

# 予防保全にむけた橋梁の 長寿命化修繕計画策定について

坂本 千秋<sup>1</sup>・増田 寛四郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 建政部 建築安全課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

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

本報では、予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を目指す取り組みについて中間報告を行う。検討の結果、健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐサイクルを継続的に進めると経時的に健全度ⅠおよびⅡ判定橋梁の割合が増加し、長期的観点でのコストダウンが可能となった。

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

## 1. はじめに

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

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

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

本報では、予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画として、健全度Ⅲ判定を着実に解消する従来のプロセスに加えて、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を目指す取り組みについて中間報告を行う。

## 2. 戦略的修繕計画のポイント

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

図-1に示すとおり、従来の修繕計画では健全度Ⅲ判定の解消のみが進められるため、健全度Ⅱから健全度Ⅲへの進行を食い止められず、健全度Ⅲ判定がいつまでも解

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

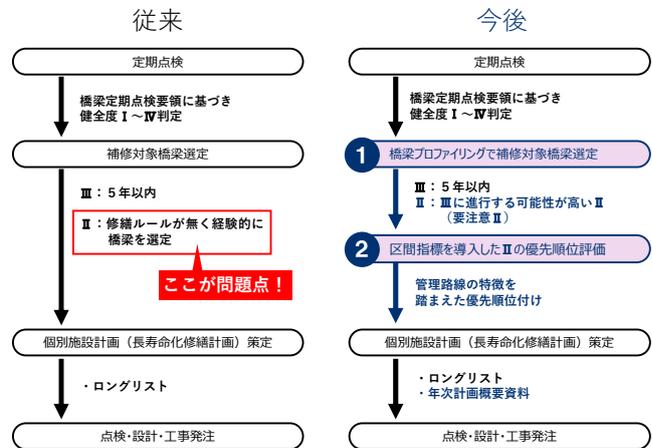


図-1 修繕計画の流れにおける従来と今後の違い

## 3. 橋梁プロファイリング

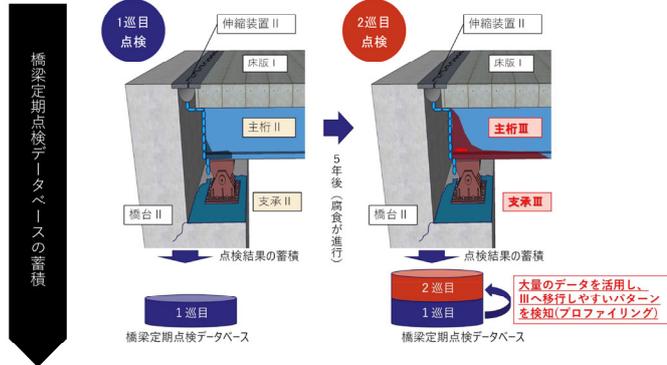
### (1) 概要

健全度Ⅱの橋梁について、新都市社会技術融合創造研究会「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」<sup>1)</sup>の統計分析手法を活用し、橋梁全体の耐荷性能に影響を与える損傷の分析を行い、修繕を重点化すべき損傷や部材の検討を行った。

平成26年度から平成30年度まで実施の定期点検を1巡目点検、令和元年度から実施の定期点検を2巡目点検として、橋梁定期点検結果をデータベースに蓄積し、ある

損傷に対して、1巡目点検結果と2巡目点検結果の比較で部材間の劣化速度の違いを橋梁プロファイリング手法により分析した。その結果、図-2に示すとおり、劣化進行が早いグループ(要注意II)を抽出し、健全度IIの重点的な解消を目指す。

STEP1



STEP2

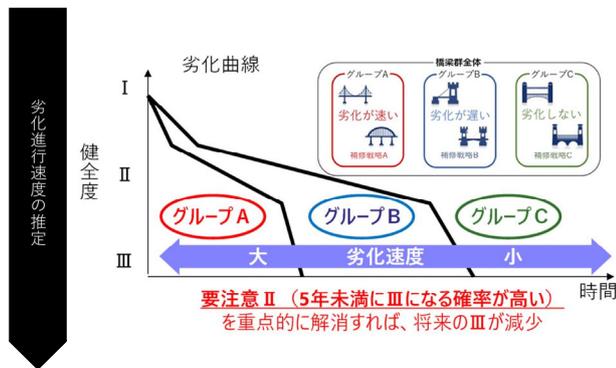


図-2 橋梁プロファイリングの流れ

(2) 優先順位の決定手法

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

- STEP1: 末端事象の例として、橋台で健全度II→IIIとなる確率を「損傷ごとに」算出する。
- STEP2: 損傷ごとに算出した健全度II→IIIとなる確率を算出(円の重なり部を除く。プール演算)
- STEP3: 同様に、全ての部材ごとに健全度II→IIIとなる確率を算出
- STEP4: 全部材で算出した健全度II→IIIとなる確率を算出し、橋梁全体でのリスク値と評価する。

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

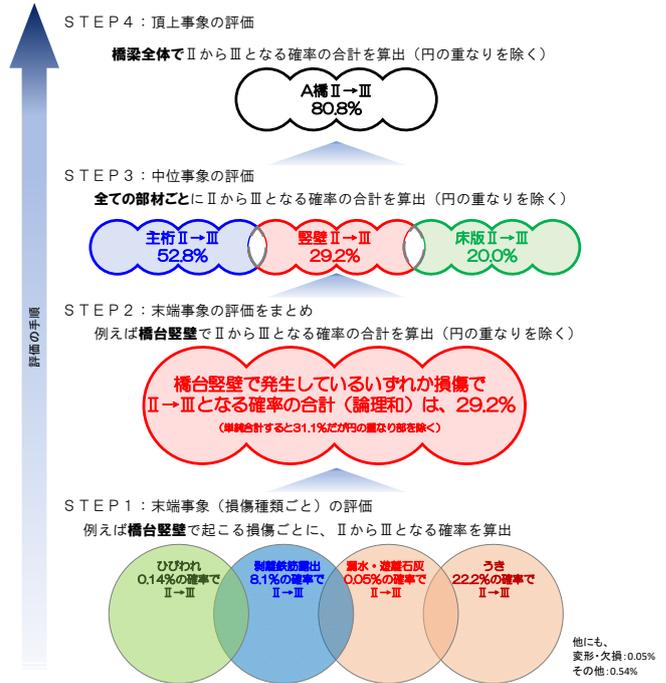


図-3 末端事象から頂上事象への統合イメージ

(3) 橋梁プロファイリングによる要注意II判定の抽出例

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

近畿地方整備局管内の健全度I、II判定の橋梁のうち、プロファイリング手法が適用可能となった297橋を対象に確率(橋梁リスク)を算出した。表-1に、頂上事象の生起確率上位5橋を例示しているが、確率(橋梁リスク)の数値の大きいものから補修優先度が高いとした。

図-4に、補修優先順位上位の橋梁の損傷例を示す。

表-1 補修優先順位上位の橋梁

名称	建設年度	確率(橋梁リスク)
A橋	1951	0.8076
B橋	1982	0.7223
C橋	1988	0.7217
D橋	1969	0.6669
E橋	1959	0.6666



A橋の損傷例

B橋の損傷例

図-4 補修優先順位上位橋梁の損傷例

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

4. 区間指標を導入した優先順位評価

(1) 概要

橋梁単体の健全度だけでなく、前後区間にあるその他構造物の健全度やネットワーク機能などの状況も加味して、健全度Ⅱの橋梁の重点解消箇所を決定するために、管理路線の維持管理リスクに着目した優先順位を評価する総合評価指標<sup>2)</sup>を導入した。

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

図-5に優先順位評価の流れを示す。管理路線の維持管理リスクを $I_R$ とする。 $I_R$ の大小は対象構造物群の健全度 $I_S$ と、路線のネットワーク機能の重みを $I_N$ の合算値で評価する(式(1))。対象構造物群の健全度 $I_S$ は対象構造物により構成され、橋梁、トンネル、防災施設群の3つの合算値とした(式(2))。また、路線のネットワーク機能の重み $I_N$ は一般に区間の複数の属性(防災上の要因、交通特性、沿道特性等)により構成され、ここでは交通量、橋梁第三者被害可能性、DID地区、う回路の合算値とした(式(3))。これらを1kmの区間で合算し、便宜上100を満点とし、数値が大きいほど健全と定義した(式(1))。図-6に示すとおり、区間全体の健全度が低く、ネットワーク機能上のリスクが大きい区間は修繕優先度が高く評価される。

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

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

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

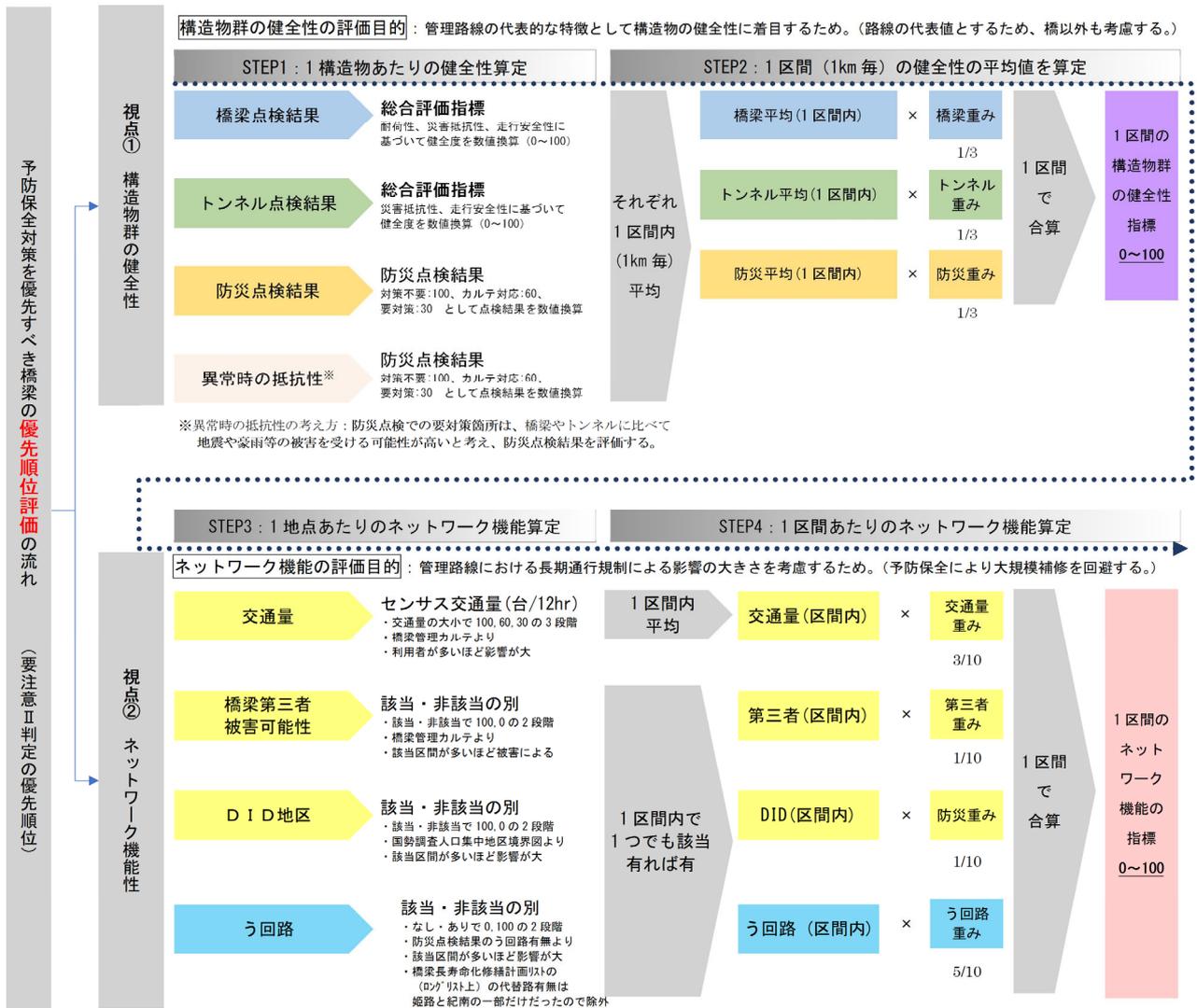


図-5 予防保全対策を優先すべき橋梁の優先順位評価の流れ

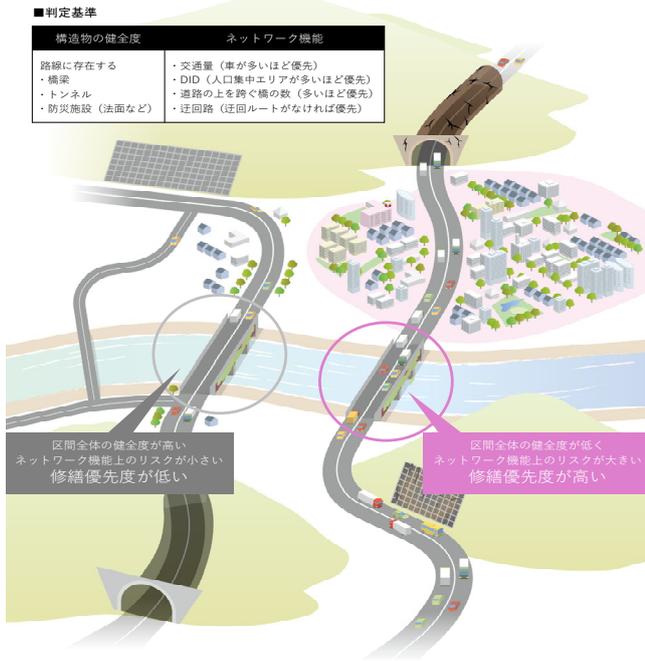


図-6 区間指標を導入した優先順位評価のイメージ

(2) 区間指標を導入した優先順位評価結果

前項で示した区間指標の検討過程を図化した。以下に、検討過程を示す。

- ステップ①：構造物ごとの健全性を算出した結果。代表として、橋梁の健全性評価結果(図-7)
- ステップ②：橋梁、トンネル、防災施設の健全性評価を区間平均した結果(図-8)
- ステップ③：路線のネットワーク機能指標(交通量、橋梁第三者被害可能性、DID地区、迂回路)の結果(図-9)
- ステップ④：構造物の健全性と路線のネットワーク機能を合算した区間指標評価結果(図-10)

ステップ①では優先順位が付けづらい箇所においても、ステップ②(構造物の健全性)、ステップ③(路線のネットワーク機能)のように各要素を付与することで、区間ごとの優先順位が分かるようになる。ステップ④で構造物の健全性と路線のネットワーク機能を合算を行い、優先順位評価結果とした。



図-7 橋梁の健全性評価結果

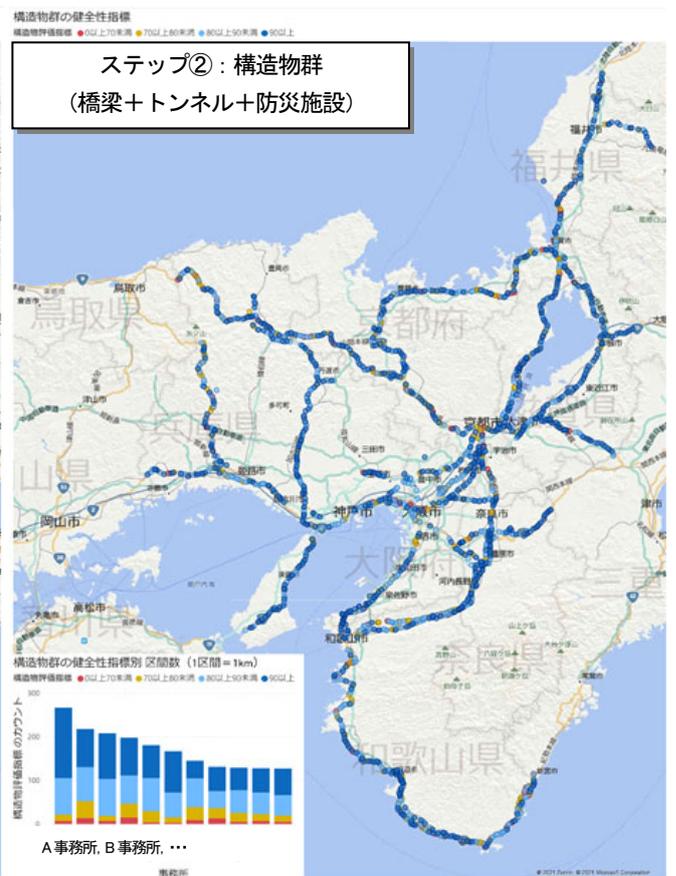


図-8 構造物群の健全性評価結果



図-9 ネットワークの機能指標の結果

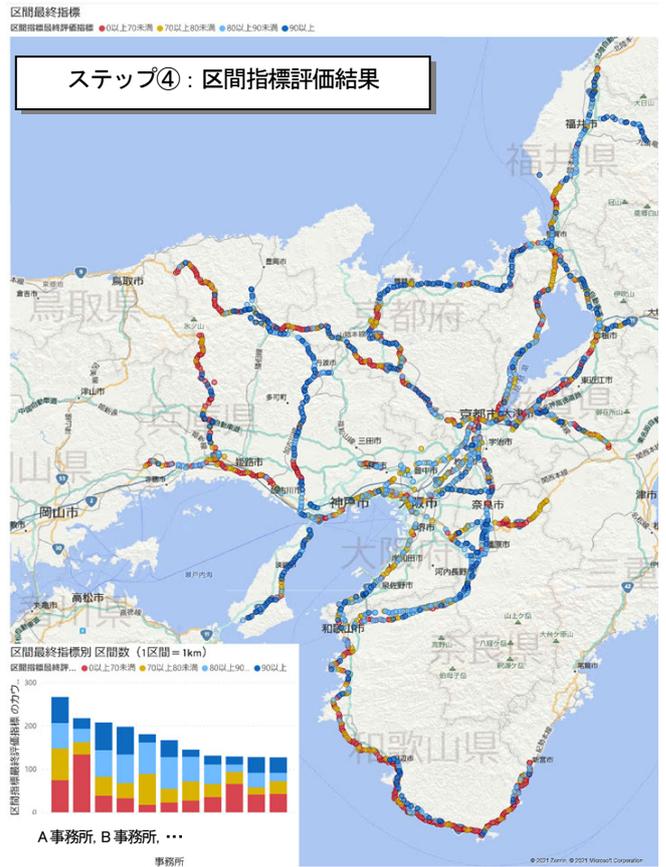


図-10 構造物の健全性と路線のネットワーク機能の合算

5. まとめ

予防保全にむけた橋梁の長寿命化修繕計画策定について、重点化すべき健全度Ⅱ判定の戦略的な解消により、安全・安心の確保とコスト縮減効果の最大化を目指す取り組みに関する中間報告を行った。

「橋梁プロファイリング」を用いて橋梁定期点検結果から半自動的算出した橋梁の補修優先順位と、構造物群の健全度・ネットワーク機能特性を考慮した「区間指標」による補修優先順位を両方考慮することで、戦略的な健全度Ⅱの補修優先順位付けを行った(表-2)。

その結果、図-11 に示すとおり、健全度Ⅱ判定から健全度Ⅲ判定への進行を未然に防ぐサイクルを継続的に進めると経時的に健全度ⅠおよびⅡ判定橋梁の割合が増し、長期的観点でのコストダウンが可能となる。

今後、「橋梁プロファイリング」と「区間指標を導入した優先順位評価」による修繕計画策定のための検討を引き続き行う。

表-2 健全度Ⅱの補修優先順位評価結果例

No.	修繕計画の最適化											
	プロファイリング		区間指標-構造物群【100】				区間指標-ネットワーク群【100】					区間指標最終(小ほど優先)【100】
	橋梁リスク	優先対象	橋梁【34】	トンネル【33】	防災【33】	構造物点数【100】	交通量【30】	DID【10】	第三者【10】	迂回路【50】	ネットワーク点数【100】	
A橋	0.807635	○	14	33	24	71	18	10	10	0	38	54.4
B橋	0.722317	○	18	33	33	84	30	0	3	0	33	58.4
C橋	0.721714	○	16	33	33	82	30	1	7	0	38	60.2
D橋	0.666891	○	27	33	33	93	30	6	5	0	41	66.9
E橋	0.666584	○	20	33	23	76	30	10	10	8	58	67.3
F橋	0.635035	○	20	33	33	86	30	10	10	0	50	68.1
G橋	0.632932	○	17	33	33	83	18	0	8	50	76	79.2
H橋	0.626275	○	17	33	33	83	18	0	8	50	76	79.2
J橋	0.571969	○	17	33	30	80	30	0	0	50	80	79.9
K橋	0.570777	○	26	33	33	92	9	10	3	50	72	82.1
...	0.569388	○	20	33	33	86	30	10	0	50	90	88.2
...	0.513112	○	26	25	33	84	30	10	6	50	96	90.2
...	0.507686	○	24	33	26	83	30	10	10	50	100	91.7
...	0.506446	○	28	33	33	94	30	10	5	50	95	94.3
...	0.489037	○	28	33	33	94	30	10	10	50	100	97.1

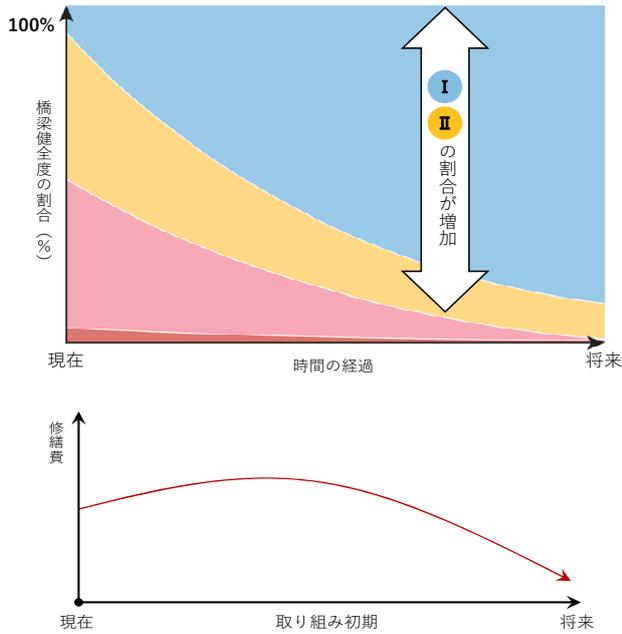


図-11 橋梁健全度と修繕費の経時変化イメージ

※ 本稿の内容は、筆者の前所属である近畿地方整備局 近畿道路メンテナンスセンター 技術課における所掌内容である。

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

参考文献

- 1) 大阪大学大学院 工学研究科 貝戸 清之：橋梁補修施策プロファイリング手法の開発，令和元年度新都市社会技術融合創造研究会報告書，2020.3.
- 2) 玉越隆史，大久保 雅憲，横井 芳輝：平成 24 年度道路構造物に関する基本データ集，国土技術政策総合研究所資料第 776 号，2014.1.

# 車載カメラを用いた道路状況等の確認に関する 試行導入について

川嶋 智和<sup>1</sup>・宮内 新太郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 道路部 道路工事課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

<sup>2</sup>枚方市役所 土木部 道路河川整備課 (〒573-8666大阪府枚方市大垣内町2-1-20)

従来の道路巡回は車上からの目視で行われており、損傷や異常などを報告する際は、損傷・異常箇所の画像や位置情報(距離標)を得ることに労力と時間を有している。本稿では、大阪国道事務所管内における道路巡回の効率化・高度化を図るため、巡回用車両にカメラを搭載し、路面等の道路状況等を映像(動画)で確認できる道路巡回システムを試行することで道路巡回を支援し、本格導入にあたっての課題等を検討した。

キーワード 道路巡回, 車載カメラ, 維持管理, 安全, 効率化, 高度化

## 1. はじめに

従来の道路巡回は車上からの目視で行われており、損傷や異常などを報告する際は、損傷・異常箇所の画像や位置情報(距離標)を得ることに労力と時間を有している。限られた人員の中で、道路サービスレベルの維持・向上を図るべく<sup>1)</sup>、近畿地方整備局大阪国道事務所では、道路巡回の高度化・効率化を目的に、2020年11月中旬から2021年3月上旬まで事務所管内の4出張所(高槻, 西大阪, 南大阪, 北大阪)計8台の道路巡回車両に車載カメラ等を設置し、道路巡回システムを試行導入した。また、図-1に示す検討フローに基づき、現状の道路巡回の課題抽出、課題に対する道路巡回システムを活用した対応策、試行実施、効果検証を行った。

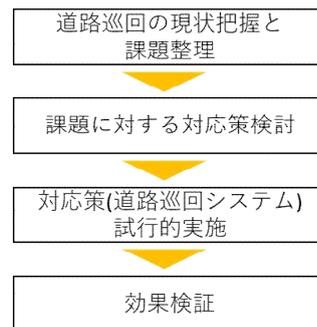


図-1 検討フロー

(点線: 通信、実線: ケーブル等による接続、破線: 手動によるセット(接続)を示す)  
青: 動画共有機能 緑: 緊急時通報機能 赤: リアルタイム動画配信機能



図-2 道路巡回システムの概要

## 2. 道路巡回システムの概要

図-2に道路巡回システムの概要を示す。このシステムの特徴は、車載カメラで取得した全走行映像に位置情報と時刻を付与、クラウドを介して現場・所内間で道路巡回の状況を共有することができる。視野角110°のカメラを道路巡回車両へ搭載し、道路状況を確認できる映像として、図-3に示すリアルタイム配信用の低精細(解像度640×360, 7FPS)、記録用の高精細(解像度1920×1080(フルハイビジョン), 15FPS)の両方の映像(動画)を記録するものである。また、大きく3つの機能を有しており、映像(動画)はあらゆる場面で活用することができる。図4~6に3つの機能を示した。



図-3 リアルタイム配信用の低精細映像(左), 記録用の高精細映像(右)

(1) 動画共有機能

図4 に記録用の高精細映像を示す。高精細映像は日々の巡回で取得した映像(動画)を外部記録媒体のSSDへ保存,巡回終了後にクラウドへアップロードし,位置情報や計測時刻等を関連付けした映像(動画)を検索・抽出し,インターネット経由で閲覧できる。過去に遡って映像(動画)を確認することができ,時系列の異なる映像による劣化傾向比較や予兆確認に活用することができる。



図-4 高精細映像の閲覧

(2) リアルタイム動画配信機能

図-5にリアルタイム動画を示す。リアルタイム動画は車載カメラを設置した巡回車両が出発する時から映像(動画)を取得し,位置情報と合わせて確認することができる。また,低解像度ではあるが,ほぼリアルタイムで映像(動画)をクラウドへ送信し関係者はパソコン等で確認できる。取得した映像(動画)は最大4車両分の映像を同時に見ることができ,事故や防災対応時の意思決定の補完に活用できる。



図-5 リアルタイム動画の閲覧

(3) 緊急時通報機能

図-6に緊急時通報機能とその映像を示す。道路の異常を発見した場合,車両に設置した緊急ボタン(スイッチボックス)を押すことで,位置情報と併せて10秒程度の高精細な映像(動画)を取得できる。映像(動画)はボタンを押すとクラウドへアップロードされ,速やかに通報・閲覧が可能である。また,表-1に示す通りスイッチボックスは3つのボタンがあり,緑:A,黄:B,赤:緊急で区分されている。本試行ではクラウドにアップロードされる点を踏まえ,「A」と「緊急」のみを使用した。



図-6 緊急時通報機能と映像閲覧

表-1 スイッチボックスのボタン種類

種類	色	機能
A	緑	・施設物損傷の発見時に使用 ・ボタンを押すとクラウドにアップロード
B	黄	・映像を見返しやすいように目印を付ける ・クラウドにアップロードされない
緊急	赤	・施設物損傷以外(事故等)に使用 ・ボタンを押すとクラウドにアップロード

### 3. 道路巡回の現状把握と課題整理

道路巡回システムの試行前にアンケートおよびヒアリングを実施し、現在行われている道路巡回の現状や課題について把握することとした。試行前アンケートは4出張所の職員及び委託業者の計16名から回答があり、アンケート結果と抽出される課題は表-2に整理した。課題は効率化及び安全性、多角的な状況把握、異常時の伝達手段の大きく3つに区分され、各々について課題に繋がる要因を整理した。

1つ目の効率化及び安全性では、広いエリアに渡って面的に生じる事象の場合は、全体の状況把握が難しく、個人の経験値に委ねられていると考えられる。また、通常巡回とは異なる異常時巡回においては危険を伴う作業が生じる可能性がある。(豪雨時の車外での撮影など)よって、巡回時の項目統一及び現場情報把握の効率性の向上、巡回員の安全性の向上が必要である。

2つ目の多角的な状況把握(高度化)では、巡回時は走行レーンを通行しており、他の車線の確認が不明な場合があると考えられる。また、巡回終了後に損傷写真の撮り直しは回答者全員が「なし」としているが、異常や損傷の見逃しに不安を抱いている。また、巡回後に確認する場合、静止画像のみでは空間的に視野を広げた確認、状況の変化に連続性をもった情報確認、異なる時間軸からみた確認等状況がわかりにくい可能性がある。よって、あらゆる視点からの事象状況の把握が必要である。

3つ目の異常時の伝達手段では、スマホ、メール(画像あり)等の情報伝達は、情報の質・量ともに、発信者及び受信者次第となる。また、伝達時に事象の緊急性についても不安を感じている。よって、事象情報に関する報告時のルール化が必要である。

### 4. 課題に対する対応策検討

試行前アンケート及びヒアリング結果から抽出された課題に対し、道路巡回システムを活用した対応策についても表-2に整理した。

1つ目の効率化及び安全性では、撮影される動画データにより異常・損傷の撮り逃し、取り直し等を防止できる。さらに巡回時の項目の統一を図ることもできる。また、下車せずに必要な情報を取得でき、巡回員の安全を確保できる。

2つ目の多角的な状況把握(高度化)では、走行空間の様々な情報を蓄積でき、ボタン押下前後10秒の映像が伝送され、事象発見時の連続的な状況把握が可能になる。

3つ目の異常時の伝達手段では、異常時(緊急時)に現場と出張所で位置情報も含めたリアルタイム映像を共有でき、巡回員・出張所間での意思決定にも補完できる。

表-2 アンケート結果から抽出された課題と道路巡回システムを活用した対応策

アンケート結果		【課題】	【解決策】道路巡回システムの有効な対応策
項目	内容		
1. 効率化 及び 安全性	①巡視すべき対象が多く、個人により確認している内容が異なる(出張所・路線による違いがある) ②異常時の点検で危険を感じたことがある。	①巡回時の項目統一及び現場情報把握の効率性を向上させる必要がある。 ②巡回員の安全性を向上させる必要がある。	【動画共有機能】 巡回車両より走行中に撮影する動画データ、位置情報、センサー情報等を自動取得する機能により、巡回後に事象に関する異常・損傷の撮り逃し、取り直し等を防止できる。またこれらのデータより巡回時の項目の統一を図ることができる。 【緊急時通報機能(ボタン)】 ボタンの押下により異常や損傷を下車せずに必要な情報を取得でき、巡回員の安全を確保できる。緊急的な事象(走行に異常をきたす落下物や損傷)以外は乗車したまま巡回ができ、作業に集中できる。
2. 多角的な 状況把握 (高度化)	①異常や損傷の見逃しがないか(走行レーン以外は特に見落としがち) ②損傷箇所を正確に記録できているか、自分の判断が間違っていないか不安を感じる点がある。	①②あらゆる視点からの事象状況の把握が必要である。 ・事象情報に関する空間性の向上(例:冠水時に発生原因が下水道なのか他なのか等、異常時の広範囲な観察・分析等) ・事象情報に関する時間的連続性の向上(事象発生時間の前後状況) ・事象情報に関する時点の変化性の向上(事象発生箇所の経年変化、経月変化、経日変化の状況)	【動画共有機能】 フルハイビジョンカメラによる映像で走行状況を記録し、当該区間における走行空間の様々な情報を蓄積できる。 【緊急時通報機能(緊急ボタン)】 緊急ボタンにより、事務所にボタン押下前後10秒の映像が伝送され、事象発見時の前後の連続的な状況把握ができる。 【映像比較機能】 過去映像を並べて表示させ、時点の異なる事象箇所付近の変状を視認できる。ポットホール等、管理瑕疵に係る損傷の説明責任を問われた際にその根拠として管理状況を整理することができる。
3. 異常時の 伝達手段	①スマホなどで情報を共有している。	①事象情報に関する報告時のルール化が必要である。	【リアルタイム動画配信機能】 異常時(緊急時)に現場と出張所でリアルタイム映像を共有でき、巡回員・出張所間で共有化できる。 【緊急時通報機能】 3種類のボタン(緊急ボタン、Aボタン、Bボタン)により、事象の重要度に分けて、出張所への迅速な映像共有(位置情報含め)ができる

## 5. 対応策(道路巡回システム) 試行的実施

対応策検討を踏まえ、道路巡回システムの試行を実施した。試行する中で、国道での適用性、道路巡回の高度化、地震等の異常時の利活用についても検討した。

### (1) 道路巡回システムの適用性

#### 1) 高速道路と直轄国道の道路巡回項目の比較

道路巡回システムは首都高速道路で運用実績がある。直轄国道の道路巡回に適用できるか確認するため高速道路と直轄国道の道路巡回項目を比較し相違点を抽出した。道路巡回項目の比較は、各種マニュアルをもとに確認した。巡回項目の相違点は道路巡回システムの映像で確認(運用でカバー)できることを確認した。図-7は一事例として道路情報板の表示内容確認を示す。

路巡回支援システムのメモ機能を生かすことで巡回日誌に活用することが考えられる。

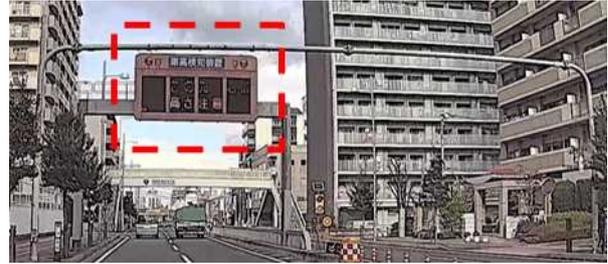


図-7 道路情報板の表示内容確認

#### 2) 路線毎の特徴を踏まえた運用方法

路線ごとの特徴を整理し、大阪国道事務所管内における道路巡回システムの運用ルール案を検討した。リアルタイム動画映像の共有、蓄積した高精細な動画映像の活用、緊急時通報機能の活用等を具体的な事例を整理してまとめた。図-8は交通量も多く停車しにくい箇所での緊急時通報機能を活用した事例を示した。



図-8 路面の異常に対するAボタンの活用

#### 3) LTE通信環境調査

通信環境をNTTドコモが提供しているLTEサービスエリアマップにて確認した。さらに、通信環境が良くないエリアに対し、図-9に示すようにリアルタイム映像が位置情報を含め見ることができるかを整理した。通信環境が良くない山岳エリアでリアルタイム映像が見られる時と見られない時があることを確認した。

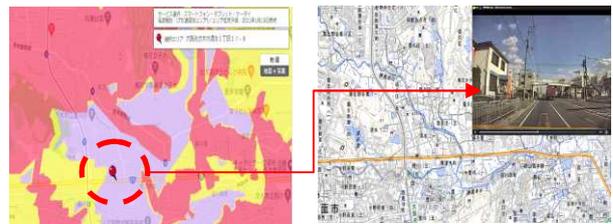


図-9 LTE通信環境調査(左図はNTTドコモHPより引用)

### (2) 道路巡回の高度化

#### 1) 「予防保全型」維持・修繕の推進への活用

舗装点検結果から健全性Ⅲの箇所を抽出し、図-10に示す道路巡回システムで取得した映像(動画)から進行状況の把握が可能かを検討した。既に補修済みの箇所もあったが、経過観察の箇所では点検日以降ではあるが進展があったことを確認することができた。なお、点検日から今回の試行期間までは時間が経過していたため、より明確な変状時期を確認する上でもデータベース的な機能として活用することが確認できた。



図-10 時系列の異なる画像比較

#### 2) 道路巡回支援システムとの連携方法

道路巡回システムの映像(動画)は道路巡回支援システム(タブレット型)を巡回で活用している場合、データ連携することも考えられる。連携方法として、図-11に示す道路巡回支援システム側から必要なデータをリクエストする連携が考えられ、道路巡回システムで取得した映像(動画)から静止画像を切り出し、道

道路巡回の高度化  
(道路巡回支援システムとの連携\_携帯端末と道路巡回システム)

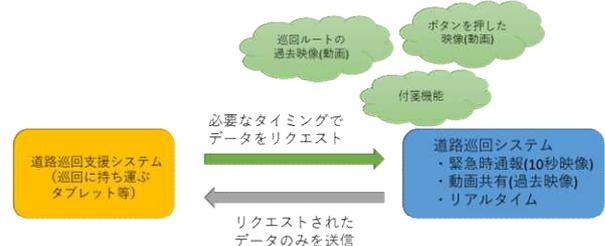


図-11 連携方法(案)

### (3) 地震時の道路巡回システムの利活用

地震による大規模災害時は、巡回車両、徒歩等で巡回し、把握した情報は電話等で各出張所、事務局、局に共有される形となるが、情報を共有する中で現場の状況をリアルタイムに映像提供することや被害状況を時系列に損傷状況、その位置情報等を含め共有することも必要である。図-12に示す国道2号は河川を跨ぐ橋梁区間が多数存在し、地震時は橋梁の段差に注視する必要がある。図-13に示すリアルタイム動画配信機能を活用することで現地から継続した現場状況を映像（動画）で共有することができる。また、地震時は既に構造物等の損傷が出ており二次災害も懸念される。そのため緊急時通報機能も併用することで下車せず被害状況を把握できるツールとしても有効である。



図-12 河川を跨ぐ橋梁区間（国道2号）



## 6. 効果検証

道路巡回システムの試行を通じた利用実態を把握するため効果検証のアンケートを実施した。アンケート回答は4出張所の職員及び委託業者の計17名から回答があった。

### (1) 効果検証結果

通常の巡回を行いながら本試行を実施した中で、機器の操作面及び各種機能（取得した映像の活用）において、以下の点で有効性が確認された。

動画共有機能では、日々の巡回映像が蓄積されることで過去映像が確認できる活用効果について確認された。また、異常発生箇所の応急処置後の経過観察対応におけるシステム活用の有効性について活用効果意識が確認された。

リアルタイム動画配信機能では、異常時での必要性は認識されているが、特に効果が確認できる試行結果は確認できなかった。

緊急時通報機能では、下車せずにボタンを押すことで損傷等の映像取得ができることは巡回員の安全面で有効であることが確認された。また、専道など下車しにくい場所では、路面の異常等があった際はボタンを押すことで情報を残すことの活用有効性が確認された。さらに、判断に迷う事象に対し、巡回車両からボタンを押し出張所職員が映像確認をすることで事象対応を進めたことが確認された。

### (2) 試行で確認された課題

今後の課題としては、以下の点が確認された。

動画共有機能では、路面の損傷状況や歩道の細部を確認しにくいといった意見があり取得した映像が利用目的にあった鮮明度ではないことも確認された。

そのため、カメラの映像をより鮮明にする必要性が課題として確認された。映像を鮮明にする方法としては、カメラの高性能化（レンズ等）や広角カメラ等の導入、逆光が移りこまないための設置方法の工夫等が有効と考えられることから、今後はその費用対効果や新たに生じる課題等を踏まえて検討を行う必要がある。

リアルタイム動画配信機能では、悪天候時や夜間において対向車のヘッドライトによる逆光等で見にくい等の意見が挙がった。また、巡回車からでは事象の細部を確認できない場合があることから、カメラに携帯性を持たせるか、スマートフォン等の携帯性のあるカメラにおいて同様のシステムを実装し、検討する必要があると考えられる。

緊急時通報機能では、現在行われている巡回方法に加えて本システムの試行であったことから、ボタンの押し忘れが多く確認された。また巡回時に「緊急」や「A」ボタンが押下された際に、どのような事象で押下されたのか、映像内のどの箇所が問題箇所なのか等がわかりにくいとの課題意識が確認された。そのため、下車しにくい箇所や経過観察対象についてはボタンを押下するルール（事象別にどのボタンを押すかも含め）及びルーティーンを決めることで押し忘れも防ぐことが可能である。また、音声付与機能を追加するシステム改良をすることでボタンを押した事象を確実に把握し、事象を整理することが可能となる。さらに、道路巡回支援システム（タブレット）が活用可能であれば、道路巡回システムとの連携が考えられる。道路巡回システムの

表-3 本試行に係るまとめ

No.	項目	現状 (試行前アンケート)	課題	解決策(試行前検討)	試行結果	今後の課題と対応案
1	効率化及び 安全性	巡視すべき対象が多く、 確認内容に個人差	巡回時の確認すべき項目統一 及び現場情報把握の効率性	動画共有機能により、動画データ (位置情報等)を取得し異常・ 損傷の撮り逃し、取り直し 等を防止	巡回映像の蓄積により、過去映像 を活用した効果(損傷日時等)に ついて確認	カメラ映像の画質や画角⇒ <b>カメラの高性能化及び広角カメラ等の導入</b>
		異常時の点検で危険を感じた	巡回員の安全性	緊急時通報機能により、異常や 損傷を下車せずに必要な情報を 取得し、巡回員の安全を確保	自専道や大型車が多い国道では、 下車せず情報を取得でき巡回員の 安全面及び活用の有効性を確認	取得した映像の道路巡回支援システム (タブレット)との連携 ⇒ <b>タブレットとの連動についてシステム改良</b>
2	多角的な 状況把握 (高度化)	異常や損傷の見逃しへの 不安	あらゆる視点からの事象状況 の把握 ・異常時の広範囲な観察 ・事象発生の前後状況等	緊急時通報機能により、前後10 秒の映像データの取得が可能 (連続的な状況把握)	自専道など下車しにくい所では、 ボタンを押すことで情報を残すこ との活用有効性を確認	取得した映像の道路巡回支援システム (タブレット)との連携 ⇒ <b>タブレットとの連動についてシステム改良</b>
		損傷個所の正確な記録及 び自分の判断への不安		動画共有機能により、映像を記 録することで広範囲の道路状況 や異常事象を確認	本試行カメラでの道路状況把握を 確認	さらなるカメラの高スペック化はデー タ量が膨大 ⇒ <b>費用対効果を踏まえたカメラの選定</b>
3	異常時の 伝達手段	スマホなどで情報を共有	報告手段が不統一 (報告時のルール化が必要)	リアルタイム動画配信機能によ り、異常時に現地と出張所で映 像による情報を共有	現地と出張所とのリアルタイムで の状況把握は、効果が確認できる 試行結果は確認できていない(異 常時での必要性は認識されてい る)	カメラ映像の画質や画角⇒ <b>カメラの高性能化及び広角カメラ等の導入</b>  カメラが外せない ⇒ <b>モバイル端末の活用(携帯性)</b>
				緊急時通報機能により、事象の 重要度に分けた出張所への迅速 な映像共有	判断に迷う事象に対し、ボタンを 押し出張所職員が映像確認をす ることで事象対応を実施  「緊急」「A」のボタンの違いによ る有効性は確認できていない	使用場面及び事象の明確化 ⇒ <b>出張所及び維持業者等を含めたルール化</b>  取得した映像の道路巡回支援システム (タブレット)との連携 ⇒ <b>タブレットとの連動についてシステム改良</b>

ボタン機能で取得した映像から静止画像切出しを行い、道路巡回支援システムの機能である問題箇所をマーキングする等の画像編集を付与することも考えられ、巡回日誌への活用も期待できる。

## 7. おわりに

本稿では、道路巡回システムの試行を行い、表-3で道路巡回の現状把握、課題抽出、解決策、試行結果、今後の課題と対応案をまとめた。取得した映像による活用有効性を確認できたものもあるが、効率化に向けてはさらなる改良が必要である。

本稿は著者の従前の所属(大阪国道事務所)における所掌内容を取りまとめたものである。

謝辞: 本試行では、各出張所及び道路巡回を行う委託業者の方々に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

1)国土交通省 国道(国管理)の維持管理のあり方について  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/road01\\_hh\\_001322.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001322.html)

# 関西国際空港における 特定天井改修工事について

石田 和泰

関西エアポート株式会社 建築技術部 関空建築グループ  
(〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1番地)

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の際に、大規模空間における天井が多数脱落した。このような状況を受け、2014年4月に「建築物の天井脱落対策及びエレベーター等の脱落防止対策等に係る建築基準法の施行令の一部を改正する政令」が施行された。その施行令の中で「脱落によって重大な危害に生ずるおそれがある天井」（以下「特定天井」と呼ぶ）が定義されている。関西国際空港ではBCPおよび早期復旧の観点から特定天井改修を進めている。この取り組みについて報告する。

キーワード 安全, 防災

## 1. はじめに

関西国際空港内の建築物において特定天井に該当する箇所は3カ所存在する。「第1ターミナルビル4F（一部3Fを含む）」・「空港駅3Fコンコース」・「海上アクセスターミナルビル待合室（ただし、現在は未使用）」である。

2014年から特定天井に関する調査・検討を開始し、2018年から第1ターミナルビル、空港駅の改修工事に着手した。空港駅は2020年8月に完了しており、第1ターミナルビルは2024年度までに完了予定である。

今回は現在進行中である第1ターミナルビルのうち、既に完了している4F部分の特定天井改修工事について報告する。

施した。第1ターミナルビル4F特定天井の主な特徴は以下の通りである。

- ・屋根形に沿った天井デザイン
- ・約3.6m×9mのユニットで構成された天井
- ・対象は建物内部と建物外部に存在する
- ・建物内部の天井はシステム天井のような仕組み
- ・仕上げ材は、建物内部が岩綿吸音板、建物外部がFRPボード
- ・天井内に建築設備はない。

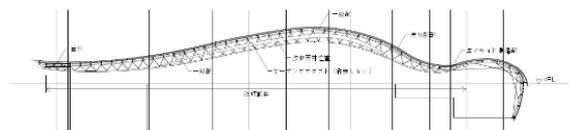


図-2 屋根形状（断面図）



図-1 第1ターミナルビル4F



図-3 既存天井内の様子

## 2. 改修前の天井について

改修検討を実施する前に、現状の特定天井の調査を実

また、今回の改修において天井仕上材が変更になる可能性を考慮し、現状の音響状況を把握するために、調査

段階で同フロアにおいて音響測定を実施している。

### 3. 改修方法の概要

既存建築物における特定天井の改修方法は、撤去・耐震天井・落下防止対策など複数存在する。最適な改修方法を決定するにあたり、選定基準は以下の通りとした。

- ・第1ターミナルビル4Fの機能が継続出来ること（BCPの観点より）
- ・意匠性は変えないこと
- ・特定天井に該当しない天井へ改修すること
- ・既存の天井重量より重くならないこと

上記の基準より、改修方法は全撤去新設とし、以下の通り決定した。

- ・既存の天井は下地、仕上げとも撤去する
- ・改修後の天井は、準構造天井（躯体に緊結し天井と建物を一体化）とする
- ・仕上げ材はグラスウールボードを使用する。ただし、建物外部は現状と同様とする。
- ・部材の色は、既存に対しての近似色とする。

具体的な改修方法について以下に示す。

#### (1) 既存天井の撤去

吊ボルトを切断し、それ以下の天井部材を全て撤去する。

#### (2) 新設天井

既設の母屋（H鋼）を利用して準構造天井とした。そのため、天井支持構造部材は母屋（H鋼）に取りつけた。また、本改修では均一の施工精度を必要としたため、建物内外双方とも現場溶接はせず、全てボルト等機械的な接合とした。さらに、天井仕上材の上下振動を拘束する仕組みを設けた。

##### a) 建物内部

次に、建物内部の天井仕上材の選定のために、関空島内にモックアップを製作して、以下の項目について検証した。

- ・意匠面  
色や質感、ボード間の継ぎ目、Tバーとボードの見え方、その他課題。
- ・施工性（施工者へのヒアリング）  
施工のしやすさや課題、施工部材数、施工時間、現場での加工頻度

これらの内容を総合的に判断した結果、グラスウールボードを採用することにした。

##### b) 建物外部

建物外部の天井仕上げ材については、雨や風の影響に

より軽量天井材が使用出来ないため、現状と同じFRPボードとした。その天井仕上材の取り付け方も既存と同様とした。



図4 モックアップの様子

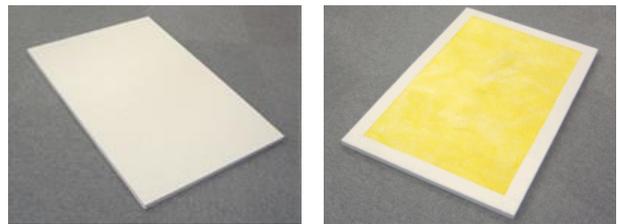


図5 仕上げ材（建物内部）

### 4. 施工について

第1ターミナルビル4Fは国際線の出発ロビーである。工事に着手するにあたり、ターミナルビルを運用しながら工事を進めるため、空港運用に影響の少ない施工計画とした。

#### (1) 仮設計画

コロナ禍の現在と異なり、利用者数も年々増加している状況で出発ピーク時間帯は特に混雑していたため、旅客動線や滞留スペース、空間の視認性に影響の少ない仮設計画が必要であった。

本工事においては、建物内部は移動式吊足場と棚足場、建物外部は棚足場と高所作業車を用いて工事を実施している。建物内のメイン仮設に移動式吊足場を採用することで、4F床面に設置する足場が最小限で済むため、昼間は通常どおりの空港運用が可能である。

##### a) 移動式吊足場

第1ターミナルビルの屋根構造はトラスが東西方向に掛かっているのが特徴である。足場を吊るためにこのトラスを利用した。トラス上弦材に移動式吊り足場のレールを設置してそこに足場を吊り下げた。また、床面から移動式吊り足場への作業員の動線は、昇降用の棚足場とトラス内に歩廊を設置することで、移動式吊り足場への移動動線を確保した。

##### b) 棚足場

建物内部で吊り足場が寄り付かないEV付近に関して





図-10 施工手順

(3) 工程

工程は、建物内部をEV付近の棚足場設置部分と移動式吊足場設置部分（一般部と急勾配部）の3つのエリアに分けて、それに外部を加えた計4エリアで考えている。吊足場で一般部と急勾配部でエリア分けをしているのは、勾配の影響で吊足場の動力を変える必要があるためである。

る。工事最初のレーン（南1レーン）においては、現場不一致も出てくる可能性が高かったため、時間を掛けて慎重に工事を進めた。

工期は、2018年12月～2020年6月までの19か月間である。これにより、建物内部においては最大4レーンで同時期に移動式吊足場が設置されて作業しているような計画である。

また、第1ターミナルビル4Fにおいては、他工事も多数実施している。吊り足場の下部は立ち入り禁止となり、他工事の作業員が入れなくなることから、本工事の効率のみならず、他工事のスケジュール等も配慮した工程を計画している。

(4) 施工状況

a) 建物内部

キールトラスに吊られている移動式吊足場は、落下防止用の膜をオープンエアダクトの膜と同色系（白色）とした。あまり目立たない仮設足場とすることで、利用者への心理的な負担を軽減している。

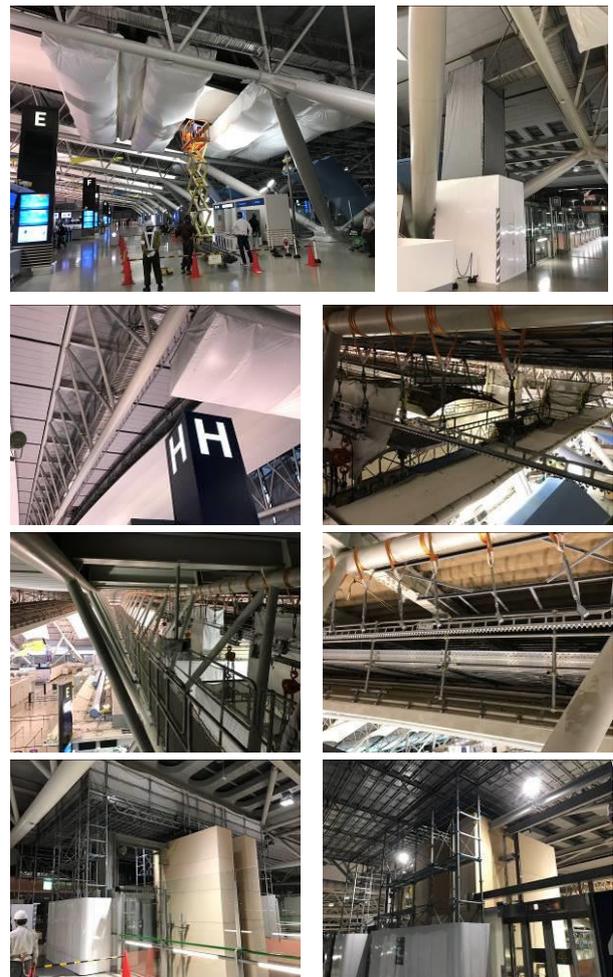


図-11 作業状況（内部）

改修前と改修後における天井の意匠性は、意図通りである。

まり差がなく、建物のデザインを保ちつつ天井の耐震性を向上している。



図-12 改修前後の天井

工事最初のレーン（南1レーン）で現場不一致が出てきた際に、今後の対策ルールを検討も併せて行ったため、残りのレーンにおいては新たな技術的課題はあまり発生せず、順調に工事を進めることが出来た。また、作業員も各エリアで手順を繰り返すことで作業に慣れてきたために、作業効率も上がった。

一般部において施工日数は約33日である（仮設置（レール・幕上足場延伸）の約12日を含む）。作業別日数は、既存天井解体に約11日、天井下地工事に約14日、天井仕上工事に約11日である。

急勾配部分においては一般部より施工面積が1/4であるが作業しにくい場所のため、施工日数は約28日である（仮設延伸・解体の約13日含む。）。作業別日数は、既存天井解体に約4日、天井下地工事に約4日、天井仕上工事に約5日である。

#### b) 建物外部

建物とリムジンバス降り場の床の間に開口があったため、落下防止の観点より全て床板やシートで養生を実施している。その上部に棚足場を設置して一連の作業を行った。また、天井を解体した時しか天井内の部材に触れないため、本工事に併せて鉄部塗装修繕を行うことでメンテナンスの効率化を図っている。

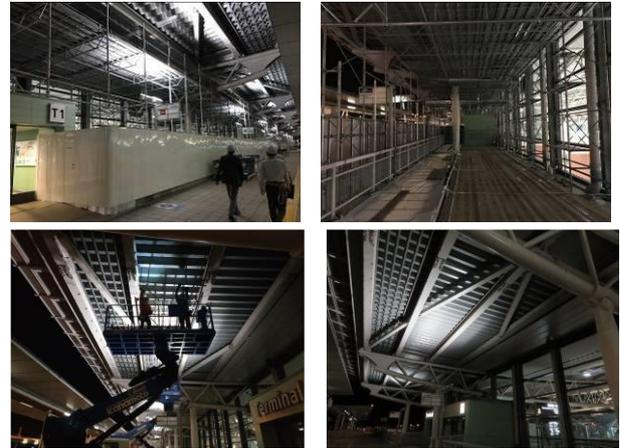


図-13 作業状況（外部）

## 5. おわりに

第1ターミナルビル4Fの特定天井改修は、2018年12月の現場着手から2020年6月までの19か月間、新型コロナウイルス感染症の影響はあったものの、施工中に大きなトラブルもなく、無事故無災害で完工することが出来た。残りの特定天井についても、継続して実施しているところである。本工事は空港利用者の安心・安全のために実施している工事である。今後も利用者に安心して利用して頂けるように空港運営に努めていきたい。

# 大阪国際空港ターミナル 周辺道路の混雑対策 および安全強化の取り組み

市瀬 友啓<sup>1</sup>

<sup>1</sup>関西エアポート株式会社 伊丹空港本部・基盤技術部 (〒560-0036 大阪府豊中市螢池西町3-555)

大阪国際空港のターミナルビル周辺道路は、一般車降車場での違法駐車が常態化し、また、繁忙期に駐車場が満車になると、その待機列による渋滞が発生するなど、違法駐車や混雑による安全面での懸念が課題となっていた。そこで、関西エアポート株式会社は、公安委員会による指導を踏まえつつ、ターミナルビルの大規模改修に合わせて、課題の解消と更なる利便性の向上を図るため、アクセス施設の再配置、駐車場の立体化などの駐車場混雑対策、その他安全強化に関する取り組みを複合的に実施した。その結果、ターミナルビル周辺道路の安全性・利便性が向上し、課題となっていたターミナルビル周辺道路の違法駐車と混雑が解消した。

キーワード 駐車場、違法駐車対策、混雑対策、安全強化

## 1. はじめに

大阪国際空港（伊丹空港）は、充実した国内線ネットワークを提供する利便性の高い都市型空港であり、空港周辺地域と共生する空港として、年間約1,700万人の航空旅客に利用されている。

2016年2月に着工したターミナルビルの大規模改修では、出発・到着時の旅客動線が抜本的に見直しされることとなり、ターミナルビル前道路の周辺など（以下、「カーブサイド」）では、バスやタクシーなどの乗降場

の再配置が必要となった。また、従前より、一般車降車場での違法駐車や混雑の常態化、駐車場満車時の待機列によるターミナルビル前道路の混雑、違法駐車による安全面での懸念など、道路交通安全上の課題を抱えていた。

これらの背景を踏まえて、本稿では、ターミナルビルの大規模改修に合わせて、旅客の利便性の向上を図るとともに、従前より抱える課題を解消するため、関西国際空港（KIX）および大阪国際空港（ITAMI）の運営会社として関西エアポート株式会社（以下、「当社」）が実施した大阪国際空港ターミナルビル周辺道路の混雑対策および安全強化の取り組みについて述べるものである。



図-1 リニューアル後の大阪国際空港 施設配置図

## 2. アクセス施設の再配置と安全強化

### (1) ターミナルビル先行オープンに伴う到着口中央集約

約50年ぶりとなるターミナルビルの大規模改修工事については、2020年8月5日のグランドオープンに先駆け、2018年4月18日にターミナルビルの中央および屋上エリアが先行オープンした。

特に、先行オープンでは、主に中央エリアおよび屋上エリアにおける商業施設の全面改装、ターミナルビル到着口の変更が行われた。

到着口の変更(以下、「到着口中央集約」)により、ターミナルビルの1階南北に分かれていた到着口は、ターミナルビルの2階中央の1箇所に集約され、モノレールやバスなどへのスムーズなアクセスが可能となった。

### (2) 公共交通機関と一般車両の分離

リムジンバスやタクシーといったアクセス施設の乗降場所について、大規模改修の着手前は南北のターミナルビルの前面にそれぞれ分かれて配置されていた。そのため、前節で述べた到着口中央集約に伴い、リムジンバスやタクシーの乗降場を再配置する必要が生じた。また、前述したとおり、カーブサイドでは、一般車降車場での違法駐車の状態化など、道路交通安全上の課題を抱えていたことから、自家用車により空港をご利用になるお客様の安全性や利便性の向上が不可欠であった。

#### a) 施設配置の優先順位

そこで、当社は、施設配置の優先順位を決定しようとして、道路交通安全および交通事故防止などの観点から、所管の公安委員会(大阪府、兵庫県)の指導の下、関係行政機関、バス、タクシーなどの関係アクセス事業者、および関係事業者団体とも協議し、最も利用分担率の高い公共交通機関であるリムジンバス乗降場をターミナルビルに最も近い車線(側道第1車線)へ配置することとした。また、同じく公共交通機関であるタクシー乗降場をターミナルビルから2番目の車線(側道第2車線)に配置することとした。

#### b) 降車専用レーンの設置

一方、公共交通機関でのアクセスを優先して施設を再配置したこと、用地上の制約、道路交通安全上の課題解消の観点などを総合的に勘案した結果、これまで配置していた従前の一般車降車場を廃止し、駐車場側の緑地帯を利用転換することで得られた用地を活用し、新たに一般車両を対象とした降車専用レーンを設置(供用開始:2017年11月)した。

#### c) 公共交通機関と一般車両の分離

この施設配置の変更により、リムジンバスやタクシーなどの公共交通機関はターミナルビル側、一般車両は駐車場側へ配置することとなり、公共交通機関と一般車両の分離を図ることが可能となった。

### (3) 車線構成の見直し

ターミナルビル前道路の車線数については、大規模改修着手前は4車線であったが、写真-1に示すとおり、駐車場が満車になると、駐車場側の車線には車列が発生していた。また、前述のとおり、到着旅客を出迎えようとする一般車両による一般車降車場やその付近のゼブラ帯での待機により、ターミナルビル側の車線にも待機列が発生し、4車線のうちの2車線の通行ができない状態が見られていた。その待機列が長くなると、リムジンバスの運行やタクシーの発着にも支障となっていた。



写真-1 大規模改修前のターミナルビル前道路の混雑

#### a) 設計条件

一方、当社が大阪国際空港の運営管理を開始する前に検討されていた設計条件によると、ターミナルビル前道路は第4種1級道路と想定、1車線あたりの設計交通量を12,000台/日と設定し、将来道路交通量からみた将来の必要車線数は2車線と推計されていたものの、ターミナルビル前道路の車線数を変更せず、従前のとおり4車線を維持することを前提条件として、リムジンバスやタクシーなどのアクセス施設の配置計画が検討されていた。

#### b) 車線構成の見直し

前述したとおり、当社は、道路交通安全および交通事故防止などの観点から、アクセス施設の再配置を行うとともに、所管の公安委員会(大阪府、兵庫県)との協議を踏まえて、車線の役割を再検討した結果、4車線から1車線減じて、3車線とすることとした。

具体的には、図-1に示すとおり、ターミナルビル側から1番目の車線を一般道から大阪国際空港を通過して一般道へ至る車線(本線第1車線)、ターミナルビル側から2番目の車線を阪神高速の出口ランプから入口ランプへ至る車線(本線第2車線)、ターミナルビル側から3番目の車線を周回可能な車線(本線第3車線)と設定した。

#### c) 車線配置

新たな3車線の配置については、減じる1車線のうちの半車線相当をターミナルビル側のタクシー乗降場(側道第2車線)と本線第1車線との境界部に配分し、分離帯、道路照明などの道路付属物を設置するためのスペースと

した。また、残りの半車線相当を降車専用レーンの歩行空間や横断防止柵を連続的に設置するためスペースとして配分した。すなわち、従前の4車線の中央部に新たな3車線を配置し、新たな3車線の両側に分離帯や道路付属物などを設置するためのスペースを配置した。

なお、分離帯を設けることにより、タクシーが南北のタクシー降車場および中央のタクシー乗降場から本線第1車線へ合流する際の視認性、安全性が改善した。また、分離帯は、違法駐車への注意喚起を行う看板などを設置するためのスペースとしても活用している。

#### d)違法駐車発生抑制

また、連続的に横断防止柵を設置するとともに、管理用通路などの開口部には門扉や金属チェーンなどを設置することで、道路上での乗降や乱横断を抑制し、違法駐車が発生しにくくなるような道路構造となるように配慮している。

加えて、各所に交通誘導員を配置するとともに、繁忙期などには、適宜、交通誘導員を増員するなど、きめ細かな対応を行っている。また、違法駐車発生状況は、常に監視カメラでモニタリングできる体制を講じており、違法駐車が発生すると、速やかに交通誘導員が駆けつけて注意喚起を行うように努めるなど、当社として、できる限りの対策を講じている。さらに、所管の警察車両による巡回強化についてもご協力をいただいているところである。

その結果、局所的には違法駐車が発生しているものの、**写真-2**に示すとおり、ターミナルビル前道路の違法駐車については激減した。



写真-2 3車線化されたターミナルビル前道路<sup>2)</sup>

#### (4) 自転車・歩行者安全対策

ターミナルビル前の歩道の有効幅員について、大規模改修の着手前は3m程度と狭く、**写真-3**に示すとおり、リムジンバス利用者の乗車待ち列が発生すると一般の歩行者の通行が困難な状況であった。

また、モノレール大阪空港駅の高架下などの空地には、**写真-4**に示すとおり、仮設駐輪場が設置されていたものの、仮設駐輪場を利用しようとする場合、自転車が安全に通行するための経路が十分に確保されておらず、自転

車によるターミナルビル前の歩道の通り抜け、車道の乱横断、一方通行の規制がなされているターミナルビル前道路の逆走などが日常的にみられていた。

加えて、仮設駐輪場の管理も十分に行き届いていなかったことから、放置自転車が発生するなど、安全・管理上の課題を抱えていた。



写真-3 ターミナルビル前の歩道（南側・大規模改修前）



写真-4 モノレール大阪空港駅の高架下の仮設駐輪場

#### a) リムジンバスの乗車待ち空間と歩行空間の分離

そこで、当社は、道路交通安全および交通事故防止などの観点から、所管の公安委員会（大阪府、兵庫県）の指導の下、関係行政機関、バス、タクシーなどの関係アクセス事業者、および関係事業者団体とも協議し、大規模改修の着手前にタクシーの乗降場として利用されていたアイランド（交通島）を撤去することで得られた用地を利用転換し、ターミナルビル前の歩道を車道側へ2m程度拡幅することとした。それに伴い、タクシー降車場は、一般車降車場として利用されていたアイランド（交通島）へ移設した。また、前述したとおり、一般車降車場を廃止し、駐車場側の緑地帯を利用転換することで得られた用地を活用し、新たに一般車両を対象とした降車専用レーンを配置した。これにより、**図-2**に示すとおり、リムジンバスの乗車待ち空間と歩行空間の分離を図ることが可能となり、歩行空間の安全性が向上するとともに、リムジンバス乗降時の安全性、利便性が向上した。

#### b) リムジンバス運航時の安全性と利便性への配慮

特に、歩行スペースとバス乗車待ちスペースの幅員、バス停車帯の幅員と延長、バス通過車線の幅員などの重要な設計条件の決定に際しては、リムジンバス事業者の協力を得て実施した実車による発着試験の結果や方面別のリムジンバスの乗降客数などの実績を考慮し、リムジ

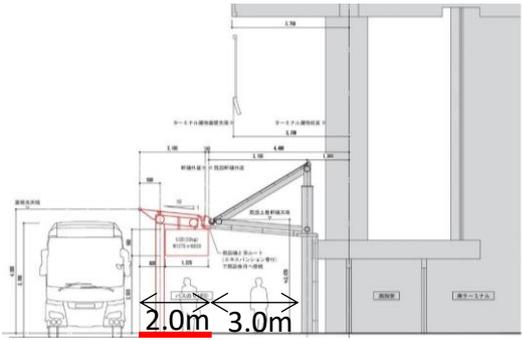


図-2 リムジンバスの乗車待ち空間と歩行空間の分離

ンバスの運航と乗降時の安全性の向上を図るよう努めた。

また、バスの券売機の位置や動線上の底の配置などについても、リムジンバス事業者の協力を得て、リムジンバス利用者の利便性にも配慮しつつ、諸条件を決定した。

### c) 駐輪場の設置

また、自転車によるターミナルビル前の歩道の通り抜け、車道の乱横断、一方通行の規制がなされているターミナルビル前道路の逆走など、安全・管理上の課題の解消を図るため、モノレール大阪空港駅の高架下などの空地に設置されていた仮設駐輪場は廃止することとした。加えて、自転車利用者によるターミナルビルへのアクセス経路を考慮し、歩道と歩道に隣接する用地を活用し、自転車用ロック装置とバイク用ゲート装置を備えた有料の駐輪場を南北2か所に設置（供用開始：2017年10月）した。この駐輪場が設置されたことにより、自転車に起因する安全・管理上の課題が解消された。

## (5) 送迎車両の利便性向上と違法駐車対策

大規模改修の着手前のターミナルビル到着口は、前述のとおり、南北のターミナルビルに分かれて配置されていたが、南北のターミナルビル前道路には、一般車両の乗車を対象とする車寄せは設置されておらず、30分無料の駐車場を利用して出迎えするよう案内されていた。

一方、案内されていたとおり、駐車場を利用して出迎えしようとしても、航空便の出到着で混雑する夕方以降の時間帯や繁忙期シーズンにおいては、ターミナルビル前道路だけでなく、駐車場の出入口付近や駐車場内の通路も混雑し、駐車場の空室を探すことだけでなく、駐車場の入出場すら容易ではなかった。

そのため、到着旅客を出迎えようとする一般車両は、写真-1に示すとおり、一般車降車場やその付近のゼブラ帯で待機しようとして、それらの車両による違法駐車や混雑が常態化し、違法駐車による安全面での懸念など、道路交通安全上の課題を抱えていた。

### a) 送迎スペースの設置

そこで、当社は、主に出迎え車両の利便性の向上を図るとともに、道路交通安全上の課題を解消しようとして、ターミナルビル到着口からのアクセス、用地上の制約などの諸条件を考慮した結果、団体バス乗降場の規模の見

直し、ターミナルビル側の駐車場出入口の移設（供用開始：2017年12月）、団体バス乗降場内に配置されていた長距離バス乗降場の移設などで得られた用地を利用転換し、送迎スペースを設置（供用開始：2018年4月）した。

また、送迎スペースには、航空機の出到着状況をリアルタイムで案内するため、フライトインフォメーション用の大型のモニターを設置した。

### b) 下りエスカレーターの増設

加えて、ターミナルビルから送迎スペースへの歩行動線を考慮し、モノレール駅舎を管理する大阪府と大阪モノレール株式会社の協力を得て、当社は、モノレール駅舎内に下りエスカレーターを増設（供用開始：2019年7月）した。

従前、モノレール駅舎には、下りのエスカレーターは設置されておらず、階段を利用せざるを得なかったが、下りエスカレーターの増設により、送迎スペースと団体バス乗降場の利便性が向上した。

### c) 団体バス乗降場の再拡大

送迎スペースの設置に伴い、団体バス乗降場の規模を見直ししたことにより、団体旅行が盛んになる秋の行楽シーズンなどには、団体バス乗降場が満車となり、ターミナルビル前の道路にまで延びる想定以上の渋滞が発生するなど、新たな課題にも直面した。

そのため、送迎スペースに隣接する駐車場の用地を団体バス乗降場に転換することとし、再度、団体バス乗降場を拡大（供用開始：2019年10月）した。

このように、施設の利用状況を常にモニタリングしつつ、順応的に施設配置や規模の見直しを行うことにより、新たな課題にも迅速に対応できるよう努めている。

### d) 国内空港では初となる愛犬専用トイレの設置

送迎スペースの更なる利便性の向上と利用促進を図ることにより、道路交通安全上の課題解消の一助となればと考え、工事期間中の施設の運用にも配慮しつつ、順応的に施設配置や規模の見直しを行うことにより、トイレ設置に最適な用地確保の目途が整ったことから、送迎スペース内に、空調管理がなされたトイレを設置（供用開始：2019年12月）した。

一方、送迎スペースの周辺では、ペットを連れてお客様の利用も多かったことから、航空会社に対してペット受託実績についてヒアリングしたところ、1日に5件から6件程度、一番多い日には30件から40件程度のペットの受託実績があることが判明した。

そこで、当社は、写真-5に示すとおり、送迎スペースに設置したトイレに隣接して、愛犬を伴う空港利用者の利便性の向上と愛犬のストレス軽減を目的に、水洗機能付きおしっこポール、汚物流し、シャワー、水飲み場などを備えた、国内空港では初となる愛犬専用トイレを設置（供用開始：2020年2月）した。

なお、供用時には海外メディアを含めた報道関係者からの取材を受けるなど、多くの皆様に反響をいただいた。



写真5 国内空港では初となる愛犬専用トイレ

#### e) 送迎施設の長時間利用抑制措置

降車専用レーンを含めた一般車両の送迎施設の運用については、長時間利用の抑制を図る観点から、廃止前の一般車降車場における利用状況調査結果や海外空港における事例などを勘案し、降車専用レーンについては、入庫後5分以内の利用を無料、5分以上の利用には課金することとした。また、送迎スペースについては、航空機の遅延などに伴う到着時刻の変動、送迎スペースの収容台数などの条件を考慮し、入庫後、最初の15分間は無料、15分以上の利用には課金することとした。さらに、長時間利用への注意喚起の措置として、各所に監視カメラと放送設備を設置することにより、定型的な音声案内に加えて、必要な場合は放送設備を通して係員が直接注意喚起を行えるようシステムを構築するなど、長時間利用を抑制するための管理体制を構築している。

#### f) ゲート管理システム

課金管理に必要なゲート管理システムについては、入出場時の混雑を抑制するため、通常よりも早い開閉動作が可能な高速ゲートを導入とともに、降車専用レーンでは、車番読取装置を活用したチケットレスでの入出場を実現している。ただし、ナンバーの設置位置や角度などの条件により、車番が認識できない場合に備えて、入口での発券処理も可能なシステム構成としている。

これらの施設整備と運用上の措置に加えて、所管の警察車両による巡回強化についてもご協力をいただいていることにより、ターミナルビル前の違法駐車については激減し、一般車両による送迎に関する利便性が向上した。

#### (6) レンタカーステーションの開設

大規模改修の着手前のレンタカーの運用について、ターミナルビル内にはレンタカーの受付（営業所）は存在せず、レンタカーを利用しようとする場合、シャトルバスによる送迎が必要であったが、大阪国際空港周辺に立地する店舗まで、道路の混雑状況により、15分から30分程度の時間を要していた。また、シャトルバスが発着するための専用の乗降場所の設定もなく、一般車降車場などでの乗降がなされていた。そこで、当社は、到着口中

央集約に伴いオープンスペースとなる北ターミナルビル到着口の跡地に、レンタカー会社（5社）の受付を誘致することとした。また、同様に、到着口中央集約に伴い移転した北側のリムジンバス、タクシー乗車場の跡地をレンタカーの車両受け渡し場所へ、北側のタクシープールの跡地をレンタカーの車両保管場所として利用転換することとした。

このレンタカーステーションを開設（供用開始：2019年7月から順次拡大）したことにより、従前のシャトルバスでの送迎が不要となることで、ターミナルビル前道路や送迎施設の混雑緩和にも寄与するだけでなく、レンタカーの利便性が飛躍的に向上した。

#### (7) 長距離バス乗降場の移設と待合室の設置

大阪国際空港では、リムジンバスに加えて、長距離バスが発着している。写真-6に示すとおり、長距離バス乗降場は、ターミナルビルから離れた団体バス乗降場内に設置されており、動線上には歩道や屋根もなく、乗降場に庇の設置はなされていたものの、利用者はバスの到着するまで屋外で待機する必要があった。

そこで、当社は、前述したとおり、「公共交通機関と一般車両の分離」という当社が決定した施設配置の方針を踏まえて、送迎スペースの設置に伴い移設が必要となった長距離バス乗降場を、レンタカーステーションの整備に合わせて、到着口中央集約に伴い移転した北側のリムジンバス、タクシー乗車場の跡地に移設することとした。これにより、リムジンバス乗降場の前方、ターミナルに最も近い車線（側道第1車線）へ配置することで、路線バス（リムジンバス、長距離バスなど）の乗降場の再配置が完了した。

また、レンタカーステーションの整備に合わせて、無料Wi-Fi、自動販売機その他、長距離バス時刻表・フライトインフォメーション・交通情報などを表示する案内サインも完備した長距離バスの待合室を設置（供用開始：2020年7月）することとした。

これらの整備により、拡幅されたターミナルビル前の歩道を経由し、長距離バス乗降場まで雨に濡れない動線で、また、空調が完備された待合室で直前までバスの到着をお待ちいただくことが可能となり、長距離バス利用時の利便性が向上した。



写真6 大規模改修前の長距離バス乗降場

### 3. 駐車場の混雑対策と安全強化

#### (1) 駐車場出入口の配置見直しと待機用車線の設置

前述したとおり、送迎施設の設置とターミナルビル前道路の混雑緩和を図るため、駐車場出入口をターミナルビルと反対側へ移設したが、駐車場満車時の待機列が3車線化した道路にまで延びることを抑制するため、2か所ある駐車場入口の手前の導流部に待機用車線を設置した。また、ターミナルビル側から3番目の車線（本線第3車線）の右側には、2m程度のゼブラ帯を設けることにより、駐車場からの出場車両が本線に合流する際の視認性の向上を図るとともに、待機列が長くなる場合に本線への影響が軽減されるよう配慮している。

加えて、送迎施設や駐車場の出入口が連続することから、出庫注意灯の設置、路面のカラー舗装や案内標識による誘導などによる安全対策を講じている。

#### (2) 北立体駐車場の新設とアクセスデッキ

大規模改修の着手前、大阪国際空港駐車場の収容台数は、2463台であったが、年末年始や連休などの繁忙期だけでなく、航空便の出到着で混雑する夕方以降の時間帯や週末にも満車となる傾向が見られていた。

そこで、当社は、駐車場満車に伴うターミナルビル前道路の混雑解消を目指し、駐車場の収容台数を増加させるため、北立体駐車場①を新設（供用開始：2019年4月）した。なお、北立体駐車場①の新設工事に先立ち、駐車場東側に配置されていたリムジンバスプールを移転させることにより、工事期間中の駐車場収容台数の減少を最小限とするように配慮した。

また、駐車場内の通路の一方通行化、誘導サインの更新、空室が一目でわかる誘導灯の設置、監視カメラの増設などの安全対策の実施に加えて、料金ゲートの更新に合わせた駐車料金の改定、駐車場事前予約サービスの開始など、駐車場のサービス面の強化にも取り組んだ。

さらに、大阪府と大阪モノレール株式会社のご協力を得て、ターミナルビル中央の到着口からモノレール駅舎を経由し、北立体駐車場①の3階に直結するアクセスデッキを新設（供用開始：2020年6月）した。これにより、北立体駐車場①とターミナルビル間を雨の日でも濡れることなく、ストレスのない快適な移動が可能となった。

なお、アクセスデッキは、ご利用のお客様にお楽しみいただけるよう、写真-7に示すとおり、滑走路をイメージしたデザインと、空や海などをイメージした照明で、よりワクワクする空間を演出している。

現在のところ、北立体駐車場①の新設後に撤去予定であった立体駐車場②を残置しているため、駐車場の収容台数は2,916台となっており、これら駐車場の混雑対策と安全強化の取り組みにより、駐車場の満車によるターミナルビル前道路の混雑についても解消されている。



写真-7 滑走路をイメージしたデザインのアクセスデッキ

### 4. おわりに

これらの取り組みにより、一般車降車場での違法駐車常態化、駐車場満車時の待機列によるターミナルビル前道路の混雑、違法駐車による安全面での懸念など、道路交通安全上の課題は概ね解消された。

大阪国際空港は、歴史ある都市型空港であるため、新たな施設計画の立案時には、過去の経緯や用地上の制約を考慮する必要があった。また、限られた用地を最大限有効に活用できるよう、優先順位を明確にしつつ、施設の配置計画を立案する必要があった。

工事を施工する際には、運用中の空港機能の維持が大前提となり、ターミナルビルの大規模改修工事との工程調整も必要であり、仮移設やスクラップアンドビルドを繰り返した施工計画を立案する必要があった。

このような複雑で制約が多く、工程も厳しい工事が完結できたのは、工事関係者にご尽力加えて、空港関係者のみならず、アクセス事業者や関係行政機関の理解と多大なご協力をいただいたからにはほかならない。

**謝辞：**本計画立案に際しては、大阪府警察本部および兵庫県警察本部の担当官、所管の警察署の担当官よりご指導、大阪空港交通株式会社をはじめとするバス事業者、タクシー事業者などアクセス関係事業者と団体各位のご協力をいただきました。設計や行政手続きに際しては、パシフィックコンサルタンツ株式会社、工事の施工に際しては、株式会社大林組、日成ビルド工業株式会社など、駐車場関係機器の設置に際しては、アマノ株式会社など、多くの関係者の方々にご尽力いただきました。心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 関西エアポート株式会社 大阪国際空港。  
<http://www.kansai-airports.co.jp/company-profile/about-airports/itm.html>、  
(閲覧日：2021年5月21日)
- 2) 土木技術：Vol.75 No.7, p.27-29, 土木技術社, 2020
- 3) 関西エアポート株式会社 ニュースリリース。  
<http://www.kansai-airports.co.jp/news>、(閲覧日：2021年5月21日)

# 誤分岐対策に着目した環状道路の案内標識等の改善について

兒玉 崇<sup>1</sup>・玉川 大<sup>2</sup>

<sup>1</sup>阪神高速道路株式会社 管理本部 大阪保全部 保全管理課 (〒552-0006 大阪市港区石田3-1-25)

<sup>2</sup>阪神高速道路株式会社 保全交通部 交通技術課 (〒530-0005 大阪市北区中之島3-2-4) .

阪神高速1号環状線は、複雑な分岐構造が短い間隔にて連続する4車線一方通行の環状道路であり、意図せぬ方面に分岐してしまう誤分岐が多発していた。そのため、環状線の道路案内の課題を誤分岐防止の観点にて整理し、同課題に対応した道路案内の情報デザイン方針をまとめ、同方針に基づく一連の道路案内の改善を遂行して、その有効性をアンケート等で評価した。

キーワード 誤分岐, 環状線, 案内標識, 路面カラー

## 1. はじめに

大阪都市圏の高速道路ネットワークの中心である阪神高速1号環状線は、左右から放射路線との分合流が短い間隔で連続する、複雑な分合流形状を抱える4車線一方通行の環状道路であり、道路案内も複雑なうえに、情報の混在で煩雑となりがちなため、誤分岐が多発していた。

そのため、環状線の道路案内に対し、誤分岐防止の観点にて課題を整理し、同課題を踏まえた環状線の道路案内に係る情報デザイン方針をまとめたうえで、同方針に基づく一連の道路案内の改善を、「環状線リニューアル工事2020南行」(2020年11月)において実施し、それらの対策効果をETCログデータやアンケート等で評価した。

本稿は環状線の道路案内改善の方針検討から対策実施、その評価に至るプロセスについてまとめたものである。

## 2. 阪神高速1号環状線の特徴

阪神高速1号環状線(以下、環状線)は、大阪都心部に位置し、大阪都市圏の高速道路ネットワークの中心として、11号池田線等の放射路線が次々に接続する時計回り一方通行の4車線の環状道路である。そのため、出口とジャンクション(以下、JCT)の分岐が隣接する連続分岐や、本線4車線が二股に分かれる二股分岐など、環状線特有の複雑な分岐構造が短い間隔で左右に連続している。さらに、近年の関西圏での高速道路ネットワーク整備の進展に伴い、案内標識等では、放射路線の接続路線の併記も求められるなど、案内情報が増加傾向にある。

## 3. 環状線で多発する誤分岐の特徴

### (1) 環状線の分岐構造の複雑さに起因する誤分岐

環状線では、環状線特有の分岐構造のJCT等を中心に、誤分岐が多発している。誤分岐は意図せぬ方面に分岐する分岐間違いのことで、例えば、出口とJCTの分岐が隣接する連続分岐において、JCTで放射路線へ分岐したい車両がその直前の出口で誤って分岐してしまうことや、本線4車線が二股に分かれる二股分岐において、環状線方面車両が選択車線を誤り、放射路線方面に分岐してしまうことなどをいう。なお、この誤分岐車両は、出口で一旦退出し、Uターンするなどして最寄りの環状線方面入口から再流入して、本来の目的地へ向かうことになるため、これらリカバリに要する利用者の損失(時間損失、高速道路料金)が非常に大きい。そのため、阪神高速では、環状線からの放射路線や出口への誤分岐を、環状線における重点改善課題の一つに位置付けている(図-1)。

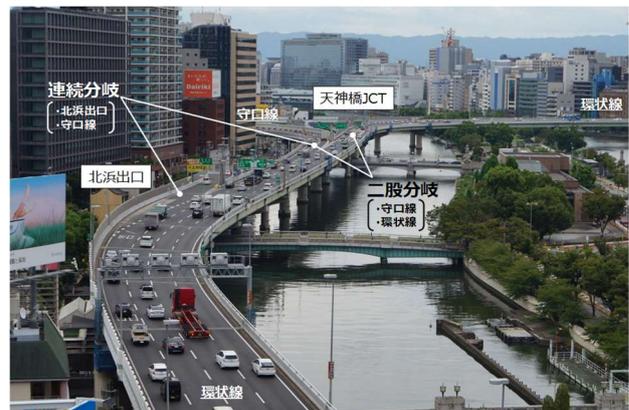


図-1 環状線特有の複雑な分岐構造(天神橋JCT付近)

(2) 案内情報の不足や煩雑さに起因する誤分岐

前述したように、環状線は、連続分岐や二股分岐等の複雑な分岐を抱えていることに加え、都心部に位置するため出入口が多く、その結果、分合流の間隔が短い。そのため、案内標識は、分岐部ハードノーズに設置される分岐部標識とその手前に2か所程設置される予告標識（進行方向順に、第1予告、第2予告と呼称）で構成されるのが原則だが、環状線では、予告標識が1か所しか設置できなかったり、分岐部標識とその先の分岐部の予告標識が同一箇所に併設される場合もあるなど、分岐構造自体の複雑さに加え、予告情報不足や、別の分岐情報の混在による情報の煩雑さも問題視されていた。例えば、本町出口では、分岐部標識とその先の東船場JCTの予告標識が同一箇所に併設されているため、本町出口分岐が東船場JCT分岐であるかのような誤解を与える可能性が指摘されていた（図-2）。また、都市高速である阪神高速道路では、設置スペースの関係から都市間高速道路のように、分岐部のテーパー位置には分岐部標識がなく、環状線でも分岐部標識は分岐部ハードノーズに設置されているものの、実質的には確認用としか機能しておらず、分岐行動の開始地点となる分岐テーパー位置付近での分岐案内は手前の路面表示だけで不足気味だった（図-3）。



図-3 分岐行動を開始する分岐テーパー位置における分岐案内状況

(3) 誤分岐状況の定量把握について

本稿では、誤分岐した車両が、退出・再流入して再び目的方面に向かうリカバリ行動に着目し、ETCログデータから、短時間に退出・再流入する不可解な短時間2度乗り利用を抽出して、誤分岐の発生状況の部分的な把握を試みている。表-1は、環状線およびその周辺の出口を通過してから10分以内に再流入した車両（同月に複数回同様の利用をした車両は対象外）を、2019年4月のETCログデータから抽出したものである。例えば、本町出口で流出、阿波座入口で再流入しているトリップの場合、東船場JCTで天保山方面へ向かおうとした車両が直前の本町出口へ誤って分岐したため一時退出し、大阪港線に再流入するべく阿波座入口を利用した可能性がある（図-4）。ただし、本抽出手法は、再流入が前提となるため、再流入しやすい入口の存在などに件数が左右されるなど、網羅的な、あるいはトリップ間で公平な把握としては限界があることに留意しなければならない。

表-1 環状線周辺での不可解な短時間2度乗り利用 (2019.4)

Rank	前出口路線名	前出口名称	後入口路線名	後入口名称	1回利用10分以内
1	環状線	信濃橋出	大阪港線下り	阿波座	1069
2	環状線	本町出	環状線	高麗橋	887
3	環状線	本町出	大阪港線下り	阿波座	650
4	堺線下り	湊町OCAT出	堺線上り	湊町	591
5	環状線	土佐堀出	池田線下り	中之島	545
6	池田線下り	福島出	池田線下り	福島	494
7	池田線下り	塚本出	池田線下り	塚本	410
8	東大阪線下り	法円坂出	東大阪線下り	法円坂	406
9	松原線下り	天王寺出	松原線下り	阿倍野	389
10	環状線	なんば出	堺線下り	湊町	353
11	守口線下り	南森町出	守口線下り	扇町	318
12	池田線下り	出入橋出	池田線下り	福島	307
13	環状線	土佐堀出	環状線	堂島	285
14	池田線下り	出入橋出	環状線	堂島	251
15	守口線下り	扇町出	守口線下り	南森町	244
16	松原線下り	天王寺出	環状線	えびす町	239
17	池田線下り	出入橋出	池田線下り	梅田	232
18	守口線下り	長柄出	守口線下り	長柄	228
19	環状線	北浜出	守口線下り	扇町	185

※ETCログデータで10分以内の2度乗り（Uターン等）を抽出。なお、同利用を月に複数回したIDは抽出対象外



図-4 連続分岐での誤分岐のイメージ（本町出口誤分岐）

4. 環状線の誤分岐対策の着眼点と実施概要

(1) 対策の着眼点と案内情報デザインに基づく対策方針

前章で整理した誤分岐の原因と思われる環状線の特徴を踏まえると、誤分岐対策に着目した環状線の道路案内に関する検討では、個々の案内標識等での案内における工夫と、多様な情報群を組合せ、区間全体で効果的に案内情報を提供する道路案内システムとしての工夫の2つの観点に着眼して検討する必要があると考えた。

まず、個々の案内標識等に対しては、設置位置ごとに情報の優先度を整理し、走行位置・車線に応じて優先度の低い「情報を減らす」簡略化や、色分けなどの直感的に気づきやすい視覚的表現、文字のサイズに差をつけた併記など、情報混在下では見え方に差をつけたデザイン等を用いての「情報に差をつける」差別化が重要となる。



図-2 予告標識と分岐部標識の併設による煩雑な分岐案内（本町出口分岐部付近）

次に、提供される様々な案内情報群を道路案内システムとして捉えて組合せ、直前の分岐方面情報を優先させつつ、分岐間の距離が短い環状線の特徴も鑑み、次の分岐情報(接続路線情報)の理解を段階的に深めるために徐々に情報を目立たせていくなど、「情報をつなげる」システム化も重視する必要がある。ただし、これにより、従前別々に提供していた案内情報が混在し、情報の煩雑さを引き起こす可能性も懸念されることから、適度に「情報に差をつける」ことに留意しなければならない。

以上のように、誤分岐防止を重視し、情報を減らし、差をつけ、つなげるといった案内情報デザインをコンセプトに道路案内の改善を図る対策方針を図-5にまとめた。



図-5 誤分岐防止に着目した環状線の案内情報デザインのコンセプト

**(2) 対策方針に基づく実施概要**

前述した対策方針に基づき実施した、中之島JCTから東船場JCT間における道路案内の改善状況を概説する。

なお、図-6は、後述する諸改善内容が反映された、誤分岐防止に着目した道路案内システムの全体像であり、天保山方面への案内を例とした情報活用イメージを含む。

**a) 地点ごとに優先情報以外の案内情報を簡略化**

天神橋JCTを案内する場合、二股分岐である天神橋JCTの直前に北浜出口分岐があり、連続分岐と二股分岐が連続する複雑な構造であることに留意する必要がある。そのため、第1予告では、先に訪れる連続分岐の案内を優先し、守口方面分岐と北浜出口分岐の前後関係を意識させるために、その先の二股分岐の案内では重要な車線別の方面情報をここでは省略した単純な矢印表示とすることで、両分岐の前後関係に注目しやすくした(図-5)。また、第2予告では、二股分岐も近いため、車線別の方面案内に注力すべく、各車線の直上に案内標識を配置し、当該車線を走行する利用者は当該車線の方面情報のみを確認するだけで、不要な情報に目を奪われることのないようにした(図-5)。なお、方面の分かれる車線境界線の直上には白抜き色のJCT案内看板を設置して方面境界を明示したり、その手前の路面には車線ごとに方面案内を設置するなど、様々な案内情報を組合せ、区間全体にて道路案内を行う道路案内システムとして再設計した。

以上のように、同一のJCTを案内する予告標識であっても、その地点ごとに、表示内容や表示形式を変えることで優先順位の低い情報を簡略化し、その結果、優先情報に対してより注目が集まるように工夫している。

**b) 煩雑な案内情報群における優先情報の差別化**

前述した連続分岐では、案内標識のレイアウト上、両分岐の案内表示が煩雑となる。

そのため出口(青色の路面カラーを設置)の表示を青囲みすることで、煩雑となる連続分岐の表示を色分けにより差別化し、出口情報の認識向上を図った(図-5)。また、放射路線のルートマークを色反転して、環状線と差別化し、誤分岐をより回避したい守口方面の表示に注目が誘引されるように工夫した(図-5)。さらに守口線

方面への分岐交通がその直前の北浜出口分岐で誤って分岐しないよう、出口の拡幅車線の路面に対し、全面的に青色カラーを設置し、本線との境界を明示した(図-5)。従来の路面カラーは「誘導」を目的に手前から一定区間に渡り連続して設置することが通例であったが、環状線では誤分岐防止の観点をより重視し、本線ではないことを色で「区別」することを目的に設置した。なお、路面の青色カラーは案内標識等の矢印色と連動しているため、この全面設置で出口への「誘導」に支障が出ることはないと考えている。さらに、北浜出口の分岐部標識と天神橋JCTの第2予告が同一箇所に併設されているため、守口方面への左分岐矢印が北浜出口への誤分岐を誘発している可能性を懸念し、守口方面の分岐矢印は下向きとすることで北浜出口と差別化し、守口方面交通の北浜出口への誤分岐防止を図っている(図-5)。なお、これに伴い、上下矢印が混在する影響の検証については後述する。

このように、情報の煩雑さが避けられない情報の混在下においては、優先情報とそれ以外を差別化することで、優先情報の埋没や誤解が生じないように工夫している。

**c) 案内情報群の道路案内システムとしてのシステム化**

分岐行動を開始する分岐テープ位置での案内不足に対し、小型の補助看板ではあるが、当該位置に分岐開始を案内する看板を増設した。また、当該JCTの次のJCTでの分岐情報を接続路線情報として、方面情報の次点として併記した(図-5)。これにより、分岐に対し、情報が段階的に詳細化していくため、事前の準備や分岐部での判断もしやすくなった。なお、これによる情報の煩雑化を防ぐために文字サイズに差をつけるなど、優先情報(誤分岐防止のために、より目立たせた分岐方面の案内情報)を埋没させないように配慮した。また、前述のとおり、優先情報の変化に応じて表示内容・形式も変化させており、案内情報が混在するなか、地点ごとに適した内容・形式にて優先情報を変化させつつも、分岐に向かって進むにつれて、案内情報が詳細化していくことにより段階的に理解が深まっていくことを狙った道路案内のシステム化によって、分岐情報への準備や理解の向上、適切な分岐判断等が容易になるように工夫している。

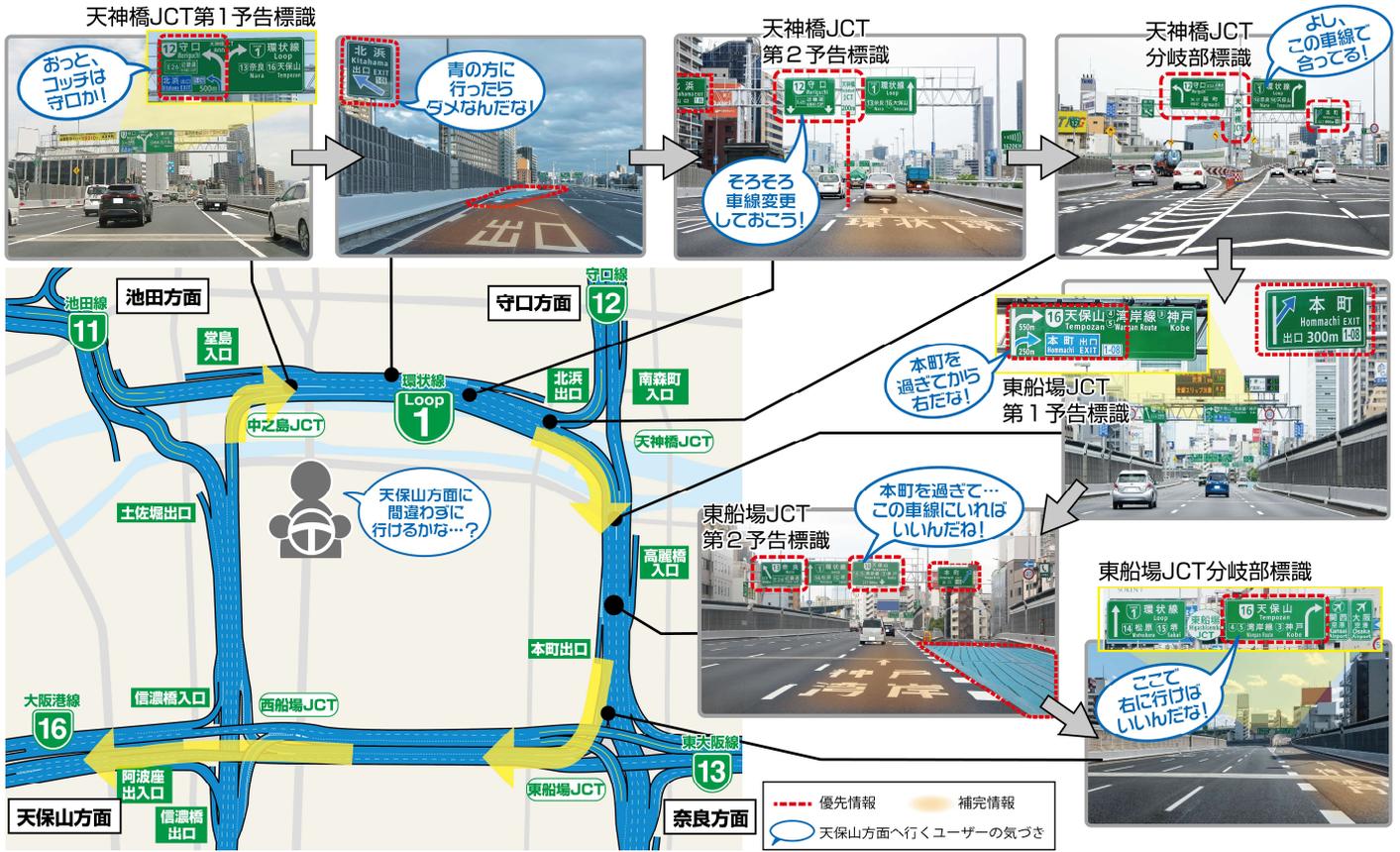


図-6 誤分岐防止に着目した道路案内システムの全体像とそれによって期待されるドライバー（天保山方面）の気づきのイメージ

## 5. 環状線の誤分岐対策の評価

### (1) 誤分岐対策の定量評価（誤分岐の発生割合の評価）

誤分岐対策としての効果を検証するために、ETCログデータから算出した誤分岐率による定量評価を行った。対象は、連続分岐で誤分岐の可能性のある利用が比較的多く確認された本町出口および北浜出口とし、トリップ数に対する誤分岐件数の割合を誤分岐率として対策前後で比較した。図-7より、本町出口の誤分岐率は、特に池田方面⇒湾岸方面で工事後に大きく低下した（2020年12月～1月の前年度比較）。また、北浜出口でも、工事直前の10月との比較で、環状線⇒守口方面において大きな低下を確認している（同トリップは2020年1月の信濃橋渡り線供用で交通量が変化しているため、直前と比較）。しかしながら、今回の評価では工事後の対象期間が僅か3か月程度と短かく、十分なサンプル数が得られているとは言い難い。また、今回の施策は工事区間の全出口で実施しているため、時間経過に伴い、利用者の目に触れる機会も増えるため、それに伴い路面の青色カラー等の施策意図の理解も浸透していくと考えられることから、施策効果もそれに応じてさらに高まるものと考えている。

### (2) 誤分岐対策のアンケート評価（利用者の実感評価）

誤分岐対策に着目した環状線の道路案内改善の検証として、定量評価では把握できない、個別の対策に関する利用者の反応や、懸念事項の影響などを把握するために、

工事前後のモニター写真を用いたWebアンケート調査を実施した。調査は、近畿2府4県在住で、阪神高速道路を1年以内に運転した人が対象で、図-8に示す静止画等を都度見ながら回答していただいた。なお、回答者数は1,101人で、本アンケートにより、対策方針の妥当性を概ね確認できる良好な結果が得られた。

以降、対策方針に基づく対策の効果確認を目的とした設問を中心に回答状況とそれが示唆する効果を考察する。

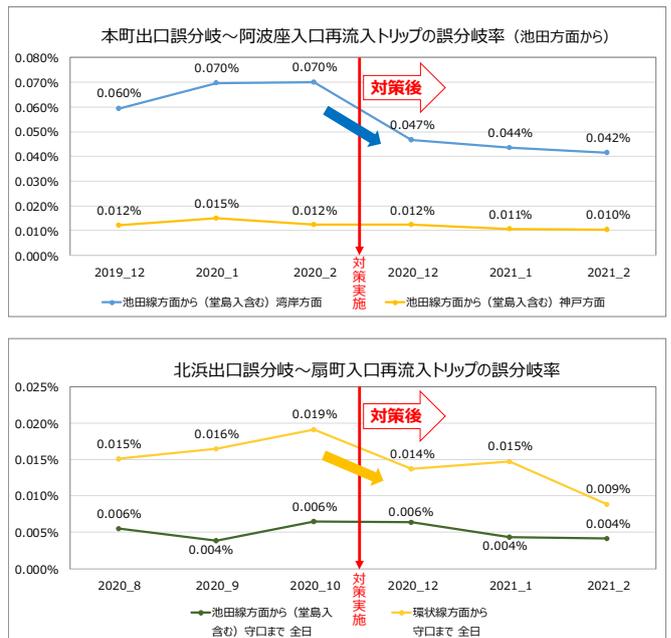


図-7 本町出口・北浜出口における誤分岐率の推移



図-8 Webアンケート調査で用いた対策前後をイメージした静止画 (左側：対策後，右側：対策前)

**a) 簡略化による優先情報への注意意識醸成効果**

写真A, Bに対し，その先の二股分岐では重要である車線情報を簡略化したことで「守口方面と北浜出口の分岐の前後関係に意識がいきやすくなったか」を尋ねたところ，「大いに（やや）そう思う」が6割を占め，この位置ではより重要な連続分岐の前後関係が把握しやすくなったことが窺える（図-9）。

**b) 本線・出口の境界明示による誤分岐抑制効果**

写真G, Hに対し，出口の拡幅車線への全面的な路面カラーの設置で本線との境界が明示され，本線と本町出口の区別がより明確になるため，「間違っ分岐しにくいと思うか」を尋ねたところ，7割が「大いに（やや）思う」と回答するなど，その効果が窺えた（図-10）。

【Q】写真Aの方が写真Bの標識より、「守口」方面の分岐と「北浜出口」の分岐の前後関係に意識がいきやすい。

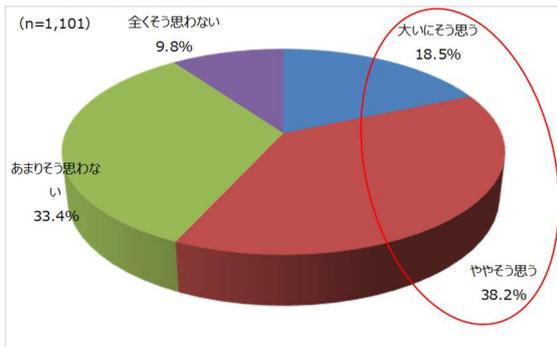


図-9 車線情報の簡略化等による連続分岐の前後関係への注意意識の醸成効果

【Q】写真Gの方が写真Hより，出口車線の路面が青色に塗られているぶん，間違っ分岐しにくいと思いますか。

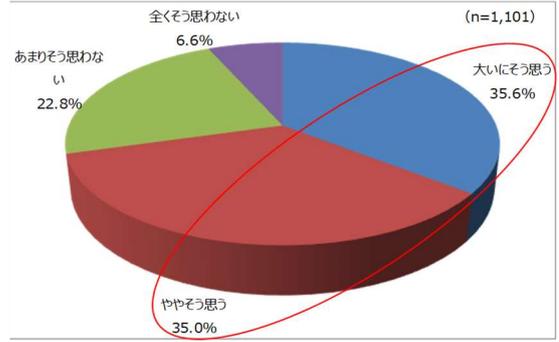


図-10 路面カラーを用いた本線・出口の境界明示による誤分岐抑制効果

**c) 分岐案内情報の混在下の優先情報の差別化効果**

北浜出口と本町出口の分岐部において，分岐情報の煩雑さを回避するための差別化として，直後の分岐を予告案内する矢印は下向きとしたことについて尋ねた。設問内容は，①誤退出を抑制する効果があると思うか，②方面別の選択車線を素早く認識できるか，③矢印に従った場合の行先をイメージできるか，④上向き矢印と混在することで混乱を招かないかの4点である。①の「本町出口で誤退出しそうにないのは工事前後のどちらか」を問う設問では，「（どちらかという）工事後」が6割であり，②の車線別に情報を分けた方が「車線を素早く認識できるか」を問う設問では，「大いに（やや）そう思う」が7割となるなど，期待した効果が確認された。③では，「下向き矢印による守口方面への分岐のイメージについて」尋ねたところ，「このまま進めば守口方面に行ける」とイメージした回答者が6割で，環状線の第1，第2車線を通行すれば守口方面へ行けることを認識づけられたと考えられる。従前，第1車線に集中していた守口方面の交通を2つの車線に分散させることで，出口部の誤分岐対策のみならず，車両の錯綜による接触事故の軽減にも寄与されることを期待している。また，④では，下向き矢印と環状線方面を表す上向き矢印の混在により「運転に影響が出ると思う」と回答したのは1割程度であり，影響はないと大半が感じていることを確認した（図-11）。

**d) 優先情報の色分けによる方面案内の差別化効果**

分岐案内において，ルートマークを色反転して差別化したことにより「放射路線の案内に目がいきやすい」と回答したのが5～7割であった（図-12）。以上により，短い間隔で次々と対峙する案内標識に対し，ルートマークの色反転で，誤分岐防止の観点で重要となる環状線からの分岐方面の案内に注目しやすくなったことが窺える。

**e) 道路案内システムとしての段階的の情報提供の是非**

接続路線の併記（写真E）について，①この時点での提供の是非について，②情報量が増えることで気になるか，を尋ねたところ，①では，「この地点で接続路線の情報があつた方が良い」とした回答が5割超，②では，「全く（あまり）気にならない」が概ね10割となるなど，優先すべき環状線方面への分岐案内と併記はしつつも，



# 河川の維持管理に有効な新手法 ～高精度UAVと測深ボートの活用～

荒木 寿徳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>株式会社アース・アナライザー (〒623-0115京都府綾部市測垣町蛭子谷27-1)

近年、ドローンと呼ばれる小型無人航空機(以下、「UAV」という。)による様々な計測結果の利活用が実践されてきており、その実証データは既に一定の評価を受けている。しかしながら未だ計測不可能とされている箇所や計測に向きとされている箇所も多く、特に直壁や落差の大きい法面などは正確なデータを取得するのに非常に苦労している。

また、河川等の深浅測量においてはグリーンレーザー搭載UAVや超音波測深器搭載の人力ボートを用いる実証データが出てきているものの、残念ながら深部においては計測できなかつたりコスト高により実用に至らないケースが見られている。

本検討では、高精度(位置制御型)UAVを用いて直壁や法面の正確な形状変化の測定方法を提案するとともに、深浅測量には人が持ち運べる程度の小型で扱いやすい自動航行ボートを用いて10m以深の深部までの計測と低コストを実現する手法を提案するものである。

キーワード 維持管理, 防災, 新技術, UAV

## 1. はじめに

河川管理では通常5年に1回周辺の地形及び砂洲や水深データを維持管理のために計測しており、特に重要な河川においては2年に1回など頻度を上げた計測が実施されている。その手法は横断測量を200m毎の測線で行い、広域に渡っては高い高度からレーザー計測を行うというものを組み合わせている場合が多い。

最近では水深の計測には周辺地形と水深が同時に計測できるグリーンレーザーが利用されているが、水の濁度が高い所や深い場所では十分な測定が出来ないという難点がある。

本検討ではその両方を解決もしくは補う手法として周辺地形データを取得する高精度ドローンと濁度に関係なく深部まで測れる測深ボートを実証実験しその成果をまとめ今後の技術課題についても考察した。

## 2. 測定する場所

### (1) UAV+測深ボートによる測定

地上の測定をUAVで行い水中の測定を小型軽量測深ボートで行う。地上データと水中データを別々に取得するが、両データを一元化して実証調査する。河川の変状を把握するには一元化されたデータの方が有用であり、維持管理のためにも統合されたデータになっている方が望ましい。

そして測定する箇所は、上空からの計測ではデータが得にくい護岸などの箇所、かつ水中部分は水深10m以上で濁度も高く計測しづらい場所を選んだ。一級河川由良川の下流部では護岸構造物として高さ7mの直壁護岸があり、川の水深も約10m程度の場所で行うこととした。(図-1)



図-1 由良川下流部(京都府舞鶴市中山)

### (2) UAV測定と設計モデルとの比較

2. (1)の測定箇所とは別の場所であるが道路の補強土壁兼河川の護岸となっている擁壁に沈下が見られる箇所があり、UAVで構造物を計測した点群データがどれ程

“使えるデータになるのか”を実証するため、実証実験を試みた。この場所の経緯について少し触れておくと、堤防が乗越道路となっている部分の擁壁で、堤体となっている道路部分が沈下を起こしている。沈下量の測定や影響範囲について既に現地調査は終わっているが比較検討できるためこの場所での計測を実施した。(図-2)



図-2 由良川下流部(京都府舞鶴市大川)

### 3. 使用する機体及び船体

UAVは高いRTK-GNSS測位を実現しているSeptSOIを搭載して自由自在に飛行プログラムを設定できる「高精度自動離着陸・航行ドローン」<sup>1)</sup>を使用する。(図-3)

測深ボートにはライトバンに積み込めるサイズのコンパクトな船体にパッチテスト等を必要としないシングルビーム測深器を搭載したボートを採用した。(図-4)



RTK-GNSS : SeptSOI  
 重量 12.8kg  
 搭載カメラ  
 有効画素数 : 2000万  
 焦点距離 : 22~200mm  
 (レンズ交換式)

図-3 高精度自動離着陸・航行ドローン



RTK-GNSS : SeptSOI  
 重量 : 10.0kg  
 測深器 : 400kHz シングルソナー  
 最大航行速度 : 8m/sec  
 計測時航行速度 : 2m/sec

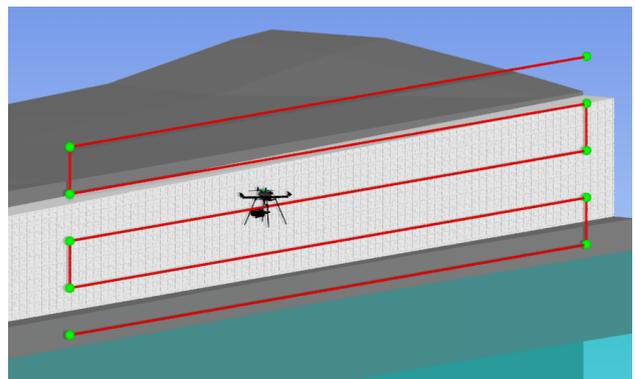
図-4 測深ボート

## 4. 計測方法

### (1) UAVの場合

通常の中空写真測量は対象範囲の上空を平面的に飛行し真下を撮影する事がほとんどであるが、図-5にあるように対象に正対して撮影する手法を試みる。対象となる擁壁との距離は10mで図中の赤線は飛行コースを示す。UAVは立体的な飛行プログラムで自動航行し、写真のラップ率を担保するよう速度と測線を設定する。(進行方向80%以上, サイドラップ60%以上)<sup>2)</sup>

この測定方法で飛行する事で上空からでは死角となる凸凹の下部やそこでの点群密度の低さを解消する狙いがある。



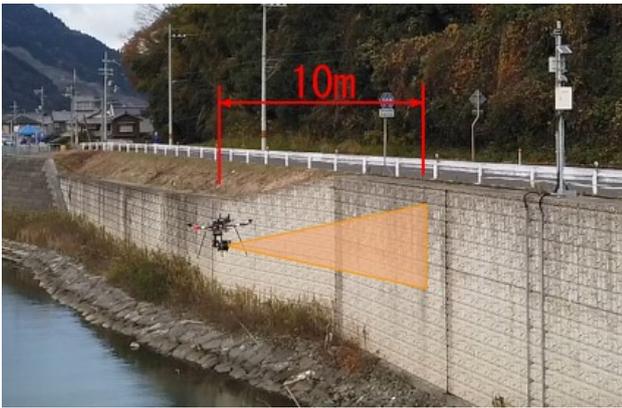


図-5 UAVの計測方法



図-7 UAVで計測した点群データ (地上データ)

(2) 測深ボートの場合

測深ボートの場合には測深器がシングルビームであるため測定できる範囲はマルチビームに比べて非常に狭い。よって測定するには細かい測線を設定する必要がある。今回の実証実験では音響測深機器を用いた出来形管理要領<sup>3)</sup>の0.25㎡に1点以上(1.0㎡に4点以上)の取得点密度が担保できるよう測線間隔を0.5mで刻むこととした。

(図-6) その根拠は測深器の測定速度が5Hzでボート速度が2m/sであるため0.4m進むごとに測定していることになるからである。

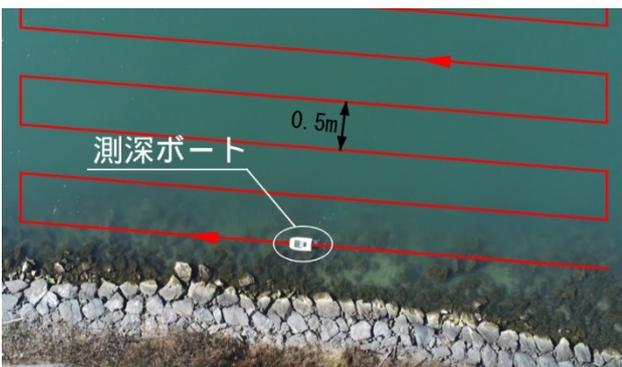
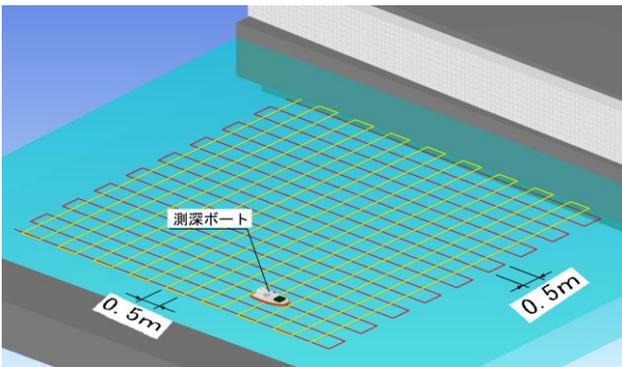


図-6 測深ボートの計測方法

そこに測深ボートで計測した水中のデータを合わせて一元化表示する。(図-8) 水中データには色の情報が無いので標高をヒートマップ表示した。

このように地上データと水中のデータを一元化するには正確に測量された基準点を使用して座標位置を付与する必要があり、測定結果には基準点の精度確認や解析した点群の精度確認が必要である。

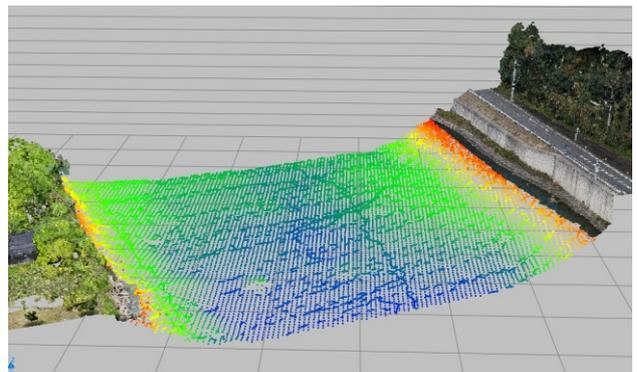


図-8 地上データ+水中データ

取得したデータの点群密度を以下の表-1に示す。

表-1 地上データと水中データの点群密度

データ	単位面積A(㎡)	点数N(個)
地上	1.0	25,000以上
水中	1.0	7~11

以上の結果から地上データは一眼レフカメラで撮影したという事もあり、1.0㎡内に25,000点以上と十分な点群密度が取得できた。これはあくまでもUAVを用いた空中写真測量<sup>4)</sup>を基準として十分であると評価しているが、護岸構造物の形状や特性を考慮するならば、沈下や滑動の計測が目的である場合など詳細に計測する必要も出てくると考える。特に図-9のように構造物の角をしっかりと出したい場合は非常に高い密度が求められる。今後は構造物の出来形測定などにこういう点が重要になってくるのではないだろうか。

5. 計測結果

(1) UAV+測深ボートによる測定

2. (1) で説明した UAV+測深ボートによる測定のうち UAVで計測した結果を図-7に示す。



図-9 直壁の点群データ (拡大)

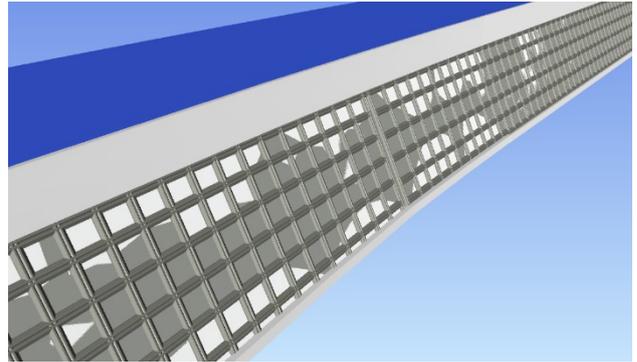


図-12 設計3Dモデル

水中データは音響測深機器を用いた出来形管理要領<sup>3)</sup>の0.25㎡に1点以上(1.0㎡に4点以上)を基に評価する。7～11点であったという結果は十分あるといえる。点群密度を増やすには測深器の測定速度を上げるかボート速度を下げて測点を増やせばよいので、測定したい目的によりその計測頻度を容易に変更できる。何より10mという深いところまでしっかり測定できている事を評価したい。点群データより抽出した水深10mの断面を図-10に示す。このように地上と水中のデータが一元化された点群データがあれば任意地点の横断も容易に取得できるし細かい測点割りによって地形の把握度が各段に上がる。

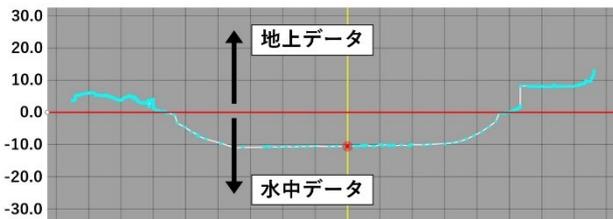


図-10 横断データの抽出

(2) UAV測定結果と設計モデルとの比較

2.(2) で説明した路面の割れや沈下が見られる擁壁を UAVで計測しその点群データを設計3Dモデルと比較する。UAVの計測方法は2.(1) と同じく壁面に正対して飛行する撮影方法とした。そうして得られた点群データを図-11に示す。

また設計図より作成した3Dモデルを図-12に示す。



図-11 UAV計測した点群データ

図-11の点群データと図-12の設計3Dモデルと重ね合わせてその差分を測ってみる。重ねただけでは分かりづらいので測点で横断を抽出し2つのデータの差分をソフト上で計測してみた。それを図-13に示す。特に注意すべきは、二時期のいデータ比較には、基準点の精密な座標の配置と記録が不可欠である。

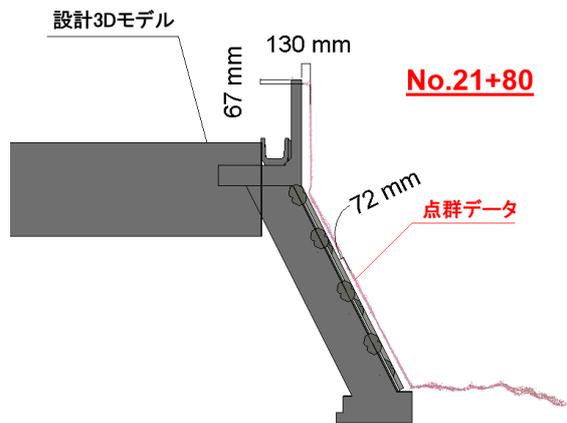


図-13 重ね合わせた横断データ

このように差分を計測することが出来れば、沈下の程度や状態の把握がしやすい。

今回の比較は実測の点群データと設計3Dモデルであったが、本来は完成直後の点群データがあり、そのデータと比較すると更に有効なデータが得られたはずである。今後はこの現場も次年度に実測したデータと比較することでもっと正確に沈下の進行状況を確認する事ができ、補修工が必要な時期や工法の決定にも貴重な資料になることであろう。

6. まとめと今後の課題

(1) UAVによる空中写真測量について

これまでのi-Constructionなどで使用されてきた上空を平面的に飛行撮影する手法に加え、角度のある構造物や法面などには正対して飛行し撮影する事でより細部までの計測や死角でわからなかった箇所も測定も可能とな

る。UAVを正対位置での飛行など複雑な経路を安定的に飛ばすには空間座標の正確さが求められ、マニュアル(人力)でのコントロール飛行はかなり困難である。精度の高い位置情報制御が可能なSeptSOIという位置決め装置が機能を発揮して、初めて可能となった。また計測の目的によって点群密度も変える必要があり、カメラの種類を変えたり対象物との距離を調整することで変更が可能となる。経年変化などを計測する際にはより多くの点群がある方が計測に優位であるし、他の分野へのデータ利用の可能性も大きい。

しかしデータが大きくなるとパソコンの動作環境やデータの保存という問題が常について回るが、今後はこれらインフラのDXデータに対応したデータ形式の統一や保管方法が整備されるであろう。

## (2) 測深ボートによる深浅測量について

音響測深機器を用いた深浅測量にはマルチビームでなければならないという風潮がある。もちろんマルチビームは素晴らしい機器で護岸の水中部や沈んでいる工作物の形状などまで計測することができるので、そういうところまで把握する必要がある場合は当然マルチビームを使用すべきである。

しかしながら非常に高価であるため測定のコスト高が問題となっている。測定可能範囲(以下スワス角という)が広いと測線の間隔が広くとれるので測定に時間がかからないが、パッチテストが必要なことやスマイルカーブ現象やトンネル効果減少などマルチ特有のエラー現象があるため結局スワス角を狭くして測定することがままある。

このような難点を回避する一つの方法として安価でシンプル構造のシングルビームで測線を細かく刻んで測定する方が手軽で確実にデータを取得する事ができる。ボートも小型化が可能でライトバンに収まり人力で可搬できるため汎用性が高い。今回は10m程度の測深について測定したが、今後はもっと深い箇所についても測定実験を繰り返し、バーチェックとの比較で精度確認を行うこ

とも必要である。

いずれにせよ測定の目的によって測深器や測定方法を最適なものを選択する事が重要になってくる。その中でも濁度が高くても深い深度まで測定できるこの手法は活用の幅が広いと考える。既存の技術の組み合わせで出来ることから使用する機器も安価であり測定コストもかなり抑えられる。

## (3) 河川の維持管理

将来の維持管理に向けてどのような手法が有効か、どのようなデータで残すことが重要かが各地方整備局単位で様々な実証実験と検討が行われている。

これまでの巡回・巡視では確認しにくかった箇所の視認が可能になったり、定期的な画像取得やリアルタイム画像の伝送などにはUAVが自動飛行で実行する事が行われ始めている。これからは計測業務の更なる技術革新と既存の技術の有効活用に焦点が集まることになる。

本当に有効なもの、つまり本当に省力化・効率化につながるものは何なのかをしっかりと見極める議論がされることを切に願ひ締めくくりとする。

**謝辞:** 本稿を作成するにあたり測定場所の提供などに御協力いただきました近畿地方整備局福知山河川国道事務所の皆様に感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本工業出版「検査技術」第24巻12号：高精度自動離着陸・航行ドローン 令和元年12月
- 2) 国土交通省国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル(案)平成28年3月(平成29年3月改正)
- 3) 国土交通省：音響測深機器を用いた出来形管理要領(案)平成30年3月
- 4) 国土交通省：空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(案)平成30年3月

# 水海川導水トンネルにおける脆弱地山及び湧水への対策・対応について

上田 千尋<sup>1</sup>・中西 大介<sup>2</sup>

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

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

足羽川ダム建設事業は、足羽川下流域に位置する福井市などにおける洪水被害の軽減を目的として、洪水調節専用のダムと分水施設(分水堰・導水トンネル)を整備するものである。本稿で紹介する水海川導水トンネルは、本事業の一環で整備を進めている山岳トンネルで、足羽川支川の水海川から、足羽川支川の部子川に洪水を導水することにより、部子川に建設する足羽川ダムに貯留するための施設である。

本稿では、水海川導水トンネルのこれまでの施工状況を概説し、今後の温見断層の突破に向けて検討しているトンネルの施工法について紹介する。

キーワード 導水トンネル, 山岳トンネル, 塑性押し出し地山, 水環境保全

## 1. はじめに

水海川導水トンネルは、足羽川ダム建設事業の一環で整備を進めているもので、足羽川支川水海川の洪水を、足羽川ダムに導水するものである(図-1、図-2 参照)。

水海川導水トンネルは、福井県今立郡池田町と大野市の境界に位置する部子山(標高 1,464 m)から北西に延びる尾根(以下、部子山山稜という)を貫くトンネルである。この尾根は、池田町の野尻地区付近に位置する峰(標高 649 m)(以下、N山地という)まで続き、足羽川支流部子川流域と水海川流域を分ける分水嶺となっている。トンネルは、吐口側にあたる金見谷川側から掘削をはじめ、最初にN山地の山裾部分を掘削し、その後、部子山山稜の尾根部を貫き、呑口側にあたる水海川側に到達する予定である。トンネルは延長 4,717 m の長距離トンネルで、尾根部は標高 590 m ほどで、ここでの土被りは 293 m に達する。写真-1 に水海川導水トンネルの全景を示す。

本トンネルは、長距離かつ大土被りのトンネルである

ため、設計時点で、尾根部直下の地質を十分に把握するのが難しいという問題を抱えていた。また、吐口側坑口から(以下、TD という) 3,200 m 付近には、温見断層



図-2 足羽川ダム事業全体平面図



図-1 足羽川ダム完成予想図



写真-1 水海川導水トンネル全景(トンネル呑口側より撮影)

が存在する。TD3,200 m 以奥の区間は、温見断層とその派生断層に起因する高透水ゾーンとなっている。

本トンネルは、2017年9月に吐口側からの片押し施工で掘削を開始し、2021年5月末日時点でTD2,890 mまで到達している。これまでの掘削作業では、大量湧水や押し出し性地山により、支保パターンの変更など、当初設計を変更しながらの掘削を余儀なくされている。

本論文では、これまでの施工を振り返り、大土被りの長大トンネルの施工上の対策を述べるとともに、今後迎える本トンネル最大の難関である温見断層の突破に向けた対策を述べる。

## 2. 水海川導水トンネルの概要

### (1) 導水トンネル概要

水海川導水トンネルは、全長全長 4,717 m、内径 8.5 m、勾配 1/170 のトンネルである。

仕上がり内径は直径 8.5 m の円形で、底部は、フラット形状となる。山岳トンネルで、基本的なトンネル設計(支保パターン、覆工構造)は、道路トンネルに準じたものとなっている。ただし、覆工厚に関しては水路トンネルの摩耗代を考慮し、通常より 10 cm 厚い 40 cm となっている。

図-3 にトンネルの標準断面を、図-4 に地質縦断図を示す。

トンネルは、1 期工事と 2 期工事に分けて施工しており、現在 1 期工事が終わり、2 期工事の施工中である。

### (2) 地形および設計時の想定地質概要

トンネル周辺の地質は、大きく 2 種類に分けられる。吐口側の約 1,400 m の N 山地の山裾を掘削する区間は、船津花崗岩(中生代ジュラ紀花崗岩)で構成される。呑口側の約 3,700 m の部子山山稜を貫く区間は、糸生累層(新第三紀中新世の火山岩類)で構成される。

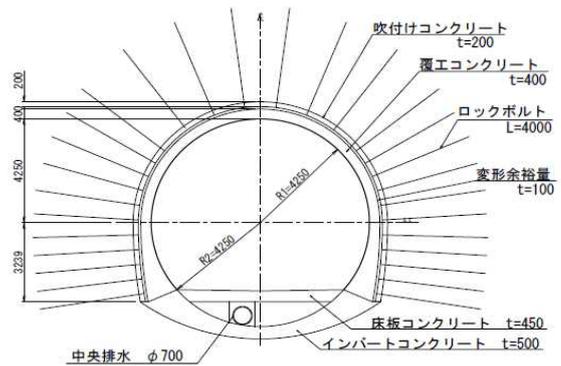


図-3 トンネルの標準断面 (DII-eパターン)

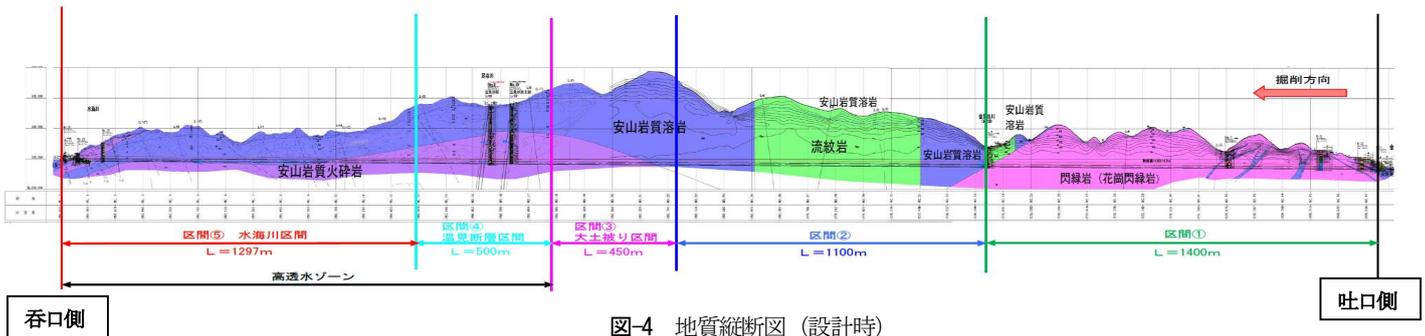


図-4 地質縦断図 (設計時)

表-1 トンネル区間ごとの特徴

区間	区間⑤	区間④	区間③	区間②	区間①
区間	TD4717~3450m (L=1297m)	TD3450~2950m (L=500m)	TD2950~2500m (L=450m)	TD2500m~1400m (L=1100m)	TD1400~0m (L=1400m)
最大土被り	185m	257m	293m	230m	124m
施工区分	今後施工	今後施工	施工中	施工完了	施工完了
地質年代/区分	新第三紀中新世/糸生累層				古生代ジュラ紀/船津花崗岩
主要地質	安山岩質火砕岩 (火成岩と堆積岩の性質)	温見断層区間 (安山岩質溶岩と安山岩質火砕岩の境界と想定)	安山岩質自破砕状溶岩、安山岩質溶岩(火山岩) (自破砕状溶岩+強変質部主体)	安山岩質溶岩(火山岩) (弱変質部主体)	閃緑岩(深成岩) 花崗閃緑岩(深成岩)
当初の想定地質	径 10cm 程度以下の安山岩礫を多含する火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩。 地山深部のボーリングでは厚く連続的に把握されているが、地表露頭では断続的分布に限られる。 水海川分水施設付近では、細粒緻密な凝灰岩層も一部挟在する。	温見断層の影響区間。 断層近傍のボーリング孔 (No.19, No.3) では、細片化(角礫～粘土状)を呈する箇所と、短柱～柱状を呈する箇所が確認されており、断層周辺における岩盤は硬質部と劣化部とが混在した不均一な地山であると推定される。	暗灰色の緻密な岩相を有し、直径数 mm 程度の優白色鉱物の斑晶を伴う。岩相変化に富み、一部には青灰色～緑灰色を呈する流紋岩・凝灰角礫岩および自破砕部が混在する。塊状岩であるが、新鮮部においても割れ目間隔は 5～50cm である。	安山岩溶岩が主体をなすが、一部には安山岩質凝灰岩や流紋岩(岩脈)が分布すると推定される。当該区間における地形判読および露岩状況の確認結果から、断層等の劣化帯を示唆する状況は確認されていない。	灰色を呈する細粒の閃緑岩が主体。一部花崗閃緑岩の岩相を示すが境界は漸移的。割れ目間隔は数十 cm～1m。高標高部では風化が深く進行し深度 40m 程度までマサ化が進行している。 安山岩との境界部では熱水変質により軟質化・鉱化部分が見られる。
特徴的な施工内容			押し出し性地山対策	先進ボーリングの併用技術の確立	比較的良好な区間の施工

船津花崗岩は、糸生累層によって広く不整合で覆われている。糸生累層は、新第三紀の早期に広範な火山活動によって形成された火山岩類で、グリーンタフと総称される。下部は主に安山岩、上部は主にデイサイト(石英安山岩)からなる。

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

**(3) トンネルの各区間の特徴**

トンネルの区間ごとの特徴を表-1 に示す。現在、区間③の掘削中である。以下に区間ごとの施工状況を示すとともに、表-2 に設計および実施の支保パターン比率を示す。

**a) 閃緑岩を主体とする区間 (区間①)**

吐口側坑口から 1,400 m 付近の金見谷川の左側支流直下までは、N 山地の山裾を掘削する区間で、比較的硬質な閃緑岩主体の地山が続いた。閃緑岩は地山の深部でゆっくりと固結したものであり、比較的良好的な岩盤状況であった。ただし、亀裂が発達し、割れ目に粘土を挟在する箇所では、切羽の自立性が悪くなる場面もあった。本区間における支保パターンの乖離は 1 ランク程度であった。

**b) 安山岩質溶岩を主体とする区間 (区間②)**

吐口側坑口から 1,400 m 付近の金見谷川を横断する付近で、閃緑岩から安山岩質溶岩に地質が大きく変化した。予想では、測点 TD1,650~2,250 m にかけて流紋岩の出現を想定していたが、実際は、一部に貫入岩として出現した程度で、流紋岩はほとんど認められなかった。

安山岩は地表近くで急冷された火山岩に分類される。溶岩を起源としているため岩片は硬質であるが、急冷された影響により亀裂質で湧水も多く見られ、トンネルの切羽の安定性などが悪化する場面が増加した。本区間における設計および実施の支保パターンは 2 ランク程度乖離し、大きな違いが生じた。

**c) 安山岩質自破碎状溶岩・安山岩質溶岩を主体とする区間 (区間③)**

TD2,547 m 付近を過ぎると、部子山山稜直下区間に入り、安山岩質の溶岩と自破碎状溶岩が混在する状況が認められた。両岩種ともに、変質作用を受けている。特に安山岩質自破碎状溶岩は、強い熱水変質を受けた影響で粘土化した部分が多く、極めて脆弱な岩盤状況を呈した。本区間における設計および実施の支保パターンは 3 ランク程度乖離した。

表-2 設計・実施支保パターン延長比率

	設計支保パターン比率	実施支保パターン比率
閃緑岩を主体とする区間 (TD 0 ~ 1400 m)		
安山岩質溶岩を主体とする区間 (TD1400 ~ 2500 m)		
部子山稜直下区間 (TD2500 ~ 2887 m)		

**3. 水平コアボーリングの採用**

本トンネルは全線にわたり湧水量が多く、現切羽位置 (TD2,887 m) まで掘削した時点で、トンネル全線で約350 m<sup>3</sup>/hの湧水が発生している。

TD1,850 m の地点では、切羽から実施した水抜きボーリングで、50 m<sup>3</sup>/h 近い湧水が発生し (写真-2 参照)、その後、TD1,954 m 地点では、突発湧水とともに切羽が崩壊した。当該箇所は、設計で C I パターンのところを D I パターンで掘削していたが、D II パターンでの縫い返しを余儀なくされた。

このようなことから、TD1,954 m 以降の区間については、前方の地質調査を行うとともに、切羽での突発湧水を避ける目的で、切羽から 100 m 程度の水平コアボーリングを実施することを定常化した。水平コアボーリングは、パーカッションで穿孔し、ワイヤーラインにてコアを回収する。トンネル掘削を停止する土日の昼夜 4 方で 100m 程度を目標に実施した。

パーカッションで採取するコアは、ロータリーで採取するコアと比較し、細片化する傾向にあるが、特徴を理解して観察することにより、地山分類や岩盤等級の推定を行うことができる。

**4. 安山岩質自破碎状溶岩・安山岩質溶岩を主体とする区間 (区間③) の施工**

**(1) 山岳トンネルの事前調査・設計**

2021 年 5 月時点で、温見断層手前の部子山山稜直下の大土被り区間を施工している。本区間は、設計時点において、C I パターン主体で設計されていたが、実施支保パ



写真-2 TD1,850m 地点の集中湧水状況

ターンは DII～E パターンと 3 ランク程度の乖離が生じている。これは、大土被りの長大トンネルにおける事前調査の限界ともいえる。トンネルは地中に構築される線状構造物であることから、事前に全線に渡る精密な調査を行うことは難しく、設計段階での地質情報の質や量には限界がある。本区間のように土被りが大きい場合、地表からのボーリングには限界があり、弾性波探査に頼った調査・設計が行われるが、深度が深くなると弾性波も正確に把握するのは難しい。

このようなことから、トンネル工事においては、設計段階では、限られた調査資料に基づき目安の設計を行い、施工段階で、実際の地山状況や計測・観察結果を確認しながら修正設計を行うことが基本となる。

## (2) 地質状況

本区間は、トンネルの中央付近の土被りの大きい区間で、上位層が比較的良好な安山岩にカバーされる形で、トンネル断面付近に、熱水の影響により強く変質を受けた安山岩質の溶岩および自破碎状溶岩が分布していた。このような状況は、先述した水平コアボーリング結果とトンネル掘削時の切羽観察で、はじめて確認することができた。

自破碎状溶岩とは、溶岩の一部が固結した後に、他の部分の溶岩が流動したために、それに引きずられて、破碎された溶岩である。そのため、溶岩が良好な状態で固結した安山岩と比べ、細片状でもろくなりがちである。

岩盤中には、破碎や変質粘土を伴った連続性のある割れ目が含まれ、自破碎状溶岩の分布境界を確認できる。分布境界は溶岩を数 m～数 10 m サイズのブロックに分断する破断面となっている。分布境界には、明瞭な変位(ずれ)や系統的な方向性が認められないことから、後世の広域的な断層運動によるものではなく、自破碎部の形成に伴って生じたものと推測される。

図-5 に本区間の地質水平断面図(トンネルスプリングラインの高さ(以下、SL という))を、写真-3、4 に代表的な切羽写真を示す。図-5 では、安山岩質自破碎状溶岩をその性状により塊状部と細片状部の 2 つに区分している。

## (3) 塑性押し出し性地山の施工

本区間は、大部分が DII パターン以上の施工となっている。設計時で C I パターンとされた区間に対して、

事前の水平コアボーリングや穿孔検層などで地山状況を確認しながら施工を行っている。これらのボーリング等から地山等級が D II 級以下と想定されるなど貴重な情報を得ることができるが、事前の地質データのみで安山岩質溶岩や安山岩質自破碎状溶岩の分布を正確に把握して、事前に最適支保パターンを設定するのは難しい。運用面では、地質データ、計測データを確認しながら、岩判定委員会で事前に設定した判定フローに基づきながら、判定委員の合意で支保パターンを設定している。

強変質の安山岩質自破碎状溶岩がトンネル側方に分布すると、トンネルの左右片側だけ、想定以上の変位が発生する状況が認められた。このような場合には、トンネルの掘削を一旦停止し、増しロックボルトや一次インバートによる早期閉合などの対策を行っている。

図-6 に対策工の例を示す。



写真-3 切羽状況 (TD2,479 m)



写真-4 切羽状況 (TD2,711 m)

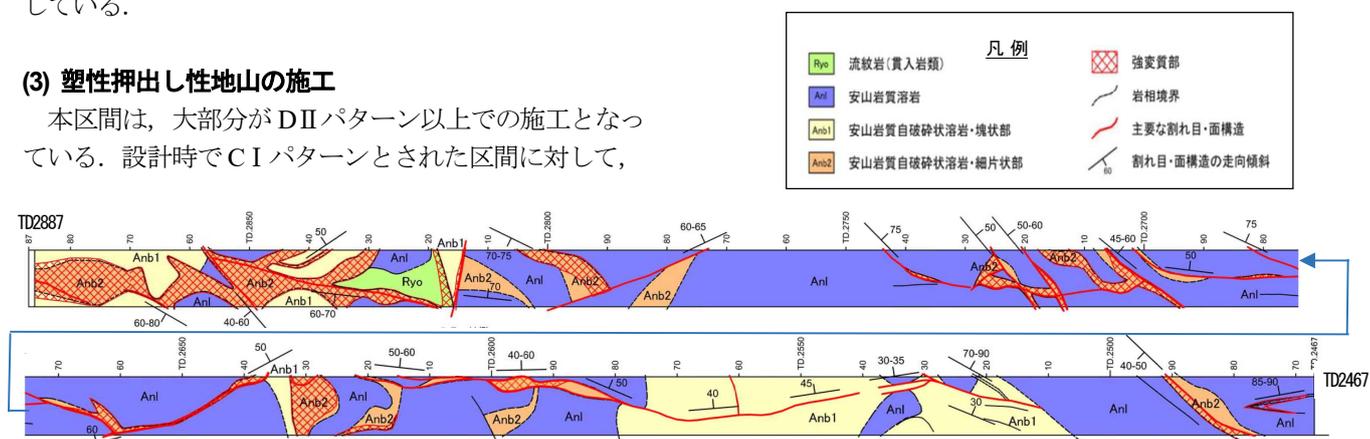


図-5 地質水平断面図 (SL) (TD2,467～2,887 m)

(4) TD2887m 地点でのトンネル変状

a) トンネル変状発生状況

TD2,870 m 以降は、E パターン(H200mm の鋼製支保工)を採用し、長尺鏡ボルト、インバート一次閉合を行いながら施工を実施していたが、TD2,887 m の施工中にトンネルの変状が生じた。変状の発生経緯を図-7 に示す。

最初の変状は、鋼製支保工建込み後の二次吹付け施工中に生じた。鏡吹付けコンクリートを押し割って鏡ボルト

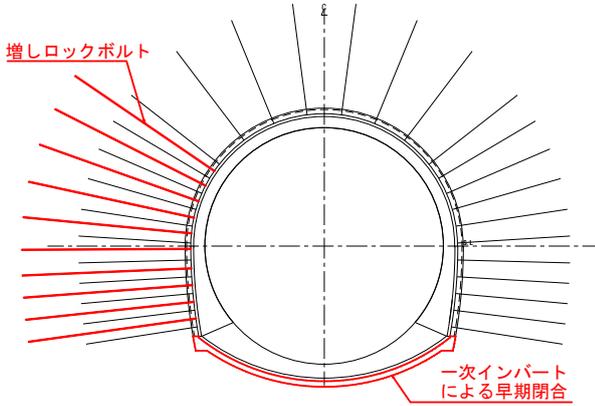


図-6 対策工例

4/21 22:50頃 鏡面にクラック発生		
22:50頃 天端の吹付けコンクリート剥離		
4/22 0:00頃 ロックボルト頭部プレート変状		
2:30頃 鏡吹付けコンクリートの一部崩落、クラック拡大		
3:35頃 鏡吹付けコンクリートの崩落拡大、左脚部を吹付けコンクリートで根固め、支保工座屈		
3:50頃 天端支保工座屈拡大		

図-7 トンネル変状の発生経緯

ト間の地山が小崩落したため鏡吹付けコンクリートを再施工した。その後、切羽後方6m地点の天端の吹付けコンクリートが曲げ圧縮破壊され剥離した。それとともにトンネル左側面の変状が進み、ロックボルトのプレート変状が発生し、プレートが若材齢の吹付けコンクリートにめり込んで行く状況が認められた。その後、鏡吹付けコンクリートが割れて、一部が崩落する状況となった。鏡吹付けコンクリートの変状とあわせて、トンネル左側壁部の変形が進み、切羽から4m間の鋼製支保工が座屈した。変状の進行過程では、鏡吹付けコンクリートを吹き続ける作業を実施し、最終的に4mの厚さの吹付けコンクリートを施工して、支保工の変形の進行を止めた。

b) トンネル変状発生要因と対策方針

図-8 に、支保工の変状が発生した TD2,887 m 付近の地質水平断面図 (SL) を示すとともに、当該箇所のコア写真および切羽写真を併せて示す。

変状発生箇所の地質は、変質によりブレーカーのノミ跡が残る程度に軟質化した安山岩質自破碎状溶岩を主体とし、強変質により粘土化した部分を脈状に含んでいる。

本区間では、安山岩質溶岩の自破碎部は、熱水変質を受けて、粘土化しており、著しく強度低下している。当該箇所で行った針貫入試験では、換算圧縮強度で 2.5MPa の値が得られており、地山強度比 (地山の軸圧縮強度と鉛直土被り圧の比) は 0.4 と 1 を大幅に下回る状況にある。変状の最も大きな要因は、地山強度比の低下によるものと考えられる。

表-4 にトンネルの変状発生要因と対策方針を示す。

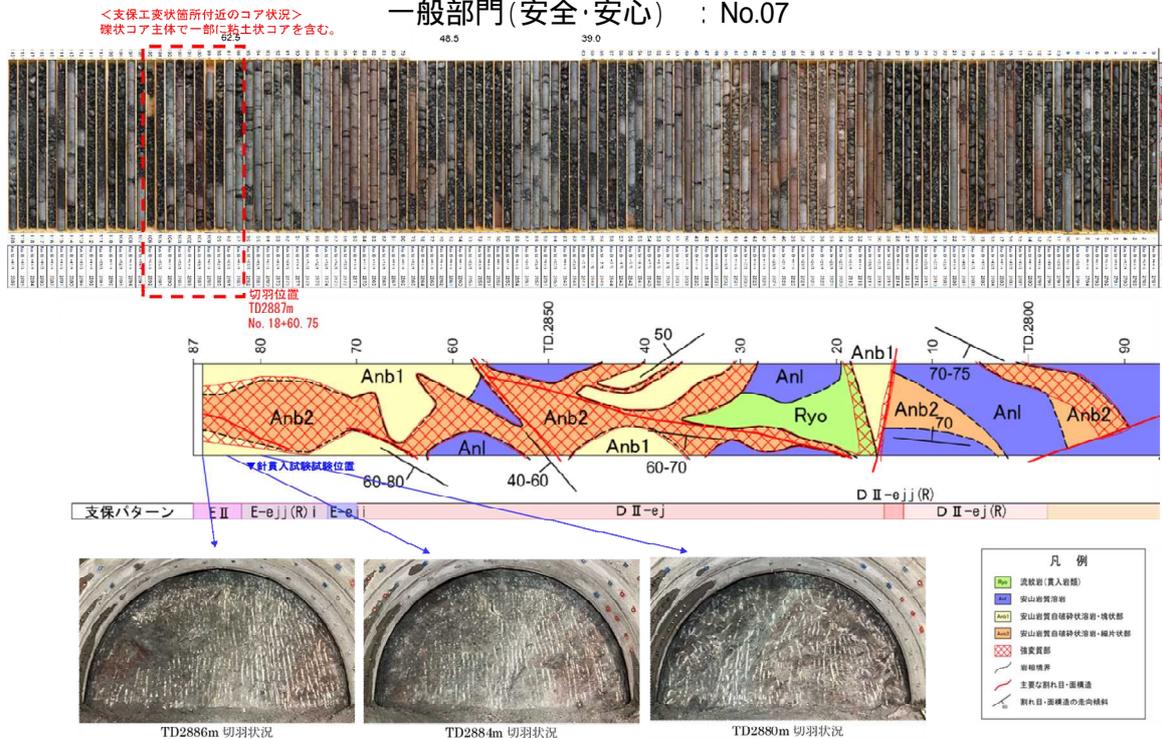
表-4 トンネルの変状発生要因と対策方針

	事象	要因	対策方針
変形モード	側壁の押しだしが顕著	側圧卓越 トンネル形状が縦長	側壁ロックボルト 一次インバートによる早期閉合
	天端沈下は小さいものの、内空変位が大きい場所では、天端付近の支保部材が損傷	側壁の押し出しにより、天端部に曲げが発生	トンネルの変形抑制 側壁ロックボルト 天端増しロックボルト 鋼製支保工・吹付けコンクリートの高剛性化
	局部的に、内空変位、脚部沈下が増大	部分的に極めて脆弱な地山が出現 安山岩質溶岩と安山岩質自破碎状溶岩の分布境界は、縦方向が卓越する傾向があるが、全体的には不規則	水平コアボーリング+穿孔検層で分布を予測 ゾーンで対策工を実施
変形発生位置	比較的切羽近傍で変位が発生	塑性押し出し性が強い地山 X線分析による膨張性の粘土鉱物の含有は少なく、膨張性は少ない トンネル掘削に伴い応力状態が変化する区間でのトンネル変形が顕著	切羽近傍で剛支保工を設置 長尺鋼管先受け工、長尺鏡ボルト工の採用
変形量	切羽から3m後方で片側押し出しが100mmを超過 切羽直前で、ロックボルト頭部プレートの変状、ボルトの破断が発生	地山強度比が著しく小さい(0.4) 土被りが250mと大きくγ・Hが大きいため、見かけのquを大きくするためには大規模な対策が必要。	剛性の高いH250の鋼製支保工 高強度吹付けコンクリートを採用

5 温見断層突破に向けた対策

(1) 温見断層の地質状況

温見断層は、濃尾断層帯を構成する約36kmの活断層である。1891年(明治24年)の濃尾地震の際には、北西部の約20kmが活動し、最大3mの左横ずれと北東側1.8mの隆起が生じたとされる。トレンチ調査結果などから、



平均 2,200~2,400 年間隔で活動していると推定され、トンネルに影響する断層幅は 300 m にも及ぶ可能性がある。

既往ボーリングから、温見断層の破碎帯の性状は、固結した破碎部（カタクレーサイト）を主体とし、未固結の断層粘土や断層角礫を一部に含む状況が推定される。

断層部では、現在掘削している部子山山稜直下区間の塑性押しに加え、破碎帯による切羽の不安定化が予測され、十分な注意が必要である。

### (2) 温見断層周辺の地下水状況

温見断層付近の地下水位は、既往ボーリングなどから、断層よりトンネル吐口側で地下水位が高くなっており、断層内の難透水層によりダムアップが生じているものと考えられる。浸透流解析では、トンネル掘削時に最大 11 m<sup>3</sup>/min の湧水が発生するものと予測されており、掘削時の突発湧水対策が重要である。

### (3) 温見断層区間の事前調査

2017 年 7 月に着手し、工事を進捗してきたが、脆弱な地山性状及び湧水による施工スピードの低下が生じ、適切な掘削・支保パターン及び補助工法等の選定が必要となってきた。このため、2020 年 10 月に水海川導水トンネル技術検討委員会を設置し、今後施工する温見断層区間の施工方法、構造及び地下水への影響について、技術的な指導、助言を得ながら施工を進めている。

図-9 に示すとおり、温見断層部のトンネル掘削については、通常の水平コアボーリングに先立ち、500m 程度の超長尺水平コントロールボーリングを実施し、突発湧水に備えるとともに、温見断層の性状把握を行うこととしている。

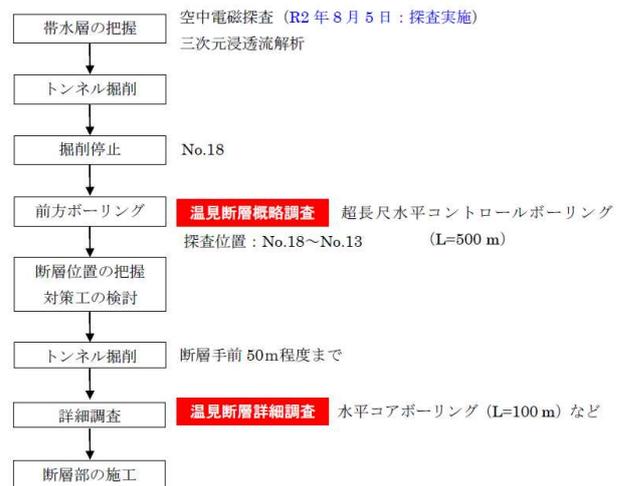


図-9 温見断層部のトンネル掘削フロー

## 6 終わりに

当初想定していなかった塑性押しに対して、苦戦しつつも、水平コアボーリング等の調査結果や観測結果を基に、適切にトンネルを掘り進めている。今後、本トンネルの最大の山場である温見断層に向かう。これまでの経験を科学的に分析して施工にフィードバックし、温見断層に備えていきたい。

**謝辞:** 本論文の執筆にあたり、水海川導水トンネル I 期工事施工業者の株式会社熊谷組から、施工状況に関するデータの提供を頂いた。ここに、深甚の謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 小高, 戌亥, 鈴木, 中澤: 物理探査による地山予測と水抜きを兼ねた前方探査で多量湧水地山を突破 足羽川ダム 水海川導水トンネル I 期工事, トンネルと地下, Vol. 51, No. 11, pp. 17-27, 202

# 有本揚排水機場ポンプ設備の不具合事例とその対応について

橋本 大空<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 防災課 (〒640-8227和歌山県和歌山市西汀丁16番)。

2020年(令和2年)6月有本揚排水機場の年点検の際、ポンプ設備において不具合が発生し2台の内1台が運転不能となった。本論文では、有本揚排水機場で発生した不具合の事例について、ポンプ不具合発生直後の対応、発生原因及びその過程の究明、ポンプの修繕、仮設ポンプ設置、異物の侵入経路、まとめについて述べる。

キーワード 維持管理, メンテナンス, 防災

## 1. はじめに



図-1 有本揚排水機場の所在地及び外観

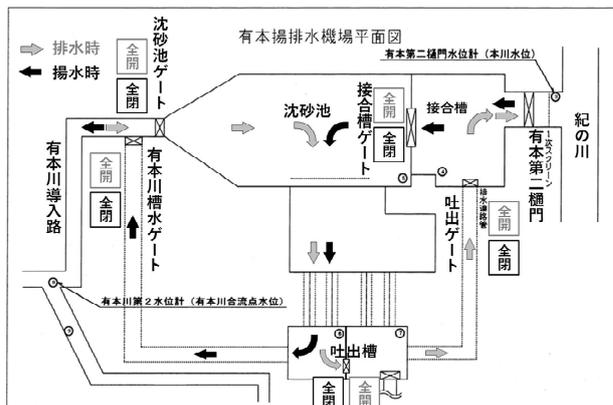


図-2 有本揚排水機場の揚排水メカニズム

有本揚排水機場は和歌山県和歌山市有本462に位置し、流量 $2\text{m}^3/\text{s}$ の立軸斜流ポンプ2台<sup>1</sup>が設置されている。揚水時は電動機で、排水時にはガスタービンでポンプを稼働させ、和歌山市内の内川の水質浄化と内水排除を目的に2000年度(平成12年度)に運用開始した施設である。

図-1、図-2より揚排水時のメカニズムは揚水時、沈砂池ゲートと吐出ゲートを全閉状態にして、有本川導水路に揚水。この揚水運転を12時間ごとに交互で運転を行っている。排水時は、接合槽ゲートと有本川槽水ゲートを全閉状態にして、紀の川本川に排水する仕組みとなっている。揚水時はポンプ1台で12時間ごとに交互運転を行っており、排水時には最大2台のポンプで排水を行える。

ポンプの稼働スケジュールを以下に示す。

- ・午前9時～午後9時 揚水運転
- ・午後9時～午前9時 ポンプ停止

年点検時に2号ポンプを稼働させた際にポンプが動かなくなる不具合が発生した。

## 2. ポンプ不具合発生直後の対応

図-3より、不具合が発生した2号ポンプの流量 $2\text{m}^3/\text{s}$ と同量の排水量を確保する必要が生じたため、和歌山河川国道事務所が保有する排水ポンプ車3台を有本揚排水機場に速やかに配置することで排水能力を確保した。排水ポンプ車の排水スペックを以下に示す。

- ・排水ポンプ車(流量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ) 2台 = 総流量  $2.0\text{m}^3/\text{s}$
- ・排水ポンプ車(流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ ) 1台

図-4より排水の際、沈砂池の両側に排水ポンプを設置し、隣の接合槽に排水することで紀の川本川へ排水する。

## 3. 発生原因及びその過程の究明

発生原因を探るため下記の調査を行った。



図-3 排水ポンプ車配備

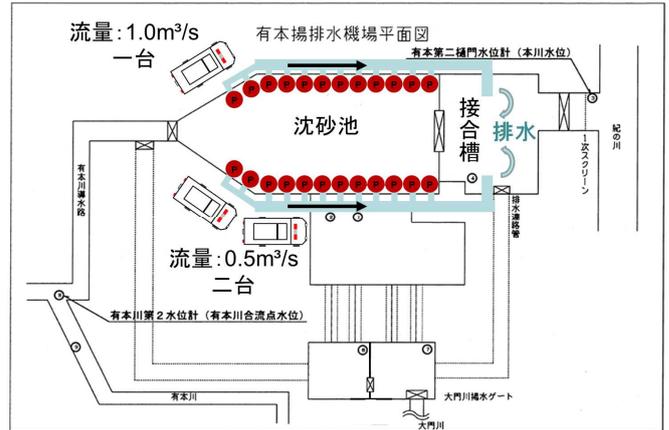


図-4 排水ポンプ車配置図



図-5 ポンプ内部の調査

(1)ポンプ内部調査

図-5よりファイバースコープと潜水士による調査を行った結果、図-6より1m<sup>2</sup>四方の青いビニルシート片が羽根車に絡みついている事が判明した。

(2)ポンプの分解調査

より詳細な調査を行うため工場に持ち帰り分解調査を行った結果、図-8より、ポンプの主軸と減圧ブッシュ及びラビリンススリーブが焼き付きを起こして完全に固着していた。また、その他の軸受けとスリーブにも摺動傷が見られ、ケーシングライナーには羽根車にビニルシートが噛込んで、回転したと思われる傷がついていた。このことからポンプ内部では主軸の振り回りが起こっていたと



図-6 羽根車に噛込んだビニルシート片

考えられる。

(3)損傷発生までの過程

図-7より、ケーシングに摺動傷が有ることからポンプが稼働した際、羽根車とケーシングライナーの間に青いビニルシート片が噛込んだことにより、主軸が突き上げられる。主軸は上に減速機があることから、突き上げられた際に力の逃げ道を失い、ポンプ内部で主軸が弓なりに歪む。その状態で主軸が触れ回った結果、軸受などに水平方向の力が加えられて、焼き付きを起こし動作不良に陥ったと考えられる。

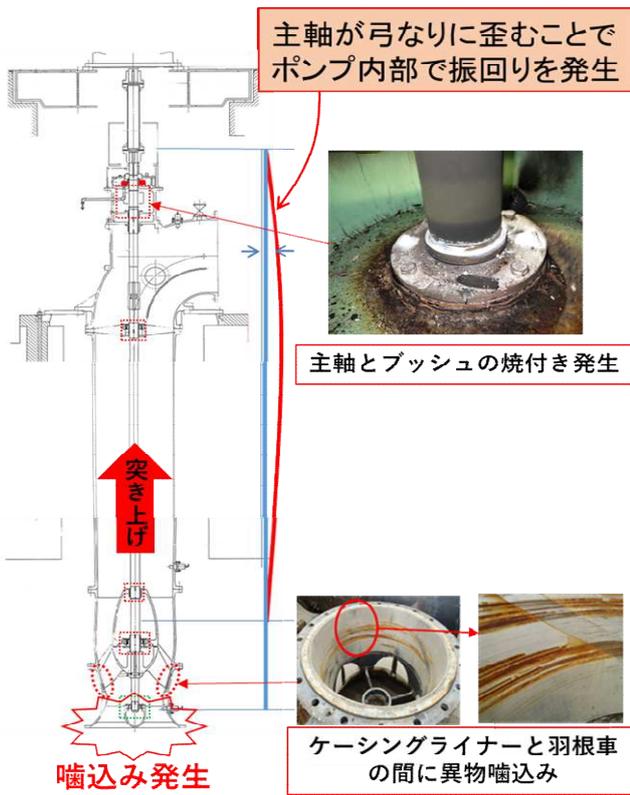


図-7 ポンプ不具合発生過程

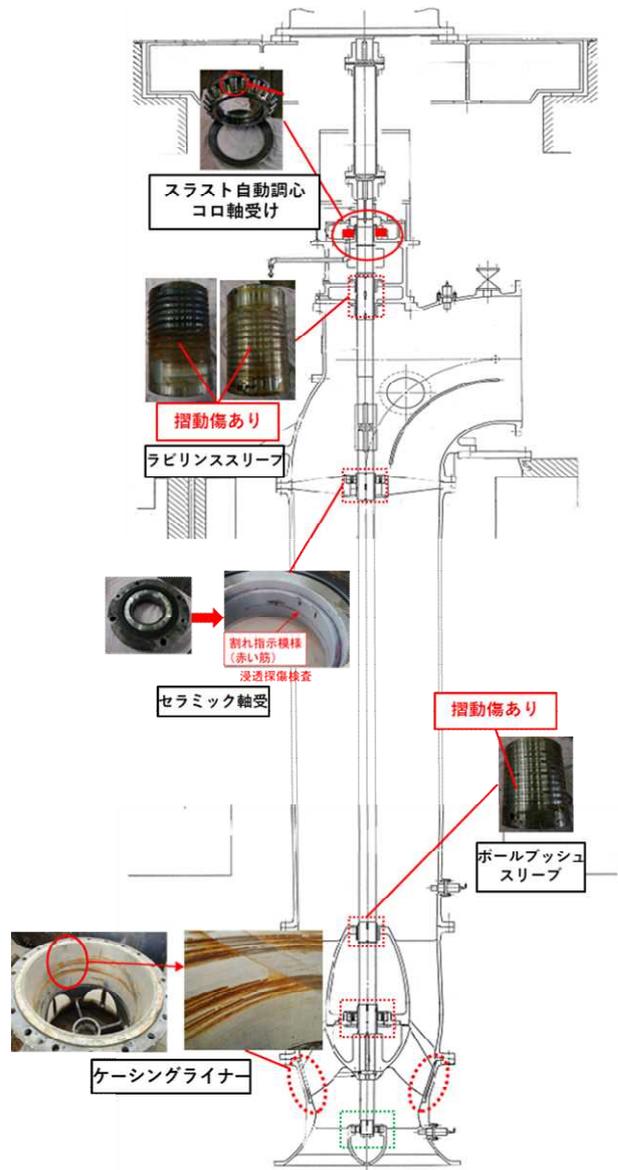


図-8 ポンプ不具合箇所

#### 4. ポンプの修繕

図-8より、分解点検の際に交換及び修復した部品を以下に示す。

- ・スラスト自動調芯コロ軸受
- ・上部主軸
- ・セラミック軸受
- ・ラビリンススリーブ
- ・ボールブッシュスリーブ
- ・ケーシングライナー

部品の交換及び修繕からポンプの現場据付完了まで6ヶ月ほど要する事が予想された。

#### 5. 仮設ポンプ設置

排水ポンプ車は災害発生の際、被災箇所へ出動することを求められるため(他事務所の車両を派遣してもらう

事もできるが、移動時間を考慮すると和歌山の車両をいつでも出動できる状態にしておきたい) 修理期間が長期化することが判明した以上、有本揚排水機場に排水ポンプ車を配備し続けることは出来ない。そこで、仮設ポンプの設置を行うことにした。図-9、図-10より2号ポンプの流量 $2\text{m}^3/\text{s}$ ( $=120\text{m}^3/\text{min}$ )を確保するため、流量 $8\text{m}^3/\text{min}$ の仮設ポンプ15台を設置した。材料手配、仮設ポンプのリース手配に1ヶ月、設置作業1ヶ月で7月31日に完成した。

#### 6. 異物の侵入経路

##### (1) 沈砂池までの侵入経路

揚水運転では紀の川本川から支川の有本川へ揚水しているが、有本第二樋門の位置にスクリーンが付いているため紀の川本川からの侵入の可能性は低いと思われる。午後9時から午前9時までの夜間はポンプを停止している



図-9 排水機能確保のための仮設ポンプ確認運転



図-10 仮設ポンプ設置完成図

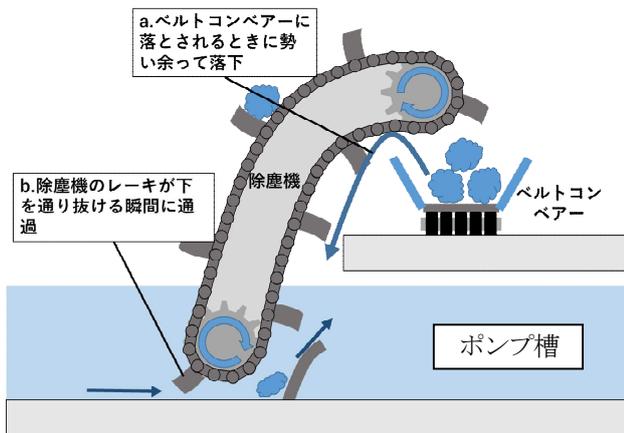


図-11 異物の侵入経路

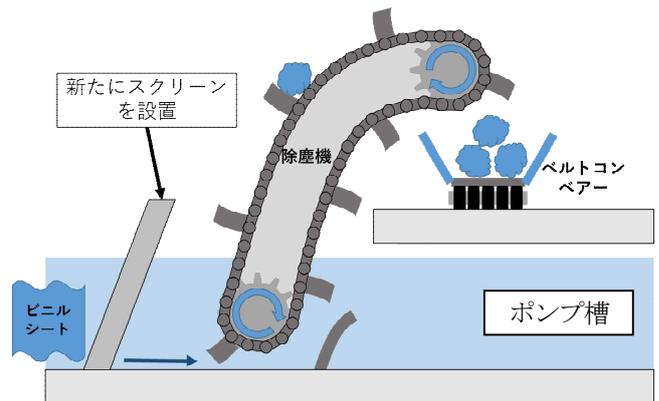


図-12 異物の侵入経路

ため、夜間に支川の有本川から侵入した可能性が高い。

## (2)ポンプ槽への侵入経路

異物がどうやってポンプに嘔込むことになったかは図-11より以下の2つの方法が考えられる。

### a)ベルトコンベアーに運ぶ際に落下し侵入

除塵機の裏には除塵機のレーキがスクリーンの周囲を回転するための隙間が空いており、何らかの拍子にベルトコンベアーから青いビニルシート片が落ちて侵入した、或いは除塵機のレーキに絡まったままポンプ槽に行ってしまった事によってポンプに嘔込んだと考えられる。このようなことが実際に起こるのか実験を行ってみたが、ベルトコンベアーから落ちることや、レーキに絡まるようなことは起きなかった。

### b)レーキとレーキの間を通り侵入

除塵機にはゴミを掻き上げるレーキがスクリーンの周囲を回る構造になっているため、スクリーンの下にはレーキが通るための隙間が空いている。除塵機を稼働させた際にレーキがこの隙間を塞ぐ前に青いビニルシート片が侵入したのではないかと考えられる。沈砂池内の水を抜いて確認することは出来なかったため今後、確認する予定である。

## 7. まとめ

異物侵入の防止対策として図-12より、除塵機前にスクリーンを設置し、侵入防止対策の第一歩とすると共に沈砂池の状況等も合わせて確認を行っていく予定である。

不具合発生時に一番時間を要するのが部品の手配期間である。不具合を発生させない予防措置も重要であるが、今回のような部品手配が長期間要することがないよう、予備品の見直し、確保、近隣揚排水機場との予備品共有等を異物侵入対策と合わせて体制整備を考慮していきたい。

**謝辞：** 本稿の作成にあたりまして、数多くの知識や示唆を頂いた方へご協力を頂いた事、心より御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会：排水ポンプ設備の運転操作マニュアル
- 2) 一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会：揚排水ポンプ設備技術基準・同解説

# UAVを用いたレベル3飛行（目視外補助者無し飛行）による河道閉塞および砂防施設の点検・調査活用について

北本 楽<sup>1</sup>・柴田 俊<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>長野県 姫川砂防事務所 砂防課（〒399-9422 小谷村大字千国乙10307-3）

2011年紀伊半島大水害で発生した複数の深層崩壊および河道閉塞は急峻な山奥にあり、出水直後は危険なため、人の立ち入りが困難である。これらの箇所での点検・調査はUAVの使用が有効であるが、現地は山奥で見通しも悪く制御電波も届かないため、UAVを安全に飛行させることが不可能であった。この課題を解決すべくレベル3飛行（目視外補助者無し飛行）下でのUAV自律飛行の現地検証を行った。本検証の特徴は撮影機と電波中継機の2機のUAVを併用して制御電波範囲を拡大することで、UAVの長距離飛行を可能としたことである。本稿はUAVを用いたレベル3飛行の現地検証および河道閉塞や砂防施設の点検・調査時の活用について報告するものである。

キーワード UAV, レベル3飛行（目視外補助者なし飛行）, 河道閉塞, 砂防施設, 点検・調査

## 1. はじめに

2011年に発生した紀伊半島大水害は、紀伊半島全体に記録的な豪雨をもたらし、3,000箇所以上の斜面崩壊および17箇所の河道閉塞を引き起こした。これを契機とし、紀伊山系砂防事務所では崩壊斜面や河道の残存土砂の流出を防ぐために直轄砂防事業を行っている。しかしながら災害後も、降雨・出水に伴う斜面の再崩壊および河道閉塞部の越流による土砂流出が観測されており、継続した点検・調査が必要である。このような崩壊地や砂防施設は急峻な山奥にあり、現場までのアクセスも悪く、点検・調査中の土砂移動による危険性も高いため、点検・調査を迅速かつ安全に行う際には、UAVの活用が有効であると考えられる。特に、レベル3飛行と呼ばれる無人地帯における目視外補助者なし飛行（図-1）は、監視員等の補助者なしでUAVの長距離飛行を可能とする。これまでもUAVを活用した点検・調査の事例は数多く存在するが、防災やインフラ管理を目的としたレベル3飛行によるUAVの活用は全国初の試みであった。本稿では、UAVによるレベル3飛行の現地検証を行い、安全にレベル3飛行が可能なUAV機体の選定段階や航空法などの法令申請手続きの上での留意点および、UAVによるレベル3飛行下での深層崩壊斜面、河道閉塞、砂防施設の点検・調査の有効性と今後の利活用について報告する。

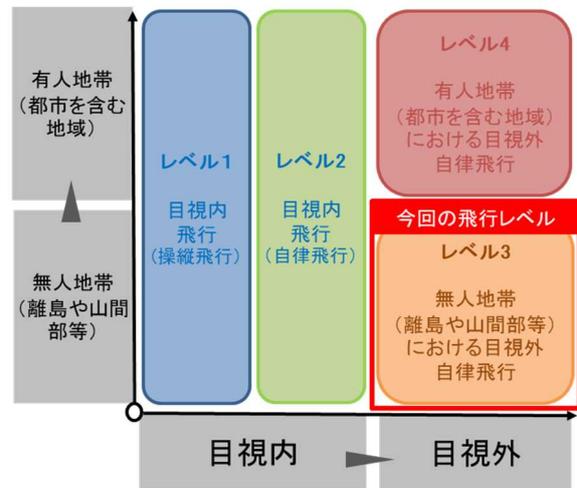


図-1 UAVのレベル飛行形態

## 2. 対象地区

現地検証は、紀伊半島大水害によって発生した複数の深層崩壊および河道閉塞箇所のうち奈良県十津川村栗平地区を対象とした。栗平地区では発災当時、幅600m、高さ450m、長さ650mの深層崩壊が発生し、約2,385万m<sup>3</sup>の崩壊土砂が河道を閉塞し、河道閉塞を形成した（令和3年3月湛水池埋め立てにより解消済み）。現在でも降雨による出水に伴い土砂流出が確認されており、崩壊斜面および河道に残った不安定土砂が下流域へ流出するのを防ぐために、砂防施設整備を行っているところである。

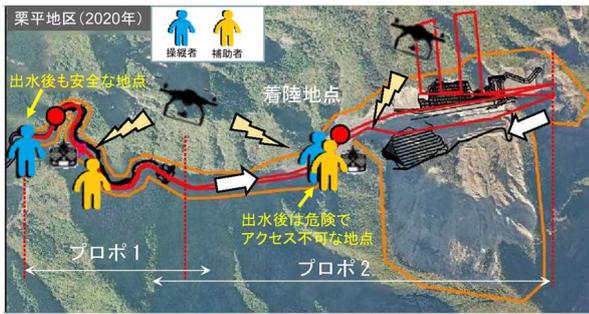


図-2 栗平地区におけるUAV目視内飛行時の調査員配置

### 3. これまでの取り組み

栗平地区では過年度より、目視内・自律飛行でのUAVによる崩壊斜面、河道の調査および砂防施設の点検を行っている。自律飛行とはあらかじめ設定した飛行ルートに従いUAVを自動で飛行させることで、手動操縦よりも正確かつ迅速に同一ルート・画角で撮影を可能とする手法である。栗平地区は、急峻な地形に囲まれて河道も湾曲しており見通しが悪く、携帯電話の電波も圏外である。こうした環境下では、UAV飛行中に地上の操縦リモコン（以下、プロポ）と空中の機体との通信電波強度が弱くなる場合があり、異常時に操縦者による飛行中の強制介入が難しいため、航空法に基づくレベル3飛行の許可を取得することができなかった。これを受けて目視内飛行による点検・調査を検討したが、対象地区でUAVを飛行させるためには、崩壊斜面下流の河道部に複数の操縦者およびUAVを直接目視する補助者を配置（図-2）する必要があり、この方法では出水時などの緊急的な調査の際に調査員の安全を確保することが困難であった。携帯電話の電波が圏外という条件下で通信電波強度の不安定化を解決し、二次災害の心配がない安全な地点から、目視外によるUAVの長距離飛行を用いた点検・調査を可能にすることが必要であった。

### 4. 現地検証

#### (1) 機体の選定

UAVによるレベル3飛行の現地検証を行うにあたり、UAV機体の選定を行った。選定ははじめに、対象地区の前提条件として、①対象地区の過去の被災状況や砂防施設状態を確認して、点検・調査項目を整理し、②対象地区の広さ、操縦者と機体の直線見通し条件、人工衛星や携帯電話の電波通信環境等を確認した。次に、UAVの性能・仕様条件として、③対象地区全体を網羅する長距離飛行が可能であり、地形や砂防施設の出水前後の変状を検知可能なカメラの解像度を有すること、④離着陸まで全自動飛行が可能かつ、レベル3飛行の承認実績がある産業用機体であり飛行の法令申請が可能な機体であることを確認した。これらに基づき、①～④の条件を満たす機体を選定した。なお、UAVには固定翼機、回転翼機があ



図-3 現地検証に際して選定されたUAV4機体



図-4 UAV飛行における主な関連法令

（黄色：UAVによるレベル3飛行下の自律飛行に関する法令）

るが、本検証では回転翼機（マルチローター）を対象とした。選定の結果、MATRICE300RTK（DJI社）、skydio2（skydio社）、ALTA X（FreeFly社）、ACSL-PF2（自律制御システム研究所）の4機体（図-3）を選定した。

#### (2) レベル3飛行における事前申請手続き

UAV飛行に関する法令は図4に示すように様々なものがあり、飛行前にレベル3飛行の使用機体や飛行ルート、高度150 m以上での飛行、離発着箇所の土地占用申請等の申請を行う必要があった。特に、航空法の申請では、レベル3飛行下で使用するUAV機体の安全性の確保について、根拠を添えて、航空局への申請が必要であった。申請先とのやりとりの中で得た、申請手続き上の重要な知見は、①レベル3飛行の申請は、ホビー用機体を想定しておらず、産業用機体を用いること、②自律飛行中に強制的に操作介入ができるように機体とプロポの通信が飛行中に途切れないことを確認すること、③想定される運用に対して十分な飛行実績があり、実績は機体の初期故障期間を超えたものであること、であった。飛行計画の申請には立入管理区域の設定や初期故障期間についてメーカーからの情報提供を受ける必要があった。航空局へのレベル3飛行の申請状況及び要した日数は初回に申請したACSL-PF2は57日であったが、申請手順の整理により、その後のskydio2では23日まで短縮することができた。

#### (3) 検証概要

現地検証は、対象地区において2021年3月22日～23日に行った。UAVの離発着地点は、過去の出水実績より河道閉塞部から土砂流出した場合でも車でアクセス可能な安全な地点（河道閉塞部から下流約2 km）とした。離発着地点には地上局として、UAVの操縦者とUAVから伝送される機体制御情報や映像を監視する補助者を配置した。前述のとおり、栗平地区では、UAV飛行中にプロポと機体との通信電波強度が弱まることからレベル3飛行が困難であった。そこで、プロポと現地点検・調査用のUAV（以下、撮影機）との通信電波を中継するためのUAV



図-5 上； UAVの飛行ルート、下； 離発着地点と地上局

(以下、中継機)を飛行させることで通信強度を安定させ、レベル3飛行下での自律飛行の実施を試みた。

撮影機と中継機は、レベル3飛行の法令申請状況や現地での試運転結果を踏まえ、図-3で選定した機体のうちACSL-PF2を使用することとした。撮影機の自律飛行ルートを図-5に示す。飛行ルートは過年度までに実施した目視内飛行のルートを用いた。撮影機は栗平地区の崩壊斜面や斜面直下の河道の危険箇所および1号砂防堰堤等の砂防施設の撮影を行うために、対地高度149 m以下とし、対地高度150 m以上の飛行に必要な航空法の申請を省略した。なお、堰堤等の施設付近は出水前後の変状の判別を想定し、対地高度100mまで近接した。飛行は動画撮影1回と静止画撮影(インターバル2秒/枚)1回とし、計2回、往復約6kmの区間を自律飛行させた。中継機は離着陸地点では携帯電話の電波が圏外であり、操縦者と撮影機の直線見通しが悪いため、中継機を介して通信電波の伝送が可能な対地高度300 mまで離着陸地点からほぼ垂直に上昇させた。これにより撮影機から中継機を介して地上局に対して機体制御情報や撮影映像の伝送を試みた。なお、離発着地点は、左右岸が急峻な狭窄地形となっており、GNSS捕捉数が自動離着陸を行うために十分な数を下回ったため、撮影機は離着陸時のみ手動で操作し、離陸後に上空でGNSS捕捉数が十分になった地点から自律飛行に切り替えた。

#### (4) 検証結果

撮影機と中継機を2機同時に併用することで、飛行中にプロポと撮影機の通信強度が弱くなることなくレベル3飛行下での自律飛行を行うことができた。1回の飛行は約15分であった。撮影した映像や機体制御情報は中継機を経由してリアルタイムに地上に伝送され、離発着地点に設置したモニター画面で確認することができた(図-5)。撮影した動画から崩壊斜面、斜面直下の河道、1号砂防堰堤の状況や堆砂域の土砂堆積状況を迅速に確認することができた。また、撮影した静止画は2,000万画素と高解像度であり、出水前後の砂防施設の変状等を識別できる解像度を有することが確認された。以上より、急峻

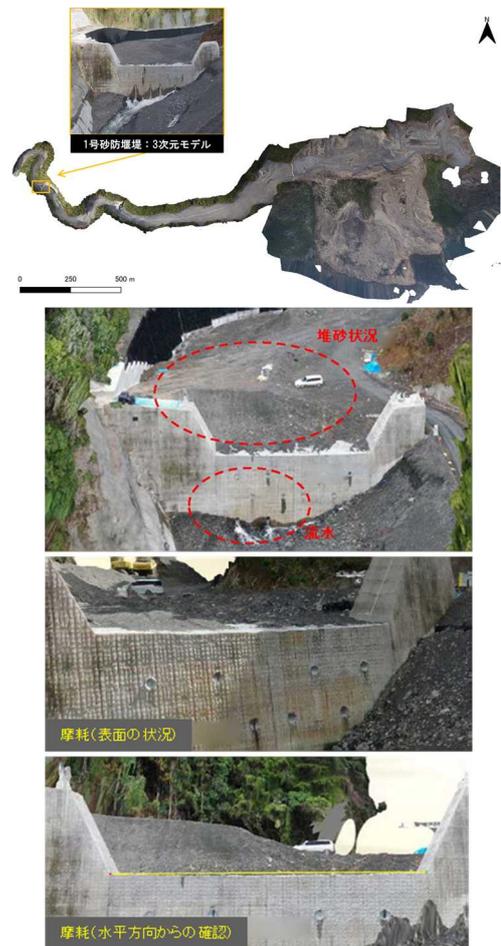


図-6 上) SfM解析で作成したオルソ画像  
中・下) 3次元モデルによる堰堤の変状推定

な地形に囲まれてアクセスも悪く、携帯電話の電波が圏外かつ、危険で人の立ち入りが困難な箇所において、安全な地点から2機のUAVを同時に自律飛行させることで中継機による電波経路を利用し、崩壊斜面や河道、砂防施設の状況を迅速に把握することが可能であり、出水時における緊急的な点検・調査においてUAVによるレベル3飛行が有効であることが示された。

#### (5) 撮影データの解析

インターバル撮影した静止画はオーバーラップ85%以上になるよう設定しており、計208枚の連続した静止画とSfM (Structure from Motion) 解析により、栗平地区全体のオルソ画像と3次元モデルの作成を行った。使用したSfM解析ソフトはMetashape (Agisoft社)であり、解析時間は約2時間であった。オルソ画像(図-6)からは対象地区全体の土砂堆積侵食を迅速に確認することができた。また、砂防施設の3次元モデルから、堰堤の洗掘による破損や摩耗について確認できた。3次元モデルは静止画に比べてテクスチャが粗くなるため、ひび割れ等の細かい変状を把握するのは困難であったが、地区の全容を視覚的にわかりやすく俯瞰できることから、点検・調査において地区全体の変状や土砂流出・堆積状況を判断する際に活用できることが示された。

## 5. UAVレベル3飛行の利活用

### (1) UAV2機の併用によるレベル3飛行の課題

現地検証では、中継機との電波強度を安定させるために、撮影機の高度を最低でも対地高度100mとした。しかし、砂防施設のひび割れといった数 mmの変状まで識別するためには、より対地高度を下げて、砂防施設に近接する必要がある。今後は中継機と撮影機の位置関係を試行錯誤的に試験し、相互位置の自動補正機能などを検討するとともに、撮影機への中継機追尾技術や複数台のUAVの使用による電波強度の安定化を目指す。

### (2) UAVレベル3飛行の活用

レベル3飛行は目視外においてUAVを飛行させることによって、目視内では制限される長距離の飛行を可能とするものである。本検証は電波状況の改善のために中継機を併用したが、携帯電話の電波等が届く環境であれば電波中継はUAVでなくても可能であり、たとえば事務所と現場といった遠隔地から、地上の電波局を經由してUAVのレベル3飛行の運用が可能になると考えられる。また、本検証では離着陸地点に設置したモニター画面にてUAVの撮影画像を確認していたが、これらの映像も同様に遠隔地に伝送して、UAVの映像をリアルタイムで共有可能であり、出水直後の緊急調査着手の判断の際にも活用が期待される。近年では、伝送される動画や静止画から同時並行でSiM解析を行うことで、リアルタイムにオルソ画像や3次元モデルの作成し、より詳細な情報を取得することができる(図-7)。

本検証では、点検・調査を想定して事前に飛行ルート・画角を設定して自動飛行を行ったが、出水後などの別時期においても飛行ルート等を同一に設定して運用すれば、同一アングルで繰り返し撮影が可能であるため、出水前後の変状をより効率的に抽出することができる。これに、AI等を活用した画像解析技術を用いることで、二時期の画像から変状を自動検知することも可能であると考えられる。また出水前後の3次元モデル同士の差分解析などにより土砂流出状況の定量的な解析も可能になり、堰堤の堆砂状況の把握や除石管理の計画検討にも利用できる。今後は、同一アングルで撮影される定点画像を用いて自動で変状抽出から施設点検台帳作成まで行うような定期点検へのあり方が考えられる。

### (3) 離発着を含む完全自律飛行の活用

レベル3飛行による施設点検のさらなる有効性を確認するために、スイッチ1つのみで現場に設置した格納庫からUAVが離陸し、砂防施設点検ルートを飛行したのち格納庫に収納されるまでを自動で行う完全自律飛行について、追加で検証した(図-8)。この検証ではVisual SLAM技術を搭載したUAVを用いることでUAVに搭載されたカメラ画像を用いて周辺環境と機体位置を推定し、



図-7 UAVと遠隔地間での映像共有



図-8 格納庫を用いた完全自律飛行の検証

機体自らが障害物を回避して飛行するようにした。この検証により、あらかじめ現地に格納庫を設置してUAVをスタンバイしておけば、将来的には、作業員が現場に行かずとも、安全かつ効率的な施設点検の実施に活用できることが示唆された。今後は、UAV格納庫の設置箇所の検討やVisual SLAM技術の活用を前提とした施設点検計画などの運用条件の整理を行う必要がある。

## 6. おわりに

今回の現地検証では、2機のUAVを併用したレベル3飛行下における自律飛行によって崩壊斜面や砂防施設等の点検・調査に関する検証および有効性や利活用について報告した。砂防堰堤の定期点検は、これまで作業員が両岸の尾根を超えて現場まで徒歩で移動し直接目視によって砂防施設の変状の有無や土砂堆積状況を確認する必要があったが、UAVによるレベル3飛行の活用により、これまでの作業を飛躍的に効率化し、作業の安全性確保にも繋がると考える。レベル3飛行の実用化に向けては、使用可能機体に制約があること、飛行ルートを事前に作成した上で許可申請が必要であること、申請が複雑で実績も少ないことから導入へのハードルが高いといった課題が残っている。今後は許可申請の体系化・簡略化について関係機関と協議して、とりまとめを進める。また、国産UAVを含むUAV市場の動向にも注目し、新技術の利活用を積極的に検証しながら、レベル3飛行を用いた点検・調査の実用化に向けて課題解決に取り組んでいく。

### 参考文献

- 1) UAVの自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き, 令和2年3月, 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

# 大阪湾岸道路西伸部事業における CIMの取組状況について

村田 大輔<sup>1</sup>・橋 和樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 浪速国道事務所 大阪湾岸道路整備推進室

(〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

大阪湾岸道路西伸部事業では、i-Constructionにより計画・調査・設計段階から構造物の属性情報を付与した3次元モデルを導入することにより、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的とし、BIM/CIMに取り組んでいる。本稿では、ポートアイランド地区の橋梁詳細設計業務における活用を例に、BIM/CIM活用の現状、作成モデルの仕様、活用結果の検討箇所の有効性・得られた効果（コスト縮減、品質確保、施工効率性（全体構造、詳細部分））、課題について整理し、今後標準化されるBIM/CIMの設計段階での効果的な活用、想定される後工程での活用効果等について述べる。

キーワード BIM/CIM, i-Construction, 鋼製橋脚, 干渉チェック, 近接施工

## 1. はじめに（大阪湾岸道路西伸部の概要）

浪速国道事務所、神戸港湾事務所、阪神高速道路株式会社において事業中の一般国道2号大阪湾岸道路西伸部（六甲アイランド北～駒栄）は、神戸淡路鳴門自動車道（垂水JCT）から関西国際空港（りんくうJCT）を結ぶ大阪湾岸道路のうち、神戸市東灘区から長田区に至る延長14.5kmのバイパス道路である。阪神臨海地域の交通負荷を軽減し、交通渋滞や沿道環境などの交通課題の緩和を図るとともに、国際戦略港湾である阪神港の機能強化による物流の効率化、災害や事故などの緊急時の代替機能確保等を目的として、平成28年度に公共事業として事業化し、平成29年度に公共事業と有料道路事業の合併施工方式が導入されている。本路線の陸上部は橋梁構造で計画され、道路や公共交通、企業地等の様々な物件と交差する連続高架橋である。

事業の推進にあたっては、合併施行事業者である阪神高速道路株式会社をはじめ、神戸市等の交差・支障物件管理者、警察、地元住民等の合意形成が必要不可欠であり、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会の審議も踏まえた橋梁計画への柔軟かつ迅速な対応が求められる。

上記の事業特性から、大阪湾岸道路西伸部事業ではCIM活用による作業や照査の効率化・状況の可視化により事業推進への効果が期待できることから、橋梁詳細設計業務は、全て発注者指定型としており、橋梁予備設計業務や地質調査業務においても、一部、受注者希望型による発注方式を採用している。

本稿では、このうち、ポートアイランド地区第四高架橋詳細設計におけるCIM活用について述べる。



図-1 大阪湾岸道路西伸部路線概要図

## 2. 設計業務におけるBIM/CIM実施要領・対応状況

本稿では、2020年（令和2年）3月版のガイドライン、実施要領に基づく実施内容について述べる。

橋梁設計業務におけるBIM/CIM活用では、「BIM/CIM導入ガイドライン」、「BIM/CIM活用がガイドライン（案）」の他、「ICTの全面的な活用の推進に関する実施方針」における「別紙9 BIM/CIM活用業務実施要領」に基づき、表-1の項目を実施し、後工程に必要なBIM/CIMモデルを構築する。

表-1 BIM/CIM活用項目における実施項目

- ① BIM/CIMモデルの作成・更新
- ② BIM/CIMモデルを活用した検討の実施
- ③ BIM/CIMモデルの照査
- ④ BIM・CIMモデルの納品

②については、予備・詳細設計業務では、下表に示す具体的な項目より4項目以上を選択して実施することが基本となる。そのうち、「b) 情報共有システムを活用した関係者間における情報連携」は原則実施が必須である。

表-2 業務におけるBIM/CIM活用項目 (令和2年3月)

- a) 段階モデル確認書を活用したBIM/CIMモデルの品質確保
- b) 情報共有システムを活用した関係者間における情報連携
- c) 後工程における活用を前提とする属性情報の付与
- d) 工期設定支援システム等と連携した設計工期の検討
- e) BIM/CIMモデルを活用した工事費等の算出
- f) 設計図書としての機能を具備するBIM/CIMモデルの作成
- g) 異なるソフトウェア間で互換性を有するBIM/CIMモデルの作成
- h) BIM/CIMモデルを活用した効率的な照査
- i) 施工段階におけるBIM/CIMモデルの効率的な活用方策の検討
- j) その他 (業務特性に応じた項目を設定)

なお、②の項目は2021年(令和3年)3月に下表のとおり更新されている。ただし、「段階モデル確認書」、「情報共有システムを活用した情報連携」は、下表の検討を手戻りなく進めるために必要に応じて実施する項目となっている。

表-3 業務におけるBIM/CIM活用項目 (令和3年3月)

- a) 設計選択肢の調査
- b) リスクに関するシミュレーション(地質、騒音、浸水等)
- c) 対外説明(関係者協議、住民説明、広報等)
- d) 概算工事費の算出
- e) 4Dモデル(3次元モデルに時間情報を付与したモデル)による施工計画等の確認
- f) 複数業務・工事を統合した工程把握及び情報共有
- g) その他(業務特性に応じた項目を設定)

### 3. ポートアイランド地区第四高架橋の特徴

#### (1) 橋梁概要・架橋地の条件

ポートアイランド地区第四高架橋は、ポートアイランド島内に位置する橋長L=419.0mの連続高架橋である(図-2)。本橋は、臨港道路、中公園北交差点、神戸大橋オンランプやポートライナー等が入り組む狭隘部に計画される。従って、施工ヤードの確保や臨港道路、ポートライナー、神戸大橋オンランプ等の交差物件上の架設条件が厳しく、特に、ポートライナー上の架設は、き電停止時間帯における夜間施工が必要である。また、周辺は企業地の他、居住区や大学施設があり、施工時の周辺通行車両や歩行者の安全性の確保が求められる。

#### (2) 上部構造の特徴

前述した条件から、上部構造は最大支間130mの連続鋼床版桁橋を採用している。架設方法は、トラックレーンベント架設工法を基本とするが、交差物件が輻輳し、桁下のベント設置空間が限定されるPM-20~PM-21径間は、横取り架設を採用している(図-3)。桁下の交通に配慮したベント・横取り架設設備の配置には、架設ステップ等による精度の高い計画を要する。

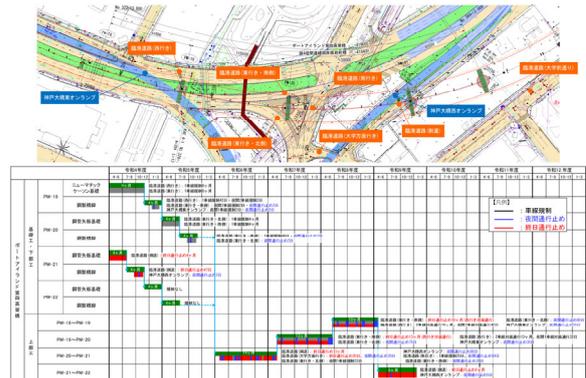


図-3 本橋の施工・架設順序及び工程

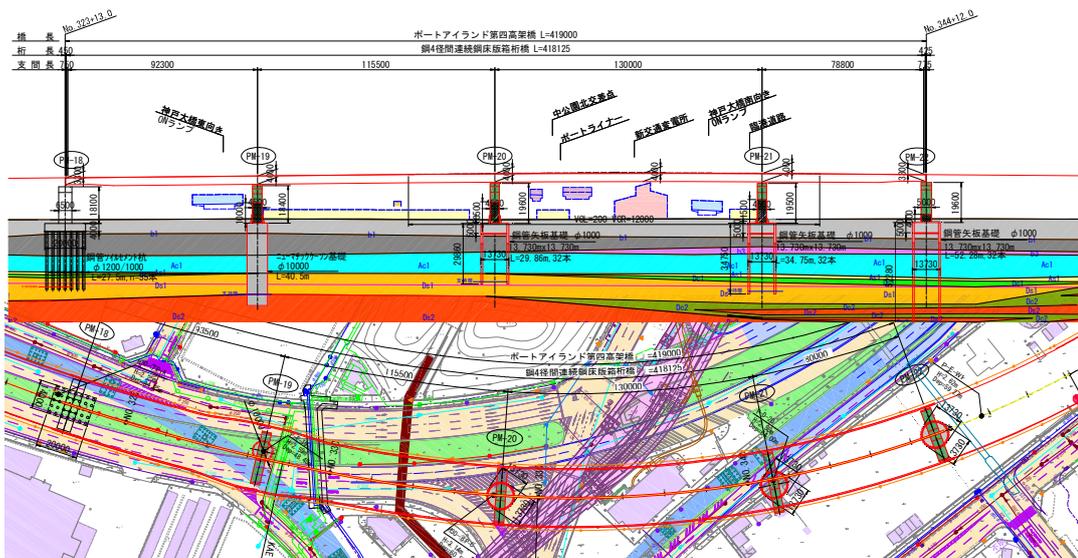


図-2 ポートアイランド地区第四高架橋 概要図

**(3) 下部構造の特徴**

前述した狭隘な桁下条件から、本橋の橋脚（PM-19～PM-22）は鋼製橋脚を採用している。鋼製橋脚は、内部の部材が煩雑で、維持管理空間や部材の干渉に留意が必要である。さらに、桁下の基礎配置条件が特に厳しいPM-19ではニューマチックケーソン基礎を採用しており、鋼製橋脚と基礎との接合部は部材干渉が生じやすい。

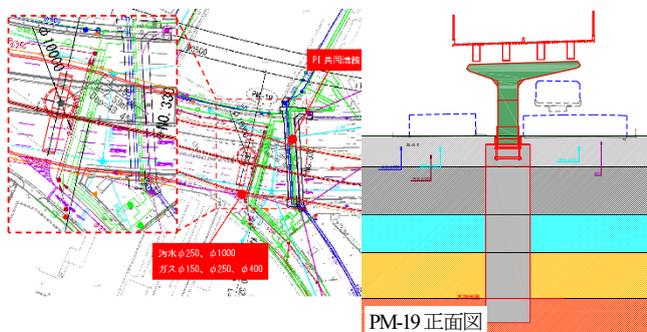


図4 PM-19橋脚概要図

**4. BIM/CIM活用の着眼点・モデル仕様・活用項目の選定**

前述の架橋地の特徴と基礎資料、BIM/CIM活用ガイドライン・BIM/CIM実施要領を踏まえ、「フロントローディング」と「コンカレントエンジニアリング」の観点から、BIM/CIMモデルの仕様の決定、リクワイアメントに応じた活用項目の選定を行った。

**(1) BIM/CIMモデルの仕様**

作成したBIM/CIMモデルの種類と構造物モデルの詳細度を下表に示す。

表4 本橋の詳細設計で作成したモデルと詳細度

CIMモデル名	作成	詳細度	備考
線形モデル	○	—	
地形モデル	—	—	過年度の測量成果モデルを使用
地質・土質モデル	—	—	当該地区の地質調査成果のモデルなし
構造物モデル (上部工)	○	300～400	局所的に400
構造物モデル (下部・基礎工)	○	300～400	局所的に400
構造物モデル (付属物)	○	300～400	局所的に400

**(2) BIM/CIM活用項目の選定**

**a) 情報共有システムを活用した関係者間における情報連携**

設計段階において、建設生産プロセス全体を見据えた関係者間での現場条件の再確認等に活用するため、情報共有システムの「3次元データ等表示機能」を活用し、

関係者間による情報連携を図った。

**b) 後工程における活用を前提とする属性情報の付与**

工事工程における数量算出の効率化に資することを目的として、設計成果における部材寸法、材質等の属性情報を3次元モデルに付与することとした。

**c) BIM/CIMモデルを活用した効率的な照査**

本橋の詳細設計において3次元モデルの活用により効率的かつ確実な照査が期待できる項目を抽出し、3次元モデルによる照査を実施することとした。

**d) 施工段階におけるBIM/CIMモデルによる効率的な活用方策の検討**

複雑な施工条件に対し、確実性の高い施工計画を立案することを目的として、施工ヤードや資機材の配置を反映したBIM/CIMモデルを作成し、施工ステップにより施工時の周辺既存構造物や交通への影響の可視化を図った。

**e) 合意形成の円滑化に必要なBIM/CIMモデルの作成**

関係機関協議において、本橋の複雑な施工計画について早期の合意形成を図るため、関係機関協議での利用を想定した3次元統合モデルを作成することとした。

**5. BIM/CIM活用の効果と今後の課題**

**(1) 情報共有システムを活用した関係者間における情報連携**

情報共有システムにより、各段階のBIM/CIMモデルを活用した資料等を迅速に共有し、情報共有・連携を円滑に行うことができた。

一方で、システム上でモデルを閲覧可能な3次元モデルビューワーは使用可能なファイル形式が限られるためCIMモデルを活用した資料等のPDFの他、2次元データのやり取りに留まった。また、3DPDFに出力することで3次元モデルデータのファイル形式によらず3次元モデルの確認が可能であるが、データ容量が大きく、システム上では動かさないことが多いため、結果としてダウンロードしなければ中身を確認できないのが実情である。今後、フォーマットの平準化、3次元モデルデータの軽量化が望まれる。

**(2) 後工程における活用を前提とする属性情報の付与**

BIM/CIMガイドラインの記載項目を参考として、当該分野において必要な属性情報を、対象ごとに「工程」「属性種別」「属性名称」「申し送り事項」「付与時の用途」「最終更新日時」等を付与属性項目一覧表としてとりまとめた上で、CIMモデルに付与した。属性情報の付与対象は、上部構造（鋼橋）及び下部構造（鋼製橋脚）とし、CIMモデルとリンクする別ファイルに付与する外部参照方式とした。

鋼部材の属性付与により、各部材の情報をモデルをクリックすることにより簡便に参照することができ、数量算出の効率化に一定程度寄与したと考えられる。

ただし、設計計算結果から自動算出により付与できる情報は限られており、かつ、属性情報の外部参照等のリンク設定は手動で実施するため、詳細設計成果における付属物等も含めたすべての部材に属性情報を付与するには至っていないのが実情である。今後、設計成果からモデル化、属性情報付与までの自動化が可能な構造物を拡大していくことが望まれる。

表-5 付与属性項目一覧 (上部構造：鋼構造物抜粋)

工程	属性種別	属性名称	付与時の用途	最終更新日時	必須	選択
設計時	部材情報	ID	属性管理	2021/03/24	○	
		構造物名称	属性管理	2021/03/24	○	
		部材名称	属性管理	2021/03/24	○	
		材質				○
		部材形状				○
		部材寸法				○

(3) BIM/CIMモデルを活用した効率的な照査

本橋では、3次元モデルの活用により効率的かつ確実な照査が期待できる項目として、下表の3項を抽出し、照査を行った。

表-6 本橋における照査項目・確認事項一覧

項目	照査内容
a) 近接する既設構造物との離隔状況のチェック	近接する神戸大橋西ランプ線の建築限界との離隔状況の照査
b) 基礎接合部の干渉チェック	ケーソン基礎の配筋とアンカーフレームとの干渉について照査
c) 鋼製橋脚内の維持管理動線及び部材干渉のチェック	上部工検査路から下部工への導線、箱桁内の導線を照査

a) 近接する既設構造物との離隔状況のチェック

PM-19橋脚に対しては、近接する神戸大橋東オンランプの建築限界をモデル化し、橋脚との離隔を確認した。同様に、PM-21に対しては、神戸大橋西オンランプの建築限界との位置関係を確認し、橋脚との干渉がないことを確認した。

既設構造をモデル化することで、離隔状況が視覚化されるとともに、システム上で干渉範囲のチェックが可能となり離隔条件設定における効率化が期待できる。

ただし、既設構造物のモデル化にあたっては、既設構造物の平面、側面の形状・位置情報が明らかであることが前提である。竣工図等の図面が十分でない構造物に対しては、調査段階で3次元測量を実施することで、設計段階において精度の高いチェックが可能となる。

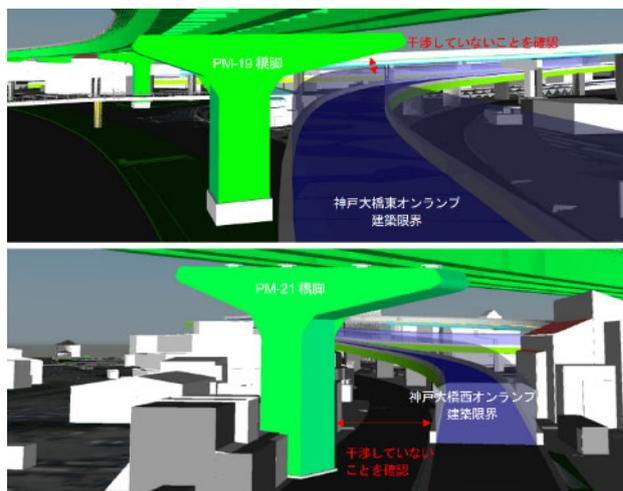


図-5 橋脚と神戸大橋東西オンランプ橋との離隔状況

b) 基礎接合部の干渉チェック

PM-19橋脚を対象に、橋脚アンカーフレームとニューマチックケーソン基礎頂版部の配筋構造について、干渉の有無をチェックした。干渉チェックの概要を下図に示す。干渉チェックの結果、アンカーフレームのボルト部とケーソン頂版の配筋の干渉が確認されたため、設計に反映し、頂版の配筋を変更した。配筋変更後、再度干渉チェックを実施し、いずれの部材にも干渉がないことを確認した。

3次元モデルのシステムを用いた自動チェックにより、複雑な接合部における部材干渉を効率的に確認し、設計に反映することができた。

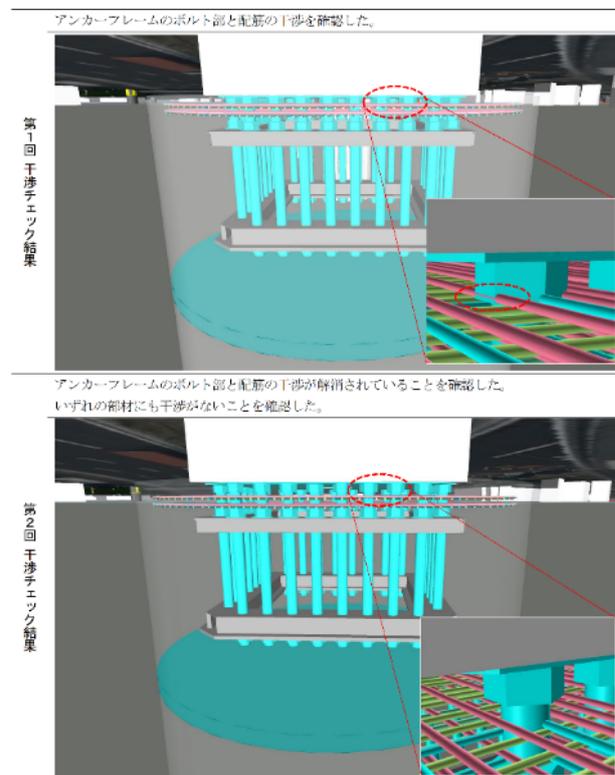


図-6 PM-19橋脚干渉チェック結果

c) 鋼製橋脚の維持管理動線及び部材干渉の確認

PM-19橋脚のCIMモデル(詳細度400)により、鋼製橋脚内部の維持管理動線を確認し、維持管理に必要なマンホール等と脚内部材との干渉についてチェックした。

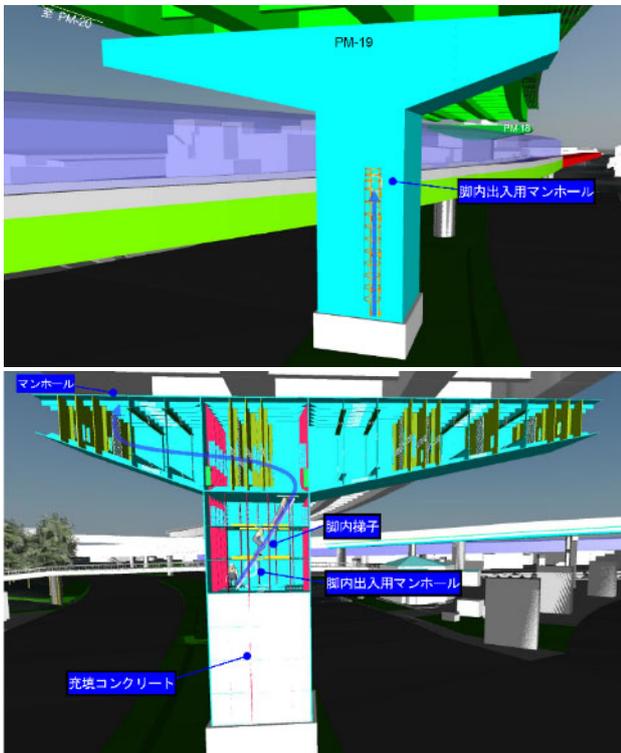


図-7 鋼製橋脚内の状況と維持管理ルート概要

上記の維持管理ルートを踏まえた鋼製橋脚内部の干渉チェック結果を下図に示す。橋脚内部に部材干渉はなく、移動の際にはかがむ等の配慮を要するものの、移動困難となる極端に狭隘な箇所はないことが確認できた。

鋼製橋脚のような複雑な部材構成の維持管理計画にあたっては、3次元モデルを用いた照査により、効率的な計画が可能となる。

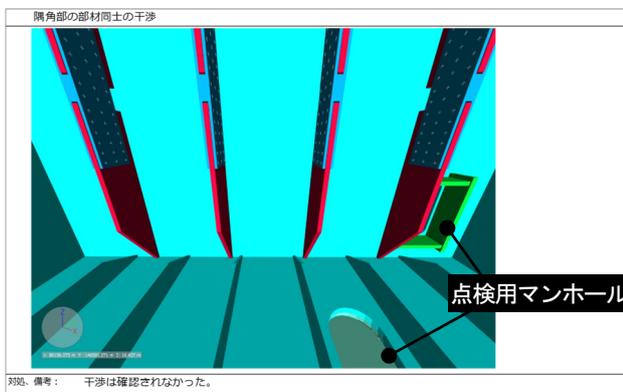


図-8 鋼製橋脚内部の部材干渉チェック結果

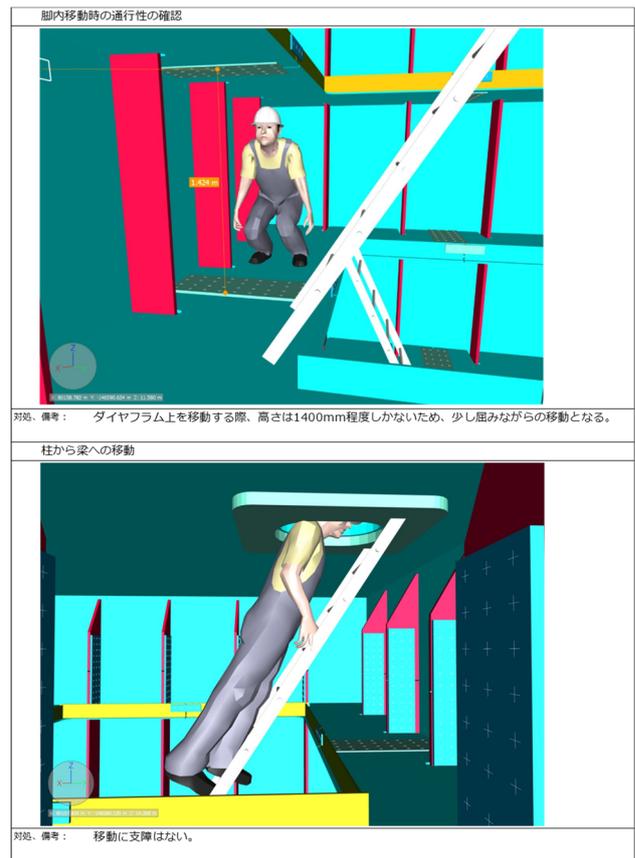


図-9 鋼製橋脚内部の狭隘部照査結果

構造物内の部材同士の干渉はシステムによる自動化が進められており、効率化に寄与している。一方で、維持管理空間におけるルート確認等照査はモデル空間での人物モデルの設置や手動での寸法チェックによるところが大きく、自動判定等を利用したさらなる省力化が望まれる。また、3次元モデルを活用した効率的な点検順序の提案等、維持管理段階での具体的な活用を見据えた検討も、今後望まれる。

(4) 施工段階におけるBIM/CIMによる効果的な活用方策の検討

施工ステップの各段階をモデル化し、全体工程を可視化することで「施工方法および工程等の実現性」について確認した。なお、施工ステップの作成にあたっては、本体構造物と仮設構造物や支障物との干渉や搬入出路の確保、資機材等の搬入出等の計画について考慮した。さらに、現場条件等により施工計画に変更が生じた場合を想定して、現場での判断が必要な箇所について申し送り事項を付与する等の配慮をするとともに、修正可能なCIMモデルを構築した。(図-10)

フロー毎の3次元モデルの作成により、仮設構造物の配置による既設構造物の干渉状況や現道交通への影響が可視化され、精度の高い施工計画の立案に寄与するとともに、受発注者間の課題共有・関係機関協議における合意形成の迅速化を実現できた。

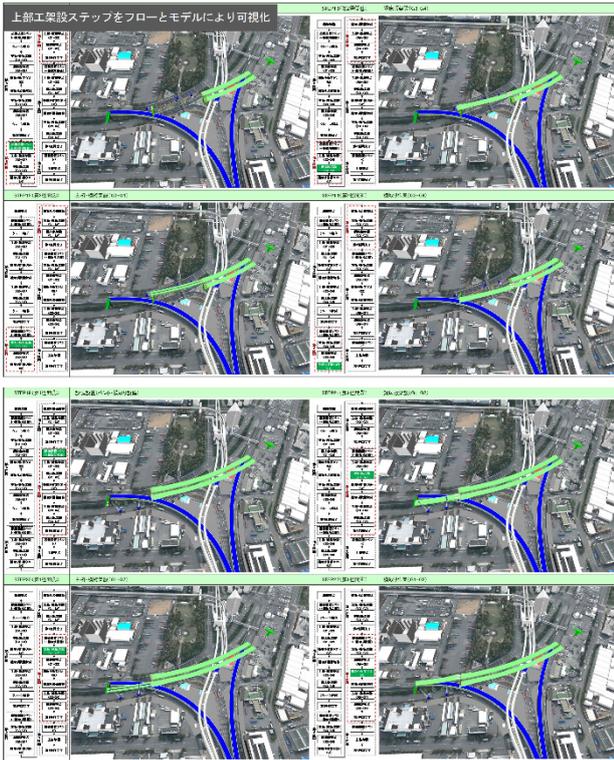


図-10 フロー図と3Dモデルを併用した上部工架設ステップ

今後、設計段階で作成した施工ステップを工事段階で効果的に活用するには、モデルの分割単位等、施工段階での要求事項を考慮した事前のモデル設定等を考慮していくことも必要である。

#### (5) 合意形成の円滑化に必要なCIMモデルの作成

関係機関協議での合意形成に資するため、地形、構造等を統合した全体モデルを作成した。

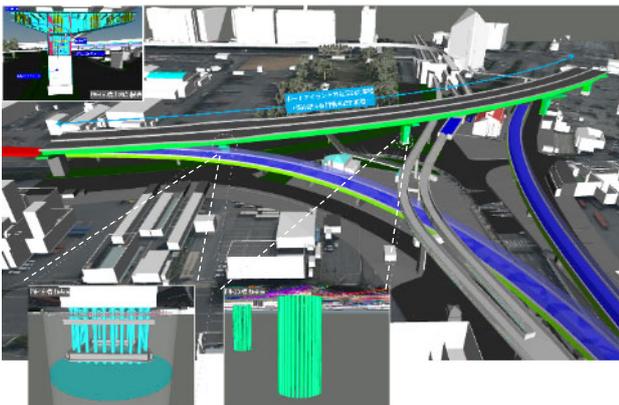


図-11 周辺既設構造物を含めた全体モデル

さらに、近接する既設構造物の形状をモデルに反映し、近接程度の視覚化を行った。また、ポータルライナー利用者からの施工状況の見え方を確認することで、近接施工時のポータルライナー利用者を与える圧迫感等の印象を検

証し、関係機関協議での協議に活用することで、課題共有の迅速化、合意形成に寄与した。

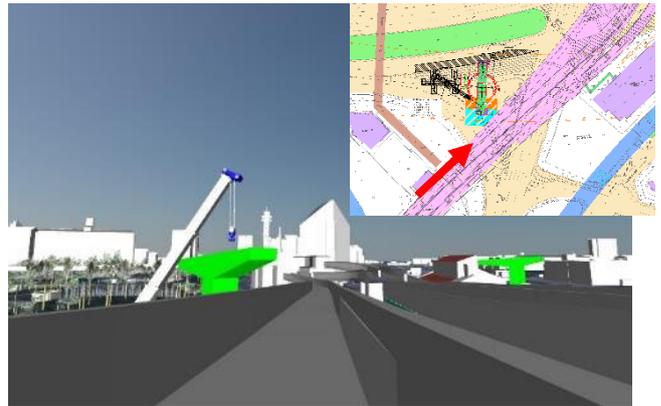


図-12 ポータルライナー下り線からの視点 (PM-20橋脚架設時)

## 6. おわりに

諸外国に比較して生産性が低いといわれる我が国の建設業において、人口減少や高齢化が進む中であっても生産性向上を推し進めるため、データやデジタル技術を活用したサービス・働き方の変革 (DX: デジタルトランスフォーメーション) が求められている。中でも、生産プロセス向上の大きな役割を担うことを期待されている「BIM/CIM」は、建築分野では様々な活用が進んでいるものの、土木分野では未だ過渡期にある。

本稿では、大阪湾岸道路西伸部事業におけるBIM/CIM活用の事例として、ポートアイランド地区第四高架橋の詳細設計段階における活用結果及び現状の課題について述べたが、一般的な橋梁詳細設計業務において共通する事項も多いと考える。

大阪湾岸道路西伸部事業においては、先行する六甲アイランド地区の基礎工事等において、設計段階で作成したBIM/CIMモデルを引継ぎ、活用し始めているが、後工程 (施工、維持管理、更新) で積極的に活用することも視野に入れ、業務発注前にリクワイアメントを適切に選定していくことが望まれる。

事業推進者、設計実務者がともに求められる効果や課題を共有し、新時代に求められるシステムを構築することで、BIM/CIMを活用した建設生産・管理システム全体の効率化が図られることに期待する。

### 参考文献

- 1) 国土交通省: CIM導入ガイドライン (案) 令和2年3月
- 2) 国土交通省: BIM/CIM活用ガイドライン (案) 令和2年3月
- 3) 国土交通省: BIM/CIM活用業務実施要領 (令和2年3月)
- 4) 国土交通省: BIM/CIM活用業務実施要領 (令和3年3月)

# 琵琶湖の鴨川河口における湖岸保全対策について

森 亮希<sup>1</sup>・中西 宣敬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>長浜土木事務所 河川砂防課

<sup>2</sup>高島土木事務所 河川砂防課

旧高島町域の一級河川鴨川河口部に位置する横江浜・近江白浜では、近年の上流域からの供給土砂低減により、侵食が進行している。当該地区の保全対策は、良好な湖岸環境と観光振興、景観形成等が密接に関係しており、事業推進にあたっては、現在、地元関係者の意見を聞きながら対策を進めている状況である。本稿では整備後の砂浜の変化を踏まえた保全対策の計画方針の策定について報告する。

キーワード 湖岸侵食、供給土砂量、総合土砂管理、汀線、突堤、緩傾斜護岸

## 1. はじめに

琵琶湖では流入河川の治水対策の一環として河道掘削や新放水路の開削が各地で行われてきた。この結果、河川改修の行われた河川では琵琶湖への流入土砂が激減し、河口からの土砂流入を前提として形成されてきた湖浜で著しい侵食が起きている。琵琶湖中央部、鴨川河口においても侵食が進んできており、隣接の横江浜地区、近江白浜地区(図-1)での湖浜復元が課題となっている。当該地区の保全対策は、良好な湖岸環境と観光振興、景観形成等が密接に関係しており、事業の推進にあたっては、現在、地元関係者の意見を聞きながら対策を進めている状況である。本論文では、当該地区の湖岸保全対策を行うべく、事業実施に至る経緯から具体的な保全対策の内容について報告する。

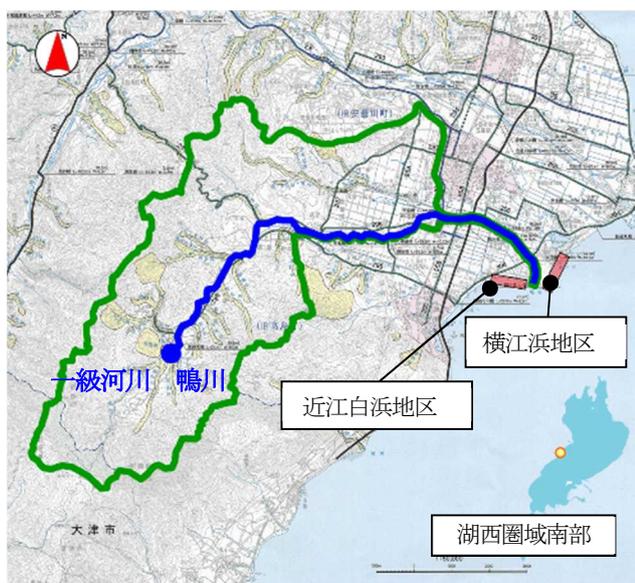


図-1 横江浜地区、近江白浜地区の位置

## 2. 調査対象地区の変遷

### 2-1 湖岸形状の変遷

横江浜地区、近江白浜地区における昭和36年から平成25年までの汀線変化の状況を図-2に示す。これは、昭和36年から平成6年までの33年間と、平成6年から平成25年までの19年間の汀線の前進後退を航空写真から整理したものである。

横江浜地区については、昭和36年時は鴨川河口から堀川水門付近まで連続した砂浜が形成されている。ただ、平成6年になると、土砂供給量の減少による汀線の著しい後退が始まった。平成25年では、平成6年当時と比べて、横江浜北側の砂浜が消失していることが確認できる。

近江白浜地区については、昭和36年の段階では緩やかに湾曲した砂浜であった。平成6年には近江白浜の大部分で汀線が前進し、とくにえり本川河口左岸付近では大きく汀線の前進が起きた。これと対照的に、鯉川河口右岸では後退していた汀線が河口左岸では前進傾向へと変化することから、近江白浜は両側からの沿岸漂砂が集まる区域であることがわかる。平成25年には鴨川河口方面から始まった侵食が明川にまで到達して汀線後退が始まった。

### 2-2 鴨川河川改修事業の経緯

鴨川においては、昭和48年から中小河川改修事業に着手している。また、平成25年台風18号の影響により堤防が決壊するなど甚大な被害を受けて、災害復旧事業により大規模な河川改修が行われた。近年においては、維持管理事業として、平成27年～平成30年にかけて浚渫工事を実施し、約4年間で62,300m<sup>3</sup>の土砂を撤去している。

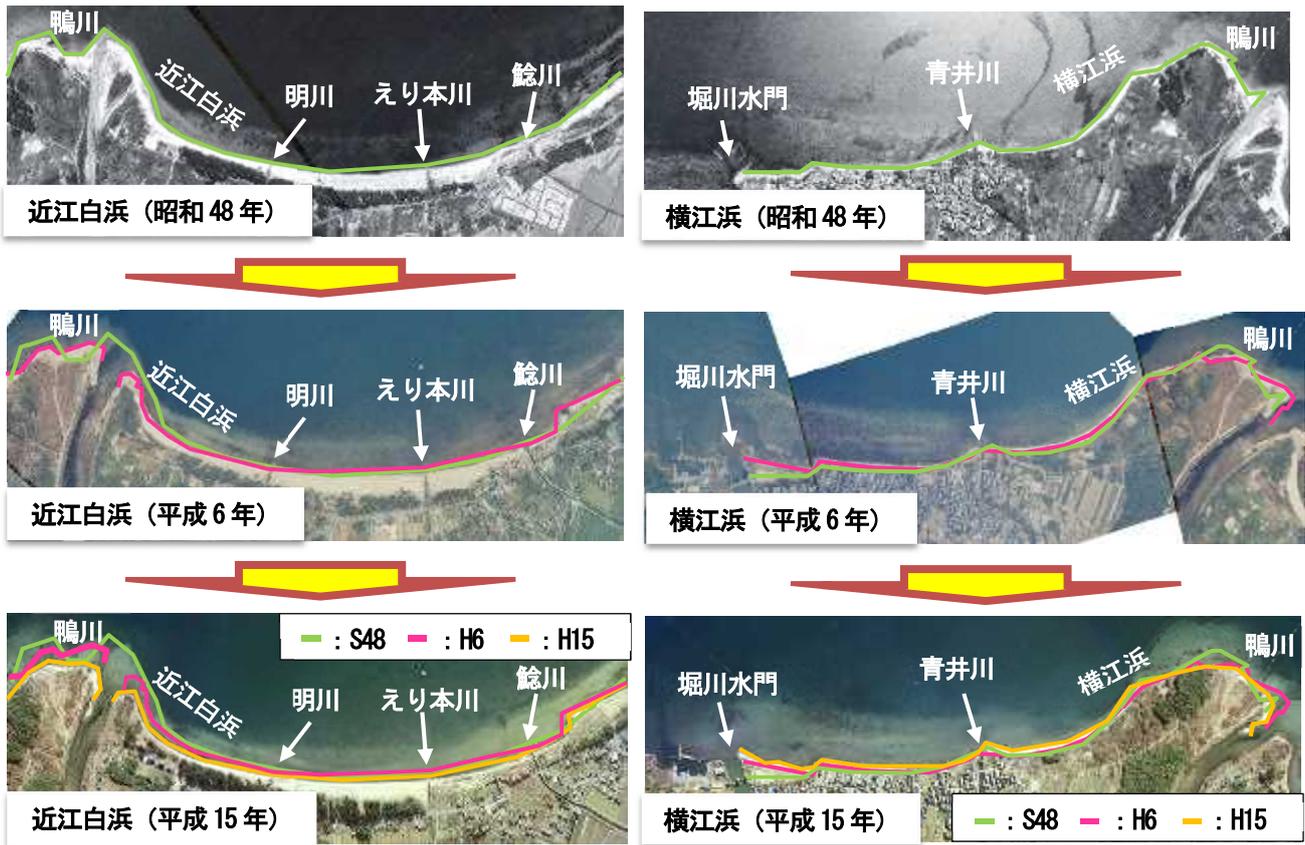


図-2 横江浜地区・近江白浜地区の変遷

### 3. 保全対策計画の内容

前節より横江浜地区・近江白浜地区においては、湖岸保全施設がない箇所では浜けり等の湖浜侵食が発生している。そのため当該地区の対策として、これ以上の侵食を抑制するための保全施設計画と、土砂供給を再生するための計画について検討した。

#### 3-1 侵食の抑制について

##### a) 外力条件の整理

保全対策の設計に先立ち、琵琶湖での計画水位および風速の設定を行う。当該地区においては、季節風などに比べ台風時の波による影響を受けやすいため、計算水位はB.S.L.+0.50m、風速20m/sとして計算を行う。

次に、対象地区周辺の移動条件を整理した。まず、対象地区の16方位別フェッチにより対象湖岸へ影響する風向を計算し、設計波浪(波高・周期・波長)の算定を行う(図-3)。さらに、対象地区での漂砂の移動特性を把握するために、過去10年間の風向(波高)別の沖波エネルギーの算定を行う(図-4)。漂砂エネルギー値が正の場合は琵琶湖に向かって左方向、負の場合は琵琶湖に向かって右方向へ移動している。

横江浜地区では、沿岸方向エネルギーが676.0 (kg・m/day/m/年)となり、台風時に琵琶湖に向かって右方向

へ向かう漂砂もやや見られるが、年間を通じて、琵琶湖に向かって左方向へ向かう漂砂が卓越している。特に台風時に左方向の漂砂エネルギーが大きく、年間で左方向へ向かう漂砂となっている。近江白浜地区では、沿岸方向エネルギーが-468.9 (kg・m/day/m/年)となり、冬季に琵琶湖に向かって左方向へ向かう漂砂もやや見られるが、春から秋にかけて、琵琶湖に向かって右方向へ向かう漂砂が卓越している。特に台風時に右方向の漂砂エネルギーが突出しており、年間で右方向へ向かう漂砂となっている。上記の外力条件から、保全施設の配置計画および構造を検討する。

##### b) 横江浜地区の計画概要

横江浜地区の計画概要について、図-5に示す。侵食が顕著な区間を中心に、保全対策(護岸、突堤、養浜等)を検討・実施した。図-5のA区間およびC区間については侵食傾向が顕著であるため、矢板捨石突堤を設置し、湖岸の侵食を防止するとともに、養浜により砂浜を再生する。B区間の南側については、湖底の地形が急峻で砂浜の形成(堆積)が期待できないため、緩傾斜護岸を設置し、侵食を防止する。

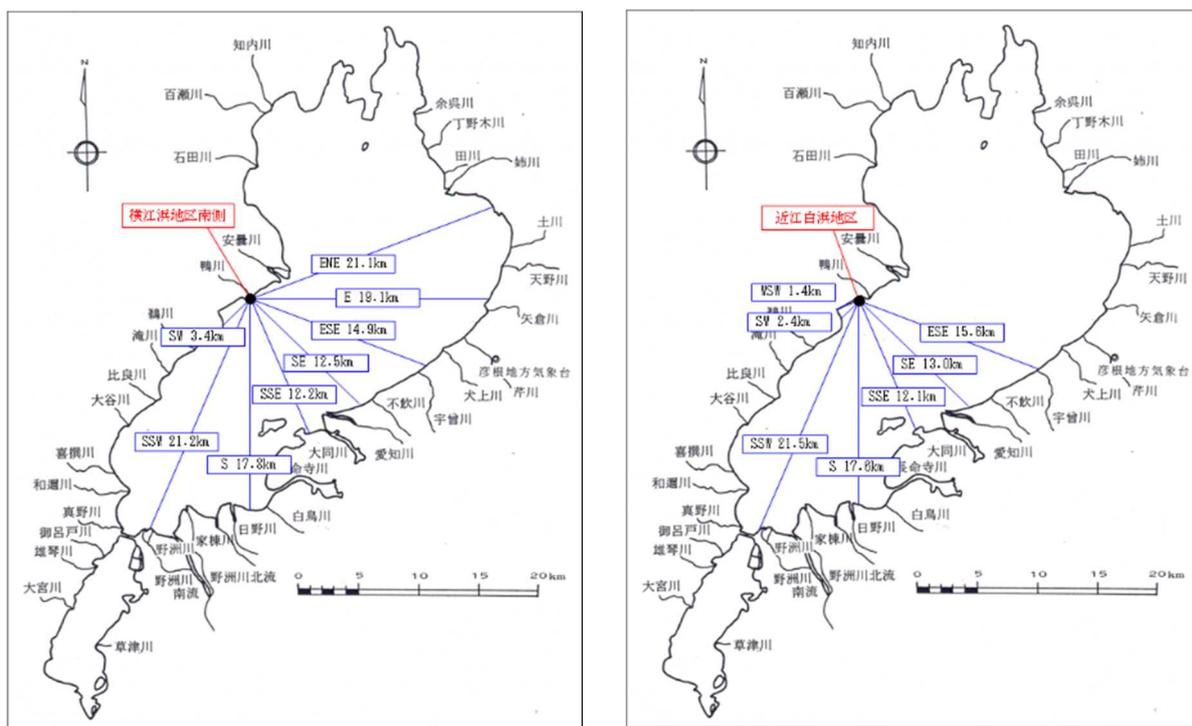


図-3 横江浜地区・近江白浜地区におけるフェッチ設定図

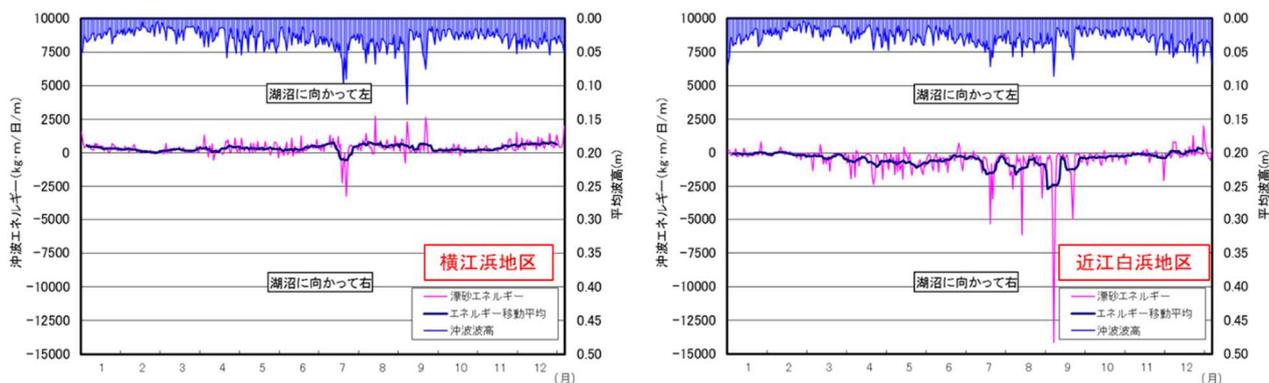


図-4 横江浜地区・近江白浜地区における月別の変化状況

c) 近江白浜地区の計画概要

近江白浜地区の計画概要について、図-6に示す。当該地区はこれまでも保全対策が行われ、一定の効果がみられるものの、特に鴨川河口右岸付近（A区間）が侵食傾向にある。その区間については、砂浜の保全を図るために複数の突堤を設置する。侵食により汀線が後退しているB区間は、砂浜をより広く保全するために、明川河口に導流堤、中央にL型突堤を設置し、養浜により砂浜の再生を行う。また、近江白浜地区については、本施工に先立ち、突堤工や護岸工による対策効果を把握するため試験施工方法を検討した。試験施工に用いる突堤構造としては、耐久性および経済性の観点から袋詰玉石による構造とした。試験施工による汀線変化や土砂の堆積状況をモニタリングし、本施工の突堤配置計画に反映させる。

d) 周辺環境への配慮事項

横江浜地区の湖岸および湖面は、琵琶湖国定公園の第2種特別地域に位置付けられており、園地等の湖岸整備が行われている。また、全区間に渡り、砂丘性植物であるハマヒルガオや、A区間には重要種であるタチスズシロソウ（環境省レッドリスト2017「絶滅危惧種ⅠB類（EN）」、滋賀県レッドデータブック2015「その他重要種」）の生息が確認されている。そのため、検討・実施段階でこれらに配慮した整備が求められた。

近江白浜地区の背後地は、キャンプ場やマリンスポーツの拠点として整備が進められている。そのため、保全対策計画の作成にあたっては、湖西圏域南部地域湖岸保全整備地域協議会を立ち上げ、高島市・地元区・観光業関係者・周辺漁業組合などと連携し進めている。

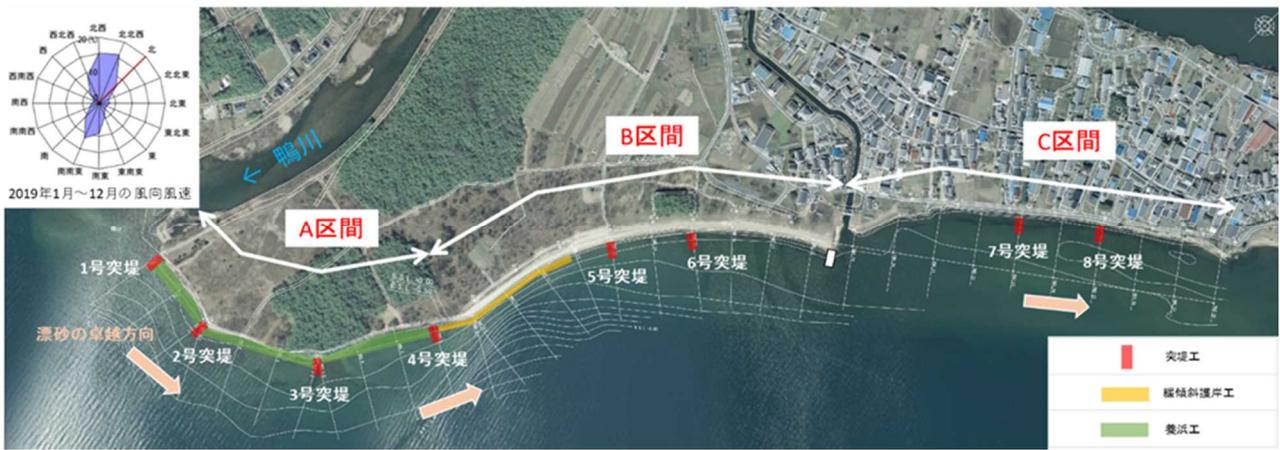


図-5 横江浜地区の計画概要

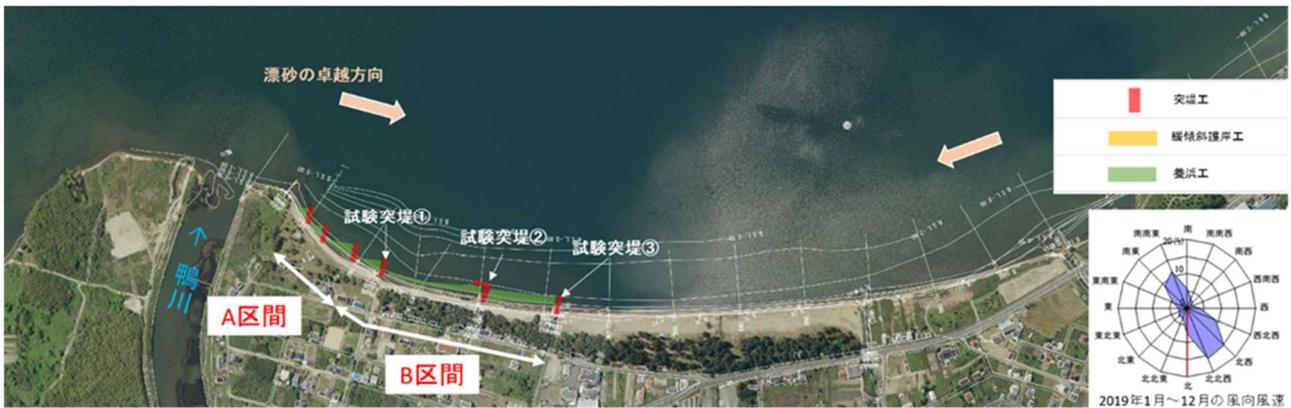


図-6 近江白浜地区の計画概要

### 3-2 土砂供給の再生について

鴨川については、前節より河川改修や河道掘削に伴い川幅が広がって清掃力が減少したため、土砂供給量の減少が確認されている。そのため、土砂動態に関わる課題を解決するため、流域の源頭部から湖岸までの一貫した土砂の移動範囲を捉え、総合的な土砂管理を行うことは、それによる湖岸侵食を防止する意味でも必要不可欠である。

瀧ら<sup>1)</sup>は、山地から河川、湖岸域（流砂系から漂砂系）に至るまでの一連の土砂移動を追跡できる数値解析モデルを構築し、各要因が湖岸形状に与える影響を定量的に評価した。それによると、野洲川河口を例に、およそ4,600m<sup>3</sup>/年のときに岸沖方向の土砂変動量の収支が±0m<sup>3</sup>/s（動的平衡状態）になると予測されている。

近江白浜地区においては、平成30年に鴨川からの浚渫土約10,000m<sup>3</sup>を置き土することにより、付近の土砂供給を増やす取り組みを行っている。保全対策施設と組み合わせることにより、さらなる汀線の前進が期待される。

## 4. 保全対策による汀線変化

### 4-1 横江浜地区

横江浜地区においては、平成30年度～令和元年度にかけてA～B区間の保全対策整備を実施した。写真-1は、平成28年と令和元年に撮影したA区間の航空写真の比較である。これより、1～3号突堤付近にはある程度砂浜が形成されており、汀線の前進が確認できる。また、B区間については、緩傾斜護岸および突堤の整備が完了しており、一定砂浜が形成されていることが確認できる。

### 4-2 近江白浜地区

近江白浜地区については、現在試験施工として袋詰玉石の突堤が3基整備されている（写真-2）。試験突堤の設置により、鴨川河口からの漂砂の堆積が見られ、侵食傾向が顕著であった河口部左岸の湖浜は安定している。これより、今回の試験施工により一定の効果が確認された。ただ、明川河口部で、試験突堤により一定の効果は確認されるが、満砂状態であり、試験突堤の高さが不足が確認された。

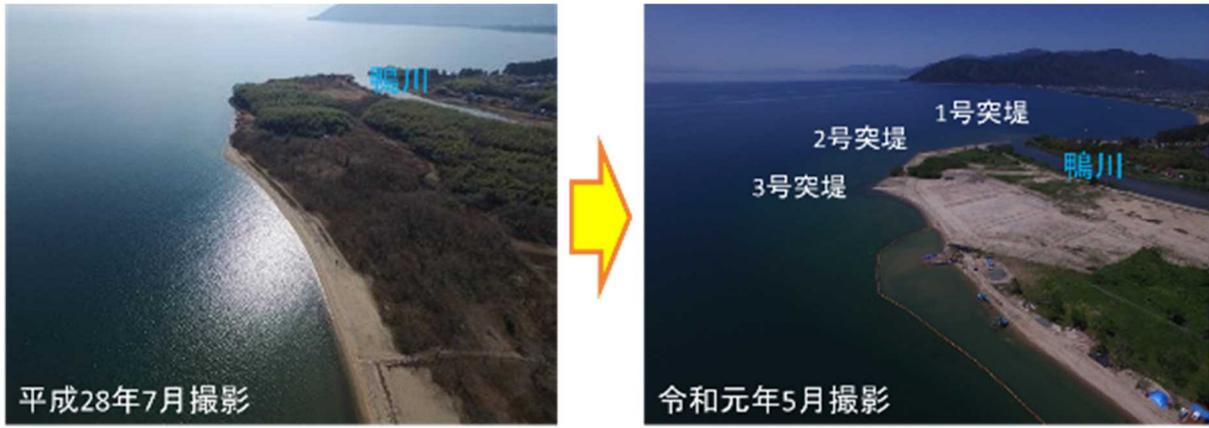


写真-1 横江浜地区における汀線変化



写真-2 近江白浜地区における試験突堤の実施状況

今後、突堤必要高に関する試験施工として、現試験突堤の高上げを実施し、突堤諸元の確認を行う必要がある。また、試験突堤①よりも鴨川河口側については、さらに湾曲が大きく、汀線の角度変化も顕著となるため、これらの区間の安定化に向けた試験も行い、突堤群による効果を見極めていくことも重要である。

また、土砂供給に関しては、写真-3に示す通り、鴨川全体の土砂移動を把握できていなかったために、令和2年の時点では大半が流出している。しかし、置き土により試験突堤への一定の効果は確認できた。今後の課題として、総合土砂管理に向けて河口部付近に沿岸漂砂として浚渫土などをバイパスすることができれば、保全施設と合わせて更なる侵食防止になると考える。



平成30年7月撮影



令和2年7月撮影

写真-3 近江白浜地区での置き土による汀線汀線変化  
(鴨川河口から西側を望む)

## 5. おわりに

今回、鴨川河口部における横江浜地区・近江白浜地区について、湖岸形状の変遷から具体的な保全対策の検討方法、および保全施設を設置したことによる効果を検討した。今回は短い期間かつ航空写真による汀線変化の比較を行ったが、今後定期的な測量調査等による定量的な汀線変化の把握も重要になってくる。また、湖岸保全施設だけではなく、流域全体として漂砂系から流砂系の土砂動態を管理していくことが必要である。引き続き保全施設による変化をモニタリングしながら、効果の持続性について考察していきたい。

**謝辞：**本報告は、(株)建設技術研究所の皆様にごデータを提供いただきました。記して御礼申し上げます。

### 参考文献

#### 参考文献

- 1) 瀧健太郎・児玉好史・都築隆禎・伊藤禎和・加藤陽平：琵琶湖周辺における湖岸保全施設によらない湖岸管理の実現可能性に関する一考察，リバーフロント研究所報告，第18号，2007.9
- 2) 一般財団法人国土技術研究センター：総合土砂管理計画策定の手引き，2019.3

# 国道477号琵琶湖大橋東詰交差点における 渋滞対策について

川口 直哉<sup>1</sup>・奥山 善之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>滋賀県道路公社 道路部 道路整備課 (〒520-0807滋賀県大津市松本1-2-1)

<sup>2</sup>滋賀県甲賀土木事務所 (〒528-0005滋賀県甲賀市水口町水口6200) .

滋賀県道路公社管理区間の中で、特に、朝のラッシュ時間帯の渋滞が顕著な琵琶湖大橋東詰(守山行き方面)において、2018年度にETC導入や東詰交差点改良を実施した。事業の実施後、継続的に交通状況を調査し、事業効果を検証したところ、一定の効果は認められるものの、信号現示の最適化により、さらなる渋滞緩和が見込める可能性があったことから、滋賀県警察本部との協働により、追加対策を実施することとした。本稿では、各時点における交通状況の変化や課題、各対策の効果について整理するとともに、県警本部と協働することになった背景について紹介する。

キーワード 渋滞対策, ETC, 交差点改良, 信号制御

## 1. はじめに

琵琶湖大橋有料道路は、滋賀県の湖東地域と湖西地域を連絡し、県勢の均衡のとれた発展と琵琶湖の観光開発を図るために建設され、1964年9月の供用開始以来、産業経済・文化の発展はもとより、琵琶湖の観光施設として重要な役割を果たす幹線道路となっている。現在、国道や周辺道路の整備に伴い交通量が増加し、一部の区間においては慢性的な交通混雑が発生している。

当公社では、西は大津市真野普門二丁目から、東は栗東市林までの全長15.4kmを管理しており(図-1)、最も交通量の多い琵琶湖大橋西詰交差点から東詰交差点間は、日交通量33,579台<sup>1</sup>となっている。特に、上り線(東行き)においては平日朝のラッシュ時間帯が混雑のピークとなっており、最も多い7時台では、上り線の時間交通量が2,048台<sup>1</sup>h<sup>1</sup>となっている。従前より、琵琶湖大橋東詰交差点を先頭に、渋滞が発生し、ピークの時には琵琶湖大橋を越え、大津市本堅田地先まで車が連なる状況であり、この渋滞解消が課題の一つであった。

平地部の道路と違い、代替性が乏しいことから、利用者の多くは、渋滞を覚悟してでも通らざるを得ない状況にある。このため、定時性の確保が難しく、大きな時間的損失を与えていると想定される。

これらの状況を鑑み、琵琶湖大橋の利用環境の改善を図るため、当公社では、「ETCの導入および琵琶湖大橋東詰交差点の改良」(以下、ETC導入)に取り組み、2019年2月より運用が始まっている。ETC導入後に混雑が緩和したような実感はあるものの、対外的に説明して

いくにあたり、客観的根拠に基づく効果の検証を行う必要があった。

そこで、当公社では、既存資料を活用し、ETC導入による利用環境改善の効果を示すため、検討を行うこととした。



図-1 管理区間および事業概要

## 2. ETC導入による効果検証

まず、具体的な検証方法について説明する。

琵琶湖大橋西詰，東詰付近には当会社が管理する道路管理用カメラがあり，ETC導入前である2018年6月時点に録画された映像を活用し，効果の検証を行った。

混雑のピークであるラッシュ時間帯（午前7時から午前9時）において、西詰から東詰までの上り線（守山方面向き）の一定区間（約1.9km）を通過する時間を計測し，ETC導入前後で比較する。

平日朝のラッシュ時間帯（午前7時から午前9時）を対象とし，約10分間隔で通過する任意の車両に注目して計測した。

各時間帯毎の通過時間の実績について図-2，各時間帯の平均通過時間の変化を図-3のとおり整理した。全体の傾向として，ラッシュ時間帯の中でも特に午前7時30分から午前8時30分における通過時間が長く，特に混雑している。導入前後の比較では，全時間帯において導入後の方が通過時間が短くなっていることがわかる。午前7時から午前9時の平均通過時間についても，導入前は8分23秒に対して，導入後は4分58秒となっており，3分25秒短縮されていることがわかった。時速換算すると導入前の13.6km/hから，導入後は23.0km/hとなり，平均で10km/h近い改善が見られたことになる。

これによる走行時間短縮便益<sup>2)</sup>を計算すると，少なくとも約1.7億円/年の経済的効果があったことになる。

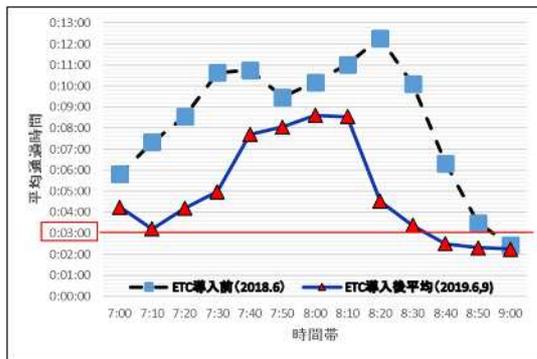


図-2 各時間帯毎の通過時間の比較(ETC導入前後)

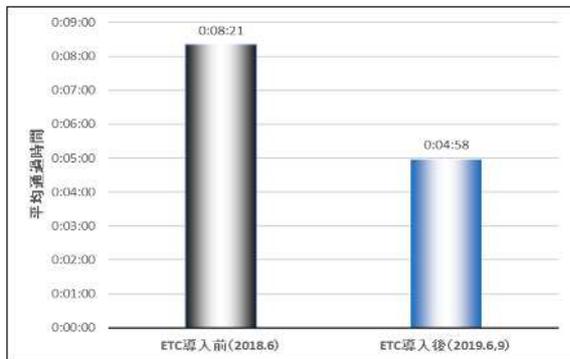


図-3 平均通過時間の変化(ETC導入前後)

また、平常時間帯における通過時間が，およそ3分程度であることから，3分以上を混雑状態，3分未満を非混

雑状態と考えると，導入後は導入前に比べ，ラッシュ時間帯における混雑状態が約20分間短くなっていることがわかった。

調査対象時間中の交通量は導入前が3,473台/2h，導入後が3,470台/2hとなっており，交通量はほぼ変わらないことから，ETC導入により，利用環境の改善が図られたものと考えられる。

写真-1,2はETC導入前後で同一時期、同一時間における西詰付近の映像である。

最も渋滞長が長くなる午前8時時点で，渋滞の先頭（東詰交差点付近）から約1.9km離れた地点であるが，導入後においては，この地点での渋滞は確認されておらず，渋滞長が短くなっていることがわかる。

これらの調査結果を基に，ETC導入による混雑緩和効果を対外的に示すことが出来た。



写真-1 西詰道路状況 (ETC導入前2018.12 AM8:00)



写真-2 西詰道路状況 (ETC導入後2019.6.18 AM8:00)

### 3. ETC導入後における渋滞原因について

ETC導入および交差点改良の効果により，以前より渋滞が緩和されたものの，混雑のピーク時には，依然として料金所を超える長い渋滞が発生している状況であった。そこで，当会社では，渋滞の原因について詳細に調査し，改善に向けた対策の可能性があるか検討を行った。

琵琶湖大橋方面から東詰交差点に進入してくる車両に対しては、直左1車線、直進1車線、右折2車線の計4車線構成となっている。栗東方面への直進は、2車線構成になっているが、交差点通過後に1車線に絞られていることから、最も左側の直左車線は、実質的に左折専用に近い状態となっている(図4)。

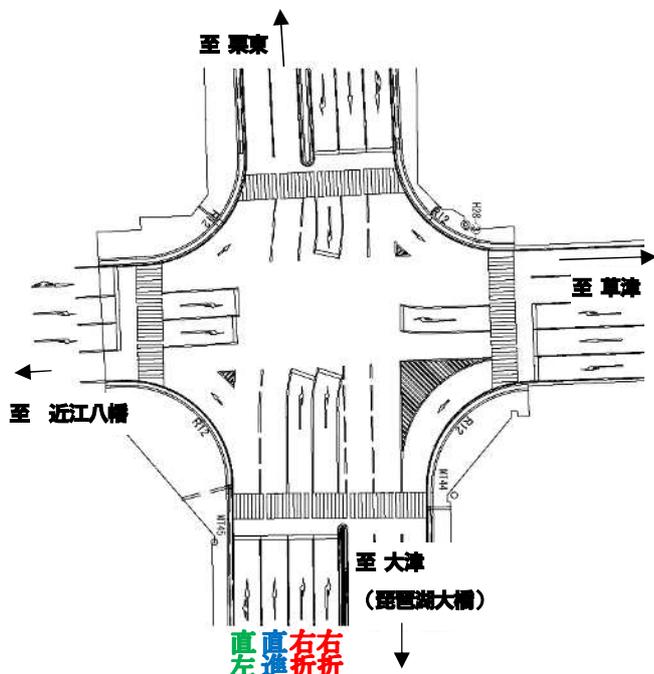


図4 東詰交差点形状

従前より琵琶湖大橋上で見られる慢性的な渋滞は、主にこの東詰交差点での渋滞発生によるものが原因である。いずれかの車線が混み始め、交差点から400m西側にある琵琶湖大橋料金所を超えると2車線に縮小されるために、行き先に関係なく渋滞に巻き込まれ、さらに渋滞を長くしてしまっている状況にあった。ETCの導入により、従前の人手による料金徴収よりも処理能力は向上しているが、渋滞が料金所まで繋がるとETCの能力も発揮できない。

導入前、導入後における東詰交差点の各時間帯における混雑車線について確認したところ、表-1のとおりであった。

導入前については、ラッシュ時間帯は全車線において、ほぼ継続的に混雑が続いている状況であることがわかる。

特に右折車線での混雑は顕著であった。(写真-3)

導入後については、混雑状態こそ残っているが、そのほとんどが直進、左折車線であることがわかる。

導入前は混雑していた右折車線については、交差点改良により1車線増加したことから、処理能力が向上し、導入後においてはラッシュ時間帯でも混雑している場面がなく、青時間に余裕がある状況となっていた。

このため、右折矢印にある余裕を、混雑している車線

の交通処理に回すことができれば、最適な交差点処理を行うことができると考えられたことから、滋賀県警察本部と協議調整を行い、信号現示の変更による更なる利用環境の改善を検討することとなった。

時間帯	混雑車線	
	導入前(2018.6)	導入後(2019.9)
7:00	全車線	無
7:10	全車線	直進、直左
7:20	全車線	直左
7:30	全車線	直進、直左
7:40	全車線	直進、直左
7:50	全車線	直進、直左
8:00	右折	直進、直左
8:10	全車線	直進、直左
8:20	全車線	直進、直左
8:30	全車線	無
8:40	全車線	無
8:50	直進、直左	無
9:00	無	無

表-1 ETC導入前後における混雑車線の比較



写真-3 東詰右折混雑状況(ETC導入前2018.6.12 AM8:00)

#### 4. 信号現示の調整による交差点処理の最適化

当該道路の東詰交差点における信号制御は、青信号終了後に右折矢印が点灯する方法で処理されており、主道路(国道477号)と従道路(県道近江八幡大津線)の交通量等をセンサーが感知し、青時間比率を変動させるモデル制御が採用されている。

主道路における信号現示の詳細としては、青信号が約38%、右折矢印が約23%の割合で設定されている状況であった。従道路側においても同様に混雑時間帯であり、既に余裕の無い状態であることから、今回の調整作業では主道路側における青信号(全車線進行可能)と右折矢印(右折のみ進行可能)の比率に限定し、調整を行うことになった。

前述したように東詰交差点の右折車線については、余裕がある時間帯が多いことから、右折矢印の割合を減らし、その分を青信号の時間に振り替える。これにより、1サイクルにおける直進、左折の車両をこれまでより多

く処理することができるようになり、全体の渋滞緩和に効果的と考えられた。

信号現示を調整する時間帯については、混雑が発生し始める前の午前6時40分から始めるものとし、混雑が概ね収束する午前8時20分までの間を対象とすることとなった。県警本部により、平日のピーク時の道路状況を公社所管の監視カメラ等で確認しつつ、右折車線に渋滞が生じない範囲で、繰り返し調整を行った。

その結果、午前6時40分から午前7時50分の間は青信号が約49%、右折矢印が約12%、午前7時50分から午前8時20分の間は青信号が45%、右折矢印が16%で設定することで最適な交差点処理ができることがわかった。

従前の割合と比べると、概ね10% (約15秒程度) 右折矢印が青信号に振り替わったことになる(図-5)。

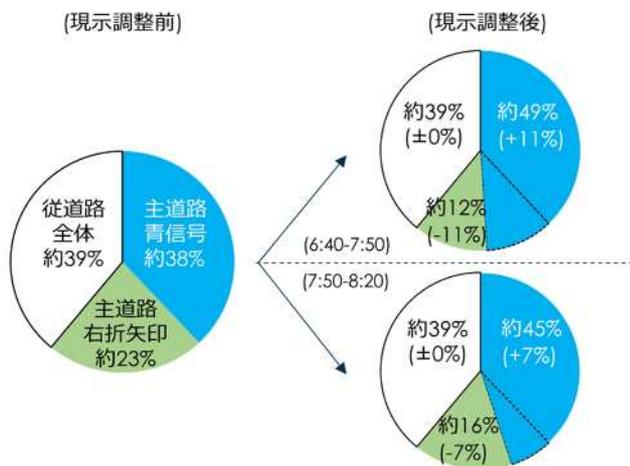


図-5 信号現示の調整割合

また、2019年1月の東詰交差点改良後、右折処理能力の向上により、先線である近江八幡大津線（南向き車線）において湖岸水保町交差点を先頭に渋滞が見られていた(図-6)。渋滞ピーク時には、東詰交差点まで渋滞が続き、交差点処理を阻害することもあったが、湖岸水保町交差点についても主従道路の信号現示の変更により、渋滞が緩和でき、東詰交差点処理に影響を与えるほどの渋滞は発生しなくなった。このことにより東詰交差点における右折処理能力がさらに向上し、琵琶湖大橋全体の渋滞緩和にも間接的に効果があったと考えられる。



図-6 詳細位置図

## 5 信号現示変更後の交通の変化

上記のような信号現示の最適化による効果を、令和2年9月に再度確認を行った。各時間帯の通過時間、平均通過時間の変化を図-7、図-8に示す。

ETC導入後と比較しても、平均通過時間はさらに減少し、3分台となった。時速に換算すると信号現示変更後は29.6km/hまで改善しており、平均で10km/h近く改善が見られたことになる。

信号現示変更による経済的効果として走行時間短縮便益を計算すると、約0.56億円/年<sup>2)</sup>にのぼり、ETC導入と合わせると約2.27億円/年<sup>2)</sup>にもなり社会的にも大きな影響があったといえる。

完全な渋滞解消というわけではないが、さらなる改善が見られ、料金所まで続く渋滞がほぼ無くなったことにより、ETCによる処理も最大限活用できる状態になったといえる。

最大ピーク時でも6分台となっており、以前よりも定時性が確保できたことも大きな利点と思われる。逆に、混雑の緩和により、出発するタイミングを遅くするなど利用者側の変化もあったと思われ、午前8時30分付近に従来は見られなかった小ピークが発生している。

短時間に集中した混雑のピークとなるよりも、ラッシュ時間帯の中でピークが分散したことで、結果的に交差点処理としては有利に働いていると考えられる。

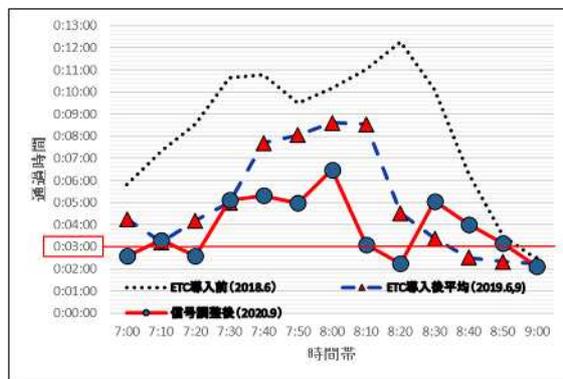


図-7 各時間帯毎の通過時間の比較(信号制御前後)

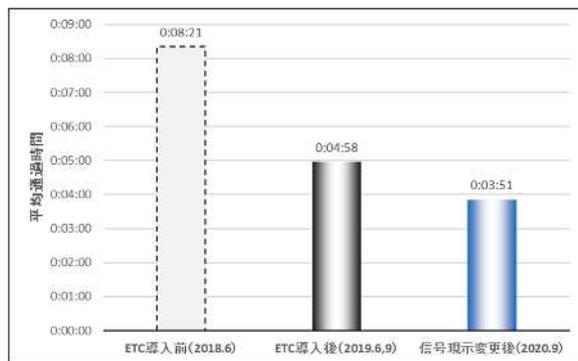


図-8 平均通過時間の変化(信号制御前後)

## 6. おわりに

道路公社と県警本部の協働により、ハード、ソフトの両面から効果的な対策を実施し、最小限の投資で最大の効果を得られたと考えている。

また、誰にでもわかりやすい客観的指標を用いて事業効果を提示できたことも大きな意義があったと感じている。

混雑による利用者のストレスは大幅に軽減されており、当公社としても東詰の渋滞が大きな課題では無くなったところであるが、信号現示変更後において、午前8時30分以降に新たに発生している混雑のように、利用者側の変化には今後も注視していく必要がある。

特に、コロナ禍でテレワークの推進や通勤方法等の変更など、特異な交通需要となっている可能性もあることから、継続的に交通監視を行っていくことが重要である。

一事的な改善結果に安心せず、道路利用者の声を聞き、その時代に求められている理想的な交通環境の創出に努めていくべきと考える。そのためには、道路管理者、交通管理者が協力して対策を検討していくことが必要不可欠と考える。

本論文は滋賀県道路公社と著者<sup>2</sup>の前任地である、滋賀県警察本部での成果を取りまとめたものである。

**謝辞：**これまでETC導入に関して多大なご尽力を頂いた公社職員、信号制御にご協力いただいた警察本部職員、本報告をまとめるにあたり、ご教授いただきました全ての方々に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 滋賀県土木交通部道路課：平成27年度道路交通情勢調査
- 2) 国土交通省道路局都市局：費用便益マニュアル

# 低水放流設備副バルブ整備における施工計画検討

笠原 諭<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 水資源機構 琵琶湖開発総合管理所 機械課 (〒520-0243 滋賀県大津市堅田 2-1-10)

今後予定している低水放流設備副バルブの油圧シリンダ整備において、設備の構造上から主管・分岐管のどちらかから維持流量を放流しながらの整備は出来ない。日吉ダムには維持放流バルブが無い  
ないため、整備中においてもダム直下の維持流量(通年 $2\text{m}^3/\text{s}$ )等を確保しなければならないが、低水放流設備以外から放流できる設備としては常用洪水吐き設備(以下「コンジット」という)しか無い。

施工計画等を検討した結果、コンジットの開閉を繰り返し減勢工に貯めての放流となるが、コンジットからの放流時間をなるべく短くする必要がある。

本論文は、整備を実施するにあたって検討した、施工計画等の内容を発表するものである。

キーワード 低水放流設備, 副バルブ, 代替放流, 施工計画, 維持放流

## 1. はじめに

利水補給及び洪水時に使用する低水放流設備として主管(最大 $50\text{m}^3/\text{s}$ )と分岐管(最大 $5\text{m}^3/\text{s}$ )があり、主管・分岐管ともに主バルブの上流にはメンテナンス用として副バルブが設置されている。

呑口である選択取水設備から低水放流設備までの配置関係は図-1の通りであり、選択取水設備の下流には制水ゲートが配置されている。バルブ室の主管バルブ・分岐管バルブの配置状況は写真-1のようになっている。低水放流設備の開閉装置は油圧シリンダ式が採用されており、油圧ユニットは主・副バルブで1基となっている。

平成10年の管理開始以降、主管・分岐管共に主バルブの油圧シリンダの分解整備は15年経過した平成25年に実施されており、内部のパッキン等の取替を行っているが、副バルブについてはこれまで実施されていない。副バルブは主バルブのメンテナンス用であり主バルブに比べて使用頻度が少なく、パッキン等の劣化の進行は遅いが20年以上経過しており、点検の結果からもシリンダ部のVパッキンから若干の油にじみも確認されていることから、今後分解整備が必要な状況となっている。ダムの実運用に直接関わらない設備であるが、流水遮断機能を有しており、優先順位は低いものの健全な状態は保持しておかなくてはならない。

参考までに機械設備管理指針によるパッキンの標準取替年数は10年となっている。

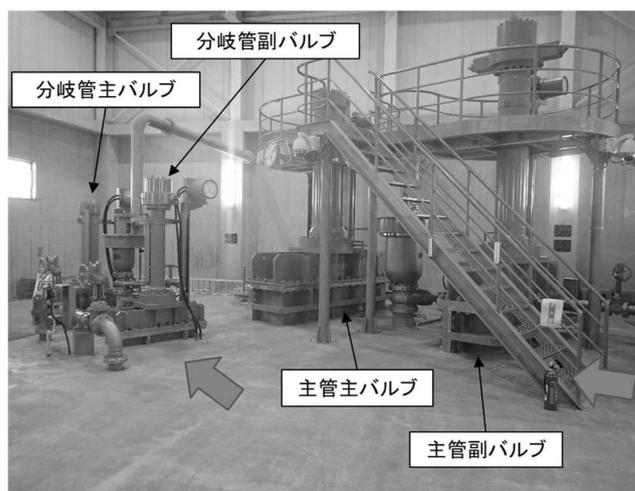


写真-1 バルブ室 主管・分岐管バルブ配置状況



写真-2 Vパッキンからの油にじみ状況



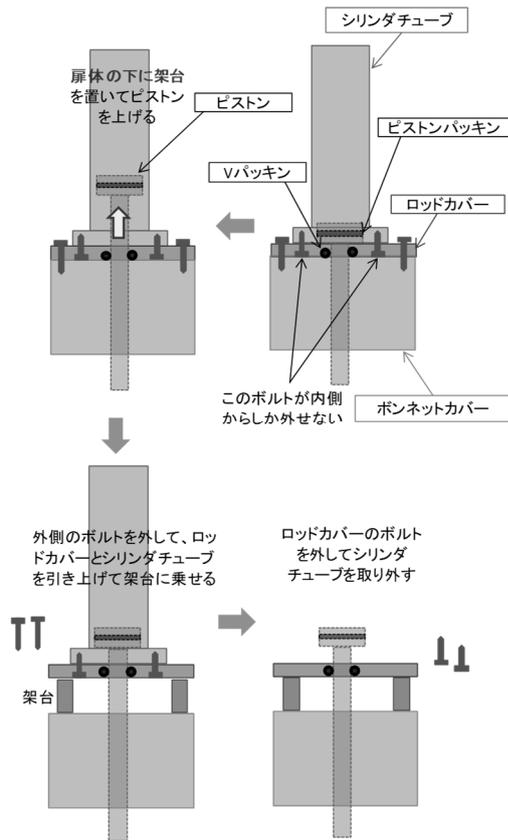


図-3 油圧シリンダ分解手順

ダムにはいわゆる「維持放流バルブ」が設置されていないことからコンジットから放流するしかないが、最小開度 10cm で約 15m<sup>3</sup>/s となることから、他に方法が無いか検討した。

仮設のポンプにより放流することを考えたが、過去の洪水時において同様に 2m<sup>3</sup>/s を放流する検討資料によると、ポンプ・発電機・架台等含めて約 1 千万円程度コストがかかることが判明し、整備内容から考えても現実的ではない。

次にコンジットを全開にした状態で予備ゲートを 1cm にする方法を考えた。放流管内の面積はコンジットと同じであるため、コンジット 1cm の流量と同じになるが、予備ゲート開操作の条件は水圧バランス状態であることから不可能である。また、元々予備ゲートは流量調整可能な設計ではなく、振動等の問題があり確実性が無い。

他にはコンジットの充水バルブで補えないかと流量を確認したが、1 門当たり約 0.2m<sup>3</sup>/s であり、全く足りないため不可能であった。

最終的にはコンジットから放流するしか方法が無いが、15m<sup>3</sup>/s では多すぎるため、流量を調節できないか検討した。減勢工副ダム下部に直径 1m の放流口が 3 カ所あるが、2 カ所を塞ぎ残りの 1 カ所の面積を半分にするれば満水にしても約 5m<sup>3</sup>/s 程度となり、満水状態から約 3 時間放流できることが出来る計算になった。

なお、このコンジットからの放流は、細則第 10 条 1 項 1 号に基づく整備のための放流であるため、下流の巡視や警報の必要は無い。

### 3. 検討内容

#### 3.1 維持流量の確保方法

維持流量 2m<sup>3</sup>/s をどこから放流するか検討する中で、日吉

案	コンジットの充水バルブ	コンジットから減勢工への貯留を繰り返す	コンジットを全開にして予備ゲートを 1cm 放流量は約 5m <sup>3</sup> /s?	減勢工からポンプアップ
概要				
判定	×	○	×	×

図-4 維持流量確保の検討

#### 3.2 整備範囲と作業手順

油圧シリンダ分解整備にあたって、シリンダ部の V パッキンからの油にじみが確認されているため取替えるが、ロッドカバーの下部にあるボンネットカバー部の水密パッキンを取替えることになると主管・分岐管合わせて約 3 週間

程度制水ゲートを閉める必要がある。また、水密パッキンからの漏水は無いことからロッドカバーとシリンダチューブの必要最小限の分解までとし、整備内容としては V パッキンとピストンパッキンの取替とする。その他、扉体までを抜き出して新規に制水蓋を製作し閉じてしまえば工場で詳細

な点検も出来るが、副バルブの使用頻度とダム運用に支障の無いメンテナンス用のバルブであること、次の制水蓋の使用頻度は20数年後になることから不採用とした。

制水ゲートを閉めている時間を短くするために作業手順を検討した。主管副バルブから作業する場合の手順として、制水ゲートを閉めてドライにし、副バルブ扉体下部に仮設架台を設置し扉体を乗せる。その後シリンダ内の作動油を抜き取り分解していくが、この仮設架台に扉体を乗せた段階で制水ゲートから副バルブまでを充水すれば分岐管から

の放流が可能である。水密パッキンは取替えないことから漏水の問題もなく、作業は可能である。また、制水ゲートの全閉操作にあたって揚程が長い時間がかかるが、事前に呑口上部まで下げておけば、全閉にしてから分岐管での放流に切り替えるまでは8時間以内で作業可能と判断できる。その後、主管の作業が終わった後、仮設架台を撤去するため、再度ドライにする必要があるが同様に8時間以内で可能であるため、主管・分岐管合わせて計4回(4日)のみコンジットからの代替放流となる。

#### 4. 検討結果

検討した結果、本整備ではロッドカバーとシリンダチューブを分解し、ピストンパッキンとVパッキンの取替を行うこととした。整備にあたって制水ゲートを全閉にする必要があるが、扉体を乗せる仮設架台の設置と撤去時のみとすることで、コンジットからの代替放流の時間を短くする

ことが可能となり、具体的には8時間以内を4回とする計画とした。

コンジットからの代替放流のタイミングを、図-5の計画工程表により整理した。油圧シリンダの分解作業や組立作業には特別な時間の制約は無いため通常の整備と同様であるが、今後更なる検討により新たに問題等が出てくる可能性もある。

項目	月 日													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>主管副ゲート</b>														
準備工(①~⑤)	■													
バルブからコンジット、コンジットからバルブに切替	■													
分解整備		■	■	■										
仮設架台撤去(⑥~⑩)					■									
バルブからコンジット、コンジットからバルブに切替					■									
<b>分岐管副ゲート</b>														
準備工(①~⑤)								■						
バルブからコンジット、コンジットからバルブに切替								■						
分解整備									■	■	■			
仮設架台撤去(⑥~⑩)												■		
バルブからコンジット、コンジットからバルブに切替												■		
コンジットから放流	■				■			■				■		
主管から放流						■			■	■	■			
分岐から放流		■	■	■										

図-5 計画工程表

#### 5. 最後に

今回検討した副バルブはメンテナンス用で実運用には使用しない設備であり、優先順位は低いものの流水遮断機能を有しており、万が一の時には使用する必要があるため、いつかは必ず整備しなければならない。予算と他の整備を考慮し、適正な整備計画を立案していくことが重要である。

ダム運用に支障を来さないよう施工計画を立案し、減勢

工を使用した施工については他ダムでの実績を参考にすると共に、各関係機関との調整も入念に行い、問題なく施工できるよう準備を十分にしておき、発注・監督業務にあたることとする。

また、今回の検討作業において設備の新設は当然ながら、既設設備の改造等を行うにあたって、「将来の維持管理性を十分に考慮する事」の重要性を改めて痛感した。今後の業務に生かしていきたい。

# 国道168号長殿道路整備における 河川内工事の工夫について

辻 茉莉<sup>1</sup>・梶田 和希<sup>2</sup>

<sup>1</sup>奈良国道事務所 橿原維持出張所 (〒634-0834奈良県橿原市雲梯町273-3)

<sup>2</sup>奈良国道事務所 工務課 (〒630-8115奈良県奈良市大宮町3-5-11) .

奈良国道事務所では、国道168号長殿道路を、国土交通省権限代行業として安定した交通路の確保、生活の利便性向上、地域の活性化等を目的に整備を進めている。

1号橋は現道国道168号から十津川を渡河し、対岸の山腹にトンネル坑口をつなぐ計画である。橋台や橋脚を施工するには十津川の河川内への進入路を設置する必要があり、いかに経済的な施工ができるかの検討を行った結果を報告するものである。

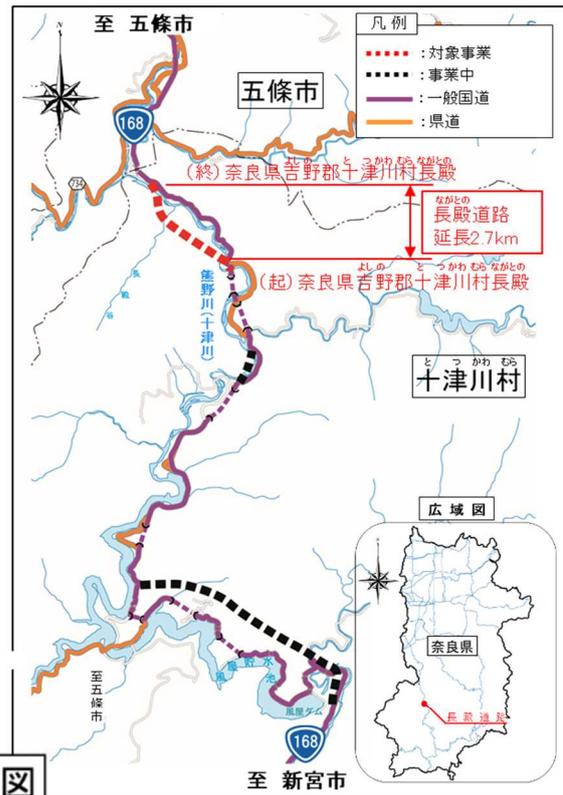
キーワード 仮橋、工事用道路、河川内工事

## 1. はじめに

国道168号「五條新宮道路」は、奈良県五條市から和歌山県新宮市を結ぶ延長約130kmの地域高規格道路であり、「紀伊半島アンカールート」の一部を形成し、高規格幹線道路の空白地帯である紀伊半島内陸部を南北に縦貫する極めて重要な幹線道路である。

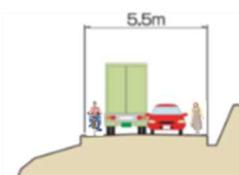
「五條新宮道路」の整備区間である五條市以南の国道168号は、急峻な地形条件のため、未改良区間（線形不良・狭小幅員）が多く、大部分が異常気象時通行規制区間となっているため、奈良県・和歌山県において順次整備を行っている。

特に、紀伊半島大水害（平成23年9月）により被災した奈良県吉野郡十津川村長殿地区では、地形・地質条件が厳しく整備に高度な技術を要する区間であるため、国土交通省権限代行業として、安定した交通路の確保、生活の利便性向上、地域の活性化等を目的に「長殿道路」として整備を進めている。



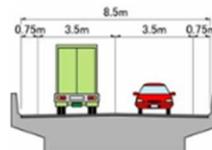
標準断面図

【現況】



【整備後】

橋梁部



トンネル部

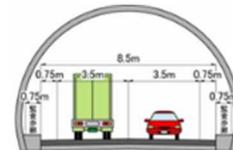


図-1 長殿道路整備概要

## 2. 長殿道路の工事着手

国道 168 号長殿地区は、V 字谷渓谷となる一級河川熊野川(十津川)(以下、十津川という)の急斜面上で河川と併走しており、長殿道路は現道の対岸側に構造物(3 橋梁, 2 トンネル)を構築し、バイパスを整備する計画として、平成 24 年度に国土交通省権限代行事業として事業化され、平成 30 年度に施工条件の整った 1 号橋において工事着手した。(図-2)



図-2 ルート図



写真-1 工事着手した1号橋取付道路

## 3. 1号橋の工事進入利計画

### (1) 1次選定

1号橋は現道国道 168 号(以下、現道という)から十

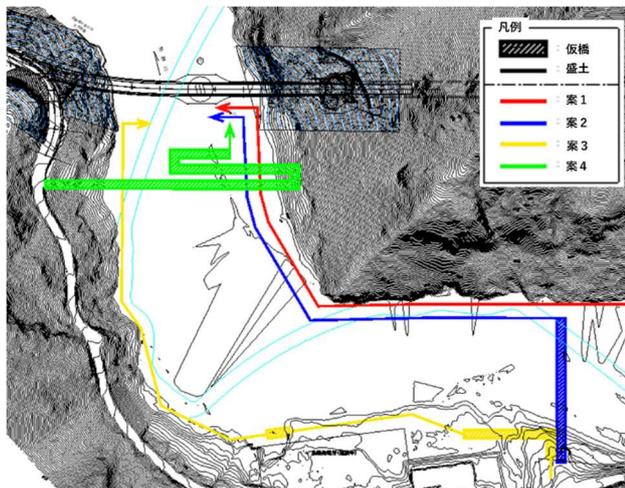


図-3 1次選定比較案

津川を渡河し、対岸の山腹に位置する 1 号トンネル坑口に至る橋長 178m の PC2 径間連続箱桁橋である。まず、工所用進入路の 1 次選定として、現地条件から想定される下記 4 案(案 1 : 右岸河中道路案、案 2 : 発電所渡河仮橋案、案 3 : 左岸河中道路案、案 4 : 1 号橋近接渡河仮橋設置案)について比較検討を行った。(図-3)

結果、案 4 (1 号橋近接渡河仮橋設置案)を除いて、ほか 3 案は経済性及び施工工程は同位であるが、施工上のリスクが最も少ない案 2 (発電所渡河仮橋案)を選定した。(図-4)



図-4 発電所渡河仮橋案のイメージ

### (2) 2次選定

1 次選定結果より、1 号橋への進入方法としては、1 号橋上流側の左岸に位置する長殿発電所付近において現道から河川内へ進入し、右岸へ渡河した後、右岸山裾沿いを下流側へ下って 1 号橋に寄り付く計画とした。ここでは、1 次選定にて決定した進入ルートに対して、仮橋構造や設置形態の違い、当該ルートを使用して施工する工種について、下記の 4 比較案について検討を行った。(表-1)

表-1 2次選定の比較表

	第1案	第2案	第3案	第4案
本進入ルートを使用して施工する工種	A1 P1 A2	A1 P1 A2	P1 A2 ※A1は国道168号 号側から施工	P1 A2 ※A1は国道168号 側から施工
仮橋形式	通常の12.5m支間のH形鋼仮橋	通常の12.5m支間のH形鋼仮橋	通常の12.5m支間のH形鋼仮橋	本橋と同等の河川構造を満足するトラス橋仮橋
設置状況	非出水期のみ	非出水期のみ	非出水期のみ	通年
施工方法	下部工施工をするたびに設置・撤去を繰り返す	下部工施工をするたびに設置・撤去を繰り返す	下部工施工をするたびに設置・撤去を繰り返す	常に設置した状態 ※設定・撤去を繰り返す必要がない。
撤去状況	支持杭も含めて全撤去	支持杭G L以深は残置	支持杭G L以深は残置	
評価			○	

なお、十津川を渡河する仮橋を通年設置とする場合、近年の出水状況や長殿発電所に近接していることに配慮して、本橋と同等の河川構造令（基準径間長（45.5m以上）、桁下余裕高（H.W.L+1.5m以上）、河川阻害率（5%以内））を満足させることが前提条件（河川協議結果）となっている。

結果、現道への影響はあるが、A1 橋台を現道側からの片押し施工とすること、仮橋の一時撤去時には支持杭は存置し、復旧時に支持杭の打設期間を短縮することで、最短工期かつ最も経済的となる案3を選定した。

**(3) 2次選定案の経済性向上の工夫**

2次選定案については、比較案のうち最も経済的となるものの、工事中進入路の整備費用のうち仮橋の整備費用が相当程度（約2.5億円）となることから、選定案をベースとし、さらに経済性を向上できる工夫点がないか検討することとした。

**a) 仮橋区間の縮小**

まず、仮橋区間の縮小の可能性について検討した。選定案では、通水阻害要因となる河川区域内における盛土量を最小限とする観点から、現道からの進入位置と対岸の平坦部間の約170mを仮橋区間として設定している。仮に盛土区間の増大を許容すれば、工事中進入路計画位置における十津川は川幅約110mに対し滞筋は約20～30m程度であることから、仮橋区間を約40m程度まで縮小することができる。この場合、仮橋の整備費用は約9割（約2.4億円）の縮減が可能となる。

**b) 河床堆積土砂の盛土材への利用**

次に、上述のように仮橋区間を縮小した場合、仮橋前後区間について盛土構造で進入路を構築する必要が生じる。盛土材については、工事中進入路周辺の河床に相当程度、土砂が堆積していることから、この土砂を集積し利用することで経済性の向上を図ることとした。（写真-2）



写真-2 上空からみた河川内の土砂堆積状況

また河川区域外から盛土材を持ち込むことは河川協議のハードルが高くなることも想定されることから、この点においても優れると判断した。（写真-3）



写真-3 河川内の土砂の運搬作業

2次選定案に対して、盛土区間が増大するものの、仮橋区間が縮小することにより、工事中進入路整備費用全体として、約1億円の縮減が可能となる。（表-2）

表-2 経済比較

	直工費（百万円）		
	仮橋	工事中道路	合計
当初選定案	132.7	34.1	166.8
変更案	9.0	102.4	111.3
差額	123.8	-68.3	55.5
差額(工事費)	235.2	-129.7	105.5

**c) 河床堆積土砂を利用した盛土計画の概要**

盛土部（左岸）は河川横断方向の盛土となることから渇水期のみとし、出水期間中はもとあった河川内に敷き均し、盛土部（右岸）は河川縦断方向かつ水衝部でないことから通年設置として計画した。また、A2 橋台は急峻な山腹に位置することから、選定案では山裾から200t吊クローラークレーンを用いての施工を想定していたが、施工性を考慮し、盛土部（右岸）は高盛土とし、直接A2 橋台施工位置までアプローチできる計画とした。ただし、高盛土（パターン①）はA2 橋台施工時の1 渇水期のみとした。（図-5）

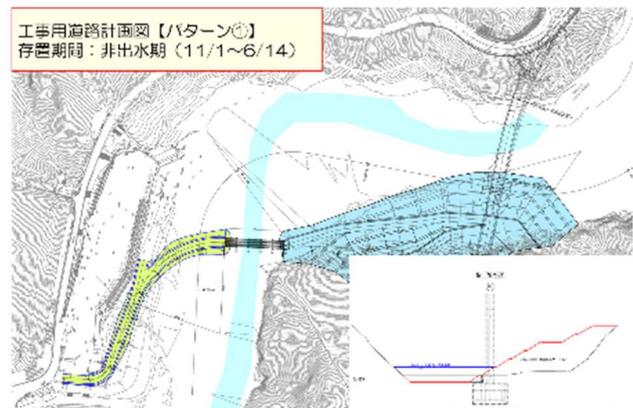


図-5 工事中道路計画図【パターン①】

出水期における盛土部（右岸側）については、工程が厳しい次渇水期のP1橋脚施工に必要な施工ヤードを短期間で構築できるよう、P1橋脚の施工ヤードを見据えた形状とし、残りの土砂はもとあった河川内に敷き均す計画とした（パターン②）。（図-6）

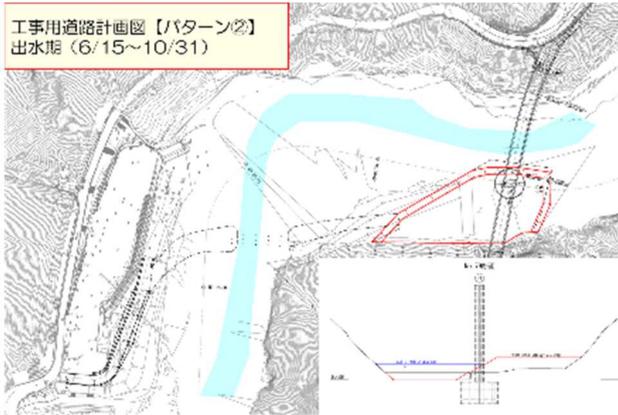


図-6 工事用道路計画図【パターン②】

そして、渇水期を迎えると直ちにP1橋脚の施工ヤードを構築し（パターン③）、工程が2渇水期施工で収まる計画とした。（図-7）

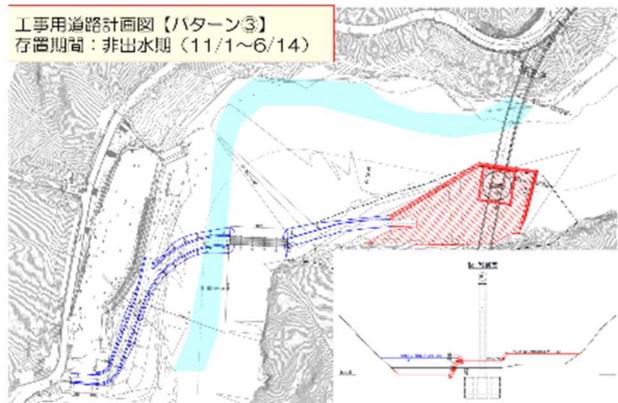


図-7 工事用道路計画図【パターン③】

以上の計画について、河川協議を実施し、河川管理者から同意を得ることができた。（写真-4）



写真-4 工事用道路【パターン①】の完成写真

#### 4. まとめ

長殿道路1号橋の工事用進入路の検討において、比較案のうち最短期かつ最も経済的な案を選定したものの、仮橋の整備費用が大きいことから、さらなる経済性向上を図るため、仮橋区間の縮小を検討した。さらに仮橋区間の縮小により盛り土区間が増大するため、盛土材として、工事用進入路周辺の河床に堆積している土砂を利用することによりコスト縮減を図る工夫を行い、当初選定案に対し約3割（約1億円）のコスト縮減に繋げることができた。

#### 5. おわりに

長殿道路は国道168号「五條新宮道路」の一部区間を構成し、安定した交通路の確保、生活の利便性向上、地域の活性化等を目的に早期開通を目指し、現在、1号橋及び2号橋において工事を進めているところである。国道168号「五條新宮道路」はほかの事業区間においても早期開通を目指し奈良県・和歌山県において整備が進められている。今回紹介した事例が河川内工事における工事の一事例として、国道168号「五條新宮道路」をはじめ他事例へ参考として活用され、道路の早期開通により国民の安全安心、利便性向上に寄与できれば幸いである。

※本稿の内容は、筆者の前所属である近畿地方整備局奈良国道事務所工務課における所掌内容である。

謝辞：本事業に関係・ご協力頂いた全ての関係者をはじめ、本稿へ資料提供頂いた皆様に感謝の意を表す。

# 河川災害復旧工事（十津川村）について

中澤 亮<sup>1</sup>

奈良県中和土木事務所 工務課 (〒634-0003奈良県橿原市常盤町605番地の5)

奈良県吉野郡十津川村内の工事等を行う部署に赴任した2018年は、台風の影響により被災した道路および河川の災害復旧に携わることとなった。その災害復旧のうち、河川災害復旧については、過去、同様に被災している箇所が複数あった。なぜ同じ箇所が被災するのか、それらの原因追求および対策工法の検討を、奈良県吉野郡十津川村内の河川事情を踏まえて行ってきた。その成果を本論において報告する。

キーワード 河川災害復旧, 十津川村, 熊野川, 堆積土砂

## 1. はじめに

奈良県の最南端に位置する十津川村においては、台風等による雨の影響で、災害が多い地域である。

私が赴任してきた2018年度には台風20, 21, 24号の影響により、配属されていた係では河川災害14件、道路災害5件の合計19件の災害を担当した。その中でも河川災害においては、上記14件のうち過去に同様に被災している箇所が9件もあった。

本論では、なぜ同じ箇所が被災するのか、それらの原因および対策工法の検討について、事例を交えて述べていく。



図-1 位置図 (奈良県吉野郡十津川村)



写真-1 熊野川 (十津川村宇宮原)



写真-2 神納川 (十津川村五百瀬)

## 2. 河川災害

### (1) 河川災害について

河川内には、水害を防ぐために河岸に構造物で形成された護岸があり、ここで言う河川災害とは、主にこの護岸が被災を受けた状態の事である (写真-1, 2)

### (2) 被災原因について

護岸の被災形態は多数あり代表的なものを下記に記す。  
河床洗掘による被災 (写真-3)、流体力によるブロックの移動・流出・めくれによる被災 (写真-4)、残留水圧による被災などがあり、その中で過去の被災事例で最も顕著なものは、洪水時の河床洗掘を契機として基礎工

が浮き上がってしまい、基礎工および法覆工が被災する事例である(写真-3)。



写真-3 西川 (十津川村永井)  
河床洗掘による背面土砂流出、ブロック折損

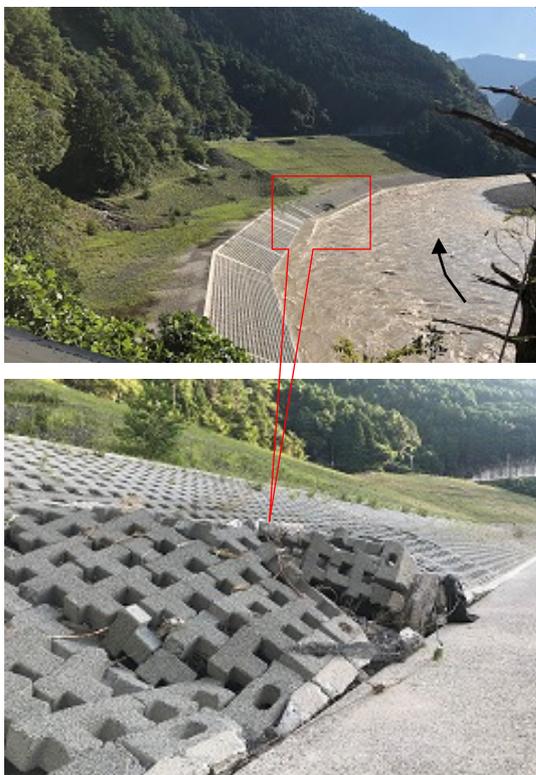


写真-4 熊野川 (十津川村上野地)  
流体力によるブロックめくれ

### (3) 復旧方法(河川災害に特化した説明)

災害復旧については、国土交通省でルールが定められており、それによると、原則は施設を原形に復旧することである。また、写真-3のような河床洗掘により被災したものは、災害手帳<sup>1)</sup>には『基礎工の天端は、最深河床高の評価高より0.5m~1.5m程度埋め込むものとする』とされている(その他、幾通りか選択肢はあるが、この方法の事例が多い)。

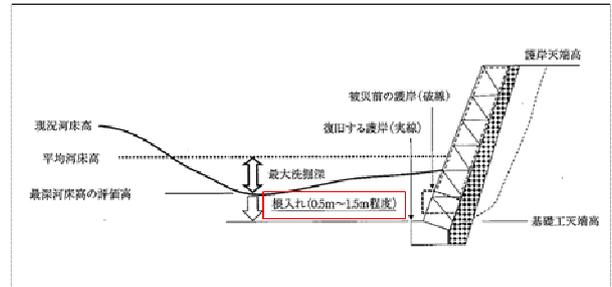


図-2 一般的な根入れの取り方<sup>1)</sup>

## 3. 十津川村における河川災害の課題

### (1) 最深河床高の設定および根入れの現状について

上記、(3)復旧方法で述べている最深河床高の設定については、現状、被災後の測量で最も掘れているところを最深河床高に設定する。また、護岸工の根入れにおいては、その最深河床高より0.5m~1.5m深く基礎を設置している場合が多い。

### (2) 十津川村の河川状況について

現在、十津川村に存在する河川(熊野川、西川、神納川、上湯川など)においては、度々起こる山腹崩壊などの災害により、河川内に流れ込んだ多量の堆積土砂に非常に苦慮している。

### (3) 課題について

上記、(2)のように、河床に流れ込んできた堆積土砂を基準として、護岸工の基礎工天端の根入れを0.5m~1.5m確保したところで、洪水時の河床変動により直ぐに基礎が露出し、吸い出しが生じて護岸が再度被災してしまう。現に、2018年度に被災した護岸の被災原因は河床洗掘による被災が大半であり、河川災害14件中、9件が再度被災していることも納得できる。

## 4. 対策(現場事例を交えて)

### (1) 現場事例について

今から紹介する現場は、奈良県吉野郡十津川村七色の二津野がむから約800m下流に位置する熊野川の災害復旧現場である。

この現場は、2009年度の紀伊半島大水害で二津野ダムからの異常放流により被災して以来、度々被災を繰り返している。以下、被災の経緯等を簡潔にまとめる。

**a) 位置**

奈良県の最南端部で、和歌山県境付近に位置する。



図-3 位置図(十津川村七色)

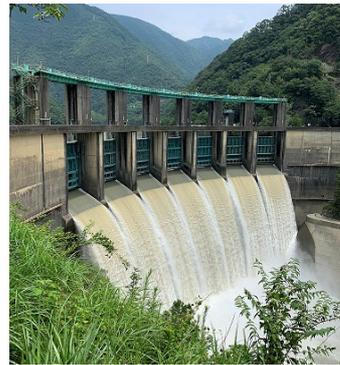


写真-6 二津野ダム放流状況(放流量:150t/s)

**b) 経緯**

2009年度の紀伊半島大水害にて護岸が被災(1回目)。2013, 2015, 2017, 2018年度に再度被災(2~5回目)。現在は、2018年度の災害復旧工事中。

**c) 被災原因**

河床洗掘による被災。  
流体力によるブロックの移動・流出・めくれによる被災。

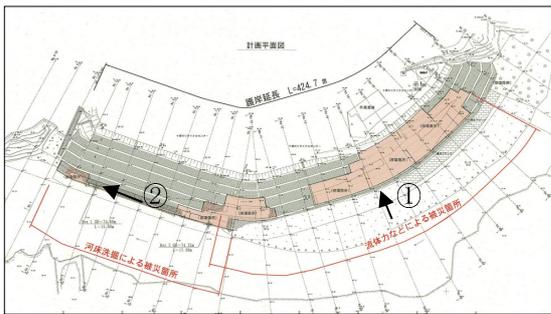


図-4 2018年度被災箇所



写真-5 2018年度被災状況

**d) 復旧(2009年度災害~2017年度災害)**

2009年度災害~2017年度災害までは、原形復旧(基礎天端の根入れは最深河床から1.0m確保)。

**e) 復旧(2018年度災害)**

2018年度災害においては、原形復旧(基礎天端の根入れは最深河床から1.0m確保)が下記(2)復旧工法の検討により困難と判断し矢板護岸工で復旧。

**(2) 復旧工法の検討について**

被災現場付近は、上流側にダムがあるため下流側への土砂供給がなく河床が年々低下している。また、極端に河床の縦断勾配が緩く流速が遅いため、護岸前の平水位は常に高い(写真-5の②参照)。

**a) 従来復旧工法(根入れ護岸工)について**

紀伊半島大水害以降、度々起こる山腹崩壊などの影響により河床は堆積土砂が存在するため、それを基準として護岸工の基礎工天端の根入れを0.5m~1.5m確保したところで、ダムの放流時に基礎が露出し再度被災する可能性が高い。

また、基礎天端高さ付近でコンクリート打設を行うため、図-5のように二重鋼矢板で締切を行い遮水する必要がある。そのため仮設工における施工性、経済性が非常に劣る。

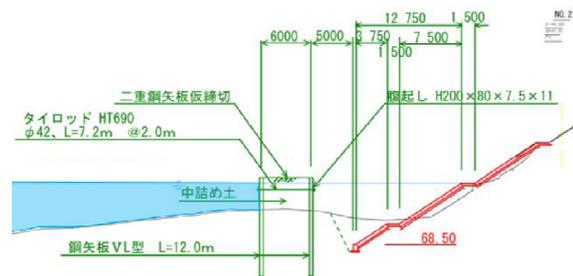


図-5 根入れ護岸工の仮設工

**b) 2018年度災害の復旧工法(矢板護岸工)について**

堆積土砂が存在する河床においては、ダムの放流時に河床が移動しても洗掘されない構造にする必要がある。

また、仮設工における施工性、経済性を考慮する必要がある。

矢板護岸工は、ダムの放流時に河床が移動しても洗掘

されず、また、仮設工においても大型土のうおよび盛土で施工できるため、施工性、経済性に非常に優れる。

河川内工事のため施工できる期間が非出水期(熊野川においては11.1~6.14)と限られる中で、施工性に優れる点は、特に評価するべきところである。

よって、2018年度災害の復旧工法は、従来の根入れ護岸工ではなく、矢板護岸工を採用することとした。

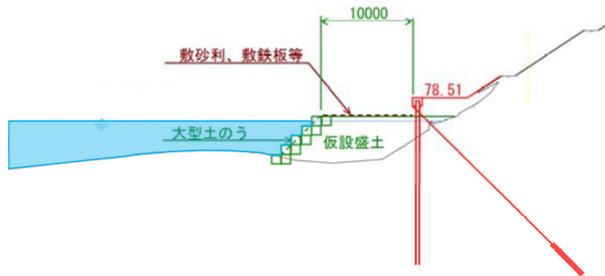


図-6 矢板護岸工の仮設工

### (3) 復旧について

現在は上記検討の結果を踏まえて、下記内容で復旧工事を進めているところである。

#### 【工事内容】

- 矢板工 (IVw型, L=18m) N=264枚
- グラウンドアンカー工 N=66本
- 張コンクリート工 V=1,665m<sup>3</sup>
- 平ブロック張 A=486m<sup>2</sup>

### (4) 懸念事項について

今後、河床洗掘による被災の心配は当分ないが、二津野ダムの影響により上流側からの土砂供給が見込めないため、河床高さが低くなっていく一方である。

矢板前面の河床がある水準以上下がれば、矢板に変位が発生するため、河床の高さを保つために下流側へ帯工を設け、河床低下を防ぐことが望ましいと考える。

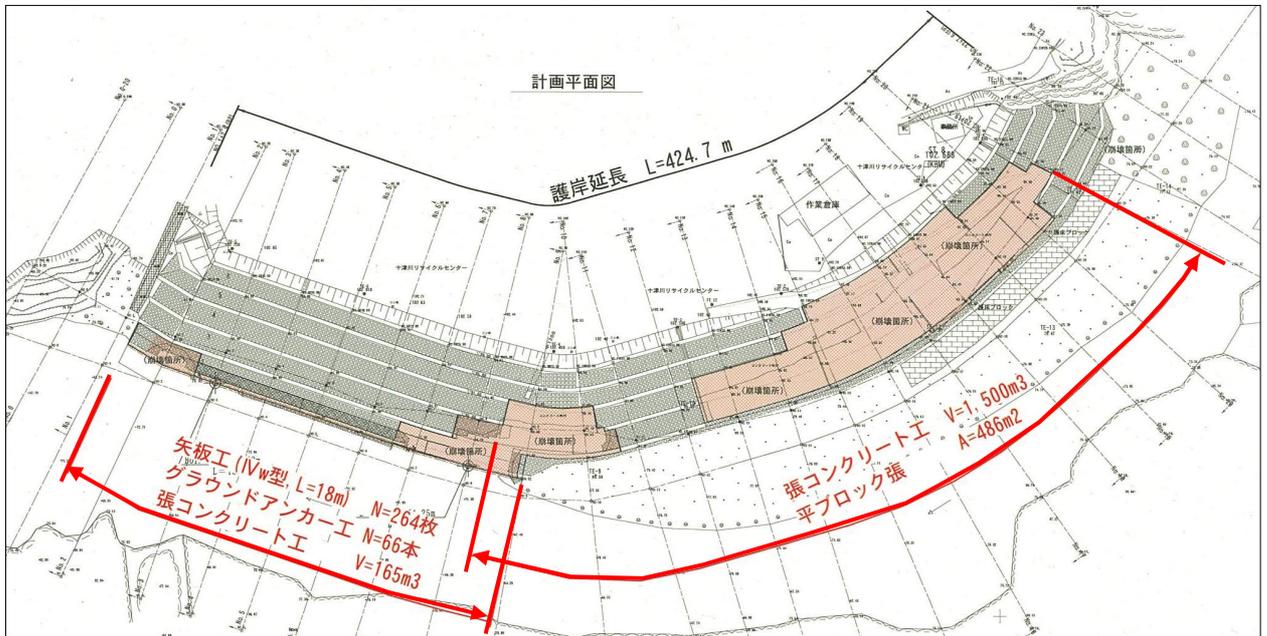


図-7 計画平面図

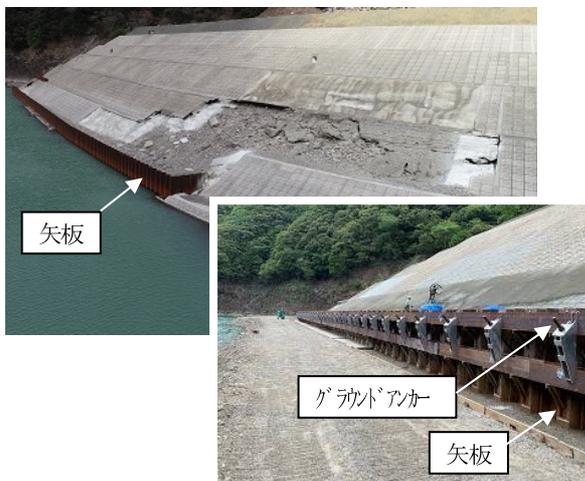


写真-7 矢板工およびグラウンドアンカー工



写真-8 張コンクリート工

## 5. おわりに

河川災害復旧事業において、河床洗掘が起きた箇所については、基礎工の天端の根入れを最深河床から0.5m～1.5m確保するという選択は第一に考えるべきことであるが、十津川村の河川事情などを踏まえて考えることができれば、他にも選択肢は増えると考ええる。

そして、熊野川（十津川村七色）の災害復旧事業の事例のように、根入れ護岸による復旧が困難である理由を的確に整理さえできれば、洪水時においても安心感のある構造物が構築され、同じ箇所が被災することが少なくなる。

ただし、被災してから災害査定まで約2ヶ月程度しかなく、時間が非常に少ない中でその答えまで導くのは非常に困難で経験を要するが、今後の災害復旧事業に熊野川の事例を少しでも参考にさせていただき、災害に強い十津川村になっていくことを期待している。

**謝辞：**最後に、本事業の設計・施工に多大なる尽力を頂いている方々、並びに長年にわたり事業へのご理解・ご協力を頂いている地元の皆様方に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 令和2年度 災害手帳

# アーチダムの基礎排水孔の機能回復について

角田 康祐<sup>1</sup>・鍵田 和彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所 (〒619-1421京都府相楽郡南山城村田山字ツルギ43)

<sup>2</sup>木津川ダム総合管理所 青蓮寺ダム管理所 (〒518-0442三重県名張市中知山1-166)

青蓮寺ダムは2020年7月に管理開始50年を迎えた。ダムの形式はアーチ式コンクリートダムであり、「管理の期間の区分」第3期のダムである。揚圧力の計測については、第3期に移行する1979年に「揚圧力が小さく、漏水量がごく少量で安定している」と判断され、2013年までは計測が行われていない状況であった。その後の2014年4月からは基礎排水孔の閉塞状況を考慮して計測が再開されている。本報告では、管理開始時から2020年における漏水量および揚圧力の状況と計測再開のために実施した改善対策（孔内洗浄やリボーリングなど）およびその結果について報告する。

キーワード アーチ式コンクリートダム, 孔内洗浄, リボーリング, 漏水量, 揚圧力

## 1. はじめに

青蓮寺ダムは1970年に管理を開始し、2020年7月に管理開始50年を迎えた。ダムの形式はアーチ式コンクリートダムであり、堤高は82 mである。本ダムはダム構造物管理基準における「管理の期間の区分」第3期として管理されている<sup>1)</sup>。同基準における揚圧力の計測については、「漏水量が比較的少なく、かつ揚圧力が小さいものについては、第3期の計画を省略してもよい。」に基づいて、「漏水量が無い、もしくはごく少量で安定している」と判断された1979年から計測が行われていない状態が継続していた。しかし、2010年のダム定期検査において、前述の判断については基礎排水孔が閉塞されることなく機能が維持されていることが前提であるとの指摘を受け、河床部で堤体断面が大きなブロックの基礎排水孔

である右岸監査廊内 (BL.7-BL.14) の基礎排水No.7-No.16の10孔および左岸リムトンネル内の基礎排水孔のNo.24-No.26の3孔に対して、孔内の確認および洗浄を2013年に実施し、2014年4月から揚圧力の計測を再開した(孔内洗浄未実施の孔を含む)。また、2015年のダム総合点検およびその後のダム定期検査において、一部の基礎排水孔について、孔詰まりの指摘を受け、青蓮寺ダムでは本格的に基礎排水孔の機能改善を行うこととした。このような経緯もあり、2019年には孔底深度が基礎面深度に達しておらず孔内洗浄が行われなかった基礎排水孔に対してリボーリングを実施した。本報告では、青蓮寺ダム管理開始時から2020年における基礎排水孔の揚圧力と同地点にて計測された漏水量の変動について報告を行うとともに、今後の対応について検討を行った。

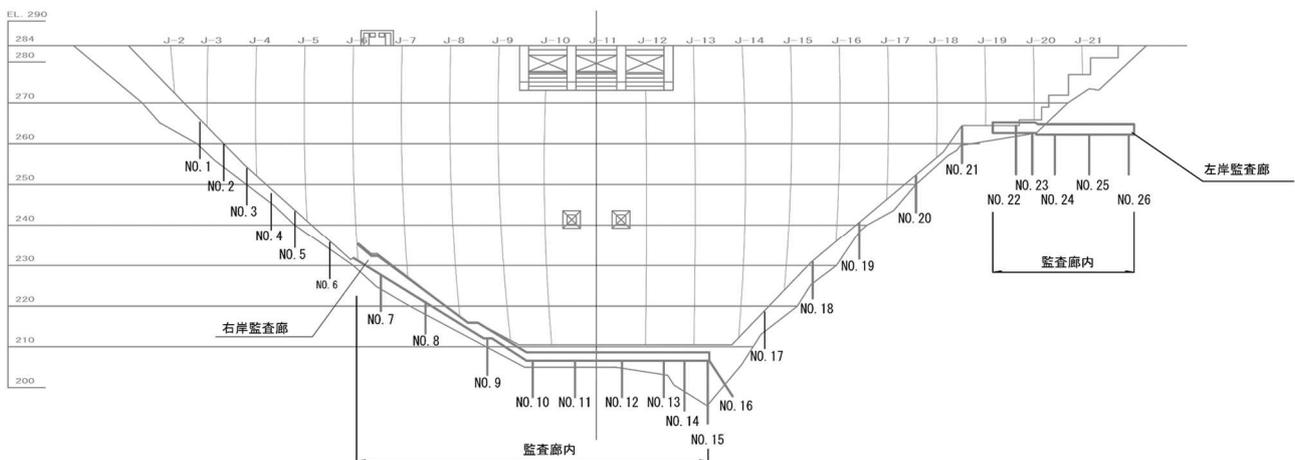


図-1 ダムの堤体の下流面図

## 2. 基礎排水孔のリポーリング

青蓮寺ダムの基礎排水孔は右岸から左岸にかけて計26箇所に設置されている(図-1, 図-2)。基礎排水孔は基礎面深度以下5-10m程度を削孔した後、ガイドパイプや導水パイプを用いて設置される。青蓮寺ダムはアーチ式コンクリートダムであることから、底部の監査廊はダム軸より下流側に設置されており、監査廊の直上には減勢池が位置している(図-2)。基礎排水孔の主な機能としては、1) 水抜き、2) 漏水量測定、3) 揚圧力測定が挙げられる。

リポーリング実施に先立ち、改善を行う孔の選定を行った。孔底深度について事前調査を行い(図-3)、深度が基礎面深度に達していないNo.4, No.6, No.14, No.15, No.18, No.19およびNo.20のうち、No.4およびNo.6を除いた5孔を選択した(河床部で堤体断面が大きなブロックを優先した)。5孔のリポーリングはロータリー方式(コアドリル)で行った(図-4)。リポーリングには基

礎排水孔(孔径 $\phi$ 46mm, 管内孔径 $\phi$ 38mm)に挿入可能なシングルコアチューブまたはロッドクラウンを用いた。削孔完了基準については、検尺ロッドを用いて削孔深度を確認し、削孔が設計深度に達した状態を削孔完了とした。加えて、リポーリング後の孔内状況を孔内カメラで確認した(図-5)。

## 3. リポーリング後の状況

基礎排水孔のリポーリングを行った結果、孔内の詰まりが解消された(図-5)。リポーリング後、No.14, No.15, No.18, No.19およびNo.20の基礎排水孔における孔底深度はいずれも基礎面深度に達しており、建設当初の削孔長(基礎面深度+5m)付近まで深度が確認された(表-1)。

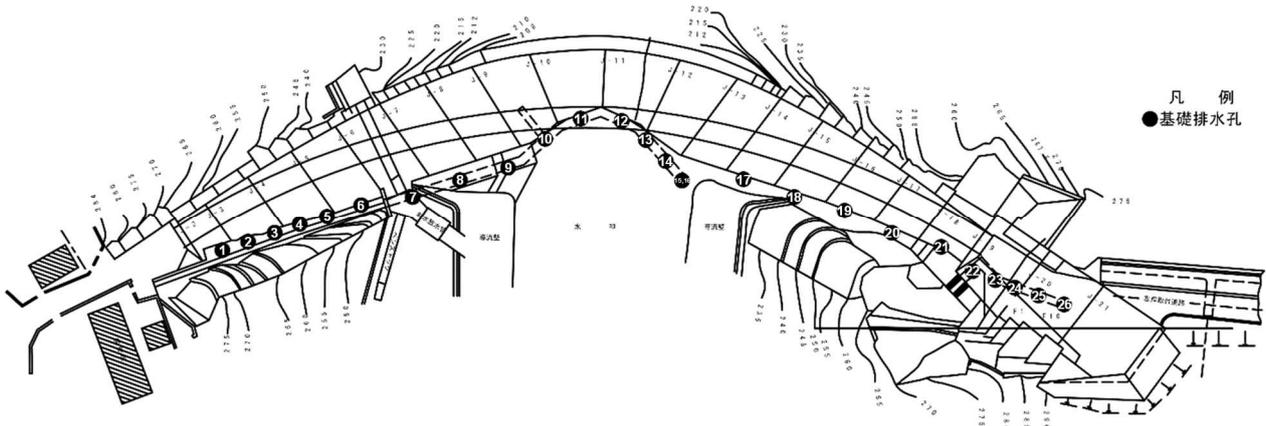


図-2 ダム堤体の平面図

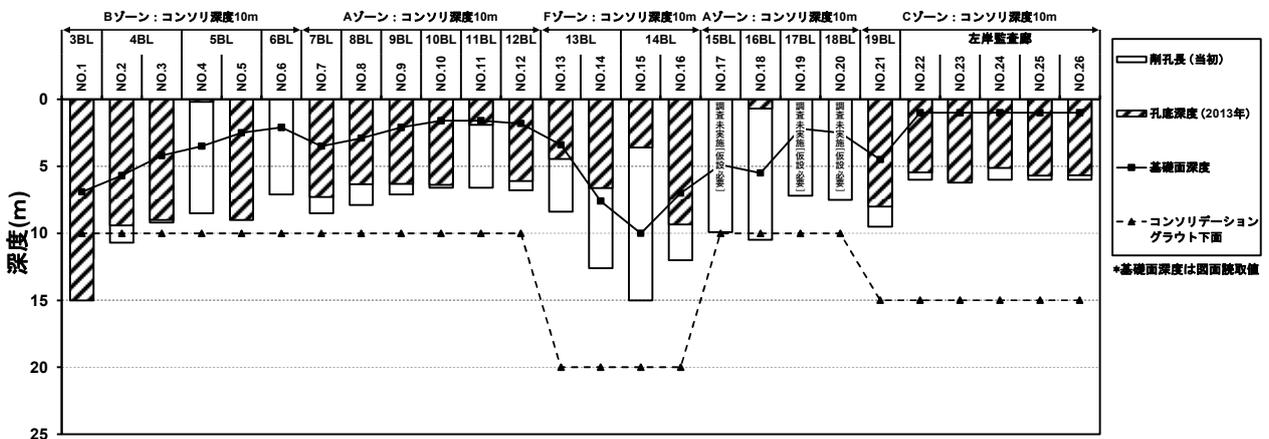


図-3 各基礎排水孔における震度の状況

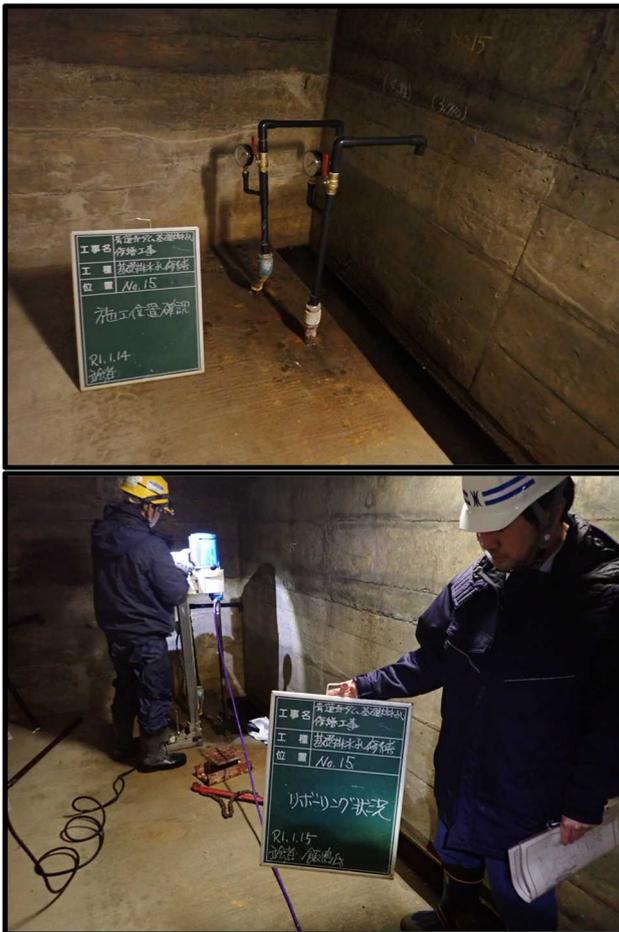


図4 リボーリングの状況 (No.15)

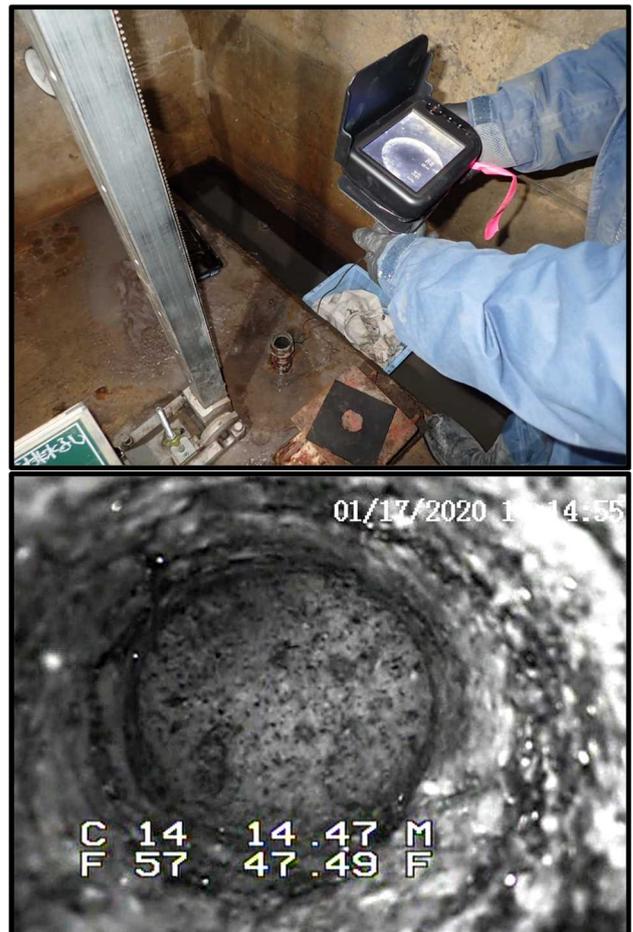


図5 リボーリング後の状況 (No.15)

#### 4. 漏水量および揚圧力の変動

青蓮寺ダム管理開始時から2020年における漏水量および揚圧力の値を集計した。監査廊内の右岸側に位置する基礎排水孔 (No.7-No.16) については、各孔における漏水量の合計値が本体漏水量として自動観測されている。また、リボーリングを行った5孔のうち、最も値の変動が大きかったNo. 15の基礎排水孔についてはその要因に関する考察を行った。

リボーリング後、本体漏水量は0.2 L/min程度から2.0 L/min程度に増加した (図-6)。漏水量が増加した要因としては、リボーリング実施により孔内の閉塞状況が解消され、孔底深度が基礎岩盤まで達したことによるものと考えられた。他方、本体漏水量の計測が行われる基礎排水孔が位置している右岸監査廊の直上には、減勢池が位置していることから、減勢池における水位の上昇と漏水量の増加が連動している可能性が考えられた。本体漏水量はリボーリング実施後に増加したが、湛水当初に経験した最大値と比較して少ない値で推移していることから経過観察を行うこととした。

No. 15の漏水量および揚圧力はリボーリング後に大きく増加した (図-7)。漏水量は管理開始当初のおよそ2

倍である2.0 L/min程度に増加し、揚圧力については管理開始当初と同程度 (0.25 - 0.30 MPa) に増加した。リボーリング前に0 L/minであった漏水量はリボーリング後に大きく増加したことから、これに伴って揚圧力が増加したものと考えられた。漏水量が管理開始当初の2倍程度に増加した原因は特定できないが、揚圧力については試験湛水当初と同程度であることから、No. 15の基礎排水孔については今後の測定値の推移に注視していくこととした。

表-1 リボーリング実施後におけるの基礎排水孔の状況

測点	ロッド挿入深度 (m)	リボーリング (m)	孔底深度 (m)	削孔長 (m)
No. 14	6.80	5.25	12.05	12.6
No. 15	3.65	11.35	15.00	15.0
No. 18	0.35	7.95	8.30	10.5
No. 19	0.25	6.47	6.72	7.2
No. 20	0.20	6.85	7.05	7.5

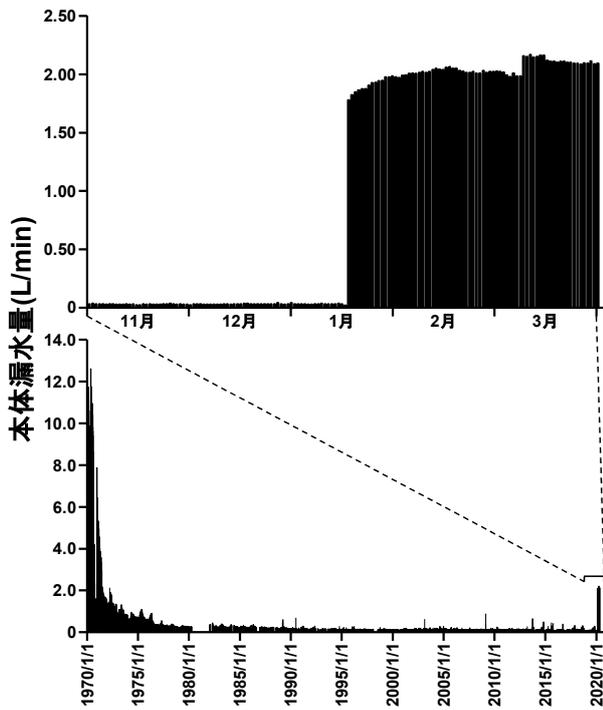


図-6 本体漏水量の時間的変動

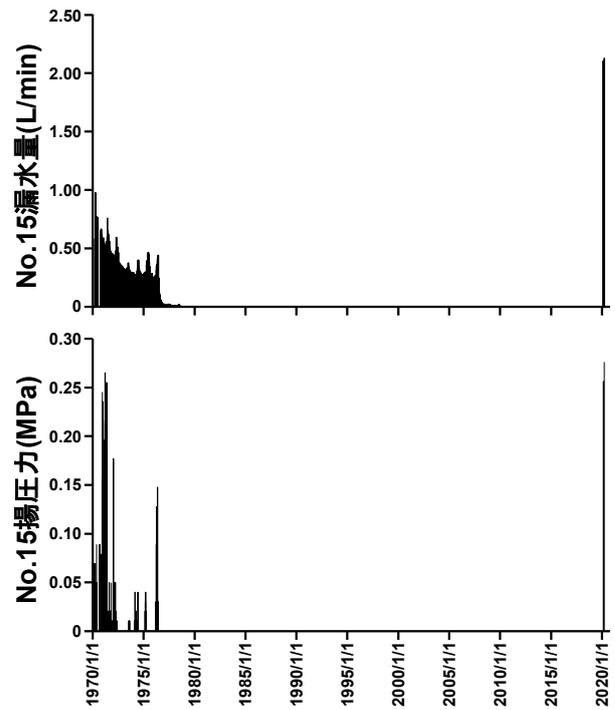


図-7 No. 15 基礎排水孔における漏水量および揚圧力

## 5. まとめ

青蓮寺ダムにおける基礎排水孔のリボーリングを行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 孔内洗浄およびリボーリング実施により、基礎排水孔の閉塞状況が改善され、孔底深度は基礎面深度に達した。
- リボーリング後、本体漏水量は2 L/min程度に増加した（建設当時：12 L/min程度）。

- リボーリング後、No. 15における漏水量は建設当時の2倍程度に増加した（建設当時：1.0 L/min程度）。
- リボーリング後、No. 15における揚圧力は建設当時と同程度に増加した（0.25 - 0.30 MPa程度）。
- 機能改善が行えていないNo. 4およびNo. 6の基礎排水孔については対策を講じる必要がある。

### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局河川環境課監修（2006）改訂ダム構造物管理基準。「ダムの管理例規集」（財団法人ダム水源地環境整備センター編），pp.246-271。山海堂，東京。

# 鋼床版デッキプレートUリブ部腐食の 調査及び補修について ～古川高架橋～

十川 絵理<sup>1</sup>・福井 雄一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 姫路河川国道事務所 調査課

(〒670-0947兵庫県姫路市北条1丁目250)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 京都国道事務所 管理第二課

(〒600-8234京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808)

一般国道1号に位置する古川高架橋（下）は、竣工は1988年（昭和63年）で供用後約33年が経過し、片側2車線、幅員は11.55mで片側の歩道を有する橋梁である。

令和元年度の定期点検において、鋼箱桁内鋼床版Uリブに、現場摩擦接合部からの漏水が原因と推定される腐食が確認された。接合部のボルトのような鍛造製品や摩擦接合面は、減肉や欠損が生じるような顕著な腐食が生じると対策が大がかりとなる可能性があるため、早期に適切な対策が必要である。

本稿は、箱桁内鋼床版のUリブ添接部における漏水及び腐食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 鋼床版，漏水，詳細調査，維持管理，補修調査

## 1. はじめに

古川高架橋は、一般国道1号京滋バイパスの一部として、日本初の国営干拓事業である巨椋池干拓地内に位置し、始点側は巨椋排水路、終点側は一級河川古川を渡河する。同干拓地冠水時の避溢機能が必要であるため連続高架とし、河川渡河条件や農用地の配置との整合性から、斜角25°でかつ曲線橋で、専用部の両側に配置するため上下線を分離した構造としている。

下り線は、橋長294.0m、9径間でそのうちP6～A2の2径間連続鋼床版箱桁75m+49mに本損傷が生じたものである。

橋梁位置図を図-1に、一般図を図-2に、橋梁諸元を表-1に、橋梁全景写真を写-1に示す。

表-1 橋梁諸元

橋長	294.0m
幅員	11.55m
橋梁形式	3径間連続非合成钣桁橋 4径間連続非合成钣桁橋 2径間連続鋼床版箱桁橋
建設年次	1988年（昭和63年）
設計活荷重	TL-20
交差条件	巨椋排水路（A1-P2） 1級河川古川（P6-A2）



図-1 橋梁位置図

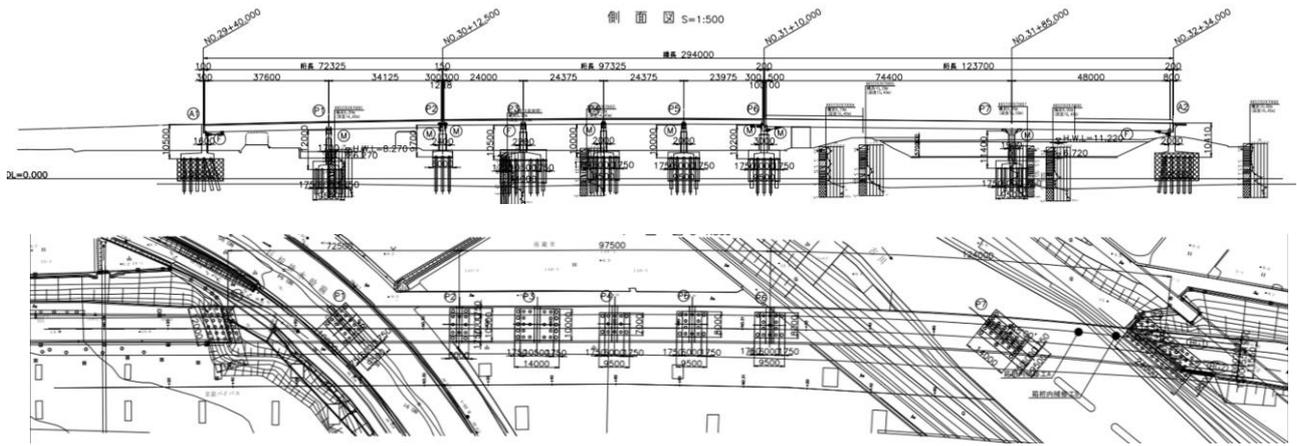
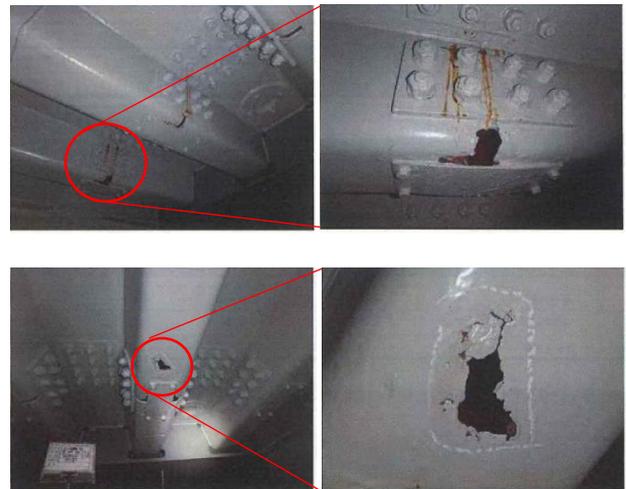


図-2 一般図 側面図(上), 平面図(下)



写-1 下り7, 8径間全景



写-2 鋼床版Uリブの損傷写真

## 2. 損傷概要

令和元年度に実施された定期点検において、歩車道境界下に位置する鋼床版のUリブに孔食が確認されている。車道部はグースアスファルト、歩道部は防水層により橋面防水が施されているが、歩車道境界の縁石下に防水層が施工された記録は確認されなかった。損傷写真を写-2に、損傷位置を図-3に示す。

## 3. 詳細調査および損傷要因の推定

補修設計に先立ち、損傷要因を推定するための詳細調査を実施した。

### (1) 歩車道境界周辺の橋面の状態確認

#### 調査概要

孔食箇所上面の状態確認のため、歩車道境界の縁石及び歩道部舗装を撤去し、鋼床版上面の腐食、孔食、添接部の肌すきの有無を確認した。

#### 調査結果

歩車道境界の縁石および歩道部舗装の調査結果を写-3に示す。歩車道境界の縁石等を撤去したところ、歩道部の調整コンクリートに空洞等が確認された。また、縁石下の敷モルタルが湿っていることが確認され、敷モルタル撤去と同時に歩道側から水が噴出し、歩道下が全体的に滞水している状況が確認された。一方で、写-4に示されるように鋼床版上面に腐食は見られず、添接板とデッキプレート間に目視では隙間は確認されなかった。

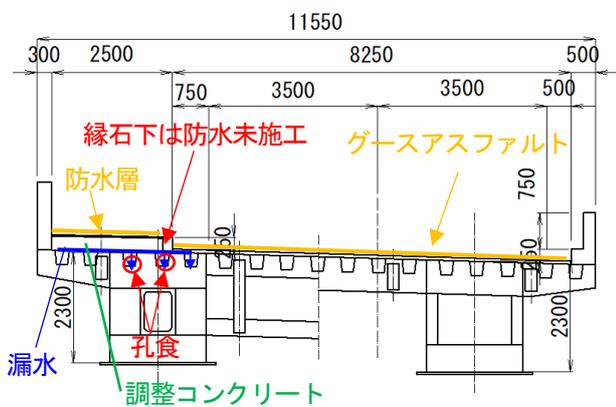


図-3 鋼床版Uリブの損傷位置図



(a)敷モルタル撤去時1 (b)敷モルタル撤去時2

写-3 歩車道境界の縁石撤去



滞水が見られる

腐食等はなく健全である

(a)撤去部表面状態



(b)添接板の状態

写-4 鋼床版上面の状況

### 損傷要因の推定

歩道部の調整コンクリートに空洞等が確認された要因は、カウンターウェイトが目的と思われる鋼鉄製の50kgのレールが密に埋設されており、コンクリートの充填不良が生じやすい施工条件であったためと考えられる。

車道部は鋼床版上に防水機能を有するゲースアスファルトが敷設されているのに対し、歩道部は調整コンクリート上に防水層が設置されているものの歩車道境界の縁石上には防水層が設置されていない。これらの現地状況から、舗装撤去後に滞水が確認された要因は、過去に実施された橋面補修工事において、防水層の端部処理が十分に施されていないこともあり、歩車道境界の縁石と舗装の境界部や壁高欄際から雨水が浸透し、調整コンクリート内に滞水していたためと推察される。

なお、調査日の前日は雨天であった。調整コンクリートの空洞と滞水状況を写-5、図-4に示す。



写-5 調整コンクリート空洞状況(左)

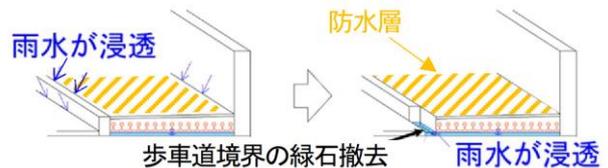


図-4 調整コンクリート下の滞水状況と雨水浸透経路

### (2) 板厚測定

#### 調査概要

Uリブの減肉量および減肉範囲の確認を目的として、超音波板厚測定器を用いてUリブの板厚を測定した。

孔食箇所のUリブを対象に、側面および底面の添接板のボルトを基準として各2ライン（橋軸方向）、100mmピッチ（橋軸直角方向）の位置で板厚を測定した。減肉が見られた箇所については近傍を50mmピッチで測定し、減肉範囲を推定した。

#### 調査結果

箱桁内において実施したUリブ孔食箇所の板厚測定の結果を図-5に示す。板厚測定の結果、健全部板厚8mmに対して最大5.0mmの減肉が見られた。いずれの測定箇所においても減肉が見られるのは底面であり、減肉範囲についても孔食箇所を中心として局所的であった。

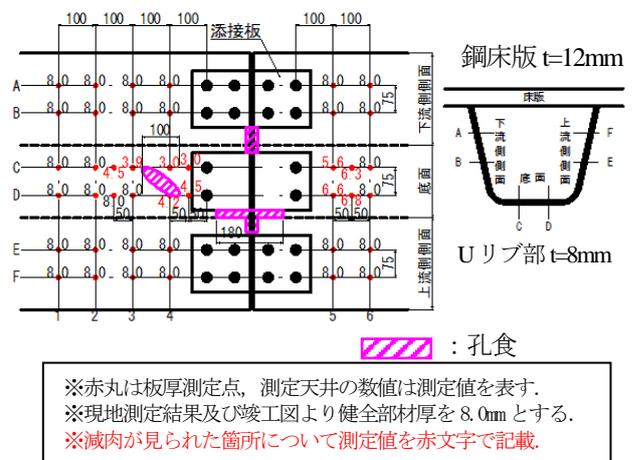


図-5 板厚測定箇所と結果 平面図(上)、断面図(下)

(3)Uリブ内状態確認

調査概要

Uリブ下面のハンドホールから CCDカメラを挿入しUリブ内部の状態を確認した。

また、ボルトの締め付け不足や肌すきの有無を判断するため、Uリブ上面のボルト余長部のねじ山の数を確認した。

調査結果

CCDカメラによる内部状態の確認の結果、写-6のように添接板付近において腐食が見られた。また、一部の高力ボルトにおいても減肉をとまなう腐食が見られた。

ただし、橋面において滞水が確認されたものの、Uリブ内への顕著な漏水は確認されなかった。なお、Uリブの両端にはダイヤフラムがあり、橋軸方向は閉塞されている(図-6)ことが確認された。

また、孔食部において一部のボルトでねじ山の数が少ないもの(図面のボルト長、板厚から算出される余長より短い)が見られた。図-7、表-2より、余長部が短く締め込み不足の可能性のあるものは、Uリブ内の添接部にのみ見られた。



写-6 CCDカメラによる撮影画像

ダイヤフラム (Uリブは密閉構造)

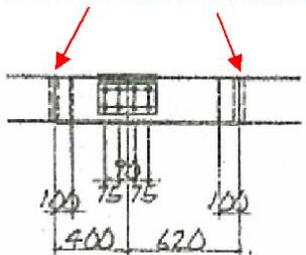


図-6 Uリブ側面図 (竣工図より)



写-7 CCDカメラによる撮影画像

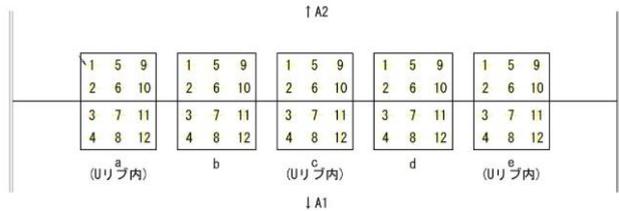


図-7 ねじ山数測定箇所位置図

表-2 余長部ねじ山数計測結果と腐食部の関係

		添接板位置				
		a	b	c	d	e
ボルト位置	1	4	4	4	4	4
	2	4	4	2	4	4
	3	4	4	4	4	4
	4	4	4	4	4	4
	5	2	4	2	4	4
	6	4	4	2	4	4
	7	4	4	4	4	4
	8	4	4	4	4	4
	9	4	4	4	4	4
	10	4	4	4	4	4
	11	4	4	4	4	4
	12	4	4	4	4	4

※現地計測結果より、標準ねじ山数を3~4とした

※ハッチング部は孔食箇所上面の添接板

損傷要因の推定

ボルトの山数調査の結果から、添接板とデッキプレート間に肌すきが生じていると考えられる。これは、Uリブの溶接によりデッキプレートには製作の過程で図-8のような変形が生じやすいことに加え、Uリブ内には工具が入らないため締め付け管理が難しい頭締めによりボルトの締め付けが行われたことに起因するものと考えられ、そこからUリブ内に雨水が漏水していたと推察される。

橋面の状態確認調査では、添接板に肌すきは確認されなかったが、これは調査対象箇所(図-9)がUリブ直上ではなく、Uリブ同士の間部分(通常締め付け可能な部分)であったためと考えられる。

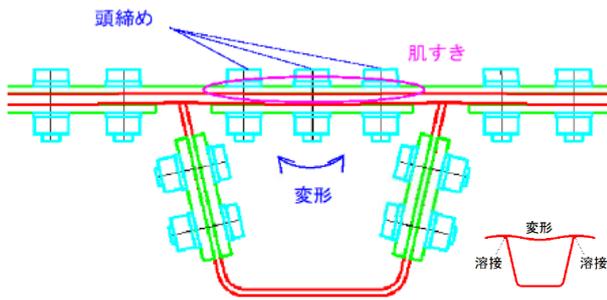


図-8 肌すき発生の概念図

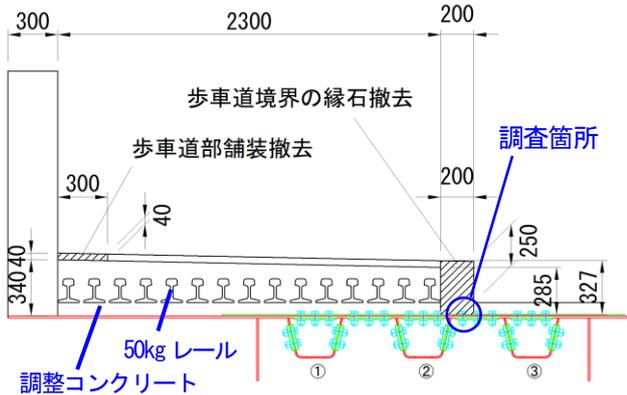


図-9 橋面の状態確認調査箇所

#### 4. 補修設計

##### (1) 損傷進展性の整理

###### a) 進展状況の確認

当該箇所は、H20の定期点検で損傷が確認され、H25に補修工事（Uリブ塗装、橋面防水）が実施されている。その後、H26、R1に定期点検が実施され、R2に損傷調査を実施した。

それぞれのUリブ写真を写-8～11に示す。



写-8,9 H20定期点検(左) H26定期点検(右)



写-10,11 R1定期点検(左) R2調査(右)

##### b) 損傷進展性の推察

H26点検では、H25の補修工事による改善が見られるが、R-1点検及びR2調査では損傷の進展が見られる。

##### (2) 対策工法の検討

損傷進展性の整理の結果、橋面から桁下への漏水対策が不完全であることから、再劣化防止のため、Uリブ接続部（添接部）の水密性を向上させる対策が必要である。

###### a) 対策工法の選定

歩道部には鋼鉄レールが配置されていることを考慮し、Uリブ接続部（添接部）の水密性を向上させる対策方法として、「第1案：レールを全長撤去し中詰コンクリートを修復する案」と「第2案レールを存置したまま添接部の周囲に止水材を注入する案」を立案した。

このうち、第1案は補修が必要な範囲に比べて撤去範囲が過大となるため、止水対策として豊富な実績があり、高い効果を期待でき、コスト比較においても優位性のある第2案を対策方法に選定した。図-10、11にその概念図を示す。

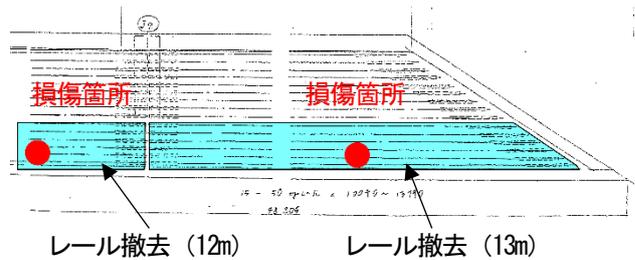


図-10 第1案

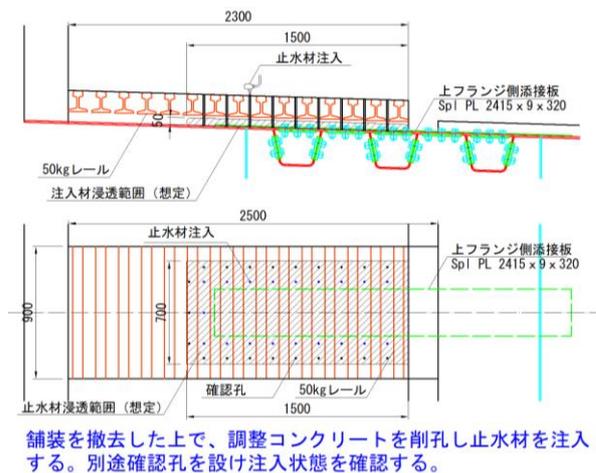


図-11 第2案

###### b) 注入方法の検討

第2案は、小径ドリルにて削孔し、水性マイクロエマルジョン樹脂を注入する注入止水工法である。この工法は、主にコンクリート構造物のひびわれ、隙間等、漏水原因箇所に対して適用される工法であるが、既設歩道橋

のデッキプレート上面に防水機能を付与する際に適用された実績があり、本稿の損傷に対する適用性が高いため試験施工として提案したい。なお、防水と合わせて滞水した水を抜くパイプを流末に配置することで水を排水する工夫をしたい。

## 5. まとめ

本稿は、箱桁内鋼床版のUリブ添接部における漏水、及び腐食に対する詳細調査及び補修設計結果について報告したものである。

調査の結果から、Uリブ添接部の腐食は、添接板とデッキプレート間に生じた肌すきから、Uリブ内に雨水が漏水したため発生したものと考えられる。また、歩道

下にレールが埋設されているという特殊な条件により橋面上に滞水が生じ、Uリブ内への雨水の浸透を助長したものと考えられる。鋼床版橋において、デッキプレート及びUリブが添接板により接合される構造が採用されている場合は、同様の損傷が生じていないか、定期点検や詳細調査の際は注意が必要である。