

水窪佐久間道路における地質リスク検討について ～地質リスクを見逃すな！！～

河田 祐奈¹

¹岐阜国道事務所 工務課 (〒500-8262 岐阜市茜部本郷1-36-1)

近年、道路事業の施工や維持管理段階で生じるトラブルの多くが地形・地質に起因しており、これらが事業費や工事期間の大幅な増大など、事業推進に大きな影響を与えている。三遠南信自動車道では、中央構造線に近接することから、破碎帯をはじめとした脆弱な地質への対応が事業推進への大きな課題となっている。この課題に対し、事業の早期段階から地質リスクを抽出し継続してマネジメントすることで、地質に起因するリスク回避の機会が飛躍的に増大すると考える。ここでは水窪佐久間道路の事業初期段階における地質リスクマネジメントの適用結果と今後のマネジメント手法について報告する。

キーワード：地質リスク、リスクマネジメント、道路事業、施工箇所変更

1. 水窪佐久間道路の概要

平成31年4月に事業化した水窪佐久間道路は、長野県飯田市から静岡県浜松市に至る三遠南信自動車道の一部を構成する道路(図-1)で、災害時に信頼性の高い道路ネットワークの確保、地域医療サービスの向上等の整備効果が期待されている。中央構造線に併走する本道路は、全体の約8割が山岳トンネ

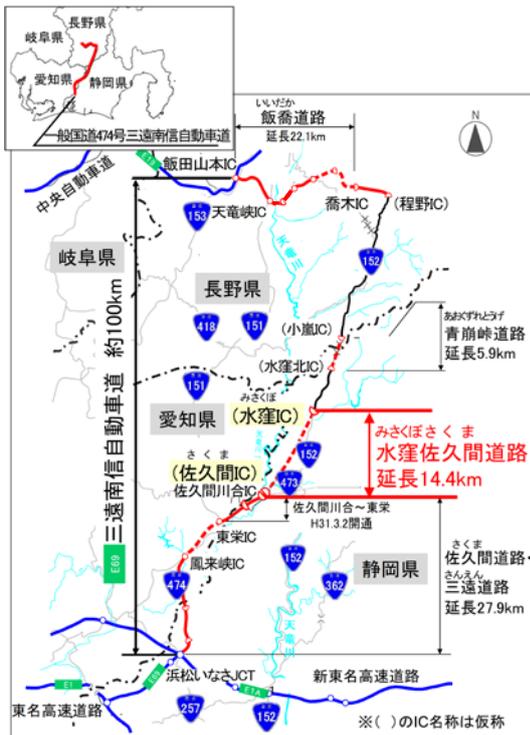


図-1 位置図

ル区間で、比較的地質条件の良い内帯側(領家帯)に計画されているが、周辺は天竜峡花崗岩及び領家変成岩類からなる急峻な斜面が形成されており、現道沿いでは地すべりや崩壊、落石等の斜面災害が比較的多く発生している状況にある(図-2)。このため、期待される整備効果発現については、地質リスクへの対応が重要となる。

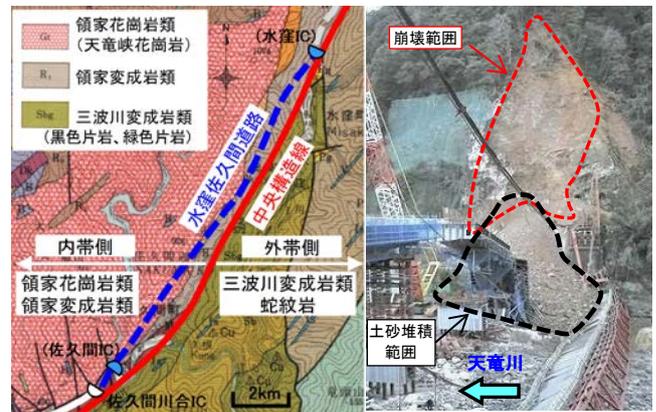


図-2 計画路線沿いの地質と現道沿いの斜面災害
(右写真：H27.1岩盤崩壊による原田橋の崩落)

2. 地質リスクの抽出

事業初期段階の地質リスク検討では、「漏れの無い地質リスクの抽出」¹⁾が重要となる。一方で本道路が中央構造線に近接する急峻な山岳地において14.4kmの延長を有することから、地質リスク源(地形地質特性)も多岐に渡ることが想定された。そこで、事前に資料調査・地形解析及び予察踏査を行い、重

要な地質リスク源を抽出した上で詳細な地表地質踏査を実施した（図-3）。また、近接目視困難な急崖におけるリスクの見落としの回避や設計見直しにつながる可能性のある重要なリスク源と計画の関係性を把握するため、広域に適用でき、かつ経済性に優れたクライミング調査や比抵抗二次元探査などの補足調査を実施した。これらの結果と地域の特性（資料調査の結果）を踏まえることで、計画路線沿いに潜在する地質リスクの把握に漏れが無いように留意した。

地質リスク抽出の結果、水窪佐久間道路の当初計画に潜在する地質リスクは100箇所以上に上り、これらを想定される事象ごとに大別して整理を行った（図-3）。

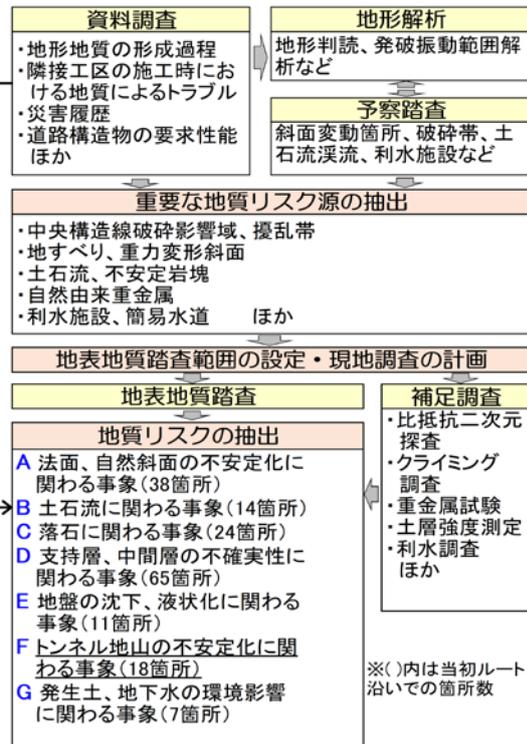


図-3 地質リスク抽出の流れ

以下に抽出された地質リスクのうち、特に重要な地質リスクについて概説する。

(1) 中央構造線の破砕影響域

中央構造線は内帯・外帯側に幅数百mの破砕影響域を伴い、その分布範囲では中央構造線に沿った方向の破砕帯、及び擾乱帯と呼ばれる褶曲、小断層の発達する岩盤劣化帯も確認されている。すでに供用中の隣接工区では、路線に平行な破砕帯に起因した側壁の押し出しによりトンネル支保が変形した事例が発生している。このような事象を避けるべく、当初計画は空中電磁探査等により破砕影響域の分布範囲を推定し、中央構造線破砕影響域を避けたルートが設定されていた。そこで、想定分布範囲の精度向上を目的に、沢部を中心とした詳細な破砕影響域追跡踏査を行い、分布範囲について照査を行った。そ

の結果、中央構造線破砕影響域の分布範囲が当初計画の想定よりも広範囲に分布することが想定され（図-4、図-5）、一部のトンネルにおいて、長区間にわたって施工時の支持力不足や切羽・天端の不安定化、側壁の押し出し等が懸念された。

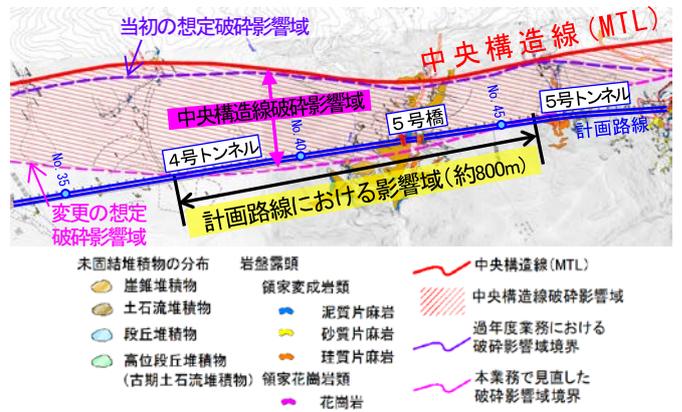


図-4 中央構造線破砕影響域の評価

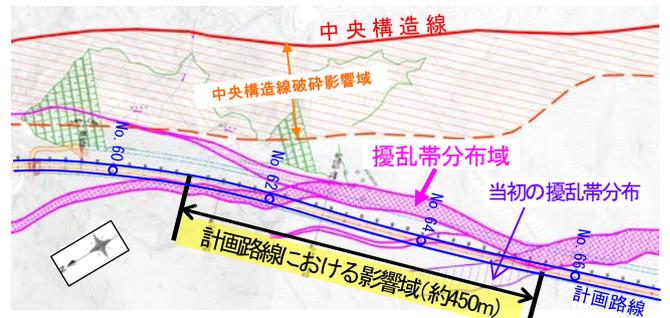


図-5 擾乱帯分布の評価

(2) 地すべり、重力変形斜面

計画路線周辺の岩盤崩壊は凸型の緩んだ尾根斜面で比較的多く発生していることから（図-2参照）、地形判読や予察踏査を実施し、地すべりに加えて重力変形斜面の抽出を行った。その結果、トンネル坑口付近で大規模な地すべりブロックが確認されたことから、リスク評価に必要な地すべりの規模・安定性を把握するため、詳細踏査に加え比抵抗二次元探査を実施した（図-6）。調査の結果、地すべりブロック層厚は20~25mと想定され、トンネルと地すべりブロックとの位置関係から、トンネル施工による地すべり活動の誘発とこれに伴うトンネルの損壊、隣接する河道閉塞等が懸念された。また、地すべり活動に対する必要抑止力は7,680kN/mと試算され、大規模な対策となることも想定された（図-7）。

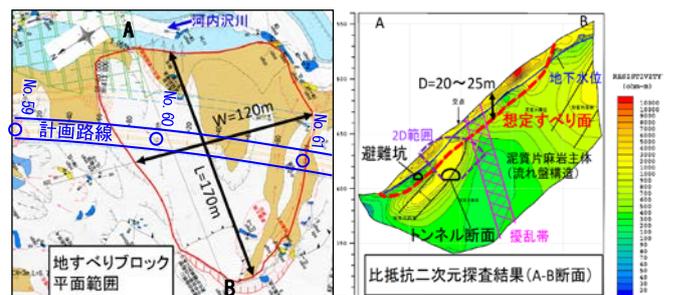


図-6 地すべりの平面範囲と比抵抗二次元探査結果

- (a) $P < 2,000\text{kN/m}$ ……地すべり対策工で抑制、抑止可能である。
- (b) $2,000\text{kN/m} < P < 4,000\text{kN/m}$ ……大規模土工（大幅な排土、押え盛土工）や大規模な抑止工（シャフト工やアンカー工）あるいはこれらの組合せで抑制、抑止できる場合もある。
- (c) $4,000\text{kN/m} < P$ ……通常考えられる対策工では抑制、抑止は困難である。

図-7 地すべり地で路線を通過させるか否かの判断の目安（「道路土工 切土工・斜面安定工指針」より）

(3) 土石流

計画路線は複数の溪流を横断し、特に北部域の溪流の多くが土石流危険溪流等に指定されている。一部のトンネル坑口では、現河床との高さ関係や上・下流部の流出土砂や流木の状況などから、土石流による計画路線への土砂の流入が懸念された（図-8）。



図-8 土石流による土砂流入が懸念される箇所

(4) 不安定岩塊（落石、岩石崩壊）

浮石・転石の安定度調査の結果、多くの坑口や土工区間で落石の発生が懸念される箇所が確認された。また、広範囲の落石堆積物（礫が緩詰め状態で堆積）の分布により、切土法面の不安定化等が懸念される箇所も確認された。花崗岩分布域では落石の発生量が多く、対策施設の維持管理上の課題も挙げられる（図-9）。



図-9 現道沿い防護柵背後の落石の堆積状況(上)と切土区間の落石堆積物(下)の状況

(5) 自然由来重金属

露頭試料を対象とした重金属調査の結果、泥質片麻岩や破碎帯、熱水変質帯（花崗岩分布域）で採取した試料の一部で溶出量基準値を超過する砒素等が確認された。そのため、トンネル湧水や発生土からの重金属溶出が懸念される。

3. 地質リスク基準の設定

抽出した各地質リスクへの対応（回避、低減、保有）を決定するため、地質リスクを「影響度」と「発生確率」によって評価するマトリクスランク表を作成した（表-1）。

表-1 マトリクスランク表

		発生確率		
		低い	中程度	高い
影響度	非常に高い	A	A	AA
	高い	B	A	A
	中程度	B	B	A
	低い	C	B	B

AA	線形変更等によりリスクを回避することが望ましい事象
A	詳細な地質調査を実施して、完全な対策を講ずべき事象
B	地質調査等を行い、結果に応じて適切なリスク低減対策を講ずべき事象
C	施工段階へリスクを保留することが可能な事象

影響度の評価については、評価の基本項目を〔コスト〕、〔期間〕、〔安全〕、〔環境〕とし、コストや期間については影響度「低い」～「非常に高い」に応じてそれぞれ基準値を設定することで定量的な評価を行った。各基本項目の評価において最も高い影響度を当該リスクの影響度とした。

発生確率は、地形要因や地質要因、地下水要因、履歴等のそれぞれの要因が相互に関連しているため、各項目の評価結果に基づき総合的に評価するものとした。これらに基づき、抽出したすべての地質リスクに対してリスクランクを設定した（表-1）。

影響度と発生確率の評価表の例（トンネル地山の不安定化を例示）をそれぞれ表-2、表-3に示す。

表-2 影響度評価表（「トンネル地山の不安定化」の例）

		影響度			
		低い	中程度	高い	非常に高い
コスト	破砕帯の延長は数m以下で、支保パターンの大幅な変更等はない。	破砕帯の延長が10m以上に及ぶ。支保パターン変更等による増加費用1000万円以上（CI～CII地山⇒DI～DII地山）	破砕帯の延長が30m程度以上に及ぶ。支保パターン変更や補助工法の追加等による増加費用1億円以上（CI～CII地山⇒DI～DII地山、補助工法追加）	破砕帯の延長が350m程度以上に及ぶ。支保パターン変更や補助工法の追加等による増加費用10億円以上（CI～CII地山⇒DI～DII地山、補助工法追加）	
	現場対応が可能なもの 軽微な追加対策で対応可能なもの（対応期間：1ヶ月以内）	支保パターンの変更などで対応可能なもの（対応期間：1年以内）	支保パターンの変更や補助工法の追加、及び調査・各種検討の実施により、1年前後以上の工事の遅延。	大幅な工事の遅延が生じることから路線計画の変更が必要となるもの	
周辺環境への影響（突発湧水時）	準備した湧水処理施設で処理可能な湧水の発生	準備した湧水処理施設を一時的に上回る湧水の発生	準備した湧水処理施設を継続的に上回る湧水が発生し、周辺環境（河川、利水施設等）に影響を及ぼす。	—	

表-3 発生確率評価表(「トンネル地山の不安定化」の例)

	発生確率		
	低い	中程度	高い
破砕・変質の程度	[1]多亀裂※ ¹⁾	[2]多亀裂～細片状※ ²⁾	[3]細片状～粘土状
破砕帯の構造 (計画路線との平面交差角)	[1]高角度交差(90°～60°)	[2]中角度交差(60°～30°)	[3]鋭角交差(30°以下)
高圧・大量湧水の可能性	[1]水圧0.1MN/m ² 以下、または、湧水量0.05m ³ /分以下	[2]水圧0.1～1MN/m ² 以下、または、湧水量0.05～0.5m ³ /分	[3]水圧1MN/m ² 以上、または、湧水量0.5m ³ /分以上
膨潤性粘土鉱物の有無	[1]殆ど含まれないと推定される。	[2]含まれると推定される。或いは未詳。	[3]多量に含まれる可能性有り。
地山強度、土被り	[1]塑性土圧発生の可能性は低い(地山強度比:4以上)。	[2]軽微な塑性土圧発生の可能性あり(地山強度比:4～2)。	[3]塑性土圧発生の可能性あり(地山強度比:2以下)。

4. リスク対応

AAランク及び一部のAランクの地質リスクに対しては施工箇所変更でリスクを回避し、それ以外のは後続の地質調査や対策工検討等を通じて事業の各段階で不確実性を含めたリスクの低減を図る方針とした(表-4)。

表-4 本事業におけるリスクランクと対応方針

対応	リスク	想定事象と対応方針	発現事象の例
回避	AA	事象が発現した場合、通常計画可能な構造物や対策工による対応が困難である。通常容認される以上の事業費がかかる。 → 施工箇所変更により回避 *	・大規模地すべりが発生し、通常の対策工での対応が困難になる。 ・破砕帯が長区間にわたり、補助工法の追加等で大幅な事業費の増加、工事遅延が発生。
低減	A	事象が発現した場合、構造形式の変更が必要となる場合や、安全性が著しく低下する可能性がある。 → 施工箇所変更や構造変更で回避 → 或いはリスクを低減 → 詳細な調査を実施して、完全なリスク低減を実施	・支持層が予定より深く基礎形式が変更となる(基礎形式や施工手順の大幅変更)。
	B	事象が発現時、軽微な追加対策や、対策範囲の変更により対応可能。 → 通常の地質調査を行い、調査結果に応じて対策工を検討	・施工時の発破振動等で道路・現道に落石が発生し、別途落石対策が必要となる。
保有	C	事前の低減対策等の必要性が低い ため、施工段階や維持管理段階にリスクを保有。	・切土法面からの湧水が認められたため、水抜きを実施。

※重金属に関わるリスクについては、重金属を含有すると推定される地質が広範囲に分布し、現時点では回避が困難と考えられるため、事業の早い段階から対応検討を進める方針とする。

施工箇所変更の検討に際しては、発注者、地質技術者、設計者間で設計見直し前後の地質リスクを整理したリスク比較表を用いて施工箇所変更の効果を相互に調整しながら検討を進めるとともに、変更施工箇所に対してもリスク抽出・評価、対応検討を繰り返すことでリスクの低減を図る方針とした(図-9)。

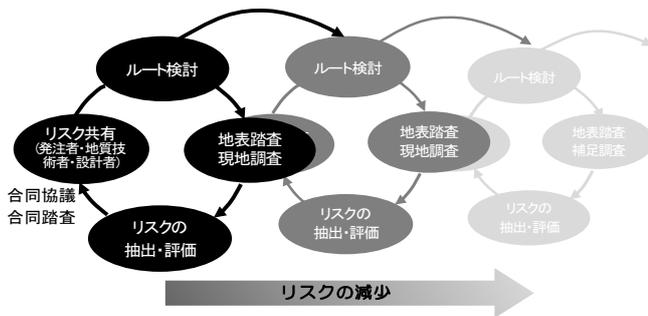


図-9 反復評価によるリスクの低減

事業初期段階において、これまで述べてきた通り、地質リスク検討を実施してそれを設計に反映させることで、大規模な追加対策費と工程遅延が懸念されるAAランクの地質リスクの回避が可能となるとともに、Aランクの地質リスクの大幅な減少も期待される。

5. 今後のリスクマネジメント手法

今後、計画路線沿いに残存する地質リスク(A,Bランク)に対して、リスク評価に基づく詳細な地質調査や対策工の設計・施工の実施、及びこれらによるリスクの再評価・対応検討を繰り返すことで事業全体が抱える地質リスクの影響は徐々に抑制され、さらなる事業全体のコスト縮減や事業工程の遅延回避が可能になると考えられる。また、このようなリスクマネジメントの記録を引継ぐことにより、維持管理段階における地質リスクの低減も期待できる。

上記を事業の各段階で的確かつ継続的に進めるためには、地質リスクに応じた後続調査計画の立案や事業の各段階でのリスクの引継ぎ、当該事業に即したリスクマネジメント手法の体系化が求められる。

(1) 地質調査計画の立案

当該計画路線で残存する地質リスクに対し、現段階のリスクランクや地質評価の不確実性を考慮した地質調査計画(予備設計段階)を立案した。計画の立案の際には、リスクランクと地質評価の不確実性、事業工程を考慮し、地質調査の優先順位を設定した。

(2) リスク引継ぎ管理表の作成

ここでは各事業段階でのリスク評価やリスク対応、地質評価上の課題等を後続段階に引き継ぐための管理表を作成した(表-5)。これにより前段階のリスク評価に基づいた計画や対応方針の立案等が可能となる。また、事業初期段階では地質リスクに関わる地質評価そのものの不確実性が相対的に高いが、管理表に地質評価上の課題や未調査項目等を記録し、後続段階でフィードバック(追加調査、詳細調査等の実施)することで、事業の進展に合わせて地質評価の不確実性も低減すると考えられる。さらに、施工時に発現した地質リスクとその措置を記録に残すことで維持管理段階での有効活用も期待できる。

(3) 地質リスク対応マニュアルの策定

本事業の各段階における地質リスクマネジメントを的確かつ継続的に進めるために下記項目を取りまとめたリスク対応マニュアルを策定した(図-10)。

- ・ マネジメント目標
- ・ 前段階のリスク評価に基づく調査・設計・施工計画の進め方
- ・ リスクの再評価、リスク対応の方法
- ・ 関係者間での情報共有の内容と時期
- ・ リスク引継ぎ管理表の運用方法 など

表-5 地質リスク引継ぎ管理表（一例）

		No59+90切土	7号トンネル
地質リスク検討段階	リスク源	流れ盤亀裂の発達した緩み岩盤、擾乱帯の分布	未固結堆積物、低土被り、偏圧地形
	事象・結果	すべり破壊による切土変状、崩壊	天端崩壊、断面変形、L側斜面不安定化(保全対象への影響)
	リスクランク	A	A
地質調査段階	地質評価上の課題	風化性状、緩み範囲、地質構造の変化等が未詳	未固結層性状、基盤岩との境界形状、地下水位状況が未詳
	調査計画	(予)オールコアボーリング2箇所、ホアホールカメラ、弾性波探査、岩石試験 (詳)ボーリング1箇所(起点側)	(予)ボーリング4箇所、標準貫入試験、室内試験(粒度・含水) (詳)ボーリング2箇所、孔内水平載荷試験
	調査結果	当初想定よりも風化帯は薄く、幅の広い破砕帯も確認されない。	強度の低い未固結層がトンネル断面～天端付近、隣接斜面に分布していることを確認。
	リスクランク	B	A
設計段階	地質評価上の課題	(予)表層に開口岩盤の分布が予想され、法面対策必要。	(予)終点側で基盤岩境界の不陸が大きく、詳細確認必要。
	リスク対応	表層付近の風化帯の崩壊を抑制するため、鉄筋挿入工を計画	補助工法として長尺先受工法を計画するとともに、緩みを抑制する掘削工法を計画。
	概算対策費等	15～20百万	150百万
施工段階	リスクランク	C	B
	地質評価上の課題	切土範囲の変更により、起点側の対策範囲(緩み範囲)が未詳	施工時に斜面の動態監視が必要。数値解析に必要な物性値の取得。
	施工計画	逆巻工法を採用。施工時は地山が緩み崩壊が発生しないよう観測する。 切土施工時に一部の亀裂から湧水が発生し、その周辺部で小規模な崩壊が発生したため、水抜き孔を施工。	機械施工で地山の緩みの最小化を図るとともに、掘削時に斜面動態モニタリング実施。 モニタリングの結果、変位は許容値内に収まっていることを確認。
維持管理段階	リスクランク	B	C
	維持管理方針	水抜き孔の目詰まりの確認や、降雨時に崩壊箇所周辺の異常の有無を確認する。	通常の維持管理で対応。

青字：新たな地質評価上の課題に対するフィードバック内容
(予)：予備設計時点、(詳)：詳細設計時点

今後、事業の進捗や外部状況の変化、リスクに関する情報の変化等について適宜モニタリング、レビューし、これらに基づきリスクマネジメント手法の継続的な改善（マニュアルの改訂等）を行うことで地質リスク対応の最適化を図っていく。

6. まとめ

ここでは、事業に対して地質リスクがもたらす工程遅延や事業費増大などの影響を大幅に低減することを目的として、地質リスク検討の効果を具体的事例に基づいて述べた。今後は残存する地質リスクに対して、事業の各段階でリスクの評価、引継ぎ等を確実にを行うことで、厳しい地質条件が課せられる水窪佐久間道路の更なるリスク低減が期待されるとともに、円滑で安全な事業の推進に寄与すると考える。

参考文献

- 1) 全地連（2007）；企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会 報告書 -地質リスクに関する調査・研究-
- 2) Transit New Zealand (2004)；Risk Management Process Manual AC/Man/1 48p.



図-10 リスク対応マニュアル（右写真：関係者間でのリスク共有方法（本事例））