

# H17年度 地質に係わる事業リスク検討報告書

2006/7/26

全地連・技術委員会

地質リスクWG

## — 目 次 —

1. はじめに	1
2. 地質に係わるコスト構造問題	3
2-1 地質に係わる事業リスク問題の現状	
2-2 地質リスクを扱う上での課題	
3. 地質リスクに関係する要素の代表的事例	8
3-1 地質リスク問題の事例	
(1) 基礎岩盤の想定強度のズレ	
(2) 宅地分譲後の地盤沈下	
(3) 支持層傾斜による基礎の変形	
(4) 近接施工による工場設備の変形	
(5) 軟弱地盤上の大規模土地造成工事における沈下予測のズレ	
(6) 地下水くみ上げと地盤沈下に係わる民事裁判	
(7) トンネル地山調査における地盤リスク	
3-2 リスクの定義・体系化	
(1) トンネル事業計画におけるリスクの洗い出し	
(2) トンネル地山調査における地盤リスクの内容	
(3) 地質リスクに関するチェックリスト	
3-3 リスク計量化（手法）の事例	
(1) 地質リスクの計量化・大津先生	
(2) 地質リスクの計量化・損保会社	
(3) 地質リスクの計量化・道路事業	
(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事例	
(5) 土壌・地下水汚染におけるリスク評価モデル	
(6) ファジィ理論を用いた斜面危険度評価法	
3-4 リスクマネジメント手法の研究事例	
(1) 既往研究は少ない	
(2) リスク・不確実性のマネジメント手法	

### 3-5 リスク対応の事例

- (1) トンネルにおける地質技術者参画（3者協議）事例
- (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）

### 3-6 海外の事例

- (1) 悲観的地質図と楽観的地質図（スイスアルプス）
- (2) リスクの計量化手法（アインシュタイン）
- (3) リスクマネジメント手法（ITA）

## 4. 関連機関の活動状況 ..... 34

- (1) 行政機関
- (2) 研究機関
- (3) 大学
- (4) 学会
- (5) 情報・ツール提供機関

## 5. WGにおける議論 ..... 38

### 5-1 地質リスクの取り扱いに関して

- (1) 地質リスクを低減するために
- (2) 地質が事業リスクとなる要因とは（ボーリング本数の考え方を例として）
- (3) 民事裁判の事例
- (4) 地質リスクの取り扱いに関する意見

### 5-2 リスクの定義・体系・範囲

- (1) 地質リスクの要因（事業プロセスに沿って）
- (2) 地質リスクの定義
- (3) 工事費の分散によるリスク表現
- (4) 立場による地質リスクの捉え方の違い

### 5-3 リスク顕在化の原因

- (1) 地質調査が不十分・調査結果が設計以降に反映されていない等
- (2) 負荷の大きさが地質リスク
- (3) 地質と土質、ボーリングと探査など領域の境界のリスク

### 5-4 地質リスクのマネジメント手法（リスク管理システム）

- (1) マネジメント手法に関する議論
- (2) 瑕疵責任について

### 5-5 地質技術者に関すること

- (1) 地質技術者の事業プロセスへの関わり方
- (2) 全領域で関わるべき

(3) 発注者の役割（尾園）

5-6 公共事業における地質技術の位置づけ

(1) 地質調査の品質を評価する仕組みが必要

(2) 地質リスクを扱う地質技術者の技術力について

6. 全地連理事会への提言..... 59

(1) 地質リスクをマネジメントする意義

(2) 地質リスクマネジメントシステムの研究開発の推進

(3) 地質リスクの計量化研究開発の推進

(4) 広報・普及活動の推進

(5) 国等への政策提言

(6) 技術顧問制度の確立・推進

(7) 本格的WG等体制の充実

参考文献..... 64

## 技術委員会・地質リスクWGメンバー

座長	佐橋 義仁	(株)建設技術研究所
メンバー	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)
	古谷 正和	川崎地質(株)
	黛 廣志	川崎地質(株)
	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	ダイヤコンサルタント(株)
	伊熊 俊幸	ダイヤコンサルタント(株)
	小林 精二	基礎地盤コンサルタンツ(株)
	福田 直三	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)

## 1. はじめに

本 WG では、地質調査の果たすべき役割と重要性を明確にすることによって、より効率的な社会資本整備と維持管理を継続的に進める社会的な仕組みを構築することが可能かどうかを検討した。この結果、下記のアウトプットをイメージした調査・研究を進めることが適当であるとの結論を得た。

- ・基本設計～詳細設計～建設工事～維持管理に至るプロセスの中で、地質調査の立場から各プロセスに積極的に参画し、第三者的な立場で照査と修正設計が提案できる仕組みを考えること。
- ・現在の設計は、設計のアウトプットに幅が許されない確定的設計がすべてであるため、様々な要因によって予想される工法の揺れや、建設コストの揺れを示すことができない。このため、地質技術者が第三者的な立場で地質に起因する事業リスクを評価し、定量化し、社会に対して検討プロセスを公開できる仕組みを考えること。
- ・設計基準や公式で導くことのできない基礎的能力と経験で得られる技術的能力に基づく地質調査結果の品質を第三者機関が適性に評価して品質を保証する仕組みを考えること。

上記の仕組みを提案することで、本 WG が具体的なアウトプットの一つとして考える地質技術顧問制度などに関する具体的な形を示すことができると考える。また、これらの仕組みを構築することにより、地質調査業の社会的な地位も向上でき、さらに、地質コンサルタントがより積極的に建設事業コスト構造改革に参加できるようになると考える。

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（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り、その不確実性は「予見し難き」もので顕在化してから対応の方が効率的であると考えられてきた。このため、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い。この様な中で当協会は、「建設コスト縮減に関する地質調査業の意見表明と行動指針（H9）」、「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）」、「事例に学ぶ地質調査（H15）」において地質技術の重要性・役割を発言し、「全地連10の提案（H16）」を行ってきた。

一方、公共工事のコストに関わる議論は、工事コスト、ライフサイクルコストの縮減から、社会的コスト、時間的コストを含めた総コストの概念のもとに事業プロセス全体をコストの視点で見直すコスト構造改革へと進展した。このコスト構造改革には公共建設事業に関わるあらゆる側面が考慮（34施策にまとめられている）されているにも関わらず、

特にコストの面で見直すならば真っ先に見直されるべき「地質からの視点」が全く取り入れられていない。このことは、公共建設事業と地質技術の関係を考える上で重要なことであり看過してよいことではない。コスト構造改革を通じて建設生産システムにおける地質技術の位置づけを根本的に見直すこと、あわせて地質技術者の役割を見直すことでコスト構造改革を大きく推進するという見方こそ重要である。

事業プロセスは一方で事業リスクの移転プロセスでもある。事業をリスクという切り口で見ると地質の影響は大きく、大き過ぎるから設計変更を介してそれまでのリスクを解消してきた。しかし、本当に予見し難き事象であったか、予見できるとしたならば誰が一番近いところにいるか等、従来にはなかった議論が始まっている。

この度、全地連は地質に関わる事業リスク（地質リスクと仮称）を主体的に取り扱うことが社会的責任であると認識し、関連する機関と連携して政策提言するためのWGを立ち上げることにした。WGは技術委員会の中に位置づけ、H17年11月より月1回のペースで開催し、H18年5月の第7回WGにおいて報告書（案）をとりまとめ理事会に提出するものである。

「リスク」の定義はWGにおいて始終議論的になったが、ここでは「不利な条件」そのものを言う場合と、その条件の「不確実性」を言う場合の両方を表現していると考える。

## 2. 地質に係わるコスト構造問題

地質的な障害などに起因して生じた建設コスト増は、これまでやむを得ないのとしてすべて事業者が負担してきた。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、事前調査の内容（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、設計で対策が講じられることが可能なものである可能性が否定できない。

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定められている場合がほとんどである。しかし、一般には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は現実的に無理なことであり、初期段階での地質調査計画の間違いや調査項目の漏れは、設計・工事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。（実際の地質調査計画立案は、官の意向を受けた業者が実施している。このような仕組みが談合や不透明性として社会から非難されているのである。）

このように考えると、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照査アドバイスする地質コンサルタントの存在が非常に重要となる。

全地連は、第三者として公平な立場で事業に関わる地質コンサルタントの立場を確立していくことを考えている。

### 2-1 地質に係わる事業リスク問題の現状

コスト構造改革で対象とする総コストと地質との関係を「リスク」として、あるいは「リスク」を介して定量的に取り扱う場合、「リスク」を定義しておかなくてはならない。「リスク」は多様な使われ方をしているが、ここでは、

- ・ 事業コスト損失と
- ・ その不確実性

の2つの概念を含むものと定義する。

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・維持管理など）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。すなわち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）の管理の両面から問題を理解する。

以下に地質リスク問題を捉える視点を整理する。

#### ①そもそもリスクとしての扱いが曖昧であった

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の考えがある。顕在化してから対応すればリスクがある程度特定された状態で把握できるので、そこから手を打った方が良いとするものである。従って予測し事前に手を打つなど

(これもできるだけのことにはやっているのであるが) 計画的な位置づけは持っておらず、ましてや地質条件を悲観的に予測して対応する手続きはなかった。すなわちリスクを定量的に把握し、どこまで特定できたら次のステップに進むことが出来るなどのルールはない。市民はこのルールを知りたがっている。

## 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)が地質リスクを曖昧にしたまま計画を決定し、調査と設計でいくらかリスク対応は行うもの、工事発注にあたっては地質条件は「予見し難き」として設計変更によりリスクが転化できるから、調査・設計を担当する者にも責任は掛からないのが原則である。ここで「予見し難き」と言っているのは地質条件(設計条件)そのものと、その不確実性の両方である。

## ③コスト構造(コスト形成プロセス)改革で言及せず

「予見し難き」としてリスクは後続に移転してきたため、どのプロセスで対処すべきか定義できていない。後続へ後続へ移転してよいリスクという定義であろう。従って施策に馴染まないし施策にならない事象である。これだけ大きなリスク要因でありながら(把握できないくらい大きいから)コスト構造改革の対象になっていないことが大きな問題である。

政策化していないということは、行政ポストがないこと、従って予算もないことを意味する。それでよいのかというのが本WG設置の背景でもある。

一方で地質条件を積極的に事業計画に取り入れ、事業コスト管理(コスト予測と実際との乖離への責任、コスト負担など)を行うならば、乖離を小さくするための対策とあわせて「妥当地質調査投資額」などの議論が生じ、コスト構造改革が大きく進展するであろう。

## ④地質技術の位置づけ(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、官側の技術としての位置づけを持たないことから民間が担当する地質調査の中にのみ位置づけられてきたと思う。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。

## ⑤地質技術者のメンタリティ

民間の多くの地質技術者は仕様書に従って作業をする受注者の立場に長く居続けたため、官庁側技術者の目線で事業を見る意識が乏しいと指摘されても仕方がないような現状である。なお、官庁側にも地質技術者はいるが、あくまで研究職であり政策官ポストは持たない。ただこれも国においてのみであり、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。

この様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・代理人としても働く意志を示している。

## ⑥事件の発生と対応の始まり



楽観的リスクからスタートし顕在化してから設計変更するという工事コスト形成方法は当初予算を大幅に増大できることが前提である。インフラ投資は社会的に正義であった時代、市民の信託を得ていた発注者（役所）は無謬であり、その官庁技術者が「予見し難い」と判断した事象は盲目的に受け入れられてきた。しかし、最近、地質条件の変更を理由に事業費を拡大する手順は議会・市民のコンセンサスを失いつつあり、工事がストップするという事態を招いている。

#### ⑦コストの定義の変化と説明責任

現在、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。一方で公共事業に期待する効果（便益）も事業の直接目的と波及効果の区別・線引きが難しくなり、総便益で評価する時代に至っている。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いる。このためコスト形成要因（リスクなど）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。また事業プロセス上でリスクの特定・削減・引き継ぎ・移転などの管理を行う手法も確立してない。理念を実行するためには手法・技術の支援が必要である。

### 2-2 地質リスクを扱う上での課題

以上のように地質リスクへの適切な対応が公共建設事業のコスト問題、特にコスト構造の改善に大きく寄与すると考えられながら、未だ本格的な取り組みがなされていないのにはいくつかの強固な背景がある。

本プロジェクトは地質リスク問題に正面から対応するものであるが、そのためには多くの課題に向き合うことになる。6章で提言する「今後の取り組み」はこれら課題への対応を意図している。

#### ①概念・体系が不明確

公共事業の事業主体である役所はわが国の場合、「無謬」であることが存在条件であったから「リスク」の概念が育っていない。公共事業は大きな投資を伴うことから、投資効果に対するリスク、契約におけるリスク、環境問題をはじめとする外部不経済リスク、合意形成の遅れに伴う事業の長期化などのリスクなど多様なリスクに取り巻かれていたのであるが、便益がコストを上回るという公共事業の前提に疑問を挟むことは少なかった。

整備水準の向上とあわせて投資効果の見直しとコスト縮減が大きなテーマとなり、受発注者間においてもやっと契約履行・品質・経営などのリスクが意識され始めたが、感覚的領域を脱しておらず、体系的なリスク認識およびその定量的把握に対する取り組みは今始まったばかりである。

とりあえずわれわれは（前述のように）、

- ・ 事業コスト損失と
- ・ その不確実性

と定義してスタートする。

#### ②地質リスクに関わるデータが不足

従来から地質データは事業リスク（事業コスト損失とその不確実性）の予測に使われてきたのであるが、地質条件・事業リスク・事業コスト損失・対策費（調査費・工事費）の関係を把握するためのデータが整備されていない。すなわちリスクを低減するための地質情報の価値（地質調査妥当投資額）などを導き出すためのデータが蓄積されていない。

#### ③リスク計量化手法が未確立

地質リスクは事業コスト損失で表現されると考えると、事後においてはどれくらいリスクがあったのかを検証することはできる。さらに事業コスト損失に維持管理費を含めると毎年リスクの大きさを実感することができる。

この事業コスト損失をある程度の精度をもって事前に予測することができれば、さらに②で記した地質調査妥当投資額が算定できるならば事業コスト管理は飛躍的に進展するのであるが。現在、地質リスク計量化手法は全く未確立である。

#### ④公共事業の中で政策的に扱われて来なかった

すでに述べたように地質リスクは契約上「予見し難き」事項として扱われており、これを政策と認識することもできるが、積極的な意味での政策はない。

しかし予見し難きリスク（設計変更を含む事業コスト損失）を支払っても便益がそれを上回ることが確実であった整備水準の時代は完了し、コスト・便益を意識し合意形成を確認しながら推進しなければならなくなっている現状においては、むしろ地質リスク対策費と便益（災害未然防止効果など）の比較を積極的に取り入れ説明責任を果たした上で公共事業を推進することが望まれる。ここに地質調査妥当投資額の概念が重要になる。

#### ⑤地質リスクを扱う者（地質技術者）の位置づけが不明確

地質に関して政策的（投資的）な扱いがなされなかったことから、地質技術者は地質調査を専らとし、事業リスク管理には立ち入らなかった。実際は事業リスク管理を行う者は地質リスクの大きさは認識しており地質専門家の意見を聞いて意思決定してきたが、それはルール化されていたわけではなく、地質技術者にとっても責務ではなかった。

#### ⑥官側の技術を支援する行為（発注者支援など）が正業化されていない

わが国の公共事業においては官側に専門家がいて技術的判断を行い最適な設計図書と予定価格を設定できることが会計法・地方自治法的前提であるから、その代理人・支援者という職業は成立していない。法務部門における弁護士、会計部門における公認会計士などの官側の顧問制度が公共建設分野では認められていない。

一方で終身雇用で専門家を採用することは地方自治体にとって非現実的であり、従って官側に欠落した技術領域があったことも事実である。地質技術はその代表でありながら、実態が露見した後、設計変更などで対処してきたため一層施工者（受注者）の側に専門家を抱えることとなった。

#### ⑦設計変更という聖域の存在

設計変更という手段が機能するならば、事前のリスク把握に懸命になるインセンティブは小さい。今まさに地質リスクが認識され始めたのは設計変更が容易ではなくなったからである。

#### ⑧計画論の壁

公共建設事業の計画論は、いわゆる投資（C）効果論（B）であり、 $B > C$ が事業成立条件である。Cの定義もBの定義も決め事ではあるが、Cを小さく見積もることが事業成立のコツでもあった。そのため楽観的リスクを前提にする習慣が生まれた。

現在は、Bの定義が正負ともに拡大し、これに従ってCの定義も拡大していることから、総コスト・総ベネフィットで比較することが求められている。総コストは総リスク（悲観的リスク要因を考慮して算出）をもとに算出されるので、事業当初に総リスク項目および定量的リスクを把握しておくことが重要になる。

### 3. 地質リスクに関係する要素の代表的事例

#### 3-1 地質リスク問題の事例

##### (1) 基礎岩盤の想定強度のズレ

###### ①概要

片麻岩からなる岩盤が支持地盤となっている橋梁基礎の場所打ち杭打設工事において、岩盤の硬さが想定より大き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。

###### ②事前調査と設計条件

事前調査としては2孔のボーリングを実施し、岩盤分類はCL級～CM級、いわゆる土工分類上は軟岩相当と評価していた。

###### ③顕在化した地質リスクと損害

工事着工後、実際の岩盤は硬岩相当であることが分かり、計画していた工法では掘削不能となった。

###### ④事例の評価

十分な数量の一軸圧縮試験を実施し、また多少深めの調査ボーリングとすることで硬岩岩盤の出現を予見できた可能性はあるが、ボーリングコア観察のみからは硬岩の出現は予見できなかった。標準的な調査担当者の経験の深さをどのように期待するのかにより、エラーとも評価される。

##### (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。

この宅地は、かつて砂利採取場として掘削された履歴を持ち、締固めが不十分な埋戻し土が厚さ10mに渡って分布していた。この地区は地下水位が深く、雨水や生活排水を地盤中に浸透処理していたため、不飽和土のコラプス（浸水圧縮沈下）が発生したものと考えられた。被害としては、入居者の家屋はもとより、公共部の道路やライフラインなどが大きな損傷を受けていた。

砂利採取業者は採取事業終了時に倒産し、土地が放置されていた時期に、未確認ではあるが、産業廃棄物が投棄されていたとの情報もあった。その後、宅地開発業者が造成し、行政側が入居者を斡旋していたが、この業者も倒産し、行政側が窓口となった。入居後間もなく、地盤沈下による被害が顕在化すると共に、入居者が周辺住民より産業廃棄物投棄の話を目にした。販売者が入居者に対し、事前に説明を実施しなかったことや、問題発生後の対応が十分でなかったことから、徐々に信頼関係が失墜し、補償問題へと発展した。

このケースでは、宅盤造成時に地質調査を実施しなかったため、問題が顕在化してから地質調査を実施することとなった。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ものと予測される。

### (3) 支持層傾斜による基礎の変形

建築物の基礎工事を行なっていたところ、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、工費の増大と工程の遅延が生じたものである。

この計画地は、台地に近接した軟弱地盤上にあり、事前に建物配置図により適切な位置で地質調査を実施していた。この地盤情報によれば、支持層が浅く分布し、直接基礎の採用が可能であった。ところが、計画建物の配置が大きく変更となり、台地側から離れ低地側へ移動となった。しかし、再度地質調査を行なうことなく、基礎形式をスライドして直接基礎を採用したため、支持層の傾斜に対応することが出来ず、基礎形式の大幅な見直しとなった。そのため、発注者からの信頼が失墜すると共に、事業損失が大きくなり、費用面での交渉が難航した。

このケースでは、計画建物の位置が大幅に変更になったにもかかわらず、地質調査を怠ったことが原因であるが、当初の地質調査時に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。事業の進捗過程において、地質技術者との関わりを保持し、専門的判断を導入していれば、リスクを軽減できたものと予測される。

### (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た地下掘削工事を実施した。この工事では掘削場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。発注者側は、工場側と補償問題について長期に渡り交渉してきたが、双方の話し合いが折り合わず、裁判にまで発展した。

本施工に際しては、地下水位が浅いにもかかわらず排水工法を採用し、近接構造物に対する事前の予測検討を十分に実施せず、情報化施工なども導入していなかった。補償問題では広域地盤沈下帯であったため、負担割合が論じられたが、交渉が長期に渡ったため発注者側の担当者が異動となり、姿勢が二転三転した。そのため、工場側の発注者に対する信頼感が失墜し、法的手段へと移行した。

このケースでは、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から、仮設工法の見直しなどが検討できた可能性がある。また、施工時に効果的な予防対策や情報化施工などを組み込むことが出来れば、リスクを軽減できたものと予測される。

## (5) 軟弱地盤上の盛土工事における沈下予測のズレ

### ①概要

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のズレが生じて、投入盛土量と地盤改良工数が増加し事業費が増大した。

### ②事前調査と設計条件

- ・当初設計時の調査内容は限定的なものであったため、沈下対象の粘性土層の圧密特性（過圧密比など）や地下水条件が、造成区域内で平面的に異なることが十分把握理解されないままに当初計画の地盤モデルが設定され、平面的な物性の変化については解析設計に反映できなかった。
- ・地盤改良の設計に用いた圧密係数に関して、圧密の時間遅れを考慮した水平方向の圧密係数の取り扱いに特別な配慮がなされなかった。
- ・地盤改良効果の判定にあたり、代表的な地区で試験盛土を行い評価したが、同様に物性の平面的な変化をその結果の解釈に適用しなかった。

### ③沈下予測のズレの原因

- ・圧密特性などの物性の平面的な変化を解析設計に反映しなかったために、造成盛土載荷時の沈下量を過小に見積り盛土量の増大を招いた。
- ・圧密係数の設定と改良効果の判定の際に沈下継続時間を過小に見積もったため、沈下継続時間の長期化と改良効果の過大評価となった。

### ④事業費の増大

- ・盛土量の増大と沈下継続時間が長期化した結果、地盤改良工数の増大を招き事業費も当初計画の約 1.5 倍となった。

### ⑤事例の評価

軟弱地盤上の盛土の沈下予測については、古典的な事象として沈下予測値と施工時の実測値の相違が指摘されている。その相違する原因としては、一般的に次のような事項があげられる。

- a. 調査が不十分で地盤の圧密特性の把握が不十分であること
- b. 地盤の物性にばらつきが大きく、現状把握が難しいこと
- c. それを原因として地盤のモデル化や定数設定の内容が、現状地盤の特性を正確に表現していないこと
- d. 地盤特性に対応した形での沈下計算式の適用が不適切であること
- e. 施工条件や施工過程を解析設計条件として全ては取り込み難いため、仮定条件を多くしていること
- f. 実測沈下には弾性的あるいはクリープ的な変形が含まれるが、計算上その予測が難しいこと

実際の各事業や現場では、上記項目のうち複数の事項が不定形に絡み合い予測値と実測

値の相違が発生する原因となりリスクとして内在するものと考えられる。また、各項目のうち、調査不足が影響している事項や経験不足も含めた技術力不足、技術的配慮不足等が原因となっている事項も含まれるが、結果として予測値と実態の相違となって表れ、特に沈下時間が想定以上に長期化する傾向にある。造成宅地などでは、許容残留沈下量を満足するための所要期間が長期化し、工期短縮を図るための地盤改良工数が増加し、当初設定の事業費を大幅に増大させることに繋がっていることが多い。また、管理の不十分な小規模な宅地造成においても、造成盛土の沈下が家屋の沈下変形を招き、瑕疵問題に発展するケースも多く見られる。以上のように軟弱地盤の圧密沈下問題は古典的な問題ではあるが、マニュアル等にも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) 地下水くみ上げと地盤沈下に係わる民事裁判

### ①経緯

都内の軟弱地盤上に立地する商店街で新築ビルの地下掘削工事が行われた。掘削にあたってはディープウェルによる地下水汲み上げが補助工法として採用されていた。ところが、地下水汲み上げと軌を一にして周辺地盤に沈下が発生したことから、建物の変状や基礎杭の抜け上がり等の被害を受けた周辺住民が施工業者を相手どって民事訴訟を起こした。そこで地盤工学の専門コンサルタントを求めた住民側の弁護士からの依頼により、民事調停に係わることとなった。

### ②原因

施工業者が地下水低下工法を採用した理由は地下掘削時の被圧地下水による盤ぶくれ対策であり、地下水汲み上げによる周囲への影響を遮断する目的で適切な深さまで連続地中壁を構築していた。しかしながら、盤ぶくれを生じさせないために必要な最低限の水位低下量を管理することなく大量の地下水汲み上げを行ったことから、周辺地盤の圧密沈下を引き起こす結果となった。地下水低下工法を採用する場合に必須の地下水位管理手法を適用せずに、連続地中壁による遮水効果のみを過信していたことが地盤変状発生の原因であった。調停では施工業者の過失を認め、相応の賠償金を支払うことが命ぜられた。

### ③リスク負担

地盤工学を適切に理解し、また軟弱地盤地帯での掘削工事について施工経験のある技術者が関わっていれば、周辺への影響は最小限度に抑えることが可能であった。したがって予見不可能な事態ではなく、施工会社の知識及び経験不足によるミスであり、当然その責は施工業者が負うべきものであった。事前に、経験のある地盤コンサルタントに相談していれば、避けることのできたリスクであったと言える。

## (7) トンネル地山調査における地盤リスク

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では、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かねばならない。

近藤(2000)によると、トンネル建設における地質調査結果の不確実性の度合いはフィージビリティスタディ段階で最大となり、その後の実施設計段階、施工段階と地質情報が明らかになるにつれて減少すると解釈されている(図 3-1-1 参照)<sup>3-1,3-4</sup>。

地質調査については、その数量を増加することにより地盤リスクを低減することができると考えられるが費用対効果の問題は残る。しかし、「事前調査を適確に行える技術を確立し、例えコストがかかっても“設計変更を前提”としないで済む当初設計を手に入れることが、結局のところ経済的なトンネル建設を実現する道になるのではないか」と言う施工サイドの意見もある(山田：2006)<sup>3-2</sup>。

花崗岩から構成されるトンネル地山について従来型の調査手法(弾性波探査+坑口部周辺のボーリング調査)とこれらに加え最近開発されてきた新技術探査を併用して評価した事例を表 3-1-1 に、設計および実施における地山等級の延長比率を表 3-1-2、表 3-1-3 にそれぞれ示した。同じ花崗岩地山でも変更度指数(i)で比較した場合、S トンネルの方が変更度合いがより少なく(i=0.56)、効果的な地質調査であったといえる。



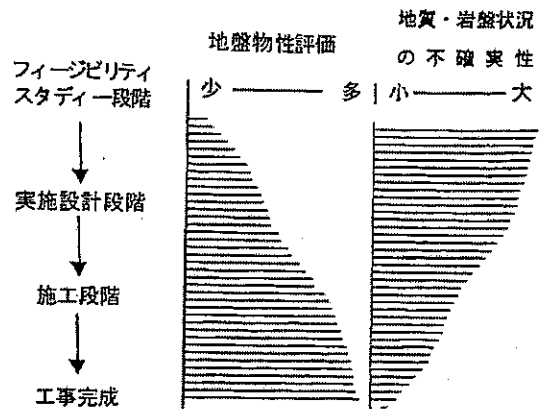


図 3-1-1 各段階における地質・岩盤状況の不確実性

【原図は近藤(2000), それに大津(2005)が一部加筆し, 今回一部修正した】

表 3-1-1 花崗岩地山から構成されるトンネル地山の評価事例

調査方法	Oトンネル (l=888.0m) 従来型の調査手法	Sトンネル (l=1,008.7m) 従来型の調査手法+新技術探査
調査内容	ボーリング調査 (坑口部周辺: 計4本) 弾性波探査 (全トンネル延長)	ボーリング調査 (坑口部周辺, 低土被り部: 計7本) 弾性波探査 (全トンネル延長) 比抵抗高密度探査 (全トンネル延長)
地山の地質	花崗岩 (白亜紀)	花崗岩 (ジュラ紀)
最大土被り	170m	200m
切羽評価手法	評価点法 (RMR法も併用)	評価点法
評価者	発注者, JV, コンサル3者で評価点を協議	発注者+JV+コンサルの平均点で評価
備考	切羽観察結果から見ると地山の相当深部まで非常に不規則に縦方向に風化が進んでいたため, 事前段階での地山分類 (弾性波速度値主体) との差異が大きくなった。	踏査段階では花崗岩中に安山岩が数多く貫入しており, 地質境界部が劣化していると考えられた。トンネル設計上, これらの劣化部の劣化程度, 湧水状況をより詳細に把握する必要がある。比抵抗高密度探査を実施し, 地山状況を検討した。施工実績と比較して劣化部をかなり精度良く把握することができた。
変更度指数	1.55	0.56

表 3-1-2 設計および実施における地山等級の延長比率 (Oトンネル)

当初計画地山等級 \ 施工実績地山等級	DIII	DI	DI	CI	CI	B	計
DIII	85.0m (9.6%)	-	-	-	-	-	85.0m (9.6%)
DI	-	48.0m (5.4%)	27.0m (3.0%)	125.0m (14.1%)	-	-	200.0m (22.5%)
CI	-	-	5.0m (0.6%)	133.0m (14.9%)	-	-	138.0m (15.5%)
B	-	-	-	378.0m (42.6%)	87.0m (9.8%)	-	465.0m (52.4%)
計	85.0m (9.6%)	48.0m (5.4%)	32.0m (3.6%)	636.0m (71.6%)	87.0m (9.8%)	-	888.0m (100.0%)

地山区分について当初設計と施工実績が一致 (30.0%) 266m  
 地山区分について当初設計と施工実績との間で1ランク変更 (13.4%) 119.0m  
 地山区分について当初設計と施工実績との間で2ランク変更 (56.6%) 503.0m

i=1.55

表 3-1-3 設計および実施工における地山等級の延長比率 (S トンネル)

施工実績 地山等級 当初計画 地山等級	DⅢ	DⅡ	DⅠ	CⅡ	CⅠ	B	計
DⅢ	36.0m (3.6%)	-	-	-	-	-	36.0m (3.6%)
DⅡ	-	23.0m (2.3%)	-	-	-	-	23.0m (2.3%)
DⅠ	-	-	48.2m (4.8%)	2.8m (0.3%)	11.7m (1.2%)	-	62.7m (6.2%)
CⅡ	-	-	4.8m (0.5%)	175.2m (17.4%)	80m (7.9%)	-	260.0m (25.8%)
CⅠ	-	-	-	15.2m (1.5%)	443.8m (44.0%)	-	459.0m (45.5%)
B	-	-	-	-	168.0m (16.7%)	-	168.0m (16.7%)
計	36.0m (3.6%)	23.0m (2.3%)	53.0m (5.3%)	193.2m (19.2%)	703.5m (69.7%)	-	1008.7m (100.0%)

地山区分について当初設計と施工実績が一致 (72.0%) 726.2m  
 地山区分について当初設計と施工実績との間で1ランク変更 (26.8%) 270.8m  
 地山区分について当初設計と施工実績との間で2ランク変更 (1.2%) 11.7m

i=0.56

### 3-2 リスクの定義・体系化

#### (1) トンネル事業計画におけるリスクの洗い出し

トンネル事業計画で、「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を次表に整理した。

大土被りという条件がトンネル掘削へ与える影響としては、主なものとしては土圧の増大、水圧の増大といったものがある。これらの現象に対する対策は、土被りがそれほど大きくなければ近代トンネル施工技術により相当程度克服可能なものである。しかし東海北陸自動車道の飛騨トンネルの例を見ても、長大土被りの場合では依然として大変な難工事になるリスクを持ったものと言える。その他のトンネル掘削に伴うリスクとしては、周辺水環境への影響（利水障害）の発生もあるが、これについても土被りが大きいほど影響の程度や範囲は拡大する。

(表 3-2-1)

不良地質区間を含む大土被りトンネルルートを選択

発生する地質現象	発生する事故	対応手段	顕在化する支障
土圧の増大	変形量の増大、切羽不安定	<ul style="list-style-type: none"> <li>切羽崩壊対策の実施</li> <li>前方調査・探査の実施</li> <li>AGF等補助工法の適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工期の遅れ</li> <li>工事費の大幅増加</li> <li>補助工法による新たな水質汚染のモニタリングや対策</li> </ul>
	TBM拘束、工法変更	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事中断</li> <li>拘束開放対策</li> <li>工法変更段取り替え</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工期の遅れ</li> <li>工事費の大幅増加</li> </ul>
水圧の増大	突発的な高圧湧水の発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事中断</li> <li>排水処理対策</li> <li>前方調査・探査の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工期の遅れ</li> <li>工事費の大幅増加</li> </ul>
山体地下水位の低下	利水障害(井戸枯れ、地表水枯れ)の発生と拡大	<ul style="list-style-type: none"> <li>モニタリング</li> <li>代替水源の確保</li> <li>補償</li> <li>ウォータータイト構造の採用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工事費の増加</li> <li>地元感情の悪化</li> <li>補償交渉にかかる時間と経費</li> </ul>
その他、調査不足等による予期せぬ事態の発生			

#### (2) トンネル地山調査における地盤リスクの内容

我が国においては古生代から新生代までの非常に長い地質時代の地層、岩体が複雑に分布し、さらに変動帯に属していることもあり、破碎・変質を受けており岩盤が劣化していることが多い。山岳トンネルの地山は、このような地質によって構成されており、かつ、トンネルは線状の構造物であることから見て、事前段階でトンネル全線に亘って地質を詳細に把握することは膨大な費用と時間がかかる。仮に多大な調査を実施したとしても、上述したような「複雑系」を対象としているため、トンネル地山の正確な地質・岩盤状況を掴むことは極めて難しい。

したがって、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、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。

建設工事費については、当初の契約金額と比較して約2～3割増となる場合もあり、コスト面からも問題視されることも多い。

その原因の一つとして、設計段階と施工段階での地山評価の乖離があげられる。

これは事前段階で推定したトンネル地山を構成する地質・岩盤状況の不均一性、湧水状況の不確実性によると考えられる。トンネル建設工事における地盤リスクとは、これら地質、湧水などに起因する不確定要因を指している(表 3-2-2 参照)。

表 3-2-2 トンネル調査における地盤リスクの内容

項 目	地盤リスクの内容	備 考
地質露頭の分布状況	地表地質踏査では、表層部が表土や風化層に厚く覆われている条件下では一般に露頭の分布状況に限られているため、地質技術者の熟練度に応じて地質分布・構造解釈に差異が生じる。特に岩盤劣化部の程度、幅の設定に乖離が大きいと施工上問題となる。	特に土被りが大きい場合、トンネル FL における施工上必要な精度と分解能を有する最適な地質断面図(最適解)を作成することはかなり困難である。また、地質分布が比較的一定した区間であっても成果品として多様な地質図・地質断面図が作成されることが多い。
弾性波速度値・比抵抗値	調査・解析精度には測定誤差が伴うと同時に、地山の物理的・電気的特性を把握した上で不確実性や解析精度を考慮した地山等級区分をしておかないと、変更が生じる直接的な原因となる。	物理探査技術者による現場におけるより高品質なデータの取得、解析データのクロスチェックが必要である。
ボーリング調査データ	いわば点のデータであり、地質が複雑に変化する場合には弾性波探査結果とは合致しないことが多く種々の変更を生む要因となっている。	弾性波探査とボーリング調査だけでは、熟達技術者であっても事前調査段階で十分に精度良く地山区分を予測することは難しい場合がある。
湧 水 量	トンネル湧水量を予測する決定的な手法は未だなく、予測の不一致から多額の変更を生じた事例も多い。JFT などにより正確に透水係数を求めた場合でも、試算段階ではかなり粗い推定となる。	同種～類似地山における施工時の湧水量が参考になると考えられる。また、水文学的手法、二次元ないし三次元の浸透流解析等を用いて比較検討する。

### (3) 地質リスクに関するチェックリスト

地質調査を計画して実施する場合、対象となる構造物によってどのような地質リスクが発生するかを理解しておくことはたいへん重要である。表 3-2-3 は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。

表3-2-3 地質リスクに関するチェックリスト（構造物ごとに見たリスク地盤）

構造物	留意すべき地盤	備考
建築物	腐植土地盤 広域地盤沈下地帯 汚染地盤 造成地盤 解体跡地 礫質地盤 埋没谷が存在する地盤 活断層に近接する地盤	地下水揚水による周辺地盤の沈下 基礎杭の抜け上がり 汚染土壌・地下水の拡散及び処理 切り盛り境界における不同沈下 残置基礎による基礎工法の制約 玉石混入による杭工法の制約 支持層出現深度の変化 地震力
切土	高さ30m以上の切土法面 地すべり地の切土法面 崖錐・軟弱層など不安定土質の切土法面 断層破碎帯が出現する切土法面 スレーキング性地山の切土法面 切土後の強度低下が大きい切土法面 湧水の多い切土法面 流れ盤構造の切土法面	法面の安定性 地すべりの誘発 法面の安定性 同上 切土後の降雨等による不安定化 長期的な不安定性 法面不安定化 すべり破壊
盛土構造物	軟弱地盤 耐震上問題となる地盤 近接施工盛土 地すべり地の盛土 斜面上の盛土 地山から湧水のある地盤	施工時の安定性・圧密沈下 液状化の発生 近接構造物への影響 地すべりの誘発 安定性の検証 盛土内への浸水による不安定化
上下水道 開削工事 推進工 シールド工	地下埋設物(ガス・電気・電話など) 液状化する砂質土 腐植土地盤 切羽自立困難な軟弱層 湧水の多い砂・礫質地盤 礫径の大きい砂礫地盤 鋭敏比の高い軟弱粘土層 高塑性の粘性土層 透水性の高いルーズな砂質土層 被圧帯水砂質土層 巨礫・玉石を含む帯水砂礫層 硬軟両層に分かれる地盤	破損の危険性 浮き上がり 不同沈下 地表面沈下 湧水処理 推進管のまがり 広範囲の地盤沈下 カッタースリットへの付着 切羽崩壊・地盤沈下 突発的湧水 カッタービットの摩耗・破損 シールドの蛇行
橋梁・高架構造物	厚い軟弱地盤や液状化地盤 地すべり・崩壊地形や崖錐堆積物 土石流発生地形	基礎形式や根入れ長の決定 基礎の形式や施工性 橋台位置の選定
河川堤防	軟弱地盤 透水性地盤	堤防の安定や沈下 堤内地への湧水
埋立て・港湾構造物	軟弱地盤 液状化地盤 廃棄物埋立てに係わる透水性地盤	安定・沈下 構造物の沈下・傾斜 汚染水の拡散
山岳トンネル	偏土圧を受ける地山 地すべりなどの移動地山 含水未固結地山 断層破碎帯 膨張性地山 高い水圧や多量の湧水が予想される地山 高温・温泉・有毒ガス地山	トンネル本体の不安定化 同上 施工時の不安定化 施工時の出水 切羽の不安定化 同上 施工時の安全性

全地連「地質調査要領」より一部加筆

### 3-3 リスク計量化（手法）の事例

#### (1) 地質リスクの計量化・大津先生

大津は、2002年以降の数編の論文<sup>3-3.4.5.6.7</sup>において、地質リスクを地盤リスクと称し、社会情勢の変化に伴い、今後は請負者がこれによる建設コストの増加分を負担することが多くなる可能性が高いため、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。ここでどのようなことを書いているのかを引用して記述する。

##### ①地質リスクを取り上げる背景説明

従来より、地下工事を含む建設プロジェクトにおいて地盤リスクは、その建設コストおよび建設工期に影響を及ぼす重要なリスク要因の一つであるにも関わらず、これまでに十分な検討がなされているとはいいがたい。日本では、地盤リスクによる変動は、原則的にはディープポケットを持つ公共団体等の発注者により負担されてきたため、そのリスクに対する基本概念が構築されにくかったものと推察される。従来の建設請負契約での地下リスクの分担は発注者側にあった。

しかし、建設市場の縮小に対する方策として、海外建設プロジェクトの受注拡大、PFIに代表される民間資本導入による公共事業の推進、構造物の維持・補修に関する市場の拡大という3つの方策を対象とし、これらの方策を推進することに関連するリスク要因を明示している。今後公共事業分野での展開が予定されているPFI事業では、地下リスクを請負者が負担する可能性があることを示している。

##### ②地質リスクの定義

地質リスク（地盤リスクと称している）を、建設プロジェクトにおける地下の地盤・岩盤の幾何学および力学的条件の不確実性に起因するリスクと定義づけている。

##### ③地質リスクの評価・計量化法

本論文では、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環境の下で、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。

実際の建設工事に対して、地盤リスク評価の一手法として地盤統計学を適用し、そのリスクを評価した簡易な事例についても示している。

地盤条件の変動に関する平均値および、そのまわりの変動幅を計量化する手法が不可欠であることを明らかにし、その手法としてのクリジング手法の適用性について、実際のボーリングデータを用いて検討を加えている。

## (2) 地質リスクの計量化・損保会社

自然災害に関するリスクも一種の地質リスクととらえると、損保会社は早くから計量化に取り組んでいる。本ワーキングで参考とすることが可能かどうか検討するため、取り上げた。

### ① リスクの内容とサービス内容

地震、台風などの予期せぬ自然災害によって、企業が被る損害は時として甚大なものとなり、企業経営にも深刻な影響を与えかねない。「これらの自然災害が発生した場合、企業の資産はどのくらいの確率で、どのくらいの損害を被るのか」をあらかじめ把握しておくことは、企業におけるリスクマネジメントの一環として、近年一段と注目されており、その重要性も増してきている。従来、損保会社では地震・台風によって企業が被る損害について、PML (Probable Maximum Loss: 予想最大損害額) 方式によって、予想される最大の損害額のみを算出・提供してきたが、この新しいシステムでは、これらの災害の発生確率にも着目し、損害の程度と発生確率とをリンクさせた損害額を予測している。これにより、より現実的かつ詳細なデータを提供することによる高度なリスクコンサルティングが実施できるようになったとしている。

### ② リスクカーブ

「〇〇年に1度の確率で起こる地震もしくは台風で〇〇億円の損害の発生が予想される」といったように、発生が見込まれるあらゆる地震・台風を想定して、その発生確率と予想損害額を算出したデータを作成する。次に、この算出データを、縦軸に発生確率、横軸に予想損害額をとった「リスクカーブ」のグラフに表し、対象物件が被る損害の全体の傾向を把握し、その分析に基づき診断を行う。

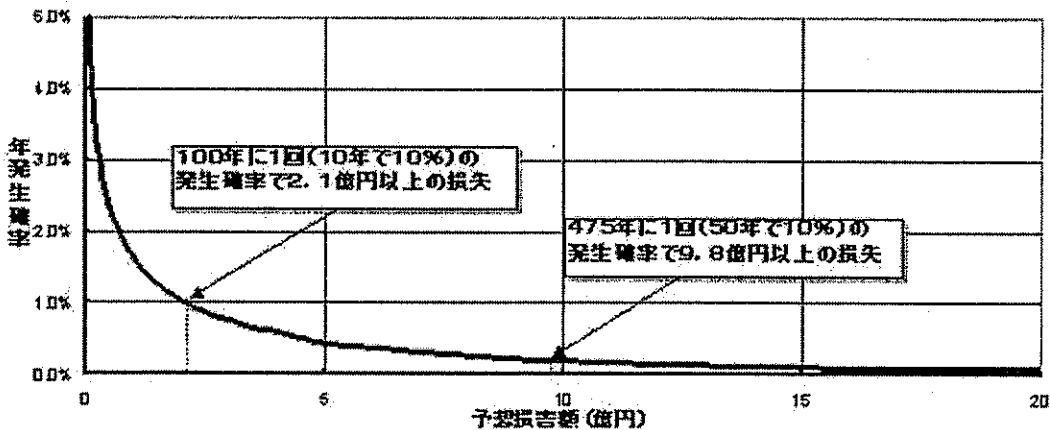


図 3-3-1 リスクカーブ

この事例をみると、公共事業の建設工事の工種・規模毎の地質に起因する「設計変更額」や「工期延長」を損害額と置き換え、これまでの発生頻度との関係を明らかにすることができるならば、同様の調査リスク予測ができると考えられるが、現状ではこのような観点から資料の十分な整理を行っていないし、また公開されていないので、難しいと判断される。しかし、公共事業の投資効率およびライフサイクルコストを議論するには、このような情報を公開が望ましい。

### (3) 地質リスクの計量化・道路事業

実広(2004)は、「道路事業のリスクに関する実態調査および分析<sup>3-8)</sup>」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。

#### ①変動要因・リスク項目の整理

社会的、経済的、行政的、自然的、技術的、合意形成の6つの変動要因をあげ、また自然的要因を自然災害、地質条件、景観・環境の3つの項目に細分類した。

またイベント発生の整理を行い、測量設計段階、設計協議段階、用地取得段階、工事段階、管理中段階の5段階に分類し、地質リスクとしては「予期せぬ地質条件変化への対応」として、工事段階に発生すると位置づけている。その他、地質リスクは自然災害と密接に関連することから、「自然災害への対応」は工事段階で、また「自然災害(地震、台風)による復旧」は管理中段階で発生すると位置づけている。

#### ②リスクの計量化

リスクを、①事業遅延影響(平均遅延年数(年)×発生件数(回答件数))と②費用増加影響(平均増加費用(億円)×発生件数(回答件数))とで数量化している。

#### ③「予期せぬ地質条件変化への対応」リスクの影響度合い

全国の国道事務所へ過去3年間の事業を対象にアンケートを実施し、64国道事務所から184工区、発生イベントで267件の情報の提供を受けている。平均事業期間は当初想定12.4年から実績16.8年へ増え、平均事業費は当初想定163億円から237億円に増えている。

事業遅延影響度合い(平均遅延年数×発生件数)を発生イベント別で調べると、一番大きいのは用地取得段階での「用地交渉の難航」で94年・件であるが、工事段階の「予期せぬ地質条件変化への対応」は6番目にあたり60年・件であった。また、費用増加影響度合い(平均増加費用×発生件数)を発生イベント別で調べると、工事段階の「予期せぬ地質条件変化への対応」は2番目の2087億円・件であり、相対的に影響度合いが大きくなっている(下表参照)。

なお、工事段階の「予期せぬ地質条件変化への対応」の費用増加分は、全増加費用の15%を占めている。用地交渉の難航あるいは周辺住民への対応は、住民との係わりであることから、多くは避けがたいものであるが、「予期せぬ地質条件変化への対応」は調査の仕方によっては未然に防ぐことのできるものと判断される。



表3-3-1 費用増加影響

	件数×事業費	費用	単位	
当初事業費	=184×163	29,992	件・億円	
実績事業費	=184×237	43,608	件・億円	
総事業費の増額分	=184×74	13,616	件・億円	
順位	発生イベント	増分	単位	内訳
②番	予期せぬ地質条件による増分	2,087	件・億円	123億円×17件
①番	用地交渉の難航	2,276	件・億円	51億円×45件
③番	周辺地域への対応	1,969	件・億円	82億円×17件

#### (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事例

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<sup>3-9</sup>。これまでは地すべり災害対策にかかる費用としては、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と考えられる。

地すべり災害の特徴としては、1)復旧作業が長期化することが多く、そのため一度発生すると社会的影響が大きく、多岐に渡る（移動・流通の遮断、ライフラインの寸断、観光への風評被害など）、2)降雨との相関が明確でない場合が多く、発生確率を論じることは難しい、といったものがある。こういった特徴を踏まえると、地すべり災害の社会的損失を最小化するためには、次のような手法の開発が望まれている；

- ・多岐に渡る影響の全体像を把握し、個々を適切に評価する手法
  - ・発生確率については評価はせず、現実に発生している問題を定量的に評価する手法
- なお、具体的な評価方法のアウトラインとしては、次のものが想定されている；

- a. 損失額算定（絶対的な定量化）
- b. 指標による評価（相対的な定量化）
- c. 定性的表現による評価
- d. これらを組合わせた評価

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」としてとりまとめ、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といったものを目指している。

#### (5) 土壌・地下水汚染におけるリスク評価モデル

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。この評価の手法の一つとして、リスク評価を積極的に用いている。リスク管理手法を適用する利点として、一元的な管理基準にとどまらず人の健康影響の程度を客観的指標として表すことが可能で、環境修復のた

めの意思決定や経済評価が可能であることが揚げられている。図 3-3-2 にリスク管理のアプローチの概念図を示す。<sup>3-10</sup>

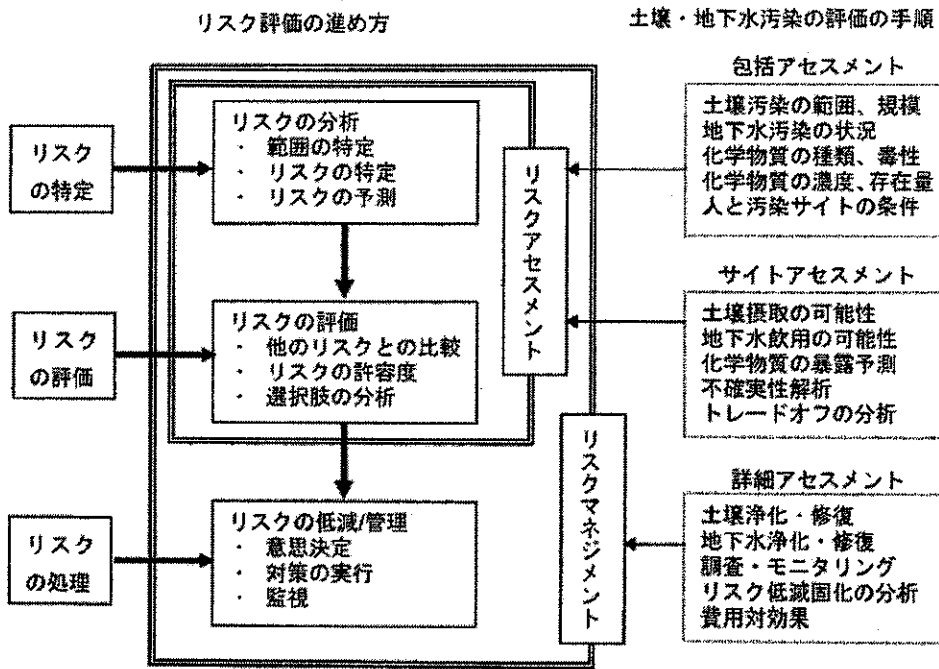


図 3-3-2 リスク管理のアプローチ概念図

具体的には、【人の健康リスク】 = 【物質の毒性】 × 【暴露量】 と定義し、さらに【暴露量】 = 【物質の濃度】 × 【摂取量】 で表す。土壌・地下水汚染調査では、調査の進行につれてより詳細な情報が得られることから、図の右側に示される「包括アセスメント」、「サイトアセスメント」、「詳細アセスメント」の順に実施される。より詳細な情報が集約されることで、暴露評価の精度が向上する。現在、国内外でそれぞれのアセスメント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。詳細アセスメントが可能な評価モデルは、未だ研究段階にとどまっている。

表 3-3-2 リスク評価ツール（計算プログラム）

名称	開発国	ツールの特徴		
		評価モデル	汚染媒体	暴露評価の対象
GERAS-1	日本	包括モデル	土壌・地下水	オンサイト
RBCA Tool Kit	アメリカ	サイトモデル	土壌・地下水	オン・オフサイト
RISC-HUMAN 3.1	オランダ	包括モデル	土壌・地下水	オンサイト
CLEA2002	イギリス	包括モデル	土壌	オンサイト
Risk Learning	日本	包括モデル	土壌・地下水他	オンサイト

#### (6) ファジィ理論を用いた斜面危険度評価法

岩石が硬い、風化しているなど、地質技術者が調査時に地質工学的な性質を記述する時、明確に定義された定量的境界値と試験結果を比較せずに定性的な表現に留まることは多い。試験値が

得られていたとしても、地質工学的な属性値は連続的な値をとるため、その試験値が代表している範囲は限りなく狭い？（その試験値の再現確率は厳密にはゼロだが正規分布または非対称分布を示す）。また、ある地質学的属性値について地質技術者がいくつかの範囲に分類（離散化）し、それぞれの代表値を試験によって得たとしても、結局は定性的な判断によって対象を分類することになる。このように、地質調査結果は明確な地質境界（貫入関係や不整合など）を除いてファジー性を有している。

ファジー理論では、このようなあいまいさを定量的に取り扱う。地質リスクと言った場合、このような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ので、ここではその一例としてファジー理論を用いた斜面崩壊危険度の評価法を紹介する。

ファジー理論では、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。遷急線を例にとると図 3-3-1 のようになる。この図では横軸が斜面崩壊の危険度を表しており、1 に近づくほど危険度が高まる。また縦軸は横軸の危険度の確からしさ、つまり帰属度を示している。そしてこの遷急線の場合、「遷急線が非常に明瞭」は危険度大 (High)、「遷急線が明瞭」は危険度が中位 (Medium)、「遷急線がない」は危険度が小さい (Low) というメンバーシップ関数により表現し、判断のあいまいさはそれぞれの関数の重なり合いにより考慮する。この重なり合いの部分をもって地質リスクを定量化することができないか、研究の必要があると考えられる。

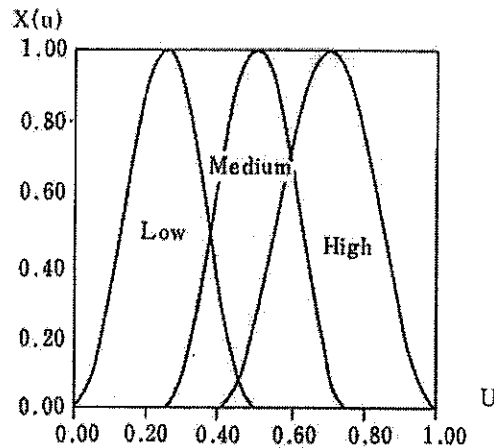


図 3-3-1 遷急線に関するメンバーシップ関数<sup>3-11</sup>

### 3-4 リスクマネジメント手法の研究事例

#### (1) 既往研究は少ない

- ・リスクアセスメント（リスクの計量化など）までは多くの研究があるが、リスクマネジメント（リスク管理）に関しての研究は少ない。
- ・設計変更などのリスク対応事例を3-5に示すが、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。
- ・3-3(4)に示す事例においても、「評価」ガイドラインと「事後対応」ガイドラインであり、事前のマネジメントには至っていない。
- ・3-3(5)に紹介した事例からも、アセスメントは行っているがマネジメントまでは至っていない状況が分かる。
- ・一方、欧州においては3-6に示すように事前に情報を提供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ある。

#### (2) リスク・不確実性のマネジメント手法

渡邊<sup>3-12</sup>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、この体系化作業にWBS（Work Breakdown Structure）とCPM（クリティカルパス法）を適用している。

リスクの管理指標には「ある期日までに事業が完了する確率値」を用いた。リスクコミュニケーションにおいては不確実性事象の構造認識図並びにリスク・不確実性影響評価図を重ね合わせて全主体構造認識図および全主体影響評価図を作成した。

### 3-5 リスク対応の事例

#### (1) トンネルにおける地質技術者参画（3者協議）事例

某県発注のトンネル業務の場合、建設技術センターが深く関与している。過去において、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ることから、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を設けるケースがある。センターが指導的にかかわっており、その概要はつぎのようである。

##### 1) 会議構成メンバー

- 発注者（土木事務所）：部長、課長、担当者
- 建設技術センター：課長代理、主任
- 設計コンサルタント：4社
- 地質調査会社：3社
- 測量会社：トンネル以外の部分も含む1社
- 施工業者：未発注のためその他の工区に関係するゼネコン数社

##### 2) 方針決定

会議の結果を踏まえて協議書を取り交わす。建設技術センターの意向が強く働く。

##### 3) 会議費用

契約上の打合せ回数のみ費用計上されており、協議会はすべて手弁当。

#### (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た（例：沼栗住野トンネル、大黒トンネル）。これらの建設工事では地盤リスクに係わる設計変更についての取扱いについては次のように示されている。

「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。」

しかしながら、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。

従来型の調査手法に加えて新技術探査手法による詳細調査がなされた場合でも、実施工では予想に反して破碎を受けた岩盤劣化部の幅が2～3倍に広がったり、数倍以上の坑内湧水に見舞われることもある。我が国は欧米大陸のような安定化した地質構造区とは異なり、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地盤リスクについての分担（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

地山等級区分が2ランク以上の変更となる場合には、設計変更協議の対象とする。

##### 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

想定した量の数倍以上の湧水量に遭遇した場合には湧水処理など補助工法採用における設計変更協議の対象とする。

### 3) 地質・岩盤条件の差異を判断する基準の設定

破碎帯、変質帯などの不良地山（DⅡ～E）が予想に反し、2～3倍以上の長さで出現した場合には設計変更協議の対象とする。

なお、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。設計変更可と判断された場合については発注者の負担とする。

第三者機関は1つのチーム（3名程度）で構成する。構成員としては、トンネルの計画、調査、設計、あるいは施工に10年以上の実務経験を持ち、その内3年以上は指導的立場であったものとし、発注機関、研究機関、建設コンサルタント（地質調査会社を含む）または当該工事に関係しないゼネコンに勤務する技術者（技術士などの有資格者）から選定する。

施工時には原則として請負者サイドから変更協議を第三者機関に上げ、速やかに検討協議を行うこととする。

### 3-6 海外の事例

#### (1) 非観的地質図と楽観的地質図（スイスアルプス）

大土被りの長大山岳トンネルの建設計画では、事前段階の調査については予算的な側面もあり、トンネル地山の地質、岩盤・地下水状況が事前段階においては必ずしも十分に把握されていない場合が多い。

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ペ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 2 種類の地質平面図・断面図を作成した(Kellerhals : 1992)。特に Doldenhorn-Decke 内の泥灰質～砂質片岩、Autochthon～Para autochthon 内の砂質片岩～泥質片岩および Karbon-Mulden 内の泥灰質～砂質片岩、石炭層が施工上は問題になると考え、これらの諸層が比較的広く出現すると予想される悲観的診断(Pessimistische Prognose)および限定的な分布と考えた楽観的診断(Optimistische Prognose)による地質平面図・断面図を作成した(図 3-6-1, 図 3-6-2 参照)。<sup>3-13</sup>

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診断に近い地質断面となっており(Kellerhals and Isler : 1998)、建設コストの再検討も本断面図に基づき DAT の手法を用いて行われている。

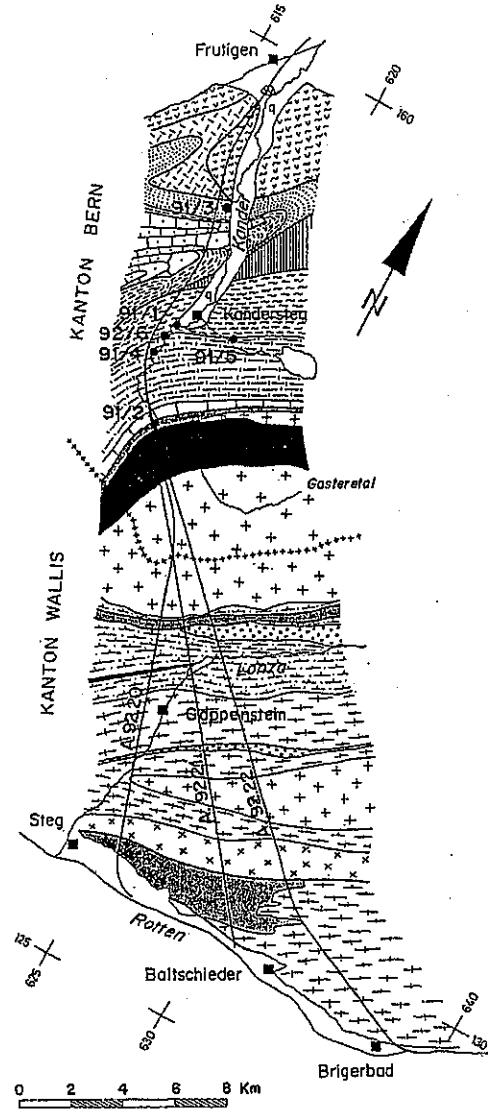
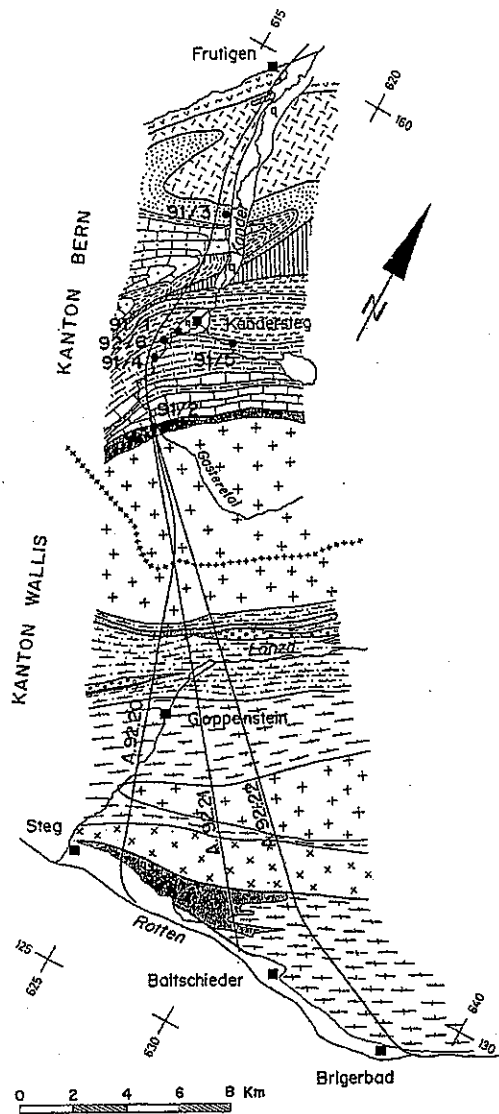
このように 2 種類の地質構造解釈によって地質図・断面図を作成しているのは、現在のところスイスのみである。施工時に難渋すると予想される地層についての不確実性の変動幅を示している点で注目に値する。

我が国のような地質分布・構造が非常に複雑な国土においては、かなりの数量の事前調査を行ったとしても地質・岩盤状況などの不確実性は依然として残る可能性が高く、どの程度がまだ不確実な地盤リスクなのかを明確にし、併せて建設コストを算定する上でも本事例のような検討が今後は必要となる。

Bild 2 Vorläufige geologische "Horizontalschnitte" auf Tunnelkote

Optimistische Interpretation

Pessimistische Interpretation



<楽観的診断による地質平面図>

<悲観的診断による地質平面図>

Legende für "Horizontalschnitte" und geologisches Profil

- |  |                               |                                                                                                             |
|--|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Ultrahelveticum               | Tertiärer Flysch und triadischer Gips und Rauhwacke                                                         |
|  | Tavayannaz-Serie              | Tertiär: Tavayannaz-Sandstein und Dachschiefer                                                              |
|  | Gelbihorn-Decke               | Kreide und Tertiär: Kalke, Mergelkalke, tonige Schiefer und Flysch                                          |
|  | Doldenberu-Decke              | Tertiär: Flysch und Globigerinenschiefer                                                                    |
|  |                               | Kreide (incl. tertiäre Sandsteine und Kalke): vorwiegend Kalke, Kieselkalke, Mergelkalke und kalkige Mergel |
|  |                               | Malm: Quintnerkalk                                                                                          |
|  |                               | Lias bis Malm: Mergel, Sandkalk und Mergelschiefer                                                          |
|  | Autochthon und Paraautochthon | Trias-Malm: Kalke, Dolomite, Sandsteine, Mergel, Ton-schiefer; Rauhwacke, Gips und Anhydrit                 |
|  | Karbonmulde                   | Karbon: sandige und mergelige Schiefer, Tonschiefer, Kohleflöze                                             |

- |  |                |                                                            |
|--|----------------|------------------------------------------------------------|
|  | Wildhorn-Decke | Tertiär: Sandstein, Kalk, tonige Schiefer                  |
|  |                | Kreide: Palfris-Schiefer                                   |
|  |                | Kreide: vorwiegend Kalke, z.T. Kieselkalk, z.T. Mergelkalk |
|  |                | Gastern-Granit                                             |
|  |                | Zentraler Aaregranit                                       |
|  | Aarmassiv      | Baltschieder Granodiorit                                   |
|  |                | Amphibolit                                                 |
|  |                | Glimmerschiefer und glimmerreiche Gneise                   |
|  |                | Gneis                                                      |
|  |                | Wichtigste tektonische Flächen                             |
|  |                | Quartäre Trogfällung                                       |

図 3-6-1 Lötschberg basis tunnel の地質平面図 (P.Killerhals:1992 から引用)



Bild 3 Vorläufiges geologisches Profil längs Achse 92.20

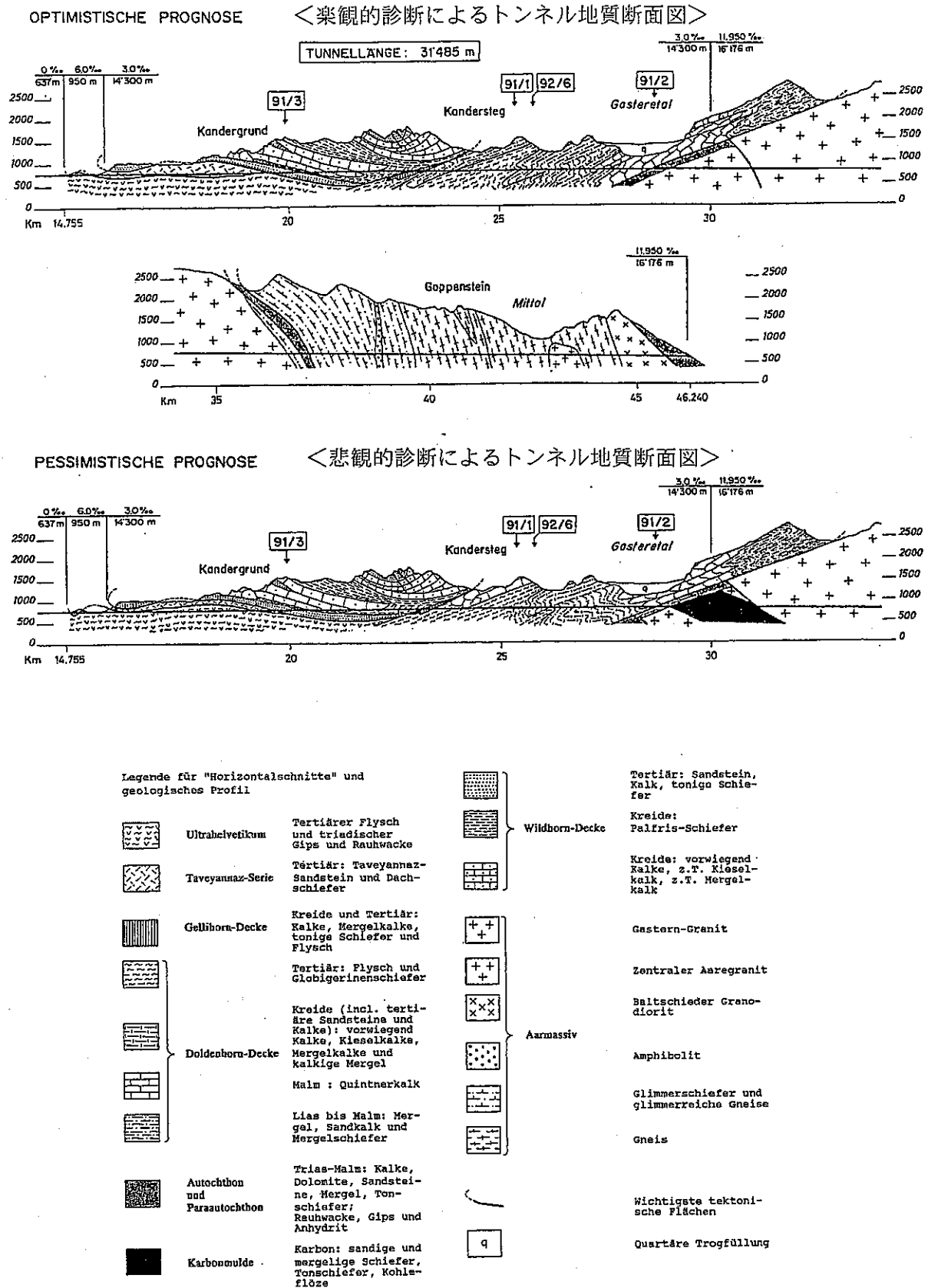


図 3-6-2 Lötschberg basis tunnel の地質断面図 (P.Killerhals:1992 から引用)

## (2) リスクの計量化手法 (アインシュタイン)

欧州における山岳トンネル建設のプロジェクトでは、1980 年代初頭からトンネル建設過程での地質学的なあるいは地質工学的な不確かさ(uncertainty)による建設コストと工期とについての効果を評価する手法(DAT)が開発されてきた。DAT(Decision Aids for Tunnelling)はトンネル掘削支援ツールとして、ヨーロッパアルプスを貫くトンネル(Gotthard Basis Tunnel, Lötschberg Basis Tunnel 等)に適用されている(C.Hass and H.H.Einstein : 2002)。<sup>3-14</sup>

本手法の特徴は以下のようにまとめることができる。

- 1) 地質、RQD、風化度等のパラメーターを規定し、マルコフ連鎖、モンテカルロシミュレーションにより確率的な地質/土木工学的な地質断面に変換し、さらに地山等級(支保パターン)の発生率を算定し、建設コストを確率量として表現する。
- 2) 地質による不確かさの定量化を行うことにより、建設コスト/工期、掘削工法/工期との関連図に変換する。これにより、建設工程、資源配分、財務計画などを改善することができるため、リスクアセスメントの解析手法の一つといえる(図 3-6-3, 図 3-6-4 参照)。
- 3) 種々のデータをタイムリーにアップデートしながらトンネルの未掘削部のより精度の高い予測を行うことができる。

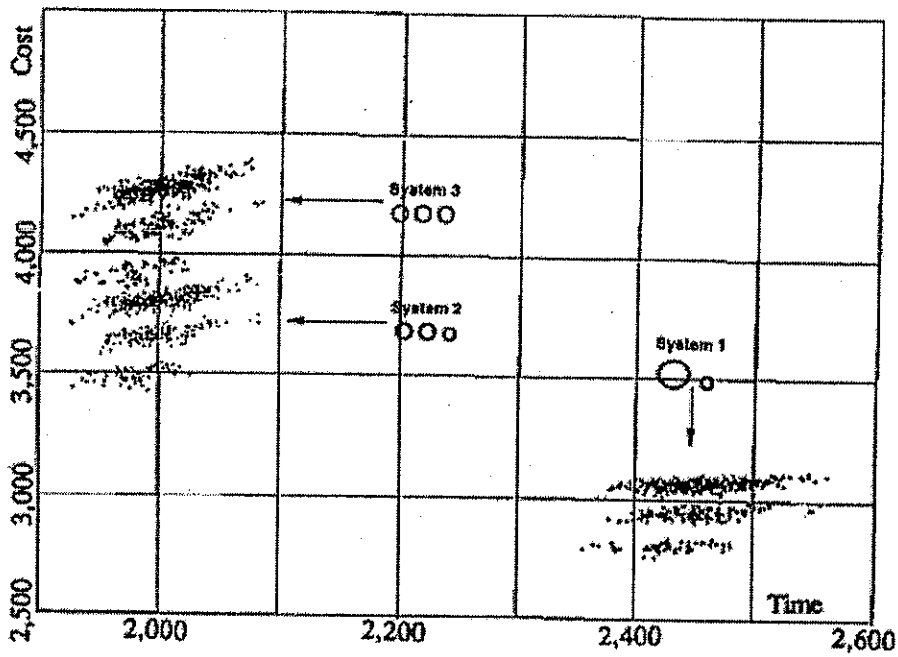


Figure 6. Time-Cost-Scattergram of the Three Systems  
(Time in working days and Cost in million Swiss Francs)

図 3-6-3 3通りの掘削システムにおける建設工事費—建設期間の相関図  
(H.H.Einstein et al., 1996)

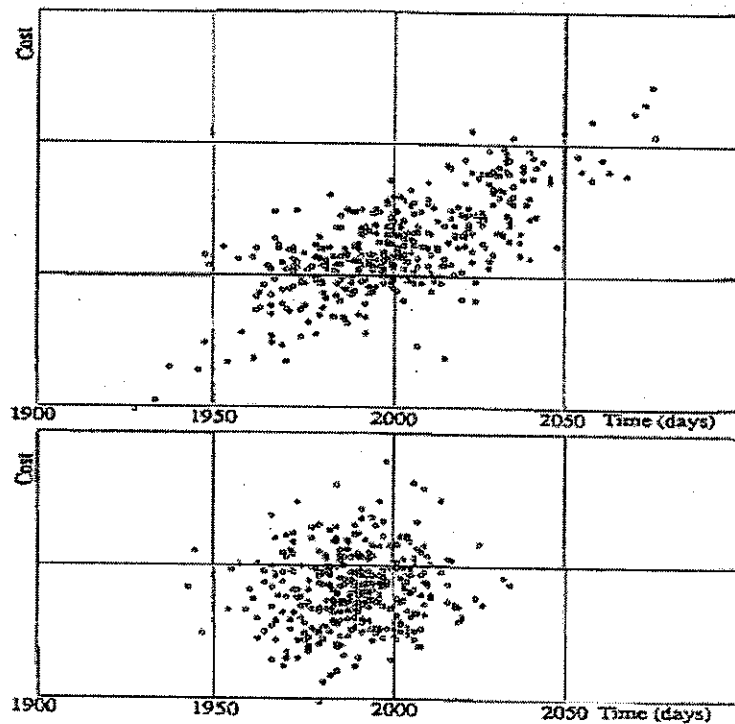


Figure 9. Effect of Additional Exploration in Scatter  
Top: before-, bottom-, after exploration

図 3-6-4 探査前後での建設工事費—建設期間の相関図  
(H.H.Einstein et al., 1996)

### (3) リスクマネジメント手法 (IT A)

国際トンネル技術協会(ITA)のワーキンググループ(WG-2)のメンバーによって「トンネル建設工事におけるリスクマネジメントのガイドライン」が2003年4月にまとめられている。<sup>3-15</sup>

本ガイドラインでは3つのフェーズに分けて、発注者および請負者におけるリスク管理のあり方について記述している(図3-6-5)。

#### ■フェーズ1(初期設計段階：フィジビリティや概念設計段階)

リスク方針の確立，リスク受入基準，質的なリスク評価(ハザードの識別，特定されたハザードの分類，リスク緩和についての測定手法)，固有のリスクについての評価

#### ■フェーズ2(入札・契約交渉段階)

入札準備期間でのリスク管理，請負者の選択の間におけるリスク管理(入札時におけるリスク問題の評価を含む)，契約時におけるリスク条項

#### ■フェーズ3(建設段階)

請負者のリスク管理(使いやすい管理システムの構築，発注・請負者間における互換性のあるシステムによるリスクの分類と減少，類似事例による再発防止策)，発注者サイドのリスク管理

#### 【その他】

- ・ハザードの識別：契約上での論争，支払い不能と制度上での問題，第三者の介入(干渉)  
    アクシデントの発生，不十分な設計・仕様・プログラムなど
- ・ハザードの発生頻度：5段階程度に区分するのが良い
- ・リスク管理手法：fault tree analysis, Event tree analysis, Decision tree analysis 等

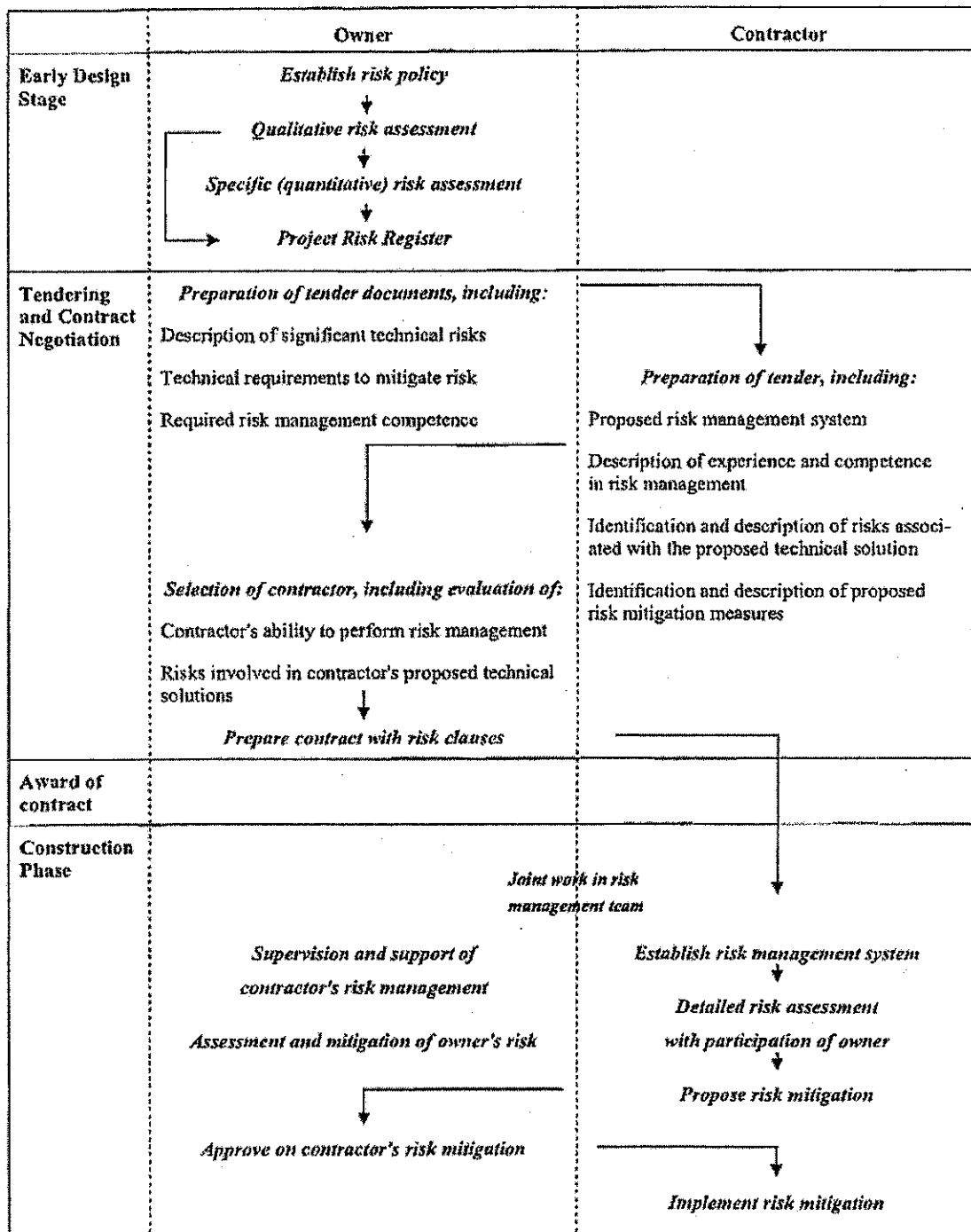


図 3-6-5 各段階における発注者および請負者によるリスク管理の内容  
(S.D.Eskesen et al., 2004)

## 4. 関連機関の活動状況

### (1) 行政機関

#### ①国土交通省

##### ■コスト構造改革プログラム

国土交通省では、平成15年にコスト構造改革プログラムを策定し、1)事業のスピードアップ、2)計画・設計から管理までの各段階における最適化、3)調達の最適化の3つの項目について合計34の施策を実行するとしている。しかし、これら施策の中には地質・地盤条件という視点からの施策は含まれておらず、事業途中でのコスト変動が予期せぬ地質地盤条件の変化に起因しているという認識は薄い。

このあたりについては、同省はすでに、土木工事の設計書をデータベースとして登録してコスト分析を含む様々な統計処理が可能なシステム（積算実績データベース）を構築しており、これを利用することによって事業費変動の分析も可能と考えられる。

##### ■電子成果の高度利活用

一方で国土交通省は、昭和61年度に「ボーリング柱状図作成要領（案）」を策定して以来約10万本におよぶボーリング調査の情報を収集しており、現在は各地方整備局が管理するTRABISと呼ばれるデータベースにまとめられている。現在国交省ではこれらの地質情報を一般に公開することも踏まえた共有化の検討を行っている。

このような動きに先立ち、九州地方整備局は、地質・土質調査成果の電子納品が平成13年に本格化したことを踏まえ、平成15年8月に学識経験者、国交省、自治体、公社・公団などからなる「地盤情報共有データベース検討委員会」を発足させ、九州の官公庁が保有する地盤情報の共有化についての検討を始めている。

このような地質情報のデータベース化、共有化、情報開示は直ちに地質・地盤リスクの縮減をねらったものではないが、利用可能な地質情報を最大限有効利用して地質技術者がジャッジすることにより、効率的な地質調査ができ、地質調査のB/Cを高め、ひいては地質・地盤リスクを縮減することが可能と考えられる。

##### ■公共工物品質確保法

公共工物品質確保の促進に関する法律は、平成17年4月1日に施行され、8月26日に基本方針が閣議決定された。この法律では、工事あるいは調査・設計を受注するための競争に参加する者を技術提案の優劣等を含めて総合的に評価すること、そしてそのような発注関係事務を適切に実施できない発注者に対して国・都道府県が支援すること、あるいは国・都道府県以外の者を活用することが明記されている。

上記のような競争者からの技術提案を評価するためには、設計条件、工事条件に潜んでいる地質・地盤リスクを適切に評価することが必要であり、そのような能力を有している者の確保が重要であると同基本方針は示している。

## ②県・土木部

自治体においても地質・地盤リスクの顕在化による事業費の変動的・社会的被害の発生に伴い、地質・地盤リスクをマネジメントすることの重要性に気づき始めている。すなわち学識経験者を技術顧問として任用している例、あるいは建設技術センターが民間コンサルタント出身の技術者を雇用したりする例が見られる。一方、自治体が独自の地質データベースを作成している例は多い。例えば東京都地盤情報システム、茨城県地盤情報システム、三重県地質情報システムなどである。これらも国交省のTRABISと同様、リスクマネジメントを目的としたものではないが、それを用いて専門技術者がジャッジすることによりリスクの削減が可能と考えられる。

## ③市町村

市町村において実施している事業の規模は相対的に小さいが、予算規模がもともと小さいために地質リスクが顕在化した場合の影響は比較的大きいと考えられる。これに対して、リスク顕在化後の対応としては県の建設技術センターに指導を求めている例は多いと考えられるが、リスクマネジメントとして調査・設計段階からの県建設技術センターとの協議機会はそれほど多くないのではないかと推察される。

## (2) 研究機関

### ①土木研究所、国土総合技術政策研究所

土木研究所では、いくつかの研究グループがコスト縮減あるいは安全評価などの研究を行っている。それらの研究は多くの場合様々なリスクをどのように評価するかという課題に関連しており、材料地盤研究グループの道路斜面災害リスク管理の研究、火山・土石流チームの土石流や地滑り災害対策の研究などが地質・地盤リスクと関連性のある研究となる。

また国土総合技術政策研究所では、建設マネジメント技術研究室において、社会資本整備についてのプロジェクトの企画・立案から設計・施工までの一連の事業執行プロセスを一つの生産システムとして捉え、そのマネジメントのあり方や手法を研究している。また政策研究の場として、防災事業など国の事業の効果分析にリスク評価を用いる研究を行っている。地質・地盤リスクに関連する研究としては、危機管理技術研究センターにおいて斜面災害リスク評価の研究が行われているが、緒に就いたばかりと見受けられる。

### ②産業技術総合研究所

土壤汚染現場のリスクを評価するシステムを開発し、平成18年3月17日に発表した。これは、重金属、揮発性化合物、油、ダイオキシンなどによる土壤地下水汚染による健康リスクを個々の現場ごとに定量化できるもので、地圏環境リスク評価システムと呼ばれている。

その他地質調査総合センターでは地質・地盤リスク関連の業務として火山・斜面災害関連の情報収集、公開、研究を実施しており、最近では研究速報として地質図の社会的価値（USGS CIRCULAR1111 日本語訳）を発行している。その中では、廃棄物処分場立地、またバイパス道路ルート選定のコスト比較を、新旧二つ（縮尺も異なる）の地質図を使って行い、その差によって地質図の価値を見いだそうとしている。これは取りも直さず地質・地盤リスクを計量化している

ことになり、興味深い。

### ③GUP I

地質情報の整理・活用について活動を行っているが、地質・地盤リスクの視点からの活動はこれからという段階と考えられる。

## (3) 大学

### ①地質系

地質系の大学で応用地質に関する講座を持つ大学はほとんどない。一方、災害に関連する学問を研究している学科・講座としては、火山研究、活構造研究、地下水研究、地球化学関連（汚染関連）などがある。しかしながら、それらのほとんどは自然現象の解明という視点での研究であり、社会基盤整備・維持に対するリスクという視点での研究はほとんどなされていないと考えられる。

### ②地質・地盤系

様々な大学の工学系学科において建設関連あるいは地盤災害関連リスクマネジメントの研究を行っている。

群馬大学では、県建設技術センターが地元企業のコンソーシアムに依頼している地質データベース作成に対して技術的アドバイスを行っている。

### ③マネジメント系など

東京大学、京都大学など、様々な大学の都市工学関連学科においてはアセットマネジメントの研究が進められている。その中にはトンネル、斜面など地質・地盤リスクに関連する事象も取り扱われている。

また岩盤力学関連学科においては、岩盤構造物・地下空洞などの建設時リスク、維持管理リスクについての研究も行われており、確立評価による地質・地盤リスクの計量化、建設リスクマネジメント手法などが研究されている。

## (4) 学会

土木学会では様々な部門の委員会が活発な活動を行っているが、代表的な委員会としては建設マネジメント委員会に属する各小委員会（環境修復事業におけるリスク顕在化事例の調査研究小委員会など）、岩盤力学委員会の小委員会（岩盤斜面に関するリスク評価小委員会、岩盤構造物の創造・保生に関するマネジメント研究小委員会など）が代表的なものであろう。

なお、地盤工学会九州支部では、平成15年に地理・地盤情報利用技術研究委員会を発足させ、データを提供する側からの検討・合意形成を目的として活動を開始した。この中では、データの収集方法、フォーマット、提供方法などが検討されている。

## (5) 情報・ツール提供機関



### ① J A C I C

J A C I C（（財）建設情報センター）では情報の価値計測の研究を行っており、取り扱う情報の一つとして地質情報も想定している。価値計測手法としてCVMとコンジョイント分析を実施している。現段階では情報の計測手法そのものの研究の段階であるが、その延長上にリスク削減量と情報の価値との関連づけがなされることが期待される。

### ② 先端建設技術センター

（財）先端建設技術センターではプロジェクトマネジメントに関するモデル研究、導入支援を実施している。具体的には、公共事業を執行している国交省河川・国道事務所や工事事務所などからの委託を受け、PMを導入する支援を行っている。そのような活動の中からPMを導入する効果の一つとして「リスク・懸案事項管理による事業の遅延防止」が検証されている。そのようなリスク・懸案事項には地質・地盤リスクも含まれていると考えられ、今後より詳細な分析が望まれる。

## 5. WGにおける議論

### 5-1 地質リスクの取り扱いに関して

#### (1) 地質リスクを低減するために

山岳トンネル建設に際しては事前に種々の調査が実施されるが、計画ルート of 地山に予想される地質・地下水状況については、我が国の地質分布の複雑さに起因し不確実なことが多く、確度の高い解(地質平面図・地質断面図)を求めることは難しい。リスク管理面からは、これらの不確実性 (Uncertainty in Geology)を低減することにより、施工設計段階と施工段階での地山評価の乖離を最小限にすることが重要である。地山評価は建設コスト管理とリスク管理の主要な役割を果たすため、土木地質技術者はよりの中度の高い地質調査を提案し、実施する必要がある。

山岳トンネルについては、特に以下の点に留意し事前段階での地質リスクを低減すべきである。

#### ①劣化部の予測

トンネル施工にあたり最も危惧される地盤リスクは、予測されていなかった断層破碎帯や熱水変質帯などの劣化部に遭遇し、切羽状況が急変したり、多量の湧水に見舞われることである。劣化部は、空中写真判読・地表地質踏査ではリニアメント、地質露頭、風化の程度として、物理探査では低速度帯、低比抵抗部として認められるが、あくまでも総合評価して決定することになる。劣化部の傾斜角の判断が重要となる。

この判断を誤ると、トンネル施工基面での出現位置が大きく異なる。その予測は、地質が複雑なほど、土被りが大きいほど、あるいは地表露頭が少ないほど難しい。最近では種々の探査手法も開発・実用化されており、これらを取り入れることにより把握できることも多い。また、「地表地形は地質の落とし子」とも比喻されているが、起伏量、谷密度、流域形状係数、エロンゲーション比、フラクタル次元解析など地形解析で得られる情報も参考になる。

#### ②情報の共有化

事前段階における地質技術者と設計技術者による地山の評価が、どの指標に重みをおくかによって異なってしまう、当初設計を大きく変更したケースもある。地質技術者の情報が、設計技術者にうまく伝達し、情報共有化による地盤リスクの低減を図ることも重要になる。

#### ③新しい情報の把握・類似事例の入手

最近、我が国では地質構造発達史の見直しが進んでいる。トンネル地山の地質構造の解析では、これらの知見を踏まえ解釈することが要求される。特に付加体域では地層の不連続性、変形相の解析が工学的にも意味をもつ。日頃からこれらの情報把握に心がけると同時に、類似地山での施工状況(施工報告書、工事誌など)を入手し、分析しておくのが非常に参考になる。NATM以前のいわゆる矢板工法時の事例でもかなり役に立つ情報が得られることが多い。

#### (2)地質が事業のリスクとなる要因とは(ボーリング本数の考え方を例として)

地質が事業遂行の上でリスクとなる要因は何かと考えれば、「地下は見えない」、「同じものは

ない・変化する」という点に尽きるのではないのでしょうか。キーワード的に並べてみれば、不可視性／不均一性（異方性）／多様性（多面性）／不可逆性／非再現性／突発性というような語がその要素となります。これらは自然界一般に共通する要素ではありますが、地質の場合は「見えない」という要素がより強く作用し、高度の専門性が生じていると考えます。

例えば、一般的に地下地質状況を把握する場合、地質屋の基本は地表踏査によって地質図を作成します。地質図はほとんど見えていないものを、技術的判断（経験）によって予測した結果であり、見えないものを可視化したといえます。しかし、地質図には様々な不確定要素が内包されています。全面的に表土を剥ぎ取ってしまえば不確定な部分はなくなりますが、これは日本ではきわめて稀なケースです。地質調査業は、この点をボーリング調査や各種試験・探査等で補い、可視化・数値化することにより不確定要素の少ない結果を示す役割を負っているといえます。比喩的に言えば、不確定要素を解消するに当たって、ボーリングを何処で何本実施すればいいのかを判断するのが地質調査であり、事業のトータルコストを大きく左右する要素となります（図5-1-1参照）。

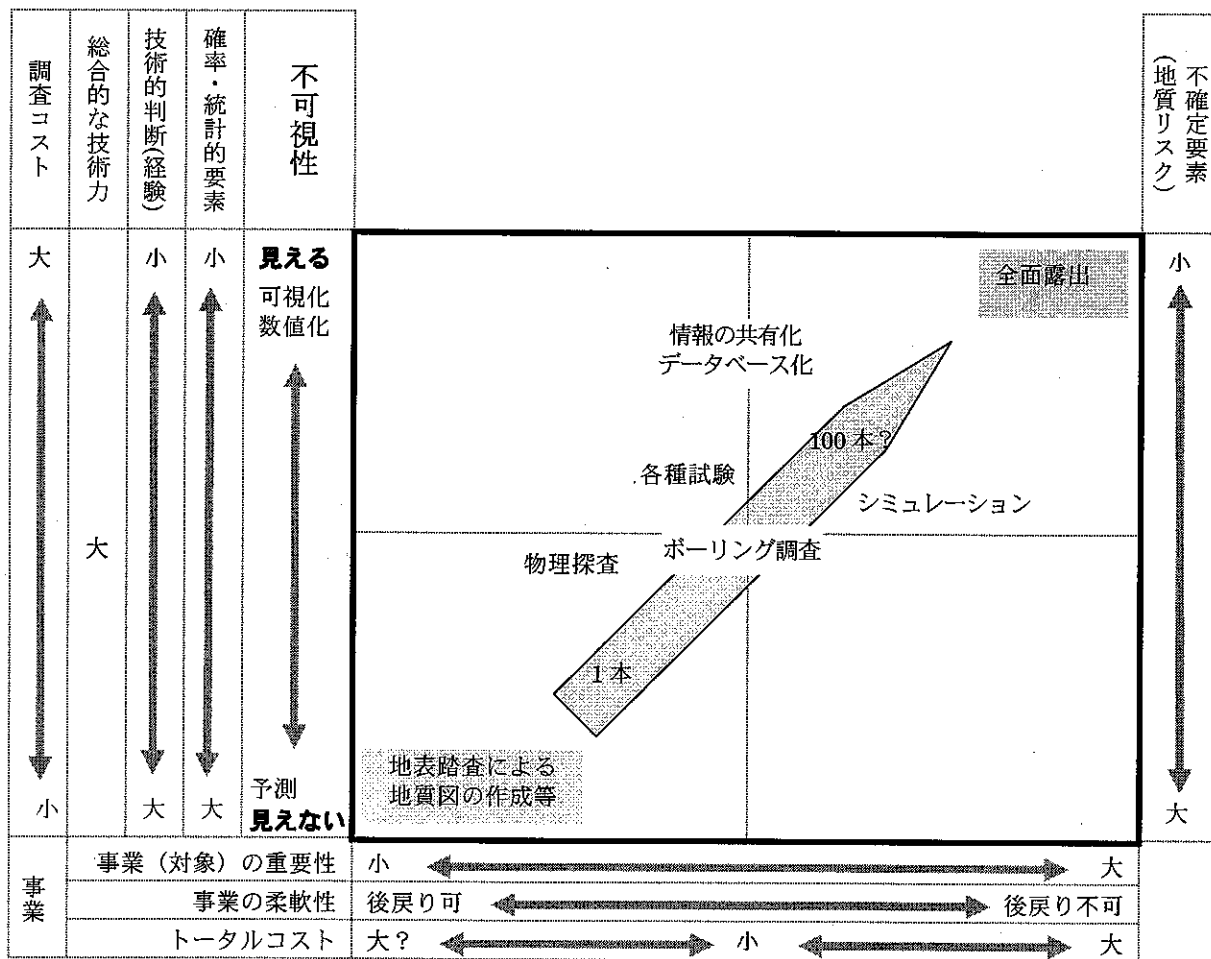


図 5-1-1 ボーリング本数を例とした地質リスクの要因（概念図）

### (3) 民事裁判の事例

地下水汲み上げと地盤沈下に係わる民事裁判の事例は民～民の対立である。加害者となってしまった施工業者は、当初においては地元説明会等によって誠意を持った対応を行う旨の発言をしていた。しかし、損害賠償の請求額が億の桁に及ぶようになったことから態度を硬化し、もともと軟弱な地盤沈下地帯であることが原因であるとして工事との因果関係を否定するようになった。この時点で、住民側の弁護士の依頼により地盤工学の専門家として係わることになったが、数回の調停を経て最終的には工事による地下水汲み上げと地盤沈下の因果関係が認められ、損害賠償額の示談に移行した。最終的な示談額は不明であるが、弁護士の報酬は賠償額の10%から15%とのことであった。地盤コンサルタントの報酬はそのような契約ではなく、提出する資料作成費と調停への出席費用として、1回あたり数十万円で請け負った。

### (4) 地質リスクの取り扱いに関する意見

#### ①地質リスクの取り扱い

地質リスクを取り扱う上で、「リスク」と「エラー」の区分が不明確であり、両者の境界を論じることの難しさを痛感している。技術者倫理についても、リスクの中にどの程度組み込むのが妥当なのか、難しい問題である。これら、性善説と性悪説が相反する中、セカンドオピニオン制度などの導入により回避するか、システムとして縛るのか、倫理上の問題でもあり難しい課題と認識している。また、これらの判定者については、事業の進展状況により変化してゆくものと考えられる。地質リスクであるので、基本的には地質技術者が技術的なジャッジを行なうことになると考えられるが、大きなプロジェクトや複雑な問題を内在する物件については、有識者などによる委員会形式などが導入されることもある。また、訴訟問題などに進展すれば裁判所の判断にゆだねられることも考えられる。まだ、地質リスクの議論の途に就いたところであり、今後、「地質リスク」という用語の普及を含めた広報活動も合わせながら、検討してゆく必要があることを認識した。

#### ②回避すべき地質リスク

土木工事の負荷が小さい場合には、軽微な対策で竣工可能となるケースが多いが、負荷が大きくなるほどリスクは指数関数的に増大していく。特に負荷の大きな計画の場合は、最新の土木技術をもってしても大変な難工事になりえ、費用・時間・地元感情・将来まで継続する環境負荷など、多くの面でマイナスの影響を受ける。

かつての土木事業は、小規模で環境負荷は短期的、可逆性を持ったものであったが、現在の土木事業は大規模・長期的負荷・非可逆性という性格を持つようになった。したがって、地質リスクの大きさを事前に適切に把握・評価し、多大な地質リスクを含む計画は再検討し、リスクを軽減あるいは回避するといった姿勢が必要であろう。

#### ③地質リスクの取り扱いについて

1) 対象構造物を考慮する必要がある。

建築物では点構造物として扱える。一方、橋梁などは線構造物であり、リスクの大きさは違う。

2)地質・地質構造などを考慮する必要がある。

比較的均質で割れ目や破碎部分の少ない地質と割れ目・破碎部分などの不連続面が多く存在する不均質な地質ではリスク（調査精度も含めた）の大きさが違う。

3) 自然災害を考えた場合、水・地下水の多少はリスクに大きな影響を与える。

地形（微地形区分を含む）はリスクに大きく影響する。

## 5-2 リスクの定義・体系・範囲

### (1) 地質リスクの要因（事業プロセスに沿って）

土構造物の基本計画・調査・解析・設計・施工を例に業務プロセスに沿って地質リスクの要因を挙げ図 5-2-1. に示す。

基本計画において対象地区の地形・地質に合致した計画を立案することが重要である。

また、地質調査の計画立案は地形・地質構成を考慮した上で、計画構造物の特性を理解し過不足無く調査・試験項目、数量を検討するものでこれが以後の地質リスクに大きく関与する。

調査・試験結果についても想定した地層断面図の地質的な根拠に基づく連続性や物性値の精度・バラツキを含めて妥当性を検証した上で設計用の地盤モデルを作成することが重要となる。この地盤モデルを用いて地盤解析を行いその結果を用いて設計を行うため、解析等の結果が従前の施工実績と著しく異なる場合は地盤モデルの再検討を行うなどが必要であり、これらを機械的に行うと様々な地質リスクが発生することになる。

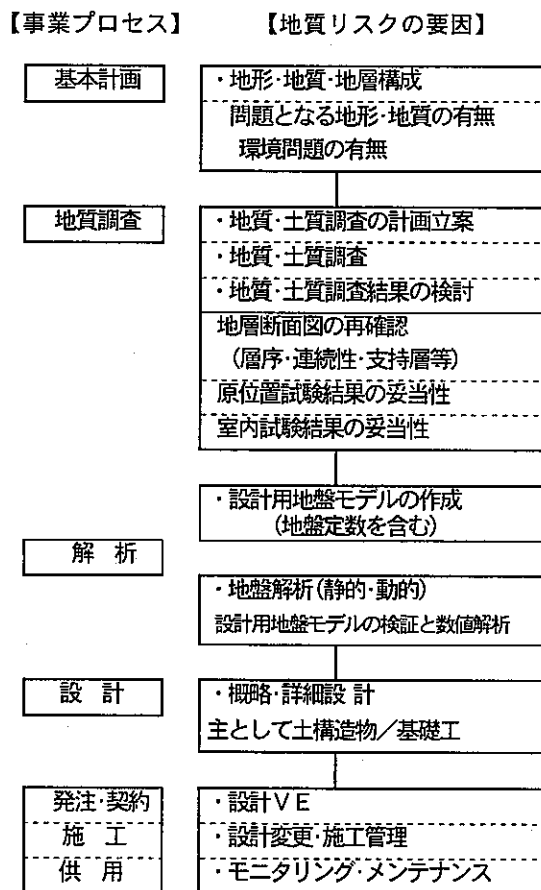


図 5-2-1 事業プロセスに沿う地質リスクの要因(土構造物を例に)

## (2) 地質リスクの定義

標準レベル以上の地質調査が十分な技術的能力・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と呼ぶことにする。（あるいは、そのような不確実性によって生じるコスト？）

そのような不確実性とは、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。また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。

## (3) 工事費の分散によるリスク表現

### <リスクの定義>

WGの議論の中で、地質リスクの定義をどのように考えるかということが議論になった。

様々な意見が出されたが、おおむね地質リスクを次のように定義するという合意が得られた。

#### (地質リスクの定義)

- ・地質に起因する事業リスクを地質リスクと表現できる。
- ・具体的な事業リスクとは、発注段階の建設工事費と完成段階の建設工事費の差額であり、一般的には増額の大きさがリスクとして理解される。
- ・事前の地質調査などで予見できない事象も地質リスクとして捉えられる。

地質リスクを建設事業費の増加と考えた場合の建設費分散を地質的な予見の困難さと関連させてパターン化した模式図を図 5-2-2 に示す。

図 5-2-2 では、コスト分散のパターンを、①地質的な予測が容易な場合のコスト分散、②地質的予測が困難な場合のコスト分散、③地質的な予測を行っていない場合のコスト分散に分類してみた。

地質的な予測が容易な場合のコスト分散（①）は、コストの偏差が小さく中央値と最頻値が一致するが、地質的な予測が困難な場合のコスト分散（②）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、地質的な予測が困難な場合のコスト分散（②）は、建設コストが極端に大きく異なることが予想される。

これに対して、地質的な予測をほとんど行っていない場合には、中央値と最頻値が一致するものの分散幅は非常に大きくなることが予想される。

①～③に示した分散を累積値として、たとえば非超過確率 95%程度に着目すると、設計コストとして考える中央値からの乖離幅は、地質的な予測を行わない場合(③)が最も大きく、地質的な予測が容易な場合(①)および、地質的な予測が困難な場合(悲観的地質判断)(②-1)が最も小さくなる傾向を示すものと予想される。

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は非常に重要である。



## 地質に起因する建設事業リスクの考え方

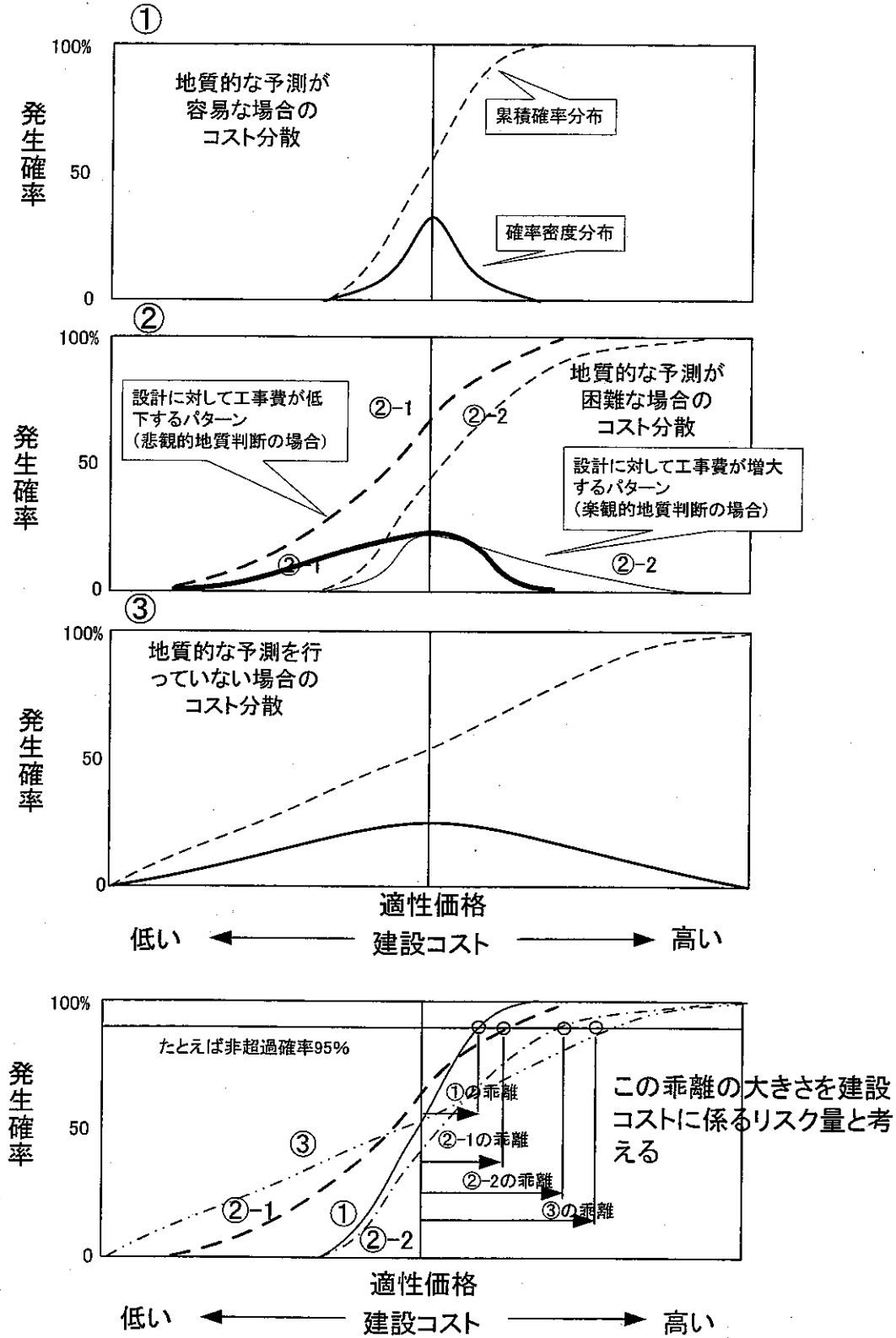


図 5-2-2 地質に起因する建設事業リスクの考え方 (模式図)

<事業の進捗に伴う建設コスト分散の変化と、地質要因把握の重要度>

事業で想定する建設コストは、事業の進捗によって変化する。

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。これは、事業に関する様々な情報が蓄積されることや、地質に関する資料も地質調査等によって得られるためである。そして、工事の発注段階では建設コストの分散は考慮されないようになり確定的な金額として発注されるようになる。ただし、発注金額は確定的であっても、工事を受注する業者にはコストにかかる分散幅は理解されており、考慮される分散幅も各々業者によって異なるものと予想される。ところが、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た場合には、建設コストは大きく上昇し、この上昇分は発注者が設計変更として負担することになる。

しかし、予想を超えるような地質的事象が発生するのは、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抹消していないことが原因となっている可能性があり初期段階で、地質的リスク要因の大きさを正しく評価できる地質技術者の役割が大きく期待されるところである。

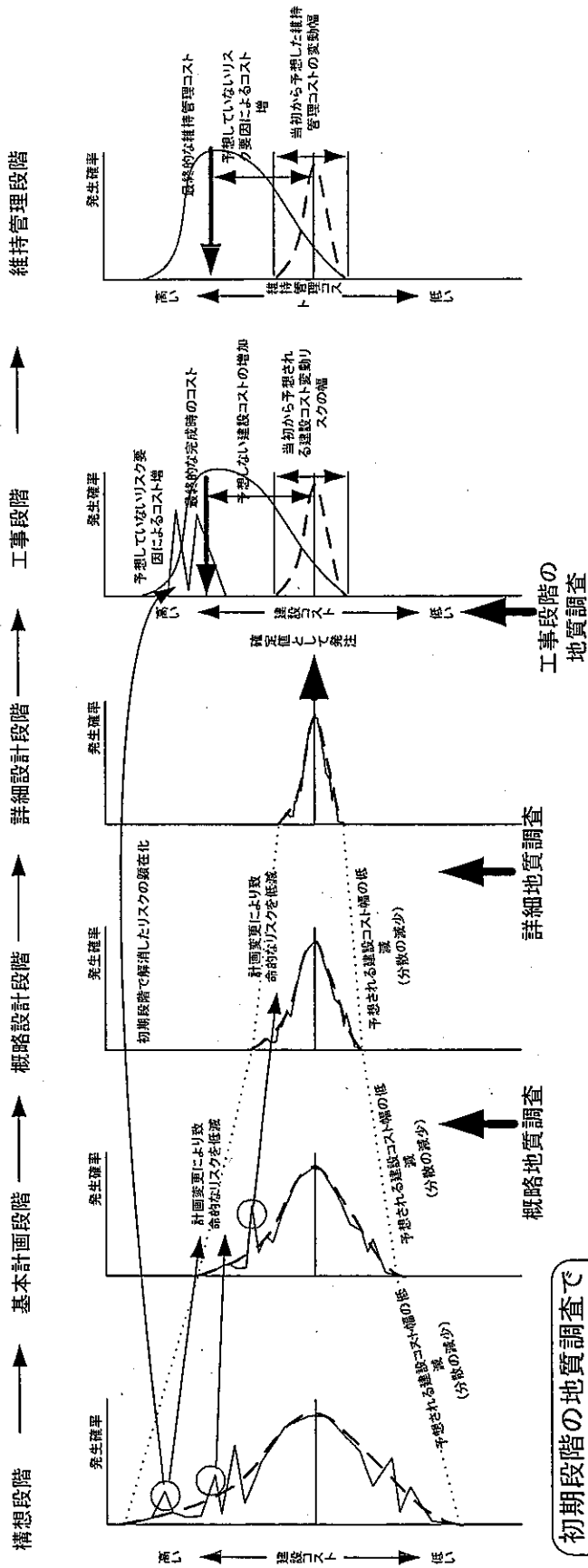


図 5-2-3 事業の進捗に伴う建設コスト分散の変化

#### (4) 立場による地質リスクの捉え方の違い

事業全体の中での地質リスクに対する考え方は、利害関係者の立場によっても違ってくる。この違いは、以下の3つの立場・考え方に区分することができる。

- 1) リスクカーブで捉える考え方：損害保険会社の立場 (3.3(2)参照)
- 2) 事業の進捗に伴う段階的な建設コスト分散の収束として捉える考え方  
：発注者の立場 (5.3(3)参照)
- 3) 一つの業務（調査・施工）の中での達成度・満足度として捉える考え方  
：エンジニアの立場 (5.6(2)参照)

1)は、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・診断する考え方である。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、いわば損害補償会社の立場である。

2)は、ひとつの事業が構想段階から、基本計画→概略設計→詳細設計→施工と進むにつれて地質情報等が加わり、これによって地質リスクが軽減されて建設コストの分散幅が狭まるという捉え方である。全ての段階で決定権を持つ、発注者の立場での考え方である。

3)は、関係したひとつの業務（調査）の中で、いかに地質的不確定要素（リスク）を低減させていくかを考えるもので、エンジニアの立場の捉え方である。業務の達成度・満足度が建設コストの低減に直結することから、技術力の優劣が重要な要素となってくる。

これまで日本では、エンジニアは物も言わずに黙々と働き、一から十まで決定することのできる発注者が強い力を有してきた。しかし、事業の初期段階で、将来顕在化する可能性のある地質リスク要因を削除できれば、最終的に事業費が予想を超えて肥大化するといった事態を回避することが可能であり、コスト改革における地質技術者の役割は大きい。関西国際空港と中部国際空港における事業費の変遷は、その好例といえる。

### 5-3 リスク顕在化の原因

#### (1) 地質調査が不十分・調査結果が設計以降に反映されていない等

『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』（全地連既往資料）等を見ると地質リスクとして以下のケースが挙げられる。

##### 1) 地質調査が不十分のケース

調査対象の地盤特性、規模に対して明らかに調査数量(ボーリング本数、地点数、サンプリング数)、試験内容等が不足するものであり、このまま設計、施工に進むと大きなリスクが発生する可能性があり事前に対応が必要となる。

##### 2) 地質調査結果が設計以降のプロセスに生かされていないケース

調査・試験内容ならびに数量が十分であっても、十分な解釈が行われなまま設計に用いたり、また技術的判断が誤っているケースも無いわけではなく、調査・設計技術者の技術力向上が必要とされる所である。なお、現行の設計規準の多くがN値万能の体系になっているため、地層構成のみを用いて他はN値により設計を行うケースもあり地質リスクとは異なる過大設計につながっているものと思われる。

##### 3) 地質構成等が複雑で事前に予見出来ないケース

地層の急変部、物性の弱部等を通常の調査数量・内容では的確に予見出来ない場合であり、これが本来の地質リスクに相当する。

このような『地質リスク』を解消するためには単に調査技術者は地質調査の分野だけでなく、その結果を用いて行う地盤に関する解析・設計の領域まで踏込んで検討することが必要となる。

#### (2) 負荷の大きさと地質リスク

一般に、地質的負荷が中小規模の場合は対策は軽微ですむが、負荷が大きくなるにつれリスクは格段に増大し、またリスク対策が新たな別のリスクを生み出すような面もあるため、結果としてリスクは指数関数的に増大していくことになる。例えば、3-2 で示した大土被りトンネルルート<sup>1)</sup>のリスク洗い出しの表において、「工事費の増大」は直接的なリスクであるが、土被り圧や地質条件が悪くなればなるほど、施工段取り換えや補助工法の採用など、格段に工事費が増加していくことになると想定される。またそれだけでなく、「工期の大幅な遅れ」やそれに伴う「便益発現の遅れ」、さらには「利水障害の拡大」「別の新たな障害の発生」「地元感情の悪化」「補償交渉の長期化」といった、間接的な支障も多数発生・拡大していく可能性が高まる。

#### (3) 地質と土質、ボーリングと探査など領域の境界のリスク

調査結果が、設計以降のプロセスにうまく反映されないようなケースが見受けられるが、これは発注形式が調査・設計の同時発注などの場合に、それぞれが分業・平行作業となることが多く

その結果、設計と調査解析の進捗の整合がとれないことなどに起因するものと考えられる。

同様に同時施工となる分野、例えばボーリング調査と物理探査の結果は旨く融合させ解析を進めることが必要であり、また理学系の地質技術者と工学系の土質技術者の融合も極めて有効かつ必要なことであるが、専門性の違いからコミュニケーションが不十分なものとなり最終成果にそれぞれの成果が整合のとれた形で反映されないようなケースも生じる。その結果が、地質リスクとして内在してしまうような場合が想定される。

## 5-4 地質リスクのマネジメント手法

### (1) マネジメント手法に関する議論

WGでは以下のような議論を行った。

#### ①既往事例はあるかもしれない

3-4に示すように地質のリスクマネジメントに関する既往研究は少ないが、リスクに対応した実績は多くあるのではないかと。この実績の体系的整理が求められる。

#### ②リスクへの3つの視点

まず、一般的な事業の中で地質に起因するリスクがどれくらいあるか、表3-3-1ではかなり上位にあることが分かる。図3-3-1に示すリスクカーブで表現される「地質リスク」に着目する視点である。次は、図5-2-3に示す1つの事業の中でのリスクの収斂問題。すなわち事業の「プロセス管理」の視点である。3つ目は事業プロセス（構想、調査、計画、設計、積算、工事、維持管理など）の中の「1つの段階」におけるリスク対応の視点である。

#### ③リスク収斂図を用いた管理

図5-2-3のようにリスクが時系列に表現（計量化）できるなら、現段階から次の段階への移行条件として「リスクあるいはその不確実性の程度など」を用いることができるか。すなわちリスク期待値あるいはリスクの分散がある基準値に達したとき次のステップに移行する。逆に基準値を超えた場合は前段階へフィードバックする考え方である。

#### ④市民の理解（リスクコミュニケーション）

公共工事遂行の制約条件である「環境」と比較すると、環境は生態系、大気（CO<sub>2</sub>）、水質（BOD）、振動、騒音など市民の理解力が高くリスクコミュニケーションが進んでいる。一方、地質に関する地下水、地盤、土壌汚染などは市民に理解されているとは言いがたい。リスクコミュニケーションを進めるための市民教育・広報が重要である。

#### ⑤アウトカムへの影響度

地質は公共施設そのものの安全性に影響を与えるが、さらに公共施設の機能への影響は数段大きい。アセットマネジメントにおいては公共施設そのものの健康度（アウトプット）が議論され維持管理をして長寿命化するものであるが、機能（アウトカム）を考えた場合、施設が立地する地盤の地質条件は施設の価値を根本的に左右する立場にあり地質リスクマネジメントはアセットマネジメントの中核をなすべきものである。道路における法面保護工などはその典型である。

#### ⑥リスクの引継ぎ・引渡し

地質リスクは、調査、計画、設計、工事と書く段階を曖昧なまま引き渡されている。調査を複数社が担当しこれを受けて設計も複数社が担当した場合、リスクの引継ぎは一層曖昧になる。JHにおいては民営化に伴い、乙の提案による調査計画の変更が行われるようになっており、調査担当者に責任と判断を委ねる傾向が出ている。このように気のついた者が気のついた時に発言できる仕組み作りからリスクマネジメントは始まると思われる。

#### ⑦地質技術・技術者投入のメリットのPR

事業プロセスに地質リスクの概念を入れてこれをマネジメントすることのメリットを発注者（たとえばコスト構造改革担当者）、市民（たとえば斜面ハザードに直面している人）へもっとPRしなくてはならない。国総研、土研が中心となってPRしてほしい。さらに行政ポストを得て政策的に普及すべきであろう。

## (2) 瑕疵保険責任について

瑕疵とは「ミス」あるいは「エラー」のことであり、ここで扱うリスクとは区別しなくてはならない。しかし3-1に列記した地質リスク問題の中には技術力不足あるいは調査不足によって生じたリスクが多く報告されている。調査不足は予算制約のみならず調査計画立案にあたって技術力不足に起因するものも多い。

このような技術力不足はある水準以上の技術力を前提とした専門家の行為から見ればミスでありエラーであろう。そこに瑕疵責任の問題が生まれる。瑕疵責任に対しては瑕疵保険が普及しており損害賠償によって償われる。

従って、予見し難き地質条件に対しては「設計変更」、予見可能な事象の見誤りに対しては「瑕疵責任」によるが、その線引き（予見能力水準）は議論的になっている。発注者の判断で調査不足のまま設計したものが工事段階で設計条件と異なる地質条件に遭遇した場合、以前は設計変更で処理したものが情報公開の流れの中で調査不足の責任を問われる事態に直面し、設計者の責任、すなわち「設計瑕疵」として処理される事件が頻発してきた。設計者は、設計条件として受け取った地質図が不備であることを言わずに瑕疵保険で処理することもあり、事業進捗を阻害した要因が不透明なまま処理されることも多い。

これらのことは地質リスクへの対応方法が確立されていないことを示しており、マネジメント手法の確立が求められる。



## 5-5 地質技術者に関すること

### (1) 地質技術者の事業プロセスへの関わり方

現在の建設事業の進め方は、「構想段階→基本計画段階→概略設計段階→詳細設計段階→工事段階」として進められるのが一般的である。

これまで、地質コンサルタントが事業に参画している段階は、これらの内「概略設計の前段階」、「詳細設計の前段階」、「工事段階」であり、構想段階や基本計画段階への参画はほとんどなされていない。もちろん、建設コンサルタントにも施工業者にも地質に関する専門知識を有する技術者がいるため、このような縦割り構造を全面的に否定するものではないが、構想段階や基本計画段階のような初期段階で第三者としての地質コンサルタントが事業計画に参画できれば、地質に起因する工事段階の大きなリスクを回避できる可能性が高い。

地質コンサルタントが事業の初期段階で第三者的に自由な意見を述べられる仕組みが必要である。

また、地質調査の内容も、品質の高い調査成果を提供する分野と、現地作業を伴わなくても地質分野で建設事業のあらゆる分野で関与できるコンサルタント分野に分けて考えることも必要となろう。このような仕組みの具体例の一つが地質調査業界としてのプロセスマネジメントシステムの提案であり、技術顧問制度（技術顧問会社制度）であると考えている。また、これらの提案を行うための根拠の一つが地質リスクの定量化である。

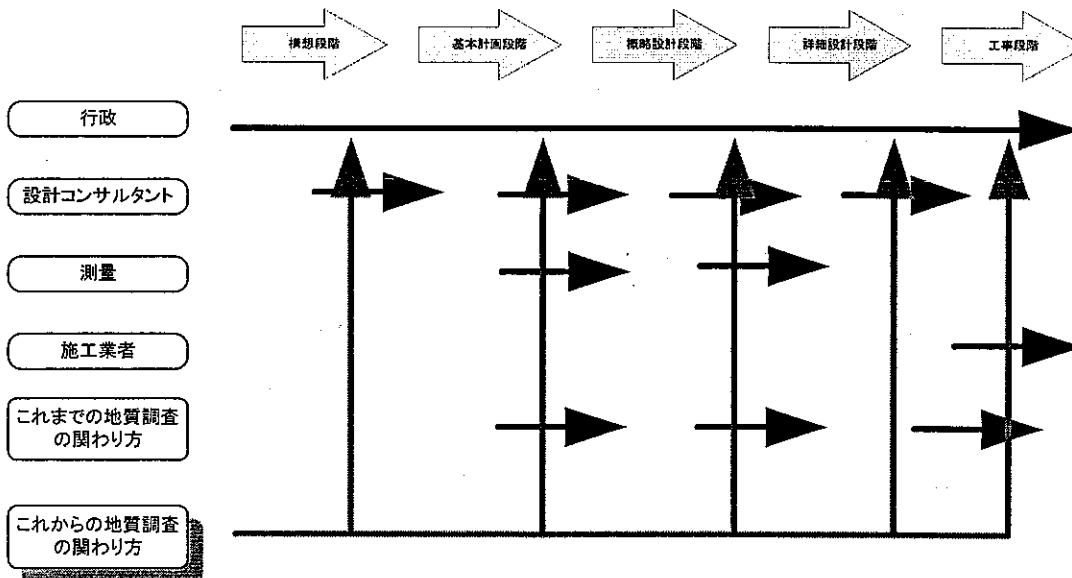


図 5-5-1 地質コンサルタントの事業への関わり方

具体的には、下記のアウトプットをイメージした調査・研究を進めたいと考えている。

- ・基本設計～詳細設計～建設工事に至るプロセスの中で、地質調査の立場からプロセスに積極的に参画し、第三者的な立場で照査と修正設計が提案できる仕組みを考えること。

・現在の設計は、設計のアウトプットに幅が許されない確定的設計がすべてであるため、様々な要因によって予想される工法の揺れや、建設コストの揺れを示すことができない。このため、第三者的な立場で地質に起因する事業リスクを評価し、定量化し、一般に公開できる仕組みを考えること。

(2) 全領域で関わるべき

図 5-5-2 はプロジェクトの基本計画，設計，施工に至る間の地質調査・設計の流れを整理し主な担当領域を示したものである。

現行では地質調査技術者の担当領域は狭い所に限定されている。しかし，地質調査はその計画時において対象地区の地質特性を考慮し，計画される構造物の設計に必要な物性を得るために過不足無く行うものであり，地質的知識，地質調査方法等の専門知識が必要であり，調査の専門技術者に委ねることが重要である。なお，調査技術者は構造物の特性を理解できる設計的知識を有することは不可欠であり，この双方の知識を有することにより地質リスクを回避することが可能となる。

土質・地質分野の理解度が低い発注者・設計技術者が多い現状では，調査技術者は地質調査，その結果の整理・検討領域に限定されず，第三者機関的立場(例えば発注者技術支援等)での地質調査計画の立案，設計用地盤モデルの作成，地盤解析，更には基礎・土構造物設計の照査領域まで立入ることが地質リスクを回避するために重要である。

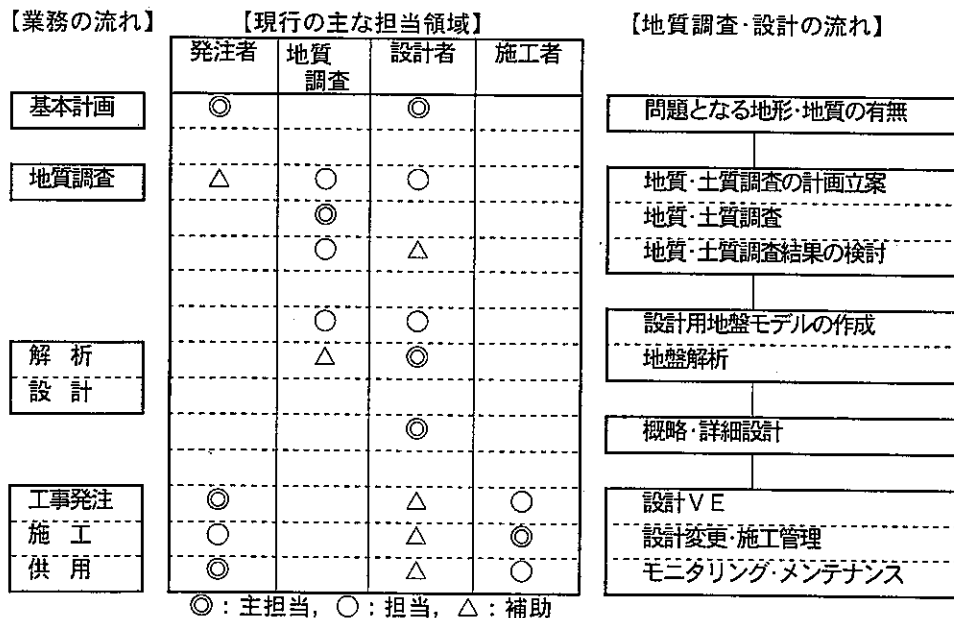


図5-5-2 地質調査・設計の流れと担当領域

### (3) 発注者の役割

現行の工事契約約款では、受注者の瑕疵による損害の担保責任を除けば、我が国の建設事業における様々なリスクのうち受注者が負担しているのは工事、委託業務ともに実施に入ってから安全管理や工期に関するリスクのみであり、その他の殆ど全てのリスクは発注者が負っている。特に工事実施段階に入ってから地質リスクについてはさらに発注者負担の傾向が強く、国内ではPFI事業においてさえも必要な地質調査は発注者が実施して受注者に提供することが基本となっている。すなわち、地質リスクの顕在化による設計（増額）変更は発注者も受注者も予見できなかった地盤条件（Unforeseeable geological condition）に帰すことでリスクを第三者（納税者）に転嫁してきている。しかし、すでにかなり以前から事業費改定に対して厳しく説明責任が問われてきており、着工後の工事費増加は容易には認められない事態が生じ始めている。すなわち、これまでの公共工事標準請負契約約款に従った契約であっても、リスクの顕在化に対する発注者責任について無視できなくなってきた。さらには計画段階におけるコスト見積もりについても十分な精度が求められてきている。それだけに、地質・地盤条件を業務受託によって“確定論的に”示す役割を担う我々地質技術者の責任は非常に重大であるが、同時に発注者が地質リスクを正しく認識して過大設計、過小設計を避ける努力が必要と考えられる。そのためには発注者サイドにも地質技術者が存在し、事業評価の各段階において必要なアドバイスを発注担当者、事業評価担当者に与え、また今後拡大するであろう総合評価方式による競争者評価においてもまた提案工法などは地質リスクの観点での評価を行う必要がある。

## 5-6 公共事業における地質技術の位置づけ

### (1) 地質調査の品質を評価する仕組みが必要

地質調査の成果は寸法や強度などの定量値で評価できないものであり、しかも明確な基準も存在しない。このため、JISや地盤工学会の基準でも使用機器の寸法、精度、試験手順を示すだけで試験結果や調査結果の品質に関してはなんら基準を示していない。

海外の場合も事情は同様であるが、欧米では慣習から技術者の経歴や資格を報告書に明記することで品質保証をしている。日本でも地質調査技士や技術士の資格を明記することや、ISO 9000の表示である程度の品質保証を行っているが、できればもう一歩進んだ品質保証の仕組みを構築することが望まれる。

一例としては、地質調査結果の品質を第三者機関が適性に評価して品質を保証する仕組みなどが考えられる。

### (2) 地質リスクを扱う地質技術者の技術力について

#### ① 「事業に伴う地質リスク」における原因の分析

地質リスクが、多くの事業者や研究者によって議論されているが、地質調査を担う実務者から

すると、どこまでが地質リスクであるのかを知っていて議論しているとは考えにくいように感じる。そこでここでは、何であるのかを議論しておく必要があると考えている。

「地質的予測不能要因による事業費用の増大の可能性」をリスクととらえると、調査対象である地盤の地質的予測不能さの程度は、

- 1) 対象地盤に対し技術者の技術レベルが低かったこと
- 2) 技術的判断ミスをしたこと、
- 3) 技術者の技術レベルは普通であったが、一般に予想される以上に複雑であったこと、
- 4) 対象地盤の複雑さに対し調査数量が不十分であったこと（予算が不足していたため生じたケースと技術者が適切な調査計画そのものをアドバイスができなかったケースがあるが、前者が該当し、後者の場合は十分な解析ができなかったことと同一と考えて 1) に区分される）
- 5) 現状の調査技術では調査限界を超えるため予測不可能であったこと

等が原因に区別されよう。

## ②リスクの内容

具体的な内容を経験に基づき、以下に整理を試み、若干議論する。

3)と 5)は地質の予期せぬあるいは予測不能な地質条件の発生が原因で事業費用の膨張をもたらしたといえるが、1)、2)および4)は技術力不足が原因で費用が増大したことになる。両者の判定は、明瞭な場合もあるが、線引きが難しい場合もある。

3)の場合、例えば最低技術士という資格を保有し、同種業務の経歴をもつ技術者が判断すればよしとすることが、一応の判断基準になると考えられる。

5)の例として、本ワーキングのなかで事例研究として取り上げられた飛騨トンネルのケースが該当する。このようなケースでは、専門家による委員会を設置し、そこでの判断にゆだねられる。このようなケースでは、リスクは高いが、そのことを承知の上で事業が進められる。しかし、このようなケースに分類する際にも問題があり、公共事業という観点から、新技術の採用を避ける傾向や新技術の採用によるリスクをとりたがらない発注者もいることから、分類に当たってはどのような観点で区分しているのかに注意を払う必要がある。

1)の場合は、同種業務の経験不足からあるいは柔軟な思考力（応用力）不足からくる解析不足を念頭に置いている。これに加えて、2)の場合は、単なる判断ミスが原因で、審査も実施していなかったことが原因と考えられる。

4)の場合は、複雑さに対して調査不足が原因となるが、その前提として、技術士という資格を保有し、同種業務の経歴をもつ技術者が技術管理をした上で、判断すればよしとすることが、一応の判断基準になると考えられる。しかし、現在のように発注高のみならず発注単価が毎年減少する状況下では、適切な提案ができたのかどうか議論の対象となると考えられる。つまり、必要かつ十分な解析ができてはじめて、適切なる提案ができると考えると、そのための解析に回すことのできる業務費が不足する傾向があるため、必要な解析はするが、十分な解析とまではいかない可能性がある。また、経験不足であるとその影響は、成果の品質にまで必然的に及ぶと考えた

方がよい。このような社会現象が現実に行き起きていることから推察すると、この原因による事業費増大が、社会現象として多発する懸念がある。またさらに、安値で受注した業務については、この傾向はいつそう強まる可能性がある。見栄えはよいが、実データの裏付けの少ない報告書は、ここに分類される。

### ③技術力の現状と向上策

上記のような内容を分類してみると、平均的な技術力のありかによって、地質リスクの内容が変化することが考えられる。

#### 1) 企画・計画段階

大きな公共土木構造物の場合、事業の正否、事業総額、及び事業期間は、用地費と住民の賛同の問題を含んだ社会的条件、地形・地質条件、および自然環境条件で決まると考えられるが、地形・地質条件は事業総額が決まる主要要因の一つであることは間違いがない。計画段階での、大きな箇所選定の判断が、事業費を大きく左右する例として、例えば中部国際空港があげられる。地域精通度が十分高い、高度の技術力を持った地質技術者がこの時点で参画する意義は大きいと考えられる。

#### 2) 比較設計段階

調査に求められていることは何なのかを十分理解した上で、調査を計画し、解析しなければならない。そして、最終的に採用する設計は、複数の比較設計を行った上で、安全性、経済性（施工性、地盤条件、維持管理の容易さ等）、環境的配慮、工期、景観面等から総合的に評価されて、もっとも妥当な設計案が選ばれるわけであるが、その際地盤条件の反映が、適切になされているのかが問題である。計画段階では、地盤調査も概略的にしか実施されていないであろうから、地域精通度も十分高い、高度の技術力を持った技術者が担当するべきと考えられる。また、構造物によっては、必要な地盤条件が異なることがあるので、施主、設計技術者、施工業者と一緒にテーブルに着いて、設計条件の設定や評価結果が妥当かどうかの検討を行うことが必要であるとともに、調査技術者の技術力の向上にも資すると考えられる。4者協議が計画の段階から導入することが、重要と考えられるが、その費用対効果のほどについては、今後詰める必要がある。

#### 3) 詳細調査段階・施工段階

地質平面図・地質断面図を適切に書くこと、すなわち高い技術力で調査し、各種の試験や探査結果と併せて解析し、水理的あるいは力学的に評価して地盤を分類して描く図面は、それ自体が設計条件の提示であるとの考え方が成り立つと考えると、これらの図面を精度良く作成することがリスクの低減に直結する。従って、成果図の検証は、施工段階において現場で施工管理することによってなされなければならない。推測と実際とが同じであった場合、その手法が妥当であったことを確認し、また両者に乖離がある場合、なぜ異なる結果が得られたのかを分析し、調査手法や解析法の修正がなされなければならない。そして、次の調査時にはその修正された手法で解析するという風に、検証結果を反映させていく必要がある。

現状は、限られたケースでしか現場管理がなされていない。調査の技術力を上げるためには、現場管理を系統だてて行う精度が必要と考えられる。この制度の採用は、短期的には効率の良い

調査とは見られないかもしれないが、長期的には質の良い、効率の良い調査を行うことになると考えられる。

#### 4) 照査制度の導入

現在は、地質調査においては、照査技術者がいないとされているケースが多いが、まれには取り入れられている。設計業務のように設計基準がなく、地質技術者の高い技術力とは、過去の経験に基づく解析力が重要であると考え、管理技術者の判断を他の経験をもつ照査技術者がチェックする必要性が高いという結論になるのではなかろうか。今後、第三者機関の地質顧問を含め、地質照査制度を導入することを検討しておく必要がある。

#### 5) 技術レベル向上策に関する問題点

日本では、地質技術者が高度の技術レベルに達しない理由は、設計・施工段階で関与していないからで、その点土木研究所、鉄道技術研究所等の地質・土質技術者は、両段階に関わりを持つことができるので、相対的に高い技術力を持つことが可能と考えている。

現在の国土交通省や農林水産省がとっている制度では、上記の理由で技術レベルが上がらないような仕組みになっている点が問題で、また受注者側も継続的な受注環境の悪化に伴い、効率と利益を優先する行動をとらざるを得ないため、長期的視野にたった総合技術力の向上策がとれない点が問題である。このほか、団塊の世代のリタイヤに伴って、経験者数が足りないとかあるいは技術の継承の問題も取りざたされているが、このような観点からも技術レベルの低下防止策をとっていく必要があると考えられる。

## 6. 全地連理事会への提言

7ヶ月に渡る地質リスクWGによって、地質リスクが茫漠とした感覚的概念から、体系的に記述すること、時間軸上に計量化することが可能で、管理（技術・コストの投入など）の対象となること、すなわち地質リスクをマネジメントすることで公共工事のコスト構造改革に寄与できると確信するに至った。

これらの検討結果をまとめ、今後の全地連の取り組みへの提言とする。

### (1) 地質リスクをマネジメントする意義

#### ①地質リスクとは

地質リスクは地質条件に起因する「事業コスト損失」と「その不確実性」を表す概念と規定することにする。これまで全地連会員企業の蓄積した知見を整理すれば、その体系化と要因の構成は把握でき、さらに多くの要因について計量化手法（主に事業コスト損失で表現）を確立していくことは可能である。今後、特に研究者との連携、既存データ・実績コストの収集・整理などにより顕在化と計量化が望まれる。

品質確保法によって発注者支援者として地質専門家が発注者側に立って地質リスクを扱うことができれば、事業の進捗段階に伴った、すなわち時間軸上でのリスク管理（リスク形成プロセスの管理）が可能となる。（現状では受注者側の地質技術者はパーツにしか働くことができず時間軸上での管理は難しい）

このように地質リスクを扱うための条件がほぼ出そろってきていることが確認できたことが本WGの最大の成果である。

#### ②地質リスクを管理するという事

地質リスクを時間軸上で管理するイメージを図6-1-1の地質リスク管理プロセス図に示す。縦軸は地質の悲観的リスク量を表すものとする、これは地質に起因する幾種類ものリスクが足しあわされている。

管理のスタートは、リスク要因の網羅的抽出と悲観的リスクの計量化である。このリスクを時間軸上で低減させることがプロセス管理であり、低減勾配を大きくするために地質技術（地質調査・地質技術者）を投入する。この勾配が「妥当地質調査投資額や率」を規定する。

リスクの絶対値（縦軸）を何で表現するか今後検討しなくてはならないが、この値に次の段階へ移行する際の管理上の各種の基準あるいは目標値を設定したい。また、前段階から後続段階へのリスクの引渡しを明示しようとするものである。

このプロセス管理図を用いて事業主体（発注者）を中心としたリスク分担（受注者、保険会社、PFIなど多様なリスク負担者が想定できる）を議論することが可能になり、あわせて公表することで市民とのリスクコミュニケーションを図ろうとするものである。なお、供用段階においてもリスクは存在し対象公共施設の利用条件（ニーズ）によって変化するものであり、常に管理しなければリスクが増大することになる。

#### ③全地連が事業化する意義

地質リスク問題は公共事業発注者が自ら主体的に取り組むべきテーマであるが、国・県・市町村においては土木・環境・農林などの部門がそれぞれ発注者として分立し、それぞれ研究部門を有することから予算制度を伴う政策の統一は困難である。一方、これらの組織に対して横断的に活動している会員を有する全地連は、官庁とも学会とも連携を取りやすくファシリテーターとして最適である。

全地連は会員企業が有する技術力を受注者としてのみならず発注者側においても有効活用すべきことを従来から提案、提言してきており、今回はまさに絶好の機会である。

#### ④事業化に向けての提言

地質リスク対応事業を全地連の事業として進めるにあたって、6(2)以降に示すいくつかの提言を行う。

先ず、関連機関と連携し全地連が中心となって「リスク管理のためのマネジメントシステム」と「地質リスクの計量化」の開発を行うこと。この様な活動を広く内外に広報・普及すること。あわせて国等への政策提言を行うこと。さらに発注者支援制度を確立すること、などを提言する。

### (2) 地質リスクマネジメントシステムの研究開発の推進

#### ①全地連内部体制・予算の確保

リスク管理（リスク抽出・コントロール・計画変更・プロセス開示）を時間軸上で行うためのPMS（プロセスマネジメントシステム）を他機関と共同開発する。研究開発体制は6(7)において予算措置を含めて組織的に検討する。

#### ②研究パートナーとの連携

研究水準の実態調査を行い、共同研究の相手を決めて研究計画を立案する。

大津先生、渡邊先生、土木研究所、産総研等が候補である。

### (3) 地質リスクの計量化研究開発の推進

#### ①全地連内部体制・予算の確保

悲観的リスク項目・不確実性要因の体系化（定義）とリスク・効果の計量化を研究し手法を共同開発する。研究開発体制は6(7)において予算措置を含めて組織的に検討する。

#### ②研究パートナーとの連携

研究水準の実態調査を行い、共同研究の相手を決めて研究計画を立案する。

大津先生、渡邊先生、土木研究所、産総研等が候補である。

### (4) 広報・普及活動の推進

#### ①対外的活動の推進

全地連の取り組みを広く国民・政府（中央・地方）・関連学会などに広報し社会的支援を要請しコンセンサスを得ると共に、活動パートナーを発掘し協働するための活動を推進する。そのため組織・資金・材料（パンフレットなど）・機会を検討する。



## ②会員を対象とした活動の推進

外に向けての活動とあわせて地方協会・会員企業への広報・普及活動を推進する。

## (5) 国等への政策提言

### ①コスト構造改革への提言

国交省が進める「コスト構造改革（H15）」の34施策の中に地質リスク対応を追加する。方法は、各施策に加筆する、各施策のガイドラインの中で詳述する、別途地質リスク対応ガイドラインを作る、などいろいろある。

ただし、提言項目には順序があったり現段階では未整備の要素があることから提言書の書き方は今後議論することになる。

主な提言事項は、

- ・公共事業において地質に関わる事象、たとえばコスト構造改革などを政策的に扱う行政ポストの設置（予算の確保）
- ・リスク計量化手法、リスクマネジメント手法などの研究開発費の確保および体制の整備
- ・地質技術顧問の制度化
- ・全地連の提供する資格の採用など

### ②政策担当者の設置要請

地質リスクに積極的に取り組みコスト構造改革を推進するには本省技術調査課に地質政策ポストを設置し、予算と政策を運用することが望ましい。

### ③研究費の確保要請

国土交通省においては総合技術開発プロジェクトに採用することが望ましい。

通産省においては、産業政策総合研究所に予算を投入することが望ましい。

### ④国等のメリット

地質リスクへの取り組みは広い意味での総コスト構造改革に寄与するものであるが、改めて国などのメリットを整理すると以下のとおりである。

- ・リスクを特定し事前に対応（予防措置）することで工期短縮、コスト縮減を図る。
- ・逆に、楽観的リスク認識でスタートしたことによる工期延長、コスト増大という（市民の不信に繋がる）事象を予防することができる。
- ・従来、事後対応（設計変更）していたものを事前の行為と位置づけることでマネジメント（経営）の対象になり関係者とのリスクコミュニケーションを図ることができ合意形成に寄与する。
- ・悲観的リスクからスタートしこれを特定・低減していくプロセスを公開することで説明責任とリスクコミュニケーションの両方を達成し、発注者側技術者（支援者を含む）の存在価値の証明にもなる。
- ・プロジェクトの各段階（構想、計画、設計、工事、運用など）の間のリスクコミュニケーションが推進できる。すなわち各段階におけるリスクの後段階への引渡ししが明確化でき、か

つ移行の是非に関わる判断が有意義になる。

## (6) 技術顧問制度の確立・推進

### ①契約標準とビジネスモデルの構築・発表

発注者側に立って地質リスクを扱うための技術者（技術顧問）制度は、自治体によっては4者協議などの形で試行的に採用されているが、位置づけが明確でなく報酬を伴っていないなど問題がある。技術顧問制度を具現化するために全地連は契約標準（ライセンス・契約書・報酬基準）を整備し、「技術」を商品として扱うビジネスモデル（技術支援の方法）を発表する。契約標準は全地連による資格認定と標準約款書・報酬基準からなる。

このビジネスモデルを具体化するために、公共事業主体に地質リスクに対する事前予防と高度な技術判断を導入する仕組み（発注者支援）を制度化し準備することを働きかける。

### ②事業化に向けてのケーススタディ（直接的な働きかけ）

ビジネスモデルの各要素はケーススタディにおいて確立していくのが望ましい。地方自治体などに働きかける。

### ③運用におけるフランチャイズとの連携（建設技術センターなど）

ケーススタディあるいは市場として地方自治体を発掘する場合、これを顧客としてきた各県の建設技術センターと連携（フランチャイズ契約）するのが有効である。一方、建設技術センターにとっては顧客サービスを向上させるためのゲートウェイの1つとして全地連と連携するものである。

## (7) 本格的WG等体制の充実

### ①地質リスク特命委員会

地質リスク特命委員会を設置し、以下に示すWGの調整・まとめを行うと共に、理事会とのパイプ、外部との連携・調整を行う。委員は技術委員会メンバーを原則としWGリーダーを兼ねる。なお、本委員会は地方整備局との意見交換会などの場を通じて本プロジェクトの趣旨を広報する。

### ②プロセスマネジメントWG

6(2)のテーマを具体化する事業計画（体制・成果目標・スケジュールなど）を立案・実行するWGを設置する。

### ③リスク体系・計量化WG

6(3)のテーマを具体化する事業計画（体制・成果目標・スケジュールなど）を立案・実行するWGを設置する。

### ④技術顧問制度WG

6(6)のテーマを具体化する事業計画（体制・成果目標・スケジュールなど）を立案・実行するWGを設置する。

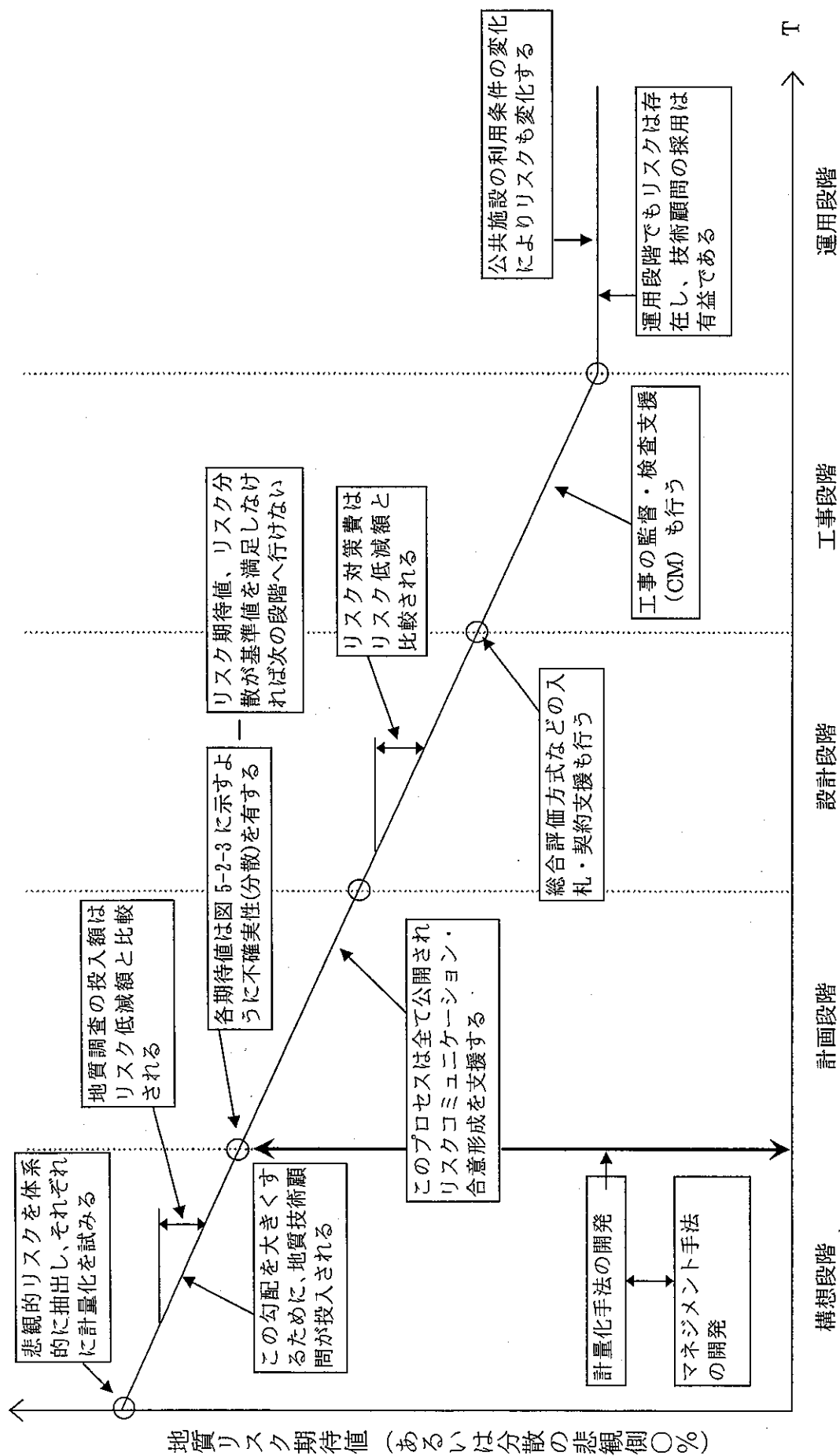


図 6-1-1 地質リスク管理プロセス図

## 参考文献

- 3-1 (p12) 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.
- 3-2 (p12) 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.
- 3-3 (p18) 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/VI-60 p.101~113.
- 3-4 (p18) 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/VI-62 p.117~129.
- 3-5 (p18) 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/VI-65 p.175~186.
- 3-6 (p18) 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.
- 3-7 (p18) 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.
- 3-8 (p20) 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
- 3-9 (p21) 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)
- 3-10(p22) (社) 土壤環境センター (2005): H16・17年度自主事業報告書「土壤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-」
- 3-11(p23) 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
- 3-12(p24) 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
- 3-13(p26) P. Kellerhals(1992): Geologie des Lötschberg-Basistunnels, Schweizerischer Ingenieur-und Architekten-Verein Dokumentation SIA D 085 p.35~43.
- 3-14(p30) C.Hass and H.Einstein(2002): Updating the Decision for Tunneling, Journal of Construction Engineering and Management Vol.128 No.1 p.40~48.
- 3-15(p32) S.D.Eskesen et al.,(2004): Guidelines for tunneling risk management: ITA Working Group No.2, Tunnelling and Underground Space Technology Vol.19 Issue 3 p.217~237.