

「企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会」報告書
(財団法人建設業振興基金の助成金による建設産業構造改善事業)

—地質リスクに関する調査・研究—

平成19年4月

社団法人全国地質調査業協会連合会

「企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会」
—地質リスクに関する調査・研究—

報告書 目次

発行にあたって

はじめに

1. 研究事業の概要	1
2. 新領域のビジネスモデル（地質の技術顧問）の検討	9
2. 1 建設生産システムにおける地質技術の適用領域の拡大	9
2. 2 発注者側に立った技術顧問サービス	10
2. 3 PFI 事業への進出の可能性	12
2. 4 技術顧問ビジネスの可能性	13
3. 地質調査技術の効果の計量化に関する研究	15
3. 1 公共事業における地質リスク事象の整理	15
3. 2 悲観的リスク項目・不確実性要因の体系化	18
3. 3 リスク及び効果の計量化	23
3. 4 今後の研究計画	51

発行にあたって

建設事業の全ての局面で地質・地盤の問題が大きく係わっており、地質調査の成果である地質・地盤情報は事業の安全性や防災に大きく影響するのみならず、事業の総コストを左右しかねない要素を持っています。建設事業の最も上流部に位置する地質調査は、後続の設計のみならず施工・維持管理の段階といった建設事業のライフサイクル全般にわたって大きな影響を持つ分野であり、地質調査の果たす役割と責任は極めて大きいと考えられます。

さかのぼれば、10年前に決定にされた「公共工事コスト縮減に関する行動指針」をうけ、社団法人全国地質調査業協会連合会（以下「全地連」という。）では、「建設工事のコスト縮減に関する地質調査業の意見表明と行動指針」をとりまとめ公表しました。ここでは、日本がおかれている地形・地質環境、地質調査成果物の特性、建設事業の各段階における地質調査の役割等を明確にしつつ、建設工事のコスト縮減に貢献すべく、地質調査業の在り方を検討しました。検討に当たっては、行動指針の裏付けとし、地質調査の失敗例等地質調査成果を建設コストに関連づける具体事例を幅広く収集・整理しました。その結果、地質調査結果が建設事業のコストに大きく影響していることが確認されました。さらに、平成15年には「事例に学ぶ地質調査」を発売し、失敗事例をなかなか公表できない環境の中で、地質調査成果が建設コストに及ぼす多くの事例を収集・分析し、公表しました。

一方、「コスト構造改革」の進展は、コスト縮減の数値目標が示されるとともに、平成15年度より34の施策が盛り込まれ、工事だけでなく設計など上流部分も対象としていますが、この中には「地質からの視点」が明確には示されていません。新たな視点として「地質リスクマネジメント」によるコスト縮減も必要と思われる。

地質条件そのものは土木技術の克服すべきものでその不確実性は予見し難く、顕在化してから対応の方が効率的であると考えられる場合も多い。しかしその対応のための事業費増大に対して議会の合意が得られず工事がストップする事件も見受けられます。

建設工事コストのみならず維持管理費を含めた事業コスト、さらに社会的費用・時間的費用を含めた総コストの形成要素・形成プロセスの中で地質条件そのものとその不確実性が事業コストに大きな影響力を持っています。発注機関によりますが、その多くでは土木技術者は比較的充実していますが、地質に関しては手薄な状況にあります。

当協会の会員企業の主要業務である地質調査は土木技術が取り組むべき命題の条件設定を役割としていますが、事業主体の側に立ってコスト構造全体に意見を述べる役割は果たしていません。

この様に全地連では、地質調査が建設コストに及ぼした影響の事例をふまえ、平成16年には「地質調査を効率的に実施するための10の提案」を行う等様々な事例を基に、地

質調査の重要性を訴えてきましたが、その論拠は定性的な範囲を出ず、地質調査の効果やリスクの定量的な評価やリスクのマネジメントには程遠いものがありました。

平成17年度においては、全地連の技術委員会の下に地質リスクワーキンググループを設置し、地質技術の視点からコスト構造改革に寄与する方法を議論し、「コスト構造改革下での地質調査業の役割」をテーマに事業展開いたしました。報告書では、コスト構造改革で対象とする総コストの形成プロセスと地質との関わりに着目し、事業費の増大要因を地質リスクと定義した上で、地質リスク問題と対策の現状、対策を実施する上での課題、開発すべき支援システムの内容などを整理し、コスト縮減に最も寄与できるのは地質技術であり地質技術者であることを提案しております。

さらに18年度には財団法人建設業振興基金の助成を受け「企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会」を立ち上げました。今回の事業においては、地質調査は従来考えているものより幅広い役割を果たすことが可能であるという視点に立ち、地質調査業の役割という側面から新しい分野開拓のビジネスモデルについて調査・研究し、報告書を作成するとともに普及のための講習会を開催いたしました。今後は今年度の成果を発展させ、地質リスクの計量化、プロセスマネジメント手法の確立、技術顧問制度等発注者支援制度の拡充などを目指していきたいと考えています。事例収集や調査・研究等につきまして、関係機関、特に発注機関の皆様方のご指導・ご協力お願いいたします。

最後に本書の作成に加わっていただいた渡邊委員長をはじめとする企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会の委員及び技術委員の皆様、並びに原稿執筆から編集まで、多くの能力と時間を割いていただいたワーキンググループメンバーの方々に感謝申し上げます。

平成19年3月

社団法人全国地質調査業協会連合会
会 長 森 研 二

はじめに

本報告書は、企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会において検討した新しい地質調査業のビジネスモデルと地質リスクマネジメントの方向性に関する研究成果を取りまとめたものである。

現在、わが国の建設工事、特に公共工事におけるリスクマネジメントは大きな転換期を迎えている。委員会の成果は、地質リスクだけでなく、工事リスク全般の新しいマネジメントの考え方と実施方法を検討する上で、重要な視点を提供すると思われる。

旧来のわが国の公共工事執行方式は、大量の工事の円滑な執行に主眼を置いた方式であった。時間の制約から、設計図書変更での対応を前提に、設計図書の完成度や精度が低いまま発注される場合も少なくなかった。ただし、この方式では、入札価格や最終工事価格、さらには工事品質などの潜在的分散は増大する。工事の潜在的リスクは小さくないといえる。

現在、受注競争が激しさを増すなかで、益々透明な工事執行が求められている。工事の潜在的リスクを低減するための新しいリスクマネジメントの構築と実行が必要である。

その核の一つは、工事の「不健全な不確定部分」の低減にあると考えられる。もう一つの核は、その不健全さを正しく評価し、的確な対策を策定・実行できる技術者の登用と育成である。

委員会では、地質調査技術の効果の計量化手法について基礎的な調査研究を行うとともに、新領域のビジネスモデルとして地質技術顧問の必要性和可能性を検討した。技術効果の計量化とは、技術の適用によって不健全な不確定部分をどの程度低減できたかを具体的に計測することにほかならない。また、わが国の公共工事執行方式の改革における根源的課題の一つは、発注者における技術の伝承である。地質技術顧問の導入は、この根源的課題に対する実行可能かつ有効な対策案の一つになると考えられる。本委員会で実施した地質リスクマネジメントの調査研究は、わが国の公共工事執行のリスクマネジメントにおいて新境地を開拓する研究となることが期待される。

最後に本委員会の精力的な調査研究活動にご尽力頂いた調査・研究委員会の皆様とワーキンググループのメンバーの皆様に厚くお礼申し上げます。

平成19年3月

企業間連携等の推進に関する調査・研究委員会委員長
渡邊 法美

1. 研究事業の概要

(1) 目的

(社) 全国地質調査業協会連合会（以下「全地連」という）では、平成 14 年 4 月「地質調査業の 21 世紀ビジョン～市場が求める産業システムの構築を目指して～」を発行し、地質調査業の現状と今後の展開について分析するとともに、経営面や技術面からのさまざまな経営革新に資するシナリオを提示し、会員企業の参考に供してきた。

これ以降も、地質調査業を取り巻く市場環境はますます悪化の一途を辿っており、先行き不透明な状態が続いている。全地連では、この数年、このビジョンで示唆されている地質調査業としての展開可能な周辺分野や新規分野への参入について取り組んでいる。具体的には、地質調査業が土壌・地下水汚染分野、防災・維持管理分野、情報分野等へ展開する方策を検討し、一部の分野については一定の成果を挙げることができた。また、従来業務についても、地質調査業の果たすべき領域はもっと広げられかつ深められるとの発想から、平成 16 年 7 月には、「地質調査を効率的に実施するための 10 の提案」を作成し、発注者の皆様に広く理解を求めている。

そして、これらを検討する過程で議論されたのは、各企業のおかれている厳しい経営環境を考えると、企業連携の方策や新分野開拓を図ることが有効な手段ではないかという点であった。このような状況を踏まえ、平成 17 年度には、報告書「地質調査業の新たな展開と企業間連携」をとりまとめ、会員企業へ提供し、周知を図ってきた。

さらに平成 17 年度においては、全地連の技術委員会の下に地質リスクWGを設置し、地質技術の視点からコスト構造改革に寄与する方法を議論し、今年度（平成 18 年 6 月）、「地質に係わる事業リスク検討報告書」としてとりまとめ公表したところである。

本研究は、(財) 建設振興基金の研究助成をもとに委員会を構成し、「地質リスク研究」をさらに推進し、会員企業が新分野に進出するためのより具体的な提言を行うことを目的としている。なお、地質リスクとは「地質（に係わる事業）リスク」のことで、特にコスト増大リスクに着目していることから、「事業コスト損失 と その不確実性」と定義した。（地質リスクの概念は 3.2.1 で詳細に議論する）

(2) 研究の背景

本研究は全地連の活動経緯から見て今まさに着手すべきテーマであるが、ここで現在このテーマが緊急かつタイムリーである背景を整理する。

a) コスト構造改革プログラムの進展

H15 年度より着手されている「コスト構造改革プログラム」には 34 の施策が盛り込まれており、「設計の総点検」などコスト縮減が数値化できるものについては精力的に取り組まれてきた。今後は数値化できていないものも含めて新たな視点が求められており、その一つが「地質リスク」への取り組みであろう。

b) 事業費増大に係わる一連の事件

事業構想段階においては投資効果（コスト・便益）を大きく見積もろうとする意識と潜在するリスクは工事段階で顕在化してから対処せざるを得ないという考え方もあるが、一方で発注者によっては設計変更あるいは事業費増大に対して議会・財務部局の合意が得られず工事がストップする事件も起きている。

c) 地質技術者の責任としてのリスクマネジメント

発注者によっては議会・財務部局が事業費増大に安易に応じなくなったのは、厳しい財政状況を背景に事業費増大というリスクをいち早く知る立場にあった技術者の責任に注目し始めたからであろう。特に構想・計画を担当し予算を要求した発注者側技術者の責任が問われている。

d) 発注者側の体制

構想・計画段階においては業者側の技術者の参加は難しく、従って発注者側で判断しなくてはならない。発注者によっては土木技術者は充実しているが地質に関しては手薄なところもある。さらにリスク計量化手法、リスクマネジメント手法などの支援ツールも整備されていない。

(3) 研究テーマ

建設工事コストのみならず維持管理費を含めた事業コスト、さらに社会的費用・時間的費用を含めた総コストの形成要素・形成プロセス（本研究においてはこれらを「コスト構造」という）の中で地質条件そのものとその不確実性が事業コストに大きな影響力を持っている。

しかし、地質条件そのものは土木技術の克服すべき命題であるが、その不確実性の故にやむなく現場で問題が顕在化してから対応せざるを得なかった面もある。このため、これまで当協会の会員企業の主要業務である地質調査は土木技術が取り組むべき命題の条件設定を役割とし、事業主体の側に立ってコスト構造全体に意見を述べる役割は果たしていなかった。この様な中で当協会は、「地質調査が工事費など建設コストに及ぼした影響の事例(H14)」「地質調査を効率的に実施するための10の提案(H16)」を行ってきた。

今回の研究事業においては、地質調査は従来考えているものよりもっと幅広い役割を果たすことが可能であるという視点に立ち、地質調査業の役割という側面から新しい分野開拓のビジネスモデルについて調査・研究し、報告書を作成するとともに普及のための講習会を開催した。

(4) 研究体制

a) 委員会の構成

委員長	渡邊 法美	高知工科大学教授	フロンティア工学教室
委員	野田 徹	国土交通省 大臣官房	技術調査課 建設コスト管理企画室長
	脇坂 安彦	(独) 土木研究所	材料地盤グループ長
	小笠原正継	(独) 産業技術総合研究所	地質情報研究部門 主任研究員
幹事	佐橋 義仁	(株) 建設技術研究所	

伊熊 俊幸 (株) ダイヤコンサルタント
尾園 修治郎 (株) 建設技術研究所
小田部雄二 大成基礎設計 (株)
黛 廣志 川崎地質 (株)

アドバイザー (全地連・技術委員会・地質リスクWGメンバー)

田中 久丸 (株) 東京ソイルリサーチ
梅本 和裕 国際航業 (株)
豊蔵 勇 (株) ダイヤコンサルタント
岩崎 公俊 基礎地盤コンサルタンツ (株)
向井 雅司 復建調査設計 (株)
篠原 敏雄 中央開発 (株)
長瀬 雅美 応用地質 (株)
荒井 正 (株) 日さく

(順不同)

(高知工科大学 フロンティア工学コース)

楠本 佳史

b) 委員会の開催

第1回委員会 (06.10.17)

第2回委員会 (06.12.8)

第3回委員会 (07.3.1)

(5) 研究方法

平成17年度より活動している「地質リスクWG」の作業成果をもとに、上記の委員会で議論を深めた。

a) 新領域のビジネスモデル (地質の技術顧問) の検討

① 建設生産システムにおける地質技術の適用領域の拡大

設計条件を設定するための地質調査から、基本構想・計画立案のための地質調査へ領域の拡大の可能性を議論した。

② 発注者側に立った技術顧問サービス

発注者側に地質技術者が不足している実態から発注者支援の必要性を議論した。

③ PFI事業への進出の可能性

地質リスクの計量化によってPFI事業の進展に寄与することが出来そうであるが、その可能性について議論した。

④ 技術顧問ビジネスの可能性

発注者支援者としての技術顧問ビジネスが成立する可能性について議論した。さらに

技術顧問を制度化するための条件を議論した。

b) 地質調査技術の効果の計量化に関する研究 (WGの成果)

① 公共事業における地質リスク事象の整理

WGにおける作業を通じて地質リスクに関するコスト構造問題、地質リスク問題の事例、リスクマネジメントの現状などの課題を整理した。なお、これらの情報はWGメンバーの経験とあわせて全地連の既往の作業成果を利用した。

② 悲観的リスク項目・不確実性要因の体系化

極めて少ない既往研究を基にWGメンバーが取りまとめた。

③ リスク及び効果の計量化

WGメンバーが自らの経験から事例を抽出し、リスクマネジメントの有無におけるコスト比較を行った。

④ 今後の研究計画

本研究は今後このようなアプローチがコスト構造改革、特にコスト縮減に有益であることの見通しを付けることを第一段階の目的とした。次のステップは海外における同様の研究の実態を調査し、国内事例研究を関係各者の協力のもとに幅広く推進し、さらに発注者におけるコスト縮減施策に対して提言することなどである。

(6) 研究成果

具体の事例は2章以降に示すが、「地質の技術顧問」と「リスクの計量化・プロセスマネジメント」によって以下のようなメリットが期待できることが確認できた。

① リスクへの予防措置による工期短縮・コスト縮減

② 楽観的リスクからの出発による工期延長・コスト増大からの脱却と納税者の信頼の獲得

③ 事後対応（設計変更など）から事前対応への変更により円滑な合意形成に寄与

④ 悲観的リスクから出発するプロセスマネジメントによって説明責任とリスクコミュニケーションに寄与

⑤ プロジェクトの各段階の後段へのリスク引渡し内容の明確化

⑥ リスクの事前把握により民間との事業権取引（PPP）が可能

なお、これらの効果を構想・計画・設計・工事・運用といった事業プロセスにそって整理したものを図-1.1(a)～(h)に示す。

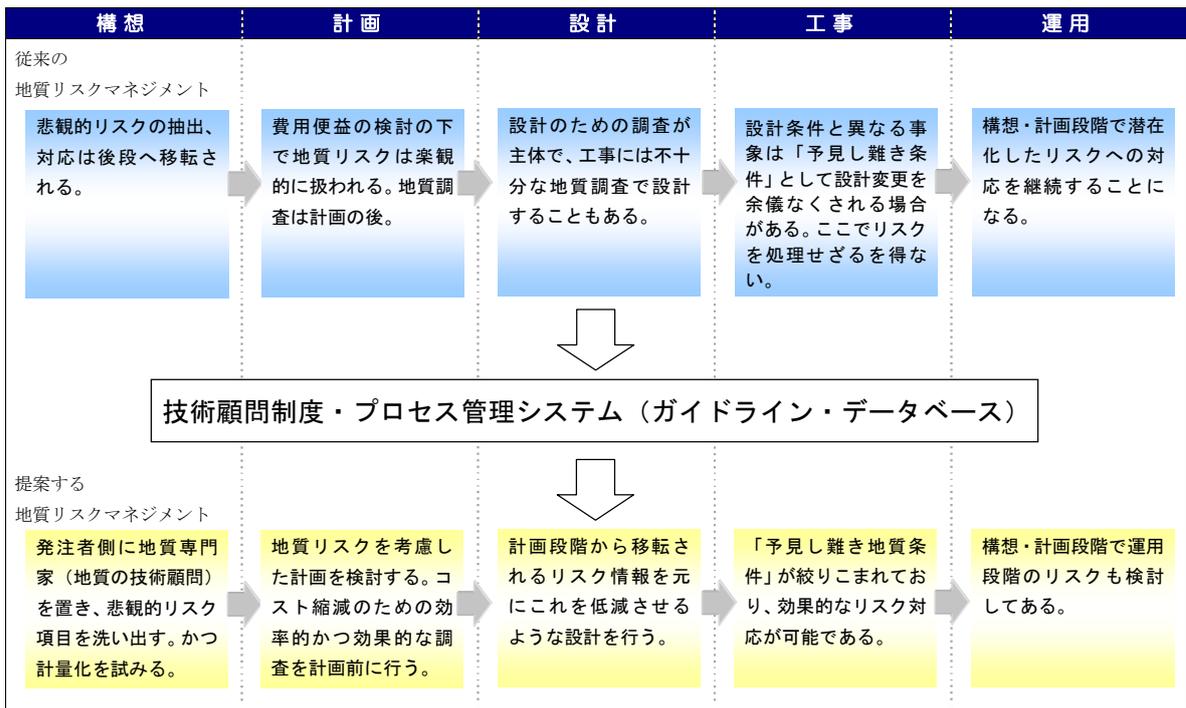


図-1.1(a) 提案する地質リスクマネジメント手法

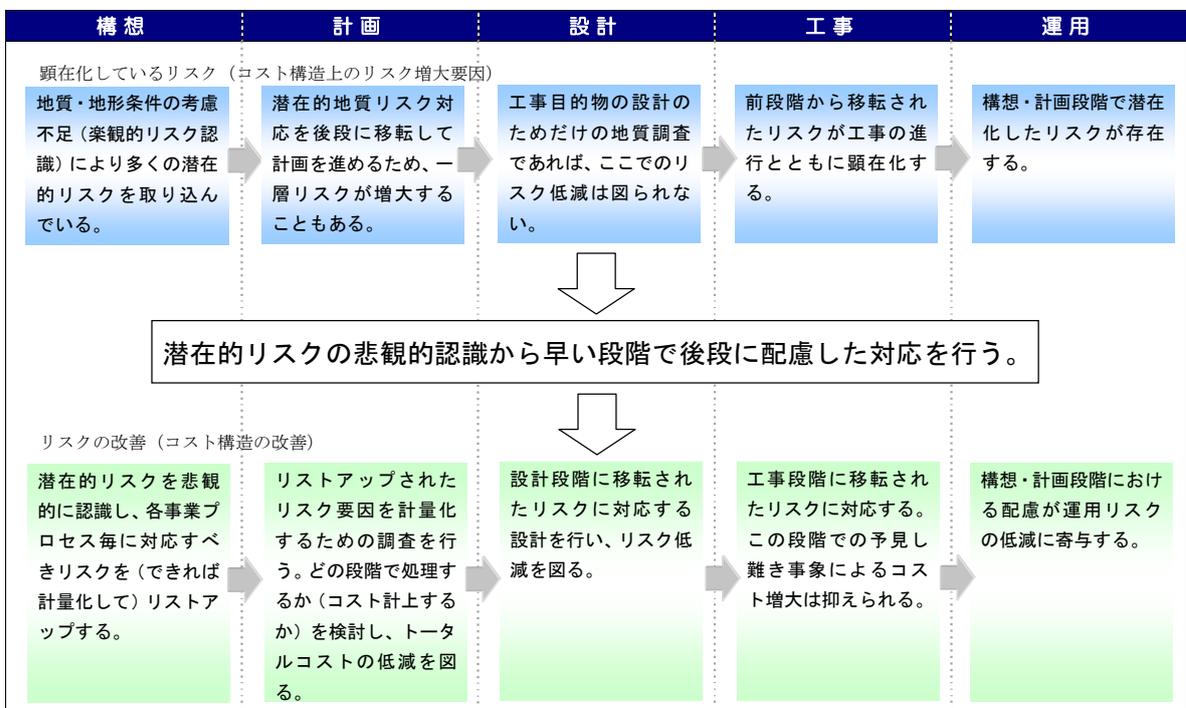


図-1.1(b) リスクマネジメントによるコスト構造の改善

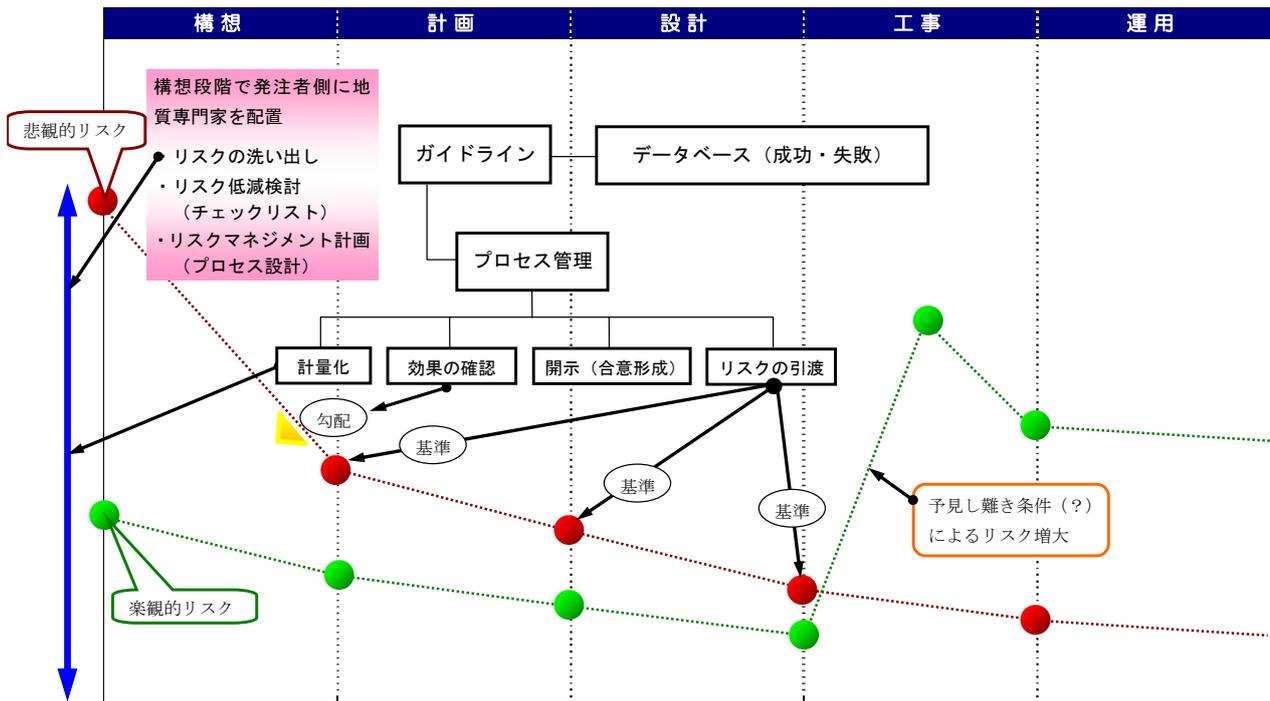


図-1.1(c) 地質リスクマネジメントのイメージ

構 想 段 階		
従 来 の 対 応	地 質 リ ス ク マ ネ ジ メ ン ト	改 善 後 の 効 果
<p>○地質・地形条件の考慮不足</p> <ul style="list-style-type: none"> 施設構想において地質・地形条件の考慮が不足 <p>○外部の専門家の活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 大規模工事の場合は、構想段階で専門家に相談するが、通常の工事の場合は、発注者内部の検討で次の段階へ進める場合がある <p>○地質調査</p> <ul style="list-style-type: none"> 量、質ともに不足しがち 	<p><u>目 的</u></p> <p>○悲観的なリスク要因の洗い出し</p> <ul style="list-style-type: none"> 要因を洗い出し、できるだけ計量化する 計量化のための地質調査を提案する <p><u>方法・ツール</u></p> <p>○技術顧問のアドバイス</p> <ul style="list-style-type: none"> 発注者の内部に技術顧問を位置づけ、潜在的リスク要因を抽出する 技術顧問は、支援ツールを活用する 意見を施設構想へ反映する <p>○支援ツール</p> <ul style="list-style-type: none"> ガイドライン リスク要因のチェックリストなど 構想から計画への移転リスク基準 データベース (成功・失敗事例) 	<p>○構想段階に地質リスクの概念を導入する</p> <ul style="list-style-type: none"> 詳しい調査は計画段階にゆだねるが、この段階においても、潜在的地質リスクの有無は把握できる <p>○国民、市民への説明・合意形成</p> <ul style="list-style-type: none"> 悲観的リスク要因を開示することで、後段で顕在化するかもしれないリスク事象への理解を得る リスクマネジメントのプロセスを開示することを約束する

図-1.1(d) 構想段階における効果

計 画 段 階		
従来の対応	地質リスクマネジメント	改善後の効果
<p>○投資効果を重視した評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コスト／ベネフィット評価においてコストが小さいほど投資効果が高いため、地質に関しては楽観的な取扱いとなりがち 	<p>目 的</p> <p>○リスクの計量化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドラインなどを参考にリスクの計量化を行う。 ・リスク計量化に当って不確実性要因を抽出し、さらなる地質調査を提案するか、設計・工事段階へ移転するか判断する <p>○リスクマネジメント計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リスク要因それぞれについてリスク対応方法を段階毎に提案する <p>方法・ツール</p> <p>○技術顧問のアドバイス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構想段階で洗い出されたリスク要因の計量化と評価を行う ・そのための地質調査を提案する ・地質調査妥当投資額を提案する ・意見を施設計画へ反映する <p>○支援ツール</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン ・計量化手法など ・地質調査妥当投資額の算出方法など ・計画から設計への移転リスク基準 ・データベース（計量化事例） 	<p>○地質調査を計画の前に位置づける</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計のための調査から計画のための調査へ <p>○ライフサイクルに渡る地質リスクを考慮した計画の立案</p> <ul style="list-style-type: none"> ・トータルコストを下げるために、各リスク要因に対してどの段階で対応するかの計画 <p>○設計・工事段階へ移転されるリスクが明らかになる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・この段階で設計条件、施工条件を明示する <p>○国民、市民への説明・合意形成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・悲観的リスク、楽観的リスクの両方を定量的に示すことで事業費の幅を理解して頂く ・リスクのプロセスマネジメント計画を開示し合意形成を図る

図-1.1(e) 計画段階における効果

設 計 段 階		
従来の対応	地質リスクマネジメント	改善後の効果
<p>○地質条件不足での設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事目的物の積算のための設計に必要な地質条件の提供 <p>○地質調査結果反映不足</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計者が地質調査結果を読み取っていない ・設計に必要な地質条件（地質定数）のみに着目 	<p>目 的</p> <p>○リスクへの対応</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地質リスクに対処した設計 ・リスク情報の工事への引渡し <p>方法・ツール</p> <p>○技術顧問のアドバイス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計業務の仕様書（特記事項）への地質条件の記述 ・プロポーザルによる設計者評価を支援 ・設計業務の監督・検査支援 <p>○支援ツール</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン ・地質の留意事項など ・設計から工事への移転リスク基準 ・データベース（成功・失敗事例） 	<p>○地質調査と設計との連携増進</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地質調査結果が設計業務において有効に反映される <p>○過大設計、過小設計の減少</p> <ul style="list-style-type: none"> ・不十分な地質調査あるいは、地質条件の理解不足による過大設計、過小設計が減少する <p>○工事の工期短縮・コスト縮減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事中のリスクを少なくする設計を行うことで、工事中の工期短縮、コスト縮減に寄与する ・その多くは、構想・計画段階のリスクマネジメントに依存するが、これを工事段階に伝える役割が重要である

図-1.1(f) 設計段階における効果

工 事 段 階		
従来への対応	地質リスクマネジメント	改善後の効果
<p>○施工計画・仮設計画への地質情報の反映不足</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地質調査不足あるいは地質情報の伝達不足により施工計画・仮設計画への地質情報の反映が不十分なことがある <p>○設計変更等による対応と限界</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計で考慮した施工条件と現場の乖離に設計変更あるいは別途工事発注で対応せざるを得ない ・このような対応は、議会などの合意を得ることが難しくなり、工事がストップする事件が起きている 	<p><u>目 的</u></p> <p>○地質リスクマネジメントの検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リスクマネジメントプロセスの検証 ・地質調査妥当投資額の検証 ・ガイドライン・データベースの更新 <p><u>方法・ツール</u></p> <p>○技術顧問のアドバイス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事の仕様書（特記事項）への地質条件の反映 ・施工計画へのアドバイス ・工事の監督・検査支援 ・工事中VEの支援 ・3者協議への発注者支援の立場から関与 <p>○支援ツール</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン ・地質の留意事項など ・工事中のリスク低減方法・VEなど ・データベース（成功・失敗事例） 	<p>○施工計画、仮設計画への地質情報の反映</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事段階で対処すべき地質リスクへの対応を確実にする ・地質を考慮した設計の考え方が施工に伝わる <p>○大幅な設計変更の防止・設計変更の円滑化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・予見できない事象（リスク）を絞り込んできたことから大幅な設計変更がこの段階で出現することは少ない ・プロセスを確認してきたことから設計変更の手続きはスムーズに進みそう <p>○議会等での合意形成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業費の変更要請（計画段階へフィードバック）にあたって、リスクマネジメントのプロセスを開示してきたことから合意形成は図り易い <p>○工期短縮・コスト縮減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工期延長・コスト増大の防止と同意義であり、多く構想・計画段階におけるリスクマネジメントに依存する ・技術顧問のアドバイスによる工事中VE

図-1.1(g) 工事段階における効果

運 用 段 階		
従来への対応	地質リスクマネジメント	改善後の効果
<p>○施設台帳による構造物の管理が中心</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施設の耐久性などのアセットマネジメントは進展している ・しかし施設の立地（地質）条件の変化および施設周辺条件の変化に対する地質専門家としてのモニタリングは十分ではない 	<p><u>目 的</u></p> <p>○既存施設の評価・更新への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事完了後も残存するリスク及び施設設計条件（地質、利用状況）の変化に伴うリスク変化の評価の支援を行う ・既存施設のパトロール実施 <p><u>方法・ツール</u></p> <p>○技術顧問のアドバイス</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事完了後の残存リスク管理における施設管理者の支援 ・供用中の施設のリスク評価における施設管理者の支援 ・施設の維持管理・更新における施設管理者の支援 <p>○支援ツール</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン ・モニタリング手法など ・既存施設の評価方法など ・データベース（成功・失敗事例） 	<p>○地質に係わる施設管理情報の活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・残存リスク（不確実性要因）があらかじめ確認できるため、これを施設管理の項目に加えることができる <p>○地質条件の変化のモニタリングと施設維持・管理への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周辺における大規模工事などによる地下水の変化など、あるいは地表の風化など、地質条件の変化を反映できる <p>○施設利用条件の変化のモニタリングと施設維持管理への反映</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施設及び施設周辺の利用状況の変化を反映できる <p>○アセットマネジメントの向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アセットマネジメントにおいて立地（地質）条件が考慮される

図-1.1(h) 運用段階における効果

2. 新領域のビジネスモデル（地質の技術顧問）の検討

2.1 建設生産システムにおける地質技術の適用領域の拡大

2.1.1 現行の地質技術適用領域と課題

(1) 現行の適用領域

一般に建設業に係わる地質技術者は民間側に存在することを前提に、地質調査は民間への発注によって民間の技術者が担当している。そのため構想・計画など発注者側が専ら担当する段階においては、民間地質技術者の参画は十分ではなく期待されるのは計画後の設計条件を設定する役割に止まっていることが多い。

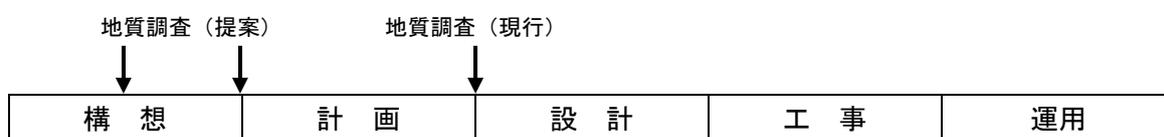


図-2.1 公共工事のプロセス

(2) 課題

地質調査が計画後に位置づけられ、設計条件を設定するためのものである場合、そこで設定された設計条件が工事段階で遭遇した事象と異なる場合は設計変更によってそのリスクを解消することを余儀なくされている。このことが一層地質調査・地質技術の役割を希薄にし、発注者によっては地質は工事に着手して事象に直面してから処理することが効率的である、という認識を生じさせてきた。

ところが最近、1章の「(2) 研究の背景」で示したように、発注者によっては設計変更に伴う事業費増大が議会の合意を得られず工事がストップする事件が起きている。そのため、地質リスクを早期に予測し対策を講じる必要が生じているが、以下のような技術的な課題等があり簡単には改善できない。特に官側に地質技術者の少ない状況下においては、民間の地質技術者の参入が可能な段階（計画段階の中頃）以前にリスクの多くが決定してしまう状況を招いている。

- ①地質リスクの概念・体系が不明確
- ②公共事業の中で悲観的地質リスクへの対処が積極的には行なわれてこなかった
- ③地質リスクを扱う者（地質技術者）の位置づけが不明確
- ④発注者側の技術を支援する行為（発注者支援）が正業化されていない
- ⑤設計変更によるリスク解消を余儀なくされている
- ⑥投資効果（コスト・便益）への期待からリスクの楽観的判断の傾向
- ⑦地質リスクに係わるデータが不足
- ⑧リスク計量化手法が未確立

2.1.2 コスト縮減に貢献するために

(1) 地質技術の計画以前の段階での適用

コスト構造の多くが計画以前の段階で決定されることから地質技術は早い段階で適用されることが望ましい。しかし、この段階は発注者側技術者が判断する段階であり、発注者側に十分な地質技術者が確保されていないこともあり、地質技術が早期に適用されないことが多い。

(2) 発注者の技術

地質技術をコスト縮減に適用するためには、民間の地質技術者が技術顧問として発注者を支援する仕組みが必要である。

2.2 発注者側に立った技術顧問サービス

2.2.1 技術顧問とは

(1) 位置づけ

技術顧問は、いわゆる法務顧問・弁護士、財務顧問・公認会計士などと同様、発注者側にあって技術を提供する者である。その評価は発注者と同様、市民の満足度（アウトカム）でなされ、アウトプット（仕様で規定された成果）で成績評定される業者（地質調査者）とは異なる職業である。

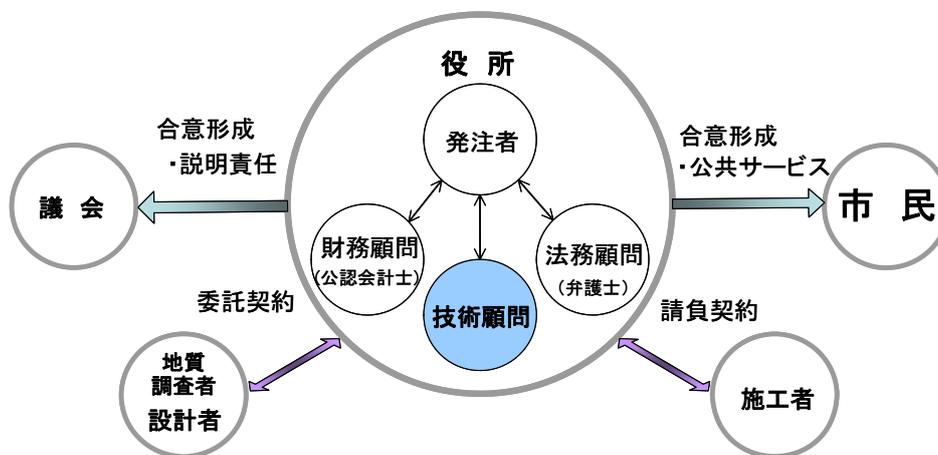


図-2.2 技術顧問の位置づけ

(2) ビジネスモデル

技術顧問は発注者の支援者であるから以下のようなビジネスモデルが馴染む。

a) 選定・契約方法

技術力による選定(QBS:Quality Based Selection)、が基本である。ただし、「技術顧問」

は個人の場合と法人の場合など契約形態・内容も多様と考えられ、責任の所在の整理と併せて今後の課題である。

b) 報酬基準

実費（コスト）と成功報酬（フィー）で構成されると考えられるが、成功報酬については効果の計量が困難である上に当該年度内では確認できないこともあり、本研究の「リスクの計量化」と同様大きな課題である。

2.2.2 支援ツール

地質の技術顧問は技術者個人の高い技術力に期待するものであるが、あわせて以下のような支援ツールを具備するものである。現在、このような支援ツールは全く整備されていないが以下のようなものが考えられる。

- ① プロセスマネジメントシステム
- ② リスク計量化手法
- ③ リスク要素の体系
- ④ リスクの因果関係のモデル
- ⑤ ガイドライン（リスク抽出・計量方法・予測方法、リスク削減方法、リスクの引渡し基準、地質調査妥当投資額算定方法、設計監督方法、工事監督方法など）
- ⑥ データベース（各段階での成功・失敗事例）

2.2.3 地質の技術顧問の役割

地質の技術顧問は、以下の各段階において提案等を行うことで発注者を支援する。

（図-1.1 参照）

(1) 構想段階

技術顧問はまず、ガイドライン、データベースなどの支援ツールを参考にして（支援ツールに依存するという意味ではない）潜在的リスク要因を抽出し、それぞれに対して計量化のための地質調査計画の立案を支援する。施設構想に対する技術的判断は地質調査を経て地質リスクを特定・計量化しながら行うことになるが、この段階における技術的判断は以降のプロセスマネジメント（各段階でそれぞれリスクマネジメントを行う）の基本を決定するものとなる。

(2) 計画段階

地質調査の結果から個々のリスクに対してどの段階でどのような方法で対応するかを提案する。この段階で凡その総リスクは想定（計量化）されているから地質調査の妥当投資額も推定できる。

(3) 設計段階

設計業務の仕様書（特記事項）に地質条件を明示するとともに、設計段階でマネジメントすべき地質リスクへの対応方法を記述する。特に地質リスクへの対応が求められる業務

においては設計者の評価に関与する。

(4) 工事段階

工事の仕様書（特記事項）への地質条件の明示と、工事段階でマネジメントすべき地質リスクへの対応方法の記述を提案する。特に地質リスクへの対応が求められる工事においては請負業者の評価に関与し、請負業者に対して施工計画へのアドバイス、工事中VEの指導などを行う。

(5) 運用段階

工事完了後に残存する地質リスクを整理し施設管理計画に反映するとともに管理方法を提案する。一方、供用中の施設に対してはリスク評価を行う。また、施設の立地（地質）条件の変化、施設の利用条件の変化に対応した施設維持・管理方法を提案する。

2.3 PFI事業への進出の可能性

2.3.1 PFI事業への寄与

ここで提案する地質リスクプロセスマネジメントは、先ず全てのリスクを発注者が所有し、それを「削減」「移転」「保有」あるいは「回避」していくプロセスであり、PFI事業はリスクの「移転」に他ならない。しかし、地質リスクは計量化の方法も確立しておらず、従って地質リスクの大きい土木事業はPFIの対象になって来なかった。

もし地質リスクが計量できるならPFI事業の進展に寄与することが出来そうである

2.3.2 PFI事業における地質技術者の役割

リスクを取引するPFI事業は、発注者・事業主体双方の技術顧問をはじめ、地質技術者に多様なビジネスチャンスを提供する。

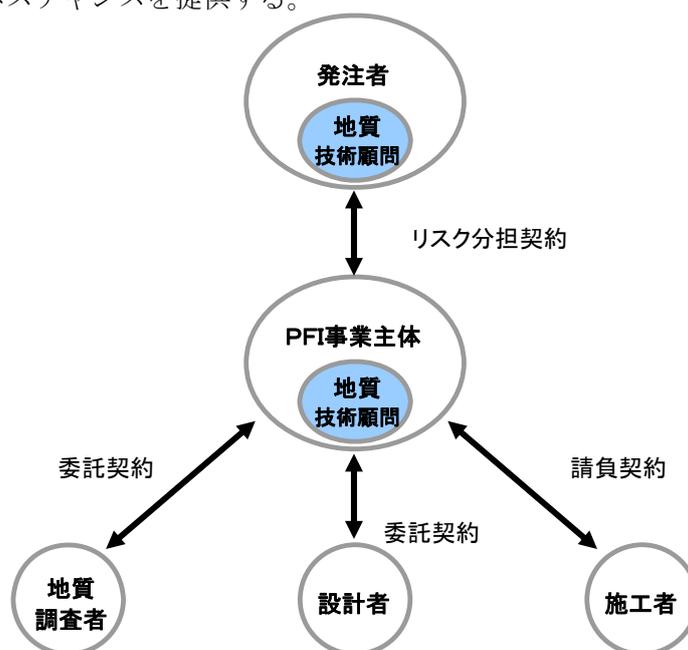


図-2.3 PFI事業における地質技術者の役割

2.4 技術顧問ビジネスの可能性

2.4.1 ニーズ

コスト構造改革を推進するためには発注者側に地質リスクをマネジメントできる地質専門家が必要であり、多くの発注機関において外部から技術顧問を調達することが考えられる。発注者側に地質専門家を必要とする場面には以下のようなものがある。

- ①事業計画の立案（技術アドバイザーとして）
- ②設計・工事などの公共調達（CMとして）
- ③リスクの取引（PFI）（代理人として）
- ④職員の教育・指導（先生として）

2.4.2 シーズ

地質技術者が発注者支援を行う場合、以下のような支援ツールを具備することが望まれるが、現段階では未整備なものが多い。

- ①ガイドライン（リスクの体系化、リスク計量化手法、プロセスマネジメント手法）
- ②データベース（成功例・失敗例のリスク計量化事例）
- ③人材・技術供給システム（全地連と市場のフランチャイズ関係）

2.4.3 技術顧問導入の可能性

地質分野における技術顧問の導入（入り口）の可能性は以下のようなものが考えられる。

- (1) 専門的な知識または技術を必要とする発注関係事務を行なえる者としての活用

「公共工事の品質確保の促進に関する法律」（品確法）第 15 条に規定する発注関係事務を適切に実施することができる者として、施工業者の評価に関与すること等が考えられる。

- (2) 地質リスクマネジメントのコスト縮減施策への導入

地質リスクマネジメントは効果が実証されれば国のコスト縮減施策の一つとしての導入が考えられる。

- (3) 地質リスクの説明責任の制度化

発注者は地質条件の変化に伴う設計変更を余儀なくされる場合には、その理由について説明責任を負うことに加えて、公共事業に潜在している地質リスクを事前に把握し公衆に伝達することが事業執行における合意形成の促進に資する場合には地質リスクマネジメントの導入が必要と考えられる。

- (4) 妥当投資としての地質技術

技術を公共投資として扱う考え方が導入されつつある。まずは地質調査費の妥当性を立証し、あわせて地質技術（質）の投入妥当性を立証する必要がある。

2.4.4 技術顧問導入のための条件

(1) リスクマネジメントの効果の実証

リスクマネジメントの効果を実証するためには、リスク要因の洗い出しを可能にし、リスク計量方法を確立し、マネジメントとリスクの因果関係をモデル化して、マネジメントの有無におけるリスクの変化を予測しなくてはならない。リスクの変化が予測できれば、そのためのマネジメント投入費を「妥当投資額」として評価することが出来る。

3. 地質調査技術の効果の計量化に関する研究

3.1 公共事業における地質リスク事象の整理

3.1.1 地質リスクに関するコスト構造問題

公共事業において地質的な障害などに起因して生じた建設コストの増大は、これまで「予見し難き」事象として設計変更の対象となってきた。しかし、建設コスト増の原因となる地質的要因が本当に予測困難なものであるかどうかは、これまで真剣に議論されてきたとはいえない。建設コストに影響を与える地質的要因は、事前調査の方法、密度、精度、品質等を十分に吟味して計画されれば、条件によってはかなりの程度、事前に把握することが可能であり、設計段階で対策を講ずることが可能なものである可能性を否定できない。

現状、地質調査の計画立案は発注者が行うことが原則であり、近年のプロポーザルでもその仕様がすでに決められている場合が多い。しかし、一般に地質専門家を抱えていない発注者が地質調査計画を立案することには限界があり、初期段階での地質調査計画の間違いや調査項目の漏れが設計・施工段階で非常に大きな建設コスト増につながるリスクを抱えている。このような状況において、地質調査の計画立案を行い、事業の進捗に合わせて事業方針を地質的な観点で第三者として公平な立場から照査・アドバイスする地質技術者の存在は非常に重要になる。

3.1.2 地質に係わる事業リスク問題の現状

地質に関わる事業リスク(地質リスク)は、公共建設事業の全プロセス(企画・計画・調査・設計・積算・工事・維持管理)に存在し、かつ前段プロセスから後続のプロセスに引き継がれるリスクはコスト面での大きな損失の要因ともなることから、地質リスクの管理においては時間軸を考慮しなくてはならない。リスクを把握すること(計量化)と、コスト形成プロセス(時間軸)の管理の両面から事業リスク問題を理解する必要がある。

地質リスク問題を捉える視点を整理すると以下のような事項が挙げられる。

①そもそもリスクとしての扱いが曖昧

地質リスクに関しては先ず楽観的にスタートし、顕在化してから対応の方が効率的とされている。顕在化してから対応すれば、ある程度リスクが特定された状態で対処できるので、そこから手を打った方が良いとするものである。したがって、リスクを予測して事前に手を打つなど計画的な取扱いは不十分であった。

②契約上は「予見し難き」条件

公共建設事業において事業主体(官庁)が楽観的地質リスクに基づいて計画を決定し、調査・設計段階でいくらかリスク対応は行うものの、工事発注後は地質条件は「予見し難き条件」として設計変更でリスクを解消せざるを得ない。

③地質技術の位置づけは計画の後

コスト構造(コスト形成プロセス)において、地質調査は「計画の後・設計の前」に位置づけられている。そもそも地質技術は地質調査業務においてのみ発揮されるものと位置づけ

られており、計画の前とか、地質調査に先立つ地質調査の仕様決定には正式には活用される状況にない。

④地質技術者のメンタリティ

国等においては地質の専門家を有しているが、地方自治体等においては一般に発注者側には地質技術者はいないと考えた方が問題点は見えてくる。このような中で民間技術者を代表する全地連は、継続して地質技術者の役割・責任を提言しており、その立場は受注者であると同時に、発注者側の支援者として働く意志をも示している。

⑤コストの定義の変化と説明責任

近年、金銭換算ができていないものも含めて事業に関わる正負の効果・影響を全て対象にした総コストの概念が登場してきた。コストの定義は損得項目のみならず、損得を被る主体においても範囲を拡大させており、リスクなどのコスト形成要因とコスト形成プロセスを表現し、説明する技術が求められている。観念的には理解できる地質リスクも、具体的に計量化できる範囲は現段階では限られているが、理念を実行するためには手法・技術の支援が必要である。

3.1.3 地質リスク問題の事例

以下に、昨年度のWGにおいて報告された地質リスク問題の事例を紹介する。

①基礎岩盤の想定強度のズレ： 岩盤(片麻岩)を支持層とする橋梁基礎の場所打ち杭工事において、岩盤が想定よりも硬かったために工法変更を余儀なくされ、事業費増、工程遅延を生じた。十分な数量の圧縮強度試験と多少深めの調査ボーリングが行なわれていれば、予見可能であったと考えられる。

②宅地分譲後の地盤沈下： 行政の町おこしの一環で分譲販売した宅地が、販売後徐々に変状を来し、約20年を迎えた頃に大きな問題として取り扱われ、行政側と住民側で補償問題を交渉することとなった。宅地造成前に地盤調査が行われず、問題が顕在化してから実施された地盤調査で不良材料による埋立が判明した。事前に地盤特性を把握し、地質技術者の専門的判断を導入できる段階があれば、リスクを軽減できたと思われる。

③支持層傾斜による基礎形式の変更： 建築物の基礎工事を行っていたところ、支持層となる岩盤が急傾斜していることが顕在化し、当初の基礎形式を大幅に変更し、工費増大と工程遅延が生じた。計画建物の位置が大幅に変更されたにもかかわらず変更位置での地質調査を怠ったことが主因であるが、埋没地形の情報を十分に伝達できなかった地質技術者のスキルにも問題が残った。

④近接施工による工場設備の変形： 軟弱地盤地域において、大規模工場に隣接して地下掘削工事を実施した。この工事では掘削時の地下水処理に排水工法を採用したため、周辺地下水位の低下を招き、工場設備の多くに地盤沈下に伴う変形が発生し、各種の機能損傷を与えた。事前に地盤特性と施工条件を十分検討し、調査・設計段階で、地質技術者の専門的判断を導入すれば、シミュレーション解析などによる事前予測によって仮設工法の見

直しなどが検討できた可能性がある。

⑤軟弱地盤上の盛土工事における沈下予測のズレ： 軟弱地盤上の盛土および地盤改良工事において、事業計画時に予測した沈下量および沈下継続時間と実測された沈下状況にズレが生じ、投入盛土量と地盤改良工数が増加し、事業費が増大した。軟弱地盤上の盛土に伴う圧密沈下は古典的な問題であるが、マニュアル等にのみ依存した技術判断は事業費の増加や事業期間の長期化を招く地質リスクとしての理解が必要である。

⑥地下水汲み上げと地盤沈下に係わる民事裁判： 軟弱地盤地帯での地下掘削工事において盤ぶくれ対策としてディープウェル工法が採用されたが、適切な揚水量管理をせず過剰揚水を行ったために周辺の地盤沈下を招き、住民から被害訴訟が起こされた。地盤工学に精通し、かつ軟弱地盤での地下掘削工事について経験のある地盤技術者がかかわっていれば、周辺への影響は最小限度に抑えることが可能であった。

⑦トンネル地山調査における地質リスク： 山岳トンネル建設のような地下を掘削するプロジェクトにおいては、地表下における地質・岩盤条件および地下水流出などの不確実性は変動帯に属する我が国では常に付きまとい、プロジェクトの成否にも係わってくる。

これら地質条件の不確実性をより少なくするために事前段階で種々の調査・探査が実施されるが、費用の面からもトンネルルート全線に亘って確実度の高い調査成果を得ることは実際には難しい。したがって、設計あるいは積算段階での地質平面図・断面図などの地質情報は不確実性を含んでいることに留意しておく必要がある⁽¹⁾⁽²⁾。

3.2 悲観的リスク項目・不確実性要因の体系化

3.2.1 地質リスクの定義・体系化

(1) 地質リスクの定義に関する議論

標準レベル以上の地質調査が十分な技術・経験を持った技術者によって実施されたとしても、その結果には予見できない地質条件のズレやブレが含まれている。特に「わが国の自然条件は特殊である（大石・川島 1998）」という視点に立ったとき、どんなに詳細な地質調査であっても完全ということはないであろう。標準的な所定の調査数量をこなすだけでなく、与えられた課題を良く認識し、目に見える現象のみならず目に見えない現象に潜む課題を的確に見つけ出して問題点の指摘不足がないようにすることが地質技術者には求められている（「事例に学ぶ地質調査」）。そのような努力を怠らなかつたとしても、調査の結果には予見できない不確かな部分が残される。そのような地質調査結果の不確実性を地質リスク（あるいは、不確実性によって生じるコスト）と呼ぶことができる。

地質リスクを建設事業費の増加と考えた場合の建設費の統計的な“分散”を、地質的な予見の困難さと関連させてパターン化すれば、コスト分散のパターンは、地質的な予測が困難な場合には分散形状が正規分布とならずに、F分布と呼ばれるような偏った形状となる。このため、建設コストが中央値（設計価格）と極端に大きく異なる場合が多くなることが予想される。

また、事業の進捗に伴う建設コスト分散の変化を考察すれば、一般的には構想段階から基本計画段階、概略設計段階、詳細設計段階へと進むにつれて予想される建設コストの分散幅が小さくなっていく。ところが事業の初期段階で将来顕在化する可能性のある地質的なリスク要因を把握できていなかった場合（楽観的地質判断の場合）には、常識的な範囲の乖離幅を大きく超えるような事象が発生し、建設コストは大きく上昇することになる。

このように地質的な予測の困難さや、地質的判断を悲観的に行うか楽観的に行うかによって、ここで定義した地質リスクの大きさが異なるとすれば、地質技術者の果たす役割（特に事業初期における役割）は非常に重要である。

(2) リスクの洗い出しの例

地質調査における悲観的リスク項目あるいは不確実性要因とは、実施された地質調査結果によって対象エリア（建設サイト～広域）の地質条件を推定した際に潜在している誤差、あるいは予見できない地質条件の急変を意味している。誤差には、ある地質的な、あるいは地質工学的な属性値の幾何学的な分布形状のズレ、地質（工学）的な属性値の想定以上の変化などが含まれる。ここで言う予見できない地質条件の急変とは、断層や軟弱層・変質帯の出現、地すべりの発生や顕在化、地下水変化（地下水の湧出や枯渇・低下、汚染）など、重大な地質的課題となる事象の出現を意味する。

昨年度のWGにおいて報告された地質リスクの洗い出し等の事例を以下に紹介する。

① トンネル事業計画におけるリスク

「不良地質区間を含む大深度土被りルートを選択」を想定したリスクの洗い出し事例。

発生が予想される地質現象に対し、発生する事故・対応手段・顕在化する事象がリストアップされている。

②トンネル地山調査における地盤リスク

通常トンネル建設工事においては、事前段階では路線沿いの地表地質踏査・弾性波探査・坑口周辺部のボーリング調査を主体として実施して地山状況を推定し、施工段階において地山の挙動を観測しながら必要な調査を行い、設計支保パターンを変更しながら掘削を行う情報化施工によることが多い。トンネル建設工事における地盤リスクとして、これらの調査時の地質・湧水などに起因する不確定要因がまとめられている。

③地質リスクに関するチェックリスト：全地連「地質調査要領」

構造物の種類として、建築物・切土・盛土構造物・上下水道・橋梁・高架構造物・埋立て・港湾構造物および山岳トンネルに分類し、それぞれについて留意すべき地質・地盤の種類と発生しやすいリスクをまとめたものである。

3.2.2 地質リスクの計量化（手法）の事例

昨年度のWGにおいて報告された地質リスクの計量化を試みた事例を以下に紹介する。

①大津博康の研究

大津は2002年以降の数編の論文において、建設市場の縮小等の建設業を取り巻く昨今の厳しい社会情勢の変化に伴い、今後は地質リスク（地盤リスク）による建設コストの増加分を請負者が負担することが多くなり、この問題がクローズアップされてくることを述べている。論文では、建設分野が新たな方向に進む上での「リスク工学」という新しい考え方の、適用性とその展望について述べている。このリスク工学とは、昨今注目されつつある金融工学の根幹をなす理論であり、リスクを定量的な指標として取り上げ、その評価・対応について議論している。

②損害保険会社の手法

地震・豪雨等の予期せぬ自然災害の発生で、どのくらいの損害が予想されるかをリスクカーブ（縦軸に発生確率－横軸に予想損害額）に表して、対象物件に関わる損害の全体傾向を把握し、分析・診断する手法である。自然災害を「予期せぬ地質の変更」に置き換えることで地質リスクの予測が可能と考えられる⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

③道路事業

実広拓史(2004)は、「道路事業のリスクに関する実態調査および分析」のなかで、道路事業をPFI方式で実施した場合のリスクの評価を行うことを想定し、各種のリスクを整理し、その中で地質リスクを取り上げている。リスクの定義として、「当初の想定に対し事業遅延・費用増加影響をもたらす事象」と定義し、①変動要因、②イベント発生、③事業遅延影響・費用増加影響の3要素に分けて把握をしている⁽⁸⁾。

④土木研究所・土砂管理研究グループ・地すべりチームの研究

上記チームにおいて、「地すべりの被害評価技術の開発に関する研究」が平成17～21年

度の予定で実施されている。地すべり災害対策にかかる費用としては、従来復旧費や補償費といった事業者損失（直接的損失）が重要視されてきた。しかし現実には道路閉鎖期間の利用者損失（間接的損失）が事業者損失の3~4倍に達しており、地すべり災害が発生した場合は地域社会・都市機能へさまざまな影響がある。研究結果は「社会影響評価ガイドライン」・「災害対応ガイドライン」としてまとめ、各影響（被害）の適切な評価に基づく優先順位付け手法の確立、全影響を把握した上での対応方法の設定を目指している⁽⁹⁾。

⑤土壌・地下水汚染におけるリスク評価モデル（評価ツール）

土壌・地下水問題では、汚染状態の程度・規模・広がりなどの技術的評価に加え、汚染の結果として汚染物質が人や生態系に与える影響を定量的に評価する必要がある。この定量評価手法の一つとして、リスク評価を積極的に用いられている。現在、国内外で調査の進行段階に応じたリスク評価モデルが検討され、リスク評価ツール（計算プログラム）が開発されている⁽¹⁰⁾。

⑥ファジィ理論を用いた斜面危険度評価法

地質リスクには、地質調査結果に内在する調査者の主観によるあいまいさ、に起因する不確実性が含まれると考えられる。ファジィ理論は、このようなあいまいさを定量的に取り扱う学問で、判断のあいまいさをメンバーシップ関数によって表現する。ファジィ理論を用いた斜面崩壊危険度の評価法では、例えば遷急線の明瞭度と斜面崩壊の危険度との関係をメンバーシップ関数により表現し、いくつかの関数の重なり合いを判断のあいまいさとして捉える。この重なり合いの程度で地質リスクを定量化できる可能性がある⁽¹¹⁾。

3.2.3 リスク対応の事例

昨年度のWGにおいて報告された、発生したリスクへの対応事例を以下に紹介する。

①トンネルにおける地質技術者参画（3者協議）事例

県が発注するトンネル業務で、過去に供用後に地すべりが発生して路線変更を余儀なくされた事例があったことから、建設技術センターが指導的に関与して、発注者とトンネル業務を請け負った業者が一堂に会する協議会（いわゆる3者協議）を設けたケースである。会議構成メンバーは、発注者（県）・施工業者（未発注のためその他の工区に関係する施工業者）・建設コンサルタント・地質調査業者・測量業者・建設技術センターで、会議の結果を踏まえて協議書を取り交わした。

②トンネル工事における地盤リスクに起因する設計変更の考え方（試案）

最近、国土交通省においてデザインビルド方式でのトンネル建設工事が実施され、地盤リスクに係わる設計変更については、「実施設計承諾後の設計図書と施工にて確認される地質とが異なる場合には、発注者・請負者および必要に応じ第三者の見解を基に、発注者が認めたものについては変更の対象とする。」のように取扱われている。しかし、地質条件の差異と判断する事項・基準は明示されていない。

我が国は風化・変質・破碎を受けた脆弱かつ複雑な地質が分布するため、設計／施工段

階におけるある程度の地山評価の乖離は避けられない。したがってデザインビルド方式の場合でも、詳細調査結果に基づくトンネル設計図が提示され、入札・契約の段階では以下のような項目について地盤リスクの分担（Risk sharing）を明示しておく必要がある。

- 1) 地山等級の変更基準の明確化
- 2) 湧水量など数値化できる条件についての数値基準の設定
- 3) 地質・岩盤条件の差異を判断する基準の設定

また、設計変更協議事項については、発注者と受注者の間に入り公正中立にジャッジメントできる第三者機関を設け、設計変更の是非について検討し結論を出すこととする。

3.2.4 リスクマネジメント手法の研究事例

地質リスクでは、リスクアセスメント（リスクの計量化など）までは比較的多くの研究があるが、リスクマネジメント（リスク管理）に関する研究は少ない。また、設計変更などによるリスク対応事例はあるが、マネジメント手法の研究といった体系的な取り組みは見あたらない。

①渡邊法美（本委員会委員長）の研究

渡邊（2004）は、従来のマネジメント手法の問題点を分析し、マネジメントプロセスに着目した新たなマネジメント手法を提案している。従来手法の問題点としては、リスク認識過程における「不確実性の見落とし」、分析手法の未整備による「精度不足」、リスクの期待値・分散などが無次元化されていて「解釈が容易でない」、主体間の分析結果のすりあわせが不十分で「リスクコミュニケーション不足」などをあげている。

新しい手法においては、リスクの不確実性をマップ化し、原因－結果事象を階層化することで一連の過程を可視化し、この体系化作業にWBS (Work Breakdown Structure) とCPM (Critical Pass Method) を適用している⁽¹²⁾。

②トンネル工事における地質リスクマネジメントに関する基礎的考察事例

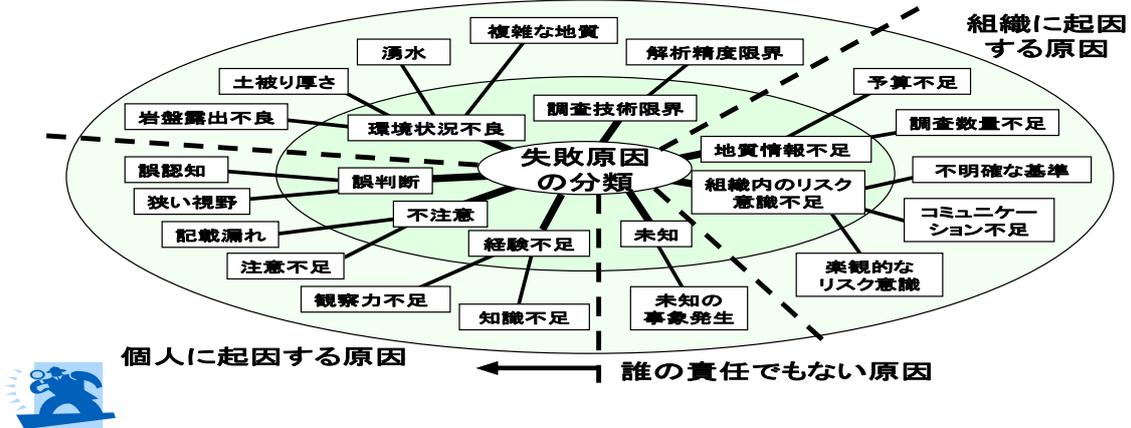
渡邊を中心とした高知工科大学のグループは、上記のマネジメントプロセスに着目した新たなマネジメント手法を、トンネル工事の地質リスクマネジメントに用いた事例を報告している。ここでは、地質リスクマネジメントの失敗事例が必ずしも生かされているとはいえない現状を、失敗の情報伝達の不具合として考え、畑村が提唱する「失敗学」に基づき、失敗の原因・行動・結果を体系的に捉える試みを行なっている。

失敗の原因については「個人に起因する原因」、「個人・組織のいずれの責任にもできない原因」、「組織に起因する原因」、「誰の責任でもない原因」の4つに分類し、それぞれの要素を階層的に視覚的に抽出・表現している。同様に、失敗行動については「人の行動」、「組織の行動」の2つに、失敗結果については「施工中に起こる結果」、「外部への影響を伴う結果」、「組織への結果」、「社会への結果」の4つに分類し表現している（次ページ参照）。

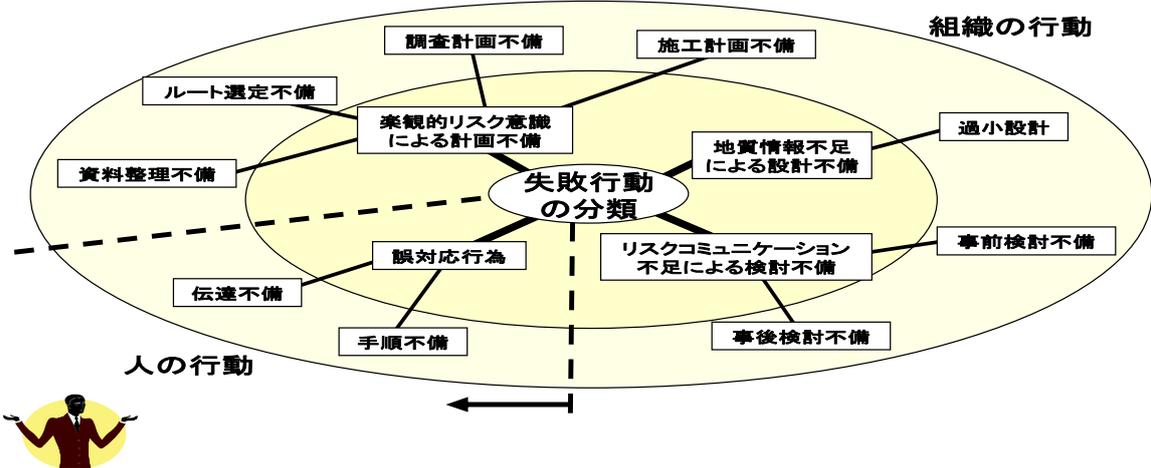
失敗原因の分類



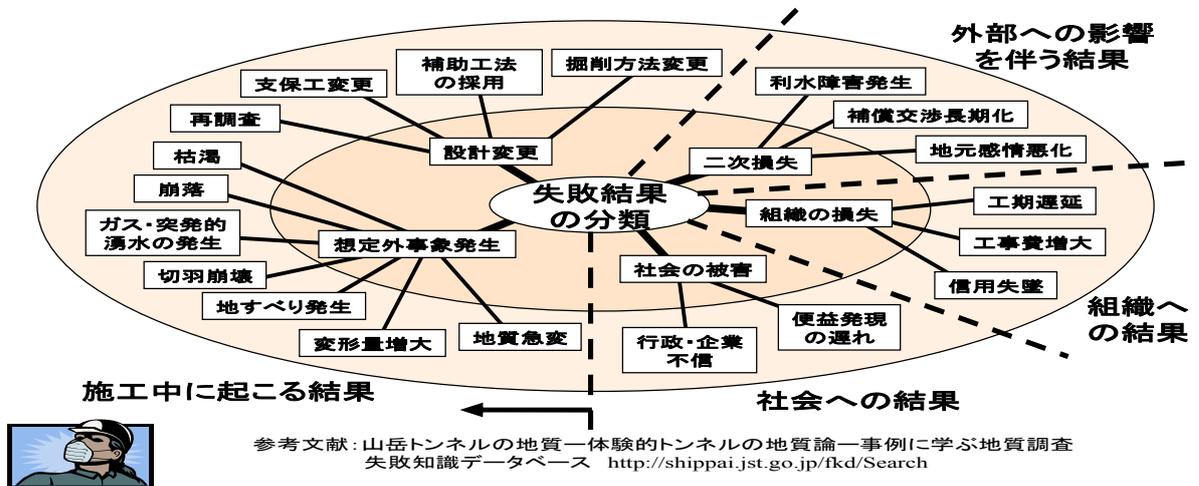
個人・組織のいずれの責任にもできない原因



失敗行動の分類



失敗結果の分類



参考文献: 山岳トンネルの地質一体験的トンネルの地質論—事例に学ぶ地質調査失敗知識データベース <http://shippai.jst.go.jp/fkd/Search>

出展: 「地質リスクに関する調査・研究」成果普及講習会 (H.19.3.16) (渡邊法美) より抜粋

3.3 リスク及び効果の計量化

3.3.1 地質調査不足による道路盛土の軟弱地盤対策増大事例

本事例は、脚注に示す参考資料からリスク事象を引用したものであり、(2)リスク管理（対策）のイメージ、(3)リスクの計量化については、本報告書で検討した内容である。

(1)リスク事象の概要¹

道路新設に伴い、おおむね 100m の間隔で調査ボーリングを実施し、軟弱地盤の分布を確認していた。設計では盛土のすべりに対する安定が確保できないため、沖積層粘性土層を対象とした地盤改良（サトコンパクションパイル工法;SCP）を計画していた。

施工は、上記の軟弱地盤対策設計に基づいて発注され、工事が着手されたが、調査ボーリングを実施した地点間の表層部に予想されなかった超軟弱層が存在し施工中の重機が進入不能となった。この超軟弱層の分布域と性状をあらためて調査したところ、この超軟弱層分布域はかつて池であったことがわかった。工事では、当初設計の地盤改良(SCP)で盛土の安定が確保できないことが明らかとなったため、対策工の修正設計を実施して施工を行った。この結果、工期が約3ヶ月程度遅延した。

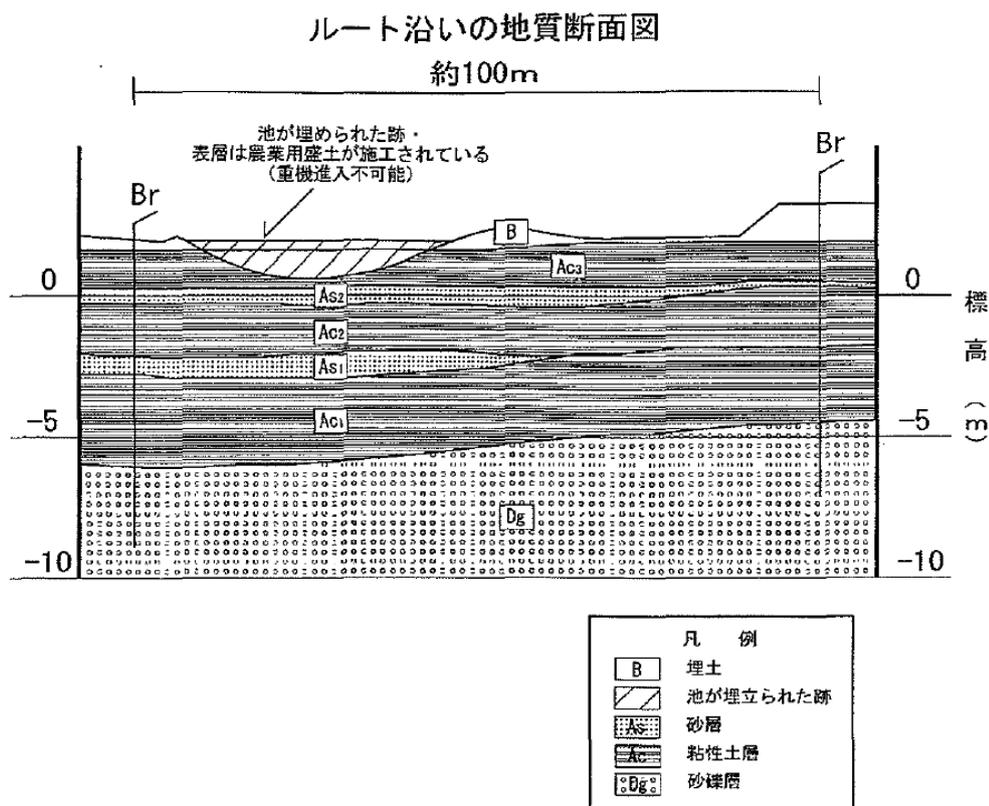


図-3.1 道路予定区間の地質断面図

¹平成 17 年度品質セミナー 成果品に関するエラーの事例集, (社) 建設コンサルタンツ協会技術委員会/照査に関する特別WG, 平成 17 年 10 月, (社) 建設コンサルタンツ協会発行, PP.377~378

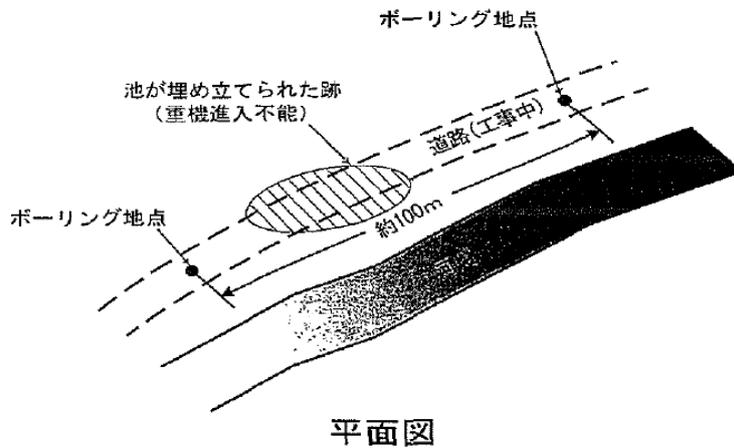


図-3.2 ボーリング地点と超軟弱層が現れた区域

(2) リスク管理（対策）のイメージ

この事例は、地質調査の実施者が機械的に調査ボーリングを約 100m ごとに実施し、路線全般の地形条件などを考慮した地質解釈を行わなかった事が原因である。また、設計者も地質調査結果を鵜呑みにして現地踏査などの照査を行わなかったことが超軟弱層の発見を見逃した原因の一つとして考えられる。

調査～設計～工事のプロセスの中で、地質に関する潜在リスクを監視できる専門家が発注者側にいて、かつ、一連の事業の流れを把握していればこのリスク事象は回避できたものと考えられる。

(3) リスクの計量化

超軟弱層に対する対策工は、当初から超軟弱層が発見されていた場合でもかかるべき工事費用である。しかし、修正設計費用や修正設計が終了するまでの待機による工事の遅延、設計変更に伴う事務手続き費用等が増大したと考えられる。これらの費用は引用資料に記載されていないが数百万円程度の費用が増大したと考えることができる。

① 当初計画から増加したと思われる概算費用

超軟弱層の出現区間長：約 40m（路線幅約 10m）

予期せぬ超軟弱層の層厚：約 2m

想定される追加対策費用：浅層地盤改良

概算追加対策費用： $800 \text{ m}^2 \times 1 \text{ 万円} = 800 \text{ 万円程度}$

調査、設計費用：約 300 万円

② 調査及び修正設計に要した工事の手待ちによるコストタイム 直接費用として算定できない。

3.3.2 地質調査不足により橋梁下部工形式が大幅に変更となった事例

本事例は、脚注に示す参考資料からリスク事象を引用したものであり、(2)リスク管理 (対策) のイメージ、(3)リスクの計量化については、本報告書で検討した内容である。

(1) リスク事象の概要²

道路橋の建設にあたって 1 箇所の調査ボーリングが実施され、この調査結果をもとに橋梁下部工の詳細設計が行われた。

当初の調査結果に基づく地質想定断面図を図-3.3 に示すが、1 箇所のみの調査にもかかわらず、支持層上面や沖積層下面は傾斜を持って描かれている。

設計では、この地質想定断面図をもとに下部工の詳細設計を行った。

工事段階になり、追加ボーリング調査を行ったところ、図-3.4 に示すように支持層上面の分布深度が大幅に異なることが判明し、下部工の修正設計が行われた。

追加調査を行わずに工事に着手したら大変な手戻りが生じたと予想される事例である。

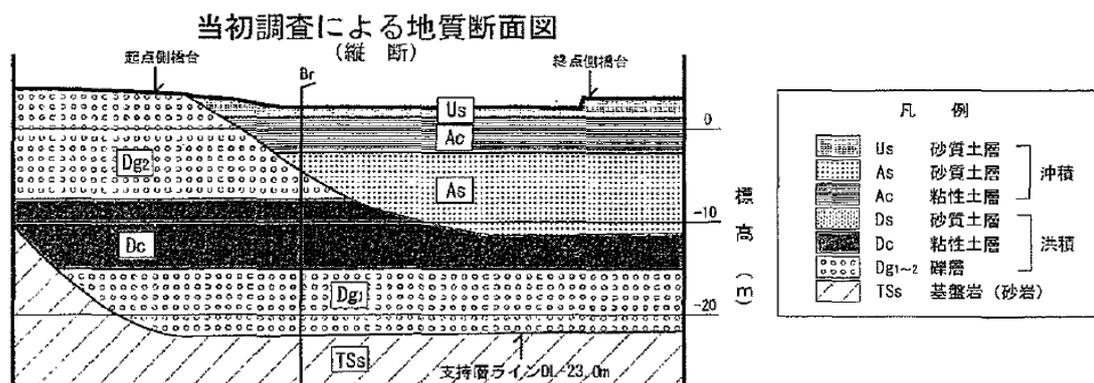


図-3.3 1 箇所のボーリング調査結果で作成された想定地質断面図

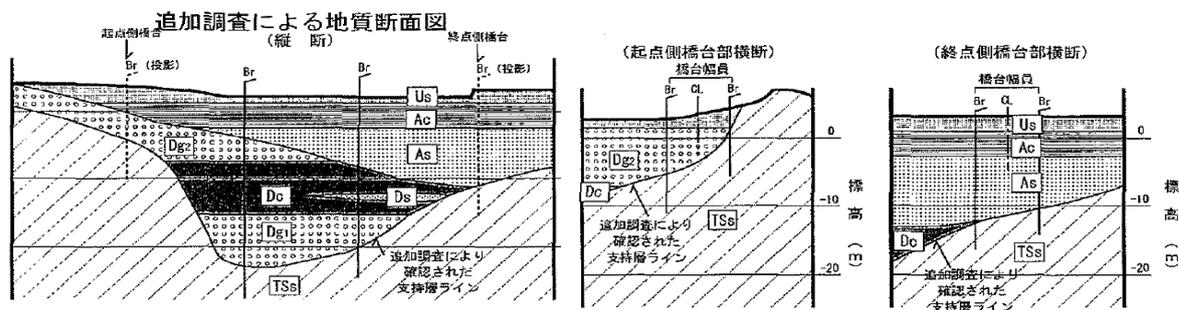


図-3.4 追加調査で明らかにされた地質断面図

²平成 17 年度品質セミナー 成果品に関するエラーの事例集, (社) 建設コンサルタンツ協会技術委員会/照査に関する特別WG, 平成 17 年 10 月, (社) 建設コンサルタンツ協会発行, PP.407~408

(2) リスク管理（対策）のイメージ

調査者は、周辺の地形や既往資料などを参考にして図-3.3 に示す地質想定断面図をしたものと想定される。おそらく調査者は、この地質想定断面図を模式断面図的な間隔で作成したのであろうが、設計者は精度の高い地質断面図と解釈して詳細設計を進めたと考えられる。このため、設計者は、何の疑問もなく地質断面図を信用してしまった。

地質断面図の作成根拠や精度に関する情報が、調査者から設計者へ十分に伝達されなかった事例であり、結果的に、地質に関するリスクを工事段階に先送りした事例でもある。

事業主体である発注者側に、地質の専門家がアドバイザーとして情報を伝達すればこのような間違いは生じなかったと考えられる。また、当初の地質調査発注時にも地質の専門家が発注者側にいれば、このような複雑な地質が予想される場所で 1 箇所だけの調査ボーリングで詳細設計を進める事はなかったと思われる。

(3) リスクの計量化

地質条件設定の間違いによる当初設計費用がまったく無駄になった。

また、工事の遅延、工事の段取り替えに伴う損失により多大な損失が想定される。

損失額は、推定ではあるが数百万円～数千万円に達していると想定される。

3.3.3 地盤強度の判断を誤って盛土のすべり破壊を生じた事例

本事例は、脚注に示す参考資料からリスク事象を引用したものであり、(2) リスク管理（対策）のイメージ、(3) リスクの計量化については、本報告書で検討した内容である。

(1) リスク事象の概要³

河川の橋梁新設計画のために事前の地質調査が左右両岸で実施された。

橋梁計画は、河川の桁下余裕高を確保するため、現況の護岸高より 3m 程度高い位置で計画されていた。設計の課題は、橋梁下部工の支持層位置把握及び地盤強度把握と並んで、護岸の嵩上げ盛土の安定確保も重要であった。

調査の結果、計画地には軟弱層が 10m 程度堆積する事が確認されたが、軟弱層の強度は左右岸で大きく異なり、右岸が小さく、左岸が大きな結果が得られた。

設計では、当初、強度の小さな右岸の値を設計採用値として両岸で地盤改良による対策が必要であるとの提案を行っていたが、発注者との協議の中で強度の大きな左岸側の地盤改良が許可されず、強度が大きな左岸側での再調査を行って結論を出すことになった。

左岸側での再調査の結果、当初調査結果と同様の強度が得られたため、最終的な設計では、左岸側の地盤改良を行わない方針となった。

設計が終了し、工事を開始したところ、取り付け盛土が完了した段階で左岸側の護岸が

³平成 17 年度品質セミナー 成果品に関するエラーの事例集、(社) 建設コンサルタンツ協会技術委員会/照査に関する特別WG, 平成 17 年 10 月, (社) 建設コンサルタンツ協会発行, PP.414～415

すべり破壊を生じた。

すべり破壊の原因は、図-3.5に示すように、左岸側の上部軟弱層は過去の盛土によって強度増加していたが、軟弱層下部は強度増加していなかったためであった。

課題設計では、このような事象は顕在化しないが、経済的にぎりぎりの設計を行う場合には、極めて高い技術力が必要とされることを示す事例である。

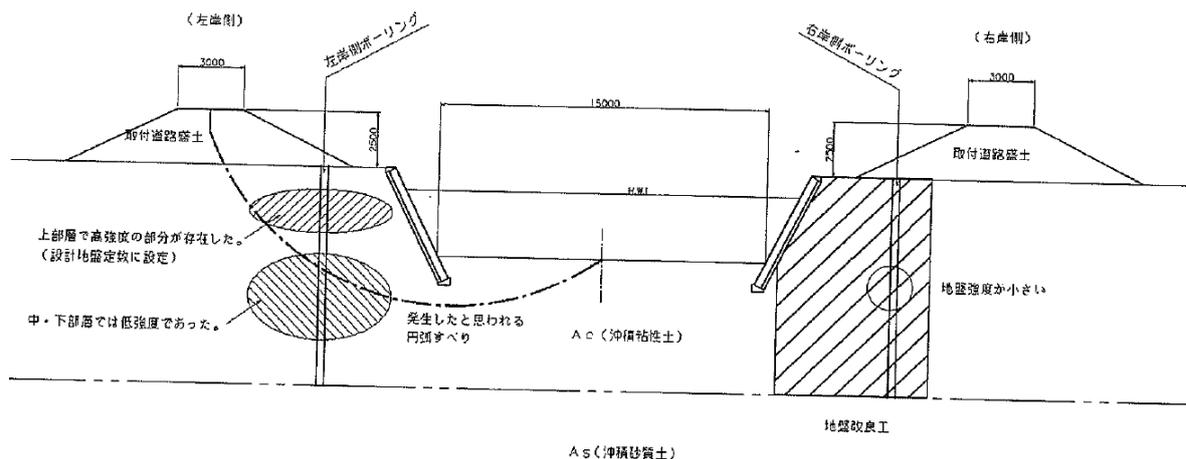


図-3.5 すべり破壊を生じた河川の地質横断面図

(2) リスク管理 (対策) のイメージ

軟弱な粘性土の強度は、盛土や地下水位低下などの応力履歴がない限り、限られた区域内で大きな差は存在しない。この事例では、過去に盛土が行われて軟弱層が強度増加した可能性をまったく予測できなかったために、軟弱層下部の強度把握を怠りすべり破壊を生じたものである。

また、設計段階で左右岸の地盤強度の違いに違和感を持ち、発注者と協議して確認調査をしているにもかかわらず、地盤強度が異なる原因を把握できず単純なデータ比較で地盤強度を過大に評価してしまった。

再調査時に、粘性土の強度が高い原因を究明できる内容の調査を計画して実施すればこのような事故は起こらなかったと考えられる。

設計者と発注者の協議の場に地質の専門家が同席して、適切なアドバイスを行っていればこのような事故は起きなかったと考えられる。

(3) リスクの計量化

この事例では、①すべり破壊による対策費用の増大、②追加調査費用・修正設計費用の増額、+工事の手待ちによるコストタイムの損失が生じたと予想される。

すべり破壊を生じた軟弱層は、強度が低下するため強度回復のための地盤改良が必要になったと想定され、地盤改良の規模は当初から実施した場合に比較して相当大きくなることが考えられる。また、崩壊した護岸の復旧費用も大きく、対策・復旧・再盛土工事で数千万円の工事費が増大したと想定される。

さらに、対策設計のための追加調査費用・修正設計費用の増額、+工事の手待ちによるコストタイムの損失の多大な額であったと想定される。

3.3.4 トンネルにおける調査不足の事例

(1) リスク事象の概要

トンネル工事中に内空断面の変状が生じ対策が必要となった事例である。

図-3.6 に地質断面と、設計時ならびに施工時の地山区分を示す。砂岩の地山におけるトンネルの地質調査において、縦断方向の弾性波探査を実施したところ、低速度帯や砂岩・頁岩互層などの弱層部の存在が推測された。そのため、坑口から山頂付近までの間に横断方向の弾性波探査を4側線追加することを提案したが、甲乙協議の結果、予算を含めた総合的な判断により提案した数量の半分の2側線のみを実施することになった。

その結果、弱層の分布確認が不十分であったため、施工時において、砂岩と想定した区間に頁岩が現れ、想定と大きく違った地質に施工が後手にまわってしまった。特に図中で変状ありと表示した区間は内空変位が許容値を超えたため、縫い返し（支保工や吹付けコンクリートを取り壊し再度所定の位置に支保工を設置して吹付けコンクリートやロックボルトを施工する）が必要となった。

(2) リスク管理（対策）のイメージ

このケースの場合、以下のリスク管理が想定される。

- ① 調査段階における必要十分な地質調査
- ② 施工時における変位観測結果の的確な判断と事前変状予測、切羽観察結果による地質変化予測等
- ③ 各プロセスにおける地質技術顧問の関与

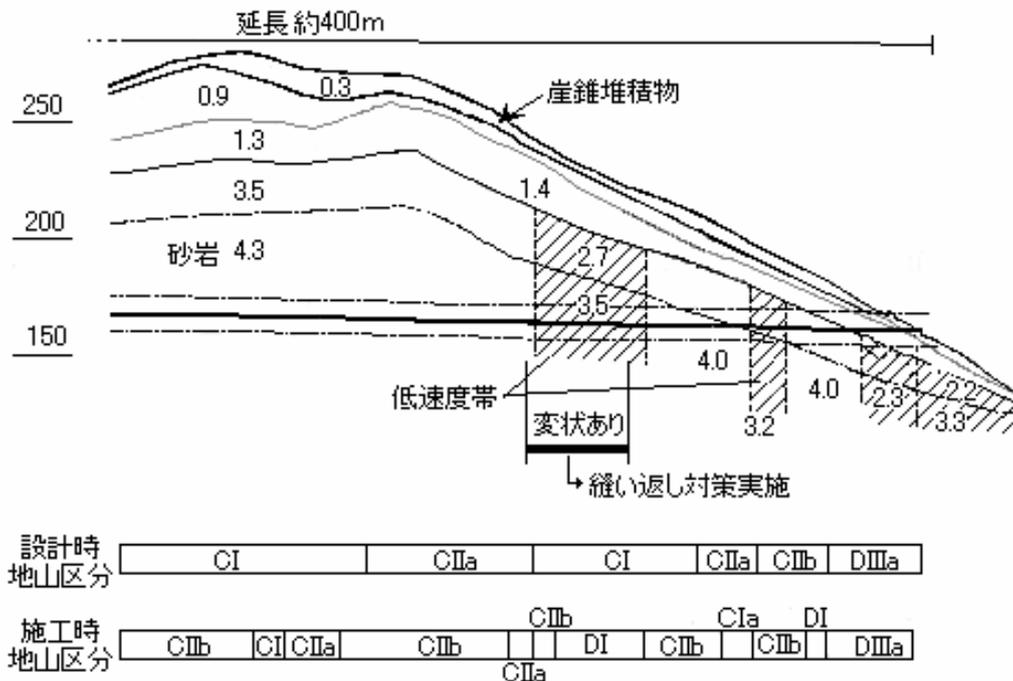


図-3.6 内空断面変状が生じた事例

(3) リスクの計量化

上記①を対象とした場合の地質リスク＝事業リスクを試算してみる。

まず、このリスクを、(本工事の実際の建設コスト)－(初期地質調査を十分に行った場合の建設コスト)とする。また、削減された地質調査費(弾性波探査2側線)が行われた場合に地質状況が十分把握できた(地山区分に大きな差がない)と仮定すると、地質が十分把握できなかったための追加対策工事費と削減された地質調査費の差が、地質調査を十分行うことにより対策工事費を減ずることができるコスト削減効果となる。以下、この見方で削減効果を試算してみる。

- ・削減された地質調査費(弾性波探査)：40万×2本＝80万円
- ・変状部対策費(縫い返し工事費)：60万×25m＝1,500万円
- ・トラブルに伴う手戻り費用：要検討→今回は省略
- ・弾性波探査を行った場合の工事費用：地質区分がC1からD1へ変更になることによる支保パターン変更増分：10万×25m＝250万円

以上より、当初から十分な地質調査が行われていた場合の節減費用(手戻り費用は含まず)は次のように試算される。

$$1,500 - (80 + 250) = 1,170 \text{ 万円 (直工)}$$

このように、複雑な地質条件において的確な地質調査を行えば大きなコストダウンに繋がる可能性があることが分る。また、このような効果は計画段階、設計段階あるいは施工段階において発注者が地質技術顧問を関与させることによっても、施工時の過度な設計変更増をある程度防止できるものと考えられる。

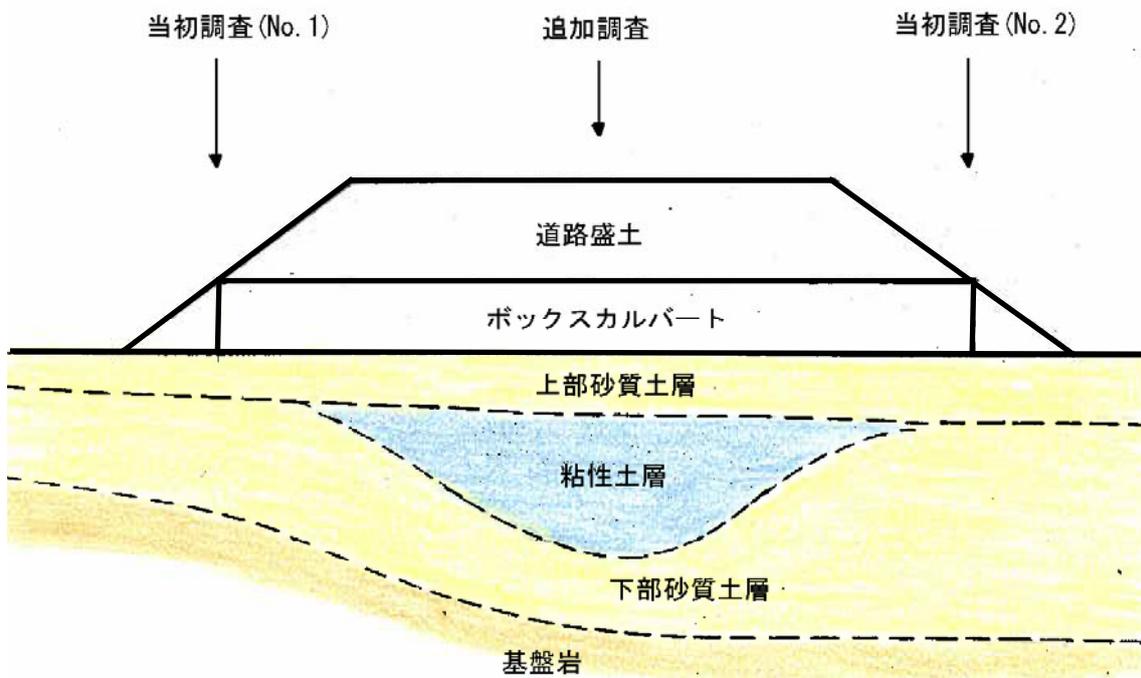
3.3.5 調査不足によりボックスカルバートが破損した事例

(1) リスク事象の概要

新設道路盛土を横断するボックスカルバート(3.0m×3.0m×30m)が、盛土荷重による基礎地盤の沈下によって破損したため再工事が必要となり、工事費および調査費が増加するとともに工期延長が必要になった事例である。

事前調査ではボックスの両端部においてボーリング調査が行われ、当地区の地層状態は地表面から5～10mの層厚で砂質土が堆積しており、その下部に基盤岩が出現することが確認された。この調査結果を基に、ボックスカルバートの基礎地盤としては支持力や沈下などの問題はないものと判断され、直接基礎で計画された。

しかし、ボックスカルバート構築後、盛土を施工したところ、ボックス中央部を中心に沈下が発生し、それによってボックスが破損して再工事が必要となった。原因究明のため、ボックス中央部で追加調査を行ったところ、両端部では出現しなかった軟弱粘土層が確認され、これが沈下の原因と推測された。



断面模式図

(2) リスク管理（対策）のイメージ

当該事例では、以下のリスク管理が想定される。

- ① 調査段階での十分な地質調査（ボーリング、物理・強度試験）
- ② 設計時の的確な解析（軟弱地盤の分布把握と沈下解析）、対策工法の設計
- ③ 施工時の情報化施工、対策工法の妥当性確認（挙動計測による変状予測、等）
- ④ 各プロセスにおける地質技術顧問の関与

一般に、この規模の構造物では両端部で調査を行っていただければ必ずしも調査不足とは言い切れないが、周辺区域が複雑な地形であることを考慮に入れて、最も大きな上載荷重を受ける中央部における地層状態を把握するように計画していただければ、このような事態は防げていたと考えられる。また、対策工法としても比較的安価で施工も容易なプレロード盛土工法で対応できていた可能性が高い。

(3) リスクの計量化

この事例のリスクを（調査設計・工事の実際の建設コスト）－（初期に適切な地質調査・解析を行った場合の建設コスト）として試算してみる

- ① 調査設計・工事の実際の建設コスト（実際の追加調査費・工事費）
 - A. 追加工事費（ボックスカルバート再設置費）：3,600 万円
 - B. 追加調査・設計費：250 万円
- ② 初期に適切な地質調査・解析を行った場合の建設コスト（想定される増加費用）

想定される対策工法：プレロード盛土工法

 - C. 調査・解析費：300 万円
 - D. 対策工法設計：200 万円
 - E. 追加工事費（プレロード盛土工法）：600 万円

$$(A+B)-(C+D+E)=(3,850 \text{ 万円})-(1,100 \text{ 万円})=2,750 \text{ 万円}$$

事前に適切な地質調査・解析・設計を行っていただければ、2、700 万円程度のコスト削減が可能であったと想定される。また、追加調査・設計に伴う工事の手待ちや再設置などの時間的ロスは直接コストに換算できないが、これらも勘案すれば上記以上の効果があったものと推測される。

3.3.6 トンネル坑口部の斜面崩壊の危険性

(1) リスク事象の概要

バイパス道路新設に伴うトンネル工事において、起点側坑口は計画段階では AGF 工法のみにより掘進することとなっており、垂直縫地ボルトは計画されていなかった。

トンネル起点側坑口の自然斜面は、やや窪んだ凹型の地形をなし、トンネルルート上方の斜面には拳大～人頭大の角礫を主とする崖錐堆積物が分布している。上方斜面の岩盤崩壊で形成されたものと推定されるが、ガレ場状の極めてルーズな状態となっていた。これに対し、設計段階で垂直縫地ボルトによる地山の崩壊防止策がとられた。

実際の施工段階では、坑口付近の崖錐堆積物が径 3cm～10cm の礫であり、トンネル天端や肩付近では空隙が多かったため、AGF のシリカレジンの効果も十分でなかった（写真 2.1 参照）。そのため、充填式のフォアポーリング（D25 L=3.0m および L=4.0m）を当初設計より施工範囲を広げて、斜面崩壊のリスクを回避した。

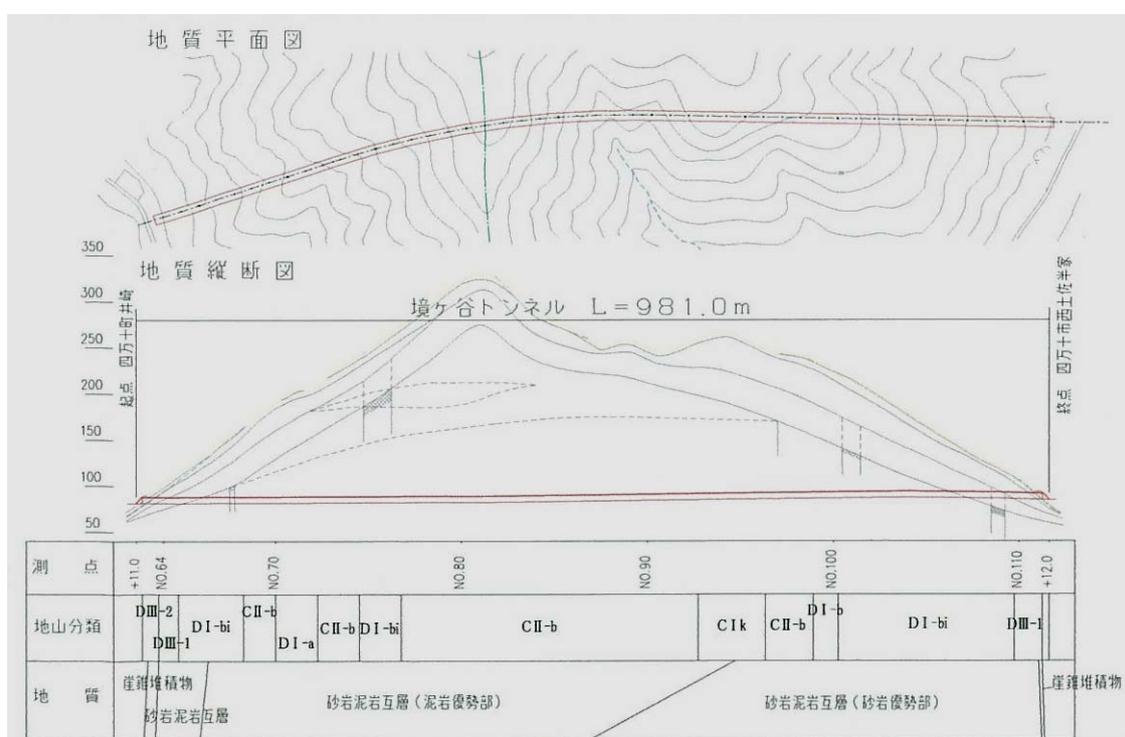


図-3.7 地質平面図および地質縦断図

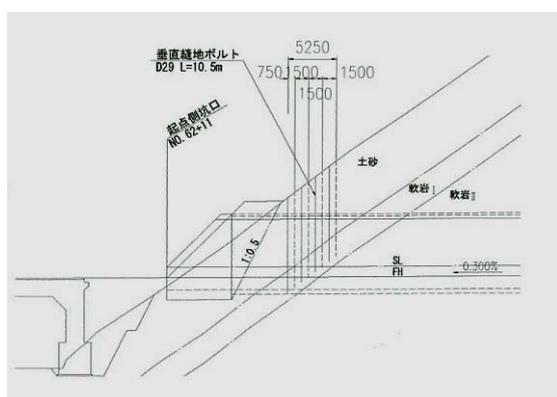


図-3.8 垂直縫地施工範囲



写真-3.1 AGF 改良状況

(2)リスク管理（対策）のイメージ

本事例では、水平ボーリングにより坑口の崖錐堆積物がゆるいことを認識していたため、計画段階から AGF 工法を選定していた。ところが、崖錐堆積物の安定度は、結果的には予想以上に悪く、（詳細）設計段階において地質技術者が現地踏査を行って崖錐堆積物のすべりの危険性を認識し、対策工として垂直縫地を選定したことよりの確な設計となった。

このように計画、概略設計時に地質技術者が関与することにより、潜在していた地質リスクの顕在化を回避することが出来た。

(3)リスクの計量化

垂直縫地を事前に行うことによるコスト増加と、垂直縫地を行わずリスクが顕在化した（斜面崩壊に伴い AGF 工法が機能しなかった）場合の新規対策工によりリスクを計量化する。

1)垂直縫地によるコスト増額

¥9,814,200

2)充填式フォアポーリングの当初設計からの増加分

500 本×¥6,000/本 = ¥3,000,000 1) と 2)をあわせておよそ 1,300 万円)

3)斜面崩壊対策を事後に行った場合のコスト（本検討にて試算）

①斜面崩壊対策・・・受圧板アンカー工による対策

4 段×8 列×¥400,000 = ¥12,800,000

②注入による地山の改良（当初設計の充填式フォアポーリングで不足する分の追加）

注入によるコスト（改良区間 10m×トンネル周囲 2m 程度の固化で試算）

10m×2m×20m(トンネル周長)×1.2(ロス率) = 480m³

480m³×¥100,000/m³ = ¥48,000,000

①+② = ¥60,800,000（およそ 6,100 万円）

したがって、リスクが顕在化した場合には（6,100 万円－1,300 万円＝）4,800 万円の事業費増額となる。

3.3.7 トンネル坑口部の深礎杭の必要性

(1) リスク事象の概要

バイパス道路新設に伴うトンネル工事において、坑口でのボーリング調査より崖錐堆積物が厚くルーズであることが推定されたため、深礎杭の設置が計画されていた。

調査段階において垂直ボーリングは行われていたが、崖錐堆積物の支持力を確認するための試験は行われていなかった。

設計段階においては、崖錐堆積物の支持力は推定値で検討し、深礎杭が必要と判断された。

施工段階においては、支持力を確認するための平板載荷試験を実施した結果、必要な支持力が確保出来ると判断し、深礎杭は不要とした。

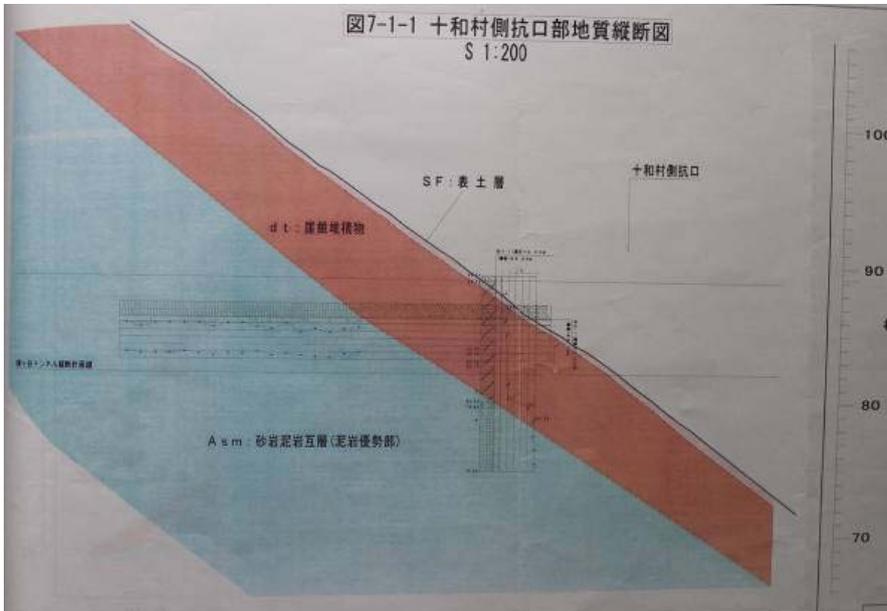


図-3.9 起点側坑口地質縦断図



写真-3.2 BH-1 コア写真

(2) リスク管理（対策）のイメージ

本事例では、調査段階での地質調査において必ずしも十分な試験が行われていなかった。設計者はそのような地質リスクを指摘することなく設計を行ったが、発注者サイドの指摘により支持力を試験により確認して施工するということが付帯条件として明記され、リスクコミュニケーションがなされた。結果的には、試験により過大な設計であることが確認され、事業費は縮減された。このように本事例は、地質的な不確実性を施工前の試験によ

って確認するというリスク管理がなされた事例である。

(3) リスクの計量化

深礎杭を施工しなかったことによる減額分と工期短縮に伴う人件費をあわせた金額が、地質リスクの顕在化を回避した地質技術者の価値であると考えられる。

- 1) 深礎杭 (φ2000、10.5m) ×2 本の直工費 = 1,500 万円
- 2) 工期短縮に伴う人件費 (現場代理人、主任技術者 2 人分) = 1,500 万円
- 3) 平板載荷試験費 1 箇所 16 万円

$$1)+2)-3) = 3,000 \text{ 万円}$$

なお、本件では工期が短縮されたことにより当初の開通時期に間に合わせることができたため、施工者は関係者から厚い信頼が得られている。こうした信頼の価値は”priceless”であるといえる。

3.3.8 埋没地形による建築構造物の基礎形式が変更した事例

(1) リスク事象の概要

図-3.10 に示すように、某発注者において地域のアメニティ確保のための建築構造物を計画し、事前に計画位置で2箇所のボーリング調査を実施した。その後、事業を進める段階で平面位置が大幅に変更となったが、変更した計画構造物位置でボーリングを実施することなく、設計から施工へと工程が進んだ。この時点では、支持層となる岩盤は計画床付け深度付近に分布しているものと想定され、基礎形式として直接基礎が採用されていた。

基礎工事の段階で計画深度まで掘削したが支持層が出現せず、その後急遽ボーリング調査を実施したところ、埋没谷の発達を確認された。埋没谷は10~20mの深さに達しており、基礎形式を直接基礎から杭基礎へ変更しなければならなくなった事例である。

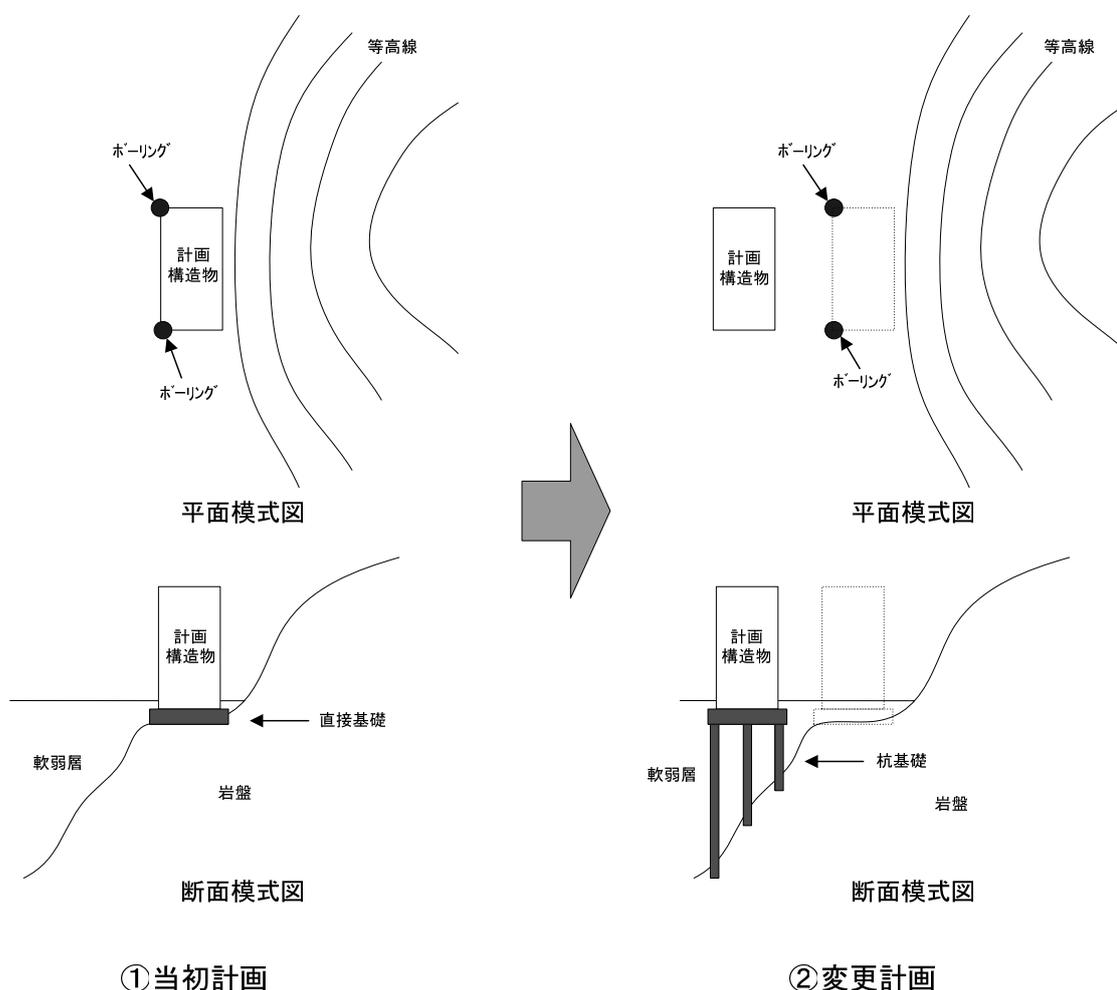


図-3.10 当初計画と変更計画における基礎形式変更の模式図

(2) リスク管理（対策）のイメージ

図-3.11 に本事例と対策イメージの流れを示すが、計画変更が発生した時点で適切な位置

でボーリング調査を実施していれば防げた事例であり、事業の進捗において地質技術者の関与が適切に展開できなかつたことが判断を誤らせたものと考えられる。さらに、発注者側に地質技術者が存在し構想段階から一貫して事業に関与していれば、さらに効率の良い事業展開が図れた可能性がある。

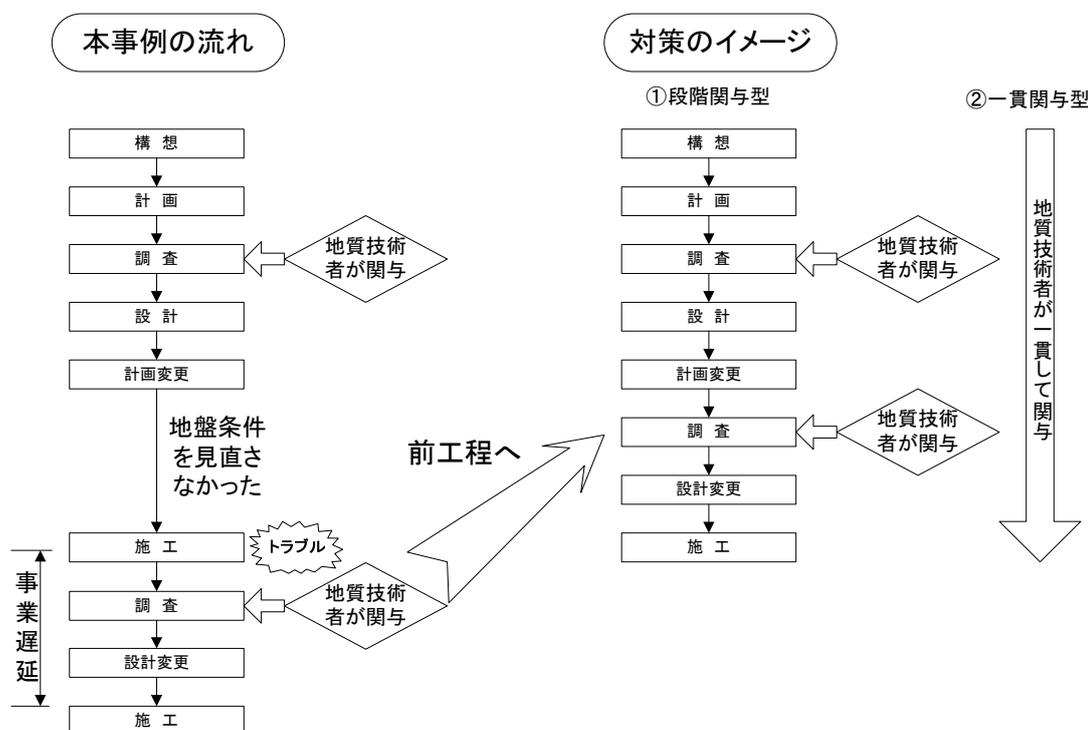


図-3.11 本事例の流れと対策イメージの流れ図

(3) リスクの計量化

本事例で顕在化した費用は、ボーリング調査費用と設計変更費用及び杭工事費用であるが、当初から地盤条件が明確であれば必要となる費用である。ただし、事業遅延に伴う時間コストやこの処理に関わった人件費などについては、増大したコストであるが計量は困難である。なお、市民からの信頼が低下したことは言うまでもない。

- ・ ボーリング調査費用：平均調査深度 20m * 4 箇所 * 2 万円 = 160 万円
- ・ 設計変更費用：約 140 万円
- ・ 杭工事費用：約 1,800 万円

合計 2,100 万円 + 時間コスト + 人件費

3.3.9 海外における調査事例(主として山岳トンネル事例)

Google Scholar において、キーワードを「Geological risk management、Tunnelling、 filetype : pdf」として検索すると約 300 件の事例がヒットする。これまで WG へ提出した論文要約資料を含め、現段階で整理し、とりまとめたものの概要を紹介する。

なお、地質リスクという用語は非常に多くの分野で扱われているが、ここでは山岳トンネルの事例を主にして、それぞれの事例におけるリスク計量化手法にも言及しながら説明する。

取り扱ったのは、欧州(スイス、フランス、イタリア、スウェーデン)、アジア(ネパール、マレーシア)および北米(カナダ、アメリカ)地域の事例である。欧米においては、事前に地質リスク情報を提示することで、リスクコミュニケーションを図っている事例が多い。

以下、概要について表-3.1 に示す。

表-3.1 諸外国における地質リスク解析・評価事例

地域	トンネル名	地質リスク	リスク計量化手法	備考(文献)
欧州	Gotthard Basis Tunnel (L=57 km : Railway T)	大土被り、破砕帯、高圧湧水、山はね、高温環境 etc.	<ul style="list-style-type: none"> ・マルコフ連鎖モンテカルロシミュレーションを利用した解析(DAT)により、①未掘削部のより高い精度での地質・岩盤状況予測 ②建設工程、資源配分、財務計画の改善を行っている。 ・リスクマトリックスを用いて、未掘削の破砕帯の性状を検討している。 ・調査の進展に伴う地質リスク(Geologische risiko)の年次変化を検討している。 	C.Hass & H.Einstein (2002) ¹⁾ H.Ehrbar & S.Keller (2006) ²⁾ A.Sieber & P.Zbinden (2004) ³⁾
	LotschbergBasis Tunnel (L=34.6km : Railway T)	大土被り、破砕帯、高圧湧水、山はね、高温環境 etc.	・定量的な解析ではないが、地質調査結果に基づき、楽観的予測と悲観的予測の2種類の異なる地質断面図を作成している。	P.Kellerhals (1992) ⁴⁾
	Maurienne-Ambin Base Tunnel (L=52.6km : Railway T)	大土被り、破砕帯、高圧湧水、高温環境 etc.	・改良した DAT システムを用いて、工程計画、コスト計画などの検討を行っている。	P.Grasso et al. (2002) ⁵⁾

欧 州	ス ウ エ ー デ ン	Halland Ridge Tunnel (L=8.6km : Railway T)	幅の広い破砕帯、強風化 岩盤、湧水 etc.	・多項式近似(テイラー展開)を用いた モンテカルロシミュレーション手法 (Successive Method)を使い、建設工事 期間とその発生確率、建設コストおよ び掘削工法などの比較検討を行って いる。本手法はスイスの Grauholz Tunnel(L=5.5km)でも利用されてい る。	T. Isaksson (2002) ⁶⁾ T. Isaksson & H.Stille (2005) ⁷⁾
ア ジ ア	ネ パ ー ル	Khimti Headrace Tunnel (L=7.9km : Water-way T) Modi Khola Headrace Tunnel (L=1.5km : Water-way T)	幅の広い破砕帯・強風化 岩盤(weakness zone)、 河谷横断部での湧水、岩 盤崩落 etc.	・モンテカルロシミュレーション手法 を改良したラテンハイパーキュー ブ法を用いた、地質の不確実性を考慮 した定量的なリスク分析(@RISK 分 析)を行っている。 ・岩盤工学の観点から、RQD、Q-value などについて、事前段階の予測と実績 とについて、発生確率を求め(PDF)、 @リスク値で評価している。	K.Pantheni (2006) ⁸⁾
	マ レ ー シ ア	Penchala Tunnel (L=0.7km : Highway T)	風化・破砕質岩盤、岩盤 強度 etc.	・岩盤工学の観点から、Q-value、GSI について、ラテンハイパーキューブ 法を用い、地山等級ごとの確率を求 め、 設計に反映させている。	Grasso et al. (2004) ⁹⁾
北 米	カ ナ ダ	Shappard Tunnel (L=1480m : Subway T)	氷河起源の堆積物(厚さ、 拡がり、強度、圧縮性、 透水性)、地下水汚染物質 移動状況、陥没孔の予見 etc.	・プロジェクト評価としての設計変更 要求について、 Boring length ratio (B/T)という指標を用いて検討してい る。また、設計変更の確率については、 超過確率曲線により考察している。 ・ B/T=0.5~1.5 の間にトンネル掘削プ ロジェクトのための調査成果の最適 なレベルが対応するとしている。	J.Westland et al. (1998) ¹⁰⁾
	ア メ リ カ	US National Research Council(1984) による地下研究プロジェク ト(84 ケース)		・カナダと同様、B/Tにより工事完成 費用に対する請負者の入札率および 設計変更要求についての比率につい て考察している。 ・ B/T>0.6 では、設計変更はほとんど なく、クレーンも縮小する。	Site investi- gation Steering Group (1993) ¹¹⁾

地質リスクの計量化手法について、方法論的なまとめは3.4.1で行うこととし、ここでは、DAT、リスクマトリックス評価法、楽観的/悲観的地質解釈図およびB/Tによる評価法について説明する。

(1) DAT (Decision Aids Tunneling)

ヨーロッパアルプス山脈を貫く、いわゆるベーストンネルの建設においては、環境面からも、2,000mを超えるような大土被りで、かつ数十kmという長大トンネルとなるケースが多く、地質条件の良し悪しが建設コストに重要なファクターとなる。したがって、地質リスクの評価がコスト面、安全面からも非常に重要となり、未掘削地山の不確実性を確率論的に解析し、コスト、建設工程をより定量的に評価する手法としてDATが研究・開発された。

建設コスト、工期などを評価する手法としてのDATの特徴としては、

- ① 地山条件に関する部分的に明らかになっている情報と地質・地質工学的なモデルに関する不確実性とを確率論的に解釈すること。
- ② 現地調査段階でのデータ、施工段階での観察結果と予備(準備)段階でのモデルによる変化を同時に評価することにより、情報統合に関するパラメーター値を更新すること。
- ③ 代替設計手段をモデル化すること。具体的には掘削方法、進行性、掘削フェーズの数、建設コストと工期との相関図についての確率的な見積もりの作成などを行うこと。

があげられ、種々の成果が得られている(H.Einstein: 1996¹²⁾、G.Russo et al. 1997¹³⁾など)。

図-3.13 にトンネル掘削支援システムとしてのDATの解析プロセスの概要を示す。

DATでは、地山等級の組み合わせによって構成される一連の、確率的に可能な地山断面図(ground class profile: 図-3.12にGotthard Basis Tunnelの事例を示す)が作成される。

地山等級は、統計的モデルによって描かれる工期とコストとに関連する施工案(design solution)と結びつけられる。

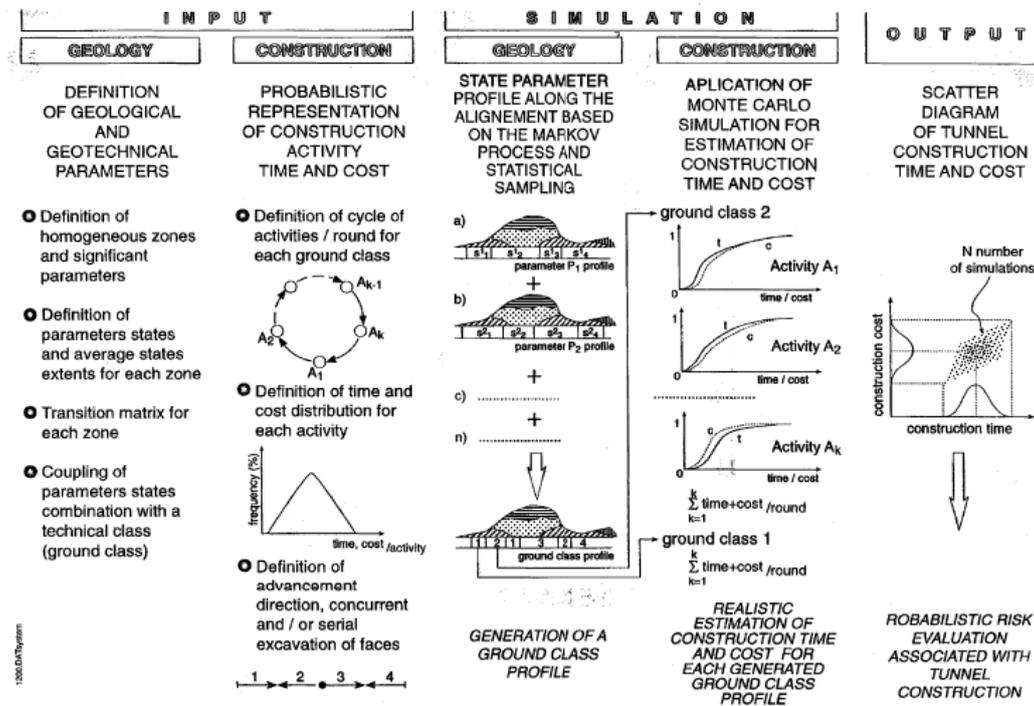


図-3.12 DATにおける解析プロセスの概要¹³⁾

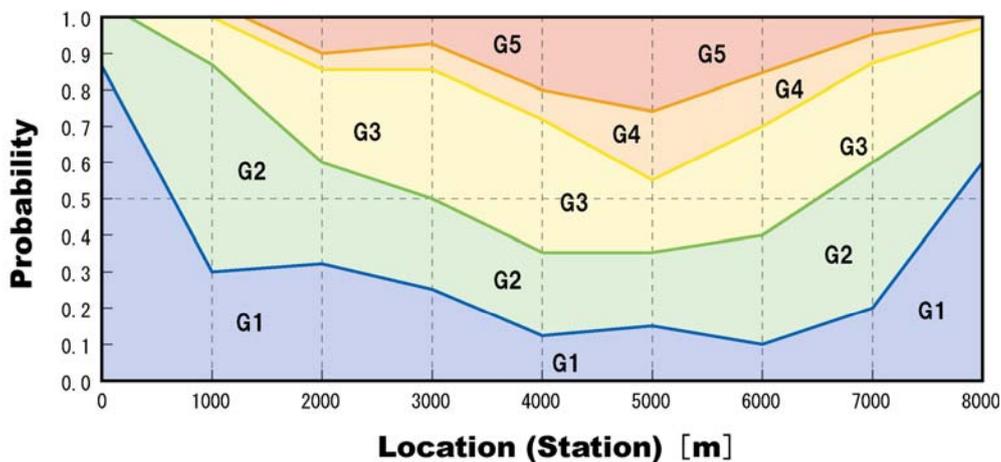


図-3.13 地山等級確率断面¹⁴⁾

路線計画段階で DAT 解析を行い、建設コストと工期との関係を検討した事例を図 3-14 に示したが、本図の左下には縦軸に建設コスト、横軸には工程をとり、4つのルートについて検討した結果を付している。また、工程計画を検討した事例(スペイン：Pajares Base Tunnel L=24.7km)を図 3-15 に示した。

他の解析手法と同様であるが、DATによりシミュレーションする場合には、できるだけ多くの地質情報が入手することが必要となる。事前段階での調査精度が低い場合には建設コストと工期との関係図のばらつきが大きくなる（図-3.16 参照）。

なお、DATシステムでは新たなデータが取得できた場合、既往データに付加することにより短時間のうちに再シミュレートすることが可能となる。あるトンネル工事区間において確率的に工程計画を行った事例を図-3.17に示す。この事例ではSTA15+000までの掘削に対しては、最大5.2年、最小2.7年を要することが分かり、工程管理におけるリスクマネージメントの基礎データとなっている。

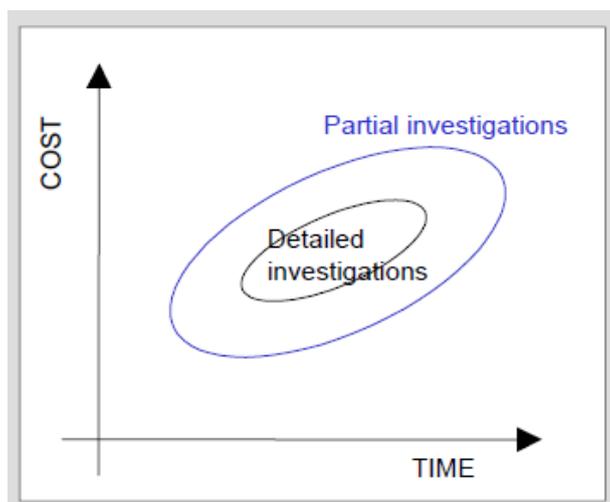


図-3.16 調査精度による建設コストと工期との関係概要図¹⁵⁾

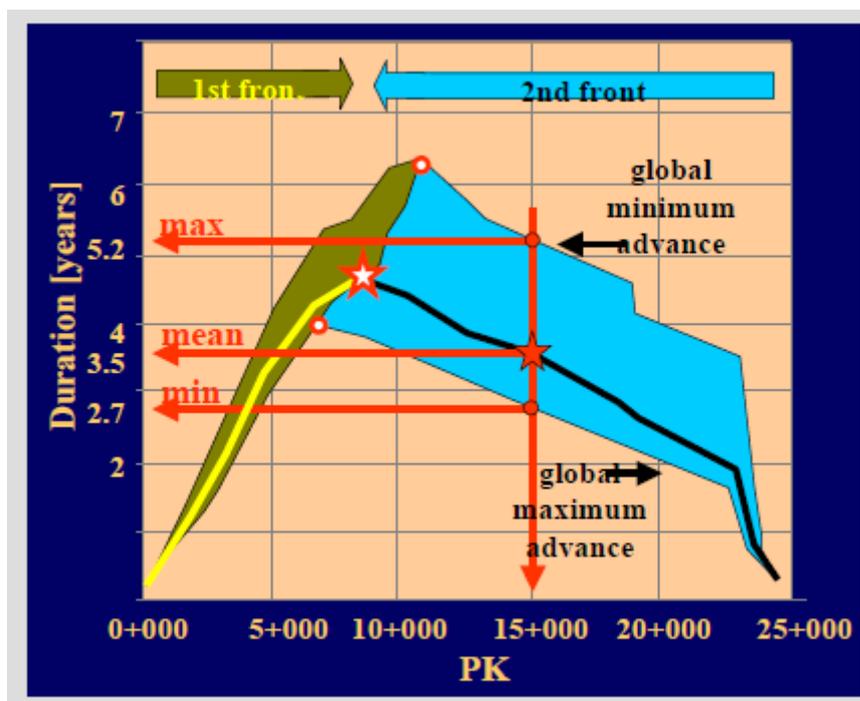


図-3.17 トンネル区間における建設工程検討事例¹⁵⁾

Gotthard Basis Tunnel について、計画段階では、200 回に亘る地質シミュレーションが行われ、各地質シミュレーションに対して 300 回の施工シミュレーションが実施された。これらの結果は図-3.18 に示す建設工事費—建設期間の相関図としてまとめられた。

この図から次のことが分かる。

- ① システム 2 (単線 T2 本+サービス T1 本案) およびシステム 3 (単線 T3 本案) の工事期間分布は同じである。
- ② 工区の数が増えると建設単価が増加する (システム 3>システム 2>システム 1)。
- ③ 建設工事期間が長くなる確率はシステム 1 の方が他のシステムに比べて大きい。

各システムについて、それぞれの点の集中による 3 つゾーンが認められる。これは超劣悪な岩盤状況を呈するピオラゾーンの影響による。一番下の帯は不良地質の延長がゼロであり、中の帯は不良地質部を 1~20m、上の帯は 50m 含んでいるとして試算している。地質の不確実性が施工速度と建設工事費に大きな影響を与える。

ただし、この手法では地質体の確定性については、仮定した上でのリスク評価を行っており、地質調査の進行度合いにおける不確実性の分析やそれらの地質的な評価までは論究していない。

これまで説明したような DAT 解析を含め総合的な検討に基づいて、ゴットアルドバシストネルの全体の構造、横断形状が最終的に決められた。

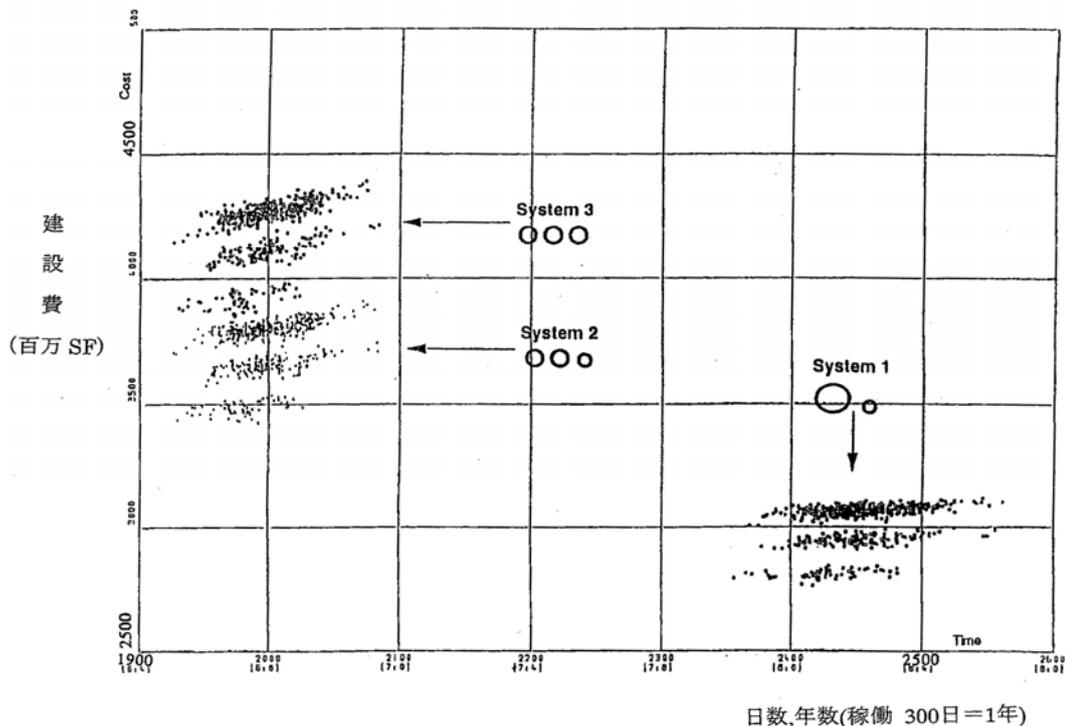


図-3.18 建設工事費と建設期間との相関図(GBT) 12)

(2) リスクマトリックス評価法

現在掘削中の世界最長となる山岳鉄道トンネル(Gotthard Basis Tunnel、L=57km)の破砕帯(Sedrun 工区幅：数百m)については、リスクマトリックス指標で評価し、前方探査を行い安全かつ経済的な施工を行っている(H.Ehrbar and S.Kellar：2006)。

表-3.2 に Sedrun 工区における地質リスクの評価事例を示す。

表-3.2 地質リスクの評価事例(GBT)¹⁶⁾ P：発生確率 E：規模 R：リスク

リスク No.	地質リスクの内容 グルーピング リスク状況	リスク評価 (Schaden)			残余リスク 評価			備考 □ 計画された調査・計測など ■ 追加された調査・計測など
		P	E	R	P	E	R	
100	トンネル地山状況							
110	地質							
113a	岩盤劣化帯(雲母類の含有状況)	3	1	3	3	1	3	□ 浮遊した雲母類の処置技術 ■ 良質な縮小案の提出
120	破砕帯							
122	顕著な破砕帯(Nalps 地区)	2	3	6	2	2	4	□ 事前調査、注入、長尺前方探査 ■ 試掘抗掘削、追加注入
1102	岩盤劣化帯(強大地圧帯：TVZ-North 地区)	3	2	6	3	3	9	□ 事前調査 ■ 追加ボーリング調査

これらのリスクをリスクの規模、発生確率を両軸にとったリスク領域図にまとめたものを図-3.19 に示した。なお、赤枠で囲んだものは残余のリスク(Genauigkeit)と呼ばれているものに相当する。

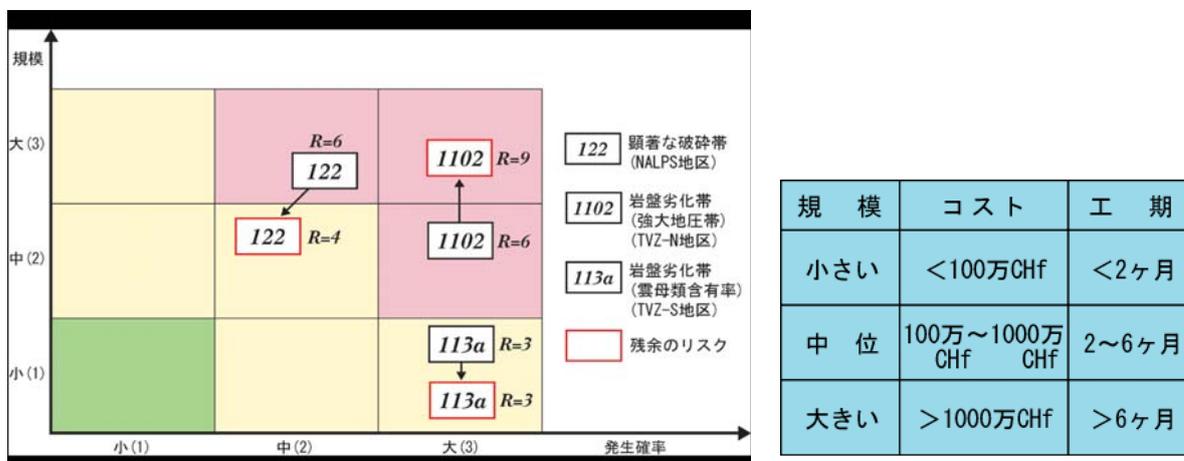


図-3.19 地質リスク領域図(GBT：Sedrun工区)¹⁶⁾

これらのリスクは建設工事の進展に伴う各種の調査・探査により減少している(図-3.20 参照)。

地質学的な要求の高い TZM、Ganna(Bodio 地区)および Intschi ゾーンは、1998 年に工程および建設費用計画が検討された。さらにピオラ劣化帯(Piora-mulde)と TZM ゾーンについては、原位置での前方探査ボーリングが実施された。

これらの実現によりリスクが制御可能であることが示され、地質潜在リスク (geologische-risiko-potential : ポテンシャルリスク【事故発生前の潜在的なリスク】あるいは残余のリスク)は、1998 年においては±15%となり、1992 年の推定値を減らすことができた。

トンネル部、立坑および Ganna ゾーン、Intschi ゾーンを含めた延長 153.7km 区間の約 40%が完成した 2004 年 10 月末の段階では、リスクは±10%以内に達したといえる。

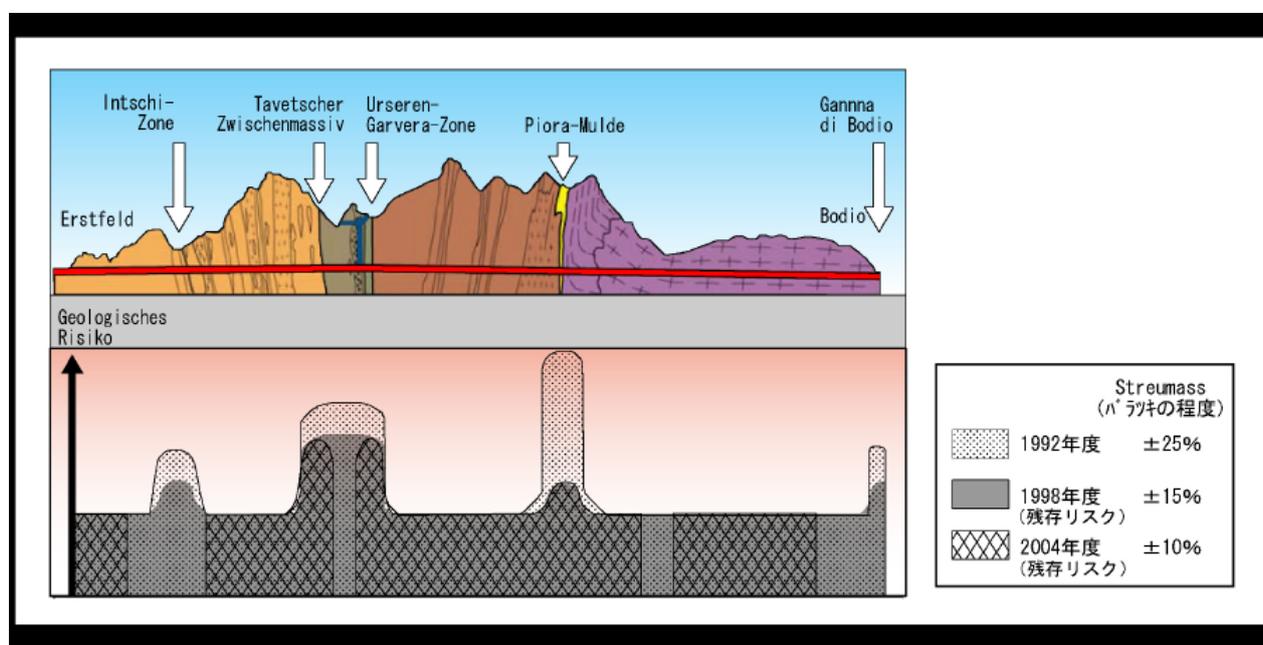


図-3.20 残余リスクについての年次変化(GBT) 3)

(3)悲観的・楽観的な地質解釈図

スイスアルプスを貫く Lötschberg Basis Tunnel(L=34.6km)はALP Transit計画の一貫として現在掘削中であるが、本トンネルではヘルベート帯のデッケ群の地質構造解釈が設計・施工上からも問題となった。しかし当初段階では、地表地質踏査と数本のボーリング調査により地質構造が決定せざるを得なかった。このため、地質技術者は分布が予想される問題となる地質・岩盤状況を念頭に置き、問題になる諸地層(Doldenhorn-Decke : 泥灰質～砂質片岩、Karbon-Murde : 泥灰質～砂質片岩および石炭層など)が比較的広く出現すると予想される、悲観的予測(Pessimistische Prognose)および限定的な分布と考えた楽観的予測(Optimistische Prognose)による 2 種類の地質平面図・断面図を作成した(Kellerhals : 1992⁴⁾ 図-3.21 参照)。

このように2種類の地質構造解釈によって地質図・断面図を作成しているのは、現在のところスイスのみである。施工時に難渋すると予想される地層についての不確実性の変動幅を示している点で注目に値する。なお、その後に実施されたボーリング調査ならびに施工実績から見ると、当初予想した楽観的予測に近い地質断面となっている。

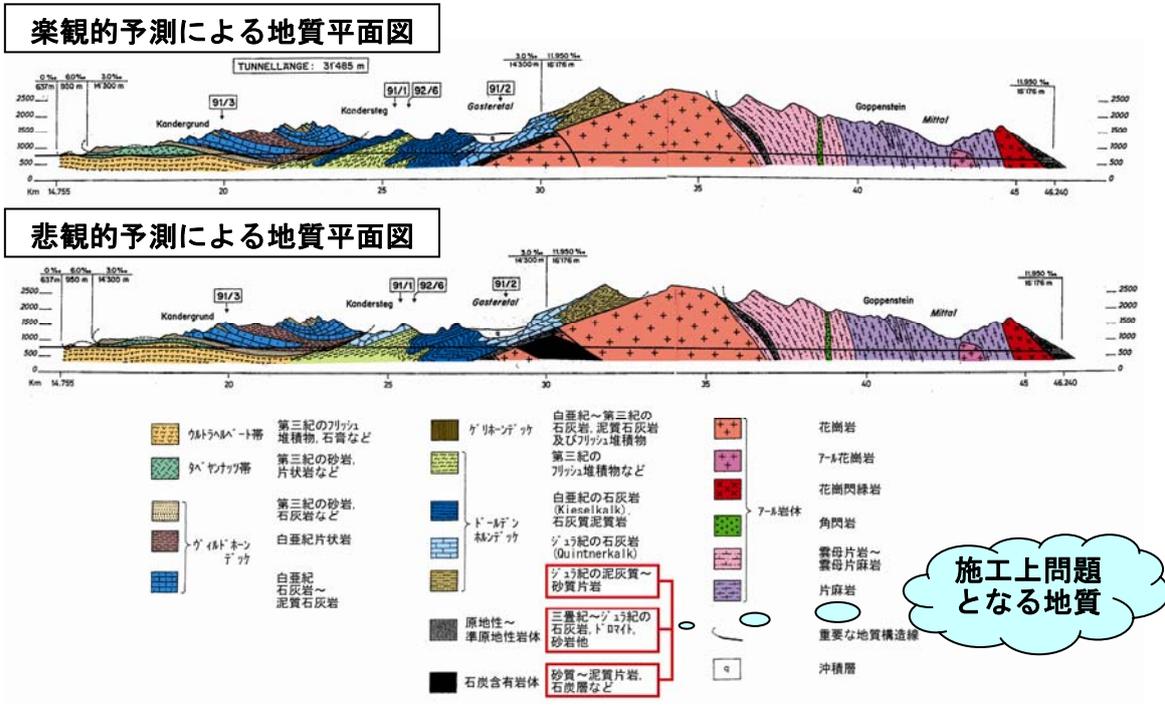
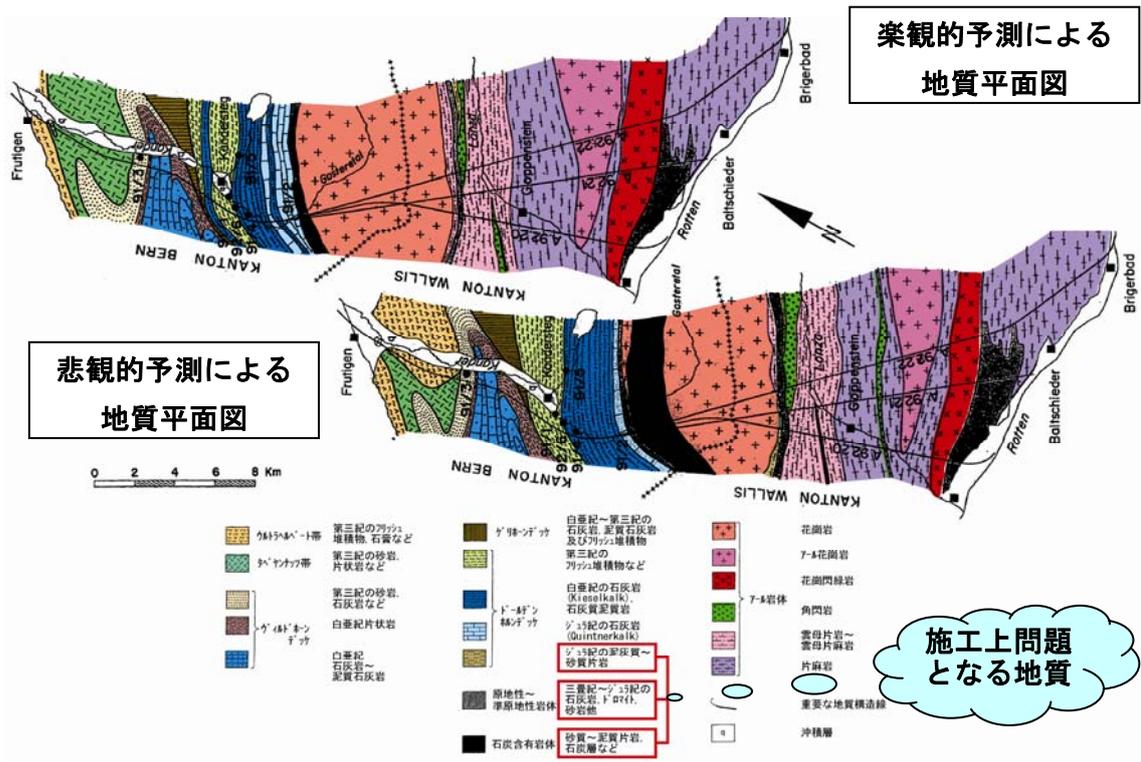


図 3-21 楽観的および悲観的予測に基づく 2 種類の地質平面図・断面図⁴⁾

(4) Boring length ratio による評価法

北米地域では、トンネル建設における事前調査段階でのボーリング延長と建設コスト、クレーム数が検討されている(J. Westland et al. 1998¹⁰⁾、Site Investigation Steering Group; 1993¹¹⁾)。それらの事例では Boring length ratio (B/T) の指標を用いて事前調査段階での最適な調査レベルを検討しており、地質調査精度の向上が建設コストの効率化(縮減化)に寄与することを強調している。設計変更の確率については、図-3.22 に示すように超過確率曲線(probability exceedance curve)により解釈している。B/T < 0.5 の場合では、設計変更要求額が入札価格の 50% を超えるという 20% の可能性が、また、入札価格の 10% よりさらに大きくなるという 60% の可能性がある。より詳細な調査 B/T ≥ 0.5 が実施される場合、これらの見込みは、5% および 38% までそれぞれ低下する。また、図-3.23 に示したように B/T ≥ 0.8 の場合、完成建設工事コストはめったに技術者の見積りを超えない。

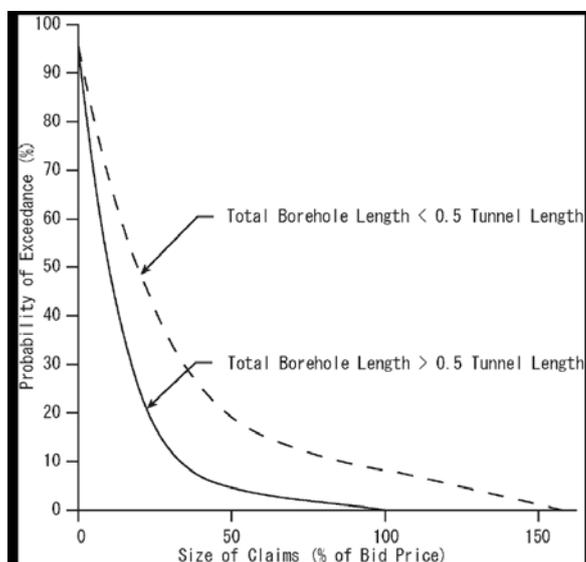


図-3.22 設計変更の確率と B/T との関係¹¹⁾

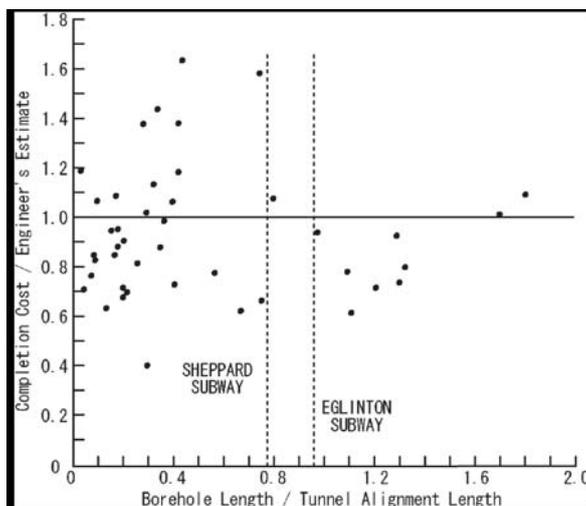


図-3.23 完成工事費と B/T との関係¹¹⁾

3.4 今後の研究計画

3.4.1 海外における地質リスクの計量化手法

3.3.9 の海外事例で概述したように、海外におけるトンネル(主として山岳トンネル)建設における地質リスクの評価および計量化については、確率論的な手法であるマルコフ連鎖モンテカルロシミュレーション (MCMC)、定性的な手法としてトンネル延長に対するボーリング調査数量の総延長比、リスクマトリックス解析および定量的な分析手法であるイベントツリー法、フォールトツリー法などで検討されている。

特に MCMC は、地質に関するリスクの多様性(variability)と不確実性(uncertainty)に起因するトンネル地山としての「複雑系」を確率的・定量的に解析する手法として 1980 年代から研究・開発されてきた。

モンテカルロシミュレーションは、乱数を何千回と発生させて同じ動作を繰り返し、その結果を現象の確率分布と考えて評価するものであり、最近のコンピューター技術により解析時間の短縮が図られている。

地質リスクの計量化手法について、方法論的に整理したものを表-3.3 に示す。

表-3.3 海外における地質リスクの計量化手法 (山岳トンネル)

① 確率論的手法による解析			
手法名	研究者グループ	解析対象	代表的論文
DAT	H.Einstein (MIT : USA)、 P.Grasso (GeoData : Italy)	長大山岳トンネル (超大土被り)	C.Hass and H.Einstein(2002) ¹⁾ P.Grasso et al.(2002) ⁵⁾
Successive Method	T.Isaksson (RIT : Sweden)	長大山岳トンネル	T.Isaksson and H.Stille (2002) ⁶⁾
@Risk	K.Panthi (NTNU : Norway)	長大山岳トンネル	K.Panthi(2006) ⁸⁾
② 定性的な手法による解析：現地調査数量(総ボーリング掘削長)結果に基づく解析など			
手法名	研究者グループ	解析対象	代表的論文
Boring length ratio	J.Westland(Canada)、 Site investigation Steering Group (UK)	都市トンネルほか	J.Westland et al.(1998) ¹⁰⁾ Site investigation Steering Group(1993) ¹¹⁾
リスクマトリックス による解析	Ehrbar、Keller、Kellenberger (ALP Transit Gotthard Ltd.)	長大山岳トンネル (超大土被り)	H.Ehrbar und S.Keller(2006) ²⁾ H.Ehrbar und J.Kellenberger(2003) ¹⁶⁾
③ 定量的な手法による解析			
手法名	研究者グループ	解析対象	代表的論文
フォールトツリー (FT)、イベントツリー (ET)による解析	D.Eskesen et al(ITA WG No.2)	山岳トンネル、 都市トンネル	D.Eskesen et al.(2004) ¹⁷⁾ A.Ang and W.Tang(1984) ¹⁸⁾

3.4.2 我が国に適用する場合の課題と今後の展望

山岳トンネルの建設にあたり、我が国では地質リスクについて上記した手法(MCMC)を用いて事前に評価し公表された事例は見あたらない。

事前調査・設計段階と建設段階でのトンネル地山状況の乖離をより少なくし、適切な建設コストを算定する意味からも、今後このような解析手法を用いて事前に研究する価値は大きい(MCMCについては、@RISKやCrystal Ballなど解析ソフトが市販されている)。

ただし、我が国のような多変動を受けたプレート収束域と、欧米地域とを比較した場合は、同種または類似の地質であっても、それらの岩盤状況(風化状況、劣化・破砕度合いなど)はかなり異なっている。

MCMCのシミュレーションを行う場合、例えば地山等級区分のパラメーターにQ値(Barton et al ; 1974)を使うにあたっては、我が国のトンネル地山では、 $Q < 1$ のことが多いと推定されるため(バートン・伊東 ; 1995)、等級についての閾値のとり方および地山評価の表現に工夫する必要があるだろう。

都市トンネルや地下構造物を対象として、エンジニアによる事業見積り費の変化(プロジェクト評価としての設計変更要求)について、J.Westland et al. (1998)¹⁰およびSite Investigation Steering Group(1993)¹¹ : 以下、SISGと略記)はBoring length ratioという指標を用いて検討している。本指標は、トンネル総延長(T)に対する総ボーリング延長(B)比 : B/T で定義されている(以下、 B/T と略記)。

J.Westland et al. (1998)はカナダトロント市内の地下鉄トンネル建設時に、 B/T と建設コストとの関係を検討している。

$B/T=0.5\sim 1.5$ の比率の間に、トンネル掘削プロジェクトのための調査成果の最適なレベルが対応していることは明白であると述べている。また、超過確率曲線(probability exceedance curve)を用いて設計変更要求額とが入札価格との関係も検討している。

$B/T < 0.5$ の場合では、設計変更要求額が入札価格の50%を超えるという20%の可能性が、また、入札価格の10%よりさらに大きくなるという60%の可能性がある。

より詳細な調査($B/T \geq 0.5$)が実施される場合、これらの見込みは、5%および38%までそれぞれ低下するとしている。

国土交通省ほかで調査～施工段階(建設費を含む)のデータが得られれば、 B/T 指標による整理も可能となる。

ただし、我が国における山岳トンネルでの B/T の適用については、土被り高、地質の複雑性などの要素もあるため、今後の検討課題としたい。

現状では、未公表データも含めて統計的手法を用いて地山の変更度指数(i)による検討を行っており、一部は本WGでも紹介した。

なお、英国では1980年代後半、建設投資額に対する地質調査の投資比率は0.3%程度と少なかったため、建設コスト増や工期延伸など種々のトラブルが発生していた。そのため英

国土木学会が中心となって前述した SISG が構成され、1993 年に 4 冊からなる啓蒙書を出版している。

第 1 巻はタイトルが「Without site investigation ground is a hazard」となっており、地盤のトラブルに関する 24 の case history をあげて、「地盤は未知である。調査しないと地盤は危険である」とし、地盤調査の重要性を喚起している。

その後、英国では地質調査投資額を目標値 1.0%程度と考えているという(全地連；2001)。わが国のトンネル建設のための事前地質調査費用の大半は建設費全体の約 2%程度以下であるが(地盤工学会；1999)、図-3.24 に示すような最適調査水準を希求していくことが重要な課題である。

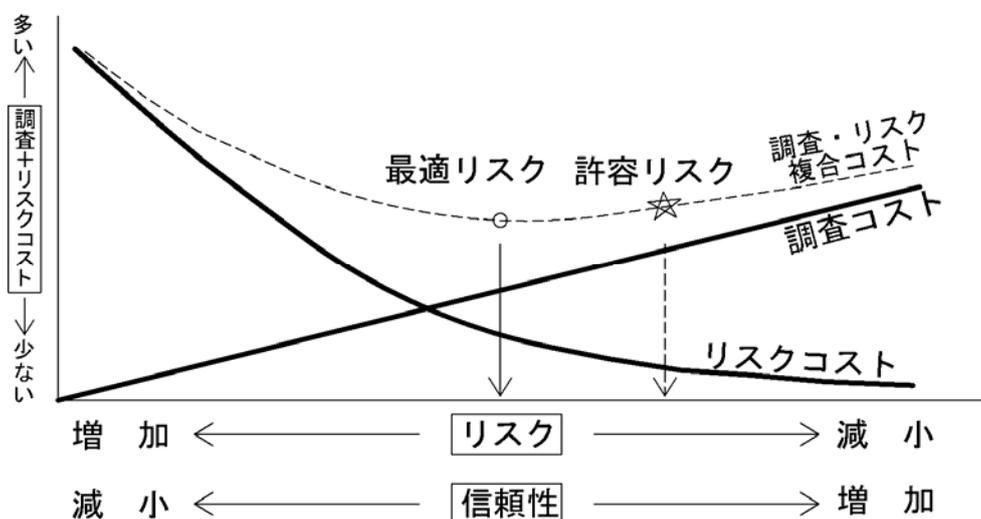


図-3.24 最適調査水準とリスク、コストとの関係概念図

(J.Westland et al. (1998)および J.Norrman(2001)を参考にし作成)

今後は、我が国のような付加体地質を含む地質・岩盤状況の特異性を強調しつつ、トンネル地山を「複雑系」として捉え、事例研究としては、我が国と同種～類似の地山性状をもつ、Circum Pacific Area(USA の西海岸を含む)での研究成果を検討していくこととする。

3.4.3 国内の事例研究

事例研究の目的は、大きく二つある。まず、前提として地質リスクの計量化とガイドライン作成の基礎となるイベント・ハザード発生内容・対策費用・工期に関する事例収集を行うことが必要で、次に一方では、構造物別要因別影響度の分析をおこない計量化するとともにデータベースを構築し、またさらにリスク管理の方法論を開発してプロセス管理を支援するガイドライン作成することである。他方では、これらの基礎資料を用いて上述の海外の理論的・実用化している事例なども参考にしながら、地質の不確実性と地質リスクを予測するアルゴリズムを開発し、これを用いたリスク対処法を研究する方向性が必要と考えられる。

我が国におけるリスクマネジメント手法開発に関する研究は、リスク管理という手法がヨーロッパやアメリカから始まったこともあり、比較すると遅れていることは前述（3.2.2 参照）の事例でみられる通りである。日本の現況を簡単にまとめ表-3.4に示す。

表-3.4 日本におけるリスク管理の研究事例

方法論	研究者	研究対象	成果または適用分野
Work Breakdown Structure/Critical Pass Method	高知工科大学； 渡邊法美	海外 ODA 社会基盤整備 事業	橋梁工事プロセス管理
金融工学； ポートフォリオ・ クリジニング手法	京都大学； 大津弘康他、	地下構造物・ 河川堤防	ボーリング本数・配列 ボーリング調査間隔
リスクカーブ	損保会社等	建築物の地震災害	地震保険
要因別影響度分析*	国土技術研究 センター：実広	道路事業	道路 PFI
トータル損失評価*	土木研究所	地すべり被害	社会影響評価ガイドライン 災害対応ガイドライン
リスク評価	産業総合技術研 究所	土壌・地下水汚染	GERAS；リスク算出式
メンバーシップ・ ファジー理論関数	国土交通省河川 局砂防部	急傾斜面	斜面危険度

*：仮称させていただいた

地質リスクの事例研究として、国土技術研究センターが国交省国道事務所における過去3年間の事業を対象として、事業段階ごとの事業費増大要因の分析を行い、そのなかで地質的要素を取り上げている。地質リスクを始めとする様々なリスク要因と事業費の増加の関連を明らかにした情報は極めて少ないことが判明しており、貴重なものである。詳細は明らかではないが、地質的要素の影響度は用地的要因に次いで2番目に大きいこと、設計的な要因以上に大きいことが明らかにされている(実広、2004⁽⁸⁾)。この事例は、地質リスクに対処することが、予測し難き事業費の増大を押さえるのに極めて有効であることを物語っている。

当委員会の活動の成果（3.3）に示したように、地質リスクが原因で事業費が増大した事例を確認することが出来た。また、これらの事例から地質調査が事前に適切になされている

れば工費がかなり削減できたことが判明した。しかし、事前にどの程度まで予測できたのかの客観的な分析・評価については、今後の研究課題としている。

以上の事例研究の結果、事業費の増大とその要因が明らかにされている資料は極めて少なく、地質リスクの計量化やそれに基づくリスク管理ガイドラインやガイドライン作成は現状では困難であることから、事例研究を大きく進める必要があるとの結論に至った。

3.4.4 地質リスク管理手法の確立

(1) イベント・ハザードと対策費用事例データベースの構築

事業に伴う地質リスクをマネジメントするには、地質リスクの計量化が必要であるが、そのためには設計・施工前に行われた地質予測が、どのように・どの位はずれたことにより、事業費の増大ないし低減があったかの事例を出来るだけ多く集める必要がある。すなわち、失敗事例のみならず普通に進捗した事例を併せて収集し、両者を比較分析することで地質リスクを数量化することが可能となる。また、イベントが発生したケースに関しては地質リスクの抽出をおこない、悲観的・楽観的シナリオでシミュレーションし、どの事業段階でどのように対処したらイベント発生つまり事業費増大を防げたのかを分析することが重要と考えられる。地質リスクの計量化の基礎データを作成していく必要がある。

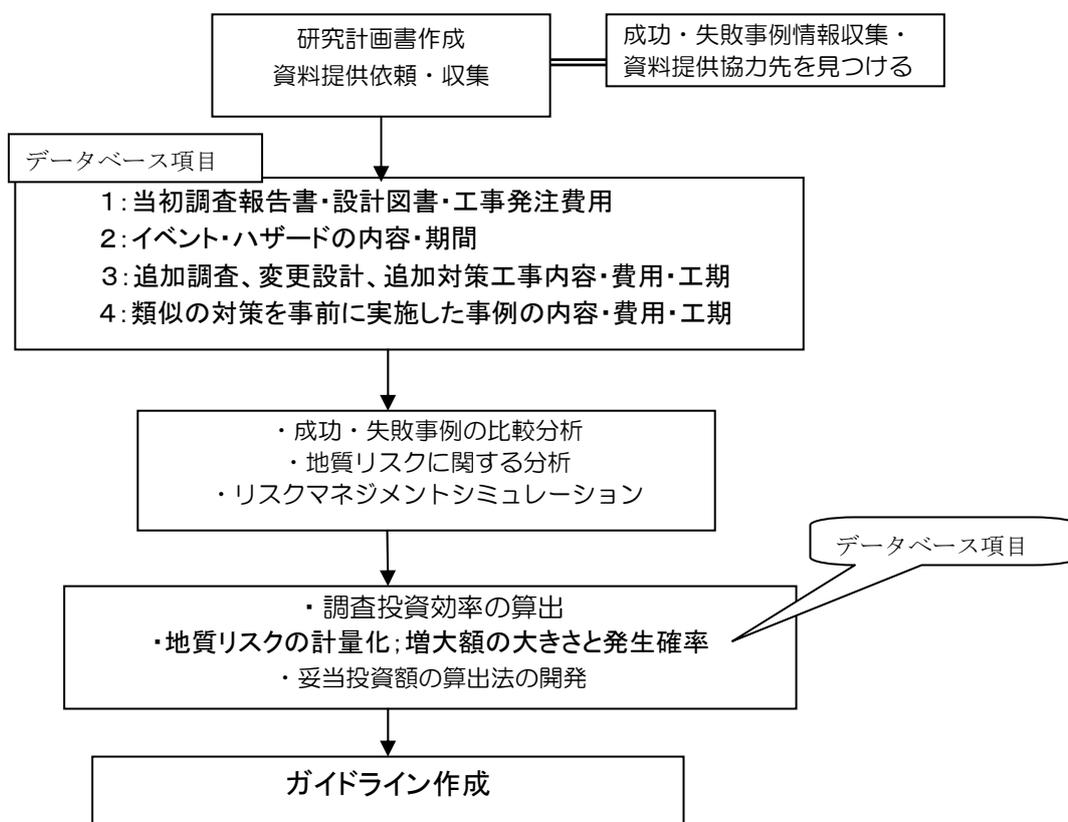


図-3.25 事例の情報収集・分析およびガイドライン化のフロー

国土交通省の地方整備局や自治体等に協力依頼を行い、当初とイベント・ハザード発生後の費用の増減が分かるデータを収集する方法が効率的と考えられる。

(2) 計量化の手法の開発

計量化の手法開発は研究的側面が強いことから、この分野に関心のある大学・研究機関と共同で取り組むのが現実的と考えられる。

これまでに情報収集した結果から、今後の方向性の検討のための参考フローを図-3.26に示す。

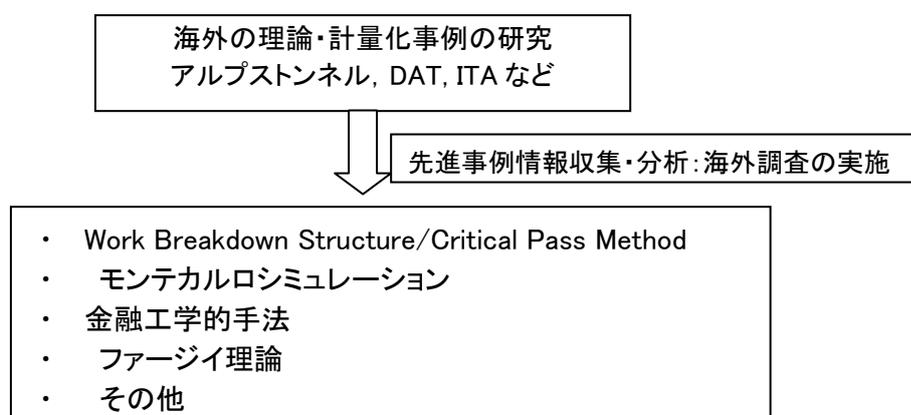


図-3.26 計量理論化検討のフロー

3.3.9 に述べたように、欧米が中心であるが、最近ではアジアの国々においても地質リスクを考慮した事業展開がなされている。欧米の先進事例に関しては、その手法の開発の背景・経緯、建設関連業界における普及度、国民の評価・認知度等を実地に調査し、我が国への適用性を検討することが有効と考えられる。

(3) 全地連・会員企業の活動の方向性

全地連加盟の各企業の地質調査部門では個々の業務遂行の過程で、地質リスクという言葉は使っていないが、技術者の技術レベルが上がるにつれて、過去の成功・失敗事例に基づき発注者に地質問題点（地質リスクそのものとする）を提示してきた。例えば悲観的な地質解釈で進めた場合と楽観的に進めた場合の将来起こりえる危機の発生を想定し、その際の損得勘定を示し、どちらの考え方でプロジェクトを進めるのかの判断を求め、発注者が後で困らないようにリードするのが上級技術者の重要な役割であると考え、技術者自身も行動してきているし、また各企業ではそのような技術者の育成に努めてきた経緯がある。しかし、各企業では限られた数の上級技術者しかいないとか個々の企業レベルでの対応では発注者の説得に限界があるとかの内的問題点がある。さらに OJT が難しくなるとか、地質技術者の責任がクローズアップされだしたとか、業界の地位・業績向上に全地連が組織的に対応をすることが期待されてきたことなどの外的環境の変化がある。この地質

リスク問題に対し会員企業は、日ごろの業務を通じ主導的な対処を行なっていく必要があると考えられる。活動骨子をあげると、

- ① 打ち合わせや報告書で地質リスクの抽出を行い、当面は定性的ないし半定量的な評価を行うこと
- ② 楽観的・悲観的シナリオで説明し、どのような事業費増大のリスクがあるのかを、説明・既述し、できるだけ調査に反映させること、
- ③ それが出来ないならば設計・施工にリスクを引継ぐこと
- ④ このような「地質リスク啓蒙・削減活動」を全国展開すること

などを、講習会等を開催し広報していく必要がある。

また事業費の増大にあたって受注者側が瑕疵責任を問われる事例が散見されたことから、作成する調査報告書の中で、「地質リスクについて」という一項を入れて、リスクの明示・引渡しをしておくことは、企業防衛という観点からも重要と考えられる。

3.4.5 提言

(1)地質顧問制度

事業の構想から運用までの各段階でコスト増大要因として、地質リスクがある。その対処の方向として、事業段階の早い段階であればあるほど投資効果が高いと考えられ、事業段階が進めば進むほど地質リスクに対処する自由度が小さくなり、またその投資効果が低いと考えられる。しかし発注者側には地質の専門家が少なく、大型のダムのような構造物では組織的な取り組みがなされているが、数が圧倒的に多い道路や河川堤防のような線状構造物では、発注者によっては十分対処し切れていないのが現状である。また、地質現象は予見し難き条件と見なされ地質技術者の位置づけは「事業構想や計画」の後で、事故・災害の発生がリスク対応の始まりであった。しかし、実はこれは後手の対応、つまりハザード対応であり、事前に危機を予測して対応するリスクマネジメントとは一線を画すものである。

以上の観点に立てば、事業の早い段階から発注者側にたった技術支援の出来る「財務顧問や法務顧問」のような「地質技術顧問」制度が導入されることがふさわしい。地質技術に関してもこのような観点からのニーズは、少なくないと想像される。今大きな話題となっている団塊世代の技術の伝承という側面からみても、数々の現場で地質問題を肌で経験した技術力のある発注者が少なくなることから、今後ますます必要性が高まってくるものと考えられる。

(2)期待される政策の将来像：「地質」分野の内部目的化施策への転換

これまでに地質リスクについていろいろの観点から議論してきたが、地質リスクをマネジメントすることは、1章の「(6)研究成果 (p4)」に示したように発注者側に多くのメリットをもたらすと予測される。

このことは、「環境」や「安全」に関する分野の政策官がいるのと同様に、「地質」を内部目的化すること、すなわち発注者によっては地質に関する政策責任者を設けることで一層進展できる場合があると推察される。

そもそもリスクマネジメントは、1920年代ドイツおよび1930年代にアメリカにおいて、それぞれ企業の防衛および保険開発・利用する立場から発生した。それに対して日本においては遙かに遅れて1960～1970年代にはいり企業の国際化に伴って経営戦略を構築する際、多国籍企業化、企業の国際化・多角化等の観点から、導入研究され、発展をしてきた。また、1973年及び1979年の2回にわたるオイル・ショック、1984年グリコ・森永事件、1989年～91年湾岸戦争、1995年阪神大震災等による経営危機対策としての不測事態対応計画(contingency plan)、危機管理マニュアルの導入を必要とするようになってきた(亀井利明、2007⁽¹⁴⁾)。最近では内閣府中央防災会議が、首都直下の地震発生確率が従来考えていた以上に高く、最悪のケースでは被災総額(直接+間接費用)が国の年間予算を大きく上回ることから、企業継続計画(Business Continuity Plan ; BCP)を押し進めることを要請している。しかし、「起きたものはしょうがない」といった日本人の受身的な思考パターンは今だに抜けず、リスクマネジメントが中心となるBCPを作成しているところは企業のうち30%未満で少ないと言われている。このような日本社会の現状を考えると、本地質リスク委員会による地質を対象としてリスク評価を計量化しようとする試みは、あらたな事業分野を切り開く第一歩になることが期待される。

参考・引用文献

- (1) 近藤達敏(2000)：地質調査の不確実性とトンネル工事のリスク要因評価，応用地質，第40巻 第6号 p.340～345.
- (2) 山田俊郎(2006)：もっと信頼性の高い当初設計を，トンネルと地下第37巻 第4号 p.5～6.
- (3) 大津宏康(2003)：金融工学理論に基づく地盤リスク評価に関する一考察，土木学会論文集 No.742/□-60 p.101～113.
- (4) 大津宏康(2004)：力学的地盤リスク要因による建設コスト変動の評価に関する研究，土木学会論文集 No.756/□-62 p.117～129.
- (5) 大津宏康(2004)：PFIプロジェクトの地盤に起因する建設コスト変動評価に関する研究，土木学会論文集 No.777/□-65 p.175～186.
- (6) 大津宏康(2004)：地盤リスクを有する民間プロジェクト投資評価に関する一考察，建設マネジメント研究論文集 Vol.11 p.409～416.
- (7) 大津宏康(2005)：地盤統計学に基づく地下工事における地質調査の価値評価に関する一提案，建設マネジメント研究会論文集 Vol.12 p.9～18.
- (8) 実広拓史(2004)：道路事業のリスクに関する実態調査及び分析，JICE REPORT, Vol.6/04.11
- (9) 独・土木研究所：地すべりの被害評価技術の開発に関する研究(H17～H21)
- (10) (社) 土壌環境センター (2005)：H16・17年度自主事業報告書「土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討(その1)－欧米におけるリスク評価とその活用の実態－」
- (11) (社) 全国治水砂防協会(1996)：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－参考編、第2章 p21
- (12) 渡邊法美(2004)：新しいリスク・不確実性マネジメントプロセスの開発とその応用可能性、第22回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集、p79～82
- (13) (社) 建設コンサルタント協会・照査に関する特別WG：平成17年度品質セミナー 成果品に関するエラーの事例集(p377～378, p407～408, 414～415)
- (14) 亀井利明(2007)：危機管理とリスクマネジメント、リスクマネジメント学会

海外文献 (3.3.9~3.4.2)

- 1) C.Hass and H.Einstein(2002) : Updating the Decision for Tunneling, Journal of Construction Engineering and Management Vol.128 No.1 p.40~48.
- 2) H.Ehrbar und S.Keller(2006) : Geologische Risiken und Massnahmenplanung am Beispiel des Teilabschnitts Sedrun, Löw(Herausgeber) Geologie und Geotechnik der Basistunnels am Gotthard und am Lötschberg p.35~46.
- 3) A.Sieber und P.Zbinden(2004) : Herausforderungen und Lösungen beim Bau des längsten Eisenbahntunnels der Welt, F. Heinrich, H.Klapperich (Herausgeber) Ehrenkolloquium Prof. Dr. Friedhelm Heinrich –FELSMECHNIK–
- 4) P.Kellerhals(1992) : Geologie des Lötschberg-Basistunnels, Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein, Dokumentation SIA D 085 p.35~43.
- 5) P.Grasso et al.(2002) : Base tunnel Maurienne-Ambin : Probabilistic Estimation of Construction Time and Cost for Various Project Planning and Configuration Alternatives Considering Geologic and Geomechanical Uncertainties, Convegno su LE INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE PROPEDEUTICHE ALLA COSRUZIONE DELLE OPERE SOTTERRANEE SIA CIVILI CHE MINERARIE p.1~9.
- 6) T.Isaksson(2002) : Model for Estimation of Time and Cost Based on Risk Evaluation Applied on Tunnel Projects, Doctorial Thesis Royal Institute of Technology Sweden 398p.
- 7) T.Isaksson and H.Stille(2005) : Model for Estimation of Time and Cost for Tunnel Project Based on Risk Evaluation, Rock Mechanics and Rock Engineering Vol.38 No.5 p.373~398.
- 8) K.Panthi(2006) : Analysis of Engineering Geological Uncertainties Related to Tunnelling in Himalayan Rockl Mass Conditions, Doctorial Thesis Norwegian University of Science and Technology Norway
- 9) P.Grasso et.al.(2004) : PENCHALA Tunnel : Example of an Efficient Combination of Empirical, Analytical, and Observational Approaches for Design, World Tunnel Congress ITA-AITES 2004- Singapore
- 10) J.Westland et al. (1998) : Managing Subsurface Risk for Toronto's Rapid Transit Expansion Program, North American Tunneling '98, Ozdemir(ed.) p.37~45.
- 11) Site Investigation Steering Group(1993 : 1st.Ed.) : Without Site Investigation Ground is a Hazard, Site Investigation in Construction Series 1. Tomas Telford Services 45p.
- 12) H.Einstein(1996) : Risk and Risk Analysis in Rock Engineering, Tunnelling and Underground Space Technology Vol.11 No.2 p.141~156.
- 13) P.Grasso et al.(1997) : Tunnel Construction Time and Cost Probabilistic Evaluation

- with the system DAT, National Research Council Committee for Geological and Mining Sciences Strategic Project Tunnel Final Report p.124~138.
- 14) H.H.Einstein et al.(1996) : Geologic Uncertainties in Tunneling. Proceedings of Uncertainty '96 Geotechnical Special Publication No. 58 p.239~253.
 - 15) geodata-en. Pdf
 - 16) H.Ehrbar and J.Kellenberger(2003) : Risk Management During Construction of the Gotthard Base Tunnel, Proc. International Symposium on Geotechnical Measurements and Modellings
 - 17) D. Eskesen et al.(2004) : Guidelines for tunnelling risk management ; International Tunnelling Association, Working Group No.2, Tunnelling and Underground Space Technology Vol.19 No.3 p.217~237.
 - 18) S.Ang and W.Tang(1984):Probability Concepts in Engineering Planning and Design.