



令和元年度新技術ショーケース（名古屋）

地質・地盤リスクマネジメント に関する土木研究所の取り組み

—関係者が**ONE-TEAM** でリスクに対応するために—

国立研究開発法人
土木研究所 地質研究監
佐々木靖人

自己紹介

- ・昭和62年建設省入省(地質職)
- ・土研に計約30年、九州地建河川部に3年(今はない地質の専門官)
- ・専門は土木地質学(特にダム地質、道路斜面防災)
- ・年間約150件程度のダム等の技術相談(現場も多い)
- ・道路土工構造物技術基準、道路土工指針類、道路防災点検要領、トンネル標準示方書、道路橋示方書・同解説等の執筆
- ・河川砂防技術基準等の執筆
- ・地質調査技術の開発(たとえば土層強度検査棒)
- ・現在、「地質・地盤リスクマネジメント検討委員会」(本省、土研)のマネジメント(委員兼幹事長)
- ・学会活動(境界領域のため多い)

日本応用地質学会(土木地質研究部会長)、地下水学会、土木学会、地盤工学会、岩の力学連合、地質学会、ダム工学会、物理探査学会、地すべり学会、活断層学会、地下水学会、第四紀学会、日本自然災害学会、地形学連合、地球惑星科学連合、国際応用地質学会(IAEG)、地質技術者協会(AEG)等

本日の主旨

- 土木事業は総合技術（技術のチームプレイ）
- 全てできるオールラウンドプレイヤーはいない
- だからこそ関係者が**参画・情報共有**して
「**事業リスクを見える化**」し、**役割分担・連携**して
「**ONE-TEAM**」でリスク対応する必要。
⇒ **ONE-TEAMの制度化が「リスクマネジメント」**



スコットランド戦で、堀江⇒ムーア⇒トゥポウの3つのオフロードパスを受け取りトライを決めるプロップの稲垣

写真は g00 ニュースより

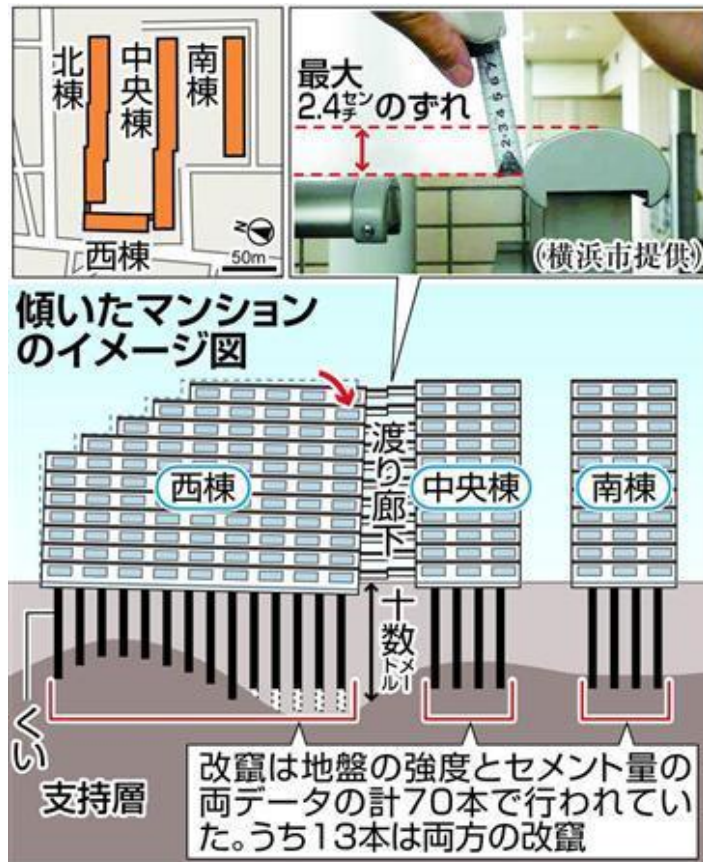
本日の内容

1. なぜ、地質・地盤リスクマネジメントが必要
ということになったのか
—博多地下鉄陥没事故に見る課題—
2. 土木における地質・地盤リスクとは何か
3. 地質・地盤リスクにどう対応すべきか
4. 海外(主に米国)の取り組みの例
5. 土研(+本省)における地質・地盤リスク
マネジメントへの取り組み
6. 地質・地盤リスクマネジメント事例

1. なぜ、地質・地盤リスクマネジメント
が必要ということになったのか？

—博多地下鉄陥没事故に見る課題—

土木・建築の現場で、 地質に関連する事故や問題が立て続けに発生



杭データ偽装による
マンションの傾斜
(2015年)



地下鉄トンネル工事
による陥没事故
(2016年)

道路の陥没事故は直轄国道だけでも平成27年度に153件発生
(国土交通省調べ)
その後も北陸新幹線の工事などで陥没事故発生

事故を受けた答申

「地下空間の利活用に関する安全技術の確立について」

平成29年9月 社会資本整備審議会・交通政策審議会

(案作成)地下空間の利活用に関する安全技術の確立に関する小委員会(大西有三委員長)

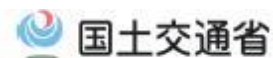


地下空間の利活用に関する安全技術の確立について(答申)

平成29年9月 社会資本整備審議会・交通政策審議会

(案作成)地下空間の利活用に関する安全技術の確立に関する小委員会(大西有三委員長)

答申:今後の方向性と対応策



○官民が所有する地盤・地下水等に関する情報の共有化

- ・国は、**官民が所有する地盤情報等の収集・共有、品質確保、オープン化**等の仕組みを構築。
- ・全ての地盤情報について、公共工事は、原則として収集・共有を徹底。ライフライン工事は、例えば、占用手続きにあわせて、民間工事は、依頼者の同意を得た上で収集・共有する仕組み等を構築。
- ・地盤情報等の品質を確保するため、地質調査等の実施に際して技術者の資格要件を付与。
- ・収集した情報のプラットフォームを構築、オープン化する仕組みを構築。

○計画・設計・施工・維持管理の各段階における地盤リスクアセスメントの実施

- ・国は、関係する学界等の協力を得て、**地盤リスクアセスメントの技術的手法を確立**。
- ・維持管理段階へ移行する際に、施設管理者が留意すべき事項をとりまとめた“取扱説明書”を作成し引き継ぐ。

○地下埋設物の正確な位置の把握と共有化

- ・国は、施設管理者の協力を得て、**地下埋設物の正確な位置情報の把握・記録と共有**できる仕組みを構築。

○施設管理者における老朽化状況の把握と対策の実施、関係者間の連携

- ・国は、施設管理者の協力を得て、**地下空間にある公共施設等の維持管理状況等に関するデータベースを構築**

○地下工事の安全対策、液状化対策等の地下空間の安全に係る技術開発

- ・国は、過去の事故等から得られた**知見や教訓を全国的に蓄積・継承**する仕組みを強化。
- ・液状化予測、3次元地盤モデル構築、高精度な地盤情報を活用したi-Constructionの推進等、**技術開発を推進**。

博多地下鉄七隈線陥没事故の地質的側面

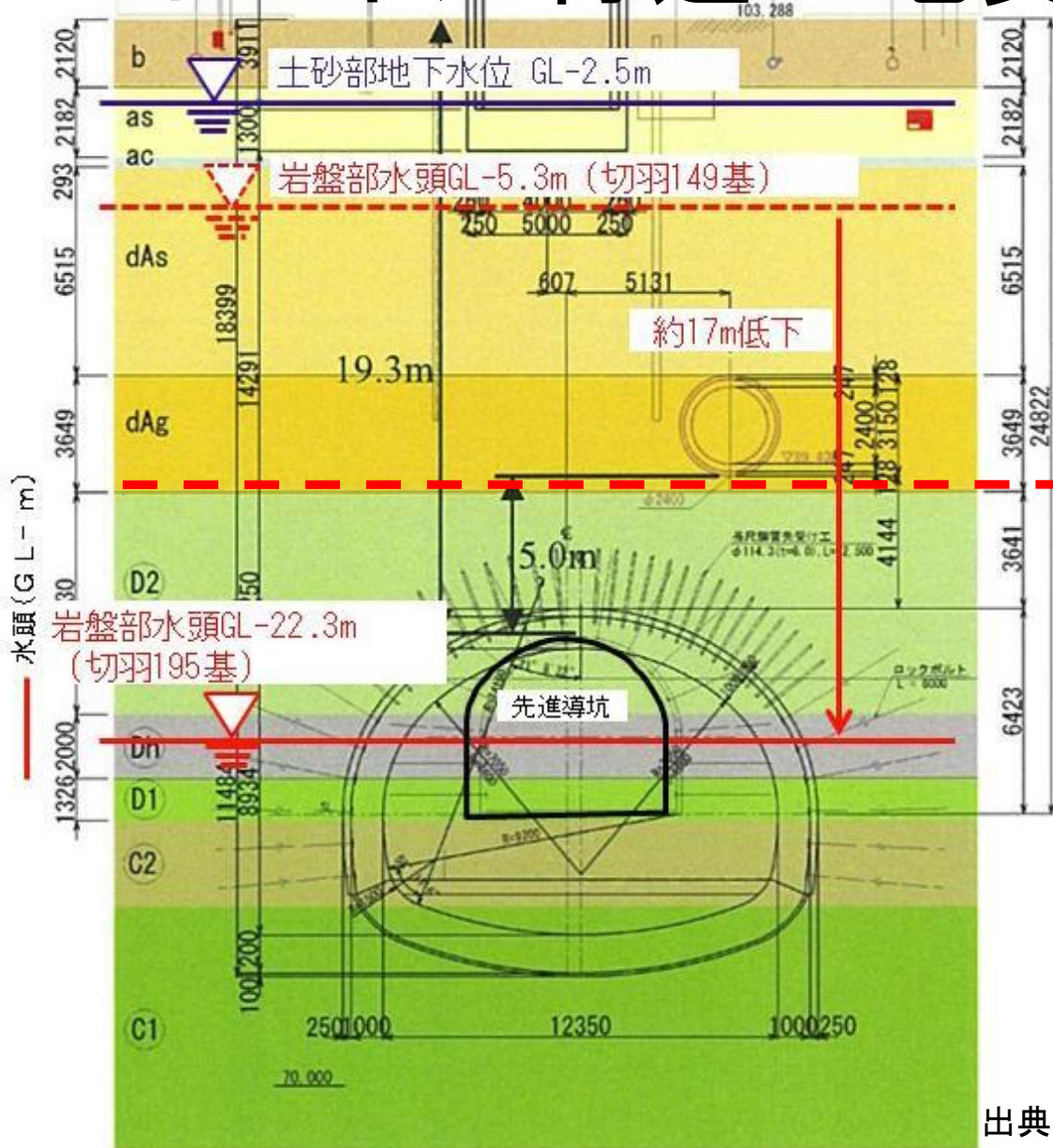


未固結層下の福岡層群(岩被り2-3m)直下を大断面で掘削し、土砂流入・陥没した事故

おことわり

本pptは事故調査委員会の公開資料を一部用いていますが、見解は個人のものです。

トンネル付近の地質



未固結層

b:盛土

as,ac:沖積層

dAs,dAg:更新統

(荒江層、博多粘土層統)

不整合面

(昔の地表。古い時代の地層を削って新しい地層が堆積)

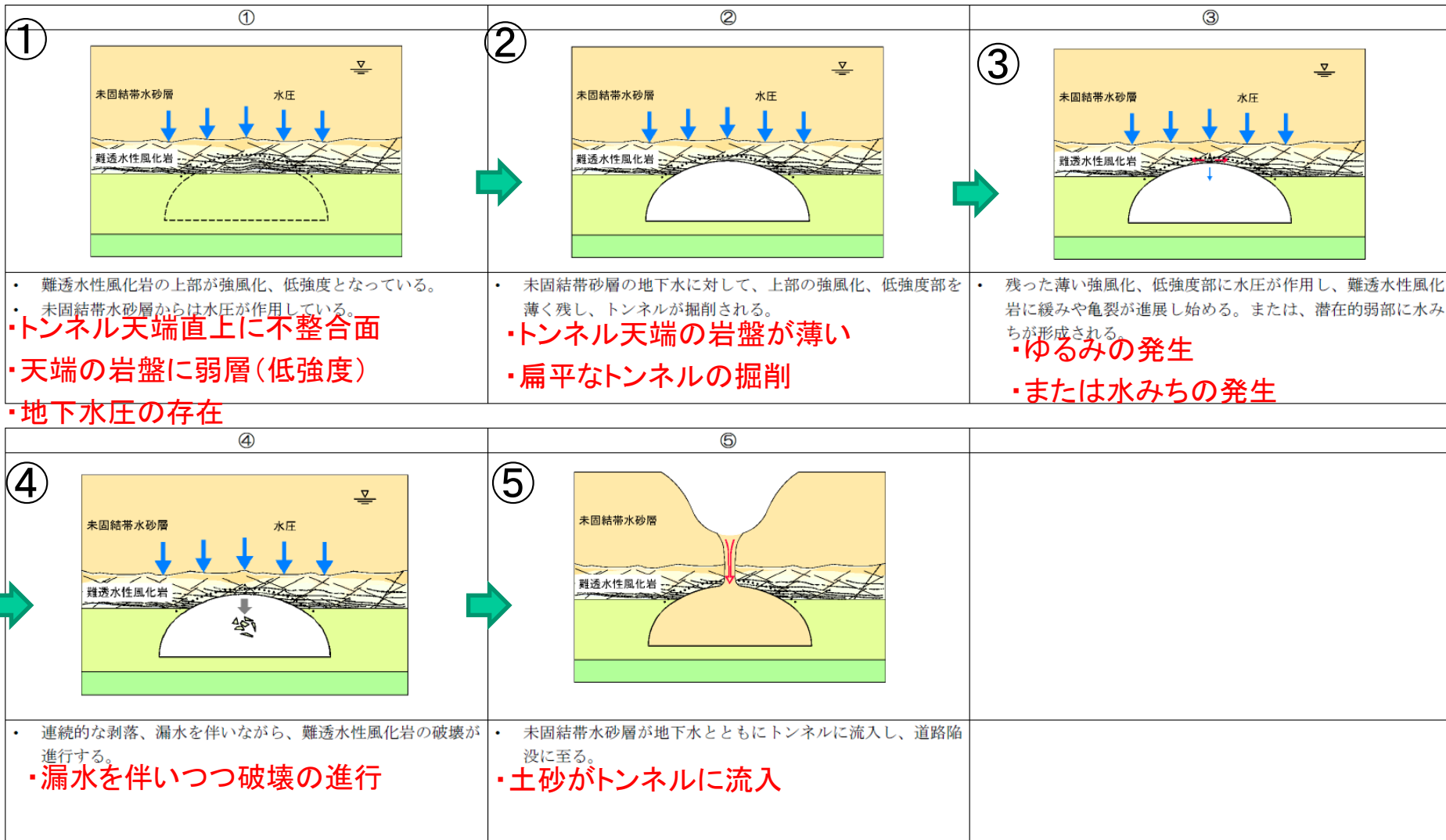
古第三紀福岡層群

D2:N値50未満の強風化岩

D1:N値50以上の強風化岩

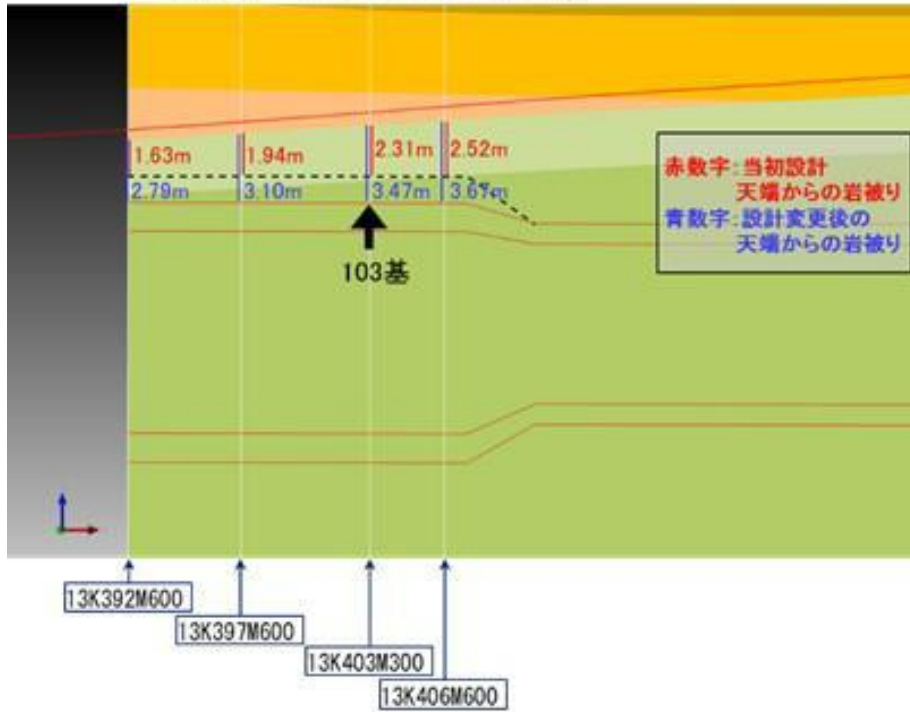
C1,C2:弱風化～新鮮岩盤

崩落機構の推定



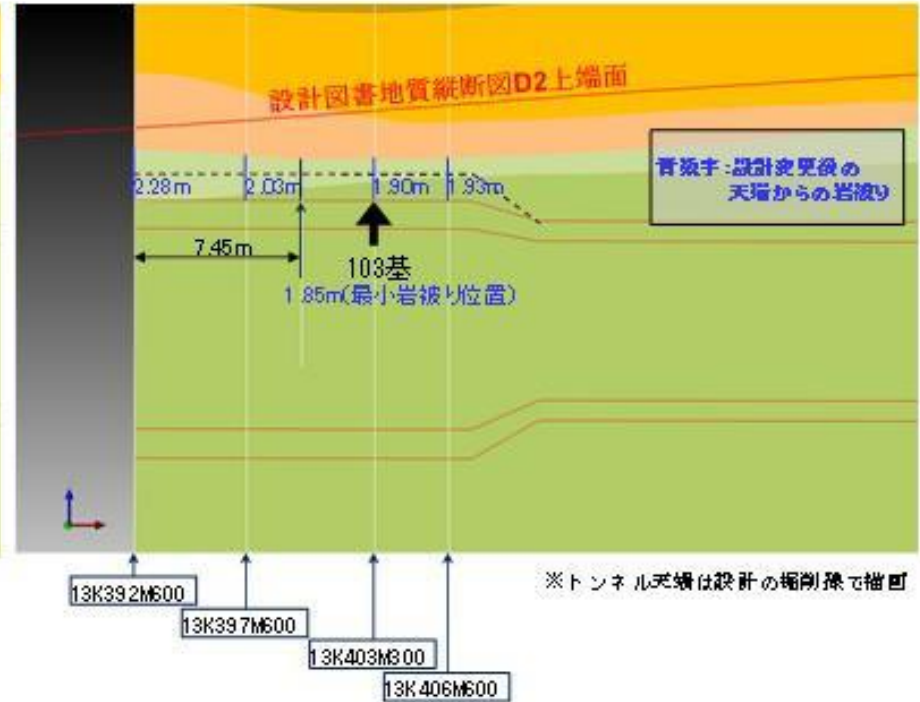
大断面トンネル施工時の地質モデル

(既往ボーリング+No. 27S-1 計9本)



現時点での地質モデル

(追加調査ボーリングを含めた全23本)



出典: 調査委員会公開資料

施工時は地層が直線に描かれている(岩被り2.79-3.67m)

事故後の調査では、地層境界に凹凸が判明(岩被り1.9-2.28m)

不整合面は旧地表面なので凹凸があるのが当たり前

⇒地質の成立ちを考慮した地質構造評価の不足か

(「地質図の不確かさによる事業への影響(リスク)」を関係者が共有できていない)

陥没事故におけるNATM区間でのボーリング調査



○既往：4箇所、設計時：2箇所、施工時：1箇所

年度	名称	調査内容
● H 2 1	地質調査成果品 (他事業)	柱状図
● H 2 2	地質調査成果品 (設計時)	柱状図、孔内水平載荷試験
● H 2 3	地質調査成果品 (設計時)	柱状図、孔内水平載荷試験
● H 2 7	地質調査成果品 (施工時)	柱状図、孔内水平載荷試験

出典：調査委員会公開資料

設計時：NATM区間(195m)付近で2孔のみ

(他事業のボーリングはトンネル底盤に届いていない)

施工時：追加で1孔

陥没部は大断面部で構造上の要所

水色丸: 設計時

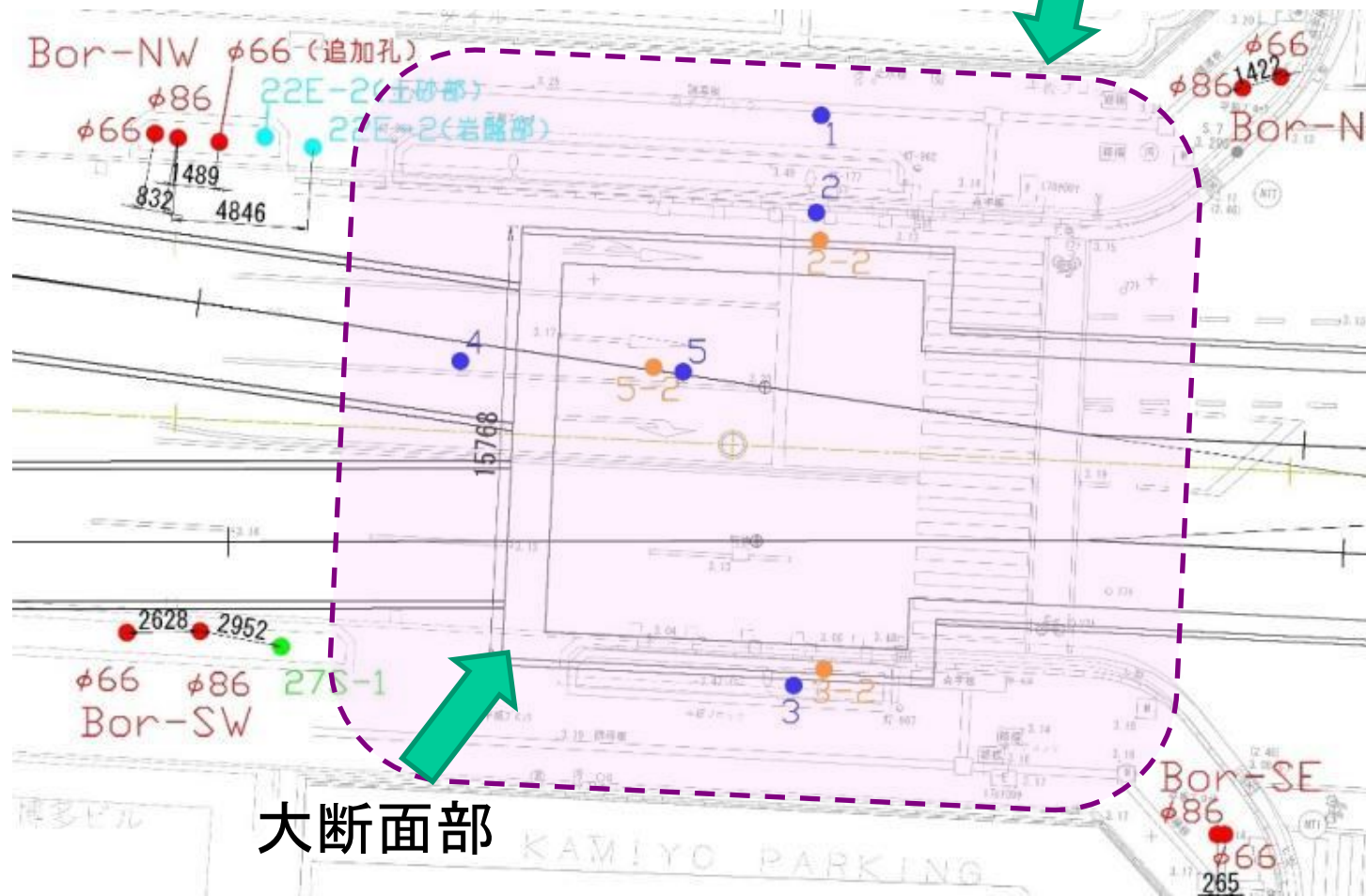
緑丸: 施工時

青丸とオレンジ丸: 事故後の施工確認

赤丸: 事故後の追加調査

出典: 調査委員会公開資料

概略陥没範囲



大断面部

未固結層（不整合面）の直近だが、ボーリングが少ない、配置が機械的

- ①一定間隔のボーリング配置（概査）
- ②構造上の重要部での配置（精査）
- ③地質上の重要部での配置（精査）

などのジャストボーリングが重要

一般に指針類で「留意すべき地質」が示されているが
⇒概査のみで精査なし
（地質の「不均質性」を評価できない）

ボーリング配置は基準類でどう規定？

鉄道構造物等設計標準・同解説（当時）

- ・都市部山岳工法トンネル編⇒定量的な規定無し
 - ・開削編、シールド編⇒計画段階の基本調査で100～200m間隔
 - ・設計段階⇒問題箇所ではさらにボーリング
- （ただし、トンネル標準示方書等でも都市NATMは新しい時代の軟岩を対象として記載されており、今回のような亀裂性岩盤は想定されていない）

基準は、都市部での調査量、問題箇所などの丁寧な記述が必要であった可能性もある（私見）。

ただしそもそも、設計基準類にもとづく安全性評価法（米国ではこれをSBA=Standard-Based Approachという）のみでは地質の多様性に対応しきれない。

⇒現場ごとに丁寧に「要精査箇所」を抽出することが重要。

岩質・岩盤物性の評価にも課題が 調査委員会による追加調査ボーリング例 (陥没部の南西)





D2層中

古第三紀層で破砕質。
強度だけでなく、遮水性も心配
な地質

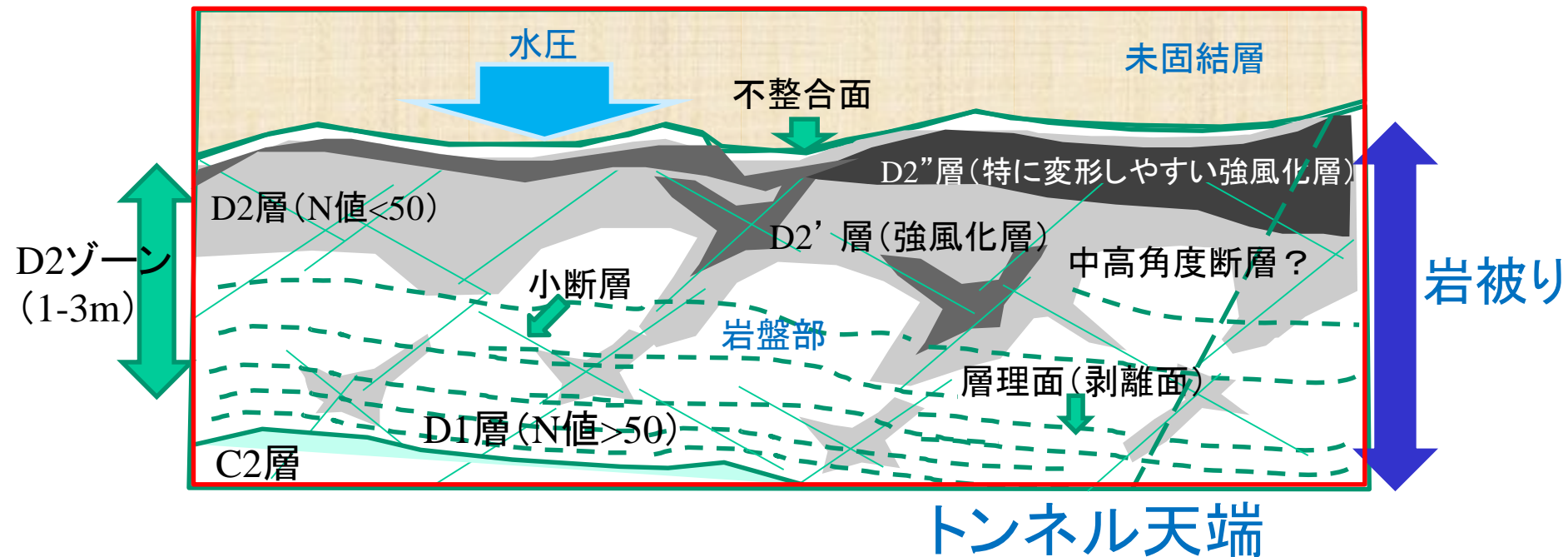
(⇒弱層のある不均質体との
認識が欠如?)

最終的に、以下のように物性のばらつき大

- ・変形係数 18.9~211.7 MN/m²
 - ・透水係数 $8.35 \times 10^{-7} \sim 4.37 \times 10^{-5}$ cm/s
- (令和元年10月31日福岡市交通局による)



トンネル天端標高付近



陥没箇所为天端部の 岩盤状況のイメージ

出典: 調査委員会公開資料

D2をほぼ均質な難透水ゾーンとみなして平均物性で設計した。
 しかし「岩被りが2~3mのトンネル」のリスクに照らせば、不整合面の凹凸、弱層の連続の可能性のある不均質岩盤とみなして、安全側の地質モデル・物性値で設計すべきであった(私見)。

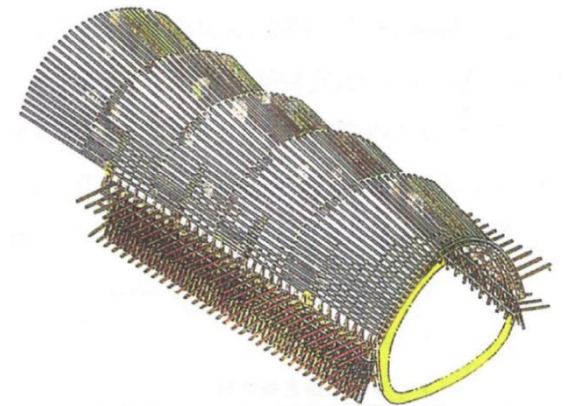
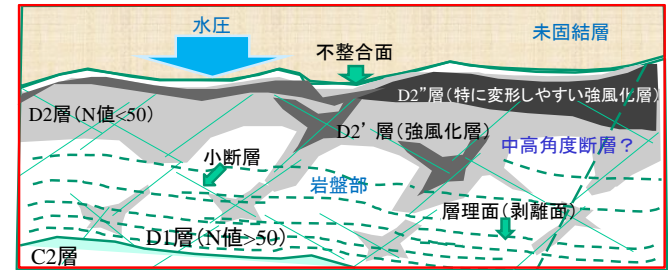
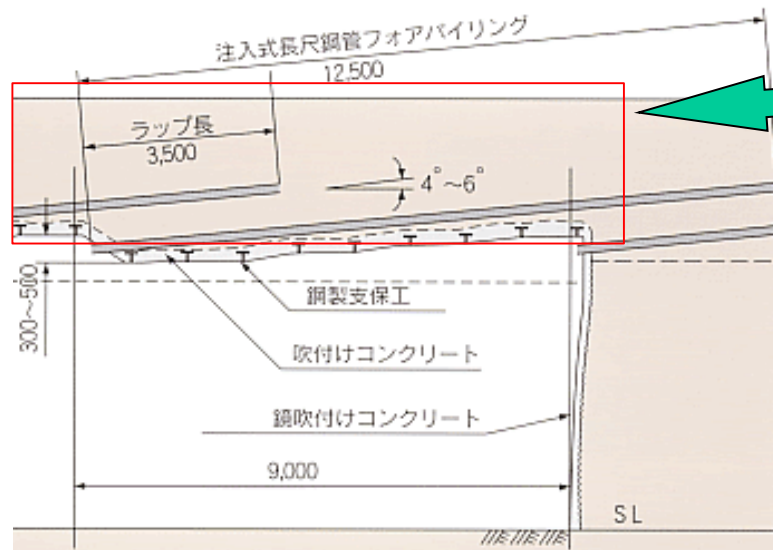
設計変更と施工時の対応にも課題が

・岩被り確保のためトンネル断面を扁平に(扁平率0.625⇒0.532)

⇒天端部分のアーチ効果の低下

・補助工法としてAGF工法を採用(脆弱な岩に対応するため)

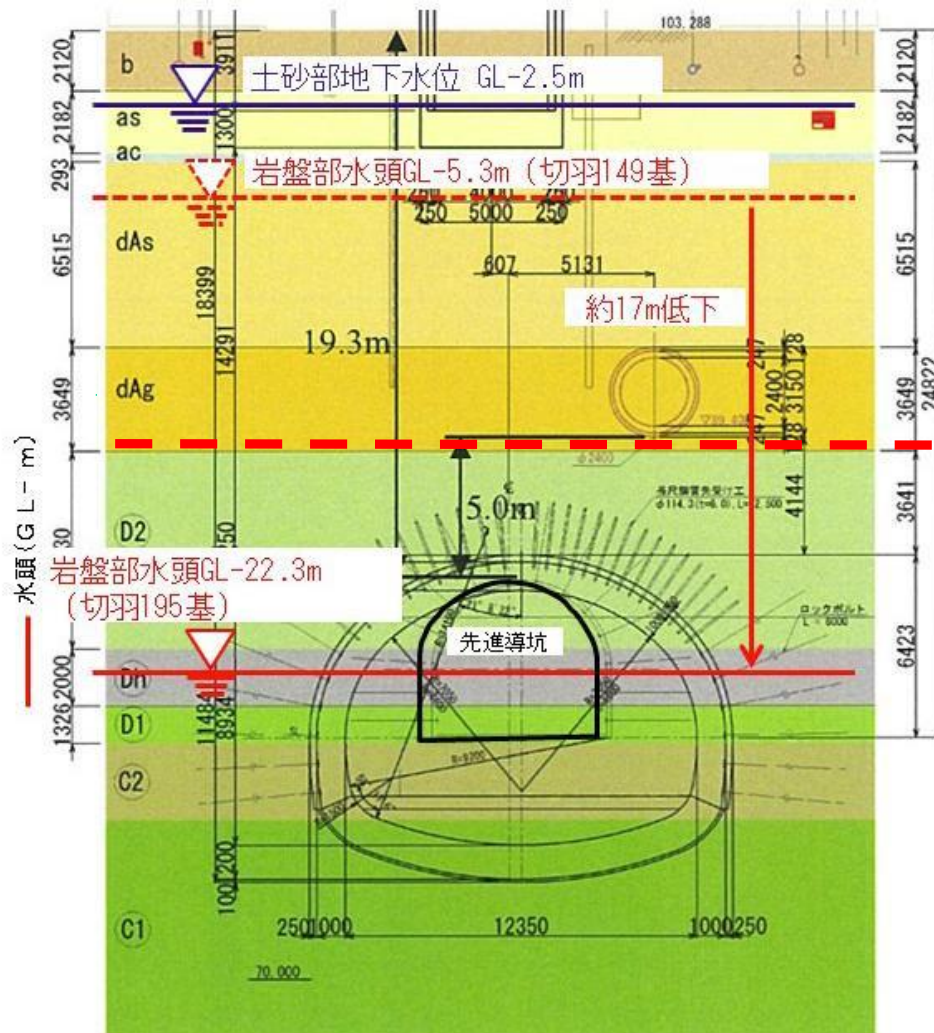
⇒結果的に鋼管のラップ不足に



今回の工事では、天端部分のAGFをガイドセルの干渉により0.1-0.2m下げたことで、103基のAGFを一部切断し、この部分では鋼管がラップしていない状況となった。その後、陥没部はこのAGF切断部と一致していることが確認された。(令和元年10月31日福岡市交通局による情報)

AGF 工法
(注入式長尺鋼管フォアパイリング)

そもそもトンネルのレベルを少し下げたよければよかった？ (計画時のリスク検討の重要性？)



未固結層

b: 盛土
as, ac: 沖積層

dAs, dAg: 更新統
(荒江層、博多粘土層統)

古第三紀福岡層群

D2: N値50未満の強風化岩

D1: N値50以上の強風化岩

C1, C2: 弱風化～新鮮岩盤

博多陥没事故発生原因の考察(私見)

- ①計画に課題は？ ⇒早期のリスク検討が必要
- ②技術基準に課題は？ ⇒丁寧な記述＋専門家チェックが必要
- ③問題箇所の認識は？ ⇒あったが、より危機感が必要
- ④地質調査は適切か？ ⇒概査だけでなく精査が必要
(施工時追加したが遅い)
- ⑤地質評価は適切か？ ⇒不均質性、不確実性の評価が必要
(要求性能に対し地質評価が楽観的)
- ⑥リスク評価は適切か？ ⇒リスク評価の明確な規定無し
(想定された地山性能を過信？)
- ⑦リスク伝達は適切か？ ⇒リスク伝達の明確な規定無し
(協議メモなし？ 漠然とした伝達？)
- ⑧リスク対応は適切か？ ⇒リスク対応の明確な規定無し
(リスクを軽視？ リスク認識なし？)
- ⑨対策工・施工は適切か？ ⇒補助工法の選定と施工に課題
⇒技術基準だけでは防げない、関係者の連携・マネジメントの課題
(地質・地盤リスクマネジメントの必要性)

2. 土木における 地質・地盤リスクとは何か？

- ① 地質・地盤リスクとは何か
- ② リスクの発生原因
- ③ 地質の不確かさとは何か
- ④ 地質調査はどのくらいはずれる？

① 地質・地盤リスクとは何か？

リスクの定義 (ISO 31000)

「目的に対する不確かさの影響」

地質・地盤リスクの定義(案)

「当該事業の目的に対する地質・地盤に関わる不確かさの影響」

⇒ 不確かさにはいろいろある。

不確かさ：自然リスク源と人為リスク源がある

(素因：自然リスク源)

- ・地質の不均質性・複雑性(⇒地質の不確かさ)
- ・地質災害(ハザード)(⇒地質(災害発生場所・時期など)の不確かさ) 等
- ・調査精度の技術的限界(自然/人為的リスク)(⇒地質の不確かさ)

(誘因：人為リスク源)

- ・事業計画の流動性、計画不足(⇒構造物の不確かさ)
- ・地質調査不足(⇒地質の不確かさ)
- ・地質・地盤技術者の技術不足
(⇒地質の不確かさ、これに対する人の対応の不確かさ)
- ・事業者、設計・施工者等の理解・技術不足(⇒同上)
- ・関係者の連携, 連絡不足(⇒同上)
- ・予算不足、時間不足、人員不足(⇒同上) 等

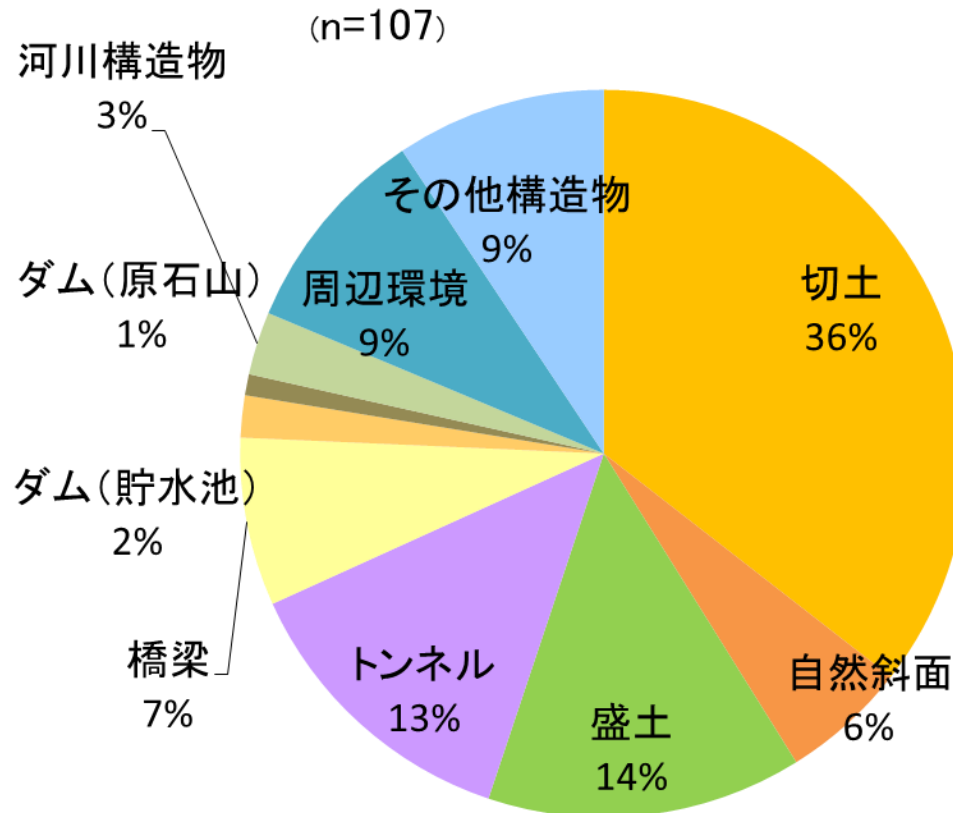
⇒これらの不確かさがいまってリスクとなる

② 事例統計による 地質・地盤リスクの発生原因

地質リスク学会の発表事例の分析

事件事例・回避事例の構造物の割合

(第1回地質・地盤リスクマネジメント検討委員会資料(2019)から抜粋)

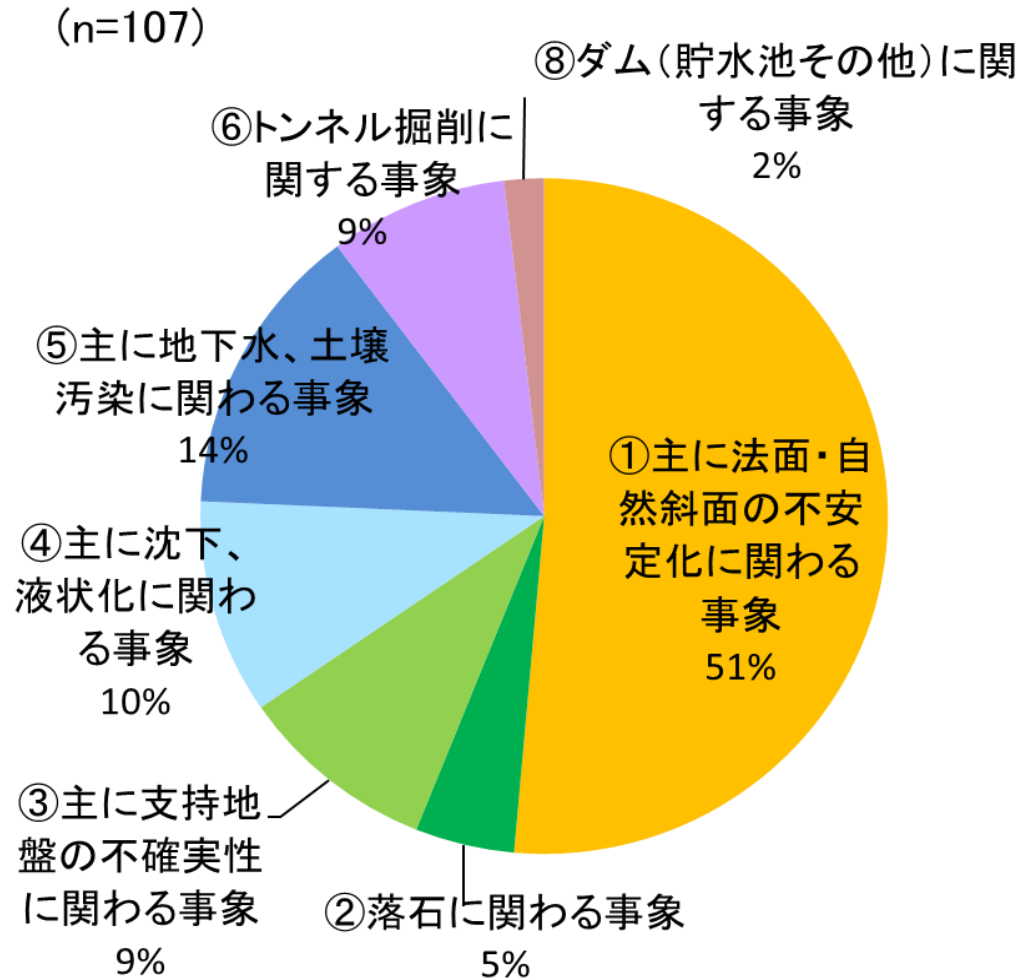


地質調査会社からの事例が主体なので偏りがあることに留意

地質リスク学会の発表事例の分析

事故事例・回避事例の事象の割合

(第1回地質・地盤リスクマネジメント検討委員会資料(2019)から抜粋)

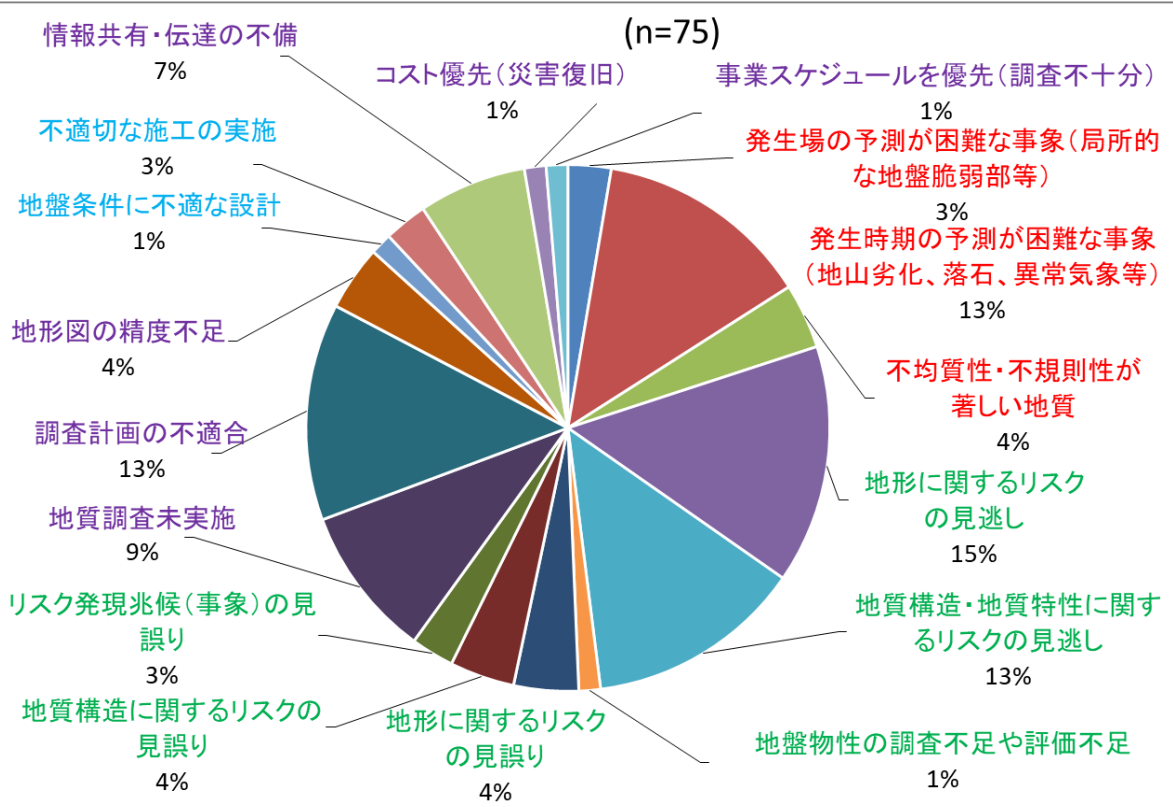


地質調査会社からの事例が主体なので偏りがあることに留意

地質リスク学会の発表事例の分析

事件事例・回避事例の主なリスク発生要因

地質リスク学会の収集事例の分析による。第1回地質・地盤リスクマネジメント検討委員会資料(2019)から編集.)



人為リスク源 約8割
(努力で防げるリスク)

調査技術不足
40%

事業実施計画やリスクマネジメント体系の問題
35%

設計・施工技術不足
4%

自然リスク源 約2割
(技術の進歩に期待)

予測困難な地質・事象
20%

地質調査会社からの事例が主体なので偏りがあることに留意

地質・地盤リスクの原因

地質の不確かさ(自然リスク源)が主因とされたものは2割しかない。

(≡ 予見不可能・困難)

残りの8割は、人の対応の不足・不確かさ(人為リスク源)が主因とされている。

(≡ 予見可能、≡ 回避可能)

③ 地質の不確かさとは何か？

- ・地質の不均質性に調査精度が追いついていない
- ・地質の成因の解釈(地質解釈)が正しくない

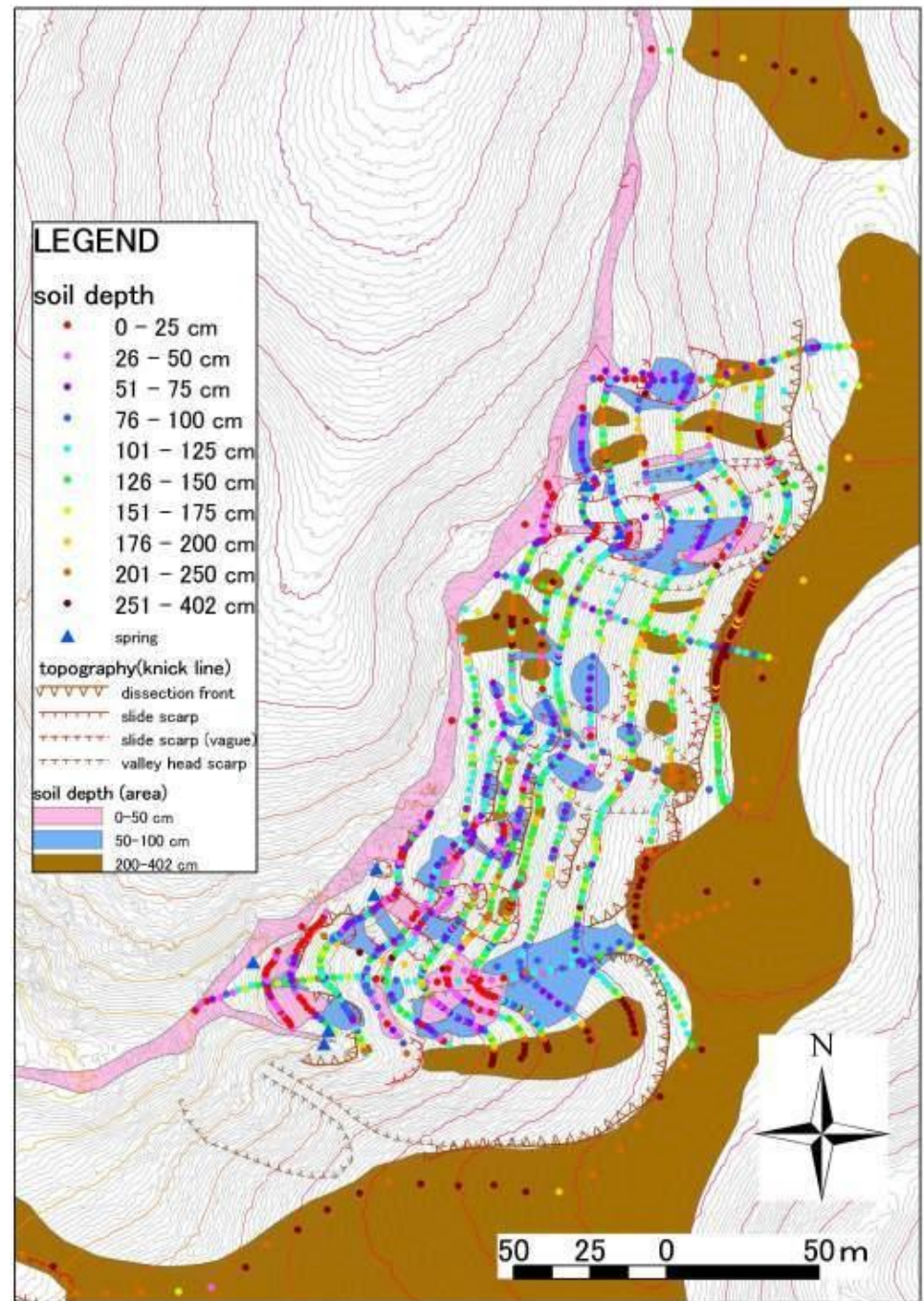
斜面の表土の不均質性



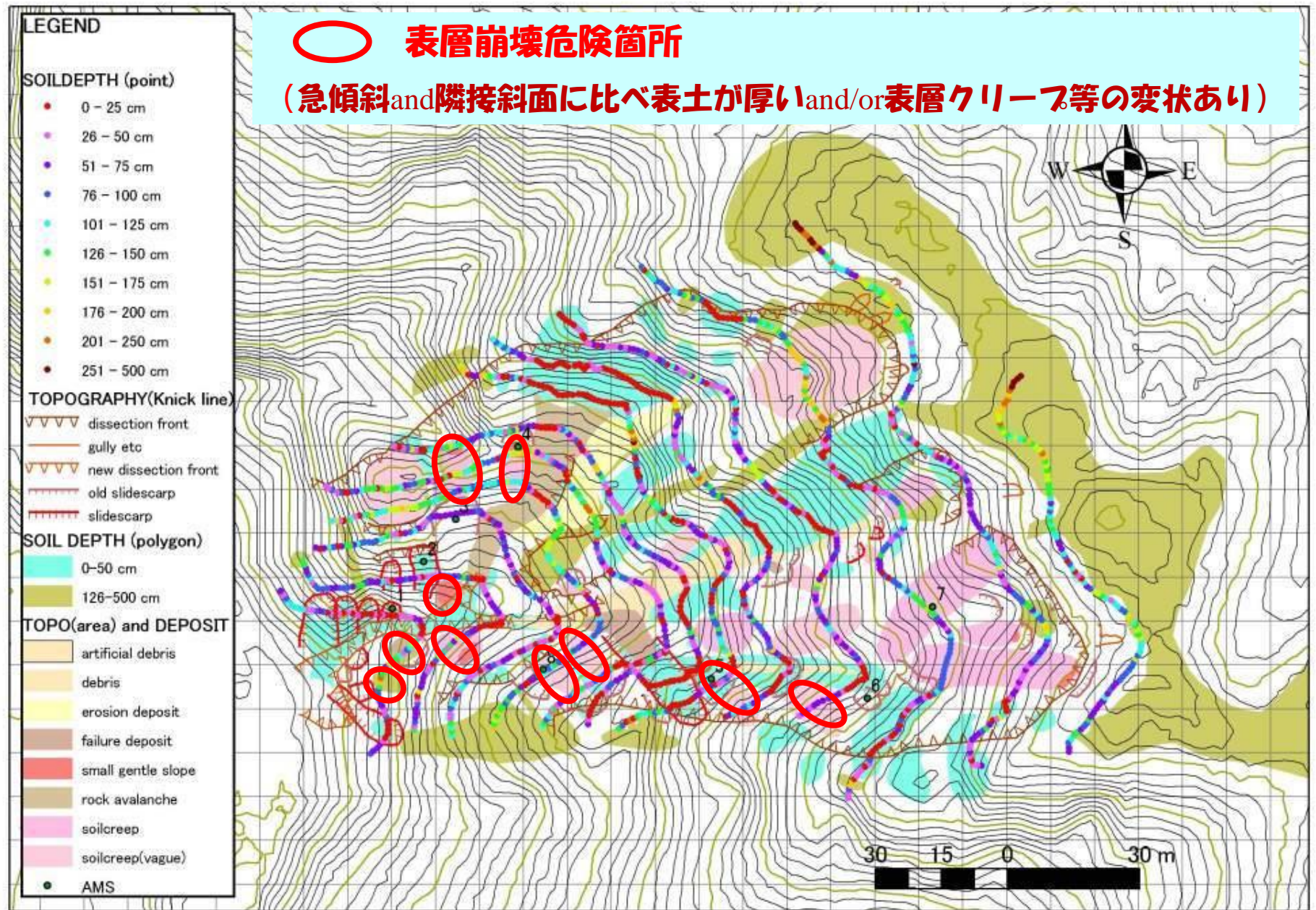
土層強度検査棒(土研佐々木開発、左写真)で表土の厚さ分布を計測した結果の例(右図)

斜面の表土の厚さ分布は幅数m～数10mのパッチワーク構造。

⇒土砂崩れ・がけ崩れの危険個所を本当に把握しようと思ったら、表土の分布の不均質性を把握できる精度の地質調査が必要



soil depth and micro-topography (tsukuba)



Soil Depth and Micro-topography (IWAKI)

土層強度検査棒測定による表層崩壊危険個所の抽出例(福島県いわき市)

断層の不均質性

どこを見ているかで、
断層の位置・方向・連続性
の推定が変わる。

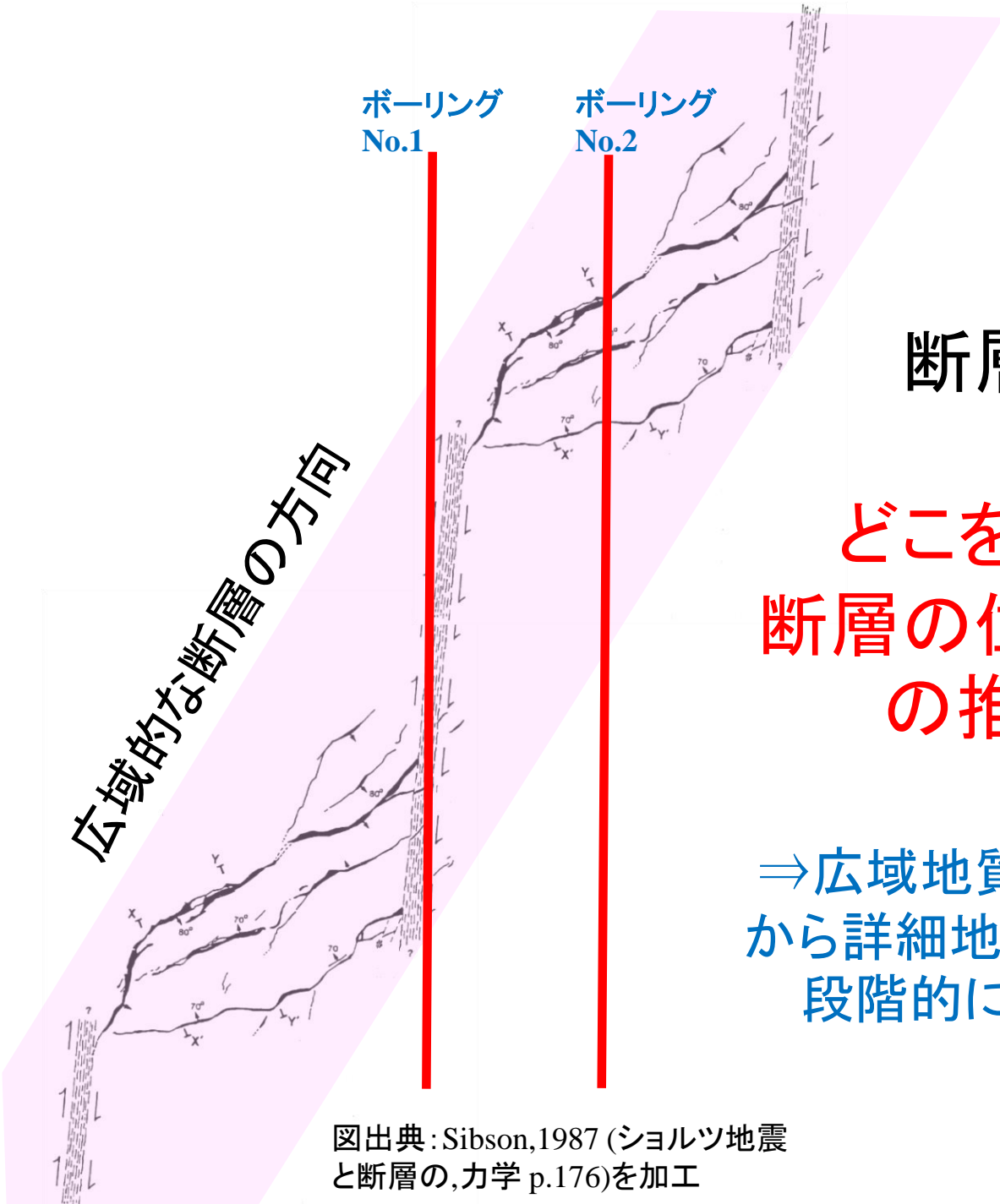
⇒広域地質調査(露頭調査、踏査)
から詳細地質調査(ボーリング等)に
段階的に進めばリスクを防げる

図出典: Sibson, 1987 (シヨルツ地震
と断層の, 力学 p.176) を加工

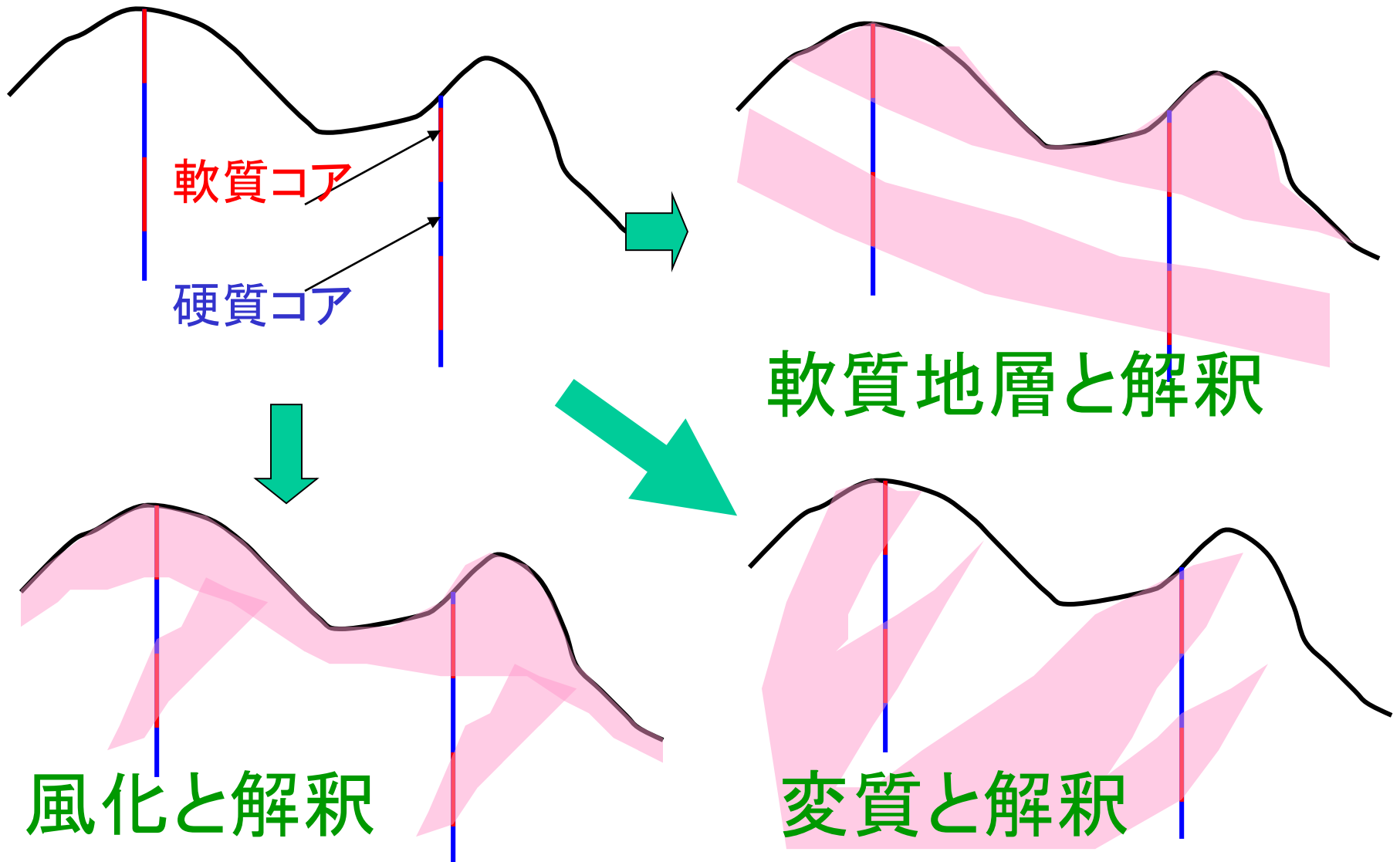
広域的な断層の方向

ボーリング
No.1

ボーリング
No.2

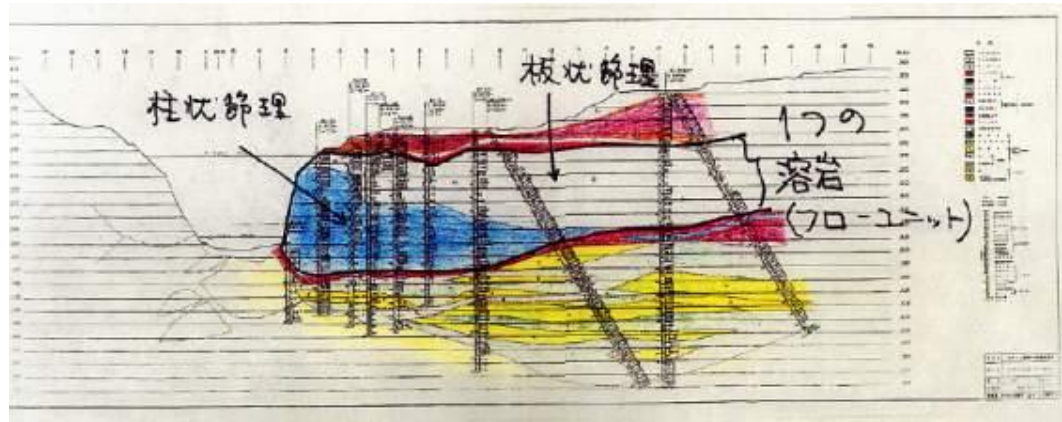


成因(地質解釈)による地質図の相違



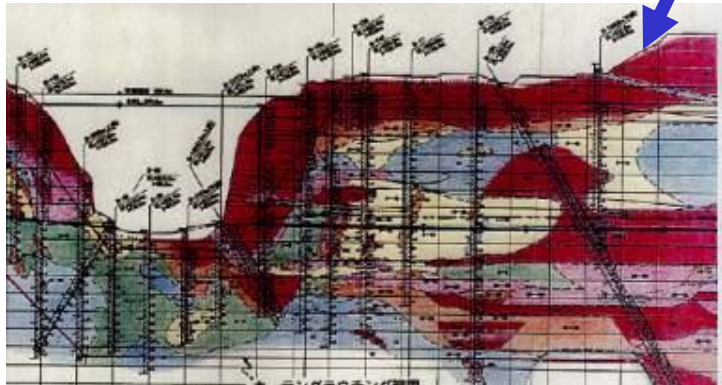
地質の成因の分析がしっかりしていればリスクを防げる。

地質解釈が違えば 物性分布図も違う

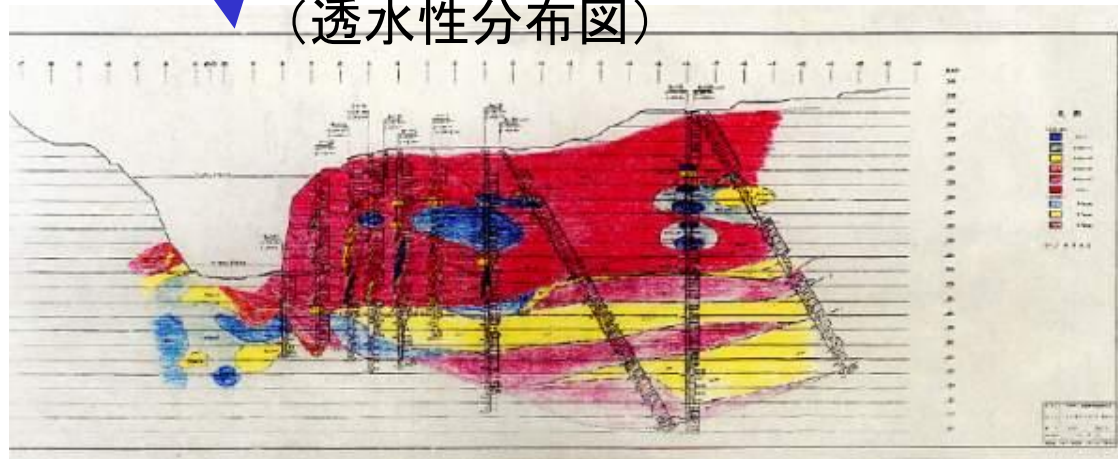


地質図

楽天的なルジオンマップ
(透水性分布図)



悲観的なルジオンマップ
(透水性分布図)



地質工学的解釈がしっかりしていれば防げる。

地質図や地質解釈が間違ってしまうということは、
地質調査が、
「木を見て森を見ず」
または逆に、
「森を見て木を見ず！？」
の状態になっている。

概略地質調査＝地表地質踏査、露頭調査

詳細地質調査＝ボーリング調査等

の、バランスがしっかりしていれば防げる

(⇒一般に、踏査が軽視される傾向。きちんとやって！)

④ 地質調査はどのくらいはずれる？

- ・適切な調査で良い精度に
- ・しかし限界も
- ・そのため、「安全側」の判断が重要

ダムの地質調査量

- 弾性波探査(数測線)
- 地表地質踏査
- グリッドボーリング(数10mグリッド)
- 横坑調査(数～数10坑)
- 必要に応じてその他の詳細調査
等で調査

想定と実績の面積比較

(花崗岩が不均質に風化・変質していたOダム)

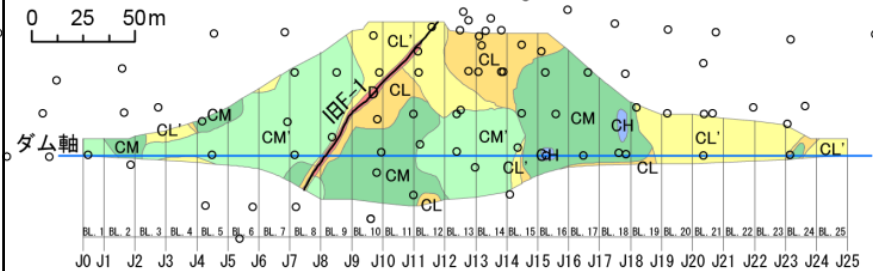
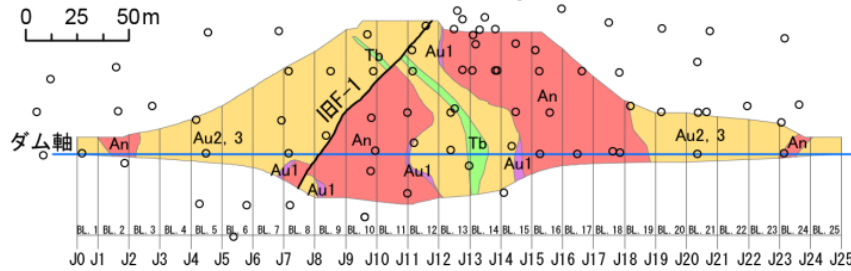
	地質分布	岩級区分																												
調査段階の想定																														
	<p>安全側一致率とは、岩級を実際より低めに推定していた範囲も「一致」とみなしたものの</p>																													
施工段階の実績																														
	一致率 80%	完全一致率 46%, 安全側一致率 66%																												
凡例	<table border="0"> <tr> <td>Po</td><td>ひん岩</td> <td>Rhy</td><td>流紋岩</td> <td>○</td><td>ボーリング</td> </tr> <tr> <td>Gr</td><td>花崗岩</td> <td></td><td></td> <td>—</td><td>断層</td> </tr> <tr> <td>fGr</td><td>細粒花崗岩</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Di</td><td>閃緑岩</td> <td></td><td></td> <td></td><td></td> </tr> </table> <p>白亜紀～古第三紀 因美期 侵入岩類</p>	Po	ひん岩	Rhy	流紋岩	○	ボーリング	Gr	花崗岩			—	断層	fGr	細粒花崗岩					Di	閃緑岩					<table border="0"> <tr> <td>D</td><td>CL</td><td>CM</td><td>CH</td> </tr> </table> <p>○ ボーリング — 断層 41</p>	D	CL	CM	CH
Po	ひん岩	Rhy	流紋岩	○	ボーリング																									
Gr	花崗岩			—	断層																									
fGr	細粒花崗岩																													
Di	閃緑岩																													
D	CL	CM	CH																											
	出典: 日本応用地質学会土木地質研究部会資料																													

想定と実績の面積比較 (河床に断層があったOYダム)

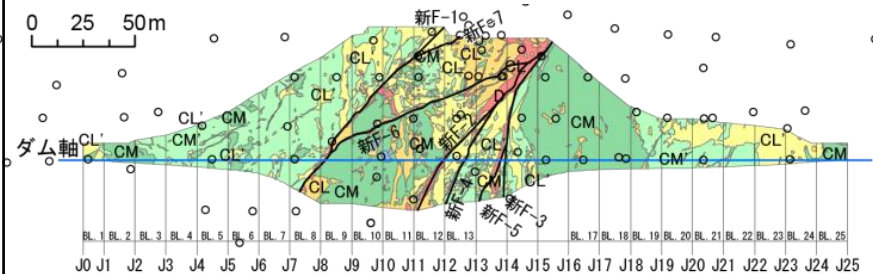
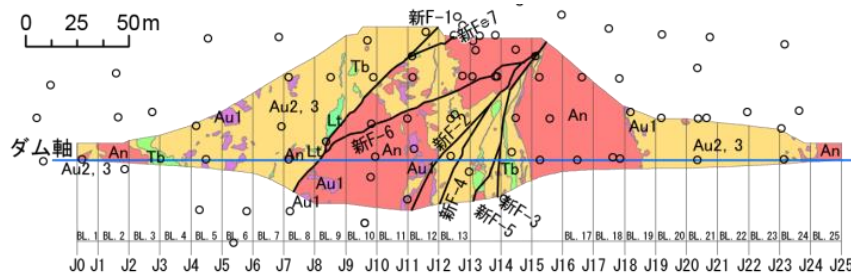
地質分布

岩級区分

調査段階の想定



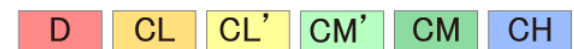
施工段階の実績



一致率 81%

完全一致率 57%, 安全側一致率 79%

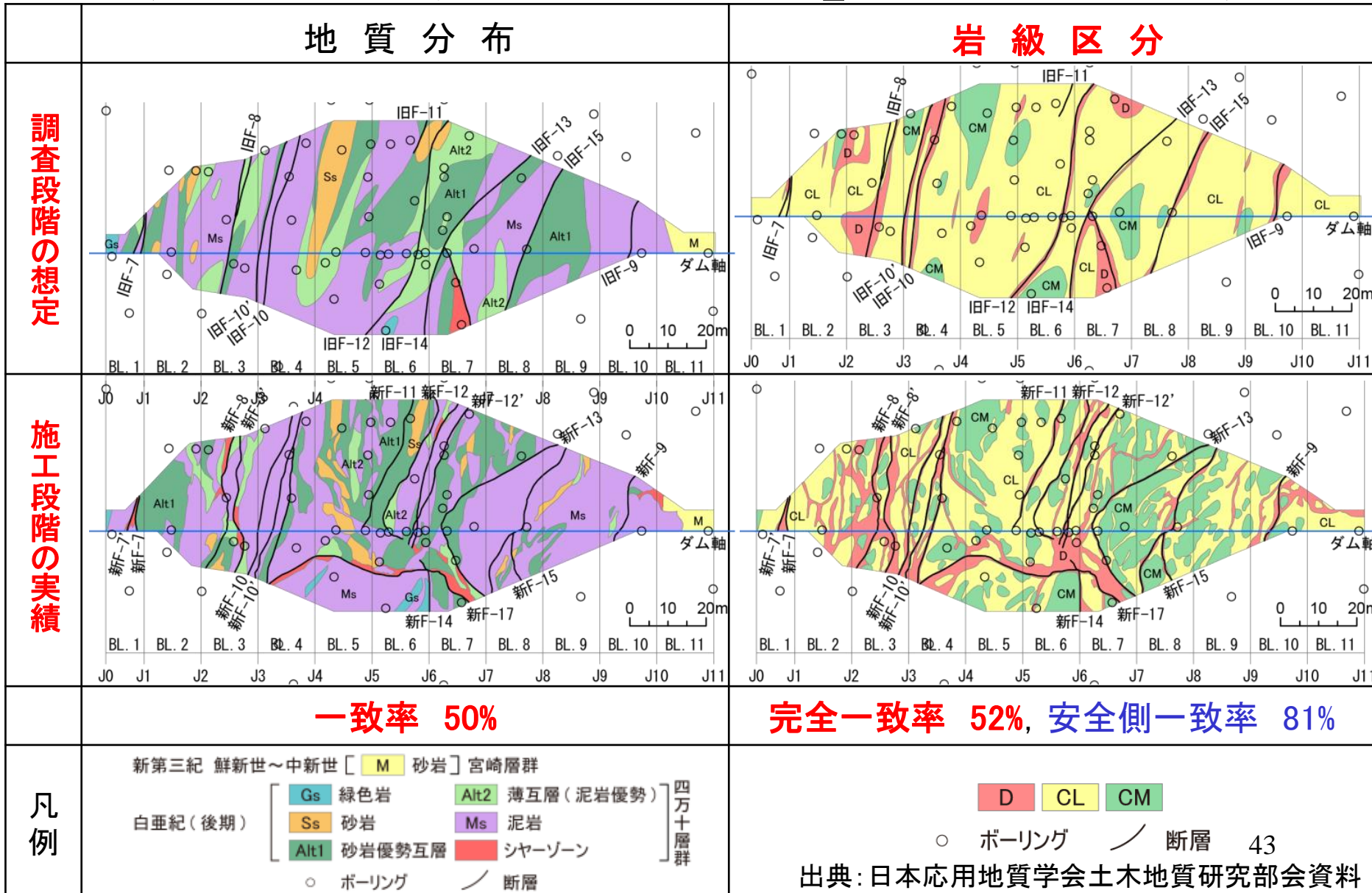
凡例



○ ボーリング 断層 42

出典: 日本応用地質学会土木地質研究部会資料

想定と実績の面積比較 (付加体の複雑な「混在岩」からなるUダム)



岩級の安全側一致率と完全一致率の関係

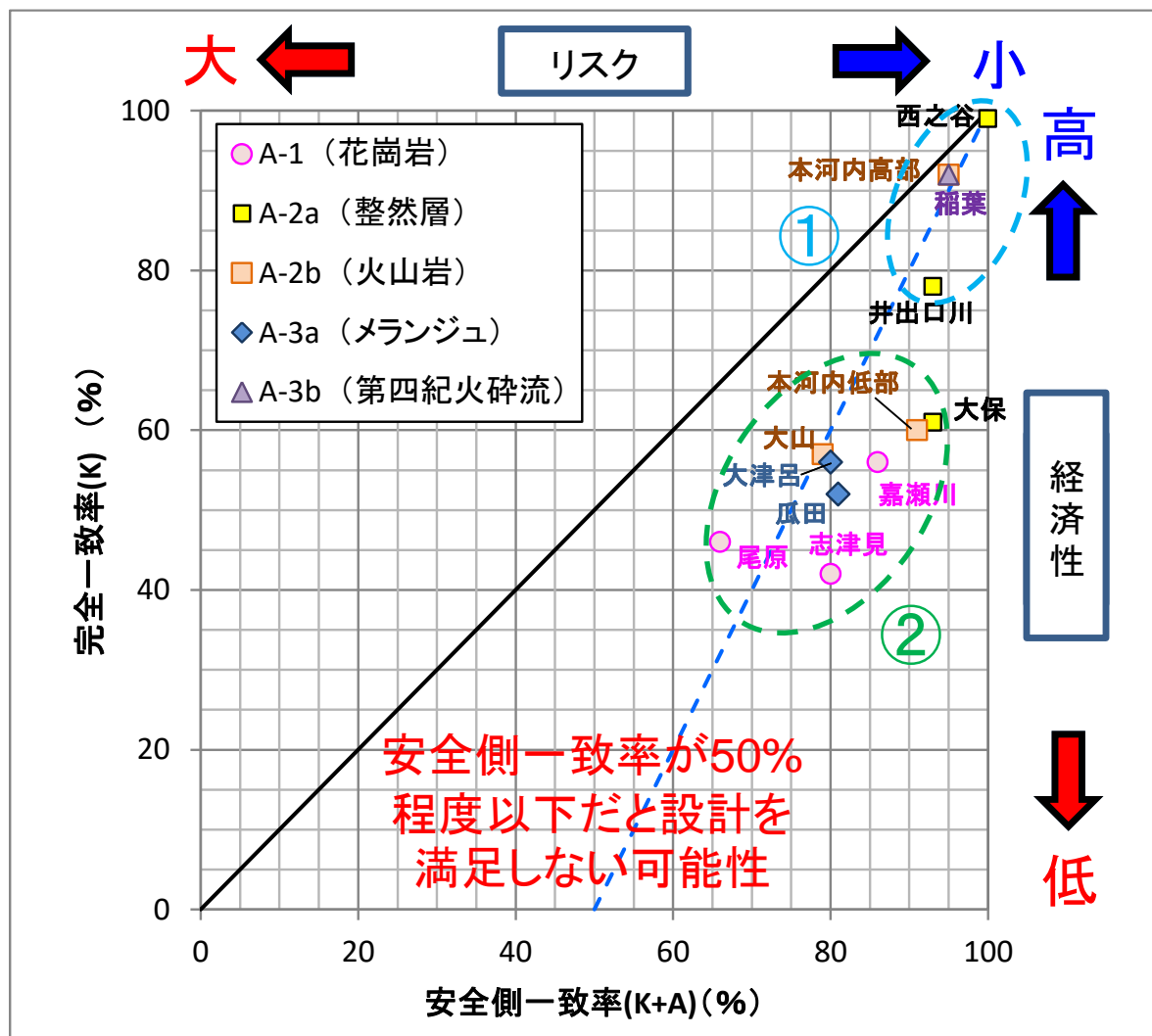
グループ①

リスクが小さく、
経済性も高い。

グループ②

リスクが大きく、
経済性が低い。
しかし安全側一
致率は60%以上

岩級の予測精度は40
ー90%までばらつくが、
「安全側」に見積もること
で、経済性は低下す
るがリスクを防げる

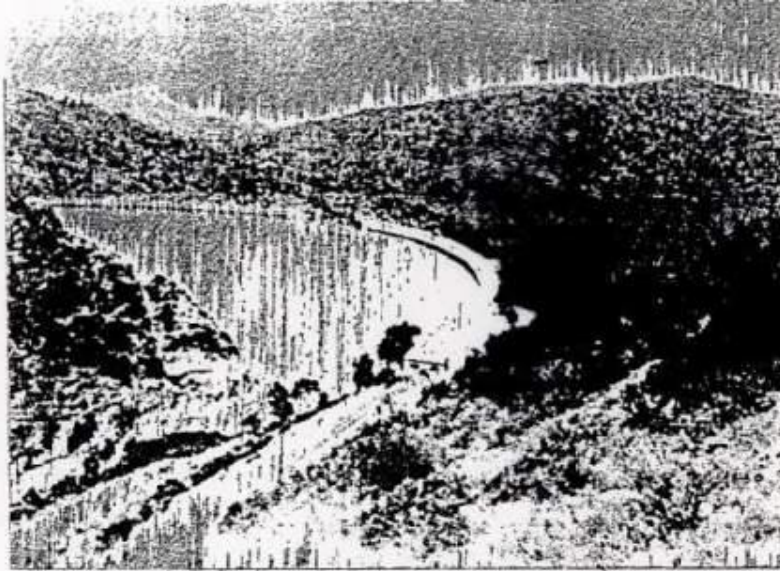


3. 地質・地盤リスクにどう対応すべきか？

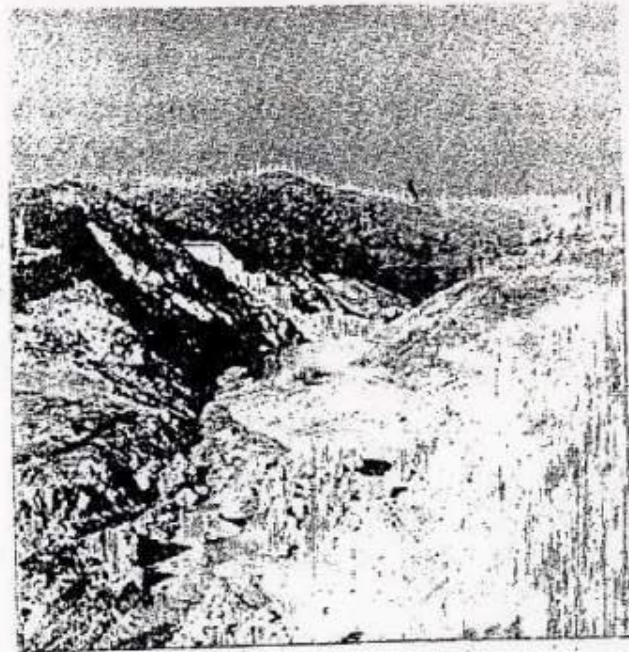
- ① 自然リスク(地質の不確かさ)への対応
- ② 人為リスクへの対応

① 地質の不確かさにどう対応する？

マルパッセダム



Malpasset ダム：湛水初期のダム



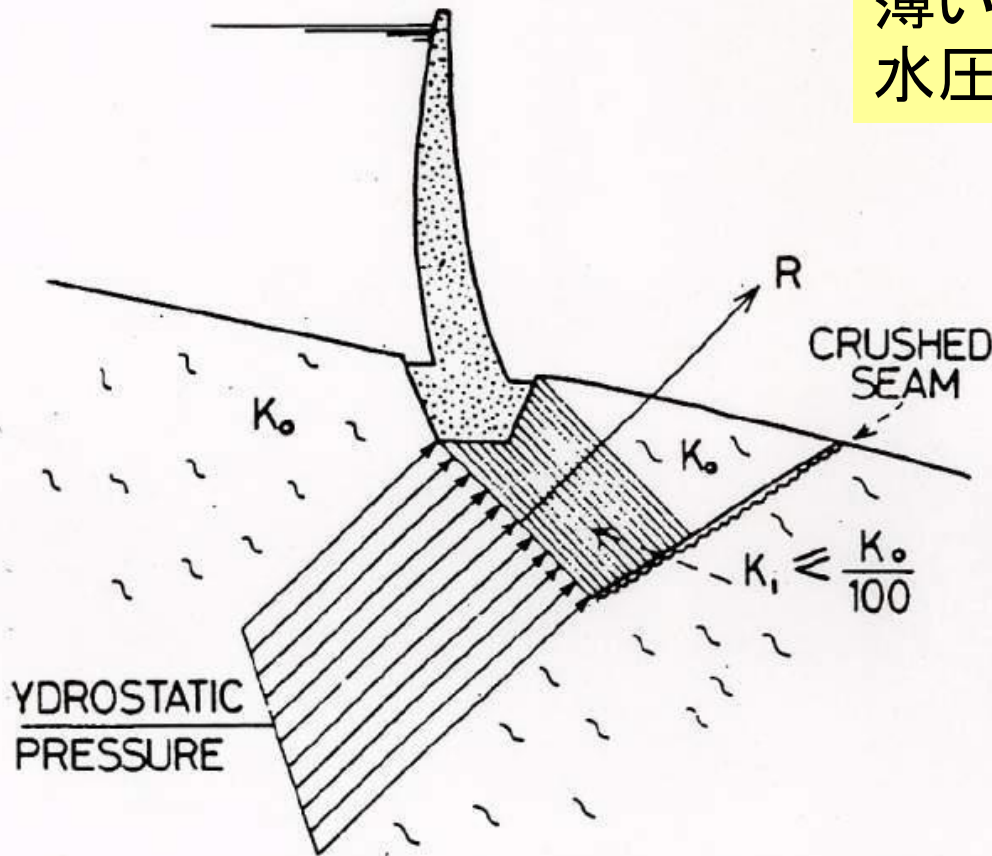
Malpasset ダム：崩壊したダムを下流より望む



このフランスのダムは、1959年に、基礎の弱層の滑りにより破壊し、421名が亡くなった。

破壊の原因

薄い弱層がダム基礎に存在し、水圧等を受けて滑動したものの。



Malpasset ダム：Londeによって提案された崩壊様式を示している左岸アバットメントの断面図

基礎の要求性能に照らした調査を行い、地質が要求性能を満足することを確認できる精度の調査結果があればリスクを防げる。

土木地質調査は不確かさとの戦い

学術的地質調査

- ・地質(の成り立ちや構造等)を把握する(⇒これが目的)

土木地質調査

- ・地質(の不均質性)を事業に必要な精度で把握し、
⇒(これは手段)
- ・事業におけるリスクとチャンスをもれなく抽出し
- ・必要な地質工学情報(強度等)をモデル化し設計・施工・管理へ
⇒(これが目的)

しかし必要な精度が得られないことがしばしば

地質の推定(モデル化)の留意点 (たまにある失敗)

調査の質・量の問題

- ・不均質性にマッチしない少ない調査量・調査項目
- ・低品質な情報(精度の低い地形図で地すべり地形を見逃す、掘削時に乱れた不良なコアで弱層を見逃す等)

地質構造の推定の問題

- ・地質の成因(地質解釈)を見誤る
- ・弱層・弱部の存在、方向、連続性、性状を見誤る
- ・地層の膨縮・凹凸・変形・断裂を見逃す
- ・地層の側方変化を見逃す
- ・地質図学的な予測の難しい地質(付加体、火山岩、変質等)

地質物性の推定の問題

- ・代表物性を見誤る(単純平均化してしまう、特異値と評価して無視する、等)

ダムでの地質の不確かさへの対応例

- 計画段階から地質技術者が参画
- 事業段階に合わせた段階的な地質調査
- 設計上重大な不良部には綿密な追加調査
- リスクに対して、「ONE-TEAM体制」でチェック

ダムにおけるONE-TEAM体制

ダムでは、事業者および土木技術者・地質技術者（行政側・民間とも）で追加調査の必要性を議論して段階的に調査を進め、要所では国土交通省の会議で見逃しがどうか確認し、予算付けするシステムとなっている。

いつ地質調査すりゃ良いの？

・地質・地盤リスクマネジメントでは、決して「どんどん事前調査(フロントローディング)しろ」といっているのではない。

⇒逆にそれが無駄な経費となることもある。

・「構想・計画段階で避けるべきリスク」、「設計段階で避けるべきリスク」、「施工時に避けるべきリスク」を識別し、適切な事業段階で適切な調査をすることが重要。(マネジメントの最適化)

⇒識別することが「リスクの見える化」

事業段階に応じたリスクマネジメントの必要性

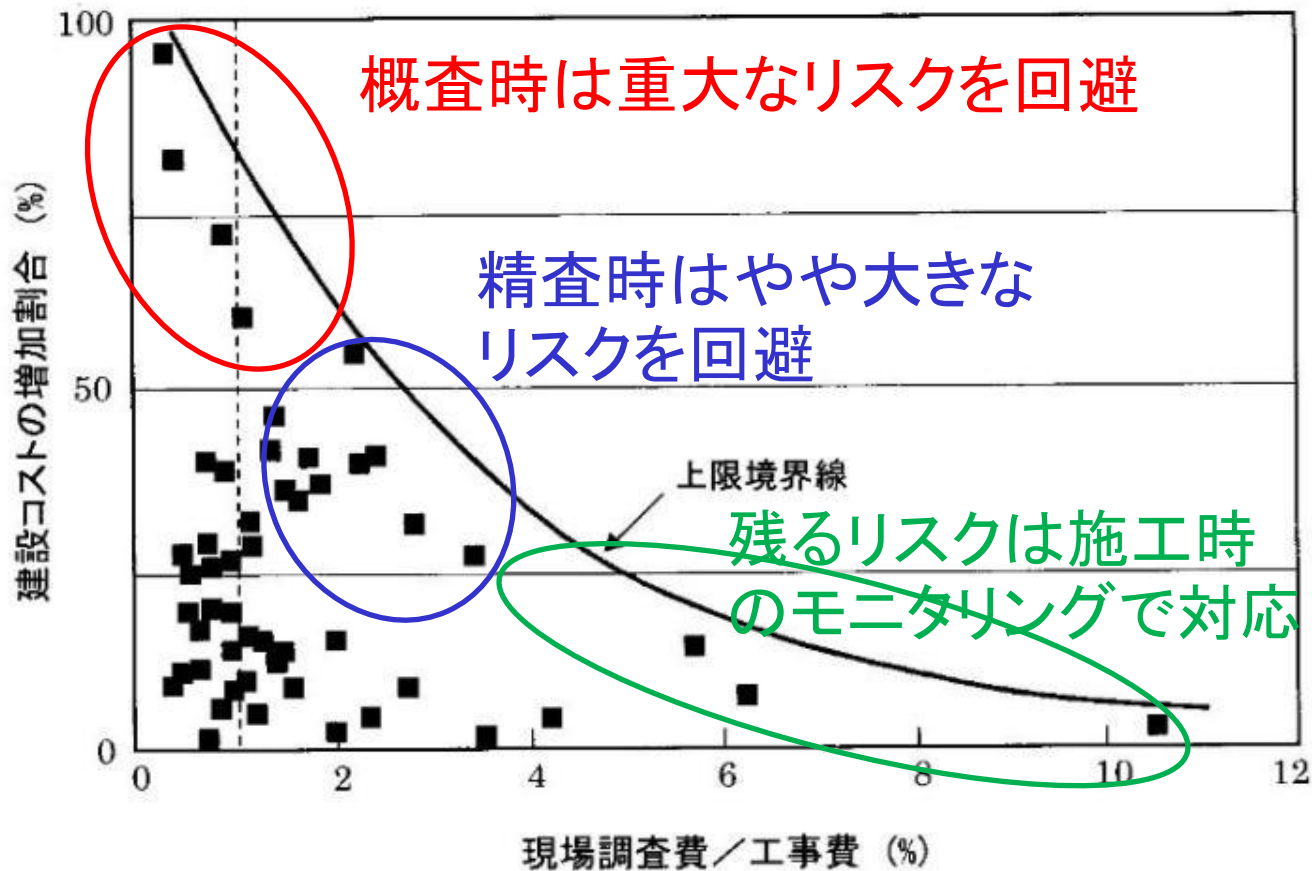


図-6 英国の高速道路プロジェクトにおける地質調査費割合と増加コスト割合の関係

出典：ジオリスクマネジメント(古今書院 全地連訳,2016)
(原典)C.R.I Clayton,英国土木学会編:Managing Geotechnical Risk,2001.

どこまで調査すりゃ良いの？

- ・地質図(モデル)が設計上必要な精度を有していること
 - ←適切な位置での調査である(構造物との関係、重要な地質ポイント等)
 - ←地質の成り立ち、構造解釈に誤りがないことを説明できる調査内容である
 - ←問題となる地層(境界)の位置が推定できる精度の調査量を確保している
 - ←問題となる弱部が適切に抽出されモデル化できている 等
- ・要求性能に対する推定性能が満たされていること
 - ←必要データ(強度、透水性等)がそろい、全て要求性能をクリアする 等
- ・リスクに対し、工学的に許容できるレベル(少なくとも安全側)であることが説明できること
 - ←物性のバラツキに対し安全側の代表値を設定できている 等

これらによってもなお残る地質の不確実性・リスクについては、地質調査者は事業者の説明する義務がある。

基礎の要求性能と推定性能のマッチングが重要

基礎の要求性能

- ・耐荷性、強度, 変形性
(圧縮、引張、剪断等)
- ・物性の均質性
- ・遮水性
- ・パイピング抵抗性
- ・液状化抵抗性
- ・斜面安定性
- ・長期安定性
- ・環境安全性
- ・施工性、施工安全性 等

推定性能(リスクの抽出)

- ・強度のばらつきは？
- ・連続した弱層、弱部はあるか？
- ・変形しやすい層は？
- ・透水性の高い層は？
- ・パイピングしやすい層は？
- ・液状化しやすい層は？
- ・地すべり、緩みは？
- ・風化、劣化しやすい地盤か？
- ・周辺地下水への影響は？
- ・地下水圧、地盤改良性 等

土木地質調査計画(調査項目、量、配置等)

② 人為リスクにどう対応する？

②-1: 人為リスクの重要性

Clayton (2001)によると、
「スキル不足の技術者」を、「ハザード」(≡リスク源)
に含めている。

JIS Q31000では、リスク源とは、
「それ自体又は他との組み合わせによって、リスクを生じさ
せる力を潜在的にもっている要素」
である。

これらに照らせば、リスクを増長させる不適切な対応(をす
る者)もリスク源となり得る。

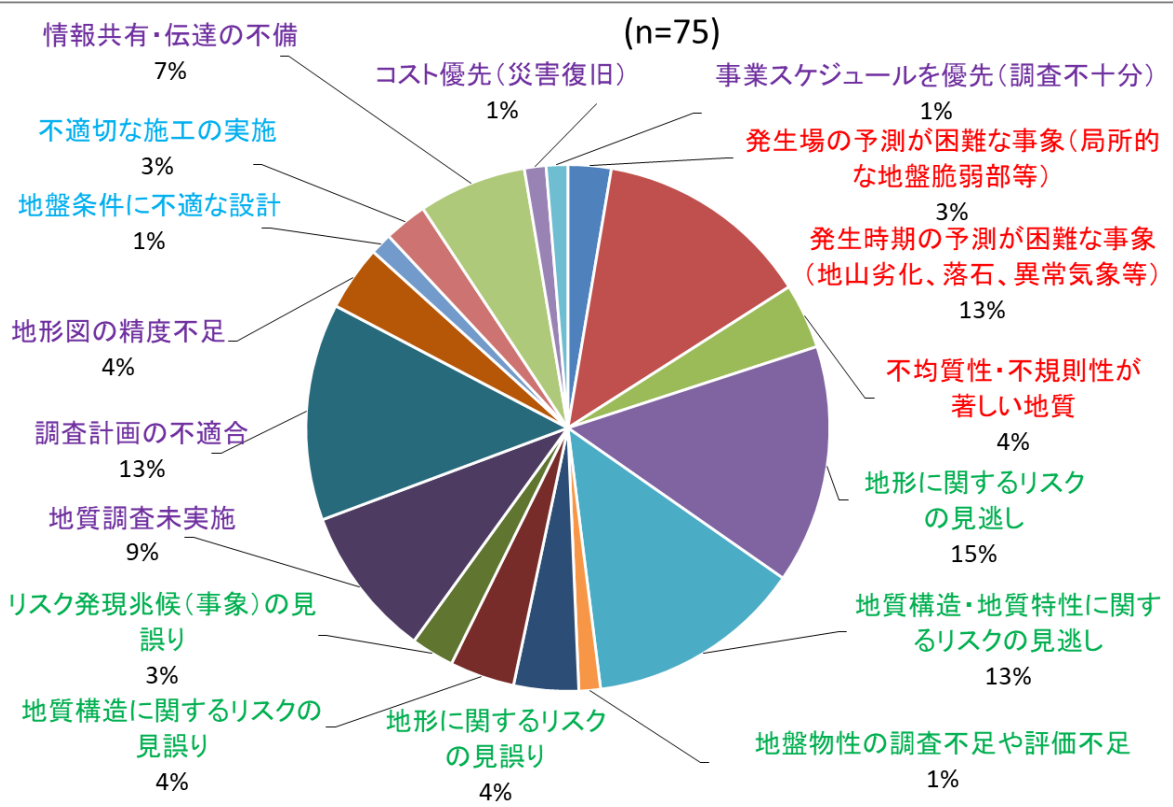
(参考)

C.R.I. Clayton, 2001: Managing Geotechnical risk –Improving productivity in
UK Building and construction, *Institution of civil
engineers and Thomas Telford Ltd.*
全地連 訳「ジオリスクマネジメント」, 古今書院, 2016.

(再掲) 地質リスク学会の発表事例の分析

事件事例・回避事例の主なリスク発生要因

地質リスク学会の収集事例の分析による。第1回地質・地盤リスクマネジメント検討委員会資料(2019)から編集.)



人為リスク源 約8割
(努力で防げるリスク)

調査技術不足
40%

事業実施計画やリスクマネジメント体系の問題
35%

設計・施工技術不足
4%

自然リスク源 約2割
(技術の進歩に期待)

予測困難な地質・事象
20%

地質調査会社からの事例が主体なので偏りがあることに留意

長谷川ほか(2013)によると、土木事業における地質的課題発生事例(113件)の推定発生要因(273要因)を分類すると、

・リスクの認識不足(44.3%)

・調査不足(25.6%)

・人的要因(9.9%)

・組織的要因(6.6%)

・予測不能(13.0%) 地質の複雑さなどの自然的リスク源

人為的要因？
(計86.4%)

であり、何らかの人為的要因が、86.4%であった。

(参考)

「事例収集に基づく土木地質分野における現状と課題」

(長谷川怜思・日本応用地質学会土木地質研究部会:日本応用地質学会土木地質研究部会平成25年度研究発表会講演論文集,pp.99-100,2013)

- いずれの事例調査でも、人為的要因を主とするものが79%～86%であり、予測不能な地質等(自然的要因)を主とするものは13～20%に過ぎない。

⇒このことは、地質調査やリスクマネジメントなどの改善により約8割のリスク事象を防げる可能性があることを示している。

- 特に地質調査の改善により6～7割のリスクを防げる可能性。
 - また3～4割は事業者側のマネジメントシステムの改善が必要。
- ⇒すなわち事業者、地質技術者ほか技術者の両方の改善が必要

②-2 地質技術者リスクをどう減らす？

土木事業において、 「地質技術者リスク」をどう定義する？

- (定義A)「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たときの、当該地質技術者が関与することによるリスクの増(減)分」
 - ⇒ 地質技術者にとって楽 (大概是「地質技術者ベネフィット」に)
- (定義B)「職業技術者として通常期待される役割を果たす場合の事業リスクレベルを基準としたときの、当該地質技術者が関与することによるリスクの増(減)分」
 - ⇒ 地質技術者にとって非常に厳しいものに？

どれを基準とすべきか？

地質リスクマネジメントにおいて 地質技術者に通常期待される役割とは？

- 例えば地質災害に関する裁判等では、地質調査による予見可能性が争点となる。この場合、地質技術者に期待される役割は、「**地質技術を用いて通常合理的に予見可能な地質・地盤リスクを予見し、またその根拠や対応方法を示すこと**」と考えられる。

その場合の、地質技術者リスクの定義は、

- (定義B') 「**地質技術を用いて通常予見可能なリスク**に対し、その**予見作業を怠ること**によるリスクの増(減)分」
⇒ いずれにしても、地質技術者にとって厳しいが.....

通常予見可能な地質・地盤リスクとは？

地質技術者の責任の範囲を整理するため、地質リスクを、「予見の合理性」と、「発生の蓋然性(確率)」で整理してみる。

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

①や②は合理的に予見可能なリスク(地質技術者の責任が大きい部分)

③や④の取り扱いは事業者の判断事項(③は裁判では蓋然性が低くても予見可能であり瑕疵があるといわれる可能性はあるが)

⇒地質技術者は、①～④のどのリスクであるか明らかにし事業者等に説明する必要

地質技術者の責任の範囲とは？

地質・地盤リスクマネジメントにおける地質技術者の責任とは、前述の①～④のどのリスクなのか明らかにするために、下記を遂行すること

- 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)

この作業を怠ることによるリスク増分が地質技術者リスク

ただし受注者としての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a～fを適切に行っていれば、たとえリスクが発現しても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る。

それは、**打率3割のバッターを解雇すべきでないのと同じ**である。

とはいえ、地質技術者リスクを減らす努力は必要……………

地質技術者関連リスクの発生要因分類例

- 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(または隠ぺいする)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. **忖度型**: 発注者や上司等に忖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

地質技術者リスクの防止策例

「地質・地盤リスク防止ガイドブック」

斜面・地すべり編

(内容例)

地すべりの地質調査において技術的に陥りやすいミスとその回避・対応方法

- ①地すべり地形の見落とし、見誤り
- ②複数ブロックの存在の見落とし
- ③すべり面/複数のすべり面の存在の見落とし
- ④すべり面と他の弱層の見間違い
- ⑤地すべりとゆるみの見間違い
- ⑥不良コアの取り扱いや解釈の誤り
- ⑦孔内変動計測による変位個所の見誤り
- ⑧地下水位の見誤り
- ⑨すべり面のつなぎ方の誤り
- ⑩すべり面とブロックのマッチングの誤り
- ⑪ブロック形状の見誤り
- ⑫すべり方向の見誤り 等

左記①～⑫等に対し、下記α～γを解説することで、類似のミスの気づきや防止が期待できる。

α.陥りやすいミスのパターン

β.ミスが生じる理由

γ.ミスを防ぐための知識や手法

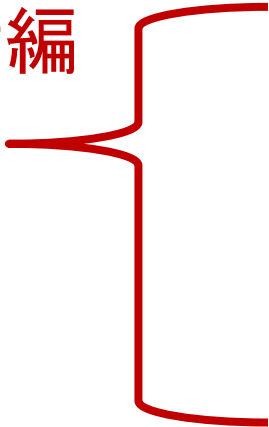
②-3 事業者リスク、 土木技術者リスクをどう減らす？

- 事業者、土木技術者リスクとは
- 事業者、土木技術者の役割とは
- 事業者、土木技術者の責任の範囲とは
- 事業者、土木技術者リスクを減らすには

(私ではなく、皆さんが考えること?)

地質・地盤リスクの防止策の例（今後作成必要）

「地質・地盤リスク防止ガイドブック」

- ・共通編・事業者編
 - ・地質技術者編
 - ・設計技術者編
 - ・施工技術者編
- 
- ・斜面・地すべり編
 - ・トンネル編
 - ・ダム編
 - ・〇〇編

教育事項の例

- ・リスクを「知る」講習
- ・リスクに「気づく」講習
- ・リスクを「調べる」講習
- ・リスクを「表現し伝える」講習
- ・リスクを「防ぐ」、リスクに「対応する」講習 等

地質・地盤技術者だけでなく、事業者・土木技術者も教育・啓発する体制が必要。

そもそも地学教育が十分行われていないため、分かりやすいテキストや啓発プログラムが必要。

事業の安全性、生産性向上
適切な維持管理・更新、
環境保全 等

技術の改善

(新技術の開発と導入)

(例)

- ・地質調査精度向上技術
- ・リスク特定・評価技術
- ・リスク対応技術 等

教育システムの改善

(事業者、土木技術者、地質技術者、
市民等の知識向上)

(例)

・地質・地盤リスク対策協議会の構築

(行政、業界、学会連携)

- ⇒リスク事例の収集・教訓分析
- ⇒リスク対応技術講習
- ⇒市民への啓発 等

事業システムの改善

(リスクマネジメントの導入)

(例)

- ・リスクマネジメントの実施
 - ・リスク対応指針類の作成
 - ・エキスパートの活用 等
- (行政側、民間側とも)

連携して一緒に改善していきましょう

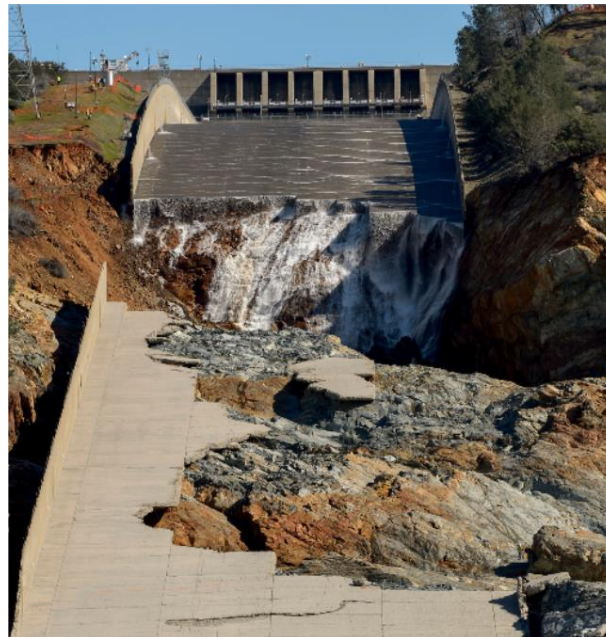
4. 海外(主に米国)の取り組みの例

- ① 米国のダムにおける例
- ② 米国の道路における例

① 米国のダムにおける例

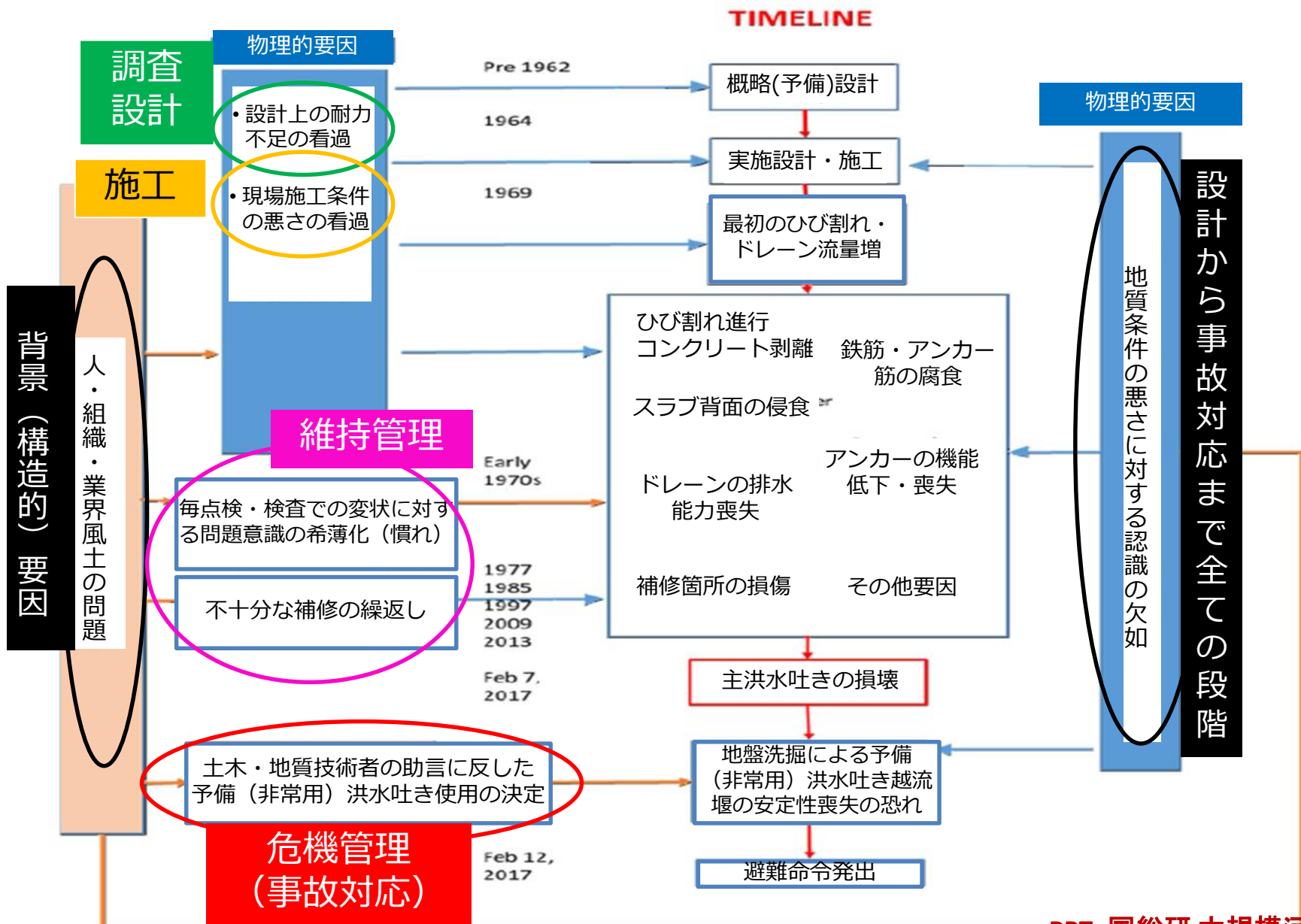


Oroville dam (米・1968年完成)
洪水吐き損傷事故 (2017・避難命令18万人)



PPT:
国総研 大規模河
川構造物研究室
金銅室長による

事故を引き起こした素因とその相関



PPT: 国総研 大規模河川構造物研究室 金銅室長による

米国のダムにおけるリスク管理

(Risk-Informed Decision Making Guidelines : 米国FERC)

リスク評価

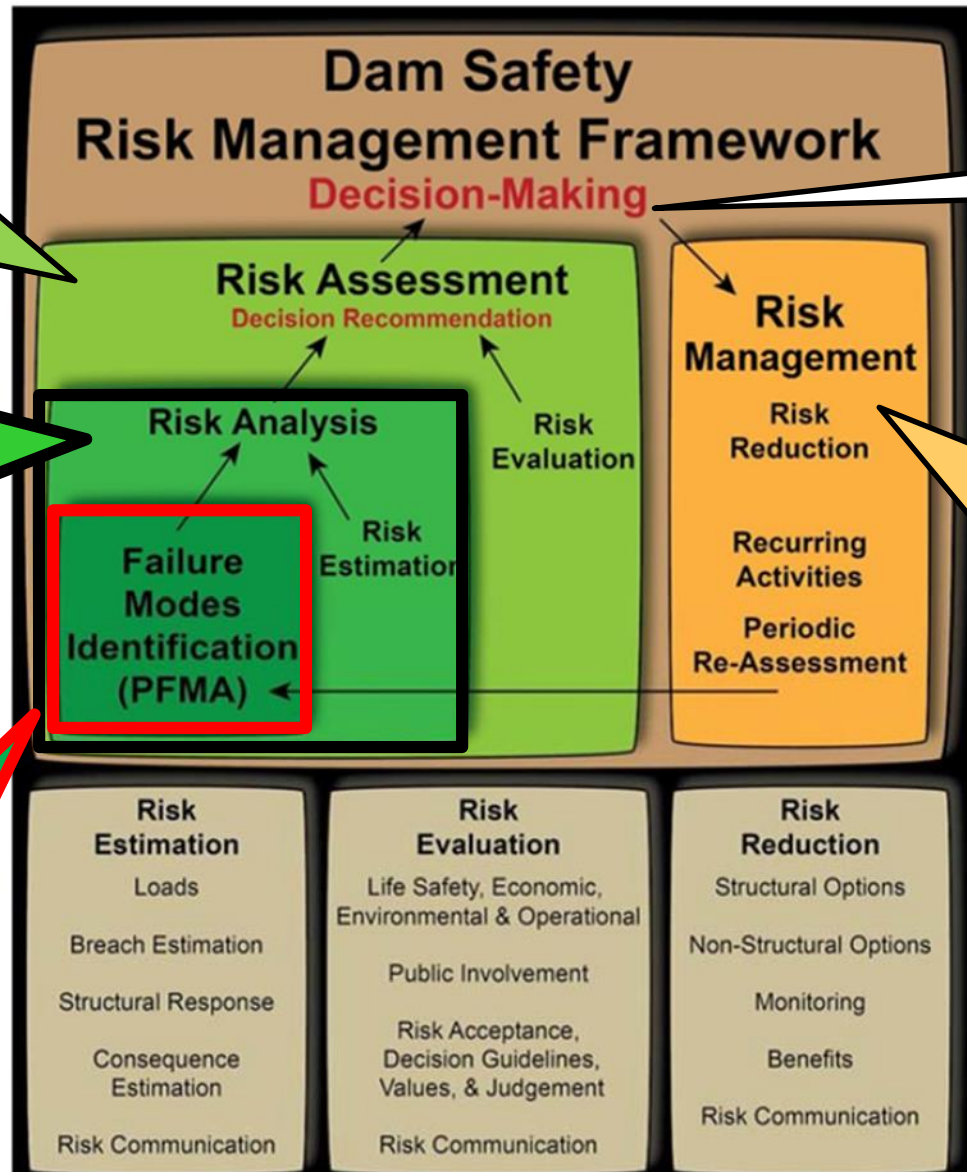
- 被害想定
- リスク受容の是非（対策の必要性）の案

リスク分析

- ハザード評価
- 重大事象の生起可能性（確率）見積もり

リスク認識 (PFM分析)

- リスク要因の抽出
- リスク構造の明確化



意思決定

リスク管理

- 対策の実施
- モニタリング
- 定期的再評価、見直し

PPT:
国総研 大規模河川構造物研究室
金銅室長による

リスク認識の手法（例：PFM分析）

①PFM（Potential Failure Modes）とは

- 「ある荷重条件下で、制御されない貯水放流に至りうる事象の道筋」（米FEMA,2015）

②PFM分析とは

- 個々のダム特有の安全性阻害要因・貯水機能の喪失に至るシナリオ（PFM）を同定するための分析
→ リスクとその構造の認識行為そのもの

③なぜPFM分析か

- 従来の点検・検査、設計照査では看過されがちな 重大事故につながる潜在的シナリオ（脆弱性の所在）を明らかにする
- ダム管理上の重点事項の明確化

米 FERC (連邦エネルギー規制委員会) の技術ガイドラインなど

Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects (Chapter 14)

PPT:
国総研 大規模河
川構造物研究室
金銅室長による

PFM分析の手順

① 調査設計・施工・運用管理に関わるあらゆる情報
(データ・記録・解析等) の**収集・分析**

② 綿密な**現地調査・管理者との討議**等により、
PFM (候補) 抽出に必要な材料 (情報) の取得

③ 分析チームによる徹底的な**分析・討論・検証**

- ・ 土木・地質工学等関連分野の専門家からなるチーム
- ・ 中心メンバー：法定検査を担う独立系コンサルタント、ダム管理者、FERC検査官等

④ PFMとその根拠情報、管理・モニタリング計画、
リスク軽減方策の**文書化**

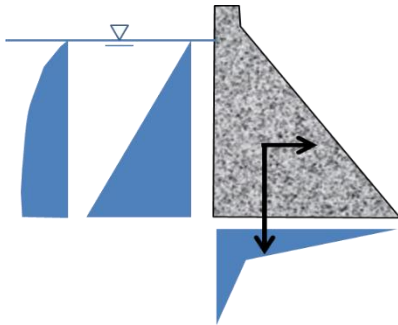
リスク分析のねらい・利点（SBAとの比較）

SBA

(Standard-Based Approach)

- 設計基準等に基づく伝統的な安全性評価法
- 既定の想定事象、荷重、計算方法、安全率に基づく安全評価

【例】 震度法—転倒・滑動安定性
梁理論—応力・強度安全率



RIDM

(PFM分析に基づくリスク評価・管理)

- 数値比較だけによらない
- 不確実性を有するリスク要因の抽出、リスク構造の明確化

SBAでは認識・評価困難な
リスク要因・事象もカバー

- 【例】
- 堤体材料の内部侵食
 - ゲート等機械設備の信頼性
 - 操作ミス等の人的要因

- 当事者によるリスク認識
 - 基準適合でも存在するリスクの所在
 - その管理責任も含めて

PFMのカテゴリー

I	特筆	<ul style="list-style-type: none">①警戒の必要性②生起する可能性③結果の重大性④悪い兆候の確度 <p>を考慮したときに最も想定すべき主要なもの</p> <ul style="list-style-type: none">•物理的に起こりうる可能性•根本的欠陥・弱点の所在•損壊に繋がる状態・事象の明白さ
II	要考慮	<p>Iに比べ重大性や生起可能性は低いが想定されうるもの</p> <p>Iより重要性が低い理由は明確化（文書化）が必要</p>
III	情報不足	<p>重要性判定のための情報が不足しているもの</p> <p>判定のための調査・解析等が必要</p>
IV	棄却	<ul style="list-style-type: none">①物理的に生起し得ない②懸念を払拭する情報が存在③無視できるほど生起可能性が小 <p>極めて限定的</p>



ASSOCIATION OF
ENVIRONMENTAL &
ENGINEERING GEOLOGISTS
MILE HIGH CHAPTER

ダムと堤防の基礎の リスクアセスのための講習会

Photo Credit: RJH Consultants, Inc.

Program

Registration

Hotel

Sponsors and Exhibitors

Contact Us

WORKSHOP ON RISK ASSESSMENTS FOR DAM AND LEVEE FOUNDATIONS

For Engineering Geologists and Geotechnical Engineers

Denver West Marriott

Denver, Colorado

April 24-26, 2019

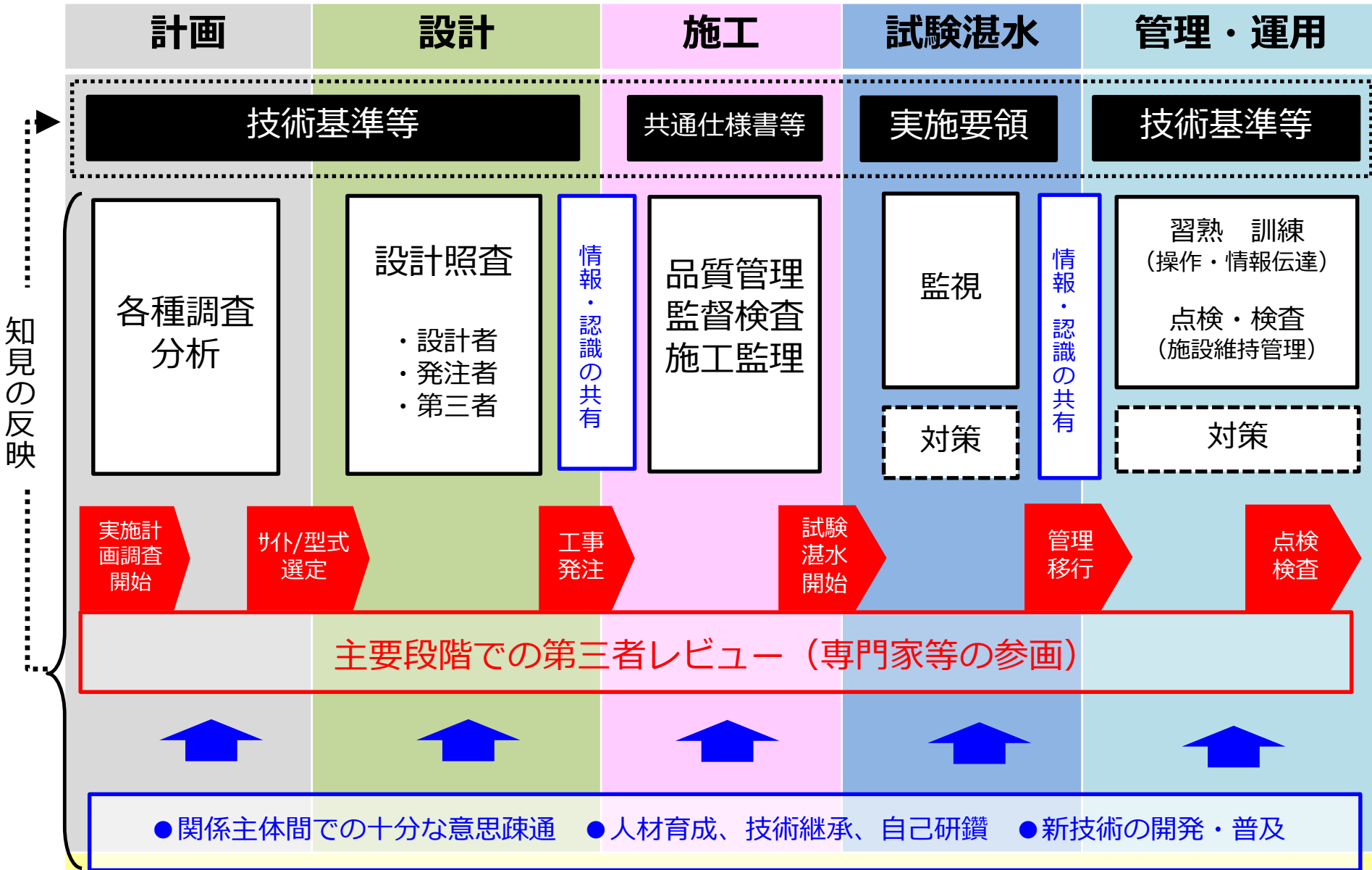
The Association of Environmental and Engineering Geologists (AEG), Dams Technical Working Group, is proud to present a workshop that focuses on the role and contribution of engineering geologists and geotechnical engineers in the Risk Informed Decision Making (RIDM) process in managing dam and levee safety programs. Risks associated with geological potential failure modes and communicating these conditions to the Risk Assessment (RA) team will be emphasized including the methodology, and implementation of RA for dam and levee foundations. We invite you to join us in beautiful Denver, Colorado for this three day workshop featuring expert instructors in the use and implementation of RIDM for RAs. Registration will include breakfast and lunch each day and a welcome reception on the first night.

“Dams must stand. Not all of them do, and there are all degrees of uncertainty about them. Reservoirs must hold water, and there are many ways by which water may be lost. The whole structure must be permanent and the work has a right to be done within the original estimates. Not all of them are, and there are many reasons for their failure or excessive cost, MOST OF THEM ARE GEOLOGIC.”

Charles P. Berkey (1929)



(参考) 国内の治水ダムでの取り組み



② 米国の道路における例

62nd HIGHWAY GEOLOGY SYMPOSIUM

www.HighwayGeologySymposium.org

Lexington, Kentucky

July 25th - 28th, 2011

PROCEEDINGS



Hosted By

The Kentucky Geological Survey

The Kentucky Transportation Cabinet, Geotechnical Branch

Coordinated By

University of Kentucky Transportation Center

Technology Transfer Program

UK

UNIVERSITY OF KENTUCKY
Kentucky Transportation Center
Technology Transfer Program



UK
UNIVERSITY OF
KENTUCKY
Kentucky Geological Survey

米国の 道路地質学 シンポジウム Highway Geology Symposium

道路のあらゆる地質的課題について産官学が議論するシンポジウム(日本道路会議の地質版のようなもの)。1950年から開始し、今年で71回目。ここでリスクマネジメントなどの手法も議論され、技術研鑽の場にもなっている。

GEOTECHNICAL ASSET MANAGEMENT Implementation Concepts and Strategies

Publication No. FHWA-CFL/TD-13-003

January 2013



米国では、「**地盤工学的アセットマネジメント**」(GAM)と呼ばれる手法が、州道路等で活用されつつある。

これは、**道路管理もサービスの一つとして**、土工構造物や法面の**性能(防災性能を含む)**を道路の性能の一つとして**評価**し、投資効果が最大になるように**長期的にマネジメント**する手法。

日本も、このような方向に？



U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration



Central Federal Lands Highway Division
12300 W. Dakota Ave.
Lakewood, CO 80228



FHWA内の組織(CFLHD)による
GAMの現状に関する技術報告
(Bessely,2013)

Typical Degradation Curves with Improvements

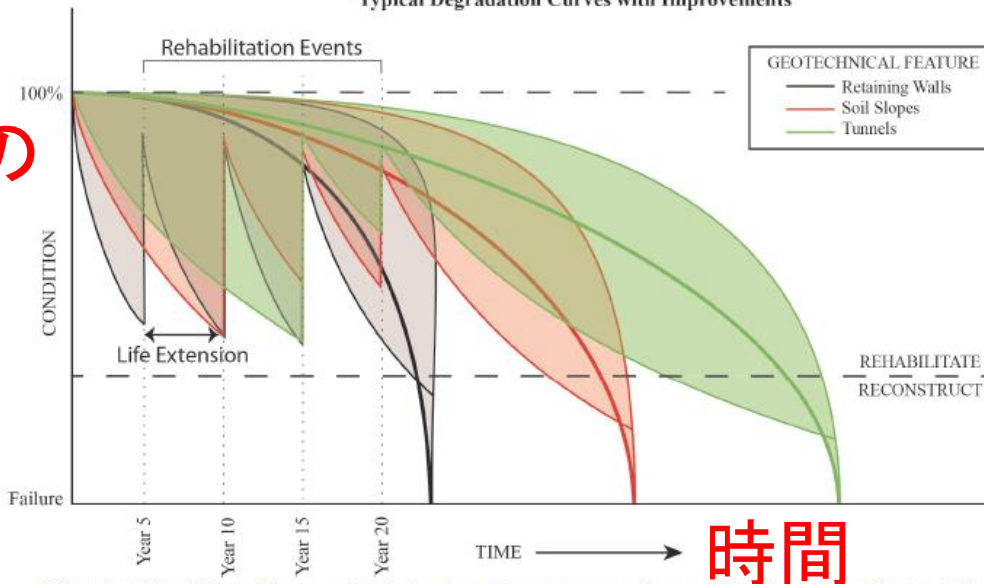


Figure 11. Plot. Example deterioration curves for multiple geotechnical features in a single asset management classification.

構造物の健全性

時間

費用

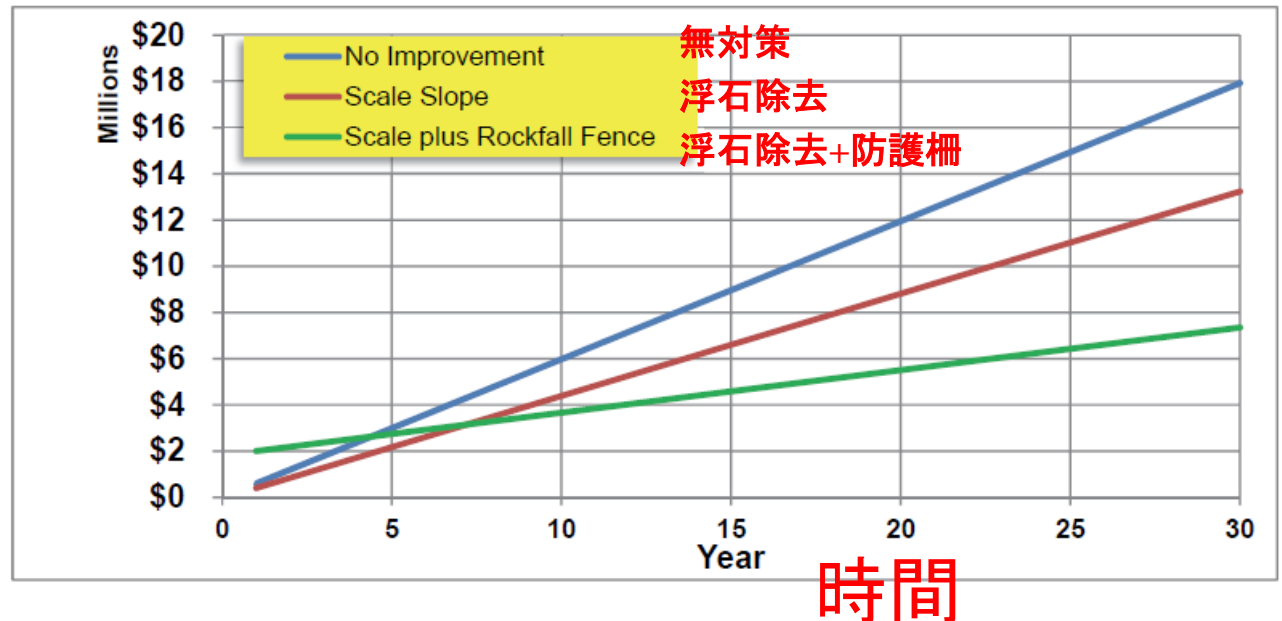


Figure 15. Graph. Example life-cycle analysis for rockfall site.

時間

(Bessely,2013による)

GAMの一種 (USMP) におけるサービス目標の内容

(Stanley and Pierson, 2011を佐々木が訳)

1	斜面災害による 通行止め数 を限られた数に抑えること
2	不安定斜面に対する適切な 監視と道路パトロール
3	不安定斜面に起因する通行止めの迅速な 解除 。3,000平方ヤードより小さな災害に対し、対策無しでも危険性がなければ8時間以内に解除。
4	地域の 地盤工学関係部署(職員) への 迅速な報告(24時間以内)
5	緊急性の低い事故や1時間以上の通行止めへの 地盤工学担当者の迅速な対応(7日以内)
6	怪我、道路閉鎖、公的資産被害など、 緊急性の高い災害 に対する24時間以内の出来るだけ早期に 地盤工学スタッフが対応(24時間以内)
7	目標達成を支援するために頻繁に USMPの現場を再評価 し、USMPデータベースへの 新しいデータの更新 により、USMPのDBを維持すること
8	道路のサービス性能や安全性に影響を与える不安定斜面の状態や連邦交通部の労力に関する 公的な認識を向上 させること
9	不安定斜面に関する 処理コストを縮減 させること

アメリカでは、州道路局毎に数10人規模の地質・地盤技術者がいて、現場対応しているよ。自分の教え子もたくさんいるよ。

国際応用地質学会前会長
米国ポートランド州立大の
スコット バーンズ教授



USMPのポリシー、目標サービスレベル、性能計測方法およびサービス評価方法（一部）

Applicable Goals and Policies	Level of Service	Performance Measures	Method of Evaluation
安全、効果的な運用・管理、システム保全と資産状態、モビリティや信頼性	サービス1: 斜面災害による通行止めを限られた数に抑えること	地域・年当たりの不安定斜面の対策・縮減数	25年間における各地域でのA及びBランクの対策必要な不安定斜面に対する年当たりの対策完了斜面数の規定累積数
Safety, Efficient Management and Operations, System Preservation & Asset Condition, System Mobility & Reliability	サービス2: 不安定斜面に対する適切な監視と道路パトロール	不安定斜面に対して、監視対象斜面の維持管理・対応部署(M&O)が費やした時間ならびに道路パトロールに費やした時間	地区M&Oの単位不安定斜面区間長当たりの斜面パトロール時間(?)
Safety, Efficient Management and Operations, System Preservation & Asset Condition, System Mobility & Reliability	サービス3: 不安定斜面に起因する通行止めの迅速な解除。3,000平方ヤードより小さな災害に対し、対策無しでも危険性がなければ8時間以内に解除する。	斜面崩壊による通行止め時間	地区M&O・年当たりの通行止め時間
Safety, Efficient Management and Operations, System Preservation & Asset Condition, System Mobility & Reliability	サービス4: 地域の地盤工学関係部署(職員)への迅速な報告	8時間以上の通行止めや人身災害等に対し、事故から報告までの時間 incident and notification of Geotechnical personnel.	当該災害に対する地区M&O・年当たりの24時間以内の報告回数
Safety, Efficient Management and Operations, System Preservation & Asset Condition, System	サービス5: 緊急性の低い事故や1時間以上の通行止めへの地盤工学担当者の迅速な対応	緊急性の低い事故に対し、地盤工学技術者が7日以内に現場確認 the event.	地区M&O・年当たりの地盤工学技術者による現場確認日数

Table 4 - Levels of Service and Performance Measures for USMP

サービスレベルの評価ランク

サービスレベルのグレード

LOS Number Grades of Service	LOS Grade	Explanation
A	Excellent	100% compliance with service criteria
B	Good	95% - 100% compliance with service criteria
C	Adequate	90% - 95% compliance with service criteria
D	Poor	80% - 90% compliance with service criteria
F	Unacceptable	< 80% compliance with service criteria

⇒サービスレベルが低いものは重点的に改善

5. 土研(十本省)における地質・地盤 リスクマネジメントへの取り組み

すでに動いている本省の改善の動き

地質に起因する事故、事業費の増加等への問題意識から

⇒改正品確法において「調査・設計の品質確保」が対象に。

⇒本省では「地質リスク調査検討業務」を試行。

⇒また三者協議に地質技術者の参加(四者協議)を試行。

⇒これに対応し、近畿地整では、建コン近畿支部、関西地質協会とともに、「地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)」を作成。
。先進的な取り組み。

⇒地盤情報についても、一般社団法人国土地盤情報センターが設立され、活用促進が期待される。

改正品確法(本省説明資料)

改正のポイントⅣ 調査・設計の品質確保

■背景

公共工事に関する調査等の品質が公共工事の品質確保を図る上で重要な役割

■改正品確法 本文(抜粋)

<定義> 第2条 第2項

この法律において「公共工事に関する調査等」とは、公共工事に関し、国、特殊法人等（公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律第二条第一項に規定する特殊法人等をいう。以下同じ。）又は地方公共団体が発注する**測量、地質調査その他の調査（点検及び診断を含む。）及び設計（以下「調査等」という。）**をいう。

<基本理念> 第3条 第1項

公共工事の品質は、公共工事が現在及び将来における国民生活及び経済活動の基盤となる社会資本を整備するものとして社会経済上重要な意義を有することに鑑み、国及び地方公共団体並びに**公共工事等（公共工事及び公共工事に関する調査等をいう。以下同じ。）の発注者及び受注者がそれぞれの役割を果たすことにより、**現在及び将来の国民のために確保されなければならない。

<調査・設計業務に関する受発注者の責務>

<発注者等の責務>

- ・適正な予定価格の設定（第7条第1項第1号）
- ・災害時の緊急対応の推進（第7条第1項第3号）
- ・ダンピング受注の防止（第7条第1項第4号）
- ・履行期限の平準化（第7条第1項第5号）
- ・適正な履行期間の設定（第7条第1項第6号）

<受注者等の責務>

- ・適正な請負代金・履行期での下請契約の締結（第8条第2項）
- ・生産性向上（第8条第3項） 等

12

第3条 5項では、

「公共工事の品質は(前略)、**地盤の状態に関する情報**その他の工事に必要な情報が**的確に把握され**、より適切な技術又は工夫が活用されることにより、確保されなければならない。」

「地盤の状態に関する情報」とは何か。「調査事実」と「推定」を明確に識別し、事業に影響を及ぼし得る「不確実性」と「地質・地盤リスク」を明示することではないか。

「地質リスク調査検討業務」の試行に関する記事

平成30年2月27日（火）

THE DAILY ENGINEERING & CONSTRUCTION NEWS

建設工業新聞



発行所 日刊建設工業新聞社
〒100-0001 東京都千代田区千代田2-2-10
電話 03(5561)7151 http://www.kcn.co.jp
〒100-0001 東京都千代田区千代田2-2-10
建設工業新聞社 印刷

発行部局
東京 C1-5432-7 51 kc11-6@kcn.co.jp
札幌 C1-5432-7 52 kc11-6@kcn.co.jp
仙台 C1-5432-7 53 kc11-6@kcn.co.jp
東京 C1-5432-7 54 kc11-6@kcn.co.jp

プロポ方式

18年度 国土交通省 上流段階からリスク分析

地質調査・測量で拡大

後工程に繰り越せ、大規模なコンクリート・土工事、杭工・基礎工事のCI、コンクリートも進むという。
マクシオン・インフォメーション、設計業務に特化する

入札・契約の落選状況（15年度）詳細は、国土交通省の業務執行状況（15年度）の「業務執行状況」より497件の内訳は、プロポ方式が206件、22・6%、従来方式が891件、57・4%、だが、従来方式が106件（11・9%）減り、プロポ方式が147件（14・7%）増えている。また、地質調査・測量も増加している。

国土交通省は、18年度から「プロポ方式」を採用し、設計業務と施工業務を分離して実施する。これにより、設計業務に特化する事業者が競争入札に参加できる。また、設計業務に特化する事業者は、設計業務に特化した人材を育成し、設計業務に特化したサービスを提供できる。また、設計業務に特化する事業者は、設計業務に特化した人材を育成し、設計業務に特化したサービスを提供できる。

国土交通省は、18年度から「プロポ方式」を採用し、設計業務と施工業務を分離して実施する。これにより、設計業務に特化する事業者が競争入札に参加できる。また、設計業務に特化する事業者は、設計業務に特化した人材を育成し、設計業務に特化したサービスを提供できる。また、設計業務に特化する事業者は、設計業務に特化した人材を育成し、設計業務に特化したサービスを提供できる。

近畿地方整備局

「地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)」(平成30年2月)

⇒「地質リスク調査検討業務」を前提としたもの

地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)

平成30年2月

国土交通省近畿地方整備局

目次

1. はじめに	1-1
2. 「地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)」の概要	2-1
2.1 本マニュアルの目的	2-1
2.2 本マニュアルの適用範囲および活用	2-1
2.3 地質リスクに関する情報の共有	2-1
2.4 地質リスクの定義	2-1
2.5 発現する可能性が高い地質リスク	2-2
2.6 地質リスク低減の考え方	2-3
3. 公共事業における地質調査と設計の流れ	3-1
3.1 地質調査と設計の流れ	3-1
(1) 概要	3-1
(2) 地質リスク調査検討	3-3
(3) 公共事業における地質調査目的と地質リスクの絞込みの概念	3-4
(4) 公共事業における地質調査内容	3-5
(5) 情報共有	3-7
(6) 設計便覧道路設計フロー対応	3-7
3.2 各段階の地質調査内容	3-12
(1) 道路概略設計段階の地質リスク調査検討	3-12
(2) 道路予備設計(A)段階と予備地質調査	3-15
(3) 道路予備設計(B)段階と詳細地質調査(1)	3-16
(4) 道路詳細設計(B)段階と詳細地質調査(2)	3-16
(5) 各地質調査の目的と調査手法	3-17
4. 発注形式	4-1
5. 各道路構造物における地形・地質調査の流れと内容	5-1
5.1 道路構造物の種別毎の調査・試験手法	5-1
5.2 道路土工・切土部の地形・地質調査の流れと内容	5-3
5.3 道路土工・盛土部の地形・地質調査の流れと内容	5-5
5.4 構造物基礎の地形・地質調査の流れと内容	5-7
5.5 トンネルの地形・地質調査の流れと内容	5-9
5.6 施工段階・維持管理段階での地形・地質調査	5-11
6. 地質リスク評価に関する参考資料	6-1
6.1 地質リスク調査検討の成果イメージ	6-1
6.2 地質リスク評価の成果イメージ	6-2
6.3 地質リスクマネジメント結果引継ぎのイメージ	6-4

まだ不十分な点

- 「地質・地盤リスクマネジメント」自体が、公共土木事業に位置づけられていない。
- リスクマネジメント、リスクアセスメント、リスク対応のための要素技術も発展途上

⇒そこで、国土交通省と土木研究所では、「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」を組織。ここで「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」を構築予定。

⇒また、土研独自に、「地質・地盤リスクマネジメント研究会」を組織し、検討委員会のサポートと、要素技術の開発を実施

土研における地質・地盤リスクマネジメントの技術検討体系

(国交省・土研)「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」の作成

(土研)関連する要素技術などの開発

1. リスク事例分析

リスク発現・対応事例の分析
⇒ 構造物毎のリスクDBの構築
⇒ リスク発現機構の解明
⇒ リスク発現のパターン分類
⇒ リスク調査・回避ノウハウ

リスク発見・評価手法の整理
⇒ 既往技術の課題、改善点

リスク対応手法(ハード手法、ソフト手法)の整理
⇒ 既往技術の課題、改善点

2. リスク見える化技術(計画・調査・評価)

リスクDB等による「気づく技術」(事業計画段階)

調査ノウハウ等による「見つける技術」(調査)

リスクの評価・表現による「見せる技術」(評価)

3. リスク対応技術(設計・施工・管理・更新)

リスクレジリエントなハード対策(設計・施工)

リスク回避のためのソフト対策(施工・管理)

維持管理・更新時のリスク管理法(管理・更新)

地質・地盤リスクマネジメント技術の体系化

(土研と本省で改善中)

地質・地盤リスクマネジメント体系の構築

地質・地盤リスクマネジメント検討委員会の開始

(本省、土研が事務局)



大西有三委員長の挨拶

(下)2019.4.1 建設通信新聞



地質・地盤リスク
管理で検討委設置

土研

土木研究所は、3月29日に

「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」（委員長・大西有三京都大名誉教授）を立ち上げた写真。2016年11月に発生した福岡市の道路陥没の教訓や国土交通省の社会資本整備審議会・交通政策審議会における「地下空間の利活用に関する安全技術の確立」（答申）を踏まえた対応となる。

答申に示された、計画・設計・施工・維持管理の各段階における地盤リスクアセスメントの実施に向けて、専門的な見地から検討を行う。20年3月末まで計5回の開催を予定している、この検討会で、地質・地盤リスクを適切に評価していくための基本的な考え方や、関係する技術体系を実務的に整理する。検討の結果となる基本的な考え方は、各地方整備局に通知して土木工事の地質・地盤リスクへの対応に生かす。

地質・地盤リスクマネジメント検討委員会の開始

(本省、土研が事務局)

土研HPで
検討状況を報告
しています

●名簿

委員長	大西 有三	京都大学 名誉教授
委員	野口 和彦	横浜国立大学リスク共生社会創造センター センター長
委員	西村 和夫	首都大学東京 理事・学長特任補佐[土木学会]
委員	大津 宏康	京都大学工学研究科 教授[土木学会]
委員	古関 潤一	東京大学工学系研究科 教授[地盤工学会]
委員	渡邊 法美	高知工科大学 経済・マネジメント学群長[地質リスク学会]
委員兼幹事	佐々木靖人	(国研)土木研究所 地質研究監
幹事	砂金 伸治	首都大学東京都市環境学部 教授[土木学会]
幹事	清木 隆文	宇都宮大学地域デザイン科学部 准教授[土木学会]
幹事	高橋 章浩	東京工業大学環境・社会理工学院土木・環境工学系 教授[地盤工学会]
幹事	川越 健	(公財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部 地質研究室長[日本応用地質学会]
幹事	渡辺 寛	(株)日さく 東日本支社長[全国地質調査業協会連合会]
幹事	井根 健	(株)ニュージェック水工グループ 参与 技師長[建設コンサルタンツ協会]
幹事	笹倉 剛	鹿島建設(株)土木管理本部土木技術部 担当部長[日本建設業連合会]
幹事	手塚 寛之	国土交通省大臣官房技術調査課 環境安全・地理空間情報技術調整官
幹事	中官 利之	近畿地方整備局企画部技術管理課 課長補佐
幹事	植田 彰	国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター 国土防災研究官
幹事	金子 正洋	(国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ長
幹事	浅井 健一	(国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員(特命事項担当)
幹事	阿南 修司	(国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員(地質)
幹事	佐々木哲也	(国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員(土質・振動)
幹事	宮武 裕昭	(国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ 上席研究員(施工技術)
幹事	日下 敦	(国研)土木研究所 道路技術研究グループ 上席研究員(トンネル)
幹事	桐山 孝晴	(国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 耐震研究監

(順不同、敬称略、[]内は推薦頂いた学協会の名称)

行政の事業体系 にリスクマネジメント を導入

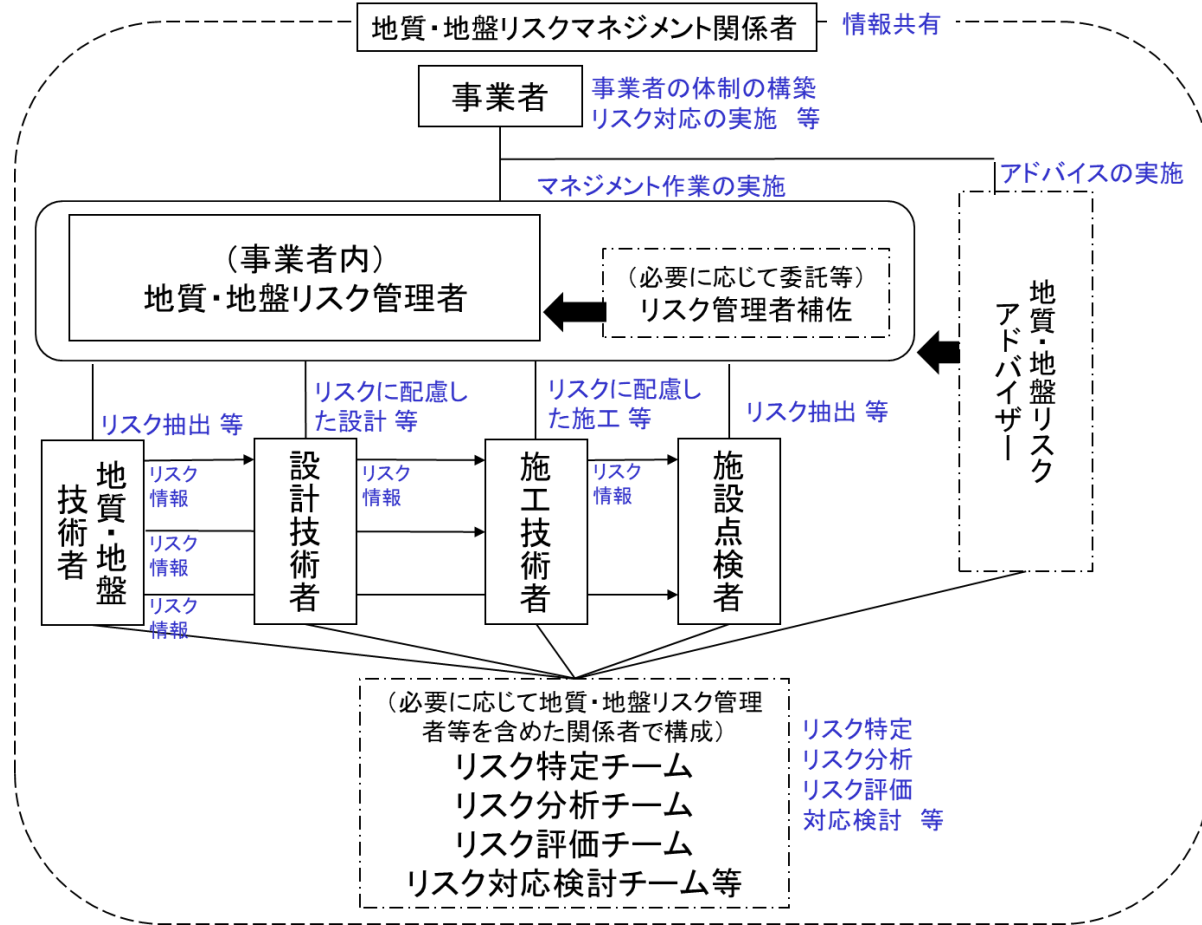
検討中

国土交通省からの
通達をイメージ

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(案) —関係者が ONE-TEAM でリスクに対応するために—

1. 本ガイドラインの目的
2. 適用対象
3. 用語の定義
4. 地質・地盤リスクマネジメントの基本事項
 - 4.1 地質・地盤リスクマネジメントの基本方針
 - 4.2 地質・地盤リスクマネジメントの体制・組織
 - 4.3 地質・地盤リスクマネジメントの進め方
5. 地質・地盤リスクマネジメントの実施方法
 - 5.1 一般
 - 5.2 コミュニケーション及び協議
 - 5.3 リスクマネジメントの計画
 - 5.3.1 目的と対象の設定
 - 5.3.2 体制の構築
 - 5.3.3 計画の立案
 - 5.4 リスクアセスメント
 - 5.4.1 地質・地盤条件等の調査
 - 5.4.2 リスク特定
 - 5.4.3 リスク分析
 - 5.4.4 リスク評価
 - 5.5 リスク対応
 - 5.6 モニタリング及びレビュー
 - 5.7 リスクマネジメントの継続的な改善
 - 5.8 記録作成及び報告

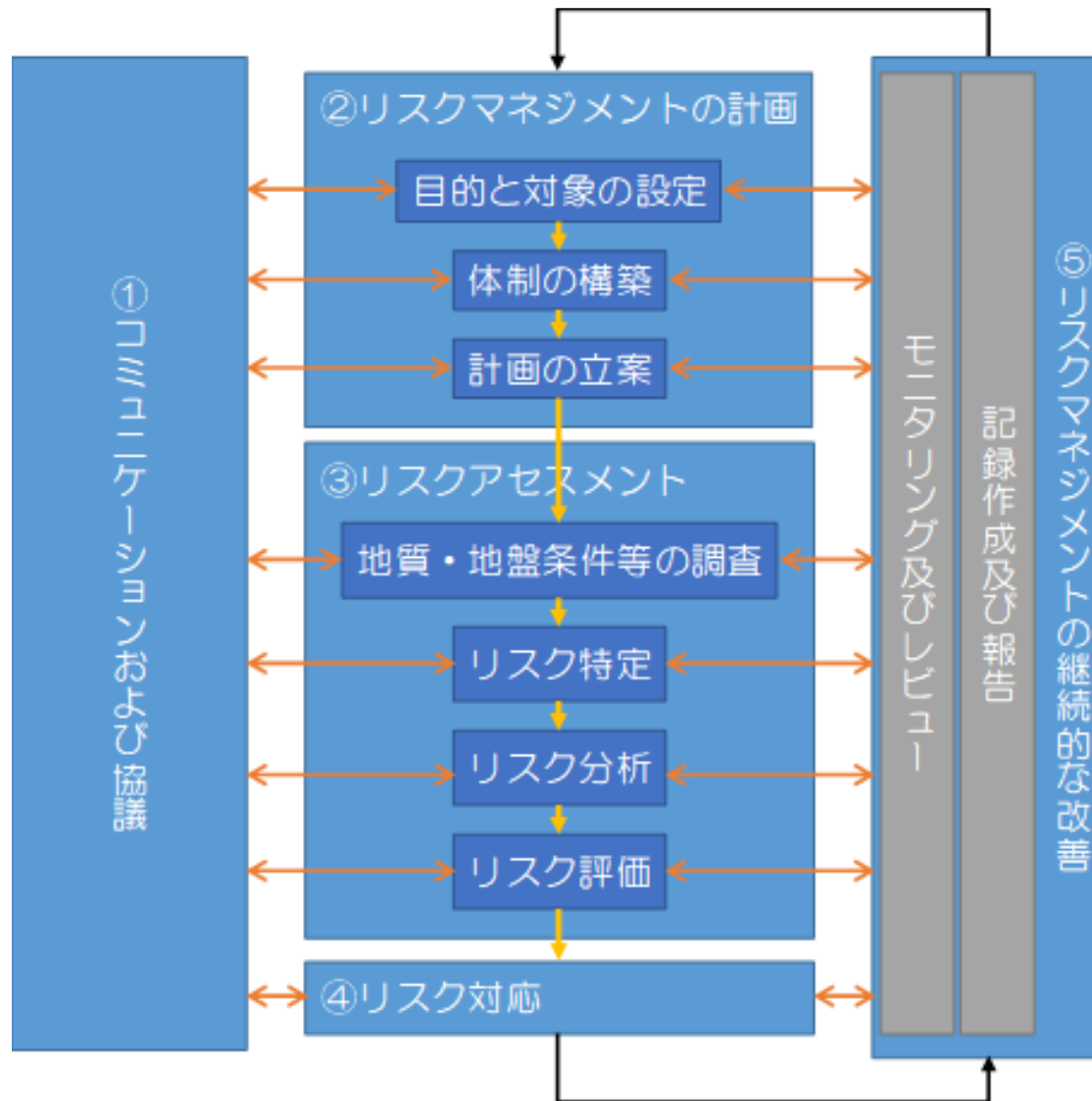
関係者の体制 (ONE TEAM)



検討中

ONE-TEAMとは、関係者の参画、情報共有、役割分担、さらに不測の事態にも分担を越えて強い連携でリスク対応する意識と体制をさす
(リスクマネジメントの見える化)

地質地盤リスクマネジメントの流れ

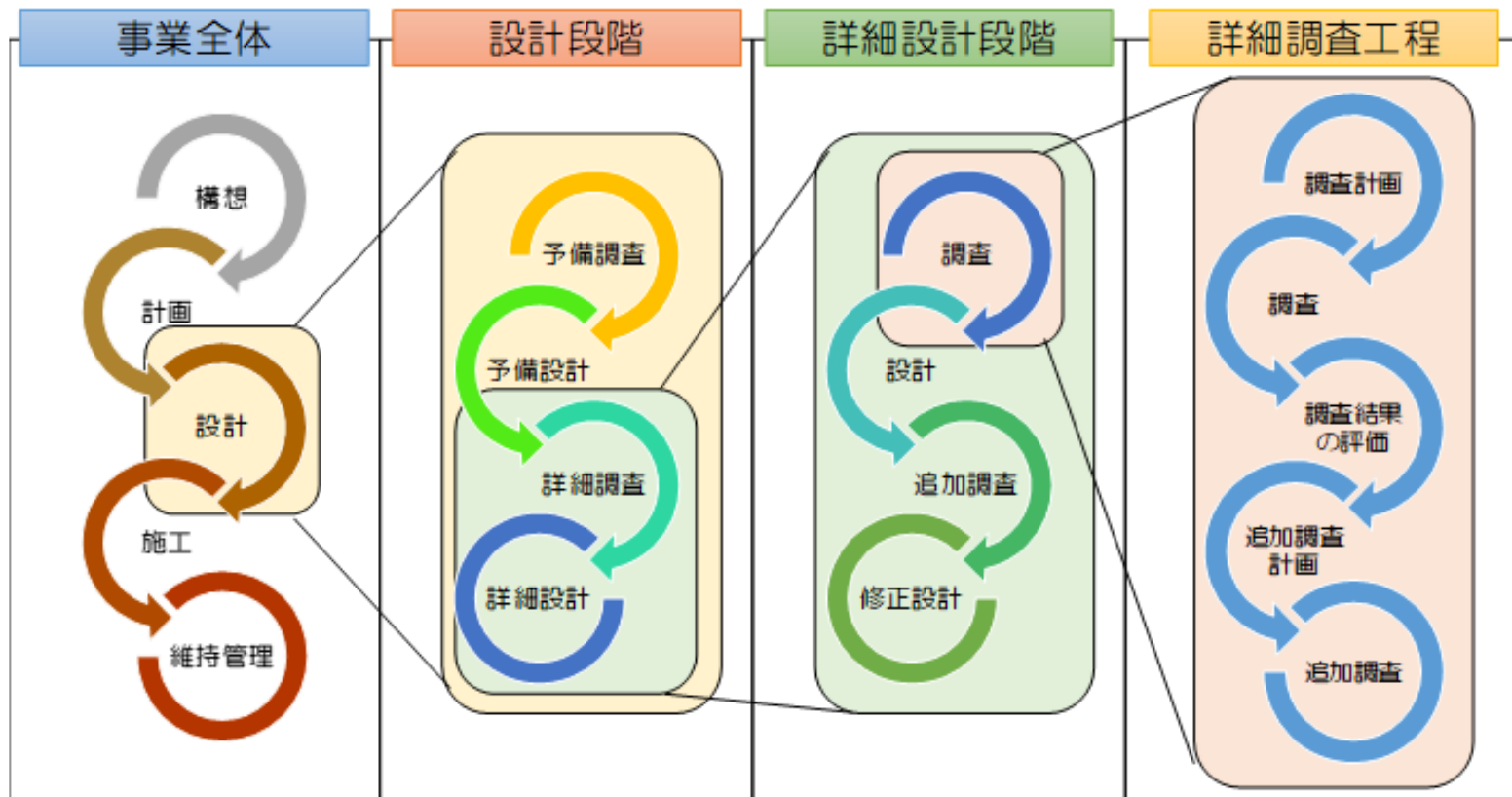


検討中

ISO31000を参考に作成

地質・地盤リスクマネジメントのプロセス

検討中



地質・地盤リスクマネジメントは、その効果を最大化するよう、早期から、適切な時期に継続的に実施（PDCAによるリスク及びマネジメントの見直し）

地質・地盤リスクマネジメントのフローと実施方法のイメージ例

地質・地盤リスク マネジメントのフロー

簡易な実施方法の例

(小規模事業等)

→RM管理者補佐の技量に依存

標準的な実施方法の例

(重要事業等)

→多様な意見を参照可能

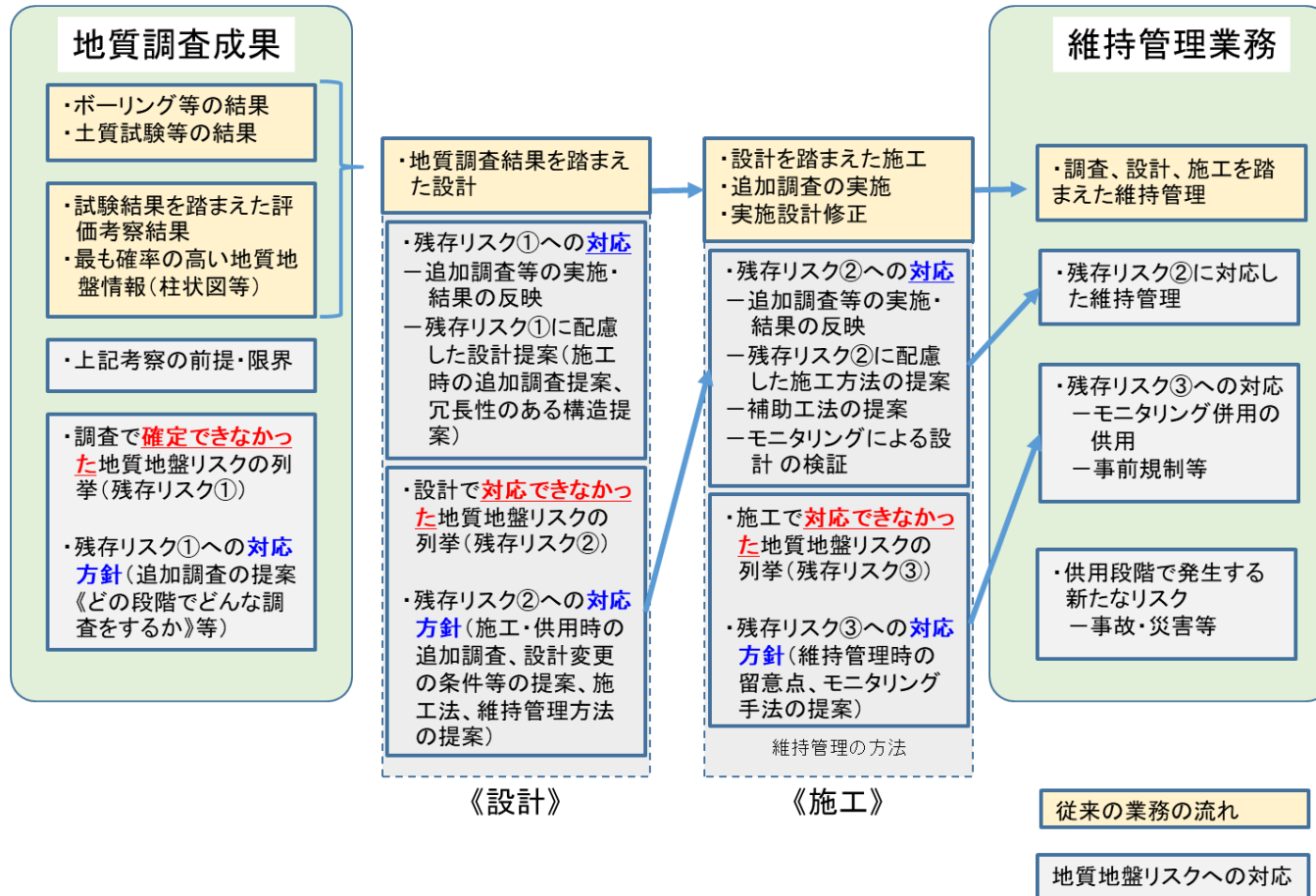
マネジメント体制の構築と計画	リスクマネジメント補助業務の委託 (RM管理者補佐がRM作業を代行)	リスクマネジメント補助業務の委託 (RM管理者とRM管理者補佐がRM作業) (RM関係者のチーム、アドバイザー、委員会等を組織)
リスク特定 リスク分析 リスク評価	地質調査業務の活用 (地質・地盤技術者が主観でリスク評価、RM管理者補佐が確認)	地質リスク調査検討業務、地質総合解析 (業務結果をチームや委員会等で審議しリスク評価を確定)
主なリスクへの対応	設計業務の活用 (設計技術者が主観でリスク対応検討、RM管理者補佐が内容確認)	設計業務+地質リスク調査検討業務 (設計技術者がリスク対応検討、チームや委員会等で審議し内容確認)
残存リスクへの対応	残存リスク対応検討 (RM管理者補佐が検討)	残存リスク対応検討 (チームや委員会等で検討)

注:三者(四者)協議、リスクマネジメント会議はいずれの場合も実施

検討中

事業者が適切なマネジメント方法を検討
(事業者や構造物の多様な条件にフレキシブルに対応)

地質・地盤リスクマネジメントを意識した 調査・設計・施工・管理のイメージ



結果だけでなく、不確実なこと、残存リスクなどを引き継ぎ(リスクの見える化)

(土研と関係者で今後検討)

地質調査体系の改質・改善

地質調査業務にリスクアセスを内部目的化？

⇒地質図を作る業務は、その不確実性とリスクの説明を

改正品確法に沿った
「地質調査の品質」
の確保にもつながる

「地質・地盤リスクに対応した地質調査業務報告書作成要領」
の発出をイメージ
(内容は今後検討)

地質調査業務報告書の要件(例)

報告書作成者の要件(例)

- ・地質・地盤・リスクに関する技術経験、資格

報告書作成方法の要件(例)

- ・複数の専門分野による内容照査・確認

報告書に必要な内容(例)

- ・地質に求められる要求性能(整理)
- ・地質の推定性能(地質調査結果)
- ・調査方法・量・品質の説明
- ・地質図(モデル)の根拠と不確実性
←地質図(モデル)を作るだけではダメ。
- ・想定されるリスクのリストと根拠
- ・リスク評価結果と根拠
- ・対応方法と得失、根拠 等
←確実に事業者を引き継ぐ事項を明示

「地質リスクの見える化」(想定外から想定内へ)のための 「高精度地質調査・評価・予測・監視技術」 の必要性

- ・微地形の見える化: LIDAR、UAVと地形表現・判読技術等
 - ・コア、ボーリング孔の良く見える化: 高品質ボーリング、BHTV等
 - ・地質構造、物性の見える化: 三次元物理探査、土検棒等
 - ・地形変化の見える化: InSAR等のモニタリング技術
 - ・地質・地下水変化の見える化: 風化や地下水変動等の調査技術
- ⇒地形地質の不確実性によるリスクの低減へ
- ・機構・現象の見える化: 各種コンピュータシミュレーション技術
- ⇒予測・評価・設計の不確実性によるリスクの低減へ
- ・挙動,異常の見える化: モニタリングセンサー技術、監視技術
- ⇒施工の不確実性によるリスクの低減へ

(土研で改善中)

リスク対応技術(ハード技術等)の改善

地質・地盤リスクに応じたトンネルの補助工法の選定に関する研究

- 脆弱な地山（地質・地盤リスクがある地山）におけるトンネル施工では、地山の安定性を確保するための補助工法を採用することがある
- 地山や施工の不確実性等に起因する地質・地盤リスクを十分に認識することが必要
- 認識が不十分な場合、陥没等、様々な問題を生じる可能性がある



【目的】

地山や施工の不確実性等に起因する地質・地盤リスクの評価
⇒合理的な補助工法の選定手法の提案

【検討内容】

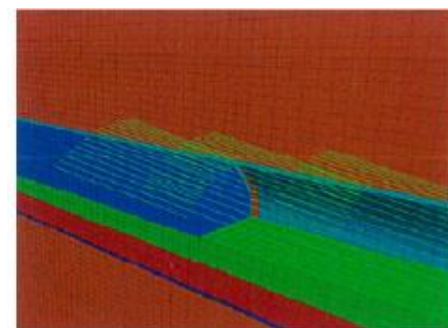
トンネルの補助工法の使用目的や適用地山条件等に関する事例分析、およびその結果を踏まえた三次元モデルに関する数値解析を実施し、数値解析モデルの妥当性の検証等、合理的な補助工法の選定手法に資する検討を実施

【得られた知見（長尺鋼管先受工）】

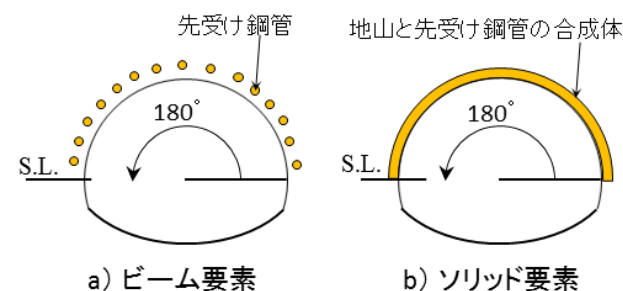
- 数値解析における補助工法のモデル化手法の差異により、変位や支保工の発生応力などの結果が異なることを把握
- 先受工の先行変位抑制効果については、解析で一定の効果が見られる場合もあるが、実施工現場での検証が必要

【課題】

- 実現象に則した、最適なモデル化手法の確立
- 抜け落ち等、数値解析でのモデル化が困難な挙動への対応



3次元解析モデルの例



先受工モデル化の例

➡ 試験計測、事例分析により設計・施工時の留意事項を整理

(土研と関係者で改善中)

良質な技術者の確保・参画・育成・活躍

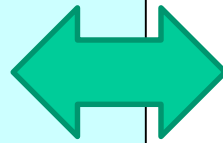
- 多様な人材の参画
- 連携による研修 等

「境界領域」が土木を救う

AI、IoT、地質地盤など周辺分野が参画・連携すれば土木も発展
(これもONE-TEAM活動)

地質・地盤技術者
他の専門技術者

- ・民間技術者
- ・行政技術者
- ・大学教員
- ・学生
- ・OB(退職者)



(社外連携活動の例)

1. 協働・支援型(要拡大)

- ・有識者、委員会委員
- ・外部顧問
- ・共同研究開発

2. アウトリーチ型(要拡大)

- ・啓発(自治体・地域の講師等)
- ・教育(学校の講師等)
- ・ボランティア(地域防災等)
- ・ツアーガイド
- ・マスコミ支援 等

⇒多様な分野・人材が参画することで土木事業の品質が向上
(地質・地盤リスク対策協議会を構築し研修等を提供するなど)

インハウス技術者も技術力向上が必要

(つぶやき)土研の地質技術者はダムではいつも呼ばれるけど、道路ではよほど困ったときだけ.... でも、道路の基準類も書いているし、現場に呼ばれる準備もしているんですよ。道路計画から管理まで通して参画できれば役に立つのになあ。

(参考)

- ・土木研究所では、3年前から「**地質技術者会議**」を組織・開催
(農水省、水機構等の地質技術者も参加)
- ・技術行政的課題、基準の課題、現場の課題、技術者教育等を実施



第3回地質技術者会議での土研、
水機構、農水省の地質技術者
(東北地整 成瀬ダム)



第2回地質技術者会議でのコア観
察勉強会の様子
(水機構 南摩ダム)

土木研究所は、地質・地盤・施工(土工)等の
技術者がONE-TEAM
⇒何でも相談してください。

地質・地盤研究グループ
歓迎会
(R1.5)



6. 地質・地盤リスクマネジメント事例

(地質・地盤リスクマネジメントの実例)

本事例は昨年の日本道路会議の発表事例であり、地質・地盤リスクマネジメントを事業に取り入れた好事例として紹介する。

(内容は、地質・地盤マネジメント手法に関する土研での議論を先んじて取り入れた形で取りまとめられている。九州地整梶尾氏より、当該事業の検討委員会の委員として参画した土研施工技術チーム宮武上席を通じて提供。)

九州地方整備局佐賀国道事務所

梶尾 辰史

『道路整備での軟弱地盤対策検討において
地質・地盤リスクマネジメントを取り入れた事例』

日本道路会議(2019年11月) 発表論文より

対象事業：大川佐賀道路

有明海沿岸道路 延長約55km

大川佐賀道路
延長約9km

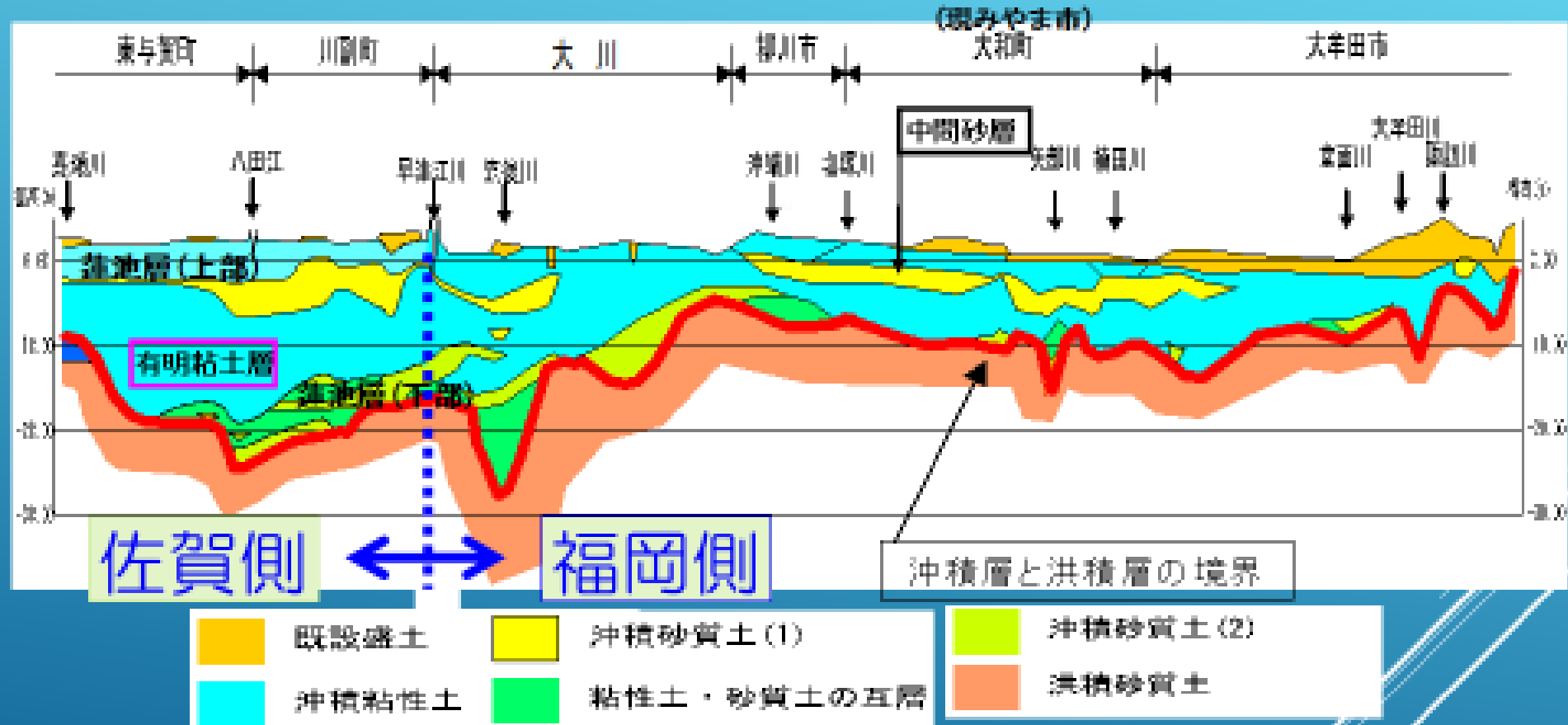
広域図
佐賀県

凡 例	
	国 道(2車) (直轄管理区間)
	国 道(4車) (直轄管理区間)
	国 道(2車) (直轄管理区間外)
	国 道(4車) (直轄管理区間外)
	主要地方道(4車)
	主要地方道(2車)
	有明海沿岸道路 (国施工)
	有明海沿岸道路 (県施工)
	佐賀唐津道路
	インターチェンジ



大川佐賀道路の地質・地盤特性

地質縦断図の佐賀側と福岡側の違い



⇒有明粘土層厚： 佐賀側 > 福岡側

地盤特性からの軟弱性： 佐賀側 > 福岡側

4. 本検討の内容

(1) 軟弱地盤地帯での道路整備上の課題

- 十分な地質調査ができない
- 地質・地盤条件の把握に限界

⇒ 設計変更、事業の中断、事業費の増加

➤ 地質・地盤リスクマネジメントの検討

※検討委員会(委員長:佐賀大学 荒牧名誉教授)を活用

※通常業務への取り入れ方、根付かせ方の工夫

(2) 本検討のアウトプット

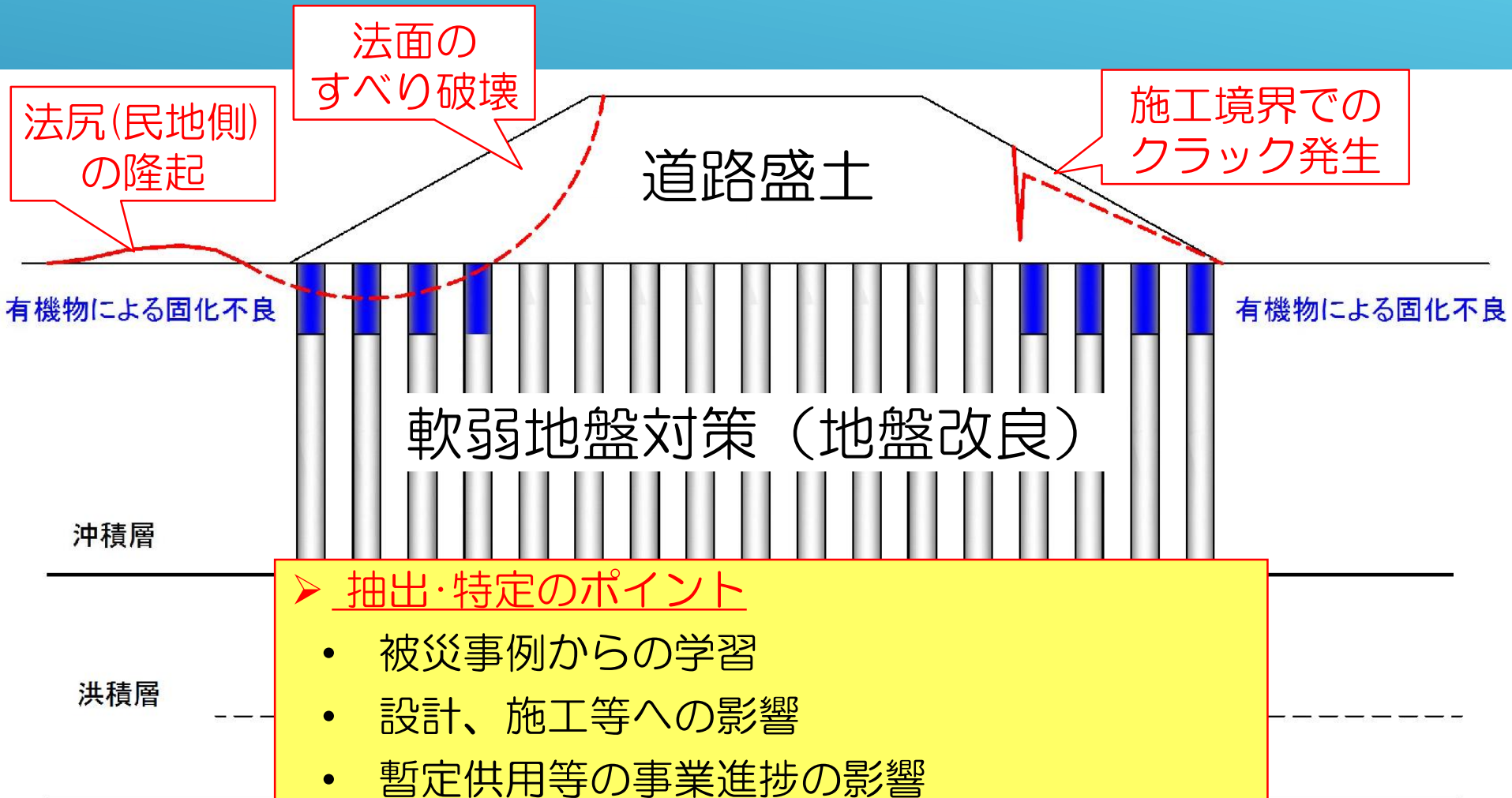
➤ 実務者向けの技術資料

➤ 実行性のあるツール（実務者が活用可能）

6. 地質・地盤の不確実性(リスク)抽出・特定

(1) 不確実性(リスク)の特定方法の例

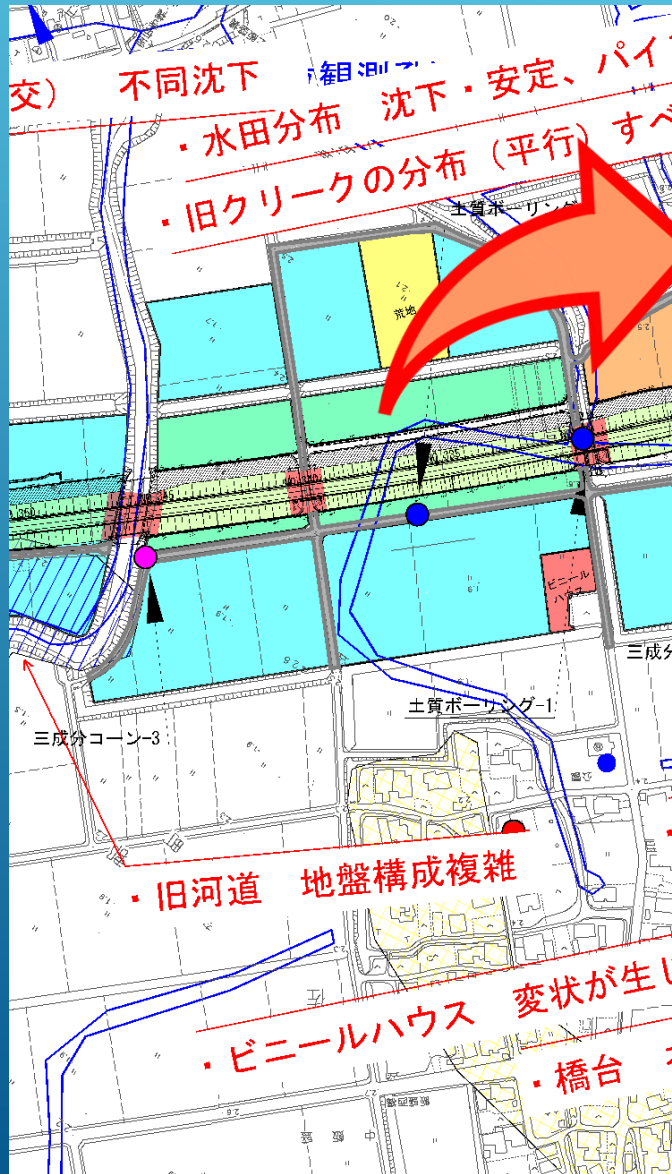
旧クリークの分布 ⇒ 腐植土による改良体の強度不足



6. 地質・地盤の不確実性(リスク)抽出・特定

(2) 9つのデータの重ね合わせ

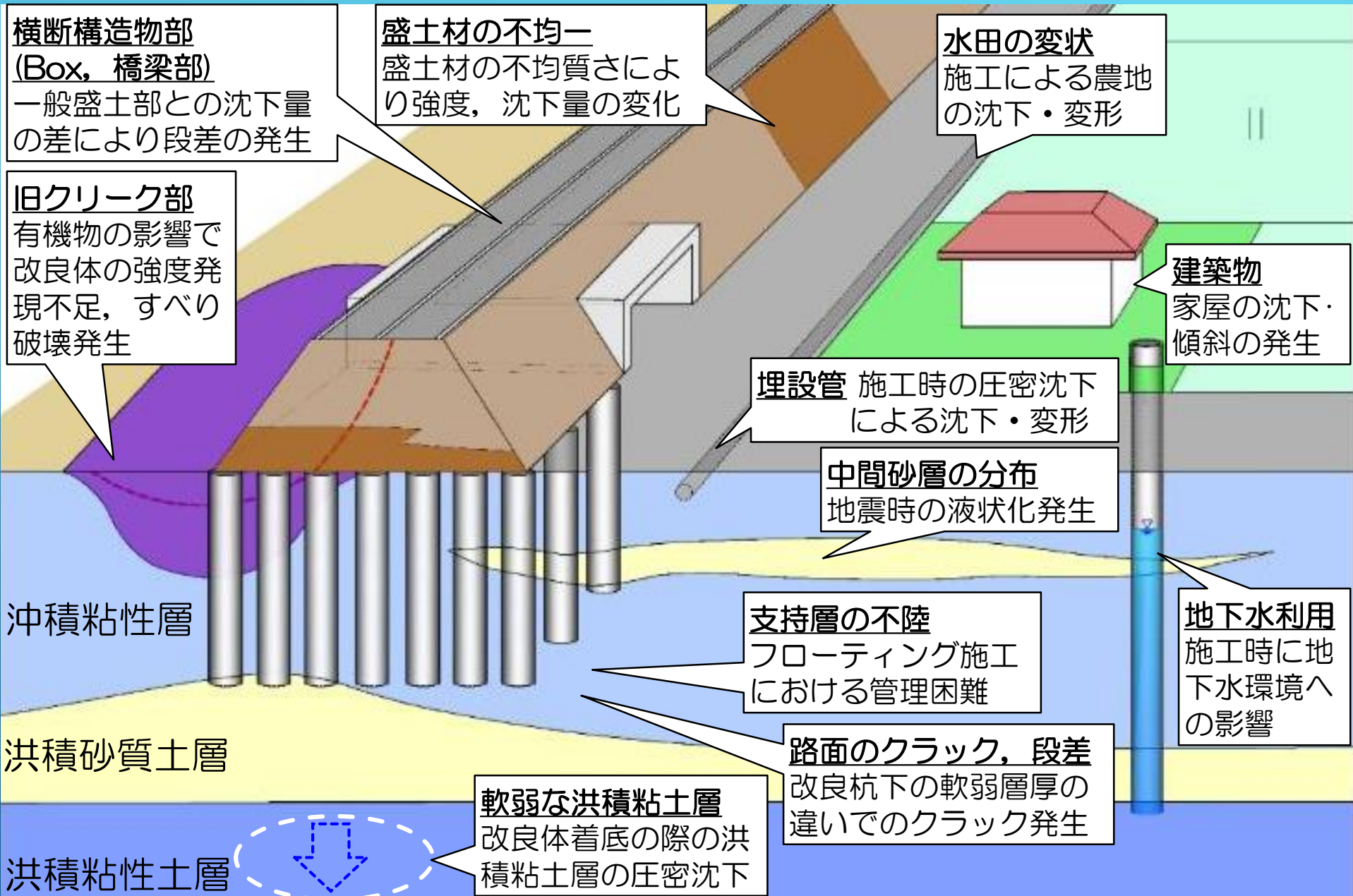
各要素の重ね合わせ



抽出した不確実性(リスク)	
①地形条件	地盤高が低い
②地盤条件	軟弱粘性土、中間砂層、洪積粘性土の沈下支持層の不陸、表層の粘性土
③土地利用状況	田面が隣接
④旧クリークの分布	旧クリークが斜めに横断、旧クリークが並行
⑤地下水の利用	地下水の汚濁、地下水位の低下
⑥事業の進め方	完成供用時の既供用部との境界段差・沈下構造部箇所での地質調査未実施、盛土材の不均質
⑦道路計画	構造物接続部の段差、BOXの連続による不陸

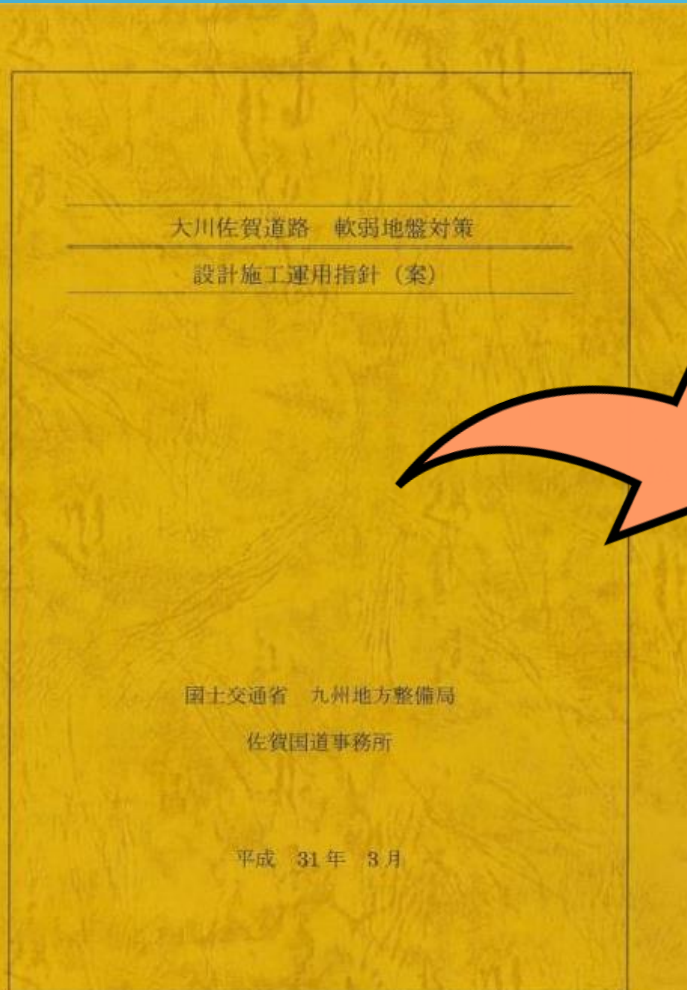
- ⑧地質調査の実績
- ⑨道路計画

7. 地質・地盤の不確実性(リスク)特定結果



8. 地質・地盤の不確実性(リスク)の対応検討

(1) 地質・地盤の不確実性を踏まえ「大川佐賀道路 軟弱地盤対策 設計施工運用指針(案)」の作成



⇒ ・実務者向けの技術資料
・設計・施工・維持管理における留意点等

1. はじめに
(目的、適用範囲、道路全体計画と制約条件、地質・地盤の不確実性)
2. 設計水準
3. 設計・検討手法
4. 軟弱地盤対策工法の選定
5. 施工管理・品質管理
6. 環境
7. 維持管理

8. 地質・地盤の不確実性(リスク)の対応検討

(2) 地質・地盤リスクマネジメントの引継帳票(案)

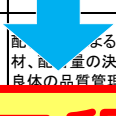
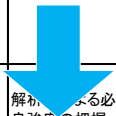
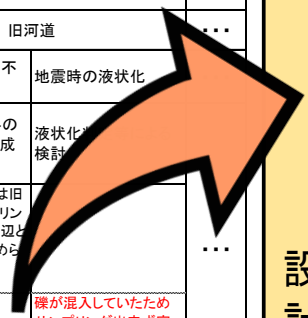
不確実性	地形条件				...	
	後背湿地		旧河道			...
	軟弱層によるすべり安定性	改良体の固化不良	土質の不均質性、不整合	地震時の液状化		
[黒文字: 対応済み 赤文字: 未対応 青文字: 注意、申し送り]	サンプリング試料のせん断強度試験の実施	物理特性(有機物混入量含む)の把握	旧河道部と河道外の調査による土質構成の把握	液状化試験の検討	...	
調査段階 対応内容 対応状況 (上段: 実施事項等) (下段: 未実施の内容、理由、留意事項、フィードバックの必要性等)	各粘土層で一軸試験実施		治水地形分類図では旧河道部と周辺の土質を認められ		...	
設計段階 対応内容 対応状況 (上段: 実施事項等) (下段: 未実施の内容、理由、留意事項、フィードバックの必要性等)	安定計算等による対策工の要否、比較検討	解析による必要改良強度の把握	一般部と土質状況が異なる場合は追加検討(安定性、沈下等)	一般部と土質状況が異なる場合は追加検討(地震時の検討)	...	
施工段階 対応内容 対応状況 (上段: 実施事項等) (下段: 未実施の内容、理由、留意事項、フィードバックの必要性等)	動態観測による安定管理	改良材、配合量の決定。改良体の品質管理	対策工の出来形、品質管理		...	
維持・管理段階 対応内容 対応状況 (上段: 実施事項等) (下段: 未実施の内容、理由、留意事項、フィードバックの必要性等)	路面や法面のクラック、変状の監視	盛土、沈下等の点検		大規模地震後の盛土点検	...	

調査段階

設計段階

施工段階

維持管理段階



設計段階	対応内容	解析の改良強度の定数設定について
	対応状況 (上段: 実施事項等) (下段: 未実施の内容、理由、留意事項、フィードバックの必要性等)	計算上の必要改良強度は $q_u = 500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 。 代表値を使用。地質条件の変化箇所では地質調査、設計見直しが必要。

※特記仕様書等での指示を想定

⇒不確実性の対応の漏れ防止
 軟弱地盤対策の精度向上
 確実な品質確保・品質向上

まとめ

- 土木事業は総合技術(オールラウンドプレイヤーはいない)
- 土木事業はサービス業(サービス効率の最大化が責務)
- 目的達成のためには事業者、土木技術者、地質・地盤技術者等の関係者が参画・情報共有し「事業リスクを見える化」し、役割分担・連携し、「ONE-TEAM」でリスク対応を。

⇒ONE-TEAMの制度化が「リスクマネジメント」

- 土研の技術者も、皆さんの「ONE-TEAM」の一員であることをお忘れなく

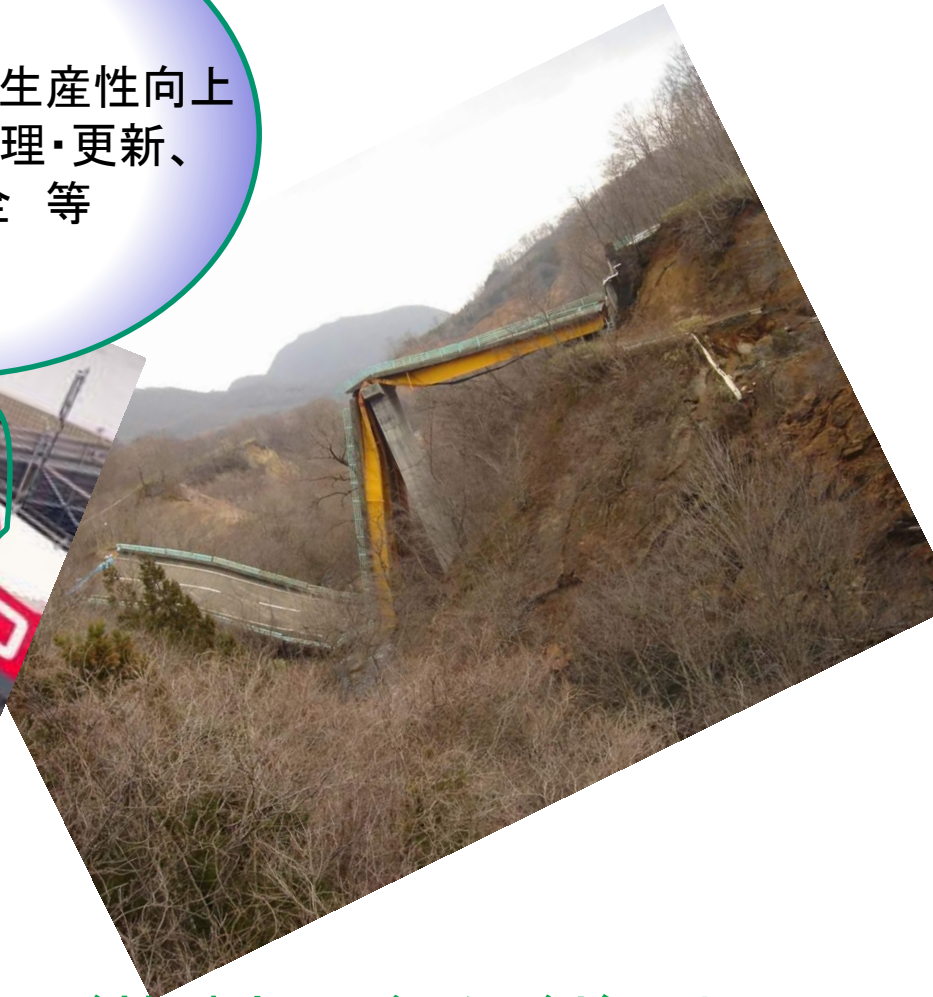
⇒事業の計画時から管理・更新時まで参画します。気軽に相談を。



スコットランド戦で、堀江⇒ムーア⇒トゥポウの3つのオフロードパスを受け取りトライを決めるプロップの稲垣
写真はgoo ニュースより

地質・地盤リスクは適切な対応で防げる！

事業の安全性、生産性向上
適切な維持管理・更新、
環境保全 等



ご静聴ありがとうございました。