

# 空中物理探査を用いた地質リスクに関する 取り組み

中村河川国道事務所 調査課 山本 裕規

事業の早期整備のためには、事業費や事業工程に影響を及ぼす地質リスクを早期に把握し、適切に詳細設計や事業計画に反映させることが求められる。中村河川国道事務所では、平成30年度より地質リスク調査検討を事業推進に活用している。本論文では、既事業化区間と今後事業化を進める区間双方における、空中物理探査を用いた地質リスクに関する取り組みと今後の課題について紹介する。

キーワード 地質リスク、リスクマネジメント、空中物理探査、道路事業

## 1. はじめに

近年、各地の道路事業において、調査・設計段階で予想していなかった地質・地盤に関わるトラブルが施工段階で発生し、工事費の増加や供用開始時期の遅延が報告されている<sup>1)</sup>。また、学会や各地方整備局で地質リスク調査検討業務が試行され、令和2年3月には、「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」が策定されるなど、道路事業において地質リスクマネジメントが進められている<sup>2)</sup>。

中村河川国道事務所では、平成30年度に佐賀大方道路事業（延長14.0km）において、地質リスク調査検討業務を四国地方整備局で初めて実施した。地質リスク調査検討業務を実施する中で、計画路線全体の地質リスクを抽出することができ、対応が必要なリスクを明確にすることができた。また、地質リスクの情報を調査・設計業務と共有することで、複数の業務を円滑に進めることができた。しかし、初期段階での地質リスク評価は地表地質踏査による地質の平面分布とボーリングによる点の情報からの評価であり、3次元的地質情報が不足していたことから、路線全体でみた場合、評価に用いる情報の精度に課題があった。そのため、広域の3次元的信息を得ることができる空中物理探査を用いて地質リスク評価を行った。なお、空中物理探査は、既事業化区間の佐賀大方道路、大方四方十道路および事業化に向けて検討を実施している宿毛〜一本松区間について実施し、地質リスク調査検討に活用した（図-1）。

本論文では、これら空中物理探査を用いた地質リスクに関する取り組みについて紹介する。



図-1 事業位置図

## 2. 地質リスク評価の概要

地質リスクの評価（リスク分析）は、リスク要因の「結果の大きさ：影響度」と「起こりやすさ：発生確率」を組み合わせたリスクランクとして表される（表-1）。佐賀大方道路では、平成30年度に地質リスクの評価を行い、リスクランクを、表-2に示す3段階で評価している。

表-1 リスクランク設定の事例<sup>3)</sup>

		発生確率		
		小	中	大
影響度	大	B	B	A
	中	C	B	B
	小	C	B	B

表-2 リスクランクの判定基準<sup>3)</sup>

リスクランク	リスクランクの対応方針
A	リスク低減 (詳細な地質調査を実施して、完全なリスク低減対策を講じるべきリスク事象)
B	リスク低減 (地質調査を行い、調査結果に応じた適切なリスク低減対策を講じるべきリスク事象)
C	リスク保有 (リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを留保することが可能な事象)

地質調査結果等から、道路構造物毎に影響度と発生確率による評価を行い、リスクランクや今後の対応方針をリスク管理表に整理する。このリスク管理表を確認することで、各構造物で対応が必要な地質リスクと対応方針を確認することができる。2年目以降は、地質調査や設計での対応状況を確認の上、リスクランクの見直しを行っていく。地質リスク調査検討の内容は、令和元年度の報告<sup>4)</sup>に詳細を示しているので参照されたい。

### 3. 空中物理探査

#### (1) 空中物理探査

空中物理探査は、ヘリコプターやドローンなどを用いて空中から探査を行う手法である。本事例では、空中物理探査手法のうち、空中電磁探査を実施した。空中電磁探査は、地盤内の比抵抗（電気の流れにくさ）を把握し、結果を3次的に解析することで、地質構造を推定する手法である。ヘリコプターから直径 8.6mの発信ループと受信コイルを曳航し、深度 200mまでの比抵抗値を測定することができる。測定は、発信ループから電磁波を流し、急激に変化する2次磁場の発生から減衰までを、磁気センサーと呼ぶ筐体の中に装備したコイルで連続的に測定する（図-2）。ヘリコプターで飛行した測線直下の比抵抗値を得ることができ、計画路線に平行に複数の測線で計測し、解析することで広域の3次的な地質情報を把握することができる。そのため、今後 BIM/CIM への適用も可能な手法である。

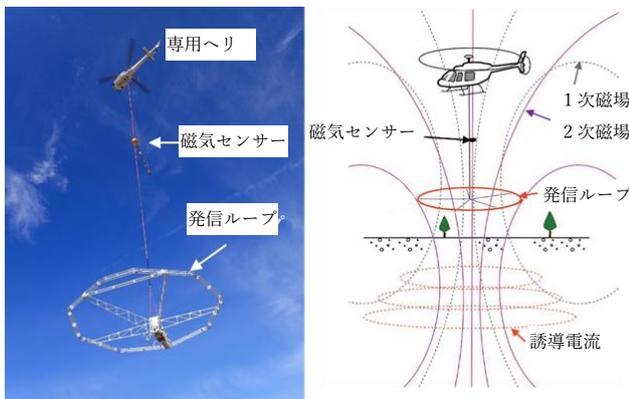


図-2 探査状況（左）と測定概念図（右）

#### (2) 適用条件

空中電磁探査は、ヘリコプターおよび電磁波の発信機・測定器等を使用するが、これらの使用にあたり、以下の条件に留意する必要がある。

##### a) 許認可関係

飛行にあたり、以下の手続きが必要となる。

- ①土地<sup>1)</sup>使用許可：ヘリポートおよび測定器の発信源の設置箇所として、50m×50m程度の敷地が必要となる。
- ②消防法による航空燃料貯蔵許可：飛行は、複数日にわたることが多いため、航空燃料を貯蔵する必要がある。
- ③航空局申請：航空法に基づき、飛行場外離着陸許可や最低安全高度以下の高度での飛行許可が必要となる。
- ④関係法令許可：国立公園等を飛行する場合は、飛行許可も必要となってくる。今回の飛行では該当しなかった。
- ⑤関係機関への周知：ヘリコプターは、上空 100mを飛行し、地上から目視で視認可能であるため、関係機関（住民、市町村、警察等）への十分な周知が必要である。

##### b) 測定範囲

取得するデータが比抵抗値であるため、調査範囲内に送電線がある場合には、送電線を避けたルートを選定する必要がある。また、人家密集地が存在する場合には、原則として飛行許可が下りないため直上の調査は不可能となる場合がある。今回の調査においても、一部区間において送電線や人家密集地が存在したため、測線を変更して測定した。

#### (3) 比抵抗値と地質リスク要因の関係

比抵抗値は、岩石の種類、間隙率や水の飽和率によって変化するため、それらを解釈することで、地下水分布や風化の程度、断層分布などの地質リスク要因を推定することができる（表-3）。

表-3 比抵抗値と地質リスク要因の関係

リスク要因	低比抵抗	高比抵抗
①地下水	あり(飽和)	
②風化		あり (空気を含む割れ目)
③断層	あり (水分を含む粘土状)	
④地質	頁岩(泥岩)	砂岩

地下深部まで低比抵抗が確認された場合には、粘土状の断層の可能性があり、地質の分布とあわせて断層の有無について評価する必要がある。トンネル区間で断層が推定される場合には、切羽の崩壊等の地質リスクが発現する可能性がある。また、地表部に高比抵抗が確認された場合には、風化した岩盤の可能性があり、地形的な考察をあわせ、地すべりやゆるみ岩盤の可能性を評価する必要がある。切土やトンネル坑口部で、そのような高比

抵抗部が確認された場合は、地すべりや斜面崩壊の地質リスクが発現する可能性がある。

#### 4. 空中物理探査の地質リスク評価の事例

##### (1) 佐賀大方道路区間でのリスク評価の事例

佐賀大方道路区間では、平成30年度より地質リスク評価の他、地質調査や予備設計に着手している。一定の地質情報は得られているが、長大トンネル区間等では、坑口部の調査と道路縦断沿いの弾性波探査しか実施されていない状況であった。そのため、空中電磁探査を実施することにより、3次元的地質リスクの精度向上を図った。

図-3にKトンネル（全長2,100m）のトンネル縦断図を示す。上段は、平成30年度に実施した弾性波探査による速度層断面図、中段は、地表地質踏査より推定した地質断面図、下段は、今回の空中電磁探査による比抵抗縦断図を示している。

弾性波探査では、一部で速度層の垂れ下がりによる断層が推定されるが、不明瞭であり、地質断面図においても断層の分布は推定されていなかった。

下段の空中電磁探査をみると、低比抵抗帯が3つ確認される（図-3の①～③）。深部まで低比抵抗が認められる箇所は、地下水が多量に存在するか、断層破碎帯（粘土状）が想定される（表-3）。上段の弾性波探査結果をみると、速度層の落ち込みと概ね一致することから、断層破碎帯が分布する可能性が高いと評価される。

断層破碎帯が推定されるトンネル区間では、トンネル設計・施工時には、断層破碎帯からの突発湧水や切羽崩壊の地質リスクの発現が懸念され、対応として設計時には、支保パターンを検討に留意が必要である。また、施工時には、先進ボーリングの実施による地下水位の低下や地質状況の確認等、断層の地質リスクに備えた施工方法に留意が必要である。

以上のように、広域的な空中電磁探査を実施することにより、弾性波探査未実施の区間においても、事前に断層破碎帯リスク等が抽出可能と考えられる。

##### (2) 大方四万十道路区間でのリスク評価の事例

大方四万十道路区間は、平成31年度に事業化され、空中電磁探査実施時には、地質調査は未実施であった。大方四万十道路の一部区間では、文献調査（大方町史）により、銅鉱山跡の存在が把握されていた。いくつかの坑道跡（出入口）は把握されていたが、坑道の分布や空洞の有無が不明であり、これらの空洞によって、施工時の空洞の出現や、未発見による開通後の道路陥没の発生などの影響が懸念された（写真-1）。



写真-1 坑道跡の写真

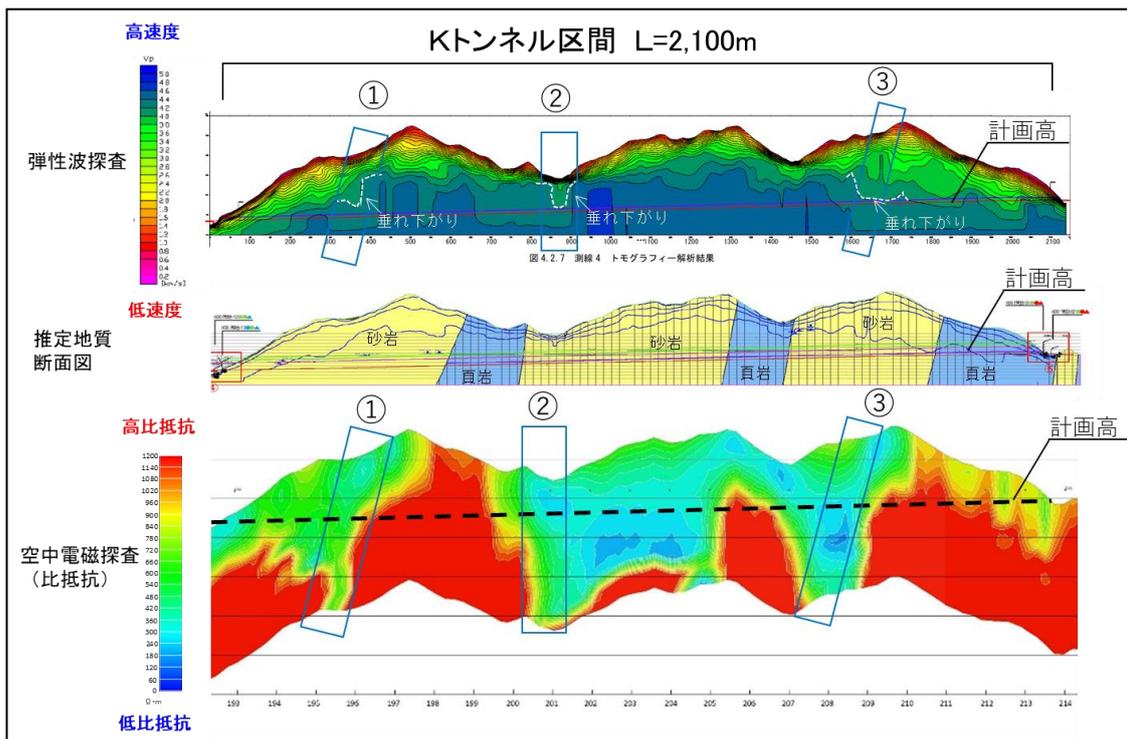


図-3 Kトンネル区間における弾性波探査・空中電磁探査結果図

坑道跡の出入り口から確認された空洞は、人が入れる程度の大きさであり、空中からの電磁探査では、検出精度に課題があるため、直接坑道跡や空洞を把握することは困難であった。しかし、空中電磁探査の結果から、坑道跡に沿って、低比抵抗帯の分布が確認できた（図-4）。低比抵抗帯は、頁岩層あるいは断層の存在が推定される。「銅の鉱床は、頁岩の層理面沿いに濃集しやすい」という地質的な特徴を考慮すると、今回確認された低比抵抗帯上に、鉱床分布および空洞も分布することが想定される。これらの結果から、低比抵抗帯上を中心に、今後ボーリング調査や地中レーダ探査などの後続調査を実施し、必要な対策を検討する予定である。

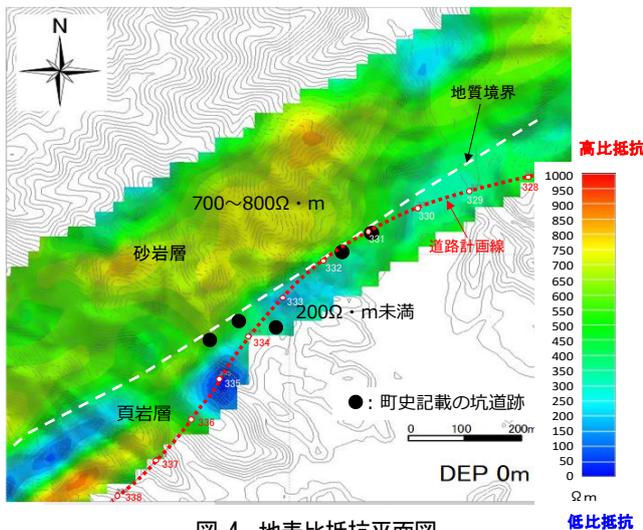


図-4 地表比抵抗平面図

## 5. おわりに

### (1) 空中電磁探査を活用した実施効果と留意点

本論文で報告した空中電磁探査の事例は、一部であるが、空中電磁探査を用いることで、広域的、3次元的な地質リスクの把握につなげることができた。特に、調査が乏しい区間または調査未実施の区間において、断層破碎帯等、規模の大きな地質リスクを把握することができることは、漏れのない地質リスクの抽出につながるものと考えられる。また、現地に立入ることなく、広域での3次元的な地質情報を得ることができるという利点は、事業構想段階または事業初期段階の調査手法としては有効であると考えられる。

一方、空中電磁探査は、空中からの探査であるため、その適用にあたっては、地質リスクの抽出の精度に留意が必要であるため、地形判読や地表地質踏査と併用して精度を向上することが望ましい。また、人家密集地や送電線近接箇所では、欠測区間がでてしまうため、測線を変更して測定を行い、地形判読結果から路線上の地質リ

スクを類推する等の対応を行う必要がある。

近年、ボーリング柱状図等の地盤情報のデータベース化が進められ、インターネットで公開されている。このような公開データも活用することで、評価精度の向上を図ることが可能である。

### (2) 空中物理探査の活用について

中村河川国道事務所では、道路事業において空中物理探査を活用した地質リスク検討を実施した。

空中物理探査を活用することで、地表地質踏査とボーリング調査で不明確であった断層破碎帯の分布を把握することができ、広域的、3次元的に地質情報を把握できる空中物理探査の有効性を確認することができた。

空中探査を先行して実施すれば、広域的に3次元の地盤情報を把握でき、ポイントを絞った地表地質踏査やボーリング調査など、有効的な後続調査の立案を行うことができると考えられる。

今後は、空中物理探査を先行させた区間について、空中物理探査により予察的に把握した地質リスクを地表地質踏査やボーリング調査により確認し、詳細な地質リスクの評価を実施する予定である。

### (3) 地質リスク検討における今後の課題

これまで実施してきた地質リスク評価を記録に残し、設計及び工事の担当者と共有し、引き継いでいくことが重要である。また、事業進捗にあわせて地質リスク評価を見直していき、リスクを改善する地質リスクマネジメントを継続的に実施していきたい。

最後に、佐賀大方道路区間は、今後、工事施工段階に入り、先行して事業が進んでいく。引き続き、事業進捗にあわせた地質リスクの検討に取り組み、佐賀大方道路で得られた知見を隣接の事業化区間や事業化に向けて検討を実施している区間へ展開していくことで、事業全体のリスク低減につなげていくことが必要と考えている。

### 参考文献

- 1) 福岡地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する検討委員会（国立研究開発法人 土木研究所）：福岡地下鉄七隈線延伸工事現場における道路陥没に関する検討委員会報告書（平成29年5月）
- 2) 国土交通省技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン-関係者がONE-TEAMでリスクに対応するために-」（令和2年3月）
- 3) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会：2016改訂版地質リスク調査検討業務発注ガイド（平成28年10月）
- 4) 山本裕規：佐賀大方道路の地質リスクに関する取り組み、令和元年度 四国地方整備局管内技術・業務研究発表会論文集

