

# アーチリブ取替による吾妻橋の長寿命化 ～歴史的建造物を次世代へ継承～

大森 裕介<sup>1</sup>・上田 拓生<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京都 建設局 第六建設事務所 補修課（〒123-0851 東京都足立区梅田 8-13-24）

<sup>2</sup>東京都 建設局 道路管理部 保全課（〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1）

東京都では平成 21 年に策定した「橋梁の管理に関する中長期計画」に基づき、管理橋梁の予防保全型管理として長寿命化事業を進めている。吾妻橋は隅田川を渡河し、架設後 87 年にわたり供用され、都の歴史的建造物に指定されている著名橋である。この橋をそのままの姿で次世代に継承すべく、平成 23 年度から長寿命化対策工事を実施している。その対策工事の一環で、著しく腐食し、損傷が激しい水面付近のアーチリブに対し、交通開放したまま切断し取替えるという、過去に事例が確認されていない工法を採用した。本発表では、希少な施工方法を採用した都の歴史的建造物の長寿命化工事について報告する。

キーワード 著名橋，長寿命化，アーチリブ，仮支持材，鋼材腐食

## 1. はじめに

吾妻橋（図-1）は、特例都道上野月島線（第 463 号）浅草通りの支線が隅田川を渡河しているアーチ橋（表-1）であり、昭和 6 年（1931 年）に、関東大震災後の復興橋梁として東京市によって現在の形式に架設されて以来、87 年間にわたり供用されている東京都の貴重な土木遺産である。



図-1 吾妻橋全景（隅田川下流右岸から望む）

表-1 橋梁緒元

|      | 緒 元                  |
|------|----------------------|
| 路線名  | 特例都道上野月島線（第463号）浅草通り |
| 橋梁形式 | 上部工：2ヒンジ鋼製アーチ橋（3連）   |
|      | 下部工：中抜き橋台、壁式橋脚       |
|      | 基礎工：ニューマチックケーソン基礎    |
| 橋長   | 132.51m              |
| 総幅員  | 23.4m                |

初代吾妻橋は安永 3 年（1774 年）に木橋として架設され、その後、明治 20 年（1887 年）に隅田川で最初の鉄橋としてトラス橋に架け替えられた。しかし、関東大震災により木製の床板が焼け落ちてしまい、復旧の際に現在の形式に再架橋された。それ以降、現橋は幾度かにわたり、補修工事・耐震補強工事・長寿命化工事（表-2）などを実施している。

表-2 補修履歴

|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| ・昭和39年    | : アーチ支間補修工事                 |
| ・平成3～5年   | : 床版取替工事（RC床版→鋼床版）          |
| ・平成15年    | : 塗替塗装工事                    |
| ・平成23～25年 | : 橋脚耐震補強工事（ポリマーセメントモルタル巻立て） |
| ・平成27年    | : 橋面舗装・伸縮装置取替工事             |
| ・平成28～29年 | : アーチリブ取替工事                 |

本工事はこれまでの調査・点検において確認した水面付近の橋台部におけるアーチリブ腐食状況（図-2）を踏まえ、200年延命することを目標としてアーチリブの取替を行う長寿命化工事である。12時間で1万5千台という自動車交通量確保しながらのアーチリブ取替は、過去に事例が確認されていない工法であり、施工方法の検討や、施工・品質管理は非常に難易度の高いものであった。



図-2 アーチリブ腐食状況

## 2. 対策工法の検討と課題

本橋は海に近いことに加え、A1,A2 橋台の支承部は計画高水位 (H.W.L.) よりも低い位置にあり、潮の干満の影響を受けやすく、また水面に近いため、船舶往来時の飛沫帯となっており、非常に腐食しやすい環境にある。

このアーチリブの補修対策として、以下の3案を検討した。

- ①鋼板当て板補強工法
- ②炭素繊維シート接着工法
- ③アーチ部材部分取替工法

このうち、鋼板当て板補強工法は、腐食部分を鋼板で補強する工法であるが、腐食の主な要因となる鋼材が増えることや、景観が現況と異なってしまうことから不採用とした。

また、炭素繊維シート接着工法は、腐食部分に炭素繊維シートを接着させる工法であるが、塩分を含む水への適用性が明確でないことなどから不採用とした。

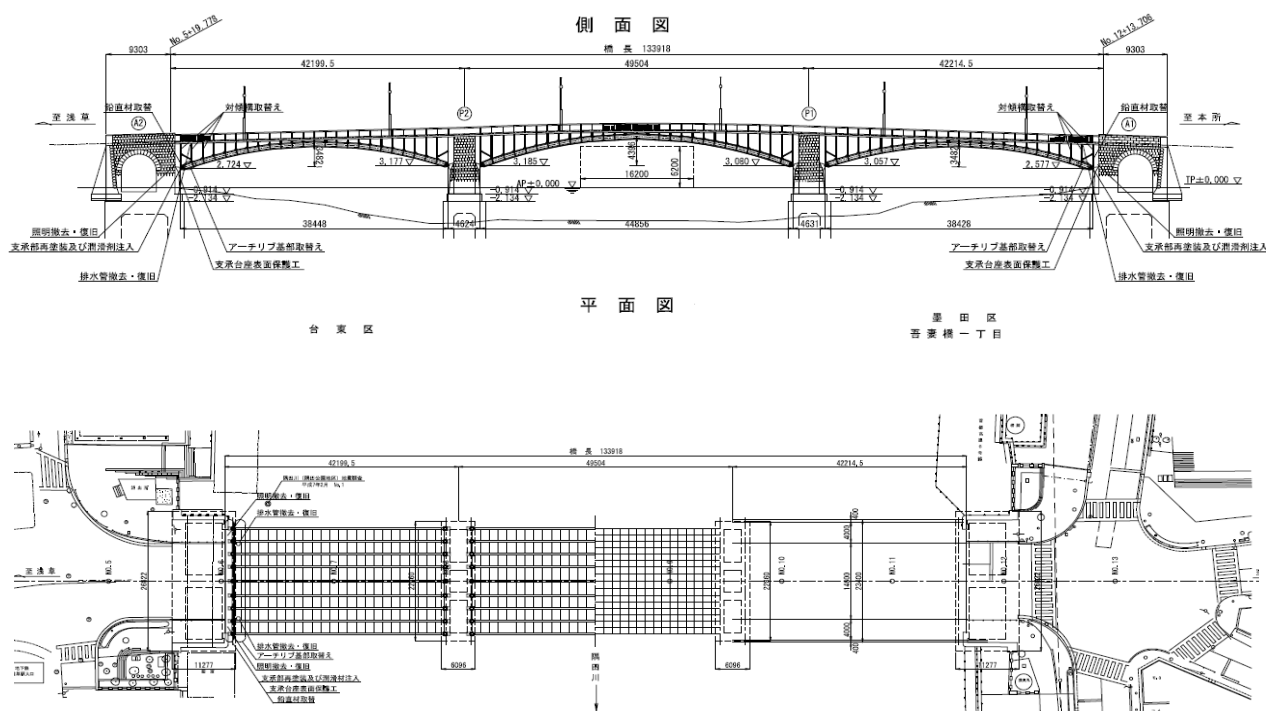


図-3 橋梁側面図・平面図

アーチ部材部分取替工法は、アーチリブを切断しそのまま新設部材に取替えるという工法で、最大限の長寿命化が図れるというメリットがある。しかし、過去に施工例が確認されていないばかりか、大規模な仮設材が必要になるなど、懸案要素が多くあったが、仮設材の転用や分割施工など、施工計画を工夫することで対応可能と判断し、本工法を採用した。

施工に際しては、このような供用中の橋梁のアーチリブを切断し取替えるという工法を誰もが経験していないことに加え、本橋は過去に橋台の移動による支間の修正工事が行われた経緯があり、アーチリブに現状作用する断面力の把握が明確にできない状況であった。そういった状況の中で、橋上の交通を制限せずに、アーチリブを取替える施工管理の方法、また、いくつもの補強材や鉛直材が設置されている極めて狭い空間（図-4）の中で、既設部材を傷つけることなく仮支持材を設置できるかが、大きな課題であった。



図-4 桁下鉛直材・補強材

### 3. アーチリブ取替概要

#### (1) 施工ステップ

合計で2橋台18主桁あるアーチリブ取替における施工ステップは以下の通りとなる（図-5）。

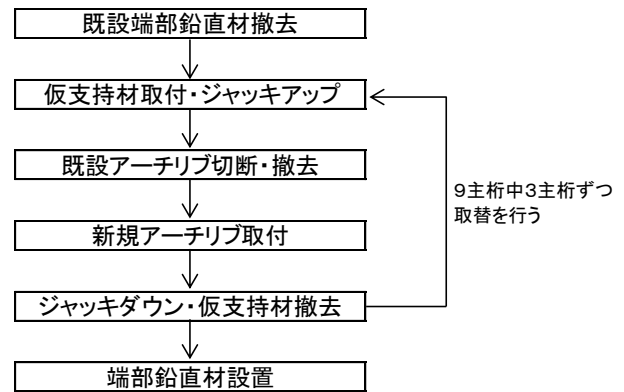


図-5 施工ステップ図

- ①アーチリブ取替時に支障となるため、端部鉛直材を撤去する。
- ②アーチリブに作用する断面力を一時仮受するための仮支持材を設置し、ジャッキアップを行う。
- ③アーチリブの断面力が仮支持材に完全に移っていることを確認し、切断・撤去を行う（図-6）。
- ④新規のアーチリブと残置部材を高力ボルトにて接合する。
- ⑤ジャッキダウンを行い、仮支持材の断面力を新規アーチリブへ再分配する。
- ⑥仮支持材を撤去し、事前に撤去していた端部鉛直材を現場溶接にて復旧する。

アーチリブ取替は9主桁中3主桁ずつ行い、第1施工の3主桁の取替えを終えた後、仮支持材を盛替え、再利用し上記①～⑥を繰り返した。



図-6 既設アーチリブ撤去状況



## (2) 施工管理

施工管理においては、アーチリブに通常作用している断面力が、確実に仮支持材（図-7）に受け変わっているかどうか重要なポイントであった。



図-7 仮支持材

本橋は9本の主桁で構成されているため、1主桁を切った際、周辺部材に負荷がかかっていないように確認しながらの施工が重要となる。このため、内側の主桁から施工することとし、図-8のように残置部材・切断部材といった全ての部材にひずみゲージや応力測定装置をセットするとともに、施工する桁の両隣の主桁にも測定装置をセットし、仮支持材のジャッキアップ前後の応力の移り変わりを確認することで、断面力の徹底管理をした。

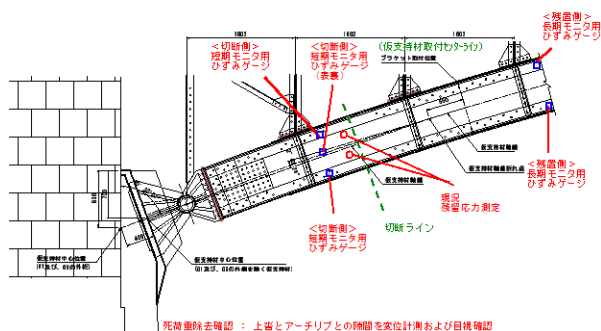


図-8 アーチリブひずみ・変位測定図

上記内容を確認するための試験施工を事前に比較的死荷重の小さい歩道下の G8 桁で実施した。結果として、ジャッキアップ時における既設桁への影

響は G8 桁で許容応力度の約 5%、隣接桁においては許容応力度の約 1% となり、ジャッキアップによる既設桁への影響はほとんどないことが判明した。このことから、残置部材及び両隣の主桁の応力にほとんど変化がない状態であることに加え、切断部材に応力がかかっていないことが確認でき、断面力が仮支持材に確実に受け変わったとの判断ができた（図-9）。

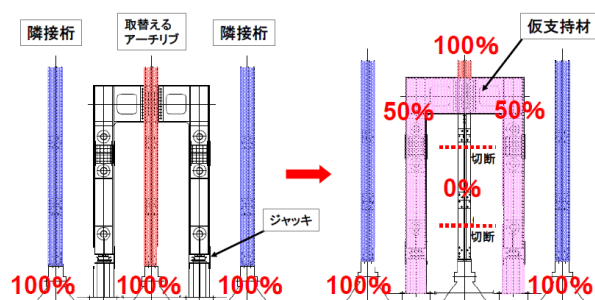


図-9 仮支持材設置、ジャッキアップ後

試験施工の際は、不測の事態に備え、一次管理値及び二次管理値を設定し試験施工を行ったが、管理値に迫る値は観測されなかった。

また、仮支持材の搬入については、発砲スチロールで仮支持材の原寸の模型（図-10）を作り、現地で何度も試験設置を繰り返した。その結果、4分割で橋梁内に搬入し高力ボルトで接合することで、狭隘な空間に仮支持材を設置することに成功した。



図-10 発砲スチロール模型



#### 4. おわりに

本工事のようなアーチリブを取替える事例は過去に確認されていなく、事前検討を何度も重ね、試験施工を行い臨んだ結果、無事工事を完了することが出来た（図-11）。難工事であったが、本工事が安全に施工できた事で、同様の問題を抱えている橋梁の参考になればと思っている。

また、貴重な土木遺産を最新の技術で長寿命化したうえで、そのままの姿を次世代へ恒久的に継承していくという重要な責務の一翼を担ったようで大きな充実感を感じている。



図-11 アーチリブ取替完了

本橋は、東京オリンピック・パラリンピックへ向け、平成 30～令和元年に塗替え塗装工事、ライトアップ工事（図-12）を行っており、その橋梁美で世界の人々を迎えてくれるところを見届けていきたい。

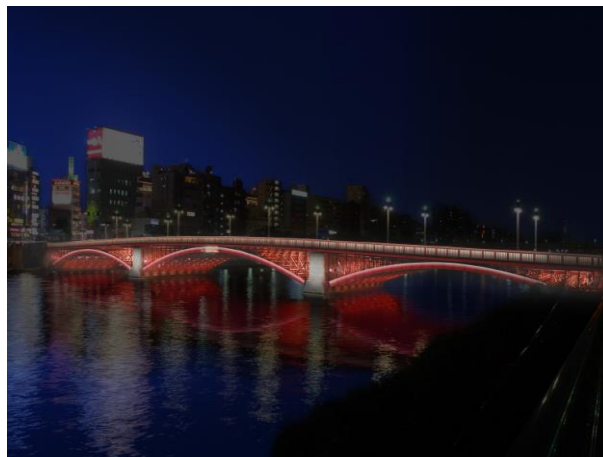


図-12 ライトアップ イメージ図

**謝辞：**本事業を進めるに当たり、多大な助言・ご協力をいただいた関係者の方々に厚く感謝を申し上げます。

# 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5,000m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)。

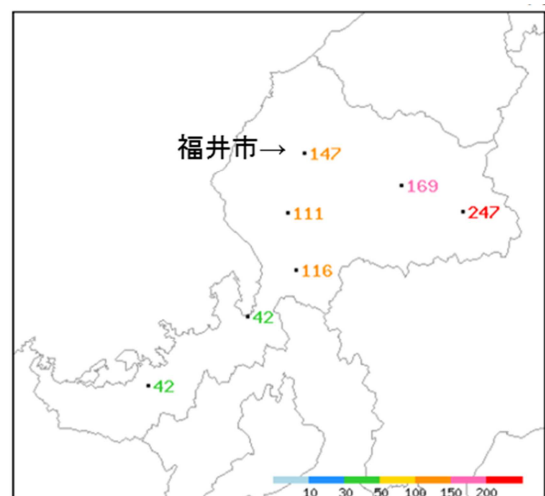


図-2 積雪深分布図

## (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1,500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門、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）。

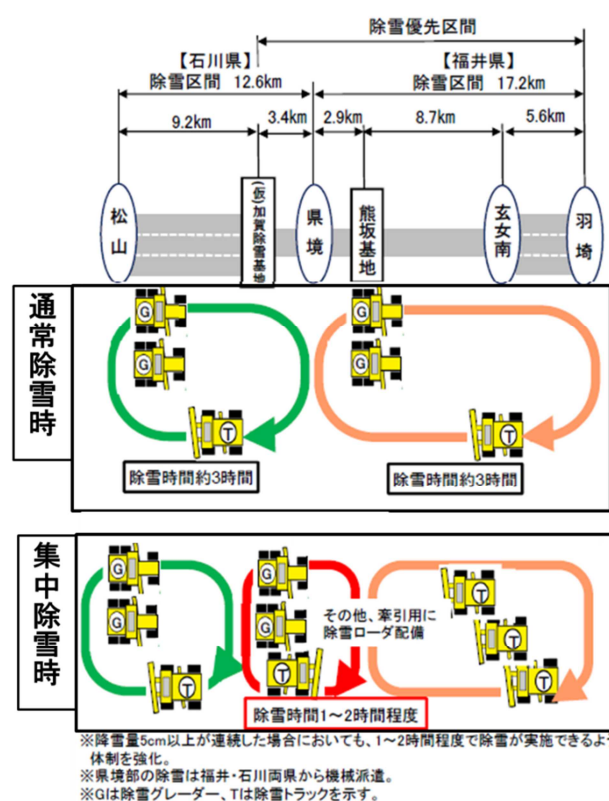


図-4 集中的な大雪時の福井～石川県境の除雪体制



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 タイヤチェック訓練

### 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、実際に一時的に国道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。

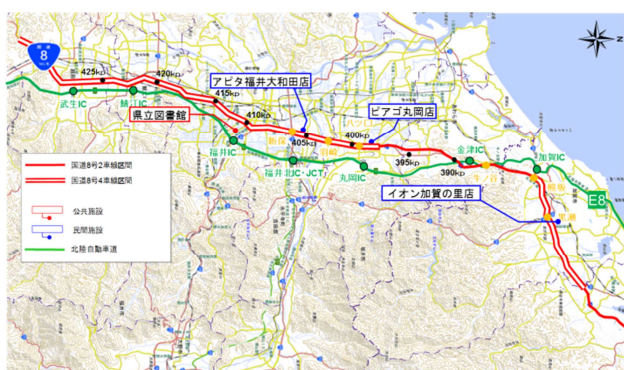


図-7 沿線施設位置図

#### (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、山間や海沿いの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

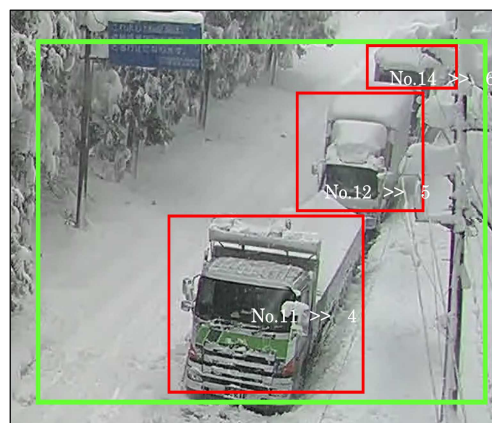


図-9 AIによる自動検知のイメージ



## (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。

# 赤谷川流域における直轄砂防事業について

## ～1日でも早い砂防設備の完成に向けて～

福岡 薫<sup>1</sup>・梅本 武史<sup>1</sup>・川合 康之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>筑後川河川事務所 九州北部豪雨復興出張所 (〒838-1511 福岡県朝倉市杷木池田483-1)

平成29年7月九州北部豪雨を契機として平成29年度より赤谷川流域で直轄砂防事業に着手しているところである。災害直後の厳しい現場条件にあり、事業期間が限られている中で河川事業と連携しながら赤谷川流域の土砂・流木の流出対策を進めており、赤谷川流域特有の砂防事業の考え方や進捗状況について報告する。

キーワード 九州北部豪雨, 砂防事業, 働き方改革

### 1. はじめに

「平成29年7月九州北部豪雨」では、赤谷川や白木谷川流域など、筑後川右岸流域で同時多発的な斜面崩壊等（写真-1）が発生するとともに大量の土砂や流木が流下し、多数の人的被害や家屋被害が生じた。



写真-1 赤谷川流域で発生した斜面崩壊 (H29.7)

このうち、赤谷川及び乙石川、大山川については、福岡県知事の要請を受け、改正河川法に基づく「権限代行」制度を全国で初めて適用し、福岡県に代わって応急復旧工事及び本復旧工事を国土交通省九州地方整備局において実施している。

更に、赤谷川流域は山腹崩壊が特に多く発生しているため、渓流や河道に大量の不安定土砂や流木が堆積している。このため、これら土砂等の再移動による二次災害発生を防止するため、同じく福岡県知事からの要望を受け、河道整備と一体的に災害対策を進めるよう、直轄砂防事業を実施しているところである。

具体的には、一定程度の降雨に対し山地部では土砂・

流木の流出を防止する「砂防堰堤等の整備」、河川上流では土砂・流木を捕捉する「貯留施設の整備」、洪水や土砂を下流まで円滑に流す「河道改修、河道形状の工夫」を実施し、土砂・流木を伴う洪水氾濫を防止することとしている。

復興出張所では、発災後、被害が甚大であることから緊急的に治水安全度を向上させるため、これまで応急的な対策を中心に整備を行ってきたところであるが、発災後2年を迎える現在、本格復旧に向けた整備を推進しているところである。

本報告では、河川事業と連携し地域の長期的な安全性を確保するため行う本格復旧事業の考え方や砂防事業で行っている工夫、現在までの進捗状況等について報告する。

### 2. 河川事業・砂防事業が連携した復旧基本方針

通常の河川災害、土砂災害の場合、二次災害の防止や再度災害防止を目的として、発生した洪水の規模を参考に、洪水による被害は「河川事業」、土砂による災害は「砂防事業」といった、それぞれの災害復旧事業を実施するのが一般的である。しかし、今回の災害は、通常の河川事業または砂防事業のそれぞれの考え方だけでは復旧後の河道の安定性や流域全体の長期的な安全性を確保するには十分でないことから、各事業が連携した洪水処理計画、土砂・流木対策を講じる必要があった。

このため、今回の豪雨で不安定化している土砂や流木が流域内に残存していることを前提に、河道対策と砂防堰堤等での流出抑制対策を効果的に組み合わせ、洪水被害の発生を防止し地域の安全性の確保を目指すことを基本方針として、「九州北部緊急治水対策プロジェクト」のもと、概ね5年間で緊急的・集中的に治水機能を強化



することが決定されている。

### 3. 赤谷川における復旧方策

前項で示したした復旧の方針基本方針に基づきとりまとめられた河川事業、砂防事業による復旧方策の主な概要は以下のとおりである。

- ・河川事業における計画規模は、都市化の状況や氾濫区域、人口、資産及び洪水規模、被害の状況等を勘案し設定。  
また、多自然川づくりについて検討、実施する。
- ・砂防事業では、今時出水後の緊急点検で応急的な対策が必要とされた溪流について砂防堰堤等の整備を優先的に実施する。
- ・豪雨による不安定土砂が残存し、不安定土砂が活発に動くことを前提に流出土砂量を算定。砂防域～河川域で連続した河床変動計算を実施し、顕著な堆積区間が存在する場合は、河道形状の工夫（復断面形状の採用、縦横断形状の変更）や砂防施設の工夫（砂防施設の追加配置、施設構造の検討）により土砂堆積を改善。
- ・河道計画や砂防計画の工夫だけでは土砂の流出対策の調整が困難な場合は河道内の貯留施設について検討。
- ・施設整備前後のモニタリングを行い、施設構造の変更、河道、砂防施設等の管理方法の見直しを行う。

このような方策について事業開始以降各関係機関と調整を行いつつ、河川事業、砂防事業ともに試行錯誤しながら、赤谷川流域の安全性確保の考え方としてとりまとめている。

### 4. 赤谷川流域における砂防事業の考え方

直轄砂防事業は、平成29年度より災害関連緊急砂防事業として赤谷川流域で発生した土砂災害について、流域内に堆積した不安定土砂等の再移動による二次災害を防ぐため応急的な仮設工事を実施、平成30年度より応急対策に引き続き、特定緊急砂防事業において緊急かつ集中的・重点的に概ね5年間での完成を目途に砂防堰堤等の整備に着手している。以降、今後行っていく本格復旧に対する考え方の概要について述べる。

#### (1) 河川と連携した整備、安全度の考え方

砂防事業では、土石流危険溪流を中心として溪流直下の人家等の保全対象を土砂、流木から守るために一定規模の降雨（1/100）による各溪流からの土砂、流木流出量を0にするための砂防堰堤等の整備を行う。一方で砂防施設を整備する各溪流からの土砂・流木流出を抑制することにより下流河道への負荷を抑制し、下流河道の土砂・洪水氾濫を防ぐ考え方としている。また、河川事業においても河道形状の工夫等を行い、砂防事業で抑えきれない土砂流出に対して土砂堆積を改善することとした。検討は、前述のとおり、砂防域～河川域の連続した河床変

動計算に基づきトライアル計算を行い河道の安定性をチェックしている。

あわせて、今回の災害と同規模以上降雨への対応として、農地改良復旧事業と連携した地盤の嵩上げ等を行うことにより一定規模以上の降雨、土砂流出に対しても地域の安全性確保を行うこととしている。

#### (2) 砂防事業における整備優先度

砂防事業では被災直後より行った緊急点検結果及び継続して行った危険度評価に基づき、土砂・流木が大量に残存し、家屋等被害の拡大の恐れや河道への土砂、流木流出の影響が大きい30溪流（図-1）を対象に事業を行うこととしている。

選定した溪流については、不安定土砂、流木量、下流への影響等の指標に基づき整備優先度を設定し、優先度が高いと評価した溪流から順次整備を推進することとしている。

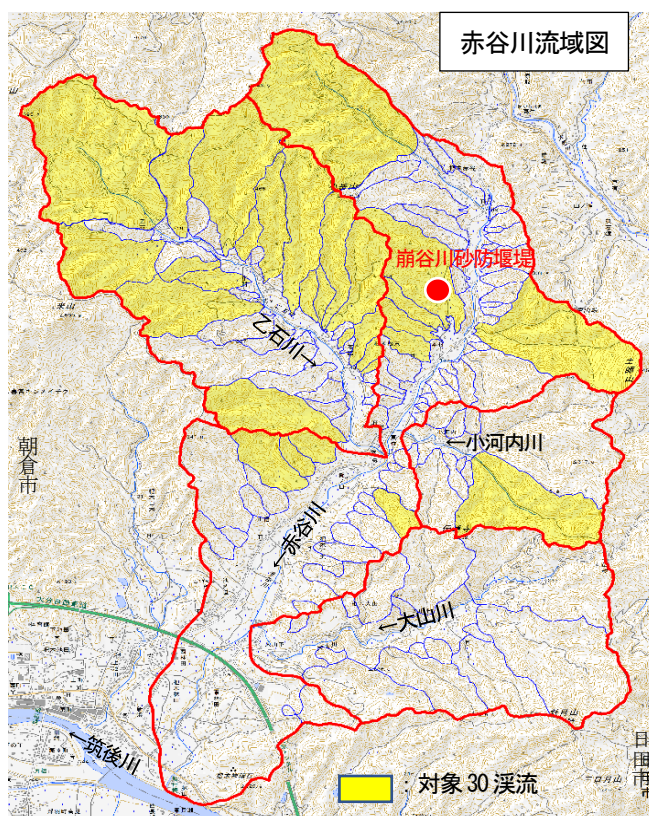


図-1 直轄砂防事業で行う対象30溪流

#### (3) 大規模崩壊斜面对策

H29月九州北部豪雨では、同時多発的な斜面崩壊が発生したが、中でも乙石川上流、小河内川支川汐井谷川において大規模な斜面崩壊が発生した。特に汐井谷川については地すべり性の大規模斜面崩壊であり、高度な技術力と学術的な知見が必要と判断し、土木研究所と相談しながら対策を進めている。





写真-2 汐井谷で発生した大規模斜面崩壊 (H30.12撮影)

#### (4) 土砂移動モニタリング

現在、大規模土砂生産直後の状態にあり、不安定土砂が多く残存するが、数年後には大規模土砂生産前のような安定した状態に戻ることを想定している。

将来供給土砂量が減少することも念頭に置き供給土砂量が減少した場合にも著しく河床が低下することなく安定した河道となるよう留意する必要があることから、土砂移動に関するモニタリングを行い状況を観測しながら対策方針を決定することとしている。

##### 【主な観測項目】

- ・地形変化（航空レーザー、定点写真）
- ・流砂量（ハイドロフォン、濁度観測）
- ・河床材料（河床材料調査、礫径調査）
- ・水位、雨量

#### (5) 土砂流出量のコントロール施設の整備

上述のとおり、将来の供給土砂が減少することを想定し、砂防領域では長期的な河道の安全、安定性を確保するため、土砂流出の経年変化に応じて土砂流出量をコントロールするための施設について検討を行っている。

具体的には、将来的に不透過型砂防堰堤を透過型に構造変更するなどの対応を計画しているが、土砂流出現象及び施設効果については不明確な部分も多いため、今年度より模型実験を行いつつ最終的な施設構造等を決定することとしている。

### 5. 事業効率化のための工夫

先に述べたように事業内容が多岐にわたるとともに事業期間が限られる中、効率的に事業を進めていくことが重要である。あわせて、発災後治水安全度が著しく低下している現状を踏まえ、段階的に事業効果を高め安全度を高めていくことが重要である。砂防事業では事業効率化、早期事業効果発現のため以下のような工夫を行っている。

#### (1) 事業スケジュールの短縮

各溪流からの土砂・流木の流出を防止するため、本復旧となる砂防設備の計画を応急対策（写真-3）の施工と平行して進めてきた。



写真-3 乙石川の溪流で施工した仮設堰堤（応急対策）

砂防設備本体着手工事に際しては、流域調査等の各種調査及び測量、計画、設計に加えて砂防指定地手続き、用地買収と通常本体着手まで3～4年の事業期間が必要となっている。事業期間が限られていることもあり、通常詳細設計が完了してから関係者との協議を進めるが、今回は予備設計段階から地元説明や関係機関協議を開始し、手戻りが無いように設計関係を取りまとめるとともに、砂防指定手続きや用地買収等についても初期段階から互いの担当者が一体となって連携調整に努めたことから、スケジュールの短縮につながり約1年半で本体工事着手に至っている。

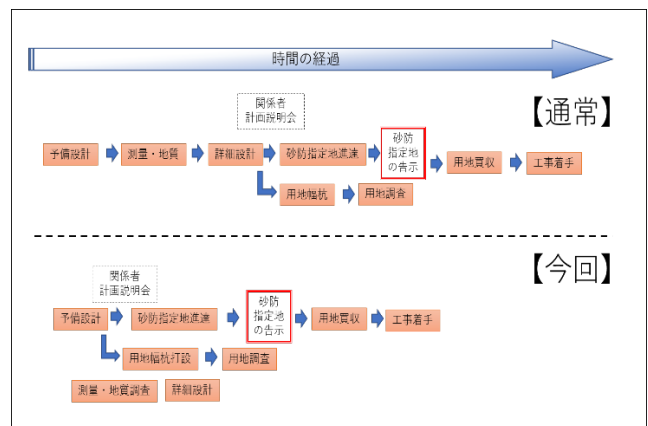


図-2 本体工事着手までの流れ（イメージ）

#### (2) 早期事業効果発現に向けた砂防堰堤の整備順序

九州北部豪雨で整備する砂防設備は大きく分けて、砂防堰堤工、溪流保全工の2つである。

九州北部豪雨の災害形態を踏まえると、最も重要であるのは土砂・流木流出の抑制であることから、堰堤本体工の設計、施工を優先している。溪流保全工については堰堤本体の整備後に行うこととし概ね5年間の整備スケジュールの中で完了させることとしている。

なお、砂防堰堤の整備については早くても2年以上の



歳月を要することから、早期事業効果を発揮させるため根どおし優先の施工を行うこととしている。

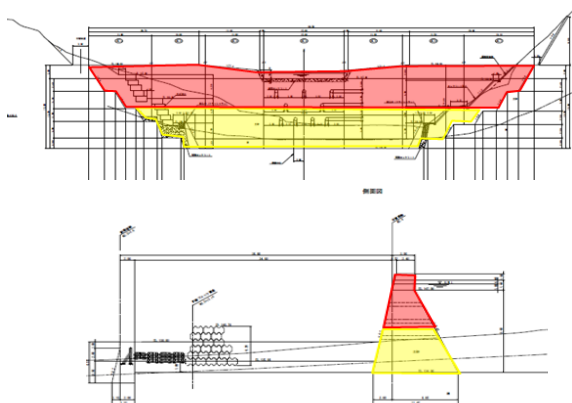


図-3 根通し優先の整備イメージ

### (3) 設計合同会議の開催

赤谷川右岸流域は、風化しやすい一面を持つ朝倉花崗閃緑岩が分布し、風化作用により砂状となった比較的粒径の小さい「真砂土」が多く堆積していることから、適正な施設構造、施設効果量を推定することが困難であり、砂防堰堤設計を行うための基本事項を統一する必要があった。このため、砂防堰堤の設計においては、各設計コンサルで考え方に相違を出さないことや効率的に設計を進めるため、定期的に各設計者が一同に介した設計合同会議を行っている。遠方の設計コンサルの方には負担を与えることとなったが、このことにより、発注者と設計者の意思統一がスムーズに行え短期間に設計を進めることが出来た。

### (4) 砂防関係所内会議の開催

砂防事業を短期に完了させるためには、各担当者が同一の目標に向かいながら業務を進める必要がある。

復興出張所では、少人数ながら計画担当、設計担当、用地担当、指定地担当、工事担当に別れ事業を進めているが、事業到達点を確認するため、毎週1回以上の所内会議を行っている。このことによりいつまでに何をやらなければ受けないのかが明確になるとともに各担当の遅れや抜けがあった場合は、その他の者がフォローするなどお互いに助け合いながら事業を進めることができている。

## 6. おわりに

砂防事業では、発災直後の平成29年8月より流域内に堆積した不安定土砂や流木による二次災害を防止のため緊急的に応急対策工事に着手して以来、地元の皆様のご理解とご協力を得ながら事業調整を進め、平成30年12月、崩谷川において直轄砂防事業として初めて砂防堰堤本体工事の着手に至った。他29溪流についても順次計画、調整を進めているところである。

なお、本格的な砂防堰堤工事の着手の先駆けとなった崩谷川砂防堰堤では、施工業者である森部建設（株）の発議により、平成30年12月19日に「安全祈願祭」が開催

された。

「安全祈願祭」終了後、地元区長からは、「早く事業を



写真-4 安全祈願祭の様子

進めてほしい、1年半が過ぎてやっと工事が始まり自分たちも頑張ろうという気持ちになった。」、朝倉市長からは「砂防事業が本格化していくことを期待。土砂災害を防止することは、地域の安全を確保するために重要であり、一日も早い完成を目指して、工事が進められることを願っている。」等、地域の安全と砂防工事への期待を込めた激励の言葉を頂いた。

現在、崩谷川砂防堰堤では基礎掘削を行っており、年度内の根どおし整備を行うべく、鋭意施工を行っている。

その他溪流についても順次用地取得が完了した溪流より整備を推進しているところである。



写真-5 整備が進む崩谷川砂防堰堤 (R1.5撮影)

平成29年7月九州北部豪雨発生から2年を迎える。九州北部豪雨復興出張所では平成30年4月1日の開所より地域に寄り添いながら、関係機関とも一体となって復旧・復興に全力で取り組んでいるところである。

引き続き、地域の皆様のご協力を頂きながら事業を進めるとともに、本復旧の更なる推進を図っていく所存である。

# コンクリートにおける表面被覆材の塩害防止効果

石垣 里彦<sup>1</sup>・富田 和之<sup>1</sup>

<sup>1</sup>内閣府沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 技術調査室（〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2-6-11）

那覇港の臨港道路において、海洋環境に 30 年程度の間暴露した 5 種類の表面被覆を行ったコンクリート試験体および実橋（波の上橋）において被覆材の性能およびコンクリートの劣化状況に関する調査を行った。コンクリート試験体および実橋（波の上橋）の調査の結果、被覆材の表面では劣化の程度にはばらつきがあったが、各種被覆材はコンクリート試験体では 30 年、実橋（波の上橋）では 26 年にわたりコンクリート中への塩化物イオンの侵入を防いでおり、高い防食効果を確保していたことが確認された。また、塗膜自体の遮塩性についても 30 年程度経過した後において、高い性能を保持していたことが確認された。

キーワード 海洋環境、暴露試験体、塩害、表面被覆、遮塩性、実橋

## 1. はじめに

海洋環境下に位置するコンクリートの劣化は、主に塩害による鉄筋腐食が原因である。この鉄筋腐食を開始させる要因は、外部から侵入してくる塩化物イオンである。鉄筋の腐食開始を防ぐ、もしくは開始時期を遅らせるためには、塩化物イオンの侵入を防ぐことが重要である。この塩化物イオンの侵入は、コンクリート表面を塗装材などで被覆することで防ぐことが可能となる。

今回の調査対象である波の上橋は、那覇港の那覇ふ頭～泊ふ頭～新港ふ頭～浦添ふ頭を結ぶ幹線道路である臨港道路港湾 1 号線の一部を形成する橋梁で 1980～1982 年に施工された。PC 橋である波の上橋は、海上に位置し、常時波しぶきや潮風の影響を受ける厳しい塩害環境であるにもかかわらず、「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説<sup>1)</sup>」が刊行される前であったため、かぶりが 3.5cm で施工されていた。この状態ではコンクリートが高品質であっても長期耐久性の確保は困難であるため、塩害対策

としてコンクリートに表面被覆を実施することが決定された。しかし、当時表面被覆の選定基準などは明確ではなかったため、選定の際の基礎資料となるデータを収集することを目的として、コンクリート表面に 6 種類の表面被覆を施した試験体の暴露試験が 1988 年に開始された。暴露開始後 15、30 年時においては、これらの表面被覆材の塩害防止効果を評価するため、試験体を解体し、詳細調査が行われた。また、実橋への試験施工（6 種類）が 1992 年に実施された。

2017 年に実施したコンクリート試験体の調査では、30 年にわたり各種被覆材はコンクリート中への塩化物イオンの侵入を防いでおり、高い防食効果を確保していたことが確認された<sup>2)</sup>。

本稿では、2018 年に実施した実橋（波の上橋）での調査結果（2018 年で 26 年経過）を報告する。また、コンクリート試験体の調査結果及び実橋（波の上橋）での調査結果から得られた知見についてもとりまとめて報告する。



図一 波の上橋位置図



## 2. 実橋（波の上橋）の概要

### (1) 構造物に関する履歴

波の上橋に関する履歴を下記に示す。かぶり（設計値）は、PC 鋼材：側面 75mm 底面 85mm，スターラップ：側面 35mm 底面 55mm であった。側面図、断面図を図-2 に示す。

- ・竣工（上部工）：1980-1981 年度
- ・調査（塩化物イオンの侵入状況確認等）：1989 年度等。
- ・表面被覆の適用

A1-P1 桁 1991.11.15～1992.3.31（竣工から 11 年経過と仮定），P1-P3 桁 1992.12.5～1993.3.31

- ・昨年度調査：2018.10.30-10.31（竣工から 37 年経過，表面被覆適用から 26 年経過）

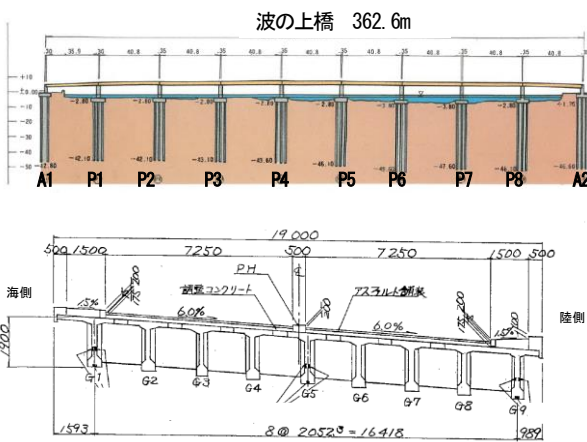


図-2 波の上橋側面図・断面図

### (2) 表面被覆材およびその適用状況

実橋に適用された表面被覆材一覧を表-1 に示す。なお、被覆材 B は暴露試験体にも適用されていたが、実橋では試験体とは異なり、「補強用のシート」が中塗り内に挿入されている。伸びに対する抵抗性を増加させるためと推測される。また、表面被覆の実施時に制定された、那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格（案）を表-2 に示す。なお、この規格は、施工前の材料に適用されるものであり、長期経過後においても満足しなければならないものではない。

区間毎の仕様を表-3 に、試験施工区間を含む A1-P1 桁の仕様を表-4 に示す。

表-1 実橋に適用された表面被覆材

| 表面被覆材仕様 | 工程    | 使用材料                 | 標準使用量 (kg/m <sup>2</sup> ) | 本施工への適用 |
|---------|-------|----------------------|----------------------------|---------|
| A       | 下地調整  | アクリル系ポリマーセメント        | -                          | ○       |
|         | プライマー | エポキシ樹脂               | 0.30                       |         |
|         | 中塗り   | アクリルゴム               | 2.00                       |         |
|         | 上塗り   | アクリルウレタン樹脂           | 0.30                       |         |
| B       | 下地調整  | ゴムラテックス混入セメントペースト    | 4.30                       | ○       |
|         | 下塗り   | エポキシ変性合成樹脂           | 0.14                       |         |
|         | 中塗り   | クロロレンゴム<br>(補強材：シート) | 0.87<br>1.15               |         |
|         | 上塗り   | クロロフルオロエチレン          | 0.58                       |         |
| C       | プライマー | エポキシ樹脂               | 0.11                       | ×       |
|         | パテ    | 無溶剤形エポキシパテ           | 0.60                       |         |
|         | 中塗り   | 弾性ウレタンゴム系            | 0.60                       |         |
|         | 上塗り   | ふっ素樹脂                | 0.15                       |         |
| D       | プライマー | -                    | 0.15                       | ×       |
|         | パテ    | -                    | 0.40                       |         |
|         | 中塗り   | -                    | 0.60                       |         |
|         | 上塗り   | -                    | 0.30                       |         |
| E       | プライマー | -                    | 1.80                       | ×       |
|         | 下地調整  | -                    | 1.70                       |         |
|         | 中塗り   | 無機質弾性塗料              | 2.10                       |         |
|         | 上塗り   | -                    | 0.40                       |         |
| F       | プライマー | エポキシ樹脂               | 0.10                       | ×       |
|         | パテ    | エポキシ樹脂系パテ            | 0.50                       |         |
|         | 中塗り   | 超柔軟型エポキシ樹脂系          | 1.05                       |         |
|         | 上塗り   | 柔軟アクリルウレタン樹脂系        | 0.12                       |         |

一：不明

表-2 那覇港臨港道路における表面被覆材の品質規格（案）  
（「平成 5 年度那覇港コンクリート構造物劣化度調査委託報告書」より引用）

| 項目           | 品質規格値（案）                                                                         | 試験方法                    |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 塗膜の外観        | 塗膜が均一で、流れ・むら・われ・はがれがないこと                                                         | JIS K 5400              |
| 耐候性          | 促進耐候性試験を300時間行ったのち、白濁化がほとんどなく、塗膜にわれ・はがれがないこと                                     | JIS K 5400              |
| 塩溶性          | 塗膜の塩素イオン透過量が $1.0 \times 10^{-10} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下であること        |                         |
| 防水性（水透過阻止性）  | 塗膜の透水率が $20 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下であること                              |                         |
| 耐アルカリ性       | 水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、塗膜にわれ・はがれ・軟化・溶出がないこと                                     | JIS K 5400              |
| コンクリートとの付着強さ | 塗膜とコンクリートとの付着強さが $A \text{ N/mm}^2$ 以上であること。（A が 2 以上：優、1～2：良、0.3～1：可と判定）        | JIS A 6910<br>(建築付着力試験) |
| ひび割れ追従性      | 0.6mm 以上                                                                         | 日本道路協会方式<br>(ゼロスパン伸び試験) |
| 透湿性          | 水蒸気の透過量が $A \text{ g/m}^2 \cdot \text{日}$ 以下であること。（A が 15 以上：可、5～15：良、5 以下：優と判定） |                         |

表-3 区間毎の被覆材仕様

|       | 施工年              | 仕様   | 平均塗膜厚(μ m) |
|-------|------------------|------|------------|
| A1-P1 | H3.11.15-H4.3.31 | 試験塗装 | -          |
| P1-P2 | H4.12.5-H5.3.31  | B    | -          |
| P2-P3 |                  | A    | -          |
| P3-P4 | H6.10.1-H7.3.30  | A    | 2507       |
| P4-P5 |                  | A    |            |
| P5-P6 | H5.10.1-H6.3.25  | B    | 406        |
| P6-P7 |                  |      |            |
| P7-P8 |                  | B    | 403        |
| P8-A2 |                  |      |            |

表-4 A1-P1 桁の被覆材仕様

| 海側   |    |   |   |   |   |   |    |      |  |
|------|----|---|---|---|---|---|----|------|--|
| A1 側 | F  |   |   |   |   |   | G1 | P1 側 |  |
|      | A  | B | C | D | E | F | G2 |      |  |
|      | D  |   |   |   |   |   | G3 |      |  |
|      | A  |   |   |   |   |   | G4 |      |  |
|      | F  |   |   |   |   |   | G5 |      |  |
|      | B  |   |   |   |   |   | G6 |      |  |
|      | C  |   |   |   |   |   | G7 |      |  |
|      | E  |   |   |   |   |   | G8 |      |  |
|      | B  |   |   |   |   |   | G9 |      |  |
|      | 陸側 |   |   |   |   |   |    |      |  |

### 3. 調査内容

実橋における試料採取箇所を図-3に示す。桁のウェブ（側面）からコアを採取した。以下、調査・試験の概要を述べる。

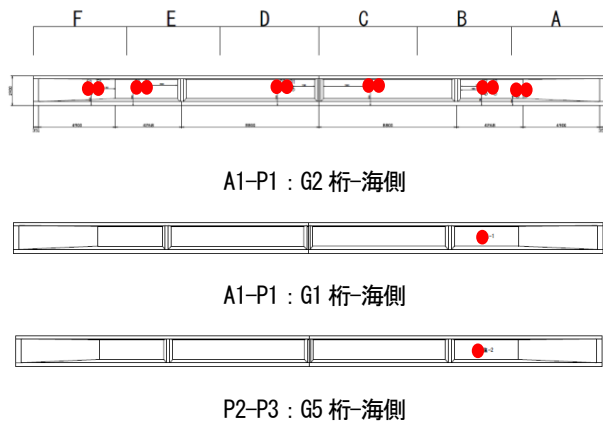


図-3 試料採取位置図

#### (1) 外観観察

実橋における被覆材のはがれ、はく離、ひび割れの状況を目視により観察した。腐食ひび割れの状況も観察した。

#### (2) 付着性に関する試験（付着強度試験）

引張用治具（40×40mm 鋼製付着子）を実桁ウェブの表面に接着させ、塗膜面に対して垂直に引っ張り、その際の付着強度を測定した。試験の実施箇所は、図-3の試料採取位置の近傍である。

#### (3) ひび割れ追従性に関する試験

採取したコアの表面から25×40×10mmで切り出した試験片に一部切込み（中央部のみ）を入れて長軸方向に引っ張り、その際の被覆材の伸びを測定した（図-4参照）。

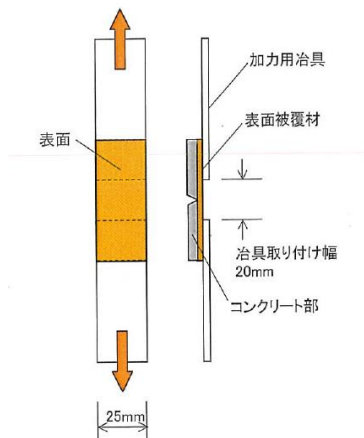


図-4 ひび割れ追従性試験

#### (4) 被覆材料の劣化状況に関する試験（FT-IR 試験）

FT-IR 分析とは、物質に赤外光を照射し、透過または反射した光を測定することで、試料の構造解析や定量を行う分析手法である。なお、分析試料はA, Bの2種類について実施した。

#### (5) 被覆材の遮塩性に関する試験

被覆材の遮塩性を調べるため、遮塩性試験、EPMA 測定を行った。

##### ① 遮塩性試験

採取したコア（φ75mm）から、塗装とコンクリートを両方含んだ厚さ1cm程度の試料を切り出し、図-5のようにセットした後、3%NaCl 溶液側から蒸留水側に透過した塩化物イオン量を測定した。なお、測定時期は30日後である。これにより、塗装自体の遮塩性を評価可能となる。

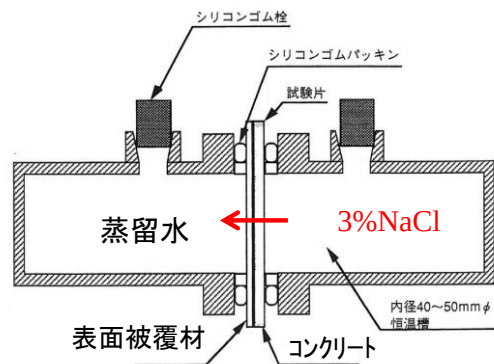


図-5 遮塩性試験

##### ② 電子線マイクロアナライザー（EPMA）

この試験は被覆材およびコンクリート中に含まれる元素の存在量の分布を調べるものである。今回は測定対象範囲を5mm角とし、Cl, S, K, Caの4元素について行った。なお、分析試料はA, B, E, Fの4種類について実施した。

#### (6) 被覆効果の確認（全塩化物イオン量分析）

図-3の「A1-P1: G1 桁-海側」および「P2-P3: G5 桁-海側」の2か所からコアを採取し、コンクリート表面からの塩化物イオン濃度分布（4～5点）の測定を行った。また、ひび割れ追従性試験および遮塩性試験のために「A1-P1: G2 桁-海側」から採取したコアの、表面から35mm（30～40mmの中点位置）の位置の試料についても行った。被覆材Aは最もA1側であり、被覆材Fは最もP1側である。



## 4. 調査結果

### (1) 外観観察

P2-P3 桁のごく一部に、腐食ひび割れが確認された。この桁のウェブの海側面でコア採取+塩化物イオン濃度調査を行っている。

A1-P1 桁, P2-P3 桁のコア採取位置周辺の状況の一例を写真-1 に示す。特に顕著な変状 (はがれ, 膨れ等) は確認されなかった。



A1-P1:G1 桁-海側 (仕様F) P2-P3:G5 桁-海側 (仕様A)

写真-1 コア採取位置

### (2) 付着性 (付着強度試験)

図-6 に付着強度試験結果の関係を示す。なお、図中には主な破壊箇所を示した。今回の実構造物調査結果において、いずれも  $1\text{N}/\text{mm}^2$  を上回っていた。表面被覆の実施時に制定された「那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格 (案)」によると、全て「良」以上と判定される。

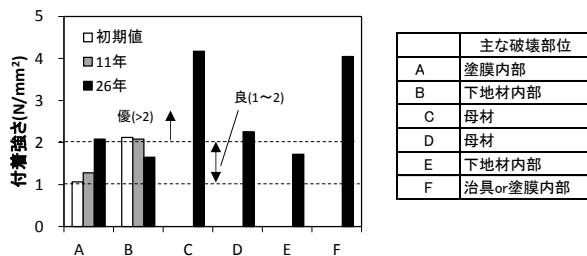


図-6 付着強度試験結果 (凡例は破壊面)

### (3) ひび割れ追従性に関する試験

図-7 に破断時の伸びの値を示す。波の上橋に適用されている仕様である A および B は、26 年後においても高い伸び性能を有していた。なお、B においては試験体の結果と大きく異なるが、これは、実部材には補強用のシートが用いられているためと考えられる。また、「那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格 (案)」の値 (0.6mm)，および「栈橋劣化調査・補修マニュアル<sup>3)</sup>」の品質規格値 (0.4mm) をいずれも上回った。一方、被覆材 C~F については 0.4mm を満足していなかった。

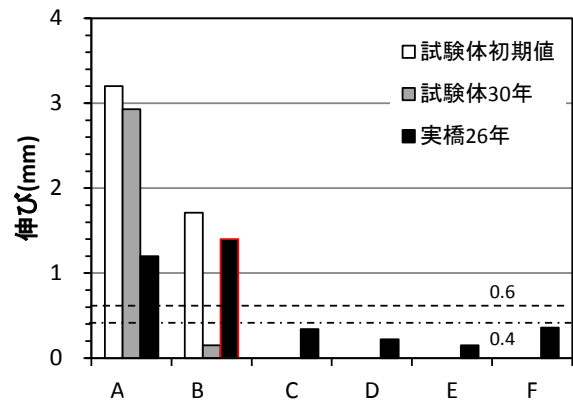
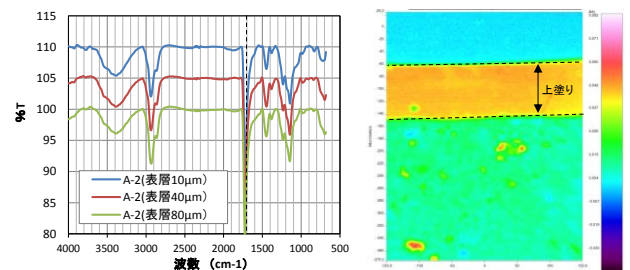


図-7 ひび割れ追従性試験結果

### (4) FT-IR 試験

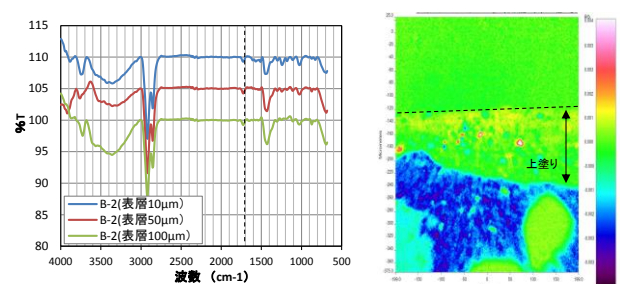
図-8 に被覆材 A および B の FTIR 分析結果を示す。なお、分析結果を見えやすくするため、A-2 (10,40  $\mu\text{m}$ )、B-2 (10,50  $\mu\text{m}$ ) の結果については、上方へシフトさせている。上塗り内の表層部と内部で、材料の組成の顕著な変化は見られなかった。よって、塗膜表層部は、長期間 (26 年間) 経過しても、特に劣化が進行していないと考えられる。



(a) スペクトル分析

(b) 波数 1700cm<sup>-1</sup> 付近の吸収光強度分布

(被覆材 A)



(a) スペクトル分析

(b) 波数 1700cm<sup>-1</sup> 付近の吸収光強度分布

(被覆材 B)

図-8 FT-IR 分析結果

### (5) 被覆材の遮塩性に関する試験

被覆材の遮塩性を調べるため、遮塩性試験、EPMA 測定を行った。

## ① 遮塩性試験

図-9 に遮塩性試験結果を示す。いずれも、「那覇港臨港道路における表面被覆材料の品質規格(案)」の値 ( $10^{-3}$  mg/cm<sup>2</sup>/日) を上回った。なお、この規格値は、「道路橋の塩害対策指針(案)<sup>1)</sup>」の C 種(長期防錆型)における品質規格値と同じである。しかし、「道路橋の塩害対策指針(案)<sup>1)</sup>」の A 種(プレストレストコンクリート部材用)および B 種(鉄筋コンクリート部材用)における品質規格値 ( $10^{-2}$  mg/cm<sup>2</sup>/日) は概ね満足していた。30 年経過しても高い遮塩性を確保していたことが分かる。なお、B においては「試験体 30 年」の結果と大きく異なっている。この理由としては、実部材には補強用のシート(布状)が内部に用いられており、この繊維部および界面部を試験液(NaCl 溶液)が通りやすかったことも考えられる。

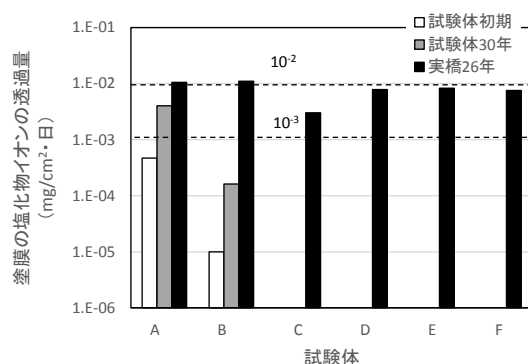


図-9 遮塩性試験結果

## ② 電子線マイクロアナライザー (EPMA) 測定結果

Cl の結果をグラフ化したものを図-10 に示す。グラフを基に考察を行う。なお、今回の試料は、表面被覆の適用前に塩分がある程度侵入しているため、その影響を踏まえて考察を行う。また、比較として、内在塩分の無い試験体の場合のデータ(2017 年に実施)を図-11 に示した。

A は、被覆材の内部(ごく表層部を除く)には Cl は確認されなかった。モルタル層(下地材)内にはごく表層付近にのみ Cl が確認された。この Cl は、メーカーヒアリングにより、プライマー中に含まれていた Cl に由来したものと推測された。また、コンクリート部表層部には、高濃度の Cl は確認されなかった。

B は、被覆材中に Cl が多量に確認された。これは元々素材中に含まれていたものである。モルタル層(下地材)内には、A 同様、ごく表層付近にのみ Cl が確認された。この Cl は、メーカーヒアリングにより、当時使用されていたプライマー中に含まれていた Cl に由来したものと推測された。また、コンクリート部表層部には、高濃度の Cl は確認されなかった。

E は、被覆材の内部(ごく表層部を除く)には Cl は確認されなかった。モルタル層(下地材)内には高濃度の

Cl が見られたが、一定値を示しているため、外部から濃度勾配を持ちつつ浸透したものではなく、材料中に元々内在していたものと推測される。また、コンクリート部表層部には、高濃度の Cl は確認されなかった。

F は、被覆材部は分析の前処理時に剥離し、計測ができなかった。なお、コンクリート部表層部には高濃度の Cl は確認されなかった。

以上の結果より、外部からの Cl は、塗膜およびモルタル内を透過していない、少なくともコンクリート中までは浸透していないと推測される。この結果は、今回の被覆材は、26 年間の長期にわたり、コンクリート内への塩分浸透を抑制していたことを示すものである。なお、文献 4) において、海岸高架橋に適用され 28 年間経過した表面被覆材に対し EPMA 分析を実施しているが、その場合においても塗膜内への Cl の浸透が確認されていない。

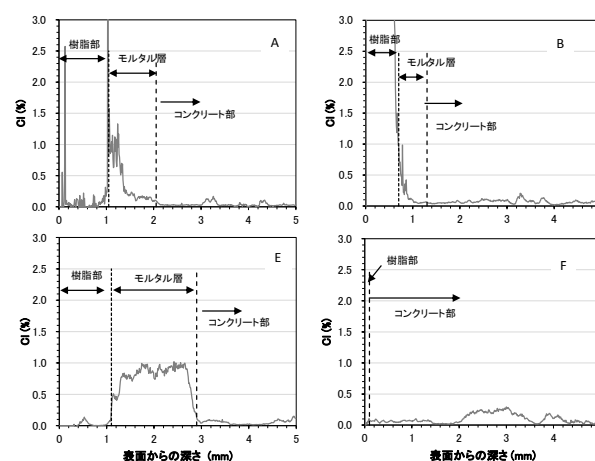


図-10 塗膜内の Cl 濃度分布 (26 年) : 実橋

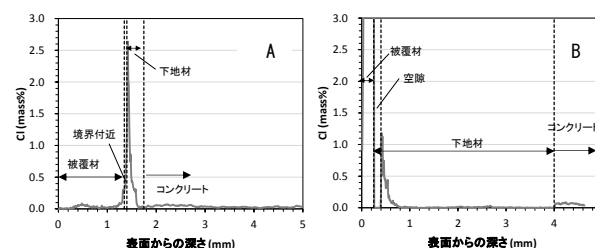
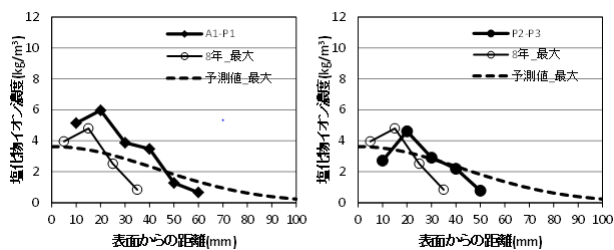


図-11 塗膜内の Cl 濃度分布 (30 年) : 試験体

## (6) 被覆効果の確認(全塩化物イオン量分析)

図-12 に、「①A1-P1 : G1 桁-海側」および「②P2-P3 : G5 桁-海側」における、被覆適用 26 年後の塩化物イオン濃度分布を示す(図中◆●)。EPMA の結果より、塩化物イオンは塗膜および下地材中を透過していないと判断されたため、ここで測定されたものは、被覆適用前に侵入していた塩化物イオンが、コンクリート内部での濃度拡散により、高濃度であった表層から低濃度であった内部へ移動したものと考えられる。





①A1-P1:G1 桁-海側 (仕様F) ②P2-P3:G5 桁-海側 (仕様A)  
図-12 コア中の塩化物イオン濃度分布

また、図中の「予測値\_最大」とは、平成元年度調査で含有塩分量が最大であった「A1-P1 : G9 桁-海側」での実測値 (図-12 中の「8 年\_最大」) を基にした予測結果である。過去の調査の最大値を基にしたこの予測値は、図-12 の内部 (かぶり 40~60mm 付近) における実測値と概ね同様な値を示した。①と②の位置における被覆適用前の塩化物イオン濃度は、「8 年\_最大」の測定値 (図中○) と同程度であったと推測される。

図-13 に A1-P1 : G2 桁-海側の塩化物イオン濃度 (かぶり 35mm : 鉄筋位置) を示す。かぶり 35mm の位置については、被覆材 A の位置 (A1-P1 間の最も A1 側) で  $2.0\text{kg/m}^3$  を上回る塩化物イオンが存在しており、鉄筋が腐食する可能性の高い環境となっている。被覆材 B~F (測定点 12 点のうち 10 点 (=10/12=38.3%)) の位置については、限界値を大きく下回っており、腐食の可能性は低い。前述したように、場所によっては、被覆適用前に多量の塩分が既に存在していた可能性がある。

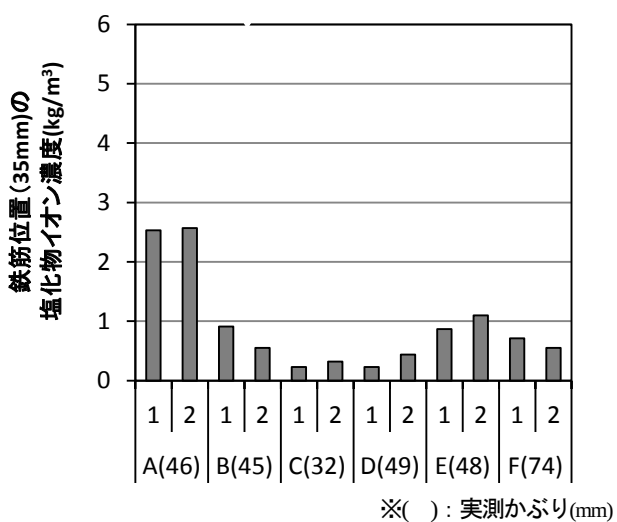


図-13 A1-P1 : G2 桁-海側の塩化物イオン濃度  
(かぶり 35mm : 鉄筋位置)

## 5. まとめ

波の上橋の PC 桁に供用約 11 年が経過した後各種表面被覆を行い、海上大気中で 26 年経過後に、被覆材の性能およびコンクリートの劣化状況に関する調査を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 現存している被覆材自体には、顕著な劣化は確認されなかった。
- (2) 各種被覆材の遮塩性は、26 年後も基準値を概ね保持していた。結果として、塩分は塗膜及び下地材中に浸透していなかった。
- (3) 解析結果によると、被覆材が外部からの塩分の浸透を完全に抑制した際の塩分浸透抑制効果は明確である。一方、今回の実構造物での調査結果においては、(2) に示すように、外部から塩分が浸透していないと推測された。すなわち、波の上橋の実橋において、表面被覆の適用により、塩分浸透を抑制する効果は発揮されていたと判断できる。

以上のことから、多量の塩化物イオンが侵入していない初期段階において、コンクリートに適切な表面被覆を行うことは塩害対策として非常に有効であり、今回のような条件 (被覆材仕様、施工条件、暴露環境等) においては、26 年程度 (暴露試験体の場合は 30 年) の長期においてもその効果が維持されることが確認された。

表面被覆の適用後 26 年が経過した今回の結果においては、実橋の大半の部分においては、再塗装が不要な状態であった。この結果より、多量の塩化物イオンが侵入していない段階において、コンクリートに適切な表面被覆を行うことは塩害対策として非常に有効であり、その効果 (期待耐用年数) は一般的に言われている 10~15 年程度を大きく上回ることが示唆された。

今後については、既設ケーソン、栈橋上部工等のように、コンクリートが湿潤環境にある場合の耐久性、また、コンクリート中に塩化物イオンが含まれている場合の効果について、実構造物調査を基にした調査を行うことが望まれる。

## 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説、
- 2) 山路徹・富山潤・金城信之：海上大気中に 30 年間暴露されたコンクリートにおける表面被覆材の塩害防止効果、コンクリート年次論文集, Vol. 40, pp. 699-704, 2018.
- 3) 東京港埠頭株式会社：栈橋劣化調査・補修マニュアル, 2012.
- 4) 加藤真一, 東田典雅, 斉藤正司, 小川正幸, 野上克宏：海岸高架橋に適用したコンクリート塗装等の 28 年目の評価, 土木学会第 71 回学術講演会概要集, V-393, pp. 785-786, 2016.

# 庄内川の大規模浸水発生時における迅速かつ効率的な排水活動の支援ツール構築について

白石はつみ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>庄内川河川事務所 調査課（〒462-0052 名古屋市北区福德町5-52）

庄内川洪水浸水想定区域図では、庄内川決壊時に浸水継続時間が4週間以上となる地区が広域に広がることが想定されている。災害対応関係者は、限られた人員体制で排水活動や堤防復旧等、人的被害のみならず経済被害の最小化を図ることが求められている。本検討では多機関との連携や、適切な判断のための支援として、「堤防決壊時排水対応マニュアル」の改良、「排水活動支援ツール」の作成を行い、堤防決壊シミュレーションで試行することで更なるブラッシュアップをはかり、PDCAサイクルによって検討を実施した。

キーワード：排水作業準備計画、水防災意識社会、危機管理、排水活動支援ツール

## 1. はじめに

平成30年7月豪雨では、広域のかつ同時多発的に河川の氾濫や土石流等が発生し、甚大な社会経済被害が発生した。これを受けて、関係機関の連携によるハード対策の強化に加え、大規模氾濫減災協議会等を活用し、多くの関係者の事前の備えと連携の強化により複合的な災害にも多層的に備え、社会全体で被害を防止、軽減させる対策の強化を緊急的に図るため、「水防災意識社会」の再構築に向けた緊急行動計画が平成31年1月29日に改定された。緊急行動計画では氾濫水の排除、浸水被害軽減に関する取組として、排水施設等の改善、国管理河川における浸水が長期間継続する地区等において排水準備計画を作成することとされている。

平成27年の水防法改正を受けて平成28年12月に公表した庄内川洪水浸水想定区域図では、庄内川下流部において浸水継続時間が4週間以上となることが想定されている（図-1参照）。庄内川下流部は、我が国最大の海拔ゼロメートル地帯である濃尾平野であり、ひとたび浸水すると自然に排水されず、長期にわたり浸水が継続される。既存排水施設は浸水により機能停止するため、排水困難となることが想定されている。

また、庄内川下流部には、名古屋市をはじめとした中部圏の中核機能が集中しており、氾濫発生時は当該地域に甚大な被害を及ぼすだけでなく、我が国全体の社会経済にも大きな打撃をもたらすことになる。実際に新川の破堤を伴った東海豪雨では、名古屋市及びその周辺では大規模水害が発生し、新川上流地域、名古屋南部地域、春日井市においては、経済の復旧に40日～60日程度の期

間を要している<sup>1)</sup>。

これらの背景を踏まえ、庄内川左岸下流域ブロックを対象に、浸水時間・範囲を速やかに低減させるため、国・地方公共団体等が保有する既存排水施設や排水ポンプ車などを最大限に活用して、浸水被害を最小化するための事前対策及び排水計画の検討を行った。

## 2. 堤防決壊時排水対応マニュアルの改良

庄内川河川事務所では過年度より堤防決壊シミュレーションで堤防決壊後の復旧工法の検討に加えて、迅速な排水活動が行えるように排水対応マニュアルを活用した排水対応を含めたシミュレーションも実施している。

排水対応マニュアルは、堤防決壊後の排水活動における事務所全体の動きの把握することが出来、排水対応計

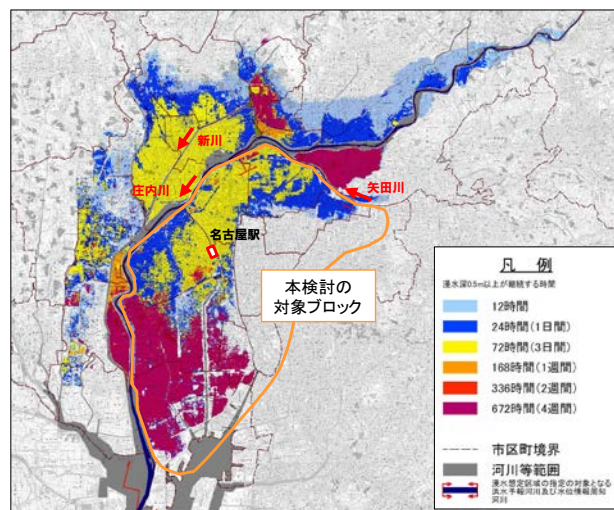


図-1 庄内川洪水浸水想定区域図（愛知県域）と本検討の対象ブロック



画を立案する際に必要となる基礎的な情報についても可能な限り盛り込むことを目的に作成されている。

本検討では、災害時の混乱時にも災害対応関係者が把握しやすいように排水対応マニュアルの改良を図った。

排水対応マニュアルからの改良内容を以下に示す。

### (1) 排水活動の流れ・役割の明確化

排水対応マニュアルは図-2に示すように堤防決壊時排水対応フロー図（以下、「排水対応フロー図」という）、堤防決壊後の排水活動リスト、対応行動・チェックリスト、事前準備データ、報告様式、ツールマニュアル、参考図面集の7種類の資料で構成される。

排水対応フロー図は各班の行動の流れを矢印で結び、排水活動一連の大まかな作業を見える化するとともに、複数人でフロー図を確認することも想定し、色分けすることで視認性の向上を図った。

また、堤防決壊時排水活動リストを新たに作成し、各対応行動に対して、主体的に行動する班、または支援する班を星取表で確認できるようにすることで、各班が自らに関連する役割の総体量を把握することが可能となった。

### (2) 資料構成の簡素化

過年度の排水対応マニュアルでは、各班の具体的な行動内容・留意事項を整理した「対応行動」、行動内容に漏れがないか確認するための「チェックリスト」が個別で整理されていた。災害時においても、把握しやすい構成とするため、各対応行動について「対応行動・チェックリスト」としてA3版の1枚に整理した（図-2参照）。

### (3) 排水活動支援ツールとの連動

本検討では、3.で後述するように排水活動支援ツールを作成した。排水対応時にツールの操作ステップについて確認できるようにツールマニュアルとの関連性を整理した。

## 3. 排水活動支援ツールの作成

災害対応関係者は避難、救助、堤防復旧等のような複数の条件下でも、迅速かつ効率的に排水ポンプ車の配置箇所を判断する必要がある。そのため、本業務ではこのような条件であっても、排水ポンプ車の配置箇所を迅速に判断できるように、排水活動支援ツール（以下、「ツール」という）を作成した。ツールは災害時の限定される人員体制下であっても、誰もが使用可能なようにExcelで作成した。

ツールの構成は排水対応フロー図（図-2参照）内において、排水ポンプ車の配置に関わる「④排水ポンプ車の概略配置検討」以降の4ステップと整合を図るように作成した（表-1参照）。

本項では、表-1内の①～③について具体的に説明する。④はシミュレーション時の意見も反映し、修正したため、4で具体的に示す。

### (1) 排水ポンプ車の概略配置の検討

本ステップでは対象外力、決壊地点が判明した段階であり、氾濫ボリューム、浸水面積等の概略把握に加えて、氾濫域の特定等の排水活動に向けた概略把握を目的としてツールを構築した。また、出力されるデータは公表資料としても活用可能なように作成した。

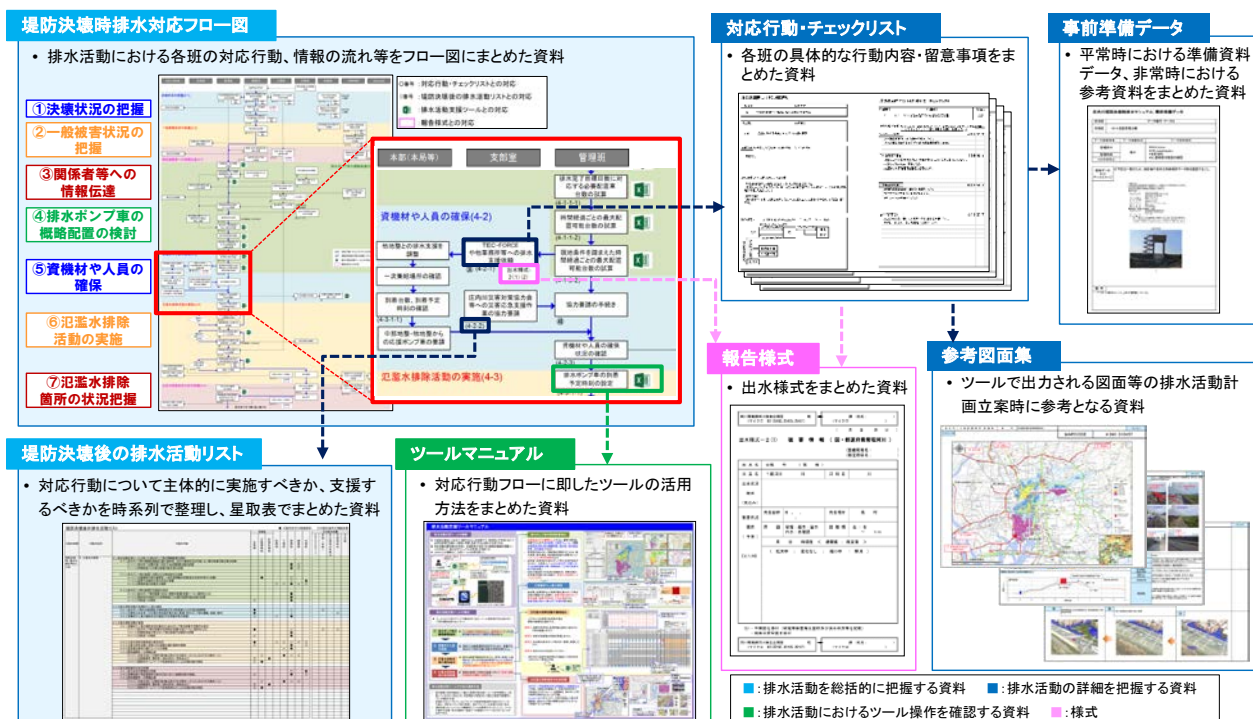


図-2 堤防決壊時排水対応マニュアルの構成

表-1 ツール操作の各ステップにおける入力項目と出力項目

| 操作ステップ          | ユーザーの疑問                                                 | 目的                                                                                 |
|-----------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ①排水ポンプ車の概略配置の検討 | ・浸水被害、氾濫ボリュームは？<br>・必要な排水ポンプ車の台数は？                      | ・外力規模・決壊地点など、最低限の入力から必要台数や排水完了日数等が算出。                                              |
| ②資機材や人員の確保      | ・要請した排水ポンプ車の到着予定時刻は？                                    | ・時刻ごとの配置場所を決定するために、参集する排水ポンプ車の台数と到着予定時刻等を入力。                                       |
| ③氾濫水排除活動の実施     | ・排水ポンプ車を小段等に配置したいが、どこに配置すればよい？<br>・浸水が継続的に発生している箇所はどこか？ | ・膨大な配置可能箇所の中から、事前に調査した現場状況、洪水浸水想定区域図をもとにした浸水状況をもとに、ユーザーの求める配置可能箇所の適地を質問形式で絞り込んでいく。 |
| ④氾濫水排除箇所の状況把握   | ・実際の浸水範囲はどうか？<br>・現場作業員へは何を伝えれば？                        | ・現場の地理に不案内な職員に対して、円滑に配置可能箇所の適地へ誘導する。                                               |

本ステップにおける入力項目は決壊情報（決壊時刻、外力規模、決壊地点）である。ツールでは、この入力から洪水浸水想定区域図のデータをもとに以下の諸量が確認可能となるように設定した。

- 浸水範囲
- 氾濫ボリューム
- 排水完了目標日数に対する必要な排水ポンプ車の台数
- 時間経過ごとの最大排水ポンプ車配置可能台数
- 広域図（対象決壊地点の浸水想定区域と排水ポンプ車配置可能箇所、既存排水施設の位置等が確認可能なオペレーション用の大判図面）

## (2) 資機材や人員の確保

平成30年7月豪雨では、7日の決壊等により浸水被害が発生した倉敷市真備町の浸水において、関東・北陸・中部地整等の全国から排水ポンプ車が集結し、排水活動を実施している<sup>2)</sup>。ただし、排水ポンプ車の移動には時間を要するため、翌8日の午後から作業を開始している。

災害時における排水ポンプ車の到着予定時刻は交通渋滞や土砂災害等も想定されるため、予想できない場合も想定される。そのため、本ステップでは排水ポンプ車の到着予定時刻も踏まえた配置箇所の適地を判断するために、到着予定情報を入力するように設定した。ツールでは、既往災害時の排水ポンプ車の移動状況についても考慮し、排水ポンプ車の所属する地整を入力すると、到着予定時刻が自動入力されるような機能を付加した。

## (3) 氾濫水の排除活動の実施

本ステップでは、排水ポンプ車の配置箇所の適地を迅速に判断することを目的とした。排水ポンプ車の配置箇所は、庄内川左岸下流域のブロック全体であらかじめ抽出しておく。そのデータをツールに格納しておき、(1)で

入力した対象決壊地点の浸水状況による排水ポンプ車の概略配置の検討情報、(2)で入力した排水ポンプ車の情報（到着時刻、地整、台数）、及び災害時の現地状況をもとに、排水ポンプ車の配置箇所の適地を抽出可能なようにツールを構築した。

### a) 排水ポンプ車配置可能箇所の抽出

災害時に排水ポンプ車配置箇所の適地を抽出するために、図-3に示すように排水ポンプ車の規格によって、配置可能な条件について以下の2点を設定し、事前に庄内川左岸下流域のブロックで配置可能箇所を抽出した。

条件①：排水ポンプ車の幅員が2.5mであることを踏まえて、幅員5m以上の堤防天端や幅員3m以上の裏小段を設定した。幅員5m以上の堤防天端道路では、燃料補給車との離合が可能であり、燃料補給車からの直接給油が可能である。

条件②：排水ポンプ車の排水能力が限定的であることから、堤防天端と堤内地盤高の比高が10m以下の箇所

①、②の条件については現地調査、LPデータ等を確認し、配置可能箇所を抽出した。

### b) 排水ポンプ車配置可能箇所の分類

さらに図-4に示すように現地状況を確認し、排水ポンプ車配置箇所の状況、排水元の状況をもとに分類した。この分類はc)で後述するように災害時にツールで適地を抽出する際に活用する。

配置可能箇所へは、排水ポンプ車が対岸からアクセスすることも想定し、橋梁に挟まれた区間で整理した。庄内川左岸の下流域での配置可能箇所は、22の区間で計

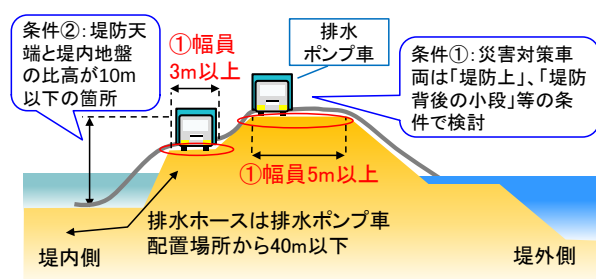


図-3 排水ポンプ車配置可能箇所の条件



図-4 排水ポンプ車配置可能箇所の分類イメージ



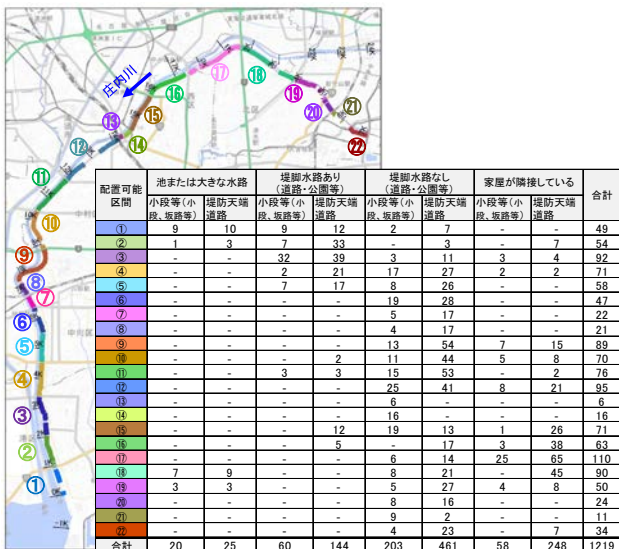


図- 5 庄内川左岸下流域における排水ポンプ車の配置可能箇所

1200台程度である。庄内川左岸下流域での排水ポンプ車配置可能箇所の分類結果について図- 5に示す。

配置箇所の適地は、配置箇所の状況、排水元の状況によって左右されるため、それらによって排水ポンプ車配置箇所の適地が抽出可能なように整理した。

庄内川左岸下流域の堤防天端道路は兼用道路である。平常時は市道として機能している堤防天端道路は災害時には堤防復旧活動、救助活動等の移動ルートとなってい

る可能性がある。排水ポンプ車を小段等(小段、坂路等)にのみ配置し、堤防天端道路にはホースブリッジを設置することで、交通を妨げないようにすることも可能と想定されるため、配置箇所の状況は堤防天端道路、小段等(坂路等含む)の2種類によって分類した。

平成30年7月豪雨の際の真備町における排水活動では、水路を排水元として排水活動を実施している状況もあった。水深が継続的に大きいような箇所にポンプの設置が可能であれば、排水ポンプ車の移動等が必要ないため、排水活動の作業効率が向上すると考えられる。そのため、排水元の状況は、池または大きな水路、堤脚水路あり(道路・公園等)、堤脚水路なし(道路・公園等)、堤防背後に家屋が隣接の4段階に分類した。

### c) 排水ポンプ車配置箇所の適地抽出

(1)、(2)における入力情報、a)、b)で整理した配置箇所の情報をもとにツールにおける排水ポンプ車配置箇所の適地抽出の流れを図- 6に示す。図- 6の例では決壊地点の把握時において配置可能箇所は40台であったが、最終的に10台まで絞り込んだ例である。ユーザーは排水ポンプ車の到着予定情報(到着予定時刻、到着予定台数、所属する地整)とのバランスを考慮し、絞り込みを行うことが可能である。

まず、堤防決壊後にユーザーはツールに決壊情報(決壊時刻、決壊地点、外力規模)の入力を行う。これによ

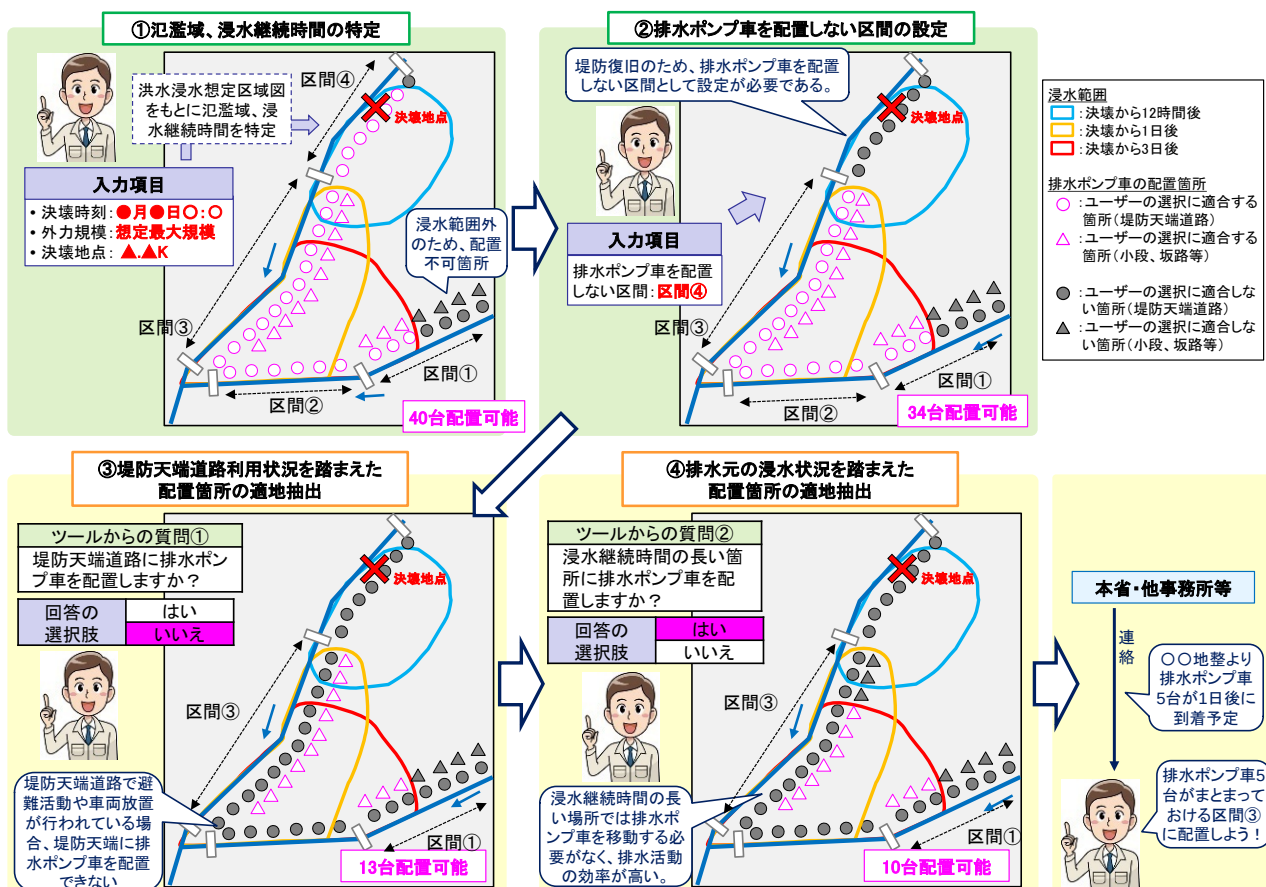


図- 6 排水活動支援ツールでの排水ポンプ車配置箇所の適地抽出の流れのイメージ



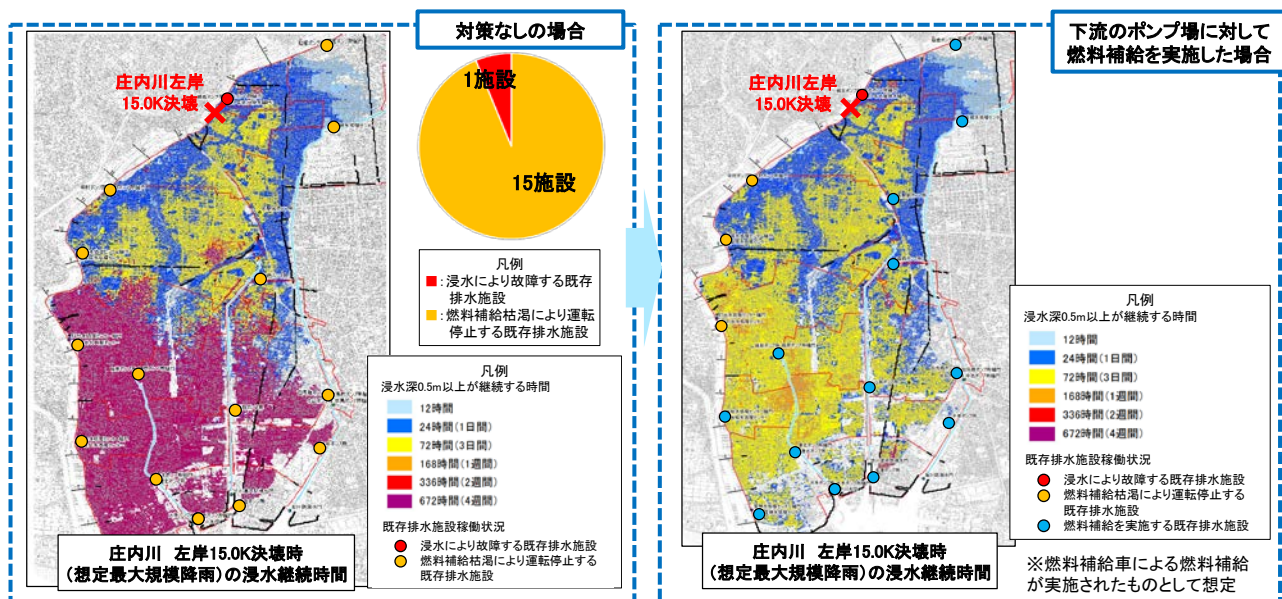


図-7 既存排水施設へ燃料補給を実施しない場合(左)、燃料補給を実施した場合(右)の浸水継続時間

り、ツールでは洪水浸水想定区域図をもとに時刻ごとの氾濫区域が認識され、a)で整理した排水ポンプ車の配置可能箇所の排水元が浸水している排水ポンプ車の配置可能箇所が抽出される(図-6①参照)。

決壊地点付近では、堤防復旧活動等が想定される。そのような箇所には排水ポンプ車の配置箇所として事前に除外することも想定されるため、ユーザーは排水ポンプ車を配置しない箇所を設定することが可能である(図-6②参照)。

ここまでの状況をもとにツールからは図-6③、④に示すような質問にユーザーが回答することで排水ポンプ車の配置箇所の適地を絞り込む。

図-6③は災害時に、堤防天端道路で車両放置、避難活動等が行われており、排水ポンプ車を小段等のみ設置する場合をユーザーが選択した例である。さらに、図-6④で、ユーザーは排水元の浸水状況や、今後の浸水継続時間をもとに質問に回答することで絞り込むことが可能である。

図-6⑤で得る排水ポンプ車の到着予定情報によっては、図-6③、④の回答を変更し、絞り込みを再度実施し直すことも可能である。

#### (4) 既存排水施設の稼働状況の反映

ツールは当初、排水ポンプ車の適切な配置箇所を迅速かつ効率的に選定するために作成した。ただし、排水ポンプ車による排水計画のみでは排水能力に限界があり抜本的な対策とならないことが懸念される。そのため、自治体の保有する既存排水施設による排水活動等も含めた検討も可能なようにツールに機能を付加した。

庄内川左岸下流域では名古屋市上下水道局の排水施設が複数存在する。本検討では氾濫解析モデルを構築し、堤防決壊前後に既存排水施設への燃料補給が実施できた

場合、広域的に浸水継続時間が2週間以上となる結果から、3日程度に低減できる可能性があることを確認した(図-7参照)。

名古屋市上下水道局の排水施設の稼働状況は稼働ポンプの個数より確認可能である。そのため、ツールでは自動的に名古屋市上下水道局のWebサイトから各排水施設の稼働ポンプを自動取得する機能を付加した。また、洪水浸水想定区域図から算出される氾濫ボリュームと排水機場の稼働状況を比較し、(1)で算出した排水ポンプ車の必要台数の変化にも対応可能なように機能を付加した。ただし、HPから取得する排水施設の排水容量は排水機場全体のポンプの個数より按分して算出している。また、排水機場の排水容量は河道の水位によって変更するものと想定されるが、本ツールでは考慮していない。

#### 4. 堤防決壊シミュレーションの実施・システムの改良

改良した排水対応マニュアルの検証およびツールの実用性を検証するために、庄内川河川事務所の各班(各課)に加え、庄内川災害対策協力会等も参加して堤防決壊シミュレーションを実施した。

シミュレーションではコントローラーがプレイヤーに



図-8 堤防決壊シミュレーションの様子

状況を説明する付与カードを渡すことで、実際の災害時と同様に状況が時々刻々と変化し、他班や多機関との調整が必要となる状況を模擬的に再現した（図- 8参照）。なお、シミュレーション終了後には事務所職員、庄内川災害対策協力会の意見（表- 2参照）をもとに排水対応マニュアル・ツールの更なる修正、改良を行った。

ツールの改良の一例として、ステップ④氾濫水排除活動の状況把握で更新した内容について示す。シミュレーションでは、ユーザーが選定した排水ポンプ車配置箇所の最適地をDiMAPS（統合災害情報システム）での出力の要望があった。そのため、排水ポンプ車配置箇所の最適地の位置情報を付与したファイル（GeoJSON形式、KML形式）で出力可能となるように改良した。この機能により、災害時に出力ファイルをDiMAPSにアップロードし、実際の排水ポンプ車の位置と排水ポンプ車配置箇所の最適地をリアルタイムで比較することが可能となった。

ツールは浸水想定区域図のデータをもとに算出しているが、排水施設の操作状況や想定降雨の違いにも対応できる必要がある。そのため、衛星画像判読による浸水範囲のデータ取り込みにより、排水ポンプ車の配置箇所の適地見直しが行える機能を構築した。

JAXAでは、防災関係府省庁・機関の衛星利用ユーザーに対する窓口を設置し、「だいち2号」等の通信衛星による災害対応活動への協力、将来の利用構想の策定・調整を推進するために活動している<sup>3)</sup>。災害時には、浸水範囲の判読データ等の衛星画像プロダクトが、JAXAのWebサイトである「だいち防災WEBポータル」より提供されている。

ツールでは、「だいち防災WEBポータル」より浸水範囲の判読データ（KMLファイル）をダウンロードしたのち、ツール内に取り込み、排水ポンプ車の配置可能箇所との比較を行うことができるような機能を付加した（図- 9参照）。

## 5. 本検討の成果と今後の課題

本検討では、排水対応マニュアルの改良、ツールの作成を実施したのち、堤防決壊シミュレーションでの試行を通じて改良を図ることができた。この検討手順により、排水対応マニュアルは、実態に即したものとして改良することができた。

以上の検討結果を踏まえた上で、今後の課題について以下に示す。

- 大規模災害時には事務所も被災している可能性がある。災害時には、災害対策協会が主体的に総合啓開（道路啓開、排水活動）等を実施する必要も考えられることから、今後、組織的な対応として、災害対策協会が災害時に瞬時に参集場所を把握し、主体的に行動できるような仕組みづくりが必要である。

表- 2 シミュレーションで挙げられた意見

| 区分          | 番号 | 意見内容                                                                |
|-------------|----|---------------------------------------------------------------------|
| ツールに関する意見   | 1  | 参集可能台数から排水完了目標日数を算出すること。                                            |
|             | 2  | 緊急復旧車両も通行可能なホースブリッジ構築に必要な資機材数量を算出すること。                              |
|             | 3  | 災害対策車両等の位置情報をDiMAPSによって把握しているため、配置箇所をDiMAPSへ出力可すること。                |
|             | 4  | 排水ポンプ車を運転する作業員がカーナビで入力可能なようにMAPCODEを詳細図に記載すること。                     |
|             | 5  | 管理班については、排水活動支援ツールについても班員全員が理解し、使用可能になることが必要である。                    |
| マニュアルに関する意見 | 1  | 緊急復旧車両の通行ルートとの調整の前に道路管理者への通行規制の確認が必要である。また、規制の予定についても道路管理者に確認を行うこと。 |
|             | 2  | 災害対策基本法に基づく障害車両の把握及び排除は管理班のみでの対応は困難であるため、対応について整理すること。              |
|             | 3  | 破堤地点より下流部に位置するポンプ場は、破堤後いつから再稼働させるかについて共通認識とすること。                    |
|             | 4  | 緊急時の対策のためには、事務所全体で排水対応マニュアルを理解・共有しておく必要がある。                         |

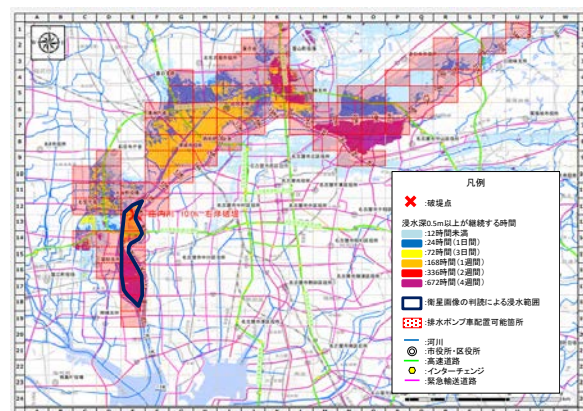


図-9 衛星画像判読データ（テストデータ）を取り込んだ場合のツールインターフェースの一部

- 非常時に必要となる実際の調整や事前準備については、平常時から調整を行い、災害時に備える必要がある。関係機関との連携・調整を漏れなく行うために、関係者一体型タイムラインの作成による実施項目・連携方法の確立、課題整理が望ましい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご協力を頂きました八千代エンジニアリング株式会社のご担当者様、また、関係各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 忘れない、東海豪雨 東海豪雨から10年 一般社団法人 中部地域づくり協会 平成22年7月。
- 2) 国土交通省 中国地方整備局 記者発表資料 平成30年7月8日。
- 3) JAXAの取組 防災・災害監視  
<http://www.sapc.jaxa.jp/work/antidisaster/>



# 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>近畿地方整備局 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

## (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

## 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             |                |                |                |
|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
|    |    | ①              | ②              | ③              | ④              |
| 発地 | ①  | 0<br>(0)       | 1,397<br>(329) | 1,271<br>(262) | 654<br>(99)    |
|    | ②  | 1,369<br>(312) | 0<br>(0)       | 0<br>(0)       | 294<br>(39)    |
|    | ③  | 1,262<br>(254) | 0<br>(0)       | 0<br>(0)       | 109<br>(13)    |
|    | ④  | 660<br>(79)    | 258<br>(24)    | 106<br>(17)    | 0<br>(0)       |
|    | 合計 | 3,291<br>(645) | 1,655<br>(353) | 1,377<br>(279) | 1,057<br>(151) |

※上段:車種計 下段( )内:大型車 単位:台/日

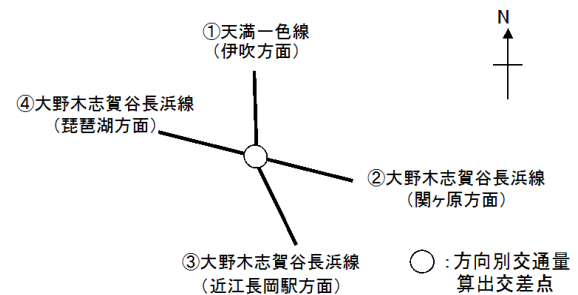


図-4 交差点方向番号

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) 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

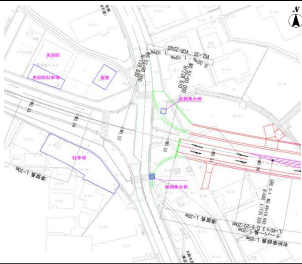
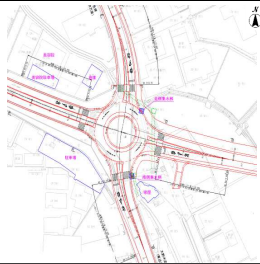
| 流入部 i                                | 1      | 2     | 3     | 4     | 備考            |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| 計画交通量ADT [台/日]                       | -      | -     | -     | -     |               |
| ピーク率k [%]                            | -      | -     | -     | -     |               |
| 流入方向率De [%]                          | -      | -     | -     | -     |               |
| 設計時間交通量の把握                           |        |       |       |       |               |
| 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Ti [%]                         | 21     | 21.4  | 19.9  | 12.9  |               |
| 大型車の乗用車換算係数ET                        | 2      |       |       |       |               |
| 乗用車換算流入交通量 [pcu/時]                   | 484    | 244   | 199   | 140   |               |
| 通行方向別交通量                             |        |       |       |       |               |
| 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    |               |
| 右折交通量qi,R                            | 79     | 165   | 0     | 13    |               |
| 環道交通量の算出                             |        |       |       |       |               |
| 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τ [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si                                | 0.9    | 0.9   | 0.9   | 0.9   |               |
| 横断歩行者による影響を考慮<br>横断歩道あり: 0.9、なし: 1.0 | 0.9    | 0.9   | 0.9   | 0.9   |               |
| 補正後流入部交通容量 [pcu/時]                   | 1076.4 | 886.5 | 854.1 | 816.1 | si×ci         |
| 需要率xi                                | 0.45   | 0.275 | 0.233 | 0.172 | xi=qi/(si×ci) |
| 【参考】平均遅れda,i [秒/台]                   | 6.1    | 5.6   | 5.5   | 5.3   |               |

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。                                               |  | △                                                                                   | ○<br>・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。<br>・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。                                                                          |  | △                                                                                   | ○<br>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。<br>(※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。)                     |  | △                                                                                   | △<br>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。<br>(※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。                                                                         |  | △                                                                                   | ○<br>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)<br>・北側集水樹の蓋を歩道用に変更する必要がある。<br>・上記より、B案と比較して集水樹への影響は優れる。 |  | ○                                                                                   | △<br>・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)<br>・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                                                                                                         |  | △                                                                                   | ○<br>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であった。

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            | 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>※3)</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

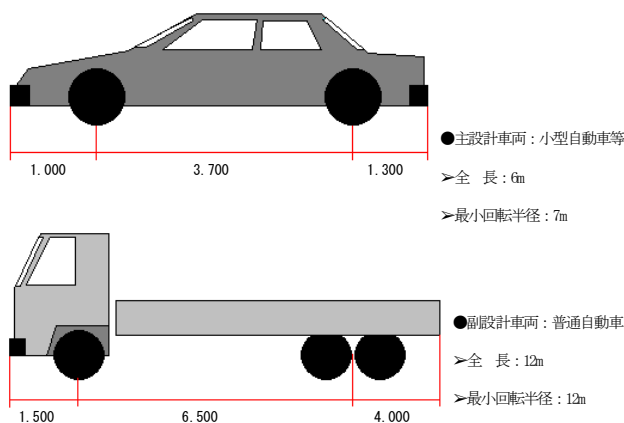


図-6 設計車両

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 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。

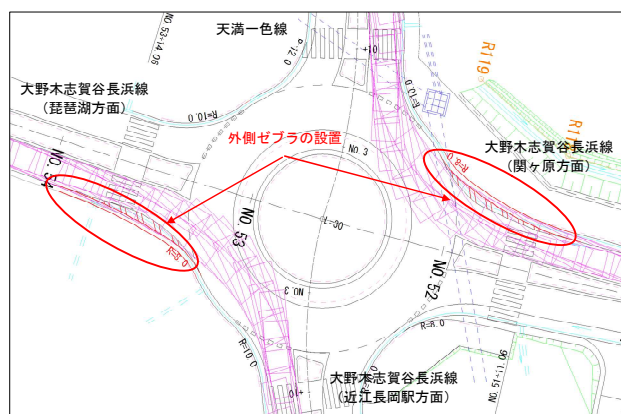


図-7 セミトレーラー対応策

## 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。

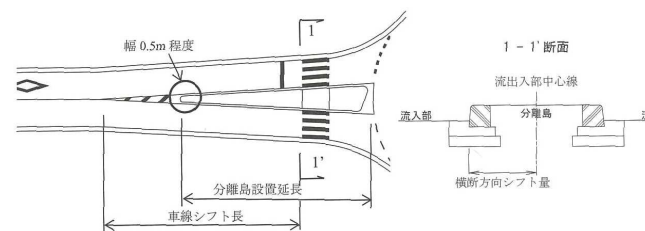


図-8 分離島の形状



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<br>平均遅れ時間(s) | RABにおける<br>平均遅れ時間(s) | 平均遅れ<br>時間の差(s) |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| ①天満一色線<br>(伊吹方面)        | 13.1                  | 6.1                  | -7              |
| ②大野木志賀谷長浜線<br>(関ヶ原方面)   | 左直 9.8                | 5.6                  | -4.2            |
|                         | 右折 12.3               |                      | -6.7            |
| ③大野木志賀谷長浜線<br>(近江長岡駅方面) | 10.7                  | 5.5                  | -5.2            |
| ④大野木志賀谷長浜線<br>(琵琶湖方面)   | 左直 10.4               | 5.3                  | -5.1            |
|                         | 右折 9.8                |                      | -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



# 矢木沢ダムにおける 劣化コンクリートの補修事例

山本 晃世<sup>1</sup>

<sup>1</sup>独立法人水資源機構 沼田総合管理所 管理課 (〒378-0051 群馬県沼田市上原町1682)

管理開始から52年を迎えた矢木沢ダムは、コンクリートの劣化が顕在化してきている。この要因は、コンクリート中の水分の凍結融解作用及び融雪による水分の進入に起因する凍害によるものであると考えられてきた。また、詳細調査の結果、アルカリシリカ反応（以下「ASR」という。）も劣化の一因である可能性が高いことが確認された。コンクリートが劣化しひび割れが発生すると、そのひび割れから水分が進入し、更なる劣化を招くとされていることから適切な対策を施す必要がある。本稿では、凍害及びASRにより劣化したと考えられるコンクリートの補修を行うための調査・設計及びその施工について報告する。

キーワード 凍害, ASR, 複合劣化, 断面修復, 含浸材塗布

## 1. 矢木沢ダム及びその周辺の気象環境

矢木沢ダムは利根川本川最上流部に建設された多目的ダムであり、ダムの形式はアーチ式コンクリートダム、重力式コンクリートダム、フィルタイプダムの3タイプから構成される。重力式コンクリートダムの中央部に越流堤を設けて洪水吐きとし、約380mのコンクリート水路を用いて洪水時は下流の矢木沢川に放流する場合がある（図-1）。

矢木沢ダムは、日本有数の豪雪地帯に位置しており、過去5カ年の矢木沢ダム地点における最大積雪深の平均は約247cmである。この豊富な雪が関東平野の貴重な水資源となっているが、冬季の気象環境は厳しく、矢木沢ダム地点における過去5カ年の冬季（12月から翌年2月）最低気温の平均は約-5℃であった。

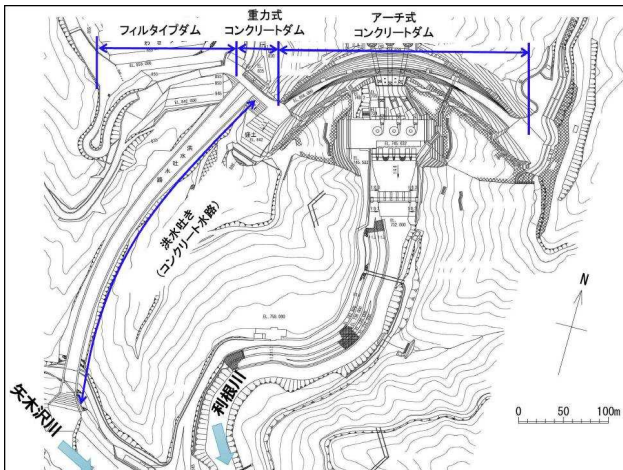


図-1 矢木沢ダム平面図

また、堤体下流面、洪水吐き等のコンクリート構造物が南面であることから、晴天時の日中は日射によりコンクリート表面の温度が上昇する。このため、コンクリート中の水分の凍結融解作用及び融雪による水分の進入により、凍害劣化が生じやすい環境となる。

管理開始から52年目を迎える矢木沢ダムは冬季の厳しい気象条件に繰り返し曝されており、堤体、洪水吐き等のコンクリート構造物の劣化が顕在化している。

## 2. 矢木沢ダム及びその周辺の気象環境

矢木沢ダムにおけるコンクリートの劣化に対する調査は、本体コンクリート打設完了後5年目の1971年に、堤体下流面でヘアクラックが確認されたことにより調査を開始した。2003年には有識者との意見交換も踏まえ、堤体下流面の劣化の原因は「矢木沢ダム特有の気象条件と骨材性状のもとで、堤体コンクリート表面に付く水分の凍結・融解が繰り返されたことによる複合的な要因」と整理され必要な対策を実施している。

洪水吐きコンクリートにおいては、1981年から調査を開始し、クラックの発達状況を中心に観察が行われ、2014年には詳細な調査を実施し、劣化の原因は凍害及びASRの複合劣化の可能性があると判明した。

この調査結果を踏まえて、洪水吐きコンクリートの補修設計を行い2016年から2017年にその対策を実施している。そのため、本稿では、近年調査・設計及び対策を実施した洪水吐きコンクリートの事例を基に、劣化コンクリートの補修事例を報告する。

### 3. 洪水吐コンクリートの劣化状態調査とその評価

#### (1) 調査方針

堤体下流面の劣化の主たる原因は、表面付近における凍結融解によるものと整理されていたことから、洪水吐きコンクリートについても劣化原因は同様と考え次の調査を実施した。

#### (2) コンクリート表面部の状態確認

コンクリート表面部のコンクリート内部の劣化状態を把握するため、デジタルカメラによる画像解析を行った。写真はあらかじめ測量により定めた位置から撮影し、撮影した画像については画像編集ソフトを用いて編集した。その後、ひび割れ等外観で確認出来る劣化状況をスケッチし、スケッチした結果を踏まえて洪水吐きコンクリート全区間の劣化程度を状態①～④の4区分に分類した(表-1)。

#### (3) コンクリート内部の状態確認

調査に先立ち調査場所の選定を行った。調査場所は表-1で区分した①～④の各状態から1地点選定した。なお、コンクリート打設時期等を考慮して、なるべく均一な条件でコンクリートが打設された地点を選定した(写真-1)

##### a) 表面走査試験による劣化深調査

この調査はコンクリート表面部の劣化深さを非破壊で推定する調査であり、コンクリート表面に超音波の発・受振子を設置し、受振子を発振子から遠ざけた際の超音波伝達時間を計測し、その変化により表面部の劣化深さを推測するものである。

これは、超音波は劣化部分をなるべく迂回し、健全部を伝播経路に選ぶという特徴を生かした調査であり、コンクリートの表層に劣化した部分が存在する場合は、発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝搬時間の増加が小さくなる(図-2)。このため、コンクリート表面から内部に向かい劣化が進む凍害の状態を確認するために有効な調査であると考えられている。

調査結果としては、状態①～④のいずれにおいても発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝搬時間の増加割合の低下は確認出来なかった。

このため、この調査からは凍害やその他の劣化状態を確認することは出来なかった。

##### b) はつり調査

この調査ではコンクリート主筋位置まではつり、コンクリート内部の状況や鉄筋の腐食状況等を目視で確認した。調査結果は表-2のとおりであり、状態③及び④で鉄筋の腐食を確認した。

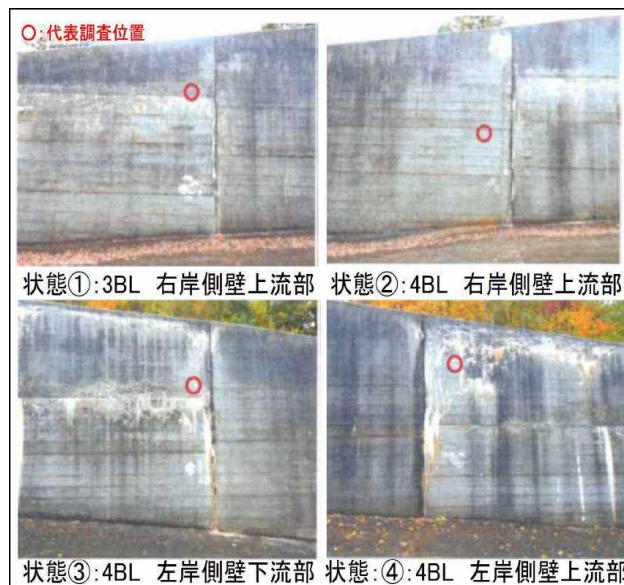


写真-1 調査場所の選定

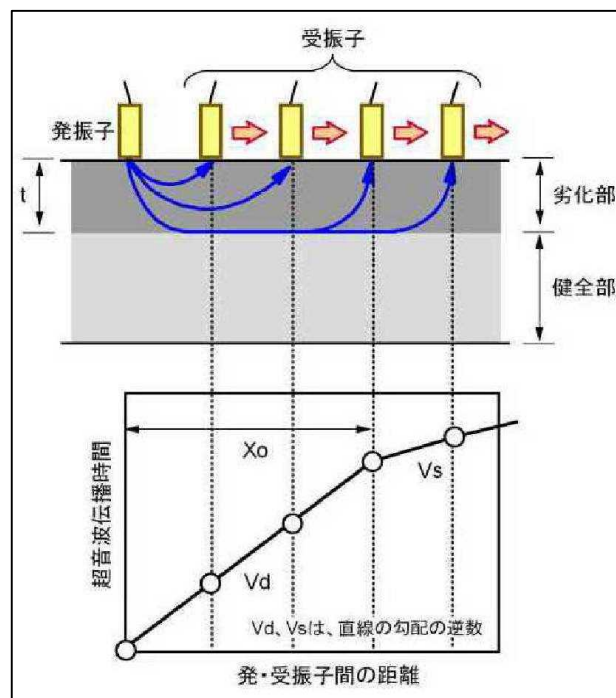


図-2 表面操作試験

(出典：参考文献1) 図4.11)

表-2 はつり調査結果

| 表-1 劣化程度の区分 |                         |
|-------------|-------------------------|
| 劣化区分        | 特徴(外観)                  |
| 状態①         | 健全                      |
| 状態②         | コンクリート表面の劣化が進行し美観を損なう状態 |
| 状態③         | コンクリート表面の劣化がかなり進んでいる状態  |
| 状態④         | 最も劣化の程度が高い状態            |

| 劣化区分 | はつり時の硬さ                    | 鉄筋の状態      |
|------|----------------------------|------------|
| 状態①  | 表面からはつり面まで一様に硬い            | 錆等無く健全     |
| 状態②  | 表面から30mm前後まで硬いが、それ以深はもろい   | 錆等無く健全     |
| 状態③  | 表面からはつり面まで一様に容易にはつれた       | 点錆を1箇所を確認  |
| 状態④  | 一部表面に硬い箇所はあったが、大部分は容易にはつれた | 点錆を複数箇所を確認 |



#### c) コアリング及び超音波伝達試験

この調査ではコア（φ150mm）を採取しコンクリート内部の劣化状態を確認するとともに、コア直径方向の超音波伝達試験を、深度方向におおむね20mピッチで実施し劣化状況を確認した。

調査結果としては、状態①～④のいずれにおいても参考文献1にて示されている、健全と判定する基準速度を上回ったが、状態③及び④のコアでは内部ひび割れによりコアが欠損し、伝達速度の測定が出来ない箇所が多数あった。

また、コアの状況については、状態①では劣化が確認されなかったが、状態②～④では確認され、内部ひび割れ発生箇所アルカリシリカゲルの反応リムが確認された（写真-2及び写真-3）。

#### d) コアリング及び超音波伝達試験

表面走査試験及びはつり調査の結果により、劣化原因は凍害に限らないことが判明した。これは劣化原因が凍害の場合、その劣化は表面が起点となることから、表面の劣化度と凍害の進展には高い相関があるのが一般的だが、その相関が確認出来なかったためである。

また、コアリングによりアルカリシリカゲルの反応リムが確認されたことから、ASRによる劣化が進行していると判断することが合理的な結果となった。

しかし、矢木沢ダム周辺の厳しい冬期の気象条件や、これまでの堤体下流面の調査結果を踏まえると、今回の詳細調査結果で凍害による劣化を否定することはできない。

また、凍害とASRはいずれも水が劣化の誘因となることから、洪水吐きコンクリートの劣化原因は、凍害又はASRもしくはそれらの複合劣化による可能性があるものと考え対策工の設計を行うこととした。

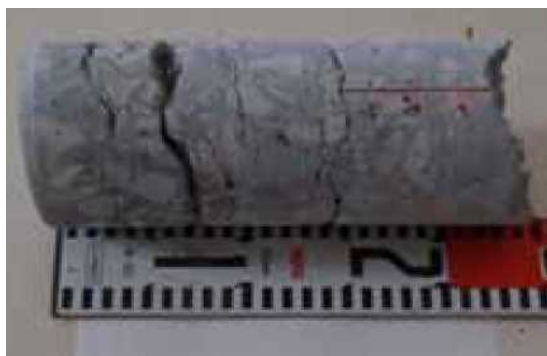


写真-2 採取コア（状態④）



写真-3 アルカリシリカゲルの反応リム（状態③）

## 4. 対策工の選定

### (1) 対策工選定における課題

凍害及びASRの複合劣化によるおける対策工の選定手法は、参考文献を含む様々な技術図書であり整理が進んでおらず、明確に確立されていないという課題がある。

そこで矢木沢ダム洪水吐きでは次の通り対策工の選定を行うこととした。

- ①：凍害及びASRのそれぞれの劣化原因に対応する劣化程度を整理
- ②：①で整理した劣化程度に対応する対策工を整理
- ③：②で整理した対策工が凍害とASRで異なる場合はより確実な工法を採用

このように整理した理由は、凍害及びASRの個別の対策工は確立されており、いずれも水が劣化の誘因となるためである。

### (2) 劣化程度の整理

劣化程度は参考文献2)を基に整理した。

整理した結果は表-3のとおりである。なお、劣化程度が低い順に潜伏期、進展期、加速期として整理した。

### (3) 対策工の整理

対策工の選定は、参考文献3)を基に凍害及びASRのそれぞれの劣化原因に対応する補修工法を劣化区分毎に整理した。その後、それぞれの補修工法の中で最も安全な工法を選定した（表-4）。

今回全ての状態において含浸材塗布を選定する計画とした。

これは、洪水吐き背面が埋戻し土であり背面からの水分の進入が想定されたためである。通気性に乏しい表面被覆工法では、コンクリート表面より水分を逃せないため、より通気性のある含浸塗布工を選定することが適切であると考えた。

表-3 劣化程度の評価

| 劣化区分 | 劣化状態                                               | 凍害の劣化程度 | ASRの劣化程度 |
|------|----------------------------------------------------|---------|----------|
| 状態①  | 外観上の変状が認められない。                                     | 潜伏期     | 潜伏期      |
| 状態②  | 外観上の変状が認められるが、鉄筋の腐食はない。                            | 進展期     | 進展期      |
| 状態③  | 外観上の変状が認められ、鉄筋に点錆を確認したが、断面欠損はなく、腐食による耐荷性の低下は考えにくい。 | 加速期     | 加速期      |
| 状態④  |                                                    |         |          |

表-4 劣化程度の評価

| 劣化区分             | 凍害劣化による補修工法                      | ASR劣化による補修工法                      | 今回選定した補修工法         |
|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 状態①              | 潜伏期<br>・表面被覆<br>・含浸材塗布           | 潜伏期<br>・表面被覆<br>・含浸材塗布            | 含浸材塗布              |
| 状態②              | 進展期<br>・表面被覆<br>・ひび割れ補修<br>・断面修復 | 進展期<br>・表面被覆<br>・ひび割れ補修<br>・含浸材塗布 | 含浸材塗布<br>＋<br>断面修復 |
| 状態③<br>及び<br>状態④ | 加速期<br>・表面被覆<br>・ひび割れ補修<br>・断面修復 | 加速期<br>・表面被覆<br>・ひび割れ補修<br>・断面修復  | 含浸材塗布<br>＋<br>断面修復 |

## 5. 対策工の施工状況

### (1) 断面修復

断面修復は、はつり除去を行い、はつり深さが30m程度の場合はコテで仕上げる左官工法を、はつり深さが150m以上である場合は、型枠を用いてグラウトを充填する充填工法により補修を行った（写真-4、および写真-5）。

いずれの工法も断面修復材は、乾燥収縮が小さなポリマーセメント系充填モルタル材を使用した。

また、セメントやグラウトの付着をよくするため、はつり後に高圧洗浄にてはつり面を洗浄するとともに、プライマーを塗布した。また、はつり面が必要な表面付着強度を有していることを確認した。なお、鉄筋の露出及び発錆箇所を確認した場合は、ワイヤーブラシでケレンし、粉塵清掃後防錆材を塗布した。

### (2) 含浸材塗布

含浸材塗布は、含浸材が確実に浸透されるよう高圧洗浄後、複数回に分けて塗布した（写真-6）。なお、今回施工した範囲では試験的にシラン系含浸材とけい酸塩系含浸材の2種類の含浸材を使用した。

シラン系含浸材はコンクリート表面部に撥水性を付与させることで水分の進入を防ぐ効果を有する。形成された撥水層はコンクリートの細孔を閉塞しないことから、コンクリート内部の水分を発散することが可能な特徴を有しているとされている。

けい酸塩系含浸材は、表面部コンクリートを緻密化することで水分浸入を抑制する効果を有する。コンクリート中のセメント水和物と反応した残りの成分が、一時的に乾燥して固化するものの、水の供給により再溶融するため、施工後に生じたひび割れにも閉塞する効果が期待できるとされている。

けい酸塩系含浸材はシラン系含浸材と比べコスト面で有利であることから、地下水の影響を受けにくい洪水吐き中壁部の一部について試験的に使用した。

## 6. まとめと今後の取組み

矢木沢ダムにおける劣化コンクリートの補修事例として、劣化状態を把握するための調査及びその結果を報告するとともに、凍害とASRとの複合劣化による対策工法の設計・施工状況について報告した。

今後は、採用した補修方法が劣化現象の抑制に効果があることを確認した上で、経済性も含めて適切な方法を選択し施工していく。特に含浸材塗布については2種類の材料を使用したことから、調査及び観察を続け、適切に使用材料を選定する必要がある。その後、劣化程度と重要度等を考慮して、洪水吐きコンクリートの補修を順次行う予定である。

また、ダム本体やその他周辺のコンクリート構造物においても必要な調査を継続して行い、その結果を踏まえ対策工の設計・補修を行う予定である。



写真-4 左官工法



写真-5 充填工法

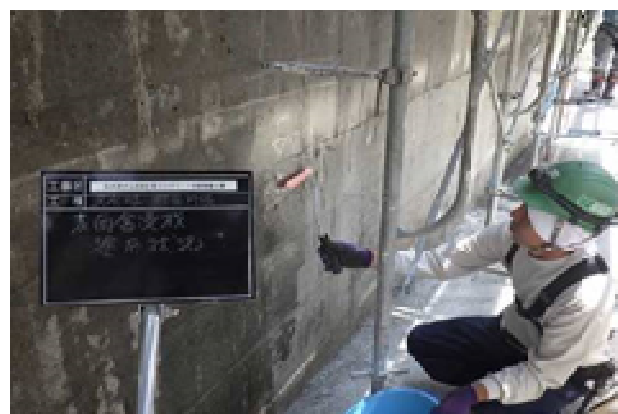


写真-6 含浸材塗布

### 参考文献

- 1) 独立行政法人 土木研究所寒地 土木研究所：土凍害が疑われる構造物の調査・対策手引き書（案）
- 2) 公益社団法人 日本コンクリート工学会：土凍害が疑われる構造物の調査・対策手引き書（案）



# 没水堤及び一部が水没した岸壁上での波の分裂・遡上実験とその再現計算

平山 克也<sup>1</sup>・濱野 有貴<sup>1</sup>・長沼 淳也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>港湾空港技術研究所 海洋研究領域 波浪研究グループ (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

潜堤などの没水堤及び高潮位時に一部が水没した岸壁に対して、港湾や海岸を対象とした浅海域の波浪変形計算の実務に多用されているNOWT-PARIを用いた波浪変形計算を実施した際には、計算モデルで用いている波動方程式の適用限界に至り演算が発散する事態も散見される。一方で、没水堤設置が港内静穏度に与える影響及び高潮位時を想定した岸壁での遡上高を厳密に算定することは難しく、N-S方程式を直接的に解くような計算モデル（例えば、CADMAS-SURFなど）を適用することになるが、このような計算モデルでは計算コストの観点から平面計算への拡張は容易ではない。そこで、これらを対象とした平面計算を安定に実施できるようNOWT-PARI Ver5.3の改良を行い、実験結果と再現計算結果との比較を通じて精度検証を実施した結果、没水堤による波高・周期変化や高潮位時の岸壁上の遡上高をおおむね再現できることが確認され、改良版NOWT-PARIの有用性が示された。

キーワード ブシネスクモデル、没水堤、波の分裂、岸壁、遡上

## 1. はじめに

直前の高潮・高波や地震・津波により防波堤が水没した場合、頻繁に来襲する台風下では、続く高潮・高波に港内が直接曝されることになる。したがって、被災防波堤に残存する防波性能を把握することは、暫定利用する港湾の安全性や事前嵩上げの要否、あるいは被災状態での高潮・高波に対する更なる被害リスクを評価する上で極めて重要である。また、これと同様な水理特性を有する没水堤は、水面付近の波力を直接受けずに分裂による透過波の短周期化が期待されるため、特にうねりによる荷役障害が懸念される離島港湾などで新たな静穏度対策となり得るが、どの程度短周期化するかを推定することは容易ではない。さらに、高潮による高潮位時には岸壁の一部が水没した状況下で高波が発生し、波が岸壁上をあらい、背後施設に浸水被害をもたらすことがある。しかし、一般的な海岸堤防とは異なり越波水塊の一部は引き波時に海へと戻るため、想定される護岸越波量と関連づけて浸水域や浸水深を推定することは容易ではない。このような観点から、没水堤背後での短周期化及び高潮位時における岸壁の越波遡上のいずれに対しても数値計算による再現を行うことが有効だと考えられる。

しかしながら、港湾や海岸を対象とした浅海域の波浪変形計算の実務に多用されているNOWT-PARIでは、大きな段差や急勾配斜面を有する没水型構造物まわりにおいて波動方程式の適用限界に至り演算が発散する事態も散見される。また、このような場合にはN-S方程式を直

接的に解くような計算モデル（例えば、CADMAS-SURFなど）で解析を行うことが考えられるが、計算コストの観点から平面計算で用いることは容易ではない。そこで、大きな段差や急勾配斜面を有する没水型構造物に対しても計算が実施可能となるようにNOWT-PARIを改良するとともに、改良した計算モデルの再現精度について確認するため、没水堤を設置した平面実験及び高潮位時における岸壁上の越波遡上断面実験をそれぞれ実施し、計算結果との比較を行った。

## 2. ブシネスクモデル（NOWT-PARI Ver5.3）の改良

波動方程式のうち、NOWT-PARIの基礎方程式として採用されている低次のブシネスク方程式は、その導出過程において緩勾配近似が導入され、式の簡略化が図られている。このような波動方程式は、差分計算を行う際に反射境界などの水陸境界の取扱いが容易であるため、特に港湾や海岸を対象とした浅海域の波浪変形計算の実務に多用されている。

ところで近年では、景観や海域環境への影響にも配慮した港湾・海岸構造物の多様化や海洋空間の利用促進ニーズ等を踏まえ、大きな段差や急勾配斜面を有する没水型構造物や裾礁・環礁周辺の波浪変形を取り扱う機会が増加している。さらに、一部が水没した岸壁前面においても水深の急激な変化がみられるようになる。したがって、これらの実務計算においては、波動方程式の適用限界に至り演算が発散する事態も散見される。そこで本研

究では、やむを得ず実地形を局所的に平滑化して次善の解を得る代わりに、局所的な水深の不連続部を便宜的につなぐための境界処理法を新たに開発・導入することにより、低次のブシネスク方程式が有する差分計算の取扱い易さを損なうことなく、安定かつ高精度な計算を可能とすることを旨とした。なお、対象とした波浪変形計算モデルは、速度ポテンシャルの級数表示などに緩勾配近似を導入する一方、補正項により分散特性を改良したMadsen&Sørensen<sup>1)</sup>による修正ブシネスク方程式を基礎式とし、波の部分反射や任意地形上の砕波及び越波などの境界処理に対応したNOWT-PARI Ver5.3である。

本研究では、水深急変部で計算領域を強制的に分断し、基礎式を解く代わりにこの境界間でやりとりすべき流量Fluxを別途算定して与える境界処理法(段差境界処理法と呼ぶ)を新たに導入した。具体的には、図-1に示す水深急変部(段差)を挟む支配断面間で運動量保存則を適用し、段差から受ける圧力を考慮しながら得られる項を含む線形長波式を陽的に差分して、境界上の流量Fluxを計算ステップ毎に算定した。この差分式を式(1)に示す。

ここに、 $P$ : 流量Flux( $=v \cdot h$ ,  $v$ : 代表流速),  $\eta$ : 水面変動,  $h$ : 静水深,  $d$ : 全水深( $=\eta+h$ ),  $g$ : 重力加速度である。また、添え字 $n, i$ はそれぞれ時刻, 位置を表す整数であり,  $\Delta t, \Delta x$ はそれぞれ差分時間間隔, 差分格子幅である。また、段差高さは $\Delta z=h_{i-1/2}-h_{i+1/2}$ 部分である。なお、NOWT-PARIにおける実際の差分計算では、式(1)におい

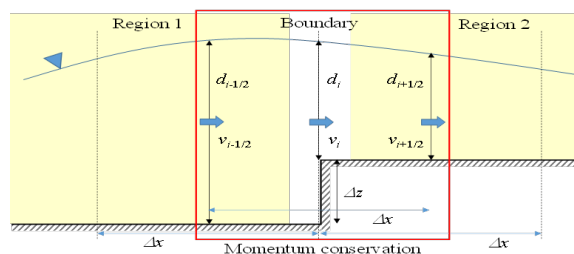


図-1 水深急変部(段差)を挟む支配断面間での運動量保存

$$P_i^{n+1} = P_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \left( \eta_{i+\frac{1}{2}}^n - \eta_{i-\frac{1}{2}}^n \right) \left\{ g \frac{d_{i-\frac{1}{2}}^n + d_{i+\frac{1}{2}}^n}{2} - \frac{P_i^n |P_i^n|}{d_{i-\frac{1}{2}}^n d_{i+\frac{1}{2}}^n} \right\} - \left( h_{i-\frac{1}{2}} - h_{i+\frac{1}{2}} \right) \frac{P_i^n |P_i^n|}{d_{i-\frac{1}{2}}^n d_{i+\frac{1}{2}}^n} \right] \quad (1)$$

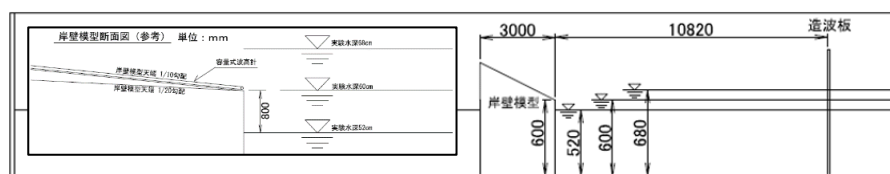


図-2 岸壁模型と遡上計の設置状況, 及び岸壁天端高の水深との関係

て、海底勾配は直接影響しない底面摩擦項, 砕波減衰項, 及び低次の層流・乱流抵抗項も考慮することとした。この結果、水深急変部を挟む差分計算では、基礎式のうち移流項及び分散項のみが省略された形となる。

### 3. 高潮位時における岸壁上の越波遡上実験とその再現計算<sup>2)</sup>

岸壁天端高と潮位との関係毎に、岸壁を越波した水塊による岸壁上の遡上高さを実験的に明らかにするとともに、2章で改良した段差による計算の不安定化を回避できる波動モデルを用いてこれらの再現計算を実施し、その精度を検証した。

#### (1) 越波遡上実験

港湾空港技術研究所所有の不規則波造波水路(長さ35m, 幅0.6m, 高さ1.3m)内に天端高0.6m, 天端上の勾配1/10, 幅3mの岸壁模型を設置し、水深 $h=0.60\text{m} \pm 0.08\text{m}$ のとき、岸壁天端に沿わせた長さ3mの容量式波高計により岸壁上の波の遡上高を計測した。なお、岸壁前面は一樣水深とした。これらの状況を図-2に示す。模型縮尺は1/25を想定した。

作用波は表-1に示す12ケースとし、4種類の波形勾配毎に3種類の異なる有義波周期を吸収制御により2波群ずつ、計測開始後200波以上造波するとともに、造波板と岸壁模型の間に設置した2本の波高計で岸壁による反射率を計測した。周波数スペクトル関数は修正ブレット・シュナイダー・光易型とし、計測データ数は8192、サンプリングタイムは周期に応じ0.04~0.07sとした。

各潮位での岸壁上の遡上高 $R$ ( $R_{\max}$ : 最大遡上高,  $R_{1/3}$ : 遡上高の1/3有義値)の計測値を換算沖波波高 $H_0'$ に対して整理した結果を図-3に示す。ここで、図中の実線は一樣勾配斜面への不規則波の打上げ高の計算式(Mase<sup>3)</sup>)による結果を、各プロットの形状(●, ▲, ■)はそれぞれ $h=0.52, 0.60, 0.68\text{m}$ での計測値であることを示す。静水時の汀線が岸壁上に位置する $h=0.68\text{m}$ (■)では、いずれの波形勾配とも $H_0'$ が小さいうちは $R_{\max}$ ,  $R_{1/3}$ 値は計算式に比較的好く従うことがわかる。また、潮位が岸壁天端と同じ $h=0.60\text{m}$ (▲)では、 $H_0'$ が大きいくほど計算式に比べ $R_{\max}$ ,  $R_{1/3}$ 値が大きくなり、引き波後に生じる岸壁上への越波の影響が疑われる。さらに、岸壁天端高 $h=0.08\text{m}$ となる $h=0.52\text{m}$ (●)ではその傾向が

表-1 対象とした波浪諸元

| $T_0$ [s]  | 1.2        | 1.5   | 1.7   | 2.4   |
|------------|------------|-------|-------|-------|
| $L_0$ [m]  | 2.2        | 3.5   | 4.5   | 9.0   |
| $H_0'$ [m] | $H_0'/L_0$ |       |       |       |
| 0.011      | 0.005      |       |       |       |
| 0.022      | 0.010      |       | 0.005 |       |
| 0.045      | 0.020      |       | 0.010 | 0.005 |
| 0.090      | 0.040      |       | 0.020 | 0.010 |
| 0.140      |            | 0.040 |       |       |
| 0.180      |            |       | 0.040 | 0.020 |



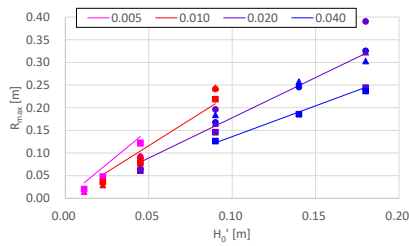


図-3 岸壁上の遡上高（実験値）（●： $h=0.52\text{m}$ ，▲： $h=0.60\text{m}$ ，■： $h=0.68\text{m}$ ）

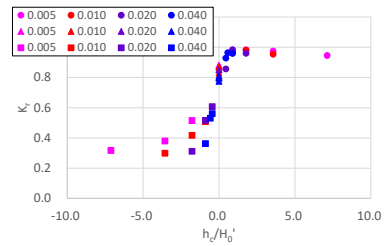
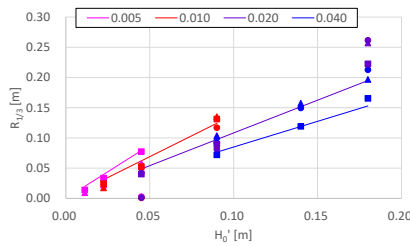


図-4 岸壁からの反射率（実験値）

顕著となり、 $H_0'$ が小さい波の打上げは計測されないが、 $H_0'$ が0.08m程度より大きいほど計算式よりも大きな $R_{\max}$ 、 $R_{1/3}$ 値が計測されるようになる。ただし、図-2に示した遡上計の計測限界により、■では0.22m、▲では0.30m、●では0.38mを超える遡上高は計測できていないことに注意を要する。

次に、各潮位での岸壁の反射率を図-4に示す。なお、凡例は図-3と同様である。 $h/H_0'$ の減少及び波形勾配の増加に伴い反射率が減少するのは、岸壁上での越波と碎波によるエネルギー逸散によるものと考えられる。

## (2) NOWT-PARIによる再現計算

潮位に応じ岸壁では波の越波や遡上が生じる。実際の岸壁等を対象とした将来の平面計算に備え、これらの再現計算には改良を行ったブシネスクモデルを採用した。また、岸壁が水没する高潮位時には、岸壁前面から天端上にかけての波浪変形は水深が急変する地形上で生じる。そこで、岸壁前面の直立壁に対しては、海底地形を平滑化して計算の発散を防ぐ代わりに急変地形をそのまま考慮して波の変形計算を行える段差境界処理法を適用した。再現計算の格子幅は $\Delta x=10\text{cm}$ 、時間刻みは $\Delta t=T_0/24000\text{s}$ とした。

岸壁上の遡上高の計算値を実験値と比較した結果を潮位毎に図-5に示す。ここで、各プロットの形状（●，▲，■，◆，\*）はそれぞれ $R_{\max}$ 、 $R_{2\%}$ 、 $R_{1/10}$ 、 $R_{1/3}$ 、 $R_{\text{bar}}$ の値であることを示す。また、 $R_{2\%}$ 、 $R_{1/10}$ 、 $R_{\text{bar}}$ はそれぞれ、遡上高の2%最大値、1/10有義値及び平均値である。計算値は実験値に比べ全体的に小さめであるが、これは斜面上を波が遡上する際のしきい値（本研究では越流水深の最小値を $H_0'$ の1%とした）、及び $\Delta x=10\text{cm}$ の計算格子による遡上高の分解能（0.01m）による影響がまず考えられる

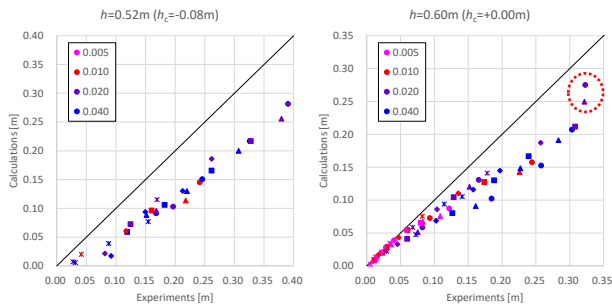


図-5 岸壁上遡上高の実験値と計算値の比較（●： $R_{\max}$ ，▲： $R_{2\%}$ ，■： $R_{1/10}$ ，◆： $R_{1/3}$ ，\*： $R_{\text{bar}}$ ）

（ $h=0.60\text{m}$ ， $0.68\text{m}$ のうち波形勾配の小さいケース）。次に、 $H_0'$ が増加し $h=0.52\text{m}$ の場合も含め岸壁前面で顕著な越波が生じるケースでは、波形勾配によらず全体的に計算値が小さめであり、越波モデルで与えられる越流Fluxが未だ過小なようである。なお、波形勾配0.020の $R_{\max}$ 、 $R_{2\%}$ では一部の実験値が遡上計の計測限界に達している。（図の○囲み枠内）

一方、岸壁からの反射率の計算値を実験値と比較した結果を図-6に示す。ここで凡例は図-3、図-4と同様である。0.5程度以下のときの再現性は越波時の乱れや碎波によるエネルギー減衰の再現精度に依存している。

## 4. 没水堤周辺での不規則波の分裂・屈折変形に関する平面模型実験とその再現計算

### (1) 平面模型実験<sup>4)</sup>

平面波浪変形実験には港湾空港技術研究所が所有する環境インテリジェント水槽（長辺34.3m、短辺23.5m、深さ1.3m）を使用した。ただし、斜め波及び多方向波の造波に用いたL字配置サーペント型造波装置は現在、全94台のうち長辺端の8台（5.3m）の稼働を停止している。

模型縮尺は1/25とし、水深 $h=0.6\text{m}$ で一定とした造波水槽内に、長さ6m、幅0.8m、高さ0.48m（天端上水深 $h=0.12\text{m}$ ）の矩形潜堤、及びその周囲に勾配1:2の斜面模型を加えた台形潜堤を設置した。実験波は波形勾配 $H_0'/L_0=0.010$ の一方向波及び多方向波（ $S_{\max}=25$ ：光易型方向関数）とし、潜堤法線に直入射する（波向0°）換算沖波波高 $H_0'=2.3, 4.5, 9.0\text{cm}$ 、沖波周期 $T_0=1.2, 1.7, 2.4\text{s}$ の不規則波（修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトル）を2波群ずつ、計測開始後200波以上造波した。なお、多方向波を除きこれらは既往の断面模型実験<sup>5)</sup>と同様である。

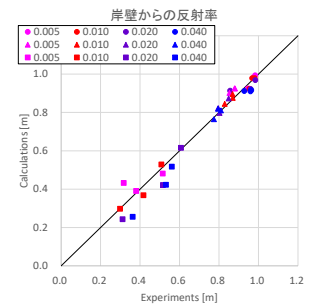


図-6 岸壁反射率の比較

さらに、一方向波は波向 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ でも造波した。

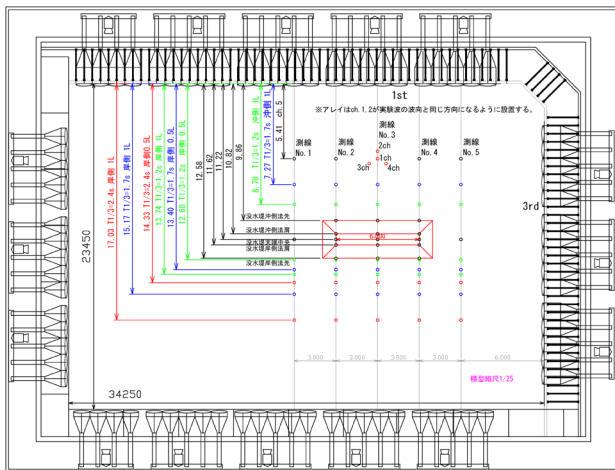


図-7 平面水槽内の潜堤模型と波高計の配置 (単位: m)

潜堤模型及び波高計の設置状況を図-7に示す。潜堤法線の中央、天端両端及びそれらの等間隔外側に岸沖方向の5測線を設け、各測線において、沖1点と潜堤天端中央及び法肩・法先の5点（外側では中央1点）以外は対象周期に応じて測点の位置を変え、入反射波分離解析による反射率、及び潜堤沖側1波長、岸側0.5、1波長位置での波浪統計量を計測した。測線3の沖に設けた波高計アレイを含め、同時計測を行う波高計本数は計40本である。

## (2) NOWT-PARIによる再現計算

Madsen型のブシネスク方程式に段差境界を導入した平面2次元モデルを用いて平面模型実験の再現計算を実施した。ここで、段差境界では水深急変部での計算の不安定化を回避する処理が施され、特に矩形潜堤周りの波浪変形計算において効果を発揮する。計算領域は図-7にならない設定したが、水槽側面の造波装置から入射する斜め波を再現するために、波向 $0^\circ$ の多方向波、及び波向 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ の一方向波では、仮想的に一系列に並べた造波面を想

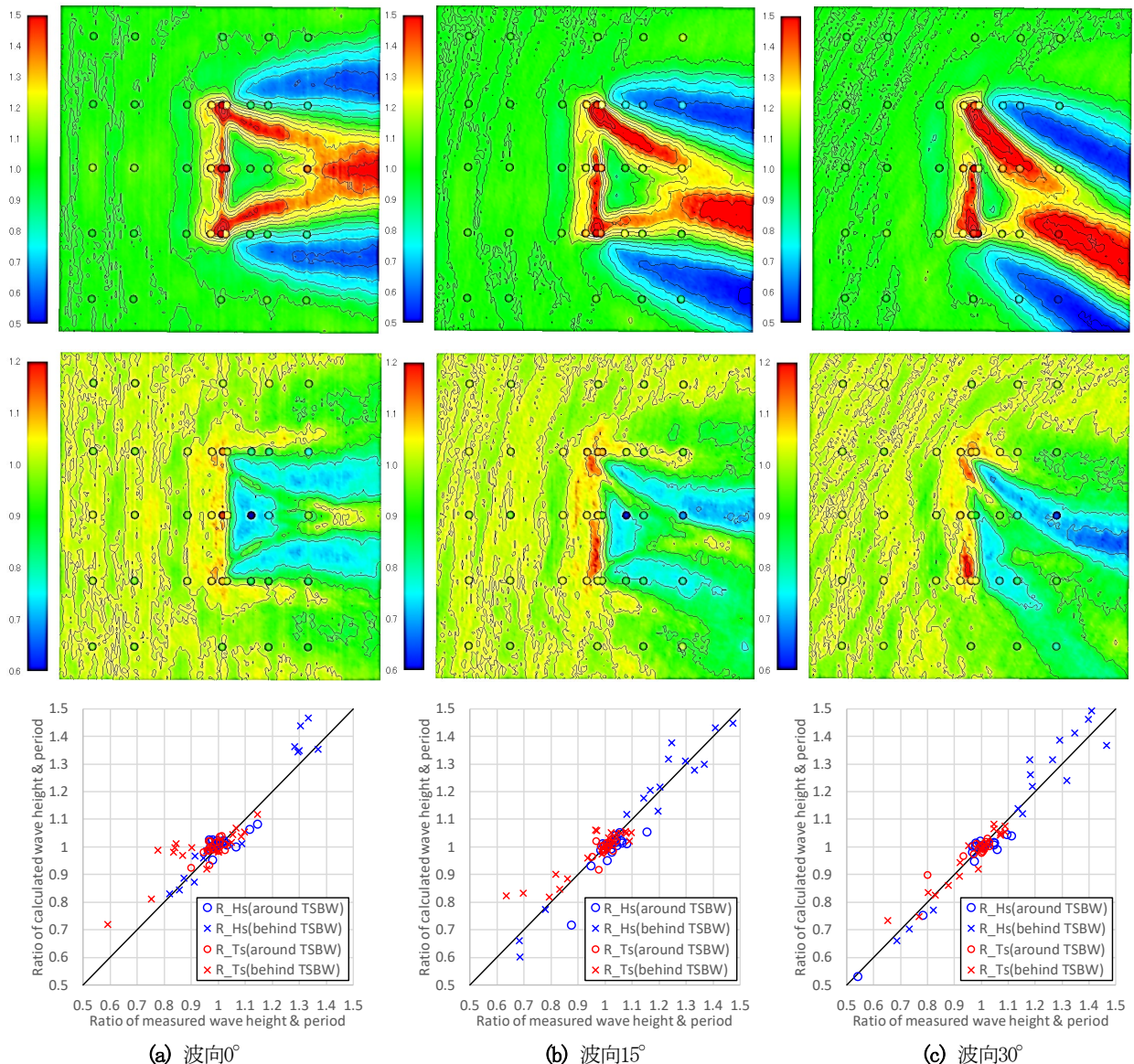


図-8 台形潜堤による波浪変形の再現性 (上段: 波高比, 中段: 周期比, 下段: 波高比・周期比) (一方向波,  $\bar{h} = 1.7s$ )



定し、それに対応した幅（ $(34.3\text{m}-5.3\text{m})+23.5\text{m}=52.5\text{m}$ ）の計算領域を用いた。また、計算領域の周囲には造波周期毎に1波長幅となる高次スポンジ層を設置し無反射境界とした。空間格子幅は $\Delta x=\Delta y=0.1\text{m}$ 、差分時間間隔は計算精度と安定性を高めるために $\Delta t=T_0/2400\text{s}$ 程度とした。

#### a) 台形潜堤

再現計算で算定された台形潜堤周りの周期 $T_0=1.7\text{s}$ 、波向 $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ の一方向波の有義波高比及び有義波周期比の平面分布を、波別解析により模型実験で計測した各地点（○印）の値とともに図-8(a) (b) (c)の上・中段に示す。ここで、有義波高・周期の平面分布は造波スペクトル形状に応じた係数を各計算格子での平均値に乗じて算定したが、別途実施した断面実験の再現計算結果と同様、本研究では後述する一部を除き、波別解析による有義値との違いは無視できる程度であった。なお、これらの波高比（＝波高伝達率）・周期比（＝周期変化率）は実験結果と同様、潜堤を設置しない計算結果で除して算

定した。

一方、波別解析で得た計算値を実験値と比較した結果を図-8(a) (b) (c)の下段に示す。ここで、青プロットは波高比、赤プロットは周期比を表す。また、平面分布図に示す点線枠内（潜堤背後）の地点での値を×印、それ以外の値を○印で示し、潜堤による影響の大小を区別した。波高比・周期比の平面分布において、波向に応じ、周期比は潜堤背後の比較的広い海域で減少するものの、波高比は潜堤端部からの屈折波が到達する波下側で増加しその両側で減少することがわかる。より詳細には、屈折による波の収れん（波下での波高増大とその両側での波高減少）がみられない海域で周期比が大きく減少することがみてとれる。ただし、実験結果と同様、多方向波ではこれらの傾向が弱まることが確認された（図は省略）。一方、計算と実験で共通としたカラー値は各地点とも比較よく一致している。また、これらの数値的な差異は分裂・屈折変形が顕著な潜堤背後の各地点（×印）

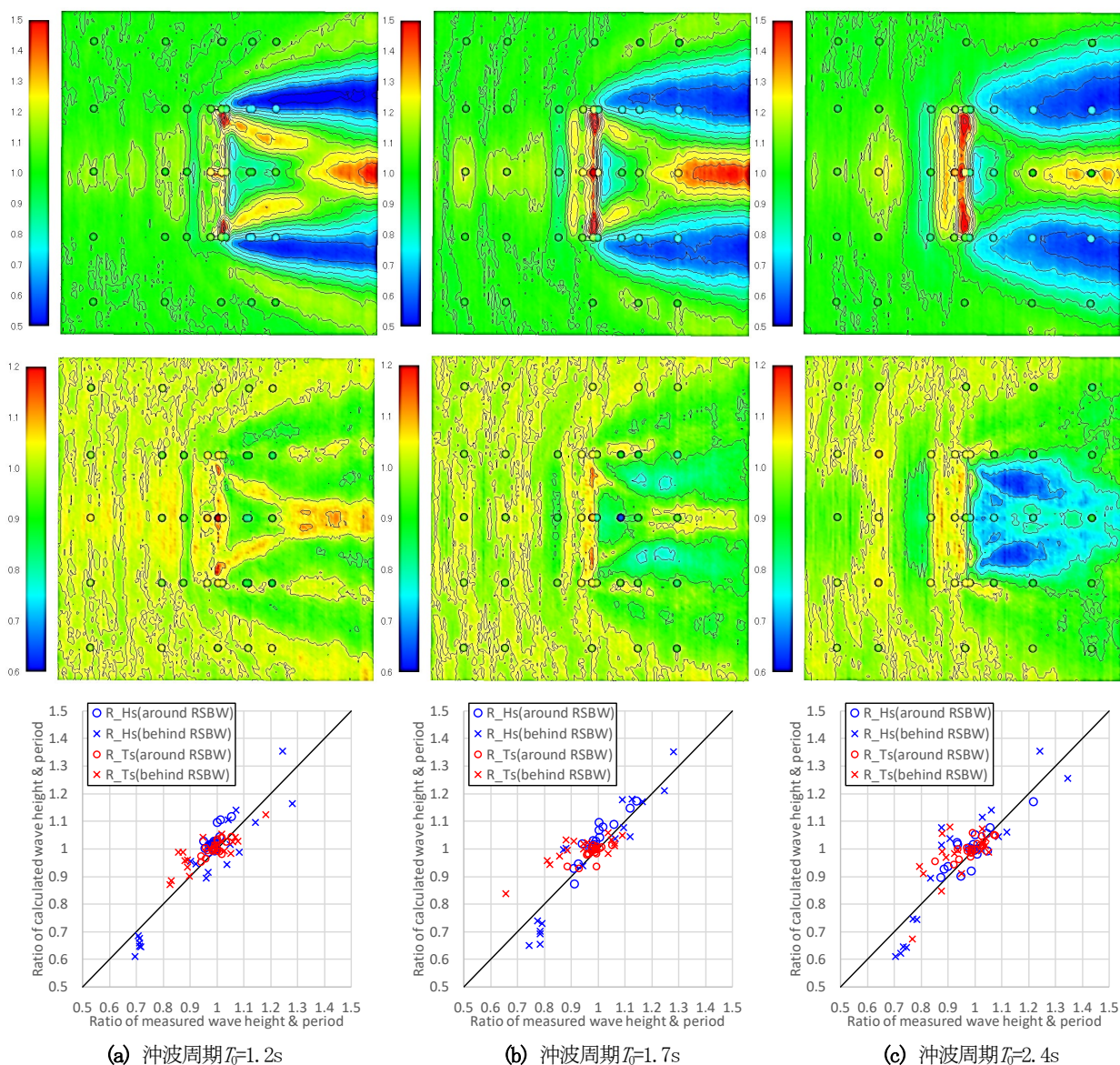


図-9 矩形潜堤による波浪変形の再現性（上段：波高比，中段：周期比，下段：波高比・周期比）（一方向波，波向 $0^\circ$ ）

においても概ね1割程度であることから、潜堤法線に入射する波向によらず、これらの波浪変形に対するブシネスクモデルによる再現性は比較的高いことが確認された。ただし、ここで対象とした相対天端高 $h/H_0=2.7$ （＝潜堤上の相対水深 $h/L_0=0.027$ ／波形勾配 $H_0/L_0=0.01$ ）のとき、分裂後の周期低減を過小（周期比を過大）評価する傾向は別途実施した断面実験の再現計算結果と同様である。

#### b) 矩形潜堤

矩形潜堤周りの周期 $T_0=1.2, 1.7, 2.4$ s, 波向 $0^\circ$ の一方向波の計算結果を、各地点での実験値とともに図-9に示す。図の描き方や凡例は図-8と同様である。ただし、潜堤上で碎波が生じる $T_0=2.4$ sの計算周期の平面分布（図-9(c)中段）について、波別解析で得た潜堤背後の有義波周期を最大で15%程度過小評価していることに注意されたい。

波高比・周期比の平面分布及び各地点での計算値を実験値と比較したこれらの計算結果は、入射波の周期によらず、段差境界を導入したブシネスクモデルが矩形潜堤による波浪変形も安定かつ精度よく計算できることを示している。また、潜堤両端での屈折に伴う波浪集中は矩形潜堤でも同様に生じるが、同じ波浪条件（一方向波：波向 $0^\circ$ ，沖波周期 $T_0=1.7$ s）に対する波浪変形を示す図-8(a)と図-9(b)を比較すると、台形潜堤に比べ矩形潜堤では、背後での波の収れんや周期の顕著な減少がみられる範囲が縮小することがわかる。これは、波の屈折点が生じる潜堤端部に限定されるためと考えられる。なお、多方向波でこれらの平面分布が平滑化される傾向は台形潜堤と同様であった。一方、入射波の周期が長くなる（潜堤上の相対水深が浅くなる）につれて、潜堤による波の反射が顕著となるため、潜堤背後の波高比が全体的に低減している。また、このとき周期比も同様に低減する理由は、周期の長い成分波は潜堤により部分反射され、周期の短い成分波ほど潜堤上を伝播し易いためと推察される。したがって、天端水深が浅い不透過潜堤はうねりを部分的に遮蔽する効果を有することが確認された。

## 5. おわりに

水深が急変するような地形に対して、安定的に計算が実行できるように、NOWT-PARIを改良するとともに、改良したNOWT-PARIを用いて、港内静穏度を確保するうえで今後有用と考えられる没水堤、及び高潮時に想定される一部が水没した岸壁に対しての計算を実施した。また、これらの計算精度を確認するため、没水堤に対しては平面実験、一部が水没した岸壁に対しては断面実験を実施し、計算結果との比較を行った。結果として、岸壁の遡上実験については越波時の越流Fluxの与え方などにより、遡上高を過小評価してしまう傾向があるものの、没水堤も含めておおむね精度よく計算できることが示された。今後は、改良したNOWT-PARIを用いて、実港湾に対する計算を行い、港内静穏度に対する没水堤の効果及び高潮位時の岸壁に対する波の遡上による浸水深への影響等について検討を行う予定である。

## 参考文献

- 1) Madsen, P.A. and O.R. Sørensen: A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. Part2. A slowly-varying bathymetry, *Coastal Engineering*, 18, pp.183-204, 1992.
- 2) 平山克也，長沼淳也，濱野有貴：高潮位時における岸壁上の越波遡上実験とその再現計算，土木学会全国大会，第74回年次学術講演会，2019
- 3) Mase, H. : Random wave runup height on gentle slope, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean engineering*, ASCE, Vol.118, No.5, pp.534-550, 1992
- 4) 平山克也，濱野有貴，長沼淳也：没水堤周辺での不規則波の分裂・屈折変形に関する平面模型実験とその再現計算，土木学会論文集 B2(海岸工学)，2019。（印刷中）
- 5) 平山克也，長沼淳也，柴田邦善，森谷巧実：没水堤周辺での不規則波の波高及び周期の変化に関する考察，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.74, No.2, pp.I\_575-I\_580, 2018.



# 平成30年7月豪雨災害時の交通マネジメントについて

加藤 大騎

中国地方整備局 道路部 道路計画課 (〒730-8530 広島市中区上八丁堀6-30)

平成30年7月豪雨により、中国地方整備局管内は多くの箇所では幹線道路の通行止めが発生した。特に広島市～呉市間では、広島呉道路と国道31号が通行止めになるとともに、並行するJR呉線も運行休止を余儀なくされ、広島市～呉市の都市間を結ぶ交通はかつて経験したことのない麻痺状態に陥った。この状況を解決すべく、慢性的な大渋滞解消のための自動車交通量の抑制や定時性の確保等、官民学が一体となって実施した交通マネジメントの取組について報告する。

キーワード 豪雨災害、渋滞対策、交通マネジメント、中国地方

## 1. 交通マネジメントの背景

2018年7月6日には中国地方で初めて3県同時（広島県、岡山県、鳥取県）に大雨特別警報が発令され、土砂流出等に起因した災害による道路の通行止めが発生、高速道路では供用路線の約7割にあたる13路線約900km、直轄国道でも最大54箇所では通行止めとなり、中国地方各地で道路交通網が寸断された。

特に広島市～呉市間においては、国道31号で6箇所の通行止めが発生し、このうち、広島県坂町水尻では、国道31号とともに、並行する一般有料道路広島呉道路も土砂崩落により通行止め、さらにJR呉線も土砂崩落により運行休止となり、広島市～呉市を結ぶ交通網が完全に寸断される状況に陥った。

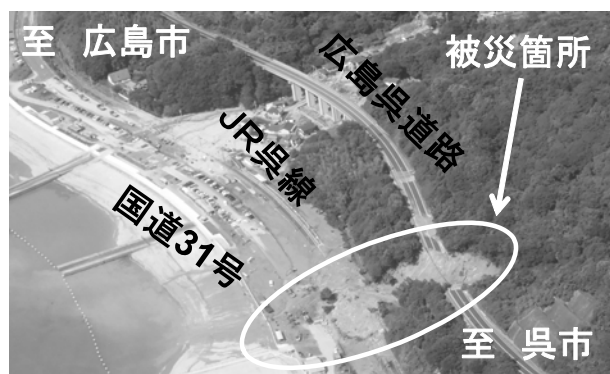


図-1 広島県坂町水尻の被災状況

が通行止め解除となった。

その一方で、甚大な被害を受けた広島呉道路、JR呉線の復旧には長時間を要することとなった。

## (2) 発災直後の交通状況

国道31号、JR呉線、広島呉道路という3本の連絡ルートのうち、2本が機能麻痺となった広島～呉間では、通行止めが解除された路線が担うこととなったが、広島市～呉市間を最短距離で結ぶ国道31号に交通が集中し、朝夕を中心に慢性的な大渋滞が発生し、平常時は広島市～呉市間を1時間程度で移動できるところを、最大6時間もの移動時間を要する事態に陥った。

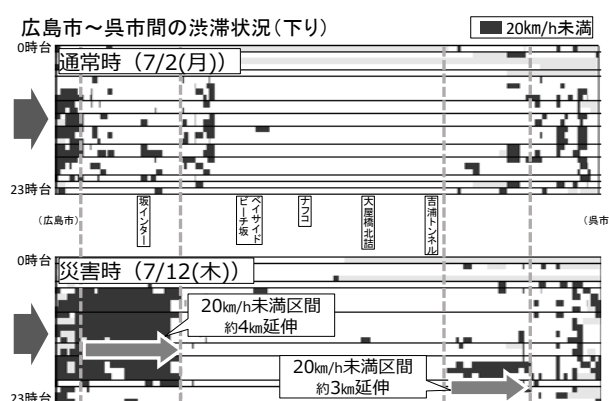


図-2 広島～呉間の渋滞状況

## 2. 発災後の被災・交通状況

### (1) 交通インフラの被災状況

広島市～呉市間を結ぶ交通網（JR呉線も含む）は、2018年7月7日から順次通行止めとなり、その後、各道路管理者の懸命な復旧作業により、7月11日には広島呉道路及びJR呉線を除く広島市～呉市間を結ぶ全ての交通網

### 3. 発災後の交通データの取得

発災後の都市圏の激しい渋滞は誰の目にも明らかであり、対策検討にあたり、過去に経験したことのない状況にある国道31号の交通データをできる限りリアルタイムに把握する必要があった。

## (1) CCTV映像による交通量観測

交通状況把握の基本データは交通量データである。今回は被災箇所付近に既設トラカンがなかった。そこで、国道31号に設置してある既設のCCTV映像に着目、CCTV映像はリアルタイムで中国地方整備局で確認できる状態が構築済みであったため、約2週間、職員直営によるCCTV映像を活用した交通量観測を実施した。

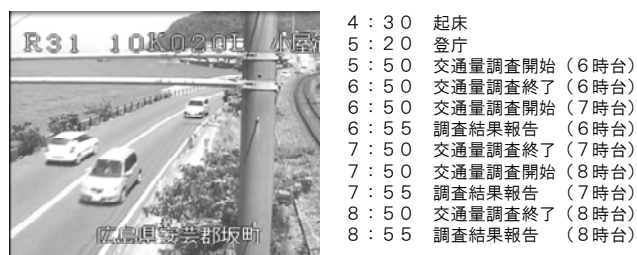


図-3 CCTV映像（左）と発災後2週間の観測スケジュール

こうして取得した交通データは発災直後の交通状態の把握と各種対策実施の基礎資料として活用した。さらに、時系列で蓄積したデータを、各種追加対策の検証に活用した。

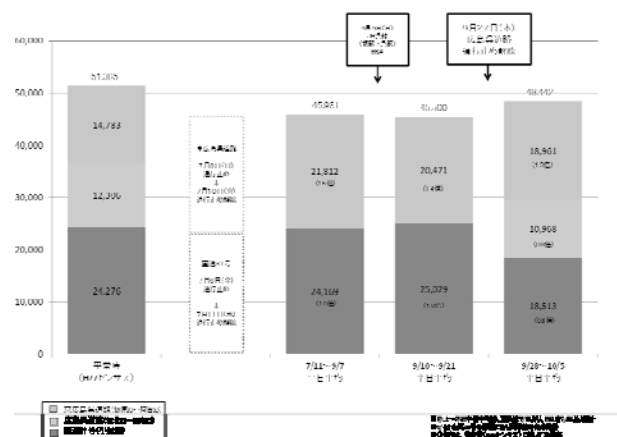


図-4 交通インフラ復旧と交通量関係

## (2) AIカメラによる交通量観測の試行

今後の災害時には、発災から観測開始までのタイムラグを埋めること及び観測時の省力化が重要である。その対応として、常時、映像をクラウドに転送するWEBカメラとAIによる交通量観測ソフトを組み合わせ、「AIカメラ」を試行した。人的計測とAIカメラ計測の交通量の比較では、90%を超える検出率が得られ、今後の災害時において、リアルタイムで交通量観測が可能であることを確認した。

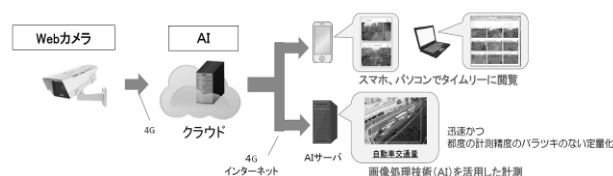


図-5 AIカメラの構成イメージ

※検出率 検出率% = 計測交通量 / 人的計測交通量

| H30.12.25(火)<br>計測<br>[台/2時間] |     | 交通量(上り)  |             |      | 交通量(下り)  |             |     |
|-------------------------------|-----|----------|-------------|------|----------|-------------|-----|
|                               |     | 人的<br>計測 | AIカメラ<br>計測 | 検出率  | 人的<br>計測 | AIカメラ<br>計測 | 検出率 |
| 昼間<br>(14~16時)                | 全車  | 1,258    | 1,216       | 97%  | 1,138    | 1,100       | 97% |
|                               | 大型車 | 145      | 139         | 96%  | 135      | 133         | 99% |
|                               | 小型車 | 1,113    | 1,077       | 97%  | 1,003    | 967         | 96% |
| 夜間<br>(18~20時)                | 全車  | 1,234    | 1,119       | 91%  | 1,237    | 1,119       | 90% |
|                               | 大型車 | 48       | 49          | 102% | 38       | 36          | 95% |
|                               | 小型車 | 1,186    | 1,070       | 90%  | 1,199    | 1,083       | 90% |

概ね1ヶ月間のAI学習結果、高い検出率を確認  
今後の交通マネジメント施策への有効性が確認

図-6 AIカメラの観測精度（国道31号 呉市天応地先）

## (3) 実走調査による都市間所要時間の計測

交通状況を詳細に分析するためには、交通量の他に旅行速度が必要となる。旅行速度はETC2.0プローブデータで取得可能であるが、速報値でも生成が最短で翌日午前となるため、実走調査による都市間の所要時間計測を実施し、広域迂回誘導等の効果検証に活用するとともに、広域迂回誘導を促進するための広報を実施した。

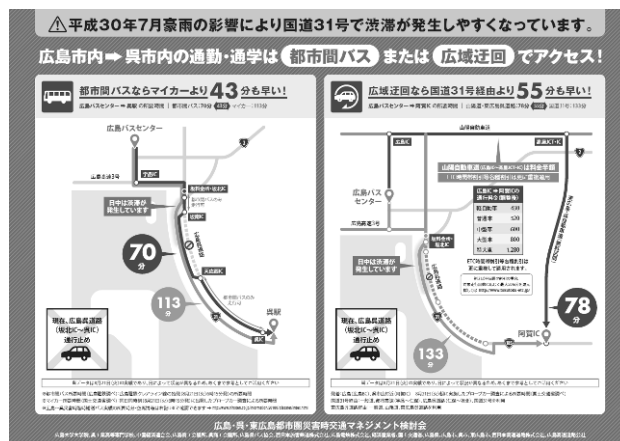


図-7 実走調査結果による広域迂回誘導促進の広報チラシ

## 4. 災害時の交通マネジメントから平常時の交通マネジメントへの展開

JR呉線、広島呉道路の復旧が長期化する中で、広島市～呉市間の渋滞緩和が都市圏の日常・経済活動を維持するために急務であった。このため、限られた時間のなか、関係者の連携と創意工夫に各種の対策を実施した。



## (1) 広島県災害時渋滞対策協議会の設置

国道31号での慢性的な大渋滞の状況を受け、7月12日には道路管理者と交通管理者、関係自治体で構成される「広島県災害時渋滞対策協議会」を設置し、周辺道路の通行止め状況や道路の渋滞状況、迂回路状況を共有した。さらに、渋滞緩和や交通量抑制のための渋滞対策を検討するとともに、組織一丸となって対策を速やかに実施するための体制構築を行った。



図-8 広島県渋滞対策協議会の開催状況

## (2) 実施した主な対策と効果

### a) 広域迂回誘導

国道31号の渋滞緩和や交通量抑制を図るため、高速道路の料金調整を行い、山陽自動車道（広島IC～高屋JCT・IC）の料金を半額とし、山陽自動車道⇒東広島呉自動車道経由の広域迂回路への誘導を実施した。広域迂回の受け入れ側である東広島呉自動車道の交通量は、迂回誘導前に比べて約1.3倍となり、国道31号からの交通量の転換が確認できた。

また、広域迂回路となった東広島呉自動車道において、交通量が増えた影響もあり、阿賀IC出口を先頭とする渋滞が慢性化していたが、緊急対策として左折レーンを増設することにより、渋滞が緩和され、国道31号経由より山陽自動車道⇒東広島呉自動車道を経由する広域迂回路の方が、約1時間も早く広島市から呉市に移動できることになり、定時性を確保した。



図-9 広域迂回誘導と交差点改良の実施

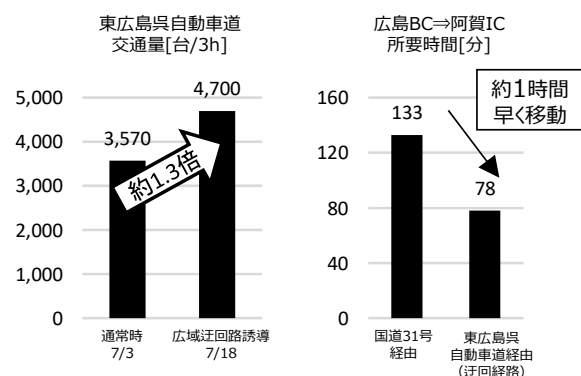


図-10 広域迂回誘導と交差点改良の効果

### b) 災害時BRTの運用

広島市～呉市間の都市間バスの定時性を確保するため、広島呉道路の通行止め区間の一部（坂北IC～坂南IC、天応西IC～呉IC）を活用し、臨時輸送バス等を通行可能とする運用を7月17日から開始した。その後も坂北ICの本線料金所と国道31号の坂町区間（呉方面向き）にバス専用レーンを設置した。

災害時BRTの運用に伴い、最大155分を要していた広島市～呉市間のバスの所要時間は徐々に安定し、9月末には最大75分となり定時性が格段に向上した。定時性の向上により、発災直後は約1,500人/日だったバス乗車人員が、9月上旬には約3,000人/日に増加した。

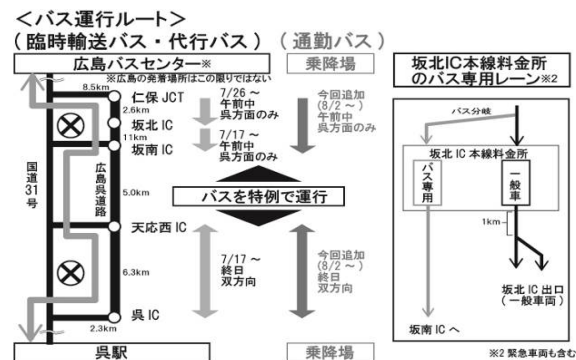


図-11 災害時BRTの運用

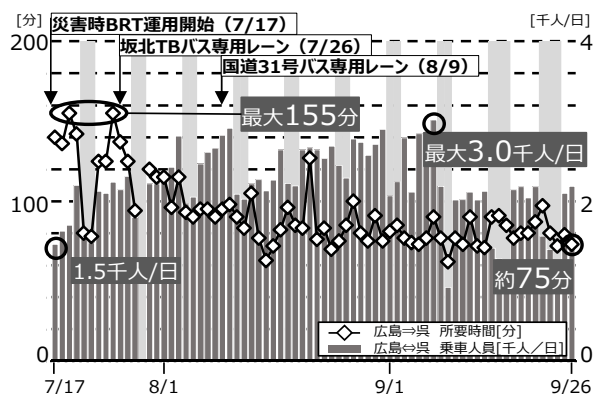


図-12 広島⇒呉間のバス所要時間・乗車人員の変遷

### (3) 広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会の設置

再度の災害時に同様の渋滞が発生した際、自動車交通の抑制へ速やかに対応できるよう、平常時から公共交通機関への転換を図ること、また、中長期的に当該地域の「過度に自動車に頼る状態」から「公共交通や徒歩などを含めた多様な交通手段を賢く利用する状態」へと少しずつ変えていくために、行政・学識経験者・経済団体等で構成する「広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会」を2018年8月23日に発足、平常時も含む交通マネジメントの推進体制を構築した。



図-13 広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会の開催状況

### (4) 公共交通機関利用の呼びかけ

検討会では、速やかに行える取組として、住民に公共交通機関の利用を促すチラシを作成し、検討会メンバーのホームページやSNS、施設掲示板等を活用した呼びかけを実施した。2018年12月時点で、チラシ掲載ページへのアクセスは約1万に達した。



図-14 公共交通利用を呼びかけるチラシ

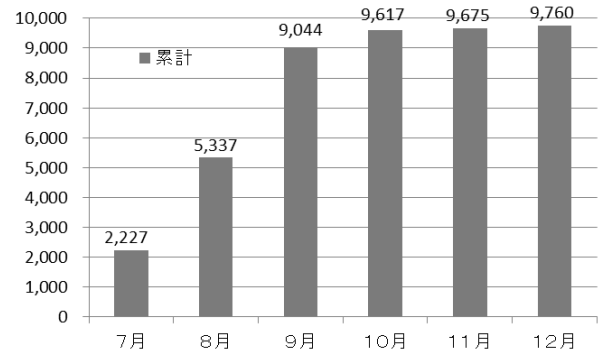


図-15 公共交通利用促進に関する広報媒体へのアクセス数

### (5) 呉駅におけるバス路線案内の改善

今後の発災時において、スムーズに交通手段を変更するには、交通結節点における円滑な乗り継ぎも重要である。このため、関係者協働によるJR呉駅の路線バス案内の点検を実施し、バス路線案内の設置個所と路線図の改善を2019年のゴールデンウィーク期間に試行した。この結果、利用者からは「行き先が分かりやすい」等の声が聞かれた。



図-16 設置したバス案内図を利用する様子

### (6) 企業モビリティ・マネジメントの実験実施

平成30年7月豪雨災害時には、広島・呉・東広島都市圏において、朝夕の通勤時間帯に大渋滞が発生し、マイカー通勤者は長時間の通勤を強いられた。再度の災害時に住民が速やかに交通手段等の見直しができるよう平時から企業モビリティマネジメントの取り組みが重要である。そこで、呉市内の主要企業12社を訪問し、通勤実態等をヒアリングし、その後、2019年2月26日～28日の3日間で、「通勤交通強靱化に向けた取り組み」社会実験として、呉市エリアを中心とするマイカー通勤者を対象に公共交通機関や自転車での出勤、相乗り出勤や時差出勤等に通勤交通手段を変更する取り組みに、3日間で延べ231人にご協力いただいた。この結果、参加者が最大

であった2月27日の朝ピーク時（7時台）は、国道31号の渋滞が平常時に比べて半減する等の効果を確認した。



図-17 社会実験の効果

## 5. 交通マネジメントの今後の展開

「広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会」では、検討を継続し、共有クラウドによる関係者間の情報共有を試行し、改善を続けている。

昨年の豪雨災害からまもなく1年が経過するが、時間の経過とともに被災による渋滞と混乱の記憶は薄らいでいく。記憶の風化を防ぎ、再度災害発生時の混乱を最小限に抑制するため、平常時からの備えとして、今年の7月には広島・呉・東広島都市圏を中心とした大規模な「災害時交通マネジメント総合訓練」および企業・一般住民を対象とした「通勤交通強靱化訓練」を実施する。引き続き、「広島・呉・東広島都市圏災害時交通マネジメント検討会」の枠組みを継続させるとともに、再度災害の際には、速やかに検討会での議論の場を立ち上げ、情報共有・提供・分析を行い、供給側と需要側のバランスを図りながら、有効な渋滞対策を検討・実行できるよう、災害時及び平常時の交通マネジメントの強化に取り組んでいく。



# 阪神大水害から80年の取り組みについて ～個人の記憶を社会の記憶に～

近藤 浩明<sup>1</sup>・矢野 治<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 六甲砂防事務所 (〒658-0052兵庫県神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 六甲砂防事務所 調査課 (〒658-0052兵庫県神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

平成30年は、神戸市など六甲山地周辺で死者・行方不明者約700名、被害家屋数約12万戸という甚大な被害をもたらした昭和13年7月「阪神大水害」から80年となる年であった。文豪、谷崎潤一郎の代表作「細雪」にもその状況が描かれ、六甲山地の砂防事業直轄化の契機ともなった災害であるが、時間の経過とともに体験者も減少し、その教訓も薄れようとしている。

土砂災害の発生が急増している昨今、過去の災害から学び、自らの生命・財産を守る術を身につけることが喫緊の課題となっていることから、阪神大水害の記録・記憶を次世代へ継承していくことを目的に行った取り組み事例を報告する。

キーワード 阪神大水害、土砂災害、防災教育、デジタルアーカイブ

## 1. はじめに

昭和13年7月、神戸市など六甲山地周辺で死者・行方不明者約700名、被害家屋数約12万戸という甚大な被害をもたらした「阪神大水害」が発生した。被害の状況は文豪、谷崎潤一郎の代表作「細雪」にも描かれている。

阪神大水害では土石流が数多く発生し、砂防事業を重点的に進めていく必要が生じたことから直轄化され、六甲砂防事務所が発足した。その後、砂防堰堤等整備を進めており、昭和42年の災害以降、六甲山周辺では大きな土砂災害は発生していない。

約50年の間、大きな土砂災害が発生していないことは幸いであるが、一方で、住民の危機意識も希薄となってしまうている。

「阪神大水害から80年を迎えるに当たり、過去の災害を知っていただくことで、住民の防災意識が変えられるだろうか」という発想が、今回実施した「阪神大水害から80年」の取り組み（以下、「取り組み」という。）の出发点となった。

## 2. 阪神大水害とは

### (1)降雨の概要

昭和13年6月下旬に、本州南方に発生した台風は、南東及び東方海上を通過し、関東・東海に豪雨をもたらした。東海道本線も10数箇所不通となった。この台風の通過後、シベリアから日本海を覆う高気圧と、南方小笠

原島方面の高気圧の間に、九州から東海道沖まで本州南海岸に沿う梅雨前線が生成され、これが徐々に北上し、7月3日には瀬戸内海を通過した<sup>1)</sup>。

六甲山地では、3日夕方より雨は勢いを増し、4日夕方に一時おさまったものの、5日深夜から午後まで大豪雨となり、3日間で461.8mmの雨量を記録した<sup>2)</sup>。

### (2)被害の概要

六甲山地を襲った豪雨により、山腹が崩壊。各河川は土石流を伴う大氾濫を起こし、岩石、流木、土砂礫を下流部に押し流して、道路、街区、耕地を埋没させた（写真1参照）。

六甲山地周辺で死者・行方不明者約700名、被害家屋数約12万戸という甚大な被害となり、この豪雨による土砂の流出量は、表六甲だけで500万m<sup>3</sup>から700万m<sup>3</sup>と推定される<sup>2)</sup>。



写真1 昭和13年 都賀川阪急北側付近被災状況

### 3. 本取り組みの目的・方針

#### (1)本取り組みの目的

これまで、過去の災害を次世代等に伝える取り組みとしては、学校等において出前授業の実施、防災イベント時に模型展示等のブース出展、啓発資料の配付などの広報活動を行ってきた。

これらの広報活動は、主に被災写真や映像を用いており、六甲山地の過去の災害の断片的な事例として一定の認識を得られた一方、過去の災害の1つとの認識に留まり、参加者自身が居住する地域で起こり得るとの発想までには至らず、自分のこととして将来の災害に備えることができないという課題があった。

また、従来の広報活動では一度に伝えられる人数にも限界があり、様々な年代に幅広く伝えていくことも課題であった。

上記の課題を解決し、阪神大水害という過去の悲惨な経験を学び、より多くの人が自分自身のこととして防災を考える「防災意識の高い社会」の構築を目指すことを目的として本取り組みを行った。

#### (2)阪神大水害に関する「情報等」の状況

阪神大水害から80年が経過した現在、阪神大水害を直接経験した方は少なくなり、様々な記録や資料（以下、「情報等」という。）も時間の経過とともに散逸し、過去の災害経験の伝承は先細っていく状況にあった。また、各行政機関を始め、関係機関が保有している情報等も何処にどのようなものがあるのか、横断的な情報共有はなされておらず、阪神大水害のことを知りたいと思っても大変な労力をかけ一つ一つの情報を集める必要があった。

#### (3)本取り組みの方針

関係機関が保有する情報等の集約、新たな情報等の発掘、過去の災害経験の伝承方法の検討等を行うにあたり、阪神大水害80年行事実行委員会を組織し、行政機関として国土交通省六甲砂防事務所、兵庫県、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、学識経験者として神戸大学の沖村孝名誉教授、兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科の浦川豪准教授、人と防災未来センターリサーチフェローの坪井壘太郎氏、地元報道機関として神戸新聞社地域総研が参画し、意思決定をしていくこととした（スケジュールは図1のとおり）。

平成30年5月21日に第1回委員会が開催され、活動のスローガンを「～個人の記憶を社会の記憶に～」とし、以下に示す活動についての方針が決定された。

- ①阪神大水害に関する情報等を関係機関にとどまらず、一般市民にも広く呼びかけ掘り起こす。
- ②収集した情報等を電子媒体として整理し、多くの方が利用しやすい形で情報を公開する。
- ③取組については、構成各機関が協力・分担して実施する。

| 月   | 日   | 会議等    | 情報収集活動       | 広報活動         | デジタルアーカイブ | その他     |
|-----|-----|--------|--------------|--------------|-----------|---------|
| 4月  | 23日 | 第1回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           | プロダクト開発 |
| 5月  | 21日 | 第2回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           | 出展日程    |
| 6月  | 1日  | 第3回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |
| 7月  | 24日 | 第4回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |
| 8月  | 24日 | 第5回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |
| 9月  | 24日 | 第6回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |
| 10月 | 14日 | 第7回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |
| 11月 | 24日 | 第8回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |
| 12月 | 14日 | 第9回委員会 | 一般市民向け情報収集活動 | 一般市民向け情報収集活動 |           |         |

図1 阪神大水害80年行事スケジュール

### 4. 取り組み内容

#### (1)情報収集の取り組み

##### a) 関係機関が既に保有している情報の収集

国土交通省六甲砂防事務所、神戸市、西宮市、住吉学園、神戸アーカイブ写真館、神戸市文書館の保有する情報等の収集をおこなった。概ね2,300点の資料を収集し、重複チェック後、1,700点程度に再整理した。

##### b) 市民からの情報等の提供

5月21日の実行委員会設立後、翌6月から早速広く市民を対象に情報等の募集（図2、図3参照）を開始した。募集にあたっては、兵庫県と4市の広報誌誌面に告知文を掲載するとともに、神戸新聞にも記事を掲載していただき、出来るだけ多くの方の目に触れるよう心がけた。

また、これらの募集活動の開始にあたって、事前に報道機関に情報提供していたところ、多数の報道機関に取り上げていただき、新聞では5紙、テレビでは3局で活動が紹介された。

1938
昭和38年阪神大水害

## 個人の記憶を 社会の記憶に

阪神大水害から80年  
当時の情報を求めています

体験者の方から伝え聞いたお話しや断片的な記憶でも結構です。

- 大増で記憶が定着したときの記憶
- 写真に残った記憶の断片
- 伝え聞いた記憶のお話

また、当時のことを記録した写真や作文・日記などが手元にある方や、資料の断片を今に伝える道徳などをご存知の方は、それらの情報も教えてください。

阪神大水害80年行事実行委員会  
神戸市、西宮市、芦屋市、宝塚市、兵庫県、国土交通省六甲砂防事務所、神戸新聞社、関係者

図2 情報提供を呼びかけるチラシ



さらに、阪神大水害の体験者に募集に関する情報が届くよう、神戸市の協力を得て神戸市内の95歳以上の方を対象としてダイレクトメール（図3参照）の発送を行い情報提供をお願いした。

図3 発送したダイレクトメール

その結果、情報等の募集を始めて8月末までの間に約180件の情報提供があった。なお、情報等には写真や書簡（写真2参照）の他、実際に阪神大水害の災害体験をお持ちの方から貴重な当時の体験をお伺いし、体験談として記録した情報（写真3参照）等も含まれている。



写真2 提供された資料の一部



写真3 体験談の収録状況

### c) 座談会の開催・研究活動

六甲山麓は東は宝塚市から西は神戸市須磨区まで広範囲にわたり、地域独自の情報収集や防災意識向上のための活動に特色があるため、各流域ごとに阪神大水害体験者や地域住民などを招いた座談会を実施した（写真4参照）。

また、地元中高生による阪神大水害に関する研究活動を実施し、座談会での発表や更なる情報収集を行い、災害に関する理解を深めることにより、次世代へ災害の記憶を継承し、地域防災力の向上を図った。



写真4 座談会の様子

- ・座談会の開催（8月21日～10月30日）
  - 芦屋川流域
    - 市内自主防災組織等約45名参加
  - 住吉川流域
    - 流域自治会、住吉中学校、一般等約20名参加
  - 都賀川流域
    - 地域協力団体、渚中学校、報道関係者等約20名参加
  - 新生田川・宇治川流域
    - 地域協力団体、渚中学校、報道関係者等約20名参加
  - 新湊川流域
    - 流域自治会、神戸常盤女子高校、一般等約20名参加
- ・研究活動（7月4日～9月11日）
  - 中高生の研究活動に当たっては、まず阪神大水害につ



いて学習を行った後で、どのようなテーマで研究をしていくかを生徒自らが決定し、活動を実施した。

各校の活動内容は以下のとおり。

#### ○住吉中学校

活動者：住吉中学校生徒会有志 13名

内容：当時、住吉川流域の住吉小学校に在籍していた災害体験者にインタビューを実施した。

実施にあたっては事前にインタビュー内容の検討を行い、聞きたいことを整理することやインタビュー内容を地図に落とし、位置関係を整理する等、より理解を深める工夫を行った。

#### ○渚中学校Aチーム

活動者：渚中学校防災ジュニアリーダーAチーム 12名

内容：都賀川流域新在家地区の地域住民の方と一緒に都賀川流域の現地調査（まちあるき）を北グループと南グループの2班で行い、災害写真の位置の特定とその場所の現在の写真を撮影した。

写真を地図に落とし込み、被災時と現在の写真が比較できるよう整理することで、日頃の生活圏が一度の災害で激変することを学んだ。

#### ○渚中学校Bチーム

活動者：渚中学校防災ジュニアリーダーBチーム 13名

内容：当時、新生田川流域に住んでいた災害体験者の証言映像の確認を行い、実際に災害体験者が被災当日に小学校から帰宅した道のりを歩き、周辺環境などを調査した。証言を基に当時の状況を疑似体験することで、災害の恐ろしさや地形の違いから、被害の出やすい場所とそうでない場所があることを学び、避難時は地形を考慮すること等に気付いた。

#### ○神戸常盤女子高校

活動者：神戸常盤女子高校生徒会有志 8名

内容：新湊川流域で被害が大きかった長田神社周辺の現地調査を実施し、被災写真の位置の特定とその場所の現在の写真を撮影した。写真を地図に落とし込み、災害時と現在の写真が比較できるよう整理した。研究を行う中で興味を持った周辺の被害状況や土砂の撤去作業について、追加調査として山陽電鉄及び神戸アーカイブ写真館で学んだ。

## (2) デジタルアーカイブの構築

デジタルアーカイブは、将来にわたって阪神大水害

の情報等を保存していくこととともに、誰もが容易に情報等に触れられる環境を提供することによって、過去の災害が未来に継承され、結果として六甲山地周辺地域の防災力向上に貢献することを目的としたものである。

したがって、デジタルアーカイブは一般の市民が気軽にアクセスでき、小中学校における防災教育にも活用出来るよう、活用しやすい操作性や画面構成が求められる。一方でデジタルアーカイブに保存される情報等は重要かつ貴重なものも多く含まれ、防災の専門家や研究者がそれぞれの活動に利用できる形態も求めたいといった、かなり欲張った仕上がりを目指した。

構築に関しては、専門的な知見を持つ兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科の浦川豪准教授及び研究室の方々が取り組んだ。構築された「阪神大水害デジタルアーカイブ」（写真5、図4参照）は災害体験者へのインタビュー動画・手記・エピソード・中高生による研究活動の様子を掲載する他、位置を特定した写真の掲載にあたっては、現在と災害発生当時の地図を重ね合わせ、状況把握をしやすいなどの工夫が凝らされ、十二分に満足できる仕上がりとなった。



写真5 デジタルアーカイブトップ画面

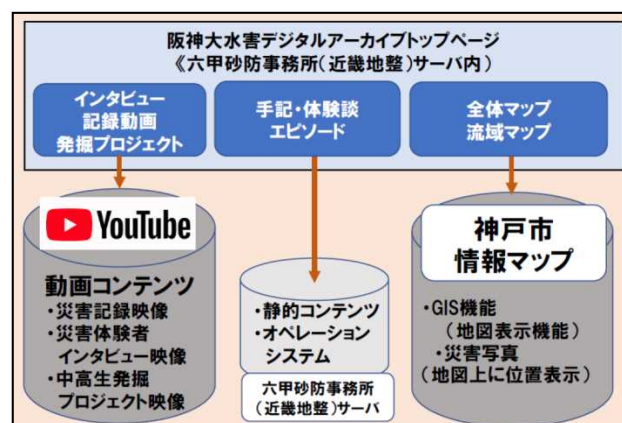


図4 デジタルアーカイブの構成

デジタルアーカイブの内容は以下のとおり。

#### ・インタビュー

阪神大水害の被災体験者の貴重な体験談をインタビュー形式で収録しており、5名の方の生々しい話から

土砂災害の恐ろしさが伝わる。

- ・手記／体験談

被災写真とともに阪神大水害の被災体験者の体験談を掲載しており、当時の混乱した状況がよくわかる。

- ・エピソード

被災にまつわる挿話や当時発売されていた被災状況写真の絵はがき等貴重な資料を掲載している。

- ・マップ

被災写真で位置の特定ができたものを地図上に載せた。当時の地図と現在の地図の切り替えもでき、どんな被害がどのような場所で起こったかが明確にわかる。

- ・ムービー

被災当時の動画をナレーション付きで掲載している。静止画より当時の悲慘さがよくわかる貴重な動画である。

- ・大水害の伝承

神戸市内の住吉中学校、渚中学校、神戸常盤女子高等学校の生徒の皆さんが行った研究活動の内容やデジタルアーカイブ公開イベントでの発表等を動画で掲載している。中高生の視点からの研究となっており、同年代の方に是非観ていただきたい内容となっている。

### (3) デジタルアーカイブ公開イベント

阪神大水害デジタルアーカイブを広く皆様に周知し、活用していただくため、公開イベントを平成30年11月24日に兵庫県看護協会ハーモニーホールにおいて実施した（写真6参照）。



写真6 イベント会場の様子

公開イベント内容は以下のとおり。

- ・「阪神大水害と近年の豪雨災害について」  
神戸大学 沖村孝名誉教授より阪神大水害や近年の災害の特徴、土砂災害の恐ろしさについての講演
- ・「私の体験した阪神大水害」  
実際に阪神大水害を体験された2名の方から当時の生々しい様子を司会者との対談形式で紹介
- ・「私たちが知ることのできた阪神大水害」  
住吉中学校、渚中学校、神戸常盤女子高校の生徒からの活動成果や活動を通じて想い感じたことの発表（写

真7参照）

- ・「阪神大水害デジタルアーカイブ その意義と活用に向けて」  
兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 浦川豪准教授よりデジタルアーカイブを作成した意義や今後の活用についての講演



写真7 中高生による研究発表

また別室で、この活動により収集できた資料の展示も行った（写真8参照）。



写真8 提供された資料の展示状況

## 5. 教育現場での活用

令和元年8月、神戸市立烏帽子中学校の教頭先生に2年生を対象としてデジタルアーカイブを用いた防災授業を実施していただいた（写真9参照）。

授業では、被災体験者の体験談や中学校周辺の被害写真、中高生の研究活動等を使用し、自分のこととして考えてもらえるよう工夫されていた。

デジタルアーカイブの内容については、身近な場所の被害や生の体験談が災害の怖さや悲慘さを良く伝えられる等概ね良い評価をいただいたが、併せて指摘いただいたご意見も今後の改良に活かしていきたい。





写真9 烏帽子中学校での防災授業の様子

## 6. 今後の取り組み

### (1) デジタルアーカイブの充実に向けて

構築されたデジタルアーカイブは、引き続き関連資料を追加掲載していくこととしている。既に掲載した写真や書簡などの他、今後は阪神大水害の記録誌や書籍、現地に設置された石碑などの掲載にも取り組んでいきたい。

また、デジタルアーカイブで新たに加えた情報については、「新着情報」のコーナーを設けるなど使い勝手の面でも充実を図ることとしている。

### (2) 利用者ニーズを考慮した情報提供

デジタルアーカイブの充実にあたっては、利用者ニーズを把握し、主な利用方法や利用者を考慮したデジタルアーカイブの改良にも取り組んでいく。

現段階で注目している利用方法としては、小中学校などの教育機関が防災教育を行う際に利用してもらうことである。まずは前述の烏帽子中学校のように小中学校の先生方にご覧いただき、どのようにすれば防災教育に利用しやすいか等のご意見を反映した防災教育に利用しやすく使い勝手の良いツールに改良していきたい。

また、現在すでに自治体が情報提供しているハザードマップなどの防災情報とデジタルアーカイブを関連づけて閲覧できるようにできれば、防災情報をより現実感を持って理解してもらうことができると考えている。さらに、緊急時に提供される気象庁の気象情報や自治体から発令される避難情報などとも関連づけられれば、避難行動を促す支援ツールとしても役立つと考える。現在のところ、神戸市ではデジタルアーカイブにリンクを張り、そのバナーを「土砂災害・水害に関する危険予想箇所（WEB版）」のバナーの隣に配置することにより、両方を参照してもらえるよう工夫している。引き続き、より利用しやすく、防災意識の向上に役立つ工夫を加えていきたい。

## 7. おわりに

デジタルアーカイブの公開イベントには休日にもかかわらず 370 名もの来場者があり、地域の方の関心の高さが確認出来た。また、講演・発表内容も好評を得、阪神大水害の記憶を後世に語り継ぐという第一歩を踏み出せたと確信している。

従来の広報活動の課題であった「より多くの人に自分自身のこととして防災を考えてもらう」ことについては、デジタルアーカイブという多数の方に観ていただけるツールの作成、より身近に感じられるような内容とする工夫を行ったことで、改善が図れたと考えている。

今回の取組で特徴的だったことは、六甲山地周辺の行政機関全体で取り組んだことである。それによって情報収集のための住民周知がより確実なものとなり、また、成果を共有することで、成果が時間の経過により埋もれてしまうリスクが軽減された。情報の一元化にも寄与している。

また、学識経験者の参加により、行政だけでは思い付かないアイデアをいただき、より良いデジタルアーカイブの構成ができた。

そして、地元報道機関の参加により、住民等への広報手法はもとより、作成資料等のアドバイスをいただいた。

このように行政間の連携、有識者や地元報道機関等の協力で、それぞれの機関の得意分野に関する実力が最大限発揮され、相乗効果で今までにないようなデジタルアーカイブが完成した。

今回の取り組み自体は六甲山地周辺での事例であるが、1つの機関単独で取り組むのではなく、地域の産官学が一体となり取り組むというスタイルは、他の地域、他の機関にも参考となると考え、本研究発表会で報告した。

今後、本取り組みが参考となり、他機関連携によるより良い取り組みが行われることを期待したい。

### 阪神大水害デジタルアーカイブURL：

<https://www.kkr.mlit.go.jp/rokko/S13/index.php>

**謝辞：**本取組を共同で実施いただいた、兵庫県、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、神戸大学名誉教授 沖村先生、兵庫県立大学大学院減災復興対策研究科 浦川先生、人と防災未来センターリサーチフェロー 坪井先生、神戸新聞社、そして、今回貴重な資料や体験談をいただいた被災体験者及びそのご家族の皆様、研究活動をしていただいた住吉中学校、渚中学校、神戸常盤女子高校の皆様、防災授業を実施いただいた烏帽子中学校の皆様に深く感謝致します。

### 参考文献

- 1) 神戸市役所：神戸市水害誌、1939.
- 2) 六甲砂防工事事務所：六甲砂防六十年史、2001.



# 土砂災害初動調査のための 新たなSAR画像活用法の提案

鈴木 大和<sup>1</sup>・野村 康裕<sup>1</sup>・中谷 洋明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 土砂災害研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）。

本研究では、豪雨や地震直後の土砂災害等の早期の概況把握のため、迅速かつ従来より高い分解能を実現しうるSAR画像を用いた後方散乱強度差分法を提案した。実災害において検証した結果、迅速性と分解能の両面において実用的水準にあることを確認した。山地領域におけるSAR画像の特性から生じる適用上の留意点を整理し、実用上の対応策を検討した。また、限られた事例ではあるが、関連分野における災害初動対応への適用可能性についても検討を行った。

キーワード 土砂災害, SAR画像, 後方散乱強度差分法, 被害状況把握

## 1. はじめに

土砂災害は豪雨や地震等によって突発的に引き起こされ、その被害が広域に及ぶことがある。また、市街地や集落に位置する人家への直接的な影響だけではなく、河道の閉塞や交通網の寸断等による二次的な社会影響を引き起こすため、影響範囲を早期に把握する必要がある。土砂災害を含めた災害等に関しては初動対応が重要であるため、水管理・国土保全局は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」）との間で「人工衛星等を用いた災害に関する情報提供協力の協定」（以下「災害協定」）を締結し、災害時における衛星画像等の活用強化を図っている<sup>1)</sup>。なかでも、JAXAが運用する陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（以下「ALOS-2」）には、合成開口レーダー（以下「SAR」）が搭載されている。SARは夜間に観測可能な能動型センサであるほか、悪天候時に観測可能な全天候性という特長があり<sup>2)</sup>、緊急性が高い災害初動時における活用が期待される。

SARによる観測データの解析手法には、二時期の反射波を干渉させ、その位相差から数cm単位の地表変位を検知する位相差干渉解析が良く用いられてきた。これは、主に地すべりや火山噴火等の前兆にあたる微小な地殻変動の監視に適しており<sup>3)</sup>、必ずしも大規模な地形変化の把握に適した技術とは言えない。一方、土地被覆の状態によって各偏波毎の散乱状況が異なることを利用した偏波解析は、大規模崩壊や河道閉塞の抽出が可能であることが示されている<sup>4)</sup>。ただし、その対象は正射面積10,000m<sup>2</sup>以上の変状であり、一般的に多発する土砂災害に対しては分解能が不足している。このため、豪雨後や地震後に迅速に被災状況を調査できるSAR画像の活用法

の開発が求められている。

本研究では、位相差干渉解析や偏波解析より直感的で単純な二時期の後方散乱強度の差分に着目した解析法を提案する。提案手法の実災害における検証結果について報告し、山地領域におけるSAR画像の特性から生じる留意点と関連分野における適用の可能性について検討を行った。

## 2. 方法

ALOS-2のSAR画像を使って、表-1に示す2017～2018年度に発生した災害を引き起こした異常気象等で実証実験を行い、迅速性を示す情報提供までの所要時間、分解能である検出した変状規模とその精度を確認した。

表-1 実証実験の実績

| 実施日           | 災害・異常気象名等       |
|---------------|-----------------|
| 2017年 6月 25日  | 平成 29年長野県南部地震   |
| 2017年 7月 5日   | 島根県大雨特別警報発令     |
| 2017年 7月 7日   | 平成 29年 7月九州北部豪雨 |
| 2017年 8月 6日   | 台風 5号豪雨         |
| 2017年 9月 17日  | 台風 18号豪雨        |
| 2017年 10月 24日 | 台風 21号豪雨        |
| 2018年 6月 19日  | 平成 30年大阪府北部地震   |
| 2018年 7月 8日   | 平成 30年 7月豪雨     |
| 2018年 9月 6日   | 平成 30年北海道胆振東部地震 |
| 2019年 1月 3日   | 平成 31年熊本地震      |

## (1) 初動調査への活用フロー

初動調査への活用までの流れを図-1に示す。まず、台風の接近や地震の発生等によって土砂災害発生の恐れが高まった地方整備局に対して、水管理・国土保全局砂防部が情報収集の優先エリアを確認する。その後、災害協定に基づき、砂防部はJAXAに対して観測を要望する範囲を示した観測要求が行い、JAXA側は要求内容を踏まえてALOS-2による緊急観測を行う。国土技術政策総合研究所土砂災害研究室はJAXAからSAR画像を取得して画像処理や画像判読を行い、その結果を砂防部を経由して地方整備局等に提供する。この判読結果は、地方整備局が防災ヘリの飛行ルート選定や優先調査範囲の決定等、初動調査計画の立案に資する情報として活用される。

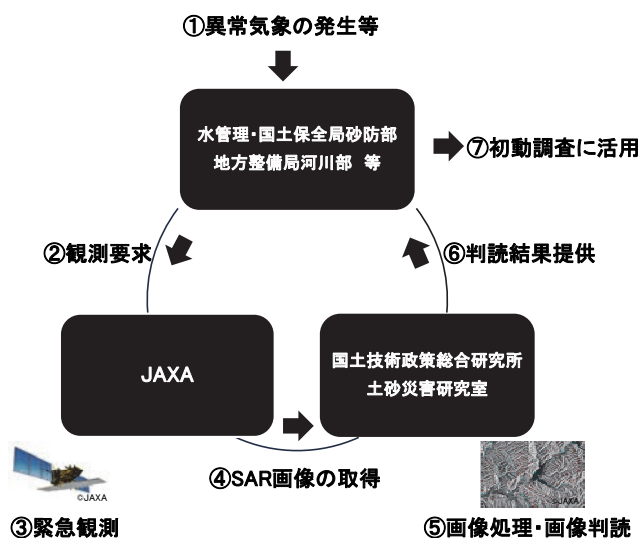


図-1 初動調査への活用フロー

## (2) SAR画像の解析方法

SARは、レーダのアンテナから放射されたマイクロ波を地表面に照射し、地表面の凹凸やテクスチャによって散乱された電磁波エネルギーをアンテナで感知する能動型のセンサである。地表面における散乱のうち、照射方向への散乱の大きさを後方散乱強度と呼び、地表の各点における後方散乱強度に比例した濃淡レベルを各画素として可視化したものがSAR画像である<sup>5)</sup>。同一観測条件の災害前後のSAR画像を使用し、災害前が赤、災害後が緑と青（混色によりシアン）としてカラー合成した画像（以下「カラー合成SAR画像」）を作成する（図-2）。

本検討では、災害前後における後方散乱強度の変化に着目し、カラー合成SAR画像の目視判読を行って斜面崩壊等の蓋然性が高い場所を抽出する後方散乱強度差分法を用いた。具体的には、災害前と比べて災害後の後方散乱強度が上昇した場所はシアン色で示される。湛水した水田のように滑らかな地表面では後方散乱は著しく小さく、ここに土砂が流入すると地表面のテクスチャが変化し、災害前よりも強い後方散乱が発生する（図-3（a））。一方で、災害前と比べて災害後の後方散乱強

度が低下した場所は赤色で示される。林地のような複雑な散乱が発生する斜面が崩壊すると、滑らかなテクスチャの崩壊面が生じて後方散乱強度が低下する（図-3（b））。

なお、地形の影響で陰となる部分や滑らかなテクスチャである水域は後方散乱強度が著しく低く、災害前後において変化がなければ黒くなる。また、それ以外の一定程度の後方散乱強度があり、災害前後において変化がない場所は白くなる。

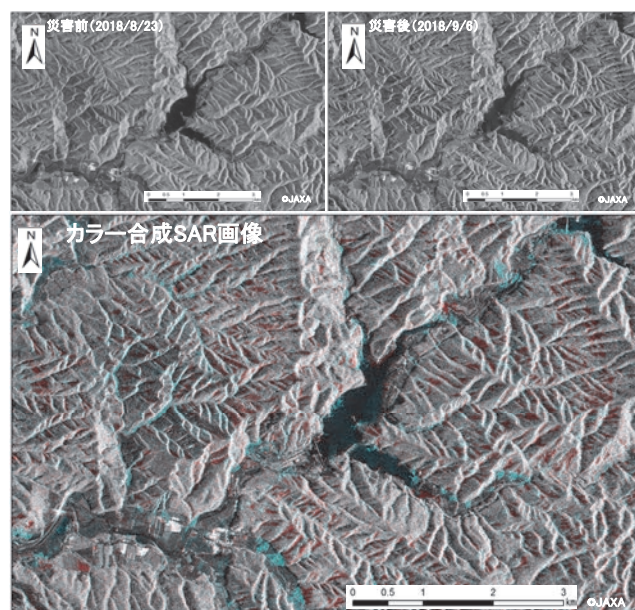


図-2 カラー合成SAR画像の作成例  
（平成30年北海道胆振東部地震）

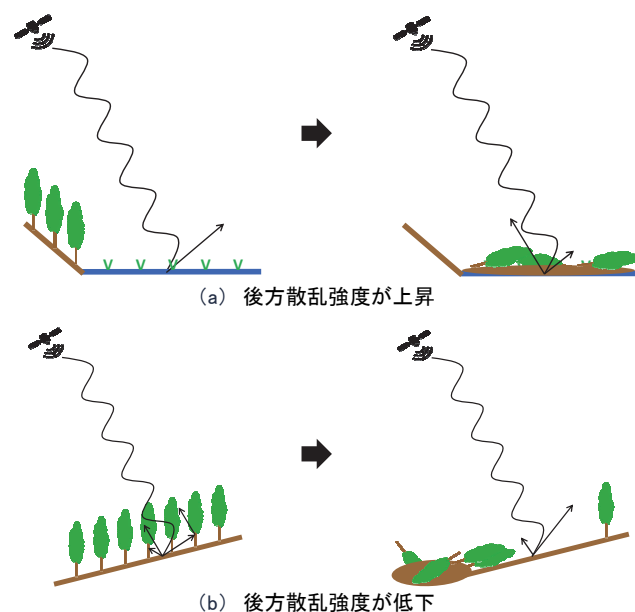


図-3 災害前後における後方散乱強度変化のイメージ



### 3. 結果

#### (1) 情報提供までの時間

平成30年北海道胆振東部地震時の対応について時系列で整理した(図-4)。地震発生からおよそ12時間半後にSAR画像による速報結果を提供した。天候等の影響により15時頃から開始した防災ヘリによる調査結果が出る前に情報提供することができ、衛星写真(SPOT-6)の撮影は地震発生から5日後となった。また、SAR画像の判読によって高密度に崩壊が発生したと推定した範囲について衛星写真と比較すると、崩壊地の分布状況の整合が高く、速報結果の信頼性が高いことが確認された。

夜間や休日の対応を除いた実証実験の実績について、判読結果提供までの所要時間を整理した結果を図-5に示す。事例ごとにばらつきがあるが、平均すると緊急観測後概ね5時間程度、発災後約半日程度で情報提供されて

おり、迅速性について十分に実用的水準であった。ただし、平成29年7月九州北部豪雨の事例のように、ALOS-2による観測機会を得るまでに相当程度の時間を要する場合もある。また、平成29年台風21号豪雨のように判読範囲が広大であった場合、緊急観測から結果提供までの時間を比較的長く要することになる。

#### (2) 検出した変状規模とその精度

検証事例中、広域で多数の土砂災害が発生した平成30年7月豪雨および平成29年7月九州北部豪雨について、後方散乱強度差分法により検出された変状規模とその精度の分析を行った。図-6は、斜面崩壊と斜面崩壊以外の箇所の検出件数を正射面積ごとに示している。この結果、1,250~2,500 $\text{m}^2$ 程度の狭小な変状に対しても高い信頼性を持って検出できていた。偏波解析の対象規模と比較して十分に高分解能であることが確認できた。

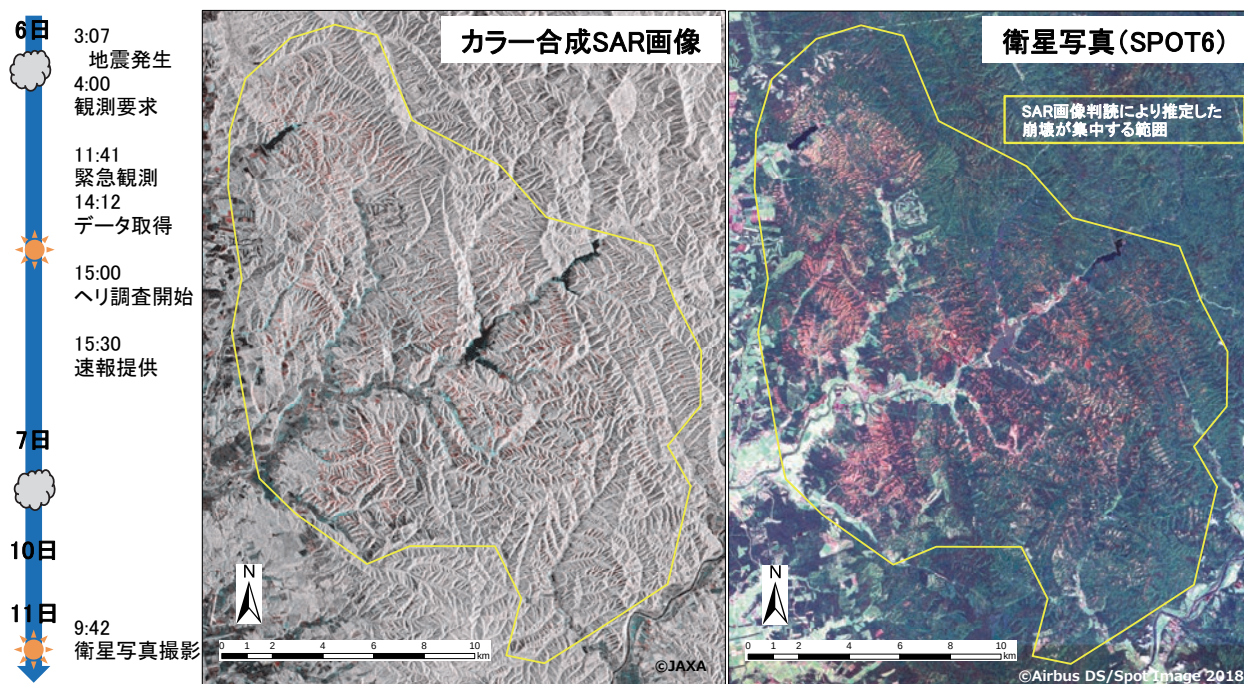


図-4 平成30年北海道胆振東部地震発生後の対応

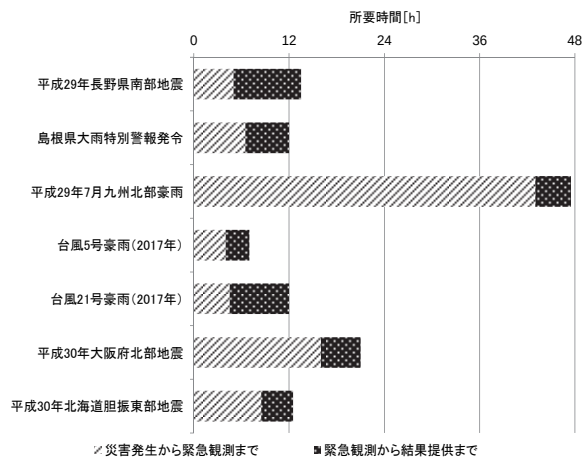


図-5 判読結果提供までの所要時間

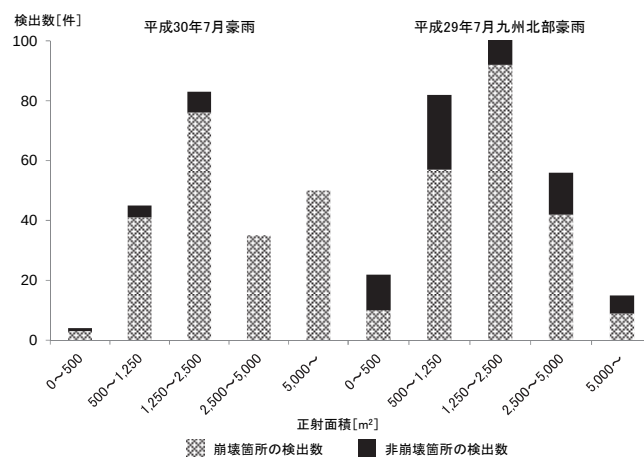


図-6 規模ごとの斜面崩壊箇所と斜面崩壊以外の箇所の検出数



## 4. 考察

### (1) 山地領域におけるSAR画像特性から生じる留意点

#### a) 観測条件による判読精度

SAR画像は電波照射の角度等による幾何条件の影響を受ける。入射角が30度程度の観測条件を想定し、電波照射方向に正対する斜面を表面、その逆側斜面を裏面とする。このとき、後方散乱強度差分法による全検出数に占める割合（以下「検出率」）について斜面向きで比較すると、表面の検出率が著しく低い（表-2）。また、平成29年九州北部豪雨の際に発生した76,600㎡程度の斜面崩壊（大分県日田市）を事例に視認性の比較を行った（図-7）。電波照射方向に対する斜面向きの条件が悪いと、大規模な斜面崩壊であっても判読することが困難となる。これは、斜め下方に電波照射する観測原理上、画像化した際に電波照射方向側に地形が倒れ込むレイオーバー効果によるものと考えられ、SAR画像を扱う上でこの影響は避けられない。実用上はレイオーバーの影響を受けづらい平野部等への土砂の流出によるシアン色の変化を確認しつつ、視認性が低い斜面向きを念頭に結果を解釈するこ

とが必要である。

#### b) 森林伐採地等の類似した後方散乱強度変化

図-4において誤検出の割合を比較すると平成29年7月九州北部豪雨の方が高い。その要因のひとつに森林伐採の影響が考えられる。斜面崩壊の発生が予想される山地領域において、森林伐採は斜面崩壊と類似した後方散乱強度の変化を示すため、その判別が困難となる（図-8）。対策としては、①平野部等への土砂の流出によるシアン色の変化の有無を確認、②人為的な矩形や規則性等の変状の形から判断、③災害直前の衛星写真や航空写真による伐採の有無の確認が考えられる。

表-2 電波照射方向に対する斜面向きごとの検出率

| 検出率<br>[%] | 平成 30 年 7 月豪雨 | 平成 29 年 7 月<br>九州北部豪雨 |
|------------|---------------|-----------------------|
| 表面         | 5.2           | 2.0                   |
| 裏面         | 63.2          | 69.2                  |

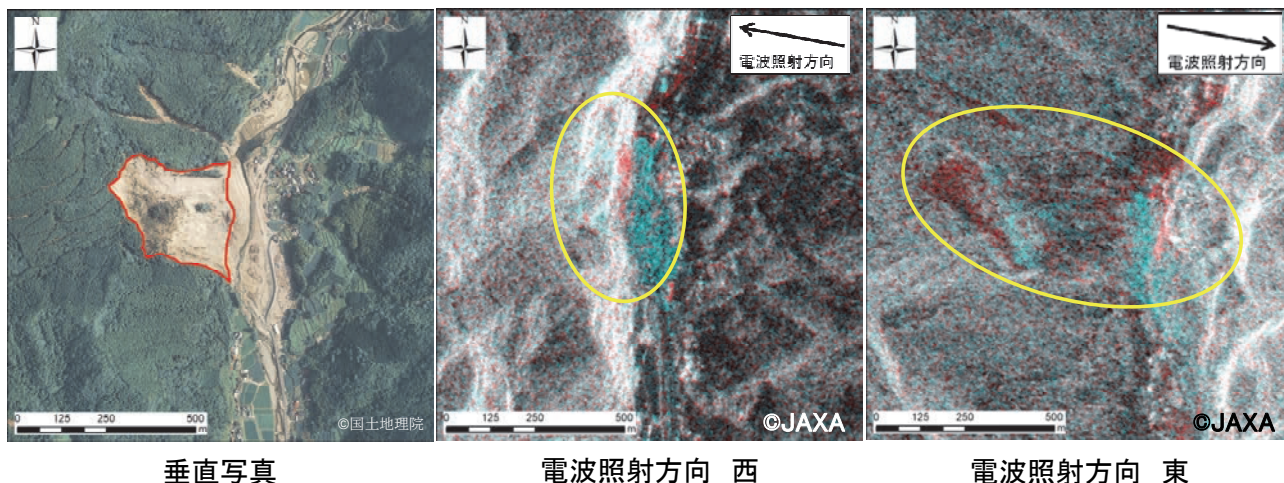


図-7 観測方向が異なるSAR画像上での視認性の比較

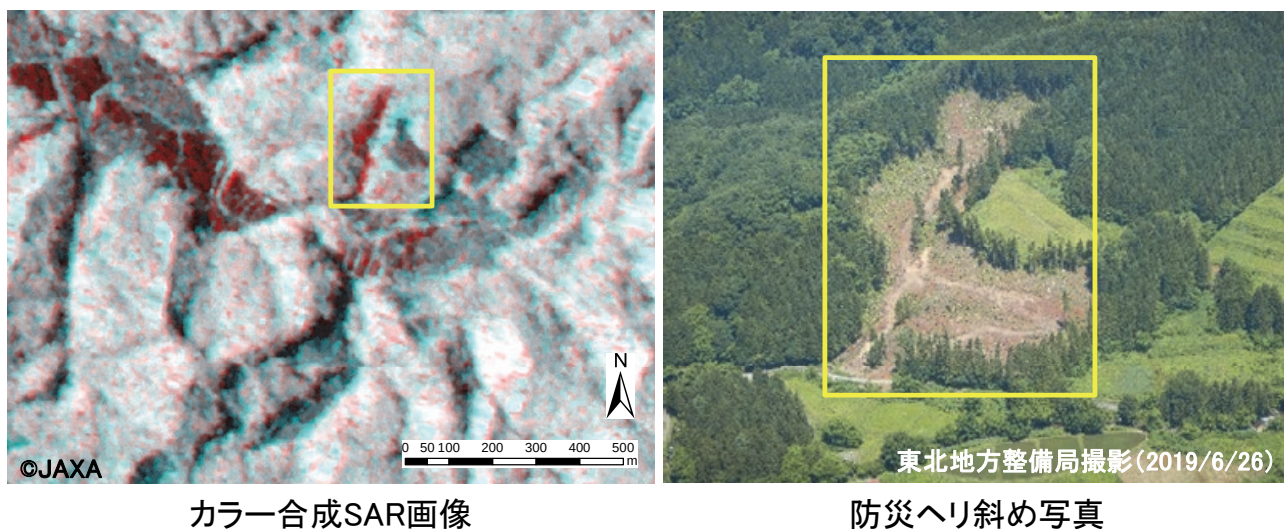


図-8 森林伐採地の例（山形県鶴岡市）



## (2) 関連分野での適用の可能性

### a) 道路分野

平成30年7月豪雨時に高屋JCT（広島県東広島市）付近において道路への土砂流入が発生した。当被災箇所についてシアン色の変状が確認できた（図-9（a））。これは舗装面に土砂や木々が流入した結果、後方散乱強度が増加したと考えられる。また、平成28年熊本地震時には、阿蘇大橋（熊本県南阿蘇村）が落橋した。これは、落橋によって橋梁部における散乱が大幅に低下した結果赤い変状として確認できたと考えられる（図-9（b））。山陽自動車道と阿蘇大橋は東西方向に広がる。一方、ALOS-2は南北方向の軌道で斜め下方に観測するため、地形の倒れ込み等の影響は東西方向に発生する。すなわち、観測条件と地理的条件が幾何学的に良好な関係性であっ

たことが推察される。詳細な適用条件の検討のために他の事例で検証を重ねていく必要がある。

### b) ダム・港湾分野

平成29年7月九州北部豪雨時に寺内ダム（福岡県朝倉市）の湛水域に大量の流木が流入した。湛水域上流側にシアン色の変状を確認でき、漂流する流木が水面を覆うことで後方散乱強度が増加したと推察される（図-9（c））。

大規模な出水後には海洋にも流木が流出することがあり、平成30年7月豪雨等では海洋環境整備船等による流木等漂流物回収の対応が困難を窮めた<sup>6)</sup>。後方散乱強度差分法を用いることで、大規模出水後における流木等漂流物の影響範囲を効率的に特定できる可能性がある。

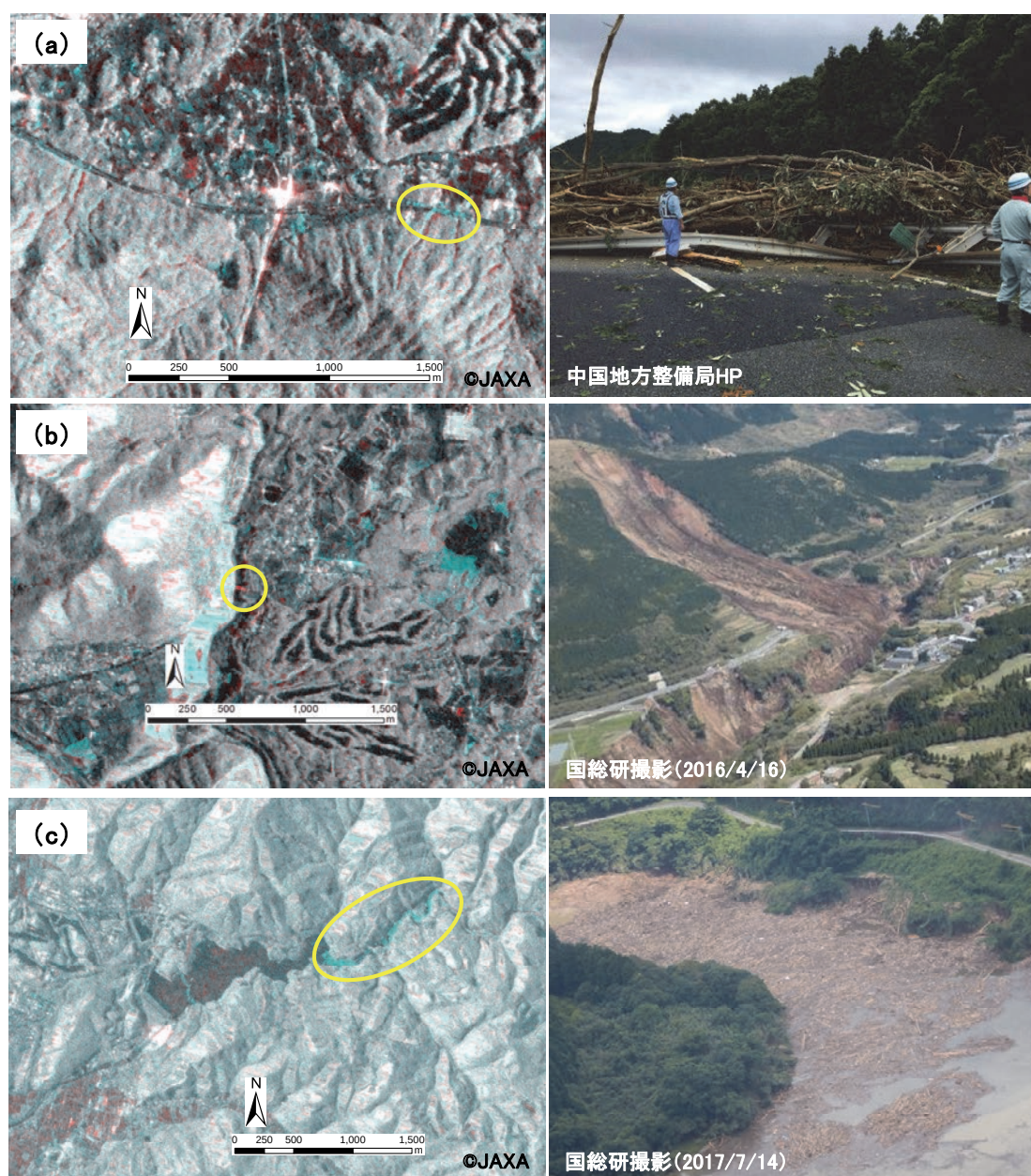


図-9 関連分野における後方散乱強度差分法の適用結果

## 5. 結論

本研究では、豪雨や地震等の直後の土砂災害等の発生状況の把握のため、迅速で従来の解析手法より高い分解能が期待されるSAR画像を用いた後方散乱強度差分法を提案し、実災害で検証した。その結果、迅速性と分解能、いずれについても所要の実用水準にあることを確認した。合わせて、山地領域におけるSAR画像の特性から生じる解釈上の留意点を整理し、実用上の対応策を検討した。また、提案した手法は、道路、治水、港湾等の関連分野における災害対応時の初動調査にも有効な可能性が示唆された。

地方整備局等の災害対応時の効率性を向上させるため、衛星画像等の一層の活用が求められていることから、被害範囲の早期の絞り込みによる的確な初動調査を支援出来る技術として、本研究で提案した後方散乱強度差分法について国土技術政策総合研究所資料として取りまとめる予定である。

本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所および国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構による「陸域観測技術衛星2号「だいち2号」による土砂災害監視手法の開発に関する共同研究」によって実施されたものである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省報道発表資料，2017（2019年10月1日閲覧）  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo06\\_hh\\_000053.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo06_hh_000053.html)
- 2) 大内和夫：リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎，pp.21-22，東京電機大学出版局，2004.
- 3) 佐藤浩，岡谷隆基，小荒井徹，鈴木啓，飛田幹男，矢来博司，関口辰夫：SAR干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について—山形県月山周辺を事例にして—，日本地すべり学会誌，Vol.49，No.2，pp.61～67，2012.
- 3) 水野正樹，神山嬢子，江川真史，佐藤匠，蒲原潤一：2偏波SAR画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法（案），国土技術政策総合研究所資料，第791号，2014.
- 5) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング，pp.78-79，社団法人日本測量協会，2001.
- 6) 国土交通省中国地方整備局：平成30年7月豪雨～中国地方整備局 災害対応の記録，pp.176-180，国土交通省中国地方整備局，2019.



# 平成30年7月豪雨による肱川阿蔵箇所でのパイピング被災状況とメカニズムの一考察

松山 海人<sup>1</sup>・三國 宣仁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>四国地方整備局 大洲河川国道事務所 工務第一課 (〒795-8512 愛媛県大洲市中村210)

平成30年7月豪雨では一級河川肱川において観測開始以降最大の出水を記録した。左岸18k200付近の堤内地では噴砂を伴う激しいボーリングが発生したことで民家の小屋が傾倒し、川裏法面では陥没・ズレ下がりといった被害が生じた。そこで、当該箇所について被災メカニズムを明らかにするとともに、パイピングの進展度を把握することを目的として中型動的コーン貫入試験（ミニラム）及び堤防開削調査を実施した。その結果、堤防法面の陥没・ズレ下がりとは基礎地盤のパイピングによる吸出しによって生じていたことが明らかになり、パイピングは最大で10m程度、堤防敷幅に対して1/4程度まで進展していたと評価した。

キーワード 河川堤防、パイピング、中型動的コーン貫入試験、堤防開削調査、質的整備

## 1. はじめに

河川堤防の安全性を確保することは、流域住民の人命・資産を守る上で極めて重要な課題である。しかし、近年の気候変動により集中豪雨の頻度が増し、水位が高い状態が長期的に継続するなど、堤防への負荷は増加している。これについて、今後はこれまでの量的な整備に加え、耐浸透機能・耐浸食機能・耐震機能の強化といった質的な整備を進めていく必要がある<sup>1)</sup>。

平成30年6月28日～7月8日にかけて、西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。大洲河川国道事務所が管理する肱川においては観測開始以降最大の水位を観測し、左岸18k200地点では激しい噴砂と川裏法面の陥没・ズレ下がりに伴う堤防のパイピング被害が発生した。

パイピングとは一般に以下のように進展し、パイピングが堤防の半分くらいまで進展すると、その後一気に貫通し、破堤に至るといわれている<sup>2)</sup>（図-1参照）。

- ① 裏法尻付近に噴砂を伴った漏水が発生し、川裏付近にパイプ（水ミチ）が形成される。
- ② 川表側に向かって堤防下にパイプが進展する。
- ③ 堤防下のパイプが河川と繋がる。
- ④ パイプは拡大し、法面が陥没する。
- ⑤ 破堤・決壊に至る。

また、近年の研究では、基礎地盤が単一の透水性地盤の場合はパイピングの危険度は相対的に低いが、上層が砂層で下層に透水性のよい砂礫が分布する複層構造の場合は注意を要することが分かってきている<sup>3)</sup>。しかし、パイピングの発生条件や詳細なメカニズムについては明

らかになっていない部分が多い。

本稿では、平成30年7月豪雨でのパイピング被災箇所において詳細調査を実施し、被災メカニズムやパイピングの進展度について検討した結果について述べる。

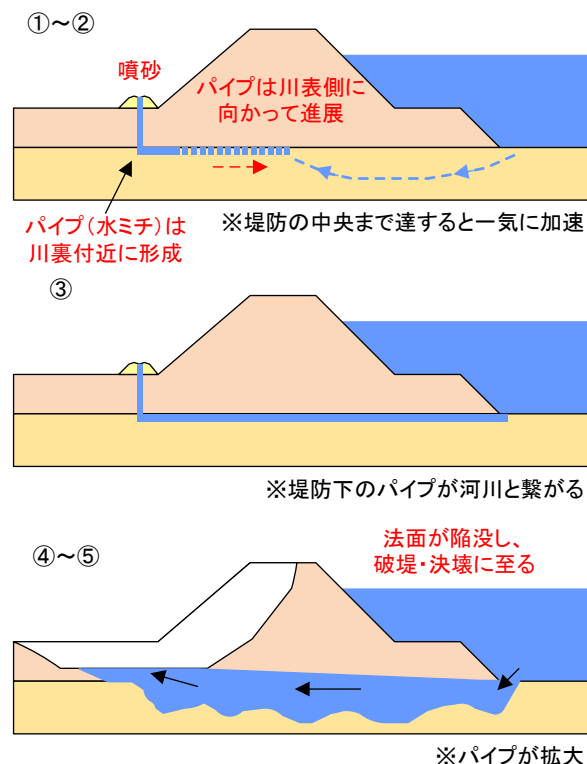


図-1 パイピングのメカニズム

## 2. 被災地の概要

### (1) 水位・降雨状況

図-2に被災箇所近傍の水位観測所における7月5日～7月8日にかけての水位及び降雨量を示す。7月4日22時より断続的な降雨が続き、7日3時～7日7時の間には時間20mmを超える雨量を観測した。5日10時～7日9時にかけての2日間雨量では、計画降雨量340mm/2dに迫る333mm/2dを観測し、7日12時20分には計画高水位まで40cmに迫る8.11mまで水位が上昇した。これまでに最も水位が上昇した平成16年台風16号での出水と比べて1.26mも上回る観測開始以降最大の水位を記録した。

### (2) 旧地形概要

図-3に被災箇所の治水地形分類図を示す。被災箇所は旧河道を利用したお堀を明治期に入ってから埋め戻した箇所に位置している。また、川側には床止めがあり、出水時には水位が上昇しやすい箇所でもある。

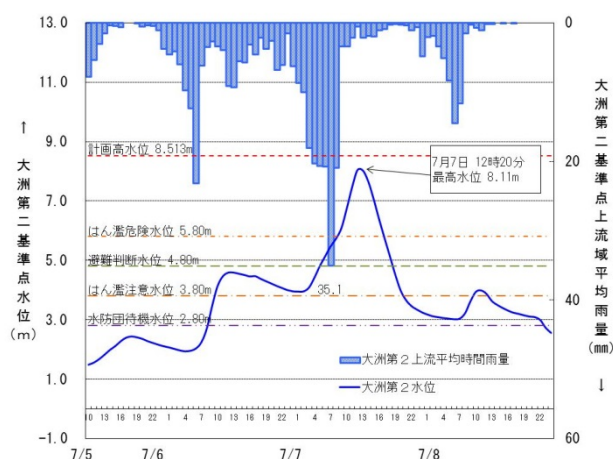


図-2 水位および降雨量（大洲第二地点）

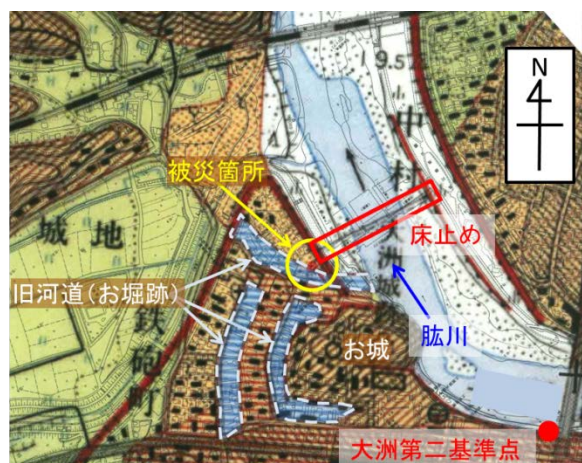


図-3 治水地形分類図

## 3. 河川堤防の被災概要

図-4～図-6に被災状況写真を示す。堤防法尻では噴砂を伴う激しいボイリングが発生し、隣接する小屋では約1mの沈下と35度の傾斜が生じ、もう一棟の母屋では数度の傾斜が生じた。また、法面では、およそ12m（縦断方向）×9m（横断方向）にわたって10～50cm程度の陥没が生じ、法尻付近の用地境界ではブロック塀が10～30cm程度沈下した。また、上流側でも小規模な噴砂や法尻での陥没が発生した。

図-7に被災から4ヶ月後に撮影したUAVによる全景写真を示す。大きく沈下・傾倒した小屋は撤去され、母屋を撤去するための工事用仮設道路が施工されている。同図には激しくボイリング（噴砂）した箇所以外に小規模な噴砂が発生した範囲やお堀を埋め立てた埋土の範囲も示している。激しくボイリングが発生したのは、お堀の埋土と法尻が交わる箇所である。また、小規模な噴砂が発生した範囲は、上流側法尻付近の埋土の範囲で発生している。



図-4 堤防裏のり面の陥没・ズレ下がり状況全景



図-5 左：小屋の傾倒・噴砂状況 右：母屋の被災状況



図-6 左：法面変状状況 右：上流側被災状況





図-7 被災地のオルソ画像

#### 4. 現地調査

##### (1) ボーリング調査及びハンドオーガー

被災地の地層構成及び土の透水係数等の浸透特性を把握することを目的に、川表・川裏の2箇所でもボーリング調査を実施した。また、堤内地に広がるお堀の埋土の性状及び分布範囲を把握するため、ハンドオーガーによる試掘調査を行った。図-8に調査より明らかになった想定地質断面図を示す。

基礎地盤には主に透水性の良い砂礫層 (Ag) が分布し、その上には砂礫層 (Ag) に比べ透水係数が1/10程度小さな砂層 (As1) が分布するいわゆる複層構造を呈している。川裏側には粘土層 (Ac) が分布するが、法尻より川裏側ではシルトを含んだ角礫からなる緩いお堀の埋土が分布する。埋土は砂礫層 (Ag) に対し透水係数が1/100程度小さく、被覆土層として作用するものと想定した。噴砂 (ボーリング) は、粘土層 (Ac) と埋土の境界付近の埋土内で発生している。

堤体は透水性の良い砂礫 (Bg) からなるが、川表側には既設の遮水シートがあり、河川水が直接堤体には入りにくい構造となっている。

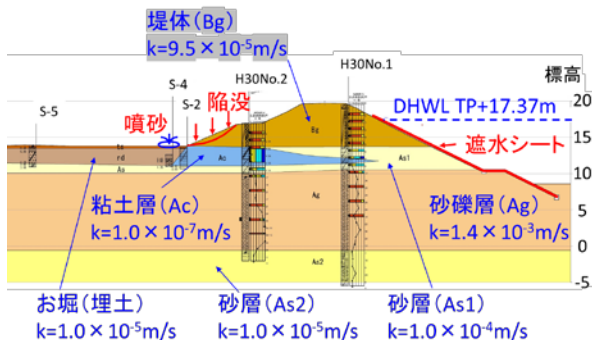


図-8 想定地質断面図及び透水係数

##### (2) 中型動的コーン貫入試験

基礎地盤が単一の透水性地盤の場合はパイピングの危険度は相対的に低い、同じ透水性地盤であっても透水性の高い層が下に分布する複層構造の場合はその境界が水ミチとなりパイピングが生じやすいことが最近の研究で分かっている。今回の被災箇所もこれに該当し、砂礫層 (Ag) と砂層 (As1) の境界が水ミチとなりパイピングが進行したことで、吸出しによる噴砂が発生した可能性が高いと考えられる。そこでパイピングによる砂層 (As1) 内の水ミチを把握するため中型動的コーン貫入試験 (以下、ミニラム) を実施した。図-9にミニラム調査位置図、図-10にミニラムの試験状況を示す。通常ミニラムでは20cm毎に貫入抵抗値 (Nd値) を評価するが、パイピングで生じる水ミチ (緩み) は数cm程度といわれているため一打撃毎の貫入抵抗値も評価した。ミニラムは変状箇所を包括するように、2m間隔で格子状に実施した。代表断面の位置について、図-9内に示す。

##### a) 横断方向

図-11に堤防横断方向の代表的な試験結果を示す。陥没した法面上では粘土層 (Ac) 内に自沈箇所が多い。滑落崖より外の小段の下に分布する砂層 (As1) では深度方向にNd値は大きくなるが、噴砂した法尻付近の砂層 (As1) では相対的にNd値が小さく (概ねNd値 $\leq 3$ )、かつ深度方向にNd値は大きくならないことから、パイピングによって緩みが生じた可能性がある。



図-9 ミニラム調査位置図

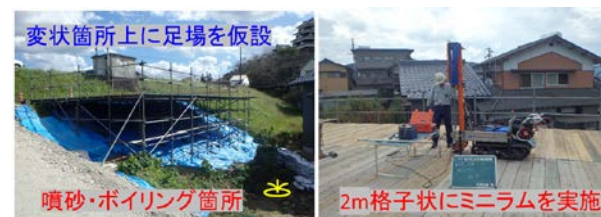


図-10 ミニラム試験状況



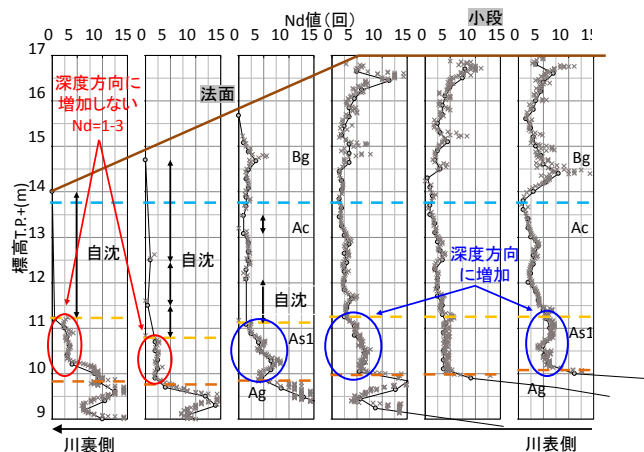


図-11 堤防横断方向 ミニラム調査結果

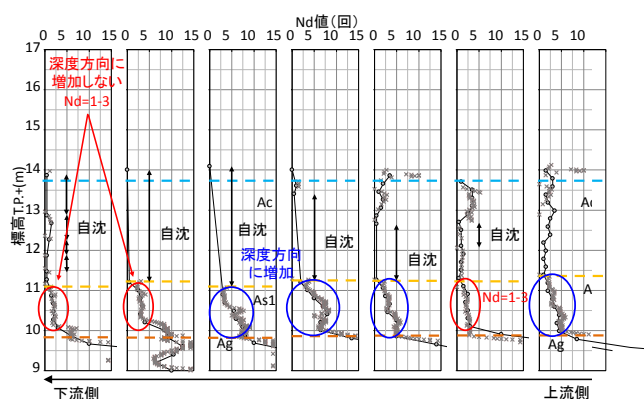


図-12 堤防縦断方向 ミニラム調査結果

## b) 縦断方向

図-12に堤防縦断方向の代表的な試験結果を示す。粘土層 (Ac) 内の自沈の程度は、噴砂した下流方向に向かって大きくなる傾向にある。砂層 (As1) の緩みも同様に、下流側では緩みの影響と評価できる箇所が分布するが、上流側では緩みによる乱れの影響は比較的少ない。

## (3) 堤防開削調査

変状メカニズムを検証するため被災箇所の堤防開削調査を行った。図-13に堤防開削範囲平面図を示す。平面図には噴砂によって傾倒した小屋とミニラムの調査位置との関係も示している。図-14に堤防開削状況上空写真を示す。

### a) 下流側断面

図-15に下流側堤防横断方向の堤防開削調査結果を示す。砂礫層 (Ag) の上に分布する砂層 (As1) は川裏方向に向かい斜め下へ落ち込み、分布が途中で途切れている。途切れた箇所からは砂脈が発達し、その周りからは鉛直方向のクラックが発達している。図-17に砂脈及び噴砂した砂の粒径加積曲線を示す。砂脈及び噴砂の粒度分布は砂層 (As1) とよく一致することから、両者は砂層 (As1) に由来するものと考えられる。このことから、



図-13 堤防開削範囲平面図

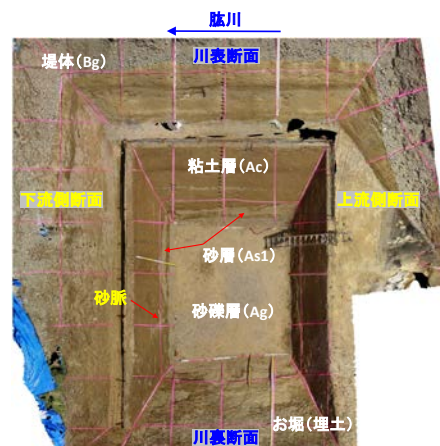


図-14 堤防開削状況上空写真

もともと水平方向に連続して分布していた砂層 (As1) がパイピングによって噴砂として地表面に吸出され、一部は砂脈となって粘土層 (Ac) に貫入することで陥没が生じたものと考えられる。鉛直方向のクラックは、粘土層 (Ac) が陥没した際に発達したものと考えられる。開削調査から明らかになった粘土層 (Ac) の下面深度はミニラムの結果と概ね整合していたが、開削調査ではミニラムの結果に見られるような緩みの存在は判別できなかった。

### b) 上流側断面

図-16に上流側堤防横断方向の堤防開削調査結果を示す。堤防法面には滑落崖が見られ、堤体 (Bg) 内にもせん断された跡が確認できる。また、これに連続するように粘土層 (Ac) 内でもクラックが発達している。川裏側にはくさび状にお堀の埋土が分布し、埋土はスコップで軽くなでると簡単に崩れるくらい緩い状態にある。粘土が薄くなるくさび状の埋土の下端で砂礫層 (Ag) が埋土内に貫入している。下流側で見られたような砂層 (As1) の吸出しは確認できないことから、下流側とはやや違うメカニズムで変状した可能性が高く、上流側断面はすべりの影響の方が強いと考えられる。

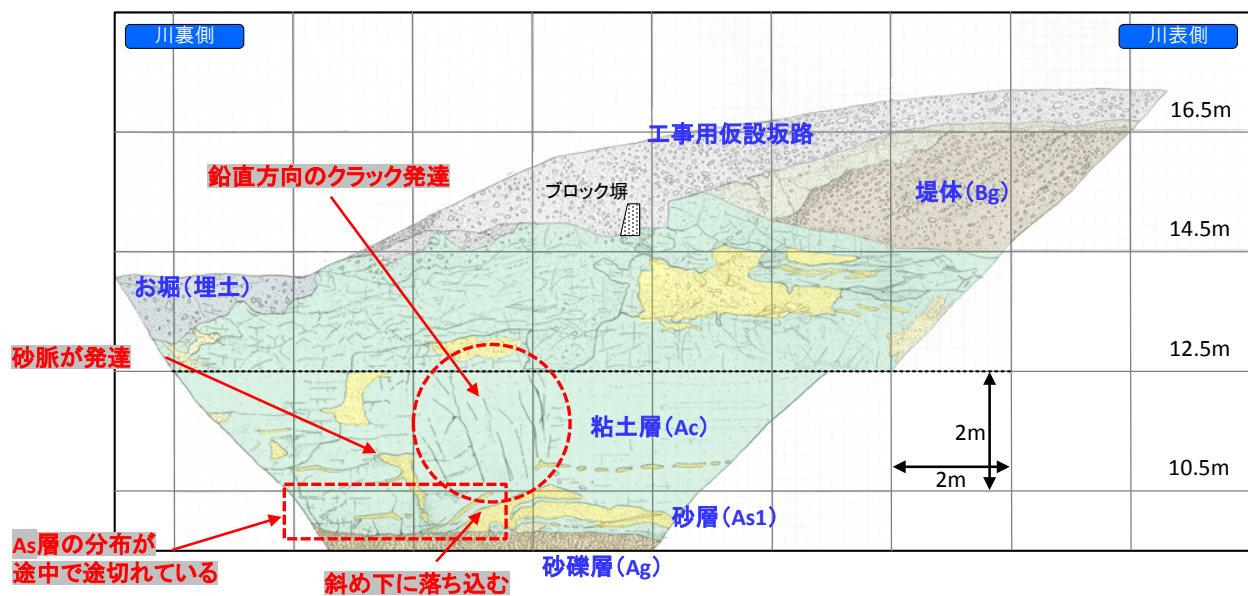


図-15 下流側堤防横断方向 堤防開削調査結果

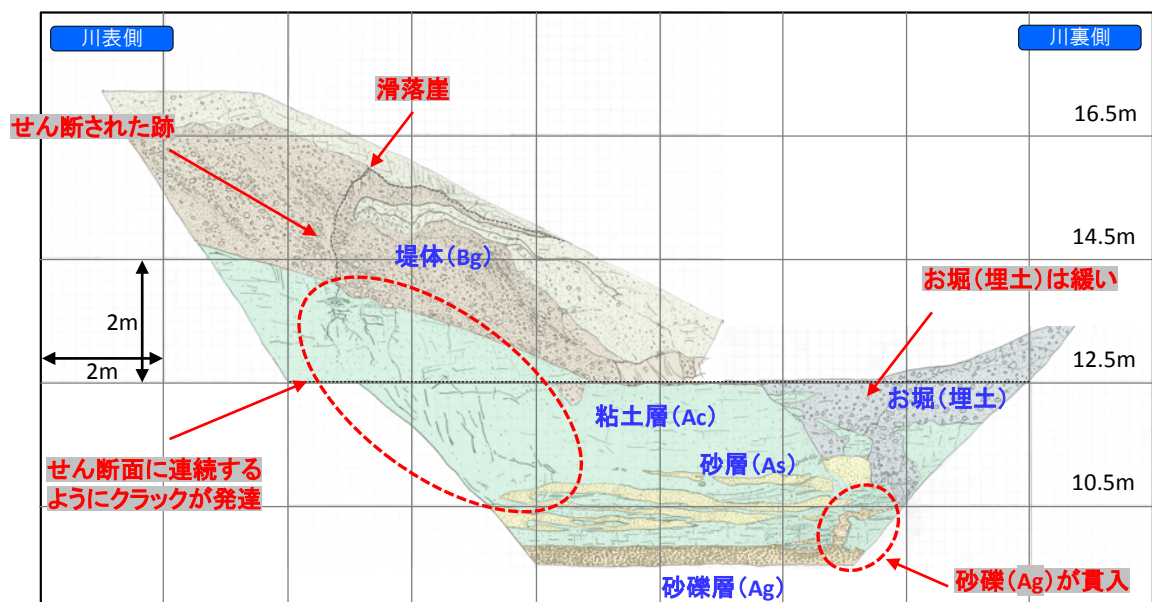
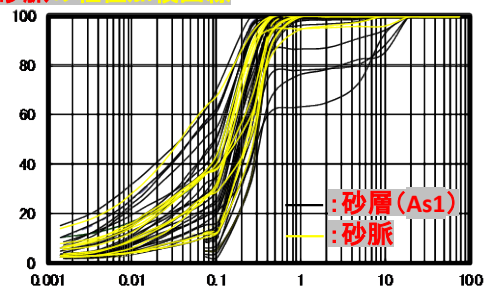
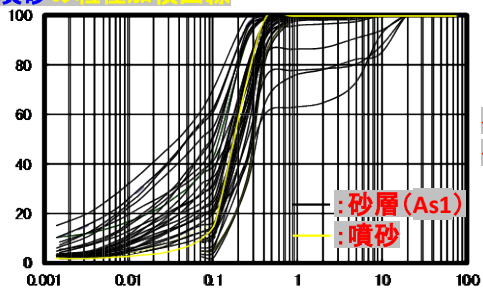


図-16 上流側堤防横断方向 堤防開削調査結果

砂脈の粒径加積曲線



噴砂の粒径加積曲線



砂脈及び噴砂は  
砂層 (As1) を由来とする

|    |     |    |    |    |    |    |    |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 粘土 | シルト | 細砂 | 中砂 | 粗砂 | 細礫 | 中礫 | 粗礫 |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|

|    |     |    |    |    |    |    |    |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 粘土 | シルト | 細砂 | 中砂 | 粗砂 | 細礫 | 中礫 | 粗礫 |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|

図-17 砂脈及び噴砂の粒径加積曲線



## 5. 考察

### (1) 被災メカニズム

開削調査結果をもとに被災メカニズムを推定した。図-18に被災メカニズムを示す。

STEP1：水位の上昇に伴い、基礎地盤に動水勾配が発生。

STEP2：砂礫と砂層の境界でパイピングが発生、砂層の多くは埋土から地表面へ水と一緒に噴出。一部の砂層は鉛直方向の揚圧力により粘土層に貫入（砂脈の発達）。

STEP3：パイピングが進展し砂層に吸出しや緩みが発達。

STEP4：砂層が吸出されたことで粘土層や埋土が陥没し、それに伴って堤体も一緒に陥没。

### (2) パイピングの進展

ミニラムの結果は開削調査の結果とよく整合し、粘土層の下面深度を概ね捉えていた。そこで、ミニラムの結果をもとに粘土層の下面標高を評価した。図-19に粘土層の下面標高コンター図を示す。粘土層の下面標高は法尻付近で低くなっており、特にボーリングが発生した下流側では堤防横断方向にも面的に低くなっている。また、同図には砂層が緩んでいるものと評価できるNd値が深度方向に増加せず、かつNd値 $\leq 3$ の箇所を+印で示している。この結果、被災地では法尻から川表に向かって最大で10m程度、堤防敷幅の約1/4程度パイピングが進展したものと推測した。一方、対策工として基盤漏水対策のための矢板工法を不透水層まで施工したため、今後パイピングが更に進展する可能性は低いものと考えられる。

## 6. おわりに

パイピングが進展すると、その後一気に地層内を貫通し、最悪の場合破堤に至る。また、一度パイピングが発生した箇所では、次回以降出水でパイピングが進展する恐れもあり、深刻な問題であるといえる。

今回調査の結果、パイピング被災箇所はお堀の埋土に位置し、砂礫の上の砂層が吸出されて発生したものであることが確認され、パイピングに対して注意が必要といわれている複層構造であることが判明した。また、ミニラムの結果からパイピングの進展度について評価することができた。しかし、ミニラムでは十数cm単位の緩みを把握することはできるが、数cm単位の水ミチを検出することは困難であるため、今後水ミチを精度よく捉えられる調査手法の確立が求められる。

謝辞：堤防開削調査にご協力頂き、また、本稿を執筆するに当たりご助言を頂いた愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻教授の岡村末対氏に深謝の意を表する。

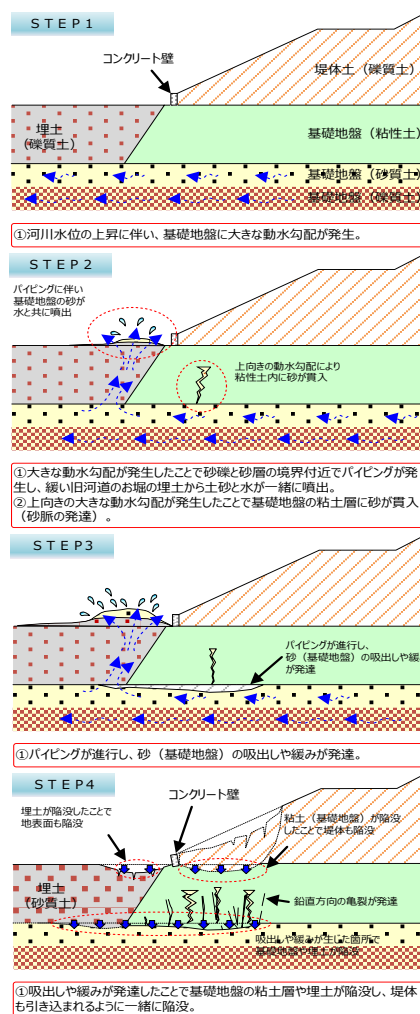


図-18 被災メカニズム

+ ミニラムで砂層に緩みが見られた地点  
(Nd値が深度方向に増加せず、かつNd値 $\leq 3$ )

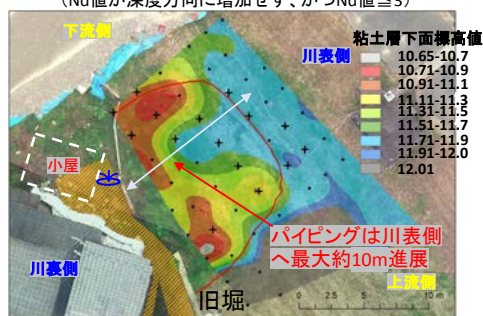


図-19 粘土層下面の標高コンター<sup>4)</sup>

### 参考文献

- 1) 国土交通省 河川局 治水課：河川堤防設計指針，2002。
- 2) 田中秀岳，笹岡信吾，下津隆介，福島雅紀：河川堤防基礎地盤におけるパイピング進行評価の検討，第6回河川堤防技術シンポジウム論文集，p.29-32，2018。
- 3) 斎藤啓，前田健一，泉典洋，小林剛：豪雨による急速浸透と高水位継続のシナリオを考慮した透水性基盤を有する河川堤防の浸透・パイピングに対する安全性評価，地盤工学会誌，Vol.63No.9，p.30-33，2015。
- 4) 陣内尚子，岡村末対：2018年西日本豪雨で被災した肱川堤防の調査，第54回地盤工学研究発表会，2019。

# 新潟国道事務所版橋梁補修要領（案）について

羽深 圭一<sup>1</sup>・加藤 久紀<sup>1</sup>・鈴木 桂太<sup>1</sup>・杉原 寛康<sup>1</sup>・木村 梨琴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北陸地方整備局 新潟国道事務所 管理第二課 （〒950-0912 新潟県新潟市中央区南笹口2-1-65）

新潟国道事務所が管理する橋梁については、5年に1回の定期点検による健全度を踏まえ順次修繕を進めているが、補修設計に関する明確な基準がないことによる補修対策（工法、材料など）の不整合や、工法、材料の適合性による修繕後の再劣化、計画から施工までの間の劣化進行による対策方法の見直しなどが散見され、工事の進捗に影響するなどの課題が生じてきた。

そこで、このような課題を解消し、合理的かつ効率的に修繕を図ることを目的として、補修設計における整合性の確保及び迅速に方針を決定するために新潟国道事務所版補修要領（案）（以下、補修要領という）を作成した。本報文では、補修要領の着眼点や留意事項を報告する。

キーワード；橋梁補修要領，長寿命化，効率化，新技術・新工法，不具合事例

## 1.はじめに

新潟国道事務所は、国道7号、8号、49号、113号、116号の5路線、総延長約235.9kmを管理している。管内の橋梁数は364橋（平成31年4月現在）と、北陸地方整備局管内では最も多い管理橋梁数である。

当事務所が管理する橋梁のうち、建設後50年を経過した割合は、現在は18%であるのに対し、10年後には2倍以上の約43%に急増し、急速に老朽化が進行する。日交通量が10万台を超える新潟バイパスをはじめとした、重交通による疲労損傷や、反応性珪物を含む荒川産・胎内川産・信濃川産・阿賀野川産骨材を使用したことによるアルカリ骨材反応（以下ASRという）、凍結防止剤に含まれる塩化物イオン供給による塩害などのいわゆる3大損傷の影響を受けており、主要幹線としての国道機能を維持するために修繕の計画的な実施が必要な状況にあり、5年に1回の橋梁定期点検による健全度を踏まえ、順次修繕を進めているところである。

## 2.橋梁修繕における現状と課題

### (1)修繕における課題

新潟国道事務所では、定期点検による健全度評価を受け、複数橋梁を複数の補修設計業務として発注し、修繕計画を立案している。

補修設計では、明確な基準がないことから、他機関のマニュアル、指針、手引きなどに加え、業務の受注者の実績を踏まえて補修計画を立案している。

この計画をもとに、修繕工事を発注しているが、同一

工事内において、同種の補修項目で補修工法・材料が異なる事象が発生することが多々生じ（表-1）、設計・施工技術連絡会議（三者会議）などによる設計コンサルへの見解、これを踏まえ個別に補修工法を決定していた。

これには、調整に時間を要することもあり、積雪期及び出水期等の施工期間の制約がある中で円滑に修繕を進めていくことに課題が生じていた。

そこで、予め統一的な方針を定めることで円滑に修繕を進めることが必要であった。

表-1 補修工法・材料の相違点（一例）

| 補修項目   | 細目      | A社設計              | B社設計      |
|--------|---------|-------------------|-----------|
| 断面修復   | 断面修復範囲  | 劣化部+50mm          | 劣化部+100mm |
|        | プライマー   | 無機系               | 有機系       |
| ひびわれ充填 | ひびわれ充填材 | ポリマーセメント系orシーラント系 | エポキシ樹脂系   |
|        | 適用ひびわれ幅 | 幅1.0mm以上          | 幅0.5mm以上  |

### (2)予算制約に伴う課題

新潟国道事務所管内の橋梁は、一級河川や主要幹線道路を跨ぐ橋梁が多く、管理橋梁の半数以上が橋長50mを超える大規模橋梁であり多額の修繕費を要する傾向にある。

これに対し、限られた予算内で修繕を図るため、優先度を設定したうえで、順次工事発注を実施していたが、補修設計から修繕までに時間を要することが多くあり、劣化の進行により当初計画していた補修方法や材料が適用できない事象が発生し、この場合、前項で示したように三者会議による対応方法の調整や見直し設計に伴う施工停滞が生じていた。



このため、損傷程度により迅速に対策方法を選定する必要があり、かつ選定における判断基準を明確にする必要があった。

### (3)新技術・新工法適用における課題

補修計画では、新技術・新工法を適用するケースが多くあり、これまで工法・材料の技術資料などを参考に適合性を評価してきた。

ところが、これらの適用後に一部で再劣化や劣化進行も見られることがあり、適合性について課題が生じていた。

このため、新技術・新工法適用に当たっての考え方を改めて整理する必要があった。

## 3.補修要領の整理手法

### (1)整理方法

補修要領としては、前項の課題のとおり、計画立案時や施工時等の各段階で、容易に判断できるようにする必要があった。

そこで、損傷要因、損傷程度、部位などの容易に判断できる指標を基にした対策方法の選定フロー又は表形式で整理することとし、使用材料、材料の必要性能を明確にするとともに、判断基準や使用材料の選定理由を解説として整理することとした。

特に損傷要因については、設計段階では各種詳細調査などを併用することで特定できる場合が多いが、施工時には費用や時間制約から全ての詳細調査を実施することに課題があったため、損傷要因と損傷特性なども併せて整理することとした。

### (2)整理項目

補修要領の整理項目として、まず材料区分としてコンクリート構造物と鋼構造物を区分した。そのうえで、耐荷性能へ影響する可能性があり、各橋梁の構造特性や劣化程度により個別に検討が必要な鋼橋の疲労損傷、PC構造のひびわれなどを除き、統一的に対策しうる損傷に対し、各構造で以下の項目で整理することとした。

#### a)コンクリート構造物

- ①ひびわれ補修（ひびわれ注入・充填）
- ②うき、剥離・鉄筋露出補修
- ③表面保護

#### b)鋼構造物

- ①防食機能の劣化（塗装塗替え）

## 4.補修方法の選定

### (1)ひびわれ補修

ひびわれ補修では、発生要因がコンクリート打設後から比較的短期間で生じる自己収縮、乾燥収縮、水和熱などの初期ひびわれ、ASRによるひびわれ、塩害によるひびわれやその他荷重の作用による曲げ・疲労ひびわれなどを対象とした。

対策選定フローでは、まず一般的にひびわれ発生を許容していないPC構造物については個別検討が必要であることとし、鋼材腐食を伴うひびわれの場合は、ひびわれ注入や充填を行うのではなく、断面修復に移行することを前提としたうえで、発生要因、進行性、幅、部位（変動の有無）、塩害環境下の有無を判断基準として、図-1のフローで整理した。

また、ひびわれ注入、充填に使用する材料は、これまでの実績による評価も踏まえ、エポキシ樹脂系を基本に、必要性能は、建設省総合技術開発プロジェクトコンクリートの耐久性向上技術の開発を参考に表-2のとおり設定した。

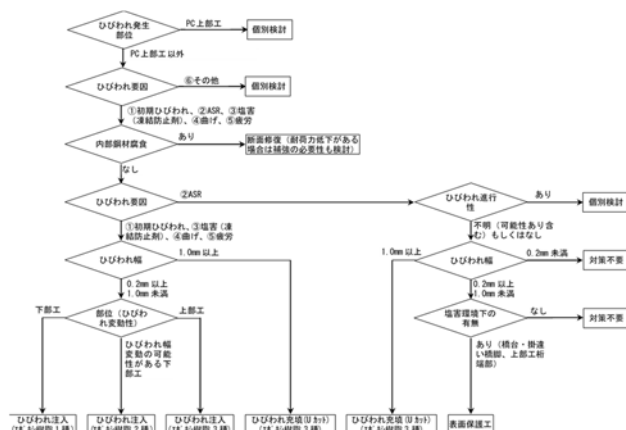


図-1 ひびわれ補修方法の選定フロー

表-2 ひびわれ補修材料の性能

| 補修方法                              | ひびわれ注入      |             |             | ひびわれ充填      |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 材料の種類                             | エポキシ樹脂注入材1種 | エポキシ樹脂注入材2種 | エポキシ樹脂注入材3種 | エポキシ樹脂注入材3種 |
| 粘度(mPa・s)                         | 1,000 以下    | 4±1℃        | 1,000 以下    | 同左          |
| 可使時間(分)                           | 30 以上       | 30 以上       | 30 以上       | 同左          |
| 硬化時間(時間)                          | 16 以内       | 16 以内       | 24 以内       | 同左          |
| 硬化収縮(%)                           | 0.1 以下      | 0.1 以下      | 0.1 以下      | 同左          |
| 伸び率(%)                            | -           | 50 以上       | 100 以上      | -           |
| モルタル付着強さ(乾燥面)(N/mm <sup>2</sup> ) | 6 以上        | 6 以上        | 6 以上        | 同左          |
| 付着力耐久性保持率(%)                      | 60 以上       | 60 以上       | 60 以上       | 同左          |

(2)うき, 剥離・鉄筋露出補修

うき、剥離・鉄筋露出が生じている箇所については断面修復を基本とすることとし、損傷発生要因として、コンクリート打設時の充填不足によるもの、塩害、ASR、中性化を対象とした。但し、ASRに対しては、進行性が懸念されることから、ひびわれ補修や表面保護を併用するものとした。

対策選定フローでは、塩害のうち、鋼材位置での塩化物イオン含有量が $4.5\text{kg/m}^2$ 以上あるような場合は、一時的な補修では長期耐久性が確保できないと考え個別検討とし、塩化物イオン含有量、単位面積当たりの鋼材表面積比率、ASRの有無、部位や断面修復規模を判断基準として図-2のフローで整理した。

また、これまでに断面修復後に断面修復材の剥離が生じる再劣化を抑制するために、より付着性が確保できるようにプライマーには、エポキシ樹脂系を適用することを基本とした。

さらに、断面修復では施工方法も複数あることから、施工規模や施工向きなどによる施工方法フローも図-3のとおり整理した。

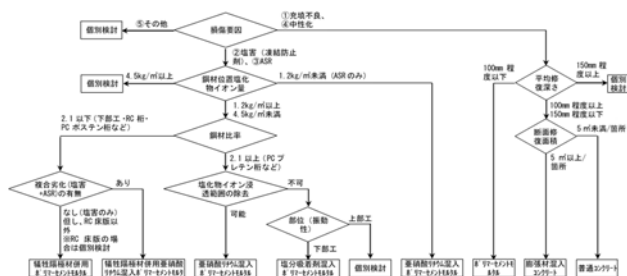


図-2 うき、剥離・鉄筋露出補修方法の選定フロー



図-3 断面修復施工方法フロー

### (3)表面保護

表面保護は、損傷に対しての対処療法とは異なり、損傷要因の排除あるいは抑制という観点での対策となる。

特に新潟国道事務所管内の橋梁における損傷要因として、融雪水による水かかりとこれによるASRの進行、さらに凍結防止剤を含む漏水による塩害などがあり、それらを抑制するため、表面保護を実施してきた。

表面保護には従来コンクリート塗装を使用することが多く、新潟国道事務所管内でも多用していたものの、表面保護機能が高い反面、コンクリート表面が目視できず、劣化進行、再劣化などの事象を早期に確認することができず、多額の修繕費を要する課題があった。

このため、図-4に示すとおり、コンクリート塗装の適用範囲は、橋台の橋座に限定し、これ以外は、含浸工法を基本とした対策選定フローを整理した。

但し、含浸工法は無色・透明であるため、施工確実性に課題があったことから、土木研究所資料第4186号コンクリート表面保護工の施工環境と耐久性に関する研究を参考に、施工後に撥水試験による確認を併用することとした。

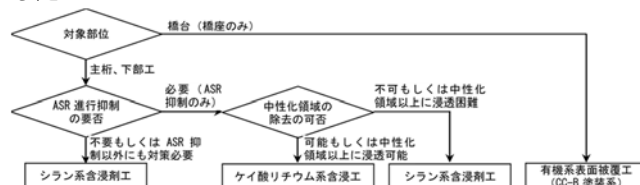


図-4 表面保護工選定フロー

#### (4)防食機能の劣化補修

防食機能の劣化に対しては、重防食塗装系であるRc-I 塗装系が基本となるが、漏水や凍結防止剤による腐食環境が著しい桁端部以外は、上塗りのみの劣化である場合も想定されることから、桁端部と桁端部以外での塗装系を個別に検討することとした。

また、支承部では、支承形式により重防食塗装が適用できない場合があるため、支承高により金属溶射を適用することとした。(表-3)

表-3 塗装仕様

| 部位          | 区分                        | 塗装仕様                                       |
|-------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| 主桁・横桁など上部構造 | 桁端部                       | Rc-Ⅰ 塗装系                                   |
|             | 桁端部以外                     | 劣化範囲と LCC を踏まえ Rc-Ⅰ 塗装系と Rc-Ⅲ 塗装系の区分を個別に検討 |
| 支承          | 1 種ケレンが容易（支承重 150mm 程度以上） | Rc-Ⅰ 塗装系                                   |
|             | 1 種ケレンが困難（支承重 150mm 程度未満） | 金属溶射                                       |
| その他         | 上記以外（耐荷性能に影響がない部材）        | 錆転換型塗装（※基本的には適用しない）                        |

さらに、桁端部や下フランジなどでは特に防食機能の劣化が生じやすいことから、新設橋梁の設計時留意点（案<sup>1)</sup>では、図-5に示す範囲で増塗を行うことが示されている。

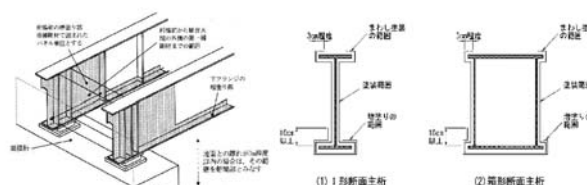


図-5 下塗りの増塗範囲



そこで、既設橋梁においては、塗替え範囲に応じて  
図-6に示すとおり増塗を適用することにした。

なお、塗装塗替えにおける増塗の塗装仕様は表-4のとおりである。

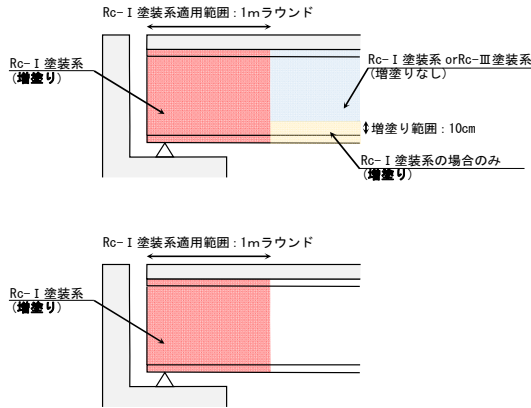


図-6 増塗範囲  
(上段：全面塗替時，下段：部分塗替時)

表-4 増塗部の塗装仕様

| 塗装工程   | 塗料名              | 使用量(g/m <sup>2</sup> ) | 塗装間隔   |
|--------|------------------|------------------------|--------|
| 素地調整   | 1種               |                        | 4時間以内  |
| 防食下地   | 有機ジンクリッチペイント     | 600                    | 1日～10日 |
| 下塗     | 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 | 240                    | 1日～10日 |
| 下塗     | 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 | 240                    | 1日～10日 |
| 下塗(増塗) | 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 | 240                    | 1日～10日 |
| 中塗     | 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗   | 170                    | 1日～10日 |
| 上塗     | 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗    | 140                    | 1日～10日 |

## 5.不具合事例の整理

補修要領の整理により今後一定の品質を確保した修繕が図られることを期待しているが、さらなる修繕の合理化を図るために図-7の様式で不具合事例を整理することとした。

これは、修繕を実施したものの、施工時の配慮不足などにより、かえって損傷が生じる事例があったことからこれらを蓄積することで、施工時に生じやすい不具合の抑制を期待するものであり、施工時のみならず設計時の不具合事例についても今後整理して行く予定である。

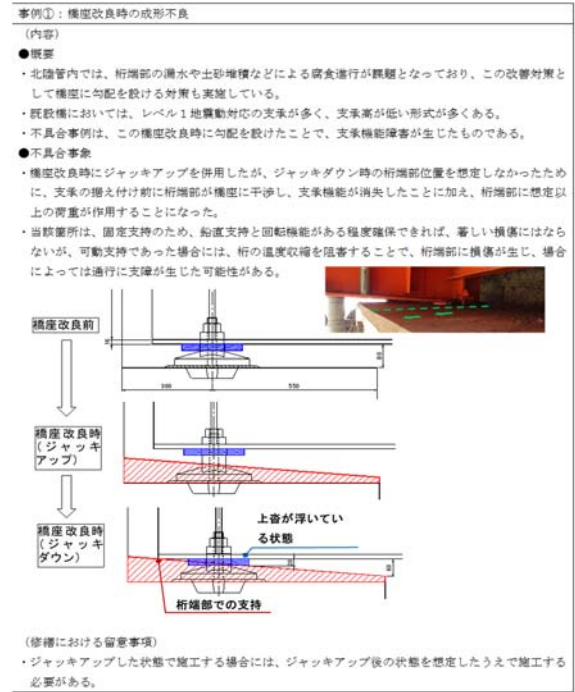


図-7 不具合事例

## 6.今後の進め方について

今回整理した補修要領は、新潟国道事務所における橋梁補修で適用するとともに、その適用事例や関係基準やマニュアル等の改訂、あるいは新技術・新工法などの開発状況等を踏まえ、随時改訂していくことで、さらなる修繕の合理化・効率化を図る予定である。

## 7.参考文献

- 1) 北陸地方整備局道路部：新設橋梁の設計時留意点（案）