

## 2.1 ダム事業における地質・地盤リスクの人為的側面とその対策に関する考察

### -ONE-TEAMの重要性とダム技術センターの役割-

研究年度：令和6年度

研究分野：地質・基礎に関する調査研究

調査研究名：ダム事業における地質・地盤リスクと対応手法に関する研究

研究者：佐々木靖人

#### 【要約】

ダム事業では、事業費増加や工期延長の主な要因の一つとして「地質・地盤リスク」があり、事業費増加の約4割を占める。その約8割は人為的要因によるものであり、自然現象とともに人の行動のマネジメントが重要である。本報告では、人為的な地質・地盤リスクの事前把握と対応の方法を考察し、国交省・土木研究所のガイドラインが示す「ONE-TEAM」の重要性やダム技術センターの役割も考察するとともに、国際連携の取組みについても報告する。

#### 【キーワード】

ダム事業、地質リスク、地質・地盤リスク、リスクマネジメント

### 1 背景・目的

ダム事業において、事業費の増加や工期の延長がしばしば課題となる。この原因の一つとして地質の不確実性に関連する事業リスク（地質・地盤リスク）の発現がある。国土交通省による土木事業の事業評価結果の分析によれば、地質・地盤リスクによる事業計画時からの事業費の増加額は、全増加額の約4割を占め、この割合はダム事業においてもほぼ同様である。しかもそのリスクの約8割は人為的な要素が関わり発生しているという。すなわち自然が原因と思いがちな地質・地盤リスクであっても、重要なのは人の行動のマネジメントであるといえる。そこで本報告では、地質・地盤リスクの人為的な側面、いわば「人為的地質・地盤リスク」について、当該リスクをできるだけ事前に発見・予測・評価し、適切に対応するリスクマネジメントの方法を考察する。また、あわせて、国土交通省と（国研）土木研究所による「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-」の中で謳われている

「ONE-TEAM」の重要性とダム技術センターの役割についても考察する。さらに国際連携の枠組みの構築への取組みについても若干報告する。

なお本報告は令和6年日本応用地質学会シンポジウム予稿集に追記・修正したものである。

### 2 地質・地盤リスクの概要

地質・地盤リスクとは「当該事業の目的に対する地質・地盤に関わる不確実性の影響。計画や想定との乖離によって生じる影響。」とされる（国土交通省及び（国研）土木研究所,2020）<sup>1)</sup>。

上記の定義を定める際、「地質・地盤の不確実性」ではなく、「地質・地盤に関わる不確実性」とした理由は、リスクの発現要因には自然的要因（地質や地下水等の不均質性や複雑性など）のみではなく人為的要因（技術力不足や情報共有不足など）もあるためである。英国土木学会による「Managing Geotechnical Risk（邦題 ジオリスクマネジメント）」<sup>2)</sup>の著者である Clayton (2001)も、「スキル不足の技術者」を「ハザード」（≒リスク源）に含めている。

地質・地盤リスクは自然的要因と人為的要因があいまって発現する。しかし自然的要因である地質は既に存在するものでありコントロール、すなわち支配・統制することはできない。コントロールできるのは人為的要因のみである。リスクマネジメントとは結局、人為的要因をコントロールし

事業を軟着陸させる行為に他ならない。しかし地質・地盤リスクに関しては、「地質が想定外に複雑なことがリスクの主因である。すなわち想定できない我々に責任はない。」と考えがち、あるいはそう考えたい。そこからは本当の、質の高いリスクマネジメントは生まれない。

そこで本論では、地質・地盤リスク（以降、地質リスクと略称）の人為的要因に焦点を当て、適切なリスク対応のあり方を考える。

### 3 地質リスクにおける人為的要因

文献1によると、人為的要因は次のように解説されている。

人為的要因：関係者やその対応の要因、誘因。

・地盤に対する調査・設計・施工法・工事の妥当性や不確実性に起因するもの

・施設（基礎を含む）の管理の妥当性や不確実性に起因するもの

・地質・地盤情報の伝達・対応の妥当性や不確実性に起因するもの等

上記の解説で「誘因」という用語があるため、「人為的要因は主因にはならない」と誤解するかもしれないが、これは「素因」（自然的要因）と対となるものであり、「人為的要因は主因ではない」という意味ではない。

図-1は土木事業における地質リスクの顕在化事例における主要因の内訳である（阿南,2021）

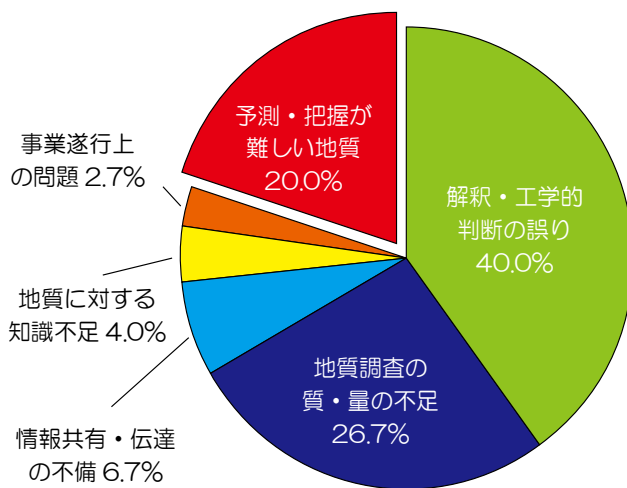


図-1 リスク顕在化事例における主要因の分類（文献1のデータを文献3で再構成）

3)。この図は、地質リスク学会が収集したリスク事例を文献1の委員会において分析した結果を再構成したものである。

同図によると、主要因が「予測・把握が難しい地質」とされたものは20%に過ぎず、残りの80%は、いわゆる人為的要因である。

地質リスクにおける人為的要因の重要性はこのほかにも多くの論文が指摘している。例えば地盤工学技術者である小松田（1997）<sup>4)</sup>は「地盤に関わる工事事故のほとんどが人為的である」として、「事故予防工学」を提唱している。小松田氏には、「注意していれば技術的に防ぎ得た」という思いがあったであろう。また日本応用地質学会土木地質研究部会では、部会員が収集した113件の課題事例の中の推定発生要因（273要因）を分類し、44.3%が認識不足、25.5%が調査不足、人的要因が9.9%、組織的要因が6.6%で、実に計86.4%が人為的要因であり、予測不能とされたのはわずか13.0%のみであったとしている（長谷川ほか,2013）<sup>5)</sup>。

地質技術者や地盤工学技術者には、「地質は複雑なもの、不確実なものとの前提で早めに用心しながら事業を進めれば、様々なことが準備できるはずである。」という思いがある。一方で、事業者や土木技術者の中には、「地質・地盤リスクが発現するのは地質調査の精度の問題であり、容易には避けられない、あるいはやむを得ないもの

原因となった要素	要素の細区分	件数
予測・把握が難しい地質 20.0%	発生場の予測が困難な要因	2
	発生時期の予測が困難な要因	10
	不均質性・不規則性が著しい地質	3
解釈・工学的判断の誤り 40.0%	地形に関するリスクの見逃し	11
	地質構造・地質特性に関するリスクの見逃し	10
	地盤物性の調査不足や評価不足	1
	地形に関するリスクの見逃し	3
	地質構造に関するリスクの見逃し	3
地質に対する知識不足 4.0%	リスクの兆候（事象）の見逃し	2
	地盤条件に不適な設計	1
地質調査の質・量の不足 26.7%	不適切な施工の実施	2
	地質調査未実施	7
	調査計画の不適合	10
情報共有・伝達の不備 6.7%	地形図の精度不足	3
	リスクに関する情報共有・伝達の不備	5
事業遂行上の問題 2.7%	コスト・スケジュールを優先	2

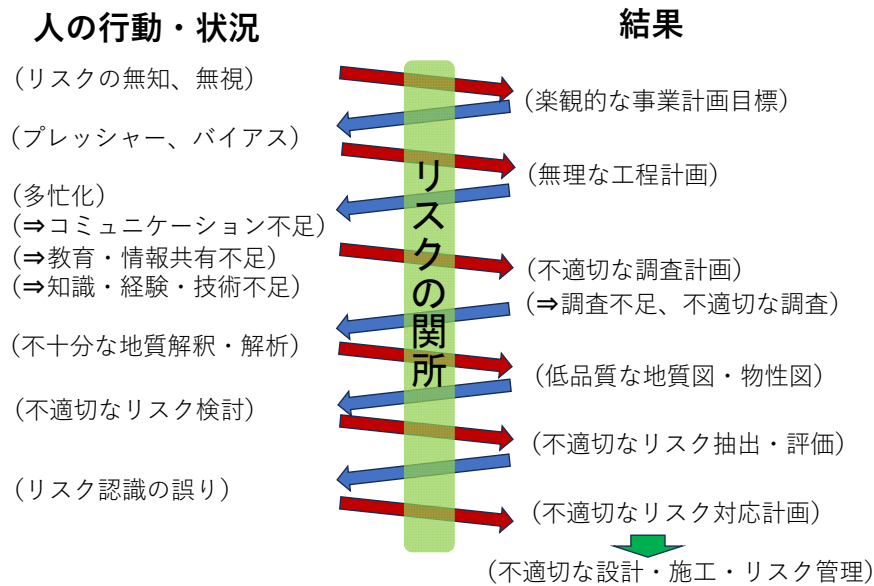


図-2 リスクの関所で負の連鎖を断つ

だ。」という意識がある。どちらにとってもある意味で真であるが、両者には明らかに意識のずれがある。このずれを解消する、あるいは妥協点を模索できるような事業体制・連携体制をどう作るのが課題である。

#### 4 人為的要因の発生原因

##### 4.1 人為的要因の構造

さて、図-1に示したような人為的要因がどうして生じるのであろうか。図-1の右表の「原因となった要素」の「要素の細区分」を見ると、事例数が多いものとしては「地形に関するリスクの見逃し」(11件)、「地質構造・地質特性に関するリスクの見逃し」(10件)、「調査計画の不適合」(10件)などがある。しかしこれらの細区分は「行動とその結果」であって、なぜそのような行動をとったかという根本的な「動機」を示したものではない。しかし同表の細区分を詳しく見ると動機らしきものも混在していることに気づく。例えば「コスト・スケジュールを優先」(2件)などである。コスト・スケジュールを優先して(=動機)、複雑な地質にもかかわらず地質調査を十分に行わなかった(=行動)、故にリスクを見逃した(=結果)、というパターンはよく聞かれるところである。さらにこのパターンが生じる要因として技術者の技術不足や倫理不足、情報共有不足と

いった人的要素が挟み込まれ、不適切な行動、不適切な結果に至る。

すなわち人為的要因には因果関係、あるいはイベントツリー等で表現され得るような「失敗構造」ともいえるべき負の連鎖がある。

動機が必ずしも悪とは限らないが(むしろ動機が正しい場合が厄介でもある)、事業者の動機が過剰なバイアスとなり、十分な議論がなされないままリスクに見合わない行動に至ることがある。

また逆に、地質技術者が地質リスクを過剰にアピールすることで過剰な地質調査が行われる事業リスクも考えられる。これらは事業者と地質技術者の意識のずれである。これらを防ぐには、図-2のように事業の各段階で、負の連鎖を防ぐ「リスクの関所」が必要である。特に「リスクマネジメント会議」<sup>1)</sup>(地質・地盤リスクマネジメントの運用において、情報の提供、共有または取得、及び関係者との対話を行うために、継続的かつ繰り返し行うプロセス)の取り組み等により、リスクに関する情報共有と意識共有が必要である。これに関しては近年、ダム事業の現場において、事業関係者からなる「連絡調整会議」や「課題共有会議」といった会議が行われるようになっており、webの発達も相まって関係者が参加しやすくなっている。これ自体は非常に望ましいこと

表一 「地質技術者リスク」の要因の分類例 (佐々木、2019)<sup>6)</sup>

タイプ	内容
a.単純ミス型	計算ミス、図面や数値の転記ミス等
b.知識・経験不足型	地質等について通常有すべき知識・経験の不足により誤った判断をするもの
c.マニュアルまかせ型	マニュアル通りの検討のみで終始し、通常有すべき知識や経験を活用しないもの、また現場特有の状況等を考慮しないもの
d.データ過信・近視眼・強引型	明らかに少ない・一面的・局所的・一時期等のデータから、データ過信または近視眼により、あるいはデータ不良を認識しつつも強引に、誤った判断をするもの
e.経験過信型	過去の経験を過信し、地質や現場の相違を無視して過去と同様に対応するもの
f.楽観型	地質の不確実性の大きさやリスクの大きさを考慮せず、楽観的なデータや平均的なデータを重視して偏った判断や誤った判断をするもの
g.無責任・説明不足型	部下を適切に指導しない、上司に相談しない、地質調査結果の重要なポイントを関係者に適切に伝達しない(または隠す)など、通常責任をもって実施すべき事項が不十分なもの
h.現場同情型	現場への愛着や関係者への同情から、無意識に関係者が期待する結論を導き出すもの
i.付度型	発注者や上司等に付度して意識的に関係者が期待する結論を導き出すもの
j.指示隷属型	発注者、上司等から誤った内容を指示され、議論することなくそのまま実行するもの
k.地質技術者不在・ミスマッチ型	地質技術者自体が配置されていない(地盤技術者のみ、地盤技術者も不在等)、当該業務に適した技術を持った地質技術者が配置されない、など
l.業務仕様不足型	発注された地質調査業務の仕様や内容が不十分で、求められる精度の調査ができない、地質的な解析・考察を実施する余地がないなど、リスクの十分な検討・抽出に至らないもの

(注) ・h-jは地質技術者のみの責によるものではないが、地質技術者の心構えに関わる要因  
 ・k,lは地質技術者のスキル不足によるものではない(すなわち地質技術者リスク源ではない)が、地質技術者に関わる要因であり、地質技術者の提案により場合によっては改善可能なもの

である。ただし、これらの会議をどのように運営するかはまだ発展途上であり、運営方法の体系化が望まれる。

例えば人為的リスク要因は、地質技術者側が地質リスクとその程度をわかりやすく説明できず、かつまたは事業者側や設計・施工者側が地質リスクについて正確に理解できないことにも起因する(図一1の要因のうち「情報共有・伝達の不備」に相当)。これを防ぐにはまず、関係者がリスクの適切なイメージを共有することが重要となるが、これは容易でない作業であり、単に連絡調整会議を開けば意識を共有できるというものではない。この方法については後半で考察することとし、前半では人為的要因の発生原因を考察する。

#### 4.2 人為的要因の分類(リスクチェックシステムの必要性)

人為的要因を減らすことは精神論・抽象論では実現できない。リスク要因を類型化・見える化し、意識的にチェックし、その芽をつぶしていかなければならない。それはシステムチックかつ具体的に行わなければならない。このため佐々木(2019)<sup>6)</sup>は地質技術者による人為的リスクを例に、これが

生じる原因の類型化を試みた(表一1)。

業務の品質確保のためには、事業の各段階で、このような表を参考に、「人為的リスクのチェックタイム(チェック作業・業務)」を設定して、リスクな状況に陥っていないか意識を共有するとともに確認する取り組みが必要である。

なお、同表はあくまで地質技術者側の要因の分類例であり、地盤工学技術者、事業者、土木技術者(設計者、施工者)等がリスク要因となる場合もある。なお、地質技術者は地質学を応用して地層の分布・構造・地質工学的性状等を推定するのに対し、地盤工学技術者は、それらの結果を活用し、地盤工学的手法を用いて地盤の特性や挙動等を推定して設計につなげるという点で、役割は異なっている。このため関係者それぞれが、自らの人為的リスク要因を整理する必要がある。

また情報共有不足など、技術者単独でなく複数に関わる人為的要因も多い。つまり関係者間でのリスク要因の整理やチェックも重要となる。それは「リスクマネジメント会議」のような形(上述の「連絡調整会議」等)で行うことが望ましい。ただし、このような会議は、リスクの整理不足や時間不足、あるいは「声の大きい人」がリードし

すぎて全員の意見を抽出できないこともあるので、会議の目的とルール、会議後のフォロー方法等を明確にしておくことが肝要である。

### 4.3 技術不足と人為的要因（事例集・教訓集・教科書の必要性）

図-1 に示された人為的要因の中で最も多いのが「解釈・工学的判断の誤り」であり、全体の40%を占める。これは特に地質技術者の技術不足が原因となる部分である。さらに図-1を見ると、「リスク抽出」の失敗につながる項目が実に86.7%を占める。リスク抽出時点で躓けば、その後のリカバリーは非常に難しい。

表-2 は、ダム事業で参照する土木関連の基準・指針類に「要注意な地形・地質」等として示されている地形・地質事象を整理したものである（佐々木,2025）<sup>7)</sup>。これを見ると実に多種多様な地形や地質に注意しなければならず、見逃しなくリスク抽出を行うことは非常に高度な知的作業である、つまり難しいことがわかる。リスク抽出が難しいということは、すなわち事業リスクを適切に把握することが難しいということにつながる。

もう少し具体的に考えてみる。たとえば、地すべりの調査過程をイメージして、どのような場面で地質技術者の判断の誤りが発生し得るか例示すると以下のような事項があげられる。

- 1) 地形判読、地形踏査に関わるもの
  - ①地すべり地形の見落とし、見誤り  
(不適な地形図を用いているものも含む)
  - ②複数ブロックの存在の見落とし、見誤り  
(背後ブロック・末端ブロック等)
  - ③ブロック形状の見誤り
- 2) 地質踏査に関わるもの
  - ④堅岩と地すべり土塊露頭の識別の見誤り
- 3) ボーリングコア観察に関わるもの
  - ⑤すべり面/複数のすべり面の存在の見落とし
  - ⑥すべり面と他の弱層の見間違い
  - ⑦地すべりとゆるみの見間違い
  - ⑧不良コアの取り扱いや解釈の誤り
- 4) 計測、探査に関わるもの

- ⑨地表変動計測の位置・範囲の設定の誤り
- ⑩孔内変動計測等による変位個所の見誤り
- ⑪地下水位の見誤り
- ⑫物理探査結果の地質解釈の誤り

5) マッピング、評価に関するもの

- ⑬すべり面のつなぎ方の誤り
- ⑭すべり面とブロックのマッチングの誤り
- ⑮すべり方向の見誤り
- ⑯地下水コンターや地下水流動の推定の誤り
- ⑰現状の安全率の誤り
- ⑱変動原因の分析の誤り

詳しく考えればまだまだ無数にありそうである。また、例えば「⑥すべり面と他の弱層の見間違い」と一言に言っても、実際には弱層の種類により様々な見間違いのパターンがある。

このような多様な見誤りを防ぐ方法として、上記①～⑱のような各項目に対し、

$\alpha$  : 陥りやすいミスのパターン

$\beta$  : ミスが生じる理由

$\gamma$  : ミスを防ぐための知識や手法

などを解説した地質・地盤リスク回避のための事例集・教訓集・教科書等を作成し学ぶことで、類似のミスの気づきや防止が期待できる。

このようにまとめた「事例集・教訓集・教科書」等は、指針類の副読本として活用できる。また、事例集・教訓集・教科書と各事業の現場を比較して類似点がないかチェックすることも効果的である。このような教訓集的な書物の例としては、例えば中村(2023)による「地質現象とダム(第二版)」<sup>8)</sup>等があげられる。事例集・教訓集・教科書等の作成には多数の事例や知見が必要であることから、関係業界が連携したり産学官が連携したりして作成することが望ましい。これに関しては日本応用地質学会の土木地質研究部会やダム工学会の地質・基礎部会等が取り組んでいるとのことであり、連携が望ましい。

表-2 ダム事業に関連する各種基準類から収集された「要注意な地形・地質」のリスト  
(佐々木、土木学会「岩盤力学」応用編(ダム編)7, 2025)

<p><b>① 活断層関係(ダム基礎の断層変位, ダムのL2地震動等に関連)</b></p> <p>活断層, 第四紀断層, 断層変位地形, 活構造(活褶曲, 活撓曲等), リニアメント, 線状模様, 組織地形(差別浸食等に起因)</p>
<p><b>② 斜面変動に関連する地形地質(ダム基礎, 貯水池, 付属施設等の安定に関連)</b></p> <p><b>②-1 斜面変動に関連する地形</b></p> <p>地すべり地形, 岩盤クリープ地形(ダム基礎や掘削面の緩みに関連), 崩壊地形(表層崩壊, 深層崩壊等に関連), ケスタ(弱層による掘削時のダム基礎の安定や斜面安定に関連), 急崖やオーバーハング, 段丘(地すべりの安定性, 段丘崖の崩壊等に関連), 遷急線・開析前線, 集水地形, 0次谷, ガリー, 沖積錐(土石流扇状地), 扇状地</p> <p><b>②-2 斜面変動に関連する地質</b></p> <p>崩積土, 崖錐, ゆるみ岩盤, 浮石・転石, 未固結層(低圧密の盛土, しらす, 山砂, まさ土, 火山灰土, 火山砕屑物等), 強風化層, 断層破砕帯, 熱水変質帯, シーム, 亀裂性岩盤, 一部の泥質岩や凝灰岩(脆弱な薄層等を含む)・蛇紋岩(滑りやすい)・片岩(片理面が弱部となる)・花崗岩(マサ化, シーム等)・火山岩(冷却節理の発達, 自破碎溶岩, キャップロック等)・チャート(多亀裂)等</p> <p><b>②-3 斜面変動に関連する地質構造</b></p> <p>流れ盤で弱層を含む地質, 流れ盤で難透水層上に軟質地質が分布する地質, 受け盤で高角度の地質構造(トップリングしやすい), キャップロック構造等</p>
<p><b>③ 岩盤の脆弱性に関連する地形地質(ダム基礎のせん断破壊, 浸透破壊, 漏水等に関連)</b></p> <p><b>③-1 脆弱性に関連する地形</b></p> <p>漏水しやすい地形: 痩せ尾根, カルスト地形, 溶岩地形, 火砕流地形等 不安定要素のある地形: (斜面変動に関連する地形を参照)</p> <p><b>③-2 脆弱性に関連する岩盤・地質</b></p> <p>開口亀裂, 空洞のある地質: 石灰岩, ゆるみ岩盤, 低固結火砕岩等(漏水, 陥没, 斜面の不安定化など) 初生的に脆弱な地質: 自破碎溶岩, 蛇紋岩, 堆積性軟岩等 風化して脆弱な地質: 風化が速い岩(堆積性軟岩等), 強風化岩(強風化花崗岩, 深層風化のある地域など) 変質して脆弱な地質: 変朽安山岩, 火山・地熱・温泉地帯, 鈹化変質帯・熱水変質帯・温泉余土, 変質による膨張性地山, 貫入岩とその周辺部, 不連続面, 弱層により脆弱な地質: 割れ目の多い岩(亀裂性岩盤), 褶曲擾乱帯, 断層破砕帯(集中湧水, 崩壊), 流れ盤, 地層の不連続部, シーティング節理, 開口節理, 低角度弱層, 片理・層理, 間隙堆積物(複数の火山岩などの堆積の時間間隙に堆積した火山灰, ローム層, 旧表土等の低固結堆積物) 不均質, 異方性の地質: 付加体・混在岩(メランジュ), 層状岩盤(粘板岩・砂泥互層等), 片理性の地質 地圧・水圧に関する地質: 山はねが生じる地山, 偏圧のかかる地形の地山, 土被りの浅い谷部の地山(小土被り), 大土被りの地山(高い地下水圧), 膨張性地山 高透水性, 地下水を伴う地質: 火山岩や火砕岩, 礫岩, 石灰岩</p>
<p><b>④ 土質地盤の脆弱性に関する地形地質(付属施設等の沈下, 崩壊, 浸食, 漏水などに関連)</b></p> <p><b>④-1 問題となりやすい地形等</b></p> <p>旧河道, 水衝部, 支川の合流, 天井川, 旧落堀, 樋管等の附帯構造物周辺, (河川・砂丘等の)自然堤防, 三角州, 土砂供給の多い河川沿岸, 潟湖跡, 表成谷(積載谷), 湿地・埋没谷・溺れ谷・埋積谷等(支持層の分布深度に変化), 砂丘, 火山山麓, 段丘, 扇状地, 埋立地, 陥没地形等</p> <p><b>④-2 問題となりやすい土質地盤</b></p> <p>切羽の自立困難や掘削時の緩み, 湧水等: 崖錐, ゆるい砂質土・微細砂・シルト, 鋭敏粘土, 砂礫, 粘性土・砂質土の互層地盤等, 風化まさ土, 火山性堆積物, 不等沈下等: 湿地地盤(軟弱地盤・軟弱粘性土・有機質土・未圧密粘土・泥炭層), 海成粘土, 埋め立て土 液状化: 旧河道, 埋立地, 地下水の浅い沖積低地, 液状化発生履歴のある箇所等 掘削困難等: 巨礫・玉石を含む地盤 地中浸食, 空洞等: 軽石, スコリア層, 火山灰等の火山性堆積物, 特殊土, 取り扱いに留意が必要な土質: しらす, コーラルリーフロック, さんご砂利, ぼら, 灰土, 灰砂, 火山灰質土, ローム, 赤ぼく, 黒ぼく, 泥炭, 土丹, 島尻粘土(味噌土, 粟土), 有明粘土, ぼた, 腐植土などの有機質土 盛土が軟弱・不安定となりやすい地形地質, 箇所: 沢部, 崖錐・崩積土部, 傾斜地盤, 切盛り境, 地下水の湧出の多い地山, 後背湿地, 三角州, せき止め沼沢地, 潟湖跡, 堤間湿地, 排水系統に問題のある箇所, 築堤・埋戻し材料に問題がある箇所(スレーキングしやすい, 液状化しやすい, 強度が低い等)</p>
<p><b>⑤ 環境関係(ダムの建設に伴う地下水, 湧水, ガス等の影響等に関連)</b></p> <p>水質・土壌環境・生物環境等の問題: 自然由来重金属を含む地山, 還元性硫化鉄に富む新第三紀堆積岩・第四紀堆積物・炭坑・鈹山地帯・火山・地熱・温泉地帯・鈹化変質帯・海成粘土・泥炭層等 地下水障害: 宙水, 被圧地下水, 湧水, 表流水, 坑内湧水と集水範囲, 透水性の高い砂礫層, 火山山麓・段丘層などの地下水の豊富な地域, 高圧・多量の湧水がある地山, 透水性地盤(扇状地, 自然堤防, 三角州, 旧河道, 河道締切箇所, 堤内地の湧水, 地下水位上昇が認められる箇所, 砂礫層, 粗砂層), 帯水層, 玉石, カルスト地形, 溶岩地形, 火砕流地形, 地下空洞, 自破碎溶岩, ゆるみ岩盤, 高透水層 地下空気の問題: 酸欠空気になりやすい地質(還元性の粘土や粘土層下部の砂礫層, ピート層など), 可燃性ガスを含む地質(新潟県等の新第三紀堆積岩)等</p>

#### 4.4 心理と人為的要因（労働環境等の改善、リスク回避の工夫の必要性）

図-1や表-1のような人為的要因が生じるのは、前節で述べた技術不足以外にも人間の心理的側面が大きく影響していることが知られている。例えば、多忙であるなどの労働環境、意見を言いにくい職場環境や人間関係、あるいは受発注者関係などの組織間関係等である。

例えば Google 社は、「心理的安全性」が高まるとチームのパフォーマンスが高まることを発表した。

心理的安全性とは「組織や集団の中で自然体の自分でいられる環境」であり、自由に意見を言える環境はリスクマネジメントにも効果があると考えられる。しかし、それでも人間は必ずしもリスクの程度に応じて正しく意思決定しない「認知バイアス」があることが知られている。たとえば、認知バイアスの一つである「正常性バイアス」は、リスクが正確にわからない場合に、「大したことはないだろう」と心を落ち着けようとする心理だという。この心理は、図-3<sup>9)</sup>のように水害などの防災上留意しなければならないものとしても着目されているが、地質・地盤リスクマネジメントにおいても同様である。地質・地盤リスクは、リスクが正確にわからないものの最たるものの一つであるからである。

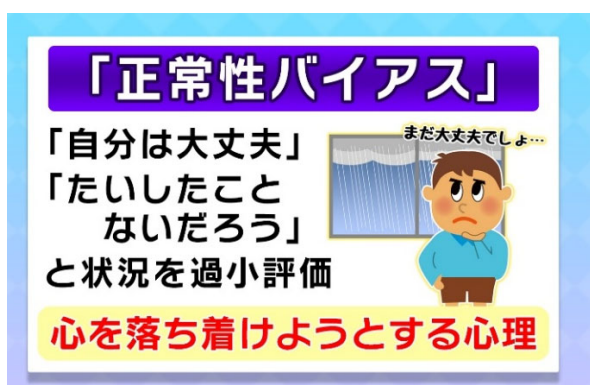


図-3 正常性バイアスの説明

(南日本放送 HP MBC 防災情報 お天気 防災スイッチ, 2021) <sup>9)</sup>

また、たとえリスクの程度がある程度正確にわかっている場合でも、認知バイアスにより、そのリスクの

数値通りに意思決定しない例として次のような現象も知られている。例えば、心理学者のダニエル・カーニマンらが発見し、行動経済学の理論として知られているプロスペクト理論などである (図-4) <sup>10)</sup>。ちなみに彼はこの研究で後にノーベル賞を受賞している。

プロスペクト理論では、たとえ同じ期待値とわかっている場合でも、人は利益よりも損失を恐れる傾向があるという。このため、利益に対しては確実性を好み、損失に対しては確実性を嫌う、認知バイアスの一種の「損失回避性」の心理が働くことで、リスク通りの判断ができない状況が生じるという。

これを液状化対策を行う場合を例に解説すると、長期的には抜本的な対策を行う方が B/C が高い (期待値が高い) とわかっている場合でも、対策費用が高価であるためその出費を心理的に強く感じ (確実な損失を過剰に大きく評価して)、その損失を避けるように、当面大きな地震が起こらない方に「賭け」てしまい (=確実性を嫌う)、安価な暫定対策を選定することがこれにあたる。そのように考えると、常識的に考えれば必要と思われるボーリング調査を事業者が行わない場合も、正常性バイアスだけでなく「損失回避性」が関連している可能性がある。

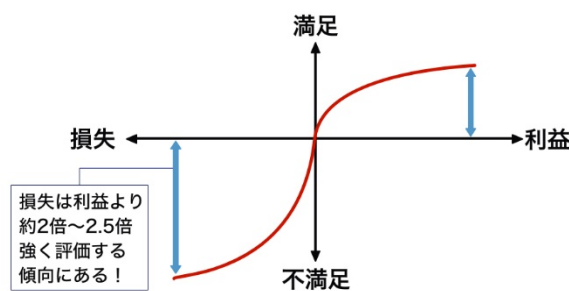


図-4 プロスペクト理論のグラフ例 (みずほ銀行 HP より) <sup>10)</sup>

東京企業リスク研究会組織文化グループ (2006)<sup>11)</sup> はこのようなリスク認知におけるバイアスの例を示し (表-3)、リスクに陥りやすい心理として、集団志向、ステレオタイプ、属人的組織風土、プライド意識、閉鎖組織に見る思考停止、ブラ

ンド意識に見る組織風土、思い込みによるコミュニケーションの欠如等について例示するとともに、リスク認知の重要性とリスクコミュニケーションの意義を強調している。以上のような心理的理由による人為的なリスクを回避するには、

- ① 「働き方改革」に代表される労働環境の改善
- ② 心理的安全性の確保（人間関係、組織関係等）
- ③ 各種の認知バイアスの認識と回避

などにより適切なリスク対応を行うような「工夫」を行っていく必要がある。

表-3 リスク認知におけるバイアスの例（東京企業リスク研究会組織文化グループ, 2006）<sup>11)</sup>

バイアス	内容	具体例
保留バイアス	すでに利用できる情報を参照点（アンカー）として、推測値をその周りに保留させる。専門家に比べ、一般人がアンカーの影響を受けやすい。	購入しようとする物の値段が表示された場合の値段がアンカー。物件の価値をその表示価格を基点に考えてしまう。
後知恵バイアス	ある事象が起きた後にその事象の起こる確率を判断させると、確率が高く判断される。	交通事故を経験した後と前では、事故の発生確率は、経験後のほうが高く判断される。
フレーミング効果	事象が異なるかたちで表現されると、受け取られ方が変化してしまう効果。潜在的な利得が強調された場合には、人は不必要なリスクを嫌悪する傾向があるのに対し、潜在的な損失が強調されると、リスクを選ぶ傾向がある。	ある災害で500人が死ぬという予測に対し、 ①対策Aでは200人生存し、対策Bでは、1/3の確率で500人救われ、2/3の確率で500人死亡する。 ②対策Cでは、400人確実に死亡するが、対策Dでは1/3の確率で500人救われ、2/3の確率で500人死亡する。 上記設問に対し、①ではAを、②ではDを選択する人が多い。
可用性バイアス	ある事象の発生可能性についての判断は、その事象についてのイメージを作るための情報が入手しやすいかどうかの影響される。	凶悪犯罪や飛行機事故、宝くじの当選などは、マスコミによって多く報道されるため、人々はこのような事象の起きる確率を大きく判断しがちである。
比較楽観主義バイアス	望ましい事は、自分は他人よりも比較的高い確率で経験するが、望ましくない事は、他人よりも比較的低い確率で経験する、と判断すること。	飲酒運転する人は、「自分はお酒に強いから、これぐらいは大丈夫」と判断する。

図-5 は工夫の例であり、医療分野でエラー防止のために行われている仕組みである（河野,2014）<sup>12)</sup>。この例では、

- (1) エラーに出会わないようにする工夫 (Minimum Encounter)、
- (2) エラーの確率を低くする工夫 (Minimum Probability)、
- (3) 多重の点検 (Multiple detection)、
- (4) ダメージの最小化 (Minimum damage)

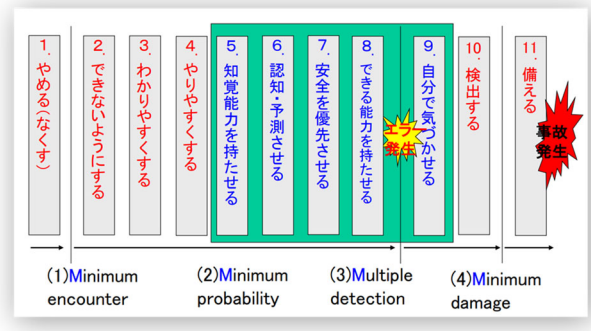


図-5 医療におけるエラー防止方法の例（河野, 2014）<sup>12)</sup>

7. 安全を優先させる

**重要なことは管理職自ら参加すること！**

- ・安全に関心のある会社かそうでないかはその組織の最高責任者が講演会に顔を出すかどうかで分かる(ある安全の専門家)。
- ・関心のない会社は、担当者だけが出席する。言い訳は、「工場長は、実は重要な会議がありまして、、、」
- ・これは、仕事の優先順位が安全について高くないことを行動で示している。

**言葉ではなく、行動で示すこと**

↑

人は行動を見て判断する

図-6 図-5 の「7. 安全を優先させる」の具体的方法の例（河野, 2014）<sup>12)</sup>

といった多段階の工夫でエラーを防いでいる。地質・地盤リスクマネジメントにおいても、このような多段階の工夫により人為的要因によるリスクを回避ないし最小限にすることが重要である。

例えば、同図で「2.できないようにする」というのは物理的にエラーが生じないようにするもので、例えば地質調査の電子納品で誤った入力データが自動的にはいじかれる仕組みなどが相当する。また、「7.安全を優先する」というのは（図-6）、管理職によるリスクチェックや関係者の合同会議であり最近ダム事業でも行っている「連絡調整会議」等がこれにあたる。「9.自分で気づかせる」というのは、建設現場でのセルフチェックなどが該当する（河野は「指差称呼」などを例示している）。

このように土木分野においてもある程度の工夫

は行われているが、地質リスクマネジメントの視点でシステムチックに行うことが必要である。この河野の事例は医療分野のエラー防止の取り組みであるが、実はこの資料（文献12）は国土交通省の運輸分野に対する講習会資料でもある。運輸分野においてエラー防止のためにすべきことやしようとしていることは、ダム事業の分野においても同様に当てはまるはずである。

## 5 地質技術者と事業者の役割、責任

### 5.1 地質技術者リスク

人為的地質リスクを考えるうえで、筆者は以前、「地質技術者リスク」という言葉を用いて地質技術者の役割を論じたことがある（文献6）。このことは地質リスクの人為的要因を論じるにおいて重要と思うので、以下ではこの内容を一部修正のうえ再掲する。

地質技術者リスクは、基本は「地質技術者が関与しない状態での事業リスクレベルを基準とし、地質技術者が関与することによるリスクの増減分」を「地質技術者リスク」とよぶべきである（これを定義Aとする）。おそらくその大半は「チャンス」や「ベネフィット」と呼ばれるものになり、そのベネフィットこそが地質技術者の価値である。

しかし地質技術者はボランティアではない。その場合、「職業技術者として通常期待される役割を果たす場合のリスクレベルを基準としたときの、当該地質技術者の関与によるリスクの増減分」（これを定義Bとする）との考えもある。それでは職業技術者として期待される役割とは何か。

過去の地質災害に係る裁判においては、予見可能性が争点となっている。このとき地質技術者に期待される役割は、「地質技術を用いて合理的に予見可能な地質リスクを予見すること」である。換言すれば「地質技術を用いて通常予見可能なリスクの予見作業を怠ることによるリスクの増減分」（定義B'）が、好むと好まざるにかかわらず、地質技術者リスクとみなされる可能性がある。

## 5.2 地質技術者の責任

国土交通省の公共工事標準請負契約約款 18 条によると、工事現場の地質、湧水等が設計図書に示された条件と一致しない場合や、予期することのできない特別な状態が生じて設計等の変更が行われたときは発注者側の負担となる。また清水(2005)<sup>13)</sup>によると、国際標準契約約款 (FIDIC) においても、予見不可能 (not foreseeable) の場合は契約エンジニアの査定に基づき追加コストが認められるという。それは、「地質は複雑であり容易には予見しがたい」という基本認識があるためと思われる。この考えは先の定義Aに近い。しかしリスクマネジメントの導入により、定義BやB'に近い考えが大きくなる可能性がある。そこで地質技術者の責任の範囲を整理するため、リスクを、「予見の合理性」と「発生の蓋然性」の視点で表-4のように分類した。

表-4 地質リスクの4分類  
(文献6を改変)

- |   |
|---|
| ① 地質的に合理的に説明でき、かつ発現の蓋然性が高い、ないし低くないと推定されるリスク     |
| ② 地質的に合理的（または不合理ではない）と説明できるが、発現の蓋然性は低いと推定されるリスク |
| ③ 地質的に不合理（ありえない）と説明でき、したがって発現しないと推定されるリスク       |
| ④ 現在の情報からは、合理性や発現の蓋然性が判断できないリスク                 |

地質技術者にとって①③は合理的に予見可能なリスクである。いっぽう②は、裁判では「蓋然性が低くとも予見可能であり瑕疵がある」とされることもあり得るが、蓋然性の高低の判断（①と②のしきい値＝「リスク基準」の設定など）や追加調査の実施の判断（④）は事業者の判断事項（責任）である。すなわち地質技術者の責任とは、上記①～④のどのリスクなのかを明らかにするために下記を遂行することである（表-5）。

表一5 リスクマネジメントにおける地質技術者の役割 (文献6を改変)

<p>地質・地盤リスクマネジメントにおける地質技術者の役割とは、前述の①～④のどれかを明らかにするために下記を遂行すること</p> <p>a. 技術を用いた適切な調査  b. 知識、技術、情報を適切に活用した合理的な予見  c. 予見の合理性(根拠)の説明  d. 発生の蓋然性とその根拠の説明  e. 予見の不確実性と限界の説明  f. 予見の合理性や確実性を高める方策の説明(必要に応じ)</p>
--

ただし地質技術者に求められる責任とは「遂行責任」(responsibility)であり「結果責任」(accountability)ではない。上記を適切に行っていれば(遂行責任を果たしていれば)、たとえリスクが発現しても責任(結果責任)を問われるべきでない。何故なら地質リスクの予見とは、製品の製作のように技術により確実にできることではなく、「そもそも困難なこと」を期待されているのであり、打率3割のバッターをクビにすべきでないのと同じである。

元道路公団の奥園誠之氏は、ある講演会において道路のり面の防災等に関する自らの技術判断の的中率を「5割程度」などと述べたことがあったと記憶している。これは奥園氏らしいユーモアを交えた一種の謙遜かと思うが、実際に地質技術的判断とはかように困難なものであるということを書いたのだと思う(しかし野球なら打率5割のバッターは稀代の大打者である)。

### 5.3 事業者の責任

表一4において「蓋然性の高低の判断」や「追加調査の実施の判断」は事業者の判断事項(責任)であると述べた。このような事業者の判断の目安は必ずしも明文化されておらず、事業担当者によっても異なる可能性があるが、リスク判断の目安が明確化されている場合もある。これを「リスク基準」という。文献1の定義では「リスク基準」とは、「地質・地盤リスクの重大性を評価するためにリスクレベルと比較する目安となる条件」である。

リスク基準は耳慣れない用語であるため、用語を理解するために、ここで再度「地質・地盤リスク」

の定義を文献1から引用すると、「当該事業の目的に対する地質・地盤に関わる不確実性の影響。計画や想定との乖離によって生じる影響。」(下線筆者)である。すなわち、「事業の目的」の実現を左右する様々な項目の目安、例えば事業費、工期、環境影響、施工時の安全や事業の安全等の目安が「リスク基準」となり得る。

たとえば「貯水池地すべりの対策工費が〇〇億円以上となる可能性が高い場合は、事業のB/Cに影響するため、このダムサイトを避ける検討をする」といった対応がとられる場合、この「地すべり対策工費〇〇億円」がリスク基準の一つとなる。地質・地盤リスクには、設計・施工上の軽微な変更から、ダム堤体や下流に危険が及ぶものまで様々なリスクがある。「リスク基準」という明確な形ではないにせよ、事業者はその都度、何らかの「判断の目安」をもって決断していると考えられる。リスクマネジメントにおける事業者の責任とは、その判断(の目安)の説明責任である。それはあらかじめ「リスク基準」として示すことのほかに、その都度、判断の目安を関係者と議論しつつ明確化し、情報共有し、「リスクに適切に対応していることを示せる」ということが重要と思われる。

なお、日本のダムにおいては通常考えられないが、ダムの事故時の人命被害をリスク基準の一つと捉えているのが米国である。たとえば図一7は、米国の陸軍工兵隊(USACE)所管のダムにおけるリスク基準の例である(USACE, 2022)<sup>14</sup>。この例では、「千年に1人の人命損失」などのしきい値(リスク基準)が示されており、どの程度の人命損失が想定されれば次のリスクマネジメント行動(たとえば、より詳細なリスク解析等)に移るかが明確になっている。なお、同図内の「TRG1の基準」とは、Tolerable Risk Guideline 1(許容リスクガイドラインその1)の略で、TRG1の基準よりリスクが高い場合「リスク理解」の行動(リスクの詳細な分析等)に移ることとしている。さらにTRG2「リスク意識の醸成」、TRG3「日々の要請の遂行」の段階を経てTRG4では「リスク低減の行動」に至るといふ。

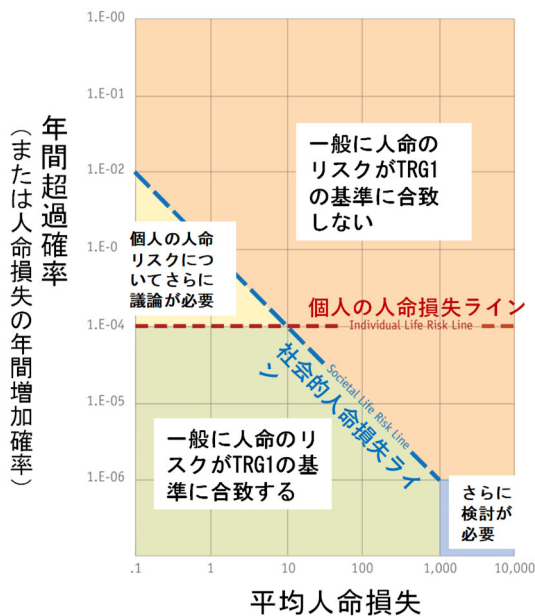


図-7 米国のダムにおける人命損失のリスク基準の例 (USACE、2022) <sup>14)</sup>

USACE では FEMA が提唱する Risk-Informed Decision Making (リスク情報に基づく意思決定) という行政概念に基づき、関係者に理解を求めつつ事業を進めている。USACE ではこれをさらに設計法にまでブレークダウンした Risk-Informed Designs (RID) の最初のドラフトを 2018 年に作成し、さらに 2022 年には Engineering and Construction Bulletin (ECB、工学及び建設紀要) 2022-7 に「Interim Approach for Risk-Informed Designs for Dam and Levee Projects」(ダム・堤防事業におけるリスク情報に基づく設計のための暫定提案)としてまとめている。USACE の Edwin Friend 氏が米国の地質技術者協会 (AEG) の 2023 年の年次大会 (ポートランド) で発表した内容によると、現在は RID の概念を Engineering Manual (EM、工学マニュアル) と Engineering Regulations (ER、工学規則) に組み込む作業中とのことである。全ての USACE の新規ダムと堤防はリスク評価が義務で RID の作業に要するコストは一万～百万ドル程度とのことである。またリスク評価は必ずしも定量的評価でなくともよく、着目される事象や設計が新しくなる場合に事象ごとに少人数で行い、最適な設計とな

るまで繰り返されるという。USACE では、1,400 名余りの死者を生じた 2005 年のハリケーンカトリーナ災害以降、RIDM をさらに推し進めるためにリスクマネジメントセンターを設立し、ダムの安全のためのリスクマネジメントの体系化や技術者トレーニング等を進めているという。

以上のように、リスクマネジメントを本格的に導入する場合、事業者はリスクの判断の目安を設定し、あるいはそれが明確でない場合は、関係者との議論によって何らかの判断の目安を検討し、これに基づいて、どのように評価して行動するか関係者に情報共有することが望ましい。様々な行政的・社会的制約の下で事業者は「結果責任」を求められ、非常に厳しいものがある。しかも事業者の多くは地質技術者ではなく、地質リスクの程度について正確には理解できない可能性が高い。一方で地質技術者も、事業への影響については正確に把握できない可能性が高い。すなわち地質・地盤リスクマネジメントにオールラウンダーはいない。だからこそ、関係者が「ワンチーム」となってリスクに立ち向かうことが必要である。

なお、USACE のリスクマネジメントセンターの職員や電力系民間ダムに携わる米国の地質技術者に確認したところ、米国においても上記に述べたようなダムのリスクマネジメントの普及は容易ではなく、対応は州やダム所有者等によってもまちまちで、その進捗は必ずしも順調に進んでいるとは言えないとのことである。

## 6 リスク共有のための事業システムの改善

### 6.1 概要

前章に述べたように地質技術者と事業者、およびその他の技術者はそれぞれの責任を果たすことが肝要であるが、その際に前提となるのが関係者のリスク意識の共有である。しかしこれが難しい。その最大の原因は以下の 2 つと考える。

- ① リスク共有のための事業システムが発展途上であること
- ② 不確実性の推定・表現・伝達技術が発展途上であること

そのため何とかしてこれらの両技術を発展させる必要がある。①と②は不可分の課題であるが、本章では①の課題について筆者なりの要改善点の提案を3つ行い、次いで次章では②の課題について既往の試みを紹介する。

## 6.2 地質調査業務での不確実性の記述の標準化

近年、(一社)全国地質調査業協会連合会(以降、全地連)が提案することにより、「地質リスク調査検討業務」が国土交通省等の公共土木事業において行われている。これは事業における地質リスクを整理しリスト化・評価する業務である。しかし現状ではこのような業務の機会は限られているので、多くの事業では地質リスクは明示されない。しかし本来は、地質リスクマネジメントは地盤を扱うどの土木事業においても事業全体を通じて行われるべきものであり、そのような事業スキームに変革する必要がある。そのためにはまず、一般的な地質調査業務においても、地質調査結果の不確実性が表現されている必要がある。例えばボーリング調査から地質断面図を作成する業務の場合、作成された地質断面図の不確実性についてわかりやすく説明を加えることなどである。

筆者は、全地連の提唱する「地質リスク調査検討業務」だけではなく、(単純なボーリング業務以外の)地質図作成等の不確実性を含む地質情報を作成する全ての地質調査業務において、「地質情報の不確実性(と事業リスクの関係)」に関する章を設けて記述すべき(=標準化)と考えている。何故なら、その地質情報を作成した人間がその情報の根拠(あるいは根拠がないこと)を最も知っており、それを伝えることが責務の一つと思うからである。これは表-5に述べた地質技術者の役割の一つである。すなわち地質技術者の役割を、単に「地質工学モデルを作ること」だけでなく、「そのモデルの不確実性を含めて説明すること」に変える必要がある。

例えば2つのボーリング孔間で不整合面を描く場合、周辺地域の情報から、不整合面のアンジュレーションや当該地域に埋没谷が多くあることを

経験上知っているなら、「不整合面は埋没谷等の存在を考慮しておらず、現状では直線で描いているが、周辺地域の情報から、不整合面のラインは少なくとも〇m程度のアンジュレーションを持つ可能性があり、場合によっては埋没谷によりそれを超える不確実性が存在する可能性もある」等と記述しておくことが、地質が専門でない事業者や設計技術者への正しい伝え方であり、また地質技術者の良心であろう。たとえ不確実性の程度を定量的に伝えることが難しくとも、定性的な言葉によって伝えることは可能である。

## 6.3 ダム地質総合解析業務の改善

ダム事業においては、「地質総合解析業務」という業務がある。これは事業で得られたそれまでの地質調査や試験のデータに基づいて、地質の成因、性状、地質工学的評価、地質上の課題等を整理する作業である。阿南(2022)<sup>15)</sup>は、ダム事業の地質・地盤リスクマネジメントについて述べた論文の中で、地質総合解析の実施理由について、「これは、ダムの施設としての規模が大きく事業が長期にわたり地質調査が繰り返されることや、ダムサイトの地質が複雑なことが多いこと等が理由と考えられるが、事業のながれとして標準的に実施されることはダム特有のものであり、『質の高いリスクアセスメント』の手順として機能している。」と述べている。

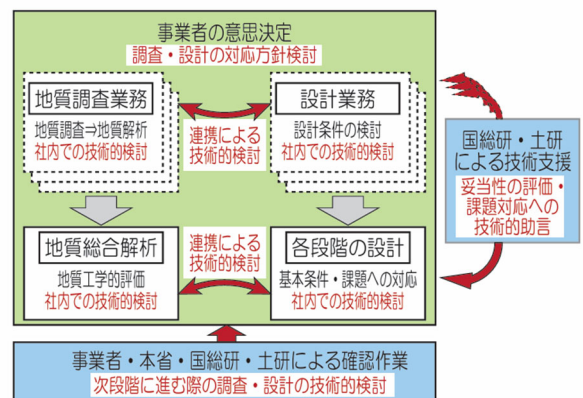


図-2 ダムにおける地質調査と設計における検討手順  
関係者の連携、アドバイザーの助言など多面的な検討が行われている

## 図-8 国土交通省所管のダムにおけるチェックシステム<sup>15)</sup>

しかし一方で、従来の地質総合解析は、必ずしも「リスクアセスメント」を標準的な作業として含めていないことも事実であり、地質総合解析が単なる「地質情報のとりまとめ業務」的に取り扱われることもある。

したがって今後の地質総合解析においては、地質リスクを整理・評価し、対応を検討する作業を業務構成の中に「標準化」する改善が望ましい。何故なら地質総合解析の機会、関係者が地質リスクやその影響について共有する最も良い機会だからである。このことは阿南(2022)においても、以下のように述べられている。

「各段階の『地質総合解析』でまとめられた地質学的解釈と地質工学的評価は、それぞれの段階の『ダム本体設計』に設計条件として引き継がれるが、ダム事業ではこれに際して、事業者と地質・地盤技術者、設計技術者による詳細な技術的検討が行われる。」

#### 6.4 チーム制によるリスクの抽出とリスト化

表-2の説明でも述べたとおり、地質の不確実性の情報から地質リスクを抽出しリスト化することは最も技術力が必要とされる部分である。このため、経験を積んだ技術者、また様々な専門の技術者が参画してリスク抽出する必要がある。リスクの抽出・評価・対応の検討には地質・設計・施工等の不確実性の影響を総合的に分析する必要があるからである。

全地連発案の「地質リスク調査検討業務」はプロポーザルで行うこととしており、またその監理技術者には地質リスク・エンジニア等を推奨している。筆者は地質リスク・エンジニアの技術力の程度について詳細を知らないが、所詮ひとりの地質リスク・エンジニアのみの能力には限度がある。このため、リスクの抽出作業は、地質だけでなく当該事業の設計や施工にも詳しい人材がワンチームで関わるシステムに変える必要がある。

ちなみに米国の電力系のダムでは、リスクを抽出し議論するメンバーを、資格(Professional Engineer、PE等)や経験年数(ダムに関わり

10年以上等)、専門性(構造、水理、地質、機械等)などで規定して選定したうえで、しかもバイアスがかからないよう、独立コンサルタントチーム(Independent Consultant team、IC)を組織して実施しているという(米国連邦エネルギー規制委員会(FERC)の情報による)。これは文献1のガイドラインや筆者のいうワンチームに該当する。しかもそれは1社からなるチームは不可とのことである。2017年の米国のオロビルダムの洪水吐きの事故の際にも、これに沿ったICが原因究明にあたったという。

#### 6.5 リスク評価方法の改善

このようなチームにより抽出されたリスクについては、リスト化し評価される必要がある。

例えば全地連の「地質リスク調査検討業務」においては、「リスク管理表」によって整理するよう「地質リスク調査検討業務の手引き」において示されている。しかしこの手引きにおいてリスク管理表で例示されているリスク内容をみると、「緩斜面の成因が不明確」とか「地下水の変動が不明確」といった、地質調査上の「不確実性」であって、「事業リスク」(例えば「地すべりの発生による工事の停止」等)ではないようである。この点は事業者や土木技術者と意識の共有ができるように改善する必要がある。

たとえばUSACE所管のダムでは、ダムの破壊に至る様々なリスク(例えば「活断層の変位による堤体のずれや横断クラックの発生」等)を潜在的破壊モード(Potential Failure Mode、PFM)としてリストアップして、通番号を「PFM#47」というように付加してリスト化し一連で取り扱えるようにしている。

またUSACEでは、リスク評価はこれらのリスクについて一つ一つ個別にイベントツリー解析により検討している。このような米国のダムの地質リスクマネジメントの概況は佐々木(2024)<sup>16)</sup>で述べた。詳細はUSACEやFERC等のHPを参照されたいが、いずれにしても「地質リスク調査検討業務」で例示されているような体制のみで簡

単に整理できるようなものではなさそうであり、多様な専門家が関わって検討するリスク評価方法に改善する必要がある、その評価技術も精緻化が必要である。

国土交通省と土木研究所が提案したガイドライン（文献1）はそのような基本的なスキームを提案したものであるが、事業ごとにさらに具体化した技術や手順を確立させることが今後の課題である。

## 7 不確実性とリスクの表現・共有技術の改善

### 7.1 概要

地質・地盤リスクマネジメントにおいては、事業者や事業に携わる土木技術者にはリスクの「切迫度」がイメージしにくく、「我がこと感」を持つことができないことが多い。地質技術者側の自己満足で終わるとリスクが放置される。イメージを共有できないということが人為的要因の重要なポイントである。このため、関係者間で地質の不確実性やリスクのイメージを共有する作業が必要である。

この作業はリスクマネジメントにおいて最も重要な作業の一つであるが、これまで地質技術者は強く意識して行っていなかった。あるいは意識して行っていた技術者もいるかもしれないが、土木事業においては地質技術者の意見が重視されない場合もある。そのため地質の不確実性や地質リスクの表現技術は発展途上にあり、今も確たる方法がない。これについては筆者も良い案が浮かばないところではあるが、以下では、地質の不確実性のイメージとはどういうものか多少の考察を行い、これを地質専門外の関係者にどう共有したらよいか考えてみる。

### 7.2 地質の不確実性のイメージ

#### 7.2.1 地質図作成における不確実性

地質図の不確実性のイメージの表現例として、過去の文献には「楽天的地質図」、「悲観的地質図」、というアイディアがあるが、必ずしも有効ではない。どこまでも楽天的・悲観的になり得る

から、すなわち「程度」がわからないからである。そこでまず、地質技術者が「不確実性」やその「程度」をどうイメージしているか考えてみよう。

たとえば、ボーリングコアを観察して2つのボーリング孔間を描くとする。そのコアの地質の成り立ちの違いや地質性状の違いにより、様々な地質図・地質工学図が描かれ得る。この地質図の「不確実性」とは何か、簡略に3つに分類、あるいは段階化してみる。

#### (1) 地質解釈（地質構造）の不確実性

1つ目は、地質の成因の解釈（地質解釈）の不確実性である。これは大局的な地質構造の誤りにもつながり、特に重要である。例えば図9のような多様な地質解釈の可能性がある中で、どの地質解釈を選定するかという不確実性である。

この不確実性を低減するには、地質性状と地層境界の性状に関して、様々な地質学的な知見や分析を駆使して複数の成因・地質解釈を提示し（これを多数作業仮説という）、そのうえで、その中から最も正しそうな成因・地質解釈を選択することが地質調査では一般的に行われている。このとき、他の成因・地質解釈の可能性も否定できず、その確認が工学上重要であるならば、この考察過程をわかりやすく（イメージできるように）説明する必要がある。

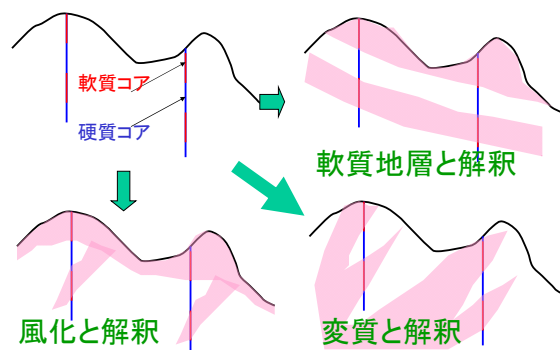


図9 地層の硬軟の成因の地質解釈による地質図の違い

また、そのうえで、「地質解釈に関わる残余のリスクの調査」として、他の成因・地質解釈の可能性を確認する調査を提案することが必要である。地質解釈（地質構造）の不確実性は、例えば、「地すべりがあるかどうか」、「活断層があるかどうか」といった地質解釈でも同様である。

これに関して、JIS A 0204「2019 地質図-記号、色、模様、用語及び凡例表示」では<sup>17)</sup>、表-6のように、「存在確実度」や「位置正確度」といった分類が提案されている。地質解釈の誤りは「存在確実度」と「位置正確度」の両面に関わるものである。しかし同表の「推定」、「確実」、「不確実」などの用語はアバウトなものであり、個人によってもそのイメージが異なると思われるため、不確実性についてできるだけ客観的なイメージを持てるように、地質モデルの不確実性の説明には何らかの補足や例示などが必要であろう。また、なぜ「不確実」なのかという根拠を明確にすることも重要であろう。

**(2) 地層境界線（地質分布）の不確実性**

2つ目は、地層境界線を内挿・外挿する時の線の描き方の不確実性である。これは地質分布の不確実性に関わる部分ともいえる。これにつ

いては、2つのボーリングが極めて近ければ不確実性は小さいが、遠いほど不確実性は大きくなる。また、その地層境界が堆積岩の整然層の地層境界なら不確実性は小さいが、混在岩であったり（図-10）、不整合面であったり、断層破碎帯や変質帯の境界線であったりしたなら、不確実性は大きくなる。

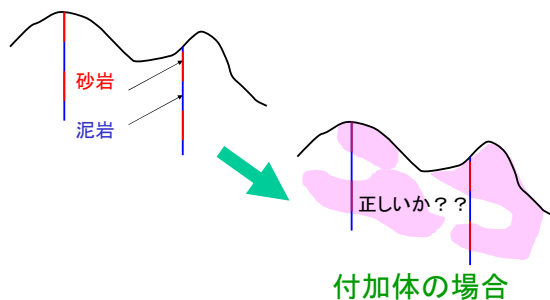


図-10 地質解釈が正しくても地質分布に不確実性がある場合の例

地質技術者は、そのような様々な地質的考察の下で地層境界のラインを引く。また、想定の不確実性が大きそうであれば、あるいはその不確実性が土木施設の設計に悪影響を与えそうであれば、もっともありそうなラインではなく、「安全側」に地層境界を引くこともあるかもしれない。つまり地質技術者が描く地層境界線に

表-6 JIS A 0204 の解説における存在確実度と位置正確度に基づく断層の区分<sup>17)</sup>

区分体系	定義	対象	高総裡での適用地質図	存在確実度	位置正確度			
					非伏在			伏在
					明確	ほぼ正確	推定	特定しない
1	存在確実度不特定・位置正確度不特定	1/100万程度の小縮尺地質図での使用を想定	1/100万地質図など	特定しない	特定しない			位置伏在
					特定しない			位置伏在
2	存在確実度特定・位置正確度不特定	1/20万程度の中縮尺地質図での使用を想定	1/20万地質図幅、1/20万海洋地質図など	確認	特定しない			位置伏在
				推定	特定しない			位置伏在
3	存在確実度特定・位置正確度特定	1/5万程度の大縮尺地質図での使用を想定	1/5万地質図幅、大縮尺の火口地質図、特殊地質図など	確実	位置正確	位置ほぼ正確	位置推定	位置伏在
				不確実	位置正確	位置ほぼ正確	位置推定	位置伏在

は、既に「リスクマネジメント上の配慮」が含まれている場合もある。

それでもなお地質境界には不確実性がある。したがって地質技術者は、地質境界の描き方に関してわかりやすく（イメージできるように）説明したうえで、「地質図に描かれた地層境界がどの程度不確実であるか」を説明しなければならず、これは、かなり難しい作業になる。

なお、この「地質境界線の不確実性」は、前述の JIS A 0204（表-6）における「位置正確度」に関わるものである。ちなみに、土木地質調査においては、学術的地質調査に比べて、求められる「位置正確度」が非常に高いこと、またその正確度はインフラの構造や設計との兼ね合いで決まることは言うまでもない。その点で、このような不確実性に関する用語を事業者等に説明するには、「位置正確」、「位置ほぼ正確」、「位置推定」の違いはどういうことなのかイメージできるように、補足や例示、根拠の説明等が必要であろう。

### (3) 地質性状（材質、物性等）の不確実性

3つ目は地質性状や物性の不確実性である。例えば岩体中の強度や変形性の違い、また岩体中の重金属の含有量のばらつきなどもこれに含まれる。これらを正しく推定するには、ばらつきの発生原因（風化、変質、岩相変化等）の解釈と、ばらつきに応じた調査量などが必要になる。

地質技術者は、これらのばらつきの成因等に関して説明したうえで、「物性のばらつきがどの程度であるか」を「わかりやすく＝イメージできるように」説明しなければならない。

### (4) 不確実性の複合

これら地質解釈（地質構造）、地層境界線（地層分布）、地質性状（物性）の不確実性は、通常はそれぞれ別個に存在するというよりも、これらが複合して地質の不確実性を形成していることに留意する必要がある。

### (5) 不確実性と必要調査精度

これらの不確実性に対して、ダム地質調査

において、どこまで不確実性を減じるべきか、すなわち必要調査精度は、調査目的に応じて変わってくることに留意が必要である。

たとえば活断層への対応の場合、ダム基礎の「ずれ」への対応（目的1）とダムの耐震性能照査などの「ゆれ」への対応（目的2）がある。目的1に対しては、ダム敷から活断層を避けるために綿密な地質調査が必要とされる。いっぽう、目的2に対しては、ダムサイトから遠くの起震断層となる活断層の推定は、通常は既往の文献調査によるところが大きい。その結果、地質解釈・地層境界線・地質性状には一定の不確実性を持ち、これらが複合することで活断層の位置や長さなどについても一定の不確実性を伴うこととなる。しかしダムの耐震性能調査において求められる地質調査精度は、同じ活断層を対象としていてもその調査目的が異なるため、ダム基礎の「ずれ」に対して求められる調査精度に比べ低くとも問題ないことが多く、また、起地震断層の推定に用いる文献も内閣府や文科省等の政府の情報も含めて総合的に実施されていることから、耐震性能照査という目的に対しては必要な精度を満たしていると解釈される。

なお、政府等が行っている活断層の調査においては、地質調査だけでなく地形学的な推定や過去の地震記録による推定、またときには地球物理学的な情報等も加味することでその不確実性を減じている。地質リスクのような複雑系を対象とする場合には、地質分野だけでなくこのように多様な技術・学術分野を総合して不確実性を減じることが重要であるといえる。

## 7.2.2 不確実性の表現例

上記3つの不確実性に対して、地形学的・応用地質学的考察を経て地質図・地質工学図が描かれる。

ここでは、このように描かれる地質図・地質工学図あるいはデータの複雑性や不確実性の表現方法や表現例についていくつか例示し、今後、関係

者が不確実性のイメージを共有していくための参考にした。ただし下記に示す例はあくまでも発展途上の技術であるという印象がある。これらをどう発展させ、活用すべきか、という視点で見るべきである。

### (1) ボーリング密度による不確実性の表現例

図-11はボーリング等の調査密度により、不確実性、または信頼性を濃淡図（ヒートマップ）で表現した例である<sup>18)</sup>。調査密度は定量的に示しやすい指標であるが、複雑な地層の場合は調査密度が高くとも不確実性が低いとは限らないのが課題である。すなわち不確実性は、地質の複雑性と調査密度等のマトリックスで表現する必要がある。

### (2) データのばらつきを表示による不確実性の表現例

図-12は、貯水池地すべりについて、地形判読などの机上調査のみで地すべりの深さを想定したもの（横軸）と、実際にボーリング調査を

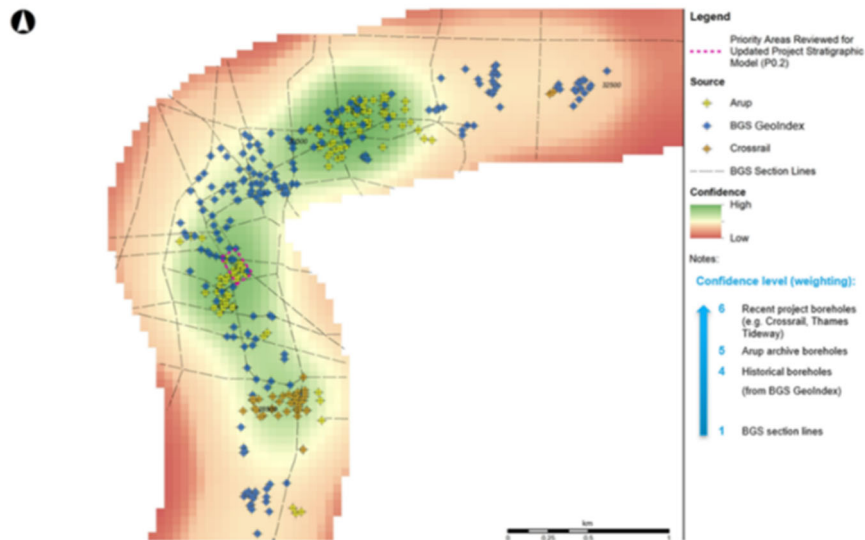
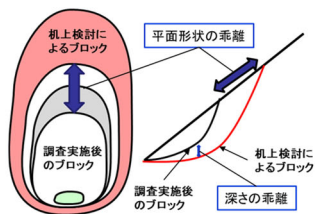


Fig. 10. Extract from confidence heat maps produced to inform viewers of the Project Stratigraphic Model of the level of confidence they should place on strata levels at particular locations along the proposed route.

Figure 211 Confidence heat map for strata levels (Ting et al. 2020)

### 図-11 ボーリング密度の濃淡図（ヒートマップ）による信頼性の表現例(Ting et al. 2020)<sup>18)</sup>

行い地すべり深さを確認したもの（縦軸）で、どの程度の差異があるかをグラフ化したものである<sup>19)</sup>。これにより、机上調査での予想にどの程度の不確実性（ばらつき）があるかわかるものとなっており、土木事業の計画時点での概略予算の不確実性（事業リスク）が想定できるものとなっている。このように、過去のデータを蓄積することで不確実性を定量的に表現できる場合もあり、データ蓄積が望まれる。



地形のみから地すべり深度を予測した場合、実際の深度が3割増し以上になる確率が10%程度あり、逆に2.5割以上減となる確率も27%ある。

土木研究所  
地質チーム資料より

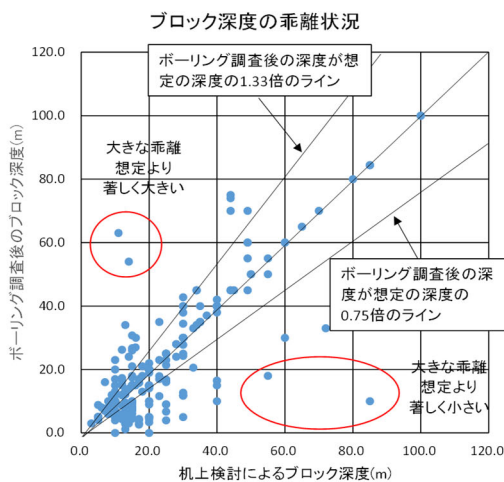


図-12 机上調査時点とボーリング調査後における貯水池地すべりの深さの差異<sup>19)</sup>

(梶山・阿南, 2022<sup>20)</sup>のデータをもとに土木研究所地質チーム作成)

### (3) 分類表による不確実性の定性的表現例

表-7は地質工学モデル (Engineering Geological Model, EGM:土木地質図や岩級区分図等のこと) に対する信頼性の定性的な分類例である<sup>18)</sup>。得られたデータ等によって、Implied (暗黙の) から Qualified (条件を満たした)、Justified (理にかなった)、Verified (立証された) となるにつれ地質工学モデルの信頼性が高いものになっているとしている。

例えば Implied は、「現場の地盤データがなく、地質工学的モデルも概念的で信頼性が乏しい」状態であり、一方、Verified は「サイトに特化したデータが抽出され、建設中の露頭において全ての地質工学ユニットやその地質境界線

が図化されている。概念モデルと観察によるモデルが高いレベルで一致している。地質工学モデルが基礎やトンネル等の現場露頭の直接観察により図化されている。地質工学モデルの信頼性は最も高い」状態を指す。

### (4) 地質モデルの不確実性の半定量的表現例

表-8は「地質モデルの複雑性の評点システム」の例である (Keaton, 2015)<sup>18)</sup>。この評点法では、まず表の上半部で「地質の複雑性」が評点され、複雑な地質ほど高い値となるのに加えて、表の下半部では、「露頭の露出程度」、「情報の品質」、「地質技術者の技能レベル」、「業務の作業時間」なども加味して「地質調査の信頼性」を評点化し、最後に「地質の複雑

表-7 地質情報 (地質モデル) に対する不確実性の分類例<sup>18)</sup>

Data Type	Requirements (adapted from Haile 2004) assuming that the EGM is being developed by competent practitioners
Implied	<ul style="list-style-type: none"> <li>No site-specific geotechnical data necessary or available.</li> <li>EGM is primarily conceptual.</li> <li>The EGM has a low level of reliability.</li> </ul>
Qualified	<ul style="list-style-type: none"> <li>Project-specific data are broadly representative of the main engineering geological units and inferred geotechnical domains, although local variability or continuity cannot be adequately accounted for.</li> <li>Observations broadly conform with conceptual model. Non-conforming areas identified.</li> <li>The EGM has a moderate level of reliability.</li> </ul>
Justified	<ul style="list-style-type: none"> <li>Project-specific data are of sufficient spatial distribution (density) to identify geotechnical domains and to demonstrate continuity and variability of geotechnical properties within each domain.</li> <li>High degree of agreement between the conceptual and observational models</li> <li>The EGM has a high level of reliability.</li> </ul>
Verified	<ul style="list-style-type: none"> <li>Site-specific data are derived. All engineering geological boundaries/units have been mapped in the field upon exposure during construction.</li> <li>High degree of agreement between the conceptual and observational models</li> <li>EGM is based on exposure mapping for example foundation/tunnel and direct observation of in situ conditions.</li> <li>The EGM has the highest level of reliability.</li> </ul>

表-8 地質モデルの複雑性評価システムの例 (Keaton, 2015)<sup>21)</sup>

Component	Points	3	9	27	81
Regional-scale geologic complexity	Genetic - deposition or emplacement	Simple, uniform conditions	Generally simple, predictable conditions	Somewhat complex, generally predictable conditions	Highly complex and variable conditions
	Epigenetic - structural or deformational	No faulting or folding observed or expected	One episode of limited faulting and folding expected	Two episodes of limited faulting and folding expected	Multiple episodes of major faulting and folding expected
	Epigenetic - alteration or dissolution	Unlikely because of geologic setting	Possible because of geologic setting	Likely because of geologic setting	Known to exist
	Epigenetic - weathering and erosion	Uniform weathering profile; minor erosion	Generally regular weathering profile; some erosion	Irregular weathering profile; moderate erosion	Highly irregular weathering; extensive erosion, buried valleys
Site-scale geologic complexity	Vertically and laterally uniform over project site	Generally regular over project site	Irregular over project site	Highly irregular over project site	
Terrain features	Some relief; many good exposures	Some relief; some good exposures	Strong relief; poor exposures	Heavy vegetation; very poor exposures	
Information quality	Extensive data from multiple sources	Limited data from few sources	Reconnaissance level information	Existing information only; desktop study	
Geologist competency level	Professional Geologist with local field experience	Professional Geologist with field experience in non-similar geology	Geology degree or equivalent with some field experience	No geology training or experience (engineer or non-earth scientist)	
Allotted time or level of effort	Ample time; well-developed interpretation	Adequate time; thoughtful interpretation	Brief time; thoughtful interpretation	Brief time; rushed interpretation	

性」と「地質調査の信頼性」の両者を加算する仕組みである。その結果、「地質モデルの信頼性」が低いものほど点数が高い値となり、地質モデルの取り扱いに留意が必要なが分かる仕組みになっている。

「地質の複雑性」についてはまず、「地層の堆積時・形成時の初生的な複雑性」について分類されており、さらに、その後の続成過程等での後生的な複雑化として、「断層・褶曲構造等による複雑化」、「変質による複雑化」、「風化による複雑化」がそれぞれ4段階で評価される。例えば断層・褶曲構造等による複雑化では、「断層や褶曲が観察されない、または想定されない（3点）」から、「主な断層・褶曲について複数の事象が想定される（81点）」までが分類されている。

一方、表の下半部にある項目のうち、例えば「地質技術者の技能レベル」については、「当該地域の地質についての経験がある

PG(Professional Geologist)資格者（日本でいえば応用理学（地質）の技術士）（3点）」、「類似地質の経験がないPG資格者（9点）」、「いくつかの地質経験のある地質技術者（27点）」、「地質のトレーニングや経験のない技術者、非地質技術者（81点）」等に分類されている。

このような地質モデルの信頼性分類によってその後の地質調査や事業の進め方をどのように変えているかについては興味のあるところである。

### 7.2.3 言語表現による不確実性の表現とリスク

#### コミュニケーションの必要性

#### (1) 言語による不確実性の適切な表現の必要性

前述の諸例を見ると、地質の不確実性が数値により表現され得ているのは空間データや統計データの収集が可能であったごく一部の事例のみである。その他の多くにおける不確実性の表現方法は、表-6~8で例示されたように定性的な分類、すなわち言語表現によるところが大きい。

地質工学モデルの不確実性の3要素である「地質解釈」、「地質境界線」、「地質性状（材質、物性等）」の3つのうち、「地質性状（材質、物性等）」のばらつきに対しては、GIS等で用いられる内挿法・空間補間法（IDW、クリギング、スプライン、Natural Neighbor、トレンド等）が用いられることがあり、その場合は予測の不確実性も数値的に表現されることもある。しかし、そのほかの、「地質解釈」や「地質境界線」に関しては、地質学的考察に負うところが大きく、GIS等で用いられる内挿法・空間補間法を用いることはダムでは通常ない（土質地盤で地質構造が単純な場合の地質境界線を除く）。そのため、これらの不確実性の程度に関しては、地質技術者が何らかの「言語」で説明するしかないのが現状であろう。すなわち地リスクの多くは、まだ定量化できる技術レベルにない。

しかも、事業者や土木技術者などの地質の門外漢に、これをどう説明すればいいだろうか。

「不確実の程度」を、バックデータなしで数値的に表現することは不可能である。説明できるとしても、通常は、「地層の成り立ちの解釈はほぼ確実だ」とか、「不整合面なので、数mくらいのアンジュレーションは十分あり得る」とか、「混在岩なので数10m離れるとその想定はかなり不確かだ」といった説明になる。定性的な説明として、前述のJISA 2024の解説では存在の不確実性について、「確認」、「確実」、「ほぼ確実」、「推定」、「特定しない」などの分類を、また位置の正確性については「正確」、「ほぼ正確」、「推定」、「特定しない」などの分類を用いているが、既に述べたようにこれも個人によりイメージが異なる。

そのほかにも、「かなり確からしい」、「可能性が最も高い」、「その可能性もかなりある」、「可能性が低い」、「可能性は非常に少ない」といった様々な「言語イメージ」がある。そして、その不確実性のイメージから想定される、いくつかの事業リスクが提示されることにな

る。このような、言語による不確実性・リスクの適切な表現方法について検討していく必要がある。

なお、米国の USACE のダムのリスクマネジメントでは、経験技術者の議論によってリスクの起こりやすさを分類しているが、その際にはリスクの起こりやすさを示す言語とその起こりやすさの大まかな数値を次のように分類しているという。これを見ると、リスクの起こりやすさは、「オーダー」のレベルでしか分けられていないことが理解できる。また、それでもあえて数値化するというところが米国らしさにも思われる。

- Very Certain : ほぼ 100%
- Very likely : 99%
- Likely : 90%
- Neutral : 50%
- Unlikely : 10%
- Very Unlikely : 1%
- Virtually Impossible : 0.1%

## (2) リスクのリスト化技術の必要性

5 章でも述べたが、地質の不確実性をふまえて、可能性のあるリスクをリスト化することが重要である。これは当たり前のように思われるが、ダムの地質調査においては必ずしも体系的に行われていない。

このとき「適切なリスト化技術」も必要である。例えば地すべりにおいて複数のすべり面の可能性がある場合に、従来は、いくつかのすべり面候補の中からその都度技術者が、最も可能性が高い一つのすべり面を選択し、それ以外のすべり面候補の可能性については排除され、以降考慮されないことが多かった。しかしそのすべり面を選択した段階ではボーリング数が少なく、その後さらに周辺でボーリングが進むと、選択したはずのすべり面が否定され、いったん排除されたすべり面が採用されることもあり得る。

したがって、このようなことを避けるために、可能性のある複数のすべり面の可能性を考慮して複数の斜面安定解析を行い、リスクを整理するこ

とが望ましい。このとき、「どのような不安定化モードがあり得るか」、「どのように複数のすべり面候補を抽出・選定するか」、「どのようにすべり面強度を設定するか」、等を考慮してリスクパターンを組み合わせ、リスト化する手順が必要であるが、これが発展途上である。適切なリスクリストがあつて初めて次のリスクコミュニケーションに進むことができるため、具体的なケーススタディを積み重ねることで技術発展させる必要がある。

## (3) リスクコミュニケーションシステムの体系化の必要性

言語イメージが個人によってかなり違うことは課題であるものの、リスクリストが作成され、その各リスクが適切に言語表現されれば、関係者間でのリスクコミュニケーションが進むほど事業者等はその定性的なイメージを自分なりに咀嚼できる。そしてリスクについて、技術的に、あるいは行政的に、より適切な判断ができることになるため、リスクコミュニケーションは重要である。

地質調査業務では、事業者等とのリスクコミュニケーションの実施については規定化・義務化されていないことが多いと思う。しかし今後は必要であり、業務報告書での記述とともに、口頭でも説明する必要がある。確実なイメージ共有のためである。繰り返しになるが、たとえ定性的であっても、地質技術者から詳しく説明を受けるほど、事業者等は、地質技術者に近い「不確実性のイメージ」「リスクのイメージ」を概ね共有することができる。その反対に、あまり説明を受けなければ、イメージは共有されない。つまり誤解するリスクが高まる。これをふまえると、地質技術者も説明の工夫をする必要があるし、事業者等も理解する努力が必要である。それがリスクコミュニケーション技術である。

「不確実性が低くなるように地質調査を詳細に行えばいいだけではないか」といわれるかもしれない。しかし追加調査をすべきかどうか

も、「イメージ」が共有されない限り、事業者はゴーサインを出せない。つまりイメージの共有は、リスクマネジメントの基本事項・前提である。

リスクが共有されなければ追加調査もなく、追加調査がなければリスクが明確にならないという「どうどう巡り」のような状況を、関係者の緊密なリスクコミュニケーションによって打破していくことが求められる。

#### (4) リスクコミュニケーションシステムの体系化の取り組みと課題

リスクコミュニケーションを事業システムに内包化する取り組みは実際に進められている。例えば公共工事の発注方式で ECI 方式（技術協力・施工タイプ）等の多様な発注方式が活用されるようになってきているが、このような発注方式自体が、関係者の知識を融合させることでリスクコミュニケーションを促進し、品質の高い工事を行う取り組みの一つといえる。また、四者会議（ここでは事業者、設計者、施工者の三者に加えて地質調査者の四者を指す）、連絡調整会議等の連携の取り組みもリスクコミュニケーションに相当する。

最近工事を開始した国土交通省のあるダムでは、事業者（地方整備局、ダム事務所）と施工者、設計者、地質調査者等が web を最大限活用して、毎月「事業統括会議」を実施している。これは一種のリスクマネジメント会議である。しかもこの会議の前段階に下部会議が何段階かあり、関係者のコミュニケーションを促進することにつながっている。今後もこのような試みが進展することが期待される。

ただし既に述べたようにこのような会議は長い会議時間が取れず深い議論になりにくい。また、特定の声の大きい人や長話等により重要な議論ができないこともあり得る。このため、「リスクに関する事前の資料整理」や「わかりやすいリスク表現」、「多様な発言者の確保」、「時間不足の際の対応」等を規定することにより、効率的に議論を進める必要がある。そのよ

うな「リスクマネジメント会議技術（ルール、マナー等）を進化・体系化し実装していくことも重要である。

## 8 産学官の関係者の連携の構築・支援

前章までに述べた一連のことを実現するのは一組織でできることではなく、産官学の連携が重要となる。以降では、関係者の連携の重要性と、ダム技術センターの役割について考察する。

図-13 は地質・地盤リスクマネジメントを進化させるために必要な関係者の連携のスキームの例を示したものである<sup>19)</sup>。これは筆者が土木研究所所属時に構想したものであり、国土技術政策研究所や土木研究所等が技術面でのナレッジハブとなって情報を集め、リスクに関するガイドラインや参考書の作成、講習会、リスクマネジメント支援ツールの作成、各現場の支援等を行うスキームである。

同図はダムに特化したものではないためダム技術センター名は含まれていないが、ダムの地質リスクの場合は当然ながらダム技術センターもこの連携の中で支援者としての役割を果たしていくことが望まれる。ダム技術センターの役割としては、ダム技術の専門家組織として、自治体等を支える形で現場のリスクマネジメントを技術面で支援することのほか、各種事例の経験をふまえ、本省・国総研・土研等とともに、リスクマネジメントのための連携枠組みの改善、リスクナレッジ DB の構築と蓄積の支援、ガイドラインや参考書類の作成支援、講習会支援といった技術支援方法が考えられる。

例えば令和 7 年 6 月 30 日には、一般的な土木事業を対象とした「地質・地盤リスクマネジメント講習会」が、(国研) 土木研究所・(一社) 日本応用地質学会・(一社) 全国地質調査業協会連合会の共催により、国や自治体等の発注機関ならびに技術者を対象に実施された。この講習会に際しては国土交通省技術調査課から省内外にも案内があったことから 500 名を超える参加者があったという。

ダム技術センターでは既に単独事業として「ダム技術研究発表会」や「現地技術研究会」等の取り組みを行っているが、ダムの地質リスクに関しては、ダム技術センターと関係団体が連携して上記のような取り組みを行うことが考えられる。

ダム技術は総合技術であり、地質リスクの評価や対応は地質技術者のみでもダム技術者や事業者のみでも不可能であり、関係技術者の連携が不可欠である。国土交通省と（国研）土木研究所による「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-」の中で謳われている

「ONE-TEAM」は、ダム事業においてこそ最も必要な概念であることを再度強く意識し、連携体制を構築する必要がある。特に行政をリードし得る立場の関係者が中心となってこの種の連携・協働体系を形成する必要がある。

### 9 ダム地質に関する国際連携の枠組みの構築

最後に、国際連携の枠組みの構築の検討状況について簡単に報告する。

ダムの地質リスクは多様であるため、その対応を学ぶには、国内だけでなく海外のリスク事例や対応の取り組みについて連携して収集・分析・学習することが効率的である。

ダムの安全性全般については国際的にも大きな課題となっており、例えば世界銀行では、ダムの安全と下流コミュニティの安全に関する規制枠組みのグローバル比較分析を行った報告書を作成している（文献 21）。この中では、米国の FEMA 等における RIDM (Risk Informed Decision Making) やその中での潜在的破壊モード解析

(PFMA) の取り組みなどが紹介されており、地質リスクもこのようなスキームの中で議論される。また世界銀行では上記報告書に関連するものとして、日本におけるダムの安全管理方法についても報告書を作成しており(文献 22)、この中でリスクマネジメントの一つとしてのダム基本設計会議の役割等についても述べている。

一方で、ダムの地質リスクについて地質技術者が学習・分析する国際的な連携の枠組みは乏しい。例えば国際大ダム会議では基礎に関する委員会があるが、基礎処理等の設計・施工技術者が主体で地質の調査・評価技術についてはあまり取り扱っていない。また、国際応用地質学会

(International Association for Engineering Geology and the Environment, 以降 IAEG) には各種技術委員会が存在するが、ここでもダムの地質技術に特化した国際連携は存在しない。

そこで各国の地質技術者がダムの事例を持ち寄



図-13 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) 19)

り、各国のダムにおける地質リスクの事例やグッドプラクティス、調査・評価・対応技術等をともに学ぶこと、またこれを通じて自国や国際的なダムの安全管理システムを向上させることを目的として、筆者は2023年に、ダムの先進国の一つである米国の地質技術者協会（AEG）の年次大会（ポートランド）において「ダムと堤防の技術委員会」にオブザーバ参加し、国際交流を呼びかけた。さらに2024年には、日本応用地質学会土木地質研究部会の複数メンバーおよび（国研）土木研究所のメンバーとともに、再びAEG年次大会（フィラデルフィア）を訪問し、日米のダム地質技術者の交流を開始するための学会間の正式な交流を開始した。これにより、2025年10月には、札幌市で行われた日本応用地質学会の年次大会において、「地質関連リスクとダム」と題する日米の特別セッションを開催した。本セッションではダム技術センターの山口嘉一理事が招待講演を行うとともに、AEG側から5編、日本応用地質学会側からも5編の一般発表が行われた。

さらに、2国間だけでなく多国間の枠組みとして、IAEG内に「ダムと堤防の技術委員会（Dams and Levees Committee, DLC）」を組織すべく米国のAEGのメンバーとともに活動を開始した。これにより、2025年9月に行われたIAEG総会において、ダムと堤防の技術委員会が正式に承認された。この技術委員会では各国のダム地質に関する様々な基準・指針・マニュアル類やケーススタディ、新技術等を収集・共有する予定であり、これによりダムの地質リスクマネジメント等についても知見が得られるものと期待される。

## 10 まとめ

地質リスクの人為的要因に対する今後のあり方は下記のようにまとめられる。

- ・地質の不確実性は不可避と知る。
- ・地質リスクの社会的重要性を具体的に知る。
- ・人為的要因はリスクの主要因であると知る。  
（リスクマネジメントは人為的要因をコントロ

ールする行為。地質のせいにしてない）

- ・リスク抽出は難しい作業であると知る。  
（教訓の社会的共有化、リスクの教科書・教訓集の作成）
- ・議論を交わし常識を融合させリスク見逃しを避ける。  
（多様な専門の視点、ワンチーム制）
- ・地質技術者はリスクをわかりやすく示す。  
（調査報告書の改善による不確実性のある見える化、地質調査によるリスク低減効果のある見える化、地質総合解析の改善）
- ・事業者はリスクの取り扱いの判断の目安を（関係者とともに）考え、関係者と共有する。
- ・人為的要因の芽を摘む仕組みをつくる。  
（「リスクの関所」、リスクチェック業務等）
- ・リスクの心理学を学び活用する。  
（働き方改革の推進、心理的安全性の確保、エラー防止の工夫等）
- ・不確実性とリスクのイメージを共有する  
（不確実性やリスクの定量化技術、リスクイメージの見える化技術や共有技術、リスクの言語表現技術等の開発）
- ・リスクコミュニケーションを行う。  
（四者会議、連絡調整会議、リスクマネジメント会議等の実施）
- ・リスクコミュニケーション技術を進化させる。  
（リスクマネジメント会議技術の体系化等）
- ・関係者の連携・協働、国際連携等によりリスクマネジメント技術を発展させる。

## 謝辞

本報告は令和6年日本応用地質学会シンポジウム予稿集（佐々木,2024）<sup>23)</sup>をもとに、ダムを対象として追記・修正したものである。活用を快諾された（一社）日本応用地質学会に感謝する。

## 引用文献

- 1) 国土交通省・（国研）土木研究所(2020):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-,69p. 及び参考資料・検討

委員会資料

<https://www.pwri.go.jp/jpn/research/saisentan/tishitsu-jiban/iinkai-guide2020.html>

- 2) C.R.I. Clayton : Managing Geotechnical Risk – Improving Productivity in UK Building and Construction, *Institution of Civil Engineers and Thomas Telford Ltd*, 2001. (一般社団法人全国地質調査業協会連合会訳:ジオリスクマネジメント,古今書院,2016.)
- 3) 阿南修司 (2021) : 地質・地盤リスクマネジメントについて,地盤工学会誌, Vol.69,No.762,pp.13-16.
- 4) 小松田精吉(1997) : 地盤に関わる工事事故の原因論-事故予防工学をめざして-,新潟応用地質研究会誌,Vol.48,pp.9-14.
- 5) 長谷川怜思・日本応用地質学会土木地質研究部会 (2013) : 事例収集に基づく土木地質分野における現状と課題,平成 25 年度研究発表会講演論文集,pp.99-100,2013.
- 6) 佐々木靖人(2019) : 地質技術者リスクとその回避に関する考察,日本応用地質学会令和元年度研究発表会講演論文集.
- 7) 佐々木靖人ほか(2025) : 土木技術者のための岩盤力学 [応用編] (ダム編) ,土木学会.
- 8) 中村康夫(2023) : 地質現象とダム (第二版) ,ダム技術センター,915p.
- 9) 南日本放送 (2021) : 南日本放送 HP MBC 防災情報お天気防災スイッチ.  
[https://blogs.mbc.co.jp/bousai/cat\\_mbcbousai/3426/](https://blogs.mbc.co.jp/bousai/cat_mbcbousai/3426/)
- 10) みずほ銀行 (2024) : みずほ銀行 HP.おかねアカデミー  
<https://www.mizuhobank.co.jp/academy/index.html>
- 11) 東京企業リスク研究会 組織文化グループ (勝呂博之・井上友幸・岡崎洋志・東山尚稔・遊佐茂之. 岩本浩志・赤嶺彰紀) (2006) : 企業リスクと心理学,リスクマネジメント TODAY (リスクマネジメント協会) ,pp.76-84.  
<https://www.arm.or.jp/pdf/resource/ronbun/2006/2006-15-sosiki.pdf>
- 12) 河野龍太郎(2014) : 人は「正しい」と判断して行動する-ヒューマンエラーは原因でなく結果である-,運輸事業の安全に関するシンポジウム,国土交通省.  
<https://www.mlit.go.jp/common/001067785.pdf>
- 13) 清水国夫(2005) : “unforeseeable”への備え,応用地質,Vol.46,No.4,p.189.
- 14) USACE (2022): Interim Approach for Risk-Informed Designs for Dam and Levee Projects, Engineering and Construction Bulletin (ECB) 2022-7.  
<https://wbdg.org/ffc/dod/engineering-and-construction-bulletins-ecb/usace-ecb-2022-7>
- 15) 阿南修司(2022) : ダム事業における地質・地盤リスクマネジメント,土木技術資料 (特集地質・地盤リスクマネジメントの社会実装に向けて) , 64-6,pp.10-13.
- 16) 佐々木靖人(2024) : 米国ポートランドでの地質技術者協会 (AEG) 年次大会,ダム技術,No.448, pp.5-21.
- 17) 日本規格協会(2019) : JIS A 0204: 2019 地質図-記号,色,模様,用語及び凡例表示.
- 18) IAEG Commission 28 (2022): Commission 28-Reliability quantification of the geological model in large civil engineering projects.
- 19) 佐々木靖人 (2021) : 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント技術,土木技術資料,63-1,pp.18-21.
- 20) 梶山敦司・阿南修司(2022) : 貯水池周辺地すべりにおけるブロック形状の特徴,応用地質,62-6,pp.377-383.
- 21) Marcus J. Wishart, Satoru Ueda, John D. Pisaniello, Joanne L. Tingey-Holyoak, Kimberly N. Lyon, and Esteban and Esteban Boj Garclia (World Bank Group) (2020): Laying the Foundations -Global

Analysis of Regulatory Frameworks for the Safety of Dams and Downstream Communities-,385p.

(<https://documents1.worldbank.org/curated/en/826021605862739667/pdf/Global-Analysis-of-Regulatory-Frameworks-for-the-Safety-of-Dams-and-Downstream-Communities.pdf>)

- 22) World Bank (2025): Dam Safety Management in Japan, 84p.

(<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099081325103512863/pdf/P171966-3e6a6b39-4623-4eed-a460-8f9a8b661ffa.pdf>)

- 23) 佐々木靖人(2024):地質・地盤リスクの人為的要因と対応のあり方, 令和6年度日本応用地質学会シンポジウム「土木における地質リスクと地質・地盤技術者の役割-応用地質学と地盤工学のさらなる協働に向けて-」予稿集.pp.47-60.