北陸路

62号

平成27年12月

北陸道路研究会会報

森林資源保護のため再生紙を使用しております

目　次

1．巻頭言「建設技術者としての思い出と道路」……金子　慶一　1

2．基調講演……山岸　勇　2

「北陸新幹線金沢開業効果を持続・発展させるために」

3．研究報告

(1) 災害・日常時の道路の信頼性とその総合・長期的評価の研究開発

……中山　晶一朗　8

(2) 土木分野への新たなFRP部材の研究開発……宮里　心一　１２

(3) 主要地方道　立山山田線　高善寺橋　災害復旧工事……田村　拓朗　１８

(4) 石川のみちづくり指針……高田　隆司　２４

(5) 福井県の「道の駅」について……木村　友則　３０

(6) 大規模更新・大規模修繕工事

～NEXCO中日本　金沢支社初年度状況～……山田　稔　３８

(7) 凍結防止剤によるPC鋼材腐食の抑制　―リパッシブ工法―……鴨谷　知繁　４２

(8) 最近の話題橋梁……館　暢　４８

(9) 中小自治体を対象にした橋梁マネジメントシステムの開発・

運用及び課題……町口　敦志　５４

4．事業報告……５８

5．規約……５９

6．役員名簿……６０

7．会員名簿……６２

編集後記……６９

「表紙説明」

宮坂橋歩道橋（石川県鳳至郡穴水町）は、わが国で最初のフライアッシュコンクリートを使用したプレテンション式ＰＣ･Ｔ桁橋です。本橋は、七尾大田火力発電所の分級フライアッシュを使用し、ピーエス三菱七尾工場で製造されました。能登産「地産地消」の見本です。

巻　頭　言

建設技術者としての思い出と道路

今年3月に北陸新幹線が開業しました。この新幹線開業を中心とした交通網の整備によって、大都市と北陸を結ぶビジネスのあり方が変化し、また全国から多くの観光客が訪れました。特に金沢や能登半島の観光地、金沢周辺のホテルや居酒屋の混雑は目を見張るものがあります。また、金沢駅前周辺の地価上昇率が全国第1位になったとありました。この9月のシルバウィーク期間において、北陸新幹線利用者数は在来線利用者に対して前年同期比の2.2倍44万9千人で、データが残っている2005年以降最高、北陸自動車道の交通量は一日平均4万8千台で前年同期比65%増、東海北陸自動車道は67%増の2万5千台と地元地方紙に報じられていました。このように今年は社会資本の整備効果が目に見えて現れた年となりました。

さてこの「北陸道路研究会」は昭和27年に金沢大学工学部土木工学科の永井教授が福井、石川、富山3県の産学官の建設関係者に呼びかけ、道路網の整備が経済復興に重要な役目を果たすとの思いから、金沢大学を中心にして発足したと聞いています。その後半世紀以上が経過し、この研究会の重みを感じているところであります。

この研究会が発足した頃に生まれた私は、今年10月で65歳を迎えました。金沢大学工学部土木工学科へ入学した昭和44年は大学紛争が激しかった頃で、東大の入学試験が中止され、金沢城内にあるキャンパスの中でも火炎瓶が飛び交っていました。そうした大学紛争の鎮静化とともに、在学中には「日本列島改造論」をもとに公共投資が大規模に行われるようになり、交通網の整備として北陸新幹線の基本計画の決定がされ、高速道路も地方に伸びていくようになりました。身近な北陸自動車道は金沢西～小松ＩＣ間がまず開通となり、大学の友人たちとお金を出し合って買ったポンコツ自動車で試走しました。スピードをどこまで出してよいかわからず、恐る恐る走った記憶が鮮明に残っています。卒業後、就職したゼネコンでは東京都営地下鉄の建設に従事しました。親元で学生時代を終えた私にとってはつらい体験ばかりでしたが、その中でも夜勤の覆工撤去の時間との闘いは忘れられません。朝の交通解放の時間までに覆工を撤去し舗装しなければならないという、車の交通確保の重要性が身に浸みた経験でした。そうした都市土木のわずか4年間の体験の後、現在の建設コンサルタント会社にＵターンしました。

建設コンサルタント会社に就職した昭和50年代初めの石川県では能登海浜道路が全線開通し、奥能登へさらに有料道路を延ばし、能登島大橋建設工事などの、新規の道路工事が盛んに行われていました。当時の建設コンサルタントの仕事において、路線選定を終えた道路の測量成果を早く図化し設計に結びつけることが重要で、設計技術者が自ら路線測量を行ったり、これらの自動図化のソフト開発に力を注いでいました。また、トンネル、橋梁、鉄道との立体交差など大型構造物の設計も多くあり、初めての設計体験に果敢に挑戦する時代でもありました。

しかし、現在こうした道路施設は高齢化しました。一つの例として石川県内における橋梁（橋長2m以上）のうち、建設後50年以上経過する橋梁は11%（2013年時点）で、10年後（2023年）には31%、20年後（2033年）には53%と半数以上に拡大すると言われています。このような現状に対して都道府県ごとに「道路メンテナンス会議」が設置され、産学官によるメンテナンス技術の開発、点検・診断の研修とその実施が行われています。ただ、このようなメンテナンスサイクルを回す取り組みでは、道路施設の医者たるべき技術が必要です。そのためには減少しつつある新規施設の設計技術のレベルアップも、点検・診断技術の礎となるため欠かすことができないものと思います。

最後に、昨今建設事業の担い手確保が大きな課題としてあります。北陸3県における道路関連事業を産学官で研究発表する場である「北陸道路研究会」での技術交流を通じて、次の世代の人に建設事業の素晴らしさを伝えいくことを期待したいと思います。

株式会社国土開発センター
金子慶一

基調講演

「北陸新幹線金沢開業効果を持続・発展させるために」

石川県技監　　山岸　勇

１．はじめに

平成２７年３月１４日、石川県民の永年の悲願であった北陸新幹線が金沢まで開業しました。開業後、半年を経過し、県内各地の観光客の入り込みは、昨年に比べ、いたる所で増加しています。

新幹線の開業効果を県内全域に波及させるため、これまで積極的に進めてきた幹線道路や公園などの交流基盤の整備が、このような観光客の増加に寄与したものと考えています。

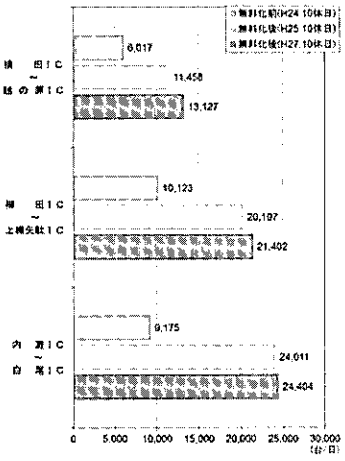
今回、石川県における開業前の交流基盤の整備事例や、開業後に生じた新たな課題、および、開業効果を一過性に終わらせることなく持続・発展させるための取り組みを紹介します。

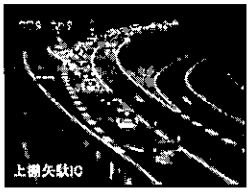
２．開業効果を波及させるための取り組み

【のと里山海道の無料化前倒し】

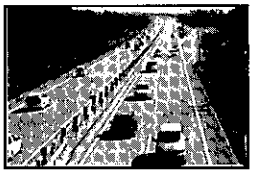
北陸新幹線金沢開業の約２年前に前倒しし、　平成２５年３月３１日に旧能登有料道路がふるさと紀行「のと里山海道」として無料化されました。この無料化により交通量が無料化前の約２倍に増加しました。

また、能登地域の観光地の入り込み客も増加していることに加え、新たな企業進出も見られるなど、その効果が着実に現れてきています。





【上棚矢駄ＩＣ付近】



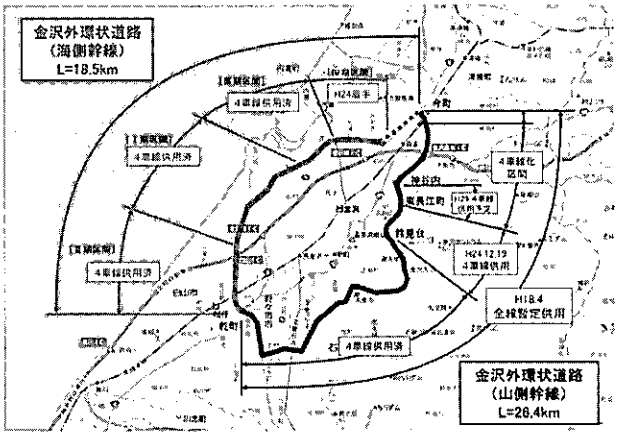
【柳田ＩＣ付近】

【金沢外環状道路の整備】

金沢外環状道路は、金沢都市圏の骨格を形成し、能登・金沢・加賀を連結して広域交流を促進するとともに、金沢港、北陸自動車道、小松空港などの物流拠点間の連結やアクセスを強化し、さらには金沢中心市街地の通過交通を排除して、渋滞の解消を図る延長約５０ｋｍの幹線道路です。

このうち山側幹線は、平成１８年４月に全線開通しており、これにより市街地の交通が山側幹線へシフトし、金沢中心部の通過交通が減少するなど、大きな整備効果が現れています。

また、海側幹線については、平成９年度に事業着手したⅠ期区間にはじまり、Ⅱ期区間（平成１６年度）、Ⅲ期区間（平成１９年度）と順次事業着手し、これまでに１２．７ｋｍが供用しています。平成２４年度からは、Ⅳ期区間に新規着手しています。



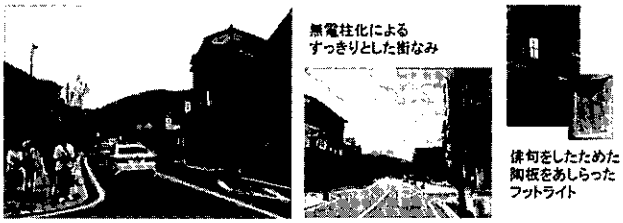
【街なみ景観魅力アップ】

温泉街や中心商店街などにおいて、無電柱化を核とした街なみ景観の魅力アップを進めています。

無電柱化にあわせて、沿道建物の保存や修景、屋外広告物の整理統一（エコサインの設置）、舗装や照明、緑化などの道路修景を行い、総合的な景観形成を図っています。

集合広告看板
（エコサイン）の設置

【七尾市 湯元和倉温泉駅線】



【加賀市 温泉中央南線(山中温泉)】

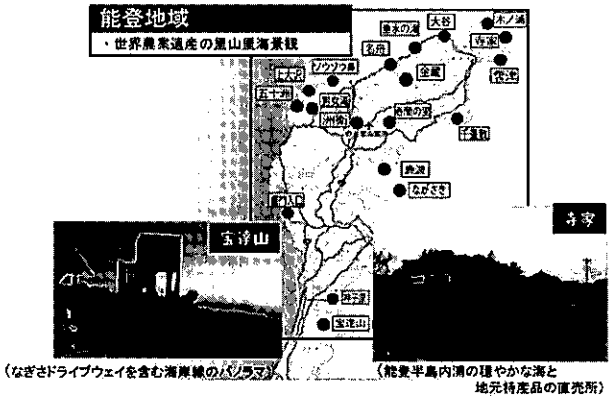
【いしかわ風景街道（寄り道パーキング）の整備】

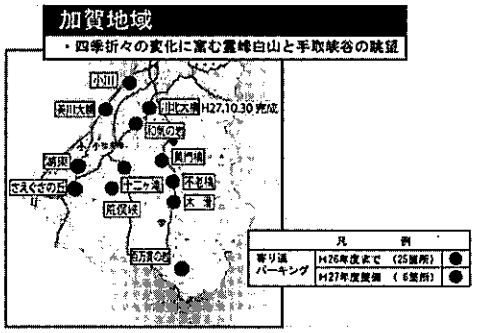
本県は、世界農業遺産に認定された「能登の里山里海」や日本三名山の一つである「霊峰白山」など優れた景観資源を有しています。

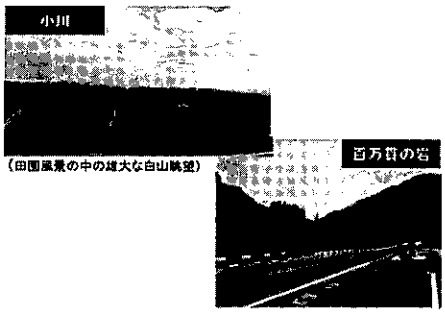
魅力あるいしかわの風景を楽しみながら、ゆっくりと周遊できる「おもてなしの道」づくりを目的として、世界農業遺産に登録された「能登の里山里海」の景観や、「霊峰白山と手取峡谷」の眺望が楽しめる箇所などに、「寄り道パーキング」を整備しています。

整備内容としては、魅力的な風景が広がる沿道に小規模な駐車スペースを整備し、周辺の観光情報を盛り込んだ道路案内板を設置するほか、地域の要望に応じて特産品の販売などの交流スペースを提供しています。

北陸新幹線金沢開業までに２５箇所の整備を完了しており、今年度は、能登地域で４箇所、加賀地域で２箇所の計６箇所の整備を予定しています。







【道路案内標識の修正】

古い案内標識の中には、ローマ字のまま表記されているものや、英語表記のないものなど、外国人に分かりにくい標識が存在していました。

このため、北陸新幹線金沢開業を見据えた「おもてなし」の一環として外国人にも分かりやすい案内標識への改善に取り組みました。

優先的に改修する路線として

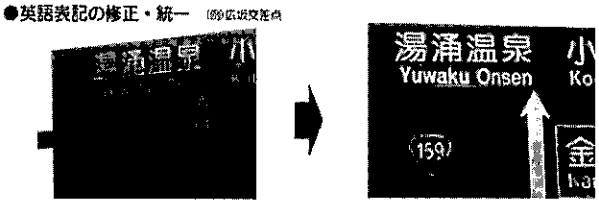
・温泉地や兼六園周辺など観光地周辺

・空港、IC、駅など交通結節点周辺

・金沢・能登・加賀を結ぶ主要アクセス道路

を設定し、各道路管理者が連携し対策を行いました。

英語表記を修正した事例としては、温泉の英語表記を標識令の改正に合わせ「Spa」を「Onsen」に変更したほか、漢字だけの案内標識に英語表記を追加しました。

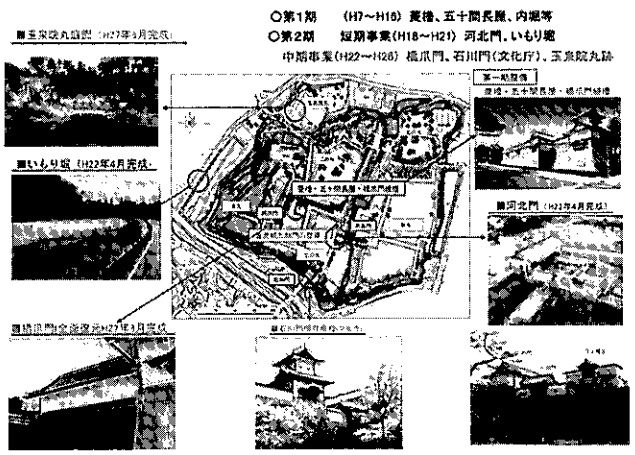


【金沢城公園の整備】

金沢城公園は、平成８年に県が金沢大学跡地を取得し、兼六園と並ぶ本県のシンボルとして整備に取り組んでいます。

平成１６年度までの第１期整備では、菱櫓・五十間長屋等の城郭施設や園路・広場などを整備しました。

平成１８年度からは第２期整備に着手し、河北門の復元やいもり堀の整備、石川門の修築等を行い、平成２７年３月には、北陸新幹線金沢開業に向けて整備を進めてきた第２期整備の仕上げとなる橋爪門の復元や玉泉院丸庭園、丸の内園地の整備を完了しました。

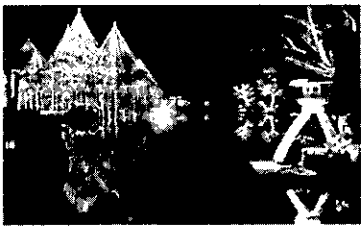


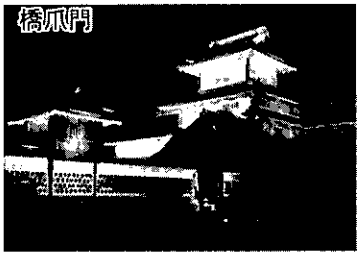
【兼六園・金沢城公園のライトアップ】

兼六園においては、「金沢城・兼六園四季物語」として、四季折々の庭園の情景をライトアップしており、夜の庭園の「幽玄」の世界を堪能いただくため、今年度は、過去最大の年間６０日間の実施を予定しています。

また、金沢城公園では、四季物語の期間に、毎週金曜・土曜日、祝前日を加え、年間１５０日程度、ライトアップを実施しています。３月に開園した「玉泉院丸庭園」では、色紙短冊積などの石垣を取り込んだ、立体的な庭園の特長を活かし、「大名庭園の灯りの絵巻」と銘打ち、琴や尺八の調べと、移り変わる多彩な光が織りなす、「幻想」的な音と光の演出となっています。

さらに、橋爪門の復元により、江戸後期の城郭景観が整った三の丸一帯の建物と石垣のライトアップによる「荘厳」な夜景、しいのき迎賓館などから望む石垣のライトアップも楽しんでいただければと思います。


【兼六園】

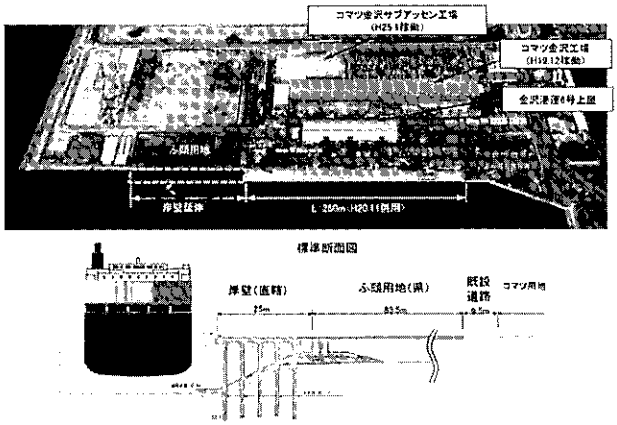


【金沢城公園】

【金沢港～大浜地区国際物流ターミナル～】

大浜地区の大水深岸壁（水深１３m）は、平成１８年度より国直轄事業として着手しており、平成２０年１１月に水深１２m（航路幅員２００m）で供用開始しています。

今年度は、現在、水深１２mで供用している航路の水深１３m化の浚渫工事を行うこととしています。また、岸壁の延伸整備も進めており、完成すると貨物船（２万トン級）が２隻同時に接岸可能となるほか、１０万トンを超える大型クルーズ船の接岸も容易になります。

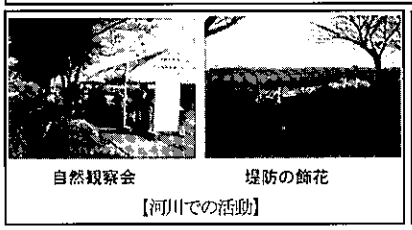


【いしかわ我がまちアドプト制度の推進】

平成２２年度、道路美化活動を支援するため、道路などの公共物を自分たちの養子に見立て、清掃等のお世話をするアドプト制度の仕組みを取り入れた石川県版道路アドプト制度「地域連携沿道環境創出事業」を創設しました。

この制度は、地元企業の支援のもと、地域の活動団体と行政が役割を分担し、今まで以上にきめ細かな道路美化活動を行い、良好な道路景観を創出する取り組みです。

平成２４年度、河川でも開始したため、制度名を「いしかわ我がまちアドプト制度」に改称し、更に平成２７年度は新たに港湾でも開始され、様々な分野に拡大しているところです。現在、道路３４団体、河川２１団体、港湾１団体の合計５６団体が活動しています。



３．開業効果と新たな課題

【開業後の観光客等の入り込み状況】

新幹線の利用者は、開業後の６ヵ月間で４８２万人であり、前年の在来線特急に比べ約３倍になっています。

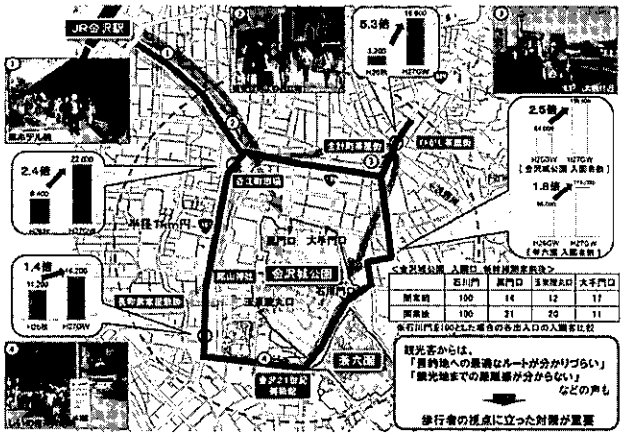
これに伴い、金沢市内の入込も盛況で、兼六園も開業後の半年間で対前年約１．４倍、開業に合わせて玉泉院丸庭園や橋爪門を整備した金沢城公園では約１．８倍となっています。また、能登地域では「まれ」の放映とも相俟って、輪島朝市では対前年約１．４倍、道の駅「すず塩田村」で約２．９倍となっています。

更に、主要宿泊施設として、和倉温泉では対前年約１．２倍、加賀４温泉郷でも約１．１倍に増えました。

【金沢市内の状況と新たな課題】

金沢市内では、首都圏からの来県者や外国人観光客が増加している中、金沢駅から近江町市場、金沢城公園や兼六園まで、まちなかを徒歩で周遊・散策する新たな歩行者の動きが見られています。

金沢中心部は、多くの観光施設が半径１ｋｍ程度にコンパクトに集積し、徒歩で都市の魅力を堪能できる貴重なエリアであることから、徒歩で観光地へ向かう旅行者が大幅に増加する一方で、現地での聞き取りによると「観光地に向かう途中で道に迷った」などの声も出てきています。

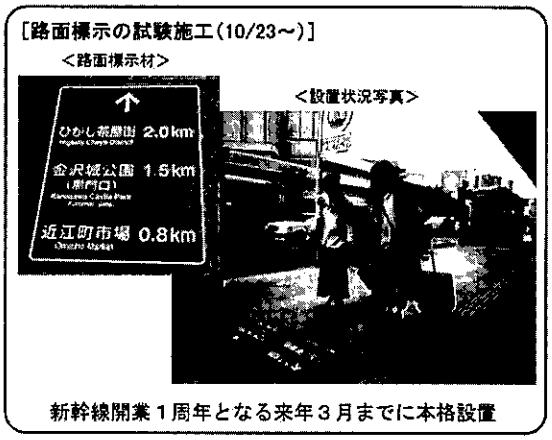


【金沢まちなか歩行環境の向上】

このため、国・県・市の各道路管理者、県市の観光部局、交通管理者である県警からなる連絡調整会議を７月に立ち上げ、検討を進めてきました。

観光客の意見も踏まえ、観光地までの距離や方向といった情報をわかりやすく提供するため、歩道上に路面標示を設置することとし、１０月２３日には金沢駅、近江町市場、金沢城公園、ひがし茶屋街を結ぶルートにおいて試験施工を実施し、今後、観光客への聞き取り調査を踏まえ、新幹線開業１周年となる来年３月までに市内中心部において本格的に整備を行うこととしています。

今後とも、観光客の満足度を高め、リピーターとなっていただくことが重要であり、更なる歩行環境の充実に向け、国や市と十分に連携を図りながら、スピード感を持って取り組むこととしています。



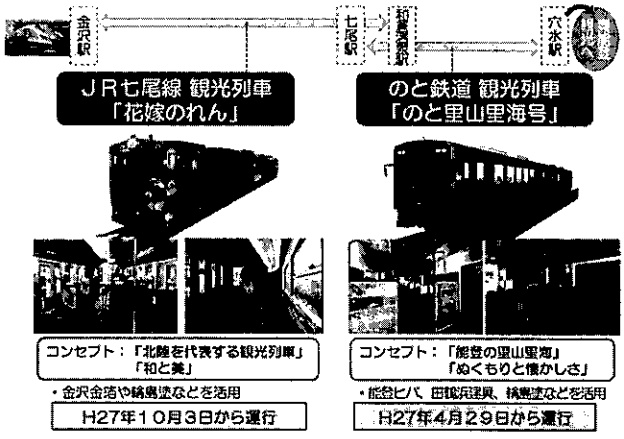
４．開業効果を持続・発展させる取り組み

【観光列車の導入】

新幹線の開業効果をさらに能登へと波及させるため、観光列車を導入しました。

のと鉄道では、北陸新幹線開業直後のゴールデンウィークの４月２９日 から観光列車「のと里山里海号」が運行を開始し、引き続き、北陸デスティネーションキャンペーンにあわせて１０月３日からＪＲ七尾線の観光列車「花嫁のれん」が運行を開始しました。

内装には能登ヒバや田鶴浜建具、輪島塗など能登の素材、伝統工芸品をふんだんに使うなど、観光列車らしい風情溢れる工夫がされており、車窓から能登の里山里海の風景を味わいながら、ローカル線らしい、ゆったりとした旅を存分に堪能できます。

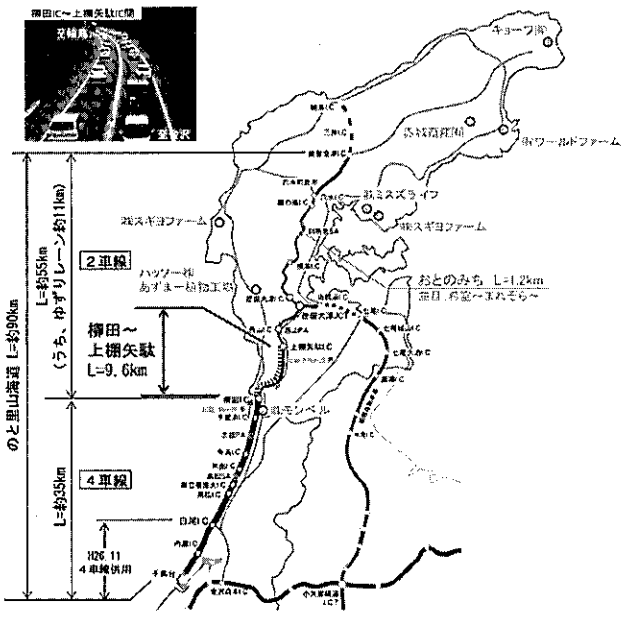


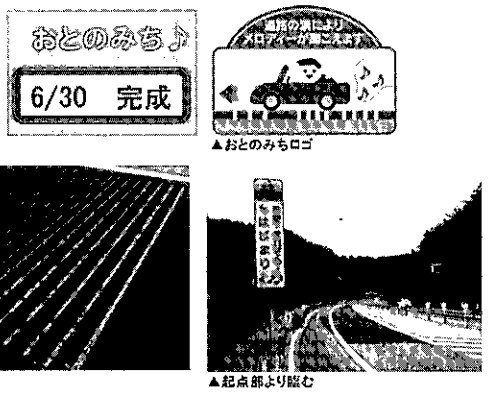
【のと里山海道４車線化・おとのみち】

のと里山海道の柳田ＩＣから上棚矢駄ＩＣ間の交通量は、無料化後に約２．０倍に伸びており、多くの観光客がのと里山海道を利用して能登を訪れています。これに伴い、柳田ＩＣ以北の２車線区間において、交通渋滞が発生しており、走行性や安全性の向上、混雑の緩和を図るため、柳田ＩＣから上棚矢駄ＩＣ間９．６ｋｍの４車線化事業に今年度より着手しました。

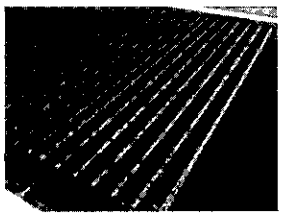
加えて、平成２３年の世界農業遺産に続き、本年、能登のキリコ祭りが日本遺産に認定されるなど、能登地域の文化や景観が高い評価を受けており、新幹線開業や「まれ」の放映も相俟って、今後、更に多くの県外観光客が能登を訪れることが期待されます。このため従来の事故防止対策である横断グルービングに、おもてなしの一工夫を加え、溝の間隔を変化させ、その上を車が制限速度で走行すると、走行音が音楽として聞こえる「おとのみち」を整備し、のと里山海道の魅力向上を図ることとしました。

曲目は、能登をイメージして作られた曲として「まれ」の主題歌である「希空～まれぞら～」を選曲し、別所岳ＳＡから越の原ＩＣ間の輪島へ向かう下り坂に、日本最長となる延長約１．２ｋｍに整備を進め、６月末に完成しました。これまでに多くの方々から好評の声をいただいています。是非、「おとのみち」を実際に走行し、グルービングが奏でる「希空」をお聞き下さい。





▲おとのみちロゴ

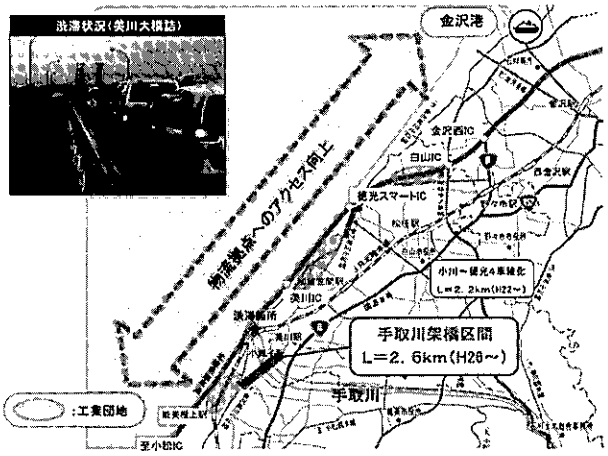

▲路面の溝

▲起点部より臨む

【加賀海浜産業道路】

加賀海浜産業道路は、ものづくり企業が集積する加賀地域とコンテナ取扱量が５年連続で史上最高を更新している金沢港を結ぶ、海側の新たな幹線道路です。

現在、白山市徳光町から小川町間２．２ｋｍについて、朝夕の渋滞が著しいため、平成２２年度から４車線化整備を進めています。また、手取川を渡る区間のうち、河口付近に架かる美川大橋に交通が集中し、朝夕の通勤時間帯に渋滞が発生していることから、新たに手取川に橋を架けて交通分散を図ることを目的として、平成２６年度から事業に着手しています。



【金沢駅周辺の無電柱化】

金沢駅周辺では、金沢の玄関口として良好な景観を形成し、街なみ景観の魅力アップを図るとともに、安全・安心で快適な歩行空間を確保するため、無電柱化に取り組んでいます。

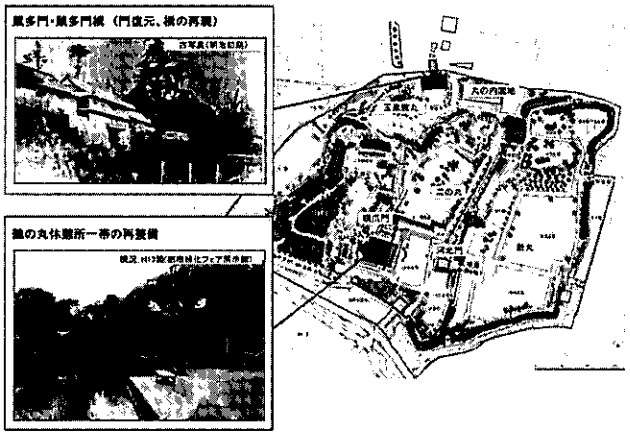
北陸新幹線金沢開業により、首都圏からの来県者や外国人観光客が増加していることに加え、ベビーカーや車いすの人も安全に、安心して散策できるよう、バリアフリーの観点からも重要であると考えています。

【金沢城公園の整備～第三期整備計画～】

昨年度から、城郭としての魅力をさらに高めるため、「鼠多門」「鼠多門橋」の復元や、展示・休憩施設の充実を視野に入れ、有識者による懇話会での意見を聞きながら、第三期整備計画を策定しています。

このうち、「鼠多門」「鼠多門橋」については、城の外周の中心市街地側に面する位置にあることから、存在感のある建造物となり、魅力ある城下町の景観が創出されるとともに、武家屋敷から尾山神社を経て、金沢城・兼六園へとつながる加賀前田家ゆかりの歴史的ルートが形成され、回遊性や賑わい創出につながるなど、復元の意義、効果は大きいと考えています。

また、来園者サービスの向上のため、現在の鶴の丸休憩所一帯の改修も計画しています。



【金沢中心部の再開発～片町きらら～】

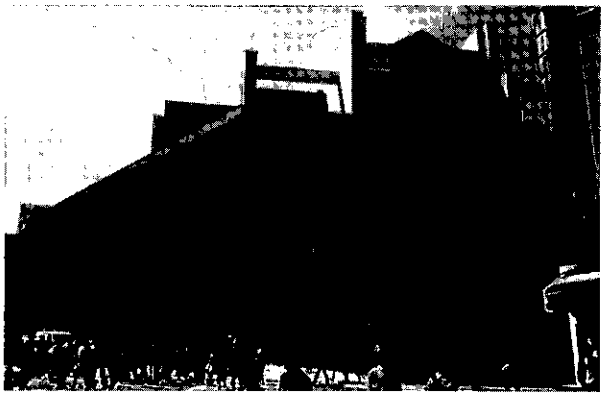
片町は明治２７年に日本で初めて組合組織が結成された商業集積地です。

近年、施設の老朽化が進んでいたことから、片町Ａ地区（旧ラブロ片町周辺）では北陸新幹線金沢開業を契機に平成２５年度より市街地再開発事業を進めています。

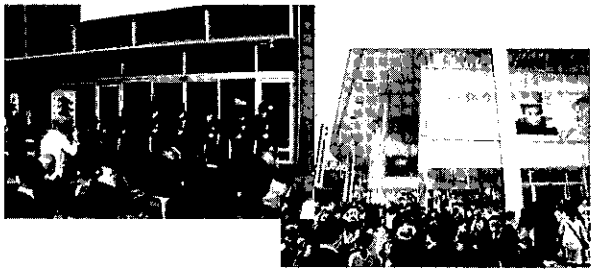
去る９月１８日には、商業施設が先行オープンし、ファッションブランドや飲食店など入居テナント１５店舗のうち「７店舗」が北陸初出店であり、来春にも残るブライダル施設がオープン予定としており、多彩な店舗が出店することとなっています。

また、バス待ちや歩行者の方々の休憩、イベントへの活用など、多くの方々が利用する広場には、雨や雪の多い北陸の気候に配慮し、大きな庇を設けるなど、石川らしいおもてなしの心に通じる工夫が凝らされています。

この再開発事業により、中心市街地に新たな魅力が加わり、県内外から多くのお客様・観光客が訪れ、また、周辺地区との回遊性向上など、賑わい創出に大きく寄与するものと期待しています。



〈オープンセレモニー（H27.9.18）〉



入居テナント15店舗のうち
7店舗が北陸初出店

- ○H&M （ファッション雑貨）
- ○センス オブ プレイス（ファッション雑貨）
- ○ニューエラ（帽子）
- ○アネモネ（アクセサリー）
- ○セルバトーレクオモ（飲食店）
- ○モントロンドシュシュ（宝石）
- ○ムーブ（時計）

５．おわりに

今後も引き続き、北陸新幹線開業という本県にとって百年に一度のチャンスを生かすため、開業準備から活用のステージにもう一段ギアチェンジを行い、

・更なる「おもてなし」の向上
・訪日外国人の受け入れ環境の整備
・新幹線、港湾等の既存ストックの利活用

などにしっかりと取り組み、開業効果を最大限に引き出し、県下全域にその効果を持続・発展できるよう努めていきたいと考えています。

研 究 報 告

災害・日常時の道路の信頼性とその総合・長期的評価の研究開発

金沢大学環境デザイン学系　中山　晶一朗

1. はじめに

近年，経済・社会活動の高度化とともに，単なるサービス向上だけではなく，安定的に道路交通サービスを提供することも求められるようになってきている．自然災害，事故などによる通行止めや大幅な遅延だけでなく，交通システムの障害・維持管理に伴う規制や需要の変動を原因とする旅行時間の不確実な変動も道路サービスの提供の上の大きな課題となっている．道路整備や道路交通管理による信頼性の向上はどれほどのものとなるのか，逆に，ある程度の信頼性を確保するためにはどれほどの道路整備が必要となるのかなどの評価を実施することが求められている．

道路ネットワークの信頼性については次節で述べるが，信頼性とはそのサービスが安定的に提供されているのかということになろう．阪神淡路大震災では，道路ネットワークの分断がどれほどの経済的・社会的損失を生むのかを改めて我々に見せつけた．災害・大事故等の非日常の生起確率が非常に小さい事象に着目し，そのような事象が生起しても提供可能な道路サービス，逆に享受できなくなるサービスを把握し，定量化することが一つの信頼性の視点であろう．日々の道路交通サービスについては，旅行時間の変動が問題になることが多い．当然，利用者としては，日々の旅行時間があまり変化しないことが望ましい．旅行時間が不確実であると，到着制約や希望到着時刻がある場合，早めに出発することが必要となる．つまり，旅行時間が「読めない」ために時間損失が生じる．このような時間は，遅刻しないための余裕時間やセイフティー・マージンと呼ばれている．以上のように，信頼性が低いと，様々な経済的・社会的な損失が発生し得る，もしくは，発生することとなる．

以上のような災害時などで特に問題になる走行できる道路で繋がっているのかという信頼性と日常時に問題になる旅行時間が大きく変動しないのかの信頼性を同時に考慮した道路ネットワークの評価が必要であり，国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」として採用された研究プロジェクトでそれを実施している．本稿でその全てを紹介することはできないが，道路ネットワークの信頼性とはどのようなものかを概説する．

2. 信頼性とは

信頼性については，これを考える観点により，様々な概念があり得る．JIS工業用語大辞典（第4版）によると，信頼性とは「定められた期間及び定められた条件のもとで装置が求められた機能を果たす能力」（B0155）とされている．これによると，信頼性を考える上では，期間，条件，要求機能の3つの要素が必要となる．

これまでに行われてきた道路ネットワークの信頼性の研究では，「期間」が問題となることはほとんどなかったと言えよう．期間の長短やピークのみ考えるなどは本質的な問題とはならなかったと考えられる．「条件」については，様々な設定が考えられる．設定条件は大きく非日常時と日常時の2つに分けることができよう．非日常とは，災害等で道路が通行できなくなることなど生起する確率が小さく，日常的には発生しないような場合であり，このような非日常的事象を考慮する条件設定がある．このような非日常時の信頼性を考える場合は脆弱性（vulnerability）という用語が使われることもある．一方，日常時については，通常頻繁に生起する事象に焦点を当て，非日常的事象を対象としない場合となる．非日常・日常ともに，例えば日常時では工事・事故等によるリンク閉塞を考えるのか，どうか，などさらに設定する条件が課せられることになる．

次に，「要求機能」であるが，交通ネットワークに求める機能については様々なものがあり，そ

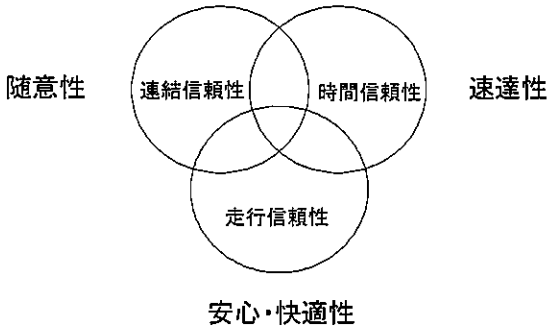


図-1　道路の信頼性の分類

れにより道路ネットワークの信頼性には幾種類ものが存在する．設定条件により，要求機能は異なるため，この要求機能は設定条件と密接に関係している．道路ネットワークに求められる機能には様々なものがあるが，ここでは，速達性，随意性，安心・快適性の3つを考えたい．速達性は目的地に早く到達できること，つまり，旅行時間が短いことである．随意性は必要な時に必要な場所へ行くことできることである．安心・快適性は安全・安心・快適に移動できることである．

交通工学の分野では，ノードペア間を移動可能かどうかということを問題とした連結信頼性について研究がなされ，その後，移動可能かどうかよりも，むしろ，その移動を行う際のサービスレベルに焦点を当てた旅行時間信頼性や容量信頼性（capacity reliability）などの研究が行われている．地震等の災害時など非常時では，連結信頼性が重要になる．先の阪神淡路大震災では，この連結信頼性の重要性が改めて認識された．日常時では，道路利用者の最も大きな関心はどれほどの旅行時間が必要であるのかであることと考えられるため，旅行時間の変動が重要になろう．また，路面状況等の走行にしやすさや安全に走行できるのか，なども交通ネットワークの信頼性に含まれよう．航空機などでは，日常時でも連結信頼性が必要となる場合もあり得る．

様々な考え方があり得るものの，ここでは利用者が道路ネットワークに求める機能の観点から信頼性を連結信頼性，時間信頼性，走行信頼性の3つに分類することとする（図-1参照）．連結信頼性は，広義の意味での連結信頼性で，ノードペア間が連結されており，その間の移動が可能かや移動可能となる確率などを意味することとする．この連結信頼性は，随意性に対応している．時間信頼性は，旅行時間に関する信頼性であり，速達性の機能を果たす能力と言えよう．道路ネットワークのサービスは旅行時間が最も重要なものであることが多いが，走行しやすさや安全性など走行自体に関する信頼性を走行信頼性と呼ぶこととする．安全性や快適性も道路ネットワークに求められる重要な機能である．この走行信頼性は快適・安心できる走行の意味合いが大きく，走行快適・安心性ともいうべきものであるが，信頼性という言葉自体に安全・安心が含まれているため，統一性をもたせるため，走行信頼性と呼ぶことにする．

連結信頼性について，連結していないノードペア間の旅行時間は無限大として取り扱うことも可能で，時間信頼性の特殊形とみなすことも出来るが，時間信頼性と連結信頼性はこれまでに研究の経緯を考え，分けて考える．また，連結されていない状態は走行すらできない状態であり，走行信頼性がない状態とも言える．このように3つに信頼性を分類したものの，それぞれは必ずしも排反でなく，交通ネットワークに求める重要な機能が何かによって分類したものである．

いずれの信頼性を取り扱うべきかは，ネットワークに何を求めているのか，どの点に関心があるのかによって異なってくると思われる．そして，それは利用者の行動基準に大きく関わっているはずである．多くの交通工学の研究では，道路利用者は旅行時間に基づいて交通行動を行っていると仮定しており，その場合，旅行時間に関する信頼性，つまり，時間信頼性を取り扱うことが自然であると考えられる．ここで，料金等は時間価値により時間換算できるため，料金等の金銭も含むものとする．なお，この旅行時間をどのように用いて，信頼性指標とすべきなのかは様々な考えがあろう．走行信頼性は，利用者の観点が時間ではなく，安全性や快適性にある場合のものと言えよう．

3 脆弱性と連結信頼性

前節でも触れたように，信頼性，特に連結信頼性と類似の概念として，脆弱性がある．1995年に起きた阪神淡路大震災により，交通ネットワークが構造上の壊滅的な被害を被ったとともに，その機能上でも様々な甚大な影響があったことにより，

ネットワークの脆弱性が注目されるようになった．

脆弱性の定義は確立されているとは言えないものの，Taylorら（2006）は一連の研究を踏まえ，疎なネットワークでは，非常に小さい確率で生じるが，その影響が非常に大きい事象を取り扱う，ネットワークの構造上の脆弱さが重要であるとし，特に欠損等が発生すると甚大な影響が出るクリティカルなリンクがどこであるのかが問題となるとしている．脆弱なノードとは，少数のリンクが欠損した場合，深刻なアクセシビリティの低下が生じるノード，臨界リンク（クリティカル・リンク）とは，欠損した場合，深刻なアクセシビリティの低下を引き起こすリンクと定義した．

脆弱性は，生起する確率が非常に小さい事象であるものの，発生した場合甚大な被害・損害が生じることがある事象を対象としている．このような場合，生起確率を厳密に把握し，それを考慮して，期待的な被害・損害を考えることはあまり意味がない．なぜなら，生起確率は小さい場合のその生起確率を正確に計測することは極めて困難で，その推定・計測誤差は数桁単位となることも多々あるからである．甚大な被害・損害は生起確率の大小にかかわらず，何らかの対策が必要であると考えられるため，確率論の俎上に載せず，交通ネットワークが機能を果たす上での「弱さ」のみを対象とする場合，脆弱性と呼ばれていると考えられる．上ではこれまでの脆弱性の研究をまとめているが，生起確率を陽に扱った研究はなく，甚大な被害・損害を引き起こす事象が生起した場合のアクセシビリティの低下などを対象としるものが多い．このように連結信頼性と脆弱性の違いは確率論の俎上にあるのかどうかが一つの違いであると考えられる．

4. 時間信頼性

日常時では，単に道路を走行するときの旅行時間が短いだけでなく，ばらつかないことも重要である．

ばらつきや変動の定量化は信頼性を考える上で極めて重要で，信頼性指標と表裏一体とも言える．ただし，既に述べたように，信頼性は求められた機能を果たす能力であり，道路ネットワークへ求められる機能は迅速性・安全性などであり，JIS工業用語の信頼性の定義からは，単にばらつきや変動を捉える指標は信頼性指標とは言えない部分もある．速達性の観点からは，平均旅行時間は極めて重要であり，ばらつきや変動が大きくなると，その指標が大きくなるだけでなく，平均旅行時間が長くなると，それに伴い大きくもなるような性質も必要である．

時間信頼性を考える上で，信頼性の価値を意味するVoR（Value of Reliability）と（平均）旅行時間の価値を意味するVoT（Value of Time）の比である信頼性比(Reliability Ratio)= VoR/VoT は一つの重要な指標である．

信頼性の価値としては，単位標準偏差の価値とする．旅行時間の標準偏差と（平均）旅行時間の比が信頼性比となる．これまでの既存研究をまとめてみると，信頼性の価値は1から1.5程度と思われ，1.2程度の研究が多いようである．つまり，旅行時間の標準偏差を1.0分減少させるのは，平均旅行時間を1.2分減少させるのと同等の効果がある．ただし，推定の誤差があることに留意して，信頼性比の推定結果を解釈する必要がある．

5. 連結・時間信頼性の統合

既に述べたように，道路の信頼性を連結信頼性，時間信頼性，走行信頼性の3つに分類することができる．道路整備等の便益を考える上で，信頼性を考慮することは非常に重要である．しかし，連結信頼性や時間信頼性といった分類は便宜上分けた部分もあり，実際の信頼性の便益評価ではこの2つの信頼性を別個ではなく，統合的に評価する必要がある．

道路整備は道路ネットワークの密度を高めるため，明らかに時間・連結信頼性が向上するため，その便益を適切に評価する必要があるが，道路ネットワークの密度が高くなることは，1）トータルの交通容量が増え，サービスレベルが向上（旅行時間が低下），2）新規整備部分周辺を中心に新たに利用が可能となる，もしくは利用しやすくなる道路利用者の出現や増加，3）災害等でもOD間の連結が途絶しにくくなり，連結信頼性が向上，4）複数・多数の経路でOD間（起点・終点間）が繋がっているため，ある経路のサービスレベルが低下してもOD間では旅行時間の低下が抑えられ，時間信

頼性が向上，をもたらす．最初の単純旅行時間減少はこれまでの費用便益分析で対応可能である．二番目の新規利用者の便益も，OD表を適切に作成することにより部分的に対応可能であり，また，需要変動モデルや機関分担モデルを導入すると，より精緻に評価することができる．3つ目と4つ目の2点が信頼性に関する便益である．

連結信頼性の向上についてであるが，数学的には，連結していないということはそのノード間の旅行時間が無限大であるとして取り扱うことが可能であり，時間信頼性の枠組みで連結信頼性も扱うことが可能である．しかし，このように現実の道路の便益評価で連結信頼性を取り扱うことには問題が伴う．需要が固定の場合，旅行時間が無限大であると取り扱うと，連結しているのか，していないのか，で便益の差が無限大となってしまう．このように連結・非連結の間の便益差を需要固定で評価すると問題が発生するため，需要変動もしくは需要自体は固定であったとしても他の交通機関等への選択を導入し，道路交通に対する需要は変動させることが必要となる．これにより，非連結となり，トリップができない不便益を定量的に扱うことが可能となる．

上記では（狭い意味で）連結されているのか，いないのか，の間の便益について述べたが，連結が途切れない程度のネットワーク障害の場合でもネットワークが密に連結することでOD間のサービスレベルの低下を抑制できる．広い意味での連結性向上の便益と言える．単純のために1つのODが n 本の独立な経路で結ばれているネットワークを考えよう．n が大きいほど，連結密度が高い．ここで，$G[n]$ は n 本の独立な経路で結ばれている場合のネットワーク，$\tau_{G[n]}$ は n 本の独立な経路で結ばれている場合のネットワークでのOD間の最小旅行時間，$G[n \oplus 1]$は n 本の経路の新たに1本の独立な経路が追加されたネットワークであるとする．なお，$G[n+1]$とすると，先の n 本経路ネットワークに新たな経路が追加されたものだけでなく，全く別の $n+1$ 本のネットワークをも含むような記載となるため，$G[n \oplus 1]$としている．ここで，利用者は最小旅行時間経路を利用すると仮定すると，例え，新たに追加されて経路のサービスレベルがそれほど高くなく，$\tau_{G[n]} = \tau_{G[n \oplus 1]}$ であったとしても，n 未満の経路が災害その他の要因で途絶した時でも $\tau_{G[n]} \leq \tau_{\hat{G}[n \oplus 1]}$ であり，正の便益が発生し得る．ここで，$\hat{G}$ は障害を起こしたネットワークとする．交通事故によるネットワーク障害や需要増大などで旅行時間の低下などが発生したとしても，連結密度が高いことは旅行時間の低下を防ぎ，時間信頼性を向上する効果がある．

これら時間・連結信頼性を統合的に考える場合に，時間軸と利用者の状況認知に注意する必要がある．地震等による長期間のリンクの途絶など利用者が交通状況を十分認知できるような状況では，利用者の最小旅行時間経路の選択を仮定できる．ただし，リンクの途絶は確率的に発生することになる．一方，日々の交通需要の変動や駐車車両による容量低下など短期的な変化については利用者が事前に認識することは難しいため，旅行時間は（確率的に）変動しており，旅行時間を分布として認識していると仮定することが適切になる．時間・連結信頼性の2つを同時に考える場合，利用者が認知できる長期的な変化と確実には認知できず，確率的認知する短期的な確率変動の2つを同時に考えることになる．

6. おわりに

災害時などで特に問題になる走行できる道路で繋がっているのかという信頼性と日常時に問題になる旅行時間が大きく変動しないのかの信頼性を同時に考慮した道路ネットワークの評価を行うべく，国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」として採用された研究プロジェクトについて，その全てを紹介することはできないが，道路ネットワークの信頼性とはどのようなものかをまとめた．今後様々な研究進展が必要であるが，それらについては適宜発表していきたい．

参考文献

中山晶一朗・朝倉康夫編著（2014）道路交通の信頼性評価，コロナ社．

財）日本規格協会（1995）JIS工業用語大辞典第4版，財）日本規格協会．

Taylor, M.A.P., Sekhar, S.V.C. and D'Este, G.M. (2006) Application os accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road network, Network & Spatial Economics, Vol. 6, pp. 267-291.

土木分野への新たなFRP部材の研究開発

金沢工業大学　宮里　心一・保倉　篤

1. はじめに

文部科学省は，10年後の我が国において，より良い暮らしができるようになるために，「革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)」（以下，COI事業とする）を開始した。これは，現在は潜在しているが，将来社会のニーズから導き出される「あるべき社会の姿および暮らしの在り方」を，表-1に示す3つの分類でビジョンとして設定し，このビジョンの実現へ向けて，10年後を見据えた革新的な研究開発課題を特定し，産学連携で研究開発を進めていくプログラムである[1]。活動の期間は，平成25年10月から最長で9年度間である。

表-1　ビジョンの分類

ビジョン	あるべき社会の姿および暮らしの在り方
1	少子高齢化先進国としての持続性確保
2	豊かな生活環境の構築（反映し,尊敬される国へ）
3	活気ある持続可能な社会の構築

これを受けて金沢工業大学は，平成26年6月に公式開所した革新複合材料研究開発センター（以下，ICCとする）を拠点として表-2に示すプロジェクトチームを立ち上げ，ビジョン3に向けたプロジェクトを開始した。採択されたテーマは，「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」である。これにより，バイオテクノロジー，高分子化学，繊維工学および機械工学などの多岐にわたる研究分野の横断的な技術融合を推進し，ニーズに基づき開発されたシーズ技術の革新的な向上・統合で，社会実装に取り組んでいる。

表-2　金沢工業大学COIプロジェクトへの参画組織

金沢工業大学[拠点]，(株)芦田製作所，石川県工業試験場，一村産業(株)，岡山大学，金沢大学，岐阜県工業技術研究所，岐阜大学，京都大学，コマツ産機(株)，小松精練(株)，サンコロナ小田(株)，サンドビック(株)，GHクラフト(株)，渋谷工業(株)，大同工業(株)，大和ハウス工業(株)，津田駒工業(株)，東レ(株)，土木研究所，ナック・ケイ・エス(株)，日産化学工業(株)，(独)物質・材料研究機構，北陸先端科学技術大学院大学，三井海洋開発(株)，明和工業(株)

2. 革新材料の開発に向けた研究概要

革新材料による次世代インフラシステムの構築を図-1に示す。橋梁やトンネルなどの社会インフラ，高層建築や次世代住宅などの都市・住宅インフラ，および海洋掘削や洋上風車などの海洋インフラを，アプリケーションの対象にしている。

ここで，具体的な技術開発について説明する。

高機能素材およびバイオファイナリー技術による素材開発のグループでは，熱可塑性樹脂の高機能化（高弾性率，長期耐久性，自己修復性および難燃性など）と，化石燃料を使わないバイオ由来の素材開発に向けた研究に取り組んでいる。

また，革新製造プロセスを開発するグループでは，強化繊維と樹脂の融合化技術の高度化，長尺・大型構造部材の連続成形プロセスおよび製造装置の開発に向けた研究に取り組んでいる。さらに，生産性が100倍に向上し，それに伴いコストが1/10に低減する製造プロセスの実現を目指している。

次に，アプリケーションを開発するグループでは，土木・建築・海洋の3分野において，革新材料を用いたインフラ整備に取り組んでいる。さらに，革新材料の長所を活かした，すなわち長寿命化，軽量化および高強度化などに伴う社会コストの低減を目指している。著者は，土木分野へのアプリケーションを開発するグループのリーダーとして従事しており，次章以降において，その研究活動の概要を紹介する。

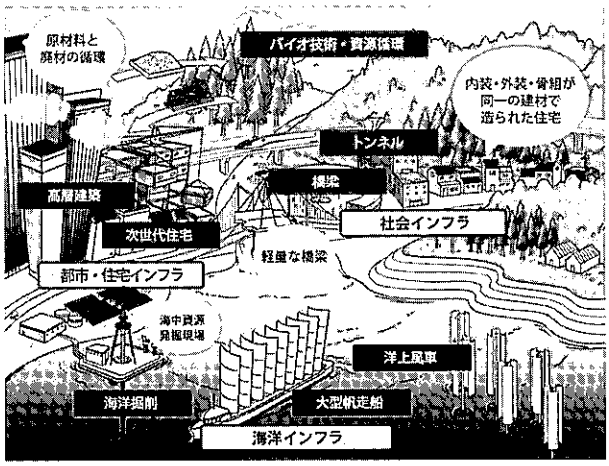


図-1　革新材料による次世代インフラシステムの構築[2]

さらに，リサイクル技術を開発するグループでは，革新材料の再利用技術およびリサイクルシステムの実現に向けた研究に取り組んでいる。

これらにより，素材の開発からアプリケーションまでの一貫した研究を推進している。

3. 土木分野における従来の研究動向と実装状況

3.1 FRPの導入に向けた取組み

従来から日本の土木分野でも，FRPの導入に向けた取組みは進められていた。ここでは，建設用先端複合材技術協会（旧ACC倶楽部），炭素繊維補修・補強工法技術研究会，ならびに土木学会複合構造委員会の活動内容を紹介する。

建設用先端複合材技術協会（旧ACC倶楽部）では，①先端複合材の調査および研究，②建設分野における先端複合材の使用に関する調査および研究，③先端複合材の建設分野への使用の促進，普及および宣伝，④先端複合材の使用に関する新規建設分野の開発および研究，⑤建設分野における先端複合材の使用に関する施工技術，施工機械の改良および開発，⑥講演会・研究会などの開催および関係資料の刊行，および⑦目的を達成するために必要な一切の事項について，取り組んできた[3]。

また，炭素繊維補修・補強工法技術研究会では，炭素繊維シート接着工法の普及・発展のため，各種設計・施工指針などの整備に取り組んできた。本工法は，高強度・高弾性の炭素繊維シートを，常温硬化樹脂を用いてコンクリート構造物の表面に含浸接着する，施工性に優れた補修・補強工法である。そのため，道路橋の床版補強，橋脚や建築物の耐震補強，およびトンネル覆工の剥落対策などの幅広い分野で利用されてきた。なお近年では，コンクリート構造物だけでなく，鋼構造物の補修・補強も対象としている[4]。

さらに，土木学会複合構造委員会では，①諸課題の調査および研究，②設計・施工・維持管理に関する指針・基準などの作成と更新，③講習会，シンポジウム，講演会および見学会などの開催，④国内および国外の学協会関係機関との研究連携，⑤刊行物などの企画編集，および⑥複合構造の調査研究および中・長期目標の設定について，取り組んでいる[5]。

3.2 FRPの実装現場

写真-1は，のと里山海道の橋梁におけるFRP製検査路である。海岸沿いに位置しており，飛来塩分による塩害が懸念されるため，点検者の安全を確保すべく，鋼製ではなく，高耐久なFRP製が採用された。

また，写真-2は，石川県内の自転車道におけるFRP製橋梁である。この架設前は，木橋が使用されていたが，飛沫塩分により結合部のボルトが腐食し，安全性が低下してしまい，わずか13年で架け替えとなった。加えて，以前は軽量な木材が上部工であり，下部工の耐荷性が低い構造設計であった。したがって，ここではFRPの高い耐食性と軽量を活用すべく，採用に至った。

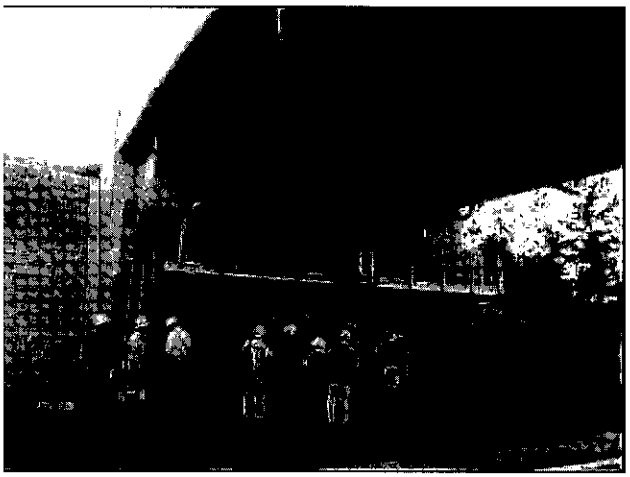


写真-1　道路橋のFRP製検査路

写真-2　自転車道のFRP製橋梁

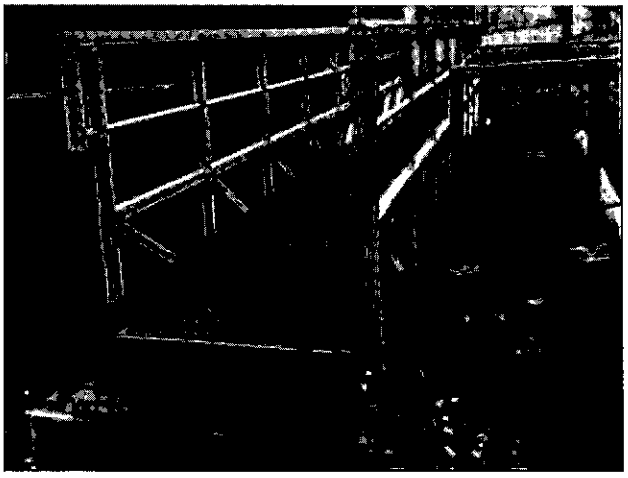


写真-3　FRP製仮設橋

写真-４　FRP製歩道橋

さらに，写真-３は，FRP製仮設橋である。これは，石川県内の工事現場において作業員が一時的に通行する橋として使用されており，軽量なために組立ておよび取り外しが容易であるというFRPの特長が活かされた。

最後に，写真-４は，国内における最初のFRP製歩道橋の実装例である。沖縄県の海中道路を跨るため，塩害に対する耐久性と，小規模な下部工事で上部工を長スパンにできる軽量化が要求されており，FRPが採用された。なお現在，架設から約15年が経過しており，COI事業の一環として部材の劣化度を調査している。

ところで最近では，構造物では無いが，施工においてFRPが注目されている。例えば，FRPの高い切削性を活かすべく，シールド発進立坑の格子型ロッド材や矢板の代替としてロッド材が使用されている[6][7]。また，コンクリートの養生に熱可塑性FRPシートが用いられている[8]。

4　熱可塑性FRPの長所

FRPを作製するための樹脂には2種類がある。ひとつは，熱を加えると硬化する「熱硬化性樹脂」であり，エポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂が代表として挙げられる。一旦硬化すると，加熱しても軟化せず，スクラップの再利用はできない。土木分野で一般的に用いられてきたFRPは，この熱硬化性である。次に他方は，熱を加えると溶ける「熱可塑性樹脂」であり，ポリエチレンやポリプロピレンがある。製品に再度加熱することで，曲げや接合などの加工ができたり，層間剥離を修復でき，さらには製造時に発生した不良品を再利用できる可能性がある。

熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPの何れにおいても，軽量，高強度および高耐食性などの特長を有する。ただし，熱硬化性FRPの場合，図-２に示すとおり生産工程が多く，製品のコストが高い点が短所であった。一方，熱可塑性FRPでは，連続成形により生産性を向上でき，コストの低減が図れる。今後，COI事業により熱可塑性FRPに関する研究開発を推進し，実用化されれば，費用対効果が重視される土木分野への実装に繋がると考える。

なお，海外においても，熱可塑性FRPの長所を活かす技術開発が進められている。例えば，平成27年7月にデンマークのコペンハーゲンで開催された，複合材料分野における世界で最も参加者の多い国際会議（ICCN）では，次のような熱可塑性FRPの研究成果が発表されていた。先ず一例目として図-３に，生産個数が単価に占める設備投資費の割合へ及ぼす影響を示す[9]。すなわち，生産個数が多い程，設備投資費および人件費の割合が減少し，単価が低減することが紹介されていた。次に二例目として図-４に，航空機用FRPの組立て方法が生産費に及ぼす影響を示す[10]。すなわち，複数のFRPパーツを機械的接合により部材として組み立てるより，一体成形により組立て工程を省いて部材に製品化することが，生産費を低減できることが紹介されていた。特にこの傾向は，生産個

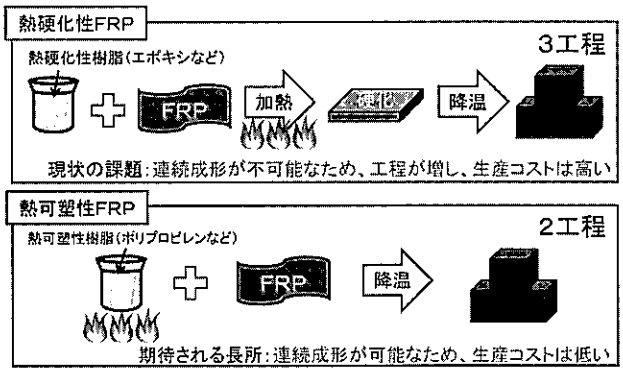


図-２　熱硬化性FRPと熱可塑性FRPの生産工程

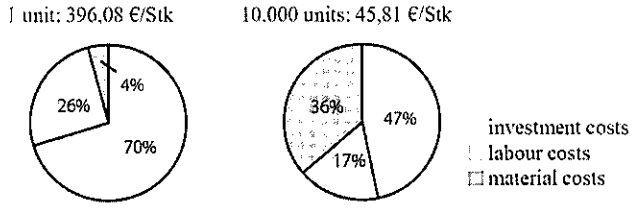
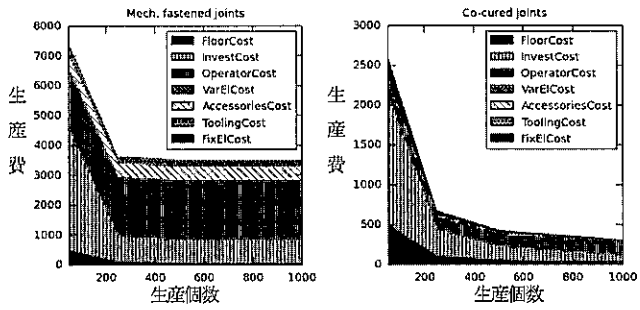


図-３　生産個数と設備投資費の関係[9]



a)機械的接合　　b)一体成形

図-４　組立て方法と生産費の関係[7][10]

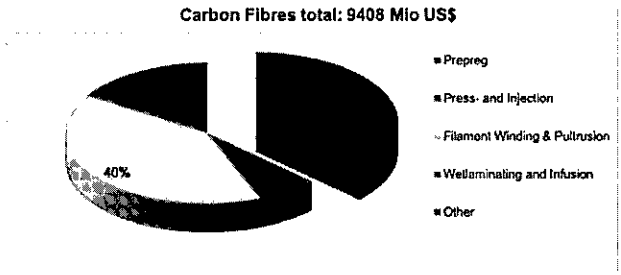


図-5　熱可塑性FRPの成形方法[11)]

数が多いほど，顕著になった。さらに三例目として，航空機用FRPの成形方法として37%を占める（図-5参照）プリプレグ成形に着目し，従来の樹脂と比較して約20%のコストの低減が図れる新材料の開発が紹介されていた[11)]。以上のとおり，熱可塑性FRPの実用研究は世界的にも先端かつ鋭意に進められている。

5. COI事業における土木分野でのニーズ調査

社会の第一線で活躍する57名の技術者が3ヶ月に1度の頻度で参集し，土木分野への熱可塑性FRPのニーズについて，表-3に示す区別で対象を分けて意見交換している。

写真-5　第1回目の研究会の様子

写真-6　第4回目の研究会の様子

表-3　土木研究会でのニーズ調査対象の分類

①新設部材の全体が熱可塑性FRPで構成される場合
②コンクリートあるいは鋼と熱可塑性FRPのコンポジットで構成される新設物（部分的に熱可塑性FRPを使用する場合）
③既設物の補修・補強に熱可塑性FRPを使用する場合
④仮設物・付帯物として熱可塑性FRPを使用する場合

写真-5および写真-6に研究会の様子を示す。研究会には，全28組織の発注者(管理者)，施工者，製造者ならびに評価認証者が参画し，様々な立場の技術者から，多くのニーズ・要求仕様を提案して頂ける体制となっている。また，COI事業に参画している素材・成形を専門とした研究者も，この研究会へオブザーバーとして参加しているため，異分野交流の垂直連携による情報交換が実現できている。

現在，第1フェーズの終盤を迎えており，短期（2～3年），中期（4～9年）および長期（10年以上）の開発を要して実装に至るケースを区分し，素材や形状に対する仕様を整理している。その結果を，革新素材の開発グループや革新製造プロセスの開発グループに情報提供し，第2フェーズでは具体的な物の製造に取り掛かって頂く予定である。

6. 北陸地方の道路橋への適用に向けたLCC試算

6.1 背景と目的

道路橋に対して FRP を用いるケースを想定して，LCC（ライフサイクルコスト）を検討した事例は複数ある[例えば12)]。しかしながら，上部工は軽量でなければならないなどの，特殊な事情が背景にあるケースを対象にしている。ところが，前述のとおり，従来の熱硬化性 FRP から，熱可塑性 FRP に製造方法が変わることで，生産性が向上し，価格は低下することが期待される。したがって，特殊な事情がない場合でも，長期に亘り供用される塩害環境下の橋においては，一般的な建設条件においても，一般的な通常のプレストレストコンクリート（PC）と比較して熱可塑性 FRP を部分的に使用することの経済的優位性が高まることを期待できる。

以上を踏まえて本章では，塩害による PC 橋の早期劣化が社会的問題となっている北陸地方を対象に，熱可塑性 FRP を PC 鋼より線に代替した道路橋（長さ 11.3m，1車線を想定）の LCC を試算し，経済性を評価した。なお，写真-7に示すとおり，北陸地方の橋では，40 年程度でかぶりコンクリートに腐食ひび割れが発生し，安全性は低下する。本章ではその現象を踏まえて，経年劣化を予測した。

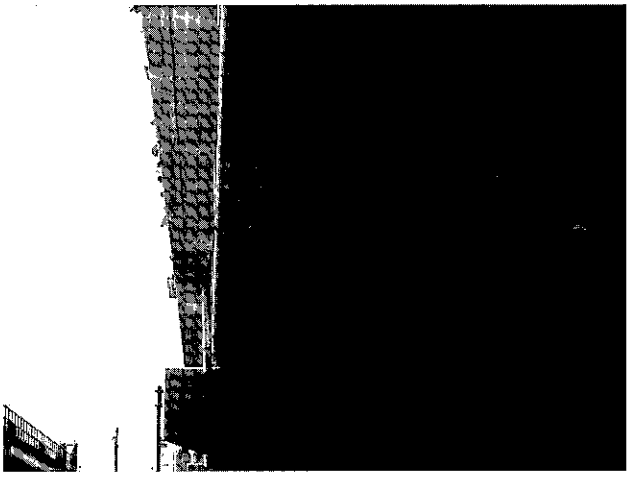


写真-7　腐食ひび割れが生じた道路橋

表-4　LCCを試算したケース

対象
無補修のPC橋
事後保全するPC橋（ひび割れ後に断面修復工で補修）
熱硬化性FRPロッドを一部で使用するPC橋
熱可塑性FRPロッドを一部で使用するPC橋

表-5　LCCの試算に用いた費用

項目	費用
通常のPC橋の建設費	8,640,000（円）
熱硬化性FRPの建設費	15,950,000（円）
熱可塑性FRPの建設費	11,500,000（円）
外観調査（目視）	280（円/m²）
外観調査（目視＋叩き）	500（円/m²）
断面修復工	150,000（円/m²）
撤去費	9,500,000（円）

6.2　試算方法

表-4に検討ケースを示す。PCに対する事後保全としては，腐食ひび割れ発生後に断面修復工で補修した。試算の手順，条件および代入値は，文献[13]を参照した。また，PCおよび熱硬化性FRPを用いた橋の建設費用は，文献[12]を参考に設定した。ここで，PC橋の建設費用の内，「材料費：施工費＝3：7」と仮定した。また，FRPロッドを用いた橋では，PC鋼より線と比較して軽量化されるため，緊張材の運搬等が容易になることを想定し，施工費を80%に低減した。さらに，熱可塑性FRPロッドでは熱硬化性FRPロッドを用いた場合より，材料費が60%に低減されると仮定した。そして，PC橋の撤去費は文献[14]を参考に，210,000円/m²に設定した。表-5に，計算に用いた費用を示す。

5.3　試算結果

コンクリート内部における緊張材近傍の塩化物イオン量を図-6に，PC鋼より線の腐食減量（FRPロッドは全く腐食しないと仮定した）を図-7に，部材の降伏荷重比を図-8に示す。これらによれば，降伏荷重比が90%を下回れば更新すると仮定すれば，通常のPC橋の場合で47年間毎に更新を要した。また，現状の事後保全を模擬し，かぶりコンクリートに腐食ひび割れが生じた40年目に断面修復工により補修した場合でも，95年目に耐荷性能の要求値を満足できなくなり，更新に至った。一方FRPロッドを用いた場合，塩化物イオンは浸透するが，腐食は進行しないため，耐荷性能は低下せず，半永久に供用できた。

LCCの算定結果を図-9に示す。これによれば，95年間に亘り供用するならば，熱硬化性FRPロッドを用いた場合でも，現状の事後保全により補修を行うPCに比べて，LCCは安価になることが認められた。さらに，熱可塑性FRPロッドを用いた場合では，47年間に亘り供用すれば，事後保全による補修を行いPCを用いる場合と比較して，LCCが安価になることを確認できた。

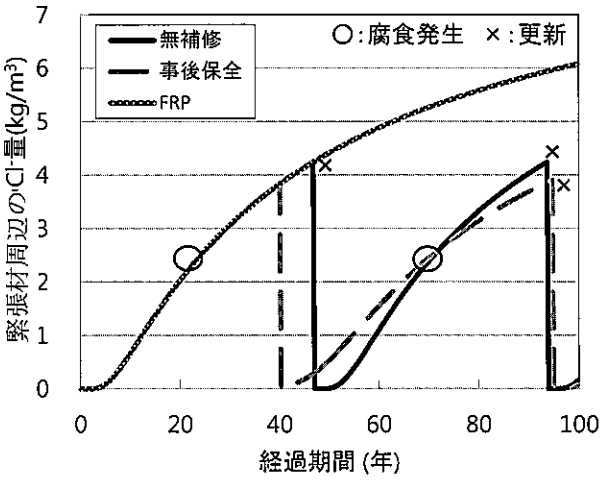


図-6　緊張材近傍の塩化物イオン量

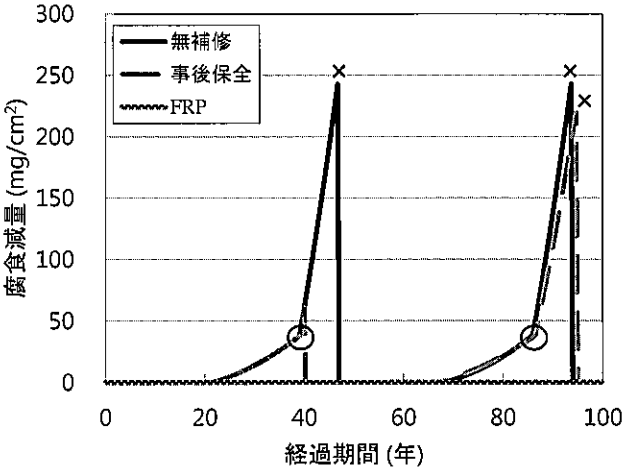


図-7　緊張材の腐食減量

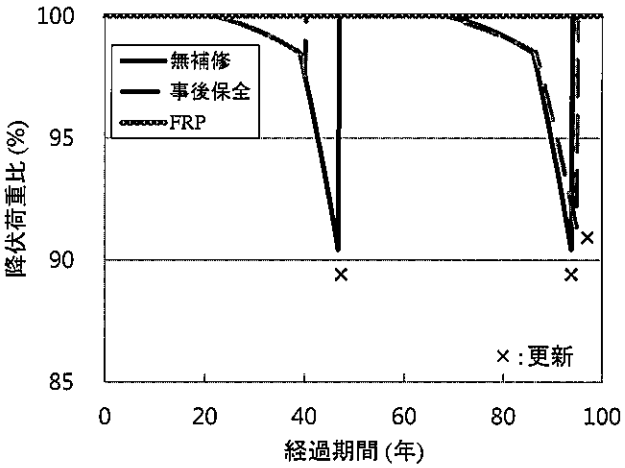


図-8　部材の降伏荷重比

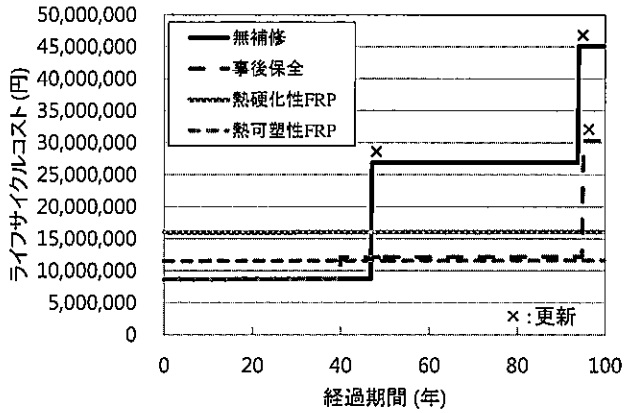


図-9　ライフサイクルコスト

7. おわりに

本稿では，COI事業における土木分野への取組みについて紹介した。すなわち，ICCを拠点とした熱可塑性FRPの研究について述べた。その中で，FRPの特長である，軽量および高耐食性などの長所を活かしつつ，従来の熱硬化性FRPに比べて６割にコストダウンを図れる熱可塑性FRPが，将来の土木構造物に活用されることを目標に進めている活動を記した。

我が国では，高度経済成長期において，数多くの土木構造物が建設された。その後，40～60年が経過した現在では，経年劣化の進行や耐震性の不足などが問題になっている。これらにより，土木構造物の撤去・更新，または補修・補強が必要とされている。そこで近年では，LCCを考慮した新設構造物の設計や，既設構造物の補修および補強が増えている。本COI事業の成果として開発される熱可塑性FRPが，安全な土木構造物の実現に，あるいはその建設工事や補修・補強工事に貢献できればと願っている。

謝辞

本稿では，独立行政法人科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」の支援事業を紹介した。

参考文献

1) 独立行政法人科学技術振興機構：「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」 http://www.jst.go.jp/coi/outline/outline.html
2) 金沢工業大学：COI研究推進機構 http://wwwr.kanazawa-it.ac.jp/icc/
3) ACC　建設用先端複合材技術協会，http://acc-club.jp/
4) 炭素繊維補修・補強工法技術研究会，http://www.tampoken.com/
5) 土木学会　複合構造委員会，http://www.jsce.or.jp/committee/fukugou/
6) 日鉄コンポジット㈱：シールド掘削用繊維補強コンクリート壁体，特開2003-239679
7) 鹿島建設㈱：新素材コンクリート壁，特開2005-090132
8) ㈱錢高組，DIC化工㈱：土留め用矢板、該土留め用矢板を使用した立坑を有する構造物および土留め壁からの直接発進到達工法，特開2012-251354
9) J. Schäfer, T. Gries, R. Schuster, C. Lammel : Continious Production of Fibre Reinforced Thermoplastic Composites by Braiding Pultrusion, Proceedings of 20th International Conference on Composite Materials, 2015.7
10) Mathilda Karlsson Hagnell , Malin Åkermo : Cost and Weight Efficient Assembly of Aeronautical Composite Structures, Proceedings of 20th International Conference on Composite Materials, 2015.7
11) Ludger Michels, Christian Dreyer, Sebastian Steffen and Monika Bauer : Innovative Equipment Concepts for Coating of Composite Products with Duroplastic and Thermoplastic Adhesives, Proceedings of 20th International Conference on Composite Materials, 2015.7
12) 細沼宏之：海岸部におけるGFRP橋の採用について，土木学会平成20年度全国大会研究討論会 研 - 05 資料, pp.2-3, 2008.9
13) 宮里心一，上田隆雄，野島昭二：補修費用のみならず点検費用も考慮したLCCの試算，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第12巻，pp.165-172，2012.11
14) 土木研究所資料：コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究-コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査-，2001.3

主要地方道立山山田線高善寺橋災害復旧工事

富山県富山土木センター　田村　拓朗

1．はじめに

平成25年９月15日から16日にかけて本州を縦断した台風18号は、県内にも大雨を降らし、特に16日の朝方から山間部で激しい雨となった。「高善寺橋」上流にある八尾観測所では、16日午後４時半までの24時間雨量が178.5mmとなり、観測開始以来９月としては最大の降雨量を記録している。この井田川上流域に降った豪雨は、井田川を氾濫させ、井田川中流域に架かる「高善寺橋」を襲い、橋脚を沈下させ、桁がＶ字に折れ曲がるという県内でもあまり例を見ない落橋被害をもたらしたのである。

ここでは、この「高善寺橋」が被災してから、翌年の平成26年８月29日に通行再開できることになるまでの取組みを紹介する。

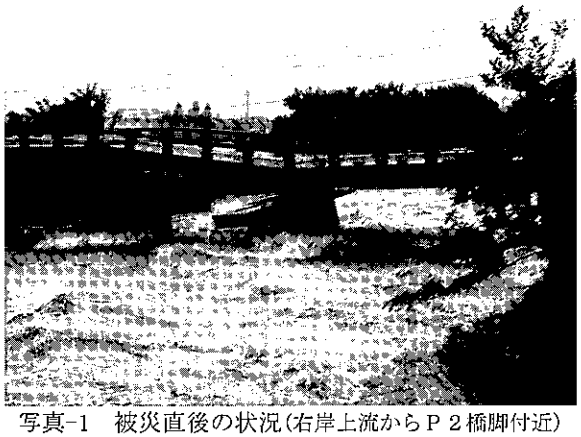


写真-1　被災直後の状況(右岸上流からＰ２橋脚付近)

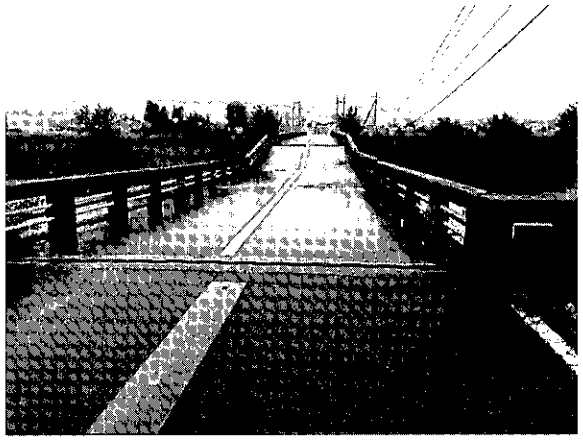


写真-2　被災直後の状況(右岸から左岸方向)

2．「高善寺橋」の概要

主要地方道立山山田線の井田川に架かる「高善寺橋」は、昭和11年に架設された橋長121.0mの長大橋であり、支間長11.0mの鉄筋コンクリート単純Ｔ桁橋が11径間連なった構造をしている。架設年次が古いため、詳細な図面が残存しておらず、後年作成されたであろう橋梁台帳が存在する程度であった。よって、橋台・橋脚の構造高さ、基礎形式・根入れ長などの詳細は不明であった。

交通量は、H22センサスで１日約2,500台であったが、第３次緊急通行確保路線上に位置する重要な橋梁であり、平成２年に耐震補強工事（1.5SE沓座拡幅）が施工されていた。

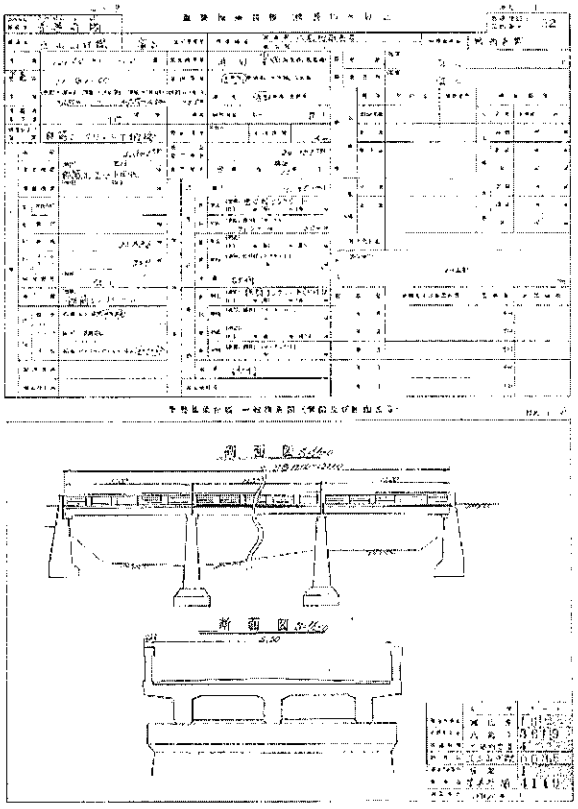


図-1　橋梁台帳(抜粋)

[橋梁諸元]

橋　　長：121.0m　　支 間 長：11.0m@11連
有効幅員：5.5m　　設計荷重：Ｔ－８
橋　　種：鉄筋コンクリートＴ桁橋
橋台形式：重力式(直接基礎)
橋脚形式：壁式(直接基礎)
竣 工 年：昭和11年（←被災当時で77年経過）

3．当日の経過及び監視体制

被災当日は祝日(敬老の日)であったが、前日からの水防配備のため、担当の職員が出勤していた。

午前10:50富山西警察署から富山土木センターへ

『橋脚が沈み道路がＶ字となっている』との第１報が入った。当センター職員が現地に到着したのは11:30頃であり、事の重大さを思い知ることとなった。

現場は、富山西警察署などによって、既に通行止め・迂回措置が実施されており、これを引継ぐ形でバリケードや迂回路看板の設置をし、この日から職員による24時間監視（目視）を始めた。

１週間後の９月22日からは、被災部分に沈下計と傾斜計の自動観測機器を設置し、観測データをメール配信、ホームページに掲載することによって、常時の遠隔監視が可能となった。また、異常な変位を観測した場合は、警報メールが自動配信され、関係者が現地に急行する体制を取った。

[当日（９/16）の経過]

10:50　富山西警察署から富山土木センターへ連絡
　　富山西警察署などが通行止め措置を実施
11:30　富山土木センター職員が現地を確認
　　通行止めバリケードの設置を開始
12:00　通行止めバリケードの設置完了
　　交通誘導員を配置
15:00　迂回路看板の設置を開始
　　24時間監視を開始（～９/22まで）

写真-3　24時間監視時の夜間照明

写真-4　自動観測機器

４．水位概況

「高善寺橋」の1.8km上流の杉原橋観測所では、16日の早朝(5:00頃)から急激な水位上昇が始まり、8:00頃には「氾濫注意水位」を突破し、水位ピーク時の9:30頃には620[m3/s]の流量を記録した。これは被災前日（９/15）の平均流量(20[m3/s])の約60倍であり、過去３ヵ年の最大流量270[m3/s]の２倍以上に当たるものであった。

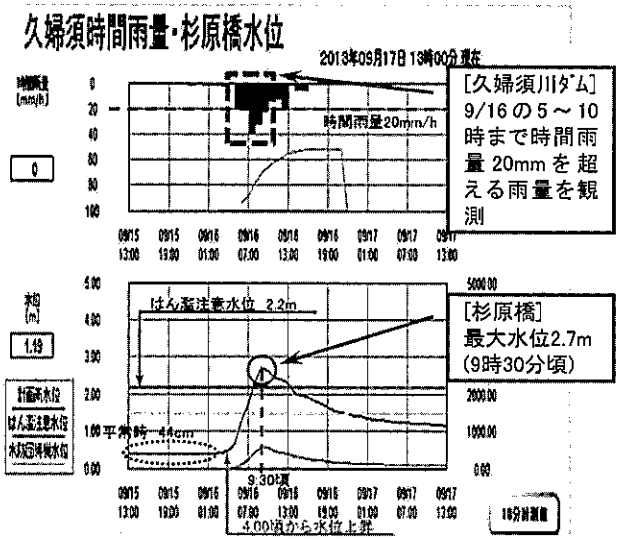


図-2　時間雨量及び水位

５．災害協定・応急対策

被災翌日の９月17日に、各種団体との災害協定に基づき応急対策工事、設計などを依頼したところ、即日には専門知識を有する会社の推薦があり、速やかに工事・設計に着手できた。

[応急対策]

９月下旬　瀬替え工事着手
11月15日　瀬替え工事完了
11月中旬　被災部分取壊・撤去工事着手
12月２日　被災部分取壊・撤去工事完了

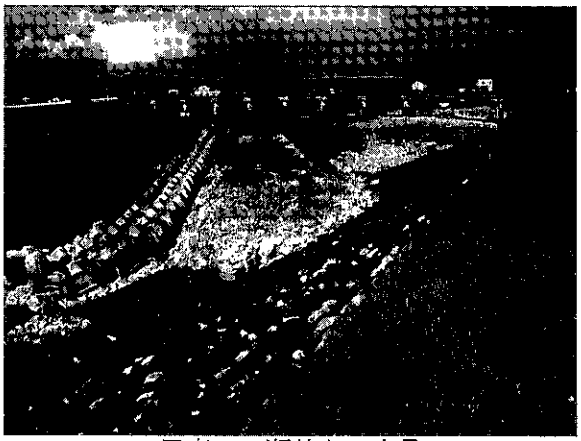


写真-5　瀬替え工全景

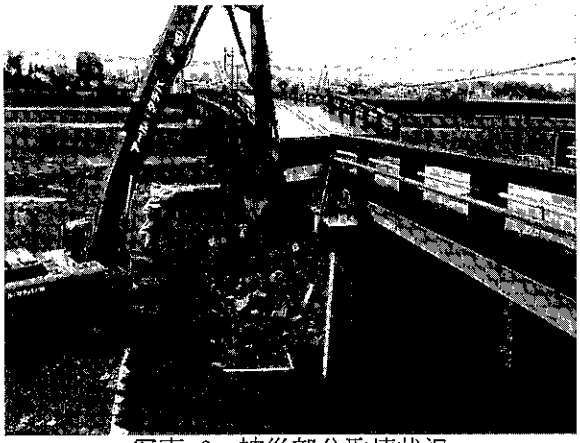


写真-6　被災部分取壊状況

6．被災状況

上部工は、３径間(33.0m)がＰ２橋脚を中心にＶ字に折れ曲がった状況であった。下部工は、Ｐ２橋脚が約80cm沈下(道路センター部)し、上流側に約10°傾斜し、さらに(上方から見て)時計回りに回転していた。また、Ｐ１橋脚も約40cm沈下し、上流側に約３°傾斜していた。なお、Ａ１橋台及びＰ３橋脚には変状は見られなかった。

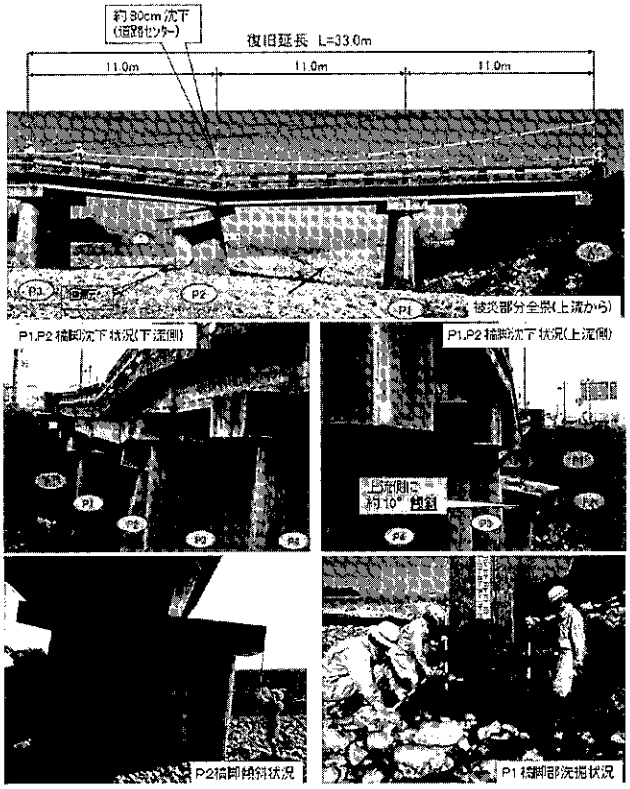


写真-7　被災状況

今回の被災原因は、異常出水により、橋脚周りが大きく洗掘し、直接基礎下面の基礎地盤が緩められたためであることが容易に想定できた。

7．復旧橋梁の設計

災害復旧事業では、原則として既設橋の設計荷重で設計することとされており、今回は、橋梁台帳や架設年代からの想定から、設計荷重は「Ｔ－８※」とした。

(※道路構造に関する細則案　大正15年６月　内務省土木局)

[主な設計条件]

橋　　長：33.0m　　有効幅員：5.5m
設計荷重：Ｔ－８　　桁下余裕高：現況以上
桁高制限：現況と同じ路面高さ
基礎根入れ：最深河床－2.0m
河積阻害率：現況(10.7%)以下

7.1 再利用の検討

災害復旧事業の原則に則り、既設桁や下部工の再利用を検討したが、著しく困難であったり、明らかに不経済であったりしたことから、不採用とした。

① 既設桁の再利用については、下部工構築後の桁の再架設に750tクレーンが必要となるなど多大な金額を要することから不採用とした。

② 下部工の再利用について、Ｐ２橋脚は大きく傾斜していることから、再利用不可能と判断し、Ｐ１橋脚についても、直接基礎下の地盤の緩みによって沈下(約40cm)しており、経済性に劣る(基礎の補強が必要)ことから不採用とした。

7.2 下部工の検討

原形復旧という面からは、下部工を元の位置に２基建設することが考えられたが、１回の非出水期内に下部工を完成させなければいけないこと、河積阻害率を現況以下としなければいけないこと、さらには経済比較などから、下部工を少なくすること、すなわち３径間あった橋を２径間にするということには大きなメリットがあった。

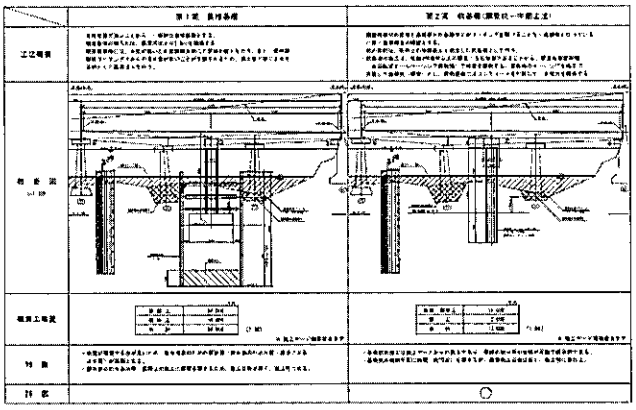


図-3　下部工形式比較表

基礎形式の検討を進める中で、現地は地下水位が高く硬質地盤であり、直接基礎では大掛かりな仮設工が必要となることから、φ1500の鋼管杭を全周回転オールケーシング工法で打設する案が浮上し、さらに県内でも歩道橋において実績があった鋼管杭が橋脚の基礎と柱部分を兼ねる構造（「鋼管杭(基礎･躯体一体構造)」）の採用に至った。この下部工形式の採用が、今回の工事における大幅な工期短縮を実現させた。

ただし、この下部工形式は、今回の原形復旧を原則とした災害復旧事業という条件の中で採用が可能となった工法であり、今後、他の道路橋の設計において活用できる画期的な工法というものではなく、注意が必要である。（例えば、耐震設計においてレベル２地震動に対する耐震性能を確保しようとした場合は、管径を極端に太くしなければいけないなど現実的ではない。）

7.3 上部工の選定

上部工形式については、２径間及び３径間において、実現性のあるＰＣ３径間単純プレテンホロー桁橋、鋼3径間単純鈑桁橋、鋼２径間連続鈑桁橋などから比較検討し、最も経済性に優れる「鋼２径間連続鈑桁橋」を採用した。

架設工法は、架設時期が出水期に掛かり、河川内での作業ができないことから、右岸の橋台背面から120tクレーンにより架設する工法を採用した。３分割された桁を２ブロックに分け、護岸に近いブロックは２本組と１本組に地組して架設し、残る護岸から遠いブロックは、それぞれ１本ずつ架設、計５回のクレーン架設作業の計画とした。

7.4 設計のポイント

今回の復旧橋の設計のポイントとなった点は、次のとおりである。

① 死活荷重を現況以下とすることで、Ａ１橋台・Ｐ３橋脚の補強を不要とした。

② 連続橋とすることによって荷重を新Ｐ１橋脚(固定脚)に負担させ、既存のＡ１橋台・Ｐ３橋脚に現況以上の荷重が掛からないようにした。

③ 耐震設計は、現況相当として震度法によるレベル１地震動の照査のみとした。

8．災害査定

被災部分は流水部にあり、このまま放置すると被災が拡大する恐れがあったため、流水部を右岸側から左岸側に振り替える瀬替え工が必要であった。この瀬替え工と被災部分の撤去工事については、応急工事として災害査定前に実施した。なお、瀬替え工は、下部工の施工等に必要な仮締切を兼ねるものである。

財務省北陸財務局及び国土交通省防災課とそれぞれ２回ずつの事前協議を経て、12月16日に災害査定(H25第６次査定)が実施された。査定では、瀬替え工の左岸下流側の一部について不採択となったが、概ね申請どおりの査定結果となった。

（申請額92,571千円→決定額91,761千円△810千円）

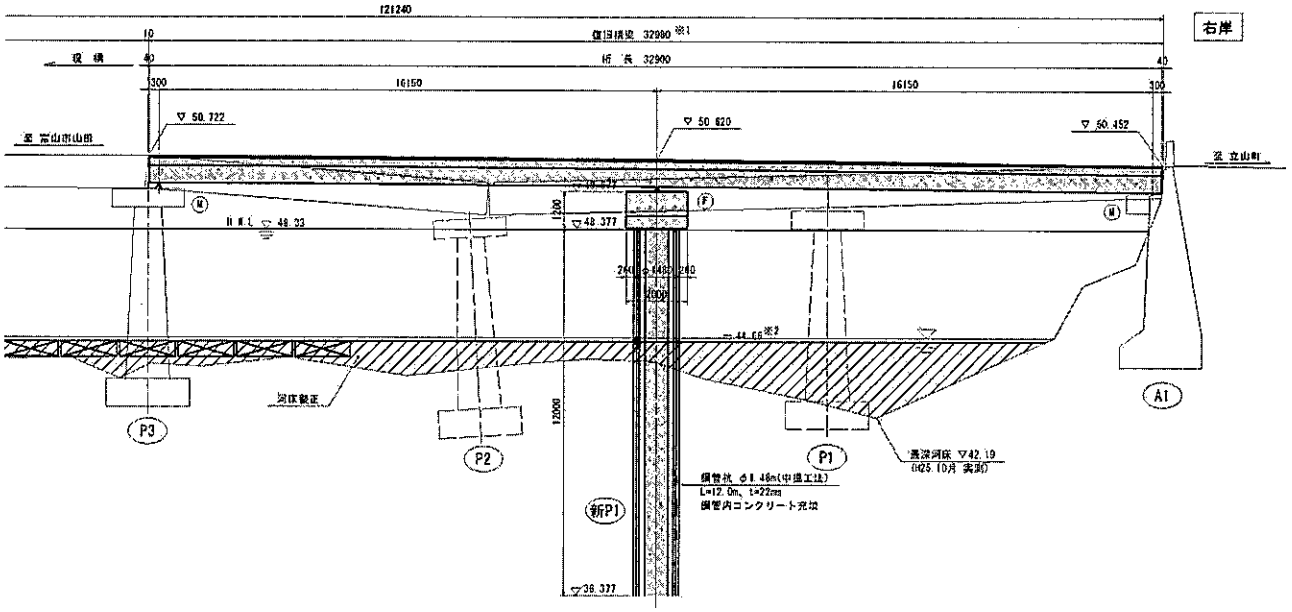


図-4　復旧橋(鋼２径間連続鈑桁橋)側面図

9．河川占用許可

今回、応急工事としての瀬替え工事(河川法第27条第１項)、被災部分の取壊・撤去工事(第26条第１項)、そして復旧橋梁工事(第24条及び第26条第１項))とそれぞれの段階に応じて河川法の許可申請を行った。

10. 下部工・上部工工事発注

災害査定の翌週には、下部工の入札手続きを開始し、１月15日に下部工工事を発注、引続き材料購入や桁の工場製作期間を考慮して、１月30日に上部工工事を発注した。

10.1 下部工工事施工

下部工工事においては、φ1500の鋼管の調達に約１ヶ月半の時間を要した。鋼管を入手した３月下旬から現場作業に入った。河川内での作業であり、現場作業時は上流の水位観測点の水位上昇による作業中止基準を設けていたが、天候に恵まれ作業は順調に進捗した。

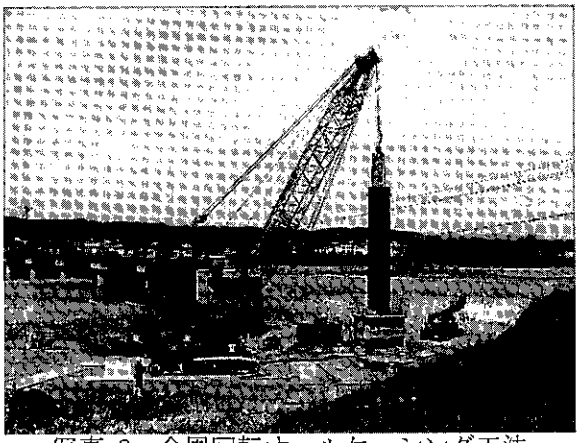


写真-8　全周回転オールケーシング工法

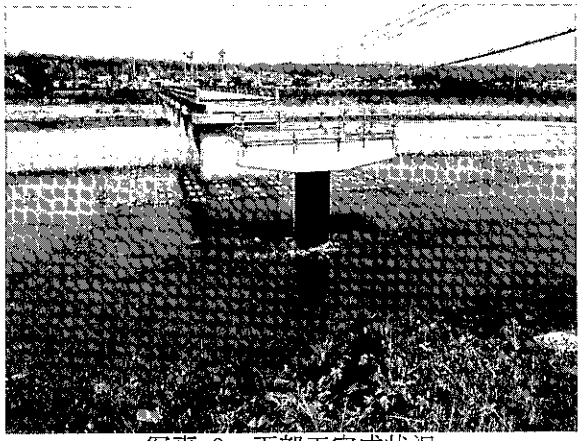


写真-9　下部工完成状況

10.2 上部工工事施工

早期に上部工工事を発注したことにより、下部工が完成する時期までに桁製作が完了し、下部工の完成から間を置くことなく、６月中旬から現場での架設工事に着手できた。

ここでは、請負業者の創意工夫により、500t吊の大型クレーンを使用して、地上でできる限りの地組を行い架設した。護岸に近いブロックを１組、護岸から遠いブロックを１組、計２回のクレーン架設作業で桁架設が完了した(計画は前述のとおり計５回だった)。さらに、床版施工や現場塗装のための吊足場も地上で設置してから架設された。これにより河川上での鳶作業となる吊足場設置作業時間も縮減された。

写真-10　500t吊クレーンによる桁架設状況

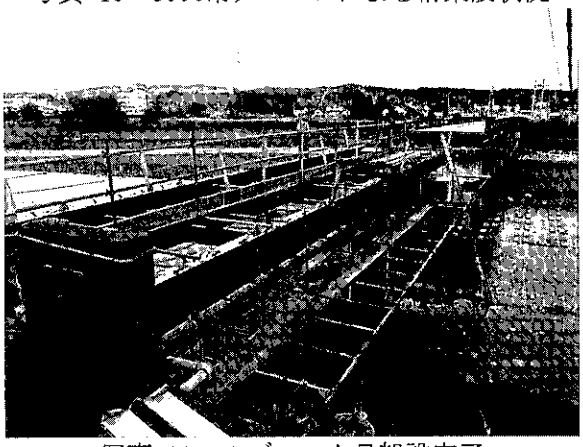


写真-11　１ブロック目架設完了

11. 通行再開

上部工工事請負会社との部分使用の手続きを踏み、工事完成前の平成26年８月29日(金)の14時から通行を再開した。通行止めから約１年後(347日後)の通行再開となった。約１年の通行止めは周辺の道路(特に上流の橋梁部)の混雑を招き、県民の社会活動に大きな影響を与えた。やはり、河川の多い富山県においては、橋梁が交通における重要な役割を担っていることを再認識したところである。

８月末に通行を再開したことには、やはり９月１日

から３日にかけて八尾地域で開催される「おわら風の盆」が念頭にあった。工事発注時点では、「おわら風の盆」の前に通行再開させることは非常に困難であると考え、関係機関にもそのように説明してきた。

「高善寺橋」は、一般駐車場（＝シャトルバス乗降場）のすぐ近くにあり、特に県外からの観光客は、ナビを頼りにこの「高善寺橋」を通りこの駐車場に来ることが考えられ、８月末の通行再開が無ければ、大きな混乱を招いていたかもしれない。

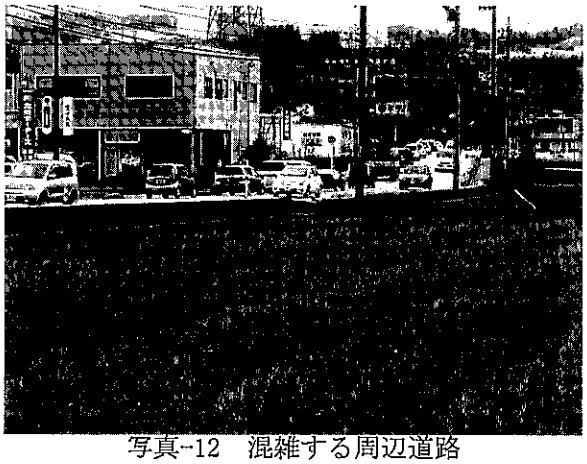


写真-12　混雑する周辺道路

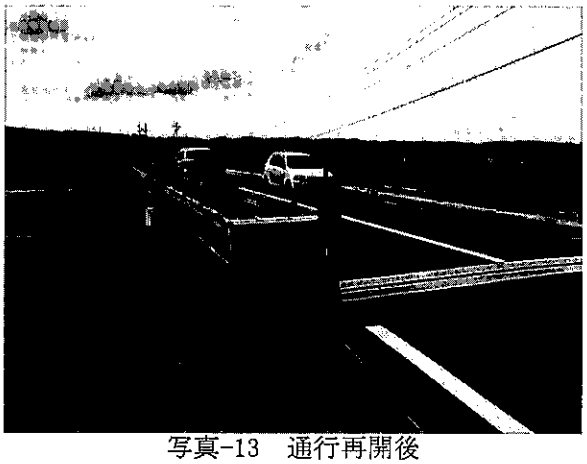


写真-13　通行再開後

12. おわりに

昨今、高齢化橋梁の中でも特に老朽化が著しい橋梁の架替事業が県内でも始まった。高齢化橋梁については、現在の基準よりも低い基準で設計されており、架替事業にあたっては、老朽化を原因としたものの他、河積阻害率が大きい、基準径間長が足りない等、「河川管理施設等構造令」の基準を満たしていないものについても、優先的に（架替えを）検討していくことが望まれる。

今回、予定より約４ヶ月も早く通行を再開させることができた。当初の完成予定時期は、詳細設計もできていない状況での発表であったため、いくらか余裕をもった時期の設定ではあったが、この規模の橋梁としては、早く完成させることができたのではないかと考えている。

被災発生時、これまでに例を見ない落橋災害に対して、どう取り組んでいけばいいのか本当に先が見えない状況であった。しかしながら、経験豊富な上司は多くの道筋を示してくれ、同僚は自分の仕事よりも協力することを優先してくれた。設計コンサルタントは非常に良い提案をしてくれ、応急対策工事では八尾地域の多くの建設業者が率先して工事に加わってくれた。さらに、上下部工工事の請負業者は休日を返上して工事を進めてくれた。こうした周囲の協力や請負業者の努力があったからこそ事業は順調に進捗したのである。

本事業に関係いただいたすべての皆様に、この紙面をお借りして深く感謝申し上げます。

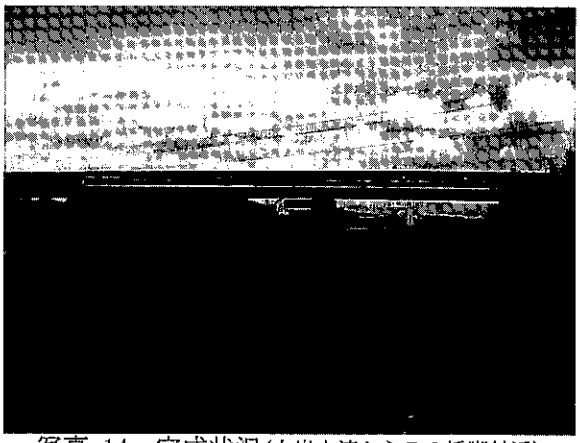


写真-14　完成状況（右岸上流からＰ２橋脚付近）

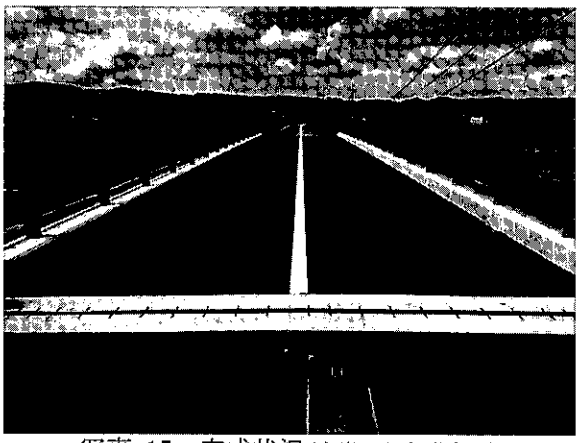


写真-15　完成状況（右岸から左岸方向）

「石川のみちづくり指針」

石川県土木部道路建設課　高田隆司

１．はじめに

平成１５年に本県の道路整備を進める上での理念や方針を示す「みちづくり指針」を策定したが、策定から１０年が経過していることや

・能登有料道路等３有料道路の無料化
・能登半島地震や浅野川豪雨災害の発生
・東日本大震災や笹子トンネル天井板落下事故の発生
・北陸新幹線の敦賀延伸や東京オリンピックの開催

など、策定以降、社会情勢は大きく変化していることから、新幹線金沢開業を大きな節目として、昨年度、新たなみちづくり指針を策定したところである。

２．新たな指針策定の進め方

指針策定にあたっては、幅広い視点での検討が必要と考え、学識経験者等から構成する「石川の道を考える会」を設置し、３回に渡ってご意見を頂くとともに、広く県民の意見を取り入れるため、指針の素案についてパブリックコメントも実施した。

考える会で、各委員からは、

・防災と維持管理が最重要
・道路ストックを健全な状態で次世代に継承
・地域の活力を高め活性化
・観光客にも優しく思い出に残るみちづくり
・地域間の時間距離の短縮
・災害に強い道路ネットワークの構築による活力創出

など、多岐にわたるご意見を頂いた。

写真１　「石川の道を考える会」開催状況

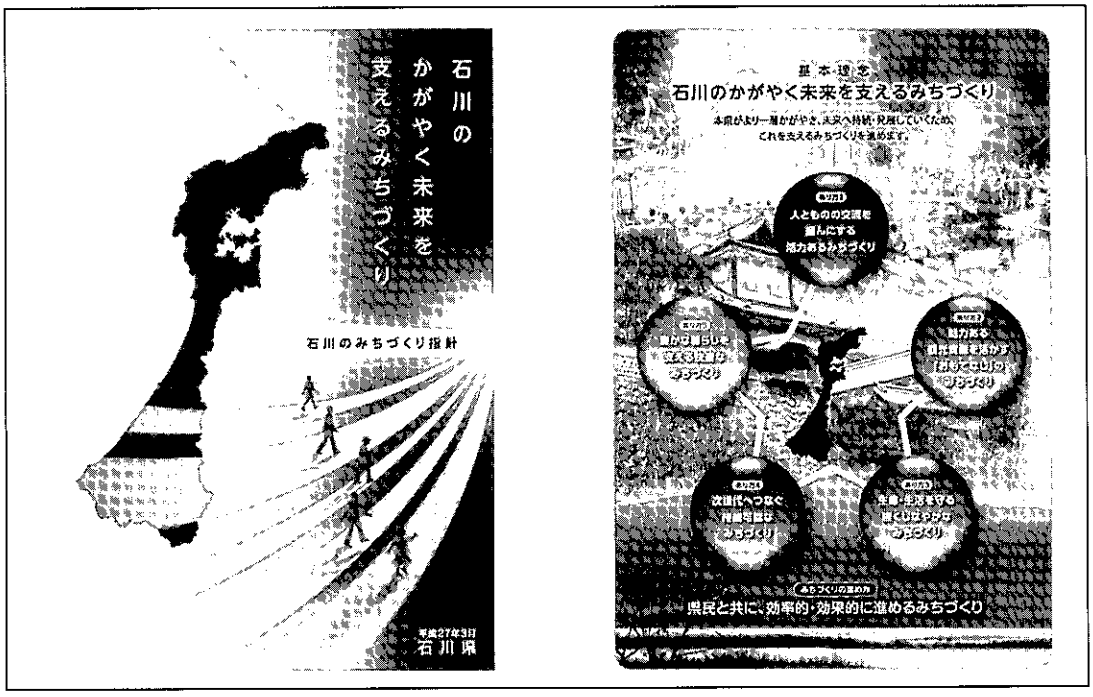


図１　みちづくり指針の表紙と概要

また、パブリックコメントでは、図２に示すとおり、２５名の方から５９件のご意見を頂いた。意見の内訳としては、のと里山海道の４車線化など幹線道路等の整備に関するものが１５件と一番多く、次に、防災・減災に関するものが、７件、公共交通に関するものが６件、交通安全に関するものが５件という結果であった。

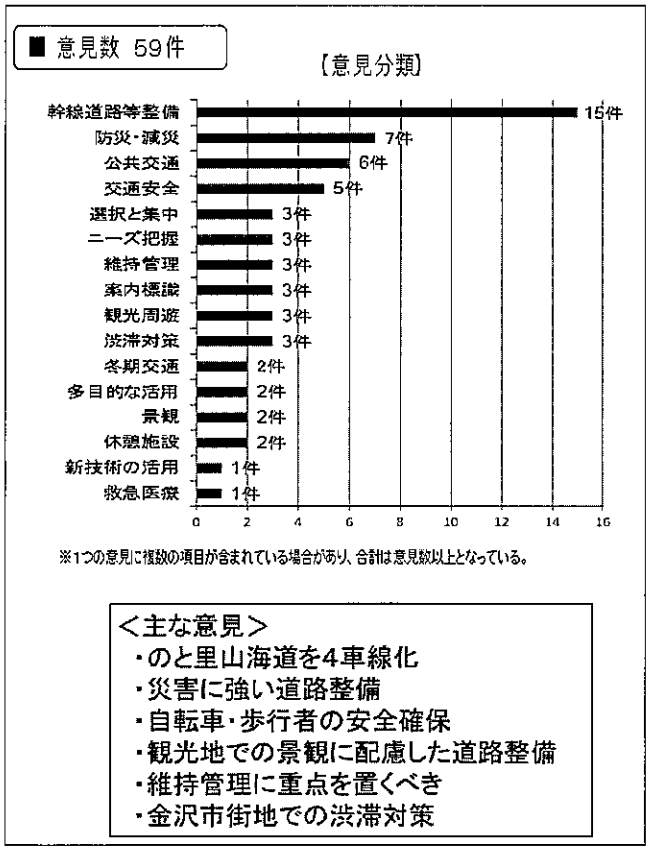


図２　パブリックコメント実施結果

３．新しいみちづくり指針の概要

３．１　基本理念とみちづくりの流れ

今後のみちづくりで何を目指すのかという基本理念として、「石川のかがやく未来を支えるみちづくり」を掲げ、本県がより一層かがやき、未来へ持続・発展していくため、これを支えるみちづくりを進めることとしている。

みちづくりの流れは、図３に示すとおり、基本理念に基づき、どんなみちづくりをするのかという「みちのあり方」を定めるとともに、どのように進めるのかという「みちづくりの進め方」も定めている。さらに、あり方毎に「みちづくり指標」を設け、年度ごとに達成度をチェックし、必要に応じて事業の見直しを行うなど、ＰＤＣＡサイクルを確立していくこととしている。

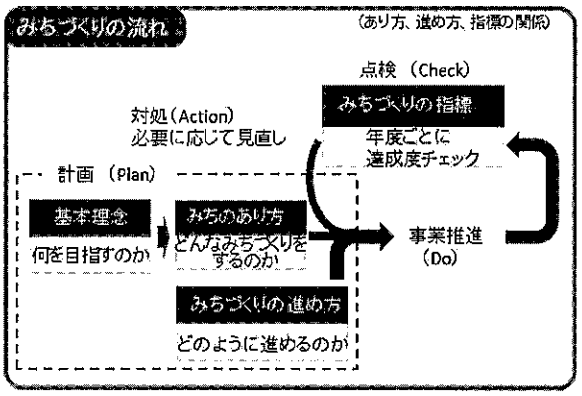


図３　みちづくりの流れ

３．２　みちのあり方

みちのあり方としては、図４に示すとおり、５つのあり方を定めている。

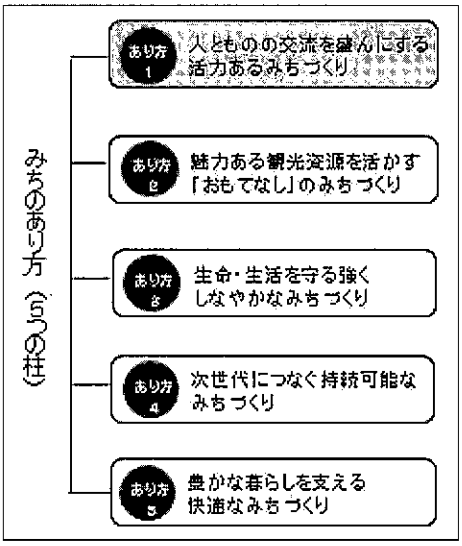


図４　みちのあり方

① ありかた１

あり方１「人とものの交流を盛んにする活力あるみちづくり」として、図５に示すとおり、３つの取り組み方針を位置づけている。

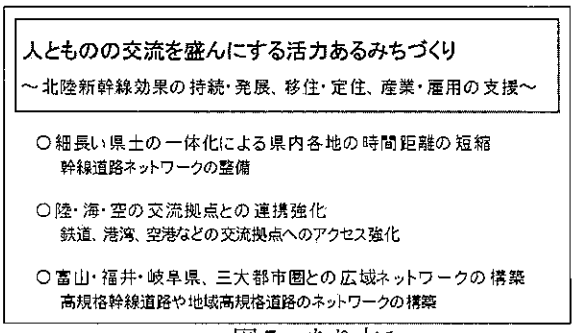


図５　あり方１

北陸新幹線効果の持続・発展、移住・定住、産業・雇用を支援するため、細長い県土の一体化による県内各地の時間距離の短縮等に資する幹線道路の整備を進めることとしている。

具体的な幹線道路の整備としては、図６に示すとおり、能越自動車道の輪島道路や「のと里山海道」の柳田ＩＣ～上棚矢駄ＩＣ間の４車線化、金沢外環状道路海側幹線Ⅳ期区間、加賀海浜産業道路の手取川架橋を推進することとしている。

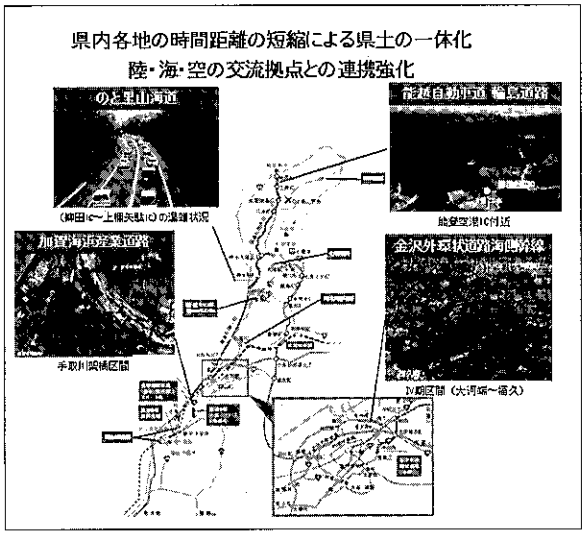


図６　幹線道路の整備

② あり方２

あり方２「魅力ある観光資源を活かす「おもてなし」のみちづくり」として、図７に示すとおり、３つの取り組み方針を位置づけている。

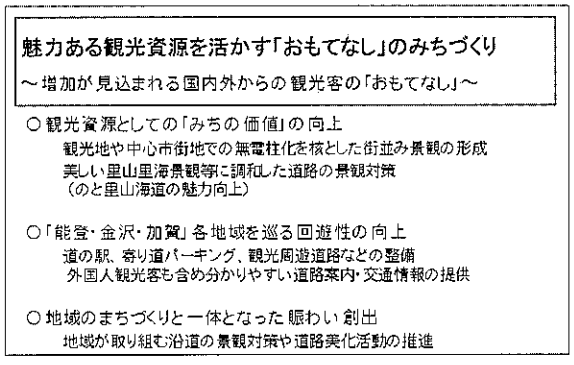
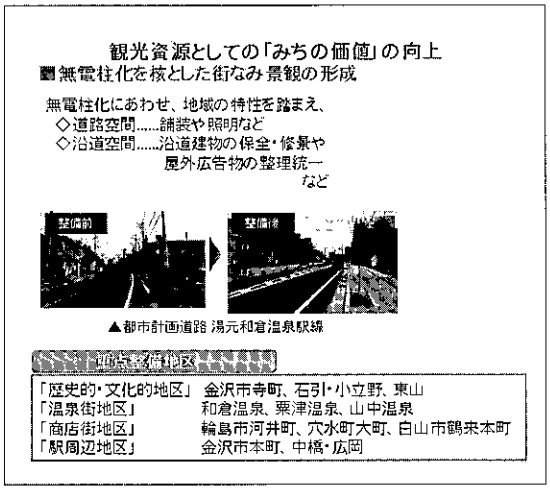


図７　あり方２

増加が見込まれる国内外からの観光客をおもてなしするため、観光資源としての「みちの価値」の向上や「能登・金沢・加賀」の各地域を巡る回遊性の向上を目指し、のと里山海道の魅力向上や道の駅、寄り道パーキングの機能強化、観光周遊道路の整備などを進めることとしている。

観光資源としての「みちの価値」の向上の具体策としては、図８に示すとおり、一つは、「歴史的・文化的地区」や「温泉街地区」、「商店街地区」、「駅周辺地区」において、無電柱化にあわせ、沿道の方々に建物の修景や屋外広告物の整理統一を行っていただき、官民協働で美しい街並み景観を形成していくこととしている。

もう一つは、能登地域へのエントランス道路である「のと里山海道」の更なる魅力向上として、安全対策を兼ね、走行音が音楽として聞こえる「おとのみち」整備や四季折々の沿道景観を楽しめるようヤマザクラなど自生種を植栽し、並木整備を進めることとしている。



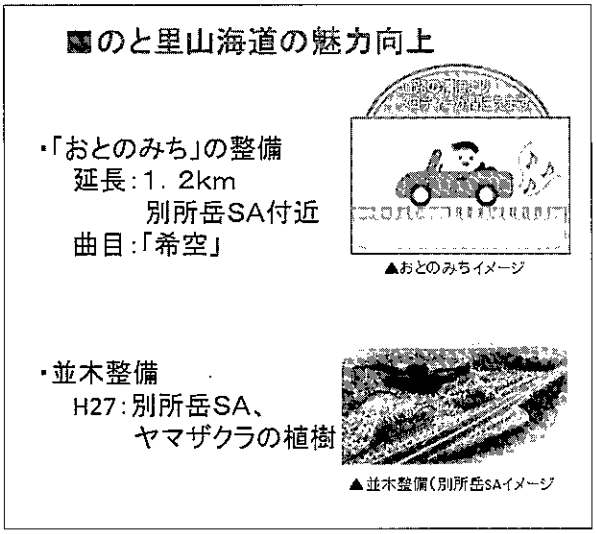


図８　観光資源としての「みちの価値」の向上

③ あり方３

あり方３「生命・生活を守る強くしなやかみちづくり」として、図９に示すとおり、４つの取り組み方針を位置づけている。

県民の安全・安心を確保するため、災害時の応急活動や救急時の医療機関への搬送等が円滑に行われるよう、信頼性の高い道路ネットワークの構築や緊急輸送道路等の橋梁の耐震補強等の防災・減災対策、「通学路交通安全プログラム」に基づく通学路の安全対策などの交通安全対策、冬期の交通確保に努めることとしている。

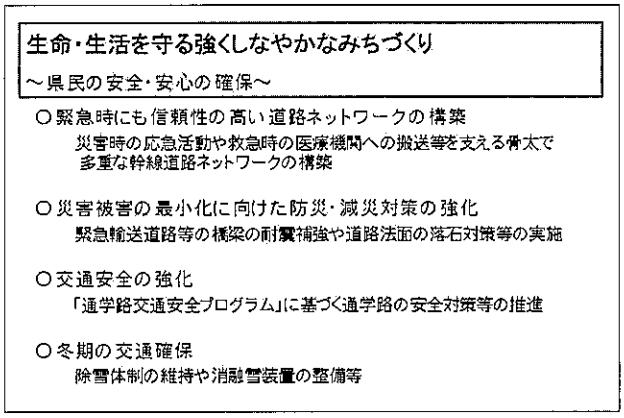


図９　あり方３

④ あり方４

あり方４「次世代へつなぐ持続可能なみちづくり」として、図１０に示すとおり、２つの取り組み方針を位置づけている。

高齢化する道路施設の長寿命化を進めるため、点検、診断、補修、更新、記録のメンテナンスサイクルを回す仕組みの構築や、道路構造物の長寿命化修繕計画に基づく計画的な補修・更新に努めていくこととしている。

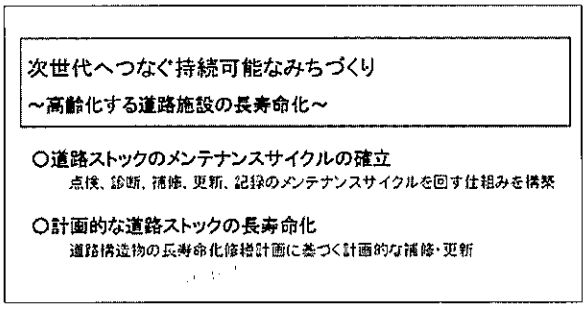


図１０　あり方４

⑤ あり方５

あり方５「豊かな暮らしを支える快適なみちづくり」として、図１１に示すとおり、４つの取り組み方針を位置づけている。

円滑な自動車交通の確保として、環状道路の整備やバイパス等の整備を進め、渋滞解消・緩和に努めるほか、パークアンドライドの実施等による公共交通の利用促進や歩道のバリアフリー、自転車の通行空間の確保、さらには、地域活性化の支援として、地域拠点施設や幹線道路へのアクセス道路等の整備を進めていくこととしている。

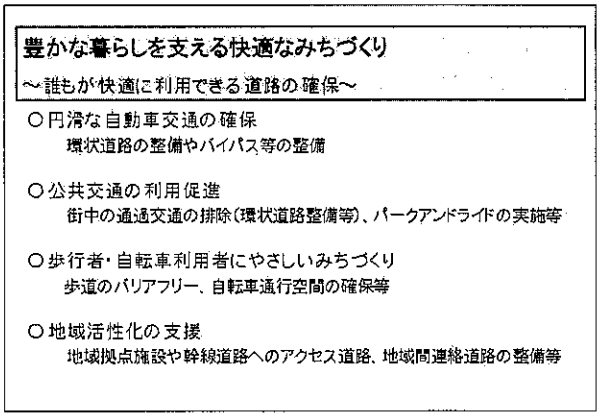


図１１　あり方５

３．３　みちづくりの進め方

５つのあり方に基づき、道路整備を進めるにあたって、どのように進めていくのかについても、本指針で定めている。

図１２に示すとおり、大きく分けて２つの進め方を考えている。

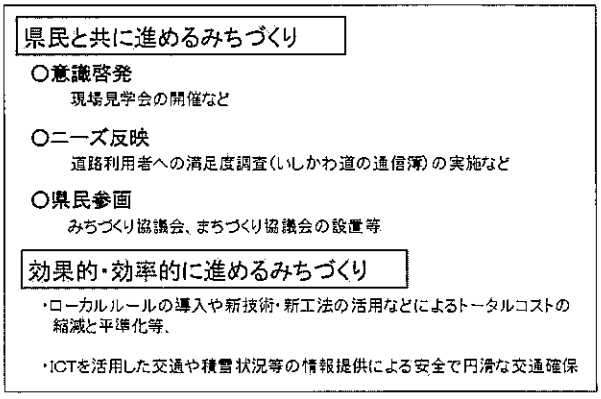


図１２　みちづくりの進め方

一つ目は、「県民と共に進めるみちづくり」で、現場見学会の開催などにより県民の意識啓発や道路利用者への満足度調査の実施などによるニーズの把握・反映、そして、みちづくり協議会等の設置による事業実施段階での県民参画に努めていくこととしている。

二つ目は、「効果的・効率的に進めるみちづくり」で、ローカルルールの導入や新技術・新工法の積極的な活用によるトータルコストの縮減と平準化に努めるとともに、ＩＣＴを活用した交通や積雪状況等の情報提供による安全で円滑な交通確保に努めるなど、ソフトとハード一体となって道路整備を進めていくこととしている。

４．指針のフォローアップ

指針を作成して、完了ということではなく、この指針に基づき、適正に事業が進められているのか、目指すべき効果が発現しているのかを確認するため、図１３に示すとおり、あり方毎に、２つの指標を設定し、毎年度、達成度を確認することとしている。

＜あり方1＞ 人とものの交流を盛んにする活力あるとしたみちづくり	
指標1	県内主要都市1時間圏
指標2	交流拠点1時間圏
＜あり方2＞ 魅力ある観光資源を活かす「おもてなし」のみちづくり	
指標3	観光客の道路利用満足度
指標4	無電柱化整備率
＜あり方3＞ 生命・生活を守る強くしなやかなみちづくり	
指標5	災害時ネットワーク確保率
指標6	交通事故死者数
＜あり方4＞ 次世代へつなぐ持続可能なみちづくり	
指標7	道路施設点検実施率
指標8	道路施設長寿命化率
＜あり方5＞ 豊かな暮らしを支える快適なみちづくり	
指標9	渋滞発生区間の延長
指標10	歩行者・自転車利用者の道路利用満足度

図１３　みちづくり指標

①あり方１の指標

県内各地からの時間距離の短縮の達成度をチェックするため、図１４に示すとおり、県内の主要都市（小松市、金沢市、七尾市、輪島市）へ１時間で到達できる市町数の増加を指標とした「県内主要都市１時間圏」と交流拠点とのアクセス向上の達成度をチェックするため、新幹線駅の金沢駅や新高岡駅、そして、空の玄関口となる小松空港、のと里山空港のうち２つ以上の交流拠点から１時間で到達できる地域の面積の増加を指標とした「交流拠点１時間圏」を指標として設定しています。

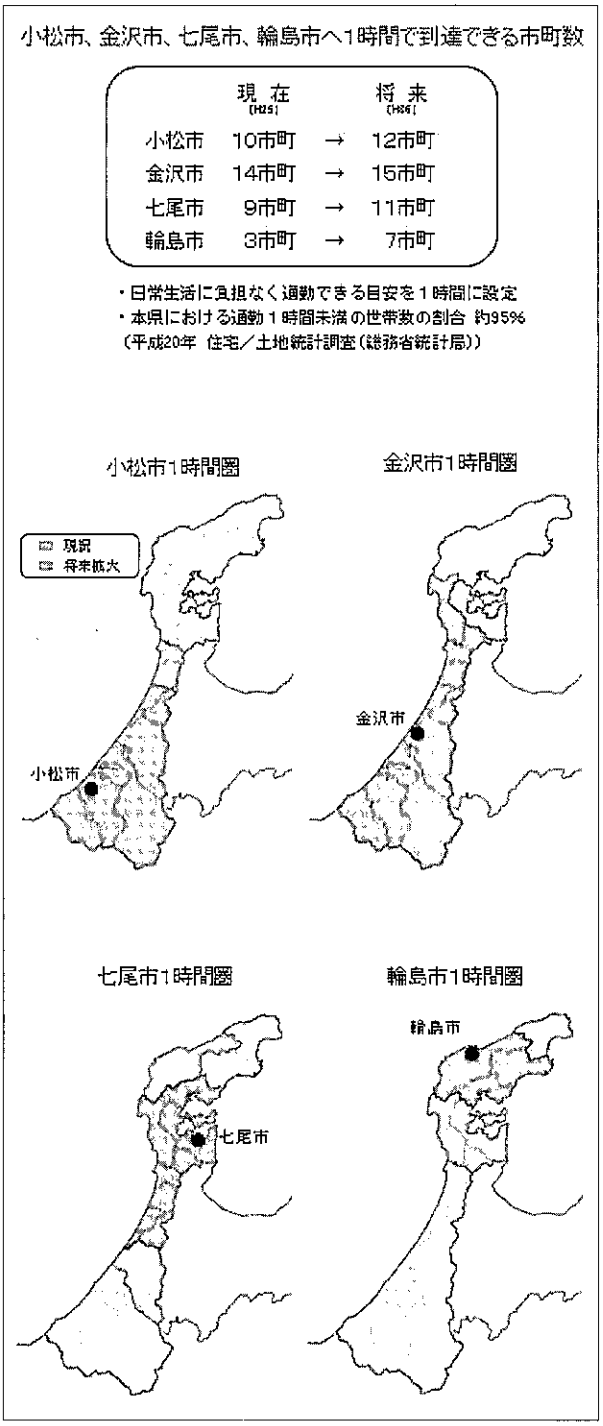


図１４　指標１：県内主要都市１時間圏

②あり方２の指標

観光客へのおもてなしの達成度をチェックするため、図１５に示す通り、観光客の利用満足度を指標として設定しています。

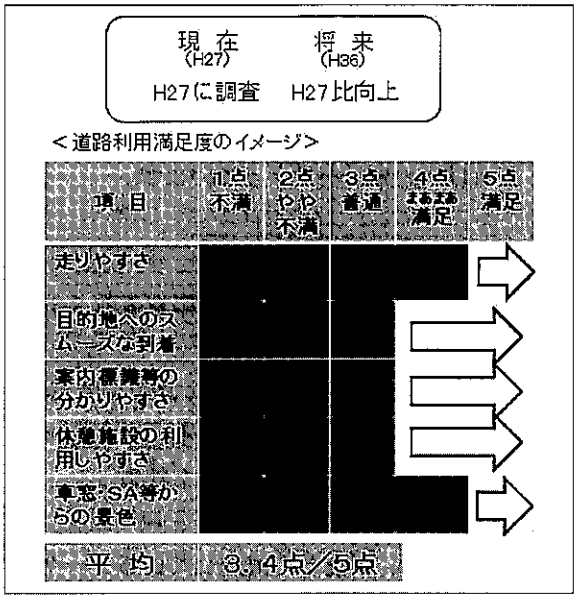


図１５　指標３：観光客の道路利用満足度

具体的には、図１６に示す「いしかわ道の通信簿」と題し、道路利用者を対象にアンケート調査を実施し、走りやすさや道路案内の分かりやすさ等５項目について、道路利用満足度を評価していただき、その内、観光客の評価を今年度を初期値とし、その初期値を下回らないよう道路整備を進めていくこととしています。

もう一つは、道路景観の向上の達成度をチェックするため、無電柱化整備率を指標として設定しています。

③あり方３の指標

防災・減災対策の達成度をチェックするため、災害時に緊急輸送道路のルートが確保されている割合を示す「災害時ネットワーク確保率」と交通安全の達成度をチェックするため「交通事故死者数」の２つの指標を設定しています。

④あり方４の指標

メンテナンスサイクルの確立の達成をチェックする「道路施設点検実施率」と道路ストックの長寿命化の達成度をチェックする「道路施設長寿命化率」の２つを設定しています。

⑤あり方５の指標

円滑な自動車交通の確保の達成度をチェックする「渋滞発生区間長」と歩行者・自転車にやさしいみちづくりの達成度をチェックするため、指標３で説明した「いしかわ道の通信簿」で歩行者、自転車利用者に利用満足度を評価していただき、その評価を指標とした「歩行者・自転車利用者の道路利用満足度」の２つの指標を設定しています。

５．おわりに

みちづくり指針の策定がゴールでは無く、これをスタートと考え、道路利用者のニーズ把握に努め、効果的・効率的な道路整備に県民と共に取り組んでまいります。最後に、指針策定にご尽力頂きました皆様方に感謝申し上げます。

図１６　いしかわ道の通信簿

福井県の「道の駅」について

福井県土木部道路保全課　木村　友則

1. はじめに

「道の駅」は、制度が創設されて 20 年以上が経過し、現在 1,079 の「道の駅」が認定されています。従来の「休憩」「情報発信」「地域連携」の 3 つの機能に加え、「雇用創出」や「防災」など新たな役割を果たす場にもなってきています。

今回は、福井県における道の駅に関する取り組みについてご報告します。

2. 道の駅の全国的な動き

平成26年8月と平成27年1月に下記内容について、国土交通省がプレスリリースしました。地域活性化の拠点となるような取組を応援するため、関係機関と連携して重点的に支援することを打ち出したもので、全国でモデル「道の駅」として 6 駅、重点「道の駅」として 35 駅が選定されました。福井県においても大野市の「結の故郷」1 駅が重点「道の駅」に選定されました。

【国土交通省報道発表】

- 平成 26 年 8 月 28 日
  「道の駅」による地方創生拠点の形成
  ～モデル箇所の選定と総合的な支援～
- 平成 27 年 1 月 30 日
  重点「道の駅」の選定について
  ～地方創生の核となる「道の駅」を重点的に応援します～

また、今年 5 月には全国「道の駅」連絡会が第 7 回マーケティング大賞を受賞しました。社会に新しく需要を喚起し、あるいは市場を再活性化した優れた商品もしくはサービスに贈られるとされており、受賞理由としては以下の項目が挙がっています。

【受賞理由】

- 日本全国で 1,059 駅、年間購買者数 2 億 1 千万人、年間売上高 2,100 億円
- インバウンドを含めた観光、地元の特産物販売、過疎地の小さな拠点、防災拠点など様々な意味で価値創造に成功したことを評価
- 国、自治体、第 3 セクター、民間企業、生産者が連携し、運営して成功しているマーケティングモデルは、地域活性化に寄与しているだけでなく、広く国民に支持されている

【過去の大賞受賞者】

- 第 1 回　ユニクロ「ヒートテック」
- 第 2 回　サントリー「角ハイボール」
- 第 3 回　花王「アタック Neo」
- 第 4 回　タニタ「タニタの社員食堂」
- 第 5 回　トヨタ「AQUA」
- 第 6 回　ネスレ日本「ネスカフェアンバサダー」

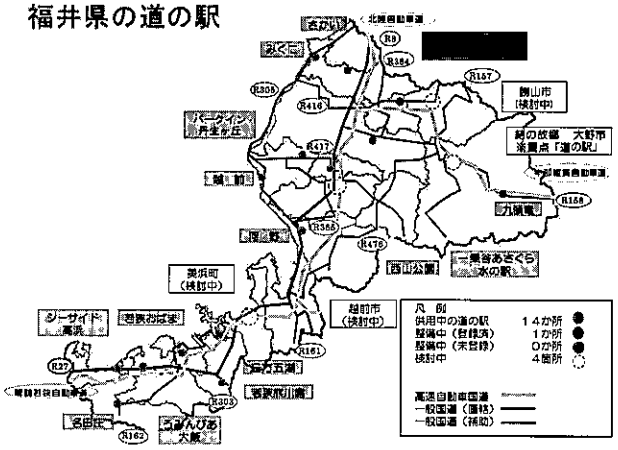
過去の大賞には民間の優れたプロジェクトが選ばれており、こういう中で初めて公的な取組が取り上げられたことで道の駅はますます注目を浴びていると考えられます。

3. 福井県の「道の駅」の整備

3.1　「道の駅」の整備状況

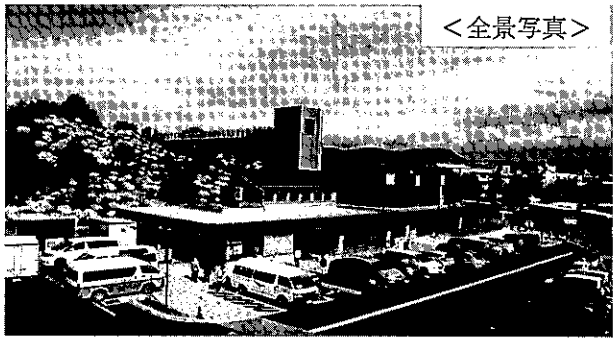
本県には現在供用中の道の駅が 14 駅あります。特に最近は新設の道の駅が増えており、平成 25 年から平成 27 年までで 5 駅がオープンしています。このほかに永平寺町で 1 駅が整備中であり、大野市、勝山市、

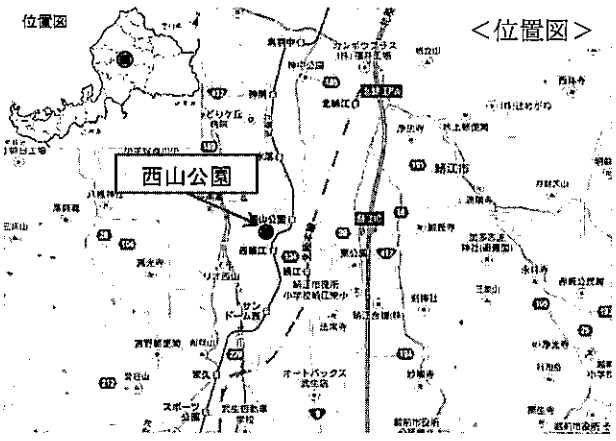
越前市、美浜町の４市町でそれぞれ新たに道の駅の設置が検討されています。このうち、大野市の「結の故郷」が重点「道の駅」に選定されています。



3.2　近年オープンした道の駅の紹介

【西山公園】（鯖江市）

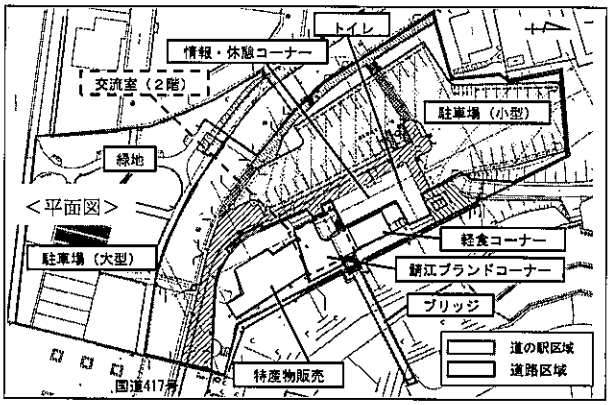




この道の駅は、郊外に位置することが多い他の道の駅と違って、鯖江市の市街地に位置しています。県と

＜概要＞

○設 置 者：鯖江市
○所 在 地：福井県鯖江市桜町３丁目９５０番
○路 線 名：一般国道４１７号
○道路管理者：福井県
○整備手法：一体型
○管理･運営者：富士屋・コーワグループ
○供　　用：平成２６年４月５日
○全体面積：約６，０００㎡



鯖江市の一体型道の駅として整備され、平成 26 年 4 月 5 日にオープンしました。つつじの綺麗な都市公園「西山公園」の中に整備されており、市街中心部ということもあって地元利用客が多い道の駅となっています。平成 26 年 12 月までの入り込みは、9 ヶ月で約 29 万人となっています。

55インチの大形ディスプレーおよびリクエスト端末を設置
周辺の道路情報および観光情報をドライバーに提供

＜情報提供コーナー＞

情報提供コーナーでは大型ディスプレイと iPad 型の端末を備え、道路情報や観光情報を提供しています。

休憩コーナーは、奥の軽食コーナーと一体的に利用できるようになっています。ひと部屋に見えますが、手前の休憩コーナーと奥の軽食コーナーでは構造的に分かれており、手前は道路管理者である福井県が整備を行い、奥は鯖江市が整備しています。

軽食コーナーと一体的に利用できる休憩コーナー

＜休憩コーナー＞

鯖江市の地場産品である眼鏡、漆器、石田縞織り等の展示・販売を行い、各施設への誘客を図る

＜鯖江ブランドコーナー＞

鯖江市はものづくりが盛んなまちであり、眼鏡や漆器などの鯖江ブランドを紹介するコーナーも設けています。

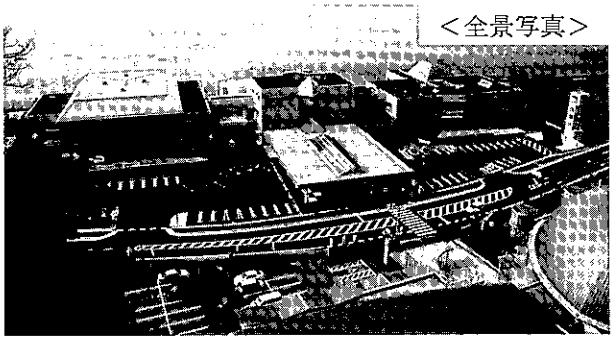
鯖江市の地場産品である眼鏡をモチーフにしたお菓子等のお土産、市・丹南地区を代表する地場産の農産物などの商品をそろえる

＜特産物販売＞

【越　前】（越前町）

道の駅「越前」は、越前町の日本海側を通る国道305号沿いに位置する道の駅で、県と越前町の一体型道の駅として平成26年11月15日にオープンしました。既存の温泉施設を改修し、道の駅としてリニューアルオープンしたものです。

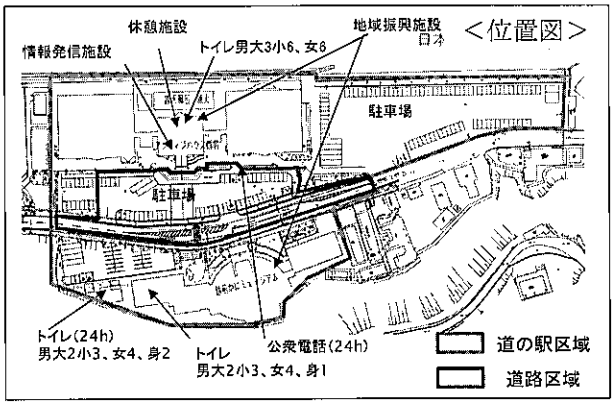
＜全景写真＞



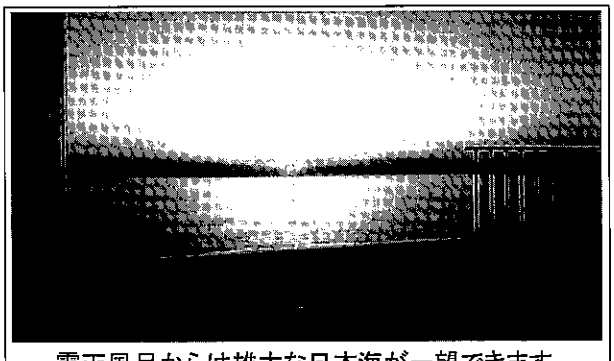
＜概要＞

○設 置 者：越前町
○所 在 地：福井県丹生郡越前町厨第７１号３３５番地１
○路 線 名：一般国道３０５号
○道路管理者：福井県
○整備手法：一体型
○管理・運営者：（一財）越前町公共施設管理公社
○供　　用：平成２６年１１月１５日
○全体面積：約２６，９００㎡

＜位置図＞



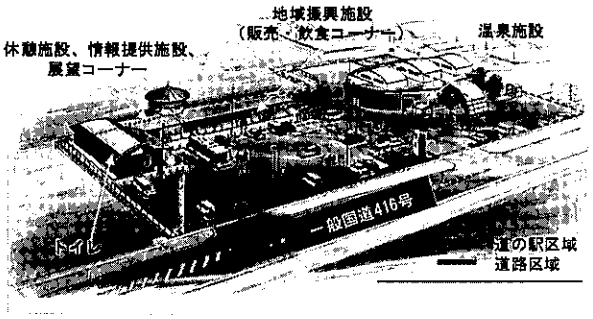
日本海に面することから、温泉からの絶景と新鮮な魚介を使った料理が目玉となっています。越前がにのシーズンにはかに定食の提供やかにの販売、越前かに祭りなどのイベントも行われ、県外から多数の観光客が訪れます。年間を通して新鮮な魚がとれ、夏場は海水浴客等も訪れることから、1年を通してお客さんが訪れる道の駅となっています。平成26年11月オー

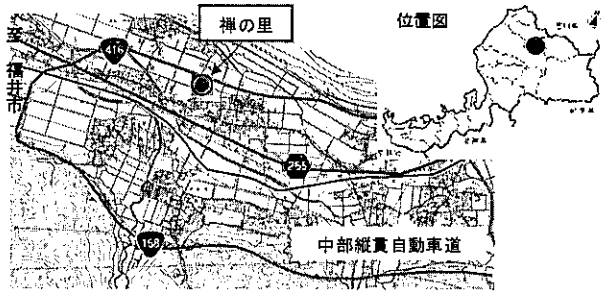


露天風呂からは雄大な日本海が一望できます

プンから平成27年7月までの約8ヶ月で50万人を突破する道の駅となっています。

【禅の里】（永平寺町）※整備中





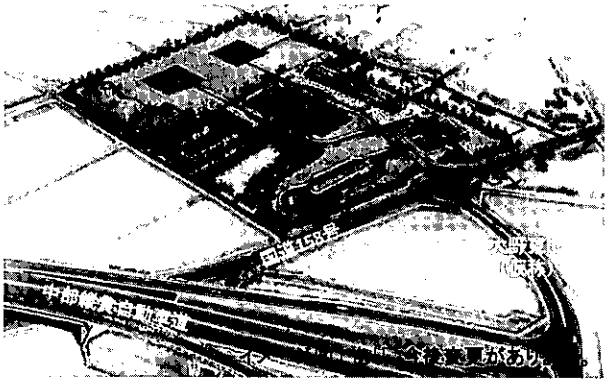
＜概要＞

○設 置 者：永平寺町
○路 線 名：一般国道４１６号（福井県）
○整備手法：一体型
○供　　用：平成２８年３月予定
○全体面積：約５，３５０㎡

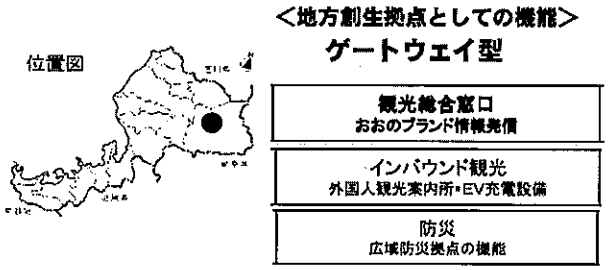
平成27年11月5日に県内15番目の道の駅として登録された県と永平寺町一体型の道の駅で、平成28年3月のオープンに向け整備中です。地元産食材を使用したメニューを揃えるレストランや特産品を並べる売店のほか、温泉施設を備えた道の駅です。

【結の故郷（重点道の駅）】（大野市）※検討中

平成27年1月に重点「道の駅」に選定された道の駅で、現在整備をすすめている中部縦貫自動車道の大野東IC（仮称）出口正面に整備される予定です。



駅名	都道府県	設置者	路線	新設/既設	設置年度	種別
結の故郷	福井県	大野市	国道158号	新設	平成32年	一体型



地方創生拠点の機能として、地域外から活力を呼ぶゲートウェイ型の道の駅として位置づけられ、観光総合窓口やインバウンド観光、防災機能を備えた道の駅として、現在協議会を設け検討を進めています。協議会は、国、県、市の関係部署、地元、農業従事者、商業従事者、交通事業者に専門の有識者を加え、様々な関係者で構成されています。

「禅の里」と「結の故郷」はどちらも中部縦貫自動車道沿線に位置しており、これ以外にも既存の「九頭竜」と別途検討中の勝山市の道の駅も中部縦貫自動車道沿線に位置しています。

4. 福井県の「道の駅」のリニューアル

既存の道の駅についてもリニューアルを実施しています。

（表－1）は道の駅の基礎機能向上状況を示したもので、「若狭おばま」以降に整備している道の駅については、概ね整備時点で基礎機能の向上に対応してきております。しかし、それ以前の道の駅については老朽

	道の駅名	供用日	EV充電器 急速	EV充電器 普通	情報提供装置 リニューアル（タブレット型）	Wi-Fi	多機能トイレ化	LED照明化	免税店登録	外国人案内所 JNTO認定
リニューアル実施	河内	H9.11.9	○	―	●	●	●	●	―	―
	北川	H10.4.17	○	―	●	●	●	●	○	フードテーブル
	パークイン丹生ヶ丘	H8.6.25	●	●	●	●	●	●	―	―
	名田庄	H10.4.17	―	○	●	●	●	●	―	―
	みくに	H10.7.3	●	●	●	●	●	●	―	―
	若狭熊川宿	H11.10.14	●	●	●	●	●	●	―	―
	さかい	H13.6.15	●	●	●	●	●	●	―	―
	シーサイド高浜	H14.5	○	○	●	●	●	―	●	フードテーブル
	若狭おばま	H23.3.12	○	○	―	○	○	○	―	パートナー施設
整備時点で設置	名田庄	H26.3.19	○	○	●	○	○	○	―	―
	西山公園	H26.4.5	○	○	○	○	○	○	―	―
	越前	H26.11.15	●	―	●	●	●	●	―	カテゴリー1
	三方五湖	H27.3.21	●	●	●	●	●	●	●	―
	九頭竜	H27.7.23	○	―	○	○	○	○	―	―
	禅の里	H28.3予定	●	―	●	●	●	●	―	―

（表－1）

【凡例】
- 国一体型
- 県一体型
- 市町単独型
- ● H26・H27実施
- ○ それ以前からの実施

化が進み、サービスと質の向上が必要であったことから、リニューアル化を進めてきました。

ハード的なものとしては、EV 充電器、情報提供装置のリニューアル、Wi-Fi、トイレの多機能化、照明の LED 化などを実施しており、機能面において新旧の道の駅で大きな差はない状況になってきています。

ソフト的なものとしては、平成 26 年度に 3 駅が免税店登録を受け、4 駅が JNTO（日本政府観光局）の外国人案内所の認定を受けています。

5. 道の駅どうしの連携

5.1 「道の駅」駅長会議の実施

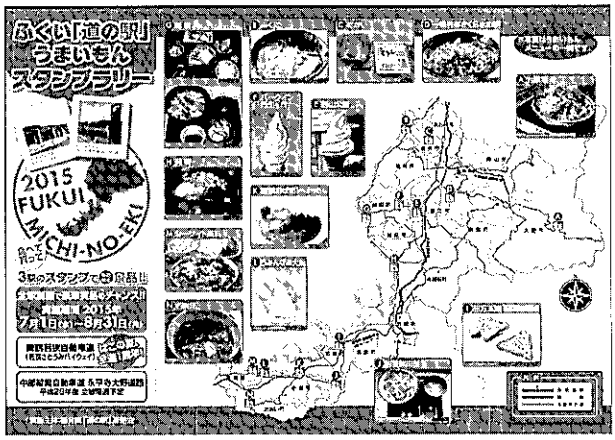
道の駅の新設やリニューアルなどのハード的な取組を実施していますが、よりたくさんのお客様に来ていただくための利活用についても、土木部だけでなく農林水産部や観光営業部などと連携して検討を進めています。

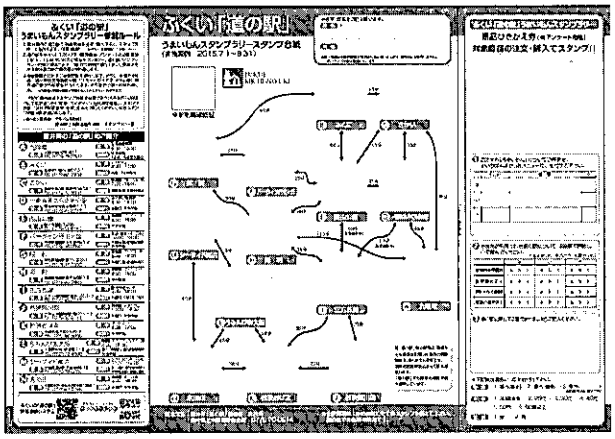
その 1 つとして、道の駅の魅力アップを図るため、活性化策について平成 26 年度から駅長会議を開いて意見交換を行っています。

5.2 「道の駅」スタンプラリーの実施

平成 27 年度は、駅長会議で意見として出た活性化策の中からスタンプラリーを実施しました。スタンプラリーは、『ふくい「道の駅」うまいもんスタンプラリー』と題して、平成 27 年 7 月 1 日～8 月 31 日までの 2 ヶ月間実施しました。

概要としては、県内 14 箇所の道の駅で対象商品を注文した方にスタンプを押し、3 箇所のスタンプを集めた方にもれなく景品をプレゼントしました。3 駅目での景品との交換の際には、今後の利活用策に活かすため、参加者に台紙上のアンケートを記入してもらい、3 駅スタンプを押したアンケートとの引換で景品と交換しました。さらに全駅制覇の方には認定証を授与するとともに、抽選で道の駅特産品をプレゼントしました。





【結 果】

実施期間：平成 27 年 7 月 1 日～同 8 月 31 日

参加人数（配布枚数）：4,845 人

3 駅スタンプ景品交換状況：154 人

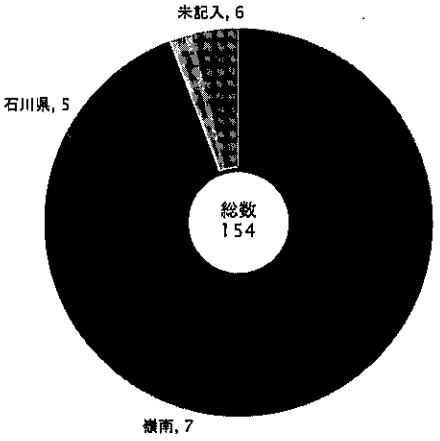
全駅制覇応募状況:：15 人

参加人数約 5,000 人に対して 3 駅スタンプの景品交換に応じた参加者は 154 人、全駅制覇者は 15 人と少なく、今後の課題を感じさせるスタンプラリーでした。原因としては、広報期間が短かったことやスタンプの対象商品を絞ったことなどが考えられます。次回以降の実施においては、課題を改善しながら取り組みたいと考えています。

5.3 アンケートの集計結果（抜粋）

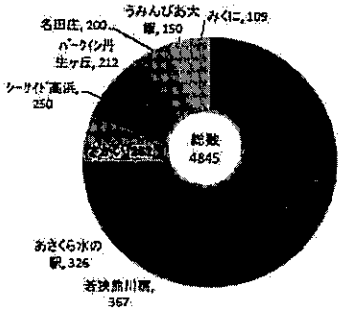
アンケート記入者の住所は、154 人中 81 人が嶺北と、嶺北の参加者が多い結果でした。これは比較的新しい道の駅が嶺北に多く、話題性が高かったことから嶺北の方の訪れる割合が多かったのではと考えられます。また、県外の方で参加された方は、兵庫、京都、愛知、大阪、石川の順に多い状況であり、近畿圏から舞鶴若狭自動車道を通って来県される方が多い状況でした。

アンケート記入者の住所

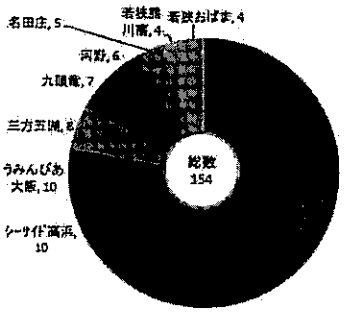


下記のグラフ②と③の上位 3 つの道の駅は、それぞれが直近の道の駅に該当し、嶺北の参加者が多かったことから、比較的近い範囲で 3 駅まわる人が多かった可能性があります。その中で「パークイン丹生ヶ丘」は、古参の道の駅に該当し、普段の入り込みは決して多い方ではありませんが、イベントをきっかけとして

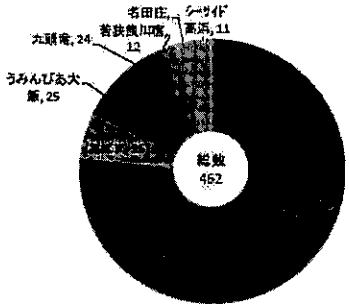
① スタンプラリー用紙の持ち帰り枚数

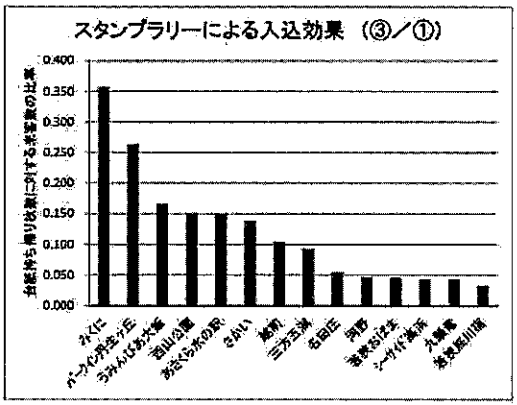


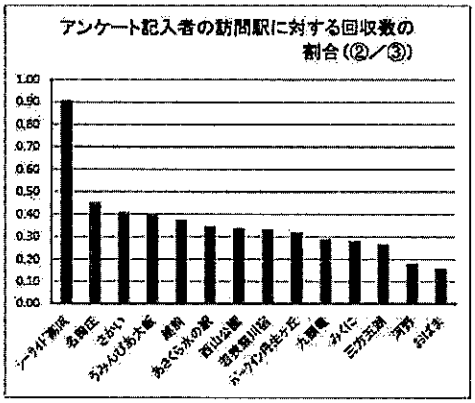
② アンケート用紙回収数



③ アンケート協力者の来客数



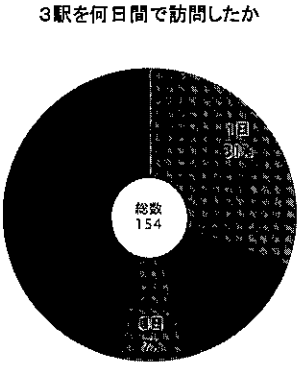




訪れた方がいたことが推測されます。

スタンプラリーによる入込効果(③／①)として、「みくに」は台紙配布枚数が少ない割に訪問数が多い傾向にあり、２つめ以降に訪問する傾向が見て取れます。

アンケート記入者の訪問駅に対する回収数の割合(③／②)では、「シーサイド高浜」の対象訪問者の９割が３駅目で訪れており、福井県の西端に位置する当該駅に県外客が最後に訪れていることが推測されます。



最後に、３駅を何日かけてまわったかについては、１日でまわった方が31%と最も多い結果となりました。

各道の駅の３段階評価では、「a.よかった」を３、「b.ふつう」を１、「c.悪かった」を－１として傾斜配点の上集計しました。

全体的な雰囲気は、「西山公園」、「若狭おばま」、「うみんぴあ大飯」など設備が新しい道の駅で評価が高い結果となりました。オープンが新しくても、「越前」や「三方五湖」、「一乗谷あさくら水の駅」は既存の施設を利用していることから、それほど評価は高くなかったと考えられます。

駐車場の広さでは、「名田庄」や「シーサイド高浜」の評価が高く、「一乗谷あさくら水の駅」が低評価でした。

建物・トイレの清潔感は、新しい道の駅ほど評価が高い傾向でした。

商品の品揃えでは「みくに」や「西山公園」が高評価となりました。「みくに」は売り場が広く、多数の商品を置いていること、「西山公園」は多種のオリジナル商品を取り扱っていることなどが評価されたのではないかと考えられます。

各道の駅の3段階評価結果

（a. よかった b. ふつう c. 悪かった）

	さかい			みくに			三方五湖			河野			若狭熊川宿		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
全体的な雰囲気	12	15	4	19	16		13	10		7	15		4	2	1
駐車場の広さ	13	12	6	25	10		16	7		8	12	2	3	3	1
建物・トイレの清潔感	9	20	2	21	14		15	8		6	16		3	3	1
商品の品ぞろえ	11	16	4	28	7		7	12	4	3	15	4	2	5	

	一乗谷あさくら水の駅			九頭竜			西山公園			若狭おばま			名田庄		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
全体的な雰囲気	22	22		11	9		43	9		14	3		5	6	
駐車場の広さ	12	22	10	10	9	1	24	20	8	12	5		10	1	
建物・トイレの清潔感	33	11		6	9	5	34	18		11	6		6	5	
商品の品ぞろえ	14	27	3	2	16	2	36	15	1	8	9		4	7	

	うみんぴあ大飯			パークイン丹生ヶ丘			越前			シーサイド高浜		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
全体的な雰囲気	17		2	10	29	2	8	10	2	5	3	
駐車場の広さ	13	6		23	17	1	13	7		6	2	
建物・トイレの清潔感	16	3		11	29	1	7	13		3	5	
商品の品ぞろえ	10	7	2	6	25	10	7	9	4	5	2	1

道の駅	全体的な雰囲気	駐車場の広さ	建物・トイレの清潔感	商品の品ぞろえ	総合評価
河野	1.636	1.545	1.545	0.909	5.636
九頭竜	2.100	1.900	1.100	1.000	6.100
パークイン丹生ヶ丘	1.390	2.073	1.488	0.805	5.756
名田庄	1.909	2.818	2.091	1.727	8.545
みくに	2.086	2.429	2.200	2.600	9.314
若狭熊川宿	1.857	1.571	1.571	1.571	6.571
さかい	1.516	1.452	1.452	1.452	5.871
シーサイド高浜	2.250	2.500	1.750	2.000	8.500
若狭おばま	2.647	2.412	2.294	1.941	9.294
うみんぴあ大飯	2.579	2.368	2.684	1.842	9.474
西山公園	2.654	1.615	2.308	2.346	8.923
越前	1.600	2.300	1.700	1.300	6.900
三方五湖	2.130	2.391	2.304	1.261	8.087
一乗谷あさくら水の駅	2.000	1.091	2.500	1.500	7.091

「a. よかった」を3、「b. ふつう」を1、「c. 悪かった」を－1として傾斜配点のうえ集計

総合評価でみると、新しい道の駅の評価が比較的高いことが伺えますが、古参の道の駅でも「名田庄」や「みくに」は高評価を得ており、この結果を分析することが他の既設道の駅の魅力アップを考える上でヒントになるのではないかと考えられます。

6. 今後の課題

道の駅の利活用については、駅長会議等を重ねてきておりますが、道の駅同士が連携してのソフト的な取組はまだ始まったばかりであり、課題も多く残っております。

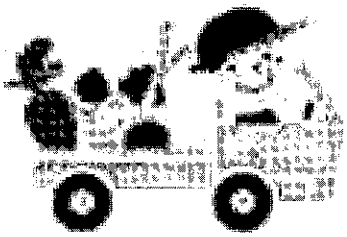
6.1 閑散期の対応

課題の１点目として、閑散期の対応が挙げられます。冬期は、雪の影響でどうしても入り込みが減ってしまい、閑散期の入り込み客確保はほとんどの道の駅の共通課題となっております。

対応策の一つとして、冬期にもスタンプラリーの実施を予定しております。駅長会議の中でも、スタンプラリーのようなイベントは継続性が重要との認識で一致しており、改善を重ねながら入り込み客の増加を目指していきたいと考えています。

6.2 地元商品の充実

課題の２点目として地元独自商品の充実があります。道の駅の訪問客は、その土地にしかないものを求めており、地元独自商品の充実は重要と考えております。

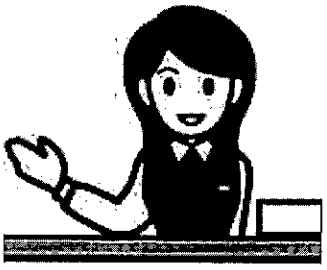


次年度からは、新商品を売りたい生産者や６次産業化事業者と道の駅とのマッチングをお手伝いしたり、新規就農者や中山間地を回っての集荷販売などのモデル的な実施を検討しています。

6.3 観光案内の充実

３点目としては、観光案内の充実が挙げられます。道の駅は道路情報、地域情報の案内機能を備えていないといけませんが、多くの道の駅で専属の案内人はおらず、道の駅のスタッフが案内を兼ねている状況です。

そこで、各道の駅に福井県のより広域的な観光情報を把握したコンシェルジュを配置することを検討しています。



6.4 課題を共有し、解決していく体制づくり

４点目は、課題を共有し、解決していく体制づくりが挙げられます。これまで行ってきた駅長会議を今後も継続し、課題や情報の共有を通して解決策を見いだす体制を確立していきたいと考えております。

課題はまだまだありますが、１つ１つ試行錯誤を重ね福井県の「道の駅」全体の活性化につながっていくよう取り組んでいきたいと考えております。

大規模更新・大規模修繕工事　～ＮＥＸＣＯ中日本金沢支社初年度状況～

中日本高速道路㈱　金沢支社　保全・サービス事業部　更新チーム

１．はじめに

東・中・西日本高速道路株式会社（以下、「高速道路３会社」と言う。）が管理する高速道路は、昭和３８年７月１６日に我が国最初の高速道路である、名神高速道路・栗東～尼崎間が開通して以降、平成２７年度初めの供用延長は約９，０００Ｋｍに達し、国民生活に欠かせない道路となっている。

一方で開通後の経過年数が３０年以上の区間が、約３，７００ｋｍとなり、大型車交通量の増加、積雪寒冷地や海岸部を通過するなど、橋梁・トンネル・土構造物の老朽化・劣化が顕在化してきている。

そこで、高速道路ネットワークを将来に亘り持続可能で的確な維持管理・更新を行うため、「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」（以下「あり方委員会」と言う。藤野陽三委員長：東京大学大学院工学系研究科総合研究機構特任教授：当時）を平成２４年１１月７日に設立し、報告書（※）を取りまとめた。

中日本高速道路㈱金沢支社（以下「金沢支社」と言う。）管内も、担当する北陸道（約２６０ｋｍ）では全線に亘り３０年以上が経過し、最長４３年の経過区間も存在しており、かつ全区間において、冬期の交通確保のため凍結防止剤の散布が必要など、道路構造物の劣化要因を自ら作り出している状況など、厳しい環境下におかれている。

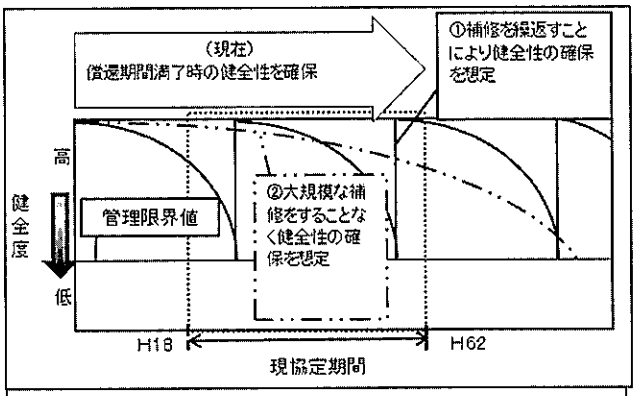
そこで上記報告書を受け、平成２７年４月から特に更新事業の着実な進捗を目的として、担当する部署を設立した。本報告は、その初年度の事業状況を述べるものである。

２．　高速道路資産の長期保全

あり方委員会の報告書によれば、健全度に関する概念を以下のようにまとめられている。

２－１．現協定（本文後出）での健全度概念

独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構法第１３条に基づき、高速道路３会社との間で、平成１８年に締結している協定（『現協定』と言う）によれば、現在の協定期間内に過去の補修実績により部分的な補修を繰返すことにより、健全性は確保されることを前提としている。（図－１）



図－１の解説（点線表示は金沢支社変更・加筆）

① 過去の実績より、部分的な補修を繰返すことにより構造物の健全性が確保されると想定。
（例　鉄筋コンクリート床版　等）

② 過去に補修実績がなく、大規模な補修を実施することなく構造物の健全性が確保されると想定。
（例　のり面グラウンドアンカー　等）

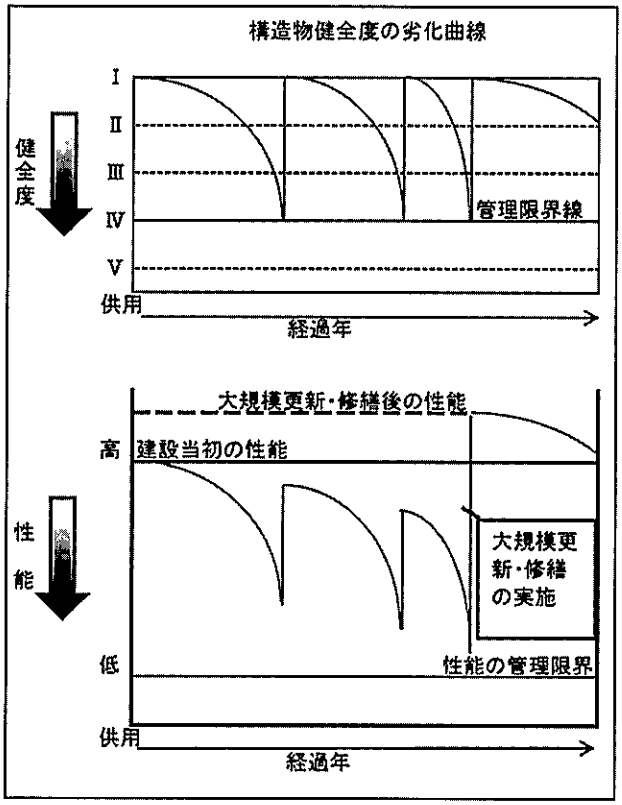
図－１現協定策定時の健全性に関する概念

２－２．あり方委員会での構造物に関する概念

今回「あり方委員会」では、橋梁・トンネル・土構造物について、健全の考え方を再整理している。

橋梁の場合、『疲労や塩害、アルカリシリカ反応（ＡＳＲ）、中性化、凍害などにより劣化が進行し、年数の経過により健全度が低下する。従来は健全度が低下した橋梁に対し、部分的な補修により健全度を回復させることを繰返してきた。しかし厳しい使用環境になると部材によっては性能が建設当時まで回復しないことや、劣化速度が速くなる事例が顕在化してきているため、適切な時期に大規模な更新または修繕が必要となることを想定した。』

以下に橋梁の健全性及び性能に関する概念を示す。



例：橋梁（鉄筋コンクリート床版　等）

図－２橋梁の健全性及び性能に関する概念

３．大規模更新・修繕の要件及び定義

「あり方委員会」では、大規模更新、大規模修繕（以下「更新等」という。）の判断要件を以下の３点に整理している。

①これまでは、経年劣化した構造物であっても、部分的な補修（通常補修）を繰返すことで構造物が発揮する性能が建設当初の状態に復元すると想定

②現状では、経年増を一因とする劣化に伴う変状が顕著であり、一定の要件に該当する構造物は、従前の知見と異なり部分的な補修（通常補修）を繰返しても発揮させる性能は低下し、いずれ所要の性能を発揮することができなくなると予測

③また、構造物の長寿命化及び第三者被害防止の観点を踏まえた予防保全への転換が必要

さらに、大規模更新・修繕、通常修繕についても、以下のように定義している。（表　参照）

表－１．１　大規模更新の定義等

定義	補修を実施しても、長期的には機能が保てない本体構造物を再施工することにより、本体構造物の機能維持と性能強化を図るもの
目標性能	最新の技術で、現在の新設構造物と同等またはそれ以上の性能を確保
代表的な対策	橋梁上部工（床版、桁）の掛替え

表－１．２　大規模修繕の定義等

定義	本体構造物を補修・補強することにより性能・機能を回復するとともに、予防保全の観点も考慮し、新たな変状の発生を抑制し、本体構造物の長寿命化を図るもの
目標性能	最新の技術で、建設当初と同等またはそれ以上の性能を確保
代表的な対策	橋梁の高性能床版防水や表面被覆などの予防保全 その他、土構造物、トンネル対策

表－１．３　通常補修の定義等

定義	構造物の性能・機能を保持、回復を図るもの
目標性能	建設当初の性能を確保
代表的な対策	橋梁床版の部分補修 その他、舗装、トンネル対策

４．高速道路構造物の劣化要因及び劣化状況

４－１．橋梁

橋梁の劣化要因として、あり方委員会は、前述、２－２のように整理しており、更に塩害を海岸線に近接しているための「飛来塩分」、コンクリート構造物内の「海砂使用による内在塩分」、冬期に散布する「凍結防止剤」で分類している。

金沢支社内は、更新等対象の判定基準である凍結防止剤の散布累計量が、全区間で判定量を超えている。このため、橋梁数を４支社で比較すると、既設橋梁数はとしては少ないものの、更新対象橋梁数は多い。また一部のコンクリート構造物ではＡＳＲ反応の出現も見られ、塩害との複合要因ともなっている。　（写真：ＡＳＲ発現状況）

写真１　カルバートボックスの側壁状況

４－２．トンネル

凍結防止剤によるPC鋼材腐食の抑制　ーリパッシブ工法ー

株式会社ピーエス三菱　技術本部技術部メンテナンス技術グループ　鴨谷知繁
株式会社ピーエス三菱　技術本部技術部　石井浩司

1.はじめに

既設 PC 橋における維持管理上の課題の一つとして，PC グラウトの充てん不足に起因する PC 鋼材の腐食がある。我が国では，高度成長期に建設された橋梁を中心に PC グラウトの充てん不足が確認されており，図-1 に一例を示すように寒冷地や山間部など凍結防止剤が多用される地域に建設された橋梁では，塩化物イオン（以下，Cl^-）がグラウト充てん不足部へと侵入し，PC 鋼材に著しい腐食を生じさせ，最悪の場合には，鋼材破断に至らしめるケースもある。

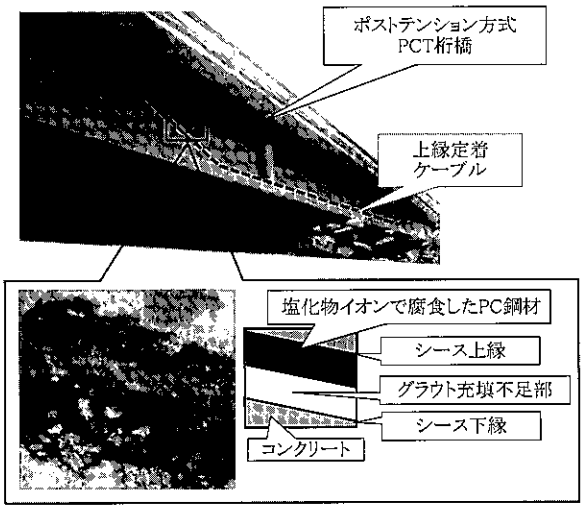


図-1 PC グラウト充てん不足と Cl^- による PC 鋼材の腐食が確認された PCT 桁橋

PC グラウト充てん不足部が確認された場合，従来は，主に PC グラウト再注入による補修[1]が実施されてきた。しかしながら，このように Cl^- により腐食した PC 鋼線は，その錆層内に Cl^- が侵入しているため，腐食抑制効果が不十分になる可能性が指摘されていた[1]。

そこで，著者らはこのような腐食した PC 鋼材に対する補修技術として，図-2 に示すような亜硝酸リチウム(以下，$LiNO_2$)水溶液の注入と $LiNO_2$ 添加補修材の充てんを特徴とした方法（以下，リパッシブ工法）を検討してきた。塩水噴霧により腐食させた丸鋼を試験片とした腐食抑制効果の確認実験[2]では，分極抵抗や腐食減量の測定結果から，リパッシブ工法の腐食抑制効果が従来のグラウト再注入工法より高いことが明らかとなった。更に，試験片を $LiNO_2$ 水溶液に浸せきさせると，亜硝酸イオン（以下，NO_2^-）が錆層内に浸入し，錆層内のイオン濃度比 $[Cl^-]$ / $[NO_2^-]$ が，浜ら[3]が提案している 1.25 以下となり，腐食した PC 鋼材が再不動態化するというリパッシブ工法の腐食抑制メカニズムについても明らかにした。

しかし，実橋のケーブルは図-1 に示すような PC 鋼線束であり，腐食が著しい場合には PC 鋼線束内部まで $LiNO_2$ 水溶液を供給することが困難となることも想定された。そこで，本論では，グラウト充てん・充てん不足部近傍で Cl^- により著しい腐食を生じたケーブルを模擬した実物大試験体において $LiNO_2$ 水溶液の注入実験を行い，リパッシブ工法の実橋に対する適用性，すなわち腐食した PC 鋼材束内部でも補修効果が得られることを確認した。

更に，我が国の山間部に建設され，グラウト充てん不足部と凍結防止剤に起因する PC 鋼材の著しい腐食が確認された既設 PC 橋に対し，上述の実験において適用性が確認された $LiNO_2$ 水溶液注入方法を用いてリパッシブ工法による補修を行ったので報告する。

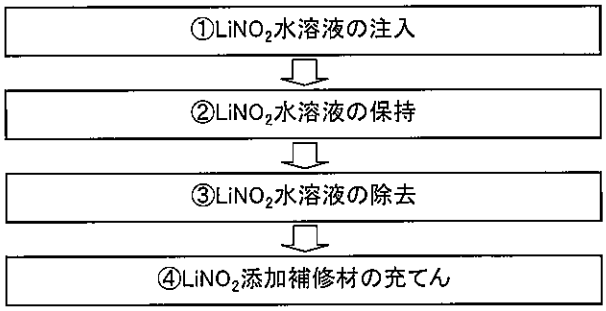


図-2　リパッシブ工法の概要

2.　実物大試験

2.1 試験体の概要

試験体の概要を図-3 に示す。実物大試験体は，上縁定着ケーブルを有するポストテンション方式単純 PCT 桁橋を対象に，上縁定着ケーブルのウェブ部にグラウト充てん・充てん不足の境界がある場合を想定して製作した。長さ 900mm，φ50mm の透明塩化ビニル管をシースとし，その中に長さ 850mm のφ7mm の PC 鋼線 12 本をシースの曲げ上げ配置を考慮して，シース上方に束ねて固定した。シース上端にそろえて挿入した。シースを斜め 10 度に設置した後，既設グラウトとして高粘性普通セメントタイプのグラウトをシース下端からシース長さ約半分まで充てんした。既設グラウトとシースの肌隙は無く，シース下端は密閉状態であった。既設グラウトを 7 日養生した後，約 30℃，R.H 約 80%

の保温容器内で 60 日間，3%の塩水の乾湿サイクルにより PC 鋼線束を促進腐食させた。シース上端をシーリングした後，ウェブ上端部に相当する位置に注入口と排出口を取り付けた。排出口から，自然流下方式（以下，GF 式）における排気口と減圧注入方式（以下，VA 式）における吸引口を兼ねるφ2mm 樹脂製高弾性チューブをシース上端近傍まで挿入し，チューブと排出口の隙間をエポキシパテでシーリングした。

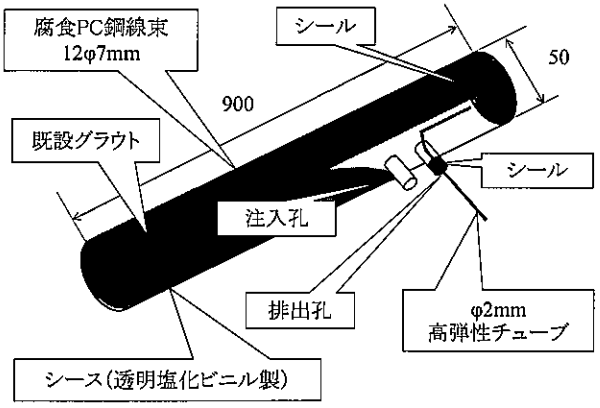


図-3　実物大試験体の概要

2.2　試験方法

$LiNO_2$ 水溶液の注入方法の概要を図-4 に示す。まず，a）に示すように注入ベッセルを用いた自然流下方式（以下，GF 式）により水溶液をシース内へ注入する。その後，高弾性チューブ上端よりも上部の PC 鋼材にも確実に水溶液を供給することを目的に開発した，b）に示すような減圧注入方式（以下，VA 式）により水溶液を注入する。VA 式は，真空ポンプに接続した高弾性チューブからシース内を減圧した状態で，$LiNO_2$ 水溶液入りの注入ベッセルに接続したバルブの開閉を繰り返しながら注入する方法である。

試験要因を表-1 に示す。本試験では，水溶液注入方法の違いを模擬するため，GF 式のみで注入する 1-N と GF 式→VA 式→GF 式の順に注入する 1-N-A の 2 通りの注入方法で実験を行った。$LiNO_2$ 水溶液の注入時間は水溶液注入の翌日にグラウト再注入を行う工程を想定し決定した。VA 式を行った 1-N-A では，10 分間の GF 式の後，30 分間 VA 式を行い，その後は再び GF 式とした。$LiNO_2$ 水溶液は，40%濃度品を使用した。試験状況を，図-5 に示す。真空ポンプは，最大真空度が-0.098Mpa のものを使用した。

PC 鋼線束内部から採取した錆試料を過熱乾燥させて，純水を加え溶け出した Cl^- と NO_2^- をイオンクロマトグ

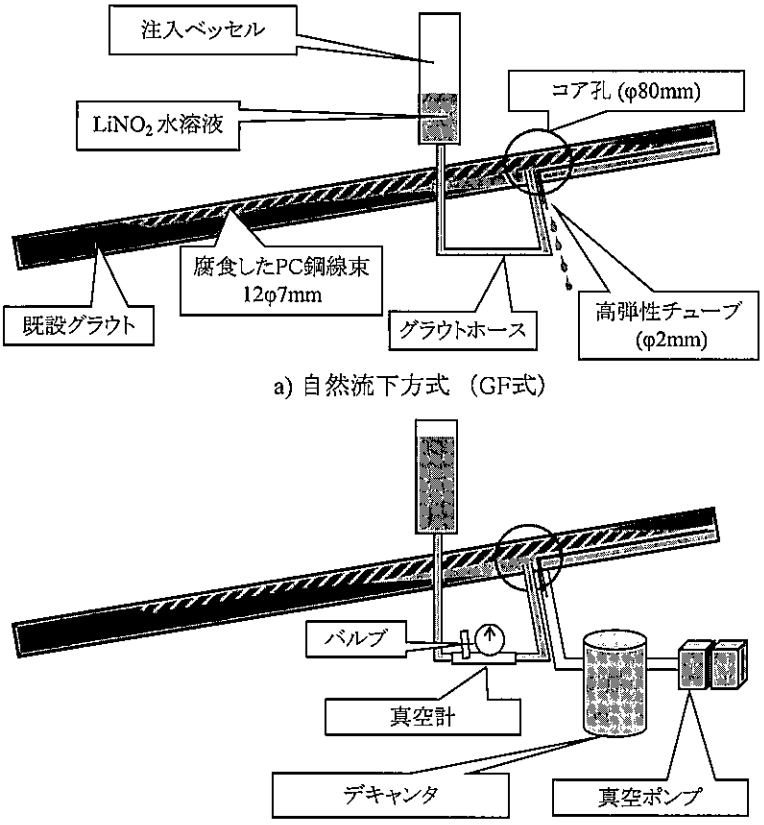


図-4　水溶液の注入方法

表-1　試験要因

	水溶液注入方法　[保持時間]
1-N	GF式 [20 h]
1-N-A	GF式 [10 min] →　VA式[30min]　→GF式 [20h]

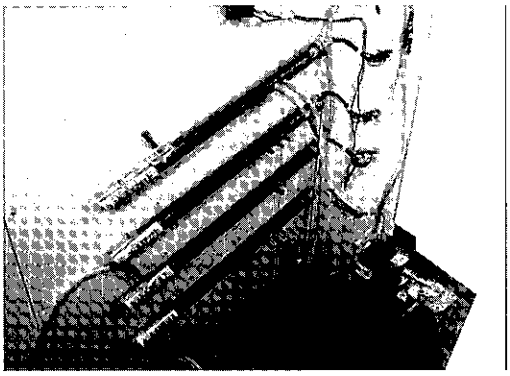
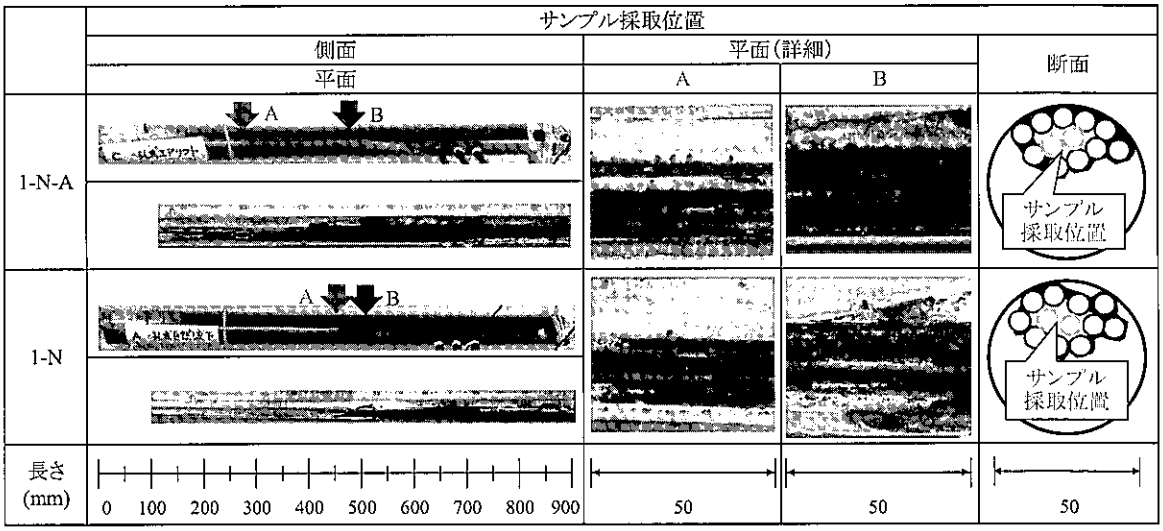


図-5　水溶液の注入状況

表-2　錆試料の採取箇所



ラフ法により分析し，1 章で述べたように，Cl^-に対して NO_2^-による腐食抑制効果が発揮されるとされる［Cl^-］/［NO_2^-］＜1.25 を指標とし，水溶液注入方法の違いを検討した。

錆試料の採取箇所は，表-2 の断面図に示したように，周辺を PC 鋼材で囲まれているため最も $LiNO_2$ 水溶液の浸入が困難と考えられる腐食した PC 鋼線の束内部に生じた錆を対象に，A 点，B 点の 2 点から試料を採取した。A 点 B 点ともに著しい腐食により PC 鋼線間は錆がつまった状態となっていた。

2.3　試験結果

［Cl^-］/［NO_2^-］の測定結果を　図-6 に示す。1-N は，A 点も B 点も［Cl^-］/［NO_2^-］＞1.25 となっており，Cl^-による腐食の進行を抑制するのに十分な量の NO_2^-が供給されない結果となった。錆試料の採取箇所は表-3 の平面写真詳細に示すように著しい腐食により PC 鋼線間が錆で充たされ極めて小間隙化された状態であった。このような環境では，グラウトと比較して粘性の低い $LiNO_2$ 水溶液であっても表面張力が卓越し，錆層内に残留する空気との置換が妨げられたためと考えられる。また錆試料の採取箇所では，水溶液が上から注入されるため，$LiNO_2$ 水溶液の供給方向と空気の移動方向が逆になることも悪影響を及ぼしたと考えられる。

一方 1-N-A は，A 点，B 点ともに［Cl^-］/［NO_2^-］＜1.25 となっており，Cl^-による腐食の進行を抑制するのに十分な NO_2^-の供給が可能で，腐食した PC 鋼材の束内部に対する適用性があることが確認された。1-N との比較から，同領域への NO_2^-の供給においては，併用

した VA 式が有効に機能したことが明確である。VA 式は，真空ポンプによる減圧を断続的に付与した状態で $LiNO_2$ 水溶液を注入する方法であり，一般的に知られる真空脱泡作用が生じ，腐食した PC 鋼材束内部の錆層中に残留していた空気が，気泡径増大にともなう浮力の増大により速やかに上方へ移動し，結果として $LiNO_2$ 水溶液と空気の置換がスムーズに行われ，効果的に NO_2^- を供給できたものと推察される。

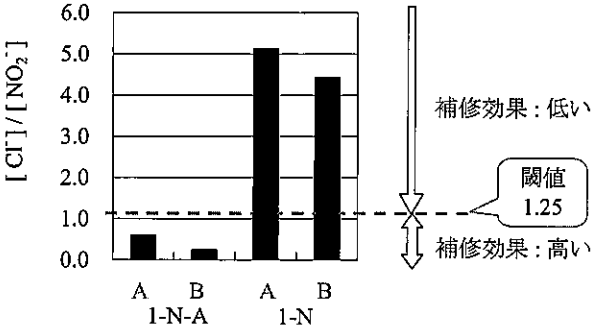


図-6　試験結果

3.実施工例紹介

3.1　対象橋の概要

補修対象は，図-7 に示す昭和 37 年に建設された単純ポストテンション方式 PCT 桁橋の M 橋である。目視点検で主ケーブルに沿ったひび割れやエフロセッセンスが確認され，平成 22 年度に詳細調査が実施された。調査においてグラウト充てん不足や，Cl^- による PC 鋼材の腐食が確認され，平成 26 年にリパッシブ工法による補修が実施された。

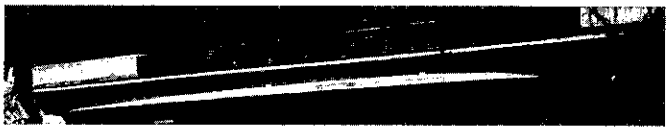


図-7　対象橋梁

3.2　施工方法

1)　事前調査工

事前調査工の施工状況を図-8 に示す。RC レーダー法により，主桁ウェブ部の鉄筋と PC 鋼材の位置を探査し，マーキングした。ウェブ上端付近に φ25mm の削孔を行い，CCD カメラでシース内部を撮影した。PC 鋼材の腐食やグラウトの充てん不足が確認された箇所を補修対象とした。

補修対象箇所では，φ25mm の削孔に重ねて φ80mm のコアを削孔した。そして，拭き取り法を用いて，PC 鋼材表面錆内の Cl^- の有無を調査した。拭き取り法は，精製水を浸み込ませた綿棒による PC 鋼材表面の拭き取りと，精製水への Cl^- の溶出を数度繰り返して検水を作成し，その Cl^- 濃度を，市販の検知管等を用いて測定する簡易的な方法である。調査の結果，上縁定着ケーブルの多くから Cl^- が検出された。

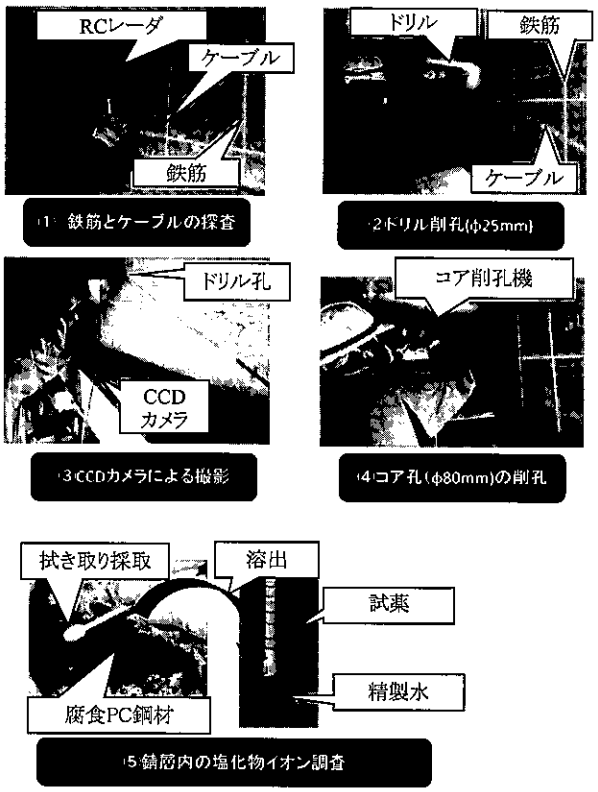


図-8　事前調査工の施工状況

2)　通気確認工

図-9 に示すようにシース内部と連通したグラウトホースに真空計，バルブおよび真空ポンプを接続し，通気確認を行った。シース外部から内部への漏気音を頼りに，$LiNO_2$ 水溶液が漏出するようなひび割れを探査し，漏水処置を行った。この作業を数度繰り返しても所定の真空度が得られなかったケーブルについては，定着部背面に通気が有るものと判断した。

図-9　通気確認工の施工状況

3) 注入準備工

図-10 に示すようにコア孔から内径 2mm の高弾性チューブをグラウト充てん不足部端部に向かって挿入し，施工に必要となる注入ベッセルやグラウトホースの設置を行った。また，$LiNO_2$ 水溶液が足場外部へ漏出するのを防止する目的で，足場全面をシート養生し，吸水シートやプラフネ等を設置した。

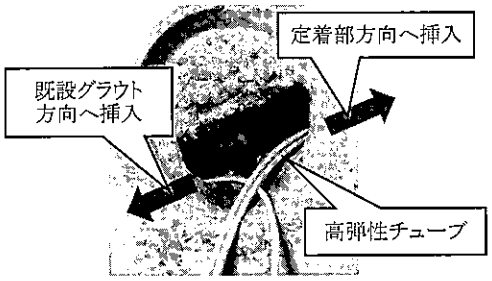
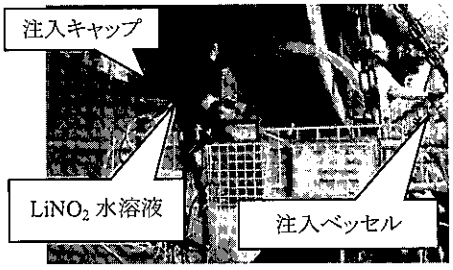


図-10 高弾性チューブ挿入状況

4) $LiNO_2$ 水溶液注入工

図-11 に $LiNO_2$ 水溶液注入状況 を示す。側面足場に設置した注入ベッセルから GF 式で $LiNO_2$ 水溶液を注入し，その後 VA 式で注入した。本橋では，PC 鋼材の表面錆から Cl^- が検出されたケーブル全数に対して，2 章に記述した試験結果に基づき VA 式の継続時間を 30 分以上とした時間管理を行い，その後水溶液を除去した。



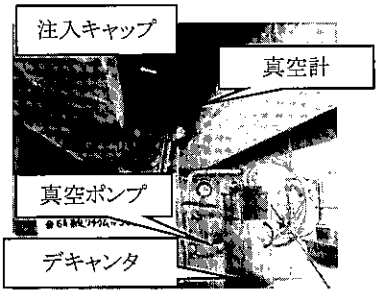
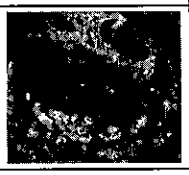
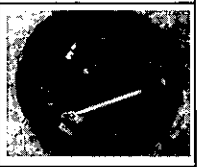
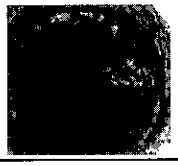
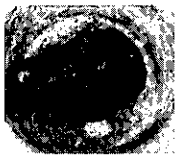


図-11 $LiNO_2$ 水溶液注入状況
上：GF 式 下：VA 式

$LiNO_2$ 水溶液注入後の PC 鋼材表面から錆試料を採取しイオン分析を行った結果を表-3 に示す。いずれも PC 鋼材束外側から採取した試料ではあるが，全箇所で，$[Cl^-] / [NO_2^-] < 1.25$ となっており，腐食効果が得られる結果となった。

表-3 イオン分析結果

No.	1	2
コア孔内部の状況		
$[Cl^-]/[NO_2^-]$ (水溶液注入後)	0.24	0.90
No.	3	4
コア孔内部の状況		
$[Cl^-]/[NO_2^-]$ (水溶液注入後)	0.24	0.07

5) $LiNO_2$ 添加補修材充てん工

錆層内に浸入した NO_2^- が補修材へと拡散することによる補修効果の低下を防止するため，補修材には $LiNO_2$ を添加した専用のセメント系補修材を使用した。

また本補修材は，

・既設グラウトや，鋼材の腐食膨張などで狭く閉塞しやすい間隙を確実に充てんするための小間隙を充てん性
・不測のトラブルにも対応できるための長時間可使性
・シース内に残留した水溶液を押し上げ排出するための水中不分離性

に優れた材料である。

施工方法は，図-12 に示す注入ベッセルを用いた自然流下方式を採用した。本方式の特徴は，

・低速充てんが可能で，その結果，PC 鋼線間などの小間隙の充てん性が向上する。
・定着部近傍まで挿入した高弾性チューブからのグラウト排出により補修材の充てん度をモニタリングできる。
・グラウト充てん不足部上端より高い位置にある透明管内の補修材によりシース内に継続的なヘッド圧が付与されるので，定着部背面の通気性に応じて充てん性が向上する。

等が挙げられる。

$LiNO_2$ 添加補修材の充てん，充てん確認状況を図-13 に示す。注入ベッセルに注入された $LiNO_2$ 添加補修材は順次シース内に充てんされ，その後高弾性細径チューブからの排出により定着部近傍まで充てんされたことを確認した。同チューブを閉塞した後も，補修材が硬化するまで継続してヘッド圧を加えたため，定着部背面コンクリート部のわずかな通気性によりさらに定着部上縁に向かって充てんされた [4]ものと推察される。

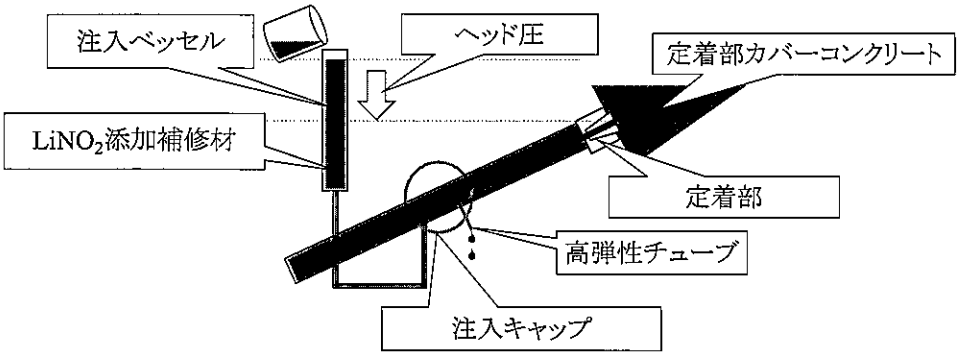


図-12　$LiNO_2$添加補修材の充てん方法

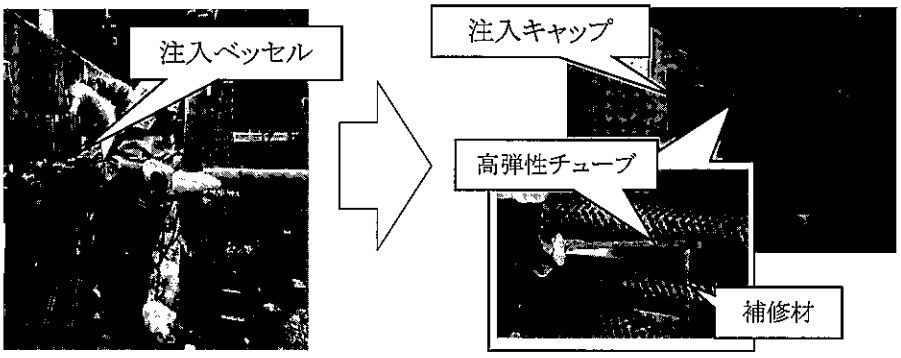


図-13　$LiNO_2$添加補修材の充てん状況

$LiNO_2$添加補修材充てんの翌日にグラウトの硬化を確認し，注入キャップを撤去し，ポリマーセメントモルタルで断面修復を行った。

4.まとめ

1) 既設 PC 橋のグラウト充てん不足部で塩水により腐食した PC 鋼材の補修技術として，$LiNO_2$水溶液の注入と $LiNO_2$添加補修材の充てんを特徴としたリパッシブ工法を開発した。
2) リパッシブ工法は，著しい腐食を生じた PC 鋼線束内部に対しても腐食抑制効果があり，実橋に対する適用性があることを確認した。
3) リパッシブ工法は既に実橋の補修工事に適用されており，我が国の国家的課題である既設 PC 橋の長寿命化において重要な役割を果たしている。

謝辞

リパッシブ工法は，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻森川英典教授との共同研究により開発した。ここに，御指導御協力を頂いた先生に深く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

1) 近藤拓也ほか：腐食した PC 鋼材へのグラウト補修工に関する基礎的研究，第 19 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp-205-208，2010
2) 鴨谷知繁ほか：凍結防止剤が侵入したグラウト充てん不良部の PC 鋼材腐食に対する亜硝酸リチウムを用いた補修の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1006-1011，2012
3) 浜，千歩，秋田：コンクリート中の鋼材腐食に及ぼす亜硝酸イオンおよび塩化物イオン濃度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.55-60，2000
4) 鴨谷知繁ほか：グラウト未充てん部の密閉度とグラウト再充てんに関する一報告，プレストレストコンクリート技術協会　第 21 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.409-412, 2012

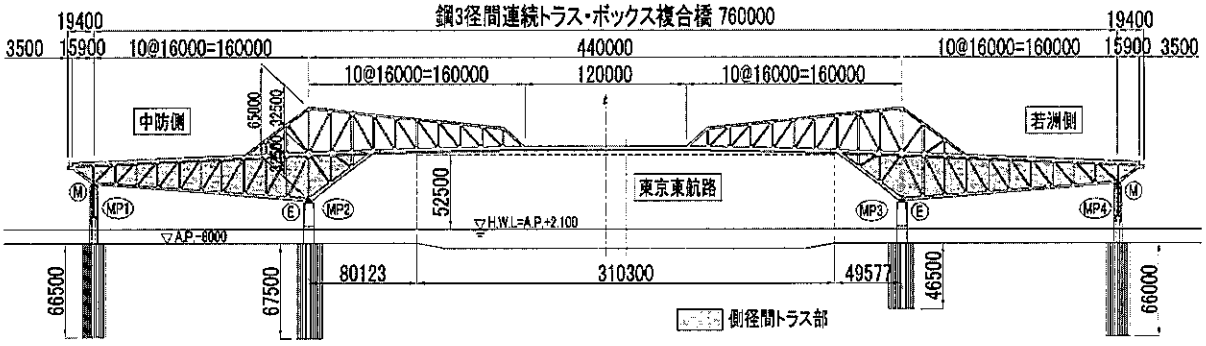
最近の話題橋梁

日本橋梁建設協会　技術委員会　架設小委員会　委員　館　暢

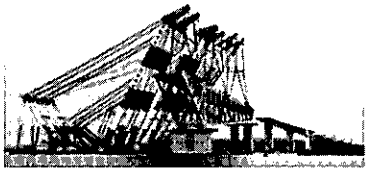
国内の鋼橋発注量は、過去数年間は20万ｔ台であり建設ピーク時の鋼重で約1/3になりました。新設橋梁を大量に建設する時代から、メンテナンスをしながら長寿命化を図る時代へと変化しています。最近の話題橋梁として、日本橋梁建設協会に所属する企業が建設に参加した15橋の事例を紹介します。

1.東京ゲートブリッジ

大型起重機船３隻相吊りによる大ブロック一括架設（空路高度制限下の架設）



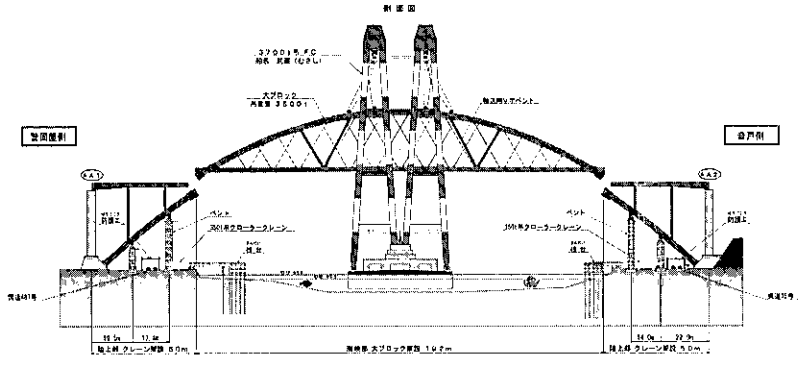
【側径間架設状況】



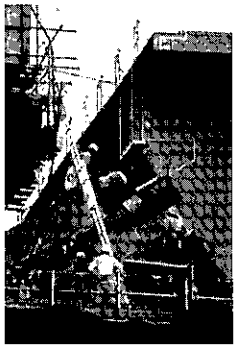
建設当時は16年ぶりの３隻相吊り架設でした。大型起重機船は、それぞれ3,700t～4,100t吊能力有している。架橋地点は羽田空港の厳しい空路高度制限と航路制限があり、不均等な吊荷重回避と各起重機船の相対位置を管理しながら架設を行った。また、S-BHS鋼材（降伏点強度が高く溶接性にも優れる）が採用され、約3%の鋼重低減ができた。

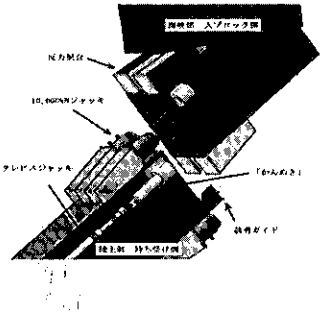
2.第二音戸大橋

空中ジョイントによる大ブロック一括架設（海上ベントなし）



【添接状況】





航路閉鎖可能な時間は限定されるので起重機船大ブロック架設採用。制限時間内にボルト添接を全数行うことは困難なため、右図の方法で軸力導入を行った。

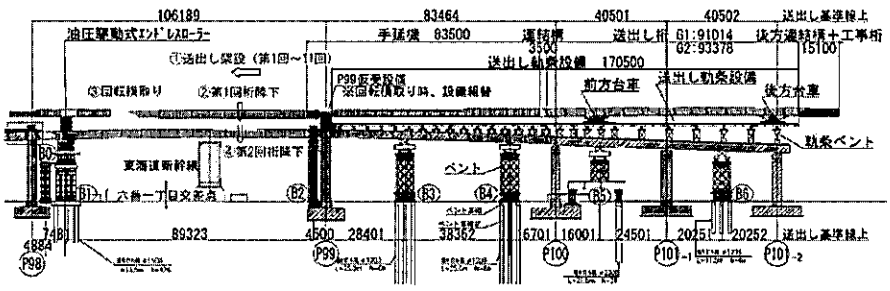
◆誘導ガイドで橋軸直角方向のずれを修正

◆砲弾型かんぬきで目違い修正

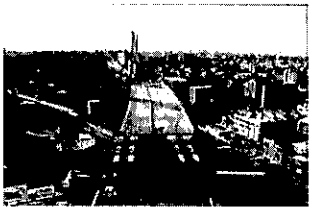
◆1,000ｔジャッキで軸力導入

3．4号東海線六番町橋梁

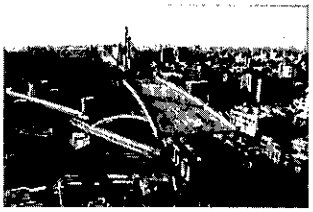
新幹線及び国道１号上空における送出し・回転横取り架設（安全率の高い仮設備を採用）

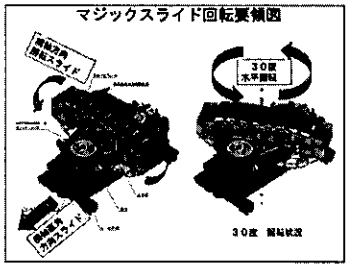


【回転横取り前】



【回転横取り後】

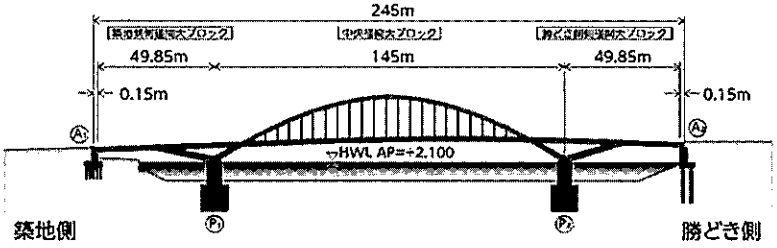




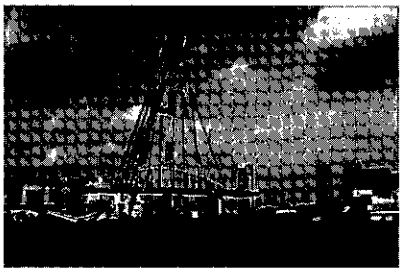
列車運行していない時間帯（深夜約３時間）で送出しを行った。モーター駆動台車設備により手延べ機先端到達まで約90ｍを１時間以内に完了した。直線横取軌条にマジックスライド設備（ジャッキ）を組み合わせて回転させた。

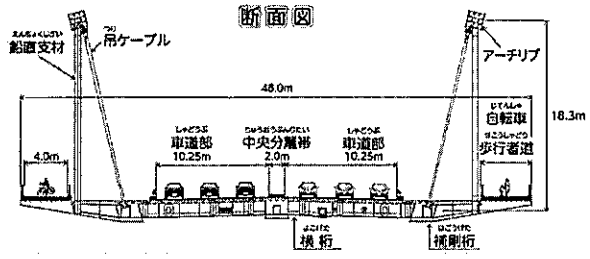
4．築地大橋

隅田川最下流部に起重機船による大ブロック架設（側径間が自立するブロックで分割架設）



【中央径間の架設】

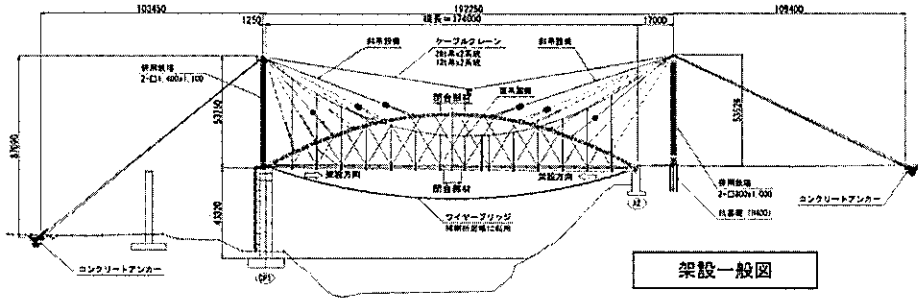




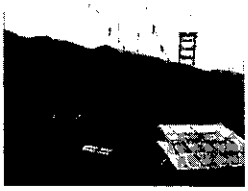
アーチリブを少し（14度）傾けて横つなぎ材のない開放感のある構造。アーチリブ、吊材、鉛直材で断面方向に三角形を形成し、地震時には面外座屈を抑制します。大ブロックを台船で東京湾内に運搬し、そこから起重機船で吊曳航して架設した。

5．白銀橋

直吊・斜吊併用工法によるニールセンローゼ橋の架設（架設時の過大な水平力を回避）



【補剛桁の架設】

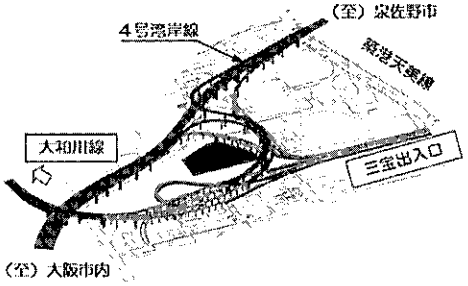


【アーチリブの架設】

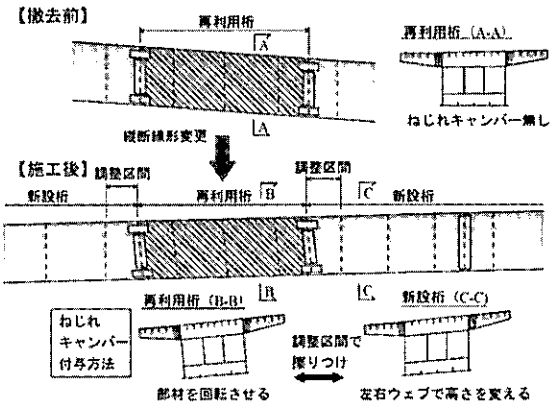
構造高さの高い橋脚では、架設時に発生する大きな水平力を負担できない。橋脚に水平力が生じない直吊工法で補剛桁を架設し、水平力の作用する斜吊工法でアーチリブを架設する併用工法を採用。架設ステップで形状変動の大きい工法であり、架設系の解析値により変位を算定し形状管理を行った。

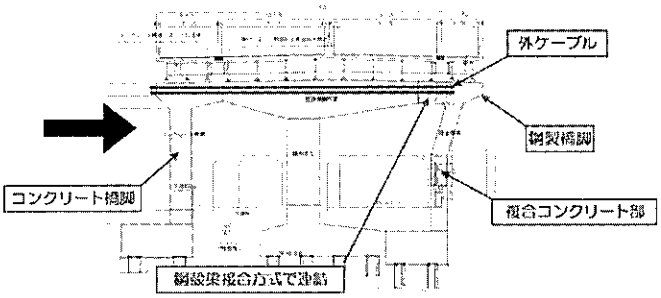
6．三宝ジャンクション

供用中の高速入出路ランプを一部撤去しジャンクションへの改築工事（資源の有効活用を図る）



旧橋の30年以上経過した耐候性橋梁部材を工場で再加工し再利用した。

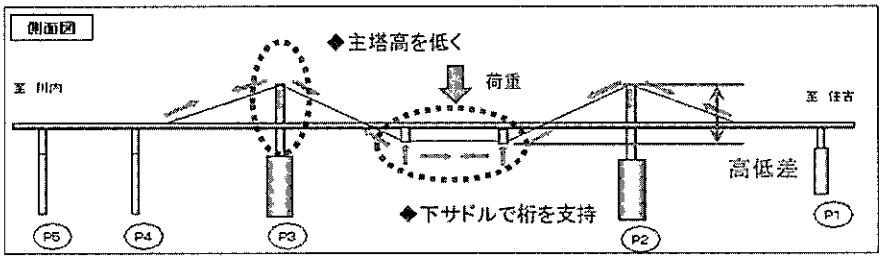


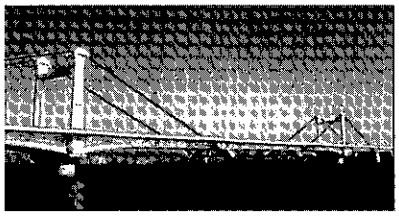


上部工拡幅に伴い、既設ＲＣ橋脚を複合構造として拡幅。橋脚を一体化するため外ケーブルで補強。資源の有効活用をした工夫がされている。

7．阿波しらさぎ大橋

空中橋脚で主塔高を抑えた斜張橋（ケーブルイグレット橋）





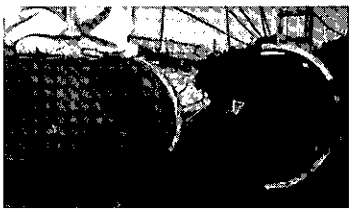
ケーブルイグレット形式（斜張橋＋空中橋脚）桁下に水平ケーブル配置し、「ケーブルトラスト構造」によりケーブル引き上げ効果を高め、主桁高さを低くしている。干潟に飛来する鳥類への配慮から、主塔が低くケーブル段数の少ない構造が採用された。　　注）イグレット＝白鷺（しらさぎ：徳島県の県鳥）

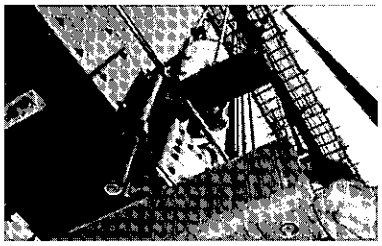
8．若戸大橋

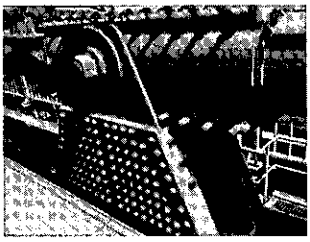
建設後50年経過した長大吊橋のケーブル関係の保全（我が国最初の長大橋として昭和37年完成）

◆主ケーブルラッピング　　◆ハンガーロープ取替え　　◆センターステイの改造

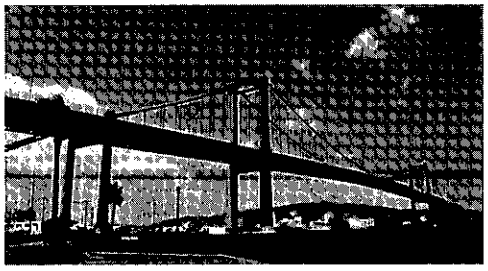
ワイヤ解放・復旧







（橋軸方向の揺れ抑制）

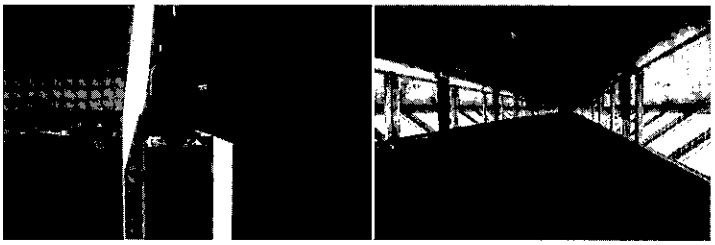


その他、検査路の取付けや改良、除湿装置の設置などを行い維持管理費の低減を図った。

9．新湊大橋

北陸最大の斜張橋の架設（側径間をＰＣ箱桁橋、中央径間を鋼床版箱桁橋の複合斜張橋）

◆全天候型自転車歩行車道（アクリルパネル採用）



中央径間が長く側径間が短いため、側径間を重く（コンクリート構造）してケーブル張力のバランスを保つ。

【長寿命化への取り組み】

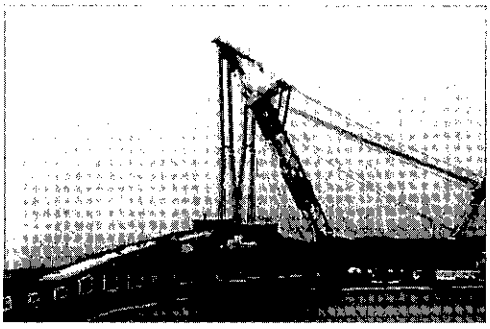
◆主桁の防食性向上（亜鉛・アルミニウム溶射とフェアリング部塗装増し塗り）

◆鋼床版の疲労耐久性向上（溶接止端部の仕上げによる疲労等級の向上）

◆制震システム（弾性拘束ケーブル、オイルダンパー、免震支承を採用し慣性力の低減と分散）

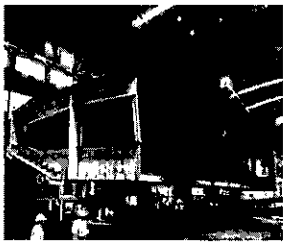
１０．伊良部大橋

日本一厳しい塩害環境において 100 年の耐久性を維持する橋梁（沖縄県の宮古島と伊良部島をつなぐ橋）



３径間連続鋼床版箱桁橋で側径間はＰＣの連続箱桁橋。

鋼桁部は 4,000ｔ吊級の起重機船で大ブロック架設。



【耐風安定性の確認】

台風の通り道（最大風速 80m/秒を超える地域）のため、風洞試験や風観測結果を踏まえて断面形状の決定。

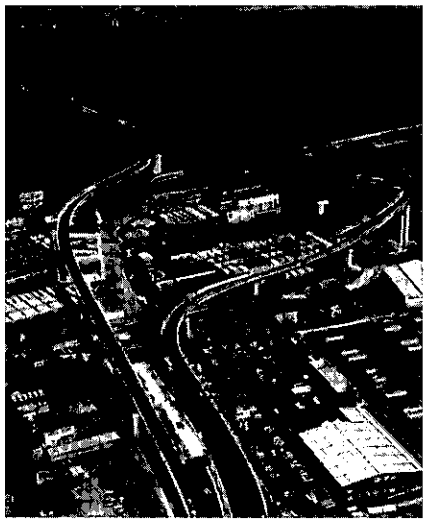
【ライフサイクルコスト（ＬＣＣ）を考慮した対策】

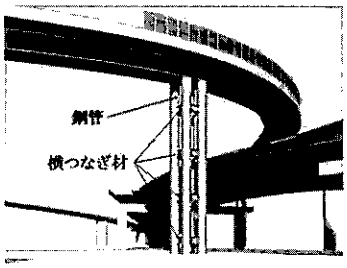
◆鋼桁外面の防錆仕様は耐腐食性に最も優れた Al-Mg 合金溶射（アルミニウム 95%、マグネシウム 5%）＋（Ｃ－５塗装系のフッ素樹脂上塗）を採用。

◆部材の継手は溶接構造として凹凸を少なくした。

１１．海老江ジャンクション

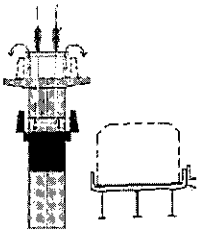
都市内の高速道路をつなぐ（既設桁と新設桁を横桁でつなぎＲＣ床板を拡幅）





◆耐震性能の向上に優れた新型橋梁（鋼管集成橋脚）

鋼管４本を結合し単一の柱として横つなぎ材に履歴減衰機能を持たせ耐震性を向上。大地震時には横つなぎ材のみを損傷させ取替え（ＬＣＣ有利）。

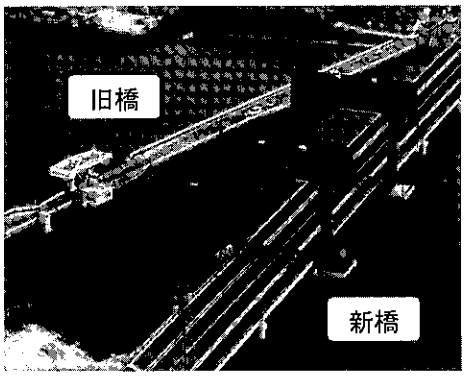


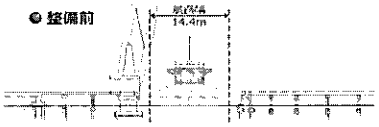
【狭隘ヤードでの架設】

架設地点直下で鋼床版のブラケットを折りたたみ、地組した桁を一括吊上げ架設を行った。

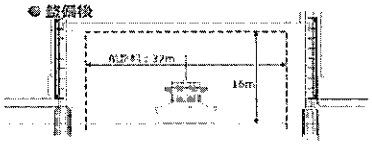
１２.加賀須野橋

道路橋としては日本一長い昇開式可動橋（航路幅を 14.4m から 37m へ拡幅）





兆開式；片方が跳ね上がるように開く（整備前：旧橋）。



昇開式：橋体が水平のままに上下に昇降（整備後：新橋）。

昇開式は兆開式に比べて駆動装置の初期コストは高いが、ランニングコスト（電気料金）が安くＬＣＣで有利のため採用された。

工事期間中も商用運搬船の運行があるため航路閉鎖３日が条件（送出し工法採用）。

送出し（１日目）⇒桁吊上げ準備、手延べ機解体（２日目）⇒桁吊上げ（３日目）⇒航路解放（船舶運航）。

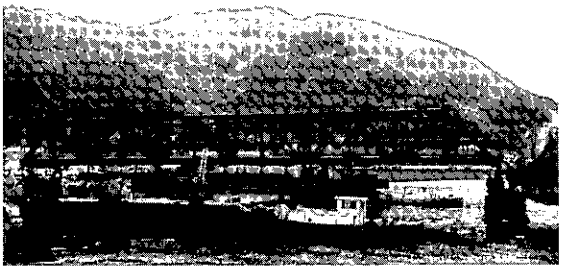
桁降下は一括吊り下げ工法が採用された。

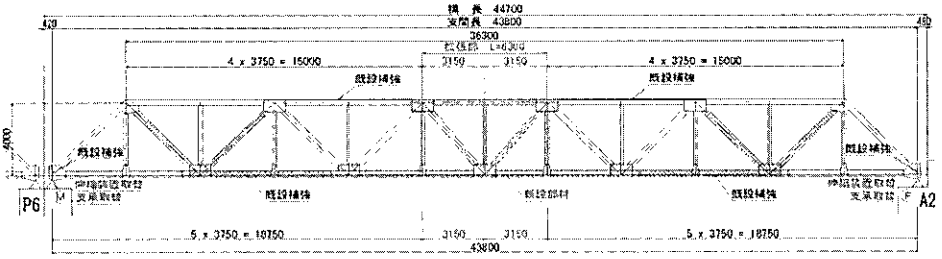
１３.長浜大橋

既設トラス橋の改造（河川改修事業に伴い支間拡張 37.5m⇒43.8m に拡張）

【既設トラスを一括撤去しヤードで改造】

【改造桁の干満差を利用した台船一括架設】





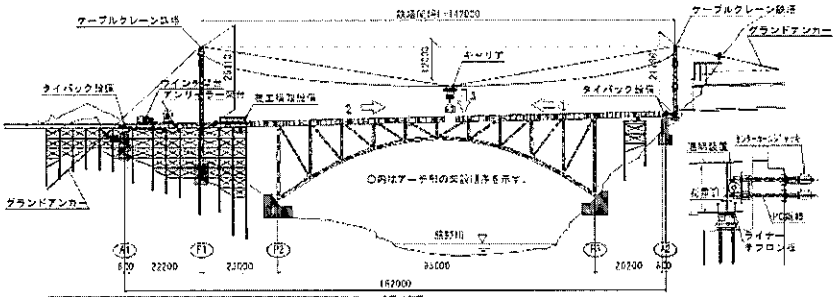
【改造】

既設桁を補強し、拡張はトラスパネルを追加。

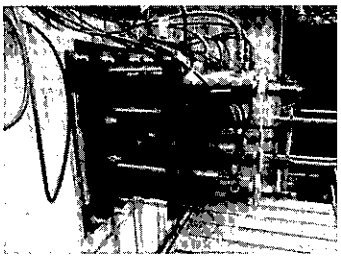
伸縮装置と支承の取替。

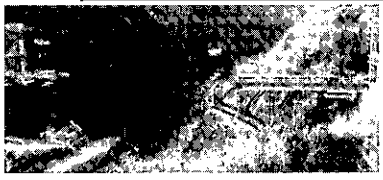
１４.辻堂バイパス天ノ川大橋

タイバック工法（補剛桁端部を橋台に固定しアーチ部を張出架設する工法：採用事例は少ない）



【橋台背面ジャッキ固定設備】

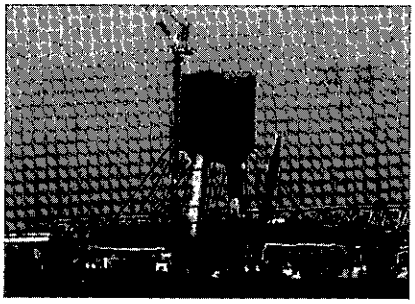




◆タイバック工法採用：施工ヤードが狭隘で、大規模な鉄塔設備の設置が困難であったため、スパンドレル・ブレースドアーチ橋の構造特性を活かした（斜材の活用）。⇔強制的に形状を変形させることが困難な工法（橋台で水平力を保持するため地盤が強固でないと不可能）。

１５．銚子大橋

鋼２主桁複合斜張橋のバランシング架設（細幅箱桁とＲＣ主塔の組み合わせ）



【バランシング架設】

ＲＣ主塔は圧縮力には強いが引張力に弱いため、逐次ケーブルを取付け、左右対称にバランスさせてクレーン台船で架設した。

現場施工型ケーブル（ストランドを束ねる）架設は、現場でストランドを１本ずつ定着し張力管理を行った。桁架設時のみならず、床版施工後も張力調整を実施した。

【特徴】

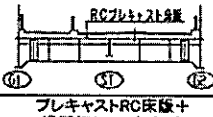
軽量化が図られた国内では事例の少ない複合橋

◆耐風安定性

◆床組構造

◆合成床版

◆ケーブル定着

比較項目	海外における施工実績	銚子大橋	既往の鋼斜張橋
主桁形状			
床版	プレキャストRC床版＋場所打ちコンクリート	鋼・コンクリート合成床版	鋼床版
床版支間	橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸・橋軸直角方向
床組み構造	橋軸方向に4～5m間隔で横桁配置	主桁間に縦桁1本 横桁間隔は11.4m	橋軸方向に2.5m間隔で横リブ配置
定着部構造	桁より上で定着	箱桁内で定着	箱桁内で定着or アンカー方式・・・等
ケーブル	現場施工型ケーブル	現場施工型ケーブル	工場製作ケーブル
主塔	RC製	RC製	鋼製
鋼重	180～220kg/m^2	300kg/m^2	500～700kg/m^2
桁高支間比	1/150～1/250	1/100	1/150～1/250

（まとめ）

鋼橋には、以下に示すような基礎的なメリットと魅力的な効果がある。

基礎的メリット

① 高品質・高強度な材料
② 単位強度あたり軽量な材料
③ 加工の容易性
④ 工場管理による高品質な製品
⑤ 工場製作による現場環境負荷低減

▶

魅力的な効果

●良好な維持管理性（メンテナンスがしやすい）
●高い機能拡張性（供用期間中の要求変化に対応）
●優れた経済性（LCCも考慮した高い競争力）
●柔軟なリユース・リサイクル性（再利用活用の橋多数）

今回紹介した『最近話題の橋梁』のそれぞれの橋も、鋼橋のメリットを活かした魅力的な効果を生み出せたと考える。日本橋梁建設協会では、皆様が身近に親しむ橋の建設を通じて社会に貢献し、機会があれば「鋼橋の魅力」をＰＲしたいと願っている次第です。

最後になりましたが、貴重な写真や資料を提供いただいた関係各位に感謝の意を表します。

中小自治体を対象にした橋梁マネジメントシステムの開発・運用及び課題

株式会社 日本海コンサルタント　町口　敦志

1. はじめに

今日，高度経済成長期に建設した社会資本の老朽化問題や笹子トンネル天井板落下事故等を背景に，構造物の安全管理が求められている．また，近年の少子高齢化等による予算・人・技術力不足から，より一層効率的で効果的な維持管理が重要視されている．代表的な道路構造物の一つである橋梁においては，劣化メカニズム（アルカリ骨材反応（ASR），コンクリート床版疲労，鋼材腐食他）の分析・解明や新技術・新工法の研究，橋梁管理の仕組みやストックマネジメント等，維持管理に関する様々な研究が進められている．ここでは，主に石川県内における中小自治体を対象とした橋梁マネジメントシステム（BMS：Bridge management system）の開発・運用事例を紹介し，運用により明らかとなった課題を示す．

2. 橋梁マネジメントシステム導入の必要性

国土交通省が2007年度に創設した橋梁長寿命化修繕計画策定事業費補助制度要綱に基づき，都道府県は2011年度まで，市町村は2013年度までに長寿命化修繕計画を策定している．橋梁長寿命化修繕計画では，主に以下を示すこととされている．

(1)管理橋梁の維持管理方針等

(2)概ねの次回点検時期及び修繕・架替え時期

(3)長寿命化修繕計画策定による効果

ここで，長寿命化修繕計画の項目とBMSとの関係を表-1に示す．前述した(2)を示すためには，自治体の予算制約に基づいた修繕時期の平準化が必要となる．また，(3)を示すためには，将来予測（劣化予測・ライフサイクルコスト（LCC）解析）が必要となる．LCC解析や平準化では，管理橋梁数が多いと解析パターンの膨大化や繰返し計算が必要となり，一般的な表計算ソフトでは解析が困難となる．そのため，橋梁マネジメントシステムを導入することで，解析作業の自動化による作業量の大幅縮減，ヒューマンエラーの防止，工程短縮，計画更新時における前回の解析方針の引継ぎの容易さ等の効果があり，BMSの導入は継続的な維持管理業務では有効な手段であるといえる．

表－1　長寿命化修繕計画の項目とBMSの機能例

長寿命化計画の項目		BMSの機能例
①長寿命化修繕計画の目的，対象橋梁		（BMS以外での作成）
②健全度の把握及び維持管理の基本方針		・橋梁データベース（橋梁点検結果等）
③費用縮減に関する基本方針		（BMS以外での作成）
④概ねの次回点検時期及び修繕・架替え時期	中長期修繕計画	・健全度評価・劣化予測 ・橋梁の管理水準の設定 ・LCC解析・予算平準化
	短期修繕計画	・直近10年間の修繕計画 ・点検計画
⑤長寿命化修繕計画の効果		・予防保全型解析と事後保全型解析の差分算出
⑥意見聴取した学識経験者等		（BMS以外での作成）

3. 中小自治体へのBMS導入に関する問題点

中小自治体（政令指定都市等を除く市町村とする）が管理する橋梁数割合は，我が国における橋梁数割合で約50%を超え，中小自治体におけるBMSの導入による維持管理の効率化は，重要な課題の一つといえる．中小自治体へのBMS導入に関する問題点を以下に整理する．

- 中小自治体は，単独でのBMS開発・導入は，費用面で困難であるが，市場から調達できるBMSは少ない．
- 小規模な自治体では橋梁数が少なく統計的劣化曲線の作成精度に問題が生じる場合がある．
- 修繕が必要な橋梁数に対して予算が不足する場合が多く，平準化する橋梁数が多く複雑化する．
- 長寿命化修繕計画は，委託業務となる場合が多く，発注条件上受注者を特定できないため，受注者側が保有するBMSに依存すると，継続的な利用ができない場合（BMSの著作権の問題）がある．

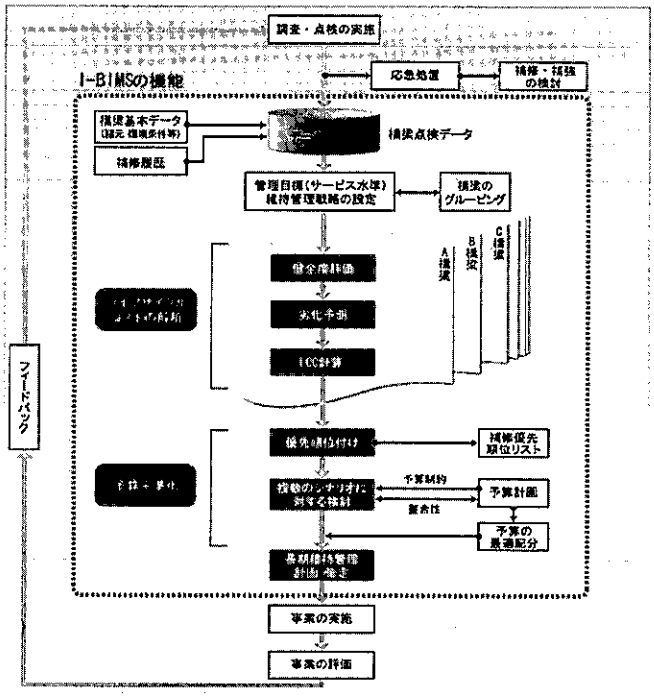
4. BMSに必要となる機能（石川県市町の事例）

長寿命化修繕計画策定事業や前述した中小自治体の問題点等を背景に，石川県内において橋梁マネジメントシステムI-BIMS（Ishikawa-Bridge Integrated Management Service）を産官学共同開発し，2009年7月より産官共同運用している．本章では，BMSの開発事例を基にBMSに必要となる機能を述べる．

4.1. BMSの構造（石川県市町の事例）

BMSは，長寿命化修繕計画を立案するため，①～⑥に示す機能を構築する必要がある．BMSの機能の構築例として，I-BIMSの事例を図－1に示す．

①橋梁データの取込み機能
②管理目標の設定（橋梁グルーピング）機能
③健全度評価機能
④劣化予測機能
⑤LCC解析機能
⑥予算平準化機能



図－1　BMS の機能の構築例（I-BIMS の例）

4.2. BMSの機能（石川県市町の事例）

本節では，石川県内の自治体における長寿命化修繕計画を立案する上で有効であった I-BIMS の特徴的機能について述べる．なお，I-BIMS の詳細については，論文等[1)・2)・3)・4)]を参照頂きたい．

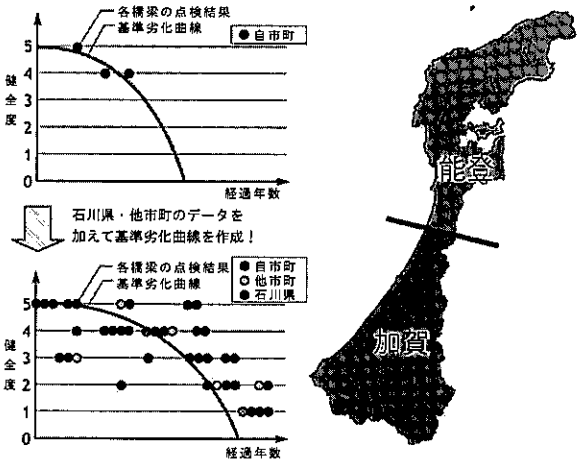
(1) クラウド型サービス（劣化予測精度向上等）

ソフトウェアは，主にスタンドアロン方式とクラウド型方式（SaaS方式等）に区分される．BMSをクラウド型とした際のメリットを以下に示す．

・クラウド型では，インターネット環境があれば，いつでもどこでもデータベースを入力・更新することができる．
・データの一元管理が可能である．
・PC の OS のバージョンに依存しない．
（WEB ブラウザに依存する．）
・WEBを通してユーザーへの対応が可能のため，システムの保守管理が容易である．
・外部WEBページとの連動が可能である．
（例：国土地理院の電子国土ポータル）
・利用者の承諾を得た上で，サーバーに集約したデータを共有化し，これを自治体のデータに加えて，統計的な劣化曲線を作成することで，劣化予測の精度を向上できる．石川県内の自治体は，これに石川県から提供頂いた点検データを加えて高い精度で劣化を予測することができる（図-2）．なお，石川県内では，加賀地方と能登地方で劣化傾向（塩害・ASR等）が異なることが知られており[5)]，地域の区分を行い，対象の自治体の地域データに限定して参照できるようにしている．

クラウド型のデメリットとしては，ランニングコスト（サーバー費）が生じることであるが，複数自治体の参加があれば，サーバーを共同利用とすることで，一自治体あたりのランニングコスト（サーバーの維持・更新費）を縮減できる．

クラウド型BMSは，開発当初に期待した上記機能を発揮し，効率的かつ効果的な修繕計画の立案を支援できたと考えられた．



図－2　データの共有化（石川県の事例）

(2) 予算に関する検討・立案

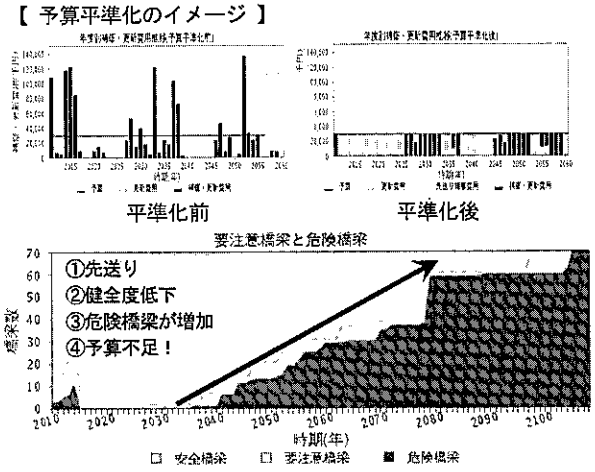
修繕計画を立案する上で，短期的な修繕計画は，自治体の予算要望等と関係するため，補修金額及び補修時期について精度が求められる．

補修金額は，対象部材・損傷の種類・程度・範囲等を考慮し，算出する．BMSで補修金額を自動算出する場合，入力情報により算出するため，精度に限界があり，修繕計画後に補修設計を行うと補修金額に差異が生じることとなる．そこで，短期修繕計画においては，計画策定者が点検結果に基づき，システム外で補修金額

を算出し，その結果を直接BMSに入力することで精度向上を図ることができる．

また，補修時期については，自治体が考える予算額と橋梁の優先順位（重要度・健全度）に基づき，修繕時期を平準化（前倒し・先送り）した上で決定する．解析の結果，必要となる修繕費に対して予算が大きく不足する場合は，自治体内で予算額を検討し適正な予算額を確保するため，設定した予算額を評価する指標が必要となる．

予算評価指標の一例（図-3）を示す．予算が不足する場合は修繕時期の先送りが生じ，橋梁の健全度が低下し，場合によっては橋梁の管理水準を下回ることとなる．そこで，LCC解析期間の健全度の推移を把握するとともに危険橋梁（橋梁の健全度が危険な状態となった場合）と要注意橋梁（設定した管理水準を下回った場合）の橋梁数を指標として，最適な予算額をトライアル計算により検討する．



図－3　予算平準化・予算評価指標のイメージ

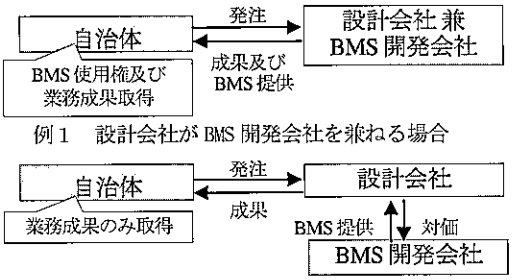
4.3.運用体制（石川県市町の事例）

中小自治体における橋梁長寿命化修繕計画の策定は，一般的に業務委託により行われるため，中小自治体においては，前述した中小自治体へのBMS導入に関する問題よりBMSを導入されないケースがあることが想定される（図-4）．

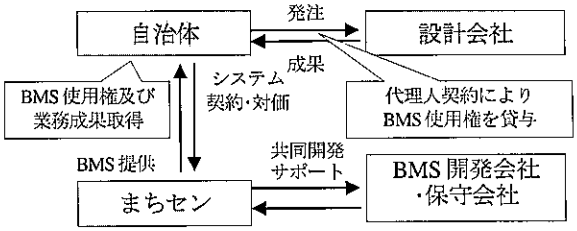
自治体にBMSを導入できない場合，長寿命化修繕計画の更新時における経済面や計画方針の引継ぎの容易さ等，デメリットが生じることがある．そこで，石川県では，市町が統合してBMS（I-BIMS）を共同開発・共同利用することで導入費用を縮小できると考え，（公財）いしかわまちづくり技術センター（以下，まちセンと称す）が窓口となり，BMSを石川県内の市町と契約する形態（図－5）をとっている．

市町は，長寿命化修繕計画策定業務委託を発注し，まちセンとの契約において業務受託者をBMSの代理人とし，まちセンから取得したBMSの使用権を自治体からシステムを業務受託者に貸与する形をとっている．また，小規模な自治体を考慮し，橋梁単位の契約とし，橋梁数が少ない場合は費用負担も少ないものとしている．

石川県内におけるBMSの利用実績（自治体：先行して長寿命化修繕計画を立案した自治体等を除く約70%の市町の利用，設計会社：複数の設計会社が利用）より，本ビジネスモデルは利用しやすい運用形態であったと考えられた．



図－4　一般的な BMS の運用形態（例 1・例 2）



図－5　石川県における BMS の運用形態の例

5. BMSの運用後の課題（石川県市町の事例）

石川県内市町の長寿命化修繕計画策定業務においてBMSを運用した結果，明らかとなった課題について以下に示す．

①橋梁データベースシステムの改良

橋梁のグルーピングや優先順位の算定のための要素（路線の重要度，迂回路の有無，ASR等）は，自治体によって多様化していた．これに柔軟に対応できるBMSとするため，これらの要素を橋梁データベースシステム（橋梁DB）に加える必要があると考えられた．

②劣化メカニズムの研究推進

劣化曲線は，橋梁のLCC及び自治体の将来予算に影響を与える重要な要素である．今後，定期点検結果の蓄積や修繕後の再劣化の調査，橋梁の臨床実験等の研究

により，劣化曲線の精度向上が課題と考える．特に，橋梁部材の健全度を低下させる要因は，コンクリート部材であればASRや塩害等，鋼部材であれば腐食である場合が多かった．既に多くの研究がなされているが，ASRや塩害は地域・環境特性が確認され，これらの分析がBMSの精度向上につながると考えられた．

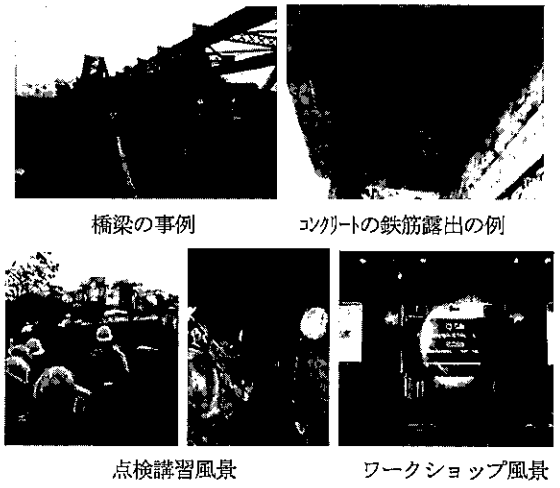
③BMSの高度化

BMSは，長寿命化修繕計画を受託した設計会社が実施しているケースが主体的であった．本来，橋梁をマネジメントするBMSは，順次変化する健全性や修繕・予算と密接した関係にあるため，道路管理者が実務で使用できるシステムであることが望ましい．今後は，BMSをより実務的なシステムとするため，長寿命化修繕計画の更新の中でBMSを活用し，PDCAサイクルによりBMSを高度化（精度向上，利便性向上等）することが重要であると考える．

6. BMS（全国版・国外）の事例

石川県外版のI-BIMS（Internet-Bridge Integral Management System）では，自治体によって異なる点検要領や計画方針にも適用できるシステムとして開発し，平成27年11月現在，約20の市町村の計画策定業務の支援ツールとして利用されている．なお，石川県外版のI-BIMSは，平成25年4月にはNETIS登録（登録番号：HR-130003-A）を行っている．

また，ODAを活用した中小企業等の海外展開支援を目的とする平成25年度外務省政府開発援助海外経済協力事業（案件化調査）[6]において，石川県外版I-BIMSを活用してベトナム国における計画策定を検討した．本調査において，日本国とベトナム国との様々な違い（ベトナム戦争後の急速な道路整備，将来計画，橋梁の歴史・環境・構造・損傷，維持管理体制，法令等）を確認した．また，ベトナム国における現地橋梁点検及びI-BIMSによる解析（40橋）の結果，現地での補修工法検討等の課題は残るが，老朽化したコンクリート橋・鋼橋の定期点検，健全度評価及び予防保全型管理を主とした長寿命化修繕計画がベトナム国で有効であることを確認した．他にも，ニーズ調査では，金沢大学近田教授らとともに行ったベトナム国政府関係機関とのワークショップ等（図-6）を通じて，橋梁の維持管理技術に関するニーズがあることを確認し，ベトナム国政府（道路総局）より賛同を頂くことができた．一方で，ベトナム国におけるBMS導入に向けて，ビジネスモデルの検討や事業に関する各種リスク（著作権，セキュリティ，システム利用料等）があることを確認した．



図－6　ベトナム国での状況写真

7. おわりに

橋梁の維持管理は，近年の予算縮減・政策重点化の中，橋梁マネジメントシステムを軸とした効率的な管理が望まれている．一方で，実際に橋梁管理する現場では，細かく点検して適宜補修するPDCAｻｲｸﾙの実践が橋梁の安全管理を支えている．今後，橋梁マネジメントシステムは，より実用的なシステムへの発展が期待される．

参考文献

1) 町口敦志, 阿曽克司, 近田康夫, 畠山邦夫, 市町参加型橋梁マネジメントシステムの開発, 土木学会第64回年次講演会, I-082, 2009.9
2) 荒井秀和, 阿曽克司, 近田康夫, 米田稔, 大村健介, 財団法人いしかわまちづくり技術センター, 市町参加型橋梁マネジメントビジネスモデルの構築, 土木学会第64回年次講演会, I-081, 2009.9
3) 阿曽克司, 近田康夫, 辻啓一, 喜多敏春, 市町向け橋梁マネジメント支援システムの開発と運用, 橋梁と基礎, 2010.5
4) 橋梁マネジメントシステムI-BIMS, 国土交通省新技術情報提供システムNETIS, 登録番号：HR-130003, 登録年月：2013.4
5) 山戸博晃, 南善導, 大代武士, 鳥居和之, 石川県産骨材のアルカリシリカ反応の評価に関する研究, コンクリート工学年次論文, Vol.29, No.1, 2007
6) 社会資本整備の維持管理能力向上を目的とした橋梁長寿命化修繕計画策定システム(I-BIMS)導入及びノウハウ普及に関する案件化調査(ベトナム国), 外務省政府開発援助海外経済協力事業, 株式会社COM-ONE, 株式会社日本海コンサルタント, 2014.3

平成２７年度事業報告

１．幹事会　　平成２７年４月３日（金）午後４時から５時
　　於　金沢大学理工学域環境デザイン学類２Ｃ３１０号室

２．理事会　　平成２７年７月３日（金）午後４時から５時
　　於　金沢大学自然科学研究科図書館棟Ｇ1ＦＧ１５会議室
　情報交換会　　午後５時から６時３０分　　図書館棟２Ｆ「すみれ亭」

３．総会および研究集会　　平成２７年１１月６日（金）午前１０時から午後４時
　　於　石川県地場産業振興センター
　　特別講演１件および研究報告９件程度

４．会誌「北陸路」の発行
　　平成２７年１２月発行（５５０部印刷予定）

５．部会活動
（１）構造部会
＊平成２７年６月２５日（火）午後２時３０分から５時
　　於　金沢大学自然科学２号館Ｃブロック５Ｆ
　「ドイツアウトバーンにおける橋梁実例およびグラスをしようした歩道橋実例」
　他３件
　参加者 32 名
（２）金沢大学 SIP
＊平成２７年７月２４日（金）午後１時から５時
　　於　金沢大学図書館棟 G15 会議室
　SIP コンクリート・アセットマネジメント関連　プロジェクトリーダー会議（金沢）
　大型構造物載荷装置及び暴露 PC・JIS 桁の見学
　参加者 36 名
（３）材料部会
＊平成２７年９月２５日（金）午後２時から５時
　　於　金沢大学自然科学研究科大講義棟
　金沢大学 SIP 主催・北陸道路研究会材料部会共催によるシンポジウム
　「北陸地方における ASR 問題の解決のために今、何をすべきか」
　参加者 116 名
（４）計画部会
＊平成２７年９月３０日（水）午後２時から午後４時
　　於　金沢大学自然科学２号館Ｃブッロク７階
　「広域道路ネットワークの耐災害信頼性から観たリンクの脆弱度」
　特別講演ほか研究報告２件
（５）地盤部会にて講演会およびシンポジウムを開催予定

６．その他
　＊研究会の活性化活動（会員，賛助会員の勧誘，
　　「北陸路」の広告協賛会社の増大など）
　＊研究会事業の普及活動（現場見学会の企画および支援など）

北 陸 道 陸 路 研 究 会 規 約

制定（昭 28.11.15）
改定（昭 29.5.29　昭 31.7.14）
（昭 32.6.29　昭 39.11.27）
（昭 50.11.30　平17.10.27 ）
（平20.10.31）

第 1 （ 目的 ）本会は道路、橋梁等に関する知識・研究・実地の経験を交換し北陸地方に於ける 道路及び道路交通の発達に寄与することを目的とする。

第 2 （ 事業 ）本会は次の事業を行う。

1 研究集会、講演会、講習会

2 道路及び橋梁に関する調査及び研究部会

3 資料、文献の交換、配布

4 見学会

第 3 （ 事務所 ）本会の事務所は金沢大学自然科学研究科棟２号館内に置く。

第 4 （ 会員 ）本会の会員は、正会員及び賛助会員とする。正会員は北陸三県（ 福井、石川、富山 ）に在住し、賛助会員は本会の趣旨に賛同し本会の目的を援助するものとする。

第 5 （ 支部 ）本会の事業を行うため必要ある時は各県を単位とする支部を設置することかできる。但し支部の設置は理事会の承認を経なければならない。

第 6 （ 会費 ）正会員の会費は年 1,000 円とする。本会の行事に伴う参加費又は実費等を徴収することがある。賛助会員は各団体において、とりまとめて納入するものとする。

第 7 （ 役員 ）本会には役員をおく。顧問若干名、理事長　1 名、理事　若干名（ 内常任理事若干名、会計理事、監査理事各 1 名及び委員若干名 ）

理事長は本会の会務を総理し本会を代表する。

理事は理事会を組織して本会の会務を処理する。

委員は理事会の委嘱により本会の企画、運営に当る。

2 役員の任期は 2 年とし重任を妨げない。

3 顧問は理事会がこれを委嘱する。理事長、常任理事、会計理事及び監査理事は理事の互選によるものとし、理事は会員の互選によるものとする。

委員は理事長が委嘱する。

第 8 （ 経理 ）本会の収入は会費、寄付金及び会員の参加費、実費とする。

第 9 （ 会計年度 ）本会の会計年度は 4 月 1 日より翌年 3 月 31 日までとする。

附則　1　本規約の変更は総会において会員の承認を経なければならない。

2　本規約は平成２０年１０月３１日より実施する。

「北陸路」（平成２７年度）
北陸道路研究会会報
－会員配布－
発行所　北陸道路研究会
〒９２０－１１９２　金沢市角間町
（金沢大学理工学域環境デザイン学類内）
Tel　０７６－２３４－４６２０
Fax　０７６－２３４－４６２０
E-mail　k-torii@se.kanazawa-u.ac.jp
編集兼発行者　鳥居　和之
鳥居　久美子
（金沢大学理工学域環境デザイン学類）
印刷所　株式会社　山越
平成２７年１２月２２日