

# J-BEC

レポート 2012 Vol. 7



財団法人 海洋架橋・橋梁調査会  
Japan Bridge Engineering Center

## 目次

---

### 巻頭言

(財)海洋架橋・橋梁調査会 理事長、東京大学／埼玉大学 名誉教授  
伊藤 學

### 離島架橋の事業報告

伊王島大橋と長崎県橋梁技術検討委員会 1

### 助成研究

- ・ 鋼橋に生じた疲労損傷に対する溶接補修技術の開発 6
- ・ 腐食センサと時空間統計学的手法を用いた鋼構造物の  
致命的腐食損傷予知技術の開発 14

### スキルアップ研修

伸縮装置の維持管理 21

### 海外調査報告

世界道路会議PIARCメキシコ大会での橋梁セッション 24  
第2回、第3回日米「風による橋及び柔構造物のモニタリング」  
ワークショップ 28

### トピック

- ・ 東日本大震災関係功労者表彰の受賞について 32
- ・ 橋梁研究開発助成等について 34

### 古(いにしえ)の橋探訪

北の地の歴史を刻むアーチ橋 北海道・旭橋(あさひばし) 35

### お知らせ

平成25年度 橋梁点検技術研修会 開催のご案内 37

## 理事長に就任して

(財)海洋架橋・橋梁調査会 理事長、東京大学／埼玉大学 名誉教授  
伊藤 學



図らずもこのたび、非常勤ではありますが、当調査会の理事長に選任されました。これまで歴代、(旧)本州四国連絡橋公団の元総裁あるいは元理事がこの職に就かれてきた経緯からすれば異例のこととお感じになるかもしれませんが、私は当調査会の理事を1978年の創立以来務めてきたこと、近年当調査会の活動がそのスタンスの変更を求められてきたこと、更に、平成20年末に新公益法人制度が施行され、当調査会も来年度から新制度への移行を予定していること、などの事情によるものであります。

すなわち、新年度からの一般財団法人への移行のための手続きが現在着々と進められており、併せて再度名称変更も行って、明年4月より「一般財団法人 橋梁調査会」として新発足する予定であります。“海洋架橋”の名が取れることは、本州四国連絡橋事業の支援を主たる目的とした当調査会発足の経緯を知る方々には一抹の寂しさを与えるかもしれませんが、姿を消した(財)道路保全技術センターとの紆余曲折の関係から“橋”が重なることになった現在の名称はいささか不自然の感もありましたし、橋梁なる言葉に海洋架橋も当然含まれることを思えば、納得していただけるのではないかと存じます。新しい名称により適合するこれまでの英文名(略称 J\_BEC)はもちろん変わりません。

現在当調査会は橋梁検査(診断)業務を第一の事業に挙げています。当面直轄道路橋約2万6千を5年毎の点検のため、毎年5千を超える橋梁が対象となります。全国8支部に配された技術者達がこれを担当していますが、これからは中堅・若手の後継者養成が急務と思われれます。橋梁の損傷事例、最新のデータの収集分析とともに、定期的を実施している橋梁点検技術研修会などによる人材育成にも努めています。関連して、既に実施されているコンクリート構造および鋼構造の診断士の資格制度とどのように付き合っていくかも今後検討されるべきでしょう。

当調査会の第二の業務として、橋梁検査(診断)の結果得られた知見および、橋梁の計画から管理に至る一貫した業務の実績を生かした維持・補修・補強に関する検討・立案も外部の有識者、専門家の協働のもとに進めていま

す。更に災害を受けた橋梁の調査にも注力、先般の東日本大震災の直後にはJ\_BEC橋梁調査団を現地に派遣し、充実した報告書を内外に発信して国土交通大臣表彰を受けました。

第三の業務として、本四架橋等内外の長大橋における経験をもとに、湾岸部長大橋、離島架橋などの海上橋梁、あるいは特殊橋梁の設計・施工法等に関する業務も従前に引き続き行っています。更に、経験豊富な技術者による橋梁の設計・施工に関するアドバイザー業務、総合評価方式等の新たな発注方式における発注者支援業務、そして第五の柱として出版、海外調査、橋梁研究開発助成等を通じての技術基準検討、技術開発支援を全体業務の一環として実施しています。

以上、この機会に当調査会の活動の概要をご紹介しましたが、最後に、看板からは消える海洋架橋について私なりのコメントを付け加えさせていただきます。以前私が委員長や委員を務めた伊勢湾口、豊予海峡、紀淡海峡を含む将来の海峡横断プロジェクトの調査は数年前から無駄な事業とされて姿を消してしまいました。一方、お隣の韓国では、数年前発足させた10大科学・技術研究プロジェクトの一つに超長大吊橋の技術開発があると聞きます。友人のソウル国立大学の教授は“わが国には3千メートルものスパンの橋を架ける場所はないのですが”と苦笑いしていましたが、これはおそらく世界の舞台への進出をにらんでのことと思います。躓くことはあっても突っ走る韓国の元気を垣間見た感じです。遺憾ながらわが国はいろいろな面でその逆の様相を見ることが多くなってしまいました。本四架橋も既に10年以上前の経験に遠のいてしまいました。我々日本人技術者が海外の長大橋建設に参画しようという気概と努力は是非持ち続けたいものです。

理事長としての就任ご挨拶から離れた私的所感にまで筆が這ってしまいましたが、当調査会、J\_BECの新たな発展に向けて、今後とも関係各位の一層のご支援をお願い申し上げます。

# 伊王島大橋と 長崎県橋梁技術検討委員会

長崎県土木部 道路建設課 国道・橋梁班

## 1. はじめに

長崎県では、昭和44年度の平戸大橋（吊橋）の建設に技術審議委員会を設けて以来、これまで生月大橋（トラス橋）、女神大橋（鋼斜張橋）、鷹島肥前大橋（複合斜張橋）等の長大橋について、断続的に技術検討委員会を開催し、技術検討を行ってきました。そしてこの度、技術検討委員会の最後の検討対象となる伊王島大橋についての審議を昨年8月に無事終了し、長大橋建設のための技術検討において主要な役割を果たしてきた技術検討委員会も、一旦その役割を終える運びとなりました（図-1参照）。これまで技術検討委員会では、事業の進展とともに、橋梁形式、設計、実験、施工、架設方法等の多岐にわたる技術的課題について検討を行い指導や助言を行って頂きました。

ここでは、最後の技術検討委員会の対象となった伊王島大橋について紹介します。

## 2. 伊王島大橋の概要

一般県道伊王島香焼線は、長崎市伊王島2丁目から同市香焼町安保を結ぶ2.7kmの路線で、架橋によって本土と離島である伊王島町を連絡する幹線道路の役割を担っています。本離島架橋を整備することによって、救急医療時の本土への患者搬送時の不便解消、通勤・通学・買物などの地域の生活利便性向上を図ります。また、さまざまな観光資源を有する伊王島町の活性化に資する橋梁として、また広域的には「国際観光都市長崎」の観光ネットワーク形成の役割も担います。

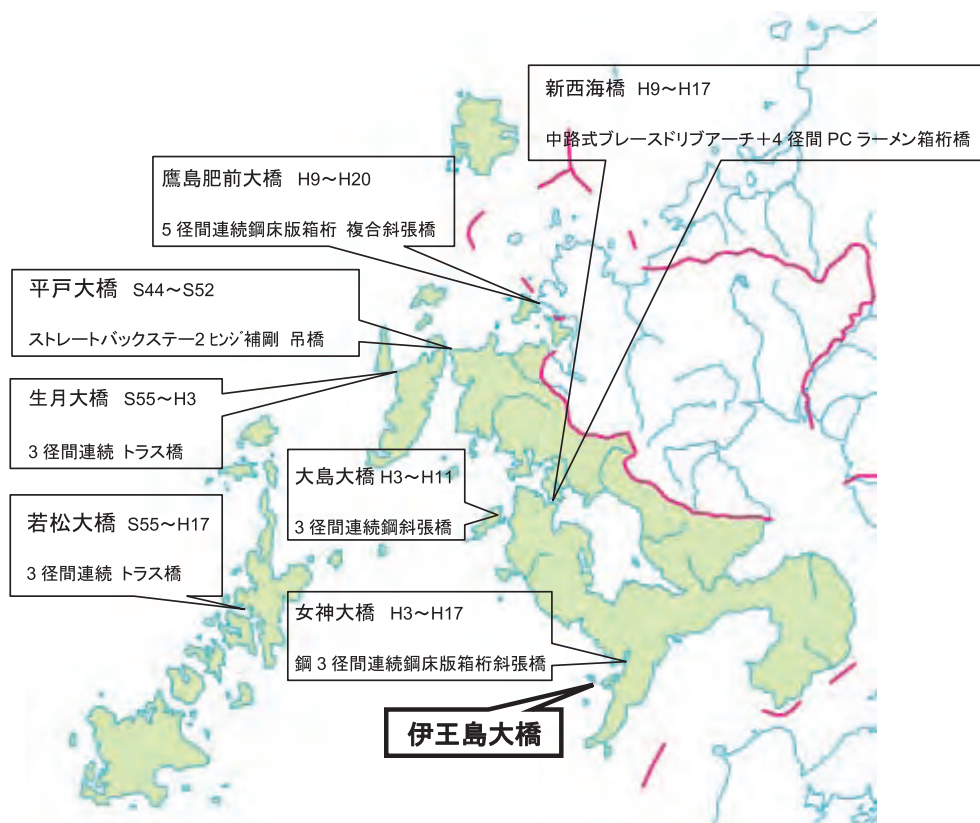


図-1 委員会で審議された長崎県の主な長大橋（建設期間と橋種）

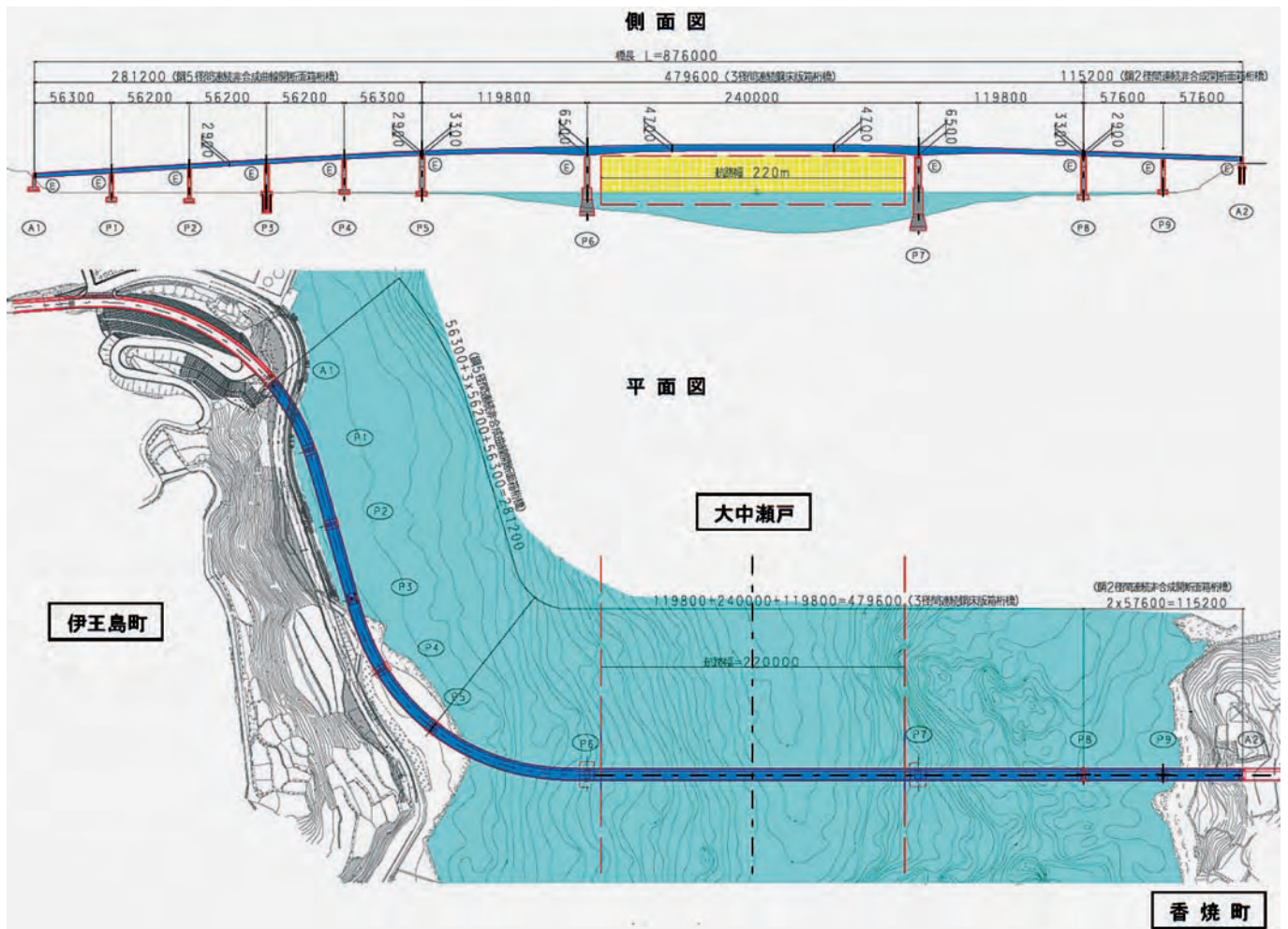


図-2 橋梁一般図



写真-1 架設状況

本橋（図-2参照）は主橋梁の3径間連続鋼床版箱桁橋とアプローチ部の5径間および2径間連続PC床版開断面箱桁橋で構成された道路橋であり、将来の交通状況を考慮した低減活荷重を適用しています。また、主橋梁の中央径間は240mあり、鋼床版箱桁では国内屈指の長支間を誇るものです。

工事は平成17年12月の下部工事着手以来、主桁製作、現地架設と順調に進み、平成23年3月に開通しました。なお、桁架設では写真-1のように2200t FC（フローティング・クレーン）船の大ブロック架設を行いました。

表-1 橋梁技術検討委員会名簿

| 役職  | 委員名   | 所属                               |
|-----|-------|----------------------------------|
| 委員長 | 大橋 昭光 | 元トピー工業（株）特別技術顧問                  |
| 委員  | 駒田 敬一 | 元 建設技官・総理府技官                     |
| 委員  | 佐伯 彰一 | (財)土木研究センター 顧問                   |
| 委員  | 佐藤 弘史 | (株)IHI インフラシステム 技術顧問             |
| 委員  | 角 昌隆  | 西日本高速道路エンジニアリング九州(株) 代表取締役社長     |
| 委員  | 竹内 義人 | (財)海洋架橋・橋梁調査会 専務理事               |
| 委員  | 中村 聖三 | 長崎大学 工学部 社会環境デザイン工学科教授           |
| 委員  | 吉岡 淳  | 独立行政法人 土木研究所 企画部長                |
| 委員  | 森 邦久  | 本州四国連絡高速道路(株) 長大橋技術センター総括・防食グループ |



写真-2 委員会の審議状況 長崎県長崎市伊王島にて

### 3. 橋梁技術検討委員会での審議状況

伊王島大橋の橋梁技術検討委員会（委員長 大橋昭光氏）は、平成16年5月に、第1回の委員会を東京で開催し、それから平成23年8月の委員会まで計7回の審議を行いました。その間、橋梁形式の他、風洞実験、架設方法等の多岐にわたる課題について検討されてきました。委員会名簿を表-1に示すとともに、委員会の審議の様子を写真-2に示します。

### 4. 伊王島大橋の技術の特徴

技術的特徴としては主なものとして 海中橋脚基礎に、採用例の少ないRC設置ケーソンを採用したこと、支間長240mに対し幅員9mの細長い形状でかつ桁幅/桁高比が小さく耐風安定性の確保が課題となったことから、3次元弾性体模型による風洞試験を行い、耐風対策として国内初のダブルプレート構

造を採用したことがあげられます。

ここでは技術検討委員会での審議内容の事例として、多くの時間がさかれた耐風対策について紹介します。

本橋は桁の断面形状として桁幅/桁高比が小さく耐風安定性が懸念されました。具体には低風速の渦励振とギャロッピング現象を対象に、完成系および架設系における耐風安定性の検討を風洞試験により実施しました。風洞試験では、最初に地形の影響を確認するため地形模型により設計風速を設定しました。具体には架橋地点を中心に直径10kmの範囲を再現した1/2,000地形模型を製作して風洞試験を実施し（写真-3）、半島と島に挟まれた地形の影響による増速効果を確認して設計風速を54m/sと決めました。その後、主橋梁の縮尺1/50の三次元弾性体模型（写真-4）を用いて、完成系ならびに架設系の



写真-3 風洞試験（地形模型）



写真-4 風洞試験（橋梁模型）

表-2 完成系 可視化試験結果（中央径間）

| 水平プレートなし | 上部プレートのみ | 上・下部プレートあり |
|----------|----------|------------|
|          |          |            |

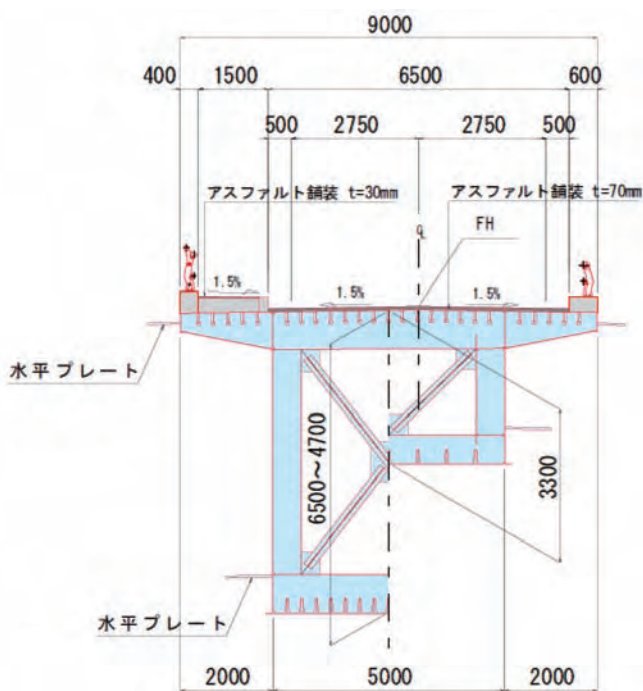


図-3 主橋梁断面図

耐風対策を検討しました。

完成系ではギャロッピングに対して水平プレートによる対策を検討しました（表-2参照）。様々な設置ケースについて試験を行った結果、主桁下部およびデッキ付近に水平プレートを設置したダブルプレート構造を国内で初めて採用しました（図-3参照）。渦励振対策には、フラップの追加設置が有効であることを確認しました。

架設系では橋面工が未施工で空力特性が変化するため、完成系とは異なる対策が必要でした。中央径間の橋面にセンターバリアを設置し（写真-5）、地覆・歩道形状を鋼製の橋面カバーで構築すること（写真-6）ことでギャロッピングを制振しました。また、完成系における作用曲げモーメントが小さく板厚が薄い側径間中央断面で渦励振による発生振幅が主桁の許容振幅を超えることが確認されたため、主桁板厚を増厚して対策しました。

以上の対策により、架設時に問題となる振動は生じず、無事架設を完了しました。



写真一5 センターバリア設置状況



写真一6 橋面カバー設置状況

## 5. おわりに

伊王島大橋は、平成23年3月27日に無事開通することができました。

開通後約1年が経過した平成24年5月に県が発表した整備効果によりますと以下のようになっています。

### (1) 交通の状況

○平日・休日ともに計画交通量を大きく上回る利用交通となっている。

※計画交通量（534台/12h）

平日（H24.3.7（水））……………1,235台/12h  
 （計画交通量の約2倍）

休日（H24.3.11（日））……………1,784台/12h  
 （計画交通量の約3倍）

（※交通量については、7時～19時の12時間交通量）

### (2) 地域産業（観光等）への効果

- ① 温泉宿泊施設「やすらぎ伊王島」利用者・・・160,210人（対前年約3割増）（H23.4月～12月）
- ② 平成23年は毎週末ツアーを企画し、九州内で最も多く来訪した観光地となった。（福岡市旅行代理店ヒアリングより）

- ③ 開通後に4店舗が新規に開業し、その他にも地元特産品を開発し、販売を開始した。

### (3) 生活への効果

- ① 救急活動において、開通前は長崎市委託の救急艇による搬送であったが、救急車による搬送が可能となり、救急隊員の同乗により救急体制が高度化した。
- ② 深掘地区の高校生がボランティアスタッフとして伊王島地区のイベントに参加するなど地域間の交流も進んでいる。

また、地域住民に対して、整備効果把握を目的として行ったアンケートでは、伊王島大橋開通に対する地域の満足度は「満足」が「不満」の評価を約2倍上回っており、特に緊急時の搬送など、“もしもの時”の地域の安全性が向上したと実感されているとのこと。

最後になりましたが、橋梁技術検討委員会の委員はじめ委員会の運営を行った（財）海洋架橋・橋梁調査会を含めた関係者の皆様に感謝するとともに、今後とも、伊王島大橋含め長崎県の長大橋についてのご指導等いただきますようよろしくお願いいたします。



写真一7 完成した伊王島大橋の全景



# 鋼橋に生じた疲労損傷に対する 溶接補修技術の開発

名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 准教授 判治 剛

## 1. はじめに

近年、大型車の重量や交通量の増加に伴い、多くの橋梁で疲労き裂の発生が報告されており、今後もその数は増加するものと予想される。限られた財源の中で鋼橋の健全性を維持し、長寿命化を図るためには、疲労損傷の規模や発生原因などに応じて合理的かつ経済的に補修補強対策を施すことが望まれる。

疲労き裂に対する代表的な補修補強法は当て板補修やボルト締めストップホール法である<sup>1)</sup>。どちらも現在広く用いられている手法であるが、狭隘な箇所が生じたき裂や比較的軽微なき裂に対しては、作業空間の制約から、適用が難しい場合が多い。比較的短い段階で発見されるき裂の割合は多く、それらに対する効果的かつ簡易な手法の確立が急務の課題であるといえる。

比較的軽微なき裂に対する補修法の一つとして溶接補修が考えられる。溶接補修はき裂を除去したのち、溶接によって埋め戻し、元の状態まで回復させるものである。あまり大掛かりな設備を必要としないこと、比較的短期間で施工を行えること、他の手法に比べて廉価であることなどの利点が挙げられる一方で、溶接品質の管理、溶接変形の懸念、溶接割れの問題などから積極的に採用されていないのが現状である。

溶接補修は、土木以外の分野では適用実績が多い。例えば、建機の摩耗の溶接による修復や、压力容器に発生したき裂の修復などがある。高圧ガス容器やプラント圧力設備に対しては溶接補修基準<sup>2),3)</sup>が定められており、適用可能なき裂長さ、溶接補修前の試験方法、溶接補修後の検査法など細かく取り決められている。また、母材の材料ごとの溶接法や溶接材料についても詳細に記されている。

土木構造物の溶接補修法については約20年前に出版された指針<sup>4)</sup>が唯一のものであり、溶接法や鋼材の品質が格段に向上して溶接の信頼性が高まってい

るのにもかかわらず、基準類は過去の知見の上に成り立っているのが実状である。今後、疲労き裂は増大するものと予想されることから、比較的手軽に行える補修補強法の一つとして溶接補修を再考すべきであり、現在の溶接や材料の品質に立脚した検討を行う必要があると考えている。

一般に、疲労き裂は疲労強度の弱い溶接継手部から発生することが多い。そのため、たとえ良好な溶接補修により元の状態まで疲労強度を回復できたとしても、その後、再び同じ箇所からき裂が発生する可能性が高い。つまり、溶接補修を行う場合、疲労強度の向上も合わせて実施することが必要となる。疲労強度向上法には大きく分けて2種類あり<sup>5)</sup>、き裂発生位置の応力集中を低減させる手法とき裂発生位置に圧縮の残留応力を導入する手法がある。

圧縮残留応力を導入する手法としてはピーニングが一般的であるが、溶接材料自体を改良することで溶接止端部に生じる引張残留応力を低減させる手法も開発されている。この溶接材料は変態開始温度が通常のものより低く、常温付近で溶接金属が膨張するため、最終的に止端部に圧縮残留応力を付与できるというものであり、低変態温度溶接材料 (Low-Temperature Transformation welding material、以下LTTと呼ぶ)<sup>6)</sup>と呼ばれている。溶接後に疲労強度を向上させるための特別な処理が不要であるため、LTTを溶接補修に適用できれば補修工程の短縮が可能となる。

溶接補修では品質の管理が問題であり、生じうる欠陥の一つに低温割れが挙げられる。LTTを溶接材料とした場合の低温割れと継手拘束度の関係が明らかにされており、一般に拘束度が大きくなるほど割れ率は上昇するが、LTTでは拘束度が高くなるほど割れ率が低下する可能性が示されている<sup>7)</sup>。これはLTTが実橋へ適用しやすい材料である可能性を示唆している。

本研究では、疲労き裂に対する補修補強法として、

LTTを用いた溶接補修に関する基礎的な検討を行う。面外ガセット溶接継手を用いて疲労試験を行い、溶接補修前後の疲労特性を明らかにし、本手法の有効性を検討する。

## 2. 疲労試験方法

### 2.1 試験体および载荷方法

本研究で用いた試験体の形状および寸法を図-1に示す。試験体は主板長700mm、主板幅300mm、主板厚12mmの面外ガセット溶接継手である。供試鋼材の機械的性質および化学成分を表-1、表-2に示す。

本研究では、実橋に生じるき裂の主な原因である面外曲げ荷重下で疲労試験を行うため、写真-1に示す振動式試験機<sup>8)</sup>を用いた。本試験システムでは、図-2に示すように試験部の端部を高力ボルトにより固定し、自由端側に偏心錘が内蔵されたモーターを取り付け、モーター内の錘を回転させることにより試験体の着目部に繰り返し面外曲げ応力を与える

ことができる。また、試験体自由端側にはコイルバネが付いており、それにより予荷重を与えることが可能である。今回は完全片振引張（応力比 $R=0$ ）の条件で試験を行うため、コイルバネで予荷重を与えてから試験を開始した。

試験中は一定サイクルごとに磁粉探傷試験によってき裂長を計測した。またき裂長が10mm程度伸びるごとに試験体にビーチマークを導入した。ビーチマーク試験は公称応力範囲の約50%の応力範囲で20万回载荷することにより行った。本研究ではき裂長が90mmに達したときの繰り返し数を破断寿命と定義した。

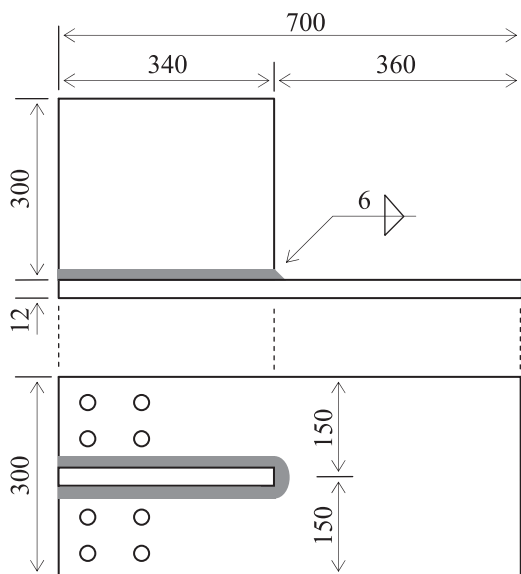


図-1 試験体 (単位: mm)



写真-1 疲労試験状況

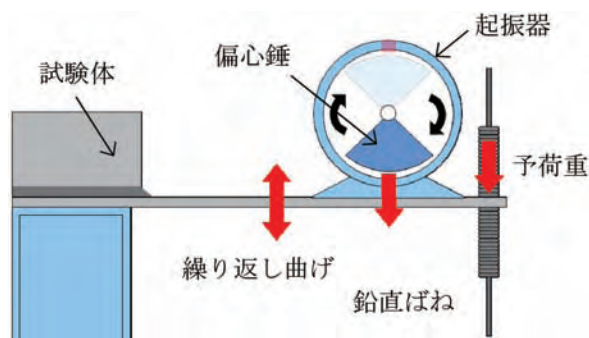


図-2 疲労試験システム

表-1 試験体の機械的性質

| 降伏強度 (MPa) | 引張強度 (MPa) | 伸び (%) |
|------------|------------|--------|
| 394        | 530        | 28     |

表-2 試験体の化学成分

| 化学成分 (%) |        |        |       |       |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| C×100    | Si×100 | Mn×100 | P×100 | S×100 |
| 16       | 32     | 140    | 11    | 2     |

## 2.2 溶接補修方法

### 2.2.1 溶接材料

溶接補修にはLTT溶材（SM-10N）と普通溶材（SM-10N）を用いた。溶接材料の機械的性質を表-3に、化学成分を表-4に示す。LTTはNi（ニッケル）を多量に含んでいるためマルテンサイト変態温度が250～300℃となり、溶接後に圧縮残留応力を付与できるといわれている。その一方で、Ni（ニッケル）により溶接性が悪くなり、溶接割れが生じやすいともいわれている。

### 2.2.2 溶接補修手順

図-2の荷重システムを用いて試験体にき裂を発生させ、き裂長が20～30mm程度に達した後、ハンドグラインダーでき裂を除去した。磁粉探傷試験によりき裂先端位置を確認しながら、き裂を完全に除去

するまで掘り込んだ。今回の試験体では掘り込み深さが板厚の半分まで達しているものもあり、溶接を1層だけで補修するのは難しいと判断し、2層で行うこととした。事前試験により、LTTを用いた場合には2層目溶接中に1層目で割れが生じることが確認されたため、既往の研究<sup>9),10)</sup>を参考にして、LTTを付加溶接として用いることで圧縮残留応力を導入することを試みた。つまり、1層目は普通材で溶接を行い、2層目をLTTで行うこととした。なお比較のため、2層とも普通材で溶接した試験体も製作した。

溶接補修の手順を図-3に示す。1層目の溶接で掘り込み部分を充填し、ディスクグラインダーを用いてビード整形した後、2層目の溶接を行った。また、き裂を完全に除去していない状態で溶接補修を行ってしまった場合を想定して、初期き裂を除去せずに故意的に残留させた試験体も用意した。この試験体

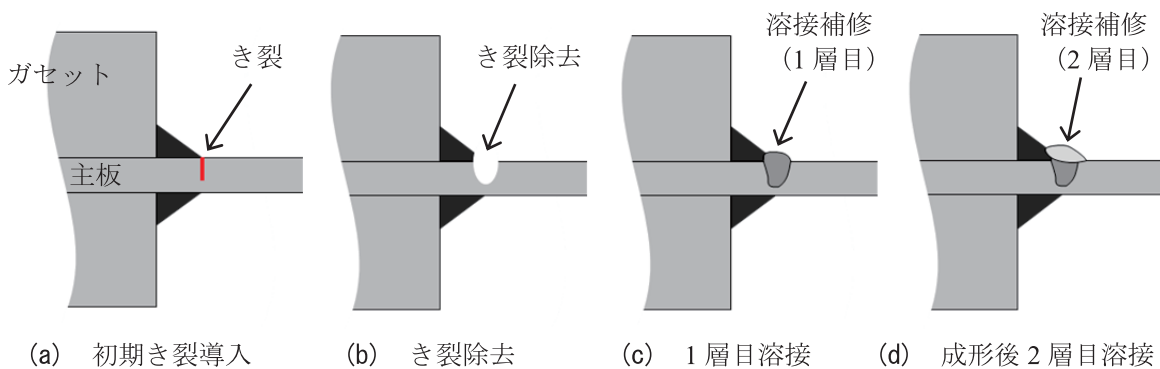


図-3 溶接補修手順

表-3 溶接材料の機械的性質

| 溶接材料 | 降伏強度 (MPa) | 引張強度 (MPa) | 伸び (%) |
|------|------------|------------|--------|
| 普通材  | 537        | 601        | 25     |
| LTT  | 782        | 825        | 13     |

表-4 溶接材料の化学成分

| 溶接材料 | 化学成分 (%) |        |        |       |       |        |        |
|------|----------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
|      | C×100    | Si×100 | Mn×100 | P×100 | S×100 | Cu×100 | Ni×100 |
| 普通材  | 6        | 49     | 138    | 1.8   | 1.2   | 30     | 1000   |
| LTT  | 3        | 37     | 44     | 1     | 7     | 25     |        |

表-5 溶接補修条件

| 電流 (A)  | 電圧 (V) | 速度 (mm/min) | 入熱量 (J/mm) |
|---------|--------|-------------|------------|
| 183～225 | 19～25  | 150～430     | 630～1360   |

では、き裂部分を覆い隠すようにLTTもしくは普通材により1層だけ溶接を行った。

溶接補修条件を表-5に示す。溶接姿勢は下向きを基本とし、試験体を拘束せずに行った。ただし、現場では様々な状況下で溶接補修を行う可能性があることから、LTT試験体については1体だけ上向きで溶接補修を行った。

### 2.2.3 溶接補修部の形状

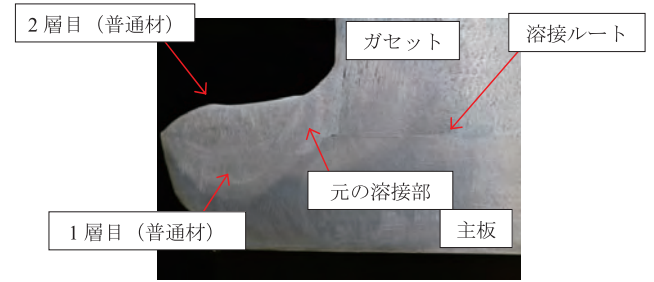
溶接材料および溶接姿勢の違いが溶接形状に与える影響を検討するため止端形状計測を行った。溶接補修部を歯科用印象材により型取りして、それをスライスしたものをデジタルカメラで撮影し、得られた画像から止端半径 $\rho$ 、止端角 $\theta$ を測定した。表-6に止端形状計測結果の平均値を示す。溶接材料の違いによる差異はほとんどないが、溶接姿勢により若干異っており、上向き溶接の止端半径が大きいことがわかる。

### 2.3 溶接補修部の割れの確認

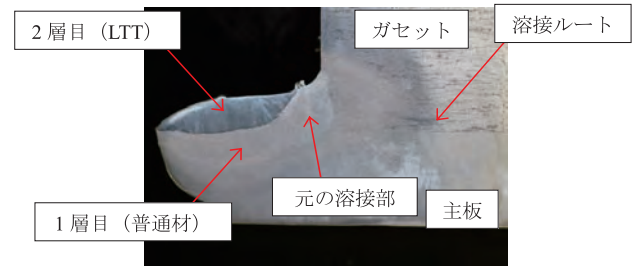
溶接内部での割れの発生を確認するために溶接部の断面を切り出し、マクロ観察を行った。写真-2に断面の写真を示す。写真からどの試験体においても割れが生じていないことを確認できる。また、写真-2(d)はき裂を残留させたものであるが、写真よりき裂深さは3~5mm程度であったことがわかる。

### 2.4 疲労試験条件

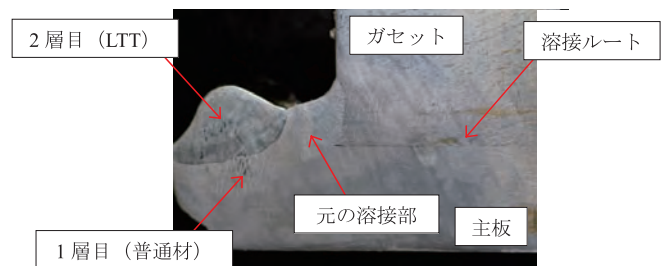
本試験では、溶接材料や溶接姿勢の違い、残留き裂の有無をパラメータとして疲労試験を行った。表-7に疲労試験条件をまとめる。試験体名称において、AWは溶接補修を行わなかったもの、RNは普通材で溶接補修を行なったもの、RLはLTTで溶接補修を行ったものを示している。数字は疲労試験時の応力範囲であり、最後の英字のCはき裂を残して溶接補修をしたもの（残留き裂があるもの）、Oは上向きで溶接補修をしたものを表している。



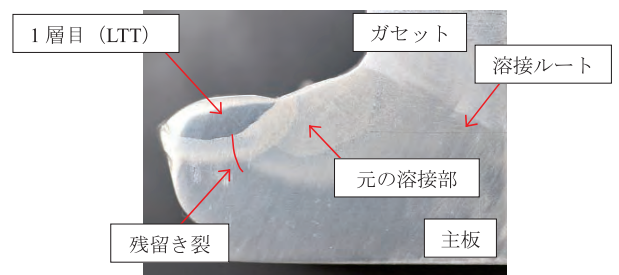
(a) 普通溶材



(b) LTT 溶材



(c) LTT 溶材 (上向き)



(d) LTT 溶材 (残留き裂あり)

写真-2 溶接部の断面観察

表-6 溶接止端形状計測結果

| 溶接材料・姿勢   | 止端半径 $\rho$ (mm) | 止端角 $\theta$ (degree) |
|-----------|------------------|-----------------------|
| 普通材 (下向き) | 0.92             | 139.4                 |
| LTT (下向き) | 0.66             | 130.0                 |
| LTT (上向き) | 4.42             | 118.8                 |

表-7 疲労試験条件

| 試験体名称    | 応力変動範囲 (MPa) | 補修溶接材料 | 溶接姿勢 | 初期き裂 |
|----------|--------------|--------|------|------|
| AW-80    | 0~80         | 補修せず   |      |      |
| AW-100   | 0~100        | 補修せず   |      |      |
| RN-80    | 0~80         | 普通材    | 下向き  | 除去   |
| RN-100   | 0~100        | 普通材    | 下向き  | 除去   |
| RN-100-C | 0~100        | 普通材    | 下向き  | 残す   |
| RL-80    | 0~80         | LTT    | 下向き  | 除去   |
| RL-100   | 0~100        | LTT    | 下向き  | 除去   |
| RL-100-O | 0~100        | LTT    | 上向き  | 除去   |
| RL-100-C | 0~100        | LTT    | 下向き  | 残す   |

### 3. 溶接残留応力計測

切断法によって溶接補修後の残留応力を測定し、溶接材料による残留応力の違いを確認した。図-4に残留応力測定結果を示す。矢印の向きと長さがそれぞれ主応力の方向と大きさを表している。普通材の試験体では溶接部近傍で大きな引張の残留応力が生じており、溶接部から離れるにつれて、その大きさは減少している。LTTの試験体では、当初は圧縮

の残留応力が付加されると予想していたが、図-4(b)に示すとおり溶接部近傍で高い引張残留応力が生じていた。この原因は不明であるが、今回は補修時に試験体を固定していなかったためLTTの膨張が十分に拘束されていなかった可能性が考えられる。LTTの適用に際しては圧縮残留応力が適切に導入される条件を明らかにする必要があるといえる。

### 4. 疲労試験結果

#### 4.1 き裂進展状況

写真-3にき裂進展状況の例を示す。これは溶接止端部を斜め上から撮影したものである。溶接材料や溶接姿勢によらず、全ての試験体で廻し溶接止端部からき裂が発生し、破断に至った。また、内部に

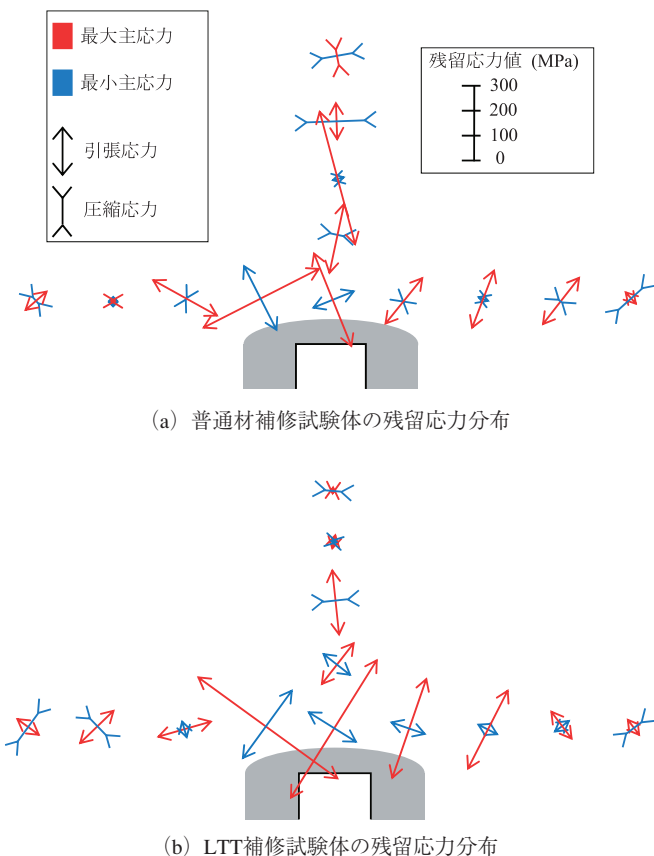
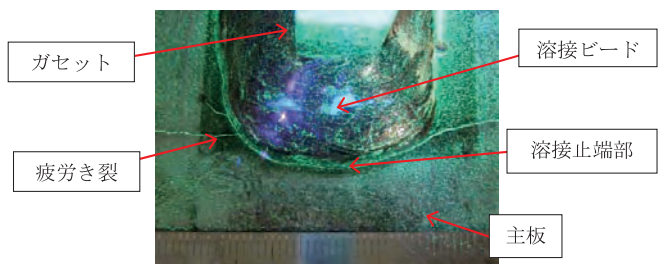
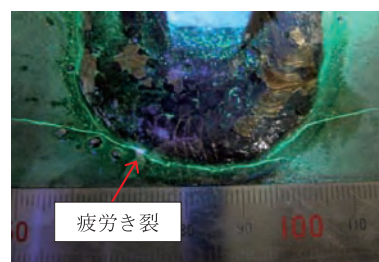


図-4 残留応力測定結果



(a) AW-80 (補修せず)



(b) RL-100 (LTT, 下向き)

写真-3 き裂進展状況の例

き裂を残留させた試験体でも同様に止端部からき裂が発生し、それが進展することで破断した。これは、試験体表面で最大応力が生じる面外曲げ荷重特有の現象である可能性が考えられる。

図-5に試験中に試験体表面にて計測したき裂長と荷重回数の関係を示す。横軸は溶接補修を行い、再び試験を開始してからの荷重回数である。き裂が廻し溶接部を進展中（き裂長40mm程度まで）はガセットにより高い応力集中が生じているため進展速度は速いが、廻し溶接部から母材へと進展するとき（図のき裂長40mmあたり）に一度進展速度が遅くなる。これは廻し溶接部に沿って進展することで、き裂進展方向と応力の方向が垂直でなくなるためであると考えられる。き裂が母材に進展してからは一定の速度でき裂が進展していることがわかる。このような傾向は、試験体によらずほぼ同様であった。

## 4.2 破面観察

疲労試験終了後、試験体の破面に残されたビーチマークから板幅方向と板厚方向のき裂進展挙動を観察した。図-6にビーチマークの例を示す。板厚方向への進展については、き裂が廻し溶接部にあるときはビーチマーク間隔が狭く、主板に進展し始めると広くなり、さらにき裂が大きくなると再び狭くなっている。

図-7にビーチマークから求めたき裂の形状比を示す。横軸は試験体表面でのき裂長さ $2b$ であり、縦軸はき裂の最深部までの深さ $a$ と表面き裂長さ $2b$ の比である。図中には、既往の研究<sup>1)</sup>において提案された溶接したままの面外ガセット継手のき裂形状比（式(1)）を実線で示している。なお式(1)は廻し部から主板に進展した後のき裂を対象としている。

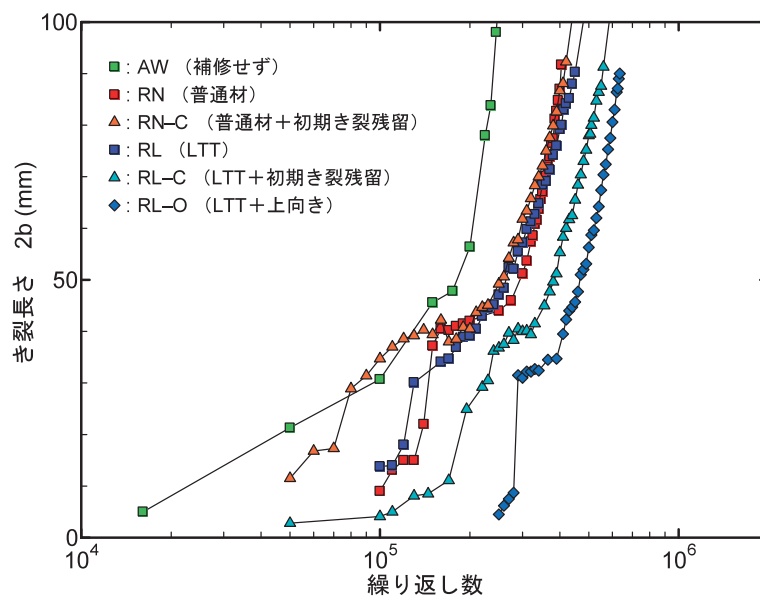


図-5 き裂長さと繰返し数の関係

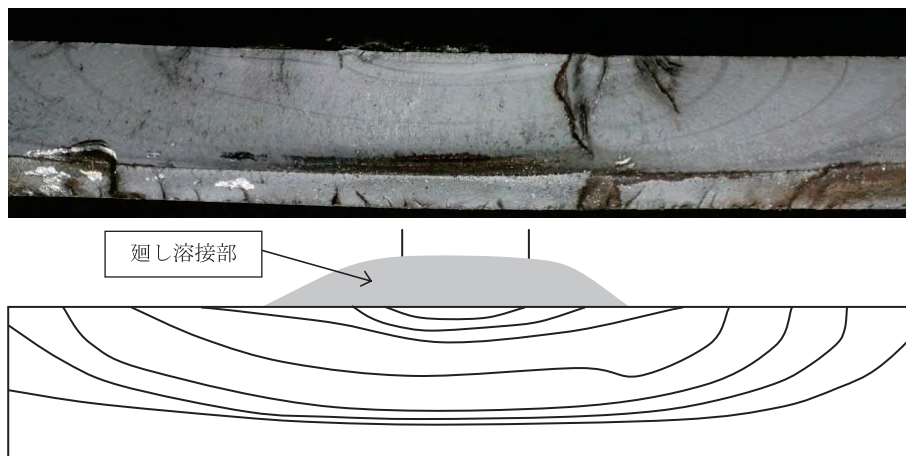


図-6 ビーチマーク (RL-100)

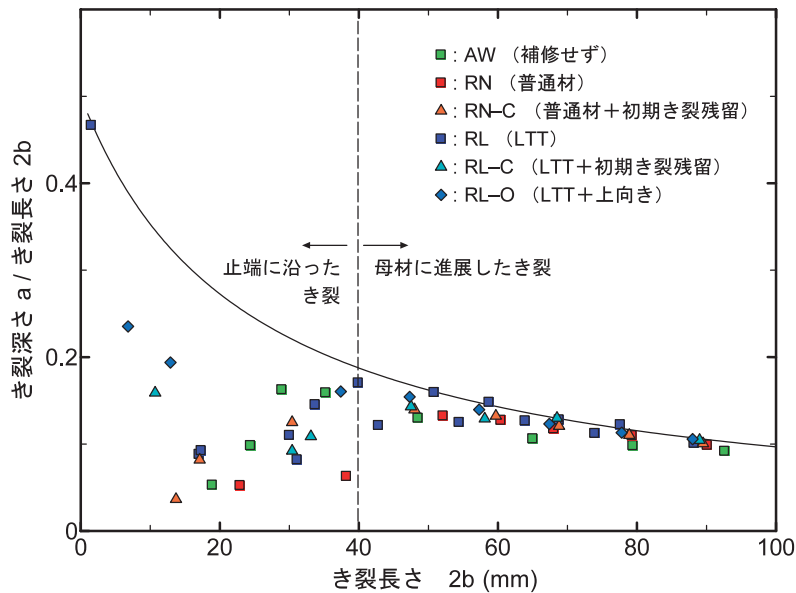


図-7 き裂形状

$$\frac{a}{2b} = \frac{1}{2+2b/t} \quad (1)$$

ここで、 $2b$ は表面き裂長さ (mm)、 $a$ はき裂深さ (mm)、 $t$ は主板厚 (mm) である。

図より表面き裂が40mm以下の段階でばらつきが大きいことがわかる。き裂長40mmとは、廻し溶接部から主板にき裂が進展し始めるときの長さに対応する。その一方で、表面き裂長が長くなるにしたがって全ての試験体でき裂形状比は表示式とよく一致している。これは、き裂が溶接止端に沿って進展している段階では、き裂進展挙動は止端形状による局所的な応力集中の影響を強く受けるためである。き裂が主板に進展してからは、止端形状による応力集中の影響は小さくなるため、どの試験体でも同様なき裂形状になると考えられる。

以上から、溶接補修を施した試験体であってもき裂進展形状は補修前の試験体とほぼ同じであり、き裂進展に関しては補修の前後で同様に扱えばよいといえる。

### 4.3 疲労強度

図-8に疲労試験結果を示す。横軸は溶接補修後に再び载荷してから破断に至るまでの繰り返し数であり、初期き裂を導入するための繰り返し数は含んでいない。疲労寿命はき裂長が約90mmに達したときの繰り返し数とした。本試験は面外曲げ载荷であるため、曲げ応力の補正係数として公称応力を4/5倍したものをを用いた。また、図中にはJSSCの疲労強度曲線<sup>12)</sup>も併記した。なお、本継手の疲労強度

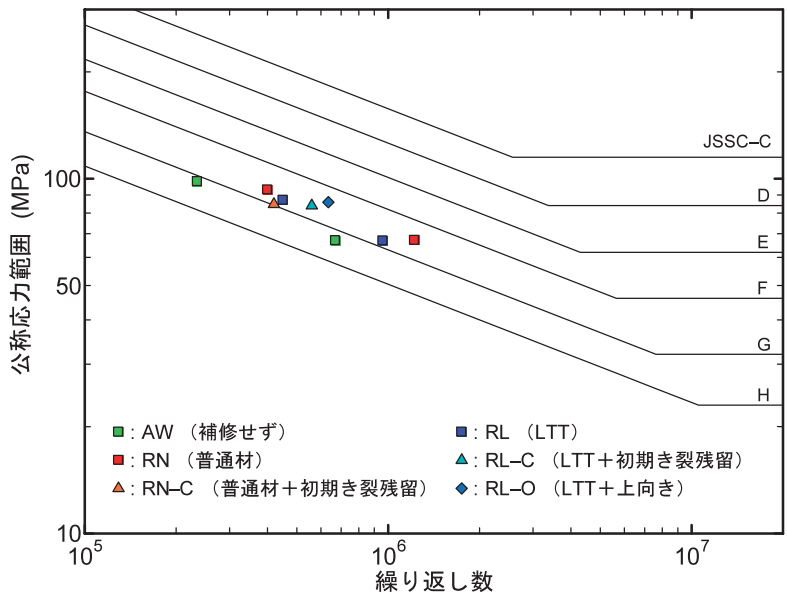
等級はJSSC-G等級である。

溶接補修を施さずにそのまま破断させた試験体 (AW試験体) の結果はG等級あたりに、溶接補修を施したものは、溶接材料や溶接姿勢、残留き裂の有無によらず、すべてG等級からF等級のあたりに分布しており、溶接補修により元の状態まで回復していることがわかる。LTT試験体で疲労強度の向上がみられなかったのは、前述のとおり、溶接部近傍に引張残留応力が付与されていたためであると考えられる。

き裂を残留させた試験体 (RL-C試験体、RN-C試験体) については、溶接補修部の止端 (試験体表面) から新たにき裂が発生し、破断したため、他の試験体と疲労強度に差がみられなかった。これは曲げ载荷特有の現象である可能性が高く、軸引張载荷時にも同様の傾向となるかは不明である。

上向き姿勢で溶接補修をした試験体 (RL-O試験体) では止端半径が他のものと比べて大きいのが、疲労強度はほとんど変わらなかった。溶接止端部表面に微細な凹凸があり、それを起点としてき裂が発生したため、止端形状が滑らかであっても疲労強度が変わらなかったと考えられる。

以上の検討から、品質が確保された溶接補修を施すことができれば疲労強度は元の状態まで回復でき、溶接補修した継手も通常の継手と同等の疲労特性を有するものとして扱うことができる。今回の結果ではLTTによる疲労強度の向上がみられなかったが、LTTを溶接補修に適用する場合には圧縮残留応力を適切に導入できる条件を明らかにする必要がある。



図一8 疲労試験結果

るといえる。また、振動下での溶接品質の確保は溶接補修を考える上で重要な課題であり、LTTの適用性も含めて、今後より詳細な検討を進めていくつもりである。

5. まとめ

本研究では、鋼橋で広く用いられている面外ガセット溶接継手を対象に、低変態温度溶接材料の溶接補修への適用性に関する基礎的な検討を行った。本研究による成果を以下にまとめる。

- ・ 圧縮残留応力の付加が期待できる低変態温度溶接材料を用いて溶接補修を行ったが、残留応力計測結果より、溶接部近傍には引張残留応力が生じていることが明らかになった。低変態温度溶材にて圧縮残留応力が導入されなかった原因は不明であるが、補修時の試験体の拘束状態が適切でなかった可能性が考えられる。
- ・ 溶接補修部の断面を切り出し、割れの発生を確認した。溶接材料、溶接姿勢に関わらず割れは生じていなかった。このことは、低変態温度溶材の溶接補修への適用可能性を示したものであると考えている。
- ・ 実橋での主なき裂発生原因である面外曲げ載荷で疲労試験を行った。き裂発生位置や進展挙動は、溶接補修前後で差異はなく、補修後の継手も通常の継手と同様に扱ってよいと考えられる。
- ・ 溶接補修後の疲労強度は、全ての試験体で補修を行わないものと同程度以上であった。

謝辞

本研究は財団法人 海洋架橋・橋梁調査会 平成23年度「橋梁技術に関する研究開発助成」によるものであり、試験体の製作、溶接補修にあたり、川田工業株式会社 米山徹氏、湯田誠氏、米倉健二氏、MKエンジニアリング株式会社 竹測敏郎氏、新日本製鐵株式会社 富永知徳氏にご協力を頂きました。ここに記して心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三木千壽 (2011) : 橋梁の疲労と破壊 事例から学ぶ、朝倉書店。
- 2) 高圧ガス保安協会 (2007) : 容器保安規則関係 例示基準集 (新装版)、pp.371-650。
- 3) 日本溶接協会 (2009) : プラント圧力設備溶接補修指針。
- 4) 日本鋼構造協会 (1993) : 供用下にある鋼構造物の溶接施工指針 (案)、JSSCテクニカルレポート、No.22。
- 5) 日本鋼構造協会 (2006) : 鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術、JSSCテクニカルレポート、No.71。
- 6) 太田昭彦・渡辺 修・松岡一祥・志賀千晃・西島 敏・前田芳夫・鈴木直之・久保高宏 (1997) : 低変態温度溶接材料を用いた角回溶接継手の疲労強度向上、溶接学会全国大会講演概要、Vol.61、pp.520-521。
- 7) 銭谷 哲・早川直哉・山本純司・平岡和雄・森影 康 (2002) : 低変態温度溶接材料の低温割れ防止効果と継手拘束度の関係、溶接学会全国大会講演概要、Vol.71、pp.120-121。
- 8) 山田健太郎・小藪江朋亮・小塩達也 (2007) : 垂直補剛材と鋼床版デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験、鋼構造論文集、Vol.14、No.55、pp.1-8。
- 9) 藤田敏明・湯田 誠・町田文孝・森影 康・久保高宏・安田功一 (2005) : 低変態温度溶接材料を用いた付加溶接の施工条件の違いによる疲労強度への影響、溶接学会全国大会講演概要、Vol.77、pp.390-391。
- 10) 三木千壽・徳永皓平・判治 剛 (2010) : 鋼橋に生じた疲労損傷に対する低変態温度溶接材料による補修溶接の試み、土木学会論文集、Vol.66、pp.836-849。
- 11) 森 猛・三木千寿 (1995) : すみ肉溶接部に生じる表面疲労亀裂の形状、構造工学論文集、Vol.41A、pp.829-838。
- 12) 日本鋼構造協会 (2010) : 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 (改定案)、JSS IV 09-2010。



# 腐食センサと時空間統計学的手法を用いた鋼構造物の致命的腐食損傷予知技術の開発

九州大学大学院 工学研究院社会基盤部門 准教授 貝沼重信

## 1. はじめに

大気環境における鋼構造物において、腐食による主構造部材の破断や崩落の事例が報告されている。これらの事例は、構造上重要な部位に著しい腐食損傷が生じたことが主な原因となっている。したがって、構造部位レベルの腐食環境を適切に評価し、その部位の腐食損傷の進行性を予測できれば、致命的な腐食損傷を早期に予知し、予防保全対策を実施できると言える。本研究では構造物の部位レベルのマイクロ腐食環境を評価し、その環境における腐食損傷の経時性を予測することで、早期に構造物の致命的損傷を予知可能とする新技术を開発することを最終目的とする。そのために、既往の研究で実施した大気暴露試験の結果に基づき、大気マイクロ腐食環境の高精度評価手法を確立した。また、腐食環境を考慮した腐食表面性状を数値シミュレート可能とする時空間統計モデルを構築した。

## 2. 腐食センサによる鋼構造物の部位レベルの腐食環境評価技術

### 2.1 大気暴露試験とモニタリングの方法

鋼構造物の腐食環境は、降雨や結露などによる水

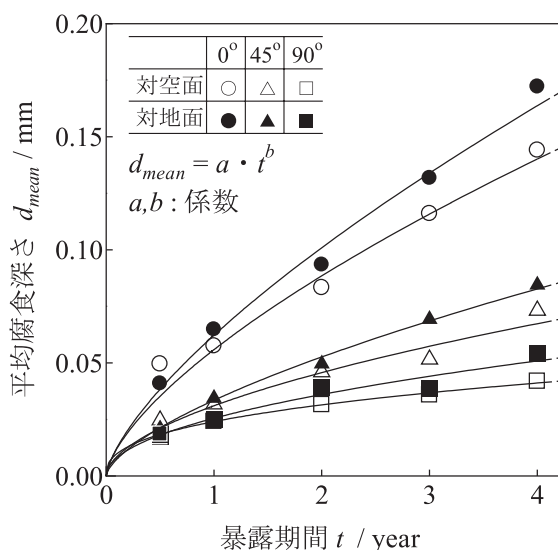


図-1 平均腐食深さ  $d_{mean}$  と暴露期間  $t$  の関係

分や、飛来海塩や凍結防止剤などの塩分の影響により、部位レベルで著しく異なることが少なくない。そこで、大気暴露試験は降雨の有無と滞水、および飛来塩分量の多少の環境に着目して、4つの暴露地点（琉球大学千原キャンパス構内、九州大学伊都キャンパス構内、百道海岸線高架下、許田海岸線高架下）を選定した。また、試験体を水平に対して、0°、45°あるいは90°の角度に設置し、その対空面と対地面を検討対象とした。なお、90°に設置した北面および南面をそれぞれ対空面、対地面と定義した。これらにより、計20種類の腐食環境からデータを収集することとした。

試験体の対空面と対地面における腐食環境は、Fe(鉄)/Ag(銀)対のACM型腐食センサ(出力:0.1nA~1mA, 分解能:0.1nA(0.1nA~10μA), 1μA(1μA~10mA))と温湿度センサを用いることで、10分毎に1年間モニタリングした。

### 2.2 大気暴露試験とモニタリングの結果

試験体の表裏面の腐食環境における平均腐食深さ  $d_{mean}$  (mm) と暴露期間  $t$  (year) との関係例を図-1に示す。図中の実線は、 $d_{mean}$  (に対する  $t$  の累乗回

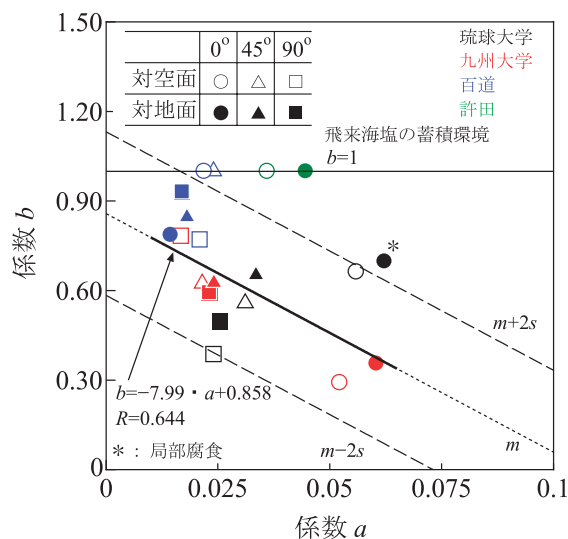


図-2 図-1の回帰曲線の係数  $a$  と  $b$  の関係

帰曲線である。なお、暴露期間0.5年のデータは、1年間の気候変動に配慮し、参考値として回帰解析の際には用いていない。

累乗回帰曲線の係数 $a$ と $b$ の関係を図-2に示す。飛来海塩の蓄積の影響を受ける百道の $0^\circ$ と $45^\circ$ の対空面、および許田の $0^\circ$ の対空面と対地面、を除き、暴露地点や対象面によってばらつきはあるものの、係数 $b$ は係数 $a$ に対して反比例の傾向にある。また、暴露期間1年の平均腐食深さに相当する係数 $a$ は、降雨の影響が大きい環境ほど大きくなる傾向にある。飛来海塩の付着蓄積の影響を受ける環境では、腐食生成物による保護性が鋼素地に対してほとんどないために、 $b$ の値を1として用いる。累乗回帰曲線 ( $d_{\text{mean}}=a \cdot t^b$ ) の係数 $a$ と $b$ の関係は、飛来海塩の付着・蓄積を考慮することで、次式で表すことができる。

$$d_{\text{mean}} = a \cdot t^b \quad (1)$$

$d_{\text{mean}}$ : 平均腐食深さ (mm)、 $a$ 、 $b$ : 係数、 $t$ : 供用年数 (year)

$$b = -7.99 \cdot a + 0.858 \quad (2)$$

(飛来海塩が付着・蓄積しない環境)

$$= 1 \quad (3)$$

(飛来海塩が付着・蓄積する環境)

### 2.3 ACM型腐食センサによる無塗装普通鋼板の平均腐食深さの予測方法

文献<sup>1)</sup>に基づき算出した日平均電気量  $q$  (C/day) と図-2の係数 $a$ の関係を図-3に示す。図中の実線は、プロットの $q$ に対する $a$ の回帰直線を示している

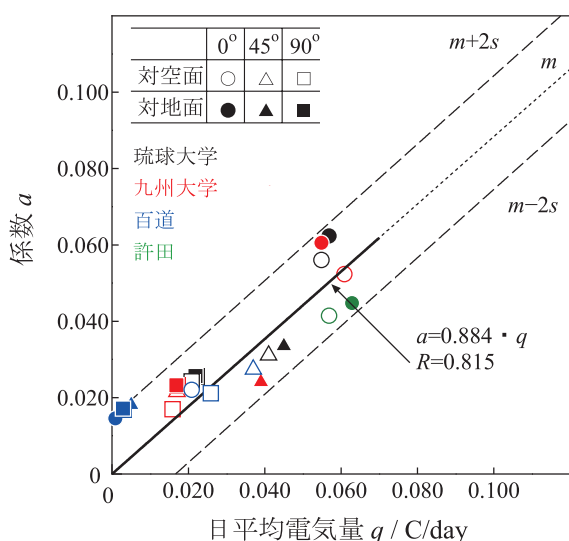


図-3 図-1の回帰曲線の係数 $a$ と日平均電気量 $q$ の関係

る。また、図中の $m$ および $s$ は、それぞれ平均値 (回帰直線) および標準偏差である。この相関係数 $R$ が0.815と比較的高いことから、以下に示す図中の回帰直線式に $q$ を与えることで、 $a$ を高精度に算出できると言える。

$$a = 0.884 \cdot q \quad (4)$$

$q$ : 日平均電気量 (C/day)

$q$ を用いた鋼板の腐食深さ $d_{\text{mean}}$ の経時性の評価式は、式(1)に式(2)と式(3)をそれぞれ代入することで、次式で表すことができる。

$$d_{\text{mean}} = 0.884 \cdot q \cdot t^b \quad (5)$$

$$b = -7.99 \cdot a + 0.858 \quad (\text{飛来海塩が付着・蓄積しない環境})$$

$$= 1 \quad (\text{飛来海塩が付着・蓄積する環境})$$

$d_{\text{mean}}$ : 平均腐食深さ (mm)、

$q$ : 日平均電気量 (C/day)

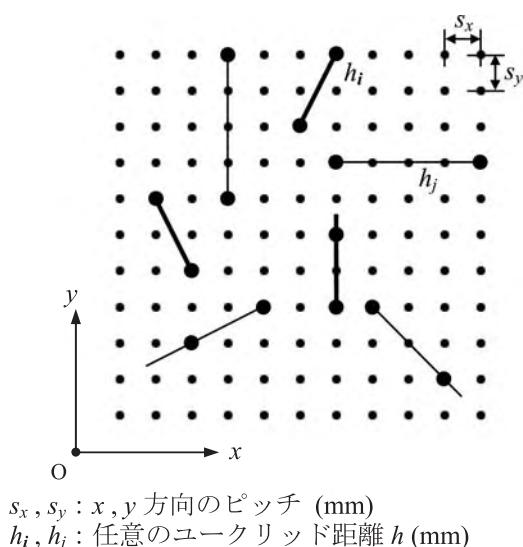
$a$ 、 $b$ : 係数、 $t$ : 供用年数 (year)

### 3. 腐食環境を考慮可能な鋼部材の経時腐食表面の時空間統計数値シミュレーション

2.3で提案した手法により、鋼構造物の部位レベルの腐食環境をACM型腐食センサを用いて評価し、その結果から平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$ の経時性を推定することができる。以下では $d_{\text{mean}}$ から大気環境における腐食表面性状を推定する手法について提案する。

#### 3.1 腐食表面性状の空間統計解析

ここでは、腐食試験体の腐食表面における空間的



$s_x, s_y$ :  $x, y$ 方向のピッチ (mm)  
 $h_i, h_j$ : 任意のユークリッド距離  $h$  (mm)

図-4 腐食表面の離散化

自己相関構造を明らかにするために、バリオグラム解析を行い<sup>2), 3)</sup>、腐食表面性状を表す空間統計量（レンジとシル）を抽出することとした。本研究で意味するバリオグラムとは、腐食表面における任意位置の腐食深さとその位置から離れた位置の腐食深さとの空間的相関性を表す指標である。

バリオグラム解析に際して、任意の腐食領域を図-4に示すように、レーザー測定時の格子状座標に基づき離散化した。腐食表面の自己相関構造を表すレンジとシルは、式(6)に示すセミバリオグラム $\gamma(h)$ を求めることで、バリオグラムから算出した。レンジは空間的自己相関の影響範囲、シルは空間的従属性を意味する。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (z_j - z_k)^2 \quad (6)$$

$\gamma(h)$ ：セミバリオグラムの値

$h$ ：ユークリッド距離

$N(h)$ ：ユークリッド距離 $h$ となる全点のペア

$z_j, z_k$ ：ユークリッド距離 $h$ となるペア内の点の腐食深さ (mm)

レンジとシルの空間統計量の算出では、経験バリオグラムを用いた。なお、腐食表面性状は特定の方向に空間変動を有していないことから、等方性と仮定し、全方向に対してバリオグラム解析を行った。そのため、本解析から算出したバリオグラムは、距離のみの関数で取り扱うことができる。

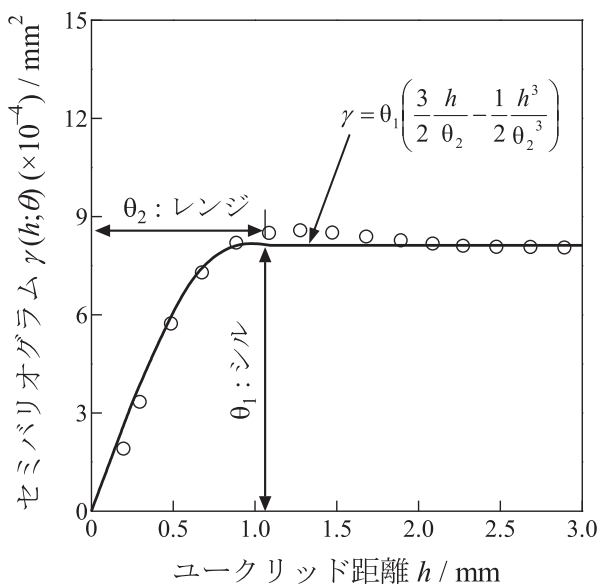


図-5 セミバリオグラムの球形モデルの例  
(琉球大学千原キャンパス、4年暴露、45度対空面)

4年間暴露した試験体の45°対空面に対する経験バリオグラムの例を図-5に示す。図中の実線は、経験バリオグラムを理論バリオグラムでモデリングした結果を示している。理論バリオグラムには経験バリオグラムの傾向に基づき、球型バリオグラムモデル（以下、球型モデル）を適用した。なお、レンジは理論バリオグラムモデルの関数 $\gamma(h; \theta)$ が一定となった位置のユークリッド距離 $h$ 、シルはその点における $\gamma(h; \theta)$ の値で定義できる。

経験バリオグラムに理論バリオグラムモデルを適用する際には、次式の実線形最小二乗法を用いた<sup>4)</sup>。

$$WRSS(\theta) = \sum_{k=1}^K \frac{|N(h_k)|}{\gamma(h_k; \theta)^2} (\gamma(h_k) - \gamma(h_k; \theta))^2 \quad (7)$$

$|N(h_k)|$ ：ユークリッド距離（ラグ）が $h_k$ となるペアの総数

$K$ ：バリオグラムのラグ数

$\gamma(h_k)$ ：ラグ $k$ の経験バリオグラムの値 (mm<sup>2</sup>)

$\gamma(h_k; \theta)$ ：理論バリオグラムモデル（球型モデル）のラグ $k$ における値

図-5中に実線で示す理論バリオグラムには、縦軸の切片値がほぼ0、すなわちなゲット効果がほとんど無く、2次定常性がある。この傾向は他の試験体についても同様であった。したがって、経験バリオグラムは球型モデルでモデル化できると言える。

図-5の理論バリオグラムの球型モデルと球型モデルの形状を表す共分散関数 $C(h; \theta)$ を図-6に示す。図中の黒実線は球型モデルであり、赤実線は次式に示す共分散関数 $C(h; \theta)$ である。

$$C(h; \theta) = \theta_1 - \gamma(h; \theta) \quad (8)$$

$$C(h; \theta) = \begin{cases} \theta_1 \left( 1 - \frac{3}{2} \frac{h}{\theta_2} + \frac{1}{2} \frac{h^3}{\theta_2^3} \right) & (0 \leq h \leq \theta_2) \\ 0 & (h > \theta_2) \end{cases} \quad (9)$$

$\theta_1$ ：シル (mm<sup>2</sup>)

$\theta_2$ ：レンジ (mm)

以上から、本研究の腐食試験体のような全面腐食表面の空間的自己相関構造は、球型モデルによる理論バリオグラムから算出される空間統計量（レンジとシル）により定量評価できると言える。

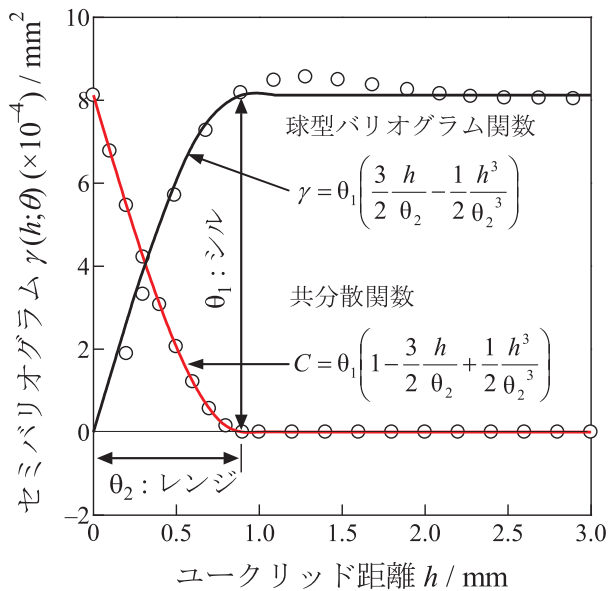


図-6 共分散関数と理論バリオグラムの例  
 (琉球大学千原キャンパス、4年暴露、45度対空面)

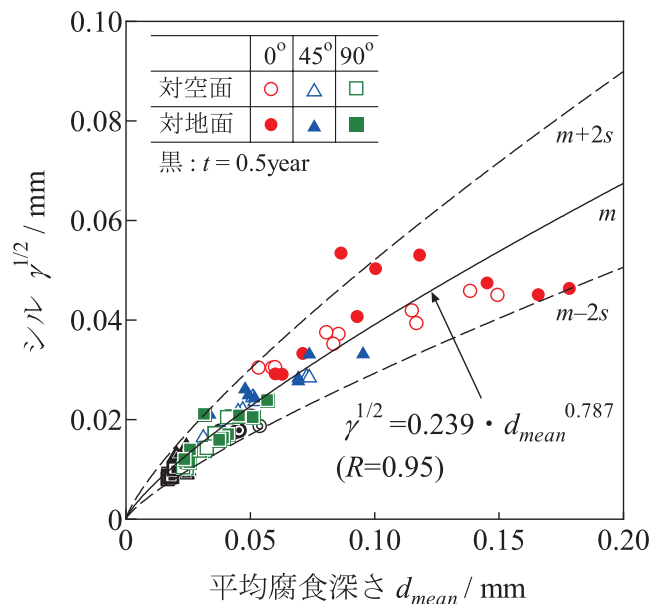


図-8 シル $\gamma$ と平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$ の関係  
 (琉球大学千原キャンパス)

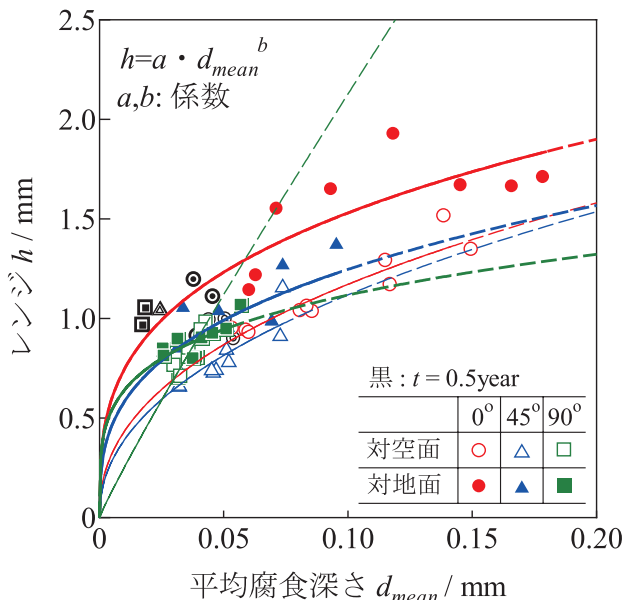


図-7 レンジ $h$ と平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$ の関係  
 (琉球大学千原キャンパス)

試験体中央 $40 \times 40 \text{ mm}$ の領域に対して、バリオグラム解析で算出したレンジ $h$  (mm)と平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$  (mm)、およびシル $\gamma$  ( $\text{mm}^2$ )と平均腐食深さ $d_{\text{mean}}$ 、の関係をそれぞれ図-7および図-8に示す。図中の0.5年暴露のデータは、参考値として示し、本検討には用いていない。 $h$ と $d_{\text{mean}}$ の関係は、試験体の設置角度や表裏面による腐食環境の相違により異なっている。図中の実線は、次式に示す $d_{\text{mean}}$ に対する $h$ の累乗回帰曲線を示しており、対空面を細線、対地面を太線とした。

$$h = a \cdot d_{\text{mean}}^b \quad (10)$$

図-8に示す $\gamma^{1/2}$ と $d_{\text{mean}}$ の関係については、0° 対地面の3つのプロットを除き、ほぼ同様の傾向となっている。そこで、全データに対する回帰曲線を算出した。その結果を式(11)に示す。図中の実線は、 $d_{\text{mean}}$ に対する $\gamma^{1/2}$ の回帰曲線 $m$ である。また、破線はその回帰曲線 $m$ の $\pm 2s$  ( $s$ : 標準偏差)である。1つのプロットを除く全プロットが $m \pm 2s$ 内にあることから、比較的ばらつきは小さいと言える。したがって、本暴露試験の $\gamma$ と $d_{\text{mean}}$ の関係は、暴露角度や表裏面の腐食環境によらず、次式で表すことができる。

$$\gamma^{1/2} = 0.239 \cdot d_{\text{mean}}^{0.787} \quad (11)$$

以上から、暴露試験体の腐食表面性状に対する空間統計量レンジ $h$ とシル $\gamma$ は、式(10)と式(11)に $d_{\text{mean}}$ を与えることで算出できる。また、2.2で前述したように、 $d_{\text{mean}}$ は時間 $t$ の関数式で与えられることから、これらの式により空間統計量の経時変化を評価できると考えられる。

### 3.2 腐食表面性状の空間統計数値シミュレーション

本研究では任意の位置における腐食深さ $z_{i,j}$ を推定するために、空間計的手法の1つであるクリギング<sup>13)</sup>を腐食表面生成のためのシミュレーションに適用した。

クリギングとは空間現象を連続空間の確率場でモデル化することで、既知データに基づき、任意の位置における確率場の値を空間内挿により推定する補間法である。クリギングには通常型クリギングや普

遍型クリギングなどの手法があるが、腐食表面のシミュレーションでは任意の位置における腐食深さを推定する必要があるため、この目的などを考慮して、通常型クリギング（以下、クリギング）を用いることとした。

本シミュレーションでは任意の位置における腐食深さ  $z_{i,j}$  をクリギングの手法を用いて、式 (12) に示すように、その位置から半径  $\theta_2$  離れた全ての点 ( $N(\theta_2)$  点) の腐食深さ  $z_{k,l}$  の重み付き線形和から算出した。なお、重み係数には図-5で示した球型モデルの関数を用いた。クリギングの概念図を図-9に示す。

$$z_{i,j} = \sum_{N(\theta_2)} C(h;\theta) z_{k,l} \quad (12)$$

ここで、空間的自己相関構造を用いた腐食表面のシミュレーションは、まず、1) シミュレーションの対象領域を格子座標系に基づき離散化する。次に、2) 離散化した領域に対して、与える空間的自己相関構造を満たす正規乱数場を発生させる。この際、任意の位置の腐食深さを推定するために、前述したクリギングの手法を用いた<sup>6)</sup>。3) 最後に、生成した乱数場にその領域の平均腐食深さを加えることで、4) 与えた自己相関構造を有する腐食表面を生成した。

本手法では暴露試験体の腐食表面をシミュレートする際に正規乱数場を用いることとした。これは、著者らの既往の研究<sup>3),7)</sup>において、塩分や水分が主因子となる腐食環境において、全面腐食や局部腐食が支配的な領域では、腐食深さのヒストグラムは正規分布で近似できることを確かめている

ためである。

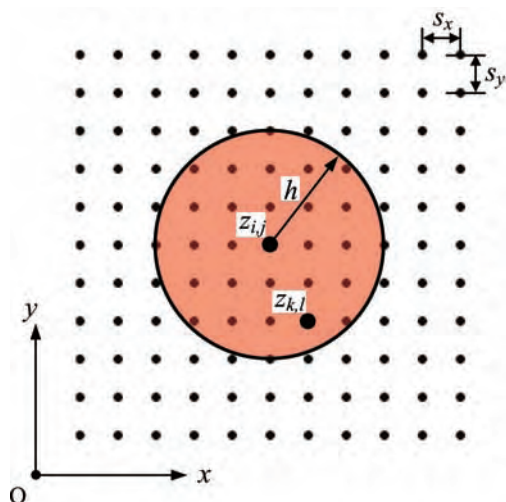
また、著者らは腐食表面に複数の腐食形態が混在し、ヒストグラムが一般の確率密度ではモデル化できない場合、空間統計学的手法の1つである回帰樹を適用し、腐食表面を空間的に同等な腐食領域に分割することで、各領域のヒストグラムを正規分布にモデル化する手法を提案している<sup>3),7)</sup>。この手法により、暴露試験体の腐食表面の細分割化した各領域のシミュレートも可能であるが、本研究の暴露試験体の腐食が比較的初期段階であり、腐食表面が全領域で同様の腐食形態となっていることから、腐食表面をシミュレートする際に正規乱数場を用いることとした。

### 3.3 腐食表面の経時性の予測

ここでは、暴露期間を2.5, 10, 20および40年と仮定することで、3.1と同様な方法および条件を用いて、45°対空面の試験体の腐食表面性状をシミュレートした。なお、このシミュレーションでは全面腐食を対象とし、大きな局部腐食は発生しないものと仮定した。

シミュレーションの結果から得られた腐食表面性状とその断面を図-10に示す。腐食表面の腐食孔の開口幅や深さは、時間が経過するとともに大きくなっている。

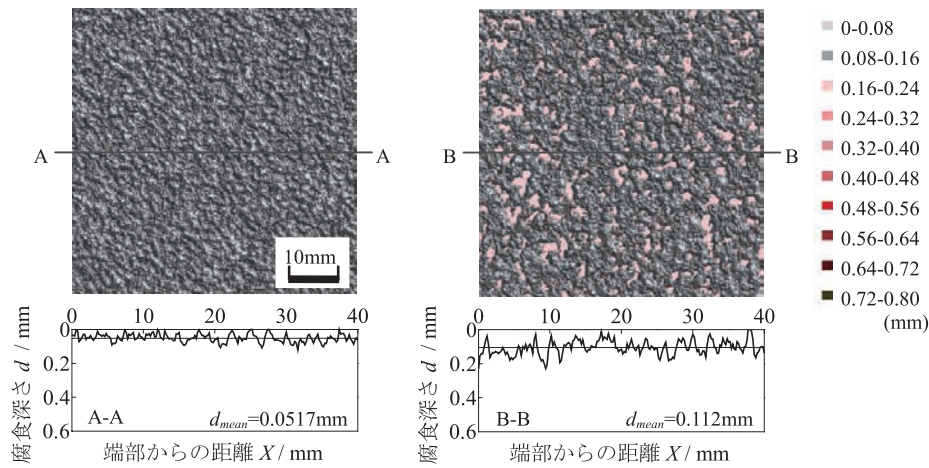
前述したシミュレーションの結果に基づき、45°対空面に対する平均腐食深さ  $d_{\text{mean}}$  と最大腐食深さ  $d_{\text{max}}$  の関係を求めた。その結果を図-11に示す。図中のプロットは、各暴露期間でシミュレートした腐食表面の上位5点の腐食深さを示している。また、図中の実線は  $d_{\text{max}}$  に対する  $d_{\text{mean}}$  の累乗回帰曲線である。



$$z_{i,j} = \sum_{N(\theta_2)} C(h;\theta) z_{k,l}$$

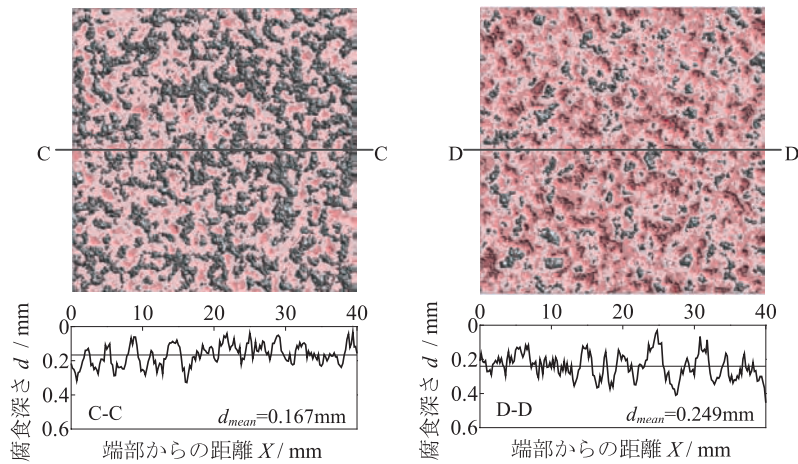
- $s_x, s_y$ :  $x, y$  方向のピッチ (mm)
- $N(\theta_2)$ : 半径  $\theta_2$  内に存在する点の数
- $\gamma(h;\theta)$ : 球型バリオグラム関数の値 ( $\text{mm}^2$ )
- $z_{i,j}$ : 対象位置の腐食深さ (mm)
- $z_{k,l}$ : 半径  $h$  内に存在する対象位置の腐食深さ (mm)

図-9 クリギングを用いた腐食深さの算出



(a) 2.5 年

(b) 10 年



(a) 20 年

(b) 40 年

図-10 数値シミュレーションによる腐食表面生成の結果  
(琉球大学千原キャンパス、4年暴露、45度対空面)

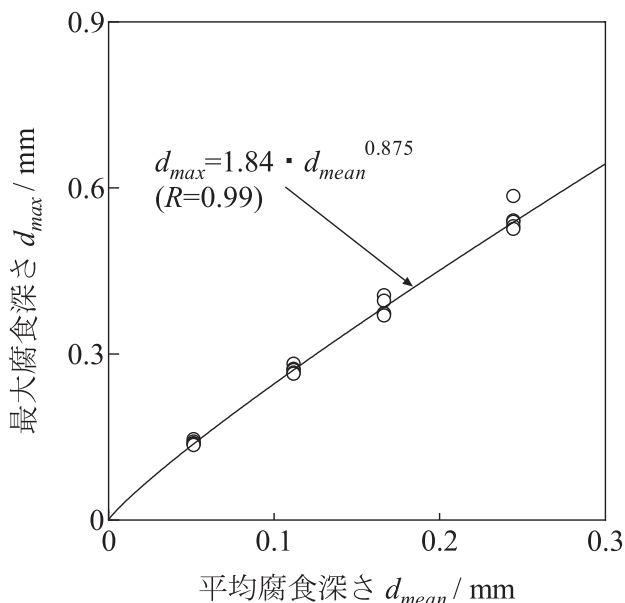


図-11 最大腐食深さ  $d_{max}$  と平均腐食深さ  $d_{mean}$  の関係  
(シミュレーション、45度対空面)

る。シミュレーションから求めた  $d_{mean}$  と  $d_{max}$  の関係式の  $R$  は、0.99 となっており、高い相関を示している。したがって、図中の式で  $d_{mean}$  と  $d_{max}$  の関係を表すことができると言える。

#### 4. まとめ

本研究では無塗装普通鋼板の大気暴露試験と ACM 型腐食センサを用いたモニタリングの結果に基づき、大気マイクロ腐食環境の高精度評価手法を確立した。また、腐食環境を考慮した腐食表面性状を数値シミュレート可能とする時空間統計モデルを構築した。これらにより、鋼構造物の部位レベルの平均腐食深さの経時性を ACM 型腐食センサ出力に基づき推定し、その経時性を時空間統計モデルに導入することで、腐食表面性状を推定する手法

を提案した。

今後は、実用に耐えうる部位レベルの腐食環境を考慮可能な致命的損傷の早期予知システムを開発する予定である。また、複数の実橋における各部位の腐食環境データと腐食損傷データを収集し、本システムの実構造物に対する適用性や精度を検証する。さらに、本システムに用いる腐食環境評価をより簡便な手法に展開するため、鋼部材の腐食生成物層の厚さの増加速度と電気量の相関の定量化を試みる予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、(財)海洋架橋・橋梁調査会の橋梁技術に関する研究開発助成を受けて実施したものである。ここに記して、謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 貝沼重信、山本悠哉、伊藤義浩、押川渡：Fe/Ag対ACM型腐食センサを用いた降雨を受ける無塗装普通鋼板の平均腐食深さの予測方法、材料と環境、Vol.59、No.10、pp.497-503、2011。
- 2) 貝沼重信、細見直史：鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的腐食表面性状の数値シミュレーション、土木学会論文集A、Vol.62、No.2、pp.440-453、2006。
- 3) 貝沼重信、細見直史、金仁泰、伊藤義人：鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究、土木学会論文集、No.780/I-70、pp.97-114、2005。
- 4) Cressie, N.: Fitting Variogram Models by Weighted Least Squares, J. Internat. Assoc. Math. Geol., Vol.17, pp.563-586, 1985.
- 5) S.Kainuma and N.Hosomi : Fatigue Life Evaluation of Corroded Structural Steel Members in Boundary with Concrete, Int. J. of Fracture, Vol.158, No.1, pp.149-158, 2009.
- 6) H. Wackernagel, Multivariate Geostatistics, Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- 7) 貝沼重信、細見直史、後藤淳、伊藤義人：海洋環境下における長尺鋼部材の腐食挙動の評価・予測に関する基礎的研究、土木学会論文集、Vol.65、No.2、pp.440-453、2009。

# 伸縮装置の維持管理

日本道路ジョイント協会

## 1. はじめに

高度経済成長期に集中して建設された橋梁が建設後50年を迎えようとしている。これら橋梁のインフラ機能を維持するためには、修繕・更新費用が集中して必要となることが予想され、現段階から橋梁の長寿命化を図り、そのピークを和らげることが急務となっている。

その具体的対策として、予防保全的対処、つまり、橋梁の定期点検や計画的なメンテナンスを行うことが重要と考えられている。特に橋梁の桁端部では目地部からの漏水が原因と推測されるコンクリートの劣化・鋼材腐食の進行が問題視されていることから、伸縮装置は重点的な点検・管理が必要であると考えられる。

本稿では、伸縮装置の損傷事例・損傷原因を取り上げ、点検や補修計画時の着目点を紹介する。

## 2. 損傷事例と原因推定

### 2.1 直接的な要因からの損傷事例

伸縮装置は、車両走行面に位置することから、車両からの直接荷重および衝撃荷重を受け、さらに、温度変化、日射、土砂の堆積、雨水の流入などの自然条件も加わり、複合的な劣化環境にさらされている。これら過酷な条件により発生した代表的な損傷

事例を紹介する。

写真-1は、目地材の脱落の損傷事例である。車両等からの想定外の荷重や目地材と床版との接続方法の問題等が要因と考えられ、脱落目地による第三者災害や、走行性、漏水などの問題が発生することが報告されている。

写真-2は、表層ゴムの損傷事例である。通行車両による磨耗や、積雪地の場合では除雪車のスノープラウの干渉が要因となっている場合がある。

表層部の損傷では、設置されている環境に適した伸縮装置（例えば、表面部材が鋼製のもの）を選定し、交換補修することが有効である。

写真-3は、鋼製伸縮装置のウェブプレートの亀裂・破断の事例である。車両からの繰り返し荷重や衝撃荷重による鋼部材の疲労破壊が要因と考えられる。このようなウェブプレートの損傷の場合、伸縮装置のフィンガー部は車両の通行ごとにバタツキが発生し、騒音の原因となっていることが多い。

また、損傷が急速に進展する場合があるため、緊急な補修対策が必要である。

写真-4は、排水型伸縮装置において、目地部に土砂が堆積した事例である。土砂の堆積は排水機能を喪失させ、排水ゴムの破損や漏水の原因となるため、定期的な清掃などが必要である。



写真-1 目地材の脱落



写真-2 表層ゴムの損傷





写真-3 ウェブプレートの亀裂・破断



写真-4 目地部の土砂堆積（排水機能の喪失）

写真-5、6は、伸縮装置からの漏水による滞水および桁端部の鋼材腐食事例である。このように伸縮装置からの漏水は他の部材への劣化の進行を早める要因となっている。



写真-5 橋座面の滞水



写真-6 桁端部の腐食

## 2.2 間接的な要因からの損傷事例

伸縮装置は橋梁端部に位置することから、他の構造部材の影響を受けやすく、損傷が間接的な要因によって発生している場合がある。したがって、伸縮装置の変状だけでなく、その周囲の状況も確認することが重要となる。

写真-7は伸縮装置のフィンガー部にみられる段差の事例である。伸縮装置自体には大きな外傷は見られなかったものの、直下の支承では沓座モルタルの破損による支承の沈下が確認された（写真-8）。

支承の対策を行わなければ、支承の沈下が進行することが考えられ、同時に伸縮装置の段差拡大を引き起こす。したがって、このような場合、初めに支



写真-7 フィンガー部の段差



写真-8 支承の沈下

承の補修（再据付等）を行い、その後に伸縮装置部の対策を行うことが適切な補修手順となる。

写真-9は、伸縮装置の異常遊間の例である。原因の一つとして伸縮装置の選定ミス、または、据付ミスが考えられた。しかし、桁端部を確認したところ、桁遊間が確保されてなく、また、支承の異常移動も確認された（写真-10）。その後の詳細調査の結果、この場合では橋台に滑動があることが判明し、それらが異常遊間の要因となっていた。

したがって、このような場合、橋台部の滑動対策を行った後、伸縮装置の補修を行うことが適切な補修手順となる。

このように、伸縮装置の損傷は他の構造部材の不具合が原因となっている場合があり、伸縮装置の補修（交換）だけを考えるのでは不十分と考えられる。

よって、調査時には伸縮装置の周囲の状況も同時に確認し、損傷原因を追究したうえで総合的な対策を計画することが必要である。

## 3. 今後の課題

これまでの伸縮装置は、荷重支持条件や使用環境により、排水構造や非排水構造が採用されていた。しかし、いずれの場合にも、構造的な不備やメンテナンス不足等により施工継ぎ手部や地覆部からの漏水が発生する事例が多く報告されている。

伸縮装置からの漏水は、桁端部に位置する他の構造部材（床版、主桁、支承、橋台等）の劣化進行を促進させる要因となることから、伸縮装置の確実な非排水構造化は必須の課題となっている。近年では、これら対策として止水材の改良や、二重止水構造をとるなどの対策が頻繁に行われている。



写真-9 伸縮装置の異常遊間



写真-10 桁遊間の異常と支承の異常移動

#### 4. おわりに

伸縮装置は、橋梁全体としては付属物の一部として取り扱われることが多いものの、一般道路部と橋梁部を結ぶ特殊な箇所位置し、走行性、伸縮性、止水性など多くの要求性能が求められている重要な部材と言える。

伸縮装置の損傷が近傍に位置する他の構造部材にも悪影響を及ぼし、橋梁全体にも重大な影響を与える危険性も十分考えられる。したがって、伸縮装置の定期的な点検やメンテナンスは本体構造と同様に重要であり、橋梁全体の長寿命化にもつながるものと考えている。

---

本報文は、当調査会の橋梁検査員の技術力向上を図るため実施しているスキルアップ研修で取り上げたテーマの一つである「伸縮装置の維持管理」について、日本道路ジョイント協会に投稿していただいたものです。

# 世界道路会議PIARCメキシコ大会での 橋梁セッション

## 1. はじめに

世界道路会議は2011年9月26日から30日にかけて、メキシコシティのセントロ・バナメクスで開催されました（写真-1）。

PIARCの世界道路会議は4年に一度開催しており、参加者は約100カ国から4,000人以上に上りました。PIARCの世界道路会議の中南米開催は初めてのことで、開会式にはベレス運輸通信大臣はもちろん、カルデロン大統領も出席されました。本稿はPIARC世界道路会議の概要、展示パビリオンでの日本館の状況ならびに技術委員会セッションでのTC D.3（道路橋委員会）の開催状況を報告します。

## 2. 大会の概要

会場はメキシコの治安の悪化の影響を受け、会場までの移動手段は公共機関が推奨されず、ホテルからシャトルバスもしくは指定されたタクシーとなり

ました。また入場する際にも金属探知機を通る身体検査を義務づけられました。ただ、入場すると屈強な警備員の姿こそありますが、通常の国際会議とは特に変わらないものでした。

5日間の大会は、初日が開会式、その後、大臣が出席する討論形式のセッション、2日目からは最終日までPIARCの各専門部会による発表などが行われるテクニカルセッションと各国や企業が出展する技術展示会があり、最終日の午後に閉会式という構成でした。

## 3. 展示パビリオン日本館について

技術展示会に参加したのは、各国の道路協会によるものが15館と企業によるものが233館とで計248館に上りました。

日本館は2日目の午後にオープニングセレモニーを行い開館しました。オープニングセレモニーでは

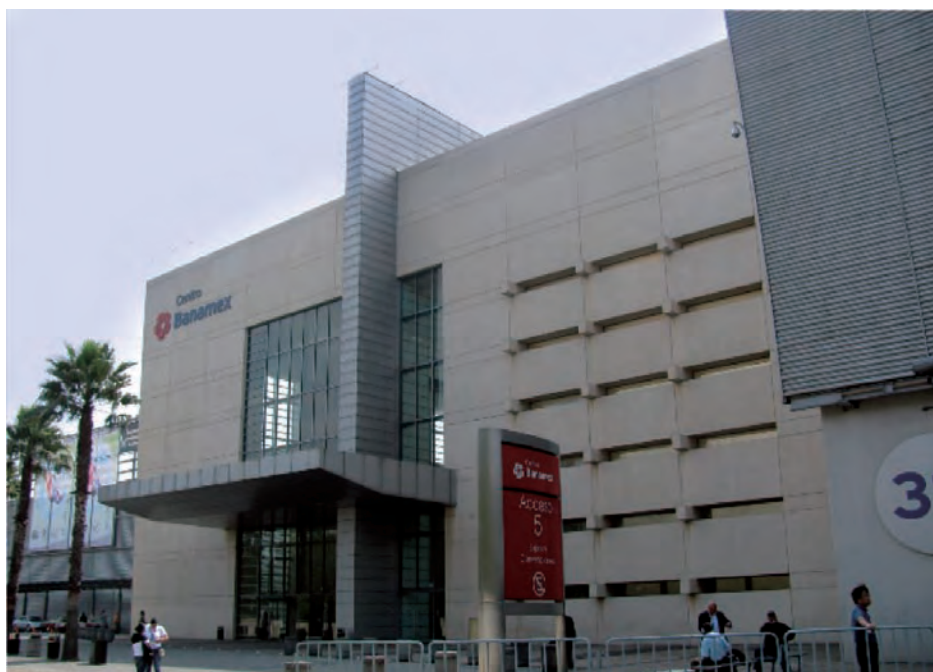


写真-1 開催会場

最初に日本の伝統である書道の実演（写真-2）があり、その後、谷口元国土交通省事務次官（写真-

3）やPIARC会長のルクレ氏等の挨拶がありました。



写真-2 書道の実演



写真-3 日本館の開館式

#### 4. TC D.3（道路橋委員会）の開催状況

TC D.3（道路橋委員会：委員長 加島常務理事）は、大会4日目9月29日のAM9：00～12：30にテクニカルセッションを開催しました（写真-4）。参加者は約300人でした。会議は英語、フランス語、スペイン語に通訳されてヘッドホンから聞き取るシステムで進行しました。セッションプログラムです

が、最初に今期4年間（H20～H23）の活動を委員長から報告し、その後今期課題についての発表を各担当委員もしくは招待発表者で行いました。最後に今期活動による提言が発表され終了しました（図-1）。

課題発表では招待者として日本、メキシコ、フィンランド、スペインから発表がありました。



写真-4 TC D.3テクニカルセッション

|             |  |
|-------------|--|
| 9:00- 9:10  | 今期期間の活動報告<br>加島委員長   |
| 9:10-10:30  | 課題1 道路橋の状況と評価<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・道路橋の検査員と非破壊検査とその状態評価について<br/>E.スミス女史（西オーストラリア州 道路及び橋梁財産課長）</li> <li>・大規模道路橋の管理運営とモニタリングと維持管理<br/>T.クレッツ氏（フランス 環境・運輸・住宅省 橋梁課長）</li> <li>・明石海峡大橋の主塔制振装置削減の検討<br/>福永 勸氏（本四高速道路株式会社 長大橋センター）</li> <li>・リオ・パパロパン橋の設計と非破壊検査技術の活用について<br/>J.A.ロペス氏（メキシコ 運輸局）</li> </ul> 上記討論 |
| 10:30～10:55 | 休憩   |
| 10:55～11:35 | 課題2 「維持管理技術のイノベーション」<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模道路橋のリハビリテーション：アキタン橋<br/>T.クレッツ氏（フランス 環境・運輸・住宅省 橋梁課長）</li> <li>・超音波立体サーモグラフィによるプレストレスコンクリート橋の検査<br/>G.ラパポート氏（建設・運輸橋梁エンジニアリング（株） フィンランド）</li> </ul> 上記討論  |
| 11:35～11:45 | 課題3 「気候変動の適用」<br>B.ステンスボールド氏（ノルウェー道路局橋梁課長、ノルウェー）<br>上記討論   |
| 11:45～12:25 | 課題4 「橋梁マネジメント」<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁のマネジメント<br/>B.ステンスボールド氏（ノルウェー道路局橋梁課長、ノルウェー）</li> <li>・高速道路の維持計画<br/>E.クリアド氏（スペイン 公共事業省 道路局）</li> </ul> 上記討論  |
| 12:25～12:30 | 提言採択<br>加島委員長  |

図-1 TC D.3テクニカルセッションプログラム

今期活動による提言は以下のものとなりました。この提言は英語、フランス語、スペイン語で作成され、PIARCの事務局に提出されています。

### 提言 (TC D.3)

#### 一. 意志決定者への提言

橋梁は40年から50年以上になると、修繕箇所が増加する。また、そのような橋梁数は世界的にも増加している。それゆえ橋のメンテナンスや検査について十分な予算が担保される必要がある。

#### 二. 技術の様相

1. 効率的に橋梁を維持管理するためにはBMSを採用するとともにBMSの有効な使用は検査手法の質と収集するデータの量に依存している。
2. 点検員の経験と研修はBMSの成功にかかせない。橋梁点検員は機器使用も含めた研修を行うことを勧告する。非破壊検査は橋梁評価に有効な手段である。
3. 橋梁の状態評価は大切である。5段階評価を推奨する。個々の部材評価を積み付けして全体評価するシステムがよいアプローチと思われる。
4. 長大橋に適用するモニタリングは、維持管理の軽減に有効な手段となっている。
5. 気候変動は長期間の効果である。気候温暖化と既存橋の悪化との関係はこの時期ではよくわからない。それゆえ、気候変動の効果についてはもっと深く理解する必要がある。気候変動はPIARCの次のタームで検討するテーマの一つである。

#### 三. 勧告

1. 橋梁の検査と維持には十分な資金が必要である。
2. 管理者は道路網の状況や要求に適したBMSを採用すべきである。
3. BMSを使用しやすいものにするには良質で詳細なデータを集積すべきである。
4. 橋梁点検員は実際使用する機器も考慮した訓練をすべきである。
5. 管理者は5段階評価のものを採用すべきである。
6. 全体の評価付けは個々の評価された部材の積み付けを使用したものを採用すべきである。
7. 長大橋のモニタリングは維持管理の軽減に有効である。
8. 気候変動の様々な影響は、もっと深い理解を続けていくべきである。

注) BMS : Bridge Management System (橋梁マネジメントシステム)

図-2 TC D.3 (道路橋委員会) 提言

## 5. おわりに

今回のPIARCのメキシコ大会では、次回ターム(2012~2015)の各委員会の委員長の改選が行われました。道路橋委員会の委員長は引き続き加島常務

理事が務めることになりました。次回の世界道路会議は2015年に韓国で開催される予定です。

文責 企画部 麓興一郎

# 第2回，第3回日米「風による橋及び柔構造物のモニタリング」ワークショップ

## 1. はじめに

2011年11月11日から14日にかけて、アメリカ合衆国マサチューセッツ州ボストンのノースイースタン大学において第2回日米「風による橋梁及び柔構造のモニタリング」ワークショップ（以下 ワークショップ）（写真-1）が、2012年3月10日から3月14日にかけてテキサス州ラボックのテキサス工科大学において第3回ワークショップが開催されました。この会議は、日本がアメリカ合衆国（米国）との間で合意した「安全・安心な社会に資するための科学技術」の分野協力の一環として、UJNRの枠組みの下に実施するものです。この会議は日本側が米国を訪問する形で行われ第1回は2009年10月にジョーンズホプキンス大学（メリーランド州ボルチモア）で行われました。

ちなみにUJNRとは「天然資源の開発利用に関する日米会議；USA-JAPAN Cooperative Program in Natural Resources」といい、1964年の第3回日米貿易経済合同委員会において、天然資源の分野で情報、

研究資料、専門家及び研究施設を交換することが日米両国にとって極めて有益であるとの合意に基づき、設置されたものです。現在、17の専門部会で構成されています。橋梁に関しては、耐風耐震構造専門部会が担当し、強風、地震、高潮ならびに津波からの災害防除に関して活動を行っています。仕組みとしては日米双方に部会が設置され、現在日本側の部会は独立行政法人土木研究所理事長を部会長としており、米国側はNIST（商務省国立標準技術研究所）の工学研究所国際地震災害軽減プログラム担当部長を部会長としています。また、専門部会の下にはさらに7つの作業部会がおかれています。

本ワークショップは、そのような経緯もあり参加者は耐風耐震構造専門部会の作業部会の一つである風工学部会に関連するメンバーが中心となっています。ここではワークショップの概要と第3回ワークショップが開催されたテキサス工科大学の風研究施設の紹介をします。



写真-1 第2回ワークショップ

## 2. ワークショップの概要

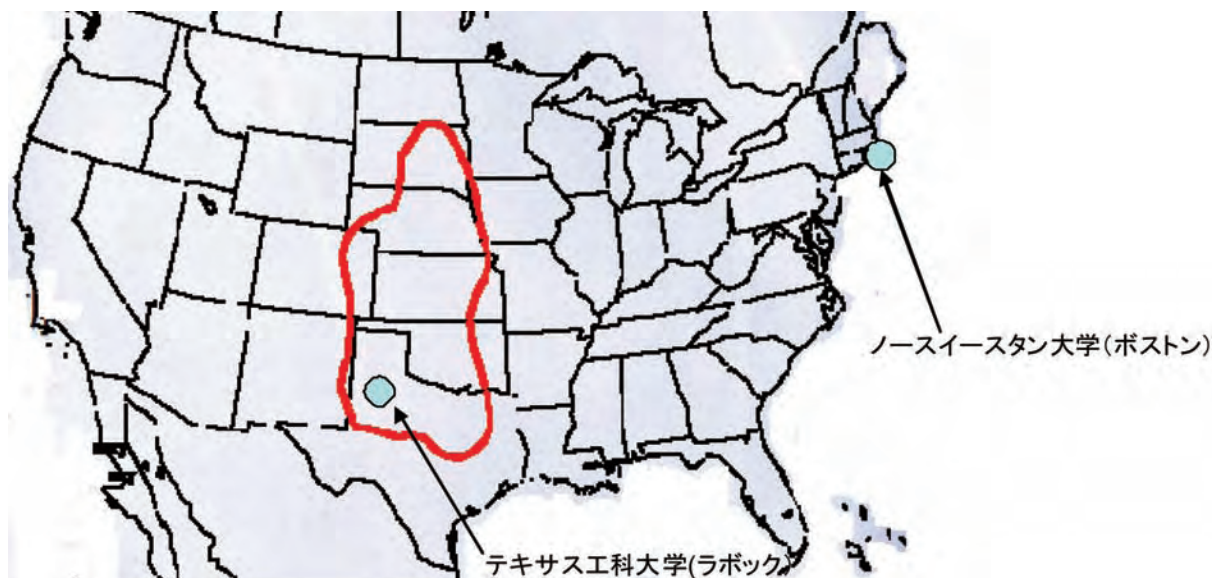
ワークショップは、会議と施設視察で構成されており、参加者は第2回ワークショップでは米国側から6名、日本側からは3名の計9名が、第3回ワークショップでは、米国側から6名（カナダからの1名を含む）、日本側から4名の計10名が参加しました。

会議では、風による橋梁振動や高層建造物の振動の他、米国における風観測や橋梁モニタリング技術なども発表されました。また施設視察においては、第2回ワークショップでは中国にある斜張橋をポストンで遠隔計測する施設を、第3回ワークショップでは開催されたテキサス工科大学が、全米でも有数の風研究施設を所有する大学であることから、その大規模観測施設及び実験施設を視察しました。

## 3. テキサス工科大学の風研究施設

日本では風被害といえば台風でしたが、おりしも平成24年5月6日正午過ぎに、茨城県つくば市を襲った竜巻は多くの被害を出し、日本でも米国並みの竜巻被害があることを改めて知らしめたところでした。米国では、このような竜巻が日本に比べ格段に多く出現することもあり研究も盛んです。テキサス工科大学は“竜巻街道（図-1）”といわれる地域にあることもあり竜巻をはじめとした風工学の分野では全米でも著名な大学です。ここでは、今回視察したテキサス工科大学の風研究施設について紹介したいと思います。

風の研究には風特性と風による構造物の応答とがあります。強風時の風特性（風況）を知ることは、数値解析の向上につながり、その結果精度の高い風予測が可能になります。ただ、そのためには、データの蓄積が不可欠でいかに必要なデータを集めるかが重要になります。



竜巻が多い地域（竜巻街道（Tornado Alley））：赤太線で囲まれた範囲

図-1 ワークショップ開催大学の場所と竜巻街道





写真-2 風況観測場



写真-3 風況 計測タワー

写真-2は、大学のあるラボックの郊外にある飛行場跡地を利用した観測場です。見渡す限り建物がないうちか起伏もなく地平線しか見えない広大な平原にポツンと観測施設があります。写真-3の左側にある計測塔は高さ200mで、大気の情報を集めるために一定の高さ毎に3方向風速計などさまざまな機器で計測しています。地表からある高さまで同地点の風のデータが収集できるようになっています。

しかし、実際の気象現象はどこで起きるかわかりません。また台風など強風を起こす気象現象には雲が関連します。移動し、このような雲も計測できる設備が重要です。写真-4はその装置です。雲や霧のような無降水の水雲の内部をレーダによってリモートセンシングするには、散乱特性の把握が重要でそれにはミリ波帯のKaバンドを使用することが最適です。この車はその最新鋭のKaバンドドップラーレーダーを搭載し雲の動きを計測できます。



写真-4 移動計測車

一方、風による応答の研究といえば風洞実験があげられますが、テキサス工科大学には竜巻を想定した風洞があります（写真-5）。VORTECHと名づけられたその装置は8つのファン（扇風機）で空気を毎分160,000立方フィート（4,530立方メートル）吸い込み、装置を囲むように配置した64の羽を使用して擬似竜巻を起こします。写真-6は竜巻を再現した状況です。

当日は時間の制約もあり、以上紹介した設備の視察となりましたが、テキサス工科大学の風関連施設はこれ以外にもあり、設備の充実ぶりには感嘆しました。

文責 企画部 麓興一郎



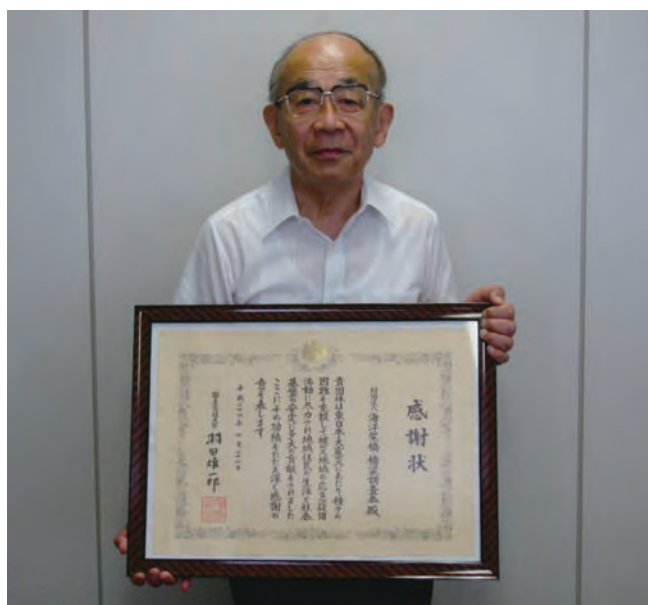
写真-5 竜巻を起こす風洞



写真-6 風洞で再現された竜巻

# 東日本大震災関係功労者表彰の 受賞について

東日本大震災による被災地域の早期復旧等に関し功績のあった団体として、当調査会が国土交通大臣感謝状を授与されました。



感謝状と伊藤理事長

当調査会は東日本大震災の発生に際し、以下の活動を行いました。

## ○ 道路橋の被害調査、道路管理者への調査結果提供

### ・ 現地調査

東北地方整備局の支援のもとに現地へ調査団を派遣して、岩手県から宮城県にかけての沿岸部を通る幹線道路の橋梁38橋の損傷状況を調査しました（平成23年3月～4月）。

国道45号：35橋、国道4号：1橋、国道398号：1橋、主要地方道塩釜亘理線：1橋

### ・ 調査結果の提供

調査結果の速報（損傷部位の写真、損傷状況・必要な応急措置等のコメント）を関係する道路管理者等に提供しました。

調査結果を整理してとりまとめた報告書「平成23年東北地方太平洋沖地震による道路橋の被害の事例」を作成し、国や地方公共団体の道路管理者等に配布しました。

## ○ 道路橋の被害の実態と今後の被害軽減のための対策に関する情報提供

### ・ 研修会等での情報提供

国や地方公共団体の道路管理者が参加する研修会や技術フェア等で、地震動および津波による道路橋の被害の実態と今後の被害軽減のための対策に関する情報を提供しました。

### ・ 機関誌による情報提供

道路橋の被害について、被害の種類ごとに解説した報文を機関誌「J\_BECレポート」に掲載して、国や地方公共団体の道路管理者等に情報提供を行いました。

### ・ ホームページを活用した情報提供

ホームページに上記報告書「平成23年東北地方太平洋沖地震による道路橋の被害の事例」を掲載して、広く一般に情報提供を行いました。

また、その英語概要版「Damage to Highway Bridges Caused by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake」を作成し、ホームページに掲載して国際的な情報提供を行いました。

## 《道路橋の被害に関する現地調査の状況》



# 橋梁研究開発助成等について

当調査会では、平成20年度から「橋梁技術に関する研究開発助成」及び「国際会議等への参加に関する助成」を始めており、年に一度、助成対象者を決定しております。今まで「橋梁技術に関する研究開発助成」は5件、「国際会議等への参加に関する助成」は11件の助成を行ってきたところです。この度、平成24年度分の募集を行って助成が決定しました。

なお、助成対象者の選定にあたり、橋梁研究開発助成等審査委員会（東京大学・埼玉大学 伊藤 學 名誉教授、(独) 土木研究所 魚本 健人理事長、東京大学 藤野 陽三教授）を設け、審査委員会での審査を経て、それぞれの助成を決定しました。

平成24年度の助成対象者は以下の通りとなりました。

## 橋梁技術に関する研究開発助成

橋梁技術に関する研究開発についての計画を公募し、優秀研究計画と認められる応募者に対して、当該研究開発に要する費用の一部を助成

### 平成24年度

西尾 真由子氏（横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 准教授）

- ・ 研究計画：「光ファイバセンサ動ひずみデータを用いた橋梁支承部機能モニタリング」

中村 友昭 氏（名古屋大学高等研究院 特任講師）

- ・ 研究計画：「津波による橋梁への作用力の評価と漂流挙動の解明」

## 国際会議への参加に関する助成

橋梁技術に関する国際会議において研究等の発表のために渡航する方に対し、その渡航に係る費用等を助成

### 平成24年度

- ①SIVALEEPUNTH CHUNYAKOM 氏（鹿島建設株式会社 研究員）

発表論文：Shear Behavior of RC Beams Using Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete Precast Formworks

- ②武田 篤史氏（株式会社大林組 副主任研究員）

発表論文：Shaking Table Tests of Bridge Models with Friction Slip Dampers

- ③安 同祥 氏（早稲田大学理工学術院 准教授）

発表論文：Seismic Performance of Bridges with Rubber Bearing Systems under the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Ground Motions

いにしえ  
古

# 北の地の歴史を刻むアーチ橋

北海道・旭橋（あさひばし）

## の橋探訪 シリーズ第7回



### 北海道3大名橋の中で唯一現存

北海道の中央部に位置する旭川市は北海道第2の都市である。市の中心部近くに旭橋があり、優雅なアーチ曲線を描いた美しい姿から市のシンボルとなっている。

旭橋は、日本第3位の長さを誇る石狩川が牛朱別（うしゅべつ）川と合流する地点に架けられており、市内中心部と北部をつなぐ交通の要衝であり、国道40号として利用されている。

かつては札幌の豊平橋、釧路の幣舞橋とともに北海道の3大名橋と呼ばれていた。しかし、他の2つの橋はすでに新橋に架け替えられて姿を消して、現在でも残っているのはこの旭橋だけである。

### 軍事色から平和色へ

旭橋の歴史は古い。明治中頃から旭川付近の原野の開墾に伴って入植者が次第に増えていき、現在の旭橋の位置に1892（明治25）年、土橋が架けられた。その2年後に、旭橋の前身ともいえる「鷹栖橋」が作られた。

この橋が流出し架け替えをしたが、腐朽化により新橋の建設を行うこととなった。新橋は3年の年月をかけて1904（明治37）年5月に完成。これが「旭橋」と名付けられた初代の橋であり、道内で2番目の鋼道路橋であった。

その後、交通量の増加や交通車両の大型化とともに老朽化が進行し、架け替えることとなった。そこで、1927（昭和2）年、当時の北海道帝国大学工学部長の吉町太郎一博士に設計指導を依頼。「旭川のシンボルになる橋を」と考えた博士は、内務省と協議して橋梁形式を決定。ブレーストリブ・バランス・タイドアーチ橋を採用した。そして1932（昭和7）年、当時の最新技術を使って鋼鉄製の現在の橋

- 1 路面上から見た主構造、袖柱（飾塔）と照明灯は復原したもの。
- 2 一部に溶接を使った独特の表情を持った橋門構。
- 3 床組と凹形状のバックルプレートを使ったコンクリート床版。
- 4 ロッキングカラムのディテール、リベットによる部材構成が見て取れる。
- 5 石張りが施された2本の柱を鋼材で連結した橋脚。

所在地：北海道旭川市常磐通3丁目

構造形式：プレーストリブ・バランスト・タイドアーチ橋  
設計者：北海道帝国大学工学部 吉町太郎 博士  
橋長：全長：224.82m  
幅員：18.3m  
着工：1929（昭和4）年11月  
竣工：1932（昭和7）年11月  
最寄駅：宗谷本線・旭川駅または新旭川駅から約1.6km

が完成した。

この橋は旧陸軍第7師団と旭川駅を結んでいるため、戦時に橋脚が攻撃されても崩落せずに戦車や物資輸送車の通行ができるように強靱につくられた。

また、橋の正面には「誠」の文字と、軍人勅諭を書いた旭日章が掲げられた。それに対して通行者は立ち止まってお辞儀や敬礼をしたり、戦地に赴く軍人の多くがこの橋を渡って出征したりするなどした。それゆえ、旭橋は軍都旭川を象徴した存在で、師団橋とも呼ばれた。戦争が激化するなかの1944（昭和19）年には、他の橋と同様に鉄製の欄干や袖柱（飾塔）が軍へ供出されるなどの影響を受けた。

しかし、第2次世界大戦後には軍人勅諭などは撤去された。その後、かつての姿を取り戻そうという人々の呼びかけで、当時の写真を元に1983（昭和58）年に金属製の袖柱やランタン風の照明灯が復原され、橋の架け替えから50年目に点灯式が行われた。

橋の色はこれまで何度も塗り直しが行われ、時代によって色は変化しているが、現在は潇洒なオリーブグリーンの色合いで橋の佇まいを引き立てている。

### 先端技術を駆使した強靱構造

旭橋の外観は、約48万本のリベットが露出した荒々しい骨組みと、それと対照的に美しい曲線に圧倒される。建設費用は約103万円という巨額なもので、今の金額に換算すると約30億円近くになる。

強靱な構造は、当時の先端技術の賜物である。旭橋の設計では当時の設計基準である「道路構造に関する細目 大正15年」の1等橋の設計荷重と路面電車複線の荷重が加味されている。下部構造では、橋台は2基で扶壁式鉄筋コンクリート構造、そして橋脚は3基で、鉄筋コンクリート円柱2本の構造で柱間を鋼材で結んでいる。これら橋台と橋脚の外装には十勝産の花崗岩を使用している。基礎は鋼矢板で締切り後、鉄筋コンクリートを打設した直接基礎である。上部構造は主構造部の両端に、ロッキングコラムを設け、側経間のポニートラスの反力を支えると

ともに可動機構を持たせ温度変化による橋の伸縮を吸収している。

アーチの下弦材にはドイツから輸入した高張力鋼を使用、床板にはバックルプレート（中央部を凹にした鋼材）にコンクリートを打設した構造である。さらに橋門構の中央付近や補強リングの山形鋼は、溶接の普及していない当時としては珍しく溶接が使われている。

### 土木学会選奨土木遺産に認定

旭橋は2002（平成14）年、「日本を代表する大型のバランスト型のタイドアーチ橋」として、土木学会選奨土木遺産に認定された。さらに現役で使われている橋としては北海道で最も古い鋼道路橋で、2004（平成16）年には北海道遺産に認定された。

歴史的価値はもちろん、美しい風景のなかで優美に横たわる姿は、訪れる人の目を釘付けにしてやまない。とくに晴天の日の旭岳を始めとする大雪山連峰をバックにした姿、夕暮れにはノスタルジックに夕空に浮かぶ姿は見逃せない風景である。

橋の河川敷では、毎年夏に夏祭りや花火大会、滝の放流と夜のライトアップ、そして冬まつりが開催され近くの常磐公園とともに市民や観光客の絶好の憩いの場となっている。



橋の周辺は公園として整備され市民の憩いの場となっている

# お知らせ

## 平成25年度 橋梁点検技術研修会 開催のご案内

1. 主催 (財)海洋架橋・橋梁調査会
2. 開催予定日
  - ①第65回 平成25年 4月 9日(火)～11日(木) 場所(東京) 民間・道路管理者
  - ②第66回 平成25年 5月 21日(火)～23日(木) 場所(東京) 道路管理者のみ
  - ③第67回 平成25年 7月 9日(火)～11日(木) 場所(東京) 民間・道路管理者なお、第66回は道路管理者のみの対象となります。
3. 研修会参加者の募集時期  
各研修会開催予定日の約2ヶ月前に、当調査会ホームページに「募集案内」を掲示します。研修会参加希望者は「募集案内」をご覧ください。所定の様式に従って入力を行い、申し込んでください。

ホームページアドレス <http://www.jbec.or.jp/>  
問合せ TEL03 (5940) 7746 企画部 研修担当

## 連絡先

**本部** 〒112-0013  
東京都文京区音羽2-10-2 (音羽NSビル8階)  
TEL : 03-5940-7788 FAX : 03-5940-7789  
URL : <http://www.jbec.or.jp> E-Mail : [info@jbec.or.jp](mailto:info@jbec.or.jp)

**東北支部** 〒980-0014  
仙台市青葉区本町2-1-29 (仙台北町ホンマビルディング3階)  
TEL : 022-221-5301 FAX : 022-221-5302

**近畿支部** 〒540-6591  
大阪市中央区大手前1-7-31 (OMMビル13階)  
TEL : 06-6944-8551 FAX : 06-6944-8556

**関東支部** 〒112-0013  
東京都文京区音羽2-10-2 (音羽NSビル8階)  
TEL : 03-5940-7744 FAX : 03-5940-7754

**中国支部** 〒730-0013  
広島市中区八丁堀15-10 (セントラルビル8階)  
TEL : 082-511-2203 FAX : 082-225-4745

**北陸支部** 〒950-0965  
新潟市中央区新光町10-2 (技術士センタービル3階)  
TEL : 025-281-3813 FAX : 025-281-3818

**四国支部** 〒760-0026  
高松市鷹屋町3-1 (マニユライフプレイス高松2階)  
TEL : 087-811-6866 FAX : 087-811-6867

**中部支部** 〒460-0002  
名古屋市中区丸の内1-16-15 (名古屋フコク生命ビル6階)  
TEL : 052-218-3151 FAX : 052-218-3153

**九州支部** 〒812-0013  
福岡市博多区博多駅東2-9-1 (東福第二ビル5階)  
TEL : 092-473-0628 FAX : 092-473-0629

**北海道駐在所** 〒003-0804  
札幌市白石区菊水4条2-1-6 (政陽ビル2階)  
TEL : 011-867-9255 FAX : 011-832-0606

**J-BEC レポート 2012 Vol.7** 平成24年11月発行

編集・発行 財団法人 海洋架橋・橋梁調査会

印刷 (株)大 應





# J-BEC

橋をかける  
橋をまもる