Contohnya, rangka batang menerus mempunyai retak yang mulai dari zona las kotak pada *stringer pedestal* dan di zona las *boxing* di dalam celah pada persilangan antara pedestal dengan pengaku vertikal atau balok silang. Sudah diketahui juga dengan analisis tiga dimensi FEM bahwa retak demikian meningkatkan tegangan *bead* longitudinal dan cenderung menginduksi retak yang akan mulai dalam *bead* longitudinal. Untuk menanggapi ini, kami mengusulkan suatu metode perkuatan untuk menekan terjadinya retak pada sambungan sistim lantai.

• Perkuatan Sambungan Sistim Lantai Rangka Batang Menerus

Sebagaimana diketahui bahwa terdapat beberapa jenis retak yang timbul akibat masalah terkait detail sambungan sistim lantai.

Pertama, tegangan diukur dan kondisi yang menimbulkan retak fatik dianalisa, dan isu keamanan struktural terkait perlakuan fatik kemudian diperiksa. Sebagai hasilnya, jelaslah bahwa retak fatik dapat saja terjadi di sambungan sistim lantai dan bahwa retak dapat mulai di dua seksi: zona las di persilangan antara *stringer pedestals* dengan ujung atas pengaku vertikal dan zona las *boxing* di dalam celah pada persilangan

antara *stringer pedestals* dan balok silang (Gbr. 4)

Berikutnya, kami mengusulkan suatu metode perkuatan (Foto 2) untuk mengontrol perilaku deformasi yang menimbulkan retak yang disebut di atas. Khususnya, beban statis dan uji fatik dilakukan dengan menggunakan spesimen skala penuh sambungan sistim lantai yang digunakan untuk memasang elemen perkuatan. Efektivitas pemasangan ini kemudian ditentukan sebagai cara untuk meningkatkan kekuatan fatik, dan akhirnya pilihan metode perkuatan efektif diaplikasikan pada jembatan aktual untuk mengukur tegangan sebelum dan sesudah perkuatan. Sebagai hasilnya, dipastikan bahwa dengan memasang elemen perkuatan, tegangan dikurangi hingga ke tingkat di bawah batas fatik dalam zona las pada persilangan antara *stringer pedestals* dengan ujung atas pengaku vertikal dan di lingkungan zonal as *boxing* di dalam bukaan pada persilangan *stringer pedestals* dengan balok silang.

Gbr. 4 Retak Fatik pada Sambungan Sistim Lantai (Rangka Batang Menerus)

Foto 2 Sambungan sistim lantai sebelum dan sesudah penerapan penanganan perkuatan

• Perkuatan Sambungan Sistim Lantai Gelagar Pelat Menerus

Telah dilaporkan bahwa retak fatik telah terjadi pada sambungan *stringer* dan balok silang dari gelagar pelat tipe dek terbuka (Gbr. 5)

Telah diketahui bahwa ada tiga jenis retak fatik yang telah terjadi pada sambungan-sambungan: ① retak pada seksi takik dari flens atas *stringer*, ② retak pada seksi takik dari flens bawah *stringer* dan ③ retak pada lubang paku keeling dari badan *stringer* (Gbr. 6). Dalam hal ketika retak ini merambat, kontinuitas struktural *stringer* yang berlapis dengan balok silang akan lenyap, dan akibatnya, dianggap bahwa tegangan pada balok longitudinal akan meningkat karena tegangan bertambah di rangka batang menerus di bawah ini.

Untuk memecahkan masalah ini, dilakukan uji beban statis untuk memeriksa metode perkuatan sambungan *stringer* dan balok silang. Kemudian dipilih struktur perkuatan yang ternyata paling efektif untuk menurunkan tegangan. Khususnya, dipastikan bahwa dengan memasang *bracket* bentuk perahu dan elemen perkuatan lainnya pada sambungan sistim lantai (Foto 3), tegangan yang terjadi pada ketiga posisi yang digambarkan pada Gbr. 6 dapat dikurangi.

Gbr. 5 Gelagar Pelat Menerus Tipe Dek Terbuka

Gbr. 6 Retak Fatik pada Sambungan Sistim Lantai (Gelagar Pelat Menerus)

Foto 3 Pekerjaan perkuatan menggunakan *bracket* bentuk perahu (gelagar pelat menerus)

Langkah-Langkah Penanganan untuk Tumpuan Gelagar

Dari pengukuran tegangan pada jembatan aktual diketahui bahwa apabila fungsionalitas tumpuan berkurang, sangat mungkin menyebabkan peningkatan tegangan *bead* longitudinal. Khususnya, pada jembatan baja dimana pelat solnya dilas ke gelagar, tegangan terjadi pada zona las pelat sol dan kerusakan fatik akibat tegangan menembus ke flens dan web gelagar utama, yang disebut sebagai defisiensi serius dalam Pemeliharaan jembatan baja.

Gbr. 7 menunjukkan posisi dimana tegangan diukur pada bagian depan permukaan zona las pelat sol sebelum dan sesudah penggantian sepatu, dan Gbr. 8 menunjukkan hasil ukur. Tegangan besar terjadi pada bagian permukaan depan zona las pelat sol, dan torsi timbul di bagian bawah flens. Tegangan yang diukur pada sepatu sebelum penggantian sekitar 10 kali lebih tinggi daripada sesudah penggantian. Oleh karena itu penting mempertahankan sepatu dalam kondisi baik.

Gbr. 7 Posisi Pengukuran Tegangan pada Zona Las Pelat Sol

Gbr. 8 Rasio Tegangan Sebelum dan Sesudah Penggantian Sepatu

Perkembangan Masa Layang dan Durabilitas Jembatan Jalan Rel Baja

Retak fatik yang bermula di *bead* longitudinal cepat merambat setelah mulai dan sulit ditemukan selama diinspeksi. Penanganan yang dianggap efektif untuk retak demikian secara konvensional adalah dengan segera mengganti bagian yang terpengaruh. Akan tetapi, dari hasil riset, kami percaya bahwa masa layan jembatan baja dapat diperpanjang dan durabilitasnya dapat ditingkatkan dengan perkuatan sambungan sistim lantai yang menekan degradasi sambungan sistim lantai tersebut dan, juga, dengan melakukan langkah-langkah untuk memelihara tumpuan gelagar.

Di samping itu, karena beban roda yang sangat besar pada jembatan jalan rel baja, sangat penting untuk mencegah terjadinya. Pendekatan konvensional dalam memecahkan persoalan ini adalah dengan

mengganti keseluruhan struktur jalan rel. Tetapi sekarang pengontrolan fluktuasi beban dapat dilakukan dengan instalasi struktur tumpuan pada jalan rel dimana diberikan bantalan tambahan di antara bantalan eksisting. Penjelasan rinci sistim ini akan didiskusikan terpisah.

Masa layan dan durabilitas jembatan baja pada Shinkansen Tokaido akan ditingkatkan di masa depan dengan aplikasi penanganan berbagai perkuatan yang sudah dikembangkan. Sementara itu, terkait dengan pentingnya mengganti bagian-bagian jembatan jalan rel, Perusahaan Jalan Rel Jepang Timur akan terus memonitor efek penggantian itu dan memeriksa periode penggantian bila dibutuhkan.

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 12~15)

Pemeliharaan Metropolitan Expressway

oleh Masasumi Okada, Biro Operasi Kanagawa, Metropolitan Expressway Co., Ltd., Takao Mizoguchi, Biro Konstruksi Kanagawa, Metropolitan Expressway Co., Ltd., dan Tomohiko Aikawa, Pusat Riset Teknologi Jalan Raya

Metropolitan Expressway adalah jaringan jalan bebas hambatan yang dibangun untuk mengurangi kemacetan jalan raya kronis di Tokyo, ibu kota Jepang, dan di daerah sekitarnya. Pada tahun 1964 ketika Olimpiade Tokyo digelar, sekitar 33 km sudah beroperasi. Selama hampir lima puluh tahun kemudian, konstruksi jalan bebas hambatan sejalan dengan perkembangan ekonomi nasional dan pada tahun 2010 telah mencapai total panjang jalan operasional 301,3 km. Di tahun tersebut, Metropolitan Expressway dilalui oleh lalu lintas dengan volume tertinggi di Jepang (115.000 kendaraan per 12 jam, atau 11.000 kendaraan per jam).

Pemeliharaan Metropolitan Expressway sepanjang 301,5 km diringkas di bawah ini.

Fitur Jalan Bebas Hambatan

Sejak 1985, Korporasi Publik Metropolitan Expressway—yang didirikan kembali pada tahun 2005 akibat reformasi administrasi menjadi sebuah perusahaan swasta Metropolitan Express Co., Ltd.,—telah menangani konstruksi, operasi dan pemeliharaan Metropolitan Expressway.

Jaringan jalan bebas hambatan sepanjang 301 km

ini terbagi menjadi dua jenis jalan: empat lajur (dua lajur di tiap arah) dan enam lajur (tiga lajur tiap arah) Metropolitan Expressway dibangun dengan menggunakan sebanyak-banyaknya area di atas sungai yang ada, kanal, jalanraya dan area public lainnya. Sebagai hasilnya, dalam hal struktur yang memenuhi jalan bebas hambatan, jalan datar hanya sejumlah 5% dari keseluruhan pengembangan, sedangkan *viaduct*, jembatan dan terowongan mencapai 95%. Sementara itu, *viaduct* dan jembatan adalah 80% dari total panjang, dengan total jumlah 11.800 bentang (7.770 buah dibangun dengan gelagar baja/slab RC, 1.340 gelagar baja/dek baja, dan 2.690 dari PC dan gelagar RC), dan total 8.680 tiang (2.885 tiang baja dan 5.795 tiang RC).

Saat ini 1,8 juta orang per hari menggunakan Metropolitan Expressway, juga satu juta kendaraan dengan 100.000 kendaraan besar. Akan tetapi, volume lalu lintas berbeda pada tiap seksi jaringan jalan bebas hambatan ini dengan rentang antara 80.000 kendaraan/arah/hari pada seksi dengan enam-lajur hingga 1.500 kendaraan pada seksi empat-lajur.

Untuk melakukan inspeksi, perbaikan dan perkuatan jalan bebas hambatan ini dengan aman, perlu untuk mengamankan area kerja dengan penutupan lajur sementara. Lebih jauh lagi, untuk mengurangi kemacetan lalu lintas akibat pekerjaan pemeliharaan, pekerjaan pada seksi dengan lalu lintas berat dijadwalkan untuk menghindari jam hari kerja dan dilaksanakan malam hari ketika volume lalu lintas cukup ringan.

Biaya pemeliharaan dan operasi Metropolitan Expressway adalah ¥61 milyar pada tahun 2012. Dari biaya ini biaya inspeksi dan perbaikan/perkuatan adalah ¥42 milyar, dan untuk pengoperasian jalan tol sebesar ¥19 milyar.

Sistim Inspeksi dan Perbaikan/Perkuatan

Untuk melaksanakan pekerjaan inspeksi dan perbaikan/pemeliharaan pada jaringan jalan bebas hambatan, Metropolitan Expressway Co., Ltd. mengikuti proses sistematik seperti ditunjukkan pada Gbr. 1: Perencanaan Inspeksi
→inspeksi→asesmen→Eksekusi (perbaikan dan)→rencana inspeksi.

Inspeksi dibagi tiga jenis tergantung pada tujuan dan frekuensinya: inspeksi rutin (patrol kendaraan dan inspeksi jalan), inspeksi periodik (inspeksi jarak dekat dan instrumental), dan inspeksi darurat (sebagai tanggap gempa bumi dll.)

Gbr. 1 Sistim Inspeksi dan Perbaikan

• Inspeksi Rutin

Pekerjaan ini dilakukan untuk mengamati kondisi struktural dan untuk mengecek benda-benda yang jatuh di jalan. Frekuensi inspeksi ini bervariasi—inspeksi patroli pada dasarnya dilakukan tiap dua jam dan inspeksi jalan untuk sambungan ekspansi dan alat lainnya tiap lima tahunan.

• Inspeksi Periodik

Untuk mendapatkan pemahaman rinci kondisi struktural, inspeksi jarak dekat pada struktur dilakukan tiap lima tahun. Ini merupakan inspeksi yang paling fundamental dan penting.

• Inspeksi Darurat

Inspeksi ini dilakukan untuk mengecek kerusakan struktural dan untuk menilai tingkat kerusakan setelah terjadinya gempa bumi dan badai torensial

Bagian-bagian yang akan diperbaiki ditentukan dengan menilai dan meranking hasil inspeksi menurut *data base* kami (METIS: Metropolitan Expressway Maintenance Technical Information System). Setelah perbaikan selesai, catatan perbaikan dimasukkan ke dalam *data base* dan disimpan sebagai data untuk digunakan pada rencana inspeksi dan perbaikan selanjutnya.

Inspeksi patroli rutin digambarkan dalam Foto 1, inspeksi periodik jalan jarak dekat dalam Foto 2, dan inspeksi instrument dalam Foto 4

Foto 1 Inspeksi patroli (memastikan degradasi struktural dengan kendaraan patroli jalan bebas hambatan)

Foto 2 Inspeksi jalan (inspeksi struktur dengan berjalan dilakukan oleh inspektur di daerah lalu lintas terbatas pada malam hari)

Foto 3 Inspeksi jarak dekat (inspeksi dengan *cherry picker*; inspeksi siang hari dilakukan di lokasi dimana arus lalu lintas tidak terpengaruh)

Foto 4 Inspeksi instrumental (uji ultrasonik las pada struktur baja)

Contoh Perbaikan dan Perkuatan

Perbaikan dan perkuatan meliputi pergantian perkerasan jalan yang menunjukkan kerusakan alur dan retak, serta pengecatan ulang struktur baja untuk mencegah korosi. Perhatian saat ini difokuskan pada perbaikan dan perkuatan fenomena fatik pada struktur baja. Contoh kegagalan fatik dan langkah penanganannya dipaparkan di bawah ini.

• Retak Fatik pada Sudut *Tiang Jembatan Baja*

Pada tahun 1997, ditemukan retak fatik pada sudut tiang jembatan baja. Investigasi mendalam memastikan bahwa retak tersebut adalah akibat perambatan fatik. Kemudian, penyebab terjadinya kondisi fatik diasumsikan dengan melaksanakan uji fatik dengan spesimen uji skala penuh. Berdasarkan hasil pemeriksaan lanjutan, digunakanlah sebuah metoda yang menyambung pelat sambung dengan tiang jembatan eksisting dengan menggunakan baut kekuatan tinggi untuk mengurangi konsentrasi tegangan di area terjadinya retak.

Gbr. 2 dan Foto 5 menunjukkan posisi dimana retak fatik terjadi, dan Foto 6 menunjukkan metode perkuatan menggunakan pelat baja.

Gbr. 2 Posisi Terjadinya Retak Fatik pada Sudut Tiang Jembatan Baja

Foto 5 Terjadinya retak fatik (teramati pada garis las dimana balok dan kolom bersilangan)

Foto 6 Perkuatan tiang jembatan baja dengan menggunakan pelat sambung ke tiang

• Retak Fatik pada Dek Baja

Kegagalan fatik sering ditemukan pada dek baja. Khususnya, sudah dipastikan adanya kasus retak fatik pada alas pelat dek baja dan *trough ribs* merambat ke kearah ketebalan pelat dek dan kemudian ke pelat dek.

Sebagai langkah penanganan terhadap retak fatik demikian, diadopsi metoda yang menggunakan beton serat baja (SFRC), yang memiliki modulus elastis lebih besar daripada perkerasan aspal, sehingga kekakuannya dapat menekan regangan yang terjadi pada las dek baja dan *trough ribs*

Untuk memastikan efek perkuatan yang diberikan oleh SFRC, penting kiranya untuk pertama-tama menentukan jenis material dan struktur yang diaplikasi. Kemudian, uji fatik dilakukan dengan menggunakan metoda perkerasan jalan dimana perkerasan aspal setebal 8 cm digantikan dengan lapisan SFRC tebal 5 cm di atas lapisan aspal tebal 3 cm.

Foto 7 menunjukkan pemasangan SRC dan struktur perkerasan yang digunakan dalam metoda ini

Foto 7 Penyediaan langkah penanganan fatik pada dek baja dengan perkerasan SFRC (seksi biru: resin epoxy)

• Penanganan Fatik Slab RC

Untuk perkuatan slab RC, terdapat dua metoda yang secara konvensional telah digunakan untuk mengurangi

momen tekuk akibat beban hidup yang timbul pada slab RC: 1) instalasi tambahan satu atau dua *stringer* antara gelagar utama dan 2) menyambung pelat baja ke slab RC dengan harapan bahwa, ketika disambung, pelat baja dan slab RC eksisting akan bersama-sama menahan momen tekuk yang timbul pada slab RC. Akan tetapi, karena bahan baja yang digunakan untuk metoda ini, dibutuhkan perancah yang kuat dan perlu memberikan perhatian khusus pada penanganan elemen yang akan dipasang

Selanjutnya, jelaslah bahwa timbulnya kerusakan pada slab RC disebabkan oleh fenomena fatik akibat lalu lintas kendaraan. Untuk itu dibuat metoda perkuatan yang menggunakan material baru. Metoda ini menggunakan lembaran serat karbon yang dilapis ke permukaan belakang slab RC untuk mitigasi fatik slab RC

Foto 8 menunjukkan slab RC yang diperkuat dengan lembar serat karbon yang dilapis ke bagian belakang slab dan kemudian dicat, dan pekerjaan perkuatan yang tengah berlangsung

Foto 8 Penulangan slab RC dengan lembar serat karbon (lembaran dilapis ke arah tegak-lurus terhadap slab; *coating* dilakukan untuk mencegah penurunan mutu resin epoksi)

Pemeriksaan Pembaharuan Fasilitas Jalan Bebas Hambatan Skala Besar

Metropolitan Expressway Co., Ltd selalu melakukan inspeksi terhadap struktur jalan bebas hambatan dan telah melakukan pekerjaan perbaikan yang dibutuhkan sesuai dengan hasil inspeksi. Akan tetapi, panjang keseluruhan jaringan Metropolitan Expressway sekarang adalah 301 km, dimana 30%nya (atau 100 km) terdiri dari struktur yang telah memiliki masa layan 40 tahun atau lebih sejak mulanya. Akibatnya, telah terjadi kerusakan pada banyak struktur yang telah bertahun-tahun menyokong lalu lintas, dan juga telah ditemukan kerusakan serius di beberapa struktur.

Dengan kondisi ini, Metropolitan Expressway Co., Ltd. telah merancang pembaharuan untuk seksi yang telah ditentukan pada jalan bebas hambatan sepanjang 301 km ini. Rencana ini membutuhkan rekonstruksi jembatan dan penggantian slab lantai pada seksi dengan panjang 8 km dimana ditemukan kerusakan serius serta juga pembaruan struktur dimana diperlukan; dan juga dibutuhkan perbaikan keseluruhan struktur pada seksi dengan panjang 55 km yang

membutuhkan perbaikan skala besar. Sementara itu, uji coba kalkulasi perkiraan biaya proyek ini adalah ¥380 milyar untuk seksi 8 km dan ¥250 milyar untuk seksi 55 km sehingga total biaya adalah ¥630 milyar.

Dengan dasar prinsip keselamatan dan kenyamanan berkendara dan layanan mutu tinggi bagi penggunaannya, Metropolitan Expressway Co., Ltd. berkomitmen untuk melaksanakan pekerjaan pemeliharannya di masa depan. (Lihat Foto 9)

Foto 9 Jembatan Tsurumi Tsubasa (latar depan) dan Jembatan Teluk Yokohama (latar belakang) di Rute Pantai Teluk Metropolitan Expressway. Untuk menjamin keselamatan lalu lintas diterapkan teknologi pemeliharaan yang canggih.

Tentang Metropolitan Expressway Co., Ltd.

Informasi lebih jauh tentang pemeliharaan jalan bebas hambatan dan operasi lainnya dari perusahaan ini dapat diperoleh di:

• Informasi perusahaan:

<http://www.shutoko.co.jp/english/>

• Operasi pemeliharaan:

<http://www.shutoko.co.jp/english/technology/mmm-main-tenance/>

■ ■ ■ ■ ■

(Halaman 16~18)

Penggantian Slab RC dengan Dek Baja pada Jembatan Mikawaohashi

oleh Tomoo Mito

Eight-Japan Engineering Consultants Inc.

Jembatan Mikawaohashi merupakan jembatan gelagar baja non-komposit dengan panjang 398 m dan komposisi bentang menerus 2+3+2. Jembatan ini dibangun dimana Rute Kanazawa-Mikawa-Komatsu, jalan raya lokal utama, menyeberangi Sungai Tedori di Prefektur Ishikawa. Jembatan ini perlu peremajaan akibat masalah berikut: meningkatnya volume lalu lintas, kerusakan progresif slab RC akibat garam di udara, adanya kebutuhan akan jalur pejalan kaki di sisi hulu jembatan (pelebaran jembatan) dan penanganan beban hidup tipe-B untuk memenuhi Spesifikasi Disain Jembatan Jalan Raya Jepang.

Untuk memperbaiki situasi di atas yang merugikan jembatan, maka slab RC konvensional yang semula digunakan kemudian digantikan dengan dek baja (Gbr.

1). Pekerjaan penggantian yang sudah dilaksanakan pada Jembatan Mikawaohashi dapat digambarkan di bawah ini.

Gbr. 1 Seksi Jembatan Mikawaohashi (sebelum dan sesudah penggantian slab)

Garis Besar Jembatan dan Kebutuhan akan Penggantian

Jembatan Mikawaohashi Bridge dibangun 200 m dari mulut Sungai Tedori di Mikawa-Minami, Kota Hakusan, Prefektur Ishikawa. Jembatan ini memiliki panjang 398 m (pembagian bentang: 51.0+58.6, 58.6+59.0+58.6, 58.6+51.0 m). Struktur atas terdiri dari dua gelagar pelat baja non komposit menerus 2-bentang dan satu gelagar pelat baja non-komposit menerus 3-bentang; struktur bawah adalah tiang tipe dinding RC dengan pondasi caisson (Gbr. 2).

Jembatan Mikawa yang sebelumnya berada di hulu sungai dari Jembatan Mikawaohashi dibangun pada tahun 1938. Jembatan ini digunakan untuk lalu lintas kendaraan hingga tahun 1972 ketika Jembatan Mikawaohashi dioperasikan, dan setelah itu digunakan untuk lalu lintas sepeda dan pejalan kaki (Foto 1).

Akan tetapi, pemindahan Jembatan Mikawa menjadi penting dengan adanya kondisi seksi sungai yang tidak memadai. Hal ini kemudian menimbulkan pertanyaan tentang bentuk jalur pejalan kaki pengganti yang dapat dibangun di sisi hulu dari Jembatan Mikawaohashi. Di samping itu, perkuatan beban hidup tipe-B diimplementasikan untuk gelagar utama Jembatan Mikawaohashi dari tahun 1997 hingga 1998. Tetapi dengan meningkatnya kerusakan slab beton (korosi tulangan baja, pengelupasan permukaan beton), berbagai penanganan dibutuhkan, termasuk: pelebaran jembatan untuk mengakomodasi jalur pejalan kaki, penanganan beban hidup tipe-B pada slab dan pengurangan berat jembatan yang efektif untuk peremajaan seismik.

Foto 1 Jembatan Mikawaohashi dan Jembatan Mikawa (diambil dari sebelah kiri sisi pantai)

Gbr. 2 Gambaran Umum Jembatan Mikawaohashi

Tugas Kerja dan Pendekatan untuk Meningkatkan Masa Layan Jembatan Mikawaohashi

Tiga isu utama yang dihadapi Jembatan Mikawaohashi:

- **Memburuknya Slab RC Secara Progresif**
Investigasi sebelumnya pada slab RC tahun 1996

menunjukkan bahwa banyak retak yang timbul dan bahwa beton permukaan mulai mengelupas, dan inspeksi periodik jembatan selanjutnya menunjukkan bahwa kondisinya terus menurun. Dalam suatu investigasi mengenai konten ion klorida tahun 2006 ditemukan bahwa kadar ion klorida di tulangan baja akan segera mencapai level kritis yang akan menimbulkan korosi (Foto 2). Berdasarkan hal tersebut, diasumsikan bahwa memburuknya kondisi slab RC akan berlangsung cepat dengan adanya korosi tulangan baja yang rusak akibat air garam.

Foto 2 Expose penulangan baja slab RC (foto diambil tahun 2006)

• Pentingnya Membangun Jalur Pejalan Kaki Lainnya

Sudah dipastikan bahwa Jembatan Mikawa (jembatan pejalan kaki) yang terdapat tepat di hulu Jembatan Mikawaohashi harus dipindahkan tanpa penundaan karena adanya kondisi yang tidak memadai terkait seksi sungai yang disebut di atas. Untuk hal itu, penduduk sekitar Kota Hakusan menuntut agar setelah pemindahan Jembatan Mikawa harus segera dibangun jalur pejalan kaki di sisi hulu Jembatan Mikawaohashi untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan.

• Berat yang Lebih Ringan untuk Perbaikan Kinerja Seismik Jembatan

Melalui pemeriksaan terpisah dipastikan bahwa untuk memperlebar jembatan dengan tetap menggunakan slab RC apa adanya akan menambah berat struktur atas, dengan demikian akan memperburuk peremajaan seismik jembatan. Oleh karenanya, pengurangan berat struktur atas merupakan persyaratan yang tak terelakkan untuk meningkatkan kinerja seismik keseluruhan struktur jembatan.

Untuk mencari pendekatan untuk menyelesaikan tiga tugas ini, perlu dilakukan pemeriksaan ekstensif terkait pelebaran jembatan dan, selanjutnya, penggantian slab RC dan efeknya terhadap kinerja struktural, efisiensi kerja dan tiang jembatan eksisting. Sebagai hasil studi ini, dek baja digunakan dalam metoda penggantian slab RC karena alasan berikut: pelebaran jembatan dan pengurangan beban mati dapat dibuat kompatibel, tanpa efek kebalikan terhadap pekerjaan perkuatan beban hidup tipe-B yang sudah berlangsung, dan berat struktur atas dapat dikurangi sedemikian sehingga tercapai kinerja seismik yang lebih baik dalam rentang yang diperlukan dalam disain.

Penggantian Slab dengan Efek Minimum pada Lalu Lintas

Dalam menggantikan slab RC dengan dek baja, dua aspek berikut menjadi pertimbangan ketika menentukan lebar jembatan optimum.

• Penentuan Lebar Akhir—Berdasarkan Tegangan Gelagar Utama

Kalkulasi uji coba untuk menentukan lebar total jembatan setelah penyelesaian mempertimbangkan empat kasus terkait tegangan gelagar utama: $B=12,6$ m, $13,6$ m, $14,6$ m dan $15,6$ m. Sebagai hasilnya, menjadi jelas bahwa lebar total harus $13,6$ m atau lebih kecil agar tetap berada dalam tegangan ijin gelagar utama yang saat ini sedang diperkuat untuk beban hidup tipe-B.

• Penentuan Lebar Akhir—Berdasarkan Pekerjaan Penggantian

Karena lalu lintas pada waktu pagi dan sore hari besar, dan juga, karena terdapat persilangan di ujung jembatan, dikhawatirkan akan terjadi kemacetan lalu lintas pada saat slab RC sedang diganti dengan dek baja. Oleh karenanya, yang penting dijaga adalah bahwa ada dua lajur (satu lajur untuk tiap arah) harus tetap dibuka selama pekerjaan penggantian. Lebar terkecil untuk menjadi dua lajur terbuka selama pekerjaan dilakukan adalah $0,4+6,0 \times 2+0,3 \times 2+0,2+0,4=13,6$ m.

Dari hasil pemeriksaan di atas, diadopsi lebar $13,6$ m sebagai lebar optimum jembatan. (Lihat Gbr. 3)

Gbr. 3 Penentuan Lebar Akhir—Berdasarkan Pekerjaan Penggantian

(Untuk memastikan tersedia dua lajur: Dibutuhkan total lebar $13,6$ m atau lebih)

Konsep Disain Penggantian Slab

• Verifikasi Tegangan Gelagar Utama

Karena Jembatan Mikawaohashi adalah struktur gelagar non-komposit, dalam penggantian slab RC dengan dek baja implementasi verifikasi tegangan dilakukan dengan mempertimbangkan efek komposit yang dihasilkan sebagai akibat dari gabungan dek baja dan gelagar utama dan berdasarkan konsep berikut:

- 1) Beban mati sebelum instalasi dek baja akan ditanggung hanya oleh seksi gelagar utama eksisting
- 2) Beban mati setelah instalasi dek baja dan beban hidup akan ditanggung oleh seksi komposit termasuk dek baja. (Gbr. 4)

- 3) Verifikasi tegangan akan dilakukan pada tiap step dalam pekerjaan penggantian dan dengan memperhitungkan kedua tegangan yang tersebut di atas.
- 4) Karena berkurangnya ketebalan akibat korosi pada seksi gelagar utama, kalkulasi per seksi akan dilakukan dengan mengurangi ketebalan web dan flens bawah berdasarkan hasil survey. Sementara itu, kalkulasi akan mempertimbangkan seksi dimana gelagar diperkuat menggunakan pelat pengaku.

Gbr. 4 Seksi Gelagar Komposit

• Kalkulasi Tegangan di Tiap Step Proses Pekerjaan

Karena verifikasi tegangan dilakukan dengan mempertimbangkan efek komposit dek baja dan gelagar utama eksisting seperti disebut di atas, dan karena pekerjaan penggantian dilakukan dengan step progresif yang memperhitungkan manajemen lalu lintas, sistim struktural akan berbeda pada tiap step.

Untuk menghadapi situasi demikian, step dalam proses penggantian akan dilaksanakan sebagaimana dalam Gbr. 5. Untuk mencegah kolaps jembatan, kondisi tegangan dicek pada tiap step untuk memastikan bahwa besaran nilai-nilai yang diijinkan dan beban disain berada dalam tingkat tertentu terkait keselamatan dalam pekerjaan penggantian, tegangan gelagar utama setelah penyelesaian pekerjaan, dan reaksi tumpuan serta beban rencana.

Step dalam pekerjaan ini ditunjukkan dalam Gbr. 6

Gbr. 5 Tahapan Pekerjaan Penggantian

Gbr. 6 Perkuatan Sisi Bagian Rendah RC

Perkuatan Slab RC Eksisting selama Penggantian

Di tengah pekerjaan penggantian slab RC dengan dek baja sambil tetap menyediakan dua lajur terbuka untuk lalu lintas, slab tengah di pusat slab RC eksisting menjorok dari struktur tumpuan. Karena beban roda bekerja pada sisi hilir dari bagian slab yang menjorok (*overhang*) dan karena slab memiliki ketebalan dinding yang tipis (16 cm) dan disain untuk penggunaan pejalan kaki, slab diperkuat dengan menggunakan *stringer* dan *bracket* temporer. (Lihat Gbr. 6 dan Foto 3)

Berhasilnya Penggantian Slab RC dengan Dek Baja

Pekerjaan penggantian slab RC dengan dek baja pada Jembatan Mikawaohashi dimulai tahun 2010 dan

diselesaikan pada tahun 2014.

Masa layan jembatan sudah diperpanjang dengan membuang slab RC eksisting, yang sudah mengalami kerusakan progresif dan penurunan kekuatan struktural, dan dengan menggantikannya dengan sebuah dek baja. Dan, kinerja seismik juga menjadi meningkat dengan pengurangan berat struktur secara keseluruhan. Di atas segalanya, dengan adanya penambahan jalur pejalan kaki pada Jembatan Mikawaohashi di sisi hulu sungai, Jembatan Mikawa dipindahkan tanpa mengganggu lalu lintas yang ada (Foto 4).

Lebih jauh lagi, karena dua lajur lalu lintas tetap dipertahankan dibuka tanpa instalasi jembatan temporer selama pekerjaan penggantian, tidak saja efek terhadap lalu lintas menjadi minimal, tetapi juga terjadi pengurangan masa konstruksi dan biaya keseluruhan.

Kami sangat senang apabila laporan ini dapat menjadi referensi yang berguna dalam merencanakan penggantian slab jembatan di masa depan, yang mana diperkirakan akan meningkat.

Foto 3 *Bracket* yang digunakan untuk perkuatan slab RC

Foto 4 Jembatan Mikawaohashi setelah penggantian dengan dek baja

■ ■ ■ ■ ■

(Sampul luar bagian dalam)

Aktifitas FBBJ

Konferensi Konstruksi Baja Ke dua di Kamboja yang dalam Perencanaan

Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ) merencanakan untuk mengadakan konferensi ke dua berjudul “Teknologi Terkini untuk Konstruksi Struktur Baja 2014 (nama masih sementara)” di Phnom Penh, Kamboja pada bulan Desember 2014. Konferensi ini direncanakan akan dilangsungkan dengan sponsor bersama FBBJ, Kementerian Pekerjaan Umum dan Transport (KPUT) Kamboja dan Institut Teknologi Kamboja (ITK). Pada awal bulan Juni tahun ini, telah berlangsung pertemuan untuk mempromosikan konferensi antara FBBJ dan kedua rekan kerja dari Kamboja.

Konferensi ini akan terdiri dari beberapa sesi. Dalam sesi dengan target para insinyur, akan ada lima kuliah dari ahli ke dua negara yang akan mendiskusikan teknologi struktur baja dalam bidang kepelabuhanan, jembatan dan bangunan. Di dalam sesi

lain dimana pembicara utama dari kedua Negara akan berpartisipasi, akan ada diskusi yang ekstensif dengan fokus pada promosi konstruksi struktur baja di Kamboja.

Pada bulan Desember 2012, FBBJ, bersama dengan KPUT dan ITK, mengadakan konferensi pertama dengan judul “Konferensi Teknologi Mutakhir untuk Konstruksi Baja 2012” di Phnom Penh dengan hasil memuaskan, yang diikuti oleh sekitar 200 insinyur dari pemerintah. Akademisi dan swasta.

Permintaan untuk Kerjasama Positif untuk Survey Pembaca *Steel Construction Today & Tomorrow*

Steel Construction Today & Tomorrow, periodikal bersama Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ) dengan Masyarakat Konstruksi Baja Jepang, diterbitkan tiga kali dalam setahun. Ini merupakan satu-satunya periodikal yang mengirimkan informasi teknologi tentang konstruksi baja di Jepang kepada mereka yang terlibat dalam konstruksi khususnya di negara-negara Asia.

Kami sedang menjalankan survei pembaca periodikal dengan publikasi tiga terbitan yang diencanakan untuk tahun fiskal 2014. Tujuan utama adalah untuk dapat mengerti secara tepat kebutuhan pembaca agar kegunaan publikasi ini dapat ditingkatkan. Formulir tersedia dalam dua sistim.

• Akses ke *website* FBBJ (JISF)

→Enter jisf dan cari di mesin pencari

→Klik *banner* di *website* JISF bahasa Inggris

→Klik formulir survei

• Bentuk cetakan

Majalah ini dikirim secara regular ke pelanggan dengan disertakan formulir survei. Mohon mengisi formulir dan fax ke +81-3-3667-0245

Jawaban positif anda via formulir survei pembaca akan sangat membantu kami dalam meningkatkan penggunaan *Steel Construction Today & Tomorrow*, yang pastinya akan bermanfaat bagi negara anda dan industri baja negara Jepang. Untuk mencapai tujuan ini, kami sangat mengharapkan kerja sama anda dengan mengirim balik formulir survei pembaca.