

# 神戸港六甲アイランド地区における 供用中のコンテナターミナル耐震改良工事について

仲井 秀樹

<sup>1</sup>近畿地方整備局 神戸港湾事務所 第二工務課 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

阪神港は平成22年8月に国際コンテナ戦略港湾に指定され、コンテナ物流の国際競争力の更なる強化を図るため、六甲アイランド地区コンテナターミナルRC6,7はターミナルの延長を700mから800mに、岸壁水深も-16mに増深し、現在はターミナル荷さばき地の耐震改良を行っている。

本稿は、供用中のコンテナターミナルにおいて、港湾機能を維持しながら工事を実施するための整備計画、関係者調整、安全対策、施工上の工夫について報告するものである。

キーワード 供用中のコンテナターミナル、耐震改良工事、港湾機能の維持

## 1. はじめに

六甲アイランド地区コンテナターミナルRC6,7は平成6年に水深(-14m)の岸壁として供用を開始した。平成7年1月に発生した兵庫県南部地震において被災を受けたが、迅速な震災復興により、同年4月に再供用し、以後、神戸港における中心的なコンテナターミナルとして重要な役割を果たしている。

しかし、近年、コンテナ船が大型化しており、これに合わせた施設の整備が喫緊の課題となっている。

神戸港湾事務所では、阪神国際港湾株式会社等と協力し、国際コンテナ戦略港湾・阪神港の物流を支える中核施設のひとつである、六甲アイランド地区コンテナターミナルRC6,7において、ターミナルの拡張、岸壁の増深、ガントリークレーンの大型化、耐震性の強化といった施

設の高規格化を進めている(図-1参照)。

本プロジェクトは平成25年度より着手し、これまで、岸壁水深を-16mに増深、ターミナル延長を700mから800mに拡張、ガントリークレーンの大型化については完了し、現在は岸壁背後の荷さばき地(コンテナ蔵置エリア)の耐震改良を実施しているところである。

当該岸壁では、ほぼ毎日コンテナ船が着岸、荷役作業が行われており、工事の実施にあたってはターミナルの運営に支障とならないように施工を進めなければならない。

本稿では、港湾機能を維持しながら耐震改良工事を実施するための整備計画の検討、ターミナル利用者との緊密な調整、安全対策、施工上の工夫について報告する。

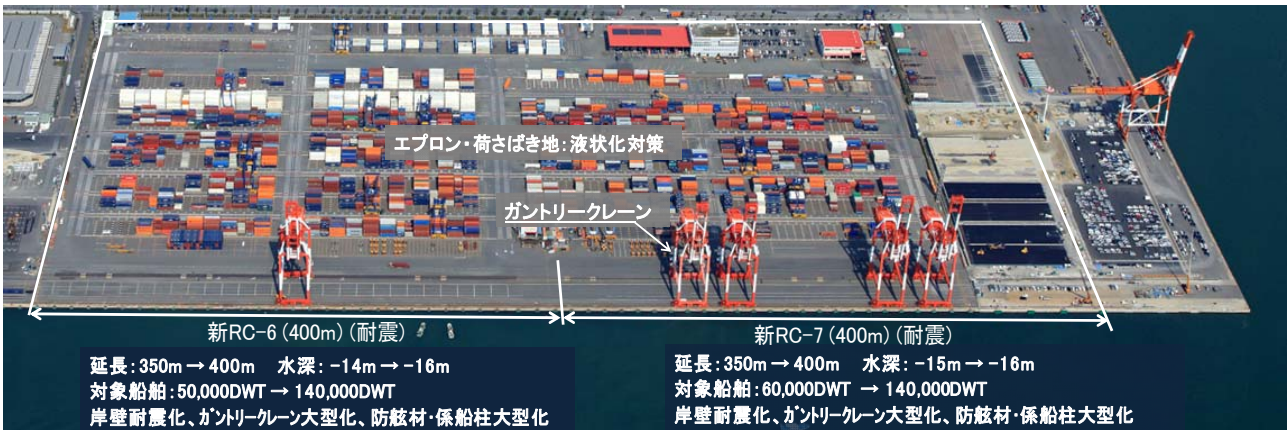


図-1 六甲アイランド地区コンテナターミナルRC-6,7高規格化 整備概要

2. コンテナ蔵置個数を維持した整備計画

(1) RC-6,7荷さばき地整備計画(工区割の検討)

本工事はターミナルの荷さばき地(コンテナ蔵置エリア)を数分割の工区に分け,段階的に耐震改良工事を実施しており,工区割の検討にあたってはコンテナ蔵置個数の維持,トレーラーの車両動線の確保,トランスファークレーンのメンテナンス場所及び給油所までの動線の確保といった内容について検討し,ターミナルを供用しながら工事を展開するための各種条件をクリアした工区割としている。(図-2参照)

また,本工事ではターミナル利用者の協力により,各施工範囲に置かれているコンテナを移動してもらい,供用中の範囲と施工範囲の境界を工事用フェンスで仕切り,占有施工を行っている。(写真-1参照)

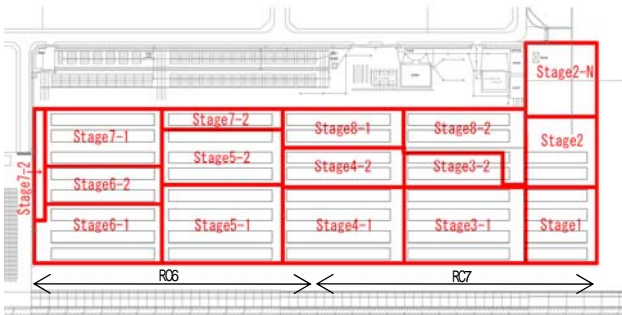


図-2 RC-6,7荷さばき地 整備計画(工区割)

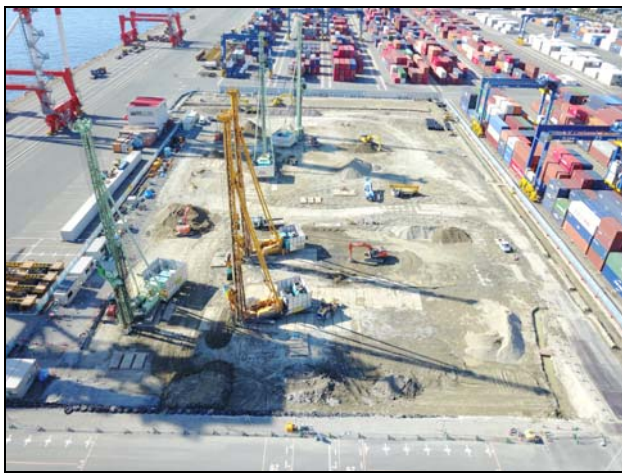


写真-1 占有施工(stage4-1工区)

(2) コンテナ蔵置個数の検討

本ターミナルは国際コンテナ戦略港湾の一翼を担っており,事業実施にあたっては港湾機能を維持しながら進めていくことが前提条件となっている。ターミナルの供用に支障を来さないことは勿論の事,荷さばき地のコンテナ蔵置個数を減らすことなく,工事を展開して行かなければならない。

整備計画の検討にあたっては,各工区毎,次の工事において施工範囲として占有することで消滅するコンテナ

蔵置個数と同数の個数を増設・確保し,工事を展開する必要がある。以下にその一例を示す。(図-3参照)

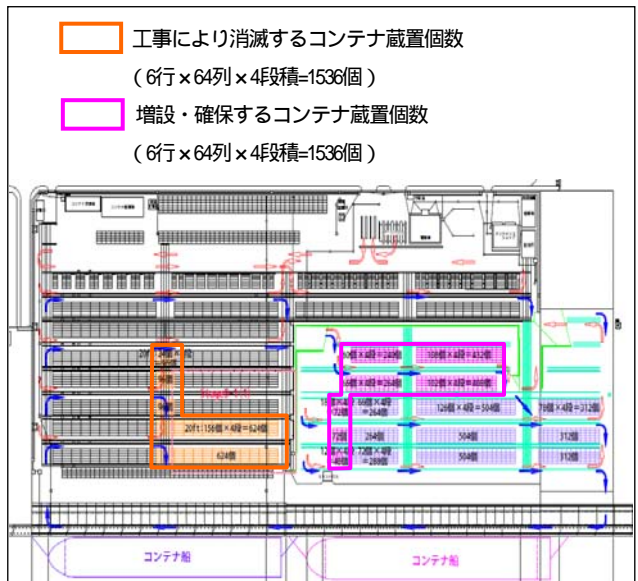


図-3 コンテナ蔵置個数の検討

また,コンテナ蔵置個数を維持するため,工事において指定部分(一部引渡し部分)を設定し,工事途中で一部供用し,蔵置個数を確保した上で次の施工範囲に入るといった非常に複雑な工事を展開する計画となっている。以下にその一例を示す。(図-4参照)

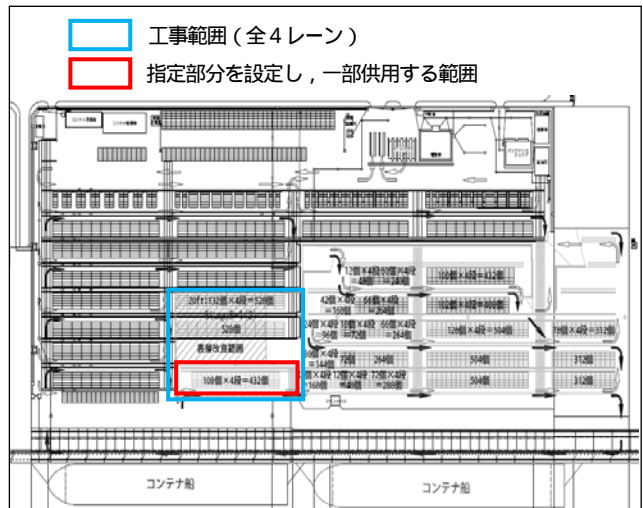


図-4 指定部分を設定した工事展開

### 3. ターミナル利用者との調整事項

本工事の実施にあたっては各工区毎に生じる様々な課題について、ターミナル利用者と緊密な調整を行っている。その調整事項の一例を次に報告する。

#### (1) 工事車両の通行ルートの調整〔着手前〕

供用中のターミナル内の工事では、港湾荷役関係車両の通行が最優先となるため、工事車両の通行ルートについて、ターミナル利用者と事前に調整を行っている。

入口から工事の施工範囲までの距離やトレーラーなど荷役関係車両などが輻輳する危険な箇所などを考慮し、工事車両が安全に通行するため、必要に応じて仮設通路を整備するなど、各工区毎に工事車両の通行ルートを検討し、最適なルートを設定している。以下にその一例を示す。(図-5、写真-2参照)

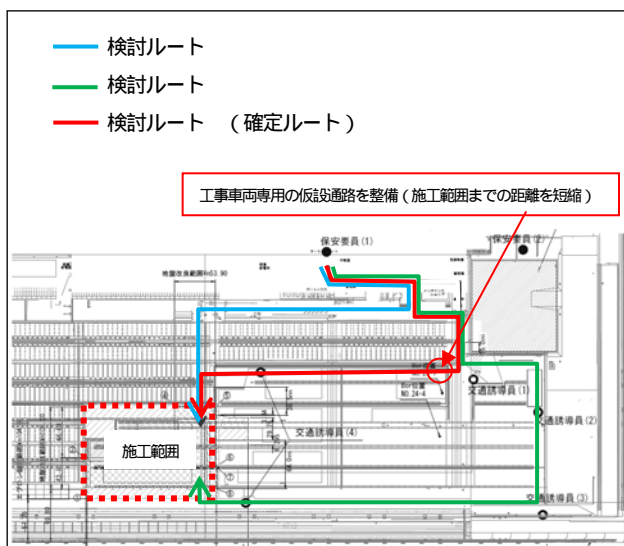


図-5 工事車両の通行ルート検討例 (stage5-1工区)

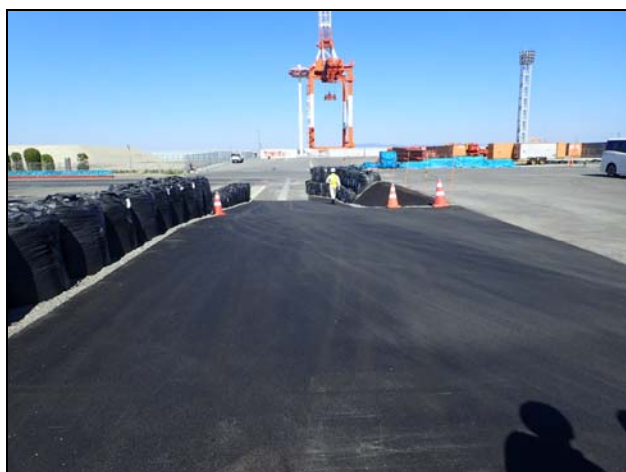


写真-2 工事車両用の仮設通路

#### (2) トレーラーの走行試験〔着手前、完成前〕

整備計画、設計どおりに施工していくだけでは、ターミナルの利用上、使い勝手が悪い箇所、危険な箇所が発生する恐れがある。

工事の着手前においては、施工範囲を占有するための工事用フェンス設置に先立ち、ターミナル利用者と現地においてトレーラーの走行試験を実施し、机上の検討通りに工事用フェンスを設置しても支障とならないか、事前に確認を行っている。(写真-3参照)

また、工事の完成前においても、供用に先立ちトレーラーの走行試験を実施し、設計通りにコンテナマットを設置しても走行に支障がないか事前に確認している。その他、トレーラーの誘導用の路面表示や待機レーン用の路面表示の詳細な位置の確認、一時停止看板などの安全対策資材の設置位置の確認といった供用に向けた調整を行っている。



写真-3 トレーラーの走行試験

#### (3) ターミナル内の車両動線の切替に伴う関係者への周知〔着手前、完成前〕

各工区毎の工事の着手時及び完成に伴う供用時には工事の影響により、ターミナル内の港湾荷役関係車両の動線が変更となる。指定されたコンテナ蔵置場所までの通行ルートが変更されることにより、ドライバーの混乱、事故を招く恐れがある。車両動線の切替にあたっては、ターミナル利用者と動線の検討、安全対策を検討し、周知用の車両動線切替の案内図を作成している。以下にその一例を示す。(図-6参照)

トラック協会への事前周知、ターミナルの入口ゲートにおいてドライバーへ車両動線切替案内図を配布・周知(3日間約1200枚程度を配布)することにより、工事に起因して発生する車両動線の切替作業が円滑に進むように調整を行っている。(写真-4参照)

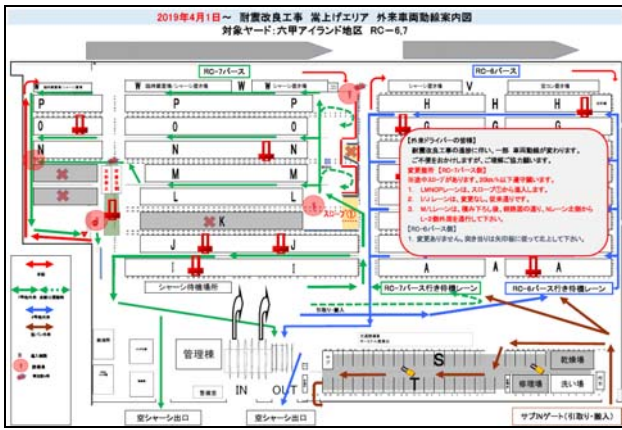


図-6 車両動線切替案内図(イメージ)



写真-4 入口ゲートにおける案内図の配布状況

#### 4. 工事における安全対策

本事業は供用中のコンテナターミナル内での工事であり、トレーラー等の港湾荷役関係車両と工事関係車両との事故は絶対に避けなければならない。安全を第一に、ターミナル利用者と協議し実施してきた安全対策の一例を次に報告する。

##### (1) 先導車の配備

供用中のターミナルにおいて、出入口から施工範囲まで工事関係車両が移動する場合は、必ず先導車を付けることとしている。(写真-5参照)

ターミナルの利用形態(施設配置、トレーラーの動線等)及び場内の交通ルールを把握した者による先導がなければ場内を走行することができない。



写真-5 先導車

##### (2) 交通誘導員の配置

ターミナルの荷さばき地(コンテナ蔵置エリア)を数分割に工区分けし、段階的に工事を実施していることにより、ターミナル内の港湾荷役関係者車両の動線が変則的になっている。動線の変則箇所はトレーラーの滞留や輻輳する恐れがあるため、工事に起因して必要な安全対策として交通誘導員を配置している。(図-7,写真-6参照)

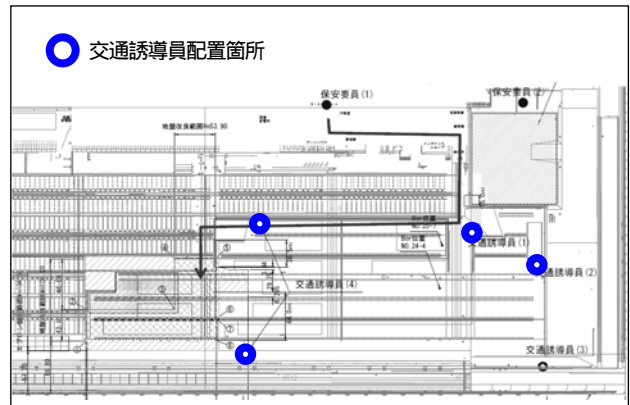


図-7 交通誘導員の配置箇所(stage5-1工区時)



写真-6 車両動線の変則箇所における誘導員

## 5. 施工上の工夫

本工事では耐震改良としてサンドコンパクションパイプ(以下、「SCP」という)工法による施工を実施している。供用中のターミナルにおけるSCP施工にあたり実施している施工上の工夫について、次の通り報告する。

### (1) 供用中の範囲への影響低減対策(緩衝孔の設置)

SCP工法は地中に砂杭を造成して地盤を改良するため、地中において側方流動が発生し、施工範囲周辺の供用中の範囲に変状が起こることが懸念される。そのため、SCP施工範囲の外周に、施工時の変位を吸収させるため、土を緩めて造る「緩衝孔」を設置し、影響低減のための対策を実施した。(写真-7参照)



写真-7 緩衝孔の施工状況

### (2) SCP施工により発生する盛上土の有効活用

SCP工法により地中に砂杭を造成するにあたり、周囲から大量の盛上土が発生する。発生した盛上土の有効活用策として、ターミナル内の沈下している範囲の嵩上げを実施することにより、土砂の運搬コスト及び処分費の縮減を図っている。(写真-8, 9参照)



写真-8 ターミナル内の嵩上げ状況 (stage4-2工区)



写真-9 大型土のう設置状況

## 6. おわりに

本稿では、供用中のコンテナターミナルにおいて、荷役作業を止めることなく港湾機能を維持しながら耐震改良工事を実施するための調整事項等の一例について報告した。

供用中の既存施設の改良はターミナル利用者との調整が条件であり、現場状況、利用形態を一番熟知しているターミナル利用者の協力なくして事業は進められない。

本事業の完了を目指して今後も緊密な調整を行い、ターミナルの運営に支障がないように工事を進めていきたい。



写真-10 工事完成時 (stage4-2工区)

# 安全安心と生産性の向上を図るための データ取得と活用への取組みについて

山田 勝輝

近畿地方整備局 奈良国道事務所 計画課 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11)

近年、社会資本の老朽化への課題や災害の多発により、社会資本の維持管理や防災対策への関心が大きなものとなっている。また、少子高齢化や熟練工の減少などの影響もあり、建設技術を取り巻く環境は深刻な人材不足を抱えており、生産性の向上による環境改善は急務となっている。一方、近年では技術革新による画像認識技術や情報技術は特にめざましい発展がなされており、これらの技術の活用により建設技術の生産性向上を図ることが期待されている。

前述した課題への対応方策として、これまでに近畿地方整備局が蓄積してきた調査・点検・設計・工事の各事業より取得される生産性向上に資する記録やデータの保管・活用していく取組みについて紹介する。

キーワード 情報技術, 維持管理, 防災

## 1. はじめに

本取組は、近畿地方整備局における道路の維持管理およびトンネル改築事業におけるデータベースの作成及び運用を通じてその課題に対応した事例を紹介するものである。

近畿地方整備局は直轄国道24路線、約1,900kmの管理を行っており、2014年からの道路法および関係法令の改正により、定期点検が法定化された主な構造物は、橋梁4843橋・トンネル206箇所、道路付属物等1524箇所(2018年12月個別施設計画より)となっている。

これらの構造物は5年に1度の法定点検を実施しており、点検を実施した構造物においては、個別施設計画として、保全計画を立案し、構造物の長寿命化に向けた取組を実施している<sup>1)</sup>(図-1)。

から現在までの点検履歴等を総合的に分析し、現状を評価する事により保全計画を立案していく必要がある。

しかしながら、それらの記録データ量は膨大であり、活用するためには、既存データの収集・整理から着手する必要がある、そのための時間と労力が大きな課題となっている。

現在では、少子高齢化や働き方改革そして熟練工の減少などの影響もあり、建設技術を取り巻く環境は深刻な人材不足を抱えており、生産性の向上による環境改善は急務となっている。一方、近年では技術革新による画像認識技術や情報技術は特にめざましい発展がなされており、これらの技術の活用により建設技術の生産性向上を図ることが期待されている。道路管理者としての管理の高度化に向けて、上記のデータ資産を適切に蓄積し、活用していく必要がある。

図-1：個別施設計画（近畿地整HPより）

これらの構造物を適切に保全するには、定期点検による構造物の現状把握に加え、建設時の施工状況や建設時

## 2. 取組みと課題

近畿技術事務所では近畿地方整備局道路部と連携し、得られたデータを有効に活用するための取組を実施している。

取組実施の内容は大きく2つに区分され、一方は「既存データの整理・活用」もう一方は「データ取得方法の改善」として執り行われている。

上記の実施状況についてそれぞれ以下に紹介する。

### (1) 既存データの整理・活用の取組

#### a) 道路構造物保全データベースの構築

近畿地方整備局では2014年より実施している、重要構造物の法定点検について実施結果を整理し、簡易なデータベースを構築して点検調書の検索を可能とした<sup>2)</sup>。

また、点検状況等の分析に必要な項目はロングリスト上にてデータ整理可能となるようリスト化を行い、進捗等のグラフ作成を自動化している。

これにより、これまでに取得したデータの「見える化」を行い、実務者がよりデータにアクセスし、活用できる取組を実施している。

データベースは整備局内のイントラにポータルサイトとして点検に必要な基準・通達・研修資料を共に掲載し全職員からアクセス可能としている(図-2)。



図-2：データベース掲載ポータル画面

**b) 管内路線3次元地形データの取得**

管内においては、道路管理における防災対策の高度化を目的として、近畿地方整備局が管理する国道(約1,900km)周辺の3次元地形データをレーザプロファイラにより取得している<sup>3)</sup>。

レーザプロファイラにより取得した高精細の地形図を使用すれば、地形の形状が把握しやすくなり、要調査箇所判読が簡素化される事が期待される。

また、地形の特徴を解析することにより、転石などが存在する可能性のある箇所を表示することも可能となる。

近畿技術事務所では近畿地方整備局管内および自治体で実施されたレーザプロファイラの成果を収集し、未計測箇所を補完することで全線の地形空間情報を集約し、各事務所に提供している。(図-3)

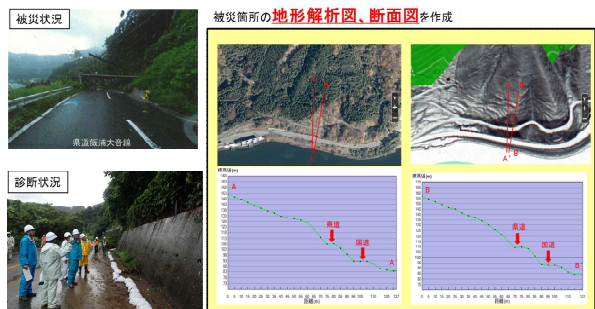


図-3：被災時における空間情報データ活用事例

(イントラネットにて全職員がビューワ閲覧が可能。)

**(2) データ取得方法の改善への課題**

建設工事にて得られたデータを画像認識技術等で有効活用する取組として、トンネル施工時に実施している岩判定および切羽観察に着目した。近畿地方整備局が施工するトンネル工事では、2006年に整備したトンネル地山等級判定マニュアル(試行案)により、岩判定(地山等級判定)を試行的に実施している<sup>4)</sup>。本マニュアルは近畿地方整備局管内の過去のトンネル工事から切羽評価点を整理・分析し、均一性の高いトンネル工事岩判定の実施にむけて作成されているものである。このマニュアルを用いた岩判定への適応性について検証した。

しかしながら、これまでの建設工事において、発注者が受注者への工事完成時に求めてきた成果は、施工時の“記録”としてのデータであり、紙ベースでの提出(現在はPDF等電子化されている。)となっていた。

上記の資料ではデータ分析や画像認識技術へ適応する場合には、一旦デジタルデータ化を実施する為の作業が必要となり、スムーズな活用が困難であることがわかった。

そこで近畿技術事務所においては、今後のデータ取得手法を改善することに着目し、以下の課題に対応することとした。

- 課題1：デジタルデータ量の不足
- 課題2：データの収集対象
- 課題3：データの品質確保

上記課題への対応については次章にて取組み事例を紹介するものとする。

**3. 課題への対応**

**(1) デジタルデータ量の不足への対応**

前述したトンネル施工時に実施している岩判定および切羽観察について現状を確認したところ、従来ではそれぞれのデータが担当者により別々の様式で作成されていたり、データ保存形式が指定されていないために、データ形式の統一が図られていない等の問題が生じていた。そこで、それらのデータをデジタルデータとして統一した形式で継続的に取得出来る仕組みを構築するものとした。

トンネルの岩判定においては、近畿地方整備局における『トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)』に基づき、9項目4段階評価を実施している。上記のマニュアルで作成する様式およびデータ形式を統一化し、近畿技術事務所のホームページに掲載して配布した。

配布した『切羽判定集計システム(試行案)』は、これまでマニュアルに基づき作成してきた様式をベースに、

グラフ自動作成機能や写真保管方法を改善している<sup>5)</sup>。

本ツールを活用することにより、現場事務所にて作成していた集計作業やグラフ作成の手間が改善される事から、各現場にも受け入れられやすいものとなった。

上記の取組を実施したことにより、施工時において毎日取得される切羽観察データが蓄積される事となり、データ量の改善に繋がる(図4)。

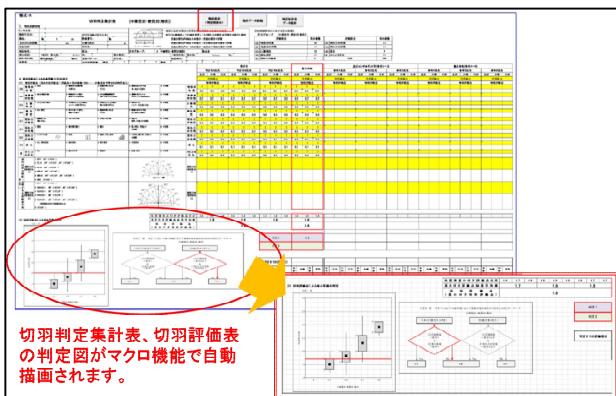


図4：切羽判定集計システム

本取組により、一定の保存形式に加工されたデータが継続的に入手できることとなり、データ量の課題に対して概ねの解決を図ることが出来た。

## (2) データの収集対象の検討

データを収集するにあたり、活用するためのデータ項目をどのように設定するかを検討する必要が生じた。

闇雲なデータ取得は現場への負担に繋がることから、収集対象は『トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)』に基づく、9項目4段階評価項目に加えて仕様書等により取得が義務づけられているデータ(内空変位や沈下量)そして「CIM 導入ガイドライン(案)第6編トンネル編」において属性情報とされている項目について収集対象としていくものとした<sup>6)</sup>。(図-5)

データ分類		取得データ
計測A	坑内観察調査	設計時弾性変位速度
		9項目4段階評価
		測点No
		発破量
		T.D.(坑口からの距離)
		地表面地形
		湧水量
		土被り
		地質
		地質年代
		岩石グループ
		既施工区間の観察
		坑外(地表面)の観察
		切羽写真
測定データ	内空変位	
	天端・脚部沈下量	
	地表面沈下量	
	ポイントロード試験※1	
	シュミットハンマー試験※1	

凡例  
 切羽評価結果集計システム取得データ  
 仕様書等で取得が義務づけられているデータ(様式等が存在しない)  
 必要に応じて取得されるデータ

注釈  
 ※1 各試験項目は、必要に応じて実施する内容とされている。

図5：取得を推奨するデータ項目の例

なお、上記については学識経験者から、取得データには事象や時間情報との紐付けが重要であるとの意見を得ており、これらを踏まえたデータ取得項目について収集していくものとした。

## (3) データの品質確保への対応

トンネルの施工におけるデータ取得において、施工記録としての側面および画像認識等の教師データ活用としての側面の双方において、取得されるデータの品質確保は重要である。

そこで、近畿地方整備局管内の2箇所のトンネルにおいて、切羽評価集計システムにて収集された切羽観察データ191切羽分を利用し、必要な品質の評価を実施した。

トンネルの切羽観察時における割れ目の評価は重要項目であり、データ分析にあたり写真より割れ目情報が読み取れることが求められる。一般的に写真撮影時における『手ブレ』『ピンぼけ』といった事象により写真が不鮮明になることが考えられる。また、事後の分析時に支障を来すことがない品質が求められるが、撮影データの品質評価は技術者個人の感覚に委ねられる部分が多い。

上記への対応として、不鮮明写真の特徴である『ボヤけた状況』を輪郭が不明瞭な写真と解釈し輪郭量を求めることで写真の品質について定量化を試みた。

上記の分析手法として画像処理プログラムによる、写真データ内における隣接ピクセル間の輝度勾配(ラプラシアン)の総和を算出し、鮮明度との関係性について分析を行った。(図-6)

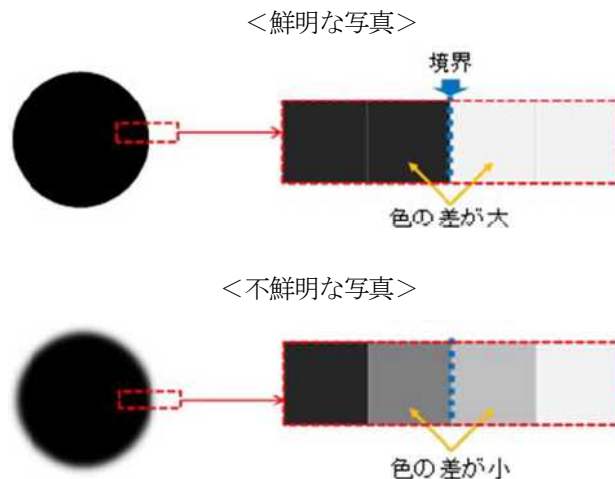


図-6：鮮明度の評価手法

結果、191枚のデータのラプラシアンに関するデータの分布は、切羽の割れ目状態により最大で576、中央値で137程度となり、最低値は14となった(図-7)。



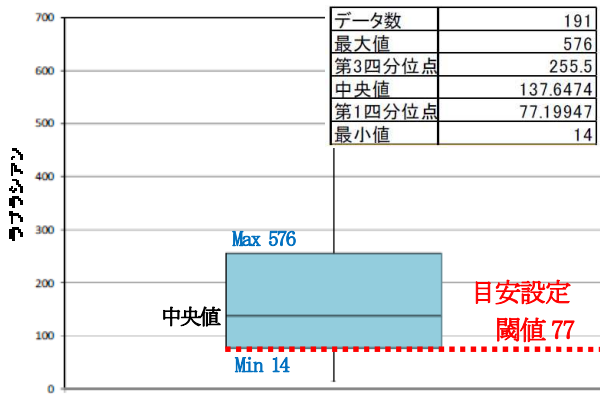


図-7：ラプラシアン分布の分布状況

不明瞭な写真の目安として、第1四分位点（箱ひげグラフの箱の最下部）である77を目安として、実際の画像を目視で確認した。事例としてラプラシアン100程度との比較写真を示す（写真-1）。



ラプラシアン77



ラプラシアン98

写真-1：ラプラシアン77および98画像の比較

上記の写真の評価する上で、ラプラシアン77の写真は一般的な手ブレ状態である事が確認でき、ラプラシアン98写真は白飛び現象＝明部の階調が失われている（露出バランスで補正可能）が確認できるが『手ブレ』『ピンぼけ』に該当しないと考えられる。これらの分析結果より、今回の分析に用いる不明瞭な写真の除外の閾値の目安を『77』と設定した。

前述した画像処理技術によって一定の品質を持つ写真から輪郭（エッジ）情報の抽出可能性を見出す取組を実施した。

岩盤の割れ目をエッジの集合体と捉えることで、画像分析により割れ目評価の実現可能性の検討を行った。なお、分析にあたってはラプラシアン77を下回る写真を除外したデータを活用した。

画像ピクセル間の輝度勾配から境界を認識したものの

うち『連続している境界＝割れ目』と定義し、画像内に含まれる線分情報（一定長以上の長さを有する線の数量）を検出し、割れ目量/100として指数化を図り（以下「線分量」と表記）、切羽観察時の（E）割れ目の頻度【割れ目間隔】の結果と比較を行った（写真-2）。



原画像

中間処理画像



写真-2：割れ目認識状況

なお、対象となるデータの判定評価時の点数を平均化した結果については、区分1.0～3.0とその中間値で構成される4区分として分類した。（図-8）

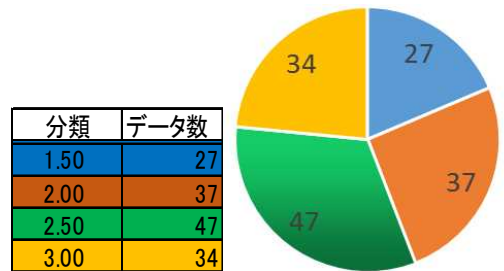


図-8：割れ目評価区分の各データ数

上記の分類区分と線分量との関係を分析したところ、割れ目頻度と線分量の間には概ね相関が確認できた（図-9a、図-9b）。

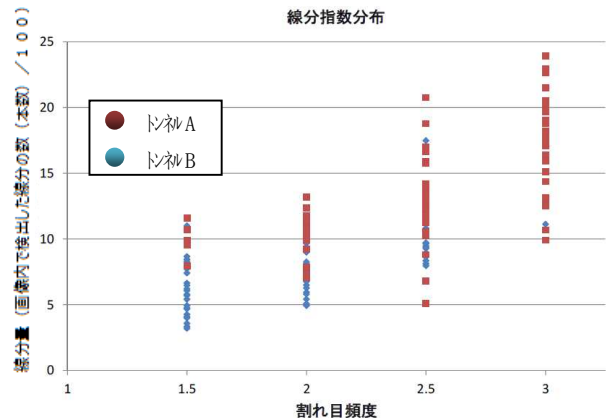


図-9-a：割れ目頻度と線分量の分布状況

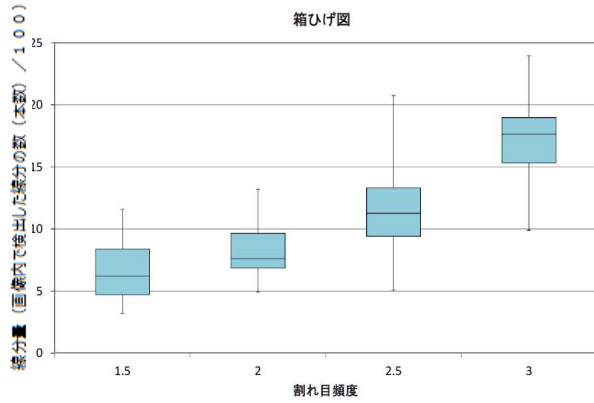


図-9b：割れ目頻度と線分量の関係（箱ひげ図）

上記で算出された不鮮明写真を除外する手法を写真判定プログラムとし、現在活用されている切羽評価集計システムと連携することで、データ蓄積前に高品質な写真の選別を図る事が出来るようシステムに判定ボタンを配置することで、画像を選択画面の起動とともに、ラプリアンが計算され不適切な場合は注意メッセージを表示するよう促す仕組みを考案した（図-10）。

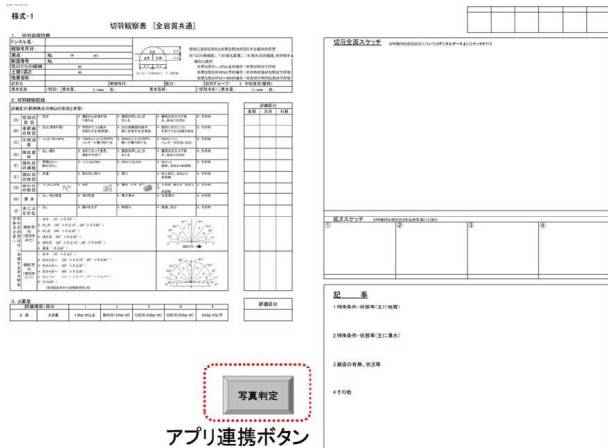


図-10：画像品質判定機能の追加イメージ

今後は上記で実施した分析において、実際の割れ目と輝度勾配の関係について整合性をさらに分析し、実用可能性を検証していく必要がある。

本取組をうまく活用することで、高い品質のデータが蓄積されることが期待される。

#### 4. 今後の課題と対応

##### (1) 得られたデータの検証および実装化

今回の取組により得られたデータについては、今後も画像分析により適切な結果が得られるかの検証を継続的に実施していく必要がある。

また上記の結果を基に、必要に応じて取得データの精度向上にむけた取組を実施する必要がある。

写真データにおいては撮影方法や照度等の関係により大きく品質が左右されることから、適切な方法について定義し、マニュアル化等の取組が必要となる（写真-3）。



写真-3：写真撮影環境による品質への影響

なお、実装化に向けては、その体制およびプログラムの使用にあたっての条件や、評価方法の分析・改善等様々な課題をクリアしていく必要がある。

##### (2) データ取得効率化の向上

今回データの取得改善においては、ホームページに掲載したシステムを用いたが、より効率化を図るため、タブレット活用によるデータ収集の取組を試行する。

タブレットの活用により、現地でのデータ入力をより改善するほか、データの反映・集計状況等も簡易に把握が出来るよう取組が可能である。

今後はこれらを実装化することでより効率的にデータ取得を図っていく。（写真-4）

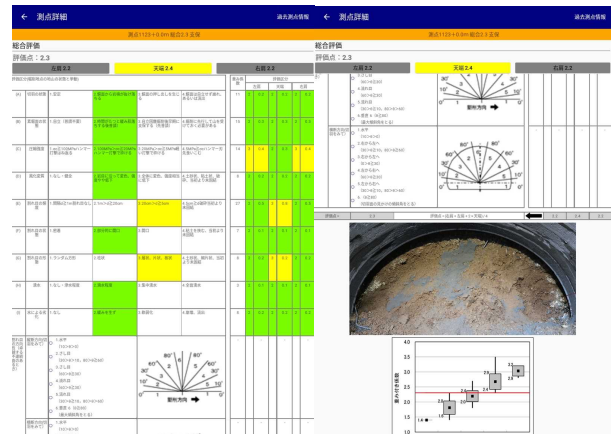


写真-4：タブレットの画面

##### (3) 維持管理に向けた情報集約・保管方法

今回取得されたデータは、適切に維持管理へ引継ぐ必要がある。これまで調査設計・施工・維持管理と個別に管理・収集されてきた情報を一元管理していく仕組みを構築する必要がある（図-11）。

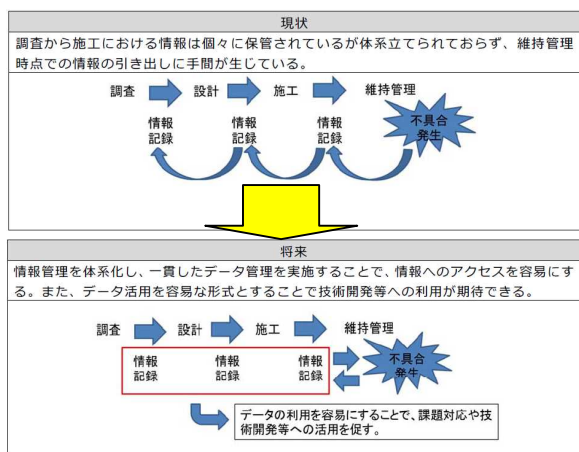


図-11：保存情報の改善イメージ

近畿技術事務所ではBIM/CIM適用の展開にむけて、トンネルデータの取得・保存すべきデータ項目について検討している。BIM/CIMの要素情報に前述したデータを保存し、維持管理に引継ぎ事により、維持管理を高度化していくツールとして活用していく。(図-12)



図-12：トンネルデータ構成 (案) イメージ

維持管理にて必要となる要素情報は、施工時に取得する際に必要となる項目を指定しておく必要があり、それらの必要となる情報を施工者に明示すべく整理・検討していく必要がある。

#### (4) 情報の連携と活用への「見える化」

冒頭で紹介した点検に関するデータベースおよび、近畿地方整備局管内路線の3次元地形空間データについては、位置情報での紐付けが可能である。

これらの空間情報と前述の取組で得られたデータを紐付けし、要素情報として補完していくことで多くの情報を端末上で閲覧・把握することが可能となる(図-13)。

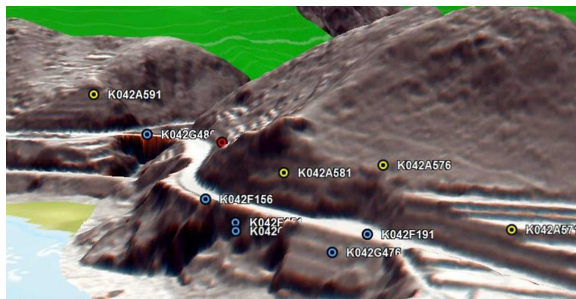


図-13：地形空間情報との連携事例

また、2019年度より実施している被災情報データベースの取組や道路防災対策点検カルテのデジタルデータ化の取組との連携を図り、位置情報および時間情報との紐付けによる情報を活用しつつ、データ蓄積・活用の仕組みを構築してデータの「見える化」を促進した現場へのフィードバックを図り、より高度化した道路管理による生産性の向上を実践していく必要がある。

### 5. おわりに

本稿で紹介したデータ取得の取り組み事例は、データ取得・活用への取組の第一歩であり、我々道路管理者は今後更なる良質データの確保に取組む必要がある。これらの貴重な情報資源を用いて適切な維持管理を実施していくために、より一層の情報技術への理解と検討を重ね、生産性を向上させる取り組みに努めていく事が望まれる。

本稿でとりまとめた各取り組みは近畿地方整備局において学識経験者と連携・協力してデータという貴重な財産を次世代へつなぐ取組みを実践した事例であり、これらが今後課題となる他事案への参考事例として活用され、国民の安全安心に寄与できれば幸いである。

**謝辞：**本論文にて紹介したデータ取得に関する各取り組みに際し、貴重なご意見を頂いた大西有三京都大学名誉教授、芥川真一神戸大学教授、小山倫史関西大学准教授、土木研究所トンネルチームの皆様、ならびに資料提供にご協力いただいた関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路部道路管理課：近畿地方整備局個別施設計画〔2018年12月〕
- 2) 近畿地方整備局近畿技術事務所：道路防災対策データベース作成業務報告書〔2019年3月〕
- 3) 近畿地方整備局近畿技術事務所：近畿地方整備局中部他航空レーザ測量業務報告書〔2018年5月〕
- 4) 近畿地方整備局近畿技術事務所：トンネル岩判定資料とりまとめ業務報告書〔2019年3月〕
- 5) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)〔2015年7月〕
- 6) 国土交通省CIM導入推進委員会：CIM導入ガイドライン(案)第6編トンネル編〔2017年3月〕

# 天ヶ瀬ダムゲート付近の堆砂に関する 調査検討について

川上 貴宏<sup>1</sup>・加藤 貴久<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 管理課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10番1号)

天ヶ瀬ダムは、管理開始から54年が経過し、貯水池内の堆砂量が堆砂容量の80%以上に達している。近年、ダム直上流の堆砂も顕著になってきており、遠くない将来には常用洪水吐きゲートであるコンジットゲートの流入口の高さまで達することが想定される。以上のことから、天ヶ瀬ダムゲート付近の湖底状況を把握するために、スキヤニングソナーやROV（水中ドローン）での湖底状況測定、河床材料採取の調査等を実施した。これらの調査結果を踏まえ、湖底周辺の異物の有無、堆砂の形状、土質等の観点からゲート流入口付近の安全性、ゲート操作への影響を評価した。

キーワード 堆砂，コンジットゲート，スキヤニングソナー，水中3次元計測

## 1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、淀川水系宇治川、京都府宇治市に位置し、1964年に完成したアーチ式の多目的ダムであり、管理開始から54年が経過した。その間、堆砂量は増加を続け、現在では堆砂率が83%に達し、計画堆砂量に対して1.5倍の速さで堆砂が進行している。

また、近年、堆砂が進行した他ダムにおいてコンジットゲートが沈木等で閉塞し、ゲートが開閉できない事例が発生している。天ヶ瀬ダムにおいても、堆砂がさらに進行した場合、ゲート設備に何らかの影響を及ぼすおそれがある。

しかし、沈木等の支障物は音響測深機を用いた深浅測量では把握が困難であるため、スキヤニングソナーやROV等を用いてゲート付近の湖底状況をより詳細に調査した。本論文では、天ヶ瀬ダムゲート付近の堆砂状況及び沈木等支障物の調査結果を報告するとともに、ゲート付近への堆砂の影響を評価するものである。

## 2. 天ヶ瀬ダムの特徴

天ヶ瀬ダムの直接流域は352 km<sup>2</sup>であるが、琵琶湖を含めた総流域面積は4,200 km<sup>2</sup>である。琵琶湖からの流出は瀬田川洗堰により調節されている。直接流域である大戸川や信楽川の流域では、木材切り出し等により江戸時代からはげ山化していたため、河川氾濫及び土石流の被害軽減を目的に、山腹工や砂防堰堤等の整備を行う瀬田川水系直轄砂防事業が2013年度まで実施された。

ダム堤体より上流3.2 km地点には、大正時代に建設された発電専用の大峰ダム（以後「旧大峰堰堤」という。）があったが、天ヶ瀬ダム建設に伴いゲート等の構造物は撤去され、堤体部分のみが存置されている。

天ヶ瀬ダムからの放流は天ヶ瀬発電所を介して行われるが、発電所取水量（最大186 m<sup>3</sup>/s）を超えて放流する場合は、コンジットゲート（図-1）からの放流となる。ゲート放流頻度は年間100日以上あり、特に出水後の琵琶湖水位低下に伴う操作ではゲート放流が長期間に及ぶ。

天ヶ瀬ダムのコンジットゲートは、高圧ローラーゲート3門からなり、ゲート呑口敷高はOP.45.1 m、最低水位（OP.58.0 m）より12.9 m低い位置にある（図-2）。また、上流側呑口部にある予備ゲートは高圧キャタピラゲートであり、主にコンジットゲートの点検時に用いられる。



図-1 天ヶ瀬ダムゲート設備（左：下流側 右：上流側）

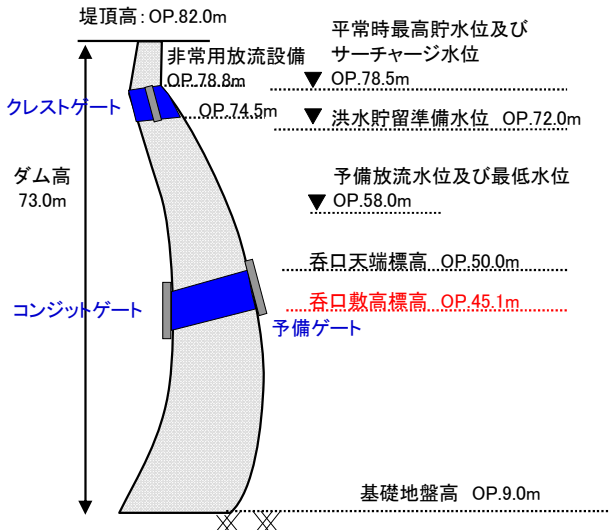


図-2 天ヶ瀬ダム縦断面図

### 3. 天ヶ瀬ダムの堆砂状況

#### (1) 堆砂量の経年変化

天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂量の推移を図-3に示す。2019年1月時点の全堆砂量は4,956千m<sup>3</sup>、計画堆砂量(6,000千m<sup>3</sup>)に対する堆砂率は82.6%となっている。堆砂容量は100年間で堆積すると見込まれる容量であることから、計画の1.5倍の速さで堆砂が進行していることになる。また、有効貯水容量内の堆砂量は1,020千m<sup>3</sup>であり、これは有効貯水容量の5.1%に相当する。有効貯水容量内に堆積した堆砂は洪水調節機能の低下に直結するため、近年ではその対策として土砂除去等を行っている。

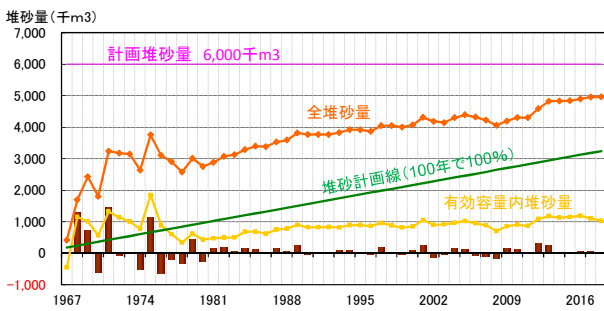


図-3 天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂量の経年変化

#### (2) 貯水池内の堆砂形状の経年変化

既往の堆砂測量結果に基づき、最深河床高を経年的に比較した図を図-4に示す。旧大峰堰堤上流部の河床高は、元河床高と比較すると上昇しているものの、変動幅は平均2~3m程度である。一方、旧大峰堰堤下流部では、元河床高よりも顕著に河床が上昇しており、変動幅は20m程度に達する。ダムの管理開始後20年程度までの変化が大きいものの、近年においても、ダム直上流では8年で3m程度堆積している。

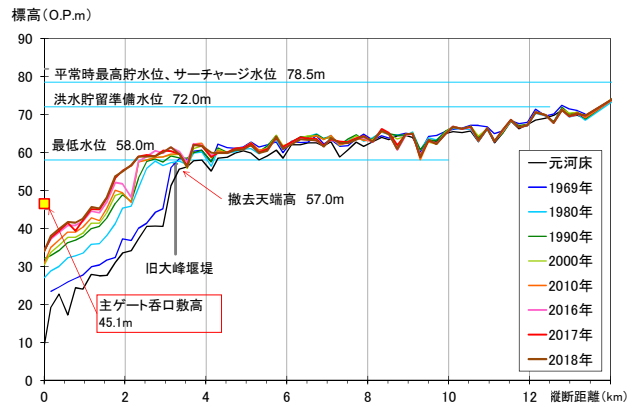


図-4 貯水池縦断方向における最深河床高の経年変化

堆砂肩(堆砂の勾配変化点)付近の堆砂形状に着目すると、管理開始当初は旧大峰堰堤付近に堆砂肩が存在したが、1970年代に一気に下流に進行し、その後30年程度は形状がほぼ一定を保っていた。しかし、2017年に大きく形状が変化するとともに、さらに下流へと進行した。

水中3次元計測を実施した2015年度と2018年度の堆砂状況比較図を図-5に示す。3年間で測線No.12より上流では横ばいもしくは堆砂面が低下したところが多いが、No.12より下流側は概ね上昇しており、特にNo.9からNo.12の範囲では3m以上上昇した箇所が認められた。これは、2017年10月の台風21号出水の際、予備放流で貯水位を最低水位付近のOP.58.72mまで低下させ、貯水池に急激な動水勾配を生じさせたところに500~800m<sup>3</sup>/sの流量を流下させたことで、掃流力の増大により堆砂肩が大きく下流側に移動した影響と考えられる。

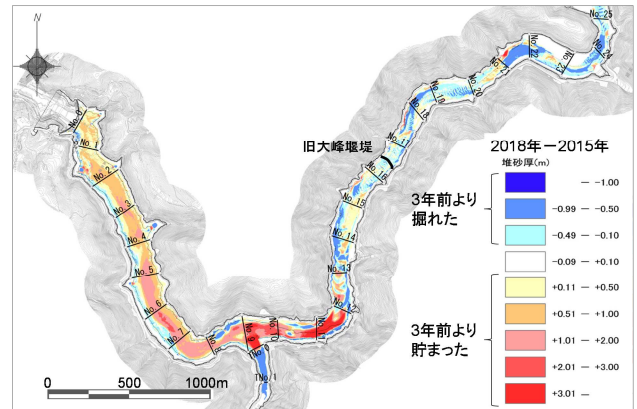


図-5 2015年度と2018年度の堆砂状況の比較図

#### (3) 堤体ゲート付近の堆砂状況

2019年1月に計測した堤体付近の堆砂面標高図を図-6に示す。右岸側の3号ゲート付近の標高が最も低いが、1号・2号ゲート付近においてもおよそOP.37mであり、ゲート敷高まで8m程度の余裕がある。

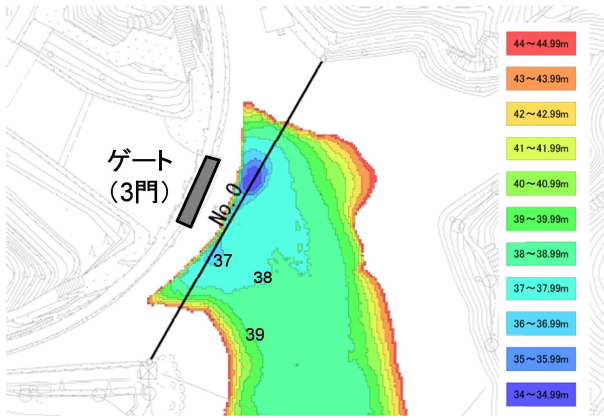


図-6 堤体付近の堆砂面標高図

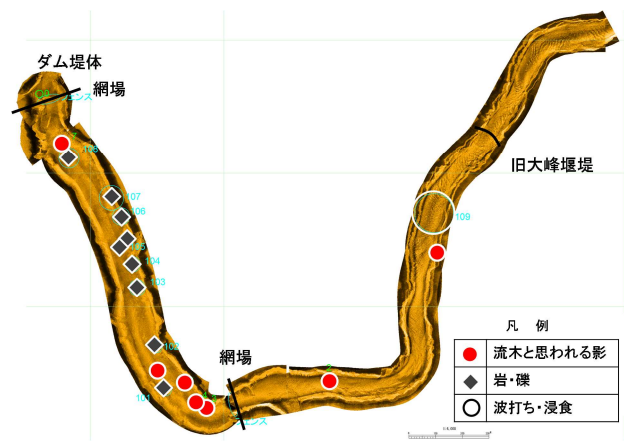


図-8 サイドスキャンソナー合成モザイク図

#### 4. 天ヶ瀬ダムゲート付近の堆砂状況調査

天ヶ瀬ダムの堤体付近の堆砂高上昇に伴うゲート設備への影響を確認するため、貯水池内の堆積物の把握を主な目的として、以下の4項目の現地調査を行った。

##### (1) サイドスキャンソナー調査

天ヶ瀬ダム堤体上流から旧大峰堰堤上流までの範囲において湖底にゲートに悪影響を及ぼす可能性のある支障物（例えば沈木など）の有無を確認した。調査船にEdgetech社製サイドスキャンソナー4200MP（図-7）を機装し、計画測線上の湖底面状況を連続的にデジタル観測し、船上にてデータの収録を行った。曳航中は湖底に曳航体が衝突しないように、曳航用ロープを利用して曳航体の高度を調節し、高度の目安は湖底から5～10 m程度とした。

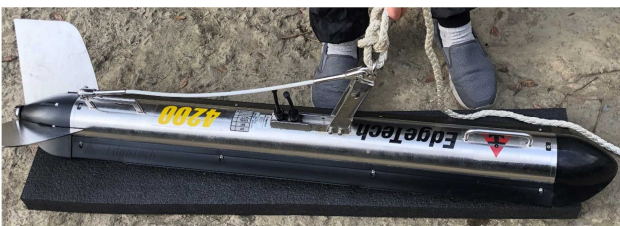


図-7 4200MP ソナー曳航体

サイドスキャンソナー記録の情報を統合し、調査範囲全体をモザイク図としたものを図-8に示す。上流側の網場より上流の川底は比較的砂質で、河床波の形成が多くみられた。一方、網場よりダム側は岩が多くみられた。また、土砂以外の堆積物は図中の7箇所で見木らしき影が確認されたが、全体としては著しく悪影響を及ぼすであろう物は認められなかった。

一方、ダム堤体付近はデータ取得が困難な範囲があった。これは、地形が入り組んでいること、ダム堤体や岸壁等の硬い物質が近くにある場合には、それらの物質に当たった音波の反射が強く、底面の情報を含む比較的弱い音波の情報を消してしまうことが原因と考えられる。

##### (2) スキャンソナー調査

より堤体付近の情報取得に特化して堆砂面の状況を把握するため、スキャンソナー調査を実施した。調査船から三脚に取り付けたスキャンソナー（Kongsberg Mesotech社製 MS1000）を湖底に投下し、着底後に360°のスキャンを行った（図-9）。調査地点は天ヶ瀬ダム堤体上流域をカバーできるように、100 mレンジでの調査を1地点と、30 mレンジでの調査10地点とした。調査地点への移動はGNSSにより行った。

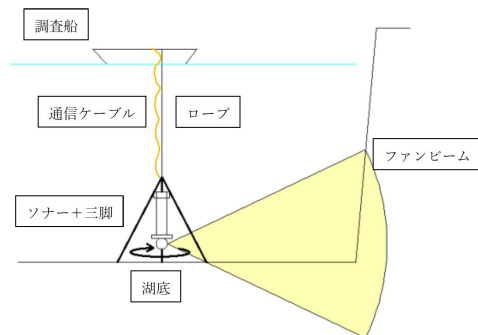


図-9 スキャンソナー計測イメージ図

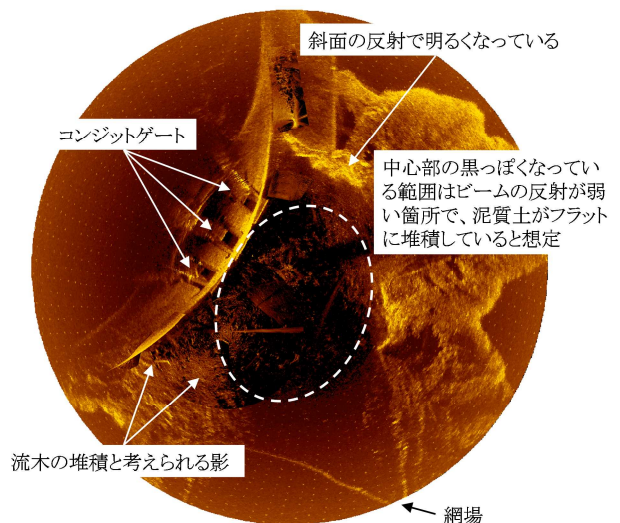


図-10 スキャンソナー合成図

調査で得られた全体の重ね合わせ図を図-10に示す。画像が黄色になっているのはビームの反射が強い箇所、斜面や材質が岩の範囲である。中心部の黒っぽくなっている範囲はビームの反射が弱い箇所、泥質土がフラットに堆積しているものと考えられる。また、堤体中心よりやや左岸側に流木と考えられる堆積物が見られたものの、全体的には支障物は発見されず土砂が一様に堆積しているものと考えられる。

### (3) ROV (水中ドローン) 調査

サイドスキャンソナーによる調査を踏まえ、支障物のある可能性が高い計12地点にてROV (Blue Robotics社製BlueROV2) による撮影を行った (図-11)。そのうち4地点の結果を図-12に示す。全12地点中3地点で流木 (沈木) らしきものを確認した。上流部は流れがあり、底質も砂質であるため撮影が比較的容易であるが、ダムサイトに近づくにつれて細粒分の土砂の堆積が多くなり、ROVを移動するとプロペラにより堆積土砂が舞い上がってしまうため撮影が困難であった。

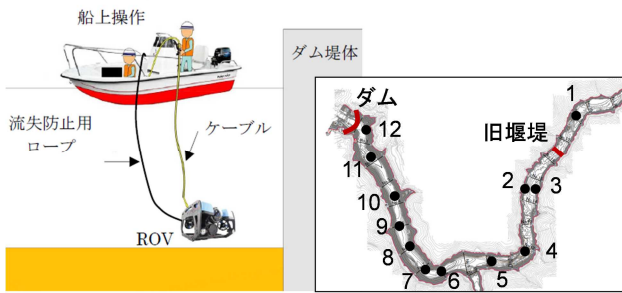


図-11 ROV調査 (左:イメージ図 右:調査地点)

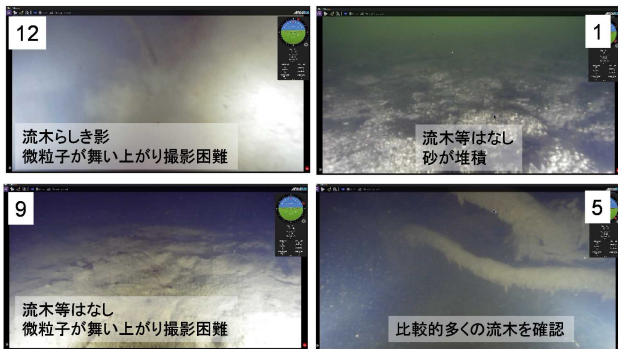


図-12 ドローン撮影画像

### (4) 採泥調査

ダムに堆積した土砂を、船上からエクマンバージを用いて採取し、粒度試験 (JIS A 1204) を行った。採泥調査はROV調査と同一の12地点とした。代表地点の粒度分析結果を図-13に示す。併せて、地点4の2006年調査結果 (図中の破線) も示した。

旧大峰堰堤上流の地点1及び旧堰堤下流の地点4では礫

成分の堆積がみられたことから、礫成分の土砂も旧大峰堰堤より下流へ流下していることがわかる。なお、地点4は現在の堆砂肩付近の粒度分布である。地点8では粘土・シルト成分の土砂の割合が多くなり、ダム堤体付近の地点12ではその割合が約8割程度であった。これは、全体的には下流へ行くほど粒径が細くなるという一般的な傾向と合致する。また、過年度の調査結果と比較すると、地点4において粗粒化の傾向が認められたことから、これまでは旧堰堤が貯砂ダムとしての役割も果たしていたと考えられるが、その効果が薄くなってきたことが示唆された。

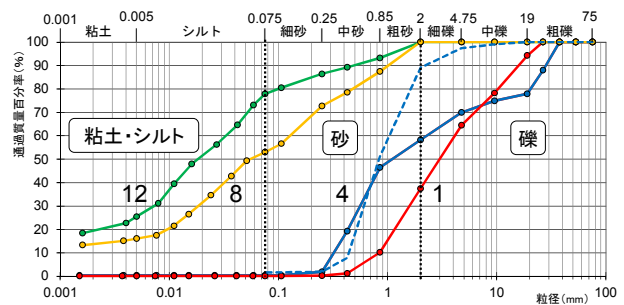


図-13 粒度分布図 (地点番号は図-11の地点と同じ)

## 5. 堆積物がゲート等を与える影響に関する考察

貯水池の堆砂状況及び堤体ゲート付近の各種調査から、ゲート操作に支障を及ぼすような物体が堤体付近及び旧大峰堰堤近くまでの範囲でも認められず、また堤体付近の現在の河床高からコンジットゲート呑口敷高までは8m程度の余裕があることから、現時点あるいは近い将来において、コンジットゲートに堆砂の進行や湖底堆積物によって支障が出る可能性は少ないと判断される。

しかし、一時期ほとんど変化が無かった堆砂肩付近の形状が一度の出水で大きく変化したことから、今後の出水においても堆砂肩の進行が想定されるため、余裕のあるうちに堆砂対策を行っていくことが重要である。

## 6. おわりに

現在、対策可能な当面の堆砂対策として陸上掘削にて有効貯水容量内の土砂撤去を実施しているところであるが、陸上掘削可能な場所が限られており、継続実施するためには浚渫に移行する必要がある。堆砂シミュレーションモデルを用いた予測計算では、旧大峰堰堤上流部を継続的に浚渫することで、無対策時と比較して100年後のゲート付近の河床高を64cm低下させ、旧大峰堰堤下流部の総堆砂量を572千m<sup>3</sup>減少できると予測された。この予測結果を踏まえ、今後は費用を抑えつつ効率的に堆砂除去できる工法等を検討し、治水・利水機能を維持できるように堆砂対策を進めていく予定である。

# 自転車走行環境整備に伴う効果検証について ～ただいま、「みえる化」進展中～

林 吉則<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京都市 建設局 自転車政策推進室 (〒604-8571京都市中京区寺町通御池上る上本能寺前町488番地)

京都市では、総合的な自転車政策を進めていくため、自転車施策の「みえる化」をキーワードに、2015年(平成27年)に「京都・新自転車計画」を策定した。その取組の一つである自転車走行環境の「みえる化」を進めるため、「京都市自転車走行環境整備ガイドライン」を2016年(平成28年)に定め、車道左側への矢羽根型路面表示の設置を、重点地区である都心部地区から順次進めている。本論文では、矢羽根型路面表示設置前後に加え、経年的な自転車利用状況等の調査及び地域住民等へのアンケート調査、事故統計データ分析等により、その整備効果を把握・検証した結果を報告する。

キーワード 自転車, 走行環境整備, 矢羽型路面表示, 整備効果検証

## 1. はじめに

自転車は、子どもから高齢者まで多くの人々に利用される乗り物として、環境に優しく健康に良い乗り物として注目を浴びている一方、車道の逆走や歩道を猛スピードで走行する等、自転車の無秩序な走行が全国的にも問題となっている。

また、国においては2017年(平成29年)5月に自転車活用推進法が施行され、2018年(平成30年)6月には自転車活用推進計画が閣議決定されるなど、自転車を取り巻く環境に大きな変化が生じている。

京都市では、総合的な自転車政策を進めていくため、2015年(平成27年)3月に「京都・新自転車計画<sup>1)</sup>」を策定し、自転車の「みえる化」をキーワードに自転車走行環境、ルール・マナー、自転車駐輪環境、自転車観光、自転車関連施策の5つの「みえる化」を進めている。

「みえる化」の中でも、自転車利用者が正しく走行できる環境の整備は特に重要であり、2016年(平成28年)10月に「京都市自転車走行環境整備ガイドライン<sup>2)</sup>」(以下、「市ガイドライン」という。)を策定した。

市ガイドライン策定以降は、これに基づき、車道左側に矢羽根型路面表示(以下、「矢羽根マーク」という。)を設置する自転車の走行環境整備をスピード感をもって推進している。本論文では、矢羽根マーク設置前後の自転車利用状況等の調査及び地域住民等へのアンケート調査、事故統計データ分析等により、その整備効果を把握・検証した結果を報告する。

## 2. 自転車利用の現状

### (1) 京都市の特長

人口は約147万人で、京都府の人口の約半分を占めるとともに、人口の1割にあたる約14万人が市内の大学に通学している。市域は東西方向に約29km、南北方向に約49kmに及ぶ。面積は約830km<sup>2</sup>で、このうち市街地区域は約150km<sup>2</sup>と、市域面積の約18%となっており、コンパクトで平坦な地形から、自転車が似合うまちといえる。

また近年では、京都の数多くの歴史や伝統、芸術、文化などの観光資源を背景に、国内外から訪れる方が増えている。図-1に示すとおり、観光客数は2008年(平成20年)に5,000万人を達成し、英国の有力な旅行雑誌「Wanderlust」の読者投票においてベストシティ(都市別)部門で2年連続1位に選ばれたこともあり、2017年(平成29年)には5,362万人に増加した。特に外国人宿

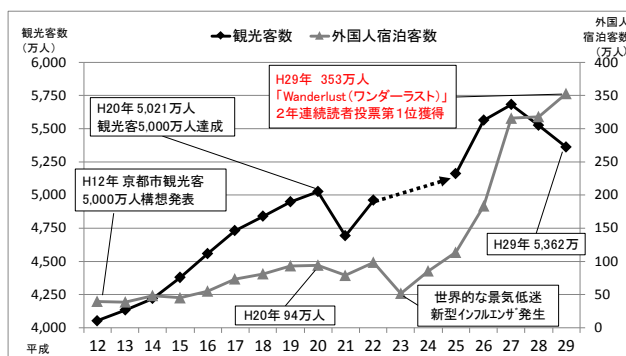


図-1 観光客数の推移 (出典：2017年(H29年)京都観光総合調査)



泊客数については、2008年（平成20年）には94万人であったが、2017年（平成29年）には353万人に急増するなど、オーバーツーリズムとも言われ、マナーや混雑の問題が顕在化している。

(2) 自転車利用状況

京都市は、通勤通学での自転車利用の分担率が23.4%と、政令指定都市の中で大阪市に次ぐ2位となっており、自転車利用が多い状況である（図-2）。また、図-3のパーソントリップ調査によると、交通手段別における自転車の割合は約2割となっている。各交通手段の移動距離を考慮し、自転車が主に利用される5km以内に着目すると、自動車の割合は変わらず、自転車は約3割となる。

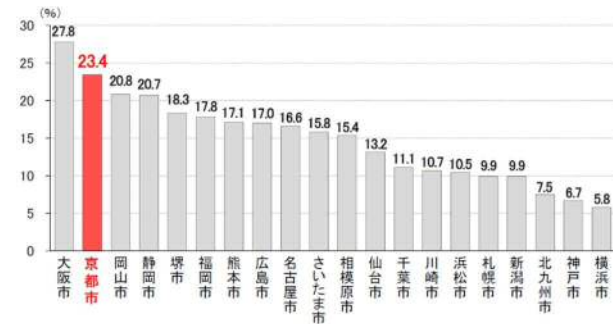


図-2 政令指定都市の通勤通学における代表交通手段としての自転車分担率の比較（出典：2010年（H22年）国勢調査）

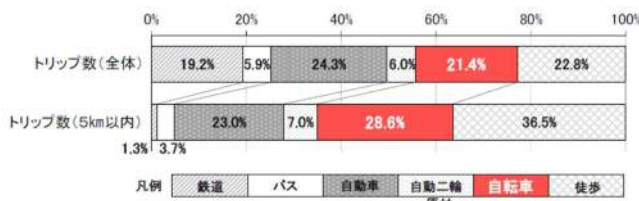


図-3 代表交通手段の割合の比較

（出典：2010年（H22年）近畿圏パーソントリップ調査）

(3) 自転車関係事故の発生状況

京都市内における、近年の自転車関係事故の発生状況については、図-4に示すとおり、2004年（平成16年）にピークの年間2,815件であったのに対し、2017年（平成29年）には1,000件を初めて下回る997件とピーク時より65%減少している。しかしながら、自動車の安全性能の向上や交通安全対策等の取り組みもあり、全交通事故の総件数そのものが減少傾向にあるため、全交通事故に占める自転車関係事故の割合は、約2割と横ばいである。

事故発生状況の詳細をみると、図-5に示すように、自転車関係事故の約8割は対自動車との事故である。また、事故の発生場所については、約7割が交差点で発生しており、特に信号の無い交差点事故の割合が多い。ただし、図-6に示すとおり、事故の相手別に事故発生地点を整理すると、対歩行者の事故の6割が単路部で発生している。

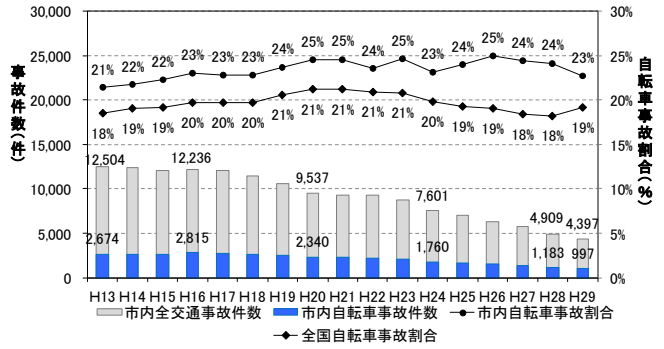


図-4 市内における自転車関係事故の発生状況の推移

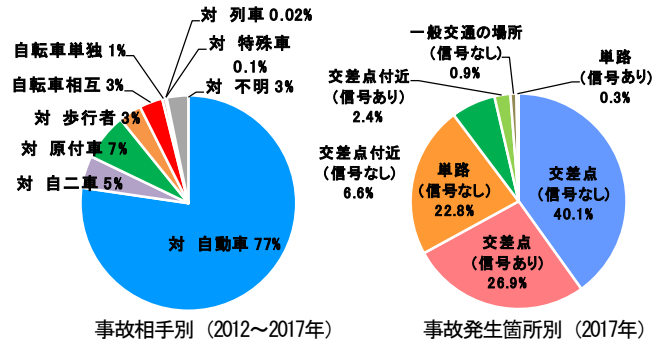


図-5 市内における自転車関係事故発生状況

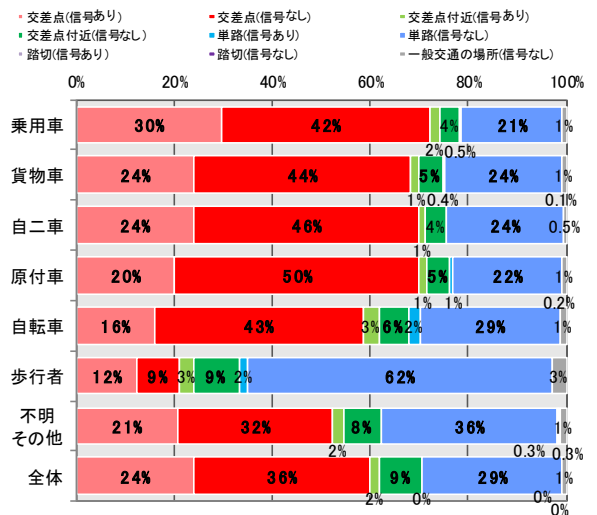


図-6 事故相手別の事故発生地点 (2012~2017年)

（出典：事故統計データ（京都府警察）より京都市作成）

3. 市ガイドラインによる自転車走行環境整備

(1) 市ガイドラインの概要




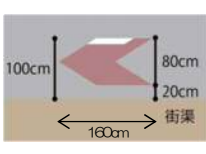
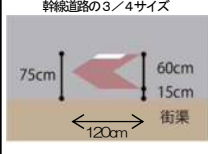
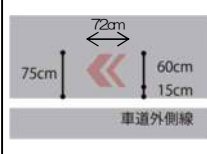
京都市内の道路は、歩道の設置率が低く、また、歩道が設置されている場合でも、歩道の幅員が狭い区間が多い。こうした道路特性を踏まえ、歩道（路側帯含む）を歩く歩行者の安全を第一とし、自転車が車道を走りやすい環境を確保するため、車道の左側に矢羽根マークを整備することとしている。

具体的には、自転車利用が多く、市内の事故の1/4が発生している都心部地区を含む、重点地区（3地区）において、表-1の幹線道路、準幹線道路、生活道路と道

表-1 道路タイプ別の矢羽根マーク

分類	概要
幹線道路	都市の骨格を形成するみち(4車線以上のみち等)。 京(みやこ)のみちデザインマニュアルにおける幹線道路網図に準じる。
準幹線道路	幹線道路以外で歩道(片側含む)がある2車線のみち。
生活道路	幹線道路又は準幹線道路以外のみち。

幹線道路	準幹線道路	生活道路
		
		

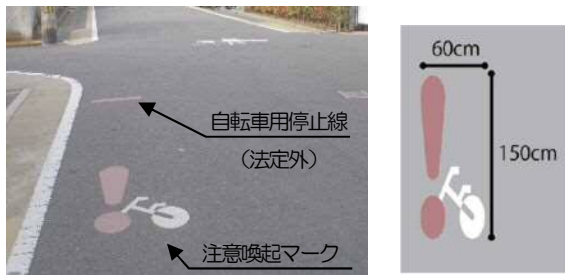


図-7 生活道路における注意喚起マークと自転車用停止線

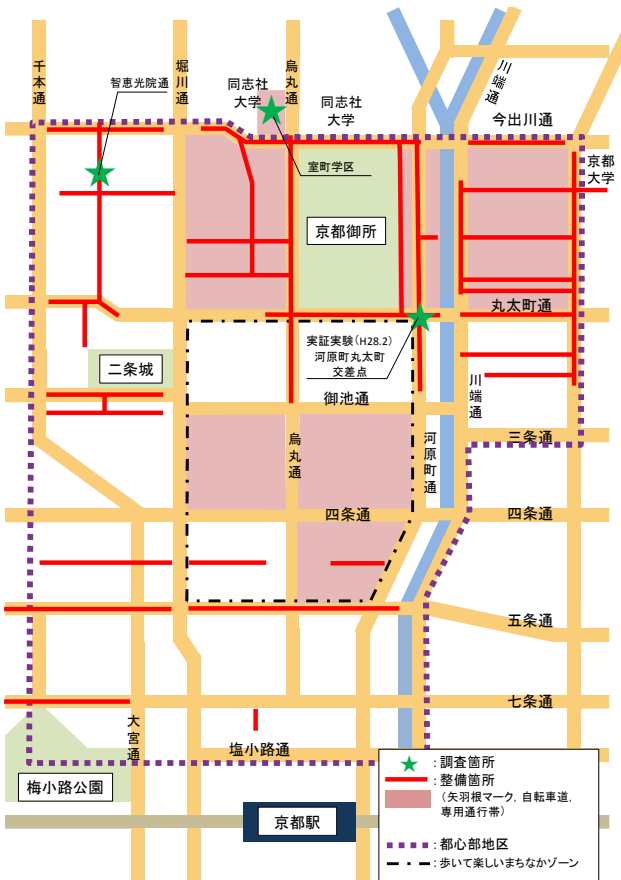


図-8 自転車走行環境整備箇所図(都心部地区)  
(主な整備箇所・平成31年3月末時点)

路のタイプ別に、矢羽根マークのサイズ、デザイン、レイアウト、配置間隔を設定し、重点地区内を面的に整備することとしている。生活道路については、交差点部での事故が多いため、本市独自の図-7の「注意喚起マーク」及び「自転車用停止線」を設置し、安全対策を行う。また、矢羽根マークは景観に配慮し、シンプルなデザインとするとともに、ベンガラ色を用いることとした。

(2) 整備状況

市ガイドラインを検討する際に、実証実験(2016年(平成28年)2月)を行った河原町丸太町交差点を起点に、自転車利用者の多い京都大学及び同志社大学周辺から、連続性を確保しつつ、整備を順次進めている(図-8)。また、大規模な道路改良や舗装補修に併せた矢羽根マークの整備も進めており、市内において約90km(2019年(平成31年)3月末時点・市ガイドライン策定前含む)の整備が完了した。

4. 自転車走行環境整備に伴う効果測定

(自転車利用実態, 市民アンケート, 交通事故)

自転走行環境整備に伴う効果測定については、次の3点により確認した。まず、1点目として、目視による自転車等の交通量調査により自転車利用の実態として、車道走行率や順走率などといった、自転車の交通ルールの遵守率が整備前後で向上するか測定した。2点目として、インターネットによる京都市内在住者を対象とした市民アンケート調査により、矢羽根マークの認知度等の市民意識の変化について測定した。3点目として、整備の目的でもある、交通安全対策としての効果について、事故統計データから検証した。

(1) 交通量調査による自転車利用実態(交通ルール遵守率)

a) 調査箇所

道路タイプ別に測定箇所を選定し、調査している。なお、幹線道路については、実証実験を行った河原町丸太町交差点を測定地点とし、毎年調査を実施し、経年変化についても計測している。

- ・幹線道路・・・河原町通(単路部), 丸太町通(単路部)  
河原町丸太町交差点(交差点)

- ・準幹線道路・・・智恵光院通
- ・生活道路・・・室町学区

b) 調査時間及び調査項目

- ・調査時間：平日7時～19時(12時間・時間毎に集計)
- ・測定方法：目視観測(マニュアルカウンタによる計測・集計)
- ・方向・位置：方向別(順・逆), 位置別(歩道・車道)  
(交差点については、横断位置別に測定)

・測定項目

車道走行率：車道走行自転車数/全自転車走行数  
車道順走率：車道順走自転車数/車道走行自転車数

表-2 交通量調査結果の例(整備後・主な路線)

分類	路線名	歩行者 (人)	自転車(台)			車道 走行率
			歩道	車道	計	
幹線	丸太町通	2,798	3,696	2,117	5,813	36%
準幹線	智恵光院通	662	311	1,405	1,716	82%
生活	室町通	1,370	348	2,432	2,780	87%

表-3 車道走行率(平均値)

分類	幹線		準幹線 (智恵光院通)	生活 (室町学区)
	(単路部)	(交差点部)		
整備前	19%	11%	75%	57%
整備後	33%	20%	82%	93%
	(+14%)	(+9%)	(+7%)	(+36%)

表-4 車道順走率(平均値)

分類	幹線 (単路部)	準幹線 (智恵光院通)	生活 (室町学区)
整備前	96%	96%	78%
整備後	98%	95%	85%
	(+2%)	(-1%)	(+7%)

※幹線道路, 生活道路については複数路線の平均値

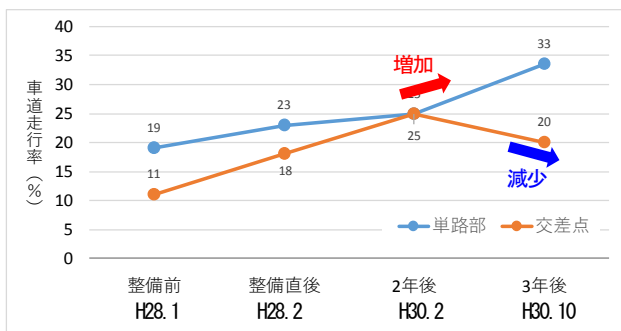


図-9 車道走行率の経年変化(幹線道路)

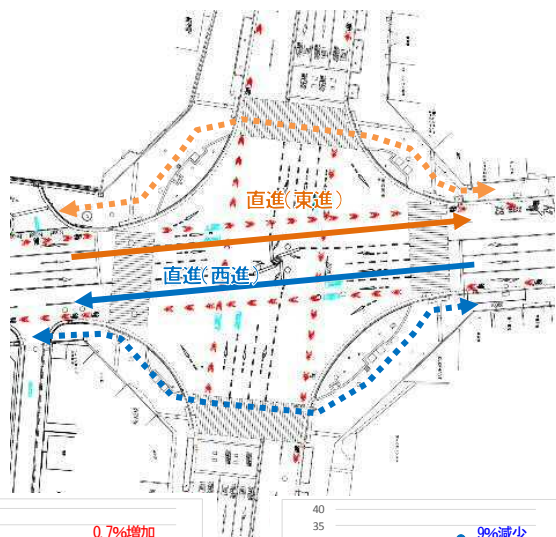


図-10 交差点部における自転車通行位置の経年変化  
(河原町丸太町交差点, 車道走行率=直進率)

c) 計測結果(一例)

表-2の計測結果の一例をみると, 幹線道路である丸太町通においては, 自転車は約6,000台/12時間の利用があるのに対し, 歩行者はその半分程度である。いずれの路線についても, 自転車の交通量が歩行者を上回っている。

d) 整備効果の検証

表-3, 4に示すとおり, 整備箇所では, 全ての道路形態で車道走行率が増加した。また, 車道順走率は, 幹線・準幹線道路においては, 整備前から9割以上と高い。生活道路においても, 整備により順走率が増加した。

経年調査を行っている幹線道路では, 図-9, 10のように車道走行率は増加しているものの, 交差点部では, 直近の調査で, 交差点内の直進率が低下している。調査時期を変えたことによる影響も考えられるが, 信号待ちの際, 車道に滞留せず歩道走行に切替る自転車が多いことが原因の一つと考えられ, 今後の整備の課題といえる。

(2) 市民アンケートによる意識調査

インターネットによる市民アンケートを2017年度(平成29年度), 2018年度(平成30年度)と実施しており, 自転車の利用実態やルール・マナーの遵守等に関する意識を把握・分析する。

a) 調査方法

調査期間: 2017年度, 2018年度のうち約1週間

調査方法: インターネットによるアンケート調査(1,000サンプル)

調査対象: 京都市内在中の15歳(高校生)以上

※1,000サンプルは, 京都市の年齢別の人口構成及び行政区の人口割合に沿うよう回収

b) アンケート結果(自転車走行位置)

自転車の走行位置は, 図-11に示すように, 車道を走行する人は約3割であるが, 前年と比較すると, 交通ルールを遵守して, 車道又は歩道の車道側を走行している利用者は約1割増加した。なお, 整備が進んでいる上京区においては, 車道走行割合は約4割であった。さらに, 歩道を通行していると回答した内容を詳細にみると, 歩道の車道側を走っている自転車は約5割であり, 車道走行と合わせると約8割がルールを遵守して車道及び歩道の車道側を通行している。なお, 歩道上を通行している人の約3割は, 歩道上に自転車の通行位置が明示されていることを挙げている。

以上より, 矢羽根マークの整備による車道走行割合の増加や歩道における自転車通行位置の明示等の「見える化」は自転車の秩序ある走行に効果があると言える。

c) アンケート結果(矢羽根マークの認知度)

図-12に示すとおり, 矢羽根マークの認知度については, 前年と比較し, 約2割増加した。特に, 整備が進んでいる上京区での認知度は, 約9割近い値となった。矢羽根マークの整備は, 日常的に利用する道路の路面に表示されるため, 整備の進捗により「見える化」が進み, 結果として, 認知度の向上につながったと考えられる。

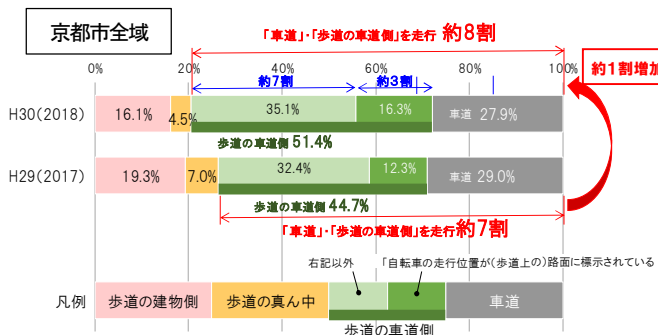


図-11 自転車走行位置

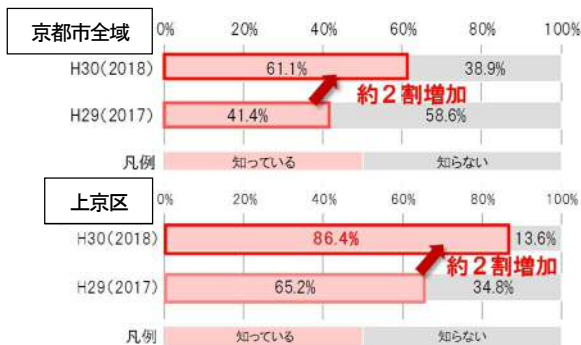


図-12 矢羽根マークの認知度

(3) 交通事故統計データによる事故発生抑制効果の確認

矢羽根マークの整備による、交通安全機能の向上効果について、事故統計データに基づき検証する。なお、事故統計データは、京都府警より自転車が第1当事者(過失割合の大きい事故当事者)または、第2当事者となる、自転車関係事故について提供を受けたものを用いて、本市において集計・分析した。事故統計データの内容については、事故の発生箇所(交差点や単路部等)や事故の当事者等について、統計的に処理されたものであり、データ期間は、矢羽根マーク整備を行う前後を含む2012年(平成24年)～2017年(平成29年)の6年分である。

矢羽根マークの整備については、2016年(平成28年)2月に実証実験として、河原町丸太町周辺にL=1.2kmの矢羽根マークの整備を実験的にを行い、同年10月に市ガイドラインを策定した。よって、実証実験エリアについては、整備後2ヵ年の事故統計データが存在するものの、本格的な整備に着手した京都大学周辺や同志社大学周辺エリアについては、2017年(平成29年)5月にL=約9.0kmの整備が完了したため、整備後については約半年分の事故統計データとなり、整備路線における効果については、サンプル数が少なく参考値と言える。そのため、市域全域での事故発生状況の推移も合わせて整理した。

a) 整備路線における事故発生状況

矢羽根マーク整備路線(実証実験エリア、京都大学・同志社大学周辺エリア)における事故発生状況を整理すると、整備前94件(4年～5年半)に対し、整備後は22件(半年～2年)発生している。整備後については、統計期間が短く、事故件数も少ないため、事故発生の件

数の総数の変化について、現時点では傾向は把握できない。事故発生形態を見ると、自転車が第1当事者となった事故は、整備前は20件であったのに対し、整備後は1件のみと、自転車が歩行者等と接触する事故については、減少傾向がみられている。また、事故の発生箇所についても、整備前は単路部と交差点の比率は4:6(単路:交差点)であったのに対し、整備後は3:7(単路:交差点)と、単路部での事故の比率の変化の傾向がみられる。以上より、整備路線における、事故統計データは、整備後のデータが少ないものの、交通ルール遵守率の向上という行動変容の結果として、事故発生形態が変化する傾向も一部見られており、今後、整備の進捗とともに、さらなるデータの蓄積及び分析が必要と考えている。

b) 自転車関係事故の推移と比較

図-4の自転車関係事故の発生件数は、2004年(平成16年)がピークで2,815件/年となっている。これを1とし、発生状況の推移を図-13に示す。2012年(平成24年)以降、全国平均と比べても減少の度合いが大きくなっており、「京都・新自転車計画」を策定した2015年(平成27年)、市ガイドラインを策定した2016年(平成28年)以降の減少の度合いがさらに大きくなっている。

対歩行者、対自転車(自転車相互)の事故件数については、図-14に示すとおり、発生件数は概ね横ばいであるが、2015年(平成27年)以降、減少傾向にある。

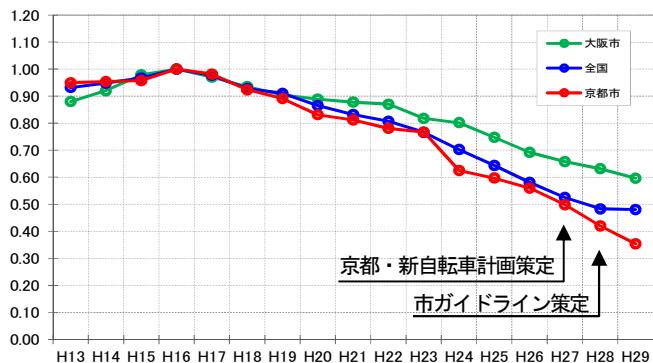


図-13 自転車関係事故の推移(2004年(H16年)を1とする)

(出典:大阪市の交通事故(大阪市),大阪の交通白書(大阪府警),交通事故の発生状況(警視庁))



図-14 全自転車事故及び対歩行者・対自転車事故の推移

(出典:事故統計データ(京都府警察)より作成)

本市の自転車利用分担率は政令指定都市の中で、大阪市に次いで23.4%と高いが、図-15に示すように、人口千人あたりの自転車事故件数は、0.68と低い水準となっている。

このように、本市における自転車関係事故の状況は、全国的にみると、減少傾向の度合いが大きく低水準となっている。これは、自転車の走行環境整備のみならず、ルール・マナーの向上、自転車保険の義務化など、「京都・新自転車計画」に基づき、総合的な自転車政策に取り組むとともに、警察や国道事務所等の関係部署とも連携し、様々な交通安全対策を講じてきた成果といえる。

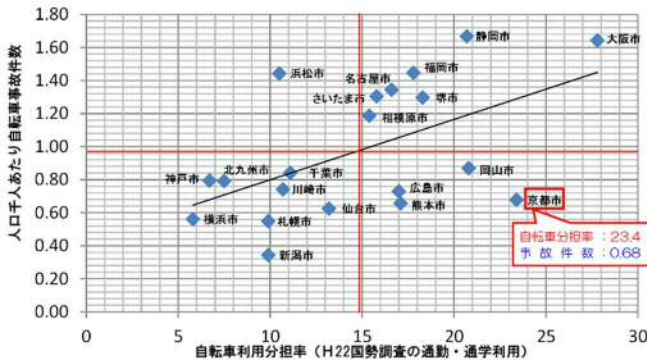


図-15 人口当たりの事故発生件数と自転車利用分担率  
(出典：各市統計データ、各道府県警察統計データより作成)

## 6. おわりに

自転走行環境整備の効果について、自転車の利用実態(交通ルールの遵守状況)、市民意識アンケート、自転車関係事故の発生状況の3つの観点から検証した結果から以下のとおり考察する。

- ①整備の進捗により「みえる化」が進んだ。
- ②その結果、矢羽根マークの認知度が向上するとともに、交通ルール遵守率(車道走行率、車道順走率)の向上といった行動変容に繋がった。
- ③事故統計データは整備後の統計期間が短いものの、事故の発生形態の変化がみられた。
- ④こうした状況を総合的に勘案すると、矢羽根マーク等の自転車走行環境の整備は、道路の交通安全機能の向上に一定の効果があると考えられる。
- ⑤今後、さらなるデータの蓄積と分析による効果検証と整備へのフィードバック。そして、市民への整備効果のPRによるルール・マナーの向上による効果促進。

現在、自転車走行環境整備については、2020年度末(令和2年度末)までに、市内で180kmの整備完了を目指して、鋭意整備を進めている。自転車走行環境整備に併せて、各種調査や事故統計データの蓄積・分析し、整備効果を明らかとすることで、本市における矢羽根マーク等の整備の取り組みをさらに進展させていく。さらには、今後、自転車の走行環境整備に取り組む地方自治体等の参考となれば幸いである。

また、自転車走行環境整備に合わせた自転車及び自動車ドライバー向けのルール・マナーの向上にも取り組んでおり、ハード・ソフトの両輪により、ハード整備の効果が、さらに発現されるよう取り組んでいる。主なソフト面での取組として、啓発用看板(電柱幕)の設置や啓発チラシの配布(約3万枚/年)に加え、2019年(平成31年)4月には、図-15に示す新たな動画コンテンツを作成し、矢羽根マークの周知に取り組んでいる。

今後の展望としては、現在実施している市ガイドラインに基づく整備の効果検証及びアンケート調査等を経年で実施することで、今後の整備の方向性を見出していくことはもちろん、「京都・新自転車計画」の上位計画である「歩くまち・京都」総合交通戦略<sup>3)</sup>に基づき、歩行者優先のまちづくりを進めていくためには、自動車交通量の減少に伴う車線の減少等により生み出された空間を活用し、自動車から切り離された空間を自転車が安心して走行できる環境整備が望まれる。



図-16 自動車ドライバー向け動画コンテンツ

(矢羽根マークの周知や自転車への思いやり運転を啓発)

※YouTubeの京都市公式チャンネル「きょうと動画情報館」にて配信 <https://youtu.be/1xvGpZ5Dvas>



謝辞：本論文の作成にあたり、調査や工事实施、各種取組に協力いただいた関係各位、並びに発表の機会を与えて頂きました自転車政策推進室の職員の皆様から感謝致します。

## 参考文献

- 1) 京都市：京都・新自転車計画，2015年(平成27年)3月
- 2) 京都市：京都市自転車走行環境整備ガイドライン，2016年(平成28年)10月
- 3) 京都市：「歩くまち・京都」総合交通戦略，2010年(平成22年)1月

# 河川管理施設の点検技術向上にむけた取り組み

平松 健<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 近畿技術事務所 品質調査課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町11-1) .

数多くの管理施設を健全な状態で長く機能維持するため、PDCAサイクルを保つことが重要であるが、計画倒れ・点検漏れ・評価漏れ・優先度を見直す次のサイクルへの改善検討漏れ等で、十分な効果が得られていない事例もみられる。特に河川管理施設の維持管理においてこのサイクルを円滑に保つためには、地表や構造物表面から内部の不具合の程度を可能な限り把握する点検技術の向上が重要と考えられた。この経緯と取り組みについて報告する。

キーワード 河川管理, 堤防点検, PDCAサイクル, 人材育成

## 1. はじめに

堤防や護岸をはじめとする河川管理施設の巡視・点検においては、まず不具合を発見し、次に損傷の程度を共有できる情報として計測・記録し、さらに要因や原理、健全度を評価できる力量が求められる。

これに対しては、近畿技術事務所構内に研修用堤防を整備し講習を行うことで、経験の浅い河川管理担当職員にも一定の力量が養われる効果を得つつある。

効率的に河川管理施設を維持していくためには、施設の維持管理計画(P)、巡視・点検等による状態把握(D)、不具合程度の評価(C)、改善(A)のPDCAサイクルを保つことが重要とされているが、必ずしも円滑に機能していない「不具合」事例も散見される。

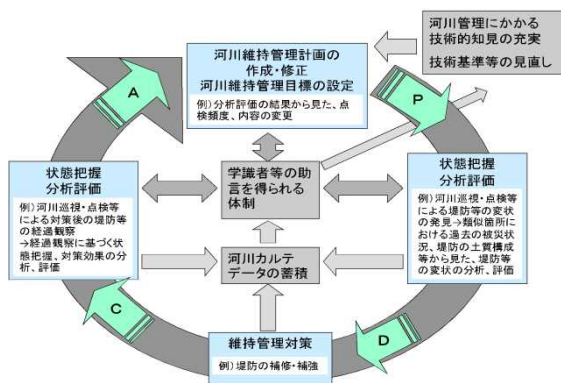


図-1 サイクル型維持管理

そこで近畿技術事務所では、巡視・点検の力量の向上に続き、このサイクルの維持にむけた課題の整理と対応方策の提案を進めている。

## 2. 検討の背景

近畿管内の出水直後の施設点検において、堤内側堤脚付近に漏水の噴出跡が確認された事例があった。

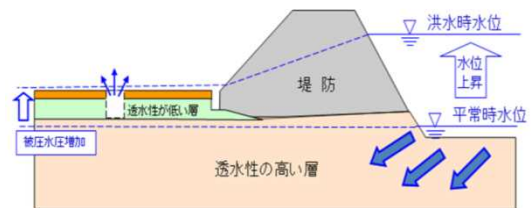


図-2 堤体漏水に想定されやすい要因と原理

管理する事務所から近畿技術事務所に、不具合の発生要因と原理等の調査要請があり、漏水要因となりやすい箇所から点検を進めた。しかし要因と推定できるような変状は目視範囲で確認できなかった。このため、通常の巡視対象外の樋門の函体内部を点検したところ、漏水の堤体への浸入点と考えられる目開きが、短期に発生したとは考えにくい規模で確認された。このことから堤防内部を可視化し、容易に要因と原理等を推定できる環境の構築が必要と考えた。



図-3 確認された目開き



図4 漏水とともに噴出した土砂



図5 噴出点付近の水みち

なお要因や原理等の推定の基礎となる堤防や樋門等の横断工作物の構造・形状データは、最近のICT活用工事等で得られる三次元の成果ではなく、平面図・構造図等の二次元図であった。

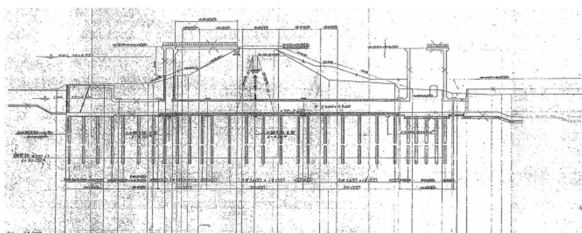


図6 提供された二次元図①

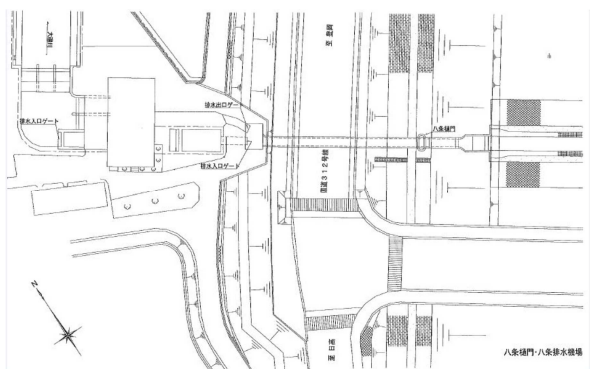


図7 提供された二次元図②

河川管理施設で生じる不具合の要因や原理等を推定する際に、不可視部分を透視化するだけでなく、立体視化ができる環境があれば、報告資料編集の効率化及びよりの確かな伝達ができたと考えられたことから、三次元化も改善要素の一つと考えた。

### 3. 河川管理のCIM

#### (1) 河川管理担当職員のもつイメージ

国土交通省は2012年度から、ICT活用工事の3次元化施工と成果の納品等をはじめとしてCIMの導入に向けたさまざまな取り組みを実施している。

しかし2017年度末にCIMについて河川管理担当職員にアンケートを実施したところ、概要は把握していても閲覧や3次元モデルの活用経験のない職員がほとんどであった。また、河川維持管理における活用例がイメージできないとの声もあった。

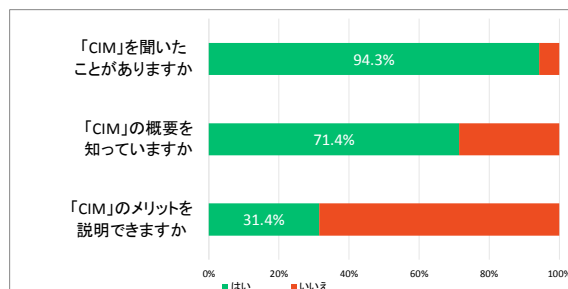


図8 CIMに関するアンケート結果①

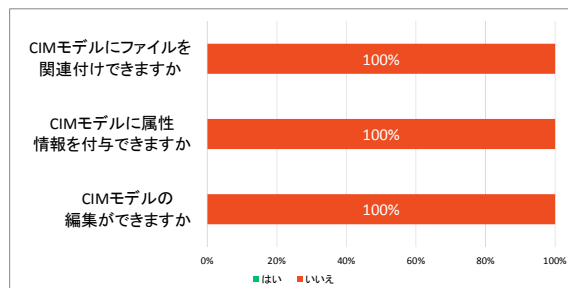


図9 CIMに関するアンケート結果②

この結果から、河川管理施設の維持におけるCIMの基本的知識や活用の方向性を、担当職員等間で共有しておく必要があると考えた。

#### (2) CIM理解度の底上げ

河川管理担当職員とは別に、河川堤防の維持管理上の課題について現場管理者の意見を収集しており、3次元モデルの作成、属性データ、データの活用、環境整備に大別して課題を整理している。

CIMや3次元モデルについては、これまでに活用した経験をもつ職員が少なかったことから、まずCIMそのものを理解することと、河川管理における活用の方向性を各担当職員が意識する必要がある。このため2018年度は現場管理者の意見を踏まえたうえで、可能な限り平易な用語や日常表現を用い、3次元モデルのメリットや活用について段階的に理解を深めていただく資料を作成した。配布と説明は3回に分けて行った。

維持管理WGにおけるCIM取り組み概要

CIMが活用できたらどう便利になる？

河川の維持管理において、CIMを有効に活用するどのようなことができるかイメージしてみよう。ここでは堤防の不具合発見に関係者間の合意形成について紹介する。



図-10 配布資料(抜粋)①

CIMの入口として3次元モデルがあり、モデル上の引照点を操作することで当該地点や構造物の形状・材質、強度、補修履歴などが参照できるといったCIMの活用法や効果の共有効果を踏まえ、2019年度も引き続きCIMの理解度の底上げを進める。

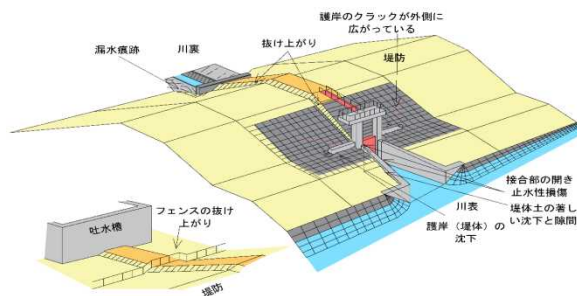


図-13 樋門付近の三次元図の例

10. まとめ

16

河川管理における2次元図面と3次元図面の違いをまとめると以下のようになります

	2次元	3次元
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>平面図・断面図・縦断図の3つの図面で空間的な形状を表す</li> <li>奥行きのない分、正確な寸法を把握できる</li> <li>傾斜や角度等を把握しやすい</li> <li>巡視や点検の内容を位置図から確認する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面でないため、2次元では補間する必要がある範囲も正確に再現することができる</li> <li>空間的な交錯や干渉を確認することができる</li> <li>関係者間での完成形状のイメージの醸成が生じにくい</li> </ul>

それぞれの特徴を生かし、使い分けことが重要

第3回WGでは、3次元モデルとCIMモデルの違いについて、属性情報や関連ファイルの連携方法について説明します。

図-11 配布資料(抜粋)②

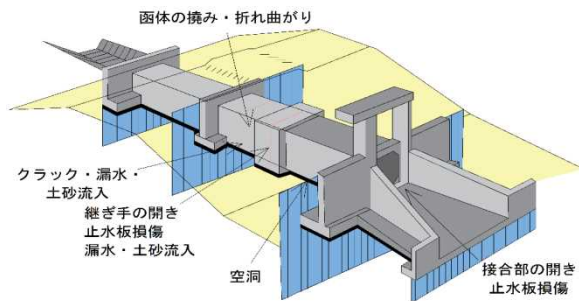


図-14 堤防を透視した樋門の三次元図の例

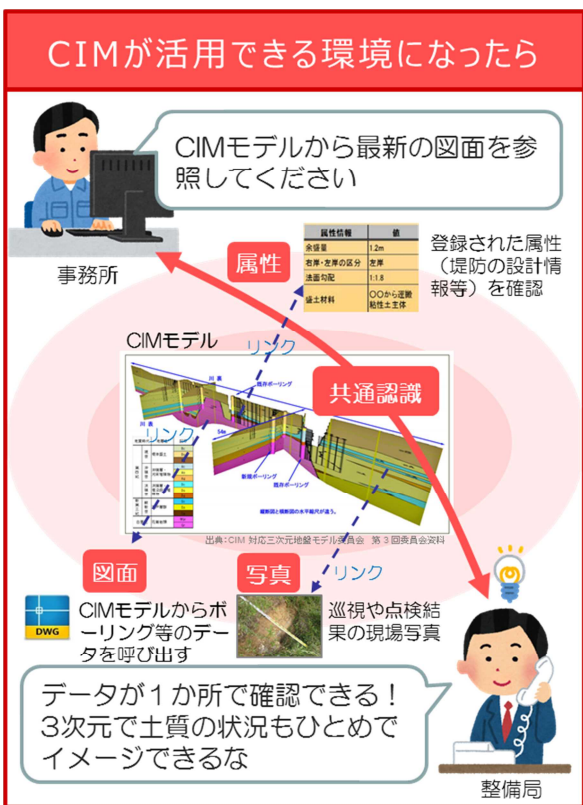


図-12 3次元管理の説明資料(抜粋)

(3) 研修用堤防の不具合事象の追加

近畿技術事務所の構内に設置している研修用”不具合”堤防は、堤防や護岸等の点検評価実習を行うための専用施設として整備したもので、見学も含め年間約400名に利用されている。

2016年の講習開始以降も、樋門・ゲート設備を整備し操作従事者向けの実習を開始したほか、堤防本体に発生する頻度が高いと考えられた「新たな事象」を毎年加えるなどして、講習内容の幅を拡げている。



図-15 堤防天端に縦断方向に生じる亀裂の再現



今後も受講生の理解度を高めるための資料の改訂や、各地で発生する事象の傾向・特徴等を反映した不具合の再現、点検技術支援等を進めていく。

また不具合現象の要因や原理だけでなく、応急対応の工法についても学びたい、などの要望も出されており、事象再現や点検支援だけでなく、上位級の講習についても試行を検討している。

#### 4. 河道の管理

##### (1) 河道における点検技術

河川管理の構成要素として、堤防や護岸、構造物等のほかに、河道や河道内の土砂・樹木がある。

近年の豪雨災害を契機として、河床変動の量をこれまでの河川測量よりも効率的に把握できる手法の開発・実用化が求められている。

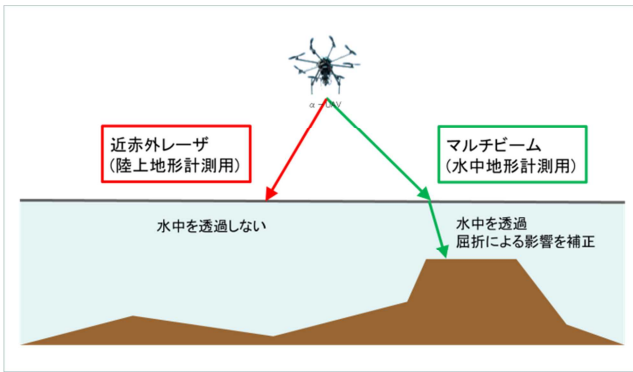


図-16 河床変動を効率的に把握する計測技術の例

新たな手法によって把握できる河床の限界水深と濁度や、ドローンを用いた調査高度と精度・効率の相関等の検証も今後の課題だが、河道の管理においても、例えば洗掘や土砂の堆積等変化からその要因や原理等を推測したり、変状の程度を評価する河道管理のPDCAサイクルのあり方についても検討し、てびき等にまとめて各地で活用できるように検討が必要である。

#### 5. まとめ

整備した不具合堤防で点検項目を実習すれば、変状を発見し計測・記録する点検技術が一定レベルで養われていることが確認されている。しかし一方では過去の記録や周辺の変状から、堤防や護岸をはじめとする構造物内部の異常の有無・程度も推測できる力量が必要なことがわかってきた。

円滑なPDCAサイクルを保つためには、この不可視部分を含めた変状の把握が必要である。ただ不可視部分も意識して変状を推定することは、現場の施設巡視担当の点検に関する力量だけに求めるものではない。このため「推定論」や健全度に関する情報を施設管理関係者間で相互・適時に交換する機会を設けたり、次の降雨時等に変状の再現・拡大の有無を点検する体制をとるなど、従来にも増してPDCAサイクルを保つことが必要である。

また各々の不具合の位置情報を三次元化したり、確認順に時系列整理する「健全度評価を支援するツール」の開発に繋がりたいと考えている。

今後もこ、これらの取り組みが各河川管理施設の管理に役立てられるよう、検証・提案を続けたいと考えている。

# 粘性土系遮水壁による盤ぶくれ対策について

中西 裕紀<sup>1</sup>・川部 正司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 県土整備部 土木局 河川整備課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

<sup>2</sup>兵庫県 阪神南県民センター 尼崎港管理事務所 (〒660-0083尼崎市道意町7-21) .

西宮市南部を流れる二級河川新川の河口部に位置する新川水門は、高潮・津波による浸水被害軽減を目的に既設水門の下流移設を進めている。当該工事では水門基礎杭の施工中に生じた想定外の湧水から支持層付近の被圧水を考慮した盤ぶくれ対策が必要となった。

本論文では、盤ぶくれ対策として県下初となる粘性土系遮水壁工法を採用することとなった経緯や検討過程及び工法概要について報告するものである。

キーワード 被圧帯水層, 盤ぶくれ, 粘性土系遮水壁

## 1. 概要

### (1) 工事概要

新たに建設する新川水門は、径間長25.0m、扉体高8.7mの構造物である。今津港沖の港湾区域内施工となるため、工事に先立ち、仮航路浚渫や二重締切矢板による施工ヤード確保を行った。その後、水門本体の基礎工事では、中掘り工法により鋼管杭(φ1000)を打設する計画であった。また、工事箇所は酒造用地下水で有名な「宮水」地帯に近接し、周辺に観測井を設置する等、事前に宮水保存調査会と協議のうえ、工事を進めていた。(図-1)

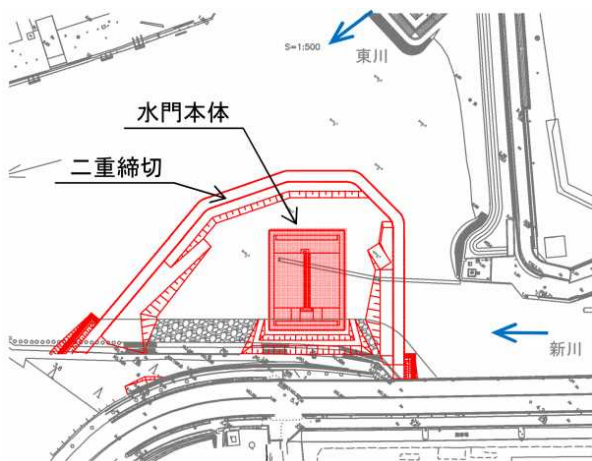


図-1 平面図

### (2) 地質概要

水門計画位置の地質構成は、表層に河床堆積物(ヘドロ)、表層下位に緩い砂質土(As層)が分布し、更に

下位には4~9m程度の層厚を有する軟質な粘性土(Ac層)が分布する。なお、工事着手前の現場透水試験や礫質土(Asg層)の平衡水位結果から当初は、Ac層を「透水層」と判断し、その下位にあるAsg層と連動して海水が浸透するものと判断していた。さらに下位層には鋼管杭の支持層となる砂礫層(Dsg層)、砂質土層(Dc層)がそれぞれ分布していた。(図-2)

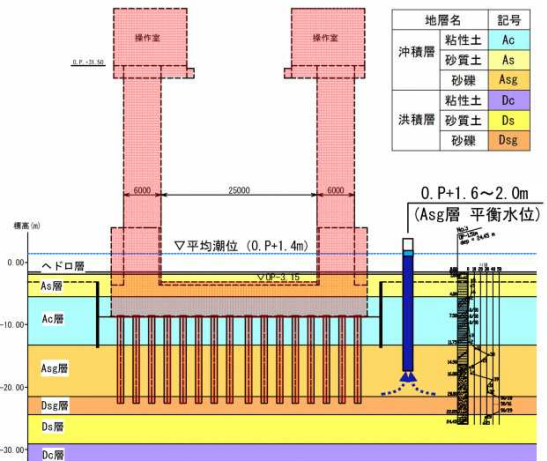


図-2 水門一般図

### (3) 想定外の湧水発生

基礎杭打設の際に想定外の湧水が発生し、周辺観測井の水位が最大70cm程度低下する事態が生じた。同時期に観測井の水位等に影響を与える工事が無かったことから、杭打設の際に地下水が杭周を伝って地表に湧出し、観測井の水位に影響を与えた可能性が高いと判断し、Ac層の透水試験やAc層下部の被圧測定、湧水の水質試験を行った。その結果、湧水が海水で

はなく淡水であったこと、Ac層が透水層ではなく難透水層( $k=1.0 \times 10^{-7}$ (m/sec))であったこと等を踏まえ検討したところ、Ac層下部に水深16m相当の水圧(被圧水頭0.P.+2.13m)が作用する被圧帯水層の存在が判明した。以上から、鋼管基礎杭が難透水層(Ac層)を貫通したことにより、被圧地下水が地上に噴出し、観測井の水位が低下したと結論付けた。(写真-1)(図-3)



写真-1 鋼管基礎杭の施工(湧水噴出)

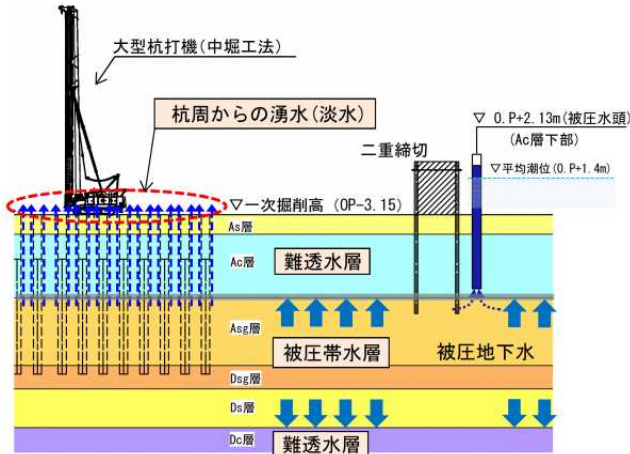


図-3 湧水発生時の施工断面図

## 2. 対策工の検討

### (1) 盤ぶくれの発生

前述したAc層とDc層に挟まれた被圧帯水層が存在するため、所定高さ(0.P.-8.75m)まで掘削した場合、土被り荷重(W)と被圧水圧(U)との比( $W/U$ )が安全率( $F_s=1.1$ )以下となることで揚圧力が抵抗力を上回り、「盤ぶくれ」の発生が懸念された。(図-4)

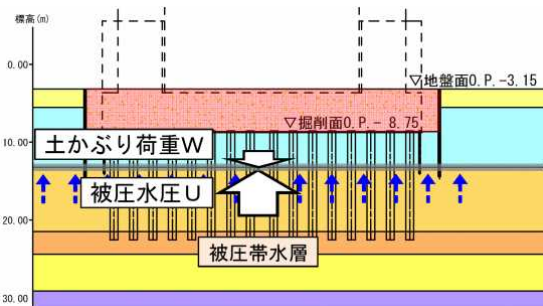


図-4 盤ぶくれ発生の概念

### (2) 対策工選定の考え方

盤ぶくれ対策としては、揚圧力の低減や抵抗力の増加対策が考えられる。そこで、①宮水への影響からアルカリ水が発生するセメント系地盤改良や、ディープウェルによる地下水位の低下が難しいこと、②被圧帯水層の下部(0.P.-29.1m)に不透水層(Dc層)が存在すること、③Asg層のN値が50以上のため遮水矢板の打設工法に限られることを踏まえ、対策工の比較検討を行った。その結果、コスト面や環境面で有利な粘性土系遮水壁(ECウォールII工法1))による盤ぶくれ対策を行うこととした。(表-1)

表-1 盤ぶくれ対策 比較表

工法	揚圧力の低減		抵抗力の増加
	粘性土系遮水壁	ディープウェル(地下水位低下)	遮水壁延伸+地盤改良
概要			
コスト	○	◎	△
周辺環境への影響	○	×	○

### (3) 工法概要

NETIS登録されている当該工法は、天然の粘土鉱物で遮水壁を地中に造成するものであり、河川堤防の漏水対策や調整池や最終処分場の遮水壁や汚染土壌の封じ込めなどに採用されている。対象地盤の全層を大型等厚式施工機械等により、粉体の粘土鉱物と混合攪拌し、地中に人工的な粘性土系遮水壁を連続して造成するものである。特徴として、従来のセメントを用いた工法と比べ、地下水等への影響も少なく、施工時の排泥を発生させない工法とされており、民間や他公共団体で施工事例はあるものの、県下では初めて採用する工法である。(図-5)

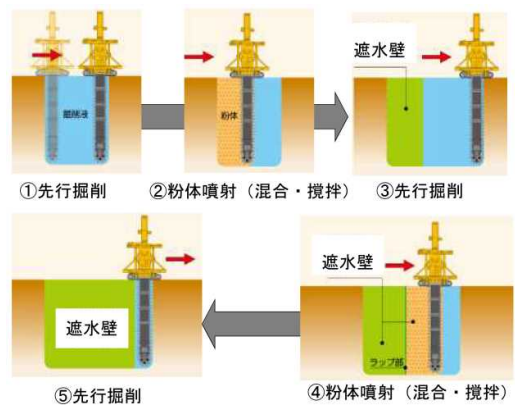


図-5 ECウォールII工法の施工フロー

### (4) 遮水機能のメカニズム

使用する粘土鉱物の主成分であるモンモリロナイトは、水を吸収すると元の体積の何倍にも膨らむ特徴(膨潤性)を持っている。この原理は、水と接触すると層間陽イオン(単位層間に存在する陽イオン)

と水分子が水和し、単位層間の距離が増加していくことによって起こるものであり、遮水機能はこの膨張性によるものである。(図-6)

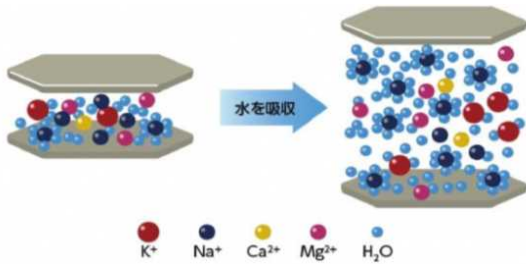


図-6 モンモリロナイトの膨潤模式図

(5) 粘性土系遮水壁による対策工

今回の工事では、当該工法により難透水層(Dc層)に遮水壁を貫入し、施工面の全側面を遮水構造とした後、掘削底面の被圧低減を図ることとした。ただし、遮水壁自体の強度が小さいため、土留め壁(鋼矢板IV型)併用の対策工とした。また、地盤高(0.P.-3.15m)から遮水壁を設置した場合、遮水壁を伝って被圧地下水が噴出するため、被圧地下水が噴出しない高さ(0.P.+2.50m)まで盛土を行った。(図-7)(図-8)

なお、同工法はコスト面や環境面で優れたものであったが、当該現場においては、遮水壁設置後に掘削作業を行う際に、遮水壁が周辺地盤と一体となった挙動となることが予想されたため、施工前に安全性評価を行った。

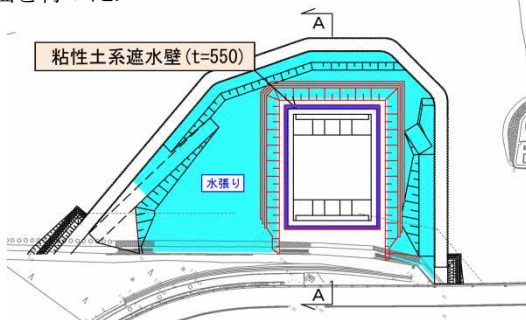


図-7 対策工平面図

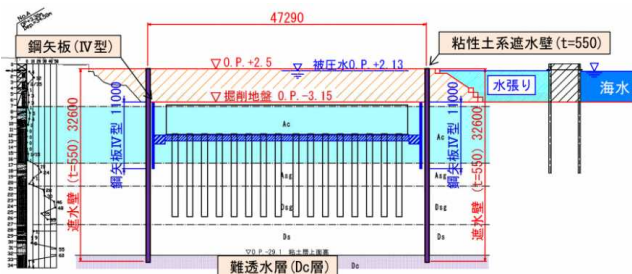


図-8 対策工横断面図(A-A断面)

3. 被圧水作用による安全性評価

(1) 評価の考え方

今回設置した遮水壁は、鋼矢板等を用いた遮水工法と比較して剛性が低いため、掘削時の被圧作用を

受けた場合には、遮水壁が周辺地盤の変形に追随するため、施工済の鋼管杭も影響を受けて変位することが予想された。このため、有限要素法(FEM変形解析)を用いることにより、遮水壁の曲率半径、せん断ひずみ及びび杭の変位を算定した。

(2) 許容値の設定

遮水壁の変形許容値については、遮水壁の変形挙動と遮水性に関する検討に基づき設定した。被圧作用により遮水壁が屈曲する際には、曲線に近い挙動や折れ曲がり挙動を示し、曲線の半径が小さい場合には、遮水壁にクラック等が生じ、水密性が確保されないことから曲率半径の許容値を10m以上とした。また、折れ曲がり大きい場合は、遮水壁にクラック等が生じ、水密性が確保できないことから、せん断ひずみの許容値を15%以下とした。なお、基礎杭の許容変位値は、県の管理基準に基づき杭長の1%(14cm)以下とした。

(3) 解析結果

最も変形が大きい右岸遮水壁(0.P.-13.0m付近)の曲率半径は30m、せん断ひずみは2.5%となった。また、杭の最大変位は1.5cm程度であり、全て許容値を満足ものであることを確認した。その結果、今回の被圧作用により遮水壁や杭の安全性、また遮水機能が損なわれないことを確認することが出来た。(図-9)(図-10)

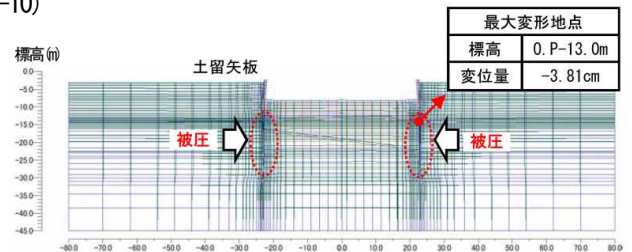


図-9 掘削時の変形図

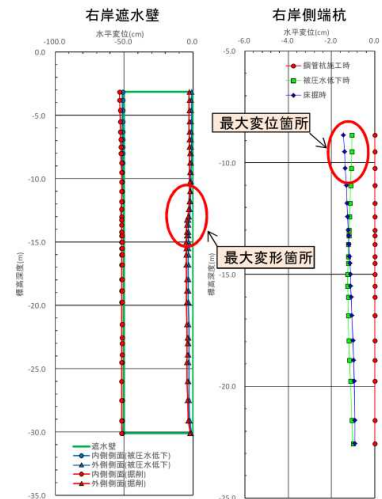


図-10 遮水壁・杭の水平変位

#### 4. 掘削時の地下水排水計画

##### (1) 排水ポンプの設定

ポンプによる排水は、排水孔を設置して行う必要があるため、排水孔径を極力小さくする。なお、排水揚程は排水当初は被圧水頭が高いため揚程が小さいが、掘削が進むにつれて揚程が大きくなる。ただし、上部盛土の掘削も進めるため、今回の実揚程は掘削面 (O.P-3.15m) ~掘削面 (T.P-8.75m) までとし、さらに配管ロス等を考慮して全揚程は6mとし、排水孔設置部の盛土を先行撤去のうえ、O.P-3.15mから排水孔を設置した。その際、被圧水が湧水するが、その湧水を釜場排水しながら排水孔を設置することとした。(図-11)

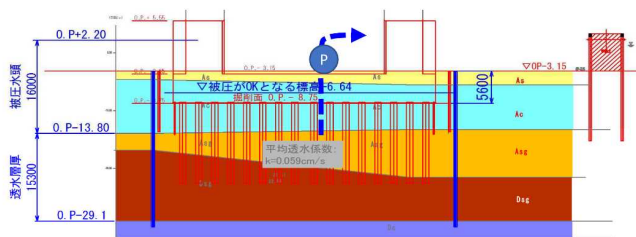


図-11 排水孔の設置位置

##### (2) 掘削方法

O.P-3.15mからの掘削は掘削深1m毎で行い、掘削地盤低下に伴い湧水する遮水壁からの浸透水は水替えポンプにより排水する。なお、掘削深1mで掘削し、湧水が終了した時点で、次の1mの掘削を行うサイクルとする。この場合、掘削時に被圧する被圧力は、掘削高+1mとなる。(図-12)

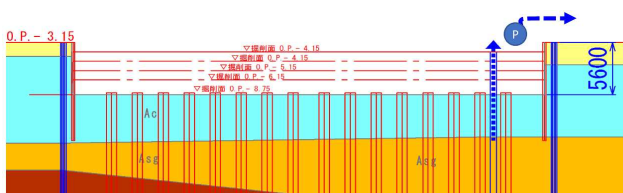


図-12 掘削方法(1m毎)

##### (3) 各掘深における被圧に対する安全率

各掘削深における被圧に対する安全率を算定した場合、全ての掘削深で安全率を満足する結果となった。(表-2) (写真-2) (写真-3)

表-2 掘削深と安全率

①掘削深 -3.15から1m毎	②地盤厚 被圧層からの厚さ	③地盤重量 ②×15.6KN	④被圧水深 ②+1m	⑤被圧水圧 ④×10KN	⑥安全率 ③/⑤	判定 ⑥>1.1
O.P-4.15	9.65	150.54	10.65	106.5	1.41	OK
O.P-5.15	8.65	134.94	9.65	96.5	1.40	OK
O.P-6.15	7.65	119.34	8.65	86.5	1.38	OK
O.P-7.15	6.65	103.74	7.65	76.5	1.36	OK
O.P-8.15	5.65	88.14	6.65	66.5	1.33	OK
O.P-8.75	5.05	78.78	6.05	60.5	1.30	OK



写真-2 粘性土系遮水壁の施工状況



写真-3 遮水対策後の掘削状況

#### 5. おわりに

本工事では設計段階で被圧帯水層の確認が困難であり、施工段階においてこのような盤ぶくれ対策が必要となったものである。盤ぶくれ対策に同工法を用いた事例が無かったが、当該現場においては遮水対策と周辺環境対策の両立を図ることの出来る最適案であったと考える。2019年6月時点で対策工事は完了し、遮水壁からの浸透水はほとんど無かったことから、遮水効果が十分確認できた。今後、被圧帯水層の影響を受ける工事において、工法選定の経緯や事前検証方法が参考となれば幸いである。

#### 参考文献

- エコクレイウォールⅡ工法[大型等厚式施工機]技術・積算資料 (EC(エコクレイ)ウォール工法協会)
- 国土交通省新技術情報提供システム: NETIS登録番・KT-160027-A, エコクレイウォールⅡ工法(ECウォールⅡ工法)
- 田村成仁・高井敦史・乾 徹・栗原太志・勝見武・荒木 進・嘉門雅史: ソイルベントナイト鉛直遮水壁の変形挙動と遮水性に関する検討, 第48回地盤工学研究発表会講演集, pp2187-2188, 2013.
- 小川泰弘・嘉門雅史・勝見 武・乾 徹・松橋大作・荒木 進: ソイルベントナイト地中連続遮水壁の遮水性能とその耐久性の実験的検討, 第40回地盤工学研究発表会発表講演集, pp2593-2594, 2005.

# 「らくらく点検システム」による道路橋 定期点検の課題解決を目指して

岩戸 寿明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>公益財団法人 兵庫県まちづくり技術センター まちづくり推進部 市町計画課

(〒650-0023兵庫県神戸市中央区栄町通6丁目1-21神明ビル5F) .

2014年の道路法施行規則の改正により、5年に1回の近接目視点検が義務化された。兵庫県内の市町が管理する道路橋約2万橋（神戸市除く）についても定期点検が実施され、今年度からは2巡目点検が始まるなかで、各市町ともⅢ判定となった橋梁の補修対応に多大な予算と労力を必要としており、財源の確保や職員の技術力不足などの課題を抱えている。

このような課題を解決するため、ICT（タブレット）を活用した橋梁点検支援システム「らくらく点検システム」を開発した。本論においては、各市町が抱える定期点検の課題と、それらを解決するために開発した当該システムの内容について述べる。

キーワード 維持管理, コスト縮減, 人材育成

## 1. はじめに

兵庫県内の市町が管理している橋梁数は、兵庫県、政令市、市町をあわせると、27,223橋で全国第4位であり、その内市町の管理橋梁数では、20,404橋で全国1位となっている。（表-1）これら多くの橋梁を数少ない職員で維持管理せざるを得ない状態であり、近年になって重要視され始めた老朽化対策であることから、経験や技術力の不足が課題となっている。さらに、最も大きな課題は、財源不足であり、5年に1回の定期点検費用をいかに縮減するかが重要となっている。市町が管理する橋梁の橋種別の割合を確認すると、RC床版橋（ボックスカルバート含む）が全体の57%を占めている。（図-1）このことから、RC床版橋の点検について効率化を図り、コスト縮減することが有効であると考えられる。

点検の効率化やコスト縮減については、点検要領の改定や新技術の活用等、様々な対策が進められているが、

その対応策の一つとして市町職員による直営点検の実施が考えられる。しかし、道路橋の点検は、安全性を確認することが重要であるとともに、長寿命化修繕計画をはじめとした、維持管理のPDCAサイクルの基礎データとして、適切に実施した点検データを蓄積することが必要となるため、経験や技術力が求められる。そこで、比較的構造が単純で規模が小さいRC床版橋を直営点検の対象とすることで、容易に近接でき損傷状況も確認し易く作業効率が図れ、コスト縮減の効果も高いと考えられる。

これらのことから、市町職員が直営点検を実施するにあたっての課題を整理し、それら課題を解決できるよう、タブレットを活用した、橋梁点検支援システム「らくらく点検システム」（以下、「本システム」という）の開発と、運用体系の構築を行った。

表-1 地方公共団体管理橋梁数（2014.04時点）

順位	都道府県・政令市・市区町村	都道府県・政令市	市区町村
1	岡山県 30,752橋	岡山県 12,740橋	兵庫県 20,404橋
2	岐阜県 28,348橋	岐阜県 11,697橋	長野県 20,201橋
3	福岡県 27,373橋	福岡県 8,445橋	北海道 19,019橋
4	兵庫県 27,223橋	石川県 7,871橋	福岡県 18,928橋
5	北海道 25,462橋	広島県 7,044橋	岡山県 18,012橋
6	長野県 24,537橋	兵庫県 6,819橋	富山県 17,206橋
7	静岡県 22,539橋	北海道 6,443橋	静岡県 16,886橋
8	広島県 21,269橋	熊本県 6,256橋	岐阜県 16,651橋
9	富山県 21,018橋	静岡県 5,653橋	埼玉県 15,342橋
10	石川県 20,285橋	京都府 4,791橋	愛知県 14,248橋
	：	：	：

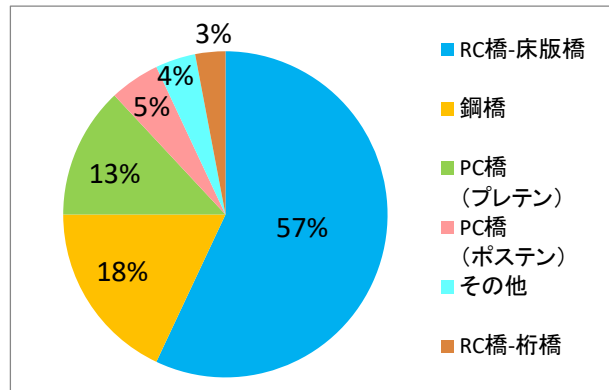


図-1 兵庫県内市町橋種別割合（2019.01登録時点）

## 2. 直営点検に向けた課題

このような状況を踏まえ、市町職員による直営点検を実施する場合の課題をまとめると以下のとおりである。

### (1) 定期点検データの効率的な管理

各市町とも管理橋梁数が多く、5年に1回の点検により、今後も膨大な点検データを蓄積していく必要がある。そのため、点検データを効率的に蓄積・管理していくことが必要である。

### (2) 点検精度の確保

点検では安全性の確認が最も重要であるが、一方で点検データは、長寿命化修繕計画策定の基礎データとなるため、点検評価の内容等に関連があると、適切な計画策定ができないことから、職員直営点検においても点検内容の精度を確保することが必要である。

### (3) 点検作業や調書作成の効率化

点検の実施にあたっては、前回点検の資料確認から始まり、橋梁の位置確認、現地での点検の実施、点検後の写真帳等の作成等、多くの作業が必要となることから、これら一連作業の効率化が必要である。

### (4) 点検技術の習得と継承

これまでに点検の経験を有している職員が少ない中で、橋梁点検技術の習得と向上を図るとともに、その技術を継承していくことが必要である。

### (5) 点検費用の縮減

職員直営点検の実施に向け、点検費用の縮減と、直営点検を支援する使い易いシステムの構築が必要である。

## 3. 「らくらく点検システム」の開発

市町職員が直営点検を実施する上での課題を解決するために開発した本システムの内容は以下のとおりである。

### (1) 定期点検データの効率的な管理・活用が可能

本システムは、市町橋梁マネジメントシステムと連動しており、過去の点検データの取得や、点検後のデータの登録等を効率的に蓄積・管理することが可能である。

本システムの構成は、点検実施橋梁の登録準備や現地点検実施後に点検データの整理等を行う、パソコンを利用するシステムと、現地での点検作業を実施するためのタブレットを使用したシステムが市町橋梁マネジメントシステムと連携することで構成されている。(図-2)

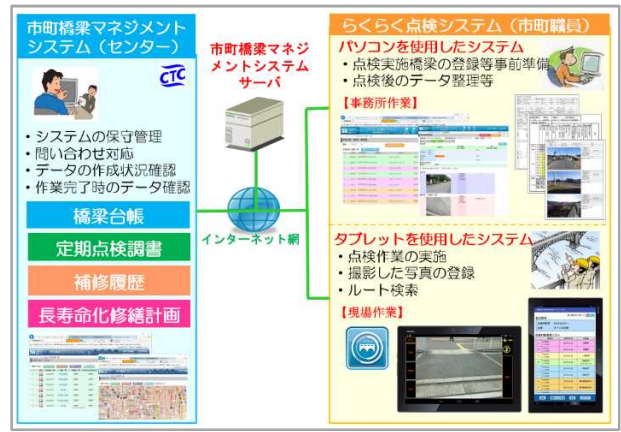


図-2 システム構成イメージ図

市町橋梁マネジメントシステムは、(公財)兵庫県まちづくり技術センターが開発・運用しており、橋梁台帳、定期点検調書、補修履歴のデータを一元管理するとともに、長寿命化修繕計画策定支援システムとも連携したシステムである。

### (2) 点検精度の確保や向上が可能(図-3)

#### a) 誤判定・評価項目見逃しの防止

各評価項目については、市町橋梁マネジメントシステムより、前回の点検結果を自動的に取得しており、点検した評価結果と比較して、損傷評価に差異がある場合には背景色を変えることで誤判定を警告する。評価部をタップすると、前回点検評価を確認することができる。確認画面では、前回の損傷評価と今回の損傷評価を同時に表示できるため、誤記入や誤判定を防止できる。

また、すべての評価項目を入力しないと点検完了にならないため見逃しを防止できる。



図-3 誤判定・評価項目見逃し防止機能



図4 写真撮影漏れ防止機能

b) 写真の撮影漏れを防止 (図-4)

全景写真等必要な写真は、撮影箇所や方向が指定されており、迷うことなく撮影できる。また、各部材の評価ごとに写真撮影ボタンを設けていることから損傷写真の撮影漏れを防止できる。

(3) 点検作業や調書作成の効率化が可能

a) 橋梁位置表示・ルート案内機能 (図-5)

市町橋梁マネジメントシステムとの連携により、点検橋梁の座標データを自動入手し、点検する橋梁の位置を確認することや、現在位置からのルート案内が可能であり、点検橋梁への円滑な移動が行える。

b) 点検要領表示入力機能 (図-6)

点検作業において、点検要領を所持しなくても、各損傷評価の評価基準表を表示することができ、基準表の評価欄をタップすることで評価を直接入力することも可能であり、スピーディな点検が行える。



図5 橋梁位置表示・ルート案内機能



図6 点検要領表示入力機能

b) 撮影写真から写真帳を自動作成 (図-7)

損傷写真の撮影については、タブレット本体のカメラにより撮影が可能である。また、別途デジタルカメラで撮影した写真をWiFiで取り込むことも可能である。

撮影した写真は、「兵庫県道路橋定期点検要領(市町版)」の写真帳様式が自動的に作成される。また、点検調書と写真帳を連動させていることから、点検調書に記載する写真番号と写真帳の間違いが防止できる。

c) 点検調書の自動作成 (図-8)

点検作業が完了した橋梁については、「兵庫県道路橋定期点検要領(市町版)」の様式で調書が自動生成され、エクセルデータでの出力が可能である。

また、国土交通省記録様式についても、自動生成・出力が可能である。このような機能により、大幅に調書作成等の作業を削減でき、効率化を図っている。



図7 写真撮影・登録画面

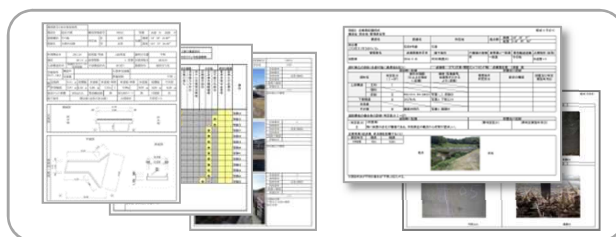


図8 右：国土交通省点検記録様式  
左：兵庫県道路橋定期点検要領(市町版)



(4) 点検技術の習得と継承が可能

本システムは、実施する点検者の技術力にあわせて、「点検ガイドモード：ON」と「点検ガイドモード：OFF」(以下、「通常モード」という)の2通りのモードを設けている。

「点検ガイドモード：ON」は、経験が浅い職員が確実に点検を実施できるよう、チョーキングの方法や、ひび割れの計測方法等、点検作業内容についても説明を行っている。その他、損傷評価は段階的に確認するとともに、緊急対策が必要な橋梁を見逃さないため、事例写真を掲載し説明を行う等、対話形式により点検ができるモードである。これにより、経験が浅い職員の技術力向上も図ることができるようにしている。(図-9)

一方で「通常モード」は、熟練した職員が、部材毎に直接評価を入力し効率的に点検を行えるようにしている。(図-10)

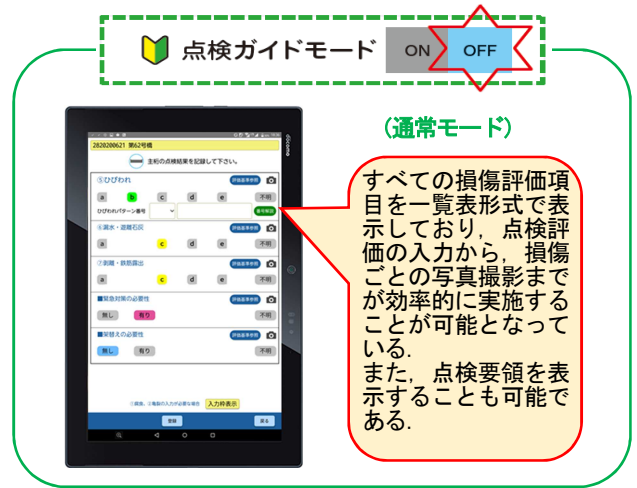


図-10 点検ガイドモード：OFF画面例

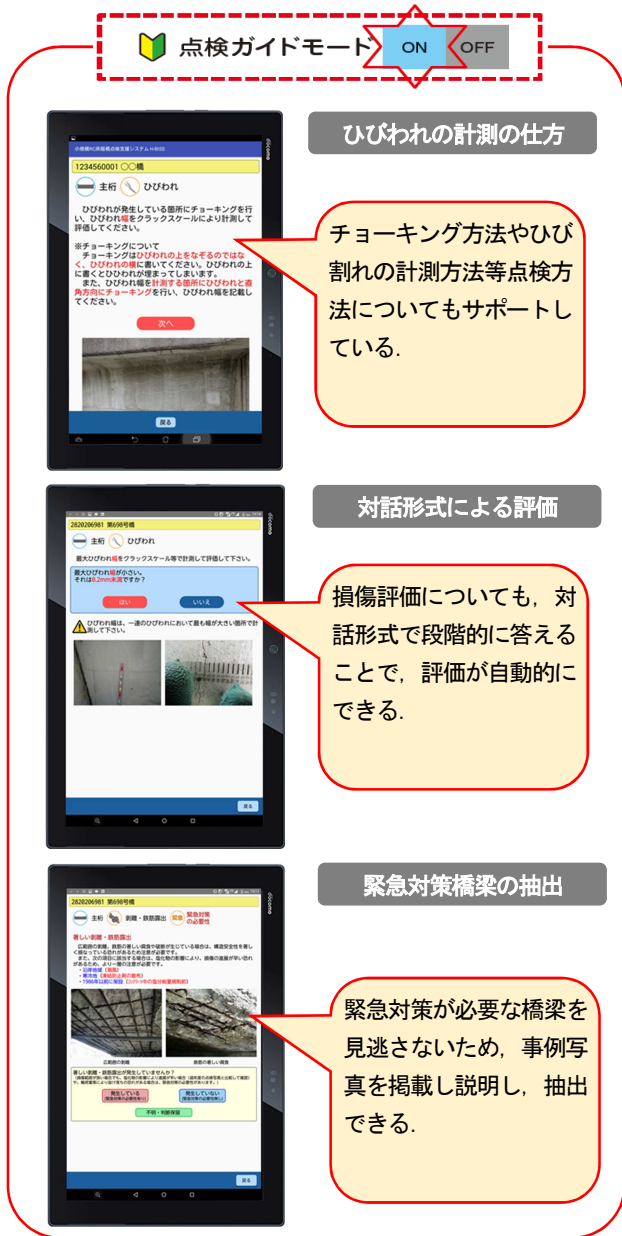


図-9 点検ガイドモード：ON画面例

(5) 橋梁の安全性を確保する支援体制の構築

市町職員が点検を実施している時に、点検の実施方法やタブレットの操作方法等で不明な点が生じた場合や、センター職員が質問に対応する。作成中の点検調査書や写真データ等をアップロードすることで、市町職員と同じ調査書や写真を確認しながらリアルタイムで質問に対応することが可能である。

現地での点検実施後に作成する点検調査書についても、点検調査書の記入方法等の質問対応を行うとともに、作成された点検調査書の内容を精査することで、点検実施者の違いにより生じるバラつき等を解消し、点検の精度向上を図る。

また、健全性の診断の判定については、より高い技術力が必要となることから、市町職員の判定内容について、必要に応じ現地確認の実施や、学識経験者の意見聴取を行った上で助言し、適切な判定を支援する。

その他、市町の要望に応じて、タブレットの操作方法や点検方法について、座学講習会や現地講習会を実施し円滑に点検が実施できるよう支援する。

このように、単に点検作業をタブレットにより実施するだけではなく、点検から健全性の診断判定までをトータルにサポートすることで、点検精度の向上や橋梁の安全性を確保することとしている。(図-11)



図-11 支援体制のイメージ図

(6) 定期点検費用の軽減

市町職員が本システムを使用し、点検を実施することで、点検業者に委託する場合の点検費用に比べて、約20%程度の費用で実施が可能となる。(表-2)

表-2 らくらく点検システムによる点検費用

項目	点検費用	備考
業者委託点検	1橋当り(円)	
当センター一括発注	173,000	
職員直営点検		
点検支援システム使用(予定)	38,000	22%
※センター精査、成果品作成を含む ※橋長5m未満のRC床版橋、50橋未満を想定		

4. 本システムの今後について

(1) 様々な意見を反映した改良

a) 市町から意見聴取

本システムは、今年度より運用を開始しているが、直営点検を行わない市町にも積極的に点検デモを実施した。(写真-1)

また、点検デモ実施時に、利用者にアンケートを行い意見や要望を聞き、システム改良等に反映している。

(表-3)

b) 様々な方からの意見聴取

本システムを使用する市町職員の方だけではなく、様々な方の意見聴取を行うことで、より利用し易いシステムを目指すことを目的に、コンクリート工学会年次大会「テクノプラザ2018」に出展し、約200名の方に実際にシステムを体験して頂いた。(写真-2)

また、来場者にアンケートを実施した結果、「点検データを効率的に管理・活用できる」が最も多く、次に「若手職員の技術力習得・継承が可能となる」といった内容に多くの方が興味を示して頂いた。(表-4)

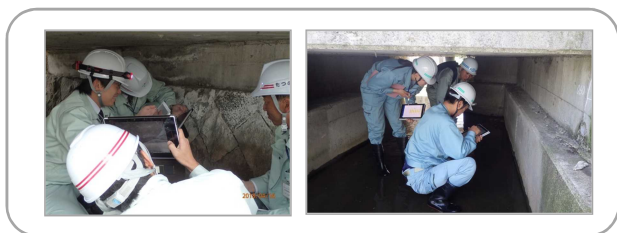


写真-1 市町デモ実施状況写真

表-3 点検デモ実施時のアンケート結果(抜粋)

回答内容
点検方法を学習しながら実務ができるので分かりやすい
点検するポイントを教えてくれるので安心
対話形式で分かりやすい
タブレットのサイズはもう少し小さくてもよい
損傷事例がもう少しある方がよい



写真-2 テクノプラザ出店状況写真

表-4 テクノプラザアンケート結果(抜粋)

項目	回答数	割合(%)
①点検データを効率的に管理・活用できる	69	60.5
②点検精度の向上が図れる	21	18.4
③点検や調書作成の作業が軽減できる	49	43.0
④若手職員の技術力習得・継承が可能となる	46	40.4
⑤点検費用が軽減できる	29	25.4
⑥その他	2	1.8

(2) 多様な橋種や他の点検要領への対応

本システムは、現在RC床版橋のみを対象としているが、今後は桁橋等の橋種にも対応を進めていくとともに、要望等に応じて、他の点検要領への対応についても検討を行っていく。

(3) 点検業者への利用によるコスト縮減

本システムは、これまでに述べたように、市町職員の直営点検を目的に開発を行ってきたものであるが、本システムは点検熟練者が効率的に点検を実施できる機能も備えていることから、点検熟練者が利用した場合にも作業時間の軽減が図れる。(表-5)

そこで、今後はセンターが実施している一括発注点検業務等、点検業者に利用して頂くことで点検費用の縮減を検討していく。

表-5 点検作業時間の比較表

項目	点検経験が浅い者		点検熟練者	
	従来点検	支援システム	従来点検	支援システム
外部作業	70min	90min	40min	50min
内部作業	120min	40min	80min	40min
合計	190min	130min	120min	90min
削減率		32%		25%

※橋長15m未満のRC床版橋の点検を想定  
※点検デモによる推定値

8. おわりに

今年度は2市町で実施が確定しており、4市町で検討を行っている。今後も、本システムを発展・改良し、市町職員や点検業者等が効率的・効果的に精度の高い点検を実施できるシステムとすることにより、兵庫県内の道路橋の安全・安心の確保を継続的に支援していきたいと考えている。

# 日本海岸地域における橋梁洗浄時期の検討

前田 健児

福井県工業技術センター 建設技術研究部 (〒910-0102福井県福井市川合鷲塚町61-10)

橋梁の維持管理費縮減には適切な点検および対策が重要な役割を果たすため、低コストで効果的な点検方法や対策方法が求められている。橋梁洗浄は低コストかつ容易な対策方法として知られているが、実施時期の検討は行われていない。そこで、劣化要因として考えられる飛来塩分量、付着塩分量に着目して、実劣化状況を測定することで、経時的劣化状況を把握し、効果的な橋梁洗浄時期を検討することを目的とした。本研究では実劣化状況を把握した日本海岸地域における効果的な橋梁洗浄時期の検討結果を報告する。

キーワード 鋼橋, 飛来塩分, 付着塩分, 腐食速度, ACMセンサー

## 1. 目的

日本海岸地域では冬期特有の季節風による飛来塩分が付着することで鋼橋の劣化が著しい地域である。鋼橋は構造が複雑かつ構成する材料が多いことから点検および補修が困難な構造物であり、低コストで簡易な維持管理方法が求められている。その方法として橋梁洗浄がある<sup>1)</sup>。鋼橋の付着物を洗い流すことで劣化を抑制できる可能性が高いが、毎月洗浄するには予算がかかる。本研究では日本海岸地域に位置する橋梁を対象にモニタリングを行い、橋梁洗浄時期を限定することで洗浄回数を抑え、低コストで最大の効果を発揮する時期を検討した結果を報告する。

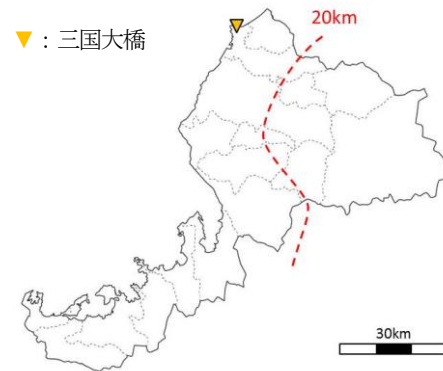


図-1 位置図

写真-1 三国大橋

## 2. 実験方法

### (1) 実験場所

対象橋梁は飛来塩分の影響を受ける海岸から比較的近い橋梁で実施した。その結果に基づき、腐食環境から橋梁洗浄時期を提案する。対象橋梁は、日本海岸線から 2.5 km に位置する三国大橋 (位置図-1, 写真-1) (Lat.36° 11' N, Long.136° 9' E) で実施した。対象橋梁の気温  $T$  (°C), 相対湿度  $H$  (%RH), 降水量  $R$  (mm), 平均風速  $W$  (m/s) を表-1 に示す。本実験では水分や飛来物の堆積による影響を排除するため実橋梁部材の垂直面を対象とした。なお、調査方位による検討を行うため、下流面 (NNE), 上流面 (SSW), 海側面 (WNW), 山側面 (ESE) の 4 方位とした。さらに、腐食しやすい部位として桁端部が報告されているため<sup>2)</sup>,



表-1 実験箇所の諸元

離岸距離 $L$ (km)	温度 $T$ (°C)	湿度 $H$ (%)	降雨時間 $R$ (min/day)	風速 $W$ (m/s)
2.5	13.5	85.4	75.8	1.29

比較対象として左岸端部（NNE）における腐食環境と経時腐食挙動のデータを収集した。

(2) 実験方法

対象橋梁に到達する大気中の塩分量を計測するため、対象橋梁の高欄にて飛来塩分量を測定した。測定方法は福井県内の飛来塩分量測定実績の多い土研式タンク法<sup>3)</sup><sup>4)</sup>とした。土研式タンク法は縦 72.4 cm、横 42.4 cm、奥行き 29.4 cm のステンレス製の箱に捕集口（縦 10 cm、横 10 cm）が 1 つ空いたものであり、1 方向の飛来塩分のみをとらえる構造である。土研式タンク法にて飛来塩分を測定する場合、その地点の卓越風向と捕集口の向きを吟味する必要がある。今回の土研式タンク法の捕集箱開口向きは過去 10 年間（2006～2015 年）の最多風向を受けられる方向に設置し、1 ヶ月ごとに 32 ヶ月（2016 年 8 月～2019 年 3 月）継続して測定した。ただし、2018 年 5 月～8 月については 2018 年 9 月に 5 ヶ月間の捕集量を按分している。

部位別付着塩分量を把握するため、下流面（NNE）、上流面（SSW）、海側面（WNW）、山側面（ESE）の 4 方位の付着塩分量を測定した。測定方法は表面塩分計 SNA-3000（サンコウ電子研究所）を使用した。測定方式は電気伝導率法（JIS Z 0313 に対応）、測定範囲は 0～1,999mg/m<sup>2</sup>。季節依存性を確認するため測定後は水道水およびエタノールにて測定面の付着物を除去している。1 ヶ月ごとに 29 ヶ月（2016 年 11 月～2019 年 3 月）継続して測定した。

部位別方位別大気腐食環境は、Fe-Ag 型 ACM センサー（64 mm×64 mm、腐食防食学会認定品、植田工業株式会社）およびデータロガー（1ch UEDA-MS ACM ロガー、植田工業株式会社）を用いることで 10 分ごとに 30 ヶ月（2016 年 10 月～2019 年 3 月）継続して測定した。ACM センサーは付着塩分計測箇所隣接させて付着塩分量測定同様 4 方位の部材面に貼付した。貼付けの際には部材の乾湿を再現できるように熱伝導シート（COH-4065LVC、Taica）と両面テープを使用して貼付した<sup>5)</sup>。

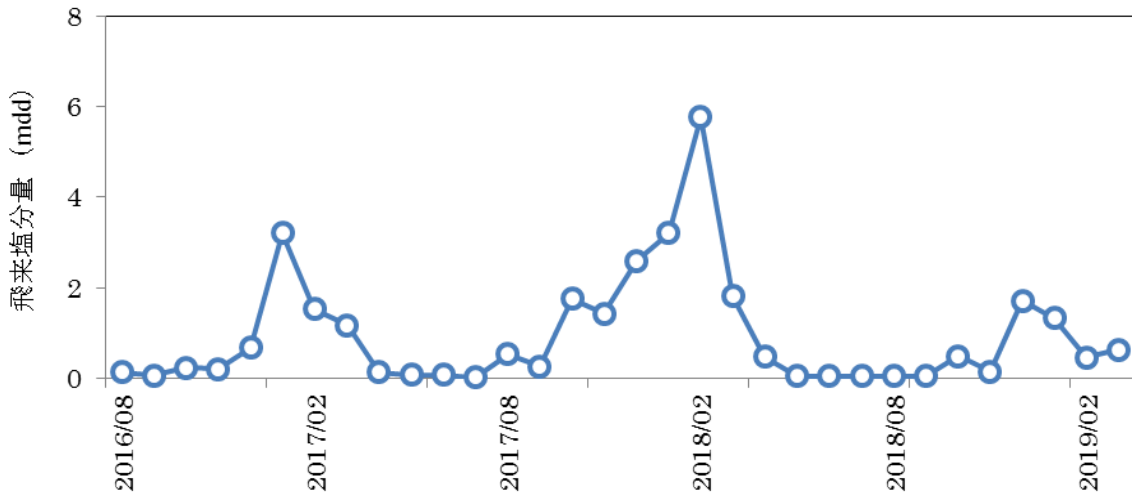


図-2 飛来塩分量

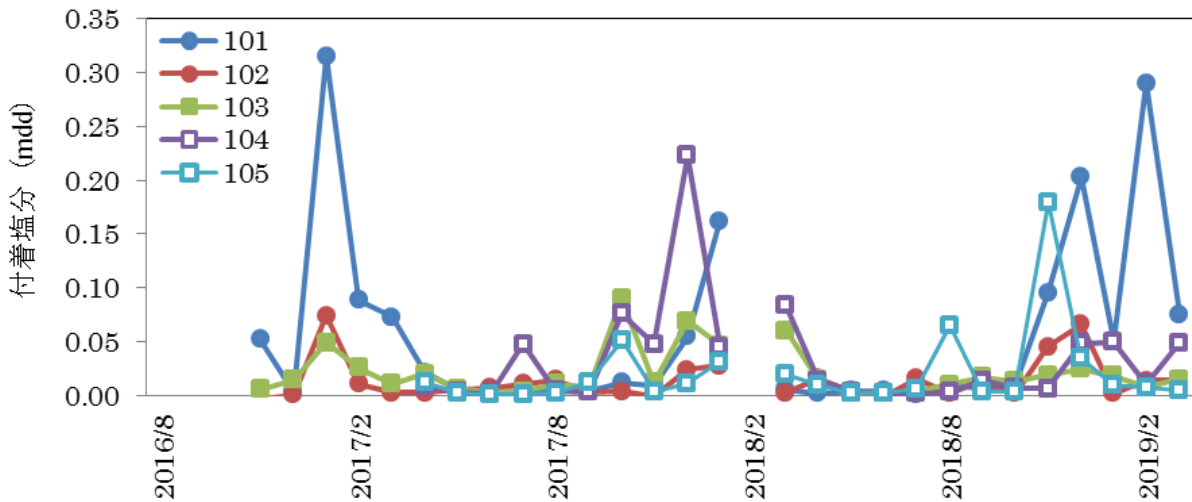


図-3 付着塩分量

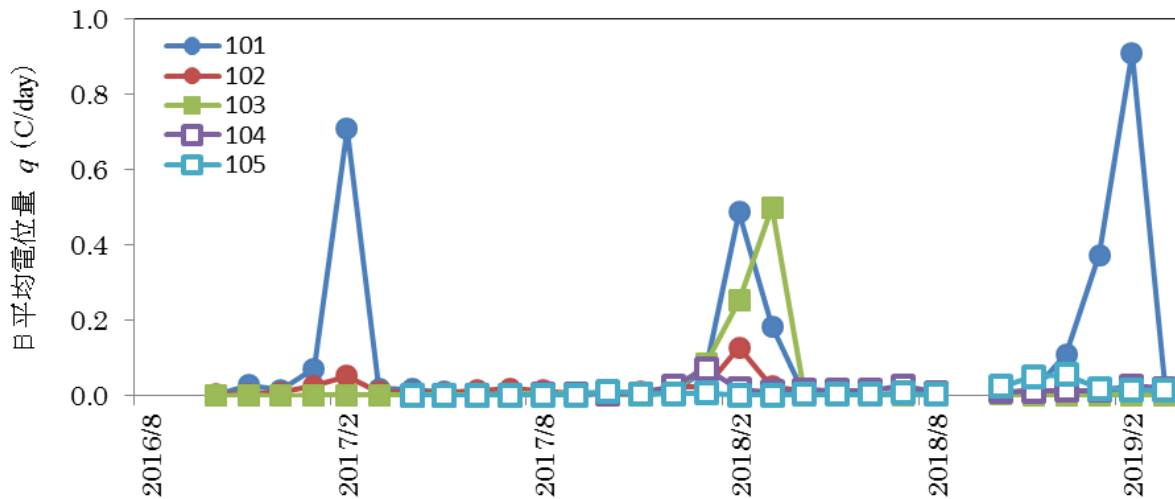


図-4 日平均電気量

### 3. 結果と考察

#### (1) 飛来塩分量

土研式タンク法により採取した捕集液をイオンクロマトグラフ法 (IC 法) により定量分析した。定量分析した塩化物イオン量 (Cl<sup>-</sup>) から NaCl 量に換算した結果を図-2 に示す。12 月～3 月の冬期に飛来塩分量が多くなっていることから、日本海岸気候の特徴である冬期の北西からの季節風および越波<sup>6)</sup>によるものと考えられる。飛来塩分量の冬期外の平均値は 0.313 mdd、冬期の平均値は 2.009 mdd であることから、飛来塩分には季節依存性があることが言える。飛来塩分量の年平均値を比べると 1 年目は 0.625 mdd、2 年目は 1.499 mdd、3 年目は 0.407 mdd と年によって 3 倍以上の違いがあることから、年平均飛来塩分量を把握するには複数年の測定が必要である。

#### (2) 付着塩分量

電気伝導度法により測定した表面付着塩分量を測定日数で除した日あたり付着塩分量を図-3 に示す。101 は左岸端部 (NNE)、102 は下流面 (NNE)、103 は上流面 (SSW)、104 は海側面 (WNW)、105 は山側面 (ESE) を示す。飛来塩分量と同様、12 月～3 月の冬期に日当たり付着塩分量が多くなっていることから、季節依存性があり、飛来塩分との関連性があると言える。

#### (3) 日平均電気量と平均腐食深さ

ACM センサーおよび電流計により腐食電流を測定した。ACM センサー出力から日平均電気量  $q$  (C/day)<sup>7)</sup> を算出した結果を図-4 に示す。方位によって出力傾向に差があるが、下流側 (NNE) および上流側 (SSW) では飛来塩分および付着塩分同様、12 月～3 月の冬期に日平均電気量が大きくなることから、飛来塩分および付

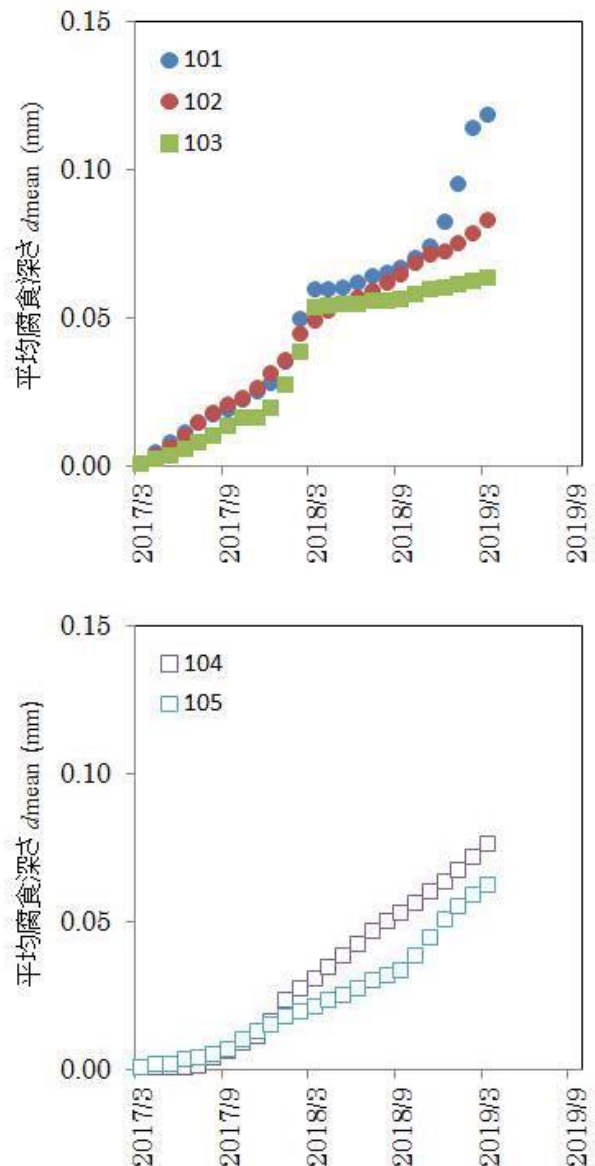


図-5 各部位の平均腐食深さ

着塩分が日平均電気量に影響を与えていると考えられる。

日平均電気量から腐食速度  $CR$  (mm/year)<sup>8)</sup>を算出し、月当たり腐食速度  $CRm$  (mm/month) に換算後、積分することで各月の平均腐食深さ  $d_{\text{mean}}$ <sup>9)</sup>を算出した結果を図-5に示す。雨がかり環境および雨による洗い流しの影響が考えられる場所では平均腐食深さと時間は非線形関係であり、12月～3月の冬期にかけて平均腐食深さが増加していることから、12月～3月の冬期に洗浄することで平均腐食深さの増加を抑えることが可能と考える。雨がかり環境での平均腐食深さの増加は飛来塩分や付着塩分の出力傾向が一致するため、飛来塩分や付着塩分が原因と考えられ、洗浄により塩分を洗い流すことで平均腐食深さを抑制すると考えられる。雨がかりのない環境では平均腐食深さと時間は線形関係であり季節依存性はないことから、1年を通して等間隔に洗浄することで平均腐食深さを抑制することができると考えられる。雨がかりのない環境は塩が蓄積する環境と言え、既往研究<sup>9)</sup>でも平均腐食深さと時間が線形関係にあることを示している。

#### 4. 結論

本研究では日本海岸地域に位置する橋梁を対象にモニタリングを行い、橋梁洗浄時期を限定することで洗浄回数を抑え、低コストで最大の効果を発揮する時期を検討した。その結果、塩分量と腐食速度に同傾向の出力が確認され、腐食速度増加要因を把握することができた。以下に本研究で得られた結果をまとめる。

- 1) 飛来塩分には季節依存性があり、年平均飛来塩分量を把握するには複数年の測定が必要である。
- 2) 飛来塩分と付着塩分には関連性がある。
- 3) 日本海岸地域における橋梁の洗浄時期は、雨がかり環境では12月～3月の冬期に洗浄すること、雨がかりのない環境では1年を通して等間隔に洗浄することが平均腐食深さを抑制することができる。

#### 参考文献

- 1) 永田ら：効果的な桁洗浄に向けた鋼橋の腐食環境調査と考察，構造工学論文集 Vol.54A,p.691-702, 2011.3
- 2) 玉越ら：鋼道路橋の局部腐食に関する調査研究，国土技術政策総合研究所資料，No.294, 2006.1
- 3) 片脇ら：飛来塩分量の特性と測定方法，プレストレスコンクリート，Vol.27(1), p.69-73, 1985
- 4) 建設省土木研究所他：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XX)，88, 1993.3
- 5) 坂本達朗：高腐食環境における鋼構造物の塗膜下腐食現象と防食性能向上に関する研究，九州大学学位論文，甲第13215号，2016.9
- 6) (財)日本気象協会福井支部，福井県の気象百年，19, 1997
- 7) 元田ら：ACM型腐食センサで測定した海洋性大気の腐食環境条件の年変化，材料と環境，44, p.218-225, 1995
- 8) 押川ら：雨がかりのない条件下に暴露された炭素鋼の腐食速度と ACM センサ出力との関係，材料と環境，51, p.398-403, 2002
- 9) 貝沼ら：腐食生成物層の厚さを用いた無塗装普通鋼材の腐食深さとその経時性の評価方法，材料と環境，61, p.483-494, 2012

# 道路管理におけるドライブレコーダーの活用 について～福井国道維持出張所の導入事例～

大森 匠

近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

福井河川国道事務所の出先機関である福井国道維持出張所では、2018年7月より、維持管理業者等への円滑な情報共有手段としての利用、落下物の記録や舗装状況の確認といった管理業務への援用、許認可業務における補助的利用などを目的として、道路パトロール車へドライブレコーダーの導入・運用を開始した。本稿では、同出張所において、ドライブレコーダーが維持管理業務を行う上でどのように活用できるのかを事例を交えて紹介するとともに、ドライブレコーダーの活用拡大の一案として、内蔵の加速度センサーを用い簡易的に路面性状の把握が可能か検討した。

キーワード 維持・管理, 効率化, ドライブレコーダー

## 1. はじめに

近年の厳しい財政状況から公共事業予算の縮減が進み、職員数の削減傾向も続く中、一方で維持管理上必要となる業務量は変わらず、今後道路構造物の老朽化により異状や損傷等の危険要因の増大が懸念される現状を踏まえると、限られた人的リソースや予算の中で、より効率的かつ効果的な維持管理の推進が求められる。

福井国道維持出張所では、維持管理の効率化・高度化の一環として、2018年（H30）7月より巡回車にドライブレコーダーを導入した。当初の主な導入目的は、ドライブレコーダーの映像記録により、落下物の記録等の巡回記録を補完する面や、事務所や維持業者等に対する情報伝達の円滑化の面での効果を狙ったものである。本稿では、出張所で実際にドライブレコーダーを導入した結果を踏まえ、維持管理上どのように活用できるのかについて事例を交えながら整理した。また、今後の活用拡大のための一案として、ドライブレコーダーに内蔵されているセンサーを用い、巡回時に取得した加速度データから舗装の状態を把握できるか試行的に検討した。

## 2. ドライブレコーダーの活用事例

### (1) 福井国道維持出張所の概要

福井国道維持出張所は、国道8号のうち、福井県あわら市牛ノ谷地先から同県南越前町大谷地先までの約63.7kmの区間を所掌とし、巡回作業や路面清掃、植栽の剪定等の

道路の維持管理業務、道路の占用や特殊車両の通行許可等に係る許認可業務、雪害時に備えた散水融雪設備の管理や除雪車配備等をはじめとする防災対策を行っている。

### (2) 出張所におけるドライブレコーダーの活用

巡回車にドライブレコーダーを導入するメリットは、管理区間を網羅的に映像として記録できる点、写真よりもより現場の臨場感が伝わり易く情報共有や意思決定のツールとして有用である点、GPS機能付きのものであれば、現場状況の確認と同時に位置情報（座標値）の取得



図-1 福井国道維持出張所の管理区間

が可能であり、正確な場所の把握のみならず、GIS等の外部ツールと組み合わせた管理にも応用可能である点等があげられる。出張所では上述のメリットを踏まえ、以下のa)~d)で挙げるような活用を行っている。

**a) 巡回記録の補完的役割**

福井国道維持出張所では巡視を実施する際、道路の異状箇所や落下物等を発見した場合は職員が現場で写真を撮影し、付近のキロポスト標でおおよその位置を確認する。巡回終了後、紙ベースの道路巡回日誌に、発見時の状況と位置、現場での措置状況を記載し、撮影した写真を添付して保存している。日誌だけでも、巡回時の状況を概ね把握できるものの、記録できる情報量には限界があり、例えば路面の損傷状況等は、軽度なことから状態の深刻なものまで様々で、管理区間に広く点在することから、漏れなく全てを把握しておくことは困難である。ドライブレコーダーの導入により、管理区間全体の巡回記録を映像として保存でき、正確な時刻・位置情報と併せて、巡回時の現場状況を随時確認することが可能となった。加えて、長期的にデータを保存しておくことで、映像に収まる範囲であれば経年的な変化を追うこともでき、道路構造物の劣化の経過観察や工事履歴の確認等も可能となる。これは、災害発生時においても有用で、復旧作業を行うときに巡視記録をとっていない場所においても、被災前後の状況を容易に確認することができる。

**b) 許認可業務への援用**

常時録画を行うことで、無許可の占用物等を発見したときに降車することなく安全に状況記録ができる。また、管理区間において交通規制をとまう工事が実施される時、工事の案内看板の設置や交通誘導が適切に為されているかを記録し(図-2)、事前の申請通りに履行されていたかを必要に応じて瞬時に確認可能となった。

**c) 事務所や維持業者等への情報共有**

事務所とのやり取りにおいては、従来の写真では把握できなかった動画ならではの臨場感が共有できるようになった。例えば、交通安全対策の計画作成時には、実際に走行している様子から交通事故箇所の現状把握と再発防止策の検討が可能となった。円滑な情報共有にも貢献し、地元からの道路管理に対する要望対応では、苦情のあつ

た街路樹の状況や区画線の消去具合等の状況を過去の走行映像から即時に共有することができた。維持業者との情報共有の面でも、巡回中に発見しその場で回収の困難な落下物の除去や、散水管などの設備の不具合(図-3)解消を依頼する際等にドライブレコーダーの記録が有効に利用されている。

**d) 突発的な事象の記録**

走行中に、突発的に遭遇するような事象についても、記録が可能である。出張所では、未申請が疑われる特殊車両の走行について、映像中のナンバープレートから申請がないことを確認できた事例(図-4)や、70歳以上の高齢者が運転する自動車が逆走する様子を捉えた事例(図-5)があった。後者の事例のような、走行車両のイレギュラーな動きは、交通安全対策等を計画していく上での、重要な検討材料になり得るものである。



図-3 散水管の不具合(破線内)



図-4 未申請の特殊車両



図-2 施工業者による交通規制の実施状況



図-5 逆走車両



### 3. 簡易的な舗装点検手段としてのドライブレコーダー活用可能性

#### (1) 福井河川国道事務所管内の舗装実態

アスファルト舗装の現状について、舗装点検要領(2017年3月)に基づき2018(H30)年度に実施された福井河川国道事務所管内道路(直轄国道及び直轄高速道路)の点検結果と2018年8月に公表されたメンテナンス年報の全国値<sup>①</sup>を示す(図-6)。点検結果は、管理基準に照らし、ひび割れ率、わだち掘れ量、IRIにより舗装の健全性が評価され、損傷レベルの小さい「Ⅰ：健全」、損傷レベルが中程度の「Ⅱ：表層機能保持段階」、損傷レベルが大きく修繕措置が必要な「Ⅲ：修繕段階」の三段階に区分される。全国値との比較から、事務所管内には劣化が進行し修繕措置が必要な舗装(Ⅲ判定)が比較的多い割合で存在することがわかる。また、管内における管理瑕疵の発生件数(表-1)を経年的にみると、2017(H29)年度にポットホールによる事故が突出して発生していることが見て取れる。これらの結果の要因としては、特に2017年度の記録的な大雪の影響が考えられる。福井県のような積雪寒冷地では、道路舗装が融雪水や凍結融解作用の影響を受けやすく、チェーン装着車の通行等と相まって、ひび割れやポットホールが生じやすいという特徴がある<sup>②</sup>。

#### (2) 舗装点検手段としてのドライブレコーダーの活用

前節の実態に鑑みると、福井県において今後も2017年度のような大雪の発生が懸念されることから、定期的に舗装の状態を点検・把握し、必要に応じて修繕措置を講じて、一定の健全性を保っておくことが重要といえる。しかしながら、2014年度でこれまで3年に1度実施していた

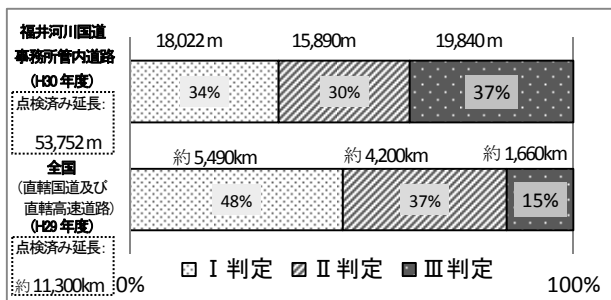


図-6 アスファルト舗装の健全性判定別車線延べ延長割合

表-1 福井河川国道事務所管内の管理瑕疵件数内訳

年度	ポットホール	その他	計
H26年度	—	コンクリートの落下 1件、倒木 2件、高架橋からの落雪 1件	4件
H27年度	1件	落石 1件、標識からの落雪 1件	3件
H28年度	—	トンネル坑口からの落雪 1件	1件
H29年度	13件	不法投棄防止柵への接触 1件、トンネル坑口からの落雪 1件	15件
H30年度 (12月末時点)	3件	—	3件

路面性状調査が無くなり、2017年度から舗装点検要領に基づく点検(5年毎に実施)が始まったものの、まだ点検途中で全数把握が完了しておらず、点検頻度も落ちる。このような背景を考慮すると、日常管理で簡易的に舗装の状態を把握しておく意義は大きい。そこで本章では、巡回業務に付随する形での舗装劣化の把握を目的として、ドライブレコーダーのログデータから得られる衝撃加速度に着目し、舗裝修繕工事の前後の状況比較から、加速度と路面性状の関係性を試行的に分析する。これまでに、走行車両の車軸にかかる加速度と路面段差量の関係を明らかにした研究<sup>③</sup>や、一般車両に搭載した加速度計、GPS等を用いたモニタリングシステムにより、乗り心地や舗装の損傷等に係る指標であるIRIを評価した研究<sup>④</sup>等で加速度と路面の状態について一定の関係が明らかにされている。本分析は、ドライブレコーダーの加速度計を用い、より簡易的に路面性状の把握が可能か検討を行うものである。

#### (3) 分析の概要

##### a) 加速度データ

福井国道維持出張所で導入したドライブレコーダーには加速度センサーが搭載されており、1秒毎に車体の進行方向(x軸方向)、側面直角方向(y軸方向)、鉛直方向(z軸方向)にかかる加速度を検知し記録できる。

##### b) 対象区間と使用データ

対象区間は、福井県南越前町大谷の道の駅「河野」に接する国道8号下り車線(445.340kp~445.756kp)とした。同区間は2019年2~3月にかけて舗装の修繕工事(切削オーバーレイ、打換え等)が行われており、施工前後の加速度を比較可能である。また、2018年10月に同区間で路面性状調査が行われており、同調査の結果と加速度の関係についても把握する。使用する加速度データは、舗裝修繕工事の施工前(2018年12月11日)と施工後(2019年2月26日)の走行データから抽出する(図-7)。分析に用いる加速度はy軸方向とz軸方向とし、運転時の加速の影響が生じうるx軸方向については今回の検討から除くものとする。路面性状調査の結果については、ひび割れ率、わだち掘れ、平坦性に基づくMCI値<sup>①</sup>を用いる。

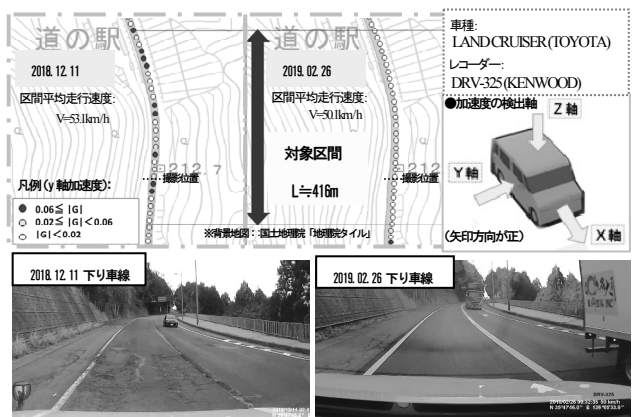


図-7 工事前後の加速度分布及び計測状況

(4) 分析の結果

a) 舗装修繕工事前後の加速度比較結果

図-8, 9に、施工前後におけるy軸方向およびz軸方向の加速度度数分布を示す。y軸方向の加速度については、施工前の加速度のばらつきが、施工後ではG=0付近に収束しており、比較的大きな加速度の観測度数が減少している。z軸方向の加速度については、施工前後で度数分布の形状に大きな差はみられない。

b) MCIと加速度の相関関係

図-10に、路面性状調査結果から得られたMCI値と各軸方向の加速度（絶対値）について散布図を示す<sup>9)</sup>。y軸方向の加速度をみると、MCI値が低く路面の状態が悪い地点ほど、高い加速度が検出されている傾向が見取れる。相関係数を算出するとR=-0.597（無相関検定:t(17)=-3.07, p=0.008）で一定の有意な負の相関がみられた。一方、z軸方向の加速度については、MCI値との間に一定の関係は認められなかった。y軸方向に相関がみられた要因としては、ポットホールや路面の凹凸を巡回車が乗り上げる際に片方のタイヤが乗り上げ、車両側面方向に加速度が働くパターンの方が検出され易いためと考えられる。

4. まとめ

- ① ドライブレコーダーの記録の網羅性、視覚的な把握の容易さ、各種センサーを有する多機能性等が、日常の維持管理業務における記録の補完的役割、情報共有、証拠保全、経年変化の確認等において役立ち得ることを把握した。
- ② ドライブレコーダー内蔵の加速度センサーから得られる重力加速度の計測値と路面性状の関係性を分析した結果、加速度と路面の損傷程度に一定の連関がみられた。とりわけ、車体側面方向にかかる加速度と路面性状の悪さ（MCI値）に有意な相関関係がみられた。
- ③ 加速度の活用方法としては、例えばMCI値との対応関係から加速度に閾値を設け、y軸加速度G>0.06のときは要観察対象とする等、一定の加速度以上を示す区間については継続的に記録を行い、後々の修繕の優先順位付けに用いることなどが考えられる。加えて、図-7ようにGISを用い、加速度の分布を視覚的に分かり易く管理・共有することも可能である。

5. 今後の課題—加速度データの活用について

本稿の検討では、路面性状との関係を一度の走行データのみで検討しており、推定精度に課題がある。分析区間を広げ、より多くのサンプルから加速度と路面性状の関係を導出する必要がある。また、動画データと加速度が紐付けされていることから、路面性状の推定に画像情報を組み込めないか検討する。

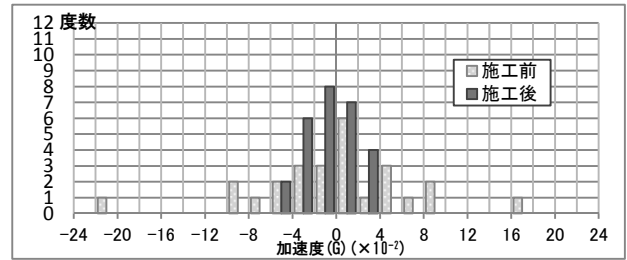


図-8 施工前後の加速度度数分布（y軸方向）

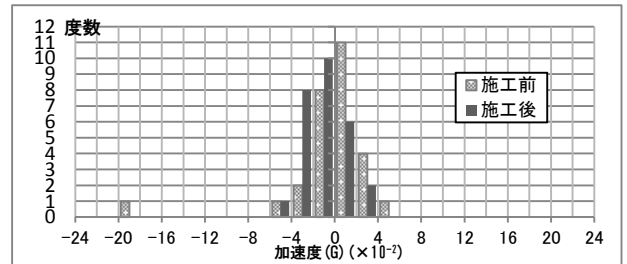


図-9 施工前後の加速度度数分布（z軸方向）

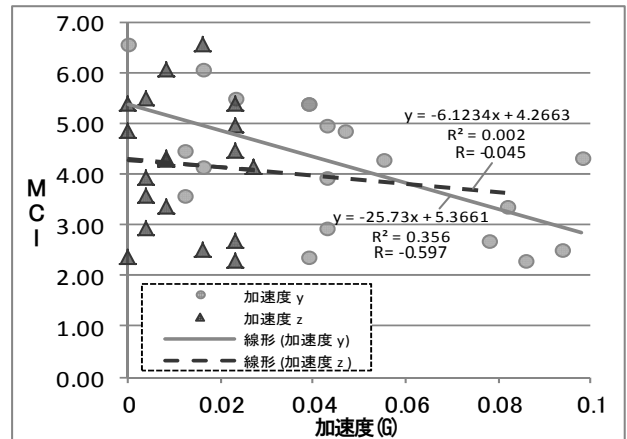


図-10 MCI値と施工前の各軸方向加速度（絶対値）

本論文は著者の前任地である、近畿地方整備局 福井河川国道事務所での成果を取りまとめたものである。

<補注>

- (1) ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦人性により路面性能を評価する指標<sup>9)</sup>。目安として、5 ≤ MCI が望ましい管理水準、3 < MCI < 5 が修繕が必要な水準、MCI ≤ 3 が早急に修繕が必要な水準とされる。
- (2) 路面性状測定車による測定結果に基づき 20m ピッチで算出されたMCI値と、各MCI値算出区間内で観測された加速度の値を対応させている。加速度の値は、スミルノグラフス検定により外れ値を除いたデータを用いている。

<参考文献>

- 1) 国土交通省「道路メンテナンス年報（平成29年度）」, 2018
- 2) 丸山記美雄, 安倍隆二, 木村孝司「融雪期に発生する舗装の損傷実態と損傷のメカニズム」: 国土交通省国土技術研究会論文集, pp119-124, 2014
- 3) 黒木幹, 峰岸順一, 岩井茂雄「走行車両の車軸の加速度測定による路面の段差評価方法とその適用性」: 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.67, No.3, I\_59-1\_64, 2011
- 4) 朝川皓之, 長山智則, 藤野陽三, 西川貴文, 秋本隆, 和泉公比古「一般車両の走行時動的応答を利用した舗装路面の簡易状態評価システムの開発」: 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.68, No.1, 20-31, 2012.
- 5) 日本道路協会「舗装設計施工指針（平成18年版）」, 2006

# 円山川八条樋門の緊急対策について

松田 雄也<sup>1</sup>・久内 忠<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 兵庫国道事務所 計画課 (〒650-0042 兵庫県神戸市中央区波止場町3-11)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 河川管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

本稿では、八条排水機場（樋門）で生じた漏水の原因究明・応急対策・対策工・今後のモニタリングに関する調査・研究について報告する。八条排水機場は円山川左岸14.9k付近に位置し、豊岡市街地の内水排除を目的に造られた施設である。排水機場は八条樋門によって円山川と接続しており、揚排水を行っている。

2018年（平成30年）7月の梅雨前線降雨は円山川の水位が氾濫危険水位を超過する大きな出水をもたらし、当排水機場は内水排除のため稼動した。その際、堤脚から大量の漏水が生じ、排水機場の運転が困難な状況となった。

キーワード 樋門, 変状, 沈下, 漏水, 対策工

## 1. はじめに

八条排水機場（樋門）は円山川左岸14.9k付近に位置し、豊岡市街地の内水排除を目的に造られた施設であり、1978年（昭和53年）に竣工し、約40年間供用されている。

当施設の位置する豊岡盆地は、沖積低地であり厚い沖積層が堆積している。排水機場・樋門の直下には軟弱な沖積粘性土が15～20m程度堆積している。これにより基礎形式は杭基礎（鋼管φ500、L=30m）となっている。

また、1997年～2001年（平成9年～13年）にかけて国道312号の拡幅工事が行われ、樋門函渠補強・L型擁壁による土留壁が施工されている。

2018年（平成30年）7月の梅雨前線降雨時に排水機場を稼動した際、L型擁壁端部の堤脚から大量の漏水が生じ、排水機場の運転が困難な状況となった。

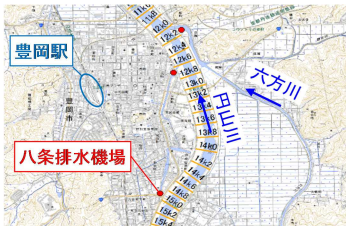


図-1 施設位置図

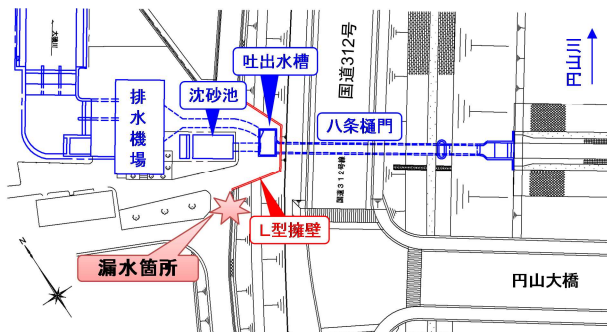


図-2 各施設配置と漏水箇所

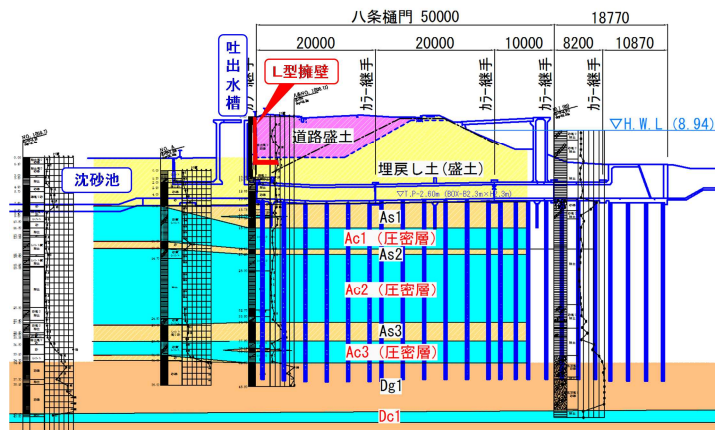


図-3 八条樋門形状と地質状況

## 2. 漏水の概要

堤脚からの漏水は、2018年（平成30年）7月6日23時に発見され、7月7日19時20分に終息している。この時間帯は、排水機場が稼動しており、かつ、外水位が堤内地盤より高い状態であり、樋門函渠が内圧状態となっていた。



図-4 漏水時の状況

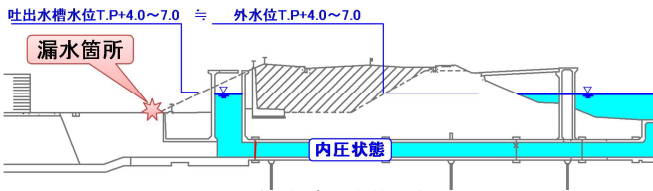


図5 漏水時の水位関係

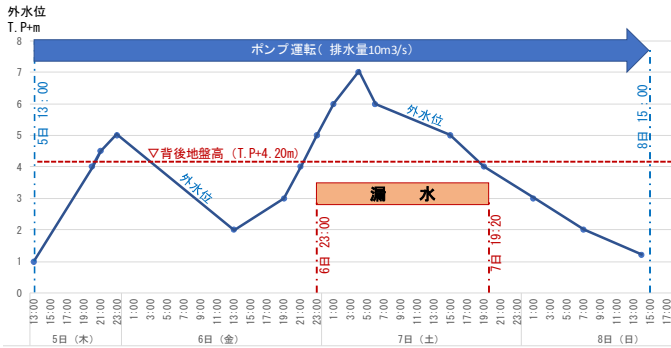


図6 漏水時間と堤内地盤の関係

### 3. 漏水原因究明

漏水原因の究明を行うために必要な点検・調査を行った。なお、目視・スコープ・レーダー等の非破壊調査では知れる情報に限界があったため、試掘調査を行うとともに、対策工事期間も調査を継続し、適宜、検討のフィードバックを行った。

#### (1) 樋門本体の調査

##### a) 樋門函内の目視点検・スコープ調査

樋門函内の敷高はT.P.-2.60mであり、円山川平水位T.P.+0.6m程度より3.2m程度低く、常時水没している状態である。したがって、樋門川表・裏ゲートを全閉とし、樋門内の水をポンプ排水して函内点検を行った。

その結果、樋門函渠は道路盛土下部で最大45cm程度沈下していることが確認できた。さらに、沈下により4cm程度のクラック・8cm程度の継手開きが確認された。

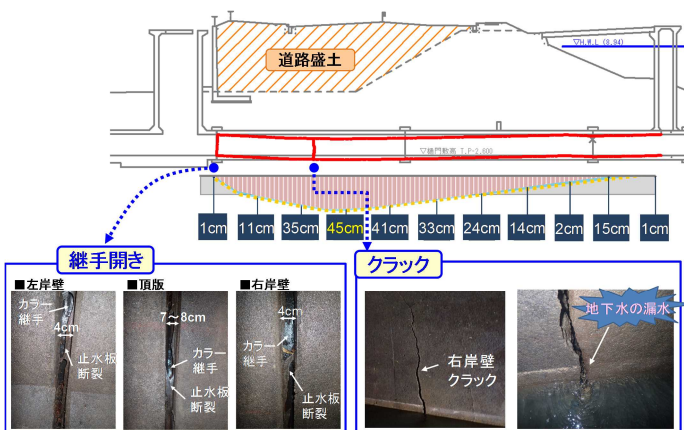


図7 函内調査結果

クラック部においてスコープ調査を実施したところ、クラックは外側まで貫通しており、さらに、漏水により砂粒分が吸い出され、奥行き10cm程度の空洞が生じていることが確認できた。

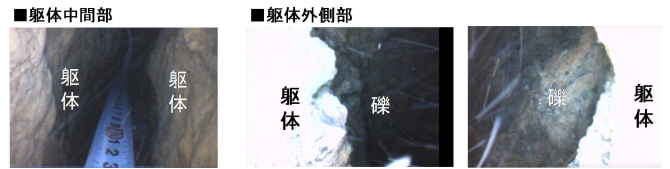


図2 スコープによるクラック部の様子

また、当樋門は杭基礎でありながら、函体が沈下しているため、函渠の押し抜きせん断・杭先端支持力不足が懸念された。ただし、道路拡幅時の補強により函体底版が打ち増しされており、その剥離・既設函渠底版の破壊状況は非破壊検査では確認できないため、対策工事の函渠撤去時に杭先端の状況を調査した。(本稿6.に記載)

#### b) 連通試験

函渠下面における空洞の有無・遮水矢板の機能を確かめるため連通試験を行った。なお、湧水が著しい状態であり、観測孔1-1~2-2までを掘孔後、速やかに閉塞した。

連通試験の被圧水頭は、川裏側(調査孔1-1・1-2)地点では50cm程度差

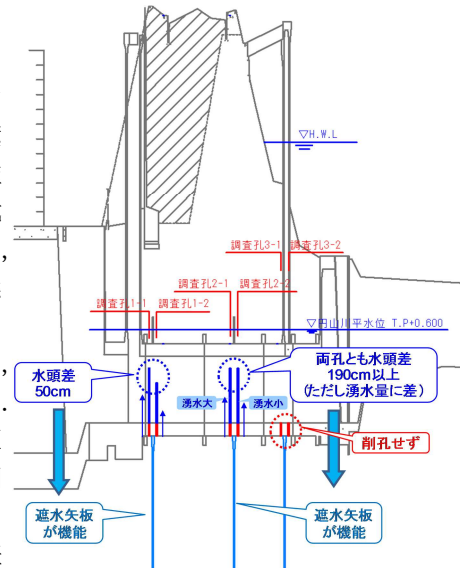


図8 連通試験結果

あり、遮水矢板が機能していると思われる。中央部(調査孔2-1・2-2)地点では両孔とも被圧水頭が1.9m以上(透明管上部から噴出)であったが、湧水量が調査孔2-2の方が大幅に大きかったため、遮水矢板が機能していると思われる。なお、函渠周りの空洞については対策工事中の掘削時にも調査した。(本稿6.に記載)

#### (2) L型擁壁の調査(試掘調査)

L型擁壁は杭基礎となっており、擁壁下部に空洞が生じていることが懸念されたため、部分的に試掘を行い空洞の有無を調査した。その結果、擁壁下面に最大15cm程度の空洞が生じていることが確認できた。なお、埋戻しの際はセメントミルクを充填して空洞を閉鎖した。

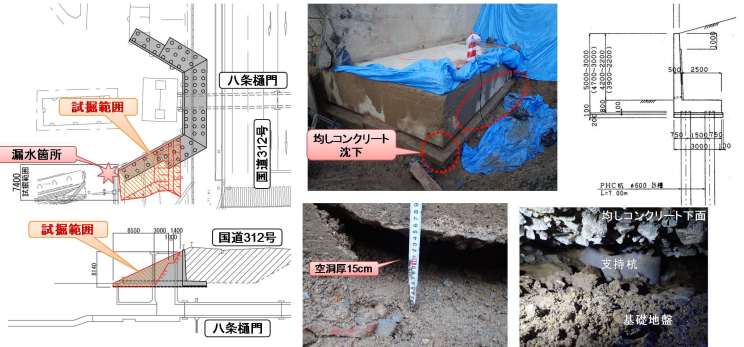


図9 L型擁壁試掘調査結果

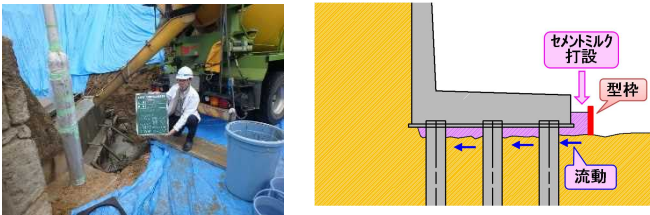


図-10 L型擁壁セメントミルク注入の様子

(3) 国道312号・川表面面調査

今回の漏水により国道312号下部に空洞が生じていないか空洞探査車により調査した。この結果、空洞は生じていなかった。また、川表面面・護岸についても大きな変状は生じていなかった。



図-11 国道312号の空洞探査



図-12 川表面面の様子

(4) 排水機場稼働による漏水調査

今回の漏水が、函渠のクラック・継手開き部から内圧状態の流水が逆流し、L型擁壁下部の空洞を伝い漏水したと予想されたため、実際に排水機場を稼働させて樋門函内に内圧を作用させ、漏水調査を行った。

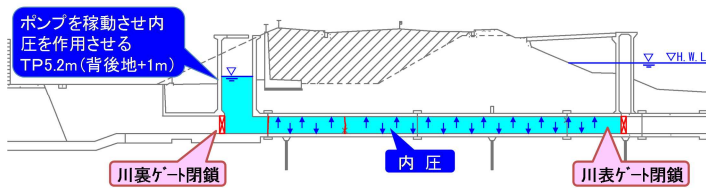


図-13 漏水調査時の函渠状態



図-14 漏水の様子

漏水調査結果は以下のとおりであった。

- 吐出水槽の水位が堤内地盤より高くなった時点で川裏側の漏水箇所でも漏水が生じた。
- 漏水は吐出水槽水位 > 堤内地盤高の時間継続した。
- 吐出水槽水位 < 堤内地盤高となった時点で、漏水は逆流に転じた。
- 川表からの漏水は確認されなかった。

(5) 考察(漏水原因について)

これまでの調査結果をもとに、漏水原因を推測した。漏水原因を以下のとおり推定した。

- 1997年～2001年(平成9年～13年)にかけて国道312号の拡幅工事が行われ、盛土荷重が増加している。これにより、函体が最大45cm程度沈下し、継手開き・クラック変状が生じ、函渠内圧時には流水が函体外に逆流する状態となっていた。
- L型擁壁が函体上部を横断しており、さらに、下部に空洞が生じていたため水みちになりやすかった。
- 建設当時の埋戻しは転圧が不十分な場合が考えられ、現地盤と埋戻し土の境界は浸透水が卓越しやすい。
- 強制排水時は水頭差9.6m程度の水圧が作用しており、函体の変状部から逆流し、L型擁壁下面の空洞を伝い漏水したと考えられる。

吐出水槽水位 T.P.+4.0 ~ 7.0 = 外水位 T.P.+4.0 ~ 7.0

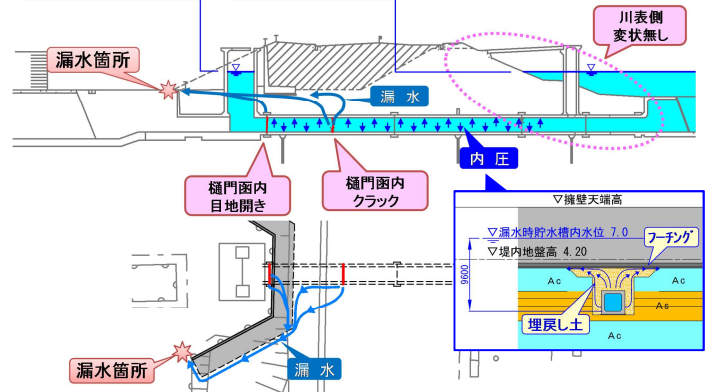


図-15 漏水経路図

3. 応急対策

今回の漏水が生じたのは2018年(平成30年)7月であり、その後大きな出水が生じた際は排水機場

を稼働させる必要があったため、出水期間中の応急対策として、樋門函内の水密を確保する対策を実施した。応急対策は、水密確保を最優先として、可とう継手に類するゴム板をフラットバーとボルトで固定する構造とした。

図-16 ゴム板設置位置(3箇所)

を稼働させる必要があったため、出水期間中の応急対策として、樋門函内の水密を確保する対策を実施した。応急対策は、水密確保を最優先として、可とう継手に類するゴム板をフラットバーとボルトで固定する構造とした。



図-17 ゴム板設置状況

応急対策後、排水機場を稼働させて樋門函内に内圧を作用させ、漏水が生じないことを確認した。  
漏水調査の結果

- ・ T.P+4.7m (背後地+0.5m) を10分継続  
→漏水箇所において異常なし。
- ・ T.P+6.7m (背後地+2.5m) を10分継続  
→漏水箇所において異常なし。

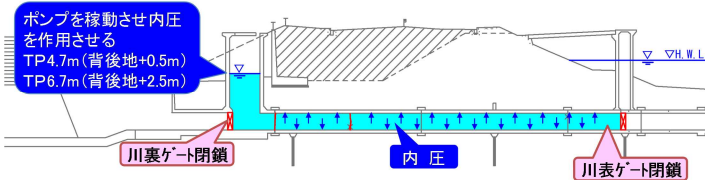


図-18 漏水調査時（応急対策後）の函渠状態

#### 4. 対策工

##### (1) クラック部の函渠新設

今回の漏水は、L型擁壁下部の空洞（水みち）も要因の一つであるが、そもそも樋門函体からの漏水がなければ生じていなかった。

このため、①樋門函体の漏水を防止することが重要である。また、②今後も継続する沈下への追従や、③現在生じている水みちの閉塞等も必要となる。対策工として下記の対策とした。

なお、施工中にも調査を継続し、検討へのフィードバックを行った。

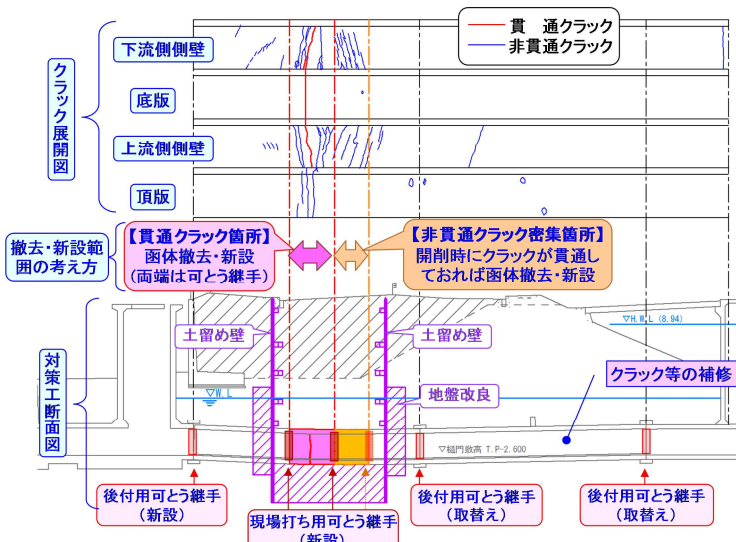


図-19 対策工の概要

##### (2) 函渠新設以外の対策

開削を行わない箇所でも空洞や周辺地盤の緩み対策を行うこととした。開削範囲から川側の函渠周り及びL型擁壁フーチング背面は、ボーリングを行い空洞調査・グラウト充填を行う。また、L型擁壁前面（排水機場側）は、前回、試掘・セメントミルク注入を行った範囲以外でも試掘・セメントミルク注入を行うこととした。

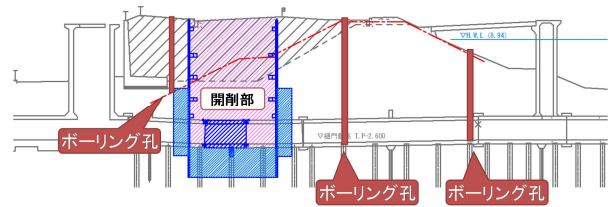


図-13 グラウト用ボーリング位置

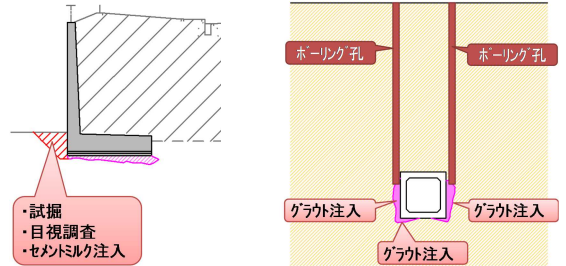


図-14 試掘とグラウト注入イメージ

#### 5. 対策工事中の調査

工事の掘削段階（2019年5月8日～12日）で既設函渠周辺の調査を実施した。

##### (1) 函渠外側のクラック調査

貫通クラックを含め、多数のクラックが生じている。函渠の沈下に伴い、クラックは下側に生じている。最低限このクラック箇所は撤去・新設する。



図-20 函渠外側の状況

##### (2) 函渠底版・埋戻し部の空洞・水みち調査

函渠下部にはグラウトが充填されており、空洞は生じていなかった。また、グラウトは函渠周辺の埋戻し部の水みちまで浸透している。グラウトは有効な対策であると思われるため、本工事でも実施する。



図-21 函渠周辺の状況

(3) 函渠底版・埋戻し部の空洞・水みち調査

a) 左岸側

函渠側面は過去にグラウトが充填されており、函渠に付着している。貫通クラック部周辺でも水みち痕跡は確認されなかった。



図-22 杭頭部の状況

b) 右岸側

函渠側面は過去にグラウトが充填されており、函渠に付着している。ただし、貫通クラック部には本工事で実施したジェット攪拌改良時の排泥が回り込んでおり、その箇所は空洞もしくは緩んでいたと思われる。過去のグラウト工事（1996年）から20年以上が経過しており、漏水等で水みちが形成されていた可能性が高い。



図-23 杭頭部の状況

(4) 支持杭の状況調査

函渠底版の押し抜き破壊は生じておらず、杭本体（杭頭）が沈下していることを確認した。



今回の調査は最も沈下している位置であり、この位置で押し抜き破壊していないことから、他の杭も押し抜き破壊はしていないと判断した。

今後、地質調査（事項に記載）が終了した段階で、支持力・座屈計算を行い、杭本体の沈下・強度を検証する。

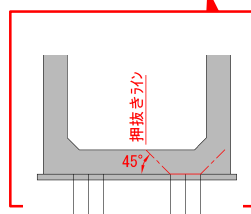


図-24 函渠底版の状況



図-25 杭頭部の状況の状況

6. 今後の調査・モニタリング計画

(1) 追加地質調査

対策工検討時に地質調査を1箇所実施しているが、対策工事と併せて追加ボーリングを2箇所行う。今回調査は、前回調査より川側に行い堤体全体の土質状況を把握する。調査深度は、支持層下部の地質状況も把握できるよう55mとする。

また、今回調査ではサンプリング・室内試験・現位置試験等を行い、今後の杭支持力・沈下計算等に使用する。

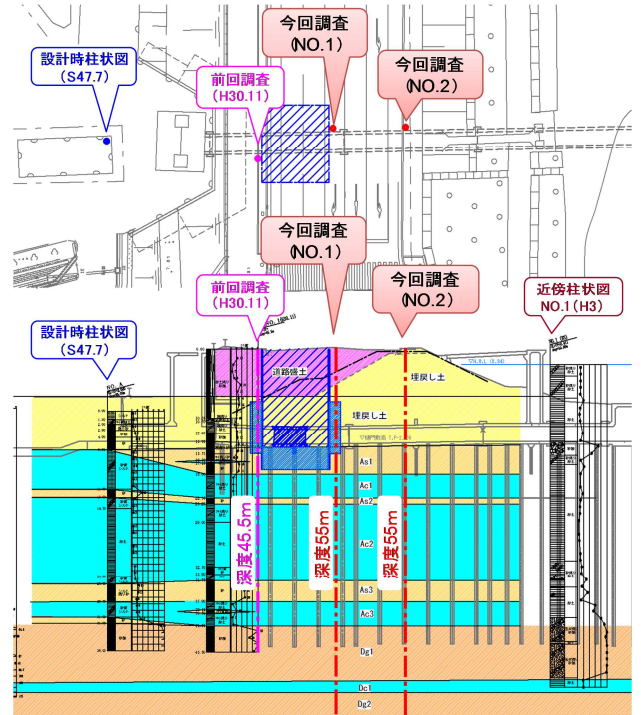


図-26 追加ボーリング位置

(2) 堤体内の地下水調査

今回ボーリング孔を極力兼用し、水位計を設置する。水位計で常時データ集積し、平常時～洪水時の堤体内水位を観測して浸潤線や水みちの状況を確認する。水位計は3箇所×2側線とする。

水位計モニタリング計画は以下のとおりとした。

- ①計測期間：2ケ年を想定（昨年7月豪雨相当水位を数回計測できるまで）
- ②計測頻度：現地データロガーで30分毎に計測・保存（月1回データ収集）
- ③分析方法：外水位と堤体内水位の比較（水みちの有無・グラウトの効果検証）

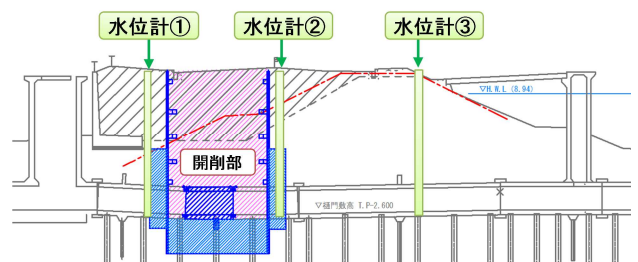


図-27 水位計設置位置

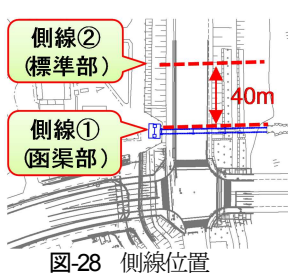


図-28 側線位置

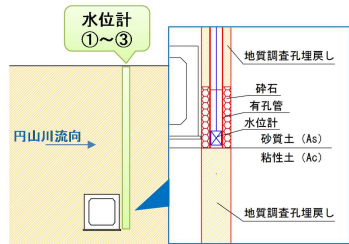


図-29 水位計設置イメージ

### (3) 層別沈下計による沈下計測

最も沈下が大きい箇所付近かつ、一般利用に支障のない箇所（歩道端部）に層別沈下計を設置する。層別沈下計設置時のボーリングでもサンプリング・室内試験・現位置試験等を行う。

層別沈下計下端は先行掘削する追加ボーリングNO.1・NO.2の結果を反映させて最終決定するが、最低限Dc下端までの沈下を計測する。

層別沈下計モニタリング計画は以下のとおりとする。

- ①計測期間：最低2ヶ年程度最終沈下予測が可能な沈下収束状態を確認するまで)
- ②計測頻度：月1回とする<sup>1)</sup>
- ③分析方法：
  - ・双曲線法による最終沈下予測
  - ・圧密沈下計算との比較
  - ・広域地盤沈下量の把握

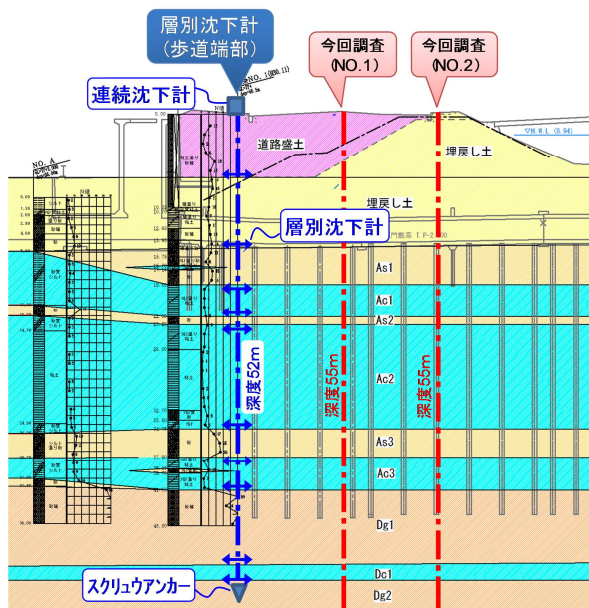


図-30 層別沈下計の設置位置・計測位置

### (4) 構造物・堤防のモニタリング計画

#### a) 定期点検

当樋門及び周辺堤防では、出水期前・出水期後・出水後において、毎年点検を行う<sup>2)</sup>。なお、函内点検は水替えポンプにより函内の水を排水して行う。

#### b) 詳細点検

詳細点検は10年に1回<sup>3)</sup>とするが、定期点検で必要と判断された場合は適宜実施する。

### c) 漏水調査

洪水時・排水機場稼働時・洪水後等において、周辺堤防や機場施設等の各箇所において、漏水の有無（痕跡）等を調査する。

### d) 定点観測

樋門敷高・擁壁天端・路面等に定点を設け、測量による高さ観測を行う。また、据え置き型3Dレーザ測量によって川表法面全体の変形量を把握する。

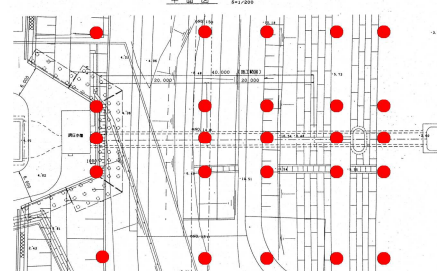
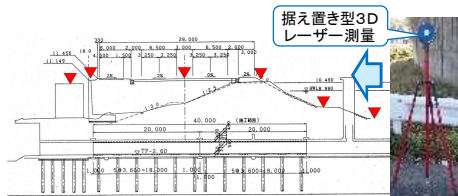


図-31 定期点検位置

## 7. おわりに

排水機場や樋門等の河川管理施設は、河川巡視や点検等による状態把握、対策を長期間にわたり繰り返し、それらの一連の作業の中で得られた知見を分析・評価して、次回の実施内容に反映していくというPDCA型の維持管理体系を実施していく必要がある。

また、重要度の高い施設は軽微な状態で補修を行い建設時の機能を維持しながら延命化を図る予防保全の観点で維持管理していく必要がある。

当樋門は、常時水没しており函内点検が容易でないことや、杭基礎のため函体が沈下しにくく、函体自体の変状は生じにくいとの予想から函内点検を実施しておらずクラックや継手開きの発見に至らなかった。結果として、その変状に起因して漏水が生じ、大規模な対策工事が必要となった。

今回の事例により、定期的な点検による早期発見・早期補修（予防保全）の重要性が再認識できた。また、当施設以外でも軟弱地盤上に建設された排水機場・樋門が多数存在するため、他施設についても、点検・評価・分析を行い必要な対策を実施していく所存である。

謝辞：八条排水機場（樋門）漏水対策における調査・研究に際しては、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所に指導・アドバイスを頂きました。本文を終えるにあたり、ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：「道路土工軟弱地盤対」，H24.8
- 2) 国土交通省：「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」，H31.3
- 3) 国土交通省：「樋門等構造物周辺堤防詳細点検要領」，H24.5





# 機能低下シナリオ（FT図）を活用した 河川管理施設の維持管理について

青木 勇樹<sup>1</sup>・穴山 悟司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 新宮川出張所 (〒647-0051和歌山県新宮市磐盾1-8)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 紀の川ダム統合管理事務所 管理課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

河川管理施設の維持管理は、年数回実施される目視点検により確認された変状を各評価要領に基づき評価し、施設の状態に応じた必要な対策が施されている。点検・評価は点検者の経験や能力によるところが多々あり、効率的・客観的な点検・評価を行いつらい現状がある。そこで、木津川上流河川事務所では効率的・客観的な点検・評価を行えるように、河川管理施設の変状と要因を含めた変状発生過程や、機能低下の状態への進行予測を機能低下シナリオとして整理し、これを活用した河川管理施設の維持管理について紹介するものである。

キーワード 河川管理, 堤防点検, 構造物点検,

## 1. はじめに

集中豪雨や台風の襲来に伴う浸水被害から、堤防決壊や河川氾濫等による被害を防止または軽減するために、適切な河川の維持管理を行う必要がある。

近年の集中豪雨の頻発や巨大な台風の襲来、浸水被害の拡大などを背景により効率的な施設の維持・修繕を進めることが求められている。木津川上流河川事務所においても河川管理施設を良好な状態に保つように維持・管理していく必要があり、そのために「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領」（2019年4月）などを用いて、堤防等河川管理施設の点検・評価を行っている。

本論文では、効率的な点検・評価を進めるために、点検項目と堤防機能への影響について整理した機能低下シナリオを活用した河川管理施設の管理について紹介する。

## 2. 堤防等河川管理施設の点検評価の概要

主な河川管理施設である堤防は基本的には土で作られ、過去幾度にも渡って築造・補修されるという歴史的な経緯があるため、堤防を構成する材料の品質が不均一という特徴がある。このため、河川堤防の管理は、河川巡視、点検による状態把握、維持補修等を繰り返してきた経験の中で実施内容や管理すべき水準が培われてきた。

このような特徴を有する河川堤防を適切に管理するために、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領」（2019年4月）が整理された。同要領では、河川の特性

や河川ごとに変状の要因やメカニズムが異なることを踏まえ、既往文献やこれまでの堤防管理の実態を踏まえた標準的な考え方が示されている。以下に同要領に示された基本的な堤防を対象とした点検・評価の概要について説明する。

### (1) 点検・評価の基本的なフロー

河川管理施設の点検・評価は図-1のフローに示す通り河川維持管理計画に基づき実施される。

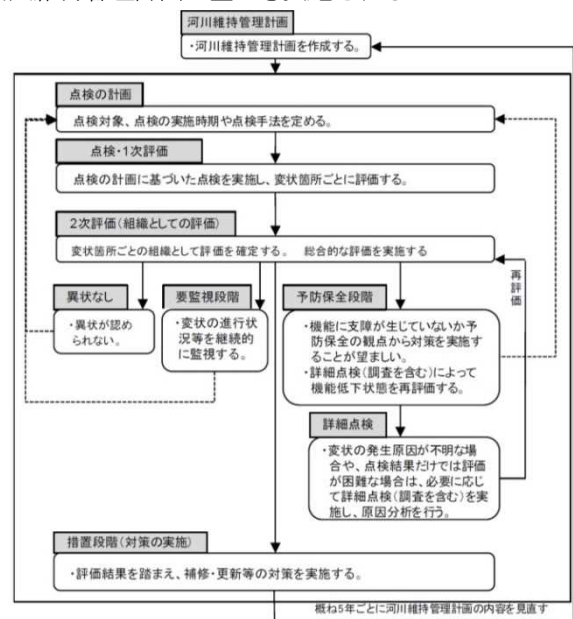


図-1 堤防等河川管理施設の点検・評価フロー<sup>1)</sup>

堤防点検は通常、出水期前、台風期前の2回実施し、設定した出水規模を上回る出水があった場合は、出水後の点検を実施する。点検により把握された変状について、変状箇所ごと、施設箇所ごとに機能低下の状態を評価する。機能低下の状態評価は「異常なし」、「要監視段階」、「予防保全段階」、「措置段階」の4段階に区分する。

各機能低下の状態及び評価は表-1に示す通りである。

表-1 変状箇所ごとの点検結果評価区分<sup>1)</sup>

区分	状態	変状確認	機能支障
a	異常なし	目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていない健全な状態	なし
b	要監視段階	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態(軽微な補修を必要とする場合を含む)	あり
c	予防保全段階	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態 ・詳細点検(調査を含む)によって、堤防等河川管理施設の機能低下状態を再評価する必要がある状態	あり
d	措置段階	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態 ・詳細点検(調査を含む)によって機能に支障が生じていると判断され、対策が必要な状態	あり

ここで、「要監視段階」とは、現状では施設の機能に支障を生じていないが、進行する可能性のある変状で、経過を継続的に監視する必要がある状態であり、状況により軽微な補修を必要とする場合も含む。

「予防保全段階」とは、現状では施設の機能に支障を生じていないが、進行性があり、予防保全の観点から対策を実施することが望ましい状態である。なお、変状の発生原因が不明な場合や、目視点検の結果だけでは評価が困難なため、詳細点検が必要な状態もこの段階に区分され、詳細点検の結果を踏まえ状態を再評価する。

「措置段階」とは、施設の機能に支障が生じていると判断され、速やかな補修等が必要な状態である。

これらの評価は点検ごとに実施され、木津川上流河川事務所で行われる横断的連絡調整会議を実施して総合的な評価を行い、評価結果に応じて速やかに、あるいは計画的に対策が実施されることになる。

(2) 土堤の機能低下の状態と変状の関係

堤防は、流水が河川外に流出することを防止するために設けられた施設であり、盛り土により構造された土構造物である。

土堤原則であるため、材料取得の容易さや構造物としての劣化が生じない等の利点がある一方で、構成材料の品質が不均質であり、降雨、流水、地震等の外力により変状が生じる場合がある。

堤防に求められる機能は、表-2に示す通り越水防止機能、耐浸透機能、耐侵食機能であり、各機能は沈下、すべり破壊、パイピングの発生、侵食により機能低下の状態となる。

また、堤防の構造は複数の部位から構成され、各部位ごとに出現する変状は異なるため、点検・評価にあたっては、天端、表法面、裏法面、小段、裏法尻、堤脚水路等の各部位ごとに実施する必要がある。

表-2 土堤の機能低下の状態<sup>2)</sup>

機能	機能低下の状態
越水防止機能	【沈下】堤体あるいは基礎地盤の沈下により所要の高さが確保できない状態で、越水防止機能が損なわれるもの。
耐浸透機能	【すべり破壊】洪水時に河川水あるいは降雨が堤体に浸透することによって間隙水圧が上昇し、堤体の強度が低下して堤体すべりが生じる状態で、耐浸透機能が損なわれるもの。 【パイピングの発生】洪水時の河川水が基礎地盤に浸透することによって間隙水圧が上昇し、土粒子が移動しパイピングが生じる状態で、耐浸透機能が損なわれるもの。
耐侵食機能	【侵食】雨水あるいは洪水時の流水の掃流力により堤体表面あるいは裏法尻部に侵食が生じ、耐侵食機能が損なわれるもの。

このような堤防の機能、構造、機能低下の状態を踏まえ、堤防の施設ごとに求められる機能と機能低下の状態、機能低下を生じる可能性のある変状が整理されている。

堤防の土堤部分についてみるならば、機能及び機能低下の状態は表-3に示す通りであり、この機能低下に関連する変状として、12の変状があげられている。

表-3 土堤に見られる変状<sup>1)</sup>

[1] 亀裂	[7] 寺勾配
[2] 陥没や不陸	[8] モグラ等の小動物の穴
[3] 法崩れ	[9] 排水不良
[4] 沈下	[10] 樹木の侵入
[5] 堤脚保護工の変形	[11] 侵食(ガリ)・植生異常
[6] はらみ出し	[12] 漏水・噴砂

土堤の点検では、堤防機能、機能低下の状態、核へ譲渡その出現箇所に着目し、変状の有無、程度、進行状況を確認することになる。

ここで、[1]亀裂に関するの事例を示す。同じ変状でも、支障が生じる機能(越水防止機能・耐浸透機能)、機能低下の状態(沈下・すべり破壊・パイピング破壊)は複数関係することがあり、点検で確認された変状がその現場ではどのような機能低下を生じるかについての判断は、点検者の経験を頼りに実施されている。

また、点検の結果については、調査要領に示された判定目安に基づき a～d 区分に評価する。コンクリート構造物等の場合、判定目安として定量的な判断基準を示すことができるが、土構造物である堤防の場合、定量的な判断基準を示すだけの技術的なデータが揃っていないことから、評価も点検者の経験を頼りに実施している状態である。

以下に[1]亀裂の場合についての例を示すが、これらの目安は堤防の規模や過去の災害履歴を勘案し、河川ごとに設定することとなっており、木津川上流河川事務所では、「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領」の目安を適用している。また、亀裂だけでなく堤防の形状変形に関わる[2]陥没や不陸、[3]法崩れ、[4]沈下、[5]堤脚保護工の変形、[6]はらみ出し、[7]寺勾配も

同様に変状の有無が評価の目安となっており、変状と堤防機能との支障の関係については、点検者の判断に依存する。一方、形状変形ではなく事象出現に伴う変状である[8] モグラ等の小動物の穴、[9] 排水不良、[10] 樹木の侵入、[11] 侵食(ガリ)・植生異常、[12] 漏水・噴砂については事象出現箇所の多寡(モグラ等の小動物の穴、樹木の侵入、侵食(ガリ)等)や状態の継続性(排水不良等)等を目安としているが、これらについても定量的な目安は整理されておらず、亀裂等と同様点検者の判断に依存する。

表-4 土堤に生じた亀裂の点検結果評価区分の判定目安

評価区分	評価の目安
a 異常なし	変状なし
b 要監視段階	亀裂が発生しているが、堤防の機能に支障は生じていない。軽微な補修を含む。
c 予防保全段階	盛土は洪水等により、急激に変状が進行することもある。劣化の予測が困難であることから、「c」評価を設定しないことを基本とする。 ただし、これまでも一定規模以上の変状については補修を実施している実態を踏まえ、変状の発生原因が不明な場合や、目視点検の結果だけでは評価が困難な場合は、必要に応じて、詳細点検(調査を含む)を実施するものとする。
d 措置段階	亀裂により堤防の機能に支障が生じている。亀裂がH.W.L以下まで及んでいるなど。

(3) 現状の点検・評価業務の課題

上述のように堤防の維持管理は、河川巡視と年に数回実施される点検により状態把握・維持補修を実施されており、その評価や管理水準は長年にわたって積み重ねた経験に基づき行われている。このため、技術的、工学的な知見を積み重ねていくことが重要となっている。

一方、このような経験工学的な側面が強い堤防維持管理において、それを行う河川管理者である国や地方公共団体は、高齢化や若手職員の減少等に伴い、経験ある技術者の不足も大きな課題となっており、堤防機能の支障となる変状の見落としがないか、機能低下の予測は適切か等の課題を抱えている。

3. 機能低下シナリオを活用した堤防管理の概要

(1) 機能低下シナリオの概要

変状の発生は、複数の要因が関連しあって発生している可能性がある。また、変状の進行予測においても、現場状況から複数のシナリオが想定される。これまで、変状の発生メカニズムの推定や進行予測は、現地状況を踏まえた維持管理技術者の経験への依存割合が高い状況であり、客観性の確保が課題となっている。

特に河川堤防は構成材料や外力など維持管理上の不確定要素が多いため、その状態は変化することを前提として、堤防の機能低下シナリオを分析し、現状の評価、進行予測を客観的に行う必要がある。

そこで、過去の経験に基づき要因と施設の機能低下の進行過程を体系化した「機能低下シナリオ(FT図)」を

作成・活用し、変状評価に客観性を確保することとした。

機能低下シナリオの構成は機能低下要因や場の条件、変状の進行、構造物の破壊、被害事象を流れ図で上から下にたどれるようにする。これにより、確認された変状が進行することにより、どのような被害(機能低下)に繋がるか、確認された変状はどのような要因等により発現したかを推定することが出来る。

このような機能低下シナリオ活用のメリットは状態の客観的な把握・共有や新しい評価の継承をすることが出来る点がある。

(2) 機能低下シナリオの活用例

木津川上流河川事務所の変状事例として、名張川16.4k付近において発生した図-2、3の天端洗堀がある。



図-2 護岸天端の洗堀

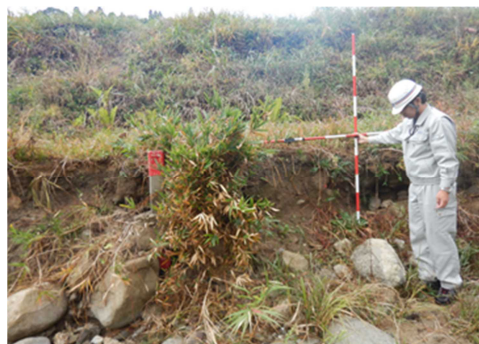


図-3 洗堀による民地側への侵食

図-4はこの洗堀の変状について、その発生要因と変状を結ぶことにより変状発生過程を示し、変状と被害事象を結ぶことにより変状進行予測を示している。

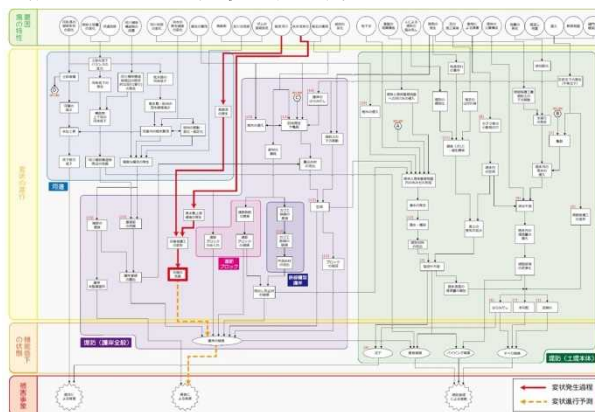


図-4 木津川上流管内河川管理施設の機能低下シナリオ(FT図)の確認例

この機能低下シナリオを見ると、変状の発生要因は、急流河川、洪水流体力だと考えられる。1つ目の理由としては、洗掘箇所は低水護岸法線的に水衝部であり、流水の作用を直接的に受けやすい場所である。また、河床勾配が急なため、出水時は高速流が発生しやすい。2つ目の理由としては、護岸はHWLまで設置されておらず、連節ブロックの天端は地山に擦り付けた状態であり、地山には玉石を置き並べているが、護岸天端高を超える高水位発生時には掃流力で玉石は容易に流され洗掘が生じやすいと考えられる。この変状をそのまま放置した場合、護岸の破損という機能低下の状態になり、侵食による被害という被害事象が発生するシナリオが予測される。実際、現場は護岸天端の被覆がないため、高水位発生時は容易に洗掘が拡大しやすく、洗掘が進行した場合、護岸背面が空洞化し護岸の安定性の低下によって崩壊することが考えられる。

このように機能低下シナリオを活用することにより、確認された変状についての発生原因や関連する変状の見落とし防止、認識の共有等を円滑かつ客観的に行うことができる。

この変状に対しては、洗掘が進行しないよう2019年度に対策を行う予定である。

なお、木津川上流河川事務所で該当する変状がなく、活用例の紹介はできないが、図-4に付属するものとして、河川管理施設のうち樋門・樋管を対象としたFT図も作成したため、図-5に紹介する。樋門・樋管における変状が堤体へ影響する、またはその逆に堤体における変状が樋門・樋管へ影響する可能性があることから、両方の関係性を考慮できるように作成しており、今後も更新していく予定である。

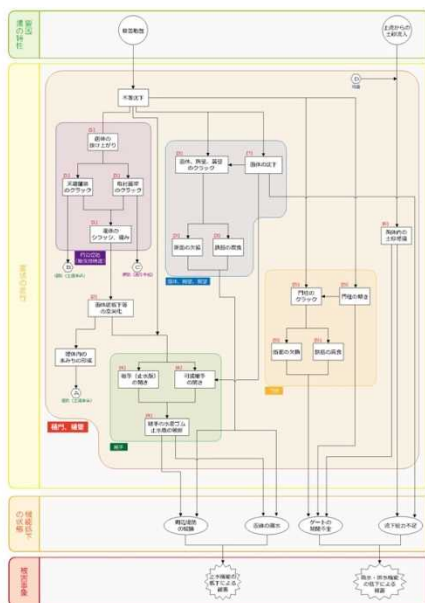


図-5 木津川上流管内河川管理施設の機能低下シナリオ (FT 図) 樋門・樋管

#### 4. おわりに

機能低下シナリオ (FT 図) を活用することによって、河川管理の経験が浅い、もしくは全くないものであっても、発見された変状に対して、進行すればどのような被害が発生するのかという予測や、そもそも何が要因となってその変状が発生したのかという発生前のことを把握・共有することができ、また、河川管理の経験者であっても、その河川の特徴を反映したシナリオであれば、他の河川ではなかった要因等の知識共有に有効なツールということだと考えている。

今回紹介した機能低下シナリオは木津川上流河川事務所の河川特性等を基に作成したものであり、他の河川では河川特性の違いなどにより実態に合わない可能性がある。しかし、その合わない部分をその河川の特徴を反映したものに追加・修正することによって、その河川で利用できる機能低下シナリオを作ることができる。

経験ある職員の減少がある中で、技術の継承や効率的・効果的な堤防点検を行うために同様の機能低下シナリオ (FT 図) が整備されることが望ましいと考えられる。

**謝辞:** 本論文の執筆にあたり、多大なるご協力を頂きました株式会社パスコのご担当者様、また、関係各位に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領, 平成 31 年 4 月, 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課
- 2) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領 参考資料, 平成 31 年 4 月, 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課

※本論文の内容は、従前の所属である木津川上流河川事務所管理課における業務に基づくものである。

# 笹生川ダムにおける基礎排水孔の洗浄効果の検証

久保 光<sup>1</sup> 筒井清浩<sup>2</sup>

<sup>1</sup>福井県奥越土木事務所笹生川・浄土寺川ダム統管理事務所（〒912-0021福井県大野市中野28-36-1）

<sup>2</sup>北電技術コンサルタント株式会社福井支店（〒918-8003福井県福井市毛矢2丁目7番5号）

高圧洗浄による基礎排水孔の析出物除去が可能か否か確認するため、ボアホールカメラにより孔内の確認を行い、高圧洗浄後、再度孔内の確認を行った。その結果、以下のことがわかった。(1) ブルドン管の孔内洗浄前後の孔内状況を確認した結果、錆や汚泥が除去されていることを確認した。(2) 洗浄時の排出物の状況により、遊離石灰等の除去を確認した。(3) 揚圧力は、孔内洗浄前後で大きな変化がないが、ダムの水位低下に伴い、小さくなっている。(4) ブルドン管 No.8 の漏水量は、孔内洗浄前後および水位低下後も変化がなかった。ブルドン管 No.9 の漏水量は、孔内洗浄前後で増加し、ダムの水位低下に伴い、少なくなった。

キーワード 基礎排水孔, ダム維持管理, コスト縮減

## 1. はじめに

九頭竜川は、その源を福井県・岐阜県の境界油坂峠に発し、途中 130 余河川を合流し、年間約 80 億 $m^3$ の水を日本海に流出している流域面積 2,930 $km^2$ 、流路延長 116 $km$ の北陸地方でも屈指の大川である。笹生川ダムは、この九頭竜川の支川真名川上流の福井県大野市本戸地先に位置し、福井県における戦後初のビッグプロジェクト真名川総合開発事業の一環として総事業費 48 億 6,920 万円を投入して建設された多目的ダムである。平成 29 年度、「ダム総合点検実施要領・同解説 平成 25 年 10 月 国土交通省水管理・国土保全局」に基づき総合点検を行い、長期的にダムの安全性及び機能を保持してく観点から効率的・効果的な維持管理を実現させるための維持管理方針及び長寿命化計画を作成した。その結果、基礎排水孔の孔内閉塞が認められたため、全ての基礎排水孔の健全性の確認と孔内洗浄を行う必要があることがわかった。そこで今回、高圧洗浄による笹生川ダム堤体内における基礎排水孔の析出物の除去が可能か否か確認するため、ボアホールカメラにより孔内の確認を行い、高圧洗浄後、再度ボアホールカメラにより孔内の確認を行ったので、その結果を報告する。

## 2. 笹生川ダムの概要

写真 - 1 は、笹生川ダム全景を示す。図 - 1 は、平面図を示す。図 - 2 は、越流部断面図を示す。図 - 3 はダム湖周辺状況を示す。ダムは、高さ 76.0 $m$ の重力式コンクリートダムとして、総貯水容量 58,806,000 $m^3$ 、有効貯水容量 52,243,500 $m^3$ を有し、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給および発電を目的とするものである。

ダム完成後、1965(S40)年 9 月の奥越豪雨でダム放流能力をはるかに越えた洪水量がダム湖に流入、ダム本体を越流する危険な状態が発生したため、今後このようなことが起こらないように事業費 24 億円を投入して排水トンネル工事を実施した。

以下に主だった経緯を示す。

経緯

1952(S27)年 3 月	実施計画調査着手
1955(S30)年 5 月	ダム本体着手
1957(S32)年 11 月	完成
1973(S48)年 6 月	排水トンネル着手
1977(S52)年 10 月	排水トンネル完成
1991(H3)年 11 月	総合点検
2014(H26)年 3 月	長寿命化計画(機械)
2016(H28)年 3 月	長寿命化計画(電気通信)
2018(H30)年 3 月	総合点検
〃	長寿命化計画(ダム)



写真-1 笹生川ダム全景

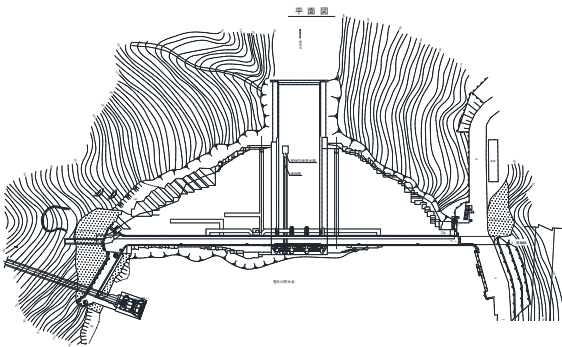


図-1 平面図

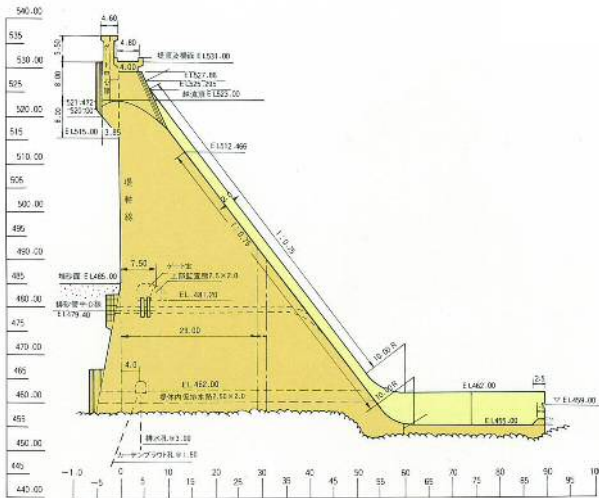


図-2 越流部断面図

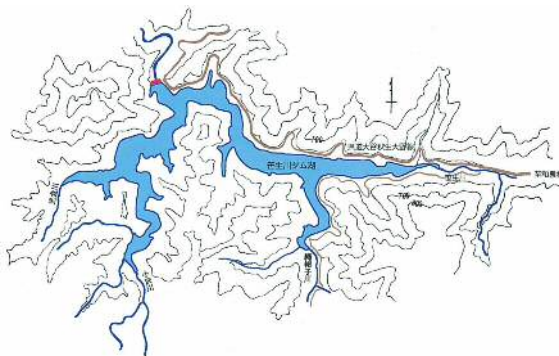


図-3 ダム湖周辺状況

### 3. 調査方法

図-4 は調査箇所, 写真-2 はブルドン管外観 (No.8)を示す. 基礎排水孔 No.33(直径 40mm)およびブルドン管 No.8~10(直径 40mm)の 4 箇所を実施する. 基礎排水孔の析出物除去が高压洗浄により可能か否かを確認するため, 最初にボアホールカメラ(カメラ部:直径 30mm)により孔内の状況確認を行い, 高压洗浄後, 再度ボアホールカメラにより孔内の確認を行う. また, ブルドン管 No.8~10 の 3 箇所については, 洗浄前後の揚圧力, 漏水量を測定する. 測定は, 追跡調査を含め合計 4 回実施する.

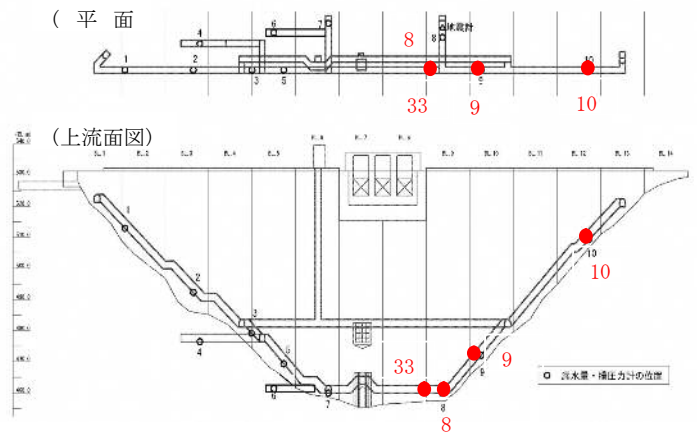


図-4 調査箇所



写真-2 ブルドン管外観 (No. 8)

図-5 は, 高压洗浄概要図を示す. 孔内洗浄は, 3 種類のヘッドを交互に使用する. 高压エア洗浄ヘッド①(圧力:0.8Mpa,直径 10mm)は, 基礎排水孔内壁の錆やヘドロを落とし汚泥を排出する. 高

圧水洗浄ヘッド②(圧力:15Mpa, 直径 10mm)は、基礎排水孔内壁の錆やヘドロを落とす。高圧水洗浄ヘッド③(圧力:15Mpa, 直径 20mm)は、底部の高圧洗浄を行う。

この洗浄方法は、ビル・マンション等の雑排水管洗浄や下水管洗浄、電気配管やガス配管の洗浄に利用されている。高圧水洗浄ヘッド②のメカニズムは、ホースに弾丸状の噴射ノズルを取り付け、噴射ノズルの側面の噴射口から出る水の勢いでノズルが回転し、回転する際に遠心力が働き、配管内を回転するため効率よく高圧水が基礎排水孔内壁に当たり洗浄することができる。

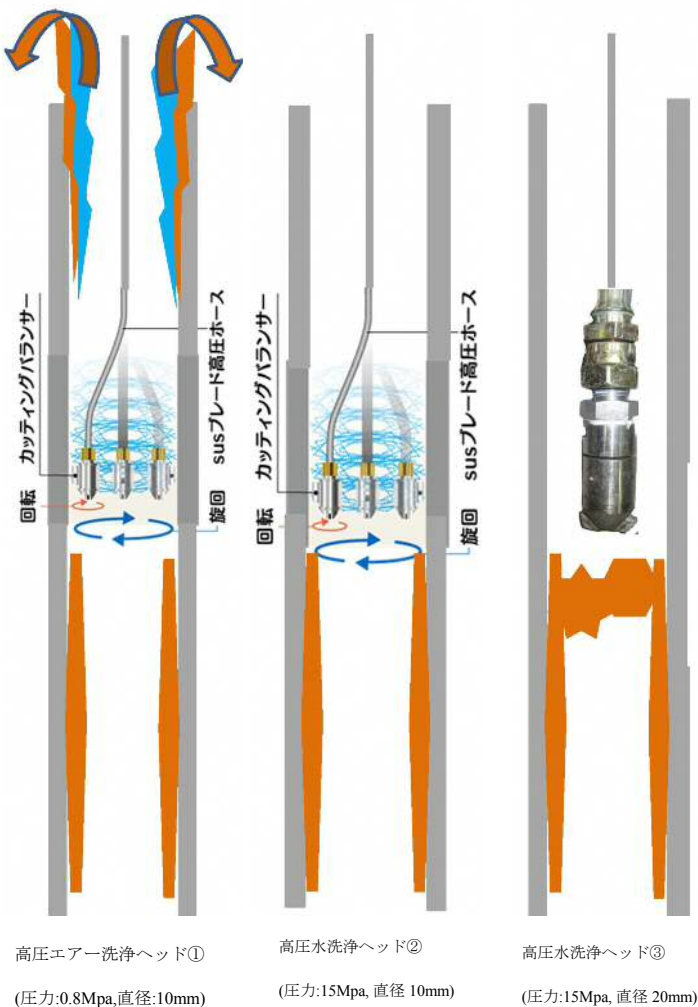


図-5 高圧洗浄概要図

洗浄後の孔内状況を示す。錆や汚泥が除去されていることがわかる。また、洗浄時の排出物の状況により、遊離石灰、孔内堆積物(ヘドロ、砂)の除去を確認した。加えて、高圧水洗浄ヘッド③による深度方向底部の異物堆積箇所の破碎性についても確認した。図-6 は、排出物量を示す。底部の方が排出量が多い傾向にある。



写真 - 3 孔内洗浄前の孔内状況 (No.10)

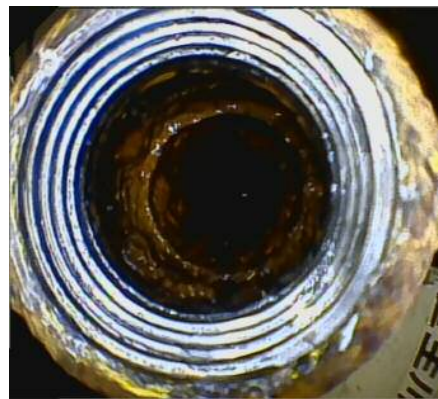


写真 - 4 孔内洗浄後の孔内状況 (No.10)

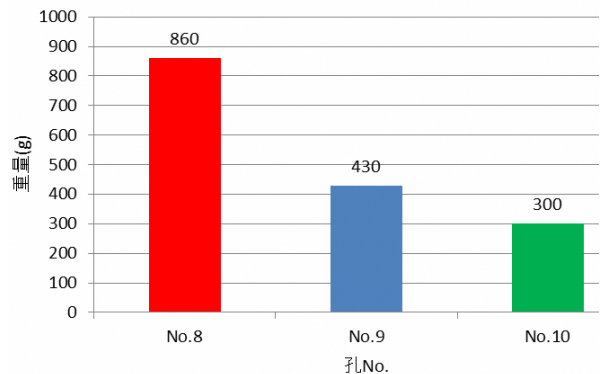


図-6 排出物量結果

#### 4. 調査結果及び考察

写真 - 3 は、ブルドン管 No.10 の孔内洗浄前の孔内状況を示す。錆や汚泥が付着していることが確認できる。写真 - 4 は、ブルドン管 No.10 の孔内

図-7 は、ダム水位とブルドン管 No.8~10 の揚圧力測定結果を示す。揚圧力は、孔内洗浄前後で大きな変化がないことがわかる。ブルドン



管 No8, 9 は, ダムの水位の低下に伴い, 揚圧力も小さくなっている. ブルドン管 No.10 は, 孔内洗浄前後及びダムの水位低下後も揚圧力 0 であることから目詰まりしていると考えられる.

図-8 は, ダムの水位と漏水量測定結果を示す. ブルドン管 No.8 の漏水量は, 孔内洗浄前後および水位低下後も 0.15L/min で変化がなかった. ブルドン管 No.9 の漏水量は, 孔内洗浄前後で 0.06L/min 増加し, ダムの水位低下に伴い, 0.06L/min 少なくなった.

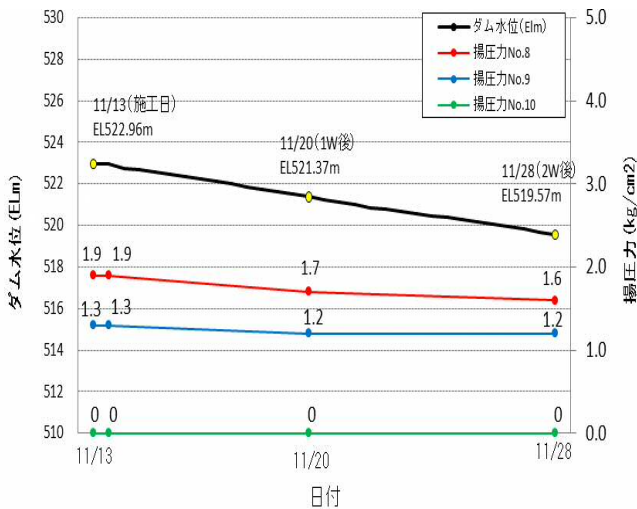


図-7 揚圧力測定結果

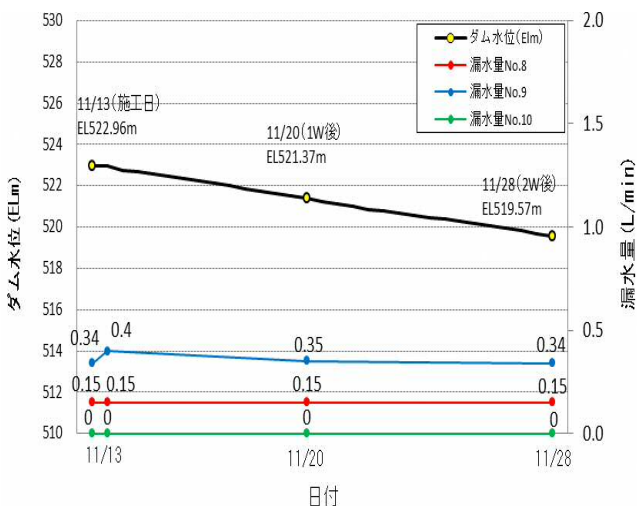


図-8 漏水量測定結果

## 5. 結論

高圧洗浄による笹生川ダム堤体内における基礎排水孔の析出物の除去が可能か否か確認する

ため, ボアホールカメラにより孔内の確認を行い, 高圧洗浄後, 再度ボアホールカメラにより孔内の確認を行った結果, 以下のことがわかった.

- (1) ボアホールカメラにより撮影した, ブルドン管 No.10 の孔内洗浄前後の孔内状況を確認した結果, 錆や汚泥が除去されていることを確認した.
- (2) 洗浄時の排出物の状況により, 遊離石灰, 孔内堆積物(ヘドロ, 砂)の除去を確認した.
- (3) ブルドン管 No8, 9 の揚圧力は, 孔内洗浄前後で大きな変化がないが, ダムの水位の低下に伴い, 小さくなっている.
- (4) ブルドン管 No.8 の漏水量は, 孔内洗浄前後および水位低下後も変化がなかった. ブルドン管 No.9 の漏水量は, 孔内洗浄前後で増加し, ダムの水位低下に伴い, 少なくなった.

上記の結論から, 高圧洗浄による笹生川ダム堤体内における基礎排水孔の析出物の除去は可能であることがわかった.

## 6. おわりに

今回の調査により, 高圧洗浄による笹生川ダム堤体内における基礎排水孔の析出物の除去が可能であることが明らかとなった. これにより, 新設またはリボーリングを実施した場合と経済比較したところコストが十分の程度で済むことがわかった. 今後, 更なる調査を行い笹生川ダムの基礎排水孔の機能回復に努めたい.

### 【参考文献】

- 1) 「(県単) ダム統合管理工事 基礎排水孔の健全性調査 検討業務委託」報告書 平成 31 年 1 月
- 2) 「堰堤改良工事笹生川ダム長寿命化計画策定業務委託」報告書 平成 30 年 3 月
- 3) 【特許番号】管内用洗浄機  
特許第 4303060 号 (P4303040)

# 但馬地域における冬期交通確保に向けた取組事例について

加瀬田 湧太郎<sup>1</sup>・西口 喜隆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 朝来国道維持出張所 (〒669-5211兵庫県朝来市和田山町平野504)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

近年、大雪により大規模に車両が滞留し、通行再開までに数日間を要したケースが多数発生している。このような道路交通に甚大な影響を及ぼすおそれのある集中的な大雪時においては、大規模な車両滞留の発生抑制とその早期通行再開は、経済活動や国民の安全・安心を確保する上で喫緊の課題となっている。

当事務所において、2019年度(平成30年度)の冬を迎えるにあたり、道路管理者、警察、消防、兵庫県、市町、自衛隊、気象台からなる「但馬地域冬期情報連絡本部関係機関会議」を開催し、冬期交通確保に向けた意見交換会、情報共有方法の確認、演習等を行い、「但馬地域冬期交通確保に向けた中間とりまとめ」を行った。とりまとめた①優先除雪区間の設定、②段階的な通行止めによる除雪体制の強化、③関係機関の情報共有方法等について、事例紹介する。

キーワード 除雪優先区間、段階的な除雪体制、チェーン規制、豪雪

## 1. はじめに

近年、日本国内では記録的な豪雨・豪雪が確認され、その他にも地震・津波・土砂災害等の大規模な災害が発生し、大規模な交通遮断が起きている。2019年(平成30年)には福井県、鳥取県、島根県において記録的な豪雪が確認され、福井県の国道8号では坂井市からあわら市の10kmの区間で車約1500台が立ち往生し、それに伴い福井県内では物流が停滞し、スーパーやコンビニで商品が品薄状態になったほか、ガソリンスタンドでも燃料が不足し給油制限が行われたなどと地域住民の生活にも大きく影響した。当時、兵庫県北部では幸い、厳しい豪雪に見舞われることがなかったが、今後、兵庫県北部でも同じような事象が起こりうる可能性は極めて高いと考えられる。

当事務所は2019年度(平成30年度)の但馬地域の冬期交通確保に向けて、但馬地域の道路管理者、交通管理者、県危機管理部局、市町消防署、自衛隊、気象台からなる「但馬地域冬期情報連絡本部関係機関会議」を設立し、但馬地域における冬期交通確保に向けて議論を重ね、中間とりまとめを策定した。

本稿ではその内容について記述する。

## 2. 管内の気象や地形について

当事務所管内では、京都府福知山市と鳥取県岩美郡岩美町を結ぶ国道9号(L=70.8Km)及び舞鶴若狭道春日ICから兵庫県豊岡市に伸びる国道483号北近畿豊岡自動車道(L=60.3Km(遠阪トンネル受託区間4.7Km含む))の2路線を管理している。

(図-1)

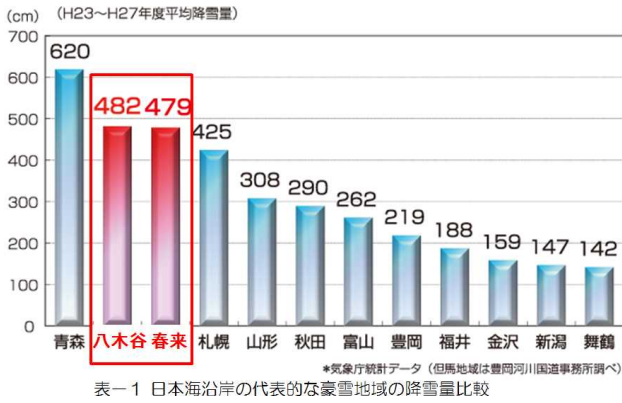
国道9号が位置する兵庫県北部の但馬地域は日本海型

気候で冬期は北西方向のモンスーンの影響を受け降雪量が多く、国道9号(兵庫県北部)のなかでも比較的標高の高い峠(八木谷、春来、蒲生)では日本海沿岸の代表的な豪雪地域(東北、北陸)と並ぶ降雪量である。(表-1)

日本海沿岸の代表的な豪雪地域の降雪量比較(表-1)をみると2019年(平成30年)2月に豪雪の影響を受けた福井県は当事務所管内の地域(八木谷、春来)に比べて降雪量は比較的少ないが、2019年(平成30年)2月の福井豪雪の甚大な被害を受けて考えられるのは、降雪のある地域では突発的な豪雪に見舞われる可能性があると言っても過言ではない。ということである。



図-1 豊岡河川国道事務所管内図(事業中区間を含む)



このような不測の気象条件と厳しい地理的条件の組み合わせによる集中的な豪雪が発生しかねない近年の気象のなかで国民から防災・減災、老朽化対策、国土強靱化の要請が高まり、効率的・効果的なインフラ維持管理・更新が全国的に課題となっている。

### 3. 管内の冬期除雪体制について

当事務所では12月1日から翌年の3月31日の間を雪害対策期間とし、散水・無散水融雪設備による消融雪と除雪機械による除雪、排雪、凍結防止作業等を行い、冬季の交通確保にあたっている。

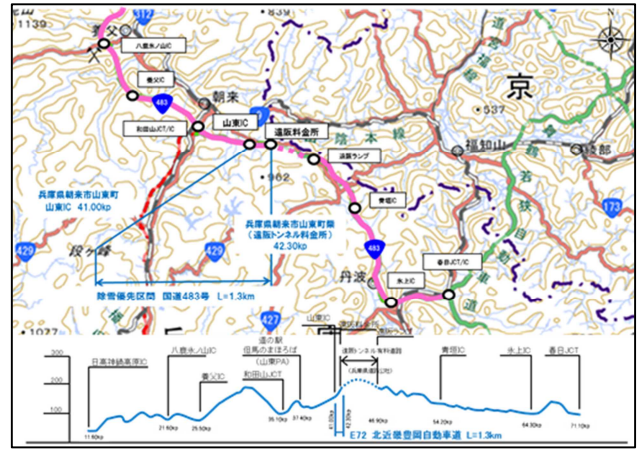
なお、国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)は自動車専用道路であり、その管内で、ある一定の積雪が見込まれる場合は、ノーマルタイヤでの走行が危険なため、冬用タイヤ装着確認(スタッドレスタイヤやチェーンを装着していない車両を一般道へ降ろす、または進入させない。)を実施している。

そして、大雪時には集中的な除雪作業を行う区間に国道9号の兵庫県養父市関宮～兵庫県美方郡新温泉町歌長間(延長32.4Km)、国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)の山東IC～遠阪トンネル(春日JCT方面)間(延長1.3Km)が指定されている。(図-2, 2')

また、大雪の際には、冬期情報連絡室を開設し、道路管理者、交通管理者間で情報共有し、連携強化を図ることとしている。



(図-2) 国道9号 除雪優先区間



(図-2') 国道483号 除雪優先区間

### 4. 但馬地域の冬期交通確保対策について

但馬地域における気象条件と地理的条件、物流、観光産業、地域住民の生活基盤等を踏まえ、従前の冬期情報連絡室の構成員(道路管理者、交通管理者)に新たに県危機管理部局、市町(豊岡市、朝来市、養父市、香美町、新温泉町、丹波市)、消防署、自衛隊、气象台を加え「但馬地域冬期情報連絡本部関係機関会議」を設立し、更なる但馬地域の冬期交通確保の検討を行った。

想定される気象状況として「但馬、丹波地域に大雪に関する気象情報の発表且つ、道路管理者において大雪の予測」または、「管内の路線で5cm/h以上の積雪が4時間以上続く予測(除雪能力を超える積雪)」が発生した場合、それらに対する対策として「但馬地域への交通抑制(流入抑制)」、「交通確保すべき優先路線の選定とその交通確保の方法」の2つを議論することとした。

・但馬地域への交通抑制としては、大雪に関する気象情報発表、かつ、道路管理者において大雪の予測により、トラック協会等に出控え要請、通行止めによる集中除雪の可能性を道路情報板にて表示、ホームページ、SNS(Twitter)等で情報発信することで、但馬、丹波地域に流入する車両を抑制し、スタック車両発生に伴う大規模な立ち往生のリスクを減らす。

・交通確保すべき優先路線の選定とその交通確保の方法としては、京都府から鳥取県へ但馬地域を横断する国道9号が唯一無二の幹線道路(緊急輸送道路)且つ生活道路でもあり、「国道9号の交通確保を最優先する。」こととし、車両の立ち往生が発生しないように国道9号の更なる除雪体制の強化を図るという基本方針を決め、これに基づき、以下の内容を検討、決定した。

#### ① 除雪優先区間の再検討

道路縦断勾配(5%以上)、過去の立ち往生車両の発生状況、消融雪設備の配置状況、曲線半径の小さい区間、登坂車線の有無等を図面にプロットし、除雪優

先区間の再検討を行ったが、結果としては従前の区間と変更はしなかった。

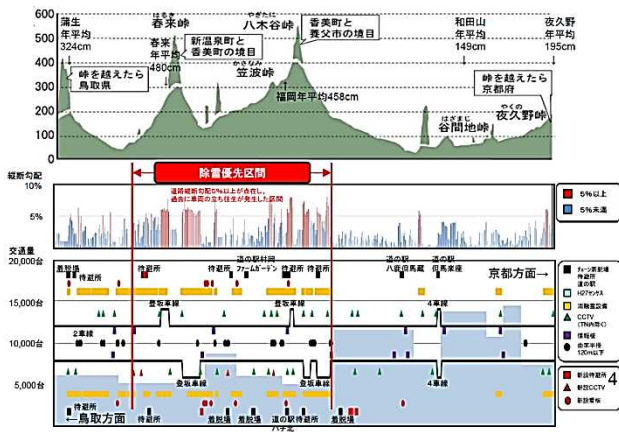
併せて、CCTVカメラ設置場所、チェーン着脱場、待避所の配置状況も図面にプロットし、今後、整備が必要な箇所の洗い出しも行った。(図-3)

② 段階的な除雪体制

第1段階として、国道9号の除雪能力を超える積雪が予測される場合は国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)と並行する路線がある国道483号の区間(八鹿氷ノ山IC~山東IC(国道9号)、青垣IC~春日IC(県道7号、国道175号))を通行止めにし、その除雪車両を国道9号の応援に回すことで、国道9号の除雪体制の増強を図ることとした。

第2段階として国道9号にスタック車両が発生した場合は道路管理者の判断にて国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)を全面通行止め、国道9号を一部通行止めにし集中除雪を行い、立ち往生の拡大を防止する措置を行う。これにより、国道9号の除雪優先区間内を除雪車両が一巡する時間を約半分(1.3~2.0時間→0.7~1.1時間)に短縮できた。

なお、国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)における通行規制には、南方(大阪方面)から但馬地域への主要なルートである国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)を通ってくる車両の流入抑制と言う目的もある。



(図-3) 国道9号の除雪優先区間、施設検討資料

③ タイムラインの見直し

従前からあるタイムラインに、新たな構成員も加えると共に、前述の内容をも踏まえた各イベント項目、発動条件等の見直しを行った。発動条件の見直しにあたっては、气象台から但馬・丹波地域の大雪警報発表基準(表-3)に関する情報提供を頂いた。また、助言(大雪特別警報は、数十年に一度の降雪量となる大雪が予想される場合に発表されるものだが、相当量の降雪の後、更に降雪が続く場合に発表されるものなので、大雪特別警報

をタイムラインの発動基準としない方が良い。)を頂き、これを参考に発動基準の設定を行った。

大雪警報発表基準	
但馬北部・南部	24時間降雪の 深さ60cm
北播丹波	24時間降雪の 深さ20cm(平地) 40cm(山地)

(表-3) 大雪警報発表基準 [出典: 気象庁HPより]

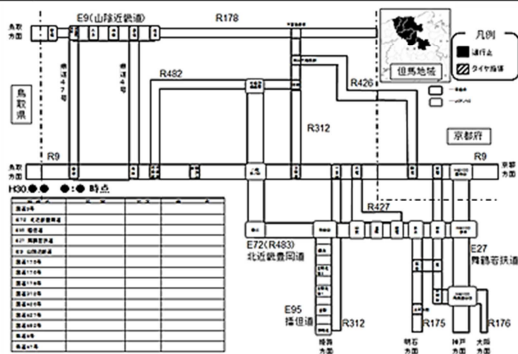
④ 関係機関の情報共有の強化

従前からの降雪予測、降雪情報、通行止め情報等の共有に加え、通行止め情報では発生事象毎にバラバラで全体の状況把握が困難だった為、但馬地域の主要路線の通行止め(除雪)状況を記載する路線図(ポンチ絵)を新たに作成し、これに各道路管理者が情報を記載(更新)、関係機関で共有することで、通行止めの際の迅速な迂回路確保、そして適切な迂回路案内を行うことで、非常時の流動的な道路交通の確保することにした。(図-4)

但馬地域主要路線の規制情報 (情報発信用)

発信日時 平成 年 月 日 時 分  
発信者 国・兵庫県土木事務所(豊岡、養父、新温泉、丹波)・( )

路線名	R9・R175・R176・R178・R312・R426・R427・R482 E9(山陰道)・E72(北近畿豊岡道)・E95(播但道) 県道4号香住村岡線・兵庫県道47号浜坂井土線
時間	時 分
事象	通行止め・片側交互通行・冬用タイヤ指導
状況	開始・解除・区間拡大・区間縮小
原因	積雪・雪崩・倒木・交通事故・故障車・その他( )
方向	全線・方面(上り・下り)
区間	~
連絡事項	



(図-4) 但馬地域主要路線の規制情報

⑤ 机上訓練の実施、中間とりまとめの策定

タイムラインに基づいた机上訓練(伝達訓練)を実施した。関係機関に通行止め情報をFAXにて送信する際、送信に時間を要するため、メールを併用した。しかし交通管理者である警察がメールの使用不可、送信先が多い事に加え、一度に送受信が集中する為、想定以上に送信に時間が掛かった。この為、送信する内容については、シンプル(枚数を抑えると共にデータ容量の多い図の簡

略化)で判りやすいものとしなければならないことが分かった。

## 5. 今後の課題

ハード面の整備として、冬季交通の難所となっている峠の前後にチェーン着脱場を整備し、チェーン装着をしていない車両の待避場所及びチェーン装着場所を確保する。道路情報板を増設し、気象情報、集中除雪に伴う通行止め情報を細やかに発信する。

また、除雪優先区間の中でも特に勾配が急な区間、過去にスタック車両が発生した区間にCCTVカメラを設置し、リアルタイムに情報を収集する。この3つが必要だと考えられる。

次に、大雪が見込まれる際の広域的な迂回路案内方法の検討が必要と考えられる。特に国道483号(北近畿豊岡自動車道)では九州、中国地方から関東、東北への物流のアクセス道路として利用されているため、中国道や山陽道の利用を促す情報を発信して流入車両を抑制しなければならない。

また、大規模な滞留車両が発生した場合の燃料や食料の確保と受け入れ(渡し)方法も関係機関と協議を重ね、熟度を上げなければならない。

そして、当事務所の除雪能力を超える積雪が見込まれ、他機関に除雪応援を頂いた場合の他機関のオペレーターへの指揮命令系統が重要だと考えられる。これには、除雪体制強化と同時に情報連絡員の増員(リエゾン派遣)も大いに必要だと考えられる。

## 6. 最後に

気候変動に伴い、海面が上昇していくと同時に大気中の水蒸気量が増えることで、ゲリラ豪雨、集中的豪雪が発生していると言われている。このような、不測の気象条件に対応し迅速かつ的確に道路維持を行わなければ、物流や観光産業、さらには国民の生活にも大きく影響することを肝に銘じ、今後も道路管理を行っていきたい。

# 市民協働型インフラ管理体制の構築 に向けた研究開発

嶋田 知子<sup>1</sup>

<sup>1</sup>舞鶴工業高等専門学校 社会基盤メンテナンス教育センター (〒625-8511京都府舞鶴市宇白屋234)

本研究では、構造特性から定期点検の合理化が可能な橋梁を、市民参加により定期的に観察するためのガイドランを策定するとともに、観察データを収集・蓄積するインフラ観察システム（スマホ・タブレット用アプリケーションを含む）を開発する。また、『橋梁観察士（仮称）』を育成する市民学習カリキュラムを開発し、市民の中から維持管理人材を育成することで、持続可能なメンテナンスの実現に向けた市民協働型インフラ管理体制を構築する。

キーワード 市民協働，インフラメンテナンス，維持管理，観察，データベース，人材育成

## 1. 研究目的

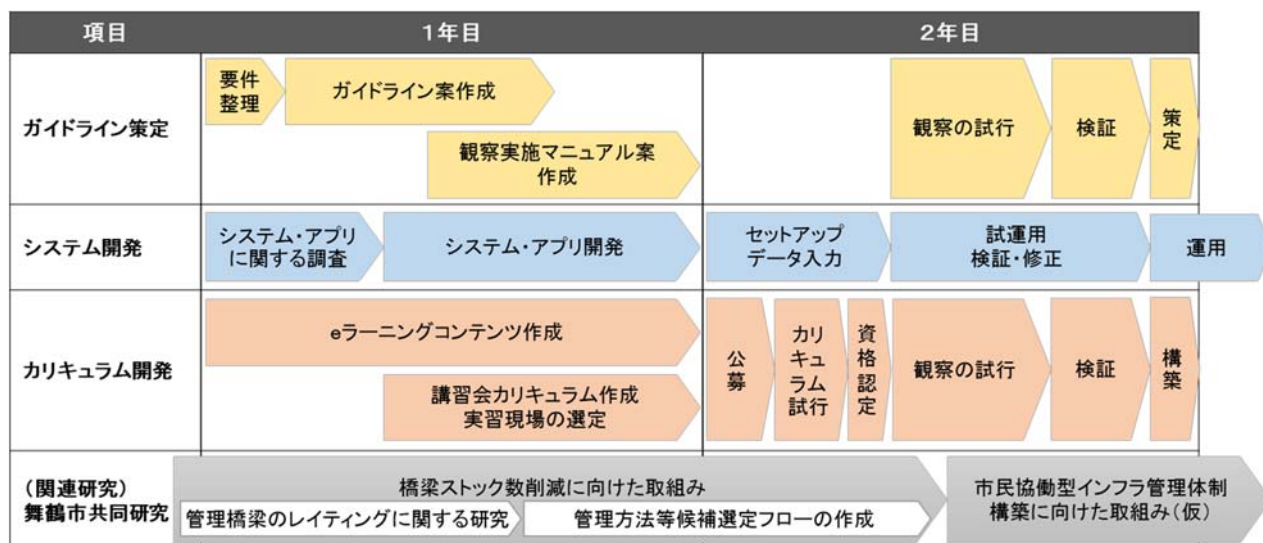
人口減少・少子高齢化が顕著な地域においても、国土を適切に管理し、人が住み続けるには最低限のインフラは必要であり、将来に渡り、各インフラ管理者の責任の下、インフラの戦略的な維持管理・更新等を推進しなければならない。一方、市町村では、土木技術職員の慢性的な不足や限られた維持管理財源等が制約となり、定期点検結果に基づく迅速な措置ができず、結果として事後的な保全となっているのが実態である。2019年度以降の点検セカンドサイクルにおいてはこの状況を踏まえた対応が必要だが、インフラの老朽化が深刻化する中、将来に渡り、行政のみの力でインフラの安全・安心を守るこ

とは困難である。

当校では、舞鶴市との共同研究として、「橋梁ストック削減に向けた取組み」を進めており、構造材料、使用頻度、耐久性・耐荷性等に加え、公共性も加味した管理方法の選別について検討を進めている。

本研究では、“観察”を、『小規模、構造が単純、利用者がごく限られている等の橋梁（以降、観察対象橋梁）について、現在の状態を把握するとともに、安全性・機能性を確保するために道路管理者が措置の必要性の判断を行ううえで必要な情報を得るために実施するもの。』と定義し、舞鶴市における市民協働型インフラ管理体制の構築を念頭に、『インフラ観察ガイドライン』の策定、

図-1 本研究の実施フロー



スマホ・タブレットを用いてデータを収集・蓄積するインフラ観察システムの開発を行う。また、『橋梁観察士(仮称)』を育成する市民学習カリキュラムを開発し、市民の中から維持管理人材を育成する。本研究全体のフローを図-1に示す。本報告では、舞鶴市の管理橋梁を対象とした統合データベースの作成、ポートフォリオ分析、及び、観察対象橋梁の選定について報告する。

人口を橋梁数で割った値が40[人/橋]以下と小さい地域(東大浦, 西大浦, 池内, 神崎, 八雲, 岡田下, 岡田中, 岡田上)と, 100[人/橋]を超える地域(与保呂, 東街, 中舞鶴, 西街, 中筋)では, 実際の使用頻度に大きな差があることが予測される。この数値は, 各地区の高齢化率とほぼ逆相関にあり, なかでも, 高齢化率が40%を超える地域と, 人口を橋梁数で割った値が40[人/橋]以下の地域は, 完全に一致している。橋梁の使用頻度が低い地域では, 今後さらに使用頻度が低下することが予想されることから, 橋梁の維持管理においては, 合理的かつ効率的な手法による労力とコストの削減が必須である。

## 2. 統合データベースの作成

インフラ管理は, 信頼性があるデータベースに基づいて行う必要があることから, 本研究にあたり, 舞鶴市の管理橋梁について, 表-1に示す3つデータベースを参照し, より信頼性の高い統合データベースを作成した。統合データベースの項目とデータの参照先を表-2に示す。このデータベースを基に観察システムを構築する。

## 3. ポートフォリオ分析

統合データベースを基に, 舞鶴市管理橋梁808橋の架設年代別構成を図-2に示す。架設後40年以上となる橋梁553橋あり, 全体の68%を占める。また, 架設年次で最も多いのは1960年代で33%, 次いで1970年代で24%であり, これらは2020年代に続々と供用年数50年を超える。

舞鶴市の地区(旧村)別の管理橋梁数と人口を図-3に示す。全体として管理橋梁数と人口の相関は低い。各管理橋梁の使用頻度の目安として, 各地区の人口を橋梁数で割った値, 及び, 各地区住民の高齢化率を表-3に示す。

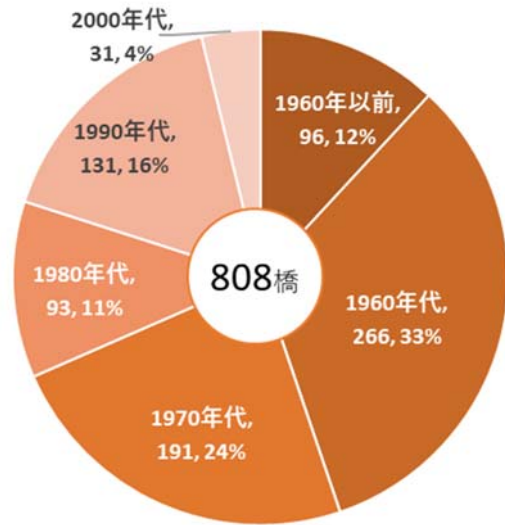


図-2 管理橋梁数 (架設年代別)

表-1 参照先のデータベースの名称と内容

名称	内容
橋調書	橋梁諸元, 位置情報, 写真等を舞鶴市独自の様式でまとめたもの。
点検調書 1	道路橋に関する基礎データ収集要領(案)(平成19年5月 国土交通省国土技術政策総合研究所)に基づき平成20~24年度に実施した点検結果を統一様式によりまとめたもの。
点検調書 2	道路橋定期点検要領(平成26年6月 国土交通省道路局)に基づき平成26~30年度に実施した定期点検結果を統一様式によりまとめたもの。

表-2 統合データベースの項目と参照先

項目	参照先	項目	参照先	項目	参照先
重要橋梁	橋調書	路下条件	点検調書 2	橋梁詳細形式(使用材料)	橋調書
橋梁管理番号	点検調書 1	交差名	橋調書	橋梁詳細形式(床版材料)	橋調書
橋梁番号	点検調書 1	代替路の有無	点検調書 2	橋梁詳細形式(下部工)	橋調書
整理番号	橋調書	自専道or一般道	点検調書 2	総径間数	点検調書 1
地域	橋調書	緊急輸送道路	点検調書 2	架橋年次	点検調書 2
橋梁名	点検調書 2	占用物件(名称)	点検調書 2	橋長(m)	点検調書 2
橋梁名カナ	点検調書 2	主部材の主な材料	点検調書 1	有効幅員(m)	点検調書 2
路線名	点検調書 2	主橋梁の形式	点検調書 1	位置情報(起点・北緯)	点検調書 2
所在地	点検調書 2	橋梁詳細形式(路面位置)	橋調書	位置情報(東経・北緯)	点検調書 2
点検実施年月日	点検調書 2	橋梁詳細形式(構造形式)	橋調書	判定	点検調書 2

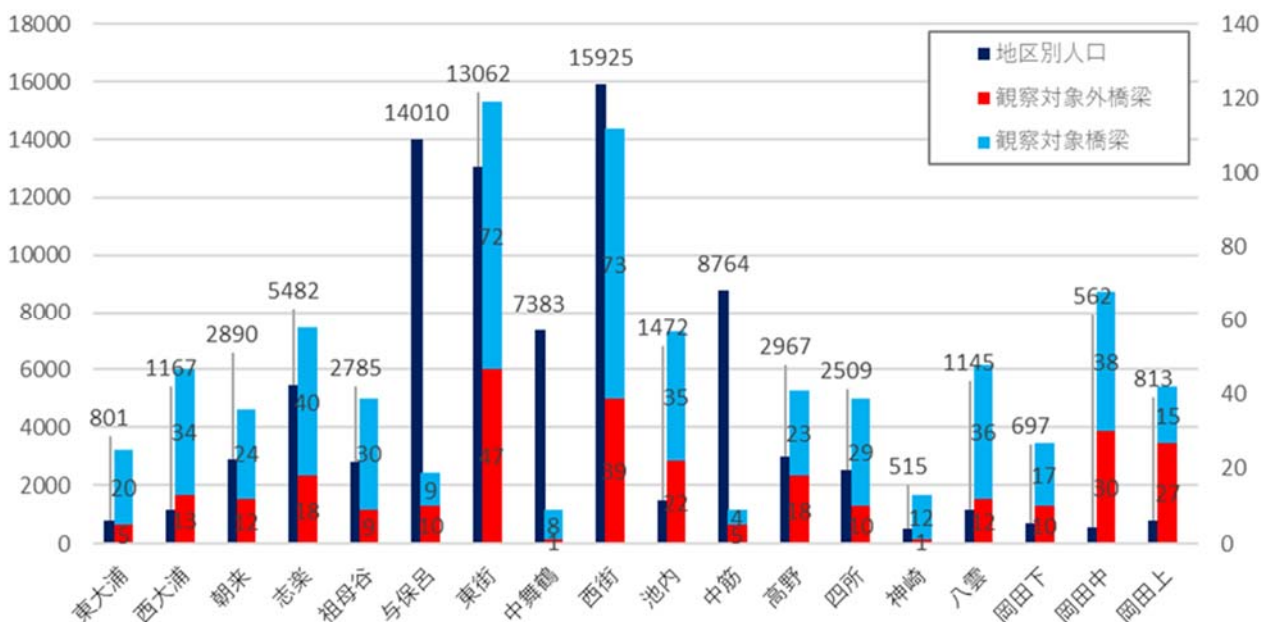


図-2 舞鶴市の地区（旧村）別の管理橋梁数と人口

表-3 舞鶴市の地区別の管理橋梁数の使用頻度（1橋あたりの人口）と高齢化率

地区名	東大浦	西大浦	朝来	志楽	祖母谷	与保呂	東街	中舞鶴	西街	池内	中筋	高野	四所	神崎	八雲	岡田中	岡田下	岡田上	市全体
人口	801	1167	2890	5482	2785	14010	13062	7383	15925	1472	8764	2967	2509	515	1145	697	562	813	
管理橋梁数	32	25	80	95	71	737	110	820	142	26	974	72	64	40	24	30	8	17	103
高齢化率	46	44	30	26	38	29	32	27	33	44	24	30	35	44	44	44	48	53	31

#### 4. 観察対象橋梁の選定

2019年度からのインフラ点検セカンドサイクルに向けて、国土交通省は、変状や構造特性に応じた定期点検の合理化の方向性を示した。橋梁では、溝橋、RC床版橋、H形鋼橋において、着目すべき箇所や部位の低減等が可能とされている。本研究では、状態の把握や記録の難易度、現場作業の安全性、市民が事前トレーニングで修得可能な知識・技術レベル等を考慮した上で、市民参加による観察が可能な橋梁（観察対象橋梁）を選定するための要件を表-4のとおり設定した。この要件に基づき選定すると、舞鶴市の管理橋梁808橋のうち519橋、約64%が観察対象橋梁となる。観察対象橋梁として選定した519橋について、構造特性格別の構成割合を図-3に示す。観察対象橋梁の約9割がコンクリート橋であり、このうち、構造形式が単純なコンクリート床版橋が76%を占める。一方で、H形鋼橋は全体の4%と少ない。

定期点検に必要な状態の把握及び記録を効率的かつ正確に行うためのシステム開発、及び、『橋梁観察士（仮称）』を育成するための教育コンテンツの開発を行う。これにより、舞鶴市では、全体の2/3の管理橋梁において定期点検の合理化・効率化が図られるとともに、市民協働型で実施することによる行政の業務負担の軽減が期待できる。

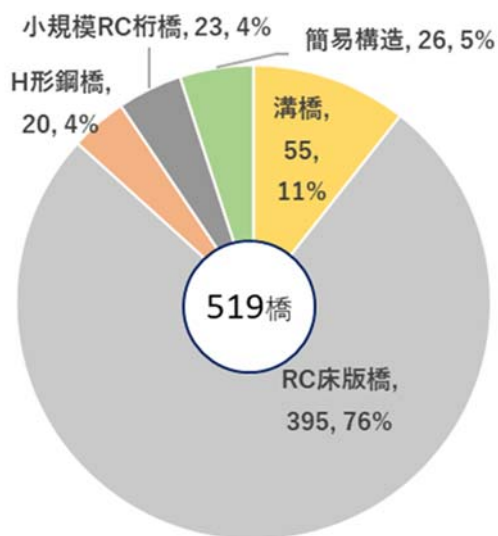


図-3 観察対象橋梁数（構造特性格別）

#### 5. 今後の展開

上記研究成果をもとに、今後は、観察対象橋梁の変状や構造特性に応じたインフラ観察ガイドラインの策定、



表-4 観察対象橋梁の選定要件

構造の種類	特性	合理化の方向性	観察対象橋梁の選定要件
溝橋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボックスの隅角部が剛結され、上下部構造が一体の小規模なコンクリート構造</li> <li>・内空が水路等に活用され、第三者への影響が極めて小さい箇所もある</li> <li>・活荷重や地震の影響による突発的な部材の損傷事例はない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着目部位を低減可能</li> <li>・第三者への影響が小さい箇所では内空面の打音・触診を削減可能</li> <li>・損傷要因を経年劣化に限定できる</li> </ul>	径間数1, 橋長10m未満
RC床版橋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・版単位で上部構造が成立している構造</li> <li>・桁橋にある間詰め部がない</li> <li>・小規模なものが多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着目部位を低減可能</li> </ul>	径間数1, 橋長10m未満
H形鋼橋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼桁は熱感圧延により製造された形鋼</li> <li>・現場溶接やボルト接合が無いものもある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着目部位を低減可能</li> <li>・現場溶接継手がなくき裂のリスクが低い ため、確認すべき損傷の項目を低減可能</li> <li>・ボルト継手がないものも多く、確認すべき損傷の項目を低減可能</li> </ul>	径間数1, 橋長10m未満, 現場溶接継手なし ※複雑な構造のものを除く
小規模RC桁橋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上部構造の構成部材が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着目部位の個所数が少ない</li> </ul>	径間数1, 橋長10m未満
簡易構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木、石、鋼材を架け渡しただけの簡易な構造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・着目部位を低減可能</li> </ul>	径間数1, 橋長10m未満

謝辞：本研究は、舞鶴市共同研究及び（一財）日本建設情報総合センター研究助成をいただき実施している。

参考文献

- 1) 舞鶴市統計書平成29年版

# 土系舗装実施による中央分離帯での 防草対策の紹介について

高法田 竜司<sup>1</sup>・田中 佳典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 道路管理第二課 (640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16番)

<sup>2</sup>和歌山市 都市建設局 道路河川部 (640-8511和歌山県和歌山市七番丁23番)

道路を維持管理していく中で、植樹帯に雑草が繁茂してくると、自動車や歩行者などの安全な通行を妨げるだけでなく、都市の美観も損なわれ、地域住民からの苦情も多くなる。

地域住民や道路の利用者が快適に生活できるように持続的な防草対策が望まれる中、防草対策後も都市の美観を損なわず、また、植樹帯を枯らさないために水の透水性がある対策として、土系舗装が挙げられる。土系舗装とは、主に真砂土と固化材を材料とし、水を加えることで真砂土を固化させることにより強固な保護面をつくるものである。今回は、この土系舗装にマルチング材を組み合わせた防草対策について紹介するものである。

キーワード 景観、維持・管理、環境

## 1. はじめに

今回の対策箇所である国道42号は、和歌山河川国道事務所管内(和歌山市内)にあり、車道が6車線、総幅員が約37mの交通量が多い幹線道路である。また、中央分離帯には低木・中木が植えられており、植樹帯が形成されている。今回は、この植樹帯の雑草を抑制するために、どういった防草対策が適しているかを検討した。

植樹帯には中低木が植えられているため、除草剤などの木に害を与えてしまう方法は使用できない。また、防草シートや砕石などを使用した防草対策では、都市の景観を損ねてしまう。

都市の美観を損なわずに防草対策の効果が期待できる工法として土系舗装が挙げられる。今回は、土系舗装にマルチング材を組み合わせた施工方法と現在までの観測結果について紹介する。

## 2. 国道42号における雑草問題と現状について

### (1) 現状

国道42号の中央分離帯には、ボックスウッドやウバメガシなどが植えられている。また、この植樹帯は良好な都市の景観を形成するために植えられているため、伐採や枯らすことがないように維持管理を行う必要がある。

雑草は、この植樹帯から生えてきており、交通量が多

い現道であるため、除草作業をする際には非常に手間がかかる。

現在、除草作業は年に一度、定期的を実施し、地域住民からの苦情があった場所については、その都度、除草作業を行っている状態である。梅雨時期などの雑草の成長が早い時期には写真-1のように雑草が車道にはみ出し通行の妨げや景観を損ねていることもある。



写真-1 国道42号中央分離帯 (対策前)

### (2) 課題

雑草は、舗装面に溜まった土や埃に植物の種子が飛来して根付くことで生えてくる。雑草は農作物と違い過酷な状況でも発芽することができる強い生命力を持ってい

るため舗装に溜まった少量の土砂にも根付くことができる。雑草の種子の飛来を防ぐことは不可能であるため、いかに雑草が根付かない環境を作りその環境を保つかが課題である。

これらの条件を評価し、整理したものが表-1である。

5つの条件を総合的に評価し、すべての項目において適している土系舗装を今回施工することとした。

表-1 選定結果

	防草緑化工法	防草シート	土系舗装	除草剤等による対策
景観に合った物	◎	△	○	○
植樹帯に害を及ぼさない物	◎	○	◎	△
簡易な作業で施工できる物	△	△	○	○
長期的に見込める物	△	○	◎	△
経済性(円/m <sup>2</sup> )	○ (約2700円/m <sup>2</sup> )	○ (約1500~2000円/m <sup>2</sup> )	△ (約5000円/m <sup>2</sup> )	◎ (約1000~2000円/m <sup>2</sup> )
コメント	景観性がよく植樹帯ともよく合うが長期的な防草対策効果が見込めないため今回の施工場所には適さない。	景観性が今回の施工場所とは合わない	景観性や持続性について、今回の施工場所に適している	植樹帯に害を及ぼす可能性があるため今回の世故場所には適さない。

### 3. 土系舗装について

#### (1) 特徴

土系舗装とは、天然材料の土や砂などに固化剤を混合し、固化させた層で構成される。使用する固化剤には、主にセメント系、アスファルト系、石灰系や樹脂系などがある。

天然の土壌が持つ弾力性や保水性を残しており、衝撃の吸収や路面温度の安定化に寄与する舗装である。また、路面温度の上昇を抑える効果が高く、ヒートアイランド現象の対策としても注目され、景観を重視する用途でも採用されている。

利点としては、自然環境に調和し、舗装に要するコストも低いことであり、また、30分程度で固化する物もあることから、施工後の養生期間はコンクリートと比較して短縮することができる。

欠点としては、舗装断面の強度がコンクリートやアスファルト等比べて劣るため磨耗しやすく、環境変化や経年変化に弱い点が挙げられる。また、豪雪地帯や頻繁に路面が凍結する地方では、間隙凍結の影響を受けやすいため適さない場合もある。

今回の施工場所は、歩道や車道ではなく、大きな荷重がかかる状況ではない。また、路面が凍結するような場所ではないため、欠点の対象にならないと考える。

### 4. 防草対策として土系舗装を選定した理由

今回施工する場所は、都市部の幹線道路であるため、下記の5つの条件を満たす必要がある。

- ① 都市部の景観に合っていること。
- ② 植樹帯に植えられている中低木が枯れてしまわないこと。
- ③ 大がかりな作業が必要としないこと。
- ④ 長期的な効果があること。
- ⑤ 経済性

### 5. 土系舗装の施工

#### (1) 使用する材料

##### a) 土系舗装材

真砂土を完全乾燥し、固化剤と一定の割合で混合した混合剤である。散水・養生するだけで真砂土を固化させ、強固な保護面をつくり施工部の保護、雑草の育成防止を図る。また、薬剤を含まず安全で、透水性も高いため、水たまりが出来にくく、泥水化しない。



写真-2 土系舗装

##### b) マルチング材

主に松の木の樹脂を粉砕して、粒状にし防火剤と植生糊を混入したものである。樹脂の保水性により水が一度に流失するのを防ぎ、土中に水分を供給する。地表面への日光を遮ることで、雑草の生長を抑制する。

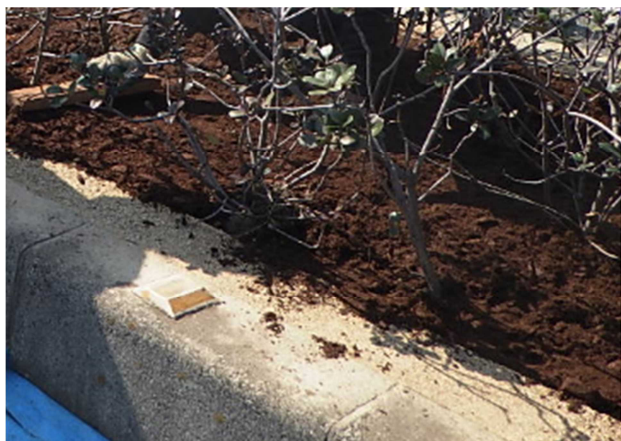


写真3 マルチング材

c) 防草シート

高密度不織布の表面に柔不織布を貼り合わせた2層構造の防草シートである。貫通抵抗力の高さで、雑草の突き抜けや、飛来種子の着根を防止する。また、表面が滑らかで、雑草繁茂の原因となる土や埃の堆積を軽減する。そのため、平地で特に高い効果を発揮する。



写真4 防草シート

(2) 施工箇所について

今回施工した場所は、図-1の位置図のとおりである。国道42号の和歌山市内である中央分離帯の植樹帯で施工面積178m<sup>2</sup>にわたって施工した。



図-1 位置図

(3) 施工手順について

以下の図は、今回施工したイメージ図である。植樹帯の全幅に土系舗装を実施することも検討したが、施工する際に土系舗装材が中低木にかかってしまうと悪影響を及ぼすため、根元付近はマルチング材を使用した。また、防草シートを使用した理由としては、土系舗装と縁石の間から雑草が生えてこないようにするためである。

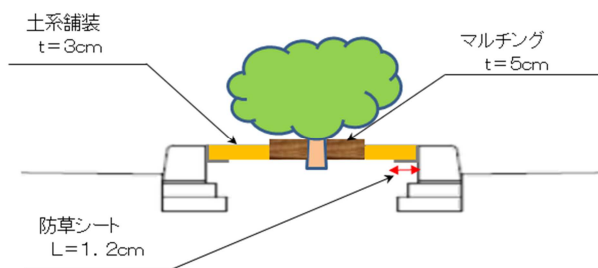


図-2 イメージ図

今回施工した作業手順は、以下のとおりである。

- ① 土系舗装を施工する前に、あらかじめ雑草等を抜いて整地する。
- ② 土壌を少し掘削し、隅に防草シートを加工した物を貼り付けつける。(写真-5防草シート施工)



写真-5 防草シート施工

- ③ 土系舗装材を勾配に考慮しながらレーキ等で敷きならす。(写真-6 土系舗装施工状況)



写真-6 土系舗装施工状況

- ④ 敷きならした土系舗装に散水し、固まるまで養生する。土系舗装は、コンクリートのように養生シートを用いた養生は不要である。(写真-7 散水状況)



写真-7 散水状況

- ⑤ 低木や中木の根元にマルチング材を敷きならし、完了(写真-8 マルチング材施工状況)



写真-8 マルチング材施工状況

全区間を施工するのに要した期間としては作業員7人で4日間である。コンクリートでの施工に比べると短期間で施工することができた。

## 6. 観測経過について

2月頃に施工し、現在まで観測を続けてきた。以下の写真-9、写真-10は5月に撮影した写真である。また、写真-9は写真-1と同じ場所で撮影したものである。

写真-10のように、未対策箇所においては、雑草がのび、一部車道にはみ出している。しかし、今回対策を実施した箇所については、写真-10のようにほとんど雑草は生えていないことが分かる。

また、土系舗装・マルチング材を用いた対策を行うことにより、景観へも配慮しつつ防草対策としても効果があることがわかった。



写真-9 対策箇所



写真-10 未対策箇所

## 7. おわりに

今回の施工場所に合った土系舗装を防草対策として実施したが、観測経過でも記載したように雑草を抑制することはできている。今回の施工では、土系舗装だけでなくマルチング材、防草シートを使用し違う工法を組み合わせながら防草対策を行った。

今回は4ヶ月という期間での観測経過であったため、今後も観測を続け長期的な効果についても見ていきたい。

今回、対策箇所で雑草が生え始めているのは、写真-11のボックスウッドの根元部分である。その原因として、マルチング材だけでは効果が弱いいため他の箇所と比べ雑草が生えてきていると考える。根元付近の防草対策についてもより効果があり、長期的に見て、維持管理コストの削減につながる対策方法について引き続き検討していきたい。



写真-11 根元部分 (対策箇所)

**謝辞：**本論文の作成にあたり、数々のご指導を頂いた皆様、また日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた関係者の皆様に、深く感謝いたします。

# 安価なマイコン画像処理型積雪センサの開発

奥田 広行<sup>1</sup>

<sup>1</sup>福井県工業技術センター 建設技術研究部 (〒910-0102福井県福井市川合鷺塚町61字北稲田10)

道路上に実際に積もった雪を検知し、消雪装置を動作させるセンサ「積雪センサ」<sup>1)</sup>は、消雪盤にフィードバック制御をもたらす大きな節水・節電効果を発揮するものであるが、高額であることさらに維持管理の難しさがネックとなり、「降雪センサ」のように普及していない。

これらの課題に対し福井県は、降雪センサと変わらない小型軽量、安価で保守性にも配慮した「マイコン画像処理型積雪センサ」を開発した。その後の改良と県道路管理者への技術支援の結果、県内における普及が進んできたことから、報告する。

キーワード 積雪センサ, 安価, 消雪盤, 画像処理, 節水, 節電

## 1. はじめに

路面の積雪状況を探査し、消雪装置のフィードバック制御に利用する積雪センサは、検知対象が「範囲」になる、という特質を有する。「範囲」を扱える技術としてはたとえば画像処理があり、福井県では2006年度、ネットワークカメラの画像をパソコンで処理する「画像処理型積雪センサ」を開発した。しかしパソコンは屋外環境に適さないため、端末から中央に画像を送り、そして中央から端末に判定結果を送り返す、というシステムにならざるを得ず、通信費が発生する。

それに対し、電子工作に用いられるマイコン基板ならば、その場で画像処理して判定結果を直接盤に伝えることができ、通信費が発生しない。さらに、バッテリーやHDD等の駆動装置を要さず、屋外環境にも強い(写真-1.これは研究開発後の導入実例となる。現場は福井市大手1丁目の日ノ出2丁目消雪盤であり、以下の写真・画像は全て同地のものである)。

このような観点から筆者は2016年度、積雪センサのコストダウン(設置費、運用費とも)を目的に、表題の「マイコン画像処理型積雪センサ」(以下「マイコン画像処理型」という)を開発した。機器費は200千円に未たないものである。

しかし、製品開発してもそれで普及していく、という訳にはいかない。というのは、安価でも画像処理型は技術的に特殊で、工事設計のための現地調査さらに設定・調整において一定の練度を要するものだからである。

そしてその難しさの根底にあるものは、道路上の環境に対しフィードバック制御を行うことの難しさであり、全ての積雪センサにほぼ共通する。

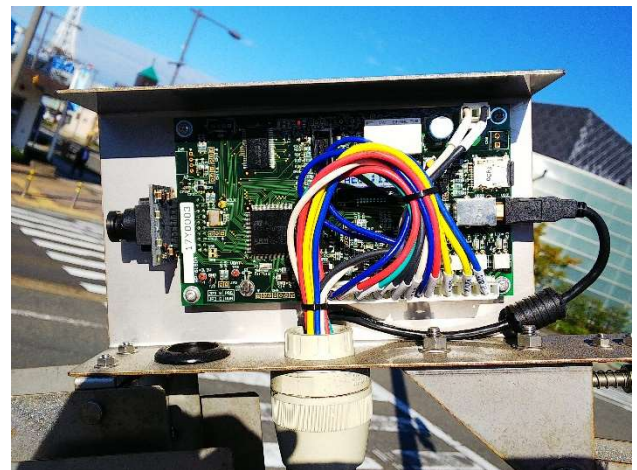


写真-1 マイコン画像処理型積雪センサの基板

そこで本稿は、積雪センサの有する特別な性格をまず明らかにし、それに対して本開発で採った技術的対策を述べ、また技術的対策の限界を述べ、最後に発注の一助になるよう福井県における導入・実用化の例を紹介する。

## 2. 積雪センサ全般に共通する特長と留意点

### (1) 過去の積雪センサ開発と意義

積雪センサは1985年度、石川高専の今井教授が研究開発した赤外線反射方式を起点とする。この成果を受け、福井県雪対策・建設技術研究所(当時、その後改称を経て福井県工業技術センターに統合)の宮本は1990年度、山田技研㈱との共同研究により「首振り型赤外線反射方

式」を開発した。さらに2006年度には、道路監視カメラとしての機能も有する「画像処理型積雪センサ」を同研究所の佐野、青木、山崎が開発している<sup>2)</sup>。

積雪センサの節水・節電効果は驚異的である。2010年1～3月に実道（福井丸岡線文京大手2,970m）で実施した降雪センサとの比較実証試験では、運転時間の削減効果が65%にも及んだ<sup>3)</sup>。上空から降る雪を検知する降雪センサが、路面の温度によって自然に解けてしまう降雪まで検知し、不要な運転を行ってしまうこと、これが降雪センサの運転効率が悪い根本的な原因であり、将来においても改善され得ないであろう。

## (2) 積雪センサに課される条件

積雪センサは、道路上の“多種多様な”環境下で雪を検知しなければならない。これは容易ならざることである。

道路上の雪の検知に必要な条件としては、まず、車両通過後のわだちこぼれに代表される“イレギュラーな消雪”に判定を左右されないよう、①「範囲」をもって積雪の有無を判別すること、である。

次に、カメラを利用する画像処理型では、白い車を雪と誤検知しないよう、②複数の画像を比較し動体を除去しなければならない（画像-1）。

しかし継続して停車される場合もあり動体除去だけでは不確実である。よって、③水分センサを併設し判断を二重化しなければならない（水分センサは55千円程度となる）。

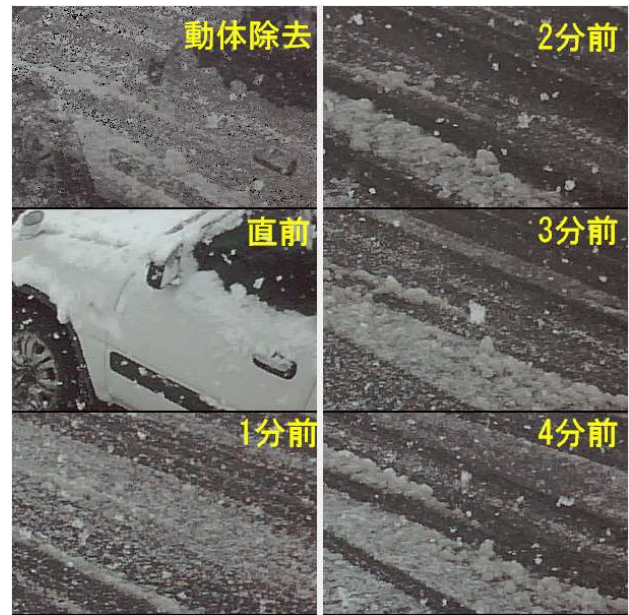
そして、現場に応じて施工方法と設定を決めてやらなくてはならない。特にフィードバック制御の大前提から、④その路線の標準的な路面が望める場所に設置しなくてはならない、⑤（散水が流れる範囲等）消雪範囲の事前確認が必要、という条件が課される。

最後に、太陽光や道路照明という外部の光源に依存する画像処理型は、その時その時の明るさが分かる尺度を外部環境の中から得ないとはいけない。そこで、⑥雪と同等以上の輝度を有する中央線等の道路標示を撮像範囲内に収め、雪判別のための閾値算出に利用する、という手法を採る。画像-2はマイコン画像処理型における画像処理設定の実例で、黄色枠の長方形（標示領域）の中に白線を収めている。なお、同写真で桃色枠の長方形は積雪判定領域といい、ここでの積雪判定領域面積（画素数）に対する積雪面積（画素数）の割合が起動積雪率（デフォルトで20%）を超えた時に「積雪あり」判定となる。

## (3) 工事設計上注意すべきこと

(2)に掲げた6条件のうち、④以降は工事設計に影響があり、特に④は工事費を左右する度合いが大きいので、注意が必要である。

油断ならないのは、「消雪盤の面する道路と消雪盤の消雪制御する道路が異なる」という場合が往々にしてあ



画像-1 動体除去の例（2018.2.5 9:06～9:10）



画像-2 画像処理設定の例（2018.1.4 22:00）

ることである。そのような場合は、消雪盤と積雪センサの併設が望めず、建柱工事、架空線工事ともに余儀なくされる可能性が大きい。

一方⑤は、どちらかと言えば、施工後の画像処理設定で問題となる。

次に⑥は、大変な事ではあるが、設計調査時には必ず路面状況を確認し、必要に応じて道路標示を塗り直さなければ（或いは塗り直して貰わなければ）ならない。

最後に、(2)では挙げなかったが、夜間の照度が十分か確認が必要で、不足している時は投光器または街灯を整備しなくてはならない。

なお、首振り型赤外線反射方式は専用柱と赤外線の専用光源から成るものであるため、以上は⑤を除き、基本的に該当しない。

## (4) 設定・調整上注意すべきこと

（マイコン画像処理型を含む）画像処理型積雪センサ



の設定は、一筋縄では行かない。現場を十分調べ上げたつもりでいてもなお、実際に雪が降り消雪が始まった時に初めて気づかされるようなことが多々ある。

(2)に上げた条件の中では、⑤が一番難しい。それと夜間の照明状況である。明るければよいというものではない。投光器が眩しすぎると、水たまりに反射し、積雪と誤判定してしまうような場合がある。

このような不具合があってもなお、大抵は同じカメラ方向の中で、画像処理設定のやり直しによって対処できる。できなかったとしても、取付高度の低いマイコン画像処理型であれば角度調整が容易であり、積雪判定に適した場所に撮像範囲を収め直すことが可能である。なお、説明が後先になったが、画像処理型のカメラは固定カメラに限るものである。

### 3. 「マイコン画像処理型」の開発

#### (1) 開発目標と方針

以上のような考えを元に、マイコン画像処理型の研究開発はスタートした。ちなみに筆者はこの開発に当たり、以下の目標および方針を立てている。

最終目標：降雪センサ並みに普及すること

目標1：降雪センサ並みかそれより廉価な設置コスト

目標2：降雪センサ並みに容易な機器取付

既設制御盤に対しセンサだけ交換するリプレイス型普及

目標3：設置時の調整・初期設定をコンソールPCで容易に行えるようにする

目標4：降雪センサ並みの点検で成り立つメンテナンス(年2回)。ネット画像監視不要の信頼性

方針1：従来の画像処理型積雪センサと同様、水分センサの併用を続けていく

方針2：現場において必要なカメラの高度と検知領域が確保できない場合は目標1, 2の例外とし、必要なポール建柱工事を行う

(1)に掲げた目標1に関しては、機器費で200千円弱、機器費込みの設置工事費で500~600千円となり(ただし建柱および投光器設置が不要の場合に限る)、降雪センサのレベルには達しなかったが、節水・節電効果による運用コスト減の効果があるため許容される範囲内に収まったと考えている。

なお、汎用品でないにもかかわらず、本体価格が200千円を切ったのはメーカ(日野電子(株))が廉価販売に協力的だったから、という以外にない。

また目標1以外の目標の達成も概ね当初計画通りであった。

ちなみに、目標2に掲げた「リプレイス型普及」の実例は写真-2に記すとおりである。ただし当地は無電柱化エリアのため降雪センサのポールをそのまま利用したが、他所では電力引込柱(コンクリート柱)に取付ける場合の方が多い。

また、目標3に掲げる「コンソールPC」とは、ノートPCにソフト(無償)をコピーして作る管理用端末のことで、その実例は既に画像-2にて示したとおりである。

情報処理機器であるにもかかわらずマイコンは停電で故障することがなく、復電と共に正常復帰する、従ってUPSが不要である。そしてファン、HDD等、寿命の短い駆動装置を有さず、屋外の過酷な環境にも耐えられる仕様となっている。ハードとしての寿命、耐用年数は約10年と判断するものである。

その一方、画質は今一である。輝度の階梯が256のネ

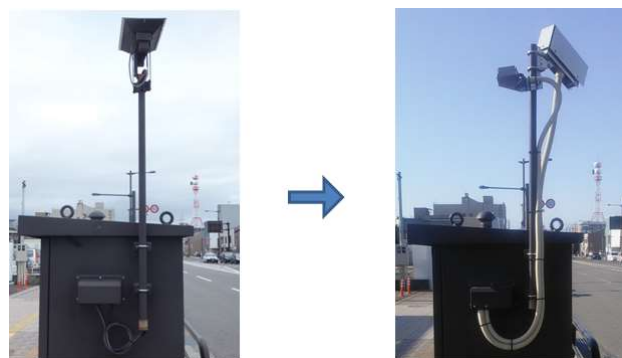


写真-2 「リプレイス型普及」の実例  
左は株式会社本商会製スノーアイ

#### (2) 研究開発結果および開発製品の仕様

研究開発は2016年度に無事終了することができた。

表-1 マイコン画像処理型積雪センサの仕様

CPU	STM32F407ZET6 (STMicro 社製 32Bit RISC CPU)、168MHz ARM 社 Cortex-M4 アーキテクチャ採用	
メモリ	CPU 内蔵 Flash ROM 512kB、SRAM119kB、外部 SRAM 2MB	
カメラモジュール	OV7670 (OmniVision Technologies 社製)、CMOS イメージセンサ、 レンズ焦点距離 3mm、解像度 640×480、VGA、データ出力フォーマット RGB565	
USB インターフェイス	Hi-Speed 480Mbps	
マイクロ SD カードスロット	最大 32GB の SDHC 対応	
マイコン基板	165 mm×85 mm (日野電子(株)製)	
周辺機器	水分センサ	くし型電極+気温 4℃以下
	コンソール PC	ノート PC (Windows7 以上) + 専用ソフト (VisualC#)

ネットワークカメラに比して、採用したカメラモジュールOV7670のそれは32で、自動焦点機能もない。

しかし32階梯しかなくとも、積雪の判定にはそれで十分であることが屋外実験から明らかになっている。自動焦点機能については、路面しか見ない固定カメラにはそもそも不要で、寿命を下げる要因となることからむしろ無い方がよい。そしてOV7670は世界的な汎用品である。画質が劣るのは残念だが、安いに勝るものはないと諦める他ない。

### (3) 通信をやめるという決断

マイコン画像処理型の積雪検知手法は、2006年度に開発の画像処理型積雪センサ（以下、マイコン画像処理型と区別する意味で「パソコン画像処理型」という）のプログラムを概ね踏襲するものである。

パソコン画像処理型からマイコン画像処理型への移行、という観点でとらえた場合、最も重い選択だったのは通信機能の廃止である。この結果インターネットを通じた遠方監視ができなくなってしまった（(1)の目標4はこのことへの対応を指したものである）。

通信をやめる利点は、もちろんある。通信費が不要になることもさることながら、最大の利点は、“ソフトの維持管理”が不要になることである。ウィルス対策→OSバージョン更新→プログラムソフトバージョン更新→プログラム自体の更新、という高額支払いコースから逃れることができ、マイコンというブラックボックスに封印したソフトはハードと一生を共にしてくれる・・・これは大きな利点であり、結論は変わらない。

しかし、以下の難点の大きさも憂慮しないわけにはいかない。

まず最大の難点は障害対応である。パソコン画像処理型では積雪センサ本体に加え盤内機器の障害情報までもサーバ経由でユーザに送り届ける仕組みになっていた。このようなサービスは今後取れなくなる。

第二の難点は、現地調査の不備に起因する設定ミスカバーできなくなることである。これは2.(4)でも触れたように結構あることなのだが、もはや、サーバの設定画面で一早くそれを見つけ、大事になる前に、現地に赴くことなく直してしまう、というサービスは取れない。

これらの難点は非常に大きい。対策としては以下の(4)および(5)であるが、それでも及ばないだろう。ただし、だから不可である、と考える必要はない。完璧な消雪でなければ許されない、というほどの重要路線ならば、パソコン画像処理型にすればよいからである。ただしその分高額となる。要は、選択肢の一つとして開発できればよいのである。

### (4) 維持管理ツール、警報回路等の整備

「センサ」と称する製品としてはやや異例であるが、積雪センサは代々、警報発報機能等、維持管理に必要な

仕組みをソフトまたは消雪盤内の電気配線を通じて実現してきており、マイコン画像処理型もこれを踏襲している。ただし、ハードの形態が違う以上全く同じものにはならなし、マイコン画像処理型に特有のものもある。詳細は以下の通りである。

- ①以下の機能から成るコンソールPC（前出）
    - ・積雪判断領域等、現場ごとに必要な設定をモニタ画面を通じて簡易に設定できる。
    - ・カメラ画像および最新のデータを表示する。
    - ・ソフトはVisualC#製の無償プログラムで、汎用PCにコピーするだけで使えるようになるもの。
  - ②処理画像、ロギング等のSDカード自動保存（画像-3）
  - ③積雪センサ障害時における水分センサ（2.(2)の条件③）単独制御モードへの切り替え機能
  - ④フリーズ等、マイコンの機能停止を検知するウォッチドックタイマ回路の整備
  - ⑤④の動作後のリセット回路整備（2018年度から）
  - ⑥マイコンに関する警報を消雪盤の警報回路に送る。
- ⑥は、(3)に記した次第で、遠方監視をしない代償として不可欠のものとなる。

警報開発で最も迷い、それでも決断したことがある。それは、外部環境を警報監視の対象に加えること、である。例えば道路照明が玉切れした時、それはセンサどころか消雪装置の故障ですらないが、マイコン画像処理型は長期に渡り正常な積雪検知ができなくなる。従ってこれを警報化しないという訳にはいかない。輝度の尺度に利用している道路標示（2.(2)の条件⑥参照）の塗装剥離監視についても同様である（ただし、これは監視が難し



画像-3 ロギングデータの実例（SDカード保存）

く不要な警報を多発することが判明したため、シーズンイン点検時用の特殊な警報（「要確認」警報）に格下げした）。

#### (5) 工事・保守業者の育成（継続中）

本製品の設置および維持管理に関しては、地元の管工事業者が最も適任である、と考えるものである。それは

- ・制御に関わるセンサである以上、契約先として適するのは装置全体を熟知し、あるいは熟知し得る業者に限られる。

- ・たとえ特殊なセンサでも緊急保守に手慣れた地元業者にまず見てもらう方が手堅い。
- ・マイコンが発した警報でも実際は外部環境や消雪装置の異常が原因である場合があり、センサの保守に特化した業者を派遣する意義が疑わしい。

等の事由による。

このような考え方から、筆者は福井県内では、技術普及講習会（2018年度、福井県管工事センター）を行い、技術指導に努めている。また県土木部に対しては、消雪装置保守業者を工事の発注先として選ぶように推奨している。

県外の業者に対しても同じような技術指導ができればよいのだが、容易なことではない。しかしそれでも手を尽くし、何らかの形で関与していかざるを得ないだろう、と考えている。

## 4. 開発後の普及と技術協力

マイコン画像処理型は2016年度の開発以来、22台が普及している。全て福井県内、県管理道路である。

2.(3)および(4)に記した事情のために本センサの発注は技術的難度が高く、また開発して間もないこともあるため、基本的に全箇所筆者が技術協力して施工している。また、現段階では県外に普及すると収拾がつかなくなる恐れがあるため、基本的に県外での広報を筆者はこれまで避けており、県外への論文投稿は本稿が初めてとなる。

### (1) 福井県における需要と導入目的

本題に入る前に、説明を要することがある。それは、福井県管理道路における消雪装置は全て遠方監視制御される、ということである。また、前日の降雪予想で5cm以上の降雪量が予想されるときは土木事務所職員が除雪待期し、その時の判断で消雪装置を強制的に運転、入れっぱなしにすることもしばしばある、ということである。

さらに道路除雪は業務委託契約によって行われ、消雪装置のある路線であっても、井戸枯れ等による消雪不全があれば対応して貰える、という体制にある。

それでは、マイコン画像処理型を整備した22箇所についての、目的別内訳を以下に記す。

- ①節水目的・・・・・・・・・・・・・・11箇所
  - ②老朽化更新・・・・・・・・・・・・・・9箇所
  - ③消雪装置新設に伴う設置・・・・・・・・4箇所
- ただし、①と②には重複箇所が合わせて2箇所ある。

①の11箇所のうち、9箇所は市の下水量削減要求に対応したもの、1箇所は揚水量の持続に不安があるため、1箇所は市の名水とされる水源で住民の意向が強いため、と分類できる。なお、下水量削減を目的とした導入はこの時限りになると思われる。

### (2) 2017年度の技術協力

2017年度は、いきなり17箇所での導入となり、対応に苦慮した。本製品の仕様をよく分からないまま契約した業者もあり、契約後にトラブルになったこともある。

一番手強かったのは、消雪盤から路面が望めない“難工事現場”である。そういう場合は架空線工事をする、ということにルール上はなっていたが、実際に現地打ち合わせに出てみると民地上空であったり通信事業者の電柱への添架が必要だったり、と難点が次々明らかになり工事は難航した。鉄道近くの施工現場では架空線工事を結局断念、無線LANに設計変更したが、これでは降雪センサを設置した方がはるかに安価だったことであろう。

センサの初期障害も何件かあった。コンソールPCでモニタし続けるとマイコンがフリーズしてしまう不具合が起きることが判明、原因はコンソールPCの側にあったのだが、他の原因によるフリーズが起きてはいけないことから念のため、マイコン側にもフリーズ対策を施すこととした(3.(4)参照)。

### (3) 平成30年豪雪について

(2)の技術協力工事が終わった後、今度は平成30年豪雪を迎えることとなった。

福井市では2月4日から連続して大雪が続き、最大積雪深147cmを記録、五六豪雪以来37年来の豪雪となった。国道8号では6日から9日未明まで1,500台の車両が立ち往生となり、自衛隊による救援をみている。

県管理道路の状況も厳しかったが、消雪が効果的に働いている路線も一部にはあった。その一方で井戸枯れし、機械除雪での対応となった路線もあり、同じ消雪装置整備路線でも明暗が分かれている。

最後に平成30年豪雪時におけるマイコン画像処理型の積雪検知状況について報告する。

実は、豪雪が始まったばかりの頃の状況については既に画像を提示していて、画像-1と画像-3がそれである。この段階では正常な積雪検知とポンプ制御が行われている、ということが読み取れる。

次に画像-4は、天候の落ち着いた2月11日に福井市大手1丁目にある日ノ出2丁目消雪盤を訪れた時の状況（コンソールPC設定画面）である。消雪装置は手動停止されており、また第一走行車線に雪が山積みされているこ



画像-4 平成30年豪雪後の状況 (2018. 2. 11 14:55)

とから、明らかに機械除雪体制に移行していることが分かる。そして、他所も大体これと同じ様な状況であった。

この時マイコン画像処理型は、「積雪あり」の判定となっている。確かに積雪判定領域（桃色枠の長方形）は雪で埋め尽くされているため、間違いではないのだが、制御としては好ましくない。というのは、このような“消えない雪”を相手に水を撒くという判断をしてはいけないからである。よって2018年度からは制御の一部を改め、「一旦運転指令が出た後に2時間水分を検知しない状態が続いた場合、積雪判定の有無によらず運転指令を取り消す」という処理を追加した。

## 5. 結論

以上のことから、以下の結論が導かれる。

- ・マイコン画像処理型の設置費は、建柱工事、架空線工事等を要さないリプレイス型更新の時に安価で、500千円～600千円程度に収まることも可能である。
- ・マイコン画像処理型は遠方監視の機能を有さないにもかかわらず、消雪盤の警報回路を利用することによって、安全な自動制御運転が可能である。ただし、保守業者の理解と協力が肝要である。
- ・マイコン画像処理型の工事設計のための現地調査および初期設定は、相当な練度を有する。

## 参考文献

- 1) 福井県建設・雪対策技術センター年報第1号  
積雪センサーの意義と試験運転
- 2) 日本雪工学会誌2007-1  
統計的手法に基づく画像解析による路面積雪判定
- 3) 福井県雪対策・建設技術研究所年報第24号  
画像処理による積雪センサの実用状況

# 大阪湾岸道路西伸部の海上部長大橋の 橋梁形式検討

横井 芳輝<sup>1</sup>・杉山 裕樹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局浪速国道事務所工務課 (〒573-0094大阪府枚方市南中振3-2-3)

<sup>2</sup>阪神高速道路(株)神戸建設部設計課 (〒650-0041兵庫県神戸市中央区新港町16-1)

大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北～駒栄)は、神戸市東灘区から長田区までの14.5kmのバイパス事業である。当該道路の大半は橋梁構造(陸上約8km、海上約7km)であり、神戸港の航路である新港・灘浜航路及び神戸西航路を跨ぐ2つの区間に長大橋を計画している。これらの海上長大橋の橋梁形式の選定にあたっては、大阪湾岸道路西伸部の路線計画に求められる要件を基にコンセプトを設定し、それを評価に結びつけて橋梁計画にも反映することとした。

本稿では、本事業の海上長大橋におけるコンセプトに基づく橋梁計画の概要を述べるとともに、今後橋梁形式を決定するにあたって詳細に比較していくための橋梁形式比較案を選定したため、これについて報告する。

キーワード 大阪湾岸道路西伸部, コンセプト, 橋梁形式選定, 長大橋, 斜張橋

## 1. はじめに

大阪湾岸道路西伸部(六甲アイランド北～駒栄)は、大阪湾岸道路の一部を構成する道路で、神戸市東灘区から長田区に至る延長14.5kmのバイパス事業であり、阪神高速5号湾岸線と阪神高速31号神戸山手線をつなぎ、阪神臨海地域の交通渋滞の緩和を図り、物流効率化による阪神港の機能強化に資するとともに、災害時の代替路確保といった役割を担うことを目的としている(図-1)。本事業は、平成28年度に公共事業として事業化され、平成29年4月には阪神高速道路株式会社の有料道路事業との合併施行方式の採用、平成30年7月には、海上橋の基礎工や西伸部事業に伴う航路移設関連工といった海上工事の効率化を図るために直轄港湾事業の導入がされており、早期開通に向けて事業を進めているところである。

当該道路は、大半が橋梁構造(陸上部約8km、海上部約7km)であり、神戸港の航路である新港・灘浜航路及び神戸西航路を跨ぐ2つの区間には長大橋を計画している。これらの一連の高架橋部及び長大橋部の設計・施工や、新たな発想による技術開発や高度な技術検討には、高い技術力と豊富な専門知識が必要となるため、学識経験者等からなる大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会を設置し、検討を進めている。

大型プロジェクトである本事業には、計画から設計・施工に渡り、多くの関係者が携わること等から、事業の

上流の段階で事業者が共有すべき理念となるコンセプトが特に重要で、コンセプトを定めてこれに基づき事業を進めていく方針とした。橋梁形式の選定においても、設定したコンセプトを反映した評価等を行うこととした。

本稿では、本事業の海上長大橋におけるコンセプトに基づく橋梁計画の概要を述べるとともに、今後橋梁形式を決定するにあたって詳細に比較していくための橋梁形式比較案を選定したため、これについて報告する。



図-1 大阪湾岸道路西伸部概要

## 2. 架橋条件概要

### (1) 基本条件

大阪湾岸道路西伸部は、第2種第1級の6車線の道路で、

設計速度は80km/h、計画交通量は97,000台/日で計画されている。耐震設計上の橋の重要度はB種に区分され、災害時の緊急輸送道路に位置づけられている。

海上部に計画している長大橋に対しては、橋梁計画にあたり、地形・地質条件（断層含む）及び航路条件に配慮する必要がある。なお、近くの神戸空港の空域制限の範囲に神戸西航路部の一部が入っているが、港湾審議会（H9.3第163回計画部会）において了承されており、橋梁計画にあたって大きく制約を受けるものではない。

(2) 地形・地質条件

大阪湾岸道路西伸部が建設される大阪湾沿岸部は「大阪堆積盆地」と呼ばれ、新生代の地層群で構成された軟弱地盤地域である。この地域の地層は、最上部の埋立土を含む砂および粘土の互層からなる沖積層（B、Ac、Asc）が全域に分布しており、その下に砂礫層に富み粘土を挟在する砂泥互層（Dsc1、Dc1、Dsc2、・・・）が分布する。六甲山系の基盤岩である花崗岩は、厚い堆積層に覆われて地下1km以上の深部に位置する。

海上部長大橋の基礎位置においては、水深15m程度で、海底に深にN値の低い軟弱な地盤（Ac層）が約15m程度堆積している。支持層としては洪積砂層（Dsc1もしくはDsc2）が考えられるが、粘性土層と砂礫層の互層状で、位置により複雑に変化する。このため、各基礎位置の支持層の判定が重要となる。また、支持層以深にも粘土層が存在するため、圧密沈下のリスクを適切に評価する必要がある。大阪湾岸道路西伸部全域の地質縦断面を図-2に示す。なお、図に示している地層区分等については表-1に示す。

また、新港・灘浜航路部及び神戸西航路部付近において、摩耶断層と和田岬断層がルートを横切る形で存在す

る（図-3）。これらは深い断層であり、断層位置が明確に地表面に現れていないため、現在、音波探査やボーリング調査により、詳細に断層位置の確認を行っている。両航路部の長大橋の計画・設計において、これらの断層に対する配慮が必要である。

(3) 航路条件

新港・灘浜航路部及び神戸西航路部の航路条件については、大阪湾岸道路（神戸港地区）検討委員会〔有識者・海事関連事業者・関係官公庁（神戸市：平成2年～

表-1 地層区分と土質

時代	層名	記号	主な土質
—	埋土層	B	・巨礫混じりの砂礫主体でN値37~10程度 ・締めり度合いは緩い~中位程度
	第四紀 完新世	沖積粘性土層	Ac
沖積互層		Asc	・砂質土主体でN値38~15程度
第四紀 更新世	第1洪積互層	Dsc1	・砂質土主体でN値は平均30程度、支持層に適用 ・ただし、部分的に粘性土が介在
	第1洪積粘性土層	Dc1	・大阪層群のM12層に相当しN値30以下 ・埋立荷重により圧密沈下が生じる
	第2洪積互層	Dsc2	・粘性土と砂質土の薄層互層

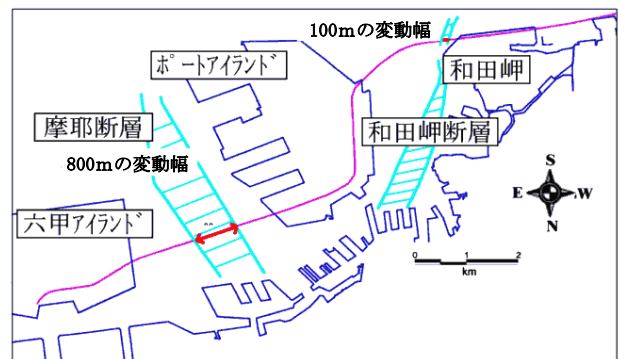
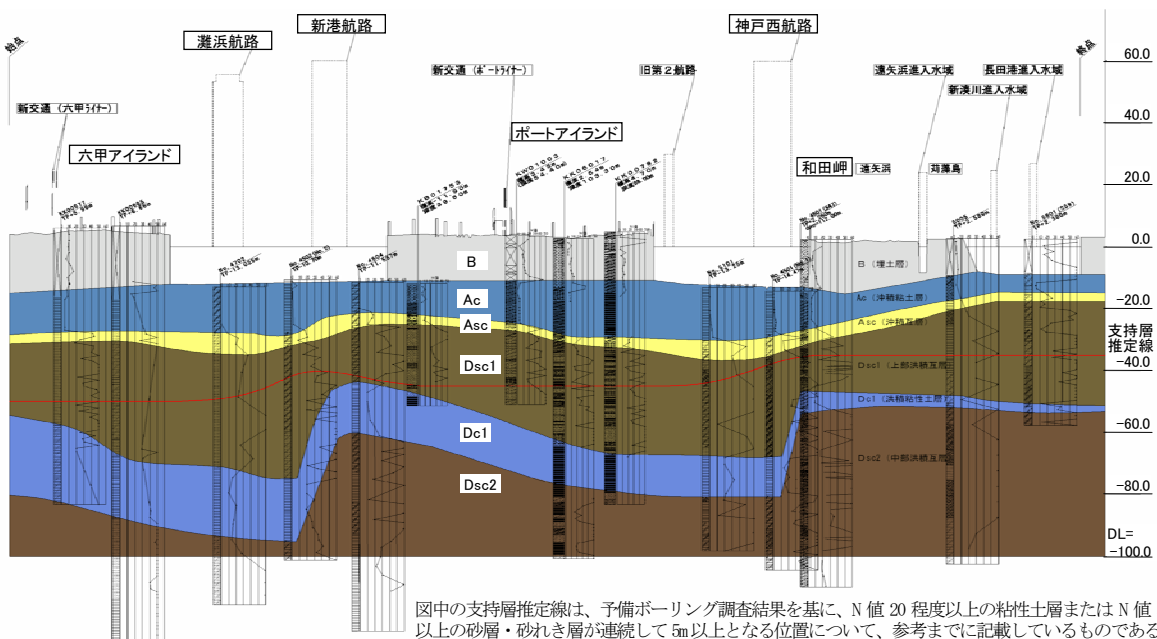


図-3 断層位置図



図中の支持層推定線は、予備ボーリング調査結果を基に、N値20程度以上の粘性土層またはN値30程度以上の砂層・砂れき層が連続して5m以上となる位置について、参考までに記載しているものである。

図-2 地質縦断面図

平成6年) ]にて決定されている。その後、神戸港に入港するクルーズ船の近年の大型化を考慮し、新港航路の航路高については、航路高 59.0m から 65.7m に見直されている。新港・灘浜航路部及び神戸西航路部の航路条件を表-2 に示す。長大橋の主径間長は、この航路幅と施工時に航路に影響を与えないよう確保する余裕幅により制約を受ける。

表-2 航路条件

項目	灘浜航路		新港航路	第二航路	神戸西航路 (第一航路)
	主航路	副航路			
航路幅	300m	50m	400m (水深13m)	120m	300m (水深12m)
航路高さ	航路高	+54.6m/+52.4m	+65.7m	+28.1m	+59.4m
	T.P.	+55.7m/+53.5m	+66.8m	+29.2m	+60.5m

### 3. 橋梁形式選定の流れ

本事業の長大橋の橋梁形式選定においては、本路線のコンセプトに適合する性能を、より低いコストで得られる橋梁形式を選定することを基本方針とした。橋梁形式選定のフローを図-4 に示す。まず、本路線計画に求められる要件を整理した上で計画コンセプト(案)を設定した(以後、コンセプトと呼ぶ)。次に、橋梁計画のコントロールとなる周辺条件等について整理した。その後、コンセプトに適合する橋梁形式を支間割計画も含めて複数案抽出し、部材形式等の基本条件を仮設定したうえで概略設計を行い、経済性(初期コスト及びLCC)を把握して、各橋梁形式のコンセプトに係る長所・短所を踏まえた総合的な判断により橋梁形式案の絞り込みを行った。なお、明らかにコンセプトに適合しないと思われる橋梁

形式は、当初段階から抽出しない。

以上のとおり、橋梁形式選定にあたっては、設定したコンセプトを、橋梁形式の抽出段階及び絞り込みを行う評価段階において考慮することとした。

### 4. 計画コンセプト(案)

大阪湾岸道路西伸部の計画コンセプト(案)(図-5)は、広域および地域の道路ネットワークや地域の防災計画における当該道路の位置づけや役割、路線交通の特性、

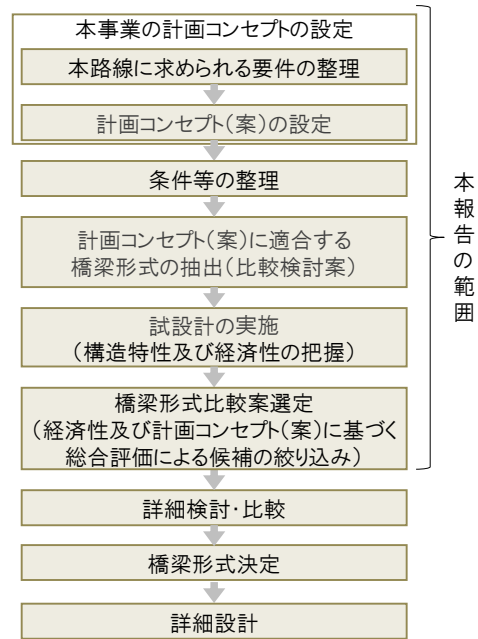


図-4 橋梁形式選定フロー概要

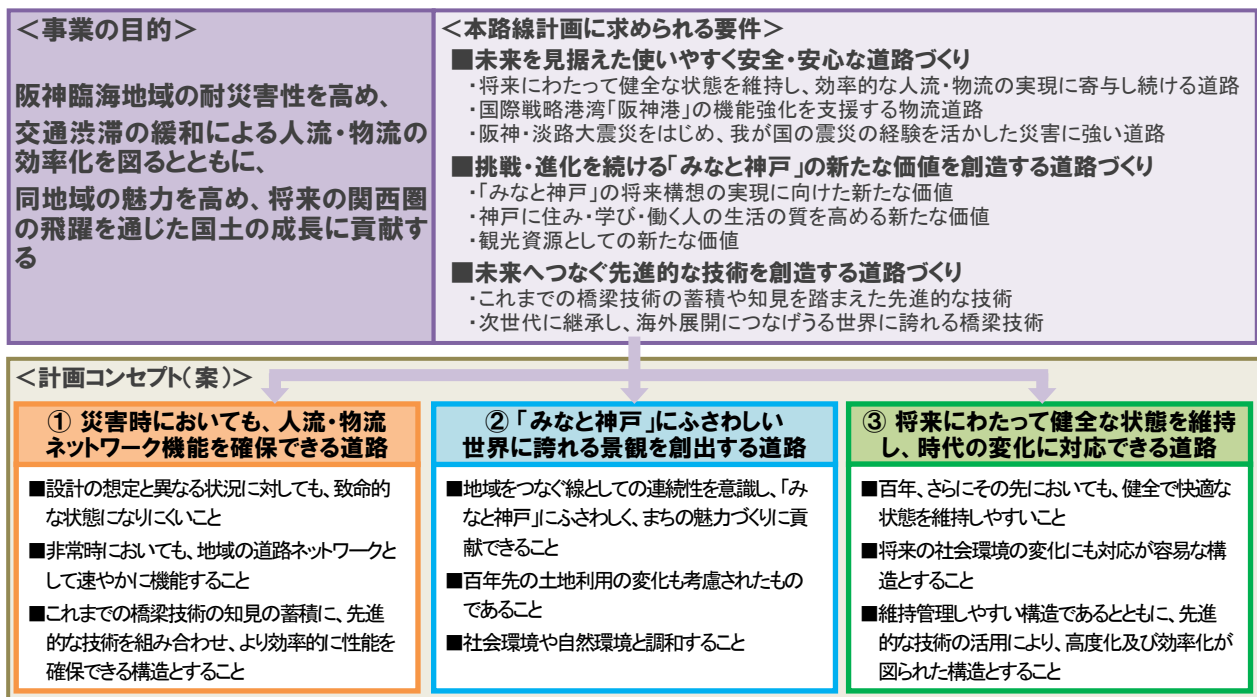


図-5 大阪湾岸道路西伸部の計画コンセプト(案)

被災地からの教訓、神戸市域および港湾の開発計画や自然環境、地元の要望、道路の維持管理のあり方などから、本路線の計画に特に求められる要件を整理し、それらを実現するために常に守るべき理念として設定した。災害時のネットワーク確保、景観への配慮、維持管理への配慮の観点から3本の柱とした構成である。なお、今後の情勢の変化等により見直しの必要が生じることも可能性として考え、コンセプトは(案)のままとし、必要に応じて見直すものとしている。

橋梁計画に先立ちコンセプトを設定して、それを橋梁計画に反映する手法は、一般的な方法が確立されていない。今回は、まずコンセプトの各項目を具現化するために、橋梁の計画・設計の中で具体的にどういった配慮をするのかを設計の基本方針として整理した。そして、基本方針に沿って橋梁形式選定段階において配慮する評価項目を設定し(表-3)、これを形式選定の各段階におい

て考慮することとした。次章以降に、新港・灘浜航路部及び神戸西航路部の橋梁形式選定の概要について述べる。

### 5. 橋梁形式比較検討案の抽出

#### (1) 新港・灘浜航路部

新港航路部及び灘浜航路部は、航路幅の制約から最小支間長がそれぞれ600m及び520mとなる。この支間長においてコンセプトに適合する橋梁形式として、単独斜張橋、連続斜張橋、連続吊橋の3形式を軸に、支間割りのバリエーションを加えた5案を立案した。多径間連続の吊形式である連続斜張橋および連続吊橋は、この規模では国内の実績はないが、近年の技術動向も踏まえると技術的にも実現可能性があると考え、比較案に含めた。

抽出した5案を表-4に示す。単独斜張橋の(a)案は、2

表-3 計画コンセプト(案)に適合するための設計の基本方針と橋梁形式選定において考慮する項目

計画コンセプト(案)	計画コンセプト(案)に適合するための設計の基本方針	橋梁形式選定において考慮する項目
<b>① 災害時においても、人流・物流ネットワーク機能を確保できる道路</b>		
設計の想定と異なる状況に対しても、致命的な状態になりにくいこと	・設計基準等で求められる状況(交通、地形、地質、気象等)と異なる状況に対しても影響を受けにくい又は橋が落橋等の致命的な状態になりにくくするための配慮を適切に設計に反映	【大地震】設計想定と異なる地震動に対して構造全体として致命的な状態になりにくい橋梁形式 【地盤変位】設計想定と異なる地盤変位に対してより影響が小さい橋梁形式 【津波】、【火災】津波及び火災に対してより影響の小さい橋梁形式 【強風】設計想定と異なる強風に対して発散振動が生じにくい橋梁形式
非常時においても、地域の道路ネットワークとして速やかに機能すること	緊急時に橋の状態を評価するために必要な部位へのアクセスと点検・診断を速やかに確実かつ容易に行えるよう設計に反映 緊急時に必要な交通機能を速やかに確保するため、機能復旧を速やかに確実かつ容易に行えるよう設計に反映	【緊急時の点検性】緊急時に点検のしやすい橋梁形式 —
これまでの橋梁技術の知見の蓄積に、先進的な技術を組み合わせ、より効率的に性能を確保できる構造とすること	・国内外におけるこれまでの長大橋の設計で活用された技術を反映するとともに、効率的な性能の確保のため適用可能な新技術についても設計に反映	—
<b>② 「みなと神戸」にふさわしい世界に誇れる景観を創出する道路</b>		
地域をつなぐ線としての連続性を意識し、「みなと神戸」にふさわしく、まちの魅力づくりに貢献できること	都市景観 ・海と山に囲まれ港の発展とともに栄えたまち「みなと神戸」にふさわしい景観を創出し、まちの魅力づくりに貢献できるよう設計に反映 路線の連続性 ・異なる気質を持った地域を本橋が結ぶことによるため、一本の線と感じる連続性を有した橋となるよう設計に反映 先進性 ・進取の気性に富む神戸の性格を踏まえ、世界に誇れる先進的な技術を用いた橋となるよう設計に反映	【都市景観】みなと神戸を認識しうるシンボル性、ゲート性、ランドマーク性があり、周辺環境(海・山・市街地)と調和する橋梁形式 【路線の連続性】一本の橋として認識される連続性、路線上の他橋との一体性が認知できる橋梁形式 【先進性】世界から注目される高い技術力を認識できる橋梁形式
百年先の土地利用の変化にも対応しうること	将来の発展性 ・現在だけでなく、百年先の土地利用状況の可能性を考慮した橋となるよう設計に反映	【将来の発展性】将来の港湾運用上の支障となりにくい橋梁形式、将来に想定される視点場からの景観にも優れる橋梁形式
社会環境や自然環境と調和すること	社会・自然環境との調和 ・社会環境や自然環境と調和した橋となるよう設計に反映	【社会・自然環境との調和】建設地点周辺の土地利用、および海上交通の安全性(視認性)に与える影響が小さくなる橋梁形式、施工中の自然・社会環境に及ぼす影響が小さくなる橋梁形式
<b>③ 将来にわたって健全な状態を維持し、時代の変化に対応できる道路</b>		
百年、さらにその先においても、健全で快適な状態を維持しやすいこと	耐久性 ・交通や気象等による経年的な劣化を考慮し、十分な耐久性が確保されるよう設計に反映 維持管理の確実性及び容易さ ・計画的な維持管理や橋の状態を評価するために行う調査が確実かつ容易に行えるよう設計に反映 ・部材の更新や補修などが確実かつ適切な手法で行えるよう設計に反映 交通等への影響の低減 ・通行規制をとまな維持管理を最小化できるように設計に反映、損傷の発生が通行車両や第三者に影響を及ぼさないよう設計に反映 施工品質の確保 ・施工及び検査等の品質管理(施工管理)が確実に行えるよう設計に反映	【疲労】都市高速の特性から疲労耐久性の弱点となり得る部位が少ない橋梁形式 【腐食・塩害】湾岸地域の特性から腐食や塩害を生じる可能性が高い部位が少ない橋梁形式 【変形・振動】設計で想定しない変形や振動を生じる可能性がより小さい橋梁形式 【確実な点検】点検が困難となる部位が少なく、また、より点検のしやすい橋梁形式 【更新・伸縮等】更新することを想定する部材の更新が、確実かつできるだけ容易に行いやすい橋梁形式 【更新・主部材等】全ての部材について、万が一の場合の各部材の補強や更新(機能回復)の実現性がより高い橋梁形式 【通行規制】維持管理において通行規制が必要となる部位が少ない橋梁形式
将来の社会環境の変化にも対応が容易な構造とすること	・交通特性等の社会環境の変化にも対応が容易となるよう設計に反映	【疲労】 【更新・主部材等】
維持管理しやすい構造であるとともに、先進的な技術の活用により、高度化及び効率化が図られた構造とすること	・これまでの橋梁の維持管理で活用された技術を反映するとともに、維持管理がしやすく、さらには高度化・効率化を図るため適用可能な新技術についても設計に反映	—



つの航路幅より決定される最小支間を設定した2連の斜張橋で構成され、規模的にも実績が多く、これを基本案とした。連続斜張橋の(b)案及び(c)案は、2つの斜張橋をつなげて連続化を図ることで、中央部の海上橋脚をなくす案である。(b)案は主塔の位置を基本案と同じ位置として不等径間で割り付け、塔高に変化をもたらす案で、(c)案は3つの径間を均等割りした案である。連続吊橋の(d)案及び(e)案は、連続化により海中アンカレイジをなくした吊橋構造であり、アンカレイジは六甲アイランド及びポートアイランド島内の陸上部に配置した。

なお、トラス橋やアーチ橋は、支間長600mクラスでは一般的な適用範囲を超えること、耐震性や維持管理の観点からコンセプトへの適合性が低いと考えられるため、比較対象に選定しなかった。また、海中部にアンカレイジの設置が必要となる単独吊橋を2連とする案は、土地改変による影響が大きいことや維持管理の観点などからコンセプトへの適合性が低いと考え、比較対象に選定していない。

抽出した各橋梁形式について、表-5の通り部材形式を仮設定し概略試設計を行い、構造特性と経済性を把握した。コンセプトに係る主な特徴と経済性を整理した結果

を表-5に示す。ここで、経済性については、現時点において部材形式等が仮設定であり、未確定の条件も多いことも勘案し、少数点1桁での比率により整理した。なお、連続構造の長大橋では活荷重たわみが大きくなるが、この段階では活荷重たわみに特に制限を設けない条件で概略設計を行っており、たわみの抑制策が必要となった場合の費用は考慮していない。

評価結果から、連続吊橋の(d)案及び(e)案は、今回の架橋条件においては斜張橋案に比べて経済性で不利となるとともに、軟弱地盤上に設置するアンカレイジの長期的な沈下リスク等の観点から、今後の検討から除外することとした。また、不等径間の連続斜張橋の(b)案は、(c)案の等径間案に対して特に優れる性能がないことか

表-5 試設計に用いた部材形式

部材	部材形式の設定
桁	斜張橋・吊橋：鋼床版一箱桁
ケーブル	斜張橋：2面吊りファン形式 吊橋：サグ比1/8(5径間)，1/10(4径間)
主塔	斜張橋：逆Y形 吊橋：門形
基礎	塔基礎：鋼管矢板井筒基礎 アンカレイジ：地中連続壁基礎

表-4 各橋梁形式の総合評価(新港・灘浜航路部)

	側面図・構造概要	経済性 (コスト)	特徴
単独斜張橋	(a) 基本案  【立案趣旨】2つの航路幅より決定される最小支間を設定した2連の斜張橋	初期コスト 1.0 LCC 1.0	①, ②, ③は計画コンセプトの番号に対応 ◎ これまで実績のある橋梁形式と規模であり、構造上の課題は少ない ② △中間橋脚の存在により、景観や将来の発展性に劣る ③ △弱点となる桁端部、伸縮装置、海上橋脚などが多く、維持管理面で相対的に劣る
	(b) 不等径間案  【立案趣旨】塔位置を基本案と同じとし不等径間で割り付け、塔高に変化をもたらす案	初期コスト 1.1 LCC 1.0	△ (c)連続斜張橋(等径間)より特に優れる性能がない ③ △側塔の上段ケーブルの移動活荷重による張力変動が非常に大きく課題がある
多径間連続斜張橋	(c) 等径間案  【立案趣旨】各主径間を均等割にする案で、(a)に比べて構造が若干大型化する(最大支間長600m→650m)均等化により桁の重量がバランスするため、中央の海中橋脚をなくすことができる	初期コスト 1.0 LCC 1.0	②, ③ ◎単独斜張橋案と比較し、景観面で連続性やゲート性・ランドマーク性等に優れるとともに、連続化により桁端部も少なくでき、維持管理面でも有利となる ③ △活荷重たわみが大きい
	(d) 5径間案  【立案趣旨】各主径間を均等割にする案で、(a)に比べて構造が若干大型化する(最大支間長600m→650m)	初期コスト 1.2 LCC 1.1	① △軟弱地盤上に設置するアンカレイジの沈下リスクがある ② △陸上部のアンカレイジ設置に伴う土地改変による影響が大きい
多径間連続吊橋	(e) 4径間案  【立案趣旨】(d)案の中央塔2基を1基とし4径間とした案(最大支間長650m→975m)	初期コスト 1.4 LCC 1.2	②, ③ ◎単独斜張橋案と比較し、景観面で連続性やゲート性・ランドマーク性等に優れるとともに、連続化により桁端部も少なくでき、維持管理面でも有利となる ③ △活荷重たわみが大きい

ら、今後の検討から除外することとした。

以上から、橋梁形式比較案には、残された「(c) 連続斜張橋 (等径間案)」及び「(a) 単独斜張橋」の2形式を選定した。「連続斜張橋 (等径間案)」の方が「単独斜張橋」に比べて、景観性と維持管理性に優れるため優位と評価される。しかし、活荷重たわみが大きい(可撓性)等の技術的課題もあるため、今後より精緻な検討を実施し、両形式の優劣を見極めることとした。

(2) 神戸西航路部

神戸西航路部は、航路幅の制約から最小支間が480mとなる。この支間長においてコンセプトに適合する橋梁形式として斜張橋を選定し、一般的な2主塔案と1主塔案の2案を立案した(表-6)。1主塔案は、同形式では世界最大規模となるものの、近年の技術動向を踏まえると十分に実現可能性があり、コンセプトへの適合性も高いため、比較案に含めた。

トラス橋やアーチ橋は、新港・灘浜航路部と同様の理由から比較対象に選定していない。また、吊橋も、海中部にアンカレッジを設置することになるため、新港・灘浜航路部と同様の理由から比較対象に選定していない。

これらについて、新港・灘浜航路部と同様に部材形式を仮設定したうえで、概略試設計を行い構造特性と経済性を整理し総合的な評価を行った。活荷重たわみの抑制策が必要となった場合の費用については6.(1)と同様に考慮していない。

両案の比較を表-6に示す。2主塔斜張橋と比較して平面線形、景観性に加え、コスト面でも優れる1主塔斜張橋が優位となった。しかし、活荷重たわみが大きい等の技術的課題や、主塔基礎付近に存在する和田岬断層による影響等の見極め等も必要であり、橋梁形式の絞り込みは行わず、抽出した2形式を橋梁形式選定案に選定した。

今後、1主塔斜張橋の詳細な構造特性を把握し、上記の課題の対策方法を検討した上で、2主塔斜張橋との優劣を見極めることとした。

6. まとめ

大阪湾岸道路西伸部の事業において事業の初期段階において設定したコンセプトについて報告するとともに、コンセプトに基づく橋梁形式選定の考え方について概要と途中経過について報告した。設定したコンセプトに基づき、今後の橋梁形式、および部材形式の絞り込み、設計、施工の各段階において常に念頭におき、事業に取り組んでいく予定である。

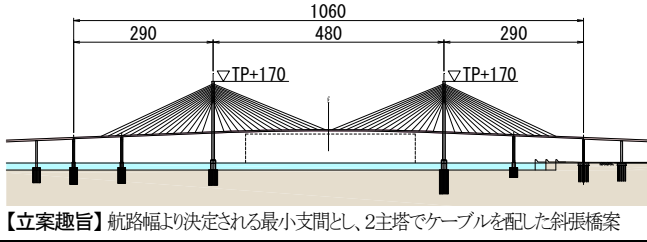
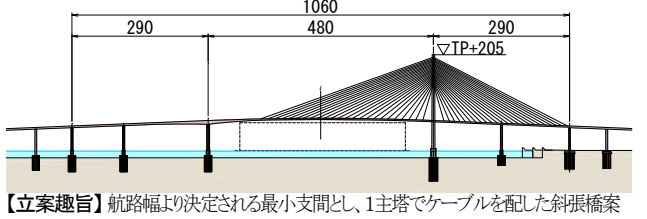
なお、海上長大橋の橋梁形式比較案の選定結果及び今後の橋梁形式決定に向けた方向性については、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会において平成30年12月に中間とりまとめとして公表された<sup>1)</sup>。今後それぞれの航路部での橋梁形式の決定に向け、橋梁形式検討で残された課題(活荷重たわみが大きい形式への対応、断層等の最新の調査結果の反映など)に対する検討を行うとともに、新技術の適用可能性や現場条件への適合性や施工性に係る留意点等について確認していく予定である。

謝辞：貴重なご意見を頂いた大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会(委員長 藤野陽三横浜国立大学上席特別教授)の委員の皆様、ならびに関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会中間とりまとめ：  
[https://www.kkr.mlit.go.jp/news/top/press/2018/o19a8v0000018qhi-att/181214-2\\_1600\\_osakawanganseishinbu.pdf](https://www.kkr.mlit.go.jp/news/top/press/2018/o19a8v0000018qhi-att/181214-2_1600_osakawanganseishinbu.pdf)

表-6 各橋梁形式の総合評価 (神戸西航路部)

	側面図・構造概要	経済性 (コスト)	特徴 (①, ②, ③は計画コンセプトの番号に対応)				
単独斜張橋	(a) 2主塔案  <p>【立案趣旨】航路幅より決定される最小支間とし、2主塔でケーブルを配した斜張橋案</p>	<table border="1"> <tr> <td>初期コスト</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>LCC</td> <td>1.0</td> </tr> </table>	初期コスト	1.0	LCC	1.0	① これまで実績のある橋梁形式と規模であり、構造上の課題は少ない
	初期コスト	1.0					
LCC	1.0						
(b) 1主塔案  <p>【立案趣旨】航路幅より決定される最小支間とし、1主塔でケーブルを配した斜張橋案</p>	<table border="1"> <tr> <td>初期コスト</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>LCC</td> <td>0.9</td> </tr> </table>	初期コスト	1.0	LCC	0.9	② 海上部の非対称な橋梁配置に馴染むデザインとなるなど景観面で優れる ② 平面線形が緩くでき、走行快適性の面で有利となる ③ △活荷重たわみが大きい ③ 一般的に点検が困難な主塔が1基少なく維持管理面で有利となる	
初期コスト	1.0						
LCC	0.9						

# 平成30年2月豪雪を踏まえた 取り組みについて

田中 幹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 福井河川国道事務所 敦賀国道維持出張所  
(〒914-0057福井県敦賀市開町3-28-1) .

2018年2月4日から8日にかけて日本付近に強い寒気が南下し、日本海側の広い範囲で大雪となった。福井県嶺北地方では、高速道路・直轄国道をはじめとする幹線道路の通行止め等により、物流の遮断や燃料不足など社会生活に多大な影響が生じた。このため、福井河川国道事務所では「国道8号冬期道路交通確保対策会議」において、冬期の交通確保や幹線道路の機能強化など今後取り組むべき対策の検討を行い「中間とりまとめ」を公表した。

本稿は「中間とりまとめ」に基づき、関係機関と調整して取り組んだ種々の対策について報告するものである。

キーワード 豪雪、雪害対応合同訓練、AI技術を活用した交通障害自動検知システム

## 1. はじめに

福井県内は全域が豪雪地帯に指定されており、大野市、勝山市、今立郡池田町、南条郡南越前町は豪雪地帯対策特別措置法による特別豪雪地帯に指定されている。

福井河川国道事務所が管理する国道8号は石川県境から滋賀県境を縦貫する幹線道路で、中京・関西地方と北陸地方を連絡する重要な結節点にあたり、円滑な交通の確保が求められる。また、平行する主要な路線として中日本高速道路(株)が管理する北陸自動車道がある(図-1)。

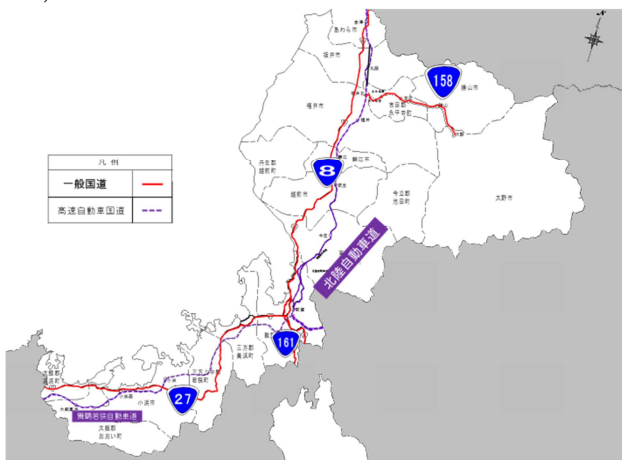


図-1 福井県の主要幹線道路位置図

## 2. 平成30年2月豪雪の経緯

### (1) 大雪の発生

2018年2月4日から8日にかけて西日本から北日本の上空約5000mには、氷点下39度以下の寒気が流れ込み、日本付近では強い冬型の気圧配置となった。このため、福井県内では嶺北を中心に4日から雪となり、その後8日にかけて断続的に降り続いた。福井県嶺北地方では6日16時までの24時間降雪量が平地でも60cmを超える記録的な大雪となり、福井市では37年ぶりに最深積雪量が140cmを超える大雪となった(図-2)。

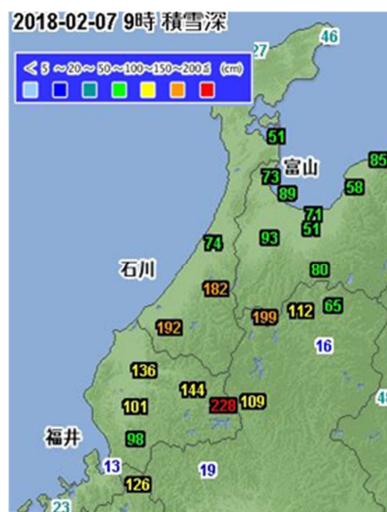


図-2 積雪深分布図

(2) 福井河川国道事務所の対応

この大雪により国道8号と平行する北陸自動車道は2月5日23時40分より武生IC～砺波IC間で集中除雪のため通行止めを開始した。この通行止めにより国道8号へ交通が集中した。福井河川国道事務所は交通を確保しつつ除雪作業を実施し、立ち往生が発生した際には個別に対応していたが、2月6日8時30分頃にあわら市で大型車の脱輪等のスタックが発生した。通勤ラッシュの時間に重なり、スタック救出に迎えない脱輪スタック車両等を発端に車両滞留が常態化することとなった。このため、国道8号の最大46kmの区間で約1500台の立ち往生が発生した(図-3、写真-1)。除雪作業が著しく停滞する中で、福井河川国道事務所は緊急車両の通行確保を目的として災害対策基本法を適用、2月6日10時00分から当該区間の通行止めを実施し、福井県知事の派遣要請を受けた自衛隊と共に、除雪作業とスタック車両の排除を行った(写真-2)。2月9日1時00分に全ての滞留車両を解消し、除雪状況を確認し、同日5時00分に全線の通行止めを解除した。



図-3 車両滞留の状況



写真-1 雪に埋もれるスタック車両



写真-2 スタック車両救出状況

3. 平成30年2月豪雪を踏まえた取り組み

(1) 国道8号冬期道路交通確保対策会議

平成30年2月豪雪への対応と課題を踏まえ、福井河川国道事務所では、冬期の大雪等の異常な気象等による主要幹線道路の不通や交通渋滞などの障害を減らすための具体的な方策など、今後取り組むべき対策を検討することを目的に道路管理者、警察、気象台、沿線自治体による「国道8号冬期道路交通確保対策会議」を開催した(写真-3)。この会議にて福井～石川県境を含む国道8号の現状分析、今後の積雪に備えた対策を検討し、2018年8月6日に「中間とりまとめ」を公表した。この「中間とりまとめ」では、目標として、北陸自動車道や国道8号などの幹線道路の通行規制や大規模な車両滞留を可能な限り回避すること、通行規制する場合、集中的な除雪を効率的に実施し、通行規制時間をできる限り短縮することとしており、「除雪体制の強化」、「関係機関の連携の強化」、「集中的な大雪時の予防的な通行規制・集中除雪の実施」、「チェーン等の装着の徹底」、「集中的な大雪時の需要抑制」、「立ち往生発生時の迅速な対応」、「スポット対策・車両待機スペースの確保」、「基幹的な道路ネットワークの強化」の8視点から課題と対応方針を整理している。



写真-3 国道8号冬期道路交通確保対策会議

(2) タイムラインの作成

従来、大雪等の災害時は各道路管理者が各々のタイムラインに則り、除雪作業、災害対応を実施していた。このため、集中除雪のための通行止めを行う際に関係機関の調整に時間がかかる等の課題があった。

これらの課題を踏まえ、国道8号冬期道路交通確保対策会議にて新たなタイムラインを作成した。このタイムラインは、「大雪特別警報」や「大雪に関する緊急発表」がなされ、集中的な大雪となることを想定し、集中除雪のための通行止めの2～3日前からの行動を整理したものであり、このタイムラインを関係機関で共有することにより、各々の除雪作業、災害対応を従前より効率的に連携して実施することを可能とした。

(3) 雪害対応合同訓練

新たに作成したタイムラインの整合性、関係機関相互の連携を確認するため、また、冬期の安全な道路交通を確保するため、初めて福井～石川県境に関わる各機関が参加し雪害対応合同訓練を実施した。

訓練は平成30年2月豪雪を踏まえ、次のような状況を想定して実施した。①福井県全域に大雪警報が発令され、その後、NEXCO中日本福井保全サービスセンターから「北陸自動車道(加賀IC～金津IC間)の事故通行止めを行う」との情報が福井県冬期道路情報連絡室に入る。②北陸自動車道(加賀IC～金津IC間)の通行止めにより大型車が国道8号に流れ込むことが想定されることから、大型車のタイヤチェーンチェックを行い、立ち往生の発生を抑制する。③その後、チェーン未装着の大型車の立ち往生が発生し、5cm/h以上の降雪が連続する予測があることから、さらなる立ち往生を防ぐため、国道8号を一時的に通行止めにして、発生した立ち往生車両の牽引を行うとともに、集中除雪を行う。④県から金津インター線の除雪要請が情報連絡室に入り、NEXCOが除雪支援を行う。

a) 情報伝達訓練

これまで、大雪警報が発令された際には、情報共有を円滑に行うため、福井県が主体となり福井河川国道事務所に、国、県、高速道路会社、警察、気象台等からなる福井県冬期道路情報連絡室を設置していた。2018年度からは、国が主体となり新たに、福井県の危機管理部局、自衛隊を構成員に加え、立ち往生車への物資支援の調整や道路管理者間の相互支援の調整を行うようにした。また、福井県、金沢河川国道事務所をテレビ会議システムで繋ぐことでより円滑な情報共有を可能とした。

今回の情報伝達訓練では関係機関との調整をはじめ、実際に福井河川国道事務所と金沢河川国道事務所、福井県庁をテレビ会議システムで繋ぎ、情報伝達の手順を確認した(写真-4)。



写真-4 情報伝達訓練

b) 除雪強化訓練

従来、国道8号福井～石川県境は福井河川国道事務所と金沢河川国道事務所で各々の管理境界までの除雪トラックと除雪グレーダーによる梯団除雪を実施しており、各道路管理者は3時間程度の時間をかけて自身が管理する道路の除雪に従事していた。このため、降雪量によっては、除雪が間に合わない、県境部の除雪状況に差が発生する等の課題があった。現状の除雪方法を改善するため、集中的な大雪時には通常の除雪に加え県境部は福井、石川両県から機材を派遣し、除雪を実施することにより除雪頻度を向上させ、除雪強化および除雪の効率化を図った(図-4)。今回の訓練では金沢河川国道事務所と連携し、金沢河川国道事務所の除雪トラックを福井河川国道事務所管内の熊坂除雪基地に派遣し、県境を跨いで除雪する手順を確認した(写真-5)。

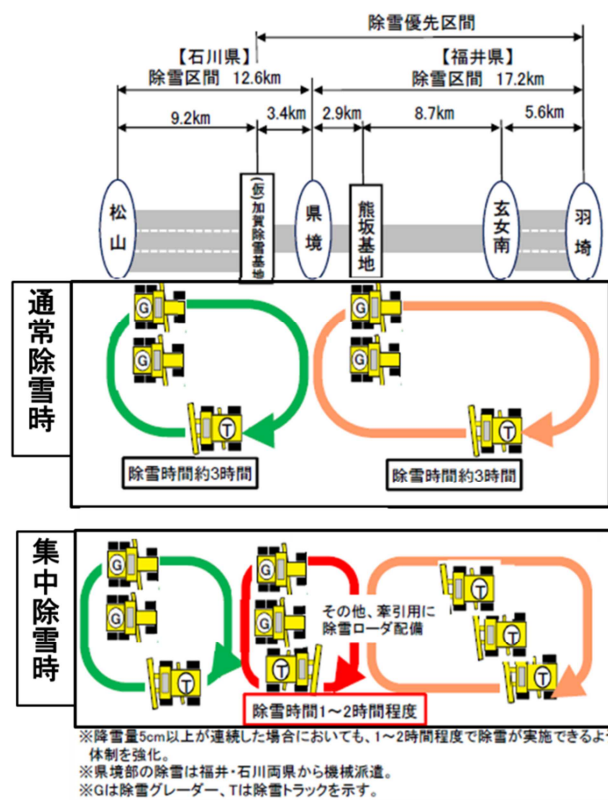


図-4 集中的な大雪時の福井～石川県境の除雪体制



写真-5 梯団を組む近畿地整の除雪グレーダー(前)と北陸地整の除雪トラック(後)

c) チェーンチェック訓練

平成30年2月豪雪ではチェーン未装着の大型車の立ち往生により大規模な車両滞留が発生した。今後、このような事態を防ぐため、峠や過去に雪による立ち往生や通行止めが発生した区間内にチェーン着脱場や通行止めが解除されるまでの待機スペースを設けた。福井河川国道事務所管内では、あわら市熊坂～あわら市笹岡間をチェーン規制区間とした(図-5)。

チェーン規制中には、規制区間の手前でタイヤチェーン装着状況の確認を行うため、今回の訓練でチェーンの装着の有無を確認する訓練を実施した(写真-6)。訓練は熊坂除雪基地と笹岡チェーン着脱場で同時に実施した。訓練では、実際に国道8号の通行止めを行い、一般の大型車を熊坂除雪基地および笹岡チェーン着脱場に誘導し、チェーンチェックを行い、チェーンチェックの手順を確認した。また、ドライバーにはチェーン装着を促すパンフレットを配布し、冬期のタイヤチェーン装着の徹底を呼びかけた。



図-5 チェーン規制区間



写真-6 タイヤチェーン訓練

d) スタック車両救出訓練

スタック車両が発生した場合、早急に救出し、車両滞留を解消することが重要となる。過去の大雪の経験から南越前町～敦賀市間での立ち往生車両の移動体制は構築されているものの、平成30年2月豪雪で車両滞留の発端となった福井～石川県境部では、走行不能車両の待避スペースがない、スタック車両を救出する車両牽引車が十分になく通常の除雪作業を中断して救出する必要がある等の課題があった。この結果、スタックした大型車両の立ち往生が多発した。

この対策として、福井～石川県境に新たに車両待避スペースを福井県側で3カ所、石川県側で1カ所新設した(図-6)。また、あらかじめ車両牽引車を準備しておくことで迅速にスタック車両を救出できる体制とした(写真-7)。

今回の訓練では、実際、一時的に国道8号を通行止めとし、スタック車両に見立てた大型車を用意して車両牽引および待避所への救出手順を確認した(写真-8)。



図-6 待避所位置図



写真-7 車両待避所と車両牽引車



写真-8 スタック車両救出訓練

(4) 沿線施設の待避所利用

大雪時には、前述のとおり走行不能車を待避させるスペースや、集中除雪を実施するため一時的に車道上の車を待避させるスペースが必要となる。従来は既存のチェーン着脱場や広幅員路肩等を利用していたが、数やスペースが限られており、新設は多くの時間・費用がかかるため大雪時の待避所の整備には課題があった。

そこで、通行止めを伴う集中除雪を実施する際の車の待避所として、国、県、市町の協力のもと沿道の公共施設、民間施設の駐車場を車両待避場所として活用させていただくこととした。沿線の公共施設、民間施設の駐車場を利用させていただくことで、待避所新設の費用を削減でき、すぐに雪害に備えることができる。福井県側の3施設、石川県側の1施設と覚書を結び、集中除雪に備えた(図-7)。今後も、覚書締結施設の拡大を検討する。

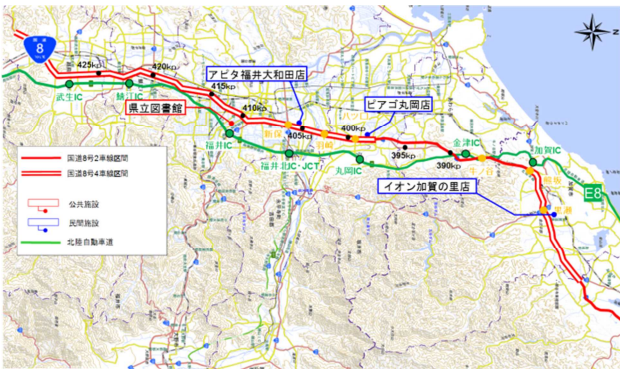


図-7 沿線施設位置図

(5) CCTVカメラ不可視区間の解消

道路構造の厳しいところや過去の立ち往生発生箇所等、いわゆる除雪優先区間においては、特に監視体制を強化する必要がある。当該区間のひとつ、福井～石川県境にはCCTVカメラが設置されているものの、不可視区間があり、スタック車両の発見が遅れる課題があった。不可視区間はスタック車両の発見の遅れを招く他、路面状況の把握の支障となる。

福井～石川県境部でCCTVカメラを12基(福井県側11基、石川県側1基)増設することで不可視区間を解消し、監視体制の強化を図った(図-8)。また、福井～石川県境部以外にも、福井河川国道事務所管内の不可視区間を解消するため、CCTVカメラの整備を検討中である。



図-8 CCTVカメラの整備計画

(6) AI技術を活用した交通障害自動検知システム

平成30年2月豪雪は多発したスタック車両が除雪作業の支障となり車両滞留の要因となった。スタック車両が発生した場合、早急に救出することが重要であり、いち早くスタック車両を発見する必要がある。従来は監視員が目視にてCCTVカメラ157台を24時間監視していた。監視員はカメラ映像の情報や現地から通報された情報を元に交通障害が確認できれば、災害対策本部に情報共有していた。しかし、モニターに映っていない場合でも、スタック車両を発見するため、道路監視体制の強化を目的に、AI技術を活用した交通障害自動検知システムを導入した。

AI技術は監視箇所の曜日、時間、天候別の交通量・旅行速度を常時把握する。交通量、旅行速度の急激な低下等の異常事象の予兆を感知すれば、監視員に警報を通知する。また、交通量、旅行速度の急激な低下状況が継続した場合や、停止車両(10分以上変化がない場合)を検出した場合には異常事象発生の際に警報を通知し、対象映像を表示する(写真-9、図-9)。これらの支援により発生事象の早期把握、迅速な対策の遂行が可能となる。

AI技術を導入したカメラは平成30年2月豪雪で立ち往生の原因となったスタック車両が発生した福井～石川県境部で6カ所、山間や海沿い急峻な地形が連続し冬期において交通障害がたびたび発生していた越前市～敦賀市間で4カ所導入した。



写真-9 AIカメラを用いたCCTVカメラの監視

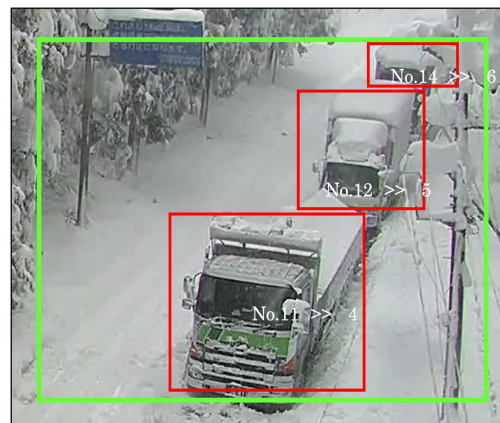


図-9 AIによる自動検知のイメージ

(7) SNSを用いた情報発信

福井河川国道事務所では、SNSの持つ情報発信力および拡散力に着目し、Facebook、Twitter等のSNSを2016年度から順次運用し、広報活動を展開しているところである。特にTwitterは防災・災害時における迅速かつ大規模な情報拡散の有効性が広く知られているところである。また国土交通本省、近畿地方整備局ですでに公式Twitterが運用され、リツイートによる情報拡散効果が期待できること、管内隣接の金沢河川国道事務所でTwitterが運用されており、雪害等の広域災害時に相互リツイートによる効果的な情報拡散が期待できることから災害発生時の情報発信手段の一つとしてTwitterを積極的に運用している。平成30年2月豪雪においてもTwitterでの注意喚起、通行止め情報を掲載し情報発信を行った。大雪発生前より大雪に関する緊急発表を発信、国道8号通行止め前には「現在の道路状況」、「冬用装備」、「除雪作業」等の情報提供を53回行い、国道8号通行止め後も「通行止め開始」、「道路啓開作業」、「避難所開設」等の情報の提供を83回行っている(図-10)。国道8号の通行止め情報を発信した記者発表ツイートはインプレッション数(ツイートが見られた数)が第1報で5万、第2報で7万を超えていることから、情報収集に多くの人がTwitterを利用しており、Twitterでの情報発信が効果的であることがうかがえた。今後も災害時には積極的に利用していくこととする。

雪害対応合同訓練の情報伝達訓練においても、Twitterでの情報発信を想定して災害対策本部からの指示の下、ツイートを作成する訓練を実施した。また、2018年12月6日～2019年2月末まで毎日、翌朝の路面予測情報を発信し道路利用者への情報提供を行った。特に注意が必要な場合は随時情報発信した。



図-10 Twitterでの情報発信

(8) 道路管理者間の協力体制の構築

集中的な大雪により立ち往生や交通障害が発生した場合、これまでも、事象発生後に他工区・他事務所・他地整等に除雪応援を要請していた。しかし、一度でも立ち往生が発生し、車両滞留が生じてしまうと、立ち往生中の車両の間の積雪により除雪機械が入らない、幹線道路の交通障害により応援機械の参集に時間がかかる等の課題があった。このため、降雪予報を踏まえ集中的な大雪が予想される際は、予想された大雪が発生する24時間前に他事務所や他地整に支援準備を依頼し参集することとし、災害協定を締結している各建設業団体には排雪用ダンプトラックや除雪要員の福井国道維持出張所または敦賀国道維持出張所への派遣を要請することとした。

また、福井県からの要請を受けた場合には、国および高速道路会社の協力により国道8号から金津IC・丸岡IC・鯖江IC・武生IC等へのアクセス道の除雪支援を実施することとした。

(9) 排雪場の追加による排雪の効率化

従来、集中的な大雪の除雪により雪堤が1mを超え、さらに降雪が予想される場合は、ロータリー除雪車とダンプトラックによる運搬除雪を実施していた。しかし、排雪場までの距離が遠いため、効率的に運搬除雪を行えるよう、排雪場を新設し、運搬時間の短縮を図った。また、「大雪に関する緊急発表」が出された時点であらかじめ夜間に排雪を実施し、大雪時の堆雪スペースを確保することとした。

4. おわりに

平成30年2月豪雪は福井～石川県境部での大雪という道路管理者が異なる区間での大雪災害となった。このような交通障害を繰り返さないために従来の雪害対策に加えて、関係機関相互でのタイムラインの共有、合同での雪害対応訓練、CCTVカメラへのAI技術の導入などの取り組みを進めてきた。2017年度の大雪とは一転、2018年度は記録的な少雪となり、降雪による交通障害は発生しなかったため、タイムラインに基づく集中除雪や、CCTVカメラのAI技術による交通異常の検出はなく、取り組みの実績や効果を検証することはできなかったが、金沢河川国道事務所を含めた関係機関との初の合同訓練の実施により、道路管理者と関係機関の新たな連携を築くことができた。他にも、チェーン規制区間の策定およびチェーン規制看板の設置や除雪トラックの増強による耐雪能力の向上は、今後の道路管理において大きく寄与するものと期待している。

本稿で紹介した取り組み以外にも国道8号あわら市笹岡～加賀市熊坂町間の4車線化について新規事業化が決定するなど、大雪の対策の取り組みを今後も継続していく。平成30年2月豪雪を教訓に、豪雪時における、道路ネットワーク機能への影響を最小化するべく、関係機関とのさらなる連携の強化、除雪能力の向上のための対策に取り組んでいきたい。



# 国道2号浜手バイパス高架橋における箱桁部 亀裂の対策方法と実施について

猪飼 一貴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 兵庫国道事務所 管理第二課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3番11号)

国道2号浜手バイパス高架橋は、供用から30年以上が経過しており、今回の橋梁定期点検にて鋼橋箱桁部に多数の塗膜われが確認された。特に多く確認された径間に対し、塗膜を剥がし、磁粉探傷試験(MT試験)を行った結果、約180箇所の亀裂が確認され、その亀裂に対し対策の必要性の有無及び方法の検討を行うこととなった。

対策方法を検討するにあたり、可能な限り現道を規制しないことを念頭に置いた。その結果、TRSを用いた当て板補修を採用することとなった。その一連の経緯について、報告する。

キーワード 橋梁補修, 浜手バイパス, 亀裂, 当て板, TRS

## 1. はじめに

兵庫国道事務所が維持管理している橋梁は526橋(平成31年3月時点)あり、そのうち50年以上経過している橋梁は全体の約52%を占めている。

今回、亀裂が確認された国道2号浜手バイパス高架橋は、神戸市中央区の三宮から元町の渋滞緩和およびポートアイランドとの連絡を目的として、1986年に建設された自動車専用道路(図-1)で、上路の橋長約2577m、下路の橋長約2014m(図-2)の、全区間ダブルデッキの高架構造(図-3)となっている。



図-1 (浜手バイパス位置図)

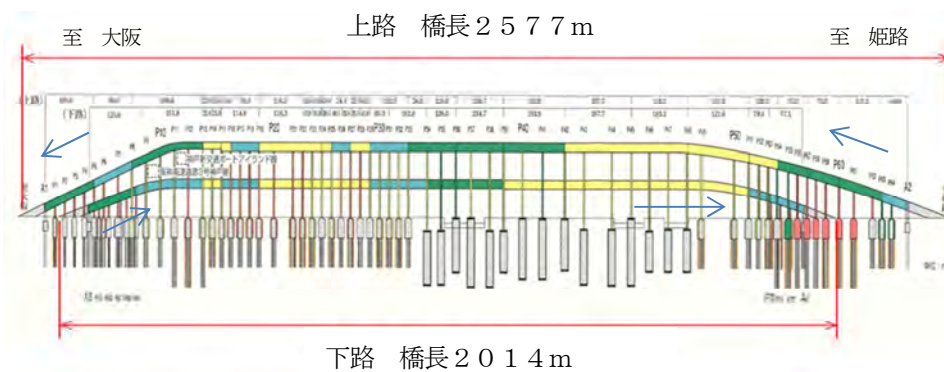


図-2 (浜手バイパス高架橋 側面図)

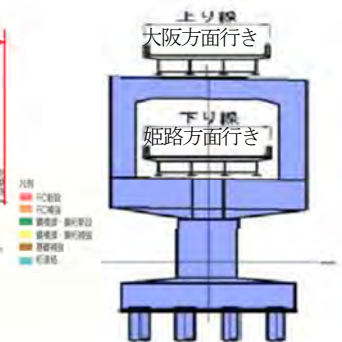


図-3 (ダブルデッキ構造図)

## 2. 調査結果

### (1) 橋梁定期点検結果

浜手バイパス高架橋は過去より定期的に点検を行ってきたが、平成25年9月に道路構造物等について5年に一度の橋梁点検が義務づけられ、それに基づく定期点検を平成30年度に実施した。その結果、近接目視にて箱桁部に塗膜われが確認された(写真-1, 2)。中でもUリブと鋼床版(以下デッキ)の溶接部の塗膜われについては長さが長いので、橋梁ドクターの指導を伺った。

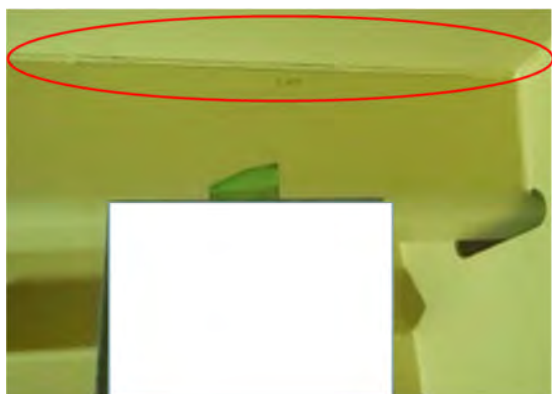


写真-1 (塗膜われ遠景)

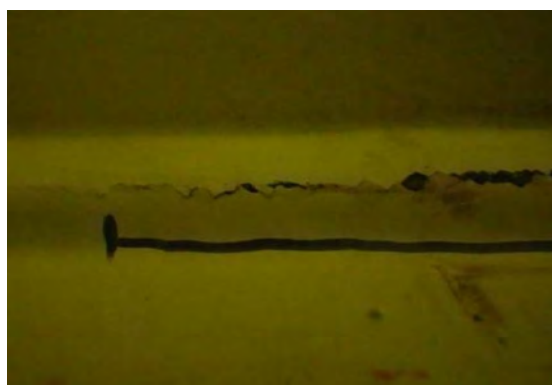


写真-2 (塗膜われ近景)

### (2) 塗膜われ箇所のMT試験の実施

橋梁ドクターの指導のもと、塗膜われ損傷の長さが長い亀裂10箇所(延長約170mm~1200mm)の両端部については非破壊検査の一種である磁粉探傷試験(MT試験)を実施した(写真-3, 4)。その結果、4箇所は溶接ビード内であったが、デッキとの境目に3箇所、デッキへの進展が3箇所確認された(図-4)。



写真-3 (MT試験の様子)

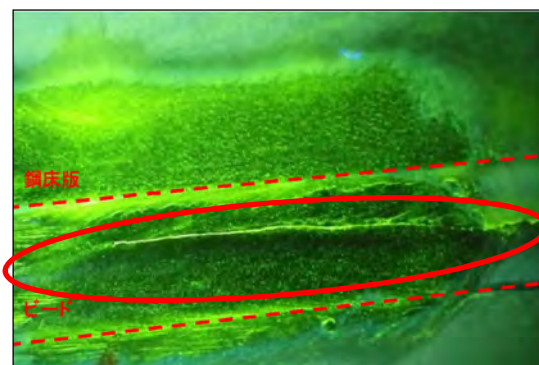


写真-4 (MT試験による亀裂)

番号	箇所	方向	位置	追加調査
No.1	起点	水平	ビード内	
	終点			
No.2	起点	水平+横割れ	ビード内	
	終点			
No.3	起点	水平	ビード内	
	終点			
No.4	起点	水平	ビード内	
	終点			
No.5	起点	水平	ビード内	
	終点		鋼床版との境目付近	
No.6	起点	水平+横割れ	ビード内	
	終点		鋼床版との境目付近	
No.7	起点	水平	鋼床版側へ進展	ビード削り取り(0.5mm)→鋼床版へ亀裂あり
	終点		鋼床版との境目付近	
No.8	起点	水平	鋼床版との境目付近	ビード削り取り(1.5mm)→ビード内で亀裂収束(鋼床版側の亀裂は溶接キズと想定)
	終点		鋼床版側へ進展	
No.9	起点	水平	鋼床版側へ進展	ビード削りなし→明らかに鋼床版へ進展しているため立会により試験省略
	終点		鋼床版との境目付近	
No.10	起点	水平	鋼床版との境目付近	
	終点		ビード内	

図-4 (試験結果)

(3)橋梁ドクターからの助言

MT試験の結果を受け、橋梁ドクターに以下の助言を頂いた。

デッキや縦リブへの進展がある亀裂については亀裂の先端を削ってルート部を露出させ、削り込みで亀裂を除去し補修することが基本である。

今回の亀裂は、Uリブ内に水が溜まっていないことからデッキの貫通には至っていないと推察されるが、もしデッキの上面に亀裂が貫通していれば交通規制を行い、舗装を剥がして補修することになる。

亀裂がデッキの板厚方向に貫通していなければ、下面から当て板で補修すれば良い。当て板をあてる際に溶接ビードを切削するので、今後新たなデッキ進展亀裂の発生も防止することができる。

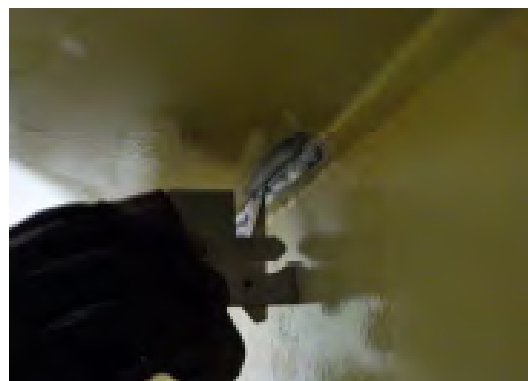


写真-5 (亀裂の削り込み)

(4)削り込み調査

MT試験の結果をもとに、デッキまで進展が確認された3箇所の亀裂について削り込みを実施(写真-5)し、そのうち2箇所の亀裂について、デッキの板厚方向に進展している可能性があることが判明した(図-4)。

しかし、いずれの2箇所についてもUリブ内に水が溜まっていないことからデッキの貫通には至っていないと推察される。

3. 箱桁部亀裂に対する補修について

(1)補修方法の検討

デッキの補修については、高力ボルトを用いた当て板補修(第1案)、下面からの再溶接補修(第2案)、スタッドボルトによる当て板補修(第3案)、TRSを用いた当て板補修(第4案)などがある(図-5)。今回、浜手バイパス高架橋の交通量は平成27年センサスで1日36,640台、大型車混入率18.8%と非常に重要な路線であり、長期間の通行止めの工事は、社会的な影響が大きい。加えて、高架下が神戸港となっているところである。

工法	第1案 従来工法・当て板(THB)	第2案 再溶接	第3案 当て板(スタッドボルト)	第4案 当て板(TRS)
概要				
施工例	多	多	少	少
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面と箱桁内からの施工が必要</li> <li>舗装切削が必要のため橋面防水の低下が懸念</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>箱桁内からのみで施工可能</li> <li>溶接の品質確保のため交通振動を抑える必要あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>箱桁内からのみで施工可能</li> <li>Uリブの内側からボルトを入れる開口部が必要</li> <li>スタッドボルト施工時に溶接が必要で、溶接の品質確保のため交通振動を抑える必要あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>箱桁内からのみで施工可能</li> <li>専用の工具を用いるため交通振動下でも施工可能</li> </ul>
交通規制の有無	有	有	有	無
総合評価	△	△	△	◎

図-5 (当て板対策比較表)

(2)当て板の設計手法について

箱桁内部で使用する当て板について下記の手法で製作する。

- ①ボルトピッチは60mm程度
- ②ボルト縁端は28mm以上
- ③添接板長さは亀裂寸法以上の長さとし、横リブ間隔を考慮した長さは考慮しない。  
施工上、亀裂のビード端部は削り込みし、ビード亀裂端部を確認する。
- ④当て板寸法は、上記の削り込みに合わせた切欠きが設置されるため、「亀裂長+20mm程度」となる。
- ⑤桁端のマンホール形状は400×600のため、部材の搬入を考慮して部材長さは1000mm程度(16kg程度)を最大とする。

(3)対策工法の選定について

箱桁内部の亀裂に関する考え方について、従来は高力ボルトを用いた当て板による補修を検討していた。特にデッキとの接合部に亀裂が発生している箇所では、従来、再舗装による補強や高力ボルトによる当て板等で対応されてきたが、今回は再舗装や高力ボルトを使用しない当て板による補修を採用した。

対策内容は、本四高速などで実施している特許技術であるTRSを用いた当て板補修で、ボルト挿入の反対側にボルトが突出しない当て板補修である。これにより、路面での通行規制の必要がなくなることや、再舗装は不要となるなどの利点がある(図-6、7)。

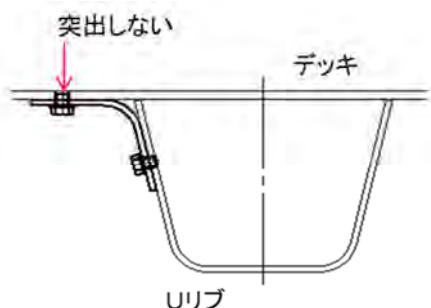


図-6 (TRSを用いた当て板補修図)

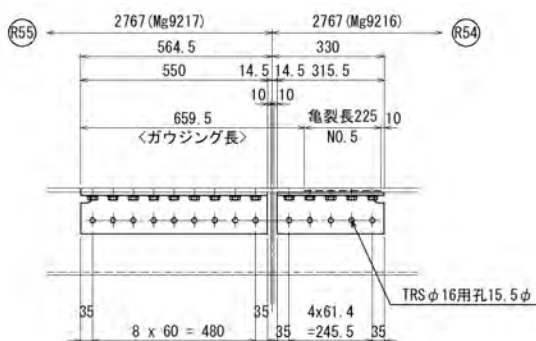


図-7 (TRSを用いた当て板補修図(側面図))

4. まとめ

今回の浜手バイパスにおけるUリブの亀裂については、MT試験の結果、3箇所ではデッキへの進展が確認された。その後、追加調査として削り込みを実施したところ、2箇所についてはデッキの厚さ方向の進展が確認された。しかし、いずれの2箇所についてもUリブ内に水が溜まっていないことからデッキの貫通には至っていないと推察される。

このような条件のもと、社会的影響の少ない補修方法を検討し、今回は路面での通行規制の必要がなくなることや、再舗装は不要となるなどの利点があるTRSを用いた当て板補修を実施していくこととした(写真-6)。



写真-6 (TRSを用いた当て板補修の練習)

5. 謝辞

当て板の設計をするにあたり橋梁ドクターとしてご助言を頂いた関西大学の坂野先生、及び先行して工事を行っている現場を見学させて頂いた姫路河川国道事務所及び本四高速様に厚く御礼申し上げ、感謝の意を表します。

# 大野木志賀谷長浜線（長岡BP）信号交差点へのラウンドアバウト導入検討

上月 真人<sup>1</sup>・中島 智史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>道路部 道路計画第一課

<sup>2</sup>湖東土木事務所

これまで道路のバイパス整備や交差点改良工事に伴い、信号機の新設や移設を行ってきたが、信号機は真に必要な性の高い場所に設置する方針とされており、今後は交通量、交通事故の発生状況、交差点の形状等を調査分析したうえで、他の対策により代替が可能か否かを考慮する必要がある。

長浜土木事務所では、大野木志賀谷長浜線（長岡バイパス）整備事業を進める中で、終点部の長岡北交差点において、安全性の向上、交通の円滑化や防災力の向上等を目指して、ラウンドアバウト導入に向けた取り組みをおこなった。その事例紹介を兼ねて効果や安全性等について説明する。

キーワード 信号機撤去, ラウンドアバウト, 通学路, 合意形成

## 1. はじめに

道路のバイパス事業や改良事業を進める際に信号機の設置を地元自治会等から求められることがあるが、信号機を管理する滋賀県警察では平成27年に出された「信号機設置の指針」に基づき「信号機マネジメント推進計画」を定め、真に必要な性の高い場所に信号機を設置する方針としている。

これにより、信号機の設置にあたっては、交通量、交通事故の発生状況、交差点の形状等について「信号機設置の指針」の条件に合致しているか調査分析し、他の対策による代替可能性の有無を考慮した上で判断することになっている。

このような状況の中、今後道路管理者は交差点の設置や改良を行うにあたり、現地の状況を十分調査した上で、適用条件が合う場合は、これまでの交通整理の方法に加えラウンドアバウトの導入を検討することが必要である。

長浜土木事務所では大野木志賀谷長浜線（長岡バイパス）の整備事業を進めており、終点部の信号交差点である長岡北交差点での交通整理の方法として、ラウンドアバウトが最適であると判断し導入に向け事業を進めた。

## 2. 大野木志賀谷長浜線（長岡BP）

### (1) 事業の概要

大野木志賀谷長浜線は、滋賀県米原市大野木から長浜市街地を東西に走る一般県道である。当路線の米原市長岡の集落付近では、地域の南北幹線である一般県道天満一色線と重用しており交通量が集まる区間であるが、小

学校の通学と近江長岡駅へ集まる自転車や自動車との交通が輻輳しており(図-2)、米原市が策定している通学路安全プログラムに位置付けられるなど抜本的な対策が必要である。このため、当該事業でバイパスを整備(図-1)して主交通を迂回させることにより長岡地域の安全確保を図るものである。



図-1 大野木志賀谷長浜線（長岡BP）位置図



図-2 現道の交通状況

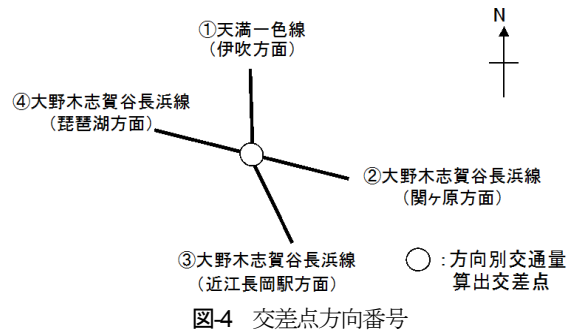


図-4 交差点方向番号

交差点の総流入交通量は、表-1、図-4 より 7,380 台/日であり、ラウンドアバウトの適用目安である 10,000 台/日未満であることから、ラウンドアバウトの適用は可能であると判断し、次のステップとして時間交通量による適用可否の確認をおこなった。

(2) 長岡北交差点

終点部の長岡北交差点(図-3)は現在T字路交差点であり信号機が設置されているが、信号機を撤去し他の対策による代替が可能か否かを検討することとした。

本交差点の特徴として、歩行者溜まりが広く、南北の道路はカーブして交差点に進入しており見通しが悪い。

交通量(1日あたり10,000台以下、ピーク時の1時間当たり800台以下)、形状(交差点外形27m~35m)、大型車の混入率が低い等、ラウンドアバウトの設置条件に合致していると考えられたため、県警交通規制課および米原警察署と協議し導入について検討をおこなった。



図-3 終点部T字路交差点

(2) 流入部別時間交通量による適用可否の確認

表-2 流入部別時間交通量

流入部 i		1	2	3	4	備考
設計時間交通量の把握	計画交通量ADT [台/日]	-	-	-	-	
	ピーク率k [%]	-				
	流入方向率De [%]	-	-	-	-	
	設計時間交通量qi [台/時]	400	201	166	124	ピーク時間交通量
	大型車混入率 $\gamma$ [%]	21	21.4	19.9	12.9	
	大型車の乗用車換算係数ET	2				
通行方向別交通量	乗用車換算流入交通量 [pcu/時]	484	244	199	140	
	直進率 [%]	38	18	92	25	
	左折率 [%]	42	0	8	65	
	右折率 [%]	20	82	0	10	
	直進交通量qi,S	153	36	152	31	
	左折交通量qi,L	168	0	14	80	
環道交通量の算出	右折交通量qi,R	79	165	0	15	
	環道交通量Qci	50	292	335	386	
車頭時間パラメータの設定	臨界流入ギャップtc [秒]	4.1				
	追従車頭時間tf [秒]	2.9				
	環道最小車頭時間 $\tau$ [秒]	2.1				
交通容量・需要率の確認	流入部交通容量ci [pcu/時]	1196	985	949	906.8	
	安全率 $\alpha_i$	0.9	0.9	0.9	0.9	
	横断歩行者による影響を考慮 横断歩道あり: 0.9、なし: 1.0	1076.4	886.5	854.1	816.1	$\alpha_i \times c_i$
	需要率xi	0.45	0.275	0.233	0.172	$x_i = q_i / (\alpha_i \times c_i)$
【参考】	平均遅れda,i [秒/台]	6.1	5.6	5.5	5.3	

3. ラウンドアバウト導入検討

(1) 総流入交通量による適用可否の確認

表-1 長岡北交差点将来交通量推計結果

		着地				合計
		①	②	③	④	
発地	①	0 (0)	1,397 (329)	1,271 (262)	654 (99)	3,322 (690)
	②	1,369 (312)	0 (0)	0 (0)	294 (39)	1,663 (351)
	③	1,262 (254)	0 (0)	0 (0)	109 (13)	1,371 (267)
	④	660 (79)	258 (24)	106 (17)	0 (0)	1,024 (120)
	合計	3,291 (645)	1,655 (353)	1,377 (279)	1,057 (151)	7,380 (1,428)

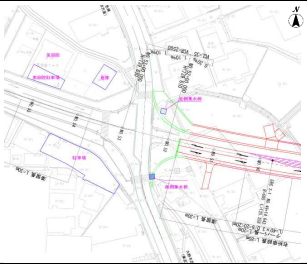
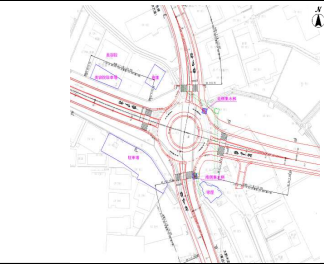
※上段:車種計 下段( )内:大型車 単位:台/日

流入部別時間交通量はピーク時で891台/時間となり、目安の800台/時間を超える結果ではあるが、表-2のとおりいずれの流入部においても需要率が基準の0.7未満であることからラウンドアバウトの適用は可能である。

(3) 十字交差点との比較

表-3のとおり交差点の安全性、平均遅れ時間、周辺利用への影響、用地買収範囲、事業費等で十字交差点との比較をおこなった。本交差点は歩行者溜まりが広いという特徴があり、ラウンドアバウトで課題となる変則な用地買収の問題も起こらず、総合的に判断してラウンドアバウトが最良案となった。

表-3 交差点形状比較表

検討案	A案：十字交差点案		B案：ラウンドアバウト案	
計画平面図				
交差点構造の安全性	信号交差点であるため、正面衝突や右折対直進といったダメージの大きい衝突事故の可能性があるため、B案と比較して交差点の安全性は劣る。	△	・ラウンドアバウト交差点であるため、流入部は非優先制御となり流入時速度が低下すること、また、車両の走行方向が同方向であるため、正面衝突などのダメージの大きい事故が生じない。 ・外径が29mとコンパクトであるため、車両の走行速度を十分に抑制でき、A案と比較して交差点の安全性に優れる。	○
平均遅れ時間	信号制御による平均遅れ時間は約13秒であり、B案と比較して遅れ時間が大きい。	△	ラウンドアバウト制御による平均遅れ時間は約7秒であり、A案と比較して遅れ時間が少ない。	○
駐車場利用への影響	駐車場の出入りが、交差点直近となり、左折in左折outが基本となるため、駐車場利用への影響は大きい。 (※現況においても、交差点直近の出入りは、左折in左折outが望ましい。)	△	駐車場の出入りが、交差点直近となり、左折in左折outが基本となるため、駐車場利用への影響は大きい。 (※現況においても、交差点直近の出入りは、左折in左折outが望ましい。)	△
用地買収範囲	用地買収面積が約1400㎡であり、B案と比較して周辺用地への影響範囲が大きい。	△	用地買収面積が約640㎡であり、A案と比較して周辺用地への影響範囲が小さい。	○
集水樹への影響	・南側集水樹が支障となるため、集水樹の車道外への移設と水路ボックスの付け替えが生じる。(施工延長: 8.5m) ・北側集水樹の蓋を歩道用に変更する必要がある。 ・上記より、B案と比較して集水樹への影響は優れる。	○	・北側集水樹・南側集水樹が支障となるため、集水樹の車道外への移設と水路ボックスの付け替えが生じる。(施工延長: 53.5m) ・上記より、A案と比較して集水樹への影響は大きい。	△
事業費	75.6百万円	△	64.5百万円	○
総評	交差点の安全性、平均遅れ時間、用地買収範囲、事業費に優れる『B案:ラウンドアバウト案』が最良案である。			

4. 米原市長岡自治会との合意形成

(1) 米原警察署との合同説明会

これまで点滅信号機を撤去したり、バイパス整備に伴い交通量が少なくなった旧道部の信号機を撤去した事例は県内でもあったが、ラウンドアバウト化による信号機撤去は関西でも初の事例となる。

本交差点は大東中学校への通学路にも該当するため、歩行者、自転車への安全性を心配されることも想定されたため米原警察署と協力し、説明会等を開催した(図-4)



図-4 米原警察署との合同説明会

3回の説明会を開催し、a)歩行者や自転車への安全性の確保、b)大型車が進入したときの対策、c)交差点南東側住宅地への進入方法の確保、の3点を地元自治会からの要望事項とされた。

(2) 自治会要望への対応

a) 歩行者、自転車への安全対策

図-5のとおり横断歩道設置箇所については、『ラウンドアバウトマニュアル』には、環道の外形線から横断歩道までの距離は車両1台(小型自動車L=4.7m≒5.0m)が滞留できるスペースを設けることが基本となっているが、横断歩道位置を環道から遠ざけ過ぎてしまうと、流出車両から横断歩行者を視認しにくくなるとともに、横断歩道への接近速度が高くなる場合がある。南北の道路はカーブして環道に取り付いており、環道に対して鋭角に交差しているため環道内の見通しが悪いため、特に視認性向上を図る対策を取る必要があると考えた。



図-5 横断歩道設置箇所の形状

ここで流出車両の台数に注目すると、ピーク時交通量は少なく(3~7台/分)、流出車両の歩行者横断待ちによる環道内の渋滞が起きる可能性が低い。

そこで、環道から流出する車両が歩行者を認識しやすくする案として、環道から3.0m離れた位置に横断歩道を設置する案を採用した。

**b) 大型車が進入したときの対策**

本交差点の設計車両は、表-4、図-6のとおり『ラウンドアバウトマニュアル』より、主設計車両を小型自動車等、副設計車両を普通自動車とし交差点形状の計画を行った。

表-4 設計車両

ケース	ラウンドアバウトの存する地域	適用の箇所の例	設計車両		
			セミトレーラ連結車	普通自動車	小型自動車等*2)
1	市街地部	市街中心部での交差点	×	b	a
2		生活道路(住宅地)での交差点	×	×	a
3	市街地以外	セミトレーラの多い臨港道路等の交差点 <sup>*)</sup>	a	—	—
4		郊外部での幹線道路交差点	b	—	a
5		生活道路(地方部)での交差点	×	b	a

a: 主設計車両、b: 副設計車両、—: 設計対象外、×: 走行しない

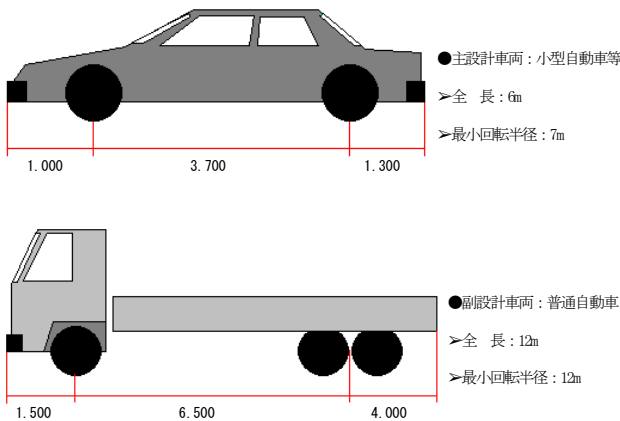


図-6 設計車両

本交差点が「市街地以外の生活道路(地方部)」であるため、主設計車両を全長6.0mの小型自動車等、副設計車両を全長12.0mの普通自動車とし、セミトレーラーについては走行しないものとして設計しているが、南北方向からセミトレーラーが当該交差点に誤侵入してきた際の対応について検討をおこなった。

副設計車両が普通自動車(分離島あり)で交差角が80°~90°である場合、外径の目安は27mから31mとなるが、セミトレーラーが周回できるような外径を確保しようとするると35m程度となり、経済性や用地買収範囲の点で不利となる。

そこで、小型自動車等と普通自動車により検討を行った後、セミトレーラーが左折方向のみ通行できる

よう、図-7のとおり外側をゼブラ処理とすることとした。

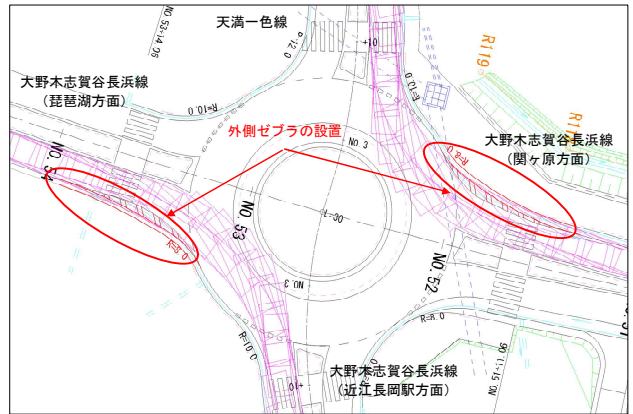


図-7 セミトレーラー対応策

**c) 交差点南東側住宅地への進入方法の確保**

ラウンドアバウト交差点にすると安全性を考慮して本線シフト区間に分離島を設置することとなる(図-8)分離島の設置により、出入り方向が限定されるため、設置後の交差点南東側住宅地への出入り方法について検討をおこなった。

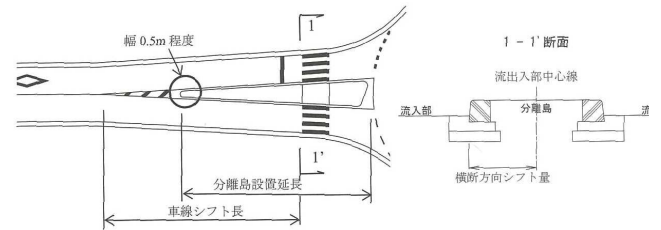


図-8 分離島の形状

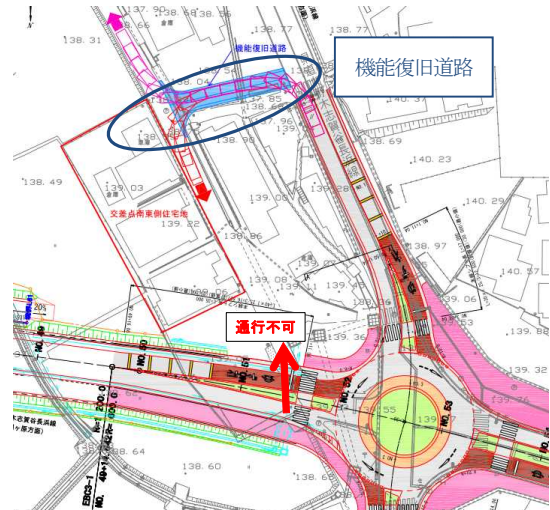


図-9 交差点南東側住宅地への進入方法

交差点の左折イン左折アウトを運用すると、現況の出入りと比較して約4分(600m程度)迂回することとなる。分離島の一部を開口するような処置や、環道内に機能復旧道路を取り付ける案を検討したが、安全上の課題が残る。

そのため、追加で用地買収が必要となるが、図-9のと



おり交差点の南側（青色着色箇所）に機能復旧道路を設置し、安全性と利便性を確保することとした。

## 5. ラウンドアバウト導入によるメリット

### (1) 信号待ち時間の解消

十字交差点とラウンドアバウトにおいて、各交差点の平均遅れ時間を算出し、交差点構造の違いによる平均遅れ時間の差を検討した。

信号制御における平均遅れ時間の算出にあたっては、『改訂 交通信号の手引 P.14（社団法人 交通工学研究会）』に従い、Websterによる導出方法により平均遅れ時間を算出し、ラウンドアバウトにおける平均遅れ時間については、『ラウンドアバウトマニュアル P.24～30（社団法人 交通工学研究会）』に従い算出した結果、信号交差点と比較してラウンドアバウトの方が約4～7秒ほど平均遅れ時間が短くなった（表-5）本交差点にラウンドアバウトを適用することにより、交通の円滑化が望めることが分かった。

表-5 信号設置時とRAB設置時の平均遅れ時間の差

路線	信号制御における平均遅れ時間(s)	RABにおける平均遅れ時間(s)	平均遅れ時間の差(s)
①天満一色線 (伊吹方面)	13.1	6.1	-7
②大野木志賀谷長浜線 (関ヶ原方面)	左直	5.6	-4.2
	右折		-6.7
③大野木志賀谷長浜線 (近江長岡駅方面)	10.7	5.5	-5.2
④大野木志賀谷長浜線 (琵琶湖方面)	左直	5.3	-5.1
	右折		-4.5

### (2) 安全性の向上

ラウンドアバウトは、通常の十字交差点に比べて車両間交錯点が削減される。また、環道交通が優先かつ一方通行であり、流入車両の速度を抑制させる交通規制であるため、出会い頭事故や右折対直進事故のような重大な衝突事故は起こらない。

分離島があることで歩行者が横断歩道を渡る際には、基本的に片一方からの車両のみに注意すれば良いため、歩行者の安全性向上にもつながる。

### (3) 災害時の対応力向上

仮に地震などの自然災害による被害にあったとしても、道路構造本体が大きく損傷していなければ、補助電力や警察官の交通整理を必要とせず機能し、平常時とほぼ同様の安全で効率的な運用が期待できる。

海外では無信号・信号交差点からの改良が飛躍的に増加し各国が競って設置している状況であるが、自然災害の多い日本ではさらに導入意義が強いと考える。

### (4) 環境負荷や維持管理費の軽減

信号制御に必要な電力消費を抑制でき、信号待ちによるアイドリングが不要になるため環境負荷の軽減につながる。

また、信号交差点では通過車両は高速であり青色に切り替わる際に一斉に発進するが、ラウンドアバウトでは、随時ランダムに低速走行であるため、騒音が起こりにくく周辺環境の向上にもつながる。

更に、経済性については、信号機にかかる電気代や点検・修繕などの維持管理費が削減されるという効果も見込める。

## 6. 結論

導入可能性の検討、米原市長岡自治会との調整を経て、2018年(平成30年)2月に長岡北交差点へのラウンドアバウト導入(図-10)が決定した。

これまで、一般的に平面交差点部の交通整理方式は一時停止等の交通規制か信号制御しか選択肢はなかったが、これらに代わる選択肢としてラウンドアバウトの評価が高まり、計画段階から交差点形状の選択肢が広がることは、今後道路事業を円滑に進めることにつながるものと考えられる。



図-10 VR作成データ

謝辞：本報告をまとめるにあたり、滋賀県警察本部をはじめとした各関係機関に資料提供をいただいた。記して感謝致します。

### 参考文献

- 1) 一般社団法人 交通工学研究会：ラウンドアバウトマニュアル
- 2) 社団法人 交通工学研究会：改訂 交通信号の手引
- 3) 平成29年度 第C602-4号 大野木志賀谷長浜線補助道路整備設計業務委託

# 一般国道2号姫路大橋の疲労亀裂対策について

藤森 海松<sup>1</sup>・宮永 達也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 姫路第二維持出張所 (〒671-0103兵庫県姫路市大塩町宮前7)

<sup>2</sup>加古川市 建設部 道路建設課 (〒675-8501兵庫県加古川市加古川町北在家2000) .

姫路バイパス姫路大橋において、2018年度(H30)より亀裂あて板補修工事を進めている。姫路大橋は、橋梁定期点検の結果、上下線の合計で約4,000箇所の塗膜割れが確認されている。疲労亀裂は発見された亀裂の進展状況に応じて適切な対策が求められるため、全数調査が原則である。本稿では、亀裂発見後の対策方針について記述する。

キーワード 疲労亀裂、あて板補修工法、ストップホール、予防保全、事後保全

## 1. 姫路大橋の概要

姫路大橋は、兵庫県姫路市中心部の南側に位置し、一般国道2号姫路バイパスとして二級河川市川に架橋する橋長252mの橋梁である。本橋の上部工形式は単純合成鉄桁橋(6連)であり、本線6車線および側道2車線の上下線分離構造である。いずれも1972年(S47)に竣工され、約47年が経過した橋梁である。

1日の交通量が約12万台、大型車混入率は21%(H27交通センサス)と高い値となっている。



写真-1 橋梁全景

2012年度(H24)の橋梁定期点検の目視の結果、6径間の合計で4000箇所を超える塗膜割れが発見された。

その結果を受け、2013～2015年度(H25～27)に、社

会資本の整備や管理に関わる産学官でつくる「新都市社会技術融合創造研究会」の中の「鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究」プロジェクトの一環として、疲労亀裂調査方法や補修方法等の検討が行われた。

2014年(H26)には試験的に第6径間において磁粉探傷試験(MT)および削り込みを実施して、亀裂の状態を確認し、大きな亀裂がないことを確認した。亀裂が母材に進展するなどの対策を急ぐような状況ではないことが確認できたため、対策を段階的に実施する計画とした。

2016年(H28)11月に行われた「鋼橋の疲労亀裂調査の効率化に関する研究」において、亀裂対処法に新たな知見が加わったことを受け、2017年度(H29)に補修設計の見直しを行い、2018年3月～2019年3月までの1年間、「国道2号姫路大橋(上)他橋梁維持補修工事」(施工:ショーボンド建設株式会社)により本格的な補修事業を開始した。

事業実施計画上の理由により、全対策を、全範囲に対して実施することは困難である。ここでは、橋梁ドクターへのヒアリングを実施し、その結果を踏まえて、有効的な対策となるよう優先順位を検討し、最新の知見に基づく亀裂あて板補修を実施した結果を報告する。

## 2. 疲労損傷の種類

2013年度(H25)の補修設計において、疲労亀裂を「パターン①～⑩」に整理し、当時の知見に基づいて、疲労亀裂パターン毎に標準化した対策がとられている。

図2に調査対象の損傷パターンを、表1に発見された塗膜割れの内訳を示す。

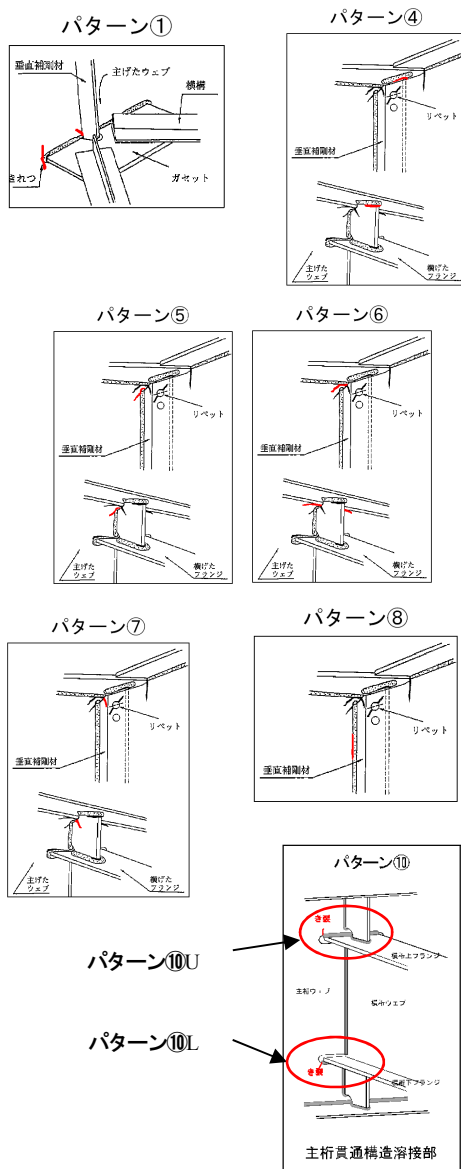


図-1 亀裂のパターン

亀裂パターン番号	塗膜割れ数	亀裂あり	亀裂率
①径間部		4	
①支点部	608	33	1%
④	1227	547	45%
⑤	453	53	12%
⑥	260	8	3%
⑦	586	2	0.3%
⑧	198	7	4%
⑩U(上FLG)	891	30	14%
⑩L(下FLG)		99	
計	4223	783	19%

表-1 姫路大橋における塗膜割れおよび亀裂箇所数

### 3. 亀裂確認と磁粉探傷試験 (MT)

#### (1) 疲労亀裂調査方法

疲労亀裂の調査については、各種ある調査方法の中で、確実に疲労亀裂を確認することができる磁粉探傷試験 (MT) によりすべての塗膜割れについて実施した。

その結果、これまでの橋梁点検および今回の補修工事

の調査で確認された塗膜割れは4223箇所であり、MTにより確認された疲労亀裂は783箇所 (約19%) であった。主桁～横桁に確認された亀裂の状況について、代表的な写真を以下に示す。



写真-2 パターン①の塗膜割れ

#### (2) 亀裂処理方針

疲労亀裂は、亀裂先端に極端な応力集中が生じるため亀裂が進行することが知られている。したがって、亀裂の進行を防止する第一の手法として、亀裂の先端を除去する「亀裂処理」が必要となる。

亀裂先端部の応力を緩和した状態で経過観察する方法として、亀裂先端部にストップホールを施工し、亀裂先端を除去する。

一方、亀裂長が短く、ストップホールを施工することができない亀裂については、バークライナーにより、削り込みを実施する。削り込みは最大2mmとするため、亀裂が除去できない場合が発生する。

2018年度 (H30) の補修工事においては、最大2mmの亀裂除去を実施し、亀裂が除去できなかった場合には、状況を写真およびスケッチにて記録し、橋梁ドクターへの相談を経て、あて板補強の実施要否について決定した。なお、ストップホールを施工しなければならないような亀裂は確認されなかった。

### 4. 亀裂対策方針について

MTにより疲労亀裂が確認された箇所についての対策方針は、2018年 (H30) 11月9日に、近畿地方整備局の橋梁ドクターである関西大学 坂野教授、法政大学 森客員教授、大阪市立大学 山口教授に現地診断していただき、以下の対策を取っていくこととした。

- ① すべて「2mmまでの削り込み」を実施する。
- ② 削り込みで疲労亀裂が消失すれば経過観察とする。
- ③ 削り込みを行っても疲労亀裂が残存した場合、亀裂が短い場合は、亀裂が完全に除去できるまで削り込み、あて板補修を行う。亀裂が長い場合は、亀裂先端にストップホールを施工し、あて板補修を行う。
- ④ 対策順位 1 としては、「パターン①径間部」および「パターン⑩L (下フランジ)」を優先する。対策

順位2としては、「パターン①径間部」, 「パターン⑩U (上フランジ)」及び「パターン④~⑧」とし, 「パターン④については, パターン⑤, ⑥, ⑦, ⑩Uの亀裂と複合しているものを優先する。

- ⑤ パターン④のウェブギャップ部で亀裂にあて板補強に向けての訓練を実施する。

(1) 亀裂対策方針

a) 対策順位1

パターン①径間部およびパターン⑩Lを優先順位1とする。

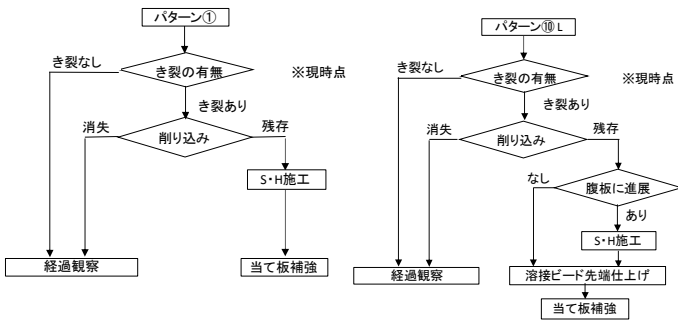


図-2 亀裂対策フロー

b) 対策順位2

パターン①支点部, パターン⑩U およびパターン④~⑧を対策順位2とする。

パターン④についてはパターン⑤, ⑥, ⑦, ⑩Uの亀裂が複合している部分を優先する。

※ 対策順位1の施工に併せて, パターン④のウェブギャップ部で亀裂に対するあて板補強施工に向けて施工者の技能向上訓練を実施する。

(2) あて板補強図

a) パターン①

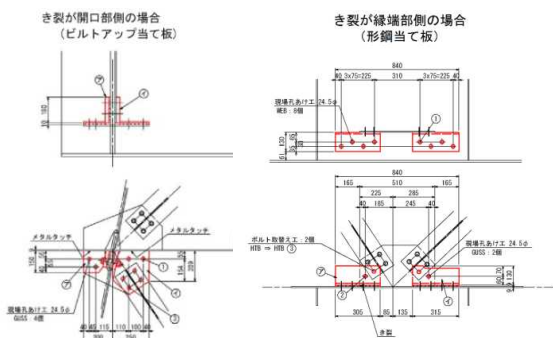


図-2 パターン①のあて板補強図

新都市社会技術融合創造研究会の研究により, 施工性・経済性ともに向上した対策方法であり, これまで施

工されて来た3面補強に比べ, 容易に設置可能な形鋼による補強で, 十分な疲労寿命の改善効果がある。

b) パターン④

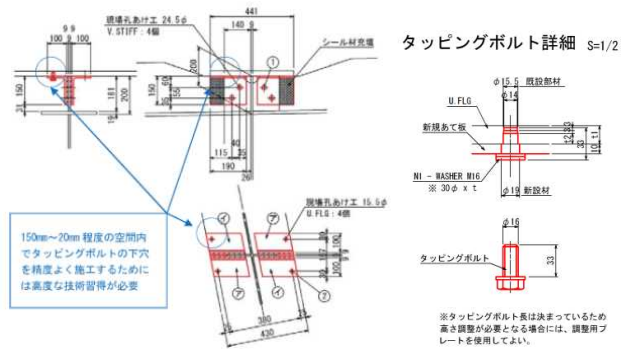


図-3 パターン④のあて板補強図

新都市社会技術融合創造研究会の研究により, これまでの半円切り欠きに比べて, より疲労寿命の改善効果が高い方法が示された。ただし, 施工には高度な技術が必要であり, 橋梁ドクターに相談しながら施工者の技量が向上するよう段階的に実施していく必要がある。

c) パターン⑩

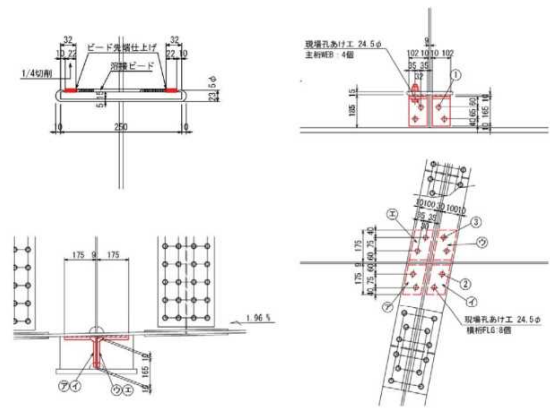


図-4 パターン⑩のあて板補強図

新都市社会技術融合創造研究会の研究により, 施工性・経済性ともに向上した対策方法である。これまでの3面補強と比べ, 容易に設置可能な形鋼による補強で, 十分な疲労寿命の改善効果がある。

4. 国道2号姫路大橋 (上) 他橋梁維持補修工事での対策内容

2018年 (H30), 国道2号姫路大橋 (上) 他橋梁維持補修工事において, 全ての疲労亀裂について, 2mmの削り込みを実施した。

その結果、783箇所<sup>①</sup>の疲労亀裂が695箇所となり、11%亀裂を除去することができた。

残りの疲労亀裂について、あて板補強が必要な箇所は345箇所となり、そのうち今回の工事では、ボルト調達の関係で河川上を優先順位として、44箇所あて板補強工を実施した。残りのあて板必要箇所については、次年度以降に実施する予定である。

表-2 姫路大橋における亀裂除去およびあて板必要箇所数

亀裂パターン番号	塗膜割れ数	亀裂あり	亀裂率	2mm削り込み後の亀裂除去数	亀裂除去率	2mm削り込み後の亀裂残存数	当て板必要箇所数 ※1、※2	今回工事での当て板施工数
① 径間部	608	4	1%	1	25%	3	3	2
① 支点部		33		1	3%	32	26	17
④	1227	547	45%	73	13%	474	233	0
⑤	453	53	12%	8	15%	45	4(28)	0
⑥	260	8	3%	0	0%	8	0(8)	0
⑦	586	2	0.3%	0	0%	2	0(1)	0
⑧	198	7	4%	0	0%	7	3(5)	0
⑩U(上FLG)	891	30	14%	1	3%	29	23	0
⑩L(下FLG)		99		4	4%	95	53	25
計	4223	783	19%	88	11%	695	345	44

※1 き裂の数とあて板必要箇所数は必ずしも同じ数ではなく、あて板1箇所<sup>①</sup>で複数のき裂を含む場合がある。

※2 ①内の数字はパターン①の桁端のスカーラップ部または④の対策と重複している箇所数(外数)

### (1) 削り込み工

施工手順を以下に示す。

- ① 塗膜割れ箇所に対するMTを実施する(亀裂箇所のみ手順②へ)。
- ② 棒グラインダーを使用し、先端工具は超硬バーを使用して、深さ2mmまで削り込む(ディスクグラインダーは不可)。一度に亀裂を除去するのではなく、0.1mm程度ずつ削り込み、その都度MTにて、亀裂状況を確認する。
- ③ 完成(MT実施)。



写真4 削り込み工

注意点は以下のとおり。

- ① MT時に母材へ進展している箇所がないかを確認する(進展していれば別途ストップホール工の実施が必要)。
- ② 超硬バーを数種類用意し、施工条件に合わせて刃先を変更させる。また、2mm削り込み後、削り面を滑らかに仕上げる必要がある(角がたっていると、そこが脆弱部となり新たな疲労亀裂が発生する恐れがあるため)。
- ③ 施工完了後にも再度MTを実施し、母材への進展が

ないかを確認する。

### (2) あて板補強工

施工手順を以下に示す。

- ① あて板設置箇所の既設塗膜撤去を行う。
- ② 鋼材を設置し、高力ボルトにて締め付けを行う。
- ③ 鋼材設置後、現場塗装工を行う(F-11塗装系)。
- ④ 完成。



写真5 あて板補強工

注意点は以下のとおり。

- ① 既設塗膜に有害物質(鉛、PCBなど)の含有がないかを確認する。
- ② あて板鋼材はきちんと現場調査を行ってから工場製作を行う。実施しなければメタルタッチ施工できないなど、不具合を生じやすくなる。また、ボルトの種類に応じた方法にてボルトのトルク管理を行い、施工する。
- ③ F-11塗装系は厚膜塗装になるため、きちんと膜厚が確保できるように施工を行う。特に、下塗り材が膜厚不足を生じやすいので注意すること。

### 5. 今後の課題

今回の補修工事では、限られた工期の中で、現時点で確認された全ての塗膜割れ(4223箇所)についてMT調査を行い、発見された疲労亀裂(783箇所)について全て削り込みを行い、一部あて板補強(44箇所)を施工したものである。

疲労亀裂対策については、まだ、301箇所<sup>①</sup>のあて板補強が必要な箇所が残っており、引き続き対策を実施していく。

その中でも、施工スペースが狭く、上向きにタッピング型ワンサイドボルト(Thread Rolling Screw ; TRS)を施工しなければならないパターン④が多く残されており、橋梁ドクターに相談しながら施工者の技量を向上するよう段階的に実施して行く必要がある。

また、疲労亀裂(塗膜割れ)については、現在のところ「事後保全対策」となっているが、今後の点検で新たな亀裂発生や進展箇所が確認されると考えられるため「予防保全対策」についても検討が必要と考える。

# 街路樹リノベーション計画 ～量的豊かさから質的豊かさへ～

守 宏美<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 淡路景観園芸学校 (〒656-1726兵庫県淡路市野島常盤954-2) .

兵庫県西宮土木事務所が管理する阪神南地域(尼崎・西宮・芦屋市)の県道では、道路整備の進捗に伴い緑の量的拡大を図るべく多くの街路樹を植栽してきたため、緑豊かな都市景観が形成されてきた。しかし、植栽から30～50年が経過した街路樹が大木になり、倒木の増大や通行阻害、景観の悪化など様々な問題を引き起こしている。今後一層の緊縮財政が進む中、これらの課題に効率的・戦略的に取り組むべく策定した「街路樹リノベーション計画」と、これに基づき2018年度に現場で実施した結果について報告する。

キーワード 強剪定によらない街路樹管理 街路樹の老木化・大木化対策

## 1. 街路樹を取り巻く状況

全国的に、街路樹の老木化・大木化が進んでおり、各地で倒木による事故の発生や通行阻害、景観悪化などの問題が新聞で取り上げられている。兵庫県内でも、まち開きから30年が経過した三田市のニュータウンにおいて、街路樹による根上がりや信号の視界阻害などの問題が発生し、モデル的に街路樹の間引きや撤去を進めているが、反対する住民の署名活動が起きていることが新聞に取り上げられた。

## 2. 「道路緑化技術基準」の改定

このような時代の変化を踏まえ、道路緑化の技術指針となる「道路緑化技術基準」の大幅な改訂が2015年、27年ぶりに行なわれた。従来規定の無かった以下の3項目が新たに追加された。

- ① 設計時に、植栽する道路空間に見合った樹種選定、将来の姿を念頭に置いた樹木等の配置を行うべきこと。
- ② 道路巡回時の留意点、安全確保等の視点から道路管理者が実施すべき事項を規定。
- ③ 高齢化・巨大化した樹木の更新を規定。

福井市、名古屋市や神戸市などの自治体では、植え替えなどの対策を盛り込んだ指針や計画を策定し、先進的に課題解決に向けた取り組みを進めている。

## 3. 地域特性を踏まえた街路樹管理

街路樹は、環境保全や景観向上などの多様な機能を有しているが、都市化の進む阪神南地域では、特に以下の3つの視点に留意し、街路樹管理を進めていく。

### (1) 街の価値・ブランド力を高める

阪神南地域は、アクセスの良さや高い文化力、また優れた文教地区であることから、魅力的な住宅地として人気のエリアである。住宅地として高い価値を保ってきた要因の一つが「緑の豊かさ」である。県道は高速道路の出入り口や駅などの主要施設を結ぶ主要動線であることから、都市のイメージを形成する重要な施設である。県道において良好な緑景観を形成することが、地域のブランドを高め、地域活力の向上につながる。

### (2) 緑の防災ネットワークの形成

街路樹は火災時の火炎・熱風を遮断し、また、隣接建物からの落下物の直撃を防ぐクッションとなる等、防災面での効果を発揮する。阪神淡路大震災時に、街路樹が火災の延焼を食い止めたり、倒壊する建物を支え、道路に崩れ落ちるのを防いだ事例が報告されている。今後発生が予想される東南海・南海地震に備え、特に緊急輸送道路では、街路樹が「緑の防災ネットワーク」として機能することが求められている。

**(3) ヒートアイランドの抑制**

都市化の進展により夏場の輻射熱やコンクリート蓄熱によるヒートアイランド化が年々進んでいる。街路樹は緑陰を確保し、輻射熱を緩和することにより、熱中症を予防したり、気象を緩和することができることから、十分に緑陰が確保できる樹冠ボリュームのある街路樹の形成が必要である。

**4. 管内街路樹の課題**

西宮土木事務所では、約3,900本の街路樹（樹高3.0m以上の高木）を管理している（2019年3月末現在）。街路樹は、アスファルトやコンクリートで構成される他の土木構造物と異なり、生き物であるが故に、常に枝葉を広げ、根を伸ばそうとする。しかし、限られた空間の中で留まることを求められるため、様々な弊害が発生する。このため、これらの改善策を検討するべく、発生要因ごとに課題の整理を行った。

**(1) 大径木化・老木化による弊害**

街路樹が大径木化・老木化するにつれ、以下の問題が発生している。

**a) 倒木リスクの増大**

管内には、樹高10mを超え大径木化したカロリナポプラ、プラタナスの巨木が多数ある。（写真1）生長に伴い地上部のボリュームが大きくなると、必然的に風の影響を受けやすくなる。そこに老木化の影響により幹や枝に空洞が発生すると、倒木や落枝が発生するリスクが高まる。また、植樹枿が小さく、根の生長が抑制されている箇所では、大木になるほど上部と根のバランスが崩れ、倒木のリスクが高い状態となる。（写真2）特に、電線共同溝などの工事に伴い根を切断している箇所では、倒木リスクが非常に高い状態となる。



写真1 大径木化したカロリナポプラ



写真2 根の生長が抑制され、縁石を破壊（ケヤキ）

枝抜きや切り詰め剪定により上部のボリュームを下げることである程度のリスクを軽減できるが、大径木が倒

れると甚大な被害を及ぼすため、他の土木構造物と同様に空洞の有無などを事前に把握する必要がある。

**b) 根上がりの発生**

上部の生長に伴い、地下の根が生長・肥大し、舗装を持ち上げる「根上がり」が発生する。表層の根が肥大する特性のあるサクラや大木化したカロリナポプラ、プラタナス、ケヤキなどで根上がりの発生が増えている。

**c) 維持管理費の増大**

生長を続ける街路樹は、大径木化するにつれ管理作業に高所作業車が必要になり、また枝葉のボリュームが増えるため剪定単価が高くなり、維持管理費は増大していく一方である。厳しい財政事情から維持管理費の縮減が求められており、効率的・効果的な街路樹管理へと転換が求められている。

**(2) 不適切な剪定管理による弊害**

見通し障害や落ち葉の苦情に対応するべく、幹や太枝を一律にチェーンソーで伐採する「強剪定」を繰り返した結果、以下の問題が起きている。

**a) 道路景観の悪化**

樹木は、強剪定を受けると生存のため、伐採される前と同じ量の枝葉を確保しようと、大量の枝葉を発生させるが、栄養が足りず枝が軟弱で垂れ下がる。その結果、本来の樹形からかけ離れた樹形となり、箒型の樹形であるケヤキがシダレヤナギのようになり著しく景観が悪化する。さらに、垂れ下がった枝は、通行や見通し障害を引き起している。（写真3 図1）また、極端に枝葉を剪定されたイチヨウは、樹冠を形成することなく電信柱のようになっている。本来は美しい道路景観を形成する街路樹が、反対に景観を障害する結果となっている。

**b) 建築限界に抵触する枝葉の発生**

強剪定の影響により、本来は枝が発生しない幹の低い位置から枝が発生するため、建築限界に抵触する枝葉を増やす結果となり、通行障害を引き起こしている。

**c) 樹勢の衰え**

強剪定は太い枝を切断するため切断面が大きく、切口に腐朽菌が入りやすくなり、落枝の発生や樹勢が弱り、倒木のリスクが高くなる。



写真3 強剪定され樹形の崩れたケヤキ



図1 樹形図解

**(3) 不適切な樹種選定による弊害**

植栽時に、木の特性や生育環境と適合しない樹種を植栽したため、以下の弊害が起きている。

**a) 狭い歩道に大木となる樹種**

幅員の狭い歩道に大木となる樹種を植栽したため、空間スケールを超えて生長し、肥大した幹が通行を阻害したり、民地への枝・根の越境や大量の落ち葉を発生させ、多くの苦情が寄せられている。

**b) 倒木や幹折れしやすい樹種**

高度経済成長期に早期緑化を図るため、生長が早い根の張りが浅いニセアカシアを植栽した路線において、根返りによる大量の倒木が起きている。(写真4) また空洞が発生しやすいカリナポプラやシダレヤナギ、プラタナスにおいても、空洞による幹や枝折れの被害が多く発生している。

**c) 増殖し管理が困難になる樹種**

ニセアカシア、センダン、ナンキンハゼやシンジュなどは、種子が鳥などに拡散され、大量に自然増殖する。種子から生長した実生木は、生育が旺盛なため、低木の植樹帯を突き抜け、通行や見通しを阻害し危険な状態を作り出す。(写真5) 実生木は、根が張っているため伐根除去が難しく、根元から切除しても再生するため、維持管理作業の手間を増加させている。



写真4 台風の強風により根返りを起こしたニセアカシア



写真5 低木を突き抜け生長する実生木(センダン)

**5. 適切な管理に向けて**

街路樹は、他の道路施設と異なり、生き物であることに特殊性があり、樹木に関する知識・技能を持って管理することが必要である。しかし、本土木事務所では、このような職能を持った職員が必ずしも街路樹管理を担当する体制ではないのが現状である。そこで、担当職員と受託業者が、維持管理の目標や基本指針、管理方法を共有し、質の高い管理ができる体制に変えていくために、街路樹管理業務の仕様書の大規模な改訂を行った。

**(1) 管理の目的・基本方針の明記**

従来は、その都度の状況に合わせて受託業者が強剪定を実施しているケースが多かったことから、管理の目的

や基本方針を定め、街路樹の目標像を明確にした。

**(剪定の目的)**

樹木の健全な育成と樹形を整えることのみならず、路線全体の樹形の統一を図り、美しい都市景観を形成すること。

**(剪定の基本方針)**

剪定は、樹形のもつ自然樹形を基本とし、樹木固有の美しさを保つように行うこと。また、路線全体の樹形の統一を図るため、同一路線の樹冠・下枝の高さは、同高・同形となるように努めること。

**6. 管理方針の決定**

路線毎に街路樹の生育状況や生育環境を調査し、それらを踏まえ管理方針を決定した。また、その内容を記載した「街路樹カルテ」(図2)を作成し、受託業者はこのカルテに基づく管理をすることとした。これにより、年度毎に担当職員・受託業者が変わっても、共通の目標に向かって継続した管理ができる体制を整えた。

**(1) 街路樹調査の内容**

**(生育状況)**

樹種 樹高 幹周 枝張 樹形 病虫害の有無など

**(生育環境)**

歩道幅員 植樹柵などの形態 架線の有無 苦情の内容 周辺の土地利用等

**(目標樹高・枝張り)**

歩道幅員や民地とのクリアランスから求められる、街路樹が最大生育できる樹高・枝張を算出した上で、架線の有無や周囲の土地利用等を踏まえ、目標樹高・枝張を設定した。



図2 街路樹カルテ

**(2) 管理方針の決定**

街路樹の生育状況や生育環境等を調査したことにより、以下4つの管理方針に分類できることが判明した。そこで、路線ごとに、この方針に基づく管理方針を決定した。



**a) 育成管理型**

主幹となる幹の上部が伐採され、上方への生長を止められている街路樹が多く見つかった。上方へ主幹が成長できないと、下枝をあげていくことができないため、建築限界に抵触する枝がいつまでも存在することとなる。このような街路樹は主幹となる枝を育成し、上方成長を促す管理を実施することとした。(図3)

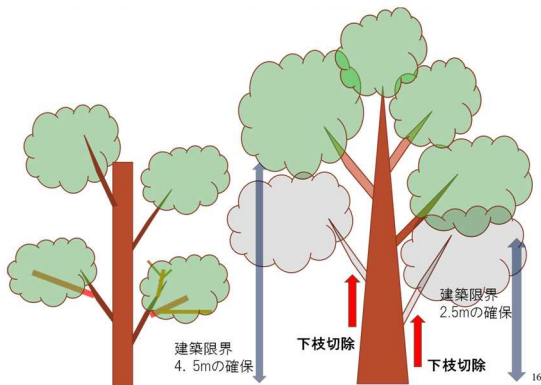


図3 育成管理型の管理方法

**b) 樹形作り直し型**

樹冠を構成する全ての枝を切除する強剪定を実施したため、切断箇所が瘤状になり本来の樹形からかけ離れている樹木については、樹形の作り直しを行うこととする。瘤から発生した枝をすべて切除するのを改め、初年度に一番枝を残し、次年度に一番枝から発生した二番枝、三番枝を残した剪定を実施することにより、自然な樹形に戻していく。(図4)



- 一番枝 幹から出た太い枝で樹冠のもととなる枝
- 二番枝 一番枝から分かれ、樹冠を形成する枝
- 三番枝 二番枝から分かれた、樹冠の外縁を作る細い枝

図4 樹形作り直し型の剪定方法

**c) 抑制型**

管理目標を超えて生長している樹木については、ぶつ切りによって基本樹形を乱さないように、切り返し剪定や枝抜き剪定により 2~3 年かけて樹形を縮小していくこととする。しかし、老木化・大木化が進むプラタナスやカリナポプラ等については、樹種更新を実施するま

での間、瘤から発生するすべての枝を切除し、生長を抑制する。(図5)



図5 抑制型の剪定方法(加賀ポプラ)

**d) 現状維持型**

目標樹形を保っているため、支障となる絡み枝やふところ枝、枯枝等を除去し、樹木の健全な育成を保ちつつ現況の樹形を維持する。

**(3) 記録用紙による引き継ぎ**

街路樹の樹形管理には、複数年度に渡る作業が必要である。そこで、受託業者に当該年度の剪定意図、次回作業への引き継ぎ事項を記録する「経年管理記録用紙」の作成を義務づけた。毎年この記録用紙を引き継いでいくことにより、担当者や受託業者が替わっても、継続した管理ができる体制を整えた。(図6)

街路樹(苗木剪定)経年管理記録用紙			
記録名	西宮連絡	樹形年度	平成30年度
記録場所	須磨(学研12区)	樹種	アオダモ
記録年月日	平成30年11月29日	担当者	伊藤 隆雄(伊藤建設株式会社)
記録者	平成30年12月1日	記録番号	株式会社グリーンランド
記録樹木ナンバー	NO.22		
施工前写真	施工後写真		
樹木の剪定状況写真(ついでに2~3年先の枝を撮りためておきましょう)			
樹木の剪定方針(樹木の成長と樹形維持を目的とし、樹木の健康と樹形の維持を目的とする)			
・剪定箇所から剪定箇所に変更。 ・剪定箇所を剪定する際の注意(剪定する際の注意)。 ・アオダモは冬に剪定する。長めに枝を留めておく。			
・樹木NO.17 樹木NO.42~43の記録の更新。 ・以前に実施の記録あり。			

**【剪定前】**

**【剪定後】**

**【剪定記録】**  
次年度作業への引き継ぎ事項

図6 経年管理記録用紙

**7. 苦情や架線との競合に対する対応方法**

**(1) 苦情や支障枝に対する対応方法**

信号や照明などの支障枝に対して、一律に強剪定することを改め、樹形を損ねない管理を行っていくために、当該枝のみの枝抜き剪定を実施することを明記した。また、落ち葉の苦情に対しては、枝抜き剪定や樹冠の縮小

等により葉の総量を減らすなど、強剪定によらない対処方法を明記した。

## (2) 架線と競合する場合の対応方法

通信線・電線通等の架線と競合する場合、架線等の下でぶつ切りにする剪定を行うと、著しく樹形を損ねる。

(写真6) そのため、架線との離隔を取りながら架線をまたいで樹木の上方成長を促していく管理方針に改めた。(写真7)

電力会社へのヒアリングで、強風等で枝が電力線を切断し停電になる可能性は低いが、枝が電線を巻き込み生長すると、強風により断線する場合があることや、変圧器に枝が接触する場合は漏電の危険性があることが判明した。そのため、枝が電線から1m、変圧器からは1.5m以上の離隔を取れるよう剪定をすることとした。また、常時枝が接触する場所は、関電やNTT等占有者との協議を行い、保護管の設置などを依頼した。



写真6 通信線の下でぶつ切りされている



写真7 通信線をまたいだ樹形管理（トカゲ）

## 8. 街路樹点検体制の整備

従前、道路パトロール時と、受託業者による作業時の目視点検により危険木を抽出していたが、点検項目や方法が個々の判断に任されており、また継続的に点検記録を蓄積する仕組みがなかった。そこで、「街路樹診断マニュアル」を作成し、点検項目と方法を定め、健全度を4段階で診断できるようにした。この点検は受託業者が作業前に実施し、点検結果の報告書を担当者へ提出することとし、記録を継続的に蓄積できるようにした。これにより、危険木を伐採計画に反映させたり、継続的に危険木を観察できる体制を整えた。

(診断の項目)

1. 樹皮枯死欠損・腐朽
2. 開口空洞・鋼棒貫入異常
3. キノコの発生
4. 傾斜
5. 揺れ

6. 落枝の危険性
7. 病虫害
8. 樹勢の衰え
9. その他、分岐部の異常、頂端切除、巻根、治療跡(総合判断)

- 1 = 健全か健全に近い
- 2 = 注意すべき被害が見られる→長期周期での観察(1年後)
- 3 = 著しい被害が見られる→短期周期での観察(半年後)
- 4 = 不健全→危険 撤去(植替え)

## 9. 伐採・更新計画の策定

従前は、倒木が発生した場合や幹が折れている等、明らかに危険な状態となってから街路樹を撤去していた。そこで、倒木が起きる前に、リスクの高い木から更新を進めていくために、伐採対象の選定基準を明確にし、該当する樹木のリスト化を図った。これにより、計画的に伐採・更新の予算化を図ることができるようになった。また、伐採後の更新については、歩道幅員が狭い場所や、十分な植栽基盤が取れない場所には、再度植栽しないこととした。一方、更新が可能な場所については、生育空間や植樹枠の状況、周囲の土地利用等を総合的に判断して、あらかじめ候補樹種をリスト化した。歩道のリニューアル工事や埋設管設置などの工事に伴い、街路樹の対応が必要となった際にも、この計画に則って伐採・更新か判断できるようになった。今後、実際に大規模な更新を行う際には、住民の意向も踏まえ樹種選定を進めていく必要がある。

### (緊急に伐採していくもの)

街路樹診断により、空洞や腐朽菌の発生等により不健全と判断され危険な街路樹。

### (計画的に伐採を進めていくもの)

1. 倒木しやすく街路樹に適さない樹種  
ニセアカシア シダレヤナギ カロリナポプラ等
2. 大径木化により、地上部と根のバランスが著しく崩れ倒木リスクが高いもの
3. 自然増殖し見通しや通行阻害を引き起こす樹種  
ニセアカシア、センダン、ナンキンハゼやシンジュ  
特にニセアカシアやナンキンハゼは、兵庫県の生物多様性に悪影響を及ぼす外来生物に指定されており、早急な対策が必要である。
4. 大径木化により幹が肥大し、十分な歩道幅員が取れない箇所

2018年は、緊急に伐採が必要と診断された44本の樹木に加えて、倒木しやすく、かつ増殖し弊害を引き起こしている、管内の全てのニセアカシアの伐採を実施した。また、一部植栽可能な場所では、シマトネリコに更新を行った。今後は、倒木リスクの高い大径木化している樹木を中心に計画的に伐採・更新を進めていく。

## 10. 知識・技能のレベルアップ

受託業者と担当職員が、街路樹管理の目標を共有し、かつ知識や技能のレベルアップを図り、現場での実践につなげるため、以下の取り組みを行った。

### (1) 管理方針説明会の実施

年度当初に、受託業者に管理方針を伝えるため、説明会を実施した。2018年は管理方針を大幅に変更した初年度であり、受託業者から負担増や作業時の苦情の増加などに対する反発がでるのではと危惧していたが、職人としてよい仕事をしたいという意見が多く、混乱なく新たな方針が受け入れられ、業務を進めることができた。

### (2) 実技講習会の開催

受託業者及び担当職員を対象に、街路樹剪定士の指導員である外部講師を招聘し、美しい街路樹を作るための基礎知識や剪定方法等に関する講習会を実施した。併せて、現場にて実技を主体としたモデル剪定講習会を行った。管内で業務を受託している4業者の職人が集まり、会社ごとに1本ずつ街路樹を剪定し、講師のアドバイスを受けた。参加者からは、街路樹の目標像を現場作業を通じて理解することができたと好評であった。また、業者同士の技術の切磋琢磨を図ることができ、技術レベルの底上げを図ることができた。担当職員も講習会を事例として現場での指示につなげることができ、実技講習が有効であることが分かった。

## 11. 街路樹の住民理解に向けて

街路樹は街に潤いを与え、防災やヒートアイランドの抑制など都市にとって欠かせない機能を果たしている。しかし、住人にその機能を十分に説明できておらず、主に街路樹に直接面する住民の苦情を受け続け、現場の担当者が疲弊しているのが実情である。地域住民の街路樹に対する理解を深め、地域全体で美しい街路樹景観を育成していく気運が生まれれば、街路樹管理のレベルを上げていくことが可能となる。

その一つの取り組みとして、当事務所では小学校への出前授業の実施を行い、樹名板の作成や街路樹の記念植樹を実施した。(写真8 9)小学生を通して、街路樹の機能や必要性を広め、保護者や地域住民の関心と呼ぶことが期待できる。



写真8 小学生による記念植樹



写真9 樹名板の作成状況

## 12. 今後の課題

### (1) 業務評価制度の未整備

現在の街路樹管理業務委託において、成績採点制度がなく評価が行われていないのが実情である。そのため、美しい樹形を保つ丁寧な剪定を行っても、一律に強剪定を行っても評価の対象とならず、次年度以降の受託に結び付かないのが課題である。今後、受託業者の業務を評価し、次年度以降の受託へと影響する評価制度の導入が必要である。

### (2) 樹木健全度調査における専門診断の実施

他府県の事例として、大木化したケヤキの根に腐朽菌が入り込み、健全な状態のものが突然倒れる被害が起きている。現在、目視や打音等による初期診断しかできておらず、幹や根の空洞が観察できていないため、計測機器を使った空洞診断などの専門家診断を実施すべき段階にきている。

## 13. まとめ

今後、業務仕様書や街路樹カルテ等に基づき、適正な剪定管理を実施することにより、街路樹の健全な育成と樹形を形成する方向へと転換していくことが可能となる。また、老朽化・大木化により倒木リスクの高い木や不適切な街路樹を計画的に伐採することにより、街路樹の総本数を削減し、維持管理費の縮減を図ることができる。

街路樹の総本数の削減を図るが、適正な管理を実施することにより、十分なボリュームのある樹冠が形成されるため、都市景観は向上し、緊縮財政の元でも効率的な街路樹管理が可能となる。

今後の木の生長に伴い、緑量や樹形に変化が現れてくることから、住民からの苦情の発生や支障木の増加なども想定される。この結果を計画にフィードバックしながら熟度を上げていく必要がある。

本論文は、著者の前任地である兵庫県西宮土木事務所での成果をとりまとめたものである。