

不確実性の低減による 建設リスクマネジメントの高度化

第3種

建設事業におけるリスクマネジメントに関する調査研究小委員会
(研究成果・中間報告)

委員長 宇田川 義夫

(一般財団法人千葉県環境財団 顧問、早稲田大学教育・総合科学学術院 無期非常勤講師)

委員名簿

委員長	宇田川 義夫	一般財団法人千葉県環境財団、早稲田大学
副委員長	大谷 達彦	西松建設株式会社
副委員長	尾畑 洋	株式会社熊谷組
幹事長	若月 和人	株式会社福田組
幹事	井ノ口 拓郎	株式会社安藤ハザマ
幹事	蟹井 猛宏	戸田建設株式会社
幹事	濱田 好弘	株式会社熊谷組
委員	田井 伶	株式会社鴻池組
委員	平工 哲嗣	西松建設株式会社
委員	森藤 勉	戸田建設株式会社

委員会の設立背景・目的

- ▶ 近年、博多駅前道路陥没事故や熱海市伊豆山で発生した土砂災害などのリスク事例が頻発している。このようなリスク事例に限らず、トンネル、ダム、道路の建設工事においては、地質リスク事象やヒューマンエラーなどにもとづく事故・災害が発生している。
- ▶ 特に、建設費の増大や工期遅延などの建設リスクにつながる、地質・地盤の不均質性分布にもとづく偶然の不確実性（Aleatory Uncertainty）やヒューマンエラーも含めた認識の不確実性（Epistemic Uncertainty）について調査研究をおこない、リスクにつながる不確実性低減のための研究をおこなう。
- ▶ 建設リスクにつながる不確実性の低減のための調査研究。

⇒ 不確実性を低減することによって、
建設マネジメントの高度化が図られる。

委員会の活動履歴

第 1 回	2023/06/30	リスクと不確実性
第 2 回	2023/09/29	山岳トンネルのリスク事象の要因と対策工分析、施工事例
第 3 回	2023/10/16-17	阿蘇大橋周辺・熊本地震復旧現場、黒川トンネル
第 4 回	2023/12/08	認識の不確実性、日暮山トンネルの地表面陥没事例
第 5 回	2024/04/08	道路土工における不確実性の段階的な低減
第 6 回	2024/07/12	岩盤浸透流の不確実性、断層破碎帯の構造
第 7 回	2024/09/20	不確実性の分類とリスク評価
第 8 回	2024/11/14-15	宇治田原トンネル・天ヶ瀬ダム
第 9 回	2025/01/17	トンネルプロジェクトにおける不確実性、トンネルトラブル事例
第10回	2025/03/18	トンネル応力分担比、押出し性地山、リスク低減に向けた研究例
第11回	2025/05/22-23	駒込ダム・青撫山トンネル
第12回	2025/06/25	地質リスク・不確実性評価の課題
第13回	2025/09/26	認知バイアス事例の調査研究
第14回	2025/11/18-19	利賀ダム・フォッサマグナ（糸魚川ー静岡構造線）
第15回	2026/01/23	認知バイアス事例の調査研究、相次ぐ地下水問題に関して
第16回	2026/03/19	認知バイアス事例の調査研究、トンネル本体工における湧水対策
第17回	2026/05/14-15	明石海峡大橋・大鳴門橋・野島断層保存館・北富士・成相ダム
第18回	2026/07/24	認知バイアス事例の調査研究、数値解析の不確実性

建設事業におけるリスク

- リスクとは目的に対する不確かさの影響（ISO31000：2018）
- 建設事業におけるリスクとは
「目的（建設）に対する不確かさ（不確実性）の影響」であり、
リスクとは「工程遅延」や「事業費の増大」である。

不確かさ（不確実性）

➤ 不確実性は下記のように類型化される。

- 偶然の不確実性 (Aleatory Uncertainty)
- 認識の不確実性 (Epistemic Uncertainty)

偶然の不確実性(Aleatory Uncertainty)

- 建設に関連するものとして、岩盤中の亀裂の数および方向性、力学的・水理学的特性といった地質パラメータの空間的なランダム性であり、減少不可能な乱雑性あるいは変動性のこと。
 - これを「変動性 (Variability)」と称し、不確実性とは区別している研究者もいる。
- ⇒ 自然に本来備わっている性質で、減少不可能であるので委員会の調査研究の対象外とする。

認識の不確実性(Epistemic Uncertainty)

➤ 建設に関連するものとして、地質調査の不確実性（地質調査不足）、物理探査の不確実性、数値解析モデルの不確実性、技術者の知識不足（無知）、認知バイアスによる誤った判断、などであり、詳細な調査・計測や研究、あるいは多くの専門家に意見を聞くこと等で減少可能なもの。

⇒ これらの不確実性は相互に関連しており、

それぞれの「不確実性」について調査研究を実施。

地質調査の不確実性（地質調査不足）

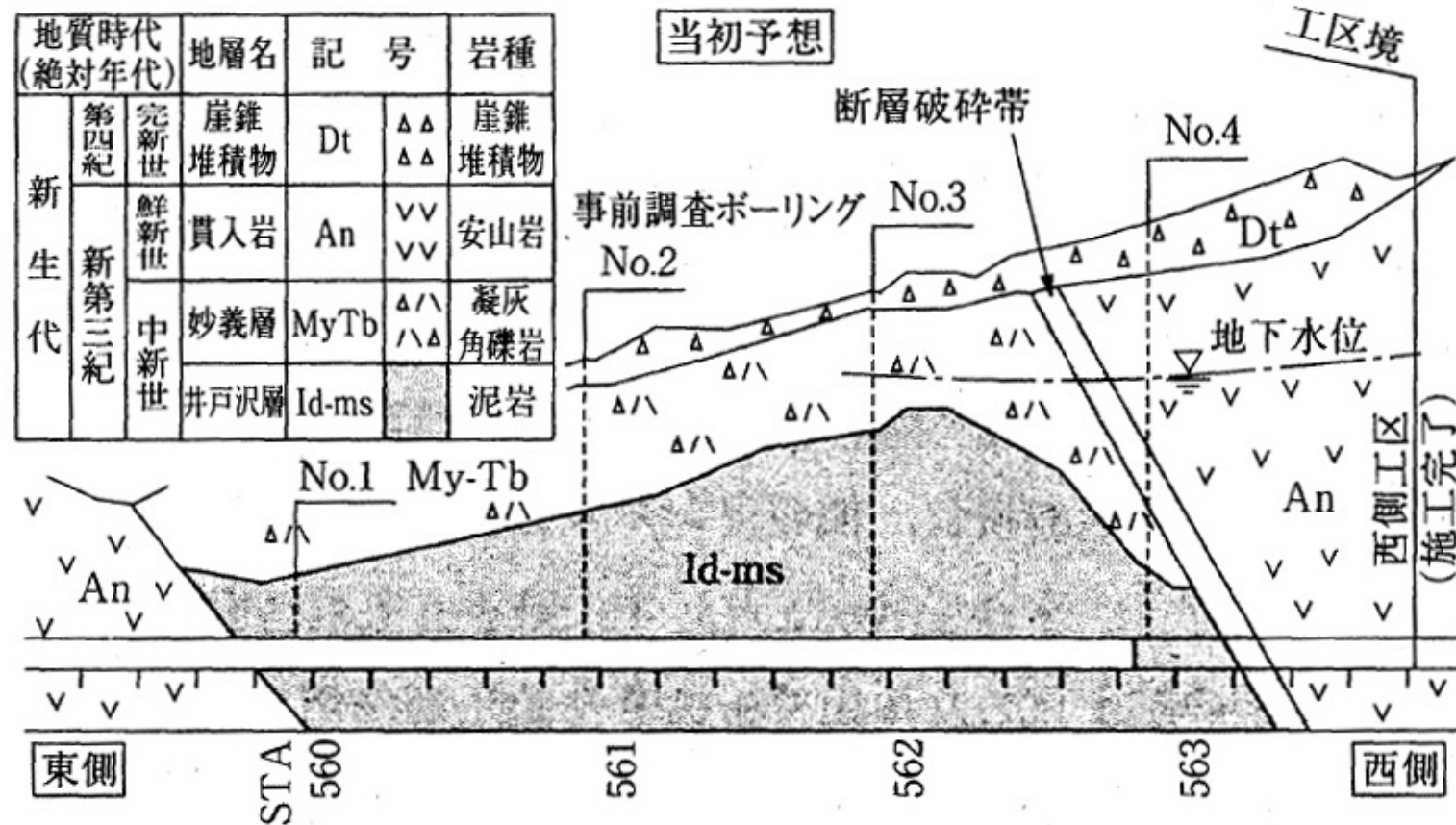
- ダムにおいては、グリッドシステムによって、数多くのボーリング調査、調査横坑などによる綿密な地質調査が行われ、コンクリート打設や盛り立て前には、ダム堤敷は全面が地質露頭となり、**入念な地質調査と岩盤分類**がおこなわれ、**せん断強度との対応付け**がなされる。また、遮水性を確保するために、ルジオン試験による**透水性の調査**とグラウチングなどの**基礎処理**が実施される。
 - コンクリートダムでは滑動に対する安全率4以上（Hennyの安全率）という**高い安全率**を確保するために、コンクリート置換処理、フィレットや造成岩盤などの**設計上の配慮**がなされる。
- ⇒ このように、ダムにおいては**綿密な地質調査**が実施され、**リスク回避の対応**が行われるため、**リスクが顕在化することはほとんどない。**

地質調査の不確実性（地質調査不足）

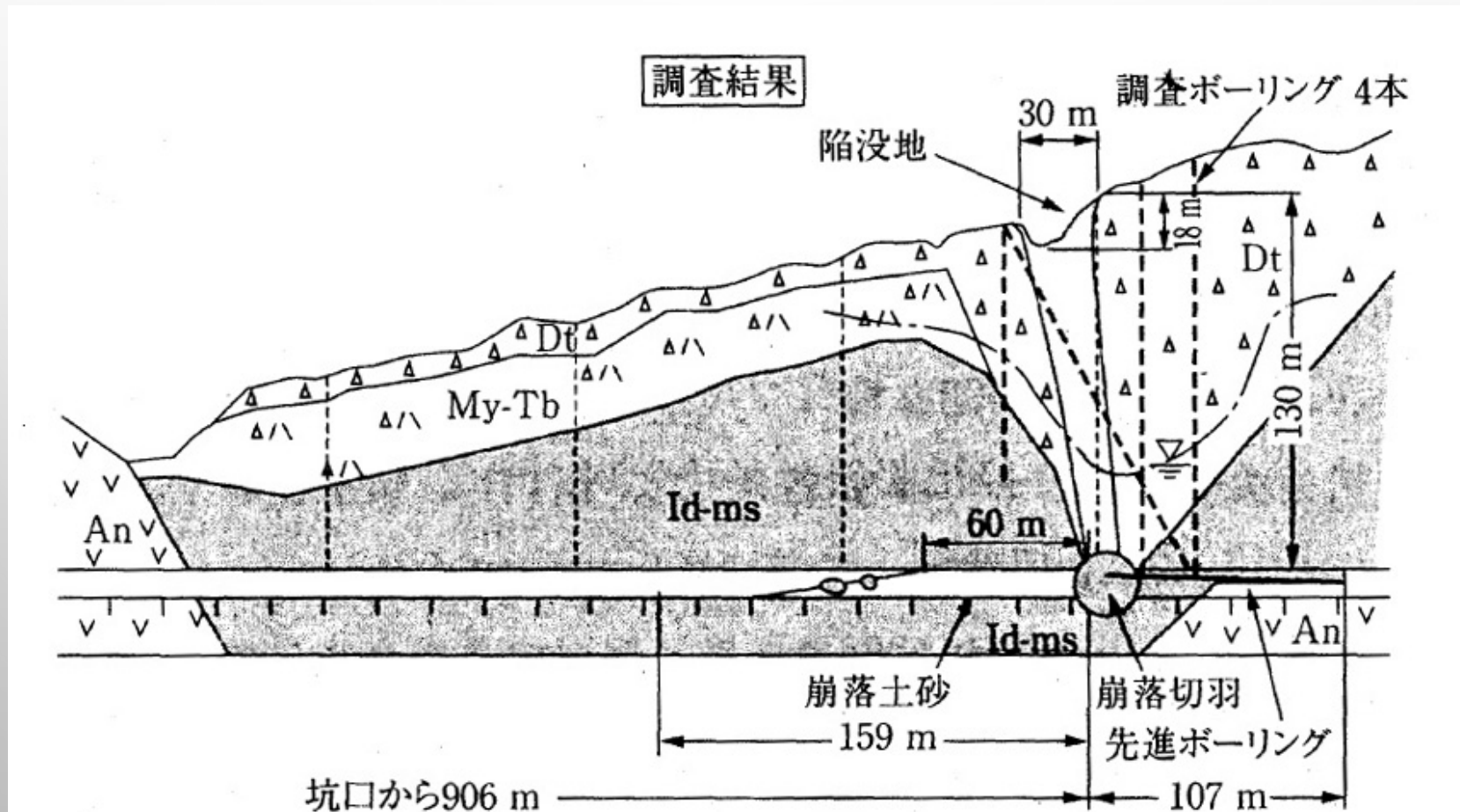
- トンネルや道路（斜面）は延長が長い線状構造物であるため、ボーリング調査は限られる（トンネルでは、せいぜい両坑口部と低土被り部に限られる）。また岩盤露頭の分布が限られる。
 - トンネルの地質調査では、地山弾性波探査による支保パターンの決定に重点が置かれる。
 - 道路（斜面）においては、ボーリング調査を実施しない地点も多い。広域の地質図等から地質分布を推定し、斜面の安定勾配等を経験的に決定することが多い。
 - トンネルや道路（斜面）では、施工時の観測（計測等）がおこなわれる。
- ⇒ このように、トンネルや道路（斜面）においては地質調査不足となり、リスクが顕在化することが多い。

地質調査不足により、リスクが顕在化した事例 (上信越道・日暮山トンネル)

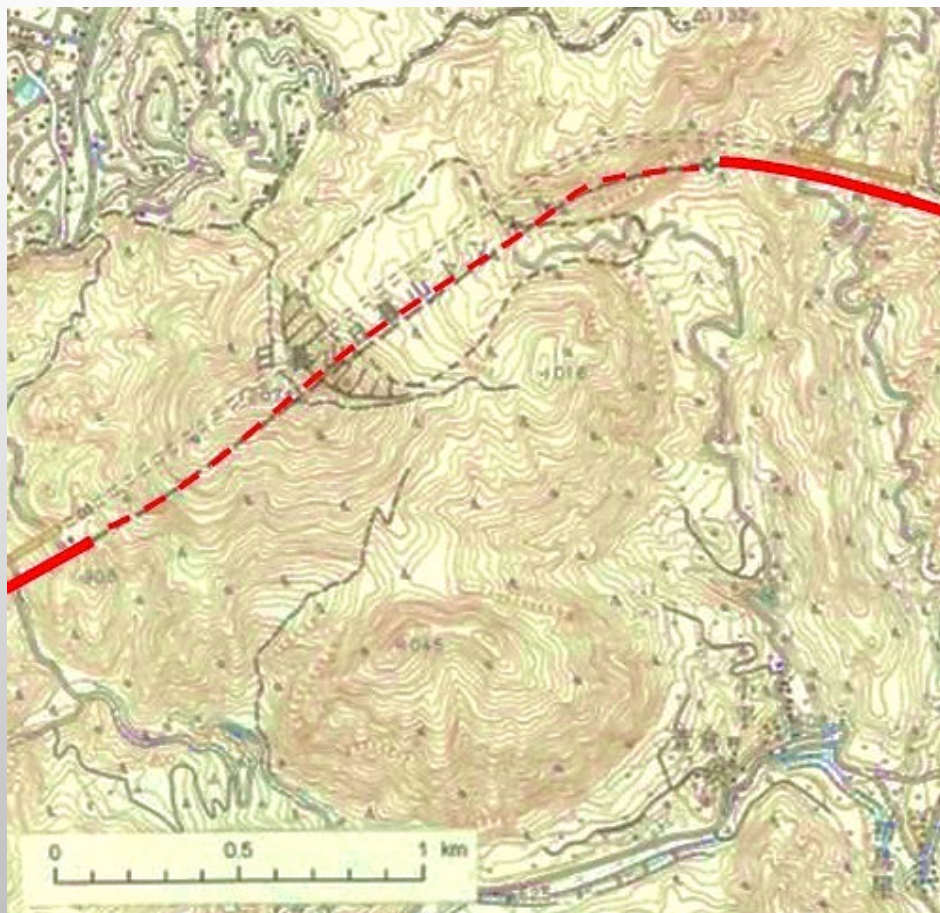
- ▶ ボーリング調査と弾性波探査により、当初は、新第三紀中新世の泥岩と安山岩が断層破碎帯で接しているものと考えられていた。



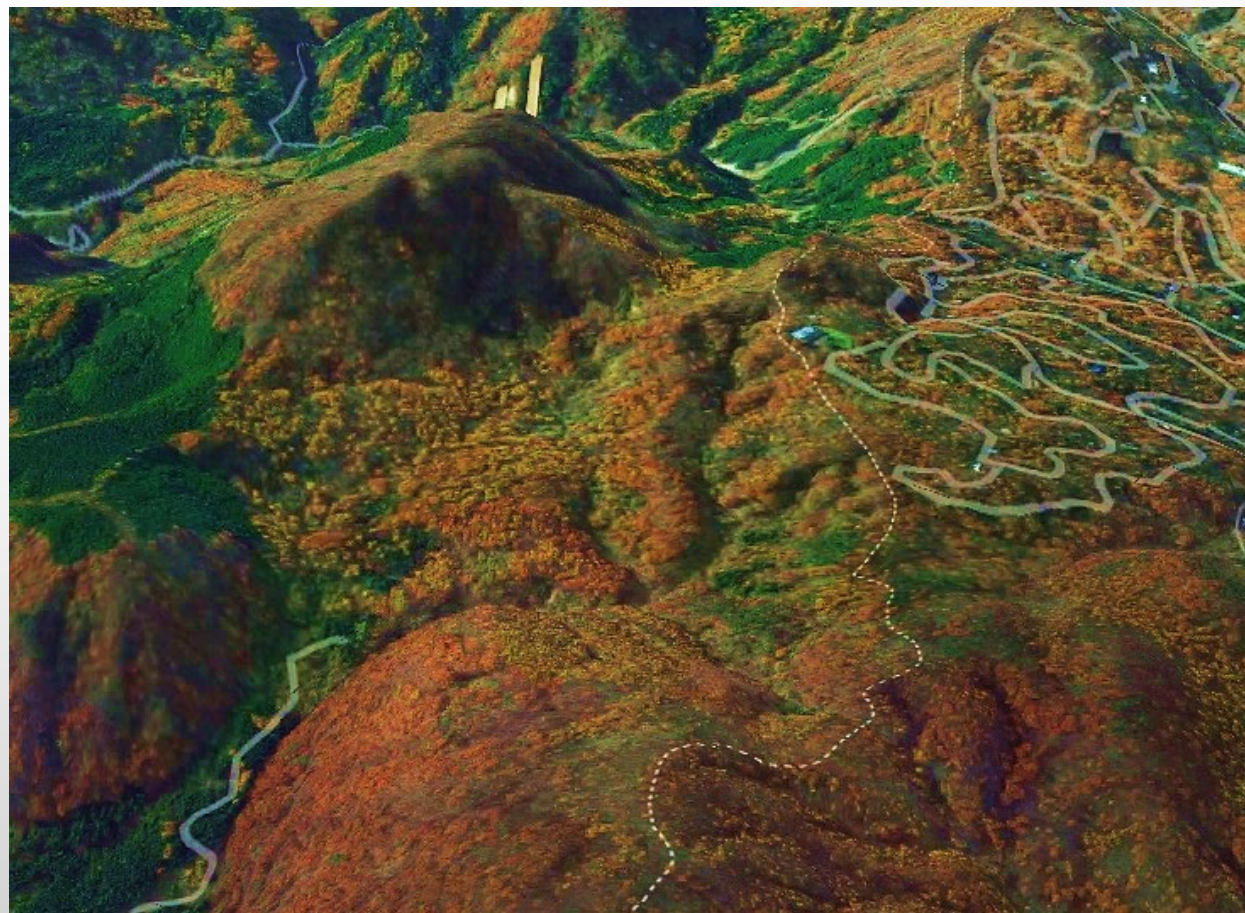
- 実際には、**地すべり土塊**が谷状に分布しており、トンネル掘削がこの谷部に入った時に**大規模崩壊**が発生した。8000m³に達する切羽の崩壊と、径30m・深さ18mの**地表面陥没**が発生した。
- 水抜き、地山への薬液注入、陥没部と空洞部へのエアミルク充填で対処。



- ▶ **地形判読、航空写真判読、現地地質踏査**をおこなってれば、予測できた可能性が高い。
- ▶ **先受け工・注入による地山改良や早期閉合等により、リスクを回避できた可能性あり。**



地すべり地形はわかっていた（防災科研・地すべりDB）



滑落崖と地すべり土塊の堆積が分かる（グーグルアース）

物理探査の不確実性 ①

➤弾性波探査

- 探査深度の限界：測線長の $1/5 \sim 1/7$ 程度。
- 地下水位：飽和した岩盤では実際より高い数値が出る。
- 速度値と地質状況の乖離：同じ速度値でも地質が異なることがある。
- ブラインドレイヤー現象：高速度層の下に低速度層がある場合、
下位の低速度層は検知できない。
- 観測点間隔：観測点間隔より小規模な破碎帯などは検知できない。
- 低速度帯：大規模な断層破碎帯は低速度帯として検知されるが、傾斜は不明。
- 掘削による緩み：弾性波速度はトンネル掘削前のものであり、発破掘削、
応力解放等による緩みはわからない。
- 不均質な地質：付加体、変成帯、熱水変質を受けた火山岩・深成岩では、
弾性波は良好な部分の岩盤を伝わってくるため、
過大評価（良好な地山評価）になりがちである。

物理探査の不確実性 ②

▶ 弾性波探査

- 周辺環境による制約：起震源として火薬類が使用されるが、計画路線上に市街地がある場合など、使用できないことがある。また振動について制約がある場合がある。
- 観測、データ処理：解析者による誤差、初動の判断誤差、ノイズ、地表付近の局所的不均質性（硬い転石、風化のムラ）。
- 解析モデル、仮定：解析手法による違い、ハギトリ法における速度層境界の読み取り誤差、トモグラフィー法におけるスムージング（平準化）の曖昧さ・破線（レイ）の密度の不均一性。
- データ解釈：測定段階（測線設定、受振器設置、起振位置、起振エネルギーなど）、データ処理・解析段階（初動の読み取り誤差、トモグラフィー解析の初期モデルの与え方）、通常速度帯と低速度帯の読み取り幅と速度

物理探査の不確実性 ③

➤ 電気探査

- 探査深度の限界：弾性波探査と同様に、測線長の $1/5 \sim 1/7$ 程度。地表面の探査測線長と深度方向の探査測線長は短くなるため、実際の探査領域は限られる。
- 観測データの精度：電極間隔、電流値、電位値による影響を受ける。
- 測定による誤差：電極位置・測線位置・接地抵抗による誤差。深部の比抵抗値ほど誤差が大きい。
- 地形・地質構造の影響：測線と横断方向に変化の激しい地形・地質構造では計測に著しい影響を及ぼし、見かけ上解析できたとしても、実際とはかけ離れた結果になる恐れがある。
- 地表の状態による影響：極端な低比抵抗帯（海水）や鋼製構造物が地表に分布する場合は、電氣的ノイズの影響がある。

物理探査の不確実性 ④

➤電気探査

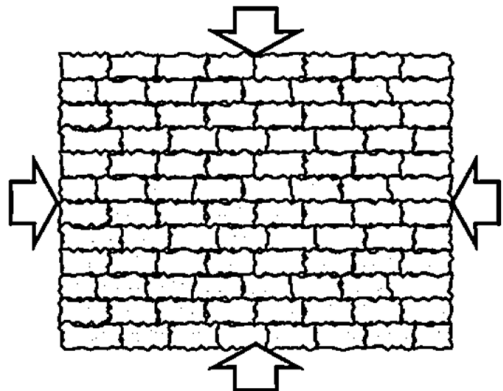
- 地電流による影響：工場や市街地近傍では、地電流や高圧電流による電氣的ノイズの影響があり、適用に限界がある。
- データ処理：パラメーター設定の任意性、不良データの判断、平準化、モデルの設定。
- 解析結果の解釈：比抵抗値が土木工学的な定数と結びつきにくい。解析者による誤差（解析を行う技術者によって結果が大きく異なる）、等価性の原理（薄い高比抵抗と厚い低比抵抗が同じ）、スムージング（平準化）によるぼやけ

物理探査（弾性波探査）の不確実性により、リスクが顕在化した事例



- トンネル区間に地山弾性波速 4.5km/sec の中生代ジュラ紀の付加体堆積物である粘板岩が分布している。
- トンネル掘削前に、現場技術者は、地山弾性波速度から、非常に良い地山であると判断した。
- 時代の古い付加体堆積物の粘板岩には細かい層理面やそれに斜交するへき開が発達しており、トンネル掘削による応力解放でこれらの割れ目が開き、急速に塑性域が拡大し、過大な変位が生じた。

弾性波探査の不確実性



初期応力状態
(亀裂が密着＝弾性波速度は高い)



トンネル掘削による地山の応力再配分
(亀裂がルーズに)

数値解析モデルの不確実性 ①

- 地山物性値（パラメータ）：弾性係数・ポアソン比・粘着力・内部摩擦角などのパラメータのばらつき。
- 寸法効果：岩盤試験の供試体寸法と実際の地山寸法の違い。
- 地山の不均質性：数値解析モデルに反映するのが困難。
- 地質構造：断層破碎帯の位置や規模、節理系、地層境界や風化範囲の推定誤差。
- 初期応力条件：地山の初期応力測定データの不足、地形や地質構造にもとづく初期応力の推定誤差。
- 地山モデル：不連続体地山を連続体地山でモデル化。
- 構成則(破壊規準)：Mohr-Coulomb、Hoek-Brown 等の構成則を不適切に選択。
- 時間依存性：時間依存変形（クリープ）の考慮不足。
- 力学的異方性：異方性についての不適切なモデル化

数値解析モデルの不確実性 ②

- 地下水条件：地下水位の変動、透水係数の不明確さ、掘削に伴う湧水や間隙水圧の変化。
- 支保工・補助工法のモデル化：支保工(吹付け、ロックボルト、鋼製支保工)の剛性を不適切に設定、補助工法(先受け工、鏡ボルト等)の効果を不適切にモデル化。
- 施工条件のモデル化：3次元的な施工ステップを不適切にモデル化、実際のトンネル掘削方法を解析ステップで不適切にモデル化。
- 数値解析手法：メッシュサイズ・形状による解析結果への影響、境界条件設定の影響
- 結果解釈：解析結果に基づく工学的判断の間違い

技術者の知識不足（無知）①

➤ 地下水問題

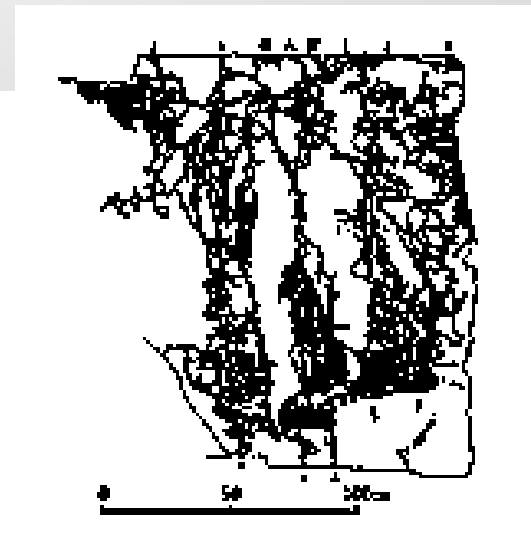
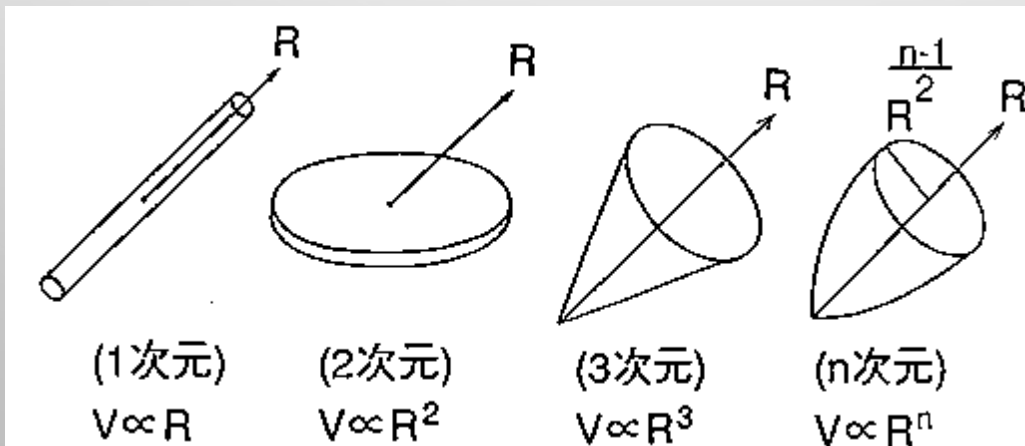
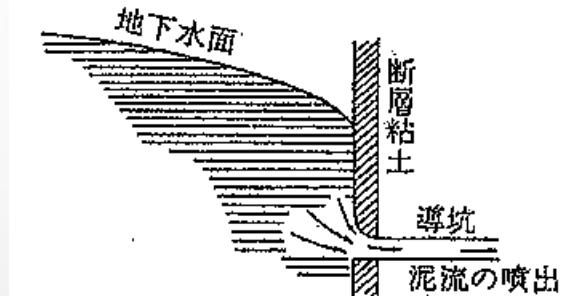
➤ トンネル湧水問題を「タンクモデル」で解析

断層の片側では断層粘土により地下水位が上がって、あたかも**プール**のように地下水が溜まっていると考えるトンネル技術者が多い。

⇒ 規模の大きい断層ではそのような断層粘土を伴うが、実際には、**断層の前後に亀裂が多い破碎帯があり、湧水を伴うことが多い**（例：関電トンネル）。

➤ 「岩盤中の地下水の流れ」についての誤解

岩盤浸透流は、亀裂内を平行平板流れのような一様の流れではなく、パイプフローが枝分かれしたチャンネルングの形態を示している。



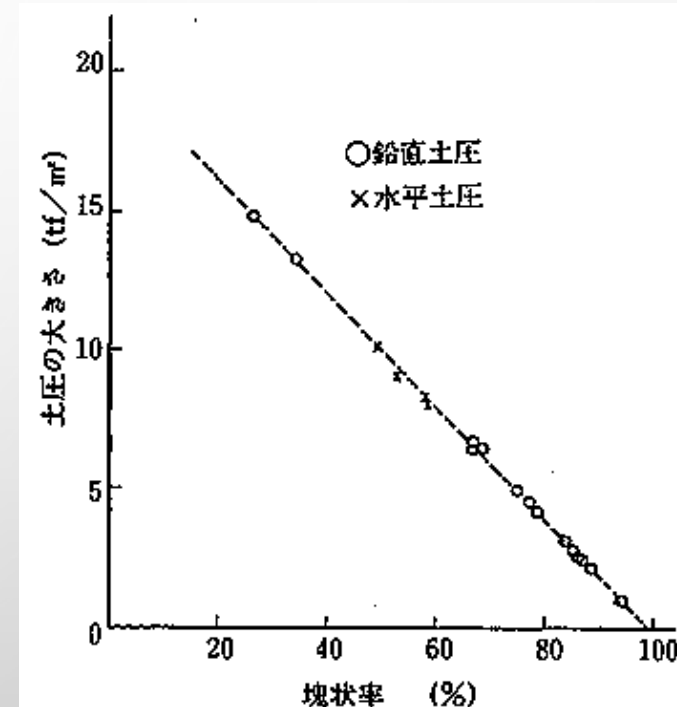
技術者の知識不足（無知）②

➤蛇紋岩

蛇紋岩はマントル物質である橄欖岩が加水して変質し比重が軽くなった岩石。蛇紋岩は地下深いところから上昇してくるため、破碎している部分がある。そのため、蛇紋岩は、塊状、葉片状、角礫状、粘土状に区分されるが、**塊状箇所では変状が発生しない。**

また、蛇紋岩は変成帯（日高変成帯、三波川変成帯など）や付加体堆積物（秩父帯、四万十帯など）に分布しているが、**蛇紋岩よりはむしろ、これらの破碎質な泥質岩・泥質混在岩などで大きな変状が発生している。**

⇒ 蛇紋岩が問題なのではなく、**岩盤の破碎の程度が問題。**



認知バイアスによる誤った判断 ①

➤ 認知バイアス (Cognitive Bias)

認知バイアスとは、物事の判断が、直感やこれまでの経験にもとづく先入観によって**非合理的になる心理現象**のことである。

Daniel Kahneman 著 『Thinking, Fast and Slow』(2011)
(2002年に心理学者Daniel Kahnemanがノーベル経済学賞を受賞)

情報が限られて不確実性のある状況下では、人間は迅速な判断をする傾向にあり、その際に「直感」による判断によって系統的なエラー(**認知バイアス**)が生じ、さまざまな判断、意思決定に影響を与える。



認知バイアスによる誤った判断 ②

🔍 認知バイアスの種類

- ① アンカリング (Anchoring)
- ② 代表性ヒューリスティック (Representative Heuristic)
- ③ 利用可能性ヒューリスティック (Availability Heuristic)
- ④ 固着性ヒューリスティック (Adjustment Heuristic)
- ⑤ シミュレーションヒューリスティック (Simulation Heuristic)
- ⑥ 感情ヒューリスティック (Affect Heuristic)
- ⑦ 基準率錯誤 (Base Rate Neglect)
- ⑧ 連言錯誤 (Conjunction Fallacy)
- ⑨ 自信過剰 (Overconfidence)
- ⑩ 後知恵バイアス (Hindsight Bias)

※ ヒューリスティック (Heuristic) : 難しい問題に遭遇した際により簡単な答えに置き換えてしまうこと。

認知バイアスによる誤った判断 ③

➤ **ヒューリスティック**が起こしやすい認知バイアス

- ① 正常性バイアス (Normalcy Bias)
- ② 対応バイアス (Correspondence Bias)
- ③ 内集団バイアス (In-group Bias)
- ④ **確証バイアス (Confirmation Bias)**
- ⑤ ステレオタイプ (Stereotype)
- ⑥ アインシュテルング効果 (Einstellung Effect)

認知バイアスによる誤った判断 ④

確証バイアス(Confirmation Bias)

認知心理学や社会心理学における用語で、仮説や信念を検証する際にそれを支持する情報ばかりを集め、反証する情報を無視または集めようとしない傾向のこと。自分を肯定する情報を無意識のうちに収集して判断材料にすること。与えられる情報の中で、**自分の中で、自分の都合の良いものだけを選択し、都合の悪い情報を無意識に排除すること。**

たとえば、自分は正しいと思いたいため、「自分に都合のいい情報を採用する」「自分自身を否定する情報をシャットアウトする」といった行動が該当する。

今後の調査研究方針

- 認識の不確実性について調査研究を進め、体系化を図る。
 - ・さらに深掘りしていく。
- 技術者の知識不足（無知）について調査研究を進める。
 - ・事例収集により、分析をおこなう。
- 認知バイアスによる不確実性について調査研究、体系化を図る。
 - ・リスクが顕在化した事例について分析、認知バイアスの体系化。

⇒上記の検討を踏まえ、

不確実性の体系化と不確実性低減対策について取りまとめる。



ご清聴ありがとうございました！

Thank You For Your Attention!

