

福井河川国道事務所における雪害対策について ～5Sで雪害対策を強化～

宮田 倅

福井河川国道事務所 道路管理課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

福井河川国道事務所では、雪害対策としてこれまで予防的通行規制や関係機関との連携強化などを進めてきた。しかし、過去の雪害においてスタック車両の早期発見や迅速な救助・規制対応が課題であったことから、2025度に「5S(Search・Save・Stop・Snow-removal/melting・Support)」を柱とした新たな雪害対策を推進した。AIによる監視強化、防災用EVバイクによる救助、エア―遮断機による交通規制、ロードヒーティングや除雪車増強による除融雪対策、地域と連携した通学路確保を実施し、豪雪時の大規模停滞防止と安全な道路交通の確保を目指す。

雪害対策、スタック車両、AI検知システム、防災用EVバイク、エア―遮断機、ロードヒーティング、地域連携

1. はじめに

福井県嶺北地方では、2018年2月4日から7日にかけての降雪が、6月16時までの24時間で平地でも60cmを超える記録的な大雪となった。国道8号ではあわら市から坂井市の9箇所で見舞車発生し、その影響で、約1,500台の車両停滞が発生し、約66時間の通行止めが発生した。

また、2021年1月に発生した大雪は、本州日本海側を中心に短期間で集中的な降雪をもたらした、交通網に大きな影響を及ぼした。特に北陸自動車道では、大型車両を含む車両がピーク時に約1,600台停滞し、丸岡ICから福井IC間が通行止めとなった。その結果、迂回車両が国道8号へ集中し、最大16kmに及ぶ大規模な交通停滞が発生した。

この事態に対応するため、災害対策基本法に基づく区間指定が行われるとともに、警察との連携による交通規制、自衛隊との連携による集中除雪および停滞車両の排出作業が実施された。さらに、県、市町村および自衛隊が連携し、停滞車両の利用者に対する食料提供などの支援活動も行われた。

この事例は、短時間の強い降雪が発生した場合、スタック車両等を起因とする大規模な車両停滞を未然に防止するため、道路状況の迅速な把握、早期の救助、予防的な交通規制および関係機関が連携した情報共有・情報発信が重要であることを示している。



図-1 国道8号坂井市における4車線区間の停滞状況
(2018年2月7日)



図-2 国道8号坂井市におけるスタック車両による停滞発生状況 (2021年1月8日)

2. 2024年度までの取組と課題

福井河川国道事務所では、これまで発生した豪雪や大規模車両停滞の経験を踏まえ、その都度課題を検証しながら雪害対策の改善を重ねてきた。2015年度から、大雪で路面が積雪状態になると予測される区間において、一時的な通行止めでの集中除雪と除雪機械の先導による車両通行を繰り返すことでスタック車の発生を抑制する取組み（「STOP&GO（ストップアンドゴー）作戦」）を実施した。また、2018年度には、過去に立ち往生が発生している箇所やスタックが発生しやすい道路縦断勾配5%以上の箇所を予防的通行規制区間として設定した。それに伴い、2022年度までに予防的通行規制区間の起終点において、チェーン着脱場を増設した。

しかし、2021年度の福井県嶺北地方で発生した交通停滞をきっかけに大雪時の道路交通確保対策の改定が実施された。それに伴い、大雪時の道路交通確保について、幹線道路上の大規模な車両停滞を回避することが基本的な考え方となった。大雪時において道路管理者は、除雪車両の集中配備や梯団除雪の実施など、通行止めを回避するため最大限の除雪対応を行う必要がある。しかし、短期間に集中的な降雪が発生し、車両停滞が予見される場合には、幹線道路における大規模な交通障害を未然に防ぐため、関係機関と連携し、計画的・予防的な通行規制や高速道路と並行する国道等の同時通行止めを実施し、集中的な除雪作業を行わなければならない。それに伴い、広域移動の抑制を目的として、Uターン地点や迂回路を考慮した規制計画を策定し、通行止め区間や実施時期について情報提供を行う対策に移行した。

2024年度は、ラニーニャ現象の影響により平年を上回る降雪が予測されたことから、福井県冬期道路情報連絡室において関係機関が対応方針を共有し、冬期道路交通の確保に向けた体制強化を進めた。具体的には、2021年1月および2024年1月の大雪対応で得られた知見を踏まえ、予防的通行規制を実施する範囲の見直しを行った。また、低速車両の車列形成やスタック発生状況を考慮した通行止めルールを整備するとともに、高速道路の段階的な規制解除および並行する国道の先行規制解除に関する運用ルールを策定した。さらに、関係機関でCCTV映像を共有し、道路状況の把握や意思決定を迅速化することで、広域的な雪害対応能力の向上を図った。

これらの取組みにより大規模な車両停滞の防止に一定の成果が確認されたものの、さらなる機能強化に向けた課題も明らかとなった。特に、大規模停滞の発生を未然に防止するためには、スタック車両の

より迅速な発見・救出および通行止めの実施が必要であることが確認された。また、過去にスタックが発生した箇所におけるハード対策の強化、降雪予測や降雪想定エリアに応じた機動的な通行規制の実施、ならびに道路利用者の行動変容を促すための効果的な情報発信の充実が課題として整理された。さらに、通行止め実施時だけでなく解除見通しについても分かりやすく発信し、道路利用者が適切な行動判断を行える環境を整備する必要性が示された。これらの課題を踏まえ、2025年度以降は監視体制、救助体制、規制運用および広報体制のさらなる高度化に取り組むこととなった。

3. 2025年度 of 取組

(1) 5SIによる雪害対策の強化

大規模停滞を防ぐためにはスタック車両の早期発見が重要であることから、2025年度は「5S」を柱として、監視、救助、交通規制、除融雪および地域連携を強化した。また、SNS等を活用した広報活動を推進し、大雪時における道路利用者への情報提供の充実を図った。

a) Search 早く見つける

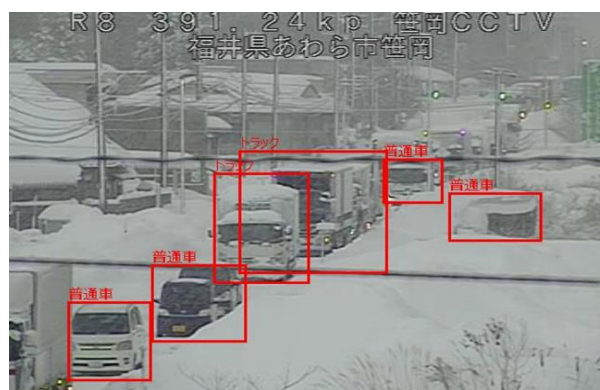


図-3 AI検知システムの導入

大規模停滞を防ぐためにスタック車両の早期発見が重要である。2024年度までの取組みとして、239基のカメラによる24時間監視やスタック発生箇所のAI自動検知システムの導入、死角部の遠隔監視を可能とする可搬式のAIカメラの試行的導入を実施。

2025年度は2024年度から継続してAI検知・可搬式カメラ・SNSでスタック車両の早期発見に努めるとともに、CCTVカメラを7基増設し、246基（うちAIカメラ57基）により監視体制を強化した。

b) Save 早く救助する

スタック車両は大規模停滞の発生要因となるため、迅速な救助が求められる。しかし、除雪車両や救助車両が停滞に巻き込まれることで現場到着までに時間を要するという課題があった。

2025年度の新たな取組みとして、雪道でも走行可能なキャタピラ式の防災用EVバイクを2台導入した。牽引ソリには「緊急脱出用チェーン」を積載している。市街地に比べ、民家や脇道等が少ない国道8号の敦賀市から南越前町間において、スタック車両の脱出を補助できるように南越前町の大良除雪基地と、敦賀市の杉津除雪基地の2箇所に配備した。隊員は4名で構成し、事前訓練については操作訓練を3回、実走訓練を1回実施した。



図-4 防災用EVバイク



図-5 防災用EVバイクの配備箇所

c) Stop 早く止める

通常、規制車両が通行止め箇所に急行し、通行止めを実施するが、近年の短時間強降雪により規制車両の到着が遅れ、通行止めの措置に遅れが生じるなどの課題がある。

2025年度の新たな取組みとして、規制車両の到着を待たずに、ボタン一つでバリケードが可能なエア-

遮断機を導入した。迂回路が少なく、市街地から遠い中部縦貫自動車道のインチャージチェンジ入り口に設置した（福井北・松岡・永平寺参道・荒島・勝原・下山・九頭竜IC）。エア遮断機作動の流れとして、遠隔操作によって起動後バルーンを膨らませ、約1分で封鎖完了となる。

2025年度は操作時の事故防止のため、作業員を配置している九頭竜ICのみの運用とした。2026年度以降は遠隔による運用を実施予定である。



図-6 九頭竜ICにおけるエア遮断機の稼働状況

d) Snow-removal-melting 早く除融雪する

管内の除雪作業は、除雪車126台による除雪と（塩化ナトリウム）の散布によって対応している。道路勾配が厳しくスタックが発生しやすい区間に散水設備を整備し、常時凍結が発生しないようにしている。ただし、散水設備は水源が確保できない場所に設置できないため、すべての区間に対応できない。

2025年度の新たな取組みとして、過去にスタックが発生し水源確保ができないあわら市熊坂地区において、熱による融雪を実施するため、路面にロードヒーティングを試験導入した。また、この設備は轍部のみに設置することで、従来のロードヒーティングと比較し省力化・コスト削減が図られる。ロードヒーティングの仕組みとして、舗装内に幅13mmの熱シートを挿入し、電気により発熱する。ヒーターの発熱温度帯は10から60℃となる。



図-7 ロードヒーティングの稼働状況

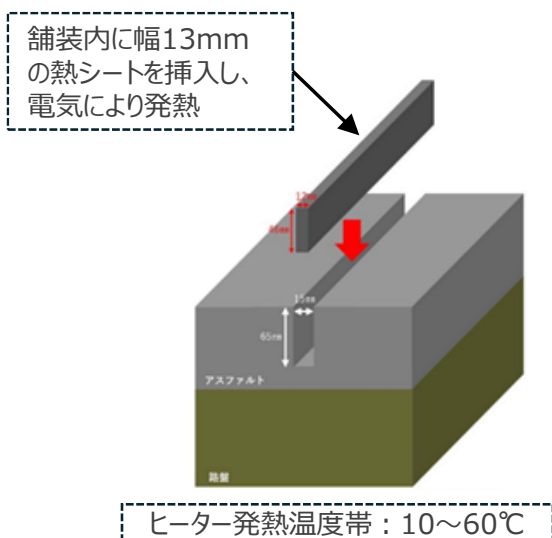


図-8 ロードヒーティングの仕組み

e) Support 地域に寄り添う

2025年度の新たな取組みとして、2026年1月の降雪による敦賀市内の除雪支援を行った。

市内の国道8号曙交差点から元町交差点の区間においてスクラム除雪を実施し、市道から排出された10tダンプ80台分の雪を雪捨て場へ運搬した。

市が行う運搬除雪を国が行うことで、市道の除雪作業が効率化され、短時間で開放することができた。

また歩道部では、道路除雪の雪だまりにより安全な歩行空間が確保されない場合があることに加え、通学時間帯までに除雪を完了させる必要がある。

そこで、国・県等の道路管理者、学校関係者、自治体等による調整会議を新たに設置し、冬期の通学路の安全確保に努めた。



図-9 スクラム除雪作業区間（敦賀市）



図-10 スクラム除雪作業状況



図-11 関係機関との調整会議

(2) 広報・啓発活動の取組

2024年度までの取組みとして、大雪時における物流の安全確保について、荷主の理解と協力を得ながら関係省庁と連携して取り組む必要があるとの認識のもと、各府県のトラック協会、商工会議所連合会、商工会連合会、バス協会及びタクシー協会に対して、大雪時の配送計画の見直しや冬用タイヤの装着を要請した。

2025年度の新たな取組みについては、ノーマルタイヤの啓発投稿など、福井河川国道事務所のSNSを活用して積極的な情報発信を実施するとともに、通行止めが予想される場合に、頻繁に情報発信を実施した。発信を積極的に実施した結果、2026年1月20日から31日までの閲覧数が増加し、24日の事前通行規制時には閲覧数が102万となった。



図-12 NEXCO、福井県、警察と合同で要請活動

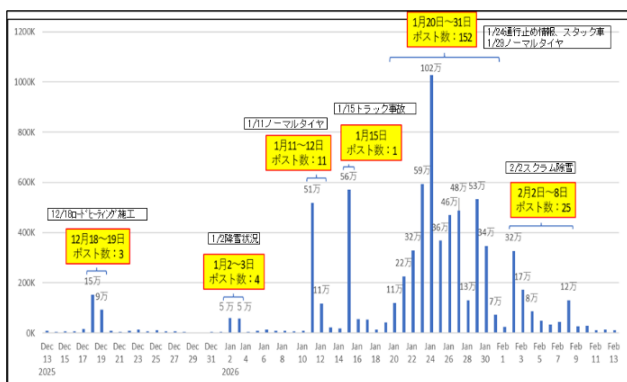


図-13 SNSによる発信情報の閲覧数

4. 2025年度取組の評価と今後の課題

本取組により、大雪時における道路交通確保に向けた各種対策の有効性が確認された一方で、運用面や連携面における課題も明らかとなった。

「Search 早く見つける」については、AIカメラの画角外でスタック車両が発生しており、早期発見

はできなかった。今後、AIカメラの増設が必要である。

「Save 早く救助する」については、チェーン運搬が必要な事象が発生しなかったことから、2025年度の運用はなかった。今後は、活用範囲の拡大とそれに伴う隊員の増員、除雪業者への貸与等を検討をしていく。

「Stop 止める」について、2026年度は遠隔操作を実施し、運用・評価を継続する。

「Snow-removal-melting 早く除融雪する」について、融雪効果が確認できたが、設備の電気料金が高額になるという課題もみえたため、導入・運用にあたっては、ライフサイクルを検証していく。

「Support 地域に寄り添う」について、敦賀市内で実施したスクラム除雪は市との連携により効果的に除雪を実施することができた。また、通学路対策については、学校によって対応に差があったため、学校関係者や各市町と連携強化を図っていく。

また、物流事業者や関係団体への要請活動およびSNSを活用した積極的な情報発信を実施した結果、大雪時には情報への関心が大きく高まり、通行止め実施日には閲覧数が100万回を超えるなど、広範囲に道路利用者へ情報を届けることができた。これにより、SNSが冬期道路情報の発信媒体として有効であることが確認されたことから、今後も積極的な情報発信を継続し、道路利用者の行動変容の促進や冬期道路交通の安全確保に活用していくことが重要である。

5. おわりに

2025年度の雪害対策では、「5S」を柱とした監視・救助・交通規制・除融雪・地域連携の強化に取り組むとともに、道路利用者への周知を目的とした広報活動にも重点を置いた。具体的には、「5S」のキャッチフレーズの設定や、防災用EVバイク等の新しい取組を積極的にSNSで発信した結果、報道機関に大きく取り上げられ、SNSでは100万回を超える閲覧数を記録することができた。

今後は、これらの課題解決に向けてデジタル技術の活用と関係機関との連携強化を一層推進し、豪雪時においても安全かつ確実な道路ネットワークを維持できる持続可能な雪害対策の実現を目指していく。

東播磨道におけるプチプラ渋滞対策

竹内 時実

兵庫県 土木部 道路街路課 (〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

(主) 加古川小野線 東播磨道は、兵庫県加古川市の国道2号加古川バイパスと小野市の国道175号を結ぶ延長約12.1kmの自動車専用道路であり、2025年11月30日に全線開通した。この東播磨道は計画交通量に対して現況交通量が上回っている区間があり、朝夕を中心に渋滞が発生している。本論文では、特に渋滞が著しい県立加古川医療センターランプ付近の南行きに対し、渋滞発生原因の分析とそれを踏まえた対策の検討、対策効果の検証を行った。

キーワード 渋滞緩和簡易対策、サグ、本線合流

1. はじめに

(主) 加古川小野線 東播磨道は国道2号加古川バイパスと国道175号を結ぶ延長約12.1kmの自動車専用道路(以下「自専道」)である(図-1)。周辺市町の活性化を図るとともに交通渋滞の緩和や円滑な移動を確保することを目的とした高規格道路で、1999年に事業化され、2025年11月30日に全線開通した。

この東播磨道の県立加古川医療センターランプ付近な

どでは朝夕を中心に渋滞が発生している。渋滞は社会経済活動の低下、大気汚染等の沿道環境悪化、交通事故危険性の増加等、県民の日常生活に支障をきたすことから、その対策が必要である。本論文では、特に渋滞の著しい県立加古川医療センターランプ付近の南行きにおいて、渋滞発生原因の分析と対策検討、2024年度に実施した低コストで維持管理の容易な対策(プチプラ対策)の効果検証を行った。



図-1 東播磨道と渋滞対策検討区間の位置図

2. 渋滞状況

渋滞箇所と状況を把握するため、予備的にGoogleマップのライブ交通情報と維持管理用のCCTVを確認したところ、南行きの県立加古川医療センターランプの本線合流部から神野ランプを先頭に北へ数百m渋滞していた。

当該箇所の詳細な渋滞状況を把握するため、図-2に示す範囲において特異日でない任意の1日にビデオ撮影し、交通量と車両走行速度を算出した(図-3、4)。2方向2車線道路の基本交通容量は2,500pcu/h(208pcu/10分/1車線)であることから、当該箇所では交通量が一番多い時間帯である17:10~17:30の交通量は、交通容量を35%超過していることが分かった(図-3)。

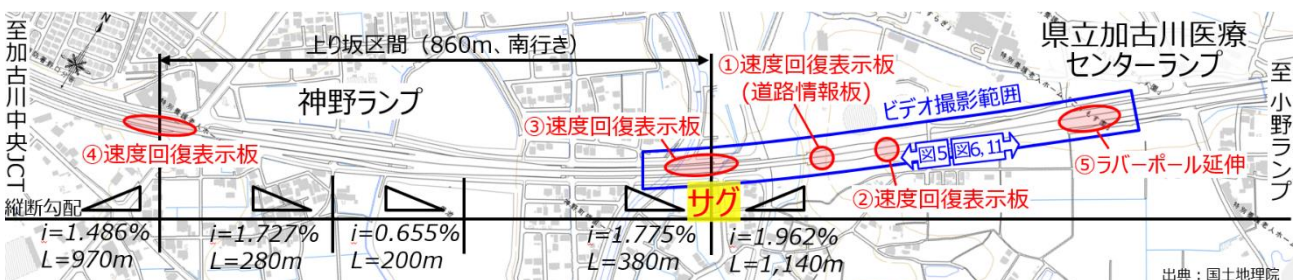


図-2 渋滞の著しい区間の拡大図(図-8 渋滞対策一覧丸数字と対応)

渋滞の定義は、道路交通特性の違いから道路管理者によって用いる指標と値が異なる。例えば、NEXCO各社では時速40km以下で低速走行あるいは停止発進を繰り返す車列が1km以上かつ15分以上継続した状態、渋滞情報を道路利用者へ提供している(公財)日本道路交通情報センターでは、東播磨道の当該箇所における道路規格では時速40km以下の時としている。本論文では道路利用者の感覚に合致する時速40kmを下回る時を渋滞とする。

当該箇所では、図-4に示す速度(オレンジ実線)から、17:15頃から速度低下がみられ、17:35を過ぎた頃から18:50頃まで渋滞が発生していることがわかった。

県立加古川医療センターランプ南行きの本線合流部において、渋滞発生直前はソフトノーズ付近で本線へ合流している車両が多いが(図-7水色実線)、渋滞中は合流位置がばらつき、ゼブラ帯を跨いだ乱合流が発生していた(図-7青実線)。

以上の結果と、サグと本線合流部までの距離が短いことから、渋滞発生メカニズムは、サグで発生した速度低下が本線合流部まで伝搬し、車間距離を調整するためにブレーキを踏むことでさらに速度低下が北(小野ランプ方向)へ伝搬していることと考えられる。

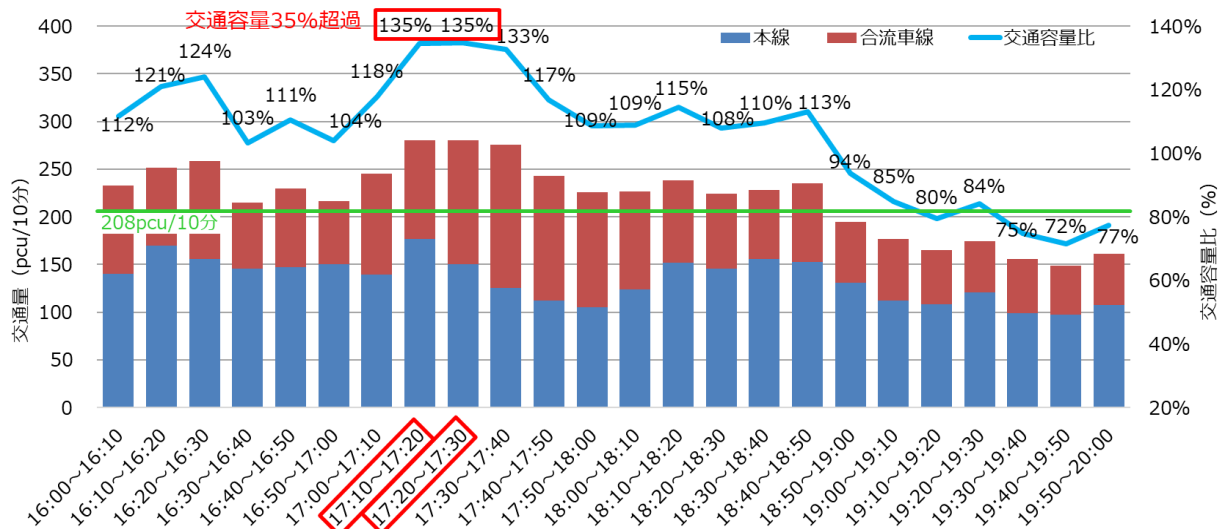


図-3 渋滞対策前の交通量(渋滞の著しい時間帯のみ抜粋)

【調査日】2024年5月22日(水)

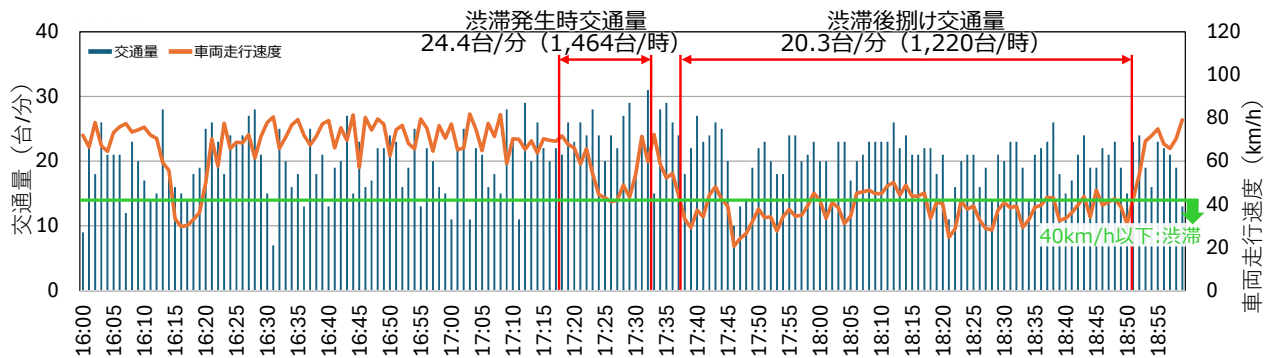


図-4 渋滞対策前の交通量と車両走行速度

【調査日】2024年5月22日(水)

3. 渋滞発生原因

(一社)交通工学研究会(2024)²⁾によると、自専道の渋滞発生条件は、サグやトンネル、本線合流部、本線分流部等のボトルネックに交通が集中し、交通需要が交通容量を上回る時とされる。当該区間は、図-2に示すとおりサグが存在している。また、図-5に示すとおり、ビデオ撮影結果から、登り勾配で速度低下した車両と後続車との距離が短くなり、後続車がブレーキを踏むことで速度低下が北(小野ランプ方向)へ伝搬していることが確認できた。

また、ビデオ撮影の結果、図-6、7に示すとおり、



図-5 渋滞対策前のビデオ撮影結果(サグでの速度低下)

【撮影日】2024年5月22日(水) 18時16分

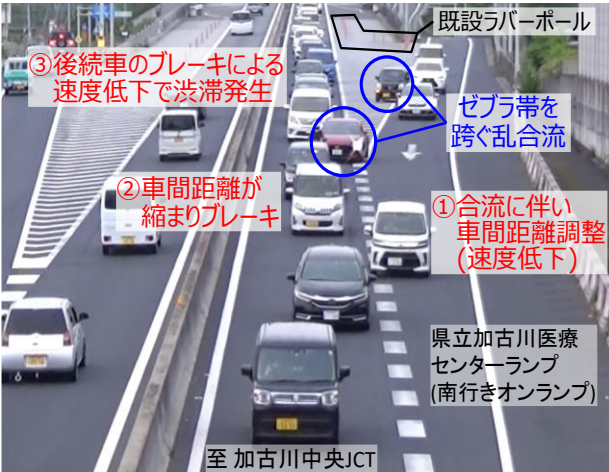


図-6 渋滞対策前のビデオ撮影結果
(本線合流部での乱合流)

4. 渋滞対策検討

一般に自専道の渋滞対策に一番効果的であるのは車線を増やして交通容量を増加させることであるが、多額の予算が必要であり、県予算スタミナの観点から早急な対応は難しい。そこで、コストと維持管理の容易さ(プチプラ)を重視した対策を比較選定した(表-1)。

サグの対策では、車両が速度低下しなければ渋滞に繋がらないことから、ドライバーへ速度回復を促す対策が有効であり、東名高速大和トンネル付近等数多くの事例がある。速度回復の表示方法については、ドットライン等よりも文字の方が速度回復に効果的であることが知られており³⁾、県警協議のうえ、図-8 (①～④) に示す文字とし、図-2 の位置に設置した。

本線合流部のばらつき対策は、当該箇所のラバーポール設置区間が短いため、ラバーポールの延伸によって合

表-1 当該箇所における渋滞対策比較

渋滞原因	サグでの速度低下			本線合流位置のばらつき	
対策方針	上り勾配での速度低下を抑制			合流位置の整流化	
対策案	速度回復表示板	速度回復路面標示	走光型視線誘導 (ベースメーカーライト)	ラバーポール延伸 (ファスナー合流)	合流車線の延長
代表的な事例と効果	東名高速 大和トンネル付近	首都高速 1号羽田線	阪神高速 3号神戸線深江地区	名神高速一宮JCT	国道 1号 掛川バイパス大池IC
	渋滞発生時捌け交通量 変化無し、渋滞時捌け 交通量 7%増加	事例が少ない	渋滞後捌け交通量4.3 ～7.3%増加、渋滞時 間6～7割減少	渋滞発生後捌け交通量 1.5%増加	速度低下の改善傾向、 急減速の減少
初期費用	中 約3.5百万(今回採用・施工 した実績額)	小	大	小 約1.5百万(今回採用・施工 した実績額)	小 (当該箇所は4車線買収済 の暫定2車線供用区間であ るため区画線引直しのみ)
維持管理	経年劣化により文字が 視認できなくなるが十 数年は更新不要	交通量が多いため文 字が短期間で視認で きなくなり再設置の 可能性	電気代とライトのメン テナンス等が必要 で維持管理に手間が かかる	車両接触による取替え 等場合によるがほぼ更 新不要	—
総合評価	初期費用・維持管理と も経済的	初期費用は経済的 であるが維持管理に手 間がかかる	他案に比べて経済性 に劣る	経済性に優れる	県警協議により 不採用
	○ 今回採用	△	×	○ 今回採用	×

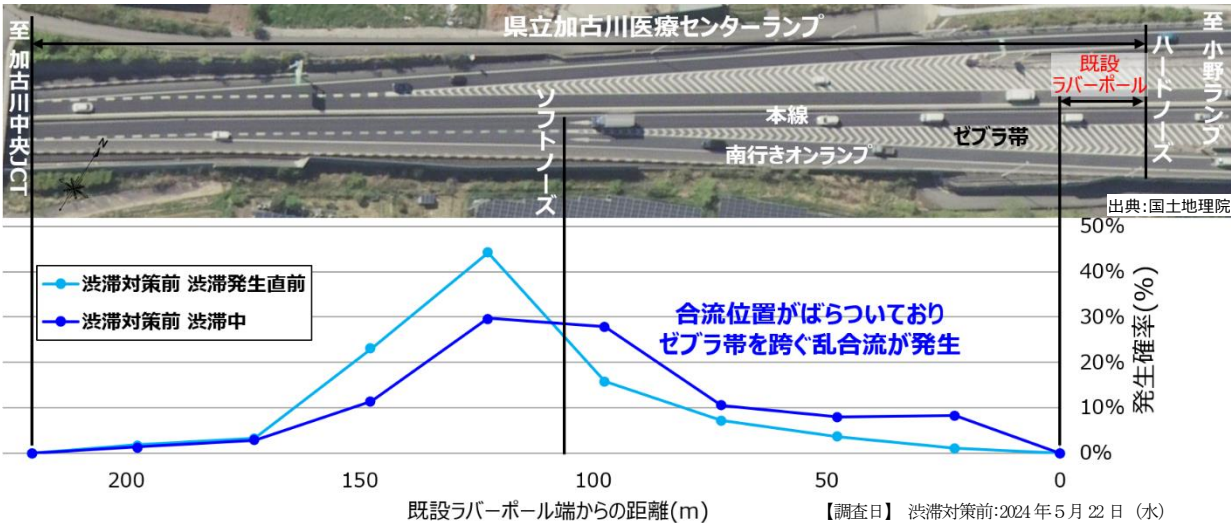


図-7 渋滞対策前の県立加古川医療センターランプにおける合流位置

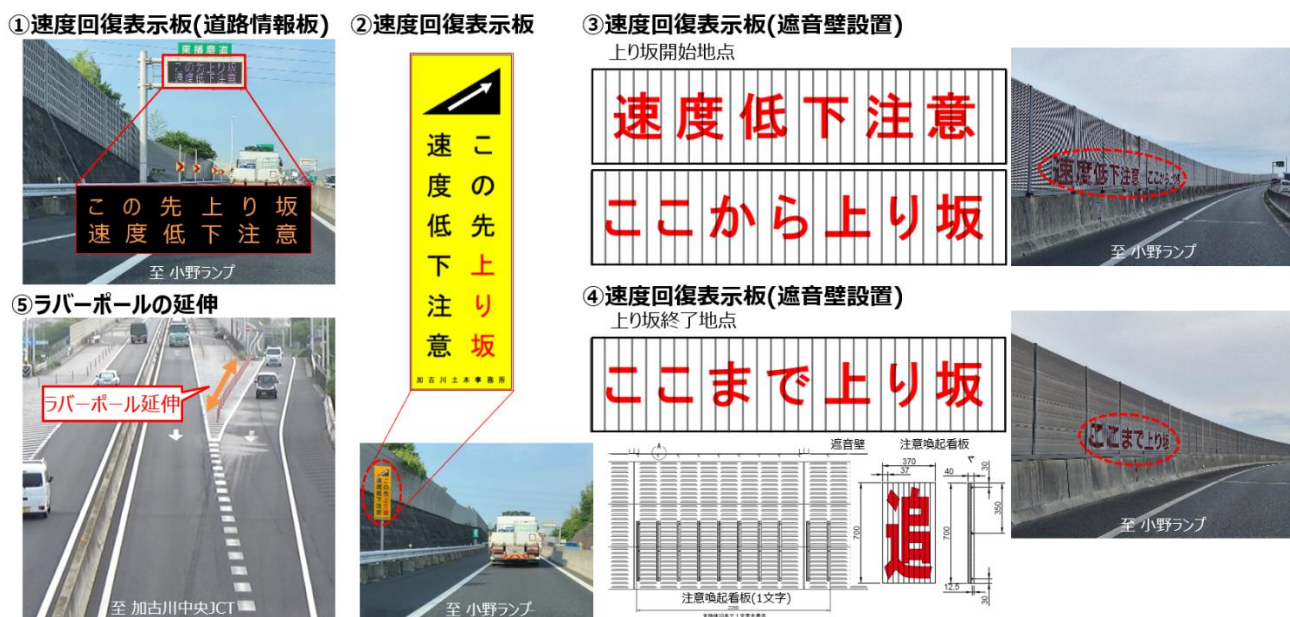


図-8 渋滞対策一覧(丸数字の対策内容と箇所は図-2 と対応)

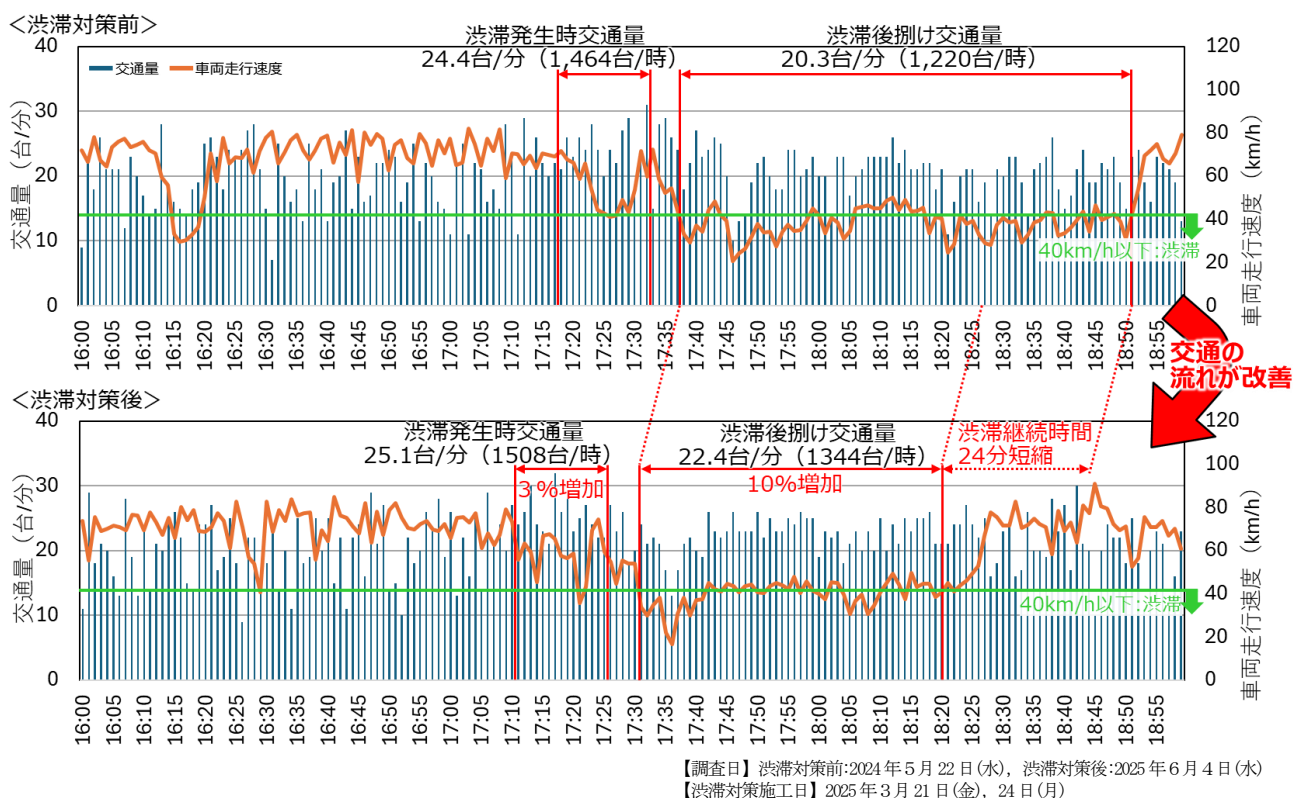


図-9 渋滞対策前後の交通量と車両走行速度

流する位置を定めること(ファスナー合流)が有効と考え、名神高速一宮JCT等で事例があることから、採用した。合流車線を延長することについては、現時点で本線合流部での事故報告がない状況で合流形態を変えることは事故の原因になるのではと県警が懸念したことから、ファスナー合流対策の効果が発揮できなかった際に再検討することとなった。

5. 渋滞対策効果検証

(1) ビデオ撮影による客観的検証

渋滞対策の効果を検証するために、図-2の範囲で再度ビデオ撮影を行い、交通量と車両走行速度を算出した。それを渋滞対策前と比較したところ(図-9)、渋滞継続時間の24分短縮、渋滞発生時交通量の3%増加、渋滞後捌け交通量が10%増加と交通の流れが改善されたことが

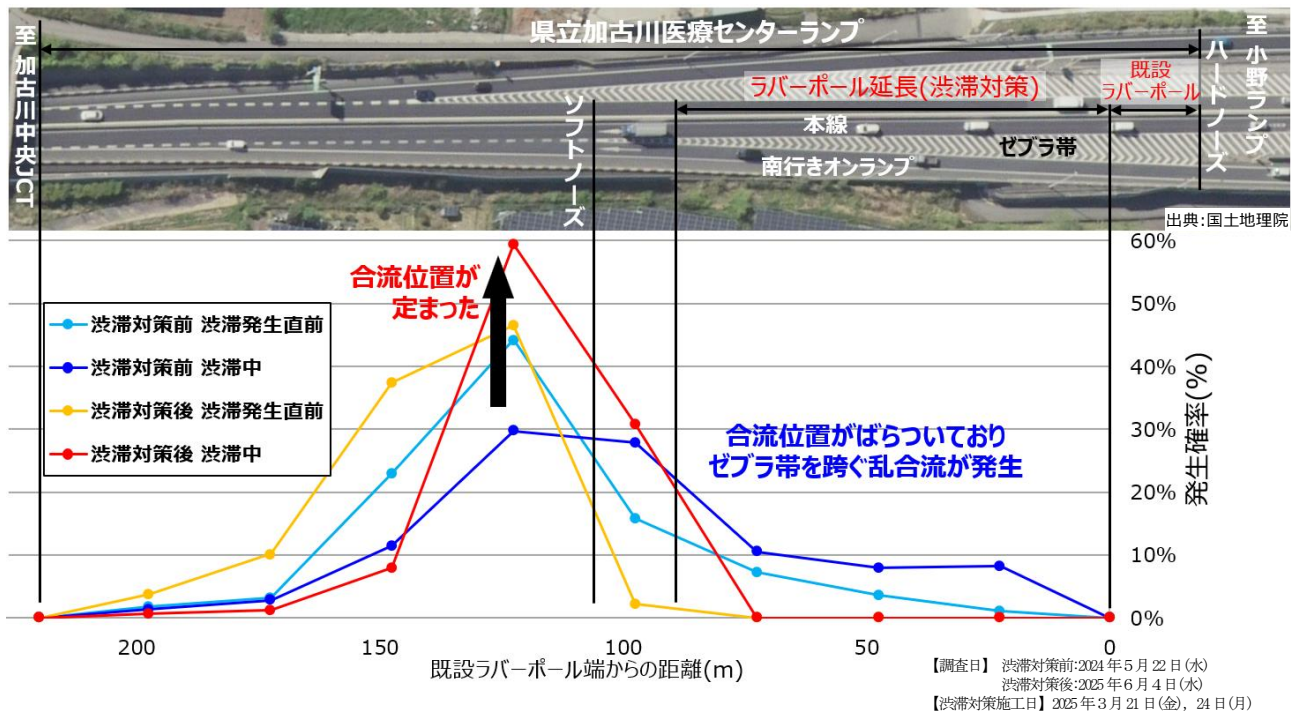


図-10 県立加古川医療センターランプにおける渋滞対策前後の合流位置比較



図-11 渋滞対策後のビデオ撮影結果(本線合流部)

分かった。

また、渋滞発生直前と渋滞発生後の本線合流位置状況を渋滞対策前後で比較したところ(図-10)、渋滞発生直前と渋滞発生後ともに、ソフトノーズを超えた位置やラバーポールを超えてすぐの位置で合流する割合が増え、ばらつきが少なくなったことから、合流位置が定まったことが分かった(図-10赤実線、オレンジ実線、図-11)。

(2) 利用者へのアンケートによる主観的検証

道路の利便性や快適性の向上には利用者がどう感じたかが重要と考え、東播磨道の利用者に対してアンケートを実施した。アンケートはインターネットリサーチ会社へ登録しているモニター159人に対しwebサイトを通じて、渋滞対策後概ね4ヶ月後の2025年7月15日(火)～18日(金)に実施した。

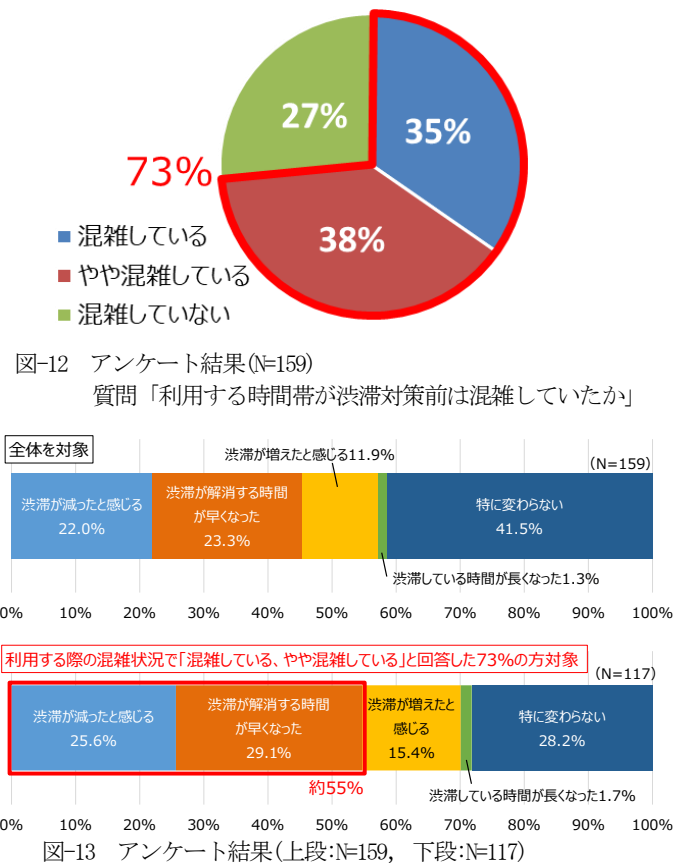


図-13 アンケート結果(上段:N=159, 下段:N=117)

質問「渋滞対策により交通状況に変化があったか」

アンケートの結果、渋滞対策前は混雑している、またはやや混雑しているとの回答が73%に及んだ(図-12)。この混雑を感じている73%のうち、渋滞対策により、渋滞が減ったと感じる、渋滞が解消する時間が早くなったとの回答が約55%あり、概ね渋滞対策の効果を実感していることが分かった(図-13下段)。

6. まとめ

東播磨道の県立加古川医療センターランプ付近における渋滞発生原因は、サグと本線合流部であることが分かった。速度回復表示とファスナー合流により、渋滞継続時間の24分短縮、渋滞発生時交通量の3%増加、渋滞後捌け交通量の10%増加と交通の流れが改善された。また、従来混雑を感じていた利用者のうち約55%が渋滞対策の効果を実感していることから、低コストで維持管理の容易なプチプラ対策で渋滞の緩和を実現することができた。

7. 参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会(2025) 道路の交通容量
- 2) (一社) 交通工学研究会(2024) 道路の交通容量とサービスの質に関する研究
- 3) 永見豊, 武藤克実, 原田秀一, 小阪義実(2020) ドライブシミュレータを用いた高速道路サグ部における路面標示対策による速度回復評価, 交通工学論文集, 第6巻第4号pp. A_1-A_5

NATMによる 河床堆積物区間の掘削について

小波津 健太¹・香西 陸²

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 工務課 (〒582-0009大阪府柏原市大正2丁目10番8号)

²株式会社安藤・間 水海川トンネル出張所 工事係 (〒910-2556福井県今立郡池田町松ケ谷22字-11)

足羽川ダム建設事業では、足羽川下流域における洪水被害軽減を目的として、洪水調節専用のダム及び分水堰と導水トンネルから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から、足羽川ダムへ導水するためのトンネルであり、2017(平成29)年2月の1期工事から始まり、2026(令和8)年8月現在は3期工事にて、掘削を完了し、呑口工事の進捗を待って、貫通する予定である。3期工事では、トンネル掘削の終盤が対象区間であり、切羽の自立を前提としたNATMではあまり遭遇することのない河床堆積物が確認された。本稿では、この河床堆積物区間における施工時の工夫について報告する。

キーワード 導水トンネル、トンネル掘削、未固結地山、安全対策、施工

1. 足羽川ダム建設事業の概要

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支川部子川(福井県今立郡池田町小畑地先)(図-1参照)に建設する高さ96m、総貯水容量28,700千 m^3 、有効貯水容量(洪水調節容量)28,200千 m^3 の重力式コンクリートダムである。下流地域の洪水被害軽減を目的としており、平常時は水を貯留しない洪水調節専用の流水型ダムである。

また、足羽川ダム建設事業では、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からダムへトンネルで結び導水する。将来計画では、さらに足羽川本川上流部等の3河川からも導水する予定である(図-2参照)。

水海川導水トンネルは、洪水時に水海川からダムへ導水するための全長4,720.55mの長大トンネルであり、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から北西に伸びる尾根を貫く。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。水海川導水トンネル工事においては、導水路の吐口に当たる金見谷川側から呑口に当たる水海川側へ全長4,720.55mの長距離を片押しによって施工している(図-3参照)。

本稿では、水海川導水トンネル3期工事におけるトンネル掘削終盤に出現した、水海川側坑口部の河床堆積物への対応の工夫について述べる。



図-1 足羽川ダム位置図

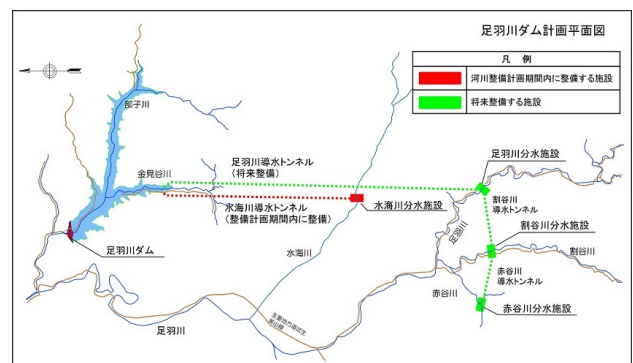


図-2 足羽川ダム計画平面図

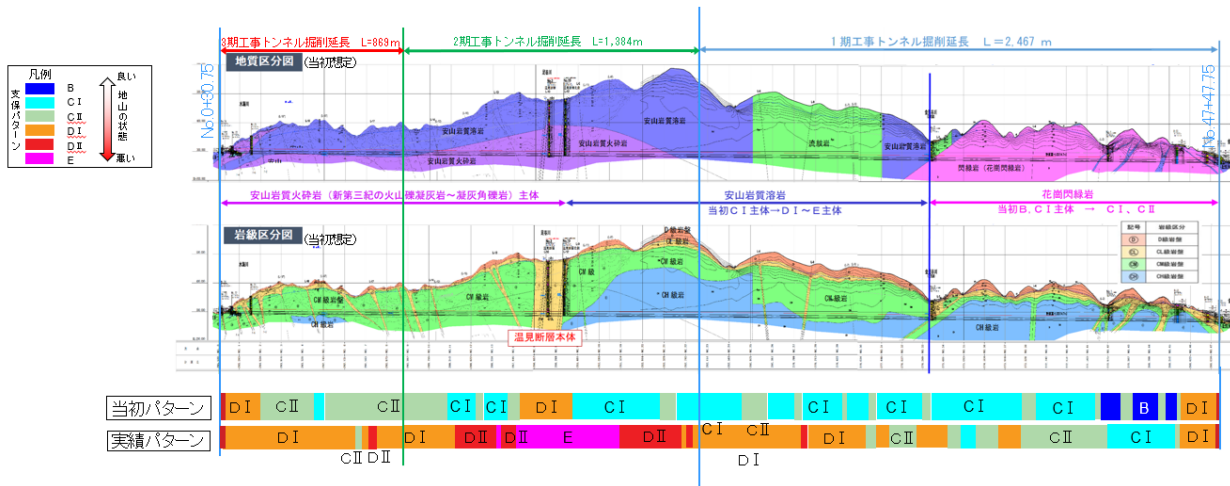


図-3 水海川導水トンネル地質図

2. 水海川導水トンネルの概要

(1) トンネル概要

水海川導水トンネルは、全長4,720.55m、内径8.5m、縦断勾配1/170のトンネルであり、仕上がり内径は直径8.5mの円形、底部は床版コンクリートを設置する。

トンネル部の地質は大きく2種類に分けられ、吐口側より約1,500mが花崗閃緑岩、呑口側より約3,200mが安山岩溶岩、火砕岩類を主として構成される。

また、TD（トンネル吐口からの距離）3,000m付近では、濃尾断層帯を構成する活断層の一つである温見断層との交差区間（図-4）が確認され、周辺では脆弱な自破砕状溶岩の分布が確認された。

(2) 呑口部側概要

呑口側では、呑口構造物のほかに、水海川の洪水を足羽川ダムに導水するための分水堰と、分水堰設置箇所

現存し、撤去予定の番屋堰堤（写真-1参照）の機能を代替する貯砂ダムを上流に構築する（図-5参照）。



図-5 呑口側全体図

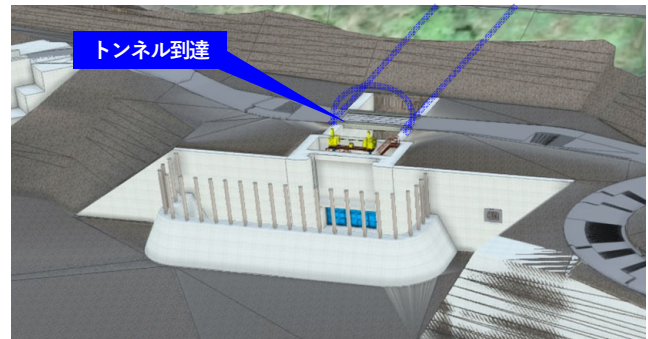


図-6 呑口構造物

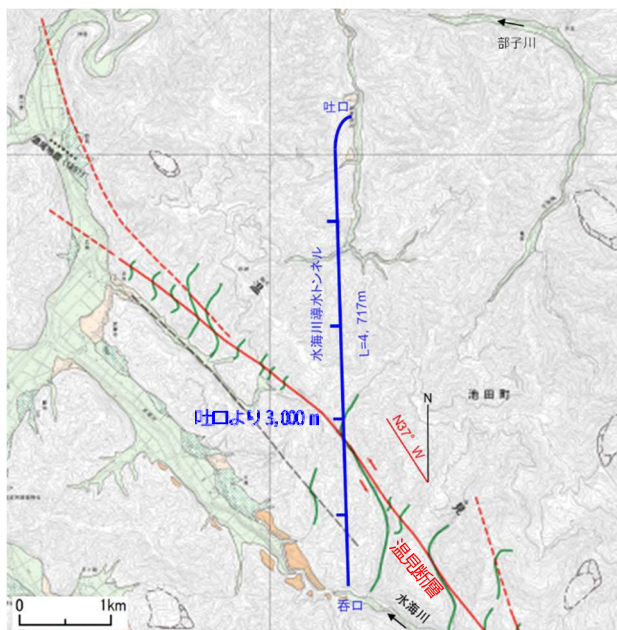


図-4 水海川導水トンネルと温見断層の位置関係 1)に加筆



写真-1 番屋堰堤（既存）

3. 呑口部のトンネル掘削について

呑口区間のトンネル掘削において、以下のような課題が挙げられた。

(1) 施工時の課題

a) 河床堆積物の出現

トンネル呑口部には、前述の番屋堰堤により上流からの土砂が堆積し、トンネルの呑口区間（TD4,700m付近）にはトンネル掘削範囲内に河床堆積物（土砂）が出現することが想定された（図-7参照）。

b) 周辺施設の状況

呑口部では、軟質な河川堆積物に加え、トンネル上部に、福井県道熊河池田線が存在する（写真-2、図-8参照）。本県道については、一般の通行のみならず、分水

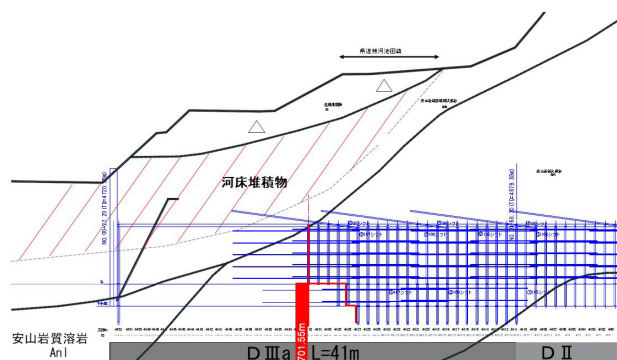


図-7 トンネル縦断面図



写真-2 呑口部

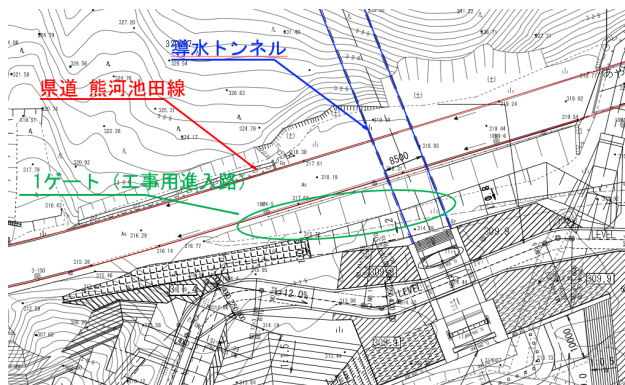


図-8 呑口部平面図

施設全体の進入路として、ダンプトラックや重機等を搭載した大型車両が通行するため、安全に通行できるよう対策が必要となった。

(2) 地質の確認

事前のボーリングおよび切羽確認によって、軟質な河床堆積物の存在（写真-3、図-9、表-1参照）を確認した。もともと岩盤を対象とした山岳工法であるNATMであるが、近年、その対象地盤が、軟質な地盤に拡大されてきた。とはいえ、今回のような代表N値2程度の軟質な河床堆積物区間を掘削することは極めてまれで、適用に当たり、慎重な検討を行った。

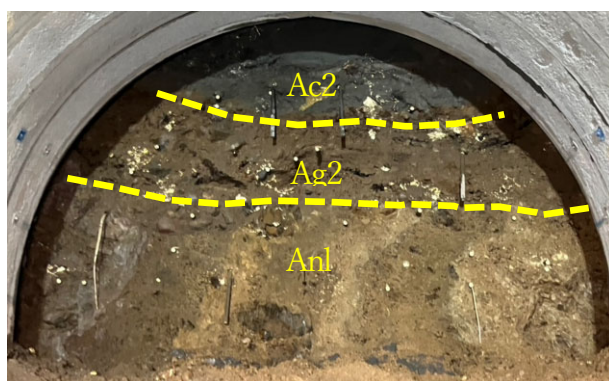


写真-3 トンネル切羽 (TD4,705.55m)

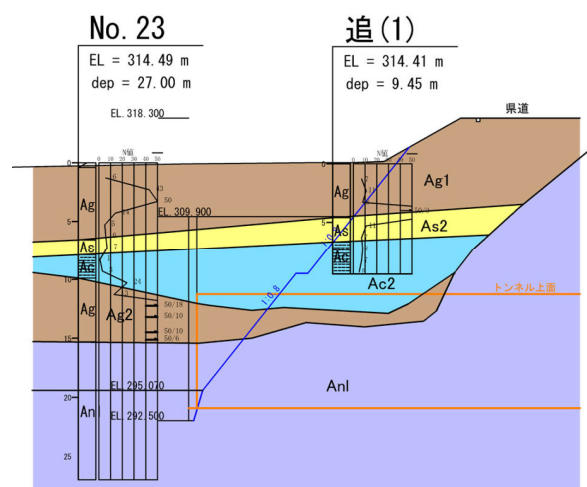


図-9 呑口部地質縦断面図

表-1 地盤定数

地質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	代表N値	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
礫混じり砂 (Ag1)	19.0	5	0	30
砂 (As2)	17.0	5	0	30
砂混じり粘土 (Ac2)	16.0	2	13	0
礫混じり砂 (Ag2)	20.0	10	0	40
軟岩 (An1)	23.0	50以上	482	34

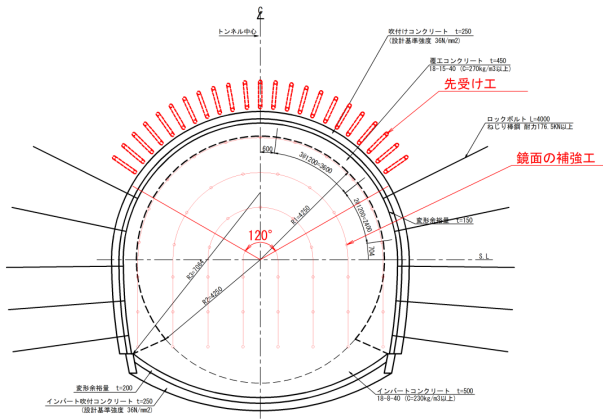


図-10 補助工法追加イメージ

(3) 対策方法

前述した課題を踏まえ、対策方法の検討を行った。

本施工においては、トンネル天端及びトンネル切羽の補強を目的として、先受け工及び鏡ボルトの追加を実施した(表-2, 3参照)。

補助工法は、切羽天端部を長尺鋼管フォアパイリング、鏡面を小口径長尺鋼管先フォアパイリングとし、切羽の状況に応じて打設シフト、打設間隔の変更、注入材量を増量する等の対策を臨機に実施した。

表-2 補助工法比較検討表(切羽天端の補強)

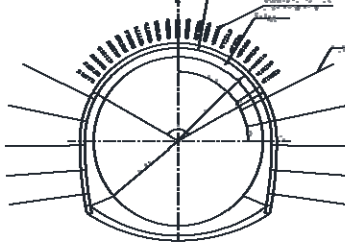
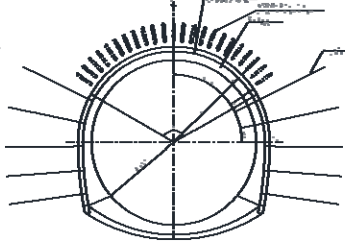
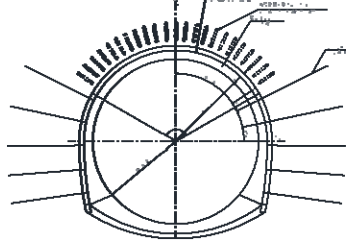
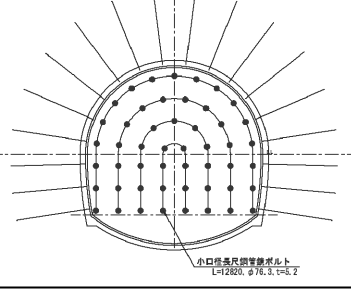
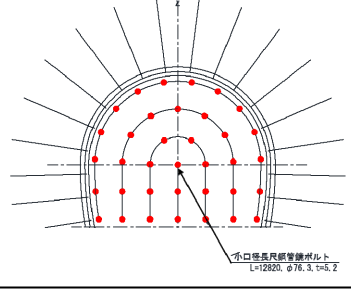
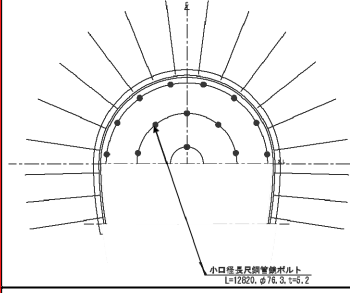
項目	1案: 小口径長尺鋼管フォアパイリング	2案: 長尺鋼管フォアパイリング(AGF工法)	3案: 長尺鋼管フォアパイリング(AGF工法)
概要			
概要	鋼管径: $\phi 76.3\text{mm}$ 打設長: 12.920m 打設ピッチ: 0.45m 打設本数: 23本/シフト 打設シフト: 4シフト×9.0m	鋼管径: $\phi 114.3\text{mm}$ 打設長: 12.920m 打設ピッチ: 0.45m 打設本数: 23本/シフト 打設シフト: 4シフト×9.0m	鋼管径: $\phi 114.3\text{mm}$ 打設長: 12.920m 打設ピッチ: 0.45m 打設本数: 23本/シフト 打設シフト: 4シフト×6.0m
施工概要	・トンネル断面外周にドリルジャンボにより二重管方式で小口径の鋼管($\phi 76.3\text{mm}$, $L=12.92\text{m}$)を一定間隔に穿孔推進し、注入材により鋼管周囲の地山改良を行う。長尺鏡ボルトを併用することにより前方地山の先行変位を抑制し、切羽・天端崩落等を防止する。	・トンネル断面外周にドリルジャンボにより二重管方式で鋼管($\phi 114.3\text{mm}$, $L=12.92\text{m}$)を一定間隔に穿孔推進し、注入材により鋼管周囲の地山改良を行う。長尺鏡ボルトを併用することにより前方地山の先行変位を抑制し、切羽・天端崩落等を防止する。天端崩落防止効果は大きい。	・トンネル断面外周にドリルジャンボにより二重管方式で鋼管($\phi 114.3\text{mm}$, $L=12.92\text{m}$)を一定間隔に穿孔推進し、注入材により鋼管周囲の地山改良を行う。長尺鏡ボルトを併用することにより前方地山の先行変位を抑制し、切羽・天端崩落等を防止する。天端崩落防止効果は大きい。
施工性	・二重管掘のため、孔壁が不安定な地山でも施工可能。 ・小口径の鋼管はAGF鋼管に比べて軽い(半分程度)ため、扱いやすい。 ・打設ピッチを9mとしているため、①案に対し、施工性に優れる。	・二重管掘のため、孔壁が不安定な地山でも施工可能。 ・重量物(AGF鋼管: 50kg/本)を扱うため、安全性に留意して作業を行う必要がある。 ・打設ピッチを9mとしているため、①案に対し、施工性に優れる。	・二重管掘のため、孔壁が不安定な地山でも施工可能。 ・重量物(AGF鋼管: 50kg/本)を扱うため、安全性に留意して作業を行う必要がある。 ・打設ピッチを6mとしているため、①案に対し、施工性に優れる。
概算工費(直工)	・小口径長尺鋼管先受け工: 859 千円/ m (基準)	・長尺鋼管先受け工: 1,058 千円/ m (差額 + 139 千円/ m)	・長尺鋼管先受け工: 1,643 千円/ m (差額 + 784 千円/ m)

表-3 補助工法比較検討表(鏡面の補強)

設計パターンⅠ	設計パターンⅡ	設計パターンⅢ
地山等級: E等級	地山等級: D等級	地山等級: C等級
		
@1200mm×50本 (上半: 34本, 下半: 16本)	@1500mm×36本 (上半: 22本, 下半: 14本)	@1800mm×14本
$\phi 76.3\text{mm}$ 50本 9mシフト (シリカレジンを注入)	$\phi 76.3\text{mm}$ 22本 6mシフト (シリカレジンを注入)	$\phi 76.3\text{mm}$ 14本 9mシフト (シリカレジンを注入)
2,620千円/m	1,768千円/m	700千円/m

掘削補助工法の採用は、TD4,651m以降から開始し、TD4,666mで小口径長尺鋼管鏡ボルトのシフト長を9mから6mへ変更、TD4,679.55mで長尺鋼管フォアパイリング（AGF）（9mピッチ）への変更、TD4,701.55mでAGFのシフト長を9mピッチから6mピッチ、注入材量を155kg/本から232kg/本へ変更、TD4,710.55mで注入式フォアポーリングの追加を実施した。

また、トンネルの沈下対策、上部の県道の沈下対策として、インバート支保を1mごとに早期閉合した。

(4) 結果

結果として、適切な補助工法の採用により、河床堆積物であってもNATMにより無事に掘削を完了することができた。また、河床堆積物が確認された以降の掘削については、河床堆積物による軟弱な地質状況であるため、発破によらずバックホウ・大型ブレーカを用いた機械掘削（写真4参照）とした。

県道への影響については、日々朝夕2回の計測により変位を観測、道路管理者への報告を実施した。



写真4 機械掘削状況

4. まとめ

本稿では、水海川導水トンネルにおけるNATMによる河床堆積物掘削の工夫を紹介した。

結果として、NATMによる河床堆積物の掘削は多くの補助工法が必要となり、非常に難しい施工であるといえるが、トンネルの地質状況は設計段階では読めない部分があり、山岳工法で遭遇した場合の一助となれば幸いである。

謝辞：本稿の作成にあたって適切な助言をいただきました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 金田，杉戸，田力，中田：1:25,000 活断層図「大野」，国土地理院，2018

海岸保全施設における空洞確認時の現地対応について

雲山 莉菜¹・小林 正²

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

²近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 東播海岸出張所 (〒673-0845 兵庫県明石市太寺2-11-16)

東播海岸における海岸保全施設の定期点検において、舞子海岸の一部区域で空洞が発見された。当該区域の海岸保全施設の一部は公園占用がなされており、海岸利用者が多いため、利用者の安全確保を確実にを行うべく、海岸保全施設への立ち入り制限を速やかに行った。その後、学識経験者等からなる検討委員会を設置し、助言のもと制限を一部解除した。ケーソン部背面のコンクリート床板部については引き続き立ち入り制限を行っており、現在、対策工を実施している。本論文は、一般利用が多い海岸施設整備を行う上で、速やかな立ち入り制限措置、部分開放に向けた確実な対応など利用者の安全確保のため工夫した点について述べるものである。

キーワード 東播海岸、海岸保全施設、公園利用、利用者の安全確保

1. 東播海岸の概要

(1) 姫路河川国道事務所における海岸整備事業について

姫路河川国道事務所では、海岸侵食や度重なる台風被害を受け、1961年から直轄事業として海岸保全を行っている。海岸利用の状況や背後地の土地利用の特性を踏まえて、4工区(播磨、明石西部、明石東部、垂水)に分け、侵食被害、浸水被害及び交通遮断被害の防止を目的として海岸保全施設の整備を行っている。2015年度に播磨工区、2019年度に明石西部工区を兵庫県へ引き渡し済みであり、現在、明石東部工区と垂水工区の2工区で整備を行っている。

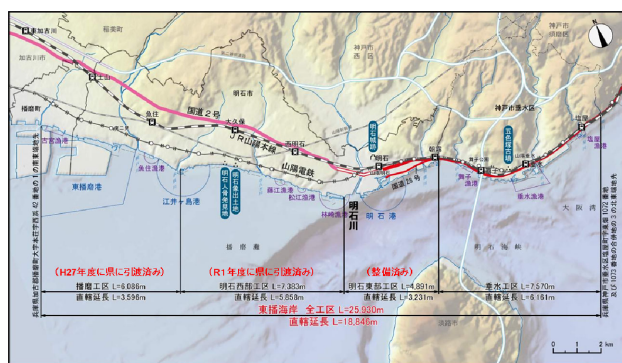


図-1 位置図

(2) 大蔵海岸公園及びアジュール舞子について

明石東部工区の大蔵海岸は明石市が「大蔵海岸公園」として、垂水工区の舞子海岸は神戸市が「アジュール舞子」として、それぞれ当事務所から海岸法に基づく占用許可を受け、海岸保全施設を公園として利用している。したがって、当該箇所は、国が整備する海岸保全施設であると同時に、市管理の公園の区域でもあり、日常の公園施設としての維持管理は市が行っている。元はCCZ(コースタルコミュニティゾーン)事業によって整備された施設であり、大蔵海岸は1993年に着手し1998年に完成、アジュール舞子は1994年に着手し1999年に完成した。CCZ事業とは様々な機能を備えた海浜空間を整備し、地域の人々が気軽に海と親しめる、うるおいのある空間をつくりだそうとするものである。

2. 現地状況

(1) 空洞確認の経緯

東播海岸では、海岸保全施設維持管理マニュアルに準じて、工区毎に概ね5年毎に海岸保全施設の点検を実施している。

今回、2024年10月9日より定期点検を実施したところ、同年11月、舞子海岸でケーソン護岸背後のコンクリート床版下に規模の大きな空洞(深さ1.1m(実測)、縦1.0~2.5m(推定)、横7.0m(推定))を確認した。



写真-1 空洞確認箇所の開削状況

(2) 大蔵・舞子海岸の空洞対策検討委員会の設置

空洞が発見された区域において、安全確保を確認し、または対策工事を実施し、安全に利用いただけるよう、対策工法や対策後のモニタリング、立ち入り制限の解除の考え方等について技術的助言をもらうことを目的とし、学識経験者で構成する「大蔵・舞子海岸の空洞対策検討委員会（以下「委員会」という。）」を設置した。2025年3月から12月にかけて合計4回の委員会を開催している。

(3) 現地の特性

大蔵海岸公園及びアジュール舞子における護岸の構造が、空洞確認箇所の構造と類似している。

当該箇所は、1. (2)に記述のとおり、市管理の公園の区域でもあるため、年間を通して多くの利用者で賑わっている。また、明石海峡大橋に隣接していることから観光客も多く立ち寄る。よって、今回の空洞が確認された箇所は、海岸保全施設の不具合対策を行っていく上で、公園という利用施設が供用停止することについても考えていく必要がある。

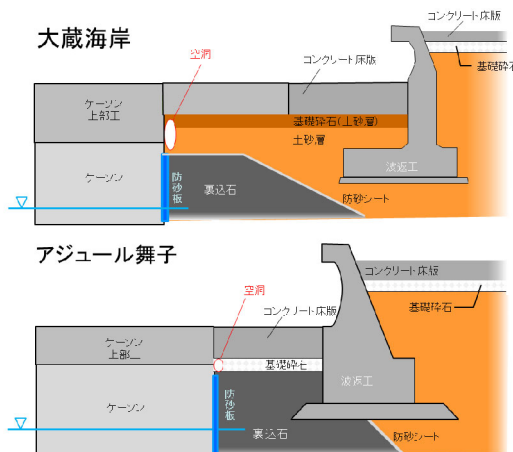


図-2 護岸構造のイメージ図

3. 空洞発見後の措置及び対応結果

(1) 立ち入り制限措置及び現地対応

立ち入り制限措置及び現地での対応を時系列順に列挙する。

2024年11月9日より定期点検にて空洞が確認された箇所についてカラーコーンで囲い、立ち入り制限の措置をとった。

2024年11月13日より上記と類似する構造の箇所については、点検が完了し安全確保が確認されるまでの間、立ち入りを制限するため、単管バリケードなどすぐさま手配できる資材で立ち入り禁止の措置を行った。

2024年11月末までに単管バリケードを高さ1.2mのメッシュフェンスに交換し、立ち入り制限措置を強化した。

2024年12月27日に年末年始は利用者が増えるため、改めて立ち入り制限について記者発表を行う。初日の出時には特に多くの利用者が訪れるため、警備員を10名配置し、万全の体制をとった。

2025年1月より舞子海岸東端部分の開削調査を実施し、2025年3月26日に第1回委員会を開催した。

その後、委員会より「裏込め部については危険性があると思うが、ケーソン部については開放しても問題ないと思われる。」との助言をいただき、ケーソン部の開放に向けて作業を進めた。

2025年4月23日にケーソン部について、開放措置を講じた箇所から順次制限解除を行い、2025年5月2日にケーソン部の立ち入り制限解除の作業を完了した。



図-3 立ち入り制限箇所の位置図

(2) 維持管理について

全面的に立ち入り制限を行うにあたっては、海岸保全施設へ降りる階段を閉鎖することにより措置を行っていたが、2025年4月のケーソン部の立ち入り制限を解除するにあたっては、新たに約2kmにわたって、フェンスを設置する必要があると、速やかな資材調達が課題であった。調達しやすく、作業性がよい対策として、鉄筋とオレン

ジネットにて立ち入り禁止措置を行った。

また、設置フェンスの維持管理のため、釣り客が多い時期（4月～11月）は週に1回以上の点検を行い、順次補修を行った。

(3) 公園管理者との情報共有

立ち入り制限についての問い合わせについては、まずは公園管理事務所へ連絡されることが多かった。そのため、工事進捗状況と今後の予定について、公園管理者との情報共有を図り、一般利用者への対応について齟齬が生じないように努めた。また、公園事務所HPのトップページで立ち入り制限の案内をしていただき、公園利用者が立ち入り禁止に関する情報を得やすいようにしていただいた。

公園管理者においては公園パトロールを毎日行っているため、フェンスの損傷など不具合についてタイムリーに連絡をいただくことができ、速やかに補修を行うことができた。

(4) 利用者への周知

利用者の理解を得られるよう、現地には看板を設置するとともに、SNSによる情報発信も行った。

立て看板は、視認性の高い大きなものを設置した。上に文言を記載し、下は位置図を時点に応じて張り替えられるように作成した。外国人の訪問が多いことから、簡易な多言語対応のお知らせも掲示し、安全対策を行った。

SNSはXを利用し、部分開放をするたびに投稿した。

また、当事務所による海岸巡視や、公園管理者による公園パトロールで立ち入り禁止エリアの見回りを実施した。当事務所職員による見回り時には、利用者から声をかけられる機会もあり、その際には現在の状況及び今後の予定について説明を行い、利用者の理解につなげている。



写真-2 立て看板

(5) 釣り利用への取り組み

利用者の中でも釣りを目的とした利用者が多いため、

当事務所から周辺釣具店に委員会開催や部分解除などの節目となるポイントで情報提供を行っている。また、釣具店においては、店頭で立ち入り禁止区域の案内を掲示したり、SNS投稿や動画サイトへ配信されたりと、釣り利用者へのきめ細やかな情報提供を行っていただいております。部分的に立ち入り禁止となっている海岸保全施設周辺での安全利用につながっていると考えられる。

(6) 現在

2025年度に開削調査を実施し、委員会にて、安全確保の確認、調査内容や対策工法についての技術的助言をいただき、順次空洞箇所対策工事を行っている。

委員会において技術的助言をいただくため、調査を行っていない間や、発注手続き中のため対策工事を行っていない期間があったが、利用者から見ると何もしていないのに立ち入り制限しているように見えることから、否定的なご意見をいただくこともあった。また、利用者からスペースが狭くなって利用しにくいとの声が寄せられることがある。このような意見をいただいた際は、現在の状況を丁寧に説明している。



写真-3 現在の制限エリアの様子

4. 結論

公園施設として一般利用が非常に多い場所であるため、利用の実態を考慮し、利用者目線を意識した様々な取り組みを行いながら利用者の安全性確保に努めた。

空洞発見後にただちに立ち入り禁止措置を行い、部分開放後も定期的に設置フェンスの点検を行った。

また、立ち入り制限内へ立ち入らぬよう利用者に制限措置について理解いただく必要があった。

そのために、まず情報発信を、現地への立て看板の設置やSNSへの投稿を行い実施した。次に、公園管理者と情報共有を密に行い、公園管理事務所からも情報発信を

行い、公園の巡視員により注意喚起をするなどして共同で取り組んだ。さらに、釣りの利用が多いという特徴があったため、釣具店への説明を行い、釣具店からも釣り客へ情報提供を行っていただいた。

これら取り組みの結果、現在まで事故は起きていない。

もっとも、利用者からは早期開放を望まれ、制限解除の目処を聞かれることが多々あった。制限解除は、点検調査を行い施設の安全が確認できた後となるため、目処を答えることができず、理解をいただくことが難しい場面も多々あった。しかし、安全である部分を速やかに開放したことにより、利用者からの要請に一定応えることができたと考える。部分開放にあたっては、委員会にて技術的助言をいただいているが、公共空間利用の観点の認識を共有していたことが、助言につながったと考える。

現在も立ち入り制限について、否定的なご意見をいただくことがある。状況がわからないことや解決の目処がわからないことが利用者にとっては非常に負担となり、事業者に対する不信感につながると推測する。

また、海岸保全施設であることが一般に認知されておらず、利用者にとってはなぜ国土交通省が立ち入り制限を行っているのか理解をいただくことに苦勞をした。

よって、我々は一般の方からどう見られているか、何を求められているのかを的確に理解し、それらに応えられているか意識することが、必要不可欠だと考える。平時から現地に足を運んだり、直轄海岸保全施設整備事業の広報を行う等で、一般の方の声を聞く機会を設け、利用者の方がどのような情報を求められているかを把握し、的確な情報発信を行えるようにするとともに、一般の方にも国土交通省の事業について理解いただけるよう努めていくことが重要である。

5. 今後の展望

航行船舶が輻輳する大阪港主航路における 大規模浚渫工事について ～航行安全対策についての関係者との 合意形成と工事実施～

新治 さくら¹

¹近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 第一建設管理官室 (〒552-0007大阪府大阪市港区弁天1-2-1)

本事業は、国際コンテナ戦略港湾政策の一環として、大阪港の国際競争力強化のために大水深コンテナターミナルにつながる主航路の整備を行うものである。大阪港の主航路は、1日あたり数百隻規模の一般航行船舶が輻輳する航路であり、本事業の浚渫土量は、全体で約700万m³と大規模浚渫工事であることから、工事の効率性と安全性が求められる難易度の高い事業である。本稿では、国内有数の輻輳海域である大阪港の主航路(-16m)整備において、初めてのポンプ浚渫工事を一般航行船舶の安全を確保しつつ、効率的な施工を行うことで無事故で完了させたことから報告するものである。

キーワード 国際競争力, 航行安全, 合意形成, ポンプ浚渫, 大規模浚渫工事

1. はじめに

大阪港は2025年に大阪・関西万博が開催された夢洲を含め、近畿圏の経済活動や市民生活を支える我が国有数の国際貿易港である。また、国際コンテナ戦略港湾にも指定されており、西日本最大の物流・交流拠点として、国際競争力強化が求められている。

大阪港主航路は多くの航行船舶が輻輳し、港内にコンテナターミナル、クルーズターミナル、フェリーターミナル、各種RORO船、貨物ターミナルへの入出港のメイン航路として、小型船も含めて1日あたり300～400隻程度の船舶が航行している国内でも有数の輻輳海域である。また、大阪港の航路水深は現時点で水深15mの航路が最大のため、本来であればもっと積載可能な貨物船等が積載量を調整し、大阪港へ入港している状況である。世界的にもコンテナ船の大型化が進んでおり、大阪港においても現在的水深15mより高規格な水深16mの航路整備が急がれている。大阪港主航路は水深15m、航路幅員400mで暫定供用されているところであるが、港湾計画では水深16m、航路幅員は560mとされており拡幅するため約700万m³という大規模な浚渫工事が必要である。そのため、早期に事業を進捗させるべく、本工事では浚渫能力の高

いポンプ浚渫船を用いて浚渫を行った。

2. ポンプ浚渫工事の概要

(1) 浚渫工事の概要

浚渫工事は、海底の土砂を除去し、船が安全に航行できるだけの水深を確保するために行う工事である。大阪港の主航路(図-1)は水深16mを確保するために、浚渫工事を行っており、浚渫工事における代表的な施工方法として、海底の土砂をバケットで掘り土砂を取り除くグラブ浚渫工事などが挙げられるが、本工事では土砂と海水を同時に吸い込んで土砂を取り除くポンプ浚渫工事を採用した。ポンプ浚渫工事はグラブ浚渫工事に比べて、施工能力が高く、短時間でより多くの土砂を浚渫可能である。大阪港では、狭隘部等を先行してグラブ浚渫で施工していたが、先述の国際競争力強化のため、2025年から主航路(-16m)整備において、初めてポンプ浚渫船にて大規模な浚渫を行っている。全体で約700万m³の内、2025年度には約120万m³(25mプール約3,000杯分)の浚渫を実施した。



図-1 大阪港の浚渫場所と土砂処分場の位置関係

(2) ポンプ浚渫の施工概要

ポンプ浚渫の施工フロー(図-2)及び全体概要(図-3)を以下のとおり示す。

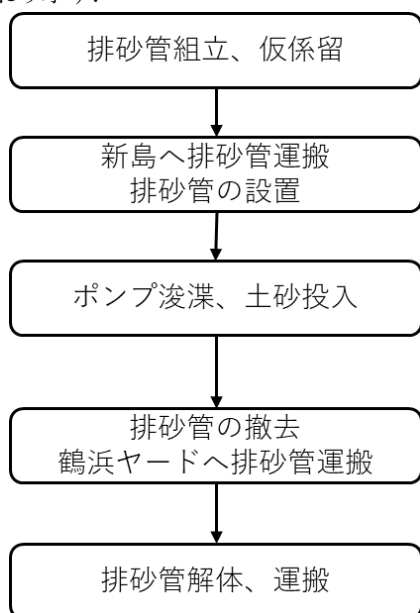


図-2 ポンプ浚渫フロー図

施工フローのとおり、ポンプ浚渫の工程には排砂管の組立、運搬、設置、浚渫及び処分場への土砂投入、排砂管の撤去、解体、運搬などがある。

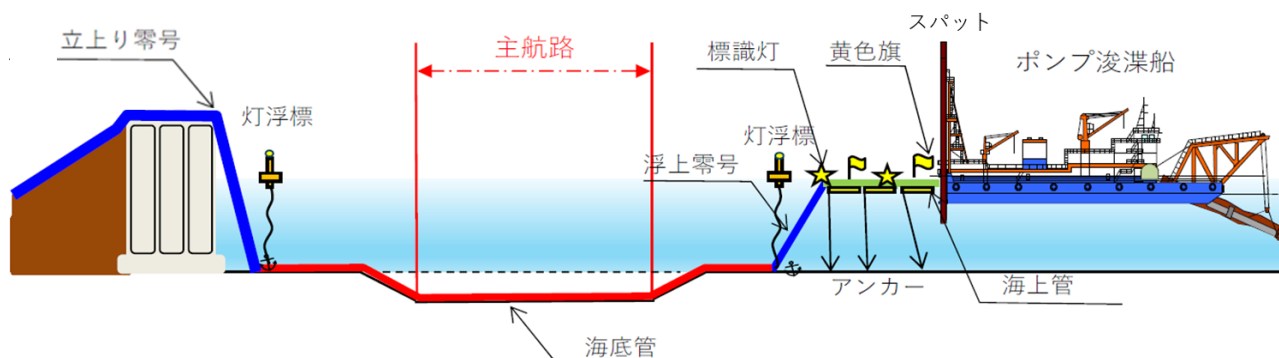


図-3 ポンプ浚渫工事全体概要

a) 排砂管の組立、運搬、設置

排砂管には陸上に設置する陸上管と海上・海底に設置する海上管・海底管がある。排砂管は下関港から内航貨物船に積み込み大阪市大正区の鶴浜地区まで海上運搬した。

陸上管は鶴浜ヤードから新島地区にある直轄土砂処分場(以下、新島)へ運搬し、起重機船にて新島内に吊り込んだ後、新島東護岸上に南東側から北西側に向けて約650m設置した(写真-1)。



写真-1 陸上管の様子

陸上管設置後は、海から陸に受け渡される立ち上がり零号と呼ばれる排砂管を設置した(写真-2)。



写真-2 立ち上がり零号の様子

海上管と海底管の組立地である鶴浜ヤードにて、直径1mほどの排砂管を長さ100mほどに組み立てて(写真-3)延長した後、海上に仮係留する作業を行った。その後、引船で鶴浜ヤードから新島地区へ曳航し、新島前面部に仮係留した(写真-4)。



写真-3 排砂管組立の様子



写真-4 排砂管曳航の様子

主航路北西外側部については、新島前に仮係留した海底管を所定の位置まで曳航し、設置する位置を確定させた後、注水して排砂管を沈設させた。

また、海上管については、鶴浜ヤードにて組立後、新島護岸前面部まで曳航し、新島前にて長さ200mまで延長した後、ポンプ浚渫船及び浮上零号と接続した。これらの施工時は安全対策として、安全監視船を各所に配置した。

b) ポンプ浚渫

ポンプ浚渫は24時間体制で行い、浚渫範囲を4ブロックに分けて施工したため、進捗に応じてポンプ浚渫船を移動させながら施工を行った。

c) 土砂投入

新島への土砂投入にあたってはポンプ浚渫船から接続

した排砂管を通じて投入した。

d) 排砂管撤去、運搬、解体

土砂投入完了後は、設置時と逆手順で海上管・海底管を撤去し鶴浜ヤードへ曳航した後、陸揚げ、排砂管の解体作業を行った。解体後は海上運搬にて排砂管を下関港まで搬出し、工期限内に施工を完了した。

3. ポンプ浚渫の課題

(1) 航行船舶が輻輳する主航路での航行安全上の課題

ポンプ浚渫作業中(写真-5)に暫定主航路を大型船舶が航行する場合には、ポンプ浚渫船を一時待避させることで可航幅を確保するため、ポンプ浚渫船は作業を中止し、暫定主航路の外に待避する必要があった。ポンプ浚渫船の待避時には、可航幅400mを確保できる場所までポンプ浚渫船を曳航する必要があり、スパットだけでなく、スイングアンカー及び海上管アンカー等の撤去・設置作業が発生するため、待避には時間を要する。このことから、作業中断による施工効率の低下や工程への影響が懸念されるという課題があった。

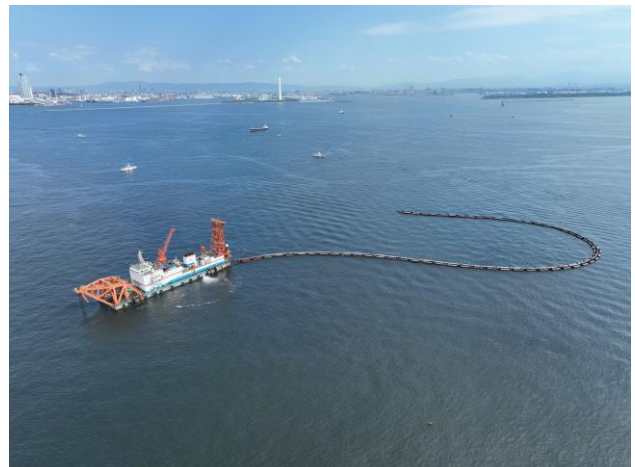


写真-5 浚渫中のポンプ浚渫船全体写真

(2) 排砂管の組立、運搬時における課題

排砂管は鶴浜ヤードにて100m程度まで組み立て、海上に送り出し、曳船により新島2-1区の南東護岸まで搬入した。

海上運搬においても、排砂管を海上に浮かべて新島まで曳航するため、一般船舶の航行を妨げないようにする必要があった。

(3) 排砂管の設置・撤去における課題

排砂管を新島前まで曳航した後は、長さ100m程度の海底管を新島前で所定の長さになるように組み立てて、まず、立ち上がり零号設置場所の新島南東護岸から暫定主

航路の北西外側まで設置した。その後、主航路を横断して海底管を設置するため、海底管設置作業中は主航路を一時閉鎖し、一般船舶の航行を一時制限する必要があった。しかし、大阪港は1日あたり300～400隻程度の船舶が航行しており国内でも有数の輻輳海域であるため、できる限り航行船舶に影響がでないような時期に実施する必要があった。さらに、海底管の撤去についても同様に、船舶の航行をできる限り妨げないような施工が必要であった。

(4) ポンプ浚渫に伴う濁りに関する課題

a) 浚渫作業中の課題

ポンプ浚渫は船の先端部の爪を回転させながら土砂を削っていく工法であるため、施工時に発生する濁りが周辺海域に拡散する恐れがあった。

b) 新島での課題

新島においては、ポンプ浚渫船から土砂を海水とともに泥水として、土砂投入口から新島内に投入するため、新島外への汚濁拡散に十分留意する必要があった(写真-6)(写真-7)。新島内から土砂による濁りが海域に出てしまうと、海水の透明度が低下し、近海的环境や生物への影響が懸念されるため、新島外へ濁りを出さない対策が必要であった。

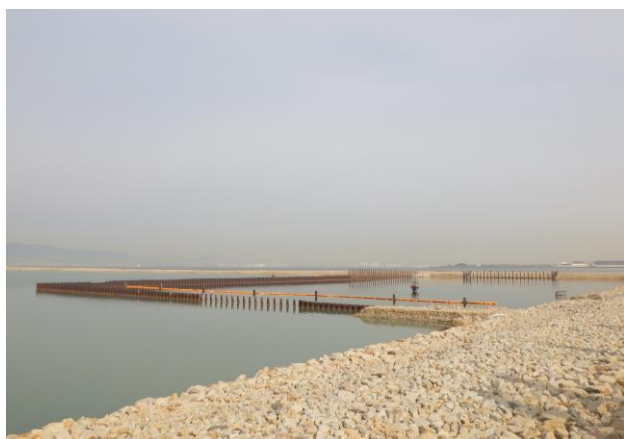


写真-6 新島内の沈殿池



写真-7 土砂投入口の様子

4. 対応策

ポンプ浚渫にあたり、施工計画や航行安全対策は有識者や海事関係者等から構成される「大阪港海上工事に伴う航行安全対策検討調査委員会」(以下、航行安全委員会)にて審議し、合意を図った。航行安全委員会にて決定した事項をもとに、先述の課題に対する対策を実施した。

(1) 航行船舶が輻輳する主航路での航行安全上の対策

ポンプ浚渫の実施にあたり、スイングアンカーの転錨作業が必要であるが、揚錨船の作業領域としてポンプ浚渫船の船首前方に幅約50mの海域を確保する必要がある。そのため、揚錨船の作業領域を確保しつつ、浚渫範囲を施工できるよう、「昼夜間」と「夜間のみ」で作業範囲を分割し、施工することとした。待避回数をできるだけ少なくすることで、施工能力の低下を防ぎつつ、想定される航行船舶に必要な可航幅を検討した結果、「昼夜間」は可航幅を270m、「夜間のみ」では可航幅を220m確保することとした(図-4)(図-5)。

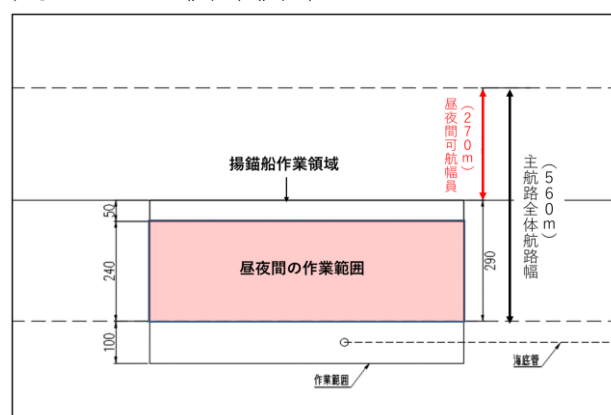


図-4 浚渫作業時の作業範囲(昼夜間)

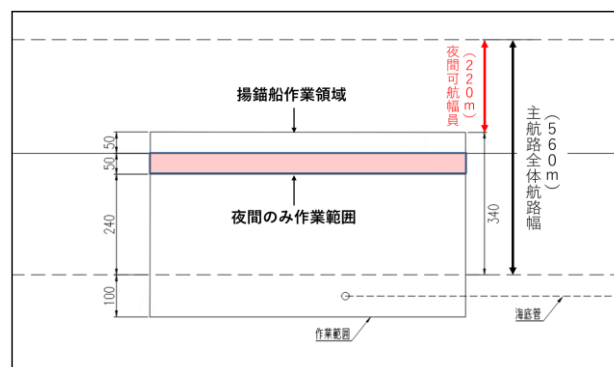


図-5 浚渫作業時の作業範囲(夜間のみ)

夜間の方が比較的大型航行船舶が少ないため、日中と夜間作業に分けて必要な可航幅を確保し、船舶の航行

をできるだけ妨げないようにした。しかし、ポンプ浚渫作業中は可航幅が制限されることから、さらに次の安全対策を講じた。

a) 安全監視船の配備

工事範囲の東西南北の4方向に安全監視船を配備し、一般船舶の誤進入を防止するとともに、航路方向の両端には、広報支援船をそれぞれ配置し、可航域への誘導を行った。

b) 一般航行船舶の運航調整

浚渫工事範囲の側方となる水域において安全性を確保するために、総トン数1万トン以上の船舶同士、総トン数1万トン以上の船舶と総トン数500トン超～1万トン未満の船舶の行会いを防止することで運行調整を行った。

(2) 排砂管の組立、運搬時における対策

航行安全委員会にて審議、合意を図った航行経路に基づき運搬することで、周辺を航行する船舶への安全を確保することができた(図-6)。



図-6 排砂管曳航経路

(3) 排砂管の設置・撤去における対策

主航路の閉鎖時は、海上保安部や港湾管理者と調整のうえ、事前に関係者への工事説明会を開き、周知を徹底するとともに、HPにも掲載し、加えて1週間前に注意喚起の文書を発送した。更には、主航路以外の迂回ルートを設定した上で、関係者への影響を最小限に抑えるために、航行船舶が比較的少ない日曜日に、実施した。

特に主航路横断部での作業時は、警戒業務にあたる安全監視船及び広報支援船を13隻配備するという本工事内最大の隻数となった(図-7)。



図-7 安全監視船の配備図

排砂管の沈設作業中にすべての安全監視船が適正に配備されていることを目視で確認することは難しいため、船舶航行監視システム(COS-NAVI)を搭載し、安全監視船を含めた周辺船舶の動静情報をリアルタイムに把握することで、輻輳した海域においても安全に施工することができた。

(4) ポンプ浚渫に伴う濁りに関する対策

a) 浚渫作業中の濁り対策

ポンプ浚渫船の先端部に汚濁防止カバーを取り付けることにより汚濁拡散を防止するとともに、浚渫区域周辺で水質調査を行い、濁り監視を行いながら実施した。

b) 新島での濁り対策

新島内に投入された泥水を海水と土砂に分離し、余水排水管理基準を満足した状態で排水できるように、沈殿池及び余水吐を配置した施設として整備している(図-8)。処分場内では土砂のみを沈殿させ、海水は余水吐にて濁りが海中に出ないように対策を行った。



図-8 余水吐のイメージ図

なお、本工事では、浚渫作業期間中に毎日、余水吐の濁度計測を行っており(写真-8)、沈殿池による汚濁軽減効果が十分に発揮されたことにより、余水排水管理基準を満たしていたことを確認している。

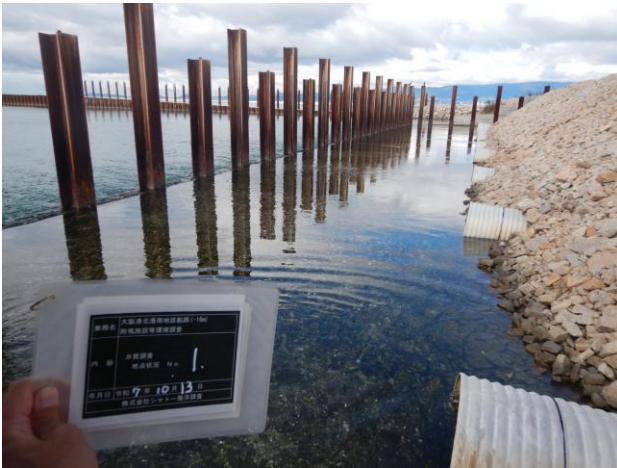


写真-8 余水吐での施工中現地調査の様子

5. おわりに

本稿では、航行船舶が輻輳する大阪港主航路における大規模浚渫工事について報告した。本工事では、航行船舶が輻輳する主航路における浚渫工事であったため、事前の調整や施工時の航行安全対策について関係者との合意形成を図ることで、大阪港主航路(-16m)整備において初めてのポンプ浚渫工事を無事故で完了させることができた。ポンプ浚渫は2025年から開始され、5年間の施工を計画している。今回の事例は、今後のポンプ浚渫工事の参考になると考えられる。

謝辞：本論文の作成にあたり、関係者の方々にご指導、ご協力いただきました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局、大阪港湾・空港整備事務所、公益社団法人 神戸海難防止研究会：大阪港海上工事に伴う航行安全対策検討調査報告書(令和6年1月)

過年度に施工したNATMトンネルにおける 覆工厚不足および背面空洞の確認とその対策

齋藤 正明¹・畑中 裕人²

¹ 京都府 中丹西土木事務所 道路計画課（〒620-0055 京都府福知山市篠尾新町1丁目91）

² 京都府 総合政策環境部 東京事務所（〒102-0093 東京都千代田区平河町2-6-3）

補修工事中のゆずりトンネルにおいて、トンネル覆工背面に空洞が確認されたため、（工事の着手による）第三者被害を防止する観点から全面通行止めを実施した。速やかにトンネルの詳細調査を実施するとともに、外部有識者で構成される技術検討委員会を設置し、技術的な検討を行った。その後、決定した対策工法に基づき、厳格な施工管理のもと、空洞の補修工事が完了した。また、今般の事例を踏まえ、補修工事前の空洞詳細調査及び補修設計を行うための手引きを策定し、メンテナンス手法を体系化することで、通行止め期間の最短化を可能とした。

キーワード 覆工背面空洞，技術検討会，全面通行止め，NATM

1. はじめに

京都府が管理する一般府道談夜久野線は、福知山市宇字談から同市夜久野町日置に至る日交通量が1549台¹⁾の地域道路であり、約10kmを供用中である。そのうち、ゆずりトンネルは千原峠に位置する延長455mの道路トンネルであり、福知山市宇字小牧から同市夜久野町千原に至る区間に設置されている。本トンネルは2001年12月に完成した。ゆずりトンネルでは、定期点検結果を踏まえ、2025年1月8日から補修工事に着手した。同年1月15日に覆工コンクリート表面のはつり落としを実施したところ、覆工厚不足により2箇所で穴が開き、覆工コンクリートの厚さ不足と空洞の存在を確認した。これらの空洞の存在と補修工事の着手により覆工が早期に落下する可能性があったことから、第三者被害を防止するため、直ちに通行止めを実施した（図-1）。その後、道路防災ドクターからの助言をもとに、トンネル全線で電磁波探査等による詳細調査を実施したところ、計20箇所の空洞を確認した。本稿では、ゆずりトンネルで空洞を確認してから技術検討委員会を設置し、2025年11月4日に通行止めを解除するに至るまでの経緯について述べる。

2. 当時のトンネル工事概要

トンネルは夜久野町側から片押しで掘削しており、覆工も同様に夜久野町側から打設している。また、支保パターンは京都府の職員で構成される地山判定委員会により決定している。当時の工事概要を以下に示す。

(1) 当時のトンネル工事概要

工事名：一般府道談夜久野線 道路新設改良工事
発注者：京都府

受注者：A・B・C三社共同企業体

工期：2000年3月14日～2002年3月10日

トンネル区間と概要：

延長455m、内空断面（標準部）53m²、
NATM（CⅡ、DⅠ、DⅡ、DⅢa）、発破方式
（ショートベンチ発破掘削、補助ベンチ
付全断面発破掘削）



図-1 ゆずりトンネルの位置図

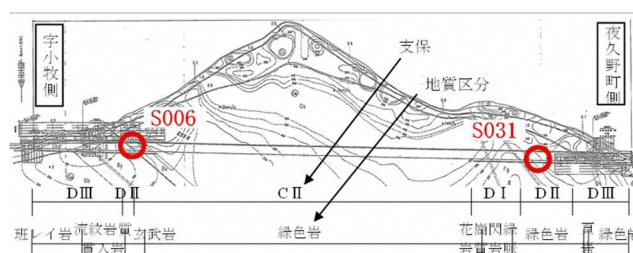


図-2 ゆずりトンネルの地質縦断面図

(2) 地質概要

図-2 にゆづりトンネルの地質縦断面図を示す。字小牧側の坑口付近には、主に班レイ岩および流紋岩質貫入岩が分布しており、岩石は著しく脆弱化し、粘土化帯を挟在する。トンネル中間付近には、主に緑色岩が分布しており、亀裂が発達し、玄武岩溶岩と凝灰質岩を挟在する。夜久野町側の坑口付近には、主に緑色岩が分布しており、亀裂が発達し、頁岩を多く挟在する。

3. 補修での空洞確認から詳細調査までの経緯

2019 年の定期点検結果を踏まえ、2025 年 1 月 15 日に覆工コンクリート表面のはつり落としを実施したところ、字小牧側の坑口付近に 1 箇所（S006）、トンネル中間付近に 1 箇所（S031）の空洞を確認した。空洞の確認状況およびその後の詳細調査までの経緯を以下に示す。

(1) 空洞の確認状況

字小牧側の S006 では、字小牧側の目地部において、コンクリートのうき（1.3m×0.05m）を 5cm はつり落としたところ、覆工コンクリートに穴が開き、覆工厚不足と空洞の存在を確認した（図-3）。また、トンネル中間付近の S031 では、天端部において、コンクリートのうき（1.2m×1.6m）を 5cm はつり落としたところ、同様に覆工コンクリートに穴が開き、覆工厚不足と空洞の存在を確認した（図-4）。これらの空洞の存在に加え、補修工事の着手により覆工の早期落下のおそれがあったことから、第三者被害を防止するため、同日 21 時 30 分から通行止めを実施した。

(2) 道路防災ドクター制度の活用

国土交通省近畿地方整備局では、近畿地方整備局管内の道路災害を防止し、良好な道路の保全に資するため、専門的な知識を有する学識経験者等により、道路構造や法面安定等道路機能の確保に必要な点検方法およびその対策等について専門的観点から助言指導を受け、災害特性に応じたより適切な防災対策を推進することを目的として、1993 年度に「道路防災対策連絡会」を設立している²⁾。京都府においては、NATM トンネルの覆工背面に空洞を確認した事例はなく、今後の方針決定にあたり知見が必要であったことから、本制度を活用して、道路防災ドクターの岸田教授（京都大学大学院）、国土交通省近畿地方整備局職員、京都府職員による合同現地調査を実施した。現地調査の結果、字小牧側の S006 では、夜久野町側に位置する覆工背面コンクリートの劣化および DIII 区間の補強鉄筋の露出が確認された（図-5）。トンネル中間付近の S031 では、防水シートの約 20cm の垂下りが確認された（図-6）。現地診断の結果、岸田教授からは、トンネル全線の覆工コンクリートの厚さと空洞の状況を確認し、対策を検討する必要があること、また覆工コンクリートの厚さ

の不足と空洞は経年劣化とは考えにくく、施工上の問題と推察されるとの助言を受けた。

(3) 空洞の詳細調査（調査手法および調査数量）

補修工事中に空洞を確認した 2 箇所を含むトンネル全延長を対象として、電磁波探査等を実施し、覆工コンクリートの厚さおよび背面空洞の厚さの調査を行った。調査の手法、箇所および数量を表-1 に示す。電磁波探査については、まずトンネル全線を対象として、天端部および左右アーチ部の縦断方向に 3 側線の探査を実施し（図-7）、空洞の位置を把握した。次に、縦断側線上で空洞が確認された箇所の横断方向に探査を実施し（図-8）、空洞の範囲を確認した。測定方法は、高所作業車にセットした探査治具を覆工表面の側線上に設置し、車両を低速で移動しながら機械を走査した。削孔調査については、電磁波探査のキャリブレーションとして、縦断の各側線について、調査延長 100m ごとに 1 箇所を目安として削孔ボーリングを実施し、覆工厚および覆工背面空洞の厚さを確認した。測定方法は、簡易コアボーリングマシンにより覆工コンクリートを穿孔し、

表-1 詳細調査の調査手法、調査箇所及び調査数

調査手法	調査箇所	調査数
電磁波探査	縦断：3 側線、 横断：空洞確認箇所数	縦断：3 側線 横断：17 側線
削孔調査	調査延長 100m あたり 1 箇所	9 箇所
ファイバー スコープ	コアボーリングの 実施箇所	37 箇所
ドリル削孔	空洞確認箇所数	23 箇所



図-3 S006 の空洞



図-4 S031 の空洞



図-5 S006 の背面空洞

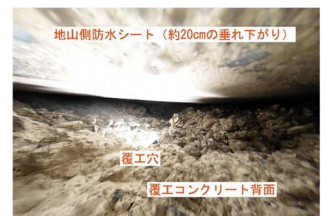


図-6 S031 の背面空洞

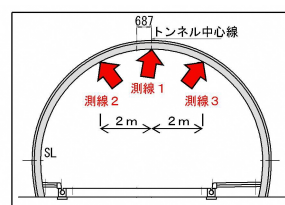


図-7 探査位置（縦断）

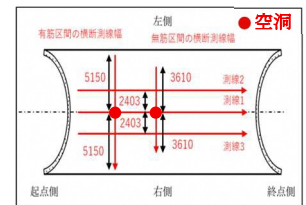


図-8 探査位置（横断）

スケール等で直接計測した。削孔調査で得られた値は、電磁波探査解析時の誘電率算出資料とした。覆工コンクリートの品質を確認するため、採取したコアで中性化試験および一軸圧縮試験を実施した。ファイバースコープについては、ボーリング孔に高画質ビデオ内視鏡を挿入し、覆工背面側の状況を観察するとともに写真撮影を行った。ドリル削孔については、うきや背面空洞が確認されている箇所、および電磁波探査によって空洞を確認した箇所に対し、電磁波探査の実施後にドリル削孔を行い、覆工厚および覆工背面空洞の厚さを確認した。有筋区間では削孔時の鉄筋の損傷や切断が懸念されるため鉄筋探査を行い、鉄筋位置を確認した。鉄筋の探査範囲は、変状の疑いがある箇所の中心から周囲 1m²を対象として実施した。その後、鉄筋探査に続いてドリル削孔を行い、覆工厚および覆工背面空洞の厚さをスケール等で直接確認した。さらに孔内に高画質ビデオ内視鏡を挿入し、覆工背面側の状況を確認すると同時に、写真撮影を行った。

(4)空洞の詳細調査（調査結果）

2025 年 1 月 23 日から調査を実施し、同年 2 月 25 日に調査を完了した。調査結果を図-9 に示す。ここで、覆工背面の空洞面積（図-10）とは、空洞に対応する覆工背面の吹付コンクリート面積を指す。実測覆工厚比（図-10）とは、電磁波探査で測定した実測覆工厚を設計覆工厚で除した割合である。空洞面積は最小で 0.1m²、最大で 24.8m²であった。また、実測覆工厚比は最小 0.14 で、1.00 を超える事例も確認された。空洞が確認された 20 箇所のうち 4 箇所では、設計覆工厚を満足していたにもかかわらず空洞が存在していた。さらに、空洞体積は最小で 0.015m³、最大で 2.496m³であった。なお、湧水やコンクリートの中性化および強度不足は確認されなかった。

4. 委員会の設置から恒久対策決定までの経緯

詳細調査の結果を受け、空洞の存在および覆工厚不足が施工上の問題に起因すると推察されることから、京都府は、原因の究明、応急対策および恒久対策の立案、ならびに今後の再発防止策の検討について、多方面の専門的知見に基づく技術的助言等を聴取することを目的に、「府道談夜久野線ゆずりトンネル技術検討委員会」を設置した。委員会の設置から恒久対策決定に至るまでの経緯を以下に示す。

(1)技術検討委員会の設置

技術検討委員会とは、府政の重要課題等に関し、外部有識者等の意見・助言の聴取および意見交換を目的として、府職員以外の外部有識者等で構成する意見聴取会議である。今回設置した「府道談夜久野線ゆずりトンネル技術検討委員会」は、学識経験者、弁護士、行政で構成され（表-2）、2025 年 3 月 4 日に設置した。なお、谷成二氏は定期人事異動に伴い、

平井義博氏の後任として 2025 年 4 月 23 日より着任した。また、委員会では委員の了承を得て設置要綱を策定し、議事運営は委員長が担うこととしている。さらに、原則公開とし、公開が公正かつ円滑な運営に著しい支障を生じさせると認められる場合は、非公開にすることとした。

(2)第 1 回技術検討委員会の開催

空洞の存在および覆工厚不足の原因分析、補修すべき箇所の特定ならびに補修方法について意見を聴取するため、2025 年 3 月 4 日に委員会を開催した。委員会は、当時の施工業者の事業活動を取り扱う性質上、会議で示された不確定情報の公開が事業活動に影響を与えるおそれがあることから、非公開とした。委員会では、はじめに設置要綱について委員全員が了承し、委員の互選により朝倉委員を委員長に選出した。次に、道路防災ドクターの助言に基づき実施した空洞の詳細調査結果を報告し、補修対象となる空洞 20 箇所を確認した。その結果、覆工コンクリートの厚さ不足と空洞の存在は地山の変状等に起因するものではなく、施工時の問題と断定した。次に、応急対策工法を立案し、意見を聴取した。図

表-2 技術検討委員会の構成

	氏名	職名	備考
委員長	朝倉 俊弘	京都大学 名誉教授	トンネル工学 岩盤工学
委員	今堀 茂	弁護士 (京都弁護士会推薦)	建築紛争
	岸田 潔	京都大学大学院 工学研究科教授	土木施工工学 トンネル工学
	谷 成二	国土交通省近畿地方整備局 道路保全企画官	行政
	安原 英明	京都大学大学院 工学研究科教授	岩盤工学 地盤工学

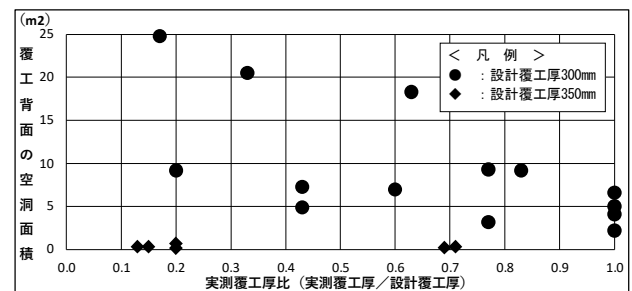


図-9 空洞の詳細調査結果

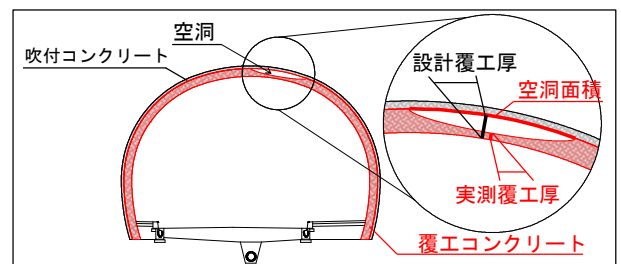


図-10 空洞面積及び実測覆工厚比の概図

-11 に立案した応急対策工法、**図-12** に他トンネルの応急対策事例を示す。応急対策工法は、補修工事の着手により早期に落下する可能性がある 2 箇所の覆工について、補修工事実施前に覆工の健全性を回復することを目的としている。具体的には、補修時にはつり落としにより穴が開いた箇所に対して FRP メッシュを設置し、剥落防止対策を講じる。その結果、応急対策工法について委員全員から妥当であることを確認した。続いて、恒久対策工法の方針について立案し、意見を聴取した。対策方針は、外力に起因しない突発性崩壊（主として覆工背面の空洞に起因）および材質劣化を対象とし、覆工背面の空洞充填対策と剥落防止対策による恒久的な安全性の確保を図るものである。これに対して委員からは、地山と鋼アーチ支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト、覆工コンクリートを密着させ一体化できるよう、セメント系材料による空洞充填を検討すべきとの意見が示された。最後に、本路線は日交通量が 1549 台¹⁾ であることから、京都府民の生活への影響を考慮し、できるだけ早期に通行止めを解除できるよう努めることを確認した。

(3) 第 2 回技術検討委員会の開催

第 1 回の委員会において聴取した恒久対策の方針に基づき、立案した恒久対策工法、その施工管理方法および当時の施工管理状況の検証について意見を聴取するため、2025 年 6 月 3 日に委員会を開催した。委員会は第 1 回委員会と同様に、施工業者の事業活動を取り扱うことから、第 1 回委員会の振り返りを除き非公開とした。委員会では、はじめに第 1 回委員会の議事内容を再確認した。次に、恒久対策工法について立案し意見を聴取した。**図-13** に立案した恒久対策のフローを示す。本フローは、防水シートの垂下り有無および既設覆工厚によって、4 つの対策工に分類している。防水シートの垂下りの有無で対策工を区分する理由は、空洞充填工による圧力のみでは防水シートを地山に押し上げて密着させることが困難であるためである。また、既設覆工厚で区分する理由は、矢板工法における有効巻厚の減少に対する変状の判定³⁾ を準用し、既設覆工厚によって構造物の機能が損なわれているかを判断するためである。ここで、各対策工の定義を示す。はつり落とし工とは、覆工片が剥落するおそれがある場合や、覆工表面が局部的に劣化して剥離している場合、または補修・補強対策の前処理として、覆工コンクリート表面の劣化部および劣化した既設の補修材・補強材を除去することをいう。有筋区間では厚さ 10cm 程度、無筋区間では厚さ 15cm 程度の覆工厚を確保できる範囲をはつり落とす（**図-14**）。防水シートの押上げとは、垂下している防水シートを吹付けコンクリート面に持ち上げ、アンカーで吊り下げて固定することをいう（**図-15**）。アンカー打設時に防水シートに穴が開くため、抑えプレート付止水材で接合する。防水シートを持ち上げられない場合は、防水シートを切断し、新しい防水シートを吹付けコ

ンクリート面に再設置したのち、既設の防水シートと溶着する。鉄筋防錆処理とは、有筋区間において、鉄筋防錆剤を既設鉄筋に塗布することをいう。補強鉄筋の設置とは、無筋区間において、既設覆工の巻厚不足に起因して低下した断面性能を補うことを目的に、補強鉄筋を設置することをいう（**図-16**）。はつり面の整形後、既設覆工コンクリートにケミカルアンカーを打設し、打設後に補強鉄筋を設置する。型枠の設置とは、空洞充填時の荷重に対して十分な強度と安全性を確保する型枠を設置することをいう（**図-17**）。型枠は角パイプやコンクリートアンカー等の支保工により固定し、型枠の設置と併せて、注入用の注入パイプおよび確認パイプを設置する。空洞充填工とは、トンネル内から覆工背面に注入材を注入して固結させ、覆工背面の空洞を充填することをいう（**図-18**）。覆工を本来あるべき形態に修復することを原則として、設置した注入孔から無収縮モルタルを注入する。注入は圧力注入とし、設計注入量以上の注入および注入圧 0.2MPa の到達、か

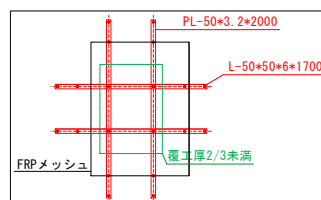


図-11 応急対策工法



図-12 他トンネル事例

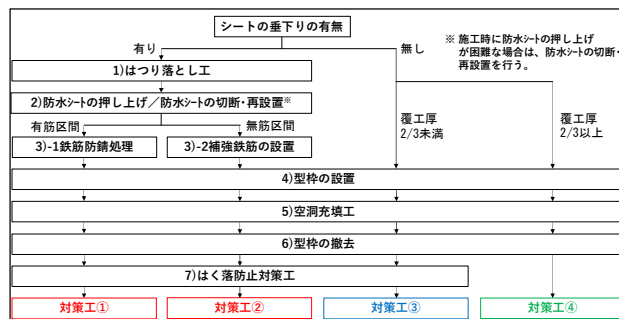


図-13 恒久対策のフロー

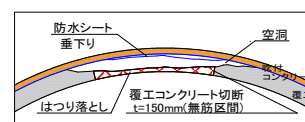


図-14 はつり落とし工

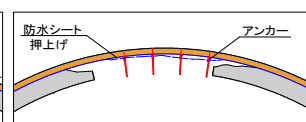


図-15 防水シートの押上げ

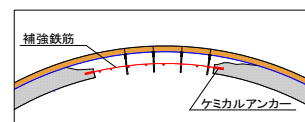


図-16 補強鉄筋の設置

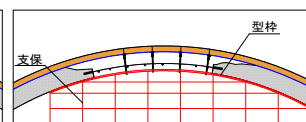


図-17 型枠の設置

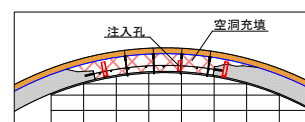


図-18 空洞充填工

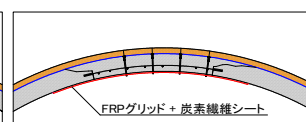


図-19 はく落防止対策工

つ確認孔からモルタルが流出することを確認して完了とする。型枠の撤去とは、覆工と同様の強度を発現するために必要な養生期間の経過後、型枠を撤去することをいう。はく落防止対策工とは、はつり落としや空洞充填工後に不安定な状態が残る豆板、部分的なコールドジョイント、材質劣化やひび割れ等により、比較的狭い範囲で覆工片が剥落するおそれのある場合に剥落を防止することをいう（図-19）。長期的な覆工の材質劣化等を考慮し、覆工厚が3分の2未満となる端部から50cmの余裕代を設け、覆工厚が3分の2以上を確保できる範囲に施工する。既設コンクリートと新設部材の一体化および覆工表面の下地処理としてFRPグリッド工を用い、剥落防止として炭素繊維シート工を採用する。これらの方針に基づく4つの工法を補修すべき空洞20箇所に応用した（図-20）。その結果、恒久対策工法について、委員全員から妥当であること、また恒久対策は一般的な工法であり、一般的な技術力でも対応可能であるとの意見を聴取した。続いて、恒久対策の施工管理方法について立案し、意見を聴取した。施工管理工法は、京都府の職員および施工業者が恒久対策を施工管理するにあたり、統一的な解釈および運用を図るとともに、必要な事項を定め、適正な履行の確保を図るためのものである。各作業時の主な施工管理は次のとおりである。はつり落とし工では、作業実施前にはつり箇所周辺のクラック等の状況を確認したうえで作業を実施し、はつり落とし後に必要な覆工厚が確保されていることを確認する。防水シートの押上げでは、モルタル注入前に止水材の取付状況を確認する。防水シート押上げが困難な場合は、シート切断・再設置の必要性を判断し、必要に応じてシートの重ね幅および溶着状況を確認する。補強鉄筋工では、ケミカルアンカーを300本に1回、かつ1箇所当たり1回以上の引抜試験により引抜耐力を確認し、補強鉄筋の配筋状況、継手の重ね長等を確認する。空洞充填工では、無収縮モルタルを1注入施工日当たり1回、圧縮強度試験およびコンシステンシー試験を実施・確認する。また、確認孔からのモルタル流出を確認し、打ち止めは行わず、設計注入量以上の注入および注入圧0.2MPaへの圧力上昇を確認する。空洞面積1m²以上ではつり落としを実施する箇所では、充填検知センサーによる確認、さらに注入圧作用時に覆工面にひび割れ等の変状が生じないことを目視確認する。はく落防止対策工では、FRPグリッドおよび炭素繊維シートの接着強度を確認する。また、京都府職員または京都府が委託する現場技術員が全ての空洞箇所について現場で施工状況の確認を行うこととした。その結果、恒久対策の施工管理方法について、委員全員から妥当であること、また補修工事は京都府による厳格な監督体制のもと実施すべきとの意見を聴取した。次に、当時の施工状況の検証について、京都府による検証結果をもとに意見を聴取した。検証方法としては、当時の施工管理が当時の基準に対して適切であったかを成果品や業者からの聞き取りにより検証した。ま

た、当時の施工方法が標準的な方法から逸脱したものでなかったかを成果品や業者からの聞き取りにより検証した。さらに、当時の施工により発生した施工不良に故意がなかったかを成果品や業者からの聞き取りにより検証した。なお、検証対象は、トンネル掘削が完了してから坑内付帯工を着手するまでの工種とした（図-21）。当時の施工方法の聴取および写真確認の結果の一例として、コンクリートの打設は縦断方向では勾配の下側から上側へ、横断方向では下段の打設口から中段の打設口、吹上口の順に実施していた。また、締固めは検査窓からのみ行い、打設後、妻型枠の天端で充填確認を実施していた。吹上口は基本的に終点側の1箇所を使用し、圧送が困難となった場合のみ予備の吹上口を使用していた。また、コンクリートスランプは設計どおりの12cmであり、流動性の向上は行わず、充填確認センサー等は使用せず目視で確認していた。検証の結果、当時の施工管理は、当時の基準に対して適切であった。また当時の施工方法は標準的な方法に対して逸脱したものでなかった。さらに、当時の施工により発生した施工不良は、故意とは確認できなかった。なお、現行の基準は、スランプが12cmから15cm程度となる等、トンネル技術の発展に伴って知見・技術を取込み改正されている。その結果、当時の施工状況の検証について、委員全員から妥当であること、また覆工コンクリートの厚さ不足と空洞の存在は、当時の技術レベルでは生じる可能性のある施工不良であると推察された。最後に、京都府民の生活を考慮し、できるだけ早期に通行止めを解除できるよう努めることを確認し、委員会の閉会后、京都府において聴取した意見をもとに恒久対策を決定した。

5. 補修工事の着手・完了から現在までの経緯

恒久対策の決定後、当時の施工業者から当該業者の負担により誠意をもって対応したい旨の申し出が

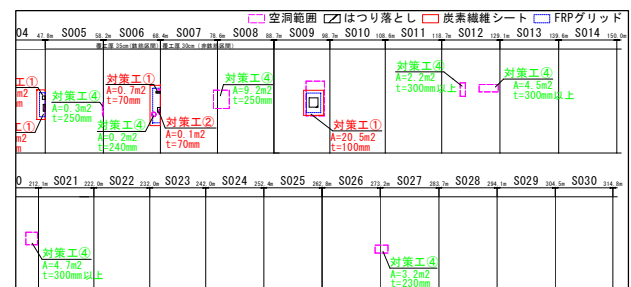


図-20 ゆずりトンネルの空洞補修展開図（一部抜粋）

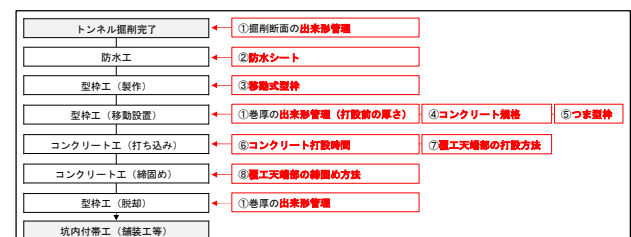


図-21 当時の施工状況の検証対象

あった。委員会において、恒久対策は一般の建設業者でも施工可能であるとの意見を聴取しており、当時の施工業者はトンネル等の修繕実績を有していたことから、道路法第 24 条に基づく道路工事として承認した。その後、2025 年 7 月 1 日より恒久対策に着手し、同年 10 月 30 日に完成、同年 11 月 4 日に約 10 ヶ月にわたる通行止めを解除した。なお、応急対策は準備期間および恒久対策の実施時期を考慮し、未実施である。通行止め解除後の経緯を以下に示す。

(1) 第 3 回技術検討委員会の開催

実施した補修工事の結果および今後の再発防止策について意見を聴取するため、2025 年 12 月 18 日に委員会を開催した。委員会では第 2 回委員会と同様に、施工業者の事業活動に関わる事項を取り扱うことから、今後の再発防止策についての議事は非公開とした。委員会では、はじめに第 2 回委員会の議事内容を再確認した。次に、補修工事の結果を報告し、意見を聴取した。恒久対策は全ての箇所において、京都府が計画したとおりの対策工を実施した。図-22 にはつり落とし工の施工状況を示す。当初の施工範囲は、電磁波探査等の結果に基づく推定によって設定していたため、既設覆工厚および防水シートの現地状況に合わせて見直しを行った。図-23 に防水シートの押上げの施工状況を示す。既設防水シートには十分な余裕があり、防水シートを切断した箇所は無かった。図-24 に補強鉄筋の設置の施工状況を示す。一部、小規模で狭い範囲のはつり落としを行った箇所では、補強鉄筋の重ね継手長を確保できなかった。図-25、図-26 に空洞充填工の施工状況を示す。注入量の実績については、1 箇所を除き設計数量以上注入しており、最小 0.97 倍、最大 17.8 倍、平均 1.77 倍であった。また、注入の打ち止めはなく、0.2MPa の圧力上昇を確認するとともに、充填検知センサーにより充填を確認した。図-27 にはく落防止対策工の施工状況を示す。完成検査では、京都府職員による書面確認および現場立会確認を実施した(図-28、図-29)。補修工事の結果について、委員全員から補修工事が適切に実施されたことを確認した。次に、今後の再発防止策の方針について立案し、意見を聴取した。再発防止策の方針は、今回得られた知見を踏まえ、既設トンネルおよび新設トンネルを対象とした品質管理方針を決定するためのものである。今後の再発防止策の方針について、委員全員から妥当であること、トンネル覆工の品質確保のため、施工時に活用できるチェックシートを積極的に取り入れるべきとの意見を聴取した。また、長期にわたり通行止めを余儀なくされ、利用者に不便が生じる事態となったことから、今後は安全性を確保しつつ、通行止め期間を短縮する取組みを進めるべきとの意見を聴取した。最後に、第 3 回技術検討委員会をもって委員会を閉会した。

(2) トンネル覆工の品質確保に向けた手引きの策定

今後、京都府は、既設道路トンネルの維持管理お

よび新設道路トンネルの施工に活用できる手引き書を策定した。また、手引書では覆工の品質確保を目的として施工時に用いるチェックシートを活用する。

6. おわりに

ゆずりトンネルでは、約 10 ヶ月の通行止めの間、空洞の詳細調査、補修設計および補修工事を実施してきた。今回の経験を踏まえ、今後、京都府は手引書の策定により補修工事前に必要な調査・設計を実施し、通行止め期間の最短化に取り組む。引き続き、京都府所管の他トンネルや新設トンネルにおいても、職員一丸となって、適切な維持管理および品質向上に努めていく所存である。最後に、ゆずりトンネルの通行止め解除にあたり、ご助力いただいた関係者の皆様に心より感謝申し上げる。

7. 参考文献の引用とリスト

- 1) 国土交通省：令和 3 年度全国道路・街路交通情勢調査、<https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/>
- 2) 国土交通省：橋梁・道路防災ドクター、https://www.kkr.mlit.go.jp/road/maintenance/kyouryou_dourobousai
- 3) (公社)日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧 [本体工編]，pp. 219-221，2015. 6



図-22 はつり落とし工



図-23 防水シート押上げ



図-24 補強鉄筋の設置

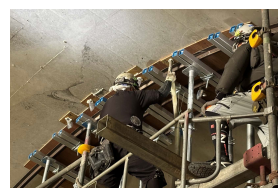


図-25 空洞充填工



図-26 充填確認状況

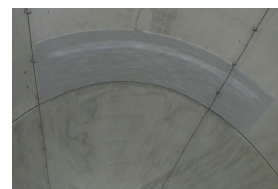


図-27 はく落防止対策工



図-28 完了検査(書面)



図-29 完了検査(現地)

自硬性泥水固化工法による 地中壁築造の試験施工

米田 暉¹

¹関西エアポート株式会社 基盤技術部 2期島地下水対策プロジェクトチーム

(〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

関西国際空港は透水性の高い地盤であるため地下水位が潮位の影響を受けやすく、地下水変動の抑制が空港施設の維持管理上の重要課題となっている。1期島では空港島全周に連続地中壁を構築して対策を実施しており、2期島においても同様の地中壁を計画している。2期島は、大粒径岩砕を含む点は1期島と共通であるが、埋立層が約10 m厚く、表層約10 mでN値50以上が連続する特徴を有する。これらの条件が連続地中壁の施工性に及ぼす影響を把握し、その止水性能と施工効率を確認するため、2期島の原地盤において複数工法による試験施工を実施した。本稿は、自硬性泥水固化工法について詳細に報告する。

キーワード 安全、連続地中壁、試験施工、止水性能、施工効率

1. はじめに

関西国際空港は大阪湾泉州沖合約5kmに造成された人工島上に建設された海上空港であり、透水性の高い地盤であるため地下水位が潮位の影響を受けやすく、地下水変動の抑制が空港島の維持管理上の重要課題となっている。1期島では空港島全周に連続地中壁を構築し、その高い止水効果が確認されていることから、2期島においても同様の対策を計画している。

一方、2期島は最大約300mmの大粒径岩砕を含む点は1期島と共通であるものの、埋立層厚が平均約40mと1期島より約10m厚く、さらに表層約10mが高密度に締め固められ、N値50以上が連続する地盤条件を有している。このような条件は連続地中壁の施工性に影響を及ぼす可能性があるが、同様の施工条件下での施工実績は少なく、その適用性は十分に確認されていなかった。

そこで、地中壁の止水性能の確保および各工法の適用性を把握することを目的として、TRD工法、深層混合処理工法、泥水固化工法および自硬性泥水固化工法の4工法を対象とした試験施工を実施した。試験施工の結果、深層混合処理工法を除く3工法については、施工性および施工効率が良好であることを確認し、本施工への適用が可能であると判断した¹⁾。

その後、適用可能と判断した3工法に1期島で多数実績のあるCRM-P工法を加えた計4工法を対象として、入札者が最適と考える工法を選択できる工法選択型入札方式により発注を行った。その結果、本施工において自硬性泥水固化工法を提案した業者が選定され、2026年6月よ

り施工を開始している。

本稿では、自硬性泥水固化工法の試験施工結果を中心に、施工性および品質確認結果について報告するとともに、本施工での適用状況について述べる。

2. 試験施工における自硬性泥水固化工法の概要

(1) 自硬性泥水固化工法の概要

自硬性泥水固化工法は、溝壁崩壊を防止する安定液に固化剤を混練した自硬性泥水を用いて地中壁を築造する工法である。試験施工では、図-1に示す施工フローに従い、幅0.8m、長さ3.4mのバケット掘削機を用いて、自硬性泥水を注入しながら掘削を行う。

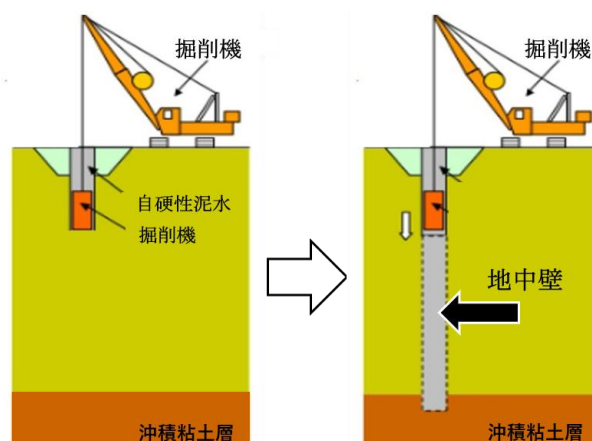


図-1 施工フロー

本工法は、掘削と同時に壁体造成を行うことから、掘削後にセメントを安定液に混合させ、攪拌を行う泥水固化工法に比べ、施工時の省力化および施工速度の向上が期待できる。一方で、本工法は掘削と同時に固化も進行するため、掘削開始から壁体造成完了までを連続的に行う必要がある。なお、本工法は我が国における施工実績が少なく、大粒径岩砕を含む埋立地盤への適用事例も限定的である。

(2) 試験施工の内容

試験施工は、図-2に示す2期島南エリアにおいて実施した。泥水固化工法および自硬性泥水固化工法の試験ヤードを図-3に示す。図-3に示す施工エレメントのうち、赤色で示すG1～G4が自硬性泥水固化工法で実施したものである。各エレメントの設計深度は35.4mとし、その断面構造を図-4に示す。本試験施工では、まずG2を先行エレメントとして施工し、次いでG3およびG4を既設壁体を0.4mラップして切削しながら施工する後行エレメントとして施工した。これは、エレメント間の連続性を確保し、止水性を向上させるためである。また、G1は片押しエレメントとして施工した。地中壁の品質劣化を防止する頭部補強を行った。頭部補強工を含む断面構造を図-4に示す。

地中壁の要求性能は、1期島における連続地中壁の検討結果を踏まえ、表-1のとおり設定した。出来形管理項目として粘土層への根入れ長、壁厚および鉛直精度を設定し、品質管理項目として一軸圧縮強度および透水係数を設定した。

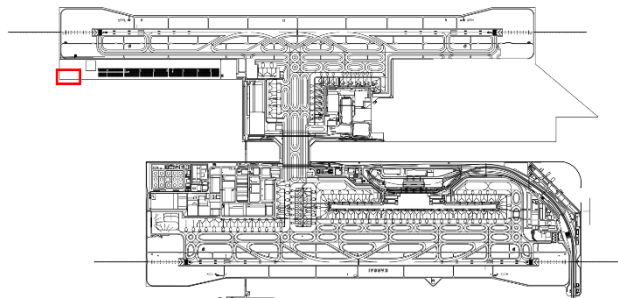


図-2 工事範囲

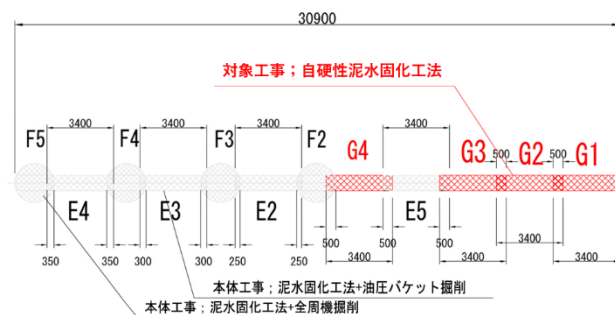


図-3 施工ヤード平面図

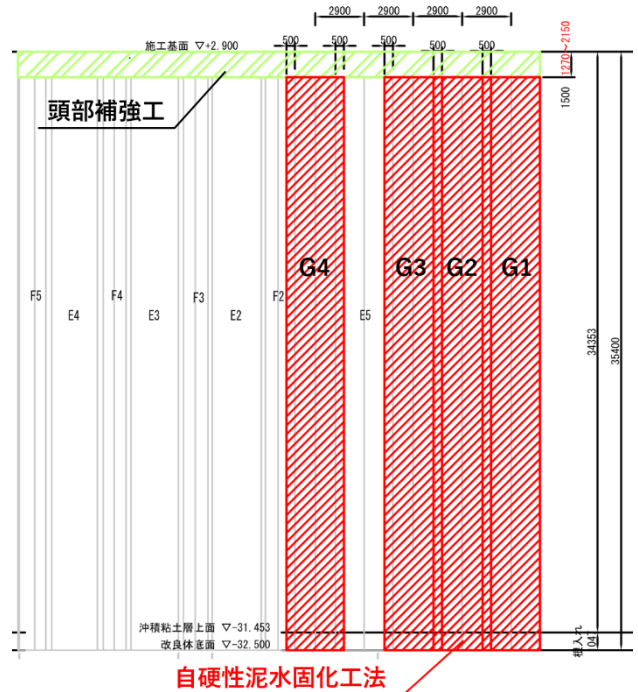


図-4 断面図

自硬性泥水の性状および地中壁としての性能を確保し、最適な配合を決定するため、試験施工に先立ち室内配合試験を実施した。表-2に選定した標準配合を示す。配合選定にあたっては、一軸圧縮強度600kN/m²以上および透水係数1.0×10⁻⁷m/s以下の要求性能を満足することに加え、試験施工箇所では約18時間の長時間掘削が想定されたことから、施工完了まで安定した流動性を維持するとともに、一体的な固化壁の形成に求められる施工材料分離抵抗性を確保する必要があった。そこで、粘性試験およびブリージング率試験を実施し、その結果を総合的に評価して配合を決定した。

表-1 連続地中壁の要求性能

要求性能の分類	項目	基準値
止水性	粘土層への根入れ長	1.0m以上
	鉛直精度	1/300以下
	透水係数	1.0×10 ⁻⁷ m/s以下
耐震性	壁厚	600mm以上
	一軸圧縮強度	600kN/m ² 以上

表-2 自硬性泥水の標準配合(水1m³あたり)

項目	材料名	配合
ベントナイト	白馬	80.0kg
逸泥防止剤	マイカ	10.0kg
固化剤	ジオセツト15	200.0kg
遅延剤	ジオリター	1.65kg

3. 試験施工結果

(1) 出来形

本試験施工の出来形確認結果を表-3に示す。出来形管理項目は、粘土層への根入れ長、壁厚および鉛直精度とした。その結果、全エレメントにおいて粘土層への根入れ長は管理基準である1.0m以上を確保した。また、壁厚についても全測定箇所で600mm以上を確保し、管理基準を満足した。鉛直精度についても、全エレメントにおいて管理値である1/300以内となり、所定の出来形を確保していることを確認した。以上より、本工法は2期島特有の地盤条件においても、高い施工精度で地中壁を築造可能であることを確認した。

表-3 出来形

管理項目	測点			
	G1	G2	G3	G4
根入長	1.1m	1.0m	1.3m	1.3m
鉛直精度 (南北)	1/350以下	1/700以下	1/700以下	1/∞
掘削精度 (東西)	1/318以下	1/700以下	1/700以下	1/∞
壁厚	800mm	800mm	800mm	800mm

(2) 品質管理

本試験施工では、①施工中の自硬性泥水から採取したウェットサンプルによる一軸圧縮強度試験および透水試験、②チェックボーリングによる現地透水試験、コア採取による一軸圧縮強度試験および室内透水試験を実施し、壁体品質を確認した。

1)ウェットサンプル試験結果

ウェットサンプル試験結果を表-4に示す。試料は混練後の新液と、掘削完了後にGL-15.0mの溝壁内から採取した自硬性泥水で作成した。その結果、一軸圧縮強度は686kN/m²以上を示し、全ての試料で要求性能である600kN/m²以上を満足した。また、透水係数は7.9×10⁻⁹m/s以下を示し、要求性能である1.0×10⁻⁷m/s以下を十分に満足した。

表-4 ウェットサンプル試験結果

材齢 (日)	施工番号	採取位置	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	透水係数 (m/s)
28	G1	新液	823	2.2×10 ⁻¹¹
		溝壁内 GL-15.0m	686	3.5×10 ⁻¹¹
	G2	新液	1120	7.9×10 ⁻⁹
		溝壁内 GL-15.0m	892	2.8×10 ⁻⁹
	G3	溝壁内 GL-15.0m	1029	1.2×10 ⁻⁹

2)チェックボーリング結果

材齢28日におけるチェックボーリングの試験結果を表-5に示す。ウェットサンプルでは要求水準を満足したものの、材齢28日時点で実施したコア試験では、表-5中に※で示す一部区間において、一軸圧縮強度および透水係数が要求性能を満足しない結果が確認された。これは、添加した遅延剤の影響によりセメントの水和反応が抑制され、強度発現が遅延したためと考えられる。そこで、材齢56日において再度コアを採取し、室内試験を実施した。その結果、一軸圧縮強度はすべての確認箇所で要求性能を満足した。

以上より、材齢28日における強度不足は遅延剤の添加に起因する一時的な強度発現の遅れによるものであり、十分な養生期間を確保することで要求品質を満足できることを確認した。

表-5 チェックボーリング試験結果

材齢 (日)	施工位置	測定深さ	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	現場透水試験 (m/s)	室内透水試験 (m/s)
28	G2 (1回目)	GL-5.0m	298※	1.6×10 ⁻⁶ ※	7.8×10 ⁻⁷ ※
		GL-15.0m	746	9.0×10 ⁻⁷ ※	2.6×10 ⁻¹¹
		GL-33.0m	壁体側部から逸脱のため、中止		
	G2 (2回目)	GL-5.0m	—	—	—
		GL-15.0m	649	1.8×10 ⁻⁶ ※	4.1×10 ⁻⁸
		GL-33.0m	1117	3.1×10 ⁻⁷ ※	1.4×10 ⁻⁸
	G4 (1回目)	GL-5.0m	58※	2.8×10 ⁻⁷ ※	5.1×10 ⁻⁷ ※
		GL-15.0m	837	1.2×10 ⁻⁷ ※	4.1×10 ⁻¹¹
		GL-33.0m	779	7.2×10 ⁻⁸	5.6×10 ⁻¹¹
	G2 (3回目)	GL-5.0m	648	5.8×10 ⁻⁸	2.0×10 ⁻⁸
		GL-15.0m	1167	7.4×10 ⁻⁸	4.4×10 ⁻⁸
		GL-33.0m	1101	6.2×10 ⁻⁸	9.5×10 ⁻⁸
56	G4 (2回目)	GL-5.0m	701	—	1.0×10 ⁻⁸
		GL-15.0m	—	—	—
		GL-33.0m	—	—	—

※ 要求性能を満足しなかった箇所

(3) サイクルタイム

各エレメントについて準備開始から掘削完了後の品質確認までに要する時間(以下、サイクルタイム)を計測・集計した。その結果を図-5に示す。なお、朝礼・点検および休憩時間は除外している。施工時間は18時間30分～21時間50分であり、平均施工時間は約20時間であった。エレメントごとに若干の差が見られたものの、自硬性泥水の固化前に施工を完了できることを確認した。

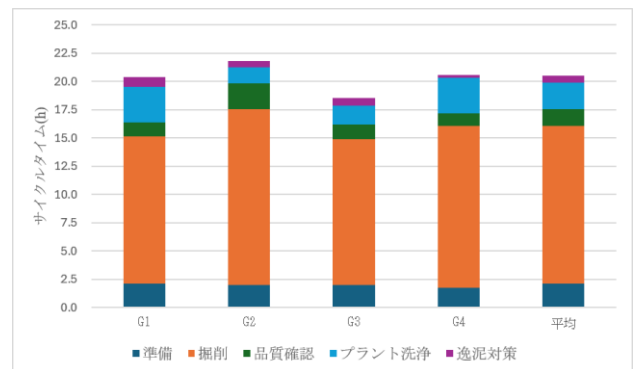


図-5 サイクルタイム

(4) 施工状況

先行エレメントであるG2ではGL-5.0～15.0m付近の掘削中に自硬性泥水の逸泥が確認された。G2の自硬性泥水使用率は234%であり、他のエレメントと比較して大きな値を示した。これは既設壁体と隣接しない先行エレメントであったため、溝壁周囲の地盤空隙へ自硬性泥水が浸透したことが主な要因と考えられる。

一方、後行エレメントであるG3の自硬性泥水使用率は127%、G4の自硬性泥水使用率は132%であり、大きな逸泥は発生しなかった。これは、先行エレメントで地盤空隙へ自硬性泥水が浸透したことで空隙が充填されたためと考えられる。

また、G1についても片押しエレメントであったことから逸泥が懸念されたものの、自硬性泥水使用率は128%であり、施工上問題となるような逸泥は確認されなかった。

以上より、自硬性泥水固化工法は、大粒径岩砕を含む2期島の埋立地盤においても要求される出来形および品質が確保され、2期島における連続地中壁本施工への適用が可能であると判断した。

4. 本施工

自硬性泥水固化工法による連続地中壁の築造を2026年6月より2期島南エリアにおいて実施している。本施工は施工延長約4.0kmを対象としており、施工位置を図-6に示す。施工には図-7に示す施工機械を用いており、施工状況を図-8に示す。

地中壁の要求性能は、試験施工と同様に、一軸圧縮強度 600kN/m^2 以上、透水係数 $1.0 \times 10^{-7}\text{m/s}$ 以下を基本とし、あわせて粘土層への1.0m以上の根入れおよび壁厚600mm以上を満足することを管理基準としている。これらの要求性能を確保するため、本施工においても試験施工で確認した品質管理手法および出来形管理手法を適用している。

使用材料は、高炉セメントC種、高炉スラグ微粉末、ベントナイトおよび遅延剤を主成分とする自硬性泥水である。自硬性泥水の配合は、試験施工の結果に基づき技術提案において採用した配合とし、施工時の流動性およびブリージング特性に留意しながら品質管理を行っている。

本施工では、バケット式地中連続壁掘削機を最大5台配置し、昼夜3交代による連続施工体制を構築している。



図-6 施工位置図(本施工)



図-7 施工機械



図-8 施工状況

5. おわりに

本稿では、関西国際空港2期島における連続地中壁の本工事に先立って実施した試験施工の内、自硬性泥水固化工法の適用性について述べた。

試験施工では、出来形、品質および施工性の確認を行った。その結果、粘土層への根入れ長、壁厚および鉛直精度は全て管理基準を満足した。また、チェックボーリングによる品質確認の結果、要求強度および透水性能については、材齢56日で要求性能を満足した。さらに、サイクルタイムは平均約20時間であり、昼夜3交代制により壁体造成できることがわかった。

以上より、自硬性泥水固化工法は、大粒径岩砕を含む埋立地盤においても適用可能であり、2期島の地中壁築造工法として十分な施工性および品質を有することを確認した。

本施工は2026年6月に始まったばかりである。引き続き、施工管理を適切に実施し、安全で信頼性の高い地下水対策の実現に努めていきたい。

参考文献

- 1) 米田暉，瀬口均，川端凌：関西国際空港2期島における連続地中壁の試験施工結果，土木学会第80回年次学術講演会講演概要集，VI-980，2026。（発表予定）

大和御所道路曲川高架橋（P 2 6・P 2 9）
上部工事における多軸台車による上部工仮設
について

坂本 偉心¹・高羽 佑馬²

¹近畿地方整備局 奈良国道事務所 工務課 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11)

² 橿原市役所 都市マネジメント部 道路河川課 (〒634-0078 奈良県橿原市八木町1-1-18).

本報告は、「大和御所道路曲川高架橋（P26・P29）上部工事」における上部工施工を多軸式特殊台車にて施工した工事についてである。施工箇所は現道（国道24号）の上空かつ深夜まで営業を行っている大型商業施設前に位置する交通量の多い交差点であり、夜間も含め周辺交通への影響が懸念される現場条件であったため、施工計画および関係機関との協議を慎重に行い、限られた施工時間内において安全かつ確実な施工を実施することが必要であった。本報告では、これらの条件下で実施した施工計画の検討内容およびその対応について報告するものである。

キーワード 多軸式特殊台車, 通行止め, 関係機関協議, ノーリターンポイント

1. はじめに

本報告の施工箇所は、京都と和歌山を結ぶ延長 120 km の高規格幹線道路【京奈和自動車道】は、大和区間と御所区間で構築される。そのうち、大和区間である橿原市曲川町に位置する曲川町 7 丁目南交差点を横断する上部工事である。交差点前には深夜まで営業を行っている大型商業施設があり、通行止めにする事で周辺交通への影響、近隣住民・店舗等の関係各所への説明、警察協議を慎重に進める必要があった。



図-1 曲川町7丁目南交差点の上空写真

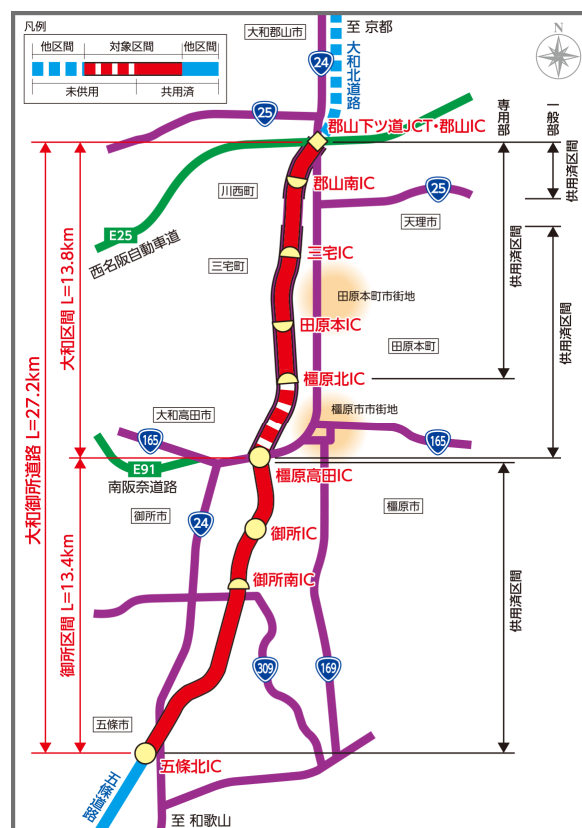


図-2 大和御所道路全体図

2. 橋梁工事概要

(1) 工事概要

- ・ 工事名：大和御所道路曲川高架橋（P26・P29）上部工事
- ・ 工期：（自）令和6年12月6日
（至）令和9年2月26日
- ・ 施工箇所：（自）奈良県橿原市曲川町7丁目地先
（至）奈良県橿原市新堂町地先

(2) 橋梁形式

- ・ 工事種別：鋼橋上部工事
- ・ 工事内容：橋長 170m
鋼3径間連続細幅箱桁橋

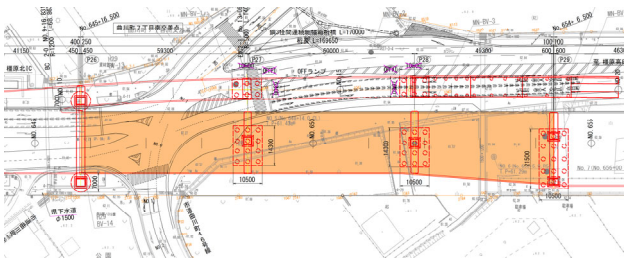


図-3 P26-P29間 平面図

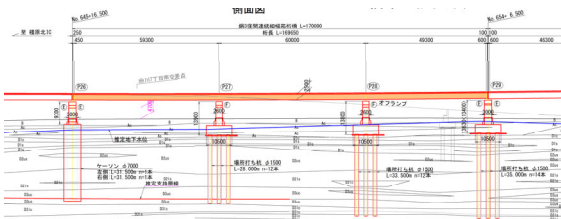


図-4 P26-P29間 断面図

3. 設計計画

(1) 架設工法の選定

本橋は、重交通路線である国道24号上を交通規制しながら曲川7丁目南交差点上で架設する計画であるため、一般交通への影響を最小限に抑える架設工法の選定が重要な課題であった。

詳細設計では、用地内で主桁の地組および架設が可能な工法として、「多軸式特殊台車による一括架設工法」と「手延式送出し架設工法」の2案を比較検討した。現道との近接条件、狭隘な施工ヤード、ならびに重交通路線である国道24号では長期間の通行止めが困難であることを総合的に評価し比較検討を行った。

「多軸式特殊台車による一括架設工法」では、架設時に一夜間のみ迂回路へ交通を切り替えることで架設が可能であり、交通規制期間を最小限に抑えられ

る。また、主桁の地組は施工ヤード内のP29橋脚上で昼間施工により実施する計画とし、現道上での通行止めや車線規制を伴わない施工計画とすることで、施工時の交通影響をさらに低減した。

一方、「手延式送出し架設工法」では、昼間交通を確保するため東西2方向への送出しが必要となるほか、その都度現道の切回しを伴うため、交通規制期間の長期化や一般交通への影響、安全性で不利となった。以上の検討結果より、「多軸式特殊台車による一括架設工法」を採用した。

(2) 安全性および施工性向上に関する工夫

詳細設計では、BIM/CIMを活用して施工計画の妥当性および施工ステップの検証を実施した。採用した多軸式特殊台車による一括架設は、夜間の限られた交通規制時間内で施工を完了する必要があることから、3次元モデルを用いて主桁の地組位置から架設位置までの走行ラインを再現し、走行経路上の支障物の有無や離隔を事前に確認した。その結果、多軸式特殊台車の走行性および施工手順の妥当性を確認するとともに、夜間施工時における安全かつ円滑な架設が可能であることを検証した。

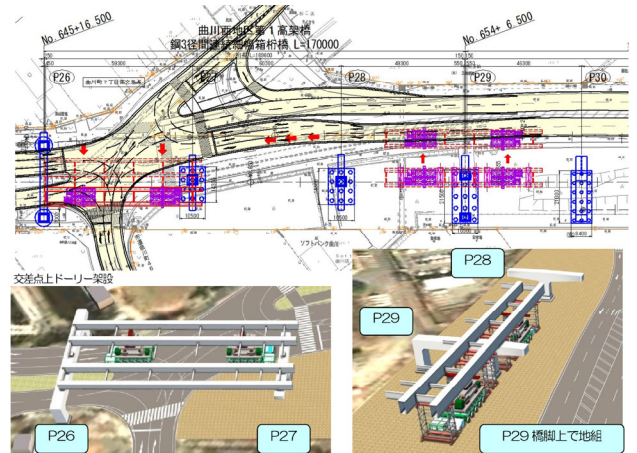


図-5 BIM/CIMを用いた施工計画検討

4. 架設準備

(1) 支障移設

架設時の支障物の確認を3次元モデルにて実施。結果は信号柱等が支障となるため、関係機関と協議を行い仮移設を実施。

(2) 通行止めに係る地元・沿道等の調整

架設時に二日間の夜間通行止めを行った。規制の影響範囲が大きいためホームページにてプレス記事による事前周知を行い、通行止めにより直接影響のある近隣自治会、近隣企業については、工事の概要

説明と規制についての説明を実施した。夜間営業している企業についてもご理解頂くことができた。

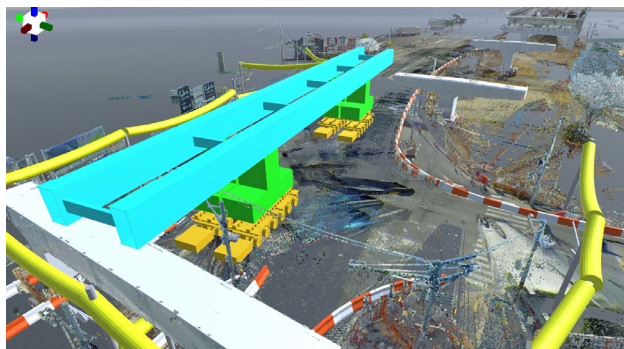


図-6 BIM/CIMを用いた協議資料

5. 多軸台車一括架設の施工計画検討

(1) 架設ステップの検討

架設ステップの検討架設に先立ち、施工ステップを検討し、多軸台車一括架設の施工計画を策定した。交差点内の多軸台車一括架設は、2夜間に分けて、4主桁(G1～G4)を2主桁毎に架設する計画とした。架設手順は、架設ヤード内であらかじめ地組を行い、桁を多軸台車にて現道上を約86m走行し、交差点まで運搬し、架設する計画とした。2回目の架設手順は、上記の架設手順に加え、G2-G3間の横桁架設を行う。

(2) ノーリターンポイントの設定

交差点内の架設は、国道24号樫原市曲川2丁目交差点から新堂町東交差点（日当たり交通量約1～2万台）の約650m区間の夜間通行止めを行いながら施工するため、規制時間を遵守し、施工遅延による社会的影響を回避することが必須条件となる。リスク管理として、ノーリターンポイントを設定したタイムスケジュールを作成し、作業毎の時間単位の工程管理を実施した。

ノーリターンポイントの設定は、警察協議結果の22:00～5:00（420分間）の時間的制約を踏まえ、規制準備、多軸台車の移動、架設作業（桁調整含む）、後片付等の一連の作業毎に、作業時間を設定するとともに、多軸台車の移動開始時間、桁調整作業については、ノーリターンポイントを設定し、規制解除や工事の中断および施工内容変更を計画的に実施する工程を立案した。

設定したノーリターンポイントは、下記の通り。

a) ①：多軸式特殊台車移動開始

多軸式特殊台車移動開始のノーリターンポイントは、規制完了時間および多軸台車の移動速度を考慮

し、移動開始が当初の想定より140分以上の遅延が生じた場合に作業を中止する計画とした。

b) ②：桁調整作業

桁調整作業のノーリターンポイントは、多軸台車の移動時間が当初の想定より遅延することを考慮し、多軸台車のテーブルリフト降下開始が当初の想定より140分以上遅延した場合、桁据付位置の微調整は、別日に改めて実施するものとし、桁降下後は、桁を仮置き状態で落橋防止措置を施したのち、作業を終える計画とした。

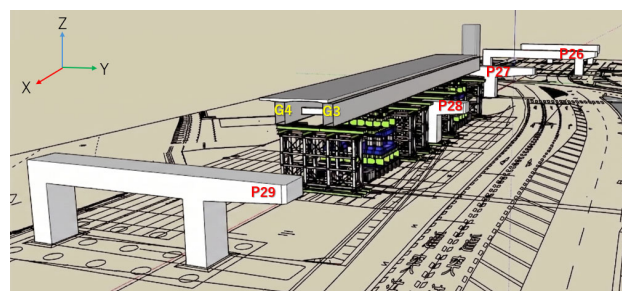


図-7 (ステップ-1)：ヤード内にて地組立

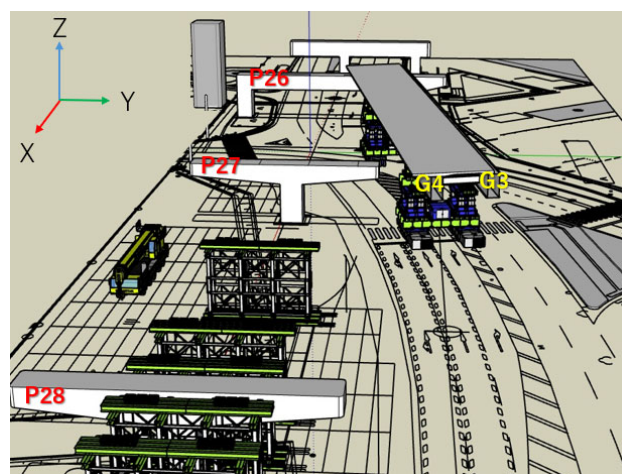


図-8(ステップ-2)：P26方向（北方向）へ直進

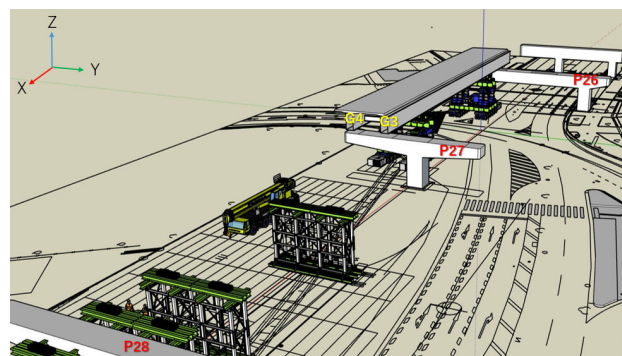


図-9(ステップ-3)：1回目架設手順（G3・G4桁）

P26到達後、横移動（西方向）および位置調整

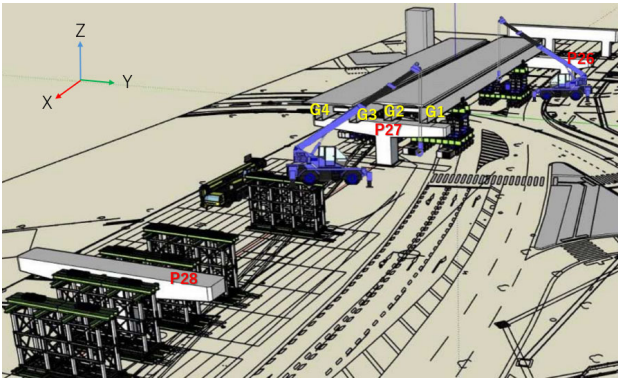


図-10(ステップ-4):二回目架設手順 (G1・G2桁)
G2-G3間横桁架設

6. 第一回架設と課題点

(1)第一回架設

2025年11月18日、第一回目のG3・G4桁夜間一括架設を実施した。計画では、規制時間終了時刻の翌5:00に対し、翌2:50頃には規制解除を行う予定であったが、実際の規制解除時刻は、翌4:00時頃となった。移動開始のノーリターンポイントである140分を超過することはなかったものの、設定した規制開始から規制解除までの予定時間270分を130分オーバーする400分で作業を終えた。

G1・G2桁を架設する第二回目の架設では、今回と同様の2主桁の架設作業に加え、約90分を要するG2・G3間の横桁架設の追加作業があるため、規制時間内で施工を完了するには、100分程度の時間短縮が求められた。

(2)第一回架設から見えた課題点

第一回架設のタイムスケジュールをもとに、第二回架設に向けて課題を整理した。主な遅延要因として、表-1に示す2つの課題の解決を図る必要があった。

表-1

	課題内容
課題①	多軸台車の移動時間に関する課題
課題②	主桁架設位置調整時間に関する課題

7. 課題点の対策と第二回架設の見直し

第一回架設から挙げられた課題をもとに、第二回架設に向けた施工計画の見直しを行った。

(1)課題①の解決に向けた検討

第一回架設では、事前の測量、路面状況、地下埋設物状況等の調査を実施して、走行安全性を概ね確認していたものの、路面の細かな不陸は、実走によ

り走行性、安定性を確認する必要があるため、より慎重に走行した結果、多軸式特殊台車の移動速度が低下した。さらに、主桁架設位置調整作業の連絡系統にも改善の余地があったため、第一回架設時の実績を踏まえ、a)～b)の対策を検討し、トータルで50分程度の時間短縮を図る計画に見直した。

a)多軸台車の転倒防止対策の見直し

第一回架設時は、実際の道路勾配や路面状況が不確定であったため、運搬時の台車や桁の転倒防止策に細心の注意を払った結果、多軸台車走行速度が低下した。具体的には、多軸台車の転倒防止対策および圧力管理の2つの管理項目を設定していたことが、走行速度を低下させる要因となった。

その後、第一回架設の実績より道路勾配や路面状況は、走行安全性が確認されたため、第二回架設では多軸台車の水平管理を主軸とし、圧力管理の制限値を緩和したことで走行速度の向上を図った。

b)直進速度の向上

第一回架設時は、台車直進区間86mは約1m/分で走行を開始し、徐々に約2m/分まで速度を上げる計画とされていた。しかし、近接構造物(P27橋脚)との干渉確認に時間を要したこと、転倒防止対策として、多軸台車の前後2車相対距離管理を優先した結果、計画速度の約2m/分まで加速することができなかった。

第一回架設の実績から、近接構造物との干渉することはなく、多軸台車の相対距離管理も良好であったことから、直進区間を概ね2m/分で走行する計画とした。

(2)課題②の解決に向けた検討

第一回架設時の主桁の架設位置調整では、桁を所定の位置にリフトダウンするための多軸台車の位置調整と橋脚上での位置調整の連絡調整の際、複数の指揮・連絡系統が輻輳した結果、想定を超える時間を要した。解決策として、連絡系統は橋脚上の担当者に一任し、指揮・連絡系統を一元化した。このことにより、意思決定の迅速化と架設時間の短縮を図り、60分程度の時間短縮を見込んだ。

(3)解決策反映後のタイムスケジュールについて

課題①、②の解決策による時間短縮効果は、表-2に示す通り。他の作業工程についても、第一回架設時の実績ベースで時間短縮を図り、G2・G3間の横桁架設に係る時間を95分と設定し、規制時間の想定を前回の実績から40分短縮した370分としてスケジュールを見

直した。

(4)第二回架設におけるノーリターンポイントの設定

スケジュールの見直しおよびG2・G3間の横桁架設のステップ追加に伴い、設定したノーリターンポイントは下記の通り。

a) ①：横桁架設枚数の変更

第二回架設時は、多軸台車による主桁架設後、G2・G3間の横桁架設がステップとして追加されるため、ノーリターンポイントの設定は、第一回架設時より前倒しで設定した。それぞれのステップの開始が想定より50分遅延した場合は、後日、昼施工で施工ヤード内での架設が可能な国道上以外の横桁架設は省略し、道路規制を伴う国道上の横桁のみを優先して架設する方針で、工程を見直した。

b) ②：道路開放準備時間

G2・G3間の横桁架設が想定より50分超過する場合は、横桁架設の2パーティー（国道上横桁架設の班、国道上以外の横桁架設の班）のうち1パーティーを開放準備に回し、道路の開放準備を始めることとした。

表-2

	解決策による時間短縮効果
課題①	当初180分→想定130分
課題②	当初 90分→想定30分

8. 第一架設の反省を踏まえた第二回架設の実施

2025年12月17日、第二回目のG1・G2桁夜間一括架設を実施した。第一回架設時の課題として挙げられた2項目の実績時間は表-3に示す通り。

課題①・課題②ともに解決策を実施した結果、第一回架設時の作業時間から大幅に短縮され、翌4:00には規制開放することができた。なお、国道上以外の横桁架設作業は、時間的余裕はあったものの、早期開放を最優先とし、別日の作業とした。

ノーリターンポイントの設定は、タイムリミットの明確化、遅延時の対策検討を図ることができ、リスク管理においても有効な手法であった。

表-3

	解決策実施後の実績時間
課題①	当初180分→想定130分→実績90分（-40分）
課題②	当初 90分→想定 30分→実績40分（+10分）

9. 見学会の実施

本事業では、多軸式特殊台車やBIM/CIM等への理解

を深める目的として、各所見学会を実施した。

(1) 独立行政法人国際協力機構(略称：JICA)

JICAが実施する研修プログラムの一環として、ブータン王国から来日した国家公務員等の研修生を対象に視察を受け入れた。視察では、対象橋梁について3Dモデルおよび動画を用いた説明を行った後、実物の見学を実施した。これにより、設計から施工に至るまでの一連のプロセスやBIM/CIMの活用効果について理解を深めていただく機会となった。（図-11、12）

(2) 段階確認(シミュレーション仮組立)に併せた工場見学会

鋼橋製作工場において、段階確認（シミュレーション仮組立検査）に併せた工場見学会を開催した。見学会には約50名が参加し、鋼橋製作工程に加え、BIM/CIMの活用およびシミュレーション仮組立検査の実施状況を見学した。これにより、デジタル技術を活用した品質管理や施工計画の高度化について理解を深める機会を提供した。（図-13）

(3) 第一回架設の現場見学

第一回架設工事において、多軸台車を用いた架設作業の現場見学会を実施した。参加者には若手技術者が多く含まれており、限られた時間の中で安全かつ確実に作業を進める現場特有の緊張感や施工管理の重要性を体感できる機会となった。（図-14）

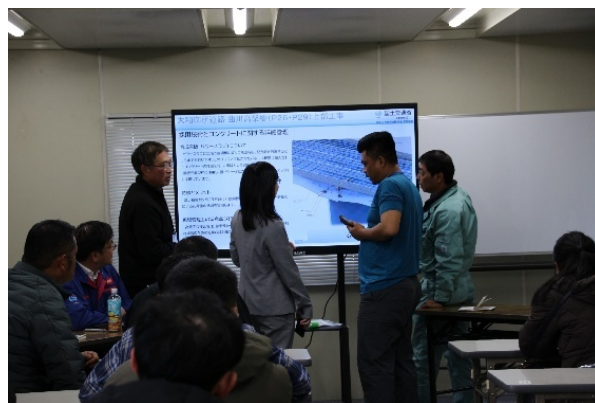


図-11 研修生が講師へ質問している様子



図-12 現場にて多軸式特殊台車を見学



図-13 シミュレーション仮組立検査の見学

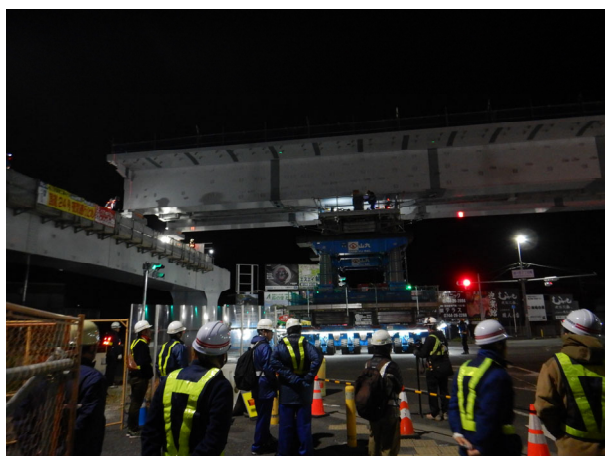


図-14 多軸式特殊台車を用いた架設

10. まとめ

本研究では、多軸式特殊台車を用いた上部工一括架設工法について、第1回架設から得られた課題を分析し、第二回架設において施工計画および施工体制の改善を実施した。その結果、多軸台車の移動時間および主桁位置調整時間を大幅に短縮することがで

き、横桁架設を含めた施工を夜間規制時間内に完了することができた。

特に、初回施工で取得した実績データを活用した走行条件の最適化、ならびに架設時の指揮命令系統の一元化は、施工効率向上に大きく寄与した。また、ノーリターンポイントを設定した工程管理により、遅延リスクを定量的に評価しながら施工を進めることができ、安全性および確実性の向上にも効果が認められた。

以上より、多軸式特殊台車を活用した上部工一括架設工法は、交通量の多い交差点部において交通影響を最小限に抑えながら施工できる有効な手法であることを確認した。さらに、本工事で得られた知見は、今後の類似条件下における架設計画の高度化、施工リスク管理の効率化および生産性向上に寄与するものと考えられる。

謝辞：本論文の執筆に多大なるご尽力をいただいた（株）横河ブリッジおよび（株）オリエンタルコンサルタンツの方々に心より感謝申し上げます。

河川堤防の二重締切りにおける長期運用を踏まえた安全管理について

中村 彩華¹・坂井 以知佳²

¹琵琶湖河川事務所 工務課 (〒520-2279 滋賀県大津市黒津4-5-1)

²琵琶湖河川事務所 流域治水課 (〒520-2279 滋賀県大津市黒津4-5-1)

河川堤防の開削工事で設置される二重締切りは、延長が100m程度、設置期間が2カ年程度の規模が一般的であるが、淀川水系野洲川において、施工延長が453m、設置期間が5カ年(仮締切工事開始～堤防復旧完了まで)となる二重締切りを施工しており、長期間の安全性の確保が課題となっている。河川堤防の長大な二重締切りにおける、長期運用を前提とした安全性の確保、管理手法などについて、報告を行うものである。

キーワード 河川堤防、二重締切り、安全管理、管理手法

1. はじめに

(1) 土壌汚染及び汚染土撤去工事に至った経緯

野洲川右岸7.8k付近～8.3k付近(滋賀県野洲市野洲)の堤内地に位置する原因者企業(以下、A社)の旧A社野洲川工場跡地においては、2003年の工場閉鎖後に敷地内で土壌汚染が確認されたため、2006年から2008年にかけて土壌汚染対策工事が実施された。

しかし、対策工事完了後の継続的な地下水モニタリング調査において、堤防沿いの観測井戸から工場の操業由来と推測される残留性有機汚染物質(POPs)の農薬エンドリンを検出し、環境管理指針値の超過が確認された。これを受けて、2018年から2019年に土壌汚染範囲の調査が実施された結果、河川区域内の堤防及び基礎地盤、高水敷の一部まで汚染が拡大していることが明らかとなった。

そのため、汚染土の確実な撤去及び地下水の揚水回収・処理、健全土での埋戻しによる原状復旧を目的として、2024年から河川堤防の開削を伴う汚染土撤去工事(以下、対策工事)を実施している。

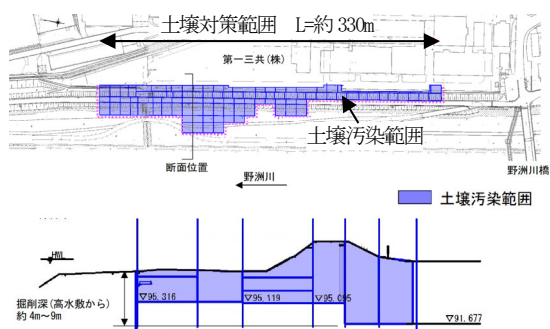


図-1 土壌汚染範囲

(2) 対策工事実施に至るまでの概要

a) 関係機関の所掌と協定書の締結

本事業では、原因者であるA社が対策工事における調査、設計、施工、堤防復旧に至る一連のプロセスを自ら実施する位置付けにある。しかし、A社は河川法に関する専門的知見及び自ら施工を実施する体制を有していなかったことから、仮締切堤及び復旧堤防の調査、設計、維持管理業務を建設コンサルタント(以下、B社)に委託し、施工実務をゼネコン(以下、C社)に委託する体制を構築した。

また、本業務は堤防の開削を行うため、河川の維持管理に重大な影響を及ぼす恐れのあるものについては受託工事で行うものとし、仮締切堤の設置・撤去、新規堤防の築堤、締切りによる流下阻害を解除するための掘削(以下、キャンセル掘削)については近畿地方整備局(以下、近畿地整)が実施し、既存堤防の撤去、汚染土の撤去、健全土の埋め戻しについては、A社が実施することとなった。

これに伴い、法的な基盤と双方の役割分担を明確化するため、近畿地整とA社の二者間で事業全体を対象とした「旧野洲川工場跡地土壌対策工事に伴う野洲川堤防工事に関する協定書」を締結した。

b) 対策工事実施までの流れ

対策工事の実施にあたっては、A社側で計画に必要な調査及び設計を進め、それらの結果・方針について綿密な協議・調整を重ね、治水上の安全性を十分に確保した施工マネジメント計画書を作成した。本計画書をもとに近畿地整と協議を行い、承諾を得たうえで本格的な工事着手へと至っている。

各種検討及び工事期間は以下のとおりである。

- 土壌汚染範囲調査：2018年～2019年
- 仮締切堤調査設計：2022年～2024年
- 対策工事実施期間：2024年9月～2029年3月

また、全体の工事計画は、段階的なリスク管理のもとで3ステップから構成されている。

- 仮締切堤設置工事(受託工事)：9ヶ月
- 土壌対策工事(A社発注工事)：36.5ヶ月
- 堤防復旧・仮締切堤撤去工事(受託工事)：13.5ヶ月

2. 仮締切堤の設計及び施工計画について

一般的な河川工事における鋼矢板二重締切による仮締切堤は、延長100m程度、供用(運用)期間が2カ年程度が標準的である。これに対し、本事業の仮締切堤は延長453m、供用期間も約5カ年(54.5ヶ月)と極めて長期に及ぶ。このように長期間にわたる供用中の安全性を確保するには、通常以上の構造的及び治水上の対策が不可欠となる。そのため、本事業では当初より長期運用を前提とした仮締切堤の設計・施工計画を策定した。

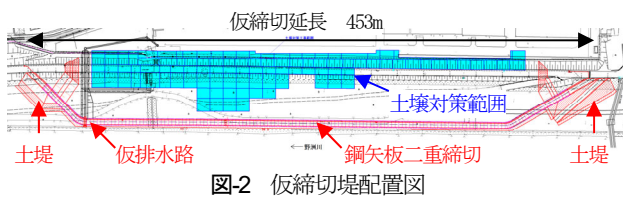


図2 仮締切堤配置図

(1) 長期運用における災害リスクの低減対策

仮締切堤の構造仕様そのものは供用期間に直接影響されないものの、供用期間が5カ年と長期化することに伴い、大規模な出水や地震などの重大な自然災害に遭遇する確率は高くなる。特に大規模地震の発生時には、仮締切堤の変形等に伴い止水機能が喪失するリスクは否定できない。しかし、設計外力を超過するような大規模地震(以下、超過外力)に対してハード面(構造仕様)のみで完全に対応することは不経済かつ非現実的な構造を招くこととなる。

そのため本事業では、万が一の被災をあらかじめ想定内に位置づけ、ソフト面及びマネジメントの観点から包括的に災害リスクを低減させるための対策を構築した。

a) 緊急復旧シナリオの作成

仮締切堤については、既存堤防と同等の安全度を有する構造としているが、超過外力が生じた場合には、仮締切堤の止水機能を損なう恐れがあることから、万が一仮締切堤の止水機能が喪失した場合の緊急復旧シナリオを作成した。仮締切堤における耐震設計は、一般に供用期

間中の発生確率が高い中規模地震動(レベル1地震動)を対象とする。しかし、本事業のような長期運用事業においては、万が一、仮締切堤の止水機能が喪失した場合でも、背後地への被害拡大を最小限に抑え、かつ迅速に復旧対応が図れるよう作成した。緊急復旧における基本方針は以下のとおりである。

- 堤防敷または堤内地側に上下流の既設堤防と接続する緊急復旧堤防を築造する。
- 周辺の交通網が麻痺するとともに、復旧用鋼材の確保が困難となることを想定し、緊急復旧資材は現地確保する。(復旧用土砂はキャンセル掘削で発生した土砂等を使用)

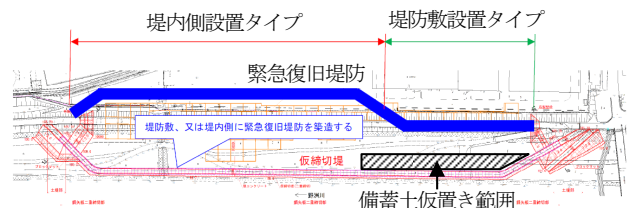


図3 緊急復旧堤防の配置計画図

緊急復旧堤防の構造形式には、止水性を確保しつつ迅速に築造が可能な「大型土のう併用土堤」を選定した。堤防天端幅は迅速な復旧性を最優先とし、河川管理施設等構造令に定める最小値の3.0mと設定したほか、余裕高及び裏法勾配は定規断面の諸元を確保した。また、対策工事の施工段階に応じた緊急復旧堤防の配置計画を策定し、各段階で必要となる最大土量($V=7,900\text{m}^3$)をあらかじめ仮締切堤内に備蓄することで、不測の事態に備えた。

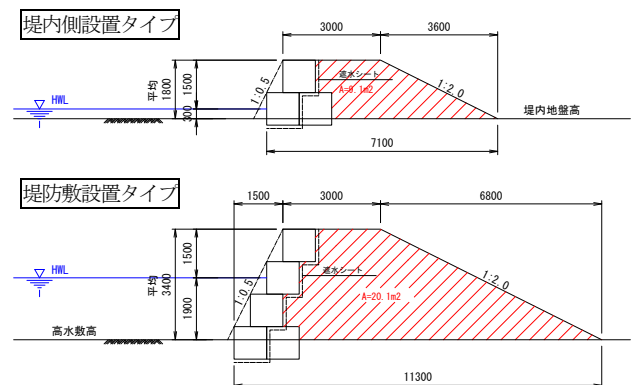


図4 緊急復旧堤防構造図

b) 関連工事との災害協定の締結

琵琶湖河川事務所が発注する仮締切堤設置工事(受託工事)の完了後は、A社が発注主体となる土壌対策工事へ移行する。本来、災害等で不具合が生じた場合、河川管理者から許可受者へ応急復旧等を指導するところではあるが、仮締切設置期間が5カ年と長期にわたること、また、本堤開削箇所での被災により大規模な浸水被害の発生可能性が高く、社会的影響も大きいことから、災害発

生時の即時対応を担保すべく、土壌対策工事の施工業者であるC社と連携・委託することが最も合理的であると判断した。これに基づき、近畿地整とC社の二者間において、被害拡大防止及び被災施設の早期復旧に係る業務に関する必要事項を定めた災害協定を締結した。なお、対象期間は仮締切堤の設置完了から汚染土の搬出完了(堤防復旧工事開始)までとした。

(2) 設計計画と施工概要

a) 準拠基準及び設計覚書の締結

通年施工を行う仮締切堤の設計にあたり、「仮締切堤設置基準(案)²⁾」に基づき原則とされる鋼矢板二重式工法を採用し、高さや平面形状、流下能力の確保等の基本条件を設定した。詳細な構造条件の決定には「鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル³⁾」に準拠した。なお、設計着手にあたっては琵琶湖河川事務所、A社、B社の三者間で責任の所在等を明確化した設計覚書を締結した。

b) 基礎地盤条件の把握

地盤条件を精度よく把握するため、仮締切堤の設置位置(1箇所)及び将来の復旧堤防位置(川表、天端、川裏の3箇所)の計4箇所で地質調査を実施した。その結果、対象地は砂礫質主体とする良好な地盤であり、急激な地層変化や脆弱な粘性土層は確認されなかった。

表-1 基礎地盤の土質定数

地層	平均N値 (回)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)
B: 盛土層	13	18.2	36.7	0.0
Ag1: 礫質土層	28	20.6	40.0	0.0
Ag2~Dg: 礫質土層	49	21.0	37.0	0.0

c) 仮締切堤設置に伴う河積減少への対策

長大な仮締切堤の設置に伴う流下能力低下(河積減少)への対策として、「仮締切堤設置基準(案)²⁾」に基づく準二次元不等流解析を実施した。仮締切設置後の水位上昇をゼロ(現況計算水位以下)に抑える条件のもと、河道内のキャンセル掘削を計画した。掘削範囲は、滞筋の固定化による河川の二極化の解消を目的として別途検討した「偏流対策計画」を兼ねた範囲を選定し、本事業の河積影響分($V=27,000\text{m}^3$)を先行掘削した。

なお、この掘削土は事前に土質性状を確認したうえで、既存堤防接続部の土堤材料及び二重締切内の中詰土、災害用備蓄資材として有効利用する計画とした。

d) 仮排水路(管渠)における構造安全性の確保

対策工事に伴い既設の排水樋門を撤去するため、施工中の排水機能の確保が課題となった。地域住民の意向を踏まえ、工事完了まで旧工場内の排水系統は変更せず、既設と同等の流下能力(HP ϕ 1000)を維持したまま、仮締切堤を横断して野洲川に排水する計画とした。

横断管路には、中詰土の圧密沈下や地震時の継手離脱を防止するため、高い伸縮性及び可とう性、離脱防止機構を備えた「NS形ダクティル鉄管」を採用し、鎖構

造管路を構築した。

また、矢板開口による横断部の剛性低下に対して断面性能を確保すべく、タイロッドを上下2段配置した。特に計画高水位以下となる下段タイロッドの取付孔には、堤外側に止水ゴム、堤内側に吸出し防止材をそれぞれ設置し、長期運用における安全性を担保した。

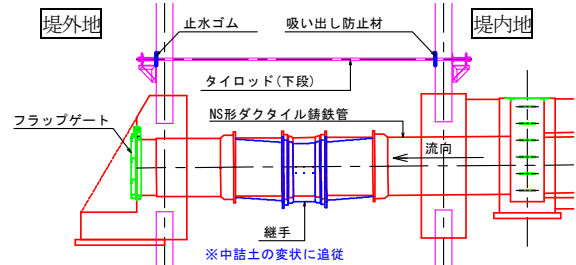


図-5 ダクティル鉄管の継手模式図

3. 仮締切堤等の維持管理について

(1) 実施方針と維持管理覚書の締結

長期間にわたり本設堤防の代替機能を担う仮締切堤は、その破堤や機能低下が河川管理上及び地域社会へ及ぼす影響が極めて著しい施設である。そのため、原因者であるA社の所掌のもと、通常の河川巡視にとどまらない、より一層の安全確保と厳密なリスク管理が重要であり不可欠と考えた。こうした認識のもと、仮締切堤及び仮水路、その他対策工事に伴い設置された施設(以下、仮締切堤等)を対象とした独自の維持管理体制を構築し、徹底した維持管理作業を実施することとした。

本維持管理作業の実施に先立ち、琵琶湖河川事務所、A社、B社の三者間で対象施設や点検項目、点検頻度等の責任の所在等を明確化した維持管理覚書を締結した。維持管理期間は、仮締切堤の設置完了から堤防復旧工事の開始までとし、既存の関連基準に対して本事業特有の現場条件やリスク要素を反映させた維持管理計画書を事前に策定したうえで管理作業を運用した。

(2) 維持管理体制

a) 関係機関の立場、役割

維持管理作業にあたっては、統括監理を担う「琵琶湖河川事務所管理課」、現場管理者である「野洲川出張所」、事業全体の責任者である「A社」、点検・評価、対策工の提案を行う実務主体である「B社」、変状対策工事及び災害復旧を担う施工主体である「C社」の五者が連携する体制とした。各関係機関の立場と主な役割、所掌内容を表-2に示す。

表-2 関係機関の立場・役割

立場	機関名	主な役割・所掌
統括監理者	琵琶湖河川事務所 管理課	・河川管理者としての統括監理 ・変状対策の実施判断(決定者)
現場管理者	琵琶湖河川事務所 野洲川出張所	・日常的な現場管理者 ・変状対策工事の監督者 ・河川巡視の実施者
事業者 (原因者)	A社	・事業全体の責任者 ・変状対策の実施判断(協議者)
点検者	B社	・維持管理作業の実施者(点検、評価) ・変状確認時の詳細調査、変状対策提案 ・変状対策の実施判断(協議者)
対策工事 施工者	C社	・関連工事施工者 ・変状対策工事の実施者 ・災害時の応急復旧活動の実務

(3) 点検種別の設定

仮締切堤等の長期的かつ確実な安全管理を実践するため、「通常点検」と「臨時点検」の事象に応じた2種類の点検種別を設定した。

a) 通常点検

平常時において、対象施設毎に規定の頻度で点検を行い、点検結果及び評価内容を報告するものである。

b) 臨時点検

地震や洪水などの事象が発生した場合に、その影響を迅速に把握・共有することを目的に、通常点検とは別に緊急的に実施するものである。対象となる具体的な事象は表-3のとおりである。

表-3 臨時点検の対象となる事象

事象	事象(震度)	その他事象	対応速度
地震	震度5以上	-	速やかに臨時点検を実施 (平日休日問わず)
	震度4	出水により野洲水位観測所で水防団待機水位を超えて氾濫注意水位に達する恐れがある場合	速やかに臨時点検を実施 (平日休日問わず)
	震度4	地震、出水等が原因で野洲川の管理施設が被災し、新たな被害の発生が懸念される場合	速やかに臨時点検を実施 (平日休日問わず)
	震度4	-	当日又は翌日 (平日対応)

※地震対象地区：野洲市、守山市、栗東市、湖南市

事象	事象(出水規模)	対応速度
出水	野洲水位観測所において氾濫注意水位を超える出水が発生した場合	速やかに臨時点検を実施 (平日休日問わず)

c) 通常点検時のフロー

通常点検においては、点検者(B社)から事前に関係者へ点検実施日をアナウンスしたうえで現場作業を行う。点検結果は速やかに関係機関に共有され、点検カルテに蓄積される。万が一、点検時に対策が必要な変状(管理レベル3)を確認した場合には、点検者から統括監理者及び事業者へその状況と対策工法の提案・報告が行われ、対策の実施について協議が行われる。統括監理者による技術的判断のもと対策が必要と判断された場合には、施工者によって変状対策工事が実施される体制とした。

d) 臨時点検対象となる事象発生時のフロー

臨時点検対象となる事象が発生した場合、あるいは発生が想定される場合(出水時のみ)には、速やかに点検者と統括監理者の間で相互連絡を取り、臨時点検実施の調整を行う。方針決定後は、直ちに事業者及び施工者に情報共有され、安全確保や復旧体制の確立に向けた現場作業の調整を図る体制とした。

また、臨時点検にあたっては、先ず仮締切堤等全体の外観状況の確認による被災状況の確認を最優先とし、そ

の状況を統括監理者に報告したうえで、その後の点検作業を実施する体制とした。

(4) 点検項目及び点検方法、点検頻度の設定

点検期間は仮締切堤の設置完了から仮締切堤撤去完了までとしている。

a) 点検項目

「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領⁴⁾」をベースに、土堤や護岸、鋼矢板などの対象施設毎に、長期運用で想定される変状(亀裂、沈下、はらみ出し等)を選定し、表-4のとおり、きめ細やかな点検項目を設定した。

b) 点検方法

変状を的確に捉えるため、現地での「目視点検」を基本とした。一方で、目視では把握しにくい鋼矢板の傾き(頭部変位)や沈下等については、トータルステーション等を用いた測量による「計測点検」を実施することとした。また、流下能力への影響把握には、定期的な横断測量で得た河道断面データを不等流計算に反映し、水理学的に点検・評価する手法を採用した。

c) 点検頻度

通常点検については微細な経時変化を継続的に監視するため、日常点検の頻度は「1回/月」を基本サイクルとした。ただし、流木等による閉塞が内水氾濫リスクに直結するフラップゲートについては、安全性を考慮して「2回/月」の重点的な点検とした。さらに、河道断面の計測及び流下能力の評価は「1回/年」の頻度で実施し、臨時点検については異常事象の発生毎に随時対応する方針とした。(表-4)

表-4 点検項目及び点検方法、点検頻度

施設区分	点検箇所	主な点検項目	点検方法	点検頻度
土堤	法面・小段	亀裂/法崩れ/浸食/樹木の侵入	目視	1回/月
	交差部	亀裂/陥没/不陸/沈下/法肩侵食	目視	1回/月
護岸	裏法前面	漏水/雨水/雨水/浸食/漏れ/腐食	目視	1回/月
	高水護岸(ブロックマット)	目視/亀裂/破損/端部の洗掘/侵食	目視	1回/月
	低水護岸(張りコンクリート)	亀裂/破損/端部の洗掘/侵食	目視	1回/月
	堤防端部(布製型枠)	目視/亀裂/破損/端部の洗掘/侵食	目視	1回/月
鋼矢板二重締切	鋼矢板	変位/腐食/不同沈下/傾き/鋭い出し	目視/計測	1回/月
	支保材	タイロッドの緩み/腐蝕/鋭い出し/変位/腐食	目視	1回/月
仮排水路	地盤	掘入れ部の沈下/陥没	目視	1回/月
	構造物周辺の堤防	天端の沈下/亀裂/漏水/堆砂	目視	1回/月
	貫通(ダクト/コンクリート管)	管体のたわみ/折れ曲がり/継手の開き	目視/計測	1回/月
	フラップゲート	扉体の変形/損傷/変位/ボルトの緩み/陥没	目視	2回/月
仮設光ケーブル	仮設光ケーブル	管路の沈下/ハンドホール異常/ケーブル陥没	目視	1回/月
	河道	土砂堆積による河床陥没/樹木倒伏	目視	1回/月
		計算水位が現況断面時の水位を超過しないか	計測	1回/年

(5) 管理基準の設定

a) 管理の基本方針

点検箇所毎に定量的・定性的な管理基準を設け、変状の程度によって「管理レベル1～3」の3段階に区分して、効率的な管理を行うこととした。これにより、長期運用の中で小さな不具合発生の兆候を早期に捉え、適切なステップで対応できるようにした。各レベルの定義及び対応方針は以下のとおりである。

管理レベル1 (健全・要継続点検)

構造物の機能への影響が軽微な段階。

現行の点検頻度のまま点検カルテにデータを蓄積し、継続的な観測を行う。

管理レベル2 (要監視・留意点検)

レベル1よりも変状が進行し、将来的な機能低下の懸念がある段階。

現行の点検頻度を維持、または強化しながら、詳細な要因分析などのモニタリングを行い、留意して観測を続ける。

管理レベル3 (要対策・詳細点検)

構造物機能への影響が大きく、治水上の安全性を脅かす恐れがある段階。

変状を確認した時点で速やかに詳細点検(原因究明調査など)を実施し、変状対策工の検討を行う。

b) 目視点検対象の管理基準、管理レベルの設定

土堤や護岸等の目視点検を行う対象施設は、ひび割れの幅や漏水の有無といった変状の程度(進行性や機能への影響)に応じて、客観的な判断基準を設定した。(表-5)

表-5 目視点検の管理基準等

管理レベル	評価区分	管理基準			
		状態	変状確認	機能	変状
レベル1	a 異状なし	目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていない健全な状態	なし	なし	なし
レベル2	b 要監視段階	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態(軽微な補修を必要とする場合を含む)	あり	なし	なし
レベル3	c 予防保全段階	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態	あり	なし	なし
	d 措置段階	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態	あり	あり	あり

c) 鋼矢板の計測における管理基準、管理レベルの設定

鋼矢板二重締切の計測点検は、設計上の許容値³⁹⁾に対する変状の程度に応じた判断基準を設定した。(表-6)

管理レベルの閾値は、許容値自体が安全率1.2~1.3程度を有するものと考え、許容値の80%以上(安全率1.0に相当)を管理レベル3(要対策)、50%以上を管理レベル2(要監視)とした。

表-6 鋼矢板の計測における許容値と管理手法

項目	許容値	根拠
天端中央沈下	40mm	わだち掘れの閾値
鋼矢板 沈下	80mm	設計堤防高 - 現況堤防高
鋼矢板 傾き	150mm	掘削深さ(5m)の3%
鋼矢板 はらみ出し	300mm	曲げ剛性の許容値

管理レベル	管理基準			
	仮締切堤天端中央沈下(許容値)	鋼矢板沈下(許容値)	鋼矢板傾き(頭部変位)(許容値)	鋼矢板はらみ出し(許容値)
レベル1(許容値50%未満)	20mm未満	40mm未満	75mm未満	150mm未満
レベル2(許容値50%以上)	20mm以上	40mm以上	75mm以上	150mm以上
レベル3(許容値80%以上)	32mm以上	64mm以上	120mm以上	240mm以上

d) 管渠の計測における管理基準、管理レベルの設定

管渠(ダクタイル・铸铁管)は、継手部の許容値7°に対する変状の程度に応じた判断基準を設定した。(表-7)

表-7 管渠の計測における管理手法

管理レベル	管理基準	
	継手部の屈曲角(許容値)	7°
レベル1(許容値50%未満)	3.5°	未満
レベル2(許容値50%以上)	3.5°	以上
レベル3(許容値80%以上)	5.6°	以上

(6) 点検結果の整理

点検結果の整理にあたっては、本事業に特化した「整理表(カルテ)」を作成した(表-8)。特徴として、変状がない場合においても、各点検箇所での点検結果(写真や計測値等)を毎回整理・記録することで、長期にわたる経時変化を的確に把握、分析できるようにした。

表-8 点検結果の整理方針

整理表(カルテ)	内容
点検結果の一覧表(全体評価)	仮締切堤等全体の評価の経時変化を整理
点検結果の一覧表(施設区分毎)	施設区分毎の評価を整理
点検箇所毎の点検結果詳細	点検箇所毎の詳細な評価を整理

4. 仮締切堤等の点検結果と分析

(1) 点検結果(目視、計測)

2025年9月に実施した初期観測(基準値設定)と2026年の点検結果との比較を表-9に示す。低水護岸における張コンクリートのひび割れ等、一部に軽微な変状は認められるものの、すべての評価項目で管理レベルの低下はなく、全体として健全な状態が維持されていることを確認した。また、鋼矢板の傾き等の計測結果においても、初期値からの最大変化量は8mm程度にとどまり、許容値150mmに対して十分な安全性を確保し、経年的な挙動の変化は極めて小さいと考えられる。

なお、仮設光ケーブルを接続しているハンドホールにおいては、初期観測時より継続して内部滞水が確認されたため、管理レベル2として抽出・登録のうえ、継続的な経過観察を行っている。

表-9 点検結果一覧表(2025年初期観測~2026年)

評価区分	評価項目	評価基準	2025年初期観測				2026年				備考
			評価	変状	変状	変状	評価	変状	変状	変状	
堤防	堤防中央沈下	①	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	②	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	③	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	④	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	⑤	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	⑥	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	⑦	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	⑧	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	⑨	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	堤防中央沈下	⑩	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
管渠	管渠中央沈下	①	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	②	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	③	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	④	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	⑤	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	⑥	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	⑦	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	⑧	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	⑨	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。
	管渠中央沈下	⑩	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	レベル1	健全である。

(2) 点検結果(流下能力)

2025年12月に河道断面計測を実施し、河積阻害の有無を検証した。キャンセル掘削断面及び二重締切設置断面のいずれにおいても著しい土砂堆積は確認されず、不等

流計算水位も現況水位を下回ったことから、河積阻害は生じていないと判断した。

なお、キャンセル掘削時から今回の計測時までの間に異常出水が発生しておらず、その影響が顕在化していない可能性が考えられるため、今後の出水後の点検においては土砂移動等の影響に十分留意する必要がある。

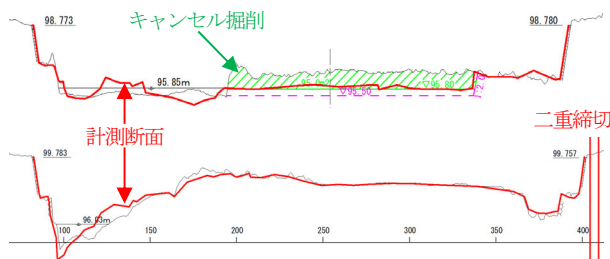


図-6 現況断面と計測断面の比較

(3)ハンドホール内の滞水要因と対策

点検対象のハンドホールは、既設堤防上に1箇所、仮締切堤上に2箇所の計3箇所である。このうち、継続的な滞水が確認されたのは仮締切堤上の2箇所であった。

滞水深は最大16cm程度であったが、滞水痕跡を踏まえても光ケーブルとの間に十分な離隔が確保されていること、滞水の濁りや土砂の吸出しも確認されないことから、評価区分b(要監視段階)の管理レベル2と判定した。

この滞水要因としては、ハンドホール底版に設置された水抜孔が砂等により目詰まりを起こし、上部からの雨水や浸透水が円滑にされなかったことによるものと推定される。滞水への対応としては、簡易かつ確実に機能維持を図る手法として、通常点検毎に水中ポンプ等による排水処理を行い、健全な状態を維持している。

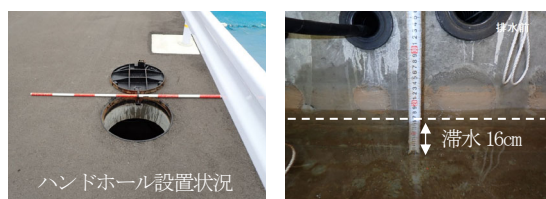


写真-1 ハンドホールの滞水状況

5. 施工・点検から得られた知見

(1) 施工時における地質トラブルへの迅速な対応

矢板打設の初期段階において、人頭大の礫や旧護岸の残骸が確認され、バイプロハンマ工法による貫入が困難となったため、硬質地盤クリア工法への工法変更が余儀なくされた。事前の地質調査の結果では、打設範囲内の最大N値は50未満であり、「国土交通省土木工事標準積算基準書(共通編)」におけるバイプロハンマ工法の適用条件を満たしていた。また、部分的な玉石の確認にとどまり、礫打撃等に起因するN値の異常値も認められない状況にあった。

貫入不能の発生直後に、打設位置に対しバックホウによる試掘及び複数箇所での試打を実施し、工法変更の妥当性を迅速に検証・判断した。このように課題発生初期における迅速な実態把握と柔軟な工法見直しを図った結果、全体工程に重大な遅延を及ぼすことなく仮締切堤の設置工事を完了した。

(2) 点検結果の考察

延長が長く、複数の異なる構造物から構成される仮締切堤等に対し、各構造物の特性に応じた最適な点検手法及び点検項目、点検頻度をあらかじめ設定した。

維持管理計画書に基づき運用を図った結果、現在に至るまで重大なトラブルを発生させることなく対策工事を継続できており、事前に立案した維持管理計画書の妥当性及び有効性が実証されているものと考えられる。

6. おわりに

本工事は原因者が存在する事業であったため、通常の河川工事とは異なり、各関係者の役割や責任区分を明確にし、連携して事業を実施する必要があった。そのため、原因者であるA社、国及び設計業者等の間で協定を締結し、工事の実施体制や維持管理の責任範囲を整理することが重要であった。

このような事前調整により、関係者間の認識の統一が図られ、現在まで大きな課題や支障を生じることなく、事業は円滑に進捗している。

また、長期間の仮設堤防は一時的な構造物でありながら、治水機能を担う重要な施設であることから、大規模な出水や地震等の自然災害に対する十分なリスク管理が求められる。災害発生時の復旧計画をあらかじめ策定するとともに、災害時に迅速な応急復旧が可能となるよう関係業者との災害協定を締結し、復旧体制を確保した。また、日々の点検・巡視を継続的に実施することで、異常の早期発見と迅速な対応が可能となり、安全性の確保につながることを確認した。

今後も、関係者がそれぞれの責任を果たしながら連携を強化し、適切な維持管理と災害対応を継続することが重要である。本工事で得られた知見は、同様に原因者を伴う河川工事や長期間の仮設構造物を有する事業においても有効な参考事例になるものとする。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター：河川管理施設等構造令
- 2) 近畿地方整備局：土木請負工事必携 仮締切堤設置基準(案)
- 3) (財)国土技術研究センター：鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル
- 4) 国土交通省：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領
- 5) 国土交通省：舗装点検要領
- 6) 近畿地方整備局：設計便覧(案)、第1編土木工事共通編

国道沿いの落石危険斜面におけるAI 画像解析 及び変位計モニタリング手法の検討

佐々木 亮一¹・窪田 安打²

¹近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 道路管理第二課 (〒670-0947姫路市北条1-250)

²応用地質株式会社 関西支社 神戸営業所 (〒651-0083神戸市中央区浜辺通5-1-14 401号).

国道 29 号の落石危険箇所では、防災対策工事の完了まで長期間を要するため、道路利用者の安全確保に向けた監視手法が課題である。本報告では、落石の変位形態に応じて AI 画像解析を用いた画像カメラ、伸縮計、傾斜計を選定し、現地での適用性を検討した。赤外線撮影と反射ターゲットにより昼夜・気象条件下でも概ね安定した画像計測が可能で、AI 解析の誤差は数 mm 程度に抑えられた。また変位計も長期計測で安定性を確認した。モニタリング併用により事業費・期間の縮減や通行規制緩和が期待される。

キーワード 落石危険箇所，モニタリング，画像カメラ，AI画像解析，変位計

1. はじめに

姫路河川国道事務所が管理する国道29号について、北部の山間地を抜ける区間は自然斜面からの落石危険箇所が多数分布しており、1996年に道路防災総点検により危険箇所の抽出を行い、その後定期点検を継続している。特に要対策のランクに設定されている箇所に対して、順次防災対策工事を実施しているが、落石危険箇所数が膨大であることや急峻な地形であることにより、対策工事完了までに相当な期間と、膨大な工事費が必要となる。このため、長期間にわたり道路への被災リスクが高い状態が継続し、落石は突発的に変状が進行する可能性があることに対して、点検頻度は年1〜2回に限られていることなどが問題点として挙げられる。また、目視による点検は、多大な労力がかかる上、急峻な斜面上で点検作業を行うため、安全性の確保が必要となる。また、この区間には異常気象時の事前通行規制区間が指定されており、要因である要対策箇所の対策が未完了である。基準雨量が160mmと低く、通行止めの頻度が高いため社会的影響が大きいことが問題点として挙げられる。これらの問題点を解決することを目的として、落石危険箇所をAI画像解析技術による画像カメラや変位計を用いたモニタリング監視の手法を検討したので、以下に報告する。

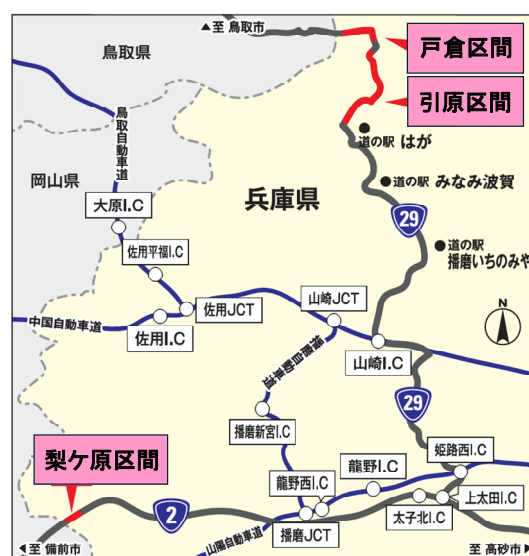


図-1 国道29号周辺の路線図



図-2 検討箇所的位置図

2. 現地概要

図-1 に示す国道 29 号は姫路市と鳥取市を結ぶ重要路線である。このうち、表-1 に示す通り、宍粟市波賀町引原～戸倉峠の鳥取県境にかけて、異常気象時の事前通行規制区間が指定されている。この路線に並行する鳥取自

動車道の基準雨量値は更に低い 150mm が設定されており、豪雨時には国道 29 号への迂回が予想されることから、幹線道路としての役割は重要である。

国道 29 号沿いの自然斜面や溪流に対して、落石崩壊

や土石流等のリスクに対する道路防災点検箇所が設定されている。このうち、図-2に示す引原・戸倉区間は国道29号の管理範囲内にある道路防災点検箇所のうち約5割が集中しており、特に落石危険箇所の約6割がこの区間に集中する。この道路防災点検箇所については、防災カルテ点検による継続監視と要対策に区分された箇所を対象とした防災対策工事が実施されているが、防災対策の完了による規制区間の緩和・解除までに相当な期間と膨大な工事費が必要であることが見込まれている。

表-1 事前通行規制区間における対策箇所数

区間名	延長 (km)	基準雨量 (連続雨量 mm)	防災点検 箇所数	要対策
引原	10.9	160	39 (33)	14 (10)
戸倉	3.2	200	15 (7)	5 (3)

※ () 内は落石危険箇所数

この引原・戸倉区間は、地形的には溪谷状の谷地形の中腹～谷底に国道が位置している。国道から尾根までに比高差200～350mの自然斜面が位置しており、急峻な斜面には浮石転石が多数分布しているため、落石崩壊が主要な危険リスクとなっている。特に引原区間における過去の道路被災は、図-3に示すように2002年～2025年にかけて75回の道路被災や変状が記録されているが、このうち、落石は64%を占めており、最も発生頻度の高いリスクとなっている。

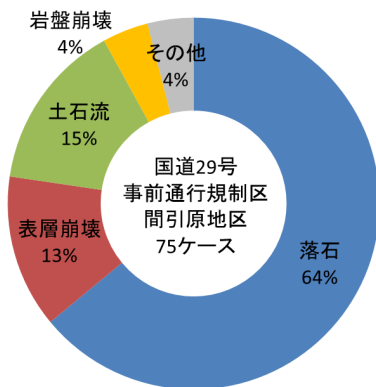


図-3 被災・変状形態の割合 (2002～2025)

また、図-4に示すように、発生時期別でみると、3～6月が多いことから雪解けの春先から梅雨時期にかけて落石が発生しているが、その後の台風シーズンには落石が少ない傾向となる。また、過去の被災報告から、風による樹木の揺さぶりにより落石が生じたケースも報告されている。

過去の落石による道路被災の殆どは、待受けの落石防護網や柵を石が越えて道路に石が落下したものである。このため、比較的規模の小さい石が急峻な地形の箇所

発生したものが道路被災に至っている。これらの事象はネットの嵩上げ等で順次対応されているため、近年では落石による被災数は減少傾向である。

この道路被災が発生した落石の原因に関して、降雨との関係が発生件数でみると、図-5に示すように主に無降雨～連続雨量20mm以下の少雨において落石による道路被災が発生している。これに対して、連続雨量180mm以上において、表層崩壊や土石流が発生している。これらの記録から、当区間における落石と降雨の関連性は低いものが多いことを示している。

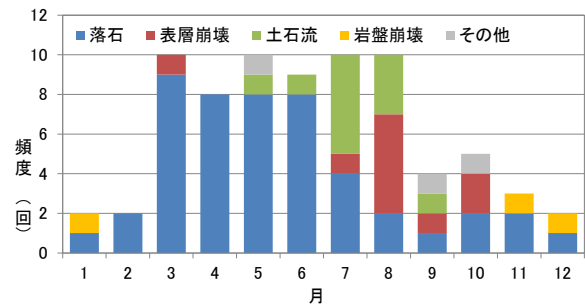


図-4 発生種別と発生月の関係 (2002～2025)

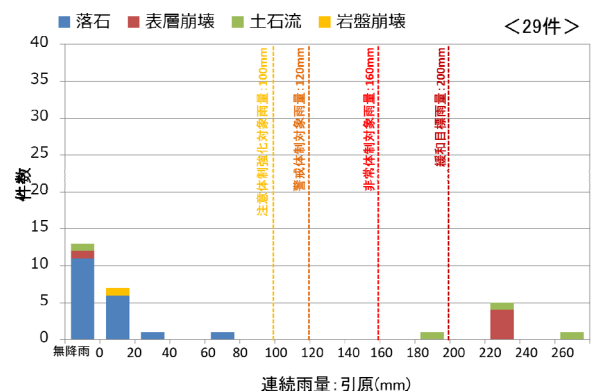


図-5 発生種別と連続雨量の関係 (道路被災 2002～2025)

3 現状分析とモニタリングの課題

この問題点に対して、防災対策・規制区間検討会議(兵庫ブロック)(姫路河川国道事務所管内)では、学識経験者を含めた委員による提言により、規制区間の緩和解除に向けた方針が示されている。降雨と関連がある表層崩壊や土石流に対しては、これまで通り防災対策工事を進める必要があるが、図-6に示すように、落石危険箇所については降雨との関連性や道路被災の規模に応じて、対策優先度を付けて、優先度の高い箇所から対策工事を進めること、優先度が相対的に低い箇所はモニタリングで対応することが示されている。

対象斜面では、現地計測に当たり、現地踏査を行い、

計測方法の検討や課題を整理した結果、落石に対するモニタリングにおいては、表-2に示す課題が挙げられた。監視する不安定な石は多様な形状をしており、剥落や脱

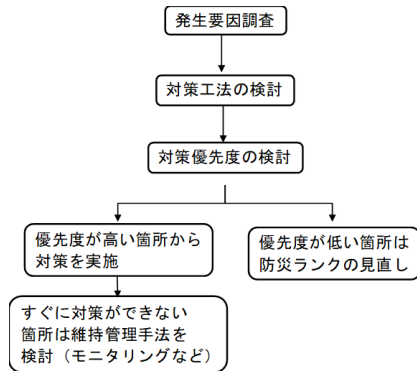


図-6 落石対策に関する対応フロー

落など落石のメカニズムが多様である。このため、これらの動きを的確に計測できる手法を選択する必要がある。

また、画像カメラを用いたモニタリング手法については、太陽光の強度変化、雲量や雨、霧等の気象条件により画像の色や明るさが大きく変化する。この場合、画像からの解析が困難となるため、画像の色や明るさが可能な限り一定になる画像を撮影することが課題として挙げられる。また、画像には計測する点が無いため、計測点を現地に設ける必要があることや、画像を自動で読み込んで計測値を得てモニタリングする手法がないため、AI画像解析技術を利用していく課題が挙げられる。

変位計を用いたモニタリングにおいては、気温変化や接地面の影響により、計測値にノイズや誤差が含まれる可能性がある。この点は現地計測にてノイズや誤差の影響を確認して除外することが課題として挙げられる。

表-2 落石の現象・現地状況に対するモニタリングの課題

現象・現地状況	原因	課題
落石は多様な変位形態がある。	・石の形状が多様である。 ・剥離や脱落など異なる。	落石の変位形態ごとに対応できる計器を選定する。
画像カメラ	様々な気象条件、日中、夜間では、得られる画像の色や明るさが異なる。 画像のみでは計測できない。 リアルタイムで計測する技術がない。	多様な気象条件や、昼夜を問わずに画像の色や明るさに変化が無いような画像を撮影する。 計測点を現地に設けることで対応する。 AI画像解析により、自動で計測する手法を検討する。
変位計	自動計測にノイズや誤差が含まれる可能性がある。 気温変化や設置地盤の影響	現地計測によるノイズや誤差の影響を確認して除外する。

4 モニタリング手法の検討

(1) モニタリング計器の選定

特に引原区間における落石は、国道から山側の広範囲の自然斜面に、相当数の落石危険箇所が分布しており、比較的規模が大きな石も含まれている。広い範囲で一体として変位する地すべりとは異なり、落石は個々の安定性の変化に因って落下するものであるため、1) 個別にセンサーを取り付けて計測を行うか、2) 待受け対策工に振動計等を設置して落石を検知する方法のいずれかとなる。引原区間では、待受け対策は隙間なく施工されているが、この施設が対応できる規模を超える石が要対策とされている。このため、これらの石を個別に計測を行う必要がある。

しかし、全てを計測するには相当な箇所数となる。また、落石の落下する形態は回転や滑落などの複数の運動モードがあることから、現地踏査により、落石の変位形態をみて、徐々に回転する変状が生じる石は傾斜計を使用し、ずれ落ちる変状が継続する場合は、伸縮計または画像カメラを使用する。なお、伸縮計は画像カメラよりも高価であるため、カメラが設置困難な箇所のみに使用することとする。回転とずれ落ちが複合するものや、浮石・転石群のように積み重なって脱落するような落石の場合は、画像カメラとする。これらに対して計器費用や維持コストを考慮し、落石危険箇所に対して、現地踏査を行い、対象の石の落下時の変位形態を確認すること、地区ごとの箇所数を確認し、最も計測コストが安くなる方法を選ぶ必要がある。この流れを図-7に示した。選定事例を図-8に示した。

スタート

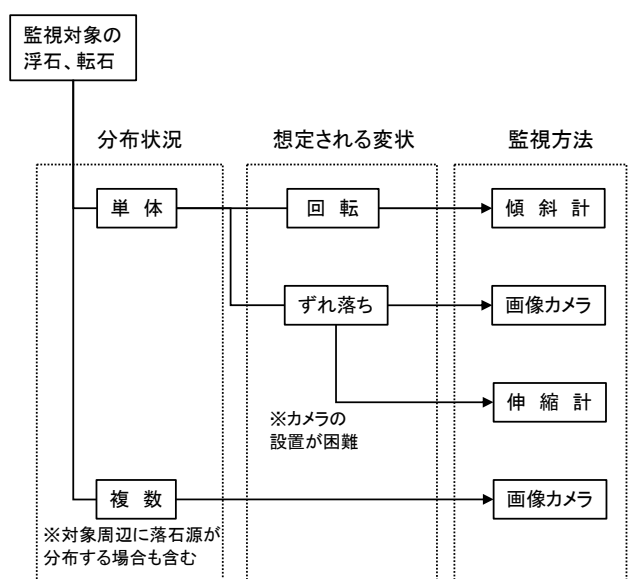


図-7 落石モニタリング手法の検討フロー

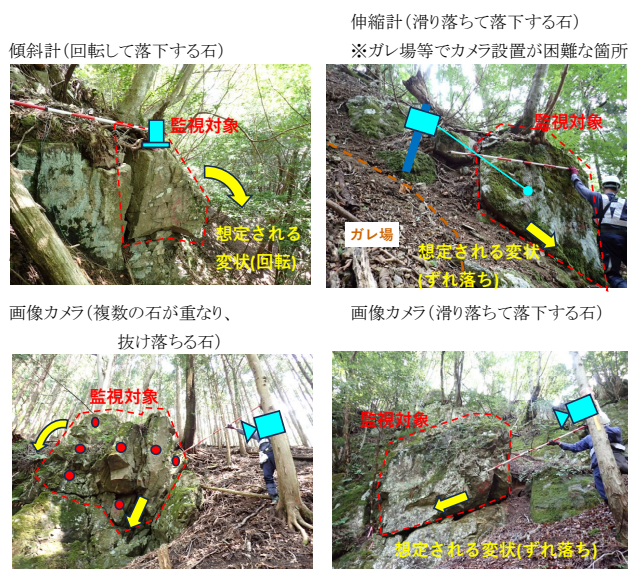


図-8 運動モードの異なる落石のモニタリング手法の選定

(2) AI画像解析を利用した画像カメラのモニタリング

a) 課題に対する検討方針

画像カメラによるモニタリングは、対象物を定期的に撮影した画像から、自動でAI画像解析を行うことで、対象の動きを把握するものであり、近年、実用化に向けた試みが進められている。¹⁾²⁾ここでは、落石の動きに対して応用することを試みた。

多様な気象条件や、昼夜を問わずに画像の色や明るさに変化が無いような画像を撮影する課題については、日中は、可視光モードでは様々な光が入ることで、石の画像認識が低下する恐れがある。このため、日中・夜間ともに赤外線モードで撮影することで、一定の白黒画像を撮影する方針とした。

画像に計測点がないため、計測点を現地に設けることで対応する課題に対しては、反射材を使用したターゲットを石に設置して計測点を設けることとした。

また、リアルタイムで画像計測する技術として、AI画像解析により、自動で計測する手法を検討する課題については、同箇所事前に複数の画像を撮影したものを学習したAIエンジンを利用して画像解析する方針とした。

b) 検討結果

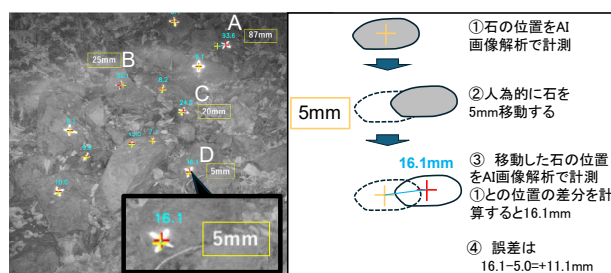
図-9に示すように画像カメラを計測対象の石から5m程度以内の箇所に設置し、1時間毎に撮影して画像を通信してクラウド上に保存する方法とした。赤外線モード付のカメラを使用することで、図-10に示すように夜間・日中共に安定した白黒画像を撮影することができた。ただし、濃霧の影響を受けた場合は、カメラと石の距離が7m以上となる場合は、対象物が不明瞭となり、撮影困難となることが判った。また、日差しが対象物に当たる場合は、画像が部分的に白飛びする現象が発生しており、モニタリングが困難な気象現象があることを確認した。



図-9 画像カメラによるモニタリング状況

	日中	夜間
晴天	 2025/10/13 10:00	 2025/10/13 23:00
曇り	 2025/10/11 10:00	 2025/10/11 23:00
雨・強雨	 2025/9/5 8:00:00 (時間雨量4mm)	 2025/9/17 19:00:00 (時間雨量20mm)

図-10 赤外線撮影による気象条件、日中・夜間の撮影画像



	② 人為的に移動 (mm)	③ AI画像解析の計測 (mm)	④ 誤差 (mm)
A	87.0	93.6	+6.6
B	25.0	32.1	+7.1
C	20.0	24.0	+4.0
D	5.0	16.1	+11.1

図-11 反射ターゲットを利用したAI画像解析の計測精度

更に、撮影した画像を自動で変位を計測するために、反射ターゲットを設置した石の撮影画像を事前に長期間撮影して、気象条件毎にAIに学習させた。このAIエンジンを用いて、ある日時の画像と異なる時間の画像を比較した。ここでは、石が変位した場合の検証を可能とするために、渓流沿いの石が集積した箇所において、石を人為的に移動させて撮影した。その結果、図-11に示すように、人為的に移動した石のA～DのターゲットをAI画像解析による自動計測した結果、11.1mm以下の誤差に抑えられており、概ね10mm以下の精度があることを確認した。その後の検証の結果、画像カメラに対するターゲットの向きや配置を改善することで、誤差は6mm未満に抑えられることを確認した。なお、この試験位置は道路からの離隔が十分ある地点であり、本試験が道路やその他の安全には影響しない箇所である。

(2) 変位計によるモニタリング

a) 課題に対する検討方針

現地計測によるノイズや誤差の影響を確認にして除外する課題に対して、伸縮計及び傾斜計の変位計を現地の不安定な石に設置して1年間計測を実施することとした。これにより、ノイズや誤差の他、季節変動の有無等を確認する方針とした。

b) 検討結果

径1m程度の不安定な石に対して、図-12に示すように伸縮計及び傾斜計を設置して数か月～年間を通じて計測を実施した。その結果、図-13に示すように、伸縮計は $\pm 1\text{mm}$ 以下の変化、傾斜計は $\pm 0.06^\circ$ 以下の変化であった。いずれもメジャーによる点検により計測期間中は動きが無いことを確認していることから、有意な変化ではなく誤差と考えられる。伸縮計は変動(緩慢に運動中)の $0.1\text{mm}/\text{日}$ 、 $2\text{mm}/\text{月}$ 以下³⁾を下回っていること、傾斜計は $\pm 0.06/\text{日}$ 以下(厳重警戒)⁴⁾の範囲で計測を行うことができる。いずれも地すべり等で利用される閾値であるが、長期間を通じてこの閾値以内の安定した計測値を得られていることから、落石に対する変位計によるモニタリングは可能であると判断した。なお、図-14に示すように、傾斜計の設置後の2～3か月間は、計測誤差が大きいことを確認した。これは接地面の影響を受けていると考えられ、計器設置直後の一定期間は計測値の安定化期間として評価する必要があることを確認した。



図-12 変位計によるモニタリング状況

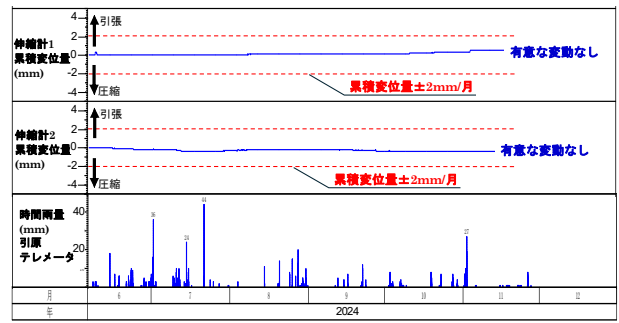


図-13 伸縮計によるモニタリング結果

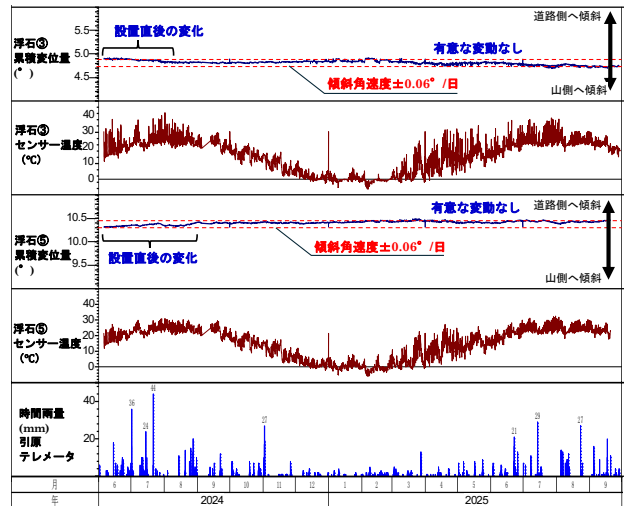


図-14 傾斜計によるモニタリング結果

(3) 閾値について

モニタリングにおいては、計測値に一定の閾値を設けることで、危険度の判断や通行止め等の対応を行うことができる。しかし、落石の動きに関する閾値については、過去の研究や計測事例は殆ど無いことから、新たに設定する必要がある。

落石が発生する前の石の動き、つまり前兆現象が閾値を設定する際の参考となるが、ここでは過去の点検記録を参考に検討することとした。1996年以降、防災カルテ点検が実施されており、不安定な石の動きを把握するために亀裂の開口量や石のズレをメジャーにより計測し

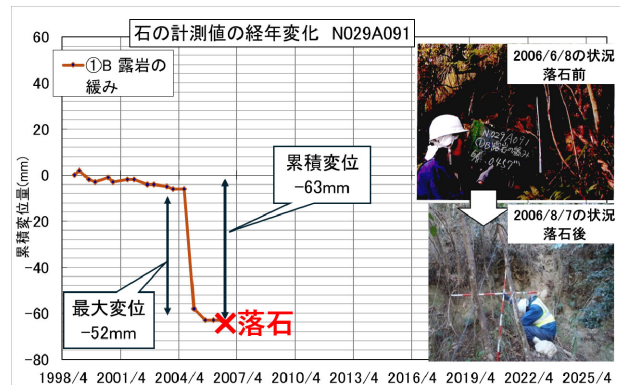


図-15 落石した箇所の点検時の計測結果(1998/11~2006/6)

ている。全箇所の特検記録を時系列にて整理した結果、図-15に示すように、点検期間中に点検対象の石が落下したり、落石の恐れが生じたため緊急対策が実施された石については、落石前に数十mm程度の変位を生じていることが確認された。

以上の落石に対する点検時の計測データを図-16に示した。落下したり、緊急対策で対応された石のうち、点検開始時点で既に変位が顕著なものは、前兆現象の一部しか記録していないと考えられるため参考値とした。その結果、落石前に最大変位量50mm、累積変位量60mm以上の変位を受けているものと考えられる。これは当地区における落石データから得られた落下前の前兆現象と考えられる変位量であることから、落石発生を事前に判断するために、この値を参考に注意や警戒体制等の閾値を検討することとした。

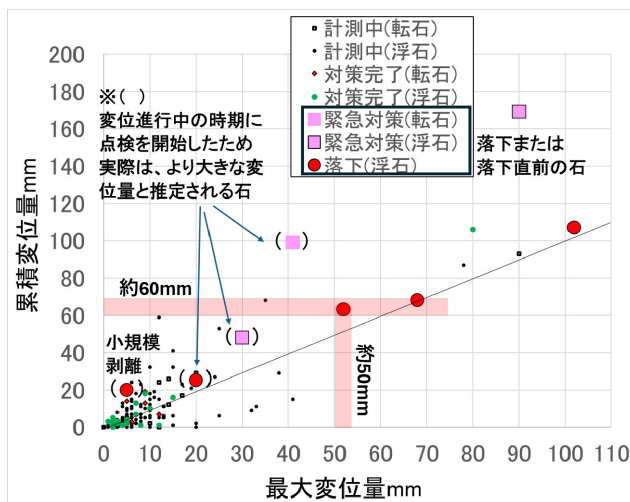


図-16 防災カルテ点検による不安定な石の最大変位量(横軸)と累積変位量(縦軸)の関係

5. モニタリング併用による対策効果

対策が必要な斜面においてモニタリングを利用する案として、図-17に示すように、基本的に道路沿いに高エネルギータイプの待受け柵等を施工して、斜面上の多数の石に対する対策を実施する。そのうえで、待受け対策では対応できない落石エネルギーの大きな石については、対策優先度の高い不安定な石は原位置で抑える対策を実施して、それ以外をモニタリングする方針である。

この方針で引原区間においてモニタリングを併用した事前通行規制区間の対策を行うことによる効果として以下の通り整理される。

対策事業費として全対策案では26.4億円であるが、待受け対策+モニタリング併用案は8.4億円程度に抑えられる。また、対策事業期間に関しても18~20年が、10~13年へ短縮が見込まれる。また、当地区では、自然公園や保安林が広範囲を占めており、対策箇所の削減はこれらの法規制手続きの軽減も期待できる。

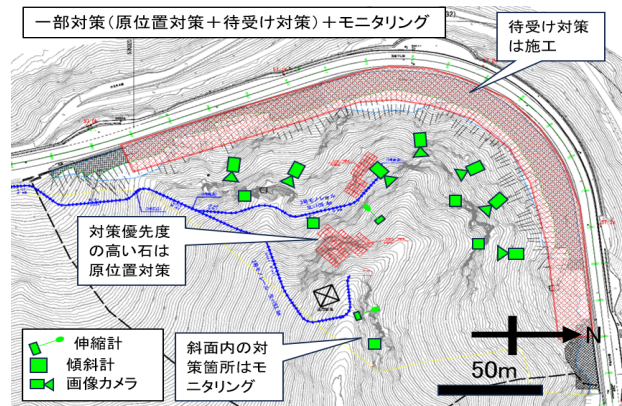


図-17 対策箇所におけるモニタリングを併用した対策案

6. おわりに

落石危険箇所が多数分布する路線では、用地上の問題や対策工事費の規模が大きいことから、防災対策工事の進捗が進みにくい状況は全国的にも共通する問題と考えられる。この点に対する解決方法として本報告で検討している落石のモニタリング手法は、全国的にみても先進的な取り組みと考えられる。モニタリングを行うことで、現状よりも道路利用者の安全性を早期に確保できること、膨大な箇所を人が点検することからの省力化や点検の安全性向上も期待できることから、有効な方法と考えられる。特に落石については、モニタリングすることがこれまで殆どなされていなかったが、近年の計測機器の技術開発により、数多くの点を計測できる機器の登場や、AI技術による画像による監視技術の登場により、多数の落石群を監視することが可能になりつつある。

今後は、AI画像解析によるモニタリングの計測精度の更なる向上と共に、運用可能とするためのシステムや現地作業との整合の検討を進め、実装に向け検討を進める。

謝辞：本発表にあたり、神戸大学の沖村孝名誉教授、大阪公立大学大学院の鍋島康之教授、神戸市立工業高等専門学校の鳥居宜之教授、関西大学の北岡貴文助教授には、ご指導いただいた。深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)インフラメンテナンス総合委員会新技術適用推進小委員会：モニタリング技術活用のための指針（案），公益社団法人土木学会，2022
- 2)植前成美：構造物等の変状に対する AI 画像解析によるリアルタイム把握に向けて，2025 年度近畿地方整備局研究発表会，イノベーション部門I：No.04.
- 3)日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針（2009 年度版），2009
- 4)菅原紀明，地表面傾斜計を用いた岩盤斜面の安定度評価法の提案，応用地質技術年報，No.20，2000

県道明石高砂線相生橋西詰交差点における 渋滞対策について

本山 晃一¹・矢幡 圭司¹

¹兵庫県東播磨県民局加古川土木事務所 道路第1課 (〒675-8566兵庫県加古川市寺家町天神木97-1)

加古川市と高砂市の市境を流れる一級河川加古川の最下流を渡河する県道明石高砂線相生橋（北側橋梁（新相生橋）と南側橋梁（旧相生橋）の2つの橋梁に分かれている）の沿岸部には臨海工業地帯、周辺には複数の県立高校などがあるため、通勤・通学で交通が集中し、朝夕の交通渋滞が大きな地域課題となっていた。また、自転車・歩行者は防護柵のない狭小な歩道（幅1.5mで片側のみ）の通行を余儀なくされ、東西両方向に行きかう状態で交通安全上も喫緊の課題があった。

この2つの課題を解決すべく、詳細設計付き工事発注方式を採用し、新相生橋に付加車線（左右折レーン）を新設する橋梁拡幅を行うために合成鋼桁橋を鋼床版鋼桁橋へ床板を取替え、旧相生橋は自転車歩行者専用橋として再整備を実施した。

キーワード 橋梁拡幅、渋滞対策、自転車歩行者の安全確保、既存ストック有効活用

1. はじめに

加古川市と高砂市の市境を流れる一級河川加古川の最下流を渡河する県道明石高砂線相生橋は、北側橋梁（新相生橋）と南側橋梁（旧相生橋）の2つの橋梁に分かれており、新相生橋は東行き2車線+片側歩道、旧相生橋は西行き1車線の橋梁である。（北側・南側の橋梁を合わせて相生橋という。）（図-1）

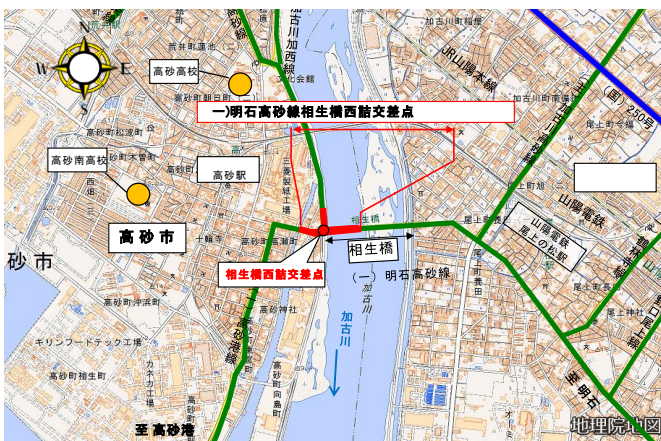


図-1 対象箇所位置図

相生橋の沿岸部には臨海工業地帯、周辺には複数の県立高校などがあるが、加古川を渡河するには、直近の国道250号播州大橋が約2kmほど上流に位置しているため、相生橋には通勤・通学の交通が集中している。特に相生

橋西詰交差点（高砂市側）は付加車線が設けられていないため、西行きの交通渋滞が発生しており、臨海工業地帯へ左折する車両と高砂市中心部方面へ右折する車両の右左折待ちによる交通阻害が主な原因であった。（図-2）



図-2 車両渋滞状況

また、自転車・歩行者は防護柵のない狭小な歩道（幅1.5m）が新相生橋の片側のみであるため、通勤時間帯は多くの学生達が東西両方向に行きかう危険な状態であった。（図-3）

これらの課題を解決すために、詳細設計付き工事発注方式を採用した渋滞対策及び安全対策に取り組むこととした。



図-3 自転車通行状況

2. 相生橋西詰交差点改良事業概要

新相生橋は、橋長440m、有効幅員8m（うち1.5m片側歩道）であった。渋滞対策として、新相生橋の西詰を拡幅して付加車線（右左折レーン）を新設し、幅員を12mにして東行き・西行きの対面通行とした。自転車・歩行者の安全対策として、旧相生橋を自転車・歩行者専用として再整備することで自動車との分離を図る計画とした。（図-4）

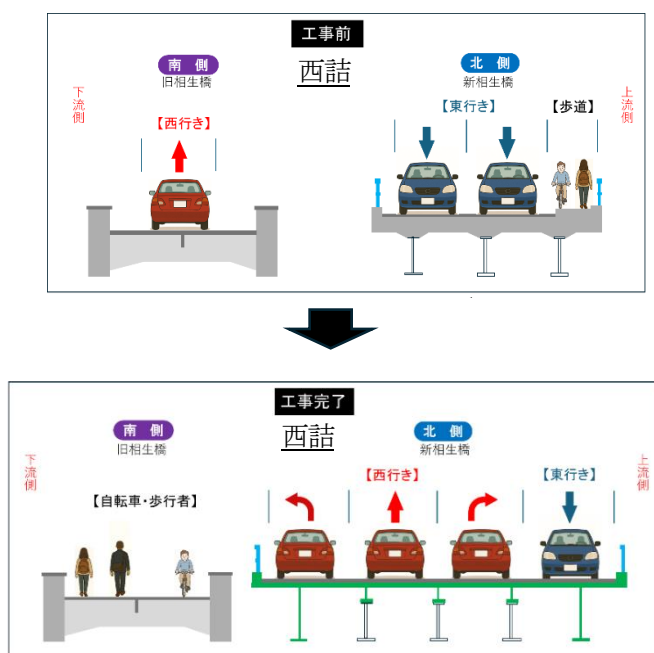


図4 工事完了後の図面

新相生橋の拡幅は、9径間のうち西側P6橋脚からA2橋台の3径間を拡幅したうえで、P4橋脚からA2橋台の5径間（3径間連続桁、単純桁2連）の床版を取替える計画とした。（図-5）

また、上部工の拡幅に伴い、下部工についても、P6橋脚からA2橋台まで拡幅・補強を実施した。

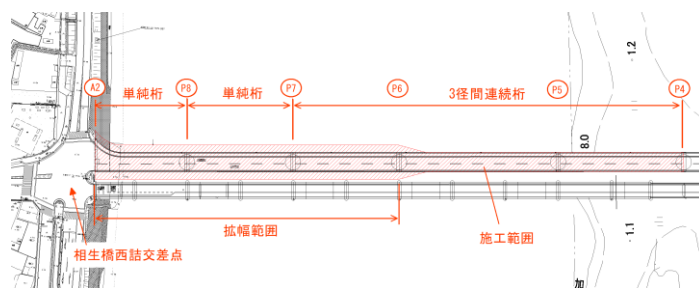


図-5 施工範囲平面図

3. 設計・施工における課題と対応

(1) 設計の特徴

当初は上流側に新設橋梁を設置し既設橋梁と縦目地で床版を連結する計画であったが、河川内に高水敷がなく、施工ヤードが確保できないため、新設橋梁を建設するためには大規模な仮橋の構築が必要となった。さらに、加古川河川内での施工となるため、出水期を含む通年施工による河川阻害に対して大きな問題があり、河川管理者との協議が難航していた。

この問題を解決するために、現位置での橋梁拡幅・架替えについての検討を行った結果、既設RC床版を鋼床版に取り替えることで、上部工の重量を30～50%軽減することが可能となった。（図-6）

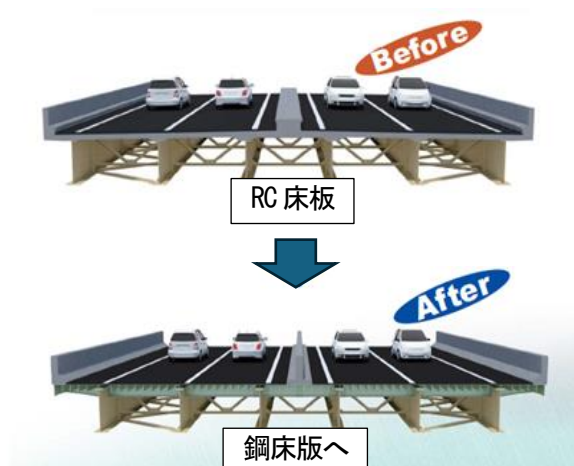


図-6 床版取替図

このことから、下部工基礎の補強工事が不要となり、橋脚の補強と梁部の拡幅のみで対応し、制約条件の多い河川内工事を最小限に抑えることができた。

合成鉄桁橋を鋼床版鉄桁橋にするため、床版を取替える事例は全国的に少なく、既設コンクリートの床版撤去・既設桁改造には緻密な検討が必要である。施工者の経験と知識を設計に取り入れる必要があったため、本工事は詳細設計付き工事発注方式を活用した。

(2) 現橋確認方法（上部工及び添架管）

合成鉄桁橋を鋼床版鉄桁橋へ床版を取替えるにあたり、

現橋梁の応力状態を確認する必要があるため、建設当時の設計計算書、設計図面に加え、現地での3Dスキャナーによる点群測量を行い、図面との整合、添架管等の図面を占有者から入手し現地確認した結果を反映し、復元設計を行った。(図-7)



図-7 現況測量図(3Dスキャン)

建設当時は社会情勢により鋼材重量を最小とする設計が主流であり、新相生橋は合成桁のRC床版にプレストレスを導入し、鋼桁の鋼重を抑える設計がなされており発生応力度に対する許容応力度への余裕はほぼ無い状態であった。そのプレストレスは、3径間連続桁(P4～P7)において中間支点のジャッキアップダウンとPC鋼線による床版の縦締めで行われていることを確認し、応力状態を再現して床版撤去解析に取り入れた。

(3) 交通規制に関すること

当初の計画では、新相生橋は通行止めにし、旧相生橋については西行き1車線、自転車歩行者は通行可とし、東行きは通行止めとし、約2km上流の国道250号播州大橋まで迂回する計画で考えていた。しかし、相生橋は地域住民の生活道路であり、大きな迂回を伴う長期間の通行止めは認められないという強い地元要望が寄せられた。

そこで図-8のとおり、旧相生橋を対面通行とし、通行止めを回避する計画の見直しを行った。旧相生橋の全幅は6.2mであり、対面通行とするには、路肩を含めて最低7mの幅員が必要であった。そのため、車線幅2.2m以上の大型車は元の計画どおり通行禁止とし、国道250号播州大橋まで迂回してもらう計画とした。車両の対面通行に伴い、自転車と歩行者の通行スペースが確保できないため、河川管理者と協議を行い、旧相生橋の下流側に仮設歩道橋を新設する計画に変更した。仮設歩道橋は旧相生橋に支持材(ブラケット)を取り付けて、その上に歩道橋を設置することで河川内へ新たな基礎や橋脚を設ける工事を実施しない構造とした。

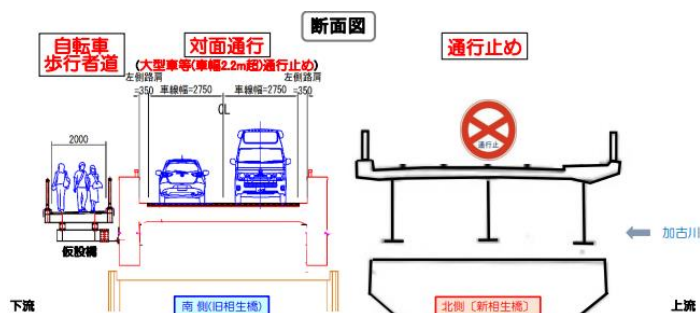


図-8 工事中の交通規制状況

4. 施工上の工夫に関すること

(1) 既設床版の撤去

既設桁は応力度に余裕を持たせない設計であったため、重機を桁上に載せて床版の撤去・架設を施工すると既設桁の応力が超過することが判明した。桁補強も検討したが、床版の設置・撤去の期間が工程遅延に繋がることとなった。

そこで図-9のとおり、河川上にクレーン付き台船を配置して河川からの撤去・設置する施工計画とし、その計画に基づく新設鋼床版のブロックサイズを決定した。



図-9 クレーン付き台船使用状況

(2) セッティングビームを用いた施工

拡幅桁の架設時はベント等で支えながら無応力状態で架設することが一般的だが、橋梁直下が河川であるため、ベントを配置するためには河川内にベント基礎杭が必要となる。ほかにも1径間を桁上で地組みして大型クレーンで一括架設することも検討したが、地組み時の桁重量およびクレーンの重量を載荷すると既設桁の応力が超過し、補強が必要となり、上部工重量の増加および補強部材の取り付けによる工程延伸につながるため不採用とした。そこで、セッティングビームを使用して既設桁から吊り下げて単材架設する工法を採用した。(図-10)



図-10 架設状況写真

セッティングビームは拡幅桁1ブロックにつき1箇所配置してセッティングビームを介して既設桁で支持し、拡幅桁を無応力状態で架設できるようにした。また、主桁架設を行うと横倒れの心配があるため、横リブと横桁の現場継手部に仮添接板を取り付けることでこれを防止した。セッティングビームの先端にはセンターホールジャッキを配置し、高力ボルトの本締め完了後に無応力状態から支点支持状態に移行の際のジャッキダウンに使用した。また最終的なキャンバー調整もセンターホールジャッキを使用して行えるようにした。(図-11)

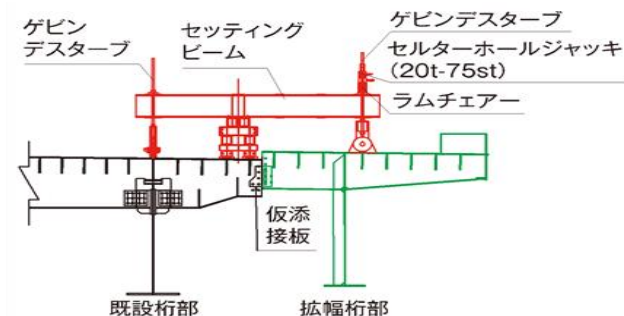


図-11 架設断面図

5. まとめ

渋滞対策を目的として、既設橋梁を拡幅するために合成鋼桁橋を鋼床版鋼桁橋へ床版の取替えを採用した。このような事例は全国的に少ない工法ではあるが、河川内での作業は最小限に抑え、河積阻害のリスクを回避した。また、上部工重量を軽減させることで下部工への負担を軽減させ、上部工と下部工の拡幅部の重量を稼ぐことができた。

一方で、設計・施工で難しい部分は、既設橋梁の応力状態を十分に把握し、撤去・架設の計画を立案する必要がある。既存の資料だけではなく3Dスキャナー等を使用し既存資料との整合を図り、応力状態に合わせた施工方法（台船クレーン施工、セッティングビームを用いた施工）を選択する必要があった。これらのことから、本工事においては、施工業者のノウハウを踏まえることが可能となる詳細設計つき工事の有効性を十分に実感することができた。(図-12、図-13)



図-12 工事前



図-13 工事後

橋梁の改築、補修・維持管理が課題となる中、下部工基礎への影響を最大限抑えることのできる合成鋼桁橋を鋼床版鋼桁橋へ床版を取替える機会は増えると思われる。今回の工事が参考事例の一つとして活用頂ければ幸いである。