

UAV基地を用いたUAV自律飛行による 流域調査・砂防施設点検について

北本 楽¹・小杉 恵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)

2011年紀伊半島大水害において、土石流や土砂・洪水氾濫が生じた和歌山県那智川流域では土砂災害対策として各溪流に砂防堰堤を整備している。出水時には施設の臨時点検を実施する必要があり、UAVによる施設点検が有効である。しかしながら、出水直後に操縦者やUAV等機材を確保が難しい場合も多い。本研究では、点検対象近傍にUAVを格納する基地をあらかじめ設置し、レベル3飛行（目視外補助者無し飛行）を併用して離陸～空撮～着陸および映像伝送を自動化することで、人員確保の課題を解決した。本稿はUAVを用いたレベル3飛行の実証実験および流域や砂防施設点検時の活用について報告するものである。

キーワード UAV, レベル3飛行（目視外補助者なし飛行）, 施設点検, 流域点検

1. はじめに



図-1 那智川流域の土石流災害

2011年の紀伊半島大水害は、紀伊半島全体に記録的な豪雨をもたらし、3,000箇所以上の斜面崩壊および17箇所の河道閉塞を引き起こした。和歌山県那智川流域では同時多発的な土石流および土砂・洪水氾濫が生じ、家屋やインフラに甚大な被害が生じた（図-1）。この災害を受けて紀伊山系砂防事務所では直轄砂防事業にて各溪流出口に砂防堰堤等の砂防施設の整備を実施しているところである。こうした施設は豪雨によって土砂移動が懸念される場合、降雨後に施設が土石流等の衝撃で破損していないか、堰堤上流に異常に土砂が堆積し流出の恐れがないかどうか臨時点検を実施する必要がある¹⁾。臨時点検における砂防堰堤の目視点検では土砂移動による二次被害が生じぬよう注意が必要であり、それゆえ点検員が施設に接近することが安全上難しい場合があり、UAVを用い

た施設点検が有効である。他方、出水直後にUAVを操縦可能な操縦者、補助者およびUAV等機材を迅速に確保して点検を実施することが困難であることも多い。本研究では那智川流域の砂防堰堤を対象として、施設近傍にUAVを格納できるUAV基地をあらかじめ設置するとともに、UAVに事前に飛行ルートを設定することでレベル3飛行（図-2）を併用した離陸～施設上空への移動～空撮～帰還～着陸までの一連の作業を完全に自動化して、作業員を不要とする流域や砂防施設の点検実証実験を行い、点検調査技術を検証した。UAV基地を用いた砂防施設点検は全国初の取り組みであった。本稿では実証実験の成果およびUAV基地を用いた点検技術の有用性と課題について報告する。

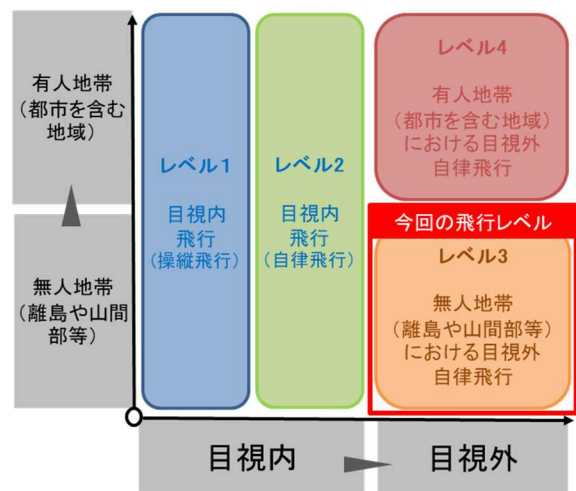


図-2 UAVのレベル飛行区分



図-3 内の川 (那智勝浦町 那智川流域支川)

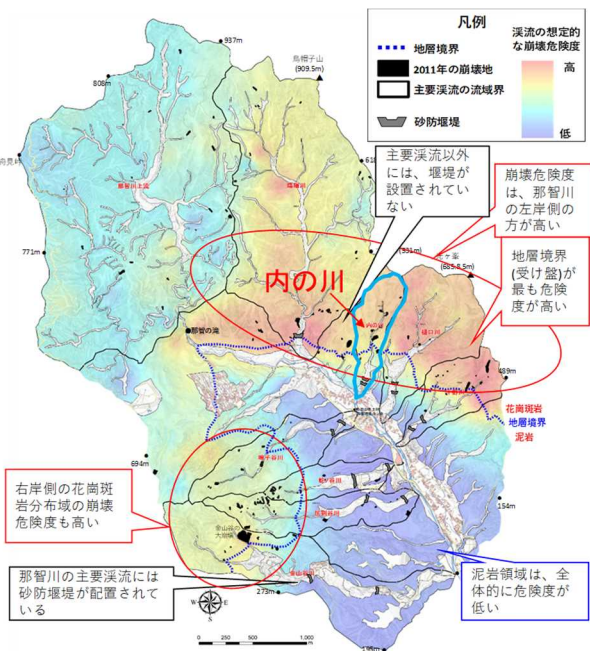


図4 那智川流域における表層崩壊発生危険度マップ

2. 対象地区

直轄砂防事業により砂防堰堤を整備した和歌山県那智川流域の8支川のうち、堰堤上空が植生等で覆われておらずUAVによる空撮が可能であり、今後の新規崩壊のリスクが高いと考えられる内の川を実証実験の対象地区とした(図-3)。崩壊リスクについては地質および斜面傾斜や土層厚等の地質条件を考慮した表層崩壊発生危険度マップ²⁾を用いて判別した(図-4)。また、離発着地点となるUAVを格納可能なUAV基地の設置箇所としては電源を確保するため、内の川周辺にある近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター(和歌山県那智勝浦町市野々、以下、センター)を選定した。なお、内の川砂防堰堤とUAV基地設置箇所は直線距離で約700m離れていた。

3. 実証実験の準備

(1) 機材の選定

本実証実験に用いるUAVの選定は以下条件を満たす機体とした。

- ・レベル3飛行が可能なこと。
- ・溪流および砂防施設の点検が可能な飛行時間(約15分以上)を有すること。
- ・UAVを格納可能なUAV基地に設置できること。
- ・UAVの点検映像をリアルタイムに遠隔地で確認できる仕様であること。

上記条件を満足する機体としてSENSYN Mark-2(株式会社センシンロボティクス、以下、実証実験機体)を選定した(図-5上)。また、UAVを格納する機材としてSENSYN DRONE HUB(株式会社センシンロボティクス、以下、UAV基地)を選定した(図-5下)。実証実験機体およびUAV基地はLTE環境下での運用を想定しているため、飛行範囲がLTE通信環境内であり、通信速度が推奨値(8Mbps)以上であることを事前に確認した。

(2) レベル3飛行における事前申請手続き

UAVによるレベル3飛行は航空局に申請を行い、飛行箇所、飛行日時、使用するUAV機体ごとに飛行承認を得る必要がある。本実証実験に先立ち、内の川におけるレベル3飛行の申請を行った。申請は過年度までの申請実績³⁾を参考に航空局への電話ヒアリング等を実施しながら申請日から約60日で承認を得た。また、LTEを機体に搭載する際には地上の携帯電話に影響を及ぼさないよう飛行台数を監視する実用化試験局制度があり、今回は当該制度を用いてLTEの利用申請をして承認を取得した。

(3) 実証実験の実施体制

遠隔地からUAV基地の操作および実証実験機体の自律飛行による調査自動化を行うために、クラウドサーバ



図-5 上: SENSYN Mark-2
下: SENSYN DRONE HUB

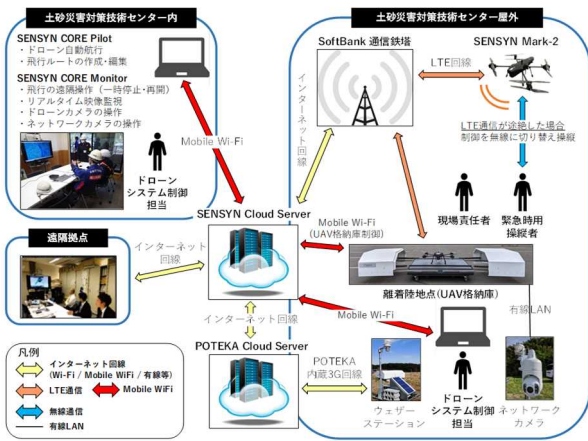


図-6 実証実験におけるネットワーク構成図

ー (SENSYN Cloud Server) を中心としてネットワークを構築した (図-6) . 指示拠点となるセンター内とクラウドサーバーおよびクラウドサーバーとUAV基地間はモバイルWiFiでネットワークを構築し, UAV基地と実証実験機体間はLTE回線でネットワークを構築した. センター内にはUAVが撮影する映像を職員がリアルタイムで確認して施設点検を実施したり, UAV基地の開閉操作, 実証実験機体への飛行ルートのアップロードをできるようにモニターとパソコンを設置した. 実証実験機体は空撮後にUAV基地に着陸すると, リアルタイムで伝送していた映像と同時に撮影した高画質の静止画・動画をクラウドサーバーにアップロードすることで, 職員はUAV基地に近づくことなく遠隔地から高解像度画像を取得して, 施設の破損等の変状確認やSfM解析によるオルソ写真・3次元モデルの作成が実施可能である. UAV基地は, 自動で実証実験機体を充電できるだけでなく, 近傍に設置したネットワークカメラや雨量計とリンクして遠隔地に離発着地点の気象状況を伝えることが可能である. 本来であれば, レベル3飛行自体には補助者の配置は不要であるが, 自律飛行ルートが公道(橋上)を跨ぐ場合は制度上, 第三者の安全に配慮するために, 監視者を別途配置する必要があるため, 実証実験中は適切に補助者を配置して実施している.

4. 実証実験結果と考察

(1) 実験結果

内の川の upstream 崩壊地および砂防堰堤の状況を確認できる映像を撮影するために適切な飛行ルートを作成し, センター内のパソコンからUAV基地内の実証実験機体にアップロードできた. 飛行ルートのアップロードは数十秒で完了した. さらに, 「飛行開始」ボタンを押すだけで, 屋外に設置したUAV基地が自動開閉し, 離陸～レベル3飛行による溪流の崩壊地および施設の空撮～着陸の一連の作業を約12分間で完了し, 点検後のバッテリー残量は約50%であった. また, 実証実験機体の飛行中においてもセンター内の指示拠点から遠隔操作によってカメラの方

向を変えたり, ズームをして施設変状を確認することができた.

(2) 取得データの分析

撮影データのクラウドサーバーへのアップロードは送信データ量1.76GB(動画:2ファイル,静止画:532枚)であり,アップロード時間は約90分を要した.また,取得した静止画のうち166枚の画像を用いてSfM解析(使用ソフト:Metashape, Agisoft社)を行い,約23分で砂防堰堤を含む内の川溪流全体のオルソ写真・3次元モデルを作成した(図-7).事前に現地で目視点検により発見した施設変状について人力で撮影した近接写真,実証実験機体で空撮した静止画,SfM解析で作成した3次元モデルの3種類の



図-7 内の川の溪流全体オルソ写真および3次元モデル



図-8 目視点検による近接撮影, オルソ写真, 3次元モデルのそれぞれによる砂防施設変状の判別

画像を図-8に示す。各画像において砂防堰堤下流の流路工の護岸における張石工欠損等の変状は欠損が確認でき、オルソ写真や3次元モデルは人力での近接撮影に劣らず点検に活用できることが示された。

(3) レベル3飛行およびUAV基地を併用した調査技術の有効性および課題

本実証実験ではレベル3飛行とUAV基地を併用することで、約10分程度で迅速かつ安全に溪流の崩壊地および砂防施設の変状を確認することができた。この調査手法では熟練した操縦者やUAV目視飛行時に必要となる補助者を確保する必要がない点、職員が現場に立ち会う必要がない点、UAV機材をあらかじめ点検施設近傍に待機させておける点において、従来の人力点検もしくはレベル2以下のUAV飛行による点検よりも迅速かつ安全に点検可能であり、変状を確認するための十分な画質等の精度を有していることから、実用化した際に点検の迅速化・省人化・安全化が期待される。一方で、以下の課題も確認された。

・LTE回線の強度

本実証実験では、実証実験機体とUAV基地間の通信（LTE回線）や、UAV基地とクラウドサーバーと指示拠点間の通信（WiFi）を無線回線で実施していた。しかしながら、実証実験中もLTEやWiFi通信の回線が遅くなり映像伝送に遅延が生じるなど問題が生じた。人口密集地や日中の地上での携帯電波利用が増加する時間帯等では特に影響が大きいと考えられ、今後は有線接続を含むネットワーク環境の構築に工夫が必要だと考える。

・UAV基地・実証実験機体の性能限界

使用したUAV基地はメーカー独自の安全基準により人工衛星捕捉数が60機以上でないと開閉できない仕様であった。砂防施設は比較的人家の少ない箇所に整備されている場合が多く、安全基準点検は施設点検に適した基準に引き下げ可能だと考える。実証実験機体については最長飛行時間が20分程度であり、1溪流のみの点検であれば十分だが複数溪流の一括点検では飛行可能時間が不足するため、UAV基地に帰還して充電後に再度飛行が必要である。なお、UAV基地における実証実験機体への充電はバッテリー残量0%から100%までは約60分の時間を要する。また、複数溪流へより容易にアクセスできるようにUAV基地の設置配置にも留意が必要である。さらに、実証実験機体の自律飛行中はインターバル（3秒間）撮影が基本仕様であり、任意箇所での定点撮影が目的であっても撮影枚数が非常に多くなってしまいが確認された。UAV基地による人員削減と調査の迅速化が可能な一方で、実際の運用ではまだ課題が多く機能の拡充とともに機体の軽量化による飛行時間の延長などさらなる技術革新が必要と考える。

5. おわりに

本現地検証では、UAVのレベル3飛行とUAV基地を併用することで、操縦者、補助者を必要とせず職員の遠隔地からの監視のみで流域および砂防施設の調査が実施可能であることを確認した。砂防施設点検においては、これまで作業員が徒歩で施設に近接し、目視で確認できる範囲の点検にとどまっていた。また、砂防施設上流域へのアクセスには困難な場合が多く、人力での目視点検には多くの時間と費用を要していた。特に、出水直後は土砂の二次移動による危険性も高く、こうした点検時にはレベル3飛行による点検が有効かつ安全性の高い手法である。また、UAV基地によって常時UAVを待機させ、任意のタイミングで点検できる技術は臨時点検の迅速性確保のほか、人の立ち入りが難しい土砂災害箇所の継続監視期における定期点検においても活躍が期待される。レベル3飛行による調査点検はいまだ実績が少なく、航空法の観点からもレベル3飛行中の道路横断時には監視者の配置が必要があるなど、いまだ実用化できる箇所が限られた技術であるが、今後、有人地帯における目視外補助者なし（レベル4）飛行の実現に向けた法整備が進むと、レベル3飛行による調査点検は実運用しやすくなると思われる。UAV基地を用いた点検技術は、あらかじめ設置箇所とUAVの飛行可能距離を考慮し、那智川流域全体をUAVのレベル3飛行による点検が可能となるか、そのために必要な機体やUAV基地の仕様変更や適切な配置、ネットワーク構成について検討を継続したい。今後はレベル3飛行の申請実績を増やし、砂防施設の自動点検に向けた3次元データの活用や点検結果の電子化といったDXを推進するための技術も開発し、現行マニュアル改訂などの体系化についても取り組んでいく。また、国産UAVを含むUAV市場の動向にも注目し、レベル3飛行やUAV基地を用いた点検・調査の実用化に向けて課題解決に取り組んでいく。

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木下篤彦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) 田中健貴、木下篤彦：那智川流域の表層崩壊・土石流の発生メカニズムと危険度評価マップの作成、土木技術資料、Vol.63, No.8, pp32-35, 2021
- 3) 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
- 4) 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

生活道路対策の事例を踏まえた ハンプの効果的な設置条件の分析について

鈴木 宏謙¹

¹近畿地方整備局 道路部 交通対策課 (〒540-8586大阪府大阪市中心区大手前1-5-44)

本稿は、近畿地方整備局管内における13の物理的デバイス設置の対策効果検証事例において、効果検証結果の妥当性の確認を行ったうえで、各事例の設置条件を横断的に分類し、対策効果との関係を整理することにより、物理的デバイス設置の効果的な設置条件を明らかにすることを目的とした。分類、整理の結果、既往研究において知見が得られている設置間隔だけでなく、物理的デバイスに対する注意喚起の有無や道路構造の違いにより対策効果の発現状況に違いが生じることが示唆された。一方で、効果検証結果の妥当性の確認により、評価区間の設定が対策効果の検証結果に大きく影響することも明らかとなった。

キーワード 生活道路, 交通安全, 物理的デバイス, ハンプ, ETC2.0プローブ, 効果検証

1. はじめに

生活道路における交通安全対策には、交通規制等のソフト的手法による対策と、物理的デバイスを設置するハード的手法による対策がある。

物理的デバイスを導入するにあたっては、どのような種類のデバイスを、どのような環境下で設置するとどれくらい効果が得られるのかを知ることは重要であると考えられるが、実際の設置環境は複雑多様であり、物理的デバイスの設置により効果が得られる条件は十分に明らかになっていないと考えられる。

本稿では、近畿地方整備局管内におけるETC2.0プローブ情報(以下、ETC2.0プローブ)を用いた物理的デバイス設置の効果検証事例について、物理的デバイスの設置による対策効果に違いが発生した要因を分析したうえで、ハンプの効果的な設置条件の分析、分類を行った。

2. 既存文献の収集整理

ハンプの効果的な設置条件を分析、分類するにあたり、物理的デバイスの効果的な設置条件に関する既存文献を収集し整理した。既存文献からは次のようなことがわかった。

(1) 設置位置又は設置間隔

古田ら²⁾は、ハンプ4基(台形ハンプ:1基,弓形ハンプ:3基)を30m,40m,60m,100m間隔で設置した社会

実験を実施し、設置間隔40m以下で通過速度が約15km/h減少することを確認している。

また、市原ら³⁾は、一方通行規制の幅員約4.5m,延長約300mの生活道路において、交差点付近にハンプを1基設置する前期実験と、当該ハンプに連続して約20m間隔で追加で3基設置する後期実験とを実施し、連続設置の場合の1基目(交差点部)と3基目(単路部)のハンプ設置位置を通過する際の瞬間速度が、設置前と比べて大幅に減少することを確認している。

鬼塚ら⁴⁾は、国土技術政策総合研究所内の生活道路を想定した延長約300mの実験走路にハンプ又はシケインを2つ以上配置し、配置間隔及び設置数を変えながら走行実験を行い、ハンプ間隔が100m以内であれば、車両の平均速度を概ね40km/h以下に保つことができるという考察を得た。また、交差点付近へハンプを設置する場合は、起点部、終点部ともに停止線から50mの位置に設置することで走行速度を30km/h以下に抑えることができることを確認している。

野田ら⁵⁾は、ハンプ又は狭さく部が設置されている5つのエリアを対象に、ETC2.0プローブを用いて分析し、ハンプ又は狭さく部の設置間隔が130m程度でも速度抑制が期待できることを確認した。

(2) ハンプの通過交通抑制

鬼塚ら³⁾は、速度抑制効果の分析のほか、被験者へのアンケートにより、ハンプ設置による生活道路の抜け道利用の抑制効果についても調査しているが、ハンプ、シケインのいずれの物理的デバイスも抜け道利用に対しては抑制効果が無いことを確認している。

野田ら⁵⁾の分析では、ハンプ又は狭さく部による通過

交通の抑制効果は確認できなかった。

3. 目的

近畿地方整備局管内における旧生活道路対策エリアの登録エリアを対象に2021年3月末時点の対策実施状況を確認し、物理的デバイスのうちハンブ、狭さく及びシケインを設置し、効果検証した事例を抽出した結果、12事例が抽出された。

また、未就学児が日常的に集団で移動する経路の緊急安全点検の結果を踏まえた対策において、ハンブを設置した事例があったため、分析対象事例に加えた。これらの13事例の対策効果の検証結果を表-1に示す。

設置された物理的デバイスは、ハンブが10事例、狭さくが7事例（うち、ハンブ設置箇所の狭さくが3事例）であり、シケインの設置事例は無かった。また、対策効果の発現状況は、次のとおりであった。

- 速度抑制効果（85%マイル速度/平均速度の低下、速度超過割合の減少）が見られたのは、効果検証した全13事例のうち9事例であった。
- 急減速発生割合の減少が見られたのは、効果検証した7事例のうち1事例のみであった。
- 通過交通の利用割合の減少が見られたのは効果検証した3事例のうち1事例のみであった。

これらの事例収集及び整理の結果から、本稿では物理的デバイスの設置効果として期待できる速度抑制効果に着目し、13事例の設置条件を横断的に分類し、対策効果との関係を整理することにより、その効果的な設置条件を明らかにすることを目的とした。

4. 効果検証結果の妥当性の確認

各事例における効果検証結果を横断的に取り扱うにあたり、まず、ETC2.0プローブを用いた効果検証結果そのものが正しいかの確認を行った。

(1) 確認方法

表-1の整理結果において、物理的デバイスのうちハンブを設置した区間の速度抑制効果の検証結果には、効果を確認できた地区とそうでない地区があり、さらに、同一地区であっても複数設置された設置箇所ごとに効果のばらつきも見られた。

また、ETC2.0プローブを用いて速度の集計・分析を行う評価区間の延長にも25m~400mとばらつきが見られた。

表-1 近畿地方整備局管内の物理的デバイス設置事例における対策効果の検証結果

地区No	物理的デバイスの種類	本設置/仮設	①進行速度			②急減速発生割合			③通過交通の利用割合	
			評価区間	効果の有無 ●:80m/h以上 ○:80m/h未満 ×:変化なし	評価区間	効果の有無 ●:増大 ○:減少 ×:変化なし	評価区間	効果の有無 ●:増大 ○:減少 ×:変化なし	評価区間	効果の有無 ●:増大 ○:減少 ×:変化なし
1	ハンブ	仮設	区間平均速度	100m	○					
2	ハンブ	仮設	地点速度による速度超過割合	ハンブ:80m 狭さく:350m	○					
3	ハンブ	本設置	地点速度に基づく区間の85%マイル速度、速度超過割合	70m	○	急減速発生割合	70m	●	通過交通利用割合	×
				150m	○		150m	×		
				70m	○		70m	○		
				120m	●		120m	×		
				85m	○		85m	○		
100m	○	100m	●							
4	狭さく	仮設	地点速度に基づく区間の85%マイル速度	200m	●					
5	ハンブ	本設置	地点速度による85%マイル速度、速度超過割合	180m	—					
6	ハンブ	本設置	地点速度による85%マイル速度、速度超過割合	400m	○	急減速発生割合	400m	×		
7	狭さく	本設置	地点速度による平均速度	25m	×	急減速、左右加速の発生状況	25m	×		
8	ハンブ	仮設	地点速度に基づく区間の平均速度、速度超過割合	80m	○	急減速、左右加速の発生状況	80m	×		
9	ハンブ	仮設	地点速度に基づく区間の平均速度、速度超過割合	100m	×	急減速、左右加速の発生状況	80m	×		
10	ハンブ	仮設	地点速度に基づく区間の平均速度、速度超過割合	200m (8区間に分割)	●	急減速発生回数	200m	×	通過交通利用割合	
11	狭さく	仮設	区間平均速度	100m	×					
12	ハンブ	本設置	地点速度に基づく区間の平均速度、速度超過割合	設置区間:120m 路線全体:650m	●	急減速の発生状況	120m	×	通過交通利用割合	
				100m	●					
13	ハンブ	本設置	地点速度に基づく区間の平均速度、85%マイル速度	100m	●					
				100m	●					
				100m	●					

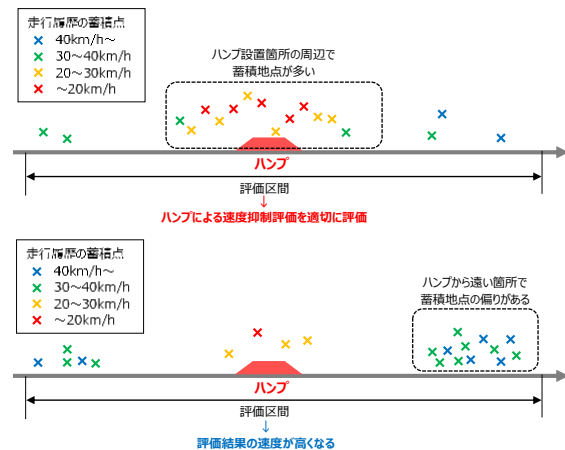


図-1 ハンブ設置箇所周辺の走行履歴データの蓄積地点の偏りによる速度集計結果への影響のイメージ

効果検証に用いるETC2.0プローブの走行履歴（車両ごとの点群データ）は、ETC2.0車載器の仕様上、200m（旧仕様は100m）間隔または45°（旧仕様は22.5°）以上の進行方向の変化があった地点で蓄積されるデータであるため、図-1に示すような評価区間内でのデータ蓄積地点に偏りがあった場合、適切に区間内の速度を評価できていない可能性がある。

このため、次の2つの方法により、ハンブの本設置が行われた3地区（No.3, No.6, No. 12）における対策効果の発現状況がETC2.0プローブの精度に起因するものか否かを確認した。

- 評価区間におけるハンブ前後区間のデータ取得割合
鬼塚ら³⁾により、ハンブ通過後は50m程度で10~20km/h

ほど加速する傾向があることが示されていることから、ハンプ前後50m区間のデータを用いれば正しく分析できると仮定し、各事例における評価区間内で取得されたデータのうち、ハンプ前後50m区間のデータが含まれる割合を整理した。

b) GPSロガーを用いた走行調査結果との比較

ハンプ設置区間を走行する車両の詳細な速度変動を確認するため、ハンプ設置区間を20mごとの区間に分割し、各20m区間内で取得されたETC2.0プローブの地点速度データを用いて平均速度を集計した速度プロファイル図(以下、ETC2.0速度プロファイル)を作成する。また、同様の方法で、1秒間隔で走行履歴を取得可能なGPSロガーを搭載した車両を実走させた結果をもとに速度プロファイル(以下、GPS速度プロファイル)を作成し、対策後の速度プロファイルと比較することで、検証に用いられたETC2.0プローブの速度データが現実の速度変動を再現できているかを確認する。

(2) 地区No.3の確認結果

a) 地区の概要

この地区では、約1.3kmの区間に6基のハンプが設置されている。ハンプ設置箇所はいずれも対面通行の1車線道路(幅員4.3~4.6m)であり、ハンプ③、④、⑥は勾配のある区間に設置されている。

b) 評価区間におけるハンプ前後区間のデータ取得割合

対策後のETC2.0プローブの走行履歴のデータ取得状況を整理した結果を図-2に示す。当該区間では途中の交差道路から流入する交通や、沿道の店舗等への出入りがあることから、方向変化時に蓄積されたデータが多く含まれているため、それらの点を除外した結果を示している。図-2で示したデータ取得状況を元に算出した、評価区間におけるハンプ設置前後50m区間のデータ割合を表-2に示す。

ハンプ②及びハンプ⑤はハンプ周辺のデータ割合が低く、ハンプから離れた位置の地点速度データを用いて速度の評価をされたため、対策後の速度低下量が小さく評価されていると考えられる。

c) GPSロガーを用いた走行調査結果との比較

GPS速度プロファイルとETC2.0速度プロファイルを図-3に示す。対策後の速度プロファイルはETC2.0プローブとGPSロガーで概ね同様の傾向が見られ、ハンプ周辺のデータ取得割合が低く、速度抑制効果が低いと評価されていたハンプ②、ハンプ⑤の箇所でも、対策後の速度低下が確認できる。

このことから、ETC2.0プローブを用いた評価区間(DRM区間)での効果検証では、ハンプ前後50m区間のデータ取得割合が低いハンプ②、ハンプ⑤は、速度抑制効果を適切に評価できていないと考えられる。

表-2 評価区間における前後50m区間のデータ割合

	設置間隔	ハンプ直近の一時停止交差点までの距離	対策前後の速度低下量(85%マイル)	評価区間(DRM区間)の延長	評価区間のうちハンプ前後50m区間のデータ割合
ハンプ①	500m	90m/30m	3km/h	70m	100%(1,071/1,071)
ハンプ②	500m/220m	470m	1km/h	150m	25%(552/2,234)
ハンプ③	220m/110m	-	2km/h	70m	77%(2,207/2,871)
ハンプ④	110m/80m	45m	5km/h	120m	91%(8,563/9,393)
ハンプ⑤	80m/250m	35m	2km/h	85m	12%(717/5,746)
ハンプ⑥	250m	30m	3km/h	100m	81%(5,125/6,377)

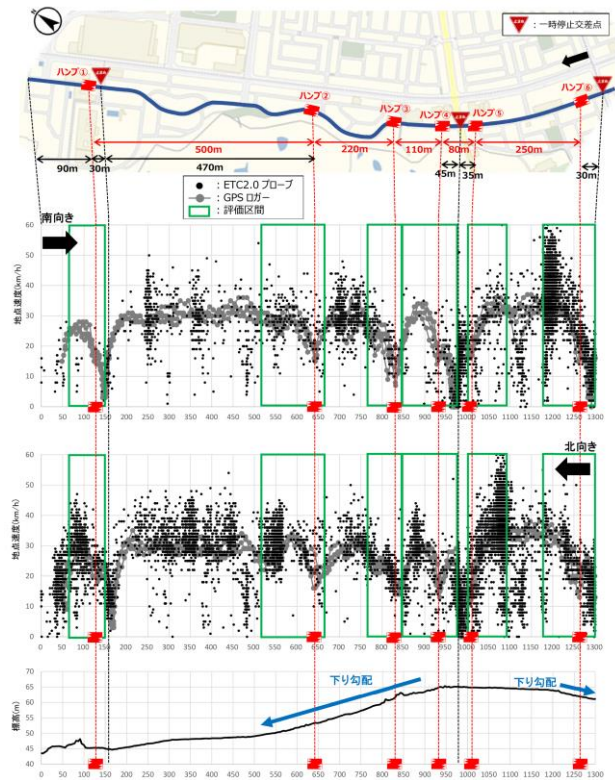


図-2 評価区間におけるETC2.0プローブ取得状況(No.3)

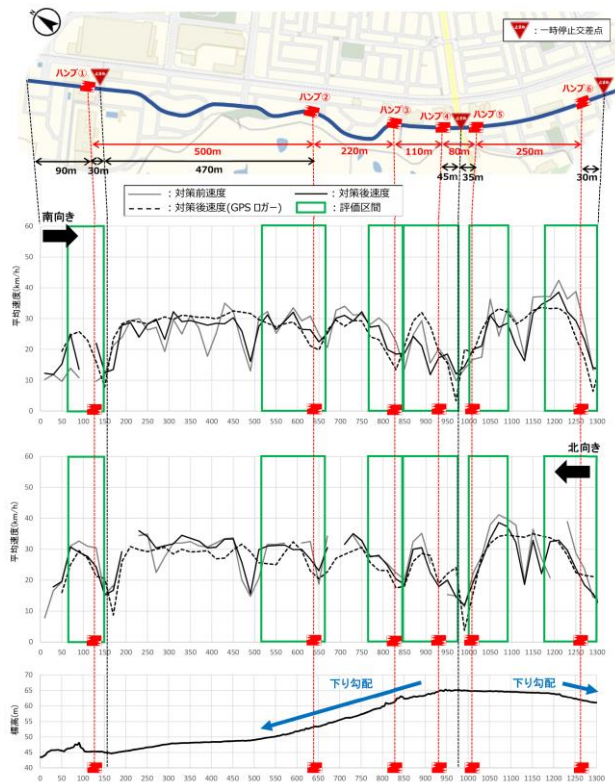


図-3 ETC2.0及びGPS速度プロファイル(No.3)

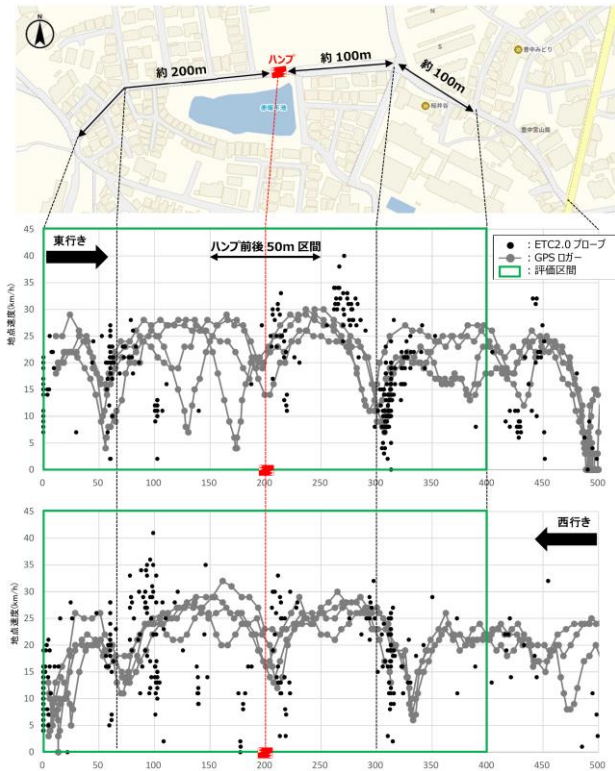


図4 評価区間におけるETC2.0プローブ取得状況(No.6)

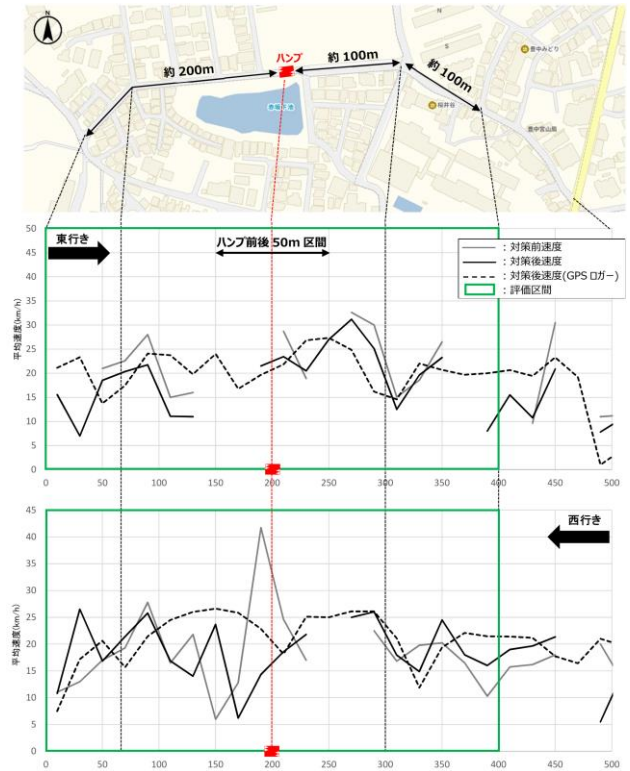


図5 ETC2.0及びGPS速度プロファイル(No.6)

(3) 地区No.6の確認結果

a) 地区の概要

当該地域では、中学校の南側の道路にハンブを設置しており、設置箇所は対面通行の1車線道路（幅員4.0m）である。

b) 評価区間におけるハンブ前後区間のデータ取得割合

対策後のETC2.0プローブの走行履歴のデータ取得状況を図4に示す。ETC2.0プローブのデータ取得地点に偏りが見られ、ハンブ設置箇所の周辺もデータ取得がまばらである。当該地域の速度の効果検証では、ハンブ前後200mの400m区間を評価区間として、評価区間内で取得された走行履歴の地点速度をもとに85%マイル速度等を集計しているが、評価区間内のデータのうちハンブ周辺（前後50mの100m区間）で取得されたデータの割合は12%（66/564サンプル）に限られる。

c) GPSロガーを用いた走行調査結果との比較

GPS速度プロファイルとETC2.0速度プロファイルを図-5に示す。ETC2.0速度プロファイルは、東行きのハンブ設置箇所周辺でデータ欠損が生じているが、GPS速度プロファイルでは、西行き、東行きともにハンブ設置箇所の手前で減速している状況を確認できる。

このことから、当該地区におけるETC2.0プローブを用いた評価区間（DRM区間）での効果検証は、ハンブ周辺のデータ取得割合が非常に低いため、ハンブ設置による速度抑制効果を適切に評価できていないと考えられる。

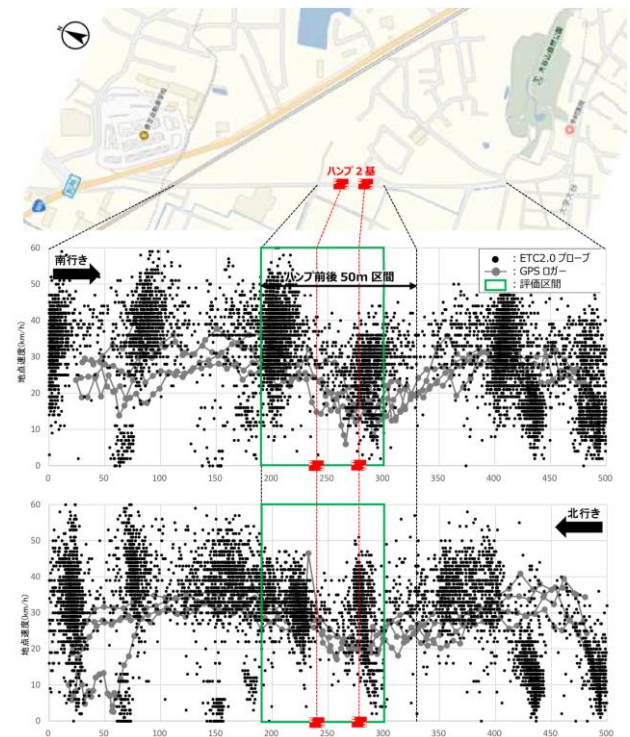


図6 評価区間におけるETC2.0プローブ取得状況(No.12)

(4) 地区No.12の確認結果

a) 地区の概要

この地区では、約550mの区間に2基のハンブを設置しており、設置箇所は対面通行の1車線道路（幅員3.7m）である。

b) 評価区間におけるハンプ前後区間のデータ取得割合

ハンプ設置箇所周辺の約120mを評価区間として平均速度、速度超過割合の変化を評価している。対策後のETC2.0プローブの走行履歴のデータ取得状況を図-6に示す。ハンプ設置間隔は約50mであり、評価区間がハンプ前後50m区間に内包されるため、ハンプ前後50m区間のデータ割合は100%である。ETC2.0車載器の蓄積間隔の制約によりデータ取得地点の偏りは見られるものの、データ数は約6,000と十分取得できている。

b) GPSロガーを用いた走行調査結果との比較

GPS速度プロファイルとETC2.0速度プロファイルを図-7に示す。

GPS速度プロファイルと対策後のETC2.0速度プロファイルともに評価区間での検証結果と同様に、ハンプ設置箇所周辺での速度低下を確認できることから、ハンプ設置による速度抑制効果を適切に評価していると言える。

また、分類結果を集計した結果について、各項目ごとに考察した。

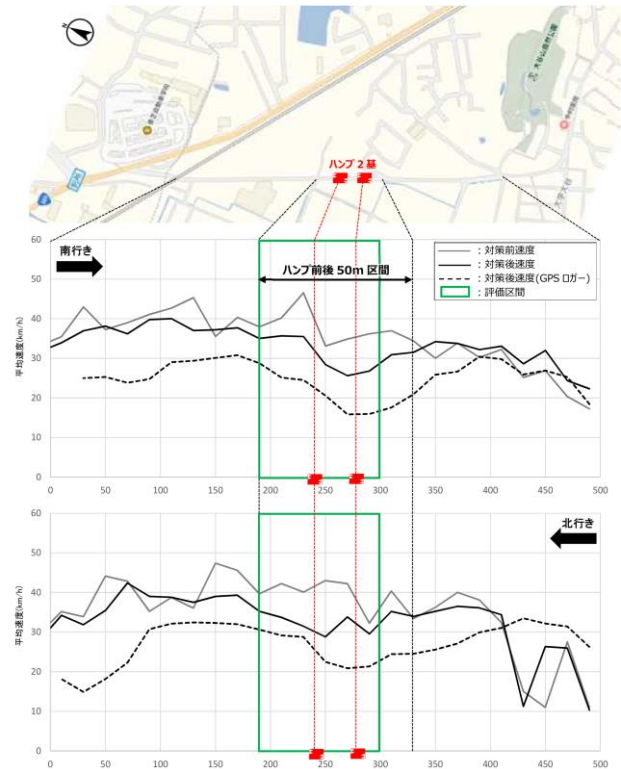


図-7 ETC2.0及びGPS速度プロファイル(No.12)

5. ハンプの効果的な設置条件の分析

効果検証結果の妥当性の確認結果から、ETC2.0プローブを用いた分析では適切に効果検証できていないと考えられる地区No.3のうち2基、地区No.6の1基を除き、設置環境、道路環境、地域環境の各項目に対して事例を分類した。分類結果を表-3に示す。

表-3 設置環境、道路構造及び地域環境にかかる各事例の分類

地区No	物理的デバイスの種類	速度抑制効果 ◎:5km/h以上 ○:5km/h未満 ×:変化なし	設置環境			道路構造				地域環境	
			設置間隔 1:150m以下 2:300m以下 3:300m超 99:不明(1箇所のみ)	直近の交差点からの距離 1:150m以下 2:300m以下 3:300m超 99:不明(1箇所のみ)	看板、路面標示 1:あり 2:なし 99:不明	単路部・交差点 1:単路部 2:交差点	車線数 1:一方通行 2:対面通行 3:往復2車線	車道幅員 1:5.5m以下 2:5.5m超 3:不明	沿道状況 1:住宅 2:店舗、駐車場等 3:学校 4:施設なし	歩道設置 1:なし 2:片側あり 3:両側あり	対策前の速度 1:30km/h以下 2:40km/h以下 3:40km/h超 99:不明
1	ハンプ	◎	99	1	1	1	2	99	1	1	1
2	ハンプ/狭さく	○	99	1	99	1	2	99	1	1	99
3	ハンプ①	○	3	1	2	1	2	1	2	2	2
	ハンプ②	対象外	2	3	2	1	2	1	1	1	2
	ハンプ③	○	1	99	2	1	2	1	1	1	1
	ハンプ④	◎	1	1	2	1	2	1	2	1	2
	ハンプ⑤	対象外	1	1	2	1	2	1	2	3	3
	ハンプ⑥	○	2	1	2	1	2	1	2	3	3
4	狭さく	◎	2	1	1	1	2	99	1	1	3
5	ハンプ	対象外	1	1	1	1	2	99	4	3	99
6	ハンプ	対象外	99	1	1	1	2	1	3	1	1
7	狭さく	×	99	99	2	2	3	99	4	3	2
8	ハンプ	○	99	1	99	1	1	99	3	2	1
9	ハンプ	×	99	1	99	1	1	99	1	3	1
10	ハンプ	◎	99	1	99	1	2	99	3	2	2
11	狭さく	×	99	99	99	1	3	99	2	1	1
12	ハンプ	◎	1	2	1	1	2	1	4	1	2
13	ハンプ	◎	2	99	1	1	2	1	4	1	3
		◎	2	99	1	1	2	1	4	1	3
		◎	1	99	1	1	2	1	4	1	3
		◎	1	99	1	1	2	1	4	1	3

表4 設置環境に応じた速度抑制効果の発現状況の整理

設置環境		効果大 (5km/h以上) 該当9箇所	効果小 (5km/h未満) 該当5箇所	効果なし 該当3箇所
設置間隔	150m以下	4(57%)	1(33%)	0
	300m以下	3(43%)	1(33%)	0
	300m超	0	1(33%)	0
	不明(1箇所のみ)	2	2	3
直近の交差点からの距離	150m以下	4(80%)	4(100%)	1
	300m以下	1(20%)	0	0
	300m超	0	0	0
	不明(交差点なし/区間全体)	4	1	2
看板、路面標示等の設置の有無	あり	7(88%)	0	0
	なし	1(12%)	3(100%)	1(100%)
	不明	1	2	2

※下線は対策効果の発現に寄与している要因と考えられた分類結果を示す。

表5 道路構造に応じた速度抑制効果の発現状況の整理

道路構造		効果大 (5km/h以上) 該当9箇所	効果小 (5km/h未満) 該当5箇所	効果なし 該当3箇所
単路部・交差点	単路部	9(100%)	5(100%)	2(67%)
	交差点	0	0	1(33%)
車線数	一方通行	0	1(20%)	0
	対面通行	9(100%)	4(80%)	1(33%)
	往復2車線	0	0	2(67%)
車道幅員	5.5m以下	6(100%)	3(100%)	0
	5.5m超	0	0	0
	不明	3	2	3
沿道状況	住宅	2(22%)	2(40%)	1(33%)
	店舗、駐車場等	1(11%)	2(40%)	1(33%)
	学校	1(11%)	1(20%)	0
	施設なし	5(56%)	0	1(33%)
歩道設置	なし	8(89%)	2(40%)	1(33%)
	片側あり	1(11%)	2(40%)	0
	両側あり	0	1(20%)	2(67%)

※下線は対策効果の発現に寄与している要因と考えられた分類結果を示す。

表6 地域環境(対策前の速度)に応じた速度抑制効果の発現状況の整理

地域環境		効果大 (5km/h以上) 該当9箇所	効果小 (5km/h未満) 該当5箇所	効果なし 該当3箇所
対策前速度	30km/h以下	1(11%)	2(40%)	2(67%)
	40km/h以下	3(33%)	1(20%)	1(33%)
	40km/h超	5(56%)	1(20%)	0
	不明	0	1	0

※下線は対策効果の発現に寄与している要因と考えられた分類結果を示す。

(1) 設置環境

設置間隔などの物理的デバイスの設置環境の違いに応じた速度抑制効果の発現状況を集計した結果を表4に示す。

設置間隔又は一時停止規制のある交差点からの距離が150m以下の箇所、物理的デバイスの設置箇所で見板や路面標示等による注意喚起を行っている箇所でも速度抑制効果の発現状況が大きい傾向が見られる。

既往研究における設置間隔に関する知見を裏付ける結果が得られた一方で、看板や路面標示等による注意喚起が対策効果の発現に寄与している可能性があることがわかった。

(2) 道路構造

単路部・交差点や車線数等の物理的デバイスが設置されている箇所の道路構造の違いに応じた速度抑制効果の発現状況を集計した結果を表5に示す。

整理の結果、対面通行の1車線道路、歩道設置のない箇所でも速度抑制効果の発現状況が大きい傾向が見られた。

(3) 地域環境

対策前の速度の違いに応じた速度抑制効果の発現状況を整理した結果を表6に示す。

対策前の速度が40km/h超の高い箇所では速度抑制効果が大きく、対策前の速度が30km/h以下の低い箇所では対策による速度抑制効果が小さい傾向が見られた。

これは、そもそも対策前の速度が高くない箇所でも対策を実施しても得られる効果は小さいということであり、対策にあたっての交通状況の把握の重要性が示唆された。

6. 結論

本稿では、近畿地方整備局管内における事例及び既往研究から、物理的デバイスの効果的な設置条件について、物理的デバイスのうち特にハンプの効果検証結果の妥当性を確認したうえで、設置環境、道路構造及び地域環境について、設置条件の分類を行い、効果的な設置条件を整理した。

分類結果からは、既往研究において知見が得られている設置間隔だけでなく、物理的デバイスが設置されていることに関する注意喚起の有無や歩道の有無により対策効果の発現状況に違いが生じることが示唆された。また、効果検証結果の妥当性の確認からは、評価区間を適切に設定しないと、効果が過小に評価される可能性も明らかになったため、ETC2.0プローブにより物理的デバイス設置の効果検証を行う場合は、注意が必要である。

今後は、本稿で得られた結論を踏まえて効果が期待できる箇所への物理的デバイスの設置を進めることで、より詳細に効果的な設置条件を分析することが可能となる。効果的な設置条件がより詳細に明らかとなることにより、今後一層の生活道路の交通安全対策が促進することを期待したい。

参考文献

- 1)古田雅俊, 小嶋文, 久保田尚: 交通調査データと住民意識の比較に基づくハンプの設置効果と課題に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, pp971-977, 2008.9.
- 2)市原慎介, 吉田進悟, 小嶋文, 久保田尚: ハンプの短区間連続設置における周辺環境への影響および有効性の検証, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.67, No.5, pp I_1165- I_1172, 2011.
- 3)鬼塚大輔, 大橋幸子, 稲野茂: ハンプおよびシケインの効果的な設置位置と間隔に関する研究, 土木計画学研究・講演集, vol.51, 2015.6.
- 4)野田和秀, 大橋幸子, 杉山大祐, 高橋歩夢, 小林寛: ETC2.0プローブデータ分析による凸部・狭窄部の設置方法に着目した効果の特徴整理, 土木計画学研究発表会・講演集, vol.60, 2019.11.

市田川排水機場のポンプ状態監視による 長寿命化の取組について

村木 里宇

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) .

近年,排水機場ポンプ設備において状態監視保全の重要性が高まってきている.新設する市田川排水機場において「状態監視装置」を導入し,実排水運転時のデータを収集する.そのデータの活用により,点検時や実排水時の傾向を管理し日常管理や点検の効率化・高度化を図る取組である.

本論文では,「状態監視装置」を用いた排水機場の点検・管理業務の効率化,長寿命化に向けた取組について発表するものである.

キーワード 排水機場, 状態監視保全, 振動計測, 傾向管理, 長寿命化

1. はじめに

(1) 概要

熊野川(水系名:新宮川,河川名:熊野川)は奈良県吉野郡天川村の山上ヶ岳を起点とし,大小の支川を合わせながら,熊野灘に注ぐ一級河川である.その熊野川の支川である市田川は熊野川から南流し流域面積 5.36 km²,流路延 4.8 kmの河川である(図-1).

市田川排水機場は熊野川と市田川の境界に位置しており(図-2),市田川水門閉鎖時の市田川内水排除を目的としている.既設の市田川排水機場は,1982年(昭和57年)8月の大洪水被害を受け,横軸排水ポンプ 10.0m³/s(横軸斜流ポンプ 5.0m³/s×2基)が設置された.その後

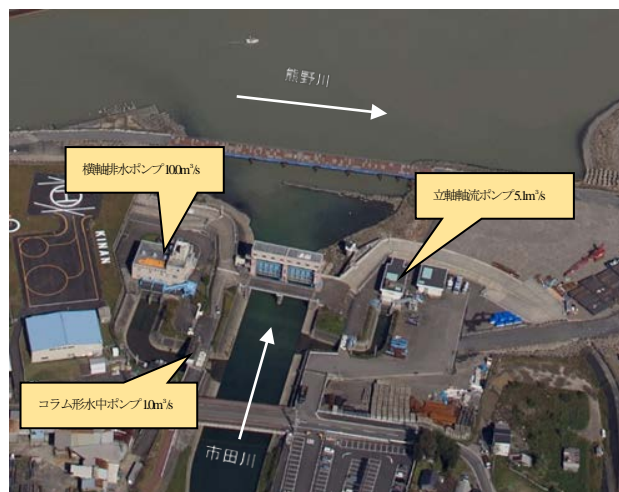


図-2 市田川排水機場全体写真

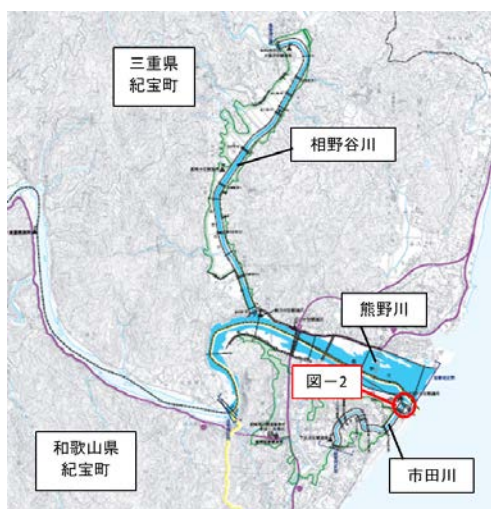


図-1 位置図

さらに,1997年(平成9年)7月に大洪水が発生し,新宮市内において浸水被害が発生したことを受け,更なる浸水被害軽減を目的に2000年(平成12年)に7.1m³/s(立軸軸流ポンプ 5.1m³/s,コラム形水中ポンプ 1m³/s×2基)が増設され,計 17.1m³/sの排水能力を持つ排水機場である.

(2) 機場新設の背景

平成29年10月に発生した台風21号は,新宮流域観測所の観測史上1位となる累積雨量約893mm,時間最大雨量は約66mmを記録した.市田川では計画高水位を越え,新宮市全域で1,124戸の浸水被害が発生した(図-3).この台風を受け,既設の排水機場の排水能力 17.1m³/sに加え 11.1m³/s 増強を行う事となり,計画排水量 28.2m³/s(立軸斜流ポンプ 9.4m³/s×3基)の能力を持つ新排水機場を右岸に集約する形で設置することとなった.令和3年から



図-3 平成29年台風21号浸水被害概要

施工が開始され、工事完成に向け現在施工中である。

(3) 設備諸元

市田川排水機場の設備諸元は以下のとおりである。

a) 既設設備

- 左岸 主ポンプ 口径 1,500mm 横軸軸流ポンプ
5.0m³/s 2基 (合計 10.0 m³/s)
- 主原動機 4サイクルディーゼル機関
177kW (240PS) 2台
- 発電装置 発電機出力 150kVA 2基

- 主ポンプ 口径 700mm コラム型水中ポンプ
1.0 m³/s 2基 (合計 2.0 m³/s)
- 発電装置 発電機出力 406kVA 1基

- 右岸 主ポンプ 口径 1,500mm 立軸軸流ポンプ
5.1 m³/s 1基
- 主原動機 単純開放サイクル二軸式横軸タービン
228kW (310PS) 1台

b) 新設設備

- 右岸 主ポンプ 口径1,800mm 立軸斜流ポンプ
9.4 m³/s 3基 (合計 28.2 m³/s)
- 主原動機 ディーゼル機関
720kW以上 3台

2. ポンプの点検と課題

ポンプ設備の点検は目視点検と計測による状態監視を行っている。計測による状態監視は、排水機場内の循環運転による管理運転を行い、その中でハンディ型の計測機器（振動計、騒音計、温度計等）により計測している場合が多い。その振動測定では、基準値や過年度との比較で異常値を判断している。

状態監視において、主に振動計測に用いられる理由と

表-1 機器の異常診断方法の比較

異常原因	寸法検査	NDI法	AE法	振動法	油分析法	温度法	電流法	圧力法	五感点検
クラック・欠陥		◎	◎	○	○				○
摩耗・ガタ	◎			○	◎				○
据付不良				◎					
変形	◎			◎					
きず・接触	◎			◎	○	◎			
圧力発生 機構異常				◎		○	○	◎	○
自動振動・共振				◎	○	◎			○
電氣的異常				◎					○

して、回転計測の容易性や回転状態がリアルタイムで確認することができるからである。さらに、目視点検では確認することができない多くの異常も振動値として現れるため、故障の原因を早期に特定し対応できるという利点がある（表-1）。

しかし管理運転は、短時間・低流量での運転であるため、ポンプ設計点での運転に伴う機器の状態を確認しているものではない。そのためポンプ設備の状態を正しく捉えられていないという問題と、計測による定量的な点検情報の整理が必要という課題がある。

3. 状態監視による保全

(1) 状態監視

保全には予防と事後に大別され、予防保全（図-4）には「時間計画保全」と「状態監視保全」がある。近年の考え方は、従来の「時間計画保全」から「状態監視保全」に移行されつつある。「状態監視保全」とは、設備の動作確認、各種計測、劣化傾向の検出等により機器等の劣化の進行を監視し、可能な延命化を図りながら故障発生前に予防保全を実施することである。この「状態監視保全」を行う傾向管理の手法確立が求められている。

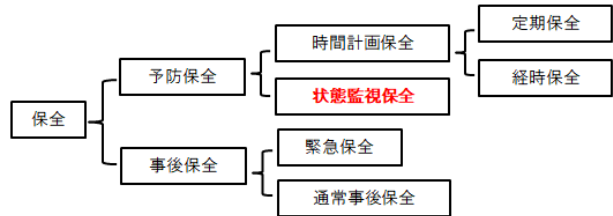


図-4 保全の分類 (JISZ8115:2000 「デイペンダビリティ (信頼性) 用語」)

(2) ポンプ設備の劣化要因と振動

ポンプ設備のような回転機械において、劣化要因の機械的要因の振動は、他のタービンや発電機、電動機等の回転機械とは異なり水の流れによって引き起こされる力として、羽根車に働く流体荷重による振動が、おおよそ70～80%を占めている(図-5)。流体と振動が関わりあることは、ポンプの性能曲線(H-Q性能曲線)(図-6)において吐出量と軸動力が現されていることから明らかである。そのため「振動計測技術」を用いてポンプ性能の劣化要因を捉えていくものとする。

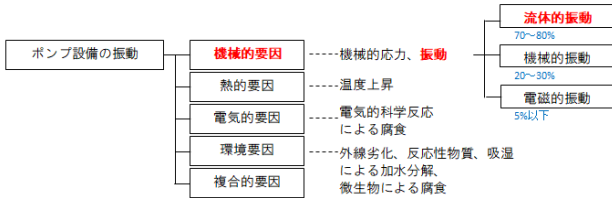


図-5 ポンプ設備の劣化要因と振動の占める割合

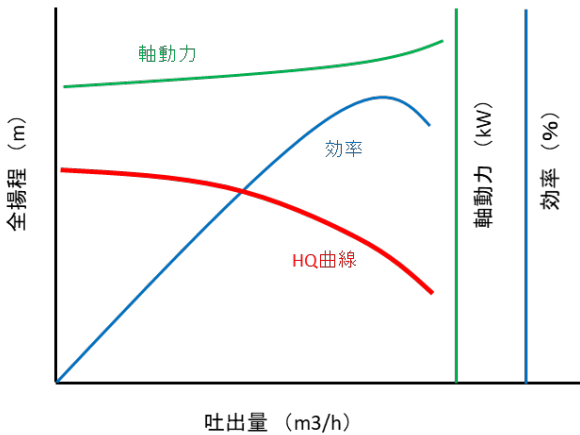


図-6 H-Q性能曲線

(3) 流量と振動に着目した状態監視

今回の「振動計測技術」では、従来の点検時のハンディ型計測機器を用いた計測ではなく、計測機器をポンプ設備に常設することで、実排水運転時(長時間・高流量)のデータ取得も可能となるようにする。ポンプの軸振動の発生要因が流体による影響が大半を占めていることから、ポンプ設備の軸振動とポンプの流量率には相関性があることが明らかとなっている。よって、同一流量時の振動データを比較することで、ポンプ性能の変化が把握できると考えられる。そのため「振動計測」と同時に「流量計測」を紐付けし「傾向管理」を行っていく。

(4) 状態監視装置の設置内容

計測機器については常設して設置する。常設については、①同一箇所において同一手法により機械状態を複数箇所でも同時計測が可能、②測定者の経験や技量によらない正確な計測が可能、③管理運転に加え、実排水でのデー

タ計測も容易となり、運転データを多く蓄積でき、④点検業者や操作員(実排水時)の負担軽減になる、が挙げられ正確な状態監視が行える。

新設の市田川排水機場において設置する状態監視装置の種類(表-2)と設置場所(主ポンプ、主原動機、減速機)について示す。(図-7~10)

表-2 センサー構成

計測項目	適用センサー
振動加速度	アンプ内蔵型加速度センサー
軸振動	過電流式スペースセンサー
回転数	ブリッジ式小型圧力変換器
吐出圧力	光電式回転検出器
吐出流量	ベント流量計
軸温度	测温抵抗体(運転支援装置と共用)

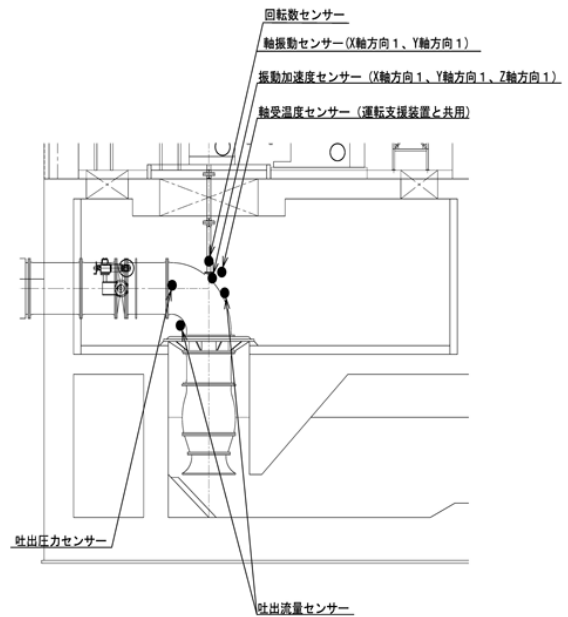


図-7 主ポンプのセンサー取付位置図(側面図)

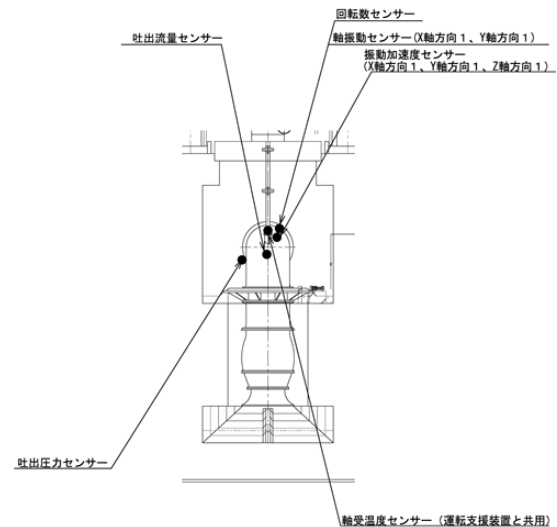


図-8 主ポンプのセンサー取付位置図(背面図)

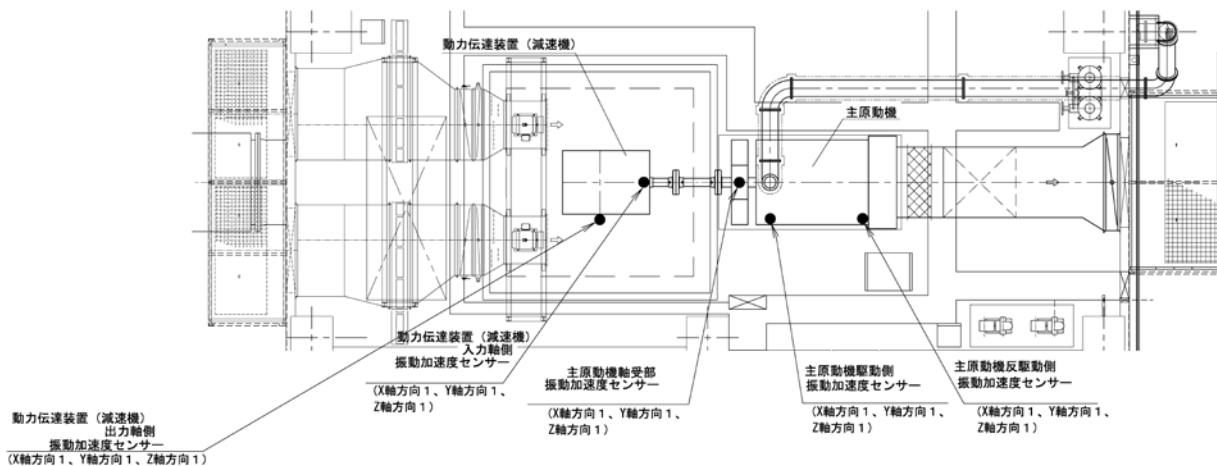


図-9 主原動機・減速機のセンサー取付位置図 (平面図)

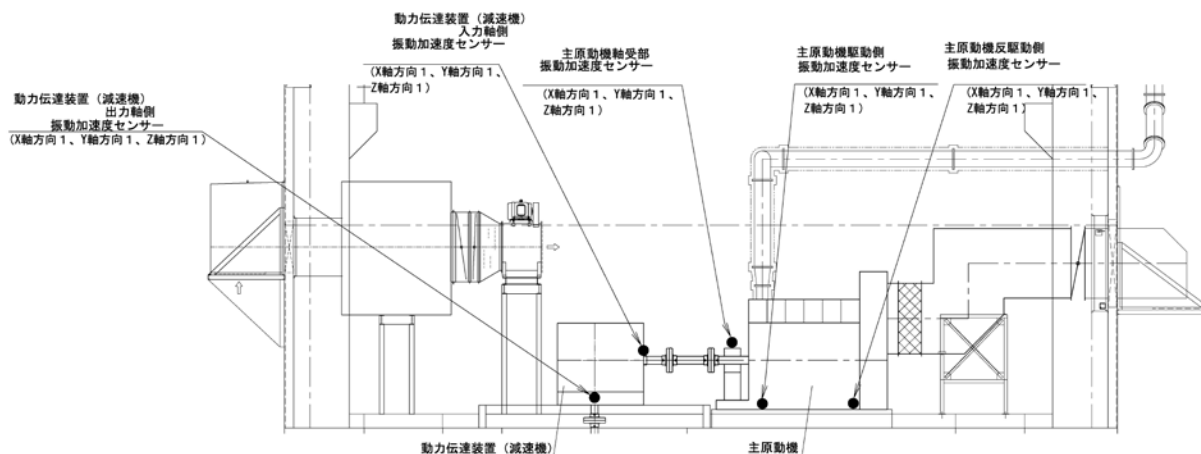


図-10 主原動機・減速機のセンサー取付位置図 (断面図)

4. 信頼性の向上, 効率的な維持管理

従来の時間計画保全では故障の有無に関わらず定められた年数で機械の修繕を行っていたところ, 今回の状態監視保全では, 状態監視により交換が必要な消耗品の部品と継続の使用が可能な部品に分類することが可能となる. 適正な時期での部品交換を行う判断になり, 修繕費用算定の絞り込みや不可視部分の部品の信頼性が向上し, 結果的に部品の長寿命化に至ることになる. (図-11)

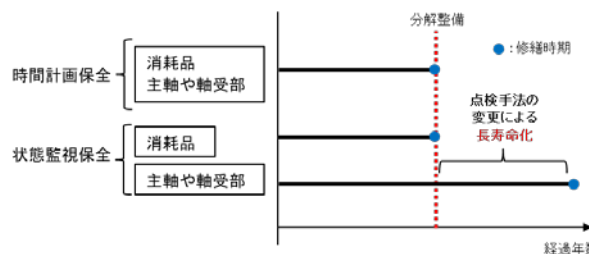


図-11 状態監視保全導入による長寿命化の考え方 (イメージ)

5. 今後の取り組み

(1) 計測データの蓄積

計測データの異常の判定として、注意値や予防保全値といった判断を行うために、計測機器の設置から管理運転、実排水運転の計測データを毎年継続してモニタリングし、蓄積することが必要となる。その蓄積データを基に、データと不具合の関連性と特徴を把握する。

(2) 解析と診断手法の確立

前述のとおり得られたデータを解析し、原因の追及、対策の検討を行っていく必要があるが、その取得・蓄積したデータをどのように解析・診断していくか、振動と流量を紐付けして解析・診断手法を確立する必要がある。

(3) 点検に活用

現在の点検項目と状態監視による傾向管理で点検

結果の関連性を検証し、代替が可能な項目については今回の振動計測技術による内容での代替を行うことで、点検作業の省力化や定期整備間隔の合理化などの維持管理の効率化に繋がるものとする。

謝辞：本稿の作成にあたり、様々なご助言を賜りました。ご教授いただいた全ての方々の御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省,河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)(平成27年3月)
- 2) 国土交通省,河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン(案)(平成30年4月)
- 3) 令和3年度近畿地方整備局
土木機械設備診断委員会会議資料

紀南管内における越波防止による安全対策について

中世古 蓮汰

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)

紀南河川国道事務所管内における国道42号では、大部分が海岸沿いにあるため、大雨や台風の際に発生する越波が懸念されている。越波の危険性から通行規制が余儀なくされており、対策が課題となっている箇所である。過去には越波により、道路が浸水し、近隣住民に被害が発生している。本論文では、紀南管内における越波対策と過去の越波被害について報告すると共に今後の課題について考察する。

キーワード 越波, 国道42号, 沿岸, SNS, 災害

1. はじめに

越波とは、地形や気象変動の影響により、打ち寄せる波が堤防等を越えて堤内に流入する現象のことである。和歌山県内にある国道42号では大部分が海岸沿いにあるため、気象変動の影響により越波が発生する。近くには住宅があり、通行者も多いため、非常に危険な地域となっている。そのため、国道42号では越波発生に伴い、通行者や地域住民の安心・安全を守るため、通行規制を余儀なくされている地域もある。国道42号の通行者及び地域住民の安心・安全を守るため、越波対策や災害情報の情報提供を行うことが、今後の紀南管内の国道42号の管理において、重要な課題と考えられる。

2. 越波の発生状況について

過去4年間(2018～2021)に紀南河川国道事務所管内では越波により通行止めを計6回、片側交互通行を計7回行っている。特に串本町西向地区、姫地区、田子地区、すさみ町江住地区、和深川地区、口和深地区、みなべ町埴田地区、南道地区が越波多発地域となっている。写真-1及び写真-2を比較して分かる通り、越波対策を行っていない箇所では打ち寄せる波を防ぎきることができず、大きな越波が堤内に流入してきているが、越波対策として越波防止柵を設置した箇所については、打ち寄せる波をある程度防ぎ、堤内への流入を防いでいるため、越波被害が減少していることが見て取れる。越波発生の際には越波と共に石や木が飛来してくるため、関係機関との連携を図り、地域住民への避難の呼びかけが重要となる。



写真-1 越波対策無の越波状況



写真-2 越波対策済の越波状況

(1) 紀南管内における越波被害

過去に発生した越波状況について、写真-3、写真-4として示す。写真-3による越波では、想定以上の越波が発生し、越波防止柵を遙かに越え、津波のような越波が堤内に流入した。写真-4は越波が収まった後の国道42号の様子である。石や木等が越波により、堤内に流入し、通行が困難な状態となっている。2011年の台風6号では、すさみ町江住付近を走行していた軽自動車、走行中に

越波にのまれ、横転する事故があった。運転者によると、突然横から殴りつけられたような衝撃をうけ、視界が真っ暗になり、車から脱出できなかったと言う。その後、周辺を警戒中だった警察と漁師らが発見し、救出された。消波ブロックの劣化により、ブロックの崩れた部分に土砂や流木が体積し、越波にあわせて飛んできていた。



写真-3 越波防止柵を越えた越波状況



写真-4 越波が収まった後の国道42号の様子

3. 管内の越波対策の現状

(1) 管内の越波対策の進捗

紀南河川国道事務所では、地形に沿った様々な越波対策を実施している。紀南管内の越波対策の現状(図-1)を示すと共に、代表の対策工を述べる。

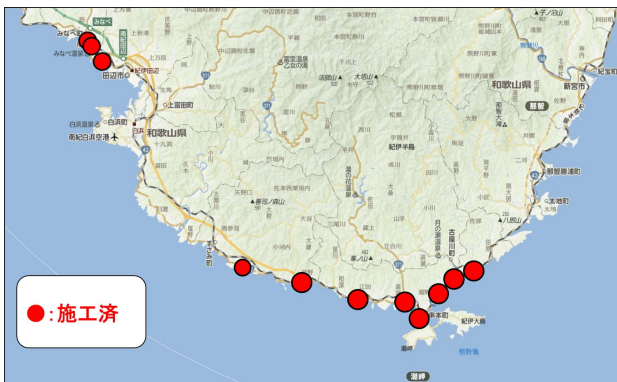


図-1 紀南管内の対策状況

a) 越波防止柵

擁壁の上部に設置する直立柵であり、必要な高さまで天板高に生じた設計が可能となっているため、越波対策として最も有効的な対策工と考えている。メタン性及びポリカーボネート性があり、ポリカーボネート性では折版が透明となっており、眺望・景観に配慮した構造となっている。



写真-5 越波柵(メタル)



写真-6 越波柵(ポリカーボネート)

b) 波返しパネル

擁壁の天端に設置することができるため景観・眺望への影響は少ないが、大きな越波が発生した場合、パネルを越え堤内に流入する恐れがあるため、施工箇所の選定が重要となる。



写真-7 波返しパネル

c)消波ブロック

通称「テトラポット」と呼ばれるもの。施工性が容易であるが、越波対策として、設置を行う際は多くの消波ブロックの設置を要するため、景観への懸念が生じる。また、劣化が進むとブロック内に土砂や流木が体積するため、定期的な確認が重要となる。



写真-8 消波ブロック

(2)国土強靱化のための5カ年加速化対策

近畿地方整備局では高規格道路と直轄国道を組み合わせた災害に強い国土幹線道路ネットワークを選定すると共に、防災上の課題箇所を把握する、「防災・減災、国土強靱化に向けた道路の5カ年対策プログラム(近畿ブロック版)」を策定している。紀南河川国道事務所では災害時に強い国土幹線道路ネットワーク機能強化対策として現在、新宮紀宝道路、串本太地道路、すさみ串本道路の改築事業を進めている。効果としても、所要時間の短縮、災害時の交通の確保等が見られ、今後発生するであろう災害の際にも大きく効果を発揮する。

4. 災害時の運営計画

紀南河川国道事務所では、紀南河川国道事務所道路関係災害対策部運営計画を定めている。本運営計画では、風水害(越波)があり、越波の危険性がある場合は、発令基準に基づき発令している。

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。	

図-2 発令基準

(1)気象情報と体制確保

台風や大雨、越波の気象情報を2~3日前より道路管理課より紀南河川国道事務所職員に周知する。また、体制が見込まれる場合には、注意体制、警戒体制、非常体制等各体制による要員の確保を行う。

(2)SNSでの情報提供

紀南河川国道事務所では、2017年1月より公式Twitterが開設されている。Twitterでは紀南河川国道事務所管内における防災情報や改築の工事状況、災害時の規制区間の情報を提供している。Twitterの他にもInstagram, YouTubeも行っている。SNS関係については主に1~3年目の若手職員が担当しており、四半期ごとに事務所長を含め、報告会を開くことで反省点や改善点等を検討している。昨年度では年間大雨情報を68回、規制及び災害情報を43回行っている。

(3)体制の解除

天候が安定し、災害の影響が低いと判断され次第、各出張所にて巡回パトロールを行い、通行の安全が確認できた際に、体制の解除が行われる。

6. 今後の課題とその対応

(1)越波対策のさらなる向上

現状まだ越波対策が施工できていない地区もあるため、紀南管内の危険地区の越波対策を早期に行う必要がある。越波対策の施工済の箇所についても被害が発生する場合があるため、さらなる技術力の向上に向けて進んでいく必要がある。

(2)地域住民によるSNS等の認知

年々スマートフォンの普及が進んでおり、2022年度には、94%まで増加している。しかし、紀南河川国道事務所の、Twitterのフォロワー数は2168人、Instagramは141人となっており、認知されている人数が少ない。認知してくれる人が多いほど、紀南管内での情報が多くの人に周知され、安全対策として十分発揮される。認知してもらうためには、TwitterやInstagramでの投稿を見直し、新たなSNSでの発信を行うことが必要だと考える。

a)LINEアカウントの作成

スマートフォン所持者のうち、LINEをしている方は67%となっている。近年、多くの会社がLINEの公式アカウントを設立し、様々な情報を提供している。紀南河川国道事務所においても、LINEの公式アカウントを設立し、Twitter等に投稿で発信している、大雨や越波等の災害状況、通行止め等の交通規制の情報を発信することでさらにSNSでの安全対策が行うことが期待できる。他地方

整備局である、九州地方整備局、中部地方整備局が公式アカウントを設立し、整備局の仕事、防災情報等を発信している。

b)Twitter・Instagramの見直し

紀南河川国道事務所にて発信しているものの多くは、雨の状況や通行規制の発信が多い。その他にも紀南管内の魅力や普段の勤務状況を発信をすることで、興味を持ってくれる人が増え、認知されやすくなるのではと思う。紀南管内の魅力として、改築現場等の高所から撮影した海の風景等、普段の勤務状況として、出張所での現地確認の様子を発信してみたいと考えている。

(3)気象予測の向上

気象庁では主に数値予測を用いて気象予測を行っている。数値予測で求めた「今」の状態から、物理学や化学の法則に基づいてそれぞれの値の時間変化を計算することで「将来」の状態を予測している。年々数値予測の精度は向上しており、予想誤差は小さくなってきている。今後の気象予測の精度向上に期待し、異常気象体制がよりの確になるよう対応していくべきである。

a)数値予測とは

数値予測とは計算機を用いて地球大気や海洋・陸地の状態の変化を「数値シミュレーション」によって予測するものである。地球大気や海洋・陸地の細かい格子を分割し、世界から送られてくる観測データに基づき、それぞれの格子にある時刻の気温・風等の気象要素や海面水温・地面温度などの値を割り当てている。

b)予報までのフロー

天気予報や警報等の普段目にするものの作成及び発表までのフローについて図-3にて示す。

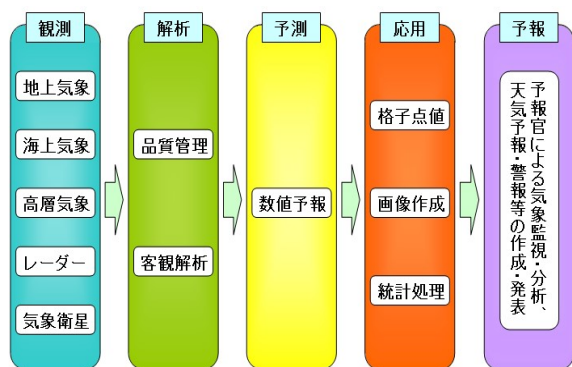


図-3 予報までのフロー

c)精度向上の取り組み

気象庁では、予測精度向上を目指して数値予測モデルに関する各種改良の取り組みを継続的に実施している。最新に改正された「局地数値予報システム」では、これまで3次元変分法と1時間予報を繰り返し、初期値を作成し、発生した予測誤差を、気候学的に事前に見積もった値のみを算出してきたが、さらにハイブリット同化を導入することで、下記の予報前半の強雨を中心に、香水の予測精度が向上した。

6. おわりに

近年、気候の変動が激しく、今後の天候や台風の発生が大きく変動する可能性がある。過去の災害を振り返り、さらなる越波対策の進捗が重要である。また、体制準備のための気象予測の向上と共に、SNSでの情報提供の幅を広げることで、地域住民や通行者がより安心・安全に生活ができるような取り組みを行う。

参考文献

- 1)佐野・田中：越波被害をくいとめろ！～平成30年度の台風と今後の課題～、平成元年度近畿地方整備局管内技術論文、一般部門(安心・安全)Ⅱ：No.17
- 2)産経新聞：横転する車、降り注ぐ巨石…紀伊半島南岸襲う「越波」、南海トラフ巨大地震・津波警戒地帯のもう一つの「驚異」
(<https://www.sankei.com/article/20140917-7RVRHV26TZLRNATCNPZWMAUV74/>)
- 3)紀南河川国道事務所公式Twitter
(https://twitter.com/mlit_kinan)
- 4)紀南河川国道事務所HP
(<https://www.kkr.mlit.go.jp/kinan/>)
- 5)気象庁HP
(<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 6)LINEの利用者・普及率は？他SNSユーザー数や人口と比べた
(<https://webtan.impress.co.jp/e/2020/06/17/36097>)

天ヶ瀬ダム再開発事業での 自然由来重金属等含有岩石の処理について

寸田 祐生¹

¹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)

琵琶湖河川事務所では、天ヶ瀬ダムの放流能力を増強する天ヶ瀬ダム再開発事業を行っている。事業が進む中、砒素の溶出量が基準値を超過する岩が発生する可能性が判明した。土壌ではなく岩であることから土壌汚染対策法の対象外であったが、国交省制定マニュアル「建設工事における自然由来重金属含有岩石・土壌への対応マニュアル」を参考に、発生する重金属含有岩への適切な対策を講じることとなった。

本論文では、重金属等含有岩石処理対策検討委員会による対策検討経緯や実際の処分方法について報告する。

キーワード 自然由来重金属, 砒素, 土壌汚染対策法, 土壌溶出量試験, ボーリング調査

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、京都府宇治市に位置するドーム型アーチ式コンクリートダムである(図1)。天ヶ瀬ダムは下流域への水量調整を行うほか、上水道供給や電力発電といった機能を持つ多目的ダムである。

宇治川では度々浸水被害が発生しており、天ヶ瀬ダムが造られた後も台風や大雨により多大な被害が発生していた。

甚大な洪水被害の発生や京都府南部の人口増加に伴う

水需要の増加、発電容量の増加要請を受け、天ヶ瀬ダム再開発事業が計画された。全長617m、最大断面積650㎡にもなる巨大なトンネル式放流設備を建設することで、天ヶ瀬ダムの最大放流能力を1500m³/sへ増強することを目的としている(図2)。

事業を進める上で水質調査を行ったところ、トンネル掘削範囲に基準値を超過する砒素・鉛が確認されたため、適切な対策を取る必要があった。本論文では砒素や鉛などの重金属を含む岩石の処分方法について報告を行う。

2. 重金属の検出

(1)砒素・鉛の検出

2013年、再開発事業の実施に伴う環境影響を把握するため、地下水観測孔での採水・水質分析を行ったところ、地下水の基準値を超過する「砒素」と「鉛」が検出された。砒素や鉛は、国民の健康を保護することを目的とし

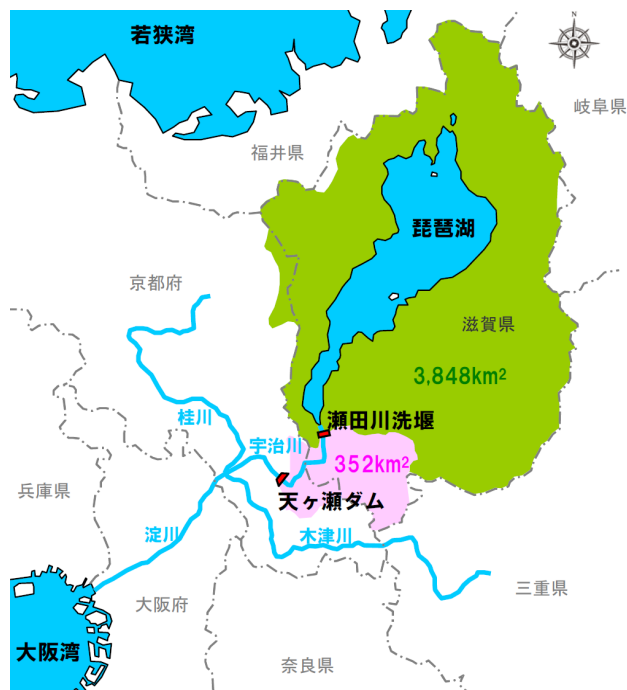


図1-天ヶ瀬ダム周辺図

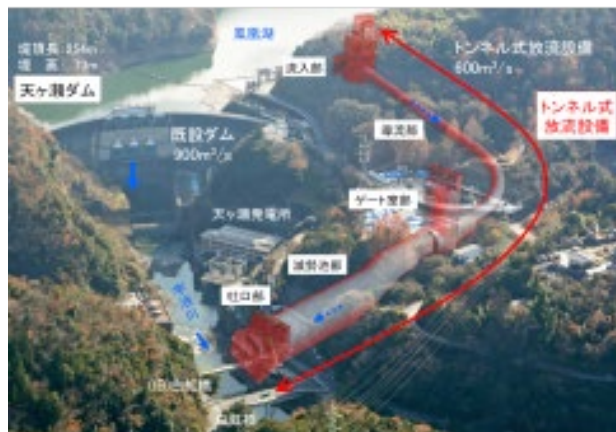


図2-トンネル式放流設備イメージ図

た土壤汚染対策法において「特定有害物質」とされており、土壤の含有量と溶出量において基準値が定められているため、現地の土壤について、既存土質コアを利用した試験を実施し、確認を行った。

結果として、溶出量試験では砒素が基準値を超過し、含有量試験では砒素・鉛共に基準値内であった。

(2) 砒素・鉛の発生由来

土壤汚染対策法では、自然由来の汚染土壤と人為的由来による汚染土壤について、搬出時の規制や調査方法が異なる。よって、適切な処分を行うためには、工事区域の土壤汚染の由来について確認を行う必要がある。確認方法は「土壤汚染対策法の施行について（環水土第20号、2003.2.4）」の「(一) 土壤溶出量基準に適合しない場合の判定基準」に基づくこととした。

以下の判定基準を満たすときは、土壤汚染の由来が自然的原因によるものと判断する。

① 特定有害物質の種類等。

土壤溶出量基準に適合しない特定有害物質が、砒素、鉛、ふっ素、ほう素、水銀、カドミウム、セレン又は六価クロムの八種類のいずれかであること。

② 特定有害物質の含有量の範囲等。

特定有害物質の含有量が概ね表1に示す濃度の上限値内にあること。

③ 特定有害物質の分布特性。

特定有害物質の含有量の分布に、当該特定有害物質の使用履歴のある場所等との関連性を示す局在性が認められないこと。

表1－自然的原因による含有量の上限値の目安

特定有害物質	上限値の目安(mg/kg)
砒素	39
鉛	140

【調査結果】

- ①超過することが確認されたのは、砒素、鉛であった。
- ②確認された含有量は、砒素29mg/kg（最大値）、鉛72mg/kg（最大値）であった。
- ③土地の使用履歴を写真判読した結果、1948年～2010年までの間において、人為的原因の使用履歴はなかった。

このため、工事箇所が発生する汚染土壤については自然由来であると判断した。

3. 処理方法の検討

(1) 重金属含有岩石処分のための指針について

掘削を行う範囲の土質状況について図3に示す。工事範囲の広範囲にわたり泥岩や砂岩が分布しているため、本再開発事業で発生する掘削土は土壤ではなく岩盤である。

土壤汚染対策法は特定有害物質で汚染された土壤について取り纏められており、岩盤については対象としていないため、処分方法や規制等の記載は無かった。このため、本再開発事業において発生する重金属含有岩石を適切に処分するため、関係法令やガイドラインについて確認を行った。

表2－土質構成表

地質名	記号	記 事
段丘堆積物 (高位段丘)	trh	調査地内の尾根(緩斜面)部に分布する。円礫を多く含む砂・シルトを主体とする。円礫は硬質であり、砂岩・泥岩・チャート等よりなる。放水路トンネルの掘削対象とはならない。
泥 岩	Sh	調査地内に広く分布する。泥岩を主体とするが、砂岩をレンズ・薄層状に挟在することが多い。また緑色岩・チャート・石灰岩を大小のレンズ状に含む。全体に構造運動を受け、弱層が多く分布する。
砂 岩	Ss	ダムサイト周辺にまとまって分布するほか、泥岩中に小規模なレンズとして分布する。中粒～粗粒の砂で、硬質であり割目は比較的少なくマツシブな岩盤状況を呈する。

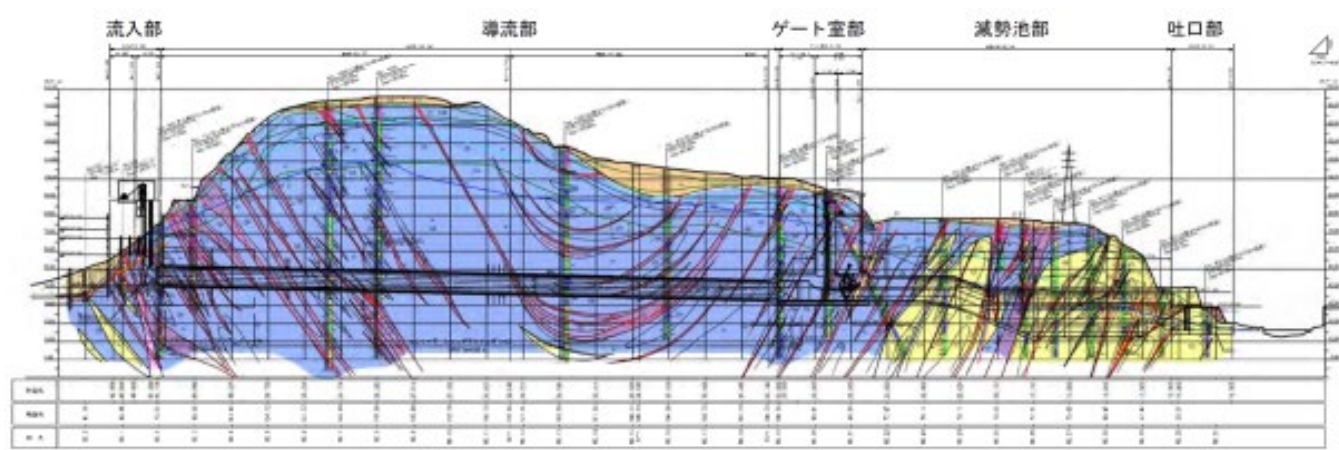


図3－トンネル式放流設備周辺の土質

確認の結果、「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル[暫定版]（以下マニュアル）」においては、岩も対象とされていることが確認できた(表2)。このため、天ヶ瀬ダム再開発事業の工事で発生する掘削土や岩石については、マニュアルを踏まえ、土壌汚染対策法や関連ガイドライン等も参考にしながら処理方法の検討を行うこととなった。

(2) トンネル式放流設備重金属等含有岩石処理対策検討委員会の開催

天ヶ瀬ダム再開発事業トンネル式放流設備施工区域内において確認された重金属等含有岩石について、影響範囲及び処理対策を検討し、有識者の方からアドバイスをいただくとともに、円滑に進めることを目的とした「トンネル式放流設備重金属等含有岩石処理対策検討委員会」を開催することとなった。

表2-関連法令・ガイドライン一覧表

関連法令・ガイドライン	
土壌汚染対策法	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
汚染土壌の運搬に関するガイドライン改訂版	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
汚染土壌の処理業に関するガイドライン改訂版	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル[暫定版]	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ○

1. 第1回検討委員会

第1回検討委員会では、委員会を開催するに至った経緯等が各関係者に説明し、また、トンネル式放流設備建設箇所を対象としたボーリングコアによる砒素と鉛についての調査結果について報告した。

調査の結果、砒素、鉛共に土壌溶出量試験において基準値を超える検体が確認され、土壌含有量試験では全ての検体が基準値以下であり、基準値以上となった検体の溶出量・含有量については、鉛は平均0.013mg/L、最大0.017mg/L、砒素は平均0.035mg/L、最大0.300mg/Lであった(表2)。検査範囲内では特に基準値を超過する砒素が多く、最大で30倍にもなることが分かった。

調査結果をトンネル式放流設備建設箇所に反映したものが図4である。掘削範囲全体に重金属が分布していることが確認できる。今後工事で重金属含有岩石として処理が必要と考えられる土量は全体掘削の内約半数になるということが報告された。

搬出される重金属含有岩石の処理方法について、第1回検討委員会では以下の四つの方法の検討結果を報告した。

- ①全掘削土を重金属含有岩石処理場へ運搬・処分
- ②基準値以上の掘削土を重金属含有岩石処理場へ運搬・処分
- ③基準値以上の掘削土を地中に埋設し、封じ込め処理
- ④基準値以上の掘削土を盛土し、封じ込め処理

方法①②と③④は、基本的な処分の流れとしては同じである。方法②は明確な重金属含有岩盤の分布を確認す

表3-土壌試験結果

調査対象	検体数	土壌溶出量試験	土壌含有量試験
		基準値以上の検体数 (0.01mg/L以下)	基準値以上の検体数 (150 mg/kg)
砒素	323	62	0
鉛	323	7	0

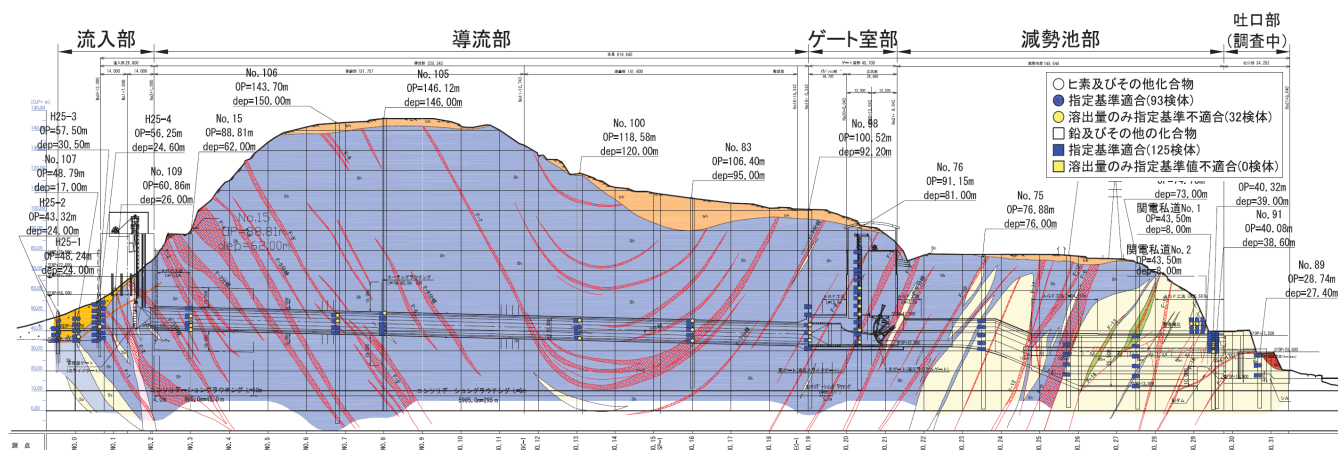


図4-自然由来重金属分布図

る必要があるが、重金属含有岩石の処分費用を抑えることが出来る。方法③④は処理場へ搬出し処分する費用がかかなくなるため、方法②より更に費用が安くなる。しかし、埋設場所の選定や工事の計画等の期間・費用が発生すること、封じ込める為の遮水シートが天災等で破損しないような対策が必要であること、観測井による一定期間の周辺地盤のモニタリングが必要であること、事業区域外に搬出して埋設する場合は、地元・行政関係者の理解が必要であったことなど、計画・実行に時間がかかることが懸念点であった。

第1回検討委員会では、方法③④の基準値を超過する掘削土を地中埋設もしくは盛土することで封じ込めを行う案を基本に検討を進めるよう提言を受けた。

2. 第2回検討委員会

第1回検討会において検討を進めるよう提言を受けた封じ込め案について、候補地の選定を行い、金額や工法等の説明をした。

候補地は以下の条件により選定を行った

- ・10,000m³以上の埋土が可能。
- ・土砂災害危険箇所ではない。
- ・工事・管理用通路が確保できる。
- ・事業区域内である。

試算の結果、ボーリングにより重金属含有岩石を事前に判定する処分する方法と比べ、約4000万円の処理費用を削減できるということが分かった。しかし、選定した候補地では事業内で発生する汚染土の全てを処理することは出来ないため、他の公共事業地に受け入れてもらうことを検討したが、受け入れ時期・条件が合う事業はなかった。コスト削減のため、引き続き候補地を探していくこととした。

封じ込め処理案について実現性を考慮し精査を行う事、また更なる効率化を図るため検討を実施するよう提言を受けた。

3. 第3回検討委員会

封じ込め案について、引き続き候補地を探したが、受け入れ可能な場所は見つかっていないことが報告された。また、万が一の際に重金属が溶出した水が排水層へ行かないように対策を行うようアドバイスを受けたため、ベントナイトシートによる追加の保護を行った場合を試算したところ、逆に約6,800万円の増額になることが報告された。

現在行っている重金属含有岩石の判定について、タイミングを掘削前から掘削後に変更する案について説明した。事前にボーリングし重金属含有岩石の範囲を決めて処分する場合は、安全性を考えて基準値を超過した試料が確認された範囲の周辺も基準値超過した含有岩石として処分していた。事後判定し処分を行う場合は、一回分の掘削毎に重金属の含有具合を確認できるため、より詳しく重金属の含有具合を確認し処分出来る。このため、処分費用の縮減が見込まれる。

有識者の方より事後判別による処分方法が非常に有効であるという意見をいただき、掘削土の判定を行う仮置き場の選定・整備を速やかに進めていくこととなった。

4. 重金属含有岩石・土壌の処分

本事業で実際に行われた重金属含有岩石の処分について報告する。

(1)事前判別による処分

流入部・導流部の大半、ゲート室部、減勢池・吐口部の一部の範囲が事前判別をおこなった。

事前にボーリングコアを用いて試料採取を行い、分析判定を行うことで重金属の範囲を確認する。調査結果に基づいて重金属が超過する範囲の岩盤については掘削次第、重金属含有岩石処理施設へ運搬し処理する。

(2)事後判別による処分

2015年6月以降より仮置き場を整備し運用を開始した。流入部・導流部の一部、減勢池部、吐き口部の土が事後判別をおこなった。

掘削後仮置き場へ運搬し、土壌汚染対策法に則り公定法による土壌試験を行い、試験結果に基づき適切な処分を行う。仮置き場については雨や風による重金属の飛散・流出を防ぐため、屋根や壁をつくることとした(図5)。本事業で使用した仮置き場は8個のスペースを設けた(図6)1スペースに半日分(約200~300m³/s)の掘削岩が運び込まれ、最大4日分の仮置きができる。



図5—事後判別仮置き場

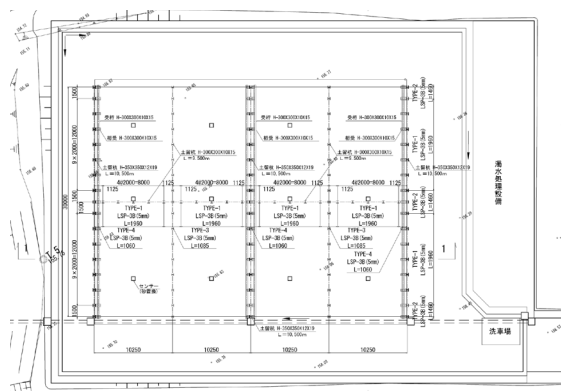


図6—仮置き場レイアウト

表4-重金属含有岩石判別方法比較表(単位: m³)

施工エリア	事前判別時想定		事後判別方法開始後	
	一般岩石	重金属含有岩	一般岩石	重金属含有岩
流入部	17,244	18,149	17,244	11,359
導流部	15,134	41,753	3,640	0
ゲート室部	11,660	8,646	0	0
減勢池部	62,323	19,099	61,262	17,633
吐口部	17,394	2,970	10,819	2,227
合計	123,755	90617	92,965	31,219
	214372		124184	
割合	57.7%	42.3%	74.9%	25.1%

(3) 判別タイミングの変更によるコスト削減効果

2021年、トンネル掘削は概ね終了した。表4に重金属含有岩の判別結果を示す。全体掘削土量約21万m³に対し、事前判別時は約42%の掘削土が重金属含有岩石として搬出される見込みであったが、事後判別に切り替えてから重金属含有岩石と判定された掘削土は約25%であった。

事後判別では仮置き場の借地費用や運搬費用等が発生するが、処分が必要な重金属含有岩石の搬出量が大幅に減ったことから、コスト削減を行うことが出来た。

5. 封じ込め案について

本再開発事業では封じ込め案は採用しなかったが、今後の事業で重金属含有岩が確認された際の対策の参考として、委員会を通して検討を重ねてきた処理方法や有識者の方からいただいたアドバイスについて説明する。

【封じ込め処理方法】

- ①現地掘削
- ②基面整形(排水槽 1 m)
斜面モルタル吹付で地下水は下に落とし、基準値超過岩石と触れないようにする
- ③排水層上部に遮水シートを2重に設置
- ④重金属土壌による補強盛土造成
- ⑤遮水シート(2重)により補強盛土上部・法面を保護
- ⑥基準値内土砂で50センチ以上の表土(2重シートの保護のため)もしくは舗装をおこなう
- ⑦モニタリング(河川及び地下水の水質調査, 3年間)

封じ込め処理について、雨水、地下水等により砒素が流出しないことが重要である。重金属含有岩は2重の遮水シートでくるむようにし、盛土の上部下部は土を盛ることでシートの破れを防ぐ必要がある。

【今回施工場所の特性による追加考慮事項】

- ・観光地のため、景観に配慮して設計を行う必要がある。

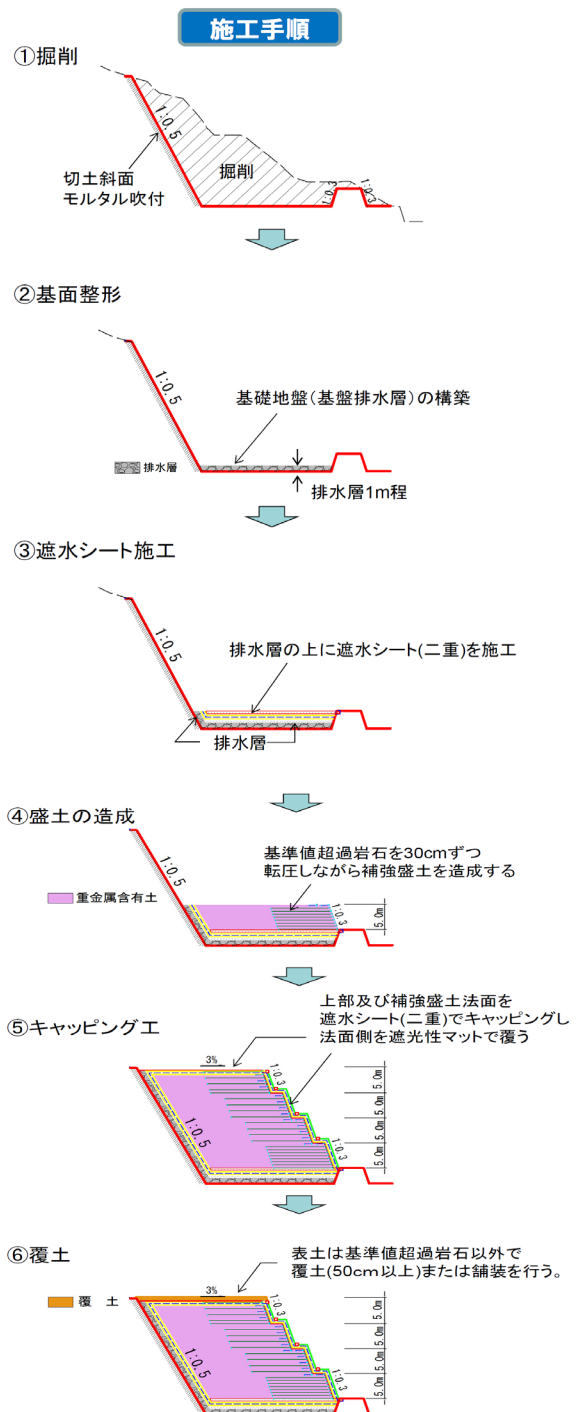


図8-封じ込め処理施工手順案

・下流側に宇治市のブランドである宇治茶の茶畑が存在するため、風評被害が起こる可能性がある。

あるとしても完成後のモニタリングは通常2年間で終わる。

【有識者よりいただいた意見】

・封じ込め完成後は粉じん等の飛散はないので、風評を心配することはない。

・底面の2重シートが破ける危険性は無視できない。斜面は良いが、封じ込め底面はシートが破けても排水層にいかないように、ベントナイト混合土などにより保護すると良い。

・封じ込めの上部天端は、雨水が入らないよう舗装などすれば跡地を有効利用することが出来ると思う。

・できるだけ盛土を雨に触れさせないこと。完全に被覆すればモニタリングの必要性はない。自然地盤の湧水が

6. 終わりに

以上、本論文では天ヶ瀬ダム再開発事業の自然由来重金属検出の経緯を踏まえ、適切な処理方法の検討や実際の処理方法について報告した。また、全3回の委員会を通じて検討を行った封じ込め案についても報告した。今後の事業において、重金属含有岩が確認された際の対策方法検討に本論文が一助となれば幸いである

天ヶ瀬ダム再開発事業における特徴的な技術及びその継承

宇津 悠祐¹

¹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。

天ヶ瀬ダム再開発事業は、1998年度に建設着手してからこれまで30年以上をかけて実施中の事業であり、2021年度に概成する運びとなった。

本論文では、天ヶ瀬ダム再開発事業において施工した、日本最大級の大断面であり類似の施工実績が無い水路トンネル等の設計、施工の特徴的な技術について紹介する。

キーワード ダム再開発, トンネル, 設計, 施工

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは京都府宇治市に位置するドーム型のアーチ式コンクリートダムであり、洪水調節や水道供給、発電に用いられる多目的ダムである。(図-1) 周辺には平等院や宇治上神社等があり、多くの観光客で賑わう。

天ヶ瀬ダム再開発事業は既設天ヶ瀬ダムが持つ放流量の増強を目的として、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。



図-1 天ヶ瀬ダム位置図



図-2 トンネル式放流設備の配置図

本論文では、天ヶ瀬ダム再開発事業において施工した日本最大級の大断面である水路トンネル等の設計、施工の特徴的な技術について紹介する。

2. 天ヶ瀬ダム再開発事業の概要

(1) 放流能力増強方式決定の経緯

放流能力の増強方法がトンネル式放流設備に決定するまで当初様々な選択枝が検討された。天ヶ瀬ダム本体を活用する案や現存する旧志津川発電所導水路を活用する案や宇治川発電所導水路を活用する案、更には琵琶湖疏水を活用する案が候補となった。技術課題に対する検討時間やコスト面や水理効果の優位性効果に加え、天ヶ瀬ダム本体への影響評価を考慮し、ダム左岸側にバイパス放水路を新たに作る「トンネル式放流設備案」が採用されることとなった。

(2) トンネル式放流設備の構成

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-2に示すとおり、流入部・導流部・ゲート室部・減勢池部及び吐口部の5つの施設から構成される。

a) 流入部

トンネル式放流設備の入り口であり、緊急時や修理時に流水を遮断する幅10.5m×高さ12.3mの修理用ゲートを設置している。

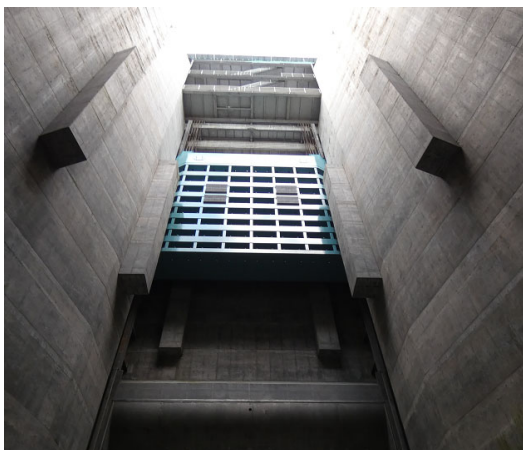


図-3 流入部修理用ゲート (2021年9月撮影)

b) 導流部

内径10.3mの大規模円形トンネルであり、流水を下流に導く。



図-4 導流部 (2021年9月撮影)

c) ゲート室部

幅3.6m×高さ4.9mの主ゲートと幅3.6m×高さ12.3mの副ゲートを各2門設置しており、放流量を調節する。

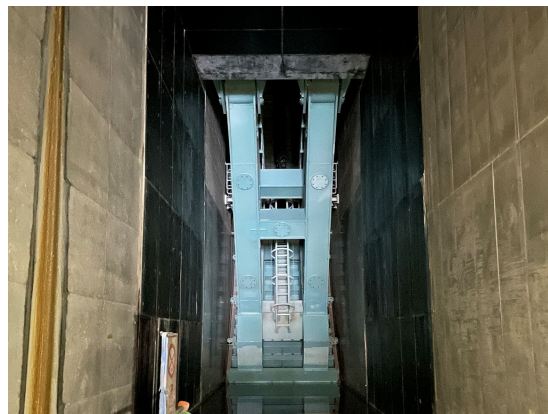


図-5 主ゲート (2022年1月撮影)

d) 減勢池部

全長169.5mであり、幅22.8m×高さ25.5mの水路トンネルでは日本最大級の内空断面を保有し、放流水の勢いを緩める。



図-6 減勢池部シュート部付近 (2022年2月撮影)

e) 吐口部

トンネル式放流設備の出口であり、減勢池部で勢いが緩んだ水を安全に宇治川に流す。



図-7 吐口部 (2022年5月撮影)

3. 流入部における特徴的な技術

(1) 施工概要

流入部は、施工ヤードの確保が困難なことから、仮栈橋を設置した。その後、仮栈橋の上から鋼管矢板を打設し仮締切を行った上で、立坑内部を掘削し躯体を構築した。

前庭部は、流入部の施工と同時に水上から施工した。水上から超大型クレーン台船により鋼管矢板を打設した後、所定の深度で鋼管矢板を水中切断した。水上から超大型のクレーン台船により鋼管矢板を水中切断した。その後、所定の深度で切断された鋼管矢板内を新工法により水中掘削を行った。

(2) 鋼管矢板工

鋼管矢板工は、硬い岩盤に鋼管矢板（Φ1500）を施工する必要があるため、SEP台船、または仮栈橋上から全周回転掘削機（Φ2000）により、鋼管矢板施工箇所を1本毎に掘削を行い、掘削箇所を砂及び砕石で置換した。鋼管矢板は、超大型機械である200tクレーン、世界最大級の振動力を誇るパイロハンマー及び高い打撃性能を誇るIHCハンマーを使用して打設を行った。

(3) 立坑掘削及び躯体構築

立坑の掘削は、鋼管矢板に囲まれた空間の中で、ドライ掘削により行われた。立坑は、直径28m、深さ41m、掘削土量は約17000m³の大深度掘削となる。掘削は150tクレーン、大型ブレイカー及び20m³ベッセル等、大型機械を用いることで作業効率の向上を図った。



図-8 立坑内掘削状況

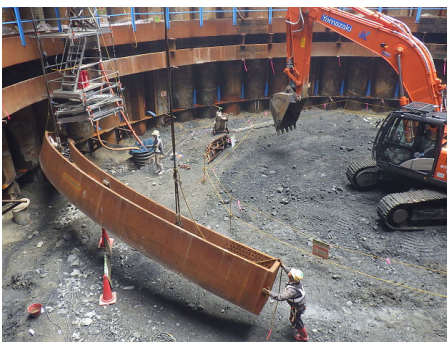


図-9 円環支保工設置状況

(4) 新工法「T-iROBOUW」を活用した水中掘削

流入部立坑は、鋼管矢板によりドライ掘削となるが、前庭部は水中掘削となる。岩盤を水中掘削するのは既往の施工方法では難しく、工期を要するため、新工法のT-iROBOUW（遠隔操縦式多機能水中施工機械）を使用して掘削を行った。

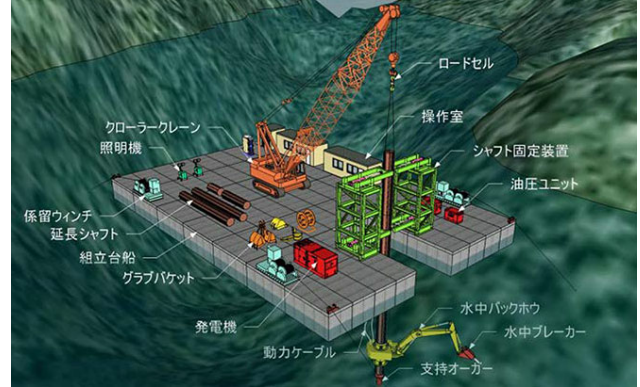


図-10 T-iROBOUWの構成

水中の各種作業を、ダイバーを使わずに遠隔操縦による施工をするために開発された機械で、ダム湖が深く急峻で視界の悪い場所での施工に威力を発揮する。T-iROBOUWによる岩盤掘削は、湖面に設置した台船から昇降用のシャフトを湖底に降ろし、先端をオーガで掘削して固定し、このシャフトをガイドしながら水中作業機をダム湖に沈めて、岩盤部をブレイカーで砕いて施工した。この機械は、先端のアタッチメントを交換できるため、ブレイカーをバケットに変えれば、土砂のかき集めが可能となる。掘削土砂は、台船上のクレーンからクラムシェルで引き上げた。その他、代表的な技術は、水中作業を可視化する装置がある。ダム湖の底は濁っており、視界は約20cmである。固定の岩盤形状を三次元画像として捉えられる「マルチファンビーム」と呼ばれるソナーや超音波カメラなどを導入し、台船上で操作するオペレーターが画像をもとに作業できるようにした。

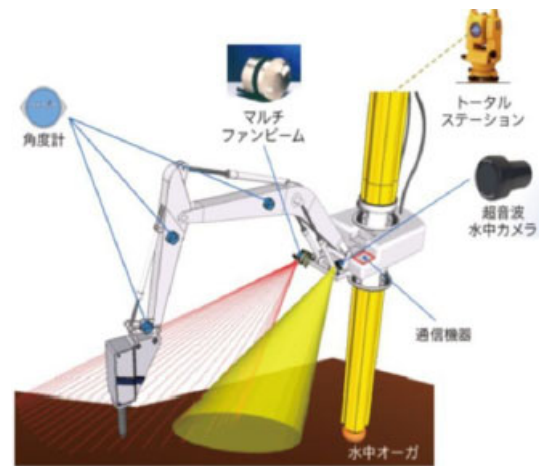


図-11 水中作業可視化装置の構成

(5) ワイヤソーでの鋼管矢板水中切断

鋼管矢板の切断は鋼管内を満水にして、水圧の均衡を保った状態で行う必要がある。水中での鋼管矢板切断については、当初潜水士による人力切断を検討していた。しかし、潜水深度30mを超える潜水は危険性が非常に高い作業となる。そこで、水中での作業を極力削減するため、水中での鋼管矢板及び円環支保工の切断にワイヤソーを活用した。

ワイヤソーは縦切り用と横切り用の2種類用意した。縦切り用のワイヤソーでは鋼管矢板継手部付近・円環支保工・間詰コンクリートを一括で切断を行う。横切り用のワイヤソーでは鋼管矢板本管と継手部を一括で切断し上下の縁切りを行う。

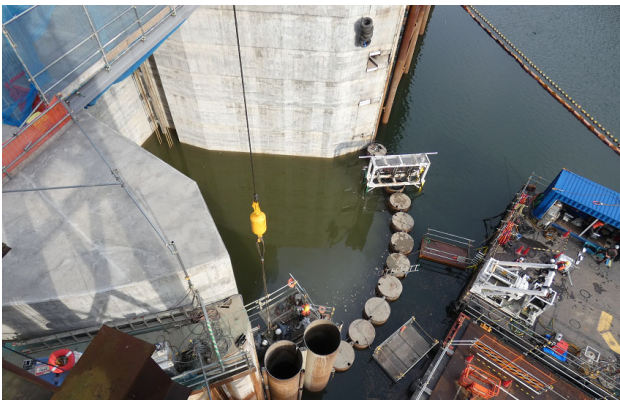


図-12 鋼管矢板切断

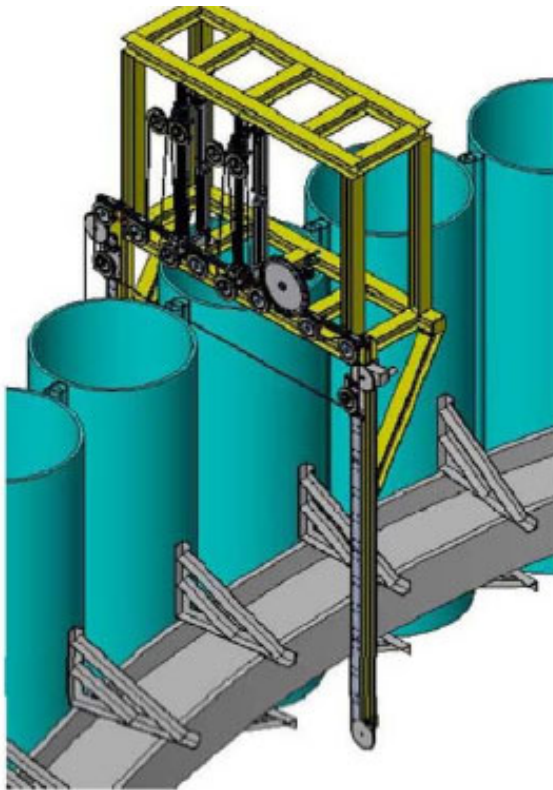


図-13 鋼管矢板切断縦切り イメージ図

4. 減勢池部における特徴的な技術

(1) トンネル減勢方式の決定

トンネルの減勢方式は、地山内減勢方式と半管路方式がある。地山内減勢方式は、流入部直下に減勢池部を設けるため、地山内に大断面部の延長が長くなり、曲線部に開水路の減勢池を設けることになる。それに対し半管路方式は、直線部において開水路で減勢池を確保できる。水理性及び経済性の観点から、半管路方式に決定した。

表-1 減勢池部トンネル方式の比較

項目	地山内減勢方式	半管路方式
概要図		

(2) トンネル断面形状の決定

トンネル断面は卵型断面及びきのこ型断面で比較検討した。卵型断面はアーチ脚部側壁導坑を掘削し、アーチ脚部側壁アバットを施工した後、頂部より順次切り上がっていく工法である。きのこ型断面は頂設部を導坑断面で掘削した後、両側を切り上げ、アーチコンクリートを同時併進で早期に打設する工法である。環境面に与える影響や施工性、経済性とも卵型断面・きのこ型断面と大差ない。しかし、きのこ型断面に関して、直高20m以上の鉛直側壁を有することから坑口部における安定性が優位な卵型断面を採用した。

表-2 減勢池部トンネル断面形状の比較

	卵型断面形状	きのこ型断面形状
概要図		

(3) 減勢池部掘削及び覆工

減勢池部の掘削はNATMを採用して行った。工法としては、側壁導坑・中央導坑先進多段ベンチカット工法を採用した。施工手順としては、まず、側壁導坑掘削を行い、更に中央導坑掘削を行った。その後RC円柱支保工を施工するための側壁導坑拡幅掘削を行い、RC円柱支保工とシート部上半掘削を同時に施工した。その後、側壁導坑コンクリートの施工を行った。側壁導坑コンクリートの施工が完了した段階で、上半掘削（アーチ部）掘削を行い、アーチコンクリートを打設した。その後は、下半部はベンチ掘削（H=3.0m）で、情報化施工・ステージ管理により進

め、底版コンクリート及び側壁コンクリートの施工を行った。

(4) 減勢池部のF-0破砕帯対策

坑口から約90m奥にD級のF-0破砕帯が横断する。当初の調査では、幅9m前後の破砕帯で、その周辺にはCL～CM級の泥岩が分布するが、そのほかはCM～CH級の砂岩で構成されていると想定していた。

当初は、破砕帯が想定されていたことから、地表面からの調査ボーリングや下流側坑口からの横坑調査（L=130m）が行われ、地盤の変形・強度特性、透水性、地下水位など十分な調査を行った。特に、破砕帯周辺では、約10～20m格子間隔で調査ボーリングを行い、F-0破砕帯の分布・性状も綿密に調査した。

側壁導坑の掘削を進める中で、更に破砕帯の調査を行った。その結果、右側側壁導坑でF-0破砕帯が当初想定よりも位置が坑口側に約5mずれており、かつ幅が当初の想定よりも1.5倍ほど広い14mであることが確認された。

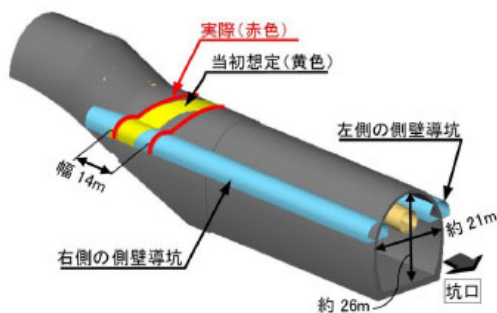


図-14 F-0破砕帯の差異

破砕帯の分布範囲・位置を三次元的により精度よく把握するため、両側壁導坑坑内から地質調査（高品質鉛直ボーリング：L=19m×6本，コア三軸圧縮試験：9本，平板載荷試験：4箇所）を実施した。この調査結果を既往の地質情報に追加した結果、トンネル周辺の破砕帯分布範囲が当初の想定よりも拡大することとともに、粘土層のせん断強度が当初よりも約20%低減することが判明した。

新たな側壁補強対策工として、「RC円柱支保工」を検討した。RC円柱支保工の配置は、破砕帯範囲をカバーするように、右側4本、左側2本とした。その長さは、先受け工として側壁変形抑制効果の発揮に必要な「梁の支点の安定性（円柱上下端の水平地盤反力）の確保」を重視して、断面が閉合するトンネル底版から3m下までを基本とした。

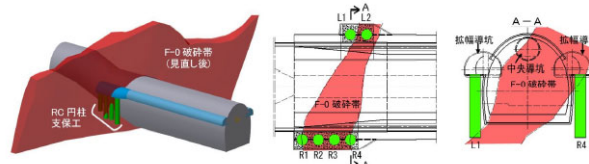


図-15 RC円柱支保工の配置

RC円柱支保工は、狭隘な側壁導坑内空間における施工となるため、安全かつ効率的に施工するためには、限られた施工空間での取扱いが可能で、コンパクトな機械設置が必要となる。そこで、穿孔、ずり積み込み、コンク・研り作業を1台で対応できる小口径深礎掘削機を採用した。



図-16 小口径深礎掘削機

5. おわりに

現在、ダム能力向上や機能向上のため、多くのダムにおいて再開発や補強が検討されている。天ヶ瀬ダム再開発事業は放流能力増強のために導水路トンネルを採用した。日本でも導水路トンネルを採用している事例は少なく鹿野川ダムに次ぐ2例目である。トンネル式放流設備を建設する際には周辺環境や地盤条件等を考慮する必要がある。今後、ダムの再開発でトンネル式放流設備を建設する場合には天ヶ瀬ダム再開発事業を参考にされたい。

建設業界ではインフラDX(デジタル・トランスフォーメーション)が推進されている。データとデジタル技術を活用し、現場の安全性や効率性を向上させる。本論文でも紹介した「T-iROBO UW」も水中作業の安全性や効率性を向上させた。今後これらの技術が向上し、作業員の安全性や仕事の効率性に寄与することを期待する。

- 1)大成建設：シャフト式遠隔操縦水中作業機「T-iROBO UW」
- 2)大林・飛島特定建設工事共同企業体：ダムの治水能力を高める日本最大級の水路トンネル

大水深耐震強化岸壁を備えた高規格コンテナターミナルに付帯する荷さばき地における技術的検討

有松 勇

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 第三建設管理官室
(〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7番30号)

国際コンテナ戦略港湾「阪神港」(大阪港, 神戸港)の一躍を担う神戸港では, 日々, 多くのコンテナが取り扱われている。地震の多い我が国では, 大規模地震発生時にもこの港湾物流機能を維持・継続することを目的にこれまでも耐震強化岸壁の整備が進められてきた。岸壁の耐震化が進む一方で, 運搬される貨物の荷さばき地を耐震化しなければ効率的な荷役を行うことができない。これらの背景を受け, 神戸港の荷さばき地において, 地震時においてもコンテナターミナルが一体となって供用可能な機能を発揮することを目的に耐震化を目指す技術的検討を行った。

キーワード 荷さばき地, 液状化対策, コスト縮減

1. はじめに

神戸港は, 2011年4月1日に施行された港湾法及び特定外貿埠頭の管理運営に関する法律の一部を改正する法律に伴う港湾法施行令の改正により, 阪神港として「国際戦略港湾」に定められた。

本改正により, 国際戦略港湾が長距離の国際海上コンテナ運送に係る国際海上貨物輸送網の拠点として機能するために必要な係留施設(水深16m以上の大耐震強化岸壁)に付帯する荷さばき地は直轄工事として施工することとなった。

神戸港ポートアイランド(第2期)地区岸壁(-16m)(以後, PC-18と略称)荷さばき地では, 2013年度より耐震化に向けての検討が行われている。本検討で対象とするのは, 2019年度に検討を行ったPC-18荷さばき地(拡張部: 共同デポ)より更に西側の耐震強化岸壁PC-18背後の荷さばき地(西側拡張部)である。当該荷さばき地は, 隣接する荷さばき地及びPC-18岸壁(-16m)と一体となって機能を発揮すべく, 地震時においても供用可能な耐震性を有する必要がある。

本検討は, 神戸港の大水深耐震強化岸壁背後の荷さばき地において, 耐震化に向けて経済性, 施工性, 当該施設への適用性等の総合的観点から地盤改良工法の選定を目的とする。

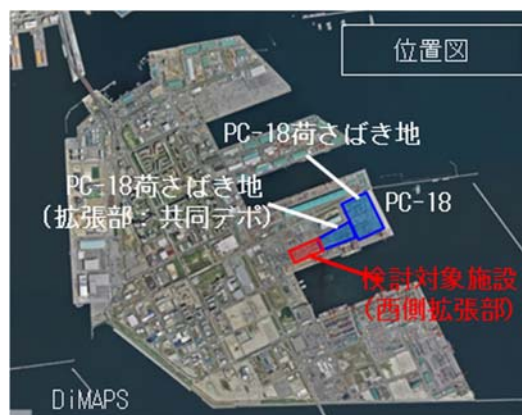


図-1 設計対象位置図

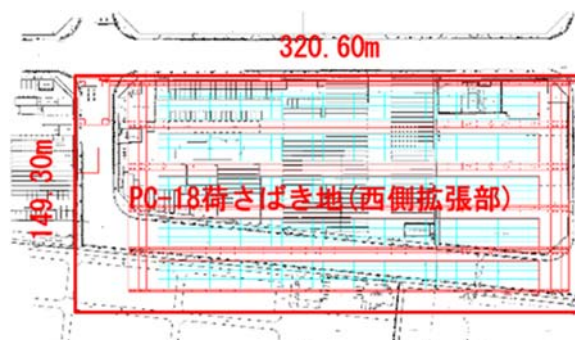


図-2 設計対象平面図

2. 検討条件について

(1) 概要 (荷さばき地)

荷さばき地とは、岸壁背後に見られる、コンテナ船から荷揚げする貨物の一時的な蔵置エリアのことであり、クレーン等の荷役機械及び建物である上屋が設置されている。神戸港の大水深耐震強化岸壁は埋め立て地に整備されることが多く、多種多様な埋立材料が使用されているため、埋立履歴も把握する必要があること、また供用中のコンテナターミナルにおいては、ターミナルを占有した状態での施工が必須になるなど、耐震化にあたっては現場状況を把握し対応していくことが重要となる。

(2) 設計条件

対象施設周辺には、図-3で示すように、岸壁の整備前に建設された仮護岸の存在が確認されている。構造形式は捨石式傾斜堤構造であり、本体工や基礎工に捨石が使用されているため、液状化対策工法の選定や改良体の配置を検討するうえで制約条件となる。

また、荷さばき地の設計には、地震動や潮位の自然条件だけでなく、取り扱う貨物や運行する荷役機械等の荷さばき地の利用形態も重要となる。

本検討で設定した設計条件を表-1に示す。

(3) 要求性能及び性能規定値

港湾の施設において、施設の運用上必要な要求性能及び性能規定が「港湾の施設の技術上の基準」¹⁾において定められており、基準に適合するように建設・改良・維持をしなければならない。荷さばき地においても、表-2の様に要求性能・性能規定値が定められており、これらの基準を満たす様に改良工法を検討する。

本対象施設では、表-2の基準を踏まえた上で、「港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版)」²⁾より、荷役作業に影響を及ぼさない沈下量10cmを性能規定値として設定する。

3. 地盤改良工法の検討

まず、現況断面においてFLIP解析を行う事で、地震時の

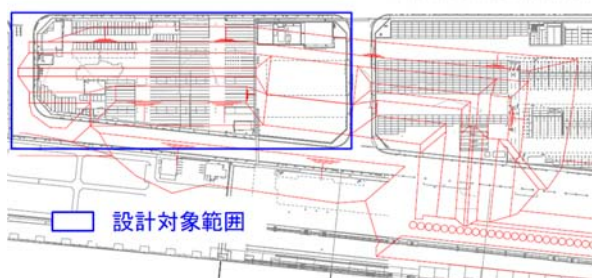


図-3 捨石式傾斜堤護岸分布図

液状化による本対象施設の現況の沈下量を把握する。FLIP解析の結果及び第2章の設計条件を踏まえて地盤改良工法を抽出する。

(1) FLIP (概要)

FLIPとは二次元の地震動応答解析の事であり、沈下量等を評価することが可能である。また、地盤と構造物を一体的にモデル化して解析を行うため、地震後の地盤・構造物の挙動を予測する事が可能であり、港湾施設を中心に多数の使用実績がある。しかし、FLIP解析は、あくまでも岸壁挙動による側方流動の影響を考慮した地盤沈下量解析であり、過剰間隙水圧消散に伴う排水沈下量は解析できないので、別途解析が必要になる点に留意する。

本検討では、表-1で示す地震動について、FLIP解析及び液状化解析を実施した。

(2) 現況断面の照査結果

現況の断面の解析の結果、東南海・南海地震動以外のケースでは、埋め立て地盤全般の液状化の発生により性能規定を満足しなかった。南海トラフ巨大地震動・コン

表-1 設計条件

種別	項目	設計条件
一般条件	設計想定面積	約 48,000㎡ (約 150m×約 320m)
利用条件	計画水深 (D.L)	-16.0m -12.0m(参考)
	主な荷役機械	RTG トレーラシャーシ
	取扱貨物	コンテナ (最大5段)
	上載荷重	53.6kN/㎡ (実入りコンテナ5段積み時)
	設計供用期間	改良後 50年
自然条件	潮位 (D.L)	H.H.W.L +3.70m H.W.L+1.70m L.W.L+0.10m R.W.L+0.60m (重力式)
	地震動	L1 地震動 (国総研 HP) L2 地震動 (直下型) : 兵庫県南部地震観測波 L2 地震動 (海溝型) : 東南海・南海地震動 南海トラフ巨大地震動

表-2 荷さばき地における要求性能及び性能規定値 (基準抜粋)

項目	内容	参考
要求性能	レベル 2 地震動作用後、速やか (短期間の後) にコンテナ貨物の荷役を行うことができるように、コンテナ蔵置エリアの平坦性を確保する。(蔵置されているコンテナの転倒防止、荷役作業機械の走行性を確保する観点より) ※ただし、沈下は許容する。	省令第43条2項
性能規定	作用による損傷の程度が、荷役作業に支障を及ぼさない限界値以下であること。	告示第83条2項

テナ満載の条件下で、沈下量が最も大きくなり、最大126.4cmの沈下となった。

図4に南海トラフ巨大地震における解析結果を示す。図上部の赤着色箇所が過剰間隙水圧比0.9以上の範囲であり、設計対象範囲内の大部分が著しく液状化する事が分かる。

次章にて、上記の最も厳しい条件下において性能規定を満足する改良断面を検討する。

4. 改良断面の決定

(1) 改良工法の抽出

本検討では、1次選定・2次選定・3次選定と3段階の手順を踏まえ、地盤改良工法の抽出を行った。

1次選定では、液状化現象等に伴う地盤変位の抑制対策として適用可能と考えられる工法を、過去の施工実績を元に整理を行った。整理の結果、34種類の工法が挙げられた。

2次選定では、第2章で定めた本対象施設の検討条件を踏まえ、適用性の高い工法について、抽出した。その結果、締固め工法、深層混合処理工法(格子状改良工法)及び薬液注入工法の3工法を抽出した。

3次選定では、2次選定において抽出した3工法に対して、更に一般的な施工を想定の上、各工法の特徴(長所・短所や使用機械等)や本対象施設への適用性等を整理するとともに工法の抽出を行った。その結果、締固め工法(SCP工法)及び深層混合処理工法(機械攪拌式工法)の2工法を抽出した。

(2) 対策断面の創意工夫

3次選定で抽出した2工法について、対象施設における

改良地盤の側方変位及び液状化沈下解析による安定性の照査を行い、本対象施設の要求性能・性能規定を満足するための改良仕様を検討した。締固め工法においては、改良率の組合せ等を調整しながら性能規定値を満たす改良仕様を検討し、深層混合処理工法においては、格子改良の改良仕様(格子間隔, 改良強度)について、準2次元FLIPモデルで感度分析を行い、確認された諸元(格子間隔15.0m~20.0m程度, 改良強度1.0MN/m²~2.0MN/m²程度)を基本に、南北方向及び東西方向の断面の2次元FLIPモデルにて効果を検証した。

どちらの工法でも仮護岸の存在により、地盤の挙動が抑制され、仮護岸より陸側では改良率や改良範囲を抑制できる結果となった。

a) 締固め工法

締固め工法の液状化発生の抑制が可能となる改良仕様として、仮護岸を挟み海側地盤では改良率19.6%、陸側地盤では改良率7.2%の組み合わせが妥当だと考えられ、表-1に示す全ての地震動で当該施設の性能規定値10cm(最大沈下量9.8cm)を満足する結果となった。

図-5に当該地盤に対する影響が大きい南海トラフ巨大地震の解析結果を示す。

b) 深層混合処理工法

深層混合処理工法の改良壁の改良強度及び格子間隔は、これまでに当該関連施設(PC-18荷さばき地等)において、改良体の目標強度とし1.0MN/m², 格子間隔を25.0mを基本として設定し、設計及び施工が行われてきた。

本検討では、液状化対象地盤の深度分布に応じ、長壁(着底型)20.0m間隔, 短壁(浮き型)³⁾10.0m間隔の格子仕様(組み合わせ)により、対象施設内の性能規定値10cm(最大沈下量9.5cm)を満足できることを確認した。これは、これまでの施工実績に対して改良目標強度を2.0MN/m²または2.5MN/m²と現実的に可能な範囲で高め、格子間隔を広げる事や非液状化層に着底させる長壁と非

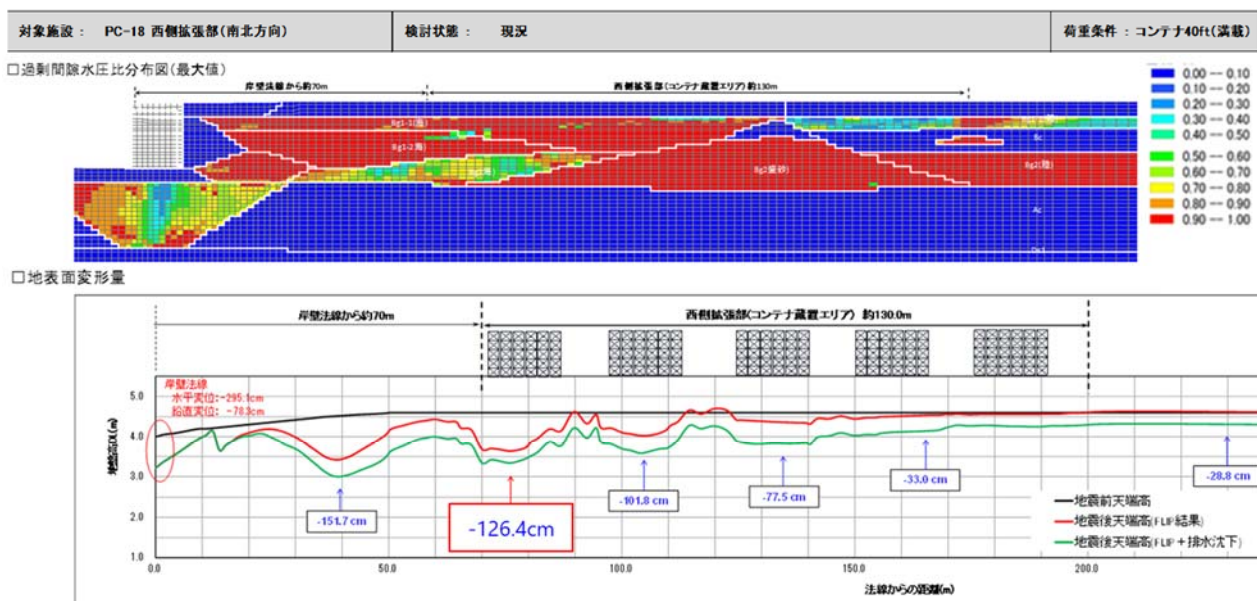


図4 現断面の解析結果(南海トラフ巨大地震)

液状化層に着底せずに浮き型として改良深度を縮減させた短壁を組み合わせることでコスト縮減や工期短縮等に配慮した結果である。また、補助工法(先行掘削)の併用を要する、仮護岸への干渉が想定される仮護岸直前面の短壁(浮き型)を省いても性能規定値を満たすことがわかったため、更なるコストの縮減を図る事が可能となった。

図-6に当該地盤に対する影響が大きい南海トラフ巨大地震動の解析結果を示す。

結果を示す。

比較検討の結果、概算費用及び工程でともに優位となった深層混合処理工法を当該対象施設の最適工法として選定した。

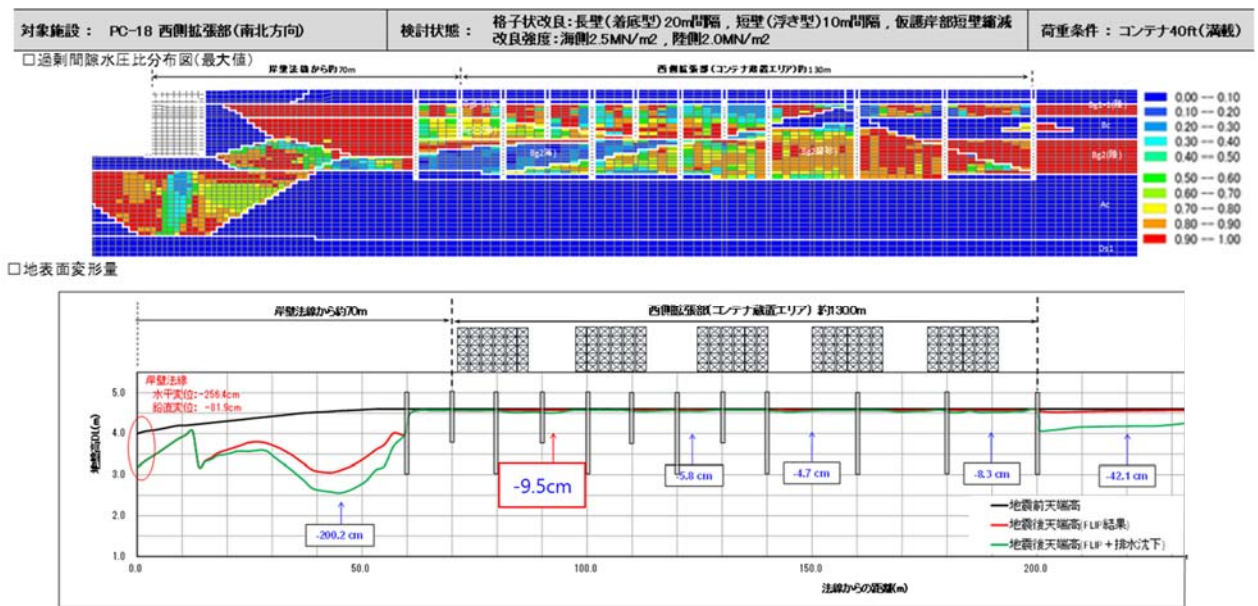
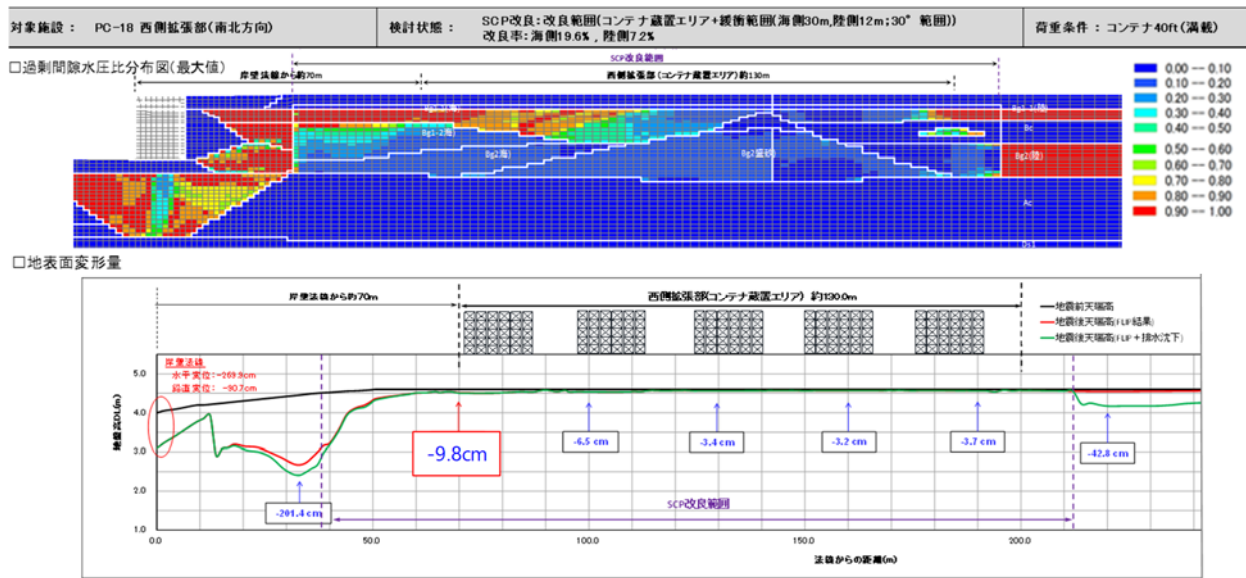
5. おわりに

本稿では、供用中のコンテナターミナルにおける荷さばき地の改良設計一例について報告した。

荷さばきの改良設計においては、コンテナターミナルの利用状況、荷さばき地の新設から改良設計に至るまで

(3)改良工法の選定

第2節にて検討した締固め工法及び深層混合処理工法の改良仕様について、詳細に比較検討(特徴、概算費用、工程、当該施設への適用性等)を行った。表-4に工法比較



の背景等の現場状況を踏まえた上で、基準とする要求性能・性能規定を満たす改良工法を選定する事が重要となる。当該対象施設では、本検討で設定した表4の格子配置で工事発注予定であったが、実施設計の段階で埋設管の存在が確認された。そのため、工事発注前に現地調整を行い、埋設管を避ける格子配置で工事発注を行った。

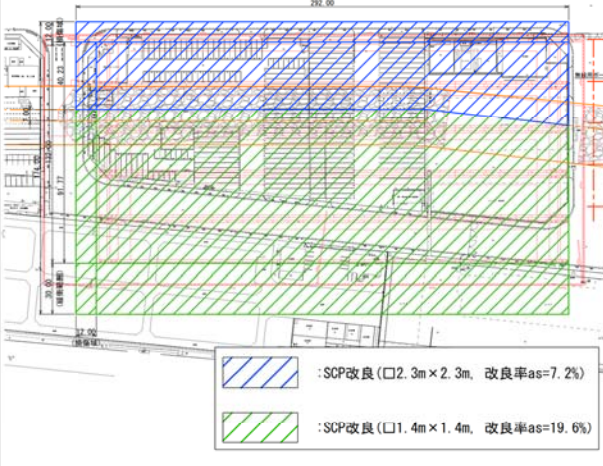
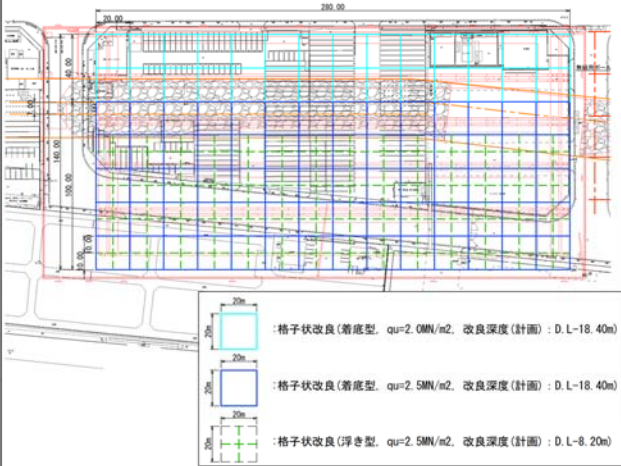
本稿は著者の従前の所属である神戸港湾空港技術調査事務所における所掌内容を取りまとめたものである。

謝辞：本稿では、設計業務を担当されました方々に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：港湾の施設の技術上の基準について
- 2) 一般財団法人沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版)2018年7月
- 3) 独立行政法人港湾空港技術研究所，一般財団法人沿岸技術研究センター，五洋建設株式会社，清水建設株式会社，株式会社竹中土木，東亜建設工業株式会社，東洋建設株式会社，株式会社不動フトラ：浮き型格子式液状化対策工法(フューラット工法)技術マニュアル(案)2014年10月

表4 抽出工法比較

工法名	サンドコンパクションパイル(SCP)工法	深層混合処理工法(格子状改良) 機械攪拌式(代表：RASコラム工法)
改良仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・陸側範囲：改良率7.2%(□2.3mピッチ)、杭径φ700mm ・岸壁側範囲：改良率19.6%(□1.4mピッチ)、杭径φ700mm 	<ul style="list-style-type: none"> ・陸側範囲：格子間隔20m，改良強度2.0MN/m²，着底型(改良深度D.L.-18.4m) ・岸壁側範囲：格子間隔20m(着底型，改良深度D.L.-18.4m) 格子間隔10m(浮き型，改良深度D.L.-8.2m) 改良強度2.5MN/m²
改良平面図	 <p>改良平面図</p> <p> : SCP改良(□2.3m×2.3m，改良率as=7.2%) : SCP改良(□1.4m×1.4m，改良率as=19.6%) </p>	 <p>改良平面図</p> <p> : 格子状改良(着底型，qu=2.0MN/m²，改良深度(計画)：D.L.-18.40m) : 格子状改良(着底型，qu=2.5MN/m²，改良深度(計画)：D.L.-18.40m) : 格子状改良(浮き型，qu=2.5MN/m²，改良深度(計画)：D.L.-8.20m) </p>
概算工費	・約(1.16)	・約(1.00)
概算工期(供用日数)	計：約2年	・計：約1年
総合評価	△ (格子状改良(機械攪拌式)に比べ、工費、工期ともに劣る)	○ (締固め工(動的SCP)に比べ、工費、工期ともに優位)

国道2号明石駅前交差点改良事業の整備効果について（中間報告）

山田 陽¹・澤田 健一²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 高槻維持出張所 (〒540-8586大阪府高槻市京口町12-22)

²近畿地方整備局 兵庫国道事務所 管理第二課 (〒650-0042兵庫県神戸市中央区波止場町3-11)

国道2号に位置する明石駅前交差点において、渋滞の緩和・事故の軽減を目的とした交差点改良工事を行った。本改良が、渋滞・事故の発生状況に与えた効果を検証するため、ETC2.0プローブデータを活用した効果の検証と交通実態調査を行った。その結果、渋滞の緩和と一部で車両の危険な挙動の軽減が確認されたが、車両の危険な挙動が増加した箇所も確認された。今後、危険な挙動が増えた箇所に重点を置いて全体的に継続的にデータ分析を行う必要がある。

キーワード 渋滞対策, 交通安全対策, 効果検証, ETC2.0プローブデータ

1. はじめに

本稿は、JR明石駅に隣接しており兵庫県内の主要渋滞箇所・事故危険箇所に指定されている国道2号明石駅前交差点の改良について、整備効果の検証結果を報告するものである。なお、道路構造についての検証であり、信号現示については本稿では言及しないものとする。

2. 明石駅前交差点の概要

明石駅前交差点は兵庫県明石市の中心市街地に位置しており、JR明石駅の南側に位置する。当該箇所では、交通量が多く、工事が始まる前の2016年時点では、兵庫国道事務所管内の直轄国道のうち死傷事故率は2番目に高い数値となっていた¹⁾。さらに朝夕の通勤時間帯には渋滞が発生しており、それらの解消を目指した交差点の改良を2017年～2021年3月にかけて行った。

(1) 交差点形状

明石駅前交差点では、交差点を挟んで東側は2車線、西側は4車線となっており、直進車両は交差点内での車線の移動が必要となる変則的な交差点形状となっていた。

(2) 渋滞状況・事故状況

2014年8月の渋滞調査によると、朝の交通量がピークとなる7:00-9:00、夕方のピークとなる17:00-19:00ではどの時間帯でも渋滞が発生している。

また、事故の発生状況を図-1に示す。2010年～2016年で事故は46件発生しており、右折時の事故が最も多く、次いで追突による事故が多い状況となっている。

3. 対策実施内容

本交差点改良では、主に明石駅前交差点の車線数を増加し、東西で車線数を統一することで交差点内での車線移動のない形状に改良を行った(図-2, 図-3)。

4. 対策効果の検討—検討手法

(1) 渋滞

交差点改良による渋滞軽減の検証を行うために、交通実態調査を行い、過去の渋滞長調査結果と比較を行った。また、ETC2.0プローブデータを使用することにより車両速度の変化を改良前後で可視化・比較した。

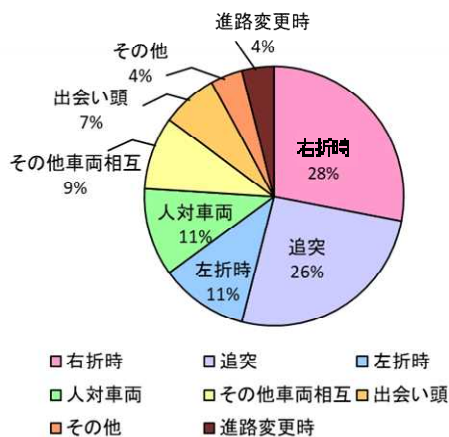


図-1 明石駅前交差点における事故類型別割合 (2010～2016年)¹⁾

1-a) 渋滞長 (交通実態調査)

朝夕の交通量のピークとなる時間を挟み、7:00-9:00, 17:00-19:00の間で渋滞長の調査を行った。

1-b) 地点速度 (ETC2.0プローブデータ)

ETC2.0プローブデータより、交差点周辺での車両速度をプロットし、交差点改良前後の車両速度を比較した。なお、交差点改良前となる2016年時点では十分なデータサンプルを確保出来ないため、改良中の2020年データを使用している。

(2) 事故要因となる挙動

車両の危険な挙動が事故要因となることから、ETC2.0と交通実態調査により、以下の3条件で検証を行った。

2-a) 車両の前後加速度, 左右加速度, ヨー角速度 (ETC2.0プローブデータ)

ETC2.0プローブデータより、急発進・急ブレーキを示す「①前後加速度」、速度超過を伴うカーブ走行時などに記録される強い遠心力を示す「②左右加速度」、急ハンドルによる方向転換を示す「③ヨー角速度」の発生率でそれぞれ改良前(2020年)・改良後(2021年)の比較検証を行った。

2-b) 車線変更時の挙動 (交通実態調査)

交差点改良により、交差点東側約100mで車線が減少する形状となった。そのため交差点西側から東側へ第1走行車線を走る車両は、交差点通過後に短い距離で車線変更を強いられることとなる。この車線変更が後続車へ影響を与える可能性があるため、ビデオにて状況調査を行い、交差点東側での車線変更台数と車線変更によってブレーキを踏んだ後続車の台数を測定した(図-4)。

2-c) 右折ギャップ (交通実態調査)

交差点改良後の交差点部での車両の右折状況を確認するために、図-5に示す位置において、右折車両と右折車両通過後の対向車両との時間差(以下、右折ギャップ)をビデオで撮影・測定した。

なお、交差点改良前の測定は行っていないため、過去の状態との比較は行わず、改良後の交差点の状況確認を行うための検証と位置づける。

測定にはMicroTraffic社のAIによる解析を適用。ここでは事故発生時の右折車両と対向車両の重症化確率のモデル曲線²⁾から、対向車両速度リスクを設定した。右折ギャップはMicrotraffic社が設定しているリスクに対するギャップ時間を採用し、車両速度と右折ギャップによる事故リスクの分類を図-6の通り分類する。

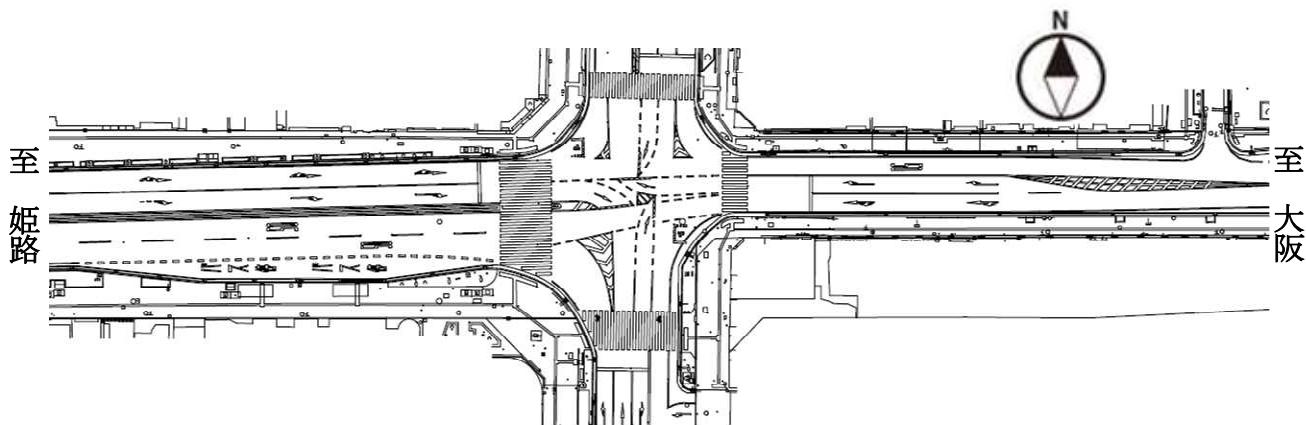


図-2 明石駅前交差点 (改良前)

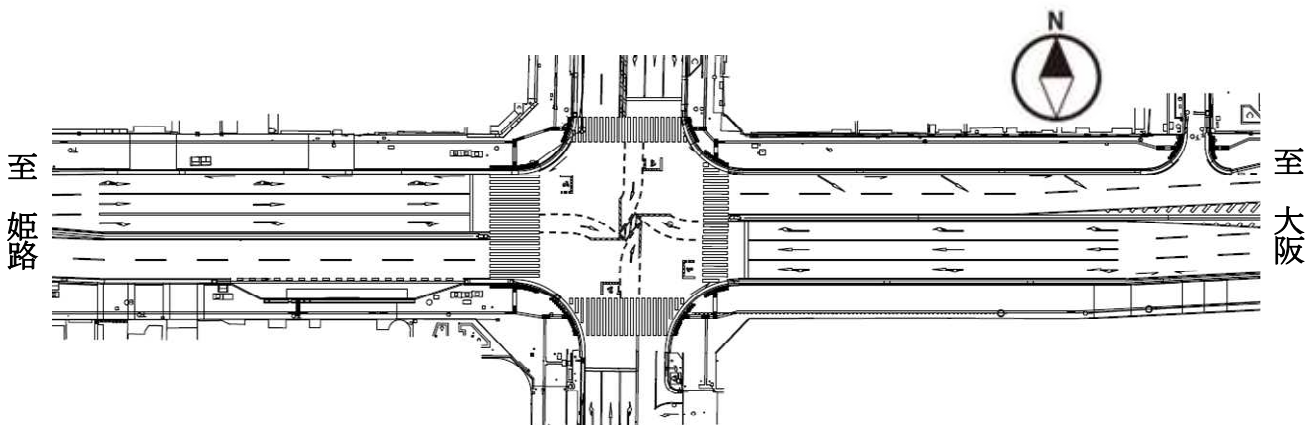


図-3 明石駅前交差点 (改良後)

また、得られたデータは解析手法の関係から、右折ギャップ時間が3.0秒以下を対象としている。

5. 対策効果の検討—結果・考察

(1) 渋滞

渋滞に関する効果の検証に先立ち、交通量調査も行った。交通量は2014年と工事完了後(2021年)で比較したが、大きな差は見られなかった。このことを踏まえて渋滞長と地点速度を利用して渋滞の軽減について検討する。

1-a) 渋滞長 (交通実態調査)

改良前と改良後の渋滞長を図-7に示す。改良後の渋

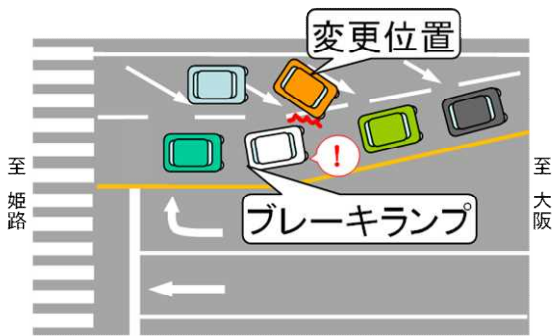
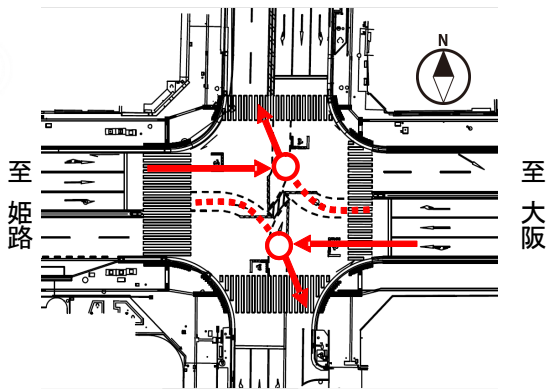


図-4 車線減少による後続車への影響イメージ図



○ 右折ギャップ測定地点

図-5 右折ギャップ測定イメージ図

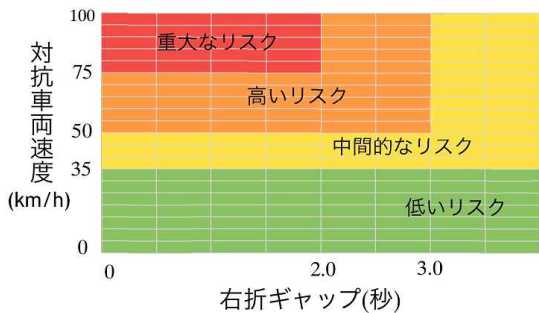


図-6 車両速度と右折ギャップの事故リスク分類

滞長調査ではほとんど渋滞は見られなかった。一部、西行きで渋滞が見られたが、これは路上駐車車両による一時的な事象であることを確認している。このことより、交差点改良前後で交通量に大きな変化が無かったことを鑑みると、当該交差点における慢性的な渋滞は大きく解消されたと捉えることができる。

1-b) 地点速度 (ETC2.0プローブデータ)

改良前と改良後の地点速度を時間帯別にプロットした。

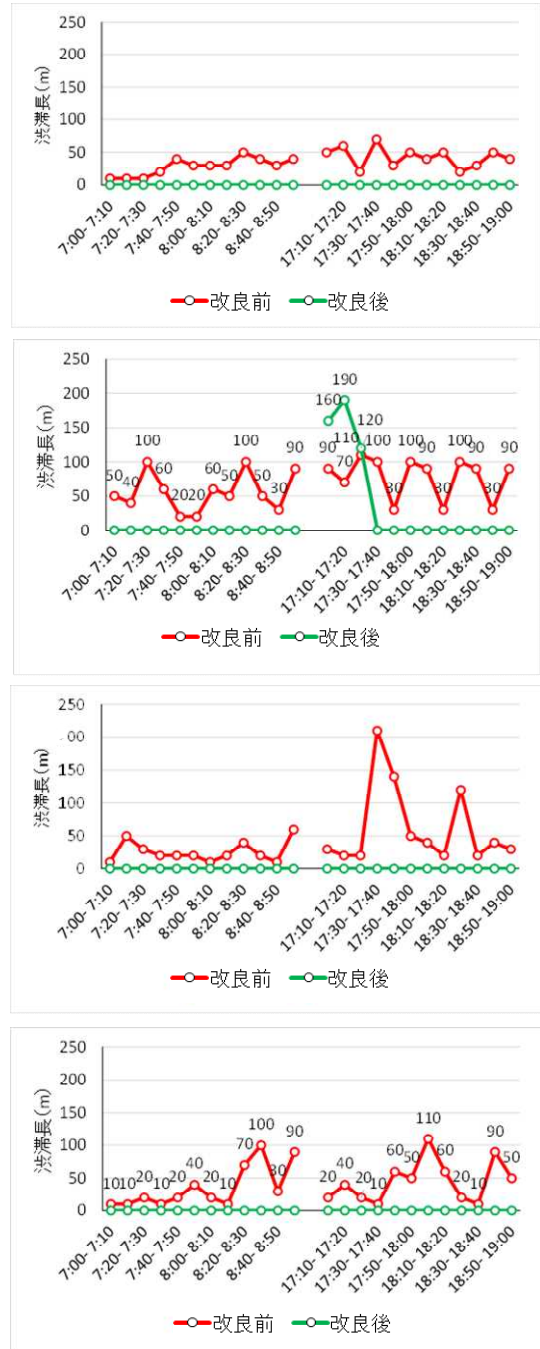


図-7 渋滞長 (改良前:2014年, 改良後:2021年) 上から交差点北側, 交差点東側, 交差点南側, 交差点西側

西行きでは改良前・後で顕著な差は確認できなかった(図-8)が、東行きでは明石駅前交差点西側で20km/h未満を示す車両が広範囲で少なくなっていることがわかる(図-9)。

このことから、本改良により渋滞が大きく解消され、車両の速度向上による交通の円滑化が顕著に表れた結果となった。

(2) 事故要因となる挙動

本交差点改良によって、交差点内での車両の動きに変化が生じていると考えられる。また、渋滞に起因した車両の挙動にも変化が見られると想定された。そこで車両の挙動に焦点を当てて、交差点改良の効果を検証した。

2-a) 車両の前後加速度、左右加速度、ヨー角速度(ETC2.0プローブデータ)

事故要因となる車両の挙動の集計結果を表-1に示す。さらに車両の各挙動の発生地点を図-10~12に示した。

①前後加速度では、交差点西側においては改良前の1.7%から、改良後は1.1%と大きく減少した。これは車

線数が増加し、渋滞が大きく解消されたことが大きく影響していると考えられる。それに対して、東側では前後加速度の発生率は1.5%から1.8%と増加している。これは、交差点東側の車線減少に伴う車線変更によるものと考えられる。

②の左右加速度においては改良前後で大きな変化は見られなかった。

③のヨー角速度は交差点内では、改良前4.2%、改良後3.3%と発生率の上昇が顕著に見られた。図-12から、改良後に交差点内で強いヨー角速度の増加が見られている。これは交差点改良に伴い交差点西側中央分離帯が南側へ移動したことによって、南北の道路からの進入車両が改良前の位置で交差点西側へ侵入しているものと推測される。交差点西側においては、改良前0.4%、改良後0.2%と、発生率の減少が見られた。

これらのことから、①前後加速度、③ヨー角速度では発生率の減少傾向がみられ、②左右加速度には変化が見られなかったことから、本改良によって急発進、急ブレーキ、急ハンドルの事故要因が交差点内・交差点西側において減少したことが言える。一方で、前後加速度の増加傾向が交差点東側に見られる。この結果の要因については後述する車線変更時の挙動部で詳細を考察する。

2-b) 車線変更時の挙動(交通実態調査)

交差点東側における車線減少に伴う車線変更時の車両の挙動の確認を行った。前述の車両の前後加速度が交差

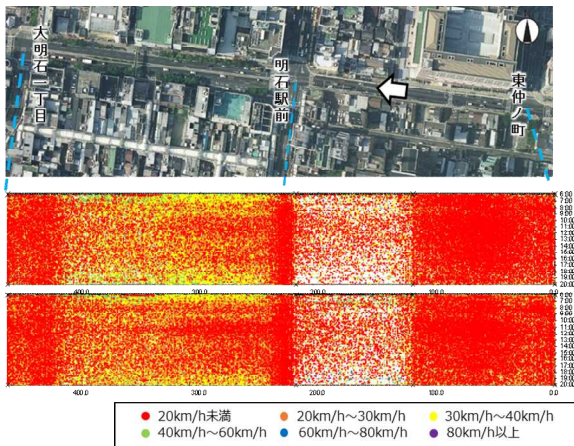


図-8 西行き車両の地点速度(改良前:2020年,改良後:2021年)

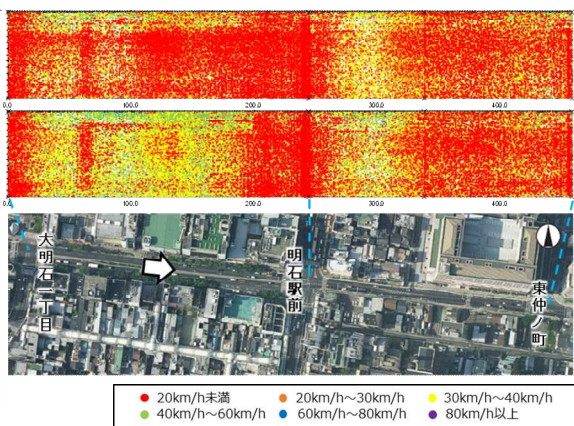


図-9 東行き車両の地点速度(改良前:2020年,改良後:2021年)

表-1 車両の挙動発生率(改良前:2020年,改良後:2021年)

		交差点西側		交差点内部		交差点東側	
		改良前	改良後	改良前	改良後	改良前	改良後
①前後加速度	発生率(%)	1.7	1.1	0.6	0.7	1.5	1.8
②左右加速度	発生率(%)	0	0	0.1	0.1	0	0
③ヨー角速度	発生率(%)	0.4	0.2	4.2	3.3	0.1	0.1

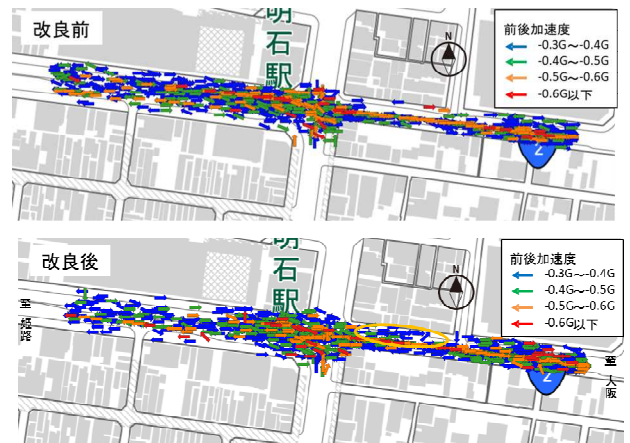


図-10 車両の前後加速度
上図:改良前(2020年),下図:改良後(2021年)



図-11 車両の左右加速度
上図：改良前（2020年），下図：改良後（2021年）

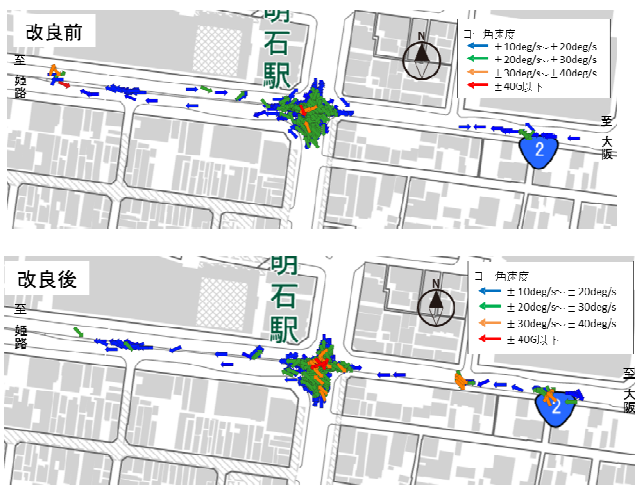


図-12 車両のヨー角速度
上図：改良前（2020年），下図：改良後（2021年）

点東側で増加していることを踏まえ、交差点の北・南・西側から交差点東側への車両の流入台数と第1走行車線から第2走行車線へ車線変更を要した車両台数を確認した。結果、直進・右折流入車両では9%が車線変更を行っており、左折流入車両に関しては43%の車両が車線変更を要する結果となった。

次に上記の車線変更によりブレーキを踏んだ後続車の車両台数を確認した。その結果、右折流入・左折流入では後続車両のブレーキは確認されず、直進流入車両においては直接流入車両の内2%（走行台数6,149台中133台）がブレーキを踏んだこと確認された。

これらの結果から、交差点東側における車線減少に伴った車線変更は、左折・右折流入車両では危険な挙動への影響が見られず、直進流入時においてのみ後続車の走行阻害となりうる事がわかった。

2-c) 右折ギャップ（交通実態調査）

得られた右折ギャップを、事前に設定した事故リスク分類とともに図-13に示す。

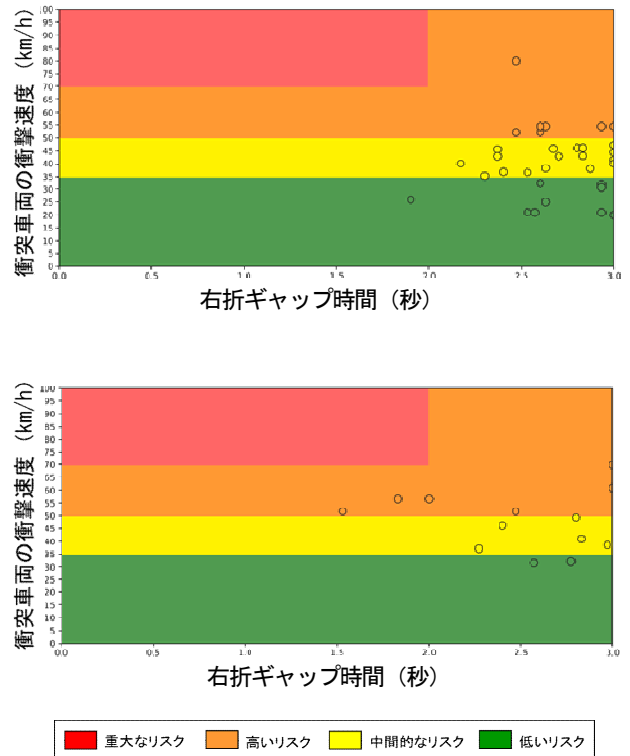


図-13 事故リスク分類
上図：東行き右折車と西行き直進車
下図：西行き右折車と東行き直進車

東行き右折車で右折ギャップが3.0秒以下を示した事象は13件、西行き右折車では33件であった。共に重大なリスクは0件であるが、高いリスクが検出される結果となった。

6. まとめ

渋滞緩和・交通事故削減を目的とした国道2号明石駅前交差点改良について、交通実態調査やETC2.0プローブデータを活用することで、改良直後の効果について定量的に検証を行った。今回は、車線数増加に伴う交通容量の拡大で渋滞が解消するなど円滑性向上に関する顕著な効果を得ることができた。また、交差点西側の流入部で急ブレーキ事象が減少するなど安全性の向上効果が見られる一方で、交差点形状や車線運用の変化が道路利用者に十分認識されていないことが推測される中、危険な挙動が残存する結果も得られている。既存研究³⁾では交差点改良後の効果検証にあたり、改良直後の1ヶ月程度のデータは除外する必要があるという報告もあることから、今後の経過観察をする上で、道路利用者の形状変化への適応状況等も考慮した検証が必要と考えられる。

また、交差点東側で車線が減少することで生じる交通錯綜は追突事故や車線変更時の事故要因となりうるため、事故発生状況等を継続的にモニタリングするとともに、

道路利用者に対する注意喚起等の追加対策も視野に入れた経過観察が必要と考えられる。

本稿は、国道2号明石駅前交差点を対象に効果を把握する調査手法・分析視点・評価指標など多面的に検討し、そこから得られた客観的な効果検証結果をとりまとめたものである。渋滞対策や交通安全対策など様々な事業を展開していく中、同様の交差点改良事業等の効果を検証する際の一助となることを期待する。

謝辞：本検証の全般にわたり御協力と御助言をいただいた(株)長大の方々に感謝の意を表します

参考文献

- 1) 交通事故・道路統合データベース
- 2) Juwicz et al (2016) : Exploration of vehicle impact speed - injury severity relationships for application in safer road design
- 3) 田住・門田・河上：岩国駅前交差点改良事業の整備効果～ETC2.0プローブデータとWEBアンケートを用いて～

鉄筋コンクリート床版の 部分打換え施工について

内田 真之¹・福井 雄一²

¹近畿地方整備局 京都国道事務所 管理第二課

(〒600-8234 京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

²京都府向日市 建設部 まちづくり推進課 (〒617-8665京都府向日市寺戸町中野20番地)

高度成長期前後に造られた大量のインフラ施設の急激な高齢化・老朽化の対策には、多大な費用が必要となっている。現場では、定期点検結果等から構造安全上の対策が優先される箇所を選択し対応している。今回は鋼橋のRC床版について健全性の判定結果から補修方法を検討した結果、一部打替えを選択したものである。これまでも鉄筋コンクリート床版の一部打替えは行われているが、どのような経緯で打替えが実施されたかについての事例報告・文献資料などが少ないことから、今後、同様の損傷が生じた場合の参考例として、今回実施する床版の一部打替え工事の事例について紹介するものである。なお、現在施工計画を検討中で令和4年8月頃の施工を予定している。

キーワード RC床版の損傷、床版部分打替え、膨張コンクリート、ウォータージェット研り

1. はじめに

自動車交通量の増大と車両の大型化がみられた1965年(昭和40年)前後から、コンクリートの剥離、陥没あるいは抜け落ちといった損傷事例が顕著になり、それ以降、鉄筋コンクリート床版の損傷問題は道路橋の維持管理上の大きな課題となっている。新観月高架橋は1975年(昭和50年)に竣工した鋼単純RC床版合成鉄桁橋であり、経年劣化等で生じた床版の損傷に対して一部打替え(以降、部分打替えと称す。)を選択し実施したものであり、部分打替えの一事例として紹介するものである。

2. 新観月高架橋の概要

一般国道24号現道は宇治川渡河部に新旧2本の橋を有しており、旧橋である観月橋は1936年に完成した宇治川を渡る7径間ゲルバー非合成鉄桁橋である。

これに対して新観月高架橋は、観月橋北詰交差点(京都外環状線)、京阪電鉄および一級河川宇治川を一気に超えて、向島本丸町付近で現道に接続する高架橋として、1975年(昭和50年)に供用してから47年が経過した橋長536.9mの高架橋である。

床版の損傷は、宇治川左岸側の向島橋詰町付近のP6橋脚の第7径間側(鋼単純RC床版合成鉄桁橋)で、路下は一般国道24号現道の車道、歩道および自転車駐輪場となっており、京阪電鉄宇治線観月橋駅利用者など人や車の往来が多い場所である。

表-2.1に橋梁諸元を示す。

橋梁名	新観月高架橋
路線名	一般国道24号
供用開始日	1975年4月1日
適用示方書	昭和47年道路橋示方書
橋長・(総径間数)	536.9m(17径間)
上部工形式	2径間連続鋼非合成箱桁橋 3径間連続鋼非合成箱桁橋 単純合成鉄桁橋 9連 3径間連続RC中空床版橋
下部工形式	半重力式橋台2基 壁式橋脚(RC)3基 柱橋脚(RC)2基 柱橋脚(鋼製)1基 T型橋脚(RC)10基
基礎形式	オープンケーソン1基 場所打ち杭(深礎含む)17基
交通量	昼間12h 22,031台(2010年)

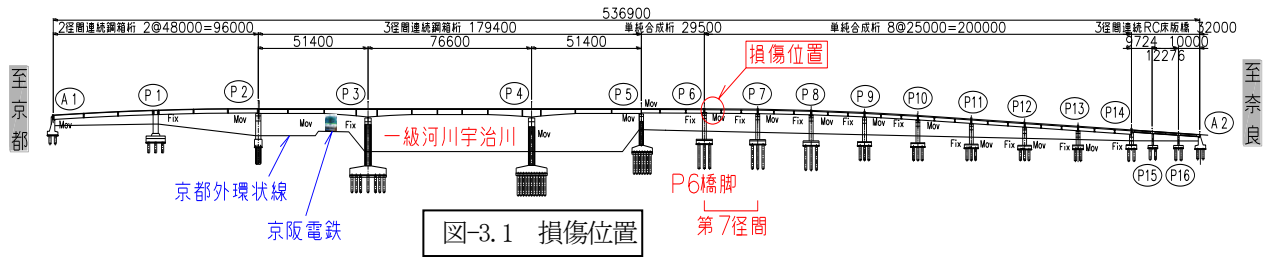
表-2.1 橋梁諸元

3. 床版の損傷状況

(1) 損傷状況と緊急診断

新観月高架橋の2014年橋梁定期点検では健全度IIで床版ひびわれ、剥離・鉄筋露出は対策区分C1判定であったが、2018年橋梁定期点検において第7径間G4-G5桁間のP6側端部床版下面に、剥離・鉄筋露出、床版ひびわれ、うきが局所的に進行して健全度IIIが確認された。

図-3.1に損傷位置図、写真1, 2に周辺状況及び2018年当時の損傷状況を写真-3, 4に示す。



2021年12月上旬に緊急点検を行った結果、写真-5の通り床版下面のコンクリートはひびわれの進行によりブロック化し、一部抜け落ちと段差が生じ始めていた。損傷は局所的(1パネル相当)で雨水の進入・滞水は見られなかった。しかしながら、この状態で水が進入すると一気に損傷が進行することが懸念された。



(2) 現地確認と緊急診断

緊急診断は、関係者である事務所、維持出張所、近畿道路メンテナンスセンター、橋梁検査業務会社、調査設計会社の各担当者が集まって2021年12月中旬に現地確認を行い、各々の意見を出し合い、今後の対応について協議した。

- a) 現地目視点検では、2018年点検と比較して大きな損傷の進展は見られない。
- b) コンクリートは粗骨材がなくモルタル状となっており、施工時に材料分離が生じたものと考えられる。
- c) 2018年の橋面舗装打ちかえ工事の際、局所的に品質不良がみられ、コンクリート表面には貫通クラックが確認されたが橋面防水工を設置しているため雨水の進入は防止できている。
- d) 前回点検から3年が経過しており、可及的速やかな対応が望まれる。

【協議結果】

路下が一般国道24号現道となっており、放置すると重大な第三者被害を引き起こす可能性があるため、これを

機に対策を実施する。

対策は、炭素繊維シート貼付け、鋼板接着などが提案されているが、コンクリートの品質不良やひびわれが大きくブロック状に進展しており、損傷程度が大きいため部分打替えを検討することになった。

(3) 詳細調査

詳細調査は、既存の床版コンクリートの強度、静弾性係数、中性化、塩化物イオン量などを把握するため、損傷箇所近傍でコアを採取して非破壊試験を実施した。

表解-4.7 静弾性係数の標準値¹²⁾

コアの圧縮強度(N/mm ²)	コアの静弾性係数の標準値(kN/mm ²)
15以上21未満	8.4～17.8
21以上27未満	13.1～21.3
27以上35未満	16.2～25.8
35以上45未満	19.7～29.8
45以上55未満	19.1～34.2

出典：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物健全度診断マニュアル
2010年6月 独立行政法人土木研究所、日本構造物診断技術協会

表-3.1 床版コンクリート非破壊試験結果

コアNo	圧縮強度(N/mm ²)	静弾性係数(kN/mm ²)	中性化深さ(mm)	塩化物イオン量(kg/m ³) 0.3kg/m ³ 以下			
				深さ0-25mm	深さ25-50mm	深さ50-75mm	深さ75-100mm
No1	38.3	23.9	32.5	0.16	0.02	0.02	0.07
No2	28.7	21.9	31	0.11	0.02	0.07	0.02

コアNo1:G4-G5間損傷箇所付近、コアNo2:G2-G3間ひびわれ損傷ランクⅢ

非破壊試験の結果、圧縮強度・静弾性係数については表解4.7 静弾性係数の標準値に示す値となっており材料特性としては問題なかった。

中性化試験では、鉄筋の純被り30mmに対して中性化深さは最大32.5mm超となっており、既に鉄筋位置まで中性化が進行している。

塩化物イオン量は、0.3kg/m³以下となっており塩分量による塩害影響はない。

【非破壊試験結果のまとめ】

床版コンクリートの圧縮強度、静弾性係数については標準値内に収まっている。また、凍結防止剤散布による塩化物イオン量についても問題なかった。しかしながら、中性化の進行は既に鉄筋位置に達しており、目視による床版ひびわれの損傷状況と合致し、ひびわれの幅の進行がみられる。第7径間端部床版(G4-G5間)は、局所的に材料分離や中性化の進行は加水などによる施工不良や初期乾燥収縮ひびわれが損傷の要因になっていると考えられる。

4. 床版補修対策方針

(1) 緊急診断パネルの対策

第7径間で確認された床版パネルについては、写真-3で示すように損傷が著しく、母材の健全性に課題があるため、部分打替えを選択した。

(2) 緊急診断パネル以外の対策

緊急診断を実施した床版パネル以外については、写真-6の通り、ひびわれ幅0.1~0.2mmで亀甲状に進展してお

り(C1判定)、中性化が鉄筋位置まで達していることから、ひびわれ損傷の進展抑止と第三者被害予防の観点から炭素繊維シートによる剥落防止対策を選択している。



写真-6 第7径間以外の床版ひびわれの状況

5. 床版部分打替え

(1) 床版部分打替え時の留意点と対策

床版部分打替えに際して以下に示す点に配慮して実施した。

a) 部分打替え構造

部分打替え構造は、新旧コンクリートの打継部が支持桁で支持されるよう図-4.1に示す構造とした。

- 打継部は主桁上とした。
- 使用コンクリート材料は早強膨張コンクリートとした。(超速硬コンクリートは高強度となり乾燥収縮や新旧コンクリートとの強度差により、旧コンクリート打継に損傷が発生しやすい為。)
- 鋼板は、旧床版の鉄筋をそのまま活用するためウォータージェット研り時の防護、型枠、合成床版として活用する。

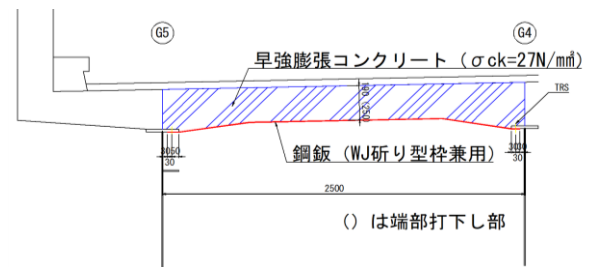


図-4.1 部分打替え構造

b) 支持桁のない中間打継部

支持桁のない中間継ぎ手部の構造を図-4.2に示す。

- 支持桁で受けられない中間継ぎ手部は、底鋼板を既設床版下面まで延長して擦り付けを行う。
- 新旧コンクリートの打継部は、応力緩和区間200mmとし材料強度差による衝撃緩和を考慮したものである。

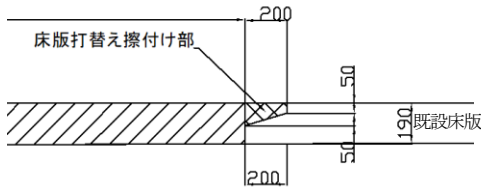


図-4.2 中間継ぎ手部の構造

c) 部分打替え目地部と舗装復旧範囲

図-4.3に示すよう床版打替え範囲と舗装復旧範囲は、床版打継部を包括するよう広めに復旧を行い打継部をずらして弱点とならないよう配慮した。

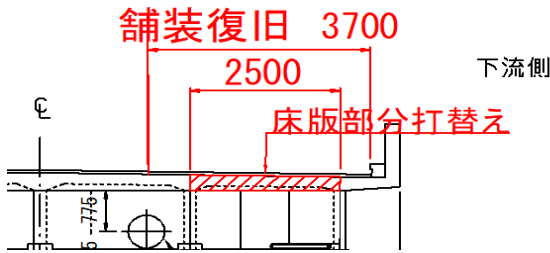


図-4.3 部分打替え目的と舗装復旧範囲

6. 施工方法

(1) 施工手順

図-6.1に施工手順図を示す。

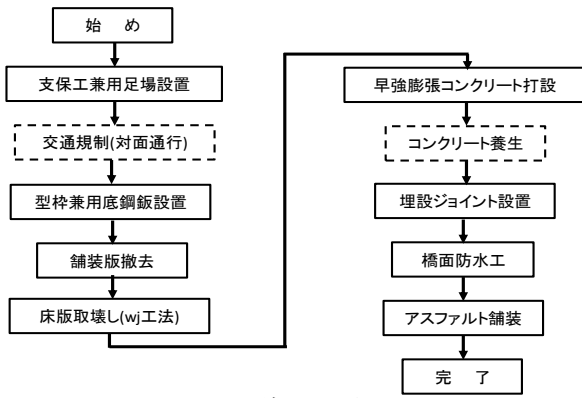


図-6.1 施工手順

(2) 交通規制

部分打替えは、図-6.2に示すように対面通行で一般通行帯を確保し、床版の取壊し、コンクリート打設養生、路面復旧完了までの期間で実施する。

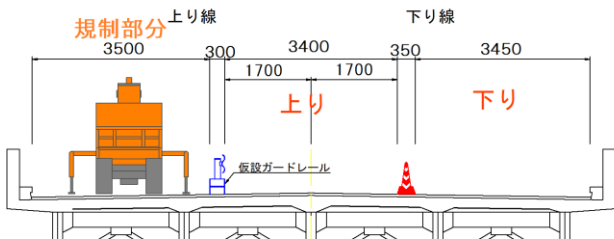


図-6.2 一般通行帯の確保

(3) 床版コンクリートの取壊し

床版の取壊しは、既設鉄筋をそのまま活用するため、ウォータージェット研りを行う。

写真-5, 6に施工のイメージ写真を示す。



写真-5 ウォータージェット研り状況



写真-6 取り壊し後

ウォータージェット研り時の汚濁水は吸引車で回収させる。研りガラ・汚水の回収用ベッセルを設置し、汚水を水中ポンプで回収しながら、研りガラは特殊吸引機で回収する。

(4) 早強膨張コンクリート

早強膨張コンクリート（27-12-20H）は、膨張剤入りのため試験練りを行い、材料の性能を確認して使用する。

膨張剤は、乾燥収縮ひびわれ抑制と新旧コンクリート打継部のひびわれ抑止対策として採用している。

養生は、湿潤養生とし標準的な養生期間として、表-6.1に示す日平均気温から決定する。

表-6.1 湿潤養生期間の標準

日平均気温	普通ポルトランドセメント	混合セメントB種	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5日	7日	3日
10℃以上	7日	9日	4日
5℃以上	9日	12日	5日

7. おわりに

床版の部分打替えは、これまで超速硬コンクリートを使用した事例で、新旧コンクリートと打継部において、旧コンクリート部に損傷が発生することが報告されている。これは、超速硬コンクリートの終局強度が高く、強度が低い旧コンクリート側の荷重負担が大きくなることやコンクリートの収縮により打継部にひびわれが発生し、雨水などが進入しやすいことなどがあげられる。今回は、旧コンクリートの強度バランスを考慮して以下の対策を行っている。

- 既設鉄筋を活用し、打替え床版と旧床版の剛度バランスを均衡させた。
- 早強膨張コンクリートを採用し、打継部の乾燥収縮影響に配慮した。
- 打継部を支持桁上に設けることにより、打継部への活荷重影響が低くなるよう配慮した。

今回の部分打替えは、一般交通を対面通行で処理することで橋面の施工ヤードを確保でき、早強コンクリート使用することで打替え床版の品質面に配慮できると

考える。

また、今回の床版打換えは、施工不良に加えひびわれ損傷が大きく進展していたことから、部分打替えを行ったもので、本来であれば炭素繊維シート貼り付けや鋼板接着工法など補修工法が選択できる早い段階で補修を実施すべきであったと考える。

今回の現地緊急診断、部分打換えに際してご協力頂いた
(一財)橋梁調査会、ショーボンド建設(株)京都支店、
(株)復建技術コンサルタントに深く感謝をいたします。

工事完成後に発生した歩車道境界ブロックの破損事例について

村岸 捺世

近畿農政局 農村振興部 地域整備課 (〒602-8054京都市上京区西洞院通下長者町下る丁子風呂町)

国道24号(木津川市山城町)の歩道整備工事において、工事完成後に歩車道境界ブロック(以下「縁石」という)が多数破損して浮き上がる事象が確認された。

縁石は、いずれも縦断方向に強い圧縮力が加わり、水抜き穴の隅角部が破損し、変形して浮き上がりが生じていた。

この事象について材料・施工・外力の影響による可能性を検討し、原因について調査を行い、発生原因について考察したものである。

キーワード 縁石・歩車道境界ブロック

1. はじめに

本工事は、国道24号 木津川市山城町椿井北野～落合地先において歩道整備(工事延長580m:両側歩道)を行う工事である。工期は2020年3月27日～2021年3月26日で、完成検査を3月25日に実施した。

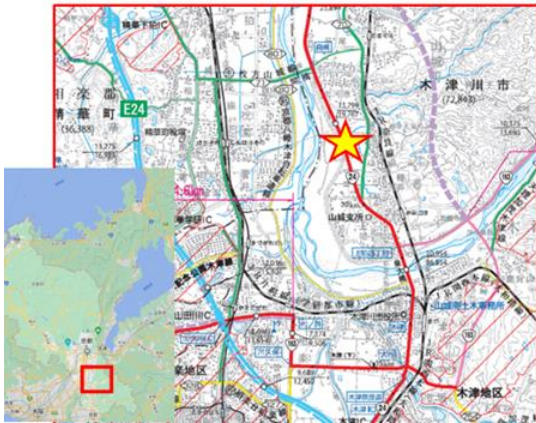


図-1 位置図

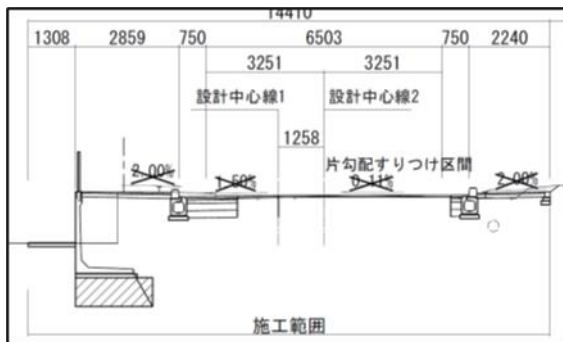
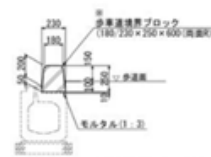


図-2 標準横断面

縁石工(A)
(一般部)



縁石工(C)
(乗入部帯付)

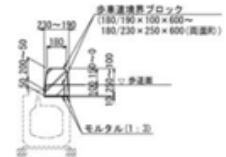


図-3 側溝構造図

検査の2週間後の4月7日、当該工事の担当現場技術員が現場にて縁石(水抜き用)が破損して浮き上がっていることを最初に確認した。



写真-1 縁石(水抜き穴付き)破損状況

破損が確認された縁石は、全て乗入部の斜型ブロック横に配置された水抜き穴付き縁石であった。縦断方向に強い力が加わったためにひび割れ浮き上がっている。

破損した縁石は全て穴あきタイプであるため、応力が

集中しやすい隅角部からひび割れが進行していた。
上記の原因について、施工業者、縁石メーカー、側溝メーカー、設計コンサルタントに見解を求めた結果、

表-1のとおり各者から回答があったが直接的な原因は不明であった。このため工事瑕疵と断定できず、引き続き原因を調査しつつ経過観察を行うこととした。

表-1 関係各者へのヒアリング結果

	回答
施工業者	弊社では、これまで側溝の上に縁石ブロックを設置した事例はなく、敷モルタル厚さ1cmでの据付調整は施工に苦勞した。 割れた原因は温度変化による膨張ぐらいしか思いつかないが、縁石の目地は剥離もクラックも起きておらず、可能性は低いと考える。
縁石メーカー	弊社の製品側溝の上に設置した実績はない。 円形水路の上に設置した事例はあるが、そちらで同様の異変は見られなかった。 通常、水抜き穴の下部はモルタル又はコンクリートで施工（閉合）する（※今回はアスファルトで仕上げている）。
側溝メーカー	側溝の上に水抜き穴付き縁石を施工している事例はあるが、損傷した事はない。 地盤が弱く、本線からの振動で、側溝と縁石の挙動の差が出た可能性がある。
設計 コンサルタント	水抜き穴付き縁石はJ I S製品ではない。 水抜き穴のサイズや用心鉄筋の有無は定められておらず、今回施工された製品は無筋であった。 他の同様の施工事例では、水抜き穴の下部はコンクリートもしくはモルタルで充填されている。 ①車両乗り上げ②大型車交通量が多い③地盤が軟弱であったの三点以外に損傷原因が見当たらない。 気になるのは、縁石と円形水路が敷モルタルで付着されているかどうか。付着が不十分なら縦方向にズレやすい。

さらに6月～2月にかけて経過観察を行った結果、11月までは新たなクラック発生が確認されるなど変状が進行していることが確認されたが、2月の調査では新たな破損

は確認されておらず変状は収束したものと考えている。
割れている箇所と発見日時を以下図-4、表-2に示す。

図-4 縁石ブロック異常箇所図

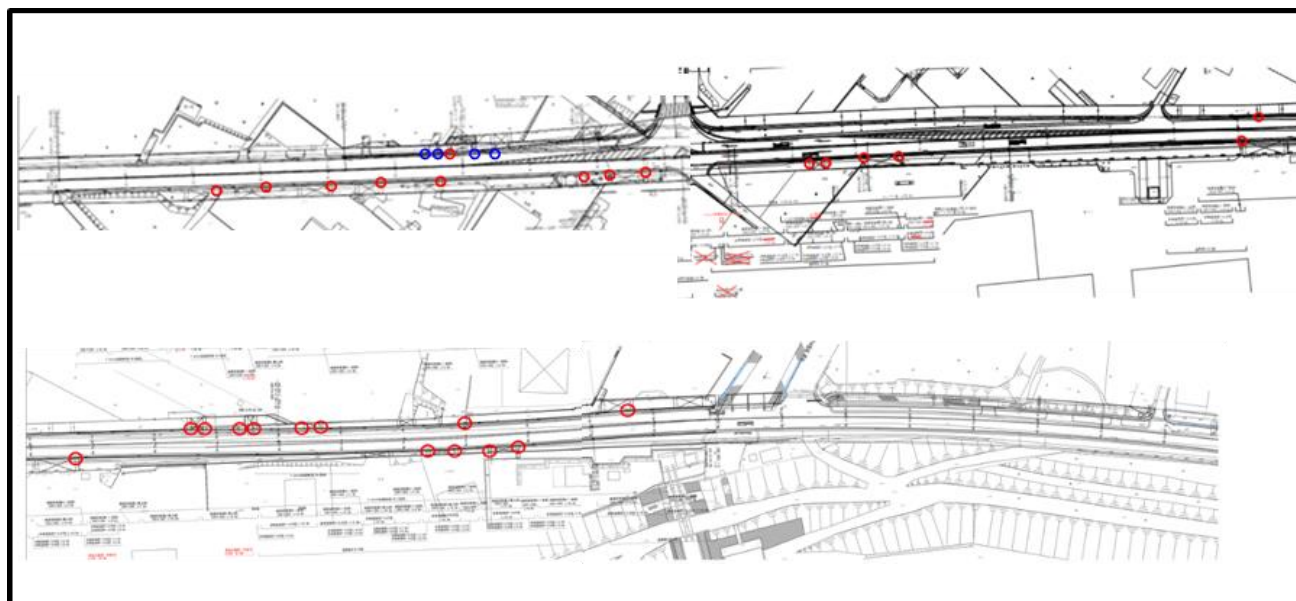


表-2 異常発見日一覧 (箇所)

日付	浮き上がり	クラック
2021. 4. 7	2	
2021. 6. 2	9	18
2021. 7. 28	1	-
2021. 11. 17	-	4
合計	12	22

2. 縁石の破損原因の検討

(1) 乗入部の斜型ブロックをタイヤが踏むことにより破損した可能性

乗入部から車両（特に大型車）が出入りする際、縁石（斜型ブロック）にタイヤが乗り上げ、縦断方向に押す力が加わった結果、縁石のひび割れや浮き上がりが生じた可能性を考えたが、ほとんど車両の出入りが無い乗入部においても破損が生じていたためタイヤによる外力が原因である可能性は低いと考えられる。

(2) エトリンガイトによる膨張の可能性

施工業者・設計コンサルタント等へのヒヤリングでは原因を特定する情報は得られなかったがWebで同様の事例を検索したところエトリンガイトの遅延生成（DEF）によって縁石が破損する事例があった。エトリンガイトとはコンクリート二次製品製造時に蒸気養生の温度が高温だったことが原因で生成される化合物で、二次製品の設置後に水分の供給などで発生し、膨張する性質がある。今回破損により撤去した縁石の断面に白い粉末が析出していたため、近畿技術事務所に成分分析等を依頼した。

エトリンガイトの主な発生条件は、以下の3点である。

- ①高温の蒸気養生
- ②過剰な硫酸塩が含まれている
- ③十分な水分供給がある

①高温の蒸気養生については、コンクリートブロックメーカーからの品質証明書及びヒヤリングの結果、異常な高温の養生は行われていなかったため、これについては割愛する。

本論文では、縁石および目地モルタル中に膨張成分（エトリンガイト）が含まれているか確認するために、各種検討を行った。

(a)試験内容

●粉末X線回折及び走査型電子顕微鏡（SEM）

縁石破断面に確認された白色析出物の鉱物同定を

行うとともに、縁石及び目地モルタルの硬化体中に膨張成分が含まれているかどうかを確認し、また、縁石破断面に確認された白色析出物の結晶形態を観察した。

●EPMAマッピング分析

また、縁石の断面に対して、エトリンガイトの生成領域を推定するため、主成分であるS（硫黄）、Al（アルミニウム）、Ca（カルシウム）の3元素について面分析を行った。

●コア残存膨張量試験

縁石（標準タイプ）からコア試料を採取し、既往文献を参考に試験コアを促進養生し、膨張量の測定を行った。

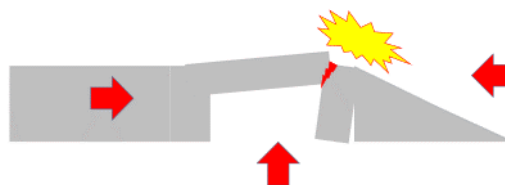


図-5 応力図

(b) 試験結果

●粉末X線回折及び走査型電子顕微鏡（SEM）

粉末X線回折による定性分析を行った結果、白色析出物はカルサイトを主成分とし、水酸化カルシウム及びエトリンガイトのピークは検出されなかった。

カルサイトは炭酸カルシウムの結晶であり膨張しないため破損の原因ではない。

また石英、長石類及び雲母類は骨材に由来するものとみられ、縁石ブロック及び目地モルタルでは石英が最も多く認められた。

水酸化カルシウム及びエトリンガイトはセメントの水和生成物であり、縁石では水酸化カルシウムのピークが、目地モルタルでは水酸化カルシウム及びエトリンガイトのピークが認められた。

これらの成分は、コンクリート用膨張材の反応生成物でもあり、コンクリート等の硬化体を膨張させる成分に該当するといえるが、膨張材を含まないセメント硬化体中にも存在する。従って、当該成分の含有が認められても、硬化体の膨張原因であるかどうかは判別できない。

また、走査型電子顕微鏡での観察についても、白色析出物はカルサイトでありエトリンガイトは発見できなかった。

●EPMAマッピング分析

マッピング像を図-6に示す

硫黄・アルミニウム・カルシウムのマッピング像では、白>赤>橙>黄>緑>青>紫>黒の順に濃度が濃くなる。

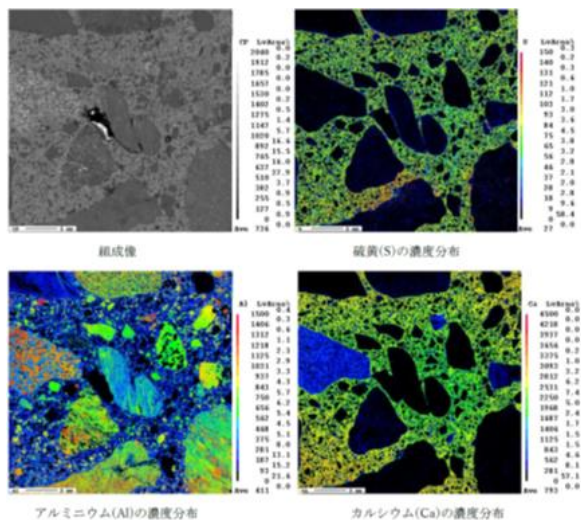


図-6 EPMA マッピング像

ほとんどが青と緑であり、エトリンガイトが生成される環境である特徴は見受けられなかった。

●コア残存膨張量試験

コアの長さの変化測定結果を表-1に示す。養生13週を経過した時点で膨張挙動は認められなかった。

以上の解析結果より、

目地モルタルにはエトリンガイトによる反応があったことが判明した。

しかし、含有が認められたとしても、膨張材を含まないセメントの硬化中にも存在する。従って、当該成分の含有が認められても、硬化体の膨張に影響したかどうかは判別がつかず、確認できた白色析出物は主としてカルサイトであった。

(3) 熱による膨張の可能性

発生前後の気候を、現地から最も近い京田辺市気象庁観測データより確認した。(図-7)



図-7 気象庁観測データ(京田辺市)

しかしながら検査日から最初の異常を確認した日まで(3月25日~4月7日)の平均気温は16°C以下であり、熱による異常膨張は考えにくく、また大きな温度変化があったとしてもコンクリートの膨張で生じるひずみは10°Cの変化で100μに対し、最大圧縮応力がかかる時のひずみが2000μと十分に大きい温度変化による膨張が原因の可能性は低いと考える。

3. 原因についての考察・まとめ

今回、エトリンガイトによる膨張を疑い、縁石および目地モルタルについて各種分析を行ったが、目地モルタルからエトリンガイトが検出されたものの膨張が起きていることは確認できず、原因の解明には至らなかった。

しかし施工業者より自主的に補修を行う申し出があったため以下の対策を行い補修を行った。

- 破損した縁石は全て「水抜き用」であったが、そもそも乗入れに近接した位置に水抜き穴を設ける必要性は低いため、現地の排水勾配等を考え「水抜き用」の使用は必要最小限とした。
- 縁石(水抜き用)設置時に穴の下部分をモルタルで閉合し、縦断方向の圧縮力に抵抗できるようにした。
- 縁石の目地にはモルタルではなく圧縮力を吸収できる発泡樹脂製の目地材を使用した。

今回の破損は縁石(水抜き用)を斜型ブロックの隣に配置したため圧縮力が水抜き穴の弱い部分に集中してしまったことが大きな要因と考えており、今後、同様の縁石施工を行う際の参考にしていただければ幸いです。

参考文献

- 1) 土木学会：高温蒸気養生を行ったコンクリートにおけるDEF膨張に関する検討

- 2) 土木材料調査等業務 国道 24 号山城町北河原縁石ブロック分析試験結果報告書

道路トンネルの点検及び診断にかかる 新技術の活用及び選定方法について

田中 直子¹・増田 寛四郎²

¹近畿地方整備局 近畿道路メンテナンスセンター 技術課 (〒573-0094大阪府枚方市南中振 3-2-3)

²近畿地方整備局 企画部 技術調査課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44) .

道路トンネル定期点検は、近接目視によることが基本であるが、点検の効率化、高度化を目的として点検支援技術の積極的採用に取り組んでいる。点検支援技術を採用する際には「新技術利用のガイドライン（案）」に基づくものであるが、「点検支援技術性能カタログ」などの技術を採用すべきか慎重に対応することが重要となる。本報告では、活用した技術の精度と判定、診断の目安を整理し選定の際の参考とすることを目的としたものである。

キーワード 道路トンネル定期点検、点検支援技術

1. はじめに

道路構造物の定期点検において新技術を活用するための指針として「新技術利用のガイドライン（案）」¹が示され、使用する技術のプロセスや留意点等がまとめられている。使用の判断をするにあたり現場条件や対象の構造等を把握し、技術の特性、および仕様を勘案することになり、近畿道路メンテナンスセンターでは「点検支援技術性能カタログ」に掲載された技術を参考に使用する技術の選定を行っており、積極的採用に取り組んでいる。

新技術は、現場作業の効率化に伴うコスト削減や機械化による作業員の安全性向上およびデジタル化に伴う品質確保等、あらゆる場面で従来方法との優位性が図られると考えられるが、使用に当たっては近接目視と同等の診断ができると判断する必要があり、対象構造物の置かれている環境が違う等の理由により、技術選定においては慎重な対応となっている現状がある。

当センターでは新技術の積極的採用をおこなっていることは上記に述べたが、道路トンネルにおいて使用した新技術採用のプロセス等を報告するとともに、必要となる着眼点や課題の整理方法、他施設管理者の今後の指標となる事項の報告を行うものである。

表-1 変状種類及び変状区分との関係²

変状種類	変状区分		
	外力	材質劣化	漏水
①圧ざ、ひび割れ	○	○	
②うき、はく離	○	○	
③変形、移動、沈下	○		
④鋼材腐食		○	
⑤巻厚の不足または減少、背面空洞		○	
⑥漏水等による変状			○

割れやうき・はく離等の変状をスケッチと写真により記録し、対策区分を判定し、トンネルの健全性の診断を行っている。また、打音検査によりうき・はく離が確認された場合には叩き落としなどの応急措置を講じることとなる。

対策区分の判定は、表-1 に示す変状種類を変状区分に区別して実施することとなる。変状区分とは、トンネルに発生した変状種類に対する対策の考え方や変状の発生要因を意味している。例えば、ひび割れは、トンネル周辺地山からの外力による場合とコンクリートの温度膨張、収縮等による材質劣化による場合が考えられるが、専門技術者はひび割れの発生方向やパターンから変状原因を推定し、外力であれば、外力による判定の目安を用いて対策区分の判定を行うこととなる。

2. 道路トンネル定期点検の概要と課題

道路トンネル定期点検は、近接目視を基本として、必要に応じて打音検査や触診等を併用して実施するものである。近接目視、打音検査等の状態の把握により、ひび

3. 点検支援技術の概要

(1) 点検支援技術の開発と導入の背景

従来のトンネル点検手法は、交通規制を必要とし、専門技術者が徒歩や高所作業車を用いて実施した結果を点

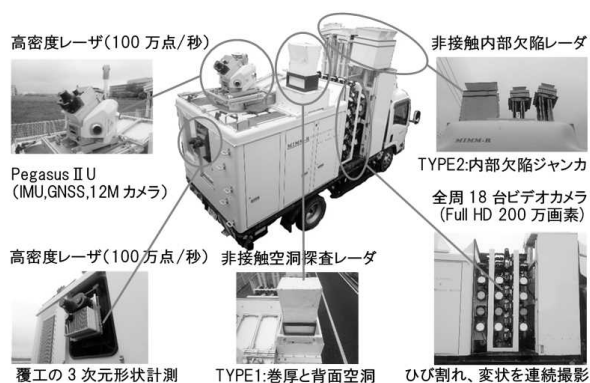


図-1 点検支援技術機器の例³⁾

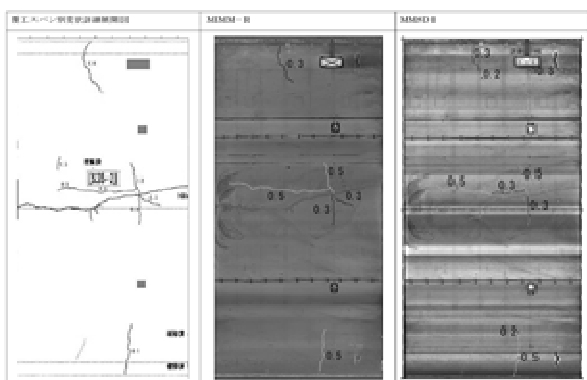


図-2 画像計測技術による出力の例⁴⁾

検表及び変状記録図に記録するというものである。個人の技量差により評価のばらつきが発生する可能性や、変状の見落とし等のヒューマンエラーの恐れも想定される。

また、交通規制はトンネル利用者に大きな負担をかけると同時に、渋滞等による交通事故の誘発も起こしかねない。この問題を解決するべく、トンネル点検の支援技術として新技術が開発され、活用されるようになった。

一方、道路トンネル点検要領は、2019年3月に改訂され、近接目視と打音検査に対する新技術導入の考え方が示された。

要領によると、所要の品質として自らの近接目視によるときと同等の対策区分ができるのであれば、その他の方法で状態を把握することが可能となった。

また、2020年6月には、国土交通省より点検支援技術性能カタログ(案)³⁾ (以下「性能カタログ」と記載)がとりまとめられ、定期点検で点検支援技術の活用を検討する場合、性能カタログに掲載された技術を参考にすることが可能となった。また、今後の技術開発の進展に応じ、性能カタログに掲載した技術は適宜見直しを行う予定となっている。性能カタログでは、画像計測技術、非破壊検査技術、計測・モニタリング技術、データ通信技術が掲載されている。以下にこれらの技術の概要を示す。

(2) 画像計測技術

画像計測技術は、車両に搭載したCCDカメラやラインセンサーカメラ等と照明設備によりトンネル覆工コンク

リート表面を撮影し、変状を客観的に捉える技術である。撮影した画像にもとづき、ひび割れや漏水等の変状をAIや画像解析技術を用いて抽出し、健全性診断の基本となる変状展開図を作成するものである。性能カタログに掲載されている技術では、0.2mm程度のひび割れが認識できる精度を有している。従来の点検で作成されていたスケッチによる変状展開図と比較して客観的な情報を得ることができ、また、変状の見落とし防止に寄与できるものと考えられる。

(3) 非破壊検査技術

非破壊検査技術は、画像計測技術では把握できないトンネル覆工内部のうき・はく離や巻厚、覆工背面空洞などの変状を高出力レーザーやレーダ、音響等を用いて検知する技術である。また、非破壊検査技術にはレーザースキャナーを用いたトンネル断面形状計測の技術も含まれている。

性能カタログに掲載されている非破壊検査技術の開発目的は多様であり、打音異常を数値化し客観的に評価するものや現地における打音検査の効率化を目的として内部欠陥等の異常範囲をスクリーニングする技術などがある。

(4) 計測・モニタリング技術

計測・モニタリング技術では、主に附属物の脱落検知やレーザースキャナーによるトンネル断面形状計測技術がある。道路トンネル点検における計測・モニタリング技術は照明や内装板等の附属物の脱落や変形に着目した計測技術が掲載されている。

(5) データ収集・通信技術

データ収集・通信技術は、IPカメラやひずみ変位測定器等のデータを無線または有線でパソコンやスマートフォンに伝送する技術が掲載されている。

4. 点検支援技術による支援内容

新都市社会融合創造研究会「トンネル点検支援技術の高度化研究プロジェクト」⁴⁾において、点検支援技術のユースケースと対応技術について検討されている。

トンネル点検における点検支援技術の活用において、考えられるユースケースは、前述の表-1に示すとおり、道路トンネル定期点検要領における「変状の種類」が挙げられる。変状の種類は6ケースあり、変状の区分として、「外力」「材質劣化」「漏水」との関係で整理される。変状の種類として、①圧ざ、ひび割れ、②うき、はく離、③変形、移動、沈下、④鋼材腐食、⑤巻厚の不足または減少、背面空洞、⑥漏水等に対して、画像計測、レーザ計測、レーダ探査による点検支援の可能性と従来点検の

近接目視、打音検査の要否について検討結果を表-2に示す。

表-2 点検支援技術のユースケースと対応技術 ⁴⁾に一部修正加筆

変状の判定項目		使用する技術分類	技術分野	適用性
①圧ざ・ひび割れ (外力)	外力性判定	計測・モニタリング	レーザ計測	◎
	ひび割れ幅、長さ、進行性、ひび割れ密度	画像計測	画像計測	○
	微細ひび割れ	画像計測	画像計測	△
	遊離石灰・漏水	画像計測	画像計測	△
②うき・はく離 (材質劣化)	うき・はく離	非破壊検査	非接触レーダ探査	△
		計測・モニタリング	レーザ計測	△
	ひび割れ閉合、材質劣化	画像計測	画像計測	○～△
	ジャンカ、はく離、かけ	画像計測	画像計測	△
③変形、移動、沈下	変形速度	計測・モニタリング	レーザ計測	◎
	変色、劣化、漏水	画像計測	画像計測	△
④鋼材腐食、鉄筋腐食	腐食面積	画像計測	画像計測	○
	断面欠損	非破壊検査	内部欠陥レーダ	△
⑤巻厚不足、背面空洞	覆工巻厚	非破壊検査	非接触レーダ探査	△
	圧縮強度	—	—	×
	背面空洞深さ	非破壊検査	非接触レーダ探査	△
⑥漏水	漏水、遊離石灰、つらら、側水	画像計測	画像計測	○
	漏水量の判定	—	—	×
	滞水、土砂流出、凍結	画像計測	画像計測	△
⑦附属物	異常の有無	画像計測	画像計測	△

※1: ◎: 高機能化, ○: 代替, △: 補完, ×: 現状の技術では代替・補完が難しい

表-3 点検支援技術の計測精度と判定、診断の目安の関係 ⁴⁾に一部修正加筆

変状種類	要素	計測精度	対策区分の判定・健全性の診断における目安	診断時の留意事項
①圧ざ・ひび割れ	幅	【矢板工法】ひび割れ幅1.0mmを検出(状態の把握における対策区分の判定可能)	ひび割れ幅3.0mm程度(目安例/0.3mm以上 ^{※1)} ⇒ひび割れ幅1.0mm程度	左記要素含め、ひび割れ密度、進行性(③参照)なども考慮する必要がある(はく落に繋がるものにも注意が必要)。また、左記要素に追加し、ひび割れ最小分解能: 0.3~0.5mm、ひび割れ幅の検出: 0.5mm刻みとする。
	長さ	ひび割れの長さ及び、進行の有無	ひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図(維持管理便覧/付属資料)のひび割れ形態が分かるレベル	
	位置	ひび割れの位置及び、ひび割れ状況(密集、外力性の有無)	ひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図(維持管理便覧/付属資料)の発生位置が分かるレベル	
	色識別	変色箇所、豆板、漏水箇所等のひび割れの有無	コンクリートに入ったひび割れが確認できるレベル(断面修復箇所、豆板などの材質劣化が確認できるレベル)	
②うき・はく離	大きさ	長さが0.05m以上の規模 ^{※2)} が分かるレベル(近接目視と同等と想定)	長さが0.05m以上の規模 ^{※2)} が分かるレベル(近接目視と同等と想定)	左記要素含め、うき・はく離に繋がる外力性ひび割れ(①参照)、変形・移動・沈下(③参照)に伴ううき・はく離などにも配慮する必要がある
	検出率および的中率	従来点検と同等レベル	従来点検と同等レベル	
③変形・移動・沈下	位置	ひび割れの位置(目地、コールドジョイント)及び、ひび割れ状況(密集、外力性の有無)	アーチ、側壁並びに横断目地・水平打ち継ぎ目・ひび割れ合いなどの見分けができるレベル	進行時期、停滞時期も存在する可能性が高いため、複数年での監視が必要
	変形・移動・沈下量	誤差2mm程度	1mm以上/年	
④鋼材腐食	位置	覆工、路面、歩道、監視員通路、監査廊など(坑門工は不可)	ひび割れに対する変状原因推定のためのチャート図(維持管理便覧/付属資料)の発生位置が分かるレベル	山岳トンネルにあるひび割れ防止筋なのか、RC構造なのかに留意が必要
	色識別	鋼材腐食の色判別(鋼材の断面欠損やうき錆の100%検出は困難)	コンクリートと鋼材並びに鋼材腐食が分かるレベル	
⑤巻厚不足または減少、背面空洞	大きさ	(非接触レーダ探査) 巻厚45cm、巻厚30cm以下の場合には空洞100cm程度が確認できるレベル	巻厚30cm以上もしくは30cm以下の場合の空洞高さ30cm以上が確認できるレベル	巻厚は設計巻厚と有効巻厚が必要で、巻厚不足は巻厚のみ、突発性崩壊は巻厚と背面空洞で判定することに留意が必要
	形状	(非接触レーダ探査) 巻厚45cm、巻厚30cm以下の場合には空洞100cm程度が確認できるレベル	巻厚30cm以上もしくは30cm以下の場合の空洞高さ30cm以上が確認できるレベル	
	位置	アーチの天端、肩より天端側、肩より側壁側かなど(診断にはあまり影響ないと思われる)	アーチの天端、肩より天端側、肩より側壁側かなど(診断にはあまり影響ないと思われる)	
	検出率および的中率	従来点検と同等レベル	従来点検と同等レベル	
⑥漏水等による変状	強度 ^{※3)}	(コンクリート強度試験で確認)	コンクリート設計基準強度との対比ができるレベル	利用者への影響度合いで判定し、路面に発生する滞水状態についても留意が必要
	位置	噴出、流下、滴水の検出(にじみは、壁面の汚れなどの関係で100%検出は困難)	アーチ、側壁などの見分けができるレベル	
	色識別	漏水、遊離石灰、凍害(つらら、側水)の有無	にじみ、滴水、流下、噴出などの漏水と遊離石灰、つらら、側水などが見分けられるレベル	

※1) ひび割れ幅0.3mm以上(維持管理便覧/凡例より)

※2) 現場点検作業において、うきを変状展開図に記載する大きさであり、経験値に基づく規模

※3) 強度は支援技術以外での対応

道路トンネル定期点検における多くの変状種類で、代替や補完による点検支援が可能と判断される。特に変形・移動・沈下、鋼材腐食・鉄筋腐食、巻厚不足・背面

空洞の3項目については、目視などによる点検よりもさらに高機能化が図れる技術であると判断できる。ただし、各計測技術には、適用限界や一定の性能があるため、活

用にあたってはそれらに留意して適切に使用する必要がある。

画像計測やレーザ計測を取入れることで、多くの場合、目視が不要、または確認程度の実施で十分となる。しかし、うき・はく離の評価に対して打音検査を省略することは困難であると判断される。

点検においては、これらの計測技術を活用して省力化や効率化を図ると同時に、必要により目視点検や打音検査を併用した上で、診断を行うことが望ましい。

道路トンネル定期点検要領に則って状態把握および対策区分の判定を行うことを念頭に画像計測、レーザ計測、レーダ探査により6つの変状を調査・評価するための支援の可能性について評価を行った。それぞれ可否の特徴は存在するものの、すべての変状においてその適用性が確認された。

6. 点検支援技術の選定手法

(1) 点検支援技術の精度と判定、診断の目安との関係

画像計測、レーザ計測、レーダ探査技術等を活用し、従来点検に対してどこまでの支援ができるか、これまでの検証結果を踏まえ、外力性・材質劣化の判定、定期点検要領の判定目安、健全性診断への支援方法など点検要領に対する支援内容と支援レベル（補完・代替・高機能化）を整理した。

表-3 に計測精度に対し、道路トンネル定期点検要領で診断するための必要な目安値との関係について、道路トンネル定期点検要領等を参考に整理した結果を示す。

(2) 適用するトンネル条件

支援技術の適用効果が期待されるトンネルについて整理する。支援技術を適用することにより得られる情報には、画像情報や覆工表面の三次元点群座標のほか非破壊検査技術を活用することによる覆工の内部欠陥や空洞の情報があり、その多くは従来点検では得られないものである。トンネルの劣化が経年的進行であるとするならば、前回点検時のこれら情報と新規に取得した情報を比較し、多様な着目項目について経年変化を客観的に提示できる支援技術はすべてのトンネルに適用価値があるといえる。

一方で、支援技術には省力化、コスト削減の指向もあり、非常に短いトンネルや変状が極端に少ないトンネルにおいては、支援技術を投入することが省力化に繋がらない場合も生じる。

なお、トンネル覆工の変状進行速度はトンネル周辺地質の状況や積雪寒冷地や沿岸部などの環境条件により個々のトンネルで差が生じている。経年劣化している矢板工法によるトンネルだけでなく山岳トンネル工法（NATM）によるトンネルも同様の傾向がある。さほど経年劣化していないに関わらず変状が進行しているトン

表-4 点検コストと効率化⁴⁾

トンネル 点検 延長	トンネル変状 からの適用性	点検延長に伴う省 力化	摘 要
100m未満	小規模トンネルは低土被りで変状が発生しやすく適用性は高い	支援技術による省力化は期待できない	トンネル延長に関わらず、若経年で変状が進行している場合には、支援技術活用が推奨される
100～500m未満	同上	変状が少ない場合には支援技術による省力化が期待できる	
500m～1km未満	経年変化把握のため、支援技術の適用が推奨される	変状の多少に関わらず支援技術による省力化が期待できる	
1km以上	経年変化把握のため、支援技術の適用が推奨される	変状の多少に関わらず支援技術による省力化が期待でき適用性は高い	

ネルは、外力による作用を受けているか覆工コンクリートの材質劣化の可能性があり、将来的にひび割れの進行、うき・はく離の多発に繋がることから、経年変化を客観的に把握可能な支援技術の適用が強く推奨される。

(3) 点検コストと効率化

点検コスト削減や効率化の観点では当センターの発注業務の検討の結果、点検延長1km未満よりも1km以上に適用した場合の所要日数低減効果が大きいことが確認された。全国の道路トンネルの平均延長は約500mであり、500m～1km未満での適用性についても評価を加え、表-4に取りまとめた。

7. おわりに

本報告では、道路トンネル定期点検における点検支援技術の利用についてトンネルの変状種類毎に着目し選定方法を整理するとともに、適用するトンネル条件とコストおよび効率化について整理した。点検支援技術を活用する際の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省：新技術利用のガイドライン（案），2019.2
- 2) 国土交通省道路局国道技術課：道路トンネル定期点検要領，2019.3
- 3) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ，2021.10
- 4) 新都市社会融合創造研究会トンネル点検支援技術の高度化に関する研究プロジェクト：トンネル点検支援技術の高度化に関する研究成果報告書，2021.3

予防保全に向けた 橋梁の長寿命化修繕計画策定 に関する基礎資料について

藤村 知広¹・井上 謙¹

¹近畿地方整備局 近畿道路メンテナンスセンター 技術課 (〒573-0094 大阪府枚方市南中振3-2-3)

本報では、予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を図った長寿命化修繕計画の基礎資料作成について報告する。過年度検討¹⁾²⁾から最新の点検結果や管理事務所とのヒアリングを通じて精度の向上を図った結果、健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐサイクルを継続的に進めると経時的に健全度ⅠおよびⅡ判定橋梁の割合が増加し、長期的観点でのコストダウンが可能となる。

キーワード 戦略的修繕計画, 橋梁プロファイリング, 総合評価指標, 区間指標, 優先順位評価, A I

1. はじめに

平成26年度より橋長2m以上の道路橋については5年に1回の頻度で定期点検を実施することが義務付けられており、近畿地方整備局管内の管理橋梁数約4,900橋について、毎年1,000橋程度ずつ定期点検を実施している。

その定期点検結果を基に、各事務所にて修繕計画を策定しているところであるが、近畿地方整備局管内における修繕計画策定に関する現状として、早期措置段階である健全度Ⅲの橋梁については、各事務所において次回点検までに修繕が完了するよう、工事発注を実施してきた。

これに加え、予防保全段階である健全度Ⅱの橋梁の対策にも着手している状況であるが、健全度Ⅲのように次回点検までに修繕を完了するといった修繕ルールが明確でない。

本報では、予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を図った長寿命化修繕計画の基礎資料作成について報告する。

2. 戦略的修繕計画のポイント

戦略的修繕計画のポイントは、「橋梁プロファイリング」と「区間指標を導入した優先順位評価」により健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐものである¹⁾²⁾。

図-1に示すとおり、従来の修繕計画では健全度Ⅲ判定の解消のみが進められるため、健全度Ⅱから健全度Ⅲへ

の進行を食い止められず、健全度Ⅲ判定がいつまでも解消されない状態であった。本検討では、健全度Ⅱから健全度Ⅲになる橋梁の解消を「橋梁プロファイリング」と「区間指標を導入した優先順位評価」を用いて重点化することで、修繕費用が高価となる健全度Ⅲ判定が漸減し、トータルコストを縮減することが可能となる。

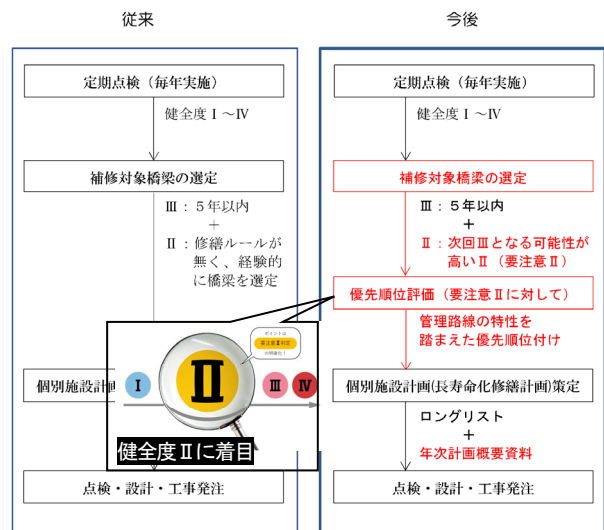


図-1 修繕計画の流れにおける従来と今後の違い

3. 橋梁プロファイリング

(1) 概要

健全度Ⅱの橋梁について、新都市社会技術融合創造研究会「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」³⁾の統計分析手法を活用し、橋梁全体の耐荷性能に影響を与

える損傷の分析を行い、修繕を重点化すべき損傷や部材の検討を行った。

平成26年度から平成30年度まで実施の定期点検を1巡目点検、令和元年度から実施の定期点検を2巡目点検として、橋梁定期点検結果をデータベースに蓄積し、ある損傷に対して、1巡目点検結果と2巡目点検結果の比較で部材間の劣化速度の違いを橋梁プロファイリング手法により分析した。その結果、図-2に示すとおり、劣化進行が早いグループ(要注意II)を抽出し、健全度IIの重点的な解消を目指す。

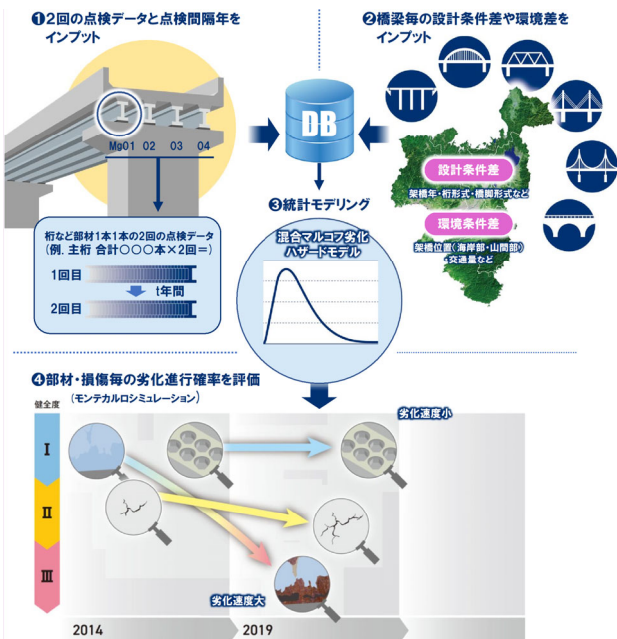


図-2 橋梁プロファイリングの流れ

(2) 優先順位決定手法

橋梁プロファイリングによる末端事象から頂上事象への統合イメージを図-3に示す。図-3は、末端事象から中位事象、頂上事象へプロファイリング結果を統合していく過程を示している。

- STEP1: 部材・損傷ごとに算出した健全度II→IIIとなる確率を算出
- STEP2: 同様に、全ての部材ごとに健全度II→IIIとなる確率を算出
- STEP3: 全部材で算出した健全度II→IIIとなる確率を算出し、橋梁全体でのリスク値と評価する。

このように橋梁プロファイリング手法を導入することで、複数回の定期点検結果から半自動的に橋梁全体で健全度IIから次回点検時に健全度IIIとなる確率を算出することが可能である。

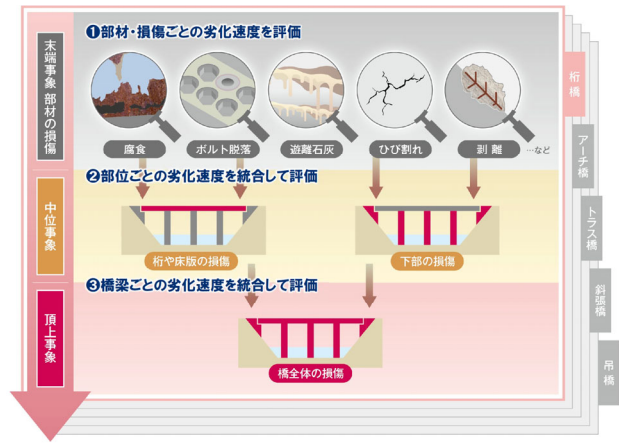


図-3 末端事象から頂上事象への統合イメージ

(3) 橋梁プロファイリングによる要注意II判定の抽出例

近畿地方整備局が管理する橋梁の定期点検データに橋梁プロファイリングを適用した事例を述べる。ここで、具体的な橋梁名は伏せていることに留意されたい。

近畿地方整備局管内の2巡目点検結果で健全度I、II判定の橋梁のうち、プロファイリング手法が適用可能となった約2,000橋を対象に確率（橋梁リスク）を算出した。表-1、表-2、表-3に、劣化速度：大・中・小の確率（橋梁リスク）の例示しているが、確率（橋梁リスク）の数値の大きいものから補修優先順位上位の橋梁の損傷例を示す。

表-1 補修優先順位上位の橋梁（劣化速度：大）

名称	建設年度	確率（橋梁リスク）
A橋	1974	0.0597
B橋	1975	0.0395
C橋	1961	0.0269
D橋	1974	0.0255
E橋	1974	0.0218



A橋の損傷例（劣化速度：大） C橋の損傷例（劣化速度：大）

図-4 劣化速度：大の損傷例

表-2 補修優先順位上位の橋梁（劣化速度：中）

名称	建設年度	確率（橋梁リスク）
F橋	1975	0.0203
G橋	1975	0.0046
H橋	1975	0.0043
I橋	1975	0.0035
J橋	1975	0.0034



F橋の損傷例(劣化速度:大) H橋の損傷例(劣化速度:大)

図-5 劣化速度:中の損傷例

表-3 補修優先順位上位の橋梁(劣化速度:小)

名称	建設年度	確率(橋梁リスク)
K橋	1934	0.0024
L橋	1975	0.0017
M橋	1964	0.0015
N橋	1973	0.0012
O橋	1997	0.0007



M橋の損傷例(劣化速度:小) H橋の損傷例(劣化速度:小)

図-6 劣化速度:小の損傷例

(4) 橋梁プロファイリングによる補修優先順位のまとめ
補修優先順位の決定手法として、橋梁プロファイリング手法を導入することで、橋梁定期点検結果から半自動的に健全度Ⅱから次回点検時に健全度Ⅲとなる確率を算出することが可能である。その確率(橋梁リスク)を用いて、橋梁の補修優先順位付けを行った。

4. A I による健全度ⅡがⅢへ推移する橋梁予測

(1) 概要

橋梁プロファイリングによる分析を行えない橋梁については、A I (アソシエーション分析) を併用して健全度を判断する取り組みを実施している。アソシエーション分析とは「データベースに潜む最も興味深いルールを抽出する」ことを目的とした分析手法である。「条件Aである場合、結論Bである確率はいくらか?」という問いを繰り返し、「現時点で最も主観的確率の高い真実」を特定するベイズ統計学を応用した手法であり、従来のマーケティング分析で主に用いられている。

具体的には、各橋梁の点検結果内の所見テキストから形態素解析でキーワードを自動抽出し、集積した結果から健全度を判断した(図-7)。

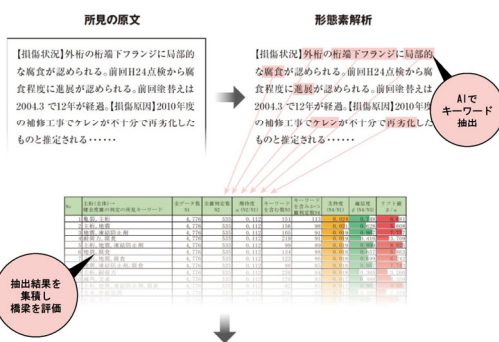


図-7 A I による分析概要

(2) 健全度Ⅲ判定要因の分析結果例

例えば、主桁端部に「腐食」が存在する場合、「凍結防止剤」を含んだ橋面水からの漏水と「地震」が同時に記載された所見において、健全度Ⅲ判定となることがAI分析から分かった(表-5)。正解率は87%と高くなる結果となった。また、偽陰性の割合も78%と高くなった。偽陰性率が高いことから、再分析の余地はあると考えられる(表-4)。

表-4 A I による評価指標結果(鋼主桁の例)

	予期Ⅲ (Positive)	予期ⅠorⅡ (Negative)	偽陰性割合 (及び正解率)
事実Ⅲ (True)	85	297	78%
事実Ⅱ (False)	8	1917	—
評価指標	9%	—	87%

コメント: ←見逃し多い (偽陰性率が高い)

表-5 A I による予測結果(鋼主桁の例)

No.	上部(左側)～橋面状態の判定の見えキーワード	全データ数 (N1)	全データ数 (N2)	確率 (α (N1/N2))	キーワードを含む全データ数 (N3)	確信度 (β (M/N3))	リスク (α・β)	リスク (α・β)
1	腐食	545	114	20%	133	0.026	0.0052	0.70
2	凍結防止剤	545	309	57%	119	0.022	0.231	2.90
3	地震	545	114	20%	119	0.022	0.240	2.98
4	漏水	545	151	28%	113	0.021	0.228	2.86
5	主桁	545	151	28%	113	0.021	0.228	2.86
6	凍結防止剤	545	114	20%	110	0.020	0.226	2.86
7	主桁	545	114	20%	110	0.020	0.226	2.86
8	凍結防止剤	545	114	20%	105	0.019	0.215	2.81
9	主桁	545	114	20%	101	0.018	0.211	2.78
10	主桁	545	114	20%	98	0.018	0.208	2.75
11	主桁	545	114	20%	98	0.018	0.208	2.75
12	主桁	545	114	20%	91	0.017	0.201	2.68
13	主桁	545	114	20%	91	0.017	0.201	2.68
14	主桁	545	114	20%	81	0.015	0.189	2.42
15	主桁	545	114	20%	81	0.015	0.189	2.42
16	主桁	545	114	20%	77	0.014	0.177	2.35
17	主桁	545	114	20%	77	0.014	0.177	2.35
18	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
19	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
20	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
21	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
22	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
23	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
24	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
25	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
26	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
27	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
28	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
29	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
30	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
31	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
32	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
33	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
34	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
35	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
36	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
37	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
38	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
39	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
40	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
41	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
42	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
43	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
44	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
45	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
46	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
47	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
48	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
49	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16
50	主桁	545	114	20%	69	0.013	0.161	2.16

例えばNo. 33「地震、凍結防止剤、腐食」は、
与単語(組合せ)の出現頻度
内訳: 3つの単語を含むⅢが85件/全4,776件(主桁) = 0.018
与単語(組合せ)の出現時にⅢ判定に結びつく可能性の高さ
内訳: 3つの単語を含むⅢが85件
3つの単語を含むⅢが85件
内訳: 確信度0.867/(全Ⅲ545件/全4,776件(主桁)) = 7.601

支持度(A=B) = 条件部(A)と結論部(B)を含むデータ数 / 全データ数

確信度(A=B) = 条件部(A)と結論部(B)を含むデータ数 / 条件部(A)を含むデータ数

リフト値(Lift) = 確信度(A=B) / 全データ数の中で結論部(B)を含む割合

(主桁の腐食を例として)
主桁端部に「腐食」が存在する同時に、「凍結防止剤」を含んだ橋面水の漏水と「地震」する状況が同時に記載された所見において、必ずⅢ判定がなされていることがAIによる分析結果から導かれた。
この結果は、橋梁維持管理に従事する技術者との判断とも合致しており、厳しい腐食環境下において急速な腐食が進展を懸念し、次回点検までに構造安全性の観点で措置が必要と判断したと推察される。

5. 区間指標を導入した優先順位評価

(1) 概要

橋梁単体の健全度だけでなく、前後区間にあるその他構造物の健全度やネットワーク機能などの状況も加味して、健全度Ⅱの橋梁の重点解消箇所を決定するために、管理路線の維持管理リスクに着目した優先順位を評価する総合評価指標⁴⁾を導入した。

ここで総合評価指標とは、道路施設に求められる3つの性能(①耐荷性能、②災害抵抗性能、③走行安全性)に着目した評価指標であり、定期点検データを用いて各評価指標を100点満点で数値化して、健全、要補修、要緊急対策の段階の判別ができる。

図-9に優先順位評価のイメージを示す。管理路線の維持管理リスクを I_R とする。

I_R の大小は対象構造物群の健全度 I_S と、路線のネットワーク機能の重みを I_N の合算値で評価する(式(1))。対象構造物群の健全度 I_S は対象構造物により構成され、橋梁、トンネル、防災施設群の3つの合算値とした(式(2))。また、路線のネットワーク機能の重み I_N は一般に区間の複数の属性(防災上の要因、交通特性、沿道特性等)により構成され、ここでは交通量、橋梁第三者被害可能性、DID地区、迂回路の合算値とした(式(3))。これらを1kmの区間で合算し、便宜上100を満点とし、数値が大きいほど健全と定義した(式(1))。この評価では、区間全体の健全度が低く、ネットワーク機能上のリスクが大きい区間は修繕優先度が高く評価される。

$$I_R = \frac{1}{2} \{ I_S + I_N \} \quad \dots(1)$$

$$I_S = I_{橋梁} + I_{トンネル} + I_{防災点検} \quad (\text{ただし、} 0 \leq I_S \leq 100) \quad \dots(2)$$

$$I_N = I_{交通量} + I_{第三者被害} + I_{DID} + I_{迂回路} \quad (\text{ただし、} 0 \leq I_N \leq 100) \quad \dots(3)$$

(2) 区間指標を導入した優先順位評価結果

前項で示した区間指標の検討過程を図化した。以下に、検討過程を示す。

- ステップ①：構造物ごとの健全性を算出した結果。代表として、橋梁の健全性評価結果
- ステップ②：橋梁、トンネル、防災施設の健全性評価を区間平均した結果
- ステップ③：路線のネットワーク機能指標(交通量、橋梁第三者被害可能性、DID地区、迂回路)の結果
- ステップ④：構造物の健全性と路線のネットワーク機能を合算した区間指標評価結果(図-10)

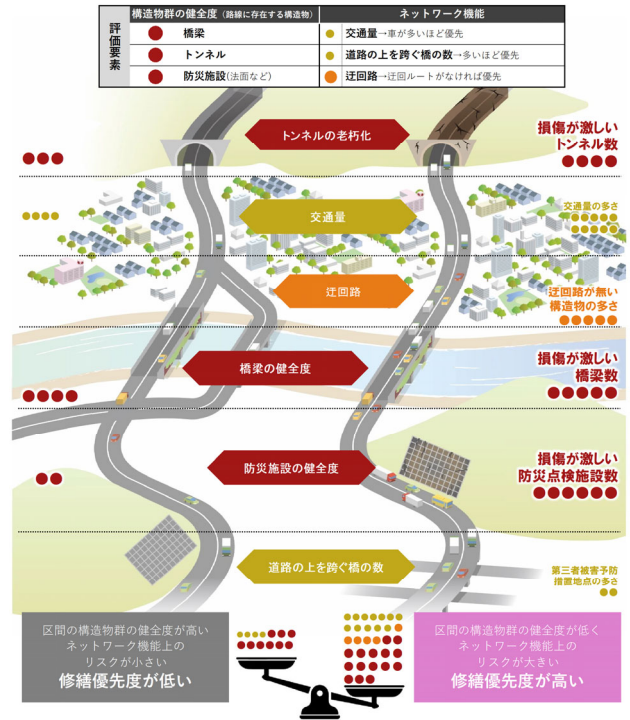


図-9 区間指標を導入した優先順位評価のイメージ

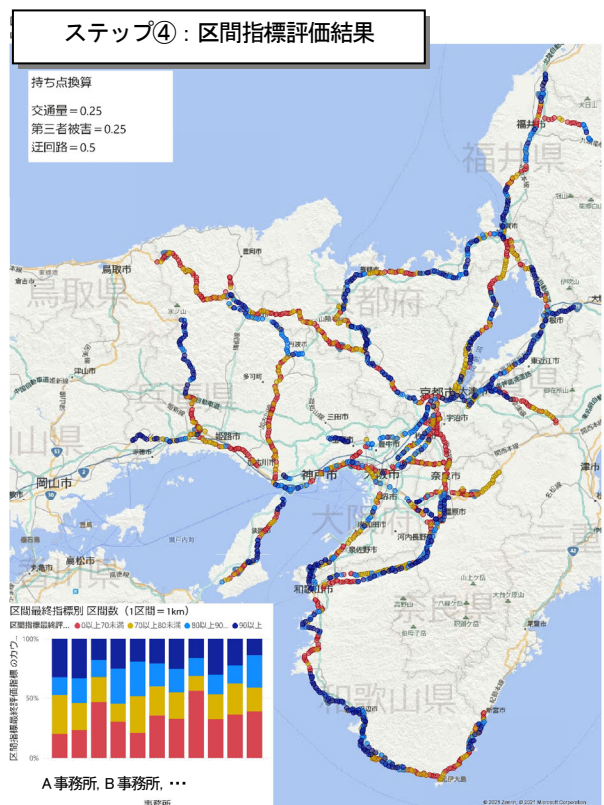


図-10 区間指標評価の結果

6. 修繕計画の最適化

(1) 概要

各橋梁の補修規模及び補修概算額を基とした補修路線及び優先順位を作成・更新した。実施にあたっては、道路管理事務所への意見聴取を元に、課題抽出及び運用実効性のある修繕計画の最適化を行った。

(2) 事務所連携による最適化

各事務所へのヒアリングを行い、修繕計画の最適化を行った。主なヒアリング結果とその対応を表-6に示す。

7. 橋梁修繕年次計画概要資料

「橋梁プロファイリング」を用いて橋梁定期点検結果から半自動的算出した橋梁の補修優先順位と、構造物群の健全度・ネットワーク機能特性を考慮した「区間指標」による補修優先順位を両方考慮することで、戦略的な健全度Ⅱの補修優先順位付けを行った。

また、他の橋梁と横並びで見ることができるよう、①橋梁諸元、②健全度・点検年、③プロファイリング結果、④区間指標算出結果、⑤カルテ点検年、⑥対策内容・事業費を記載した(表-7)。

表-6 事務所ヒアリング結果とその対応

設問		結果の総括	対応内容																																																	
現状のⅡ対策順序		<ul style="list-style-type: none"> 対策順序は決まっていない。 耐震補強工事と同時。 不調対策を主目的とした工事ロットの調整。ただし、Ⅲ判定橋梁に近い橋のみ。 Ⅱ判定単独では工事発注しない。 	Ⅱ対策の順序は特に決まっていないという現状を確認した。今後は、橋梁プロファイリング結果(劣化速度大:Ⅲ判定に以降しやすいⅡ判定橋梁)を今後情報提供する。																																																	
【区間指標】 構造物群の健全性	順位	「どれも同じ」が5事務所で最多。橋梁、トンネルは防災点検施設より優位に評価される傾向。	構造物群の健全性の重み:橋、トンネル、防災施設(自然斜面)の重要度は、いずれも第三者への影響がある点で「どれも同じ」が5事務所と最も多かったことを踏まえ、構造物群の健全性の重みは均等とする。																																																	
	意見	<ul style="list-style-type: none"> 「どれも同じ」 交通へ支障をきたす意味では同じ。「橋、トンネル」 点検が法制化されている。 点検結果が解釈しやすい。 																																																		
【区間指標】 ネットワーク機能	順位	<table border="1"> <thead> <tr> <th>順位</th> <th>第三者</th> <th>交通量</th> <th>迂回路</th> <th>DID</th> <th>合計</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1位</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>複数回答有り</td> </tr> <tr> <td>2位</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>12</td> <td>複数回答有り</td> </tr> <tr> <td>3位</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4位</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>無回答</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>-</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	順位	第三者	交通量	迂回路	DID	合計	備考	1位	7	4	2	0	13	複数回答有り	2位	3	3	5	1	12	複数回答有り	3位	0	3	1	1	5		4位	0	1	0	5	6		無回答	1	0	3	4	8		合計	11	11	11	11	-		迂回路:重要な評価要素だが定義が曖昧とのご指摘があったため、重要物流道路および代替路・補完路を迂回路として、架橋地点の迂回率を算出し、迂回率1.5以上を「迂回路無」と再判定した。DID地区:評価指標から除外した。ネットワーク機能の重み:都市部と郊外部の評価要素の重みは均等とした。補足として、都市部では交通量大・橋梁第三者区間が多い傾向にあり、郊外部では迂回率が大きい傾向がある。
	順位	第三者	交通量	迂回路	DID	合計	備考																																													
1位	7	4	2	0	13	複数回答有り																																														
2位	3	3	5	1	12	複数回答有り																																														
3位	0	3	1	1	5																																															
4位	0	1	0	5	6																																															
無回答	1	0	3	4	8																																															
合計	11	11	11	11	-																																															
意見	<ul style="list-style-type: none"> 第三者被害有無が重視される傾向。 迂回路は、郊外の路線を有する福井、奈良、豊岡、和歌山では迂回路が上位だが、一方で、都市の路線が多い大阪、滋賀、姫路では下位。 交通量は、迂回路と逆の傾向。 DIDは重要視されない。 																																																			

表-7 橋梁修繕年次計画概要資料例

No.	カルテDB上の橋梁健全度	カルテDB上の高検年度	ロングリスト上の橋梁健全度	ロングリスト上の点検年度	プロファイリング結果		プロファイリング補完		修繕計画の最適化※1					区間指標最終(小保と優先)※2	(参考)Ⅱ対策年(平準化後)					
					橋梁リスク	優先対象	橋梁リスク	優先対象	区間指標-構造物群【100】	区間指標-ネットワーク群【100】	橋梁【34】	トンネル【33】	防災【33】		構造物点数【100】	交通量【25】	第三者【25】	迂回路【50】	迂回路【50】	事業費(百万)※3
A橋	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.091650	劣化速度大			19	33	33	35	25	6	0	31	58.3	(1.60)	2022	2025
B橋	Ⅱ	2019	Ⅱ	2019	0.116560	劣化速度大			0	33	29	162	15	0	50	65	63.3	(7.74)	2022	2023
C橋	Ⅱ	2019	Ⅱ	2019	0.072585	劣化速度大			18	33	33	34	25	25	0	50	65			
D橋	Ⅱ				0.033180	劣化速度大			29	33	30	32	25	25	0	50	71			
E橋	Ⅱ				0.034389	劣化速度大			27	33	33	33	25	0	0	50	71			
F橋	Ⅱ				0.0707	劣化速度大			7	33	33	33	25	0	0	75	73			
G橋	Ⅱ				0.0327	劣化速度大			34	33	33	33	25	0	0	75	75			
H橋	Ⅱ				0.0323	劣化速度大			19	21	33	33	25	0	0	75	75			
I橋	Ⅱ				0.033571	劣化速度大	0.07623742	A1判定	23	33	33	33	115	0	50	65	78			
J橋	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.053260	劣化速度大			24	33	33	30	115	0	50	65	73			
K橋	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.032940	劣化速度大	0.075023742	A1判定	17	33	33	33	25	0	50	75	79			
L橋	Ⅱ	2018	Ⅱ	2014	0.034881	劣化速度大	0.019927536	A1判定	23	33	33	39	15	5	50	70	79	(7.02)	2022	2023
M橋	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.064634	劣化速度大	0.075023742	A1判定	25	33	33	31	15	5	49	69	79	(0.72)	2022	2025
N橋	Ⅱ	2019	Ⅱ	2019	0.112480	劣化速度大			14	33	24	71	115	25	50	90	80	(0.50)	2022	2023
...	Ⅱ	2019	Ⅱ	2019	0.092018	劣化速度大			18	33	33	34	25	6	50	31	82	(13.12)	2022	2023
...	Ⅱ	2019	Ⅱ	2019	0.024933	劣化速度大			18	33	33	34	25	6	50	31	82	(13.12)	2022	2023
...	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.072591	劣化速度大			25	33	33	31	115	11	50	76	83	(8.81)	2022	2025
...	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.059444	劣化速度大			29	33	33	33	115	5	50	73	83	(0.50)	2022	2025
...	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.059444	劣化速度大			29	33	33	33	25	13	50	88	90	(0.50)	2022	2025
...	Ⅱ	2019	Ⅱ	2019	0.031400	劣化速度大	0.075023742	A1判定	27	33	33	33	25	13	50	88	90	(0.50)	2022	2023
...	Ⅱ	2020	Ⅱ	2020	0.122800	劣化速度大			22	33	33	38	25	18	50	93	90	(0.92)	2022	2023

8. コスト縮減効果

事務所平均で71%、事務所毎にばらつきはあるが43～88%のコスト縮減効果が確認できる(表-8)。

一般的にはⅢ判定へ遷移した後は構造安全性の観点から部材取替や補強など大掛かりな修繕内容となる傾向があり工事費が膨らむ傾向がある。そのためⅡ判定を維持した段階で簡便な修繕を行う方が安全面、コスト面の両面で優位な傾向となる。一方、補修工事では仮設工費が占める割合が大きく、補修回数が大きいと逆に工事費を増大させる懸念があるため、劣化進展リスクがあるⅡ判定損傷に絞り込むなど、メリハリをつけた予防保全を行っていく必要がある。

表-8 予防保全効果(コスト縮減率)の算定結果

事務所名	劣化速度大		縮減率 (1-①/②)
	①Ⅱ	②Ⅱ⇒Ⅲ	
A事務所	135.07	1108.91	88%
B事務所	71.58	132	46%
C事務所	85.46	246.52	65%
D事務所	147.84	452.02	67%
E事務所	257.99	737.3	65%
F事務所	75.17	131.09	43%
G事務所	68.12	395.67	83%
H事務所	206.15	387.77	47%
I事務所	66.33	197.6	66%
J事務所	28.27	209.14	86%
K事務所	118.29	409.95	71%
合計	1260.27	4407.97	71%

9. まとめ

予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を図った長寿命化修繕計画の基礎資料作成について報告した。

その結果、図-11に示すとおり、Ⅱ判定からⅢ判定への進行を未然に防ぐサイクルを継続的に進めると経時的にⅠおよびⅡ判定橋梁の割合が増し、安全・安心な暮らしの創出につながる。また、長期的観点でのコストダウンが可能となる。

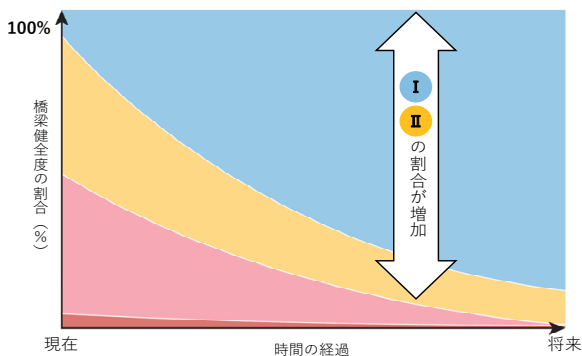


図-11 橋梁健全度と修繕費の経時変化イメージ

今後の主な検討課題を以下に示す。

- ・ プロファイリングでは様々な環境因子(点検データ上、観測不可能なものも含め)を1つの異質性パラメータに集約し考慮している。塩分量・かぶりといった観測可能な要因が異質性パラメータにどの程度影響しているかについて現状は明らかでないため、分析の深化が必要である。
- ・ 橋単位の健全度Ⅲの橋梁における健全度Ⅱ部材もリスク値を算出するような分析対象の拡張が必要である。
- ・ 迂回路設定において、重要物流道路および代替路・補完路による迂回路評価の他に事務所・出張所目線での迂回条件を反映していくことが必要である。

今後、2巡目点検結果をさらに蓄積して分析することで「橋梁プロファイリング」「AⅠ分析」の精度向上を図るとともに、各事務所へのヒアリング等を継続することで実効性のある修繕計画策定のための検討を引き続き行う。

謝辞：本稿の執筆にあたっては、大阪大学 貝戸清之准教授の多大なるご協力をいただきました。この場をお借りして感謝いたします。

参考文献

- 1) 河合良治, 貝戸清之, 吉津宏夫: 近畿地方整備局における橋梁補修施策マネジメントの取り組み～橋梁補修施策プロファイリング手法の活用～, 第4回 JAAM 研究・実践発表会論文集, pp.1-6, 2020, https://www.jaam.or.jp/research_publication/2020/document_list_2020.html
- 2) 増田寛四郎, 貝戸清之, 光川直宏, 塚田祥久, 井川理智: 近畿地方整備局における橋梁長寿命化修繕計画の取り組み, 第5回 JAAM 研究・実践発表会論文集, pp.173-179, 2021, https://www.jaam.or.jp/research_publication/2021/document_list_2021.html
- 3) 大阪大学大学院 工学研究科 貝戸 清之: 橋梁補修施策プロファイリング手法の開発, 令和元年度新都市社会技術融合創造研究会報告書, 2020.3.
- 4) 玉越隆史, 大久保 雅憲, 横井 芳輝: 平成 24 年度道路構造物に関する基本データ集, 国土技術政策総合研究所資料第 776 号, 2014.1.

供用後90年以上経過した跨線橋 (国道2号天神橋) の長寿命化修繕計画について

佐治 有基

近畿地方整備局 木津川上流河川事務所 調査課 (〒518-0723三重県名張市木屋町812-1) .

国道2号天神橋は、供用後90年以上経過したJR山陽本線を跨ぐ橋梁である。当該橋梁は、斜角23度を有する極端な斜橋で、昭和2年架設当初は下路式アーチ構造の橋梁のみであったが、昭和35年の複々線化に伴う改修工事にてRC桁橋と2径間連続鋼板桁橋を前後に追加し、年度も形式も異なった非常に複雑な混合橋であり、平成26年の橋梁定期点検において主桁、下横溝、支承等の鋼部材の腐食による変形・欠損、コンクリート部材の剥落・鉄筋露出による断面欠損等が判明し健全度Ⅲ判定となった。これを受けて平成27年度より損傷に応じた部分的な補修を実施してきたところであるが、非常に古い橋でありかつ構造が複雑で各部材の応力状態や品質状況が不明であるため、今後の長寿命化修繕計画の策定のために橋梁各部材の状況把握の調査及び分析を実施し、現状での総合的な健全度評価及び今後の劣化予測を実施したので、高齢化した道路ストックの長寿命化を推進する一事例として報告する。

キーワード 復元設計, 天神橋, 詳細調査, 橋面防水

1. はじめに

国道2号天神橋は、昭和2年(1927)に架設された跨線橋である。JR須磨駅の東1kmの地点に位置し、国道2号がJRを跨ぐ立体交差橋梁である。かつては、神戸市電の電気軌道が通り、昭和43年に須磨駅一衣掛町間が廃止されるまで、天神橋を越える市電の姿は須磨を代表する点景であった。

本橋は、H7年に兵庫県南部地震を経験し、架設から93年が経過した高齢化橋梁である。「海浜公園須磨天神橋B0補修(2016.3.30~2023.2.1)」にて大規模修繕工事が実施されており、橋脚・橋台・擁壁・RC桁・RC床版・のびわれ補修、断面修復、剥落防止対策、工部材の全塗装塗替、あて板補修等が実施されている。



図-1 国道2号天神橋位置図

2. 天神橋の概要

天神橋は1927年(昭和2年)に竣工し、当時は神戸市路面電車も供用していたが、33年後の1960年(昭和35年)にJR複々線化に伴い現在の構造に改築された。

天神橋の総延長は247.73m、跨線橋とそこに至るスロープすなわち擁壁・盛土工部からなり、跨線橋長77.15m、神戸側土工部72.02m、明石側土工部98.56mである。本橋の特徴としては、JR山陽本線を斜角23度で交差し、二つの単元アーチ構面は橋軸方向に大きく離れており、上部工は下路式アーチ・鋼板桁・RC桁で構成された混合構造となっており、多柱式のRCラーメン橋脚で支持されている。このうち鋼板桁部はJRの複々線化(S35)に伴い一部撤去されたラーメン橋脚の代わりとして改修・追加されたものである。

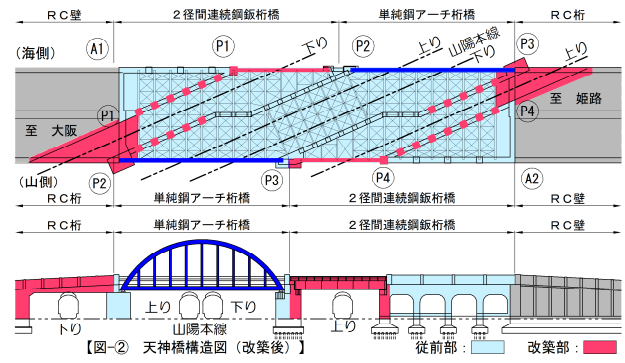
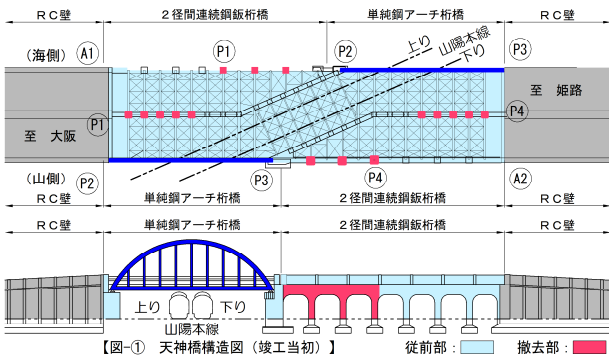


図-2 天神橋の改築概要

3. 損傷状況

2019年度定期点検結果をもとに損傷概要を整理した。補修工事期間中に行われており、主桁等の鋼材腐食がⅢ判定、コンクリートのひびわれ、剥離・鉄筋露出などがⅡ判定（うきにⅢ判定有）として報告されている。

①上部構造：鋼部材

主桁・下横構、支承およびアーチ部材において腐食が著しく、減肉、断面欠損、一部では破断が生じている。床版からの漏水や飛来塩分の影響と推測される。早急に耐力回復を目的とした措置を行う必要がある。また、橋面防水の実施も検討する必要がある。



写真-1 鋼部材の損傷写真

②上部構造：コンクリート部材

RC桁については、第2、4径間にうき（C2判定）が見られる。施工不良や重交通が原因と推測される。耐力回復を目的とした措置を行う必要がある。



写真-2 コンクリートの損傷写真

③下部構造：橋台

橋台擁壁、柱部・壁部において、うき、剥離・鉄筋露出、ひびわれ（C1）が生じている。伸縮装置からの漏水、施工不良（かぶり不足等）、乾燥収縮が原因と

推測される。これについては「海浜公園須磨天神橋B0補修（2016.3.30～2023.2.1）」にて補修済みである。



写真-3 橋台の損傷写真

④橋面・防護柵・地覆・伸縮装置

橋面コンクリート舗装は前回点検時に舗装の異常がみられたが、H29（2017）に伸縮装置とあわせてR1年度定期点検時には補修済みであった。防護柵、地覆については減肉を伴う腐食（C1判定）が見られ、路面排水および雨水の滞水が原因と推定される。耐久性確保を目的とした措置を行う必要がある。前回点検時にS1として報告されていた損傷（剥離・鉄筋露出、うき等）は補修されていたが、再発している箇所もあった。



写真-4 橋面等の損傷写真

⑤支承本体、アンカーボルト、落橋防止システム

支承本体およびアンカーボルトにおいて前回点検からおおきな進行は見られないが、腐食が著しく、塗膜は剥がれ、一部に板厚減少・欠損が生じている。（C2判定）。



写真-5 支承部の損傷写真

4. 現況構造の把握

(1)構造調査（耐久性能の確認）

1)鋼材関係調査

①鋼材断面欠損調査

調査概要

鋼材の健全度評価の指標を得るため、超音波厚さ計等による断面欠損調査(板厚測定)である。代表部材の減厚程度の顕著な箇所をランダムに調査した。なお、すでに孔食している漏水が顕著な部分は当て板補修が予定されているため対象外とし、できるだけ漏水の影響を受けない一般的な箇所を選定した。

$$\text{板厚減少率}(\alpha) = (\text{ta}-\text{to}) / \text{ta}$$

(ここに、ta:健全部板厚, to:減肉部板厚)

調査結果と考察

各部材の板厚減少率は 0.2~0.3 程度であるが、中でも主桁下フランジの減少率が最も高い。別途復元設計結果により、天神橋の応力度は許容値に対して概ね 20%程度の余裕がある断面となっている。また、部分的な板厚減少でもあることから今すぐ耐荷性能に影響を及ぼすこ

とはないものと考えられる。

②鋼材硬さ試験

調査概要

天神橋は鋼材の材質が不明であり、竣工当時の基準により全て SS400 クラスと想定されるが、今後の耐荷力や耐久性の評価、補修・補強の基礎資料とするため、機械的性質(引張強度)を推定するための硬さ試験を実施する。

調査結果と考察

ビッカース硬さ(HV)の平均値とし、この値より JIS換算表を用いて引張強さを求めた。引張強さは、412~604N/mm²であり、天神橋が建設された年代より推測される“SS400”の規格値(400~510)以上の値であり、構造部材としての所定の強度を保有していることが確認できた。なお、表-1⑦⑧⑨については改築桁(S35)、それ以外は竣工時(S2)に製作された部材であるが、年代による硬さ、強度の違いはとくにみられない。

Items Test Rule	材質 Material Grade	部材区分 (年度)	ビッカース硬さ HV				引張強さ 換算値 N/mm ²	規格値 (SS400)			
			1回目	2回目	3回目	Ave		SS330	SS400	SS490	SS540
①アーチ補剛桁 (上フランジ)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	196	176	195	189	604	330~430	400~510	490~610	540 ≤
②アーチ補剛桁 (下フランジ)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	156	144	157	152	495	330~430	400~510	490~610	540 ≤
③アーチ吊材 (下端)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	139	148	132	140	455	330~430	400~510	490~610	540 ≤
④主桁(単純桁) (上フランジ側)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	152	155	169	159	514	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑤主桁(単純桁) (下フランジ側)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	145	151	148	148	481	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑥改築 I 桁 (上フランジ側)	SS400 (想定)	改築 1960(S35)	140	142	149	144	464	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑦改築 I 桁 (下フランジ側)	SS400 (想定)	改築 1960(S35)	142	149	146	146	473	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑧改築横桁 (上フランジ側)	SS400 (想定)	改築 1960(S35)	175	194	182	184	590	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑨主桁(二径間) (上フランジ側)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	158	162	156	159	514	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑩主桁(二径間) (下フランジ)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	123	123	131	126	412	330~430	400~510	490~610	540 ≤

表-1 鋼材硬さ試験調査結果一覧表

示方書	鋼道示 1939(S14)	鋼道示 1956(S31)	溶接鋼道示 1957(S32)	鋼道示/溶接鋼道示 1964(S39)
鋼板・型钢	SS41	SS41	SS41, SM41, SM41W	SS41, SM41, SM41W, SM50A

表-2 使用鋼材の変遷

③鋼材引張試験

調査概要

天神橋の鋼材材質推定、静的引張強さほか鋼材の力学特性把握のために引張試験を実施。(JIS Z 2241)

支間中央の単純桁部のウェブとし、応力に余裕があり、輪荷重が直接載荷しない箇所を選定した。120×120mmのブロックで切り取り、引張試験片を 3 本作成し、引張強さ、耐力、伸び、SS線図および弾性率を測定する。

調査結果

降伏点は全て建設当時の想定使用鋼材である SS400 のJIS規格値 245N/mm² 以上、引張強さも所定の範囲内(400~510N/mm²)、ヤング係数も設計値とほぼ等しく橋梁鋼材としての所定の品質、強度であることを確認した。

・降伏点(平均値) : 266N/mm² > 245N/mm² ・引張強さ(平均値) : 444N/mm² (400~510N/mm²)

・ヤング係数 : 200, 333N/mm² > 200, 000N/mm²

④鋼材化学成分分析

調査概要

鋼材の化学成分の確認、耐荷性能・耐久性の評価、材料特性、溶接性の判断資料とする。主要元素の成分から炭素当量・溶接割れ感受性・硬化性などを評価する。(JIS G 0321) ※引張試験の供試体の端材を使用する。

金属の分析には通常ブロックまたは主要元素(C, S, Mn, P, S, ...)の成分を評価するものとし、本調査では、C, S, Nは高周波燃焼法、それ以外はスパーク発光分光分析(OES)を実施する。

調査結果

SS400 の化学成分は P と S しか規定がなく、これについてはいずれも規格値を下回っており、規定を満足している。しかしそれ以外の元素については、SM 材としての規定を全て満足するには至らなかった。

■国道2号天神橋/応力頻度測定および動的載荷による耐荷力照査結果

(単位: N/mm²)

No.	部材	部位	断面	(CASE-1) 解析による照査						(CASE-2) 応力頻度による照査						(CASE-3) 動的載荷			備考	
				死荷重 σD	活荷重 σL20	死+活 σD+L	許容応力 σa	判定	死荷重 σD	頻度最大 σmax	頻度/解析	死+活 σD+max	許容応力 σa	判定	解析値 σ20ton	実測値 σ20ton	実測/解析			
① Ch-1	アーチ・補剛桁	上フランジ	4-L-203*203*19 (H-864×W-920)	26.3	-19.9	6.5	140	0.05	OK	26.3	-7.0	0.352	19.3	140	0.14	OK	-6.2	-1.3	0.21	*上側: 圧縮 (中路的)
② Ch-2		下フランジ		43.5	33.4	76.9	140	0.55	OK	43.5	13.0	0.389	56.5	140	0.40	OK	13.4	3.6	0.27	*下側: 引張 (中路的)
③ Ch-3	アーチ・吊材	下部	2-「300*90*9*13 (H-300×W-514)	68.9	47.9	116.8	140	0.83	OK	68.9	8.0	0.167	76.9	140	0.55	OK	21.0	2.2	0.10	*引張部材
④ Ch-4	アーチリブ	上フランジ	Π (762*21, 2-610*22), 4-L-152	-25.2	-16.0	-41.3	-140	0.29	OK	-25.2	-9.0	0.561	-34.2	-140	0.24	OK	-7.1	-2.0	0.28	*圧縮部材
⑤ Ch-5	単純I桁	上フランジ	I-863(13)×318(9.5), 4-L-152	-57.0	-59.2	-116.2	-140	0.83	OK	-57.0	8.0	-0.135	-49.0	-140	0.35	OK	-25.6	1.7	-0.07	*床版埋設断面のため圧縮
⑥ Ch-6		下フランジ		57.0	59.2	116.2	140	0.83	OK	57.0	10.0	0.169	67.0	140	0.48	OK	25.6	3.7	0.14	*下側: 引張
⑦ Ch-7	改築I桁	上フランジ	I-400(19+16)×1900(12)×350(19+10)	-83.1	-41.0	-124.0	-133	0.94	OK	-83.1	-14.0	0.342	-97.1	-133	0.73	OK	-17.9	-4.1	0.23	*上側: 圧縮 (中路的)
⑧ Ch-8		下フランジ		97.6	48.1	145.8	140	1.04	NG	97.6	13.0	0.270	110.6	140	0.79	OK	21.1	4.4	0.21	*下側: 引張 (中路的)
⑨ Ch-9	改築横桁	上フランジ	I-175(22.8)×610(12.1)×175(22.8)	-86.3	-104.5	-190.8	-140	1.36	NG	-86.3	8.0	-0.077	-78.3	-140	0.56	OK	-40.5	2.3	-0.06	*床版埋設断面のため圧縮
⑩ Ch-10		下フランジ		86.3	104.5	190.8	140	1.36	NG	86.3	11.0	0.105	97.3	140	0.69	OK	40.5	3.6	0.09	*下側: 引張
⑪ Ch-11	鋼二径間連続I桁	水平補剛材	I-316(9.5)×863(9.5)×316(9.5)	-28.2	-62.1	-90.3	-140	0.65	OK	-28.2	6.0	-0.097	-22.2	-140	0.16	OK	-18.8	1.2	-0.06	*床版埋設断面のため圧縮
⑫ Ch-12		下フランジ		28.2	62.1	90.3	140	0.65	OK	28.2	13.0	0.209	41.2	140	0.29	OK	18.8	3.5	0.19	*下側: 引張

表-3 応力頻度測定・動的載荷試験結果表

⑤ 応力頻度測定・動的載荷試験

調査概要

復元設計の結果を踏まえ、主要部材(アーチ、鋼I桁、主桁)について、供用荷重や既知荷重による耐荷力照査(ひずみ計測)を実施するとともに解析モデルの妥当性を検証する。新設橋脚部が反力を受けているかどうかも確認、応力頻度測定は、「応力頻度測定要領(案)H8.3」に準拠し、平日の連続3日間(計72時間)「ピークバレー法(15側点)」によってデータを取得・整理する。動的載荷は20tonの試験車両で実施する。静的載荷試験も実施。

■ 応力頻度結果と考察

別途実施した解析による照査結果(TL-20)において応力度超過となっていた改築I桁および横桁は、供用荷重による耐荷力照査では応力度を満足する結果となった。一方、活荷重について解析値と実測値を比べてみると、解析のフル載荷に比べて、応力頻度の割合は、20%~50%程度となっている。構造別にみると、アーチリブは突出し50%、補剛桁、改築I桁(中路的)は30~40%、床組み桁は10~20%である。(表-3)

■ 動的載荷試験結果と考察

解析値と実測値を対比すると、構造別の比率の傾向は応力頻度とほぼ同じであるが、アーチや補剛桁などでは20~30%、床組み桁で10%程度であり、応力頻度に比べるとさらに低い値となっている。

- ・アーチリブ、補剛桁: 0.27~0.28、
- ・改築I桁: 0.21~0.23、
- ・床組み桁(単純I、改築横、二径間I): 0.09~0.19

これまでの経験では、通常のI桁橋では、実測値/解析値は概ね、0.3~0.5程度の場合が多く、今回はこれと比べかなり低めとなっている。とくに、床組み桁の数値が低い、これは床版の影響が大きく寄与している可能性がある。天神橋の床版厚は400~600程度と非常に厚く、さらにI断面の上1/3程度がコンクリートに埋設されており、かなり剛性の高い断面となっている。しかし、解析ではこの床版の剛性を無視しているため、応力が大きめに出ていると考えられる。また、分厚い床版のため横分配効果が大きいことや、高欄・地覆・

舗装・遮音壁など、設計では抵抗断面として考慮していない部材の余剰効果や、旧多径間ラーメン橋脚と床版が一体構造となっていることも一因となっているものと思われる。

⑥ 表面塩分測定

調査概要

国道2号は天神橋は海岸線より200m以内に位置し、道路橋示方書の塩影響地域(地域区分C、対策区分Ⅲ)に該当する。鋼材の腐食は、橋面漏水のほか、飛来塩分による塩害の影響が懸念されるため、表面塩分濃度の把握が必要。

調査結果と考察

橋の外側では20mg/m³未満であるのに対し、内側では200mg/m³以上と10倍以上の高い数値がでていた。これは風による洗浄効果の有無による違いであると推定される。また、路下の列車の走行による巻き込み現象の影響も考えられる。

2) コンクリート関係調査

① 鉄筋腐食度調査

調査概要

RC構造物の鉄筋の腐食は、ひび割れの発生、剥離、鉄筋の断面欠損等により構造耐力の低下を引き起こすため、非常に重要である。したがって、床版・橋脚・橋台の鉄筋はつり調査とあわせて鉄筋の腐食状況を確認する。

調査結果

漏水が顕著に見られるが、鉄筋は腐食度Ⅰ、Ⅱと比較的健全であり、中性化も一部をのぞきほとんど鉄筋まで達していなかった。

② コア採取によるコンクリート試験

調査概要

RC構造物の材料の健全度、耐荷性能・耐久性の評価、および損傷と各種物性値の相関を確認するため、圧縮強度・静弾性係数・中性化・塩分含有量・水セメント比(W/C)・骨材分析等の室内試験を実施したものである。

調査結果と考察

RC床版部の圧縮強度は現行基準の24N/mm²以上であ

り、中性化もほぼ理論値通りで鉄筋位置での塩分も0.8kg/m³<1.2kg/m³と発錆限界値以下であった。

RCラーメン橋脚部の圧縮強度は14箇所中4箇所が現行基準の21N/mm²以上の値、残りの10箇所は16~18N/mm²であり、施工時期の違い(建設・改築)や損傷程度(漏水、ひびわれ)による差はあまり見られない。静弾性係数も圧縮強度と同様若干低めである。(15~17<23.5N/mm²)昭和2年の建設当時は強度の規定はなく、許容曲げ圧縮応力度(4.5N/mm²)から3倍相当として換算すると13~14N/mm²程度であり概ね設計値以上の品質を確保できていたものと思われる。中性化も鉄筋位置までは進行しておらず、塩分濃度も鉄筋位置ですべて1.2kg/m³以下であった。一方、セメント量が250kg/m³以下で現在の一般的なセメントと比べて少なく、水セメント比も高くなっているが、ASRは軽微であった。

③床版はつり調査

調査概要

天神橋は竣工当初、神戸市電が運行しており、旧軌道断面(バラスト部)が未改築のまま充填され凹部に滞水などが生じていることが考えられる。したがって、路面からののはつり調査により、床版厚、床版構成、旧軌道部の処理等を確認した。併せて中央分離帯部の情報BOX(光ケーブル)の敷設状況についても確認した。

調査結果

中央分離帯の深さは約200mmであり、情報BOX光ケーブル(Φ50×9条)が敷設されていることを側部より確認した。FEP管は埋設シートと土により埋め戻され、保護コンクリートで蓋がされている。床版上面まで掘削し、Φ50コアで削孔を試みたが、既設配筋に干渉するため途中よりΦ25mmの小径コアに取替えて、床版貫通コアを採取した。断面構成は、調整コンクリートとみられる上層床版(35cm)と境界層(タール系)RC床版本体とみられる下層床版(35cm)を確認した。床版厚厚については別途補修工事の3D測量断面とほぼ同じ厚さであることを確認した。旧軌道部の当初の構造は不明だが、床版上部はきちんとコンクリートが打設されている。おそらく、RC床版(35cm)に横断勾配の調整コンクリート(5~20cm)が敷設され、その上にアスファルト舗装と想定される。(H29舗装工事にて、舗装厚は14cm(~17cm)であることを確認)

3)その他調査

①擁壁変状調査・定点観測測量

調査概要

H26点検にて、堅壁と防護柵のうき、ひびわれの原因が「沈下・移動・傾斜」でS1と判定されていることから、スラント、トランシット測量による傾き程度の確認および今後の経過観察・追跡調査のため測量点を設置した。

調査結果と考察

場所打ちの擁壁工は水平変位の基準は定められてい

ない。橋台工は、傾きではないが水平方向の変位の規格値(±50mm)が定められている。一方補強土では高さに対しての鉛直度(水平変位)として0.03h(300mm以内)の規格が定められている。あくまで参考ではあるが、今回の擁壁の水平変位はこれらの規格値を満足する程度の数値であることがわかった。ちなみに橋脚天端の地震時の残留変位の指標(h/100)を当てはめてみると、P3擁壁(KTA)とP2擁壁(KTD)で若干数値を上回っていることがわかる。

②地質調査

調査概要

擁壁や橋台の沈下・変状の可能性が指摘されていること、また今後の耐震性能照査の際の地盤種別や液状化の有無の判定のためのボーリング調査を行った。

調査結果と考察

深度5~6m付近にN値34~50(平均46)と密な締まり具合の砂礫層(洪積層Dg1)が分布しているため、比較的深度の浅い位置に支持層(Dg1もしくはDg2)があり、液状化の危険度の低い良質な地盤であることがわかった。

(2)復元設計

目的

天神橋には竣工当時の設計計算書が無く、当時の設計思想や設計荷重、応力状態が不明である。損傷原因が老朽化や材料劣化に起因するものだけでなく、耐火性能不足による可能性もあるため応力状態の把握は重要である。(橋梁Dr意見)したがって、当時の基準により復元設計を行い、応力状態を確認する。

復元設計方針

CASE-1)当初モデル(昭和2年建設)

活荷重：自動車荷重(12t)、転圧機荷重(600kg/m²)、大正15年道路構造に関する細則案や当時の神戸市電500型電車も想定して、TL-12(当初)、TL-20(改築前)

CASE-2)現況モデル(昭和33年改築)

活荷重：TL-20(当時)およびTL-25(現行)

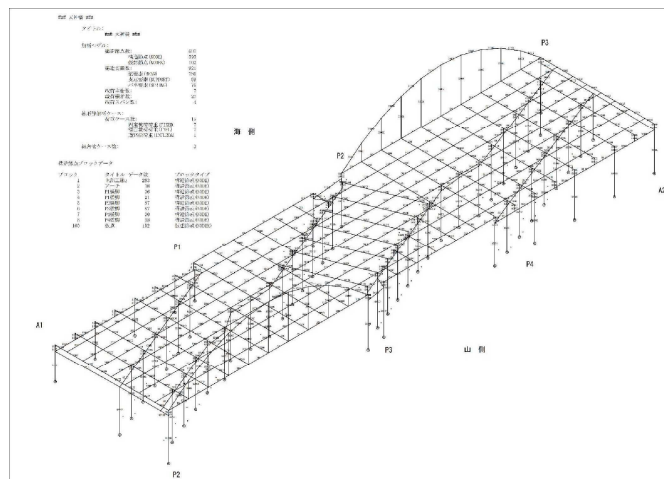


図-3 現況モデル

5. 補修設計

(1) 損傷状況の把握・原因究明

検討方針

定期点検および現地踏査、近接目視を基本とした評価・診断に加え、構造調査・復元設計で得た耐久性・耐荷性能を踏まえて損傷原因を究明する。

各部材の損傷原因

① 鋼部材

鋼部材の主要な損傷は桁端部・支承部・I桁したフランジ・部材接合部等の顕著な腐食や断面欠損、孔食である。主たる損傷原因は床版からの漏水であると考えられる。これはアーチリブや改築I桁など漏水の起こらない箇所では竣工後90年(改築部は60年)以上経過するが顕著な腐食が起こらないことから裏付けられる。

一方、耐荷性能の観点からは、国道2号は港湾や工場からの貨物輸送など交通量と大型車が多い重交通路線であるが疲労亀裂は発生していない。これは、現行のB活荷重に対しても概ね許容応力度内に収まっており、耐荷力に余裕があることが要因と考えられる。アーチは横支材を有しない単弦アーチであることから横倒れ座屈しないよう余裕のある断面で設計されていること、また、橋軸垂直方向主桁は上フランジ部分が床版に埋め込まれ、合成桁のような構造であること、さらには橋長に比べて橋脚が多く、橋全体としての剛性が高い構造であることが要因であると想定される。

② RC床版・RC桁

RC床版の損傷は、床版ひび割れ、うき、剥離・鉄筋露出、漏水・滞水などである。本橋は抜本的な床版防水工の記録が残っていないことから長年にわたり橋面からの漏水が続いていたものと推測される。うき、剥離・鉄筋露出については、施工不良や漏水による鉄筋腐食等が原因と考えられる。しかし、本業務での詳細調査の結果、中性化は鉄筋付近まで進行してはいたものの、鉄筋腐食度は軽微、圧縮強度は25~32N/mm²、塩分含有量は0.8kg/m³と材料としては比較的良好な状態だった。また、B活荷重による照査結果においても配力鉄筋は一部NGだが、主鉄筋およびコンクリートは許容応力度内であることから耐荷性能的には問題無いと考えられる。

③ 橋脚(柱・梁)

橋脚の損傷は、昭和~平成初期の点検では、ラーメン隅角部、橋台とRC橋脚梁等が報告されている。このうち、橋台とRC橋脚梁の接合部の損傷については、橋台擁壁とラーメン橋脚の梁が剛で接合されていることから、地震や地盤の変状温度変化等による挙動の違いにより発生したものと推測される。これらの損傷はその後の補修工事にてひび割れ補修や断面修復がなさ

れ現在では大きな損傷は発生していない。

コンクリートについては床版同様比較的良好であり、地震時L1レベルでは概ねOK、L2レベルまでOKである。

(2) 健全度評価・劣化予測

検討方針

国道2号天神橋の健全度および劣化予測は、橋梁寿命計画H26.9の基本思想にて実施される橋梁定期点検の判定・診断結果を活用して検討する。

健全度評価結果

前述の詳細調査をもとに以下の様な評価表を作成し、検討した結果、本橋梁は竣工から90年以上経過しているにもかかわらず、健全度が高く、耐荷性能も大きな問題が無いことが分かった。

(A-1) 耐久性評価結果【鋼部材】												
部材	降伏点(N/mm ²)		引張強さ(N/mm ²)		化学成分		腐食度		ASR		総合評価	
	試験値	評価	試験値	評価	結果	評価	試験値	評価	結果	評価		
アーチ	287	II	479	II	-	-	0.22	III	-	-	II	
改築I桁	282	I	471	II	-	-	0.34	III	-	-	II	
主桁	266	II	444	II	SS400	II	0.31	III	-	-	II	
対橋脚・橋樑	-	-	-	-	-	-	0.28	III	-	-	II	

(A-2) 耐久性評価結果【コンクリート】													
部材	鉄筋腐食		中性化		圧縮強度		塩分含有量		W/C比		ASR	総合評価	
	判定	評価	進行	残り	測定値	評価	鉄筋	平均	試験値	評価			結果
床版	II	II	37	8	II	29.1	I	0.80	0.52	I	-	-	II
橋台	II	II	20	50	I	-	-	-	-	-	-	-	II
旧橋脚	II	II	19	41	I	19.0	II	0.90	0.95	I	64%	II	軽微
新橋脚	II	II	37	12	I	19.6	II	0.25	0.54	I	66%	III	軽微

(B) 耐荷性能評価結果【上部工、下部工】												
部材	常時照査		耐震(L1)		耐震(L2)		総合評価					
	照査	評価	照査	評価	照査	評価						
【上部構造】												
アーチ(アーチリブ・補綴桁・昇材)	25ton-OK	I	OK	II	★	?	I					
改築I桁	25ton-OK	I	-	-	★	?	I					
主桁	25ton-OK	I	-	-	★	?	I					
対橋脚・橋樑	25ton-OK	I	OK	II	★	?	I					
床版	OK	II	-	-	-	-	II					
【下部構造】												
橋脚	25ton-OK	I	OK	II	OK	I	I					
橋台・擁壁・基礎												

表-4 耐久性/耐荷性能 評価結果
劣化予測結果

天神橋の健全度および物性値を統計分析と劣化予測式に当てはめて使用可能年数を予測したところ、補修後、20年から30年の延命化が期待できることが分かった。

6. まとめ

本橋は、竣工から90年以上経過しているが、各詳細調査や復元設計による応力検証により、想定より部材の損傷や構造の耐震性に問題はないことがわかった。しかし、橋面漏水に起因する鋼材腐食(孔食)、漏水・遊離石灰、剥離・鉄筋露出が多く発生しており、「海浜公園須磨天神橋BO補修」において、鋼桁部に全面塗装塗替およびあて板補修工、床版及び橋脚剥落防止工が実施されている。しかし、過年度補修履歴等を確認したところ、舗装打替工や伸縮装置取替工は実施されているものの、全面的な床版防水工が施工できていないことがわかった。

今後の課題として、塗装塗替部分の早期の再劣化が予想される。また床版下面と剥落防止工の間に滞水することで、剥落防止工が損傷し、JR軌道敷きコンクリート片が落下することなども懸念される。したがって、早期の床版防水工が必要である。

現場の降雪状況のリアルタイム送信について

義永 銀平¹

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

和歌山河川国道事務所が管理している京奈和自動車道や国道24号では、ほぼ毎年数cm程度の積雪がある。また、国道42号広川町関～由良町畑においては、数年に1度程度の積雪であるが、直轄国道における「予防的通行規制区間」に位置付けられている。和歌山の地域性から雪国とは異なり、数cmの積雪で通行止めを余儀なくされるため、薬剤散布や除雪・通行止めの判断などの確な指示をするためにも現場の降雪状況や積雪状況の把握が重要となっている。

本稿では、現場における降雪や降雪状況のリアルタイム送信についての手法や課題等を報告する。

キーワード 防災, 民間依存, インフラDX

1. はじめに

和歌山河川国道事務所は、和歌山県の紀北地域を管内とし、国道24号、国道26号、国道42号、京奈和自動車道（和歌山県域）及び紀の川を管理している。国道24号は紀の川沿いの比較的平坦な場所を通過しており、京奈和自動車道は、和泉山脈の山裾を通過している。また、国道26号及び国道42号は、海岸線近くの平地部と山間部を通過している。(図-1)



図-1 和歌山河川国道事務所が管理する道路

和歌山県紀北地域における冬季の気象特性は、12月か

ら2月にかけては大陸からの寒気による降雪があり、1月から2月にかけては南岸低気圧による降雪がある。

しかしながら、和歌山は温暖で積雪するとの認識が低いこと、また積雪しても日中に溶けてしまうことから、一部の地域を除き冬用タイヤの必要性が低いと判断されているため、数cmの積雪でスタックを起こす状況となっている。

道路管理者としては、現地の降雪状況や積雪状況を的確に把握し、薬剤散布の開始時期や散布区間、除雪の指示や通行止めの判断をすることが重要となっている。

そのため、現場における降雪状況の把握が雪害対応にとって重要である。

本稿では、現地の降雪状況をリアルタイムで事務所の災害対策本部へ送信する手法について報告する。

2. 和歌山河川国道事務所管内の降雪の特徴

和歌山河川国道事務所管内では、12月から2月頃の大陸からの寒気による降雪と1月から2月頃の南岸低気圧による降雪に大別され、中山間地域を中心に積雪する。

降雪は、殆どの場合1日程度であるが、30分から1時間程度で数cm積もることがある。そのため、現地の状況把握と予測が安全な交通の確保のために重要な要素となっている。

大陸の寒気による降雪は、北西の風が吹き、関西空港付近で雪雲が発生し、和泉山脈を越え、岩出市から橋本市にかけて降雪する。(図-2, 3) 一方、南岸低気圧による降雪は、西南西の風が吹き、太平洋を移動する低気圧で徳島県南部から雪雲が流れてくる。(図-4, 5)



図-2 大陸の寒気による雪雲



図-5 国道42号(平成29年1月)におけるスタック状況



図-3 京奈和自動車道の積雪状況

3. 降雪状況の把握

当事務所が管理する国道24号、国道42号及び京奈和自動車道では、CCTVカメラ155台から送られるリアルタイム画像で道路状況を監視している。しかしながら、降雪や積雪状況を確認する場合、カメラ位置や夜間における望遠の画像解像度の関係から路面付近の正確な降雪状況が判別しづらい状況になっている。(図-6、7) また、CCTVカメラの設置箇所は、限定的であるため、管理区間全線の確認はできない。

そのため、移動式のリアルタイム画像の送信について検討を行った。

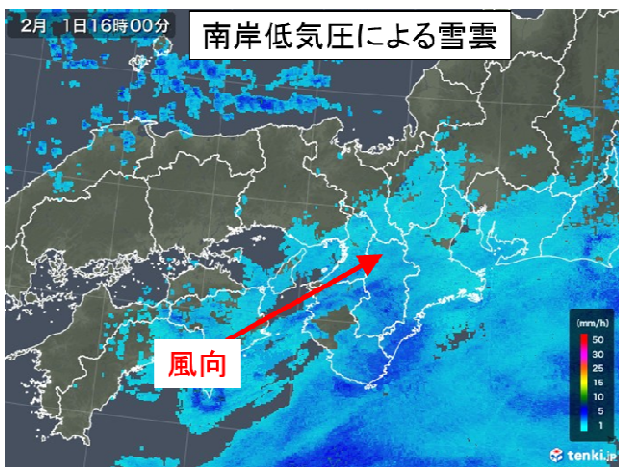


図-4 南岸低気圧による雪雲



図-6 CCTVカメラによる積雪の状況



図-7 CCTVカメラによる積雪の状況

4. 携帯電話を利用した画像送信 (検討1)

最も手軽で使いやすいのが携帯電話であるため、官携帯を利用して画像送信を試みたが、クラウドシステムに入れず画像送信ができなかった。

課題① 官携帯の殆どがガラケー (図-8)である。

官携帯の殆どがコストと機能を重視し、最低限通話とメールができるガラケーであり、操作性に劣り画像送信には不向きである。

課題② 官携帯 (スマホ) に余剰がない。

官携帯 (スマホ) は事務所幹部のみの貸与のため、現場に持っていくことができない。



図-8 官携帯

5. 支給品の道路管理用タブレット (検討2)

道路巡回支援システムを利用できるタブレット (図-9) が事務所及び各出張所に支給されているため、それを使って画像送信を試みたが、利用制限が掛けられており、民間のクラウドシステムに入れず、画像送信ができなかった。



図-9 タブレット

6. テレワーク機材 (検討3)

日頃からテレワーク等で民間のクラウドシステムを利用しているテレワーク機材 (モバイルパソコンのカメラ、Wi-Fi) (図-10) を使って画像送信を試みた。

結果、クラウドシステムに入ることができたが、現地の画像ではなく、自席の画像が送信された。これは、仮想で自席のパソコンを動かしているに過ぎなかった。



図-10 テレワーク機材の写真と自席の画像

7. 遠隔臨場用機材 (検討4)

官が所有する機材のみだけで現地画像を送信するのを諦め、工事等で使用している遠隔臨場用機材 (携帯電話、ウェアラブルカメラ) (図-11) を発注者支援業務の受注者から借り、通信環境も受注者側で行うことで、リアルタイムの画像と音声通信を行うことができた。(図-12)



図-11 ウェアラブルカメラの接続状況

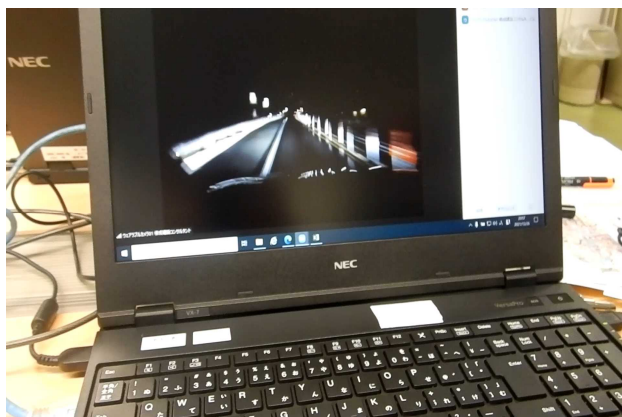


図-12 現場からのリアルタイム画像

8. 検討を通じて浮き彫りになった課題

今回、受注者の遠隔臨場用機材と通信環境を利用することで現場のリアルタイム画像を送信することができたが、結局、官だけでは何もできないことがわかった。

今回の検討を通じて浮き彫りになった課題は、通信機器（携帯電話等）の不足とインターネット等の利用制限（セキュリティ）及び通信費用（基本料金含む）であると考えます。

その背景には、平時と災害時における業務の取り組み方の違いがある。平時においては、業務の効率化やコスト削減等を追求するため、必要最小限の機能や数を満足すれば良いが、災害時においては、迅速な情報収集や迅速な初動対応を求めため、平時には使わない機能や数が必要となる。そのため、平時に求められる成果と災害時にもとめられる成果のバランスが重要となり、防災官庁を看板に掲げる国土交通省においては、どこを目指すのか若しくはどこまで民間委託を是とするのかを議論する必要があると考える。（図-13）

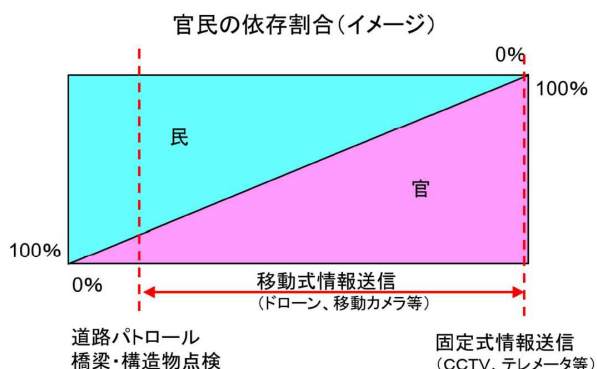


図-13 官民の依存割合イメージ図

9. 今後の展望 (将来性)

技術的には遠隔臨場用機材を使いZOOMやTeamsなどのビデオ会議システムを利用することで現場のリアルタイム画像を事務所等の災害対策本部、又は他機関や自宅においても同時に同じ現地の状況が共有できることから、意思決定や指示内容等が直接現場へ伝達でき、情報が錯綜することが減り、さらに的確な対応とスピードアップが図れる。

これは雪害対応だけでなく、あらゆる災害対応や日頃の維持管理においても活用できる。

例えば、日常の道路管理において、道路パトロールカーからの画像をサーバーに配信し、過去の画像と重ね併せAIで異常を識別させることで、異常があれば出張所や道路情報室等にその画像を配信し、重大な事故等が発生する前に事前に対応することができたり、橋梁や構造物の点検においても同様に活用でき、道路管理のレベルアップと効率化が図れるため、インフラDXに寄与するとともに、非常に高い将来性があると考えます。

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。

資料提供 一般財団法人日本気象協会：雪雲状況

姫路管内ののり面防災対策について

泉川 智亮¹

¹近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 山崎維持出張所

(〒671-2542兵庫県宍粟市山崎町船元307)

姫路河川国道事務所が管理する国道2号姫路バイパスは自動車専用道路であり、約12万台弱/日の交通量を有する、播磨地域と京阪神地域を結ぶ幹線道路である。当該路線の的形地区のモルタル吹付のり面は供用後約40年以上が経過した長大切土であり、特定道路土工構造物点検にて2019年度に初回点検を行い健全度はⅡ（経過観察段階）と判定されたが複数のひびわれや背面の空洞化、及び円弧状地形変状が認められた。変状がモルタル吹付の劣化によるものか背面地山に起因するものかを特定するため、地中変位観測と地表面の動態観測を実施した。本発表では実施した動態観測の結果と今後の展開について発表する。

キーワード のり面, 特定道路土工構造物,

1. はじめに

姫路河川国道事務所は国道2号、29号の延長約133kmを管理している。このうち、国道2号は昭和33年に全線の一次改築を完了し、その後、加古川BP、姫路BP、太子竜野BPが完成し現在に至っている。国道2号のバイパスは、自動車専用道路になっており東西の交通（中国地方～近畿地方）だけでなく、播磨地域と京阪神を結ぶ幹線道路としての機能を有しており、約12万台弱/1日の交通が利用する重要な路線である。

その為、日常管理においても、通行止め等はなるべくしない工夫を実施するなど工夫をして道路管理をしており、防災等の視点でも特に注意をしている路線である。

当該路線の切土のり面防災については、2018年の道路土工構造物点検要領に基づき特定道路土工構造物点検の初回点検に着手した。該当するバイパス区間の切土のり面18箇所のうち11箇所はモルタル吹付のり面である。ここでは、国道2号姫路バイパス・的形地区のモルタル吹付のり面（健全度評価「Ⅱ（経過観察段階）」、以下「的形のり面と呼称する」）における老朽化の状況把握手法と今後の対応方針（案）について報告する。

2. 特定道路土工構造物点検による点検について

(1) 的形のり面の概要

的形のり面は延長約180m、最大のり高約40mの供用後約40年以上が経過した切土である。全体をモルタル吹付で保護されており、その上から覆式落石防護網で覆われている。2017年の道路土工構造物点検要領において、重要度1のおおむね15m以上の切土については、長大切土

として、特定道路土工構造物に分類されることとなり、的形のり面もこれに該当する。なお、特定道路土工構造物は5年に1回を目安にして定期的に点検を実施することが定められている。

的形のり面の位置図を図-1に、全景を図-2として示す。

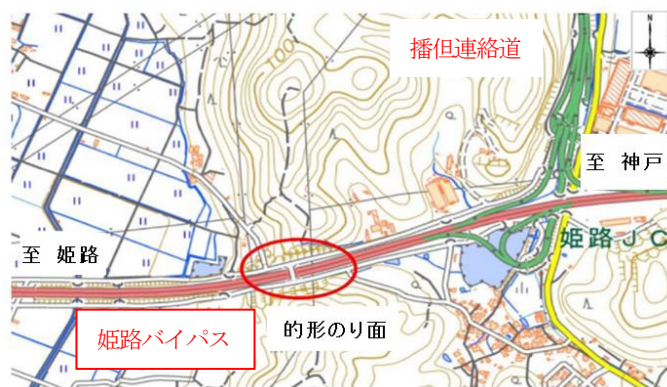


図-1 位置図



図-2 全景写真

(2) 特定道路土工構造物点検の結果について

的形のり面は2019年度に特定道路土工構造物としての初回点検を実施した。

供用後約40年以上が経過しているため、点検において複数のひびわれや背面の空洞化が確認された。また中腹に円弧状地形も確認された。

点検の結果を表-1、変状の概要図を図-3として示す。

主な構成施設名	構成施設	変状の有無	変状の種類
盛土		—	—
切土		○	—
のり面保護施設	co・モル吹付、石・ブロック	○	ひびわれ、背後空洞、段差、剥離
	のり枠	—	—
	グラウンドアンカー等	—	—
	植生工	—	—
斜面安定施設	落石防護柵	○	変状無し
カルバート		—	—
擁壁	co擁壁	○	亀裂
	ブロック積、井桁組 等	—	—
	補強土壁	—	—
排水施設	のり面排水、暗渠排水	—	—
	路面	○	側道路面にひび割れ
その他	自然斜面	—	—

表-1 的形のり面の点検結果

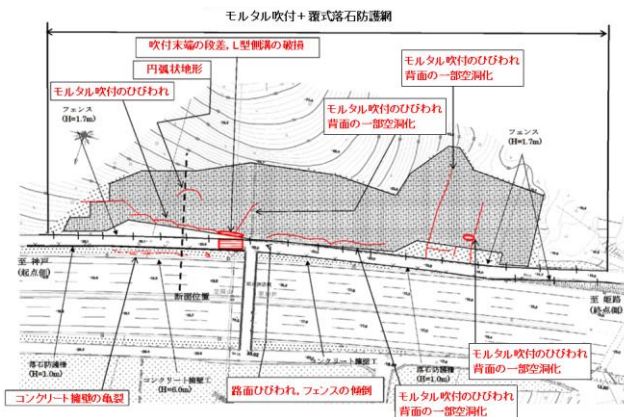


図-3 変状の概要図

3. 的形のり面の地表及び地中の動態観測について

(1) 動態観測にいたる整理について

道路土工構造物点検によって種々の変状が確認されたが、これらがモルタル吹付の劣化に起因するものか、背後地山からの土圧作用によるものかについては特定が難しかった。すぐに構造物の崩壊が起こる可能性は高くないが、次回点検までに変状することが予見されたため、的形のり面の予防保全的な観点からの変状メカニズムの解明、及び変状の進行性についての把握が必要であると判断した。

的形のり面については、a) 光波測距儀による定点観測、b) 水準測量による沈下観測、c) 設置型孔内傾斜計による

地中変位観測を動態観測として実施した。

動態観測のイメージ図を図-4として観測の種類を表-2として示す。

動態観測	定点設置・観測 (光波測量)	吹付モルタルのり面の挙動を把握し、変状メカニズムの基礎資料を得る。
	側道沈下観測 (水準測量)	側道の挙動を把握し、変状メカニズム解明の基礎資料を得る。
	孔内傾斜計観測 (自動観測)	変状斜面の地中における挙動(水平変位)を把握し、変状メカニズム解明の基礎資料を得る。
	地中変位計観測 (自動計測)	変状斜面の地中における挙動(水平変位)を把握し、変状メカニズム解明の基礎資料を得る。

表-2 動態観測の種類

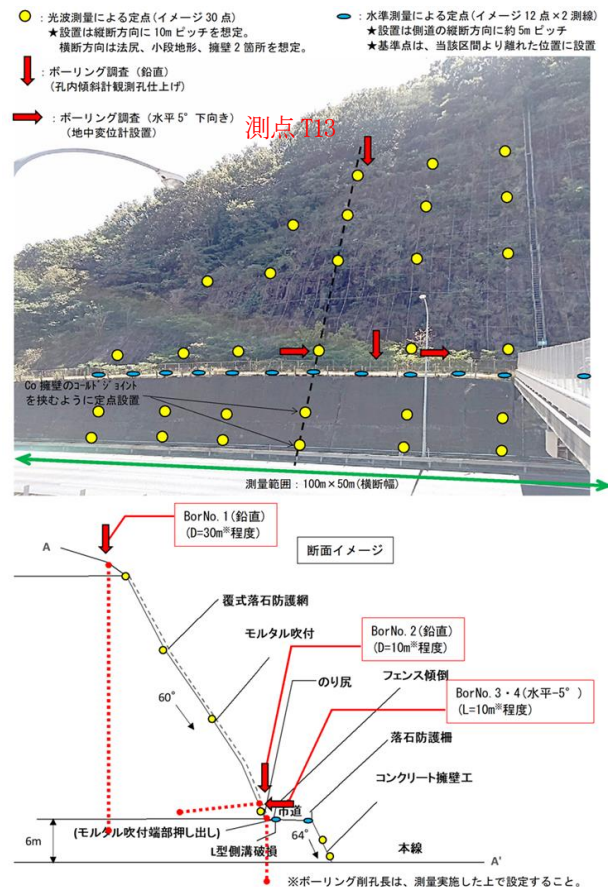


図-4 動態観測のイメージ

(2) 動態観測の結果について

a) 光波測距儀による定点観測

吹付モルタルのり面の挙動を観測し、変状メカニズムの基礎資料を得ることを目的として、光波測量による定点観測を月1回の頻度で計14回実施した。

水平成分についての観測結果の1例として令和4年3月

に行った観測の結果を図-5として示す。また月毎の変動の1例としてのり面中部のT13測点における月毎の観測結果を図-6として示す。鉛直成分についての観測結果の1例として令和4年3月に行った観測の結果を図-7として示す。また月毎の変動の1例としてのり面中部のT13測点における月毎の観測結果を図-8として示す。

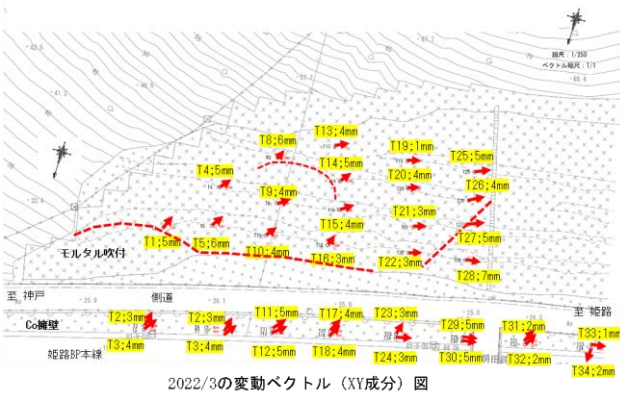


図-5 水平成分の観測結果 (2022年3月)

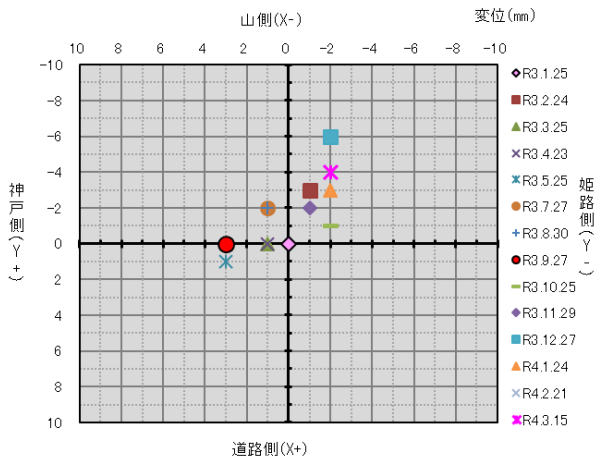


図-6 観測点 T13 の月毎変動 (水平)

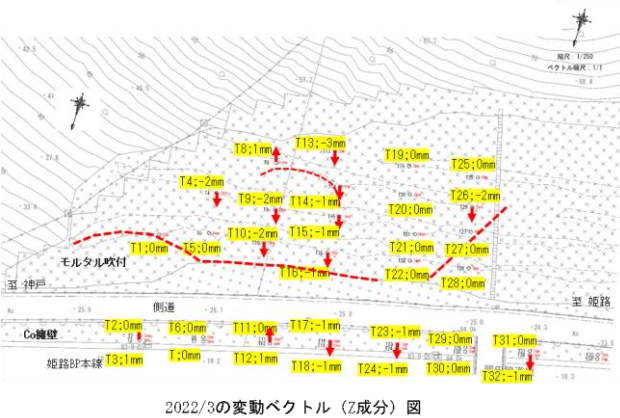


図-7 鉛直成分の観測結果 (2022年3月)

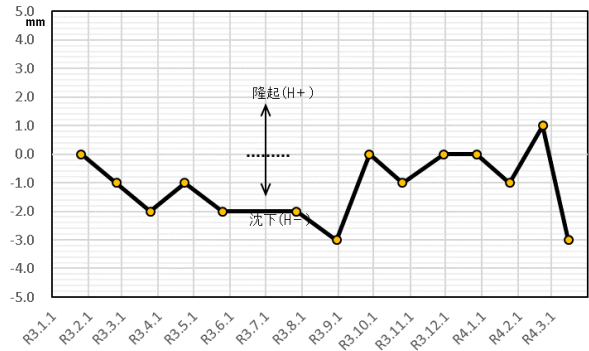


図-8 観測点 T13 の月毎変動 (鉛直)

水平成分の観測結果について、月毎にバラついた変動を示し同一方向への累積は確認されなかった。またモルタル吹付部の最終的な観測ではいずれの地点でも初期値から南西～西方向に変位しその変位量は3-7mmとの結果となった。鉛直成分について、こちらも月毎にバラついた変動を示しており、同一方向への累積は確認されなかった。最終的な観測では沈下方向に変位し、変位量は3-1mm程度であった。水平成分、鉛直成分についても変位が計測誤差の範囲内であり、明確な地すべり活動が発生しているとは確認されなかった。

b) 水準測量による沈下観測

姫路バイパス側道の変動を観測し、変状メカニズム解明の基礎資料を得ることを目的として、路面に設置した定点の定点観測を月/1回の頻度で計14回実施した。観測結果について図-9に示す。

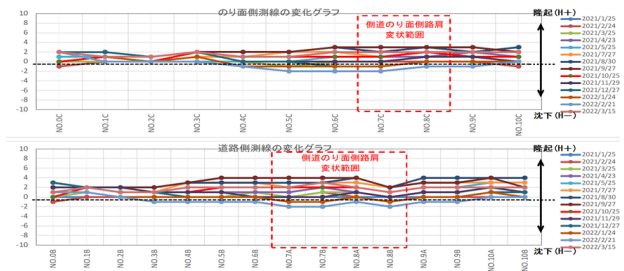


図-9 側道の沈下観測結果

側道の沈下観測結果について、月毎にバラついた変動を示し、明瞭に累積する傾向は確認されなかった。最終的な観測では、1-4mmの隆起傾向が見られた。計測誤差の範囲内であり明確な地すべり活動による影響は確認されなかった。

c) 設置型孔内傾斜計による地中変位観測

モルタル吹付のり面及び背後斜面に設置型孔内傾斜計

を設置し地中内の変動を観測し、変状メカニズム解析の基礎資料を得るため、月/1回の頻度で計12回の観測を実施した。

モルタル吹付のり面背後の鉛直孔 (B-1孔) での観測結果を図-10に示す。モルタル吹付法尻付近の鉛直孔 (B-2孔) での観測結果を図-11に示す。

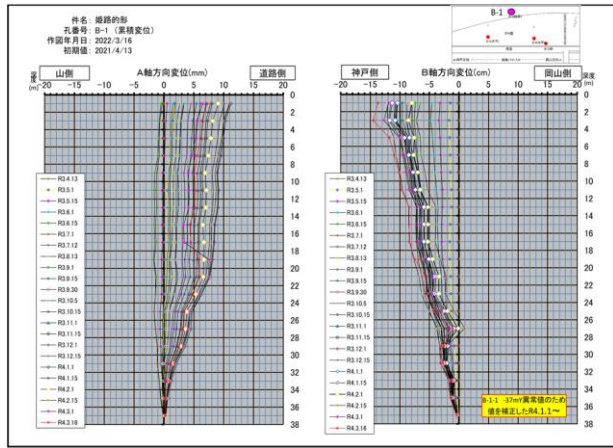


図-8 B-1孔での観測結果

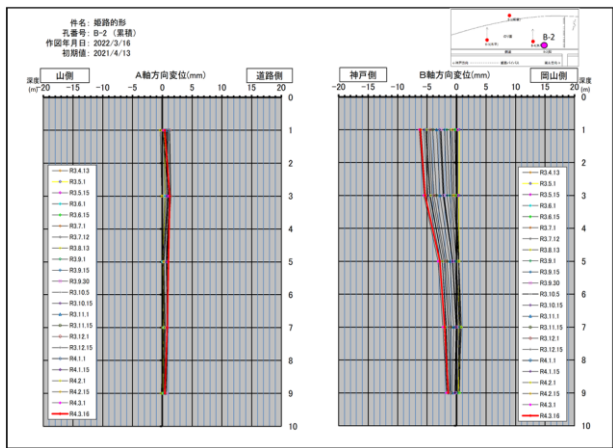


図-9 B-2孔での観測結果

モルタル吹付のり面背後に設置した、B-1孔の観測結果から道路側に傾倒する変位が断続的に観測された。特に深度17mから25m付近で傾倒する挙動が見られている。吹付のり面の法尻付近のB-2孔にはB-1孔ほどの明瞭な傾倒の累積傾向は確認されなかった。

(3) 動態観測結果のまとめ

動態観測結果をまとめた図を図-10として示す。

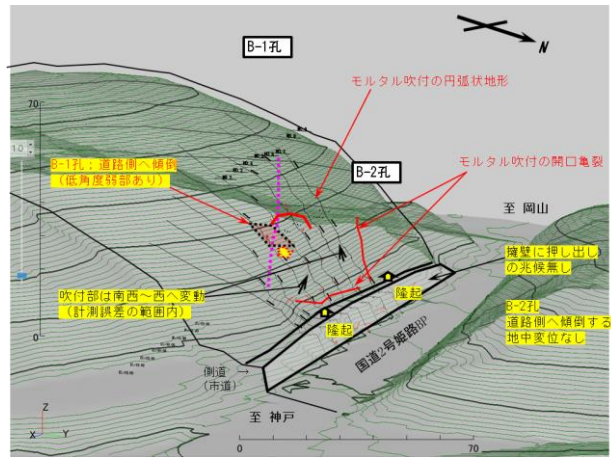


図-10 動態観測結果のまとめ

動態観測の結果、モルタル吹付背後の地山は全体的に堅硬であるが、円弧状地形付近での箇所において、特定の深度で道路側に傾倒するような地中変位が確認された。一方でモルタル吹付のり面の地表面観測においては、道路側の傾倒にあわせてのり面自体が押し出されるような挙動は見られなかった。現時点では地中の挙動と地表面の挙動に相関は認められていない。しかしながら、地中の挙動を考慮して、継続監視を行うことが望ましいと考えられる。

4. まとめ

今回、的形のり面について特定道路土工構造物点検による変状の発見から素早く、動態観測を含む詳細調査を実施し、リスクの有無の把握を行った事により、予防保全的な補修方法や維持管理をしていく上で重要な情報を得ることができた。姫路河川国道事務所管内には供用年数が30年を超える大規模なモルタル吹付のり面が、国道2号で11箇所、国道29号で14箇所あり、そのうち同様の変状が確認されているモルタル吹付のり面が複数存在する。今後は5年毎の特定道路土工構造物点検を中心として、今回の的形のり面で得た知見も活用しつつ、老朽化するモルタル吹付のり面の維持管理、及び防災対策を行ってきたい。

謝辞：本検討・本稿執筆に際し、応用地質株式会社の方々に多大なる協力とご助言を賜りました。深く感謝いたします。

六十谷水管橋崩落に伴う対応について

柿原 和志¹・川端 真治²

¹姫路河川国道事務所 経理課 (〒670-0947兵庫県姫路市北条1丁目250番地)

²和歌山河川国道事務所 河川管理課 (〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16)

一級河川紀の川に架かる六十谷水管橋(占有者:和歌山市)は、和歌山市北部地域へ水道水の供給が可能な唯一の施設であり、給水エリアは和歌山市の世帯数の約4割を占め、当該地域生活の基盤を支える重要な施設である。

本稿は2021年10月3日に発生した六十谷水管橋の一部崩落に対し、国土交通省が実施した給水支援や河川管理者として実施した和歌山市との協議・調整についての報告である。

現在、復旧工事は計画どおり進捗しており、無事に出水期間までに完了する予定である。今後、許可工作物が被災した際の参考となることを願うものである。

キーワード 許可工作物, 水管橋, 断水, 災害対応, NMB深淺測量

1. はじめに

六十谷水管橋(以下「水管橋」という。)は和歌山市内を流れる一級河川紀の川の河川占用工作物である水道橋(占有者:和歌山市(以下「市」という。))で、全長約550mの7径間のランガー補剛形式、φ900の管を2条を架設している。市紀の川南側に位置する加納浄水場から市紀の川北部地域へ送水するため、1973年に河川占用工作物として河川法の許可を受けて1975年3月に完成し、供用から46年経過している。水管橋は紀の川大堰の上流側、六十谷橋の下流側に位置し、市北部地域ほぼ全域へ水道水を供給する唯一の施設である。(図-1)

2021年10月3日16時頃、水管橋の中央径間(P4P5:約60m)が崩落し、翌日の午前11時頃には市北部地域の約6万世帯(約13.8万人)が断水となった。これは市の世帯数の約4割を占める。(図-2)

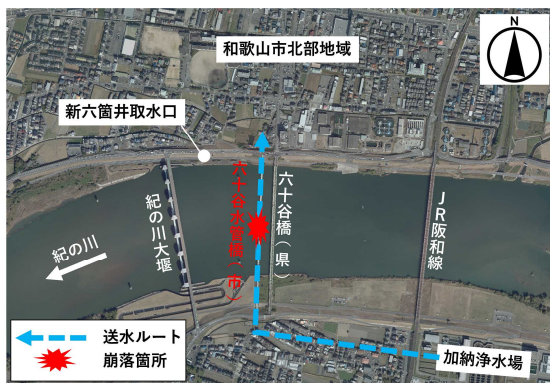


図-1 位置図

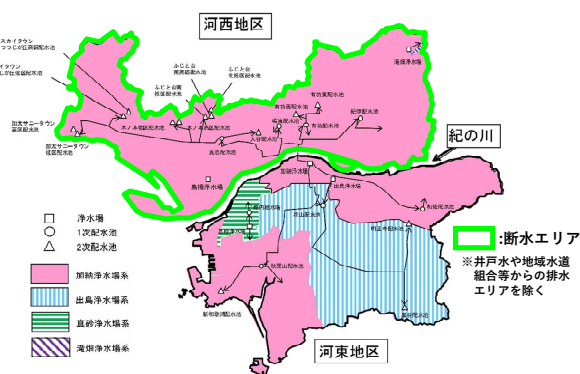


図-2 断水エリア図¹⁾

市は10月4日より応急給水所を設置するとともに、10月6日より水管橋の約40m上流にある六十谷橋(占有者:和歌山県(以下「県」という。))の車道に仮設配管(φ700)を敷設する工事に着手し、10月8日に工事が完了し、送水が開始された。(写真-1)10月10日には各家庭で飲料水としての使用が開始された。



写真-1 六十谷橋への仮設配管敷設の様子

また、市は2021年12月16日より水管橋の崩落部分を紀の川から撤去するための工事に着手し、2022年1月18日に撤去が完了し、水管橋の復旧工事に本格着手した。現在(2022年5月時点)も復旧工事は実施中であるが、6月15日の出水期間までの完了を目指している。

2. 国土交通省としての対応

(1) 事務所の体制、給水支援及びリエゾン支援

和歌山河川国道事務所(以下「事務所」という。)は水管橋崩落を受けて10月3日18時に第一警戒体制を発令し、河川管理施設への影響の確認を実施した。確認の結果、河川管理施設への即時的な影響がないことが確認できたため、10月4日12時に注意体制に移行し、水管橋の継続的な監視体制を構築した。

また、10月4日から8日にかけて市へ支援窓口としてリエゾンを派遣し、迅速な支援ができるよう円滑な情報共有を図った。

その他、10月5日には近畿地方整備局管内の事務所及び他の地方整備局が所有する散水車10台を派遣し、市の加納浄水場から病院や小学校等の給水所へ水道水を運搬し、12日までの8日間で述べ204回、約1,200m³(2Lのペットボトル約120万本分)の給水支援を行った。(写真-2)



写真-2 国土交通省散水車の待機状況

(2) 原因究明のための現地調査

原因究明のため、崩落発生後の10月6日から7日にかけて、茨城県つくば市にある国土技術政策総合研究所及び国立研究開発法人土木研究所から専門家を現地に派遣し調査を行い、調査結果について即日市に報告を行った。

(3) 六十谷橋の通行止めに伴う交通渋滞対応

仮設配管敷設のため、六十谷橋が終日通行止めとなり、周辺道路の渋滞が予測されることから、六十谷橋の管理者である県が広域的な迂回路等の情報提供を行うために交通誘導対策の検討に入った。検討を進める中で県は独自に渋滞調査を実施、また、事務所にはETC2.0を活用した交通分析の依頼があり、これに協力し、分析結果を県

に提供した。これらの情報を基に県が広域的な迂回路等の情報について記者発表を行い、渋滞緩和に寄与した。なお、事務所における交通分析結果を図-3に示す。

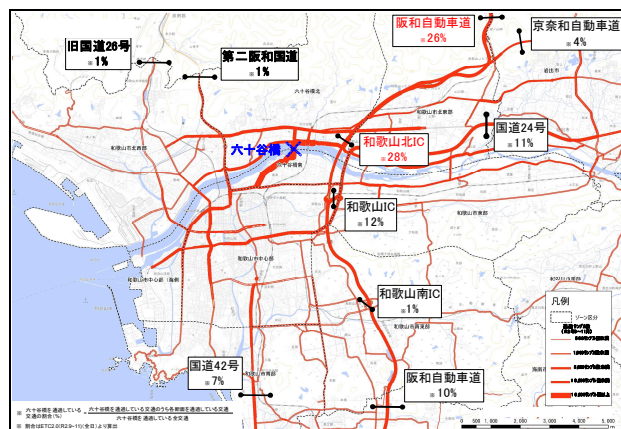


図-3 交通分析結果

3. 河川管理者としての対応

(1) 仮復旧～撤去～本復旧に係る市との協議・調整

河川区域において工作物の新改築を行う場合は、河川法第24条及び第26条第1項に基づき河川管理者に申請を行い、申請者と協議、河川管理上の影響等について審査した後、許可するものであり、標準処理期間は3ヶ月である。

今回は市民生活に多大な影響を及ぼすライフラインである水道の復旧が最優先課題であり、協議から許可まで短期間で処理する必要があった。10月5日に市と仮設配管を敷設する計画について協議を行い、早急に現場着手が出来るよう、河川管理者から積極的に河川管理上の影響等を考慮した技術的な助言を行い、早期に協議を終え速やかに許可を行った。

また、崩落部の撤去・本復旧に係る協議においても出水期までに本復旧を終える必要があることから、河川管理者から積極的に情報提供、技術的な助言等を行い、工事の工程計画作成に協力し、速やかな許可を行った。

工事が着手されてからも、工程に遅れが生じないように定期的に市と工事の進捗状況を共有し、現場で生じた課題解決に協力し、工程管理の確認を行った。

(2) ナローマルチビーム深淺測量による状況把握

水管橋の崩落は重要構造物である紀の川大堰の直上流で発生しており、崩落した部材が下流へ流され、紀の川大堰へ影響を及ぼす可能性があったことから、河川管理者として、崩落した部材の飛散状況を把握する必要が生じた。水中の状況を把握するため、川底の地形等を面的に計測することが可能なナローマルチビーム(以下「NMB」という。)を用いた深淺測量を実施した。なお、調査概要と結果については後述する。

(3) 水利権の緩和

市北部地域が断水していることから、万が一火災が発生した場合、消火活動に支障が生じることから、市水道が持つ水利権量の一部を担保として、紀の川右岸にある新六箇井取水口より市北部地域内を流れる農業用水路に導水し、防火用水として利用できるよう水利権の調整を行い、住民の安心・安全を確保した。

また、仮設配管の通水開始時に、仮設配管内及び停止している配水施設等の内部を洗浄するため、一時的に加納浄水場が持つ水利権以上の水量が必要となった。これらの対応として、市が他に所有する3箇所の取水口の水利権を加納浄水場に集約させる水利権の調整を行い、洗浄に必要な水量を確保し、仮設配管による早期の給水開始を行うことができた。

(4) 河川利用者への安全配慮

崩落部以外の水管橋も安全性が確認されていなかったため、事務所は左岸の高水敷き利用を規制、右岸は高水敷を県がサイクリングロードとして占有していたことから県と調整し、利用規制を実施した。また、市と調整し、水上バイクなどの水面利用者が水管橋に近づかないような措置をとり、二次的な被害が発生しないよう関係機関に働きかけた。

4. NMB深浅測量の調査概要と結果

(1) 調査範囲及び使用機器

崩落した部材が水中でどのように飛散しているかを確認するため、NMBによる深浅測量を実施した。部材の飛散状況だけでなく、原因究明のために崩落箇所の橋脚の状態も把握するために、深浅測量は水管橋を挟む6.4kから6.6k間を作業範囲と設定した。(図-4)

また、崩落以外の水管橋の安全性が確認されておらず、水深の浅い範囲が広がっていることが予測されることから、安全な作業と現況把握を同時に実現するため、遠隔操縦ができ、広角に測量が可能で、水深が浅い箇所でも航行可能な無人小型NMB測深機(写真-3)を選定し、面的な深浅測量を実施した。

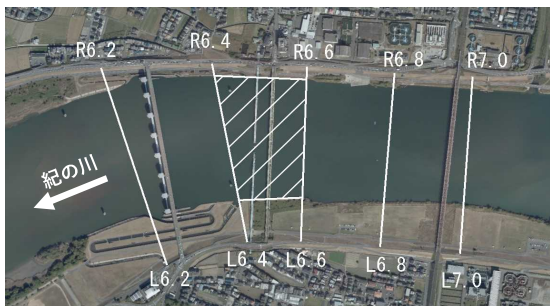


図-4 NMB深浅測量作業範囲

(2) 調査結果

a) 橋脚の位置及び形状の確認

今回実施したNMB深浅測量結果及び2020年度に実施した測量成果を用い、水管橋橋脚の形状を正面及び平面にて比較し、変状の把握を行った(図-5及び図-6)。

図-5から水管橋付近の河床に大きな変動及び橋脚周辺の局所洗掘も進んでおらず、また、図-6から橋脚の位置に変化もなく橋脚の転倒の可能性が低いことが確認できた。併せて崩落した部材についても確認することができた。



写真-3 無人小型NMB測深機

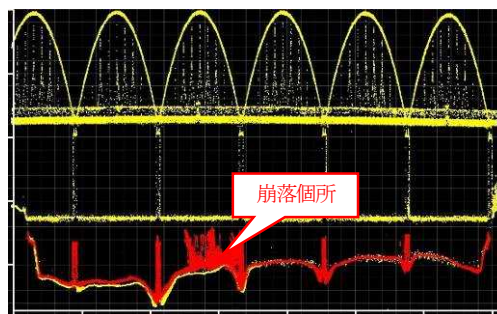


図-5 正面(上流側)からの比較

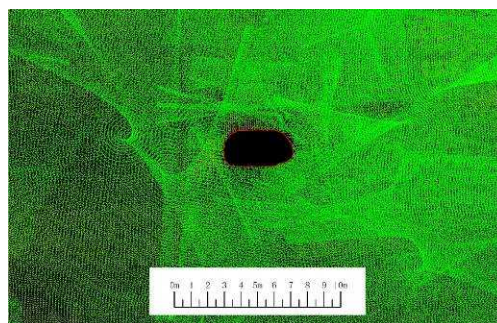


図-6 平面での比較

b)河床の段彩図

NMBにて取得した点群データにより河床の面的な段彩図を作成した。段彩図は高さ別に彩色を施し、高低差を視覚化したものである。

この結果、崩落した部材は崩落箇所にあること、また、下流へ飛散した部材は無いことが確認でき、下流にある紀の川大堰への影響はないものと判断した。

これらの調査結果については、崩落の状況把握並びに今後の撤去計画の基礎資料として活用いただけるよう市へ共有を図った。

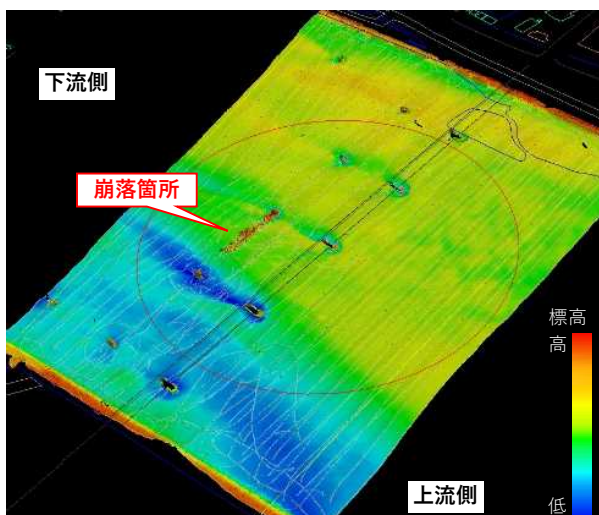


図-7 河床形状の段彩図

5. 課題と今後の取り組み

今回は、自然災害に対する対応ではなく、これまで経験の無い、市が管理する許可工作物の崩落であり、本来であれば、水道事業に係る市民への対応をはじめ、工作物の撤去・復旧については市が主体的に行うものである。

事務所は河川管理者として、許可工作物の管理者に対し、善良な管理を条件に許可を行っているため、崩落にもなう撤去・復旧の指導を行う立場であった。

それぞれが役割を果たし、迅速に対応することも重要であるが、ライフラインである水道の復旧、出水期までの撤去等、水管橋の崩落原因が不明の中での二次被害を防ぐため、最大限出来ることを実施する必要がある、国土交通省として占用許可上の調整、現地での調査等、専門性を活かした支援をすることにより早急な復旧ができたことは非常に重要であったと考える。

一方、支援を行う上での課題もあった。給水活動のために散水車を派遣したが、飲用水を運搬するために散水車の内部を洗浄する必要があり、給水活動までの想定外の時間を要した。

さらに、国土交通省が所有する散水車は車体が大きい

ため、一部の給水所に進入が困難という状況も発生した。幸いにも役割分担を見直し、大型の散水車を小型散水車への中継車として使用することで対応でき、現地状況に応じた対応が必要であることを再認識した。

今後、水道施設に限らず、多くのインフラ施設が老朽化しており、突如損傷する可能性がないとは言い切れない。インフラ施設の損傷は国民生活に直結する被害となり、早急な復旧が求められる。しかし、自治体によっては突発的な対応が困難である可能性もあり、TEC-FORCEやリエゾンに限らず、国土交通省としてどのような形で支援できるかを職員一人一人が考える必要がある。併せて、支援先のニーズを的確かつ迅速に把握し、それらに対応することが最大の支援となると考える。

6. おわりに

突発的な事象に対しては、河川管理者として自らの立場や所掌業務に関する対応だけでなく、関係機関等と一体となってそれぞれが出来ることを最大限に発揮する必要があることを学んだ。実際には自らの業務の専門性などを活かして手助けできることはないか検討することで、日頃から様々な関係機関と連携しておくことで、つながりを見出せるのではないかと考える。また、日頃の業務から、相手のニーズを正確に理解し、それに答えられているか意識することが、我々の業務には必要不可欠だと考える。

今回のような事例は過去にも少なく、同様に災害に対しての初期対応として、参考になれば幸いである。

謝辞：人事異動により従前の所属における業務でございましたが、本論文を執筆するにあたって、各方面の関係者様より多くのご指導、ご意見を賜りました。また、NMB測深の調査においては朝日航洋株式会社様にご尽力いただきましたことを本論文中において感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 和歌山市：水道事業経営戦略 2019年3月 和歌山市水道局

原松原線トンネル工事における地質調査結果と施工時の差異に係る考察および対策工について

濱田 大輔¹

¹滋賀県 湖東土木事務所 道路計画課(〒522-0071滋賀県彦根市元町4-1)

原松原線トンネル工事は、付加体(丹波帯)が分布する丘陵地を全長1,135mのトンネル構造により通過する計画であり、2020年1月より掘削を開始し、2022年3月に貫通したところである。

工事区間に分布する付加体(丹波帯)の特徴を踏まえ、事前設計段階から支保選定および補助工法の範囲を決定していたものの、想定以上の脆弱層が多数存在した。このことから崩落を防ぐための補助工法のほか、一部区間においては、著しい内空変位の増大に伴う対策の施工等、当初の見込みを大幅に超える対策工が必要となった。本論文では、事前の地質調査結果と実施工との差異に係る考察および想定外の地質に対する対策工について発表するものである。

キーワード 付加体(丹波帯)、補助工法、内空変位

1. はじめに

(1) 事業概要

原松原線は、国道8号と国道306号の交差点である外町交差点の渋滞対策として通過交通をバイパスさせることを目的に計画されている(図-1-1)。

(2) 地形・地質概要

事業地は、佐和山から連なる丘陵地が平坦化され、起点側ではトンネル上部に「アウトドアレジャー施設」、終点側にかけては「ゴルフ場」となっている。その直下をトンネルが通過するため、地表への影響を考慮して発破掘削ではなく、全線機械掘削で計画されている。

本トンネルの通過部の地質は、古中生代に構成された「付加体(丹波帯(美濃帯))」が分布しており、主に砂岩、泥岩、砂泥互層から構成されている。

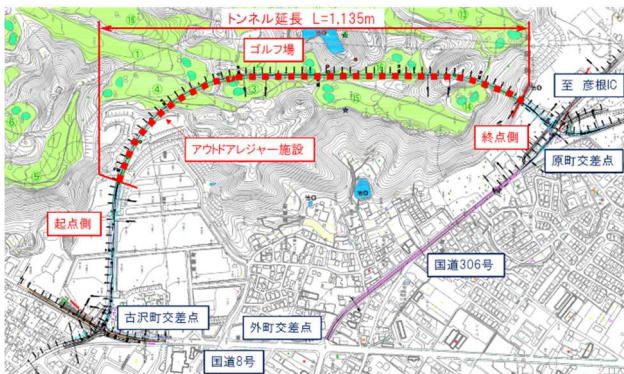


図-1-1 原松原線位置図

付加体とは海溝やトラフにおいて海洋プレートが沈み込む際に海洋底の堆積物が陸側に押し付けられ多くの逆断層で積み重なったクサビ上の断面をもつ堆積物であり、ヘアクラックが形成されていることが多く、トンネル施工では崩壊等が発生しやすい。

トンネル区間の内、起点～No.13間には混在岩(砂岩優勢)、No.13～終点側には混在岩(チャート優勢)が分布する。混在岩には潜在的な亀裂が形成され、掘削等による応力解放時には地質境界等の割れ目沿いに崩壊する場合が多いとされている(図-1-2)。

また、トンネル東側にマンガン鉱床跡が分布しており、マンガン鉱床の一部は、黄鉄鉱などの硫化鉱物を含む可能性があることから、当トンネル付近においても層状マンガン鉱床が存在する可能性があり、自然由来重金属(ヒ素)汚染の可能性が懸念される。

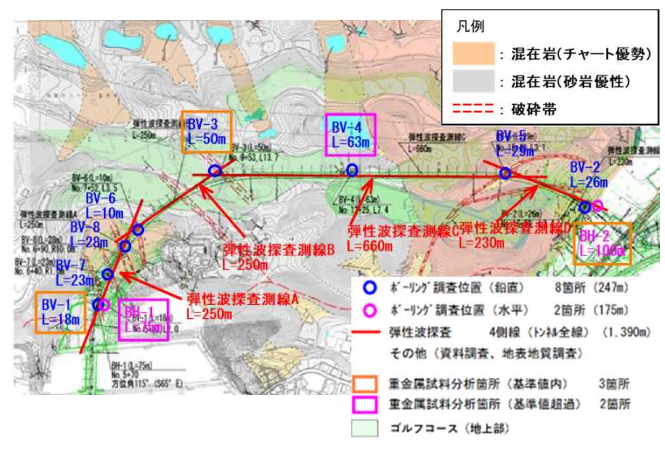


図-1-2 原松原線地質概要および調査位置図

2. 当初の調査・設計方針

(1) 事前調査概要

1.(2)に挙げた懸念を踏まえた設計検討を行うため、基準に基づき、図-1-2および表-2-1に示す事前調査を実施している。実施すべき調査に関しては全て実施しており、特に中間部では、破碎帯や代表地質の変化点の状況を確認するため6箇所を鉛直ボーリングを実施している。

表-2-1 実施調査一覧表

調査区	弾性波探査		ボーリング調査			速度検層
	区間全体	区間全体	坑口 (検点側)	坑口 (検点側)	中間部	
区間全体で実施	区間全体で実施	鉛直:1~2本 水平:1本 (100~200mまたは安定するまで)	鉛直:1~2本 水平:1本 (100~200mまたは安定するまで)	鉛直:地質的に問題があると考えられる箇所	鉛直:地質的に問題があると考えられる箇所	
区間全体で実施 (割線Bはスタッキング法による)	区間全体で実施 (割線Bはスタッキング法による)	鉛直:1本 水平:1本(75m)	鉛直:1本 水平:1本(100m)	鉛直:6本 (代表地質の中間部および破碎帯や地形変化点)	鉛直:6本 各ボーリング孔で実施	
基準に基づき実施	基準に基づき実施	基準に基づき実施	基準に基づき実施	基準に基づき実施	基準に基づき実施	

※基準:近畿地方整備局設計便覧(第2版)、道路トンネル技術基準(構造編)・同解説

(2) 事前調査まとめ

トンネル直上に営業中のゴルフ場やアウトドアレジャー施設があるといった地表の制約条件がある中においても、基準に基づいた調査を実施しており、加えて掘削対象地質が付加体であることに留意した追加調査も行っていることから、当初の調査は十分に実施されており、設計は妥当であったと判断できる。

また、重金属(ヒ素)による汚染については、破碎部において黄鉄鉱が濃集していることが多いことから、事前調査および専門家の意見も踏まえ破碎帯では基準を超過するものとしたことについても妥当であったといえる。

このことから、当初の調査・設計方針は妥当であったと判断できた。

3. 当初の地質調査結果と実際の掘削結果との差異

(1) 当初設計概要

計画高1.5D(D:掘削外径)上方の弾性波探査速度および近傍のボーリングコアにより設計支保CII-bパターンを基本として選定し、弾性波探査速度の落ち込みが見られる箇所については、破碎影響を考慮してより剛な支保としてDI-bパターンを選定した。

(2) 実際の掘削結果

実際の掘削においては、混在岩に潜在的に粘性土が介在しており、掘削に伴う応力解放による亀裂開口により地山が脆弱化し、天端の抜け落ち、鏡面の押出し等が随所で発生したため、当初設計に比べて多くの箇所補助工法を追加実施することとなった。

支保パターンについても当初設計において、より剛なDIパターンとしたが、地山状況および計測結果から、さらに剛なDIIパターンへと見直しが必要な箇所が生じた。

また、重金属(ヒ素)についても、当初想定した破碎帯以外の区間からも出現し基準超過重金属含有土処分についても大幅な追加対策が必要となった。

図-3-1ならびに表-3-1に補助工法の実施箇所と重金属含有土処分量の比較を示す。

表-3-1 補助工法と重金属含有土処分量の比較

	チャート優勢混在岩(基質:頁岩)		砂岩優勢混在岩(基質:頁岩)	
	区間延長415m		区間延長720m	
	補助工法	重金属	補助工法	重金属
当初	139m	22m	199m	118m
	34%	5%	28%	16%
変更	297m	138m	545m	444m
	72%	33%	76%	62%
差	158m増	116m増	346m増	326m増
	(当初比2.1倍)	(当初比6.3倍)	(当初比2.7倍)	(当初比3.8倍)

6月末時点、見込み含む

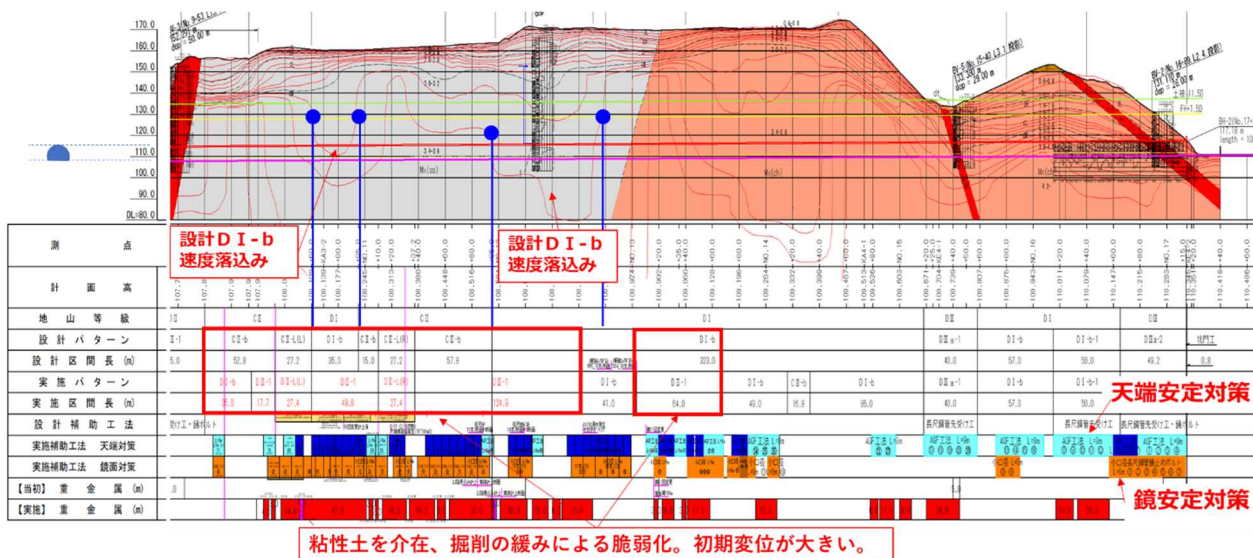


図-3-1 補助工法実施箇所および重金属含有土分布(地質縦断面図)

4. 想定外の地質に対する対策工

(1) 概要

3.(2)に記載したように想定以上に脆い層の存在により支保パターンの変更や補助工法(天端・鏡)の追加の他にも、図4-1の対策1・2・3の箇所においては、変位(内空変位・天端沈下)の増大が認められた。

対策1・2の箇所においては、変位の増大が対策3ほど大きくはなく、補強ロックボルトおよび本設インバートの先行実施による早期閉合にて変位の収束を図った。

対策3の箇所においては、図4-2に示すように天端沈下で160mmと非常に大きな変位が急激に生じており、対策1・2同様に補強ロックボルトによる対策を行ったものの、変位収束傾向が見られなかったことから、対策工の再検討を行った。

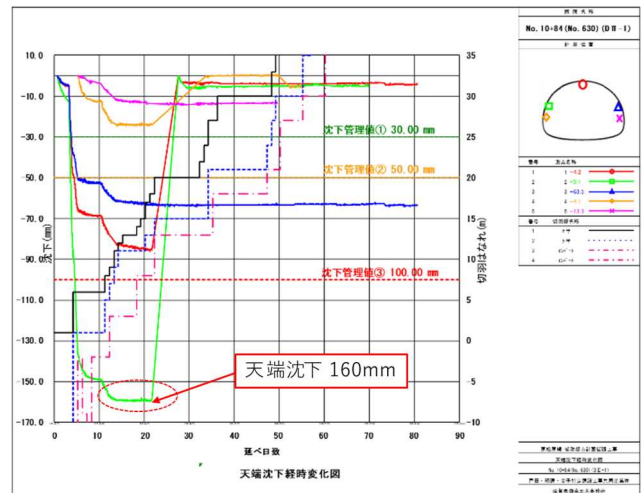


図4-2 天端沈下経時変位図

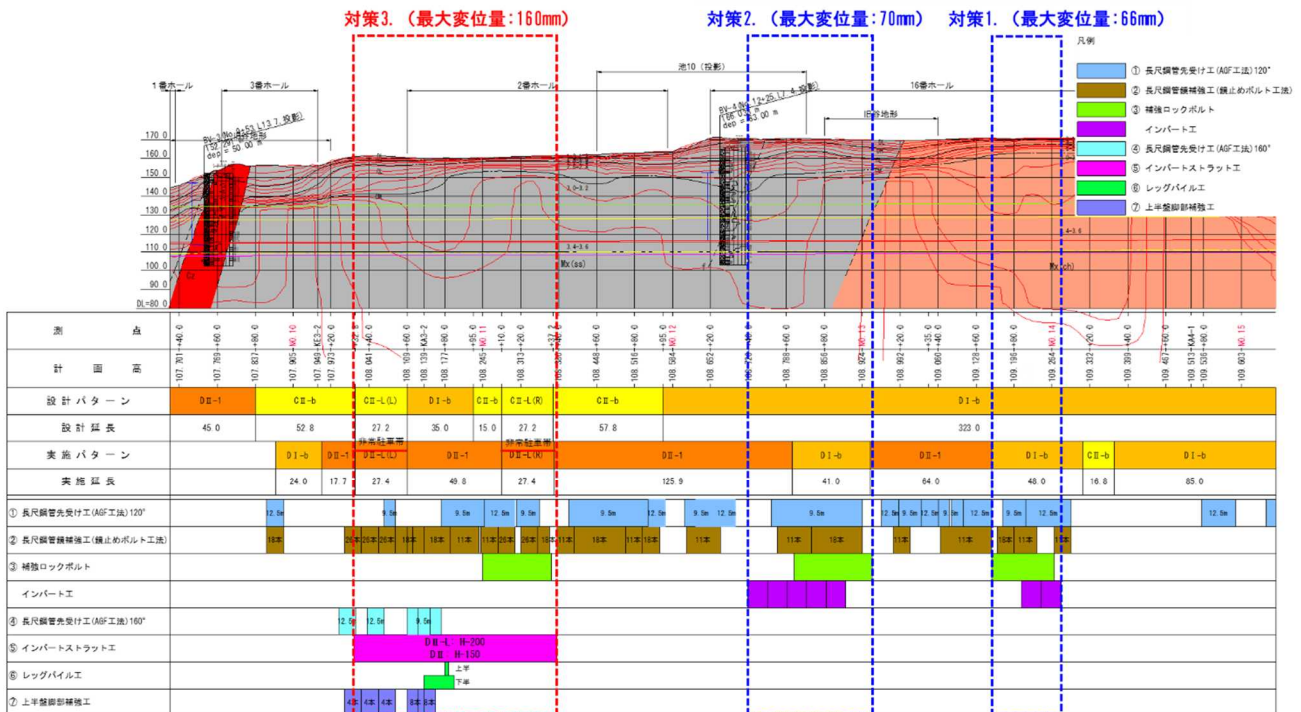


図4-1 対策工実施箇所(地質縦断図)

(2) 変位増大時のトンネル坑内の変状

対策3実施箇所におけるトンネル坑内の変状としては、ロックボルトの変形および吹付けコンクリートのクラックが発生し、発生箇所はトンネル両肩部に集中している。図4-3に変状展開図、写真4-1に変状写真を示す。



写真4-1 ロックボルト変状写真

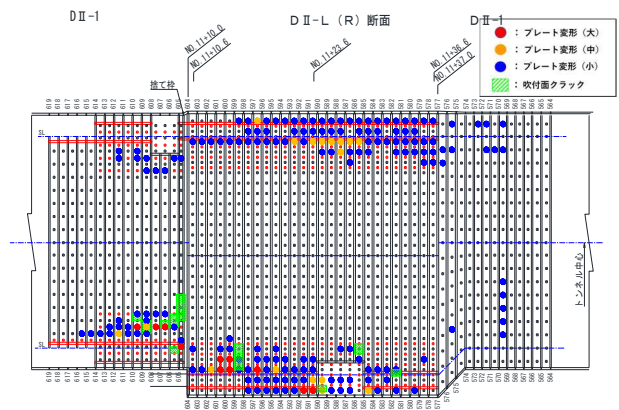


図4-3 変状展開図

(3) 対策工の検討・実施

対策3実施箇所における変状の特徴として、大きく

- a) 変形余裕量を超える内空変位・天端沈下の発生
- b) 掘削と同時に急激な変位の増大
- c) トンネル変状は両肩部に集中が、挙げられる。

a)については、内空変位・天端沈下量が増大することに伴うトンネル崩壊の恐れがある。そのため、早期に変位を抑制する必要がある。早期閉合が有効であると考え、図44に示す対策工のうち一次インバート(インバートストラット)を施工することとした。

この際、掘削方法についても上半先進工法では上半と下半が離れることとなり、一次インバートによる閉合時には既に変位が増大していることから、上下半の距離を3m、一次インバートまでを上半から5mとなるようミニベンチカット工法で早期に閉合することとした。

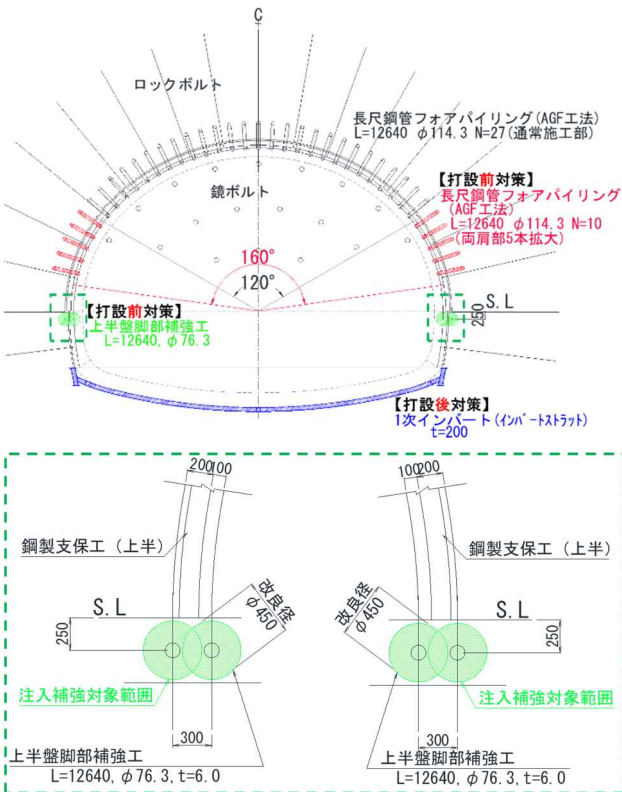


図44 対策工

b)については、掘削と同時にトンネル内側への内空変位の増大、天端沈下の増大が見られることから、変位を確認してから対策工の実施では遅いと考え、図44に示す対策工のうち、上半盤脚部補強工を行うこととした。

具体的には、上半盤掘削前に、上半鋼製支保工下部に鏡ボルトで使用する鋼管を打設し、シリカレジンによる地山の改良を行うことで上半盤脚部の剛性を向上させ、沈下対策を行った。

c)については、ロックボルトの変形・吹付けコンクリートのクラックが天端部ではほとんど見られず、両肩部に集中していることから、掘削時の天端の崩落対策として実施している補助工法(AGF)により天端部の緩みの範囲が抑制されることで、天端部には地山側からトンネル内側への力の発生を抑制していると考え、補助工法(AGF)の実施範囲を図44に示すように、120° から160° に拡大施工することにより、両肩部の緩みの範囲を抑制させることとした。

(4) 対策工の効果

前節で記載した、掘削方法の見直しならびに一次インバート施工による早期閉合、トンネル掘削範囲周辺を既存の補助工法を応用適用した。その結果として、上半盤脚部の沈下対策、両肩部の緩み抑制対策を実施することにより、ロックボルト・吹付けコンクリートへの変状を発生させることなく、内空変位・天端沈下量を減少させることができた。(表4-1)

表4-1 対策工の効果比較

測点	切羽距離 (m)	内空変位量 (mm)	天端沈下量 (mm)	切羽対策工				
				AGF120°	鏡ボルト	AGF160°	上半盤脚部補強工	インバートストラット
No.10+79.0 支保No.635	2	28	50	○	○	○	○	○
No.10+87.0 支保No.647		15	11	○	○	○	○	○
No.10+84.0 支保No.630	7	85	138	○	○	○	○	○
No.10+73.0 支保No.641		35	21	○	○	○	○	○

5. その後の対策方針(対策3実施以降)

(1) 地質状況

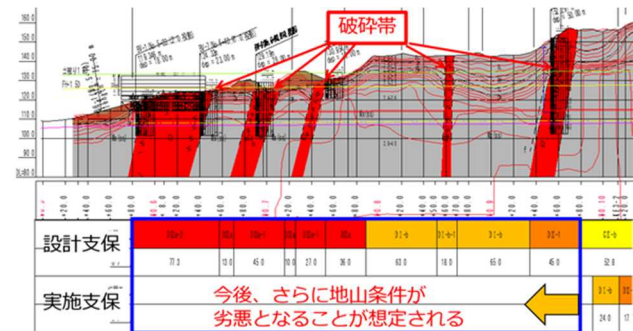
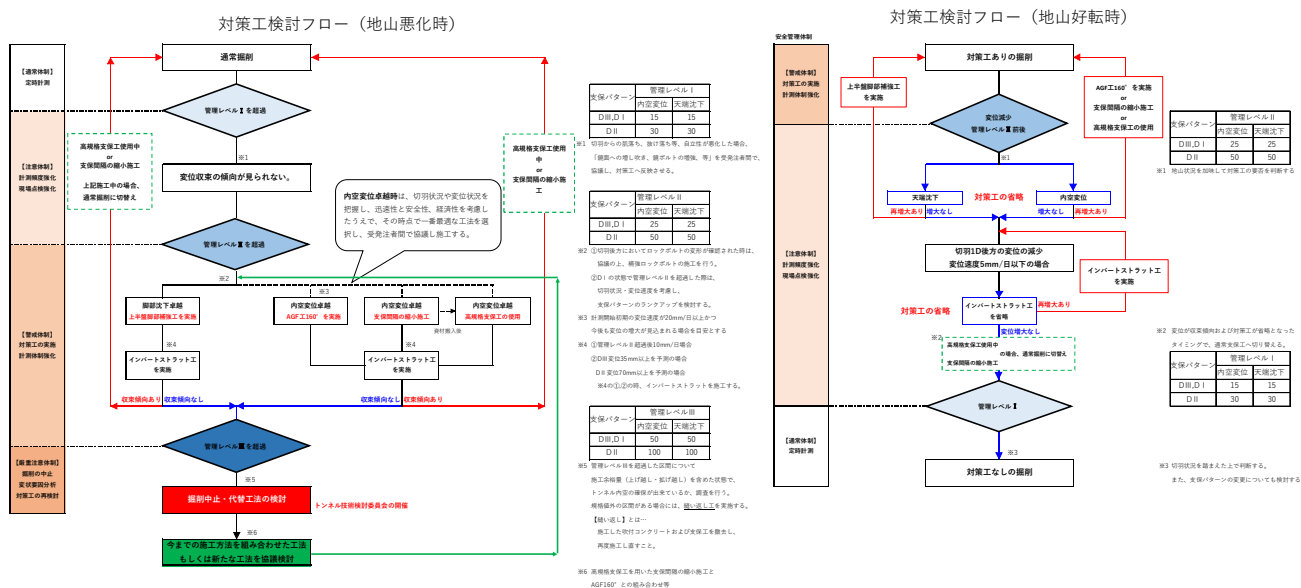


図5-1 今後の地質状況(地質縦断面図)

図5-1に示すように、起点側坑口部にかけて複数の断層破砕帯が事前調査から確認されており、弾性波探査速度も全体的に低くなっていることから、今後さらに地山条件が劣悪化することが想定された。

(2) 対策工の検討フロー

当現場においては、地質の不連続性が卓越していることから、切羽の挙動や支保の変状を注視し、鏡面の押出し・天端の崩落等により掘削が困難な場合においては、必要に応じて掘削施工時の安全確保を目的として適切に補助工法を実施することとした。



ただし、上記事象に加え、内空変位・脚部沈下が卓越する場合においては、図-5-2の対策工検討フローを基本とし、切羽面をはじめ坑内の状態などに応じ、安全性を最優先に最適な対策工を実施した。

通常、対策工検討フローとしては、地山悪化時を想定して立案するものであるが、行政として安全第一のなか、経済性への配慮も不可欠であることから、地山好転時に対しても検討フローを立案し実行することとした。

6. 技術検討委員会の設置・評価

本トンネルにおける事前調査・設計・対策工に対して、トンネル・地盤・行政の各専門分野の外部委員により構成された『原松原線トンネル技術検討委員会』を設置し検証を行うこととなった。

なお、本県の事業において今回のように外部委員からなる委員会を設置することは稀であり、国交省事業においても、計画段階で実施することはあるものの、施工中の工事において実施することは、ほとんどないのではないか、とのことであった。

委員会においてトンネル坑内、掘削ズリ、計測データおよび対策工に関して検証を行っていただいた結果、それぞれの段階において適切であったことを確認した。委員会における評価を表-6-1に示すとともに、以下に要約を記す。

a) 当初の調査・設計

地表の制約条件があるなか、基準に基づき必要な調査が実施されており、加えて、付加体であることに留意した追加調査も実施しており、調査結果をもとに設計も標

準通りに進められていることから、当初の調査・設計は妥当である。

重金属含有土を破碎帯において見込んだ当初計上区間についても、専門家の意見も聴取した上でのものであり妥当である。

b) 当初の地質調査結果と実施工の差異

当工事区間が付加体の中でも極めて悪い側の様相を呈しており、地質が複雑に入り乱れていることや、応力解放に伴う緩みの程度を事前に正確に推定することは困難であることから、当初の想定と実施工に差異が生じたことは、やむを得ないものである。

c) 想定外の地質に対する対策工

掘削時に判明する地山の性状に対して、指針で示す頻度以上の観測・計測を行い、地山状況に適した対応を柔軟に行いながら、安全性・経済性も考慮し、適切な工法にて対処している。

d) その後の対策方針(対策3実施以降)

本トンネル工事での施工実績を踏まえて精査された対策工検討フロー(図-5-2)は、安全性・施工性(品質)・経済性を総合的に考慮したうえで最適な補助工法や支保構造を選択するものであり、妥当である。

上記a)~d)といった意見をいただき、構築した対策工検討フローに基づき、工事を実施している。

しかし、トンネルの特性から、蓄積されたデータを注視することと合わせて、より一層の地山やトンネル坑内の変状に対する観測や常時監視は必須であることから、本現場においては坑内カメラを設置し、常時切羽状況の確認・記録を行った。

表-6-1 委員会における評価

項目	評価
当初の調査・設計の内容	<ul style="list-style-type: none"> 地表の制約条件がある中でも、基準に基づいた調査が行われており、加えて、付加体であることに留意した追加調査も実施されている。調査結果をもとに設計についても標準どおりに進められており、当初の調査設計は妥当であったと考える。 重金属含有土の処分を破砕帯において見込んだことは、事前のボーリング調査結果に加えて、専門家の意見も聴取した上でのものであり、妥当な考え方であったと言える。
当初の地質調査結果と実際の掘削結果との差異に係る考察	<ul style="list-style-type: none"> 掘削結果から、当工事区間の地質は付加体の中でも極めて悪い側の様相を呈していると考えられ、基準に基づく事前調査結果から、硬質部と軟質部が互層構造を成し地質が複雑に入り乱れていることや、掘削に伴う応力開放により生じるゆるみの程度を正確に推定することは困難であり、当初の想定と実際に差異が生じたことはやむを得ないものとする。
想定外の地質に対する対策工の内容(工法・設計変更)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削時に判明する地山の性状をこまめに観察・計測しながら、状況に適合した対応を柔軟に行い、安全性や経済性を確保することが重要であり、当工事においても、指針で示されている頻度以上で計測を行い、発生した事象に対し適切な工法にて対処されていると考える。 重金属含有土の処理についても、こまめに溶出量の検査を行い、処分が必要なズリは適切に処分するとともに、かつ、余分な処分が生じないように取り組まれていると考える。
トンネル施工に係る今後の見通し 地質状況と対策工	<ul style="list-style-type: none"> 引き続きこまめに観察・計測を続け、データを蓄積すること。 これまでの施工実績を踏まえて精査された対策工検討フロー(案)は、安全性・施工性(品質)・経済性を総合的に考慮した上で最適な補助工法や支保構造を選択するものであり、妥当と考える。 安全なトンネル施工となるよう、蓄積したデータを注視しながら、対策工検討フロー(案)に基づき対策の要否を判断すること。 今後、今まで以上に悪い地質状況となり、対策案を改めて検討する必要がある場合は、本委員会に意見を求められたい。

7. 今後の事業への活かし方

文献調査段階にて付加体と考えられ、事前調査で得られた地質資料において潜在亀裂が確認された場合は、応力解放に伴う緩みが大きく生じる恐れがあり、地質をより高リスクに評価することを検討する必要がある。

さらに粘土層も確認されるなどした場合は、より安全に施工するための対策工が必要となることに留意すべきである。

付加体の範囲、地質資料における潜在亀裂や粘土層の有無によっては、標準的な設計とした場合には、実施工との間に大きな乖離が生じる可能性があることから、当工事の実績を参照し、地質をより高リスクに評価することも検討し、トンネル区間全体の地山等級や補助工法の要否を慎重に判断する必要がある。

また、重金属については、破砕帯以外にも基準値を超えて、地山全体に分布している恐れがあることにも留意すべきである。

当現場で得られた知見をもとに、設計段階において、地山等級や補助工法の要否を慎重に判断することに加え、トンネル区間全体で補助工法の実施箇所および重金属含有土の想定範囲を指定することなく、見込み数量として発注することも、当初設計と実施工の乖離を小さくするためには有効ではないかと考える。

8. おわりに

「トンネルは掘ってみないとわからない」と言われているが、ある講演会では「調査数を増やせば全てが解決できるというのは幻想であり、掘ってみてもわからないことはある」とも言われている。

今後の本県でのトンネル事業に際しては、本工事で得られた知見を活かし、掘ってみないとわからない範囲を極力小さくできるよう事前調査結果と向き合い、より精度の高い設計に繋げていけるよう精進してまいりたい。

本トンネルにおいては、低土被り区間(DIII)に入った2021年12月にも最大内空変位39mm、天端沈下51mmと若干大きい変位が生じたものの、対策工フローに基づき掘削を進め、2022年3月4日に無事に貫通を迎えることができた。

今後はインバート及び覆工施工がメインとなるが、引き続き安全第一で竣工に向けて進めて参りたい。

謝辞: 本トンネル工事を進めるにあたり、原松原線トンネル技術検討委員会の委員の皆様には貴重なご意見・ご指導を頂いた。また、本論文の執筆にあたり株式会社エイト日本技術開発ならびに戸田昭建金子JVから技術的なアドバイス、施工資料を提供頂いた。ここに、深く謝意を表する。

道路の維持管理の計画化・体系化について

川畑 至功¹

¹奈良県県土マネジメント部 中和土木事務所 工務課 (〒634-0003 奈良県橿原市常盤町605-5) .

当県での道路の維持管理については、客観的な管理指標に伴う優先度の考え方がなかった。また、土木事務所の管理境界において、サービスレベル・補修時期等が未調整などの課題があった。それらの課題を踏まえ、本論文では、主に舗装補修について、計画的・体系的な道路の維持管理に向けた取り組みを述べる。

キーワード 維持管理、舗装補修、防災・減災、安全・安心

1. はじめに

本県における道路の状況は自動車専用道、市町村道を含め、全延長約 12,840km のうち、県管理道路は、国道、県道をあわせて、約 2,025km となっており、県内の経済活動や県民の生活を支える上で重要な役割を担っている。

道路を安全で快適に通行できる状態を維持するためには、道路路面の管理は必要不可欠である。これまでは、道路利用者や、土木事務所ごとに実施する道路パトロールで発見された損傷箇所、または、地元要望により報告された箇所に対して、緊急性の高いところから、優先順位を決定し、順次補修を実施している。(図-1 参照)

るために、現状と課題を踏まえ、その課題の解決に向け、今まで以上に効率的、効果的な維持管理への転換を進めていきたいと考えている。本論文では、舗装における道路の維持管理の計画化・体系化について、今後の方針を定め、効率的、効果的な路面の維持管理について説明するものとする。

2. 現状について

本県における舗装を取り巻く環境については、2019年度のご意見・ご要望の全体 2991 件の内、約 16% の 484 件が路面の件であり、動物死骸・路面散在物に続き 2 番目に多い状況である。(図-2 参照)

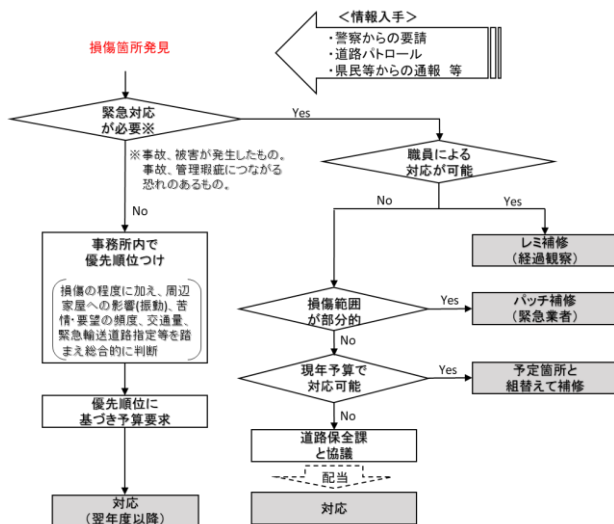


図-1 現状の舗装補修フロー

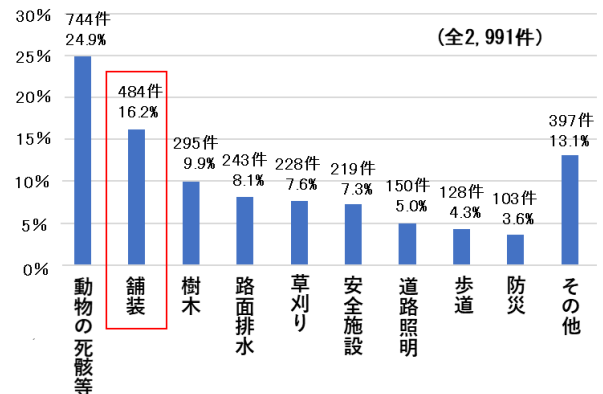


図-2 2019年度のご意見・ご要望件数

限られた予算の中で、道路の安全性、快適性を確保す

また、過去 10 年間で舗装が原因となっている管理瑕

疵件数についても、全体 692 件の内、約 21%の 145 件と、落石・崩土に続き 2 番目に多い状況である。(図-3 参照)

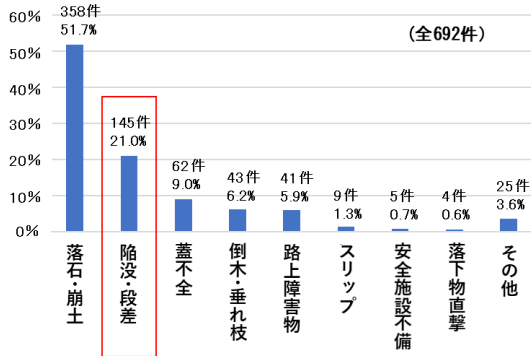


図-3 過去 10 年間の管理瑕疵件数

このように、舗装を取り巻く環境は厳しいものとなっており、計画的に補修を実施することが、道路を利用する県民の安全性・快適性につながると考えられる。

また、現在の県道における舗装の損傷状況については 2019 年度における、奈良土木事務所の調査結果からは、舗装の損傷状態を 3つの指標（ひび割れ率、わだち掘れ量、IRI）で総合的に判断すると、損傷が著しい状態（損傷度Ⅲ）は図-4 に示すとおり、全体の約 8%となっている。併せて、図-5 に損傷イメージを掲載する。



【損傷度Ⅱ：表層保持段階】



【損傷度Ⅲ：修繕段階】

図-5 舗装の損傷イメージ

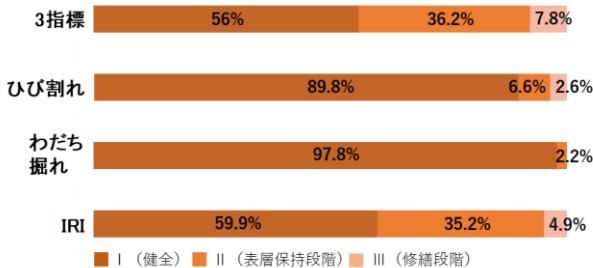


図-4 舗装の損傷状況
(R 元年度奈良土木調査路線)

これらの状況を踏まえ、県民に安全で快適に道路を利用してもらうためには、苦情・要望や管理瑕疵が発生してから補修を実施するのではなく、事前に、舗装の損傷状態を把握し、損傷が認められる前に、適切に補修を実施していく必要がある。

3. これからの路面管理・舗装補修に関する考え方

2章では、県民に安全で快適に道路を利用してもらうためには、事前に補修を実施する必要があると述べた。

ただし、限られた予算や時間の中で、全ての路線について、補修を実施することは困難である。

道路の舗装については、交通量や地域区分によってその役割が異なるため、効率的・効果的にメリハリをつけた管理を行うためには、路線の特性毎に管理区分や管理目標を定めて管理する必要があると考えた。

そこで、国土交通省の舗装点検要領にある、大型車交通量毎の劣化特性の分析結果に着目した。

図-6 のグラフのとおり、大型車交通量 1000 台・方向以



【損傷度Ⅰ：健全】

上の路線は、舗装が早期に損傷し、100台未満では損傷進行が大幅に緩やかになるという結果が示されている。

その結果に従い、当県の管理区分については、表-1のとおり、主に舗装の劣化特性を鑑み、大型車交通量を主軸として管理区分の設定を検討している。

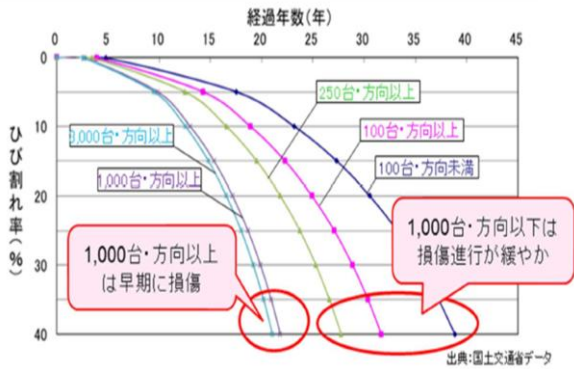


図-6 ひび割れ率に関する標準的な劣化曲線¹⁾

表-1 劣化特性の分析結果を踏まえた管理区分の設定

管理区分	延長 (km)	割合 (%)	定義
A	369.8	18.3	・大型車交通量1,000台以上 ・第一次緊急輸送道路
B	881.5	43.5	・大型車交通量100台以上 (管理区分Aを除く)
C	774.0	38.2	・大型車交通量100台以下
合計	2025.3	100.0	

管理区分Aについては、大型車の交通量が多く、舗装の劣化速度が速いため、修繕頻度が高くなると考えられる。管理区分Bについては、管理区分Aほどの補修頻度ではないが、比較的頻度は高くなると考えられる。管理区分Cについては、大型車交通量も少なく、舗装の劣化速度は大幅に緩やかであるため、修繕頻度は非常に低くなると考えられる。

従って、管理区分毎の舗装の劣化速度を鑑み、管理区分Aについては、予防保全を実施する。管理区分Bについては、損傷度大となった時点で事後保全を実施する。管理区分Cについては、損傷速度が非常に緩やかなため、日常のパトロール等で状態を把握し、局所的な補修を実施する。

こうした、管理区分毎に特徴を踏まえ、管理目標および管理方針について整理したものを表-2に示す。なお、表-2の中の損傷レベル大とは、ひび割れ率：40%以上、

わだち掘れ量：40mm以上、IRI：8mm/m以上を示す。

表-2 管理目標と管理方針

管理区分	舗装点検		管理目標	管理方針
	点検頻度	診断方法		
A	5年に一回	ひび割れ わだち掘れ IRI	・ひび割れ率30%以上で、 切削オーバーレイ、 シール剤注入工法等 予防保全対策を実施 ・損傷レベル大が1項目 以上該当で修繕	・安全性・快適性の確保 ・耐久性の確保
B			・損傷レベル大が1項目 以上該当で修繕	・安全性の確保 ・耐久性の確保
C	パトロール時	目視	・局所的補修の実施による 舗装の延命化	・局所的な損傷による 事故防止 ・舗装の延命化

今後は、整理した管理目標と管理方針に従い、路線毎に適切な道路路面の維持管理を進めて行く。

4. おわりに

本論文では、限られた予算の中で舗装を適切に管理し、道路の安全性・快適性を確保するために検討している対応策を述べた。

今後に向けては、路面性状調査結果および蓄積された修繕履歴等に基づいた舗装点検結果（ひび割れ率、わだち掘れ量、IRI値）の情報に加え、舗装構成等を閲覧が可能な「舗装管理データベースシステム」（以下システム）の構築を目指している。

そのシステムを用いて、図-7に示すようなメンテナンスサイクルの構築を目指している。

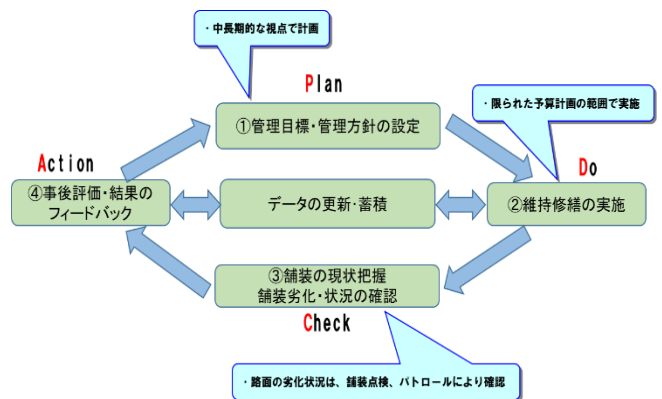


図-7 メンテナンスサイクルのイメージ

ひび割れ率やわだち掘れ量等の損傷の進行を、交通量、

地域特性および補修工法別に劣化モデルを作成し、将来の劣化を推計し、必要な箇所について適切な次期、工法で補修するなど適切な路面管理を目指していきたい。

謝辞：本論文の作成に当たり、ご協力いただきました方々へ心よりお礼を申し上げます。

5. 参考文献

1)国土交通省道路局:舗装の点検要領

※なお、本論文は著者が県土マネジメント部道路保全課に在籍した際に取り組んだ内容を元に作成しております。

舞鶴市桃山町における 警察・住民と連携したゾーン30整備について ～ゾーン30プラス整備に向けた取り組み～

北川 直希¹

¹舞鶴市 建設部 土木課 (〒625-8555 京都府舞鶴市字北吸1044)

近年、運転手の不注意や操作ミスにより、登下校中の児童等の列に自動車が突入するなど、児童や高齢者が死傷する事故が多く発生している。また、交通事故死者数が減少傾向にある中で生活道路における死者数の減少幅は小さい。そこで、生活道路における人優先の安全・安心な通行空間の整備が求められている。

本稿では、舞鶴市桃山町でゾーン30の整備に合わせてエリア内に物理的デバイス等の対策を実施するために、地域住民や警察と連携して取り組んだ事例について紹介する。

キーワード ゾーン30, 生活道路, 物理的デバイス, スムーズ横断歩道, ハンプ

1. はじめに

(1) 舞鶴市の交通安全の概要

本市では、市民を交通事故から守るため、国、京都府、京都府警察、関係機関・団体そして地域住民と一体となり、市民の理解と協力を得ながら、様々な交通安全対策を実施している。

「第11次舞鶴市交通安全計画¹⁾」と2016年(平成28年)に京都府舞鶴警察署と締結した「国際港湾・交流都市 舞鶴 “住んでよし働いてよし訪れてよし” の安全・安心まちづくり協定」に基づき、交通状況や地域の実情等を踏まえた安全で円滑・快適な交通社会を実現するため、交通安全に関する事業を推進している。

(2) 舞鶴市の交通事故の現状

本市における交通事故の発生件数及び負傷者数は減少傾向にあり、2021年(令和2年)の発生件数は105件、負傷者数は115人で過去最少を記録し、平成のピーク時と比較してもいずれも20%以下に減少している。

また、交通事故死者数は、1993年(平成5年)に過去最多の29人を記録して以降、近年は3人前後で推移し、2018年(平成30年)には過去最少の1人となるなど全体としては減少傾向にある。

一方、直近5年間の死者数の内訳は、約7割を65歳以上の高齢者が占め、2021年(令和2年)に至っては、亡くなられた4人全員が80歳代であり高齢者対策が喫緊の課題となっている。

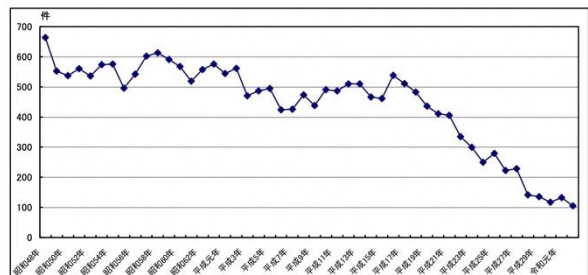


図-1 舞鶴市の交通事故発生件数

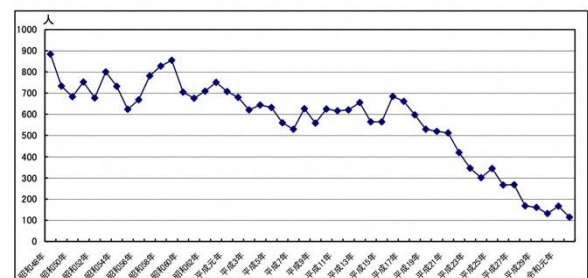


図-2 舞鶴市の交通事故負傷者数

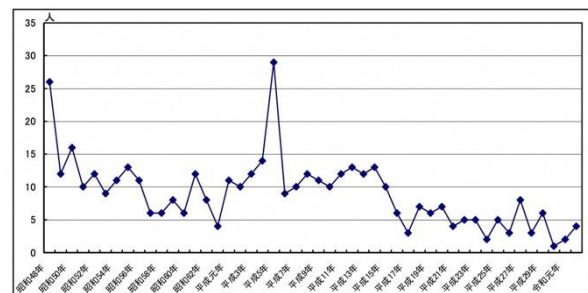


図-3 舞鶴市の交通事故死者数

2. ゾーン30整備について

(1) ゾーン30とゾーン30プラス

a) ゾーン30とは

「ゾーン30」は、生活道路における歩行者等の安全な通行を確保することを目的として、区域（ゾーン）を定めて最高速度 30km/hの速度規制と安全対策を組み合わせ、ゾーン内の速度抑制や抜け道として通行する行為の抑制等を図る生活道路の安全対策である。

b) ゾーン30プラスとは

2021年（令和3年）8月に、生活道路の交通安全に係る新たな連携施策「ゾーン30プラス」の推進が取りまとめられた。整備の要件は、歩行者等の通行が最優先され、通過交通が可能な限り抑制されるという基本的なコンセプトに対する地域住民の同意が得られ、最高速度 30km/hの区域規制の実施と、警察と道路管理者、地域の関係者等との間で物理的デバイスの設置について、適切に検討され実施されていることである。



図-4 ゾーン30プラスの看板と路面表示²⁾

(2) 舞鶴市のゾーン30整備状況

本市では、2016年（平成28年）に朝来地区の小学校周辺で初めて整備を行い、今回の桃山町地区が4箇所目の整備となる。整備済みの4箇所のうち桃山町を含む2箇所には物理的デバイスが設置されている。

表-1 舞鶴市のゾーン30整備状況

地区名	整備年月日	備考
朝来	2016.3.1	
引土	2017.3.10	物理的デバイスあり
余内小学校	2018.2.21	
桃山町	2021.4.8	物理的デバイスあり

3. 桃山町地区ゾーン30整備について

(1) 事業概要

舞鶴市桃山町は、JR東舞鶴駅周辺で住宅地に隣接して小学校や病院など公共性の高い施設が立地するエリアで

あり、歩道のない狭い路肩を児童が通学路として、通行している状況であった。また、エリア内を抜け道として幹線道路から生活道路に通過交通が流入しており、住民から安全対策の要望が過去から寄せられていた。

地区の課題に対して、道路管理者、警察および住民がゾーン30を整備することにより課題解決することで同意し、計画段階から連携・協力を図り事業を実施した。

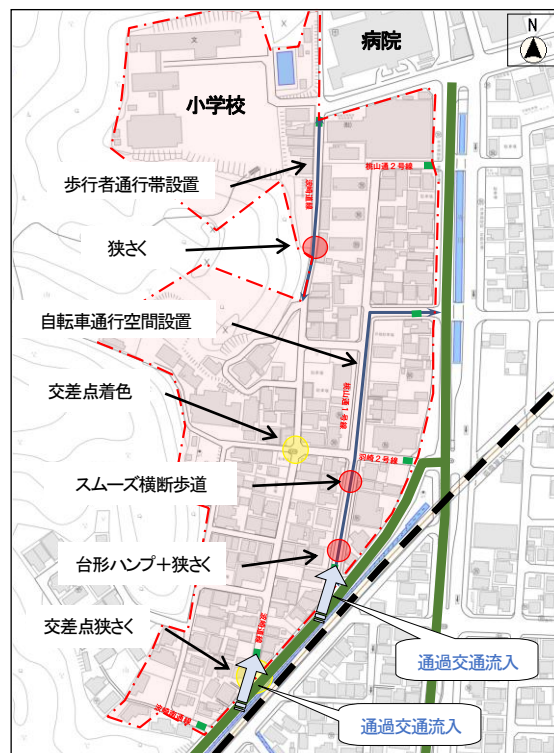


図-5 舞鶴市桃山町の交通状況と対策内容

(2) 事業経過

2019年（令和元年）10月に舞鶴市長と舞鶴警察署長の出席のもと「舞鶴市安全・安心まちづくり推進会議」で本事業の計画が合意され、計画段階から警察と連携して対策内容の検討や地元説明を行なった。

2020年（令和2年）3月から自治会長に計画説明を行い地域の同意を得るための協力を依頼し、公安委員会とは物理的デバイスなど対策内容の協議を行なった。

同年10月に国土交通省の補助制度である「交通安全対策補助（地区内連携）」を活用して、工事の契約を行なった。

2021年（令和3年）1月に4者協議（自治会長・教育委員会・警察・道路管理者）において、計画の同意を得た。同年4月にゾーン30の区域指定を行い、同年8月にスムーズ横断歩道や台形ハンプなどの物理的デバイスを追加して、供用を開始した。

2022年（令和4年）3月に、ゾーン30プラスの整備計画を国土交通省に提出し、同年5月にゾーン30プラスの整備が完了する予定である。



図-6 関係機関との連携状況

(3) 対策内容

ゾーン30に指定された約8haのエリア内で、通過交通の流入抑制や速度抑制、歩行者の通行空間の確保を目的として対策を実施した。

(主な対策内容)

- ・スムーズ横断歩道
- ・狭さく
- ・交差点内着色
- ・道路中央線消去
- ・台形ハンプ+狭さく
- ・交差点狭さく(交差角修正)
- ・「止まれ」強調標示
- ・自転車通行空間の整備



図-7 対策の状況

(4) 整備効果

整備効果の確認を現地実測による方法とETC2.0のプロブデータの解析による方法で行なった。

a) 現地実測による効果検証

整備前後の1時間当たり(7:30~8:30)の交通量と平均速度を現地で実測した。結果は、交通量が44%の減少で平均速度が26%の減少となった。また、エリア内の平均速度は30km/hを下回っており、整備効果が確認できた。

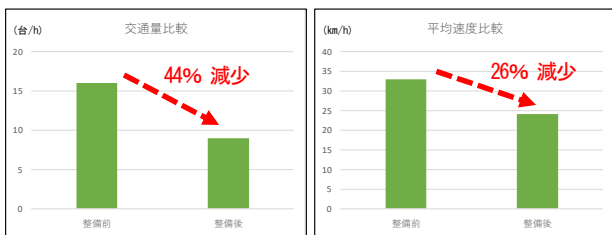


図-8 現地実測による効果検証結果(舞鶴警察署提供)

b) ETC2.0による効果検証³⁾

京都府道路交通環境安全推進連絡会議(以下、安推進)でETC2.0のプロブデータの解析を行った。

エリア内の平均速度は30km/hを下回っており、超過割合も40%未満であり整備効果が確認できた。一方、85%マイル速度は物理的デバイスを整備した区間で30km/h以上となった。

また、交通量のうち6~7割が通過交通であり、整備前後では通過交通量が増加傾向にある。

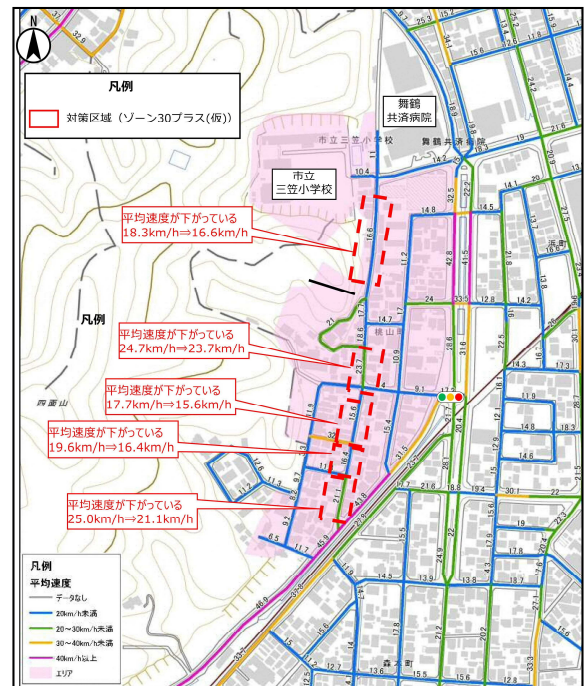


図-9 ETC2.0解析 平均速度(事後)

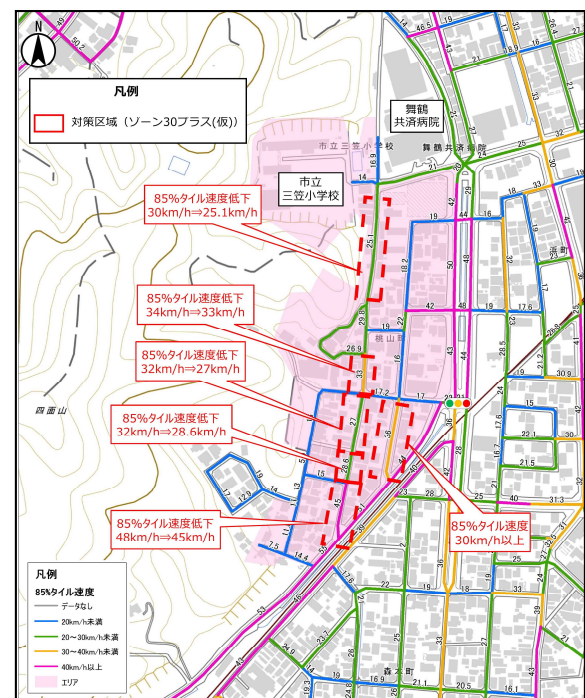


図-10 ETC2.0解析 85%マイル速度(事後)

4. 考察

本事業の考察を以下に記載する。なお考察の内容は、あくまでも報告者個人の見解であることを申し添えます。

(1) 物理的デバイスの設置

a) スムーズ横断歩道

京都府初となるスムーズ横断歩道の設置を行なった。設置箇所は、幅員 4m の道路が交差する十字交差点で主道路の両側には歩道があり、本計画で新たに横断歩道の設置を行なった。

新設の横断歩道であり、交差点面積が比較的小さく交通量も多くないことから、実際の歩行者の動線は横断歩道を利用せず直線的に通行する状況が見受けられる。小学校の正門の目の前のように道路を横断する必然的な箇所を選定することや、歩行者を横断歩道に誘導する対策を合わせて行うなどの工夫が必要である。

また、歩道形式がセミフラット形式であったため車道と合わせて歩道も嵩上げする必要があった。歩道の縦断勾配 5パーセント以下の基準を満たしているとは言え、歩道に凸部があることに違和感を感じる。道路の沿道利用にも配慮する必要があり、設置箇所の選定には住民の理解が必須である。

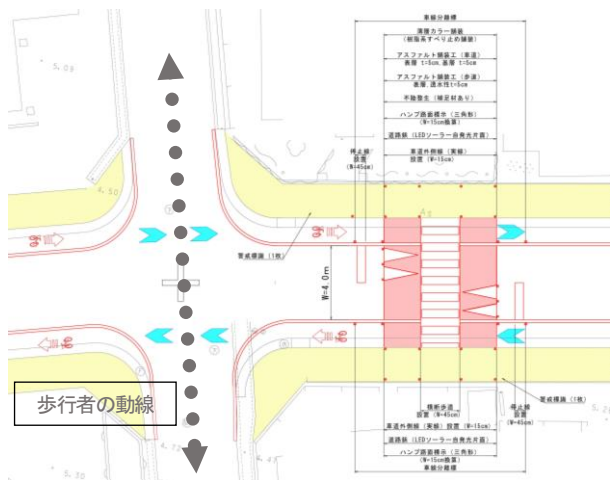


図-11 スムーズ横断歩道の構造図

b) 台形ハンプ+狭さく

台形ハンプでは、車道幅員を 4m から 3m に絞る狭さくを組み合わせる流入抑制と速度抑制の向上を図った。また、見通しのよい直線区間でハンプ通過後に車両が再加速することが予想されたため、スムーズ横断歩道を連続的に設置することにより効果の促進を図った。

(2) 積雪寒冷地における物理的デバイス

本市において、2021年(令和3年)が物理的デバイス設置後の初めての冬季であり、12月としては観測史上最深記録を更新する積雪 71cm を記録するなど大雪に見舞われた。市道除雪計画は、幹線道路や集落間を結ぶ唯一

道路のみを除雪するものとなっており、生活道路に関しては除雪作業を実施していない。

物理的デバイスを設置した箇所では、除雪作業を実施しておらず作業の支障となる事象は発生していない。しかし、スムーズ横断歩道やハンプの縦断勾配の変化や狭さくの幅員減少は、除雪作業の支障となることが想定されるため、対策箇所や路線の選定には留意する必要がある。また、積雪時の一般車両の通行は、縦断勾配の変化点においても、雪用タイヤなどの一般的な積雪対策を行なった車両であれば通行に支障はない。

積雪寒冷地における物理的デバイスの設置については、全国的に検証がなされているところであるが、本市の実績からは、除雪作業に関して配慮が必要であるが、一般車両に関しては支障ないと考える。



図-12 2021年(令和3年)12月の積雪状況

(3) ゾーン30路面標示の標準レイアウト

ゾーン30入り口に設置される路面標示は、「法定外表示等の設置指針について⁴⁾」に標準的なレイアウトが示されており、実際の設置に関しては、法定外表示として各道路管理者が工夫して設置しているところである。

一般的なレイアウトは 2.4m × 3.4m 程度と大きく、幅員が狭く占用物件(マンホール蓋など)の多い生活道路では設置に苦慮するところである。また、デザイン性の高いレイアウトは施工費が高くなる傾向にある。

入り口に設置される路面標示は、統一のかつシンプルで分かりやすいことが求められる。本市においても、継続的にゾーン30を整備するためにレイアウトの工夫を行なっていきたい。



図-13 路面標示の設置状況

(4) 整備効果の検証方法

前述のとおり2つの方法で効果検証を行なったが、それぞれ異なる結果となった。検証方法で共通しているのは、使用するデータの母数が少なく、統計的なデータ整理ができなかったことである。

地方部の生活道路では、基となる数値データが少ないことから、個々の数値が結果全体に与える影響が大きい。そのため検証結果の妥当性に疑問が残ることとなった。

計画段階から整備効果の指標となるデータを把握して、実態に即した検証を行う必要がある。

(5) 道路管理者の費用負担

本事業の実施にあたって、国土交通省の個別補助制度である「交通安全対策補助制度（地区内連携）」を活用した。ゾーン30整備の実施においては、道路管理者が負担する費用の割合は小さくない。また、ゾーン30プラスの要件を満たすには、物理的デバイスの設置が必須であり、更に費用負担が大きくなる傾向にある。

事業の計画段階から、補助制度を活用するなどの財源確保と、警察との役割分担を明確にすることが事業実施のポイントとなると考える。

5. おわりに

これまで全国の道路管理者が様々な交通安全対策を講じてきたが、登校中の児童や高齢者が死傷する事故は後を絶たない、改めて対策の見直しを行う必要がある。

道路管理者の中には、杓子定規な考え方や責任を転嫁

するような考え方が原因で、対策が足踏みしていることが少なからずあるのではないかと。

今も現場では、危険にさらされている児童や歩行者があり、改善を願う保護者や住民がいる。重要なのは、“問題点（危険な要因）は何か”を理解し“適切な（目的にあった）対策”を講じることである。必ずしも、歩道整備やガードレールの設置、ゾーン30の整備が正しいのではなく、車線分離標（通称ラバーポール）1本の設置が効果的かつ住民が求めていることなのかもしれない。

基準や行政のしがらみにとらわれることなく、柔軟な対応が求められている。道路管理者として“できない理由”だけでは説明責任を果たしておらず“何かできること”を考えなければならないと思う。

謝辞：事業の実施にあたり、ご理解とご協力をいただいた各方面の関係者の皆様と、本稿の執筆に当たりご助言をいただいた皆様に謝意を表する。

参考文献

- 1) 舞鶴市：第11次舞鶴市交通安全計画
<https://www.city.maizuru.kyoto.jp/0000009546.html>
- 2) 国土交通省：生活道路の交通安全対策ポータル
<https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/anzen.html>
- 3) 京都府道路交通環境安全推進連絡会議
 令和4年3月2日 第2回事務局会議資料
- 4) 警察庁：法定外表示等の設置指針について
 平成26年1月28日付警察庁丁規発第7号警察庁交通局交通規制課長通達



2年連続となる一庫ダム冬季渇水への対応

川上 貴宏¹・内藤 信二²

¹水資源機構 関西・吉野川支社 淀川本部 施設管理課 (〒540-0005 大阪府大阪市中央区上町A番12号)

²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、令和3年度は2月17日より取水制限が開始され、2年連続の冬季渇水となった。2箇年とも段階的に取水制限が20%に強化され、特に令和2年度は取水制限期間が106日間に達し、管理開始以降3位の長さとなった。

渇水期間中、一庫ダムでは水道事業者等に貯水池情報を適宜提供したほか、きめ細やかな低水管理操作や年度途中での利水基準点のH-Q曲線の見直し等、関係者との連携により貯水量を温存させた。さらに、令和3年度は前年の経験を活かし、淀川水系渇水対応タイムラインに基づく自主節水を水道事業者と緊密に連携することで、早期に実現させ、取水制限開始時期を3ヶ月程度先延ばしすることができた。

本稿ではこれらの渇水対応について報告する。

キーワード 冬季渇水、取水制限、確保流量、自主節水、渇水対応タイムライン

1. 令和2年・令和3年冬季渇水の概況

令和2年・3年ともにダム流域の年間降水量は平年値1,505mmを上回ったものの、時期に偏りが見られ、各年とも夏季に集中的に降雨が観測された一方、8月又は9月以降少雨傾向となり、秋季～冬季の雨量が平年の約0.7倍と非常に少なく、これが2年連続の冬季渇水の原因となった。

ダム下流で必要量を安定して取水するためには、一定の河川水量を維持する必要があるため、少雨により河川流量が減少した場合、一庫ダムから不足分を補給するため、貯水量が減少していく。図-1に主な渇水年の一庫ダム貯水位を示す。降雨による一時的な貯水量回復はあるものの、令和2年は8月以降、令和3年は10月以降、利水補給が続き、冬季に貯水率が30%（洪水期換算60%）を下回った。

令和2年度は12月21日10時から農業用水・水道用水ともに取水制限10%を開始、同日に一庫ダム渇水対策本部を設置した。取水制限は平成26年以来6年ぶり、冬季に取水制限が実施されたのは平成14～15年以来であり（写真-1）、翌年1月8日には取水制限20%に強化された。その後、1月23日に貯水率20.9%と底を打った後は、取水制限の効果と、その後の周期的な降雨によって貯水量が回復し、4月5日に取水制限は解除された。取水制限期間は、令和2年度は106日間、令和3年度は96日間に達し、それぞれ管理開始以降3番目、4番目の長さとなった。



写真-1 貯水率21.3%の一庫ダム (令和3年1月21日)

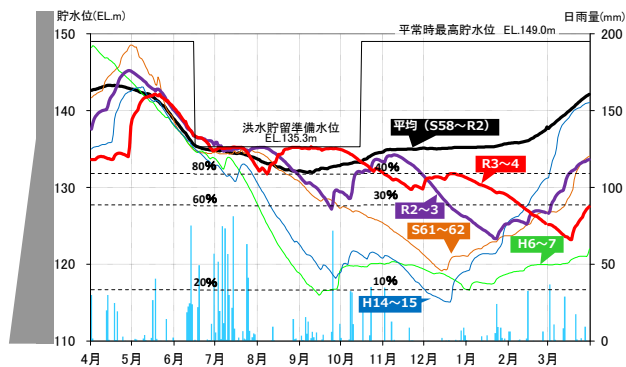


図-1 主な渇水年の一庫ダム貯水位曲線 (日雨量は令和2年度)

2. 一庫ダムの低水管理の特徴

(1) 一庫ダムの利水

一庫ダムは、阪神都市圏を抱える都市型ダムであり、兵庫県（尼崎市・西宮市・伊丹市・宝塚市・川西市・猪名川町の5市1町）、池田市、川西市、豊能町（大阪広域水道企業団）の水道用水として供給されている（図-2）。また、一庫ダムの不特定用水の補給は、既得農業用水に加えて、既得の水道用水（川西市、池田市、伊丹市、豊中市）の補給も行っており、水道用水は新規・既得含めおよそ45万人が一庫ダムの恩恵を受けている。特に、池田市・川西市・猪名川町は一庫ダムへの依存度が80%を超えており（図-3）、過去より渇水を少しでも軽減できるダム運用を行ってきたところである。

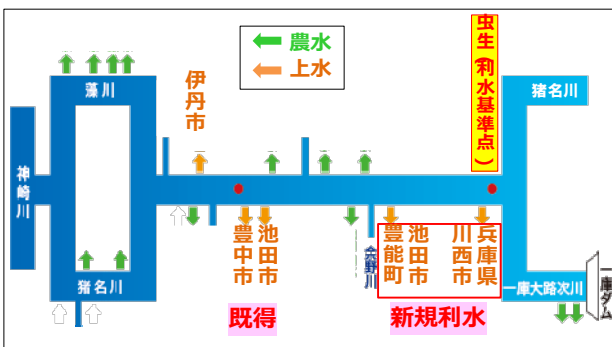


図-2 猪名川流域取水口位置図
(猪名川河川事務所HPより。一部加筆)

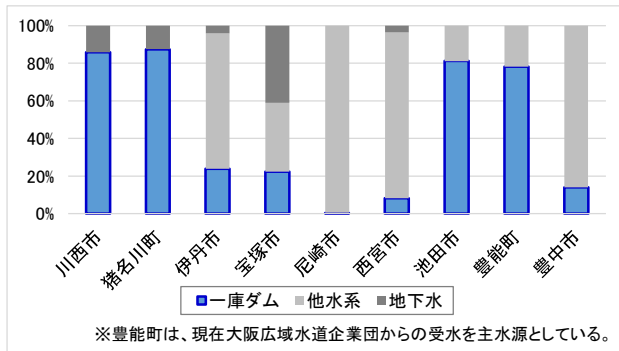


図-3 水道水源の一庫ダムの依存度 (平成28年)

		(m ³ /s)					
虫生地点確保流量 (直近下位水位流量)		2.795 (2.76)	3.125 (2.96)	4.419 (4.26)	3.972 (3.80)	3.244 (3.16)	2.795 (2.76)
流水の正常な機能の維持		1.100	1.430	2.724	2.277	1.549	1.100
新規利水	兵庫県	1.117					
	川西市	0.116					
	池田市	0.365					
	豊能町	0.097					
		4/1~ 6/1~ 6/21~ 7/16~ 8/16~ 10/1~					

図-4 利水基準点(虫生)取水計画量(令和2年度)

一庫ダムでは、上記の水利用に対し、下流の利水基準点(虫生地点)にて新規利水と機能維持を加えた水量(確保流量)を満足するよう補給を行う。なお、流水の正常な機能の維持のための確保量は、期別変化があり、新規利水の確保量は一定として合計した水量が確保量となる(図-4)。

虫生地点の確保流量のうち、新規利水の開発水量は最大2.5 m³/sである。令和2年度の新規利水分は1.695 m³/sであり、農業用水等を加えた2.795 m³/sが取水制限前(令和2年12月時点)の確保流量である。

(2) 利水基準点の確保量を満足させる操作

通常時の基本運用としては、ダム下流の利水基準点(虫生地点)の流量を24時間365日常時監視し、確保量を下回ったら補給量を増、上がったら補給量減という操作を行い、できるだけきめ細やかなダム操作を行っている。基準点の流量は、H-Qより決定されるため、1cm単位の水位変動により、操作を実施することとなる。

また、運用上の確保量は、H-Q式において、直近下位となる水位としている。これは、平成14年渇水を受けて、ダム貯水量を少しでも温存できるように、全利水者及び河川管理者の了解を得て、平成15年度より実施しているものである。

低水管理操作体制について、勤務時間内(平日)は主に低水管理当番職員が対応し、休日夜間はダム職員2名の当番制(管理職1, 一般職員1)にて対応している。

3. 一庫ダムの渇水対応と貯水量温存策

冬季渇水は、夏季のように前線や台風による大雨が望めず、長期にわたり継続することが懸念されたことから、関係機関や利水者と緊密な情報共有を図るとともに、少しでも貯水量を温存させる方策を検討し、実行した。

本章では令和2年度の事例を紹介する。

(1) 関係機関、利水者との渇水調整

貯水率が40%(洪水期換算80%)を下回った11月29日以降、ダム所長より利水者幹部(水道事業管理者、部長級)に適宜情報提供を行った。その時点で、取水制限前に少しでも貯水量の温存を図るべく、水道事業者が自主節水の調整に乗りだしたものの、日程的に困難であり実施できなかった。

並行して、河川管理者より猪名川渇水調整協議会開催に向けた調整がなされた。事務局である猪名川河川事務所による水道事業者への聞き取りで、一部団体から貯水量温存のために第1次取水制限を制限率20%で開始して欲しいとの意見があったが、調整の結果、貯水率の低下に応じて段階的に強化していくことで10%制限から開始

することとなった。

また、協議会にて20%制限の開始時期も明記されたが、その間に降雨があり貯水量の減少が緩やかになったため、事務局から取水制限20%の開始延期の意見聴取を行ったところ、今後の貯水位回復の見込みが立たないことから、貯水量の温存のために、当初予定通りに取水制限20%を開始するべきとの意見が多く寄せられ、延期の調整は実施しないこととなった。特に、一庫ダムの水道依存度が高い2市1町からは、少しでも長くダムの水量を確保して欲しいという切実な声が聞かれた。

(2) 取水制限の基礎となる水量の精査

取水制限を行うにあたり、水道用水（新規，既得）に関しては、各取水団体の11月1日～12月20日の最高取水実績（日）を採用し、2,484 m³/s（計分量との差△0.311 m³/s）を「基礎となる水量」と定め、その水量から10%及び20%の制限をかけている（図-5）。つまり、取水制限10%、20%時の取水制限前からの削減水量は、計分量に対しそれぞれ18.4%、28.9%に達し、貯水量温存効果が格段に高まることとなった。本方式と取水制限が計分量ベースで行われた場合の貯水量を比較した結果、取水制限が解除された4月5日時点で2,381千m³（利水容量の8.9%）の温存効果があったと試算された。

(3) きめ細かな低水管理操作

利水基準点の確保水量を満足させるため、令和2年8月から令和3年4月5日の取水制限解除までの間に計345回（前年の1.7倍）の補給操作を行うなど、きめ細やかなダム操作に努めた。この間のダムからの補給日数は159日に及び、総補給量（図-6の薄い色部分）は京セラドーム大阪12杯分に相当する14,356千m³に達した。

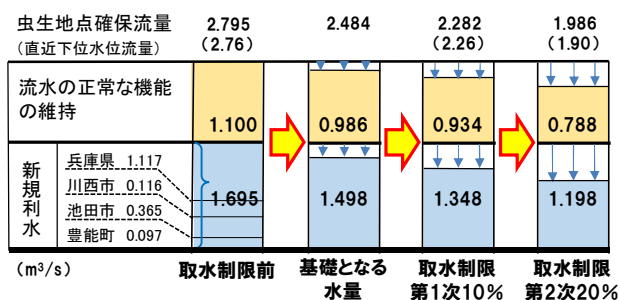


図-5 取水制限時の確保流量

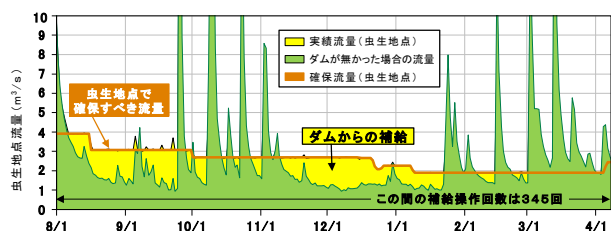


図-6 利水基準点の河川流量とダムからの補給状況

(4) 利水基準点（虫生地点）のH-Q式見直し

令和2年11月中旬以降、同様の流況であった前年よりも貯水位の下がり方が急であったため、流域流況データを整理分析したところ、ダム流入量は前年と同程度であることから、虫生地点のH-Qの誤差の可能性が考えられた。この状況を水位局を管理している河川管理者に速やかに伝えて協議を行い、年度途中ではあるが、12月15日にH-Q式の変更を行った。その結果、0.3 m³/s程度の補給量低減効果が認められ、その分ダム放流量が少なくなり、取水制限期間中の貯水量温存量は1,564千m³（利水容量の5.8%）と試算された。

4. 異常渇水への備え

(1) 補助取水ゲート

一庫ダムは、異常渇水時にも堆砂容量内に貯まった水の取水が可能となるよう最低水位（EL.108.0m）より低標高部のEL.92.0mに補助取水ゲートを設置している。渇水が長期化・深刻化する事態に備え、確実な開閉操作ができるよう、危機管理対応訓練の一環として毎年操作訓練を実施している。また、操作訓練前にはダム貯水池の堆砂測量時にマルチビーム測深機を用いて補助取水ゲート付近の状況調査を行い、沈木等の異物がないことを確認することとしている（図-7）。

(2) 補助取水ゲート試験放流時の水質監視

補助取水ゲートからの放流訓練は、循環期である冬季に実施しているが、ダムの底部に貯まった水であることから、貯留水の循環混合の程度によっては、貯水池底層の濁水等による下流河川の魚類等への影響が懸念される。令和2年度は、事前に補助取水ゲート付近で採水し、健康項目や鉄・マンガン等の水質項目、2-MIB、ジオスミンといったカビ臭物質濃度に問題ないことを確認し、放流試験を行った。



図-7 マルチビーム測深機による計測

5. 広報活動

取水制限の実施においては、市民生活に直ちに重大な影響が及ぶものではないことから、統一的な節水キャンペーンは実施せず、各取水者の判断により行うこととされた。一庫ダムでは、ダムの役割を理解していただく貴重な機会と捉え、積極的なツイッターへの投稿や、職員手作りのバーチャルダム見学のYouTube動画にダムの利水の役割と渇水情報を盛り込み、自治体やケーブルテレビ等に情報提供して拡散に努めた。また、今回の渇水の振り返り動画(図-8)は、情報の鮮度を重視し取水制限解除から2週間で作成し公開した。これらの動画は関係利水者や報道関係者からも「説明が分かりやすい」「メッセージ性のあるシナリオが良い」等大変好評であった。



図-8 渇水対応をとりまとめたYouTube動画 (QRコードは動画へのリンク)

6. 令和2年渇水の反省と改善点

令和2年の冬季渇水は、一庫ダムでの久しぶりの渇水だったこともあり、慣れない渇水対応の中、できる限り先手を打って貯水量の温存につながるような対応をしてきた。渇水期間中、関係利水者への迅速な情報提供やきめ細やかな放流操作を行うことで、大きな問題なく渇水を乗り切ることができた。これらの取り組みが評価され、ダムファンの投票で選定される2021年ダムアワードの低水管理賞を受賞した。

一方で、利水者間の自主節水が間に合わなかったことや、利水基準点のH-Q見直し調整に難航したこと等、事前準備が不足していた部分もあった。これらの反省を踏まえ、令和3年度に改善した事項を以下に示す。

(1) 渇水対応タイムラインに基づく対応

令和3年4月に試行運用を開始した「淀川水系渇水対応タイムライン」において、貯水率80% (非洪水期40%) を下回った段階で自主節水を行っている状況と明記された(図-9)。令和2年は貯水率40% (非洪水期) を下回ってから情報提供や水道事業者間調整が行われたが、タイムラインでは時機を逸していたことになる。この反省

非洪水期貯水率	洪水期貯水率	状況
▽40%	▽80%	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%	▽60%	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%	▽20%	渇水調整期

図-9 渇水対応タイムライン (一部抜粋)

を踏まえ、令和3年も8月上旬及び10月下旬に貯水位が低下傾向にあったことから、タイムラインに則り早くから関係利水者に働きかけたことで調整が進み、それぞれ貯水率80% (10月は40%) の段階で自主節水が実現した。

令和23年の渇水の経験を踏まえ、今後、渇水が懸念された場合には、速やかな自主節水を行うため、令和4年3月に、猪名川流域の水道事業管理者と一庫ダム間で自主節水期の手続き等を明確化した「渇水対応タイムラインに係る自主節水期対応に関する覚書」を締結した。

(2) 利水基準点のH-Qに関する協議ルール整備

虫生地点での1cm単位の水位から補給量を算出するため、低水部分、特に2~5 m³/sのH-Q精度が非常に重要となるが、自然河床であるため、出水等により断面形状が変化しやすく、式と実況に乖離が生じることがある。H-Q式に疑義を感じた場合は、河川管理者と一庫ダムとで速やかに流観データを共有し精査するルールを令和2年12月に整備した。令和3年は8月上旬及び10月下旬の2回、現況と比較し補給量が多いと感じたため河川管理者と調整を図った結果、それぞれ2日で暫定H-Q式に見直すことができ、早期の無効放流回避につながった。

今回の自主節水とH-Q精査により、貯水率30%に達する時期を3ヶ月弱延期する効果があったと試算された。

7. おわりに

近年、気候変動等の影響により、異常降雨や異常渇水といった極端現象の顕在化が懸念されている。相反する現象に対し、限りある洪水調節容量や利水容量を効率的に活用するために、関係者間の連携強化や地域が一体となった対応がますます重要となってくる。今回の2年連続の渇水対応においても、早め早めの情報共有が結果的に貯水量温存につながった。猪名川水系の取水制限を伴う渇水は5年に1回程度であるため、経験した職員の異動により対応に困らないよう今回の渇水で得た知見をとりまとめきちんと引き継いでいくとともに、関係機関と日頃から良好な関係を構築することで、渇水に限らず早期の問題共有、対応が可能になると考える。

市道川関小林線の通学路安全対策について

形部 邦昌¹・岡本 圭介¹

¹〇亀岡市まちづくり推進部桂川・道路交通課 (〒621-8501京都府亀岡市安町野々神8)

市道川関小林線については亀岡市千代川町を国道9号と並行に南北に貫く生活道路であり、沿線には千代川小学校があり、小学校の通学路にも指定されている。しかしながら、本市道は歩車分離がなされていないため、児童は路側帯を歩かねばならない状況である。また、本市道は国道9号の混雑を避ける抜け道として利用されており、交通量も多く歩行者にとっては危険と隣り合わせであることから、かねてより地域自治会等から安全対策を求める声が多かった。道路に家屋が連坦しているため、道路拡幅による歩道空間の確保も難しいなか現道内で行った様々な安全対策をとりまとめた。

キーワード 通学路, 交通安全対策, 亀岡市

1. 市道川関小林線の紹介

市道川関小林線は国道9号と並行し、亀岡市千代川町を南北に貫く全長2.8kmの市道である。(図-1) 旧山陰街道でもあるこの道路は両側に市街地が形成され、家屋が連坦している。途中には千代川小学校があり、本市道は通学路にも指定されている。千代川小学校は近年、近隣の宅地開発により児童数は増えている。また、国道9号は信号機が連続し、慢性的に渋滞していることから、並行する本市道を国道の抜け道として利用する需要が多い。

構造的には平均幅員が5mほどであり、歩道やセンターラインは有しておらず、両側に外側線が引かれ、歩行者は路肩を通行しており、児童も朝、夕集団で登下校している。

亀岡市においては平成24年に亀岡市立安祥小学校で登校中の児童の列に暴走した自動車が入り込むという悲劇的な事故が発生したが、本市道についても事故以前より危険性が地元から指摘されているのに加え、事故発生箇所の現場条件が本市道と重なるところが多いため、これが更なる契機となり交通安全対策が強く求められることとなった。

こうした流れを受け、平成24年度より警戒標識、路面標示さらにガードレール設置、路肩カラー化等様々な対策を行ってきた。こうしたハード対策とは別に地元からは特に現行の制限速度が時速40キロであることが、通過する車両の速度を速め、危険な状況を招いているという指摘があり、制限速度を時速30キロへ変更を求める声が大きくなった。



図-1 市道川関小林線位置図

2. 今回の安全対策の取組内容

市としては地元の要望を受け、平成24年度に亀岡市交通安全対策協議会より京都府公安委員会及び亀岡警察署へ制限速度の時速30キロ変更を要望を出すなど具体的な協議に入ったが、警察からは規制変更だけでは交通安全の効果は限定的であり、そもそも時速30キロでし

か走れないような道路に整備することが必要で、規制変更の話はそれからだということであった。具体的には狭さくやハンプ設置など、速度抑制対策を目的とした道路整備が必要という見解であった。

ハンプや狭さくの設置は隣接への影響が大きく地元の合意形成に時間を要したが、令和元年度に地元自治会と交通抑制対策について肯定的な話が得られ、令和2年度より創設された交通安全対策補助制度（地区内連携）を活用して道路整備を行うこととなった。

3. 安全対策協議会について

当初、市としては地元要望である時速30キロ規制変更を目標に警察との道路整備の協議を始めたが、警察との協議の中で通学路の安全対策には市道の速度規制だけでなく、市道が危険な理由を地域全体から見て判断し、総合的に対策を講じる必要があるということで、関係機関が集まり、安全対策を検討する協議会を構成することとなった。

(1) 協議会の構成

協議会については市道に生じている危険は市道そのものに原因がある訳ではなく、国道9号や府道も関係している可能性があるため、亀岡市が事務局となり、国土交通省、京都府、京都府警察本部、亀岡警察署を招いて協議会を構成することになった。

(2) 協議会での議論の流れ

協議会は令和2年10月から令和3年2月にかけて、計8回実施した。会場は主に亀岡市役所で時間は昼2時頃から3時間程度行った。必要に応じ現場確認も行った。協議会での議論のおおまかな流れは以下のとおりである。

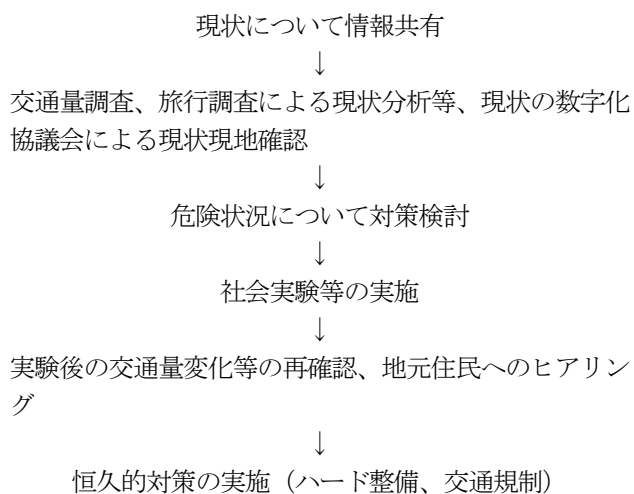


図2 協議フロー

(3) 議論まとめ

まずは現状確認として、交通量調査を実施したとこ

ろ、朝7時から朝9時にかけて南北方向合計の交通量は664台で生活道路としては多いことを確認した。また、旅行速度の調査では国道9号と市道川関小林線を比較するとおおむね市道川関小林線の方が速度が出ており、市道川関小林線を抜け道を選択される状況が明らかになった。

調査の結果をうけ、協議会でまとまった安全対策のポイントは以下のとおりである。

- ・市道川関小林線の交通量が多いので、交通量を減らすことを考える。

- ・市道川関小林線を国道9号の抜け道として選ぶ利点を打ち消す速度抑制対策整備を行う。

このことは繰り返しにはなるが、国道9号より市道川関小林線の通行条件がよいことが、地域外の車を招き交通量増加を招いていることが考えられ、協議会では市道川関小林線に生じている「お得感」を無くすことを目的に安全対策を考えることとなった。

4. 具体的対策内容

安全対策の方向性は前述のとおり、市道にある「お得感」を打ち消すことが、交通量の減少、さらに車両の通過速度の低下につながり、歩行者の安全確保につながるということで、対策内容を考えた。ここでは、実際に行った4つの対策について取り上げ、実施内容や課題点を紹介する。

(1) 対策1 指定方向外進行禁止規制実施

a) 規制した理由

交通量調査の結果、一車線道路という条件にも関わらず通学路区間の交通量が多く、通学時間帯にかけても多いことが分かった。

このことより、通学時間帯の交通量を減らすことが安全対策につながると判断した。

b) 方法の議論、課題点

交通量を減らすために考えたのが通行規制である。通学路時間について通学路区間の車両通行を禁止にすることが考えられたが、近隣への影響が大きく合意形成は困難であろうということから、市道川関小林線へ流入する交通量の多い交差点を指定方向外通行禁止にすることが考えられた。

市道川関小林線への流入が多い交差点は北側では府道宮前千歳線との交差点と、南側は三叉路（図3-A箇所）の2箇所であった。

この2箇所が規制の対象候補として議論を行ったが、両方に規制を入れるか、北側だけにするか、南側についてはA箇所よりもっと手前から規制をかけた方がよいのではないかなど様々な意見があった。

A箇所の通行規制は地元の合意形成を広範囲に得る必要があることや南側の交通流遮断は今回の安全対策検討区間外に交通量を増加させ新たな危険を招くことも懸念し、北側だけを規制する方向で話がまとまっていった。

北側だけの通行規制では北行車両の走行速度が上がりかえって危険を招くのではという議論もあったが、ハンプや狭く等のハード対策を組み合わせることで速度を落とし安全を確保させることとした。

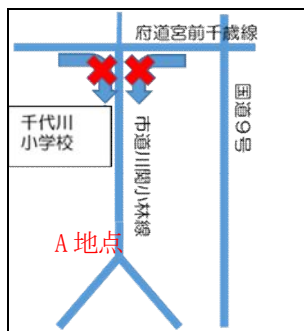


図-3 交通規制概略図

交通規制については社会実験として1ヶ月の期間を定め、交通流の変化や通行量減少の効果を確かめた後、効果が得られ大きな問題が生じなかった場合はそのまま本規制へ移行することとした。

c) 広報方法

広報については新たな交通規制を加えるということと通過する交通が近隣の方に限らないということを考慮し様々な方法で周知を図った。

直接関係する地域については全戸に交通規制を行うビラを配布した。

通過交通に対しては該当区間のみならず、抜け道として利用される車両が通過する可能性のある広範囲に看板を設置し(図4)、社会実験を行うことを周知した。

そのほか市のSNSや広報誌(紙媒体)など市の広報手段を活用し周知徹底を図った。

また規制開始日から1週間は地元役員、地元選出議員、PTA等による啓発活動や、警察による交通誘導などを行い、周知を図るとともにほぼ物理的に当該期間内は規制が遵守される措置をとった。(図-5) この結果、啓発期間内は規制を破る車は皆無であった。その後は段階的に啓発活動をやめたが、違反車両が少ない状況は継続している。これは1週間に渡りかなりの人員が沿線に立ったこともあり、市外等の方など市の発出した情報を接する機会の少ない方にも周知徹底が図れた結果とも考えている。



図-4 広報看板設置状況



図-5 社会実験実施啓発の様子

d) 効果

府道宮前千歳線からの流入が無くなったことで小学校前では交通量が42%減少した。また、旅行速度においても市道川関小林線では低下し、国道9号では上昇していた。ただ、わずかの数字であり、今回の交通規制によるものかは判断が難しいが、数字上では期待通りに改善していた。(図-6)

しかしながら府道宮前千歳線東行は交通渋滞が以前に比べると顕著なものになった。これについては旅行速度の低下からも確認ができる。(図-7)

渋滞で沿線の幼稚園から道路へ出にくくなったという意見も寄せられたが、目立った苦情等は無かった。

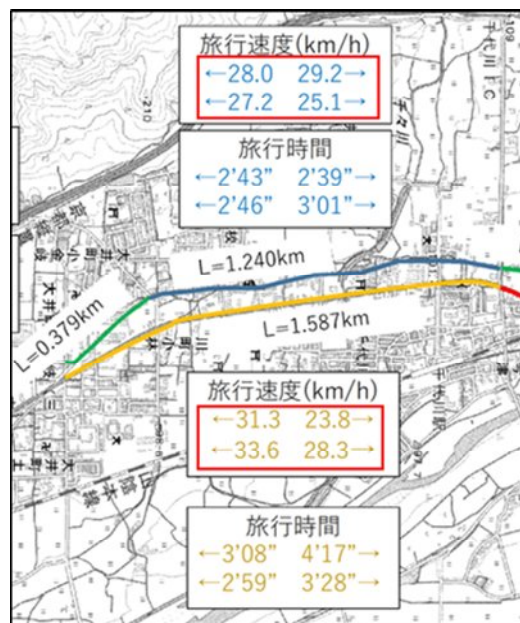


図-6 旅行速度の変化 上段：規制前 下段：規制後

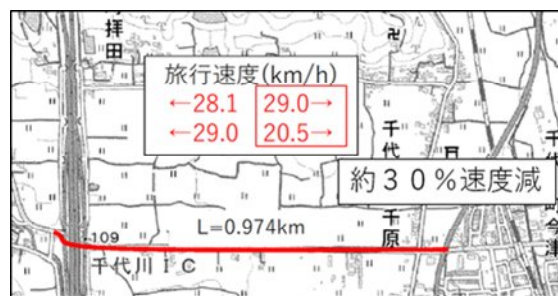


図-7 府道の旅行速度低下 上段：規制前 下段：規制後

e) 社会実験後の対応

学校前の交通量が減ったことは、地元からも好意的に受け取られ、交通安全に寄与できると判断し、1か月の社会実験期間後、そのまま恒久的な本規制へ移行することとした。

f) 課題点

あくまでも府道宮前千歳線からの流入のみを断っている状況であるため、脇道から市道川関小林線へ進入する車も徐々に増えているという意見もあり、交通量の変化を見て交通規制が安全対策につながっているのかどうかは今後も確認する必要があると考えられる。

(2) 対策2 狭さくについて

a) 導入理由

狭さくについては速度抑制対策として協議会設置前から計画していた。ただ具体的な場所や方法については明確には決定しておらず、協議会の中で議論することとなった。

b) 設置方法の検討

狭さくの設置箇所、間隔や形状構造については、協議会の中でも特に結論まで時間をかけた項目であった。

設置箇所、間隔についてはカーブのや狭小部の手前など危険が伴う箇所を選んで設置する方法と現場条件も考慮しつつも連続性を重視し等間隔で設ける方法を検討した。

市側からは地元の合意形成などを考慮し、危険箇所を選んで設置する方法を提案したが、協議会では狭さくの間隔が広いとその間で車両の速度が上がり、狭さくの効果が薄れるので、一定間隔に設置し次々と狭さく箇所が現れる状態を作らないと、速度抑制効果は小さいのではないかという意見が多く、等間隔での設置箇所の検討を行うこととなった。

設置箇所については狭さくと次の狭さくとの間隔をおおむね60mとし、車両の出入り口や人家の玄関を配慮しながら極力等間隔になるよう設置箇所を決定した。

狭さくの構造については柔らかいポストコーンを選んだ。鉄製も考慮したが、ポストコーンでも設置箇所や視覚的効果により狭さくの効果が得られることや、柔らかい構造の方が近隣住民や利用者の抵抗も少ないことも考慮し選択した。

ポストコーンの設置箇所は外側線に設置することや外側線の外側に設けることなど多くの議論を行った。警察の考えは建築限界の確保であった。道路構造令に則り、外側線より25cmは何もない空間を確保する必要があるという見解であった。一方で協議会の中では道路管理者がポストコーンを視線誘導標として取り扱うことで外側線上に置している事例も紹介された。

実際、ポストコーン等の道路脇に立てる交通安全施設の設置については様々な見解があり、道路管理者によって判断が分かれていることが分かった。

しかしながら、本箇所については建築限界の確保を重視する一方、狭さくの効果も得るため、外側線自体を道路内側に曲げることとし、実質的な車道幅員を最大3mまで狭めることとした。

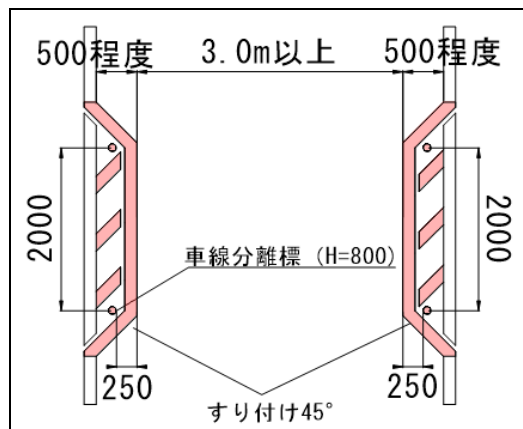


図-8 狭さく平面図

c) 課題への対応

狭さくは基本的に道路両側2本ずつの計4本のポストコーンを立てることとしたが、前述のとおり60m程度の間隔に設けるということも意識した結果、建物の前などでは忌避する声も聞かれ、また、路肩が狭小な区間に設置した場合、車いす等が車道通行を強いられることから、そのような区間については片側のみのポストコーンにするなど、周辺条件に拠った臨機応変な対応を行うこととした。

隣接への配慮か交通安全対策の優先かは様々な意見はあるが、今回は協議会でもそこで生活されている方々の理解を得ることが第一という考えのもと施策の判断を行った。

ただ総じて、今回の狭さく設置に関しては当初、反対の声を予測したが、事業の趣旨について多くの方に理解していただき、ほぼ計画とおりに設置を行うことができた。これは通学路安全対策の意識が高まっていることや、特に市道川関小林線については地元で定期的に交通安全の啓発活動等を実施されていることも影響していると考えられる。



図-9 狭さく現地状況

d) 実施効果

狭さくの設置は速度抑制効果が大きかった。狭さく箇所では離合ができないため、どちらかの車は確実に止まるようになった。

また、意外だったのは現場条件的に片側のみしかポストコーンが設置できなかった箇所についても両側設置したと同様の効果が得られたことである。物理的には外側線や路側帯を踏んでいけば離合できなくもないが、ポストコーンを設置しなくても外側線を内側に寄せたことで、車は道路の外側は極力走るのを避けるため、片側のみポストコーンを設置した場合でも対向車とすれちがう際はいずれかの車は停止していることが分かった。

(3) 対策3 ハンプの設置について

本事業開始時よりハンプの設置が大きなポイントであった。

設置箇所(図1)は地元との協議に基づき、交通が錯綜する交差点でかつ周辺への影響やマンホール等の占有物が少ないことなどを配慮して選んだ。

交差点部を選んだのは交通流が錯綜することに加え、交差点部は隣接家屋の車両出入りが少ないため、設置条件的に有利ではないかという判断からであった。また、亀岡市においては三差路にハンプを設置した事例があり、その実績も踏まえての選択であった。

a) ハンプ設置の課題

地元自治会等と協力して直接ハンプと接する方への説明を行ったが、合意を得ることは難しかった。

交通安全対策には賛成していただいても、ハンプの設置になると振動、騒音の発生、またハンプの前に車が滞留するなど、生活に直接影響するのではないかという懸念の声があがった。

代替場所なども検討したが、適当な箇所が得られず、結果的に物理的なハンプの設置については理解が得られなかった。

b) 代替策の検討

ただこのハンプ設置検討箇所について安全対策が必要であることは市も地域の方々も共通した認識を持っていることは確認できたことから、物理的なハンプに換えてイメージハンプを設けることとした。

また、地元関係者の話や他市の事例の中、当該箇所に近接した箇所に橋梁があり、このキャンパーを利用し路面標示を加えることで、既存の凹凸を利用したハンプを形成させた。

c) 代替策

イメージハンプは物理的なハンプ設置までの効果はなかったかもしれないが、ドライバーへの注意喚起という点では一定の効果は得られたものと考えている。

イメージハンプの効果について様々な意見があるが、その設置効果を数値的に評価する方法を見いだせなかったことから、今後の課題としたい。

物理的なハンプについては理解を得ることはできな

ったものの、その議論の中で既存の地形を利用する手法など、当初考えていなかった新たな解決策にたどり着けたことは一つの成果であったと考えている。

物理的なハンプについては国土交通省が定める規格のハンプは影響が少ない話を伝えても、ハンプについての先入観等により抵抗感が大きく、理解を得ることは難しい。よって、物理的なハンプの設置や場所の選定はまず住民の理解を得るために地元自治会等を通じその必要性を丁寧に話していく必要があることを改めて認識するにいった。



図-10 イメージハンプ設置状況

(4) 対策4 トリックアート横断歩道

a) 導入経過

トリックアート横断歩道の設置は京都府警より京都府警主催の大学ゼミ対抗プロジェクト「ポリス&カレッジ in KYOTO」にて受賞した交通安全施策を川関小林線で試験的に実施してみようという提案に市が応じて実施したものである。

b) 導入箇所

対象は川関小林線として当初は小学校前の1箇所のみの予定だったが、地元自治会と協議した結果、児童が多数横断する南側交差点部の整備も含め2カ所、横断歩道としては3カ所実施することとなった。

c) 設計方法

今回のトリックアート横断歩道にあたっては設計から製作まで積水樹脂(株)の全面協力のもと、工場で作成した加熱型貼付シートを現場に設置するという方法を採用した。

トリックアート横断歩道の設計にあたっては普通自動車の運転者に最も立体的に見えるよう、視線の位置を1mから1.2mの高さを仮定した。また、トリックアート横断歩道はセンターラインがあり進行方向が一方の道路に対してはデザインしやすいが、今回の道路はセンターラインのない車線道路であるため両方から浮き上がって見せる必要があり、その図法には困難が伴った。

d) 設置効果

施工した直後に小学校の2学期の始業式を迎えたこともあったことから、警察主導のもと渡り初め式を兼ねた

安全啓発活動を行った。トリックアート横断歩道の反響は大きく、TV局や新聞局多数の取材があり、その日のニュースに大きく取り上げられた。

報道後しばらくは経過等の問い合わせの電話が相次いだ。その電話の内容はおおむね好意的に受け止める意見が占めたが、中には立体に見えないという指摘もいただいた。

e) 課題点

トリックアート横断歩道は立体的な見せ方によりドライバーにより横断歩道存在の注意を与えるというものが、目出させるという点は効果があったと考える。ただ、前述のとおり一車線道路に用いるのは立体的な見え方に限界がある。

導入費用は1箇所約40万円(材工共)であり、路面上に設置する路面標示としては高価なものであることから、今後設置する場合においても、設置箇所については特に安全上憂慮される箇所に限定するなど検討が必要である。耐久性はこれから検証することになると思うが、劣化状況を見つづれ対応は必要になるものと思われる。

横断歩道は基本的に警察の管理であるが、今回は目出させる機能を新たに付加するという事で路面標示の一環と位置づけ道路管理者で行うこととした。しかし、今後の採用にあたっては設置者や管理者について誰が主体で行うのかは議論が求められる。



図-11 イメージハンブ設置状況

5. その他課題点等

(1) 公安協議について

今回の交通安全対策は区画線や幅員に影響するものであるため道路法第95条の2の協議を行いその承認のもと施工を行った。協議については協議会の協議経過もあったことから、スムーズに承認を得ることができた。公安協議が伴う道路改良は別にこの工事に特化したことではないが、早い段階での協議が求められるのは変わらないと考える。

(2) 補助金の課題点

これまで交通安全対策については、主に交通安全対策特別交付金や市の自主財源を活用し実施する一方、道路形状の幅員など条件を変更させる事業については、社会

資本整備総合交付金の通学路安全対策のメニューを活用し実施してきた。今回は令和2年度より新設された交通安全対策補助制度(地区内連携)の要件に合致したことから新設された制度を活用することとした。

補助金の要件となる地元合意は市の構成する様々な交通安全会議を通じ周知することで条件を満たすことができたものの、実際の実施にあたっては直接対策する箇所の隣接者と事業決定後、初めて接することもあったことから、総論は賛成いただいても個々の話になるとなかなか了解を得ることが難しかった。本補助金は地元合意が得られたうえで、事業をしている前提で実施しているため、事業変更が伴うと、煩雑な手続きを取らねばならず、結果として、地元の協議と合わせて補助金上の事務対応にも労力を要した。

6. おわりに

令和3年10月4日に30キロの標識に取り替えられ、翌5日に地元主催による感謝式も執り行われ、当初の要望より約10年を要して悲願であった交通規制の実現にいたった。

当然、交通規制がすべての終わりではなく、道路条件が根本的に変わらない限り、これからも検証、対策は引き続き必要になることは忘れてはいけない。実際、令和4年度には今回紹介した南側の区間に対して交通安全対策を求める要望が出されている。

ただ、今回の交通安全対策の実現にあたってはマンパワーによるところが多かったと考えられる。警察本部からの全面的な支援や国土交通省、京都府の方々にも直接管理者ではない道路にもかかわらず、様々な助言や協力をいただいた。また、地元の自治会長をはじめ自治会組織の協力など、強力な支援があったが故の実現だったと考えている。

道路交通対策は行政側で材料だけ揃えても実現せず、住民に理解して受け入れていただいて初めて成り立つものだという事を改めて感じる機会となった。また、道路事業は10年程度が平均的な事業期間という話もあるが、本安全対策についても長く粘り強く取り組んできた成果だと思われる。

今回の交通安全対策については本当に様々な機関の方々にお世話になった。この場を借りて再度感謝申し上げたい。