

# 城崎道路技術検討会における 技術的課題について

石田 翔吾

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

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

キーワード 直轄調査, 地質リスク, 玄武洞玄武岩, キャップロック

## 1. はじめに

### (1) 山陰近畿自動車道 城崎道路の概要

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

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

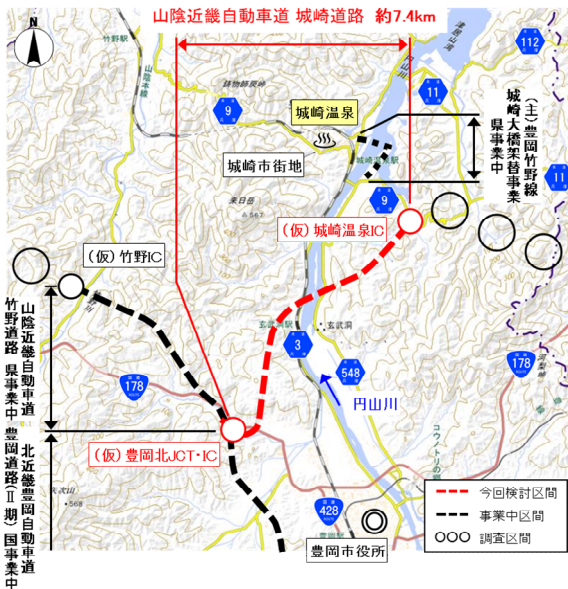


図-1 城崎道路位置図

### (2) 兵庫県による山陰近畿自動車道技術検討会

兵庫県内の山陰近畿自動車道は、兵庫県が整備を進めているところである。

令和元年度に兵庫県において、山陰近畿自動車道技

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

### (3) 直轄による権限代行実施の検討を行うための調査

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

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

## 2. 城崎道路技術検討会について

### (1) 城崎道路技術検討会の目的

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

### (2) 城崎道路技術検討会の構成

城崎道路技術検討会の構成委員は、表-1のとおりである。

表-1 城崎道路技術検討会 委員名簿 (敬称略)

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

(3) 城崎道路技術検討会での検討概要

城崎道路技術検討会は、下記の順番・内容で実施した。

a) 第1回城崎道路技術検討会

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



図-2 兵庫県技術検討会での課題

b) 現地調査

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

c) 第2回城崎道路技術検討会

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

3. 城崎道路における現地調査

(1) 現地調査の目的

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

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

(2) 現地調査内容

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

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

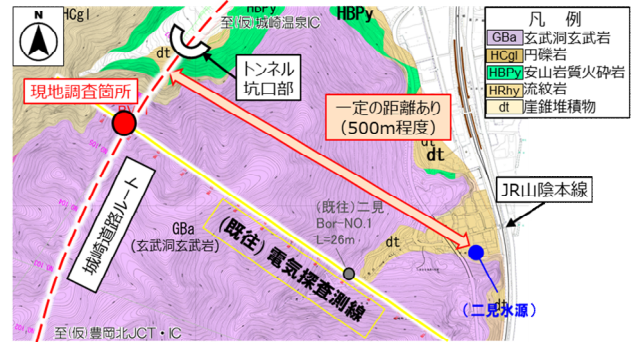


図-3 ボーリング調査位置図<sup>1)</sup> (一部加筆)

(3) 現地調査結果

a) 玄武洞玄武岩の厚み・地質境界

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

b) トンネル計画高さ付近の北但層群の岩種

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

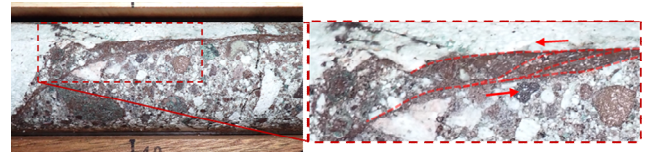


写真-1 火山礫凝灰岩内の褐色脈

c) 地下水分布・透水性の確認

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

4. 城崎道路の技術的課題と対応について

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

(1) 課題1: 閃緑岩 (貫入岩) が貫入した地質構造

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

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

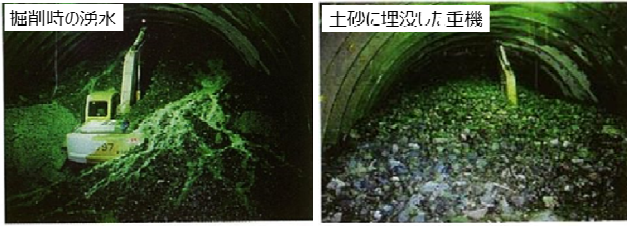


写真-2 蘇武トンネルでの切羽崩壊状況<sup>2)</sup>

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

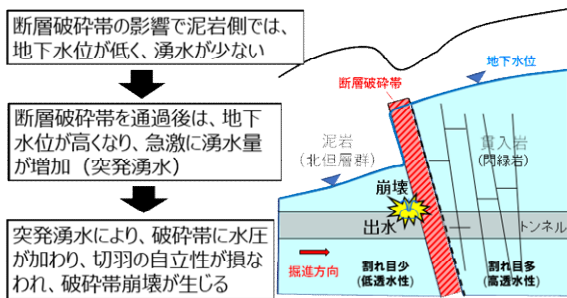


図-4 蘇武トンネルでのトンネル掘削中に突発湧水・切羽崩壊が生じたメカニズム（イメージ）

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

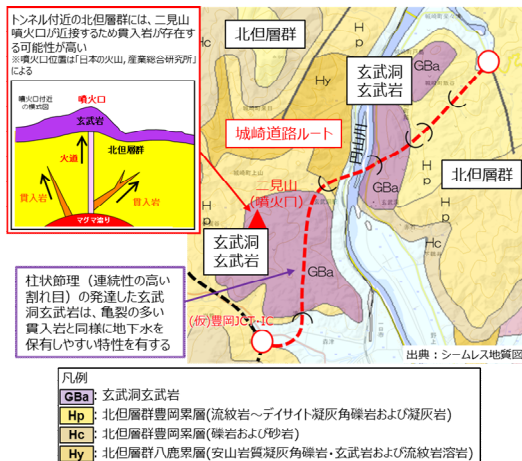


図-5 城崎道路周辺の地質分布および噴火口位置

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

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

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

b) キャップロック構造での地質調査手法

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

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

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

さらに、城崎道路技術検討会では、下記の指摘がなされた。

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

c) 対応方針（案）

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

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

<地質調査手法>

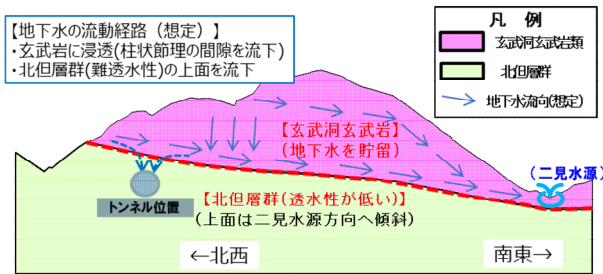
ボーリング調査, 電気探査, ボアホールカメラ観測, 速度検層, 電磁波探査, トモグラフィ探査, リモートセンシング など

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

(2) 課題2 : 二見水源地への近接

a) トンネル掘削が二見水源地に及ぼす影響

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



出典：兵庫県検討会資料に一部加筆

図-6 地下水の流動経路 (想定) <sup>1)</sup>

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

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

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

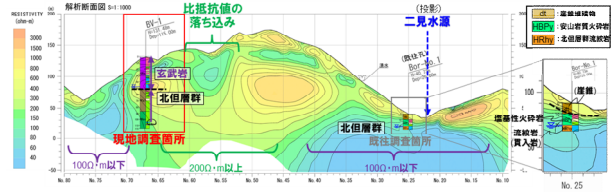


図-7 二見水源~トンネル間の比抵抗分布とボーリング調査結果<sup>2)</sup> ※現地調査結果等の一部加筆

さらに, 城崎道路技術検討会では, 下記の指摘がなされた.

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

b) 対応方法 (案)

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

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

(3) 課題3 : 河川内における厚い軟弱地盤

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

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

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

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

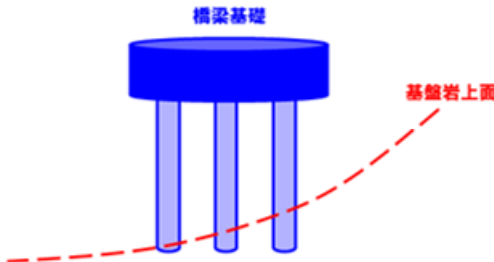


図-8 基礎の不陸（イメージ図）

さらに、城崎道路技術検討会では、下記の指摘がなされた。

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

**b) 対応方法（案）**

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

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

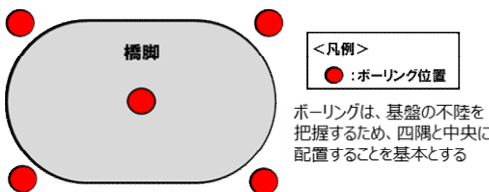


図-9 ボーリング調査位置（案）

**(4) 課題4：地すべりの要因**

**a) トンネル坑口部における地すべりリスクの検討**

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

を確認した。

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

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

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

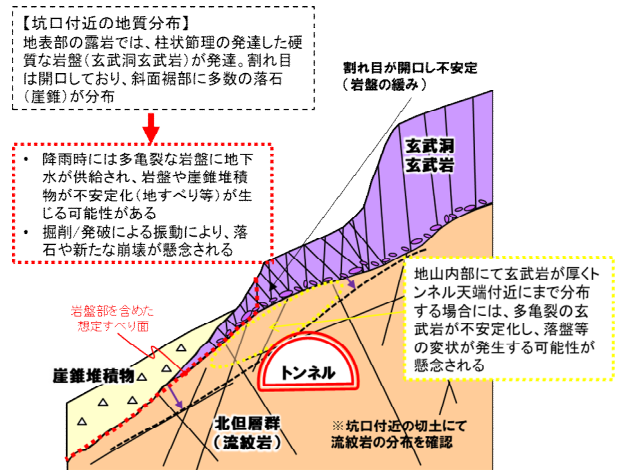


図-10 円山川右岸のトンネル坑口付近の模式断面図

**b) 対応方法（案）**

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

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

**(5) 課題5：地域固有の貴重な自然環境**

**a) コウノトリ等に対する橋梁設計、施工時の配慮事項の検討**

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

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

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

#### b) 対応方法（案）

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

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

#### 4. 高度な技術力の確認

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

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

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

#### 5. まとめ

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

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

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

#### 6. 謝辞

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

#### 参考文献

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