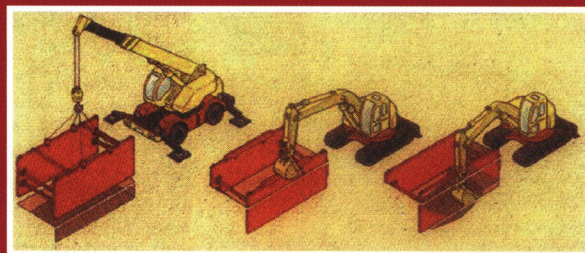
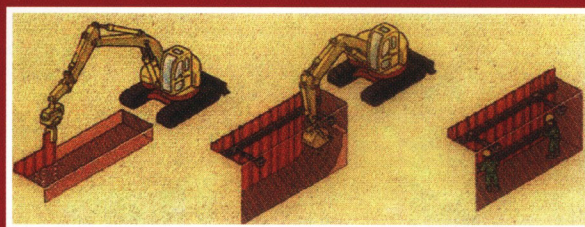
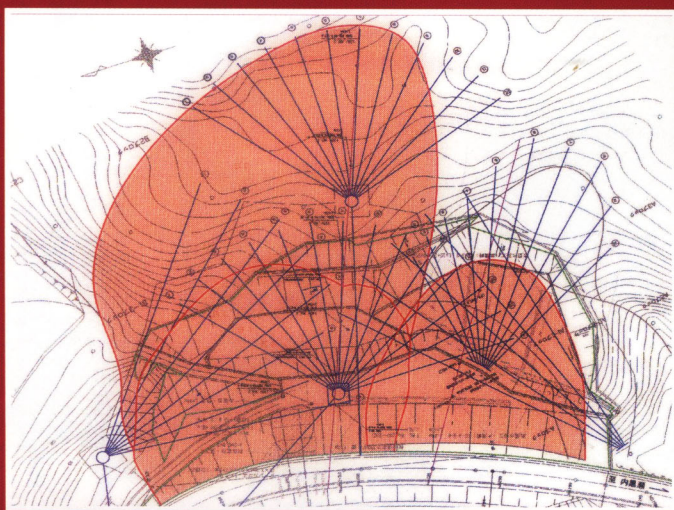


# 地質調査

'11 第3号  
(通巻129号)

編集／社団法人全国地質調査業協会連合会

巻頭言 地質リスクマネジメント学の「決意」 高知工科大学 マネジメント学部 教授 渡邊法美



## 小特集 地質リスクマネジメント

国土管理と地質リスク軽減のためのナレッジDB 佐々木靖人

地質リスクマネジメントの進展(地質リスク学会の設立) 佐橋義仁

道路関連事業における地質リスク事例研究 向井雅司

地すべり災害において実施したリアルタイム監視によるリスク管理について  
藤井 勇・藤井俊逸・永田和之

シンガポールの公共工事における地質リスクマネジメント 折原敬二・野中 毅

海外契約における地質リスク事例 三谷 哲

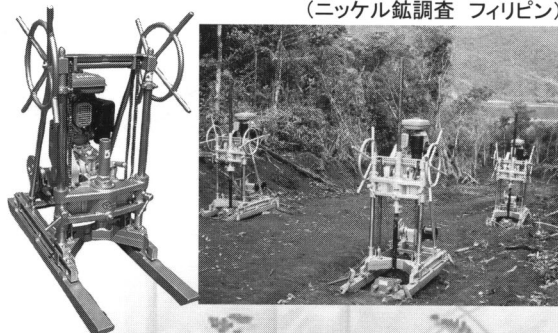
やさしい知識 労働災害と地盤リスク 伊藤和也

教養読本 戸建住宅における地盤のリスク 太田英将

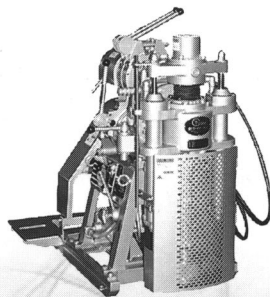


YHP-1

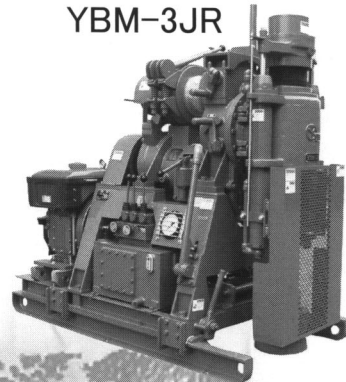
(ニッケル鉱調査 フィリピン)



YBM-05DA-2



YBM-3JR



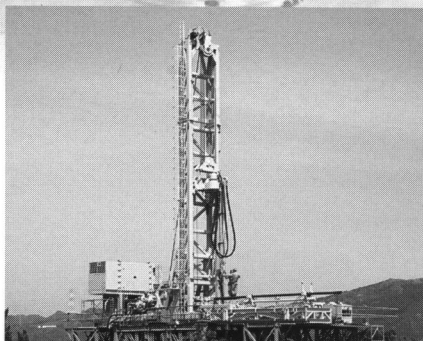
# 資源探査、環境調査、土木建設の基礎調査 世界で活躍するYBMのボーリングマシンとツール

大口径ボーリングマシンから、超軽量ボーリングマシンまで、  
幅広いニーズを満たす製品を取り揃えております。

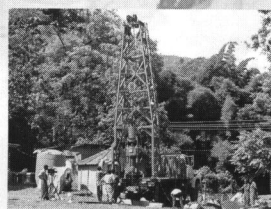
(ニッケル鉱山調査 ニューカレドニア)



ワイヤーライン工法用削孔機  
TYW-50



地熱開発用コンパクトリグ  
HC-2000R



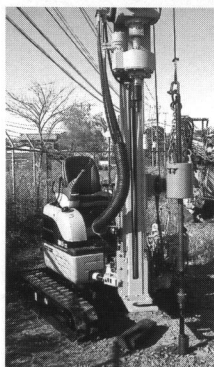
(鉱物資源調査  
マラウイ)

トラックマウントドリリングリグ  
YSD-500BV

ワイヤーライン  
工法調査機

YWL-200

スピンドル回転数  
2速切換の為、  
低速回転での口元  
ケーシング掘削も  
可能。

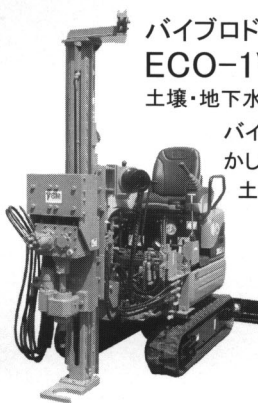


標準貫入試験作業風景

バイプロドリル  
ECO-1VⅡ

土壌・地下水汚染調査 など

バイプロ機能を活  
かして回転せずに  
土中に貫入可能。



ポータブル  
表層土壌調査機  
ハンディECO  
表層土壌汚染調査 など

# YBM 株式会社 ワイビーエム

本社 / 〒847-0031 佐賀県唐津市原1534 TEL (0955) 77-1121

<http://www.ybm.jp/>

東京支社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀3丁目22-11八重洲第三長岡ビル2F TEL (03) 6280-4789  
東京支店 〒342-0005 埼玉県吉川市川藤3062 TEL (048) 982-7558  
大阪支店 〒578-0964 大阪府東大阪市新庄西5-4 TEL (06) 4309-2921

名古屋営業所 〒468-0043 愛知県名古屋市中区菅田1丁目1208 TEL (052) 804-4841  
広島営業所 〒732-0802 広島県広島市南区大州1丁目1-25第一ふじビル1F TEL (082) 285-3824  
インドネシア駐在事務所 Gedung Pusat Periman H. Usmar Ismail Room No. 343, Jalan H.R. Rasuna Said Kav. C-22, Kuningan Jakarta 12940, Indonesia TEL (+62) 21-52921131



巻頭言	地質リスクマネジメント学の「決意」 高知工科大学 マネジメント学部 教授 渡邊法美	1
小特集	地質リスクマネジメント	
	国土管理と地質リスク軽減のためのナレッジ DB 佐々木靖人	2
	地質リスクマネジメントの進展 (地質リスク学会の設立) 佐橋義仁	8
	道路関連事業における地質リスク事例研究 向井雅司	12
	地すべり災害において実施したリアルタイム監視による リスク管理について 藤井 勇・藤井俊逸・永田和之	16
	シンガポールの公共工事における地質リスクマネジメント 折原敬二・野中 毅	20
	海外契約における地質リスク事例 三谷 哲	24
やさしい知識	労働災害と地盤リスク 伊藤和也	30
教養読本	戸建住宅における地盤のリスク 太田英将	34
私の経験した現場	集水井施工時の調査事例 鈴木俊司	38
基礎技術講座	ボーリング掘削技術第1回 コントロールボーリング技術 薦田靖志	42
大地の恵み	三方五湖 (歴史地震と年縞堆積物) 山根 博	47
各地に残すべき地形・地質	鹿児島湾奥始良カルデラ壁 JR 日豊本線 (竜ヶ水駅) 竹元幹夫	49
各地の博物館めぐり	宮城県仙台市「東北大学理学部自然史標本館」 —ナチュラル・ヒーリング 時をかける標本— 高橋克実	51
会 告	地質調査技士資格検定試験 293 名が合格	53
	平成 23 年度地質調査技士資格検定試験合格者発表	54
	地質調査技士登録更新講習会 9 月 9 日受付開始	55
	地質情報管理士資格検定試験受験願書受付開始	56
	全地連「技術フォーラム 2011」京都	57
	“土壌汚染調査技術管理者試験対応” 事前講習会開催	57



**小特集テーマ** 東日本大震災

地震のメカニズム

地殻・地盤変動

津波災害

液状化災害

ライフライン被害

斜面災害

災害廃棄物 (ガレキ) 処理に関する諸問題

**教養読本** 東海・東南海・南海連動型地震への取組み

**やさしい知識** 東京都における首都直下型被害想定, 防災対策の概要

各地の博物館巡り

大地の恵み

各地の残すべき地形・地質

私の経験した現場

---



## 地質リスクマネジメント学の「決意」

高知工科大学 マネジメント学部 教授 渡邊 法美

福島第一原子力発電所の事故発生後、福島県から小さな赤ちゃんを抱きながら、さいたまスーパーアリーナに避難されていた20代の女性から、「ここには片道切符で来ました…。」との言葉を聞いた。県内に留まれば、子どもが被ばくするリスクを負う。県外に避難すれば、いつ福島に戻ることができるかは分からない。避難している人々は、極限の状況で判断し行動している。これまでリスクを小さくする方法を研究してきたつもりであったが、この方のリスク低減に全く貢献出来ない自分を申し訳ないと思った。

日本の「復旧・復興」では、現状を表す情報を迅速に公開し、民間の最先端技術を適用出来る仕組みを作って問題を緩和することによって、ぎりぎりの判断・行動を余儀なくされている住民を全力で支え合うことが必要であると思う。

これまでの社会資本整備事業において、公共発注者、民間企業者、NPOなど多くの関係者が、人々の不安や不満を解消・解決するために大変な努力を重ねてきた。しかし、「くらしの片道切符」を買わざるを得なくなってしまうリスクは、誰にも予想できなかったと思う。今後とも私たちの安全・安心を確保するためには、真に効果的な事業を効率的に実施することが、今まで以上に求められている。そのためには、その事業にはどんなリスク要因があるのか、それはどのような影響を及ぼすのかを分析し、各リスク要因にどう対応すべきかを検討して、民間企業は勿論、他の行政組織や住民と共同してリスクをマネジメントしていく必要があると思う。

「地質リスクマネジメント学」は、今後の社会資本整備事業のリスクマネジメントにおいて、極め

て重要な役割を果たすことが出来ると確信している。限られた事業予算の中で、自然と共生しつつ、その脅威から私たちの暮らしを守っていくために、人々の安全確保は勿論、個々の住宅・施設、その地区・地域の安全性向上と資産価値上昇に貢献したい。そのためには、①公共発注者側は、自然や住民の声を聴き合いながら、事業のコスト、工期、品質、安全などの目標を立て、それらを達成できる地質リスクマネジメントの手法を検討・立案し、目標が達成されたか否かを確認し、未達成の場合はその原因を明らかにし、改善するマネジメントサイクルを構築する。これによって、自身の意欲・能力を向上させ、事業目標の達成状況を改善する、②それを自分の組織や業界のみならず、利用者、住民、国民と共有する。これによって、これらの主体が、完全にはマネジメント出来ない地質リスクが存在することを理解し、出来る範囲でそれを個々に負担する努力をする「公共リスクマネジメント」の仕組みを構築していきたい。これらの公共リスクマネジメントサイクルは、社会資本整備事業のリスクマネジメントにおける有力なモデルの一つになると思う。

本特集号では、地質リスクマネジメントの最前線で努力を惜しまない方々に、さらなる発展の方向性を論じて頂いた。

片道切符で避難せざるを得なかった人々が、安心して往復切符を買うことが出来る社会を一刻も早く取り戻したい。この国の「復興」が求められている今、私たちが様々なリスクの中で生きていくためには、まさに、お互いに聴き合い、責任をつくり果たしていく必要がある。本特集号が、その「先進導坑」となることを願ってやまない。



## 国土管理と地質リスク軽減のためのナレッジ DB

## 【Key Word】

ナレッジ DB, ナレッジマネジメント, 地質リスク, 国土管理

さ さ き やすひと  
佐々木 靖人\*

## 1. はじめに

東日本大震災は、現代がまだ災害大航海時代であることを露呈させた。「想定外」という言葉も流行語のようになった。我々が「リスク」に対して真正面から向き合ってこなかったためである。

日本を災害大国から防災大国に変革するには、地質災害をはじめとする国土管理上の様々なリスクに対し、以下の体制が必要である。

- ① 調査体制：リスクの発見・対応に関わる基礎データを中長期視点で戦略的に調査・蓄積する体制とすること
- ② 想定体制：リスクを公に明示し想定下におく体制にすること
- ③ 対応体制：想定されたリスクを放置せず、優先度をつけて適切に対応する体制にすること

著者はこのような体制が実現された時代を「国土管理時代」<sup>1)</sup>と呼びたい。我々は災害大航海時代から国土管理時代に向けて舵を切るべきだ。

そこで重要になることの一つが、ナレッジマネジメント、ナレッジ DB である。とくにナレッジ DB は、リスクを想定内とし、リスク対応を支援するためのコアとなるツールである。本文では、とくにナレッジ DB に着目して、その必要性と取り組みを紹介する。

## 2. ナレッジ DB の必要性

## 2.1 ナレッジマネジメントとは

ナレッジマネジメントとは、暗黙知を形式知にすることで知識の明確化・共有化を図り、作業の効率化・新発見や新技術開発等を容易にすることであり、その核となるのがナレッジ DB である。

ナレッジマネジメントは、企業経営における会

社員同士の知識共有等の手法というイメージがあるが、これは国家経営・国土管理にもあてはまる。液状化を例にしてナレッジマネジメントを考えよう。「埋立地や旧河道は液状化しやすいから古地図などで確認せよ」という経験則が広く知られていれば、液状化被害を避けやすくなる。このことは地質技術者にとっては常識で暗黙知でも何でもないと思われるだろうが、地質技術者を会社員個人、国家を企業に置き換えてみたらどうだろうか。東日本大震災では液状化被害が随所で発生した。上記の経験則は、国家にとってのナレッジとなっていなかったといえる。このことは次のような教訓を与える。

- ① ナレッジの形式：市民（非専門家）や国家（為政者、行政）にわかりやすい形式知となっているか。
- ② ナレッジの伝達：市民や国家に確実に伝わる（市民や国家がナレッジをすぐに把握できる）体制となっているか。
- ③ ナレッジの利用：市民や国家がナレッジを利用しているか。

液状化の防災がうまく働かなかった理由が全てナレッジマネジメント不在のせいというわけではない。しかし地質技術者の知識を、「我がこと感」をもって市民や国家に適切に伝達するという最初の時点からつまづいてしまっているといえる。阪神大震災における地質学者と国家との関係も同様であった。国土管理に必要なナレッジが、確実に国家・市民に届くような枠組みを考える必要がある。

## 2.2 現場ナレッジ DB の必要性

さて、日本国内には多くの土木現場があり、多くの計画・調査・設計・施工・管理が行われており、多くの現場ナレッジが得られていると推定さ

\* (独)土木研究所 地質・地盤研究グループ 首席研究員



れる。著者が所属する(独)土木研究所(以下、土研)は、このような全国の土木現場と常にコンタクトしていることを特徴とする研究機関であり、研究者が現地調査や現場の技術相談によって得た現場の知見や教訓は貴重な資産である。

たとえば、技術相談の件数は土研全体では年間数千件以上になる。その経験は次の技術相談や基準類に活かされ、ときには次の研究課題になる。しかしそれだけでは個人の経験に留まり組織に蓄積されず、また若い研究者や現場技術者の参考になりにくい。特に災害

事例や土木構造物の不具合事例等は共通した原因・機構によるものが多いため、研究者も経験技術者も減少している現在、これらの原因・教訓・対応策などを組織的に整理し活用することが必要である。そこでこれをデータベースとして蓄積し所内で活用するとともに、公開可能なものを一般に提供することは、土木技術の向上を図り安全で豊かな国土の構築に資すると考えられる。

特に、国土(すなわち現場)の現在の姿と課題を明らかにし、次の技術政策に活かすことが重要である。たとえば著者の所属する地質チームでは国土交通省の協力により道路斜面災害の統計的な実態を明らかにして次期の道路管理政策検討のための基礎データとしている(図2)ほか、災害事例を詳細に分析してその教訓を道路管理者に還元している。橋梁の不具合事例については土研内の構造物メンテナンス技術研究センター(CAESAR)が詳細なナレッジDBを構築しつつある。これらのDBは、教訓や知見の部分を抜き出せば一般の現場技術者にも有益なものとなり、典型的な事例は市民への啓蒙にも活用できる。また、教訓や知見を研究、基準作成、技術政策提案等に活用することで、国土管理に直接貢献することもできる。

そこで著者は平成19~20年に、ナレッジDBの地質リスクマネジメントへの利用可能性を明らかにするため、既往DBの調査と土研内の地質・地盤研究者のディスカッションにより利用可能性を整理し、DBのスキーム案を提案した<sup>2)</sup>。その後、土研内有志による「土研ナレッジDB検討会」

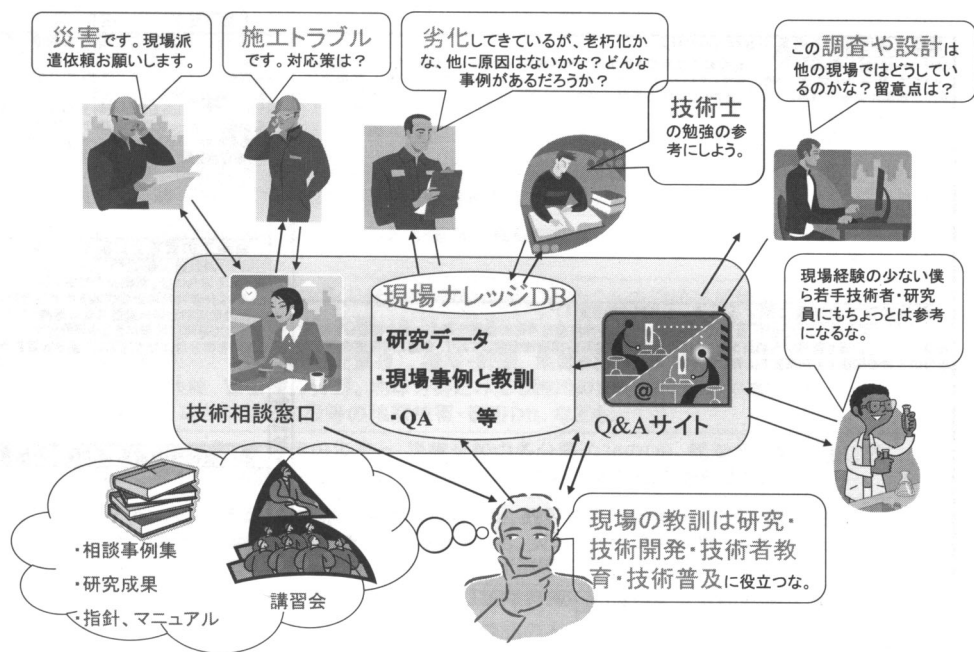


図1 土木(研究所)における現場ナレッジDBの活用イメージ

に発展し、その結果、平成23年度から全所で「土研現場ナレッジDB」の運営を開始することとなった。

現在は試行的に災害対応事例等を収集している段階である。DBの目的は土木分野全般のためのものに拡大しているが、地質リスクマネジメントにおいても有益と考えられるので紹介する。

### 3. 既往のナレッジDBの実態調査

研究所に適したタイプのナレッジDBを構築するため、公的機関や研究所等が構築しているナレッジDB等の調査を、特に現場事例データに着目して行った<sup>2)</sup>。この結果、ナレッジDBは、そのスタイルや構築の容易性から、表1のような4タイプに分けられることが分かった。代表的なDBの例を表2に示す。

### 4. ナレッジDBの利用可能性の検討

地質・地盤分野におけるナレッジDBの利用可能性や課題を、所内の地質・地盤研究者のブレインストーミングにより次のように整理した<sup>2)</sup>。

#### ① データソース

データソースは、建設事業のデータ、研究時に収集された現地調査データ、委員会や技術指導等で得られた知識・教訓が考えられる。特に災害事例、地質調査時の諸問題、施工のトラブルとその対応事例等が多く、ニーズが高い。

#### ② 利用可能性

利用可能性として、研究の基礎データ蓄積(た

整理番号: 仮1		道路斜面災害調査表(4)(所見)		
<b>崩壊機構に関する所見</b> (専門技術者記入) 2007/11/22(記入者:○○○○) 緩傾斜の層理面と高角度の節理面を分離面として崩壊した。また、誘因については、降雨や地震のない時に発生していること、地山がスレーキング性を有する岩盤であり、崩壊地付近には強風化岩盤が残存していることから、地面の長期的劣化により不安定化し、崩壊したものと考えられる。		<b>点検時の留意点に関する所見</b> (専門技術者記入) 2007/11/22(記入者:○○○○) 今回の崩壊は平成18年の防災カルテ点検において吹付のり面に新たに亀裂が見つかった箇所が発生していること、当該亀裂箇所においてははらみ出しがあったことから、同様に新しい亀裂が発見された場合には、はらみ出しの有無などを確認し、亀裂が地山の変状によるものかモルタルの劣化によるものか検討するとともに、要注意箇所として以後の推移に注意し、対策の検討を行う必要がある。また、亀裂が新規に生じたものかどうかを判断するためには、前回の点検結果と比較する必要があるため、各回の防災カルテ点検実施時には亀裂の位置および状況がわかるような資料(図面、写真等)を作成し残しておく必要がある。		
<b>既往対策工の効果に関する所見</b> (専門技術者記入) 2007/11/22(記入者:○○○○) 重力式コンクリート持ち受け擁壁は今回の崩壊土砂の一部を捕捉しており、道路への到達土量を軽減する効果があったが、擁壁上の落石防護柵は倒壊しており、今回と同程度の規模の崩壊の土砂を捕捉する効果までは有していなかったと考えられる。		今後の災害防除に関する所見	<b>対策工の留意点に関する所見</b> (専門技術者記入) 2007/11/22(記入者:○○○○) 今回の崩壊のように崩壊土量が持ち受け擁壁の容量を超えることが予想される場合には、斜面側の対策を併せて行う必要がある。また、崩壊土砂の一部は捕捉されていること、平成18年10月の近傍斜面での表層崩壊の土砂は捕捉できていないことから、一定の効果は有するが、掘削表層崩壊の土砂は擁壁背後に堆積したままであり、同箇所と同程度の崩壊が再度発生した場合には容量不足で道路に被害が生じる可能性がある。したがって、擁壁背後の空き容量に常に注意し、土砂が堆積している部分は土砂を撤去して空き容量を確保しておくことが重要である。	
<b>残存リスク(不安定ブロックの存在、二次災害の危険性、周辺の類似箇所等)に関する所見</b> (専門技術者記入) 2007/11/22(記入者:○○○○) 崩壊地直上斜面および両側に隣接する斜面の地山は強風化岩盤が残存しているため、対策を検討する必要があるとともに、対策完了までの間はさらなる崩壊に対する注意が必要である。また、周辺斜面のモルタル吹付は亀裂が多く、			<b>通行規制等の留意点に関する所見</b> (専門技術者記入)	
			<b>のり面工指針・防災点検要領等へ反映すべき所見</b> (専門技術者記入)	

図2 道路災害DBの様式の一部(災害の技術的知見を自由記述する部分)

例えば土構造物の劣化事例の蓄積等)、現況技術の課題整理(たとえば斜面対策工の課題整理等)、開発すべき技術のヒントの案出(たとえば劣化事例や被災事例を踏まえた新しい工法等)、現場における地盤調査・土構造物の施工や維持管理等の基準や指針類への反映、若手研究員や現場技術者のオンザジョブトレーニングの補完や啓蒙、技術相談への活用等が考えられる。

### ③課題

課題として、行政機関の了解、蓄積やメンテの手間、公開すると本音を書きにくい、有益な情報が集まるか疑問、DBの知識だけでは現場対応ができない、現場の機微が表現できない、データ乱用、現地軽視につながる、等が挙げられた。

### ④DB構築時の留意点

使い方とセットで構築すべき、検索機能が重要、自由記述で負担少なく、画像も掲載、等が挙げられた。

## 5. 土研現場ナレッジDBのスキーム

### 5.1 スキーム

上記の議論から、適したDBとして表1の「知識自由記述タイプ」が選定された。その後、平成

表1 ナレッジDBのタイプ分類<sup>2)</sup>

タイプ	内容	構築の難易
知識構造化タイプ	事例の分析により、失敗等の事象が発生した仕組みを構造化(シナリオ化)して知識とするタイプ。	難
知識自由記述タイプ	事例の概要のほか教訓等の知識を自由形式で記述するタイプ。Q&A方式もこれに含む。	比較的容易
事実記述タイプ	生データないし事実や事象の経過のみを記述するタイプ。	容易
その他	技術者個人の経験や専門のDB等。	様々

21年3月からは地質・地盤関係者だけでなくやや広いメンバーを含めた有志による「土研ナレッジDB検討会」を組織し、検討会を実施した結果、土研現場ナレッジDBのスキームを以下のように提案した。

#### ①DBの概要

- DBは、所内に既に設置している技術指導DBを活用し機能を補強(自由キーワード検索、知識・教訓の記述、公開機能等)。
- 事例は標準様式での「概要」(表題、概要、知識・教訓等を文章で簡潔に記述)と自由様式



表2 他機関におけるナレッジDBの代表事例と内容およびタイプ<sup>2)</sup>

実施機関	DB名	内容	タイプ※
総務省消防庁	災害伝承情報DB	全国の都道府県や市町村から集めた様々な災害の概要を整理。場所やキーワード、災害種別等で検索できる。災害の教訓や言い伝えなどもそのまま掲載。	③(一部②)
厚生労働省	安全衛生情報センター	労働災害、死亡事例、ヒヤリ・ハット事例、工夫・改善事例などをDB化。原因や対策も記載(中央労働災害防止協会に運営委託)	②
科学技術振興機構(JST)	失敗知識DB	失敗1136事例を整理。畑村洋太郎氏が監修。概要のほか、失敗に至るシナリオを構造化。失敗百選等も。	①と②の併用
公設研と産総研	テクノナレッジネットワークシステム	「技術相談のQ&A」と「ものづくり資産DB」からなる。後者は水中溶接技術情報DB、物質分析技術支援DB、先端材料評価技術DBなど15以上のDBからなる。	②および③
産総研	RIO-DB(研究情報公開DB)	研究成果のDB(一部上記DBと重複)。標準・計測、地球、化学、エネルギー、材料、生物、情報、安全等の分野。地球分野だけでも約20のDB。安全分野では災害事例DB、エネルギー施設等の地震被害・復旧DB、なども。	主に③
防災科研	データ公開一覧	地震、火山、気象、土砂等の災害と、災害全般の各分野の36のDB。観測データのほか、地すべり地形分布図、既往土砂災害DB、主要災害調査の報告書DBも。	主に③
JR東日本	土木構造物管理システム(MARS)ほか	メンテナンスシステム。土木構造物管理システム、既設計情報検索システム、防災情報システム、鋼橋総合診断システムからなる。災害、変状等の記録とそれに対する検査や対応が記録され、管理システムと同時にナレッジDBといえる。	主に③
旧JH試験研究所	「高速道路『土』の技術のあゆみ」(報告書)	道路公団OBの技術者が中心となってまとめた、土工や地盤に関する124の技術伝承メモ(事例と教訓)からなる。1つのメモが複数の事例にわたることもあり。	②
榊大林組	技研ナレッジポータル	情報等の蓄積・共有「技術相談フォーラム」と関係履歴型「ナレッジデータベース」から構成される。情報同士に「利用する/された」という双方向性を持たせることで芽づる式に情報を取り出し、技術のトレンドや利用実績がわかる。	②(④)
応用地質(株)	Q&Aシステムとknow-whoデータベース	Q&Aシステムは経験の浅い社員がQを書き経験社員がAを書き込むシステムで詳細資料を共有するライブラリも。know-whoデータベースは社員の専門を把握するシステム。前者の情報は後者のシステムにリアルタイムでリンク。	②と④

での「詳細資料」の2本立てとし、詳細資料なしも可とする。

- ・「概要」は原則公開とし、詳細資料は技術相談者と協議の上決定する。
- ② DBの質を確保し価値を高める方策
  - ・経験ある土研幹部等が真に伝えたい技術政策提案、重要な知見・教訓を登録する。
  - ・注目の現場、一般技術者が触れにくい現場など、土研ならではの現場を登録する。
  - ・指針等ではわかりにくい例外的な事例、誤りやすい事例等のポイントを登録する。
- ③ DBの利用を促進する方策
  - ・所内に「DBの手引き」を配布し、説明会等でDBの入力・活用方法を周知する。
  - ・内部利用のための若手と中堅等の現場事例勉強会などを開催。
  - ・外部にはDBに加え、雑誌連載、事例集の作成、技術講習会等を一連で実施する。
  - ・将来的にネットでのQAなどコミュニケーション機能なども検討する。
- ④ 継続的にデータを蓄積するための方策
  - ・教訓を考える環境作り(現場で必ず知

- 見・教訓を議論し数行にまとめるなど)
- ・登録しやすい様式(場所の未記入も可など)、登録しやすい機能(登録方法の多様化)、登録を後押しする機能(新規登録がDBのトップページに表示、新規登録の表題が毎週全職員にメールで通知、など)

### 土研現場ナレッジDBの収集スキーム(案)

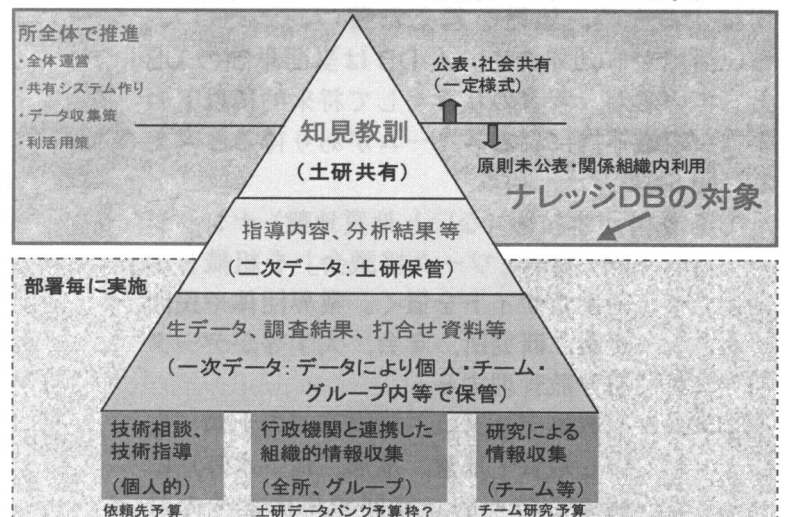


図3 土研現場ナレッジDBのスキーム

## 5.2 ナレッジ DB の様式

暫定的に採用されたデータベースの様式を図4に示す。様式はできる限り記述しやすいものとした。なお、この様式とは別に、データベース管理用の様式（位置情報、施設管理者などを記載）があり、また、詳細資料や写真等を自由書式・自由ファイル形式で別途添付できるようになっている。

なお、ナレッジDBを用いてリスクに対応するためには、当該リスクの顕在化や回避によるB/C等を明確化すべきという議論もあるが、B/Cの計算等についてはかなりの仮定を含まざるを得ず、また、DBを記述する側にも相当な負担となることから、そのようなデータを記述する様式とはなっていない。リスクの定量化等については、今後ナレッジデータが蓄積された段階で検討すべき部分が大い。

## 5.3 ナレッジ DB の運用

暫定的に採用されたデータベースは平成23年度から試験的に運用を開始しており、データの蓄積を図っている。また、若手の技術伝承会も開催している。

## 6. ナレッジ DB ネットワーク

DBの有効性は情報量とともに増加するため、組織を越えた蓄積・活用が有効である。本DBは当面単独のDBとしているが、著者の私案として将来的に以下のような組織連携によるスキームがあり得ると考える(図5)。

- ①運営：「土木技術（ないし地質地盤）ナレッジDBネットワーク協議会」を組織しポータルサイトを置く。業界団体や民間企業、研究所、学会、大学等がデータを分散管理する。
- ②データ：収集データは、現場等での土木（ないし地質・地盤、地形、地下水等）に関する技術的な諸問題事例とその対応・教訓等」とし、データベース様式

☆事例毎にフォルダを作り、様式1のエクセルファイル、関連図表・写真ファイル、ならびに必要なに応じて詳細資料ファイルを入れて提出のこと。

(本文枠：ページ数は自由だが、本文枠全体で1~4頁程度を基本とする。)

公開・非公開の区分  
 公開・部分的公開    全体を非公開(内部のみ)    全体を非公開(○年後に公開, □関係者のみ等)

表題: 【必須】  
 (MSゴシック14ポイント。表題以外はMS明朝10.5ポイント)  
 (必ず記述。表題は一般の読者が興味を引く表題を心がける。また、題材、内容、ポイントがわかるようなキーワードを入れる。例えば、吹き付けのり面、老朽化、など。)

対応チーム: 【必須】  
 (必ず記述。現場事務所等に協力を得た場合は必要に応じて共著とする)

対応者:  
 (5名まで記載可) [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

執筆者:  
 (必ず記述)

執筆者のメールアドレス:  
 .....@pwri.go.jp

発生時期:  公開  非公開  
 (発生時期を公開したくない場合は空欄とし、実際の発生時期を「管理情報」に記載する)

調査・対応時期:【必須】  公開  非公開  
 (調査・対応時期を公開したくない場合は空欄とし、実際の調査・対応時期を「管理情報」に記載する)  
 (「」が不明な場合は省略可)

場所:  公開  非公開  
 (場所を公開したくない場合は空欄、ないしA県の国道B号等とし、実際の場所等は「管理情報」の方に記載)

分野・事象:  
 (特に着目したい分野、事象、構造物などがあれば記載する。特になければ空欄とする)

概要:  
 (必ず記述。現場状況、経緯等がわかる事実を主体に記述する。箇条書きでも文章でもいずれでも可)  
 (できるだけ図表・写真を活用するが、様式1には図表・写真を「直接貼らず」、1箇所毎に1つのフォルダを作り、様式1と関連図表・写真のファイル(jpg, pdf, ppt, wordなど)を入れること。なお、この枠内の図表・写真番号(図-1、写真-1など)と関連図表・写真のファイル名を同一とすること)

知見・教訓:  
 (できるだけ記述。難しい場合や支障がある場合は概要のみでも可。技術的な知見または教訓を記述する。特に、現場事務所や民間の若手〜中堅クラスの技術者(専門分野外を含む)を対象として想定し、わかりやすく記述する。知見・教訓等の私見は執筆者の責任で記入する。土研の研究者として客観的な記述に心がけるとともに、できる限り根拠を明確にする。とくに当該現場を担当した事業者や業者等の不当な批判にならないように留意する)

参考文献:  
 (参考となる公刊文献や資料があれば記述。現場事例が紹介された文献、調査成果を記載した文献など)

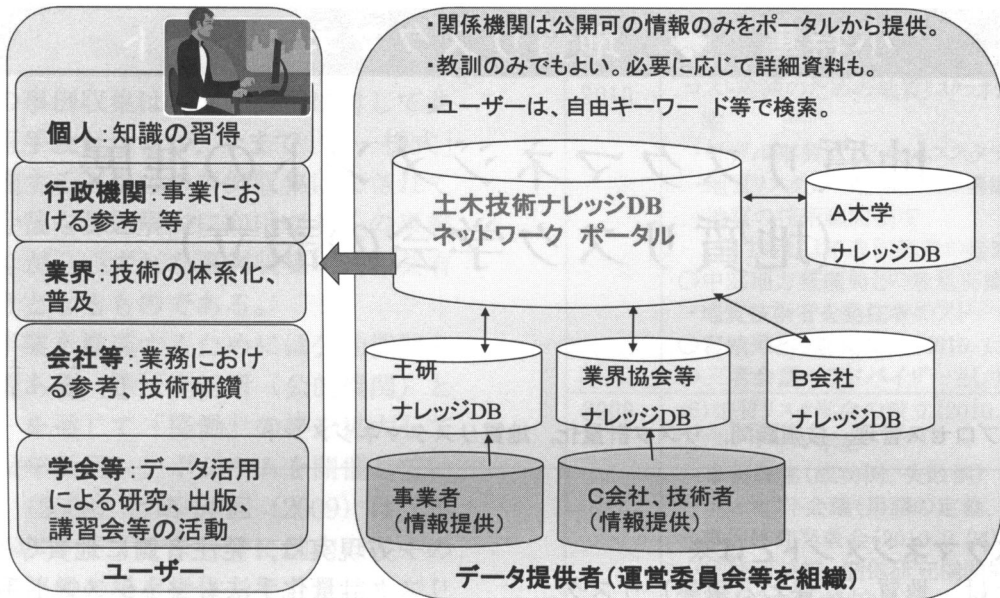
詳細資料等:  
 (公開可能な詳細版のファイル名等があれば記述。非公開用の詳細版はここに記載せず「管理情報」欄に記載のこと)→ハイパーリンク可能

図4 土研現場ナレッジDBの記入様式

は各組織で自由とするが、「概要」はポータルサイトで全文検索でき、詳細は各組織のDBにリンクする。

- ③活用：活用に関しては、一般活用のほか、専門分野毎に活用WGを組織するか、既に専門の研究委員会等がある場合はその中で活用を検討する。利用方法としては、研究利用のほか、教育・講習への利用、事例や教訓をまとめた技術者向けや一般市民向けの出版物、地質・地盤関係の新技术・新分野開拓検討等が考えられる。





### 「土木技術ナレッジDBネットワーク」構想

図5 土木技術ナレッジDBネットワーク構想

#### 7. おわりに

土木分野，地質リスク分野におけるナレッジマネジメント，ナレッジDBの重要性を述べるとともに，土研で蓄積を開始したナレッジDBを紹介した。また，連携スキームを提案した。

ところで先頃亡くなった小松左京氏は，土木工事の現場監督をしたこともあるそうで，「人間」を「国土」とともに考えるというコンセプトで「日本沈没」を執筆したそうである。奇しくも東日本大震災で局所的ながら日本沈没は現実となっている。「日本沈没」では想定外の国土に面したときの人間が描かれているが，我々地質技術者は想定外の国土に立ち向かう人間になるべきである。地

質リスクに関する現場のナレッジについては，未だデータをオープンにしにくい環境があると思うが，リスクを想定し効率的な国土管理を行うため，産官学の連携体制を整えていく必要がある。

#### 文献

- 1) 佐々木靖人 (2011) : 「災害大航海時代」から「国土管理時代」へ，平成23年度日本応用地質学会シンポジウム 講演論文集，pp.10-13.
- 2) 佐々木靖人 (2008) : 応用地質学におけるナレッジDBの利用可能性，平成20年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集，pp.51-52.



# 地質リスクマネジメントの進展 (地質リスク学会の設立)

【Key Word】

地質リスク, プロセス管理, 技術顧問, リスク計量化, 地質リスクマネジメント

さばせ よしひと\*  
佐橋 義仁\*

## 1. 地質リスクマネジメントとは※

地質リスクとは、地質（に係わる事業）リスクのことで、「事業損失とその不確実性」と定義した。マネジメントとは地質に係る事業損失を減少させることであり、その効果は以下の式で定義される。

$$\text{マネジメントの効果} = (\text{リスク without マネジメント}) - (\text{リスク with マネジメント})$$

さらに、地質に係る事業損失はコストのみならず、工期、安全、防災、環境、資源など、多様な評価軸を持ち、全てをコストに換算できるものではないが、国・県が進める「コスト構造改善プログラム」を意識し、価格に換算できないものも含めて「総コスト」「総リスク」の縮減で評価しようとしている。

図1に事業の早い段階で全てのリスク（悲観的リスク）を洗い出し、マネジメント（地質技術・調査の投入）によってリスクを低減させながら事業を進捗させるプロセス管理システムのイメージを示すが、これはマネジメントを「投資」、リスク低減を「効果」と考え、常に「妥当投資」の評価を行いながらリスクを低減させていくものである。このようなマネジメントを行うためには以下の3点セットが必要と考える。

- ① リスク（効果）の計量化（投資と比較するために金銭換算が望ましい）
- ② プロセスで管理すること（図1参照）
- ③ ネジメント（投資）する専門家（発注者側の技術顧問）

一方現実には、発注者側に地質専門家が少なく、リスク計量化手法もマネジメント手法も貧弱である。地質リスクマネジメントを行うには、以下のような多くの課題がある。

- 1) 概念・体系が不明確
- 2) リスクの予見・予防に消極的（設計変更によるリスク解消が一般的）
- 3) 地質技術者の位置づけが不明確（発注者を支援する仕組みも不十分）
- 4) 事業初期における投資効果への期待から楽観的判断の傾向
- 5) 地質リスクに係わるデータが不足
- 6) リスク計量化手法が未確立

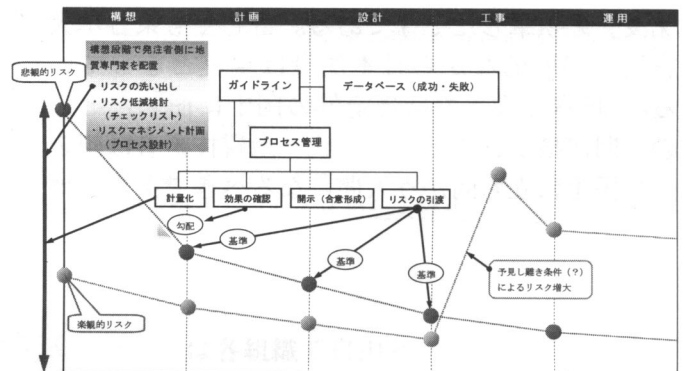


図1 地質リスクマネジメントのイメージ

## 2. 全地連地質リスクWG活動経緯

地質リスクマネジメントを実現するためには多くの課題を克服しなければならない。このため、全地連・技術委員会・地質リスクWGでは表1に示すように、

- 1) 公的機関（建設振興基金、JACIC）から助成を得ること
- 2) リスク（およびマネジメント効果）の計量化のためのデータ収集様式の検討

\* 全地連地質リスクWG座長  
(株)建設技術研究所 取締役常務執行役員



### 3) この様式を用いた事例収集

を行い、事例収集事業をスタートさせた。統一された様式での事例収集は全ての課題に対して共通する課題克服手段となるが、今まで「統一様式」で「効果を計量する」ための事例収集はなされていなかった。今後も課題解決に向けて多くの事業を展開していくが、いずれも事例収集・情報共有を推進しようとするものである。

このような事業を推進するためには公的機関との協働が有効であり、特に産総研（公的機関）との共同セミナーを通じて「協働」の枠を拡大してきた。産総研は年数回シンポジウムを開催しているが、第10回（2008）と第14回（2009）は「地質リスクマネジメント」をテーマに国内の多くの研究グループに協働の場を提供してきた。

さらに我々は、これらの成果を基に国交省をはじめとする公共事業主体に地質リスクマネジメントの導入を提言してきた。発注者側からは多くの賛同を得ているものの、現行の公共建設事業生産システムの一部変更を求めるところもあり、慎重

表1 地質リスク WG 活動経緯

年度	活動概要
2006	(1) 建設振興基金助成研究 ○企業連携等の推進に関する調査・研究委員会設置 委員長 渡邊法美(高知工科大学) 委員 野田 徹(国交省技術調査課) 脇坂安彦(独・土木研究所) 小笠原正継(独・産総研)
2007	(2) JACIC 助成研究 ○地質リスク分析のためのデータ様式の研究 渡邊法美(高知工科大学) 小笠原正継(独・産総研) 永野正展(高知工科大学) 岩松 輝(GUPI)
2007	(3) 米国調査(2007. 9. 30-10. 5) ○米国カリフォルニア州における地質リスクへの対応状況調査 団 長 渡邊法美 副団長 小笠原正継 団 員 全地連地質リスクWGメンバー
2006 ～ 2009	(4) 産総研地質調査総合センターとの共同セミナー ○第6回シンポジウム(2006. 11. 14) 地質情報の社会貢献を考える ○第10回シンポジウム(2008. 3. 11) 地質リスクマネジメント(地質事象の認識における不確実性とその対応) 国際石油開発(株)・土木研究所・岐阜大学など地質リスク研究者が参加 ○第14回シンポジウム(2009. 6. 15) 地質リスクマネジメント(その2)(海外の事例と国内での新たな取り組み) ノルウエー・英国・中国・地盤工学会・土木研究所などが参加

2008 ～ 2010	(5) 国土交通省・地方自治体との意見交換 ○国土交通省との意見交換(2009. 6. 19) コスト縮減のための地質リスクマネジメントの推進を提案 ・モデル事業によるケーススタディ ・地質リスクデータベースの構築 ・地質の技術顧問制度 ・受注者による追加調査の提案と成功報酬 ○中部地方整備局との意見交換(2010. 1. 14) ・地質技術者を発注者のアドバイザーとして活用 ○宮城県との意見交換(2010. 1. 27) ・三者会議へアドバイザーとして参画
2009	(6) 地質リスク学会の設立(2010. 1. 20) ○バーチャル学会 ・事例収集(成功例、失敗例) ・コンセプト会議(用語の定義、体系化) ○事例研究発表会(2010. 9. 24) ・国総研後援、関係研究機関協賛 ・県からの発表(宮城県、静岡県) ○全地連技術フォーラム那覇(2010. 11. 12) ・地質リスクセッション
2010	(7) 地質リスクマネジメント入門の出版 ○地質リスク学会／全地連 共編 出版 オーム社 第1章 地質リスクとは 第2章 地質リスクマネジメントの課題と対応策 第3章 地質リスクマネジメントの事例研究 第4章 ジオテクニカル・ベースラインレポート(GBR) 第5章 GBRの翻訳

な対応になっている。

このように、2006年から4年間の活動は多くの新しい試みを実現してきたが、全地連という民間団体の提言・提案には限界があることから、「学会」を設立（2010年1月）して課題に対応する方法を選んだ。

あわせて今までの活動成果をまとめた「入門書」を出版した。この「地質リスクマネジメント入門」では米国調査団（2007.9）が持ち帰った米国土木学会のGBR（Geotechnical Baseline Report：工事契約条件書を構成する地質条件書）の紹介も行っている。

### 3. 事例収集のためのデータ様式

マネジメントのタイプとして以下の3タイプを設定し、それぞれ効果を記述するための様式を作成した。

#### A タイプ（地質リスクを回避した事例）

マネジメントの効果 = (当初工事費)  
- (変更後工事費) - (リスク対応費用)

#### B タイプ（地質リスクが発現した事例）

マネジメントの効果 = (当初工事費用)  
+ (追加費用) - (リスク対応費用)

## Cタイプ（発現した地質リスクを最小限に回避した事例）

マネジメントの効果 = (回避しなかった場合の  
工事費用) - (当初工事費用) - (追  
加工事費用) - (リスク対応費用)

これらの様式に記入することにより、様式の汎  
用性・利用性が検討でき、より有効な様式に修正  
できる。しかし、これらの様式はデータ収集が目的  
であり、データベース化にあたっては「索引」  
「検索」用のデータ項目を加えなくてはならない。

表2 事例収集データ様式

(A. 地質リスクを回避した事例)		(B. 地質リスクが発現した事例)	
対象工事	発注者	対象工事	発注者
	工事名		工事名
	工種		工種
	工事概要		工事概要
	①当初工事費		①当初工事費
リスク回避事例	当初工期	リスク発現事例	当初工期
	予測されたリスク発現時期		リスク発現時期
	予測されたトラブル		トラブルの内容
	回避した事象		トラブルの原因
	工事への影響		工事への影響
リスク管理の実際 (リスクを減少させた判断) (因果関係の因)	判断(した)時期	変更工事の内容 (含: 調査・設計・対策) (因果関係の果)	追加調査の内容
	判断した者		修正設計の内容
	判断の内容		対策工事
	判断に必要な情報		変更工事
			変更費用
リスク対応の実際	内容	リスク管理の理想 像(改善によりリ スクが減少したで あろう対応) (因果関係の因)	追加調査
	追加調査		修正設計
	修正設計		対策工
	対策工		変更工事
	②合計		②合計
変更工事の内容 (含: 調査・設計・対策) (因果関係の果)	工事変更の内容	対応(すべき)時期	追加調査
	③変更工事費		修正設計
	変更工期		対策工
	間接的な影響項目		変更工事
			④合計
リスクマネジメント の効果	受益者	対応(すべき)者	追加調査
	費用(③-①+②)		修正設計
	工期		対策工
	その他		変更工事
			④工事費
		想定工事	費用(②-③)
			費用 (①+②)-(③+④)
			工期
			その他

## 4. 地質リスク学会の設立

### 4.1 学会の必要性

全地連の「地質リスクマネジメント」は、公的  
機関（建設振興基金、JACIC）からの助成研究、産  
総研との共同セミナーなどを通じて「地質リスク  
の定義」「マネジメントの理念（3点セットなど）」  
「想定される効果」などのコンセンサスを得てきた  
が、全地連は業団体であることから、提言・提案  
の説得力・普及に限界を感じていた。そこで業界  
活動とあわせて「学会活動」を創設することで  
課題の克服を目指すことにした。また地質リスク  
マネジメントは多くの複合領域と多くのプレイヤー  
との結集・総合化を必要とし、既存の学会・海外  
との連携も重要であることから、「新たな実施体制」  
として学会を設立することにした。

### 4.2 学会組織と主要事業

地質リスク学会は当面(2年間)Web上のバーチャル  
学会として2010年1月20日に設立された。

会長 渡邊法美（高知工科大学教授）

副会長 小笠原正継（産総研主任研究員）

事務局 NPO 地質情報整備・活用機構

協力 全国地質調査業協会連合会

主な事業は以下のもので多くは着手済である。

- ①事例研究発表会などの普及活動
- ②マネジメント体系の研究
- ③技術顧問制度の促進
- ④事例研究（データ様式、事例収集、DB化）
- ⑤ガイドライン作成（リスク要素、効果の計量化、  
マネジメント手法）
- ⑥国土交通省実証モデル事業の働きかけ
- ⑦公的研究機関との共同研究・共同セミナー開催
- ⑧年次学会の開催
- ⑨国際交流

### 4.3 第1回事例研究発表会（2010.9.24）

地質リスクマネジメントの研究は、先ず事例を  
多く集め分析することが基本である。第1回事例  
研究発表会は2010年9月に開催した。

共催 地質リスク学会・全地連

後援 国土交通省 国土政策技術総合研究所

協賛 土木研究所、港湾空港技術研究所、産業

技術総合研究所、地盤工学会関東支部、

日本応用地質学会

発表論文をみると

タイプ A（成功事例）

発表者 民間企業（地質コンサルタント）

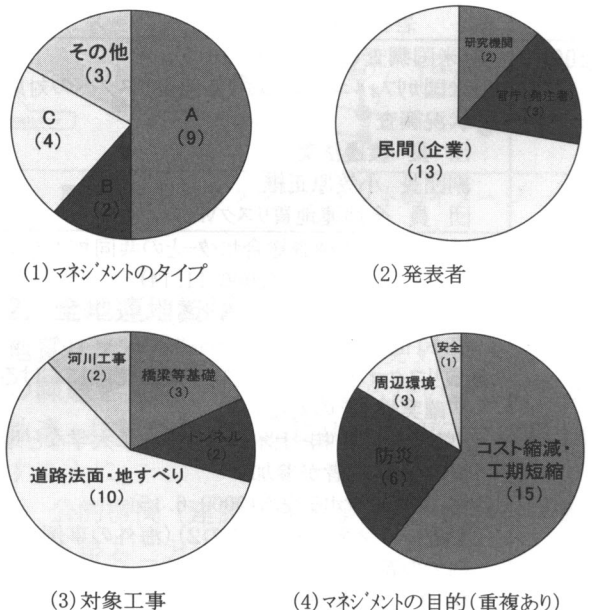


図2 発表事例（18件）の傾向



対象工事 道路法面・地すべり

目的 コスト縮減・工期短縮

が多いが、それぞれの分類で第2位以下の項目がしっかり登場しており、地質リスクマネジメントの体系を予感させる結果であった。

#### 4.4 第2回事例研究発表会（2011.10.21）速報

第2回事例研究発表会は近々（10月21日）開催される。発表事例は28件（去年は18件）に増え、発注者との連名は8件（去年は4件）に増えるとともに市町などへ広がっている。発表会（東京都新宿区・飯田橋レインボービル）へのご来場をお待ちしています。

### 5. 地質リスクマネジメントの展望

#### 5.1 3点セットと妥当投資という概念の導入

地質リスクマネジメントは多くの地質関連学会において「地質の不確実性の解明と対応策研究」として扱われており、我々の活動は多くの点で共通するが、以下のような特徴を持っている。

- ①マネジメントの3点セット（計量化，プロセス管理，専門技術者）
- ②マネジメントを投資と考える（事業プロセスを通じて妥当投資の説明を行う）

特に、「妥当投資の説明」は技術者の「リスク予見能力」を証明するものであり、リスクマネジメントを技術者（特に発注者側の技術者）が行う根拠となっている。

#### 5.2 コスト構造改善プログラムへの貢献

地質リスクマネジメントは多様な目的で実施されるが、「コスト構造改善」には大きな効果が期待できる。コスト構造改善プログラム（H15）においては「設計の総点検」が実施され、全国で15%のコスト縮減を達成したと言われる。そこで、調査・計画・設計段階にある全ての事業に対して「地質の総点検」を実施すればそれ以上の効果が計上できるであろう。もちろん「全ての事業」といっても、技術者による判定を経て選定された「必ず効果の出せる」事業を対称にすることは言うまでもない。

#### 5.3 技術顧問という技術者の立場

リスクマネジメントは発注者が主体である。こ

のため、発注者側に地質の専門技術者を必要とするが、ほとんどの機関で体制が不十分である。民間には多くの専門技術者がいるが、民間に発注される段階は不確実性が小さくなった段階でありマネジメント効果は多くを期待できない。すなわち、不確実性が大きくマネジメント効果の期待できる企画・計画段階は、発注者が専ら担当する段階であり、ここに民間の地質技術者を活用するならば、その地位を明確にしなければならない。それが（発注者側の）技術顧問である。図3、図4に技術顧問の立場を示す。図4は、民間の技術者が技術顧問として働くには、発注者の領域にポストを用意する必要があることを示している。

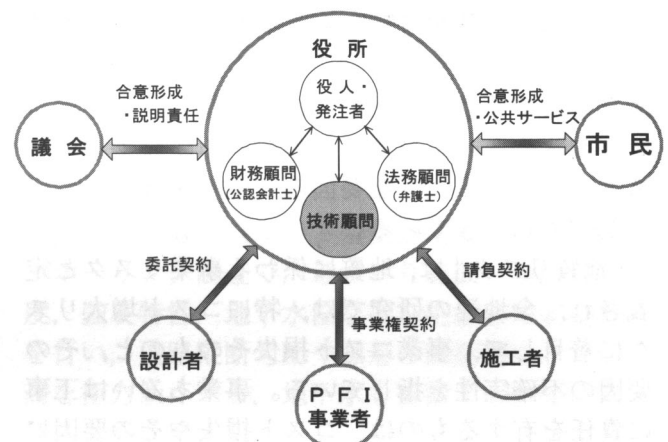


図3 技術顧問の位置づけ

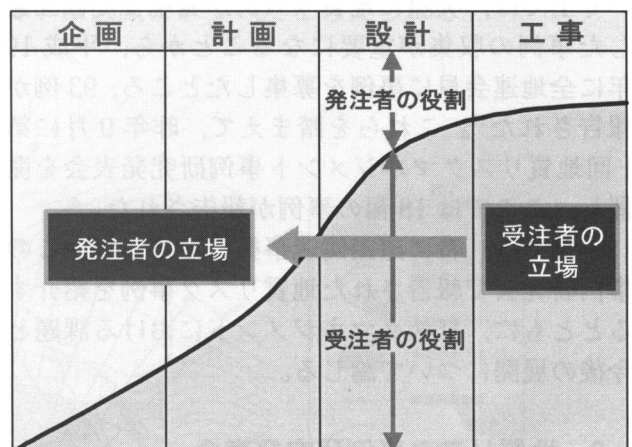


図4 技術顧問の立場

# 道路関連事業における地質リスク事例研究

## 【Key Word】

リスクマネジメント、事業コスト縮減、リスク回避、リスク低減、費用対効果

むか い まさ し  
向 井 雅 司\*

## 1. はじめに

全地連では平成17年度より地質リスクに関する研究をスタートさせ、これまで様々な報告・提言を行ってきた。昨今は「地質リスク」についての関心も高くなってきており、建設事業のコストを左右する大きな要因の一つであることが広く認知されてきている。

「地質リスク」は、地質に係わる事業リスクと定義され、全地連の研究では、特にコスト増大リスクに着目して、事業コスト損失そのものと、その要因の不確実性を指している。事業あるいは工事に責任を有するものは、コスト損失やその要因についての説明責任を果たす必要があり、そのためには地質リスクマネジメントが不可欠となる。

この地質リスクマネジメントを研究・確立していく上では、実際に地質リスクが発現または回避した事例の収集が重要になることから、平成19年に全地連会員に事例を募集したところ、93例が報告された<sup>1)</sup>。これらを踏まえて、昨年9月に第1回地質リスクマネジメント事例研究発表会を開催し、ここでは18編の事例が報告された。

本稿では、特に道路関連事業に着目して、この事例研究会で報告された地質リスク事例を紹介するとともに、リスクマネジメントにおける課題と今後の展開について論じる。

## 2. 地質リスク事例研究発表会

本発表会は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し、共有することを目的として、地質リスク学会と全地連の共催で開催したものである。

参加者も多く、また発注者サイドからの報告も

あり、地質リスクに対する関心の高さが伺えた。事例収集にあたって、地質リスク事例は次の3タイプに分類している。

Aタイプ：地質リスクを回避

Bタイプ：地質リスクが発現

Cタイプ：発現したリスクを最小限に回避

本発表会で報告された事例は、A:9例、B:2例、C:4例、D（その他）:3例であった。

また、対象構造物別で分類すると

基礎杭 3件

道路のり面 6件

地すべり 2件

トンネル 3件

河川 2件

その他 2件

であり、橋梁基礎やトンネル、切土のり面などを加えると道路事業に関わるものが半数以上となっている。このことから道路事業においては地質リスクマネジメントを的確に行うことにより、事業コストの縮減に大きな効果が期待できることが伺える。

ここでは、発表会で報告された事例のうち、道路事業に関わる2編を紹介する。

## 3. 地質リスク事例

### (1) 事例1：道路のり面崩壊事例<sup>2)</sup>

本事例は、東北日本海側の丘陵を横断する新設道路施工中に切土のり面が崩壊したものである。施工中に地質リスクが発現した典型的なBタイプの事例であり、仮に事業の計画段階で地質技術者が関与していれば防げていた可能性が高いと考えられた事例である。

対象地域は新第三系中新統船川層泥岩よりなる尾根部を横断する切土区間で、崩壊は図1に示すように3回発生し、その崩壊範囲は幅約120m、

\* 復建調査設計株式会社 地盤環境部長/地質リスクWG委員



長さ約 50 m、高さ約 25 m に及び、最終的には切土のり面全体に拡大した。

これにより、工事は約 1 年 10 カ月中断し、対策工の施工に約 6 カ月を要した。

当初、切土区間ではボーリング調査を行っておらず、通常の風化～弱風化軟岩の地山と判断して、勾配 1:1.0 で設計施工していた。

2 回目の崩壊発生直後に実施した追加調査の結果、地すべり崩壊の原因は、「地下水位が高い脆弱な古い地すべり移動層から構成される低強度の地山を無対策で切土したため」と判断された。それを踏まえて、対策は道路を谷側に最大 15 m 程度シフトし、小規模な押え盛土、背後斜面を不安定化させない程度の頭部排土工を行うとともに、集水井工 (3 基)、集排水ボーリング工による地下水排除を行った。(図 2 参照)

本事例では、計画設計段階における地表地質踏査によるルート周辺の不安定地形の検討が不十分であったと言え、適切なリスクマネジメントは次の通りであったと想定される。

① リスク回避 (ルート変更)

空中写真判読、地表地質踏査により不安定地形

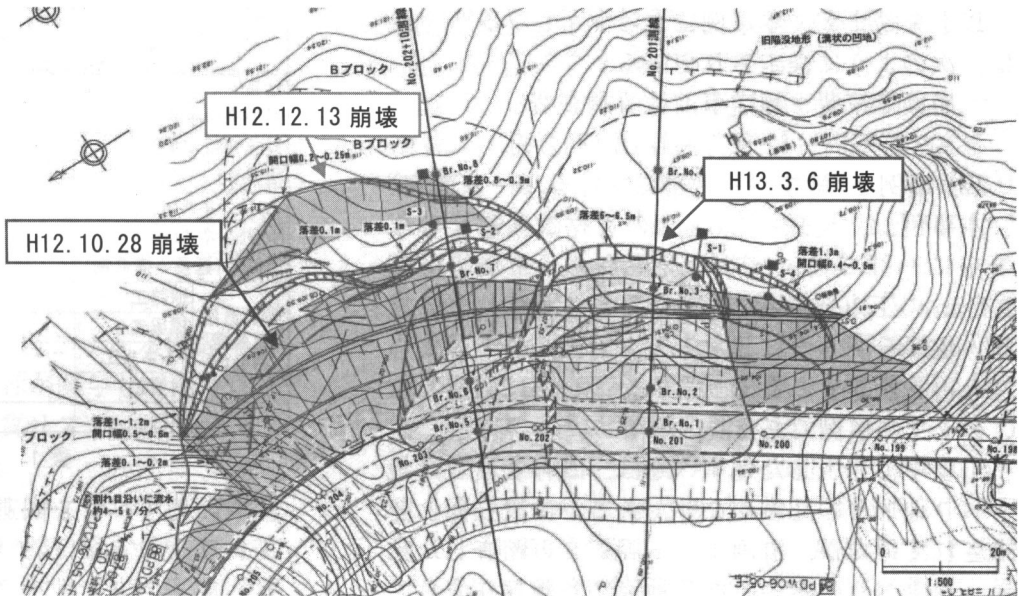


図 1 崩壊状況平面図

を抽出すれば、切土のり面崩壊として発現した地質リスクの予見は可能であり、ルート変更によりリスクを回避する。

② リスク低減 (ルート変更が困難な場合)

ボーリング調査で、地すべり範囲・地山劣化程度、強度特性、地下水位などを把握して安定解析を行い、道路縦断勾配や線形の微調整などで切土高を極力低くする、地下水を排除する、等によりリスクを低減する。

このように、計画設計段階で適切な地質調査・解析を行って、地質リスクをマネジメントできていれば、追加工事を行うことなくリスクを回避あるいは低減できていたと考えられる。

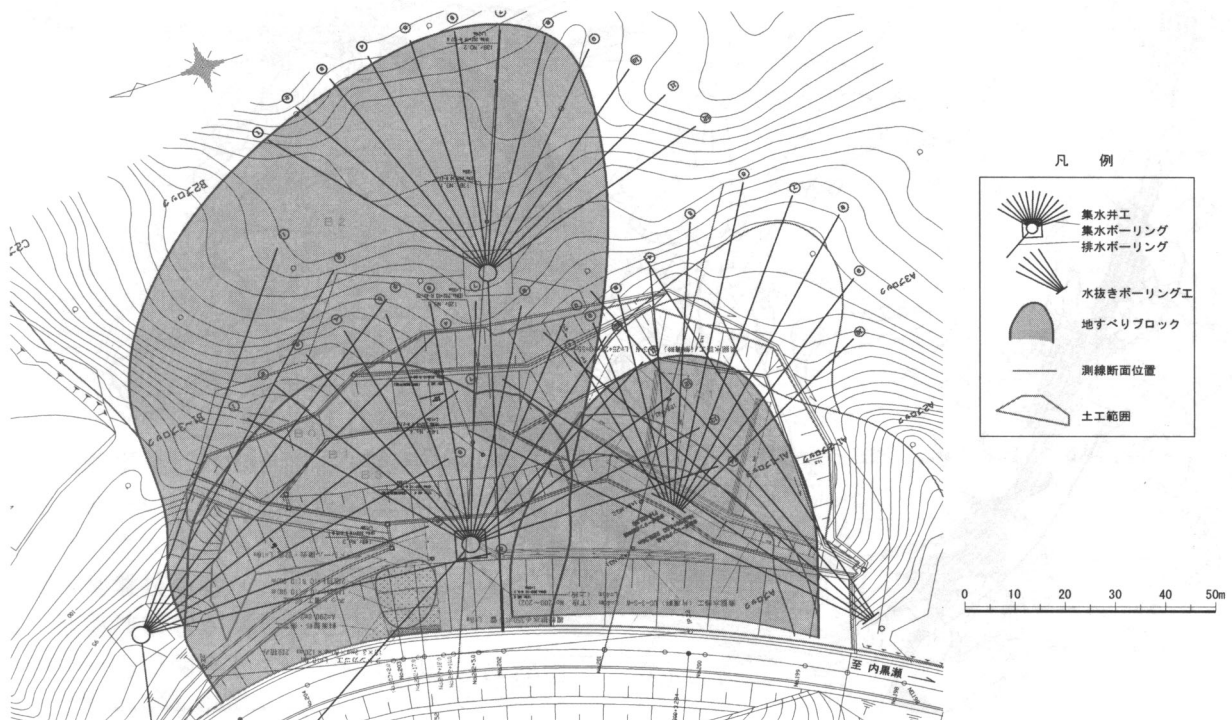


図 2 対策工平面図

以上を踏まえ、本事例によるマネジメント効果は、次のように推定されている。

崩壊対策費－想定事前地質調査費  
 = 195 百万円－12 百万円 = 183 百万円

### (2) 事例 2：地すべり地帯におけるルート選定<sup>3)</sup>

本事例は、延長約 3.6 km の道路改築事業の工事中に一部で地すべりが発生ため、未改築区間 1.3 km の工事を中断し、予想される地すべりの性状・規模を明らかにした上で、計画ルートの妥当性を再評価することでリスクを最小限に回避した C タイプの事例である。

工事に発生した地すべりは、既存資料では地すべり地形との認識がない、あるいは段丘面と認識されていたが、計画ルート周辺を再踏査した結果、地すべりの疑いのある地形が多数存在することが判明した。(図 3 参照)

そのため、地すべり地形の把握を目的として次の詳細調査を実施した。

- ① 空中写真撮影と写真判読
- ② 地表踏査
- ③ ボーリング調査

詳細調査の結果、対象地の段丘面はほとんどが地すべり地形であり、地すべりのすべり面は古第三紀の泥岩に挟在する凝灰岩薄層であること等、地すべりの全体像を把握できた。

その上で、ルート変更も含めた比較検討を行った。ルート変更は、平面線形は悪くなるが、橋梁

	当初ルート	変更ルート(採用案)
延長(m)	1,300	1,200
最小曲線半径(m)	390	200
最急縦断勾配(%)	4.5	4.3
橋長(m)	365	278
No.1トンネル(m)	221	—
No.2トンネル(m)	120	—
道路工(延長－構造物)	594	922
概算直接 工事費 (百万円)	道路工	446
	橋梁工	2,549
	トンネル工	1,021
	対策工	4,660
合計	8,676	6,230

表 1 ルート比較案

箇所地すべりを回避でき、また、トンネルを土工に変更することで地すべりの影響は少なくなり、施工の安全性や経済性(表 1 参照)において優位であることから、対策はルート変更決定した。

本事例におけるマネジメント効果は次のように推定されている。

$$\begin{aligned}
 &= \text{当初ルート} \{ \text{概算工事費} + \text{追加調査費} + \text{修正設計費} \} - \text{変更ルート} \{ \text{概算工事費} + \text{追加調査費} + \text{修正設計} \} \\
 &= (228 + 151 + 8,676) - (452 + 200 + 6,230) \\
 &= 9,041 \text{ 百万円} - 6,882 \text{ 百万円} \\
 &= 2,159 \text{ 百万円}
 \end{aligned}$$

なお、これらを含む第 1 回地質リスクマネジメント事例研究発表会論文集は地質リスク学会ホームページに掲載されているので参照されたい。

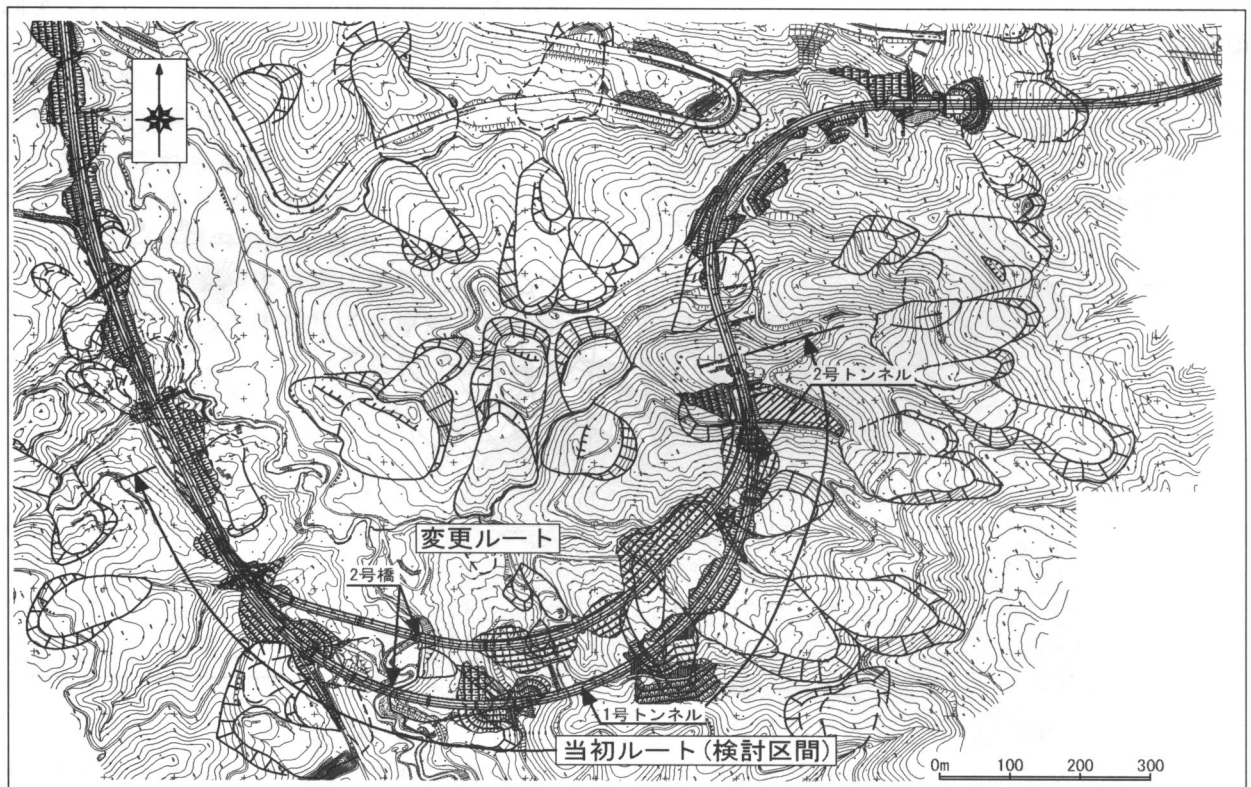


図 3 改築工事ルートと地すべり



#### 4. 課題と今後の展開

地質リスクマネジメントの目的は、事業におけるリスクを回避あるいは低減させて、事業コスト縮減することにある。

発表会で報告された事例を含めこれまでに収集された事例によれば、地質リスクに起因する工事への影響は非常に多く見られ、これをマネジメントする効果は非常に大きいと言えよう。また、事例の中には日常の業務でも起こりうる問題も多く、地質・土質の専門技術者が関与していれば防げた事例も見受けられ、地質リスクマネジメントの更なる展開が期待される。

しかしながら、地質リスクマネジメントには次のような課題もあり、より効果の高いものにするためには、今後、これらを検討していくことが求められる。

##### ① リスクマネジメント効果の評価

地質リスクのマネジメント効果は、その対策工事に係る費用（調査・設計費用を含む）として評価している。これは最も分かり易く、コスト縮減への寄与も判断しやすい。

一方で、地質リスクが発現すると、その対応のために事業の工期延長が不可欠となり、道路事業では開通時期の延期等にも繋がる。このような工期の延長・短縮といった金額に換算できないマネジメント効果も多々あり、これらをどのように評価していくか検討が必要である。

##### ② 費用対効果

道路のり面切土工事で地質リスクが発現した事例が多く報告されているが、この多くは地質調査不足に起因するものである。一方で、地質調査を行わず、標準勾配で施工しても何ら問題を生じていない施工例も少なくない。

そのため、費用対効果を勘案して地質調査の必要性をどのように判断するかも大きな課題となる。その対応としては、専門技術者が現地で地表地質踏査をして判断すること、また、どのような場合に地質リスクが発現するのかを評価するためにより多くの事例を収集していくことが望まれる。

これは道路事業以外でも同様であり、地質調査の必要性、あるいは適切な調査数量を判断することも地質リスクマネジメントの一つと言えよう。

##### ③ 地質・地盤技術者

地質・地盤技術者が関与していれば防げた事例も多いが、一方で関与していたにも拘わらず判断を間違えてリスクが発現したこともあったのでは

ないだろうか。それが単に技術力不足であるならば、地質リスクを論じるまでもない。

地質リスクマネジメントに関わる地質・地盤技術者は、自身の専門技術力に対して謙虚であるとともに、常にその技術力の研鑽に努めて、地質リスクを的確にマネジメントできる能力を身に付けることを怠らないようにしなければならない。

また、地質リスクをマネジメントできるような技術者を活用していくためには、地質技術顧問制度の確立に向けての議論も必要である。

##### ④ 事例の収集と情報の共有

実際に発現した地質リスクに対して如何に向き合うか、その姿勢が大切であり、事例から学ぶべきことは多い。特にBタイプの失敗事例は重要である。Bタイプの事例はまだまだ多く潜在しているものと推測され、官民が連携してこの事例を公表していくことが、この研究の更なる発展に寄与するものと考えられる。

失敗事例の公表には難しい点多々あるとは思われるが、建設事業に関わる技術者がこの課題を真摯に捉え、より多くの事例が公表されていくことを望みたい。

#### 5. おわりに

地質リスクについて様々な場で議論が成されてきており、その認知度は研究がスタートした時点に比べて格段に上がっていると言える。また、多くの事例が報告されて、これを基にした研究も進んできている。

しかしながら、この研究を効果的なものにし、今後の事業コスト縮減に寄与するためには、まだまだ課題も多い。それを解決していくために、今後もより多くの事例が様々な場で公表され、その情報をデータベース化し、共有していくことを期待したい。

#### 参考文献

- 1) 渡邊法美, 他; 地質リスク分析のためのデータ収集様式の研究 (日本建設情報総合センター研究醸成事業), 2008
- 2) 高野邦夫, 他; 道路工事中に発現した地質リスク事例, 第1回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集, pp. 77-86, 2010
- 3) 鈴木俊司, 他; 地すべり地帯に計画された道路改築工事のルート選定, 第1回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集, pp. 25-28, 2010

# 地すべり災害において実施したリアルタイム監視によるリスク管理について

**【Key Word】**

地すべり, 災害, 地質リスク, リアルタイム, 計測

藤井 勇\*・藤井 俊逸\*・永田 和之\*

## 1. はじめに

本論文は地すべり箇所において災害発生時から施工完了までの間に行った伸縮計を主とするリアルタイム計測の事例紹介である。地質リスクを回避する方法として、設計前の調査を入念に行うなど様々なパターンが考えられるが、今回の事例はリアルタイム計測により地質リスクを含めた安全管理を行い、地すべりによる二次災害を回避したものである。また、リアルタイム監視のコスト面における有効性についても考察した。

## 2. 現場の概要

### 2.1 被災状況

現場は平成 21 年 6 月の降雨により地滑り頭部にある道路が沈下した。昼頃に連絡があり、その

場でリアルタイム計測の了解をいただきその日のうちに、伸縮計を設置した。

現場の周辺は地すべり地形をなしており、災害の

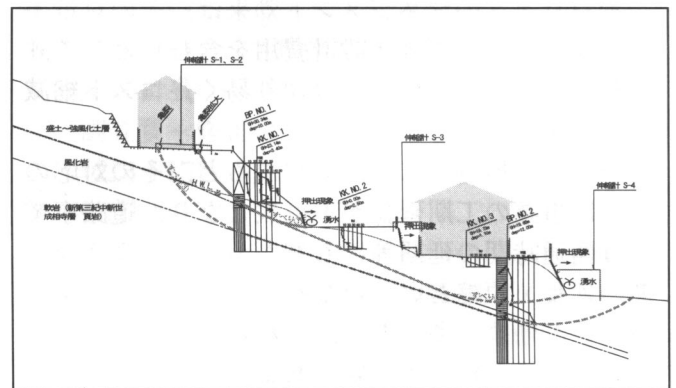


図2 断面図

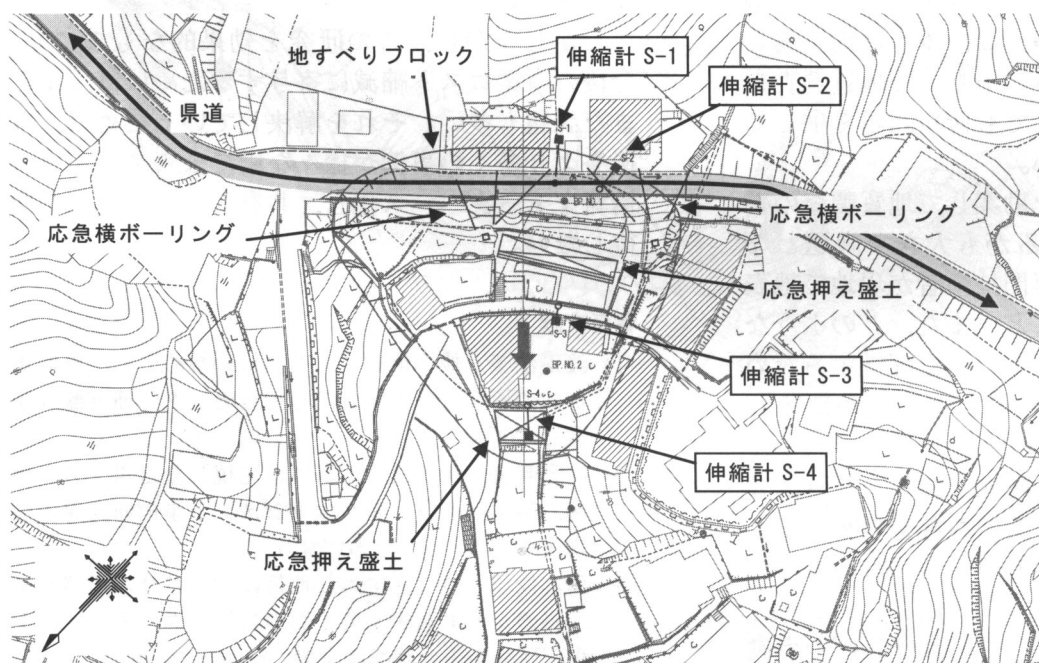


図1 平面図

発生した道路の山側及び下側には民家があり地滑りの進行が懸念された(図1, 図2)。地すべりは泥岩をすべり面として発生しており、滑りの進行とともにすべり面の泥岩が強度低下することで地滑り移動速度が加速することが考えられた。

### 2.2 地質

地質は新第三紀成相寺層の頁岩であり、20度程度の北西方向の傾斜となっている。県道部に東西に延びる断層がある。地すべり範囲

\* 株式会社 藤井基礎設計事務所



に、断層と流れ盤構造が示され、地すべりの素因となっている。

### 2.3 応急対策

応急対策として押え盛土及び横ボーリングを実施した。これにより地すべりの動きは緩慢なものとなった。

### 3. リアルタイム計測のシステム構成

リアルタイム計測は無線により観測データ（伸縮計，歪計，地下水位，雨量等）を10分毎に観測BOXへ送信します。

観測BOXはデータをサーバーへ送信するとともに、警報の基準か判断し、基準を超えている場合、現地の警報機及びパトランプを作動させます。

サーバーでは、データをグラフ化し、インターネットのサイトを自動更新します。また、警戒・警報の基準を超える場合には関係者へメール送信します。(図3, 図4, 図5)

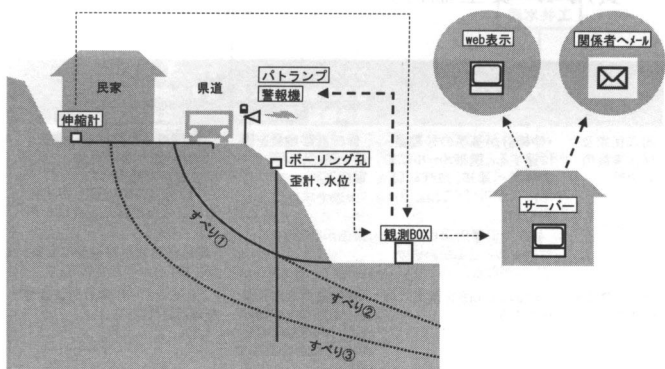


図3 リアルタイム計測の構成

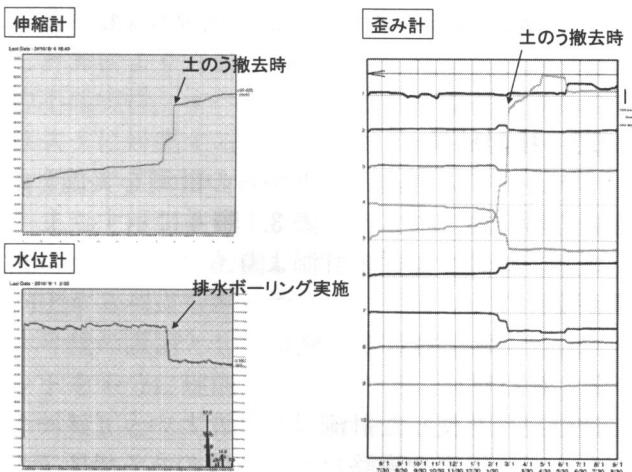


図4 インターネット上のグラフ表示

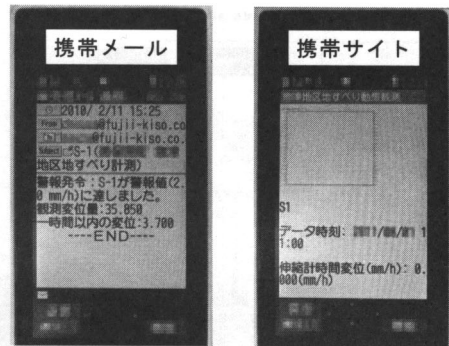


図5 携帯へのメール表示

### 4. 安全管理体制

リアルタイム監視による安全管理体制を図6に示す。伸縮計の伸縮量により、2mm/h未満、2~4mm/h、4mm/h以上の3段階による安全管理を行った。2mm/hを超えた時点で現地の状況確認へ行くことにより、4mm/hを超えた時点ですぐに避難指示や通行止めなどの対応が可能となる。また、降雨による歪み計や伸縮計の動きが即時にわかることから、関係者が関心をもち危機意識が向上することが安全なリスク管理に有効である。

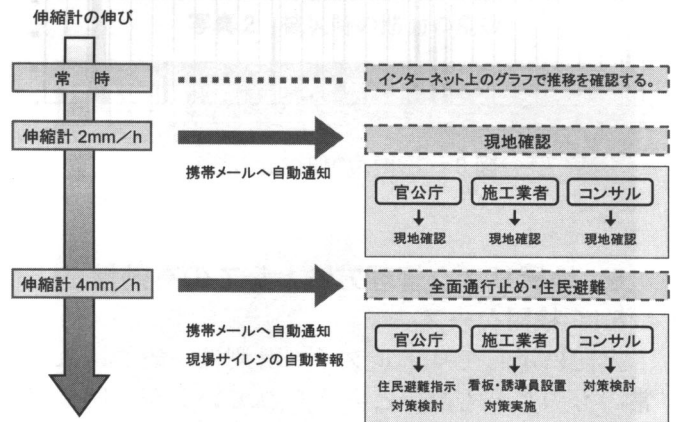


図6 安全管理体制

### 5. 地すべりの進行と対応

#### 5.1 被災時

図7は被災時の伸縮計の推移であり、観測は7月1日昼の連絡を受けて設置作業を行い19時から計測を開始した。設置後、雨量の減少とともに伸縮量の伸びが小さくなったことから押え土のうを設置した。応急対策により伸縮量は小さくすることができた。

#### 5.2 工事中

図8は工事中の伸縮計の推移であり、工事に押え土のうを撤去した際、降雨の影響を受けてす

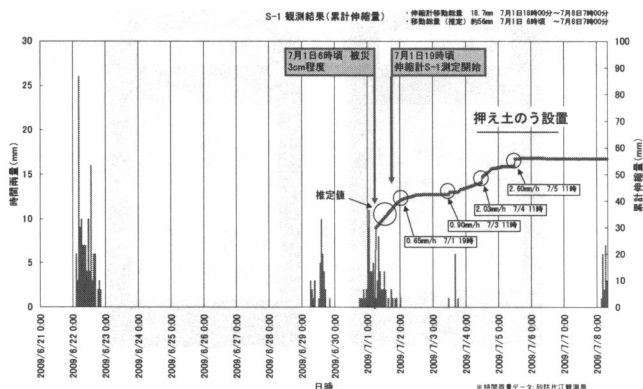


図7 被災時の伸縮計の推移

べりが進行した時のものである。リアルタイム観測の結果を受け早期に対処したことによりすべりの発生を抑制した。

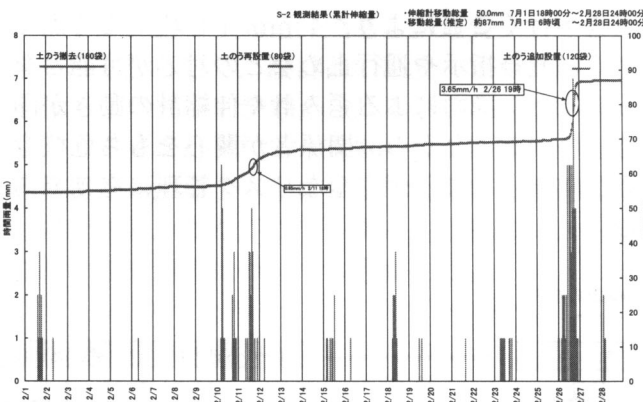


図8 工事中の伸縮計の推移

## 6. 地質リスク管理方法としての有効性

### 6.1 検討ケース

上記に示したリアルタイム計測は一般的には通常のものよりも高価と考えられているが、関係者の安全管理にかかる労力を大きく減らすことになるとともに、工事の安全に寄与することができる。

すべりに対するリスク（地質判断から想定される安定度、周辺の環境）から考えると、通信技術を使ったセンサーは有効となるが、このような機器の選定に関するマネジメント手法というのはいまだ整理されていないのが実態である。

ケース1	通信技術を使った伸縮計により安全管理をする方法
ケース2	従来の伸縮計を使って、ケース1と同レベルの安全管理をする方法
ケース3	従来の伸縮計を使って、従来通りの計測を行う方法

表1 検討ケース

そこで、表1に示す3ケースについて比較することでリスクマネジメントの観点から有効性を証明した。その結果、ケース1の通信技術を使った伸縮計による安全管理が有効であることがわかった。

### 6.2 コスト設定

災害発生初期に伸縮計の計測結果から、①すべり面の拡大による家屋倒壊リスク、②道路変状による道路通行不能リスク、③測量・調査・応急対策時の作業員の安全に関するリスクが予測された。

災害発生初期のリスクについて、押さえ盛土及び横ボーリングにより①及び②のリスクを回避し、リアルタイム計測により③のリスクを回避した。

ここではリアルタイム計測に着目しリスクマネジメント費用を整理する。表2に各ケースの安全管理の特徴をまとめた。

- 費用1. 計測器の設置・観測にかかる費用
- 費用2. 計測結果の整理にかかる費用
- 費用3. 計測結果の関係者通知にかかる費用
- 費用4. 安全監視員にかかる費用

	ケース1 リアルタイム計測	ケース2 従来の伸縮計による 常時観測	ケース3 従来の伸縮計による 一般的な観測(週1回)
周辺民家及び作業員の安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伸縮計が基準の移動量に達すると携帯メールにて関係者へ通知。危険な現場に人が近づくことなく計測可能。</li> <li>・並びに現場周辺民家へ危険を知らせるためのサイレンがなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伸縮計移動量を現場で確認し関係者へ電話連絡。</li> <li>・現場で手動によりサイレン、または避難指示を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1週間単位で伸縮量を確認する場合、豪雨等に連動した急激な移動量の把握はできない。また、観測時の伸縮量が不明であるため作業員の安全性が保証されない。</li> <li>・周辺民家の避難指示に支障がでることが予想される。</li> </ul>
データ取得の確実性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伸縮計の動きを確実に取得できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動量が多い場合、危険なため避難しなければならずその後の動きは把握できない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上記のとおり作業員の安全性が保証されない。</li> </ul>
緊急対策工法選定に与える影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>・継続的な観測データを確認し対策決定が行われる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動量が多い場合、観測データが不明なため作業員の安全性を考えると対策工を行うか否かの判断が困難。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業員の安全性が保証されない上に対策工法決定に時間がかかる。</li> </ul>

表2 各ケースにおける安全管理の特徴

### 6.3 検討結果

リアルタイム計測と従来からの計測を実施した場合の考え方、コストを表3、表4に示す。

コスト比較では従来計測よりもリアルタイム計測が安くなる。

### 7. おわりに

通信技術を使った計測は高価だというイメージがあるが、民家や道路などに影響のある場所では経済的にも有効である。



	ケース1	ケース2	ケース3
①計測器の設置	伸縮計4基、3ヵ月計測とする。		
②計測結果の収集	10分毎に計測	1日毎に計測。最初の1週間は伸縮量を常時目視観測する。	1週間毎に計測
③計測結果のグラフ化	自動で行いwebに表示する。10分毎に更新。	通常は伸縮計のペーパーを持ち帰りグラフ化する。緊急時には電話により観測結果を報告し整理する。	伸縮計のペーパーを持ち帰りグラフ化する。
④現地安全管理コスト	緊急時に避難指示を行う人員1名を配置する。	緊急時に避難指示を行う人員1名と目視観測を行う人員1名を配置する。	緊急時に避難指示を行う人員1名を配置する。
⑤家屋補償費	計測により危険を早期に把握。押さえ盛土を実施し被害を防いだ。	人が伸縮計を直接見て監視し危険を早期に把握。押さえ盛土を実施し被害を防いだ。	通常の1週間に1回の観測ピッチでは本地の急激な動きが確認できずに家屋が被災したのとして補償費を計上した。

表3 各ケースのコストの考え方

	ケース1	ケース2	ケース3
①計測器の設置	277千円	277千円	277千円
②計測結果の収集	422千円	793千円	113千円
	(10分毎)	(1日毎)	(1週間毎)
③計測結果のグラフ化	105千円	160千円	53千円
④現地安全管理コスト	485千円	2425千円	485千円
	(1人)	(1人+計測器1人)	(1人)
⑤家屋補償費	0千円	0千円	5000千円
合計金額	1,289千円	3,665千円	5,928千円

表4 コスト比較



写真1 被災時の地すべり頭部



写真2 被災時の路面の亀裂

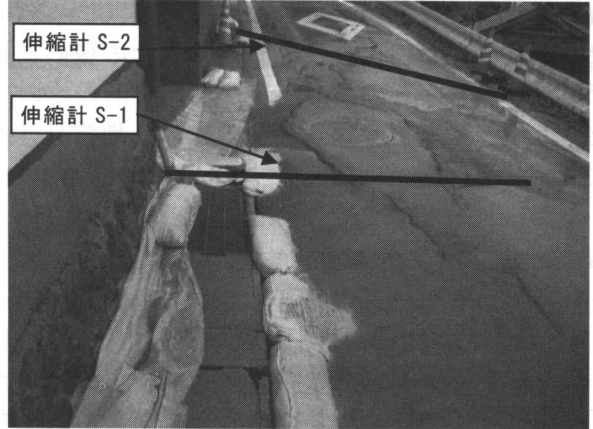


写真3 伸縮計設置状況

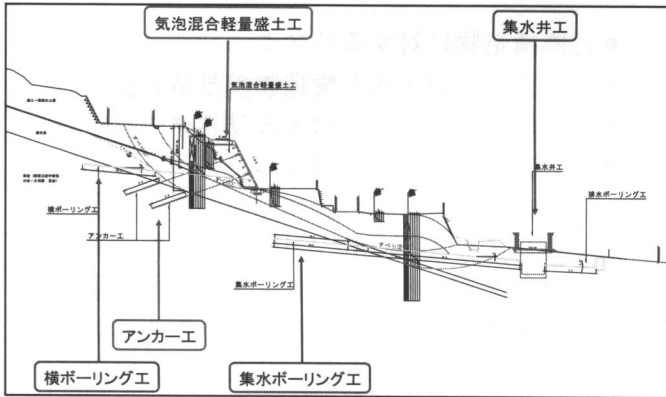


図9 対策工断面図

地すべりの対策を決定する際には安全率を設定し計算により対策工の安全性を確認するが、計算の不確実性、すべり面の強度低下など様々な地質リスクに対応するためにもインターネット計測は有効な手法のひとつである。

また、計測結果を共有することで官公庁、施工業者、コンサルの間に連携が生まれ、安全意識が向上する利点もあった。

今後の課題としては発注者及び工事業者にメリットを十分に理解していただくことである。

対策工としては、アンカーによる抑止工と排水ボーリングによる抑制工を併用し、工事は無事に終えることができた。(図9、写真1~4)



写真4 対策工（アンカー付き気泡混合軽量盛土工）

# シンガポールの公共工事における 地質リスクマネジメント

**【Key Word】**

地質リスク, GBR, 契約, 施工管理, 工事保険

おりはら けいじ のなか たけし  
折原 敬二\*・野中 毅\*\*

## はじめに

シンガポールの地下鉄工事をはじめとした公共工事で発生した事故や工事遅延の原因の大半は地質的要因によるものであり、それに人為ミスが複合的に絡むことで重大事故に至ったケースもある。2004年の地下鉄工事における山留壁崩壊事故<sup>1)</sup>以降、発注者は事故だけでなく設計変更による工事費の増大や工事遅延回避のため、工事開始前に出来る限りの地質リスクを抽出し、その対策を予め明示しておくことを求めるようになってきた。本稿では、シンガポールの公共工事の設計委託契約書において地質リスクがどのように規定され、それが設計にどのように反映され、その後の工事で地質リスクがどのように管理されているか、また、工事保険を扱う保険会社の求める地質リスクについて実例を上げて紹介する。なお、シンガポールでは地質リスクを、地盤リスク (Geotechnical Risk) と呼んでいる。

## 1. 設計時の地質リスク規定

地下鉄の設計仕様書<sup>2)</sup>には、設計や工事に伴って発生が予想されるリスクへの対処法が規定されている。リスクは地質リスクに限ったものではないが、特に地質に関連するリスクへの言及が多い。また、設計仕様書の指定する設計基準である英国規格 (The British Standards) や CIRIA 基準では、リスクマネジメントが重要な設計項目として明記されている。たとえば、山留壁の設計ガイドラインである CIRIA C580<sup>3)</sup>には以下の基本的なリスク対処法の流れが示されている。

- ハザードの抽出
- リスクアセスメント

\* 基礎地盤コンサルタンツ(株)取締役・海外事業部長

\*\* 基礎地盤コンサルタンツ(株)シンガポール支社副社長

- リスクが許容できるか判定
- リスクの予防対策の提案

(ここに、ハザード=危険因子・有害因子、リスク=危険が発生する可能性)

シンガポールの設計仕様書では、これらを地盤ベースライン報告書<sup>4)</sup> (GBR)<sup>注1)</sup>や構造物損傷度評価および予防対策報告書と呼ばれる文書に記載することを求めている。設計仕様書に具体的に挙げられている検討項目は以下のものである。

- 近隣構造物に対するリスク
- 施工する仮設・永久構造物のリスク
- 既設地下鉄構造物に対するリスク
- アンダーピニング工事でのリスク

(注1) シンガポールでは、プロジェクトや発注官庁によって GIBR, GIR, GBR など異なる呼称を用いるケースがあり、混乱を避けるため本稿では GBR とする。

### (1) 掘削山留壁の設計

トンネル掘削や地下掘削による近隣構造物への影響評価は、周辺地盤の沈下解析と近隣構造物の損傷度評価によって実施する。主に二次元 FEM を用いて掘削解析を行い、近隣構造物や地下埋設物の変状が許容値を超えるかどうかを検討する。許容値を超える構造物に対しては、対策案を提案しなければならない。

たとえば掘削工事の影響圏内に既設トンネルが存在する場合、シンガポール地下鉄の保護基準<sup>5)</sup>で規定されているトンネルの変形 15 mm, 増加応力 15 kPa などの許容値を満足する性能設計が求められる。図 1 に示すような FEM で周辺地盤や構造物の変形と応力変化を計算する。土質定数は基本的に設計仕様書に記載された若干安全側の値 (moderately conservative value) を使用するよう



規定されている。FEMでは周辺地盤の変形だけでなく同時に山留壁の曲げモーメントや切梁反力も計算されるため、山留壁の設計と掘削のリスクアナリシスが同時に実施できる仕組みになっている。また、重要構造物の近くで大深度掘削を行うような大きなリスクが想定される場合には、CI RIA C580に準拠した仮設山留壁の設計仕様書<sup>6)</sup>に基づき、想定される最も安全側の土質定数(worst credible value)を用いた計算が求められる。そのような場合は、掘削内外での地盤改良や、剛性の高いバットレス型山留壁の採用など安全側の設計になる。

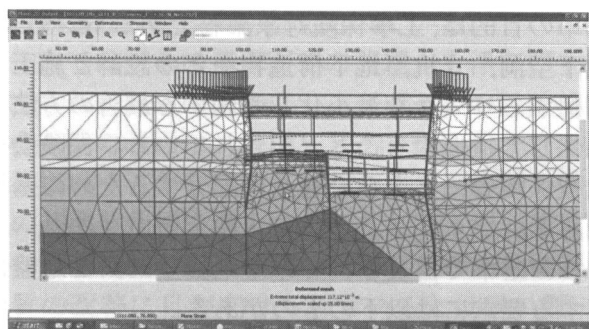


図1 FEMによる掘削解析例

## (2) 管理基準値の設定

地下掘削やトンネル設計時に、施工中の動態観測計画を含むリスクの管理方法を提案しなければならない。動態観測計器の種類、数、場所を計画し、計器それぞれにFEM等で求めた値を管理値として設定する。管理基準値として、警告レベルと工事中断レベルの2段階があり、工事中断レベルは設計で計算された値の最大または最小値、警告レベルはその70%である。各管理段階に達した場合の対処方法も予め設定する。

## (3) リスクを考慮した設計

また、掘削時に地盤と人為ミスが絡むリスクを想定し、以下に示すリスクを考慮した設計をしなければならない。

### ①切梁の破損

切梁が1本何らかの事情で破損しても山留全体の安定に問題がないように設計する。

### ②切梁に作用する不慮の荷重

切梁のあらゆる方向から50 kNの荷重を作用させても安全であること。

### ③過剰掘削

根切り中、人為ミスで0.5 m 過剰掘削しても山留の安定が損なわれない設計とする。

## ④洪水時設計水位

洪水時を見込んで設計地下水位を高く設定する。これは仮設計にも適用される。

個々のリスクには、その発生確率や被害想定規模に応じた対処方法が提案される。

地下鉄ダウタウン3のプロジェクトでは、発生確率が不確かな地下水位低下リスクが想定される地区で、復水井を予め設計施工しておき、掘削時の地下水観測をもとに復水井を稼働させるかどうか決めるといった観測施工による対策が提案されている。水位低下が始まってから復水井を設置したのでは遅いという判断によるものである。復水井の設計は設計者が行い、井戸の設置、水位観測と注水作業は施工業者に引き継がれる。根切り工事での切梁段数を観測施工で増減するように工事仕様書で指定するケースもある。

## 2. 工事中の地質リスク管理

工事中の地質リスク管理は、前述したように管理基準値を付した動態観測によって実施する。また、工事中に予想外の地質ハザードが出現した場合の対処規定として、契約書にはFIDIC同様、“予期せぬ地盤状況”条項(Unforeseeable Ground Condition, または, Adverse Physical Conditions)が存在する。経験ある施工業者でも予期できない地盤状況が出現した場合は、設計変更に伴う工期延伸や追加費用の請求が認められるというものである。

### (1) 施工管理

施工管理は予め設定した管理基準に基づき行う。計測値が警告レベルに達した場合は、設計が適切であるか、今後の施工工程に問題がないかを、観測値に適合する設計定数の見直しを含むバックアナリシスによって確認する。その後、計測頻度を増やして工事を継続し、次に工事中断レベルを超えた場合は、安全策を講じた上で作業を止め、設計を見直し対策工を施す。

1999年から2001年にかけて既設地下鉄との乗換駅として建設された地下鉄北東線ドービーゴート駅の地下掘削では、図2に示すように近接する既設トンネル内や山留壁周辺に多数の計測機器を設置した<sup>7)</sup>。設計時に設定した管理基準に基づき、観測施工によって深度約30 mの掘削管理を行ったが、掘削中、切梁軸力が設計値の2倍以上の想定外の値を示したため管理基準に沿って追加切梁を設置し、無事に掘削を完了することができた<sup>8)</sup>。

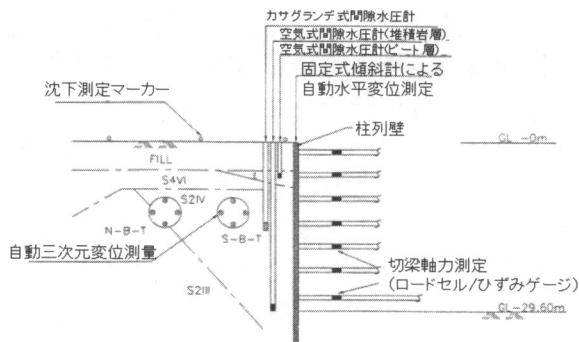


図2 ドービーゴート駅に設置した計測機器

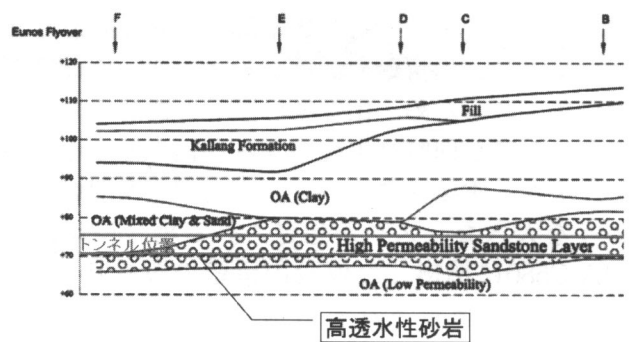


図3 洪積砂層中の高透水性砂岩の分布

## (2) 予期せぬ地盤状況

施工中に予期せぬ地盤状況が発生した場合は契約書の“予期せぬ地盤状況”条項に基づき処理されることになるが時間的な損失は大きい。過去に発生した予期せぬ地盤状況は、現地の学会など、さまざまな場で公表されている<sup>9)</sup>。

2003年の大深度下水第2工区のトンネル掘削は全面、軟弱粘土層下位の比較的透水性の低い固結した洪積砂層を想定し密閉型シールドマシンで掘削を開始した。ところが、掘削途中で固結度の高い砂岩に遭遇したため、カッターの摩耗が著しく交換しなければならなくなった。しかし、砂岩の透水性が高く切羽から毎分5~7m<sup>3</sup>もの湧水があり、シールド前面に出てカッターを交換できるような状況にならなかった。水抜き孔やグラウトを駆使してやっと水量を抑え交換作業を行うまでに4カ月以上を要した。洪積砂層中に高透水性の固い砂岩が存在することは、それまで報告例がなく、まったくの想定外であった。

このケースでは、契約書の“予期せぬ地盤状況”条項に基づき設計変更請求(Claim)を行い、工期の延伸と追加費用を勝ち取ることができた。この工事の場合、発注者が事前に実施したボーリング調査間隔は200m以上であり、地盤調査が質量ともに不足していたことは明らかで、地盤調査を密に実施していれば砂岩が検出でき、それに応じた対策もあらかじめ準備しておくことができたはずだと考えている。

高透水性砂岩の存在と性状は、図3に示すように工事終了後の現地学会で発表された<sup>10)</sup>。学会で公表された瞬間、予期せぬ地盤状況は、もはや予期できない地盤状況ではなく既知の地盤となり、“予期せぬ地盤状況”条項の適用外となる。

## 3. 工事保険の地質リスク

保険会社が集まった国際トンネル保険グループという団体がトンネル工事リスクマネジメント

基準 (A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works) という文書を出している<sup>11)</sup>。この基準の目的は、工事保険対象業務であるトンネル、地下空洞、立坑、地下構造物などの設計と施工に関係するリスクを最小化し管理する最善の方法を確保して推進することと記されている。保険会社と被保険者にリスクを適正に配分するための基準である。

この基準で言及されている地質リスクと地盤に関する要求には以下のものがある。

- 地盤や地下水の評価
- 設計地盤定数のばらつきと感度分析
- 計測管理の重要性と管理基準値の設定
- 当初予想した地盤より悪い条件が出現した場合の対処
- 地盤状況に応じた掘削機械や覆工の種類 of 適性

保険契約を締結するにあたり、地盤条件基準 GRC (Ground Reference Conditions) が作成される。地盤定数を含む地盤状況を記載した GRC は、工事入札の基準であり、工事中に出現する実際の地盤に対する契約上の基準であると定義されているので、GBR と同じものである。GRC で“想定したものが出現する”ことが契約上の前提であり、想定した地盤でなかった場合に保険が適用されるため、GRC は保険契約上、極めて重要な役割を担う。

通常、保険会社は保険契約に先立ち地盤や地質の専門家を雇用し、被保険者の工事への取り組みが基準に沿ったものであるかをチェックさせる。この専門家の推薦に応じて保険契約を結ぶかどうかを判断する。保険会社の発行するこの基準に強制力はないが、この基準を満足できなければ保険会社が工事保険に応じないということが起こるのである。また、事故が発生し保険請求が出された場合にも、その請求が妥当かどうか地盤の専門家が評価する。被保険者側も地盤の専門家を雇って



請求が正当であることを主張する。保険会社側は保険支払額の最小化を目指すので当然のように激しい論争になる。これは設計変更をめぐる発注者と施工業者の攻防と同じである。

#### 4. まとめ

日本国内では地質リスクについての議論が盛んになってきたが、事前調査と施工時に遭遇する地盤状況の乖離の問題に重点が置かれているように感じる。本稿で紹介したように海外では契約、設計基準、施工管理、工事保険を含む建設工事全体を包括する地質リスクマネジメントが行われている。しかも、そのリスクマネジメントは経験を積み重ね日々改良が加えられている。

一方では、その運用面での問題点も浮かび上がってきた。既述のようにシンガポールの設計仕様書や基準の改正は、主にリスクを最小化または回避していくことを目的としたため、否応なく安全側の基準と仕様を導入することとなった。地質調査や計測機器の量は飛躍的に増えたが、地盤調査の質の改善に目が向けられているとは言い難い。設計仕様書は、土質定数基準値（前出の若干安全側の値）を提示し、それ以外の値を使う場合は、その妥当性を証明するよう義務付けている。しかし多くの設計者は、新しく提案する土質定数の証明と承認に時間を費やすことを嫌い、試験結果を吟味し設計定数を独自に決める手間を厭うようになってきた。これが地盤調査の質の向上を阻害する一因にもなっている。日本国内においてN値で何もかも設計してしまうのと同じ状況であり、“地盤を調べて評価する”という地盤工学エンジニア本来の仕事が軽視される状況になっている。

シンガポールの設計仕様書は施工経験を重視しその都度改正されて来ているので、現在のリスクを過大視した安全側の設計は、いずれ性能設計、経済設計とリスクを、よりバランスさせる仕様が変わっていきだろうと楽観視している。健全な地盤工学の発展とエンジニアの育成のためにも、変わって欲しいと願っている。

#### 5. 謝辞

本稿をまとめるに際し、大深度下水工事での予期せぬ地盤状況に関し貴重な情報をいただいた五洋建設(株)の関係者各位に深く謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) COI: Final Report of the Committee of inquiry into the Incident of the MRT Circle Line Worksite that Led to the Collapse of Nicoll Highway on 20 April 2004, presented by Committee of Inquiry to Minister for Manpower, Singapore, 2005
- 2) Land Transport Authority of Singapore: Conditions of Contract for Consultancy Services for Contract 2101 Architectural and Engineering Consultancy Services for the proposed Thomson Line (TSL)-Depot, 2010
- 3) Land Transport Authority of Singapore: Civil Design Criteria for Road and Transit System, 2010
- 4) 岩崎公俊・折原敬二: Geotechnical Baseline Report (GBR) について, 地盤工学会誌 57-5, 2009.
- 5) Land Transport Authority of Singapore: Code of Practice for Railway Protection, 2000
- 6) CIRIA: Embedded retaining walls-guidance for economic design CIRIA C580, 2003
- 7) Orihara K, Makino M, Tse T K: Excavation for Construction of New Dhoby Ghaut MRT Station, Proceedings of the International Conference on Rail Transit, 1999
- 8) Orihara K, Chan M L, Chabayashi K, Okamoto S, Teo P, Tan G G: Excavation of New Dhoby Ghaut Station for MRT North East Line, Underground Singapore 2001
- 9) 折原敬二: 地質リスク管理としてのGBR-シンガポールの公共工事より, 第1回地質リスクマネジメント事例研究発表会, 地質リスク学会 2010
- 10) Chiam S L, Wong K S, Tan T S, Ni Q, Khoo K S, Chu J: The Old Alluvium, Underground Singapore 2003
- 11) The International Tunneling Insurance Group: A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works, 2006

## 海外契約における地質リスク事例

## 【Key Word】

地質リスク, リスクマネジメント, 標準契約様式, TBM 工法, GRC, GBC, GBR

三谷 哲\*

## 1. はじめに

概して日本では地質技術者の立場が弱く、鉄道やダムなどごくわずかを除くと、路線選定段階や計画段階では地質技術者が重要な役割を果たせるケースがごくまれである。設計に入る前にマニュアル的な調査計画に基づいて地質調査が発注され、計画地に特有な地質リスクについて分析評価することが出来ておらず、設計への情報の引渡しもありきたりのものとなっていることが多い。この結果設計者も地質リスクについては深く考慮をせず、また設計時点でも地質技術者が重要な立場では貢献できる体制にないため、場合によっては工事時点で大幅な設計変更や工事の遅延を招いている。

地質技術者が計画段階から工事の完成段階まで指導的な立場で関与できる体制を整えない限り、大きな地質リスクを回避することは困難であろう。問題はこれまでの仕組みのせいで経験ある地質技術者が十分に育ってきておらず、設計・施工技术や施工法に精通していないため、すぐにそのような体制に溶け込めそうにない点である。

このような問題点を解決するには、地質リスクのケーススタディを増やし、地質技術者がそれから学び、調査計画や結果の評価に生かせることが出来る方策を追求し、同時に彼らが主導的に施工管理にも携われる体制を目指し、またエンジニアには設計者責任を課す方向性を目指すことが肝要であろう。

さて、いかに地質リスクを抽出してそれを最小限化したとしても、トンネルなどの線状構造物では現実に出現する地山は設計との多少の相違は避けられないので、予算算定時にはそのプロジェクト特有の地質リスクに対しいくばくかの予備費を

設ける必要がある。この予備費の金額は地質調査、地山評価、それらの設計への引渡しが的確に行われているほど少なく済む（リスクが小さい）。この予備費を大きく上回る設計変更が発生した場合にはそれこそエンジニアの責任が追求されるべきである。

一方で、トンネル工事では事前調査ではどうしても経済的にあるいは立地的に地質リスクを軽減する方策が見出せないケースも多々あり（土被りが大きいトンネルでの断層破碎帯や石灰岩中の空洞など）、施工中に調査することがベストな場合がある。そのような場合、地質技術者は想定されるリスクとその見極めのために実施すべき施工中の調査についてきちんと設計者に伝達し、予算化し、契約書には明瞭に記載すべきである。このようなケースでは設計や予算には最悪なケースのリスクを織り込んでおき、リスクの発現がなかったり、より小さなもので済んだ場合には工事費を減額するか、そのリスクに対しては予備費で対応するなどの契約とすべきである。

あまり議論に出てこない事柄ではあるが、施工者の技量が悪いために生じる設計変更を地質リスクの問題に帰せようとするケースが多々見られる。同じ地山等級でも施工の巧拙によっては地山の挙動が変化する。斜面の切取りの場合でも支保を施工するタイミング次第で崩壊が発生したり防止したりする。地質技術者が行う施工管理は設計者の考え方を理解し、サイト特有の地山性状を理解した上で不慮の事故を防止するという観点を忘れてはならない。

## 2. 海外工事での地質リスクの取り扱い

政治・経済・社会システムに関わるリスクはきわめて重大で、これらのリスクが大きい国へは請負業者は進出しないだろうと思われがちだが、現

\* (有)ジオ・オフィス三谷

実には工事を請負い、大きな失敗をしている場合が散見される。この原因は請負業者の経験不足（契約書類の理解不足、契約自体に対する観念的な誤解、乗り込み時の徹底した取り組みの不足、現地での経験の不足と現地下請けに対する能力評価のまずさやコントロール不足など）にあり、リスクマネジメントの欠如という企業責任が大きい。

地質リスクについてはこれらと比べれば比較的小さいものとも考える方もいると思うが、現実には極めて重大なリスクとなるケースが多々存在する。また、それほど大きくはないと思っていたリスクが結果的には極めて深刻なものになることもある。

海外のプロジェクトでは地質技術者の配置を義務付けているケースが多いが、日本のエンジニアが関わるものではその地質技術者に指導的な権限を与えていない場合が多い。一方、外国のエンジニアが主導するプロジェクト（海外のファンドや外国民間企業の投資案件など）では地質技術者の役割と責任は明確に規定されている。その場合、彼らはプロジェクトの上流から参画し、調査計画も立案し、地山評価も行い、地質リスクを洗い出し、対処法を考え、設計にうまく引き渡し、施工管理まで責任を持っている。

一方で、請負業者の中には独自に地質技術者を雇用し、地質条件が設計で想定されているものと明確に乖離する場合にはエンジニアにクレームし、設計の変更や工期の延長に導く努力をするケースもある。この場合にはエンジニア側の姿勢もさることながら、担当する地質技術者が経験と技術力に裏づけされた説得力を有するかどうか、彼の意見を生かしたクレームレターを作成できるプロがいるかどうか協議の結果を左右することになる。

トンネル工事にとって地質リスクは大なり小なり不可避なものであるが、入札の準備段階でいかに与えられた地質情報を的確に解釈評価できるか、そこに潜むリスクを施工計画に照らし合わせていかに入札に反映できるかが極めて重要である。

長い間海外土木工事における契約では FIDIC（国際コンサルタントエンジニア連盟）の Red Book といわれる標準契約様式が使われてきた。これは発注者と請負者がバランスの取れたリスク分担をする契約であると理解され、発注者にとっては異常なリスクが発現する場合を除いては安い価格で工事が発注でき、請負者もそのようなリス

クを考えずに価格を決められるというメリットがあった。ここでの問題は「予見できない地質条件」と規定されているものに対する解釈の違いがしばしば紛糾の原因になってきたことである。

一方、近年 EPC/TURNKEY プロジェクト用に供されるようになったのが Silver Book と呼ばれるものである。その概説の中で語られている趣旨の要点を紹介すると、「最終的な価格や完成期日の確かさが極めて重要なプロジェクトの場合（ターンキーや BOT プロジェクト）、発注者や投資家は最終価格が契約で合意されたもの以内に収まるとなれば、その価格以上に支払って請負者にインセンティブを与えることさえもある」。

「この場合には請負者はより幅広い範囲のリスクに対する責任を負うことになり、不良地質や予期できない地質条件などもカバーし、発注者が望む要求事項を固定の契約価格の中で満足させなければならない。請負人は入札期間中に十分な時間をかけて、与えられた情報や独自に入手した情報を吟味し、リスクを洗い出して、対応策を入札価格に反映することになる」。時にはこうしたリスクを反映した入札価格が高くなりすぎて、プロジェクトが商業的に成り立たないという結果を招き、計画そのものの見直しが必要となることもしばしばある。

FIDIC の標準契約様式にうたわれている基本的な考え方や一般契約条件書の各条項や特記条件書作成ガイドラインなどの内容は合理的で妥当なものであるが、個別のプロジェクトになると話が違ってくる。標準契約様式を当該プロジェクト向けに変更を加える際に、あるいは特記条件書や仕様書の作成時に、

- 意図的にクレームを避ける条項を入れる
- 発注者にとって有利となる内容に変更
- 契約の趣旨に沿わない要求事項を追加する

などが行われることがある。

またプロジェクトを成立させんがために、

- 需要予測を過大に評価する
- 地質リスクを過小評価して予算を少なく見積もる
- 入札期間を十分に取らない

などを行うエンジニアも散見される。

基本的に重要なことは、契約書類（地質資料を含む）を十分に吟味してリスクを洗い出し、リスク対応策（価格に反映させるものと受注後に対応するもの）を検討した上で応札し、受注後はその方針に従って組織的に対応するという戦略が重要であろうが、日本企業にはこの部分に甘さがある



と思えてならない。

### 3. リスクが大きく発現された事例

トンネル掘削工法は発破工法と機械掘削工法に分けられる。発破工法は柔軟に地質変化に対応できる一般的な施工法であるが、機械掘削工法の中でも全断面を一気に掘削するTBM（トンネルボーリングマシン）工法は巨大な掘削機械が掘削エリアを占有するため、また機械設備の購入価格が極めて高価なため、工法を途中で変更することが極めて難しい。従ってTBMを工法として指定する場合にはトンネルの立地条件と地質条件に伴うリスクを十分過ぎるほどに慎重に評価したうえで決断すべきであるが、不良地質に伴うTBMによるトンネル工事の失敗事例は後を絶たない。長大トンネルで土被りが大きく、換気面からも発破工法では施工が困難となる場合、TBM工法は大きな選択肢ではあるが、その場合、慎重な地山評価と十分なリスク対策を考え、工程計画や予算計画にきちんと反映した上で工事を発注すべきである。

ここではTBM工法で地質リスクが大きく発現された事例2つを紹介する。1つはA国におけるトンネル工事で、地質リスクが大きく発現し、膨大な追加工事費や多大な工期の遅れをもたらした例である。2つ目はC国における海底トンネル工事で、潜在する地質リスクの大きさのため、入札が出来ず、工事着工が大きく遅れた事例である。

#### 3.1 長大道路トンネルの事例

A国では高速道路の長大トンネルを計画し、延長が約13km、片側のトンネル坑口は大都市の水源地に面していることから環境対策上反対側坑口だけからの掘削施工が検討された。長大トンネルを片押し施工するため、換気の問題と工期の面から、発注者は米国の技術者の助言を受けて、TBMで施工することに決めた。その際のアドバイスは本線2本のトンネルの中間に補助トンネルをTBMで掘削し、これを利用すれば大断面の本線トンネルTBMもうまく掘削できるという趣旨のようであった。ところが地質条件については、両側の坑口周辺と換気立坑周辺でのボーリング調査、地質踏査、弾性波探査結果などを十分に評価することが出来ず、地下水位が高く、付加体の激しく乱された地質であるにも関わらず、極めて安易に、換気が楽で施工が早いという観点のみからTBMを採用してしまった。当然のことながらエンジニアもTBMの経験が無く、発注者の意向ど

おりに設計を進め、1991年に直庸に近い形で補助トンネル掘削工事を発注した。補助トンネルTBM（径4.8m）の掘削は1993年12月に開始し、1995年末までにわずか990mしか掘削できず、その間地山崩壊に伴って9回もTBMが埋没するという有様であった。このうち5回の事故は100mから150mという高い水圧に伴って、TBMが破碎帯に突入したときに大量の圧力水とともに土砂が崩壊し、セグメント背面の砂利の裏込めも流失し、TBMが埋もれるとともにセグメントも崩壊。他の4回の事故ではTBMカッターヘッド上部の破碎質の地山が崩壊し、TBMを閉じ込めてしまったものである。その間3回にわたり技術顧問会議が開催されたようだが、どうも有意義なものでなかったようである。TBM掘削が中断されたまま、95年秋に第4回の顧問会議が開催され、さまざまなアドバイスが出されたが、有効には生かされなかった。補助坑はしばらくNATMに切り替えられ、排水トンネルが多数掘削され、薬液注入などが繰り返された。

一方、本坑の2機のTBM（径11.75mのダブルシールドタイプ）も、NATMで掘削された引き込みトンネルから発進してまもなく、2台とも地山崩壊に出会い、結果的には1台のTBMは壊れたため引き出してNATMに工法を変更し、もう1台の方は頂設導坑をNATMで先行掘削し、下半部分をTBMが掘りながら追いかけるという異例な施工となっている。大幅に遅れている工期を短縮するため、反対側坑口と換気用立坑を利用してNATMによる掘削も開始し、トンネルが完成したのは2006年6月、着工以来実に15年をかけての完成である。

地質リスクが施工法の選定を含めてプロジェクトに致命的な影響を与えた事例である。TBM工法は地質に恵まれれば、月進500mは当たり前で、うまくすれば1000m程度も掘削できるが、ひとたび不良地質に遭遇すれば、この事例のように大幅な工程の遅れを招く。立地条件から発破工法では施工できないという明確な理由があるから、施工法に特有な地質リスクを洗い出し、不良地質リスク対策を計画に織り込み、施工中の調査や不良地山対策を適切に計画しておけば、これほどまでの困難には到らなかったであろう。

地質リスクについて見てみると、エンジニアが行った地質調査結果（物理探査を含む）は、地表露頭に比較的恵まれたこともあり、かなりの精度で地質分布、構造、岩相などを把握していた。しかし、エンジニアはTBMの経験が無く、発注者

が工法を決定しているため、TBM 施工に関連付けた地質条件のリスク分析や評価が行われず、結果的にリスクマネジメントは皆無であったといえよう。地質調査が不足であったかという疑問に対しては、経験あるエンジニア（地質技術者を含め）であればかなりの確度で起こりうる困難とおおよその場所を予測でき、施工中の調査が最も重要であると指摘でき、計画に反映出来たと思われ、調査不足とは言えないであろう。

契約上のリスクについては、本坑 TBM 施工を一旦契約していた B 国の業者がリスク評価の結果契約をキャンセルし、補助坑とともに地場の政府系請負人が担当しているため、おそらくうまく処理されたであろう。追加で開始した NATM 区間についてはこうした地質に熟練した日本業者が立坑からの工事を、反対側坑口からは地場の業者が施工し、こちらも地山崩壊などはあったものの大きなトラブルは無く施工を完了したようである。

### 3.2 海底トンネルの事例

もう一つの事例は、C 国における海底トンネル計画の例である。このプロジェクトは海峡をまたいで、遠方のダムからの水を長大なパイプラインを経由して大都市に供給するプロジェクトの一環で、海底トンネルが出来なければ全体プロジェクト自体が無に帰するという大きなリスクをはらんでいた。工区のトンネル延長は兩岸の発破工法区間が約 6.5 km、海底部を含む TBM 区間が約 3.2 km であった。

地質調査は当初案のルートに沿って海上ボーリングが 5 本（うち 2 本だけがトンネル深さまで達しているが残りは浅い）、音波探査が広いエリアにわたって実施されている。TBM での施工を計画しており、当初案ではトンネルが水深 170 m 近いところを通過するために水圧が大きすぎるとい理由から、水平距離で最大 250 m ほどルートを変更し、最大水深 100 m 程度となるような位置に変更して入札に到っている。ところが変更ルートでは追加のボーリング調査は実施されることが無いまま入札に付された。契約は FIDIC の Red Book を修正した様式で、単価契約となっている。海峡部の地質については岩盤等高線図（音波探査で P 波速度が 2 km/sec を超えるものを岩盤と判断しているようである）、旧ルート沿いの海上ボーリング位置（5 本）と新旧ルートが平面図に示され、旧ルートでは音波探査結果断面図と 5 本のボーリング位置およびそれぞれの簡単な地質区分が

示され、新ルートでは音波探査結果解析断面図が、さらにトンネルと交差する海峡最深部沿いの音波探査結果断面などが示されているだけである。これらの地質情報は契約書の一部とはされていない。

この工区の地質リスクは、海底下および両側の海面標高以下のトンネルでは、中古生層中のオープンクラックや断層に伴う亀裂帯からの湧水（海水の流入）あるいは石灰岩中の空洞からの湧水のリスクである。これらのリスクはそれが発現した場合には、この工区だけでなく全体プロジェクト自体を左右する巨大なリスクとなる。海峡の成因から考えて、伸張性断層運動に伴うオープンクラックを生じやすい地質であると予想されること、ルート変更後の海上からの調査は音波探査しかなくされていないこと、周辺区域を含め断層や褶曲に伴う破碎作用が随所で頻繁に認められること等から、トンネル掘削時に大量の湧水に見舞われる可能性は大いに存在すると考えねばならない。

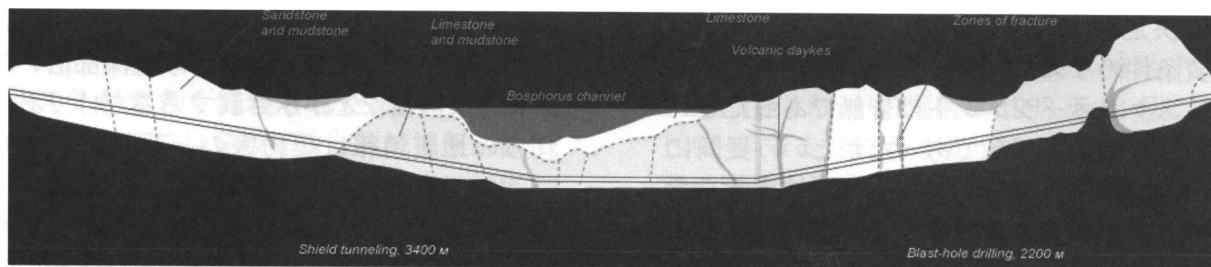
このような重大なリスクが存在するため、早い時期にエンジニアに両岸からの Directional Drilling 調査を実施するよう提言したが、受け入れてもらえないまま入札を迎えた。設計では TBM 掘削時には先進ボーリングを前方へ 40 m 長で実施し、10 m をオーバーラップさせ、グラウト用のボーリング長は鏡面から 25 m 長で、うち 5 m をオーバーラップするという仕様になっている。

リスクがあまりに大きいため、入札に当ってはリスク回避のための条件を付すかあるいは価格にリスクを反映させるかのいずれかの方法しか残されなかった。

### ○ 工事の進展の経緯

2000 年に行われた入札は不調に終わる。その後再入札が行われるも不調。このまま時間が経過し、2005 年になって再度入札が行われ、当該国と関係の深い大国の業者が現地業者と JV で受注した（2006 年 1 月）。この際にはすでに陸側のトンネルは別発注で進行中。2007 年 12 月 TBM 組立て開始（径 6 m の EPB マシン）。2008 年 2 月 TBM 発進（7.4% の突っ込み施工）延長 3145 m、2009 年 4 月 TBM 掘削完了（下図参照）。

入札が不調になってからどのような調査が行われたかは未詳であるが、面白いのは施工業者の組み合わせである。当該国と経済的に極めて密接な関係を持っている国の業者が当該国の業者と JV を組むことで、地質リスクを政治的に回避可能と考えたのか？例えば海底トンネル工事に失敗した



from Mosmetrostroy News, 2009

場合でも交渉による解決の可能性があると踏んでいたのか？なかなか興味があるところで、機会があれば突っ込んだ調査をして欲しいものである。

この工事のようにリスクが極めて重大な場合は、米国のMWWSTのトンネル工事のようにコストをかけてもDirectional Drillingを行ってリスクを明確にするか、あるいは契約条件をリスクが発現した場合にも対応可能な内容に変更するなどが重要であろう。

#### 4. 地質リスクとGBR

英国トンネル協会のリスクマネジメント実務規範（英国保険業協会との共作，2003年9月）では、「契約書には、発注者が準備したGround Reference Conditions (GRC) か Geotechnical Baseline Conditions (GBC) を含めること、あるいは各入札者に独自に評価したGRCあるいはGBCを入札書類に同封して提出させ、そこに具体的に織り込むべき内容は契約文書に十分明瞭に規定されるべきである」としている。

「GRCやGBCが発注者によって準備された場合、入札者はこれに基づいて応札し、発注者はその情報に責任を負う。入札者により準備された場合は、発注者はそれを入札の評価に利用する。いずれが作成した場合でもこれらは契約の一部となり、請負人が入札段階で予想し了承されたものと施工段階で遭遇した地山条件との比較の根拠とせねばならない。これらは遭遇した地山条件を評価し比較するベースラインになるばかりでなく、入札時にはサイトと地山に特有なハザードが見分けられ、それに伴うリスクを確認して受け入れることができるものであるべき」としている。

ただし、「GBCやGRCは、これらで想定されたものに遭遇するだろうという契約の定義を意味するものの、それに遭遇することを保証するものではない」と解説している。

Geotechnical Baseline Reportは米国では発注者側で最近多く使用されるようになってきており（あまりにも訴訟が多かったため）、入札者は

GBRがあれば独自に地下条件を評価する必要が無く、実際に遭遇した地下条件がGBRの条件と違う場合には容易にクレームできると確信できるはずである。ところがGBRでは地下条件にはかなりの幅を持たせて記載していることが多く、なかなか明瞭に地下条件を決定付けることが出来ないため、やはり紛争の種になるのは間違いない。また、GBRの内容は契約のタイプやリスクの割り振り方に依りて異なる。

気をつけねばならない点は途上国における地質調査（とりわけボーリング調査）では技術力が低い場合が多く、調査結果の評価が簡単ではないケースが多いことである。短い入札準備期間に入札者が独自に地質調査を行うことは、費用負担も含めてなかなか出来ず、よほどの経験ある技術者を持ってしない限りかなりのリスクを負うことになる。単価契約方式の場合には発注者側が見込んである設計数量が実際に施工した場合に変動してある程度までは数量の変更で原則対応できるが、大幅な変動が工期にまで影響を及ぼしたり、予見できないほどの地質リスクが発現したりする場合には、発注者・エンジニア側はそれらの原因を請負者の能力経験不足に帰せようとする場合が多々ある。請負者側で十分な戦略を立てて臨む体制を作っていない限り、なかなか設計変更を獲得するのは困難である。

#### 5. おわりに

シンガポールでは度重なった地下工事での事故や紛争を踏まえ、発注者側によるGBRの作成ばかりでなく、その結果を評価して入札書類を準備するエンジニアにも厳しい資格要件を要求するプロジェクトが増えているようであるが、途上国の多くのプロジェクトでは今もサイトデータとしてボーリング柱状図を示す程度のものが多く、設計ではリスクを過少に評価して予算を組んでいるケースが多いという感じを受けている。

今後地質調査業界が海外に進出する場合、エンジニアの一員、請負人の一員、海外進出を進める



発注機関のアドバイザーなどさまざまな形態が考えられるが、いずれの場合にも高度な経験と技術力が要求される舞台である。それに対応できる人材を育てるためには地質リスクについて学び、施工管理の経験を積み、さらには発注者に的確なアドバイスが出来る地質顧問として活躍できるような体制や環境を早く国内で確立していくことが肝要であろう。

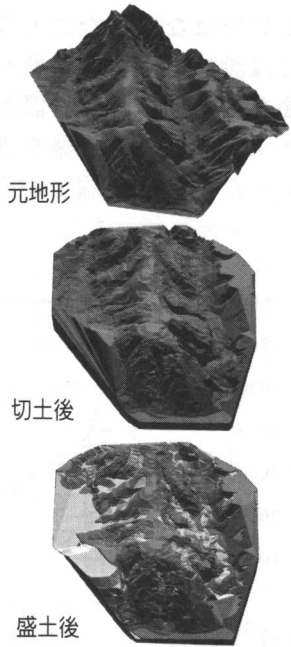
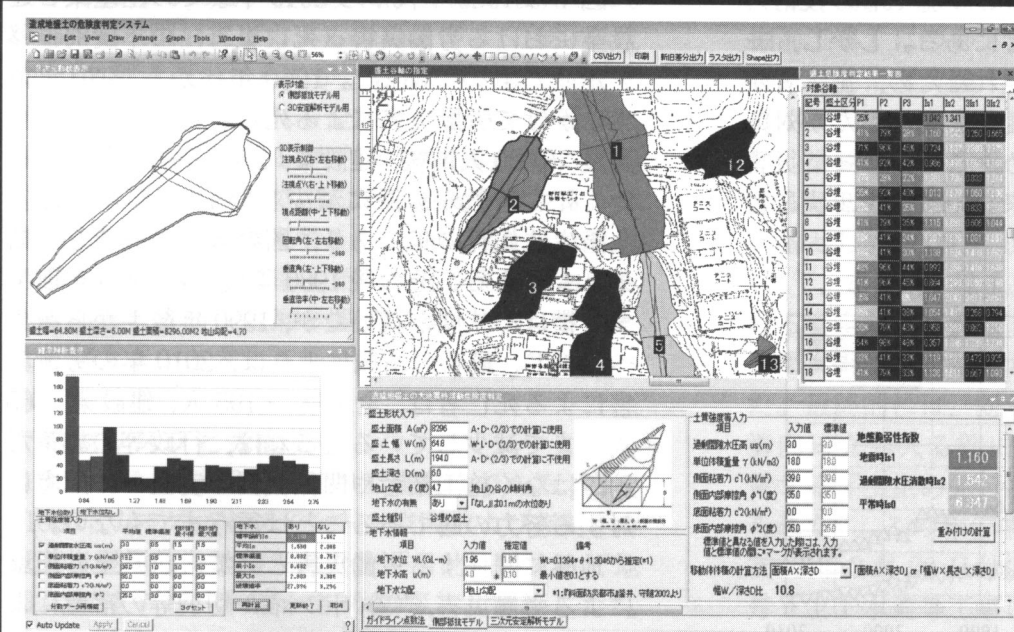
参考文献

- 1) 日下部治：地盤リスクを考える，地質と調査，pp.4-8, no.2, 2008.
- 2) 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，2007. 4.

- 3) FIDIC: Conditions of Contract for EPC/Turnkey Projects, First edition, 1999.
- 4) The Journal of the American Underground Construction Assoc.: New core drilling technology used on MWRA Water Supply Tunnel, Winter, 1998.
- 5) The British Tunnelling Society and the Association of British Insurers: THE JOINT CODE OF PRACTICE FOR RISK MANAGEMENT OF TUNNEL WORKS IN THE UK, 2003. 9.
- 6) S. Mitani: The state of art of TBM excavation and probing ahead technique, Proceedings of 8<sup>th</sup> IAEG Congress, pp.3501-3512, 1998.

# 盛土の地震時地すべり危険度予測



盛土の地震時安定度簡易診断システム (4種の判定メソッド)

有限会社 太田ジオリサーチ  
<http://www.ohata-geo.co.jp/>

Tel. 078-907-3120  
 Fax. 078-907-3123

## 労働災害と地盤リスク

伊藤 和也\*

### はじめに

本誌「地質と調査」2009年第2号(120号)の総論「社会動態と地盤災害」の中で、日下部は労働災害としての地盤災害を取り上げている<sup>1)</sup>。この総論では、斜面崩壊による労働災害の調査事例を取り上げ、『大規模工事では斜面崩壊は皆無ではないが死亡災害は発生していないと言われ、死亡災害の多くは小規模工事に集中しているということから、発注額によって工事の安全管理レベルの差異があり、地盤災害起因の労働災害には発注者・施工者の技術力を含む社会経済的な要因が大きく影響している』と指摘している。筆者は所属する研究所の特性上、労働災害調査に出向くことが多い。その災害発生原因の多くは、安全対策を計画通りに実施していないことや施工者の技術力が十分ではなかったことなどにある。しかし、一部には設計と異なる地質が現れたため、施工者が危険を感じて発注者に設計変更を要請したが対応されず、そのまま作業を進めたことによって災害に至った事例や、施工が出来ない設計を忠実に

おうとしたために危険な作業となり災害に至った事例など、発注者、施工者、設計者の相互のコミュニケーション不足から生じたものも含まれている。このような事例に遭遇すると、労働災害を減らすためには、技術分野の問題だけではなく、日下部が指摘したように社会経済的側面を包括した総合的な地盤リスクマネジメントの導入が有効ではないかと考えさせられる。

本報では、まず我が国の労働災害の現状を示し、労働災害と地盤リスクに関する対照的な対策事例について紹介する。そして、地盤や地質の専門家が果たすべき役割等について述べる。

### 我が国の労働災害の年度別推移

図1は1960年代から2010年までの全産業と建設業における労働災害(死亡災害)の年度別推移を示したものである<sup>2)</sup>。1960年代から1970年前半にかけて労働災害による死亡者数は横ばい(全産業:6,000人前後、建設業:2,500人前後)であった。死亡者数が急激に減少した1974年は労働安全衛生法施行の年であり、国の施策が機能した結果とも言える。その後1980年代から1990年前半まで横ばい状態が続いたが、1990年後半から減少へと転じ、最新の情報によれば、2010年の労働災害による死亡者は、全産業:1,195人、建設業:365人にまで減少している。これは、行政等の施策だけではなく施工業者や関係機関の安全への配慮に対する努力の賜であることは言うまでもない。

地盤に関係する労働災害として、(1)土砂崩壊による労働災害、(2)トンネル切羽等の落盤による労働災害、(3)支持地盤の不安定に起因する建設機械等の転倒による労働災害に大別することができる。このうち、(3)については、労働災害分析では建設機械等の転倒災害に分類され、地盤に起因する災害を明確に分類することが難しかった

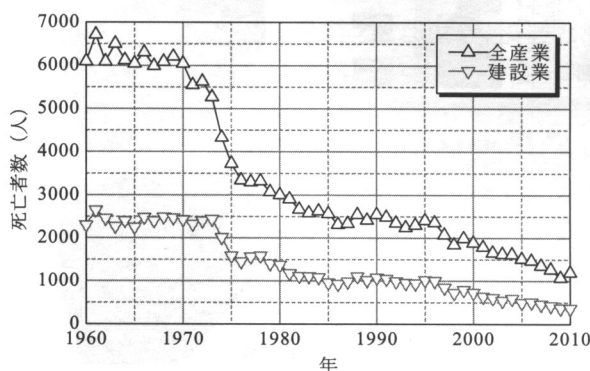


図1 労働災害の年度別推移 (全産業・建設業)<sup>2)</sup>

\* 独立行政法人労働安全衛生総合研究所  
建設安全研究グループ 主任研究員

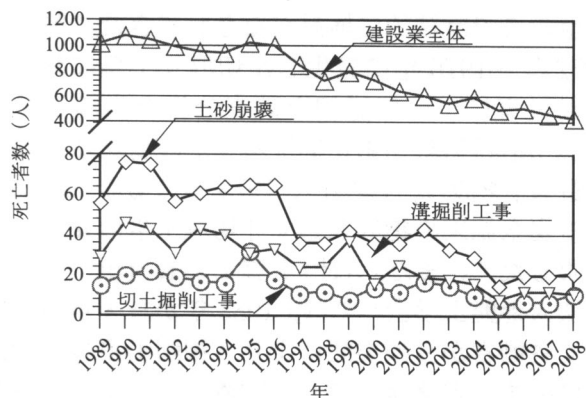


図2 土砂崩壊・落盤による労働災害の年度別推移<sup>4)</sup>

め、ここでは (1) と (2) について詳細に示すこととする。なお、(3) については文献<sup>3)</sup>が詳しいので参考にして頂きたい。図2は平成年間の土砂崩壊・落盤による労働災害(死亡災害)の年度別推移を建設業のそれとともに示したものである<sup>4)</sup>。土砂崩壊・落盤による労働災害は、1980年代には70名前後だったものが現在では20名程度に減少している。土砂崩壊・落盤による労働災害は、(1) 溝掘削工事による溝崩壊、(2) 切土掘削工事による斜面崩壊、(3) トンネル工事による落盤、(4) 土石流等に大別され、最近の死亡災害は、(1) 溝掘削工事と(2) 切土掘削工事によって大半が発生している。溝掘削工事による労働災害は、1980年代には50名程度で推移していたものが、近年では1/5の10名程度にまで減少している。一方、切土掘削工事による労働災害は、1980年代に20名程度だったものが、近年では10名程度と半減している。いずれも全産業や建設業と同様に減少傾向を示しているが、特に溝掘削工事による労働災害は、20年間で1/5まで激減している。この理由の一つは、後述するが、2002年3月に厚生労働省が発出した通達「上下水道等工事における土砂崩壊災害防止対策の推進について」によるところが大きいと考えられる。

### 地盤リスクと労働災害

大日方らは、新しい日本工業規格である JIS Q 31000「リスクマネジメント—原則および指針」の定義を援用し、地盤リスクを「目的に対する“地盤に関連する”不確かさの影響」と定義した<sup>5)</sup>。地盤に関連する不確かさの対象は、地盤の調査把握、地盤の設計・施工・維持管理、自然災害、地盤環境、技術力不足・ミスなどがある。図3は大日方らが定義した地盤リスクの概念図を示したものである。この図を“労働災害”という視点から

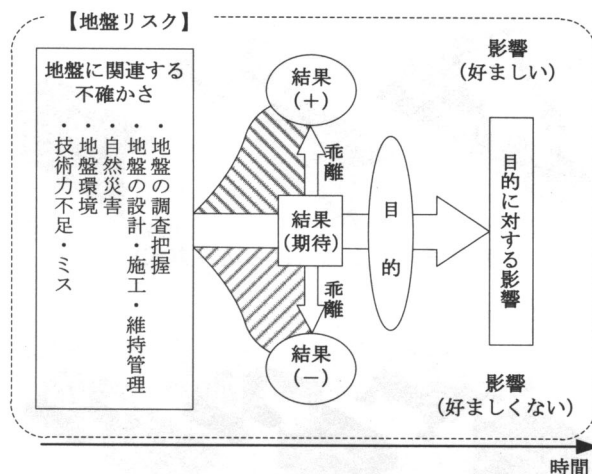


図3 地盤リスクの概念図<sup>5)</sup>

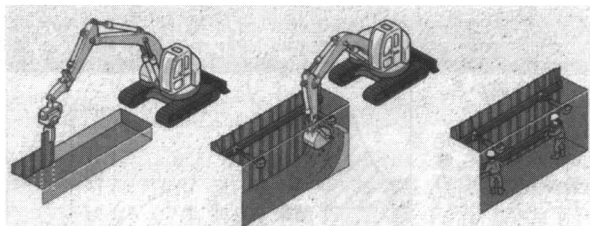
見ると、地盤に関連する不確かさの一つもしくはいくつかは複合的に関連してマイナスの結果となるのが労働災害であろう。つまり労働災害を防止するためには、地盤に関連する不確かさの一部もしくは全部についてリスク対応できれば良いということとなる。そのような観点も踏まえ、地盤に関連する不確かさを取り扱った(1) 溝掘削工事と(2) 切土掘削工事における対照的な地盤リスク対処法を以下に紹介する。

### 溝掘削工事における労働災害防止対策「土止め先行工法」

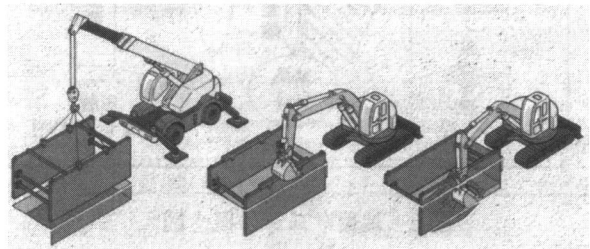
土砂崩壊・落盤による労働災害で最も多い「溝掘削工事」について、豊澤らは詳細な労働災害分析、遠心模型実験、実物大実験等を実施し、崩壊のパターンが4種類(表層すべり型、はくり倒壊型、滑動または円弧すべり型、落下型)に分類できることなど新たな知見を得た<sup>6)</sup>。この成果などを基として2000年10月建設業労働災害防止協会(以下、建災防)は「上下水道等掘削作業における安全対策委員会」を設置し、溝掘削工事中の労働災害防止対策を具現化するための作業を始めた。最終的には、対策工の切り札として労働者が溝内に立ち入る前に適切な土止め<sup>(注)</sup>支保工を設置する「土止め先行工法」が報告書としてまとめられた<sup>7)</sup>。この報告書を基として、厚生労働省は2002年3月29日付けで通達(基安発第0329003号「上下水道等工事における土砂崩壊災害防止対策の推進について」)を発出し、その普及が本格的に図られるようになった。この「土止め先行工法」

(注) 厚生労働省に関連する法令では、「土留め」を「土止め」と表記しているため、ここでは「土止め」を使用した。





軽量鋼矢板工法（打ち込み方式）



建込み簡易土止め工法（縦ばりプレート方式）

図4 土止め先行工法の一例<sup>8)</sup>

については文献<sup>8)</sup>が詳しいが、簡単にその概要を説明すると、労働者が構内に立ち入る前に土止め支保工を先行して設置することができ、土止め支保工の組立又は解体作業も原則として構内に立ち入らなく行うことができる工法である。土止め先行工法は上記のようなコンセプトを満足する工法の総称であり、現在もなお新しい工法の考案や改良が行われている。その中でも小規模な溝掘削工事に採用されることが多い工法としては「軽量鋼矢板工法」、「建込み簡易土止め工法」がある（図4）。この土止め先行工法の内容は、労働者が被災する機会をハード的対策によって無くすことで労働災害を防止するものであり、施工現場にてこの工法を採用すれば土砂崩壊の危険性を除去できることからシンプルな流れで普及を進めることができた。この土止め先行工法は、国土交通省 都市・地域整備局下水道部から2004年1月に都道府県・政令指定都市等の下水道担当課長へ周知されたこと等もあって、急速に普及し、溝掘削工事による労働災害は激減したものと思われる。一方で、未だ発生している10名程度の死亡災害の多くは、土止めをしていない状態での掘削工事中にて発生しており、溝掘削工事への土止め先行工法の採用を徹底することによって、今後のさらなる労働災害の低減も期待できる。

#### 切土掘削工事における斜面崩壊による労働災害防止対策

土砂崩壊・落盤による労働災害で「溝掘削工事」に次いで死亡者が多い「切土掘削工事」に関する労働災害防止対策については、1970年代から現在

に至るまで断続的に検討がなされてきた。前回は1972年～1976年に発生した切取り工事における労働災害について詳細な調査分析を実施している<sup>9)</sup>。建災防は、1976年から「土砂崩壊防止対策委員会」を設け、その中で1979年に切取工事に対する安全施工の指針として「切取工事の安全」を出版した<sup>10)</sup>。また、(社)土質工学会(現 公益社団法人地盤工学会)では、1983年から3年間に掛けて労働省からの委託により「掘削工事の安全技術に関する調査研究会」を設置し、主として崩壊の事前予測、災害の予防等の技術解明に焦点をあてた検討がされている<sup>11)</sup>。これ以降も様々な機関で幾度となく検討する機会が設けられていたが、具体的な防止対策を打ち出せずいた。

このような中、(独)労働安全衛生総合研究所では、2009年3月に「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」を設立し、有効な斜面崩壊による労働災害防止対策の強化を図るため、斜面崩壊による労働災害の防止措置の現状、斜面崩壊防止工法の普及状況及び問題点等を調査し、実態の分析と同種災害防止対策に関する所要の検討を行った。また、(社)全国地質調査業協会連合会(以下、全地連)も平成20年度新マーケット創出・提案型事業にて「土工工事安全監視マニュアル(案)委員会」を設置し、「安全管理レベル判定ガイドライン(法面掘削工事編)」を作成した<sup>12)</sup>。「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」では、ワーキンググループの委員として全地連の委員会メンバーにも参画して頂き、2010年3月に「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」報告書をまとめた<sup>13)</sup>。

この報告書では、発注者、調査・設計者、施工者の三者が斜面崩壊の危険性について情報を共有化し、施工途上で判明した新たな地盤リスクに対応するための手段として、調査・計画・設計から施工終了までの全ての工程において掘削地山の情報を共有化する点検表が提案された。この点検表内の項目で該当する事象がある場合には、発注者等へ連絡して「安全性の検討」を行うことにしており、斜面崩壊の危険要因の芽を早期に摘みとることで、労働者の安全を確保することとしている。なお、「安全性の検討」は、複数の経験者の意見を聞いて対応を判断することとしており、地質や地盤の専門家による的確な判断が必要となる。

この報告書の概念は、一律的にハード対策を講じることで労働災害を減少させた溝掘削工事における対策とは根本的な考え方が異なるものである。これは、斜面の切土掘削工事が、溝掘削工事

と比べて工程やパターンが多様にあり、一律的なハード対策だけでは費用対効果を考えると難しい場合が多いことにその一因がある。

従前の各機関の検討では、施工現場や施工業者だけで対処できる対策法を念頭として検討していたこともあり、規模や工種が多様な斜面の切土掘削工事では具体的な対策について統一を図ることが困難なものだったと想像される。今回の検討は、斜面崩壊による労働災害が頻発している切土斜面高さ10mまでの中小規模掘削にその対象を限定し、中小規模掘削の現状（事前の調査が十分に行われていないことや構造物を築造するための工事に付随して切土掘削工事が行われることなど）や労働災害の傾向を踏まえて適用可能な対策について検討している点で従前のものとは異なる。さらに、施工現場だけではなく、設計・調査・計画段階から施工段階毎に的確に地盤リスクを判断して必要な対策を適切に講じることで地盤リスクを低減することを目指している点でも従前のものとは大きく異なるものである。

（独）労働安全衛生総合研究所の報告書を受け、建災防では発注者、調査・設計者、施工者のそれぞれの立場の誰もが効果的に使えるよう普及を図るため、点検表の使い方、点検項目の判断方法、点検結果に基づく措置などの点検表の実用化に向けた具体的な検討が行われ、2011年3月に報告書がまとまった。地盤リスクを逐次的確に判断し、危険の芽を早期に摘み取るような労働災害防止対策の新しい動きが始まったところであり、今後の発展・展開が期待される。

## おわりに

本報では我が国の労働災害の現状を示し、労働災害と地盤リスクに関する対照的な対策事例について紹介した。溝掘削工事による労働災害を防止するための土止め先行工法は、施工現場にて採用されるハード対策であり、この工法を採用すれば労働者が土砂崩壊の危険性を除去できるものである。一方、斜面の切土掘削工事による労働災害を防止するために提案された点検表は、施工現場だけではなく、設計・調査・計画段階から施工段階毎に的確に地盤リスクを判断することで、斜面崩壊による労働者の被災という危険の芽を早期に摘み取るようなハードとソフトを含めた包括的な労

働災害防止対策と言える。このような概念の構築・普及は、昨今の地盤・地質リスク研究の醸成によるものが大きい。地盤リスクの的確な判断には地盤や地質の専門家が果たすべき役割は大きく、個々の技術力向上とともにコミュニケーション能力や交渉能力などの技術者の総合力が試される時代となってきているとも言える。

## 参考文献

- 1) 日下部治 (2009) : 総論 社会動態と地盤災害, 地質と調査, Vol. 120, pp. 129-131.
- 2) 厚生労働省 職場のあんぜんサイト : <http://anzeninfo.mhlw.go.jp/>
- 3) 玉手聡 (2006) : 移動式クレーンの安定設置に必要な地盤の支持力要件, 産業安全研究所 (現, 労働安全衛生総合研究所) 安全資料, NIIS-SD-No. 22, 93 p.
- 4) 例えば, 建設業労働災害防止協会 (2010) : 平成 22 年版 建設業安全衛生年鑑, 180 p.
- 5) 大日方尚巳, 正垣孝晴, 伊藤和也, 稲垣秀輝 (2011) : 講座 地盤工学におけるリスクマネジメント 2. リスクとリスクマネジメント, 地盤工学会誌, Vol. 59, No. 7, pp. 100-107.
- 6) 豊澤康男, 堀井宣幸, 玉手聡 (1995) : 2. 溝掘削工事における土砂崩壊による死亡災害の分析, 産業安全研究所 (現, 労働安全衛生総合研究所) 特別研究報告, RIIS-SRR-No. 14, pp. 7-18.
- 7) 建設業労働災害防止協会 (2002) : 土止め先行工法に関する指針とその解説, 202 p.
- 8) 建設業労働災害防止協会 (2004) : 土止め先行工法に関するガイドラインとその解説, 202 p.
- 9) 前郁夫, 鈴木芳美, 堀井宣幸 (1978) : 切取り工事における土砂岩石崩壊による死亡災害の分析, 産業安全研究所 (現, 労働安全衛生総合研究所) 技術資料, RIIS-TN-78-1, 19 p.
- 10) 建設業労働災害防止協会 (1979) : 切取工事の安全, 191 p.
- 11) (社)土質工学会 (現, 公益社団法人地盤工学会) (1986) : 掘削工事の安全技術に関する調査研究報告書 (労働省委託)
- 12) 全国地質業協会連合会 (2009) : 安全管理レベル判定ガイドライン (法面掘削工事編), <http://www.zenchiren.or.jp/market/data/guideline.pdf>
- 13) (独)労働安全衛生総合研究所 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会 (2010) : 「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」報告書, [http://www.jniosh.go.jp/results/2010/0407/pdf/report\\_slope\\_201004\\_2.pdf](http://www.jniosh.go.jp/results/2010/0407/pdf/report_slope_201004_2.pdf)

# 戸建住宅における地盤のリスク

**【Key Word】**

私有財産，天災，生活再建，セカンドオピニオン，保険

おお た ひで まさ  
太 田 英 将

## 1. はじめに

地盤リスクに関する取り組みは、造り手側、研究者側の立場で語られることが多い。しかし、戸建住宅に関しては、いったん造り手から個人へ引き渡しが行われた後は「私有財産」となり、よほどの瑕疵が無い限り建築確認をクリアした造り手側に責任が及ぶことはなく、所有者の自己責任での解決が強いられる。しかし、個人資産には限界があるため、再起困難となる人が出ている。特に、広範囲に被害を及ぼす地震時などにおいてそれは顕著である。

我が国は、「私有財産制のもとでは、個人の財産を自由かつ排他的に処分し得るかわり、個人の財産は個人の責任のもとに維持することが原則」とされている。これは、1995年兵庫県南部地震が発生した約2週間後の衆議院予算委員会での政府答弁である。

このように、戸建住宅に関する地盤リスクを考える場合には、造り手・研究側ではなく、すべての負担を背負い込む戸建住宅の所有者の立場に立って問題を考える必要がある。

## 2. 戸建住宅所有者のリスク

リスクの定義は曖昧で難しい。ここでは、逆に戸建住宅所有者にとって「リスクが無い状態」とはどういうことなのかを考える。

自然現象には、水害、地震、噴火、津波などその場所の再来頻度が低くても、いずれ必ず起きるものがある。その際、家屋や擁壁や地盤が何らかの原因で破壊された時、多少の不便はあっても、それが無償で元通りの形と機能に戻るということが「リスクが無い状態」と定義できるのではないだろうか。

最も基本的なリスク回避は保険である。水害に関しては100%実損が補償されるものがある。地

震・噴火・津波に関しては地震保険で補償されるが、地震保険は、被災者の生活の安定を目的としており、火災保険の30~50%を限度として保険金額が定められている。このため、失われた住宅の再建ができるほどの補償はない。すなわち、戸建住宅所有者が、水害を除く「天災」に際して家を建てなおす費用を全額保証するような保険制度は現時点で存在していない。私有財産を持った瞬間から、不測の事態に対しては運を天にまかせるしかないのである。逆説的に言えば、一番のリスク回避は、戸建住宅という私有財産を持たないことなのである（これは集合住宅についても同様である）。

リスクが顕在化するとどうなるか。専門技術者や研究者の視点では1995年兵庫県南部地震で被災した家屋や宅地といった物理的現象に目が行きがちである。しかし、生活者としての戸建所有者は、被災後に生活が再建できるかどうかということが最大の問題・関心事である。

高坂健次(2005)<sup>1)</sup>は、震災による「被害」は、単に地震による直接的な被害だけでなく、その後の生活再建ができたかどうかという点に着目して分析を行っている。そして、資産ダメージ率を定義し、 $\text{資産ダメージ率} = 1$ を災害が起こって住宅再建をした場合の手持ち資産が「すっからかん」の状態とした。1を超える場合には負債が手持ちを上回り、生活再建困難に陥る。0~1の時には残存資産が存在することから生活再建可能である。総資産および資産ダメージ率は以下のように定義されている。

$$\text{総資産} = [\text{不動産資産評価額} + \text{金融資産} - \text{住宅ローン}]$$

$$\text{資産ダメージ率} = \frac{[\text{災害後予想される負債額}]}{[\text{災害後資産総額}]}$$

分析の結果、総資産が5000万円を超える人で



ダメージ率が1を超える人は少なく、5000万円以下だと15.5%の人がダメージ率1を超えていたことが報告されている(図1)。

そして高坂は、この結果から以下の3つの命題を発見し、「総資産5000万円の壁」という言葉で表現している。

- 命題1 資産ダメージ率が1を上回るリスクは、総資産が5000万円以上あればきわめて小さい。
- 命題2 資産ダメージ率は40歳代で、持ち家のある世帯の間で高くなる。
- 命題3 持ち家なしの世帯は、住宅ローンも少ないために身軽で資産ダメージ率も低い。

簡単に考えれば、1995年当時の分譲住宅購入価格(4611万円とされる)以上の資産をもっている人は生活再建には陥らなかった、ということである。

40歳代で生活再建困難に陥ると、子どもの教育機会の減少が発生し、それが結果として貧困の連鎖(負のスパイラル)を生むと言われている。

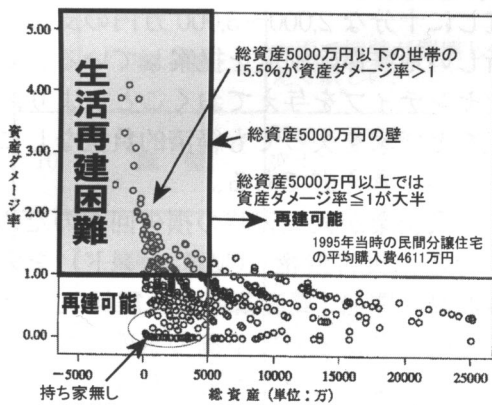


図1 資産ダメージ率と総資産の散布図  
高坂(2005)<sup>1)</sup>の図に加筆

### 3. 法整備によるリスクの軽減

戸建住宅を建設する際には、建築基準法や宅地造成等規制法などの法令があり、それぞれに施行令や技術指針類が定められている。そして、それらをクリアするように専門技術者が調査・設計して戸建住宅は建設される。

2000年に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」では、新築住宅の完成引渡から10年間(特約を結べば20年まで)は、基本構造部分(柱や梁など住宅の構造耐力上主要な部分、雨水の浸入を防止する部分)の瑕疵担保責任が義務付けられたため施工不良等に起因する問題についてはかなり改善された。

日本の自然環境において激しい自然現象が起きるのは必然である。すなわち、いわゆる「天災」が起きるのが当たり前の環境で市民は生活している。生活者の立場では、生活困難者に陥らないためには、その「天災」に対してもリスク回避をしておかねばならない。

しかし、法整備は、被災者が発生した「後で」行われる。

1923年関東大震災の翌年に制定された市街地建築物法(建築基準法の前身)で初めて取り入れられた耐震規定は、その後大きな地震被害が出るたびに改正されてきた。ただし、法制定当初の1924年から日中戦争が始まる1937年までの建築物は強く、それ以降の戦時基準(ぎりぎりまでそぎ落とされた基準)が現在の建築基準法に引き継がれ、改正されてきたようである。

2006年に改正された宅地造成等規制法では、1995年兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震により発生した造成地盛土の滑動崩落現象を「予防」するための宅地耐震化推進事業が創設された。現在それが適用されたのは、特例(本来は事後対策ではない)として2007年新潟県中越地震で被災した柏崎市の山本団地地区のみである。

2011年東北地方太平洋沖地震での千葉県浦安市の液状化被害では、多くの宅地が深刻な被害を被った。しかし、地盤の液状化に対応した法制度は無く、基本的に所有者が全ての損害を負担せざるをえない事態となった。

### 4. 専門家の無知・無作為によるリスク

法律による規制は、大災害後の「新発見」により改正される。規制基準は、研究者、技術者、行政などの「専門家」が作るわけであるから、戸建住宅所有者にとってみれば、(事前に指摘していなかったという意味において)大災害によるリスクとは、「専門家の無知・無作為によるリスク」ということになる。被災前の法令・規制を遵守していたとしても、被害は所有者が負担することになる。なぜ、そういう理不尽がまかり通るのか?

建築基準法第一条には、「この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もつて公共の福祉の増進に資することを目的とする。」と書かれている。すなわち、法令で定められていることは、想定される現象に対して最低限遵守しなければならないことだけなのである。安全を担保する基準ではない。

しかし現実には、コストが優先され「最低の基

準」は「十分な基準」と曲解されている場合がある。それでも手続き上は問題なく、大災害が発生した際に、調査・設計・施工者に瑕疵責任は及ばない。専門家として、危険性を認識していたとしても、それを戸建住宅購入者に強制することはできないため、コスト削減圧力に押されて、実際には必要な安全対策が為されないまま建てられる戸建住宅が多い。地盤の専門家は、これまで戸建住宅に（自分の専門外の建築分野と考え）あまり深く関わってこなかったために、安全対策を強く推奨することもなかった。

## 5. 戸建住宅所有者のリスク回避方法

現時点では、戸建住宅所有者がリスク回避するためには「自衛」しかない。戸建住宅所有者は、不測の事態が発生した場合でも、最小限の経済的負担で生活再建できるという明確な目標をもつ必要がある。

その一つの方法は、中立的第三者の専門家によるセカンドオピニオンの活用である。現時点で最も実現しやすく、効果が高いのがこの方法である。

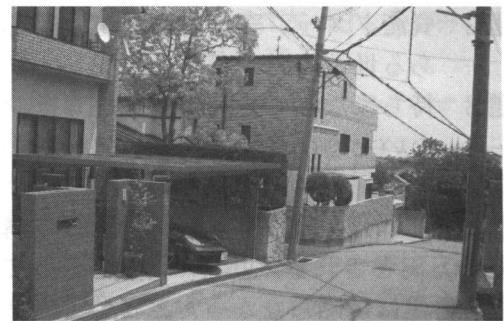
どの程度の災害に対しての防御あるいは被害軽減を目標とするかは、個人によって考え方が異なるはずである。それらの条件を示したうえで、中立的な専門家に評価を依頼すれば、谷埋め盛土の滑動崩落や、液状化などに対する防衛力は格段に高まる。なぜなら、法制度が最低限の基準を示すのに対し、専門家は最高レベルから最低レベルまで幅広く安全性についての知識を持っているので、個人の価値観・資金力等に対応した「最善の方法」を提案できる能力があるからである。基準などの統一見解を定めることは難しくても、個別の対応は十分可能なのである。

例えば、図2<sup>2)</sup>は1995年に盛土の滑動崩落現象により大きく変動した宅地であるが、約10年後には同じ場所に分譲住宅が建てられている。手続き上は、地耐力さえ満たされれば無対策でも建築できる場所であるが、仮に無対策だった場合には次の大地震時に1995年と同様の被害を受ける確率が高いといえる。事前にセカンドオピニオンを求められれば、この谷埋め盛土を宅地として安全に利用できる方法の提案は十分可能である。

表1に筆者に相談のあった一般市民からの宅地関連の事例<sup>4)</sup>を示す。戸建住宅所有者にとっては深刻な問題であるが、地盤の専門家にとっては決して解決困難な問題は多くない。専門家が積極的に相談に乗るようになれば、地盤のリスク回避のための大きな戦力となることは間違いない。



平成7年1月



平成20年5月

図2 谷埋め盛土に建てられた家屋の被災と再建

もう一つの方法は、新しい保険によりリスク回避する方法である。目黒公郎<sup>3)</sup>は、事前に自助努力して耐震改修した人が被災した場合には家屋の建て直しに十分な2,000~3,000万円の支援が得られる新しい地震保険制度を提案している。耐震化のインセンティブを与えておくことにより、火災の延焼などで家を失っても経済的負担なしに再建できるという考え方である。

また、大企業が災害時の損失回避のために活用している大災害債権（CAT ボンド）を応用した金融商品の開発（震度基準の地震保険）なども、戸建住宅所有者にとって不測の事態のリスク回避に利用できるようになるかもしれない。

## 6. おわりに

戸建住宅は建築基準法及び関連法令を遵守して建てられる。それらの法令は、地盤に関して「最低限の安全基準」の位置づけである。それらは大災害により深刻な「新発見」があるたびに見直される。そして新発見は、盛土の滑動崩落現象や液状化のように、専門家の中ではすでに知られているものが多い。

地盤技術者は、「最善の安全策」を提案できる知識と災害イメージ能力を持っているが、建築のコスト至上主義に圧倒され、遠慮している。

制度改革等で安全性を担保することも重要ではあるが、まずは地盤技術者が戸建住宅防災の世界にデビューすることが、いま一番必要なことである。

表1 一般市民から寄せられた斜面問題事例<sup>4)</sup>

	対 象	相 談 内 容
1	地すべり	戸建て住宅を建てたい場所があるが、すぐ近くに地すべり防止区域がある。そこに建てても大丈夫だろうか。何を調べたらよいか。
2	造成地の斜面	段丘面から谷底にかけて住宅が密集している。段丘面に集合住宅の建設計画があるが、それによって大地震時に斜面上の住宅が危険になることはないか。
3	大規模盛土造成地	昭和40年代に造成された団地であるが、谷埋め盛土が沢山ある。いろいろな人に相談すると谷埋め盛土部は地震時に滑る可能性があるといわれている。県に地すべり防止区域に指定して欲しいと要望したが、被害が発生していないのでできないと言われた。どうしたらよいか。助言が欲しい。
4	宅地盛土	大阪層群の丘陵地を造成したひな壇状の建て売り住宅を購入しようと思っているが、間取りを見ると欲しいと思う物件は盛土位置にある。どうしたらよいか。自分の家と土地だけは傷まないようにするような工法はあるだろうか。
5	宅地盛土	地震により地盤が大きく不同沈下し家屋が傾いた。ジャッキアップして住んでいるが、今後同じ場所に家を建て直しても良いだろうか。この宅地は売却して、他のところに移り住んだ方がよいかアドバイスが欲しい。
6	谷埋め盛土	急傾斜地の上の台地の見晴らしの良いところに宅地を購入しようと考えているが、その敷地の下の崖は法枠工があり、宅地には細径の鋼管杭が打たれている。この宅地を購入して問題ないか。その場所が良くない場合には近隣の土地で何処が安全か。
7	谷埋め盛土	擁壁や宅地にクラック変状等が発生し、進行している。現時点での評価と対応策を教えてください。（谷埋め盛土だった）
8	擁 壁	擁壁（空石積み擁壁）が老朽化しており改築をしたいと考えている。その擁壁の上の借家（原告の所有物件）の住人（被告）に立ち退きを求める裁判を起こしているのだが、この擁壁の健全度と法的な位置づけの鑑定を行ってほしい。
9	擁 壁	大雨で擁壁が倒壊した。擁壁を再建してもう一度同じ場所に住むことはできるかどうか教えてください。
10	擁 壁	隣接する家屋が、擁壁の増し積み（ブロック積み擁壁＋ブロック増し積み＋塀の背後に盛土）になっている。隣家の方は高齢でいま入院されているのでどうしたものか。危険そうに感じるのだが。
11	擁壁・斜面	宅地から下に斜面があり、その末端に約100年前につくられた擁壁がある。隣人（斜面の下の宅地内で新築）から、危ない斜面なので補修して欲しいと要求があった。要求がのまれない場合には裁判に訴えるということだ。どうすればいいか。
12	擁壁・斜面	家の横に斜面があり、古い擁壁があるが不安定そうである。市に相談すると「既存不適格」だが法的に存在は認められているとのこと。大学の研究室に相談したところ「個人の相談には乗れない。役所からの依頼でないと受けられない」との回答だった。相談に乗ってくれるところを紹介して欲しい。

参考文献

- 1) 高坂健次 (2005) ; “進む階層化社会の中で「被害の階層性」は克服できるか—総資産 5000 万円の壁をどう考えるか—”, 世界 12 月号, 岩波書店, pp. 190-198
- 2) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会 (2009) ; 『家族を守る斜面の知識』
- 3) 目黒公郎 ; “地震災害に強いまちや住まいを実現する

環境整備のために”,

<http://www.mlit.go.jp/common/000037324.pdf>

- 4) 太田英将・林義隆・美馬健二 (2009) ; “相談事例に見る市民にとっての斜面問題”, 日本地すべり学会誌, Vo. 46, No. 2, pp. 9-14



# 集水井施工時の調査事例

すずき しゅんじ  
鈴木 俊司\*

## 1. はじめに

私は入社してから今年で19年目になります。入社以来、主に道路関係の斜面調査、特に、地すべりに関連した業務に従事してきました。

今回、執筆させていただく「私の体験した現場」は、調査段階から施工段階まで私が最も長く携わった現場です。その中で、施工段階にあたる平成15年から平成18年の4年間に経験した事例を紹介させていただきます。

現場では、道路改築事業の工事中に予期しない地すべりが多発し、ルートの見直しが行われましたが、地すべりを完全に回避することはできず、対策工が計画されました。

調査地の地すべりは、計器観測により水位の上昇と地すべり変動の相関が高いことが確認されたため、効率的な地下水排除工を目指し、すべり面を貫通した集水井を計画しました。すべり面を貫通したことを確認する目的で、4基の集水井内ですべり面を確認した調査事例です。

## 2. 地すべり地の概要

調査地は、北海道夕張市に位置し、古第三紀幌内層を基盤岩とします。幌内層は暗灰色を呈する塊状泥岩を主体とし、ところどころに凝灰岩層を挟みます。地層の走向は北西—南東方向で、北東傾斜と南西傾斜が規則的に繰り返し、並列する複数の背斜軸・向斜軸が想定されます。

調査地周辺には地すべりが多数認められ、このような地すべり地の中で計器観測により水位の上昇と地すべり変動の相関が高いことが確認されている3つの地すべりブロック（A、B、C）を調査の対象としました（図1）。

Aブロックは、地形や移動体の岩相から、崩積

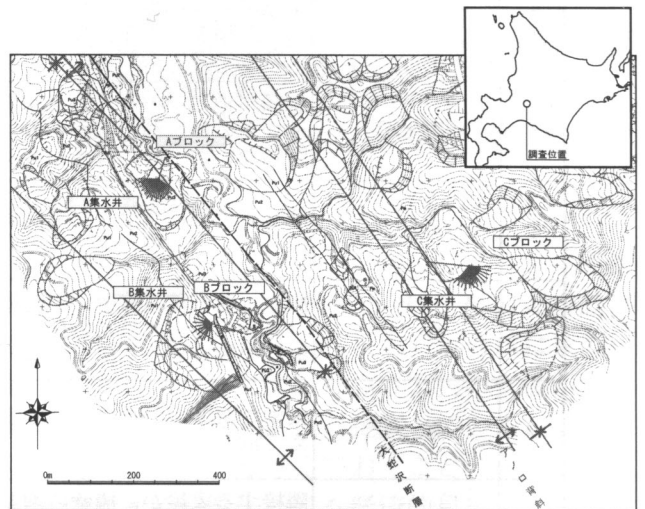


図1 地すべりの分布と調査対象の集水井

地すべりブロック名	地すべりタイプ	移動体の岩相	すべり面の地質	観察対象	
				集水井名	地すべりブロック中の位置
Aブロック	崩積土すべり	岩屑土(Ds)	凝灰岩を伴う	A集水井	ほぼ中央部
Bブロック	風化岩すべり	破碎岩(Fr)	泥岩	B集水井	ほぼ中央部
Cブロック	風化岩すべり	破碎岩(Fr)+岩屑土(Ds)	泥岩	C集水井	頭部～中央部

表1 対象地すべりの特徴

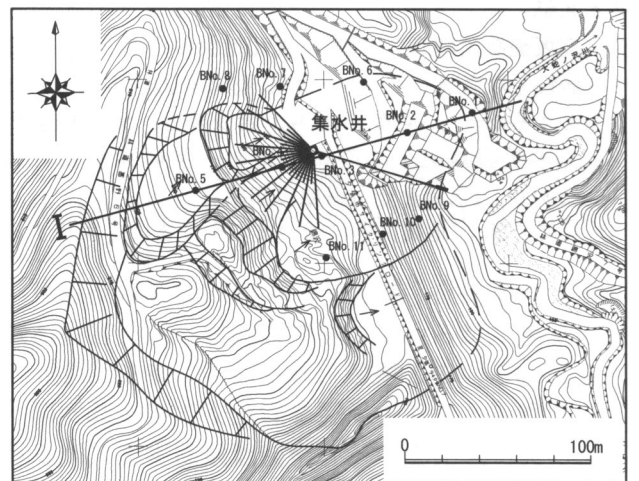


図2 地すべりの分布 (Bブロック)

\* 株式会社ドーコン環境事業本部地質部

土地すべりに相当し、すべり面には凝灰岩を伴い流れ盤となっています。BブロックとCブロックは風化岩地すべりに相当し、凝灰岩は伴いません(表1)。

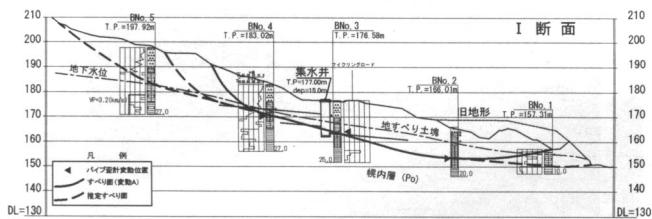


図3 地すべりブロック断面図 (Bブロック)

### 3. 集水井施工時の調査

集水井の施工は、ボーリングによりすべり面深度を確認した上で開始しました。1基目の調査では、通常のコア観察によりすべり面を判定しましたが(写真1)、2基目以降の調査ではより精度の高いコア観察を行うために、コアの外周を石膏で固定した後(写真2)、岩石カッターにより縦方向に切断し、観察試料としました(写真3)。通常のコア観察では、コアを割ってしまうため、すべり

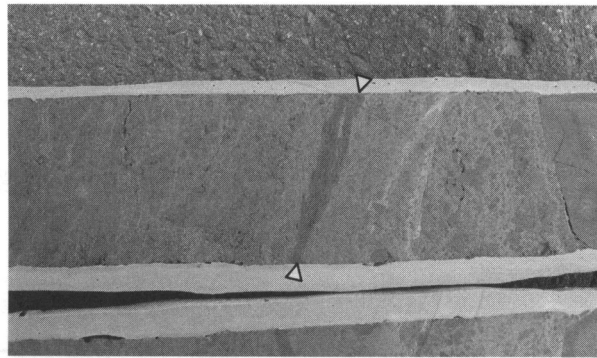


写真3 コア切断後の状況 (△は主すべり面)

面の判断が最初にコア観察を行った技術者の経験に依存してしまうため、掘削時の状態を保ったまま観察する手法として非常に有効でした。

集水井孔壁の観察は、50 cm の掘削毎に写真撮影と孔壁の観察を行いました(写真4)。すべり面確認時には、すべり面を含むブロックサンプルを切り出し、上部および側面を石膏で固定した後に底部を切り出すことによりサンプリングし、岩石カッターにより切断し、観察試料としました(写真5)。

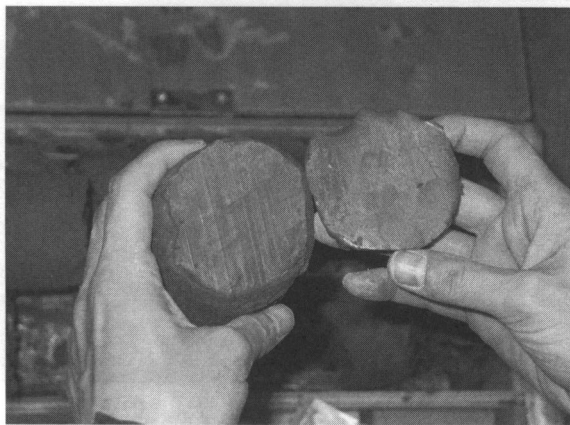


写真1 通常のコア観察



写真4 施工中の集水井内部の状況



写真2 コアを石膏で固定した状況



写真5 ブロックサンプル採取状況

#### 4. 観察されたすべり面

すべり面付近の岩相は、多くの場合、すべり面周辺に形成される地すべり破碎帯と、その中の粘土化の著しい地すべり粘土層、不動部との境界面と位置づけられる主すべり面に区分できます (図4)。

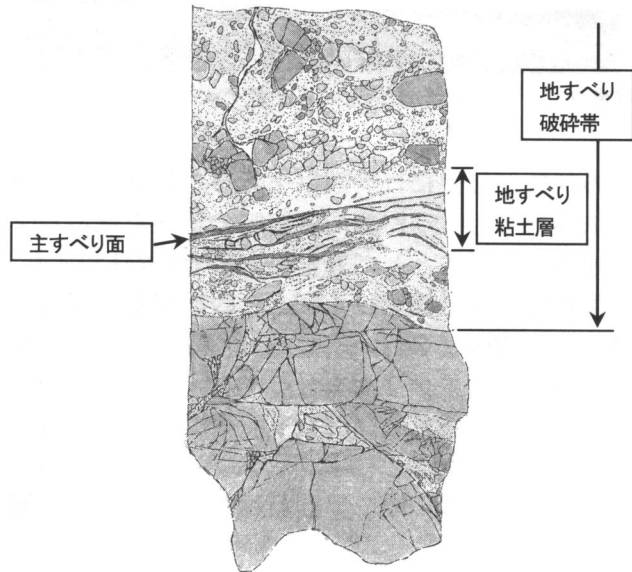


図4 すべり面付近の岩相 (B集水井のブロックサンプル)

主すべり面は、凹凸の少ない平滑な不連続面として認識され、集水井壁面を周回して確認されました (写真6~8, 図5)。

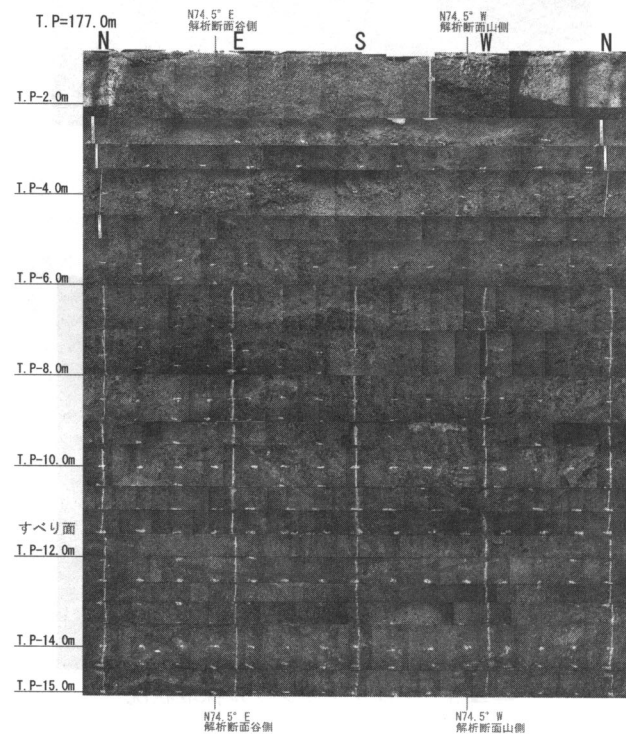


写真6 孔壁展開写真 (B集水井)

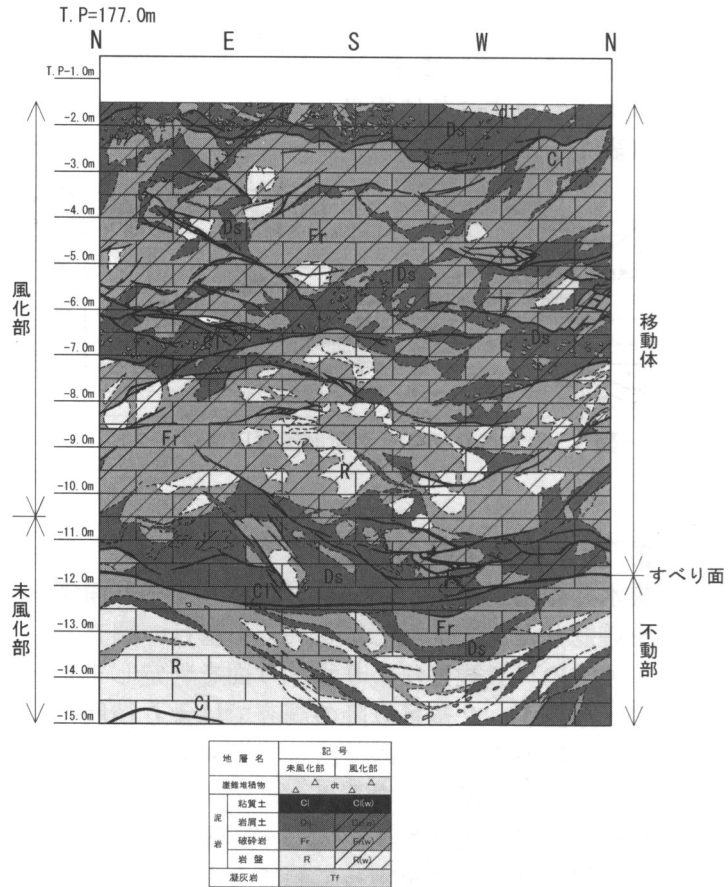


図5 孔壁展開スケッチ (B集水井)

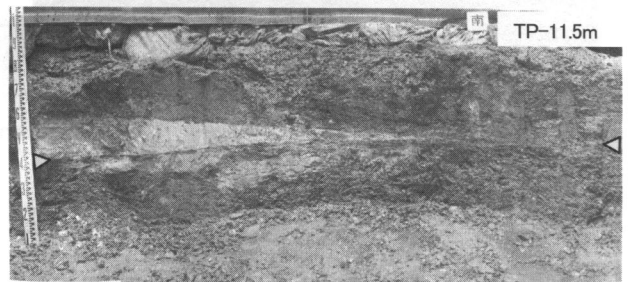


写真7 凝灰岩を伴うすべり面 (A集水井)



写真8 泥岩中のすべり面 (C集水井)



主すべり面には、すべてにおいて鏡肌が見られ、スリッケンラインは凝灰岩内部で不明瞭となることがありましたが、ほとんどの場合、明瞭に観察されました（写真9～11）。

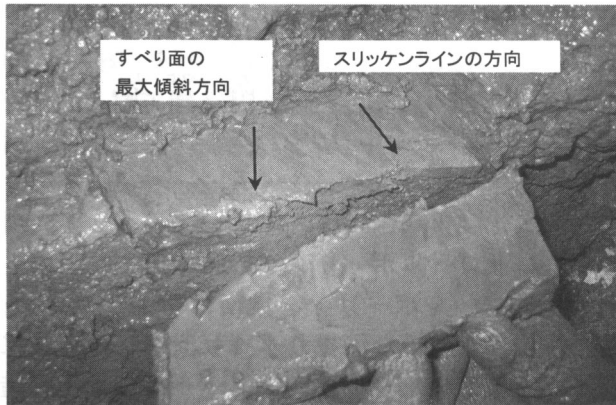


写真9 泥岩中の主すべり面に見られる鏡肌・スリッケンライン（B集水井）



写真10 泥岩中の主すべり面（C集水井）



写真11 凝灰岩を伴う主すべり面（A集水井）

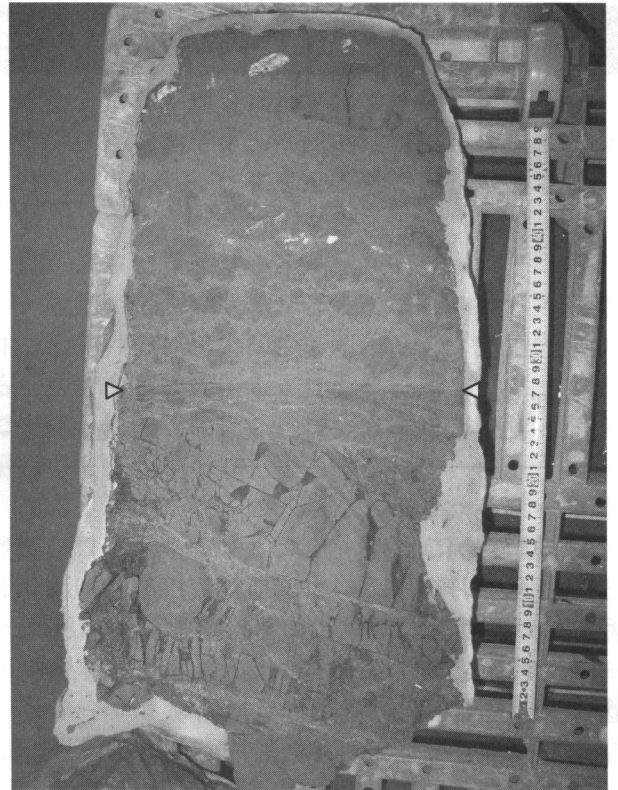


写真12 ブロックサンプル写真（B集水井）

## 5. おわりに

この現場では、通常の業務では体験することのできない、集水井内のすべり面を観察することができました。

地すべり内部の状況を集水井内で連続的に観察できたことで、すべり面付近の岩相が詳しく観察できたことや、ボーリング調査で観察していたすべり面が全体のどの部分を見ていたのかを実感することができました。また、調査を行っていく過程で、ブロックサンプルを切断することで、すべり面の構造が詳細に確認できることに気づき、ボーリングコアの切断面観察に応用できました。

活動中の地すべり内での調査でしたので、地下水が低い時期に施工することや、施工時の計測管理を十分行うことによって、安全に施工を完了できました。

# コントロールボーリング技術

**【Key Word】**

コントロールボーリング, ウエッジ, スタビライザー, ダウンホールモーター, ワイヤライン

こも だ やす し  
薦 田 靖 志\*

## 1. はじめに

2010年4月のメキシコ湾原油流出事故、同年8月のチリ国サンホセ鉱山の落盤事故の大きなニュースが世界を駆け巡りました。原油流出事故の回復作業、落盤事故の救出作業にコントロールボーリング技術を含む高度な掘削技術が駆使され、成功裏に終わったことは記憶に新しいところです。

コントロールボーリングは、掘削地点から予め設定されたターゲットに向かってボーリング孔の方位、傾斜をコントロールしながら掘削を行う技術です。また、孔内に観測機器を埋設設置する観測井の様に、孔芯を維持させ真っ直ぐ鉛直に掘る技

術もコントロールボーリングの一つです。

コントロールボーリング技術は石油・ガス井、地熱井等の大規模な深掘りボーリングをベースに発展してきました。近年、トンネル等の地下構造物を対象とした調査ボーリングにおいても、調査の効率性や地形・敷地条件（ボーリングサイト）、法規制等の環境条件からコントロールボーリングのニーズが高くなっています。

しかし、ボーリング全般に云えることですが、掘削は地盤条件（地質の硬軟、構造等）に左右されることが多く、労力の割りに十分な成果が出づらいつ印象があります。当然、ターゲットの精度条

表1 制御ボーリング技術比較（文献3に加筆）

方法	ウエッジ工法	スタビライザー工法	ダウンホールモーター工法	ワイヤライン制御工法	電中研式工法
特徴	ウエッジ(楔)をロッド先端に接続セットし、そのままウエッジに沿って孔曲げを行う。	一般的にはダウンホールモーターで方位・傾斜を修正した後、スタビライザーを利用して傾斜角度を修正する方法。	ベントサブまたはベントハウジングの先端部に接続したダウンホールモーターを回転させ、孔曲げを行う。	ワイヤライン掘削工法及びスピンドル式掘削機械を使用し、連続的にコアリング掘削を行いながら孔曲げ掘削が可能なシステム。	ダウンホールモーターによるワイヤライン、ケーシング追従掘削。連続的にコアリングを行いながら孔曲げ掘削とケーシング追従を同時に行うシステム。
適用孔径	BQ(60mm)~HQ(98mm)	4-3/4"程度~26"	通常掘削: 6-1/4"~26" スリムホール掘削: 4-3/4"程度~6-1/4"	BQ~NQ (構造的にはすべての孔径のワイヤラインに適用可能)	ビット径: 89mm 拡径: 152mm
曲率	NQ掘削にて1.5°/1ステップ	一般的に方位修正は不能 傾斜は1.5~2°/30m程度	通常掘削: 2~3°/30m程度 スリムホール掘削: 25°/30m程度	NQ: 2°/10m BQ: 3°/10m	1°/10m
コア採取	コア採取を行う場合は、径が1段小さくなる。	ノンコア(孔曲げ後、専用の機器を装着することでスポットコアの採取可能)	ノンコア(孔曲げ後、専用の機器を装着することでスポットコアの採取可能)	孔曲げ中、孔曲げ後も連続的にコア採取が可能	孔曲げ中、孔曲げ後も連続的にコア採取が可能
使用機器	通常のスピンドル式掘削機械を使用	主としてロータリー式掘削機械を使用	主としてロータリー式掘削機械を使用。機械・設備が大規模となり、必要人員も多い。水平掘削を行う場合は専用機器を必要とし、コスト高い。	通常のスピンドル式掘削機械を使用	改良型スピンドル式試錐機(マスト付)
主な用途	資源探査、岩盤調査	石油・ガス生産井、地熱井	石油・ガス生産井、地熱井	資源探査、岩盤調査 管路などのパイロット孔	岩盤調査、地質構造調査
適用	修正精度が低く、1回の方位修正により得られる偏向効果が少ない。 また、作業効率が悪い。		方位・傾斜の修正時のみに使用する機器から、連続的に測定しながら方位・傾斜を制御して掘削するシステムまで各種機器が開発されている。 孔口は一般的に鉛直に掘削する必要がある。	従来のワイヤライン掘削工法が使用でき、孔口での入射角度が自由である。 また、連続的に方位・傾斜を測定・制御しながらコアリング掘削が可能である。	各種計測機器を取付けることにより先端の位置、掘削情報や地質情報をリアルタイムで得ることができる。 長尺・水平でのコントロール掘削が可能。

\* 住鉱資源開発株式会社 資源調査本部 試錐部 試錐部長

件によりますが・・・・・・。

## 2. コントロールボーリング技術

コントロールボーリング手法をまとめて表1に示します。各工法の概要は下記の通りです。

### (1) ウエッジ工法

コントロールを行う代表的な手法の一つで、ウエッジ(楔)をボーリングロッド先端にセットし、そのままウエッジに沿って孔曲げを行う工法です。

使用する治具を図1に、事例手順を図2に示します。

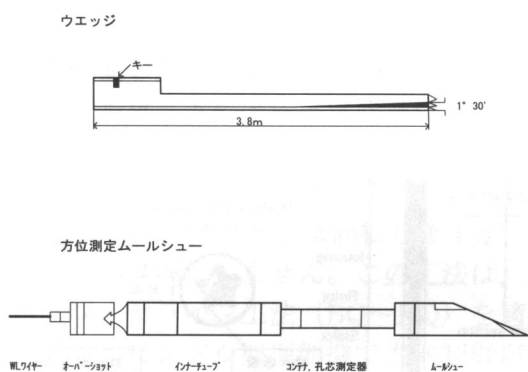


図1 ウエッジ工法で使用する治具 (文献9)

#### ウエッジシステム作業手順

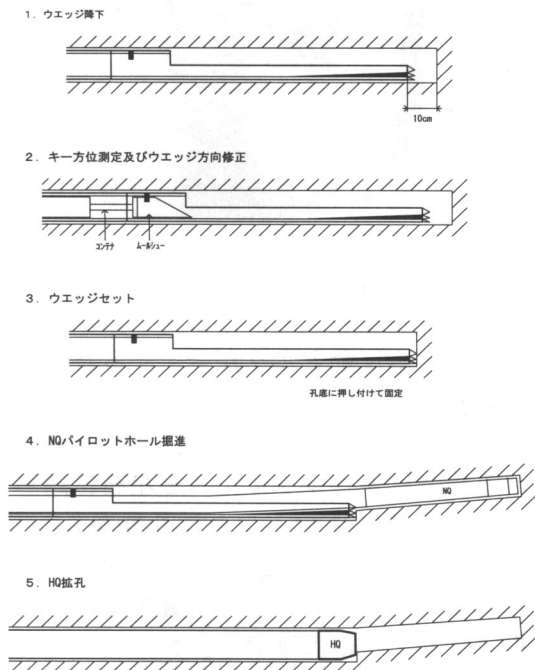


図2 ウエッジ工法手順事例 (文献9)

この工法は通常のスピンダル型掘削機を使用し、コア採取を目的とするボーリングで用いられ

ることが多く、長尺の場合はワイヤライン工法で掘削します。孔曲げを行うパイロット孔の径が小さくなるため、地質状況等により孔径を落としていく方式が有効です。一般的にツールズ類の昇降に時間がかかり、作業効率が悪いのが難点です。

### (2) スタビライザー工法

一般的にスタビライザー工法は石油・ガス生産井や地熱井の様な大口径のボーリングで用いられる手法です。後術するダウンホールモーター工法で方位・傾斜を修正した後、スタビライザーを利用して傾斜角度を修正する方法です。

この工法はビットの形状、スタビライザーの間隔及びロッド(ドリルカラー)のたわみを利用して、給圧を変化させることによりボーリング孔をコントロールする手法で、増角掘進、沿角掘進、減角掘進の3つに大別できます。図3に示すように梃子の原理(増角)、安定性の原理(沿角)と振り子の原理(減角)を利用しています。いずれも原理に基づく適切な掘削編成と掘削条件(ビット荷重、回転数、循環水量等)選択が重要です。

増角掘進の場合は、ビット直上に設置したスタビライザーが支点となり、荷重が加わることによりドリルパイプが下側に湾曲します。この梃子の作用によりビットが上向きになろうとすることで増角が可能となります。

沿角掘進の場合はスタビライザーをビット直上とドリルパイプの上部に取り付けます。スタビライザーの間隔を短く設定し、これらに挟まれるドリルパイプは湾曲しないように外径が大きなもの

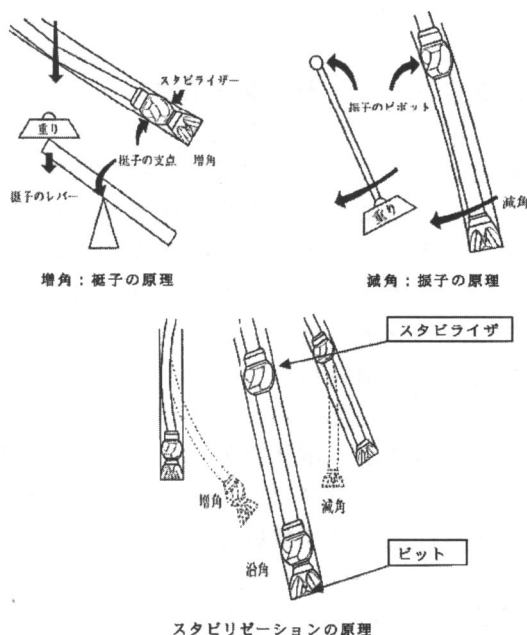


図3 スタビライザー工法の原理 (文献1)



有効です。

減角掘進の場合は、ビット直上のスタビライザーをはずし、ドリルパイプ上部のスタビライザーのみを残します。このスタビライザーを適切な位置に設置することで、その下にあるドリルパイプ、ビットは重力作用（荷重は孔井の下側に働く）により掘進とともに垂直になろうとし、傾斜は減角方向となります。

スタビライザー工法は孔井の目的からロータリー式掘削機を用いる場合が多くみられます。

調査を目的としたボーリングでは、前述したウエッジ工法とミニ・デビエーションシステムを併用して孔芯を制御する方法があります。ミニ・デビエーションシステムはワイヤラインコアバーレルを使用して孔曲がりを最小限に留める手法です。ワイヤラインコアバーレルの OUTER チューブを上下に二分し、間にスタビライザーを入れ、掘削径とコアバーレルの直径差を小さくしたものです（図4参照）。コアバーレルの上方にスタビライザーを接続すると、スライム排出上の問題が生じます。これを回避するためにコアバーレルより突出している部分には掘削水が排出できるように特殊な構造が工夫されています。また、ツールは磨耗を防ぐため、表面はクロム加工が施されています。

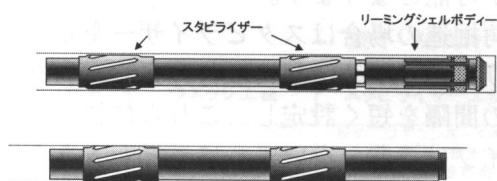


図4 ミニ・デビエーションシステム（文献9）

### (3) ダウンホールモーター工法

ダウンホールモーター工法はボーリングロッドを回転させず、ロッド先端部に取付けたダウンホールモーターによりビットを回転させ掘削する工法です。ダウンホールモーターは先端のビットを回転させるための動力源であり、通常はベントサブまたは、ベントハウジングとの組み合わせにより偏距具として用いられます。

ベントサブは上部のネジが本体の軸に対して同心に、下部のネジが本体の軸に対してある角度で切られているため、ダウンホールモーターの上部に接続することで掘削編成に傾きを与えることができます。ベントサブの角度は $1^{\circ}$ ～ $3^{\circ}$ まで $30'$ 刻みで数段階あるので、孔径や修正角度等を考慮して選択します（図5）。

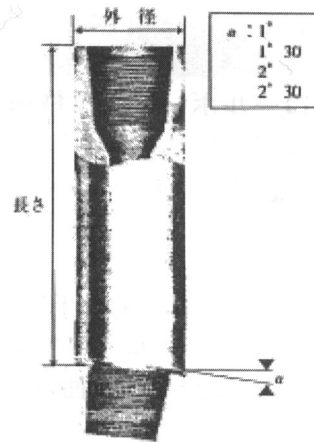


図5 ベントサブ（文献1）

ベントハウジングはダウンホールモーターのモーター部とスラストベアリング部の間の外筒自体が角度をもつものです。

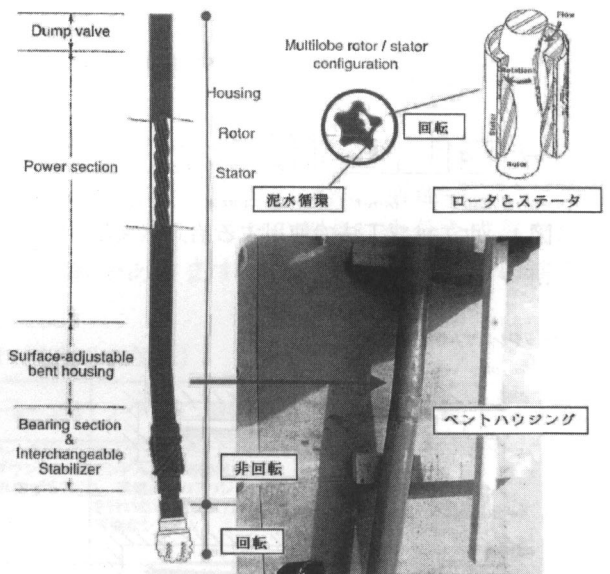


図6 ダウンホールモーター工法（文献3）

ダウンホールモーターにはビットにかかる回転トルクに対する反動トルクが発生する特性があります。計画した方向に制御するためには、反動トルクを考慮する必要があります。反動トルクが推定される場合はツールフェイスを左右に調整する必要があります。反動トルクは孔井条件（孔径、深度、傾斜等）、掘削条件（ビット荷重等）や地質条件（岩盤の硬軟、傾斜）の影響を受けるため事前に推定することは困難です。ダウンホールモーターで掘削中は適宜、方位傾斜の測定を行い、ツールフェイスの調整を行っていくことが必要です。

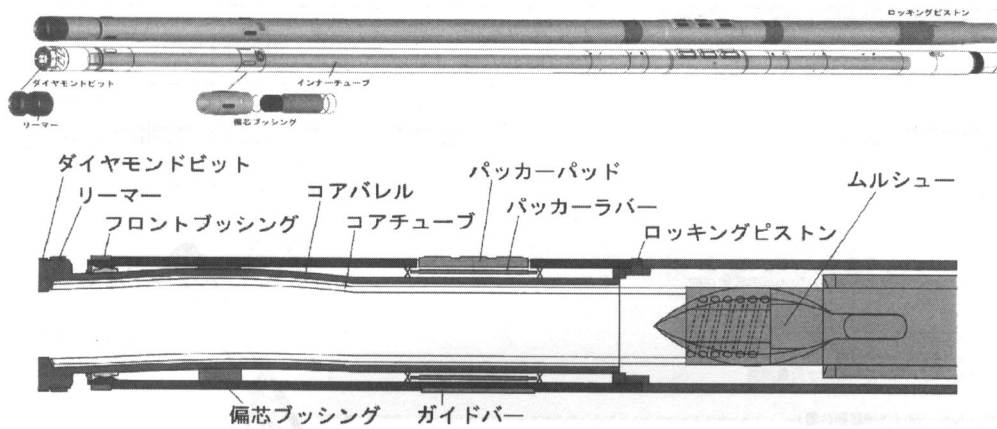


図7 ワイヤライン制御掘削ツール (文献8)

#### (4) ワイヤライン制御工法

ワイヤライン制御工法は、方向制御用コアバレルをドリルロッドの先端に取り付け、アウターチューブをパッカーで修正方向に固定させ、ビット、コアチューブを回転させコアリング掘削を行う工法です(図7)。ロッドは回転しますが、アウターチューブは回転しません。この工法は、従来の小口径ワイヤライン工法(BQ~NQ)を適用でき、通常のスピンダル型掘削機で方向制御が可能です。

掘削装置は、偏芯ブッシングを取付けたコアチューブ部、修正方向を固定するパッカー部及び修正方向を設定する記憶装置タイマー部の3つからなります。アウターチューブ内側の偏芯ブッシングが、方向制御の大きな役割を果たします。

#### (5) 電中研式工法

(財)電力中央研究所が開発し、適用性を評価中のコントロール掘削システムです。ボーリング技術高度化の一環として孔曲げ掘削、コア採取、先端探知、測定・検層等の要素技術の開発を行っています。

掘削システムの特徴は、孔芯を連続的に変化させながらコア採取を行うためにベントハウジングを内蔵したダウンホールモーターを採用していることです。また、ケーシングを追従させるための拡径装置、ケーシング追従装置が組み込まれています。

掘削システムの構成は、概略①ケーシング(孔壁保護)、②ダウンホールツール(掘削、先端探知)、③地上装置(ワイヤライン)からなります(図8)。

ダウンホールツールは、下部よりコア採取のためのコアビット及びコアバレル、ケーシングを

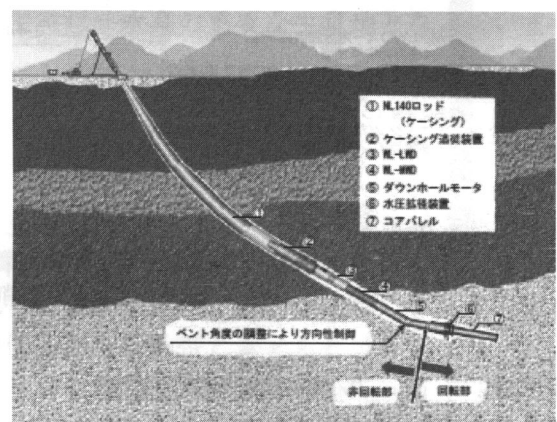


図8 電中研式システム概要 (文献6)

追従するための拡径装置、動力・方向制御を行うダウンホールモーター、先端位置や掘削情報を取得するためのWL-MWD (Wire Line-Measurement While Drilling)、地質情報を得るためのWL-LWD (Wire Line-Logging While Drilling)から構成されます。ダウンホールツールの上にケーシングロッドとの接続固定を行う追従装置があります。追従装置は、ラッチ装置と緩傾斜~水平傾斜区間のツール降下対策としての押込み補助装置(送水圧利用)からなります。

掘削機材は、可倒式傾斜槽(油圧方式)と掘削時に必要な給圧や回転をケーシングロッドに与えるスピンドル型試錐機からなります。また、ロッドの追管や揚管を機械化したハンドリング装置が付随されています。

電中研方式によるコントロール掘削は、北海道幌延地区で適用性評価が行われています。一昨年には水平掘削区間での方向制御掘削を行っています。

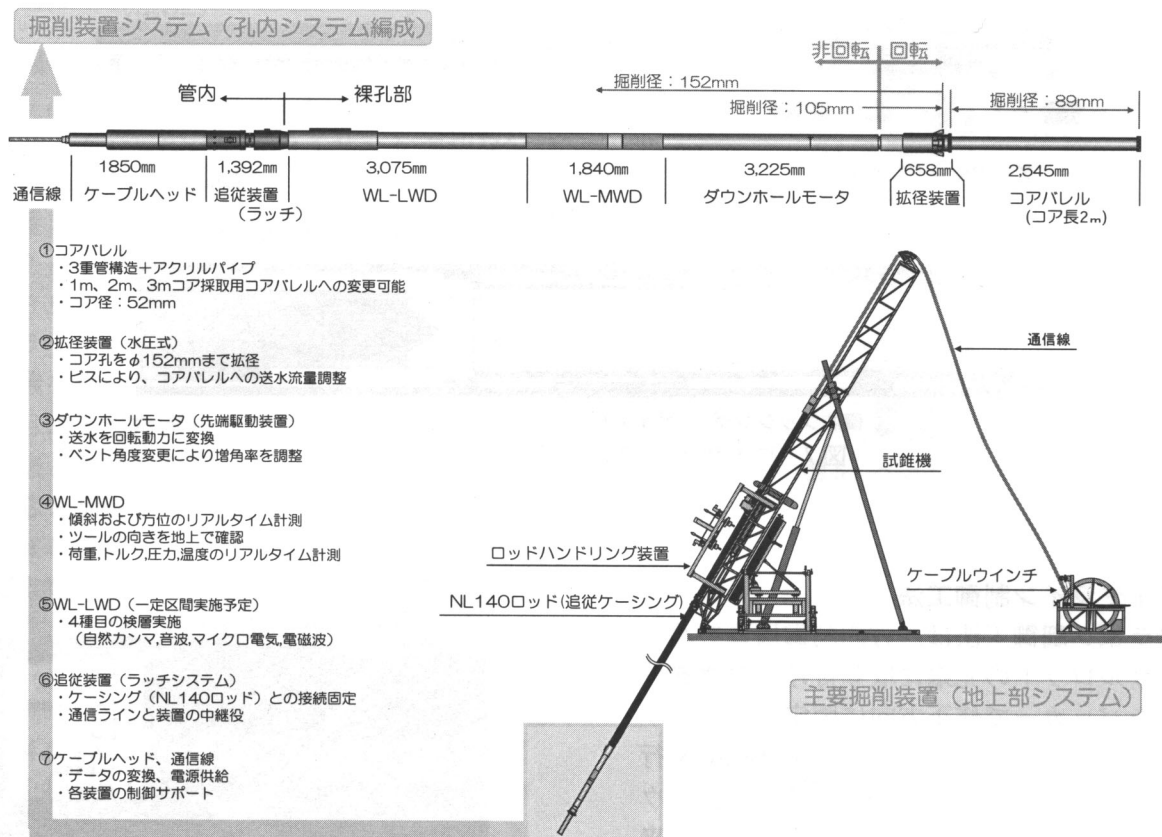


図9 電中研式掘削システム (地上・孔内) (文献7)

### 3. コントロールボーリングの課題

ボーリングによる地質調査の目的は、コア、検層、孔内試験や計測等により孔井からの地盤・水理情報を可能な限り取得することです。コントロールボーリングは調査の精度をより向上させ、且つ効率化が望めます。

しかし、国内の調査分野でコントロールボーリングがなかなか普及しないのは、技術的な手間や成果に加えて、①設備、資材投資や掘削時間増大によるコストが高くなること、②コントロール精度 (ニーズ認識とのギャップや孔芯制御・管理精度) が挙げられます。更に日本の地質は複雑な地質構造に加え、崩壊性、逸湧水等の掘削上障害となる要因を多含していることも一因と考えます。

トンネル等の大型地下構造物の調査でコントロールボーリングによる調査や長尺水抜きボーリング (水平維持) の有効性が指摘されています。工事費を含むトータルコストを考えた場合、コントロールボーリングの採用はその効果によるメリットは大きいと考えられます。

計画段階での具体的な工法 (コアリング・ノンコア、孔径、掘削プログラム、孔芯計画や管理・

制御方法等) の検討が重要です。

#### 引用・参考文献

- 1) 島田邦明・中村昭一: 傾斜掘りの話, 地熱エネルギー, vol23, No. 3, Ser83, 1998
- 2) ジオフロンテ研究会 新技術総合活用分科会 制御ボーリングWG: 制御ボーリング技術資料, 1999
- 3) ジオフロンテ研究会 新技術総合活用分科会 制御ボーリングWG: 地質調査への長尺制御ボーリング適用に関する研究報告書, 2003
- 4) 木方建造他: コントロールボーリングによる調査・調査技術の開発 (フェーズ1), 電力中央研究所報告, 2006
- 5) 木方建造他: コントロールボーリングによる調査・調査技術の開発 (フェーズ2), 電力中央研究所報告, 2009
- 6) 木方建造他: 水理地質構造調査のための掘削技術の開発 (その9), 応用地質学会講演論文集, 2009
- 7) 須永崇之他: コントロールボーリング掘削・調査技術, 地球惑星学会ポスターセッション, 2010
- 8) 日鉱探開(株) [現・JX日鉱日石探開(株)]: 「コントロールコアボーリング」パンフレット
- 9) 住鉱資源開発(株): 社内資料



# 三方五湖

## (歴史地震と年縞堆積物)

### 1. はじめに

三方五湖は、福井県の嶺南地方のほぼ中央に位置し、若狭湾国定公園を代表する景勝地です。万葉集にも歌われ、古より四季折々の美しさが広く知られる湖です。三方五湖周辺と北西に伸びる常神半島を含めた地域は、名勝「三方五湖」として国の指定を受けています。また国際的にも評価され、2005年にラムサール条約湿地として登録されました。

三方五湖は、低地帯に形成された海水～淡水性の日向湖・久々子湖・水月湖・菅湖・三方湖の5つの湖からなる湖沼群です。三方湖・水月湖・菅湖は連続した水域であり、日向湖と久々子湖はそれぞれ独立した湖となっています。久々子湖は他の湖と違い、砂州によって塞がれた潟湖です。

水月湖と久々子湖の間は、1662年から開削された浦見川(図1)によって、水月湖と日向湖の間は、1751年の嵯峨隧道によりつながりました。現在は、上記のような人工的な開削により五湖が連結されています。

5つの湖はそれぞれ塩分濃度や水深が異なり、



図1 浦見川の写真(手前が久々子湖)

湖水の色もすべて異なることから「五色の湖」と呼ばれています。海水魚から淡水魚まで様々な魚が生息し、水鳥の重要な生息地となっています。

### 2. 三方五湖周辺の活断層

三方五湖周辺には、日向断層と三方断層の南北方向の活断層が分布します(図2)。三方五湖はこれらの断層活動による西側沈降によって形成された構造的な低地帯と考えられます。

日向断層と三方断層を含む「三方・花折断層帯」は、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003)などに詳しく解説されています。

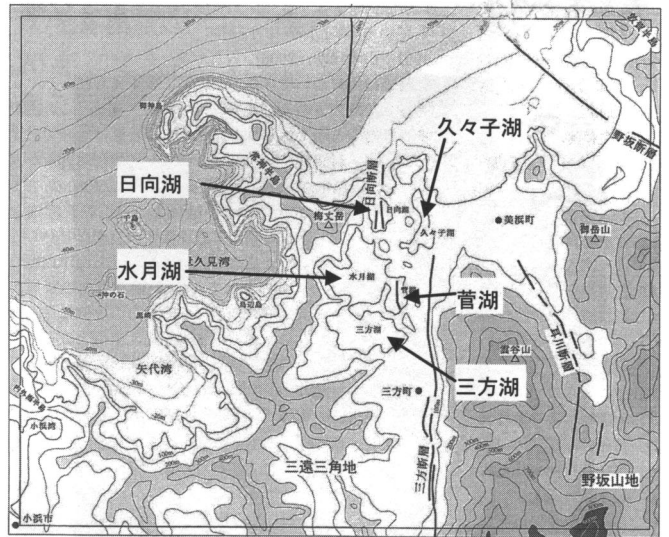


図2 西津地域周辺の海底等深線と埋谷面図(中江・小松原, 2002に加筆)

### 3. 1662年寛文若狭・近江地震の地変

三方五湖周辺では、1662年寛文若狭・近江地震(以下、寛文地震)による古地理の変化を記載した古文書が多く残されています(小松原他1999)。

古文書の解説と現地調査により、久々子湖周辺で約3m、菅湖東岸で約3~4m隆起したことが明らかになりました。これらの変動は日向断層の活動によるものと考えられています。

なお、小松原・水野(2009)は、寛文地震について、日向断層から花折断層北部にいたる、逆断層(日向断層・三方断層)と横ずれ断層(花折断層)という異なる運動センスをもつ総延長40~50kmの断層が各々数mの変位を生じた地震であった可能性が高いと記載しています。

#### 4. 水月湖の年縞堆積物

水月湖は、最大水深34mで三方五湖の中で最も深く、大きな湖です。水月湖へは、直接流れ込む大きな河川がないことから、湖底の水や泥は水流でかき乱されることがなく、堆積物が積もったままの状態です。そのため、湖底には年輪のように1年に1つの縞の堆積物(年縞堆積物)が形成されています。

水月湖では1991年の調査により年縞堆積物の存在が確認され、その後1993年には全長73mの堆積物コアを採取しています(竹村他1994)。その後、「水月湖プロジェクト2006」が立ち上がり、イギリス・ニューカッスル大学・中川毅教授を代表とするグループが、約7万年分の年縞を含む堆

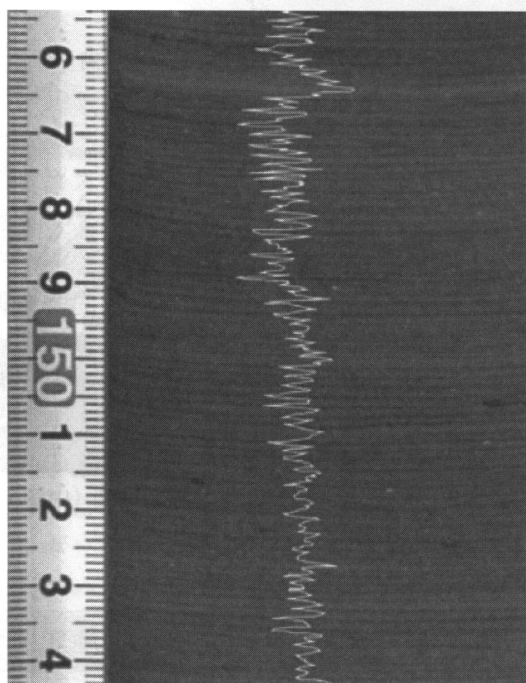


図3 水月湖の年縞堆積物(中川, 2010)  
曲線はグレースケールの変動を示す

積物の連続コアを採取し、現在詳細な分析を進めています(中川2010)。

#### 5. おわりに

三方五湖周辺には、梅丈岳山頂へ行くことができる観光有料道路「レインボーライン」があります。ここでは三方五湖、日本海、周辺の山々を見渡すことができます。また、三方五湖には遊覧船もあり、それぞれの湖を湖上からみることもできます。ぜひ一度訪れてみてはいかがでしょうか。

#### 〈参考文献〉

- 1) 中江訓・小松原琢・内藤一樹(2002): 西津地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 90 p.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003): 三方・花折断層帯の長期評価について. 地震調査研究推進本部.
- 3) 小松原琢・水野清秀・金田平太郎・須藤宗孝・山根博(1999): 史料による1662年寛文地震時の三方五湖周辺における地殻変動の復元. 歴史地震, 15, 81-100.
- 4) 小松原琢・水野清秀(2009): 琵琶湖西岸断層帯と三方・花折断層帯. 日本地質学会編: 日本地方地質誌5近畿地方. 朝倉書店, 314-317.
- 5) 竹村恵二・北川浩之・林田明・安田喜憲(1994): 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代-三方低地の最終間氷期以降の堆積環境-. 地学雑誌, 103, 233-242.
- 6) 中川毅(2010): 水月湖の年縞: 過去7万年の標準時計. 日本地球惑星科学連合ニュースレター, Vol. 6, No. 4.

#### 若狭町観光情報サイト

<http://www.town.fukui-wakasa.lg.jp/kankou/>

#### 社団法人若狭三方五湖観光協会

<http://www.wakasa-mikatagoko.jp/index.html>

〔(株)ダイヤコンサルタント関西支社 山根 博〕



# 各地に残すべき地形・地質

## 鹿児島湾奥始良カルデラ壁

JR 日豊本線（竜ヶ水駅）

### 九州東廻り本線

日豊本線は北九州市小倉駅を始発駅として国道10号線と並行するように、別府・大分・延岡・宮崎を経由して鹿児島駅まで結ぶ総延長462kmの九州旅客鉄道（JR九州）東廻り本線である。



図1 案内図<sup>1)</sup>

宮崎駅で乗換えて鹿児島県との県境・都市まで南下すると地形は一変し、列車は霧島連山高千穂峰を右に望みながら、シラス台地面を快適に鹿児島に向かう。

標高約180mの霧島神宮駅から標高10m未満の低地国分駅

に下る際にはシラス斜面を斜めに駆け下りる。

始良カルデラは、今から凡そ2万5千年前に鹿児島湾奥にあった始良火山が、南九州を埋め尽くす大火砕流（シラス等）を流出するという想像を絶する巨大な噴火を起こしたあと、山体の陥没により生まれたといわれる。

### 始良カルデラと桜島

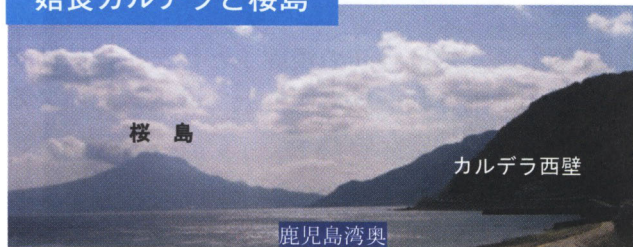


写真1 カルデラ西縁（JR 重富駅前海岸より）

そして1万3千年前に、その南縁部で新たな噴火が起り『桜島』が誕生した。それ以来7千年にわたり噴火を繰り返しながら成長し、北岳（標高1,117m）の骨格を形成してその活動を休止した。

それから約2千年を経過した後の約5千年前に北岳の寄生火山として島の南東側で噴火活動が再



図2 始良カルデラの形状と始良火砕流の分布<sup>2)</sup>

発し、南岳基底溶岩といわれる複数の溶岩等を流出して南岳に成長した。記録に残る桜島の噴火は天平宝字(764)を頭に、文明(1471)・安永(1779)・大正(1914)・昭和(1946)と“山腹大噴火”を繰り返した。そして昭和30年以来南岳山頂及び昭和火口から噴煙を上げ続けてきた。この間に観測を継続してきた京都大学は先般、『桜島直下のマグマ蓄積量が大正大噴火時の8割に達した。あと20年迄に大正級の蓄積量に達し、同等の大噴火を起こす可能性がある』と新聞で警告した。

### 過去の4大噴火の概要と近年の主な噴火活動

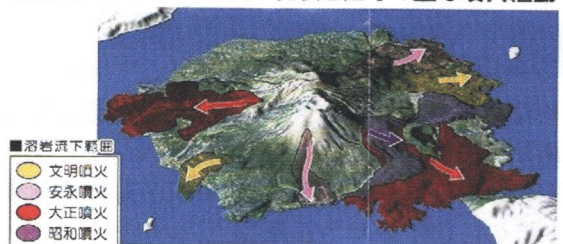


図3 最近の桜島溶岩の流れ<sup>3)</sup>

### JR 竜ヶ水駅

本日話題にするのは日豊本線の終着駅・鹿児島駅の約7km手前の駅に位置し、明治40年代に供用された『JR 竜ヶ水駅』である。この駅前後の約12kmが始良カルデラ西壁の斜面不安定区間で、多雨時期にはしばしば崖崩れ・土石流による災害に見舞われ、JR九州の悩み路線である。然し車窓から錦江湾を隔てて迫る桜島の雄姿は一服の清涼剤となり、郷土自慢の風景でもある。





写真2 現在のJR竜ヶ水駅（無人駅）

その地質は輝石安山岩・玄武岩・凝灰質堆積岩（花倉層）・溶結凝灰岩類（吉野・阿多火砕流）等を基盤に、シラス層（始良火砕流堆積物）が被覆するという構成である。

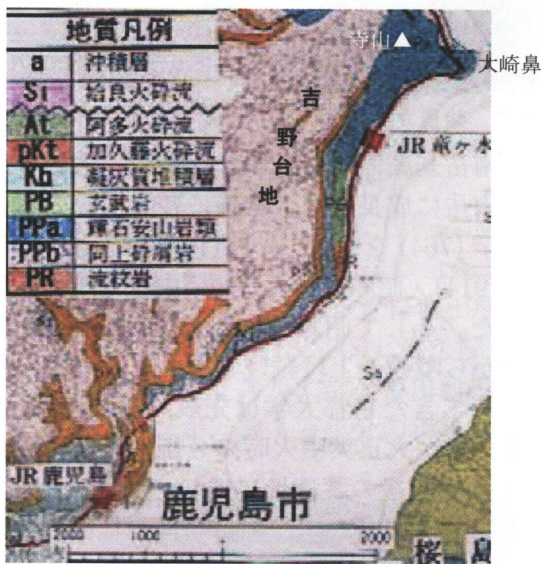


図4 カルデラ西縁の地質図<sup>4)</sup>

### '93夏鹿児島風水害

平成5年の梅雨明けについて鹿児島地方気象台は8月31日になっても『確定出来ない』と異例の修正をした。この年は鹿児島市の7月総雨量が史上1位の1,054ミリ、7月31日から8月1日の2日雨量は県央始良地方で645ミリを記録するなどして、土砂崩れ等による犠牲者は32人にのぼり、農地の流失、九州自動車道・県道・市町村道の不通等で大混乱に陥った。

8.1 豪雨の傷跡も癒えないなか、8月6日には鹿児島市を中心に前日の降り始めからの雨量が軒並み200ミリを超える局地的な集中豪雨が襲い、市街地は河川の氾濫・土石流等により1万余戸の家屋が被災すると共に、死者は48人を数えた。

特に被害の大きかった竜ヶ水地区では約4<sup>km</sup>にわたって土砂崩れが再発して、JR日豊本線の上

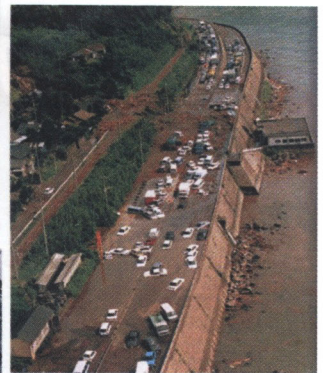


写真3 93夏鹿児島風水害<sup>5)</sup>

下2本の列車損壊、国道10号線埋没に伴い自動車約800台が脱出不能に陥った。これらの乗客や周辺住民約2千人が閉じ込められ、巡視艇・桜島フェリー・漁船など20数隻が夜を徹して救出にあたった。

この夏の豪雨災害に依る県内の犠牲者は4市15町で119人を数えた。（南日本新聞社）

竜ヶ水地区における土石流災害は、駅舎直上の沢筋の上部シラス及び溶結凝灰岩中に浸透した降雨が、下位の花倉層（凝灰質堆積層）上面を不透水層として湧出し、斜面崩壊を伴い谷筋の堆積物を巻き込み流下したものであった。

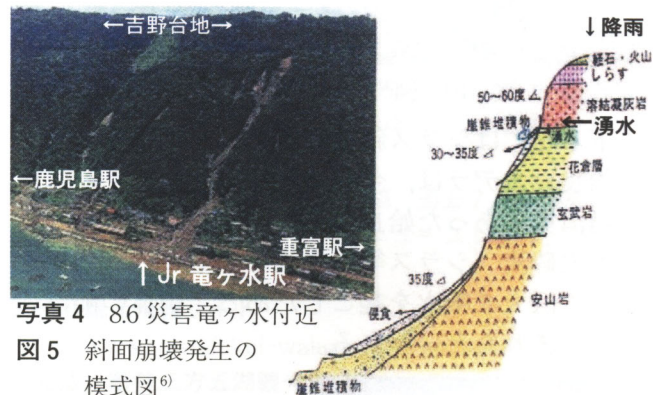


写真4 8.6災害竜ヶ水付近

図5 斜面崩壊発生の様式図<sup>6)</sup>

対策工としては谷筋の根固工と数ヶ所に砂防ダ無工事が施工され、以来この沢では土石流による災害は発生していない。

### 引用・参考文献

- 1) フリー百科事典 Wikipedia 日豊本線
- 2) 石川秀雄：桜島、噴火と災害の歴史 共立出版1992
- 3) 鹿児島市発行：桜島ハザードマップ2008
- 4) 鹿児島県編：10万分の1鹿児島県の地質図；1992
- 5) 報道特集'93夏鹿児島風水害 南日本新聞社1993
- 6) 下川ほか：93年豪雨による鹿児島県下の土砂災害1994

[竹元幹生（株式会社アーステクノ）]



# 各地の博物館巡り

宮城県仙台市

「東北大学理学部自然史標本館」

— ナチュラル・ヒーリング 時をかける標本 —



東北大学理学部自然史標本館の正面

## 沿革

東北大学理学部キャンパスの一角に1995年(平成7年)10月に開設された標本館。1911年に東北大学の地質学科が創設されて以来、大学の研究者たちが研究や教育のために世界中から収集し、綿々と蓄えられてきた標本60万点のなかから地球生命の進化に関する化石や骨格標本や地球を構成する岩石・鉱物・鉱石、20世紀前半のアジアの地図資料など1200点余りが展示されています。

## 展示の内容

玄関前に、直角石類・ゴニアタイト類などの化石を大量に含んだ石灰岩の石材が飾られており、「この石材はなに!」と問いかけ、入館者を出迎えます。

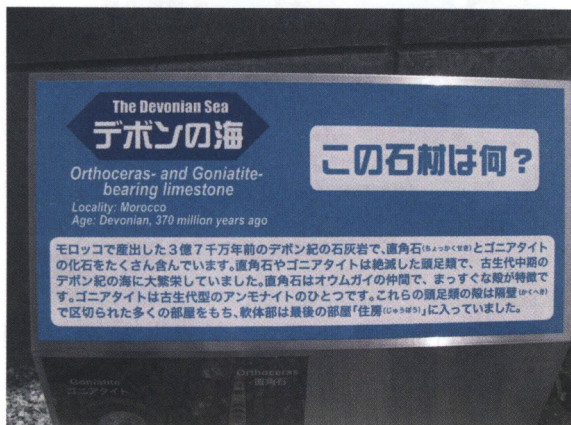


写真1 石灰岩石材のお出迎え

玄関を入ると、ロビーに六放サンゴのコーナーがあり、展示室へのどきどき感を醸し出す気配りがされています。

展示は、地球生命の進化(化石のコーナー)、変動する地球(岩石・鉱物のコーナー)、地球の姿を見る(地図のコーナー)、総合学術博物館紹介コーナー、ミニ展示コーナーからなり、回廊形式で一

巡できるように配置されています。

### A 地球生命の進化(化石のコーナー)

先カンブリア時代から新第三紀までの化石が年代順に並べられ地球生命の進化を知るコーナーとなっています。それぞれの地質時代を特徴づけるアンモナイトや三葉虫などの化石が並べられています。



写真2 アンモナイトの標本

### B 変動する地球(岩石・鉱物のコーナー)

地球内部の火成活動や変成作用、地表の風化作用や堆積作用などにより生成された鉱物や岩石のうち、日本の代表的な鉱石である黒鉱や縞状鉄鉱層、水晶の日本式双晶が目にとまります。海底火山より採取された珍しいチムニー状の硫化鉱物も展示されています。

### C 地球の姿を見る(地図のコーナー)

日本の旧陸軍が1930~40年代前半に作成した外国の地形図「外邦図」が展示されています。焼却処分を免れたもので、当時としての作成技術が極めて精巧なことに驚かされます。

### D 総合学術博物館紹介コーナー

併設の東北大学総合学術博物館を紹介するコーナーで、チベット仏教資料や冬虫夏草の標本など開学以来の貴重な文化遺産が展示されています。



## E ミニ展示コーナー

特定のテーマに焦点をあてた小さな企画展示コーナーで、「北上山地の基盤岩類」の岩石標本がミニ展示されていました。東北大学ならではの展示品です。



写真3 ミニ展示 北上山地の岩石標本

以上、興味ある展示品の数々です。館内を一巡すると「ナチュラル・ヒーリング」「時をかける標本」を十分に堪能できること請け合いです。ぜひ子供たちも誘って訪ねて見て下さい。

最後にとって置きの展示品を紹介します。まさに貴重品・芸術品というべきもので来館へのきっかけになさして下さい。

そのひとつは、恐竜ステゴサウルスの骨格標本模型とイワシクジラの全身骨格標本です。ステゴサウルスの模型は展示室中央で、イワシクジラは館内に吊り下げられた姿で入館者を出迎えています。入館者はその大きさにまずは圧倒されています。



写真4 ステゴサウルス（模型）とクジラの骨格標本

余談となりますが、イワシクジラは3月11日の東北地方太平洋沖地震で津波被害を受けた古くからの捕鯨基地である鮎川町（現石巻市）で1915年に陸揚げされたとのこと、貴重な標本・資料の集収と保存というなかに歴史的な因縁を感じます。

もうひとつは、微化石のガラス複製です。有孔虫・放散虫の小さな生き物の精密なからだの作りをものごとくに再現した技術に驚嘆します。微化石の神秘性に惹きつけられつつ、東北大学が誇る匠の技が結晶となった芸術品が堪能できます。



写真5 ミクロの芸術品 微化石のガラス複製

なお、訪館した折りに東北大学名誉教授永広昌之先生に館内のご案内をいただいた。ここに、記して感謝の意を表し御礼といたします。

## アクセス



仙台駅から仙台市営バスで所要約20分、「理部自然史標本館前」で下車、徒歩1分。

自家用車の場合、東北自動車道仙台宮城インターチェンジより仙台市街地に向かい約10分、駐車場があります。

- ・開館時間 10:00~16:00
- ・休館日 毎週月曜日 お盆時期の数日 年末年始
- ・入館料 大人150円 小中学生80円

(東北地質業協会 広報委員

土木地質(株) 高橋克実)