

2. 技術的課題への対応について

2. 技術的課題への対応について (課題①閃緑岩が貫入した地質構造)

課題の概要と直轄調査の着眼点

【兵庫県技術検討会での課題の概要】

- 過去に兵庫県が工事した蘇武トンネル(北但層群に位置)で、貫入岩(閃緑岩)に起因する突発湧水・切羽崩壊事故が発生。
- 城崎道路も北但層群に位置し、地表踏査で貫入岩(閃緑岩や流紋岩など)が確認され、計画ルート周辺の玄武洞玄武岩下に同様の貫入岩が存在する可能性があることから、蘇武トンネルと同様に突発湧水・切羽崩壊の発生を懸念。

【兵庫県技術検討会での対応案】

- 貫入岩(閃緑岩や流紋岩など)を前提とした詳細な調査対応と高度な設計対応、施工管理が必要。

【直轄調査の着眼点】

- 突発湧水・切羽崩壊のメカニズムを再確認。また、そのメカニズムを踏まえて、地質調査・解析の方針を検討。(⇒P.10)
- 周辺のトンネル施工実績を参考に、施工時の留意事項を整理。(⇒P.11)
- 城崎道路では、北但層群を被覆する玄武岩の分布(キャップロック構造)により、調査の困難性が高まることにも考慮が必要。(⇒P.12,13)

<蘇武トンネルでの事故事例>

土砂に埋没した重機

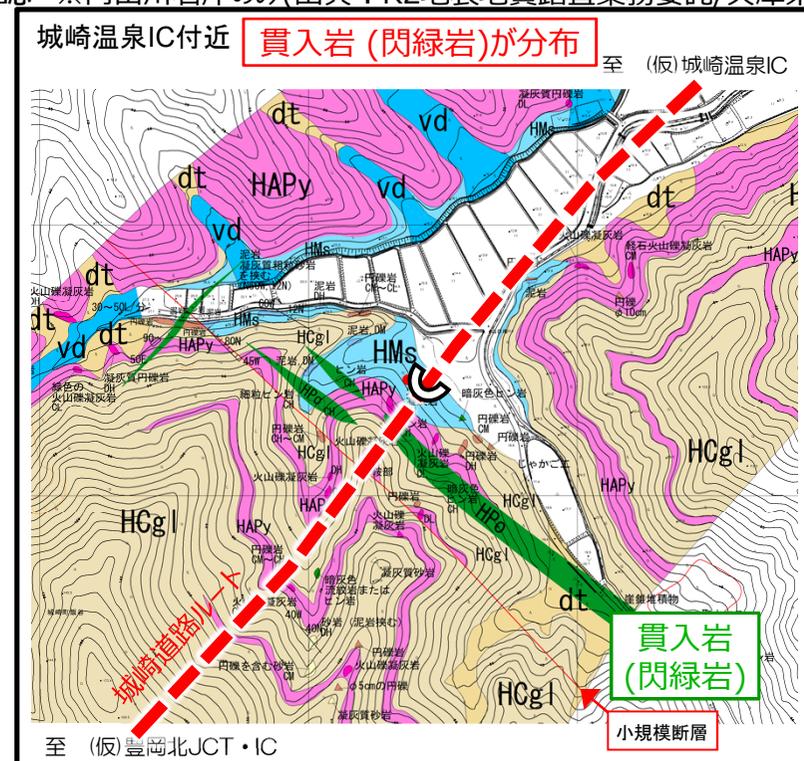


掘削時の湧水



出典：一般国道482号蘇武トンネル工事誌 (平成17年3月、豊岡土木事務所)

<地表地質踏査> 対象区間にて貫入岩の存在を確認 ※円山川右岸のみ(出典：R2地表地質踏査業務委託/兵庫県)



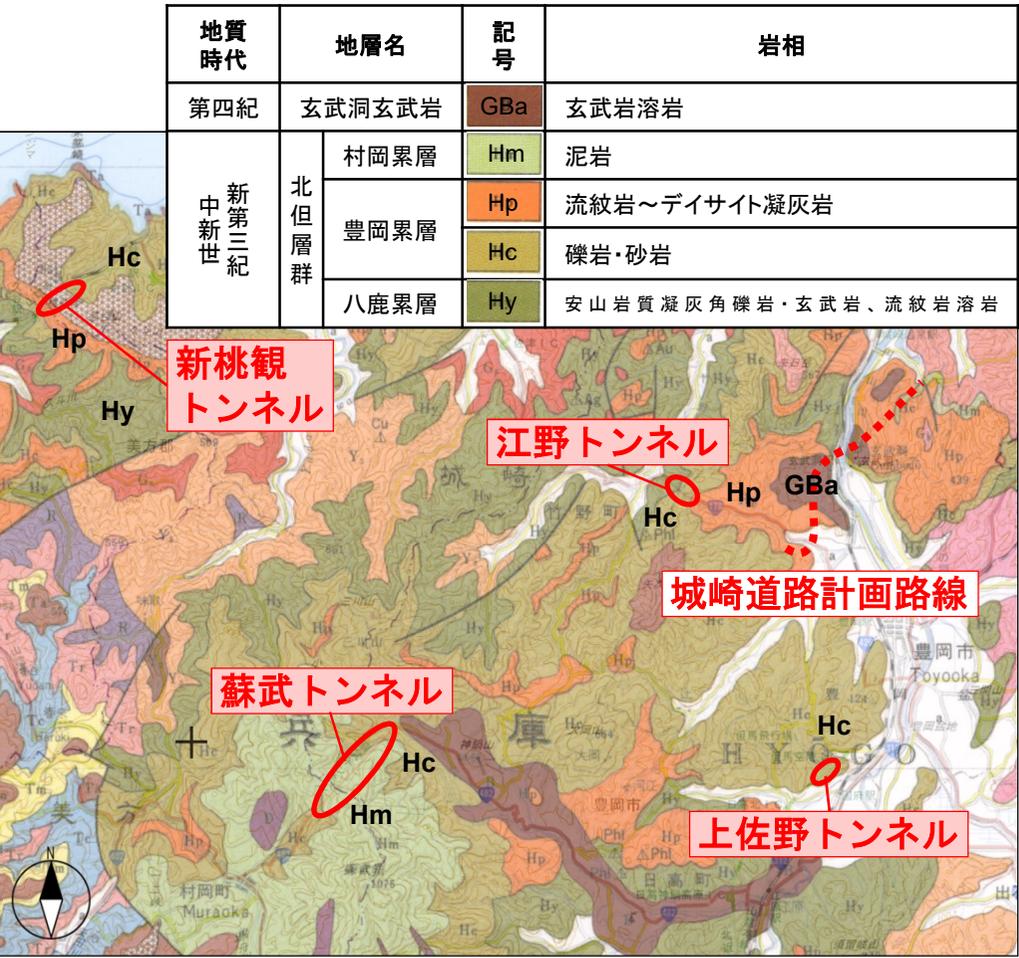
円山川左岸側では貫入岩 (閃緑岩) が未確認であるが、地質が北但層群である点で共通しているため、同様の地質リスクを想定

2. 技術的課題への対応について (課題①閃緑岩が貫入した地質構造)

類似事例調査(蘇武トンネル含む周辺トンネル)

- 【検討方針】**
- 周辺トンネル事例調査(蘇武トンネルなど)を行い、周辺トンネルと城崎道路の地質特性や調査・設計対応を整理。
- 【検討状況】**
- 北但層群を地山とするトンネルとして、蘇武・新桃観・江野・上佐野の4トンネルの地質構成、施工時の不具合、地質調査内容を確認。
 - 北但層群に断層破碎帯・貫入岩が分布する地山では、地質境界にて突発湧水や切羽崩壊が発生していることを確認。
 - 調査は、坑口部でのボーリング調査および弾性波探査を基本とし、蘇武トンネルでは電気探査・電磁気探査も実施。

<類似地質(北但層群)の周辺トンネル位置図>



<周辺トンネルの地質構成と地質調査内容>

トンネル名	地質構成	施工時の不具合	調査内容※
蘇武 (国道482号)	Hm(泥岩)・Hc(礫岩・砂岩) *断層破碎帯、貫入岩あり	突発湧水 切羽崩壊	ボーリング調査(坑口部) 弾性波・電気・電磁気探査
新桃観 (山陰近畿自動車道)	Hp(凝灰角礫岩等) Hc(礫岩・砂岩) Hy(安山岩質凝灰角礫岩) *貫入岩あり	突発湧水	ボーリング調査 弾性波探査
江野 (国道178号) <国による権限代行施工>	Hc(礫岩・砂岩)・Hy(安山岩類) *貫入岩あり	突発湧水 切羽崩壊(1m程度)	ボーリング調査(坑口部) 弾性波探査
上佐野(国) (北近畿豊岡自動車道)	Hc(礫岩・砂岩)	特になし	ボーリング調査(坑口部) 弾性波探査

- 【北但層群を地山とするトンネルの施工事例】**
- 断層破碎帯及び貫入岩が分布する
⇒破碎帯掘削時に突発湧水や切羽崩壊が発生(蘇武)
 - 貫入岩のみ分布する
⇒湧水量が多いが、大規模な切羽崩壊は発生していない(新桃観・江野)
 - 断層破碎帯や貫入岩が分布しない
⇒突発湧水・切羽崩壊が発生していない(上佐野)

2. 技術的課題への対応について (課題①閃緑岩が貫入した地質構造)

検討上の留意事項：キャップロック構造※1に伴う調査の困難性

※1:キャップロック構造とは、上部と下部の地質特性が大きく異なる構造

【直轄調査の着眼点】

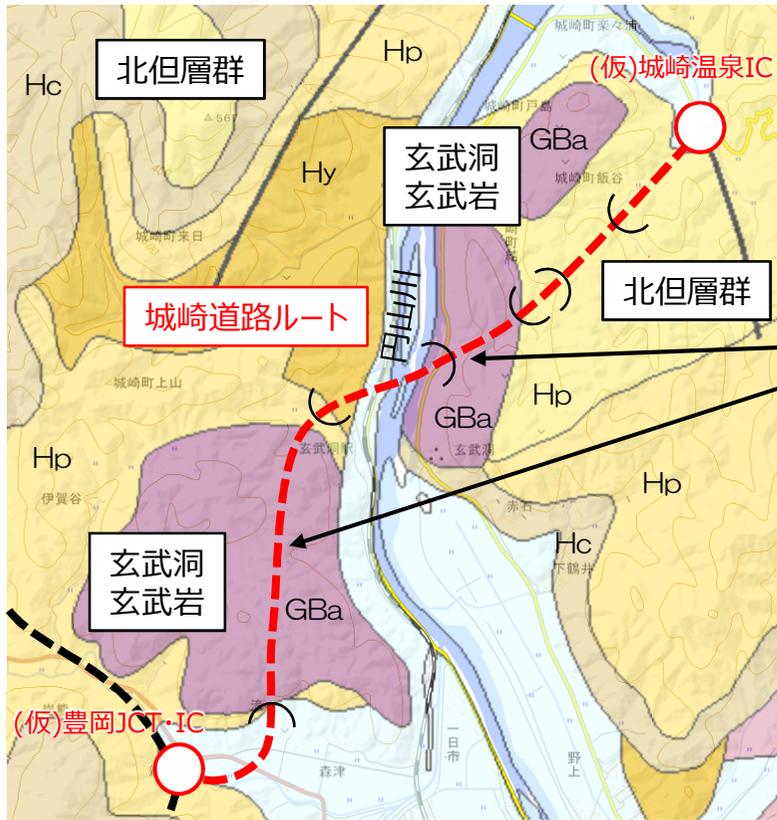
- 城崎道路は、北但層群の上部に玄武洞玄武岩が分布する「キャップロック構造※1」を有するため、下部の北但層群(トンネル計画高付近)の地質構造を弾性波探査※2で精度良く求めることが困難となり、切羽安定性に影響する断層等の弱部推定が課題。

【検討方針】

- 類似地質のトンネル事例から、実際に適用された調査手法を把握し、効率的で精度の高い調査方法を検討する。

※2:トンネル地山評価において一般的に用いられる調査手法

<城崎道路ルート上の地質>

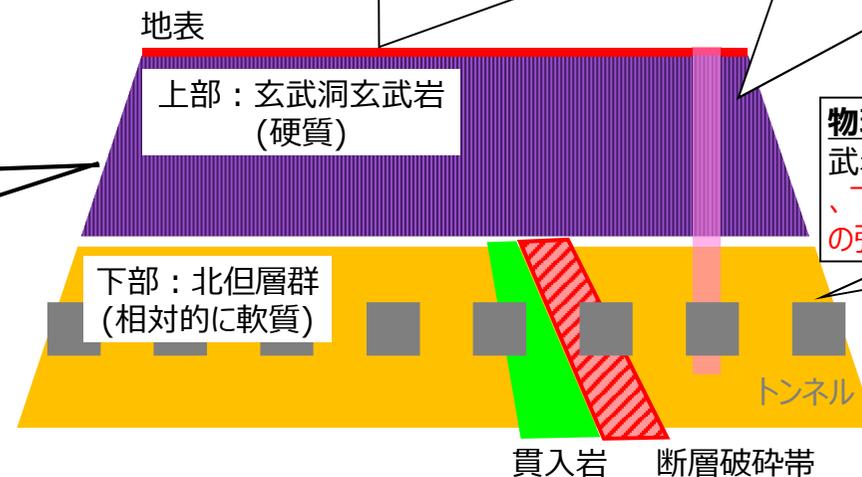


出典：シームレス地質図

<キャップロック構造における地質調査の問題点>

地表地質踏査：上部の玄武洞玄武岩の地表のみ確認可能であり、下部の北但層群の貫入岩・断層破碎帯の有無、貫入角度が把握できない。

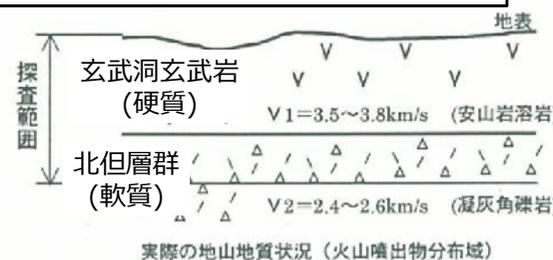
ボーリング調査：貫入岩や断層破碎帯などの地質構造を詳細に把握するためには、一般的な調査本数よりも多大な本数が必要となる。



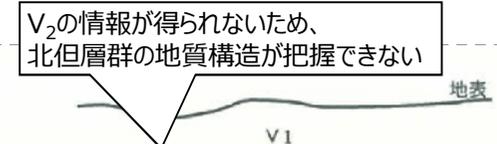
物理踏査：上部に硬質な玄武洞玄武岩があるため、弾性波探査※3では、下位に分布する軟質な北但層群の弾性波速度が解析困難である。

※3:弾性波探査は、上:軟質、下:硬質の地質の場合に適用可能

城崎道路における弾性波探査について



実際の地山地質状況 (火山噴出物分布域)



屈折法解析結果

V₂の情報が得られないため、北但層群の地質構造が把握できない
 V₁>V₂による速度逆転によりV₁層しか解析できない。

出典：物理探査適用の手引き (物理探査学会、平成12年3月)

- 凡例
- GBa : 玄武洞玄武岩
 - Hp : 北但層群豊岡累層(流紋岩~デイサイト凝灰角礫岩および凝灰岩)
 - Hc : 北但層群豊岡累層(礫岩および砂岩)
 - Hy : 北但層群八鹿累層(安山岩質凝灰角礫岩・玄武岩および流紋岩溶岩)

2. 技術的課題への対応について (課題①閃緑岩が貫入した地質構造)

類似事例調査(キャップロック構造のトンネル)

【検討方針】

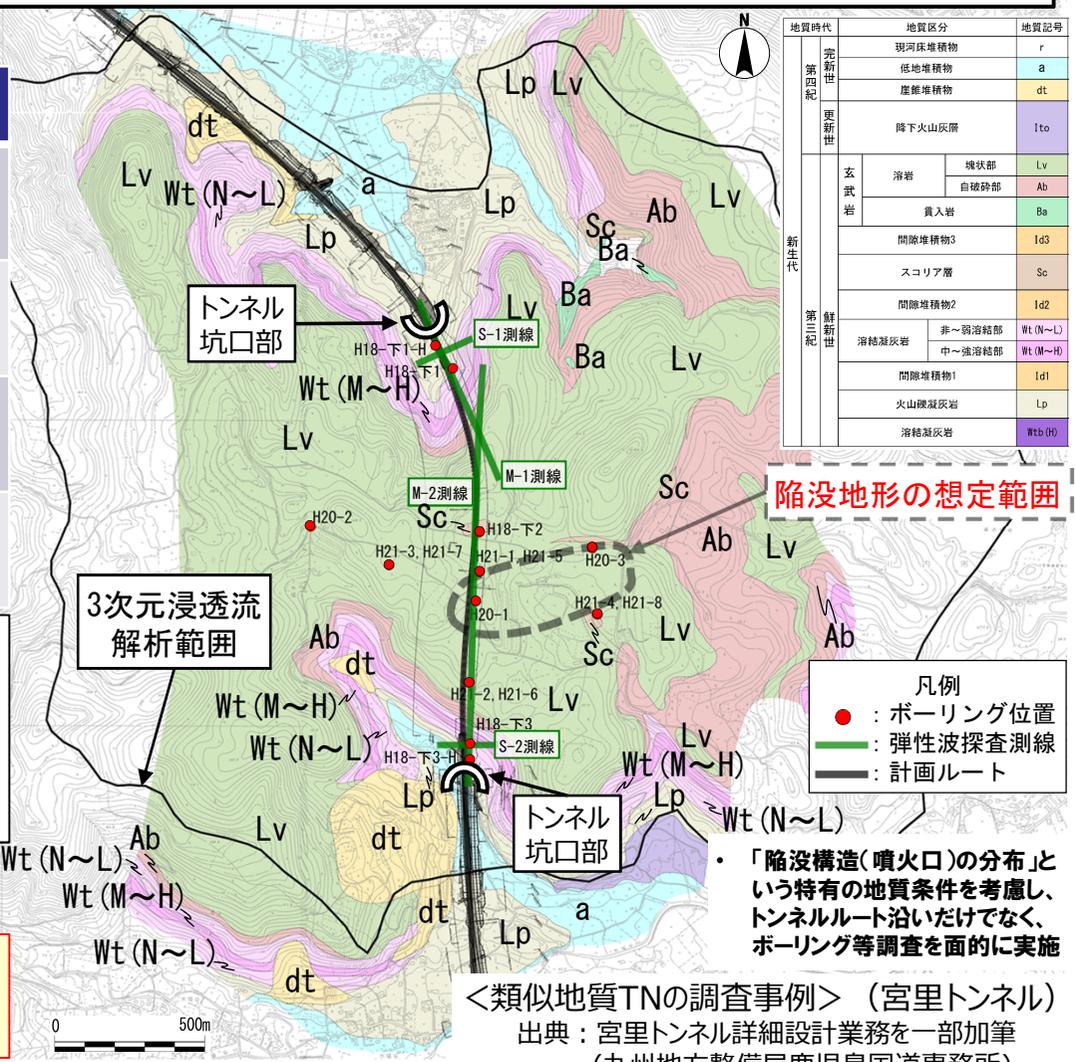
- 直轄施工実績(類似地質、玄武岩等が分布するキャップロック構造)における地質調査内容、設計・施工の対応事例を整理。

【検討状況】

- 直轄で施工した渡島・大沼・宮里・仏坂平尾の4トンネルの地質構成、地質調査内容を確認。
- 既設トンネルでは、地質・水文状況を考慮した調査(複数手法の組合せ)が実施されており、水源地への影響が懸念された宮里トンネルではボーリング等調査を面的に実施。⇒城崎道路の地形・地質・水文状況に即した地質調査の実施方針を検討。

<類似事例における地質情報整理> (玄武岩/キャップロック構造) ※設計時

トンネル名	地質構成	調査内容※
おしま 渡島 (北海道)	堆積岩類 (泥岩、砂岩、凝灰岩) (中に粗粒玄武岩が貫入)	地表地質踏査、ボーリング調査(坑口部・路線)、 弾性波探査、速度検層、現場透水試験 等
おおぬま 大沼 (北海道)	火山碎屑岩類 (安山岩溶岩、自破砕状 溶岩)	地表地質踏査、ボーリング調査(坑口部・路線)、 速度検層、弾性波探査、電気探査(2次元、IP法)、 現場透水試験 等
みやざと 宮里 (鹿児島県)	凝灰角礫岩分布域に玄 武岩溶岩が陥没構造(噴 火口)をなして分布	地表地質踏査、ボーリング調査(坑口部・路線)、 弾性波探査、現場透水試験 水文調査(3次元浸透流解析含む) 等
ほとけざかひらお 仏坂平尾 (長崎県)	堆積岩類(砂岩、泥岩) 玄武岩のキャップロック	地表地質踏査、ボーリング調査(坑口部・路線)、 弾性波探査、電気探査、現場透水試験、 水文調査 等



地質時代	地質区分	地質記号								
第四紀	現河床堆積物	r								
	低地堆積物	a								
	産雜堆積物	dt								
更新世	降下火山灰層	lto								
	玄武岩	<table border="1"> <tr> <td>溶岩</td> <td>塊状部</td> <td>Lv</td> </tr> <tr> <td></td> <td>自破砕部</td> <td>Ab</td> </tr> <tr> <td></td> <td>貫入岩</td> <td>Ba</td> </tr> </table>	溶岩	塊状部	Lv		自破砕部	Ab		貫入岩
溶岩	塊状部	Lv								
	自破砕部	Ab								
	貫入岩	Ba								
新生代	間陸堆積物3	ld3								
	スコリア層	Sc								
	間陸堆積物2	ld2								
	溶結凝灰岩	<table border="1"> <tr> <td>非~弱溶結部</td> <td>Wt(N~L)</td> </tr> <tr> <td>中~強溶結部</td> <td>Wt(M~H)</td> </tr> </table>	非~弱溶結部	Wt(N~L)	中~強溶結部	Wt(M~H)				
	非~弱溶結部	Wt(N~L)								
	中~強溶結部	Wt(M~H)								
	間陸堆積物1	ld1								
火山礫凝灰岩	Lp									
溶結凝灰岩	Wt(O)									

陥没地形の想定範囲

凡例
 ● : ボーリング位置
 — : 弾性波探査測線
 — : 計画ルート

・「陥没構造(噴火口)の分布」という特有の地質条件を考慮し、トンネルルート沿いだけでなく、ボーリング等調査を面的に実施

【トンネルの地質調査事例】

・地表地質踏査、弾性波探査、ボーリング調査を基本とし、周辺の地質・水利用条件を踏まえ、複数の調査(透水試験や電気・電磁気探査、水文調査等)を組み合わせて実施。



【その他の調査方法】速度検層、ボアホールカメラ

・城崎道路においても、地域の地質・水文等の条件を踏まえ複数の調査を実施する必要がある。

<類似地質TNの調査事例> (宮里トンネル)

出典：宮里トンネル詳細設計業務を一部加筆
(九州地方整備局鹿児島国道事務所)

2. 技術的課題への対応について (課題②二見水源地への近接)

課題の概要と直轄調査の着眼点

【兵庫県技術検討会での課題の概要】

- 二見水源地は約2,600世帯に配水している重要な水源地。
- 二見水源地とトンネルが近接(約500m)するため、**水源地の水量や水質に影響を及ぼす懸念あり。**

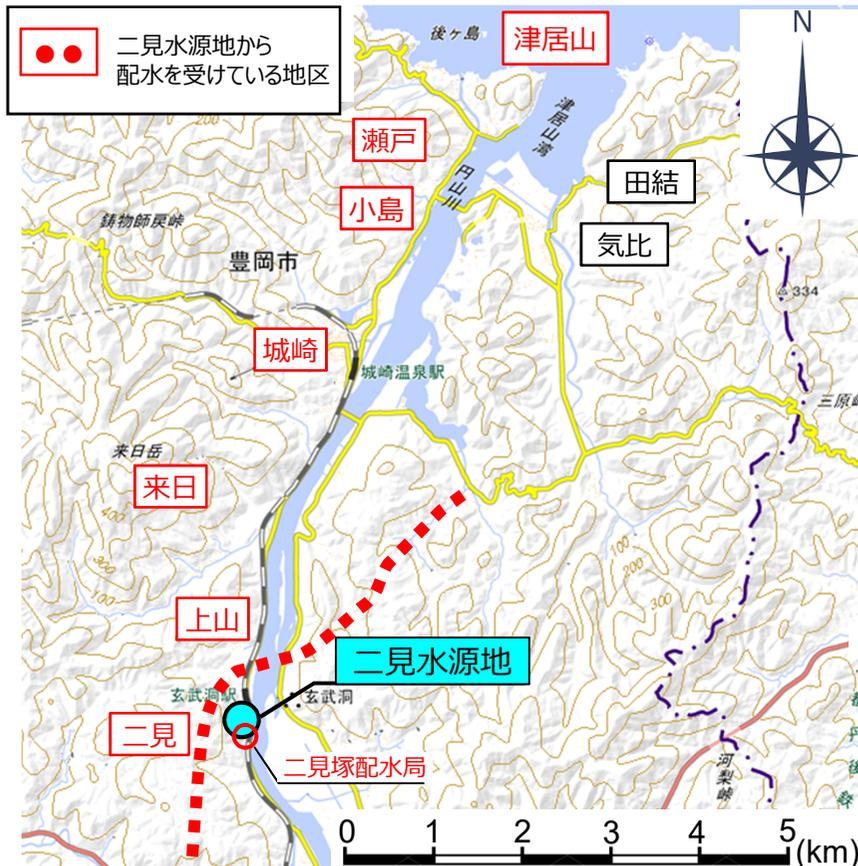
【兵庫県技術検討会での対応案】

- 水源への影響を回避するための詳細な地質調査と、高度な技術・経験を要する設計および施工対応が必要。

【直轄調査の着眼点】

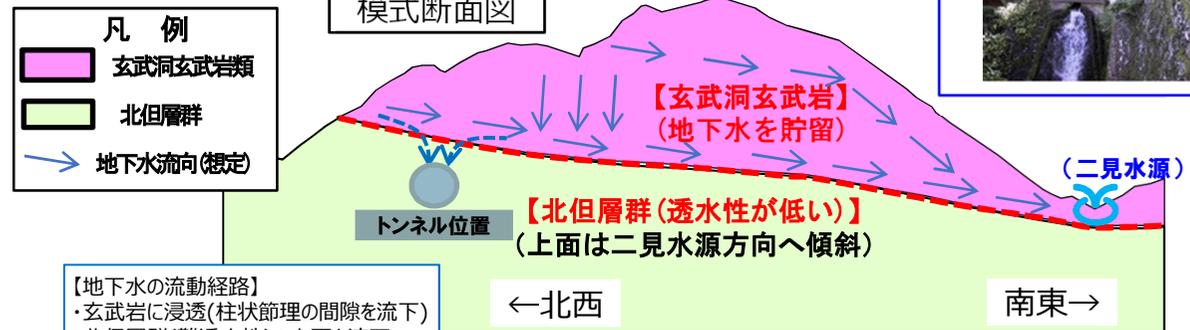
- 水理地質構造とトンネルの三次元的な位置関係が不明確であり、トンネル掘削が二見水源地にどの程度影響を与えるかが不明確なため、その調査・解析手法を検討。

＜二見水源地からの上水道供給範囲＞



出典：【配水供給範囲】城崎給水区配水系統図(豊岡市水道課)
【世帯数】豊岡市行政区別人口(令和4年9月30日時点)

＜二見水源地とトンネルの位置図＞



出典：兵庫県検討会資料に一部加筆

2. 技術的課題への対応について (課題②二見水源地への近接)

二見水源地の水枯れリスクの調査

【検討方針】

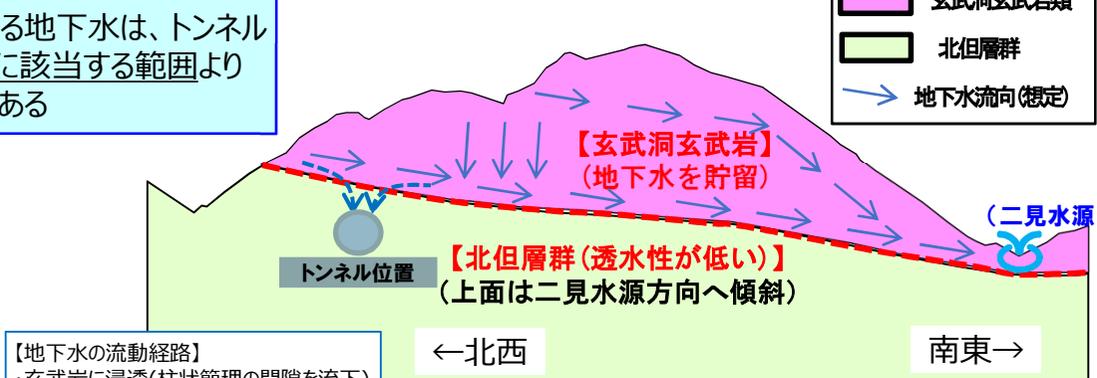
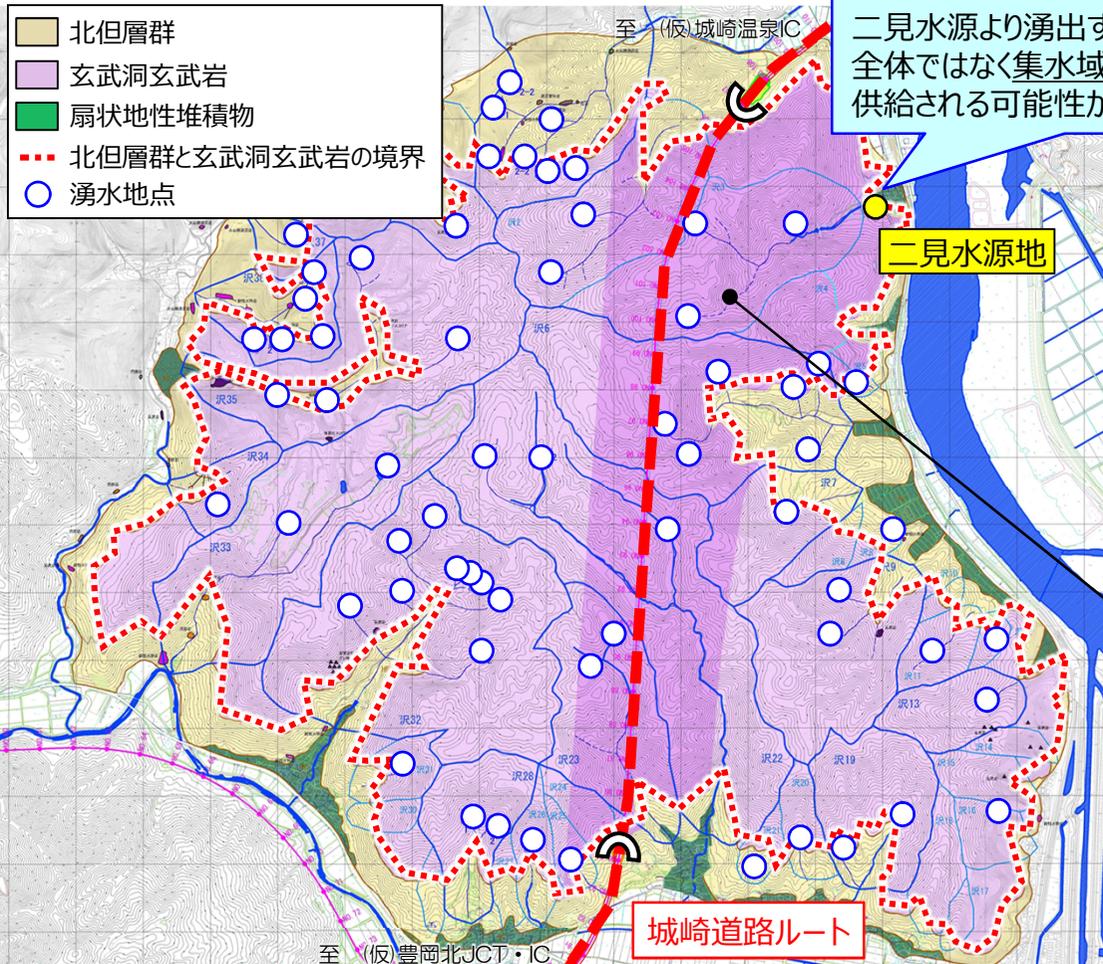
- 兵庫県技術検討会で収集整理した文献を改めてレビューし、城崎道路の想定リスクを検証。

【検討状況】

- 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。
- 二見水源への影響を検討するためには、トンネルの周辺域～二見水源へと至る水理地質構造を明らかにするとともに、その集水域を三次元的に明らかにすることが重要で、面的な地質調査(電気・電磁気探査およびボーリング調査、水文等)・解析方針を検討。

<水文地質踏査結果図> 出典：(国)178号 佐津久美浜道路水文調査業務/兵庫県(R2.9)

<想定地質断面図>



【地下水の流動経路】
・玄武岩に浸透(柱状節理の間隙を流下)
・北但層群(難透水性)の上面を流下

出典：兵庫県検討会資料に一部加筆



水源付近上流域の玄武洞玄武岩
柱状節理発達が発達し、湧水は認められない(地下へ浸透)

【二見水源湧水の湧出経路(推定)】
①降雨により浸透した地下水は、高透水の玄武洞玄武岩(左記写真)を通過
②下位の北但層群が低透水のため、浸透量は極めて少なく、地下水の大部分は地層境界面に沿って下方へ流下し流出(これが水源湧水のメイン)

地層境界と地下水分布を面的に把握し、湧水の湧出経路(水理地質構造)・集水域と北但層群内の高透水性部(破碎帯・貫入岩等)の分布解明が重要
【調査手法(案)】ボーリング調査、電気・電磁気探査、水文調査等(面的調査)

2. 技術的課題への対応について（課題③河川内における厚い軟弱地盤）

円山川渡河部の設計・施工における課題と対応の調査

【検討方針】

- 厚い軟弱地盤における調査・設計・施工の事例として、現在兵庫県が実施中の城崎大橋架け替え事業（組立台船施工、円山川渡河、かつ城崎道路と近接）がある。
- 上記事業について、問題事象の発生有無とその対応事例を収集整理。

【検討状況】

- 城崎大橋では、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たため、橋脚基礎部での鋼管矢板打設の工法を変更した。（当初：バイプロハンマー工法 ⇒ 変更：ダウンザホールハンマー工法）
- 城崎道路においても、設計段階での的確な地質条件の確認が必要。

＜城崎大橋の鋼管矢板基礎＞



出典：兵庫県提供資料

＜ダウンザホールハンマー工法に変更＞

橋脚基礎部での鋼管矢板打設の工法変更
（当初：バイプロハンマー工法 ⇒ 変更：ダウンザホールハンマー工法）



出典：兵庫県提供資料

城崎道路においても、設計段階での的確な地質条件の確認が必要。

2. 技術的課題への対応について (課題④地すべりの要因(北但層群の分布))

課題の概要と直轄調査の着眼点

【兵庫県技術検討会での課題の概要】

- ルート付近に地すべり地形(不安定域)が指摘されており、トンネル坑口部や土被りの小さい区間では、**トンネル掘削による緩みの影響で不安定化が生じる危険性がある。**

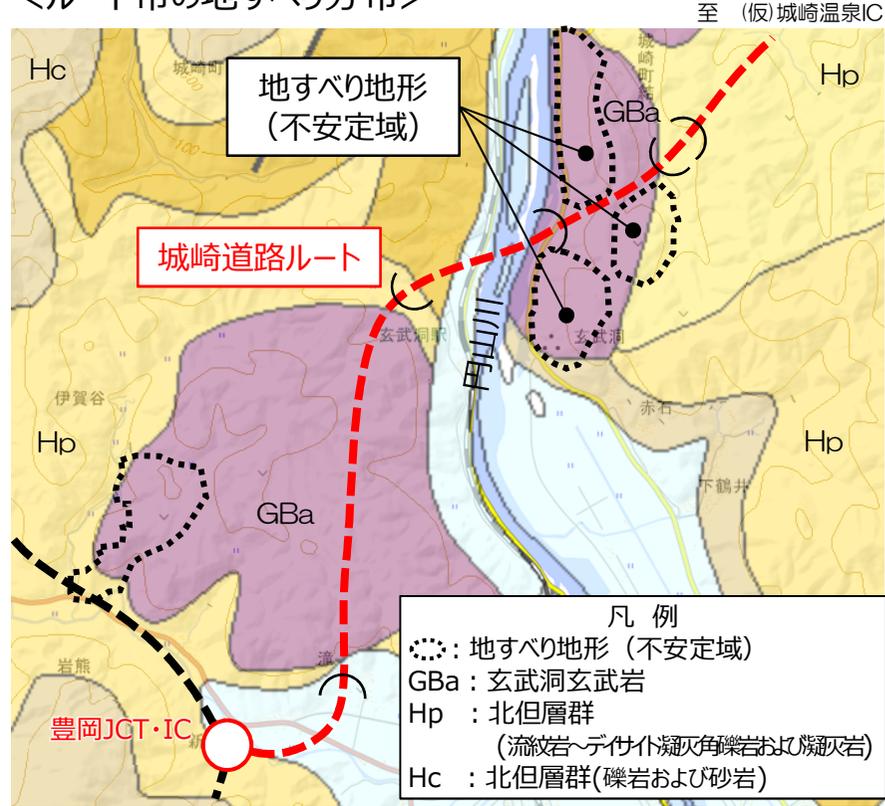
【兵庫県技術検討会での対応案】

- 施工時に地すべりに遭遇した場合の対策方法や施工管理に高度な技術力が必要。

【直轄調査の着眼点】

- 円山川右岸側のトンネル坑口部における地すべりのリスクを検討し、トンネル掘削・坑口施工における留意事項を整理。

<ルート帯の地すべり分布>



出典: 地すべり地形分布図 (防災科学研究資料)、シームレス地質図



記号	記事
	後方に滑落崖があり、移動体の輪郭が明瞭ないし判定可能
	斜面体の移動の初期状態、基岩から分離していないとしても不安定域、移動域と推定される範囲

2. 技術的課題への対応について (課題④地すべりの要因(北但層群の分布))

円山川右岸側の地すべりリスクの調査

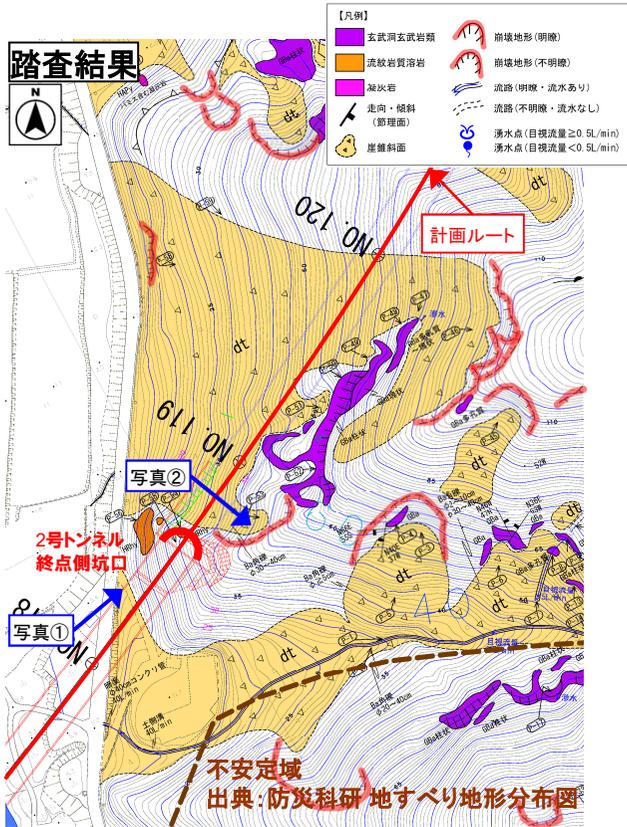
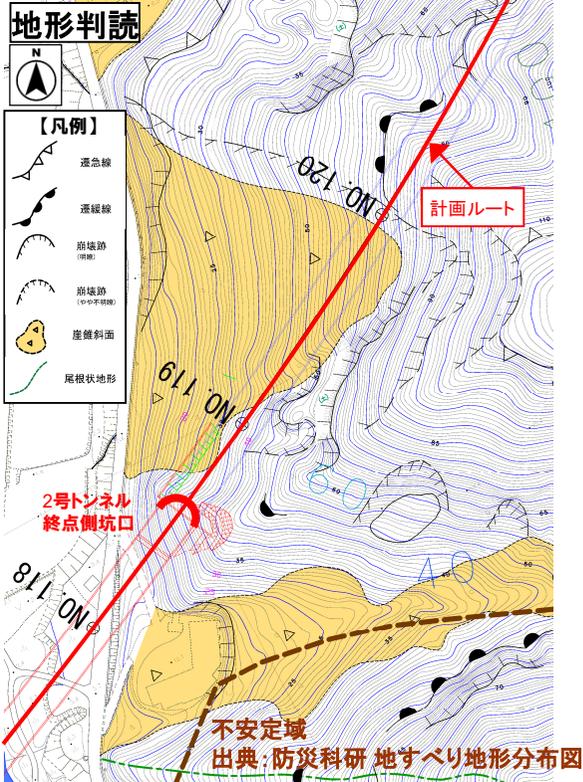
【検討方針】

- 円山川右岸側のトンネル坑口部付近に地すべり地形(不安定領域)があるかを地形判読、現地踏査により確認。

【検討状況】

- 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。坑口およびその周辺には、崩壊跡地形が多数確認される。また、坑口の北側斜面には、広範囲に崩落した岩屑～土砂からなる崖錐堆積物が分布。そのため、坑口付近の地山は、崩落を生じやすい地山条件にあり、坑口施工～トンネル掘削に伴い切羽や天端が**不安定化する可能性**が考えられる。
- 今後、兵庫県実施の道路調査資料も用いて、坑口付近の地質分布/構造、および地山の安定性を検討し、設計上の課題点を抽出。

<右岸側坑口付近の地形的特徴>



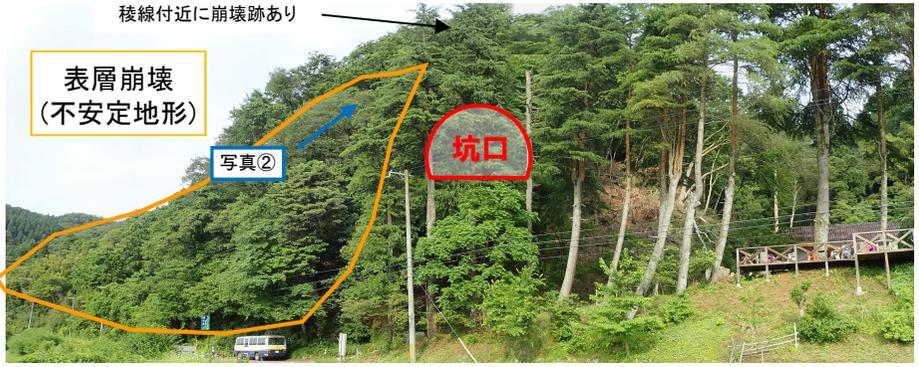
【判読結果概要】

- 坑口は急峻な斜面が発達する凸状の尾根に位置する。
- 周辺に地すべりの地形的な特徴は認められないが、多数の崩壊跡や崖錐斜面が抽出される。

【坑口周辺の地形・地質】

- 坑口付近には北但層群の流紋岩が分布
- 斜面の上部に玄武岩の急崖が分布
- 表層崩壊跡が多数認められる

① 2号トンネル終点側坑口付近全景



斜面上には表層崩壊があり、崖錐堆積物が分布する。末端部には玄武岩溶岩礫が散在。

② 2号トンネル終点側坑口上部:崖錐斜面



表層は、崖錐堆積物(土砂)で覆われている。Φ40cm程度の玄武岩溶岩礫が散在

2. 技術的課題への対応について (課題⑤地域固有の貴重な自然環境)

課題の概要と直轄調査の着眼点

【兵庫県技術検討会での課題の概要】

- 城崎道路周辺には、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。
- 「円山川水系自然再生計画」の保全・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、配慮が必要

【兵庫県技術検討会での対応案】

- 貴重な自然環境に対する負荷の少ない設計、施工が必要。

【直轄調査の着眼点】

- 地域固有の貴重な自然環境(特にコウノトリ)に対する橋梁設計・施工時の配慮事項を検討。

<コウノトリ>

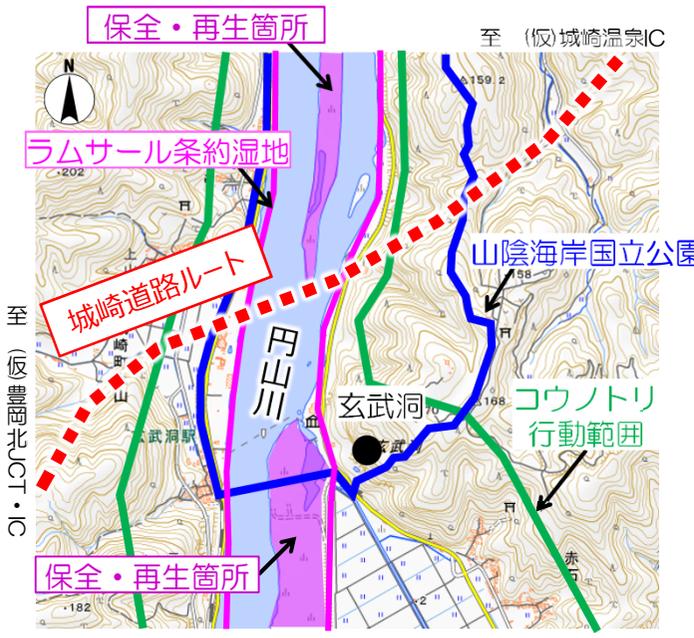


出典：ラムサール条約湿地円山川下流域・周辺水田パンフレット

<ひのそ島と城崎道路の位置関係> (自然再生計画の保全・再生箇所)



<城崎道路が国立公園内を通過>



2. 技術的課題への対応について (課題⑤地域固有の貴重な自然環境)

コウノトリへの配慮事項の調査

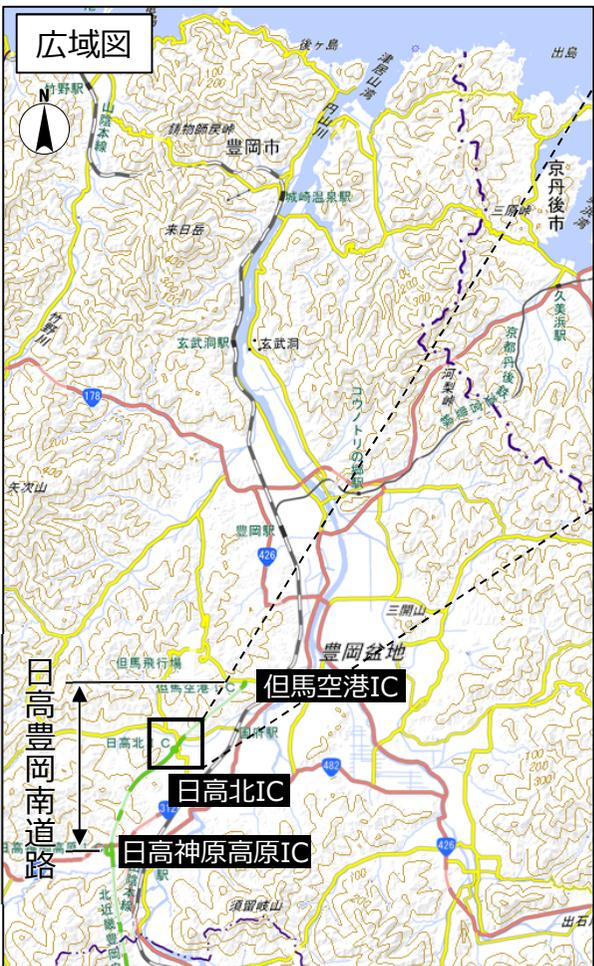
【検討方針】

- 北近畿豊岡自動車道でのコウノトリに対する対応事例について整理。

【検討状況】

- 日高豊岡南道路(八代川橋)では、コウノトリのロードキル対策として、衝突防止柵を設置。
- 城崎道路も円山川渡河部はコウノトリの行動範囲に入っているため、検討が必要。

<北近畿豊岡自動車道におけるコウノトリ対策事例>



<コウノトリ行動範囲と城崎道路の位置関係> 至 (仮)城崎温泉IC

