

土木事業における地質・地盤リスクマネジメント技術

佐々木靖人

1. はじめに

地下鉄工事中の道路陥没事故等を契機に、地質・地盤リスク対応の必要性が高まっている。そこで国土交通省と土木研究所では有識者を含めた地質・地盤リスクマネジメント検討委員会（以下「委員会」という。）を組織し、「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（令和2年3月）」（以下「ガイドライン」という。）を策定した¹⁾。地質・地盤リスクマネジメントは事業マネジメントの主要な項目とすべきであり、本稿ではこれが必要となる背景や知見、土木研究所の研究の枠組みを紹介する。なお、ガイドラインの概要は本誌号の「新しい技術情報・基準・指針」、ガイドラインと参考資料は土研HP²⁾を参照されたい。

2. リスクマネジメントが必要となる背景

2.1 地質・地盤リスクによる事業への影響

地質・地盤リスクによる事業への影響には、安全、環境、社会・経済活動、施設の品質などへの影響があるが、事業の生産性への影響、すなわち事業費の増大や工期の遅延も大きな要素である。

表-1は、平成26年度から令和元年度までの6年間の国土交通省の事業再評価における事業費の増額と特に地質・地盤に関する要因を整理したものである²⁾。増額は合計約5兆円/6年で、その4割に当たる約

2兆円/6年、年間約3300億円が地質・地盤に関連する増額である。これは国土交通省の一般会計支出の約5%に相当する。

事業の内訳を見ると、地質・地盤に関連する増額の実に90.3%が道路事業、次いでダム事業が3.9%、港湾事業が3.3%等である。道路事業は事業費増額の分母も大きい（全体の69.9%）、増額に占める地質・地盤要因の比率も50.9%と高く、地質・地盤リスクの影響が大きい事業種である。この理由として、路線計画時点の地形地質的な分析や地質調査が乏しいこと、長く広域にわたる計画路線の地質を正確に把握しにくいことなどが考えられる。なお、増額に占める地質・地盤要因の比率が大きい事業としてはほかに、地すべり対策事業（88.3%）、ダム事業（37.2%）などがある。

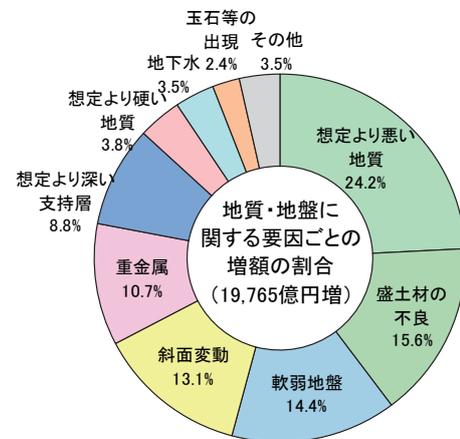


図-1 増額の地質的要因の内訳²⁾

表-1 事業再評価における増額と特に地質・地盤に関する要因²⁾

H26 ~R1 事業種別	事業費増額		地質・地盤に関する要因の増額(億円)											合計		地質・地盤 に起因する 増額率(%)
	億円	割合(%)	想定より 悪い地質	盛土材 の不良	軟弱 地盤	斜面 変動	重金属	想定より 深い支持層	想定より 硬い地質	地下水	玉石等 の出現	その他	億円	割合(%)		
道路	35028.6	69.9	4379.5	3053	2648.2	2122.6	1720.5	1600.7	636.1	662	411.8	612	17846.4	90.3	50.9	
河川	2062.9	4.1	89	0	0	0	91	0	0	0	0	0	180	0.9	8.7	
ダム	2087	4.2	214	17.2	0	329.7	88	44	61.8	21.3	1	0	777	3.9	37.2	
砂防	322.8	0.6	0	0	15	0	0	0	0	0	18	17	50	0.3	15.5	
地すべり	248	0.5	95	0	0	124	0	0	0	0	0	0	219	1.1	88.3	
海岸	190	0.4	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	26	0.1	13.7	
港湾	9803.5	19.6	2	4	155.8	22.6	215	103.6	54	0	35	66.4	658.4	3.3	6.7	
空港	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	—	
公園	260.5	0.5	0	0	8.2	0	0	0	0	0	0	0	8.2	0.04	3.1	
営繕	85.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	
計	50089.1	100.0	4779.5	3074.2	2853.2	2598.9	2114.5	1748.3	751.9	683.3	465.8	695.4	19765.0	100.0	39.5	

2.2 事業費増額の地質的要因

図-1に示すように、増額の要因は、「想定より悪い地質」が24.2%で最も多く、主にトンネル掘削等による。次いで「盛土材の不良」、「軟弱地盤」、「斜面変動」、「重金属」、「想定より深い支持層」、「想定より硬い地質（掘削しにくい）」、「地下水」等の順である。しかしこれは事業種により大きく異なり、たとえばダム事業では「斜面変動」、次いで「想定より悪い地質」が多く、港湾事業では「重金属」、次いで「軟弱地盤」が多い。

増額は当初の想定が結果的に危険側であったことによるが、安全側の想定をすれば良いわけではない。過度に安全側の想定をすれば事業が成り立たない場合もあるからである。

つまり、事業の時点時点で考慮すべきリスクを「見える化」し、これに応じて段階的に適切な質・量の地質調査とリスク対応を行う必要がある。しかし事業者の大半は地質・地盤の専門家ではない。そこで必要になるのが地質・地盤リスクマネジメントである。

3. 地質・地盤リスクの発生原因

工事で事故が起こると「予測困難な地質」とされることが多い。しかしリスク事例を委員会で整理した結果（図-2）¹⁾、純粋に予測困難な地質によるもの（自然リスク）は2割に過ぎず、8割は調査技術不足や情報伝達不足、設計・施工の課題などの人為リスクが相まって発生している。リスクマネジメントが必要な理由はここにある。すなわち、適切なリスクマネジメントの導入により人為リスクを防ぐことで、8割のリスクを回避できる可能性がある。

4. 地質調査の不確実性

リスクの定義は、「目的に対する不確実性の影響」（ISO31000）である。つまりリスクに適切に対応するために、事業関係者は地質の不確実性と其の「程度」を理解しておくこ

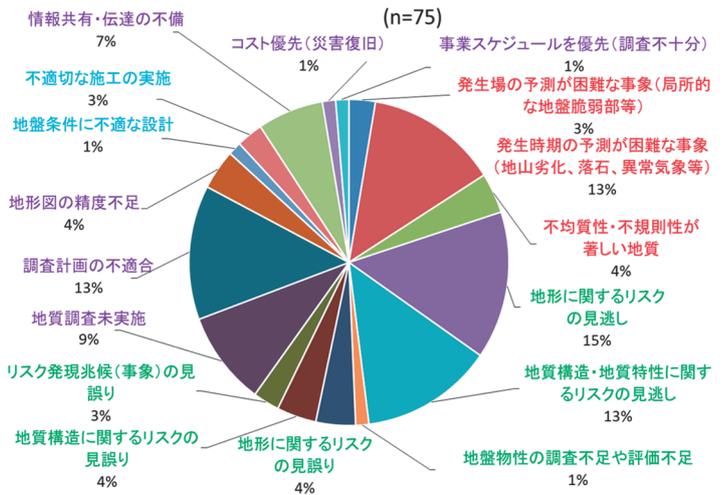


図-2 リスク事例における主なリスク発生要因¹⁾
 (地質リスク学会の収集事例の分析による。赤字が予測困難な地質等によるもの、緑が調査技術不足によるもの、紫が事業計画やマネジメント体系の課題によるもの、青が設計・施工によるもの)

とが基本である。それでは地質の不確実性はどのくらいであろうか。図-3は、あるダムの基礎掘削面の地質図と岩級区分図について、調査時の想定と掘削時の実際を比較したものである³⁾。比較的一致するように見えるが、想定と実績の図面を重ねてみると面積の一致率は50%~52%に過ぎない。たとえばダム軸方向に延びる断層を調査時点では見逃している。ダムでは数10mグリッドでボーリング調査し、また調査坑を数坑以上入れることが多いが、それでもこの程度の不確実性がある。

特に岩級区分図の想定を大きく誤ると大きな手

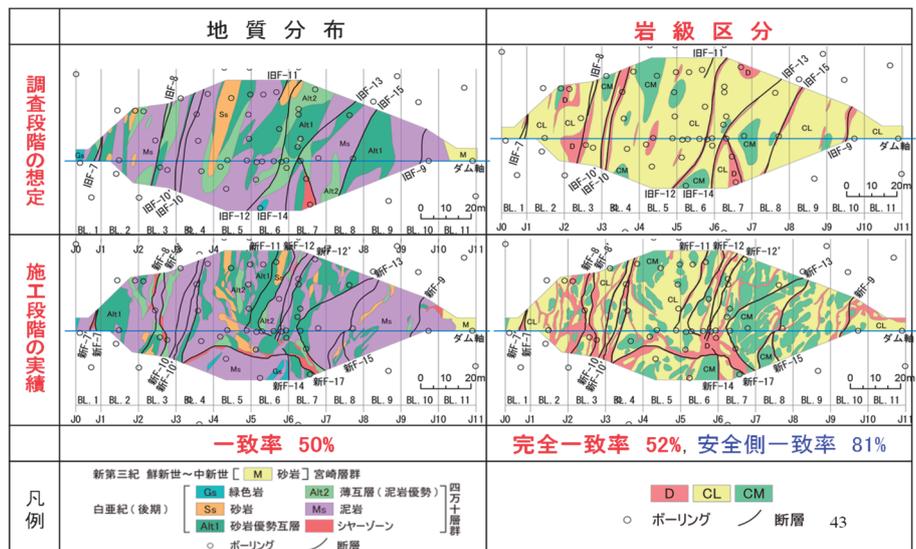


図-3 ダム基礎掘削面の地質図（左）及び岩級区分図（右）における調査時点の想定（上）と掘削時の実績（下）の事例³⁾
 (一致率は調査時と実績が一致した面積率。岩級区分図の安全側一致率は調査時の方が安全側に推定した範囲も含めて一致とした面積率。完全一致率は岩級が完全に一致した面積率)

戻りが生じる恐れがある。具体的には、安全側一致率（図-3解説参照）が50%以下の場合、設計変更となる可能性が高まる。そのため地質技術者は、不確実性の程度に応じて岩級区分を低めに、すなわち安全側に想定し、これにより設計変更が生じないようにしている。これもリスクマネジメントの一つである。しかし過度に安全側に想定すると、ダム設計が不経済になる。地質技術者の知識や経験が必要とされる所以である。

図-4は複数のダム基礎における岩級区分の完全一致率と安全側一致率の関係である³⁾。完全一致率は40%から90%以上までばらつく。地質の不確実性は地域の地質に強く依存するからである。したがってリスクも地域毎に大きく異なる。

図-4では安全側一致率は60%以上を確保している。しかし地質技術者のみにリスクマネジメントをゆだねてはならない。地質技術者が設計・施工を含めた事業リスクをすべて理解しているわけではないからである。事業関係者は、地質図の不確実性、また地質図以外の不確実性（たとえば物性の不確実性）について確認しておく必要がある。ガイドラインではこのようなコミュニケーションをシステムチックに行うことで、ONE-TEAMでリスクマネジメントを進めることとしている。

5. リスクマネジメント支援技術の開発

5.1 研究の枠組み

土木研究所では本省とともに図-5に示すように地質・地盤リスクマネジメントの開発体系について検討を行ってきている。ガイドラインもその成果の一つである。現在は実務への実装と実務支援のための技術、たとえばリスクの「見える化」技術（見逃し防止技術、リスクの定量化等）、リスク対応技術（リスクに強いハード等）を実施している。また、2019年には品確法の改正により調査・設計業務もその対象となったが、地質調査の品質向上による不確実性の低減技術もリスクマネジメントに結びつく課題である。技術開発は関係者連携で実施し、集積した知をナレッジ化・DX化して広く普及する予定である（図-6）。

5.2 不確実性の程度（乖離）に関する研究例

予測の不確実性の程度の定量化に関する研究として、地すべりを対象とした研究例を示す。

不確実性の程度を調べるために、地形判読等の

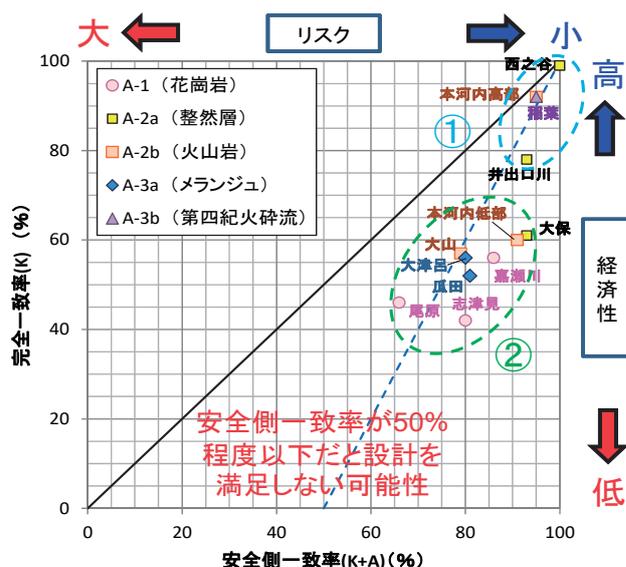


図-4 いくつかのダム基礎掘削面の岩級区分図における調査時点の想定と掘削時実績の完全一致率と安全側一致率の関係³⁾



図-5 土木研究所等における地質・地盤リスクマネジメント技術の開発体系



図-6 組織連携による地質・地盤リスクマネジメントの高度化サイクル（イメージ）

机上検討のみにより想定した地すべりブロック形状とボーリング調査実施後の地すべりブロック形状を比較し、当初想定と実際の形状との乖離を整理した。整理では地すべりブロックの長さ、幅、深さに加え、地質や断面形状等についても分類を行うことで、地質毎の乖離や断面形状毎の乖離も整理できるよう研究を進めている。

図-7は、地すべりブロック約300を対象とした「机上検討により想定したブロックの最大深度」と「ボーリング調査実施後に推定したブロックの最大深度」の関係図である（土木研究所地質チーム作成資料）。整理結果によると、ボーリング調査後の最大深度が想定最大深度より1.33倍以上のブロックは約10%程度、ボーリング調査後の深度が想定深度より0.75倍以下のブロックは約27%程度ある。例えば道路の計画路線に地すべり地形がある場合、その規模や深度にこの程度の推定誤差があることを見込んでおかなければならない。

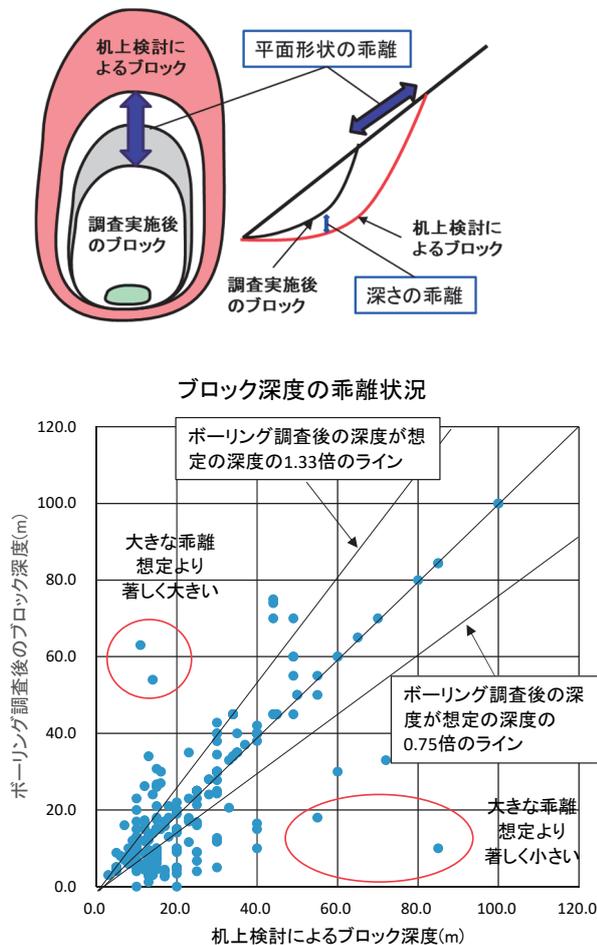


図-7 地すべりブロック深度の予測と実際の比較例
(土木研究所地質チーム作成資料)

このような研究を進めることで不確実性を数値化することが可能となり、事業計画段階での余裕の見方、設計段階での追加調査の必要性、対策の実施および工法選定で想定すべきリスクの評価などが精緻化される。また、図-7の赤丸に示すような著しく大きな乖離が生じる事例を分析することで、大きな設計変更を生じさせないための調査・評価のあり方を示すことが可能になる。

6. まとめ

地質・地盤リスクの影響は安全、環境、社会・経済活動、施設の品質、事業の生産性など多岐にわたり、事業費への影響も大きい。地質・地盤リスクといえども8割は人為リスクが相まって発生しており、高い水準の地質・地盤リスクマネジメントを事業に実装することは急務の課題である。まず関係者が地質・地盤の不確実性とそれがもたらすリスクを理解することが重要であり、そのためのONE-TEAM体制が必要である。

あわせて事業者のリスクマネジメントの支援技術に関係機関の連携のもとで開発し、事業に実装することで、安全かつ高品質で生産性の高い事業の実現が期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省、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-、及び参考資料、2020.3（土木研究所HP）
- 2) 植田律、阿南修司、梶山敦司：地質・地盤リスクマネジメントにおけるリスク要因と影響評価の例、日本応用地質学会令和2年度研究発表会講演論文集、2020
- 3) 日本応用地質学会土木地質研究部会ダムWG長（綿谷博之）：重力式コンクリートダムの基礎掘削面における地質分布及び岩級区分の調査精度に関する検討、日本応用地質学会平成27年度シンポジウム予稿集、2015

佐々木靖人



土木研究所地質監
SASAKI Yasuhito