

# 北陸路

61号



平成 26 年 12 月

北陸道路研究会会報

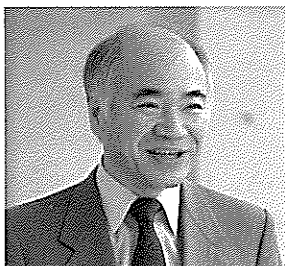
森林資源保護のため再生紙を使用しております

## 目 次

1. 巻頭言「環境デザイン学類の新たな挑戦」	高山 純一	1
2. 基調講演	中島 辰男	2
「北陸路往還」		
3. 研究報告		
(1) 橋梁などの劣化予測に関する一検討	近田 康夫	6
(2) 富山大橋の旧橋撤去について	川口 歳則	10
(3) 一般国道249号 大谷道路（大谷工区）完成について	大代 昇平	18
(4) 祝 舞鶴若狭自動車道「若狭さとうみハイウェイ」開通	田中 龍	22
(5) 福井県コンクリート診断士会 発足後の10年のあゆみ	石川 裕夏	26
(6) 『舞鶴若狭自動車道』全線開通報告	水上 秀夫	32
(7) 十郷橋の健全性調査報告（日本初のポストテンションPC橋）	一力 信雄	40
(8) 第2音戸大橋—空中ジョイントによる大ブロック架設—	道菅 裕一	48
(9) 北陸地方におけるASR構造物のカナダ法を用いた 補修選定テクニックの提案	野村 昌弘	54
4. 事業報告		60
5. 規約		61
6. 役員名簿		62
7. 会員名簿		64
編集後記		71

### 「表紙説明」

福井県坂井市にある「十郷橋」は、わが国最初のポストテンション式のPC橋です。還暦（60年経過）を迎えた現在も健全性が確保され、通学路として供用されています。



## 巻 頭 言

### 環境デザイン学類の新たな挑戦

平成20年4月に金沢大学は、これまでの8学部制から、3学域16学類制に再編を行い、わが土木建設工学科も新しく「環境デザイン学類」としてスタートしました。環境デザイン学類では、入学してからの2年間は、共通教育科目（教養科目）と環境デザイン学類共通の専門科目を学習し、3年次に「土木建設コース」、「環境・防災コース」、「都市デザインコース」の3つのコース選択を行い、それぞれさらに深い専門科目の学習を行うカリキュラム構成となっています。そして、その特徴は上記3コースの「主専攻」に加え、5つの副専攻「土木建設副専攻」、「環境副専攻」、「防災副専攻」、「都市デザイン副専攻」、「建築副専攻」の中から、主専攻以外にもう1つ、副専攻を選択し、学習できるところにあります。3学域16学類制がスタートし、ちょうど6年が経過した現在、その見直しが進められ、理工学類の再編が検討されつつあります。どのような形で、再編が行われるか、まだ未定ですが、時代のニーズ、社会のニーズに合わせて、再編が進むものと考えています。

一方、この4月に学長が交代し、山崎新学長のリーダーシップのもと、新しく研究力強化策が打ち出され、文理融合、医工連携など、異分野融合研究の推進も強力に進められてきています。具体的には、研究力強化を目指した教員の配置計画が作成され、環境デザイン学類（学系）では、学類（学系）所属の教員が主体となった研究グループ「研究課題（1）：すべてのステークホルダーの視点にもとづいて最適化された持続可能な社会基盤システムの管理・整備手法の提案」と自然システム学類（学系）地球学コース所属の教員を含めた異分野融合の研究グループ「研究課題（2）：地球環境科学と社会基盤工学の連携による地震予知・防災に向けた理工異分野融合研究」が作成され、それぞれの教員が研究力強化に向けて、それぞれ連携して、研究を進めることになりました。その成果のひとつが、先日、採択が決定したSIP（戦略的イノベーション創造プログラム：課題名「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」）、研究開発課題「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」です。この研究は、金沢大学環境デザイン学系鳥居和之教授（北陸道路研究会理事長）が代表となって、北陸地域の大学（金沢大学、金沢工業大学、長岡技術科学大学、福井大学）、高専（石川高専）の関係教員が連携協力して、研究開発を進めるもので、5年間（平成26年度～平成30年度）に、約3億5千万円の研究予算（毎年研究開発費の見直しが行われる可能性あり）が内閣府からつくものです。環境デザイン学類としては、初めてのビックプロジェクトであり、日本の地域社会が直面する喫緊の課題（社会基盤施設の維持管理・更新システムの最適化）に対して、金沢大学を中心とした北陸地域の関連研究者が、果敢に挑戦する研究だろうと思っています。もちろん、大学関係者だけで行える研究ではありませんので、インフラの管理主体である地方自治体（石川県、富山県、福井県）や北陸電力、また関連建設会社やコンサルタントの協力を得て進める必要があり、それぞれの連携協力により、研究成果が上がることを期待したいと思います。

金沢大学理工学域環境デザイン学類  
学類長 高山純一（北陸道路研究会理事）

## 北陸路往還

中島辰男

## 始めに

北陸道路研究会が昭和二十八年発足されて61年の歴史を闊しておられるという。其の間北陸三県の道路の建設に多大な貢献をされて来られたことに深い敬意を表するものであります。ただこの会が発足された昭和28年という年は私の生涯にとって忘れがたいことがありました。生まれ育った福井県嶺南地方に空前の大災害が襲った年でした。市長さん以下確か42名の方が水害等で亡くなりました。特に当時25歳の私は小浜市連合青年団長をしておりまして前日の夕方市長さんにお会いし、雨の中帰られる市長さんを通用口でお見送りしたのが市長さんの最後でした。いらい一月余、県連合青年団の3000人を超える嶺北の皆さんが救援に駆けつけてくださりまして、其の受け入れに勤めたことでした。

国鉄小浜線は一ヶ月以上不通になり、道路も寸断されて車の通行も長く出来ませんでした。災害を肝に銘ずる年で、輸送は船に頼ったのでした。

さて、今日はこの福井市に富山、石川の方々が多く来てくださりまして、私も地元福井県民の一人として心からご歓迎申し上げます。有り難うございました。

昼食直後の時間ですので、バンドを少し緩めて頂きたく思いますので先ほど私の紹介の中で触れられませんでしたがお見かけとうりの高齢者ですので、我々の年代のものがその哀歎を詠った川柳の幾つかを紹介させていただきます。「シルバー川柳」・「還暦川柳」の2誌に「お辞儀して 共によろける クラス会、同窓会 片思いで済み 大正解、角が取れ 丸くなるのは 背中だけ、躓いた ふと見た床に 段差なし、バラに似て 妻も花散り トゲ残し、いい人は 短命とねと妻がいい、立ち上がり 日本じゃない 足と腰、お出かけは 歯科外科内科 耳鼻眼科、アアーンして 昔ラブラブ今介護、墓参り 下見ですかと 尋ねられ、本物は 肩書き消えて 尚 光る」、最後の句は会場の皆さんが将来の目標になるのではないのでしょうか。私には「家族さえ 読まない自分史 書き始め」が当てはまります。

昨年の今頃、京都に所要があり安曇川のサービスエリアで一休止し、正面の椅子に腰掛けて周りの景色を眺めていますと右側に看板があり交通事故防止のポスターが貼ってありました。良く見ると右肩に文字がありますので近寄ってみると次のように書かれていました。「言われたい マナーが良いのは 滋賀ナンバー」。良くある「注意一秒 怪我一生」とは違う雰囲気の標語です。思わず私も「言われたい マナーがよいのは 福井ナンバー」と口ずさみましたが、本日の会合の一般の目標の中に「言われたい マナーがよいのは 北陸ナンバー」といわれるのが入るのではないのでしょうか。

## くぬがの道（陸の道・越の国）

さて、皆様のお手元にA4一枚の簡単なレジュメをお届けしていますがそれに従って進めさせていただきます。本日のテーマは北陸路道路研究会に因みまして「北陸路往還」とさせていただきます。北陸路を時間的にも空間的にも行き来することを意味します。万葉集の中の詠み人知らずのなかに「み雪降る 越の大山 行き過ぎて いずれの日にか わが里を見む」と北陸路を詠っています。この歌はやっぱり最初に雪が出てきます。都の大和や奈良から見ると遥かに遠い越の国、難儀をしながら来てきてしまつたのですが、もういつの日にか都に帰ることが出来ようかと越の国に赴任してきたことを嘆いているのです。ここで「越の大山」とはどこの山でしょうか。ある人は北陸の名山「加賀の白山」だという人がいますが、歌の流れからいまして、伊勢の鈴鹿の関・美濃の不破の関・越前の愛発の関の3関のうちの近江から越

前に入るために最初に越す愛宕の山をさしているとの解説があります。律令制度の5畿（大和・河内・和泉・摂津・山城）7道（東海道・東山道・北陸道・山陽道・山陰道・南海道・西海道）の内の北陸道になるのです。

越の道は大化の改新の地方制度の官道で、北陸は越前（加賀・能登を含む）・越中・越後から出羽の国に及んでいました。官道の北上する流れは、後に発掘される古墳の数から当時の経済力のありようが感じられています。やがて、718年越前から能登が分離され、823年加賀も越前から独立して北陸道は「若狭・越前・加賀・能登・越中・越後・佐渡」の7国になります。

## 北陸路の歴史に見立つのは

この長い歴史の中で北陸では畿内を見ざして西下した勢力には、福井県の三国から都に上がって即位した継体天皇。下って富山県と石川県にまたがる倶利伽羅峠の合戦で「火牛の計」の戦法で平家を圧倒した源義仲がありますが都で効せず、「霜は軍営に満ちて秋気清し、数行の過雁月三更 越山あわせ得たり能州の景 さもあらばあれ 家郷の遠征を思う」の越後の上杉謙信も能登まででした。変わったところでは江戸時代俳人の芭蕉は北陸路を下り、越後で「荒海や佐渡に横たう 天の川」、敦賀では「名月や 北国日和 定めなき」と詠っています。今年の水戸天狗党の騒乱150年に当たりますので、幕末東山道から北陸道にわたって繰り広げられた惨劇に触れざるをえません。ペリーの来航で国論が二分した開国か攘夷かは水戸藩を二分しました。元小浜藩士梅田雲濱が画策したといわれる「戊午の密勅」が水戸藩に降下して鎮派と激派に二分された水戸藩の藩内抗争は極限になり、激派は天狗党を結成、800人余という勢力は京都の小浜藩邸に滞在の一橋慶喜をたよって攘夷を主張すべく、武田耕雲斎を党首に幕府軍の妨害から東山道から京都に入れずやむなく越前に入り北陸道を敦賀に到着したが、しかし、頼みの慶喜の支持は得られず北陸の大雪に阻まれ幕府軍の先鋒の加賀藩に降伏したのでした。

彼らを待ち受けたものは幕府の極刑でした。実に353人もが死刑に、180余人が遠島処分に、そのたは追放処分などで死刑は凄惨を極めました。党首の武田耕雲斎らは首級を江戸から水戸に送られ、妻に首を抱かせて妻をも死罪にして、さらに首は生き曝しにしたといわれています。敦賀では浪士たちの霊を慰めるため処刑地に松原神社や墓を立てて神社や墓を守り、毎年慰霊祭を営んでおります。このことから水戸と敦賀は姉妹都市を締結両市の交流が行われています。

かつて、官房長官を務められた茨城県出身の衆議院議員梶山静六氏が金沢で講演され、開口一番「私の先祖は天狗党で敦賀で処刑されている」と述べられるのをお聞きして驚いたことがあります。確かに当時の名簿の中に「梶山敬介」の名が出てまいります。享年21歳とか。悲惨な事件で維新4年前の出来事でした。

では、次にこの道を北上した歴史について考えて見たいと思います。先ず万葉の歌人高岡に赴任した大伴家持います。また安宅関で有名な源義経と弁慶、しかし後に他所勢力の北上があって、一向一揆を攻め滅ぼした織田信長の朝倉攻め、そして近現代を大きく左右した豊臣秀吉、其の家来の前田利家の北陸侵攻があります。利家は府中武生から金沢に進出、徳川に次ぐ第2位、120万石の大大名となり、富山まで支藩に入れて統治してしまいました。北陸勢は東海勢力に席卷され、以来在地勢力は完全に壊滅させられます。こうして明治維新まで富山には独立した藩はありませんでした。前田家による支配を受けたのです。最も徳川幕府は福井68万石には加賀前田藩の都への進出を抑えるために、家康の2男結城秀康を配置しております。

## 明治維新と北陸三県の成立

富山・石川・福井の三県は薩長の2大勢力による藩閥政府により成立しましたが1番早いのが石川県（明治5年2月2日加能越で人口182万人）、続いて福井県（明治14年2月7日石川県から越前7郡と滋賀県

であった若狭三郡と越前敦賀郡とで人口57万人全国で40番目)、富山県は永年加賀藩の支配を受けたので越中は(只 分県の一字あるのみと主張3県で一番遅れて明治16年5月9日人口68万人富山県は全国で43番目)、石川県は越前7郡と越中が去ったため人口は70万人になりました。

初代県令には石川県は内田政風鹿児島県士族、富山県は長州藩士族国重正文、福井県令には彦根藩士族石黒務などといずれも薩長派官僚の赴任であった。いずれにしても明治維新における改革を担った薩長勢力に対する各藩の対応が大きく影響しているのです。いらい官選知事による地方行政は中央集権の大きな柱になって日本の国政に大きな役割を果たすのでした。

私は長く郵便局にお世話になりましたので、私達の上局は金沢にある北陸郵政局でした。北陸三県の郵便局を統括していました。いつも言われたことに「3%郵政」でした。全国のシェアは僅かに3%しかなかったからです。貯金とか保険の成績は小さいので目標に対する実績の%を全国一にするようハッパがかかっていました。今日三県の人口は304万人程度で2.4%ぐらいですね。

ここで少し方向を変えまして戦前の華族制度からみる三県のありようを勤務評定並みに振り返ってみたいと思います。先ず加賀の前田家であります。徳川に次ぐ102万石の前田家は侯爵です。遥かに石数の少ない長州の毛利や薩摩の島津は公爵です。32万石の福井松平家でも侯爵になっています。これらは前田家が大藩ながら徳川家に忠誠を尽して、尊皇攘夷の薩長の勢力に対して遅れを取ったからだといわれています。薩長勢力への対応が其の後の情勢に大きい影響を与えたといわなければなりません。

北陸三県の華族を見ますと、諸侯(元藩主)は福井8家、石川3家、富山1家。特に面白いのは明治維新以後に国に貢献した人に与えられた勲功華族(軍人が多かった)は、総数457家中、福井11家、石川15家、富山0家でした。参考に見てみますと鹿児島83家、山口75家、高知33家などで全体の42%を占めています。特に維新で薩長に抵抗した東北諸藩の地域は13県で35家僅か7.7%に過ぎませんでした。藩内闘争に終始した茨城県は僅かに2家だけでした。それに比べて総理大臣を明治から62人中8人も出している山口県、いまでも総理以下副総理など有力者が名を連ねています。総理は福井1名、石川3名、富山は0人。明治から終戦までの富山県の知事35人中、山口県出身者は8名です。よく「長の陸軍、薩の海軍」といいますが明治の28人の陸軍大将中長州は11人、薩摩9人、海軍大将14人中薩摩は13人でした。

## 北陸の産業と交通

北陸は戦前から東北と共に積雪寒冷稲の単作地帯で日本の中央部に属しながら、文化的にも経済的にも辺境の遅れた地域と見なされていました。しかし、戦後は新しい様相を見せるようになります。

先ず富山県の電源開発に見せる見事な成功であった。全てが破壊された経済で、エネルギーの開発は食糧の増産と共に生きるための緊急の課題で、黒部川の黒四ダムに象徴される黒部水系の100万キロワットの電力はわが国の経済に大きく貢献したので、富山ではそのエネルギーとアルプスからの豊かな水で急速に工業が発展した。加えて勤勉な住民の意欲で全国に張り巡らせた売薬網は富山の経済的な地位の向上に資したのでした。YKKの吉田忠雄氏や正力松太郎氏の読売新聞、ノーベル賞の田中耕一氏など全国いや世界の人材を輩出しているのです。

次に石川県ですが、300年にわたる100万石の加賀は、終始徳川幕府のお陰という気風が生まれて前述したように幕末にはスッキリした行動が取れなかった。ひたすら平和を目指す藩政に励んできた文化文芸都市金沢であった。有名な日本三名園の一つ兼六園は其の表徴であります。私は昭和20年8月30日東京の軍の学校から信越線で復員したのですが、途中、富山・福井・敦賀は戦災にやられていたが軍都といわれた金沢は米国といえども京都・奈良と共に空襲をせず残ったのです。金沢の幸運という他はない。今日富山・福井が一緒になっても観光客の入り込み数は石川には及ばない状況になっています。

最後に福井ですが前に述べたように家康の二男結城秀康を配置して68万石を領して親藩で御三家と並ぶ制外の家といわれたが、後継の不都合から32万石になって明治に至っている。しかし、其の住民性は

勤勉で織物類、メガネ枠、羽二重類、今日は日本一の数の原子力発電所を擁している。1基で100万キロワットを超える設備を何基も持つ県になっている。道路の舗装率は全国6位といます。

交通は首都が京都から東京に移って大きく様変わりしている。鉄道は京都から日本海側を北上したが、高速道路も新幹線も東京を基点に西下している。新潟県出身の田中角栄氏が総理大臣になり、太平洋ベルト地帯との格差解消をとなえて、活躍されたが、中々裏日本といわれる日本海側の格差解消はなかなかでした。東海道新幹線開通から50年、ようやく来年3月14日に北陸新幹線は金沢まで延伸されることになっていが上越新幹線から32年も要しています。

福井県では舞鶴若狭自動車道がこの7月20日敦賀まで開通し県下の一体が実現しました。

## 北陸3県民一面の姿（2012）

人	口	一世帯月收入	一人当年間所得	一世帯当貯蓄現在高
富山県	108万	61万円	290万円	1367万円
石川県	116万	58万円	265万円	1684万円
福井県	80万	52万円	280万円	1394万円
東京都	1324万	58万円	430万円	1592万円
全 国	12700万	52万円	266万円	1178万円

昔の「新旧人国記」やこの頃の「出身県で分かる人の性格」などはこの激しい人の移動する世の中に当てはまるのかはなはだ疑わしいですが、「データーで見る県政 第23版（2014）」で見てみたいと思います。レジュメの表を見ていただきますと北陸三県と東京、全国の各人口、一世帯当り月收入、一人当たり年間所得、一世帯当り貯蓄現在高が表示しています。人口は富山108万、石川116万、福井80万、東京1324万、全国12700万ですが、世帯あたりの収入は61万と富山がこの中では最高です。次に一人当たり年間所得は東京の430万に対してこれも富山が290万となっています。最後の貯蓄現在高では石川が東京を抜いて1684万とこの中では最高額です。この表から見る限り北陸三県は全国の平均水準を抜いて健闘していることがお分かりだと思います。その他、観光客の入り込み数なども全国の3.5%を占めていて人口比を抜いているので

## 終わりに

「〈運ぶ人〉の人類学」によると、人類は20万年前アフリカから狩猟用道具と解体道具をもって世界に移動していったといえます。福井県で有名な恐竜は2億数千万年前から6千万年前といいますが人間は20万年前とか、それが大きく西アフリカ内陸の黒人、フランスを中心とする地域に住む白人、日本やアメリカの先住民を含む黄人（モンゴロイド）になっていったといわれています。いずれも人の移動がもたらしたもので物を運んできたものです。道路こそ人類の発展にこうけんしてきました。今や移動手段は陸に海に河に空に大きく発展してきましたが、「運ぶこと」こそ人類の発展を支えてきたのではないのでしょうか。

雪深く、冬の長い、暗い印象の裏日本観を返上するため、ご出席の皆さんの今後のご努力とご発展を心からお祈りして終わります。長時間ご静聴有り難うございました。

## 橋梁などの劣化予測に関する一検討

金沢大学理工研究域環境デザイン学系 近田 康夫

## 1 はじめに

社会資本の維持管理の重要性・必要性はかなり以前から指摘されてきたが、笹子トンネル事故が契機となって、ようやく社会的な認知を得て本格的な取り組みが可能となったと言える。

周知のように、アメリカ合衆国では1980年代初頭に“荒廃するアメリカ”という表現に象徴される公共構造物の劣化が指摘された。アメリカに30年遅れで、いわゆる高度経済成長期に急速な社会資本の蓄積が行われた日本では、この1980年代が予防保全の視点に立った社会資本の維持管理の出発点となるべき好機であったが、バブル経済の波に飲み込まれているうちに、時期を逸してしまい、笹子トンネル事故に象徴される“荒廃する日本”が顕在化したことになる。

社会資本たる構造物は、計画的に適切な維持管理を行えば、設計上の耐用年数以上に供用することが可能で、経済性の面からもそれが望ましいとされ、LCC (Life Cycle Cost) の最小化を目的関数とした最適化問題としてとらえる、予防保全の視点に立った維持管理の概念が一般化している。

国土交通省が平成19年度から実施した、橋梁長寿命化施策もその例である。

この予防保全の根幹をなすものの一つに、劣化予測がある。構造物の現在の状態を把握し、それが将来的にどのように劣化していくかを予測することによって、はじめて計画的な補修計画が立案できることになる。

## 2 予防保全

構造物の予防保全は、現状の調査(5年周期の外観目視)に基づく健全度評価、さらに最適な補修時期を決定するための劣化予測が必要である。とくに、劣化予測は、持続可能な社会基盤の維持管理のための予算規模を把握するためにも重要な情報である。しかしながら、これまで、点検結果の蓄積はほとんどなされておらず、

一つの構造物に対する固有の劣化傾向を予測することはできないのが現状であり、その代替手段として、既存の同種構造物の点検結果に基づいて、平均的な劣化傾向を把握するにとどまっている。

すなわち、現時点で建設から20年経過した構造物の状態を点検により把握し、この構造物は10年後には、現時点で建設から30年経過した(同種で、同様の環境下におかれた)構造物の状態になるであろうという推論を行うことで代替としている。

橋梁を例にとると、ある時点で一斉に橋梁を点検し、健全度を評価する。傾向としては、補修が行われていなければ、橋齢の大きなものほど健全度が低い、経年劣化の傾向を示す。そこで、統計処理により平均的な[時間(橋齢) vs 健全度]の関係を求めて個々の構造物に反映させる方法がとられる。

この劣化予測には、大別して2つの手法が採用されている。

一方は、上述の[時間(橋齢) vs 健全度]の関係に基づいて、劣化を回帰曲線として求める方法。一般的には、たとえば、5(損傷なし)から1(危機的状態)までの5段階で評価した橋梁の健全度データに対して、2次曲線として劣化を最小二乗近似する方法である。橋梁長寿命化計画ではこの方法による劣化予測が行われた例が多い。

他方は、劣化を単純マルコフ過程とみなして、現時点である健全度である構造物あるいは部材が、1時間ステップ経過後に、1ランク下の健全度に移行する遷移確率を求める方法である。数学的取り扱いと計算の煩雑さから採用されることは少ない。

この2つの劣化予測方法のいずれを採用するかは、それぞれの特質(得失?)を理解して決めるべきであり、本稿はそのための基本的な検討結果を報告する位置づけとなる。

以下では、それぞれの劣化予測方法をより詳しく述べる。



## 2.1 劣化曲線

現在実施されている橋梁点検に基づく健全度評価は、離散的な数段階の数値で評価されている。これをカテゴリカル・データという。注意すべきことは、この健全度の数値は物理的な意味のない順序ラベルに過ぎないことである。確かに、健全度5は健全度4よりも劣化していないこと（順序）は表してはいるが、健全度4、健全度3の4、3は単なるラベルであり、健全度5と健全度4の差は健全度4と健全3の差と等しいとは言えない。また、その根拠となる物理的な測定指標もない。例えば、コンクリートのひび割れを指標にしても健全度を分けるべき境界の数値が与えられているだけで、健全度自体は数値尺度とはなり得ないのである。

したがって、この健全度を縦軸に、経過時間（教齡）を横軸にとって回帰曲線を引くことは、縦軸にとった健全度が数値尺度（比例尺度）であるとは言えないのであるから、理論的には無理があると言わざるを得ない。

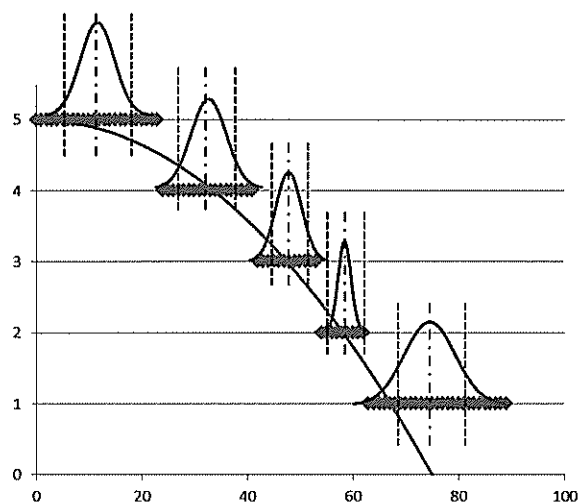
それでも、この劣化曲線を劣化予測に用いているのは、概念的には経年劣化を表現しており、かつ、2次曲線で回帰近似することで、劣化がある程度進行すると劣化速度が増加するという経験事実を表現できる、また、結果として得られる劣化曲線が60-80年で管理限界に達することが多いことから工学的な耐用年数をほぼ再現しているなどの点を鑑みて、理解しやすく、実用上も問題なさそうであるという判断があると推察できる。

しかしながら、部材ごとに実際に収集した点検データから回帰分析による劣化曲線を求めると、想定するような劣化曲線を得られない場合も少なくない。その場合は、2次曲線ではなく、直線として回帰線を求める、あるいは、劣化予測自体をあきらめて定期補修（一定期間毎に補修）に切り替えるなどの対応をおこなうことになる。

現実の点検データでは、例えば、30年以上経過した部材で劣化が全くないといった評価データが少なくない頻度で見受けられる。これを、過去の補修履歴が反映されない、と考えるか、そのように健全性が保持される環境に置かれたと考えるかは、明確な根拠がないことになる。

このような場合、対応として、求めたいものは、平

均的な劣化傾向であると割り切って、健全度レベル毎に平均値と標準偏差を求め、例えば、平均値±標準偏差の範囲内のデータのみを劣化予測に利用する。あるいは、健全度毎に存在確率に応じて例えば、劣化が遅い、やや遅い、普通、やや速い、速い、などのグループに分け、それぞれのグループに対して劣化曲線を求めるといった方法が提案されている。



図一 劣化曲線のイメージ

## 2.2 遷移確率

構造部材の時間的な劣化を、単純マルコフ過程と近似することができれば、簡単な数式で劣化を表現することが可能なことから多くの試みが行われている。ただし、現時点で、構造部材の劣化が単純マルコフ過程に従うという検証がなされているわけではない。

マルコフ過程とは、未来の状態が現在の状態だけで決まるという性質を持つ確率過程である。

このアプローチは、劣化現象がマルコフ過程であるという前提を受け入れれば、状態が遷移する確率事象として表現されるので、表現は理論的にも厳密になされたことになる。

この場合、現時点で $S_t$ という状態行ベクトルで表現される構造部材は1時間ステップ経過した時刻  $t+1$  において、

$$S_{t+1} = S_t C$$

と表現される。ただし、 $C$  は遷移確率行列である。ここで、確率事象を表現していることから、 $S_t$  の要素の和は1であり、 $C$  の各行の要素の和は1となる。

この場合、 $n$ 時間ステップ経過後の構造部材の状態は

$$S_{t+n} = S_t C^n$$

と表現される。 $C$  は具体的には、

$$C = \begin{bmatrix} s_{55} & s_{54} & s_{53} & s_{52} & s_{51} \\ & s_{44} & s_{43} & s_{42} & s_{41} \\ & & s_{33} & s_{32} & s_{31} \\ & & & s_{22} & s_{21} \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$$

と表現され、行列の要素  $s_{ij}$  は状態  $i$  の部材が、1時間ステップ経過後に状態  $j$  に遷移する確率を表す。

健全度 4, 3, 2 の(状態維持確率, 状態遷移確率)をそれぞれ(0.82, 0.18), (0.81, 0.19), (0.77, 0.23)とした場合の計算例を図-2に示す。

この遷移確率行列  $C$  の要素  $s_{ij}$  を点検データから推定する計算方法としていくつかの方法が報告されている。

比較的単純なものを上げると、最小二乗法、数え上げ法、ハザードモデル法の3つに大別される。

現時点で得られるデータは、多くの構造部材を一斉に調査したもの、すなわち、部材毎に竣工時の健全な状態から  $n$ 年 ( $n$ 時間ステップ) 経過後の状態のデータが部材数集まったものということになる。

確率事象としてモデル化しているのであるから、竣工時に健全度5であった部材が  $n$ 年 (時間ステップ) 経過後に健全度5のままである確率、健全度4に遷移する確率・・・のように、確率で表現されるだけである(図-2の右端の列参照)ので、結局は、 $n$ 年後の健全度の期待値を求めることになる。なぜならば、どの橋梁のどの部位をいつ補修するかという計画を立案する場合に確率としての表現のままでは理解しにくく実用的ではないことから、期待値で対象部材の将来予測を行わざるを得ないのである。当然、確率事象としての1サンプルが現実の観測値となることから、個々の部材の現在の状態が再現される保証はない。

期待健全度の計算例を図-3に示す。ここでは、回帰曲線による劣化曲線と異なり、下に凸の曲線となることに留意したい。

劣化プロセスが、マルコフ過程に従うことを確認した報告例は、少なくとも筆者は見ることがない。劣化現象が単一の遷移確率行列で表現できると仮定して、遷移確率を点検データに基づいて推定していることに留意せねばならない。

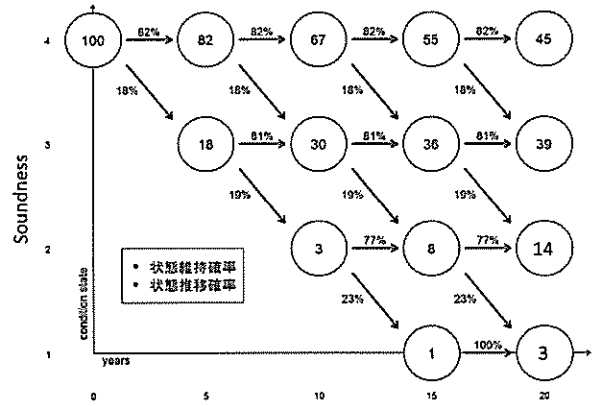


図-2 遷移確率による遷移イメージ<sup>2)</sup>

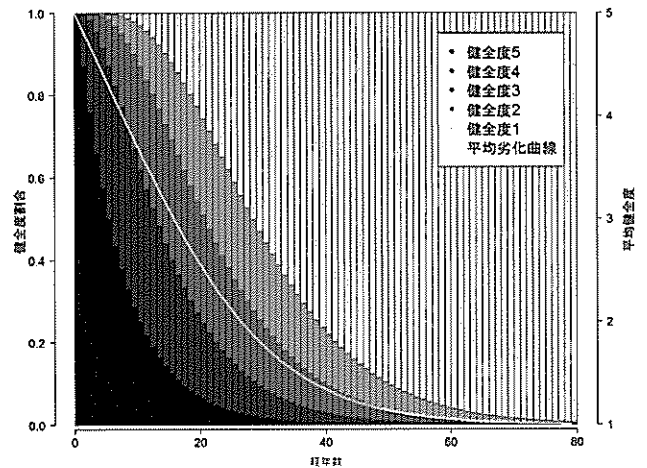


図-3 遷移確率に基づく健全度期待値の例

### 3 遷移確率推定

遷移確率の推定には大まかに3つに分類されることを述べたが、劣化をマルコフモデルとして仮想データを作成して、それぞれの推定方法による結果を比較した。

仮定した遷移確率行列を使って、遷移後のデータ群を生成する。これは、点検結果のデータに相当する。このデータ群(健全度評価値群)から、もとの遷移確率行列の要素(遷移確率)を逆推定する。確率現象であるので、データ群を生成するごとにその内容は異なるから、逆推定される遷移確率はばらつくので、その平均値と標準偏差で推定精度を比較・評価する。

5~2の各健全度で、状態維持確率が0.9、遷移確率が0.1である場合について、十分なデータ(各健全度2000データ、点検間隔6段階、計48000データ)、データ数が少ない場合(各健全度で20データ、点検間隔2段階)で、それぞれ3000回のシミュレーション結果

の一部を図-5, 6に示す。

一方、7点検ステップまでの状態維持確率が0.98、遷移確率が0.02、8点ステップ以降は、以前の遷移行列に、状態維持確率が0.85、遷移確率が0.15の行列を乗じたやや複雑な複合劣化状態を対象とした場合(各健全度で160データ、点検間隔2段階)の3000回のシミュレーション結果の一部を図-7に示す。

比較結果は以下のようにまとめられる。

データ数が十分に蓄積されている場合には、いずれの推定方法も与えた遷移確率をほぼ推定できる。

データ量が少なくなると、推定される遷移確率の分散は大きくなる。つまり、推定精度が下がる。

健全度毎にデータ数に偏りがあると、データが少ない健全度に対応する遷移確率の推定精度は相対的に低くなる。

ハザードモデルでは、低健全度での遷移確率の推定精度がほかの2方法よりも高いが、推定する値自体にはバイアスが生じる。これは、遷移機構をより厳密にモデル化したため、マルコフ性以外の条件が付加されたことが原因と推定される。逆に、実現象が、ハザードモデルの想定するものと一致すれば、ハザードモデルが最も精度よく推定可能である。

供用期間中に、遷移確率行列が変化するというやや複雑な劣化過程の場合、数え上げ法は対応できない可能性がある。

限定した仮想データに対する推定結果ではあるが、最小二乗和法が安定して遷移確率を推定することが分かった。ハザードモデルはモデル依存性が高く、推定値にバイアスを生じる可能性があるが、推定精度は相対的に高い。数え上げモデルは、さらにモデル依存性が高く、劣化現象がやや複雑になると対応できない可能性が高い。

#### 4 まとめ

現状は、多くの自治体において、ようやく点検データが揃って、2回目の点検に着手したところであり、劣化現象の解析によって、劣化モデルが確立されることが最重要課題と言える。その結果を受けて、劣化予測モデルの構築が可能になるが、現状は、さまざまな劣化現象に対応できるように、劣化予測手法が模索されている段階と言える。

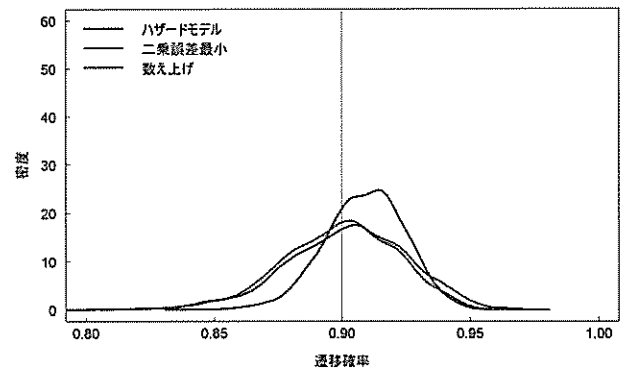


図-5 十分なデータがある場合の推定例( $s_{22}$ )

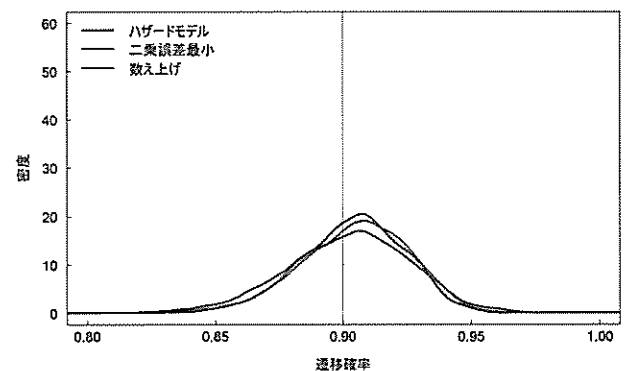


図-6 データ数が少ない場合の推定例( $s_{22}$ )

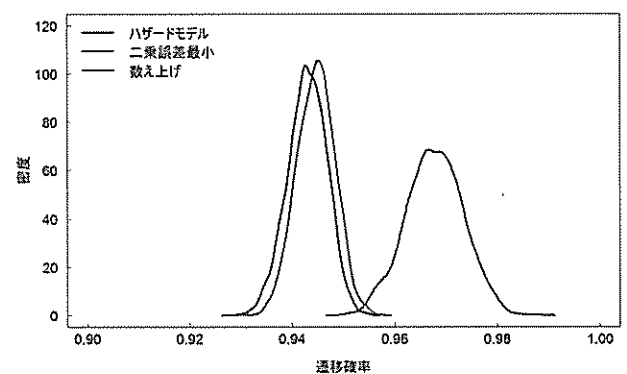


図-7 やや複雑な劣化過程に対する推定例( $s_{22}$ )

#### 参考文献

- 1) 鈴木真也：社会基盤施設を対象とした劣化予測のためのマルコフモデルに関する研究，金沢大学修士論文，2014
- 2) 保田敬一，小林潔司：BMSにおける点検結果と状態推移確率がLCCに及ぼす影響，建設マネジメント，研究論文集，Vol.11, p113, 2004

# 富山大橋の旧橋撤去について

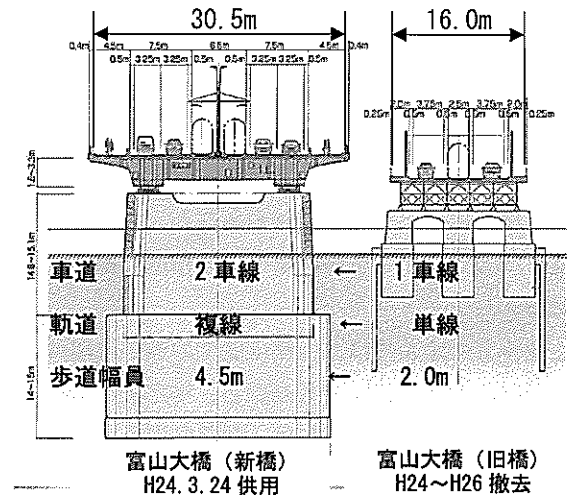
富山県富山土木センター 川口 歳則

## はじめに

都市計画道路呉羽町袋線（県道富山高岡線）は、県都富山市と高岡市を最短経路で結ぶ大動脈であり、街の骨格となる幹線道路です。神通川に架かる富山大橋付近での1日あたりの交通量は約3万台あり、日常的に交通渋滞が発生していました。また、旧橋は昭和11年に架けられ、老朽化が進み、錆による損傷が著しかったことから平成11年度から架け替え事業を進めてきました。

新橋を平成24年3月24日に供用開始し、平成24年度から3カ年で旧橋を撤去しています。

今回、旧橋の撤去を通して発見できたことを報告します。



新橋は旧橋の下流約5mの位置に架設しました。車線数、軌道数、歩道幅員も2倍の規模で計画し、安全で円滑な交通を確保することとしました。

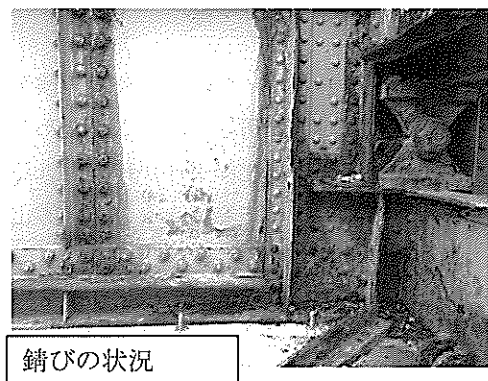
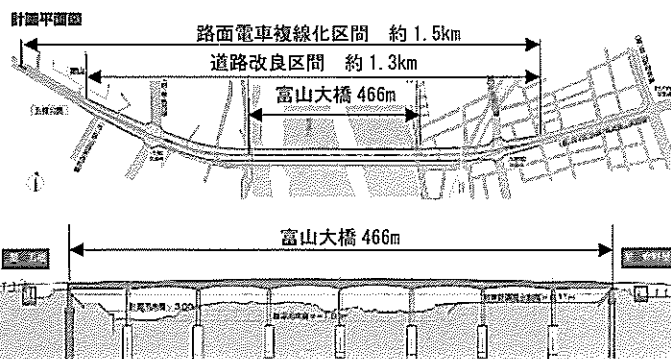
路面電車の複線化にあたっては「路面電車走行空間改築事業」を活用しました。

## 1 事業概要

事業箇所 富山市五福～安野屋地内

事業延長 約1.3km（うち橋梁部466m）

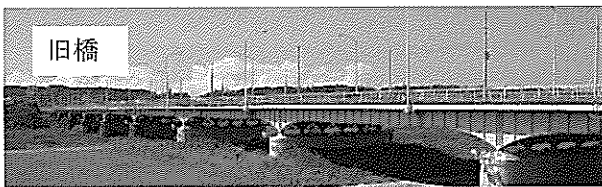
幅員 道路部32.5m（橋梁部30.5m）



## 2 つくる

### 2-1 景観への配慮

富山大橋（新橋）の計画は、デザイン検討委員会により検討してきました。緩やかな曲線を持った橋桁がリズムカルに跳ねるイメージを受け継ぎ、架線柱や照明柱が林立する煩雑な橋面空間でしたが、センターポールにまとめることでスッキリとさせるよう改善を行いました。橋脚天端は凹形とし、視界が抜け圧迫感をなくするよう、3主桁2支承の上部構造としました。また、橋の色は、旧橋の青色を受けつぐとともに、日本古来の青色である「青鈍（あおにび）色」としました。



↓ 旧橋のイメージを受け継ぐ



架線柱、照明柱が林立する煩雑な空間

↓改善



スッキリとした走行空間

### 2-2 地元小学生と共に成長した富山大橋

H18の下部工着工からH23の完成までの6年間、勉強会、現場視察に継続的に携わり、成長しました。

H18（1年生）橋一般、富山大橋の歴史

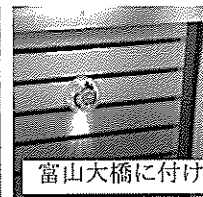
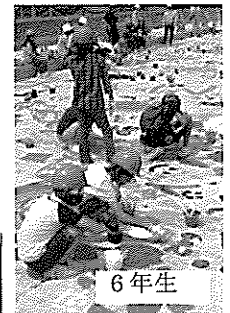
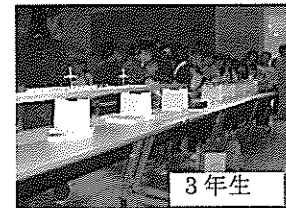
H19（2年生）富山大橋の構造（下部工）

H20（3年生）富山大橋の構造（上部工）

H21（4年生）架設現場の視察

H22（5年生）橋桁を歩いて詳細を視察

H23（6年生）床版お絵かき、ガラス玉製作



さらに、ガラス玉を製作してくれた五福小学校、芝園小学校の生徒たち（6年生）が、平成24年度から毎年、自主的に、高欄ガラスパネルの清掃をするといううれしい活動が続いています。



地元小学生による自主的な清掃奉仕活動

### 3 こわす

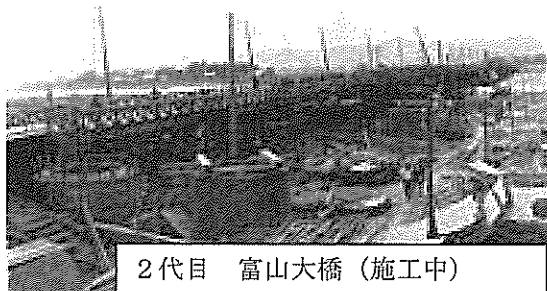
#### 3-1 富山大橋の歴史

初代富山大橋は、明治42年(1909)に木橋として架設されました。神通川の馳越線工事(M34~M36)、明治41年の歩兵連隊の設置により建設されました。橋長約428m、幅員約6mでした。



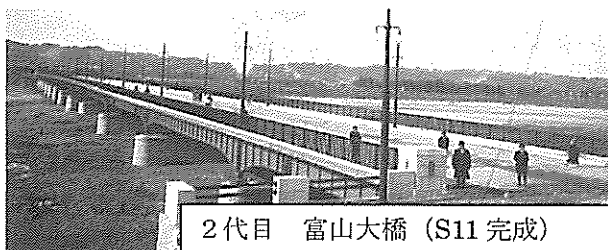
初代 富山大橋 (M42) 木橋

橋梁の永久橋化が進められることとなり、富山大橋も鋼製の橋に架け替えられます。



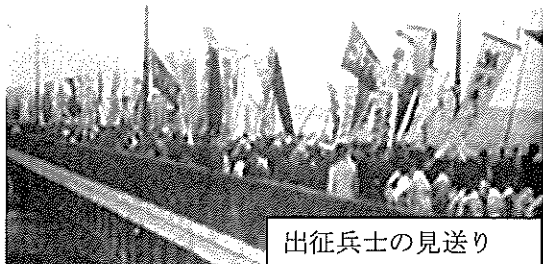
2代目 富山大橋 (施工中)

昭和11年(1936)4月 2代目富山大橋が竣工します。「文化の懸け橋モダン富山の豪華橋」と当時の新聞で報道されました。



2代目 富山大橋 (S11 完成)

その後、第2次世界大戦を向かえ、歩兵連隊から出征する兵士が富山大橋の上で見送られます。生還した者、生還できなかった者。連隊橋の愛称には各人いろいろな思い出があるようです。



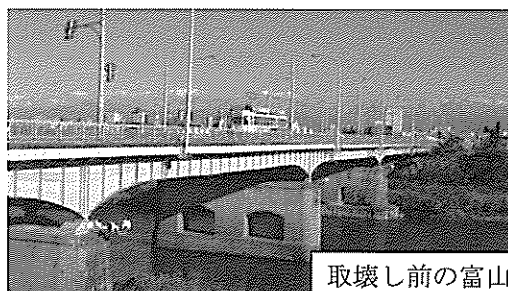
出征兵士の見送り

昭和20年8月1日の富山大空襲にも富山大橋は戦禍を免れることができました。



戦後の富山大橋

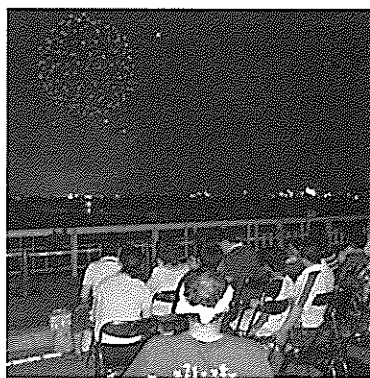
その後の平和な時代、高度成長期を迎え多くの車や人を通して、富山大橋は富山市の発展に尽くしてきました。



取壊し前の富山大橋

昭和11年から平成23年度までの75年間、富山市の発展に尽くしてきた富山大橋。取壊しの前には、感謝の気持ちを込めてイベントを実施しました。

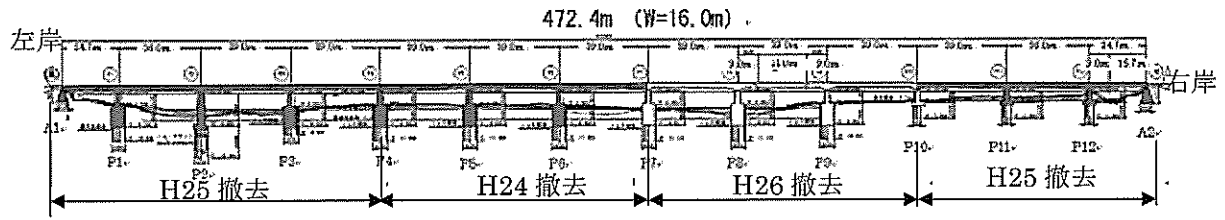
①富山大橋を栈敷席として、花火大会を鑑賞 (H24.8.1)



②渡り納め式 (H24.8.26)

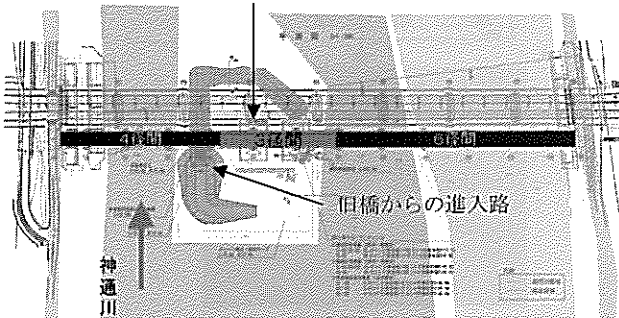


### 3-2 取り壊し工事



旧橋は、平成24年度から26年度までの3カ年で取壊します。

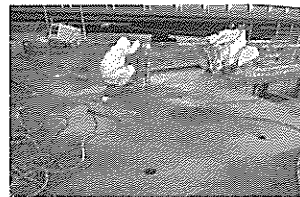
平成24年度：中央3径間



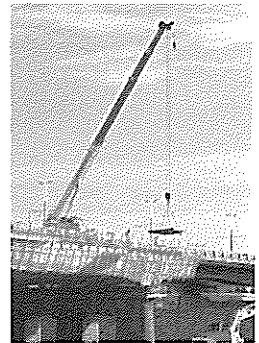
市街地における、取り壊し工事であるため、

「丁寧に、(なるべく) 静かに」作業しました。

- ・床版撤去：コンクリートカッターやワイヤーソーにより切断し、ブロックをクレーンにて吊下ろし、現場で小割することなくそのまま運搬。
- ・桁撤去：クレーンにて吊下ろし、切断して運搬。
- ・橋台撤去：すべてワイヤーソーで切断しブロックにて運搬。
- ・橋脚撤去：基本的に圧砕機を使用。人家に近い場所ではワイヤーソーを使用しブロックにて撤去。

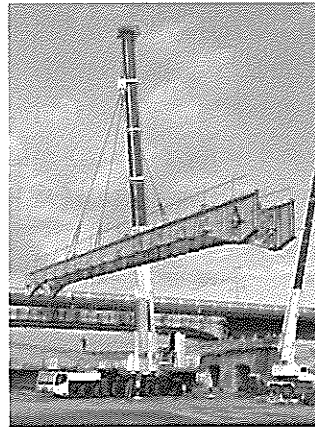
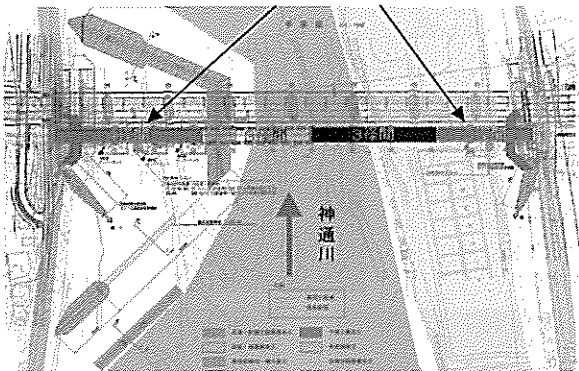


床版切断

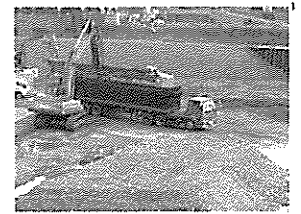


床版吊下し

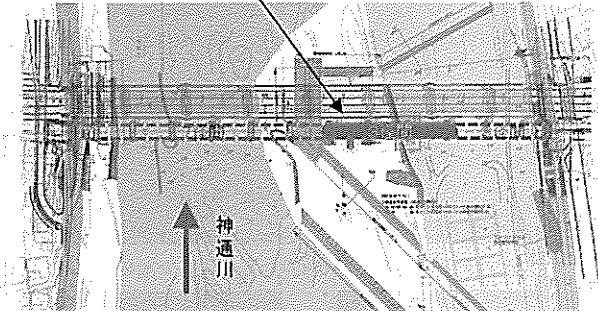
平成25年度 左右岸4径間、3径間



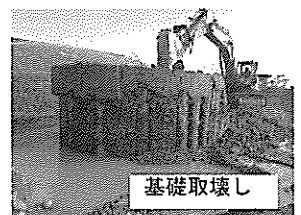
桁撤去、切断、運搬



平成26年度 中央3径間



躯体取壊し



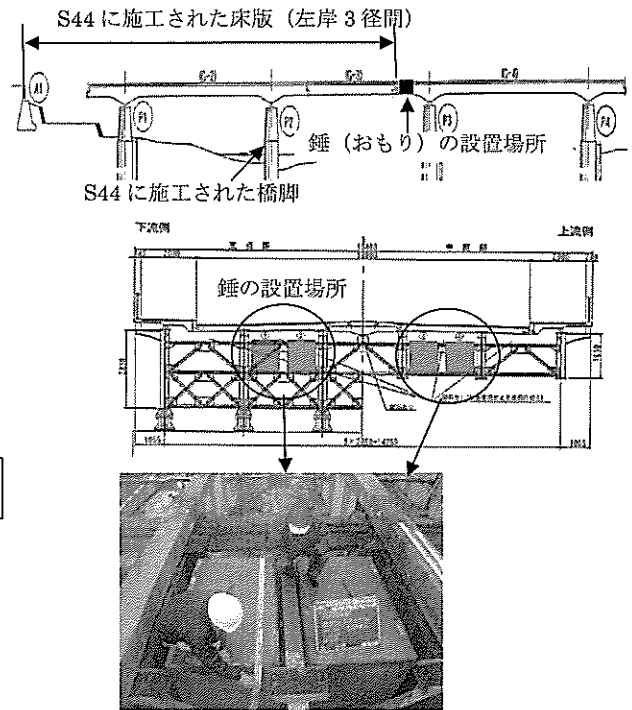
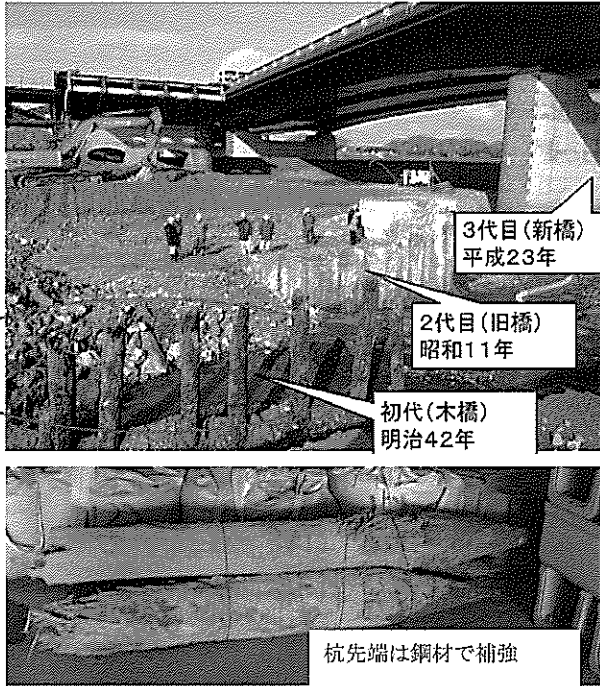
基礎取壊し

橋脚取り壊し（最深河床マイナス2mまで）

### 3-3 こんなものができました

#### ①初代富山大橋（木橋）の橋脚

明治42年（1909年）の木杭が、旧橋上流側に出てきました。腐朽は少なく、撤去時に折れた箇所は、幹の色も残っていました。また、杭先端には鋼製の補強が施されていました。



### 3-4 こんなことが分かりました

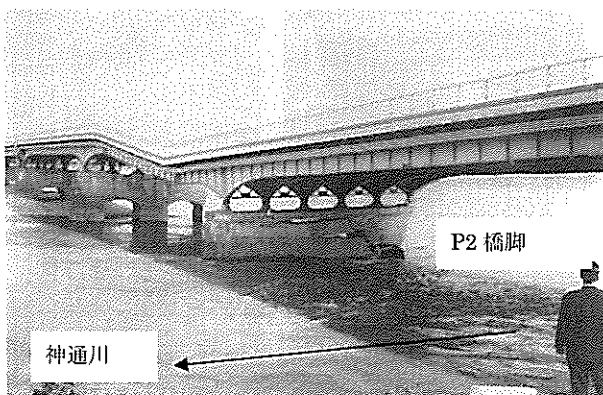
#### ①リベットの損傷状況

昭和11年の鋼桁は溶接ではなくリベットで接合されたものです。同じ厚さの鉄板を重ね、リベットで接合しています。厚いものでは上フランジに5枚の鋼板を重ねて使用されていました。また、コンクリートを取り払った後のリベットの頭は、昭和11年施工の年月を感じさせないほど、綺麗に残っていました。

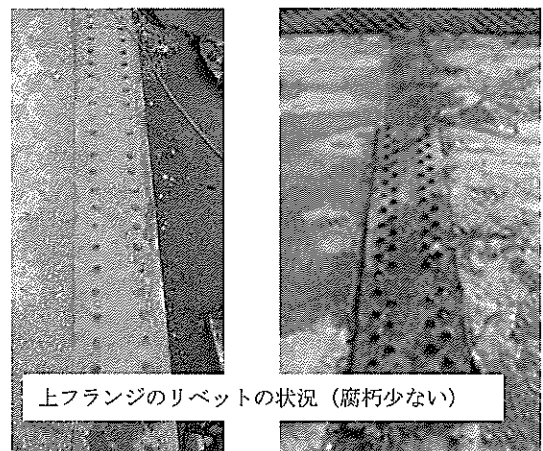


#### ②コンクリートの錘（おもり）

2代目富山大橋は昭和44年7月の神通川の出水において左岸から2つ目の橋脚が約3m沈下しました。その際、P2橋脚および左岸の上部工3径間をわずか1年で作り直しました（当時の建設省にて）が、その際のものと思われる、<sup>おもり</sup>ゲルバー橋の張出部に施工されたコンクリートの錘（4個）が出てきました。上部工を外した際に桁端部の跳ね上がりを抑えるためのものと考えられます。



昭和44年7月の災害（p2橋脚沈下）



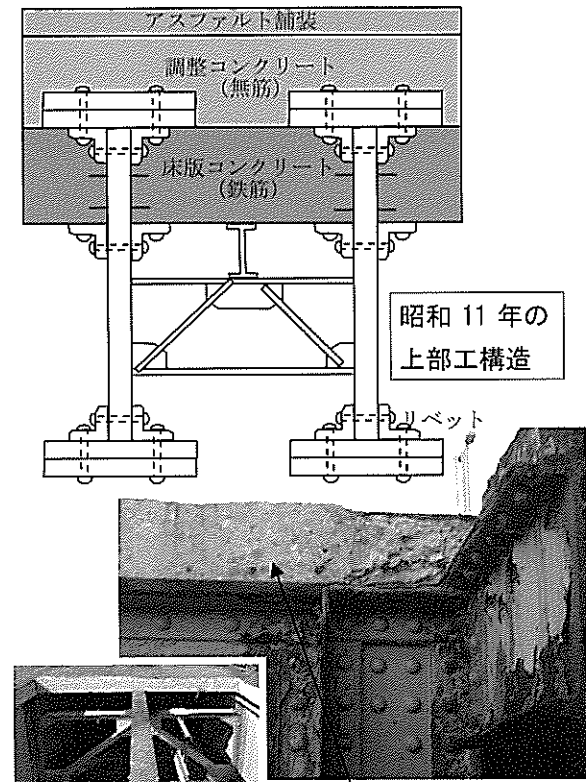


## ②主桁の構造、床版コンクリート

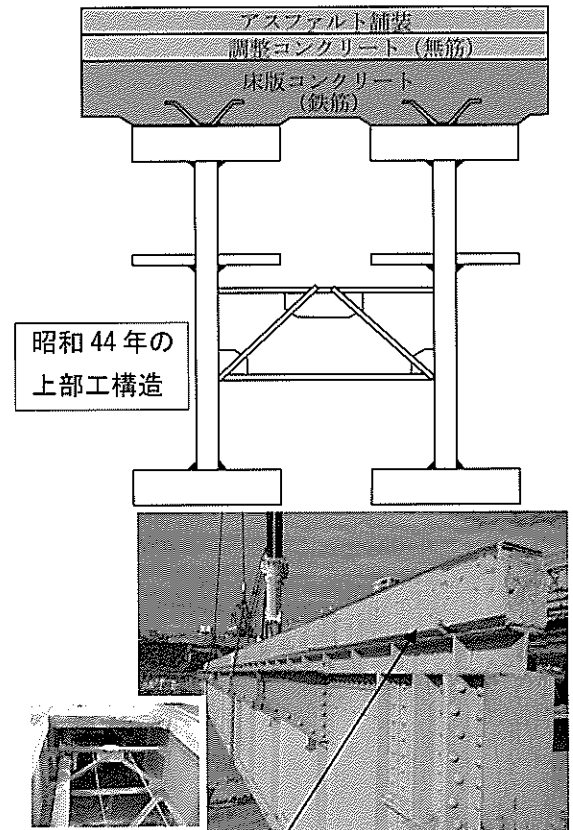
富山大橋の上部工の特徴は桁と床版の関係にもあります。昭和11年施工の構造は、主桁の上フランジに乗っているのは無筋の調整コンクリート（最大22cm）で、床版（鉄筋）コンクリートは桁と桁に挟まれています。主桁ウェブにつけられた鉄筋と床版コンクリートが一体となり更にその上に施工された厚い調整コンクリートで荷重を支えるという特殊な構造でした。

一方、昭和44年の橋脚沈下を受けて作り直された3径間は、上フランジに床版を施工するという現在の設計手法と同じ構造でした。

	昭和11年 架設当時のもの	昭和44年 再施工された3径間
調整コンクリート	上フランジの上、 厚い	床版の上、 薄い
床版	上フランジの下、 ウェブで支持	上フランジの上 (現設計手法と同じ)
骨材	丸い(砕石ではない) 大きい、多い	丸い(砕石ではない) やや大きい、多い
鉄筋	丸鋼(φ9) 1段	異形棒鋼(D19) 2段

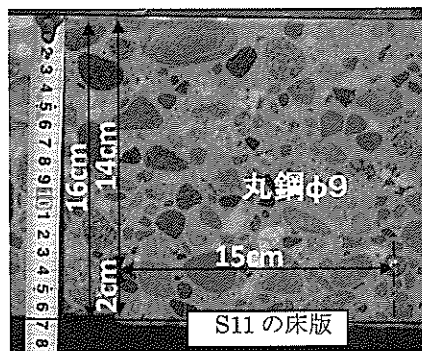


S11の床版コンクリート(上フランジの下にある)

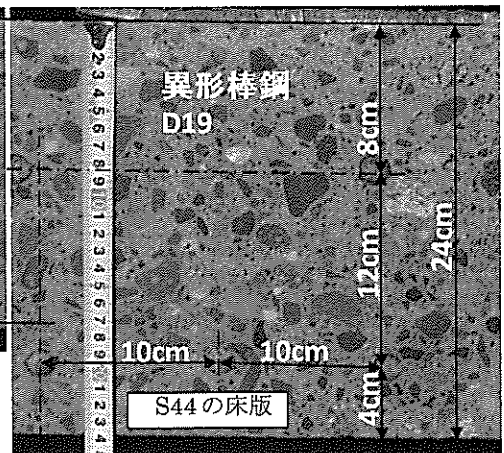


S44の床版コンクリート(上フランジの下にある)

昭和11年のコンクリートには、「丸い」「大きな骨材」が「多く」使われ、ひび割れもなく緻密な状態でした。昭和44年の床版コンクリートにも、砕石ではなく、丸い骨材が使われおり、セメントもいきわたり緻密な状態でした。昭和44年のコンクリートと比較すると使用された骨材の大きさや量の違いが分かります。



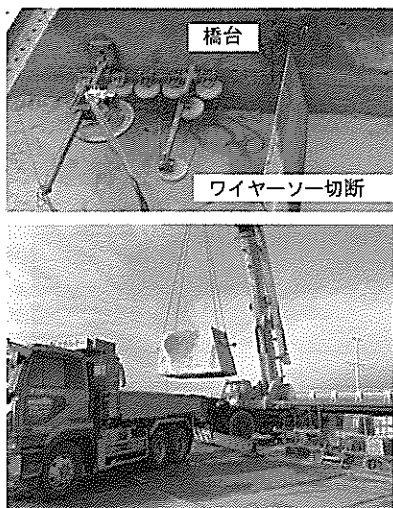
S11の床版



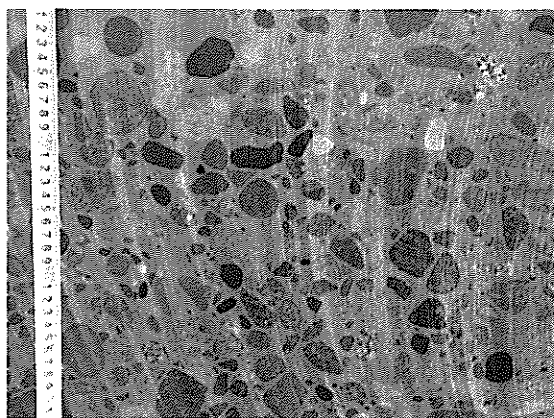
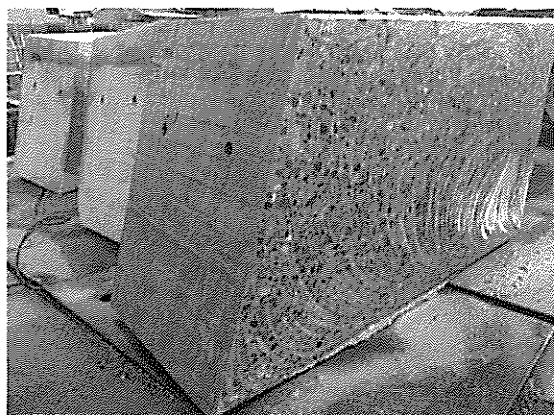
S44の床版

### ③橋台コンクリート

橋台撤去に当たっては、人家に近いことから、騒音を抑えるためワイヤーソーにより切断し撤去しました。ワイヤーソーを使用したことによりコンクリートの状態を把握することができました。



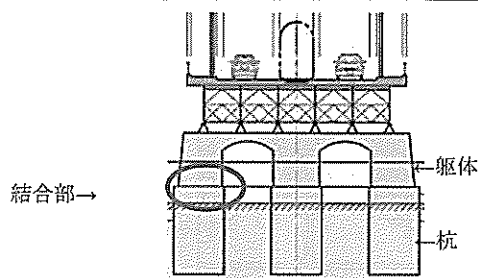
橋台コンクリートには、丸い、大きな骨材が、多数使用されており、セメントがいきなり空気も噛んでなく非常に緻密な状況で、ひび割れも確認されませんでした。



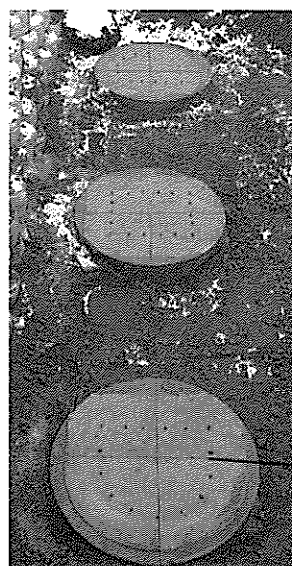
橋台コンクリート (S11) の状況

### ④橋脚コンクリート、杭と躯体の結合

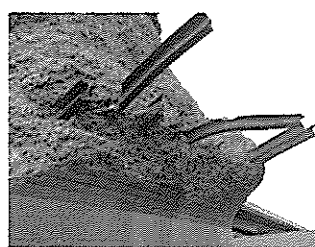
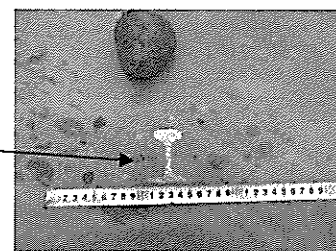
人家に近い、右岸の橋脚についてもワイヤーソーにより切断し撤去しました。その結果、コンクリートの状態及び杭基礎と躯体の結合状況が確認されました。



杭と躯体の結合には軌道レールが使用されていました。(写真の点部分)



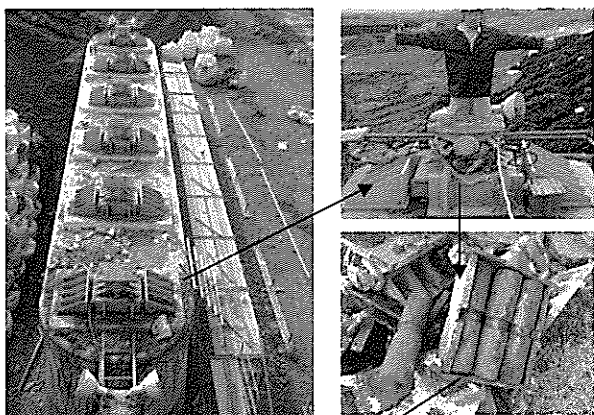
軌道レール (10cm×5cm)



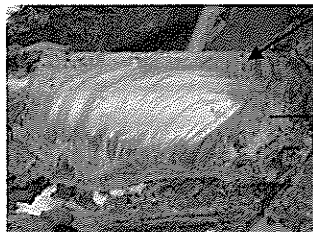
躯体の一部にも軌道レールが使用されていました。

### ⑤ ピカピカのローラー（可動支脊）

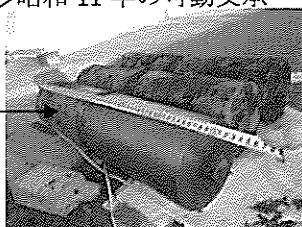
昭和 11 年から 75 年にわたり桁を支えてきた可動支脊。錆びかと思われた部分は、グリス。グリスを拭き取ると、変形の無い、ピカピカのローラーが出てきました。昭和 11 年施工当時のままの姿でした。富山大橋が長期間使用に耐えられた理由のひとつだと思います。支脊のメンテナンスの重要性を感じました。



昭和 11 年の可動支脊



腐食なし



変形なし、ピカピカ

## 4 のこす（記録にのこす、記憶にのこす）

### 4-1 架替記念事業 検討会

永く富山市の発展を支え、また連隊橋として地元住民に愛され続けてきた富山大橋の旧橋を取壊しておしまいでなく、新橋の開通を記念するとともに旧橋の記録、記憶を残す方策を検討するため、検討を重ねてきました。（全 5 回 H22.8.31～H25.7.10）

花火大会の栈敷席や渡り納め式も企画実行されました



座長：白井芳樹（元富山県公営企業管理者）

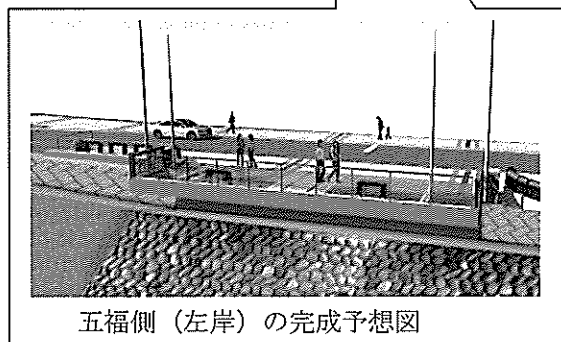
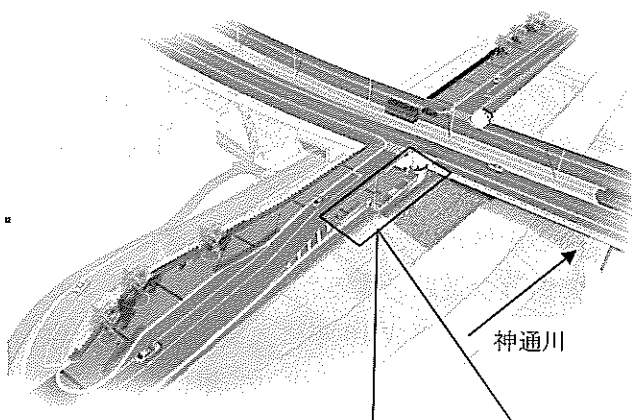
### 4-2 富山大橋ポケットパーク整備

#### 【整備コンセプト】

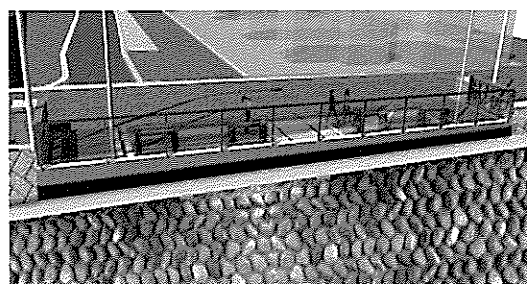
富山大橋、神通川、立山連峰を一望できるすばらしい景観の中、富山大橋の歴史を学び、旧富山大橋を偲び、感謝する公園を整備することとしました。

#### 【具体的内容】

旧富山大橋の親柱、橋名板、高欄、架線柱等を利用し、旧橋をイメージさせる施設を、旧橋の両橋台付近に整備します。



五福側（左岸）の完成予想図



安野屋側（右岸）の完成予想図

#### おわりに

歴史ある富山大橋。旧富山大橋の取壊しを通して旧橋を作った職人技に感心しました。また、新橋の計画、施工に尽力された先輩方、そして協力してくれた子供たちに感謝し、今後 3 代目富山大橋が永く愛され、更なる富山県の発展に寄与することを期待します。

# 一般国道249号 大谷道路（大谷工区）完成について

石川県奥能登土木総合事務所 大代 昇平

## 1. はじめに

一般国道249号は石川県七尾市を起点として、能登半島を周遊し、能登地域の観光振興や地域住民の生活を支える幹線道路であるとともに、緊急輸送道路にも指定されている重要な路線である。しかし、大谷峠を越える珠洲市若山町宇都山から大谷町間については、道路幅員が狭く、急勾配・急カーブが連続するため、交通の難所となっていた。

これらを解消し、地域住民や観光客にとって安全で快適な道路とするため、昭和62年より整備に着手し、平成10年に大谷トンネルを含む第I期工区3.0km、平成16年に若山工区2.2kmを完成するなど、順次整備を進めてきた。

そして、平成26年4月27日に最後の未整備区間である大谷工区2.4kmが完成し、27年の歳月を経て、大谷道路全ての整備が完了した。

## 2. 事業概要

路線名：一般国道249号

事業区間：珠洲市若山町宇都山～大谷町

事業期間：昭和62年度～平成25年度

延長：L=7.6km

道路規格：第3種第2級

計画速度：50km/h

道路幅員：6.5（10.5）m

## 3. 大谷工区の特徴

大谷工区の特徴は、急な縦断勾配（最大12%）を緩和させるため、橋梁で立体交差させた大規模なループ構造であり、最小曲線半径110m、縦断勾配6%としている。また、当工区の最大の構造物が橋長210mの「鳥川大橋（からすがわおおはし）」である。

### 【鳥川大橋の概要】

橋長：L=210m

有効幅員：6.5（9.5）m

設計荷重：B活荷重

上部形式：3径間連続PC箱桁ラーメン橋

下部形式：逆T式橋台（深礎杭：φ2.0m）

壁式橋脚（大口径深礎杭：φ8.5m）



写真-1 鳥川大橋とループ構造

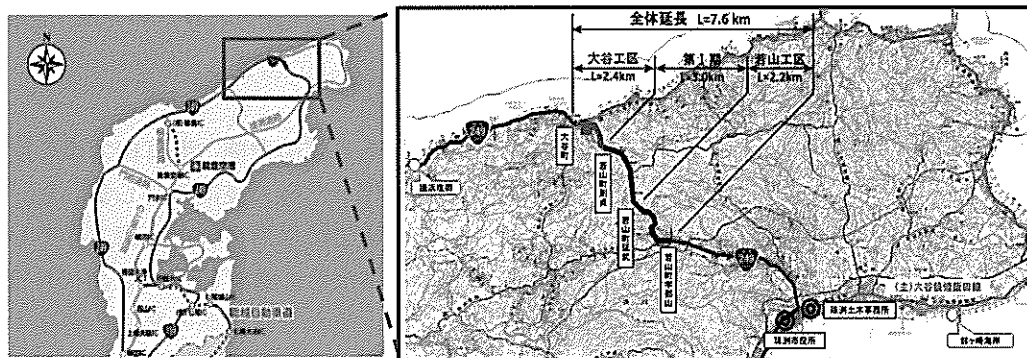


図-1 位置図

## 4. 地すべり対策

### 4.1 地すべりの経緯

大谷工区のループ箇所は、風化しやすい凝灰岩の土層のため、平成17年度から20年度にかけて、試験切土を施工したが、切土後に地すべりが発生した。このため、平成22年度にアンカー工を施工した。しかし、地すべりの影響により、追従すべりが発生し、2つのすべりが合わさった滑動力に、設計アンカー力が満足できず、山側の頭部排土と本線の押え盛土により、地すべりの動きを一時的に止め、再度対策を見直した。

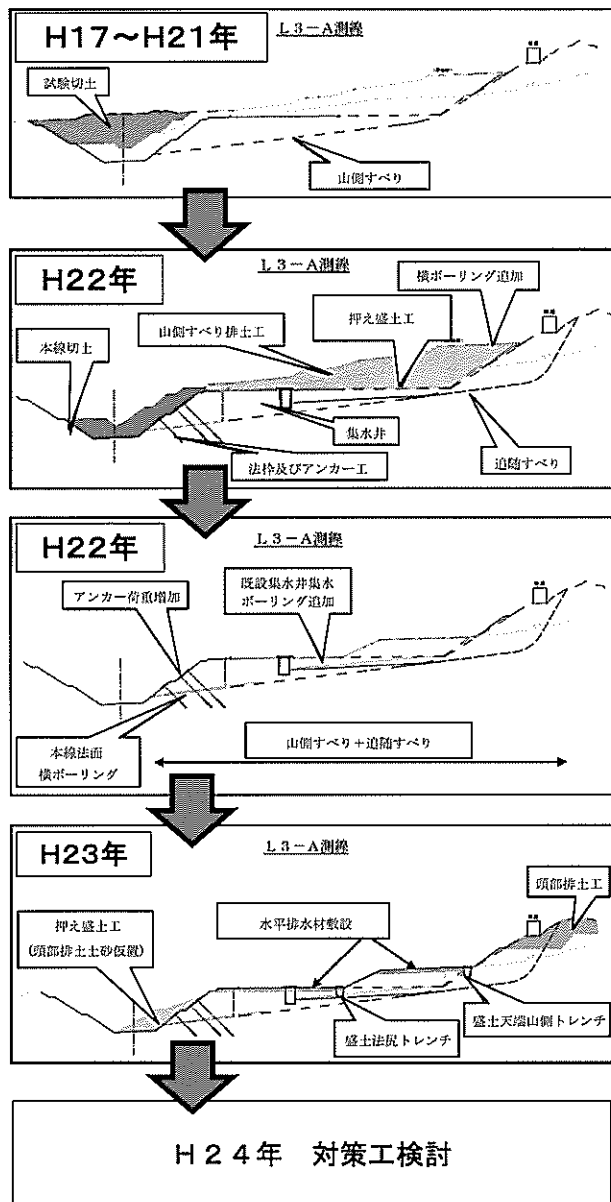


図-4 地すべり対策経緯

### 4.2 地すべり対策再検討

能登半島地震時に発生した滑り方向は南東方向であったが、その後の滑りは、東西方向を示しており、空中写真判読や地表踏査結果から想定した地すべりブロック形状(東西方向に延びる矩形型)や孔内傾斜計の変位方向(東西方向)とも同じであったため、地すべり範囲を広げ、再検討することとした。(図-5)



図-5 地すべり範囲検討

この結果、滑り面は当初の想定より深いことが判明し、既設アンカーより長尺なアンカーを増打ちし、加えて集水ボーリングを追加することとした。(図-6)

既設アンカーについては、定着部が滑り面より奥に入っていると想定され、残存引張力が増加しているが(379.8KN)、引き抜けに至っていないため、設計アンカー力(257KN)程度の効果を見込むこととした。また、既設アンカーの間に新たに増打アンカーを施工するため、グループ効果を考慮し、1.5m以上の間隔をとった。(図-7)

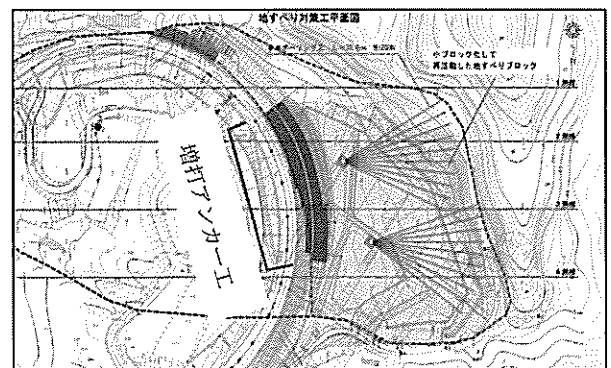


図-6 地すべり対策工平面図

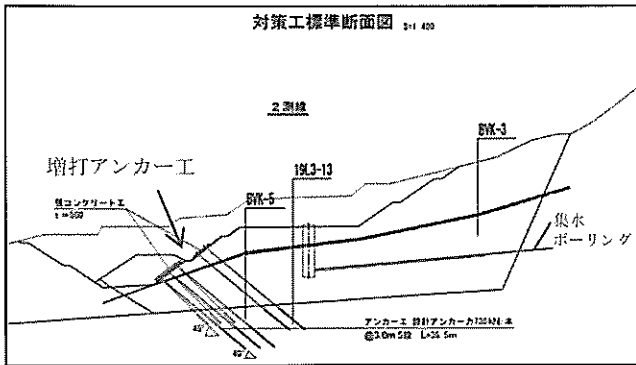


図-7 地すべり対策工標準断

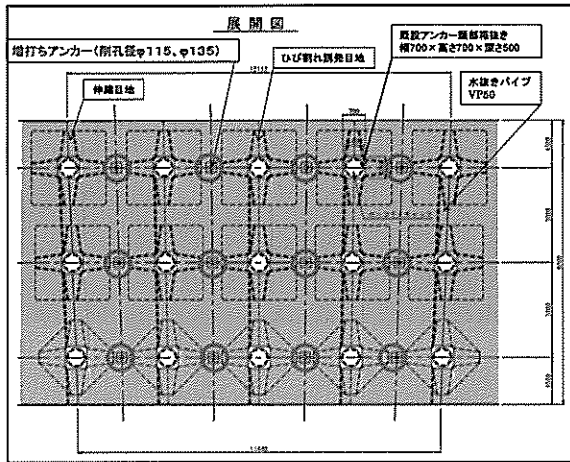


図-8 地すべり対策工展開図

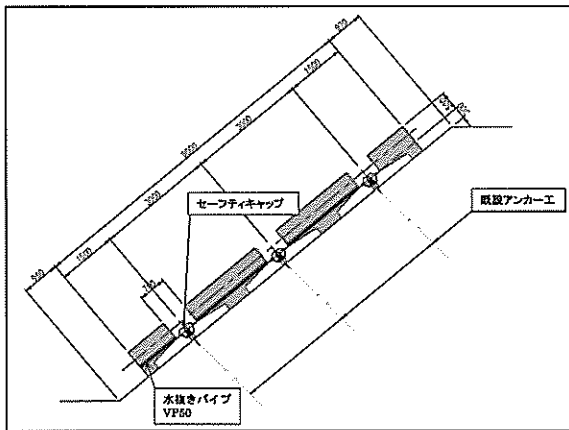


図-9 地すべり対策工断面図

### 4.3 増打アンカー工の課題

増打アンカー工は、施工例が数少なく、以下の3つの課題があるため、本施工前に試験施工を実施した。

- 課題①：増打アンカーが既設アンカーに与える影響（定着部の乱れ等）
- 課題②：増打アンカーが受圧板に与える影響
- 課題③：強風化凝灰岩への確実な定着

### 4.4 試験施工結果

課題①については、図-10に示すように増打アンカーの载荷に伴い、既設アンカーの荷重に増減がほとんどみられないため、既設アンカーへの影響はないと判断された。

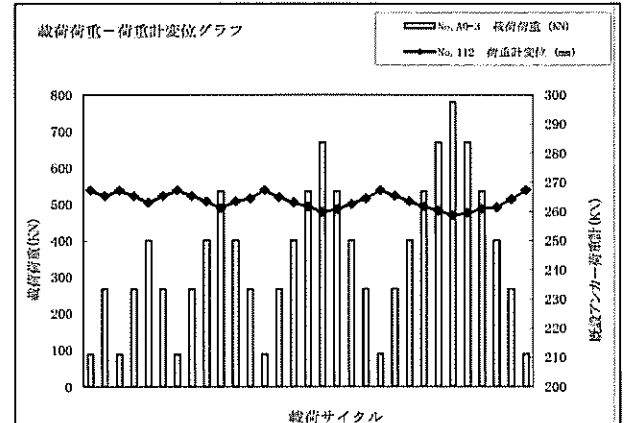


図-10 既設アンカー影響結果

また、リフトオフ試験の結果、既設アンカーの大半が増打アンカー施工後は健全な状態となった。(図-11、12)

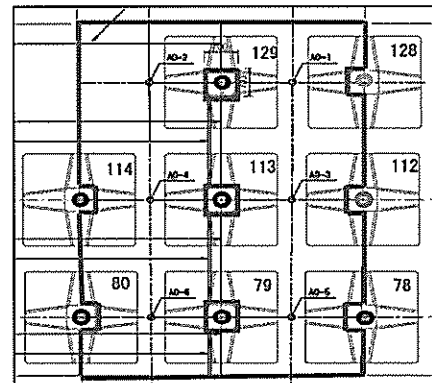


図-11 リフトオフ試験位置図

孔番号	残存引張力・健全度				再設置荷重 (KN)		
	施工前 (リフトオフ荷重)		緊張定着後 (リフトオフ荷重)		施工前	緊張後	健全度
128	266.6	C	265.0	A	266.6	260.0	A
129	379.8	E	365.0	D	-	260.0	A
112	266.6	D	248.2	A	266.6	248.2	A
113	379.8	E	379.8	D	-	260.0	A
114	379.8	E	379.8	E	-	-	E
78	379.8	E	355.0	D	-	260.0	A
79	379.8	E	379.8	D	-	260.0	A
80	379.8	E	379.8	D	-	260.0	A

図-12 リフトオフ試験結果

課題②については、図-13に示すように新設のコンクリート張工（反力板）の沈下量は1.0mm以下であり、反力板と地山及び既設アン

カーフレームに外観上の変化も見られなかった。

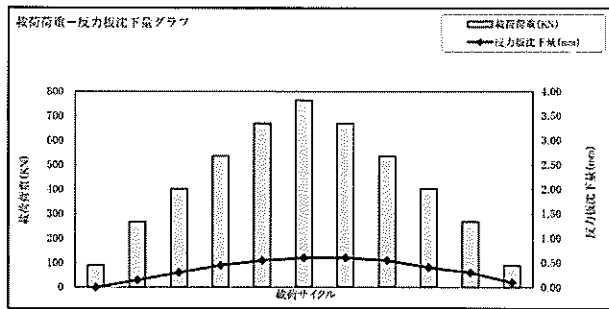


図-13 受圧板影響結果

課題③については、強風化凝灰岩への確実な定着を確認するため、品質保証試験である適正（多サイクル）試験を実施した。試験の結果、弾性変位量は基準値を満足していたが、塑性変位量は図-14のようにアンカーへの荷重が増すごとに増加したため、引き抜きの兆候と推定した。そして、付着切れやグラウト破壊のような荷重の急減がみられないこと、荷重が低下せず塑性変位量が急増していることから摩擦切れの直前にあり、周面摩擦力不足と判断した。

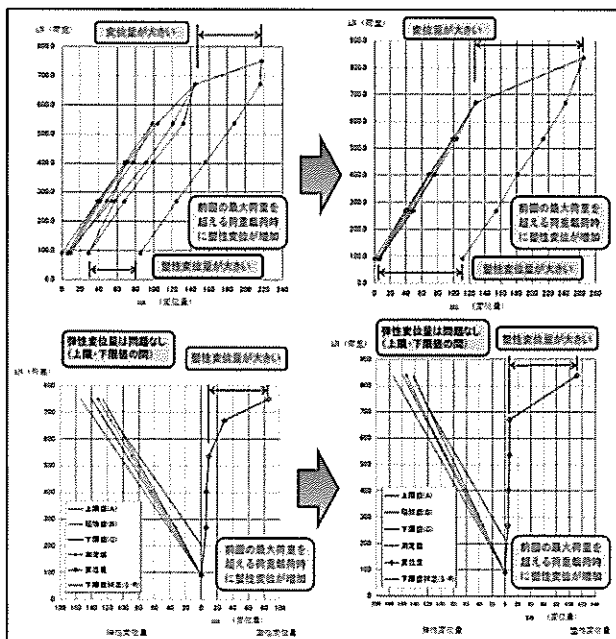


図-14 適性試験結果

周面摩擦力不足を解消するため、当初φ135であった削孔径をφ146・φ165で追加試験した。

追加試験の結果、図-15のとおり、どちらも塑性変位量を抑えることができたため、1ランクアップの削孔径（φ146）で施工した。

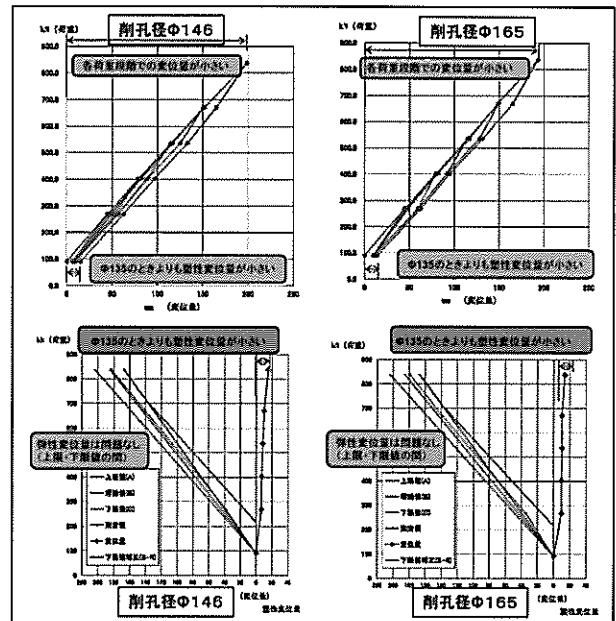


図-15 適正試験結果（削孔径変更）

## 5. おわりに

本現場では、アンカーの引抜兆候のような現象があったが、無事に工事を終え、平成26年4月27日に大谷工区の開通と共に、大谷道路全線が完成した。これにより、安全で快適な交通が確保されるとともに、沿線地域の一層の発展と、奥能登地域の観光振興の促進が期待される。

加えて、来年3月14日の北陸新幹線金沢開業に伴い、首都圏から訪れる観光客の回遊性を大きく高め、石川県の更なる発展に寄与するものと考えている。

最後に、本事業を進めるにあたり、多大なるご尽力を頂きました関係各位に、心から感謝申し上げます。

# 祝 舞鶴若狭自動車道「若狭さとうみハイウェイ」開通

福井県土木部高規格道路推進課 田中 龍

## 1.はじめに

今年7月20日に、舞鶴若狭自動車道の小浜IC～敦賀JCT間（39km）が開通しました。当区間の開通により、舞鶴若狭自動車道は全線開通しました。

今回は、福井県待望の舞鶴若狭自動車道の全線開通について報告します。



【開通後の舞若道 若狭上中～若狭三方間】

中国自動車道、名神高速道路および北陸自動車道と一体となり、関西圏、中京圏、北陸圏の広域ネットワークを形成し、福井県嶺南地域（敦賀市、小浜市、美浜町、高浜町、おおい町、若狭町）の産業の振興並びに文化交流の促進に大きく寄与することが期待されています。

舞鶴若狭自動車道が全線開通することにより、嶺南地域における交通の利便性が向上します。また、嶺北地域と嶺南地域が一つの高速道路で繋がることにより、嶺北と嶺南が一体となり、交流の促進に寄与します。

さらには、災害時における代替ルートとして機能することで、道路交通の信頼性の確保に重要な役割を果たすことが期待されています。

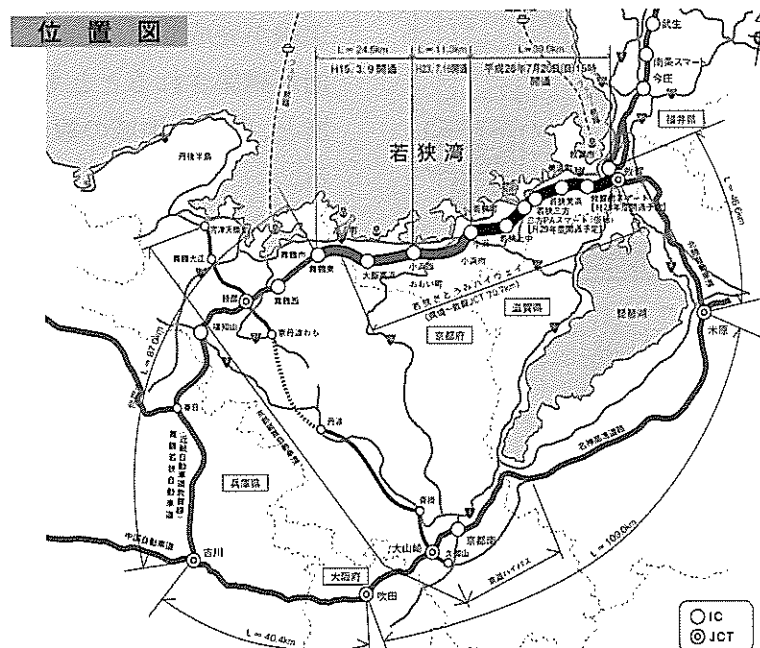
## 2.舞鶴若狭自動車道の概要

### 2.1 概要

舞鶴若狭自動車道は、吹田市を起点として、中国自動車道の吉川JCTから分岐し、福知山市、舞鶴市、小浜市を経て敦賀市の北陸自動車道に至る延長約162km（中国自動車道の重複区間を除く）の高速道路です。

### 2.2 開通までの経緯

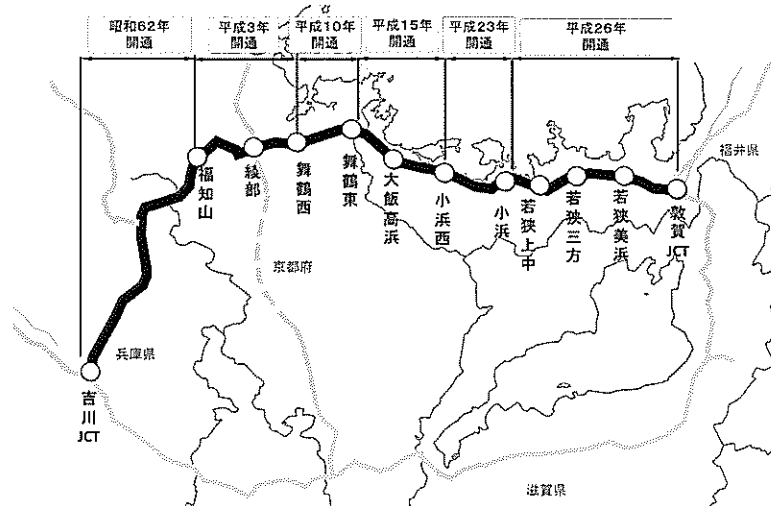
舞鶴若狭自動車道の前身である近畿自動車道舞鶴線の基本計画決定がなされたのが昭和45年、まさに半世紀にわたる事業が今回開通を迎えたこととなります。全長162kmの整備、開通は兵庫県側から順次行われ、福井県としては、待望の全線開通となりました。



【舞鶴若狭自動車道の広域位置図】



- 昭和41年 7月 1日 国土幹線自動車道路建設法で7,600kmのネットワーク制定  
(近畿自動車道敦賀線の前身である近畿自動車道舞鶴線の指定)
- 昭和61年 4月22日 道路名称が「舞鶴自動車道」に決定
- 昭和62年 6月30日 第4次全国総合開発計画で14,000kmの高規格幹線道路網が打ち出される
- 昭和62年 9月 1日 近畿自動車道敦賀線が国土開発幹線自動車道に指定
- 平成元年 2月27日 舞鶴～敦賀間の基本計画決定
- 平成 3年12月 3日 舞鶴～大飯間の整備計画決定
- 平成 8年12月27日 大飯～敦賀間の整備計画決定
- 平成14年 4月 5日 道路名称を「舞鶴若狭自動車道」に変更
- 平成15年 3月 9日 舞鶴東～小浜西の供用開始
- 平成23年 7月16日 小浜西～小浜間の供用開始
- 平成26年 7月20日 小浜～敦賀間の供用開始(全線開通)



【舞鶴若狭自動車道全線供用までの経緯】

### 3. 期待される整備効果

#### 3.1 広域ネットワークの構築

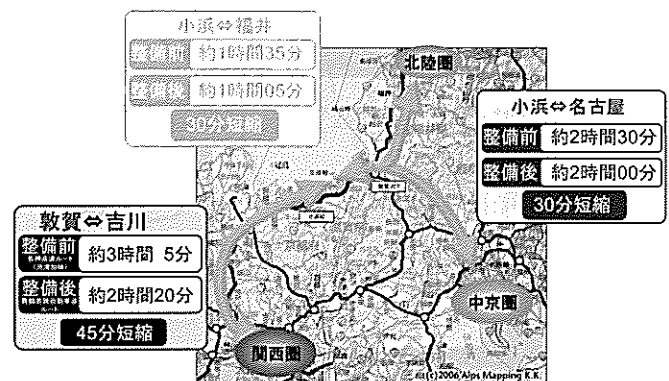
舞鶴若狭自動車道の開通により嶺北地域、嶺南地域が高速道路で繋がり、嶺北・嶺南の一体化が図られ、これまで以上に県内交流の活性化が期待されます。また、中国自動車道、名神高速道路、北陸自動車道と一体となり、関西圏、中京圏、北陸圏の広域ネットワークを形成します。さらには、日本海国土軸の一翼を担い、東西交通の円滑化を促進し、嶺南地域、近畿圏の経済発展に大きく貢献します。



【広域ネットワークの構築】

#### 3.2 移動時間の短縮

舞鶴若狭自動車道の開通により、小浜～福井間は1時間35分が約1時間5分、小浜～名古屋間は約2時間30分が約2時間に所要時間が短縮されます。また、神戸方面においても、名神高速道路の草津～吹田間の渋滞が頻発する区間を通過する必要がなくなるため、定時性が確保されます。



【各方面への所要時間の短縮】

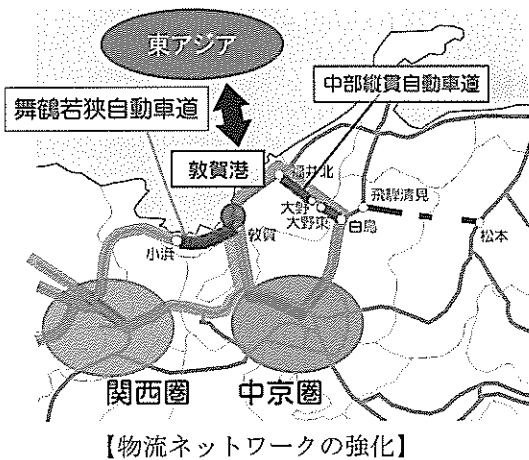
### 3.3 交流人口の増加

時間短縮により一日交流圏が拡大し、嶺南地域の観光入込客数の増加や観光の広域化に寄与します。

また、沿線地域の様々なプロジェクトの推進により、地域振興が図られます。

### 3.4 物流ネットワークの強化

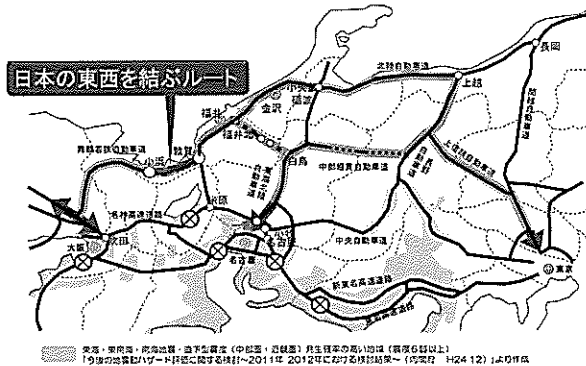
舞鶴若狭自動車道及び中部縦貫自動車道の全線開通により、関西圏、中京圏との物流ネットワークが強化され、嶺南地域の産業振興に寄与します。



### 4.5 大規模災害時の代替ルート

東京、大阪間の太平洋側には東名高速道路、名神高速道路が主要な東西軸として機能しています。日本海側についても、北陸自動車道が整備され東西軸の一部を構成していますが、福井県の嶺南地域はミッシングリンクとして残ったままでした。

舞鶴若狭自動車道の開通により、日本海側の東西軸が強化されました。現在、危惧がされている東海、東南海、南海地震が発生し、太平洋側の国土軸が通行止めなどで機能を果たさなくなった際にも、国土の東西を結ぶ代替ルートとなることが期待されています。



### 4.広報

高規格道路推進課では、これまで、国等への要望活動とともに舞鶴若狭自動車道など県内の高規格幹線道路への理解、利用促進のために様々なイベントでPR活動などを行ってきました。

近年は、公共事業予算の減少や、補修系事業への予算配分の傾向から、改良系などの道路整備への理解を得ることが特に重要となっています。このようなことから、地元の方や利用者の理解を得て、整備促進への機運を高めるため、道路の必要性などについて広く広報を行っています。

具体的には、県内各地での道路整備についての出前講座や、各種イベントでの道路整備を訴えるペーパークラフト教室の開催、県庁ホールにおける開通へのカウントダウンなどを行いました。



【開通までのカウントダウンとPR用ペーパークラフト】

また、この全線開通の機会に、県民や観光客の皆様が親しみを持っていただけるよう、観光営業部では、福井県内区間の愛称を募集しました。応募のあった名称の中から、嶺南地域の特徴を端的に表しているもの、県民や観光客の皆様が親しみをもてるもの、呼びやすいものといった視点から選考を行い、「若狭さとうみハイウェイ」に決定しました。

### 5.プレイベントの開催

開通に先立ち、一週間前の7月13日（日）には、敦賀市、美浜町、若狭町、小浜市の各地で全線開通記念プレイベントを開催しました。当日は、雨にもかかわらず、合計約7,150人の参加者がウォーキングやサイクリングを楽しみました。

開会式が行われた三方五湖PAでは、サイクリングが行われ、三方五湖PA～若狭上中IC間の往復約14kmをそれぞれのペースで完走しました。親子でマ

マチャリに乗りのんびりと参加された方々、ロードバイクで風を感じて走られた方、変わり種自転車で参加された方々など、色々なスタイルで開通後には走ることが出来ない高速道路を楽しみました。



【ウォーキングイベントとサイクリングイベント】

## 6.開通式の開催

県やNEXCOで構成する開通式実行委員会は、7月20日（日）15時開通を前に、開通式典を開催しました。また、開通にあわせたイベントも行われました。

開通式典は美浜町総合体育館において開催され、国や県、嶺南地域の各市町、中日本高速道路（株）などの関係者約470人が出席しました。式典では、地元住民の高速道路への期待の声を集めた映像放映や、地元敦賀高校のブラスバンド部による演奏が行われました。



【開通式典】

また、三方五湖PA付近の本線上ではパレードが行われました。嶺北地域の楽団「ふくいwind brass」の演奏のもと、地元企業のコンテナ車、漁業協同組合の保冷車や、福井県の野球チーム「ミラクルエレファッツ」のラッピングバスなど地域の車両などがパレードを行い、開通を祝いました。

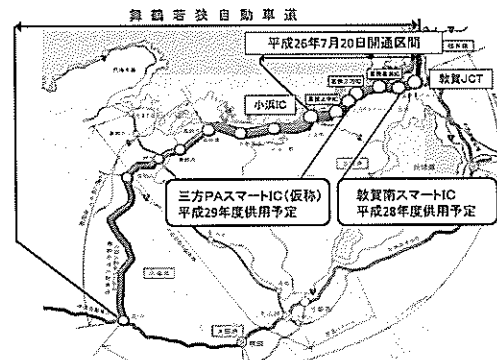


【ブラスバンド演奏と車両パレード】

さらに、三方PAに近接する縄文ロマンパークでは、「若狭路さとうみフェスティバル」が20日（日）、21日（月・祝）の2日間開催されました。嶺北、嶺南のふるさと芸能ステージ、地元レストランの出店など本県の魅力を楽しんでいただき、開通を祝う人たちで大いに盛り上がりました。

## 7.今後の展望

今回の開通により、関西、中京、北陸を結ぶネットワークが形成され、福井県嶺南地域の産業の振興並びに文化交流の促進に大きく寄与することが期待されています。今後は、さらなる効果発現のために、敦賀南スマートICや三方PAスマートICの整備促進に努めてまいります。



【整備中のスマートIC】

## 8.おわりに

舞鶴若狭自動車の全線開通は四半世紀におよんだものであり、会委員のみなさま方のこれまでのご尽力の賜であり厚く感謝申し上げます。今後とも福井県の高規格幹線道路の整備促進にご協力いただきますようお願いいたします。

# 福井県コンクリート診断士会 発足後の 10 年のあゆみ

福井県コンクリート診断士会 会長 石川 裕夏

## 1. コンクリート診断士の資格制度

コンクリート診断士は、平成 13 年に設けられた資格制度で、公益社団法人日本コンクリート工学会がこの資格の認定を行う。コンクリート診断士制度規則によれば、コンクリート診断士は“コンクリートおよび鉄筋等の診断における計画、調査・測定、管理、指導および判定、ならびにそれらの品質劣化に関する予測および対策等を実施する能力のある技術者”と定義されており、コンクリート構造物の維持管理全般に係る技術を有することが求められている。

我が国の社会インフラの維持管理が喫緊の課題となるなか、コンクリート診断士に対する期待は大きく、コンクリート診断士が果たすべき社会的役割や責任も極めて大きい。

## 2. 福井県コンクリート診断士会の発足

福井県コンクリート診断士会は、コンクリート診断士の技術力の向上と社会的地位の向上を図るとともに、コンクリート構造物の維持管理に貢献して社会の発展や安全に寄与することを目的として、平成 16 年 3 月、全国に先駆けて発足した(写真-1)。



写真-1 設立総会(平成 16 年 3 月 26 日)

設立時は、わずか 13 名の正会員(コンクリート診断士)で活動を始めたが、現在では、正会員 99 名、賛助会員(法人) 24 社、賛助会員(個人) 3 名を擁するようになり、平成 26 年 3 月には、設立 10 周年を迎えることができた。

設立以来、本会ではコンクリート診断士としての資質を高めるための研修会の開催をはじめ、地元自治体への技術支援やコンクリート診断士の受験者に対する支援などを積極的に行ってきた。

特に、地域との密接な連携を軸にした地域密着型の活動は、本会の大きな特長であり、地元自治体や大学で構成される橋梁長寿命化委員会への会員の派遣のほか、地元自治体向けの講習会への講師の派遣などを行い、地域に根差したネットワークをこれまで着実に育んできた。

以下、福井県コンクリート診断士会の発足後 10 年の活動を振り返る。

## 3. これまで取り組んできた事業

発足後の 10 年で、本会が行ってきた主な事業は以下の通りである。

### 3.1 研修会事業

コンクリート診断士としての資質を高めるべく、本会が最も力を注いできたのが研修会事業で、発足以来、延べ 58 回の研修会を開催してきた。これまで開催してきた研修会の主な内容は、現場見学会や技術交流会、オープンセミナーなどである。

現場見学会は、この地域のコンクリート構造物の劣化の現況や補修・補強工事の施工方法等を理解する目的で、これまで年数回開催してきた(写真-2)。橋梁やロックシェッドなどの電気防食工事やトンネルのひび割れ注入工や導水工といった補修・補強工事の見学、アルカリ骨材反応や塩害による劣化構造物の現状視察などを行い、補修・補強工事の留意

点などの理解を深めるとともに、この地域で生じている劣化の状況の把握に努めてきた。

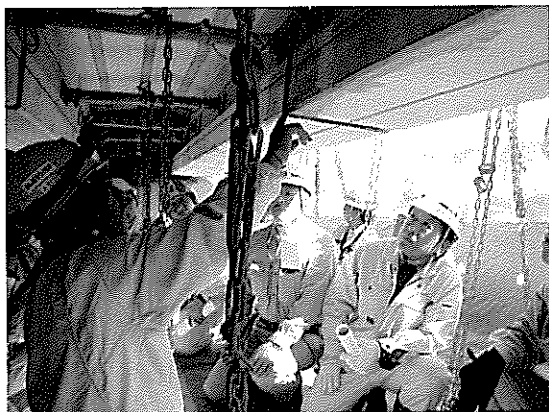


写真-2 現場見学会(河野大橋電気防食工事)

技術交流会は、平成 18 年度以降、毎年開催しているもので、本会の会員に自身の診断業務や維持管理に関する業務の経験を発表頂く研修会である(写真-3)。実務経験からしか得られない現場の情報を会員で共有するとともに、会員同士の技術的なネットワークを育む目的で開催してきた。これまで延べ 49 名の会員が発表を行い、質疑応答や意見交換も毎回、活発に行われている。



写真-3 平成 23 年度 技術交流会

オープンセミナーは、会員以外の方にも広くご参加頂くオープン形式のセミナーで、全国的にも著名な講師を招いて、平成 17 年度以降、毎年開催している(写真-4)。地元自治体職員やゼネコン、コンサルタント関係者など、会員以外の方も含めて毎年

100 名以上の方にご参加頂き、維持管理に関する最新の技術のほか、維持管理の現状や今後のあり方などの理解を互いに深めている。



写真-4 平成 22 年度 オープンセミナー  
(講師：京都大学 藤井 聡 教授)

### 3.2 地元自治体との協働事業

公共構造物など、多くのコンクリート構造物の管理者である地元自治体との連携や協調は、「地域のコンクリート構造物の維持管理に貢献する」ことを標榜する本会にとって非常に重要な取り組みである。発足以来、福井県をはじめとする地元自治体との連携による事業を数多く行ってきた。

福井県では、平成 20 年に福井県および福井県内市町の橋梁長寿命化修繕計画策定委員会を産学官の枠組みで発足させたが、本会もこの委員の一員として参画させて頂いた。昨年度まで、福井県および福井県内市町の委員会(福井市、敦賀市、小浜市、大野市、勝山市、鯖江市、あわら市、越前市、坂井市、池田町、南越前町、越前町、美浜町、おおい町、若狭町)に延べ 16 名を委員として本会から派遣している(写真-5)。なかでも、市町の委員会については、その市町に実際に居住している会員を派遣することにし、市町の地域事情により詳しく、また将来にわたって継続的にその市町の維持管理に関わることのできる会員を派遣してきた。また、維持管理に関する技術検討会(福井県橋梁塩害対策検討会、河野大橋補修・維持管理計画検討会など)にも委員を派遣してきたほか、コンクリート構造物の維持管理に関連する「橋梁定期点検マニュアル(案)」や「コ

ンクリート火災後対応マニュアル」の策定にも技術協力をを行った。



写真-5 福井県橋梁長寿命化修繕計画策定委員会

これらに加えて、地元自治体職員向けの技術講習会への協力も積極的に行っている。なかでも、平成23年度以降は、非破壊検査機器を用いての点検技術や診断技術を実地で学ぶ自治体職員向けの橋梁点検研修を毎年開催し、多くの自治体職員に参加して頂き、好評を得ている(写真-6)。この研修以外にも、若手職員向けの座学形式の講習会や仕様書の改訂に伴う講習会に講師を派遣するなどし、自治体職員の技術力の向上に寄与している。

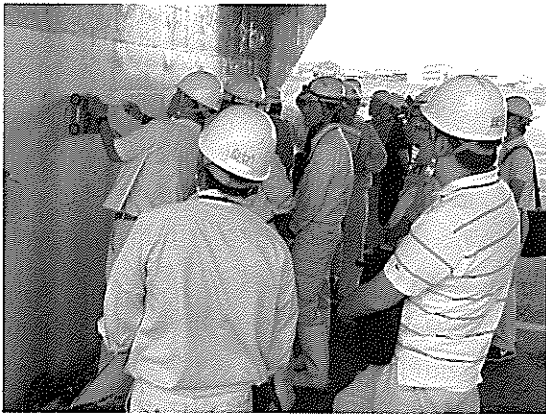


写真-6 自治体職員向けの橋梁点検研修

### 3.3 北陸三県コンクリート診断士の連携事業

福井県と同様の地理的条件を有し、維持管理上の共通の課題を有する北陸三県のコンクリート診断士会(福井県コンクリート診断士会・石川県コンク

リート診断士会・富山県コンクリート診断士会)が連携して活動を行う連携推進事業を平成22~23年度に実施した。この連携推進事業は、日本コンクリート工学会中部支部の支部会員活性化のための活動費用助成事業として行ったもので、「北陸三県のコンクリート診断士会が抱える技術的課題」と「北陸三県のコンクリート診断士会の社会的役割」を明確にすることを目的に活動を行った。これらの意見集約を行うために開催した「コンクリート構造物の調査・診断技術の向上に関するフォーラム in 金沢(主管:石川県コンクリート診断士会)」、「コンクリート診断士のこれからの役割を考えるフォーラム in 福井(主管:福井県コンクリート診断士会)」では、計320名を超える参加者が全国から集い、以下のとおりの所論をまとめた。

#### 北陸三県コンクリート診断士会が抱える技術的課題

1. 塩害、ASR、凍害などの複合劣化に対する調査・診断、補修・補強技術が求められる。
2. 特に、寒冷地のコンクリート床版に対する対策は重要である。
3. コンクリートの耐久性のみでなく、構造物全体としての耐力の診断技術が求められる。
4. コンクリート診断士会として、老朽後の対策技術のみでなく、フレッシュコンクリートを取り扱ううえでの基本的事項に対する啓蒙も必要である。
5. 維持管理に加えて、歴史的価値の高い構造物については「保存技術」も求められる。

#### 北陸三県コンクリート診断士会の社会的役割

1. コンクリート診断士としての資質向上や技術の集積を図る役割
2. 地元自治体や他団体に対して技術支援や協働を図る役割
3. コンクリート診断士の存在や維持管理の重要性を広報する役割
4. コンクリート診断士同士や地元自治体・他団体のネットワークを構築する役割

### 3.4 コンクリート診断士の受援者支援事業

コンクリート診断士試験の受験者に対する支援として、公益財団法人福井県建設技術公社との共催による「コンクリート診断士受験対策セミナー」を平成21年度から毎年2回、開催している(写真-7)。

セミナー開催後も、試験に関する質問の受付などを行っており、この受験対策セミナーの受講生から、多くのコンクリート診断士が誕生している。

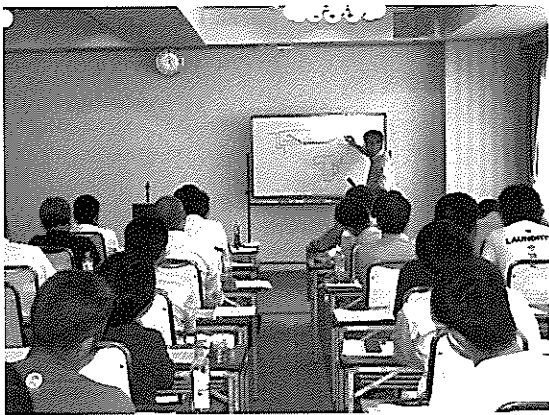


写真-7 コンクリート診断士受験対策セミナー

### 3.5 広報事業

本会が行う活動の広報として、パンフレットの作成や配布、ホームページの運用などを常時行ってきた。平成22年度からは、建設技術フェア実行委員会が主催する福井建設技術フェアに毎年出展し(写真-8)、一般市民の方々にも本会の活動を知って頂く取り組みを行うとともに、維持管理の重要性の啓発を行っている。



写真-8 フクイ建設技術フェアへの出展

## 4. 本会の会員数の推移と業種別の構成状況

本会の年度ごとの会員数の推移を図-1に、本会の正会員の業種別の構成を図-2に示す。

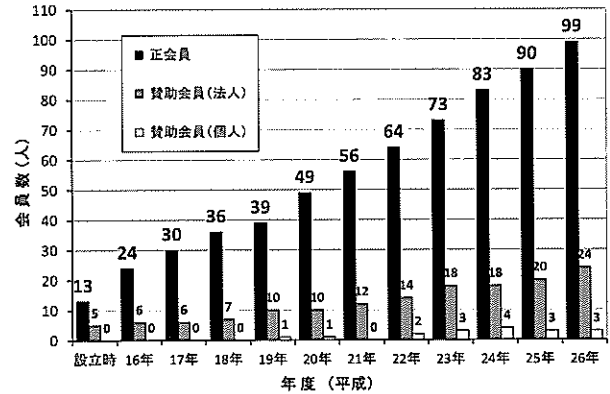


図-1 年度ごとの会員数の推移

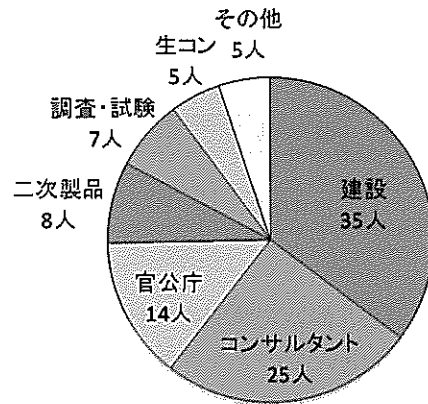


図-2 正会員の業種別の構成

本会の発足後、会員数は増加の一途をたどり、間もなく100名に到達する状況になっている。正会員数は、北陸三県のコンクリート診断士会のなかで、最も多い。

また、業種別の構成状況は、建設関係、コンサルタント関係に続いて官公庁関係者が3番目に多い状況にある。官公庁関係者がこれだけ多くコンクリート診断士会に参画しているのは、全国的にも非常に珍しく、これは本会の活動に対する理解が地元自治体にまで浸透していることや、自治体との協働や支援事業などを通じて自治体と良好な関係が築けていることの表れともいえる。

## 5. コンクリート診断士の登録者数

全国のコンクリート診断士の登録者数は、平成 26 年 4 月 1 日時点で 10,500 名である。都道府県別のコンクリート診断士の登録者数は、表-1 に示すとおりで、東京都や大阪府など、大都市に集中しており、福井県の登録者数は 131 名で、全国のなかでは 20 位とほぼ中位に位置する。

表-1 都道府県別コンクリート診断士の登録者数

順位	都道府県	登録者数 (人)
1	東京都	1,701
2	大阪府	854
3	北海道	741
4	神奈川県	626
5	福岡県	558
18	石川県	134
19	京都府	133
20	福井県	131
24	富山県	120

しかしながら、都道府県別の人口規模を考慮した「人口 10 万人あたりのコンクリート診断士の登録者数（都道府県別人口データ：総務省人口統計，平成 25 年 10 月 1 日）」は、表-2 に示すとおり、福井県は全国でトップに位置している。

表-2 都道府県別人口 10 万人あたりの  
コンクリート診断士の登録者数

順位	都道府県	登録者数 (人)
1	福井県	16.5
2	宮城県	15.4
3	香川県	14.6
4	島根県	14.0
5	北海道	13.6
6	東京都	12.8
7	広島県	12.6
8	新潟県	12.1
9	石川県	11.6
10	富山県	11.2

この背景としては、福井県をはじめとする北陸地区はコンクリート構造物の劣化環境が厳しいこともあって、コンクリート構造物の維持管理に対する意識や関心が高い地域性を有することが挙げられる。また、福井県では、全国で最も早くコンクリート診断士会が発足したこともあって、コンクリート診断士の資格制度が早くから広く認知され、コンクリート診断士の取得を目指す技術者が多いこともこの要因の一つと考えられる。さらには、コンクリート診断士の受験者の支援を積極的に行ってきた効果とも考えられ、本会のこれまでの活動の大きな成果ともいえる。

全国的にみても、コンクリート診断士会が設立されている都道府県では、人口あたりの登録者数が多い傾向にある。

## 6. これからの展望と行動指針

これまでの活動を通じて、コンクリート構造物の維持管理を行うには、地域の特性を十分に考慮しなければならず、「地域のコンクリート構造物は、地域で維持管理をしていかなければならない」ということを強く認識してきた。「地域のコンクリート構造物は、地域のコンクリート診断士で維持管理を行う」というのは、我々の活動の基本理念でもある。

これまでの活動を通じて得られた知見、本会が抱える現状の課題をふまえ、本会のこれからの行動指針を以下に示す。

### ① コンクリート診断士の資質向上を図り続ける

コンクリート診断士の資質向上を図ることは、コンクリート診断士会にとって最も重要な役割であり、我々は最優先で取り組まなければならない。業務経験が少なく、技術の伴わない、まるでペーパードライバーのようなコンクリート診断士も現実に存在するが、本会の研修事業などを通じて実務遂行能力のあるコンクリート診断士を養成しなければならない。全国共通の画一的で、通り一遍の診断技術や維持管理技術の研修だけでなく、地域特性をふまえた実践的な技術の研鑽が必要不可欠である。特に、福井をはじめとするこの北陸地区では、「塩害」、「ASR」、「凍害」に対する調査・診断、補修・補強の技術や寒冷地のコンクリート床版の維持管理技



術の確保が求められており、これらに重きを置いた技術の研鑽が必要である。

また、この地域でのコンクリート診断士をより多く輩出すべく、コンクリート診断士の受験者に対する支援も求められている。「この地域でのコンクリート診断士の絶対数がまだまだ少ない」という自治体からの意見もあり、この地域でのコンクリート診断士を増やす取り組みも我々にとって重要である。

## ② 地域密着型の社会貢献活動を推進する

我々にとって、コンクリート建造物の管理者である自治体との連携は欠かせない。自治体側も、我々に技術的な支援や協力を求めている。自治体が行う維持管理計画への参画や自治体職員に対する技術研修、自治体からの技術相談への対応や技術サポートなど、自治体に対して我々が協力できることは多い。これらはボランティアとしての活動が中心になるが、これらの活動を通じて「コンクリート診断士の存在や能力、さらにコンクリート診断士の必要性」などを自治体を実感してもらうことが我々にとって重要なのである。自治体にコンクリート診断士の存在や能力、必要性を理解してもらうことで、コンクリート診断士の活躍の場も広がる。我々にとって、コンクリート診断士の資格要件化の取り組みも重要であるが、あくまで自治体に対する貢献活動の延長線上で資格要件化をはたらきかけなければならない。

また、我々は多様な専門分野を有する技術者集団として、多岐にわたる技術知見を集積できる。これまでのコンクリート建造物の診断や維持管理で得られた課題や知見をコンクリート建造物の更新や新設時における設計や施工、フレッシュコンクリートの技術に生かすための取り組みも行いたい。

## ③ 維持管理の重要性を市民に広く伝え続ける

笹子トンネル天井板崩落事故以降、維持管理がまさに喫緊の課題であることが市民にも広く理解されるようになった。しかしながら、コンクリート建造物の劣化の現状や維持管理の取り組みについての情報は、まだ正確には伝わっていない。また、一般市民レベルでは、コンクリート診断士の存在もほとんど知られ

ていないようである。自治体に対するコンクリート診断士の広報活動を続ける一方で、一般市民に対しても維持管理の重要性や維持管理の必要性を伝える広報活動も進めなければならない。一般市民に対する広報の必要性は、自治体においても十分に認識されており、これは自治体と協働で取り組むべきものである。

また、歴史的価値の高い建造物の存在やその意義を広く啓蒙することやこれらの保存技術を構築する取り組みも、維持管理の重要性や維持管理の必要性を伝える広報活動の一環として有効である。我々コンクリート診断士にとっても、歴史的価値の高い建造物から学ぶべきことは多い。

## ④ 地域を中心に信頼のネットワークを構築する

地元自治体や他団体とのネットワークの形成は重要である。特に、地元自治体との信頼関係の構築はコンクリート診断士の活躍の場を広げるためにも欠かせない。地域を中心にした信頼のネットワークの構築が我々に求められている。

また、本会は、幅広い業種、多様な専門領域を有する技術者の集まりであり、対外的なネットワークだけでなく、コンクリート診断士同士のネットワークを形成する役割も担う。コンクリート建造物の診断や維持管理には、異なる専門分野の技術や知識を必要とする場面も多いが、専門分野の異なるコンクリート診断士同士のネットワークは会員にとっての大きな財産である。専門分野の異なるコンクリート診断士のネットワークをどれだけ有してしているかは、コンクリート診断士の技量の一つともいえる。コンクリート診断士会としても、コンクリート診断士同士のネットワークを形成すべく、コンクリート診断士同士の交流を育みたい。

## 謝辞

福井県コンクリート診断士会は、これまで多くの方々のご支援を頂いてきました。

本会の設立以来、多大なるご支援やご助言を頂いてきた鳥居和之教授（金沢大学）をはじめ、本会の活動にご協力を頂いたすべての皆様に、この場を借りて感謝申し上げます。

# 『舞鶴若狭自動車道』全線開通報告

中日本高速道路株式会社 金沢支社 水上 秀夫

## 1. はじめに

平成26年7月20日に舞鶴若狭自動車道(舞鶴若狭道)の小浜IC~敦賀JCT間の延長39kmが開通し、舞鶴若狭道の吉川JCT~敦賀JCTが全線開通となった。

舞鶴若狭道は、中国道の吉川JCTを起点とし、福知山市、舞鶴市、小浜市を経て敦賀市の北陸道に至る約162kmの路線である。この全通により、近畿~北陸における日本海側の高速道路ネットワークが完成した。

今回開通した小浜IC~敦賀JCT間の道路規格は第1種第3級、設計速度80km/hの暫定2車線道路である。平成元年の基本計画決定、平成8年の整備計画決定、平成10年の施行命令をうけて、平成16年12月から本格的に工事着手し、約10年後の平成26年7月に全通を迎えた(図-1)。

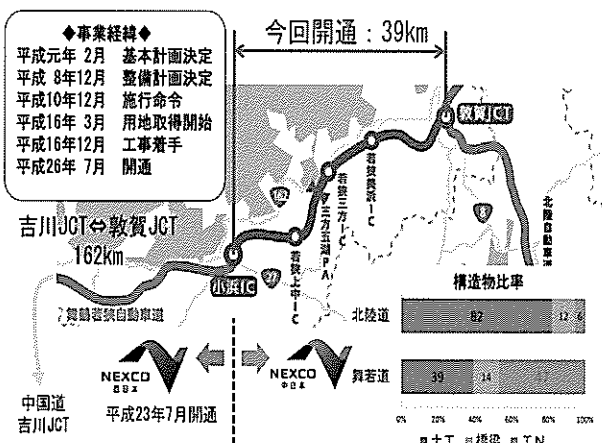


図-1 舞鶴若狭道開通区間

路線は北側に海、南側は山に挟まれた地形を通過することから、開通延長39kmのうち、土工区間の比率が39%、橋梁区間が14%、トンネル区間が47%を占めており、北陸道に比べてもトンネル構造が多い山岳道路となっている。工事は三方湖を中心とした軟弱地盤地帯における土工工事や、多数の重要交差物や近接構造物があるなかで施工した敦賀衣掛大橋、トンネル坑口が近接した鳥浜TNの施工などの技術的な特徴がある。

今回の開通区間である若狭地方はラムサール条約湿

地にも登録されている名勝「三方五湖」や歴史文化遺産である「気比神社」などの景勝地および海水浴場など豊富な観光資源を有する地域である。開通によりこれら観光や産業の活性化などが期待されている。

ここでは舞鶴若狭道全線開通後の整備効果や交通動向、施工技術の特徴、ネットワークの強化などについて報告する。

## 2. 広域ネットワークの形成

今回、小浜IC~敦賀JCTが開通し、舞鶴若狭道は敦賀JCT~中国道と接続する兵庫県の吉川JCTまで(延長約162km)の全線が開通した。

この開通により福井県の嶺南地域と嶺北地域の移動時間が短縮され、地域間交流や連携を深めるとともに、舞鶴若狭道と、中国道、名神、北陸道と一体となった広域ネットワークが形成されたことにより、北陸、東海、近畿地方をはじめ各地へのアクセスが向上した。

福井県の敦賀JCTから兵庫県の吉川JCTまでの距離は33km短縮された。舞鶴若狭道の所要時間は対面通行区間の規制速度が70km/hのため、名神ルートと同じ所要時間となるが、名神ルートが通行止になった場合などにも迂回ルートとして機能し、ルート選択の幅が大きく広がった(図-2)。

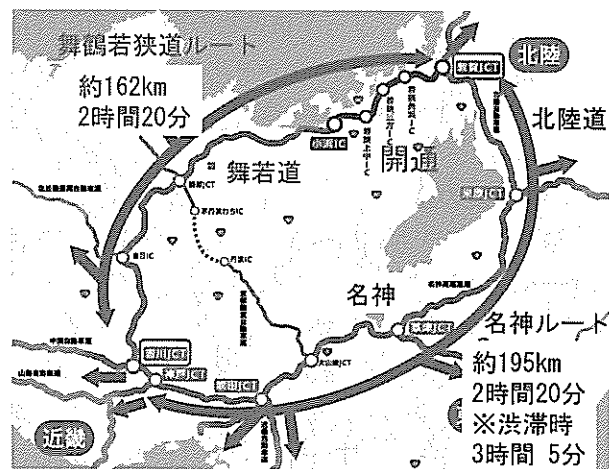


図-2 舞鶴若狭道を利用した広域ネットワーク

### 3. 地域との連携・活性化

今回開通区間の若狭地方には三方五胡や約 50 箇所もの海水浴場など多彩な観光スポットがある。全線開通により金沢から小浜の所要時間は約 35 分、名古屋から小浜の所長時間も約 35 分短縮される。さらに日本海側の周辺地域、例えば「天橋立と若狭」「東尋坊と若狭」などの高速道路ネットワークを活用した観光周遊パターンも充実される。このように、東海、北陸や中国地方と若狭地方の距離を縮め、「高速道路で行きやすい」という意識も加わり、観光客の増加が期待される。

全線開通により小浜市の竜前企業団地など若狭地方の産業団地へのアクセスが向上し、雇用の創出、地域との連携や活性化が期待される。さらに、平成 22 年には敦賀港に多目的国際ターミナルが供用し利便性が向上している。敦賀港の国際コンテナ取扱貨物量は年々増加しているが、舞鶴若狭道により近畿、東海からの物流時間が短縮し定時性も向上し、さらに敦賀港の利用が高まると期待される。

全線開通 1 か月後の観光への効果をみると、三方五胡のレインボーラインや福井県こども家族館などの福井県嶺南地域の主要観光地（図-3）では、前年同時期と比較して来場者数が約 20%増加した（図-4）。個別の施設においても、小浜市の若狭歴史博物館では、舞鶴若狭道の開通効果もあり、昨年と比較して来館者が約 4.5 倍に増加した。また、道の駅若狭おばまでは、福井

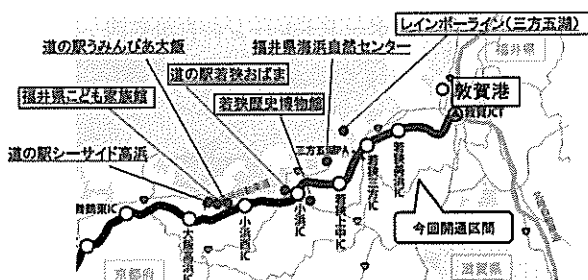


図-3 福井県嶺南地域の主要観光地

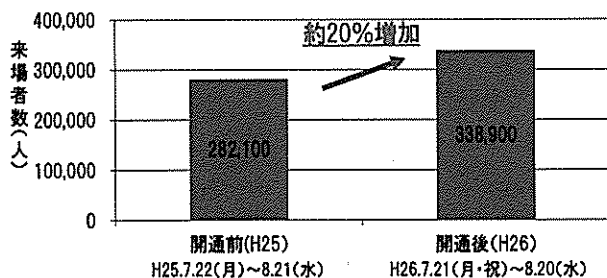


図-4 主要観光地の来場者数変化

県嶺北地域や東海地方からのお客様が増加するなど観光圏域が拡大している。福井県嶺北地域や京都府北部の観光地においても、舞鶴若狭道が開通した今年は、前年同時期と比較し、来場者数が増加した。

### 4. 開通 1 か月後の交通動向

開通 1 か月後の交通動向をみると、開通翌日の 7 月 21 日（月・祝）から 8 月 20 日（水）の小浜 IC～敦賀 JCT 間の 1 日あたりの利用台数は、約 9,100 台（平日：約 7,100 台、休日：約 12,200 台）であった。接続する北陸道の交通量は横ばいであったが、全通した舞鶴若狭道の既存開通区間の小浜西 IC～小浜 IC の 1 日あたりの利用台数も、約 3,700 台から約 7,400 台となり、約 2 倍に増加した（図-5）。

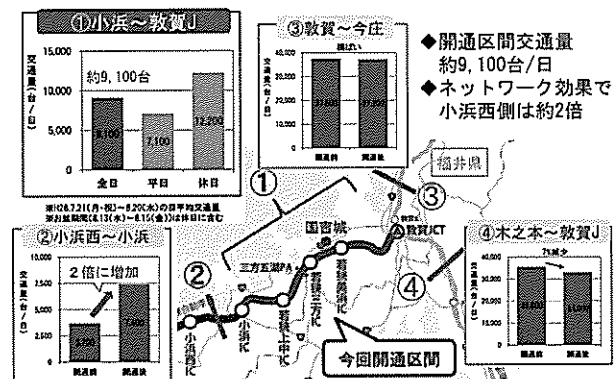


図-5 開通後 1 か月後の IC 間交通量

また、今回開通区間の若狭上中 IC、若狭三方 IC、若狭美浜 IC の 1 日あたりの利用台数は、平日は 700 台～1,500 台、休日は 1,300 台～2,300 台であった。平日は、福井県内の IC との利用が多くなっており、各 IC ごとの利用台数の 64%～72%を占めている。一方、休日は、近畿・東海地方との利用が多く、各 IC ごとの利用台数の 29～41%を占めている。これは平日に比べると近畿・東海地方との利用が 8%～13%割合増加していることになり、観光地へのアクセスにも利用されていると思われる（図-6）。

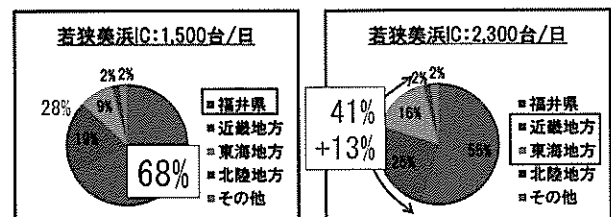


図-6 若狭美浜 IC の地域別利用台数

## 5. 施工技術の特徴

### 5.1 向笠地区の軟弱地盤対策<sup>1)</sup>

若狭地域の地形は、小浜平野の南縁を東西に走る「熊川断層」と三方平野の東縁を南北に走る「三方断層」があり、この2つの断層で挟まれた地域は「三遠(さんえん)三角地」と呼ばれる。この三遠三角地の海岸線はリアス式海岸を形成し、平野は内陸に深く狭長な埋積平野が伸びており、海への出口が閉塞された「おぼれ谷」とよばれる軟弱地盤地形が多数ある。なお、三方五湖は三遠三角地の沈降で生じた谷間に水を湛えた沈水湖である。舞鶴若狭道が通過する三方湖周辺は日本有数の軟弱地盤地帯であり、路線の約10kmは軟弱な粘性土および腐植土(N値が0~1程度)が10~40mの厚さで堆積している。盛土工事においては最大10mを超える大規模な沈下が発生した軟弱地盤地帯である(図-7)。

これらの軟弱地盤地帯の盛土工事の本施工に先だち、施工時の盛土安定性確保を目的に、三方五湖パーキング

エリア近傍の向笠地区において試験盛土を実施した。試験盛土では対策工の比較のため、以下3つの工区に区分した(図-8)。

- ①カードボードドレーン (CBD : 1.2m×1.2m 正方形, L=20m)による地盤改良
- ②サンドドレーン (SD : φ400mm, 2.0m×2.0m 正方形, L=20m)による地盤改良
- ③地盤改良無し

試験盛土は平成18年2月より盛土開始した。施工速度は高さ約3cm/日であり、約1年間で盛土8m盛り立てた。盛り立て完了後3年における沈下量は、SD(サンドドレーン)工法では11m, CBD(カードボードドレーン)工法は10m, 無対策盛土では6mであった。

この沈下記録と、あわせて観測した過剰間隙水圧のデータからは、ドレーン工法は、沈下に有効であることが確認できた。2つのドレーン工法のうち、材料費や施工費を比較し、CBD工法を採用することにした。さらに、

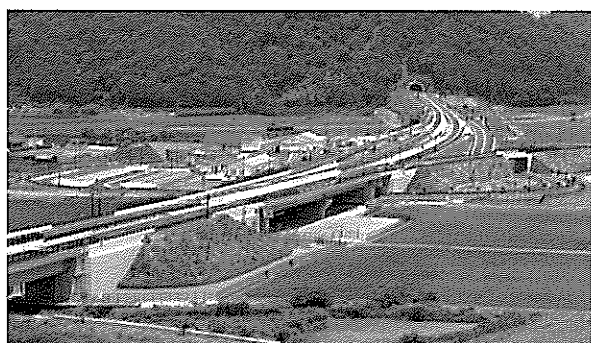


図-7 軟弱地盤地帯を通過する舞鶴若狭道

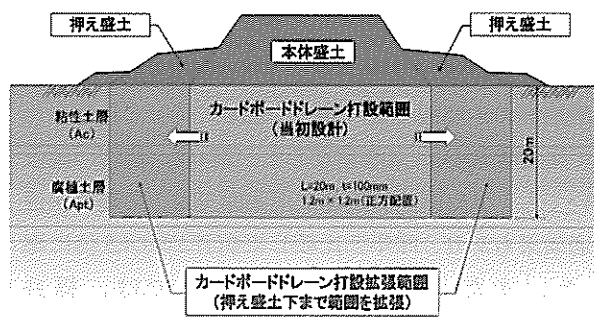


図-9 カードボードドレーンの打設範囲

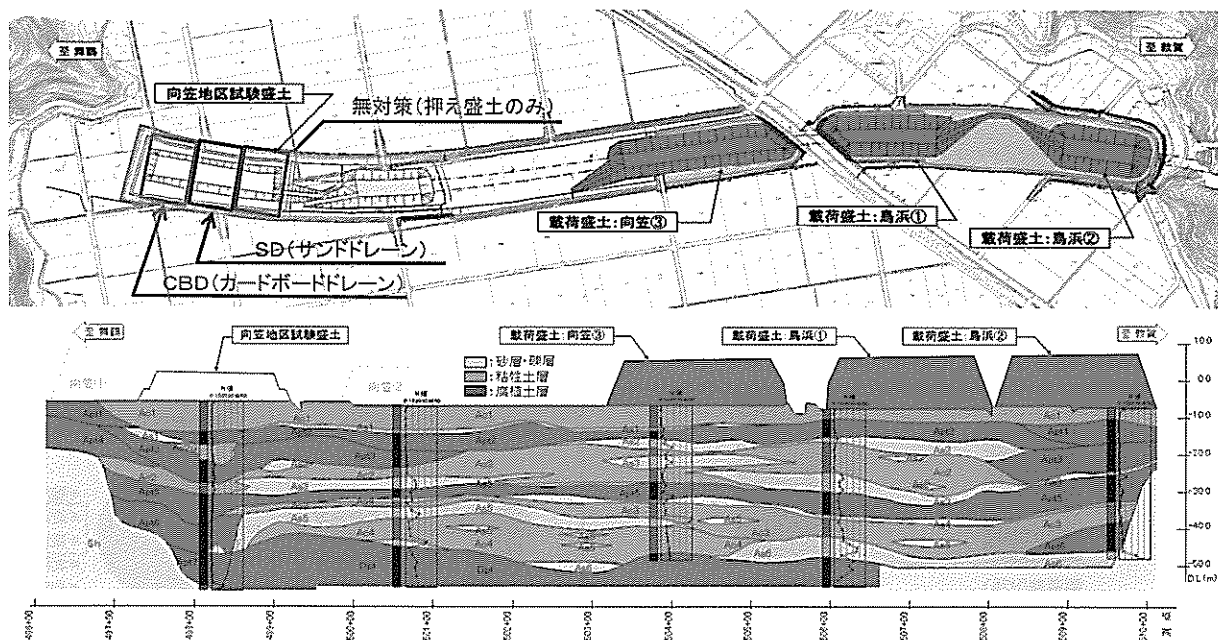


図-8 試験盛土箇所と周辺地盤

押え盛土下の圧密促進による強度増加のため押え盛土の下までCBDの打設範囲を拡張した(図-9)。

向笠地区のドレーン深さは20mであり、ボックスカルバート施工箇所にはあらかじめ載荷盛土をおこなった。ボックスは断面余裕をもって構築したが、施工後も約25cmの沈下が生じた。なお、ボックス裏込め部には軽量盛土(気泡混合軽量土)を採用し沈下を収束させている。これらの軟弱地盤地帯では場所によって将来的に1m程度の沈下が予測されている。したがって、管理段階で対応するためボックスのかさ上げや、構造物と土工部境の舗装縦断変更、ガードレールのかさ上げが可能な構造を採用している。

## 5.2 敦賀衣掛大橋の施工<sup>1)</sup>

敦賀衣掛大橋は敦賀JCTから西に約2kmに位置する橋長560m、最大支間160m、最大橋脚高63.5mの5径間連続波型鋼板ウェブ箱型ラーメン橋である。橋梁下には、JR北陸本線のトンネル、北陸電力の高圧電線、国道8号線、JR北陸本線、二級河川笹の川があり、これら重要交差物件との近接施工が必要であった(図-10、図-11)。

基礎部には2基のニューマチックケーソンを用いている。掘削には主に重機を用いたが、硬岩層部における施工効率を向上させるため、発破掘削を併用し、施工箇所には国道や民家が近接していることから、それらへの

影響を最小限にするために、分割発破方式を採用した。

急峻な地形であるA1およびP1施工ヤードへのアプローチには、通常であれば仮棧橋を架設するところであるが、本工事では工事用道路の借地面積および用地外の伐採面積の削減を目的として、インクラインを併用した。

インクラインは、高低差の大きい山腹に架台を設け、土砂運搬ダンプトラックおよびコンクリートミキサー車等の車両を台車に積載して斜面に沿って昇降する装置である。インクラインは、斜度が40°、高低差68m、軌条長124mの大型運搬設備であり、最大40tの積載が可能である。橋梁建設工事に用いられることは極めてまれであるが、施工機械や資材の搬入に活躍した(図-12)。

上部工の架設は、P1~P4それぞれの橋脚から行う張出し架設し、工事最盛期では計3橋脚、6トラベラーが同時稼働した。本橋の特徴である波形鋼板ウェブの架設は、工期短縮のため、先行架設工法を採用した。これは、張出しブロックのコンクリート打設後、トラベラーを移動する前に次ブロックの波形鋼板ウェブを架設する工法であり、コンクリート打設後の養生期間を有効活用することができる。施工にあたり、トラベラーの下段ステージ前方を拡幅したり、ステージ上の前方足場を省略したりして、波形鋼板を先行架設するスペースを確保するよう改良した。なお、これらの工法により、張出架設の

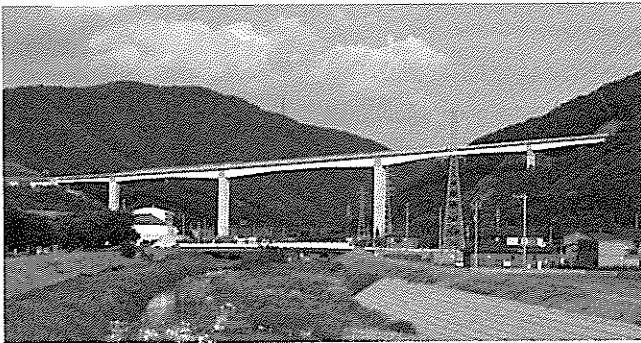


図-10 敦賀衣掛大橋の全景



図-12 インクラインの利用

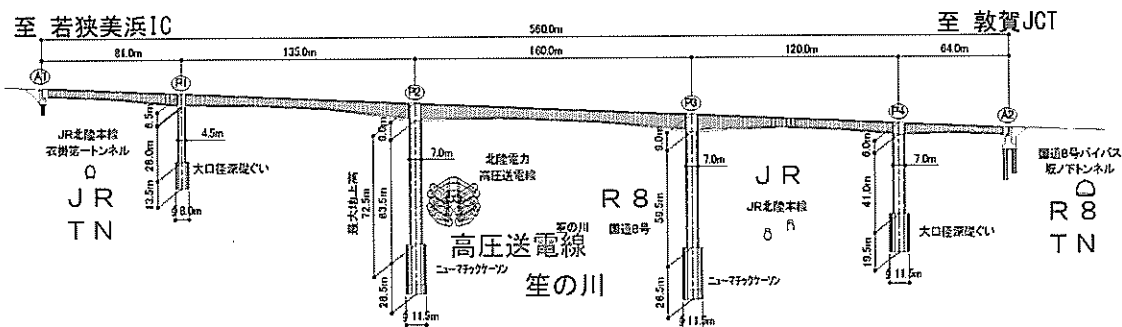


図-11 敦賀衣掛大橋と近接重要交差施設

施工サイクルは実働 6 日/ブロック程度の急速施工が可能となった (図-13)。

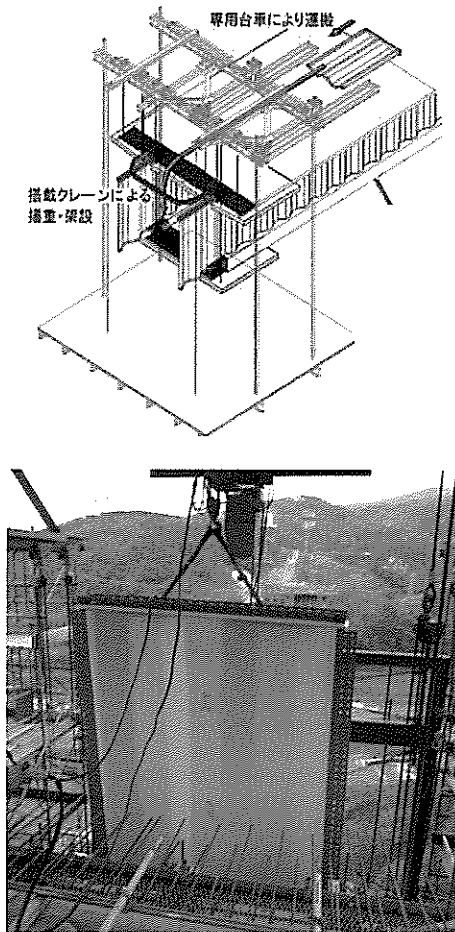


図-13 波型鋼板の架設

### 5.3 鳥浜トンネルの施工<sup>2)</sup>

鳥浜トンネルは三方五湖パーキングの西側に位置する延長 149m のトンネルである。このトンネルは両坑口部には有機質土が厚く堆積した軟弱地盤上に盛土が構築されている。このような地質・立地条件でトンネルの上下線の離隔を標準的なトンネル中心間隔 3D (30m) とすると、事業用地と軟弱地盤対策工の範囲が広大となり事業費は膨大となる。そこでトンネル離隔を縮小し超近接双設トンネル、いわゆる「めがねトンネル」を採用した。なお、トンネル部の地質は砂岩中に片岩がレンズ状に混入しており地山等級は D I に相当する (図-14)。

従来、超近接双設トンネルでは、支保脚部の地山の地耐力と切羽の自立性から 3 導坑方式または、中央導坑方式を採用して支保工脚部と中央壁を補強してきた。近年では、切羽の安定化技術の進歩によって無導坑方式の採用が増えつつある。鳥浜トンネルも当初設計では、上半先進工法で中央壁を薬液注入により補強する計画で



図-14 超近接双設トンネルの鳥浜トンネル

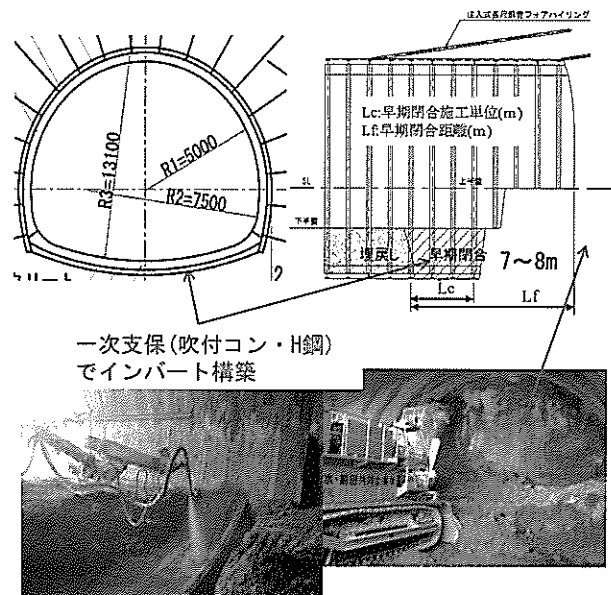


図-15 鳥浜トンネルの掘削と早期閉合

あった。しかし、早期閉合が可能な全断面工法の方がその有効性が高いと判断し、先進坑・後進坑の全線で早期閉合することで地山の緩みを極力抑制こととした。これは先進坑の一次支保構造は後進坑より剛な構造として、後進坑掘削時の増加荷重を先進坑に受け持たせ、中央壁は無補強で施工するものである。なお、掘削工法も、上半先進工法から機械掘削による補助ベンチ付き全断面工法とした (図-15)。

## 6. ネットワークの強化

### 6.1 防災対策の強化

舞鶴若狭道は災害時の避難道路となるほか、被災地の早期復旧の支援道路にもなる。平成 7 年に発生した阪神・淡路大震災では、寸断された中国道、阪神高速に替わり、舞鶴若狭道と国道 27 号線が東西を結ぶ代替ルートになった。全線開通により、その効果がさらに効果的に機能する。舞鶴若狭道は南海トラフ巨大地震の想定震

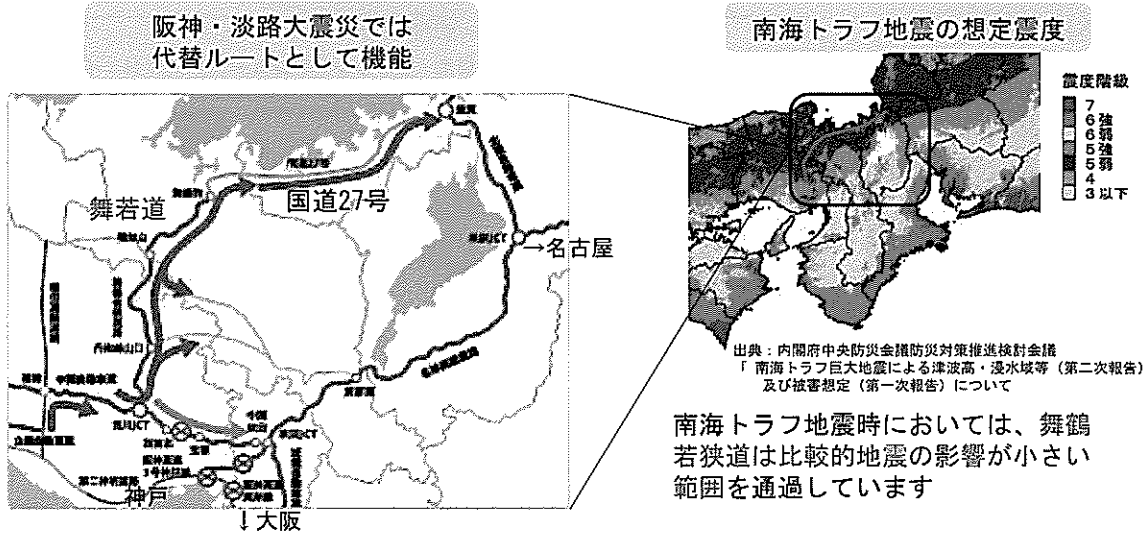


図-16 大規模地震発生時の代替ルート機能

度では比較的地震の影響が小さい範囲を通過している。したがって、舞鶴若狭道の全通で、今後予想される南海トラフ地震などの災害時には、より迅速な災害復旧が期待できる（図-16）。

## 6.2 道路の老朽化対策

近年、ネットワークが完成しつつあるなかで、今後大きな課題となるのが老朽化対策である。日本で初めての高速道路である名神が開通してから51年が経過し、全国高速道路の供用延長は約9,000kmとなっている。そのうち供用から30年以上経過した延長が約4割にのぼり、

さらに30数年後には供用後50年以上経過した延長は約8割を占めることになり急速に老朽化が進むことになる。北陸道も昭和47年の開通から40年以上が経過し老朽化が顕著になっている。

近年の高速道路では、大型車両の増加、積雪寒冷地における厳しい自然環境、短時間異常降雨の発生、海岸線通過路線の厳しい自然環境など、厳しい使用環境に直面している。このような使用環境のもと、橋梁を中心に床版部のコンクリートの剥離や鉄筋の腐食、コンクリートのひび割れなどの変状が顕著になっており、今後の耐久性が懸念されている。したがって、高速道路ネットワーク



図-17 高速道路の使用環境と構造物の老朽化 3)に加筆修正

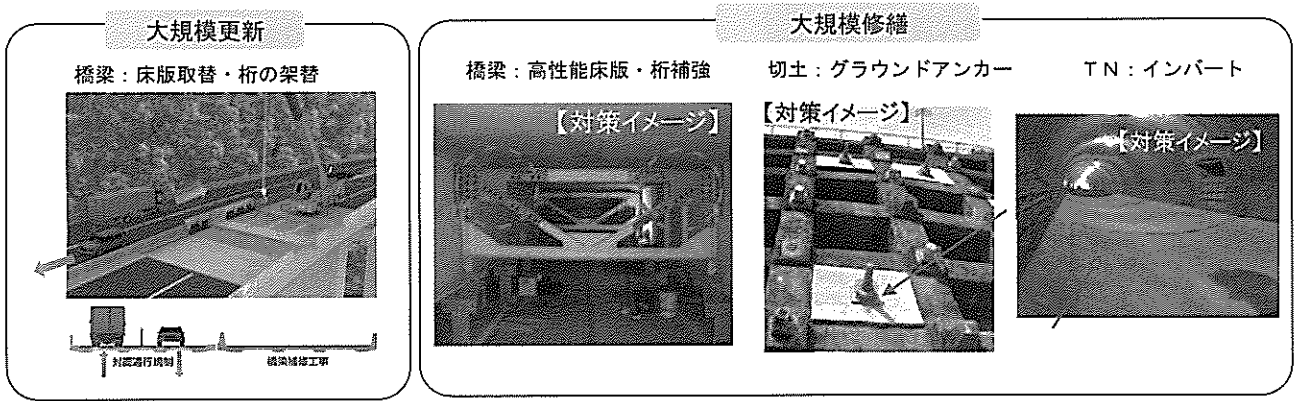


図-18 大規模更新・修繕の対策メニュー③に加筆修正



図-19 長寿命化・点検の効率化の対応

ク機能を長期にわたって健全に保ち、永続的に活用するためには「大規模な更新」や予防保全的な観点も取り入れた「大規模な修繕」が必要になってきている(図-17)。

このような高速道路の状況をうけて、国土交通省では「高速道路のあり方検討有識者委員会」が設置され、高速道路の更新に係る費用や償還が議論された。一方NEXCO 3会社では有識者による「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」を設置し、高速道路本体構造物について大規模更新・修繕の必要性やその対策について議論され、提言を受けた。これをうけて大規模更新・大規模修繕計画(概略)検討を平成26年1月に公表している。この大規模更新・修繕は全国の高速道路の延長約2,110kmを対象としている。大規模更新では、橋梁部の床版取替や桁の掛替、また、大

規模補修では橋梁部の高性能床版化、桁補強、切土部では既存グラウンドアンカーの補強・増し打ち、トンネルでは風化地山部のインバート設置などがメニューとしてあり、来年度から対策工の一部を実施することとしている(図-18)。

### 6.3 舞鶴若狭道における対応

ネットワーク機能を健全に将来にわたっても維持するため、舞鶴若狭道の建設では、道路の長寿命化、点検の効率化などの観点で対策を講じている。例えば、橋梁では、床版耐久性を向上させるため、防水性能を高めた高性能・高耐久性の床版防水工の採用、雨水や凍結防止材の影響を受けやすい橋梁端部については、耐久性向上のため、表面被覆材や表面含浸材により保護している。



また、点検時の動線が効率的になるような検査路の配置や設置、路面に注意喚起凹凸や逆走防止対策による交通安全の向上、昨今のゲリラ豪雨時の排水工の跳水対策のために排水ますの大型化などを実施している（図-19）。

#### 6.4 橋梁の診断技術

今回開通区間の橋梁では、長期的な健全性を点検のみではなく、定量的な計測により把握する目的で、橋梁センサリング技術を活用した点検診断を検討している。例えばPC外ケーブルの振動計測を定期的を実施したり、橋梁自体の振動計測をし、振動分析により健全性に変化がないか把握することを検討している。今後、現場計測で加速度やたわみ、ひずみ等を計測し、加速度とたわみの関係性の検証、さらに構造解析による同定、最終的には周波数分析による健全度変化の把握を目指しており、現在初期値の計測や検討のための計測を実施中である。点検結果をさらに高度化するヘルスマonitoringを用いて、その計測結果を金沢に設置する管制センター等に集約して健全性把握の一元管理を行う予定である（図-20）。

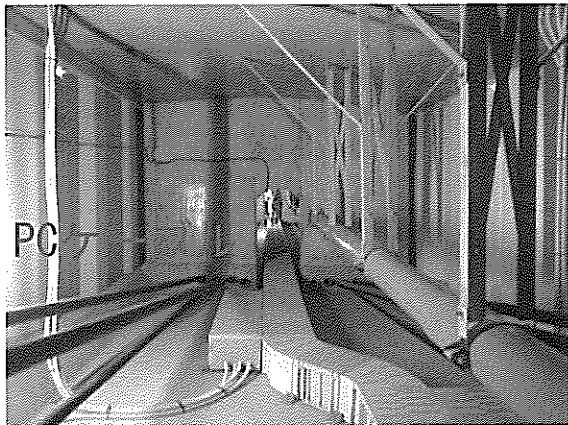


図-20 橋梁箱桁内部のPCケーブル

#### 7. おわりに

舞鶴若狭道の開通により、近年発生が懸念される東海・東南海・南海トラフ巨大地震により太平洋側の高速道路が分断されても、日本海側のルートと、これに接続する東海北陸道などの横断道を使って太平洋側への救援が容易になる。東日本大震災後の救援活動で「くしの歯作戦」が効を奏したのは記憶に新しいが、北陸・東北からの救援はもとより、中国地方からの救援もより効果的に行えるようになる（図-21）。

「その時」に役割を全う出来るよう、安全・安心に高速道路機能を維持することがより強く求められる。弊社金沢支社では、北陸地域の交通管制を行っているが、緊急時には中部地域も管制出来るよう新管制センターの建設にあわせて「ディザスター・リカバリー機能」を付加させると共に、冬期交通確保のため、設備や体制の強化を図っているところである。

さいごになりますが、舞鶴若狭道の全線開通にあたり、ご理解・ご協力をいただきました沿道地域の皆さま、国・県はじめ行政機関の皆様、建設計画・施工にご協力いただきました皆様方にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

#### 参考・引用文献

- 1) 中日本高速道路(株)名古屋支社：舞鶴若狭自動車道（小浜IC～敦賀JCT）の開通，高速道路と自動車，第57巻第10号，2014.
- 2) 稲垣ら：無導坑方式・早期閉合による超近接双設トンネルの施工時挙動評価，第25回中部地盤工学シンポジウム，2013.
- 3) 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 報告書，2014.

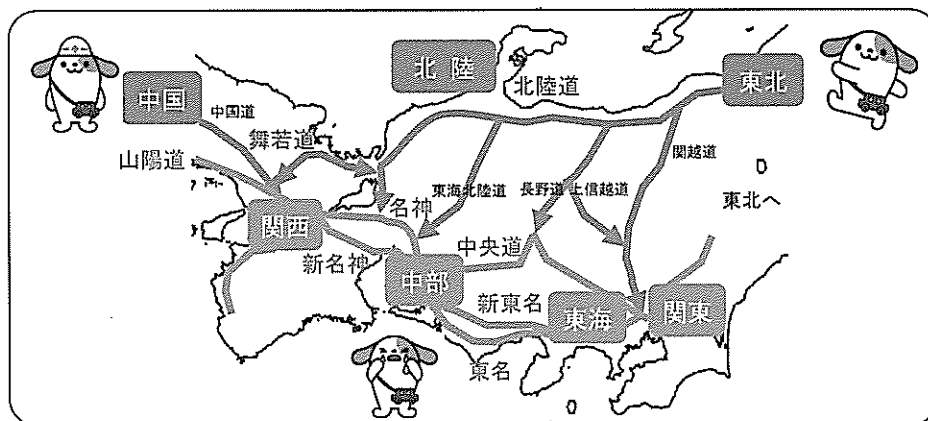


図-21 日本海側からの新たな支援ルート

# 十郷橋の健全性調査報告（日本初のポストテンションPC橋）

（一社）プレストレストコンクリート建設業協会 北陸支部 一力 信雄

## 1. はじめに

十郷橋は、昭和28年6月に福井県坂井郡東十郷村（現：坂井市坂井町上新庄）に架橋されたプレストレストコンクリート（以下、PCと称す）橋で、わが国で初めてのポストテンション方式の道路橋である。この十郷橋は、現在でも県道として供用され、地元住民の生活用道路としてその機能を果たしている。

建設当時と現在の十郷橋の状況を写真1に示す。現在の十郷橋は、現行の防護柵基準に準じて地覆および高欄が変更されているが、橋体は建設当時のものがそのまま使用されている。



写真1 建設当時(上段)と現在(下段)の十郷橋

十郷橋は、2013年で建設から60年、人間でいうところの還暦という節目の年を迎えた。そこで、健康長寿の秘訣を探るべく、詳細調査を行い現在の健全性を評価した。本稿では、これらの調査で得られた結果について報告する。

## 2. 十郷橋の構造概要

十郷橋の構造諸元を表1に、主桁の断面図を図1に示す。本橋は橋長7.850m、桁長7.350m、有効幅員7.200mのPC床版橋であり、主桁は3ブロックのセグメント工法で建設された。PC鋼材は主ケーブル、横締めケーブルともに12φ5のPC鋼線が使用されており、定着工法はフレンネー工法が採用されている。コンクリートの設計基準強度は、主桁が375kg/cm<sup>2</sup>、桁間が250kg/cm<sup>2</sup>のものが用いられた。

表1 十郷橋の構造諸元

構造形式	ポストテンション方式単純PC床版橋	
橋長	7.850 m	
桁長	7.800 (7.350) m	
総幅員	8.000 m	
有効幅員	7.200 m	
PC鋼材	12φ5フレンネーケーブル	
コンクリート強度	主桁	375 kg/cm <sup>2</sup>
	桁間	250 kg/cm <sup>2</sup>

桁断面図

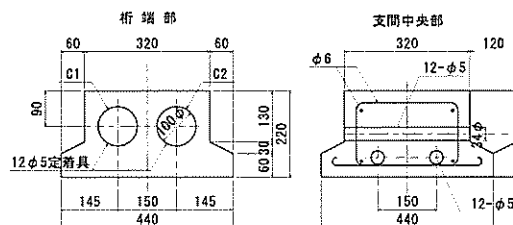


図1 十郷橋の主桁断面図

十郷橋の施工状況写真を写真2に示す。

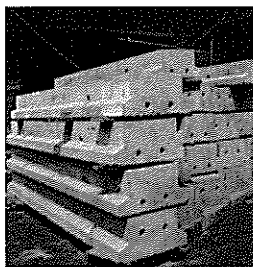
セグメント桁は、敦賀ピー・エス・コンクリート(株)（現：(株)日本ピーエス）の敦賀の工場で作られた。主ケーブルを挿入するダクト（穴）は、現在のようにシースを用いずに、ゴムホースのようなものに芯材を詰めて配置し、コンクリート硬化後に引き抜いて形成したとのことであった。これは、十郷橋の建設当時に鋼製シースを曲線加工する技術がなかったためと推定される。

緊張作業は、フランスから搬入した緊張ジャッキと水圧式の緊張ポンプを用いて行われた。

主桁の架設は二又を用いて行われた。二又による架設は、

- ①川岸に設置した二又で主桁の支点部付近を吊り上げ、反対側の支点部を台車上に載せる
- ②二又の頂部に繋げたロープの張力を調整して二又の傾きを変え、主桁を送り出す
- ③所定の位置まで送り出した後、対岸の二又に吊り換える
- ④対岸の二又の傾きを変え、支承位置まで送り出すという手順で行われた。

桁間コンクリートはスコップと突き棒を用いて打設され、桁間コンクリートの養生は冠水養生、高欄の養生は濡れむしろを用いた湿潤養生が行われた。この養生方法をみると、現在の施工と比較しても遜色無い管理が行われていたと想定できた。



PCa セグメント桁



緊張状況



主桁の架設状況



養生状況



載荷試験の状況

写真2 十郷橋の施工状況

竣工検査では、載荷試験が実施された。当時はPC橋の指針や規格などが整備されていなかったため、最大級の車両による載荷試験を行い、橋梁としての性能確認を行った。

### 3. 十郷橋の調査を補完する石徹白橋の概要<sup>1)</sup>

十郷橋は現在も供用中のため、使用材料の分析等での調査項目に制約が生じる。そのため、当時の材料情報を補完できる試料を探したところ、十郷橋の4ヵ月後の昭和28年10月に竣工した石徹白橋(写真3)の橋桁の一部が見つかった。

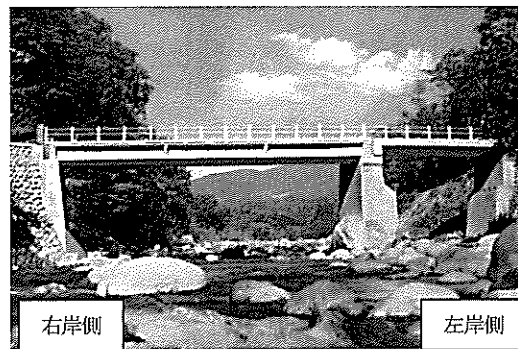


写真3 建設当時の石徹白橋

石徹白橋は2径間のポストテンション方式のPC橋で、左岸側の径間が十郷橋と同じ構造形式で橋長9.7mの床板橋、右岸側は橋長20.1mのT桁橋でわが国初の本格的な長支間のPC橋である。両径間ともに、主桁のコンクリート強度は375kg/cm<sup>2</sup>、使用PC鋼材は12φ5のPC鋼線で、十郷橋と同様のものが使用されている。



写真4 石徹白橋(左岸側径間)の橋桁片

この石徹白橋は、昭和39年に発生した大水害で橋脚が流失して落橋した。その時の橋桁片が現在に至るまで撤去されず、川岸に存置されていた(写真4)ため、今回これらの橋桁片を回収して、調査に供した。

#### 4. 調査項目と概要

今回の調査で実施した調査項目の一覧を表2に、調査位置を図2に示す。

十郷橋では、外観調査、コア供試体を用いた調査、非破壊検査手法を用いた調査を実施した。今回の調査では、十郷橋の平均的な性能を明確にすることを目的としたため、偏りが生じないように調査位置を決定した。また、各調査結果の相関が確認できるように、測点T1~T3では同位置で複数の調査を実施した。石徹白橋では、コンクリートの配合推定とPC鋼材に関する調査を実施した。

以下に各調査方法の概要について記す。

#### 4. 1 外観調査

十郷橋の外観目視調査および打音調査を実施し、劣化・損傷の発生状況を確認した。

#### 4. 2 コンクリートに関する調査

表2 調査項目の一覧

調査対象	調査項目	調査方法	備考
橋梁全体	外観調査	目視、打音調査	十郷橋
コンクリート	強度特性	圧縮強度試験 静弾性係数試験	十郷橋
	配合推定	セメント協会 F-18	石徹白橋
	中性化深さ	フェノールレイン 溶液噴霧法	十郷橋
	塩化物イオン濃度	電位差滴定法	
	超音波伝搬速度	表面法（土研法） 透過法	
透気係数	トレント法		
PC鋼線	状態確認	はつり調査	石徹白橋
	引張強度	引張試験	
	化学組成	成分分析	
グROUT	グROUT充填性	広帯域超音波法 電磁波レーダ法	十郷橋

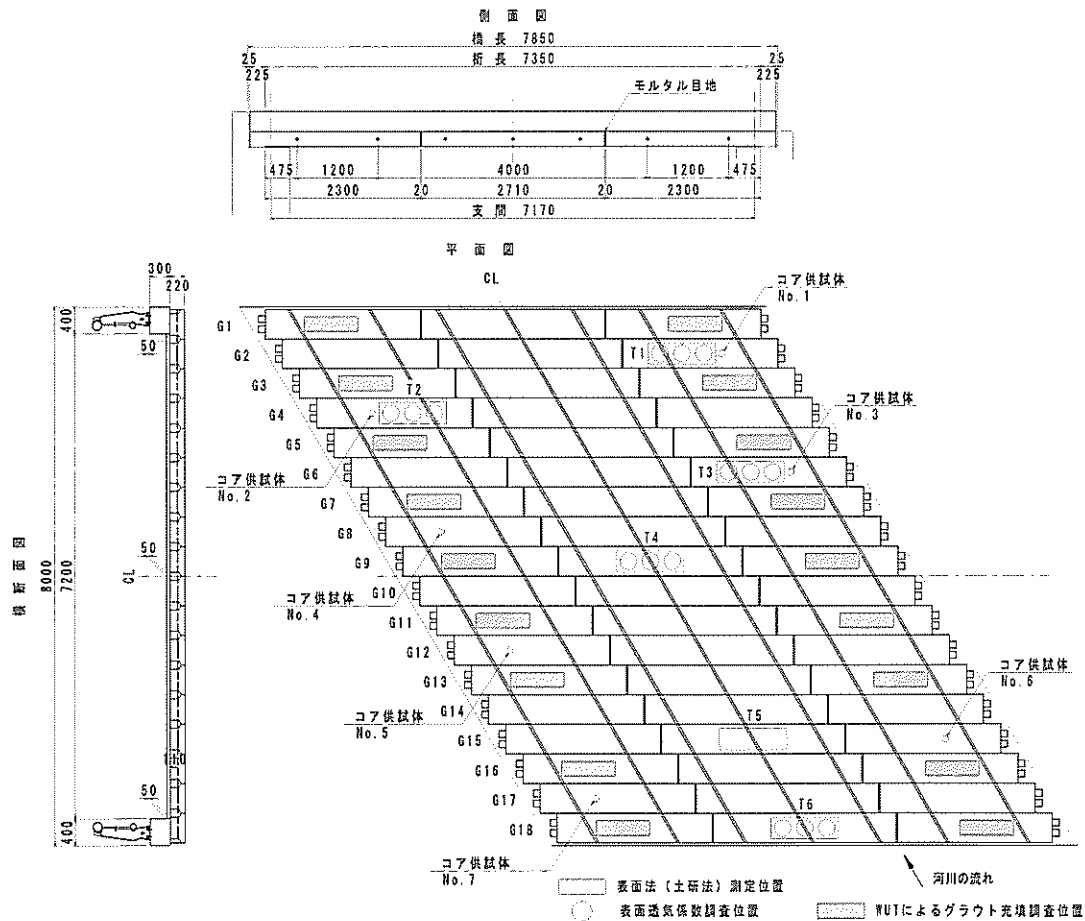


図2 十郷橋の一般図および調査位置図

#### (1) 強度特性試験

主桁下面よりφ45×90mmのコア供試体を採取し、圧縮強度および静弾性係数を測定した。

#### (2) 配合推定

配合推定は、セメント協会コンクリート専門委員会報告F-18「硬化コンクリートの配合推定に関する強度試験報告<sup>2)</sup>」に準じて実施した。

#### (3) 中性化深さの測定

主桁下面よりφ45×90mmのコア供試体を採取し、割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧することで中性化深さの測定を行った。

#### (4) 塩化物イオン濃度分布の測定

主桁底面よりφ45mmのコア供試体を採取し、表面から50mmの深さまで10mmごとにスライスして、各層での全塩化物イオン量を計測した。塩化物イオン量の測定は、「JIS A 1154-2012 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準じ、電位差滴定法を用いて行った。

#### (5) コンクリートの品質評価

##### ① 超音波伝播速度の測定

表面法および透過法にてコンクリート中の超音波伝播速度を測定し、ASTMにて提案されている基準(表3)<sup>3)</sup>を用いてコンクリートの品質を評価した。なお、表面法による計測は、「土研法<sup>4)</sup>」を用いてコンクリート内部の伝搬速度を推定し、透過法による計測はコア供試体にて実施した。

##### ② 表面透気試験

主桁底面にて透気試験(トレント法)を実施し、「R.Torrent and G.Frenzer : A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the "covercrete"」で提案されている評価基準(表4)<sup>5)</sup>に基づきコンクリートの品質を評価した。透気試験は、5測点で実施し、1測点あたり3箇所測定を実施した。

### 4. 3 PC鋼材に関する調査

石徹白橋の橋桁片よりPC鋼線を採取し、PC鋼線の状態を確認するとともに、引張試験および成分分析を行った。

#### (1) 引張試験

表3 ASTMの評価基準

伝搬速度 (m/sec)	品質
4570以上	優
3660~4570	良
3050~3660	やや良
2130~3050	不良
2130以下	不可

表4 トレント法の評価基準

透気係数 : kT	透気性評価
kT < 0.01	優
0.01 < kT < 0.1	良
0.1 < kT < 1.0	一般
1.0 < kT < 10	劣
kT > 10	極劣

引張試験を実施し、機械的性質についてJIS規格や現行の設計基準との比較を行った。

#### (2) 成分分析

燃焼-赤外線法、ICP発光分光分析法を用いてPC鋼線の化学組成を分析し、現行のJIS規格との比較を行った。

### 4. 4 グラウト充填性の調査

グラウト充填性の調査は、広帯域超音波法(Wide Range Ultrasonic Testing : 以下、WUTと称す)と電磁波レーダ法で実施し、2つの調査結果より総合的に判断した。

WUTは原理としてシーすからの反射波を用いるが、本橋ではシーすが配置されていないため、コンクリートとグラウトの界面反射波で判断することになる。そこで、探査精度を補完する目的で、電磁波レーダ法による空隙調査も実施した。電磁波レーダ法では、コンクリート中の空隙の探査が可能である。十郷橋ではシーすは配置されていないため、グラウトが充填されていない場合は、空隙を示す反射波が得られると考えた。

WUTによる調査は図2に示される位置で実施し、電磁波レーダ法による調査は全ての主桁で実施した。

## 5. 調査結果

### 5. 1 外観調査

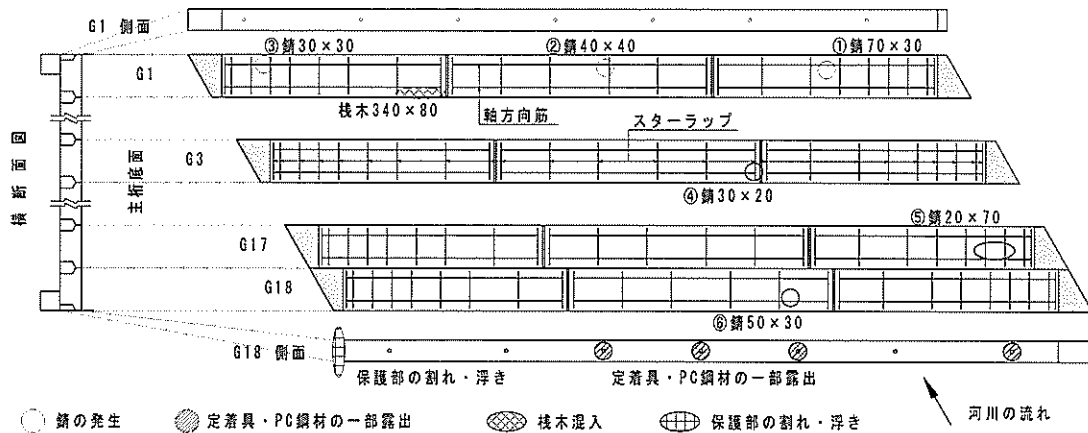


図3 外観調査結果

外観目視調査および打音調査の結果を図3に、桁下の状況写真を写真5に示す。図3中の数値は損傷の範囲を示している。十郷橋の主桁の主な変状として、主桁底面の6箇所で錆の発生、上流側の横締め定着部の4箇所所で保護コンクリートの欠け、さらにそのうちの2箇所においてPC鋼材の露出が見られたが、いずれも軽微なものであった。なお、セグメント継ぎ目部の損傷や曲げひび割れなどは認められなかった。

ここで、電磁波レーダ法による調査にて鉄筋と錆の位置関係を確認すると、図3の①、③、⑤、⑥の錆は、軸方向鉄筋およびスターラップが配置されていない位置に発生していた。よって、これらの錆は組立筋や鉄筋の残材などがかぶり不足によって錆びたものと推察される。③および⑤の錆については、スターラップが配置されている箇所に鉄筋に沿って錆が発生していた。これらの箇所については、部分的に鉄筋かぶりが不足し、錆が生じたと考えられる。外観調査の結果、いくつかの変状はみられたがいずれも軽微なもので耐荷力に影響するようなものではなく、主桁は健全と判断しうる状態であった。

## 5.2 コンクリートに関する調査

### (1) 強度特性試験

十郷橋の主桁コンクリートの強度試験結果を表5に示す。圧縮強度の平均値は78.3 N/mm<sup>2</sup>であり、設計基準強度を大きく上回った。静弾性係数は、現在のコンクリート標準

示方書の算出式により求められる値（圧縮強度 78.3 N/mm<sup>2</sup>の場合で  $E_c=37830 \text{ N/mm}^2$ ）と比較すると、妥当と判断できる結果であった。

### (2) 配合推定

石徹白橋より採取したコンクリートの配合推定結果を表6に示す。推定配合量は、単位セメント量 346 kg/m<sup>3</sup>、単

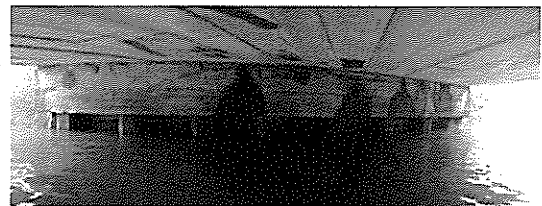


写真5 十郷橋の桁下状況

表5 主桁コンクリートの強度特性

供試体 No	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	静弾性係数 N/mm <sup>2</sup>
No. 2	80.7	35939
No. 3	70.8	39935
No. 7	83.4	43057
平均	78.3	39644

表6 主桁コンクリートの配合推定

項目	コア供試体	備考
単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	2444	道路橋示方書：2345 kg/m <sup>3</sup>
水セメント比(%)	20.5	施工記録：33%
推定配合量 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント量	346
	水量	71
	骨材量	2026
混和剤量 (kg/m <sup>3</sup> )	0.22	リグコンスル酸系

位水量  $71 \text{ kg/m}^3$ 、骨材  $2026 \text{ kg/m}^3$ であり、水セメント比は20.5%と小さい値であった。施工記録によると、配合計画の水セメント比は33%となっていた。しかし、実際には計画よりも小さな水セメント比コンクリートが打設されていたと推定され、この配合が強度特性や耐久性に与える影響を考えたのではないかと考えられる。

混和剤は、リグニンスルホン酸系のものが少量使用された可能性があるという結果が得られた。また、単位容積質量は  $2444 \text{ kg/m}^3$  であり、現在の一般的なコンクリート ( $2345 \text{ kg/m}^3$ 程度) と比較すると大きい結果であった。

### (3) 中性化深さの測定

中性化深さの測定結果を表7に、供試体の呈色状況を写真6に示す。No.5 供試体は、コンクリート表面まで朱色に呈色し、中性化は認められなかった。No.6 供試体は、部分的に若干の中性化が認められ、中性化深さの平均値は1.6mmであった。

一般に中性化速度は、コンクリートが緻密であるほど遅くなり、中程度の湿度状態で最も速くなる。十郷橋は、緻密なコンクリートが打設されたことに加え、橋梁下面が用水路であり湿度の高い状態が保持されたため、中性化が進行しなかったのではないかと考えられる。

### (4) 塩化物イオン濃度の分布

No.4 のコア供試体にて、塩化物イオン濃度の分布を測定した。測定結果を図4に示す。

塩化物イオン濃度は、コンクリート表面から10mmまでの位置で  $0.54 \text{ kg/m}^3$  となり、10mm以深は  $0.2 \text{ kg/m}^3$  程度でほぼ一定という結果であった。これらの結果を用いて、建設から100年後となる2053年の塩化物イオン濃度分布を予測すると、現在とほとんど変わらないという推測結果であった。

この結果は、十郷橋が内陸に位置しており飛来塩分がほとんどないこと、さらに融雪装置の設置により凍結防止剤も散布されていないことが要因と考えられる。現在の環境が維持されれば、今後も塩害による劣化は生じないと予測される。

### (5) コンクリートの品質に関する調査

#### ①超音波伝搬速度

超音波伝搬速度の測定結果を表8に示す。表面法と透

過法の両方で計測した箇所は、透過法の伝搬速度を用いて品質の評価を行っている。

一般にコンクリートの超音波伝搬速度は、静弾性係数や単位体積質量と高い相関関係があることが知られており、高品質なほど伝搬速度が大きくなる傾向にある。十郷橋の超音波伝搬速度は、全ての測点でASTMの品質グレードの「優」に分類された。この結果より、コンクリート内部に空洞や大きなひび割れが生じている可能性は低く、その密実性は高い水準にあると考えられる。

#### ②表面透気試験

表7 中性化深さの測定結果

供試体 No	中性化深さ						平均値
	1	2	3	4	5	6	
NO.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NO.6	0.0	0.0	0.0	5.8	3.7	0.0	1.6

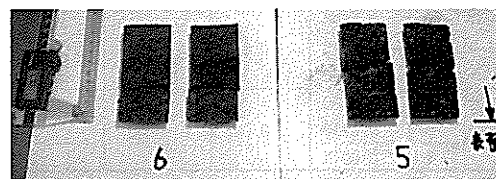
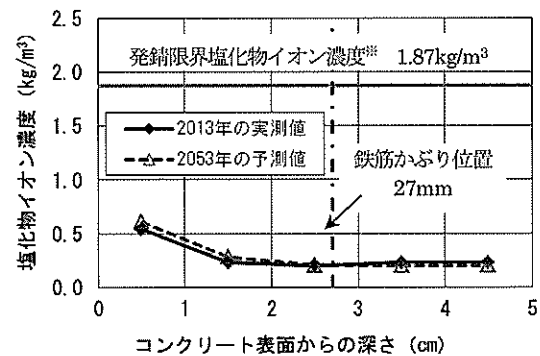


写真6 コア供試体の呈色状況



コンクリート表面における全塩化物イオン濃度  $C_{0s} = 0.678 \text{ kg/m}^3$   
 塩化物イオンの見かけの拡散係数  $D_{app} = 0.0000462 \text{ cm}^2/\text{year}$   
 ※「2012年コンクリート標準示方書 設計編」に準じて算出

図4 全塩化物イオン濃度の分布

表8 超音波伝搬速度の測定結果

主桁No	測点		超音波伝搬速度 (m/s)		ASTMの品質グレード
	表面法	透過法	表面法	透過法	
G2	T1	No. 1	4470	4686	優
G4	T2	No. 2	4631	4669	優
G6	T3	No. 3	4625	4679	優
G9	T4	—	4844	—	優
G12	—	No. 5	—	4671	優
G15	T5	—	4717	—	優
G15	—	No. 6	—	4639	優
G17	—	No. 7	—	4681	優
G18	T6	—	4573	—	優

表面透気試験の結果を表9に示す。透気試験は1測点あたり3箇所で行われ、対数平均した値で透気性のグレードを分類した。ここで、T4-1およびT4-3の値は、コンクリート表面の型枠の筋の影響を受けたと考えられたため、異常値として除外した。その結果、全ての測点で透気性グレードが「優」に分類される結果であった。

表9 表面透気試験結果

測点	透気係数 kT $\times 10^{-16} \text{m}^2$	透気係数 対数平均 $\times 10^{-16} \text{m}^2$	透気性 グレード	備考
T1	-1	0.0010	1	優
	-2	0.0010		
	-3	0.0010		
T2	-1	0.0010	1	優
	-2	0.0010		
	-3	0.0010		
T3	-1	0.0019	1	優
	-2	0.0012		
	-3	0.0015		
T4	-1	0.1600	1	※
	-2	0.0010		優
	-3	0.2600		※
T6	-1	0.0130	1	優
	-2	0.0230		
	-3	0.0015		

※異常値と判断し除外

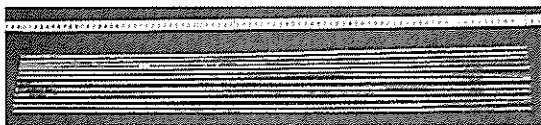


写真7 試験体の状況

表10 PC鋼線引張試験結果

項目	素線径 mm	引張荷重 kN	伸び %	0.2% 降伏点 kN	ヤング率 GPa
試験体①	5.00-5.02	32.5	6.0	29.2	202
試験体②	4.99-5.02	32.8	5.5	28.9	201
試験体③	4.99-5.02	32.5	6.0	29.6	200
JIS規格値	5.00±0.03	31.9以上	4.0以上	27.9以上	-

表11 PC鋼線の成分分析結果

元素	C	Si	Mn	P	S	Cu
成分値 [wt%]	0.73	0.26	0.49	0.023	0.023	0.09
JIS規格値	0.70-0.75	0.12-0.32	0.30-0.60	0.025以下	0.025以下	0.20以下

既往の知見では、透気係数は中性化深さや塩化物イオンの

浸透量と高い相関が認められている。この結果は十郷橋の中性化が進行していないことの裏づけになると考えられる。

### 5.3 PC鋼材に関する調査

#### (1) PC鋼線の状態確認

石徹白橋から採取したPC鋼材の試験体を写真7に示す。採取時にPC鋼材の状態を確認したところ、グラウトは充填されており、PC鋼線に錆や腐食による孔食・欠損は認められなかった。なお、試験体は、グラウト等の異物を洗浄して試験に供した。

#### (2) 引張試験

PC鋼材の引張試験の結果を表10に示す。昭和28年当時はPC鋼材のJISが制定されていなかったため、表中のJIS規格値は現行JISのものを示している。

引張荷重および降伏荷重は、全ての試験体でJIS G 3536-2008 (PC鋼線及びPC鋼より線) に示される数値を満足した。ヤング係数はJISに規定はないが、道路橋示方書などで200 kN/mm<sup>2</sup>という設計用値が規定されている。今回の試験では、この規定値と同等の結果が得られた。

伸びについても、JISの規格値である4.0%を満足した。現在のPC鋼材は、伸び、弾性限、リラクセーション特性などを向上するために、ブルーイング処理を行っている。現行のJIS規格の伸びを満足することは、石徹白橋のPC鋼線でも伸び特性を改善するための処置を行っていたと考えられる。

上記の結果より、当時のPC鋼材は既に現在のものと同等の機械的性質を有していたと考えられる。

#### (3) 成分分析

PC鋼線の成分分析結果を表11に示す。化学成分はいずれの元素も現行のJIS規格を満足しており、成分的には現在のPC鋼材とほとんど相違ないものであった。この結果は、力学的特性が現在のものと遜色ない結果であったことの裏づけになると考えられる。

### 5.4 グラウト充填性調査

グラウトの充填性調査結果の一覧を表12に示す。WUTによるグラウト調査は、9本の主桁(主ケーブル本数は2本/桁、ケーブル番号は図1参照)の両支点部付近で実施し、36



箇所中27箇所で「○(充填)」判定、9箇所で「△(充填の確認に至らない)」判定であった。一方、電磁波レーダ法による調査では、全てのケーブルにおいて空隙は確認されず「○」判定であった。特に、WUTにて△判定の箇所においては、入念に複数箇所を探査を行ったが、空隙は確認されなかった。なお、表12に示されていない主桁については、電磁波レーダ法のみでグラウト調査を実施しており、全ての桁で空隙(充填不良)は確認されず「○(充填)」判定であった。

以上より、十郷橋では全ての主ケーブルでグラウトが充填されていると判断できる結果であった。

表 12 グラウト充填調査結果の一覧

調査 ケーブル	グラウト充填調査結果					総合 判定
	左岸側		右岸側			
	WUT	電磁波 レーダ法	WUT	電磁波 レーダ法		
G1	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	○	○	○
G3	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	△	○	○
G5	C1	△	○	○	○	○
	C2	△	○	○	○	○
G7	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	○	○	○
G9	C1	○	○	○	○	○
	C2	△	○	○	○	○
G11	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	△	○	○
G13	C1	○	○	○	○	○
	C2	△	○	○	○	○
G16	C1	△	○	○	○	○
	C2	○	○	○	○	○
G18	C1	△	○	○	○	○
	C2	○	○	△	○	○

○：充填、△：充填の確認に至らない

## 6. まとめ

十郷橋の健全性調査の結果を以下に示す。

- ・外観目視調査では、耐荷力および耐久性の低下につながるような変状は認められず、健全と判断できる状況であった。
- ・コンクリートの強度は、設計基準強度を大きく上回り、中性化の進行、塩化物イオンの浸透もほとんど見られなかった。また、超音波伝搬速度や表面透気試験の結果から、主桁コンクリートが高い品質を有していることが確認できた。
- ・PC 鋼材の強度特性、化学組成は現行の JIS を満足する

結果であり、十郷橋のグラウトの充填性も確認できた。

- ・十郷橋の健全性は、環境条件に恵まれたことに加え、水セメント比の小さい低スランプのコンクリートを用い、丁寧に確実な施工を行ったことに帰結すると考えられる。調査の結果から、十郷橋は建設から 60 年を経た現在においても健全な状態にあると判断できる。今後も継続的な観察を行い、PC 橋の耐久性向上につながるような新たな知見を得ていきたい。

## 謝 辞

本調査の実施にあたり、福井県道路保全課・三国土木事務所、福井工業高等専門学校の吉田教授、阿部教授、辻野准教授、京都大学の宮川教授、土木研究所の木村上席研究員、福井県建設技術公社の山木氏、PC建協北陸支部の柳原氏、(株)日本ピーエスの原氏、濱岡氏、天谷氏、BASFジャパン(株)、住友電工スチールワイヤー(株)、神鋼鋼線工業(株)、極東鋼弦コンクリート振興(株)の皆様からご支援・ご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 八田一雄：プレストレストコンクリート橋の架設（福井県石徹白橋），セメントコンクリート，No.84，pp.20-25，1954.2
- 2) 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告，セメント協会コンクリート専門委員会報告 F-18，1967.10
- 3) E.A.Whitehurst：Evaluation of concrete properties from sonic test，ACI，ACI Monograph No2，1966.
- 4) (独) 土木研究所・(社) 日本非破壊検査協会：超音波試験（土研法）による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案），2006.5
- 5) R.J.TORRENT：「カバークリート」の透気係数の迅速な決定方法，土木工学における非破壊試験国際会議シンポジウム（NDT-CE），pp.26-28，1995.

## 第2音戸大橋

—空中ジョイントによる大ブロック架設—

株式会社 IHI インフラシステム 道菅 裕一

### はじめに

広島県呉市にある警固屋（本州側）と音戸町（倉橋島側）の間には、最も狭いところで90m程度の海峡が有り、「音戸の瀬戸」と呼ばれている。この海峡は「瀬戸」の文字通り、潮汐の干満によって複雑な潮流を生じる狭い海峡である。また、広島市と松山市を結ぶ定期船など1000ton級の船舶を含め、一日の船舶通行量が約700隻と船舶の往来が激しい海峡でもある。この海峡には今から50年前の昭和36年に、地元の架橋促進運動に答える形で、当時の日本道路公団が橋長約110mの「音戸大橋」を完成させている。

音戸大橋は50年の時を経た現在でも、海峡に架かる唯一の橋梁として供用されている。交通量の増大により、広島県では警固屋と音戸町を結ぶ「警固屋音戸バイパス」の整備を進め、その一部として音戸大橋の北約350mの位置に、第2音戸大橋の架橋が計画された。

第2音戸大橋の架設は、現地にてベント架設を行った警固屋側・音戸側の陸上ブロック各2パートと、工場地組による一括架設を行った海峡部大ブロックの、3パートに分かれて行った。大ブロック架設は基本設計時、海上ベントを用いてベント上に仮置きした後、調整ブロックによる閉合が計画されていた。これに対し、ベントを使用しない一括架設工法を広島県に提案し3700ton級の海上起重機船を用いて大ブロック一括架設工法により海峡部の閉合を実施した。これにより、狭い海峡に海上ベントの仮設構造物を長期間設置することによる周辺環境負荷を軽減し、さらに工期を450日程短縮することが可能となった。

本稿は、架設工法の変更にもともなう、橋梁に作用する断面力の変動の検討結果を報告するものである。

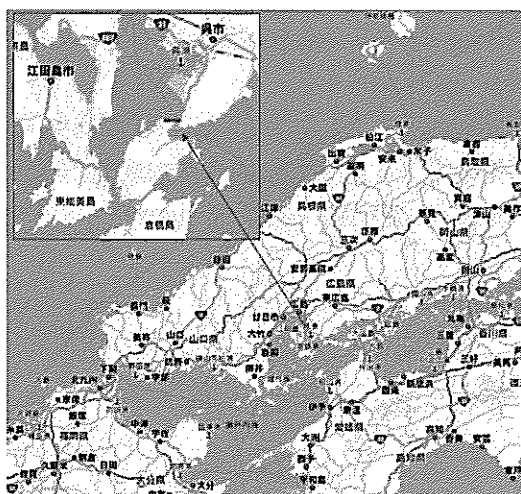


図.1 位置図

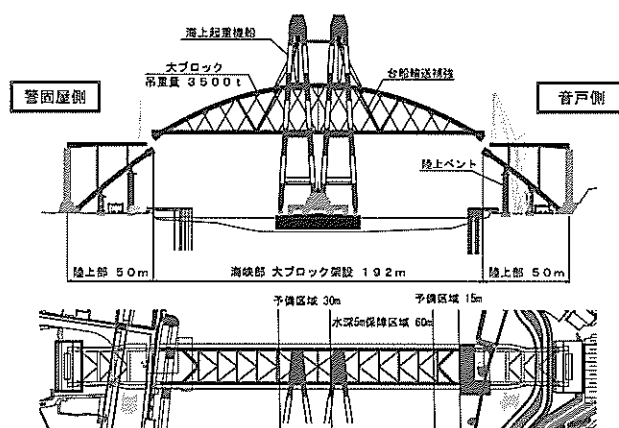


図.2 一括架設概況図

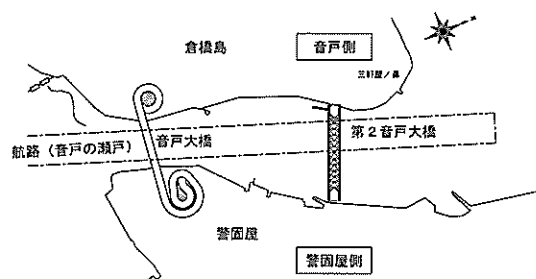


図.3 音戸大橋と第2音戸大橋

### 【工事概要】

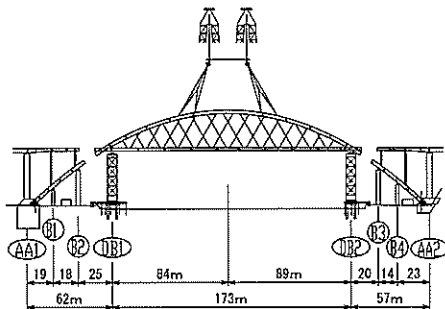
- ・ 工事名：一般国道487号線（警固屋音戸バイパス）橋梁整備工事（(仮称) 第2音戸大橋）
- ・ 発注者：広島県西部建設事務所
- ・ 請負者：IHI・川田・横河特定共同企業体
- ・ 工期：H21.10.8～H25.3.15  
(但し技術提案によりH23.12.15竣工予定)
- ・ 形式：鋼中路ニールセンローゼ橋
- ・ 橋長：292m（アーチ支間280m）
- ・ 幅員：26.2m（主構間隔 19m）
- ・ 総鋼重：4,740ton

### 1. 死荷重断面力に影響する架設工法

当初予定されていた架設工法は、大ブロックを海上ベントに預けた後、調整ブロックにて陸上部と連結させる工法であったため、その断面力は海上ベントの解放荷重を主体として決定されていた。受注後の検討により、一括架設は海上ベントを省略して、直接的に陸上部に海峡部を搭載する工法を採用したが、架設閉合仕口に作用するモーメント

の変動は大きく、またアーチに作用する曲げモーメントを基本設計から低減することが可能であると判断し、新しく死荷重断面力を構成することとした（図.4）。

- ① 当初計画（海上ベント工法）  
海峡部大ブロックを、一時的に海上ベントに搭載し、陸上部との接合部に調整ブロックを設ける、「架設ヒンジ工法」。



- ② 実施工法（一括架設工法）  
海峡部大ブロックを、直接陸上部のアーチ部材に搭載し、アーチ軸力を利用した「モーメント連結工法」。

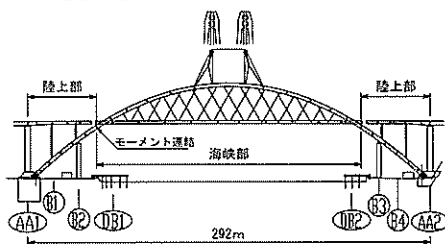


図.4 工法の相違

## 2. 海上ベント工法による設計断面力

海上ベントを用いる工法では、一般的な架設ヒンジ工法と同様の算出手順となる。すなわち、連結前は陸上部・海峡部それぞれの構造系で断面力を単独で算出した上で、連続した構造系にベント解放荷重を作用させ、断面力を加算する方法である（図.5 方法1）。

海上ベントの位置は、地形上の制約を受けるため、橋梁に対して対称に配置することができない。この事が起因してアーチに作用する断面力や製作そりが非対称になる。

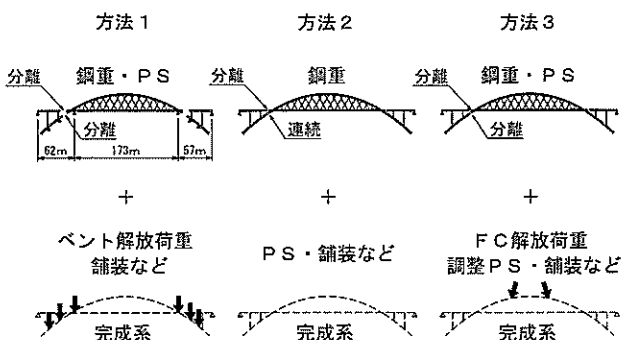


図.5 断面力算定の概要

## 3. 実施工法による設計断面力

一括架設にて、海上ベントを使用せずに行う場合、アーチに作用する軸力を用いて、架設仕口部にモーメントを導入することが可能となる。すなわち、軸力がモーメントに

対して卓越し、仕口断面にて引張応力が作用しない状態とすることが可能である。この場合、設計断面力は（補剛桁の調整ブロックを除いて）架設系を考慮せずに設定できるため、完成系にてプレストレス荷重（PS）を設定する。但し、架設途中の断面力や地組時のケーブル張力などは別途、解体計算で算出する必要がある（図.5 方法2）。

ところで、今回の架設では3500ton大ブロックの空中ジョイントを行う。この場合、吊り上げ系での橋軸方向の変位が設計値と異なると、渡海間隔の整合性がとれなくなる。その要因としては、地組の製作誤差・陸上部の架設誤差・仮定鋼重と塗装重量などまで含めた実鋼重との差・張力の誤差がある。製作途中の段階確認でこれらを測定し、解析に反映しようとする場合、方法2による断面計算では解体計算により変位を算出するため、これらの影響を加味した仕口の変形を算出するのは煩雑になる。

そこで、設計断面力や変位の推定に関しては、組立計算による方法を採用した（図.5 方法3）。

## 4. 仕口変形の考察

図.5 方法3により断面力を算出する場合、吊り上げ状態での架設仕口は、架設の直前で下向きの回転変形を残している。また、陸上部側の上端も片持ち梁の先端として、下向きに回転変形している。完全なモーメント連結を行う場合は、大ブロックを搭載する際に発生する軸力で、この回転変形を戻すことが可能であるが、以下の理由より架設直前の仕口角度の変形は完成系に残す方針とした。

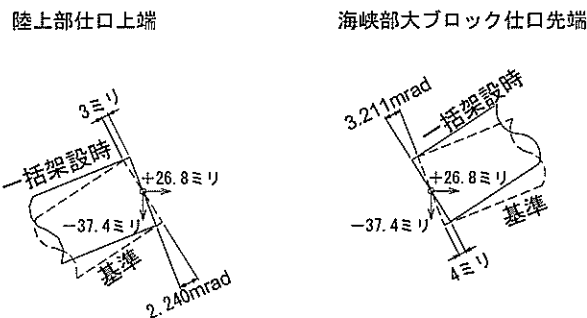


図.6 一括架設直前の仕口変形

- 角度の誤差が、6mrad程度と小さく、該当位置の添接板が、架設後に計測して製作することを勘案すると、角度を残すことが、架設後に問題とならない。
- 仕口は、製作・架設誤差を持つが、変形を残すことでそれらが断面力に与える影響を消去できる。
- 仕口角を修正するために必要な曲げモーメントが不要になり、結果的にアーチ基部に作用する曲げモーメントを低減できる。但し、隅角に作用するモーメントは上昇することになるが、これは大部分を占めるPS荷重を操作することで別途低減することが可能である。
- 架設仕口部分に曲げモーメントが作用しないため、架設途中の軸力管理が容易になる。
- 仕口角度を修正する場合、FC吊り荷重の解放過程で陸上ベント反力が上昇するため、架設中に陸上ベント

のジャッキ操作により反力操作が必要となる。一方で角度を修正しない場合は、FC解放過程で陸上ベントの反力が減少していくことになり、架設手順上安全である。

すなわち、完全なモーメント連結とは異なり、FC解放過程に発生するモーメントのみを伝達させるモーメント連結を採用することとした。

## 5. 吊上げ時の支点

海上起重機船の吊りワイヤーは、すべて滑車を用いて張力を均等とするため、単純に吊り位置を支点にして解析をすると、それぞれの吊り点における反力（吊り重量）が異なり、実際の構造と変形が異なる。この問題に対しては、次の要領で算出を行った。

- ①吊り点位置に仮想支点を設けて、総反力を算出する。
- ②海上起重機船のフック位置と吊り位置から、鉛直方向の力が総反力と同じになる様に、ベクトル計算でワイヤー張力を算出する。
- ③ワイヤー張力方向に集中荷重を作用させ、仮想支点の反力を0とする。

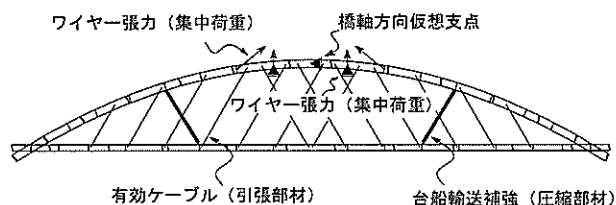


図.7 吊り上げ時解析モデル

吊り位置については、海上起重機船のブーム高さの制約の他、以下の点に留意して決定した。

- ・アーチの主構間隔より内側に絞る関係で、橋軸直角方向に抵抗できる上支材位置とする。
- ・吊り上げ時に、大ブロック先端の架設仕口に大きな回転変形を発生させない位置を選択する。
- ・FC解放荷重を作用させる過程で、固定アーチに作用する曲げモーメントが小さい位置。

## 6. 組立計算による解析ステップ

### 6-1 解析で用いた構造系

組立計算で用いた構造系は、3ケースである。それぞれの構造系と載荷荷重は、以下の組み合わせとなる。

#### 【構造系1. 地組系】

海峡部大ブロックの工場地組時の状態。但し、地組系ではケーブルプレストレス荷重（PS荷重）を設定するためだけに用いて、完成系の断面力の算出には地組系は用いない。解析ではPS荷重は、温度荷重を用いている。吊上系での非有効ケーブルを求めるために、全本有効となる地組系でケーブル張力に相当する温度荷重を算出している。

#### 【構造系2. 吊上系】

FCにて大ブロックを吊り上げた状態。このときPS荷

重を考慮しても圧縮となるケーブルは非有効としている。また台船輸送補強についても引張が生じる内側についても、その構造上無効としている。

#### 【構造系3. 陸上系】

一括架設直前の陸上部の状態。陸上ベントで支持した状態であるが、海峡部の大ブロックの橋軸方向の変形に合わせて、陸上ベントをジャッキダウンさせ、仕口を前にせり出した状態。

#### 【構造系4. FC解放系】

FCの吊り荷重解放過程における状態。閉合される仕口の部材接合条件は剛結合としモーメントも伝達できる状態としている。実際の解析では、解放過程において順次有効となるケーブルを算出し、構造系を7回変更している。

#### 【構造系5. 陸上ベント解放系】

一括架設が終了し、陸上ベントを解放するケース。この状態では補剛桁の調整ブロックは搭載されていない状態。陸上ベント反力は、FC解放により、陸上部のみを架設した状態から反力が低減されている。

#### 【構造系6. 完成系】

構造系として、補剛桁調整ブロックの搭載が完了してすべて連続した状態。実際の補剛桁調整ブロックを搭載する工程では、調整ブロック片側がヒンジ状態であったり、施工用の車両荷重などがあつたりするが、橋梁全体の荷重に対してそれぞれが小さいこともあり、その影響がほとんど無い。したがって、補剛桁調整ブロックの搭載も完成系の構造で断面力を算出した。

- (Case No101) . 吊上系
- ①載荷荷重  
 【Case No. 11】 本体鋼重  
 【Case No. 12】 台船輸送補強（V字ベント）  
 【Case No. 13】 地組プレストレス（温度荷重）  
 【Case No. 14】 FCワイヤー張力  
 ※ベクトル方向に、3,935kN  
 【Case No. 15】 高さ調整  
 ※鉛直方向に、82.8mm上昇させて、海峡部と陸上部の鉛直方向変形を同期させる。
- ②構造系  
 非抗圧部材（ケーブル）の部材端軸力の解放  
 W1/W26 W3/W24 W5/W22 W7/W20 W9/W18 W11/W16  
 非引張部材（V字ベント）の部材端軸力の解放  
 内側台船輸送補強（V字ベント）

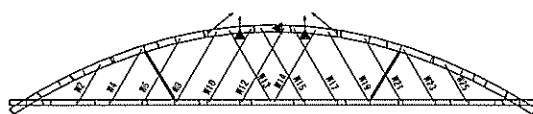


図.8 構造系2（吊上系）

- (Case No102) . 陸上系
- ①載荷荷重  
 【Case No. 21】 本体鋼重  
 【Case No. 22】 一括架設機材重量  
 【Case No. 23】 ベント位置調整  
 ※鉛直方向に、-8.8mm降下させて、海峡部と陸上部の水平方向変形を同期させる。
- ②構造系  
 (1) アーチ基部は完全固定  
 (2) 補剛桁端部は、水平自由

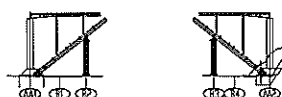


図.9 構造系3（陸上系）

(Case No103) . FC解放  
 ①載荷荷重  
 【Case No. 31~37】 FC張力の逆載荷

②構造系  
 解放ステップにともない、非有効部材をステップ毎に有効とさせる。

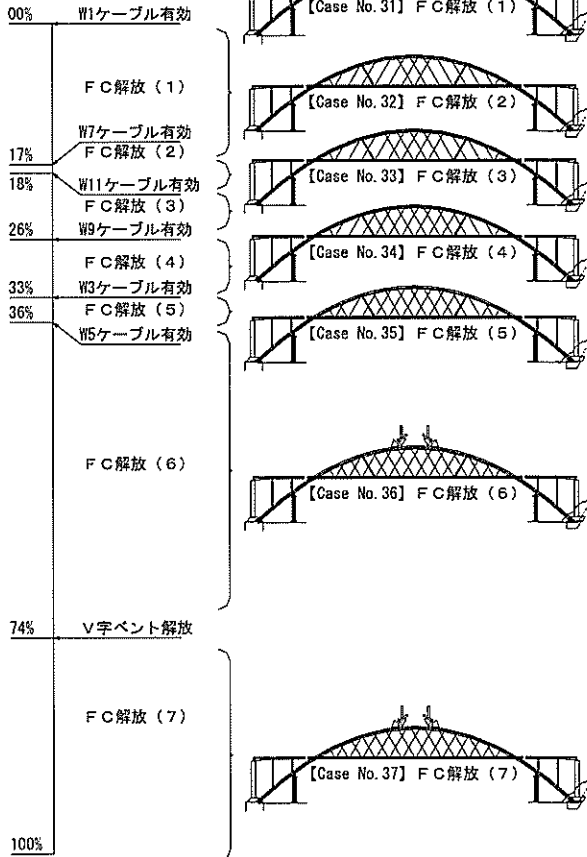


図.10 構造系4 (FC解放系)

(Case No104) . 陸上ベント解放  
 ①載荷荷重  
 【Case No. 41】 陸上ベント解放荷重 (Case102-3の合計反力の逆載荷)

②構造系  
 補剛桁調整ブロックが無い状態

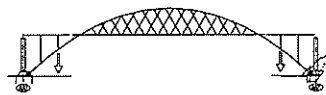


図.11 構造系5 (陸上ベント解放系)

### 6-2 解析の前提条件

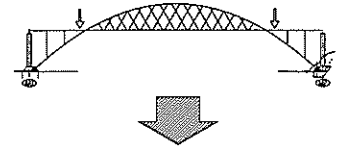
今回、組立計算により断面力の算出をおこなったが、以下の条件を前提条件として定めた。

- ①吊上時・台船輸送時に補剛桁の負曲げモーメントが許容値を超過しないこと。
- ②台船輸送ベントが、FC解放途中に圧縮力が抜けること。
- ③台船輸送補強に作用する軸力が許容値を超過しないこと。
- ④完成後に、ケーブル張力が上下限の許容値に納まること。
- ⑤完成後に、基部の曲げモーメントが許容値に納まること。
- ⑥製作そりは、図.5 方法2の状態を設定した上で、完成後の推定出来型が逆勾配にならないこと。

これらの条件を守るように、ケーブルのPS荷重を調整し、設計断面力を構築することとした。

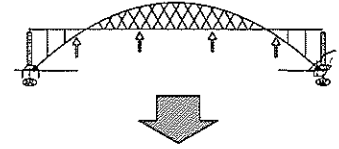
(Case No105) . 完成系  
 ①載荷荷重  
 【Case No. 51】 補剛桁調整ブロック荷重

①構造系  
 完成系



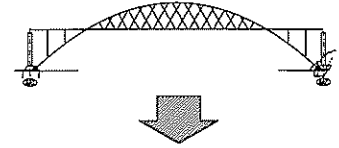
①載荷荷重  
 【Case No. 61】 台船輸送補強撤去荷重  
 【Case No. 62】 一括架設機材撤去荷重  
 【Case No. 63】 高欄など後死荷重

②構造系  
 完成系



①載荷荷重  
 【Case No. 71】 完成系プレストレス (温度荷重)

②構造系  
 完成系



①載荷荷重  
 【Case No. 81】 舗装など後死荷重

②構造系  
 完成系

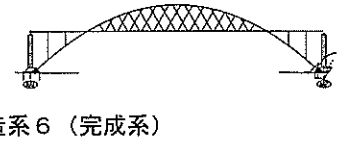


図.12 構造系6 (完成系)

### 6-3 解析結果

図.13は、図.5の方法1~3による解析方法によるアーチの死荷重断面力図(曲げ・軸力)であり、図.14は補剛桁のそれである。隅角部のモーメントに着目すると、それぞれの方法で断面力が大きく変動している。これはケーブルのPS荷重を完成系(中路形式)に載荷するか、地組系(下路形式)に載荷するか違いであり、方法3は、方法1と2の間にあることが解る。方法3では地組系と完成系で2回のPSを導入しているためである。

補剛桁の軸力に着目すると、架設系を考慮しない方法2の場合、アーチ推力は固定アーチとして地盤反力から作用するが、方法1・2の場合は、補剛桁の軸量が増大し、補剛桁軸力でアーチ推力を得ている事が解る。アーチ基部の曲げモーメントに着目すると、方法1では警固屋側(S1側)と音戸側(S2側)で曲げモーメントが大きくことなる。方法1では海上ベントの解放荷重を載荷しているが、ベント位置の非対称性がこのことに起因している。実際の施工では、一括架設仕口部分に回転変形を残す方法3の工法を採用したが、方法1と比較してほぼ同等の断面力を構成することが可能となった。

### 7. 架設での再現

実際の架設で、上述の死荷重断面力を再現するためには、製作・架設誤差を持つ海峡部大ブロックを、調整ブロック無しで陸上部の渡海間隔に閉合する必要がある。すなわちアーチ系の構造系のため、渡海間隔の誤差はアーチ支点の移動を意味し、これによりアーチに作用する曲げモーメン

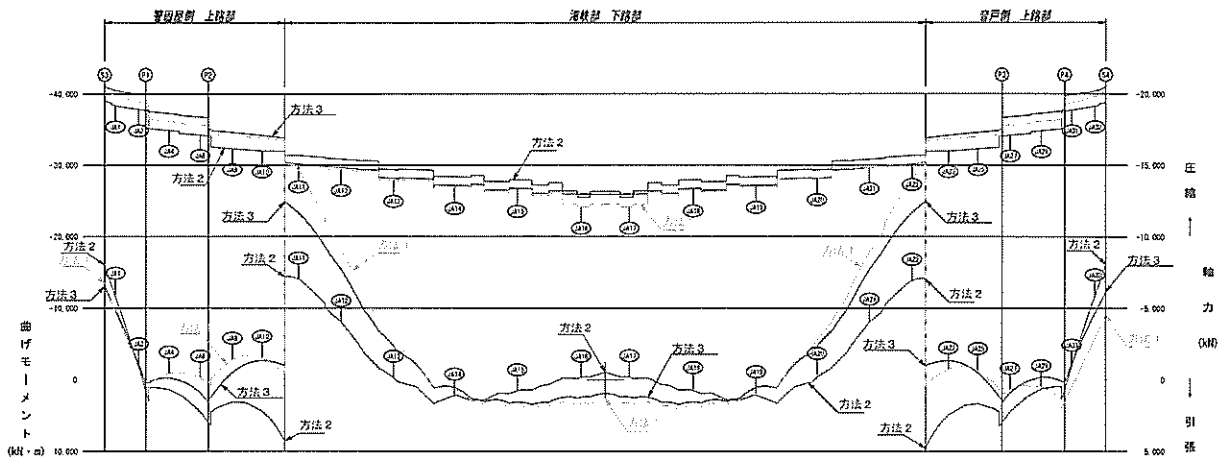


図.13 アーチリブの設計断面力（曲げ・軸力）

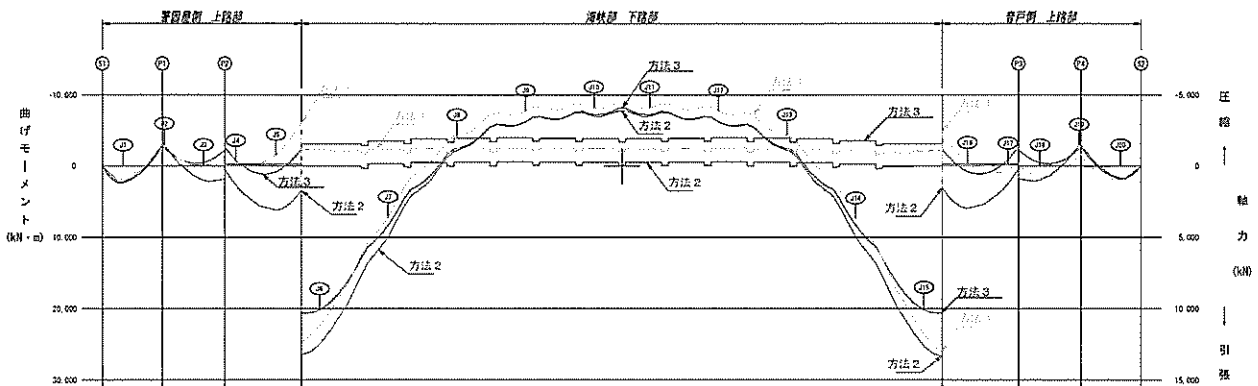


図.14 補剛桁の設計断面力（曲げ・軸力）

トが、相当量変動する。このため海峽部地組における、地組ブロックの全長管理とケーブル張力管理では、精度確保を相当配慮した施工管理を採用したが、詳細については別途報告することとする。ここでは一括架設時の渡海間隔調整方法と、仕口における断面力の受け渡し方法について詳述する。

### 8. 渡海間隔の調整

大ブロック一括架設は、先行して架設された陸上部アーチの間に落とし込みで行われる。本橋は固定アーチでありセットバックなどの作業が出来ないため、当初の計画では大ブロック両端は調整ブロックで計画されていた。実際の架設では空中ジョイントを行うため、調整ブロックを設けることが出来ない。そのため、別途寸法調整機能を設ける必要があった。これは渡海間隔が192mあるため、事前に大ブロック寸法計測を行ったとしても、架設時の構造系の変化・測定誤差・温度変化の影響で必ずしも確実な架設ができる保証とはならないためである。そこで、陸上部アーチに設置している陸上ベントを上下することで、擬似的にセットバックを可能とさせた。ベント高さの調整により、陸上ベントの反力が変動するため、変動後の反力を解析に

フィードバックさせた（図.15および16）。

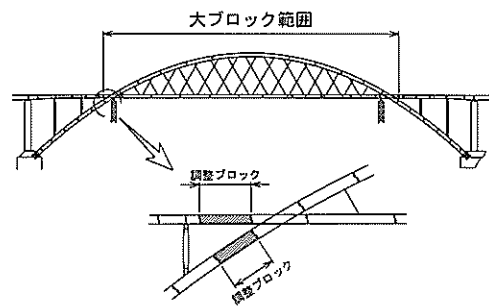


図.15 海上ベントを用いる工法

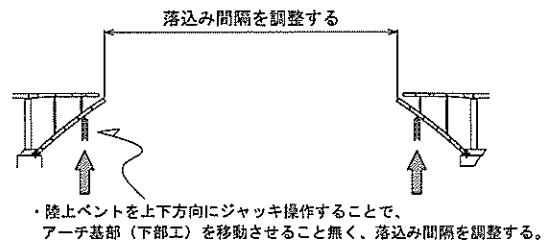


図.16 空中ジョイントによる間隔調整

計画の時点では、主構に作用する応力の（活荷重や地震時

断面力を考慮した上で) 余裕量に着目し、反力の変動量の許容値を設定し、この値にさらに余裕量を考慮した上で、地組の施工管理値を設定した。一括架設に望む事前には、地組ブロックの寸法と陸上部仕口の渡海測量を実施し、ベント調整量をシミュレーションすることで、ベント調整量の許容値を超過しないことを確認した。

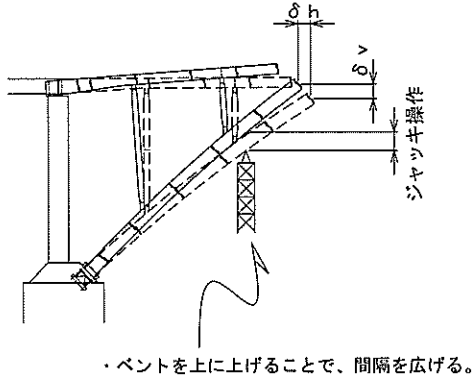


図.17 陸上ベントの調整要領

### 9. 断面力の伝達

主荷重として一括架設時に、仕口に作用する断面力は、海上起重機船の解放荷重によりアーチに作用する断面力となる。その断面力は軸力・面内曲げモーメント・せん断力(部材軸直角方向)が主な断面力となる。仕口を架設ヒンジとする場合は、解放過程において仕口回転を解放する必要があるがその作業は架設工程を煩雑にするばかりか、仕口での確実な固定ができない不安定状態を生じるため、上述の通り仕口はモーメント連結を行うこととしている。

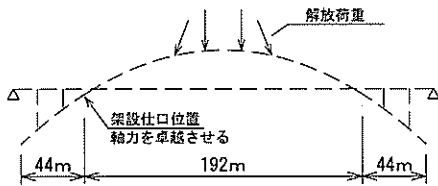


図.18 仕口位置と解放荷重の関係

一方で、軸力に対して曲げモーメントが卓越すると仕口部で引張力が生じ、伝達構造が複雑となる。したがって、一括架設で仕口に生じる断面力は軸力を卓越させ、曲げモーメントは最小限におさえる必要がある。架設仕口の位置は、大ブロック部材寸法の制約上アーチ支間に対して1:4:1の関係にある。これに対して海上起重機船の吊り位置を中央側に選択することで、仕口に作用する曲げモーメントを小さくすることが可能となり、結果的にせん断力も小さくすることが可能となった。

上述の方法により、仕口部では圧縮応力のみが発生するため、陸上部側の仕口の4隅に10,000kNジャッキを設置し、ジャッキにて海峡部の断面力を陸上部に伝達させる構造とした。海峡部大ブロック重量が、31,500kN(吊具・余裕荷重除く)であり、仕口部分の部材倒れ角度が水平軸に対して32.5度であるため、部材軸力は約12,300kN作用し、軸力によるジャッキ反力はその4分の1である3,100kNとなる。一方で曲げモーメントは仕口にて、520kN.m発生するが上

下のジャッキ間隔3mで偶力抵抗させるとジャッキ反力は、±90kN程度(ジャッキ1ヶ当たり)であり、ジャッキの圧縮軸力が抜けることは無い。

荷重伝達にジャッキを用いたのは、架設途中の軸力を荷重計で計測できることと、微妙な位置調整が海上起重機船の解放作業直前に可能なためである。仕口部の添接遊間は架設直前の仕口の回転変形やその他の誤差を吸収できる様に20mm設けた。

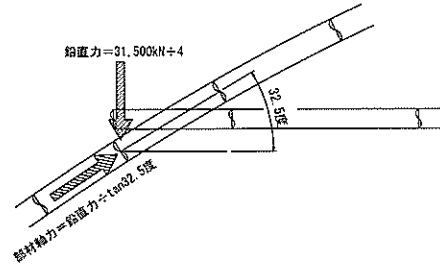


図.19 部材軸力

### 10. まとめ

アーチ橋の一括架設を行うにあたり、本稿で報告した検討内容の結果は、以下にまとめられる。

- ①一括架設は、アーチ部材軸方向に荷重が作用する方法を採用し、陸上部アーチのモーメントを低減した。
- ②閉合直前の、仕口部の回転角は残存させることで、施工を容易にすると同時に、アーチモーメントを低減した。
- ③架設系を考慮した、死荷重断面力は、ケーブルが効き始める仮定を考慮した、組立計算を採用した。
- ④ケーブルプレストレス荷重の調整で、当初設計時の設計断面力から大きく変更されることの無い、死荷重断面力を構築することが可能となった。

### おわりに

本工事の一括架設では、県の内外から1万5千人の見学者が訪れた。架設当日は、晴天に恵まれ、気象条件・海象条件とも穏やかで、無事架設することができた。

第2音戸大橋の架橋された広島県呉市は、古くは旧海軍の軍港がある港町で、5月の季節には周辺の公園にツツジが咲き誇り、穏やかな海風が流れる。音戸大橋と第2音戸大橋の2橋がならば音戸の瀬戸は、美しい景色を見る者に与え、土木構造物自体が環境資源になる良い例となることを期待している。文末になりますが、広島県西部建設事務所にて本工事を監督いただいたみなさまはもとより、施工に協力いただいた数多くの方々に感謝の意を表します。

# 北陸地方における ASR 構造物のカナダ法を用いた補修選定テクニックの提案

株式会社フルテック 野村昌弘

## 1.はじめに

北陸地方ではコンクリート用骨材として主に河川産骨材が用いられてきたが、一部の火山系岩石（安山岩、流紋岩および凝灰岩）とアルカリ量の多いセメントを使用したことによりアルカリシリカ反応（以下 ASR）が発生し、多くの構造物に被害を与えている<sup>1)2)</sup>。当該地方の ASR は、主に 1980 年代より顕在化したものであるが、当時のコアによる残存膨張性の評価は、JIS A1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験法（モルタルバー法）」に準拠したコアを用いた湿気槽養生法（JCI-DD2、温度 40℃・相対湿度 95%以上の養生）によるものであった。しかし、コアは試験時にほとんど膨張せず、「残存膨張性なし」と判断された<sup>1)</sup>。構造物の補修は 1988 年よりひび割れ注入と表面被覆を実施してきたが、補修後数年で表面被覆材にひび割れやふくれが発生することが多くあり、コアによる残存膨張性の評価と現場での ASR による劣化の実態が相違する結果となった（写真-1 参照）<sup>1)</sup>。このような理由で、15 年ほど前よりコアによる残存膨張性の評価手法として外部からアルカリを供給するカナダ法（温度 80℃、1N・NaOH 溶液浸漬）を採用した経緯があった<sup>3)</sup>。この試験法では、多数の構造物よりコアを採取し、コアの膨張率と試験日数の関係を検討した結果から閾値（試験日数 21 日での膨張率 0.1%以上の場合「残存膨張性あり」）を設けることで、現場での ASR による劣化の実態と継続調査による構造物でのひび割れの挙動との関係がほぼ一致することができた。また、カナダ法の特徴として含有する反応性骨材が多くなるほど膨張率が増加し<sup>4)</sup>、ASR が進行した場合、「カナダ法によるコアの膨張率」が低下する傾向を示すことがわかってきた<sup>5)</sup>。このため、同一の構造物にカナダ法を定期的実施することによって ASR 挙動、すなわち収束や継続の方向性を判断できる可能性が確認されている<sup>5)</sup>。

その一方で、2001 年より、第 3 者に対するコンクリート片のはく落防止や鉄筋の腐食抑制を目的として、ひび割れ注入

と表面被覆工法、断面修復工法、コンクリート巻立てなどによる第 2 次補修が実施されてきている<sup>6)</sup>。これらの補修材料の中には数年でひび割れが発生したものもあれば、10 年経過後も健全な状態を保っているものもある。したがって、構造物における残存膨張性の傾向やコンクリート性状を把握することによって、構造物に適合した補修工法や材料を選定できる可能性が考えられた。

そこで本研究は、補修を行ったいくつかの工法別に、「カナダ法によるコアの膨張率」を補修前と補修後約 10 年後のデータと比較した。これにより、コンクリートの ASR 膨張の進行性を把握し、北陸地方の ASR 構造物を維持管理する上で必要とされる補修工法の選定手法について提案した。

## 2.調査対象の構造物の概要

調査対象とした構造物は、富山県内の道路構造物（橋脚、橋台およびカルバートボックス、コンクリートの設計基準強度：24N/mm<sup>2</sup>）である。これらの構造物はほぼ同じ水系（常願寺川および神通川）の河川産骨材を使用しており、冬期間には凍結防止剤の影響を受けている。当該地方の ASR は、河川産骨材中の安山岩や流紋岩質溶結凝灰岩が顕著に反応しており、反応性鉱物として、オパール、クリストバライト、トリディマイト、火山ガラス、隠微晶質石英が含まれている<sup>4)7)</sup>。また、コンクリート中のアルカリ量が多くなるほど ASR の劣化も深刻になっており<sup>8)</sup>、そのアルカリ起源のほとんどがセメント（セメントアルカリ量：0.6～1.2%）に由来するものであるが<sup>2)</sup>、混和剤や骨材に由来するアルカリの影響もあると報告されている<sup>9)</sup>。また、構造物表面部では凍結防止剤由来（岩塩（NaCl）を使用）のアルカリ量が高いものもあった<sup>1)2)</sup>。調査対象とした構造物の補修工法を表-1～表-4 に示す。補修は、表面被覆工法として、アクリルゴム系、ポリウレタン系、ウレタン系、エポキシ系、3 種類の連続繊維シート、また断面修復工法として、ポリマーセメントモルタルおよびコンクリート巻立てである。

## 3.表面被覆工法および連続繊維シートの経時変化とコアによる残存膨張性の評価との関係

調査対象とした構造物（補修前）にはすべて ASR によるひび割れが発生していた。補修として柔軟型エポキシ系のひび割れ注入材を使用した後に、各表面被覆工法および連続繊維シートを適用した。これらの補修の目的は、凍結防止剤の浸透抑制や第 3 者に対するコンクリートはく落片の防止を目的としている。補修後の損傷状況の比較を写真-2 に示す。構造物 A、C、F では表面被覆および連続繊維シートの未施工部



写真-1 表面被覆後のひび割れ<sup>1)</sup>



表-1 表面被覆工の種別と対象構造物

第1次補修	エポキシ樹脂系のひび割れ注入+エポキシ樹脂系の表面被覆			
	第2次補修の材料	アクリルゴム系 塗装	ポリウレタン系 塗装	ウレタン系 塗装
構成	上塗: アクリルウレタン系 (300g/m <sup>2</sup> ) 中塗: アクリルゴム系 (2000g/m <sup>2</sup> ) 下塗: エポキシ系 (200g/m <sup>2</sup> )	上塗: アクリルシリコン系 (100g/m <sup>2</sup> ) 中塗: ポリウレタン系 (500g/m <sup>2</sup> ) 下塗: シラン系 (150g/m <sup>2</sup> )	上塗: フッ素系 (300g/m <sup>2</sup> ) 中塗: ウレタン系 (2500g/m <sup>2</sup> ) 下塗: ウレタン系 (200g/m <sup>2</sup> )	上塗: ポリウレタン系 (120g/m <sup>2</sup> ) 中塗: エポキシ系 (700g/m <sup>2</sup> ) 下塗: エポキシ系 (400g/m <sup>2</sup> )
構造物名	A	B	C	D, E
供用年	1975	1975	1975	1975
第2次補修年	2001	2001	2001	2004
調査年	2012	2012	2012	2012
部位	橋台	橋台	橋台	橋脚
試料採取位置の環境	直接日射の影響を受けない。凍結防止剤の影響を受ける。			

表-2 連続繊維シートの種別と対象構造物

第1次補修の材料	連続繊維シート		
	上塗: アクリル系 (300g/m <sup>2</sup> ) 炭素繊維 (繊維目付317g) 含浸接着剤: エポキシ系	上塗: アクリル系 (300g/m <sup>2</sup> ) アラミド繊維 (繊維目付650g) 含浸接着剤: エポキシ系	上塗: アクリル系 (300g/m <sup>2</sup> ) ポリエチレン繊維 (繊維目付189g) 含浸接着剤: エポキシ系
構成			
構造物名	F		
供用年	1980		
第1次補修年	2002		
調査年	2012		
部位	橋台		
試料採取位置の環境	直接日射の影響を受けない。凍結防止剤の影響を受ける。		

表-3 ポリマーセメントモルタルによる断面修復工法の種別と対象構造物

第1次補修	エポキシ樹脂系のひび割れ注入+エポキシ樹脂系の表面被覆	
第2次補修の材料	ポリマーセメントモルタル	
構成		
構造物名	G, H, I, J	K
供用年	1975	1975
第2次補修年	2001	2001
調査年	2012	2012
部位	橋台	橋台
工法	湿式吹付工法	注入打設工法※
試料採取位置の環境	直接日射の影響を受けない。凍結防止剤の影響を受ける。	

※: 型枠を設置後、型枠内に湿式吹付工法によるノズルを挿入して施工し、数日後、脱型するものである。

表-4 コンクリート巻立てによる断面修復工法の種別と対象構造物

第1次補修	エポキシ樹脂系のひび割れ注入後、エポキシ樹脂系の表面被覆	
第2次補修の材料	コンクリート	
構成		
構造物名	L, M, O	P
供用年	1975	1975
第2次補修年	2004	2002
調査年	2012	2012
部位	橋台	橋台
工法	—	—
試料採取位置の環境	直接日射の影響を受けない。凍結防止剤の影響を受ける。	

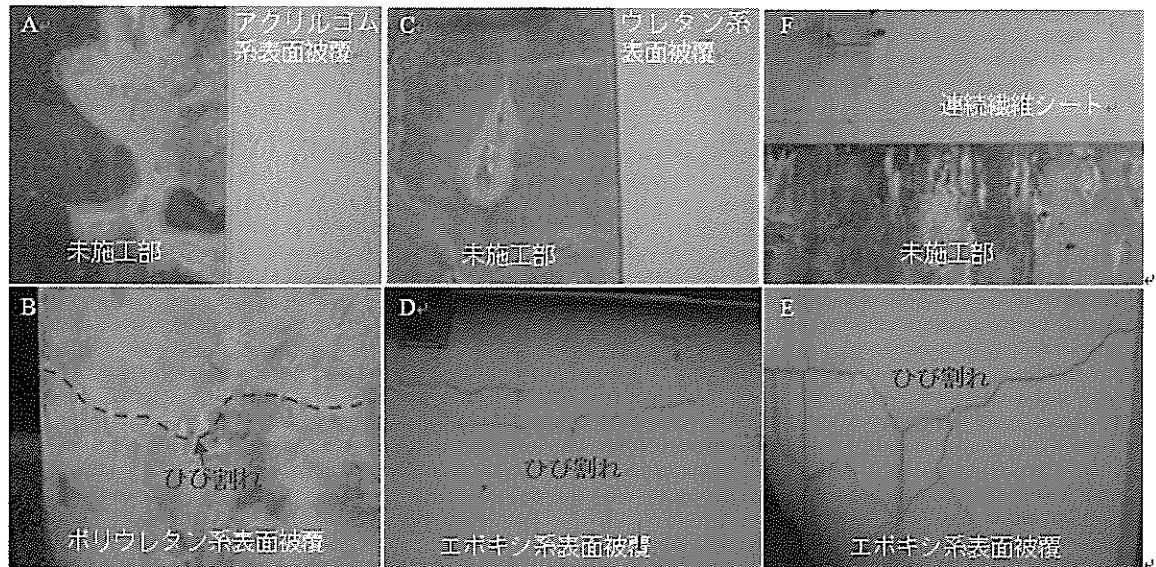
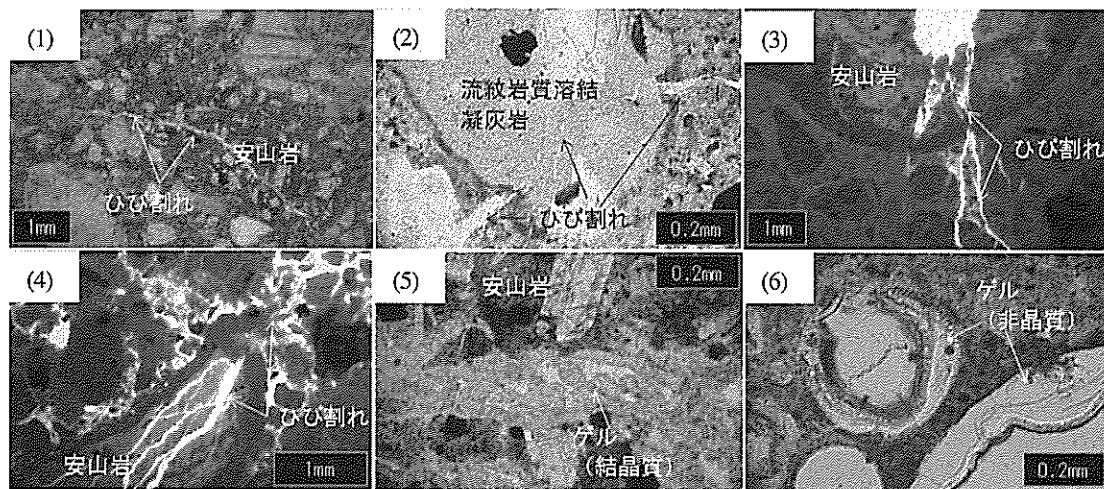


写真-2 表面被覆材の損傷状況の比較 (A~F: 構造物名, 2012年12月の現状)



(1) 安山岩(砂)から発生したひび割れ(単ニコル, 構造物 D), (2) 流紋岩質溶結凝灰岩(砂)から発生したひび割れ(単ニコル, 構造物 B), (3) および(4) 安山岩(砂利)から発生したひび割れ(蛍光, 構造物 E および C), (5) 安山岩(砂利)中の結晶質のゲル(単ニコル, 構造物 D), (6) 気泡内の非晶質のゲル(単ニコル, 構造物 B)

写真-3 コアの薄片観察による ASR 発生状況の比較

でひび割れから溶出消石灰が発生しているが、補修を行った箇所では損傷が表面化していなかった。一方、構造物 B, D, E では ASR による膨張を抑制できず、表面被覆にひび割れが発生していた。ひび割れの発生により、凍結防止剤の成分がコンクリート中に浸透し、鉄筋腐食を助長する可能性が推察された。被覆箇所に損傷が発生しているものは中塗材の塗布量が  $700\text{g}/\text{m}^2$  以下のものであり、健全なものは  $2,000\text{g}/\text{m}^2$  以上のものであった。したがって、中塗材を厚くすることで、ASR 膨張によるひび割れ追従性を確保でき、被覆材自身の損傷のリスクを低減できるものと考えられた。

コアの薄片観察による ASR の発生状況を写真-3 に示す。各構造物とも安山岩や流紋岩質溶結凝灰岩を含有する砂利や砂が激しく反応し、骨材中からセメントペースト中にゲルが進展していた。また、骨材中にはロゼット状のゲルが形成し、気泡内には非晶質のゲルが沈殿していた。補修を適用した構造物間の比較より、ASR による劣化の差はほとんどないもの

と判断された。

各構造物で分析した川砂利のアルカリシリカ反応性の面積率(コア側面に現れた直径 5mm 以上の骨材を対象に面積率を算出)と水溶性アルカリ量(温度  $40^\circ\text{C}$  の温水抽出法)の関係を図-1 に示す。「ASR の発生なしあるいは発生しても軽微な領域」は、北陸地方の調査結果に基づいて決定したものである<sup>9)</sup>。高反応性岩種としては、偏光顕微鏡観察の結果から安山岩および流紋岩質溶結凝灰岩の構成率の合計としている。各構造物とも水分の供給があればアルカリシリカ反応を十分に発生させる要素を備えていた。

「カナダ法によるコアの膨張率」の経時変化を図-2 に示す。被覆材に損傷が発生しなかった構造物 A および C では、「カナダ法によるコアの膨張率」にほとんど変化はなかった。これは、これらの補修材が ASR の進行を抑制していたものと判断された。一方、被覆材に損傷が発生した構造物 B, D および E では、「カナダ法によるコアの膨張率」が時間の経過

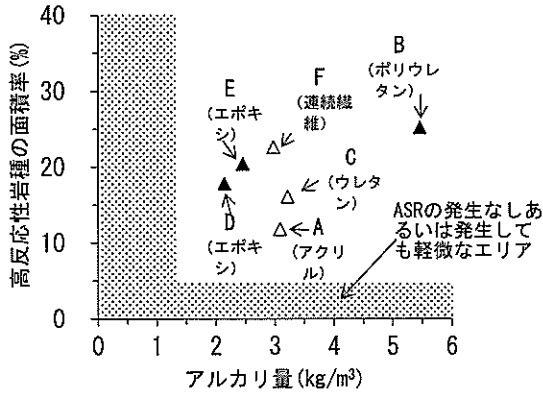


図-1 高反応性岩種とアルカリ量との関係

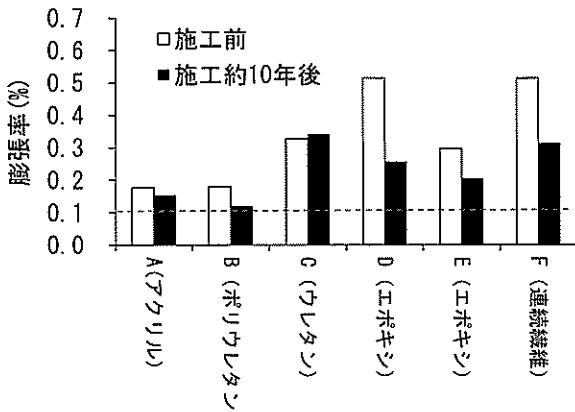


図-2 「カナダ法によるコアの膨張率」の経時変化

に伴い低下しており、被覆材による ASR 抑制効果が発揮されず、損傷が発生したものと考えられた。また、構造物 F ではカナダ法の膨張率が時間の経過に伴い低下しており、ASR が進行したものと判断されるが、シート自体が耐久性に優れ、被覆材に損傷が発生しなかったものと考えられた。この結果より、「カナダ法によるコアの膨張率（試験日数 21 日）」が約 0.2% 程度以下であればアクリルゴム系、膨張率が 0.35% 程度以下であればウレタン系の表面被覆材が適用できる可能性があった。このようにカナダ法を継続的に実施することで補修材料の適合性の判断するうえで重要なデータが蓄積できるものと考えられた。

#### 4. 断面修復の経時変化とコアによる残存膨張性の評価との関係

##### 4.1 ポリマーセメントモルタルによる断面修復

構造物 G, H, I, J, K では、かぶり部分を除去し、ポリマーセメントモルタルにより断面修復を実施した。補修の目的は、凍結防止剤の浸透抑制や第三者に対するコンクリートはく剥きの防止を目的としている。使用したポリマーセメントモルタルは同一会社の製品（F 社製、プレミックスタイプ）である。この中にはひび割れを防止するためのビニロン繊維（O 社製）を 1.5% 混入している。しかし、補修直後より、構造物 K を除き、幅 0.1~0.5 mm 程度のセメントモルタルの乾燥収縮および自己収縮によるひび割れが発生した。その後、構造物内部の ASR の進行による膨張を反映した形態の 2 方向のひび割れが発生し、ひび割れの延長は時間の経過とともに増加した（写真-3 参照）。ひび割れが発生した構造物 G~J は湿式吹付工法であり、ひび割れの発生がなかった構造物 K は注入打設工法と、工法の違いがあった。ひび割れが発生すると、凍結防止剤の成分の浸透を抑制できず鉄筋腐食を助長することやモルタル片の落下に繋がる可能性があった。コアの薄片観察の結果を写真-4 に示す。安山岩や流紋岩質溶結凝灰岩の砂利および砂がともに反応し、もっとも反応性の高いオパール粒子の存在も確認できた。ゲルは骨材からセメントペーストに発達するものが多くあり、ASR の進行度に各構造物の差は見られなかった。

各構造物で分析した川砂利のアルカリシリカ反応性の岩種面積率および水溶性アルカリ量の結果を図-3 に示す。各

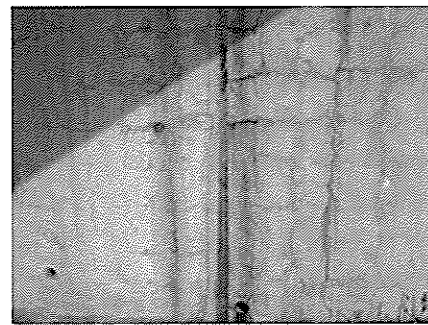
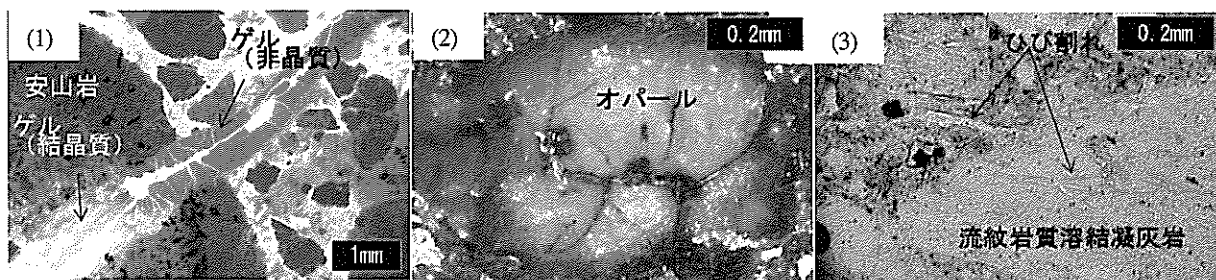


写真-3 ひび割れの発生状況  
(構造物 I, 2012 年 12 月の現状)



(1) 安山岩（砂利）から発生したゲル（蛍光、構造物 J）、(2) 反応を生じたオパール（直交ニコル、構造物 G）、(3) 流紋岩質溶結凝灰岩（砂）に発生したひび割れ（単ニコル、構造物 I）。

写真-4 コアの薄片観察による ASR 発生状況の比較

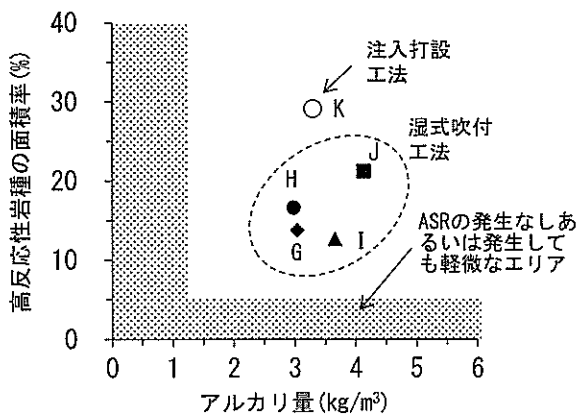


図-3 高反応性岩種とアルカリ量との関係

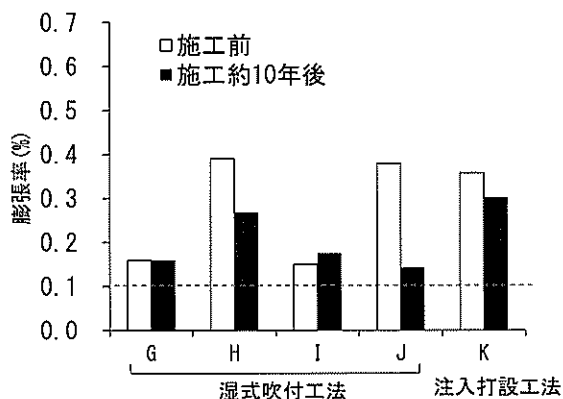


図-4 「カナダ法によるコアの膨張率」の経時変化

構造物とも水分の供給があればアルカリシリカ反応を十分に発生させる要素を備えていた。「カナダ法によるコアの膨張率」の経時変化を図-4に示す。構造物GおよびIでは「カナダ法によるコアの膨張率」に変化がなくASRを抑制、構造物H、JおよびKでは「カナダ法によるコアの膨張率」が低下しておりASRが進行したと判断された。ポリマーセメントモルタルの断面修復によるASR抑制効果については判断できなかった。なお、ポリマーセメントモルタルによる断面修復のひ

び割れ拡大は、「カナダ法によるコアの膨張率」の変化との関係がなかったことから、ASRによる膨張のほか凍結融解作用も影響しているものと推察された。初期に発生したセメントモルタルの自己収縮や乾燥収縮を抑制することによって補修材の耐久性は保たれると考えられ、本工法の場合、表面被覆による補修を組み合わせることが重要であった。

#### 4.2 コンクリート巻立てによる断面修復

構造物L, M, N, Oでは、ASRが発生したかぶり部分を除去し、追加鉄筋(D13@300)を配置後、コンクリートを巻立てた。補修の目的は、凍結防止剤の浸透抑制や第3者に対するコンクリートはく落片の防止を目的としている。コンクリート巻立ての示方配合表を表-5に示す。ひび割れ防止のためビニロン繊維(K社製)をセメント量の0.5%を混入し、膨張剤および高性能AE減水剤を添加している。しかし、施工から約10年後で構造物Oでは写真-5に示すようにひび割れと溶出消石灰が発生した。ひび割れの発生により、凍結防止剤の成分の浸透を抑制できず鉄筋腐食を助長することやコンクリート片の落下に繋がる可能性があった。コアの薄片観察の結果を写真-6に示す。本構造物も安山岩や流紋岩質溶結凝灰岩がともに反応しており、ASRの反応の程度はほとんど変わらなかった。

各構造物で分析した川砂利のアルカリシリカ反応性の岩

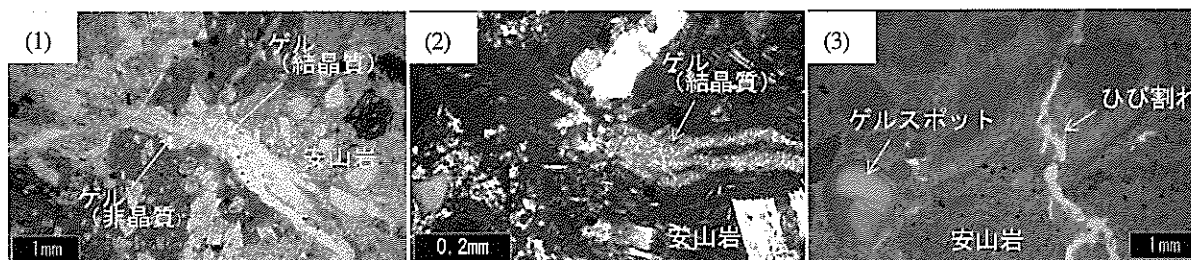


写真-5 ひび割れの発生状況  
(構造物0, 2012年12月の現状)

表-5 コンクリート巻立てに使用したコンクリートの示方配合表

W/C (%)	G <sub>max</sub> (mm)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
					W	C	S	G	混和剤A	混和剤B
56%	25	21.5	6.2	47.8	171	303	827	952	30	2.997

ビニロン繊維：長さ30mm 混入率0.5%(6.5kg/m³)、混和剤A：膨張剤 混和剤B：高性能AE減水剤



(1) 安山岩(砂利)から発生したゲル(単ニコル, 構造物L), (2) 安山岩(砂)の中の結晶質のゲル(直交ニコル, 構造物O), (3) 安山岩(砂)の付近に発生したゲルスポット(蛍光, 構造物O)

写真-6 コアの薄片観察によるASR発生状況の比較

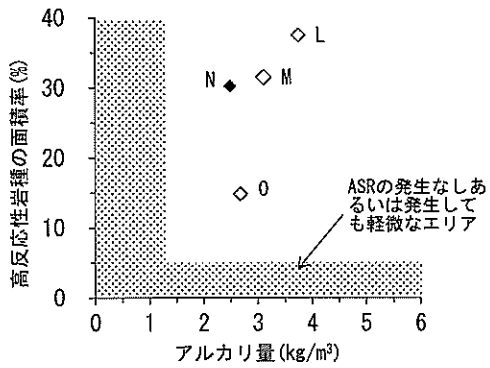


図-5 高反応性岩種とアルカリ量との関係

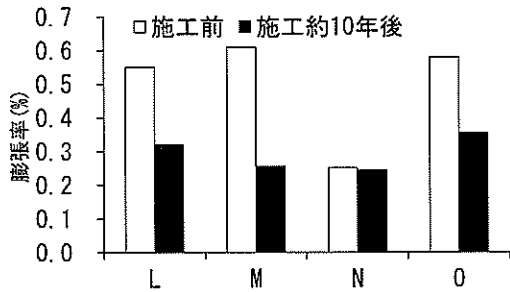


図-6 「カナダ法によるコアの膨張率」の経時変化

種面積率および水溶性アルカリ量の結果を図-5 に示す。各構造物とも水分の供給があればアルカリシリカ反応を十分に発生させる要素を備えていた。「カナダ法によるコアの膨張率」の経時変化を図-6 に示す。構造物 L, M および P では、「カナダ法によるコアの膨張率」が低下していることから、本工法によって ASR を抑制できないものと判断された。これは追加鉄筋を配置したことにより構造物表面に発生する引張力を負担していることでコンクリート巻立てに損傷が発生しなかったものと推察された。なお、構造物 O で発生した損傷は、ひび割れの形態から増厚時の施工段階で発生したコールドジョイントに水が浸入したことによるものと考えられた。

## 5.まとめ

本研究により得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 「カナダ法によるコアの膨張率」を継続的に把握することで補修材の ASR 抑制効果を評価できるものと考えられた。
- (2) アクリルゴム系やウレタン系の被覆材（中塗材の塗布量が  $2,000\text{g/m}^2$  以上のもの）は比較的良好な状態を継続していた。中塗材の塗布量を十分に確保することでひび割れ追従性が確保され、損傷のリスクが低減された可能性が考えられた。
- (3) 連続繊維シートによる ASR 抑制効果は期待できなかったものの材料自体が耐久性に優れ、損傷が発生しなかったものと推察された。

- (4) 「カナダ法によるコアの膨張率」の結果より、コアの膨張率が  $0.2\%$  以下の場合アクリルゴム系、同じく  $0.35\%$  以下の場合ウレタン系の被覆材が適用できるものと考えられた。
- (5) ポリマーセメントモルタルによる断面修復の ASR 抑制効果については判断できなかった。なお、初期に発生したセメントモルタルの自己収縮や乾燥収縮を抑制することによって補修材の耐久性は保たれると考えられ、表面被覆を組み合わせることが重要であった。
- (6) コンクリート巻立てによる断面修復の ASR 抑制効果は期待できなかった。追加鉄筋を配置したことにより構造物表面に発生する引張力を負担することでコンクリート巻立てに損傷が発生しなかったものと考えた。

## 参考文献

- 1) 野村昌弘, 青山賢伸, 平 俊勝, 鳥居和之: 北陸地方における道路構造物の ASR による損傷事例とその評価手法, コンクリート工学論文集, Vol.13, No.3, pp.105-114, 2002
- 2) Katayama, T., Tagami, M., Sarai, Y., Izumi, S., Hira, T.: Alkali-Aggregate Reaction under the Influence of Deicing Salts in the Hokuriku District, Japan, Materials Characterization, Vol.53, pp.105-122, 2004
- 3) 野村昌弘, 平 俊勝, 鳥居和之: コアによるコンクリート構造物のアルカリシリカ反応の判定, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.1147-1152, 2001
- 4) 鳥居和之, 野村昌弘, 本田貴子: 北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性, 土木学会論文集 No.767/V-64, pp.185-197, 2004
- 5) Nomura, M., Komatsubara, A., Kuroyanagi, M., Torii, K.: Evaluation of The Residual Expansivity of Cores due to Alkali-Silica Reaction in Hokuriku District, Japan, Proc. of the 14<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, CD-R 10pages, 2012
- 6) 野村昌弘, 小松原昭則, 丑屋智志, 鳥居和之: ASR 劣化構造物から採取したコアの残存膨張性評価の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.965-970, 2010
- 7) 大代武志, 鳥居和之: 富山県の ASR 劣化橋梁の実態調査に基づく ASR 抑制対策および維持管理手法の提案, コンクリート工学論文集, Vol.20, No.1, 2009
- 8) 野村昌弘, 西谷直人, 清水隆司, 鳥居和之: 実構造物における骨材からのアルカリ溶出の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.791-796, 2006
- 9) 野村昌弘, 小松原昭則, 畔柳昌巳, 鳥居和之: 北陸地方における反応性骨材の岩石学的特徴とコアの残存膨張性の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.953-958, 2011

## 平成26年度事業報告

1. 幹事会 平成26年4月7日(月)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26年7月4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26年10月24日(金)午前10時から午後4時  
於 福井県国際交流会館多目的ホール(B1F)  
特別講演1件および研究報告9件(予定)
4. 会誌「北陸路」の発行  
平成26年12月発行(550部印刷予定)
5. 部会活動
  - (1) 材料部会
    - \*平成26年4月22日(火)午後1時20分から午後4時  
平成26年度第1回「七尾地区 フライアッシュコンクリートの活用セミナー」  
於 七尾サンライズプラザ視聴覚室
    - \*平成26年6月6日(金)午後3時から5時  
特別記念講演会 於 KKR金沢ホテル3F 鳳凰  
講演1(社)日本コンクリート工学会賞(奨励賞)受賞記念講演  
「腐食生成物の違いがひび割れ幅と腐食量の関係に与える影響」  
(株)大林組 技術本部 西澤彩 氏  
講演2(社)日本コンクリート工学会賞(奨励賞)受賞記念講演  
「石灰石骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリシリカ反応性の評価」  
金沢大学環境デザイン学系 山戸博晃 氏  
講演3(一財)電力土木技術協会高橋賞受賞記念講演  
「コンクリートのASR簡易診断手法(ゲレフルオレッセンス法の開発)」  
北陸電力(株)土木部 参納千夏男 氏  
祝賀会 於 KKR金沢ホテル 午後5時30分から7時30分
    - \*平成26年11月5日(水)午後1時から半日  
講習会 於 金沢大学サテライトプラザ  
「ASRに対する診断と抑制対策のあるべき姿に関するシンポジウム」
  - (2) 構造部会
    - \*平成26年6月6日(金)午後3時から午後4時  
講演会 於 金沢大学自然科学研究2号館Cブロック5階 会議室  
「流動体を介する衝撃的作用の数値解析手法について」  
講師 構造計画研究所 渡辺 高志 氏
    - \*平成26年8月1日(金)午後2時から午後5時  
「ブリッジゼミ北陸」第3回 講演会 於 ITビジネスプラザ武蔵5F研修室1  
「RC床版の耐久性診断について」  
講師 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 橘 吉宏氏
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、監查理事各 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、会計理事及び監查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。

## 編集後記

今程、ラグビーの日本代表とマオリ・オールブラックス（世界6位の強豪チーム）の試合が終了しました。久々に、日本代表の「大金星」かと、期待してテレビを見ていましたが、20-18でマオリ・オールブラックスが最後に勝ちました。やはり実力差は如何ともし難く、最後の5分で簡単に逆転されました。これでも私はラグビーを高校、大学と10年間続けましたが、最近は、「体力、気力、持続力」の衰えが目立ち、3年前には大学時代のヘルニアの後遺症で入院するはめにもなりました。ラグーマンとしての痕跡はありませんが、現在、唯一趣味は、秋から冬にかけての大学ラグビーを観戦（ケーブルテレビでの観戦がほとんど）することです。テレビの前で相変わらず好きなチーム（慶応と筑波）の勝敗に一喜一憂しながら、楽しく焼酎を飲んでいきます。

さて、この度（平成26年11月）、内閣府総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）[インフラ維持管理・更新・マネジメント技術]において、金沢大学から提案した「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」が採択されました。本プログラムは、北陸地方が抱える「コンクリートの早期劣化（塩害とアル骨）の問題解決」を目指したものであり、道路構造物（橋梁、トンネル、舗装）のトータルメンテナンスシステムを確立することを目指しております。今後5年間にわたり、大きな研究開発の予算が金沢大学、金沢工業大学、石川高専、長岡技科大学、福井大学に投入されます。内閣府・JSTからは、地方の道路メンテナンスのモデルケースとして同じ課題を抱える東北、中国、四国、九州などの地方への情報発信を求められています。私にとって、最初で、最後の国策プロジェクトの責任者であります。この財源は、国民の方々の税金からであり、責任重大。覚悟を決めて頑張る所存です。この半年、プロジェクトの申請にあたり、学内調整や内閣府のヒアリングなどにていろいろな方々から励まし、時には厳しい叱責をいただきました。しかし、金沢大学でのコンクリート工学や橋梁工学でのこれまでの研究実績は中央の官庁や大学関係者からも高く評価されておりました。このことは、北陸道路研究会の理事長を勤められた、永井先生（初代）、柳場先生（2代）、小堀先生（3代）、川村先生（4代）、梶川先生（5代）によるものであり、61年にわたり続いた「北陸道路研究会の歩み」そのものであると自負しております。また、「財源、人財、技術力」のすべてが足りない北陸地方でのプロジェクトを遂行するには、「産学官民」の連携が必須であります。北陸道路研究会はこの「産学官民」の中心（要）となる組織であります。本プロジェクトへの今後のご支援とご協力を心からお願いいたします。

最後に、平成26年度の北陸道路研究会の総会（福井市国際交流会館）には、例年と同様に、180名をこえる、多くの方々の参加をいただき、活発な議論や情報交換ができました。さらに、会員、賛助会員及び広告掲載企業の皆様からは引き続き多くのご支援とご援助を賜りました。私の理事長の任期はあと1年、平成28年3月までで、平成29年4月からは高山先生に理事長を交代する予定であります。皆様方のお陰で、この1年間の北陸道路研究会の研究・普及活動を無事に終了することができました。

会員皆様方のますますのご健勝とご活躍を心からお祈りしております。

平成26年11月8日

鳥居 和之  
鳥居久美子



「北陸路」(平成26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](mailto: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26年12月22日