

豊岡河川国道事務所管内における ネットワークの冗長化について

加藤 優一¹・中村 晋輔²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 防災情報課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2丁目12-35)

²近畿地方整備局 滋賀国道事務所 防災情報課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4番5号)

豊岡河川国道事務所は兵庫県北部に位置し、高規格道路である国道483号に管理用のCCTV等を設置し、道路管理に利用している。これらの機器は、光ケーブルを用いた大きな1つの円を描くネットワークを介して事務所と通信している。そのため、災害等で障害が発生した場合に国道483号のネットワーク上にある全ての機器が影響を受けることとなる。本稿では、上記のように災害に対して脆弱な現状のネットワークに対して、冗長性を高めることで災害に対して強靱なネットワークの構築を検討する。

キーワード 光ケーブル、冗長化、防災

1. はじめに

(1) 国道483号の概要

国道483号は、兵庫県丹波市春日町から兵庫県豊岡市上佐野を結ぶ全長約61kmの高規格道路で、その管理は豊岡河川国道事務所が行っている。但馬地域と京阪神の連携を強化する役割を持ち、また災害時には周辺道路の代替路としての役割もあり、但馬地域における国道483号の重要性は大きい。平成17年の春日和田山道路の開通より現在でも延伸が行われ、県が整備を推し進める山陰近畿自動車道との接続も計画されている。兵庫県の北部に位置するため比較的降雪量は多く、冬期は雪害体制を敷くなど雪害の影響を受けることも多い。また山間部を通るため、橋梁やトンネルなどの土木構造物が多く、道路管理上監視する箇所が多くCCTVなどの設備多く存在する。

(2) 但馬地域の環境

前述のとおり国道483号は、兵庫県の北部、日本海側に位置し、また海から山までの距離が比較的近い。日本海側の特徴的な気候として、雨雲が発達しやすく夏期は雨、冬期は雪が多くそれらに加え、年間を通じて落雷が多く、但馬地域でも同様の特徴が見られる。図2,3は夏季及び冬季における落雷日数を表したヒートマップである。兵庫県北部では、比較的頻度が高い黄色または橙色で表されており落雷の影響を受ける頻度が高い。

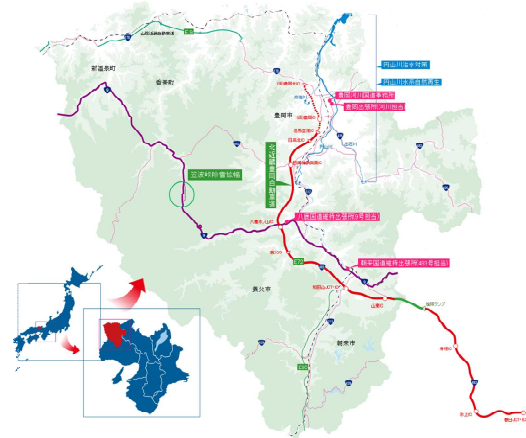


図1 豊岡河川国道事務所の管内図

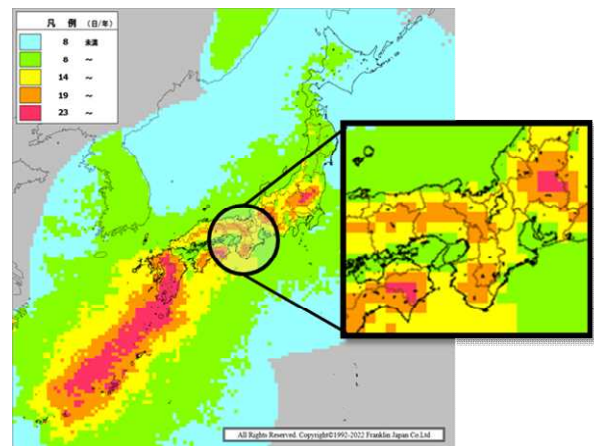


図2 夏季の落雷日数マップ

<https://www.franklinjapan.jp/raiburari/data/1355/>
を一部編集

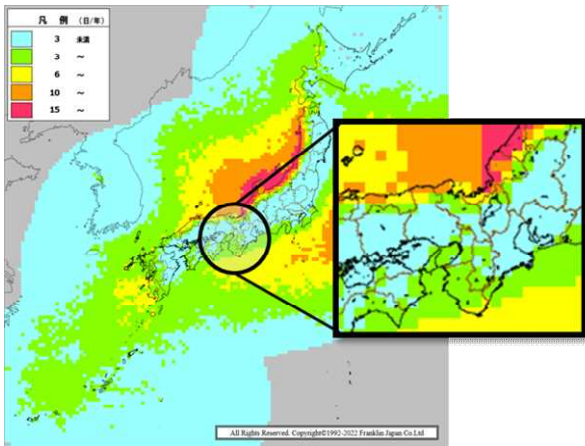


図3 冬季の落雷日数マップ

<https://www.franklinjapan.jp/raiburari/data/1347/>
を一部編集

(3) 雷害

雷が持つエネルギー量は、通常設備を稼働させるために必要なエネルギー量と比して、非常に多い。雷が直撃する直雷、落雷による電磁界の変化で生まれる誘導雷による、莫大なエネルギーが電気回路に流れ、回路が焼けるといった被害が、設備が受ける雷害として代表されるものである。直雷に対しては周囲に避雷針を、誘導雷に対しては設備の一次側に避雷器（以下「SPD」とする）を設けることが対策としては一般的である。

2. ネットワークについて

(1) ループを構成するネットワーク

データ通信を行うネットワークにおいて、データの送信または受信、その両方を行う設備をノードと呼び、ノード同士をつなぐ伝送路をリンクと呼ぶ。PCやネットワーク装置、CCTVのような設備がノードにあたり、LANケーブルや光ケーブルがリンクにあたる。ノードの内、別のネットワークとやり取りを行うようなノードを特にゲートウェイ（以下「GW」とする）と呼ぶ。円環状のループを構成するネットワークの特徴として、一つのネットワークにつき一つのノードの故障まで耐えうるようになっている。図4のように、平時では、どちらか一方の定められた方向でデータのやり取りが行われる。あるノードが故障した際には、故障したノードから見てGWと反対側にあるノードから逆方向でデータのやり取りが可能のため、故障していない全てのノードは健全に通信が可能である。

図5のように二つのノードが故障した際には、故障し

たノード間にある故障していないノードは、いずれの方向でもデータの送受信はできず、ネットワーク的に孤立しているため通信ができない。

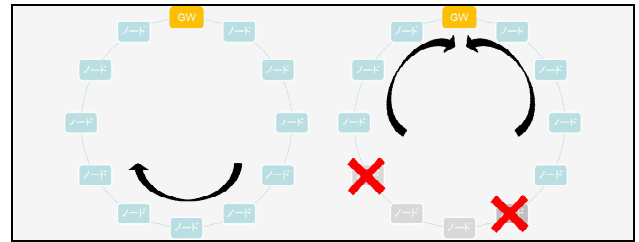


図4 平時のネットワークの挙動（左）

図5 故障時のネットワークの挙動（右）

(2) 国道483号の現況

国道483号では、CCTVをはじめ気象観測設備や融雪設備など数多くの設備を整備している。図6は現在の国道483号のネットワークを模式的に表したもので、設備をノードとし、光ケーブルで数珠繋ぎのように、大きなひとつの「円」を描きながらすべての設備を接続するような形でネットワークを構築している。この大きなネットワークは、国道483号を管轄する朝来国道維持出張所をGWとし、国道9号、円山川を経て、図上部にある丸印が表す事務所へとデータが届けられる。

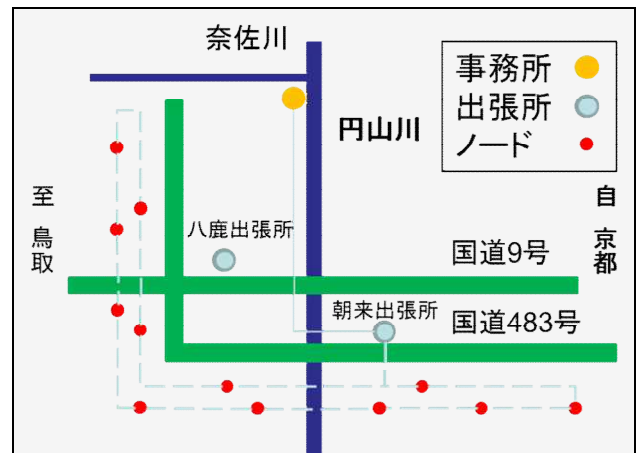


図6 国道483号のネットワークを模式的に表した図

(3) 雷害による被害と課題

前章でも述べたとおり、但馬地域では落雷が多く、その影響を受けやすい。雷の多い季節では、雷害による直接の被害のほか、電気事業者が落雷の影響で停電するといった間接的な被害を受けることもある。直雷の被害を受けることは少ないため、避雷針を設ける設備は少ないが、誘導雷対策として、ほぼすべての設備にSPDを設けており、加えて無停電で稼働する必要がある設備には無停電電源装置（以下、「UPS」とする）を設けて対策を行っている。対策を行った効果は一定程度あるものの、想定より大きな電流が流れた場合はSPDも対応できない

場合もあり、またUPSも精密機器であるため落雷により動作が止まる事もあるなど完全に雷害をなくすことは難しいのが現状であり、対策を行っていても雷害で設備は止まるものとして、その影響を減らすことを考える必要がある。

昨年度も夏に落雷による影響でネットワーク障害が発生した。図7は当時の様子を模式的に表しており、「×」のついたノードに障害が起き、停止していることを表している。停止したノードの間にあるノードがGWと通信出来ず孤立していることを表している。当時の状況は、融雪設備用のネットワーク設備が2箇所同時に停止している状況で、北側の設備を中心に大部分と疎通がとれなくなり、ネットワークとして機能しなくなるという事例であった。落雷の影響でUPSが停止し、2箇所同時に障害が発生したため、大規模なネットワーク障害になった。ネットワーク上のGWに近い2箇所で障害が発生したため、その影響範囲が広がってしまった。このような事例は、年に数回発生しており、災害時に限らず、平時においても大部分の設備が利用できなくなるという状態は、道路管理上問題である。そのため但馬地域における重要度の高い国道483号のネットワークには、障害発生時においてもその被害を最小限にし、ネットワーク全体として利用できる状態にすることが求められる。

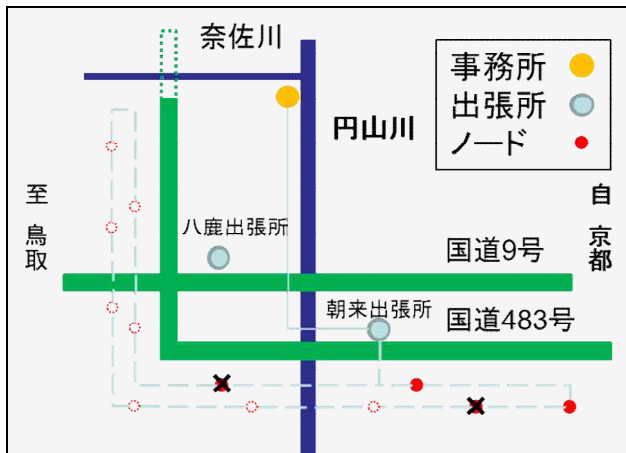


図7 障害発生時の影響を模式的に表した図

(3) 豊岡河川国道事務所管内の将来系ネットワーク

前節では、但馬地域の特性に触れつつ、国道483号のネットワークの現況と事例について述べた。ここでは少し視点を広げ豊岡河川国道事務所管内のネットワークの将来計画に触れる。

図8は管内の光ネットワークの現況を表しており、事務所から9号、483号の2路線、円山川、奈佐川、出石川の3川にそれぞれ繋がっており、その全ては円山川を経由して接続されている。特に、水害や地震等によって円山川が事務所より上流側で破堤した場合、図9で表しているように、光ケーブルの切断により全ての道路管理設備と通信が不可能になる。これは災害時の道路管理上非

常に問題である。そこで、国道483号の点線で表した今後延伸計画のある区間を利用し、奈佐川と接続することで広域の迂回路が形成でき、管内全体としてネットワークの冗長化が可能となる。

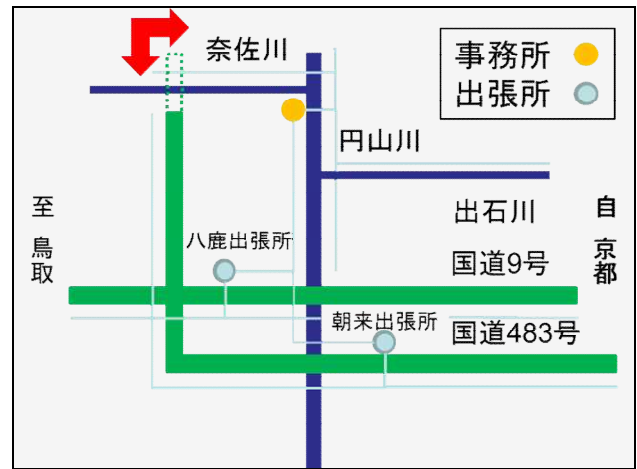


図8 現在の豊岡河川国道事務所管内の光ネットワークの系統図



図9 円山川が破堤した場合の影響図

3. 冗長化の手法

(1) 冗長化とは

ネットワークの構造を踏まえ、国道483号におけるネットワークは障害に対して弱い面があるということ、管内のネットワーク計画などをここまで述べてきた。ここでは、その脆弱性を解消するためにネットワークに冗長性を持たせる方法について将来計画を踏まえ考える。ネットワークにおける冗長性とは、ノードやリンクを複数設けることで、設備の故障や障害、その他の要因による影響を受けたとしてもネットワークを安定して使用できる状態を指す。「設備の冗長化」「ルートの冗長化」が

主な手法である。

(2) 手法

a) 案1 分割化

案1の「分割化」は、ループに対してGWがひとつであることを踏まえ、GWの数を増やし、ループの数を増やす案である。ひとつのループあたりのノード数が減り、障害発生時に影響を受ける可能性が減ることが期待される。図10は案1を模式的に表し、朝来出張所をGWとするループ、奈佐川から迂回するループのふたつのループを構成している。それぞれのループが独立することで、一方のループで障害が発生した場合でも、他方には影響を与えないため影響を受けるノードの数が半になる。

奈佐川から迂回するループに取り込むノードに対しては、GWを朝来出張所から変更する設定変更等の作業（システムインテグレーションと呼び、以下「SI」とする）を要し、その対象数は相当数になる。また奈佐川まで延伸する計画はあるものの、未だ計画段階であり、この案を実現するには時間を要することとなる。

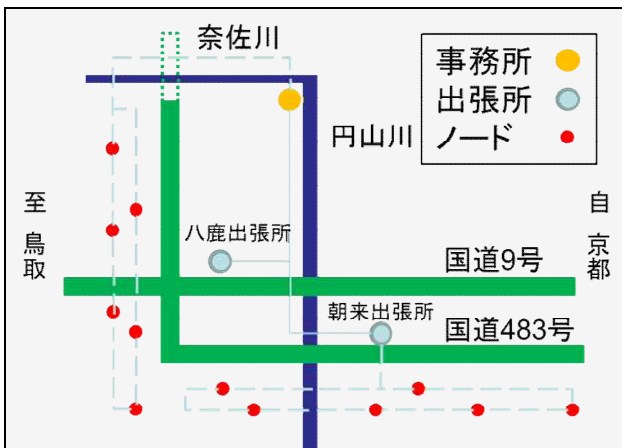


図10 案1「分割化」を模式的に表した図

b) 案2 メッシュ化

案2の「メッシュ化」は、「網目」を意味するメッシュを冠するように、網目状にネットワーク構築するものである。2つのループを相互に接続し、ネットワーク全体としてGWを二つもち、さらに迂回路が複数できることでより冗長性を高める案である。図11は案2の「メッシュ化」を模式的に表した図である。案1の「分割化」でループを分けたことに加え、2か所で相互に接続し、迂回路を設けている。平常時には独立したふたつのループとして動作し、障害が発生した際には迂回路を使用し継続して通信が行えるようになるため、より安定して運用することができる。

全てのノードに対して迂回路を設定するSIが必要となり、その数は相当数になるとともに、その実現には延伸を待つ必要があり、時間を要するという難点があるが、ネットワーク全体の冗長性は最も確保することができる。

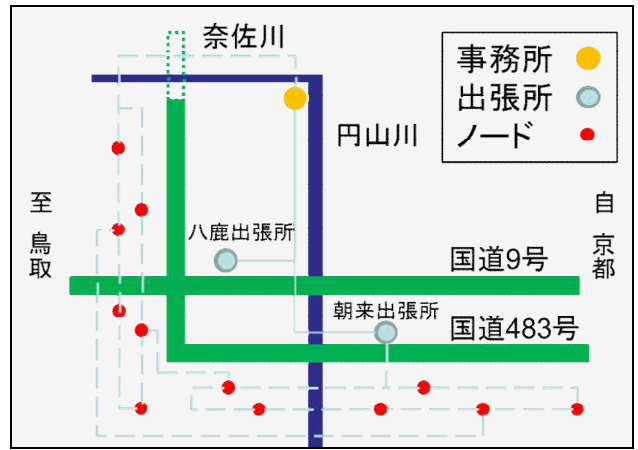


図11 案2「メッシュ化」を模式的に表した図

c) 案3 分散化

案3の「分散化」は、すべてのノードがひとつのループに同列の扱いであることを踏まえ、ひとつのループの規模を小さくする案である。常時使用する設備、非常時にも稼働させるべき設備、冬季のみ使用する設備など、設備毎に重要度、使用頻度は異なり、それぞれの設備で求められる管理レベルは異なる。図12は案3の模式図であり、小さなループを複数構成し、それらを大きなループで接続する形になっている。トンネル電気室などの常時稼働が必要な管理レベルの高い設備を小ループのGWとして大ループを構成し、小ループを電気室ごとに近いその他の設備で構成し、ノードを分散、ループの規模を小さくしている。小ループは独立しているため、それぞれの小ループで発生した障害は相互に影響を与えないほか、大ループを構成するノード数が減ることで故障の発生確率が減るためネットワークとしての安定性が増す。

この場合、小ループを構成するノードでSIが必要となり、前項にあげた案2よりコスト面で若干抑ええることが出来る。またこの案の場合、奈佐川までの延伸を待たずして施工することができる点、一括で行う必要が無く、徐々に移行する事が出来る点でも優れている。比較的速やかに取り組むことが出来る案であり、現実的といえる。

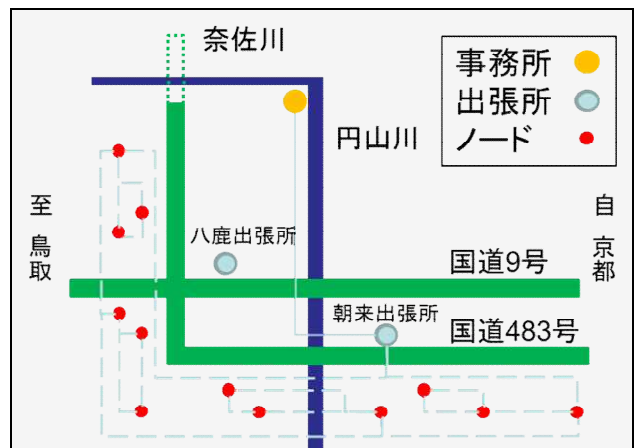


図12 案3「分散化」を模式的に表した図

4. さいごに

本稿では、但馬地域の特性、管内のネットワーク計画などに触れつつ、国道483号のネットワークに問題があることを確認し、それを解消するための案を述べてきた。3つの案をあげそれぞれの特徴、メリット、デメリットを述べ、案2が最も冗長性を確保することがきるが、案3が早期に冗長化を図れる上、現実的なものである。このことから、まず案3による対策を実施し、延伸と併せて案1による対策を実施、最後に案2のネットワークの構築を提案する。

しかし、ここまで述べてきたのは論理的な構造の観点からのみネットワークの冗長性を考えてきた。物理的に同じ場所を光ケーブルが通るなど、論理的な冗長性を確

保出来ていたとしても、実際にはそのとおりに冗長性が確保できるとは限らない。また、データが迂回する際の容量、伝送距離を考慮していない。運用に耐える容量があるかどうかなど、実際に設計、施工する際には十分な検討と確認が必要である。

本論文は著者の前任地である近畿地方整備局豊岡河川国道事務所、国道483号におけるネットワークの脆弱性の解消について行った検討内容をまとめたものである。

謝辞：「豊岡河川国道事務所管内におけるネットワークの冗長化について」の取組でご協力いただいた関係者の皆様に感謝申し上げます

天ヶ瀬ダム再開発事業における 試験通水について

宇津 悠祐¹・山内 健史²

¹近畿地方整備局 道路部 交通対策課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

²近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 工務課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1)

天ヶ瀬ダム再開発事業とは、既設天ヶ瀬ダムが持つ放流能力増強を目的として、ダム左岸側に全長617mのトンネル式放流設備を建設する事業である。

トンネル式放流設備を運用するにあたり、既設天ヶ瀬ダムの健全性・トンネル式放流設備の安全性・周辺環境への影響に問題がないか確認するため、3段階の試験（通水試験・放流時の確認・サーチャージ水位時の確認）を実施し、各種観測を行った。

トンネル式放流設備の試験では鹿野川ダムに次ぐ2事例目となる。本論文では天ヶ瀬ダム再開発事業の試験通水について紹介し、今後のダム再開発事業等に役立てることを目的とする。

キーワード ダム再開発, トンネル, 試験

1. はじめに

天ヶ瀬ダム再開発事業は既設天ヶ瀬ダムの左岸側に全長617mのトンネル式放流設備を建設する事業である。現状、900m³/sの放流能力であるが、再開発後は1500m³/sの放流が可能となり、治水及び利水（水道・発電）の能力増強が可能となる。天ヶ瀬ダム再開発事業は平成元年度に建設着手され、30年以上の月日を経て令和4年8月10日に運用が開始された。



図-1 トンネル式放流設備配置図

天ヶ瀬ダム再開発事業におけるトンネル式放流設備は図-1に示すとおり、流入部、導流部、ゲート室部、減勢池部、吐口部で構成される。流入部には緊急時や修理時流水を遮断する修理用ゲートがあり、ゲート室部には主ゲートと副ゲートが各2門設置されている。トンネルから放流する際には主ゲートで流量の調整を行う。

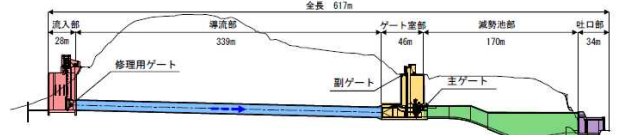


図-2 トンネル式放流設備断面図



図-3 白虹橋より天ヶ瀬ダムを望む

2. 試験通水の概要

(1) 通水試験

通水試験ではゲートを最小開度で開け、初めてトンネルに水を流した。通水試験での目的は、運用状態を想定した水压下（O.P.+72.0）におけるゲート設備の操作及び止水機能を確認し、既設ダム・トンネルについての健全性を確認することである。通水試験は令和4年7月25日～27日にかけて試験を実施した。



図4 通水試験時の放流状況

(2) 放流時の確認

放流時の確認では、令和4年9月7日に天ヶ瀬ダムから放流している水をトンネルに振り替え、トンネル機能及び周辺環境への影響について約100 m³/sの放流量でモニタリングを行った。

(3) サーチャージ水位時の確認

サーチャージ水位時の確認では、サーチャージ水位下（O.P.+78.5）における既設ダム・トンネルの健全性を確認することを目的とし、令和4年11月26日に実施した。天ヶ瀬ダムの上流にある喜撰山ダムからの水を降ろし、水位をサーチャージ水位付近であるO.P.+78.3まで上昇させた。

3. 試験通水の観測項目

既設天ヶ瀬ダムの健全性・トンネル式放流設備の安全性・周辺環境への影響を評価するため、表-1の通り観測項目を整理した。

観測項目については大きく土木構造物の機能確認項目と機械設備の機能確認項目に分類される。

表-1 試験通水時の観測項目

確認箇所		確認項目
流入部	流入部躯体	クラック等の有無
	渦状防止構造物	空気連行状況
	前庭部	水質、濁度、土砂混入状況
	修理用ゲート	水密性 運転操作 充水バルブの運転操作
導流部	トンネル覆工	坑内観察調査（損傷、摩耗の有無の観察）
	導流部周辺における各観測孔	地下水水位の変動観察
ゲート室部	立坑部水槽	クラック等の有無の観察
	主ゲート	水密性
		振動
		給気量（風速）、圧力（気圧）、騒音（可聴音）
		ずり落ち量
	運転操作	
	副ゲート	水密性 運転操作
	小容量主バルブ	振動 運転操作
小容量副バルブ	運転操作（流水遮断含む）	
ゲート室部周辺における各観測孔	地下水水位、地山変位の変動観察	
減勢池部	中央隔壁	放流部の水脈の観察
	減勢池	損傷、摩耗の有無の観察
		減勢池部の水脈の観察
	副ダム	
低周波対策工	低周波の確認	
減勢池部周辺における各観測孔	地下水水位の変動観察	
吐口部	下流護岸	放流時の水脈、放流後の浸食・洗堀の観察
	下流河川	水質、濁度
既設ダム	ダム本体・アバット部における各観測孔	ダム本体の漏水量の観察
		ダム本体の変位量の観察

(1) 土木構造物の機能確認項目

トンネル式放流設備は、各設備で要求された機能に対して設計が行われており、水理模型実験により各諸元が決定している。流入部では流況の安定や土砂混入防止のため、渦状防止構造物・前庭部が設置されている。導流部では外力支持の目的で覆工が、止水目的でグラウチングが施工されている。上記のような対策の効果を確認するため、確認項目を「流況確認」、「計測」、「調査」に分類して調査を行った。

a) 流況確認

放流の影響によって、流況に乱れが生じていないかについて目視・CCTVを用いて確認を行う。

b) 計測

試験中、試験前後での水質、地下水位、低周波、漏水、地山変位及びダムの堤体変位の観測を行う。

c) 調査

放流の影響によって、トンネル内にクラックがないかを確認するため、UAVや高解像度カメラを用いて調査を行う。

(2) 機械設備の機能確認項目

トンネル式放流設備に設置されている各ゲートの機能確認を行う。

a) 修理用ゲート

修理用ゲートは幅10.5m×高さ12.3mで流入部に格納されている。トンネルの点検整備時や修理時の止水・トンネル内の充水の目的で設置されている。確認項目としてはトンネル内無水状態での水密性、運転操作の確認を行う。

b) 主ゲート

主ゲートは幅3.6m×高さ4.9mのラジアルゲート2基がゲート室部に格納されており、放流量の調節の目的で設置されている。（水流方向に対して左側が1号主ゲート、右側が2号主ゲート）確認項目としては水密性、運転操作、振動、給気量、圧力及び騒音の確認を行う。

c) 副ゲート

副ゲートは幅3.6m×高さ12.3mのスライドゲート2基がゲート室部に格納されており、主ゲート点検整備時の止水目的で設置されている。（水流方向に対して左側が1号副ゲート、右側が2号副ゲート）確認項目としては、水密性、運転操作の確認を行う。

d) 小容量主バルブ

小容量主バルブは発電停止時の維持流量の放流目的で設置されている。確認項目としては、振動・運転操作の確認を行う。

e) 小容量副バルブ

小容量副バルブは主バルブの点検整備時の止水、主バルブ故障時の流水遮断の目的で設置されている。確認項目としては、運転操作の確認を行う。

4. 試験通水の観測結果**(1) 土木構造物の観測結果****a) 流況確認**

通水試験、放流時の確認の際に確認を行った。いずれの試験とも流入部、減勢池部、吐口部において、異常な水面変動や流況の乱れは確認されなかった。

b) 計測

地下水位の観測ではいずれの観測孔においても試験通水の影響による水位上昇は確認されなかった。

漏水量の計測では通水試験、放流時の確認時は試験前後で変化はなく、管理基準値以下で推移している。サーチャージ水位時の確認時には、ダム湖の水位上昇に伴い、ダム本体の左岸側漏水量の増加が確認されるが、管理基準値以下で推移している。

水質の計測は通水試験、放流時の確認時に行った。いずれの試験とも試験前後で水質に変化はなく、環境基準値以下で推移している。

地山変位の計測では既往観測値の変動幅内で水位している。

ダムの堤体変位の計測は試験通水の前後で変化は無く、管理基準値以下で推移している。

c) 調査

通水試験時、放流時の確認時、サーチャージの確認時の後にトンネル式放流設備内の変状調査を実施し、各試験前の状況と比較した。流入部、導流部、ゲート室部、減勢池部において放流前後で新たに損傷等は確認されなかった。



図-5 トンネル内UAV調査状況

(2) 機械設備の観測結果**a) 修理用ゲート**

通水試験の調査時に上部水密部中央からの噴出が確認されたが、放流時の確認の調査時は上部水密部の噴出は確認されなかった。また、ゲートの運転操作については異常は確認されなかった。

b) 主ゲート

サーチャージ水位時の確認の調査時に、1号主ゲート上部コーナー部よりにじむ程度の漏水が確認された。対策

として令和5年3月に水密ゴムの調整を実施した。その他の観測項目については必要な数値を満足しており、問題はなかった。

c) 副ゲート

サーチャージ水位時の確認の調査時に、1号副ゲートの水密ゴムの変形による漏水が確認された。主ゲート同様令和5年3月に水密ゴムの調整を実施した。運転操作については異常は確認されなかった。

d) 小容量主バルブ

扉体の振動、運転操作に異常は確認されなかった。

e) 小容量副バルブ

運転操作に異常は確認されなかった。



図-6 副ゲートの水密性確認状況

5. 今後の課題

(1) 600 m³/s放流時の調査

令和4年度は出水が生起しなかったため、今回の試験通水では約100 m³/sでの放流量であった。今後計画流量600 m³/sの放流があった際には以下の項目についてあらためてモニタリングすることとしている。

a) 流況確認

今回の放流時の確認では放流量は約100 m³/sであったため、流況の乱れや偏流は確認されなかった。しかし水理模型実験によると、600 m³/s放流時には対岸護岸への水脈の沸き上がりが生じる可能性があることから、今後の実運用時に確認する必要がある。

また、貯水位が低下した状態で600 m³/s放流を実施すると、流入部の呑口流速が大きくなりキャビテーションが発生する可能性があることや、呑口上流に吸い込み渦が発生し、流況が不安定になる可能性が指摘されている。よって、今後予備放流等で水位低下を行った際には、呑口周辺の流況確認が必要である。

b) 主ゲートの観測項目

今回の放流時の確認では主ゲートの計測記録（振動、給気量、圧力、騒音）に異常な値は発生しなかった。しかし、全開放流を対象として実施した他ダムの試験結果では、全開前に計測値が増大することが確認されており、本事業の主ゲートにおいても600 m³/s放流時（ゲート開度88%）には、同様の傾向が想定される。

c) 低周波の観測

今回の放流時の確認では低周波に異常な値は発生しなかった。また、水理模型実験に基づく近似式から、600 m³/s放流時の音圧レベルを算出し、がたつき発生の閾値以下であることを確認しているが、あくまで実験結果による推定値であることから、今後の実出水で確認が必要である。

(2) 今後の維持管理計画

今後のダム管理に向けて、試験中、試験後の管理記録を基に安全性を評価した上で、計測項目、頻度について検討する必要がある。例えば地下水位について、現在26地点で観測を行っているが、これまでの計測経緯等を踏まえ、観測箇所を減少し、管理負担軽減を図ることが望ましい。

また、今回の流入部の変状調査では気中部を対象としており、水中部は未確認である。水中部のドライ状態での調査は困難であるため、水中部点検が必須となる。水中部の点検方法は、従来は潜水土が対応していたが、近年は水中ドローンを活用し、効率的な調査が行われており、天ヶ瀬ダムトンネル式放流設備でも活用が望まれる。

6. おわりに

今回の天ヶ瀬ダム再開事業における試験通水では運用に支障となる事象は確認されなかったが、今後、計画放流量である600 m³/sの放流でのモニタリングを実施する必要がある。

ダムの試験湛水については多くの事例があるが、トンネル式放流設備の試験の事例は鹿野川ダム改造事業に続く2事例目である。今後、ダム再生事業等で水路トンネルの試験が検討される際、本事業での事例が役に立てば幸いである。

備考

本論文は、従前の配属先である琵琶湖河川事務所 工務課における所掌内容である。

令和5年3月に完成した 大戸川ダム付替県道大津信楽線について

松田 紀子

近畿地方整備局 大戸川ダム工事事務所（〒520-2144 滋賀県大津市大萱1-19-32）

大戸川ダム建設事業に伴う付替県道大津信楽線が2023年（令和5年）3月完成・開通した。県道大津信楽線は大戸川沿いに大津市と甲賀市を結ぶ重要な幹線道路で、洪水時のダム貯留で水没する区間の付替道路工事を行ってきたものである。現道は道路幅が狭く、落石や慢性的な洪滞が発生しており、地域から付替道路の早期完成が期待されてきたなか工事を進めてきたが、豪雨による法面災害発生、急峻な山岳部における転石対策など現場課題が生じた。

本報告では、工事中の課題と軽量盛土工法の採用やDX（大型ドローン）を活用した対応について報告する。

キーワード 安全、軽量盛土、DX、ドローン

1. 大戸川ダムの概要

大戸川は信楽山地の高旗山を源とし、大津市南部を流下し、瀬田川に合流する流域面積190km²、流路延長38kmの一級河川である。

大戸川流域は奈良や京都にも近く古来より交通の要所であり、近畿の歴史や文化と深いかかわりのある地域である。交通の利便性の良さに加え田上山一帯の美林が注目され、東大寺、興福寺等の建立に大量の巨木が伐採されはげ山となり、洪水被害が多発していた。

近年でも2013年台風18号において水害が発生している。



写真-1 2013年台風18号洪水
中村氏撮影（大津市中野, 荒戸橋）

大戸川ダムは大戸川流域の田上盆地の洪水被害を低減、また天ヶ瀬ダムの負担軽減により洪水調節機能を最大限活用し、宇治川と淀川の安全性向上を目的として、堤高約67.5m、総貯水容量約2,210万m³の治水専用ダムを計画している。平常時は現在の環境とほぼ変わらない流水型ダムとして、2021年の淀川水系河川整備計画で本体工事の

実施が位置づけられた。現在はダム本体の地質調査や環境調査、本体設計を行っているところである。



図-1 大戸川流域および大戸川ダムの位置

2. 付替県道 大津信楽線の見直しについて

県道大津信楽線は大津市と甲賀市を結ぶ滋賀県南部の重要な幹線道路である。

大戸川ダム建設に伴い、県道が洪水時のダム貯留により水没するため、その影響を受ける区間の約7kmをダム貯留に影響のない標高の位置に付け替える道路として1999年度に着手した。

大戸川ダムは、1988年に建設事業として採択され、1998年には水没する大津市上田上大鳥居町の移転が完了した

が、2005年には利水者の撤退、2009年3月には河川整備計画で洪水調節専用の流水型ダムとして計画を変更したが、「ダム本体工事については、中・上流部の河川改修の進捗状況とその影響を検証しながら実施時期を検討する。」こととなり、ダム事業としては一旦凍結した。しかし、「これまで進捗してきた準備工事である県道大津信楽線の付け替え工事は交通機能を確保できる必要最小限のルートとなるよう見直しを行うなど徹底的なコスト縮減をした上で継続して実施すること。」と決定した。

この必要最小限のルートとして、整備するにあたり、これまでの3種2級から3種3級にルート及び構造変更を行い、2009年より計画を見直し工事を進めてきた。

(1) ルートの見直し

当初はダム建設に伴う現道の機能補償と道路管理者が計画する整備ルート（新名神高速道路の側道）との整合を図ること、またダムの高さやサイトの位置から右岸の山間を貫く山岳ルートを採用した。

その後ダムサイトが約900m上流へ移動したことで、付替県道の整備済区間から比較的緩やかな地形の大戸川左岸に渡河し、県道に接続させるルートに見直した。

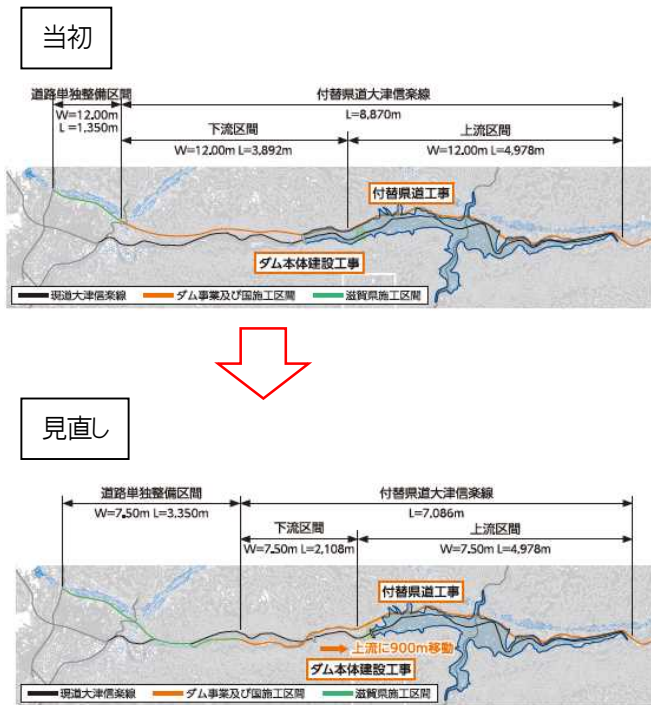


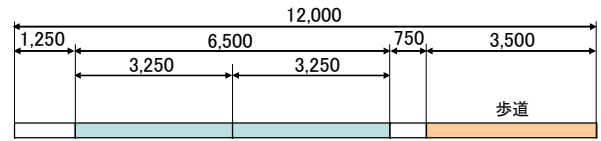
図-2 付替県道大津信楽線のルート変更

(2) 構造の見直し

当初は道路規格は3種2級とし、将来の通行量の増加を考慮し、一般部は歩道も合わせた総幅員12.0mで計画道路構造令改正により、道路規格を3種3級に見直し、歩道事業をとりやめ、総幅員7.5mに見直した。

当初

○ 一般部



見直し

○ 一般部

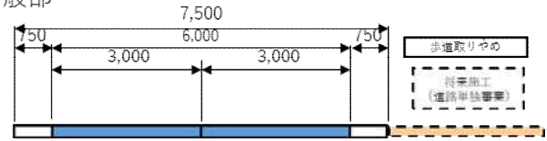


図-3 付替県道大津信楽線の構造変更

3. 難工事となった付替県道大津信楽線

計画変更に伴い、これまでトンネルで整備予定であった下流区間においては、現道から60mの高さに山岳道路として、切土、橋梁が連続する道路の整備となった。工事は急峻な山岳部のため、仮栈橋の設置及び落石防護を行いつつ、コスト及び安全に配慮しながら、工事を進める必要があった。



写真 - 2 下流区間の施工箇所



写真 - 3 転石を小割して撤去する状況

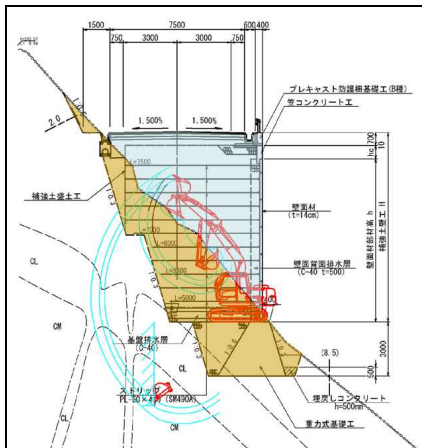
当初一般的な補強土壁による改良工事として計画していたが、風化した花崗岩の巨礫が多く、急勾配のため、施工ヤードが確保しづらいことから、巨礫の破碎・撤去時の作業効率化と落石リスクを排除するため、工事現場に近接した現道通行区間で工法を変更した。

当初計画では急斜面で切土を行った後、重力式基礎工を構築し、その上部に補強土壁工を設置する予定であったが、巨礫を撤去できないため、存置したまま地山に鉄筋を挿入し、地山のせん断強度の増加を図り、落石リスクがないように軽量盛土工法を採用し、道路幅を確保するための切土のり面工法へ工法見直しを行った。



写真 - 4 新7,8号橋間での災害発生(2021年8月)

当初



見直し

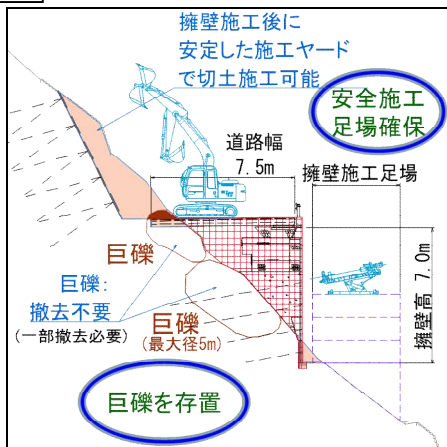


図-4 付替県道大津信楽線の工法変更

しかしながら、2022年8月に集中豪雨による土砂崩れが発生し、工事現場の被害だけでなく現道においても約4ヶ月間にわたり通行止めとなる等、非常に困難な現場であった。

4. 作業効率化に向けたDXの活用

軽量盛土材 (EPSブロック) は、1つのサイズが2m×1m×0.5mで40kgの重量がある。クレーンで届かない範囲で平坦になる部分は台車で運搬が可能であるが、階段形状になる部分は2人1組で人肩運搬を行う必要がある。そのため、最大高さが10mある足下のみえない中で1mの段差を乗り越える運搬作業に時間を要していた。



写真-5 擁壁施工及び軽量盛土材運搬状況

作業の効率化を検討しているなかで、電力業界における送電線の管理において50kg程度を運搬できる大型ドローンを活用した事例があるとの情報を得たため、本現場での活用について調整をおこなった。

平坦部分をクレーンとドローンの併用にて資材運搬をおこなったが、クレーンの届かない範囲かつ階段形状に

積んでいく部分においてドローンを活用することが有効と考えた。

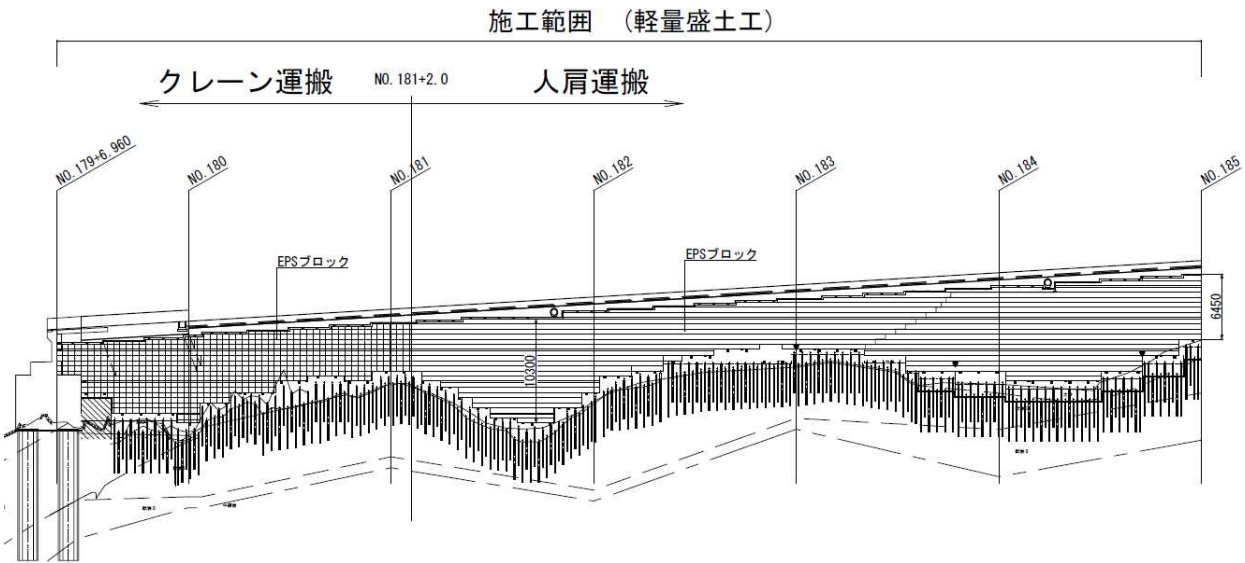


図 - 5 軽量盛土の運搬

当初は道路面との高低差の大きいEPSブロック最下段への運搬にドローンの活用を想定していた。しかし、最下段ではEPSブロックの設置個数は少ないが、地山にあわせたEPSブロックの加工が多くなるため、待ち時間が生じ効率的ではなかった。そのため、EPSブロックの加工が少ない中段以上での活用を行い、効率化を図った。

あらかじめ複数のEPSブロックに玉掛をおこなったものを準備し、ドローンを最大限活用して効率的に運搬できるように工夫した。

安全面では、出発地点のドローンの操作員が半分の区間まで操作を行った後、到達地点にいるドローンの操作員に操作を切り替えることで、到達地点の作業員が安全かどうかを確認できるようにした。また、設置したい箇所のジャストポイントに運搬することができ作業の効率化につながった。

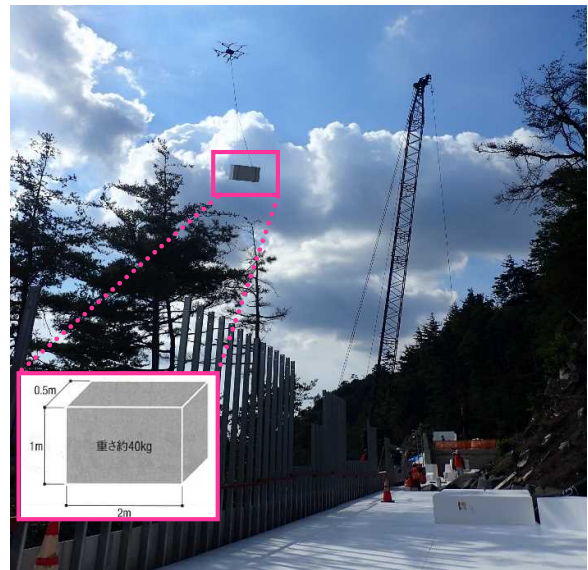


写真 - 7 大型ドローンによる運搬



写真 - 6 大型ドローン

人肩運搬で1個10分程度要していた時間が、大型ドローンによる運搬では1個あたり6分程度で運搬でき、約2倍のスピードで工事を進めることができた。

大型ドローンの活用により、コストは多少かかるものの、仮栈橋を延伸するよりも安く施工することが可能であった。また、昨年度の災害で道路の供用を1年延期しており、すぐに工期短縮できる手法を採用する必要があった。そのため、ドローン活用を選定したことにより、コスト縮減かつ工期短縮を図ることができた。

今回活用したドローンは最大50kgの運搬が可能であるが、土木工事では非常に軽い資材のひとつであり、軽量盛土材の運搬には最適であったと考えられる。今後、さらに

大きな重量物も運搬可能となれば、活用の幅は広がると想定される。

5. 整備効果

付替県道大津信楽線は1999年6月の起工式から24年の長きを経て、2023年3月25日に完成した。

現道大津信楽線は交通量が多い（約5,000台/日）わりに道路幅が狭く対向車間の離合が難しい箇所が多いため、慢性的な渋滞等交通混雑が発生していた。付替県道大津信楽線は2車線に拡幅され安全性が向上し、離合の不安も解消され、大津市から甲賀市間の所要時間も短縮された。

離合困難箇所の解消

現道大津信楽線は、交通量が多く（約5,000台/日）、地形上の制約から道路幅が狭く、対向車間の離合が難しい箇所が多く、朝夕のラッシュ時の慢性的な渋滞等交通混雑が発生していました。



整備効果

付替県道大津信楽線は、2車線に拡幅され、安全性が向上。離合の不安も解消され、大津市～甲賀市間の生活道路として所要時間も短縮されます。



図-6 整備効果①

また、過去には落石による死亡事故が発生しており、連続雨量90mmに達すると通行止め措置が取られていた。

2013年台風18号では落石で管理者である滋賀県により通行止めを実施した。

そのため、付替県道大津信楽線は安全対策と道路のり面の安定化を図るため、崩壊しやすい場所に法枠工を設置するなど快適さと安全性を確保した。

今後は付替県道大津信楽線の完成によって防災対策につながる安全な暮らしを支える道路となることが期待される。

落石などの事故の回避と通行止め解消

過去には落石による死亡事故が発生しており、連続雨量90mmでは通行止めとする措置が取られていました。平成25年台風18号では落石で通行止めになる被害が発生していました。



整備効果

落石や豪雨による通行止めが無くなります。付替県道大津信楽線では安全対策と道路法面の安定化を図り、崩壊しやすい場所について法枠工を設置するなど快適さと安全性を確保しています。



図-7 整備効果②

6. 最後に

ダム計画の見直しによる道路の計画変更、転石処理による工事の遅延などもあり、完成時には地元からもようやくできたという安堵かつ喜びの声がおおきくあがった。

今後も地域の皆様の安全・安心な生活をお支えることができるよう、ダム事業の早期完成を目指し取り組んでいきたい。

災害時における関係自治体への映像伝送について

長谷川 拓哉

和歌山河川国道事務所 防災課（〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁16番）

近年、大規模な自然災害が頻発しており、近畿地方においても南海トラフ巨大地震の発生が切迫している。巨大地震や大津波の被害により、和歌山県内地域の事務所等は、通信回線の機能不全となることが予想される。そのため、大津波や地震発生時の災害対応を迅速に行うためには現場での通信回線の確保及び現地状況の把握が重要となる。今回、通信機器の設営を関係自治体と合同で実施する防災通信訓練を行ったので紹介する。

キーワード：防災、危機管理、津波、災害対応

1. はじめに

近年、大阪府北部地震(2018年)や熊本地震(2016年)など、大規模な自然災害が頻発に発生しており、近畿地方整備局管内においては、和歌山県沿いの巨大地震の30年以内の発生確率が70～80%、規模はM8～9程度以上との評価結果が発表¹⁾され、地震・津波時の対策が刻一刻と迫られている。²⁾

このような災害が発生した際には、災害現場の状況をいち早く入手する必要がある。国土交通省では、災害時の初動体制の一つとして、災害現場状況の把握、災害現場との通信手段を確保することが求められており、衛星通信回線を用いた機器の実用訓練を日々行っている。また、国土交通省と各関係自治体では「災害時等の応援に関する申し合わせ」を協定締結しており、発災時の場合職員の派遣(リエゾン)や災害現場の情報共有を行うこととなっている。

図-1では、衛星通信回線を利用する機器構成の一例を示す。現地状況をカメラ等で撮影し、国土交通省が利用する衛星回線を利用して関係自治体へ映像提供する構成となっている。

本論文では、衛星通信回線を用いた技能向上を目指し、関係自治体と合同訓練を行ったので、訓練内容及びその様子を紹介する。

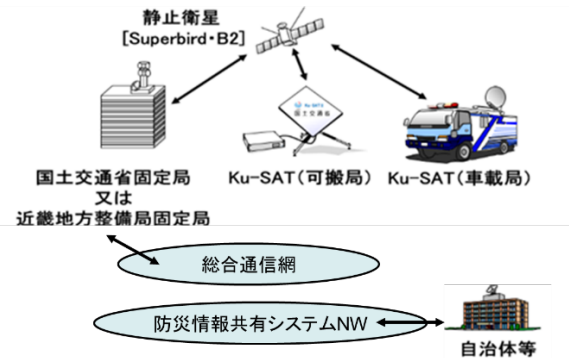


図-1 衛星通信回線を利用する機器構成の一例

2. 津波等の災害を想定した衛星通信可搬局装置等の事前準備と設営訓練の実施

(1) 通信回線の概要

近畿地方整備局の各事務所では、災害時に備えて通信機材を配備している。和歌山河川国道事務所では、主に衛星通信可搬局装置（以下「Ku-SAT」という。）1台、公共ブロードバンド移动通信システム（以下「公共BB」という。）1台、5GHz帯無線アクセスシステム（Integrated-networkRadio-Access-System（以下「i-RAS」という。））1台を配備している。特にKu-SATは衛星通信回線を利用して、国土交通省固定局又は近畿地方整備局固定局と接続し、国土交通省統合通信網を介して省内専用電話回線網に接続できる電話、映像の送受信、メールサーバやイントラネット等へのアクセスが可能である。

災害時に和歌山県で衛星通信回線を使用した事例として、近年では平成23年9月に発生した台風12号（紀伊半島大水害）による土砂崩れが起きた現場に通信機材を設置し、現地映像を配信している。

写真-1に国土交通省が提供した映像を示す。このような映像を伝送し、災害現場の被災状況をリアルタイムに提供するために、日々の設営訓練を行っている。



写真-1 災害時に通信機材で提供した映像
(提供：国土交通省近畿地方整備局)

(2) 衛星通信回線機器の設営訓練

大津波警報等が発令されたことを想定して、関係自治体の市役所庁舎での設営訓練を行ったので紹介する。初めに訓練を行う上での目標設定を以下の内容とした。

- ・普段とは異なる場所での回線設営を経験する
- ・実際の災害を想定し、回線設営後に関係自治体の職員へ確認できたことを共有する

また訓練参加者の構成としては、国土交通省電気通信職員4名とし、今回の回線構成図は図-2-1、図-2-2に、簡易型衛星通信機器（i-RAS、公共BB）を写真-2に示す。

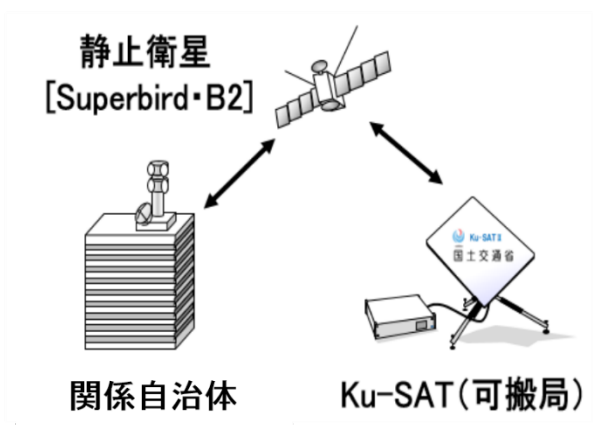


図-2-1 訓練時の回線構成図

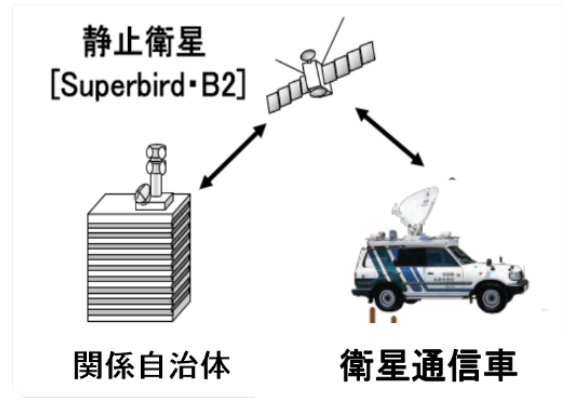


図-2-2 訓練時の回線構成図



写真-2 簡易型衛星通信機器

国土交通省では「災害時等の応援に関する申し合わせ」協定締結により、関係自治体への機器設置の場所や災害対策本部の設置までの想定をまとめている「自治体災害時支援台帳」というデータベースを管理し、活用している。この台帳は災害等が起きた際に協定を結んでいる関係自治体へ災害対策本部を迅速に設置できるように随時情報を新しいものに更新して使用するものである。台帳の一例を図-3に示す。このデータベースを元に適切な方角への機器の配置、調整を行った。衛星補足の有無を測定した様子を写真-3に示す。国土交通省で利用している静止衛星は地上から36,000km南東方向（東経154°）を向いており、国交省の衛星通信回線機器はこの静止衛星を介して通信を行っている。適切な方角を向いていればSYNCの青いランプが付くため、補足が成功したといえる。また衛星捕捉するためには、見通しが良く周りに障害物が特になくことが重要なので、屋上や低い建物が少ない箇所が衛星通信回線機器の設営に適しており、台帳の情報についての的確であることが確認できた。

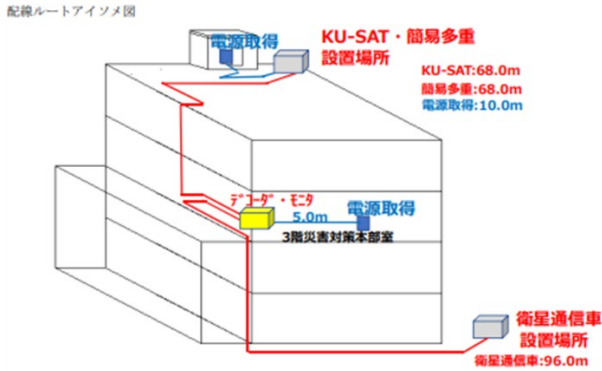


図-3 自治体災害時支援台帳の機器の設置場所及び配線ルート一例



写真-5 設定状況②



写真-3 衛星補足結果

今回の訓練では、衛星通信車を地上（関係自治体の駐車場）に、Ku-satを屋上に設営した。南東方向へ方角を調整した様子を写真-4、写真-5に示す。訓練当日は天候も良く設営箇所の上に高層ビル等がなかったため、Ku-satを組み立ててからの衛星補足もスムーズに行うことができた。



写真-4 設営状況①



写真-6 映像送受信完了

3. 訓練の結果について

（関係自治体との合同訓練で得たこと）

初めての場所での訓練や関係自治体職員と合同で回線設営をできたことは災害に対する備え方について再認識する取り組みでした。発災時はどのような状況になるかは分からないのでより実際に近い状況で行えたことは大きな経験となった。慣れていない場所での設営では、普段行っていたことも迷ってしまうこともあったため、設営手順を改めて再確認する必要性を感じた。また、発災時を想定して整理し

たデータベースを用いて回線設営を実際に行えたことで、データの重要性も認識することができた。

発災時、衛星通信車やKu-SATを使用するにあたり、アンテナの設置場所によっては障害物があり、使用できない可能性があるため、データベースの台帳記録を信用するだけでなく、今回の設営訓練と同様に電波が通じる環境か否かを確認する必要がある。

事務所等の建屋構成がわかっている場所とは異なり、今回訓練を行った関係自治体では設営場所や電源の確保等調査するところから始まったので、初めての場所へ設営するまでの難しさを感じた。

この経験をもとに、協定を結んでいる関係自治体とのデータベースは発災時に非常に重要なデータであることが分かったのと同時に、随時適切に更新し、最新のデータとしておくことが重要であると感じた。関係自治体の職員からも訓練を行うことへの前向きな意見も多々あり、回線設営スキルの向上のため今後とも積極的に訓練を行っていこうと思います。

4. まとめ

既存機器の回線構成において現地映像を映し出せることで終わらず今後の訓練では、国土交通省が備えている最新の衛星回線へ使用できそうな手法も取り入れ、さらに詳細な情報をリアルタイムに提供できるようにする必要がある。

① 国交省では様々な場面において「ドローン」の活用を積極的に押し進めているところである。現状の仕様では、災害現場の映像はハンディカメラ等で撮影した映像を災害対策本部へ伝送することで状況を共有している。ドローンをカメラ代わりに使用することで今までよりもさらに生の状況を共有できると考えている。図-4にドローンを用いた衛星回線接続の一例を示す。

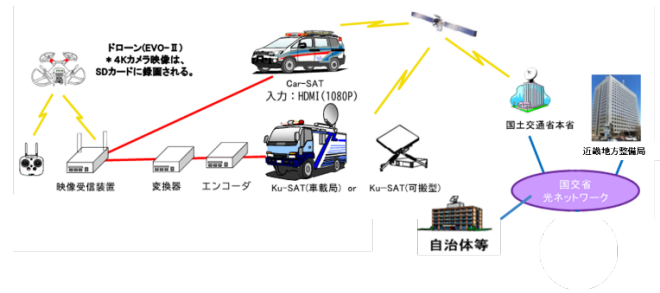


図-4 ドローンを用いた回線接続例

② 現在、国交省では衛星通信を介してテレビ会議を行うシステムがある。この機能をスマートグラス（ヘッドマウントディスプレイ（HMD））に置き換える等で関係自治体との合同訓練で繋いで利用することで、実際の災害等での緊急時でも遠方からの支援等も行えようと考えています。図-5に衛星回線を用いた会議の回線接続の一例を示す。

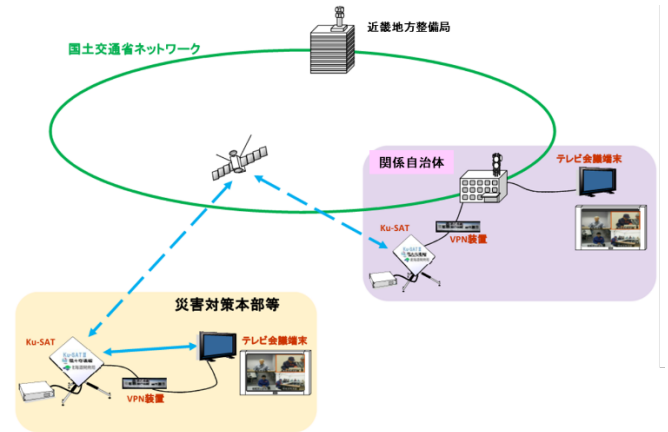


図-5 衛星回線を用いた会議の回線接続例

記載しました①、②の方法や新たな新技術を適宜取り入れながら関係自治体との訓練の実施に向け、今後計画していく。

参考文献

- 1) 南海トラフ巨大地震の想定震源断層域(内閣府防災情報)
- 2) 国土交通省 南海トラフ巨大地震対策計画 [第3版] (令和3年9月17日 国土交通省 防災・減災対策本部)

道路啓開における情報伝達訓練の効率化

大石 義晃¹

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 工務第二課 (〒620-0875京都市福知山市宇堀小字今岡2459大-14)

和歌山河川国道事務所では、近い将来に発生するおそれのある南海トラフ地震および風水害による道路災害に対応するため、国・県・NEXCO西日本を主体とした和歌山県道路啓開協議会を設立し、沿岸部の幹線道路および県管理道路等において、行政機関および関係団体の連携、協力による道路啓開を迅速かつ着実に推進することを目的とした情報伝達訓練を実施している。本稿では、情報共有システムの構築から関係機関による情報伝達訓練までに明らかになった課題と対策、今後の展望について報告する。

キーワード 道路啓開, 南海トラフ地震, 情報共有システム

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、限られた人員・資機材の中で、迅速かつ的確な初動対応が求められ、震災直後から速やかに実施された「道路啓開」により、救命救助活動等に大きく貢献した。

和歌山県では、今後発生しうる南海トラフ地震および風水害等による道路災害に対応するため、和歌山県道路啓開協議会(以降、協議会とする)を設立し、和歌山県道路啓開計画を策定した。

協議会は沿岸部の幹線道路および県管理道路等において、行政機関および関係団体の連携・協力による道路啓開を迅速かつ着実に推進することを目的としている。

2. 道路啓開計画の概要

行動指針の基本項目である「啓開ルート計画」「情報収集・連絡、連携」「啓開作業計画」「受援計画」を設定し、各項目の取組みを実施している。

(1) 啓開ルート計画

人命救助を目指した救助・救援ルートを確保するため、発災後 72 時間以内の段階的な道路啓開目標(STEP1~3)を設定した(図1)。

STEP1 では発災後 24 時間以内に基幹ルートおよび沿岸部への進出ルート等(浸水想定区域外)を確保する事を目標とする。STEP2 では 48 時間以内に主要拠点(市役所等)への進出ルートを確保する事を目標とする。STEP3 では 72 時間以内に沿岸部への進出ルートおよび沿岸部ルートを確保する事を目標とする。

種類	道路啓開における定義
基幹ルート	広域支援ルートを利用した応援部隊と連携して道路啓開を行うための基幹となるルート
沿岸部ルート	津波被害が甚大と予想される沿岸部のルート
主要拠点への進出ルート	地域の主要拠点へ進出するためのルート
沿岸部への進出ルート	津波被害が甚大と予測される沿岸部へ進出するためのルート

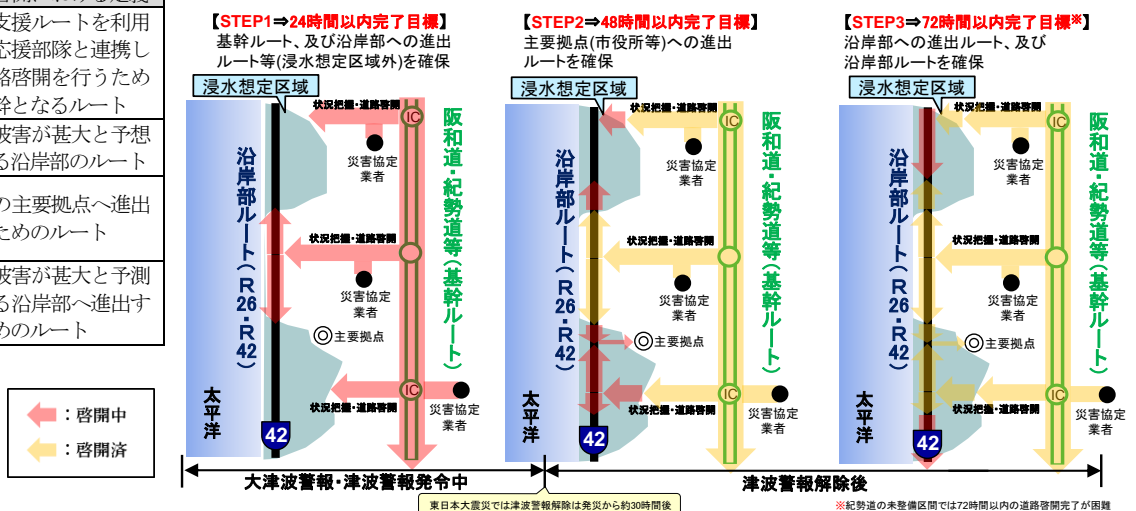


図1 道路啓開の目標(啓開ルート計画)

(2) 情報収集・連絡、連携

和歌山県庁内に県・国・NEXCO で構成した一元化窓口を設置するとともに、各地域の県振興局を地域拠点として連絡・調整を行うことにより、指示系統を一本化した。情報の収集や受発信は、後述する情報共有システムを活用して実施していくが、システムに依存することなく、従来の伝達方法を併用することに留意している。

(3) 啓開作業計画

道路啓開に関わる各機関の行動項目について、タイムライン(案)を作成した。関係機関および対象期間を拡大(訓練の高度化)した訓練を実施して検証中である。

(4) 受援計画

これまで人員や建設業者が保有する資機材量について和歌山県の地域毎に整理し、啓開活動の必要量に対する過不足量を算出した。また、関係機関との調整を通して、人員・資機材の確保・調達に向けた方策を検討中である。

3. 情報共有システムの構築

従来の道路啓開時の情報共有では、伝達方法が複数の媒体に分かれていること、複数の機関が個別に情報を共有していることから、広域的な情報を迅速かつ網羅的に把握することが難しい。そのため、様々な情報を1つのシステムで共有でき、関係者全体で横断的な連絡が出来る情報共有システムが必要である。

(1) 災害発生時の情報共有システムの必要性

道路啓開における情報共有項目としては、発災直後の状況(路線ごとの通行可否等)、路線別の被害の状況の把握、人員資機材の調達状況の把握、啓開の依頼、啓開状況の共有および不足資機材の調整などがある。また、従来の情報共有の課題として、データ毎に様々な媒体を用いて連絡していたことや、複数機関が個別に情報共有していたため、情報を迅速に広範囲で把握することが難しいということがある。このため、様々な情報を1つのシステムで共有でき、関係者全体で横断的な連絡が出来る情報共有システムが必要である。特に以下の3つの要件が道路啓開時の情報共有において重要となる(表1)。

表1 道路啓開における情報共有に必要な要件

要件	内容
要件①	誰でも情報提供(書込等)、情報共有が出来ること
要件②	全体の被災状況、道路啓開状況などが地図上で収集・閲覧出来ること
要件③	クラウド参加者同士で、いつでも会議が出来ること

(2) 情報共有システムの比較

和歌山県の道路啓開で運用する情報共有システムとして、既存の情報共有ツールを比較した。複数のシステムと比較した結果、表2に示す道路啓開の必須機能を1つのシステムで実装可能なシステムを選定した。誰でも使用可能である他にも情報の視認性、機能のカスタマイズの自由度が高いこと等を踏まえ、新たな情報共有システムを利用することとした。

表2 新たな情報共有システムが保有する代表的な機能

情報共有システムの必須機能	該当する要件(表1)
・指示・連絡の発信機能	要件①
・被害状況の収集機能	要件②
・被害状況の閲覧機能	
・WEB会議機能	要件③

新たな情報共有システムは地図表示を基本画面とし、保有している主な機能としては、テロップでの指示・連絡ができるほか、個々のポイントの被災写真、資機材情報、啓開状況を登録し、これらの情報を地域毎で集計する機能も実装している。また、密な情報共有が必要な際の手段として、WEB会議機能も実装した。

(3) 情報共有システムの検証

令和4年12月5日(水)13時~16時30分に、和歌山県道路啓開計画協議会・幹事会の全機関を対象に発災後72時間までを想定した訓練を実施し、情報共有システムを検証した。訓練はリモート環境を活用したWEB参加形式で実施した(図2)。訓練シナリオを表3に示す。

表3 訓練シナリオ(R4.12.5)の一部抜粋

タイムライン項目	時刻(目安)	主な実施内容
発災	13:00	・南海トラフ地震の発生
発災情報発信	13:00~13:03	・情報共有システムによる情報共有の開始
発災直後の被災状況の共有	13:03~13:05	・発災直後の被災状況・通行規制区間の共有
参集・啓開準備	13:05~13:25	・出勤体制・活動可能人員および資機材調達状況の共有
被災状況の収集・報告 人員・資機材の調達	13:25~14:05	・担当区間の被災状況の調査・報告 ・被災状況調査の状況等共有のためのWEB会議開始 ・通行止め・被災情報の報告
道路啓開の開始	14:05~14:20	・啓開ルートの共有・啓開指示 ・啓開作業開始
啓開状況の共有 不足資機材の調整	14:20~15:30	・区間指定箇所共有 ・啓開作業の進捗状況の報告 ・管内毎の資機材の保有状況の共有 ・資機材の調達
訓練終了 振り返り	15:30~16:00	・啓開完了確認の報告 ・訓練終了 ・アンケート回答、訓練の振り返り

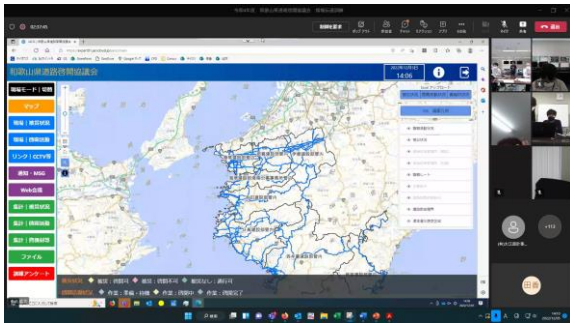
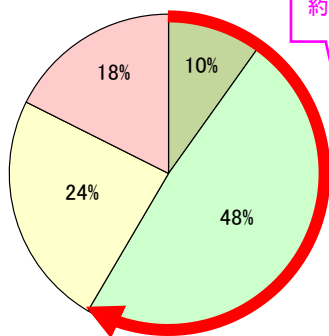


図2 情報伝達訓練の様子

情報伝達訓練における検証結果として、情報共有システムの有効性については、「①有効である」「②有効であるが一部改修が必要」の合計が約6割となっており、半数以上からはシステムの有効性を認識している旨の回答を得た(図3)。

訓練にて良かったと感じてもらえた点としては、指示がテロップ表示され、リアクション機能によって迅速に反応できること、資機材の情報がシステム上で入力でき、エリアごとに集計して確認できること、などが挙げられた(表4)。



- ①有効である
- ②有効であるが一部改修が必要
- ③あまり有効ではない
- ④有効ではない

図3 大規模災害時の情報共有システムの有効性

表4 訓練にて良かったと感じてもらえた点

項目	良かった点
全般	広域的な情報共有が1つのシステムで実施できることが良い
指示の発信・確認	指示の内容がテロップ表示であるため、地図での被災状況の確認と並行して確認できる リアクション機能があることで、指示への反応の手間が少なくて良い
資機材の登録・確認	これまでメール・電話でのやりとりで実施していたため、時間がかかってしまっていたが、システム上で入力できることで、効率化された 個々の資機材の状況をエリアごとに集計して確認できる点が良い
被災状況の登録・確認	システムによって被災状況が迅速に把握できる点が良い 人員・資機材の位置を地図上で見れる点が良い 画像で現場状況が分かるのが良い

指示・保有資機材の登録等の効率化等に関する声が挙げられた

4. 検証結果に基づくシステムの改善

訓練後にアンケートを実施し、浮き彫りになった課題を項目毎に下記に示し、その対応策をとりまとめた。

なお、特に意見の多かった、回線容量の増加についての要望や、テロップ表示やリアクション機能は、令和4年度中に改善を実施した。

(1) 指示の発信確認について

課題「指示が多くて混乱する場面があった」については、発信先の指摘機能や誤発信機能を実装する。

課題「リアクションの項目が少ない」については、「確認した」等のリアクションの項目を追加する。

課題「クロノロとして記録されると良い、時間・対応者・内容を表で整理したらどうか」については、履歴機能を実装した(図4)。



図4 履歴機能(クロノロ)の実装

(2) 被災状況の登録・確認

課題「マップ機能のアップロードに時間を要した(位置の差異も発生)」については、システム自体の性能向上を目指す。

課題「初期表示画面が和歌山市のため切り替えに手間がかかる」については、初期表示画面を和歌山県全体へ修正した。

(3) 啓開作業状況の報告

課題「現場啓開作業機能についてピンの色(状況)が変わるのに時間がかかった」については、システム自体の性能向上(自動アップデート含む)を対応中である。

課題「アプリによる操作」については、システムの操作性向上を次年度以降の対応とする。

(4) エリア毎の状況把握

課題「エリア毎の集計機能の更新状況が不明であった」については、定期的な自動アップロード機能を実装した。

課題「BOX へのアップロードで失敗する事例があった」については、システム自体の性能向上を次年度以降の対応とする。

(5) 画像・入力

課題「WEB 会議については、画面をシステム上に収納できると良い」については、ライブカメラ機能の実装を行った。

課題「音声入力が出来ると良い」については、実現可能性の検討(技術力・コスト・バランス)を次年度以降の対応とする。

(6) 啓開ルート情報

課題「啓開状況の色付け、通行止め区間・区間指定等のマーキングが出来ると良い」については、システム改良を次年度以降の対応とする。

5. 今後の展望

(1) 段階的な情報共有システムの活用

段階的な情報共有システムの活用方策を立案した(図5)。各段階の詳細を後述する。

1) 知識習得・理解促進

各関係機関に対し、道路啓開計画内容等の周知に活用する。定期的にシステムの開発状況や実装機能に関する情報を配信し、内容の確認を行う。(例：所要時間は5分から15分程度とし、手軽に活用することで回数を重ねて、道路啓開計画の内容への理解度向上につなげる。)

2) 基本操作の習得(各人で取り組めるもの)

比較的気軽に実施出来るシステム操作の習得等を定期的的に実施し、実際災害発生時の対応力の向上を図る。(例：毎月1テーマずつ実施など、所要時間15分から1時間程度)

- ①突発的に情報共有システムによる情報共有開始を通知し、それに対して応答(リアクション)する。
- ②各勤務先で写真を撮影し報告する。
- ③平常時の自機関の人員・資機材保有量を報告する。
- ④道路啓開の進捗状況について、定時(17時)に報告する。(例：訓練ウィークを設定し、その週は定時報告を実践)

3) 計画内容の検証(関係者間の連携など)

上記1)と2)の実効力向上および計画内容の検証として、実働的な訓練等を実施する。(例：年に1回実施など、所要時間1時間から半日程度)

- ①啓開担当区間で道路状況を撮影し報告する。
- ②道路管理者による発災直後の被災状況調査および情報共有を行う。通れるマップを作成する。
- ③稼働状況を把握・確認した上での資機材稼働状況を報告。
- ④被災状況を踏まえ、「通行禁止措置」、「災対法による区間指定」、「進出ルート、迂回路の決定」を実施し、各関係者に周知する。

4) 応用

ロールプレイング形式の訓練や地震・津波以外の突発的な事象への対応の活用などを将来的に実施する。

(2) 情報共有システムの活用に向けた開発

所要時間・難易度を考慮して、計画全体への理解促進やシステム操作の習得等、幅広い活用を検討中である。

今後、活用の幅を広げるため、「通れるマップ機能」「進出ルート・迂回路の表示機能」等の開発を予定している(図6)。

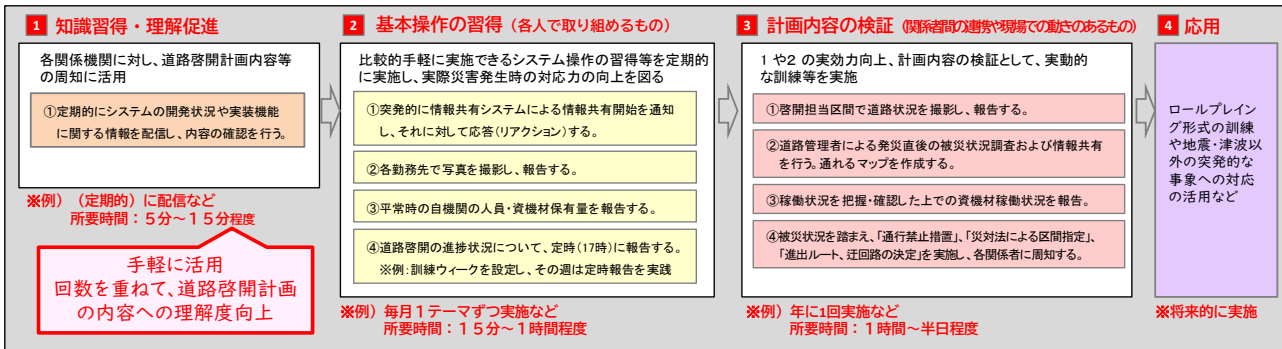


図5 段階的な情報共有システムの活用想定

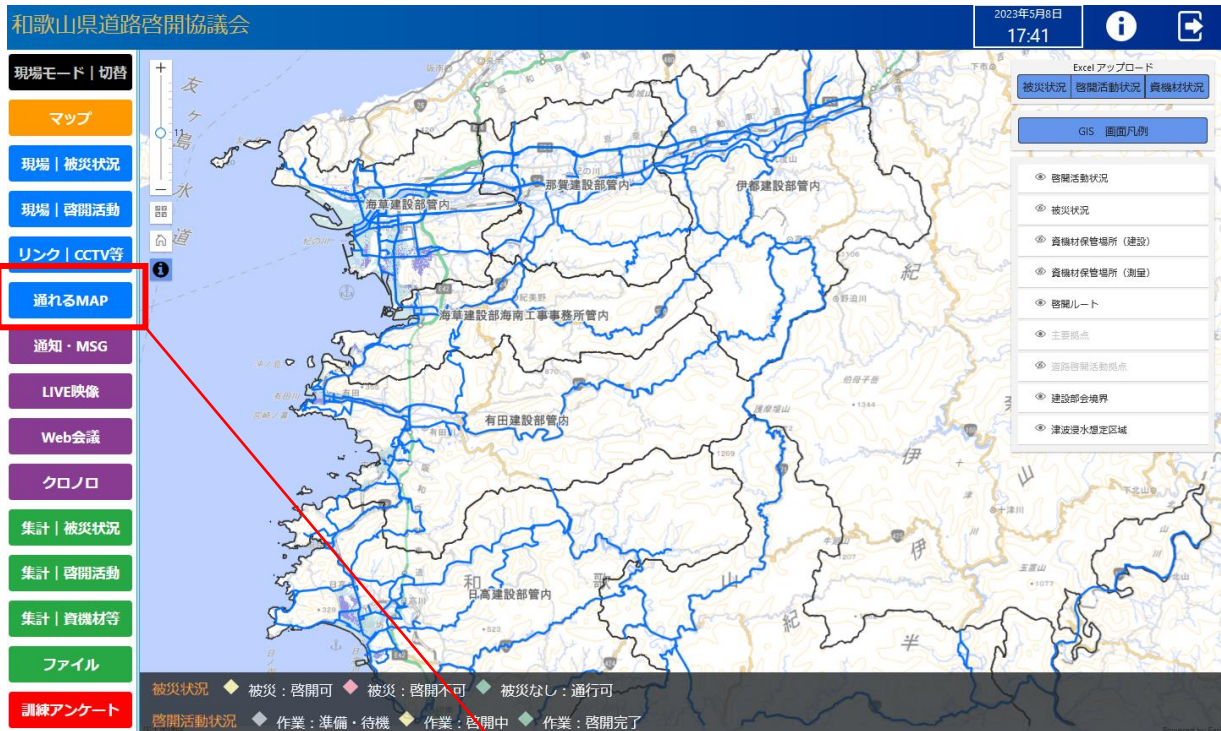


図6 情報共有システムの機能開発のイメージ(通れるマップ)

謝辞: 本論文の執筆にあたり,資料提供,助言を与えてくださった関係各位に感謝の意を表します。

福井県における災害時の交通マネジメントの取り組みについて

小林 雅哉¹

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 工務第二課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

2022年8月5日に福井県で発生した豪雨により、高速道路・国道・県道にて交通規制が実施された。被災に伴い、早期の交通確保を目的として、有識者、行政、高速道路会社及び交通事業者等で構成される「福井県災害時交通マネジメント検討会」を開催した。同検討会では、交通需要の抑制や円滑な交通確保に向けた包括的な交通マネジメントについて議論し、各機関が連携して、交通マネジメントの取り組みを行った。

本論文では、福井県災害時交通マネジメントの取り組み内容と災害対応を踏まえた今後の検討事項について記す。

キーワード 交通マネジメント, 災害

1. はじめに

2022年8月の記録的な大雨により、福井県では、鉄道や道路が被災し、嶺北と嶺南を結ぶ全ての交通路が途絶された。

2. 気象概況と被災状況

2022年8月4日～5日は、南下した前線に暖かく湿った空気が流れ込んだ影響と寒気の影響で大気の状態が不安定となり、福井県では、4日昼前に奥越地域で線状降水帯が発生し、猛烈な雨が降った。また、5日明け方からは嶺北南部や嶺南東部で断続的に猛烈な雨が降り、記録的な大雨を観測した。これにより、土砂流出などが発生し、国道8号・北陸自動車道の通行止めの他、JR北陸線で運休、一部河川では氾濫等の被害が発生した。

主な被災状況としては、土砂流出等により、鉄道ではJR北陸本線が敦賀駅～今庄駅で、道路では北陸自動車道(敦賀IC～今庄IC)、国道8号の南越前町～敦賀市でそれぞれ通行止めが発生した。また、周辺の越前・河野しおかぜライン、国道305号、国道365号においても被災により通行止めが発生し、嶺北と嶺南の交通路が遮断された。

各機関の応急復旧工事により、鉄道では8月11日にJR北陸本線が復旧、道路では8月9日より、順次交通規制を解除し、8月27日には北陸自動車道の全面規制解除により、嶺北と嶺南の交通路が復旧した。

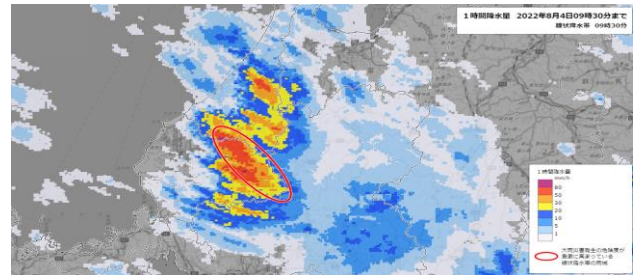


図-1 気象レーダー【2022年8月4日 09時30分時点】



図-2 通行規制一覧

3. 交通マネジメント検討会の経緯

8月5日より被災による通行止めが発生していたが、国道8号では8月9日に通行止めが解除され、片側交互通行規制となることを受け、同道路に交通が集中し、混雑が予想されたため、前日(8月8日)に災害時交通マネジメント検討会を立ち上げ、以下の項目を決定した。

- a) 広域迂回の呼びかけ強化
- b) 渋滞情報の収集・提供の強化
- c) ボトルネック箇所のマネジメント強化
- d) 渋滞時の利用者への配慮
- e) 今後の段階的な交通開放への対応
- f) 自治体からの無料措置要望

また、お盆には更なる交通混雑が予想されるため、お盆期間前の8月12日に同検討会を開催し、以下の項目を決定した。

- a) 公共交通機関利用の呼びかけ強化
- b) 広域迂回・混雑時間帯回避の呼びかけ強化
- c) お盆期間中のイベント来訪者に対する呼びかけ
- d) 渋滞情報の収集・発信の強化
- e) 片側通行規制における通行誘導の柔軟な運用
- f) 渋滞時の利用者への配慮の強化

全ての交通路の規制解除を受け、9月9日に同検討会を開催し、これまでの取り組みの総括と今後の課題の取りまとめを行った。

4. 交通マネジメントの具体的な取り組み

(1) 交通状況マップの作成・公表や情報発信

渋滞長などの交通状況、通行規制情報、迂回情報、休憩施設の情報（道の駅・仮設トイレ）、が1枚の図面で把握できる交通状況マップを作成し、定時及び渋滞発生時に福井河川国道事務所の公式Twitterで発信、関係機関からリツイートによる拡散を行い、更なる情報発信に努めた。

また、道路管理者間で連携し、規制情報などの一元的表示や周辺の道の駅での広域迂回の呼びかけを実施した。



図-3 交通状況マップ



写真-1 片側交互通行規制箇所
(左：土砂崩れの様子，右：国交省職員による誘導)

(2) ボトルネック箇所のマネジメント

(片側交互規制箇所の交通コントロール)

北陸自動車道では、滋賀方面は、8月10日0時に通行止めを解除したが、石川方面は8月27日まで通行止めであった。

一方、国道8号では、8月9日より片側交互通行規制を実施していたが、北陸自動車道の石川方面が通行止めであったため、国道8号の滋賀方面に比べ、石川方面の交通量が著しく増加した。

そのため、南側・北側それぞれの渋滞長を計測しながら片側交互通行規制箇所での通行時間を大胆にコントロールした（最大で石川方面10分、滋賀方面1分）。

(3) 利用者への配慮や仮設トイレの設置及び案内

国道8号の石川方面については、大規模な渋滞が発生することも予想されたため、利用者への配慮として、仮設トイレの設置・案内及び道の駅「河野」（南越前町）の混雑状況をリアルタイムに情報提供した。

(4) 災害時緊急バスの実施

福井県知事からの要請を受け、国道8号が通行止めであった8月8日に災害時緊急バスとして、JR武生駅～JR敦賀駅間で無料バスの運行を開始し、嶺北と嶺南との交通を確保した。

また、北陸自動車道の道路啓開の完了により、8月9日より北陸自動車道（武生IC～敦賀IC）を通行する運行ルートに変更し、運行台数も増便した。

(5) 代替路（無料）措置及び迂回誘導

国道8号が片側交互通行規制となったが、通行可能な台数が著しく制限されることから、北陸自動車道において、利用区間を限定し、全車種を対象とした国道8号の代替路（無料）措置を実施した。

国道8号では、道路情報板等で北陸自動車道の「代替路無料措置」を表示し、渋滞抑制を図るとともに、石川方面の交通に対しては、国道8号の道路情報板等で混雑が比較的少ない国道476号等への迂回案内を実施した。

(6) SNSを活用した情報発信

福井河川国道事務所の公式Twitterで交通状況マップの発信をはじめ、復旧に至る作業状況や休憩施設の混雑状

況をリアルタイムに発信し、道路利用者がタイムリーに求める情報を発信した。

(7) 各機関での取り組み

各機関においても以下の取り組みを実施し、包括的な交通マネジメントを実施した。

表-1 各機関の取り組み内容

機関名	取り組み内容
福井県	<ul style="list-style-type: none"> HPや道路情報板を用いた情報発信 県民への不要不急の移動自粛の呼びかけ 福井県知事のTwitterによる発信
福井県警察	<ul style="list-style-type: none"> 公式Twitterによる発信
中日本高速道路(株)	<ul style="list-style-type: none"> 情報板を用いた広域迂回の案内 標識車による国道8号の道路情報及び北陸道への迂回案内
日本道路交通情報センター (JARTIC)	<ul style="list-style-type: none"> ラジオやテレビによる規制情報の発信 HP (道路交通情報NOW!) による広報
福井県トラック協会	<ul style="list-style-type: none"> 会員への情報発信、広域迂回の呼びかけ
越前市・敦賀市	<ul style="list-style-type: none"> HPでお盆期間中 (花火大会) の移動者に対し、公共交通機関の利用を呼びかけ

6. 今後の課題と検討事項

災害対応を踏まえた今後の検討事項について、本検討会で取りまとめたものを紹介する。

(1) 通れるマップの提供

道路の規制情報は、HP等で速やかに提供されていたが、規制が行われていない道路の情報を示す、いわゆる「通れるマップ」について、データの取得や作成体制に課題があり、本取り組みでは作成・公表できなかった。作成・公表の体制確保やETC2.0プローブデータ等のデータ活用による通行実績情報収集の効率化を検討する必要がある。

(2) 効率的な渋滞状況の把握

国道8号での片側交互規制開始の当初、調査員による現地での渋滞調査や、現地に使用可能な交通量計測機器がなかったため、CCTV映像から目視によるカウントによる交通量調査を実施していた。人員の確保など、過度な負担が発生していたので、CCTV映像等を活用した渋滞長や交通量把握の効率化や可搬式車両感知器 (トラカン) 設置の迅速化が必要である。

(3) 災害時緊急バス

手続きや運行条件が各機関でルール化されておらず、対応にバラツキがあり、要請から運行開始の判断まで時間を要したため、運行手続き及び運行条件の明確化が必要である。

(4) 利用者への情報発信

国道8号で片側交互通行規制中に、優先して石川方面の車両を通行させていた際、待ち時間の長い滋賀方面へ向かうドライバーの一部の方から苦情があった。渋滞待ち車両への迂回誘導や待ち時間の理解を得るための情報提供の効率化が必要である。

(5) 利用者への配慮

仮設トイレの種類 (子供の利用も想定し、洋式トイレの確保が必要)、資機材の確保、トイレの設置間隔や案内方法の検討に時間を要したため、その迅速化が必要である。

(6) 平時からの各機関の連携

道路情報板やSNSによる迂回誘導等の情報発信の際、道路管理者間での連絡・情報共有方法の調整が発災後であったため時間的な余裕がなく、道路管理者間での連絡調整に時間を要した。平時からの情報発信の連携や、発災後に道路管理者間で一元的に情報を共有できる仕組みの構築が必要である。

例として、工事等による規制情報を道路管理者間で連携して発信、道路情報連絡室の開設・常時体制などが考えられる。

(7) 災害時交通マネジメントの知識浸透

検討会のノウハウが不足していたため、進め方や資料構成等の検討に時間を要した。また、被災範囲や被災時期に応じて、道路関係だけでなく、公共交通関係や観光関係などの機関との協力が必須であることを認知するきっかけとなった。

災害発生前からメンバーリストの作成や検討すべき項目の共有を行うとともに、今回の交通マネジメントに係る検討結果の全国発信や他地域の交通マネジメント実績のデータベース化が必要である。

7. おわりに

福井県災害時交通マネジメント検討会の開催を通して、道路情報の迅速かつ適切な発信という点で多くの課題が浮上した。道路利用者に伝えるべき内容を精査し、効率的に対応できるよう体制を構築する必要がある。

今回の検討会のような取り組みやその効果・課題を分析し、全国で情報を共有することで、今後のより適切な交通マネジメントにつながるであろう。

水海川導水トンネル2期工事の脆弱部施工に関する報告について

角田 隼輔¹・福井 駿也²

¹近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工事課 (〒918-8239福井県福井市成和1-2111)

²(株)安藤・間 水海川トンネル作業所 工事係 (〒910-2556福井県今立郡池田町松ヶ谷22-11)

足羽川ダム建設事業では、足羽川下流域に位置する福井市街地等における洪水被害の軽減を目的として、洪水調整専用のダムと分水堰、導水トンネルで構成される水海川分水施設の整備を進めている。水海川導水トンネルは、足羽川の支川である水海川の洪水を、同じく足羽川の支川である部子川に構築している足羽川ダムに導水するものである。

水海川導水トンネルは、現在2期工事を施工中であるが、脆弱な地山状況が続いている。令和4年10月には、温見断層の破碎帯と推定される区間に到達し、切羽の安定性を確保するために切羽前方に水抜きボーリングを施工しながら掘削するなど、安全に配慮して施工を進めている。本稿は、水海川導水トンネル2期工事の脆弱部における施工において、地質状況の変化や掘削状況、支保工や水抜きボーリング等の対策を報告するものである。

キーワード 導水路トンネル、山岳トンネル、自破碎状溶岩、断層破碎帯

1. はじめに

福井県は、滋賀県の最北端から日本海に抜ける10kmほどの稜線を境に、嶺北・嶺南に分けられる。嶺北地方は、北東を石川県境の加越山地、南を岐阜県境の越美山地、西を日本海に接する丹南山地と三方を山に囲まれた大きな盆地地形をしている。このような地形上の特徴から、嶺北地方に降る雨の大部分は、九頭竜川・足羽川・日野川で集積されたのちに福井市の市街地付近で合流し、唯一日本海に向けて開けた九頭竜川河口から流れ出る。嶺北地方を流れる三大河川の下流域は、過去に洪水被害に苦しんできた歴史があり、洪水の軽減を目的に足羽川ダム事業を進めている。

本事業では、ダム本体を足羽川支川の部子川に構築するとともに、足羽川支川の水海川、さらに、将来計画では足羽川本川の上流部などの3河川をトンネルで結び、洪水時にダムに導水する(図-1参照)。

水海川導水トンネルは、水海川の洪水をダムへ導水する全長4,717mの片押しの大トンネルである。水海川導水トンネルは、福井県今立郡池田町と福井県大野市の境界に位置する部子山(標高1,464m)から北西に延びる尾根を貫くトンネルである。この尾根は、足羽川支流の部子川流域と水海川流域を分ける分水嶺となっている。

トンネルは、吐口側にあたる金見谷川側からの片押し施工で、呑口側にあたる水海川側に到達する延長4,717mの長距離トンネルである。

トンネル中央付近の尾根部の直下には脆弱な自破碎状溶岩地山が広がり、さらに吐口側坑口から3,200m付近



図-1 足羽川ダム事業全体平面図



写真-1 水海川導水トンネル全景

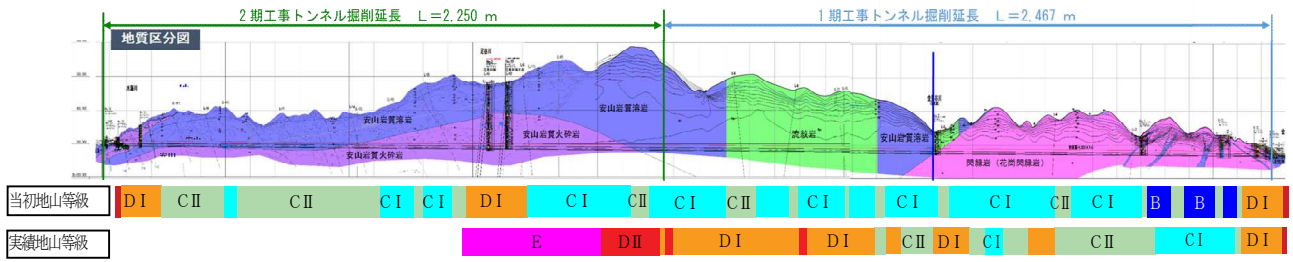


図-2 当初推定の地質縦断面

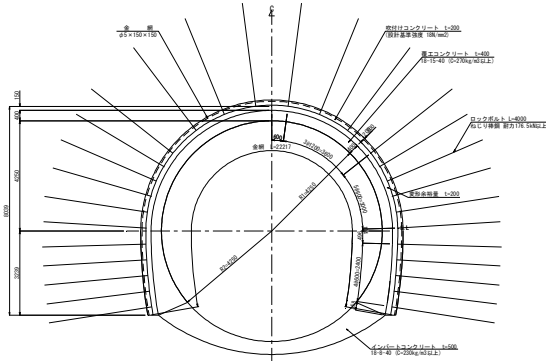


図-3 トンネルの標準断面

では、自破碎状溶岩地山が、大規模活断層である温見断層で破碎された状況が確認された。

本稿では、トンネル最難関箇所である温見断層の地山性状および断層区間でのトンネル対策工について述べる。

2. 水海川導水トンネルの概要

(1) 導水トンネル概要

水海川導水トンネルは、全長全長 4,717 m、内径 8.5 m、導水勾配 1/170 のトンネルである。仕上がり内径は直径 8.5 m の円形、底部は、管理車両が通行できるように床板コンクリートを打設しフラット形状としている。図-2 に当初推定の地質縦断面を、図-3 にトンネルの標準断面を示す。トンネルは、吐口から呑口に向かって（図-2 の右から左に向かって）、片押しで掘削を行っている。

(2) 地形地質・地質概要

トンネル周辺の地質は、大きく 2 種類に分けられる。吐口側の約 1,400 m 間が船津花崗岩、呑口側の約 3,700 m が糸生累層で構成される。

船津花崗岩は、今から 1 億 7000 万～1 億 9000 万年前の中生代ジュラ紀に形成された花崗岩層で、糸生累層によって広く不整合で覆われている。

糸生累層は、今から 1800 万～2000 万年前の第三紀の早期に広範な火山活動によって形成されたグリーンタフと総称される火山岩類である。下部は主に安山岩、上部は主にデイサイト（石英安山岩）からなる。

部子山山稜の尾根の呑口側には、尾根と並行して、北西—南東方向に伸びる温見断層が分布する。

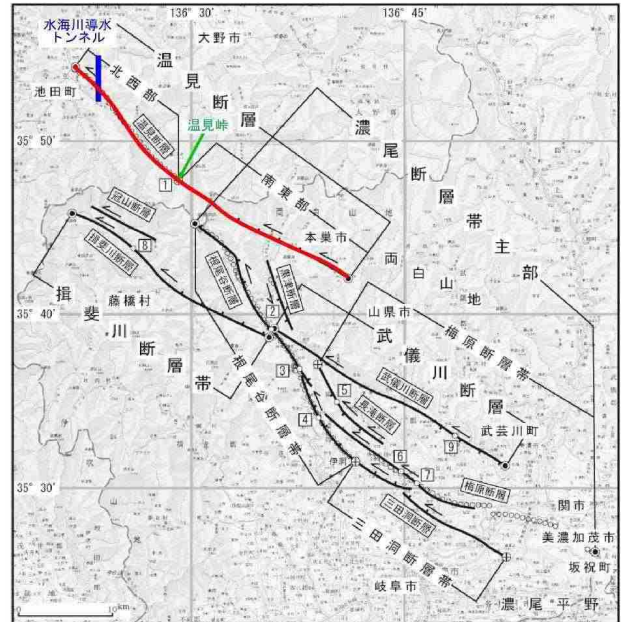


図-4 温見断層の概要

3. 温見断層の事前評価

(1) 温見断層概要

温見断層は、濃尾断層帯を構成する活断層のひとつであり、左横ずれを主体とし、北西部では北東側隆起成分、南東部では南西側隆起成分をとまなう長さ約 36 km の断層である（図-4）。

断層活動は、約 200 万年前に始まったと考えられ、トレンチ調査などの調査から、断層の総変位量は最大約 3 km、活動間隔は 2200～2400 年と推定されている。

直近の活動である 1891 年の濃尾地震の際には、北西部の約 20 km 区間が活動し、最大 3 m の左横ずれと北東側 1.8 m の隆起が記録されている。

(2) 断層の事前評価

水海川導水トンネルは、長さ 36 km の温見断層の端部付近に当たり、大規模断層が末端付近でどのような形態で分布しているかなど不明な点も多い。当該箇所付近には、温見断層と平行する複数のリニアメント（地表に現れた直線的な地形）が認められ、過去の文献においても、どのリニアメントが温見断層の主断層に該当するのか意見が分かれている。

トンネル設計時の事前調査において、文献調査、地表

踏査、ボーリング調査などから、トンネル吐口より 3.1～3.2 km 地点を横切る最も明瞭なリニアメントが主断層にあたるものと判断し、さらに、これより呑口側には、幅 500～1,000 m にわたる派生断層をともなった影響ゾーンが分布するものと想定した。

トンネルが貫く箇所の断層の性状は、弾性波探査およびボーリング調査結果などから、破碎による劣化幅は 50～100 m 程度であり、亀裂発達部 (CM, CL 級岩盤) を主体とし、幅数 cm～数 10 cm 程度の粘土化帯を不規則に含むものと予想していた。

断層周辺の地下水状況については、断層推定位置の調査ボーリング 2 孔の地下水が、地盤面より数 m の高さまで自噴していることや (写真-2)、断層推定位置付近の沢の比流量が増加する傾向などから、図-5 に示すように温見断層が地下水の流れを遮断し、吐口側の地下水をダムアップしているものと推定した。さらに、浸透流解析結果により、トンネル掘削時に最大 11 m³/h の湧水が発生することが予測された。

(3) 断層破碎を受ける前の岩盤の想定

温見断層部の断層破碎を受ける前の地質は、糸生累層の安山岩で、弾性波探査結果から、断層前後の岩盤は、CH～CM 級の比較的硬質な岩盤を想定していた。

(4) トンネルへの影響

断層破碎部は、高透水の角礫状の破碎された地質となっており、断層突破時の高圧・大量湧水対策が大いに懸念される状況であった。



写真-2 地下水が自噴するボーリング孔

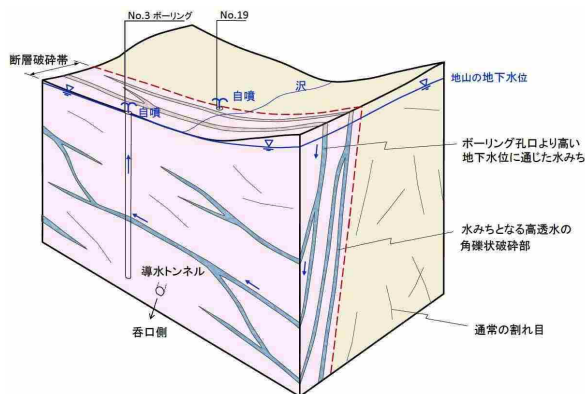


図-5 温見断層の模式図 (調査時の想定)

4. 施工時における温見断層の性状把握

(1) 温見断層到達前の地質¹⁾

調査時においては、断層周辺の地質は CH～CM 級の比較的硬質な安山岩を想定しており、トンネル中央部付近までの施工時の切羽においては想定ほど硬質ではないものの、通常の安山岩が出現していた。しかし、TD 2,500 m 付近から安山岩に脆弱な自破碎部が混在するようになった。自破碎部は、安山岩中の溶岩が自らの流動作用で破碎されながら固化したものである。固化した溶岩片の間を埋める細粒物質の固結度が高いものは堅固な岩盤になることもあるが、溶岩片間の固結が弱いと、本区間のように脆弱で細片化しやすい岩盤となる。参考に写真-3 に東北地方のダム現場で出現した安山岩と自破碎部の状況を示す。

特に TD 2,800 m 以降は、自破碎部がさらに熱水変質の影響を受けて脆弱化し、切羽の大半を占めて出現するようになった。図-6 に自破碎部が大半を占める切羽の代表的な写真とそのスケッチを示す。

自破碎部には、破碎部が形成された際にできたと思われる冷却節理を分断したり細分するような割れ目も認められることから、固化時の破碎 (一次破碎) に加えて、固化後に二次的な破碎を受けていることも推察できる。

図-6 では、一次破碎が優勢なものを自破碎部 (A)、二次的な破碎が優勢なものを自破碎部 (B) に分けて表現している。部分的に、破碎を受けず通常形で固結した安山岩が認められるが、これらは、二次的な破碎が優勢な自破碎部 (B) の中に、塊状で認められる。



写真-3 安山岩とその自破碎部

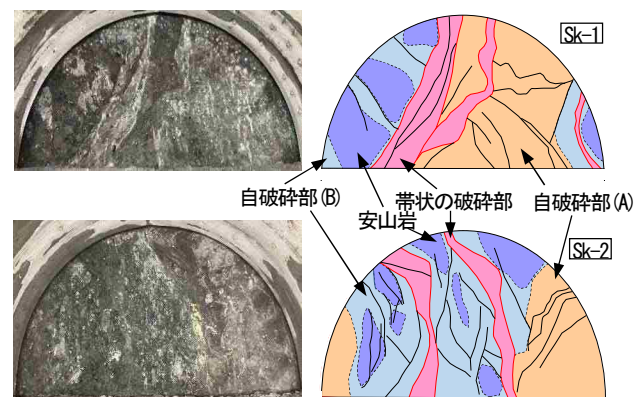


図-6 自破碎部卓越区間の代表箇所の切羽写真およびスケッチ

(2) 温見断層の出現予測

当初、断層手前の硬岩部でトンネル掘削を一旦停止して、①温見断層の分布の把握、②温見断層部での高圧・大量湧水状況の予測、③切羽前方の水抜きを3点を目的として、500 mの超長尺ボーリングを実施する予定としていた。しかしながら、断層手前から脆弱な地山状況が続いたため、500 mの長尺のボーリングを計画通り実施することができなかった。そこで、500 mの計画を変更して数10～100 m程度の長尺水平ボーリングを繰り返して、温見断層の出現を把握することとした。

切羽がTD 3,184 mに到達した時点で、5回目の長尺水平ボーリングを実施した。切羽に向かって右側でL=72.0 m、左側でL=90.0 mの延長で行った。図-7に長尺水平コアボーリングの平面図を、図-8にボーリングコアを示す。

左右のボーリングはともに全線に渡り、非常にもろい安山岩自破砕状の岩盤となっているが、右側のボーリングで深度33～54 m付近、左側のボーリングで73～85

m付近において、強く茶褐色化した礫混じりの粘土状区間が確認された。茶褐色の岩盤はこれまでの区間では確認されなかったもので、地表面と断層を通じて、つながった水の流れによる酸化反応と考えられる。また、左右のボーリングの茶褐色化した区間をつないだラインは、温見断層と想定されるリニアメントの向きと一致していることを確認した(図-7)。

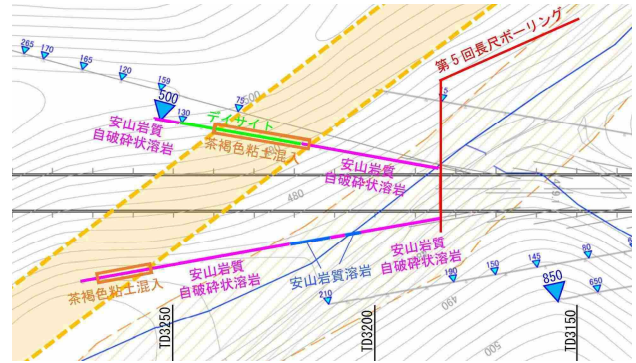


図-7 第5回ボーリング平面図

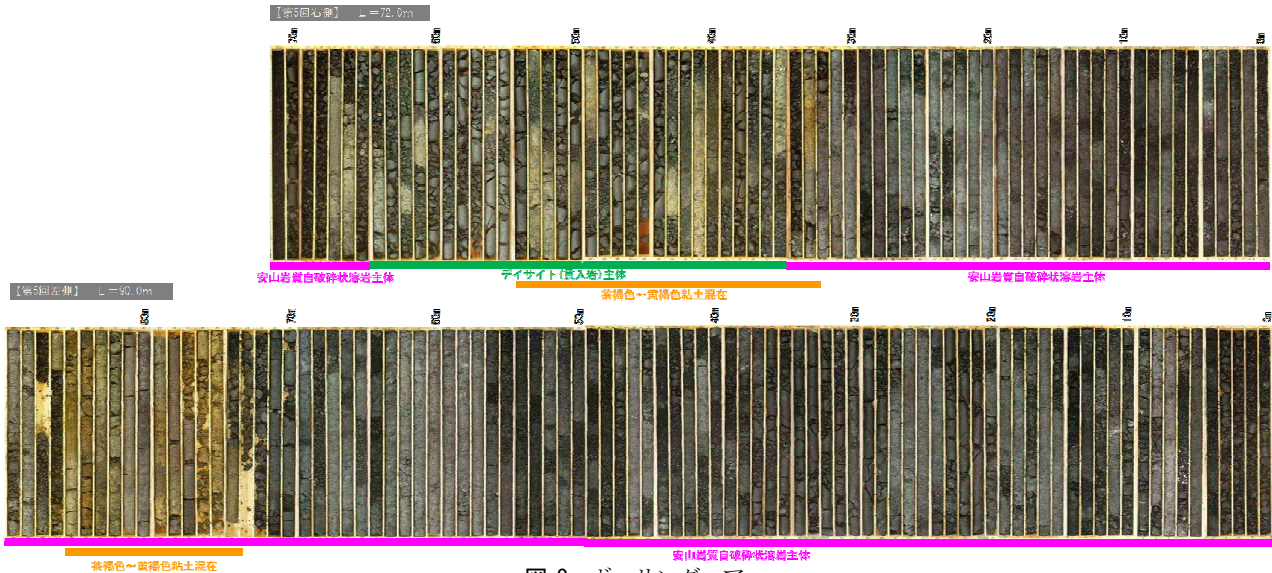


図-8 ボーリングコア

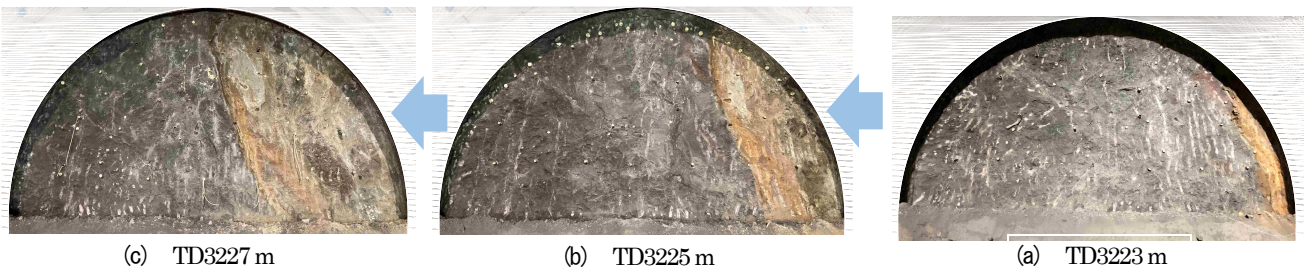


図-9 断層破碎帯の出現

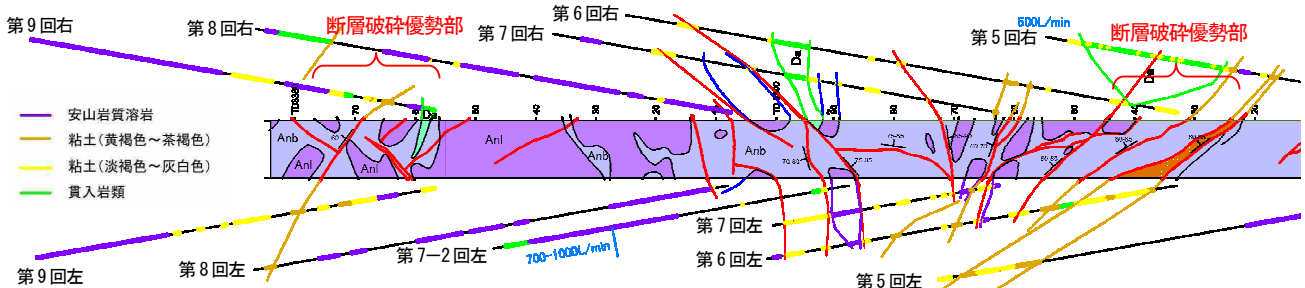


図-10 温見断層付近のトンネルSLの地質平面図

(3) トンネル切羽での確認

TD 3,220 m 付近より、切羽の右側から黄褐色を呈する強い粘性を持った粘土状の層が出現し、切羽の進行にともない左側へ広がって行った (図-9)。また、長尺水平ボーリングのコアでも、これまでに確認されなかった礫混じりの粘土層が確認され、トンネル切羽での出現位置と整合が取れることから、トンネルは温見断層の破碎帯に入ったものと判断した。図-10 にトンネル SL での地質平面図、写真-4 に TD 3,231 m の破碎状況を示す。

破碎帯は、出現当初 (TD 3,220 m 付近)、粘土が主体であったが、次第に砂状～細片状へと変化し、TD 3,265 m 付近までは、断層破碎の影響が強く認められた。

TD 3,265 m 以降は、岩盤形成時の自破碎と、断層破碎が混在する状況となり、断層破碎の影響の評価が難しい地山となった。

その後、TD 3,370～3,375 m 付近において、再び黄褐色の粘土を伴う断層破碎が優勢な層が出現した。写真-5 に TD 3,374m の破碎状況を示す。



写真-4 断層破碎状況 (TD3231m)

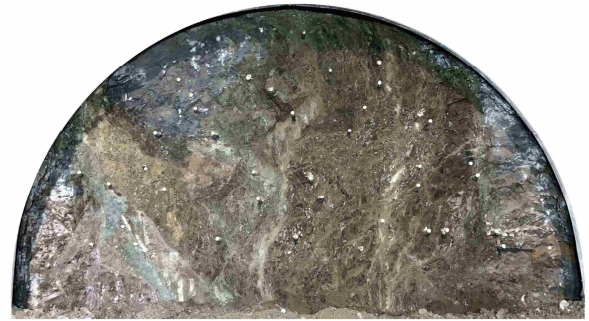


写真-5 断層破碎状況 (TD3374m)

(4) 温見断層部の岩盤の形成

温見断層付近の地質は、今から 1800 万～2000 万年前の第三紀の早期に広範な火山活動によって形成されたグリーンタフと総称される火山岩類の糸生累層である。図-11 に本トンネル周辺の岩盤の形成概念図を示す。

トンネル掘削前は、切羽には、糸生累層の比較的硬質な安山岩質溶岩、安山岩質火砕岩が出現するものと想定していた。しかし、トンネル掘削時に確認した地質は、1800 万～2000 万年前に形成された安山岩が、形成時から自破碎を受けて脆弱化していることが確認された。さらに、この脆弱な自破碎層が、今から 200 万年前頃から始まった温見断層の断層活動により、二重に破碎されていることがわかった。

そのため、トンネル切羽に出現した地質は想定以上に脆弱な地山であった。一方で、脆弱地山が断層破碎を受けたことから、当初想定したような大量の帯水層は認められず、切羽における湧水に関しては、当初想定よりは少ない状況となっている。

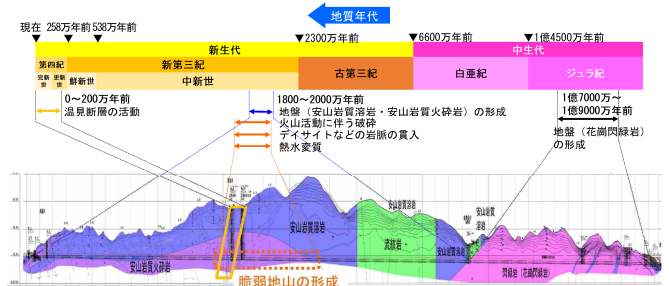


図-11 本トンネル周辺の岩盤の形成概念図

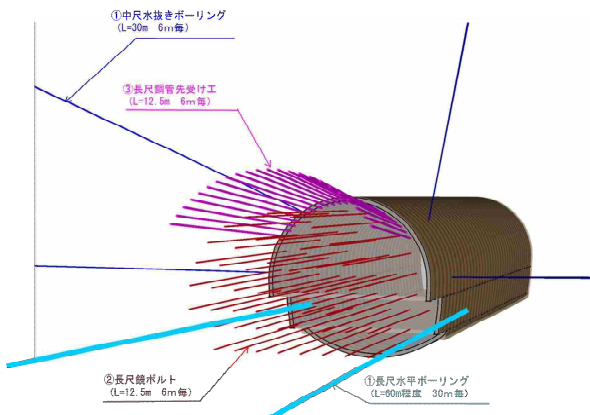


図-12 断層部対策工概要図

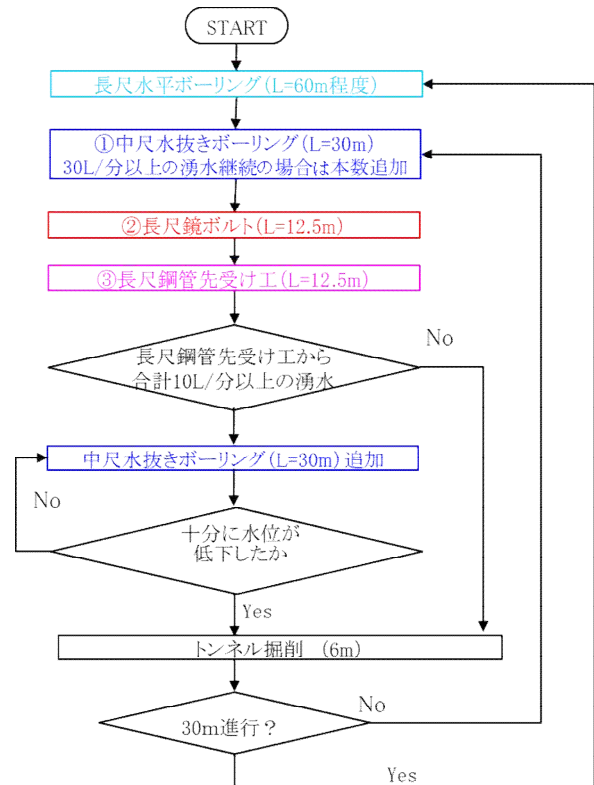


図-13 断層部施工フロー

表-1 脆弱地山区間における支保パターンの設定

	TD2887m 付近の自破砕状溶岩区間での変状発生箇所		温見断層破碎帯
	変状発生前	変状発生後の対策	
支保パターン			
吹付け	t=250 mm (18 N/mm ²)	t=300 mm (36 N/mm ²)	t=300 mm (36 N/mm ²)
鋼製支保工	H200	H250	H250
ロックボルト	天端部:ねじり棒鋼 4m×8 本(@1200) 側壁部:注入式 6m×10 本(@1200)	天端部:注入式 6m×20 本(@1200) 側壁部:注入式 6m×20 本(@600)	天端部:注入式 6m×20 本(@1200) 側壁部:注入式 6m×20 本(@600)
補助工法	鏡ボルト 12 本(上半のみ)	50 本(上半・下半)	50 本(上半・下半)
先受け	—	23 本	23 本
インバート一次閉合	上半切羽から 9m	上半切羽から 6m	上半切羽から 6m
支保内圧	合計	1.78	2.82
	吹付け	0.88	2.08
	鋼製支保工	0.31	0.45
	ロックボルト	0.59	0.29
地山強度比	土被り	250m	180m
	初期地圧	26 kN/m ³ ×250m=6500kN/m ² =6.5 N/mm ²	26 kN/m ³ ×250m=4700kN/m ² =4.7 N/mm ²
	地山強度(針貫入)	2.5~ 5MPa 程度	1.1~ 4.7 MPa 程度
	地山強度比	0.4 ~ 0.8	0.2 ~ 1.0
内空変位(mm) 左右片側最大値	153 + α (変位発生後部分的に縫い返し実施)	135 (TD2887~2917m)	80 (断層手前 2D 区間)

5. 温見断層区間の施工

(1) 前方探査・湧水対策

切羽で確認した温見断層は、脆弱な自破砕状溶岩が断層破碎を受けて粘土化した遮水層となっており、背面に被圧した大量高压の地下水が存在する可能性があった。また、断層破碎帯の地質は極めて脆弱で、大量湧水はおろか少量の水が切羽についてた場合でも切羽が不安定化し、トンネルが崩壊するリスクがあった。

そこで、湧水対策として、切羽と帯水層の離隔を十分に取り、長尺ボーリングで、帯水層を確認しつつ、水抜きを実施しながらトンネル掘削を行うものとした。ボーリングは、長尺・中尺・補助工法時の前方探査の 3 段階で実施し、切羽から遠方の大量湧水から近傍の亀裂の裂か水までしっかりと排水する計画とした。また、鏡面と切羽天端に注入式の補助工法を採用し、鏡面の安定を図るとともに、鏡面付近からの湧水を減少させる工法を行った。図-12 に断層部対策工概要図、図-13 に断層部施工フローを示す。

このような対策を取ることにより、断層区間で、長尺ボーリングから最大 1,200 L / 分の湧水が発生したが、鏡面にはほとんど湧水を発生させることなく、安全にトンネル掘削を行うことができています。

(2) 支保パターン

温見断層区間の支保パターンは、TD 2,887 m 付近の自破砕状溶岩が卓越した区間で発生したトンネル変状時の対策を参考に設定した。表-1 に TD 2,887 m 付近の変状発生区間と温見断層破碎帯における支保パターン、

地山強度比、内空変位などの比較を示す。

TD 2,887 m 付近の変状区間では、先進導坑や多重支保、トンネルの真円化などの対策までは行わないこととし、H250 の鋼製支保工を採用するなどの対策を行った。TD 2,887 m の変状区間と温見断層区間においては地山強度、土被りに多少の違いがあるものの、両者のデータの類似性が高いことから、同等の対策を行うことで、トンネルの安定を確保できるものと判断した。

実施工では、坑内観察調査、天端沈下・内空変位測定等の A 計測と、支保工応力・地中変位測定等の B 計測によりトンネルの安定性を確認しながら掘削を行い、断層破碎帯の施工を進めることができた。

6. 終わりに

トンネル掘削時の前方探査や適切な対策工の選定により、温見断層破碎部の施工を安全に進めることができています。今回確認した破碎帯からトンネル呑口にかけては、温見断層と平行する複数のリニアメントが確認されている。そのため、温見断層の影響ゾーンが今後も出現する可能性があると考えており、予断を許さない状況が続く。今後の区間も先進ボーリングを行って切羽前方の地質状況を予測しつつ、適切な工法を選定し、安全にトンネル掘削を進めていきたい。

参考文献

- 1) 賣谷ら：トンネル掘削で出現した脆弱な安山岩自破砕部の成因に関する一考察，土木学会第 77 回年次学術講演会講演概要集 VI 部門 VI-774 2022.9
- 2) 上田，中西：水海川導水トンネルにおける脆弱地山及び湧水への対策・対応について，令和 3 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集一般部門（安全・安心）I

大和川遊水地における 内外水に対応した施設計画について

鈴木 真菜¹・二階堂 敏博²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

²近畿地方整備局 大和川河川事務所 流域治水課 (〒540-8586大阪府柏原市大正2-10-8)

大和川では、亀の瀬狭窄部によりその上流で洪水が流れにくいいため、奈良盆地内に洪水を一時的に貯留する遊水地を整備し、大和川本川への流出負担軽減を図っている。また、特定都市河川法に基づく流域水害対策計画に基づき、奈良県域では流域治水を推進するなか、遊水地機能を最大限活用し、整備計画規模の洪水を遊水するだけでなく、中小規模の洪水に対しては外水だけでなく内水も取り込む計画としている。本発表は、今後の流域治水をより推進するため、区域指定を含め、内水浸水被害の軽減にも寄与する遊水地の施設計画について報告するものである。

キーワード 流域水害対策計画、内外水対応遊水地、内水取込樋門、内水対策

1. はじめに

大和川は、奈良県と大阪府の境にある亀の瀬狭窄部、河内平野を経て大阪湾に注ぐ、幹線延長68km、流域面積1,070km²の一級河川である。

大和川中上流域では、亀の瀬狭窄部に向けて156本の川が放射状に1本に集まる。これにより、亀の瀬上流付近は、勾配の緩い地形特性と狭窄部の堰上げが生じ、洪水氾濫や内水浸水等の水害が発生しやすい特性を有している。

一方の下流部の大阪府域は、1704年に付け替えられた人工河川で、大阪平野の標高が高い位置を流れているため、大和川が氾濫すると人口・資産が高密度に集積する都心部で浸水被害が発生する可能性がある。

また、亀の瀬狭窄部では、過去に大規模な地すべり被害

が発生しており、昭和37年より現在まで国直轄施工による地すべり対策事業を実施している。

そのため、河川整備計画では、新たな地すべり対策が必要となる亀の瀬狭窄部の開削を行わないことを前提に、上下流、本支川の治水安全度のバランスを確保しながら河川整備を推進している。

2. 過去の浸水被害

大和川流域は過去に度々浸水被害を伴う災害が発生しており、特に1982年(昭和57年)8月洪水では奈良県域で甚大な浸水被害を受け、浸水家屋数が1万戸を超える戦後最大の洪水被害となった。また、近年においても100戸を超える浸水被害が発生しており、特に亀の瀬狭窄部上流域や奈良盆地の地盤が低い地域での浸水を繰り返している。



図-1 大和川流域図



写真-1 昭和57年8月洪水浸水状況(王寺町付近)

3. 大和川流域における流域対策¹⁾

(1) これまでの流域対策

1982年に大和川流域の北部の河川が総合治水特定河川の指定を受け、また1983年に流域内の25市町村（当時）を中心とする大和川流域総合治水対策協議会を発足し、同協議会は1985年7月に総合治水対策の基本方針を定めた「大和川流域整備計画」を策定した。

この流域整備計画では、宅地開発等の市街化によって流域の保水機能の低下に伴う河川への流出量増加に対処し、開発地の下流の治水安全度を低下させないために、雨水流出抑制施設の設置等を積極的に図っていくものとしており、河川のハード対策と流域対策の二本柱となっている。

また、奈良県は平成29年10月の台風21号により奈良県域で内水被害が発生したことを受け、「奈良県平成緊急内水対策事業」に着手し、内水被害の解消に向けて総合治水対策の一層の加速化に取り組んできた。

(2) 流域水害対策計画の策定

近年の気候変動等の影響に伴う水災害が激甚化・頻発化対策によるハード整備の加速化・ソフト対策の充実や治水計画の見直しに加え、国や流域自治体、企業・住民等が協働して取り組む「流域治水」の実効性を高め、推進するため、「特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律」（令和3年法律第31号、通称「流域治水関連法」）が2021年5月10日に公布され、同年11月1日に特定都市河川浸水被害対策法（以下、法）が施行された。

大和川流域（奈良県域）では、亀の瀬狭窄部によって水位の低下が難しく、近年においても内水氾濫等による浸水被害が頻発している状況にあることから、流域対策をより一層加速させるための法的枠組みである特定都市河川浸水被害対策法等の一部改正により、大和川においては、同年12月末に法改正後、全国初となる「特定都市河川」の指定がなされた。これを受け国と奈良県、流域自治体25市町村などで組織する「大和川流域水害対策協議会」を2022年1月に設立し、5月末に、流域のあらゆる関係者が協働して治水対策を推進するため、ハード・ソフト一体の総合的かつ多層的な水災害対策を位置づけた「大和川流域水害対策計画」を新たに策定した。

計画内においては河川整備を加速するとともに、流域対策についても雨水貯留浸透施設の整備やため池の治水利用などの対策を継続的に進めつつ、貯留機能保全区域や浸水被害防止区域の指定も活用し、流域対策の実効性を向上させるなど、本流域水害対策計画に基づき、流域のあらゆる関係者が協働し、流域一体で総合的かつ多層的な浸水被害対策を講じることとしている。

4. 内外水対応型遊水地について

(1) 大和川遊水地の概要

大和川における遊水地は、昭和57年洪水を安全に流下させるため、遊水地を大和川本川沿い（30k～36k）に整備し、大和川の洪水を取り込む計画である。現時点では、安堵町窪田地区、川西町保田地区・唐院地区、斑鳩町三代川地区・目安地区の合計5箇所において、遊水地を整備する予定としている。（図-2）

(2) 当初計画

当初の大和川の遊水地計画では、大和川からの洪水（以降、外水と呼ぶ）のみを遊水地に入れることとし、堤内地を流れる小河川及び水路等から溢れた水（以降、内水と呼ぶ）については、整備計画河道が完成した後にポンプで大和川本川へ排出する計画としていた。

しかしながら、大和川への排水ポンプは、整備計画河道が完成後とするため、当面ポンプが設置できず、また大和川は亀の瀬狭窄部でバックウォーター現象が発生するため、そこへポンプ排水することは非常に危険であった。よって、遊水地のみ整備が完了した場合、遊水地整備に伴い、本来内水が氾濫していた範囲が削減されるため、地先が危険側になることも想定されることから、ポンプと併せた遊水地整備としては、河道改修のタイミングを踏まえた事業展開が必要であった。

(3) 計画の見直し

近年の内水被害の頻発化を踏まえ、国も含めた流域全体で流出抑制・被害軽減対策を進めていくこととなったことから、大和川遊水地においても、流域水害対策計画では、内水取り込みを行う遊水地として、計画を見直し、遊水地容量を最大限活用し、必要な外水取込容量は確保したうえで、中小規模洪水（整備計画規模洪水も含む）に対してはできる限り遊水地内に内水も取り込むこととした。

計画の見直しにより、遊水地の施設計画についても内水を取り込める樋門（以下、内水取込樋門と呼ぶ）や排水ポンプを周囲堤に設置する計画に変更を行った。内水

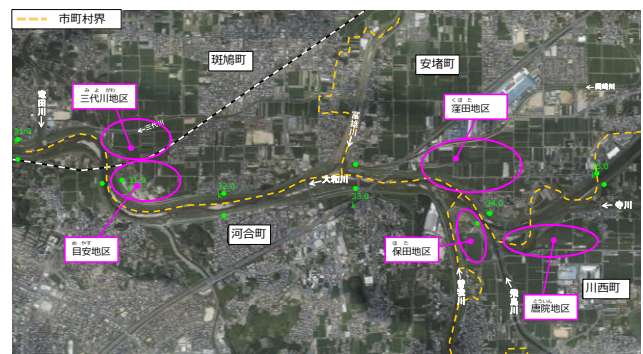


図-2 大和川遊水地整備予定箇所

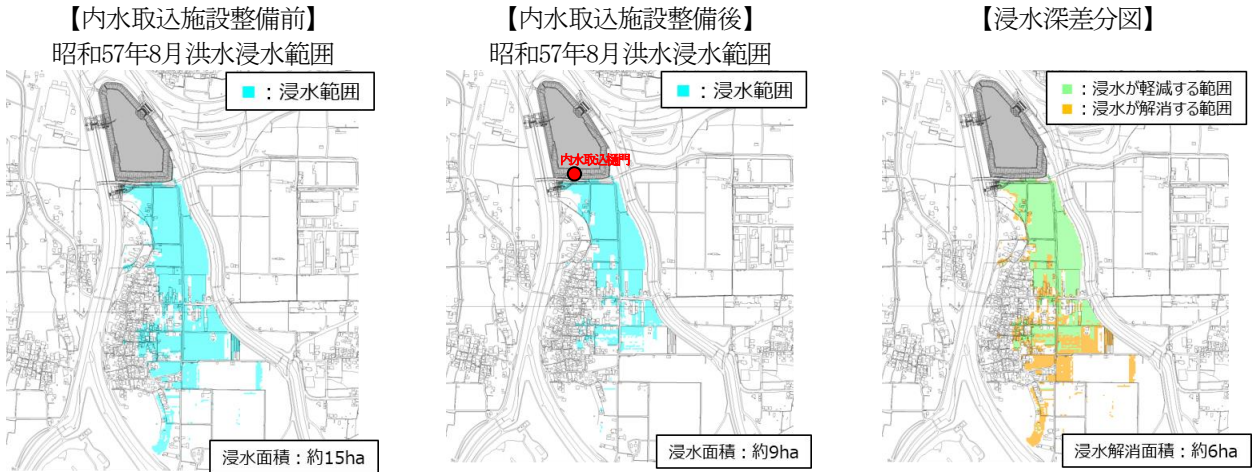


図-4 計画対象降雨時（昭和57年8月洪水）の内水取込樋門整備前後による浸水範囲図および浸水差分図

を遊水地内に取り込む方法として、大和川より洪水が越流するまで内水取込樋門にて内水を遊水地内に取り込み、内水取込樋門閉鎖後は排水ポンプによって引き続き内水を取り込む計画とした。（図-3）

上記の計画変更により、外水だけでなく内水被害の軽減にも資する遊水地を整備し、大和川流域において国による浸水被害抑制対策を積極的に進めていくこととした。

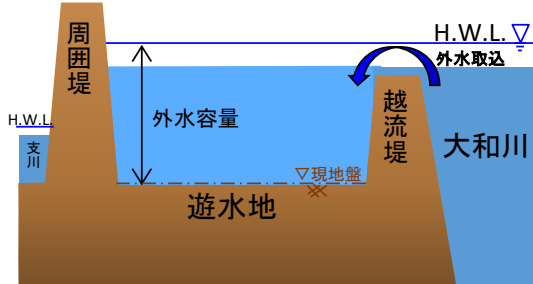
図-4は一事例として整備計画対象降雨時（昭和57年8月洪水）の保田遊水地における内水取込樋門整備前後による浸水範囲図および浸水差分図を示したものである。内水取込施設の整備により、大きく浸水範囲が軽減していることが分かる。また、図-4では計画対象降雨という比較的大きな洪水を対象として効果を確認したが、中高頻度で起こりうる中小規模洪水に対しても内水取込による浸水被害の軽減効果が期待できる。

(3) 遊水地内の維持管理の工夫

内外水対応型遊水地は越流堤だけでなく、内水取込樋門からも水を取り入れることから、外水対応遊水地に比べ、河川内の流木及び土砂等が遊水地に流入する可能性が高い。流木や土砂は洪水貯留後も遊水地外に流れ出ることなく遊水地内に留まることから遊水地内の維持管理を行うにあたりこれらの問題に関する考慮は必要不可欠である。

図-5は保田遊水地の遊水地完成予想図と横断図イメージを示したものである。保田遊水地では図-5の通り、大和川からの洪水を越流堤から取り込み、内水は内水取込樋門から取り込み、取り込んだ水を排水樋門より排水する計画としており、排水樋門周辺に流木や土砂等がたまりやすい状況となっている。そこで、図-5下図の横断図イメージのように遊水地底面を一律の地盤高にするのではなく、必要な治水容量を確保したうえで、段差をつけることにより、遊水地内における浸水頻度の差別化を図り、効率的な遊水地内の維持管理を行うことができる。

【外水対応遊水地】



【内外水対応型遊水地】

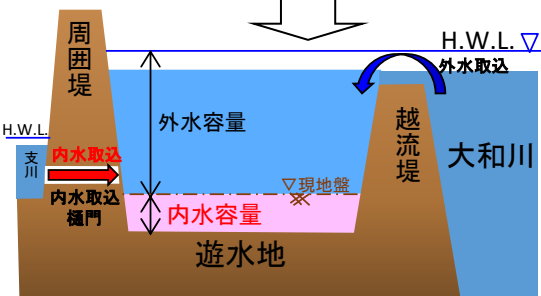


図-3 外水対応遊水地（上図）及び内外水対応型遊水地（下図）のイメージ図

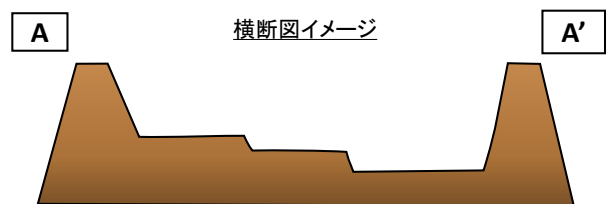
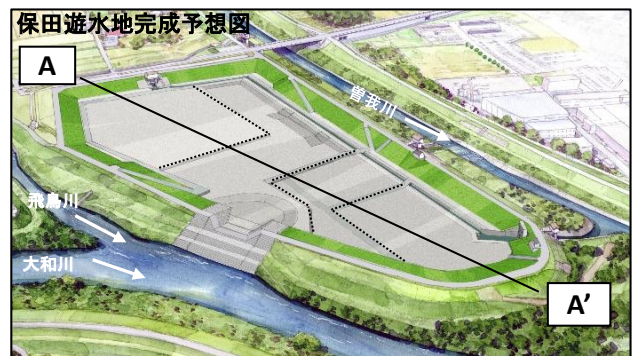


図-5 保田遊水地完成予想図と横断図イメージ

5. おわりに

現在、保田地区及び窪田地区の遊水地では既に内外水対応型遊水地の整備に向けて工事着手をしている。今後、他の3地区においても順次、整備を進めていく予定であるが、遊水地整備は、下流の流量低減のための施設であることや、現状で内水を貯留していた箇所を外水として活用するため、地域住民においては、遊水地整備に伴い、地域の安全度が低下すると認識されており、事業に反対される方も多いところがあったが、計画の見直しにより、遊水地整備する地先の内水排除も対応することを可能としたため、遊水地を整備することで、地域の安全度も向上するとともに、近年洪水でも浸水被害が発生していた内水被害も軽減できることから、地域から遊水地整備の賛同が大きくなった。

なお、内外水対応型遊水地を整備するにあたり考えられる今後の課題を以下に示す。

1点目は、遊水地整備における内水取り込みの頻度と外水容量の確保について、遊水地に外水が入る規模の洪水発生となった場合、どこまで内水を取り込めるか、外水が越流し、遊水地内に貯留する際に、必要容量が確保されるかをあらゆるシミュレーションで設定しておく必

要があり、さらに雨量や水位の予測精度を上げ、適宜内水と外水の容量を踏まえた対応が必要である。

2点目は、遊水地整備後の管理である。遊水地として平時はグリーンインフラとしてビオトープのような取り扱いも考えられるが、地域として活用できる利用を考えていく必要がある。河川のオープン化や民間委託など、今後の管理コストも考慮しつつ、地域住民が親しみをもって遊水地を利用できる平時利用を考えていく必要がある。

以上のような技術的課題については今後検討を行い、内外水対応型遊水地の整備に活かしていきたい。

巻末：本論文は、従前の配属先（大和川河川事務所）における所掌内容を課題として報告したものである。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局・奈良県及び大和川特定都市河川流域25市町村：大和川流域水害対策計画

すさみ串本道路における大口径深礎杭について

尾崎 嘉紀¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 紀勢線出張所（〒649-2621和歌山県西牟婁郡すさみ町周参見2947）

大口径深礎杭は、荷重規模が大きいPCラーメン箱桁橋等でよく用いられる基礎形式である。本基礎形式は、掘削時の湧水に留意する必要があるが、設計段階で矢板による止水工法を選定していたが、現場で止水できない事案が発生した。解決策として薬液注入による遮水を行い、工事が無事完了したが、工事の一時中止・追加対策費が発生することとなった。事業の円滑な実施に向けて今回の経験を踏まえた止水対策・基礎形式選定に関して考察を行う。

キーワード 大口径深礎杭, 湧水, 透水試験, 止水・遮水工法

1. はじめに

すさみ串本道路は、紀伊半島沿岸部における大阪府から和歌山県南部地域を結ぶネットワークの一部を構成する道路で、和歌山県東牟婁郡串本町サンゴ台から同県西牟婁郡すさみ町江住に至る19.2kmの自動車専用道路である。このうち路線内には本線橋梁が19橋あり、大口径深礎杭を採用しているのは12橋である。橋脚数で言えば、48橋脚あるうち、28橋脚が大口径深礎杭を採用している。

(1) 大口径深礎杭の特徴

深礎杭は複数の深礎杭をフーチングで剛結した組杭深礎基礎と単体の柱状体構造である大口径深礎杭とに分類され、大口径深礎杭は橋脚柱と深礎杭が直接結合し、フーチングを設けなくてよいことが特徴である（図-1参照）。

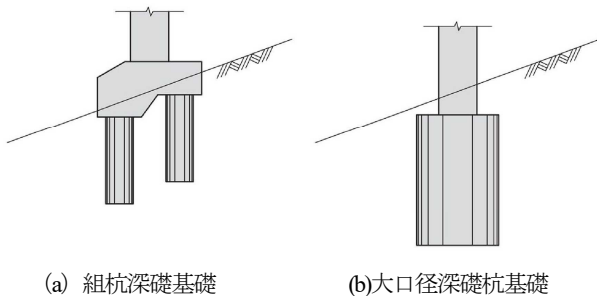


図-1 深礎杭基礎の種類

大型設備が不要であること、ならびにフーチング構築のための土留めが不要となるため、狭隘な場所において作業が可能な工法である。

深礎基礎は、長期的に安定し十分な地盤抵抗を有する支持層に支持させて鉛直荷重に抵抗するとともに、十分な水平抵抗が期待できる長期的に安定した地盤に根入れさせる必要がある。

施工時は、作業者が深礎孔内において掘削機械もしくは人力にて掘削をしながら、順次土留め構造を設置し、掘削後は、配筋・コンクリート打設し施工する。したがって、孔壁の安定が不可欠な工法となる。土留め構造は、自立性の低い又は湧水のある地盤等ではライナープレート、自立性の高い地盤ではモルタルライニングや吹付けコンクリートが用いられている等、構造を使い分けている。孔内の湧水量が多い場合は掘削が困難となるため、施工前に湧水量を推定し、ポンプ等による排水計画、もしくは止水・遮水工法を行い施工する。

2. 大口径深礎杭の課題

(1) 道路橋示方書改定を踏まえた基礎形式の選定

橋梁の基礎形式として、狭い施工ヤードでも比較的大きな基礎を築造できるため、斜面部等に採用の多い大口径深礎杭であるが、比較的長スパンで、基礎が受け持つ荷重が大きい場合については、道路橋示方書の改訂を踏まえて、河川に近い平野部でも最近では採用例が増えている。

a) 道路橋示方書の改訂

2012年（平成24年）の道路橋示方書¹⁾では、鉄筋コンクリート橋脚の照査としては、曲げ耐力・せん断耐力を有したうえで、塑性率、残留変位が許容塑性率、許容残留変位を下回る必要があった。ここで、塑性率とは変位を降伏変位で除した値のことであり、1以下であれば弾性変形、1を超えると塑性変形することを表している。

2017年（平成29年）の道路橋示方書²⁾改定後は、2012年（平成24年）の道路橋示方書の指標に加えて、鉄筋コンクリート橋脚の水平変位の照査が追加され、実際に発生する水平変位が水平変位の制限値を超えないようにす

る必要がある（道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 8.4(2)1）参照）。ここで、制限値は、余震に対しても直ちには水平耐力の低下が生じない（残留変位が大きくならなければ、地震発生後に速やかな機能の回復が可能である）ことを目標に設定している。

この指標が追加されたことにより、地震時の最大変位を改定前よりも抑える（小さくする）必要が生じる。変形を小さくするためには、橋脚の剛性を高める必要があり、柱断面形状を大きくしたり、鉄筋を密に配筋する必要が生じ、改定前より橋脚規模が大きくなる。

橋梁設計の基本思想として、地震時後の橋の速やかな機能回復を考慮し、一般的に塑性化を許す構造は橋脚とすることが基本である。そのため、基礎の設計にあたっては、橋脚基部に発生する断面力（もしくは橋脚が有している耐力）の1.1倍の設計水平震度で設計する必要がある。前述の橋脚規模が大きくなることに伴い、橋脚基礎の規模も大きくなる。

b) 基礎形式の選定

基礎形式は、地盤条件・施工条件を踏まえ、橋梁規模（上部工反力・橋脚諸元）に応じて最適基礎形式を選定しているが、平野部で杭基礎が適している地盤においても、杭基礎とした場合に杭本数が多く用地内に収まらない、状況によっては成立しない（杭本数が多くなるとフ

ーチングが長くなる。→フーチングが長くなると厚さを大きくする必要がある（フーチングは剛体とする必要があるため）。→厚さを大きくすると杭の負担する重量が増える。→さらに杭本数が増える、等イタチごっことなり成立しない）。したがって、従前であれば場所打ち杭φ1500等での杭基礎で成立していた場合でも杭基礎が成立しない状況となる。杭基礎以外の選択肢となると、深礎基礎（大口径深礎杭）、ケーソン基礎、鋼管矢板基礎が考えられるが、鋼管矢板基礎は平面スペースが大きくなり用地内に収まらない、ケーソン基礎は明らかに経済性に劣り、大口径深礎杭よりも施工スペースが必要であることから、大口径深礎杭一択となることが増えてきている。

c) 止水対策

大口径深礎杭は、基本的に湧水の無い箇所で行う工法であり、ある程度の湧水であればポンプにより孔外に排出することによりライナープレートによる土留めでも施工可能であるが、湧水が多い場合は別途対策が必要となる。斜面上の深礎基礎設計施工便覧（R3.10）³P256より経験的に0.2m³/min程度がポンプ排水の限界であり、それ以上の場合は別途止水対策が必要となる。止水対策としては、表-1に示す4工法が考えられる。

第1案の地下水位低下工法は、ディープウェルなどに

表-1 止水工法

	第1案：地下水位低下工法	第2案：薬液注入工法	第3案：止水壁工法	第4案：鋼矢板工法
概要	地下水位を水中ポンプ等により組み上げ・排水し、周辺地盤の地下水位を低下させる工法である。透水層の透水係数が小さい地盤にも適用可能である。	透水層に薬液を注入し、止水を行う工法である。透水性が大きい場合は、セメント系・水ガラス系等の懸濁液型注入材を用いて、透水係数が大きい地盤に適用される。	地下水が高く、地山が崩壊して掘削が困難な場合、不透水層まで止水壁を造成し、地下水を遮断してから掘削する。	地下水が高く、地山が崩壊して掘削が困難な場合、不透水層まで鋼矢板を圧入し、地下水を遮断してから掘削する。
概念図				
経済性	地下水位低下量、期間に左右される。 <評価：△>	透水層の深さ・幅に左右される。 <評価：△>	地上から止水壁を構築するため、経済性は劣る。 <評価：△>	第3案より経済性に優れる。 <評価：○>
施工性	強制的に地下水位を下げた状態で施工するので施工性に優れる。	注入幅1.5m程度が必要である。地下水流速がある場合は、薬液が固化しない可能性がある。	確実に止水できるため、施工性に優れる。	第3案より簡易的に止水できる工法であり、施工性に優れる。
その他	周辺地盤の沈下・井戸枯れの恐れがあるため、事前調査が必要となる。	範囲が限定的な場合によく用いられる工法である。	地下工事でよく用いられる工法である。	不透水層が岩盤（クラッシュパイラーによる施工）の場合、岩盤を乱すことにより矢板先端から湧水する可能性がある。
総合評価	周辺環境に影響を及ぼすものがない場合で採用	透水層の範囲が限定的な場合に採用	透水層の範囲が大きく、周辺地盤に影響を及ぼす案件がある場合に採用	第3案より止水性は劣るが経済性を優先する場合に採用

より地下水をくみ上げて、地下水位を低下させ、孔内に湧水を発生させない工法である。

第2案の薬液注入工法は、透水層に薬液を注入し止水を行い、孔内に湧水を発生させない工法である。

第3案・第4案は 止水壁を築造し地下水位を遮断させる工法であり、第3案：SMWの簡易的に止水する案として第4案：鋼矢板が用いられている。

3. 施工時における湧水対策実例

すさみ串本道路において施工時に湧水が発生して対策を行った実例を以下に示す。

(1) 橋梁概要・基礎形式

上部工形式はPC3径間連続ラーメン箱桁橋、橋脚基礎は大口径深礎杭を採用している。対象となるP2橋脚は旧河床にあたり伏流水の浸出が想定される個所である。またP2橋脚はJRに近接しており近接施工区分が制限範囲(Ⅲ)となるため、近接対策も考慮する必要がある。

(2) 設計時における湧水対策

P2橋脚は、①JRに近接(図-2参照)しておりJRの変状を抑える必要があること、②表層のalc層が難透水性層であり、薬液注入の場合地盤変状の危険性があること、経済性を踏まえて総合的な観点から、JRの変状抑制ならびに地盤変状対策として効果がある止水矢板工法案を採用した(表-2参照)。

(3) 施工時における湧水対策

P2橋脚施工時に、湧水が発生して、工事が中断する事案が発生した。工事の状況を以下に示す。

a) 工事の流れ

止水矢板は設計と同一長さの16mとし、岩盤への貫入長を設計値の1.0m以上貫入した。

ライナープレートによる大口径深礎杭の掘削については掘削深度下端を掘り進めていたところ、掘削深度15.5m付近から、出水と共に地山の崩壊が生じた。出水量は、100~130m³/h程度と多量であったため、いったん工事を中断した(写真-1,2参照)。

b) 崩壊原因の分析

矢板施工時に岩盤支持力を確認し、岩盤に貫入したと推定していたが、工事中断後、出水地点について追加ボーリングを行ったところ、岩盤に不陸があり、止水矢板が岩盤まで届いていないことが判明した。上記を踏まえた崩壊メカニズムは図-3に示す通りである。

出水箇所において、鋼矢板が岩盤まで達していないため、鋼矢板以深の掘削を行うと、掘削解放面から地下水の流出に伴い、細粒分が流出し、摩擦抵抗の低減とライナープレート背面に地下水位が滞り、ある程度の量が溜まった時点で、一気に出水し、地山の崩壊を伴ったも

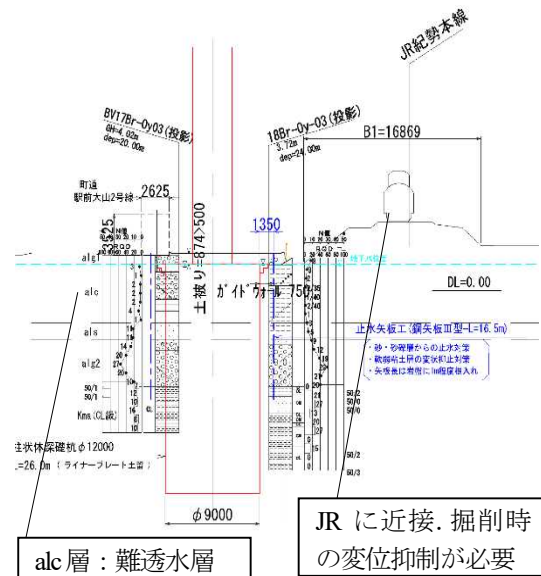


図-2 JR近接図面

表-2 P2橋脚止水対策比較表(設計時点)

		薬液注入工法		止水矢板工法	
直接工事費(千円)		95,000【1.22】	△	78,000【1.00】	○
		薬注 54,700			
		矢板 40,300			
施工性	概略工期	191日(6.4ヵ月)		122日(4.1ヵ月)	
	JRへの近接影響等	地盤変状抑止のため遮断矢板併用矢板打設が制限範囲Ⅲに該当	△	矢板打設が制限範囲Ⅲに該当、引抜き可能範囲もあるがJRより残置要請	○
総合評価				○(採用提案)	



写真-1 P2橋脚の出水状況

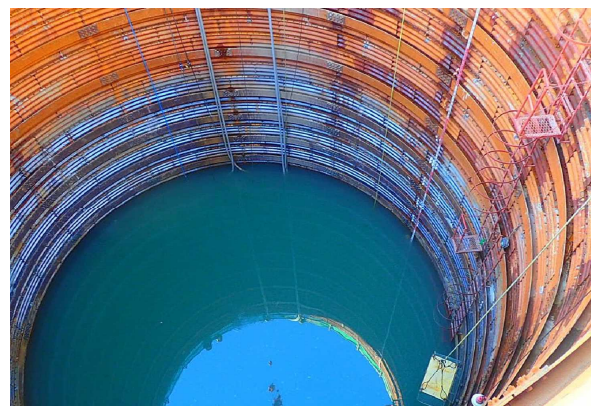


写真-2 P2橋脚の滞水状況

のと想定される。

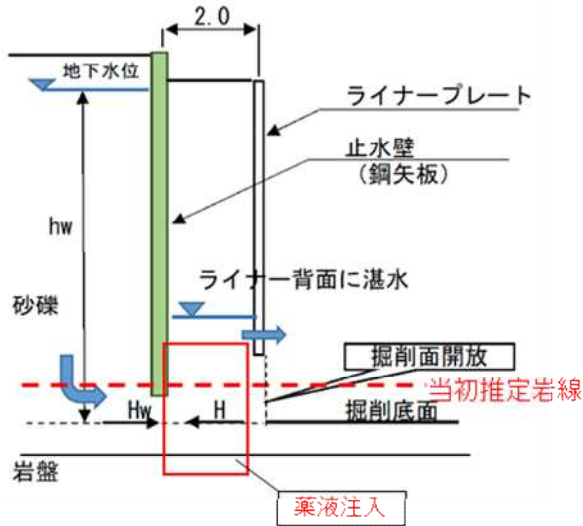


図-3 出水箇所の崩壊メカニズム・対策図

c) 止水対策

水は一方向を止めても他の箇所から回り込むため、全周にわたっての対策が必要となる。対策案として止水の確実性・経済性を踏まえ、薬液注入工法を採用した。薬液注入範囲は矢板先端から岩盤までの深さ2.5mの範囲とした。本対策により湧水が発生しない状況下で工事が完了した。

4. すさみ串本道路の他橋梁の止水対策

すさみ串本道路の他橋梁でも止水対策工法として止水矢板の採用が多く、本事案以降では以下の2項目について施工前に再検討を行った結果、止水矢板で設計されていた全橋脚基礎が薬液注入による止水対策により、無事施工が完了した。

①斜面上の深礎基礎設計施工便覧 (R3.10) を準用し、 $0.2\text{m}^3/\text{min}$ 以上の湧水が確認された場合は止水対策を検討する。湧水量は、透水試験結果、もしくは湧水試験結果より求められた透水係数を用いて、数式解法により湧水量を算出する。湧水量は、「平成23年改訂版土木工事仮設計画ガイドブックⅡ」⁴⁾P165の図-9.2.11 (解析モデルによる計算条件) に応じて算出式を (式-9.11) ~ (式-9.15) を使い分けて計算する。

②止水対策の工法検討について、岩盤を止水層とする場合は、岩盤に不陸がある可能性があり、クラッシュパイヤによる施工の場合は岩盤を乱す可能性があることから、止水矢板の止水不確実性により薬液注入を基本とする。

5 おわりに

すさみ串本道路では、河川近くの堆積層に大口径深礎

杭で設計している場合が多い。河川近くの堆積層は地下水・透水係数が非常に高いため、大口径深礎杭を施工する際には止水対策が必須となっている。

今後は、今回の経験を踏まえて串本太地道路ほか新規路線の統一基準の策定にあたっては、以下の2点を改善しておく必要がある。

(1) 止水対策工法の基準作成

止水対策として、表-1に示す4案が一般的に用いられているが、架橋地点の状況により対策工事費・工期が異なってくる。止水対策が必要な場合においては、路線内での基準を作成することにより、止水対策方針の統一化ならびに工事の手戻り防止につながる。基準作成にあたっては、すさみ串本道路の各橋梁で止水工法を再検討したように、湧水量、不透水層の地盤条件、透水係数を基本に、近接構造物・周辺地盤条件、掘削底面の安定性を踏まえて方針を策定することが望ましい。

(2) 止水対策を加味した基礎形式選定

今回の事案は用地確定後で基礎形式が大口径深礎杭しか選択肢がない状態での対策であった。2.(1)で記しているとおり、現在では道路橋示方書改定に伴い基礎工事費が増大する方向である。したがって橋梁予備設計段階で基礎形式を見極めたうえで、橋梁形式・用地境界を確定する必要がある。そのためには、予備設計段階で河川近傍に下部構造を設置する恐れのある場合は、季節や天候などを考慮した調査ボーリング等を実施し、現場透水試験を実施する必要がある。

深礎杭を採用する場合は、湧水量を算出し、対策の有無まで含めた工事費・用地費を算出し、他工法と比較する必要がある。

予備設計時点でジャストボーリングもしくは透水試験が実施できなかった場合は、詳細設計前に調査を実施し、橋梁形式・基礎形式をフィードバックする必要がある。

上記2点を対応することにより、建設プロセス全体の最適化、ならびに施工段階で手戻り防止・適切な積算・事業費算出を図ることができると考える。

謝辞: 本論文作成にあたり、多大なるご協力を頂きました皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(2012.3)(H24.3)
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(2017.11)(H29.11)
- 3) 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧(2021.10)(R3.10)
- 4) 全日本建設技術協会：平成 23 年改訂版土木工事仮設計画ガイドブックⅡ (2011.3)(H23.3)

AI を活用した越波事象検知について

一ツ町 誠¹・吉川 賀庸²

¹ 近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 道路管理課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂 142)

² 近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 建設専門官 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂 142)

紀南河川国道事務所管内では、毎年のように台風等による越波被害に見舞われている。道路利用者の安全確保のため越波発生時の通行止め基準を定めており、越波の事象把握に関しては、現地監視員（職員含む）及び管内に設置したカメラにより判断しているが、越波事象の判断には個人差があり、通行止め判断にも影響が及ぶ可能性がある。そこで越波事象を自動検知し、人による事象把握を支援する手法として、AIを活用した越波検知システムについて紹介する。

キーワード AI, 越波, 画像認識, 通行止め基準

1. はじめに

越波とは、暴風時に海岸に打ち寄せられた波により海水が海岸施設を超えて道路に流入する現象のことである。和歌山県の南部地域である紀南河川国道事務所管内は、海岸沿いで毎年のように台風等による越波被害に見舞われており、越波により運転者の視界障害が生じたり、越波に乗って石や砂利が打ち上がることによって歩行者や通行中の車に直接的

な被害が生じたりする可能性がある。そのため、大部分が海岸に接している国道42号では、越波発生による通行規制を行う必要がある。

2. 紀南における越波通行止め基準

紀南では表-1のとおり、通行止め基準を定めている。区分は4段階で「注意体制」・「警戒体制」・「非常体制B」・「非常体制A」の4段階となっている。

表-1 通行止め基準

体制区分	発令基準	規制内容
注意体制	1) 和歌山県南部（場合により三重県南部）に高潮注意報・警報や波浪警報が発令され、対策部長が必要と判断した場合。 2) 波高4～6mで対策部長が必要と判断した場合。 3) 台風や低気圧が接近し対策部長が必要と判断した場合。 4) その他、対策部長が必要と判断した場合。	
警戒体制	1) 越波が、飛沫でなく塊の状態で海岸側車線に到達しているが山側車線は飛沫程度であり、かつ越波による砂・流木等の飛散がない場合。 2) その他、対策部長が必要と判断した場合。	片側交互通行
非常体制B	1) 越波が、飛沫でなく塊の状態で山側車線に到達している状態又は越波に砂、流木等が含まれており走行に支障がある場合。 2) その他、対策部長が必要と判断した場合。	通行止め
非常体制A	1) 越波により重大かつ大規模な被害が発生し、交通が途絶した場合。 2) その他、対策部長が必要と判断した場合。	

越波事象のレベルにより体制区分が変更になり、規制内容も「片側交互通行」・「通行止め」となる。

表-1 通行止め基準に記載の「飛沫」と「塊」についての判定や「海側車線」及び「山側車線」への「塊」到達判定は人により異なる。それにより「片側交互通行」・「通行止め」開始時期判定が人により異なることが生じている。

紀南河川国道事務所には 214 台の道路管理用カメラがあり、その内 17 台が越波監視用カメラである。紀南河川国道事務所の道路情報室では最大 32 台のカメラを同時に表示させることが可能であるが、画面スクロールにて道路における各事象を監視しているため、突発的な越波事象発生の瞬間を見落としたことも過去発生している。

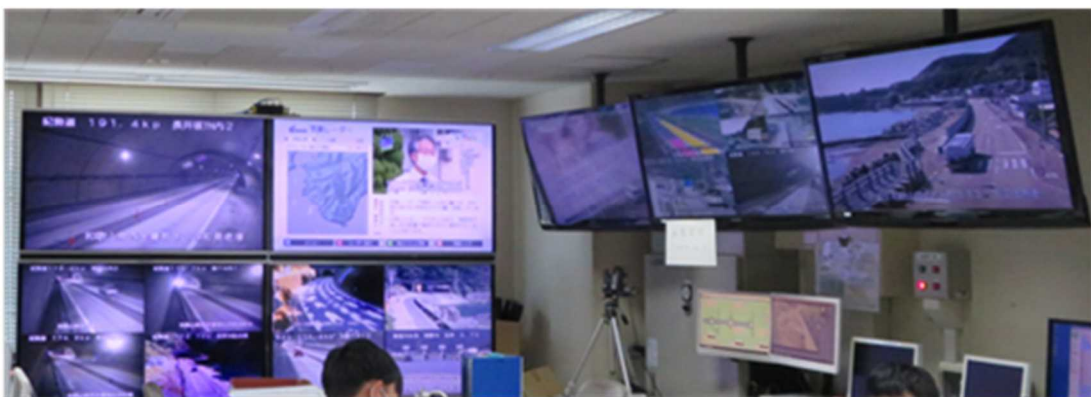


写真-1 災害対策室 道路管理用カメラ監視状況

そのため、越波を自動検出し、人による越波事象把握を支援するシステム整備が必要と考えた。

そこで、越波監視用に設置したカメラにより撮影した映像を AI により画像判定し、越波検知を通知出来ないか検討することにした。



写真-2 越波事象発生状況

3. 越波AI検知するための技術的課題

(1)学習データの不足

越波の発生頻度は他の事象と比べて少ないため、越波を検知するための学習データが現時点で不足しており、越波事象を AI が判別出来るまで深層学習させることが出来ない。

その解決策として道路や車両を判別する AI 画像認識技術と、高波の判別技術（前後の画像の輝度差を比較して波を判定）を組み合わせることで道路領域に波が侵入することを検知し越波と判定することとした。道路や車両の画像は大量にあるため、十分な学習効果が期待できる。

(2)多様な画像への対応

カメラは旋回及びズーム機能があり、画角が変化しても越波の検知が必要と考える。

医療画像解析などでも利用されているセグメンテーション技術を採用することで画像に写り込んでいる被写体がそれぞれ何かを識別することが可能となり、画素単位で「車両」や「道路」を分類することで、画角の変化にも対応可能となる。

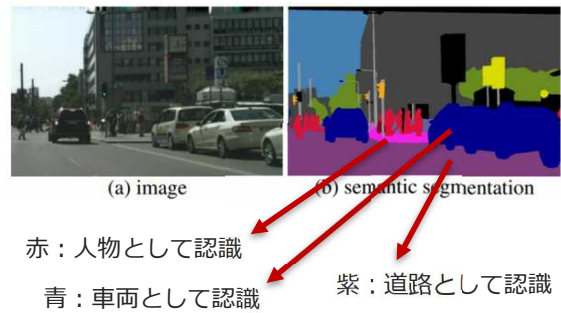


図-1 セマンティックセグメンテーション例
(参考文献2より引用・一部加筆)

4. 越波検知に利用する AI 技術

(1)セマンティックセグメンテーション

越波検知に利用するためには、AI 技術は次の課題を解決できる必要がある。

課題①：「道路に波がかぶっているか」を正しく判断するためには、道路を AI に認識させる必要がある。一方、道路を走行する車両や道路構造物は判定に不要であることを認識させる必要がある。

課題②：波は、カメラ画像の中で輝度が高い部分として現れる。しかし、道路上を走行する輝度の高い塗装色の車が波として誤検知される場合があるため、波と区別する必要がある。

①、②の課題に対する対応は以下のとおり。

越波判定に重要な道路、不要な車両や道路構造物を自動で判別するためには、AI による画像認識が必要であり、実現するための画像認識技術の一つが、深層学習を用いたセマンティックセグメンテーションである。図-1 はセマンティックセグメンテーションの例である。

(2)越波検知への適用

今回の試行箇所の一つである串本町姫地区を対象にセマンティックセグメンテーションを適用した場合のイメージを図-2 に示す。

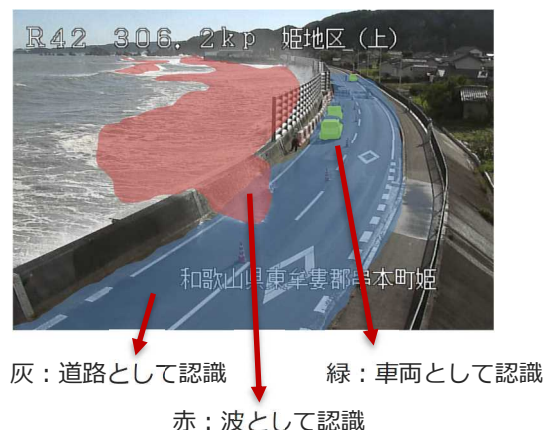


図-2 AI 技術による越波判定のイメージ

AI 技術により道路や車両を自動認識することで、仮にカメラの画角が変わった場合でも対応可能（道路領域の変化を自動追尾）である。また、輝度の高い領域を波として認識し、道路領域と波領域の交差エリアの多寡により越波規模を判定する。

5. 越波検知システム試行の概要

越波検知システムは、既存のカメラ画像をリアルタイムに読み取り、越波事象の発生があれば、自動的にその旨をメール等の手段により道路管理者へ知らせるシステムである。今夏に予定している試行概要は以下のとおりである。

(1)試行場所

以下の2か所のカメラ

- ①和歌山県東牟婁郡串本町姫地区
- ②和歌山県日高郡みなべ町埴田地区

(2)試行期間

2023年7月下旬～11月

(3)システム概要

システム構成を図-3に、機器構成を表-2に示す。

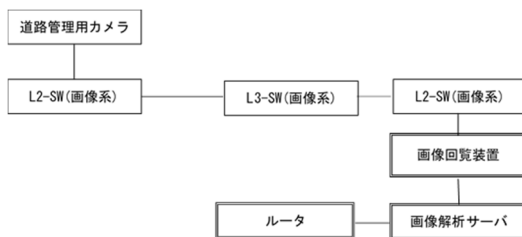


図-3 越波検知システムの構成

表-2 機器構成

項番	機器名称	設置個所	数量	単位
1	画像解析サーバ	紀南河川国道事務所	1	台
2	画像回覧装置	紀南河川国道事務所	1	台
3	ルータ	紀南河川国道事務所	1	台

a)画像解析サーバ

カメラ画像を取得し、道路形状と波打ち上

げ高さについてAIを用いて分析し越波判定を行う。判定するAIは深層学習を行う。

越波判定時には、指定されたメールアドレスにテキスト文にて伝達する。

b)画像回覧装置

対象のカメラからのIPマルチキャスト映像受信し画像解析サーバへ解析対象のカメラ画像をリアルタイム映像出力する。

c)ルータ

画像解析サーバに対し、管理用にアクセス可能なよう公衆回線等を利用したネットワークの構築を行う目的で設置する。

6. 試行にあたっての課題

(1)カメラの設置位置

カメラ設置位置が越波ポイントから離れていると画像が不鮮明になり越波検知には適さない画像となる。また画像内の道路形状も道路と海岸が区別しやすい形状が望ましい。今回試行の2地点は両方を満たすことから、試行箇所として選定した。今後、越波検知を試行するカメラを選定する際は考慮する必要がある。

(2)夜間の対応

越波は昼夜問わず起こりうる。今回試行箇所に設置されているカメラは画像蓄積モードにて夜間監視可能である。しかし、蓄積モード時は数十秒間のタイムラグが発生するため、越波の瞬間を逃す恐れがある。また、闇夜等は画像蓄積モードでも監視自体が厳しいため、補助照明等追加整備することを検討している。

7. 越波自動検知の効果

人の目によるカメラ画像監視では限界があり、見逃すリスクもある。これを、AI 技術を用いた自動検知に切り替えることにより、次のような効果が期待される。

(1)地点毎の設定作業軽減

カメラ画像から自動的に越波を検知する手法は従来技術としてあるが、地点毎に複雑な設定や準備が必要。深層学習などの AI 技術を用いることで、道路や車両を自動認識し、道路上への波の侵入を検知・判定できる。

(2)越波事象監視サポート

越波事象は現地監視員（職員含む）及び管内に設置したカメラにより事象把握を務めているが、越波 AI 監視の導入が進めば見落としやタイムラグの発生を抑止する効果が期待される。

(3)越波予測との連携

当事務所では越波予測業務を実施しており、越波規模、期間を客観的に捉え、検証に利用することで越波予測の精度向上が期待される。

8. まとめ

越波自体の AI 検知を目指したが、過去の紀南河川国道事務所管内の越波画像が深層学習出来るほど収集出来ていなかったため、従来法による越波判別技術と、道路や車両を AI 画像認識により判別する手法が現状では最適と判断した。

カメラの画角が変わっても道路と海の境界を AI で自動認識し、越波事象を自動で検知を行うことが可能なため、越波事象監視を目的としたカメラを設置している他の事務所への展開も容易に行えると考えている。

将来的に越波自体を AI が深層学習するのに十分な越波画像を蓄積出来れば越波自体の AI 事象検知が実現可能と考えている。

参考文献

1)一財) 日本気象協会 HP

<https://www.jwa.or.jp/>

2) Alexander Kirillov, Kaiming He, Ross Girshick, Carsten Rother, Piotr Dollar. Panoptic Segmentation. *CVPR*, 2019.

大規模土砂災害現場におけるUAV等を用いた計測手法について

小林 正直¹・岸本 優輝¹

¹近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター（〒647-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

大規模土砂災害現場では、土砂災害防止法に基づく緊急調査に資する基礎データを早急に得る必要があり、人工衛星画像解析による土砂災害箇所の見つけやヘリコプターによる手持ちレーザを用いた天然ダム形状の計測など様々な手段が検討されてきた。特に近年UAVにおいては、その利便性・応用性に着目し、自律飛行により安全に河道閉塞部形状を3次元モデルとして得ることができるようになってきている。本研究では、大規模土砂災害現場において災害初動期のみならず継続監視期や災害対策検討段階においても活用が可能な、UAVによる種々の計測手法について検討、とりまとめを行い、UAVによる流域監視技術の確立に向けた検討を行う。

キーワード UAV, 計測手法, 3次元モデル, 緊急調査, 継続監視

1. はじめに

大規模土砂災害現場では、土砂災害防止法に基づく緊急調査に資する基礎データを早急に得る必要がある。一方で大規模土砂災害現場は往々にして山奥に位置し、早期のアクセス及び現地計測等には困難が伴う。そこで、人工衛星による画像等の解析¹⁾やヘリコプターによる手持ちレーザを用いた計測²⁾、UAVを用いた計測手法³⁾など様々な手段が検討されてきた。

一方で、人工衛星による撮影は衛星の通過スケジュールによるなど適時性に欠け、土砂災害の発生箇所は判明しても規模は分からないなど詳細なデータは後続調査に頼る必要があった。ヘリコプター上空からの計測は、ヘリの振動による手ブレや操縦者の違いなどによる誤差を含み、正確な河道閉塞形状を把握するのに時間を要した。

これらの課題を解決するべく期待されているのがUAVを用いた計測である。UAVによって、危険な災害現場から離れた地点で安全に操作し観測を行うことが可能となった。また、比較的迅速に観測態勢が構築できることから、目的に応じて光学カメラ・サーマルカメラ・レーザ等の様々な機材を用いることで従来手作業で得ていた観測項目についてより正確な計測が可能となった。さらに観測から比較的短時間で3次元モデルを作成できることから、視覚的かつ時系列的な越流箇所等の検討を迅速に行うことが可能となるなど、多種多様な観測手法及び活用方法が検討されている最中である。

2. 光学カメラを用いた計測と調査

UAV計測手法のうち、ここでは光学カメラを用いた計測と調査について述べる。調査の初期においてはUAVによる動画撮影飛行を行い(図1)、調査範囲全体の概略把握を行う。その後目的に応じた静止画撮影を行う。そのいずれの際にもUAV自律飛行を用いることで操作者が危険箇所近づかず安全・迅速に、高精度の情報を得ることが可能である。

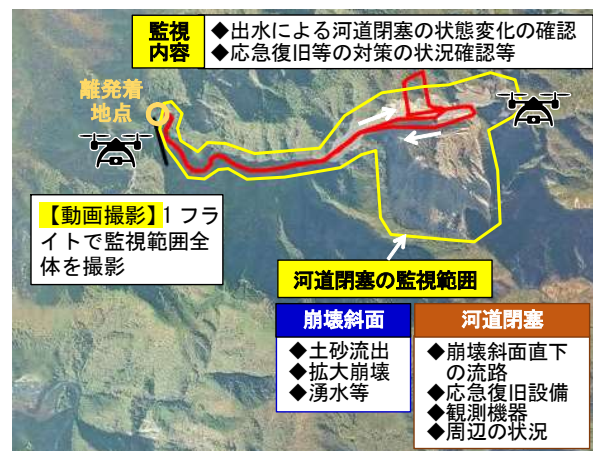


図1 河道閉塞箇所の動画調査

(1) 動画撮影

大規模土砂災害現場における発災直後や出水後等は、崩壊地や河道閉塞部、あるいは砂防堰堤等の調査に当たっては立入に危険が伴うため、調査員の安全を確保した上での動画による対象範囲全体の迅速な状況把握が必要となる。得られる動画データは、リアルタイム画像伝送機能により迅速に確認ができ、再度の動画撮影計画、あるいはより詳細なデータ入手を目指した追加の画像撮影計画の検討が可能である。

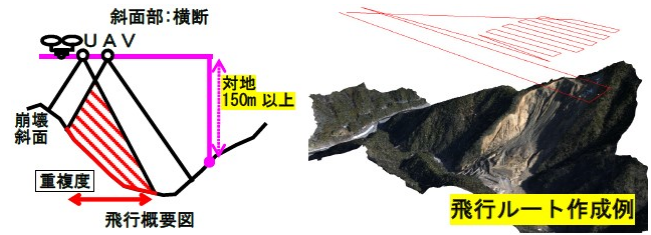


図2 オルソ画像作成と3次元モデルへの投影

(2) オルソ撮影

オルソ画像はいわゆる空中写真であり、すべての地物を地図と同じく真上から見たような正しい大きさと位置に表示させたものである。設定した調査範囲全体を自律飛行等により連続撮影することで画像解析により作成される。3次元モデル等に投影することで流域内の植生や裸地・崩壊地の分布、土砂の堆積状況等を視覚的に把握することが可能となる。(図2)

オルソ画像は、SfM解析により作成する。SfM解析では、撮影写真の解像度や重複度（オーバーラップ率、サイドラップ率）、撮影写真の位置情報の正確性が解析結果の品質や精度に影響を与える。ここで、撮影写真の位置情報の取得方法には、複数の測位方式（GNSS単独測位、PPK、RTK）があり、利用目的や現場環境に応じて適切に使い分ける必要がある。

一般的にUAVによる写真測量は、GNSS単独測位方式で撮影した写真を用いたSfM解析において、計測エリア内に地上標定点を設置し、地上標定点による座標補正を行うことで精度向上が図られている。しかしながら、大規模土砂災害現場は、立ち入りに危険が伴うことから、現場内に立ち入ることなく、作業の安全性を確保し、迅速かつ高精度な解析が求められる。図2のオルソ画像は、大規模土砂災害現場の初動期を想定しており、UAVによるGNSS単独測位方式により遠景写真を撮影し、SfM解析（約1時間程度）を行い、危険を伴う現場内に対空標識の設置が出来ないことから、UAV離発着地点付近の道路構造物を標定点として利用し、高さ補正を行った事例である。

大規模土砂災害現場の継続監視期では、遠景撮影による崩壊地や河道閉塞部の土砂変動量の詳細把握や図3に示すように近景撮影による砂防施設等の点検等において、高精度な測位方式（PPK、RTK）の利用が必要となる。ここで、PPK（Post Processing Kinematic:後処理キネマティック）方式とは、UAVによるGNSS単独測位方式で記録したデータと電子基準点の観測データを用いて、ソフトウェアの後処理により位置データの精度を向上、補正する方法である。また、RTK（Real Time Kinematic:リアルタイムキネマティック）方式とは、位置の分かっている基準局と位置を求めようとする移動局（UAV）で同時にGNSS観測を行い、基準局で観測したデータを無線機等



図3 砂防施設点検時オルソ画像の比較

で移動局へリアルタイムに送信し、移動局（UAV）の測位精度を高める方法である。携帯電波が利用できる場所では、基準局を設置する代わりに周辺の電子基準点の観測データから作成された補正情報を用いるネットワークRTK法もある。

(3) 単画像撮影

単画像はいわゆる通常の写真であり、災害現場に近接した箇所、死角からの高解像度の写真を得ることで従来得ることができなかった災害箇所及び砂防施設変状箇所の情報を得ることが可能となる。(図4)

(4) 3次元モデル作成

上記に述べてきた光学カメラ撮影画像群より3次元モデルを作成することができる。後述するレーザ計測から作成される3次元モデルとの差異は、比較的短時間に3次元モデルが作成できる点にあるが、植生をそのままモデルに入れ込んでしまうため用途に応じた活用が必要である。オルソ画像の作成と同様に測位状況、解析方法の選択により、低精度ながら迅速なモデル作成もしくは長時間ながら高精度なモデル作成の作成を行うことが可能である。砂防設備の点検時への活用(図5)の他、3次元モデルから読み取れる標高及び座標等の基礎データを用いて氾濫シミュレーションへの適用、取得した地形データを3次元CIMモデルとしてLPデータとの差分の解析

(図 6), 二時期の地形データ比較による形状変化の継続監視等にも活用できる。

3. レーザを用いた計測と調査

レーザ測距計等を用いた計測と調査について述べる。土砂災害防止法に基づく緊急調査では、河道閉塞時に湛

水池が越流、決壊する時期、規模及びその際の被害について解析する必要があり、図 7 に示す解析に資する基礎データの迅速な入手が必要である。その際は UAV に搭載したレーザ距離計を用いることで非常に正確な計測が可能になる。また、レーザ計測により河道閉塞部形状や施設等の点群データを容易に作成することができ、その後の種々の検討に活用できる。また、グリーンレーザを用いた測量により水面下の地形を測量することが可能である。

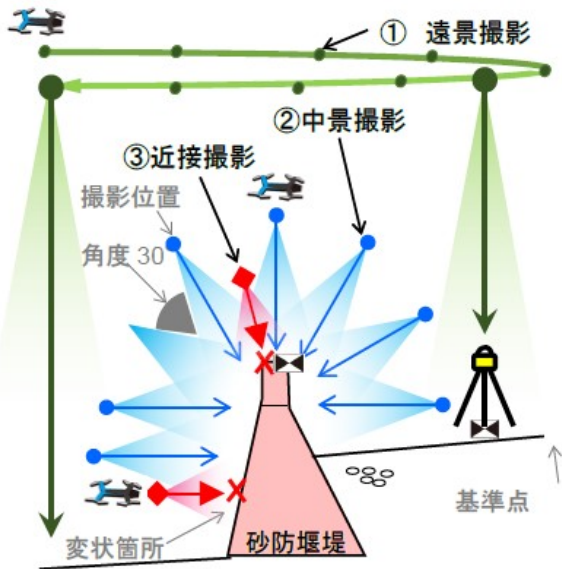


図 4 砂防施設点検時近接撮影イメージ

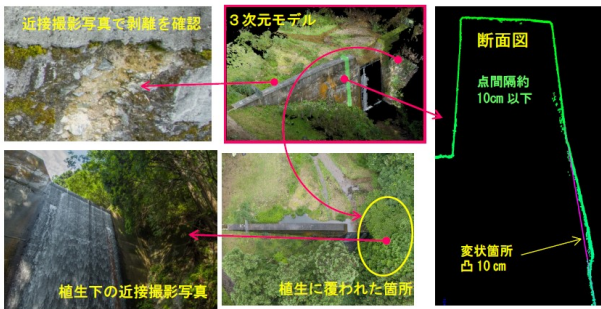


図 5 砂防施設点検活用イメージ

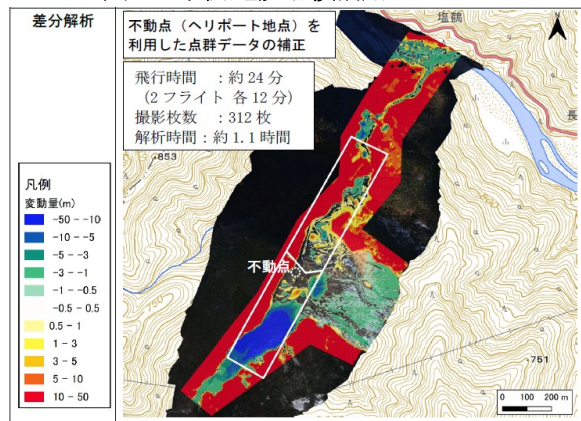


図 6 画像から作成した 3 次元標高モデルと LP データとの差分解析による崩壊地の状況把握

(1) レーザ距離計を用いた調査

UAVを手動操作し撮影映像を確認しながら着目点を画面に捉え、ズームカメラを用いてレーザ距離計による座標計測を行う(図 8)。実証実験では離隔距離400m未満で水平較差、垂直較差ともに5m以下の精度を示すなど、高い精度の計測が迅速に可能である。

(2) レーザ計測による点群データを用いた調査

レーザ計測機器を用いて3次元(点群)データを取得する。現技術段階では手動操作の目視内飛行を想定しており、実験時には約20分のフライトで直線距離約400m、水平距離約370m、高低差約100mの山地河道における点群データの取得を行った。解析は現場で可能で、約6分を要し、得られた点群データから取得した着目点の誤差は水平誤差4m以内、高さ誤差5m以内と高精度な情報の取得が短時間で可能であった。

光学カメラ画像による3次元データ取得との差異は、図 10 のようなイメージで説明される。すなわち、光学カメラによる映像撮影機器では水色のように樹木等の表面を表現するのにに対し、赤色で示すレーザ計測では樹木

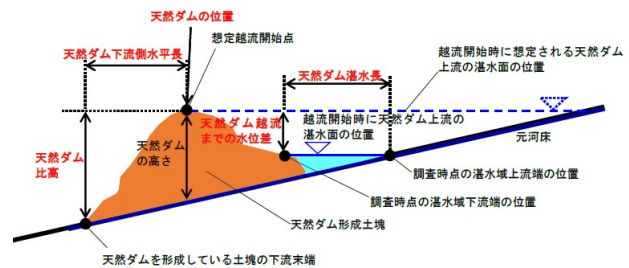


図 7 緊急調査時に取得すべき基礎データ



図 8 レーザ距離計による河道閉塞地点等の計測



図 9 レーザ計測による点群データの取得

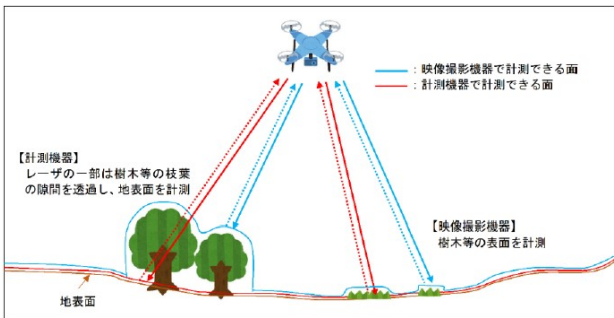


図 10 光学カメラとレーザによる 3 次元データ取得の差異

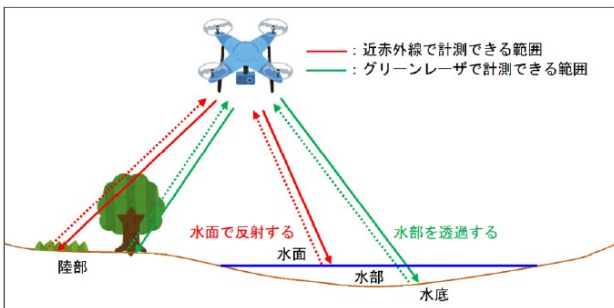


図 11 グリーンレーザによる測量

を透過し地表面を計測するといった差異がある。植生地における活用に有利である。

(3) グリーンレーザを用いた測量

一般に用いられるレーザ計測では近赤外線領域の波長のレーザを用いており、水面で反射する(図 11)。グリーンレーザ測量機能を持った UAV を用いることで水面下の地形等を計測可能であり、砂防施設のみならず溪流の様々な場面での計測に活用が期待される(図 12)。

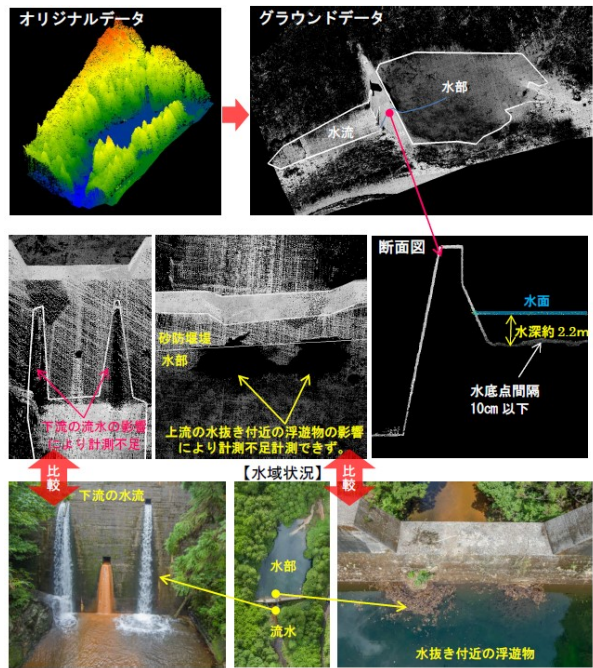


図 12 UAV グリーンレーザ測量結果

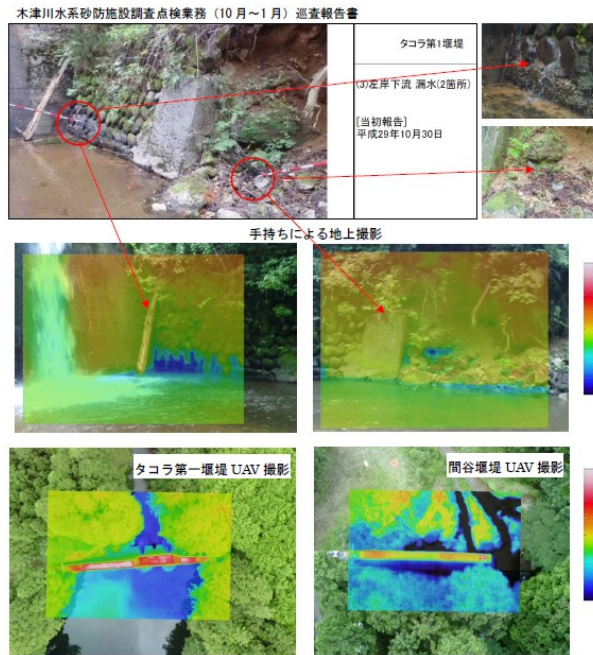


図 13 熱赤外線カメラを用いた砂防施設点検の様子

4. サーマルカメラを用いた計測と調査

熱赤外線カメラ (サーマルカメラ) を用いた砂防堰堤周辺の漏水など変状を確認するための計測について述べる。 UAV に搭載した熱赤外線カメラの画像において、漏水箇所周辺より温度が高いことが確認された(図 13)。実際に定期点検等で変状抽出として利用できる精度か等についてさらなる検討は必要だが、今後様々な用途に活用されることが期待される。小型の UAV を用いた近接での撮影試験等が望まれる。

5. UAV計測の利点と展望

ここで、UAVを用いた各種計測手法の利点を整理する。

第一に、安全なデータ取得が可能な点が挙げられる。UAVはともすれば二次災害の恐れがある危険な現場に近づかずしてデータ収集を行うことが可能である。

第二に、データ取得の迅速性がある。UAVは人工衛星やヘリコプター等の手段に比べ迅速性に優れる場合があり、比較的誰でも操作が可能である。

第三に、データの正確性、精密性がある。迅速性とのトレードオフである面もあるが、従来手法に比べデータ入手難易度に比べはるかに高精度なデータを得ることができる。

第四に、視覚的なわかりやすさがある。3次元データを取得し、オルソ画像を張り付ければ、現場の状況をおおむね把握できる。

第五に、その汎用性が挙げられる。これは、様々な現場や地域で活用可能であるといった点、あるいは搭載する計測機器・手法によって多種多様な現場で活用が期待されるといった点等を踏まえ、UAVという機器自体が幅広い適用分野があり、活用することができるといった強みである。

現時点での、UAV計測を利活用していく上でのポイントは、迅速、安全な計測を実施するだけでなく、得られたデータをその後の危機管理に活用でき、災害初期のみならず継続監視期や災害対策にも活用可能なモデルを取得できる点、あるいはUAV自律飛行を併用することで定期的な流域及び砂防設備等の点検に応用できる点などにある。今後は、ヘリコプターによる大規模土砂災害箇所把握後、UAVを併用することでより効率的な災害調査、対策の検討が可能になるなど、緊急調査手法の見直し等が期待される。また、UAV自律飛行を併用し、流域や砂防設備等の定期監視技術の確立に向けて今後も検討を続ける。

6. おわりに

今回とりまとめたUAVの観測手法には大きく分けて、光学カメラによる計測、レーザーによる計測、遠赤外線による計測があった。光学カメラやレーザーのそれぞれで3次元データの作成が可能である点やそれぞれの利点についても述べた。

しかしながらUAVの機体性能差や、地形データを解析する際に必要となる測位方法、あるいは現地条件（地形、天候、通信状況、etc...）によって観測状況や精度は変化する可能性もあり、多種多様な目的に応じた観測の実施には事前の準備が必要である。

UAVによる計測手法は多種多様なものがあり、その技術も現在発展途上かつ日進月歩である。また、適用性や応用性は広がりを見せており、目的に応じたデータの収集、利用方法についても利用する我々が整理、準備していなければならない。大規模災害時に慌てる必要の無いよう、理解を深めるとともに最新の動向を注視していくことが重要である。

謝辞： 現地検証計画立案・検証等においては中電技術コンサルタント（株）及びアジア航測（株）に受託いただきご尽力いただいた。今後の利活用等の検討は国土技術政策総合研究所土砂災害研究部の竹下航主任研究官に有益なご意見をいただき検討を進めることができた。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 鈴木大和, 松田昌之, 瀧口茂隆, 野村康裕, 山下久美子, 中谷洋明:合成開口レーダ (SAR) 画像による土砂災害判読の手引き, 国土技術政策総合研究所資料, 第1110号, 令和2年4月.
- 2) 内田太郎, 吉野弘祐, 清水武志, 石塚忠範, 小竹利明:長距離レーザー距離計を用いた天然ダム形状の計測, 土木技術資料, 第53巻, 第5号, PP.22~25, 2011.
- 3) 荒木義則, 木下篤彦, 秦雅之, 河井恵美, 小竹利明, 山田拓, 柴田俊, 亀井稔, 松岡和行, 南口由行:大規模土砂災害における無人航空機を活用した緊急調査の試行的研究, 第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集, p.73-78, 2020年9月.

携帯電波不感地帯における公共ブロードバンド を活用した映像伝送技術

岸本 優輝¹・小林 正直¹

¹近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々
3027-6)

土砂災害の現場においては、調査箇所が携帯電波不感地帯であることが多く、公共ブロードバンド移動システム（以下、公共BB）による映像伝送技術の活用が期待される。しかし、土砂災害の現場は中山間地であることが大半であり、山の尾根等が視界の妨げとなるため、複数の中継機の使用・連携が必要となる。そこで、本検討においては、中継用UAVを活用することにより、効率的かつ迅速に被災状況を把握できる手法を提案する。

キーワード 土砂災害、災害対応、中継用UAV、公共BB

1. はじめに

土砂災害現場においては、発生箇所が携帯電波不感地帯であることが多く、公共ブロードバンド移動システム（以下、公共BB）による映像伝送技術の活用が期待される。公共BBとは、2011年のVHF帯地デジ化移行に伴い、地上アナログテレビ放送の空き周波数帯を利用した自営ブロードバンド無線として運用が開始されたものである。公共BBに映像を伝送する仕組みを加えることで、

より詳細な状況把握が可能となり、災害現場での運用はもとより、基幹システムの設置や電気通信事業者回線の使用が困難な場所（携帯電波不感地帯を含む）に持ち込む可搬型システムとして、主に利用されている。しかし、土砂災害の現場は中山間地が多く、山の尾根等が視界の妨げとなるため、複数の中継機の使用・連携が必要となる。そこで、本検討においては、中継用UAVを活用することにより、効率的かつ迅速に被災状況を把握できる手法を提案する(図-1)。

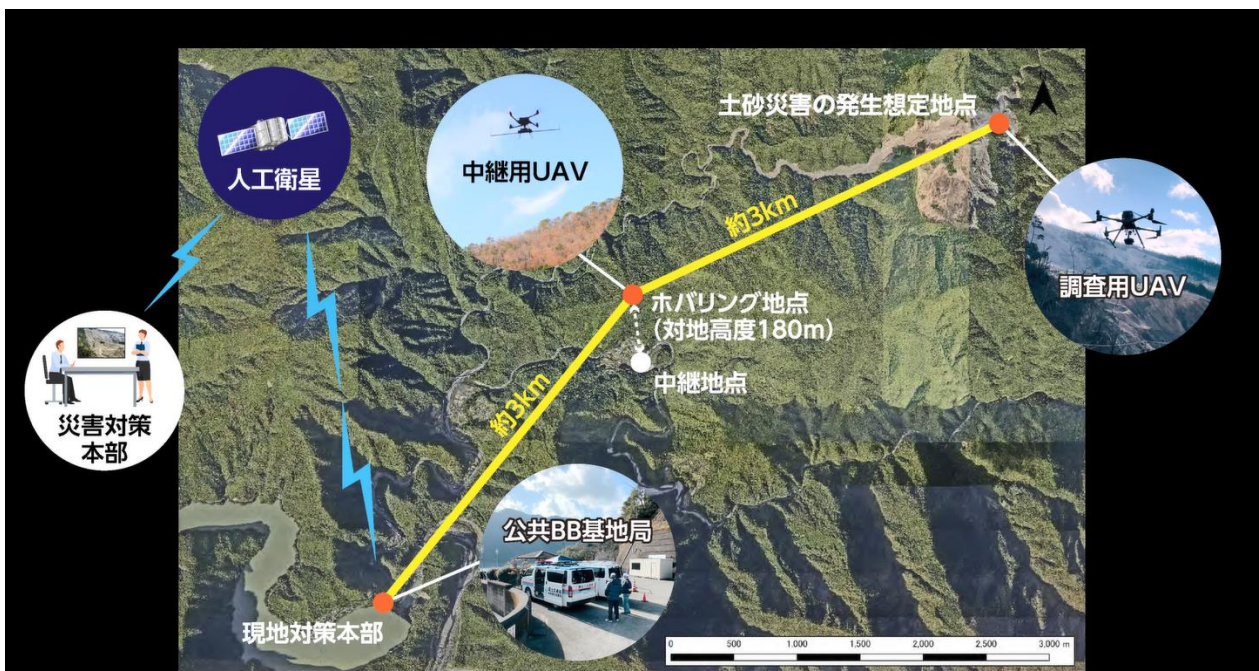


図-1 本検討における公共BBを用いたシステム設計

2. 公共BBを用いた伝送技術の設計

(1) 公共BBのシステム設計

本検討では、公共BB無線機、公共BB搭載可能なUAV、Car-SAT等の衛星通信技術を併用して、携帯電波不感地帯のUAVによる調査映像を遠隔地に伝送するシステム設計を行う(図-1)。具体的には、移動局(土石流発生地点等)で取得したカメラ映像を中継用移動局を経由し、基地局(現地対策本部)に送信する。基地局に送られてきた映像データ等は衛星回線を用いて災害対策本部に転送する。

なお、本検討においては、有効な運用・機能向上をはかるため、現行の運用形態(図-2)に対して、下記の項目を設定の上、システム設計を検討した。

1) 多段中継機能(Wi-RAN)の採用

土砂災害の現場においては尾根などが視界の妨げとなり、複数の中継機の運用が必要となるが、中継用無線局をUAVに搭載することで、従来通信できなかった場

所からの映像伝送が可能となる。また、公共無線機の複数設置(最大5台)により、従来の公共BBでは不可能であった広範囲の無線回線を構築できる。

2) 受信ダイバーシチ方式の採用

移動時の無線回線品質は、周囲の環境変化に応じて受信電波にレベル変動が生じるため品質が低下する。そこで、本検討では、受信ダイバーシチ方式を採用(アンテナ増設)することで、複数の反射波が到来するマルチパス環境や移動通信によるフェージング環境における回線品質の向上を期待できる(図-3)。ここで、フェージングとは、無線通信において、時間差をもって到達した電波の波長が干渉しあうことによって電波レベルの強弱に影響を与える現象である。

従来、アンテナの台数は基地局側1台・移動局側1台の構成であるが、本検討においては、各アンテナを1台ずつ増設し、受信回線の品質向上を図った。2台体制にすることで、受信状況の良い回線の選択や電波合成による品質向上・安定化が望める。なお、当該方式の運用において設置したアンテナの距離が近い場合、電波干渉による品質低下を招くため、一定の離隔距離を保ち設置す

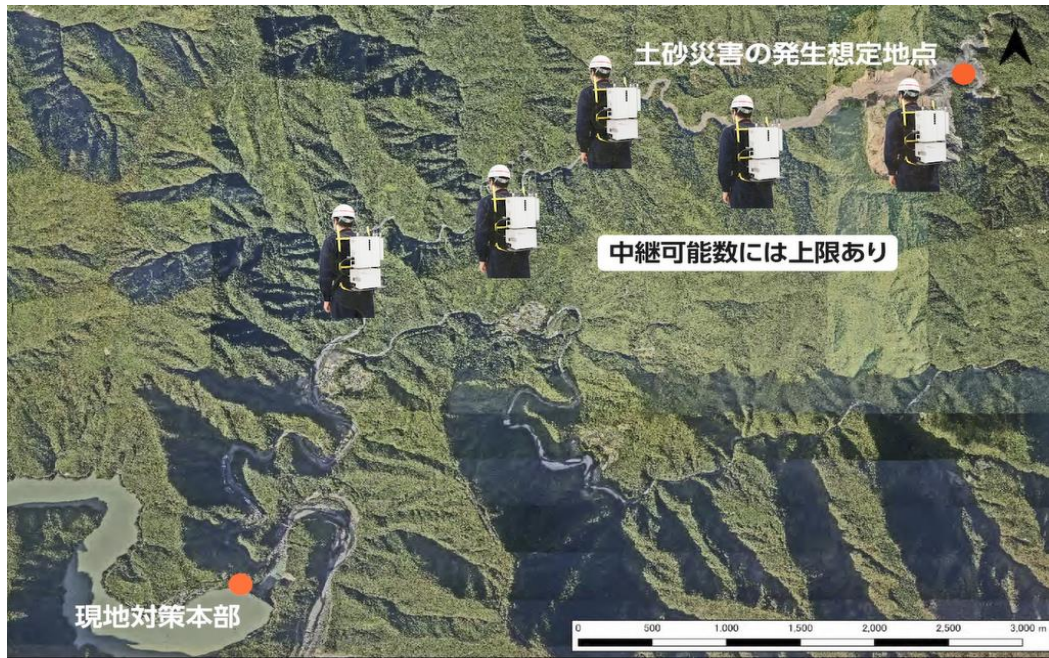


図-2 現状の公共BBを用いた運用のイメージ

る。また、本検討においては、車両にアンテナを搭載することで、機動的な情報収集の実現が可能となる。(図4)

3) 送信映像の品質向上

公共BBシステムでは、無線伝送エラー防止のため、無線回線品質に応じて無線伝送レートを調整する必要がある。そこで、本検討では、公共BBの無線伝送レートに合わせて、最適な映像ビットレートを自動選択しながら映像を伝送することで、簡易な操作のみで運用可能となる(図5)

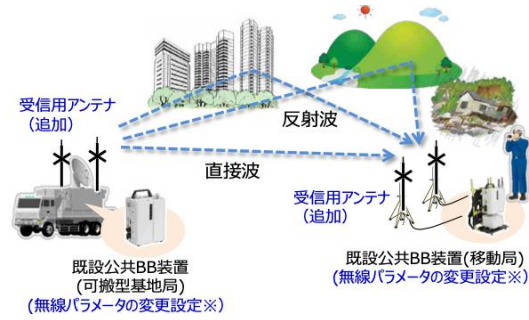


図-3 受信ダイバーシチ方式の概念図

(2) 公共BB実証実験(栗平地区)

本検討では、紀伊山系栗平地区において、実証実験を行った。なお、実証実験を行う上でのシナリオは以下のとおり設定している。

“台風による大雨により、大規模な斜面崩壊が発生し、河道閉塞が形成された。有人ヘリコプターによる調査を検討したが、気象条件が悪く、天候が回復しないため、行うことができない。斜面崩壊の規模や河道閉塞部の形状の把握を行うため、現地対策本部の設置に加え、溪流内への調査班派遣を決定した。しかしながら、栗平地区内は携帯電波不感地帯であるため、現場外に撮影映像の伝送や調査結果の報告をすることができない。また、河道閉塞部と携帯電波受信地点との区間は、道が湾曲し、山の尾根等があるため、見通しが取れず、公共BBを利用した地上中継では通信距離が短くなり、複数の中継機が必要となる。”

このシナリオに対し、上述で設定したシステムにより効率的な調査が可能になるか検証を行った。



図-4 車両ホイップアンテナの例

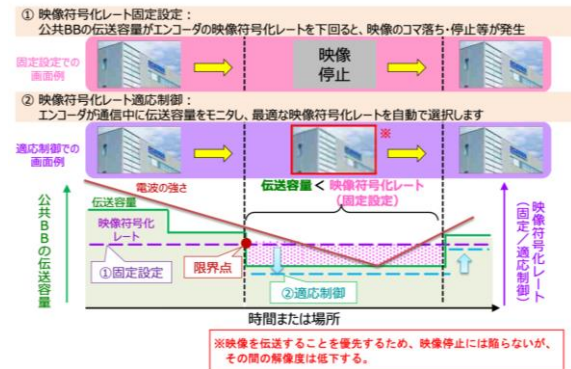


図-5 本設計システムで採用した映像伝送の仕組み

3. 実証実験結果と本システムの評価

本実証実験では、公共BB無線機、公共BB搭載UAVおよびCar-SAT(衛星通信技術)を併用することで、携帯電波

びCar-SAT(衛星通信技術)を併用することで、携帯電波

項番	項目	課題	評価
①	多段中継機能 (Wi-RAN)	基地局と移動局は完全に見通し外の環境下で通信出来ない	公共BBを搭載した中継用UAVを尾根越えさせ、各拠点間の見通しを確保することで映像伝送に成功
②	受信ダイバーシチ方式 (アンテナ2本併用)	移動時の無線回線品質は周囲の環境変化に応じて受信電波にレベル変動が生じるため品質が低下	基地局と移動局の無線リンク確立後の映像は途切れることなく、安定した映像伝送が実現
③	簡易な操作を可能にする映像伝送システム (適応型エンコーダの利用)	公共BBシステムでは、無線伝送エラー防止のため、無線回線品質に応じて無線伝送レートを調整する必要がある	伝送可能なデータ容量を意識することなく簡易な操作を可能とする「映像符号化レート適応制御機能(適応型エンコーダ)」を用いることで最適な映像ビットレートを自動選択しながら映像伝送されることを確認

表-1 本検討における実証実験の結果

不感地帯環境下でもUAV調査映像の遠隔地伝送が可能であることを実証でき(表-1、図-6)、約6km離れた場所までの映像伝送に成功した。

4. 課題

本実証実験での中継用UAVについては、公共BB搭載重量が7.5kgであり、飛行時間が15分(内:映像伝送時間は約5分)であった。積載量が大きいため、飛行時間・映像伝送時間が短くなるのが課題として挙げられる。UAVの飛行時間を長くするためには、必要最低限の高度で飛行することと積載量を小さくすることが重要である。したがって、本手法により土砂災害の発生箇所を監視・調査するにあたっては、事前に適切なホバリング地点を選定し、飛行高度を必要最低限とすることが重要となる。具体的には、ある地区で土砂災害が発生した場合、どの地点でホバリングさせるか等、航空レーザ測量による3次元地形図を活用してUAV調査地点(移動局)とホバリング地点(中継局)、ホバリング地点(中継局)と災害対策本部(基地局)がそれぞれ直線見通しが確保できるように検討することが望ましい。

また、今後は、事務所所有の資機材の機能改良を行い、利用範囲の拡大や通信の安定性や品質向上を図ると共に、公共BB搭載可能なUAVの飛行時間の改善を行っていく必要もある。

5. おわりに

事務所所有の公共BB無線機は、多段中継機能が無いため栗平地区のような場所での広域利用は困難である。また、通信距離が長くなると通信の安定性や品質向上も必

要となる。これらの機能・性能の向上を図るため、本業務では、公共BB無線機、公共BB搭載可能なUAV、Car-SAT等の衛星通信技術を併用し、携帯電波不感地帯においてUAVによる調査映像を遠隔地に伝送するための実証実験を行い、約6km離れた場所まで映像伝送することに成功した。

土砂災害現場は山間地であることが大半であり、本検討で設定したシナリオのとおり、基地局と移動局が完全に見通し外となることが想定される。

その際に、背負型(図-2)の中継機等を多く使って、調査を行うことは、二次災害の危険性や人員確保の面等も考慮すると、非常に非効率的である。

今後、携帯電波不感地帯における災害時の調査については、本検討で用いた手法を活用することで、生産性・安全性が大きく向上されることが期待できる。

謝辞: 現地検証計画立案・検証は中電技術コンサルタント(株)に受託いただきご尽力いただいた。今後の利活用等の検討は国土技術政策総合研究所土砂災害研究部の竹下主任研究官に有益なご意見をいただき検討を進めることができた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 砂防関係施設点検要領(案), 令和4年3月, 国土交通省 砂防部 保全課
- 2) 小杉恵, 北本楽, 柴田俊 :UAV の自律飛行による河道閉塞や砂防堰堤の調査・点検, 土木技術資料, Vol.63, No.8, pp36-41, 2021
- 3) UAV の自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点検に関する手引き, 令和3年7月, 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

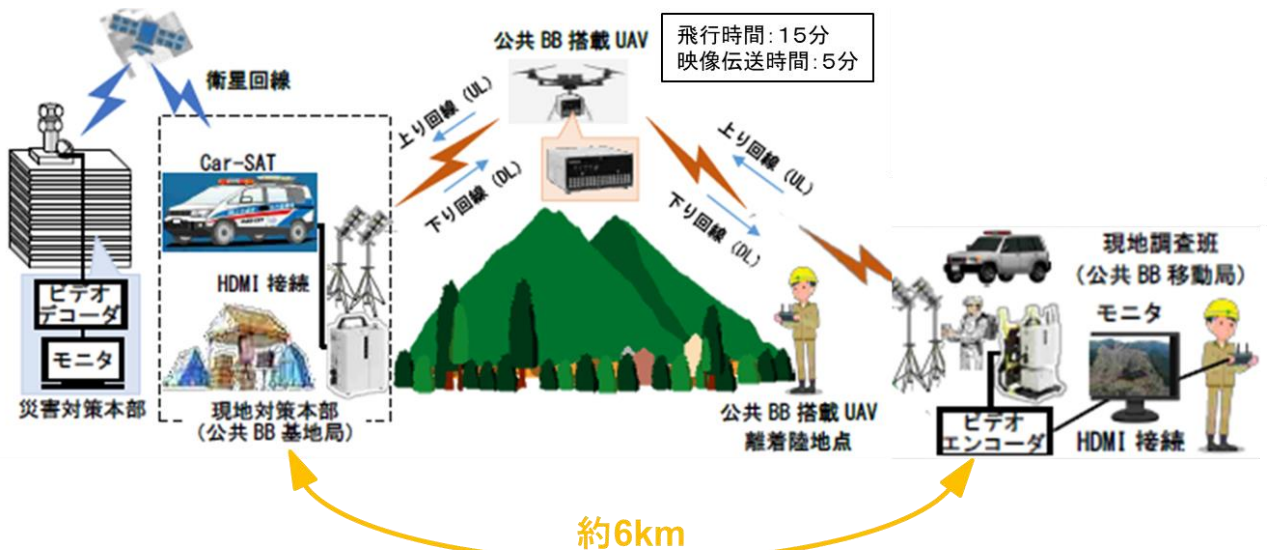


図-6 本検討における実証実験の結果

天川村坪内地区における簡易的な手法を用いた地すべり対策工の効果検証

今福 大智¹

¹奈良県県土マネジメント部道路マネジメント課 (〒630-8501奈良県奈良市登大路町30)

奈良県吉野郡天川村の坪内地区では、平成27年の台風に伴う降雨によって大規模な地すべりが発生し、家屋等に被害が生じた。その後、地すべり対策工事に着手し、一部は現在も施工中である。本稿では、地すべり対策工の概要とその現状について紹介するとともに、本地区で実施している地下水位等の観測データを簡易的な手法を用いて地すべり対策工の効果検証を行った。検証の結果、地下水位計や地盤伸縮計の複数の地点においてその効果が確認され、本地区における地すべり対策工が発生した地すべりに対し有効であることが推察された。

キーワード 地下水位、地盤伸縮計、連続雨量

1. はじめに

奈良県吉野郡天川村の坪内地区(図-1)では、平成27年7月19日に台風11号の接近に伴う降雨(連続雨量398mm:気象庁天川雨量観測所)により、幅約200m、長さ約400mの地すべりが発生し、家屋等に被害が生じた(写真-1)。その後、国立研究開発法人土木研究所の研究者らによる現地調査等を経て、地下水位計等の観測機器の設置及び地すべり対策工に着手し、令和5年現在も事業を進めているところである。本稿では、①地すべり対策工の概要とその進捗について、②地すべり対策工の一部に対する簡易的な手法を用いた効果検証の結果について報告する。

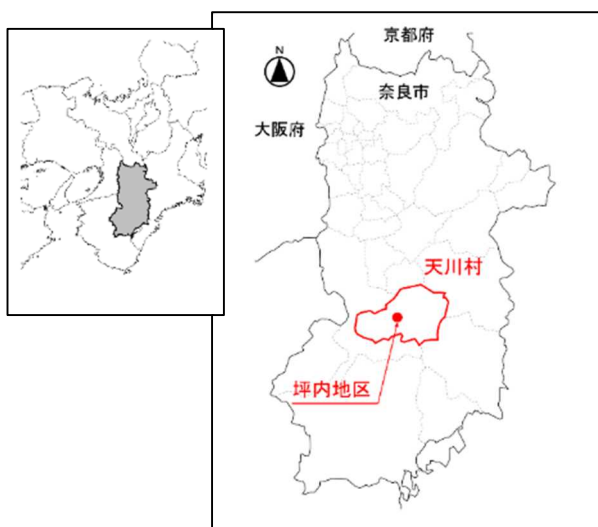
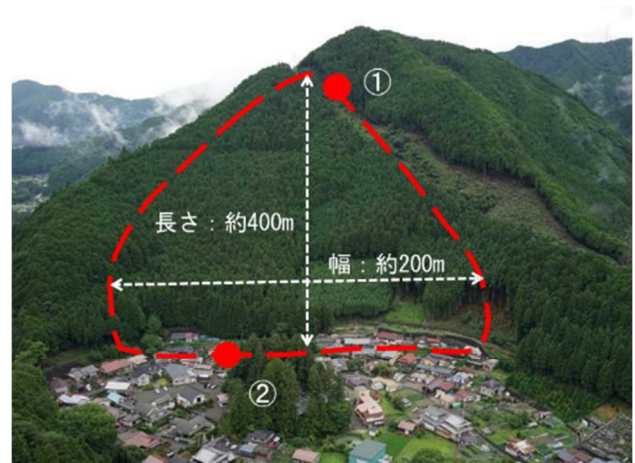


図-1 位置図



写真-1 地すべり発生箇所の航空写真と被害状況

2. 地すべり対策工の概要とその進捗

図-2に地すべりブロックと地すべり対策工の箇所を示す。本地区における地すべり発生のメカニズムは、「破碎度の低い地盤が、豪雨に伴う地下水位上昇を誘因として滑動した」ことが石井ら²⁾によって推定されている。これを踏まえ、地下水排除を目的とした抑制工(横ボー

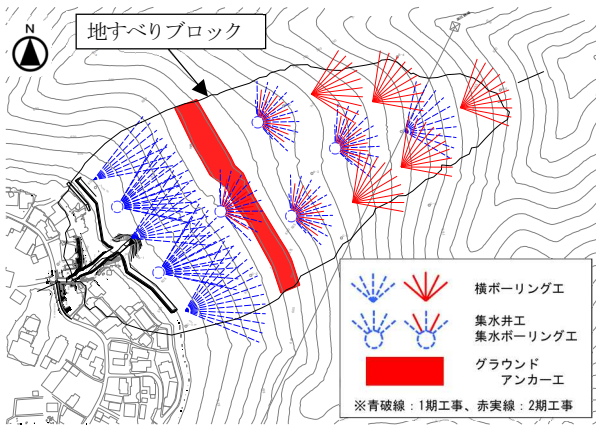


図-2 地すべりブロックと対策工箇所図



写真-2 現在の進捗状況
(左：航空写真、右：台座モルタル吹付完了)

リング工4箇所、集水井工6基)に平成27年8月より着手し、平成29年3月に完了した(以下、「1期工事」とする)。その後、地すべり発生時を上回る降雨が平成29年10月に観測されたことから(連続雨量486.5mm:同観測所)、その降雨を反映させた対策工の設計を実施し、令和2年10月より抑制工(横ボーリング工5箇所、集水ボーリング工4箇所)及び抑止工(グラウンドアンカー工426箇所)に着手し、現在も施工中である(以下、「2期工事」とする)。

2期工事の現在(令和5年3月末時点)の進捗は、抑制工については横ボーリング工5箇所中4箇所、集水ボーリング工4箇所中3箇所が完了、抑止工については台座モルタルの吹付が完了し、削孔等を行っているところである(写真-2)。また、完了時期は令和5年12月を予定している。

3. 坪内地区における地すべり観測

坪内地区では、すべり発生後より地下水位計、パイプひずみ計、孔内傾斜計、地盤伸縮計、傾斜計及び雨量計を複数地点に設置し、地すべりの観測及びデータの蓄積を行っている(図-3)。一例として、図-4に地下水位計(A2:地すべりブロック中央部)、地盤伸縮計(S1:同冠頭部・S3:同末端部)及び雨量計の観測結果(平成27年11月~令和4年12月)と地すべり対策工の施工時期を示す。地下水位の変動をみると、降雨が発生した際にその影響を受けて地下水位が上昇していることが確認できる。地盤伸縮計の変位については、地すべりブロック

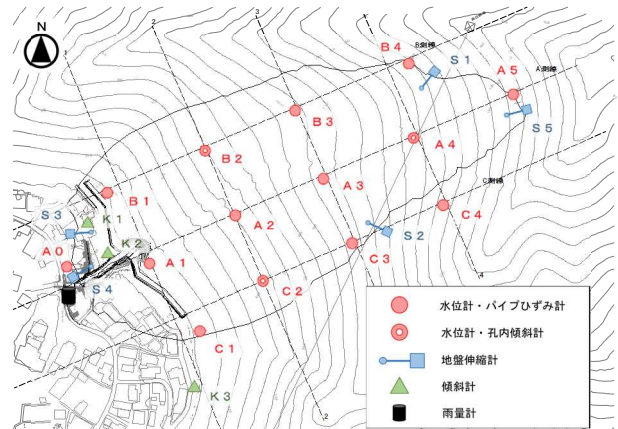


図-3 観測機器設置箇所図

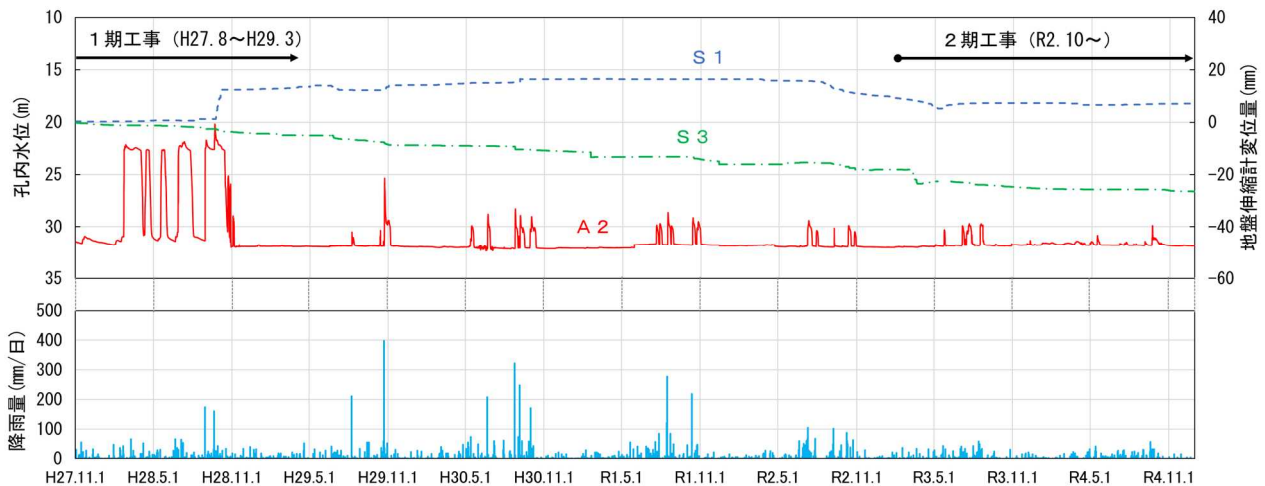


図-4 観測結果

(※孔内水位は地表面下深度で作成、地盤伸縮計変位量は正：引張方向・負：圧縮方向)

冠頭部に設置されたS1では降雨が発生した際、地すべりの変動に起因すると考えられる変位（引張方向）が確認できるものの、同末端部に設置されたS3では降雨時での明確な変位（圧縮方向）はほとんどみられなかった。この傾向は、「一般に、その変動量は冠頭部に比較すると小さい。」という地すべり観測便覧²⁾の記載と合致しており、坪内地区における地すべりは一般的な変動の特徴を有していることが推察できる。

また、坪内地区では地盤伸縮計を用いた地すべり監視体制を構築しており、1時間あたり2mmの変動が2回連続で観測された場合、奈良県の担当部署等に警報メールが配信され、同時に現地の回転灯とサイレンが鳴ることで周辺住民に対して迅速に異変を周知する仕組みとなっている。警報メールが配信された際には必要に応じて天川村役場から避難指示等が発令されることとなっている。

4. 簡易的な地すべり対策工の効果検証手法

地すべり対策工の効果を検証する手法として、観測データを用いた数値解析（シミュレーション）が挙げられる。しかし、これらは原理が複雑であることから県民への説明が難しく、また専門業者への解析業務の発注等で予算・時間を要する。そこで本稿では岸畑ら³⁾が提案した、観測データを用いた簡易的な手法を適用することにより、坪内地区の地すべり対策工（1期工事）について、その効果の検証を行った。なお、検証に用いるデータは時間的に連続した観測を行っている等を考慮し、地下水位計及び地盤伸縮計とした。

図-5に効果検証手法の模式図を示す。X軸に1降雨イベントの総降雨量を、Y軸に各降雨イベントにおける観測データの変位量をプロットし、その近似直線（最小二乗法による）により評価する。地すべり対策工により地下水位の上昇や地すべりの挙動が抑制されると、降雨時の変位量が小さくなることから、プロットを地すべり対策工施工前（施工中）と施工後のデータに分け、近似直線

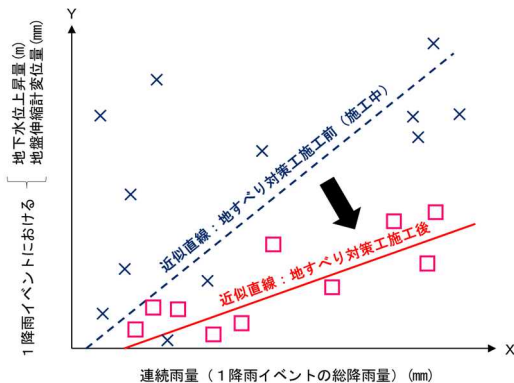


図-5 地すべり対策工の効果検証手法
イメージ図（岸畑ら¹⁾の図を基に作成）

の位置や傾きを比較することによって地すべり対策工の効果の有無を判定した。坪内地区におけるデータの観測は、地すべり対策工事の開始とほぼ同時期に開始されていることから、本稿では観測期間を①1期工事施工中（平成27年11月～平成29年3月）と②1期工事完了後（平成29年4月～令和4年12月）に分け、これらを比較して検証を行った。なお、降雨イベントは総降雨量が0.5mm以上について集計を行い、Y軸にあたる観測データの変位量は降雨開始前の観測値と降雨開始後から降雨終了後24時間に観測された最大（最小）の観測値との差とした（図-6）。なお、降雨イベントごとの総降雨量の定義については岸畑らと同様に、土砂災害警戒情報のCLライン検討時⁴⁾に用いる「一連の降雨」の定義である「前後に24時間以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨（連続雨量）」を採用した。

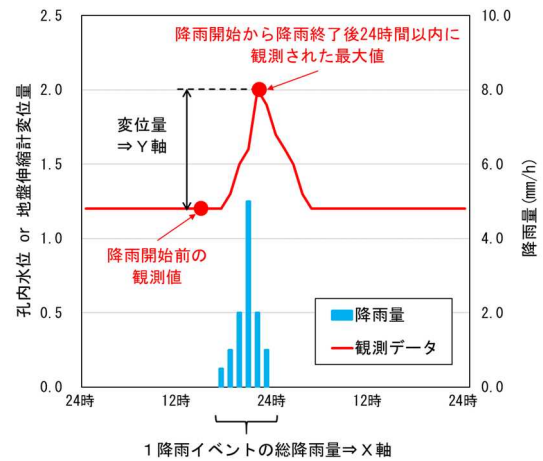


図-6 プロットするデータの算出方法

5. 検証結果

(1) 地下水位計

図-7に地下水位計のデータを用いて地すべり対策工（1期工事）の効果を検証した結果を示す。ここでは一例として、地すべりブロック中央部のA2地点及び同冠頭部のB4地点の結果を掲載する。A2地点では近似線の傾きが小さくなっていること、つまりは地下水位の上昇量が小さくなっていることが確認でき、地すべり対策工の効果があることが推察できる。一方、B4地点においては施工中と完了後で明確な差はみられなかった。この要因としては、観測地点によって抑制工との距離が異なることから、その効果の現れ方に差が生じていること、また、観測期間②が観測期間①と比べて総降雨量の大きい降雨イベントをとらえており、データ量に差があることなどが考えられた。なお、ここで紹介していない他の観測地点での検証結果についても、A2地点のように傾

きが小さくなっている地点と、傾きに明確な変化がみられない地点が存在した。ただし、2期工事ではB4地点付近で抑制工が施工中であることから、2期工事完了後のデータで分析を行った場合には、近似線の傾きに変化が現れることが期待できる。

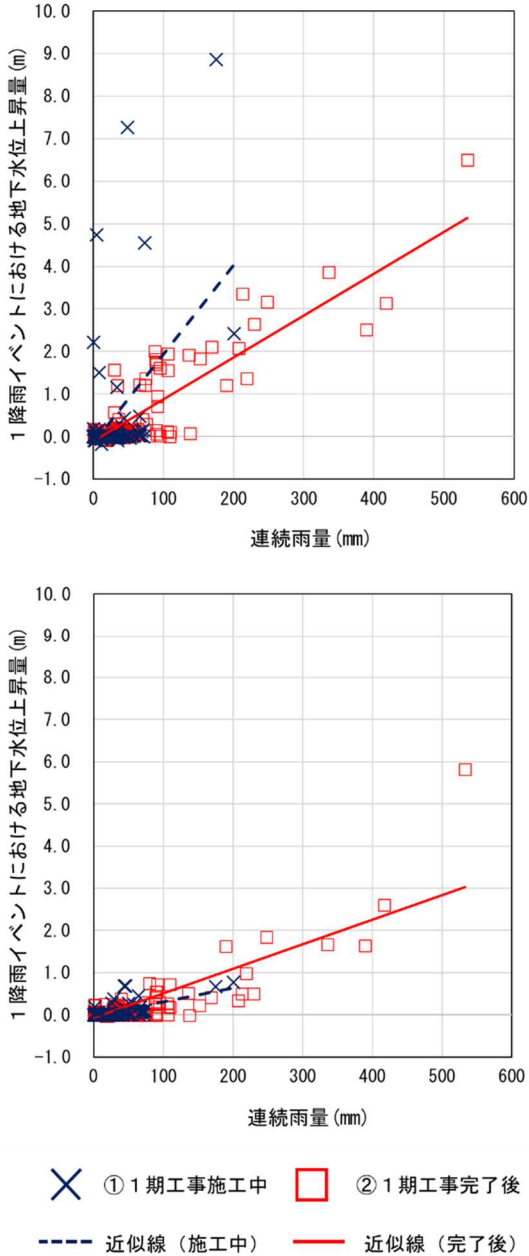


図-7 連続雨量と地下水位上昇量の関係
(上図：A2、下図：B4)

(2) 地盤伸縮計

地盤伸縮計についても地下水位計と同様に、結果の一例として地すべりブロック冠頭部のS1地点及び同末端部のS3地点において検証を行った結果を示す(図-8)。S1地点ではわずかではあるものの傾きが小さくなっており、加えて降雨イベントごとの変位量をみると、特に小規模

の降雨の際、変位量が小さくなっている。また、観測期間②において連続雨量の大きい降雨イベントでも大きな変位がみられなかった。以上のことから、地すべり対策工の効果があることが推察される。一方、S3地点では近似線の傾きに明確な差は確認できず、また降雨イベントごとの変位量についても観測期間①と観測期間②であまり差がみられない。この要因としては、S3地点が地すべりブロック末端部であり、図-4に示すように降雨時の変位がみられないことが考えられる。このことから、地盤伸縮計のデータを用いて本手法による検証を行う場合は、地すべりブロック末端部に設置されたものよりも、同冠頭部に設置されたものを用いる方が有用であることが示唆された。

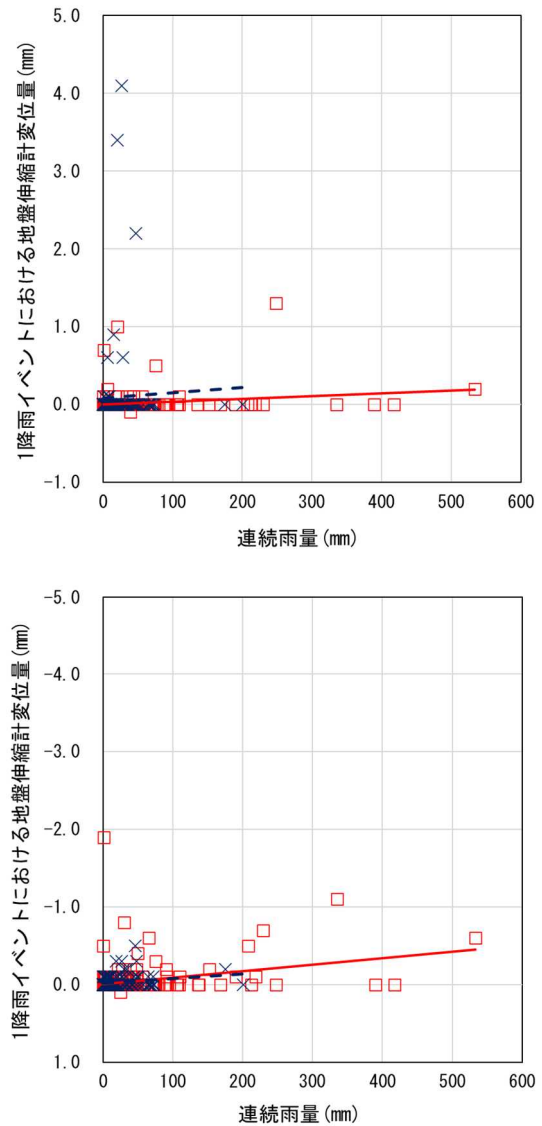


図-8 連続雨量と地盤伸縮計変位量の関係
(左図：S1、右図：S3) (※正：引張方向、負：圧縮方向)

(3) 検証結果を踏まえた考察

以上の結果から、地下水水位計、地盤伸縮計の複数の観測地点において、地すべり対策工（1期工事）の効果があることが推察された。なお、検証期間の一部に2期工事の施工期間が含まれていることから、今回確認できた効果の一部には2期工事によるものも含まれていることが考えられる。

また、岸畑らが提案した手法を用いた検証が坪内地区でも有効であることから、本手法が他の地すべり区域でも適用できることが期待された。一方、岸畑らは本手法を用いるうえで対象降雨イベントに先行して降雨が発生している場合には注意が必要であることを述べているが、今回の検証から、以下の点に注意する必要があることが考えられた。

- ・検証を行う観測機器の設置箇所と地すべり対策工との位置関係。
- ・検証に用いるデータ量（降雨イベントの数）や連続雨量の偏り。（本検証においても、それぞれの観測期間で捉えている連続雨量に差があった。）

6. おわりに

地すべり対策事業は、その内容や効果について近隣住民や県民にわかりやすく説明することが重要である。本稿では坪内地区における地すべり対策工事の一部について、簡易的な手法を用いて効果検証を行った結果、特に地下水水位計を用いた検証において、視覚的に明瞭な効果を確認することができた。このことから、本手法が県民に対しわかりやすい説明を行ううえで有用な手法であるといえる。同時に、県職員が効果検証を行うことができ

る手法であることも確認することができた。また、地盤伸縮計による検証においては、地すべりブロック冠頭部に設置されたものを用いることが有用であることが示唆された。

県民の安心・安全なくらしを守るために、引き続き観測による監視の継続及び地すべり対策工事を進めるとともに、工事完了後にもデータの検証を行うことで工事全体の効果についても検証を行いたい。

謝辞：坪内地区における地すべり対策事業の実施にあたり、多くの方にご尽力いただき、また、天川村役場をはじめ近隣住民の方にご理解、ご協力を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。引き続き事業完了に向け鋭意取り組んでまいりますので、ご理解、ご協力のほどよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- 1)石井靖雄, 西井稜子, 杉井良平, 武田大典, 城ヶ崎正人, 奥田慎吾, 松田憲明, 倉光泰樹, 後藤寛和, 平山拓哉：奈良県天川村坪内地区における地盤の破碎度評価と斜面変動発生メカニズムの推定（第65回砂防学会研究発表会, 2016）
- 2)一般社団法人斜面防災対策技術協会：地すべり観測便覧（pp.333, 2012）
- 3)岸畑明宏, 榎原伴樹, 崎山朋紀, 坂口隆紀, 木下篤彦：地すべり対策工の効果の簡易的な検証方法の提案（日本地すべり学会誌Vol.57, No.5, pp.173-178, 2020）
- 4)国土交通省河川局砂防部・気象庁予報部・国土交通省技術政策総合研究所：国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法（案）（pp.1-13, 2005）

(仮称) 阪本トンネルの掘削時における 支保パターンの決定について

岡本 真輝¹

¹奈良県 高田土木事務所 工務課 (〒635-0065奈良県大和高田市東中2-2-1) .

奈良県五條市大塔町において施工中の(仮称)阪本トンネルでは、地質構造の複雑な付加体を掘削している。トンネル掘削時における過小な支保パターンの採用は、施工中の安全が確保できず、トンネル構造物の安定性も担保できない。一方で過大な支保パターンの採用は不経済となる。本稿では(仮称)阪本トンネルの掘削時において、支保パターンを決定するにあたり実施した取組について紹介する。

キーワード 山岳工法, 地山等級判定, AI, 遠隔臨場

1. はじめに

(仮称) 阪本トンネルは一般国道168号のバイパス道路整備事業である阪本工区において、山岳工法により施工している構造物である。山岳工法では現地で切羽を確認し、採用する支保パターンを決定する必要がある。過小な支保パターンの採用は、施工中の安全が確保できず、トンネルの安定性も確保できない。一方で過大な支保パターンの採用は不経済となる。

本稿では、(仮称) 阪本トンネルの掘削時において、支保パターンを決定するにあたり、実施した取組について紹介する。

2. 事業概要

一般国道168号阪本工区は、奈良県五條市大塔町小代

から阪本まで1.4kmのバイパス道路である。現道は、幅員狭隘で線形不良のため、車両のすれ違いが困難な状況となっており、土砂崩れなどの災害時や異常気象時の通行規制の際は、広域的な迂回を強いられる。

本工区の整備により、円滑で安全な通行を確保するとともに、近年、発生が危惧されている南海トラフ地震等の大規模災害時には、周辺地域の孤立を防ぐだけでなく、紀伊半島沿岸部までの広域的な物資輸送や救援・救急活動のルートとして「紀伊半島アンカールート」を形成する地域高規格道路「五條新宮道路」の一部となり、「命の道」としての役割を担うこととなる。

本トンネルの概要は、次の通りである(図-1)。

- ・トンネル延長：L=899m (山岳工法)
- ・最大土被り：約175m
- ・道路等級：第3種第2級
- ・設計速度：60km/h
- ・内空断面：A=56.45m²
- ・幅員：W=8.5m

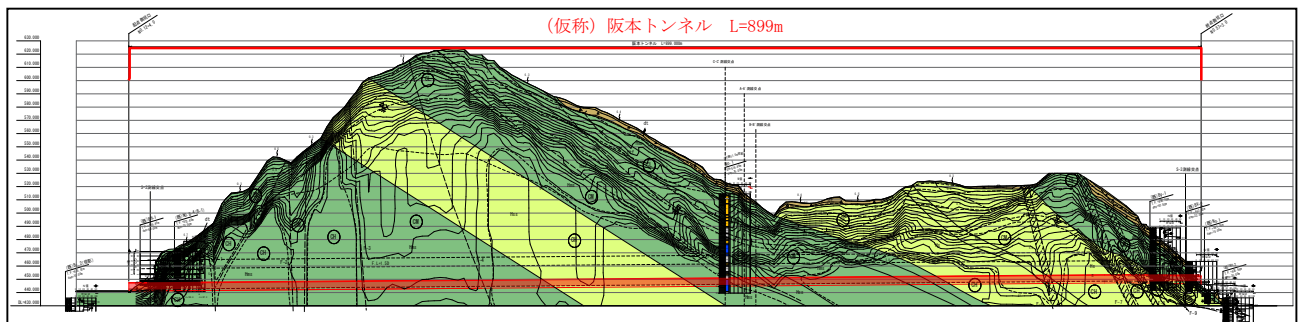


図-1 設計時地質縦断面図

本トンネルでは、地質構造の複雑な付加体を掘削しており、現地の地盤は、比較的良好な地山と悪い地山の層が頻繁に入れ替わる。

3. 設計時の支保パターンの決定について

本トンネルの支保パターンは、坑口付近を除いて、概ね以下に示す3パターンである(表-1)。安定した良好な地山から順にCI、CII-b、DI-bが適用される。設計時においては、坑口付近での限られたボーリング調査と、地表面から行われる弾性波探査および地表踏査の結果から支保パターンを決定している。

泥岩主体の地山では、掘削前は密実であるため弾性波速度が速く、良い地山だと想定されるが、実際掘削し、切羽に現れたときには、応力開放によって肌落ちの危険性があるため、施工時に支保パターンを適切に決定する必要がある。

4. 施工時の支保パターンの決定について

施工時においては、受発注者を委員とし、建設コンサルタントを委員補助とした岩判定委員会において、「トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)(平成18年9月試行案の改訂版)平成28年7月 近畿地方整備局道路部道路工事課」¹⁾(以下、「マニュアル」とする)に基づき、支保パターンを決定した。

マニュアルでは、切羽や素掘り面の状態、圧縮強度、

風化変質の程度、割れ目の頻度、状態、形態、湧水の程度や水による劣化の程度の9項目について切羽を観察した上で切羽評価点を決定し、その切羽評価点から出席者の協議の上、地山等級および採用する支保パターンを決定する。

本トンネルの岩質においては、地山等級のCIとCIIで切羽評価点の差が小さく、また、掘削による応力解放により岩目に沿って強度の低下がみられる(風化変質において区分2)ことから、フローチャートによる地山等級選定により、地山等級はCIIと決定される場合が多い(図-2)。

しかし、マニュアルに基づく切羽評価は、観察した1断面の評価であり、前方地山を掘削するにあたり、その結果をそのまま採用することは得策ではない。施工中の安全、トンネルの安定性を確保しつつ、経済的な支保パターンを採用する必要がある。

次章以降では、支保パターンの決定に際し、本トンネル工事において実施した取組について紹介する。

5. 支保パターン決定にあたり実施した取組

(1) シュミットロックハンマー

切羽の岩盤の圧縮強度を測定するため、シュミットロックハンマーを用いた。岩判定委員会時の検査用ハンマーでの打撃は、委員により力の入れ具合に差が出るといった課題がある。シュミットロックハンマーを用いることで、切羽にある割れ目の影響で、測定される圧縮強度に一定のばらつきは生じるが、圧縮強度を数値化することができる。

表-1 主な支保パターン

支保パターン	標準1掘進長(m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付厚(cm)	覆工厚	
		長さ(m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔(m)		アーチ・側壁(cm)	インバート(cm)
			周方向(m)	延長方向(m)							
CI	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	—	—	—	10	30	—
CII-b	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	H-125	—	1.2	10	30	—
DI-b	1.0	4.0	1.2	1.0	上・下半	H-125	H-125	1.0	15	30	45

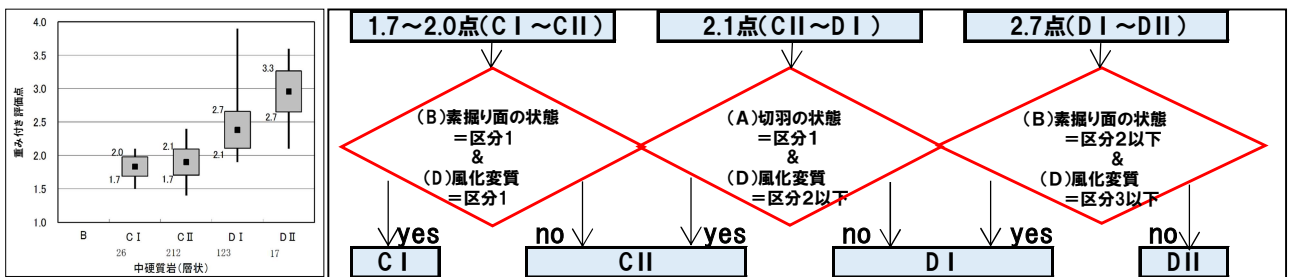


図-2 切羽評価点およびフローチャートによる地山等級選定(中硬質岩・層状)

(2) 爆薬・雷管使用量の記録

安定した良好な地山であれば使用する爆薬や雷管の量が多くなる傾向にある。データを集積することで、地山の岩質の判断材料となる。

(3) 前方探査ボーリング

切羽評価は、その観察した1断面が評価対象であるが、前方地山の掘削において採用する支保パターンを決定するには、設計時に想定された断層はあるのか、今より地山は良くなるのか、といった情報が有益になる。前方探査ボーリングにより、削孔エネルギーを算出することで、前方地山の状態を確認することができる。

6. 岩判定委員会における実例

実際の岩判定委員会を例に取組の実施について解説する(表-2)。

第13回岩判定委員会では、設計時支保パターンはC Iであったが、マニュアルによる地山等級では、切羽からの抜け落ちがみられ、D Iと判定された。しかし、取組ではC II相当の数値が得られており、当時施工中のC II-bでも支保工の変異についても問題がなく、前方探査ボーリングの結果でも、切羽地点よりも地山が良くなる傾向が確認された。このため、参加した委員による協議の結果、C II-bで施工することとなった。

第15回岩判定委員会では、設計時支保パターンはC Iであったが、マニュアルによる地山等級では、C IIと判定された。しかし、前方探査ボーリングの結果では、切羽地点よりも地山が良くなる傾向であり、その状態が比較的長く続くことが確認され、当初設計通りのC Iで施工することに決定した。

第19回岩判定委員会では、設計時支保パターンは切羽前方に断層が予想されるため、掘削補助工法付きのD

I-bであった。しかし、マニュアルによる地山等級ではC IIと判定され、取組でもC II相当の数値が得られており、前方探査ボーリングの結果でも、地山が悪くならない傾向が確認されたため、C II-bでの施工が決定した。

この通り、設計時の支保パターンは目安であり、施工時には、施工の安全性、構造物の安定性および経済性に配慮し、施工中の様々なデータを活用して支保パターンを決定することが重要である。

7. その他に実施した試行的な取組

(1) AIによる切羽評価

岩判定委員会や日々の切羽観察において、従来、切羽評価は人の目によって行われている。しかし、切羽は非常に不安定であり、施工時は速やかにコンクリートを吹付ける必要がある。AIによる切羽評価では、写真をアプリ²⁾で読み込むことで、瞬時に地山等級を判定できる。

AIによる切羽評価は、人の目による切羽評価を教師データとして用いるが、データ数が多くなるにつれて、人の目による切羽評価に近づいている(図-3)。

表-2 岩判定委員会における各取組データの利用による支保パターンの決定例

	第13回岩判定委員会	第15回岩判定委員会	第19回岩判定委員会
発注時支保パターン	C I	C I	補助工法付きD I-b
マニュアルによる地山等級	D I	C II	C II
シュミットロックハンマー	C I相当	C I相当	C II-b ~ C I相当
爆薬使用量	C II-b ~ C I相当	D I-b ~ C I相当	D I-b ~ C I相当
雷管使用量	D I-b ~ C II-b 相当	D I-b ~ C II-b 相当	D I-b ~ C I相当
前方探査ボーリング	地山は切羽地点より良くなる傾向	地山は切羽地点より良くなり、その状態が比較的長く続く見込み	地山は切羽地点より悪くならない傾向
採用した支保パターン	C II-b	C I	C II-b

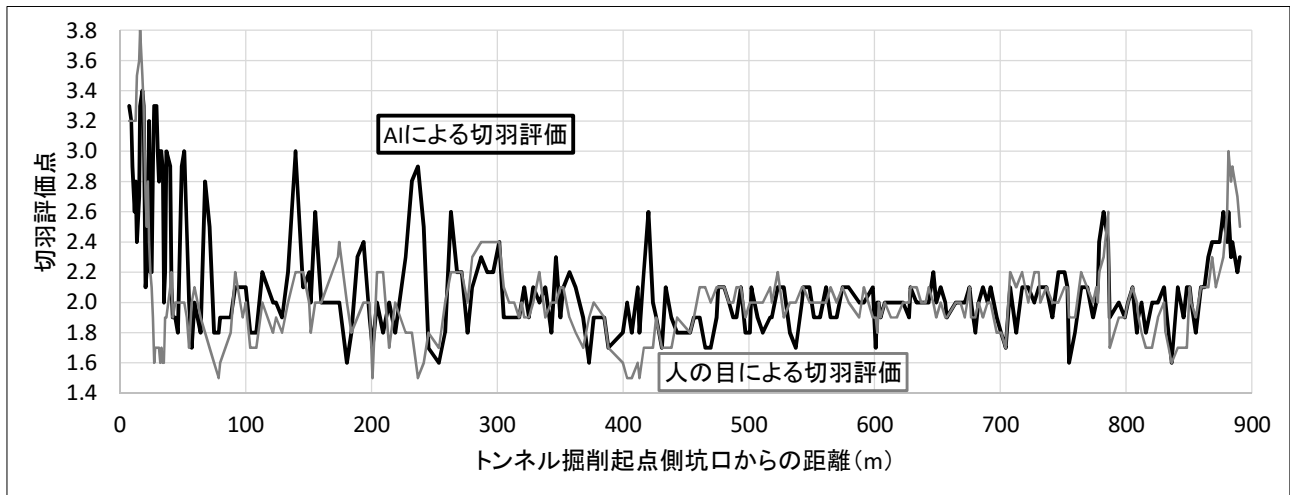


図-3 人の目およびAIによる切羽評価点の推移

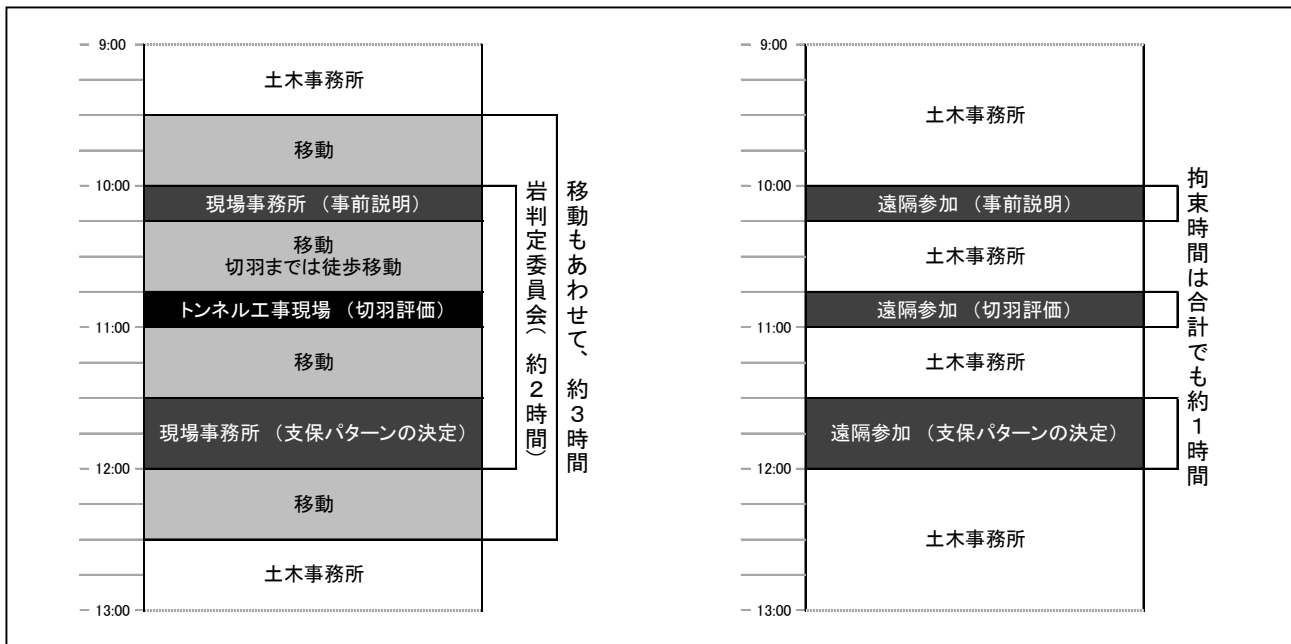


図4 岩判定委員会に現地参加した場合（左）と遠隔参加した場合（右）の拘束時間の一例

(2) 遠隔参加可能な岩判定委員会

本トンネルの岩判定委員会では、奈良県五條土木事務所と施工業者のほか、委員として県庁道路建設課が、委員補助として建設コンサルタント3社が参加している。岩判定委員会の開催にあたっては、多方面からの視点を取り入れる機会を確保するため、Web会議システムを活用し、遠隔参加を可能とした。全29回中、10回以上の遠隔参加があった。

本トンネルにおいては、静止画の共有が主であったため、湧水の状況や、割れ目について、画質によっては判別しづらく、遠隔参加者は地山等級について評価点は付けずに、協議にのみ参加した。しかし、遠隔参加者も現地参加者同様に切羽を評価できるようになれば、参加者の拘束時間を減らすことが期待できる（図4）。

7. おわりに

本稿では、奈良県五條市大塔町において施工中の（仮称）阪本トンネルの施工時において、支保パターンを決定するにあたり実施している取組について紹介した。

トンネル工事の設計時には、ボーリング調査や弾性波探査等を行った上で、地山状況を想定して支保パターンを決定しているが、実際の地山状況は工事において掘削しなければわからない。安全に、かつ経済的にトンネルを掘削するためには、切羽を観察し、適切な支保パターンをその都度決定する必要がある。

マニュアルだけでなく、これまでの施工実績や、切羽前方探査ボーリングの結果を活用することにより、岩判定委員会では、より細かな議論ができ得る。

また、本トンネルで実施した、AIによる切羽評価や、岩判定委員会への遠隔参加といった試行的な取組は、まだまだ改良の余地があり、今後の技術の発展により、ますます広く使われることを期待する。

本稿が今後のトンネル工事施工の一助になれば幸いである。

※本稿は、前所属の奈良県五條土木事務所工務第二課における業務に基づくものである。

謝辞：（仮称）阪本トンネル工事を安全に施工いただいている施工業者の奥村・岩田地崎特定建設工事共同企業体の皆様、岩判定委員会にて助言をいただいた委員補助の皆様、また工事に協力いただいている皆様に感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）（平成18年9月試行案の改訂版）
- 2) (株) sMedio：切羽AI評価システムサービス

天野川(長岡)での遊水地整備事業について

紘澤 成希

滋賀県 土木交通部 流域政策局 広域河川政策室 (〒520-8577滋賀県大津市京町4-1-1)

一級河川天野川の最大のネック箇所となっている米原市長岡地先において、遊水地整備事業を進めている。河川整備計画に位置付けて進める事業としては、一級河川米川と並び県内初の遊水地になる。さらに事業予定地には国指定特別天然記念物「長岡のゲンジボタルおよびその発生地」の指定範囲が含まれており、これに配慮した計画も求められている。現在詳細設計に着手したところであるが、事業の概要について紹介する。

キーワード 河川整備, 天野川, 遊水地, 特別天然記念物, ゲンジボタル

1. 天野川の概要

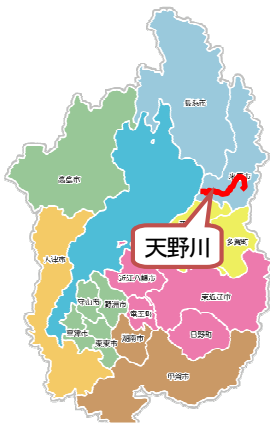


図-1 天野川位置図

天野川は滋賀県の北東部に位置し、滋賀県と岐阜県の県境の霊仙山を源として米原市内を流下している一級河川である。流域面積約111.6km²、幹線流路延長約19.0kmであり、米原市の面積(約250.4km²)の約半分を流域としている。流域・想定氾濫区域にはJR東海道新幹線やJR東海道本線、JR北陸本線、名神高速道路、北陸自動車道、国道8号、国道21号

など、多くの主要交通幹線が集中しており、交通の要衝となっている。

自然豊かな河川であり、下流域ではアユやビワマスなどを獲るヤナ漁が行われ、支川上流部の醒井峡谷には日

本最古のマス類の養殖場もある。ホタルの発生地としても知られ、国指定特別天然記念物「長岡のゲンジボタルおよびその発生地」や国指定天然記念物「息長ゲンジボタル発生地」も天野川が指定されたものである。

過去には大きな水害が頻発しており、1959年(昭和34年)8月の豪雨および同年9月の伊勢湾台風では壊滅的な被害を受けている(写真-1)。8月の豪雨では、被災者14,652人、死傷者15人、建物被害は2,928戸、伊勢湾台風では、被災者17,253人、死傷者10人、建物被害は3,036戸に及んだ。この壊滅的な被害を受け、本川と支川を合計して約29.7kmにわたる「天野川災害復旧助成事業」により改修され、現在の河道となっている。

近年注目されている霞堤も多く存在しており、2012年(平成24年)9月豪雨時には霞堤が機能する様子が見られた(写真-2)。現在機能しているものの他にも、過去の霞堤の痕跡も複数確認される。



写真-1 昭和34年9月洪水被災写真(米原市長岡)



写真-2 霞堤への溢水状況(米原市西円寺 H24.9月)

2. 近年の被害状況

天野川では1965年(昭和40年)に竣工した災害復旧助成事業による改修後、堤防決壊などの壊滅的な被害はないが、護岸の被災や浸水被害は頻発している。

特に中流部に位置する米原市長岡地先においては、水位が急激に上昇することが多く、天野川の水位上昇に伴う内水の排水不良などによる浸水被害も発生している。氾濫危険水位を超えることが多く、米原市による避難勧告や避難指示が毎年のように発令されている。前述の2012年(平成24年)9月豪雨では、長岡において堤防天端ぎりぎりまで水位が上昇し(写真-3)、付近では家屋の浸水被害も発生した(写真-4)。

そこで2021年(令和3年)3月に策定された「淀川水系・木曾川水系湖北圏域河川整備計画」において、ほぼ全川が整備実施区間とされ、特に長岡地先においては上流部に遊水地を整備することとされた(図-2)。

いずれも中止されていたが、近傍での県道のバイパス事業をきっかけとして、地元自治会から遊水地設置の要望書が提出され、事業化されることとなった。



写真-3 長岡での出水状況(米原市長岡 H24.9月)



写真-4 長岡での浸水状況(米原市長岡 H24.9月)

3. 長岡遊水地計画の概要

(1) 遊水地事業に至る経緯

天野川の改修事業は今後河口から順次進められるところであるが、最も被害の多い長岡地先は河口から10km以上上流に位置し、また横断工作物も多数存在することから、河道拡幅による河川整備の完了には相当の年月を要する。また長岡地先では兩岸に人家が連担しており、河道拡幅が極めて困難な状況であることから、過去にも何度か長岡上流部での遊水地事業が計画されていた。

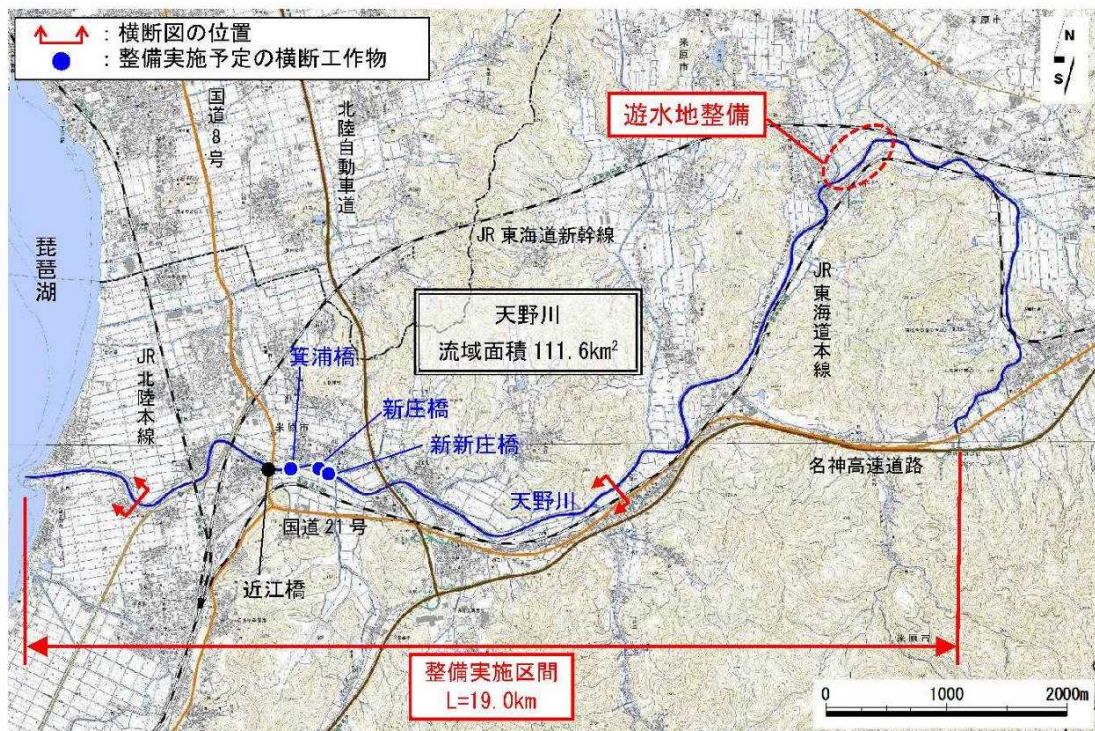


図-2 天野川平面図(河川整備計画本文から抜粋)

(2) 予定地の現況

遊水地の予定地は琵琶湖河口部から約13kmの地点にあり、天野川と弥高川の合流部に位置している。現在整備中の県道大野木志賀谷長浜線(長岡バイパス)に囲まれた三角の形状をした箇所である(図-3)。

天野川と弥高川はともに築堤されており、堤防天端と堤内地との比高は2~3m程度である。天野川の河床は堤内地より低いいため、自然排水が可能である。予定地内の雨水等は現在は最下流部で弥高川に向けて函渠により排水されている。現況は全て民地であり、圃場整備された田畑である。大きな工作物は存在しない(写真-5)。

(3) 整備の基本方針

現予定地は前節のように、大規模な築堤や掘削、排水機場の整備をすることなく、現況のままでも大量の水を貯留可能な地形をしている。また、田畑として現在も耕作されていることから、遊水地整備にあたり、現況から掘り込むことなく、整備後も田畑として耕作を続けてもらえるようにすることを基本方針とした。そのため、用地買収は吐口などの構造物整備に係る一部のみとし、構造物整備を伴わない大部分の土地は地役権設定の方向で調整を進めている。

地役権については今年8月の長浜市北部での豪雨の際に、高時川で霞堤が機能している様子が報道され、様々な反響があった。先人の知恵として好意的な意見が多く



図-3 遊水地位置図(国土地理院地図を一部加工)



写真-5 遊水地予定地の状況

見られたが、被災した農作物等への公的な補償が無いという問題を指摘する報道も見られている。この問題については、今後の地元との協議の際にも丁寧な説明が必要になると思われる。

(4) 設計の概要

執筆時点では詳細設計に着手したところであるため、完了している予備設計時点の情報を記載する。

遊水地施設の設計にあたっては、天野川の堤防を圍繞堤、弥高川の堤防を周囲堤として兼ねるものとし、長岡バイパスの盛土の法尻を遊水地のH.W.L.として設定する。予定地の面積は約75,000m²、貯水容量は約60,000m³となる。

設計する主な施設としては、流入口となる越流堤と、吐出口となる樋門がある。

a) 越流堤の設定

遊水地への流入口は、天野川の堤防を切り欠き、横越流の越流堤を設けるものとする(図-4)。遊水地のH.W.L.は越流堤地点での天野川のH.W.L.と等しくなることから、設置位置については、H.W.L.と既存の堤防高、長岡バイパスの盛土を考慮する必要がある。遊水地内を緩やかに浸水させ、農地が荒れないよう、下流部に設置することが望ましいが、越流した流入水による弥高川の堤防への影響を考慮し、弥高川左岸堤防からある程度の距離を確保して設定するものとしている。

越流堤の堰高については、遊水地への越流頻度から設

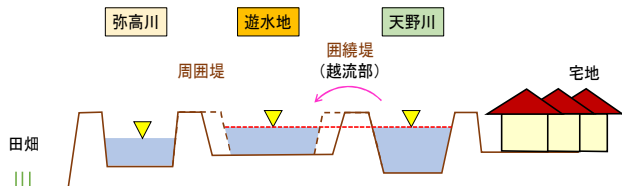


図-4 越流イメージ

表-1 天野川橋水位局での年最大水位

年	最大水位 (m)	順位	
2001	H13	1.15	20
2002	H14	2.07	3
2003	H15	1.33	18
2004	H16	1.69	9
2005	H17	1.60	12
2006	H18	1.65	10
2007	H19	1.78	7
2008	H20	1.56	13
2009	H21	1.19	19
2010	H22	1.86	5
2011	H23	2.03	4
2012	H24	2.15	2
2013	H25	1.61	11
2014	H26	1.56	13
2015	H27	1.49	15
2016	H28	1.47	16
2017	H29	2.34	1
2018	H30	1.86	5
2019	R1	1.47	16
2020	R2	1.74	8

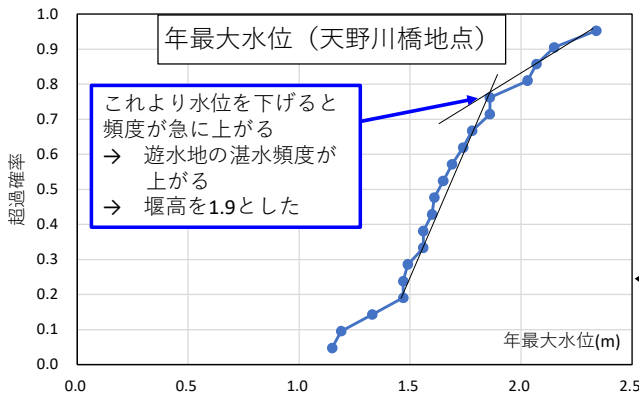


図-5 年最大水位による堰高設定

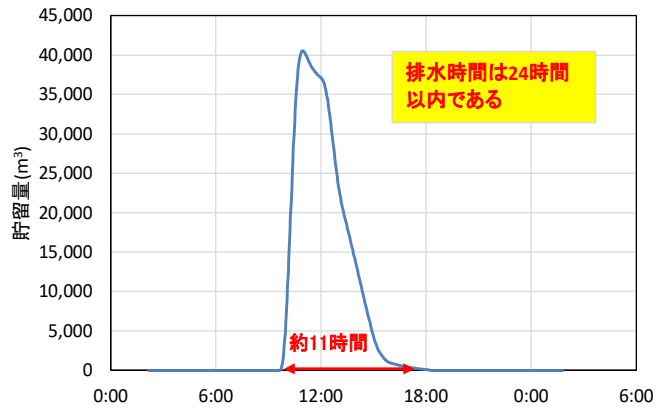


図-6 遊水地内の浸水時間

定する。直下流に位置する天野川橋地点の水位データ(10分ピッチ)について、2001～2020年までの20年分を整理した(表-1)。

年最大水位を確認すると、水位1.9mあたりで傾きが変わることがわかる(図-5)。これより低い場合には遊水地の湛水頻度が急に上がることから、天野川橋地点の水位1.9mを目安に堰高を設定した。これはおよそ5年に1回程度の頻度となる。

越流堤の堰幅については、堰諸元(堰幅・堰高)を変更したパターンごとの不等流計算を実施し、下流で必要となる流量低減効果が得られる堰幅として40mを採用した。

b) 樋門の設定

排水施設に関しては、維持管理上の都合を考慮してフラップゲートとする。「河川管理施設等構造令」では、樋門の最小断面として、堆積土砂等の排除に支障のないよう、基本的には内径1m以上でなければならないとき

れている。

遊水地内は主に水田であり、水稻が栽培されている。「治水経済調査マニュアル(案)令和2年4月」より、水稻では浸水日数1日から被害率が設定されていることから、排水時間は24時間以内が望ましいと考えた。図-6に越流計算による遊水地の貯留量および樋門(断面1×1m)からの排水量の計算による遊水地内の浸水時間を示す。浸水時間が24時間以内となっており、内径1mで問題ないと考えられる。

c) 囲繞堤、周囲堤の整備

越流堤より下流側については、遊水地内のH.W.L.が天野川のH.W.L.より高くなるため、堤防高及び余裕高の確保のため、囲繞堤、周囲堤の整備が必要となる。計画高水流量が200m³/s未満の区間であるため、天端幅3m、余裕高0.6mを確保する。また遊水地側の堤防を嵩上げする場合、対岸も同様に嵩上げする必要がある。

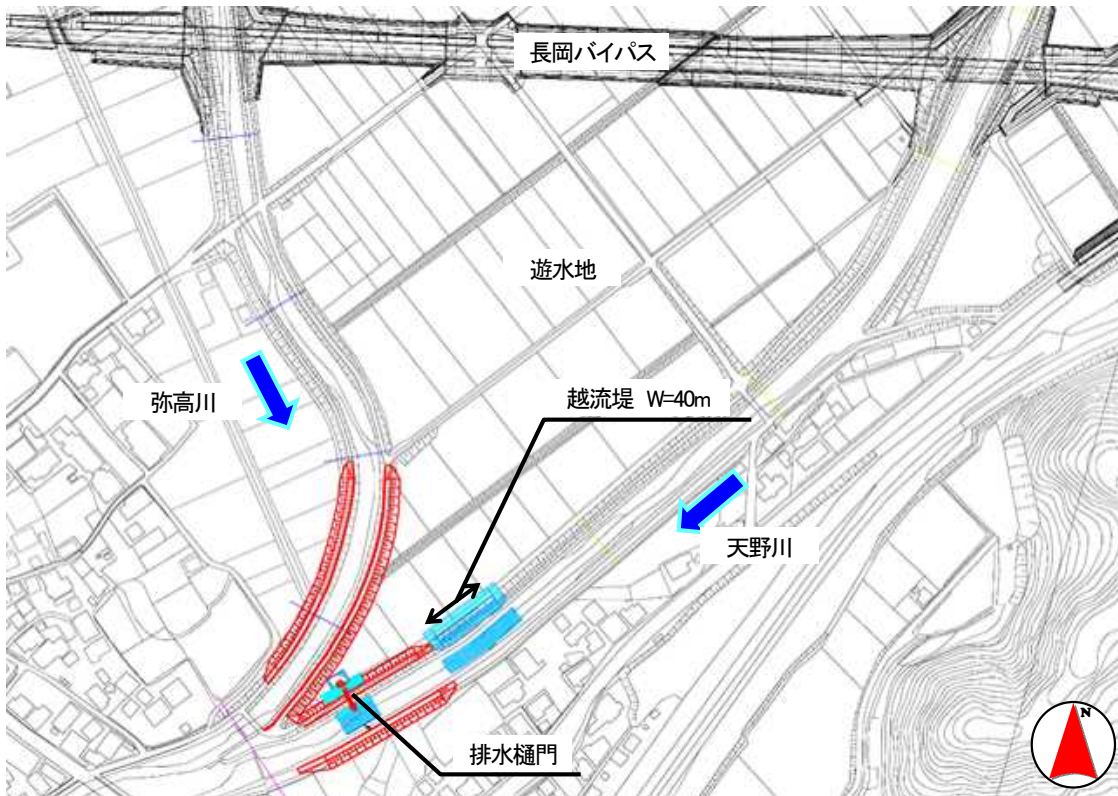


図-7 遊水地平面図

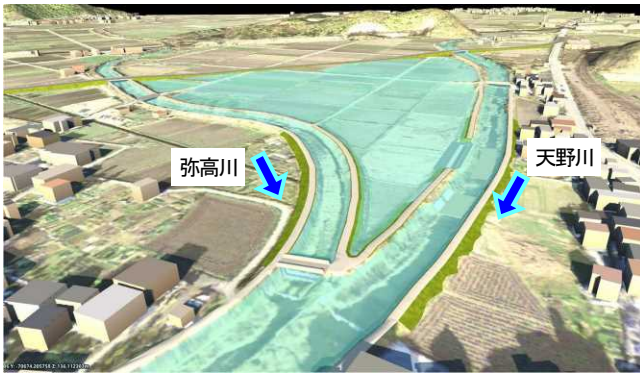


図-8 遊水地パース絵(満杯時)

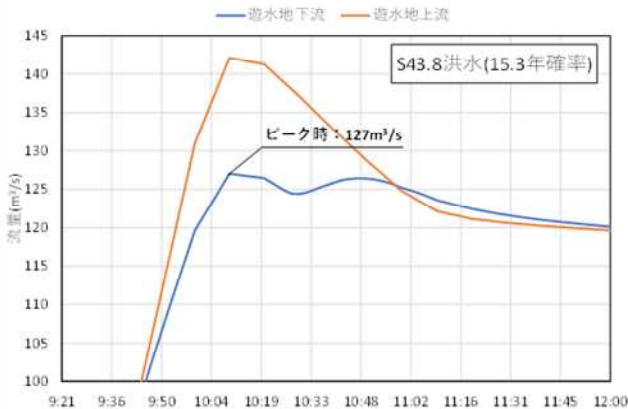


図-9 流量ハイドロ(S43.8洪水, 15.3年確率)

d) 予備設計成果と遊水地の効果

以上を基とした予備設計成果の平面図(図-7), 及び設計途中で作成したパース絵(図-8)を示す。パース絵については満杯時のイメージを示したものである。

遊水地の効果については、1968年(昭和43年)8月洪水について、引き伸ばした降雨波形を用いて不等流計算を行い、遊水地へ越流させた際に遊水地下流の流量が整備計画における流量配分と整合する確率規模を算定した(図-9)。その結果、対応可能な降雨規模は1/15.3であると推定される。なお下流の長岡付近の現況流下能力は1/10程度であり、遊水地整備により治水安全度が高まることが確認された。

4. 国指定特別天然記念物への配慮

天野川はゲンジボタルの発生地として有名であり、特に長岡では図-10の範囲が国指定特別天然記念物「長岡のゲンジボタルおよびその発生地」に指定されている。遊水地計画には、下流側に設置する排水樋門及び堤防の嵩上げ部分が指定範囲に含まれることになる。そのため、地形の改変を伴う工事だけでなく、土質調査(ボーリング)にも文化庁の許可が必要となり、ゲンジボタルの生息に配慮した遊水地整備が求められることになる。

指定されているのは天野川の河川区域であるが、遊水地整備に伴い越流堤と排水樋門、護床工が設置されることになる。この設置工事では直接的に河川環境を改変す



図-10 特別天然記念物指定区域(赤着色)

ることになるため、主に以下のようにホテルの生息環境にも配慮した整備を現地状況に応じて行っていくこととしている。

- ・土羽の確保や河畔林の保全
- ・多孔質な構造物の採用
- ・良好な水際の創出
- ・施工時期への配慮(幼虫が土中にいる時期を避ける)
- ・堤防嵩上げ区間でのホテル観察に適した通路整備

今後、学識者、地元有識者の意見を伺いながら、治水機能や安全性を確保したうえで、これらの配慮事項を現地状況に応じてできる限り反映していきたい。

5 おわりに

河川整備計画に位置付けて進める遊水地整備としては、同じ長浜土木事務所管内の米川と並び、県内初の事例となる。特に事業地を地役権の設定によって確保した事例は、過去には百瀬川等で見られるが、近年では無いと思われる。

遊水地整備についてのノウハウもない中で、課題も多いが、県内有数の水害常襲地域における治水事業として、今後の着実な整備が望まれている。

謝辞: 予備設計業務を行った(株)日水コンのご担当者様には、本稿の執筆にあたり内容をご確認いただきました。ここに感謝の意を表します。

なお本論文は長浜土木事務所所属時の所掌内容である。

参考文献

- 1) 滋賀県：淀川水系・木曾川水系湖北圏域河川整備計画, 2021.
- 2) 滋賀県：令和2年度第605-10号天野川単独河川改良設計業務委託, 2022.
- 3) 天野川水系改修期成同盟会：天野川水系災害誌, 1965.

室生ダム管理用水力発電設備の障害復旧と 早期異常検知に向けた取り組み

舟瀬 周太¹・牧野 浩二²

¹水資源機構 木津川ダム総合管理所 室生ダム管理所 (〒633-0315奈良県宇陀市室生大野3846)

²水資源機構 木津川ダム総合管理所 室生ダム管理所所長 (〒633-0315奈良県宇陀市室生大野3846) .

室生ダム管理用水力発電設備は、令和2年9月に増速機の異音が確認され、異常検知システムに保存された振動データを確認したところ増速機の振動値が増大していたことが判明した。

振動値の増大は、ギアの摩耗による噛み合わせ不良が原因だったが、平成28年度より導入した異常検知システムの監視機能では、異常な振動と判定できず警報発報するまでには至らなかった。

本稿では、今回の増速機障害時における異常検知システムの振動データ分析、監視機能の見直し及び増速機更新後の振動状況等について報告するものである。

キーワード 水力発電設備, 異常検知, 振動, 早期発見

1. はじめに

室生ダムでは昭和61年に管理用水力発電設備の運用を開始し、余剰電力売電による発電収入をダム管理予算の一部に充ててきた。

平成28年度には障害発生未然防止及び早期対応による被害の軽減を目的として、異常検知システムを導入し①水車、②増速機、③発電機の各装置毎にX軸（回転軸方向）、Y軸（上下流方向）、Z軸（垂直方向）の振動を遠方にて計測・監視する環境を構築した。（写真-1）

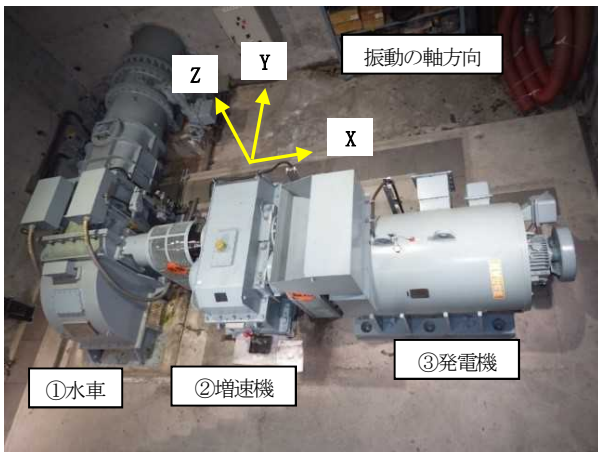


写真-1 室生ダム水力発電設備

2. 増速器障害と復旧

(1) 障害状況

令和2年9月頃より増速機の振動増と異音が確認され、原因調査を行ったところ、増速機軸受けのずれから歯車

が片当たりとなり大きな振動が発生していることが確認された。また、増速機内部の歯面の崩れや軸受け付近から金属片が確認され、突発的なギア等の破損による事故で増速機本体が運転不可に陥る可能性が高まっている状況であった。

(2) 復旧作業と経過措置

復旧には増速機を更新する必要がある。しかしながら更新完了まで水力発電設備を停止させた場合、売電収入が得られなくなるため、運転をこのまま継続できないか検討を行った。

検討の結果、小流量での運転であれば振動も比較的小さいことから増速機の更新が完了するまでは発電流量0.3~0.4m³/sで運転を継続することとした。

3. 増速機障害時の振動分析

(1) 障害の確認方法

各装置の振動の変化は発電流量だけでなく利水バルブ流量の影響も受けるため、振動と関連性がある流量に条件（発電流量1.75m³/s、利水バルブ流量0m³/s）を設定しその条件下での振動値の変化を図-1にまとめた。

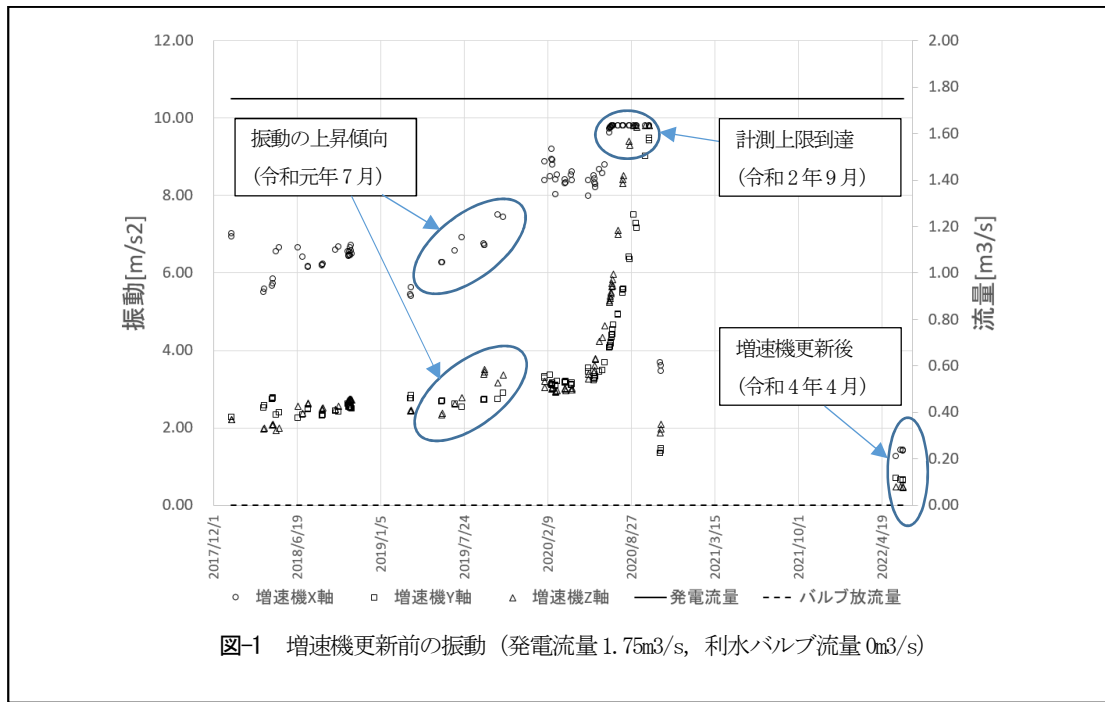


図-1 増速機更新前の振動（発電流量1.75m³/s、利水バルブ流量0m³/s）

(2) 増速機障害時における振動データの分析

増速機の異常振動は令和2年9月に発生したが、過去のデータを遡って確認したところ、令和元年7月頃から増速機の振動が上昇傾向であったことが確認された。以降、緩やかに上昇を続け、令和2年7月には増速機振動X軸、9月には増速機振動Z軸が計測上限である 9.80m/s² に到達し、それ以上の振動値変動が確認できない状況となっていた。

4. 異常検知システムの見直し

(1) 当初の監視機能

平成28年度システム導入時の監視機能は、基準値からの変化量を警報値として監視するものであり、基準値は水力発電設備の起動又は発電流量の変更操作毎にその時点の振動値に自動的に再設定していた。

結果として緩やかな振動の変化は異常値として検出されない状態にあった。警報判定イメージを図-2に示す。また、振動の計測上限が 9.80m/s² であったために実際の振動値が大幅に計測上限を超えていたにもかかわらず異常振動としての検知が出来ていなかった。

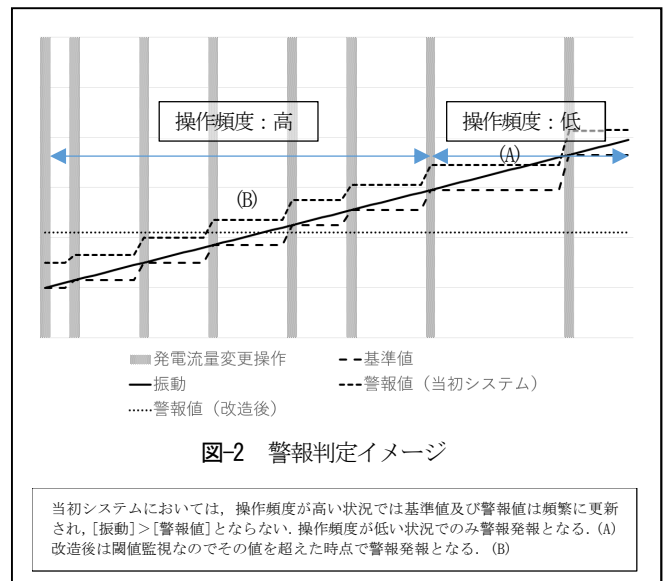


図-2 警報判定イメージ

当初システムにおいては、操作頻度が高い状況では基準値及び警報値は頻繁に更新され、[振動]>[警報値]とならない、操作頻度が低い状況でのみ警報発報となる。(A) 改造後は閾値監視なのでその値を超えた時点で警報発報となる。(B)

この改造により、同様の事象が発生しても早期に異常検知ができるように対応した。

(2) 改造後の監視機能

令和3年度は、増速機の更新と併せて次の異常検知システムの改造も行った。

- ①振動計測上限の拡大 (9.80m/s²→98.00m/s²)
- ②閾値監視機能の追加

5. 増速機更新後の状況

(1) 振動値の改善

増速機更新後の振動データを図-3に示す。増速機更新後の各振動値は発電および利水バルブの様々な流量条件においてもおおむね 2.00m/s² 以下の値に改善され、記

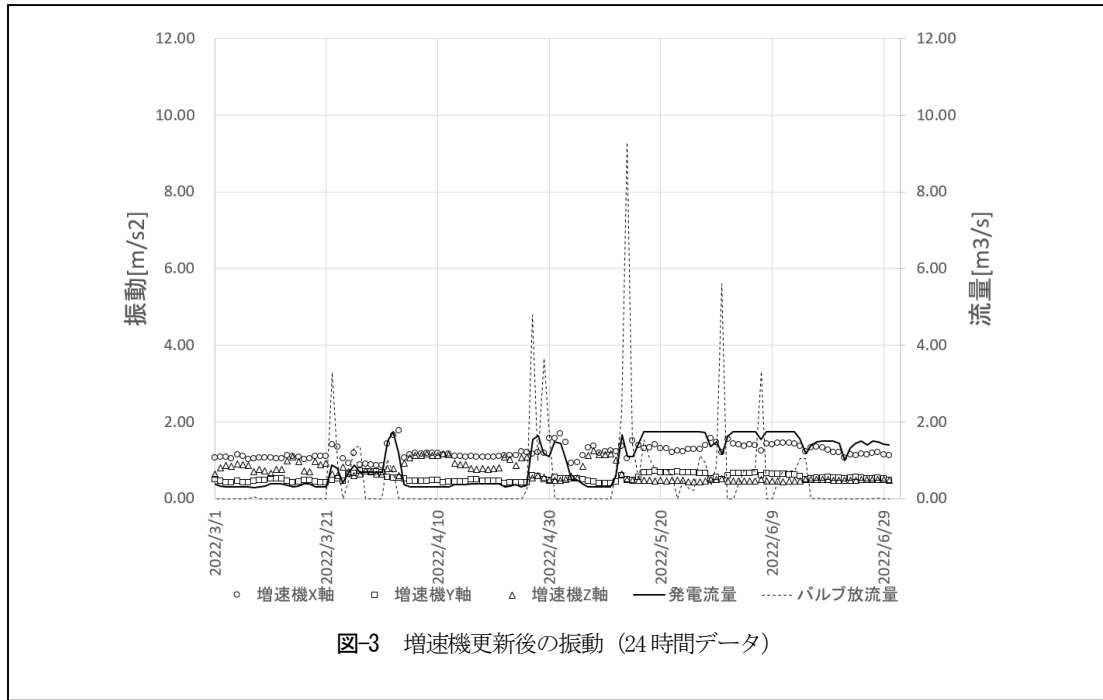


図-3 増速機更新後の振動 (24時間データ)

録が残っている平成29年7月以降、最も低い水準で安定したものとなっている。

(2) 通常時における振動データの分析

ここでは増速機更新後に得られたデータを基に、発電流量及び利水バルブ流量の変動に対して最も顕著な変化が現れた水車Z軸の振動について次の2つの面からデータの分析を行った。

a) 時間的な変化

年月日を横軸として発電流量・利水バルブ流量・水車Z軸振動をグラフ化したものを図-4に示す。流量の変動に伴い振動も変動すると概ね想定していたとおりであった。しかし、流量がほぼ変化していないにもかかわらず振動が上昇することがあることも確認された。一時的なものであり、設備の異常等ではないものと判断できる。

b) 時間的な変化

利水バルブ流量が0m³/sのときに限定して発電流量に応じた振動をグラフ化したものを図-5に示す。グラフ上では振動はある程度の塊となって表示されているが、これは発電流量及び利水バルブ流量の同一条件下における振動で概ね近い値になることを示している。また、流量の変動に比例して振動が小さくなる箇所も存在することが確認された。発電流量1.1m³/s及び1.3m³/sでは塊が2つ現れているが、これはガイドベーンの開閉状況が異なるため発生したものである。当該水車は1/3GVと2/3GVの2つのガイドベーンを有するクロスフロー水車であり、各ガイドベーンの開度によって水量を制御している。発電流量が同じであってもガイドベーン開度が異なる状況が存在し、結果として振動も異なることが確認された。

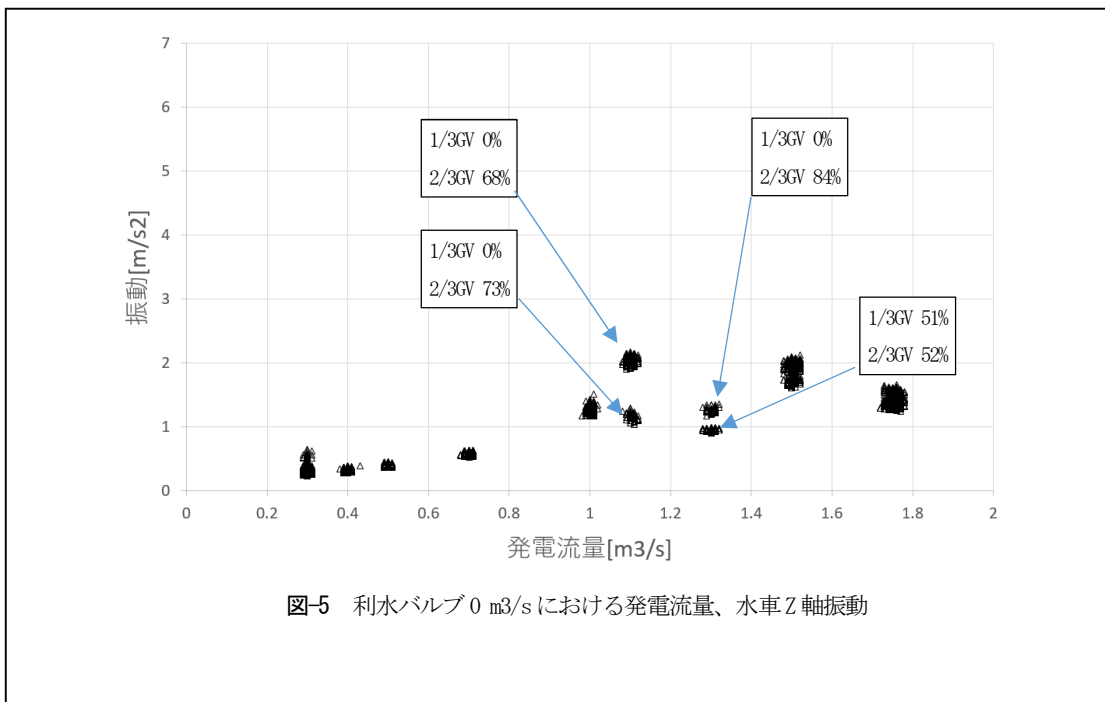
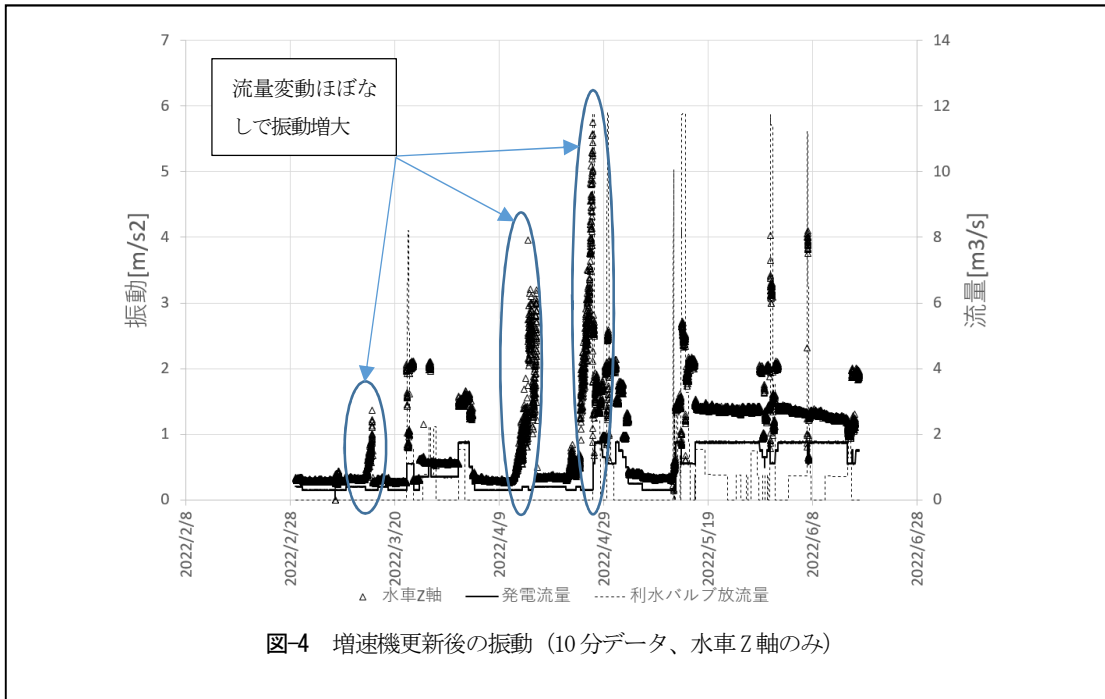
(3) 警報値の設定

増速機の更新によりギアの噛み合わせ不良は解決し異常振動も改善された。増速機が更新されたことから振動の警報設定値も改めて見直す必要があるが、振動に関する明確な安全数値基準がないため実運用にて振動データの検証をしながら警報設定値を求めていく。現時点においては試行的に警報の閾値を上限値1.70～3.00m/s²と4.22m/s²の2段階に設定して運用しているが、令和4年3月1日から6月15日まで得られた結果によって、発電流量及び利水バルブ流量に対する各箇所振動の大まかな傾向は見えてきており、最適な警報設定値の決定に向けて検証を継続している。

6. 状況まとめと今後の課題等

(1) まとめ

振動の変化によって異常の判断又は兆候を発見することは可能であるが、予め平常時の状態を把握しておくことが重要である。振動への影響には様々な要素・条件が存在するが、現段階ではすべての状況を把握できていない。今後も様々な条件下でのデータ検証を続けながら、今回得られたデータを基に適切な警報値を設定し障害発生の未然防止又は障害被害の軽減を図っていく。今回分析したデータより、振動データを用いた異常検知システムにより、初期障害の段階でも振動データに変化が見られることが確認できた。また、当初想定していた監視機能では不十分なことがわかり、監視機能を改造すること



により今後は同様の障害が発生しても確実に検知ができるシステムへ見直しを行うことができた。

(2) 今後の検討課題

今回は増速機更新後に得られた振動データを基に関連性がある発電及び利水流量のみで検証したが、他にも影響を受けると考えられるガイドベーン開度やダム貯水位、軸受温度などがあり、異常検知精度を上げるにはこれら

の条件下での検証を行う必要がある。検証には長期に渡るデータの蓄積が必要となってくるため継続して検証していく体制を構築して行かなければならない。

参考文献

- 1) 石渡俊弘・市川彰浩：水力発電異常検知システムについて，平成30年度近畿地方整備局研究発表会，一般部門（安心・安全） I No.12

一庫ダムにおける3年連続の渇水対応と新たな取組み ～自主節水に係る利水団体との覚書締結～

廣瀬 早苗

水資源機構 一庫ダム管理所 所長代理 (〒666-0153 兵庫県川西市一庫字唐松4-1)

一庫ダムがある猪名川流域では、令和2年度は12月21日から106日間、令和3年度は2月17日から96日間、令和4年度は7月7日から15日間の取水制限が行われ、3年連続の渇水を経験した。この渇水の期間中、一庫ダムでは、きめ細やかな放流操作を始めとした様々な貯水量温存策を図った。

令和3年度には、『渇水対応タイムライン』のもと、自主節水期において、一庫ダムが利水団体から個別に自主節水の申込みを受けて、利水確保量の見直しを行うことで、自主節水を具現化した。これにより、ダム貯水量の温存が図られ、取水制限の開始を3か月程度先延ばしすることができた。この経験を踏まえ、利水団体とともに自主節水の実施手順をルール化し、令和4年3月に自主節水期対応に関する覚書を締結した。これにより、自主節水に係る手続きの明確化、迅速化、省力化が図られることとなった。

キーワード 渇水、渇水対応タイムライン、自主節水、確保流量、覚書

1. はじめに

一庫ダムがある猪名川流域では、ダムの管理を開始した昭和58年4月から令和4年11月にかけての約39年間で、取水制限を伴う渇水が10回生じた(表-1)。特に、令和2年度からの3年間は毎年1回ずつ取水制限が行われる事態に見舞われている(以下、それぞれの始期に合わせて「令和〇年渇水」と称す)。

その間、令和3年4月より『淀川水系渇水対応タイム

ライン』(以下、「渇水タイムライン」という)が試行運用されるなど、渇水対応を取り巻く環境が変化し、一庫ダムとしては河川管理者や利水団体と共に試行錯誤しながら対応してきた。そして、それまでの経験を踏まえ、より迅速かつ的確な渇水対応を可能とすべく『渇水対応タイムラインに係る自主節水期に関する覚書』(以下、「覚書」という)を締結した。

以上について、覚書締結までの経緯を時系列でまとめ、他の水系・流域にも適用可能な先行事例として紹介する。

表-1 猪名川水系取水制限一覧表

No.	期間	日数	取水制限率(最大)	最低貯水位	最低貯水率(洪水期換算)
1	S61.12.10 ~ S62.2.10	63日間	10%	119.06m	13.6% (27.4%)
2	H6.8.8 ~ H7.5.12	278日間	30%(上水)・40%(農水)	116.61m	9.9% (20.0%)
3	H12.8.14 ~ H12.9.12	30日間	20%	120.49m	32.0%
4	H13.8.17 ~ H13.8.22	6日間	10%	126.45m	55.0%
5	H14.8.12 ~ H15.2.28	201日間	40%	115.06m	7.8% (15.7%)
6	H16.8.3 ~ H16.9.1	30日間	10%	126.63m	55.8%
7	H26.8.1 ~ H26.8.14	14日間	10%	125.58m	51.3%
8	R2.12.21 ~ R3.4.5	106日間	20%	123.25m	20.9% (42.0%)
9	R4.2.17 ~ R4.5.23	96日間	20%	123.07m	20.5% (41.4%)
10	R4.7.7 ~ R4.7.21	15日間	20%	128.31m	63.2%

2. 一庫ダムの利水供給先

一庫ダムは、兵庫県川西市に位置し、阪神地域の約45万人の水道用水の供給源となっている。その内訳としては、新規利水は兵庫県水道（尼崎市・西宮市・神戸市・伊丹市・宝塚市・川西市・猪名川町の6市1町が受水）、池田市、川西市、豊能町、既得用水は川西市、池田市、伊丹市、豊中市である。

上記利水団体は、「猪名川流域水道事業管理者連絡協議会」（以下、「協議会」という）を構成しており、この協議体は大阪府・兵庫県をまたぐ唯一の組織であり、平成6年の発足以来、情報交換会や研修会などを行い、顔の見える関係性を保ちながら強く連携し続けている。また、一庫ダム管理所とも、頻繁な情報交換などの継続的な交流をいただいている。

3. 令和2年渇水の概要

令和2年のダム流域の年間降雨量は、平年値以上であったものの、8月以降の雨量が平年の7割程度しかなかったことにより、令和2年12月21日から106日間の冬季渇水となった。猪名川流域の取水制限は、平成26年度以来、冬季の実施としては平成14年度以来のこととなった。当時、ダム貯水量温存策として、利水基準点の確保流量や水位流量曲線式の見直しなどを行ったことによりダムからの放流量を削減したことで、市民生活に実質的な影響を及ぼすことなく取水制限解除となった。しかしながら、取水制限の実施前に自主節水を利水団体自ら検討していたものの、自主節水量の調整に時間を要し実施まで至らなかったという点で課題を残した。

4. 渇水タイムライン試行運用後の渇水対応

(1) 渇水タイムラインの試行運用

令和2年渇水の取水制限が全面解除となった直後の令和3年4月9日、国土交通省近畿地方整備局より『淀川水系渇水対応タイムライン』の試行運用開始が発表された。この行動計画は、タイムラインに示された対策を適切に実施することで、危機的な渇水が発生した際にも被害の軽減が図られることを期待し、淀川水系内にある5つの渇水対策会議等毎に作成されたものである。

この中では、“自主節水期”が明確に示され、猪名川渇水調整協議会版では、一庫ダムの貯水率が40%程度（洪水期は80%）のときを「貯水率が低下傾向にあり、水利用を自主的に制限している状況」、すなわち「自主節水を行っている状況」とされた（図-1）。なお、自主節水とは、取水制限とは異なり、河川管理者の関与無しに行われる利水団体の自主的な対応による節水のことで

ある。

また、近畿地方整備局によれば、当該タイムラインは各機関等が取り得る行動（対策）を示したものであり、実際の渇水調整や具体的な対応は各渇水対策会議等で協議・決定されたうえで実施するとされている。つまり、タイムラインはあくまで目安であり、具体的な行動（対策）を行うには、ルールを各流域の関係機関で協働して作り上げていかなければならないものとされた。

一庫ダム貯水率		状況
非洪水期 (10/16~6/15)	洪水期 (6/16~10/15)	
▽40%程度	▽80%程度	渇水発生前
貯水率が低下傾向にあり、 水利用を自主的に制限している状況 ▽30%程度	▽60%程度	自主節水期
貯水率の低下が進行し、 段階的に水利用の制限を強化している状況 ▽10%程度	▽20%程度	渇水調整期

図-1 渇水タイムライン（一部抜粋）

(2) 令和3年渇水での自主節水対応

前年と同様に、ダム流域の年間降雨量は平年以上であったものの、降雨時期の偏りにより、令和4年2月17日より96日間の冬季渇水となった。この時には、渇水タイムラインのもと、令和2年渇水では見送られた利水団体による自主節水が二度実施された。後の試算によれば、この二度目の自主節水により、取水制限の開始時期を3か月程度先延ばしすることができたと考えられる。

a) 令和3年8月6日からの自主節水

令和3年7月29日、一庫ダムから河川管理者及び利水団体へ8月3日ごろに自主節水期（貯水率80%）に到達する予測を連絡した。渇水タイムラインの試行運用後まもなくであったため、自主節水期への意識はあったものの、実際にダム放流量の削減に至るまでの具体的な手続きに関するルールを取り決めていなかったため、ルール作りは別途行っていくものとして、早急に実行可能であった利水団体のみ自主節水とすることとした。

この際、何の手続きも無しにダム放流量の変更を行うことは困難であったため、一庫ダムが利水団体及び河川管理者と調整し、利水団体から自主節水後の取水見込量を一庫ダムと河川管理者へ報告してもらう手続きとした。この時は一庫ダムからの最初の情報提供（7月29日）から自主節水実施（8月6日）まで8日間を要したが、貯水率80%を下回る前に自主節水を実現できたことは大きな進展であった。

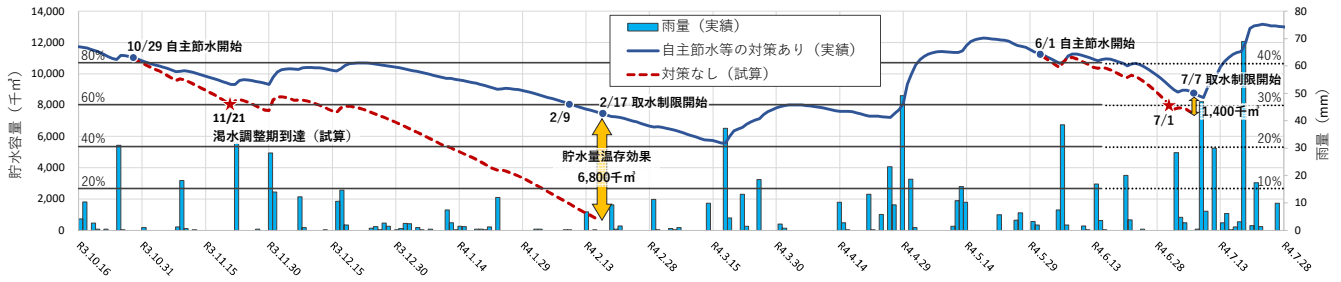


図-2 自主節水による貯水量温存効果

b) 令和3年10月29日からの自主節水

令和3年10月以降、少雨により再び貯水率が低下傾向にあった。令和3年10月14日、一庫ダムから河川管理者及び利水団体に対し、10月25日ごろに自主節水期（貯水率40%）に到達する予測を連絡した。この頃、前回の自主節水の経験をもとに、自主節水期における対応のルール作りを具体化させていたところであり、覚書締結までは至っていなかったものの、すでに協議会が主体となって自主節水量の調整を行うことにより新規利水のみならず既得水道用水の自主節水も調整していた。

協議会から、新規利水者である兵庫県、川西市、池田市、豊能町、既得水道用水の利水者である豊中市、伊丹市に対しても自主節水への協力依頼がなされた。その後、自主節水可能な各利水団体から一庫ダムに対し、自主節水後の取水見込量を個別に申込みがなされ、一庫ダムで自主節水量を集約し、利水基準地点の確保量見直し後に、放流量の調整を行い、10月29日から自主節水を開始することができた。当時の連絡系統の模式図は図-3のとおりである。

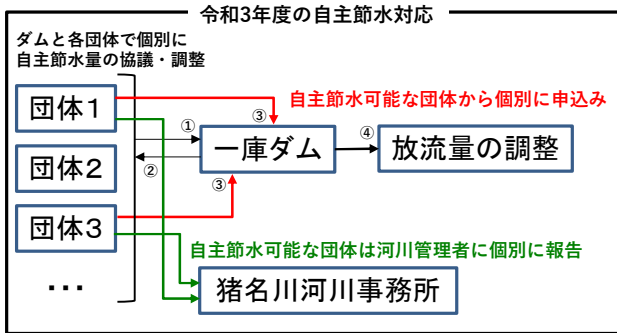


図-3 令和3年度の自主節水対応の模式図

一見するとスマートで無駄のない流れに見えるが、個別申込みは、一庫ダムが利水団体と河川管理者との間で個別に調整を実施する必要があり、自主節水の実施までに時間を要したことから、より迅速かつ的確な自主節水を実施するため、協議会を中心とした体制づくりを利水団体の方で検討していただいた。

なお、この自主節水では、自主節水量の段階的強化や

利水基準点の水位流量曲線式の見直しなど可能な限りの貯水量温存策により、取水制限の開始（貯水率30%）を3か月程度先延ばしすることができた¹⁾（図-2）。

5. 自主節水期対応に関する覚書の締結

令和3年8月及び10月の自主節水を経験し、渇水対応タイムラインに係る自主節水期の取り扱いについてルール化しておかなければ、今後の渇水において、より迅速かつ的確な渇水対応は困難であることの認識を関係機関と共有することができ、自主節水を実施するための具体的なルールづくりと、利水団体と一庫ダムとで覚書を締結する動きが加速し、令和4年3月17日の覚書締結に至った。

覚書は、猪名川渇水を未然に防止・軽減するための自主節水期における対応手順を定め、渇水調整期への移行を引き延ばす、つまり、一庫ダムの貯水量を可能な限り温存することを目的として、図-4に示す連絡手順により対応を図ろうとするものである。

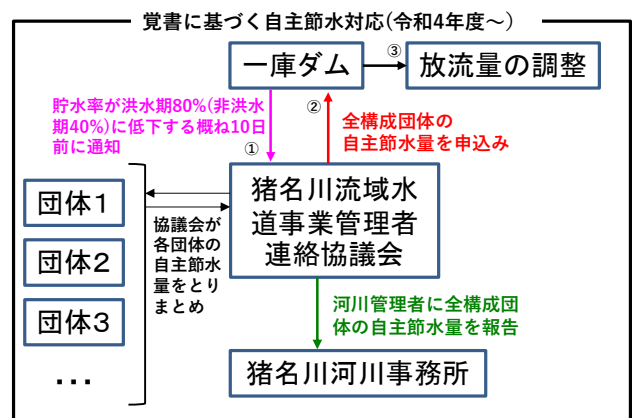


図-4 覚書に基づく自主節水対応の模式図

手順としては、まず初めに自主節水期に到達すると予見される概ね10日前に、各利水団体に対して一庫ダムから情報提供することとした。これは、貯水量の減少程度は、時期や流況により異なるため、調整の開始目安を

貯水率ではなく手続きに要する日数としたためである。貯水率低下の予想は、以後無降雨の場合を想定し、既往の類似の流況時の河川流量低減率を考慮して行うこととしている。その後、協議会において、各構成団体からの自主節水可能量を取りまとめ、一庫ダムへの自主節水量申し込みがなされるとともに、河川管理者である猪名川河川事務所への報告を行うこととなる。一庫ダムは、申し込みがあった自主節水量を基に、利水基準点での確保流量をどれだけ減らせるかを速やかに計算し、自主節水開始の通知とともにダム放流量の削減を行うという流れとなる。

また、段階ごとの書類の様式を整えたことで、迅速かつ的確な手続きが可能となった。

6. 令和4年渇水における自主節水対応

令和4年渇水を例に、覚書に基づく自主節水対応を整理すると、以下の通りである。

- 5月25日時点で、6月3日ごろには貯水率が40%に達し、自主節水期に到達すると予見されたため、一庫ダムから協議会への通知を行う前にメールによる情報提供を行った（自主節水期到来の事前通知は、自主節水が早めの6月1日から開始できるとのことであったことから、5月27日付けで6月1日に自主節水期に到達するとの文書を通知した）。
- 毎年6月以降は、確保流量が最も多くなる時期であり、取水制限を回避または先送りするため、各利水団体からは1日でも早く自主節水を開始し、可能な限り貯水量を温存させてもらいたいという強い希望があった。協議会の迅速な対応により、5月31日に自主節水量の申し込みがあり、翌6月1日に自主節水を開始することができた。
- その後、梅雨によるまとまった降雨を期待したものの、気象庁の速報値によると、近畿地方は平年より8日遅い6月14日ごろに梅雨入りし、わずか2週間後の6月28日ごろに統計開始以来最も早い梅雨明けとなった。その間の一庫ダム流域の降雨量は44.9mmであり、貯水量の回復につながるような降雨ではなかった。
- 既に確保流量がピークに達しており、降雨の無い日では、たった一日で2%程度（洪水期換算）の貯水率

低下がみられるなど、危機的な状況にあったことから、各利水団体からの強い要望により、7月7日から20%の取水制限が開始された。幸いなことに、その翌週から複数回のまとまった雨が降り、7月21日には取水制限全面解除となった。

- 6月1日からの自主節水を実施しなかった場合、7月1日には取水制限開始の目安である貯水率60%（洪水期換算）を下回っていたと試算され、取水制限を1週間程度先延ばしする効果を確認した（図-2）。

7. おわりに

3年連続渇水という稀有な経験ではあったが、令和2年度からの2年連続の冬季渇水をもとに、利水団体と一庫ダムとで自主節水を迅速かつ的確に実施するための覚書を締結し、令和4年渇水における自主節水では、実際にその効果を確認することができた。

渇水は洪水に比べると発生頻度は低いものの、気象の極端現象が顕在化する昨今では、異常洪水の反面、異常渇水の発生も可能性として否定できない。今後とも、より一層、長期降雨予測なども活用しながら、最悪の事態を想定したうえで、利水団体と緊密に協力・連携しながら、早期に自主節水を実施していかなければならない。これにより、ダム貯水量を可能な限り温存でき、結果として、その後の取水制限や給水制限の回避も可能となる。

一庫ダムでは、日頃から利水団体に対してこまめに情報発信するなど、利水ユーザー目線の対応を心掛け、良好な関係構築に努めてきたことが、今回の覚書締結を円滑に進められた理由の一つであると考えている。

今後も、利水団体や河川管理者と協力・連携しながら、適切かつ効率的なダム運用に努めていく所存である。

謝辞：自主節水や覚書締結にあたりご尽力いただきました猪名川流域水道事業管理者連絡協議会（現会長：川西市・酒本水道事業管理者）の皆様方に、この場を借りまして、心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1)川上貴宏,内藤信二.2年連続となる一庫ダム冬季渇水への対応.令和4年度近畿地方整備局研究発表会.2022.

淀川管内河川レンジャーによる グリーンインフラの取り組み

東 親志

淀川管内河川レンジャー（〒573-0056大阪府枚方市桜町3-32 中央流域センター）

淀川管内河川レンジャーは、淀川水系河川整備計画において「川と行政・住民をつなぐ」橋渡し役を担っている。地域住民でもある河川レンジャーが主体的に川の課題に取り組み、新たな川の魅力づくりを進めることで地域と川のつながりの再構築を図ることを目的としている。

淀川河川公園大山崎地区においては、河川レンジャーが地域住民、企業、学生をコーディネートし、河道内樹木の伐採とともに遊歩道の整備や希少生物の保全活動、桂川の治水事業により整備されたワンドに侵入した特定外来生物の防除活動など川の課題解決に取り組んでいる。

本稿では、地域資源としての河川を「グリーンインフラ」の視点での活用事例報告を行う。

キーワード グリーンインフラ、河道内樹木、特定外来生物、河川レンジャー

1. はじめに

(1) 地域課題

大阪府、京都府等を通る淀川水系では、高度に都市化した流域を抱え、治水・利水を主たる目的とした河川整備が行われてきたが、川での豊かな自然体験や、生活エリアの一部としての川の活用、住民による日常的な川の管理がなくなってきた。近年では、川への関心の低下から起こるゴミの不法投棄や、外来生物の侵入・繁茂による生態系への影響、河道内樹木の繁茂などが問題となっていることから、「川と人をつなぐ」「地域資源としての川を活用する」取り組みが課題となっている。

(2) 課題への取り組み

淀川水系河川整備計画(変更) (2021.8) において、「川と行政・住民をつなぐ」橋渡し役として淀川管内河川レンジャーの仕組みが構築されている。河川レンジャー全体で役割や活動の方向性を共有しながら、地域住民でもある河川レンジャーが個々の担当エリアの川の課題に取り組み、新たな川の魅力づくりを進めることで地域と川のつながりの再構築を図ることを目的としている。

本論文は、淀川河川公園大山崎地区において、河道内樹木(竹林)や外来植物の繁茂等の課題に対し、「グリーンインフラ」の視点で、地域住民や企業と取り組んでいる活動について報告する。



図-1 淀川河川公園大山崎地区の整備・維持管理計画¹⁾

2. 淀川河川公園大山崎地区における課題

(1) 河道内樹木（竹林）の繁茂

河道内樹木は、淀川河川維持管理計画（2019.3）に基づいて良好な河川環境が保全されるよう、自然環境や河川利用に係る河川の状態把握を行いながら、適切に維持管理を行い、治水上の支障が生じる場合は伐開が実施されている。その際には樹木が阻害する流下能力など治水機能への影響や、観測・巡視などの管理機能、生態系・景観などの環境機能への影響を十分踏まえた上で行われている。

当該地区の河道内樹木は、主にマダケで構成された竹林で定期的に伐採や伐根が行われているが、再生は早く、数年で伐採前の状態に戻っているのが現状である。

また、竹林には京都府レッドデータブックにおいて要注目種に選定されている陸生ホタルの「ヒメボタル」が生息していることから、生息環境の保全のため竹林の伐採整備が必要である。



図2 竹林伐採後の繁茂状況（3ヶ月後）

(2) 外来植物の繁茂

河川への外来植物の侵入は、在来植物のみならずこれらを生活の中で利用する在来の昆虫、魚類や哺乳類などの生物の減少や絶滅、交雑による遺伝的攪乱などを引き起こす。そして、河川固有の生態系や、本来の景観を損なうなど、河川の生物多様性を低下させる大きな要因となっている。

当該地区においては、治水事業により河道掘削、築堤等が実施され、河道掘削とともに、生物の保全のためワンドや滞筋が整備された。現時点では、タチヤナギやヨシなどが繁茂し、豊かな自然環境が再生され、ワンド内には、重要種の「アサザ」、 「オグラコウホネ」や「ヨドゼゼラ」などの生息がみられ、良好な環境となった。一方、ワンドの植生の発達とともに、特定外来生物であるナガエツルノゲイトウやオオバナミズキンバイの侵入がみられるようになった。



図3 造成ワンドの変化状況（5年後）

3. 課題解決のための方策

当該地区における川の課題である「河道内樹木（竹林）の繁茂」と「外来植物の繁茂」の解決にあたっては、グリーンインフラの視点で、すなわち自然環境への配慮を行いながら多様な機能を活用し、多様な主体の連携のもと地域住民や企業との協働により継続的な活動が重要な鍵になると考えた。

このため周辺地域へ、この川の課題に取り組む河川レンジャーの活動として情報発信を行った。

発信方法は、地域行政の広報誌や河川レンジャーのホームページへ掲載し、地域イベント（京都環境フェスティバル、乙訓ドリームフェスタ等）や地域の自然保護団体が実施している保護活動（オグラコウホネ保全活動、ミズヒマワリ防除活動等）への参加し広報活動を行うとともに、河川レンジャーとして実施する河川清掃活動を通じた広報活動を行った。

また、学習会を開催し川の現状や川の魅力を知るとともに、竹の生態、竹林の維持管理手法や外来生物に関する知識を学びながら活動目的や活動への理解を深めた。

さらに当該地区における課題について意見交換を行い、アイデアを発掘しながら活動内容などの検討を行い、地域活動による社会貢献活動への関心を持っていただき参加を促進した。

その結果、地域住民、地元企業、地元中学校、NPO 法人国際ボランティア学生協会（IVUSA）など多くの参加が得られるようになった。



図4 桂川クリーン大作戦



図5 外来生物勉強会



図6 竹林伐採活動



図7 外来植物防除活動

4. 河道内竹林の伐採整備

(1) 竹林概要

当該地区の竹林のほとんどは民地で、小畑川沿いに唯一の官地の竹林がある。竹林は桂川合流部近くにあることから、洪水時の流下を阻害し水位上昇が懸念されるため、伐採が求められた。淀川環境委員を交えた協議の結果、ヒメボタルの生息環境保全のため竹林を残すこととなった。

竹林の主な構成種は、マダケが優占しエノキ、ムクノキの大木がみられ、低木層には、ヤブニッケイ、ヤツデなどが生育しているが多様性は乏しい。

◆主な構成種

- ・高木層：エノキ、マダケ、ムクノキ
- ・亜高木層：マダケ
- ・低木層：ムクノキ、ヤブニッケイ、ナンテン
- ・草本層：セイタカアワダチソウ、マダケ、ヤツデ、ムクノキ、ヤブニッケイ、ヒナタイノコズチ、ヨモギ、カテンソウ、チジミザサ、アシボソ、クズ、ギシギシ、ドクダミ、イタドリ、オドリコソウ、ノイバラ

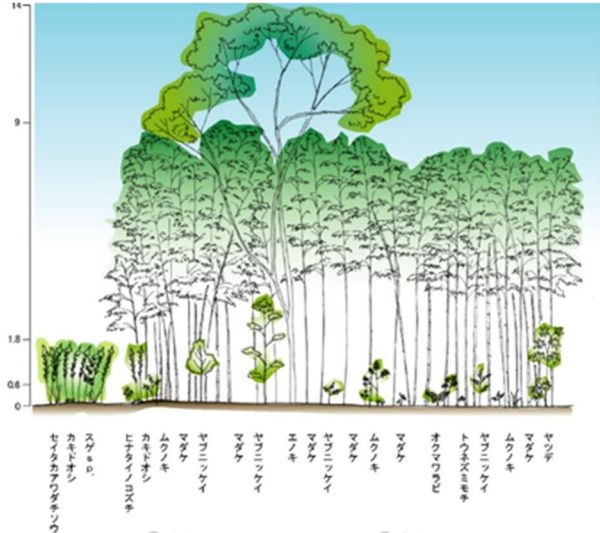


図-8 竹林の植生断面図

(2) ヒメボタルの生態 (京都府レッド：要注目種)

ヒメボタルの生息地は、大山崎町（一部京都市伏見区）の桂川右岸高水敷及び小泉川沿いにあり、毎年5月中旬～6月上旬に発生し、1～3万の個体が見られ西日本最大の生息地と思われる。

【生態】陸生のホタルで、桂川では、成虫の発生時期は5月中旬～6月上旬頃。黄色い光で、フラッシュのように1秒間隔で、チカチカと点滅する。

成虫で飛翔するのはオスのみで、メスは地面近くの葉上で発光しオスを引き寄せる。

メスは後翅が退化していることから飛翔できないため、生息地は限定的である。

幼虫は、陸産貝類（キセル貝など）を主な餌としているが、貝類が生息していないところでも見られることがあり、その場合はミミズ等の土壌動物を餌していると考えられる。土の中で1～2年生活し成虫となり、寿命は7日程度である。

【形態】体長は7～10mm、黒色で、前胸は赤色、前縁部に広がる黒色紋がある。オスは体が長形で触角は、やや長い、メスは体が太短く触角も短く、後翅が退化。



ヒメボタル ゲンジボタル
図-9 ヒメボタルの形態²⁾



図-10 竹林内の観察路周辺を飛翔するヒメボタル

(3) 伐採整備方針

竹林の伐採にあたっては、ヒメボタルの生息に配慮した伐採基本方針を策定した。

【順応的管理：検証しながら整備を行う】

■エノキ、ムクノキの大木は残す

- ・ヒメボタルの幼虫や餌動物（陸産貝類、土壌動物（ミミズなど）の生息環境を維持するため、エノキなどの落葉樹の落ち葉を供給するとともに、竹林内の日照条件の変化を緩和させるために残す。

■一斉に伐採せず、検証しながら実施する

- ・エノキなどの落葉樹の生育に影響を及ぼす竹の伐採、抜根の実施。
- ・枯竹、老齢竹、細い竹、重なっている竹、倒れている竹などを選別し伐採する。

- ・ヒメボタルの幼虫が生息する地表部の環境の急激な変化を緩和させるため、50cm程度の高さで残す。

- ・ヒメボタルの発生時期における生息数の確認調査など継続的に実施し、生息数の変化を把握する。

- ・再生の早い林縁部は、竹林内への風通しや竹林の拡大を考慮し、継続的に伐採する。

■伐採竹の有効活用

- ・伐採竹を林床内に積上げて、生物の生息環境（エコスタック創出）として活用する。また、堆積竹の腐食により有機養分の補給等の効果が期待できる。

- ・地元の竹加工企業による竹製品への活用、地域の社寺、商店街や竹アーティストの活用。

- ・伐採竹を地元企業の協力によりチップ化し、竹林内に整備した観察路へ敷き詰めて歩行時の安全性、快適性を高める。

チップ化作業は竹林の林縁部で行い、粉碎作業場では101dB(A)と大きな騒音レベルであるが、約200m離れた河川公園の事務所あたりでは、暗騒音（京滋パイパスの道路交通騒音等）と同レベルの50dB(A)程度であったことから、公園利用者が不快感を示すことはないと考えられる。

また、積み上げたチップ内には、カブトムシやクワガタムシの幼虫の生息が確認された。



図-11 地元企業による伐採竹のチップ化作業状況



図-13 観察路の造成作業状況



図-12 竹チップ内に生息するカブトムシの幼虫

(4) 伐採方法

■伐採作業

伐採にあたっては、専門家の指導助言を得ながら伐採竹を選定し、安全確認のため二人一組で伐採を行う。伐採竹は、チップ化のため小畑川沿いや林縁部へ積み上げ保管する。

- ・ 枯竹、老齢竹、細い竹、重なっている竹、倒れている竹などを選び、マーキングを行う。
- ・ 作業は、二人一組で行い、他の作業等周囲の安全確認のうえ、倒す方向を決めて伐採する。
- ・ 竹の伐採位置は、可能な限り根元で危険の無いよう水平に伐採する。
- ・ 枝葉から目を守るためゴーグルを着用し、倒木に備えヘルメットを着用する。

■観察路造成作業

ヒメボタル観察時や伐採竹の運搬時の転倒防止のため、観察路上の切り株や伐採竹の除去を行う。

- ・ 作業は、人との接触を可能な限り避けるため、間隔は2m程度空けて行う。
- ・ 切り株は、歩行に支障をきたさないよう可能な限り短く切断する。
- ・ 切り株等除去後、伐採竹を粉碎したチップを観察路上に敷き詰める。
- ・ チップは、残った切り株等が踏みつけた際に、当たらないくらいに積み上げる（20cm程度）。

(5) 竹の伐採量

当該地区における竹林の伐採整備活動は、年間で約12回程度行っており、約3,000本程度伐採し、地元企業によるチップ化が行われている。竹チップは、竹林内に整備した観察路への敷き詰め材として活用している。また、地元の竹加工企業による活用が約500本程度ある。

今後、余剰の竹チップが発生するものと考えられることから、堆肥化などを試み地域への配布などを検討する。

(6) 竹林の課題

竹林では全国的に報告されているハチクの開花や天狗巣病の感染がみられる。天狗巣病は、主に竹林の林縁部にみられ、維持管理されず放置されている民地の竹林では大規模に枯死した箇所もあり、拡がりをみせている。

当該竹林においては、伐採により林内の風通しがよくなり病原菌が侵入し、林内においても感染が確認されていることから、伐採を行い感染拡大の防止を図っている。



図-14 ハチクの開花状況



図-15 マダケ林の天狗巣病感染状況

5. ワンドの外来種防除

(1) 外来種の侵入経緯

桂川の治水事業により造成されたワンドにナガエツルノゲイトウが発生した経緯は、上流から漂着したものと考えられる。本種は、葉の付け根から根と芽が生えてくるため、切断されたひと節だけでも再生する能力がある。このことから、琵琶湖に繁茂している本種の断片が琵琶湖疎水を介して鴨川に流入し、桂川で合流したのち、当該地に漂着したものと考えられる。



図-16 ナガエツルノゲイトウの発根状況

(2) ワンドに生育する重要種

ワンドには、重要種として造成前から生育していたアサザが再生し、さらにオグラコウホネの発生もみられる。



図-17 アサザ（京都府レッド：絶滅危惧種）



図-18 オグラコウホネ（京都府レッド：絶滅寸前種）

(3) 外来種防除方法

外来種の防除作業は、環境省自然環境局野生生物課長通知「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律の規制に係る運用（植物の運搬及び保管）について」（2015.1.9 環自野発第1501091号）にしたがって実施している。

■外来種の抜き取り作業

- ・陸上作業：ナガエツルノゲイトウの生態を踏まえ、水面に広がる基部の陸上部に繁茂する個体を抜き取りやスコップ等により伐根防除する。また、水面に広がる外来種を手繰り寄せられる範囲で防除する。
- ・水中作業：胴長、ライフジャケットを着用するとともに、救助用のスローロープは、陸上作業班が携帯する。抜き取り作業時に茎（発根した部分）などが散乱しないようにし、散乱した茎などは、たも網ですくい採る。



図-19 地元住民や学生による外来種防除作業状況

■運搬作業（防除した外来種を仮置き場へ運搬）

運搬中にネット袋から外来種が逸出しないよう袋の口はしっかりと結び、ネット袋に破れ等がないか確認する。

■枯死保管場所作業

防除した外来種は、ブルーシート等で覆うなど逸出を防止する対策を講じて枯死するまで放置した後、ごみ焼却場まで運搬し、焼却処分により適切に処分する。

- ・枯死保管場所の準備として防除する外来種の量を見込みブルーシートを展開しておき、防除した外来種は、ブルーシートからはみ出さないよう積み上げを行う。
- ・積み上げたのち、枯死後に乾燥させるためのネットを被せ、その上をブルーシートで被せ、周囲の余ったシートも併せて巻き込むように被せる。
- ・最後に枯死させるための遮光シートを被せ、シートが飛ばされないように土嚢で固定する。



図-20 外来種の枯死保管状況

6. まとめ・今後の展望

(1) まとめ

河道内竹林の伐採整備活動においては、地元の竹加工業者による竹の生態、伐採方法などの指導助言により、適切な伐採ができた。

伐採竹の処分にあたっては、当初、竹林内に積み上げ、生き物の住処の創出（エコスタック）を行ったが、伐採が進むにしたがい増加する伐採竹の処分が課題となった。

伐採竹の処分について検討した結果、伐採活動に参加している地元企業の協力によりチップ化することになり、竹林内に整備した観察路の敷き詰め材として活用することができた。

今後は竹チップの堆肥化を試み、地域への配布やカブトムシやクワガタムシの飼育などを検討する。

外来種防除の活動では、外来生物の概要、放置した場合のリスクや自然環境への影響など河川レンジャーによる解説や勉強会を組み合わせ、参加者が理解し、共感して活動するプロセスを大切に、活動の継続や協力者の増加につなげることができた。

まちづくり・地域づくりとの接点につなげ、継続的に取り組むしくみづくりを進めたい。

今回の活動により、参加企業のCSR活動の一環としての参加協力や地元竹加工企業による伐採竹の活用などが実現することができたことから、今後も活動の推進にあたって、住民・行政・企業など、多様なステークホルダーの連携が不可欠であり、それらをつなぐ役割を果たすことにより、地域振興に関わる観点からの取り組み強化に寄与していきたい。

また、活動参加者へのアンケート調査や意見交換などにより活動の点検見直しを行いながら、継続的に実施していきたい。

地元の竹加工企業や隣接する企業との連携強化により、地域資源である伐採竹について、そのアップサイクルとして様々な活用方法や地域への還元方法を検討する。

今回、河川レンジャーとともに川のイベントや活動に参加協力し、川との関わりを築いていくボランティアとして創出された「淀川かわづくりパートナー」として参加された方が、活動経験を積み、人とのかかわりの中で河川レンジャーと協力してグリーンインフラに取り組むことが期待される。



図-21 グリーンインフラの活用事例（河道内竹林の伐採）

(2) 今後の展望

川の課題解決を起点に、「地域資源としての川」をグリーンインフラの視点で見直し、自然環境の保全活動と

7. おわりに

引き続きグリーンインフラの視点で地域の自然環境の保全を進めるとともに、レンジャー間の情報交換を生かし、当該地における活動事例を他の地区への展開を図りたい。また、新たな地域資源（特異な環境：湿地環境など）を発掘し、同様の活動につなげたい。

今後も地域との橋渡し役として、地域住民や企業との連携による自然環境保全活動を進めていきたい。

謝辞：当該地区における活動に参加いただきました地域住民や学生の皆様、企業の皆様、淀川管内河川レンジャー、淀川かわづくりパートナーの皆様には謝意を表します。

参考文献

- 1)淀川河川事務所：淀川河川公園大山崎地区公園整備計画（修正案）2019.2
- 2)兵庫県立人と自然の博物館：プチ図鑑兵庫の蛭，2006



雨水対策事業「いろは呑龍トンネル」の整備について

竹田 正俊¹

¹ 京都府流域下水道事務所 施設整備課 (〒617-0836 京都府長岡京市勝竜寺樋ノ口1番地)

京都市、向日市、長岡京市にまたがる桂川右岸地域は、交通の便がよく、高度経済成長期に急激に都市化が進行したが、小畑川と桂川に挟まれた水はけの悪い地形であり、度重なる浸水被害に悩まされてきた。

京都府では、当該地域の浸水被害を軽減するため、平成7年から雨水対策事業「いろは呑龍トンネル」に着手しており、今年度で28年を迎える。ここでは、四半世紀にわたって取り組んできた、いろは呑龍トンネルの様々な特殊工事や大規模工事の内容、これまでの大雨に対する活躍ぶりや、供用を開始した南幹線および呑龍ポンプ場の整備効果等について報告する。

キーワード いろは呑龍、トンネル、雨水対策、シールド

1. 計画および事業実績

いろは呑龍トンネルが事業に着手した平成7年当時は、「流域下水道の分流式雨水対策」は極めて珍しく、全国に先駆けての取り組みであり、下水道法上も明確な位置付けはなかった。平成17年に、都市における浸水被害の頻発を受け、法改正がなされ、雨水流域下水道が創設されている。

いろは呑龍トンネルは、計画対象降雨である概ね10年に1回程度起こりうる降雨(61.1mm/h)に対して浸水被害を防止するため計画した。

主な施設は、増水した河川から雨水をスムーズに取り込むための“接続施設”、取り込んだ雨水を貯留し流す“幹線管渠”、雨水を河川に放流する“ポンプ場”で構成する。(図-1, 2)

幹線管渠(内径8.5m~3.0m)は、大きく北幹線と南幹線に分かれ、総延長は約9kmあり、北幹線はさらに1号管渠~3号管渠に分かれており、1号管渠は向日市に管理を委託している。最下流部にある呑龍ポンプ場では、毎秒10m³の水を一級河川桂川

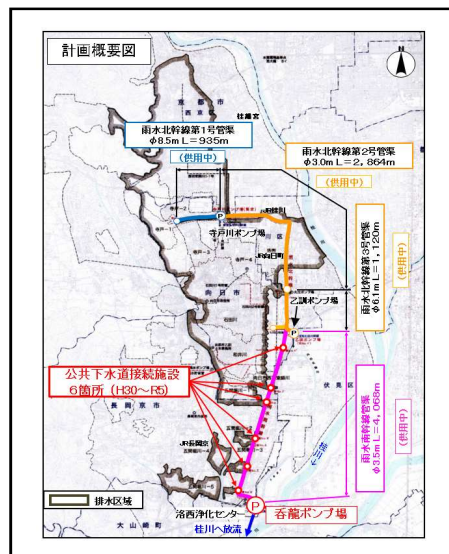


図-1 計画概要図

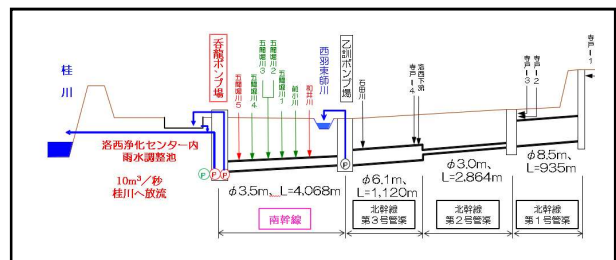


図-2 呑龍断面図

へ放流することができる。

全体の計画対策量としては 238,000m³ となり小学校の 25mプール 800 杯分に相当する。平成 25 年の台風 18 号や、令和 3 年 8 月の豪雨時にも、浸水被害を大きく軽減したと想定されている。(図-3)

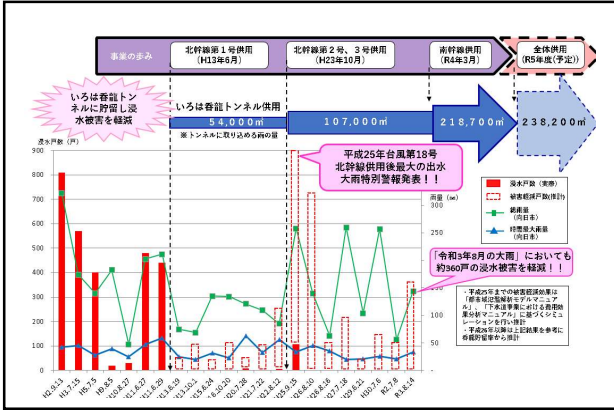


図-3 いちは呑龍トンネルの実績

2. 呑龍トンネルの工事に使われている各種工法

(1)ハイブリッド式親子シールド工法

幹線管渠は、全線シールド工法で施工されており、平成 8 年に北幹線 1 号管渠は内径 8.5m の大口径のシールドで工事着手し、平成 13 年 6 月に完成した。

平成 23 年 10 月には北幹線 2, 3 号管渠が完成しているが、2 号管渠は内径 3.0m、3 号管渠は内径 6.1m と管径が異なっている。異なる管径を一度に施工するため、「ハイブリッド式親子シールド工法」(写真-1)を採用している。まずトンネル径の大きい「親機」にて掘進し、途中で親機の中からトンネル径の小さい「子機」が発進して掘進する施工方法で中断することなく施工している。



写真-1 親子シールド

(2)凍結工法

凍結工法とは、シールド工法の発進・到着時の補助工法として用いられる工法であり、凍結管を埋設して凍土を造成し、接続工事完成後は、解凍を行う工法である。薬液注入工法などと比較すると、土質による改良範囲のむらが少なく、高強度で良好な遮水ができ、土壌汚染などの心配がない等の特徴がある。(図-4)

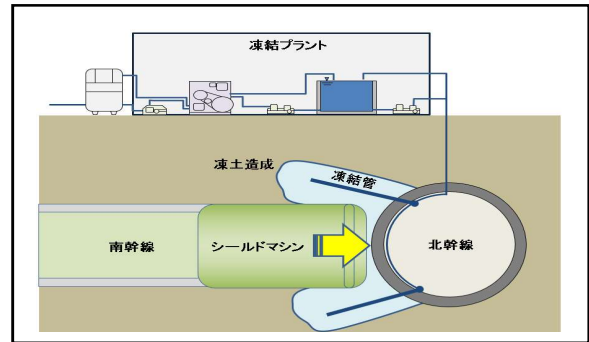


図-4 凍結工法

<トピック>

北幹線と南幹線の接続箇所(図-5)において、平成 29 年 11 月、シールド内に漏水・土砂流入が発生し、国道 171 号の陥没に至った。

土盛り地盤との隙間に充填剤を充填し、地下水の通り道には水膨張性シーリング材の設置により止水対策を行うものであったが、充填材が十分でなく、また、シーリング材を設置していなかった状態で凍結を解除してしまったため、毎分約 500ℓ の漏水と併せて 120m³ の土砂が北幹線管渠内に流入することとなった。この原因究明については、外部有識者による技術検討委員会を設置し、復旧工法も含め議論を行った。

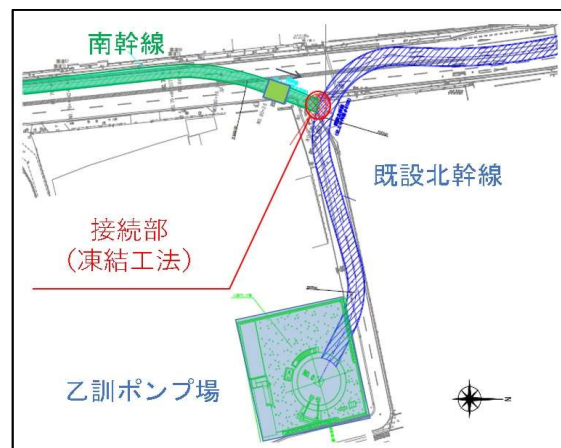


図-5 北幹線と南幹線接続箇所

(3) ニューマチックケーソン工法と大規模設備

呑龍ポンプ場は、地下水位の高い砂礫層に、縦 39.5 m×横 42.5m、深さ 42.7m、総打設量 32,800m³ のコンクリート地下構造物を築造するため、構造物を地上で構築し沈下させるニューマチックケーソン工法を採用することとした。(図-6)

呑龍ポンプ場は、地下部分が京都タワービルと同程度の大きさになり、幹線管渠に貯留した雨水をくみ上げ、桂川に排水する機能がある。ポンプは、1台で 5m³/s の非常に大きな排水能力があり、口径は 1500mm、全揚程は 31m、重量は 30 t あり、現在 2 台が稼働している。(写真 3, 4)



写真-3 呑龍排水ポンプ

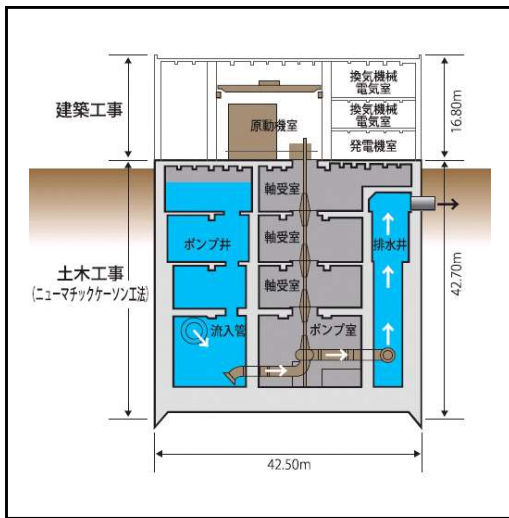


図-6 ニューマチックケーソン



写真-4 減速機

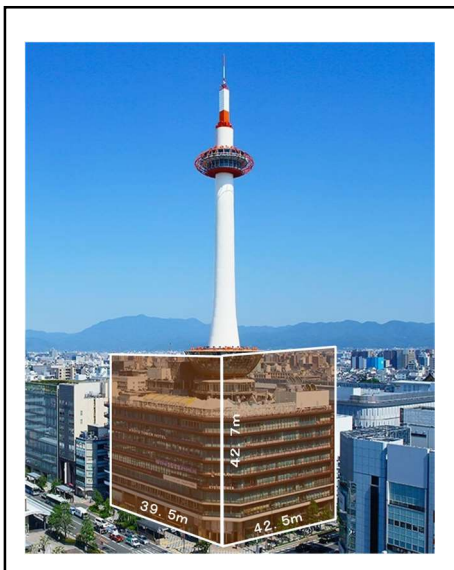


写真-2 京都タワービルとの比較

3. 現在施工中の工事

(1) 調整池工事

呑龍ポンプ場調整池は、令和4年6月に着手し、令和6年3月までの予定で工事を進めている。工事費約22億円であり、本体の大きさは縦66.0m×横61.0m、深さ6.0mで、プレキャストブロック510本と現場打鉄筋コンクリート造であり、そのため、21,600m³の土砂掘削と、14~16mの長さの杭を打設する。

杭はPHC杭とSC杭を打ち継ぐものであり、合計240本打設する。(図-7)

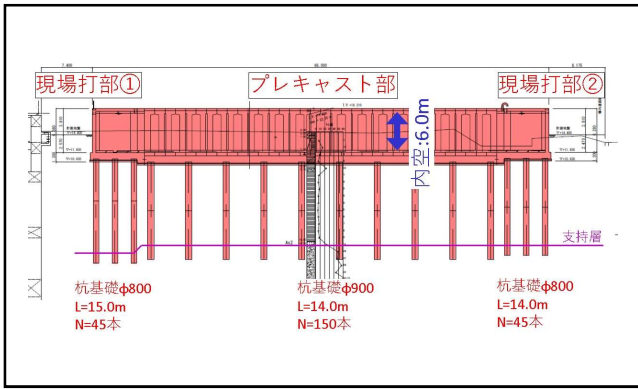


図-7 調整池断面図

調整池の形式については、プレキャストブロック形式5案と現場打ち形式1案で選定を行い、施設の敷地に入るかどうか、また工事費や工期などを比較検討し、最終的にケース1のスタンド型のプレキャストブロック形式を選定した。(図-8(1),(2))

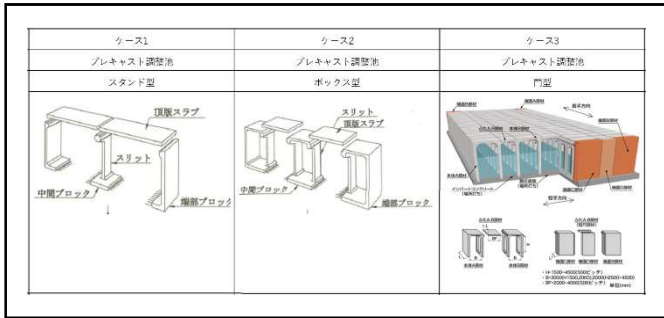


図-8(1) 調整池比較検案

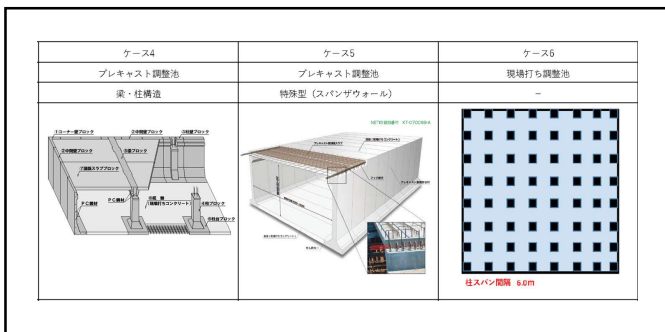


図-8(2) 調整池比較検案

調整池の現場での施工にあたっては、ICT 施工技術を活用している。ドローンを使った起工測量及び出来型管理、ICT 建設機械による施工を行っている。(写真-5)

この調整池が完成すると、さらに 19,500m³ の貯留能力が増加することとなる。令和 5 年度末完成の予定である。



写真-5 調整池掘削状況

(2) 接続施設工事

流域からの雨水は市が整備する公共下水道を経て、いろは呑龍トンネルに流入する。そのための接続施設は、最初に発進立坑を構築し、推進工で幹線管渠に接続した後、市町の流入施設からの雨水を受け入れる特殊人孔を築造するものであり、人孔内ではドロップシャフト等により、水の減勢をしている。五間堀川-2, 3 接続施設は、延長約 228m、管径 900mm であり、推進工で施工を進めている。(写真-6, 7)



写真-6 発進立坑



写真-7 推進工掘削機

4. 南幹線・呑龍ポンプ場の供用開始

(1) さらなる浸水対策効果の向上

呑龍トンネルは、北幹線が完成した時点で、107,000m³の貯留能力であったが、南幹線が完成して、さらに63,250m³貯留能力が増加するとともに、呑龍ポンプ場稼働することで、さらに流下能力が追加になった。(図-9)

項目	北幹線			南幹線	
	第1号管渠	第2号管渠	第3号管渠	管渠 呑龍ポンプ場	調整池
供用年月	平成13年6月	平成23年10月		令和4年3月	令和5年度(予定)
対策量 (m ³)	貯留能力	54,000	53,000	63,250	19,500
	流下能力	-	-	48,450	-
	累計	54,000	107,000	218,700	238,200

図-9 呑龍トンネルの貯留能力と流下能力

(2) 供用開始記念式典

令和3年度末には南幹線と呑龍ポンプ場が供用する運びとなった。西脇知事はじめ、国土交通省下水道部長、京都市長、向日市長ら、関係者が出席し、記念式典が盛大に開催された。(写真-8, 9)



写真-8 供用開始記念式典



写真-9 呑龍ポンプ場

(3) 全建賞受賞

いろは呑龍の名前の由来について、「いろは」は、地球環境と下水道の調和を掲げた京都府未来下水道計画(いろはプロジェクト21)から、「呑龍」は雨を自在にあやつる龍が大雨を呑み込み人々を守るとの意味から命名された。雨水対策事業のPRキャラクターとして「呑龍太郎君」が、日頃目にすることが少ない地下トンネル施設のPRに励んでいる。

また、呑龍トンネルは、各種メディアにも取り上げられ、全建賞((一社)全日本建設技術協会)も3度受賞している。(写真-10, 11)

- ★平成14年 雨水北幹線第1号管渠
- ★平成24年 雨水北幹線第2号・第3号管渠
- ★令和4年 呑龍ポンプ場

昨年受賞した呑龍ポンプ場は、受賞理由として、大雨により増水した水路から、地下トンネルとして整備した「いろは呑龍トンネル」に雨水を取り込み、最下流に位置する「呑龍ポンプ場」から大河川である桂川に排水することで、浸水被害が頻発していた乙訓地域の治水安全度を向上させたことが評価されたものである。



写真-10 全建賞



写真-11 授与式

5. おわりに(全体供用に向けて)

近年の豪雨に対して、呑龍トンネルは、目に見えて大きな効果を発揮しており、調整池が令和5年度に完成すると、幹線管渠の貯留・流下対策施設は完成となり、238,200m³の対策量が確保でき、治水安全度をさらに向上させることとなる。

また、接続施設11箇所のうち、残り4箇所を整備中であり、それらの整備を図っていくのと併せて、府民に対して、ホームページなどで呑龍トンネルの活躍を情報発信してくなど、PRに努めていきたい。