

港湾業務艇「ゆうづる」の建造にあたって

田中伶央也

近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 環境課 (〒651-0082 神戸市中央区小野浜町7番30号)

舞鶴港湾事務所の港湾業務艇「きのかぜ」は、今日まで舞鶴港を基地港として様々な業務に活用している小型の鋼船である。しかし、耐用年数を大きく超える状況であり、近年の修理内容から考えてもかなりの老朽化が進んでいる。そのため2022年度に代替船を建造することになった。今回建造した代替船である「ゆうづる」は従来船の「きのかぜ」より性能を向上させるため様々な工夫を取り入れた。安全かつ確実な業務遂行能力を確保するため、「ゆうづる」において導入した、船員が使う上での安全面、使いやすさ、新型コロナウイルスの対応策、災害時の活用についてとりまとめる。

キーワード 港湾業務艇, 防災, 安全, 新型コロナウイルス対策

1. 背景

「きのかぜ」(1990年3月28日建造)は、舞鶴港を基地港とし、港湾構造物の品質確保のための施工状況確認・検査業務、港湾施設などの測量・調査、災害対応などを主な業務として活用してきたところである。しかし、耐用年数20年を大きく超える状況であり、近年の修理内容から考えてもかなりの老朽化が進んでいる。また、搭載エンジンの生産も終了しており、その他部品調達にも長期間を有するなど様々な問題が生じている。



写真1 きのかぜ

港湾業務艇 航行区域
(全仕図)

船種・船名	きのかぜ
所属事務所 /配船港	舞鶴港湾事務所 / 舞鶴港
主要目	
船質/総トン数	鋼 / 28
長さ×幅×深さ	17.55×4.44×2.26
航行区域	二時間限定沿海
主要機関	360kW×2
出力	
速力	23.87kt
製造年月	平成2年3月
乗組定員	2人

きのかぜ航行区域
(緑ハッチング部)

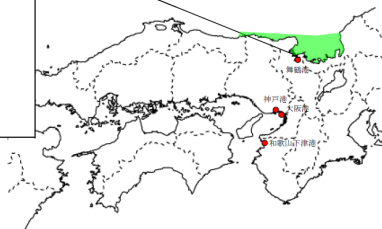


図1 きのかぜ航行区域



写真2 ゆうづる

加えて、昨今猛威を振るう新型コロナウイルスへの対応、ドローンを用いた災害対応など港湾業務艇に対する要望が多種多様に上がっている。また、2022年4月の知床遊覧船沈没事故により小型船舶に対する安全意識が一

層強くなった。これらのことも踏まえ、今回の代替船「ゆうづる」建造においては、舞鶴港湾事務所の職員や従来の「きのかぜ」を運航する船員からヒアリングを行い、より良く使いやすいものにする事とした。

2. 従来船舶「きのかぜ」との比較

(1) 馬力-速度性能

「きのかぜ」と「ゆうづる」の諸元比較は以下の通り。

表-1 「きのかぜ」と「ゆうづる」の諸元比較(1)

	きのかぜ	ゆうづる
船速 V(kt)(満載. 4/4)	23.15	26.13
排水量 Δ(トン)(満載)	28.17	26.77
水線長 Lwl(m)	15.9	18
主機関軸制動馬力 BHP(PS)	980	1,145
V/√Lwl(kt/√m)	5.81	6.16
BHP/Δ(PS/トン)	34.79	42.77

Aspect ratio(縦横比)について本文では水線長Lwlを縦、最大チェーン幅Bを横として計算する。(水線長:Load Waterline Length 満載喫水線の長さ, 最大チェーン幅:船体側部と底部の二つの面が繋がる箇所をチェーンといい、船体の最も幅がある部分の長さを指す)

THP/Δ-V/√Lwl(THP:推力馬力, Δ:排水量, V:船速, Lwl:水線長)で曲線を書くこともあるが、プロペラの伝達効率はほぼ同じものと考えられるためBHP/Δ-V/√Lwlで考える。

BHP/Δ-V/√Lwl曲線については日本海軍が用いていた方法であり、馬力が大きく排水量が小さくなるほど馬力性能が、速度が大きく水線長が短くなるほど速度性能が良いということを示している。

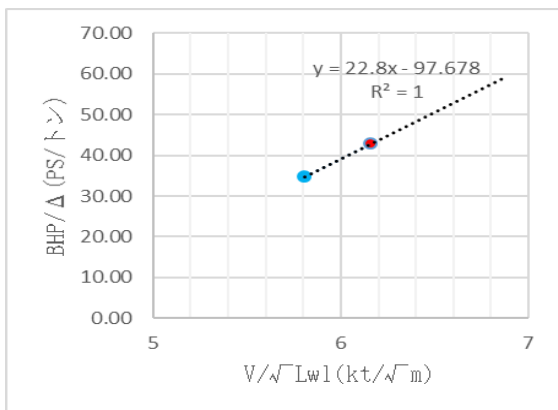


図-2 BHP/Δ-V/√Lwl曲線

(青プロット:「きのかぜ」, 赤プロット:ゆうづる)

速度性能においては約6%, 馬力性能においては約23%向上している。

(2) 燃料消費率

港湾業務艇「きのかぜ」は2サイクル, 「ゆうづる」は4サイクルのディーゼルエンジンである。燃料消費率は単位時間, 単位出力当りの燃料消費量を指し, エンジン単体の燃料経済性の指標となる。燃料消費率が低いほど, 同じ仕事をするのに少ない燃料で済むことになる。燃料消費率については下記(a)式で表される。

$$f = \frac{F \times 10^3}{P} \quad (a)$$

(f:燃料消費率(g/kWh), F:燃料消費量(kg/h), P:軸出力(kW))

各負荷における燃料消費率は下記グラフで表される(各負荷の燃料消費率は右舷と左舷の平均で算出)。

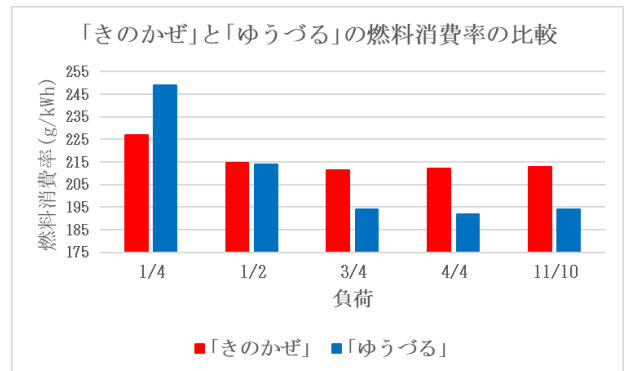


図-3 燃料消費率の比較(常備状態)

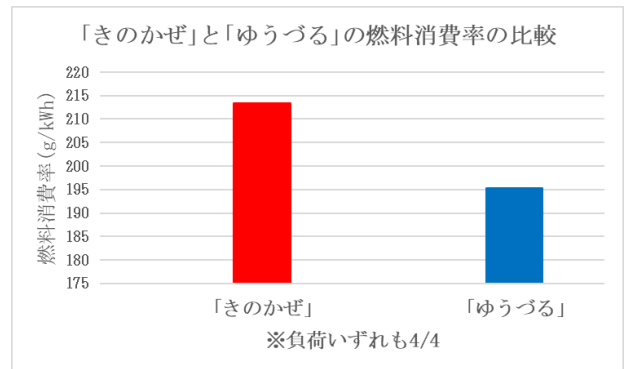


図-4 燃料消費率の比較(満載状態)

燃料消費率は、通常 3/4 負荷付近で最も小さくなりそれ以上の負荷になると増加する。理由として 1/4 負荷付近では機械損失馬力の割合が大きいため、出力あたりの燃料消費量が多くなり、4/4 負荷以上では過給機効率が悪くなり空気流量が減るため、馬力を出すのに必要な燃料が多くなるためである。従来船と比較して 4/4 負荷において常備状態、満載状態ともに 1 割程度燃費が良くなっている。

(3)航続距離について

常備状態での、機関性能試験成績表(4/4負荷)及びタンク容量(sea margin については考慮しない)から航続距離を求める。

表-2 「きのかぜ」と「ゆうづる」の諸元比較(2)

	きのかぜ	ゆうづる
燃料消費量(L/h)(常備状態 4/4 負荷 両舷)	205.18	194.54
タンク容量(m3)	2.4	4.0
速力(kt)(常備状態 4/4 負荷)	23.87	27.14

$$L = \frac{V \times 10^3}{F} S \quad (b)$$

(L:航続距離(海里), V:タンク容量(m3), F:燃料消費量(l/h), s:速さ(kt))

上記(b)式で航続距離を求めると「きのかぜ」で279海里、「ゆうづる」で558海里となり、1回の給油で「ゆうづる」が「きのかぜ」の2倍長距離を走ることができる。

3. 舞鶴港湾事務所から上がった要望内容及び要望を実現するために行った工夫

建造時において、知床遊覧船沈没事故の発生を契機とする安全対策や、従来船舶「きのかぜ」を運航する船員の意見を踏まえ、日常業務で「ゆうづる」を使用する舞鶴港湾事務所からの要望により、以下のような工夫を行った。

(1) 船首からの安全な乗降

敦賀港(DL+2.4m) など多様な岸壁への接岸を可能にするため、可搬式で着脱式の昇降台を設置した。

(2) 客室頂部でのドローンの運用

災害対応として客室頂部からドローンを飛行させる計画があり、ドローンの離着陸スペースを確保する必要があった。そのため長椅子は折り畳み式とし、左右舷へ設置することによりドローンを置くスペースを幅広く取った。

(3) 感染症防止対策

新型コロナウイルス及びそれ以外の感染症を防止するために空気清浄機、サーキュレータを客室兼業務室に取り付け空気を循環させるようにした。また、操縦室ドアを半開き固定できるように金具を取り付け換気できるようにした。

(4) 積雪対策

積雪時安全に作業を実施できるようにするため、暴露甲板面、船員室頂部に滑り止め塗装を施した。また、操舵室前方に昇降用ステップを設置し雪下ろし作業をしやすくした。その他、窓洗浄用の噴水ノズルにアルミ製カバーを取り付け、雪下ろし作業における噴水ノズル欠損防止策を施した。

(5) 災害支援への対応

船尾上甲板へ救援物資搭載用の囲壁を製作し、段ボール箱(280mm×230mm×330mm)65箱(重量約 850kg)を積めるようにした。また、救援物資の搭載を容易にするため客室椅子の一部をフラット椅子へ変更した。他に客室や船底倉庫、船員室に段ボール箱をどの程度積むことができるのかわかるように搭載要領図を作成した。

(6) 船首着岸時の船体損傷低減対策

船首を着岸させたときの衝撃が大きく、また船底近くに段差がある場合、船首下部を傷つけてしまう可能性があるため船首中央防舷材を水面近くまで延長し、両側に防舷材を追加した。

(7) 救命筏の搭載

知床遊覧船の沈没事故では救命設備の劣化、積付方法の不備など数多くの問題点を取り沙汰され、当船では安全性を向上させるため救命筏を取り付けた。

(8) 安全扉の設置

船舶航行時、客室内の乗船者が外に出て船の側方を通らないように安全対策として扉を設けた。

(9) 船尾甲板での安全な乗降

舞鶴港湾事務所の職員が普段使用している係船時の岸壁と船の高低差が約 40cm ほどあり、安全対策として渡橋を製作した。

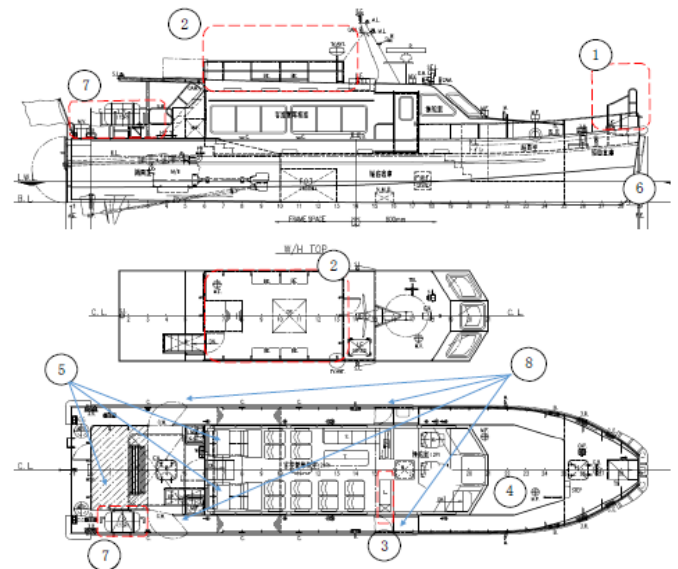


図-5 建造船一般配置



写真3 可搬で着脱可能な昇降台



写真4 客室頂部 折り畳み椅子
(左:折り畳み前, 右:折り畳み後)



写真5 空気清浄機及びサーキュレータ



写真6 操舵室前方昇降用ステップ



写真7 客室フラット椅子
(左:折り畳み前, 右:折り畳み後)



写真8 船首防舷材の延長及び両側白色防舷材取付



写真9 救命筏の設置

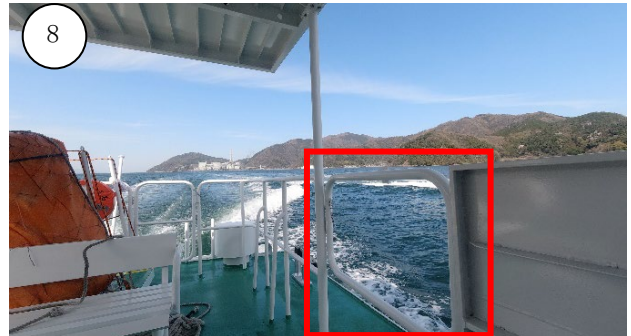


写真10 安全扉の設置



写真11 渡橋の製作

4. 今後の活躍について

「ゆうづる」と同じ港湾業務艇が活躍した例として直近では平成30年7月豪雨が上げられる。このときの救援物資運搬状況は大阪港湾・空港整備事務所の業務艇「洲浪」

で飲料水2,400L(2Lペットボトル×6本×200箱)、和歌山港湾事務所の業務艇「はやたま」でも同量の飲料水を運搬した。今回の「ゆうづる」では救命物資固縛用の外板や前述の客室内のフラットシートにより、船尾上甲板に65箱、船底倉庫に30箱、客室に98箱、船員室に15箱、計208箱積めるようになっているので飲料水の場合、2Lペットボトル×6本×208箱で2,496Lを運搬することが可能となり従来船以上の活躍が期待できる。

また、客室頂部にドローンのスペースを確保しているため、今後船からドローンを飛行させて災害状況を把握するのに活用できる。

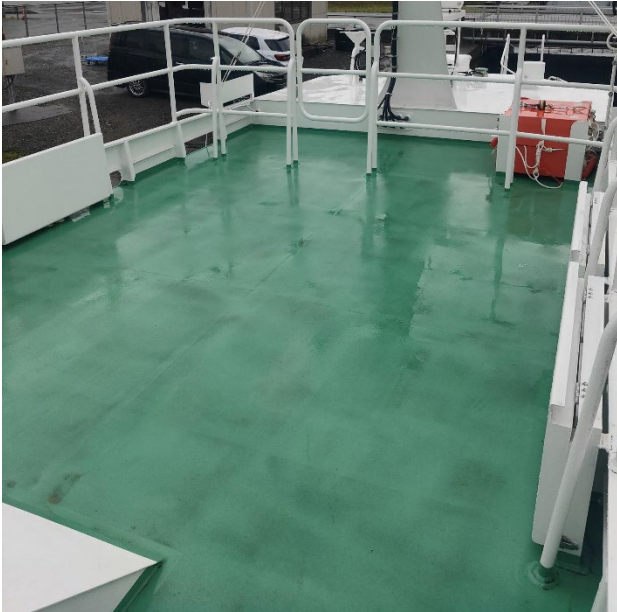


写真-12 客室頂部 ドローン発着スペース

2)橋本徳寿「船舶の速力と馬力の概算法」(成山堂出版)

5. 反省点・課題

本建造に当たっては、小型船に舞鶴港湾事務所からの要望を盛り込み具体化させるのに時間を要した。また新型コロナウイルスについての知見が少ないことから、どのような対策が妥当なのか苦慮するところがあった。

「ゆうづる」は過去に港湾業務艇の建造に携わった者の力添えで無事完成を迎えたものの、今後は船舶建造に対する知見を持った者が減少していくことが予想される。この度の知見を踏まえ、後継の育成や船舶建造担当者に対する引き継ぎ、技術の継承が課題となってくる。

謝辞：本論文を作成するにあたり、エンジンに関する記載で株式会社大東工作所、ヤンマーパワーテクノロジー株式会社より多くの知見をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

1)池田勝 高速艇の設計と製図(海文堂出版)

青木歩道橋桁ずれに対する連続化構造での復旧について

高橋 秀爾

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

国道43号青木歩道橋は、供用後50年以上経過した国道を南北及び東西に横断する歩道橋であり、単純箱桁、2径間連続I桁、単純I桁から構成され、単純箱桁に溶接されたフック構造により2径間連続I桁並びに単純I桁が支持されている。令和元年11月、フックが破断し、単純箱桁と単純I桁間に段差が生じた。全国で施設の老朽化が進むなか、本歩道橋と同様にフック構造を有する施設が多数存在するため、再発防止の一助となることを期待し、補修方法を一事例として報告する。

キーワード 上部工連続化、桁ずれ、恒久復旧

1. はじめに

令和元年11月、国道43号上に架かる供用中の青木歩道橋において、橋脚に支持された箱桁の桁端部に溶接された2ヶ所のフックのうち片方のフックが破断し、フックによって支持されていた桁にねじれるような桁ずれが発生し、路面に20cm程度の段差が生じた。このため、青木歩道橋は一時的に通行止め措置が取られたが、近隣住民に加え周辺の事業所の従業員の通勤や地元の小中学校の通学にも利用されているため、早期の復旧の必要があった。

本稿では、損傷原因の解明とそれらを踏まえた再発防

止策を講じるための復旧計画策定及び補修詳細設計の内容について報告するものである。

2. 歩道橋の概要と損傷状況

(1) 歩道橋の概要

青木歩道橋は、図-1に示すように東西方向の国道43号と南北方向の市道を横断する変形T字形の平面形状を有しており、国道43号の横断箇所は2径間連続I桁、市道の横断箇所は単純箱桁、市道左折専用レーン横断箇所は単純I桁から構成され、それぞれの端部に階段桁又は斜接支持されており、単純箱桁橋の桁端ダイヤフラム及び

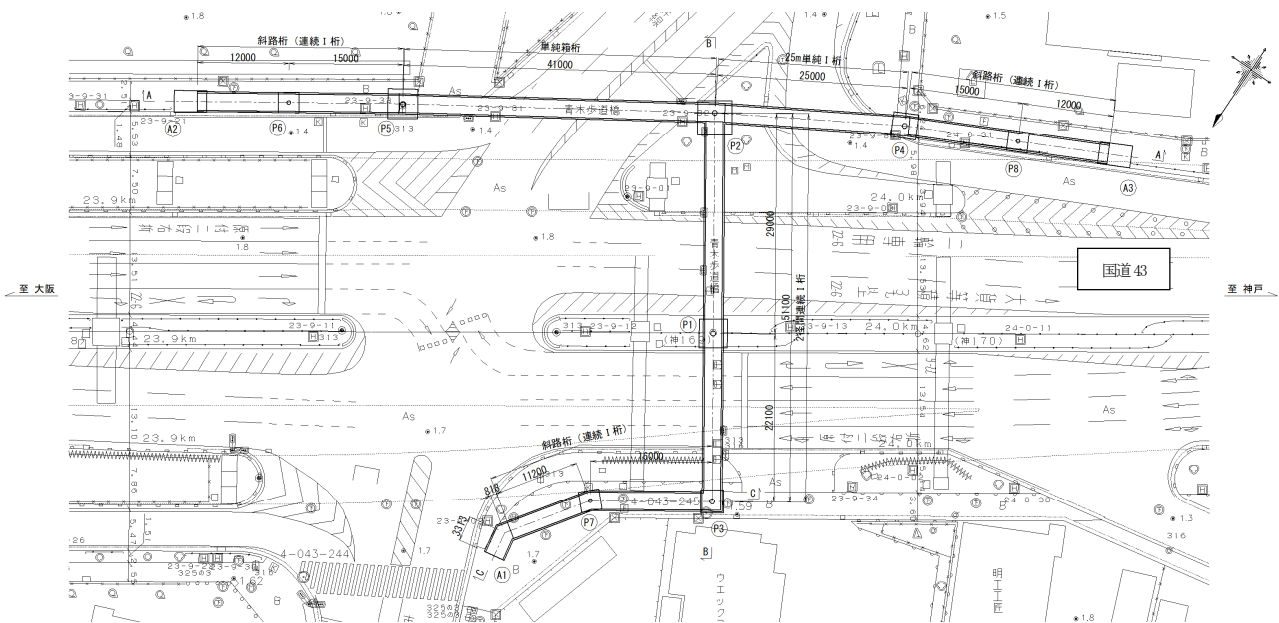


図-1 青木歩道橋の平面図

路桁が接続されている。P2橋脚上では、単純箱桁橋が直側面部にあたる腹板に溶接されたフック構造にて単純I桁と連続I桁橋がそれぞれ支持されている。

P2橋脚上のフック構造は、図-2に示すように単純箱桁端部ブロックの端ダイヤフラム及び腹板にフックが溶接されており、フックの孔にピンが挿入され2径間連続I桁と単純I桁の端支点が支持される構造であった。

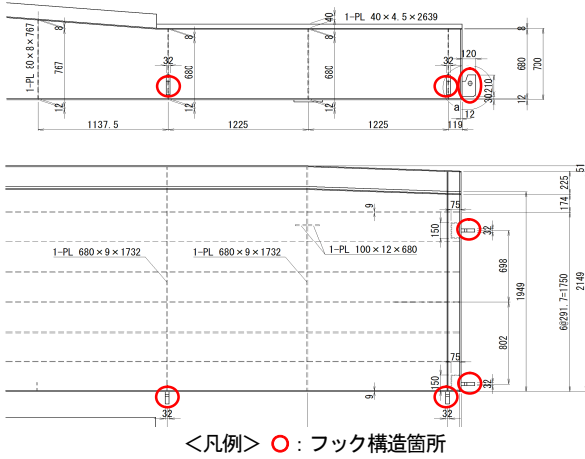


図-2 P2橋脚上の細部構造

(2) 損傷状況

損傷した箇所は、P2-P4橋脚間の単純I桁でP2橋脚部の片側のフックである。フック構造が溶接されている端ダイヤフラムから破断し路面に約20cmの段差が生じたもので、写真-1に示すように、破断していないもう一方のフックのみで支持されている状態となった。



写真-1 桁ずれ発生直後の橋面上の状況



写真-2 単純箱桁端ダイヤフラム破断箇所（下方より撮影）

この際、歩道橋の通行止めを行うと共に、仮設ペント等にて仮支持を行い、一時的な安全性を確保した上で、損傷部及びその周辺構造の確認・調査を行った。損傷箇所は、写真-2に示すように単純箱桁の端ダイヤフラムに溶接されたフックの溶接ビードの止端部に沿うように端ダイヤフラムの母材が全線破断していた。

また、併せて2径間連続I桁側のフックが溶接されている単純箱桁腹板の内側について、目視確認を行った結果、写真-3に示すような亀裂が確認された。



写真-3 新たに確認された単純箱桁腹板の亀裂

3. 損傷要因

(1) 損傷要因

本橋は兵庫県南部地震により被災しているため影響がないとは断定できないが、破断面に塑性変形は確認されないことから、ピン構造の破断における主たる要因は経年劣化（疲労破壊）によるもので、その後破断が進展した後に、桁の温度収縮等の外力により全線破断に至り桁ずれが発生したと考えられる。先述のとおり破断面の状況から疲労破壊と推定され、塑性変形は見られないことから弾性状態での繰り返し荷重による高サイクル疲労である。このような損傷に至らした繰り返し荷重は、風や橋の振動等の水平荷重が繰り返し連結部に作用する面外方向の外力や温度変化による軸方向の繰返し荷重であると推測される。

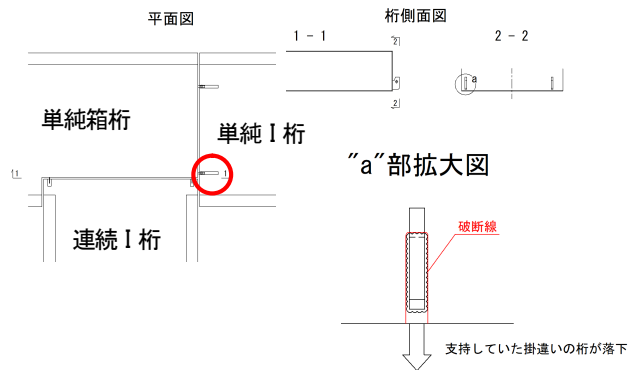
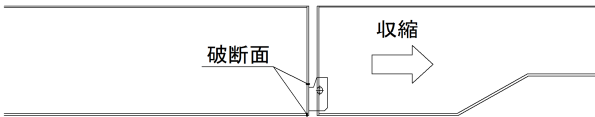


図-3 損傷箇所と損傷概要

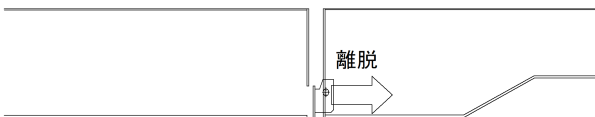
(2) 段差発生のプロセス

段差発生のプロセスは、図4に示すように、ダイヤフラムに溶接されているフック周囲の溶接ビード止端部から発生した疲労亀裂がダイヤフラム母材に進展し、これがフック全周に至って温度変化による伸縮を繰り返した後に、亀裂がフック取付き部のダイヤフラム母材に全周で貫通し破断したものである。破断した片側のフック部がそのまま垂れ下がり、破断に至っていないもう一方のフックのみで支持される状態となり約20cmの段差が発生したと考えられる。

ステップ① 温度変化による収縮



ステップ② ダイアフラムの離脱



ステップ③ 桁ずれ発生

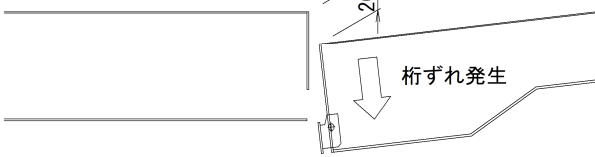


図4 段差発生のプロセス

4. 復旧方針の検討

(1) 検討方針

損傷が発生した既存構造（フック・ピン）構造は、同様の事象を引き起こす可能性が高い上に、目地部からの漏水や細部の目視点検が困難であり、その構造特性から長期的な維持管理に問題があるため、復旧構造としては不適切であると判断した。したがって、このような課題

を抜本的に解決し得る連続化構造案を基本としつつ、フックとは別に受け構造を設ける案等も含めて比較検討を行い決定する方針とした。さらに、検討対象は、桁ずれが発生した単純I桁のみならず、同構造であり一部で亀裂の発生が確認されている連続I桁についても含めるものとし、一体的な復旧計画を立案することとした。

(2) 既存構造固有の特性を踏まえた比較検討

既存構造は昭和49年竣工でリベット接合から溶接接合への転換期であり、溶接技術に対する信頼性が材料的にも施工的にも現在に比べて劣っている他、使用材料も溶接構造用圧延鋼材（SM材）ではなく一般構造用圧延鋼材（SS材）である。また、連続化には箱桁断面からI桁断面に変化させる必要があり、さらに桁高や腹板ラインの不一致等の構造的課題が存在しており、遷移区間を設ける等のスムーズな応力伝達への配慮も求められる。一方で、利用者も多く早期復旧が望まれる状況であるため、コスト縮減に加えて工期短縮の観点からも既存部材の有効活用も念頭に検討する必要があった。先述の基本方針に加え、このような既存構造固有の特性や社会的要請を踏まえ、表-1に示す復旧構造に関する比較案を抽出した。

(3) 検討結果

前述比較案について検討を行った結果、経済性や周辺への影響において若干劣る部分があるが、損傷要因の除去、長期的な維持管理性、施工性・品質確保の観点において優れる連続化案（第2案～第4案）が望ましいと判断した。その内、第2案は経済性や周辺影響、施工性で著しく劣るため、非選定とした。一方で、第3案は既設構造を極力活用しコスト縮減を目指した案であるが、既設構造物固有の特性に配慮した疑似箱断面としての追加部材等を含めると現場工費の増加が避けられず、さらに、複雑な部材配置により施工性や維持管理性が悪化することも明らかになった。したがって、他案に比べて総合的に優位であると考えられる第4案：上部工連続化構造案③を選定した。

表-1 復旧構造の比較案

	第1案 既存支柱梁設置案	第2案 連続化構造案① 単純I桁全長架け替え	第3案 連続化構造案② 部分取り替え(既設活用)	第4案 連続化構造案③ 部分取り替え	第5案 支柱新設案
工法概要	受け側となる構造物を上部構造から下部構造に変更する。既存支柱に直接受け梁と斜材を単純I桁側と2径間連続I桁側の2方向に設置して支承構造で飯桁を支持する。	損傷箇所を含めた既存の1径間(単純I桁)を全て撤去し、P2橋脚上で単純I桁、単純I桁、2径間連続I桁の3つの上部構造を連続化するために橋脚上及び遷移区間のブロックを部分的に再製作・再架設すると同時に、単純I桁部分は新規製作した箱桁を再架設して2径間連続箱桁とする。	P2橋脚上で単純箱桁、単純I桁、2径間連続I桁の3つの上部構造を連続化するために、必要最小限の橋脚上ブロックを部分的に再製作・再架設する。遷移区間は、横桁及び下横桁を追加設置することで、疑似箱桁として既設構造を活用する。	P2橋脚上で単純箱桁、単純I桁、2径間連続I桁の3つの上部構造を連続化するために、橋脚上及び遷移区間のブロックを部分的に再製作・再架設する。	既存支柱とは別に単純I桁と2径間連続I桁の2方向で支点を支える支柱(杭基礎)を新たに設置して支承構造で支持する。
構造概要図					

5. 連続化構造及び設計

(1) 基本構造

損傷部の現況構造は、P2橋脚に支持された単純箱桁の端部ダイヤフラムと側面腹板に設置されたフック構造に単純I桁と2径間連続I桁がそれぞれピン連結されている。これに対して、復旧構造は、P2橋脚上に支持されている箱桁と単純I桁及び2径間連続I桁の両方を一体にする連続化構造とした。I桁側の既存構造は極力再利用することを基本とし、P2橋脚上から単純I桁側と2径間連続I桁側の両方に箱断面を延長して連続構造とした上で、遷移区間を経て箱断面からI断面に変化させた。この部分は、損傷状況や接続構造から既存構造の転用は困難であったため、全て再製作とした。

(2) 遷移区間の構造

a) 構造的な検討の背景

復旧に伴い連続化することで、箱断面→I断面のように主桁の断面形状が急変することになる。断面形状が急変する箇所では断面力性状や応力伝達経路が複雑となり、想定外も含めた様々な外力に対して精度よく挙動を把握できないと考えられる。一方で、その起点となるP2橋脚上は3つの上部構造が一体化する箇所で平面的には隅角

形状となっており、さらに複雑さを増している。このように本橋の連続化箇所は、複雑な構造部位と断面形状の急変部位が近傍で混在することから、不確実要素を多く内包しており、一般的な取り扱いが困難であると考えられた。したがって、各部位の断面力性状や構造的特徴を踏まえ、不確実性に対する安全代を有するよう適切に遷移区間を設定することとした。

b) 断面力性状による遷移区間の設定

連続化することで負のモーメントのピークは、3つの上部構造が一体化するP2橋脚上に生じることになる。構造解析では、様々な外力を設計荷重として考慮するが、計算上考慮できない要因、建設当時からの経年変化等全てを万全に見込めないということも念頭に置いておくべきである。特に、本橋の復旧対象箇所は、3方向からの連続化という複雑な構造を採用するにあたり、挙動等の不確実性を考慮し十分安全代を担保しておくべきと考えた。これらを踏まえ、構造解析で算出される断面力を基本とするものの、3方向連続化の起点となるP2橋脚位置から一般断面に至る各方向の断面が変化する領域を遷移区間と位置付け、それぞれの断面形状の変化に伴う断面力性状と応力伝達の不確実性度を踏まえ、剛域部の断面を延長する範囲を設定するものとし、図-5に示すように、負のモーメント発生領域の範囲を遷移区間とした。

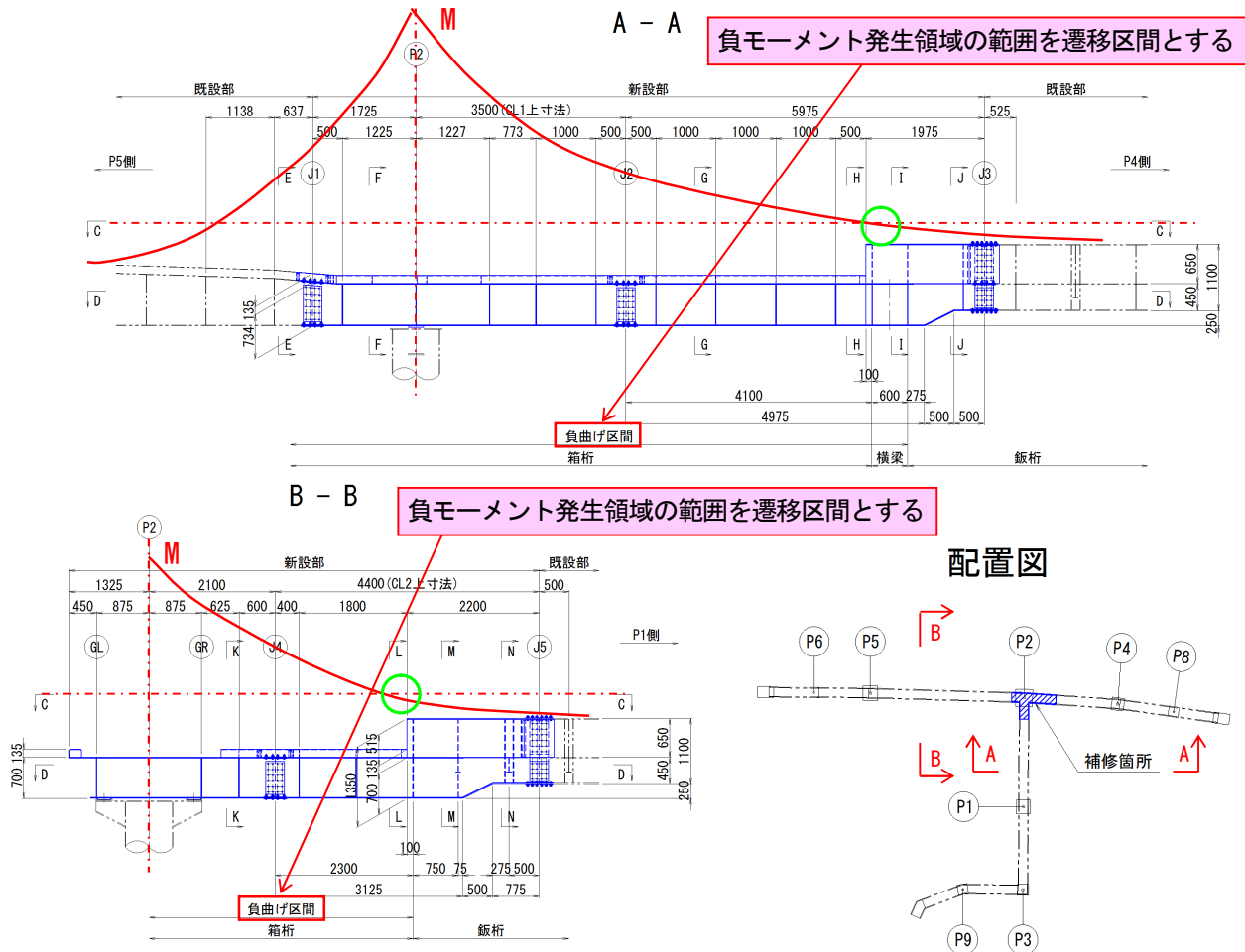


図-5 遷移区間の設定

(3) 詳細設計

設計断面力は、P2橋脚を中心として直交する平面形状を有することから、立体骨組解析により算出した。既存の構造物を改築することから、現況構造→ベント仮受→既設桁部分撤去による除荷→新規製作桁の架設という施工手順を取り込んだステップ解析を行った。また、現況構造ではフック部をピン、改築構造では剛結としてモデル化すると共に、構造系の変化による既存部材への断面力の変動影響を最小化するために、単純箱桁の仕口部については架設ヒンジを設け、現場継手ではヒンジ連結とし、構造解析にも反映した。図-6に、単純箱桁と単純I桁の連続化部(P5-P2-P4)と単純箱桁と連続I桁の連続化部(P2-P1-P3)における連続化前と連続化後の曲げモーメントの変化を示している。連続化前と連続化後を比べると、前者では、中間支点となるP2橋脚部の負モーメントが増大しているが、P5-P2及びP2-P4支間部共に正モーメントは逆に減少している。後者においても、剛結となるP2橋脚部近傍では負モーメントが増大しているが、P2-P1支間部では正モーメントが減少し、P1橋脚上及びP1-P3支間部への影響は極軽微であることが認められる。したがって、改築しない各支間部及びP1橋脚上については、設計断面力が概ね同等もしくは減少しているため、補強無しで既存部材を再利用することが可能であった。一方で、P2橋脚近傍については、全て再製作するため、設計断面力から適切な断面設計を行った。

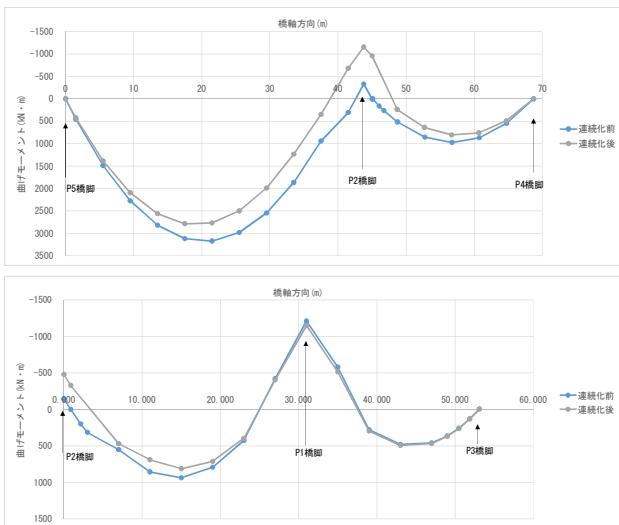


図-6 連続化前後の曲げモーメント

6. 階段及び斜路桁フック部の構造改良

青木歩道橋では、損傷が発生したP2橋脚のフック構造以外にもP3,P4,P5橋脚上の掛け違い部において階段桁や斜路桁がフック構造で支持されていた。幸いにもこれらは支間が短く反力が小さいことから損傷は認められなかったが、基本的構造は損傷部と同じであり、長期的には同様の損傷が生じるリスクを内包している。そこで、

この機会に維持管理性の向上や将来のリスク排除を目的として、現フック構造の改良を計画した。構造改良は、主桁もしくは横桁の腹板同士を添接板で直接連結する構造を基本とした。こうすることで、強固に連結することが可能となり、近接目視も可能であるため維持管理性にも優れる。また、十分な強度を有する複数のボルトで連結することを前提とするため、ボルト等の一部に変状が生じても部分取替も可能であり、不測の事態における冗長性においても、一点連結のフックピン構造に比べて優位となる。実構造は各構造物毎に様々であるため、その都度、構造に応じて細部検討が必要となるが、写真4に青木歩道橋におけるフック部の構造改善の一例を示す。



写真4 階段桁及び斜路桁のフック部構造改良例

7. 結論

青木歩道橋は令和元年11月に損傷が発生したが、全国的にも同様の事例が無かったため、国土技術政策総合研究所との技術相談を行いながら慎重な検討を重ねた上で詳細設計を行い、令和3年6月に復旧工事に着手した。そして、令和4年9月に桁架設が完了し、付帯工事を含めて令和4年12月に完全復旧を迎えることができた。この間、近隣の利用者の方々には、約3年の長期に亘り通行止めや迂回、仮橋通行等ご不便をおかけしたが、無事開通できたことは喜ばしい限りである。

今回の要因究明・復旧計画を通じて得られた知見とし

て、全国に多数建設された立体横断施設においては、同様のフック構造が標準的に採用されており、同様のリスクを抱えているということである。この構造は、立体横断施設の標準図にも示されているが、永らく基準等の抜本的な改訂が為されておらず、現在でも採用されているようである。同じ構造であっても、反力が小さい階段桁や斜路桁より、むしろ事例は少ないが、今回の事例のように反力の大きい桁構造を支持している場合はリスクが高いと言える。したがって、今後は維持管理の予算が限られる中、構造物の特性を十分に把握し上で、優先度をつけて適宜対策を実施していく必要があると考えられる。本稿では、損傷の要因究明から、再発防止に向けた一

連の検討・復旧計画立案を通じて、同様の構造物における対策の一つをお示しできたものと考えている。これが、同様の構造を有する立体横断施設において、再発防止策や維持管理性向上等、安心・安全の確保において、参考となれば幸いである。

謝辞：本橋の損傷要因判定および復旧計画策定にあたっては、坂野昌弘関西大学教授（当時）をはじめ、国土技術政策総合研究所橋梁研究室 白戸昌大室長以下関係者の皆様、八千代エンジニアリング株式会社にご助言、ご協力いただきました。ここに謝意を表します。

表-3 道路条件

道路区分	第3種第3級
設計速度	V=50km/h
交通量	現況交通量：7207台/日 大型車混入率：8.9%
橋面舗装 ¹⁾	As舗装：t _{min} =80mm 表層：密粒度アスファルト 基層：密粒度アスファルト

表-4 荷重条件

死荷重（防護柵除く） ²⁾	道路橋示方書・同解説（以下道示という）に準拠する。
防護柵 ¹⁾	0.6kN/m
雪荷重 ²⁾	1.0kN/m ² （対象路線は積雪寒冷特別地域に指定されているため、雪荷重を考慮する。）
添架物	なし
活荷重 ²⁾	B活荷重

表-5 UFC床版に関する設計条件

設計基準強度 ³⁾	180N/mm ²
ヤング係数 ³⁾	4.6×10 ⁴ N/mm ²
乾燥収縮度およびクリープ係数 ³⁾	乾燥収縮度：800×10 ⁻⁶ （UFC床版設計時） 50×10 ⁻⁶ （スタッド設計時） クリープ係数：0.7
熱膨張係数 ³⁾	13.0×10 ⁻⁶ /°C
応力度の制限値 ⁴⁾	圧縮応力度：108N/mm ² 引張応力度：8N/mm ²
単位体積重量 ³⁾	24.5kN/m ³
設計曲げモーメント ²⁾	道示に準拠
最小床版厚 ⁵⁾	130mm
かぶり、あき ⁴⁾	かぶり：最小20mm あき：最小30mm
橋軸方向の床版同士の接合部の構造 ⁵⁾	プレストレスを導入し、現場打ちUFC（UHPFRC）を打設する。
橋軸直角方向の床版同士の接合部の構造 ⁶⁾	現場打ちUFC（UHPFRC）で接続する。

3. 設計条件

主な設計条件について、以下に示す。

(1) 道路条件

道路条件について表-3に示す。

(2) 荷重条件

死荷重について表-4に示す。

(3) UFC床版に関する設計条件

UFC床版に関する設計条件は、道示に基づき整理を行い、道示に規定がないものについては、関連資料に記載がある試験等で確認された再現性がある値を採用することを基本方針とした。

主な項目について、表-5に示す。

4. 床版取替設計へのUFC床版適用

(1) UFC床版の概要

UFC床版とは、超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を使用した道路橋床版である。

UFCは特殊な鋼繊維で補強した高強度セメント系材料であり、圧縮強度は180N/mm²、引張強度は8.8N/mm²である。UFCを道路橋床版に用いることで薄肉で軽量とすることが可能である。

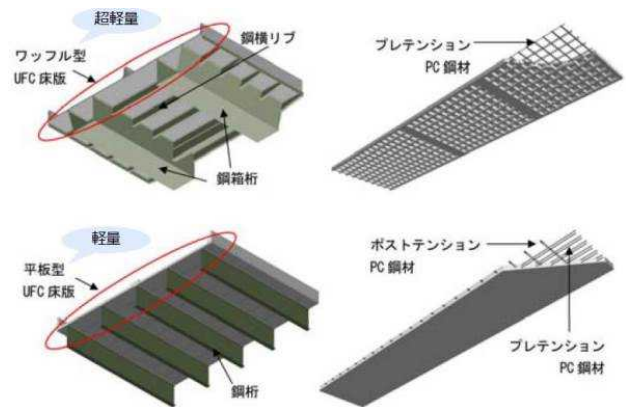


図-6 UFC床版の概要⁷⁾

a) UFC床版の種類

UFC床版には、ワッフル型UFC床版および平板型UFC床版がある。（図-6）

ワッフル型UFC床版は、2方向にリブがあるワッフル形状の超軽量なUFC床版である。リブ内にPC鋼材を配置しプレテンション方式で2方向にプレストレスを導入する。

平板型UFC床版は、ワッフル型UFC床版よりも製作コストを抑制した軽量のUFC床版である。橋軸直角方向がプレテンション方式、橋軸方向がポストテンション方式でプレストレスを導入する。

表-7 PC床版との比較

	PC床版	UFC床版 (平板型)	UFC床版 (ワッフル型)
床版厚	220mm程度	140mm程度	123mm程度
概算金額 (直接工事費)	40百万	33百万	48百万
工期	5ヶ月程度	4ヶ月程度	6ヶ月程度

(2) 床版取替方法の検討

床版取替方法として、従来工法であるPC床版の他、新技術であるUFC床版（平板型）、UFC床版（ワッフル型）を比較案とし検討を実施した。

a) PC床版

床版を上下線に分割可能であるため片側交互通行による半幅施工を行う。

床版が厚く現況に比べて死荷重が大幅に大きくなるため、支承及び落橋防止システムの取替えが必要となる。

b) ワッフル型UFC床版

床版を上下線に分割できないため、迂回路仮橋を設置して床版取替を行う。

床版厚は現況と同等であり、大幅な死荷重増はないため、支承及び落橋防止システムの取替えは不要である。

また、床版撤去後に鋼横リブを設置する必要があり、全面通行止めが必須となる構造である。

c) 平板型UFC床版

床版を上下線に分割可能であるため片側交互通行による半幅施工を行う。

床版厚は現況と同等であり、大幅な死荷重増はないため、支承及び落橋防止システムの取替えは不要である。

以上のとおり比較検討の結果、経済性および施工性に優れる「UFC床版（平板型）」を採用案とした（PC床版案に対し、約20%のコスト縮減、約1ヵ月間の工期短縮（表-7））。

(3) UFC床版構造検討

a) プレキャストUFC床版の割付検討

プレキャストUFC床版は、輸送性を考慮して、短辺が2.5m以下となるように分割する方針とした。⁹⁾

検討の結果、短辺が2.5m以下となる「橋軸方向7分割案」を採用した。

b) PC鋼材

横締めPC鋼材は、プレキャストPC床版に使用するPC鋼材の標準仕様であるSWPR7BL 1S15.2とした。⁹⁾

縦締めPC鋼材は、SWPL19 1S21.8とSWPR191S28.6を比較し、経済的となるSWPL19 1S21.8とした。

c) 床版厚

表-8 間詰材の強度試験結果¹⁰⁾

配合	部位	施工管理値 (N/mm ²)		検査基準値 (N/mm ²)	
		計画	実績	計画	実績
A	縦目地	120 (σ24h)	139 (σ35h)	150 (σ28d)	175 (σ28d)
	横目地	30 (σ18h)	108 (σ16h)	150 (σ28d)	179 (σ28d)
B	合成部	60 (σ24h)	156 (σ18h)	150 (σ28d)	185 (σ28d)
	連結部	24 (σ24h)	55.6 (σ18h)	60 (σ28d)	128 (σ28d)

UFC床版の床版厚は、使用するPC鋼材、最小かぶりの規定を考慮し、140mmに設定した。⁴⁾

(4) 橋軸直角方向の床版同士の接合部の構造検討

本橋のUFC床版には、阪神高速12号守口線S20橋の施工事例を参考にし、橋軸直角方向にRC構造にて床版同士を接合する構造を採用した。

間詰め材には前出の事例でも採用されている、圧縮強度が150N/mm²あり付着強度が高い超高性能セメント系複合材料（UHPFRC）を用いることとした。

a) 本橋への適用検証

前出の事例では、接合部が中央分離帯の直下に位置し輪荷重が直接作用しないことから、プレストレスによって接合部に発生する引張を制御しない構造が採用されている。⁹⁾

本橋には中央分離帯がなく、前出の事例とは輪荷重の載荷位置に関する条件が異なるが、以下の理由からRC構造の採用は可能と判断した。

- ・採用するRC構造は、接合部に対して輪荷重を載荷させた繰返し載荷試験により耐久性が確認されたものである。⁹⁾
- ・本橋は追い越し禁止区間に位置する橋梁であり、センターライン（接合部）付近にタイヤが乗る状態での走行の頻度は低い。
- ・本橋の現況交通量は7,207台/日であり、阪神高速守口線の交通量（60,000台/日程度）に比べて少なく、疲労が生じにくい。

b) 耐久性向上のための設計上の配慮

前出の事例との輪荷重の載荷位置の違いを考慮し、耐久性向上策として以下の配慮を行った。

- ・輪荷重による変位を抑え、疲労が生じにくくするため、設計曲げモーメントにより発生する鉄筋の引張応力度は許容値に対して余裕を持たせ、120N/mm²以下となるよう設計した。²⁾
- ・接合部にひび割れが生じ雨水が浸透した場合に備え、

表-9 通行止め想定期間

工程	内容
1日目	現場打ちUFC (UHPFRC) 打設
2~3日目	養生 (24時間) +型枠撤去等
4日目	床版防水・舗装

表-10 吊り重量

	単位	1枚あたり
体積	m ³	1.38
重量	kN	33.8
フック重量	t	0.22
Σ	t	3.70

鉄筋には塗装鉄筋を採用した。

c) 耐久性向上のための施工時の配慮

接合部には現場打ちUFC (UHPFRC) を打設することになるが、打設中、養生中に接合部付近に車両が通行することによって、上下線間のたわみ差や振動により、接合部に施工不良が発生することが懸念された。

そこで、接合部へのUHPFRCの打設中、打設後120N/mm²の圧縮強度が発現されるまでの間は上下線通行止めを行う方針とした。(表-8)

通行止め期間は、阪神高速12号守口線の事例を参考に4日間を想定している。(表-9)¹⁰⁾

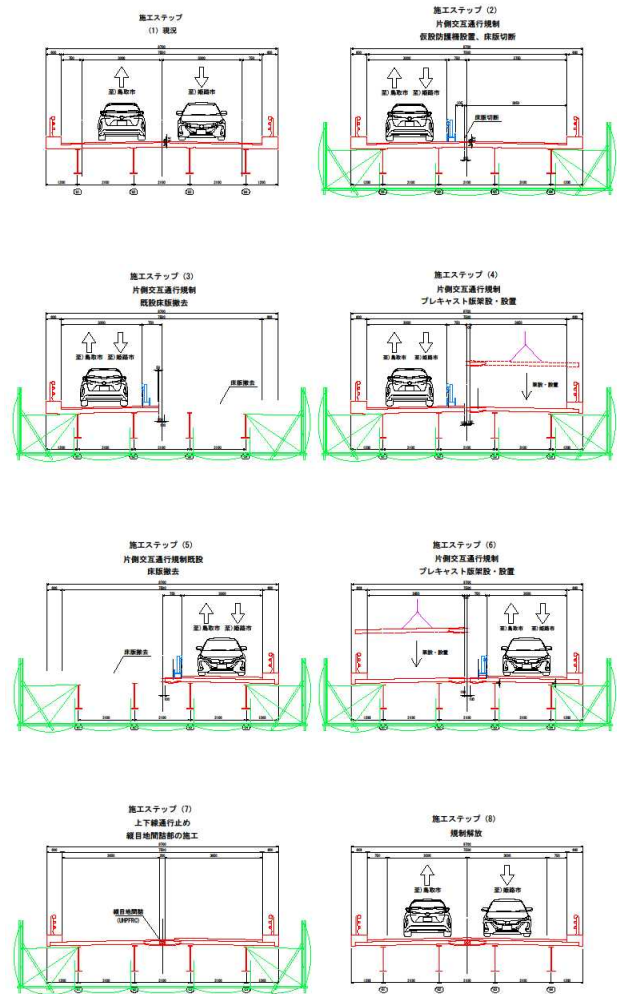


図-11 施工ステップ図

5. 施工計画

床版取替は上下線を分割し、反復施工により施工することで、現行交通への影響を最小限とすることを基本方針とする。

(1) 床版架設計画

a) 床版重量

架設するプレキャスト床版の一枚あたりの重量は最大で3.7tとなる。(表-10)

b) 作業半径

架設は橋台背面から行うものとして、床版には荷重を載荷しない方針とする。また、姫路側と鳥取側から橋長の半分ずつ床版を架設する計画として、作業半径は最大で15.0m程度を想定する。

c) 施工ステップ

床版取替における施工ステップを図-11に示す。

なお、4(4)で示したとおり、上下線のプレキャスト版を架設した後、上下線間の縦目地を施工する時には上下

線ともに通行止めとなる計画である。

6. おわりに

本研究では、既設橋の床版取替えにおけるUFC床版の適用について検討した。比較の結果、平板型UFC床版はPC床版に対し約20%のコスト削減、約1ヵ月間の工期短縮を望めると確認した。ワッフル型UFC床版は平板型UFC床版よりもさらに軽量の構造であるが、本橋のような2車線構造では上下線の反復施工ができず、床版撤去後に鋼横リブを設置する必要がある。既設橋の床版取替えにおいては、ワッフル型UFC床版よりも平板型UFC床版のほうに優位性があると考えられる。

橋軸直角方向の床版同士の接合部においては現場打ちUFCを用いる計画としているが、施工時に打設後120N/mm²の圧縮強度が得られること、ひび割れが発生していないことに注視する必要がある。

今後は本研究の結果を踏まえて、実際に施工した際の

従来工法に比べたUFC床版の施工性や工期短縮, コスト縮減といった観点を比較, 整理していきたい.

参考文献

- 1)近畿地方整備局：設計便覧（案），2012.4.
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012.3.
- 3)サクセム研究会：サクセム設計・施工マニュアル（案），2014.3.
- 4)土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），2004.9.
- 5)阪神高速道路（株）：床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討，プレストレストコンクリート工学会第 26 回シンポジウム論文集，P569-574，2017.10.
- 6)阪神高速道路（株）：UHPFRC を間詰とした UFC 床版の接合構造に関する検討，令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会，CS8-04，2021.9.
- 7)鹿島建設株式会社：NETIS：KK-190043-A，NETIS ホームページ，（2023 年 5 月 12 日取得，<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KK-190043%20>）.
- 8)UFC 道路橋床版研究会：UFC 床版の設計・施工・維持管理マニュアル（案），2020.2.
- 9)プレストレストコンクリート工学会：プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領，2018.3.
- 10)鹿島建設（株）：平板型 UFC 床版の製作および間詰めの施工—阪神高速 12 号守口線床版更新工事—，コンクリート工学，Vol.59，No.8，P667-672，2021.8.

天ヶ瀬ダムにおける堆砂対策について

西津 英治

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

天ヶ瀬ダムは管理開始から58年経過しているが、堆砂の進行が計画を上回る状況となっている。そのため、現在、貯水池内の陸上施工による堆砂除去に着手しているところであり、今後さらに、浚渫（水中施工）に移行することで検討を進めている。近年、気候変動による水害や土砂災害が頻発するなかで、全国的にもダム機能維持及び長寿命化の観点から堆砂対策は喫緊の課題となっていることから、その一事例として天ヶ瀬ダムにおける取り組みを報告する。

キーワード ダム堆砂、堆砂対策、浚渫、貯水池土砂管理、長寿命化

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、1964(昭和39)年に淀川水系淀川(宇治川)に建設された多目的ダムである。同ダムの直接流域面積は約352km²であるが、間接流域である琵琶湖流域を含めた総流域面積は約4,200km²と淀川流域の約半分となる。琵琶湖からの流出は瀬田川洗堰により調節され、その下流に位置する天ヶ瀬ダムは通常、天ヶ瀬発電所を介して放流が行われるが、最大発電取水量を超えて放流する場合は、ダムのゲート設備からの放流となる。ゲートからの放流日数は平均して年間100日以上あり、特に出水後の琵琶湖水位低下に伴う瀬田川洗堰の操作に伴い天ヶ瀬ダムのゲート放流が長期間に及ぶ。天ヶ瀬ダム直接流域である大戸川や信楽川の流域では、江戸時代から森林伐採等により樹木が殆ど無い状態となっていたことから、河川氾濫及び土石流の被害軽減を目的とした「瀬田川水系直轄砂防事業」により、2013(平成25)年度まで山腹工や砂防堰堤等の整備が実施されていた。ダム堤体より上流3.2km地点には、大正時代に建設された発電専用の大峰堰堤があったが、天ヶ瀬ダムの建設に伴い堤体部分のみが水没している状態となっている。

2. 天ヶ瀬ダムの堆砂状況

(1) 貯水池内堆砂量の経年変化

天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂量の推移を図-1に示す。2021(令和3)年度時点の全堆砂量は5,128千m³、計画堆砂量(6,000千m³)に対する堆砂率は85.5%、比堆砂量254m³/km²/年となっており、計画比堆砂量171m³/km²/年と比較して約1.5倍の速さで堆砂が進行していることになる。また、有効貯水容量内の堆砂量は1,095千m³(年平均

19,000m³)であり、これは有効貯水容量の5.5%に相当する。有効貯水容量内の堆砂は洪水調節機能の低下に直結するため、平成27年度から土砂除去等を行っており、2021(令和3)年度までに計130千m³を除去している。

表-1 陸上掘削による堆砂対策(令和4年度まで実施)

実施	除去量 (千m ³)	地区
平成27年度	1.2	大石
平成28年度	6.2	外畑、曾束
平成29年度	31.5	外畑、曾束
平成30年度	28.8	外畑、曾束
令和元年度	21.7	大石、外畑、曾束
令和2年度	24.1	大石
令和3年度	16.5	大石
合計	130.0	令和4年度:11,800m ³ (大石)

表-2 天ヶ瀬ダム堆砂状況(令和3年度時点)

項目	諸量
① 流域面積 (km ²)	352
② 竣工年月	S39.10
③ 経過年数	57年3ヶ月
④ 当初総貯水容量 (千m ³)	26,200
⑤ 計画堆砂量 (千m ³)	6,000
⑥ 有効容量内堆砂量 (千m ³)	1,095
⑦ 死水容量内堆砂量 (千m ³)	4,033
⑧ 堆砂量 (千m ³)	5,128
⑨ 全堆砂率 (⑧/④) (%)	20%
⑩ 前年度全堆砂率 (⑧(R2)/④) (%)	19%
⑪ 堆砂率 (⑧/⑤) (%)	85%
⑫ 前年度堆砂率 (⑧(R2)/⑤) (%)	84%
⑬ 計画比堆砂量 (m ³ /km ² /年)	171
⑭ 実績比堆砂量 (⑧/①/③) (m ³ /km ² /年)	254
⑮ 年堆砂量 (⑧/③) (m ³ /km ² /年)	89

(2) 貯水池内の堆砂形状

貯水池内の最深河床高の経年変化を図-2に示す。大峰堰堤上流部は、ダム建設時の元河床高と比較して上昇しているものの、変動幅は最大3m程度である。一方、大峰堰堤下流部も元河床高から経年的に上昇し、変動幅は最

大20m程度にまで達し、当該領域において堆砂進行が顕在化している。

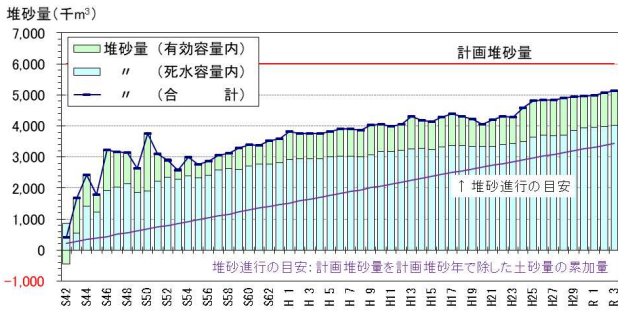


図-1 貯水池内の容量別堆砂量の経年変化

堆砂肩(勾配変化点)に着目すると、管理開始当初は大峰堰堤付近に位置していた。しかし、1973(昭和48)年頃以降、下流側に前進しており、現在は天ヶ瀬ダム堤体から2.2km上流付近に位置し、その標高は最低水位程度である。また、2017(平成29)年10月の台風21号出水の際、予備放流で貯水位を最低水位付近のOP. 58.72mまで低下させたタイミングで最大流量800m³/sの洪水を迎えたことで、堆砂肩付近の掃流力が増大し、堆砂肩が下流側に前進した影響が堆砂形状から読み取れる。

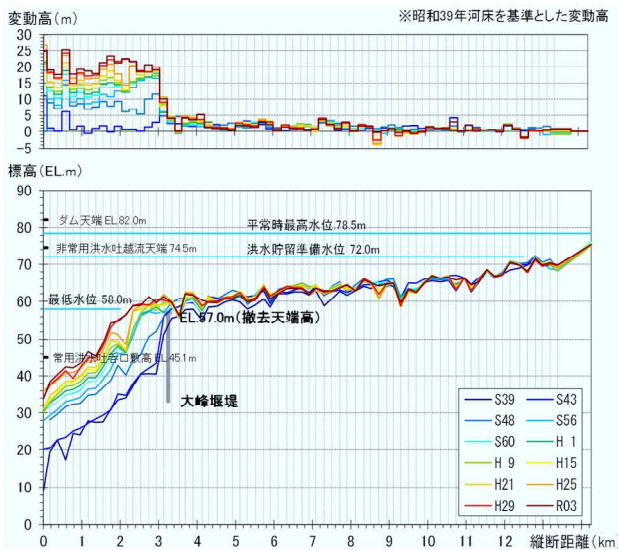


図-2 貯水池内の堆砂形状(最深河床高)の経年変化

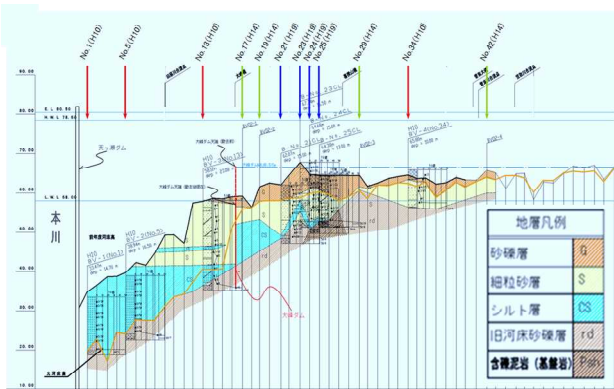


図-3 貯水池の地質縦断面

項目	単位	No. 17
調査日	-	2019/11/8
天候	-	
雲量	割	2
採取位置	-	流心
試料外觀	-	礫まじり砂
臭気	-	無し
夾雑物	-	植物片
土色	-	5Y 4/3 暗オリーブ



図-4 採取試料(底質)状況

(3) 堆砂進行度の把握および対策

天ヶ瀬ダム堆砂に関する堆砂進行度の把握および対策について、ダム貯水池土砂管理の手引き(案)¹⁾に基づき、堆砂対策の実施判断を整理した。

堆砂対策の実施判断は、評価指標①～③が管理水準に至るまでの残余年数を算定し、いずれか短い残余年数により、堆砂対策の実施を判断するものである。

その結果、評価指標①～③について管理水準のいずれれもが残余年数20年未満となり、堆砂対策を開始する段階であることが確認できた。

表-3 評価指標と管理水準

把握すべき影響	評価指標	管理水準 (目安)	評価に使用する堆砂量
貯水池機能への影響	①堆砂容量に対する堆砂率	70%	全堆砂量
洪水調節機能への影響	②洪水調節容量の余裕に対する堆砂率	15%	洪水調節容量内堆砂量
貯水池機能への影響	③有効貯水容量に対する堆砂率	5%	有効貯水容量内堆砂量

表-4 堆砂進行度と評価区分に応じた対策内容

残余年数	評価区分	対策内容
20年未満	A	堆砂対策検討開始
20年以上～30年未満	B	堆砂対策検討開始に向けた調査実施 (基本調査+詳細調査)
30年以上	C	堆砂状況の把握 (基本調査)

表-5 天ヶ瀬ダム残余年数の算定結果

評価指標	算定方法	評価区分
①	a 管理水準 (70%) までの残率 $70\% - (全堆砂量 \div 堆砂容量) \times 100 [\%] = -8.6$	A
	b 今後の堆砂量の進行見込み [実績平均年堆砂量 - 平均年対策量] \div 堆砂容量 $\times 100 [\%] = 1.44$	
	c 残余年数 $a \div b = -6$ 年	20年未満
②	a 管理水準 (15%) までの残率 $15\% - (洪水調節容量内堆砂量 \div 洪水調節容量の余裕) \times 100 [\%] = -17.9$	A
	b 今後の堆砂量の進行見込み [実績平均年堆砂量 (洪水調節容量内) - 平均年対策量 (洪水調節容量内)] \div 洪水調節容量の余裕 $\times 100 [\%]$	
	c 残余年数 $a \div b = -32$ 年	20年未満
③	a 管理水準 (5%) までの残率 $5\% - (有効貯水容量内堆砂量 \div 有効貯水容量) \times 100 [\%] = -0.5$	A
	b 今後の堆砂量の進行見込み [実績平均年堆砂量 (有効貯水容量内) - 平均年対策量 (有効貯水容量内)] \div 有効貯水容量 $\times 100 [\%] = 0.09$	
	c 残余年数 $a \div b = -6$ 年	20年未満

(4) 堆砂対策目標の設定

残余年数が大きく超過していた「洪水調節機能への影響」を優先に「②洪水調節容量内堆砂量が洪水調節容量の余裕の15%以内」を堆砂対策目標に設定した。

具体的には、天ヶ瀬ダムでの洪水調節容量は20,000千 m^3 であり、その余裕は同容量2割の3,333千 m^3 （同容量の2割 $\div 20,000千m^3 - 20,000千m^3 / 1.2$ ）であることから、管理水準は、余裕の15%に対する堆砂量としては約50万 m^3 （ $3,333千m^3 \times 0.15$ ）に相当する。

したがって、洪水調節容量内の堆砂量を50万 m^3 未満の維持を堆砂対策目標と位置付けた。

以上より、堆砂対策に係る基本方針は、洪水調節容量内の堆砂量110万 m^3 のうちの60万 m^3 とともに、対策期間

表-6 天ヶ瀬ダム残余年数の算定結果

把握すべき影響	評価指標	管理水準	
		(%)	(m^3)
貯水池機能への影響	①堆砂容量に対する堆砂率	70%	4,200,000
洪水調節機能への影響	②洪水調節容量の余裕に対する堆砂率	15%	500,000
貯水池機能への影響	③有効貯水容量に対する堆砂率	5%	1,000,000

各容量貯水量	各容量堆砂量	各容量堆砂率	洪水調節容量の余裕(m^3)	評価に使用する堆砂量
6,000,000	5,128,000	85%	3,333,333	全堆砂量
20,000,000	1,095,000	5%		洪水調節容量内堆砂量
20,000,000	1,095,000	5%		有効貯水容量内堆砂量

中に当該容量内で新たに発生する年平均1.9万 m^3 の堆砂除去を行い、当該容量内堆砂量50万 m^3 （有効貯水容量内堆砂率2.5%）の維持を目指すものとした。

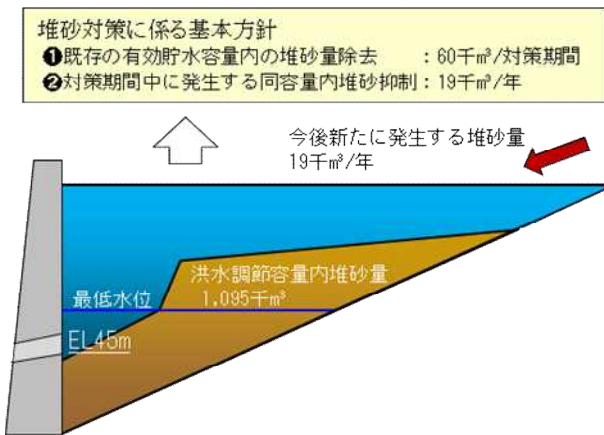


図-5 天ヶ瀬ダム堆砂対策に係る基本方針

3. 堆砂対策（浚渫計画）

(1) 対策概要

既存の洪水調節容量内の堆砂除去に向けて、以下に示す浚渫計画を立案し、次年度以降着手予定である。

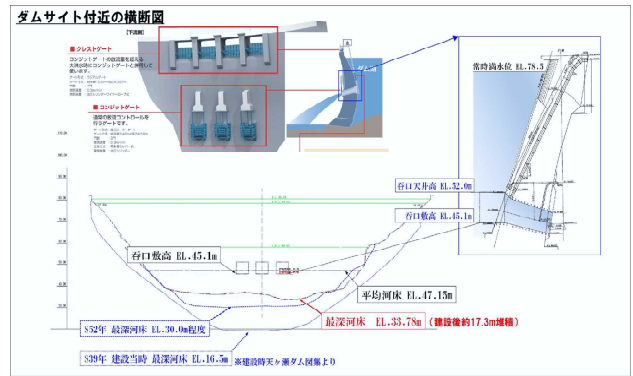


図-6 天ヶ瀬ダム付近の堆砂状況と放流設備

- ・浚渫範囲は、大峰堰堤付近上流(断面No. 17~24区間)における最低水位(EL. 58.0m)以上の有効貯水容量内を対象とする。
- ・作業期間は荷役棧橋地点での設備搬入・搬出作業を除き、貯水池内作業はすべて非出水期間(10/16~6/15)の約8ヶ月間で行う。
- ・除去対象土量は、中継施設(作業構台)設備の処理能力から約42,000 m^3 /年(378 m^3 /日)を基本とする。
- ・浚渫はグラブ浚渫台船上のクローラクレーン(2.5 m^3 グラブ)を用い、空気圧送台船から水上をフロート配管した1,300m区間を空気圧送し、作業構台上の2箇所の脱水ヤードに搬入し、脱水後、搬出する。
- ・浚渫土は場外搬出とし、再資源化施設(運搬距離6.7km)へ運搬する。また、ダム下流宇治川における土砂還元(運搬距離11.2~13.8km)における置砂材料としても利活用する。

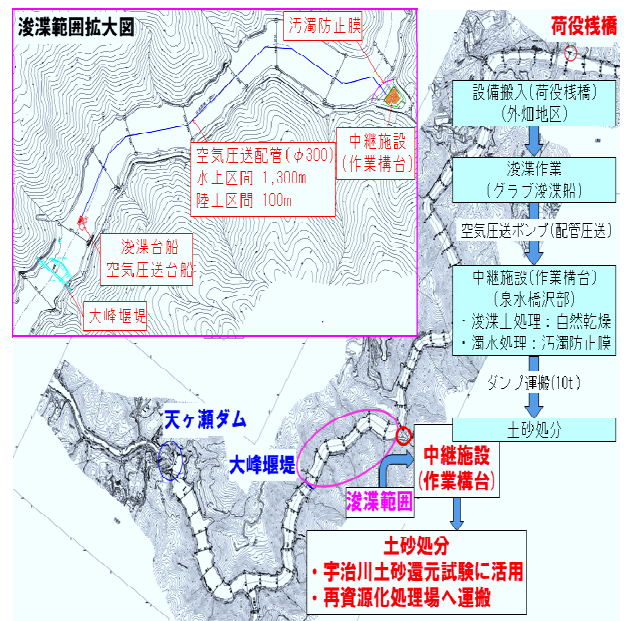


図-7 浚渫計画全体図

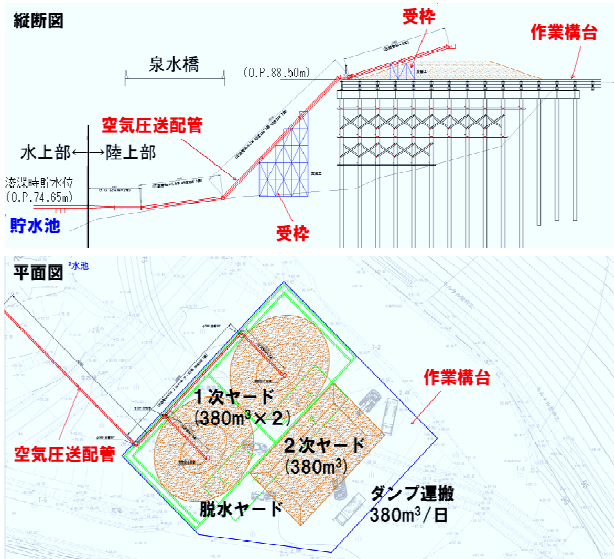


図-8 作業構台縦断面図及び平面図

(2) 対策期間

浚渫計画では、年間42,000m³を除去対象量と計画した。前述したように、堆砂対策目標の達成に向けては、洪水調節容量内の堆砂量の約60万m³を除去しつつ、目標達成までの対策期間中に発生する年間19,000m³の堆砂を除去していく必要がある。表-7は、年間浚渫量と堆砂対策目標の達成までに要する対策必要期間を整理したものである。試算によると、堆砂対策目標の達成に向けて必要となる対策期間として約26年間が見込まれる。

表-7 対策必要年数と年間浚渫量の関係

対策必要年数(年)	1	5	10	20	25	26	30
年間浚渫量(万m³)	61.4	13.8	7.9	4.9	4.3	4.2	3.9
年間発生堆砂量(万m³)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
年間発生堆砂量総量(万m³)	1.9	9.5	19.0	38.0	47.5	49.4	57.0
浚渫量総量(万m³)	61.4	69.0	78.5	97.5	107.0	108.9	116.5

6. 継続可能な中長期対策案の検討

(1) 既存ストックを活用した対策工

浚渫計画では、貯水池内でグラブ浚渫する工法を適用するため、年間6億円程度の事業費が見込まれ、これを約26年間の長きにわたって継続するには経済的な課題が現れる。

そこで、継続可能な堆砂対策として、既存ストックの活用等を想定した中長期対策の適用性に関する検討を行っている。天ヶ瀬ダム貯水池右岸に存在する旧志津川発電所導水路トンネルを土砂バイパストンネル、または、土砂運搬路として活用する案を施設規模の概略検討を行っている。

旧志津川導水路トンネル活用法のうち土砂バイパストンネル案は、無効放流時の流水を活用して土砂を流送する方法であり、土砂運搬路案は、流水の力ではなく機械的手段で土砂を運搬する方法である。

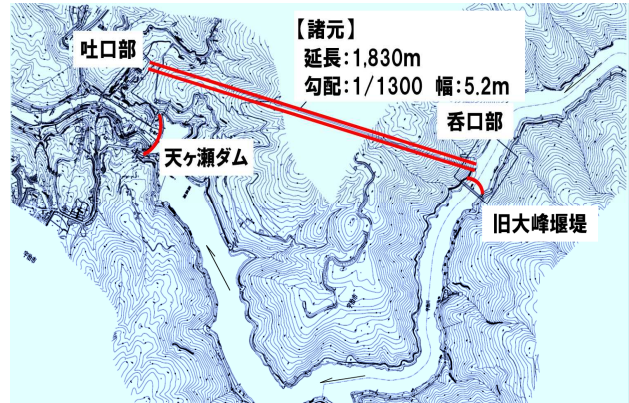


図-9 旧志津川導水路トンネル配置図

a) 土砂バイパストンネル案（自然分派案）

呑口部に設置するゲートにて出水時に流水を調整し、浮遊する流入土砂とともにトンネル内を流送させ、吐口部より宇治川へ排砂(バイパス)する。

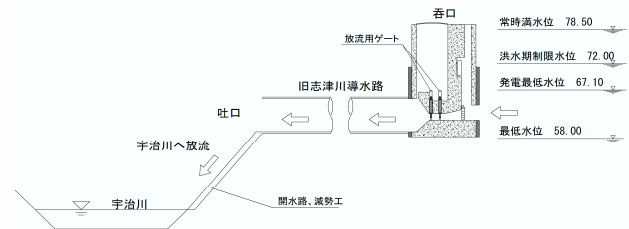


図-10 土砂バイパストンネル【自然分派】案

b) 土砂バイパストンネル案（土砂投入案）

非出水期に浚渫した堆砂を呑口部付近に湖内移送(19,000m³)し、出水期における出水時に呑口部に設置するゲートにて調整した流水に特殊エジェクターポンプにて吸引した土砂を投入し、トンネル内を流送させ、吐口部より宇治川へ排砂(バイパス)する。上記以外の23,000m³の堆砂除去は短期対策と同様に浚渫し、脱水処理後、堆砂受入地へ運搬する。

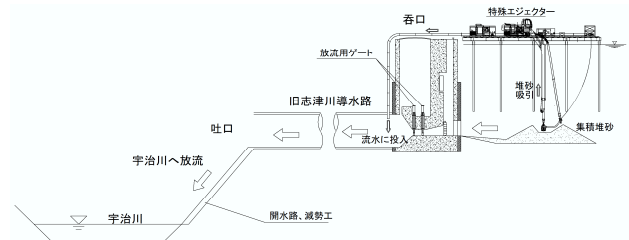


図-11 土砂バイパストンネル【土砂吸引】案

c) 土砂運搬路案（ベルトコンベヤ案）

非出水期に浚渫した堆砂を呑口部付近の空气中に仮置きして脱水処理する。脱水処理した土砂をロックラダーにて呑口部からトンネル内に降ろし、ベルトコンベヤにて吐口部まで運搬する。吐口部にてダンプカーに積替え、一部は宇治川での置砂(19,000m³)、残り(23,000m³)は堆砂受入地まで運搬する。

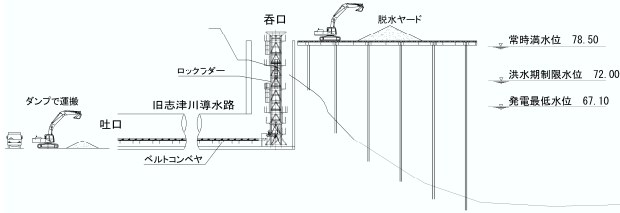


図-12 土砂運搬路【ベルトコンベヤ】案

d) 土砂運搬路案（空気圧送案）

非出水期に浚渫する土砂のうち19,000m³は呑口部付近に湖内移送し、出水期に呑口部付近の堆砂をグラブ浚渫して空気圧送配管で高濃度濁水として運搬し、宇治川へ排砂する。上記以外の23,000m³の堆砂除去は短期対策と同様に浚渫し、脱水処理後、堆砂受入地へ運搬する。

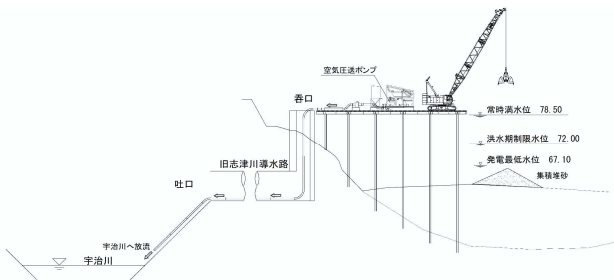


図-13 土砂運搬路案【空気圧送】案

(2) 堆砂管理の一体化による対策工

浚渫計画、既存ストックを活用した対策に加え、更なる継続可能な堆砂対策（陸上掘削による堆砂除去）として、天ヶ瀬ダム上流域に位置する大戸川ダム流域を一体と考えた土砂捕捉による堆砂対策の可能性を抽出した。

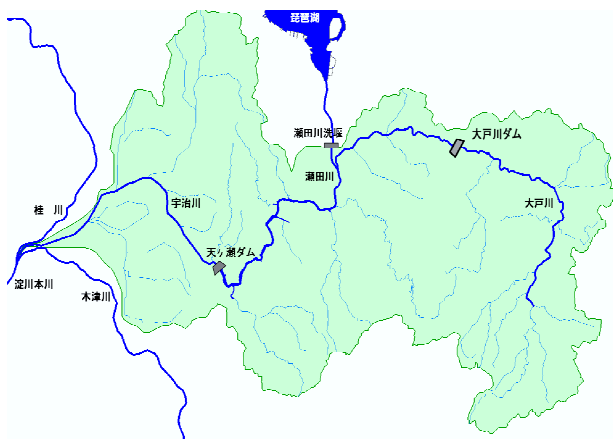


図-14 天ヶ瀬ダム上流域図(大戸川流域を一体堆砂管理)

a) 大戸川ダム貯水池内の堆砂除去

大戸川ダムは流水型のダムではあるが、貯水池内において土砂堆積するものと予想する。出水中は洪水調節により貯水位が高いものの、平常時は通常の河川と同様の水位となっていることから、陸上掘削が可能となる区

域が存在するものと考えられ、陸上掘削による堆積土砂除去により、天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性はある。

b) 大戸川ダム下流の堆積土砂除去

大戸川ダム下流は河床勾配が緩く、また、多数の落差工が設置されていることから、河川内において土砂堆積するものと予想する。大戸川流末(瀬田川合流点)においても土砂堆積が顕在化していたことから、大戸川流域からの堆積土砂の除去により、天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性はある。

c) 大戸川ダム上流の堆積土砂除去

大戸川ダム上流に貯砂ダムを設置し、流入土砂を捕捉し、陸上掘削による捕捉土砂の除去により、天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性はある。

d) 大戸川の既存堰堤の改良による堆積土砂除去

大戸川川には設置される複数の堰堤を改良することにより土砂捕捉機能を向上させ、捕捉土砂の除去により、天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性はある。

7. おわりに

天ヶ瀬ダム堆砂対策の中長期対策として、旧志津川水路を有効活用(案)、天ヶ瀬ダム上流域に位置する大戸川ダム流域を一体と考えた土砂捕捉による堆砂対策(案)を抽出した。

各案とも、浚渫土、掘削土を場外搬出して再資源化施設への運搬を前提としたものであることから、場外搬出に係る運搬費用や受入費用のコスト縮減が、堆砂対策と並ぶ課題となっている。また、下流河川への置砂利活用の際に土砂動態を考慮した対応も課題となっている。

堆砂対策の検討を進めるにあたり、既存ストック(旧志津川導水路トンネル)の健全性評価、堆砂対策の流域一体化を加えた比較検討、ダム下流河川における治水(流下断面)・利水(舟運、取水等)・環境(生物)を考え合わせた維持管理計画を検討する必要があると考える。

そのため、「淀川水系総合土砂管理検討委員会」における議論を踏まえて、流域内の現状把握や課題等の整理と併せて、継続可能な中長期対策の最適(案)の選定を目指す。

参考文献

1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池土砂管理の手引き(案), 2018(平成30)年3月

近畿道路メンテナンスセンターにおける 地方公共団体への技術的支援の取組について

植田 貴志¹

¹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)

2020年4月に近畿道路メンテナンスセンターが設置されて、約3年が経過した。2013年の道路法改正によって位置づけられた道路構造物等の5年に1回の定期点検も、2018年度に1巡目点検が完了し、今年度は2巡目点検の最終年度となっている。定期点検義務化から約10年を迎えようとしているが、当初から課題と考えられていた地方公共団体における人員や技術力不足については未だ課題のままとなっている。本論文では、近畿道路メンテナンスセンターが行っている地方公共団体の管理する道路構造物の定期点検等、道路インフラメンテナンスに関する技術的支援にかかる取り組みと今後の展開について報告する。

キーワード 道路メンテナンス, 地方公共団体, 技術支援, 新技術

1. はじめに

(1) 近畿道路メンテナンスセンターについて

2012年12月の笹子トンネル天井板崩落事故を契機として、翌年の道路法改正により、道路構造物等の定期点検（5年に1回の近接目視点検）が義務付けられた。

しかしながら、高度経済成長期に集中的に整備された道路インフラは建設後50年以上が経過し、今後一斉に老朽化の進行が懸念されることから、更なる老朽化対策の強化が急務となっていた。これに対して、点検データ等を生かした、より戦略的・効果的なメンテナンスを推進していくための組織として「近畿道路メンテナンスセンター」が2020年4月に設置された。当センターでは主に以下の業務に取り組んでいる。

a) 定期点検・診断と点検結果の管理・分析

近畿地方整備局管内全ての橋梁・トンネルの定期点検及び診断を実施及び、統一的な対策区分の判定と健全性の診断。また、その結果を管理・分析し、点検及び修繕計画の検討・策定を実施。

b) 地方公共団体への技術支援

インフラメンテナンスにかかる些細な疑問・質問対応から高度な技術力を必要とする特殊な橋梁や損傷に対応する技術相談会及び直轄診断、地方公共団体職員を対象とした研修・講習会の開催などを幅広く実施。

(2) 地方公共団体が抱えるインフラメンテナンスにおける課題について

近畿地方整備局管内には、道路橋が約10万橋あり、このうち、地方公共団体が管理する道路橋は約9万橋と全体の約9割を占めている。また、トンネルは管内全体の約7割を占めている。(図-1)

地方公共団体管理の橋梁・トンネルが大多数となっている一方で、実際に主として管理を担うはずの土木系職員が不足しており、規模の小さい町や村では、その傾向が強まり、約半数以上の町や村では土木系技術者が0人という厳しい状況となっている。(図-2)

また、アンケート結果(図-3)から、地方公共団体の職員の認識としても、予算不足に次ぐ2番目に職員数不足が問題であると考えられていることがわかる。

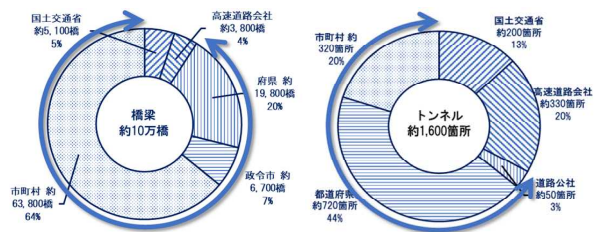


図-1 道路管理者別橋梁・トンネル管理数

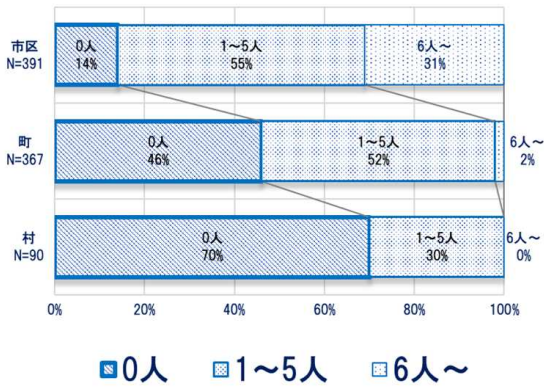


図-2 市区町村における橋梁保全業務に携わる土木技術者数

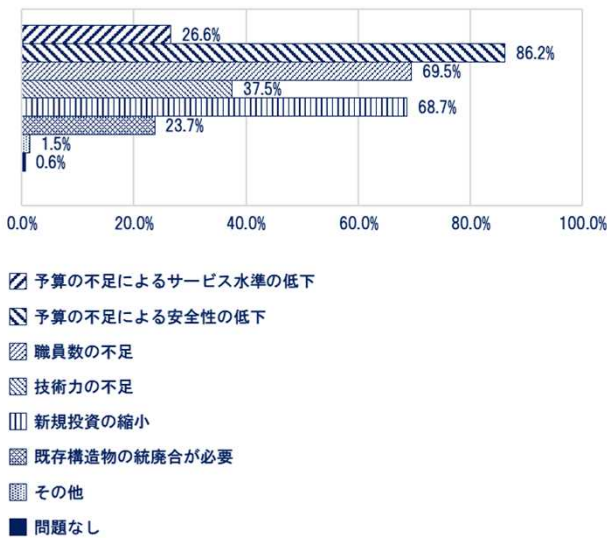


図-3 地方公共団体へのアンケート結果～公共構造物・公共施設の老朽化が進行する中で今後懸念されることは何ですか？～

定期点検によって健全性がⅢもしくはⅣと診断された橋梁は本来、次回点検まで(5年以内)に補修等措置を講じるべきとされているが地方公共団体が管理する橋梁の約3割は未措置のまま、点検後5年以上を経過している状況(図-4)にあり、既にメンテナンスサイクルが破綻してしまっていることから、地方公共団体におけるインフラメンテナンスにかかる予算・人員・技術力の確保は喫緊の課題といえる。

地方公共団体への予算的な支援としては「道路メンテナンス事業補助制度」によって国費率55%+財政力指数に応じた引上率分の補助があるが、2021年度の改正により、対象事業要件に「新技術等の活用の検討を行い、費用の縮減や事業の効率化などに取り組むもの」、優先支援事業要件に「コスト縮減や事業の効率化等を目的に新技術等を活用する事業のうち、試算などにより効果を明確にしている事業」が追加された。これにより地方公共団体にとって、新技術及び点検支援技術も含めた最新の知識・技術力の取得も重要な課題となっている。

管理者	措置が必要な施設数※3	措置に着手済みの施設数		点検後5年以上経過した施設数	
		うち完了	うち未着手数※4	うち経過済	うち未着手数
国土交通省	3,402	3,107 (91%)	1,805 (53%)	1,928	0 (0%)
高速道路会社	2,539	2,068 (81%)	1,533 (60%)	1,172	0 (0%)
地方公共団体	62,694	40,611 (65%)	28,589 (46%)	38,678	11,353 (29%)

図-4 1巡目点検で修繕が必要とされた橋梁の修繕等措置状況

2. 技術的支援の取組について

近畿道路メンテナンスセンターが取り組んでいる地方公共団体への技術的支援について、以下紹介していく。

(1) 道路メンテナンス会議への技術的支援（新技術講習）

2021年度から、府県道路メンテナンス会議における技術講習の一環として、橋梁・トンネル点検における「新技術・点検支援技術」について、直轄管理施設をフィールドとした講習会を実施している。(表-1)

また、地方公共団体が管理する橋梁においても、首長まで参加する新技術のデモンストレーション会を開催し、点検のコスト縮減や効率化の参考として実際の活用状況を現地で紹介している。(表-2)

表-1 新技術講習の実施状況 (2022年度)

道路メンテナンス会議	対象構造物	実施日
福井県	R8 鯖江高架橋	荒天中止
滋賀県	R8 野洲川大橋	12月8日
京都府	R171 久世橋	11月10日
大阪府	R25 国豊橋	12月12日
兵庫県	R2 牛谷高架橋(上)	11月15日
奈良県	新タコセ橋	11月22日
和歌山県	和歌山県道194号上初湯川皆瀬線新柱木トンネル	11月24日

表-2 新技術デモンストレーションの実施状況 (2022年度)

府県	事務所	自治体名	対象橋梁名	新技術デモ実施日
福井県	福井	敦賀市	貯木場橋	3月24日
滋賀県	滋賀	大津市	貴船橋・貴船橋歩道橋	11月25日
京都府	福知山	舞鶴市	満潮橋	2月21日
大阪府	大阪	高石市	新仇浪橋	11月21日
兵庫県	兵庫	神戸市	住吉橋	6月15日
奈良県	奈良	宇陀市	玉立橋	5月31日
和歌山県	紀南	印南町	イタテコ橋	6月6日

(2) 直轄診断

老朽化に伴う緊急な対応が必要かつ高度な技術力を要する施設の技術的な助言を行うため、専門の技術職員で構成する「道路メンテナンス技術集団」を地方公共団体からの要請に基づいて派遣している。近畿地方整備局管内では2022年度までに2橋実施しており、直近では2020年度から奈良市の鶴舞橋で直轄診断を行っている。

鶴舞橋については、建設後60年以上が経過し、補強鋼板の腐食や下部工の杭の傾き等の変状が見られ、健全度Ⅲ判定として5年以内の補修が必要となっていたが建設年次も不明で当時の設計図や竣工図も無く、市での検討が困難であったことから、要請があった。2020年度～2021年度にかけて直轄診断を実施し、2022年2月に奈良市に対して診断結果を報告している。この事例では、奈良市より引き続き修繕代行業の要望があり、2022年度より調査設計を進めている。

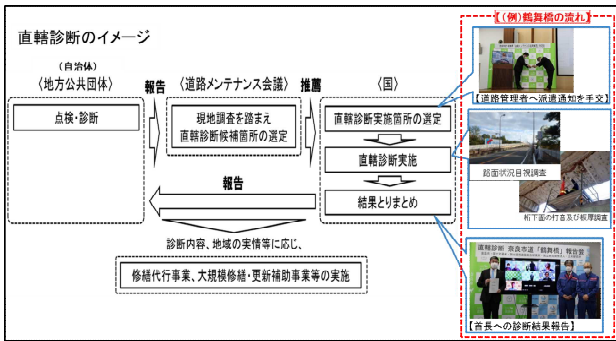


図-5 直轄診断のイメージ

(3) 地方公共団体を対象とした研修・講習会

a) 地方公共団体職員を対象としたメンテナンス研修
地方公共団体職員を対象としたメンテナンス研修として4つのコースを開講しており、座学だけでなく現場実習も含んだ研修を行っている。2014年度～2022年度の8年間で約900名が受講している。(表-3)

b) 地方公共団体職員を対象とした独自講習会
前項で紹介したメンテナンス研修は基礎的な知識を既に有した土木職員向けの道路橋点検士補レベルの内容となっており、実務経験の浅い若手職員や土木職ではない事務系の職員にとっては内容が難しいものとなっていた。

これに対して、より基礎的な知識や技術力習得を目的とし、橋梁メンテナンス研修の理解を助けるため、橋梁の種類や部材の名称など基本的な内容を中心とした近畿道路メンテナンスセンター独自の講習会を企画し、2022年度から試験的に実施している。(図-6～7)

表-3 メンテナンス研修の受講者数(国の職員除く)

	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	合計
橋梁メンテナンス初級Ⅰ	104	120	110	118	69	83	26	-	54	690
橋梁メンテナンス初級Ⅱ	10	12	12	21	8	13	7	12	9	104
トンネルメンテナンス	10	11	8	19	1	6	-	7	5	67
道路土工構造物メンテナンス	-	-	-	-	-	-	-	10	6	16
合計	124	143	130	158	78	108	33	29	74	877

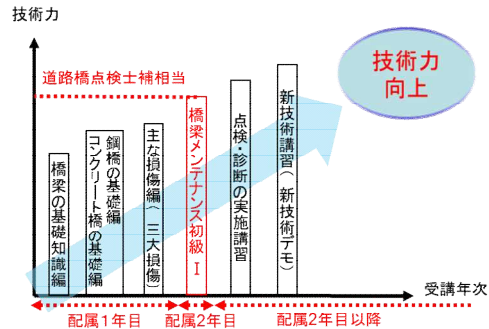


図-6 研修やメンテナンス講習会を通じたステップアップイメージ

第1章 橋梁とは？

2. 橋梁に使われる材料

(3) 現代では、なぜ木材や石材は主流ではないのでしょうか？

【荷重の増加】

- 馬→馬車→車→鉄道のように、文明が進歩して乗り物が発明され、重いものを繰り返し通行させる必要がでてきた。
- 人口が増えて、一度に大人数が往来するようになった。
- 木材では、荷重の増加に耐えられなくなってきた。
- 石材は、重量があつて材料の運搬が困難など、扱いづらい。

【新たな材料の登場】

- 扱いやすく加工が容易で、かつ強度が高い材料として、鋼やコンクリートが使われるようになった。

図-7 独自講習会資料(抜粋)

(4) 地方公共団体の個別案件に対する技術的支援

a) 技術相談メール

地方公共団体が些細な疑問・質問から何でも気軽に相談できる仕組みとして、近畿道路メンテナンスセンターのホームページに技術相談窓口を設置し、メールで相談できる仕組みを構築している。2020年度～2022年度で62件の実績がある。(図-8)

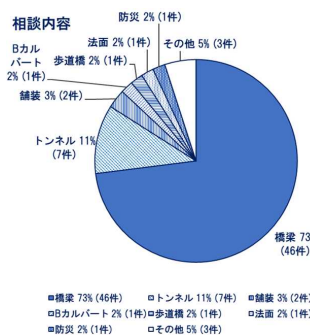


図-8 技術相談メールの相談内容(2020～2022年度)

b) 技術相談会

各府県の道路メンテナンス会議に地方公共団体が技術的な内容において気軽に相談できる場所を提供し、助言等を得ることで、技術的により良い判断や選択ができることを目指して「技術相談会」を設置している。実績としては2020年度が15件、2021年度が5件となっている。技術相談会では相談のあった地方公共団体の職員と合同で現地調査や打合せなどを行い、助言を行っている。



図-9 地方公共団体との個別相談

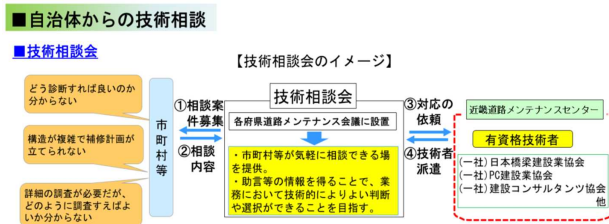


図-10 技術相談会のイメージ

員や事務系の職員にとって、何からどうやって勉強すればよいのか悩むこともあると思われるので教材として整理したものを提供することが一助になると考える。

②出張相談会の実施

メンテナンスセンターやメンテナンス会議メンバーが市町村等の役場へ出張し、技術的なことに限らず、インフラメンテナンスにかかる積算や工法選定の考え方等、実務的なものも含めて知見やノウハウの共有、助言を行う。こちらから伺うことで相談のハードルを下げ、市町村等の担当者が切実に抱えるインフラメンテナンスにかかる課題の解決に寄与できると考える。

③近畿メンテナンス事例集(地方自治体版)の提供

メンテナンスセンターに寄せられる技術相談メールや技術相談会の内容の他、地方公共団体で行ったメンテナンス事例をとりまとめ、提供する。類似の懸案を抱える自治体にとって参考資料になるだけでなく、詳細の問い合わせを他自治体に行うことで近畿管内市町村等のインフラメンテナンス担当者間の横の繋がりを形成し、円滑なインフラメンテナンス業務の遂行に寄与することが期待できる。

3. 今後の展開

これまで行ってきた地方公共団体への技術支援は相手からの要請や相談を受けて行う、受動的な支援だけに留まっていた。今後、点検支援技術をはじめとした新技術の活用や予防保全型インフラメンテナンスへの転換などが一層進められていく中で技術力に課題を抱える規模の小さい地方公共団体だけが取り残されていかないように、能動的なプッシュ型の支援が必要なのではないかと考える。具体的に考えられることを案として以下紹介していく。

①eラーニング教材の提供・配信

近畿道路メンテナンスセンター独自で行っている基礎的な知識・技術力習得のための講習会資料をeラーニング教材化して地方公共団体へ提供を行う。これによって時間・場所を選ばず学習が可能となる。初めてインフラメンテナンスを担当する職

4. おわりに

2014年度から始まった定期点検も今年度で9年が経過し、2巡目も完了しようとしているところである。これから3巡目に突入していくことになるが、依然として地方公共団体が抱える予算や技術力を持った人員の不足という課題は解決できていない。国や高速道路会社は3巡目以降、予防保全型インフラメンテナンスへの転換を進めていく一方で、予算的にも人員的にも厳しい地方公共団体は点検と事後保全で手一杯の状況が続き、予防保全への転換は非常に難しいものになると懸念される。

直轄国道のメンテナンスサイクルが確立し、少しずつ予防保全へと転換をしていく中で道路メンテナンスセンターの役割として自治体支援の重要性が今後ますます高まっていくのではないだろうか。直轄のインフラメンテナンスで得た知識や経験を地方公共団体へフィードバックし、市町村含めた近畿地方全体のインフラメンテナンスをリードしていけるよう、今後とも様々な角度からの技術支援に取り組んでいきたい。

真名川ダム主放水ゲート設備 油圧シリンダー更新について

原 裕貴¹・宮川 昌樹²

¹近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 真名川ダム管理支所

(〒912-0423 福井県大野市下若生子25字水谷1-36)

²近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 管理課 (〒912-0021 福井県大野市中野29-28)

令和3・4年度にかけ、真名川ダムにおいて主放水ゲート設備油圧シリンダーの経年劣化に伴う更新を行った。アーチ式コンクリートダムの構造上、油圧シリンダーの搬出入は非常に困難な施工である。今回の工事では安全対策は当然のこと、出水期間や積雪といった制約を考慮した効率的な施工が必要であった。今回、安全で効率的な施工が出来たため、これから更新時期を迎える他のダムの参考になると考え、紹介する。

キーワード 施工, 維持管理, 安全対策, ダムゲート油圧, シリンダー

1. はじめに

真名川ダム主放水ゲート設備は、大型の油圧シリンダー一式の高圧ローラゲートである。当該設備を更新するにあたっては、真名川ダムが不等厚アーチ式コンクリートダムであること、所在地が豪雪地帯であることなど、様々な制約があり、安全で効率的な施工計画の立案に苦勞した。

なお、真名川ダム及び更新対象である主放水ゲート設備油圧シリンダーの諸元は表-1及び表-2のとおりである。外観及び立面図については図-1及び図-2に示す。

表-1 真名川ダムの諸元

河川名	九頭竜川水系真名川
所在地	福井県大野市下若生子
形式	不等厚アーチ式コンクリートダム
竣工	昭和52年10月
堤高	127.5 m
堤頂幅	6.0 m
堤頂高	EL387.5m
上段キャットウォーク高	EL350.0m
主ゲート操作室床面高	EL331.0m

表-2 主放水ゲート設備油圧シリンダーの諸元

型式	揺動直結式1本吊り
油圧シリンダー内径	507 mm
ピストンロッド外径	320 mm
長さストローク	5,269 mm
最大揚程	5 m
最大開閉荷重	1,274 KN



図-1 真名川ダム全体写真



図-2 主放水ゲート設備近景写真

2. 油圧シリンダー更新における課題

真名川ダムにおいて主放水ゲート設備の油圧シリンダーを更新するにあたり、以下の課題があった。

(1) 重機使用の制約

油圧シリンダーなどの重量物を効率的に搬出入するためには、ラフテレーンクレーン等の重機の利用が不可欠である。しかし、真名川ダムは不等厚アーチ式コンクリートダムであるため、油圧シリンダーが据え付けられているダム中央部へ近づくほどダム堤体が下流側へ傾斜している。そのため、ダム堤頂から重機のみで油圧シリンダーの搬出入を行うことは不可能であった。また、ダム下流側へ進入路を造成しクレーン構台を設ける案も考えられたが、道路整備と大規模な足場整備が必要となるため、工期・費用ともに現実的ではなかった。



図3 ダム堤体の傾斜

(2) 施工時期の制約

既存の足場はキャットウォークのみであり、施工においては主放水ゲート設備周辺での足場組立・解体作業が伴う。工事時期を検討した結果、春先は融雪出水があるためゲートを利用することが多く、施工時期として望ましくない。よって、出水期明けから積雪が始まるまでという約2ヶ月間で油圧シリンダーの搬出入と足場組立・解体、屋根の解体・復旧を実施する必要があった。



図4 冬期の真名川ダム

3. 施工方法検討

前章で上がった重機使用及び施工時期の制約を解決すべく、施工方法の検討を行った。

(1) 油圧シリンダー搬出入方法

前章で述べたとおり、真名川ダムにおいては、ラフテレーンクレーンのみで油圧シリンダー搬出入を行うことは不可能である。しかし、ダム堤体の傾斜は左右岸側へ近づくにつれ緩やかになることから、油圧シリンダーを水平移動させることが出来ればラフテレーンクレーンで搬出入することは可能である。直近の施工事例である天ヶ瀬ダムにおいては、ホイストレールをダム堤体へ取付け、油圧シリンダーの搬出入に活用しており、当ダムでも適用可能か検討を行った。

(2) 油圧シリンダー搬出入工法の比較

ホイストレールを活用して油圧シリンダーを搬出入するにあたり、足場形状に加え、ホイストレール形状によって作業量や作業効率が大きく変わることが想定された。そのため、図-5に示す3つの案を検討した。それぞれの案のメリット・デメリットを示す。

a) キャットウォーク撤去+簡素な足場

油圧シリンダーを水平姿勢にしてキャットウォーク上を水平移動させることで、ホイストレール支持材のダム堤体からの張り出し長を短くでき、鋼材の費用を抑えることができる。しかし、キャットウォークの取り外しが必要となる手法であることから、施工中は開口部が生じるため安全性が劣る。また、ホイストレールの延長によっては、油圧シリンダーの反転作業において不安定な足場上から斜めに引っ張る必要があり、人力では施工できず、電気チェーンブロックが必要となる。

b) キャットウォーク撤去+作業構台

前項であった油圧シリンダーの反転作業を不安定な足場上で行う必要があるという課題を解決したのが当案である。操作室上部に作業構台を設けることで、油圧シリンダーの反転作業をより安全に行える。しかし、作業構台の設置・撤去作業が安全な足場等が無い中で実施する必要がある点、作業構台の製作費用がかかる点など、デメリットも大きい。

c) キャットウォーク活用

他案においてデメリットが生じた根本的な原因である油圧シリンダーの反転作業が不用となるよう、ホイストレール支持材のダム堤体からの張り出し長を長くとしたのが当案である。この案のメリットは、キャットウォークの撤去・復旧作業が不要となる点である。開口部のない足場上で作業できるため、安全性は申し分ない。ホイストレールの鋼材費用は増加するものの、全体として作業量を大きく減らせることから、工期面でのメリットが大きいという点が決め手となり、当案を採用した。

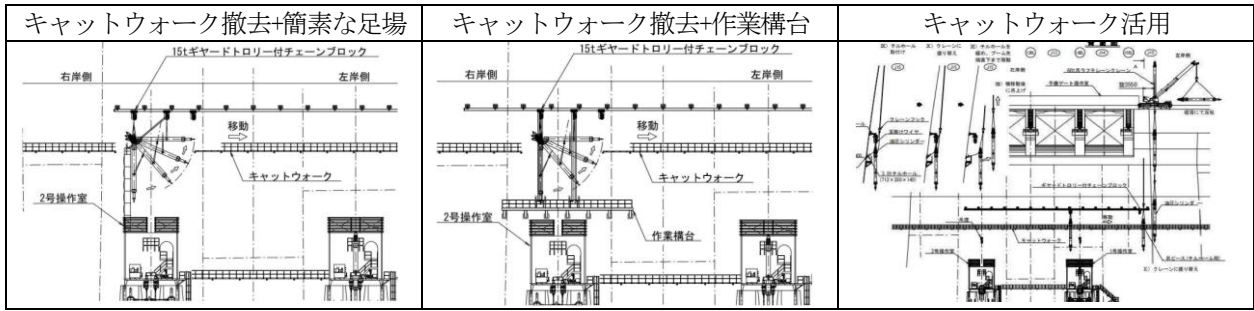


図-5 油圧シリンダー搬出入工法比較

(3) 屋根復旧方法

油圧シリンダーの搬出入に際して、操作室の屋根を解体する必要があり、油圧シリンダー更新が完了後に復旧する必要があった。しかしながら、屋内側から完全に復旧させることは困難なため、屋外に足場を設けて作業をする必要がある。真名川ダムにおいては、ゲート塗装工事等で活用している張り出し足場を保有していたため、これを活用して安全な足場をゲート下部から立ち上げることにした。

全部ではなく一部解体としたのは、つららの落下や落雪による機材損傷のリスクを少しでも低減させるためである。室外の足場組立にあたっては、過去のゲート塗装工事で製作した張り出し足場を活用した。後述する屋根復旧に活用する足場を先行して組み立て、その足場を拡張する形で油圧シリンダー搬出入時に利用する足場を組み立てた。

4. 実際の施工状況

(1) ホイストレール取付け

まず初めに、ダム堤体へのホイストレール取付けを行った。取付けにあたっては、既設キャットウォーク上に足場を組み、ラフテレーンクレーンで吊り下げたホイストレールを引き寄せる形で部材搬入を行い、取付けを行っている。ホイストレールの取付け場所が、主放水ゲート設備が据え付けられている箇所と比べるとダム上部に位置していることから、吊り荷の引き寄せが可能であった。なお、放流に支障がないため、出水期中に施工した。



図-7 張り出し足場の活用状況



図-6 ホイストレール取付け状況

(2) 足場組立、屋根の一部解体

油圧シリンダー搬出入に向け、ゲート室内及び室外の足場組立、屋根の一部解体作業を行った。なお、屋根を

(3) 油圧シリンダー搬出入

油圧シリンダーを搬出するにあたり、シリンダー上部の屋根解体および、キャットウォーク直下のダム堤体へ吊環を設置した。屋根を全解体しなかった理由としては、降雨・積雪に備えた養生箇所を最低限とし、ゲート室内への水滴等の侵入を防ぐためである。

なお、油圧シリンダーの据付箇所からホイストレールまでの吊り上げ及び吊り下げは手動チェーンブロックで行った。これは、電気チェーンブロックは電源ケーブルの敷設及び撤去に時間を要すること、施工後にはチェーンブロックを撤去する計画であったことから、施工に要するトータルの期間を比較した結果である。

油圧シリンダーの水平移動、ラフテレーンクレーンでの搬入・搬出については、計画通りスムーズに行え、計4日間で実施することができた。

らの落下や落雪による設備損傷や被災のリスクがあることから、冬期の施工は好ましくない。屋外作業や屋根の解体・復旧作業を伴う設備更新については、可能な限り積雪時期を避けることのできる施工方法及び施工計画を立てるべきである。

(4) チェーンブロックの選定

今回の施工においては、電動チェーンブロックの検討も行ったが、高揚程に応じた製品を特別に作る必要があること、電源等現地の設置条件を検討した結果、手動チェーンブロックを採用することとした。

また、電気チェーンブロックを採用する場合は、クレーンとしての取り扱いとなるため、電源、許認可、工程、費用対効果等を総合的に検討した上で判断する必要がある。

参考文献

- 1) 油圧シリンダー更新仮設概略設計業務 報告書 平成31年2月
株式会社建設技術研究所
- 2) 真名川ダム主放水設備油圧シリンダー更新工事 完成図書 令和5年3月 日立造船株式会社

コンクリート床版橋における ポットホールの発生原因と補修対策

東 孝信¹・青木 清隆²

¹豊岡河川国道事務所 朝来国道維持出張所 (〒669-5211 兵庫県朝来市和田山町平野504)

²本局 災害対策マネジメント室 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41) .

一般国道9号に位置する下鹿田橋は、竣工は1986年（昭和61年）で供用後37年が経過し、片側1車線、幅員は13.0mの橋梁である。

路面に発生したポットホールは橋梁上の舗装劣化と捉え、同じ補修を繰り返し実施されていたが、平成29年度の定期点検において舗装上の析出物のしみ出しが確認され、床版の土砂化が疑われた。積雪寒冷地のため、舗装のひび割れや継ぎ目から侵入した雨水や塩分により、劣化を促進する可能性があるため、再劣化を生じさせない適切な対策が重要である。

本稿は、積雪寒冷地のコンクリート床版に対して実施した詳細調査及び補修設計の結果について報告するものである。

キーワード コンクリート床版、土砂化、積雪寒冷地、補修調査

1. はじめに

下鹿田橋は、一般国道9号の兵庫県香美町村岡区鹿田地先に位置し、湯舟川を渡河する。設計は昭和53年道路橋示方書で、橋長53.20mの単純PCポステンT桁である。

橋梁位置図を図-1に、橋梁一般図を図-2に、橋梁諸元を表-1に示す。



図-1 橋梁位置図

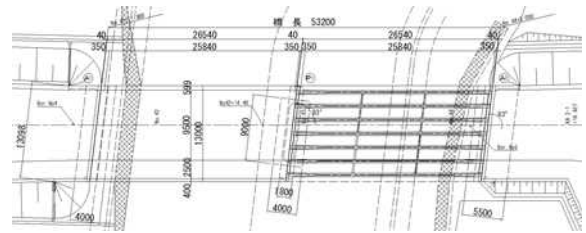


図-2 橋梁一般図

表-1 橋梁諸元

橋長	53.20m
幅員	13.00m
上部構造形式	単純PCポステンT桁
下部構造形式	逆T式橋台，壁式橋脚
供用年	1986年（昭和61年）
設計活荷重	TL-20
交差条件	湯舟川

2. 損傷概要

平成20年度に実施された定期点検では損傷は軽微であったが、平成25年度の定期点検において、車線の外側に舗装のひびわれや表層剥離が確認されている。平成29年度の定期点検では、車線内側への舗装の損傷箇所の増加に加えて、析出物のしみ出しが確認されている。

桁下面は間詰コンクリートに遊離石灰が確認されたが、それ以外の損傷は軽微であり、橋梁全体としては概ね健

全である。

過去の維持管理として、路面のポットホールが確認された場合、橋梁上の舗装劣化と捉え、冬期は常温合材によるパッチング補修とし、春期以降は耐久性のある加熱合材による補修を実施してきている。

平成29年度定期点検の損傷写真を写-1に、令和4年度に撮影された路面状況写真を写-2に示す。

写-1 平成29年度の路面損傷状況



写-2 令和4年度の路面損傷状況



写-3 調査状況

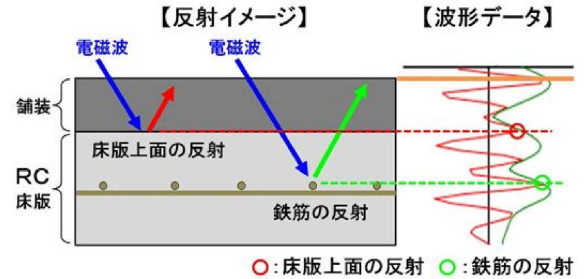


図-3 測定原理

調査結果

車両前方に搭載したラインセンサカメラによる舗装表面の連続写真、計測波形の平衡面コンター図と損傷程度を3グループに区分した結果を図-4に示す。非破壊調査の結果では、上り線A1-P1間にグループ3が多く分布している。定期点検においても上り線A1-P1間に路面損傷が多く確認されていたことから、舗装下の損傷が進行している可能性が高いと推定された。

3. 詳細調査

舗装表面への析出物が確認されたことから、床版の土砂化、床版の土砂化が疑われたため、損傷要因を推定するための詳細調査を実施した。

(1) 床版の土砂化と積雪寒冷地の特性

床版の土砂化とは、コンクリートが骨材とモルタルに分離し、土砂のような状態になる現象である。床版上に入り込んだ雨水や塩分及び繰り返し荷重などが原因とされている。アスファルトのひび割れや打ち継ぎ目から雨水はが侵入し、床版との境界面に滞水することから、橋梁の劣化が生じる。床版上面が湿潤状態となり、輪荷重によって床版上面のかぶりコンクリートの劣化原因疲労破壊から土砂化へとして近年着目されている進展する。

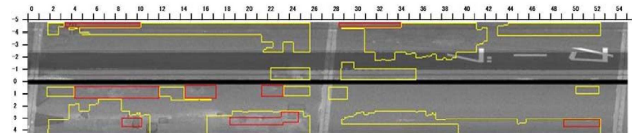
当該橋梁の架橋位置のように積雪寒冷地においては、凍結防止剤由来の塩分が含まれた滞水は、さらに土砂化を促進する原因となる。

(2) 電磁波レーダを用いた非破壊調査

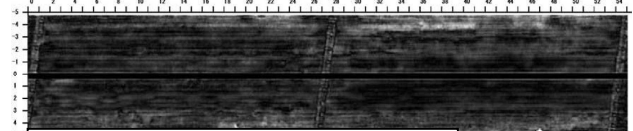
調査概要

床版の劣化状態を把握するため、一次調査として自走式電磁波レーダによる非破壊調査を実施した。調査状況を写-3に、測定原理を図-3に示す。

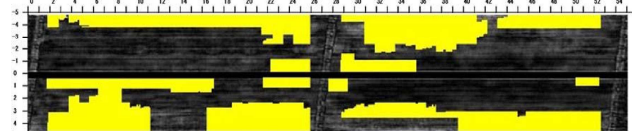
調査結果 (路面画像)



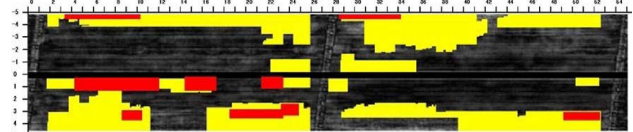
電磁波レーダー画像 (床版上面付近)



AI 予測処理結果 (床版上面付近)



調査技術者による損傷の分類 (床版上面付近)



凡例	グループ	推定される損傷
	1	健全
	2	乾燥状態の浅い土砂化、乾燥状態の舗装剥離など
	3	滞水状態の土砂化、乾燥状態の深い土砂化

図-4 非破壊調査結果

(3) 舗装のはつり調査

調査概要

非破壊調査結果より、最も損傷進行の可能性があるとして判定された上り線A1-P1間にて、車道部舗装を幅1.0m×長さ1.4m撤去し、床版上面の滞水や土砂化の有無を確認した。

調査位置を図-5に示す。

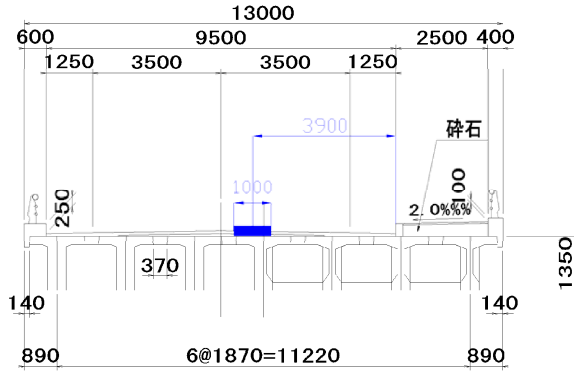


図-5 調査位置図

調査結果

調査結果を写-4に示す。車道部舗装を撤去したところ、調整コンクリートは湿潤状態であり、ひびわれも確認された。また、ひびわれ部を30mm程度はつり取ったところ、ひびわれ内部から水が噴出し、調整コンクリートとポステンT桁境界面に滞水している状況が確認された。

写-4 はつり調査状況



4. 損傷要因の推定

調整コンクリートは竣工時に最小厚30mmで設計されているが、最新の設計便覧では50mmを最小厚と規定されている。設計基準強度18N/mm²の調整コンクリートの打設は可能であるが、モルタル成分が多くなり弱点となりやすい。最小厚30mmとなる位置は、走行する大型車のダブルタイヤの載荷位置に近接している。大型車混入率が20%程度と比較的高くなっており、一般的に舗装へのダメージは走行車両の輪荷重の4乗に比例するとされる¹⁾

主桁や床版下面は健全であるのに対し、車線外側の舗装劣化が先行した要因は、大型車輪荷重による調整コンクリートまたはアスファルト舗装の疲労損傷があったと

考えられる。

下鹿田橋は積雪寒冷地に位置して、路面が水や融雪剤のさらされる期間が長いこと、舗装の劣化が進行しやすい状況にある。橋面防水や排水設備が設置されていないため、舗装下に滞水した雨水は劣化を促進し、新たな舗装ひびわれの発生要因となったと推察される。

道路橋示方書に規定されるT荷重の載荷位置を反映した路面画像を写-5に、竣工時の調整コンクリート設置範囲を図-4に示す。

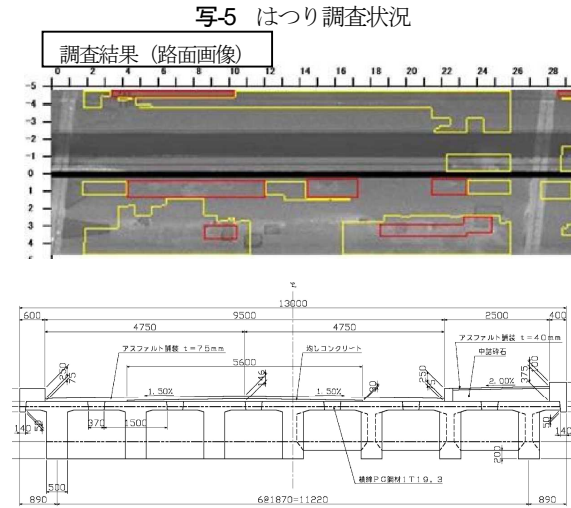


図-6 竣工時の調整コンクリート設置範囲

5. 補修設計

(1) 劣化抑制と排水機能の向上

下鹿田橋は橋面防水が施工されていないためウレタン樹脂系の橋面防水による対策を行う。舗装下に浸水した雨水を速やかに排出することが床版の長寿命化に有効であるため、導水パイプと水抜きを追加設置する。

(2) 損傷箇所の補修

劣化した舗装および調整コンクリートは撤去し、打替とする。また、調整コンクリートの最小厚は50mmとする。

6. おわりに

本稿は、路面に発生したポットホールを橋梁上の舗装劣化と捉え、同じ補修が繰り返し実施されていた現状と、補修内容について紹介した。

今後も構造物の劣化については、発生原因・メカニズムを考慮し調査や補修を実施することで、構造物の長寿命化に努めて参りたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説
2001年7月

積雪寒冷地における雪寒対応の現状と課題

辻 優希¹・大崎 裕之²

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

²近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 施設管理課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

兵庫県北部の日本海側に位置する但馬地域(3市2町)は、温泉をはじめ、スキー場が多く存在し、さらには史跡や名所も多く、冬期の観光資源を取りそろえた地域である。

本稿では、豊岡河川国道事務所で実施している積雪寒冷地における幹線道路(国道9号、国道483号E72北近畿豊岡自動車道)の雪寒対応について、現状や課題、対策等を紹介する。

キーワード 積雪寒冷地, 除雪・融雪, タイヤ規制

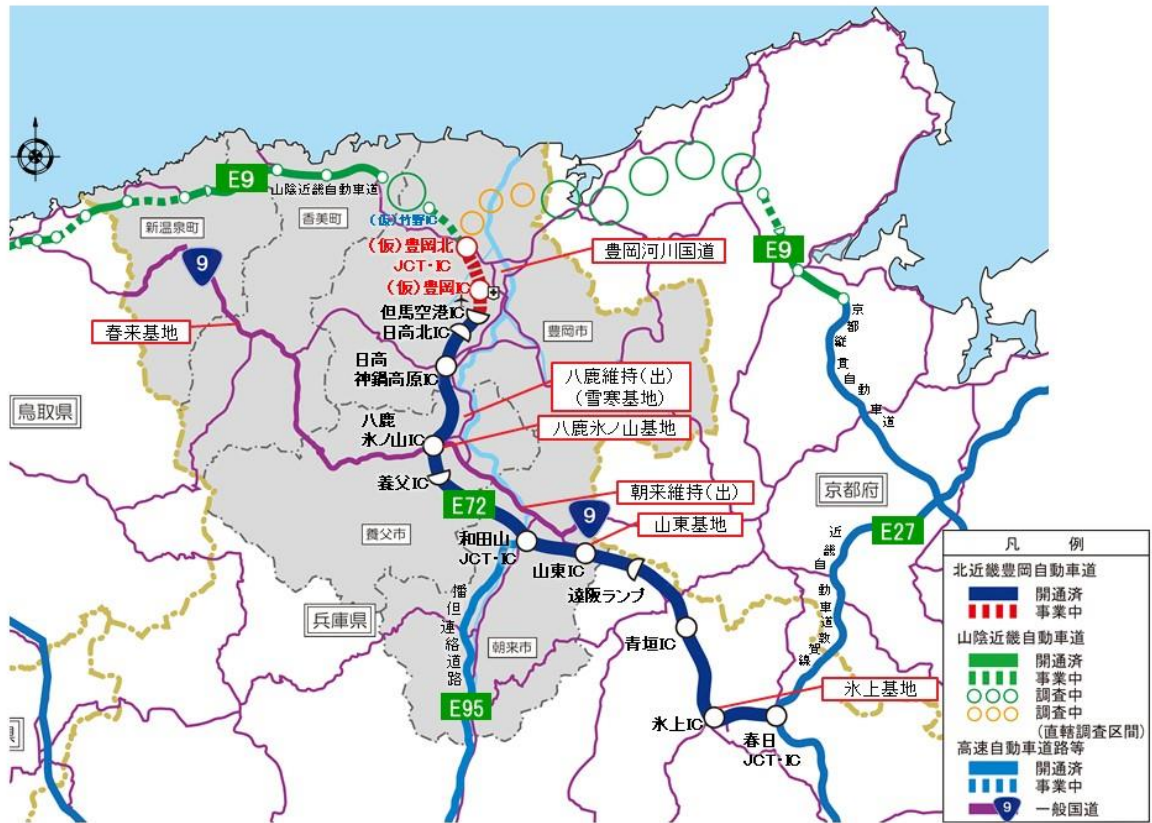


図-1 豊岡河川国道事務所管内図

1. はじめに

兵庫県北部の日本海側に位置する但馬地域(3市2町)は、冬の味覚の王者である松葉ガニが満喫できるとともに、ウィンタースポーツ施設の代表格であるスキー場が多く存在しており、さらには史跡や名所、温泉、レジャ

ー施設も数多く、冬期の観光資源を取りそろえた地域である。この為、冬季における交通の確保は地域経済にとって大変重要であるといえる。

豊岡河川国道事務所では、この地域の幹線ネットワークである国道9号、及び国道483号(E72北近畿豊岡自動車道)を管理している(図-1)。国道9号は、京都市と山口県下関市をつなぐ、日本海側における幹線道路であ

り、古くから京街道、あるいは山陰街道と呼ばれ、今も昔も多くの人が行き交う但馬を横断する重要なネットワークである。また、国道483号は、兵庫県北部地域を縦断する自動車専用道路で、山陰近畿自動車道と連携させるための延伸工事が進められているところであり、京阪神からのアクセス強化により地域の活性化を担っている。

2. 現状と課題

(1) 国道9号” 険しい峠部を多く抱える”

但馬地域は豪雪地帯に指定されており2市2町を経由する国道9号は、夜久野峠、谷間地峠、八井谷峠、春來峠、蒲生峠など市町の境にある峠を抱えている（図-2）。令和3年度は朝来市和田山町の観測所において24時間降雪量が71cmという観測史上最大となる降雪量を記録する大雪となるなど、除雪体制の確保と共に融雪装置による交通確保が重要となっている。

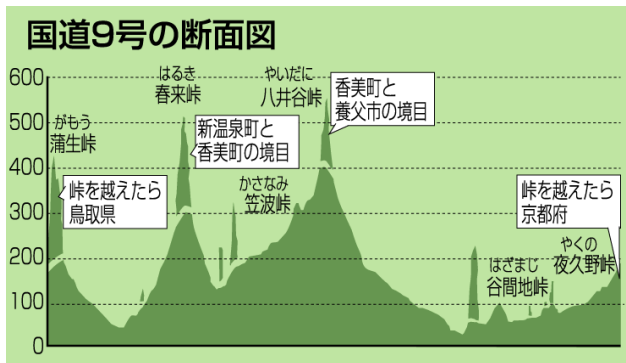


図-2 国道9号の断面図

また、全国的な問題でもあるが、除雪車両のオペレーターの担い手の不足が深刻。限られた人員で除雪を実施している状況。特に国道9号では、維持工事受注者のベテラン作業員の平均年齢は、60歳を越えており、担い手の確保が急務。しかし、自動車線用道路で除雪作業を実施している作業員からは、国道9号の除雪は自専道の除雪作業に比べて「縦断・横断の変化、交差点、沿道状況を考えると除雪作業がとても難しい」との意見があり、国道9号の除雪作業を行える技術を持った人材の確保が課題となっている。

(2) E72北近畿豊岡自動車道” 暫定2車線 1台のスタックは甚大な影響”

丹波市南部と、丹波市北部以北における降雪量に大きな違いがあり、この急激な気象や降雪の差について、地元の人には認識しているものの、地元以外の人にはあまり認識されておらず、特に大阪や神戸など都市部からの車両は夏用タイヤで出かけてくる状況がみられる。北近畿

豊岡自動車道は、片側1車線の暫定供用であることから、そのような車両が1台でも走行不能に陥ると、後続する車両はすり抜けることができず、一気に停滞を招く。そのような停滞が生じれば、除雪や救援活動にも支障をきたし、降雪状況によっては車両の埋没など人命に関わる事象を招くおそれがある。この為、流入車両の冬用タイヤ装着の確認が重要となる。

3. 冬季交通確保の為の取り組み

(1) 国道9号

現状と課題で述べたように、幾つもの峠区間を管理していることから、冬季交通確保においては除雪とともに「融雪設備」が重要な施設となっている。

豊岡河川国道事務所が管理する国道9号（約70km）の内、散水融雪設備は延長約30kmで約43%に設置されており、融雪能力は、時間降雪量5cmが継続しても融雪が可能な状況（写真-1, 2）。



写真-1 散水融雪設備設置状況



写真-2 散水融雪設備稼働状況

ただし、河川からの安定的な取水が出来るよう、ポンプ、配管の計画更新、遠隔制御装置の点検や、設備が故障した際の対応を予め決めておくなどのリスク管理をきめ細かく実施している（写真-3）。



写真-3 散水融雪設備点検時の様子

なお、散水融雪設備は、極低温（マイナス4℃以下が継続すると見込まれる場合）の際に十分な量の取水が行えない場合は、散水による路面凍結が生じる理由から運転を停止する。この為、機械除雪に切り替えられるよう、対応をマニュアル化し、出張所、維持工事受注者と合意形成しておくことで有事に備えている。

担い手不足に関しては、建設業の団体との意見交換などを通じて、発注者側が求める除雪のあり方の見直しや、雪寒基地の環境改善などにより人材の確保に努めている。

一方、除雪能力の限界点を見越して、予め通行止めの基準を設定。降雪が激しく継続する恐れがある場合は、通行止めを行い集中除雪へ移行する（モードチェンジ）。この際、通行止め位置において通行車両を迂回、Uターンを行うが、迂回やUターンが難しい車両については一時的に退避してもらう為に、自治体と連携し、公的機関の駐車場を一時退避所として設定した。

(2) E72北近畿豊岡自動車道

北近畿豊岡自動車道は、付加車線（追い越し車線、ゆずり車線）が設置されており梯団除雪（写真-4）を実施するなど冬季交通確保に努めている。

しかし、除雪作業のみでは安全な交通確保に限界があるため、利用者の冬用タイヤの装着が重要である。この為、冬用タイヤ規制（写真-5）を降雪量に応じて実施。

規制の法的根拠としては、道路交通法第71条であり、警察と連携した取り組みとしている。令和4年度においては、4回の冬用タイヤ規制を実施。令和5年2月20日23:00～21日14:30の冬用タイヤ規制においては133台のノーマルタイヤ車両（うち大型貨物車2台）が確認された（表-1）。Twitterやチラシで、冬用タイヤ装着啓発活動を実施するものの、依然としてノーマルタイヤでの利

用者が存在。冬用タイヤ規制により、ノーマルタイヤ車両を排除することで事故を未然防止することが出来た。



写真-4 梯団除雪の様子

表-1 令和5年2月20日23:00～21日14:30に実施した冬用タイヤ規制の結果

冬用タイヤ等 確認箇所	冬用タイヤ確認総数					装着率	
	冬用 タイヤ	チェ ーン	ノーマル				
			全数	大貨	大旅		
日高神鍋高原	2,459	2,431	10	18	1	0	99.27
八鹿氷ノ山	1,630	1,614	5	11	0	0	99.33
養父	453	453	0	0	0	0	100.00
和田山	2,481	2,458	11	12	1	0	99.52
山東	830	807	7	16	0	0	98.07
遠阪	86	81	1	4	0	0	95.35
青垣	1,341	1,318	1	22	0	0	98.36
氷上	2,618	2,578	8	32	0	0	98.78
春日	939	917	4	18	0	0	98.08
計	12,837	12,657	47	133	2	0	98.53



写真-5 冬用タイヤ規制実施状況

一方、北近畿豊岡自動車道における融雪装置は、散水融雪は高速走行の妨げになることから、無散水融雪装置を設置し、重要な役割を果たしている。しかし、地下水を熱源とした当該装置は、路面下に埋設されているが漏水が起こりやすいなどの課題がある。現状では、漏水箇所の特定が難しく、広範囲にわたり更新を行う必要があるが、更新し易い構造（バルブ位置の見直し、追加）に変更することで維持管理に配慮した構造への見直しを行

なっている。

4. おわりに

積雪寒冷地における雪寒対応は、日常生活の確保と共に、雪を観光資源とした地域活性化に欠かせないオペレーションである。令和4年度においては、散水融雪設備の活用、冬用タイヤ規制の実施によるノーマルタイヤ車両の排除の結果、スタック等の重大事象等による通行止めを行うことなく、雪寒対応を終えることが出来た。

今後は、引き続き関係職員の技術力向上、技術の継承と共に、除雪に携わる方々にとって働きやすい職場環境の整備や、DXの導入による除雪の自動化、冬用タイヤ規制の際のタイヤチェックの自動化等、更なる効率化や省力化に努めてまいりたい。

城崎道路技術検討会における 技術的課題について

石田 翔吾

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 計画課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

豊岡河川国道事務所では、山陰近畿自動車道城崎道路について、令和4年度に直轄による権限代行実施の検討を行うための調査を実施した。その一環として、城崎道路技術検討会を設立し、城崎道路における技術的課題の解決に必要となる高度な技術力について確認を行った。本論文では、城崎道路技術検討会における検討内容について報告するものである。

キーワード 直轄調査, 地質リスク, 玄武洞玄武岩, キャップロック

1. はじめに

(1) 山陰近畿自動車道 城崎道路の概要

山陰近畿自動車道は、鳥取豊岡宮津自動車道の通称で、鳥取県鳥取市から京都府宮津市に至る延長約120kmの高規格道路として、鳥取県、兵庫県、京都府が整備を推進している。

城崎道路は、兵庫県豊岡市に位置する山陰近畿自動車道の一翼を担う、延長約7.4kmの道路である(図-1)。

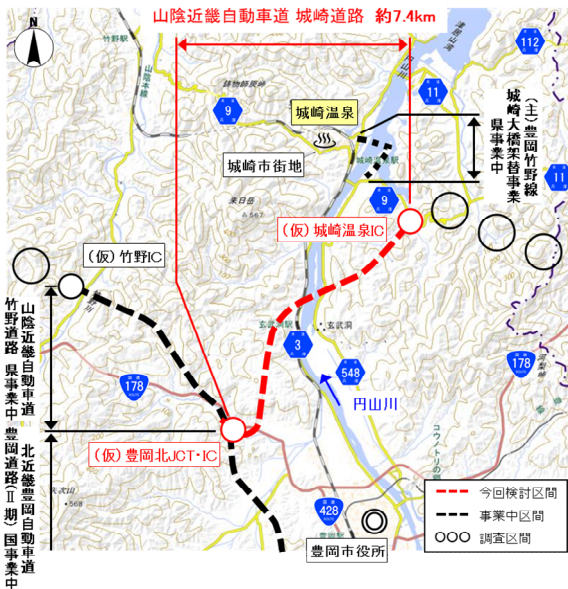


図-1 城崎道路位置図

(2) 兵庫県による山陰近畿自動車道技術検討会

兵庫県内の山陰近畿自動車道は、兵庫県が整備を進めているところである。

令和元年度に兵庫県において、山陰近畿自動車道技

術検討会(以下、兵庫県技術検討会という。)を設立し、城崎道路の事業実施時に想定される技術的課題・対応案をとりまとめている。

(3) 直轄による権限代行実施の検討を行うための調査

兵庫県技術検討会においては、城崎道路の事業実施には、高度な技術力が必要であるとして、直轄での権限代行による事業化を過去から要望されている。権限代行の要件の一つとして、高度な技術力を有する事業等があり、その要件を確認するべく、令和4年度に、豊岡河川国道事務所においても、城崎道路技術検討会を設立し、技術的課題・対応案に対して課題解決に向けた高度な技術力の必要性について確認を行った。

本稿においては、城崎道路技術検討会における技術的課題への対応方針の検討内容を報告するものである。

2. 城崎道路技術検討会について

(1) 城崎道路技術検討会の目的

城崎道路技術検討会は、兵庫県技術検討会にて示された技術的課題及び対応案に対して、課題解決に向けた高度な技術力の必要性を確認することを目的とする。

(2) 城崎道路技術検討会の構成

城崎道路技術検討会の構成委員は、表-1のとおりである。

表-1 城崎道路技術検討会 委員名簿 (敬称略)

役職	氏名	所属
会長	沖村 孝	神戸大学 名誉教授
委員	森川 英典	神戸大学大学院 工学研究科 教授
委員	芥川 真一	神戸大学大学院 工学研究科 教授
委員	草野 真一	兵庫県 土木部 道路企画課長
委員	南 知之	国土交通省 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所長
オブザーバー	鎗水 正和	兵庫県 但馬県民局 豊岡土木事務所長

(3) 城崎道路技術検討会での検討概要

城崎道路技術検討会は、下記の順番・内容で実施した。

a) 第1回城崎道路技術検討会

第1回城崎道路技術検討会では、兵庫県技術検討会での課題 (図-2) に対する、城崎道路技術検討会での直轄調査の検討方針・検討状況の確認及び現地調査計画の確認を行った。

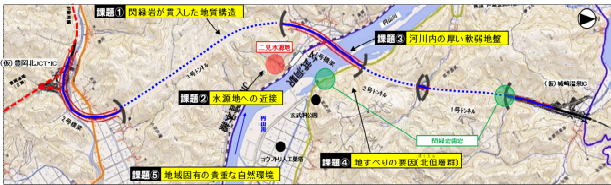


図-2 兵庫県技術検討会での課題

b) 現地調査

城崎道路の計画路線上の地質調査を行っておらず、詳細な地質状況が不明瞭であったため、実施した。詳細は、3.において、記載する。

c) 第2回城崎道路技術検討会

第2回城崎道路技術検討会では、現地調査結果の報告及び課題に対する検討結果・対応方針のとりまとめ、高度な技術力の必要性の確認を行った。

3. 城崎道路における現地調査

(1) 現地調査の目的

現地調査では、地域な重要水源となる二見水源地に近接する3号トンネルを対象として、下記の項目を確認することを目的として現地調査を実施した。

- ① 玄武洞玄武岩の厚み・地質境界を確認
- ② トンネル計画高さ付近の北但層群の岩種を確認
- ③ 地下水分布・透水性の確認

(2) 現地調査内容

二見水源地に近いトンネル坑口付近にて、玄武洞玄武岩が分布し、かつ兵庫県が実施した既往調査¹⁾の電気探査

測線と交差する箇所、L=115mのボーリング調査 (φ86, オールコアボーリング) を実施 (図-3)。

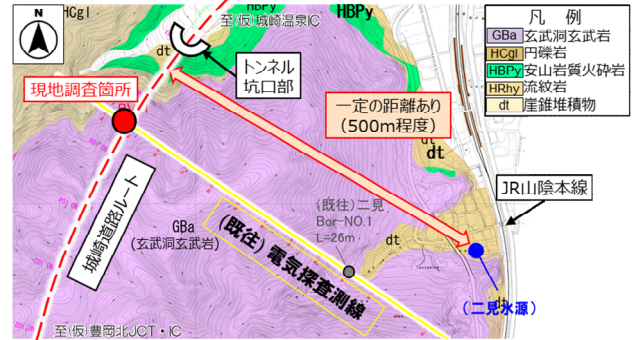


図-3 ボーリング調査位置図¹⁾ (一部加筆)

(3) 現地調査結果

a) 玄武洞玄武岩の厚み・地質境界

ボーリング調査の結果、地表から深度52mまでは玄武洞玄武岩 (硬岩主体)、以深には北但層群に属する円礫岩、火山礫凝灰岩 (軟岩) が分布し、キャップロック構造を形成していることを確認した。

b) トンネル計画高さ付近の北但層群の岩種

トンネル計画高さ付近には、北但層群に属する火山礫凝灰岩が分布し、硬質な岩盤が主体となることを確認した。しかし、火山礫凝灰岩の一部割れ目に褐色脈 (熱水が通じた跡) が介在し、弱変質 (白濁化) した箇所を確認した (写真-1)。

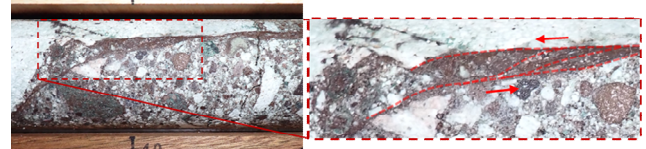


写真-1 火山礫凝灰岩内の褐色脈

c) 地下水分布・透水性の確認

孔内水位は、玄武洞玄武岩と北但層群の境界付近である深度47m (玄武岩内) にて、地下水の分布を確認した。また、透水試験の結果、玄武洞玄武岩は高透水性、北但層群 (円礫岩、火山礫凝灰岩) は低透水性を示すことを確認した。

4. 城崎道路の技術的課題と対応について

兵庫県技術検討会で示された技術的課題を元に課題の確認及び対応方法 (案) を城崎道路技術検討会で確認した。

(1) 課題1: 閃緑岩 (貫入岩) が貫入した地質構造

a) 閃緑岩 (貫入岩) に起因する蘇武トンネルでの事故
兵庫県技術検討会では、過去に兵庫県が工事した国道

482号の蘇武トンネル（兵庫県豊岡市～香美町）で、閃緑岩（貫入岩）に起因する突発湧水・切羽崩壊事故が発生（写真-2）しており、城崎道路においてもトンネル掘削時に貫入岩（閃緑岩）の掘削に伴う突発湧水や切羽・天端の崩落の懸念があるとしている。

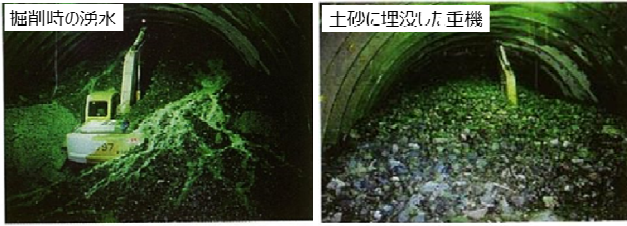


写真-2 蘇武トンネルでの切羽崩壊状況²⁾

そのため、城崎道路技術検討会では、「蘇武トンネル」に関する論文・工事誌・地質調査報告書等を収集し、トンネル掘削中の切羽崩壊のメカニズムを確認した（図-4）。その結果、蘇武トンネルの切羽の崩壊は「地下水を保有した貫入岩」と「断層破碎帯」の分布が原因と推定した。

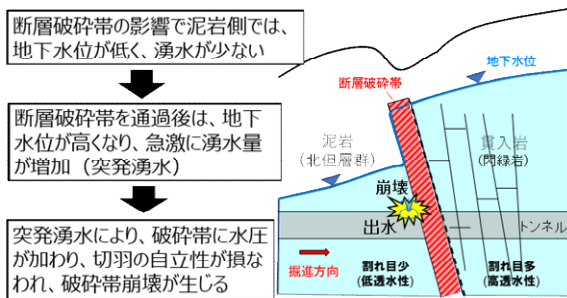


図-4 蘇武トンネルでのトンネル掘削中に突発湧水・切羽崩壊が生じたメカニズム（イメージ）

城崎道路周辺には、文献調査により、噴火口（二見山）の存在が確認していることにより、貫入岩の分布が懸念される。さらに、割れ目が多く地下水を保有しやすい特性を有する玄武洞玄武岩が分布している（図-5）ため、城崎道路においても、突発湧水・切羽崩壊が懸念される。

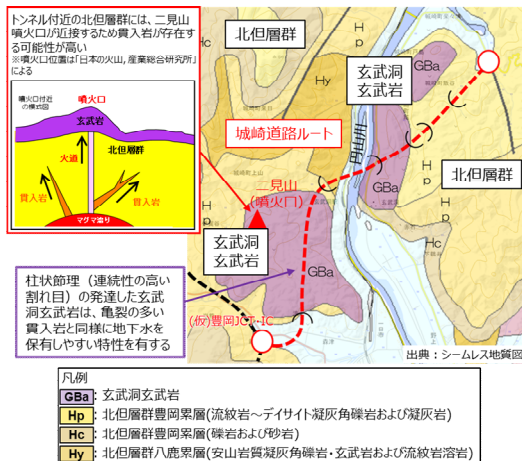


図-5 城崎道路周辺の地質分布および噴火口位置

さらに、前述での現地調査より、褐色脈（熱水が通じた跡）が散見され、一部には脈に沿って変質を伴う箇所が確認されたことから、調査地点の周辺に断層や貫入岩などが分布し、施工時において切羽崩壊等の地質リスクが発現する懸念がある。そのため、リスクを回避し安全な施工を行うためには、トンネル区間の地質構造（貫入岩・断層破碎帯等）を詳細に把握する必要があると考えられる。

さらに、城崎道路技術検討会では、上記の課題以外にも、下記事項についても留意するべきであるとの指摘がなされた。

- 断層破碎帯や湧水発生形態には様々なケースがあるため、トンネルのリスクマネジメントにおいては、細心の注意を払う必要がある。
- 噴火口（二見山）が近く、火道・貫入岩が存在し、かなり複雑な地質構造になっている可能性があることに留意して調査する必要がある。
- 特異な地質条件を踏まえた、道路（トンネル）の維持管理での留意点はあるか？

b) キャップロック構造での地質調査手法

城崎道路は、上部に玄武洞玄武岩（硬岩主体）、下部に北但層群（軟岩）が分布し、上部と下部の地質特性が大きく異なる構造である「キャップロック構造」である。

「キャップロック構造」をなす地山は、トンネルの地質調査で一般的に用いられる弾性波探査の適用が困難となるため、切羽安定性に影響する断層や貫入岩等の弱部推定が課題となる。

玄武岩等が分布するキャップロック構造のトンネル事例を調査した結果、一般的な調査に加え、複数の調査手法を組合せた調査が実施されていることを確認した。さらに、水源地への影響が懸念された宮里トンネル（南九州西回り自動車道）の事例ではボーリング等調査を面的に実施していることを確認した。

さらに、城崎道路技術検討会では、下記の指摘がなされた。

- 複数調査の組合せについては、既存の手法だけでなく、衛星情報を活用するなど、新しい手法も含めた検討をお願いする。

c) 対応方針（案）

本課題について、上述の検討・城崎道路技術検討会からの意見をもとに、下記の対応方針（案）を作成した。

- 既存の調査手法以外にも、新技術の調査方法も積極的に活用し、複数の地質調査手法により、城崎道路周辺の広域的な地質構造（貫入岩・断層破碎帯の分布）を把握する。近傍トンネルの施工事例を踏まえながら、岩種別のリスク分析を行い、リスクマネジメントを計画する。

<地質調査手法>

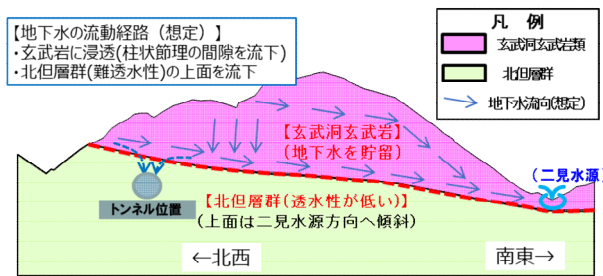
ボーリング調査, 電気探査, ボアホールカメラ観測, 速度検層, 電磁波探査, トモグラフィ探査, リモートセンシング など

- ・複数の調査結果から取得した地質情報からトンネル区間の地質分布, 地質構造を総合的に解釈し, 地山評価へ適切に反映. その際には, 噴火口 (二見山) が近く, 複雑な地質構造になっていることに留意する.
- ・施工時の留意点として, 事前調査での貫入岩・断層破碎帯の把握には限界があるため, 施工時の先進ボーリングも活用し, 岩盤状況の把握, 断層・貫入岩の分布把握を行い, 複数の補助工法 (AGF工法・長尺鏡ボルト等) を組み合わせて施工を行う.
- ・維持管理については, 施工データ (支保パターン, 計測結果など), 竣工時の状況を初期値として整理し, 維持管理時の基礎資料とする. また, レーザー計測点検による変状監視やBIM/CIM活用などを検討する.

(2) 課題2 : 二見水源地への近接

a) トンネル掘削が二見水源地に及ぼす影響

兵庫県技術検討会では, 周辺地域の重要な水源として利用されている二見水源地に城崎道路が近接 (約500m) するため, トンネル掘削に伴う水枯れの懸念があるとされている. また, 二見水源地以外の湧水地点は, 玄武洞玄武岩 (高透水性) と北但層群 (低透水性) の境界付近に多いことから, 二見水源の湧水は玄武洞玄武岩と北但層群の地層境界を流下している可能性が高い (図-6) .



出典：兵庫県検討会資料に一部加筆

図-6 地下水の流動経路 (想定) ¹⁾

現地調査において, 地下水の分布を確認した結果, 上述のとおり, 現地調査箇所では, 玄武岩と北但層群の境界付近である深度47m (玄武岩内) にて, 地下水の分布が確認された.

ただし, 調査箇所 (BV-1) から二見水源方向にて実施された既往の電気探査 (兵庫県実施) の結果を確認すると, トンネル付近および二見水源までの間で, 比抵抗分布が区間により大きく異なることが確認できる (図-7) . トンネル周辺の地山は, 比抵抗分布に影響を与える各種要素 (地質分布, 岩盤性状, 地下水分布など) が不均一であると想定され, トンネル~二見水源にかけての地質分布・構造が, 複雑である可能性が高いと考えられる. その

ため, 水源への影響を適切に評価するためには, トンネルを含めた周辺域の地下水分布・流動径路経路・集水域などの情報 (水理地質構造) を3次元的に明らかにし, トンネル掘削が二見水源地に及ぼす影響評価分析を行う必要がある.

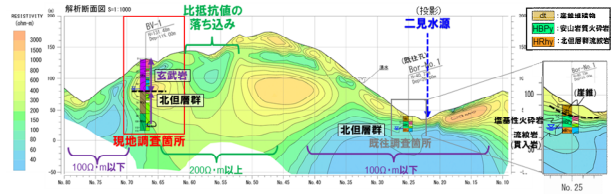


図-7 二見水源~トンネル間の比抵抗分布とボーリング調査結果²⁾ ※現地調査結果等の一部加筆

さらに, 城崎道路技術検討会では, 下記の指摘がなされた.

- ・山陰近畿自動車道 (香住IC~余部IC) のトンネルでは, 調査を実施した上で, 工事を実施したが, 水利用に支障を来し, 地域との合意形成に苦労したという事例があるので, できるだけ事前に情報を収集し, 地域へ説明していく必要がある.

b) 対応方法 (案)

本課題について, 上述の検討・城崎道路技術検討会からの意見をもとに, 下記の対応方針 (案) を作成した.

- ・トンネル掘削による水源への影響を詳細に把握するために, 複数の調査手法 (ボーリング調査・電気探査等) による多角的な情報から地質分布・構造, 地下水の分布・流動径路を正確に把握し, 水理地質構造 (3次元) を確認する.
- ・トンネル掘削時における影響を精度良く求めるため, 広域 (水利用, 集水面積に関連する範囲) で3次元浸透流解析を実施する.
- ・地山の透水性状や地下水分布を把握するため, 透水試験や地下水のモニタリング (水位・流量・水質等の測定) を実施する.
- ・上記の検討の結果, 影響が発生する場合は, 地下水への影響を低減する対策を実施する. また, その対応について, 地域と協議しながら, 事業を実施していく.

(3) 課題3 : 河川内における厚い軟弱地盤

a) 近接事業の城崎大橋における課題を調査し, 城崎道路で想定される困難な要因検討

兵庫県技術検討会では, 限られた非出水期 (11月~5月), 厚い軟弱地盤 (支持層約40mを想定) の条件下であり, 通常の仮橋による施工が困難であるとしており, 近接事業 (兵庫県) である城崎大橋では, 厚い軟弱地盤・限られた非出水期での施工により, 台船による施工を行っており, 城崎道路でも台船による施工を行うことが想定される.

城崎大橋において、支持層までの間で、詳細設計時のボーリング調査結果で確認されていなかった風化岩が出現し、追加ボーリング（調査ボーリング含め、4本実施。）と工法変更を行うこととなった。

城崎道路の渡河部は、豊岡盆地が狭まる狭窄部に位置し、河川内ボーリング等の既往調査結果から橋梁の支持層となる地盤が深まっており、かつ河川や谷地形の発達などにより傾斜、複雑な地形をなし、支持層分布に不陸がある可能性がある（図-8）。そのため、城崎道路では設計段階での的確な地質条件の確認が必要。

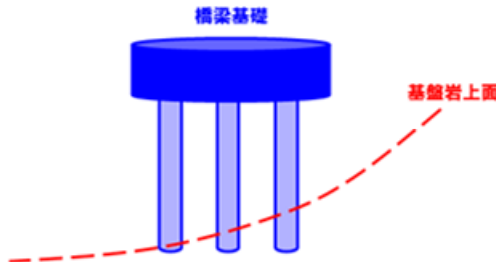


図-8 基礎の不陸（イメージ図）

さらに、城崎道路技術検討会では、下記の指摘がなされた。

- ・城崎大橋にて工法変更が発生しており、詳細な調査を行い、設計に反映させる必要がある。

b) 対応方法（案）

本課題について、上述の検討・城崎道路技術検討会からの意見をもとに、下記の対応方針（案）を作成した。

- ・橋脚部の支持層分布に不陸がある可能性を考慮し、支持層の分布は計画箇所を含め面的な把握が必要とされるため、橋脚箇所は複数（最低5本を想定）のボーリングにより支持層を面的に把握（図-9）した上で、適切な工法を選定する。
- ・対象箇所周辺で実施された既存の地質情報も参考とした支持層分布を整理し、設計精度の向上を図る。

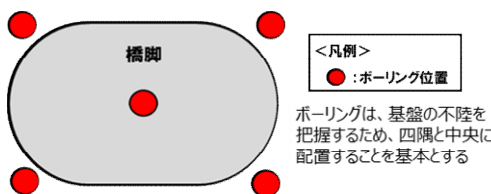


図-9 ボーリング調査位置（案）

(4) 課題4：地すべりの要因

a) トンネル坑口部における地すべりリスクの検討

兵庫県技術検討会では、ルート付近には地すべりブロックが点在しており、トンネル掘削による緩みの影響で地すべりが滑動する危険性あるとしており、豊岡河川国道事務所において、現地調査を実施し、地すべりの危険性

を確認した。

現地調査の結果、円山川右岸の本線ルート坑口付近は、北但層群（流紋岩）の上部に玄武洞玄武岩が分布し、谷沿いや斜面下方に多数の岩層が確認された。そのため、トンネル区間において玄武岩が厚く分布し、トンネル天端付近まで深まる場合には、多亀裂の玄武岩が不安定化し、落盤等の変状が発生する可能性がある。

さらに、坑口の北側斜面には、広範囲に崩落した岩層～土砂からなる崖錐堆積物が分布していること、坑口およびその周辺には、崩壊跡地形が多数あることが、確認された。上部が多亀裂な玄武岩であり、降雨時には多亀裂な岩盤に地下水が供給され、岩盤や崖錐堆積物が不安定化（地すべり等）が生じる可能性があり、掘削/発破による振動により、落石や新たな崩壊が懸念される。

上記により、坑口付近の地山は、崩落を生じやすい地山条件にあり、トンネル掘削に伴いトンネル坑口付近の地すべりや岩盤崩落の可能性が考えられる（図-10）。

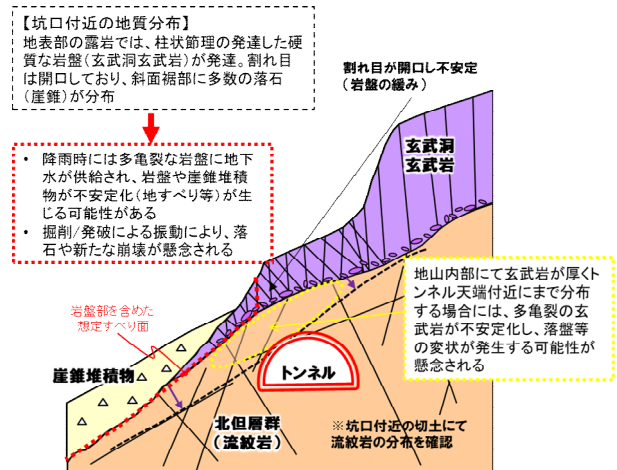


図-10 円山川右岸のトンネル坑口付近の模式断面図

b) 対応方法（案）

本課題について、上述の検討・城崎道路技術検討会からの意見をもとに、下記の対応方針（案）を作成した。

- ・トンネル坑口付近の岩盤性状を面的に把握した上で、地すべり対策工・落石対策工の施工を行う。
- ・岩盤崩落が想定される場合には、複数の補助工法（AGF工法・長尺鏡ボルト等）を組み合わせる施工を行う。

(5) 課題5：地域固有の貴重な自然環境

a) コウノトリ等に対する橋梁設計、施工時の配慮事項の検討

兵庫県技術検討会では、近接するコウノトリ生息地や玄武洞など地域固有の貴重な自然環境への配慮が必要とされている。城崎道路周辺のコウノトリ飛翔空間や玄武洞、ラムサール条約湿地等、地域固有の貴重な自然環境が存在し、保全・再生箇所(ひのそ島)に近く、山陰海岸国立公

園内でもあることから、設計・施工において、配慮が必要。さらに、城崎道路技術検討会では、下記の指摘がなされた。

- ・城崎大橋も工法変更に伴い、工事の騒音が増大したという問題もあったため、城崎道路でも自然環境やコウノトリの環境に悪影響を及ぼさない工法を検討する必要がある。
- ・総合評価での企業提案事項ではなく、事業者で最適な構造・施工方法をあらかじめ検討する必要がある。

b) 対応方法（案）

本課題について、上述の検討・城崎道路技術検討会からの意見をもとに、下記の対応方針（案）を作成した。

- ・円山川の景観保全やコウノトリをはじめとする野生動物の生息環境の保全に努めるため、以下の対応を検討。
 - 橋梁設計時には、景観に配慮した色の選定（但馬道路景観マスタープランに準拠）やコウノトリ飛翔に配慮した橋梁上の構造物の少ない橋種選定、ロードキル対策（衝突防止柵）等を検討。
 - 工事実施の際は、野生動物の生息環境への影響を低減させるための騒音・振動対策を検討。
- ・事業者で最適な構造・施工方法をあらかじめ検討。

4. 高度な技術力の確認

城崎道路技術検討会にて、上述の課題及び対応方針（案）に対して、下記のとおり、高度な技術力の必要性を確認した。

- ・城崎道路周辺の地形・地質的な特徴から、トンネル掘削時の突発湧水、切羽崩壊、二見水源地への影響や支持層の傾斜が想定される円山川渡河部での基礎工の設計・施工、円山川右岸側のトンネル坑口付近の地すべり・岩盤崩落に留意しながら事業を進める必要がある。

- ・以上のことより、本区間は詳細な調査を実施したうえで、高度な技術力を活用することにより事業実施が可能となる。

5. まとめ

学識経験者等で構成された検討会で、高度な技術力が確認されており、豊岡河川国道事務所としても、事業実施には、高度な技術力が必要ということを確認した。その後、新規事業採択時評価にて、城崎道路を直轄による権限代行の事業とすることが認められ、2023年度から、城崎道路が事業化された。

様々な技術的課題が存在するため、今後は、城崎道路技術検討会での対応方針をもとに調査・施工を実施し、安全第一で事業を実施していきたい。

また、本稿においては、城崎道路技術検討会における技術的課題への対応方針の検討内容を報告したものであるが、直轄による権限代行実施の検討を行うための調査の一環として、検討を行ったため、今後、直轄による権限代行実施の検討を行うための調査に本論文が一助となれば幸いである。

6. 謝辞

本検討会及び現地調査に際し、城崎道路技術検討会の構成委員、地域住民、設計コンサルタントの皆様には、多大なるご協力とご助言を賜りました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 兵庫県但馬県民局 豊岡土木事務所（2020）．地調査 第1001-1-S03号（国）178号佐津久美浜道路水文調査業務報告書。
- 2) 兵庫県但馬県民局 豊岡土木事務所（2005）．一般国道482号蘇武トンネル工事誌。
- 3) 兵庫県但馬県民局 豊岡土木事務所（2020）．令和1年度道路総合単 第1023-0-S02号（国）178号佐津久美浜道路地質調査業務報告書。

生活道路対策に関する最新の取組事例 と今後の進め方について

花輪 正也¹

¹近畿地方整備局 福井河川国道事務所 品質確保課（〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7）

生活道路関連施策は、1970年代のスクールゾーンの設定や生活ゾーン規制に始まり、1990年代後半以降はコミュニティゾーン形成事業やあんしん歩行エリアをはじめとする各種の面的な施策が講じられ、2021年には「ゾーン30プラス」が開始されるなど、これまで様々な施策が推進され、一定の対策効果が確認されている。しかしながら、大阪府道路交通環境安全推進連絡会議（以下、「安推連」という。）の中では、様々なゾーンやエリアが設定されてきた結果、各施策の内容がわかりづらいという指摘もされてきた。そこで、本稿では、1970年代から現在に至るまで進められてきた諸施策の経緯について概観するとともに、最新の取組事例と効果検証結果を紹介しながら今後の進め方について述べる。

キーワード 生活道路，スクールゾーン，コミュニティゾーン，ゾーン30プラス

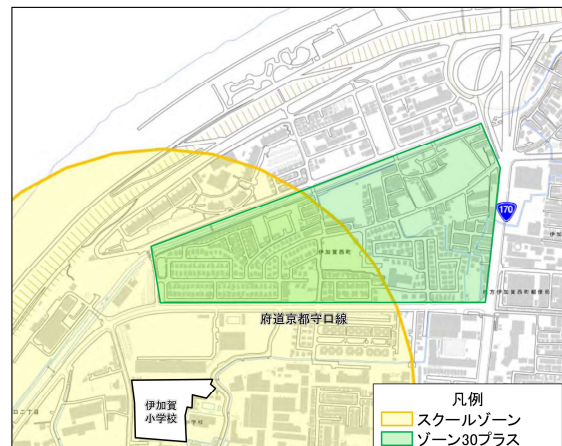
1. はじめに

わが国における交通事故死者数は高度経済成長期の1970年（昭和45年）に16,765人と過去最多を記録し、いわゆる交通戦争と呼ばれる状況であったが、2021年（令和3年）は2,636人であり、'48年（昭和23年）以降の交通事故統計で過去最少となるまで減少した¹⁾（図-1）。しかし、'21年の交通事故死者数の状態別割合については、歩行中及び自転車乗用中の合計で49%²⁾と約半数を占め、さらに、歩行中及び自転車乗用中の交通死亡事故の約半数は、自宅から500m以内で発生している³⁾。このように生活道路における人優先の交通安全対策は重要であり、この推進については、第11次交通安全基本計画(令和3年3月)においても定められた。

生活道路の安全対策としては、最高速度30km/hの区域規制と物理的デバイスとの適切な組み合わせにより交通安全対策の推進を図る施策「ゾーン30プラス」が、'21年8月から開始された。このように区域・エリアを指定して面的に交通安全対策を実施する施策は、1970年代前半（昭和40年代後半）に開始したスクールゾーンや、都市総合交通規制の一環としての生活ゾーン規制、1980年代前半（昭和50年代後半）に開始した住区総合交通安全モデル事業（ロードビア事業）等に始まり、現在に至るまで様々な施策が講じられてきた。しかし、結果として様々なゾーン・エリアがあり、時には複数のゾーン・エリアが重なっている場合もあり（図-1）、各施策の内容がわかりづらいという側面もある。

そこで、これらの面的な生活道路関連施策について、開始された当時の交通事故発生状況や社会経済状況といった時代背景及び技術的知見等に注目しつつ、施策の取組経緯やあらましを整理し（図-2）、最後に最新の対策

○枚方市伊加賀地区



○大阪市旭区新森地区

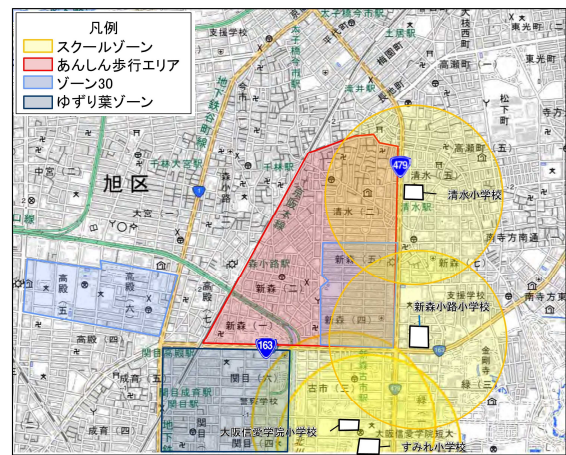


図-1 生活道路関連施策として設定されたゾーン・エリアの例

事例をいくつか紹介しつつ、今後の生活道路対策について考察する。

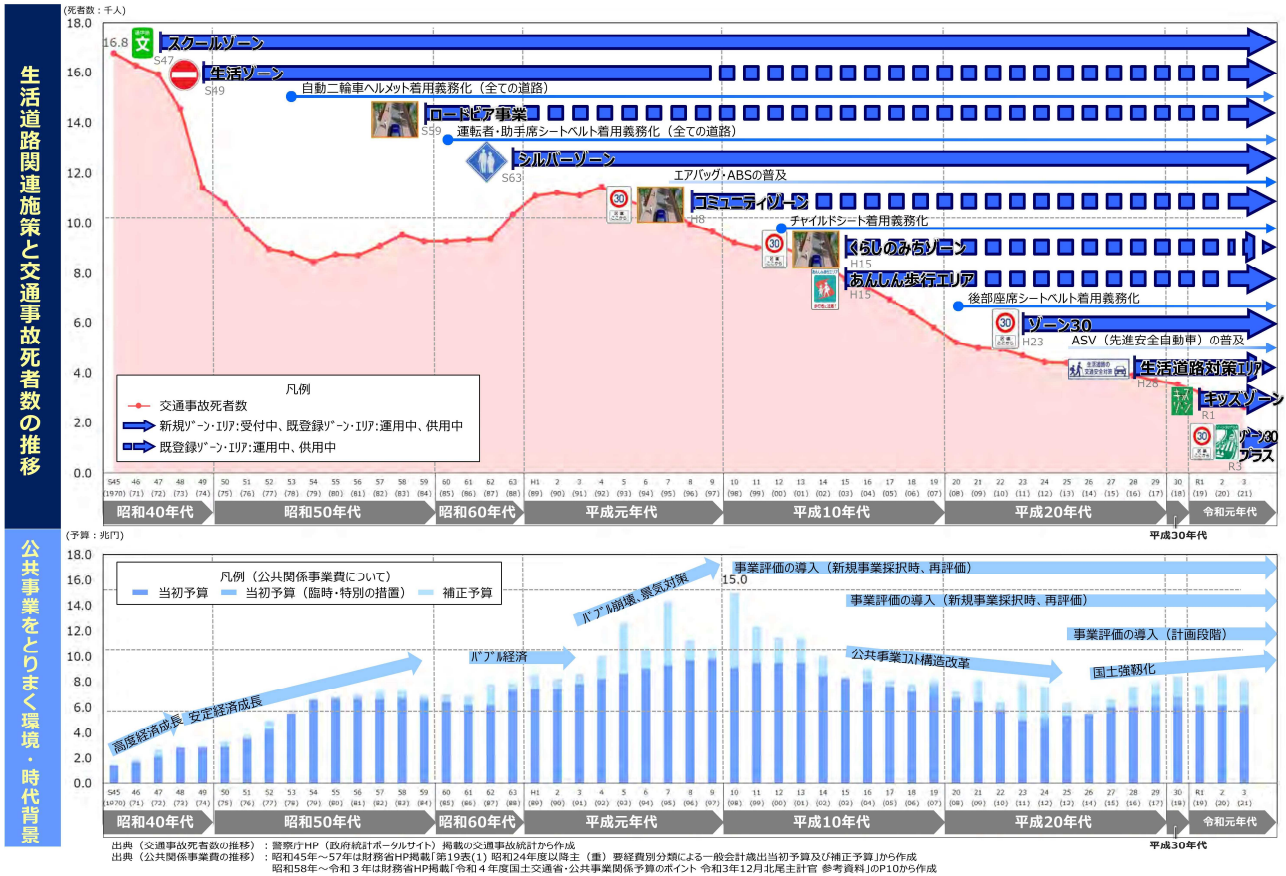


図-2 生活道路関連施策の経緯

2. スクールゾーン

高度経済成長期の1960年代半ば (昭和40年代初め)、交通事故死者数のうち15歳以下が約15%を占め、'66年 (昭和41年) には愛知県猿投町 (現：豊田市) において、保育園の前で横断歩道を渡ろうとしていた保育園児の列にダンプカーが突っ込み、死者11人、重軽傷者22人を出す悲惨な事故が発生し、幼児等の交通安全の徹底を望む声が高まった³⁾。こうしたことを背景として、警察庁により'72年 (昭和47年) 春の全国交通安全運動から、全国でスクール・ゾーンの設定が開始された。

'73年 (昭和48年) 「警察白書」によれば、「スクール・ゾーンとは、保育所、幼稚園、小学校などの周辺における幼児や児童の安全を図るため、これらの施設を中心とする半径おおむね500メートル以内の地域を、交通安全施設の整備、交通規制、交通指導取締り、安全広報などのあらゆる交通安全施策を総合的、集中的に実施すべき地域として指定する」とされている。

文部科学省の2018年度 (平成30年度) の調査結果⁴⁾によると、'18年度 (平成30年度) 時点で、全国でスクールゾーンを設定している学校は12,755校である。安全対策の実施内容は、スクールゾーンの明示化 (図-3) が88.8%、交通規制が63.7%、道路環境の物理的な改善が23.9%となっている (複数回答可)。



2023年3月撮影



図-3 「スクールゾーン」の路面表示及び電柱幕 (大阪市城東区関目地区)

3. 生活ゾーン

高度経済成長から安定成長に移行する1970年代半ば (昭和40年代末) には、公害を始めとする様々な社会問題が発生していた。このうち、都市における交通事故、交通渋滞等は、相互に複雑に関連して発生しているため、交通規制も都市全体にかぶせて、総合的、体系的なものとして行う⁵⁾必要性が生じた。このような観点から、警察庁により'74年 (昭和49年) 以降、人口10万人以上の都市において都市総合交通規制が実施された。このうち生活ゾーン規制は、住宅地域、商店街等の地域で、約1km²の範囲を対象に、路側帯の設置、通行止めや一時停止等の交通規制に加え、歩行者、自転車の安全確保のために駐車禁止規制を強化する⁶⁾こととされた。全国の設定箇所数は1992年度末で8,120箇所⁶⁾であることが報告されている。

4. 住区総合交通安全モデル事業（ロードピア）

安定経済成長期に入った1970年代後半（昭和50年代前半）、住区内の通過交通を排除し、車の速度を抑制することを目的としたコミュニティ道路の整備が始まった。

コミュニティ道路とは、歩行者の通行空間が設けられ、自動車等の通行空間と物理的に分離され、さらに、凸部（ハンプ）や狭窄部、屈曲部等が設けられた道路⁷⁾である。わが国では、'80年（昭和55年）に大阪市阿倍野区長池町でモデル事業として初めて整備され、'81年（昭和56年）に国の補助対象事業となり、整備が進められた。大阪市においては車道幅員を狭くし車の速度抑制を図るなどの工夫をこらし、歩道舗装にカラーブロックを使用して植樹を施すなど景観の向上も図り、ユズリハの木を植えて「ゆずり葉の道」呼称して整備が進められた。

1985年のプラザ合意に続く円高不況、そして公定歩合引き下げに続くバブル経済の時代に、建設省及び警察庁により進められたのが、住区総合交通安全モデル事業（ロードピア事業）である。ロードピア事業は、コミュニティ道路の他に、狭さく、交差点ハンプ、さらに各種の交通規制等を組み合わせ、これらを面的に整備するというものであり、大阪市や名古屋市⁹⁾で整備が進められた。大阪市では「ゆずり葉ゾーン」と呼称して整備が進められ、1984年～'85年度（昭和59年～60年度）に大阪市城東区関目地区で整備された¹⁰⁾（図-4）ほか、15地区で整備が進められた。



図4 クランク状のコミュニティ道路(大阪市城東区関目地区)

5. シルバーゾーン

1980年代後半（昭和60年代）に入り、高齢化の進展に伴い高齢者の交通事故が顕著に増加したことから、'88年（昭和63年）に交通対策本部により「高齢者の交通安全総合対策について」¹¹⁾が決定された。この中で、老人福祉施設等の周辺地域について、シルバーゾーンを設置して、各種の交通規制を総合的に組み合わせるなどの対策を実施することが示され、路面標示や標識の設置、最高速度規制、大型車通行禁止等の交通規制を組み合わせた対策が進められ、全国の設定箇所数は'92年度末（平成4年度末）で1,991箇所⁶⁾であることが報告されている。

6. コミュニティ・ゾーン

全国の交通事故死者数は、'76年（昭和51年）以降は1万人を下回っていたが、バブル経済の頃から再び増加傾向に転じ、'88年（昭和63年）以降'95年（平成7年）まで、8年連続して1万人を超え、いわゆる第2次交通戦争¹²⁾と呼ばれる状況となった。

21世紀を目前にした'98年（平成10年）には、「21世紀の国土のランドデザイン」において「ゆとりある生活空間の形成」が提示され、また同年には明石海峡大橋が供用するなど、公共関係事業費はバブル経済崩壊後の景気対策も兼ねて過去最大の約15兆円に達した。こうした時代背景のもと、交通事故対策だけではなく、安全で快適な歩行空間の創出、コミュニティの再生等も目指し、これまでの生活道路施策のいわば集大成として建設省及び警察庁により'96年（平成8年）から開始されたのが、コミュニティ・ゾーン形成事業である。この事業は、歩行者の通行を優先すべき住居系地区等において、安全性のみならず快適性及び利便性の向上も目的とした面的かつ総合的な交通対策¹³⁾を進めるものである。

コミュニティ・ゾーンは、一定の地区（標準25ha程度、最大1km²程度）¹⁴⁾において、最高速度30km/hの区域規制等のソフト的手法とハンプやクランク等の物理的デバイスを設置するハード的手法を適切に組み合わせ整備が進められた。

新道路整備五箇年計画（平成10年度～14年度）においては450地区でコミュニティ・ゾーンを整備することとされ、'99年度（平成11年度）までに全国で138地区で着手されたことが報告されている¹⁵⁾。

大阪市では、コミュニティ・ゾーンについても住区総合交通安全モデル事業と同じく「ゆずり葉ゾーン」と呼称し、5地区¹⁶⁾で整備が進められた（図-5）。



通過交通の流入ルートの先にある道路。手前から奥に向けての通過交通に対し、手前に向かう方向で一方通行規制を適用。コミュニティ道路としても整備。
出典：警察庁交通局建設省都市局・道路局監修「コミュニティゾーン実践マニュアル」(社)交通工学研究会2000年7月¹⁷⁾

図5 コミュニティ・ゾーンの整備事例（大阪市東淀川区豊新地区）

7. 暮らしのみちゾーン

官主導型⁹⁾で進められたロードピア事業に対して、コミュニティ・ゾーン形成事業は住民参加型として合意形成を図りながら進められたが、住民主体型として進められたのが、暮らしの道ゾーンであり、2002年（平成14年）に国土交通省が公募を開始し'03年に全国で40地区（大阪府4地区）が登録された。取り組み内容は、コミュニティ・ゾーン形成事業と同様、速度規制とハンプや

クランク等を組み合わせて車の速度低減を図るというものである。身近な道路を歩行者・自転車優先とし、無電柱化や緑化等も行い、かつて道路が持っていた人々が集いやすらぐ暮らしの空間を再生することを目指した。

8. あんしん歩行エリア

バブル経済崩壊後、選択と集中を目指したM&Aや不良債権処理が進み、成果主義の浸透が進む中で、'03年度(平成15年度)から道路行政においても成果志向の行政マネジメントが導入され、各種の成果(アウトカム)指標が定義された。交通安全事業におけるアウトカム指標としては死傷事故率が定義され、幹線道路については死傷事故率に基づき事故危険箇所が指定された一方で、生活道路は面的な対策を実施することから、単位面積あたりの事故件数が多い地区を抽出することとした。そして、国土交通省及び警察庁が合同で、歩行者及び自転車利用者の安全な通行を確保するため緊急対策が必要な住居系地区又は商業系地区を「あんしん歩行エリア」として指定した。指定数は、'03年時点で全国796地区(大阪府53地区)、'08年時点で全国582地区(大阪府28地区)である。

主な対策内容は、歩行空間の整備(路側帯の拡幅、歩道、歩車共存道路の整備等)及び信号機等の整備(LED式信号器、バリア対応型信号機等)等である。

9. ゾーン30

'03年度(平成15年度)から道路行政マネジメントが導入されたのは前述の通りであるが、同年から「国土交通省公共事業コスト構造改革プログラム」が策定されコスト縮減率の数値目標が設定されるなど、公共事業をとりまく環境はいつそう厳しくなり、公共関係事業費の当初予算は'12年(平成24年)にバブル経済崩壊後の過去最小となった。その前年である'11年から、警察庁により開始されたのが、ゾーン30である。

コミュニティーゾーンは、計画・設計、合意形成に多大な労力を要し¹⁴⁾、必ずしも全国的な普及には至らなかったため、ゾーン30では、地域住民の同意が得られる地区をより柔軟にゾーンとして設定し、最高速度30km/hの区域規制の実施を前提としてその他の対策については実現可能なものから順次実施するとされた¹⁷⁾。

'21年度末(令和3年度末)の指定数¹⁸⁾は、全国で4,186箇所、大阪府で240箇所である。



図-6 豊中市東豊中町のゾーン30(2022年度以降はゾーン30プラス)

10. 生活道路対策エリア

2010年代に入った頃から、いわゆるビッグデータの流通量が様々な産業・分野において増大し、利活用されるようになった¹⁹⁾。道路分野においてはETC2.0車載器により自動車の走行履歴及び挙動履歴が蓄積・収集され、速度超過、急ブレーキ発生箇所、抜け道等を分析・可視化することが可能となった。このようにして潜在的な危険箇所を抽出し交通安全対策を実施するべき「生活道路対策エリア」の施策が'16年(平成28年)から開始された。この施策は、死傷事故件数のメッシュデータをもとにして、ゾーン30指定区域等とも整合を図り、道路管理者が警察・地元と協議を行いつつ、生活道路対策の必要なエリアを国土交通省へ登録し、国土交通省からは道路管理者へETC2.0の分析結果の提供、可搬型ハンブの貸出し等の技術的支援を行い、PDCAサイクルに基づき交通安全対策を実施する、というものである。'19年(令和元年)末に全国で1,065エリアが登録され、大阪府は'21年(令和3年)までに35エリアが登録された。

11. キッズ・ゾーン

'19年(令和元年)5月8日、滋賀県大津市で散歩中の保育園児らが交差点の歩道上で信号待ちをしていたところ、自動車が進み込み16人が死傷した事故は、社会に大きな衝撃を与え、同年から、内閣府及び厚生労働省等によりキッズ・ゾーンの設定が開始された。

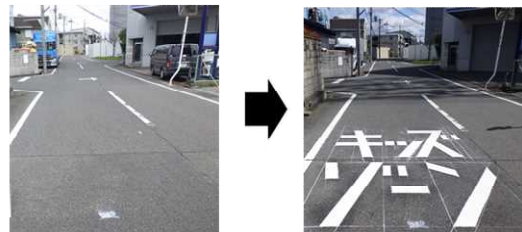


図-7 キッズゾーンの路面表示(堺市北区常磐町3丁)

これは、保育所等の周囲半径500mをキッズ・ゾーンとして設定し、キッズ・ガードの配置及び「キッズ・ゾーン」の路面表示等の交通安全対策を実施する施策であり、'21年2月時点で全国で586施設²⁰⁾、'23年3月末時点で大阪府で56施設について、キッズ・ゾーンが設定された。

12. ゾーン30プラス

冒頭に述べた通り、交通事故死者数は'70年(昭和45年)の16,765人から2020年(令和2年)は2,839人と約6分の1にまで減少した。そして、'21年(令和3年)3月に定められた交通安全基本計画では、講じようとする施策として「生活道路等における人優先の安全・安心な歩行空間の整備」が挙げられた。これを受けて、国土交通省及び警察庁との連携施策「ゾーン30プラス」が'21年8月

から開始された。これは、最高速度30km/hの区域規制と物理的デバイス（ハンプ及び狭さく等）を組み合わせる交通安全対策を進めるという施策であり、いわば「9ゾーン30」と「10.生活道路対策エリア」を組み合わせた新たな連携施策であり、'22年8月時点の登録数は、全国33エリア、大阪府2エリアである。

13. 最新の取組事例、効果検証及び今後の進め方

①豊中市東豊中町6丁目地区

【地域の課題及びこれまでに実施された施策】

無信号の横断歩道が東豊台小学校の通学路として利用されているが、スピードを出して走る車が多い。スクールゾーン及びゾーン30に指定されている。

【今回実施した施策・対策内容】

'22年3月に「ゾーン30プラス」に登録し、同年9月に横断歩道の前後にハンプ2基を設置する等の対策を実施した（図-8）。



図-8 横断歩道手前のハンプ設置状況(左)及び路面表示(右)

【効果検証結果】

自動車等の速度が30km/hを超えると、歩行者の致死率が急激に上昇する²⁰ことが事故データ等から示されており、この割合が低下することで、交通事故対策の効果を発揮したといえる。

そこで、'21年及び'22年それぞれ10月1日～10月31日(各日24時間)のETC2.0データをもとにした、横断歩道、ハンプ及び路面表示（「段差注意」・「速度落とせ」）を含む120mの区間の北行き車線及び南行き車線それぞれ任意の位置で記録された「地点速度」について、算術平均値及び30km/hを超過したデータの割合を算出した（表-1）。

北行きは横断歩道に至るまでの直線区間が長く速度が出やすいため、30km/h超過割合は対策前の74.5%から対策後は25.2%～49.3%減少するなど、大きな効果があった。

表-1 ハンプ等設置箇所における対策前後の地点速度の変化

【北行き】	平均地点速度	30km/h超過割合
対策前	33.2 km/h	74.5%
対策後	22.6 km/h	25.2%
対策効果	10.6 km/h減少	49.3%減少

【南行き】	平均地点速度	30km/h超過割合
対策前	17.9 km/h	26.7%
対策後	10.2 km/h	5.4%
対策効果	7.7 km/h減少	21.3%減少

②枚方市伊加賀地区

【地域の課題及びこれまでに実施された施策】

府道京都守口線と国道170号の交差する北西角の住宅街であり、特に朝の通勤時間帯にこの住宅街が府道京都守口線から国道170号への抜け道として利用され、スピードを出して走る車が多い。スクールゾーン指定済み。

【今回実施した施策・対策内容】

'22年6月にゾーン30に指定し、同年9月に「ゾーン30プラス」に登録し、9月に狭さくを設置した（図-9）。



図-9 狭さくの設置状況(左)及び路面表示(右)

【効果検証結果】

'21年及び'22年それぞれ10月1日～12月31日(24時間)のETC2.0データをもとにした、狭さく設置箇所30mの区間の東行き車線の任意の位置で記録された「地点速度」について、算術平均値及び30km/hを超過したデータの割合を算出した結果は、表-2の通りである。対策前後で速度の変化が特に認められなかった理由は、車線幅員はほとんど狭めていない上に、当該箇所を通行する車の8割以上が西行きであり対向車が少なく、狭さく部での待ち合わせによる減速効果²⁰が発揮されなかったためである。

表-2 狭さく設置箇所における対策前後の地点速度の変化

【東行き】	平均地点速度	30km/h超過割合
対策前	34.1 km/h	75.6%
対策後	33.7 km/h	76.4%

③高槻市如是地区

【地域の課題及びこれまでに実施された施策】

最高速度20km/hの規制がかかっているが、朝夕の通勤時に抜け道とされスピードを上げて走る車が多い。

【今回実施した施策・対策内容】

'20年2月、生活道路対策エリアに登録し、'22年9月にシケイン(クランク型)を設置した（図-10）。公安委員会により最大幅2.0mの規制をかけたうえで、シケインの幅員は2.5mとした。



図-10 シケイン（クランク型）の設置状況

【効果検証結果】

‘21年及び’ 22年それぞれ10月1日～10月31日（各日24時間）のETC2.0データをもとにした、シケインを含む110mの区間（南行き一方通行）の位置で記録された「地点速度」について、算術平均値及び30km/hを超過したデータの割合を算出した結果は、表-3の通りである。30km/h超過割合は対策前の78.5%から対策後は17.9%へ60.6%減少するなど、非常に大きな効果があった。

表-3 狭く設置箇所における対策前後の地点速度の変化

【南行き】	平均地点速度	30km/h超過割合
対策前	34.4 km/h	78.5%
対策後	22.9 km/h	17.9%
対策効果	11.5 km/h減少	60.6%減少

④まとめと今後の進め方について

①～③の結果より、車の速度を低下させるためには、物理的デバイスを確実に設置しなくてはならないことが分かった。物理的デバイスの設置とは、安全確保の代償として、道路の通行機能の一部を制約することであり、そのためには、対策に当たっての地域住民の合意形成が必須となる。ETC2.0の分析結果は、速度等の状況を可視化でき、地元説明や関係機関協議に大いに役立つものである。また、省庁再編後の平成14年以降に各都道府県に設置された道路交通安全環境推進連絡会議では、関係機関との連絡調整の他にも、有識者の意見を聴取することができる。生活道路の安全確保のためには、このような技術や枠組みを活用しながら、物理的デバイスを着実に設置していかなくてはならない。

謝辞

本論文は、大阪府道路交通安全環境推進連絡会議・アドバイザー会議の委員長である大阪市立大学日野名誉教授をはじめとして、同会議委員の大阪公立大学吉田准教授及び大阪大学篠原教授の指導のもとに執筆したものであり、厚くお礼申し上げます。また、同推進連絡会議の委員である大阪府警察本部、大阪府、大阪市、及び堺市の関係各位からは各施策に関する様々な情報を頂き、そ

して豊中市、枚方市及び高槻市の関係各位には施策に理解を頂き協力を頂きました。合わせてお礼申し上げます。

参考文献

- 1)警察庁ホームページ掲載：交通事故統計
- 2)「ゾーン30プラス」パンフレット(国土交通省 道路局 環境安全・防災課 道路交通安全対策室 2022年(令和4年)3月)
- 3)2020年(令和2年)交通安全白書(内閣府)
- 4)「学校安全に関する更なる取組の推進について(依頼)」(元教参学第48号 令和2年3月31日):別紙「学校安全の推進に関する計画に係る取組状況調査(平成30年度実績)のポイント」
- 5)警察庁 昭和54年 警察白書,
- 6)大阪国道事務所、(株)修成建設コンサルタント:道路交通環境安全推進連絡会議運営他業務 報告書, 2003年3月、交通規制と生活道路, 交通工学 Vol.29 No.4, 1994
- 7)大阪市建設局, パンフレット, 1989年3月
- 8)(財)日本道路協会:道路構造令, 2021年3月
- 9)松村みち子:交通改善事業における住民参加のあり方に関する研究—名古屋市上名古屋地区の事例を中心として—, 国際交通安全学会誌, Vol.22, No.2
- 10)大阪市土木局 橋本固、西村惇、高島伸哉:住区総合交通安全モデル事業とその整備効果について, 土木学会第42回年次学術講演会, 昭和62年9月
- 11)「高齢者の交通安全総合対策について」(昭和63年9月9日 交通対策本部決定)
- 12)警察庁, 平成9年 警察白書, 1997年
- 13)警察庁交通局/建設省都市局・道路局監修:コミュニティ・ゾーン形成マニュアル<地区総合交通マネジメントの展開>, (社)交通工学研究会, 平成8年5月
- 14)高宮進、森望:コミュニティゾーンの計画と実践, 土木技術資料, 44-9(2002)
- 15)高宮進、森望:コミュニティゾーン形成時における課題とその対応事例, 土木技術資料, 43-11(2001)
- 16)警察庁交通局/建設省都市局・道路局監修:コミュニティ・ゾーン実践マニュアル, (社)交通工学研究会, 平成12年7月
- 17)警察庁交通局長:ゾーン30の推進について(通達) 2011年9月20日
- 18)警察庁ホームページ掲載:ゾーン30の整備状況(令和3年度末)
- 19)総務省:平成25年版 情報通信白書, 2013年7月
- 20)内閣府、厚生労働省:「キッズ・ゾーンの設定状況の報告について」の調査結果及び交通安全対策に関する継続的な検討の依頼について, 2021年8月
- 21)国土交通省道路局環境安全・防災課道路交通安全対策室:「ゾーン30プラス」パンフレット, 2022年3月
- 22)瀬戸下伸介、大橋幸子、関皓介:「凸部、狭窄部及び屈曲部の設置に関する技術基準」に関する技術資料, 2017年1月

熊野川の河口砂州管理の視点と工法・モニタリング手法の展望について

奥野 誠一郎¹・益本 創志²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 流域治水課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂142)

²近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 流域治水課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂142) .

熊野川ではこれまで、度重なる出水により上流部等からの土砂供給が多く、河口砂州の発達やこれに伴う流下阻害が懸念されている。そのため、これまでUAVを活用した砂州のモニタリング調査や砂州フラッシュに向けた試験施工等を行ってきたが、未だ維持管理方策が確立されていない。そこでこれらを踏まえ、本検討では、河口砂州の適切な維持管理を行うため、新たな維持管理手法とモニタリング手法について検討する。

キーワード 河口砂州, UAV, 事前掘削, フラッシュ促進

1. はじめに

熊野川は、紀伊半島南東部に位置し、奈良県、和歌山県および三重県を流れる一級河川である。直轄区間において、熊野川右岸0.1k付近で支川市田川、左岸3.0k付近で支川相野谷川が合流しており、河口砂州の発達に伴う河口閉塞により、熊野川本川や支川市田川における水位上昇が問題となっている。熊野川本川及び各支川の位置関係を図-1に示す。

熊野川流域では、これまでに紀伊半島大水害等の大規模出水が発生しており、上流部等からの土砂供給による河口砂州の発達やこれに伴う流下阻害が問題となっている。そこで、これまでUAVを活用した砂州のモニタリング調査や砂州フラッシュに向けた試験施工等を行い、適切な砂州の維持管理手法について検討してきた。令和4年7月には、砂州フラッシュを促すため、左岸砂州を掘削する試験施工を実施した。試験施工後、7月5日の出水において、掘削箇所を含めた砂州がフラッシュし、河口

砂州の開口幅を30mから220mまで広げること成功した。しかしながら、開口幅を維持するという観点では、未だ河口砂州に関する土砂動態について十分把握されておらず、適切な維持管理方策が確立できていない。また、後述の2022年3月に策定された新宮川水系（熊野川）河川整備計画において、内水氾濫の軽減を図るため、河口砂州の掘削の実施が必要とされている。さらに、総合的な土砂管理の考え方として、流域全体の土砂動態を分析・予測し、中長期的な土砂動態の変化を把握することが求められており、これまで以上の効率的な河口砂州維持管理方策の確立が急務となっている。そこで、本検討では、これまでUAVを活用した河口砂州のモニタリング調査や、砂州フラッシュに向けた試験施工等を行ってきた結果より、新たな維持管理手法、モニタリング手法について検討した。

2. 新宮川水系（熊野川）河川整備計画

2008年6月に、基準地点相賀での計画高水流量を19,000m³/sとする新宮川河川整備基本方針（以下、「基本方針」という。）を策定したが、その直後、2011年9月に紀伊半島大水害が発生し、基準地点相賀では、既定計画の目標を上回る24,000m³/sの洪水流量を記録した。こうしたこともあり、新宮川水系河川整備基本方針を、全国で初めて気候変動の影響による将来の降雨量の増大を考慮した計画に見直すための審議が行われ、基準地点相賀における基本高水のピーク流量を24,000m³/s、このうち流域内の洪水調節施設等により1,000m³/sを調節し、

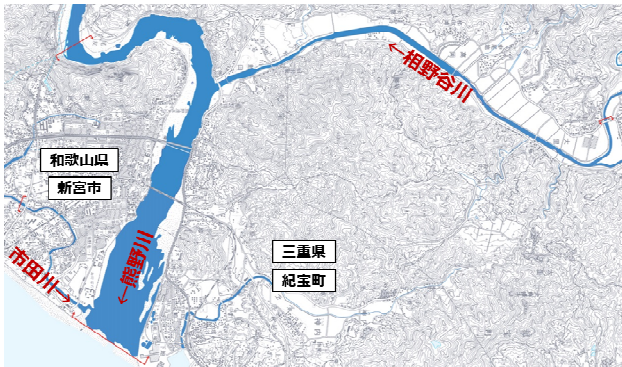


図-1 熊野川本川及び各支川の位置関係

河道の配分流量を23,000m³/sとする計画に2021年10月に変更した。その後、2022年3月に新宮川（熊野川）河川整備計画（以下、「河川整備計画」という）を変更した。河川整備計画は、「新宮川水系河川整備基本方針」に基づいた当面の河川整備を目標とするものであり、その対象期間は、概ね30年間としている。

3. 河口砂州の試験施工（対策案）について

(1) 河口砂州の管理基準

河口砂州は閉塞することにより、洪水の流下能力の低下が懸念されており、砂州掘削により開口幅を維持することや、中小規模の洪水でフラッシュさせることが必要とされている。また、熊野川では、今後の河川整備計画に基づいて長期間にわたる河道浚渫が予定されていることから、工事用の航路（幅、喫水深）を定期的に確保する対策についても検討していく必要がある。そのため、河口砂州に求める要件（管理基準）として、以下の3つを設定した。

- ・洪水時に少ない流量で砂州がフラッシュされること。
- ・出水期前の中小規模の降雨（低流量）で砂州がフラッシュされること。
- ・定期的に工事用台船の航路（幅、喫水深）が確保されること。

(2) 河口部の特徴

河口部の特徴は、**図-2**に示すとおりである。熊野川の河口砂州の沖側には、河口テラスと呼ばれる、土砂が堆積してできたテラス状の地形が形成されている。波浪によって河口テラスの土砂が流され、砂州が発達するという特徴がある。河口部に設置された矢板によって、河道中央部の矢板法線間が洪水時にフラッシュされやすく、その沖側にその土砂が堆積して河口テラスが形成されている。左岸部の砂州は、自然に形成されたものではなく掘削土の置土等によって人工的に形成されたものであり、洪水・波浪によって比較的变化しにくい状況にある。

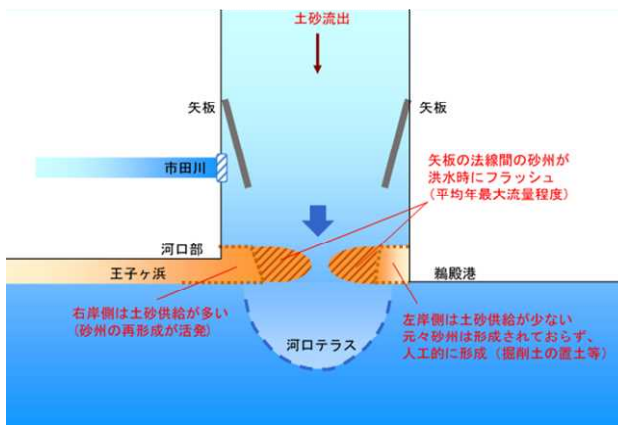


図-2 河口部のイメージ

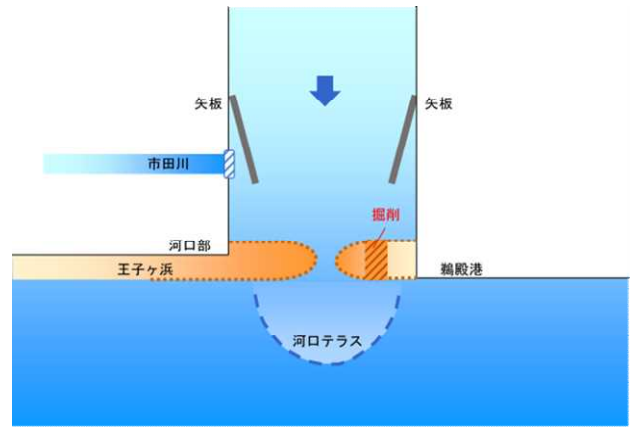


図-3 設定した対策案

(3) 試験施工（対策案）

以上を踏まえ、設定した対策案を**図-3**に示す。河口閉塞時等に、小規模出水で左岸側が開口しやすくなるように、左岸側の砂州の一部を掘削することで、砂州フラッシュを促進する。

4. 対策案の効果検討

(1) 対策案の効果

2022年7月に左岸砂州を掘削する試験施工を実施した。試験施工後、7月5日の出水において、砂州がフラッシュし、約220m開口した。この試験施工（事前掘削）がフラッシュ促進対策として有効であるか確認するため、準三次元河床変動モデルを用いて検討した。事前掘削箇所、フラッシュの状況について図-4に示す。

a) 2022年7月5日出水による河口砂州の概況

2022年7月5日出水による河口砂州の概況として、UAV測量結果から作成した砂州横断面図を図-5、水位・流量を図-6に整理した。整理結果より以下のことが分かった。

- ・同じ水位で比較した場合、2022年7月5日出水（H-Q換算のピーク流量：約1,506m³/s）によって、河口砂州の開口幅は約30mから約160mに広がった（130m程度砂州の一部がフラッシュした）ことが確認できた。
- ・流量ピーク1時間前に河川水位が低下し始めており、この時点で顕著な開口部の変動（砂州の一部が大きくフラッシュ）が発生したものと推定される。



図-4 事前掘削箇所，フラッシュの状況

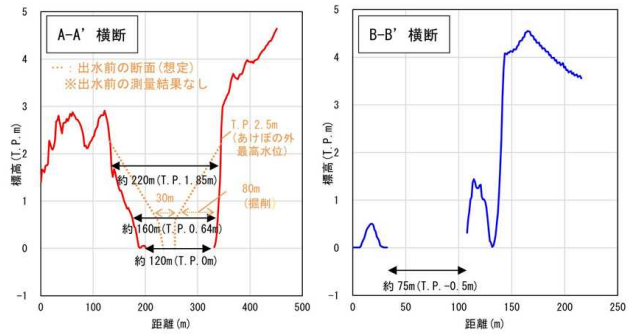


図-5 事前掘削箇所，フラッシュの状況

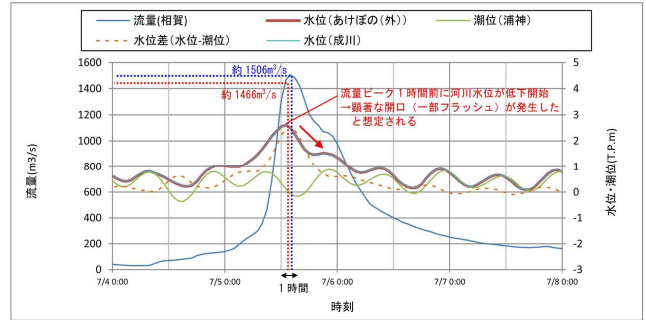


図-6 7.5 出水時の水位の時系列変化

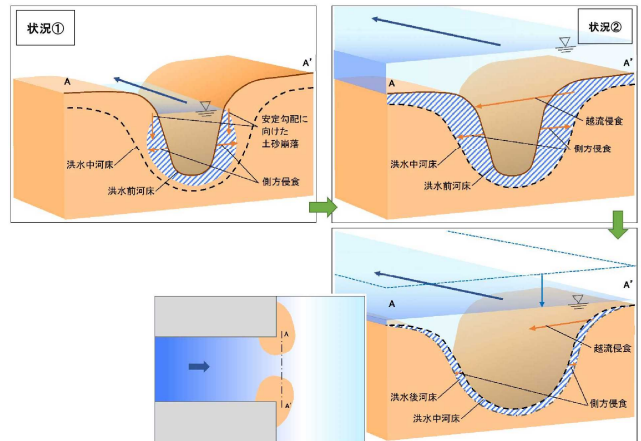


図-7 水位・流量に応じた河床変動メカニズムイメージ

b) 2022年7月5日出水による河口砂州変化の状況考察

7月5日出水による河口砂州変化（一部フラッシュ）の要因や状況を、以下のとおり推定した。

要因①：出水前は開口幅（約30m）が狭いことから、背水影響によって出水時の河川水位が大きく上昇（河川水位と外潮位の水位差が大きくなり開口部の流速が増大）した。また、左岸部の開口部に流れが集中（特に右岸側は砂州高が高く今回の出水では先端部を除き砂州は水没していない）した。これらによって、開口部付近の流速・掃流力が増大したと推定。

→状況①：河川水位が砂州高（先端部の比較的低い箇所）よりも低い期間は、開口部の深掘れや側方侵食が進行していたと推定（図-7）。

→状況②：河川水位が砂州高（先端部の比較的低い箇所）を超えた際、顕著な開口部の変動（砂

州の一部が大きくフラッシュ)が発生したと推定(図-7)。

要因②: 左岸砂州の掘削が行われていた(開口部に近い箇所)で実施されていたことから、流れが集中する開口部周辺のフラッシュを促進したと推定。

c) 解析条件

2022年7月5日出水による河口砂州変化の状況考察より、左岸砂州の事前掘削によって河口砂州のフラッシュ促進が推定されたことから、河口砂州の事前掘削による効果(掘削有無によるフラッシュ状況の違い)を準三次元河床変動モデルにより確認を行った。解析条件を表-1に示す。

d) 解析結果

2022年7月5日出水時の水位の再現結果を図-8に示す。あけぼの外水位の実績水位と再現水位を比較した結果、フラッシュ前の水位上昇とフラッシュ後の水位低下を概ね再現できていることが分かる。

そして図-9に左岸砂州の掘削の有無による予測計算の結果を示す。2022年7月5日出水時の事前掘削を行った場合と行わなかった場合の河口砂州の開口幅、侵食量を比較した。図-9の左図より、左岸砂州を事前掘削した場合の方が、事前掘削なしの場合よりも開口幅が拡大していることが分かる。また、図-9の右図より、河口砂州の侵食量に関しても、事前掘削をした場合の方が多量であることが確認できる。表-2では、左岸砂州の事前掘削の有無による出水後の地盤高を比較した。表-2の差分図より、赤い四角で括弧している上部、砂州の左岸側が、掘削なしよりも掘削ありの方が侵食されていることがわかる。

以上のことから、左岸砂州の事前掘削により、開口部周辺の開口幅及び侵食量(土砂流出量)が大きくなり、フラッシュが促進されていることが確認できた。開口部を左岸側に設けるための対策は、有効な対策であるといえる。

表-1 解析条件

項目	設定値
計算区間	河口-2.4k~2.6kの区間
メッシュ数	縦断方向177×横断方向42
メッシュサイズ	河口部で縦断方向25m×横断方向25m
流量	相賀実績流量:2022年7月4日23:00~5日20:00
下流端水位	あけぼの実績水位:2022年7月4日23:00~5日20:00
河床	0.0k~2.6k: 令和3年測量断面 -2.4k~-0.2k: 内閣府「南海トラフ巨大地震モデル検討会(H24.8)」による公表データ 河口砂州: 2022年7月 UAV測量結果より出水前の砂州形状や地盤高を仮定 河口テラス: 2020年11月 深淺測量結果

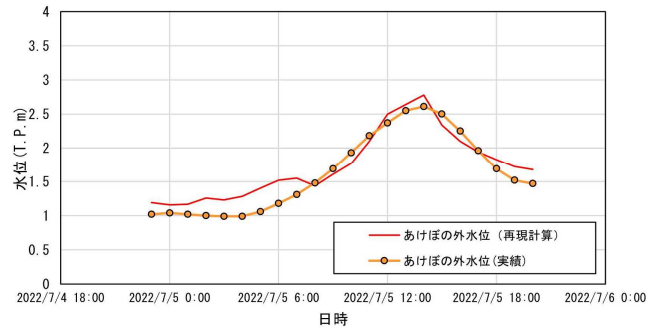


図-8 7.5出水時の水位の再現結果(あけぼの外水位)

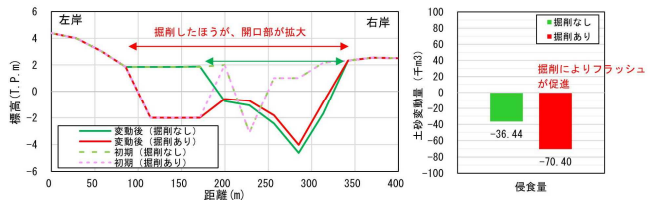
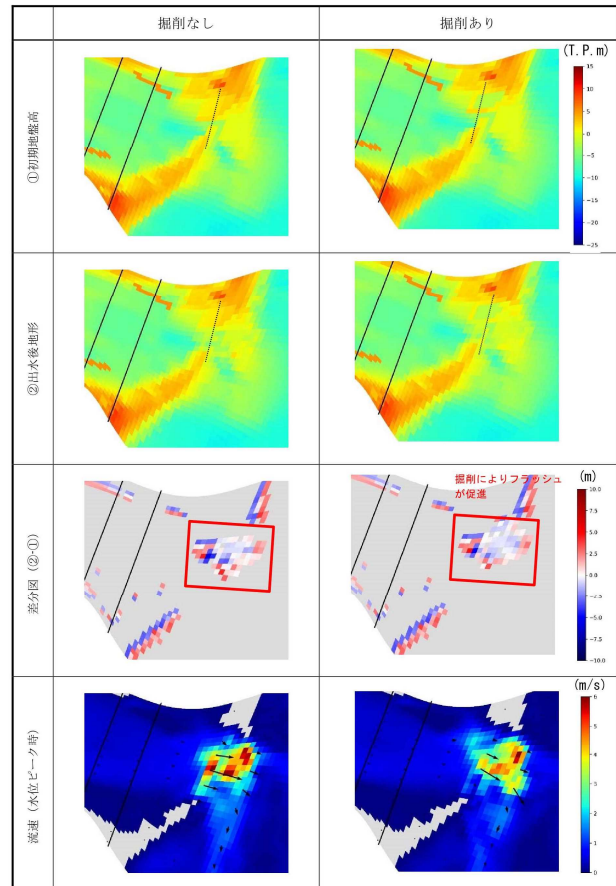


図-9 左岸砂州の掘削の有無による予測計算の結果

表-2 左岸砂州の掘削有無による予測計算の結果



(2) 左岸側に設けた開口部の維持

2022年7月に開口部を左岸部に設けるための対策として上記の事前掘削を行い、フラッシュが促進されたことによって河口砂州を開口させることに成功した。その後、2022年7月から11月初旬にかけて開口部が左岸側に形成されていたが、2022年11月30日のUAV観測により開口



図-10 開口部が移動状況

部が左岸から中央に移動していることが確認された。開口部が移動した状況について図-10に示す。

左岸から中央に開口部が移動した要因として、以下のことが考えられる。

- ・2022年11月初旬までは左岸側に開口部があったが、中央部付近に砂州高が低い箇所が存在していたこと、2022年11月20～21日にかけて河川水位が上昇したことにより、11月21日時点で左岸側と中央部の2箇所が開口する状況となっていたこと。
- ・その後、2022年11月30日において、ESE～S方向の波浪、小規模出水（ピーク流量300m³/s程度）が発生したことにより、左岸側は閉塞し、中央部のみ開口することとなったと考えられる。

以上より、現状の砂州状況や外力特性によって、左岸側の開口部は閉塞しやすい状況にあり、開口部が左岸側にある状態を維持しづらいことがわかった。

5. 河口砂州管理の今後の展望について

上述のとおり、開口部を左岸側に設けるための対策として、左岸砂州の事前掘削によって、砂州フラッシュを促進することに成功した。しかし、2022年11月に開口部が左岸部から中央部に移動した後、非出水期に入り降雨が少なくなると、少しずつ砂州の開口幅が狭まり、2023年2月20日には砂州が閉塞したことが確認された。図-11に2023年2月20日の河口砂州の閉塞状況を示す。

こうした状況から、未だ河口砂州の適切な維持管理手法について確立することができておらず、新たな維持管理手法、モニタリング手法の検討が必要である。

(1) これからのモニタリング調査

熊野川の河口砂州は、時期、外力（洪水、波浪）および維持掘削状況等により、形状や開口位置が大きく変化することから、定期的な砂州監視が必要である。今後も河口砂州の定期的な観測をしていく上で、UAV観測による砂州監視の効率化を図る必要がある。



図-11 2023年2月20日の砂州閉塞状況

河口砂州のモニタリング調査はこれまで、観測場所まで出向き、UAVを操作することで観測を行っていた。そのUAV観測の省力化、効率化を図るため、離れた場所から操作する目視外飛行を可能にするための検討を行っていく。

(2) これからの河口砂州維持管理手法

洪水と波浪の両方の影響を大きく受ける熊野川の河口部では、洪水によってフラッシュするものの、上流からの土砂や波浪によって砂州が回復してしまう。また、河口テラスからの土砂の供給等もあり、河口砂州の開口状況の維持が難しいという特徴がある。河口テラスの発達による砂州閉塞の発生を抑制するため、河口砂州の土砂を海岸へ運ぶバイパス等の設置に向けた検討を行っていく。

6. 終わりに

熊野川河口砂州では、上流からの土砂流出、海岸からの波浪等により、今後も熊野川の河口砂州の閉塞が問題となることが予想される。本検討において、河口砂州のフラッシュ促進対策について、有効な結果が得られたが、河口砂州の開口状況の維持の観点では、未だ実績を得られておらず、さらなる検討が必要である。そのため、今後も砂州フラッシュ促進に向けた検討、開口を維持しやすくするための対策について検討を続けていきたい。

参考文献

- 1) 令和4年度熊野川河口砂州等維持管理計画資料作成業務 報告

伊古木高架橋の補修について

河田 侑樹

近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 田辺国道維持出張所 (〒646-0024 和歌山県田辺市学園24-17)

本稿は塩害環境下で腐食が発生している鋼部材に対して当て板補修を行う予定であったが、腐食が更に進行しており、当初設計の当て板では施工が不可能であったことから、橋梁ドクターによる助言を踏まえたうえで現状の損傷状況に適合する補修方法に見直す事とした。今後、同様の損傷が生じた場合の参考例として、今回の事例を紹介するものである。なお、現在見直し後の補修対策結果を基に令和5年6月中に補修工事を終える予定である。

キーワード 鋼部材の腐食, 当て板補修, 塩害環境

1. はじめに

伊古木高架橋は和歌山県南部である白浜町の太平洋沿いに位置する国道42号の鋼橋であり、飛来塩分により鋼部材の腐食、断面欠損が発生していた。その補修対策として設計を行った当て板補修方法の一事例として紹介するものである。

2. 伊古木高架橋の状況

(1) 橋梁概要

本橋は1996年に竣工し、約27年が経過した3径間連続非合成箱桁橋であるが、本線とランプ部が途中から分岐しているため、2橋が並列しているように見える構造となっている。また、太平洋沿いの伊古木漁港上に架橋しているため、潮風を常時受けることにより塩害の影響が生じやすい環境にある。本橋の位置を図1、全景を写真1、平面図・断面図を図2に示す。

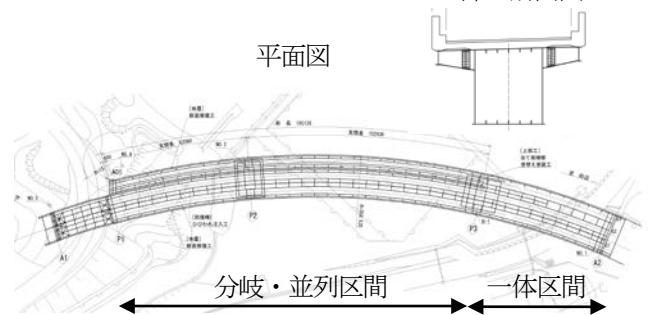
図1



写真1



図2 ランプ部
上部工断面図
平面図



(2) 損傷原因

本線とランプ部ともに海側から潮風を受けているが、塩害による腐食状況は海側が著しいとは限らず、本線とランプ部に挟まれた部分の腐食が進行していた。この原因は、海側の部分は潮風を受けるものの雨水も受けることから塩分は洗い流されていると推測される。一方、本線とランプ部に囲まれた狭隘な箇所は、潮風を直接受けないものの巻き上げの潮風を受ける。しかし雨水は受けにくいことから塩分が洗い流されることなく堆積し、腐食が進行したものと推測される。

3. これまでの経緯および現況の損傷状況

(1)点検及び補修経緯

本橋は2013年に3種ケレンで塗り替え工事が実施されていたが、5年経過した2018年の橋梁定期点検にて、上部工の鋼橋部分に腐食が見られた。特にランプ部の山側縦桁フランジには断面欠損を伴う腐食（写真2、3）が発生しており、対策区分はC2判定（表1）であった。その点検時の損傷状況を踏まえて2022年に当て板及び1種ケレンの塗り替えの補修工事を行うことにした。

写真2

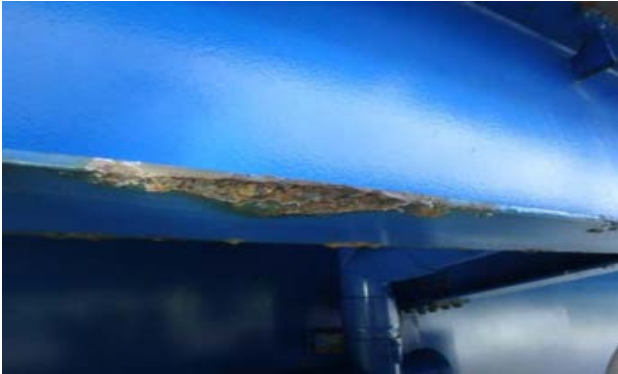


写真3



表1 橋梁定期点検要領 判定区分

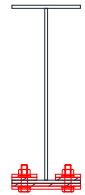
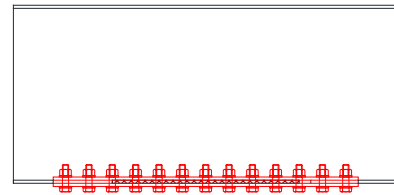
判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C 1	予防保全の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
C 2	橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修等を行う必要がある。
E 1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E 2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
S 1	詳細調査の必要がある。
S 2	追跡調査の必要がある。

(2)当初設計と工事着手後に判明した問題点

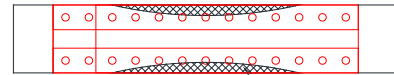
2018年の点検結果を踏まえた当初補修設計は、腐食により断面欠損した側縦桁の断面を補うために新たに当て板を高力ボルトで固定する方法（図3）である。

図3 側面図

断面図



平面図



黒：既設部材 黒ハッチ：腐食欠損部
赤：新設当て板及び新設高力ボルト

当初設計の手法で2022年に補修工事を進めたところ、2018年の点検時から更に腐食が進行しており、当て板を設置する下フランジには断面欠損部が連続的に発生している状態であった。（写真4、5）

写真4

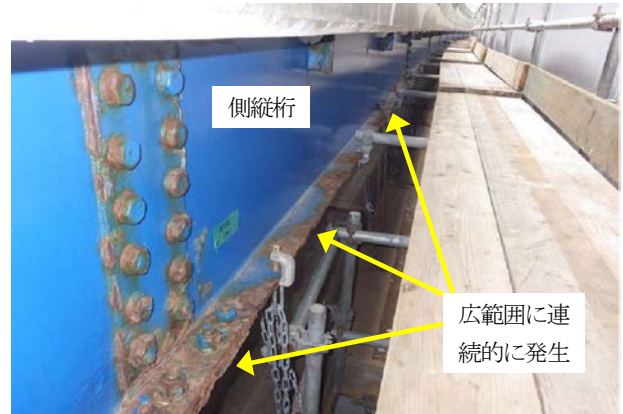


写真5（1種ケレン後）



当て板の設計の考え方は、腐食により断面欠損した部位（以下：腐食部）の両側に腐食のない部位（以下：健全部）を確保し、そこに高力ボルトで当て板を固定することで健全部に摩擦力を生じさせ、それを介して応力を当て板に伝達する仕組み（以下：摩擦接合）である。

しかし、今回のように連続的に腐食断面欠損が生じていると、以下の理由から当初設計の当て板が困難となる。

- a) 鋼材が腐食，断面欠損し，表面に凹凸が存在すると摩擦接合にならない。
- b) 摩擦接合に必要な健全部が少なく。
- c) 少ないながらも健全部まで部材を伸ばすと1部材が長くなり，重量が増加することから，桁下における人力作業が困難となる。

今回のように腐食が進行した箇所では当初設計案の下フランジへの当て板が不可能となったことから，別手法を検討することが必要となった。

4. 現況の損傷状況に適合した補修設計

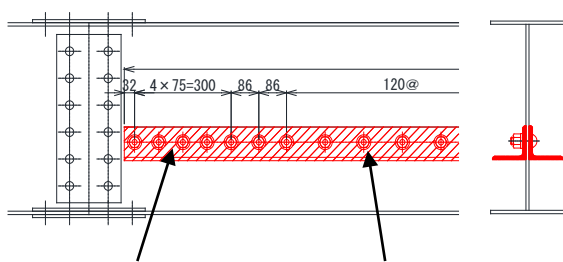
(1) 橋梁ドクターによる助言

これらの課題を解決するために橋梁ドクターに助言を頂き，以下の助言内容に基づく修正設計を行う事とした。

- a) 腐食が連続している箇所は，下フランジに当て板を設置することが困難と思われることから，腐食，断面欠損のないウェブに山形鋼を当て板として設置する。それを第二フランジとして活荷重による応力を受ける構造にする手法（図4）がある。
- b) 腐食箇所については現況の残存断面に基づいた応力状態を計算し，必要となる当て板（山形鋼）の断面を算出すること。
- c) 当て板（山形鋼）のボルトピッチについて，部材中間部のピッチは大きくても影響ないが，端部については当て板に応力が伝達しにくいことから，端部のボルトピッチを密にする（図4）ことで当て板に応力が伝達し易くなり，有効に機能する。

図4 側面図

断面図



端部75mmピッチ

中間部120mmピッチ

黒：既設部材 赤：新設当て板及び新設高力ボルト

(2) 修正補修設計

橋梁ドクターによる助言内容に基づき，現地の腐食状況を踏まえて以下の流れで修正補修設計を行った。

- a) 1種ケレンによる素地調整を行い，残存断面を確認した後，応力照査を検討する断面を以下の4ケース（表2）に分類した。
- b) 曲げモーメントは中間支間と端支間に区分（図5）し，断面力は上記4ケース毎，合計8ケースについて欠損限界値となる板厚，フランジ幅を見極めながら応力照査を実施した。（表3）なお，応力照査に用いる支間長は，張出ブラケット間の側縦桁のうち最大支間長の

5316mmとする。

表2

ケース	ケース① 下フランジ全面欠損	ケース② 下フランジ片面欠損	ケース③ 下フランジ両面部分欠損	ケース④ 下フランジ板厚減少
概要図 (側縦桁形状)				

図5

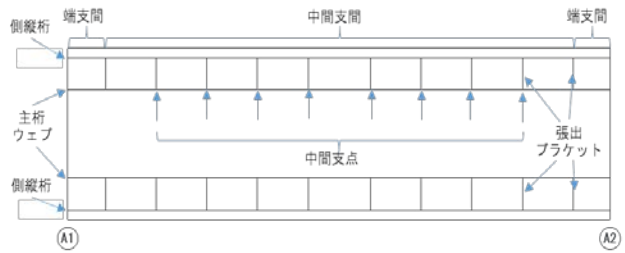


表3（中間支間部）

項目	許容値	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
曲げモーメント	—	76.42			
せん断応力	—	124.45			
曲げ応力度 (σc)	140 N/mm ²	80.6 (0.58)	67.6 (0.48)	67.5 (0.48)	70.7 (0.51)
	判定	OK	OK	OK	OK
曲げ応力度 (σt)	140 N/mm ²	234.9 (1.68)	132.7 (0.95)	138.3 (0.99)	125.1 (0.89)
	判定	NG	OK	OK	OK
せん断応力度 (τ)	80 N/mm ²	25.1 (0.31)	25.1 (0.31)	25.1 (0.31)	25.1 (0.31)
	判定	OK	OK	OK	OK
合成応力度 (σ/σa)	1.2	0.30 (0.25)	0.23 (0.20)	0.23 (0.20)	0.25 (0.21)
	判定	OK	OK	OK	OK
補強の必要性	補強必要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=9mm未満	フランジ幅がW=100mm未満	フランジ板厚がt=3mm未満
	補強不要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=9mm以上	フランジ幅がW=100mm以上	フランジ板厚がt=3mm以上

表3（端支間部）

項目	許容値	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
曲げモーメント	—	69.95			
せん断応力	—	99.50			
曲げ応力度 (σc)	140 N/mm ²	65.5 (0.47)	58.2 (0.42)	56.8 (0.41)	59.4 (0.42)
	判定	OK	OK	OK	OK
曲げ応力度 (σt)	140 N/mm ²	159.9 (1.14)	127.7 (0.91)	136.6 (0.98)	111.9 (0.80)
	判定	NG	OK	OK	OK
せん断応力度 (τ)	80 N/mm ²	20.1 (0.25)	20.1 (0.25)	20.1 (0.25)	20.1 (0.25)
	判定	OK	OK	OK	OK
合成応力度 (σ/σa)	1.2	0.23 (0.19)	0.19 (0.16)	0.19 (0.16)	0.20 (0.17)
	判定	OK	OK	OK	OK
補強の必要性	補強必要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=5mm未満	フランジ幅がW=70mm未満	フランジ板厚がt=2mm未満
	補強不要	補強必要	反対側フランジ板厚がt=5mm以上	フランジ幅がW=70mm以上	フランジ板厚がt=2mm以上

- c) 4ケースの断面形状毎に許容応力を超過する欠損限界値（表4）が算出され，欠損限界値未満の形状となっている箇所には当て板を設置する。一方，欠損限界値以上の断面が残り，許容応力以内に収まる箇所は当て板不要であり，腐食部を整形のうえ再塗装のみとする。なお，許容応力を超過した場合は，腐食が局部的であ

っても該当する張出ブラケット間の側縦桁全区間を当て板の対象区間とした。

表4

ケース	腐食状況	減肉・欠損限界値	
		中間支間	端部支間
ケース①	下フランジ 全面欠損	補強必要	補強必要
ケース②	下フランジ 片面欠損	反対側フランジ板厚が $t=9\text{mm}$ 未満	反対側フランジ板厚が $t=5\text{mm}$ 未満
ケース③	下フランジ 両面部分欠損	フランジ幅が $W=100\text{mm}$ 未満	フランジ幅が $W=70\text{mm}$ 未満
ケース④	下フランジ 板厚減少	フランジ板厚が $t=3\text{mm}$ 未満	フランジ板厚が $t=2\text{mm}$ 未満
添接部		添接板の最小必要断面積 $A=831\text{mm}^2$ 以上	

上記の応力照査、欠損限界値の結果から、当て板補修が必要となる区間に山形鋼を設置する。

(3) 当て板に用いる山形鋼の設計、規格、構造細目

設計照査を踏まえた当て板の設計方針、使用する山形鋼の規格、現場条件を考慮した構造細目は以下のとおりとする。

- a) 当て板の断面計算の考え方は、残存断面で死荷重を、当て板で活荷重などの後荷重を負担するとして断面計算を行う。¹⁾
- b) 本橋は曲線橋のため、側縦桁の設計に際しては付加応力を考慮し、また山形鋼は曲げ加工が可能なサイズから選定する。
- c) 現場での施工性を考慮し、1部材の最大長は2mまでとする。
- d) 第二フランジの設置位置は、断面二次モーメントを踏まえると、下フランジに近い位置に設置する方が望ましいが、高力ボルトの締付や塗装作業を考慮し、側縦桁下フランジから150mmの位置(図6)とする。
- e) 山形鋼同士の添接部にスプライスプレートを用いると設計上、また維持管理上合理的でないことから、継手箇所は部材の上下を入れ替えた1面摩擦のラップ継手(図6)とする。
- f) 上記を踏まえた結果、山形鋼はL-100×100×10を用いる。

図6 側面図

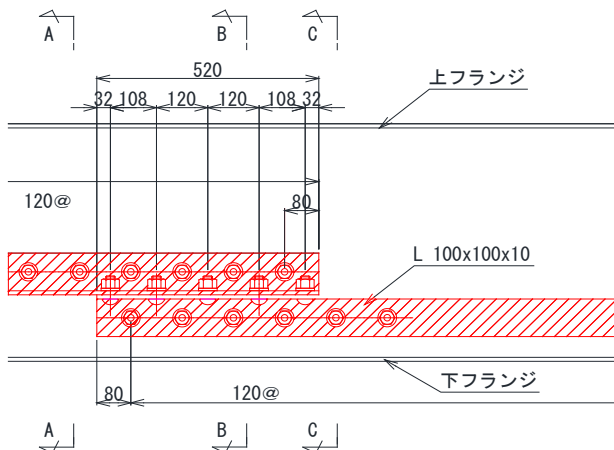
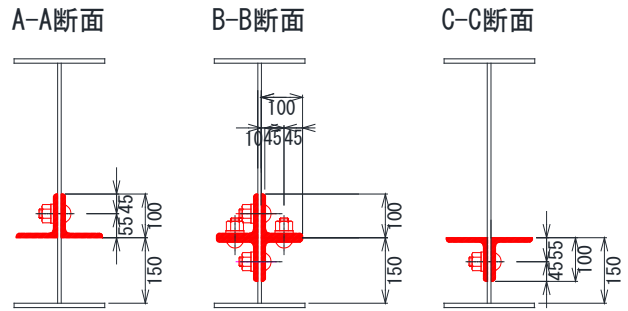


図6 断面図



5. おわりに

鋼部材の腐食による補修対策は多種多様であり、当て板補修はその選択肢の1つであるが、当て板補修に関する基準等は明確に整備されておらず、現場状況等に応じてフレキシブルに対応しているのが実情である。本事例のように、現況の残存断面から応力照査を実施し、山形鋼を第二フランジとして活用する方法は、同種損傷が発生した他橋にも十分適用できると思われる。また、山形鋼の上下を入れ替えた1面摩擦のラップ継手を用いる効果として、死荷重増加の一因となる添接板が不要なことにより上部工への負担が軽減できる。また部材数を増加させないことにより、塩分の堆積箇所や腐食箇所の抑制にも寄与できるため、当て板補修を検討する際の参考にして頂ければ幸いです。

謝辞：本橋の補修設計、当該論文作成にあたっては、近畿地方整備局橋梁ドクターでもある大阪公立大学の山口隆司教授、(一財)橋梁調査会、オリエンタルコンサルタンツのみなさまには貴重なご助言を頂きました。この場をお借りして感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ37 補修・補強のための高力ボルト摩擦接合技術 —当て板補修・補強の最新技術—

猪名川流域住民の避難力向上に資する マイ・タイムラインの取り組みについて

川端 真治¹ 唐松 雅司²

¹近畿地方整備局 猪名川河川事務所 工務課（〒563-0027 大阪府池田市上池田 2-2-39）

²近畿地方整備局 猪名川河川事務所（〒563-0027 大阪府池田市上池田 2-2-39）

近年、日本各地で深刻な水害が発生し、高齢者等の逃げ遅れなどの課題が顕在化しているなか、水災害から人命を守るには、住民一人ひとりの防災行動を考えるマイ・タイムラインの作成が重要となっている。そのため、猪名川河川事務所では独自の『マイ・タイムライン作成支援ツール』等を作成した。

本稿では、当支援ツール等の作成過程における地元自治体及び地区会との連携内容、検討プロセスや課題、工夫した点を延べることで、当支援ツールの有効性を示し、住民の水防災意識向上に向けて、他の参考となることを期待する。

キーワード 住民防災意識の把握、マイ・タイムライン、防災士との連携、
リスクコミュニケーション

1. はじめに

気候変動による水災害の頻発化・激甚化に対し、従来のハード整備のみでは治水安全度を確保することは難しいため、被害の軽減及び早期復旧・復興被害を軽減するソフト対策を含めた流域治水プロジェクトの早期実現が急務である。

近年では、2004年新潟・福島豪雨による堤防決壊等の課題を踏まえた水防法改正によるハザードマップの作成・周知の義務化、2015年の水防法改正による想定最大規模の降雨に対応したハザードマップ作成・周知の義務化、まるとまちごとハザードマップなど、水防災意識向上に関する取組が増えている。しかし、ハザードマップの認知率や避難情報発令に伴う避難率などは全国的に低い状況であり、住民の避難意識向上にはさらなる工夫が必要である。

2015年9月関東・東北豪雨災害では、鬼怒川の堤防決壊により、氾濫流による家屋の倒壊・流失や広範囲かつ長期間の浸水が発生し、これらに住民避難の遅れも重なり、近年の水害では類を見ないほど多数の孤立者が発生した。

この教訓を踏まえ、台風等の接近による大雨によって河川水位が上昇するおそれがある場合に、自ら考え命を守る備えをマイ・タイムラインとして、標準的な防災行動計画を時系列的に整理し、家族や地域で共有し、水害による犠牲者ゼロを目指すリスクコミュニケーションを図ることが重要である。

2. 猪名川流域住民の防災意識の把握

1938年7月3日から5日にかけて猪名川流域で発生した阪神大水害において、死者8人、負傷者1人、全壊流失162戸、半壊94戸、床上・床下浸水8,408戸、の被害が発生した。また、戦後最大豪雨といわれている1960年の台風16号により、伊丹市口酒井付近で猪名川左岸が約30mにわたって決壊し、多数の家屋が床上浸水した。溢れた水は豊中市まで流れ込んだため、広範囲にわたる被害が発生した。この洪水以降、猪名川・藻川においては、幸いにも甚大な水害は発生しておらず、流域内住民の水防災意識の低下が懸念されている。

(1) アンケート調査手法

住民の防災意識の現状を把握するために、猪名川中・下流域の関係5市の住民を対象に、防災に対する興味の多寡に回答が左右されにくく、リスクの存在に気づいていない住民からの回答も期待出来るWEBアンケート調査を2020年度において実施した。

アンケート調査は、猪名川中・下流域の5市（池田市、豊中市、尼崎市、伊丹市、川西市）における500世帯（各市100世帯）を対象として防災意識レベル把握のための調査を実施した。また、浸水リスクが高い地区・低い地区（想定浸水深が大きい地域（2m～5m以上）・小さい地域（0m～0.5m））の200世帯（100世帯×2地区）についても実施した。住民の防災意識調査結果については、住民の防災意識レベル（フェイズ）がどの段階に到達しているかを判定

する視点を踏まえた評価項目（質問）を設定し、5つのフェイズ区分の概念を軸に評価し、地域住民の防災意識の現状と特性を把握したうえで意識向上方策への反映を目的に実施した。（図-1、表-1）

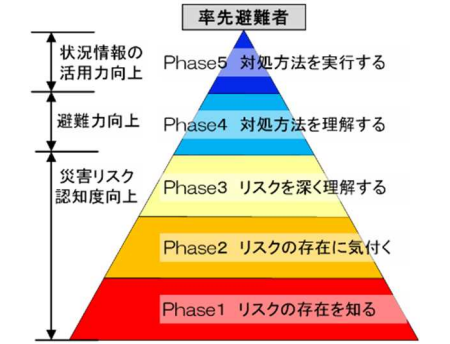


図-1 防災意識のレベル（フェイズ）イメージ

表-1 住民防災意識の到達度の考え方

防災意識	評価（アンケートの視点）
災害リスクの認知度が向上が必要	Phase1 リスクの存在を知る必要がある
	Phase2 リスクの存在に気付く必要がある
	Phase3 リスクを深く理解する必要がある（洪水発生可能性の認識、洪水リスク内容の理解）
避難力向上が必要	Phase4 対処方法を理解する必要がある（マイ・タイムライン作成、防災情報の理解等）
状況情報の活用能力が必要	Phase5 対処行動を実行する必要がある（避難訓練の実施等）

(2)アンケート調査結果

住民の防災意識はPhase1が過半数、Phase1～3では約8割（80.8%）を占め、リスクの存在に気づいていない・理解が不足している住民（Phase1～3）の防災意識向上が急務であることがわかった（図-2）。一方で、地域に関係なく防災意識の高いPhase5・率先避難者も一定数（15.8%）いることも特徴である（図-3）。当該者の高い防災意識を広く展開することが有効であるため、率先避難者や地域の防災リーダーの役割を期待し、地域全体の防災力向上に向けた仕組みづくりが必要である。また、浸水深の小さい地域と大きい地域を比較すると想定浸水深が大きい地域の住民の方が小さい地域の住民よりPhase1の割合が多く、浸水リスクが高い地域であってもリスクの認知度が低く、リスクを伝えることが重要と考えられる（図-4、図-5）。

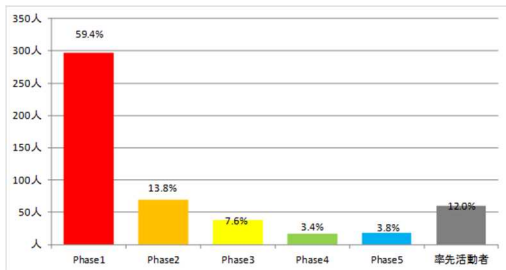


図-2 防災意識調査結果（5市計）



図-3 防災意識調査結果（5市別）

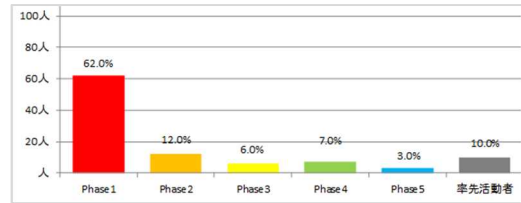


図-4 防災意識調査結果（浸水深が小さい地域）

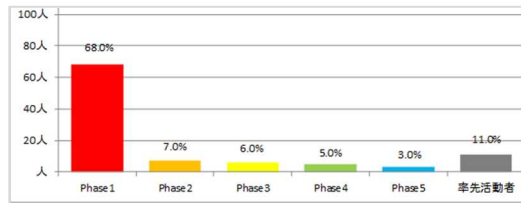


図-5 防災意識調査結果（浸水深が大きい地域）

3. マイ・タイムライン作成の普及に向けた検討

リスクの存在に気づいていない・理解が不足している住民（Phase1～3）の約8割の防災意識向上を図りつつ、率先避難者を含めた全体の防災意識の底上げを目的としたマイ・タイムライン作成の普及・促進が急務である。マイ・タイムラインの作成には、洪水ハザードマップ等を用いて居住地などの住民自ら関係する水害リスクや入手する防災情報を「知る」ことから始まり、避難行動に向けた課題に「気づく」ことを促し、どのように行動するかを「考える」場面を創出することが重要である。また、他者の意見を参考に自分自身に置き換えて「気づく」こともあるため、講習会やワークショップ形式による検討を推奨しており、行政はそれら検討の支援を行うことが求められている。

そのため、猪名川河川事務所では市役所や地域等が行うマイ・タイムライン作成の普及・促進のため活動の支援を行うものとした。

管内における現状の取組としては、兵庫県における「マイ・避難カード」を参考に川西市及び尼崎市が取組を進めており、池田市及び豊中市ではそれぞれ独自のマイ・タイムライン様式などを作成している。

地域の水害リスクの存在に気づいていない・理解が不足している住民が8割と多いことから、マイ・タイムライン作成による水災害に対する地域の防災・減災の取組は、国、自治体、防災士等、地域及び住民等による連携と役割分担

のもと、段階的に進める必要があると考えた。

猪名川・藻川における防災に係る支援団体である日本防災士会兵庫県支部及び大阪府支部、市内の防災士が設立した防災士の会、兵庫県が進めている「防災リーダー」と連携によるモデル地区からの取組を進め、流域内に展開を図るものとした。

(1)モデル地区の選定

モデル地区は猪名川と藻川に挟まれたデルタ地帯に位置し、洪水リスクが最も高い「島の内地区（尼崎市）」を設定した。また、島の内地区のうち、防災活動を実施している東園田3丁目東地区会を対象箇所として選定した。なお、モデル地区は、猪名川河川レンジャーからの意見・提案のほか、2021年度に完成した東園田防災活動拠点との連携した取組みの可能性のほか、マイ・タイムライン作成支援の主体である尼崎市に対してヒアリングを行ったうえで選定した。

(2)モデル地区との事前調整

水災害に対する地域の防災・減災の取組には、防災意識の啓発、ハザードマップを活用した防災訓練、情報伝達、タイムラインの作成など様々であるが、これらの取組を促進するには、公助に加え、共助の取組が重要である。共助を支えるのは消防団、自主防災組織、地元ボランティア等であるが、組織強化及び活動促進を図る上で、各取組のリーダーが不可欠であるため、モデル地区の地元住民かつ河川レンジャーとして活動している方を窓口に応向等の把握を行った。

(3)キックオフ会議の開催

マイ・タイムライン作成講習会の円滑な開催・運営にあたって、関係市、防災士及び防災リーダー等と連携しながら行うことを目的としたキックオフ会議を開催し、下記の役割分担を確認した。

- ・自治会：地元窓口確認（自治会長等）との調整
- ・防災士会等：講師の派遣等
- ・市：地元調整、意向把握、市防災施策との調整等
- ・国（猪名川河川事務所）：資料の提供、作成等

キックオフ会議における地元からの課題提示として、ファミリー世帯や若手の参画不足、自治会未加入者の存在、地域内の情報共有方法等の課題など全国共通的な意見が寄せられ、参加者を集める工夫が必要となった。コロナ禍ではあったが、地元自治会の協力のもと、地域のラジオ体操後の講習会参加の呼びかけなどの提案を受け、参加者を募集する計画とした。

また、マイ・タイムライン作成講習会を実施するにあたり、半年程度の実施スケジュールを余儀なくされた。具体的には、講習会は当初の予定では、第1回：基本編として避難カードの作成、第2回：マイ・タイムライン作成をそ

れぞれ1時間半の計3時間の実施予定であったが、1回開催の計2時間の講習会実施に変更するものとした。



写真1 キックオフ会議の様子

4. マイ・タイムライン作成支援ツールの作成

(1)講習会プログラムの検討

マイ・タイムライン作成支援ツール「逃げキッド」を活用した「マイ・タイムライン検討のためのワークショップの進め方～ワークショップ虎の巻～」2020年6月国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課水防企画室）における実施事例の必要時間は、一般住民を対象とした場合に約2時間半、防災士等を対象とした場合に2時間程度と記載されている。これらを参考に、防災意識に課題があるPhase1～3の住民や高齢者を対象とした約2時間（1回）でわかりやすく、講習会に参加できない流域内の個人でも学習でき、防災士等が講師として活用しやすい講習会プログラムの簡素化と対応した支援ツールを作成するものとした。

講習会プログラムは、「マイ・タイムラインの必要性を知る」、「避難の考え方を確認」、「マイ・タイムラインを作る」の3部構成とした（図-6）。また、ハザードマップポータルサイト、浸水ナビによる水害危険性の確認、猪名川の水位情報・気象庁のキキクルなどの情報サイトの操作に関する内容については、Phase1～3の住民や高齢者にとっては講習会当日に理解が難しいと想定されるため、マイ・タイムライン作成後における避難のタイミングを判断するための情報ツールの紹介として、「より詳しい情報を知ろう」と最後に説明する構成とした。

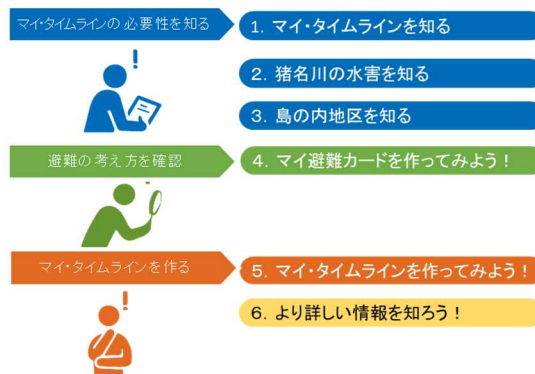


図-6 講習会プログラムの構成

(2)地域特性の学習資料の作成

マイ・タイムラインの用語認知率が低いと想定されるため、関東地方整備局 下館河川事務所ホームページで公表されている「マイ・タイムラインで逃げ遅れゼロ～洪水からの自分の逃げ方を考えよう～」を視聴し、河川氾濫イメージとマイ・タイムライン作成の必要性を理解できる導入動画を作成した。なお、動画作成にあたり下館河川事務所支所に事前許可を得たうえで、テロップクレジットを表示するものとした。

マイ・タイムライン作成には猪名川の水害危険性を知ることが重要であるため、過去の水害等に関する動画(図-7)、島の内地区は堤防高より低い土地にあることを理解するUAV映像(図-8)を作成した。

また、多くの住民は堤防護岸の印象が強く、土の構造物であることを知らない住民が多いと想定されるため、堤防クイズ動画(図-9)に加え、避難行動の時間感覚を理解できるように島の内地区の浸水シミュレーション(浸水ナビ)の動画(図-10)を作成した。



図-7 水害動画



図-8 UAV映像



図-9 堤防クイズ



図-10 浸水ナビの動画

(3)マイ避難カードの作成

マイ・タイムライン作成の事前学習である自宅の浸水危険性を把握し、避難先などを決めるツールとして、「マイ・タイムラインチェックシート」(図-11)があるが、兵庫県及び尼崎市においては「マイ避難カード」の作成を促進している。それらの内容を踏襲し、「情報の入手方法」欄等を加えた「マイ・避難カード(猪名川河川事務所版)」(図-12)を作成した。

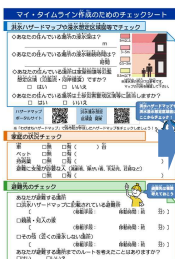


図-11 マイ・タイムラインチェックシート

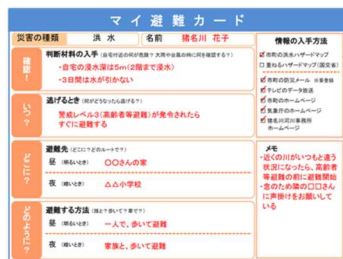


図-12 マイ避難カード (猪名川河川事務所版)

(4)マイ・タイムラインシート等の作成

マイ・タイムラインシートは全国共通版であるため、タイムラインの時間軸を猪名川の水位上昇特性を考慮した見直しを行うとともに、避難判断水位等の水位情報は基準地点の小戸水位観測所であるためそれらの対応水位を記載した「マイ・タイムラインシート」(猪名川河川事務所版)を作成した。

また、住民が水害時の基本的な準備・行動をイメージし、容易に自分の行動計画を考えて記載できるよう、基本的な準備・行動のイラスト付きシールと、自分の状況に応じた行動も書き込めるシールを合わせた「マイ・タイムラインシート(猪名川河川事務所版)」を作成した(図-13)。

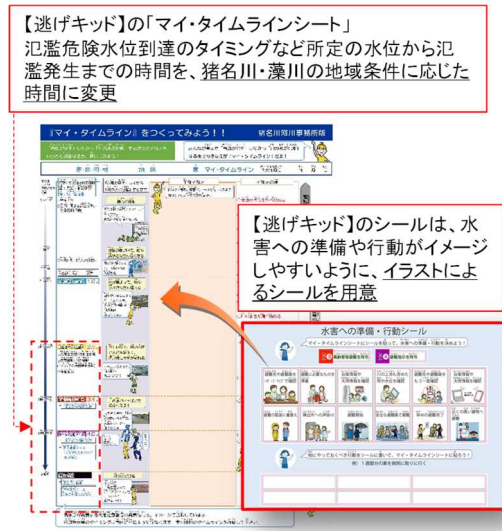


図-13 マイ・タイムラインシートとシール (猪名川河川事務所版)

(5)マイ・タイムライン講習会用動画の作成

講習会支援動画は選択視聴ができるよう、『①マイ・タイムラインを知る』『②猪名川の水害を知る』『③島の内地区を知る』『④マイ避難カードを作成してみよう!』『⑤マイ・タイムラインを作成してみよう!』『⑥より詳しい情報を知ろう!』の6構成とした。モバイル端末の普及に合わせて画面サイズを16:9とし、説明も文字を極力減らして写真とイラスト中心による動画とした。

また、逃げキッドにおける資料1『「台風や前線が発生」してから「川の水が氾濫」するまでを知ろう!!』の状況の学習資料、資料2『「台風や前線が発生」してから「川の水が氾濫」するまでの備えを考えよう!!』の行動並び替えや行動クイズについては、講習会の時間短縮と配布資料削減を図るための動画を作成した(図-14、図-15)。



図-14 警戒レベルごとの河川等の状況を知る動画

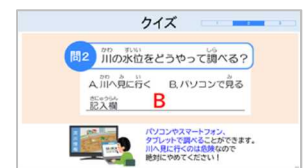


図-15 避難行動クイズ動画

5. マイ・タイムライン作成講習会の実施

(1)講習会開催に向けた準備

一人でも多く講習会参加者を募集するための自治会の取組として、ラジオ体操での呼び掛け、講習会案内チラシの各戸配布などを実施した。

また、猪名川河川事務所は、講習会会場の確保、ポスターの用意に加え、ラジオ体操会場（地区内公園）から講習会会場までは移動距離があり、参加者は高齢者が多いことを配慮してマイクロバスの用意を行うなど参加者への配慮を行った。

(2)講習会の開催

管内での住民のマイ・タイムライン作成の普及に向け、モデル地区である尼崎市東園田 3 丁目東地区を対象としたマイ・タイムライン作成講習会を開催した。島の内地区の災害危険性、マイ避難カード及びマイ・タイムラインの説明を実施し、参加者 26 名の作成支援を行った。

地区長から、「尼崎市には逃げられる所がない。しかし、パソコンやスマートフォンで事前に、簡単に情報が手に入ることを今日学ぶことができた。講習会で学んだことを地区会で共有、意見交換を行い、今後地区全体に話を進められるようにしたい」との総評をいただいた。



写真2 講習会の様子

写真3 参加者の作成状況

(3)参加者へのアンケート実施

アンケート項目においては、マイ・タイムラインの認知情報、講習会動画及び資料への意見、今後の展開方法への意見などを聞き取るものとした。

- ・マイ・タイムラインについて参加者の約 8 割が「知らなかった」という結果であった。
- ・マイ・タイムライン作成については、6 割を超える参加者が講習会資料を活用してマイ・タイムラインを「作成できる」(17 名)との回答を得た。
- ・普及方法として「学校教育での実施」(9 名)があげられ、「PTA から保護者会へ広める」という意見を踏まえ、防災教育の場を活用して児童と家庭と地域をつなぐ方策検討が必要と考えられる。

(4)講習会実施後の報告会の実施

a)参加者からの意見

管内全体へのマイ・タイムライン普及を図るため東園田 3 丁目東地区会の役員を交えた報告会を実施、今後の進め方について意見交換を実施した。主な意見を下記に示す。

- ・26 名の想像以上の多くの参加者があって、良かった。

こんなに意識が高いのかと改めて感じた。

- ・「水害は逃げるができる」ということ。一度洪水による浸水が発生すると、水が引くのに 4 日以上かかるということは初めて知った。
- ・「こういう状況になったら逃げないといけない」と、お年寄りにしつこいくらいに説明するのが命を守ることになるを理解した。
- ・堤防が切れたら、園田競馬場の方から園田地区へ水が流れてくるので、若い人でもなかなか逃げ切れないかもしれない。
- ・高齢者への方々も含めて「一人も取り残さない」という行動、そのアクションを起こすきっかけ作りが重要で、私達のような地区役員、民生委員が住民の方々とリアルな口コミネットワークでやり取りすることとなり、それを支援してくれるようなツールが重要である。シールは非常に良かった。

b)地区長からの発表

- ・「講習会内容を教えてほしい」、「地区で講習会を実施してほしい」との要望に対応するため、地区長から講習会の振り返りに加え、自治会としての事前に決めておく行動内容の発表があった（図-16）。



図-16 地区長からの発表内容

c)マイ・タイムライン支援ツールへの反映

講習会や意見交換会の地元意見を踏まえた、講習会の手引き、動画等最終成果への反映、まとめ結果についての反映を行うとともに、若手などスマホ利用を想定した二次元バーコードの掲載、島の内地区以外の汎用性などの検討を行うものとした。

(5)マイ・タイムライン作成の手引きの作成

講習会動画を見ながら、「マイ・タイムラインシート」「マイ・タイムラインシール」を活用してマイ・タイムラインを作成できるよう、猪名川流域の災害危険性や避難の考え方、資料の使い方を理解できる「マイ・タイムライン作成の手引き」を作成した。

手引きは、マイ・タイムライン作成にあたっての考え方や、作成支援ツールの活用方法について説明し、作成する住民や講習会の講師が理解したうえで周囲に伝えることができるよう、各項目の冒頭にポイントを記載した。また、作成・説明手順にあわせて、準備物や記入方法を図やイラストを用いて説明することで、順を追ってマイ・タイム

ラインが作成できる内容とした。また、ハザードマップポータルサイトと浸水シミュレーション（浸水ナビ）の操作解説書をわかりやすく作成し、水害危険性の理解促進を図るものとした（図-17、図-18）。



図-17 マイ・タイムライン作成の手引き



図-18 マイ・タイムライン作成の手引き

6. マイ・タイムライン支援ツールの活用状況

モデル地区における講習会及び報告会の意見を踏まえたマイ・タイムライン作成支援ツールについて、淀川水系流域治水協議会猪名川分会構成員へ情報提供をおこなった。また、猪名川河川レンジャーが講師役を務めた兵庫県防災士会研修会において活用され、下記意見をいただいている。

- ・シールは入門編としてとてもよい。
- ・動画を見てもらいパワーポイントで勧めていくのは行いやすい。
- ・地震編、土砂災害、津波などのマイ・タイムラインも作れると思う。
- ・地区防災計画にマイ・タイムラインを加えるべきと思った。

7. 今後の運用

モデル地区におけるマイ・タイムライン講習会を通して、マイ・タイムライン作成支援ツールの有効性は確認できた。これらのツールについては、猪名川河川事務所ホームページへの掲載による更なる周知と利用促進を図っている。

また、流域治水協議会の住民代表としての河川レンジャーの活動を通じて、行政及び住民との橋渡しによる、マイ・タイムライン策定の普及と深化を図る予定である。さらに、自治会未加入者、若手の参画拡大など、地域の課題解決につながることを望ましい。

作成したマイ・タイムラインを個人、家族、地域などとのリスクコミュニケーションによる見直し及び避難訓練が重要であるため、地区防災計画にコミュニティタイムラインとして作成されることを期待したい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、八千代エンジニアリング株式会社様を始め、お力添えいただいた関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 本間基寛,片田敏孝,桑沢敏行：住民の防災意識水準に応じた教育プログラム策定手法に関する研究,土木計画学研究講演論文集,vol.137,CD-ROM269,2008
- 2) 竹村仁志 ほか (2021):大規模水害に対する住民防災意識を考慮した減災対策の強化に向けた広報活動,第76回土木学会年次学術講演会講演概要集 第2部門,II-160
- 3) 片岡輝之 ほか (2019):大規模水害に対する住民等の防災意識調査と減災対策の方向性,第52回研究発表会(建設コンサルタンツ協会 近畿支部)

唐橋東詰交差点拡幅工事の施工における 配慮事項について

茨 和希¹・藤田 将孝²

¹大津土木事務所 道路計画課

²長浜土木事務所 道路計画課

瀬田唐橋は一級河川瀬田川を渡河し、古来より地域の風土を形成する歴史的・文化的資産であり、同時に主要地方道大津能登川長浜線の起点として滋賀県南部地域の東西の交通を受け持つ重要な橋梁である。

しかし、その兩岸の交差点では多方面から交通が集中し、朝夕の通勤通学時間帯や休日夕方の時間帯には著しい渋滞が発生している。特に主要渋滞箇所にも指定されている唐橋東詰交差点の東西方向の車線には、右折レーンがなく、橋上の渋滞が反対の西詰交差点まで影響し、更なる渋滞を引き起こしていた。

大津土木事務所では、2016年度（平成28年）より唐橋東詰交差点の東向き車線の渋滞緩和を目的とした、交差点改良事業に着手し2021年度（令和3年度）に無事完成供用することができたが、日本三古橋にも数えられる瀬田唐橋での工事は、通常の交通規制や技術的な観点だけでなく、歴史的・文化的価値や景観、地元の愛着心といった点において特に配慮が必要であった。そこで、今回の工事で苦慮した点や留意点について報告する。

キーワード 瀬田唐橋、唐橋東詰交差点、クレーン台船架設、歩行者自転車の誘導

1. はじめに

「瀬田唐橋」は、古くは壬申の乱（672年）の舞台として日本書紀に登場して以来、京と東国を結ぶ交通の要衝として、数々の歴史上の重要な舞台となり、今もなお多くの人に利用される歴史的な橋梁である。また、瀬田唐橋は、宇治橋、山崎橋とともに日本三古橋に数えられ、近江八景の一つ「瀬田夕照」の風景としても有名である。



図-1 歌川広重：近江八景「瀬田夕照」

明治、大正、昭和と幾度も架替や補修がされた記録が残っているが、現在の瀬田唐橋は、1979年（昭和54年）に架け替えられたものである。また最近では、2011年度（平成23年度）の高欄塗り替え工事に際しては、その塗装色に多方面から大きな反響があり、地元や学識者からなる「瀬田唐橋景観検討委員会」で塗り替え色を検討し、高欄の色が決定され注目を集めるなど、今日においても瀬田唐橋に対する関心度は高い。これらのことから、

瀬田唐橋において新たな整備を行う際には、通常の交通規制や技術的な観点だけでなく、歴史的・文化的価値や景観、地元の愛着心といった点についても特別に配慮が必要であった。



図-2 現在の瀬田唐橋

2. 唐橋橋上の右折レーンの設計

瀬田唐橋は、室町時代の連歌師宗長が詠んだ「武士（もののふ）のやばせの舟は早くとも急がば廻れ勢多の長橋」という歌から「急がば回れ」のことわざの語源とされている。しかし、現代においては主要渋滞交差点に選定されるなど、兩岸の交差点を起点として恒常的な渋滞が発生している状況である。

唐橋の渋滞対策は、唐橋西詰交差点で平成8年に小橋の右折レーン拡幅を含む交差点改良が実施され、反対の唐橋東詰交差点では、2006年度（平成18年度）に南北方

向の交差点改良工事により交差点形状の修正と交通の円滑化が図られた。しかし、唐橋東詰交差点の東西方向については、2013年度（平成25年度）の近江大橋の無料化による交通量の軽減も期待されていたため、これまで事業化がされてこなかった。

しかし、名神高速道路瀬田西・東インターへのアクセスや周辺の住宅開発、大型店舗の出店が進み、東詰を起点とした渋滞が西詰の交差点にまで及ぶことで周辺の渋滞を引き起こしていた。



図3 瀬田唐橋及びその周辺の位置図

これらの状況から、2015年（平成27年）12月8日に唐橋東詰交差点において交差点設計実施に向けた交通量調査を行った。

調査結果より橋上東向き交通量を方向別に見みると、直進が3,399台、左折が2,015台、右折が1,276台で、直進：左折：右折の比は5：3：2となっており、右折車両は直進・左折車両より少ないが、東向き車線に右折レーンや右折の矢印式信号機がないため、右折車が直進車、左折車の走行を大きく阻害していた。これにより、橋梁上の後続車両の停滞を招き、橋上の渋滞が西詰交差点まで及ぶと唐橋方面への進入ができず、周辺の渋滞をさらに拡大させていた。そのため、唐橋東詰交差点の渋滞対策では、橋梁部である東向き車線に右折レーンをどのように設置するかを検討が必要であった。



図4 右折車阻害による渋滞状況

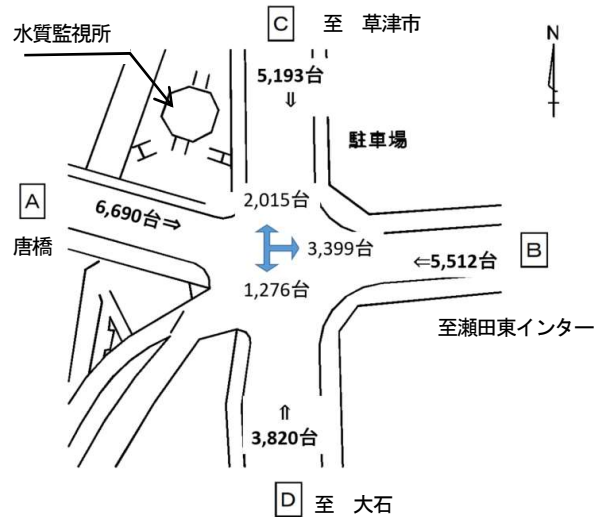


図5 唐橋東詰交差点方向別12時間交通量 (2015.12.8)

交差点改良の比較検討案としては、第1案：上下部工補強拡幅案、第2案：側道橋による全線に亘る拡幅案、交差点部のみの第3案：暫定拡幅案について検討を行った。検討を進めるにあたり、瀬田川を管理する国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所（以下、「琵琶湖河川事務所」）と河川協議を行った結果、本橋梁は河川構造令施行前に架橋した橋梁であり、基準径間長・下部工構造形式（パイルベント形式）など、現行河川構造令に適合しない項目があり、既存不適格と判断された。このため、慢性的な渋滞に対する早期の整備効果発現の観点からも抜本的な対策は行わず、第3案：暫定拡幅案により設計を進めることとした。

暫定拡幅案では、「解説・工作物設置許可基準」（橋梁の構造となる隅切り、右折レーン及び歩道等の取り扱い）に準じ、拡幅部となる歩道部分を新設し、現況歩道部を車道として補強することで右折レーンを確保する計画とした。

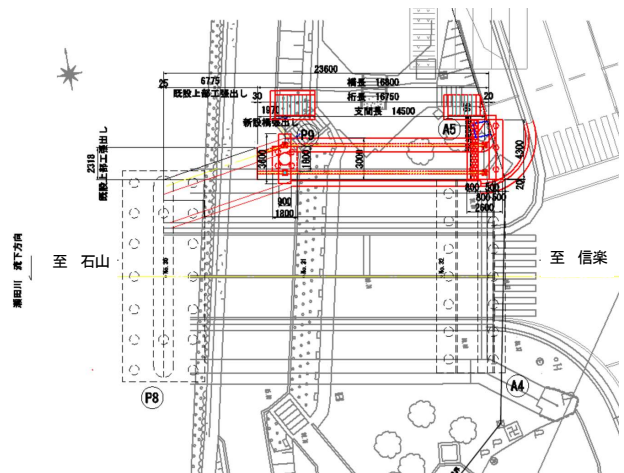


図6 暫定拡幅案：橋梁一般図（平面図）

3. 拡幅部上部工の架設方法について

本工事では、交通量が非常に多い交差点の直近かつ、上流側には水資源機構の水質自動監視所があるため、施工ヤードが非常に限られた中で、いかに上部工桁架設を行うかが施工上課題であった。

まず、下部工を施工する段階で水質監視所と唐橋の間のスペースを最大限確保するため、監視所の階段や灯籠を撤去し、橋脚・橋台の基礎は狭小区間でも施工できるよう、既成杭（PHC杭）を用い、BoringHole工法という大口径ボーリングマシンでプレボーリングを行う特殊な工法を採用した。

一方、上部工の桁架設は、当初、現道を片側交互規制し、車道上の仮組ヤードから架設を行う計画としていたが、入札において4回連続で応札者がなかった。そのため、入札参加資格を持つ業者へのヒアリングを実施した結果、どの業者も交差点直近の現道上で規制を行いながらの施工は、交通への影響が大きく事故リスクが高いとして、入札参加を見送っていた。ヒアリング結果を受けて、交通規制を伴わない架設方法について再度検討を行った結果、限られた空間で架設可能な方法として、川側からクレーン付き台船を用いた架設方法に変更することで、当初の予定より遅れること約1年、5回目の入札において施工業者と契約することができた。

クレーンの規格については、最も重量が大きくなる床版撤去時の重量で決定し、最大作業半径30.3mに対して、70tクローラークレーンを選定した。クレーンのブームは資材台船にて運搬し、河川上で組み立てを行った。

また、クレーン付き台船の設置は、瀬田川観光船組合の渡船の停泊場所に設置する計画としていたが、曳航時には唐橋の桁に接触しないよう台船の注水を増やし高さを押さえる必要があったことや、停泊には50tのアンカーと停泊用スパッドにより台船を確実に固定することなど、関係機関との事前調整や安全確保を行った上で、スペースに余裕のない中、慎重に台船の設置を行った。



図-7 クレーン台船設置状況

上部工の桁架設は、近江大橋の横にある水資源機構のヤードにて地組を行い、資材台船で現地に搬入し、台船上のクレーンで一括架設（桁重量 約4t）を行った。



図-8 クレーン台船による上部工架設時の状況

4. それぞれの交通への配慮

現代においても交通の要衝である唐橋の工事では、様々な交通への配慮が必要であった。

(1) 自動車交通

唐橋は、往復方向に3万台／日の自動車交通があるが、今回の拡幅工事では、工事中的防護柵設置のスペースを確保する必要があったため、現状車道3mの幅員を2.75mに縮小した上で施工を行う必要があった。特に瀬田西インターから名神高速道路に乗る大型車や石山駅発着のバスなど、大型車の離合に際し、サイドミラーの接触等の恐れがあったため、特に注意して通行してもらうよう、バス事業者や周辺工場への連絡や、併せてJATICの交通情報にて周知するなどの対応を行った。

(2) 車道走行の自転車交通（ビワイチ）

唐橋は交通量調査結果から往復方向に2千台／日近くの自転車交通があり、日常的に自転車交通量が多いが、現状では、その大部分は歩道走行をしている。しかし、ビワイチの起点が唐橋の中ノ島にあることもあり、車道を走行するロードバイク等も多かったため、車道上を走行する自転車への周知も必要であった。その対策として、ビワイチのSNS等を活用し、工事周知を行った。

(3) 一般の歩行者・自転車交通

一般の歩行者、自転車に対する対応については、「5. 歩行者自転車の交通切り回し」において後述する。

(4) 船舶・ボート

瀬田川の唐橋周辺の河川区域は漕艇の全国大会も開催されるエリアであり、一般から大学、企業のボート部等の練習区域となっているため、工事の資材搬入等の日時

について琵琶湖漕艇場に協力いただき、事前周知、連絡の調整を行い、監視船等の安全対策を行った。

5. 歩行者・自転車の交通切り直し

今回の拡幅工事では、北側の歩道部分を車道として補強するため、北側歩道を工事期間中は完全に通行止めにする必要があった。瀬田唐橋の歩道の利用状況は、工事着手前に行った朝のピーク時間における交通量調査結果より、朝7時から9時までの2時間に、歩行者が534人、自転車が464人と、通勤、通学の交通が集中している。特に瀬田唐橋の西側に石山高校、東側に瀬田工業高校があり、双方の生徒が通学時に交錯しないよう、上流側下流側を分けて利用するよう指導されていた。通行止めの際には、北側歩道を通行する歩行者・自転車を南側の歩道へ迂回させる必要があり、特に通学時間帯には一時的に生徒が集中するため、その対策方法が課題であった。

(1) 南側歩道内での通行分離

南側歩道は通行幅が2.4mと、北側を利用する歩行者・自転車を受けるだけの十分な幅員ではないため、限られたスペースのなかで、歩行者・自転車を安全に対面通行させる必要があった。その対策としては、南側歩道の路面上に矢印表示を設置し、進行方向を明示することで対面通行を円滑にする対策を行った。また、歩道を走る自転車と歩行者の接触事故の発生が考えられたため、自転車利用者には降車して通行してもらうよう呼びかけや周知看板等を設置した。

(2) 南側歩道への誘導

南側歩道への誘導の切り替えにあたっては、通行者に対して南側歩道への迂回および通行方法について、朝の通勤通学時間帯に車載スピーカー等を利用して、朝の通勤通学時間帯に車載スピーカー等を利用して、一週間前より事前周知活動を行った。切り替え後は北側歩道に電光表示板を設置し、通行方法に慣れていただくまで交通誘導員を数日間配置し、安全確認をしながら誘導を行うなど、施工者の安全対策の工夫もあり、大きな混乱や影響もなく、迂回路への切り替えを行うことができた。

(3) 学校側から生徒への指導

唐橋を通学で利用されている瀬田工業高校、石山高校には、予め規制等の説明を行い、教室に交通規制のお知らせを掲示いただくなどの協力をいただいた。さらに、通学時に唐橋を利用する生徒に対し、工事期間中の唐橋南側歩道の左側通行の順守と自転車利用者の降車について指導いただいた。



図-9 上：北側歩道規制前の歩行者自転車状況
下：南側歩道への迂回後の対面通行の状況

6. 唐橋の夜間通行止め規制

本工事では、車道部の床版コンクリートの打設時に、橋上にジェットコンクリートプラントを設置し打設する計画としていたため、全体で7日程度の夜間通行止めを実施する必要があった。夜間通行止めの調整においては、石山駅から田上方面への最終バスが22時30分に唐橋を通過することから、バス事業者と調整し、22時に一般車両の通行を規制したあと、最終のバス通過後に唐橋を通行止めにする計画とした。迂回路としては、上流側の国道1号瀬田川大橋を迂回するルートと、下流側の国道1号バイパスを迂回するルートの2ルートを設定した。また、通行止めには事前周知を徹底する必要があったため、工事着手前よりバス会社や津市消防局、交通管理者、周辺工場へ通行止めの説明を行い、通行止め実施の一週間前より通行止め予告看板や周辺の道路情報板、自治会回覧板、JATICの交通情報等により周知を図った。

周知徹底を心掛けたことで、夜間通行止め期間中は1件の苦情もなく、工事を施工することができた。



図-10 唐橋夜間通行止め状況写真

7. 交差点改良の効果検証

今回の工事に際し、右折レーン設置の効果を検証するため、工事の前後で渋滞長調査を行った。調査日は事前調査を2021年（令和3年）10月5日、事後調査を2022年（令和4年）6月16日（早朝のみ）、2022年（令和4年）9月13日（夕方のみ）に実施し、調査時間帯は朝7時から9時と夕方17時から19時で実施した。

調査結果は、事前調査時には東詰交差点を起点として西詰交差点を超えた橋上225m以上の渋滞が発生していたが、整備後の調査では最大でも150mと、西詰交差点を超える渋滞は確認されなかった。そのため、今回の右折レーンを整備したことによって、唐橋東詰交差点を起点とする渋滞の影響による西詰交差点への影響がなくなり、国道422号の北向き車線、石山停車場線の西向き車線の渋滞緩和が確認された。

一方、国道422号の南向車線については、事前調査で735m、事後調査で750mと渋滞長に変化が見られなかった。これは、西詰交差点における歩行者・自転車の横断による左折抵抗が原因の一部として考えられる。

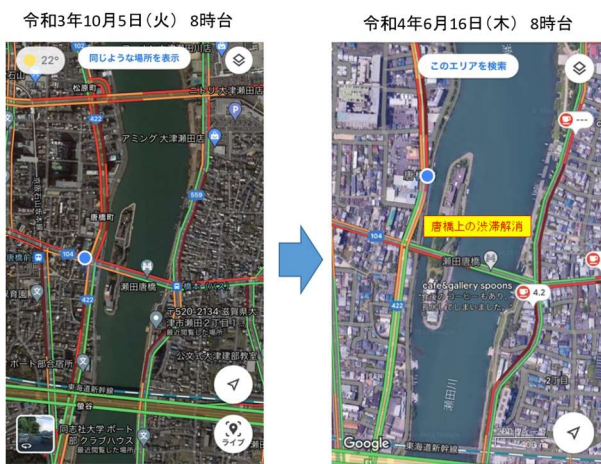


図-11 渋滞長調査実施日におけるGoogleマップの混雑状況表示の比較

8. 唐橋を工事する際の今後の注意点

今回の工事では、高欄及び擬宝珠を一部新造する必要があり、歴史的な橋梁としての側面からも様々な配慮が必要であった。

(1) 擬宝珠

唐橋の擬宝珠は、大正時代の旧唐橋から引き継いで設置されているもの、昭和54年の架設時に設置されているもの、平成23年の塗り替え時に取り換えられたものが混在している。今回の右折レーン設置工事では、高欄に折れ点新たにできるため、その折れ点に擬宝珠を新造する計画としていた。唐橋の擬宝珠は特注一点生産となるため、架橋当時の図面や直近の平成23年の工事資料を参考に当時の製作者を特定した。しかし、すでに廃業されており、新たに擬宝珠を製作できる業者を探し出すのに大変苦労した。本工事では、何とか製作者を見つけることができたが、擬宝珠の新造には当時の型も残っておらず、既存の擬宝珠を一旦取り外して型を取った上で製造を行うなど手間がかかることになった。今後は後継者不足などの影響もあり、こういった特殊な飾り部材の入手はさらに困難になっていくのではないかと考えられる。

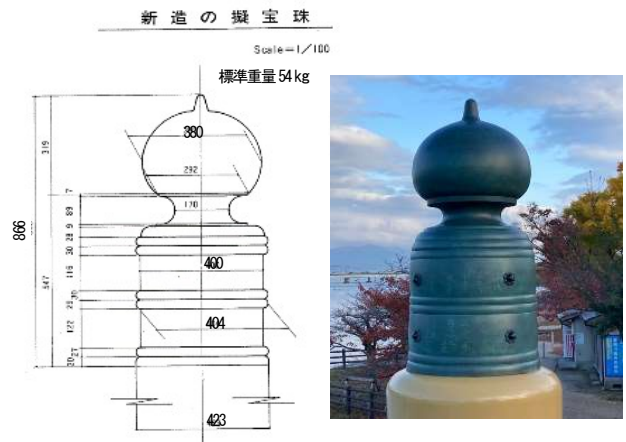


図-12 S54年架設当時の擬宝珠の図面と新造した擬宝珠

(2) 高欄

今回の工事では、右折レーン設置に伴い高欄も継ぎ足して延長させる必要があった。唐橋の高欄も、他の橋梁とは形が異なり、特注にて制作する必要があったため、当時の図面や板厚測定を行った上で、県内の鉄工所にて製作を行った。

また、高欄の色については2011年度（平成23年度）に瀬田唐橋景観検討委員会で「唐茶色」の塗装色と決められていたため、指定のマンセル番号に基づき塗装を行った。しかし、塗装直後においては従前の塗装部

分との境目が目立たなかったが、時間が経過するにつれて明確な色の差が確認された。この差は、既塗装部分の色褪せや新しい塗装との艶の差であったり、特注色のために色の調合にも微妙な差が生じてしまうことが原因であり、完全に新旧の色を一致させることは困難であった。今回の施工においては、既設塗装色に合わせ塗料を調合し、3種類の色サンプルを地元と確認の上、調合を決定し、部材の端部まで同一塗装とすることで、新旧の塗装の境目を目立たなくさせることで対応を図った。



図-13 高欄の新旧の塗装の色の差

9. 今回の工事を振り返って

主要渋滞箇所の唐橋東詰交差点では2006年度（平成18年度）の南北方向の右折レーン設置，2021年度（令和3年度）の東向き右折レーン設置により，一定渋滞の緩和の効果が得られた。しかしながら，今回東向き右折レーンができたことにより，西向きに進んできた車両が右折する際に，東向きの直進車が途切れにくくなり，逆に右折しづらくなったことや，その右折待ち車両の横を

直進車がすり抜けていくことで，路肩を走行する自転車が危険を感じるといったことなど，新たな課題が生じている。そのため，将来的に残る西向き右折レーン設置についても，交通量の推移や周辺の道路整備状況，地元の熟度などを勘案しながら，事業化していくことが望まれる。



図-14 唐橋東詰交差点完成供用後の状況（令和4年4月）

謝辞：今回、滋賀県で最も歴史ある瀬田唐橋の事業を担当させていただくという非常に貴重な経験をさせていただきました。本工事の遂行にあたり、これまでご尽力いただきました関係者の皆様、ご協力をいただきました関係機関の皆様、地元住民の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 「瀬田唐橋の短期および中長期の整備方針」瀬田唐橋景観検討委員会（2011年（平成23年）2月1日）
- 2) 虎ノ門コンサルタント株式会社：2016年度第905-01号大津能登川長浜線単独道路改築設計業務委託
- 3) 山本祐親：瀬田唐橋の架替記録
- 4) 滋賀県：瀬田唐橋，擬宝珠の概要

赤外線ドローンによる法面点検の検討について

濱口 貴仁・橋本 康平

滋賀県建設技術センター 技術課

モルタル吹付工法は施工性が良く、凹凸のある法面でも施工が可能であるが、施工後何十年も経過したものも存在する。モルタル吹付背面の空洞化が進んでいても、目視点検のみでは確認できないことが課題となっている。また、橋梁やトンネル等と異なり定期点検が義務化されていないため、定期点検が実施されていない傾向にある。本報告は赤外線ドローンによる法面点検により誰もが手軽に撮影でき、空洞箇所を発見できることを目指して、点検手法を検証することを目的とする。

キーワード 赤外線ドローン, 法面点検, サーモグラフィ, 2時刻調査

1.はじめに

モルタル吹付工法は施工性が良く、凹凸のある法面でも施工が可能であることから、法面保護工として多用されている。しかし、施工後何十年も経過したものも存在する。モルタル吹付背面の空洞化が進んでいても、目視点検のみでは確認できないことが課題となっている。また、橋梁のように道路法施行規則第4条の5の6の規定に基づいた定期点検が定められているわけではないため、定期点検が実施されていない傾向がみられる。実際に数か所の土木事務所にヒアリングしても、平成8年度に実施された道路防災総点検により抽出された災害危険箇所を中心に年に1回程度の経過観察に留まっている。このようなモルタル吹付法面は、背面の空洞化の進行による法面崩壊のリスクを抱えている。

「平成29年8月 道路土工構造物点検要領 国土交通省 道路局」によるとモルタル吹付法面は近接目視による点検を基本としており、打音検査を行うこととなっているが、点検技術者の不足、作業の手間および点検費用の圧迫などから、打音検査による空洞部調査については、定期的には実施できていない。

当センターではこの現状を脱却するため、赤外線ドローンを用いた点検の可能性について、検討を行うこととした。特長としては機動性が高く手軽に調査可能なドローンと赤外線による法面調査を掛け合わせたものとなる。

しかし、赤外線カメラを用いた法面点検の知見は少なく、試行の結果、特に温度・時間・角度・距離・風など様々な要因に左右されるため、少しでも条件が異なるだけで結果が変わることが少なくなかった。そのため、異常部の検出精度を高めることを目的に、赤外線ドローンで撮影する際に最適な条件および方法を見出す必要があ

ると考え、立命館大学総合科学技術研究機構と共同研究を行うこととした。本報告は赤外線ドローンによる法面点検の試行および共同研究を踏まえた今後展望について報告するものである。

2.赤外線映像法による調査方法

赤外線カメラは物体から放射される赤外線エネルギーをレンズで補足し、デジタル処理することによって、温度を可視化することができる。可視化された赤外線画像は赤外線サーモグラフィと呼ばれ、このサーモグラフィを使用して太陽光パネルや建物の外壁パネルの損傷部調査などが行われており、土木分野ではコンクリート構造物の浮きや法面調査に活用されている。

3. 機器の選定方法

赤外線カメラの撮影方法として、固定式のカメラとドローン搭載式のカメラの2種類が存在した。固定式のメリットとしては、手振れが極めて少ないため、安定した写真が撮影できる。デメリットとしては、カメラを設置できる場所を確保しなければならないことや、撮影した場所の位置や角度等を記録しておく必要がある。また、ロケーションによっては近くから撮影することができないため、高額な望遠赤外線カメラが必要となる。

逆にドローン搭載式のメリットとしては、場所の制限を受けにくく、電線や樹木、車道との離隔等が確保出来ていれば、人が入っていけないような崖や河川等でも撮影が可能である。さらに自動飛行プログラムの作成により常に同じ位置、角度から複数個所の撮影することができるため、撮影時間を短縮することができる。逆にデメリットとしては、強風時は撮影できないことや夜間は安

全装置が働かないため、撮影できない。

また、固定式の赤外線カメラによる法面点検支援は進められているが、赤外線ドローンによる法面点検支援の事例はまだ少ない状況である。

表-1 固定式・ドローン搭載式赤外線カメラのメリット・デメリット

赤外線カメラ	固定式	ドローン搭載式
メリット	・手振れしにくい	・撮影箇所の制限が少ない ・複数個所の撮影時でも容易
デメリット	・撮影箇所が制限される ・複数個所の撮影時は時間がかかる ・望遠レンズが高額	・強風、夜間撮影に弱い

上記のような特徴を踏まえ、手軽で撮影箇所の制限が少ないドローン搭載式での撮影の方が法面の点検に向いていると考え、ドローン搭載式での赤外線での点検について検討を行うこととした。

導入時点で赤外線ドローンは2種類が流通していた。

「Mavic2 Enterprise Advanced」と「Matrice 300 RTK + Zenmuse H20T」である。どちらもDJI社製であるが、Mavic2 (図1) はドローンと可視・赤外線カメラが一体型となっており、機体の大きさは322×242×84mmとコンパクトであり、かつ赤外線の精度も条件を満たし、安価であったことからこの機体を採用した。

表-2 赤外線ドローン2機のメリット・デメリット

	Mavic2 Enterprise Advanced	Matrice 300 RTK + Zenmuse H20T
メリット	・コンパクト ・安価	・比較的強風に強い ・カメラの交換が可能
デメリット	・風の影響を受けやすい	・赤外線カメラが外付け ・機体が多い ・高額

可視カメラ 赤外線カメラ

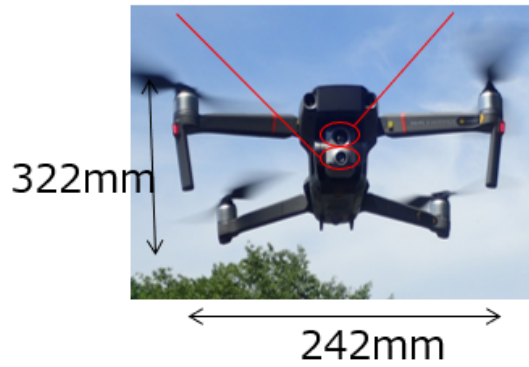


図1 Mavic 2 Enterprise Advanced (赤外線ドローン)

5. 赤外線の吹付法面への適用

モルタル吹付法面における調査は「熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル (建設省 土木研究所)」において、赤外線映像法による法面調査方法が提案されており、以下に内容を示す。

吹付のり面は、図2-1のように、高温時は太陽の日射により、モルタルの表面が温められ、土砂部に伝達していく。しかし、モルタルと土砂部との間に空洞が存在すると空洞内の空気層による断熱効果により、土砂部に伝達されず、モルタル表面で熱が蓄えられることになる。このため、モルタルの背後に空洞が存在する場合は、日射による地山への熱伝達が空気層により妨げられ、健全部と比較してモルタル表面の温度が高くなる現象が生じる。

逆に低温時は図2-2のように、土砂部から伝達した熱が放射されて徐々に冷やされるが、モルタル背後に空洞が存在すると空気層による断熱効果により熱伝達が妨げられるため、モルタル表面が冷やされる。このため、モルタルの背後に空洞が存在する場合は、健全部と比較してモルタル表面のみが低くなる現象が生じる。

この現象を利用して、図3のように吹付法面の表面温度が大きくなるAM11時またはPM1時前後と表面温度が小さくなるAM3時前後の2時刻で撮影し、その温度差分から差分温度の高い部分が異常部の可能性があるかと判断する手法となる。

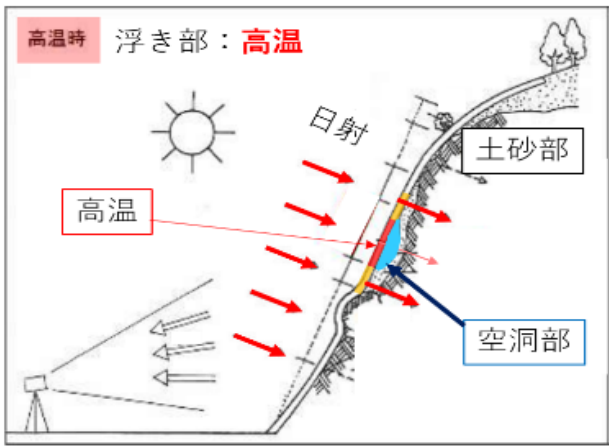


図2-1 吹付法面の熱移動模式図 (昼間) ¹⁾

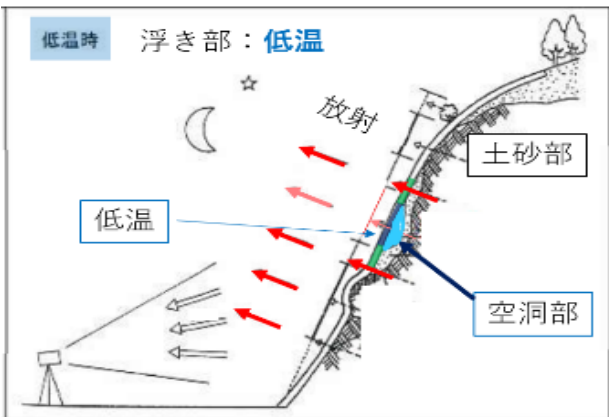


図2-2吹付法面の熱移動模式図 (夜間) ¹⁾

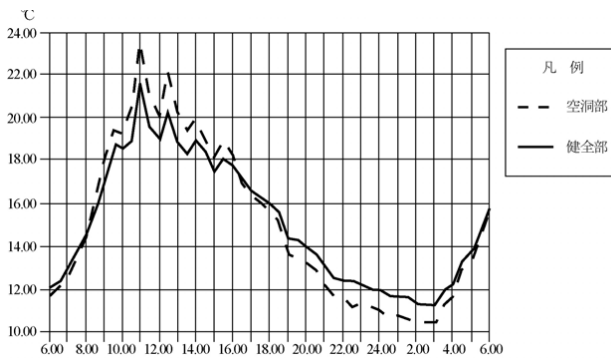


図3 吹付法面における表面温度の日変化 ¹⁾

4. 法面点検の試行

(1) 場所の選定

東近江土木事務所に協力していただき、モルタル吹付法面が数多くある国道421号(東近江市永源寺)の永源寺付近の新清水谷橋から大滝橋までの法面から選定することとした。当該路線の中で日当たりが良く、視界が広く確保されている法面を選定した。図4に示す法面は、上記の条件を満たし、永源寺ダムの管理事務所駐車場から離陸ができ、撮影時は車道から離れてダム湖上からの撮影ができるため、この法面で調査することとした。

実際に撮影した画像が図4である。左側の画像が可視画像で、右側が赤外線サーモグラフィ画像である。

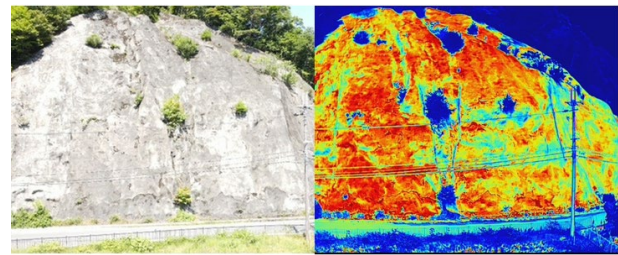


図4 モルタル吹付法面撮影 (左:可視, 右:赤外線)

(2) 撮影手法の検討

旧建設省土木研究所の文献(図5)では、2時刻(日照の少ない朝方と日照が最大となる昼間の2回撮影)の撮影時間は最も温度が上昇するAM11時またはPM1時頃と最も温度が低下するAM3時頃が好ましいと記載されていたが、ドローンの特性上、夜間飛行ができないため、飛行可能な午前9時から午後6時までを撮影時間とした。

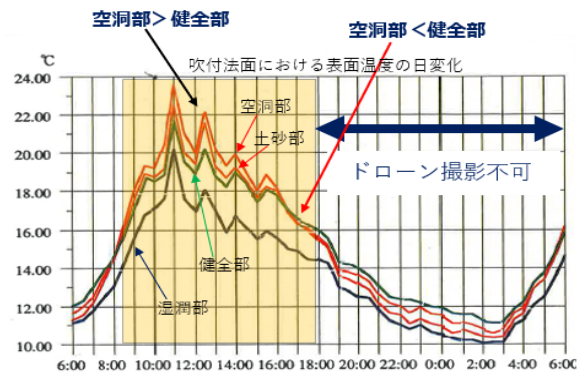


図5 吹付のり面における表面温度の日変化 ¹⁾

また、モルタル吹き付け法面の点検は2時刻での撮影が必要となることから、何度撮影しても同じ距離の同じ角度から撮影できるよう自動飛行のプログラムを作成することとした。Mavic2では予めコントローラーに内蔵されているDJIのアプリを用いて飛行プログラムを作成した。飛行プログラムの作成方法は2通りある。1つ目は、コントローラーに表示されている地図に飛行ルートをクリックしていき、その地点の高度、ジンバルの向きおよび撮影等を設定していく方法である。2つ目は実際に飛行

させたルートや撮影位置を保存する方法である。今回は背面がダム湖であり、現地でないと距離感がわからないことや支障となる電線等あったことから、後者の実際に飛行させたルートを保存してプログラムを作成した。



図6 自動飛行プログラム

(3) 試行結果

8月8日13時と8月2日の18時に撮影した赤外線画像である。同日の撮影結果ではないが、他の文献でもよく似た気温の別日に撮影したものを採用している事例があったため、この結果を採用した。撮影した赤外線画像をDJI Thermal Analysis Tool3を用いて、温度解析したものである。図7に記載されている温度は四角で囲った範囲の平均温度を表している。法面を頂部、中腹部、下部の3つの範囲でグループ分けした際に、2時刻での温度差を比較すると頂部で最も顕著な結果となっており、約11℃の温度差が生じた結果となった。この結果から、頂部で空洞化の可能性が考えられる。ただし、打音検査等による実際の空洞確認ができていないため、どこまで精度が良いか確認できていないため、精度については今後検証していく必要がある。

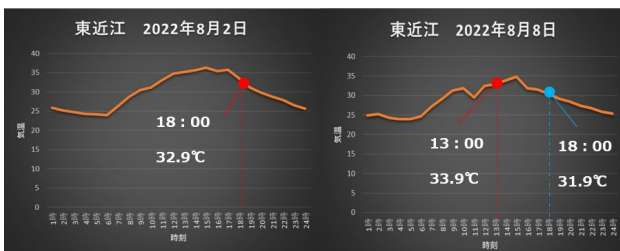


図7-1 8月2日と8月8日の外気温

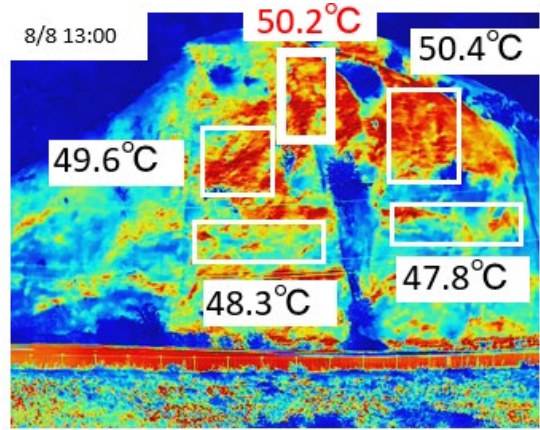


図7-2 赤外線画像の解析結果(8/8 13:00)

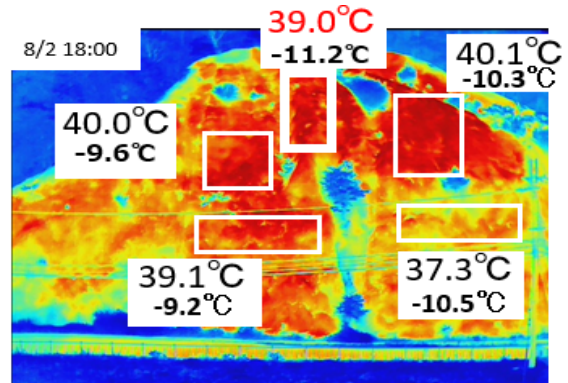


図7-3 赤外線画像の解析結果(8/2 18:00)

温度変化概略図

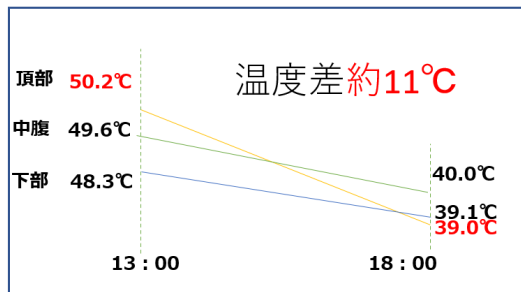


図7-4 表面温度の変化

また、図7-5のように同じ日に撮影しても違う位置から同じ部分を撮影しても温度が異なる結果となった。これは法面が円弧を描いており、法面に対して正面から撮影できていないことと撮影距離が異なるため、温度が分散したことが原因と考えられる。

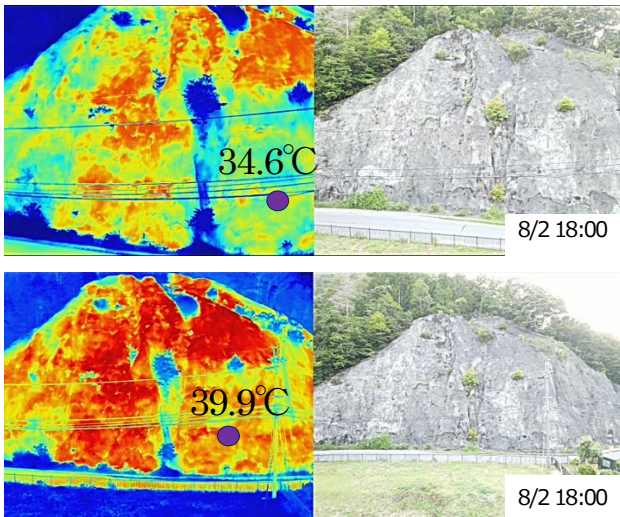


図7-5 撮影角度の差による表面温度の変化

図7の法面以外にも違う法面で数か所の撮影を実施した。しかし、影部にあったため、想定したような温度差が検出されなかったり、背面に樹木があり角度のついた位置からでないと撮影できず、正確な温度検出ができなかった。

5. 立命館大学と共同実験

試行結果を踏まえて、赤外線ドローンの撮影による法面点検で、より良い成果を出すためにはより好ましい条件で撮影する必要がある。上記の法面点検の結果では精度について不明であり、さらに最適条件を探し出すための実験のノウハウを持っていなかったため、立命館大学総合科学技術研究機構に相談し、共同研究を行うこととした。

試行による状況からどのような実験が必要で、背面が空洞化したモルタル吹付法面をどのように再現するか、また、2時刻調査する上で、気温、時間、角度、距離など様々な条件をどのように設定するかなど、度重なる協議の結果、下記のような実験を行うこととした。

図8-1のように厚さの異なる(厚さ20,70mm)50cm×50cmのモルタル板を用意した。背面には空洞を見立てた発泡スチロールの周りを土砂で箱詰めした装置と空洞がない装置を用意し、架台に乗せて条件を変えながら撮影を行った。条件としては、図8-2のように撮影距離を1m, 2m, 5mとし、法面法線からのずれを0°, 30°, 45°, 60°とし、時間帯を13時と17時として調査を行った。この実験によりどれぐらい温度差が生じた場合に異常とするか、どこまでの範囲が許容な条件となるか等について調べることを目的とした。

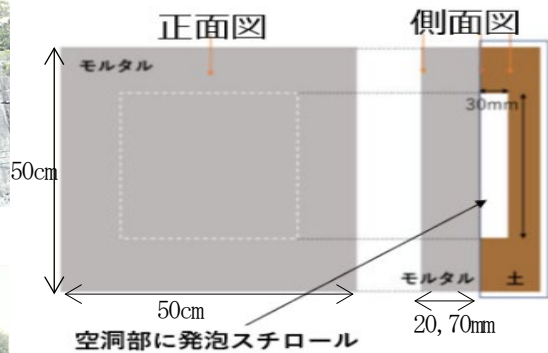


図8-1 実験モデル

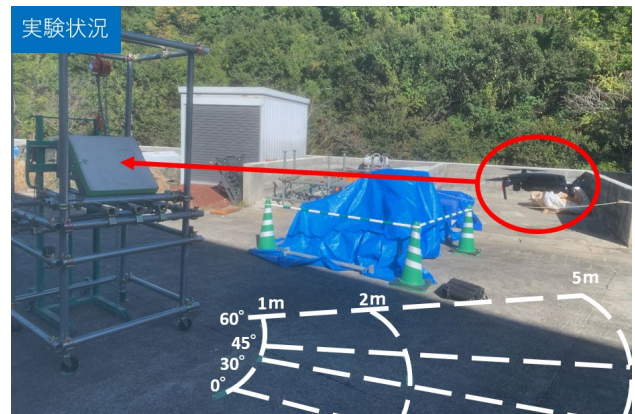


図8-2 実験風景

図9-1は13時の距離2m, 角度0°, 厚さ70mm, 空洞部あり, 図9-2は空洞部なしで撮影した結果である。図9-1の空洞部ありは中心部の方が温度が高くなっており、端部は中心部より温度が低くなっている。空洞部は温度が高温になりやすいという、「熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル」での既往報告と同様の傾向を確認することができた。しかし、温度差が出ないはずの図9-2の空洞無しにおしても、同じ傾向が見られた。よって、外気温により端部が冷やされ、温度が下がった可能性も考えられる。この結果を踏まえて今後は、端部から温度が低下しないような工夫を検討することや端部の結果は棄却し、中心部のみの結果を採用するなど、どのように実験を進めていくか検討が必要となる。また、固定式赤外線カメラと比較して、様々な角度から撮影できるが、同じ箇所でも撮影方向によって温度が異なるため、棄却の判断が難しいといった課題も出てきたことから、大学と議論を重ねて精度を高めていく。

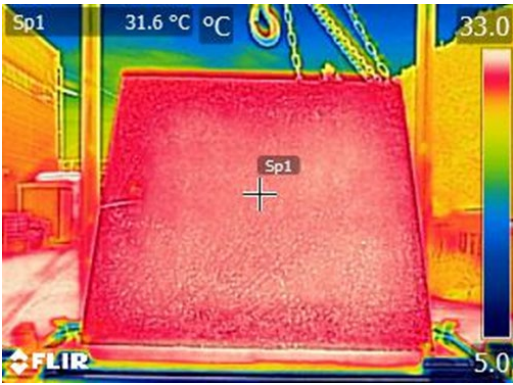


図9-1 実験結果 空洞部あり 厚さ70mm

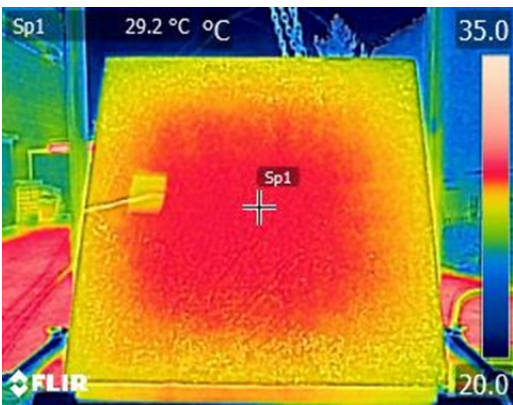


図9-2 実験結果 空洞部なし 厚さ70mm

6. 今後の展望

立命館大学総合科学技術研究機構との共同研究の結果から最適な時間、角度、距離、季節等の条件を見つけ出し、撮影マニュアルの策定を行う。そのためには、空洞箇所が確認済みの場所で調査を行うことで、どこまで正しい精度で撮影結果が表示されているかを検証していく必要がある。実験と検証を繰り返しながら徐々に精度を高めていき、赤外線ドローンによる点検手法の確立を目指していきたい。

また、赤外線ドローンによる点検手法が確立された場合の位置づけとしては、劣化が進行していると判断された箇所や災害によるモルタルの剥落等が発生した箇所において異常箇所の範囲を特定し、打音検査などの詳細調査を実施するためのスクリーニングに活用していきたい。

そして、今後、特定道路土工構造物の点検が実施されるようになった場合でも、特定道路土工構造物以外の法面（おおむね15m未満）は直営点検となる可能性もあるため、その場合に活用できると考えており、早期の実用化に向けて撮影時の最適条件や精度の向上を検証していく。

7. 参考文献

- 1) 熱赤外線映像法による吹付のり面老朽化診断マニュアル 平成8年1月建設省土木研究所

防草LCCを考慮した道路整備について ～国道175号東勅使を事例に～

松村 宏昭¹

¹兵庫県道路公社 保全課 (〒650-0011兵庫県神戸市中央区下山手通4丁目18番2号)

道路の維持管理における除草は、道路交通の安全や景観の観点から重要であり、地域住民や道路利用者からの要望も多いが、対象面積が広く膨大なコストを必要とする。さらに、地元ボランティア対応も高齢化により継続が困難になっている。そのため、今後の道路整備においては、設計段階からLCCを考慮しながら、持続的な維持管理が可能となる施設整備が求められている。本論文は、(国)175号東勅使の道路拡幅事業を例に、道路法面の防草対策についてLCCを踏まえた比較検討を行い、その結果から得られた課題や考察を踏まえ、今後の展開を述べるものである。

キーワード 除草、LCC、道路法面

1. はじめに

道路の維持管理における除草は、道路交通の安全や景観の確保の観点から重要であり、地域住民や道路利用者からの要望も多いが、対象面積も広く膨大なコストを必要とする。

兵庫県では、2022年度から日常的な維持修繕を充実させるための県単費が増額され、除草対応の充実化が開始されたものの、兵庫県の行政改革に伴う維持管理費の削減により、除草範囲は必要最低限に抑えられており、ニーズに十分対応出来ていないのが現状である。

このような状況を踏まえて、今後の道路整備においては設計段階から除草費用を含めたLCCを考慮し、持続的な維持管理が可能となる施設整備を行うことが求められている。

本論文では、(国)175号東勅使の道路拡幅事業における道路法面の防草対策についてLCCの低減を目標とした比較検討を行い、その結果から得られた課題や考察を踏まえつつ、今後の展開を述べる。

2. 対象事業の概要

兵庫県丹波市市島町東勅使地内における(国)175号の道路拡幅事業は、全長1,650mの幅員狭小区間を、幅員1.5mの両側幅広路肩を有する、全幅11.0mの2車線道路に現道拡幅する事業である。この区間は一級河川竹田川



図-1 事業箇所位置図

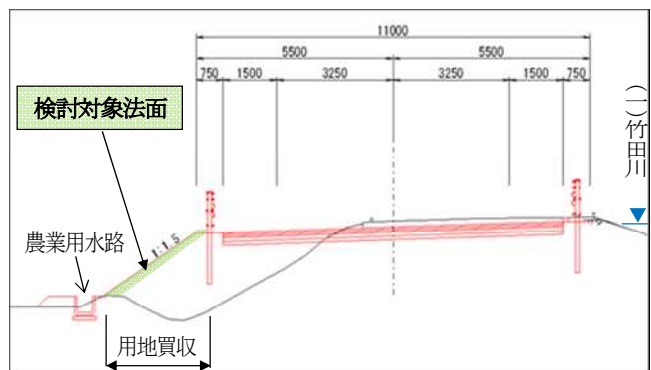


図-2 標準断面図

の堤防道路であり、堤内地側に貼り付け盛土を行うことにより拡幅する。一部区間を除いて堤内地側は田畑が広がっており、農業用水路が道路に並走している。

3. 防草対策の検討

(1) 防草対策の必要性

地元住民への事業説明段階で、農業用水路管理者から道路法面の除草を求められた。道路法面法尻部の除草は、田畑・水路部分と合せて雑草が水路管理に支障とならないよう、これまで農業用水路管理者がボランティアで行ってきたが、近年高齢化や農業従事者の減少により負担の大きい道路法面の除草に対応が困難となってきたためである。

道路区域内の除草は、本来道路管理者で行うべきものである。しかし現在の道路管理では、限られた予算の制約を踏まえ、視距確保に必要な最小限の範囲（幅70cm）とされ、法尻等の継続的な除草を行うことは困難である。そのため、整備を含めた初期費用や将来の維持費等が経済的であり、防草効果の高い対策を検討する必要がある。

(2) 対策工法の概要

道路整備時に行う防草対策として、法面被覆と擁壁の2種類に分類し以下の工法を検討した。

a) 法面被覆による防草対策の検討

除草を行わなかった場合に、雑草が水路管理に支障を与える範囲を法尻から1.0mまでとし、これを被覆して防

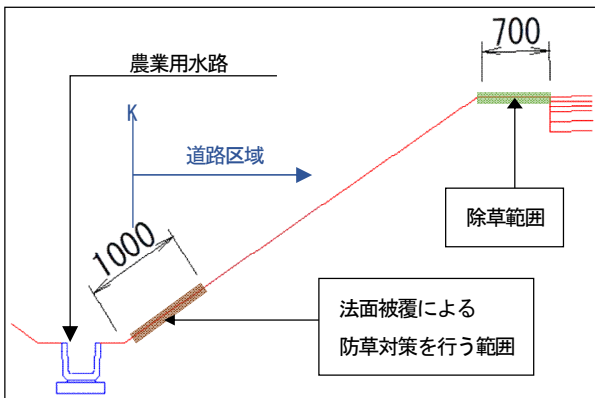


図3 事業区間の除草範囲、法面被覆範囲

草対策を行う工法について検討する。

① 自然土舗装材

本工法は、良質の自然土に固化材を配合したプレミックス材を敷均し、散水硬化させて厚さ4cmの舗装を形成する工法である。景観性、保水性を有し、遊歩道・園路に利用されることが多い。

② 防草シート

防草シート工は太陽光を遮断し、植物の光合成を抑えることで雑草の成長を抑制する工法である。

③ 法面保護シート（コンクリート系）

コンクリート系の法面保護シート工は、あらかじめ特殊セメントを内部に封入した布材に表面から水を散布・浸透させることで内包するセメントを水で満ちし水和・硬化させて、薄層の高強度・高耐久ライニング層を形成する工法である。

④ 法面保護シート（アスファルト系）

アスファルト系の法面保護シート工は、特殊不織布の上下を改質アスファルトで挟み表面に砂状層を配置した保護シートを布設し、その遮水・遮光性能により防草を図るものである。

⑤ 張ブロック

張コンクリートより耐久性がある法面被覆工として、二次製品である張ブロック工法を検討した。防草効果があれば良いため、裏込め材、天端コンクリートを省き、基礎コンクリートを均しコンクリートとした。

⑥ モルタル吹付

コンクリート系の法面保護工の一種で、モルタルで崖面や法面を覆う工法であり、施工実績が多い。吹付厚さは法面の状況や気象条件によって決められるが、今回は8cmとした。

⑦ 張コンクリート

一般的な厚さ10cmの防草コンクリートであるが、ひび割れ抑制効果を図るため、溶接金網を敷くことにした。兵庫県丹波市内では法肩部に張りコンクリートを実施した実績がある。



①自然土舗装材¹⁾



②防草シート



③法面保護シート(コンクリート系)²⁾



④法面保護シート(アスファルト系)³⁾



⑤張ブロック



⑥モルタル吹付



⑦張コンクリート

図4 法面被覆による防草対策例

b) 擁壁による防草対策の検討（重力式擁壁、ブロック積擁壁）

擁壁による防草対策は、比較的厚みのある構造物であるため、施工面を無雑草状態に保つことができる。また、道路法面の幅を減らすことで用地費用削減が図られることから、道路整備段階に行う防草対策として比較対象とした。今回の検討では、コンクリート量を低減するため、直接輪荷重のかからない位置に擁壁を設置した。

重力式擁壁においては、背面盛土高さとの関係から標準の小型擁壁が適用できないため、安定計算を行って擁壁形状を決定した。



重力式擁壁



ブロック積擁壁

図5 擁壁による防草対策例

4. LCC比較

(1) LCCの構成と算定方法

LCCの算定にあたっては、施設整備の初期費用に加えて、維持管理費用も算定することが必要である。今回の比較検討においては、LCCを「用地費」「整備費」「維持管理費」の3要素で構成した。

これらの要素でLCCを算定し、最も経済的な工法を選定する。LCC算定期間は100年間、盛土施工延長はL=1,100mである。

a) 用地費

拡幅盛土により生じる用地買収に必要な費用であり、最も法面の張出しが少ないブロック積を基準にして、張出し分を用地取得面積とした。用地単価は近隣道路事業の買収単価から16,200円/m²で算出した。（図-6参照）

b) 整備費

整備費は、道路拡幅工事における対象法面部分の工事費であり、その内訳は表-1の通りである。施工単価は積算基準やメーカー見積りを用い、経費率を1.8として工事価格を算出した。

表-1 整備費の内訳

工法	整備費の内容
対策なし	盛土工、法面整形工、種子散布工
自然土舗装材	盛土工、法面整形工、自然土舗装工
防草シート	盛土工、法面整形工、防草シート工
法面保護シート(CN)	盛土工、法面整形工、法面保護シート工
法面保護シート(AS)	盛土工、法面整形工、法面保護シート工
張ブロック	盛土工、法面整形工、張ブロック工
モルタル吹付	盛土工、法面整形工、モルタル吹付工
張コンクリート	盛土工、法面整形工、張コンクリート工
重力式擁壁	作業土工、重力式擁壁工
ブロック積	作業土工、ブロック積工(基礎～天端コン)

c) 維持管理費

本事業では防草対策を実施しなければ、法尻部の除草作業を行わざるを得ない。よって、防草対策を行わない場合には、毎年1回除草を行うこととし、計100回分の除草にかかるコストを計上した。除草単価(作業費と処分費)は、過去2年分の兵庫県丹波市春日町、市島町での除草工事の実績の平均値を用い、経費率2.35として工事価格を算出した。

また、防草対策を行う場合は老朽化に伴い発生する費用として更新工事費を計上した。更新サイクルは耐用年数とした。表-2に各工法の耐用年数を示す。

表-2 各工法の耐用年数

工法	耐用年数	根拠
自然土舗装材	10年	メーカーから聞き取り
防草シート	5年	
法面保護シート(CN)	50年	
法面保護シート(AS)	20年	
張ブロック モルタル吹付 張コンクリート 重力式擁壁 ブロック積	100年	・コンクリートの寿命(100年程度) ・一度施工すれば、必要な防草機能は半永久的に確保可能

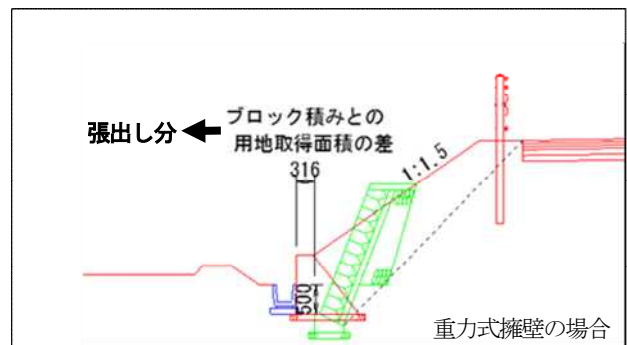
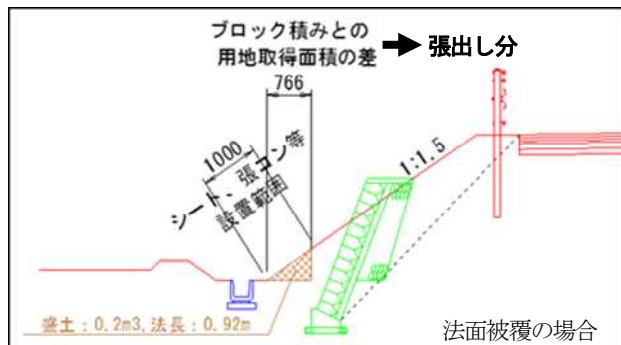


図-6 施工数量及び用地取得面積の考え方

更新工事費は整備費から土工費を除いた防草対策工事費（経費率1.8とした工事価格）を算出した。

コンクリート構造物系の防草対策は耐用年数100年とし、100年間維持管理費用を必要ないこととした。その理由については以下のとおりである。

- ・防草対策は道路構造に影響がない施設であり、あえて定期的に更新（打ち替え）する必要はない。
- ・対象区間の現場条件より完全に無雑草状態にする必要がなく、防草対策の損傷を許容できることから、クラック等の定期的な補修も必要ない。

(2) LCC算出結果と工法別コスト比較

防草対策を実施しない場合を含め、各工法のLCCを算出した結果を表-3に示す。張りブロック、モルタル吹付、張コンクリートの3工法は対策なしと比べて、LCCが51%~62%に低減できることが判明した。本事業では、LCC最小となる張コンクリートを防草対策として実施する予定である。

表-3 防草対策のLCC比較
(施工延長1,100m、算定期間100年) 単位:千円

工法	用地費 (買収面積)	整備費	維持管理費	LCC合計 (比率)
対策なし (種子散布)	13,721 (847m ²)	1,782	32,665	48,168 (1)
自然土 舗装材	13,721 (847m ²)	15,939	130,977	160,637 (3.33)
防草 シート	13,721 (847m ²)	4,356	56,430	74,507 (1.55)
保護シート (CON系)	13,721 (847m ²)	33,066	31,680	78,467 (1.63)
保護シート (AS系)	13,721 (847m ²)	11,286	39,600	64,607 (1.34)
重力式 擁壁	5,702 (352m ²)	64,548	0	70,250 (1.46)
ブロック積 擁壁	0 (0)	126,403	0	126,403 (2.62)
張ブロック	13,721 (847m ²)	13,721	0	27,442 (0.57)
モルタル 吹付	13,721 (847m ²)	16,196	0	29,917 (0.62)
張コンク リート	13,721 (847m ²)	10,910	0	24,631 (0.51)

5. 考察

(1) LCC算出結果からの考察

LCC比較により、張ブロック、モルタル吹付、張コンクリートの各工法は、従来の除草管理よりも経済的になり、防草対策採用の妥当性を確認できた。LCC比較をグラフ化したものを図-7に示す。

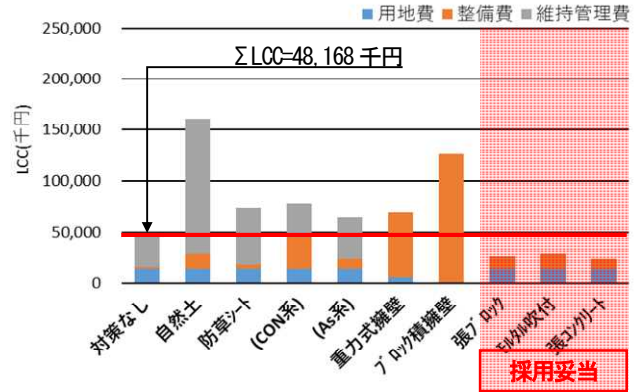


図-7 LCC比較

(2) 工法別のLCC比較

工法別のLCCを、「対策なし」と比較する。代表事例として防草シートと張コンクリートのLCCを示すと図-8のようになる。これより防草対策の耐用年数の長さ、つまり耐久性の高さがLCCの最小化につながる事が明らかである。

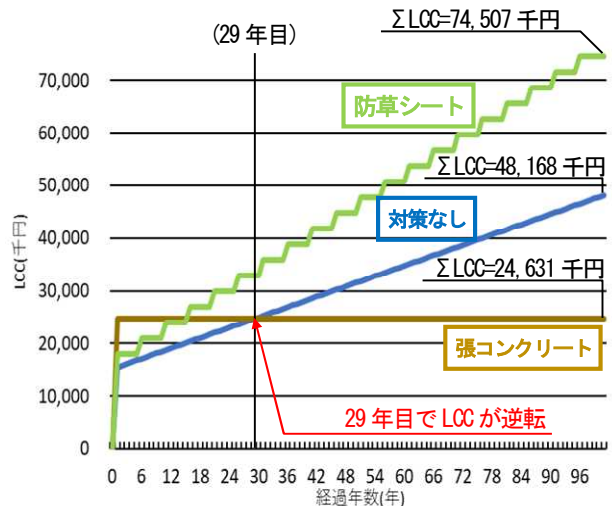


図-8 工法別のLCC比較

(3) 地域差を考慮したLCC比較

神戸・阪神地域では平均地価（住宅地）が丹波地域の約9倍である⁴⁾。LCCにこれを考慮した結果、図-9のようになる。図-7と比べてわかるように、擁壁による防草対

策が採用できるものとなり、重力式擁壁がLCC最小の工法となった。つまり、用地費の影響を受けることにより、地域によって防草対策の経済的効果に違いが出るのが判明した。

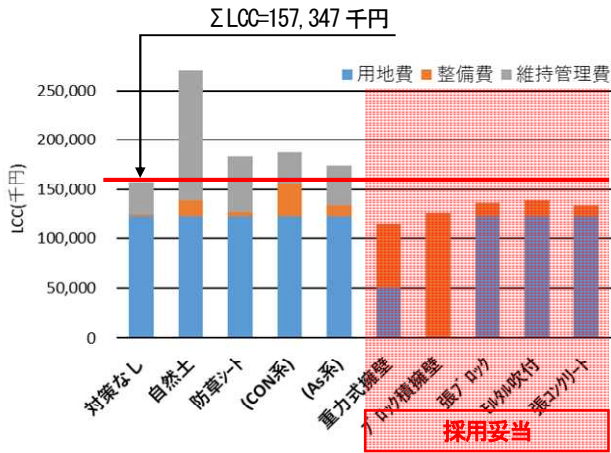


図-9 神戸地域の地価を考慮したLCC比較

を全体的に展開して、様々な現地条件で得られた知見をデータベース化し、最適な防草対策を選定できるようにすべきである。

(2) おわりに

今回の検討により、施設整備段階で防草対策を行うことは経済的に有効であることが明らかになった。特に擁壁構造による法面処理の効果が際立つように見える。しかし、道路盛土の土羽構造には、防草対策も含めた事業費の経済性や、交通需要の増加対応、被災時における車線確保の有効活用などの長所がある。擁壁構造にとらわれることなく、現場条件に合わせて適切に盛土法面の構造を選定することが重要である。

また、道路維持管理には、除草の他にも側溝清掃や植栽管理など多くの業務がある。これらの作業の効率化や、維持管理費削減に寄与する工夫を、道路整備段階に反映させておくことが重要であると考え。今後もこのような工夫を考えながら、日々業務に取り組み、道路整備に貢献していきたい。

6. 今後の展望

(1) フィールド試行の実施と展開

今回、防草対策の立案はできたが、現場条件への適合性を確認するために、フィールド試行にて防草効果や雑草抑制に必要な耐久性の検証を行う必要がある。また、今回検討を取りまとめている中で、鉄鋼スラグによる雑草抑制対策があることも把握した。法面被覆による防草対策だけでなく、鉄鋼スラグなど雑草抑制対策も含めて、幅広く試行を行うことが重要である。さらに、試行

参考文献

- 1) 株式会社ワイ・ビー・ケイ工業：ホームページ「スーパーガンコマサ」商品案内
- 2) 太陽工業株式会社：ホームページ「コンクリートキャンパス」製品案内
- 3) 太陽工業株式会社：ホームページ「高耐久アスファルト系目地防草シートAG400」製品案内
- 4) 兵庫県：令和3年度地価公示について記者発表資料

グーグルマップ機能を利用した管路施設のクラウド情報共有について

田中 仁士¹

¹ (公財) 兵庫県まちづくり技術センター 下水道管理課

(〒650-0023兵庫県神戸市栄町通6丁目1-21)

兵庫県加古川上流流域下水道には、日常職員が勤務する浄化センター以外に場外施設として、幹線管渠マンホールやゲート設備、雨天時点検箇所などの維持管理施設が約130箇所ある。これまで、これら場外施設の位置情報の確認には紙台帳から検索しており、また流域全体に対して対象物の位置がイメージしにくいなど、位置情報の把握に時間を要していた。この問題の改善策として、費用をかけずにグーグルマップ機能を利用し、維持管理の効率化を図れるようなツールの作成を行った。この取り組みについて報告する。

キーワード 情報共有, 維持管理

1. はじめに

加古川上流浄化センターでは、加古川上流流域下水道の関連市の神戸市、北播磨周辺5市（三木市、小野市、加西市、西脇市、加東市）の公共下水道から流入する汚水を処理している。（図-1）

管理施設としては、下水道処理施設、場外施設（ポンプ場、幹線管渠、幹線マンホール、ゲート施設、幹線流量局）の維持管理を行っている。（表-1、図-2、3、4）

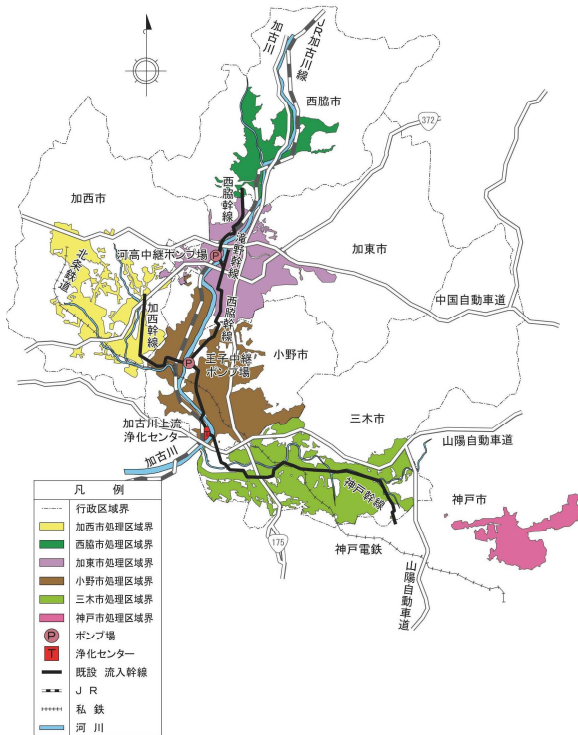


図-1 加古川上流流域下水道計画平面図

施設名	数量
流域幹線管渠	46,200m
幹線マンホール	103箇所
河川横断ゲート	11箇所
幹線流量局	7箇所
中継ポンプ場	2箇所

表-1 加古川上流流域下水道の場外施設数



図-2 幹線マンホール



図-3 河川横断ゲート



図-4 幹線流量局

2. 維持管理の課題

幹線管渠、ゲート設備等の各施設は、1990年度を最初に順次供用開始され、概ね30年経過している。近年は、施設の老朽化による不具合や突発事故が増加傾向である。

公道上の場外に設置されている幹線マンホール等の管路施設で事故が発生した場合、第3者被害につながる恐れもあるため、迅速な対応が求められる。

それらの位置情報などは紙台帳であることや、施設数が約130箇所と多く、点在する地下施設である。また紙台帳は道路、周辺建物等の情報が古くなっていることも、施設の位置の特定に時間を要する場合もある。

上記のことに関連して、現場、本部で迅速に確認ができなかったり、紙台帳の地図位置が断片的な情報のため、幹線管渠図全体に対して、どの辺りで事故が発生しているかイメージしにくい事もある。特に経験の浅い職員は、情報把握に時間を要することがある。

3. 課題解決について

課題解決の方法として、出先等でスマートフォン等で情報を把握する方法として、地図情報があるクラウドサービスの利用を考えた。

数あるクラウドサービスのうち、①広く無償で提供されているもの ②多くの職員が公私に関わらず普段から利用しているもの ③目指す施設のルート案内が可能な

もの ④スマートフォン等のモバイル端末で、使用場所が限定されずどこでも利用できるもの ⑤施設情報の掲載方法は、比較的簡単で登録作業が内製化可能なもの 上記の特徴があるクラウドサービスがあるものを選んだ。

4. グーグルマップの利用

先程①～⑤の条件を満足するサービスとして、グーグルマップを利用し、ユーザー独自のマップを作成することとした。

マップデータは、Googleアカウントドライブのクラウドサービスを通じてインターネット上のサーバーに保存でき、他のユーザーとオンラインで情報を共有することが可能である。

モバイル端末等で、グーグルマイマップを開けば、施設位置を確認することができる。その機能を利用することで、職員誰でも位置情報の把握が可能である。

当浄化センターで管理する全ての場外施設の位置情報を入力し、加古川上流流域下水道版の「マイマップ」を作成し、合わせて対象施設が把握しやすいように幹線マンホール等の施設写真も全て登録した。

5. 登録作業

既存の管路台帳図面から各施設の位置情報、写真情報を抽出して、「マイマップ」の登録作業を行った。

(図-5, 6, 7)

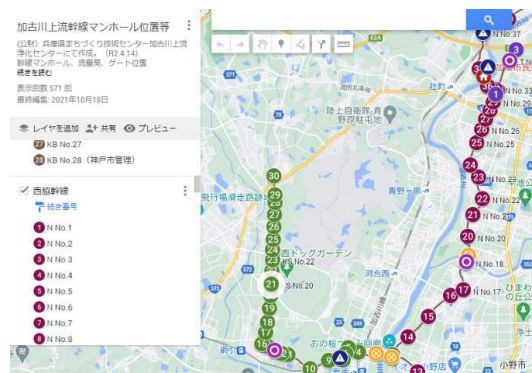


図-5 幹線マンホール位置情報

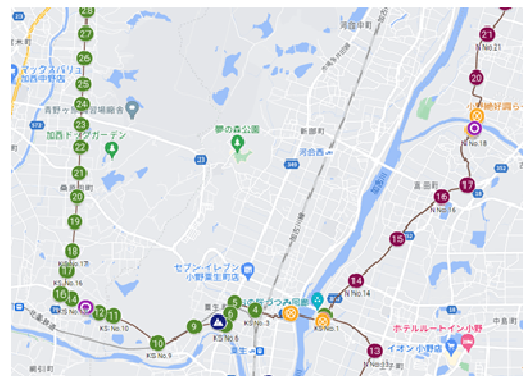


図-6 幹線管渠図



図-7 幹線マンホール写真情報

この登録作業は、業者に外注せずに職員自ら行うこととし、在宅勤務の期間を利用して、延べ3週間程度かかった。

この「マイマップ」機能上の最大登録点数は、1マップにつき10レイヤ、10000ピンまで登録可能であり、目的の場所が検索しやすいように、幹線種別、施設種別に分けてレイヤの設定、登録ピンの色別、アイコンの設定を行った。

紙ベースの管渠台帳、地図、写真で施設位置を確認しながら、クラウド上の「マイマップ」に登録ピンを落とし込んでいき、写真等の情報も合わせて登録した。

新たなマップの作成において、写真データにGPS情報も記録されていれば、紙ベースを見ながらの登録と比べ容易に作業が可能である。

道路上のマンホールを登録する際、目的物が高架下にある場合は、平面マップのため正しく表示できない。

登録方法は、「マイマップ」の作成方法が、インターネット等で広く公開されているので、説明書など少し読めば、誰でも簡単にそれぞれ目的に応じたオリジナルの「マップ」が作成できると感じた。

このように作業を内製化することで、今後、情報の追加・削除があった際にも、簡単に対応でき、メンテナンス費用の縮減も可能である。

6. 情報漏洩対策

「マイマップ」の地図情報の共有設定にて、URL、アドレスを非公開にしている。

地図情報を見るためには、使用者（閲覧者）側でGメールアドレスの取得が必要であり、また、管理者側で許可した関係者しか閲覧できないようにアクセス制限をかける等の情報漏洩対策を行っている。

7. 大雨時に確認を要するマンホール情報の追加

過去の台風や大雨時に、溢水の恐れがあるマンホール

は、防災マニュアルで「増水時の巡回確認箇所」として位置づけられている。

マップに増水時確認箇所の位置情報を登録し、(図-8)過去の台風時に発生した溢水した時の記録を反映する。平時から情報の意識付けを行うことで、防災意識を高められた。



図-8 大雨時の確認マンホール

8. 幹線マンホール点検情報の追加

マンホール、管渠の点検は、点検周期を定めて管渠、人孔内部等のTVカメラ点検や目視点検、地上部のマンホール蓋のがたつきなどの巡回点検を行っている。

マップに作業時の安全情報として、マンホール深さ、地盤高や点検時の注意事項などの情報などの情報も記載することで、作業時の安全確保を図れた。(図-9)



図-9 幹線マンホール点検情報

9. モバイル端末での確認状況

出先や巡回中の現場でも、モバイル端末で容易に位置情報の把握が可能になった。(図-10)

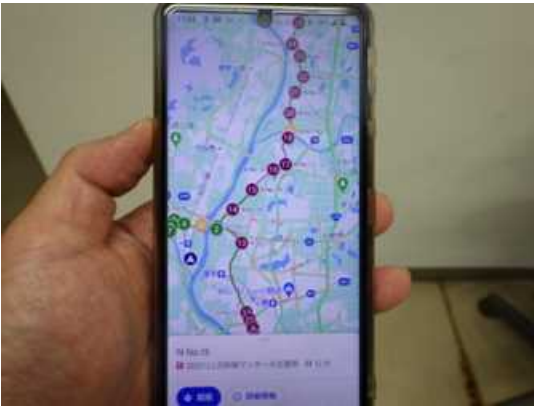


図-10 モバイル端末での確認状況

10. 効果

各場外施設の位置情報等がクラウド上のマップに登録されているので、地図更新も不要で、事務所、現場問わず、どこからでも容易に位置情報と施設までの経路の把握、目的地までの道案内（ナビゲーションとしての活用）が可能になった。また、航空写真やストリートビュー画像による施設及び施設周辺の土地利用情報も容易に把握できる。さらにストリートビューの過去の撮影時の画像からは、施設の状態変化の過程もわかる場合もある。加えて、これまで紙ベースで点在していた幹線管渠関係情報（大雨時の重点確認箇所等）を集約することで、維持管理情報の共有が図れた。

11. 今後の展開

今回の取り組みは、費用をかけずに自前で行える改善策として、設置数が多い場外施設の情報について、これまで紙ベース情報や点在している情報を集約したものである。これにより、緊急時等に職員が誰でも一元的かつ、容易に情報を把握ができるようになった。

今回は、試行的に加古川上流域下水道で行ったが、他の流域下水道にも水平展開したいと考える。

また、下水道施設に限らず、広域的に点在する管理施設が多い施設にも活用できると思われる。

謝辞：本論文の作成に当たり、資料提供、助言を与えてくださった方々に感謝の意を表します。

大阪国際空港北貨物地区における 舗装延命化工事について

涌本 真由

関西エアポート（株）基盤技術部 空港島保全グループ

〒549-8501大阪府泉佐野市泉州空港北1番地

大阪国際空港の北貨物地区は、長年の供用により全域に渡り舗装の損傷が見られ、路面の不陸解消が急務であった。一方で、24時間運用している貨物地区で長時間閉鎖しての抜本的な改修工事は困難であったことから、薄層オーバーレイ工法による既設舗装の延命化工事を実施した。工事発注にあたっては、同地区内で試験施工を行い、独自の要求性能を設定した。本施工においては、施工期間中に材料の改良を行う等試行錯誤を重ね、2022年9月に工事を完了した。なお、工事にあたっては24時間施設を利用する貨物事業者と施工計画について協議を重ね、綿密に調整を行った。本論文では、これら一連の取り組みについて報告する。

キーワード 延命化, 薄層オーバーレイ, 事業者調整

1. はじめに

大阪国際空港の北貨物地区は1969年にコンクリート舗装で施工され供用を開始した。長期供用にともない全域に渡りクラックや段差、舗装の剥がれ等の破損が見られていた（図-3、図-4）。舗装の破損状況から判断すると、当初のコンクリート舗装部分からの抜本的な舗装改修を実施することが望ましいが、北貨物地区の運用状況と舗装構造から困難であった。供用を開始して以降小規模な補修工事が繰り返され、抜本的な舗装改修は実施されていない。一方で、北貨物地区を利用する貨物事業者より舗装の不陸解消の要望が絶えず、実現可能な改修工法の検討を続けてきた。そのような状況下で、切削が不要であるため短時間での施工が可能であり、且つ薄層でも耐久性があるため隣接する施設との連続性を損なわず施工可能な加熱アスファルト系表面処理工法や薄層オーバーレイ工法を用いた舗装の延命化に着目した。採用にあたっては北貨物地区の厳しい使用条件下で可能な限り舗装の延命化を図るため試験施工を実施し、その結果に基づき独自の要求性能を設定した。施工においては、フォークリフト特有の使用形態による課題が発生し、材料の改良を行う等試行錯誤を重ね、2022年9月に工事を完了した。なお、工事にあたっては貨物事業者と詳細な施工計画について協議を重ね綿密に調整を行った。本論文では、これら一連の取り組みについて報告する。

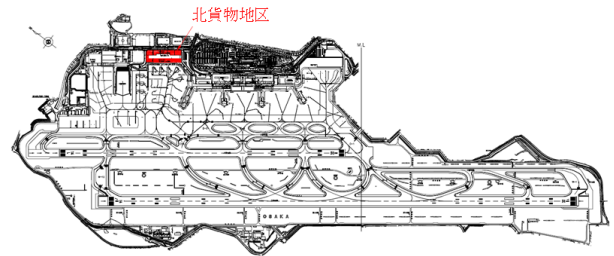


図-1 北貨物地区位置図

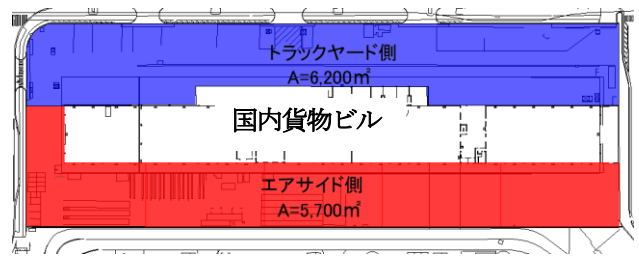
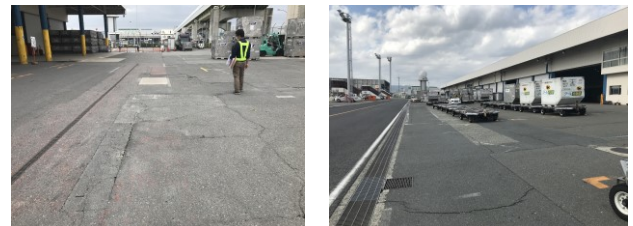


図-2 北貨物地区工事対象範囲図



(a) トラックヤード側 (b) エアサイド側

図-3 北貨物地区



(a) 亀甲クラック

(b) 段差



(c) アスファルト舗装の剥がれ

図4 舗装の破損状況

2. 北貨物地区の現場状況

北貨物地区の抜本的な舗装改修が困難である要因として、北貨物地区の運用状況と舗装構造があげられる。

(1) 北貨物地区の運用状況

北貨物地区は貨物上屋も含めて17,000m²の狭小な土地で大阪国際空港の全航空貨物を取り扱う地区である。多くの貨物事業者が入居し24時間運用しており、平日には、昼間帯で50台/hr程度、夜間帯でも10台/hr程度の貨物トラックが出入りしている。主な走行車両は貨物トラック、フォークリフト、ドーリーである。

(2) 北貨物地区の舗装構造

竣工時の舗装構造は、当時の完成図面から表層が厚さ10cmの無筋コンクリート舗装であることが確認できたが、路盤以下の構造は不明であった。供用開始後は1991年頃に全域をアスファルト舗装によりオーバーレイされており、この補修は当初のコンクリート舗装が長年の供用により損傷し不陸や段差等が発生したため実施されたものと推定されるが、経緯や構造等は不明である。また、竣工後配管の埋設工事が複数実施され、埋め戻しの際にアスファルト舗装が使用されている。北貨物地区の路面に発生している段差の多くは、この局所的な舗装構造の違いによる挙動の違いに起因するものが多いと考えられる。北貨物地区は施設を管理する管理会社が変遷した経緯もあり、施工履歴が引き継がれておらず、舗装構造及び埋設物の埋設深さや埋設位置、埋め戻し方法等を正確に把握することは困難であった。さらに、北貨物地区の舗装は貨物上屋及び駐機場と連続しており、舗装面高さにも制約があった。

3. 試験施工の実施と本施工要求性能の設定

前記の北貨物地区の現場状況により抜本的な舗装改修が困難であったため、加熱アスファルト系表面処理工法や薄層オーバーレイ工法に着目し、導入の検討を行った。

(1) 試験施工

同工法の北貨物地区の現場状況における性能を確認するため、2020年11月に北貨物地区で試験施工（A=79m²）及びその後のモニタリングを実施した。試験施工は、北貨物地区の中で比較的交通量が多く舗装状態の悪い箇所で行った。試験施工前に舗装状態を把握することを目的として実施した事前調査結果を表-1及び図-5に示す。ひび割れ幅は最大100mm、段差は最大20mmに達していた。ここではひび割れから進展した剥離もひび割れと分類している。

表-1 試験施工前事前調査結果

調査項目	ひび割れ度 (cm/m ²)	ひび割れ幅 (mm)	段差 (mm)
調査結果	600	100 (最大)	20 (最大)

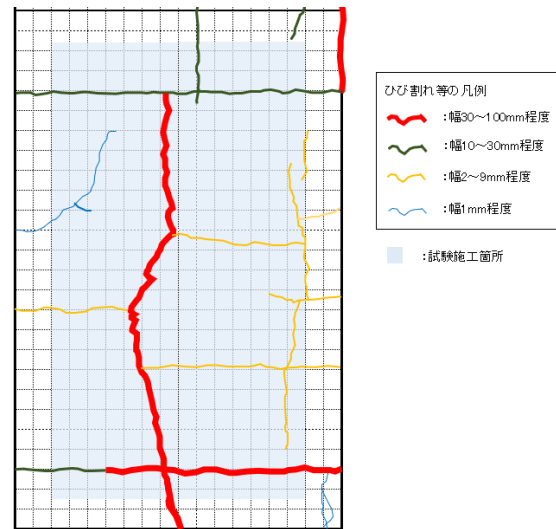


図-5 試験施工前事前調査結果（ひび割れ）

a) 試験施工仕様

試験施工の材料は、日本道路株式会社の協力を得て、同社のリフレッシュシールMix-Hを用いた。リフレッシュシールMix-Hの諸元を表-2に示す。試験施工での施工厚は20mmとした。なお、施工は図-6に示す手順で実施した。

表-2 リフレッシュシールMix-Hの諸元

工法	加熱アスファルト系表面処理工法
アスファルト	ポリマー改質アスファルトII型
標準施工厚	15~25mm
骨材粒径	最大5mm

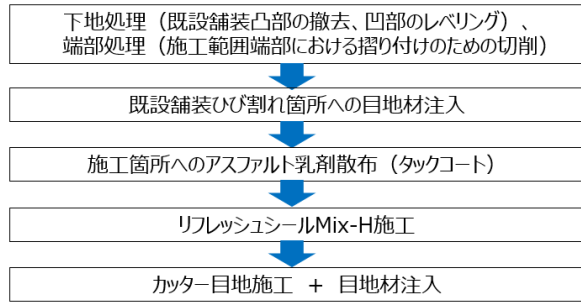


図-6 施工手順

試験施工においては、加熱アスファルト系表面処理工法の性能に加え、端部の処理方法や、リフレクションクラック対策として表面処理部への目地設置の効果を検討するため、複数パターンを施工し比較した。その状況を図-7に示す。

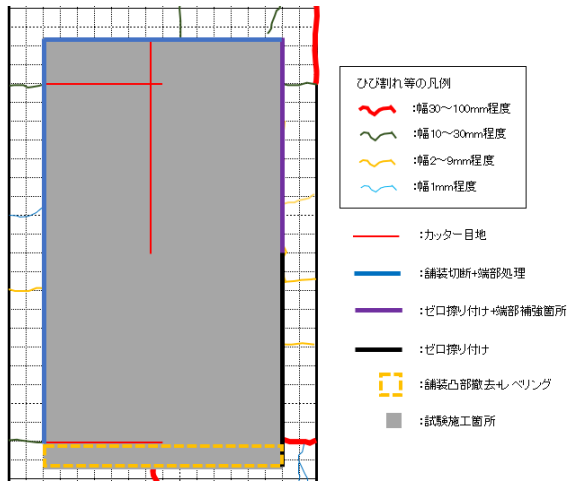


図-7 試験施工範囲での比較検討の状況

b) 試験施工後のモニタリング

試験施工実施後は11カ月間経過観察を行った。なお、試験施工の3カ月後に、最大粒径13mmの密粒アスファルト（改質Ⅱ型）を用いて厚さ4cmの切削オーバーレイ工法（以下、従来工法とする）にて補修を実施した箇所との比較も行った。比較箇所の交通量や使用方法、舗装状態は試験施工箇所と同等である。ひび割れに関する経過観察結果を表-3及び図-8に示す。

表-3 試験施工後のモニタリング結果（ひび割れ）

調査時期	2019年 (施工前)	2021年10月	
		表面処理工法 (供用11ヶ月)	従来工法 (供用8ヶ月)
ひび割れ度 (cm/m ²)	60.0	5.1	30.3

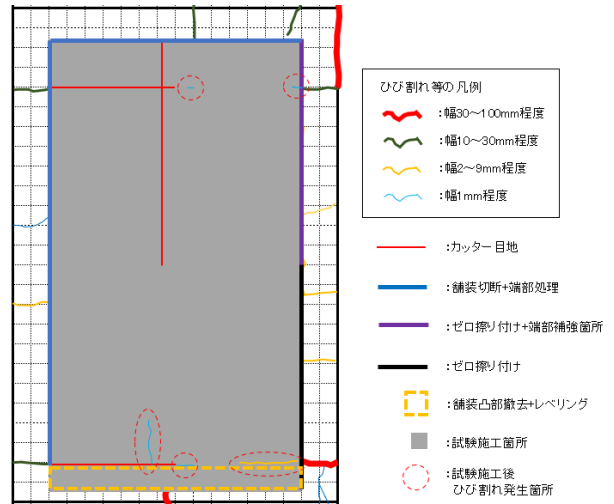


図-8 試験施工後のモニタリング結果（ひび割れ）

試験施工の結果より、加熱アスファルト系表面処理工法は従来工法と比較し安価であるだけでなく耐久性に優れることを確認できたため、北貨物地区の補修工法として採用することを決定した。また、目地の有無によりリフレクションクラックの発生状況に差が見られたことから、リフレクションクラックの発生が予想される位置には目地を入れることとした（図-9）。端部処理の方法は、通行のある箇所は切削による摺り付けを基本とするが、日々復旧のための仮設的な摺り付けは、試験施工でゼロ摺り付けでも短期的には貨物地区の運用に支障が無いことを確認できたことからゼロ摺り付けとすることとした。

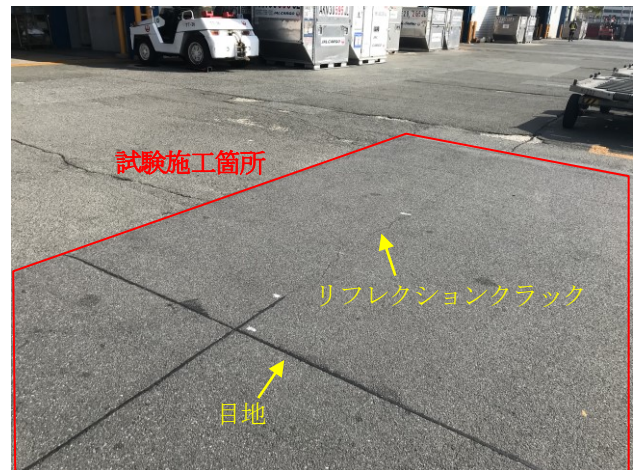


図-9 目地とリフレクションクラックの発生状況

(2) 要求性能の設定

近年加熱アスファルト系表面処理工法と同種のような様々な製品が開発されているため、試験施工で得られた知見等をもとに使用する材料の要求性能を定めて本施工を発注することとした。材料の要求性能は、変形抵抗性及びひび割れ抵抗性に係る性能を重視して表-4のとおり設定した。

表-4 本施工時の要求性能

曲げ破断ひずみ(0°C)	5.0×10 ⁻³ 以上
塑性変形輪数	1,500 回/mm 以上
マーシャル安定度	10.0kN 以上

4. 本施工の実施

(1) 本施工仕様

本施工では、前記の要求性能を満たす製品として株式会社NIPPOの薄層エスマックCを用いた。薄層エスマックCの諸元を表-5に示す。本工事での施工厚は20mmとし、施工手順は試験施工と同様とした。本施工の状況を図-10に示す。

表-5 薄層エスマックCの諸元

工法	薄層砕石マスチック舗装 (本工事では薄層オーバーレイとして適用)
アスファルト	ポリマー改質アスファルトⅢ型
標準施工厚	20～30mm
骨材粒径	最大5mm



図-10 本施工の状況

(2) 本施工中に発生した課題

舗装工実施期間中、施工翌日に舗装が最大10mm程度の深さでえぐれる事象（以下、「荒れ」とする）が見られ、貨物事業者からも使用により舗装が荒れているとの指摘を受けた（図-11）。これは以下のa)～c)に記載する、施工時の気象条件及びフォークリフト特有の使用形態、使用材料の性質が複合要因となって発生したものと考えられた。



○: 荒れ

図-11 舗装面の荒れ

a) 施工時の気象条件

本施工は可能な限り貨物事業者の要望に沿う施工計画を作成したこともあり、舗装工は7月～8月の実施となった。また、施工時間は最も利用の少ない22時～翌5時に限られ、早朝の便へ貨物の積込みを間に合わせるために交通開放温度を下回り次第早急に供用する必要があった。舗装の荒れが見られた施工エリアの施工時は晴天が続き最低気温が26°Cを超える気象条件であった。路面の荒れがみられた箇所を施工した2022年8月1日から8月2日にかけての気温を表-6に示す。

表-6 豊中の気温

日付	気温 (°C)		
	平均	最高	最低
2022年8月1日	31.0	34.6	26.8
2022年8月2日	30.6	35.0	27.5

※気象庁ホームページより引用

b) フォークリフト特有の使用形態

北貨物地区では、貨物を搭載したコンテナ等の重量物をフォークリフトを用いてドーリーやトラックへ積み下ろししている。この際にフォークリフトは舗装上で急旋回や据切りを頻繁に行うため、荒れが発生しやすい条件であった。

c) 使用材料の性質

本工事では、リフレクションクラック防止の観点からひび割れ抵抗性が高くなるよう曲げ破断ひずみに関する要求性能を高く設定していた。

(3) 課題への対応

前記の課題に対し、要因a)施工時の気象条件、要因b)フォークリフト特有の使用形態は不可避の前提条件であるため、c)使用材料の性質に関する対応として材料の配合変更について検討を行った。

a) 本施工中の試験施工及びフォークリフト走行試験の実施

現場条件に合う配合に改善するため、改めて試験施工及びフォークリフト走行試験を実施することとした。舗装の荒れに係る要素として、ひび割れ抵抗性の確保

を期待し添加している特殊添加剤が考えられたため、特殊添加剤の添加量を当初配合量、当初配合量×50%および25%に調整した3配合の舗装を試験施工ヤードにて施工した（表-7）。その後、試験施工した舗装上で実際にフォークリフトの走行試験を実施し、最適な配合を検討した。フォークリフト走行試験は、貨物地区での使用形態を再現するため、水で満たした容量2,000Lのタンクを貨物に見立ててフォークリフトに積み実施した（図-11）。

表-7 本施工中の試験施工時の薄層エスマックC特殊添加剤配合条件

配合名	配合A	配合B	配合C
特殊添加剤量	当初	当初×50%	当初×25%



図-11 フォークリフト走行試験状況

b) 本施工中の試験施工及びフォークリフト走行試験の結果

試験施工及びフォークリフト走行試験の結果をそれぞれ表-8、表-9に示す。配合A～Cいずれの配合も本工事で設定した要求性能を満たしたうえで、特殊添加剤を減少させることで変形抵抗性（マーシャル安定度や動的安定度）は向上するものの、ひび割れ抵抗性（曲げ破断ひずみ）は低下する傾向にあることが明らかとなった。試験施工及びフォークリフト走行試験の結果から、ひび割れ抵抗性を可能な限り確保しつつ変形抵抗性も確保できる配合として総合的に判断し、修正配合を配合Bに決定することとした。配合変更後に施工した施工範囲では目立った荒れは見られなかった。

表-8 試験施工（工事中）時の室内試験結果

試験項目	配合A	配合B	配合C	要求水準
マーシャル安定度 (kN)	10.65	10.95	11.45	10.0以上
動的安定度 (回/mm)	5,727	7,000	10,500	1,500以上
曲げ破断ひずみ	14.6×10 ⁻³	10.1×10 ⁻³	8.68×10 ⁻³	5.0×10 ⁻³ 以上

表-9 試験施工ヤードでのフォークリフト走行試験結果

項目	配合種		
	配合A	配合B	配合C
試験前路面状況			
旋回走行試験	路面状況		
	荒れの深さ	タ付痕あり 最大4mm	タ付痕あり 最大2mm
据切試験	路面状況		
	荒れの深さ	最大11mm	最大9mm

※旋回走行試験:フォークリフトで急旋回しながら止まる動作を試験施工した舗装上で実施

※据切試験:フォークリフトを停車させた状態でハンドルを切る操作を試験施工した舗装上で実施

5. 工事実施に向けた事業者調整

本工事は、貨物地区の24時間運用の継続を前提に計画した。工事実施に向けては2021年6月頃から事前ヒアリングを実施し、貨物の繁忙期や閉鎖可能時間帯、補修工事への要望等を把握したうえで基本検討を開始した。施工計画検討時には全入居事業者、施工者が一同に会した施工計画の協議会を開催した。協議会の場では日々の施工区割りや貨物トラックの走行ルート等を詳細に協議し、貨物事業者の合意を得た施工計画を作成した。施工開始後は施工日毎に施工位置詳細図やトラック走行ルートを記載した区割り図を展開し、密に連携を図った。実際の区割り図の一例を図-12に示す。貨物事業者の協力を得て事故や大きなトラブル無く工事を完了した。

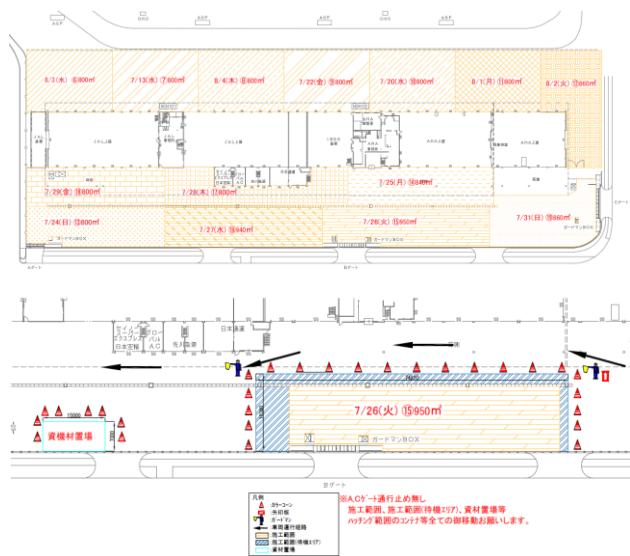


図-12 舗装工区割り図の例

6. まとめ

本工事は、長年改修を検討してきたものの、課題が多く実現に至らなかった大阪国際空港北貨物地区の舗装において、薄層オーバーレイ工法により舗装の不陸を解消し可能な限り既存舗装を活用することで延命化を図るものである。本施工にあたっては、大阪国際空港北貨物地区の舗装における最適な要求性能を決定し、オーバーレイ仕様の改良を重ね工事完了に至った(図-13、14)。今後も引き続き利用に伴う路面状態の変化やクラックの発生状況等についてモニタリングしていきたい。

なお、工事完了後、利用者である貨物事業者より走行性等について好評を得ている。



図-13 工事完了後の状況（トラックヤード側）



図-14 工事完了後の状況（エアサイド側）

謝辞： 本論文の作成にあたり、試験施工を実施いただいた日本道路株式会社、本施工を実施いただいた株式会社NIPPOには多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

＜論文作成者の異動＞

本論文は、作成者の異動前の所属先である関西エアポート株式会社基盤技術部伊丹基本施設グループの所掌内容である。

技術提案交渉方式 名塩道路城山トンネル工事 の施工成果について

山田 浩幸

株式会社鴻池組 本社土木技術部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1 本町南ガーデンシティ)

生瀬トンネルは、都市部における延長 $L=311\text{m}$ の山岳トンネルである。北側に武庫川、南側にJR福知山線、計画トンネル上部に旧JR廃線隧道や関西電力鉄塔を有する急傾斜地に位置し、供用中の国道176号に近接した施工となった。本トンネルを取り巻く厳しい施工条件下での施工にあたり、課題の解決のために施工者の高度な技術と経験を取り入れることのできる技術提案交渉方式の技術協力・施工タイプ（ECI方式）が採用された。本報告では、ECIにおける対策工の設計とトンネルの施工成果について報告する。

キーワード 山岳トンネル, 近接施工, ECI, 数値解析, 補助工法

1. はじめに

国道176号名塩道路は、慢性的な渋滞の解消と交通の安全確保を目指して、4車線化事業として1985（昭和60）年に事業化された。整備延長10.6kmのうち現在7.2km（暫定2車線改良済みを含む）が供用済みである。

名塩道路城山トンネル工事として施工した生瀬トンネルは、都市部における延長 $L=311\text{m}$ の山岳トンネルである。

図-1および図-2に示すとおり、北側に武庫川、南側にJR福知山線、計画トンネル上部に旧JR隧道や関西電力鉄塔を有する急傾斜地に位置し、供用中の国道176号に近接した施工となった。

このような厳しい施工条件下の下、トンネルの高度な設計・施工技術が必要になるため、設計段階から施工者が参画し、施工の実施を前提として設計に対する技術協力をを行う技術提案交渉方式の技術協力・施工タイプ（ECI方式）が採用された。

また、終点側坑口部においては、トンネルの暫定供用（トンネル交互通行）時に交差点改良の関係から歩道の一部（終点側 $L=37\text{m}$ 区間）のスペースが車道と干渉するため、歩行者用の人道トンネルが追加発注となった。

なお、トンネル工事に関しては、令和4年9月末に無事完了したが、引き続き国道176号側の法面安定化対策として、国道176号に沿った切土工事が随意契約にて現在施工中である。

本稿では、技術提案交渉方式の技術協力・施工タイプ（ECI方式）における対策工の設計とトンネル工事の施工成果について報告する。

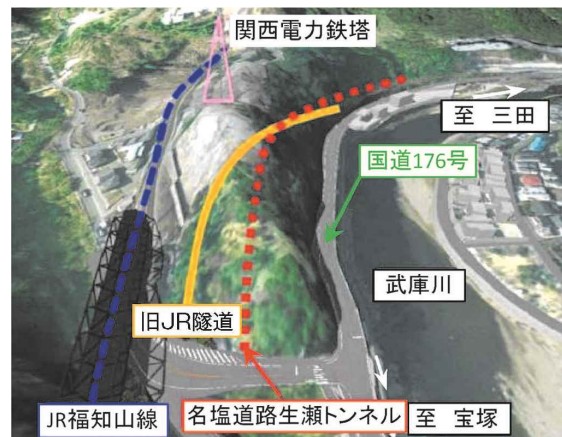


図-1 計画鳥瞰図¹⁾一部修正

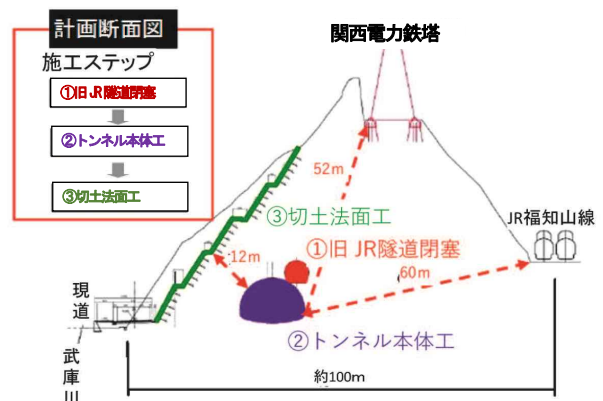


図-2 計画断面図 (No. 421+0.4)¹⁾一部修正

2. 工事概要

(1) 地形、地質状況

起点側坑口部については、土被り確保のためソイルセメントによる盛土がL=50m 施工されていた。トンネルと地形との関係は斜面平行型であり、地質は傾斜した基盤岩上に転石を多く含む崖錐堆積物が厚く堆積していた。

起点側盛土区間の地山は、未固結で自立しない状態であり、掘削時に度々小崩落を繰り返す状況であった。また、トンネル中間部より終点側にかけては潜在亀裂を有する硬質な溶結凝灰岩が分布していた。図-3 に地質縦断面図を示す。

(2) 施工概要

表-1 に工事概要一覧を示す。ECI における対策工の検討により、設計時に起点側地山境界部分 (L=38m) に関しては、小口径長尺鋼管フォアパイリング、吹付けインバート (ストラット有り) が、旧 JR 隧道に関しては本坑の掘削を見据えて比重の軽いエアミルクにて閉塞した上で、旧 JR 隧道との交差区間 (L=115m) 及び鉄塔近接区間では、長尺鋼管フォアパイリングが計画された。

また、人道トンネルの施工に関しては、小断面トンネル (A=17.4 m²) のため、硬質地山において非火薬岩盤破碎工法を採用した。さらに、トンネル MR による遠隔臨場システムの導入等 DX 技術の活用による生産性向上への取り組みを実施した。

また、技術協力業務における旧 JR 隧道の閉塞方法やトンネル掘削時の鉄塔への影響、およびリスクを想定した計測管理等の仕様については、BIM/CIM モデルに基づく地山モデルを用いた 3 次元 FEM 解析の結果をふまえ、本トンネル計画の特徴である小土被り偏圧地形下におけるトンネル掘削および切土の影響の予測を行い、その結果を対策工の検討に反映した。以下に ECI における技術協力業務において実施した対策工の検討結果と実際の現場での施工状況について述べる。

表-1 工事概要一覧

工事名称	名塩道路 城山トンネル工事	
工事場所	兵庫県西宮市塩瀬町城山地先	
工期	平成31年3月～令和4年9月	
発注者	国土交通省 近畿地方整備局	
施工者	株式会社 鴻池組	
工事内容	延長	本坑トンネルL=311m、人道トンネルL=37m
	断面	①2車線道路トンネル：掘削断面積A=80.9m ² ②人道トンネル：掘削断面積A=17.4m ²
	施工法	NATM
	掘削方式	機械掘削 (大型ブレーカ)、非火薬岩盤破碎
	掘削工法	本坑：DⅢパターン、DⅢパターン (補助工法併用) 人道：DⅠrパターン、DⅠr (補助工法併用) DⅢr
	補助工法	天端安定対策： ①長尺鋼管フォアパイリング (L=12.5m, φ 114.3mm, @450mm, 打設間隔9m) ②小口径長尺鋼管フォアパイリング (多段式) (L=13.5m, φ 76.3mm, @450mm, 打設間隔5m) ③注入式フォアポーリング 本坑：(L=3.0m, φ 24mm, @600mm, 打設間隔1m) 人道：(L=2.0m, φ 24mm, @600mm, 打設間隔1m) 鏡面の安定対策：鏡吹付 (t=50mm) 脚部の安定対策：吹付けインバート (t=250mm)

3. 施工上の課題と対策工の検討

事業を円滑に進める上で、施工上の課題を解決するために、「国道 176 号」、「JR 福知山線」、「関西電力鉄塔」の各施設に対し、トンネル工事および切土法面工事による変動挙動を設計段階から高い精度で予測し、施工時には情報化施工により各施設管理機関との事前協議に基づく制約条件を確実に管理することが必要だと考えられた。そこで、図-4 に示す BIM/CIM モデルの作成を行い、地質状況の反映および計画構造物と既存近接構造物について干渉の確認を行った。

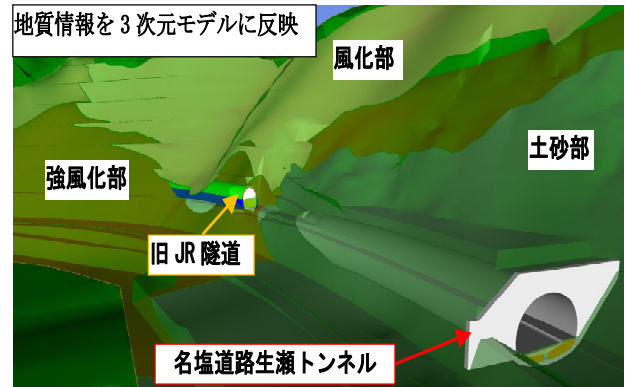


図-4 BIM/CIM モデル (地盤情報反映) ①一部修正

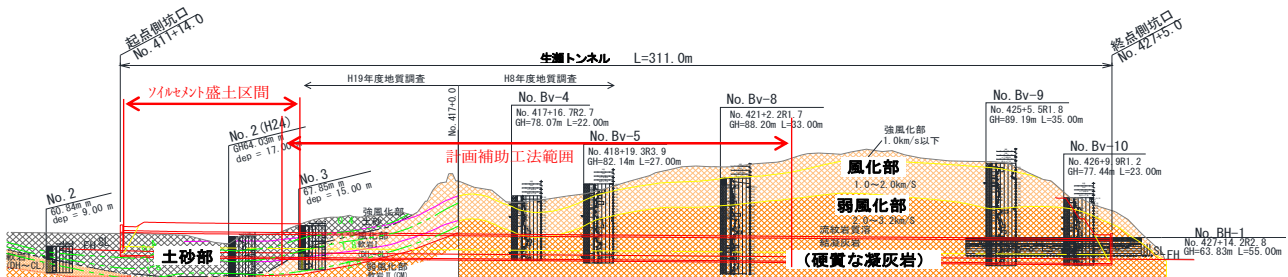


図-3 地質縦断面図 ①一部修正

(1) 起点側坑口部盛土区間の施工

前述のとおり、起点側地山境界部分 (L=38m) に関しては、小口径長尺鋼管フォアパイリング、吹付けインバート (ストラット有り) が計画されていた。

しかしながら、盛土区間の施工については、トンネル切羽上部の範囲がソイルセメントで改良されていたものの、大部分は未固結で自立しない状態であり、側壁や天端からの小崩落を繰り返す状況であった。

そのため、掘削時には、ECI で検討されていた地山境界部での補助工法 (小口径長尺鋼管フォアパイリング) を採用し、注入式フォアポーリングや長尺鋼ボルトの追加施工を行うことで切羽の安定を確保して掘進した。

(2) 旧 JR 隧道交差区間の施工

旧 JR 隧道交差区間の施工では、本坑掘削に先立ち旧 JR 隧道において以下に示すゆるみ抑制対策を実施した。

なお、技術協力業務において施工者が提案した対策工をブラッシュアップし、設計及び工事価格に反映した。

- ①トンネル底部にあるバラストを撤去する。
- ②充填材料をエアモルタルからエアミルクに変更し、充填性を高めるとともに本坑トンネルへの上載荷重の低減を図る。
- ③アーチ部、側壁部にロックボルトを打設し、エアミルクとの一体化と吊り下げ効果を図る (表-2)。

図-5 に示すように川側のボルト長を 3m から 2m に計画変更するとともに、将来的に切土法面から露出する範囲においては、ボルトの材質を切土作業時に切断しやすい GFRP ボルトに計画変更した。

表-2 対策工ブラッシュアップ結果一覧表²⁾

①旧JR隧道への緩み抑制対策	
当初	修正
<p>裏込注入工 (エアモルタル)</p> <p>エアモルタル</p> <p>バラスト</p>	<p>裏込注入工 (可塑性モルタル)</p> <p>エアミルク</p> <p>バラスト撤去</p> <p>ロックボルト L=3000mm×φ3.0mm ねじり降伏/耐力176.5kN以上</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ 充填性を考慮し、バラストを撤去を行う。 ・ 煉瓦積みにも隙間が多く、充填性と圧送性が優れているエアミルクを採用 ・ 計画トンネル掘削時に分離構造である。アーチ部・側壁部にロックボルトを打設 	

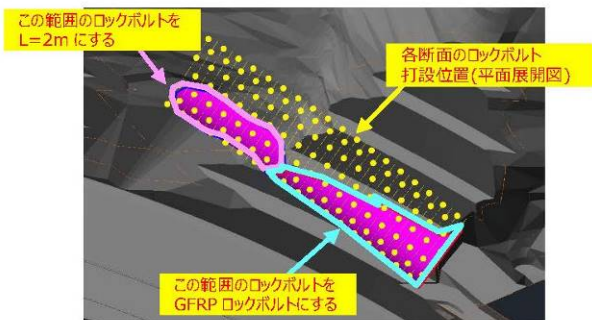


図-5 ロックボルト補強工 検討結果²⁾

トンネル閉塞工の補強ロックボルト施工においては、旧 JR 隧道坑口から 115m の区間の内、地山の劣化が著しくロックボルト孔壁が自立せず、ボルトの削孔が困難となった箇所では自穿孔ボルトを 198 本採用した。その他の工事についてはほぼ計画どおり施工を完了した (写真-1)。

写真-2 に旧 JR 隧道と本坑の交差状況の一例を示す。

本坑掘削時には、旧 JR 隧道が交差する区間では、対策工として旧 JR 隧道を支えるように長尺鋼管フォアパイリングを施工した。また、地質の変化等で不測の事態の発生が懸念されたため、旧 JR 隧道において先行沈下測定を実施するとともに、本坑掘削時の補助工法の削孔データを用いた切羽前方探査 (DRISS) により前方地山状況を把握し、旧 JR 隧道を支える目的から、図-6 に示すとおり、BIM/CIM モデルに基づき、本坑と旧 JR 隧道の位置関係を考慮して地山状況に合わせて長尺鋼管フォアパイリングの施工を実施した。なお、切羽前方探査では、写真-3 に示すとおり、長尺鋼管フォアパイリング (φ114.3mm) 施工時の削孔データを用いて前方地山の地質確認と補助工法の必要性を評価した。

事前にエアミルクで充填した旧 JR 隧道部分に関しては、穿孔エネルギーが 25 J/cm³ 以下の赤色を示す部分が多く、旧 JR 隧道の範囲から外れた部分に関しては、概ね 100 J/cm³ 以上の高い値を示した (図-7)。



写真-1 トンネル閉塞工 (エアミルク充填状況)²⁾



写真-2 旧 JR 隧道出現状況²⁾

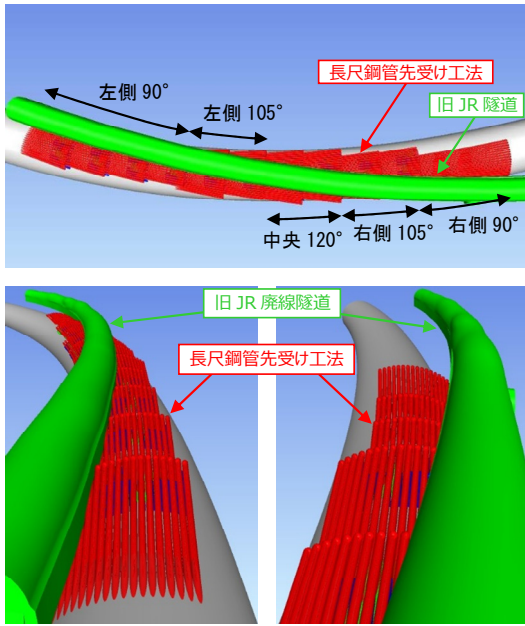


図-6 旧 JR 隧道交差区間 補助工法 3次元モデル³⁾

また、トンネル切羽が旧 JR 隧道交差区間に到達する前に、2次元 FEM 解析により計測結果に基づく再現解析を行い、地山物性値や解析モデルの同定を実施した。

その後、トンネル掘削の施工ステップを考慮した3次元解析による予測解析によりゆるみ範囲の見直しを行うとともに、交差区間施工時の影響や補助工法の妥当性を評価した。再現解析結果では、図-8 に示す通り、弱風化層の範囲がトンネル部分を占めており、弱風化層の範囲が若干狭くなった。また、表-3 に示すとおり物性値を当初(上表)、風化層と設定した層は強風化程度(軟岩相当)とし、風化層(軟岩II~中硬岩)、弱風化層(中硬岩)、未風化層(硬岩)で再設定(下表)を行った。予測解析の結果では、図-9 に示すように肩部 0.5D 範囲ぐらいに掘削の影響により若干の塑性域が見られた。

坑内計測の結果では、天端沈下の最大が 7.4mm (管理値注意レベルII : 23mm) 内空変位の最大が 3.0mm (管理値注意レベルII : 38mm) であり、交差区間全般において管理値の 1/3~1/10 で収まっており、変位モード的には、天端沈下卓越のひしゃげモードであった。

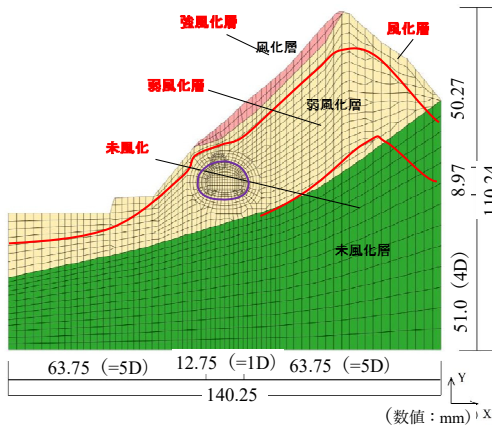


図-8 再現解析による地層構成 (旧 JR 隧道交差区間)⁴⁾



写真-3 切羽前方探査実施状況³⁾

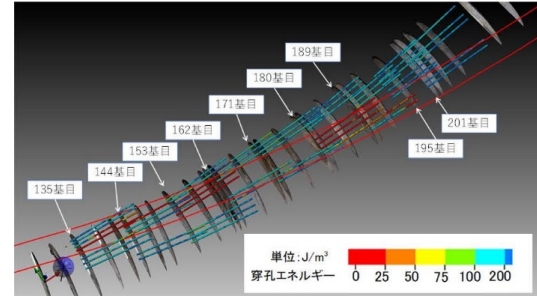


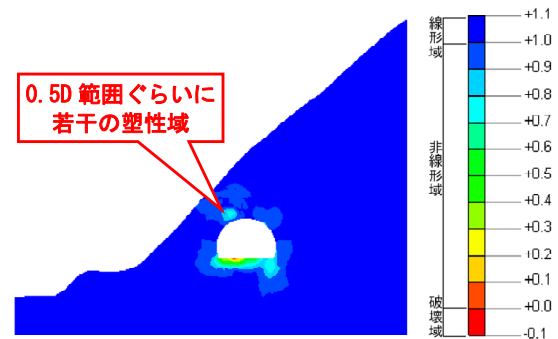
図-7 切羽前方探査結果 (旧 JR 隧道交差区間)⁴⁾

表-3 地山物性値同定結果⁴⁾

層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
風化層	19	30,000	0.4	100	30
弱風化層	26	220,000	0.3	400	32
未風化層	26	410,000	0.3	450	34



層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
盛土	19	3,500	0.4	30	35
強風化層	22	50,000	0.4	100	30
風化層	26	220,000	0.3	400	32
弱風化層	26	600,000	0.3	450	34
未風化層	26	1,300,000	0.3	1,250	40



地質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
風化層	26.0	50,000	400	32
弱風化部	26.0	360,000	450	34
未風化部	26.0	1,000,000	1,250	40

図-9 3次元予測解析結果 (旧 JR 隧道交差区間)⁴⁾

(3) 鉄塔近接区間の施工

鉄塔近接区間では、鉄塔への影響を抑制する目的で山側の影響範囲に限定した長尺鋼管フォアパイリングを施工した。

また、トンネル切羽が鉄塔近接区間に到達する前に2次元 FEM 解析により計測結果に基づく再現解析を行い、地山物性値や解析モデルの同定を行った後、トンネル掘削の施工ステップを考慮した3次元解析による予測解析により鉄塔への影響や補助工法の妥当性を評価した。

再現解析の結果、未風化層の範囲がトンネル部分まで占め、弱風化層、強風化層とも範囲が狭くなった。

予測解析の結果では、図-10に示すとおり、トンネルの塑性域はほとんど見られないが、沈下に伴い地表部が一部塑性化することが想定された。

対策工としての長尺鋼管フォアパイリングは施工するが、地質の急変等で不測の事態の発生が懸念されることから、鉄塔への影響を詳細に把握する目的で表-4に示す鉄塔計測工を実施した。

トンネル掘削時には、予測解析の結果とほぼ一致して比較的良好な地山が出現し、長尺鋼管フォアパイリングの先受け効果も確認された。また、図-11、図-12に示すように、鉄塔への影響を24時間体制で監視し、WEBを用いた統合管理システムにより関係者が情報共有するといった綿密な計測管理を行った。

表-5に鉄塔基礎の許容変位量を示す。

管理基準値としては、送電鉄塔（関西電力）の重要性を鑑み、より重みのある管理基準として、鉄塔基礎部は鉛直方向、水平方向ともに6.0mm（1/1,200）とし、周辺地盤の沈下量に関しては許容値の80%の20mmと設定した。なお、図-11に鉄塔根開き、基礎沈下および周辺地盤計測の概要図を示す。

掘削時の計測結果は鉛直方向で最大0.1mm、水平方向で0.3mm、周辺地盤が0.1mmと小さな値で収束した。

また、坑外地中水平変位に関しては、鉄塔通過時から斜面GL-0.0mからGL-2.0mの斜面表層部分において、川側への変位（変位速度0.2mm/10日）が見られたが、管理基準値（変位速度1.0mm以上/10日）と比べて非常に小さく、トンネル施工（本坑掘削、インバート掘削）により鉄塔に影響を与えることなく施工を完了した。

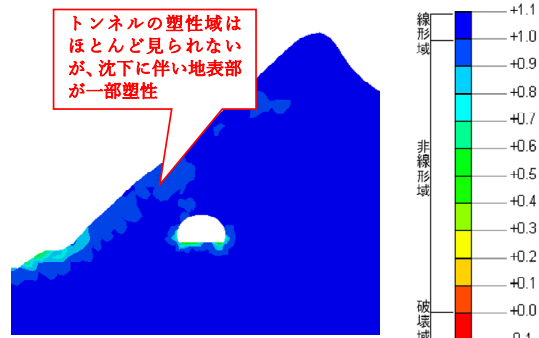


図-10 3次元予測解析結果（鉄塔近接区間）⁵⁾

表-4 鉄塔計測工一覧⁵⁾

計測対象	計測項目	計測目的	使用計器
鉄塔	根開き (相対変位)	トンネル掘削時の鉄塔への影響(根開き・相対沈下量)を計測し、計測値と管理値と比較検討することにより、構造物の安全性を確認する。	(鉛直変位) トータルステーション 計測点:4点 (水平変位) 伸縮計:4測線
鉄塔 周辺地盤	3次元変位 (絶対変位)	トンネル掘削時の鉄塔周辺地盤への影響(3次元変位)を計測し、地盤の挙動を把握する。	トータルステーション 計測点:4点
気温	外気温	外気温と各計測値との相関関係を把握し計測値を補正することを目的として設置する。	熱電対
坑外地中 変位計測	多段式傾斜計 測定	トンネル掘削時の地中の挙動を把握し、地滑りの兆候を把握する。	多段式傾斜計 10台@2m
地表面沈下 B計測	3次元変位 測定	鉄塔近傍斜面に地表面測点を設け、斜面挙動を把握する。	トータルステーション 計測点数:9点

表-5 鉄塔基礎の許容変位量⁵⁾

	鉛直方向変位	水平方向変位	絶対(許容) 沈下量
許容変位量	6.0mm(1/1200)	9.0mm(1/800)	25mm

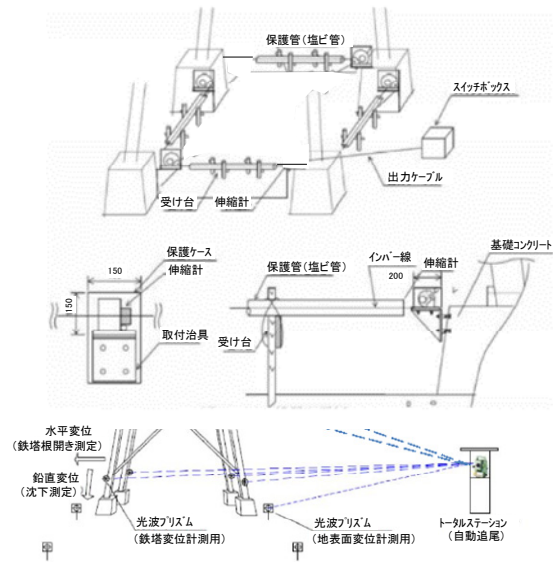


図-11 鉄塔根開き、基礎沈下および周辺地盤計測⁵⁾

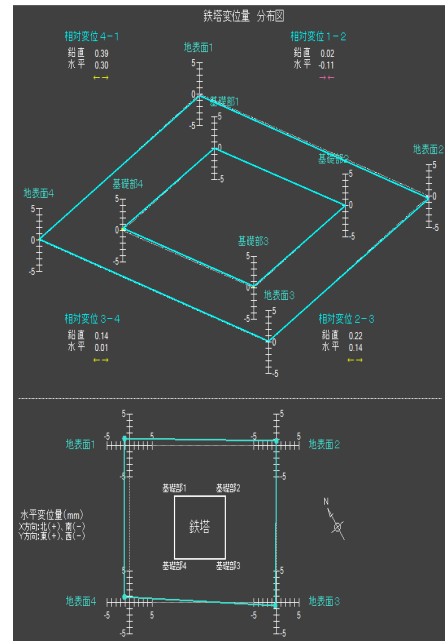


図-12 統合管理システム WEB 表示例

4. ECI の導入効果と課題

ECI 方式による設計・施工に関して以下にまとめる。

- ①設計では、BIM/CIM を用いた影響検討や予測解析結果を踏まえた対策工の検討において、発注者、設計者および施工者の三者で課題に関する認識を共有できた。
- ②発注者のリーダーシップの下、施工者の技術と経験を踏まえた当初設計の照査が可能となった。
- ③関係機関協議や地元説明において、BIM/CIM を活用し、設計者、施工者の同行により合意形成が図れた。
- ④学識経験者へ意見聴取ができる体制の構築が可能となり、高度な技術的課題であっても、学識経験者の意見を踏まえた適切な設計を実施することができた。
- ⑤ECI の検討において想定していなかった起点側坑口部の脆弱な地山における施工において、設計時の検討結果を参考に最適な補助工法により迅速な対応ができた。一方、今回の工事では、ECI 方式の課題として以下の事項が考えられる。
- ①検討内容によっては設計と積算がほぼ同時に進むため十分な検討期間が確保できなかった。
- ②施工者の提案を設計に反映することで工事費が膨らむため、三者による協議によるブラッシュアップが必要。
- ③ECI の中で課題とする項目に関して、十分な事前調査や施工条件等の検討が必要。

5. おわりに

ECI 方式による設計・施工を行うことで当初想定していた施工上の課題について効果的な対策が取れた。

旧 JR 隧道交差区間においては、本坑掘削前にエアミルクによるトンネル閉塞工を実施した上で、旧 JR 隧道における先行沈下測定や本坑施工時の補助工法削孔データを用いた切羽前方予測および 3 次元 FEM 予測解析結果等を参考に L=115m の施工を無事完了した。

また、TD180m 付近の鉄塔近接区間における施工では、24 時間体制の綿密な計測管理はもとより、3 次元予測解析等の結果や補助工法の効果もあり、特に問題もなく施工を終えることができた。

ECI 方式の採用により、厳しい施工条件ではあったが、BIM/CIM や 3 次元予測解析結果に基づく近接構造物への影響や対策工の検討、学識経験者の意見を踏まえた設計と施工の実施、関係機関協議や地元説明における合意形成が円滑に図れたものと考えている。

さらに、今回の施工では、起点側盛土区間における補助工法の検討、終点側切土工事や人道トンネルの施工といった追加工事への対応についても ECI により形成された信頼関係をもとに、速やかな対応が取れた。

写真-4 に終点側坑口付近の状況を示す。

トンネル工事完了後、随契契約により切土工事が継続中であるが、南側に供用中の JR 福知山線に近接した上部鉄塔付近での頂部平切り部施工時の落石防護対策や国道 176 号に近接する急峻な法面での工所用道路の確保や落石対策、重機足場の確保が困難な片切り掘削や中硬岩掘削の施工における工程検討といった課題がある。

これらの課題に対する対策については、施工条件に応じて工区を分割し、適用工法や施工時の計測管理手法について城山法面 ECI の中で検討を完了している。

今回の報告が同種条件における山岳トンネルの設計・施工に関して参考になれば幸いである。

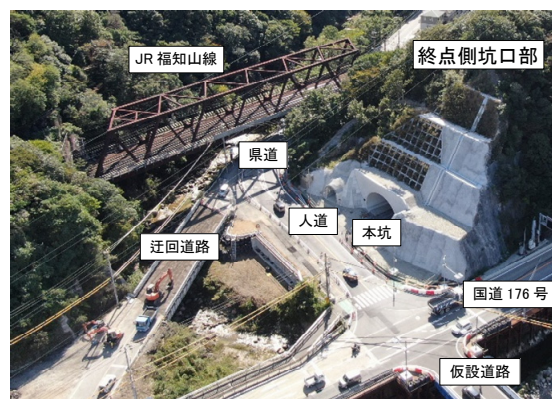


写真-4 終点側坑口部全景

謝辞：ECI による設計・施工に関する検討において、専門部会の京都大学 大西名誉教授、神戸大学 都市安全研究センター 飯塚教授、施工技術総合研究所 真下所長はじめ関係者の方々に貴重なご意見を頂きましたこと深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中野陽平：技術提案交渉方式 名塩道路城山トンネル工事の取り組みについて、近畿地方整備局研究発表会論文集、イノベーション部門Ⅱ No.2, pp.1-6, 2019.
- 2) 山田浩幸, 平松 丈, 森岡大智, 浦本康仁：都市部における既設廃線トンネルに近接した山岳トンネルの施工に関する一考察, 第 55 回地盤工学研究発表会, 23-8-2-05, 2020.
- 3) 山田浩幸, 平松 丈, 森岡大智, 浦本康仁：都市部における既設廃線トンネルに近接した山岳トンネルの設計と施工に関する一考察, 第 75 回土木学会年次学術講演会, VI-431, 2020.
- 4) 山田浩幸, 大槻文彦, 平松 丈, 浦本康仁：既設廃線トンネルと本坑交差部の施工における設計・施工に関する一考察, 第 56 回地盤工学研究発表会, 12-7-1-05, 2021.
- 5) 山田浩幸, 大槻文彦, 平松 丈, 森岡大智, 大森功一：既設廃線隧道及び鉄塔に近接した山岳トンネルの施工と対策に関する一考察, トンネル工学報告集 第 31 巻, I-3, pp.1-6, 2021.