

第4回

# 地質リスクマネジメント 事例研究発表会 講演論文集



平成25年11月22日（金）

共催：地質リスク学会 / 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

後援：国土交通省国土技術政策総合研究所

協賛：独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、NPO地質情報整備活用機構

はじめに

－ 地質技術顧問の役割 －

今年度も、第4回の地質リスク事例研究発表会を開催することが出来ましたこと、喜びに堪えません。投稿・発表して頂いた皆さまの勇気とご努力に心から感謝申し上げます。

昨年度の後半から、公共調達方式の再設計、特に、「日本では、談合に依存しない競争入札方式は成立するのだろうか、もし成立するならば、その方向性はどのようなものなのだろうか」との問いを考えてきました。

公共調達方式の国際比較に関するセミナー等で欧米での競争入札制度の基本的考え方を聴く度に、欧米における公共工事競争入札とは、「価格縮減を希望する発注者と利潤・賃金の確保を希望する入札者とのせめぎ合い」であると感じていました。さらに、労務単価の下限を定める賃金協定やタリフ等が、入札価格の底なしの競争を防止する「アンカー」の役割を果たしており、まさに競争入札制度の前提、または「制度基盤」として機能しています。この制度基盤の下での競争を生き抜くためには、各企業経営者は自社の特徴を活かして施設・機械・資材・人材等に投資することが、合理的な方法の一つとなると考えられます。

日本ではこの入札制度の「制度基盤」が存在しません。このような状況で、価格競争を実施した場合、底なしの価格競争に巻き込まれる危険性が常に存在します。このため、日本の公共発注者は最低制限価格など入札価格の下限を定めて、一般競争入札、さらには総合評価方式を実施してきました。これらの制度下での競争を勝ち抜くために、日本の企業経営者は、①入札許容価格の下限値を正確に推定し、②持ち点の高い技術者を最大限に登用し、③工事成績で高得点を獲得し、④優良工事表彰を受けるべく最大限の努力を重ねてきました。

ここで問われなければならないことは、このような競争を勝ち抜くための努力を通して、a) 公共工事に従事する人々が生きがいを感じているか、b) 大きな社会的価値が生み出されているか、という点であると思います。残念ながら上記①の入札許容値の下限値の推定という行為は、公共工事従事者の大きな生きがいや高い社会的価値を生み出しているようには思われません。また、②の持ち点の高い技術者を最大限に登用する方法は、若手従事者の成長・活躍の場を狭めてしまっています。

公共調達制度の再設計のために必要な条件とは、公共工事に従事する人々が生きがいを感じ、大きな社会的価値が生み出す事業を立案・実施することであると思います。

地質技術顧問には、発注者チームの一人として、まさに上記の必要条件を実現するために不可欠な主体になって欲しいと思っています。そのためにも事例研究を継続し、技術顧問を生み出すための足腰の強い研究成果を蓄積していきたいと思っています。

最後に、今回の事例研究の投稿・発表に際しても、幾多の困難を経験されたことと思います。本学会は、その困難を乗り越えようとする各会員の勇気とご努力を、全ての会員と共有し、前に進んで行く所存です。

皆さまとご家族の方々の益々のご健勝とご多幸を心よりお祈り申し上げます。

ありがとうございました。

平成 25 年 11 月 6 日  
地質リスク学会会長  
渡邊 法美

第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会  
講演論文集 目次

第Ⅰ編 プログラム	1
第Ⅱ編 第1部 全大会	
[特別講演 テーマ：地質技術顧問制度を考える]	
講演①「地質技術顧問の将来像と夢」	5
渡邊 法美（地質リスク学会 会長 / 高知工科大学 教授）	
講演②「地質技術顧問制度の実現に向けて」	13
原 隆史（地質リスク学会 理事 / 岐阜大学 教授）	
第Ⅲ編 第2部 発表会 論文	
[事例研究発表会]	
論文 No.1 長岡 弘晃 応用地質株式会社 四国支社	
崖錐斜面の安定度評価における地質リスクの低減	19
論文 No.2 澤田弦一郎 (株)エイト日本技術開発	
垂直電気探査により推定した地下構造の不確実性に起因するリスク回避事例	25
論文 No.3 寺井 康文 大地コンサルタント(株)	
斜面上の橋梁設計における地質リスクマネジメント	31
論文 No.4 金子 敏哉 (株)キタック	
軟弱地盤上の道路構築について	37
論文 No.5 高橋 浩之 (株)興 和	
道路盛土工事中に発現した地質リスク事例	43
論文 No.6 大井手淳二 応用地質(株) 関西支社	
新設道路の切土法面工事にて発現した地質リスクについて	49
論文 No.7 小山 純二 川崎地質(株)	
対策工施工斜面における地すべり災害の再発について	54
論文 No.8 山本 剛 日本建設情報総合センター	
行政側から見た公共事業の地質リスク事例	59
論文 No.9 牛渡 聡 (株)構研エンジニアリング	
施工中の路面下空洞(開口亀裂)の対応事例	65
論文 No.10 木村 隆行 (株)エイト日本技術開発	
沖積砂礫層の地下水取水に関する残留塩分問題	71
論文 No.11 藤沼 伸幸 新協地水(株)	
東北地方太平洋沖地震によって発生した宅地地盤の滑動に伴う河川の変状事例	77
論文 No.12 西川 力 中央開発(株) 関西支社	
トンネル岩盤崩落現場における地質リスク事例	83
論文 No.13 川井田 実 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社	
NEXCOにおける土質・地質調査の考え方	89
論文 No.14 野々山麻衣子 岐阜大学	
岐阜県飛騨圏域を対象とした落石のリスク評価	94
論文 No.15 橋尾 宣弘 (株)エイト日本技術開発	
熱変質凝灰岩の切土後劣化による地すべり発生とその対策	100
論文 No.16 常川 善弘 (株)相愛	
維持管理におけるグラウンドアンカー施工のり面の地質リスク管理事例について	106

[特別セッション]

論文 No.特① 吉田 郁政 東京都市大学	
情報の価値 VoI を用いた最適観測点配置の考え方 . . . . .	112
論文 No.特② 森口 周二 東北大学	
不確実性を考慮した個別要素法による落石危険度評価 . . . . .	118
論文 No.特③ 西村 伸一 岡山大学	
サウンディング試験結果の統計モデルと弾性波探査結果との合成 . . . . .	124
論文 No.特④ 黛 廣志 地質リスク学会 専門委員会 幹事	
地質リスクマネジメント体系化委員会 活動報告 . . . . .	130

# 第 I 編 プログラム

## 第 4 回地質リスクマネジメント事例研究発表会

共催：地質リスク学会 / (社)全国地質調査業協会連合会

後援：国土交通省国土技術政策総合研究所

協賛：独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、NPO 地質情報整備活用機構  
<開催趣旨>

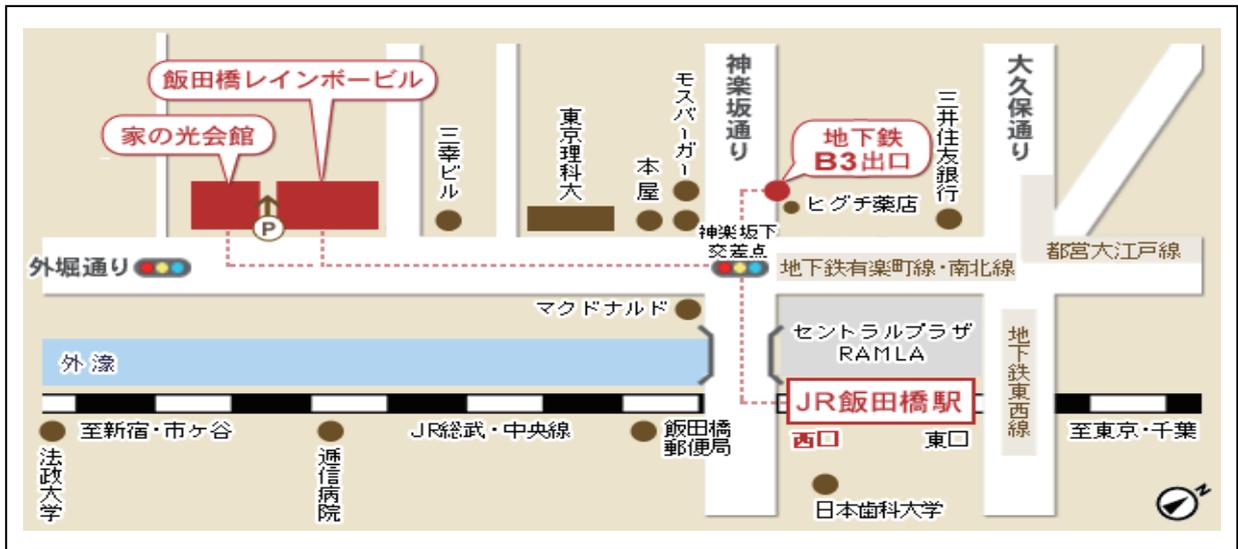
事例研究発表会の主な目的は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することにあります。

<開催要領>

開催日：平成 25 年 11 月 22 日 (金) 定員：200 名

開催場所：飯田橋レインボービル

〒162-0826 東京都新宿区市谷船河原町 11 番地 飯田橋レインボービル TEL 03-3260-4791



JR 総武線飯田橋駅西口または、地下鉄有楽町線・南北線・東西線・大江戸線飯田橋駅の神楽坂下 B3 出口より徒歩約 5 分

<プログラム>

### ・第 1 部 全体会 (9:30~12:00)

開場 9:30

開会挨拶 9:45~10:00 開会挨拶 小笠原正継 (地質リスク学会 副会長)

[特別講演 テーマ：地質技術顧問制度を考える]

10:00~11:00 講演①「地質技術顧問の将来像と夢」

渡邊 法美 (地質リスク学会 会長 / 高知工科大学 教授)

11:00~11:30 講演②「地質技術顧問制度の実現に向けて」

原 隆史 (地質リスク学会 理事 / 岐阜大学 教授)

11:40~12:00 第 2 部 地質リスクマネジメント事例研究発表会 優秀論文賞授与式

### ・第 2 部 発表会 (13:00~17:00)

(1)事例研究発表会 16 編

(2)特別セッション

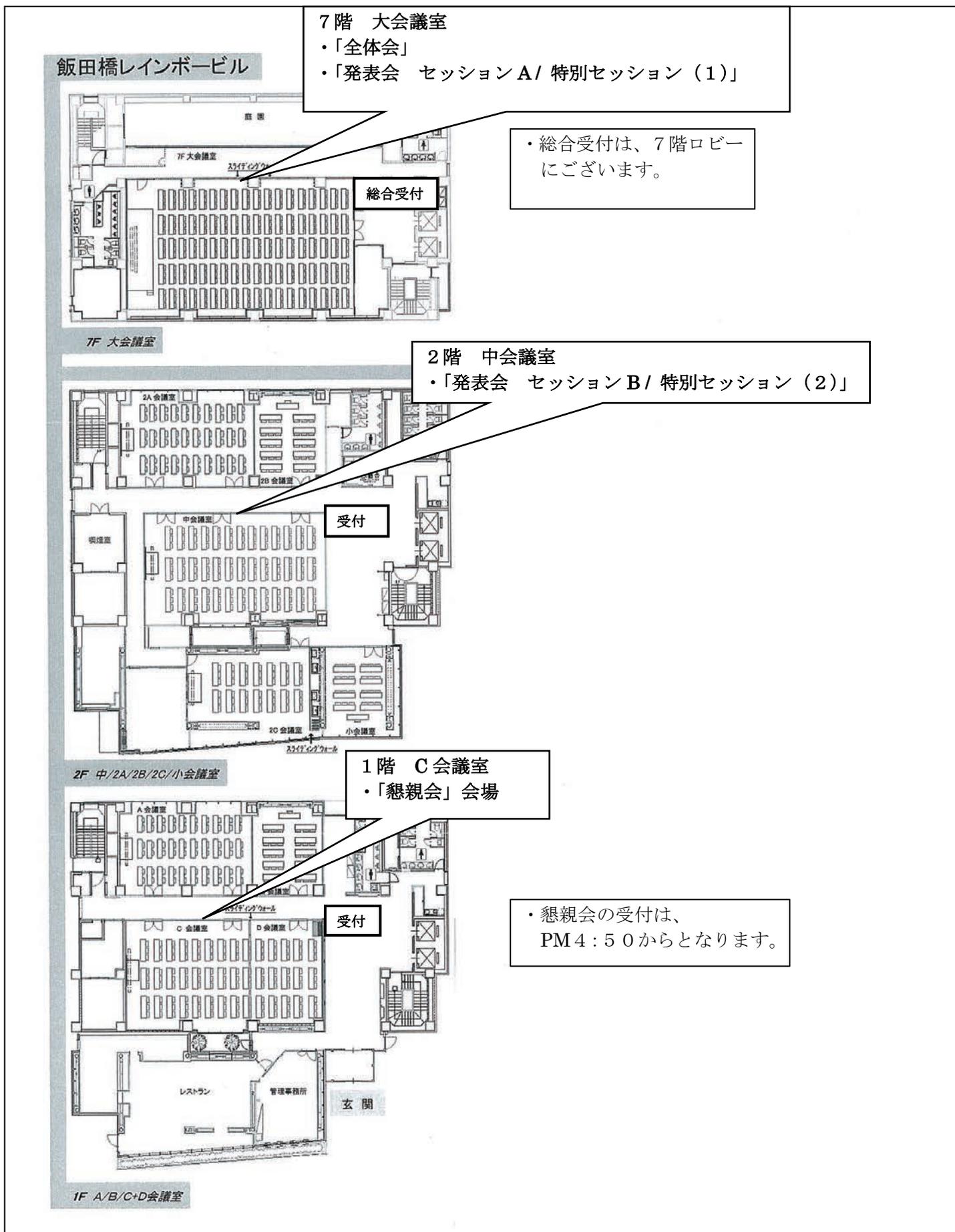
①地質リスク学会 専門委員会活動報告

②地質リスク学会 委員発表

・懇親会

17:00~

会場内配置図



事例研究発表内容一覧

セッション区分	論文No	口頭発表者	所属先	題目	事例種類
セッションA-1 7F 大会議室 13:00～14:20	1	長岡 弘晃	応用地質株式会社 四国支社	崖錐斜面の安定度評価における地質リスクの低減	A型
	2	澤田弦一郎	(株)エイト日本技術開発	垂直電気探査により推定した地下構造の不確実性に起因するリスク回避事例	A型
	3	寺井 康文	大地コンサルタント(株)	斜面上の橋梁設計における地質リスクマネジメント	A型
	4	金子 敏哉	(株)キタック	軟弱地盤上の道路構築について	A型
セッションA-2 7F 大会議室 14:30～15:50	5	高橋 浩之	(株)興 和	道路盛土工事中に発現した地質リスク事例	B型
	6	大井手淳二	応用地質(株) 関西支社	新設道路の切土法面工事にて発現した地質リスクについて	B型
	7	小山 純二	川崎地質(株)	対策工施工斜面における地すべり災害の再発について	B型
	8	山本 剛	日本建設情報総合センター	行政側から見た公共事業の地質リスク事例	B型
特別セッション(1) 地質リスク学会 委員発表 7F 大会議室 16:00～17:00	特①	吉田 郁政	東京都市大学	情報の価値VoIを用いた最適観測点配置の考え方	—
	特②	森口 周二	東北大学	不確実性を考慮した個別要素法による落石危険度評価	—
	特③	西村 伸一	岡山大学	サウンディング試験結果の統計モデルと弾性波探査結果との合成	—
セッションB-1 2F 中会議室 13:00～14:20	9	牛渡 聡	(株)構研エンジニアリング	施工中の路面下空洞(開口亀裂)の対応事例	B型
	10	木村 隆行	(株)エイト日本技術開発	沖積砂礫層の地下水取水に関する残留塩分問題	A型
	11	藤沼 伸幸	新協地水(株) 技術部	東北地方太平洋沖地震によって発生した宅地地盤の滑動に伴う河川の変状事例	B型
	12	西川 力	中央開発(株) 関西支社	トンネル岩盤崩落現場における地質調査	B型
セッションB-2 2F 中会議室 14:30～15:50	13	川井田 実	中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社	NEXCOにおける土質・地質調査の考え方	D型
	14	野々山麻衣子	岐阜大学	岐阜県飛騨圏域を対象とした落石のリスク評価	D型
	15	橋尾 宣弘	(株)エイト日本技術開発	熱変質凝灰岩の切土後劣化による地すべり発生とその対策	B型
	16	常川 善弘	(株)相愛	維持管理におけるグラウンドアンカー施工のり面の地質リスク管理事例について	D型
特別セッション(2) 地質リスク学会 専門委員会活動報告 2F 中会議室 16:00～16:30	特④	黛 廣志	地質リスク学会 専門委員会 幹事	地質リスクマネジメント体系化委員会 活動報告	—

A型：地質リスクを回避した事例

B型：地質リスクが発現した事例

C型：発現した地質リスクを最小限に回避した事例

D型：上記のA型、B型、C型以外の事例

\*セッションの司会者について

- ・セッションA / 特別セッション(1) 渡邊 法美 (地質リスク学会 会長)
- ・セッションB / 特別セッション(2) 小笠原正継 (地質リスク学会 副会長)

\*事例研究発表会等の時間配分について

- ・2会場 (AとB) に分かれ、以下の時間帯で実施する。

13:00～14:20

14:30～15:50

16:00～17:00

- ・口頭発表時間は、1編当たり15分とする。

第Ⅱ編 第1部 全大会 特別講演

# [特別講演 テーマ：地質技術顧問制度を考える]

## 地質技術顧問の将来像と夢

地質リスク学会会長 渡邊法美  
高知工科大学マネジメント学部  
教授

### 1. はじめに

今後、財源が益々限られてくる中で、より効果的な建設事業を効率的に実施していくためには、地質技術顧問の職能が必要になってくると考えられる。本稿では、その将来像と、筆者が想う夢について述べさせて頂きたいと思う。

本稿の構成は以下の通りである。まず、第2節では、筆者が談合防止対策検討委員として関わらせて頂いた高知の談合問題で感じたことを述べる。日本の公共工事競争入札では、入札者を差別化することが困難である場合が少なくない。談合問題の解決には、入札・契約の過程の改善だけでは抜本的な解決策にならない危険性があることを述べる。第3節では、脱談合へのヒントとして、新しい発注者責任を定義し実践することを提案したい。第4節では、地質技術顧問とは、まさに新しい発注者責任を果たす職能であることを述べる。さらに、地質技術顧問創設の基盤となる事例研究の意義と、その実施母体として設立した地質リスク学会の意義を述べる。第5節は、私達地質リスク学会の夢である「地質技術顧問の建設事業の構想・計画段階への参画」について述べる。そのための一案を、筆者が日頃関わっている物部川の環境保全活動を通して考えたい。第6節では地質技術顧問への期待を改めて述べ、本稿の結びとしたい。

### 2. 高知の談合問題で感じたこと

筆者は、高知県土木部並びに国土交通省四国地方整備局の総合評価委員会の委員長を務めさせて頂いてきた。その中で、高知県の談合問題は発生した。独占禁止法違反企業数は44社、排除措

置命令が下されたのは37社、課徴金納付命令が下されたのは37社、課徴金総額は17億5548万円、7人の国土交通省工事事務所の歴代副所長が懲戒免職を受けた<sup>1)</sup>。課徴金の納付、さらには、指名停止措置は、県内の建設企業に大きな影響を与えている。このような状況になってしまったことは、痛恨の極みである。

問題発生後は、高知県談合防止対策検討委員会の委員を務めさせて頂いた。ここでは、当事者の一人として、本問題への感想を述べさせて頂きたい。地質技術顧問の意義と役割を考える上で、談合問題を考察することは大きな意味があるからである。

### 2.1 理想の入札・契約制度とは

図1は、筆者の考える公共工事の入札・契約制度設計の基本目標を示したものである<sup>2)</sup>。発注者にとって入札の目標は、経営の確実性に富む企業の中から、良質な工事を低廉な価格でタイムリーに確実に提供できる能力を持つ企業を選抜することにある。わが国の多くの企業にとって入札の第一の目標は、確実な受注を図ることにあつた。契約行為とは、企業は発注者が掲げる入札の目標を確実に達成することを約束し、発注者は企業にその対価を支払う約束を交わした後、相互の約束を果たす一連の行為と捉えることができる。したがって、理想の入札および契約制度とは、発注者は工事を実施する企業の能力の確実性と工事の確実性の循環を、企業は受注の確実性と経営の確実性の循環を実現できる制度であるといえる。それは、見込みの確実性と結果の確実性の循環を実現できる制度にほかならない。

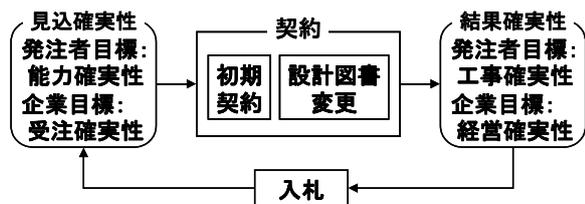


図1 理想の入札・契約制度

## 2.2. 日本の建設企業経営形態と公共工事競争入札との親和性

ただし筆者は、日本の建設企業の旧来の経営形態は、公共工事の競争入札と馴染みにくい一面があると考えてきた。図2と図3に米国と日本の公共工事入札の概要図を示す。同じ競争入札の形式を採っているが、その実態は大きく異なる。これらの違いは、a) 価格情報の流れ、b) 競争入札制度の規則、の2点に大きく集約されると考えられる。

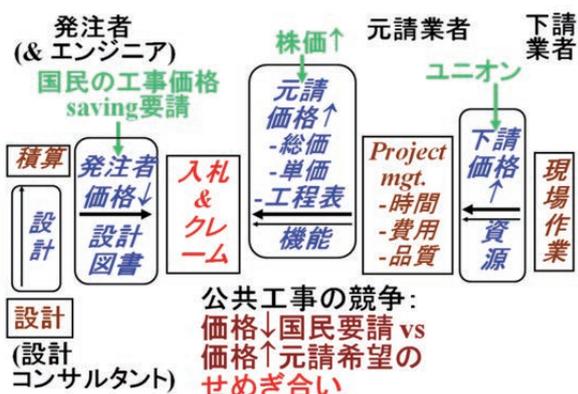


図2 米国公共工事競争入札の特徴

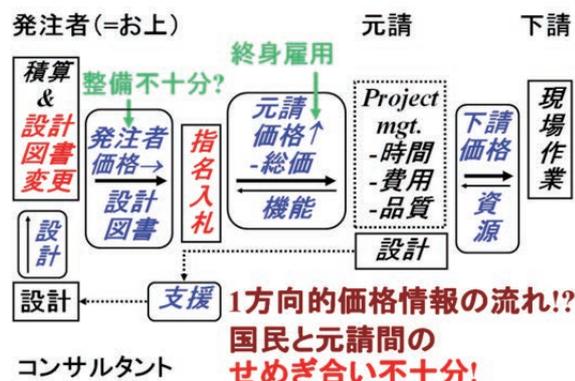


図3 日本公共工事競争入札の特徴

a)の価格情報の流れについては、米国の公共工事入札とは、税金を節減したいという公共発注者の要望と、一定水準の労働賃金と利潤を確保した

いという民間企業・労働者のせめぎ合いであるといえる。落札価格は、建前としては、両者がせめぎ合った均衡価格として位置付けることができる。

これに対して、日本の旧来の公共工事入札では、価格情報は基本的には、発注者から元請企業へ、さらには専門工事企業に「指値」の形で流れた。日本の建設労働市場は、基本的に売手市場であり、入札者の価格形成力が弱い。現在も多くの入札は、最低制限価格や調査基準価格の推定ゲームとなっている。この状況を見ると、現在も価格が一方向的に流れていることは否定できない。

b)の競争入札の規則については、米国の規則は「顧客要求を満足するために、必要人員体制で、現場生産性の向上により、目標利益を得る最低価格の競争」と定義できる。これに対して、日本の規則は「発注者から示された金額の範囲内で受注金額を確保し、現行の雇用・生産体制を維持しつつ、発注者の要求を満足する競争」と定義できると考えられる。

これらの特徴は、日本の公共工事の競争入札では、特に公共建設投資の縮小時、現行の雇用体制や関連企業の生産体制を維持するために、赤字受注を行う誘因が働きやすいこと、かつ、専門工事企業や労働者に様々なしわ寄せが行きやすいことを意味する。ここが、筆者が、日本の建設企業の旧来の経営形態が、公共工事競争入札と馴染みにくい一面がある、と考える部分である。

今回の談合事件発生後、高知県の建設企業経営者から、以下のお言葉を聴かせて頂いた。「(高知で) 第一次産業が盛んだった時代は、同産業従事者を季節労働者として雇用していた。これらの産業が衰退後、常用労働者として雇用するようになった<sup>3)</sup>。常用労働者への仕事を絶えず確保することが大変困難であること、さらに、それを達成するために大変なご努力を重ねられてきたことが滲み出ているようなお言葉であった。心の中で、今までのご努力に感謝せずにはいられなかった。

## 2.3. 総合評価方式の特徴

日本の建設企業の旧来の経営形態が競争入札と必ずしも親和性を持つとは限らない状況の中、総合評価方式は品質を確保する手段として導入されてきた。本節は、総合評価方式の特徴を整理する。

図4は、指名競争入札、一般競争入札、総合評価方式において、地元建設企業が担う主な技術を示した。筆者らは、指名競争の時代、発注者にと

って望ましい地元企業の一例として、①確実な施工（品質、安全、環境・住民配慮等）、②気が利く（住民に説明、不十分な設計を現場に適合させる等）、③誠実・安心（ごまかしたり、騙したりしない）、④何かあったら対応してくれる（災害対応、水路の清掃・簡単な補修等）企業を挙げ、こうした特徴を持つ企業を「正直者」と呼んだ<sup>4)</sup>。

ここで留意すべきは、指名時代の企業には、計画段階や調査・設計段階における技術提供、並びに、施工段階での設計補完業務や住民対応など、契約の中に含まれていない業務への技術的対応も求められていた点である。

長年地元で建設業を営んできた「老舗」にとって、きめ細かな合意形成支援や住民対応は困難ではなかった。発注者の方も体制が不十分な場合があることから、これらの契約外業務を必要とし、その実績を重要な指名基準の一つとして考慮してきた。



図4 指名競争入札，一般競争入札，総合評価方式で地元建設企業が担う主な技術

指名とはライフサイクルの全ての段階において、地元の「正直者」が実施する活動を総合的に評価・審査する行為であると解釈することができる。

一般競争入札で最も重要な評価項目は、言うまでもなく入札価格である。これは、コスト管理の事前目標値として位置づけることができる。

簡易型の総合評価方式において、最も重要な評価項目の一つは、品質管理手法等を記述する施工計画である。近年の総合評価では、住民対応の方法が問われる場合もある。このように、一般競争と総合評価方式において評価される項目は、指名競争入札で評価される項目の一部であるといえる。

## 2.4. 総合評価方式導入の効果と壁

総合評価方式導入の効果を表した結果の一つを図5に示す。グラフは、国土交通省で総合評価

方式が適用された工事の成績評定点の分布と経年変化を示したものである<sup>5)</sup>。

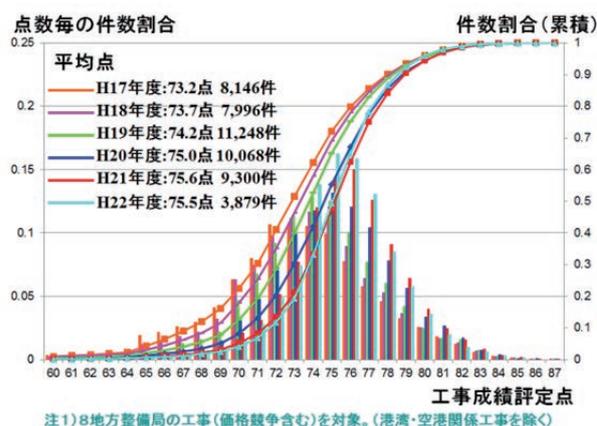


図5 工事成績評定点の分布と経年変化（参考文献5）に基づいて筆者作成

総合評価落札方式の導入・拡大に伴い工事成績評定点の平均点は高くなる傾向にあり、全体的な分布も工事成績評定点の高い方へ推移している。これは、総合評価方式の導入が、工事情質の向上に結びついていることを示唆している。

図5の結果は、日本企業の高い能力と学習能力によって生み出されたと思われる。図4で示したように、指名の時代、地元の正直者は、発注者から、総合評価で求められているよりも遥かに多くの技術的対応を求められていた。大手ゼネコンも、施工以外の技術的対応を行ってきた。日本の優れた施工企業にとって、施工計画や施工に焦点を当てた技術提案を行うことは、決して困難ではなかったように思う。

発注者は総合評価方式の改善を目指して、施工計画や技術提案の「問題」や評価方法を随時変更してきたが、建設企業も高い学習能力によって、この変化に対応してきた。

このことは、総合評価方式が一つの壁に直面していること、すなわち、入札企業の差別化が益々困難になってきていることを示唆していると考えられる。

昨年9月、米国ラスベガスで開催されたCOBRA（英国王立測量士協会全国大会）で基調講演をさせて頂く機会に恵まれた。図5を示して、「これは、日本の関係者のご努力の結晶である！ただし、多くの入札は最低制限価格や調査基準価格の推定ゲームとなっており、くじ引きで落札者が決まる場合も少なくない。」と紹介した<sup>6)</sup>。Best Value Approachを提唱し大きな成果を挙げ<sup>7)</sup>、かつこの学会の主催者である米国アリゾナ州立大学のKashiwagi教授から「Tsunemi, there is no

competition in Japan! (法美, 日本には (価格以外の) 競争がないじゃないか!)」とのコメントを頂いた。

確かに、総合評価方式であっても、価格競争に陥ってしまう場合が少なくない。上述のくじ引きは勿論、価格競争の一種である。技術提案や工事管理の工夫に関しては、発注者を満足させるために、過度の提案合戦が行われている。これも、「技術ダンピング」という価格競争に他ならない。残念ながら、Kashiwagi 教授のご指摘は日本の問題の一端を的確に付いたものであると言わざるを得ない。その瞬間、肺腑をえぐられたように感じた。

筆者は、国土交通省四国地方整備局と高知県土木部の総合評価委員会の委員長の立場から、何とかして、技術ダンピング問題の解決し、技術者・技能者・労働者の給与・賃金低下に歯止めをかけたいと思い、そのための方法を公共発注者や他の委員の皆様と検討してきた。

しかし、これまでの入札・契約方式では、各企業が「受注の見込みの確実性」を確保することが相当困難な場合が少なくなかったのではないかと。誤解を恐れずに申し上げれば、筆者には、「受注の見込みの確実性」を確保するために、関係者がやむにやまれず談合実施に参画または関与してしまった一面があるように思えてならないのである。

現在、建設企業の財務リスク・債務不履行リスクが全般的に高まっている。このような状況では、約束手形の使用を排除するために、出来高部分払制度の導入が不可欠<sup>8)</sup>であると考えられる。

ただし、筆者の推測に正しい一面があるならば、入札・契約の過程を改善しても、抜本的な解決策とはならない危険性がある。

### 3. 脱談合へのヒント

#### 3.1 付加価値の高い事業の創出を

このような中で、別の高知県の建設企業経営者から、「従業員の賃金を上げてやりたくても上げられないのが現状。この状況があと10年も続けば、技術者だけでなく一般労働者の確保も難しくなる<sup>9)</sup>。」とのお言葉を伺った。このお言葉からは、入札競争の激烈さを痛感した。日本の建設企業のマネジメント力、並びに学習能力は、世界一高いように思われる。その日本企業の優秀さが、自分自身を苦しめている。このお言葉も、筆者の胸に突き刺さった。

しかし、嘆いてばかりいるのではなく、何故、

このような状況が生まれているのかを考える必要がある。その理由を、元に辿っていくと、「賃金抑制→利益不十分→付加価値不十分」という一つの流れがあるように思われた。事業の付加価値が低いこと、或いは、四国民、県民、住民が幸せを実感しにくくなっている事業が増えていることが、建設業従事者の給与・賃金を抑制し、さらには、入札企業の差別化を困難にしているのではないだろうか。

これまで地道な研鑽を積んできた企業であれば、どの企業でも問題なく施工できる案件が多くなっている。これは、確かに日本企業の優秀さを示している。同時に、これは、人々の心の豊かさの向上に必ずしも直結しない事業が少なくないことを示唆しているのではないだろうか。さらにこのことが、若者が建設業に入っても生きがいを感じられないことの根源的一因になっているように思われるのである。

#### 3.2 香宗川「復活事業」の総合評価は

そのような中で、筆者が地元で関わらせて頂いている川づくりのことが浮かんできた。「物部川21世紀の森と水の会」代表の岩神篤彦氏の「なべちゃん、わしは、香宗川を復活させたいんやけど」とのお言葉である。

香宗川は山北地域を源流とし香南市赤岡町に注ぐ二級河川である。中流と上流は自然の原風景とも言うべき手つかずの自然が残っている。筆者の知り合いの一人は、実家がまさに香宗川の上流にある。彼のお母様は、おやつとして、地えびの天ぷらを作ってくれるそうなのである。香宗川の中流と上流には、それほど豊かな自然に溢れている。下流域は、三面張りのコンクリートによって堤防が整備されている。この堤防を、治水・耐震の機能を維持しながら、生き物にとって優しい空間に作り替えたい！—これが岩神氏の夢である。

そのような事業の設計と施工を総合評価方式で実施した場合、元「川ガキ」たちの思い・経験・知恵に溢れた提案になることが期待できないだろうか。この時、入札者の提案には明確な優劣が付く可能性がある。入札者の提案力に明確な差異があることが入札候補者の間で認識されている場合、高い提案力を持つ企業は自身が本来持つ価格力に基づく金額で応札できる。

さらに、この事業が実現した暁には、様々な生き物が川と海を行き来し、川が子供たちにとっての遊びと学びの場となることが期待される。そのような効果が生まれる事業に参画できることは、

技術者の生きがいの創出にもつながるのではないだろうか。

### 3.3 新しい発注者責任の創出を

脱談合への根本的一案は、発注者が、付加価値が高く、国民、県民、住民の幸せに直結する事業の立案と実施にあることを主張したい。平成11年に発表された「発注者責任懇談会中間取りまとめ」では、発注者責任は、「公正さを確保しつつ良質なモノを低廉な価格でタイムリーに調達し提供する」責任と定義された<sup>10)</sup>。この責任では、「何を提供するか」は自明の問いとして、それを「どう提供するか」に焦点が置かれた。今後の発注者責任では、何を提供するかが問われなければならないと考えられる。例えば、「人々の幸せ実現に資する事業を、公正さを確保しつつ良質なモノを低廉な価格でタイムリーに調達し提供する責任」等と更新される必要があると考えられる。

そのためには、発注者側が、新しい幸せの実現に資する事業を立案し、事業の一部を調達する際、応札者からの提案を的確に評価できる能力を有している必要がある。

談合問題、低賃金、やりがいの喪失等の問題の根本的解決方法の一つは、新しい発注者責任の定義と実践にあると考えられる。

## 4. 地質技術顧問とは

### 4.1 地質技術顧問とは

地質技術顧問の役割は、発注者の立場に立って、地質リスクマネジメントに関して適切な助言を行うことによって、事業の利害関係者が望んでいる価値を提供することにある。まさに、新しい発注者責任の遂行にあると言えるのである。

### 4.2 地質リスク学会と事例研究

そのためには、地質リスクを計量化し、地質リスクマネジメントプロセスを開発することにある。地質リスク学会は、地質リスクの計量化、地質リスクマネジメントプロセスの開発、地質技術顧問制度の導入を目的として、平成22年度に設立された<sup>11)</sup>。

これら3つの目的を達成するために、学会が最も力を入れている活動が、地質リスクマネジメントの事例研究である。これは、地質リスクマネジメントに関する事例を

A型：適切なマネジメント行為によって、地質リスクの顕在化を低減した事例

B型：不運にも地質リスクが顕在化した事例

C型：途中で適切な対策を採ることによって、地質リスクの顕在化に伴う損害を最小化した事例

D型：その他の種類の事例

に分類し、地質リスクマネジメントの効果・価値を金額に換算して求めようとする試みである。学会は事例研究発表会を2010年から毎年1回行ってきた。

本学会の事例研究は、自分自身が分析・執筆をして終了するのではない。大部分の場合、発注者の方々の協力を得ることなくして、原稿を提出し発表することが出来ない。筆者は学会長の立場から、B型やC型は、リスクマネジメントの「失敗」ではないことを重ねて強調してきた。しかし、特に、B型やC型の事例は、「失敗事例」として捉えられる可能性がある。その公表が難しいことも十分に理解できる。

にもかかわらず、多くのB型C型の研究が実施され、A型とD型を併せると3年間で60件の事例が分析・発表された。発表して頂いた事例研究は、どの研究も筆者の心に残るものであった。全ての事例研究を挙げることは紙面の制約上できないが、一例としては、①ご自身が過去に行ったマネジメント業務を振り返り、その業務の改善方法を提案した研究、②地質リスクが適切にマネジメントされない場合の損失として、観光地の営業損失の試算に取り組んだ事例、③不適切な地質リスクマネジメントとして、過大設計の実施が大きな問題であることを指摘し、その損失額を試算した事例、④施工時の地質リスクマネジメントの効果が維持管理時に発現することを指摘し、その効果を試算した事例、等があげられる。いずれの研究も、著者の皆様ご自身が、地質リスクマネジメントの価値を発見し、計量化するという困難な調査研究活動に取り組んで頂いた。

各事例研究は、汗と涙の結晶と言っても過言ではない。皆さまの真摯なご努力と勇気に、心から感謝申し上げる次第である。

事例研究の成果を実践に展開するために、学会は2012年の4月から、①地質技術顧問制度、②地質リスクマネジメント体系化、③地質リスクマネジメントガイドライン、④事例研究・データベース、に関する四つの委員会を立ち上げた。事例研究のひとつひとつに感謝申し上げながら、新しい地質リスクマネジメントの地平線を全力で切り拓いていきたい。

### 4.3 事例研究の意義(1)

事例研究の意義は、事例の分析者・発表者が、発注者の目線で、地質リスクマネジメントの価値を意識し、計量化する点にある。学会は、発注者との共同執筆を推奨してきた。それは、「分析者・発表者が、民間の地質調査業者の場合は、「業者」とは異なる「人格」を持って分析して欲しい。そのことが、新しい発注者責任の創出につながる。」と考えているからである。

#### 4.4 事例研究への不安

事例研究を進める内に良く聞かれる声がある。それは、「地質技術者が犯すエラーと、地質リスクとの境界が曖昧である。」という指摘である。「分析の対象とされているのは、リスクでは無い。それは技術者個人のエラーではないか。」と評価されることが怖いという不安である。

#### 4.5 事例研究の意義(2)

新しい発注者責任は、新しい「公」を切り拓いてゆくものである。地質技術顧問は新しい発注者責任を果たすために必要な新しい職能であり、事例研究はそのための分析基盤となるものであることを、改めて強調したい。

ここでは、「活私開公」という概念を大事にしたい<sup>12)</sup>。地質リスクマネジメントを行う際に、様々な悩み、不安、変革への思い、そして、それらを解決するための技術を持っている「私」がいる。それらの「私的な」悩み、不安、思いを「みんなの」悩み、不安、思いとし、解決方法の案を提示し、共有していくこと。その際、この提示・共有活動は、自発的な思いの発露となっていることが重要である。新しい公は、前例がある訳ではない。誰かが決めてくれるものでもない。各自の信念に基づいて、私の思いを共有し、公を開いて行って欲しいと思うのである。

#### 4.6 地質リスク学会の意義

地質リスク学会は「公私共媒」—私の課題・思いとみんなの課題・思いをつなぐ「共」の役割を果たしたい<sup>12)</sup>。共が無ければ、「減私奉公」か「減公奉私」の公と私の対立に陥らざるを得ない。今までの実務では、「減私奉公」—こうした方がよいのではないかと私の思いがあっても、自分の周囲、予定されていた業務予算や業務期間の制約、自分や他の組織の構成員の意向に従わざるを得ない場合も少なくないと考えられる。また、私の思いを通そうとすれば減公奉私となり、自分の組織の内外から「浮いた存在」になってしまう。学

会はそのような私の思いから新しい公を開き、開かれた公を別の技術者である私に返すことによって、公と私を相互につなぐ役割を果たしたい。

### 5. 地質技術顧問に関する夢—事業の構想・計画段階から参画する方法について

#### 5.1 構想・計画段階参画への夢と現実

次に、筆者の地質技術顧問への夢を述べたい。

図7は地質リスクのプロセスマネジメントのイメージを表す<sup>13)</sup>。地質技術顧問に関する私たちの究極の夢は、地質技術顧問が事業の構想段階から参画し、事業価値をさらに向上させることにある。多くの発注者はこの必要性を理解してくれる。しかし、いざ実施となると、難色を示す方が少なくない。それは、「構想・計画の過程を公にして行くと、当該地域の地価が異常に上昇する可能性があるから」というのである。発注者のこの悩みは良く理解できる。筆者が発注者の立場であっても、同様な不安を持つように思う。

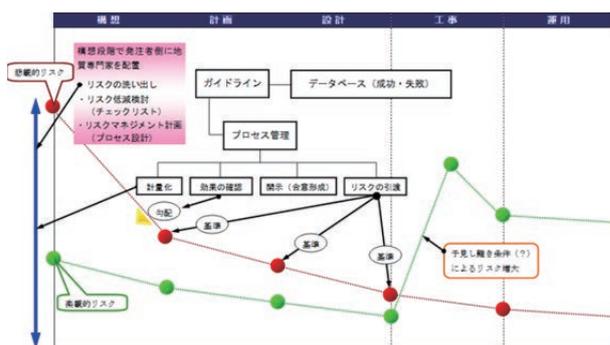


図7 地質リスクプロセスマネジメントのイメージ<sup>13)</sup>

社会資本整備事業の実施では、公共発注者以外の一部の主体は、私益を最優先する減公奉私の立場を採ることが想定されている。このような状況では、地質技術顧問が構想・計画段階に参画することは容易ではない。

このジレンマを克服するための一案は、地質技術顧問が他の主体とともに「新しい公」を創出すること—例えば、地元市民団体や産業界等との協働によって、地域ビジョンを策定し、私の思いを活かしていくことにあるように思う。筆者はそれを地元物部川の環境保全活動で実感している。

#### 5.2 物部川の事例

物部川は高知県中部を流れる全長71kmの一级河川である。河川の水は、標高1770mの白髪山から一気に流れ下るため、昔からアユが湧き立つ

川として知られてきた。

ただし、物部川をマネジメントすることは極めて困難であった。第一に中流域の土佐山田町は高台にあるため、江戸時代は、絶えざる干ばつ、水不足に悩まされてきた<sup>14)</sup>。また、暴れ川であるため洪水被害にも悩まされてきた。また、戦後の経済成長期には、電力不足に悩まされてきた。こうした問題を解決するために、物部川総合開発計画が策定され、県営のダム三基が建設・運用され、複数の堰が合同堰と統合堰に集約され、構造改善事業が進むことによって、水不足・電力不足が解消されていった。また、国土交通省と高知県との連携によって治水に対する懸命の努力が進められている。

これらの事業によって、水不足・電力不足・洪水不安が大きく低減したことは喜ばしいことである。ただし、これらの事業の副作用によって、本来、物部川が本来持っていた豊かさが徐々に失われてきたことは否定できない。そこで、物部川21世紀の森と水の会が中心となって、「天然アユが湧き立つ川」を物部川再生のためのスローガンとして、保全のための様々な活動を行ってきた。それまでの活動は、物部川清流保全計画の案としてまとめられた。同案は、高知県によってその大部分が承認され、その実現方法を検討するための物部川清流保全推進協議会の設立・運営へと発展している。

### 5.3 今後の課題と地質技術顧問の役割

今後の最大の課題の一つは、流域構成員が流域ビジョンの必要性を認識し（再）構築すること、そのビジョンを達成するために、自身が果たすべきミッション（使命）を定義し実行していくことにあると思われる。以下に、流域組織・団体の活動を「ミッション」の形で整理したものを示す。

#### <流域ビジョンの試案>

- ・天然アユが湧き立つ川

#### <流域主体の「ミッション」の一例>

- ・市民（物部川21世紀の森と水の会等）：物部川清流保全計画案の策定、環境学習の実施
- ・市民（三嶺を守るみんなの会）：シカ食害マネジメント（調査・計画・対策実施）
- ・行政（県）：物部川清流保全計画の策定、物部川清流保全推進協議会の創設
- ・行政（国土交通省）：物部川水系整備基本方針・物部川水系河川整備計画策定と事業実施
- ・行政（四国森林管理局）：流域森林整備計画

#### 立案・事業実施

- ・行政（流域三市）：市民団体活動支援
- ・企業：上流域森林組合（物部森林組合・香美森林組合）による森林整備

岩本は、現代の軍隊のマネジメントでは、「夢のあるビジョンが掲げられ、その実現のためのステップがミッションとして明確に設定されており、リーダーが、ビジョンの浸透・共有とミッションの達成のために適切なリーダーシップを発揮している」ことを紹介している。その理由は、「そのほうが死ぬ確率が少ないから」と説明されている<sup>15)</sup>。

このマネジメント方式は、危機的状況にある、もしくは、それが懸念される組織だけでなく、同様の状態にある地域にも適用を検討すべきであると思われる。

物部川流域も、他の地域と同様に、住民の高齢化が進み、特に上流部では過疎化が懸念されている。また、TPP交渉結果が与える流域農業への影響も予断を許さない。

今こそ、夢のある流域ビジョンを策定し、その実現に向けて、各主体が自身のミッションを定義し果たしていく時を迎えていると思われる。

### 5.4 地質技術者の役割と構想・計画段階への参画

ここで、地質技術者には重要な役割を果たして頂きたい。

まず、地質技術者には私たちの悩みを共有し、共に流域ビジョンを創って頂きたいのである。私たちは自身の活動に対して絶えず自問している。「仏像構造線が走り、脆弱な地質を持つ物部川流域は、そもそも大規模な土砂崩壊が発生しやすいのではないか。ダム上流域に大量の土砂が堆積し、さらにシカの食害の影響がさらに大きくなっている状況では、長期濁水を回避することは困難である。もしそうであるならば「天然アユが湧き立つ川」という流域ビジョンの試案は、所詮「絵に描いた餅」に過ぎないのではないか。」との疑問である。

この疑問に答えるために、地質技術者には流域の地質状況を正確に把握し、各対策の有効性と効率性を評価した上で、夢のある、しかし荒唐無稽ではない流域ビジョンを私たちとともに構築して欲しい。

流域ビジョンの策定後、これを実現するために各種建設事業の執行が求められる。その時、ビジョン策定に貢献した地質技術者が、各事業の構

想・計画段階から地質技術顧問として参画する一そのようなビジネスモデルを早急に創出したい。

このような意欲的な地質技術者が所属する組織の経営者の方々には、是非ともこの技術者の行動を温かく見守り、応援して頂きたい。道は遠く感じられるかもしれないが、この過程が、図7の理想の地質リスクマネジメントプロセスを実現するための「王道」であるように思われる。

## 6. おわりに

物部川流域のビジョンを描き、実現しようとする時、Tera (大気), Geo (土), Eco (生物) の高度な知識が不可欠であることを痛感している。地質技術顧問は、Geo の専門家として大きな役割を果たすことを期待したい。

筆者は以前、専門紙でのインタビューで自分の思いを以下のように紹介して頂いたことがある<sup>16)</sup>。

「昔は日本にも伝説の地質技術者という人がいた。高い木になるには、広く、深く、根を張らなければならない。そういう土壌があれば、少数だがスーパースターは育つだろうし、育たないといけない。幅の広い、深みのある事例研究に基づきスーパー技術顧問が育てば、その人はスーパースターになる。実際の事例に基づき、地質リスクを分析しようとしているのは、世界でもここだけしかないと思う。建設工事における地質リスクをどうマネジメントするかという視点は、USGS (米国地質調査所) にもない。」

地質リスクマネジメントの事例研究は、世界のオンリーワンの研究である。本事例研究が地質技術顧問のスーパースターを目指す若手技術者に貴重な教訓を残すものとなるよう、今後とも努力していきたい。

## 謝辞

本稿は、多くの方々からのご指導・ご助言・ご示唆に基づいて執筆させて頂きました。心からお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 「特別リポート 高知官製談合」, 日経コンストラクション, 2013. 5. 13, pp.54-61
- 2) 渡邊法美, 「リスクマネジメントの視点から見たわが国の公共工事入札・契約方式の特性分析と改革に関する一考察」, 土木学会論文集 F, Vol. 62, No. 4, 684-703, 2006. 12
- 3) 高知の新たな公共工事システムに関するシ

ンポジウム 高知工科大学寄付講座: 新たな公共事業執行システムに関する調査研究研究成果報告会でのご意見, 高知市文化プラザカルポート, 2013.5.23

- 4) 渡邊法美, 二宮仁志, 青山喜代志, 野中正明, 「わが国の地方公共工事における技術調達に関する一考察」, 土木学会建設マネジメント研究論文集, Vol. 15, pp.355-370, 2008.12
- 5) 総合評価落札方式の効果検証①工事成績評定点の分布と経年変化 平成 23 年 9 月 26 日 総合評価方式の活用・改善等による品質確保に関する懇談会 資料 3 国土交通省 [http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryousougou\\_hinkakukon/04%20siryou3.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryousougou_hinkakukon/04%20siryou3.pdf)
- 6) Tsunemi WATANABE, Kazumasa OZAWA, Nozomu MORI, Kenji KINOSHITA, "Increasing Performance in the Japanese Construction Industry," Journal for the Advancement of Performance Information & Value, Volume 4, Issue 2, December 2012.
- 7) Dean Kashiwagi, 「A Revolutionary Approach to Project and Risk Management」, Kashiwagi Solution Model, 2010
- 8) 高知の新たな公共工事システムに関するシンポジウム 平成 24 年度 安定成長・高齢化・人口減少時代における新たな公共事業執行システムに関する調査研究業務 (寄付講座) 報告書, 公立大学法人 高知工科大学 一般社団法人 四国クリエイティブ協会, 2013.5.23
- 9) 「こうち 現場から 3 公共事業」朝日新聞 高知版 2013 年 6 月 28 日
- 10) 社団法人 全日本建設技術協会「発注者責任懇談会 中間取りまとめ」, 1999
- 11) 地質リスク学会ホームページ <http://www.georisk.jp/>
- 12) 金泰昌, 佐々木毅, 「中間集団が開く公共性」, 公共哲学 7, 東京大学出版会, 2002
- 13) 地質リスク学会, 全国地質調査業連合会 (全地連) 編集, 「地質リスクマネジメント入門」, オーム社, 2010.4
- 14) 土佐山田町教育委員会, 「土佐山田町史」, 1979
- 15) 岩本仁, 「英国海兵隊に学ぶ最強組織のつくり方」, かんき出版, 2012
- 16) 「日本からスーパースター輩出」, インタビュー, 建設通信新聞, 2012 年 7 月 31 日

# 地質技術顧問制度の実現に向けて

岐阜大学工学部社会基盤工学科 原 隆史

## 1. はじめに

「適切な地質調査による建設/維持管理コストの縮減」は、全国地質調査業協会連合会（以下、全地連）が予めから言い続けてきたことであり、地質リスク学会が目指している大命題でもある。しかしながら、ここで言わんとする事は容に想定でき、実現したら素晴らしいと誰もが思うことであっても、いざ取組もうとすると非常に難しい。これは、現在、地質調査の基本的な計画は発注者が行い、「この斜面は危なそうだし、崩れたら大変なことになるのでもっと調査しよう」といったリスクへの想いは誰もが抱いても、多くの場合にはここでのリスクは暗に考慮され、地質の不確実性や危険な事象の可能性、およびその事象が生起した場合の被害損失から、リスクを陽な形で取扱って来なかった、あるいはその手法が確立していなかったことに起因する。そこで地質リスク学会では、リスクの計量化とともに、これまで発注者が暗に考慮してきたリスクの概念を陽な形として体系化し、建設/維持管理のコスト縮減の観点から「目に見える適切な地質調査」の実現に向けて検討している。

本文では、地質リスク学会の取組について述べるとともに、計量化が可能、あるいは困難な地質リスクの観点より現状の課題と地質技術顧問の必要性に言及し、さらには今後地質技術顧問制度の実現に向けた一つの形を提案させていただく。

## 2. 地質リスク学会の取組み

地質リスク学会では、現在、表-1 に示す 4 つの専門委員会を設置し、適切な地質調査の実現について検討している。

ここで、まず地質リスクマネジメントの具体的運用の確立において、体系化委員会とは、現在発注者が地質調査の計画にあたり、暗に考えているリスクに基づいた判断を陽な形で表現することを検討している。これにより、適切な地質調査の実現にあたり、何を・どのように・どんな手順で検討していけばいいのかが個人差なく明らかとなり、合理的な地質リスクマネジメントのあり方が見えてくるものと期待している。次にガイドライン研究委員会では、現在までに実施されている事業においても、地質リスクを計量化し最適化できる事例は多いと考えられ、この際の手法を示し将来的なリスクの計量化にあたってのガイドラインを検討している。これにより、多くの技術者がリスクマネジメントを身近なものとして感じる事ができると期待している。また、事例研究委員会では、千差万別な現場と困難な判断を迫られることの多い実事例の観点から、地質リスクマネジメントの体系やリスクの定量化について、その実現性の検証とこれに伴う改善点の提案から、理想的な事例を検討している。ここでの成果により「適切な地質調査」を具体的に示すことができると期待している。このような検討により、地質リスクマネジメントの具体的な運用方法が確立できるものと考えている。

しかしながら、ここでの検討を進める中においても、地質の不確実性や現場の危険性の判断では地域性と経験が不可欠であること、例えば自然斜面やその切土の安定などにおいて、特に危険な事象の生起の観点からリスクの計量化が困難な場合も多く、数学的な取組のみでは対応

できないことが基本的な課題として改めて浮き彫りとされている。すなわち、地質リスク学会が設立当初からその創設を望んできた「地域性と経験を備えたアドバイザー」の必要性が改めて確認された。地質技術顧問制度検討委員会では、このような基本的な課題の解決策としての地質技術顧問制度の創設と運用について検討している。

表-1 専門委員会とその概要

専門委員会名	概要
地質調査アドバイザーサービスの確立	
① 地質技術顧問制度検討委員会	地質技術顧問制度の創設と運用の定着化を検討
地質リスクマネジメントの具体的運用の確立	
② 体系化委員会	地質リスクマネジメントの形と手順を明らかにし、適切な地質調査のあり方を検討
③ ガイドライン研究委員会	リスクの計量化手法を検討
④ 事例研究委員会	②と③の成果を実事例から検証し改善点を提案

### 3. 地質技術顧問の必要性

#### 3.1 計量化が可能/困難な地質リスク

地質リスクを議論する場合、リスクの計量化が可能な場合と困難な場合とに大きく分類され、それぞれに対応が大きく異なる。ここでは、それぞれの場合について概説するとともに、地質調査における地域性と経験の重要性を述べる。

##### (1) 計量化が可能な地質リスク

計量化が可能な地質リスクでは、比較的簡易にマネジメントに適用することができる。

例えば杭基礎を計画する場合、対象となる不確実性を影響の大きい順に表-2 に示すが、①については例えば N 値から設計しているものはより詳細な試験を行えば、②については載荷試験を実施すれば不確実性は低減し、設計で求められる同等以上の安全性を満足し、杭長を短くしたり径を小さくしたりといったことが可能となる。ここでは、追加調査の費用と杭のコスト低減の観点から数学的に適切な地質調査を検討することができる。道路橋示方書の次期改定にあたり、この点を踏まえた検討が現在実施されている。

表-2 杭基礎の設計に影響を及ぼす不確実性

不確実性	寄与度
① 調査結果から設計定数を推定する換算誤差 (N 値から $E_0$ など)	大
② 支持力などを算出する際の設計式の再現性 (支持力式と載荷試験結果など)	大 or 中
③ 調査結果のばらつき (深さ方向の N 値のばらつきなど)	一般に小

また、河川堤防や水路、道路盛土などの線状構造物で既存ボーリングが存在する場合には、調査間隔と隣り合う調査結果より調査していない区間の不確実性は数学的に推定することができ、これに伴う潜在的な危険性も推定することが可能である。すなわち、潜在的な危険性が大きな所に追加ボーリングを実施すれば、危険性を低減することもできることとなり、この場合、危険な事象が発生した場合の被害損失を考え合わせてリスクとすれば、追加ボーリング費用とリスク低減量との比較から数学的に適切な地質調査を検討することができる。このことは、対策を計画する場合にも同様に適用することができる。

以上、計量化が可能な地質リスクでは、比較的容易にマネジメントに適用することができ、数学的に適切な地質調査を検討することが可能である。しかしながら、この場合においても、地域に精通し経験豊かな技術顧問がいる場合には、さらに効率的なリスク低減が可能なことは容易に想像することができる。

## (2) 計量化が困難な地質リスク

計量化が可能な地質リスクと比較して、計量化が困難な場合にはマネジメントへの適用も困難なものとなる。これは、現場に潜む危険性にどの程度の知識を有するかで、結果が大きく異なるためである。

表-3 これまでの収集事例の区分

タイプ	内 容	事例件数
A	適切な対応によりリスクの顕在化を回避した事例	22
B	地質リスクが顕在化した事例	7
C	地質リスクが顕在化した但、適切な対応により被害を最小に留めた事例	14
D	その他の事例	17
	合 計	60

例えば、表-3 はこれまでの3年間で収集した事例のタイプ別の件数を示すが、タイプ B と C はいずれもリスクが顕在化した事例である。これらの多くは、潜在的な地すべり面や断層の存在といった現場に潜む危険性を知らず、調査をせずに標準勾配で切土して斜面が崩壊したり、調査が不十分なまま構造物を施工して構造物の位置を変更したりしたものなどである。もちろん、標準勾配で切土した斜面が全て危険というわけではない。むしろ、それで安定している斜面の方が断然多く、これはほんの一部の不幸な斜面に過ぎない。また、調査をしたからといって、これらのリスクが顕在化しないかという点でもそうではない。危険な事象が顕在化する可能性は決してゼロとなることはなく、たとえ A の事例で幸いにも回避できたのだとしても、現場には何がしかの危険性は潜んでいる。同時に A の事例で対応しなかったからといって 100%リスクが顕在化したかという点でもそうでもない。しかしながら、これらリスクが顕在化した現場において、地域性に優れ経験豊かな地質技術者がアドバイスをしていたらどうだったかと考えてしまう。地質技術者は、担当する地域の山をどれだけ歩いたか、どれだけ同じような計画に携わったかで大きく異るといった話をよく聞く。例えばそのような技術者が対岸の斜

面を指さし、地すべりの後などとともに斜面の類似性を説明して潜在的な危険性を指摘していたとしたら、結果は変わっていた可能性はないとはいえないと考える。

計量化が困難な地質リスクの場合、特に地質の不確実性やこれに伴う危険性評価という観点で、技術者に依存するところがマネジメントへの適用を困難にしている大きな要因である。

### 3. 2 現状の課題と地質技術顧問の必要性

地域に精通し経験豊富な地質技術者は、特に計量化が困難な地質リスクにおいて、危険性評価と適切な地質調査に基づくマネジメントという観点で極めて重要な役割を担うことを述べた。これに対し、現在の発注体系におけるこのような技術者の活用は、決して十分とは言えない状況にあると考える。

例えば、図-1 にリスクの計量化が困難な場合と可能な場合におけるリスク管理システムを構築するまでの一つの過程を示す。ここで、リスクの計量化が可能な場合では、地質・地盤、調査・試験、パラメータ設定、設計モデル、施工材料等の不確実性から、数学的に比較的容易に定量的なリスク管理システムを構築することが可能である。これに対し、リスクの計量化が困難な場合では、地質・地盤の不確実性とこれに伴う危険性の評価にあたり、先に述べたとおり評価する技術者の地域性や経験により結果が異なることがあるため、「誰が評価するか」が大きな問題となる。すなわち、人選が課題であり、リスク評価に「人選リスク」が大きな要素として加わることになる。また、コミュニケーションのリスクとは、調査時点のリスクを適切に設計や施工段階へ伝え、設計の内容や施工方法に対し総合的にアドバイスすることが重要だが、これができない場合のリスクである。具体的には、調査時点のリスクは設計や施工段階まで残存し、設計時点での斜面勾配や構造形式などによって、あるいは施工方法によってはリスクが発現する可能性が高くなることもあるため、調査段階のリスクを伝えるとともに設計/施工への適切なアドバイスは非常に重要となる。この際にも「誰が行うか」といったことが課題となる。

「誰が行うか」ということを考えた場合、インハウスエンジニアの不足とともに、部所を含めた定期的な移動を伴う発注者側技術者へ地域性や経験を求めることは、不可能ではないにしろ非常に困難なことであると考え。この点から、地域性と経験およびこれらに基づく知識を有する民間地質技術者から選出する「地質技術顧問の創設」は、今後地質リスクをマネジメントしていく上で欠かせない存在であると考え。

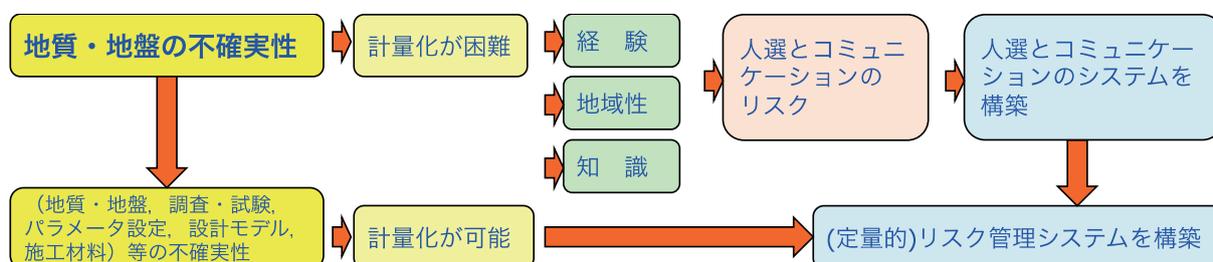


図-1 リスク管理システムを構築する一つの過程

#### 4. 地質技術顧問制度の実現に向けた一つの提案

ここでは、地質技術顧問制度の実現に向けた個人的な理想像の一つを述べさせていただく。一部の方には夢物語と思われるかもしれないが、あながちそうではないことを最初にお伝えしたい。実は私も、最近まで「民間地質技術者から選出する地質技術顧問の創設」は非常に困難だと考えていた。それは、地質技術顧問となった場合に、肝心の調査やコンサルタント業務を受注できないのではないか、そうであれば地域性と経験を備えた優秀な技術者であればあるほど、その技術者を抱える企業として当該制度への参画が敬遠されると考えたためである。事実、近年に当該制度と類似したアドバイザリサービスが、優秀な技術者に対し1〜2週間程度の人件費のみで発注され、文字通りサービスのみが行われた事例もあったためである。しかしながら、国交省の方にお話を伺った際、発注制度として調査やコンサルタントを含めた地質技術顧問制度は不可能ではないとの意見をいただくことができた。そうであるならば可能性は広がり、色々な形も考えることができ、ここで紹介するのはその一つである。したがって、ここでの提案は、具体的な実現性は現在のところなく、あくまでも個人的に描いた形ではあるが、今後の一つの形として決して不可能なものではないという観点で考えていただければ幸甚である。

ここで考えた地質技術顧問制度の一つの形を図-2に示す。

地質技術顧問は、あくまで技術者個人に対するプロポーザルで選定される。その技術者が対象プロジェクト現場の地質をどれだけ知っているか、類似プロジェクトでの経験、さらにはプロジェクトにおける危険性と安全性の両面を適切に説明できるかなどで判断されるべきであり、ヒアリングではその点を大いに語っていただく。そうすることで、自信のある技術者とそうでない者、経験豊かな技術者とマニュアルでしか話せない者などは、明らかに差別化できると考える。ここで、技術顧問は個人が評価されるが、調査やリスクに係るコンサルタントは技術顧問が所属する会社が随契などで実施するものとする。この点は、先にも述べた企業の当該制度への参画という観点で重要である。すなわち、優秀な技術者を有する企業が報われることとなる。一部には反論もあるだろうが、考えてみれば自然な形であり、そこからまた優秀な技術者が育つのだとすれば、やはり望ましい形なのだと考える。

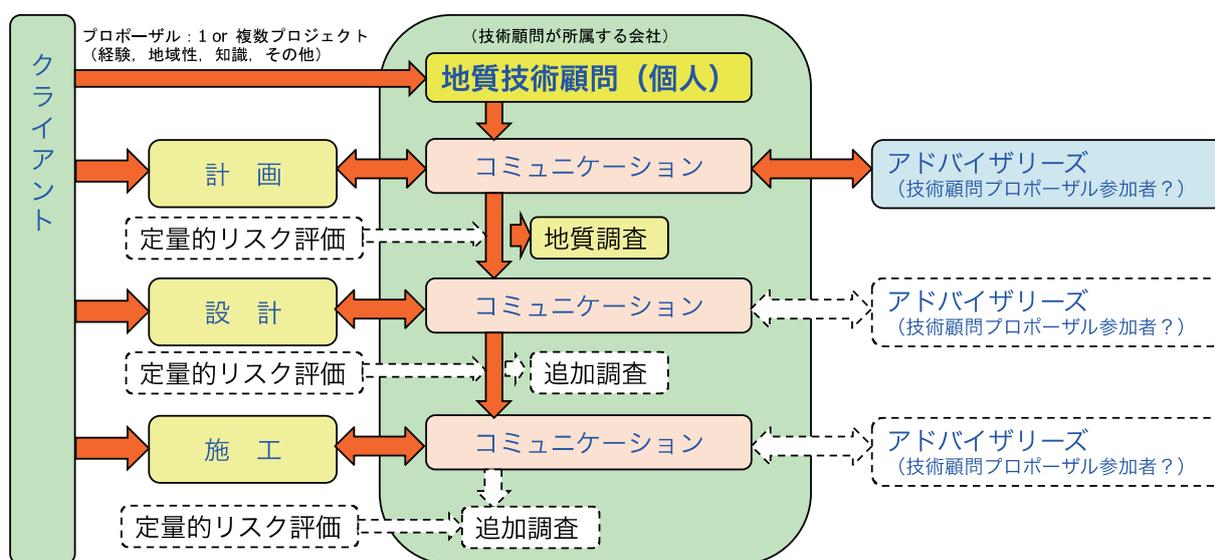


図-2 技術顧問制度の一つの形

次にコミュニケーションについては、地質技術顧問がプロジェクトを通じて調査ばかりではなく、設計・施工に対しても適切なリスクについてのアドバイスを行う。ここで重要なのはアドバイザーの存在で、地質技術顧問が地域性と経験に優れていても同様な技術者と議論して進めることだと考えている。アドバイザーには、プロポーザル参画の時の合意のもとに、プロポーザル参加者が任命されるのがよいと考える。すなわち、その地域とプロジェクトに詳しいと自負する技術者たちが議論しつつ、プロジェクト全体に係わることは理想的な形ではないだろうか。

以上、特に計量化が困難なリスクに立ち向かう場合には、地域性と経験に秀でた技術者の存在が不可欠であり、真に優れた技術者の力を得るためにはその技術者もまた優遇されるべきであり、その結果として合理的なプロジェクトが実現するのが理想であろうといった想いで一つの形を提案した。

## 5. おわりに

本稿では、地質リスク学会の取組について述べるとともに、計量化が可能、あるいは困難な地質リスクの観点より現状の課題と地質技術顧問の必要性に言及し、さらには今後地質技術顧問制度の実現に向けた一つの形を提案させていただいた。特に最後の提案では、勝手な思い込みと想いで勝手なことを書いてしまい、反論も立腹される方も多いのではないかと考えるが、今後理想的な形を議論する上でのたたき台としてどうかご容赦いただきたい。

第Ⅲ編 第2部 発表会 論文

## [論文 No. 1] 崖錐斜面の安定度評価における地質リスクの低減

応用地質株式会社 ○長岡 弘晃

応用地質株式会社 森山 豊

応用地質株式会社 山田 政典

### 1. 事例の概要

#### (1)事業の概要

A ダムでは、平成 21 年 3 月のダム基本設計会議において、既存コア不良区間の形成要因は、岩盤地すべりによる可能性があることを指摘され、貯水池斜面の再評価を求められた。現在その対応として、平成 21 年 7 月に改定された『貯水池周辺の地すべり調査と対策に関する技術指針（以下改定指針）』に基づき、航空レーザー測量図（以下 LP 図）を用いた岩盤地すべり要素の再抽出、高品質ボーリングによる既存コア劣化要因の分析等が行われている。また、分析結果より再設定された地すべり、未固結堆積物の貯水位変動時の安定計算による対策工の要否判定を進めている。

本報告では、これら一連の高品質ボーリング等を用いた調査・検討のうち、厚さ 10m 以上の崖錐斜面での高品質ボーリングの実施が、地質リスクの低減につながった事例として報告する。

#### (2)リスク事象の特定

貯水池斜面では、貯水位の変動という新たな外力が加わるため、活動停止中の地すべりや初生の岩盤地すべりの発生、未固結堆積物の不安定化等に留意する必要がある。現在活動中の地すべりは、構造物の変状や動態観測によりその規模、安定度を把握することができる。しかし、変状地形が不明瞭な活動停止中の地すべりや未固結堆積物斜面の安定度評価は、切土法面の安定度評価と同様に、現在発現していない問題に対する事前対策工の要否判定を行うものである。そのため、想定すべり面や未固結堆積物の認定やその物性評価を慎重に行う必要がある。

岩盤地すべりや崖錐堆積物の認定は、LP 図や現地踏査から斜面変動による平面形を決定するとともに、ボーリング調査から深さ方向の斜面変動による破碎域の認定をする必要がある。また、相互の情報を関連付けた潜在的な連続する弱面の構造の把握が重要となる。

本報告では、崖錐下位に伏在するコア劣化域の形成要因の評価の不確実性を、地すべり対策工の要否に直結する地質リスクと考える。また、最新の知見を踏まえた地質調査手法の適用と調査精度の向上による事業費の縮減量を地質リスクの低減効果と考える。

### 2. 事業分析のシナリオ

#### (1)リスク発現のプロセスとその原因

A ダムの貯水池地すべりに関するこれまでの検討では、崖錐斜面を地すべりと同様に扱い、貯水池の安定度を向上する計画であった。しかし、運用を開始した近傍ダムの崖錐斜面が、

貯水位変動に伴い不安定化しないことが明らかとなり、平成 21 年 7 月の改訂指針に基づいて再評価を行うこととなった。

## (2) マネジメント効果を分析するシナリオ

改定指針では厚い未固結堆積物の湛水に伴う安定度評価は、繰り返し円弧計算によることとしている。その物性は「土質試験による物性値の取得」と明記している。一方、試料採取や試験位置等の具体の手法には言及していない。そこで、崖錐斜面で高品質ボーリング（乱れの少ない連続試料採取）を実施し、その性状を把握するとともに、高品質コアでの最低強度の取得を目指した室内試験区間の設定を行った。そして安全側に評価した強度・残留率の設定でも斜面安定上問題ないことを示す方針とした。

## 3. データ収集分析

本現場では、改定指針に基づき、貯水池斜面の崖錐堆積物の安定度評価を行うために、高品質コアを採取し、その物性値（強度定数および透水係数）を取得した。また、現場透水試験より求めた透水係数（ $2.0 \times 10^{-6}$  m/sec）を用いた飽和-不飽和浸透流解析による残留間隙水圧の残留率を設定した。その結果、安定計算により対策工は不要と評価した。

### (1) 調査地の地形・地質

調査地周辺の基盤地質は、中生代白亜紀の四万十帯北帯に属する付加体からなり、陸源性の砂岩、頁岩が分布する（図 1）。調査地では、大規模な岩盤地すべりの形成要因となる連続性の良い弱面の姿勢を明らかとすることを目的に作業した。砂岩層の地質境界を追跡する地表踏査を実施し、貯水池全域の地質構造の詳細を把握した。結果、大局的な地質構造は、北東-南西走向の  $40^\circ$  程度の北西傾斜であることが明らかとなった。また、付加体地質で特徴的に発達する、連続性のある弱面の伏在が想定される大規模な岩盤地すべり要素は、1 斜面のみと評価した。本報告の対象斜面は図 1 に示す B 斜面であり、本斜面はダムサイトから約 300m 上流に位置する低位段丘形成期の攻撃斜面に厚く崖錐堆積物が堆積した斜面である。

### (2) 高品質ボーリングによる試料採取とコア観察

本調査では、コア観察、室内試験に必要な供試体を確保し、原位置試験との関係性を評価することを目的に、下記の 3 孔で高品質コアを取得した。

- 1) 観察・検討用のパイロットボーリング
- 2) 標準貫入試験および現場透水試験を実施する孔内試験孔
- 3) 土質試験用コア採取孔

掘削孔径は、崖錐堆積物に含まれる礫径が比較的大きいこと、コアの品質を確保するため、孔径を  $\phi 86\text{mm}$  とした（高品質コアは  $\phi 66\text{mm}$  や  $\phi 100\text{mm}$  よりも、 $\phi 86\text{mm}$  の実績が多い）。

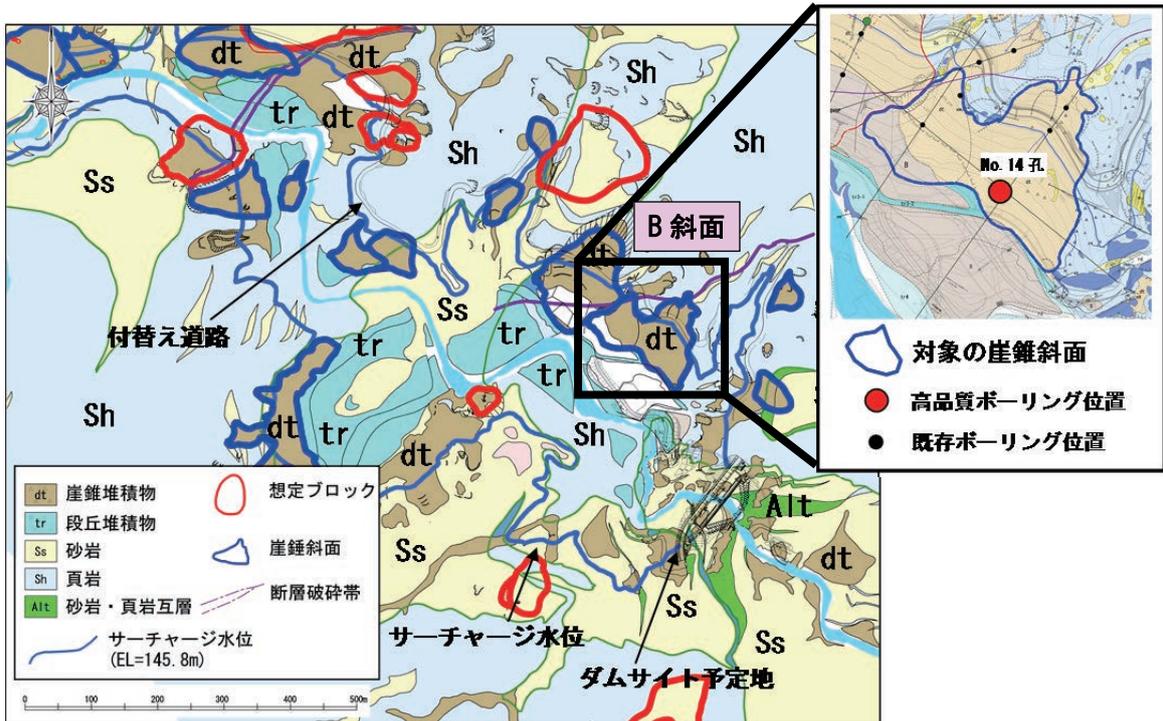


図1 地質平面図

表1 層相区分凡例

室内試験の供試体径は、成形時に供試体を乱す可能性が高いため、採取したコア径(φ70mm程度)とした。

No. 14 孔に分布する崖錐堆積物の層厚は約12.7mで、細粒分含有量が比較的多く、礫の粒径は全体に不均質である。礫種は主に砂岩で、少量の頁岩を含む。礫形は主に角礫状で、亜角礫を少量混入する。供試体作製位置や孔内試験の位置決定のための基礎資料を得るために、礫径および礫と基質の量比に着目したコア観察を行い、崖錐堆積物を表1に示すように定性的に区分した。また、定量的データの取得を目的として、コア1m区間の中央部にマーカ

着色	層相区分	コア状況	備考
淡青	細粒土主体		礫径φ2mm以下程度の細礫主体 細粒土の含有量が多い
淡黄	細礫主体		礫径φ2~10mm程度の礫主体
黄	礫主体		礫径φ10~30mm程度の礫主体
茶	岩片主体		コアの外周が認められる礫・岩片主体
緑	基盤岩		頁岩および砂岩主体

を設

置し、マーカに掛る5mm以上の礫を対象に礫形を計測した(図2)。計測結果は50mm毎に集計し、50mm間に礫が示す含礫率を算出した(図3)。

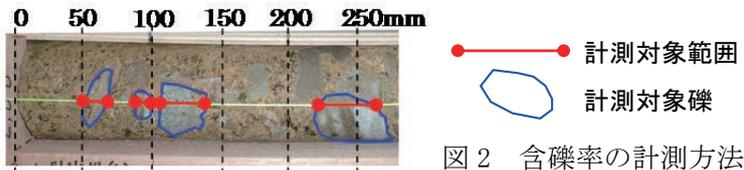


図2 含礫率の計測方法

### (3) 土質強度定数の設定

三軸圧縮試験で用いる供試体は、安全側の物性値取得のために地質的弱部から採取する方針とし、コア観察および含礫率から相対的に細粒で強度的に弱部と考えられる「細礫主

体層」から採取した（図3）。

三軸圧縮試験の排水条件は、軟質部の細粒分含有量が比較的多いことから、土の圧密非排水(Cub)三軸圧縮試験とした。表2に三軸圧縮試験(Cub)結果を示す。

三軸圧縮試験による値の検証のために、標準貫入試験によるN値から土質強度定数を推定した。(表2)。三軸圧縮試験により得られた $\phi'$ は換算N値から求まる強度と同等な値を示した。よって、安定計算(繰り返し円弧計算)に用いる土質強度定数は室内土質試験結果の値を採用した。

単位体積重量は、高品質コア箱の重量測定結果から設定した。表3に崖錐堆積物の円弧計算に用いる土質強度定数一覧を示す。

表2 三軸圧縮試験結果(Cub)

斜面区分	N値換算 $\phi'$	三軸圧縮試験結果	
		$\phi'$	$c'$ kN/m <sup>2</sup>
崖錐	32.74	34.07	37.4

表3 土質強度定数一覧

斜面区分	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 $\phi'$	粘着力 $c'$ kN/m <sup>2</sup>
崖錐	20.3	34.07	37.4

#### (4) 透水係数の設定

貯水位降下時の残留間隙水圧の残留率は、浸透流解析結果に基づいて設定した。この浸透流解析に用いる透水係数は、現場および室内の透水試験から求めた。現場透水試験は定常法・非定常法および孔内微流速測定を実施した。室内透水試験は、高品質コアを用いて供試体を作成し実施した。

図3および図4に透水試験結果を示す。現場透水試験の透水係数は $10^{-7} \sim 10^{-4}$  m/sec オーダーの透水係数が得られた。一方、室内透水試験では、崖錐基底面の試料を除き、同深度

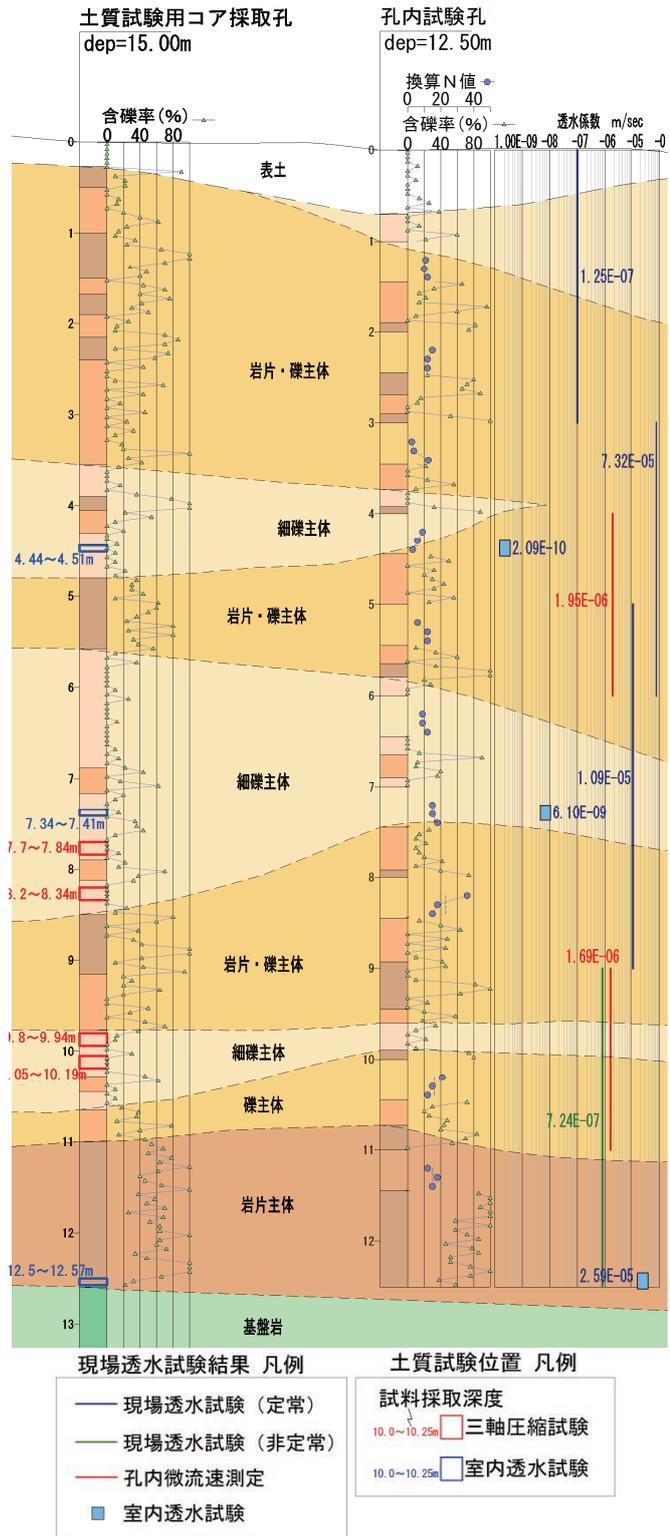


図3 No. 14 地点地質断面図

の現場透水試験結果よりも  $10^{-4}$  m/sec オーダー程度小さい値が得られた。

浸透流解析に用いる透水係数は、試験区間長が長く、崖錐全体の透水係数を得ていると考えられる現場透水試験の平均値を用いた ( $2.92 \times 10^{-6}$  m/sec)。室内透水試験は、作成可能な供試体長が約 10cm 程度であり、細粒分の影響を受け、小さい透水係数を示すものと考えられる。

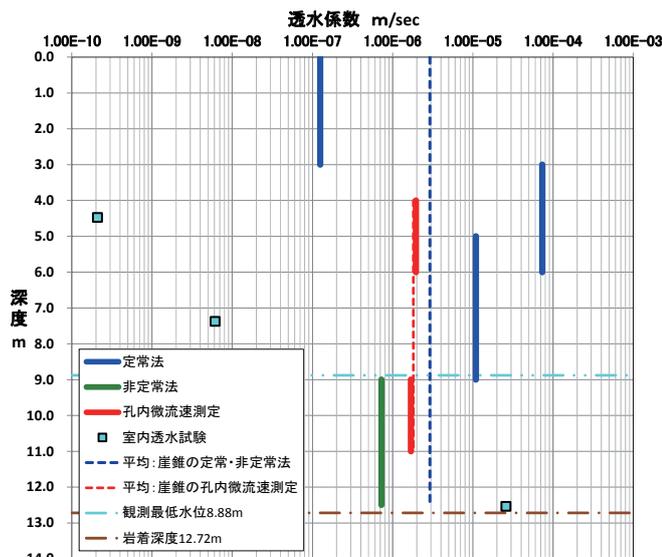


図 4 透水試験結果

高品質コアを用いて、その物性値（土質強度定数および透水係数）を設定し、設定した透水係数を用いて浸透流解析を行い残留間隙水圧の残留率を設定した。また、安定解析（繰り返し円弧計算）により、対策工は不要と評価した。

しかし、崖錐堆積物の層相別の三軸圧縮試験の実施による基礎データの蓄積や、透水係数のバラツキの要因を検討した上での透水モデルの作成などの課題が残った。これらの課題は、高品質コアが採取されることで初めて生じたものであり、地質リスクの回避や低減のためには、今後、地質の不確実性を低減する新技術の積極的な活用が望まれる。

#### 4. マネジメントの効果

マネジメント効果については、崖錐斜面を地すべりとして取り扱い要対策と仮定した場合と、今回の対策不要と評価した場合の 2 ケースについて、測量試験費および対策工費を比較・分析した。本事例のマネジメント効果は、次のように求められる。

$$\begin{aligned}
 \text{マネジメント効果} &= \text{要対策と仮定したケース【測量試験費 ¥7,800 + 概算工費 ¥91,000】} \\
 &\quad - \text{対策不要としたケース【測量試験費 ¥10,500 + 概算工費 ¥0】} \\
 &= ¥98,800 - ¥10,500 \\
 &= ¥88,300
 \end{aligned}$$

表 4 マネジメント効果に関わる経費一覧

位置	要対策と仮定したケース		対策不要と評価したケース	
	測量試験費 (千円)	概算工費 (千円)	測量試験費 (追加調査)	概算工費 (千円)
左岸	¥7,800	¥91,000	¥10,500	¥0

## 5.データ様式の提案

本事例は、「A型：地質リスクを回避した事例」であり、A表原案を基本とした。なお、原案によるリスクマネジメントの効果は、①当初工事費用-③変更後工事費用-②リスク対応費用で表されていることから、①当初工事を要対策と仮定したケース、②リスク対応費を対策不要ケースとして一部加筆、修正して同表を作成した。

### A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		-----
	工事名		-----
	工種		地質解析、対策工検討等
	工事概要		アンカー工、押え盛土工等
	①要対策と仮定したケース		¥98,800,000
	当初工期		-----
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		湛水時
	予測されたトラブル		崖錐斜面の不安定化
	回避した事象		-----
	工事への影響		-----
リスク管理の実際	判断した時期		H21.7 改定指針の発刊時
	判断した者		-----
	判断の内容		崖錐堆積物の安定度評価
	判断に必要な情報		高品質ボーリングの地盤情報
リスク対応の実際	内容	追加調査	高品質ボーリング等
		修正設計	-----
		対策工	-----
	費用	追加調査	¥10,500,000
		修正設計	-----
		対策工	-----
		②合計	¥10,500,000
変更工事の内容	工事変更の内容		-----
	③変更工事費		¥0
	変更工期		-----
	間接的な影響項目		-----
	受益者		-----
リスクマネジメントの効果	費用 (①-③-②)		¥88,300,000
	工期		-----
	その他		-----

## 【論文 No. 2】 垂直電気探査により推定した地下構造の不確実性に起因するリスク回避事例

株式会社 エイト日本技術開発 ○澤田 弦一郎

〃 渡辺 俊一

〃 石田 泰則

〃 齋藤 晴紀

### 1. 事例の概要

電気探査（比抵抗法）は非破壊で比較的簡便に地下構造を推定できる代表的な物理探査手法の一つである。そのため、土木分野や資源探査、断層調査など幅広い分野で適用されている。一方で、現場でのデータ取得から解析までの過程で問題（十分な電流を地中に流せていない、電極の打ち間違い、測定値を理論曲線に合わせきれていない、局所的に不均質な地質構造の存在など）が生じていた場合、最終的に誤った構造が導かれることも有り得る。

本事例は垂直電気探査により得られた比抵抗構造の不確実性に起因するものであり、実際に電気探査と同地点でボーリング調査を行い、真の構造に校正することによって地下構造の不確実性に起因するリスクを回避したものである。

垂直電気探査は4本の電極（電位電極、電流電極）を使用する四極法が主流であり、四極法のうち特にウェンナー（Wenner）法、シュランベルジャー（Schlumberger）法、ダイポール・ダイポール（dipole-dipole）法といった電極配置がよく用いられる。本事例においてはシュランベルジャー配置を用いた。シュランベルジャー法の電極配置の概略図を図1に示す。

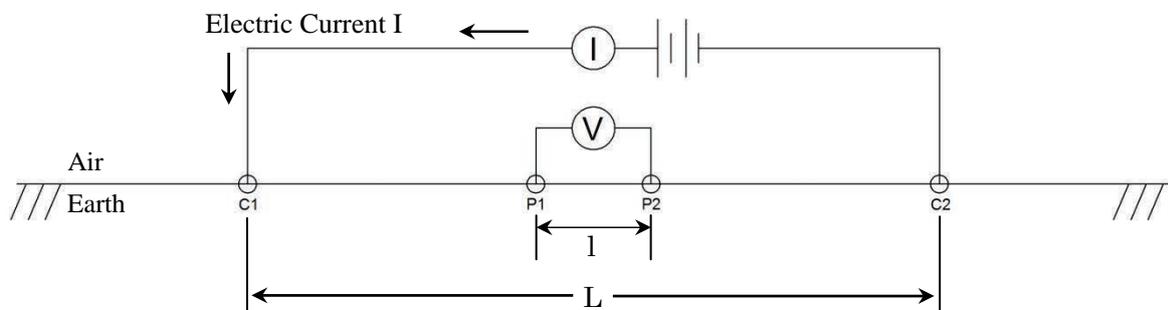


図1. シュランベルジャー配置の概略図。C1、C2は電流電極、P1、P2は電位電極をあらわす。  
Lは電流電極間隔、lは電位電極間隔をあらわす。

解析は水平成層構造に対する理論曲線に実測曲線を合致させるカーブマッチング法を用いた。水平成層構造の解析はカーブマッチング法が伝統的に用いられており、近年では正確な理論観測値を少ない計算量で算出できるリニアフィルター法が主流だが、カーブマッチング法は解析手順を視覚的に確かめながら構造を決定できる利点がある。

### 2. 事例分析のシナリオ

本事例地域は、海岸沿いに位置し将来的な地下水の塩水化が懸念されている。そのため、帯水

層、不透水層の分布やその層相、層厚、地下水の存在範囲を把握することが地下水の塩水化の予測や対策の上で重要となる。本調査地域の地質は、最下位が泥岩で、その上位に石灰岩があり、表層部に粘土が分布する。地下水は泥岩層が不透水性の基盤となり、その上位の空隙に富む石灰岩層が帯水層として機能する。

既往調査で推定された調査地域の比抵抗と地質の関係を図 2 に示す。泥岩は 10~100ohm·m、石灰岩は 100~1600ohm·m の幅を持つ。既往調査からは概ね 100ohm·m を石灰岩と泥岩の境界とすることができる。しかし、飽和した石灰岩の比抵抗値は低くなる傾向にあり、さらに塩水の侵入があるとするとさらに比抵抗値が低くなり、泥岩の比抵抗値と重複する場合があることに留意する。比抵抗値に明瞭なコントラストが見られる場合、地層境界の決定は容易であるが、比抵抗値に差が無い場合は地層境界に幅があることが考えられ、このことがいわゆる電気探査の不確実性に起因する。

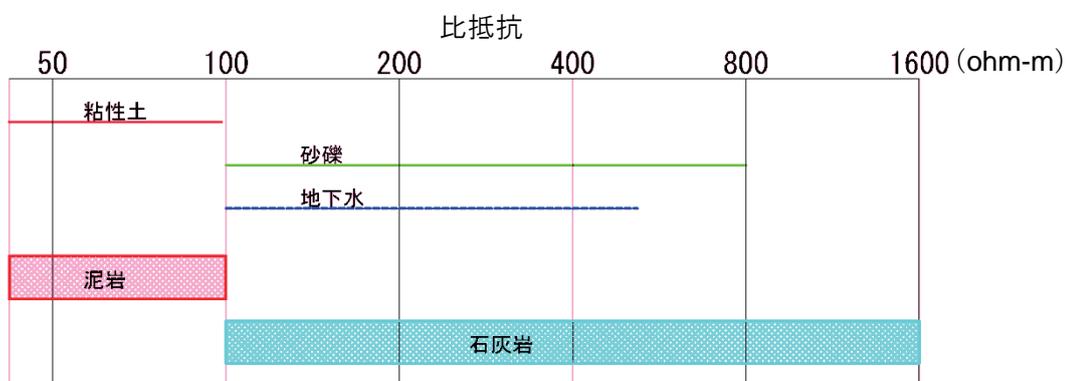


図 2. 既往調査で推定されている調査地域の比抵抗と地質の関係

一般的に物理探査と地質調査の結果を比較した場合、物理探査の結果と地質データの間にはある程度の相関がみられるべきである。だが、本事例では電気探査によって得られた不透水性基盤上面深度（泥岩上面深度）の精度が将来的な塩水化対策を行う上での地質リスクになりうると判断した。帯水層厚の見込み違いによる誤った塩水侵入シナリオが、地下水塩水化の過剰（もしくは不足）な対策になりかねない。そこで、垂直電気探査の結果に不確実性が見られる地点に実際にボーリング調査を行った。その結果から、ボーリングデータに基づき真の地下構造に校正することが地下構造の不確実性に起因するリスクを回避するために最適であると考えられた。リスク回避のシナリオとしては下記のように展開する。

- (1) リスクの可能性（電気探査の結果の不確実性）
- (2) リスクの検討（電気探査の結果に基づいた場合、予測されるトラブル）
- (2) リスクの把握（電気探査と同地点でのボーリング調査による地質構造の把握）
- (3) リスク回避の提案（ボーリング調査で得られた真の地質構造への校正）

### 3. データ収集分析

#### (1) 垂直電気探査

垂直電気探査は塩水侵入が想定されている地点で行い、不透水性基盤（泥岩）の上面深度を把握するために行った。その観測データおよび解析結果（E-1）を図3に示す。

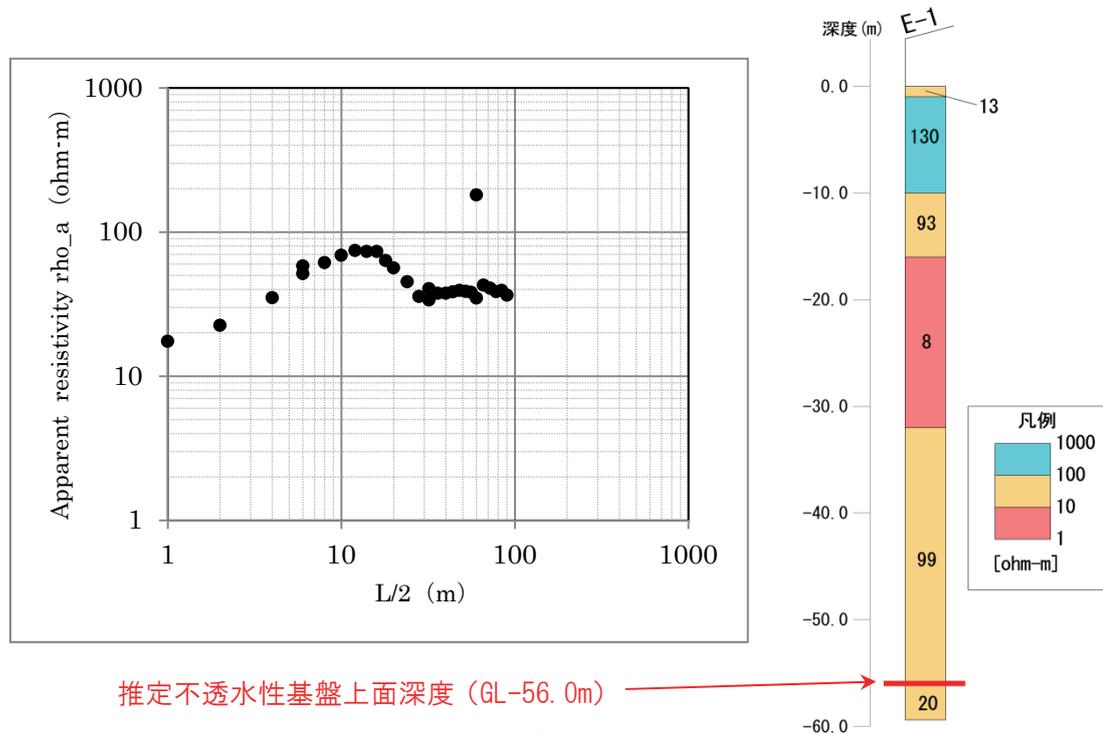


図3. (左) 探査曲線 (右) 解析柱状図

探査結果は両対数グラフの横軸に  $L/2$ （電流電極間隔の  $1/2$ ）、縦軸に見掛け比抵抗 ( $\rho_a$ ) をプロットした。見掛け比抵抗は、仮に地下を均質とみなし求められる値という意味である。必ずしも地層の真の比抵抗値を意味しないが、見掛け比抵抗と電流電極長さの関係は地下の比抵抗分布を推定する重要な手掛かりとなる。E-1の探査曲線の特徴は、見掛け比抵抗値は電流電極の間隔 ( $L$ ) が  $2\text{m}$  から  $20\text{m}$  付近まで上昇し、 $20\text{m}$  よりさらに電極間隔を広げるにつれ、減少していく傾向にある。この探査曲線からは3層構造以上が予想され、2層目の比抵抗値が1層目より大きくなり、3層目の比抵抗値は2層目の比抵抗値より小さくなると思われる。

解析は、探査曲線を基に、カーブマッチング法を用いて水平成層構造解析を行った。カーブマッチング法からは6層の比抵抗構造が得られた。2層目が  $130\text{ohm}\cdot\text{m}$  を示し、ほか5層は  $100\text{ohm}\cdot\text{m}$  以下の比抵抗値を示す。この結果から5層目 ( $99\text{ohm}\cdot\text{m}$ ) と6層目 ( $20\text{ohm}\cdot\text{m}$ ) の境界深度 (GL-56.0m) を石灰岩と泥岩の境界と推定したが、比抵抗値に大きなコントラストがないため断定は難しいと考えられた。また、3、4、5層目の比抵抗値が極端に低く、塩水侵入の可能性も考えられた。そのため、実際にボーリング調査を行い、真の地下構造を確かめた。

## (2) ボーリング調査

電気探査と同地点でボーリング調査 (B-1) を行い、真の地質構造を確かめた。その結果を図4に示す。

実際に垂直電気探査と同地点でボーリングを行った結果によると、深度0～1.15mが盛土、1.15～4.70mが粘土、深度によって層相に違いは見られるが4.70～13.35mが石灰岩、20.0m以深が泥岩であり、石灰岩と泥岩の境界深度は13.35mであった。

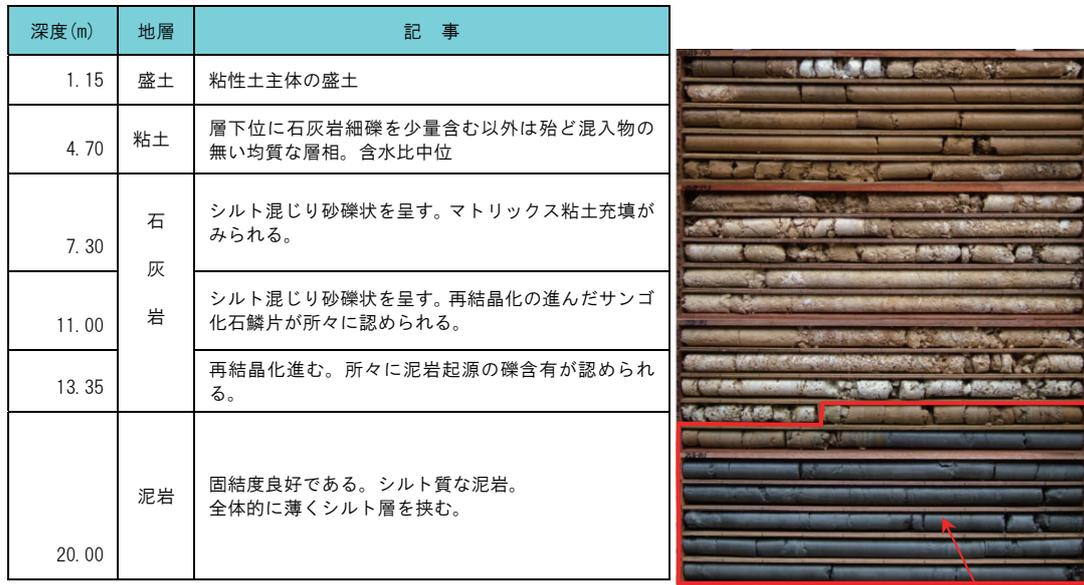


図4. ボーリング調査結果 泥岩（不透水性基盤）

### (3) 垂直電気探査とボーリングの比較

図5に垂直電気探査（E-1）とボーリング調査（B-1）の結果を示す。

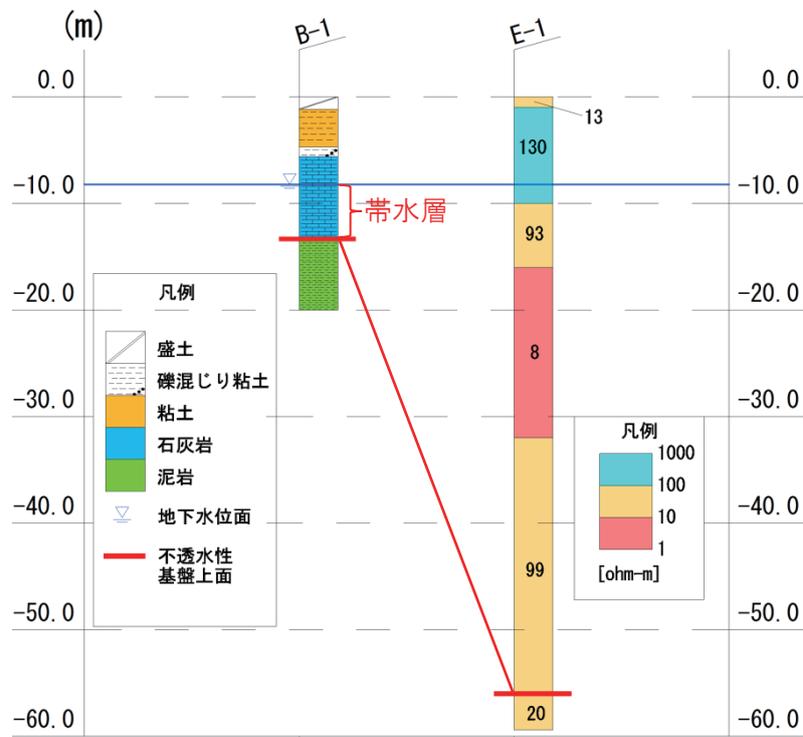


図5. 垂直電気探査（E-1）とボーリング調査（B-1）の比較

垂直電気探査による不透水性基盤上面深度は GL-56.0m であるが、ボーリング調査による不透水性基盤上面深度は GL-13.35m であった。電気探査とボーリング調査の不透水性基盤上面深度には 42.65m の差がみられ、実際の石灰岩層（帯水層）は薄く、水質も塩水の侵入はないことが明らかになった。

また、B-1 の地下水位面は GL-8.20m にあり、B-1 地点の地下水位面以深の石灰岩層は飽和状態にある可能性が高い。Archie (1942) の実験式によると、岩石の比抵抗値は地層の間隙率や間隙水の比抵抗等に依存することがいわれている。GL-8.20m 以深が低比抵抗値を示すことは、石灰岩層が飽和していると仮定すれば適当である。さらに言うと、E-1 の 4 層目 (80 $\Omega\cdot\text{m}$ )、5 層目 (990 $\Omega\cdot\text{m}$ )、6 層目 (200 $\Omega\cdot\text{m}$ ) の低比抵抗ゾーンは泥岩層に対応し、泥岩層の深度による物理的性質や層相の違いを捉えていると考えられる。

#### 4. マネジメントの効果

電気探査を行った時点では不透水性基盤上面深度は深く (GL-56.0m)、塩水の侵入も見込まれていたが、ボーリングによって不透水性基盤上面の深度は浅く (=帯水層が薄い)、塩水侵入もないことが明らかになった。図 6 に塩水クサビ侵入の模式図を示す。ボーリング調査を行うことによって、塩水侵入位置はより海側に位置することが確認され、地下水利用の観点からはより安心な状況であることが確認された。

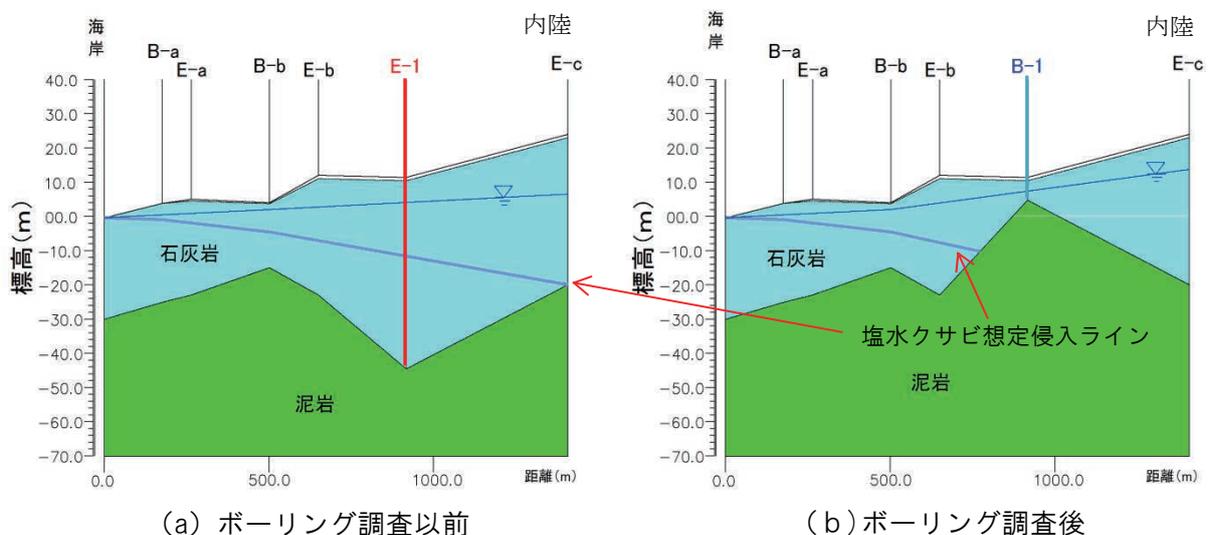


図 6. 塩水クサビ侵入模式図。B-a, B-b は既往ボーリング調査位置、E-a, E-b, E-c は既往垂直電気探査位置を示す。

地下水塩水化の対策の一案として海水淡水化プラントがある。ただプラントの場合、脱塩処理が極めて高価となり、造水コストとして約 150 円/m<sup>3</sup>というものがある。仮に 10,000m<sup>3</sup>/日、10 年稼働した場合、54.75 億円のコストとなる。

本事例のように、高精度に塩水状況を把握することで、塩水淡水化プラントのような過剰な対策を回避することができ全体のコストを抑えることができる。

反面、帯水層が浅いことで、揚水量、揚水期間によっては地盤沈下や塩水クサビ侵入を助長する可能性がある。そのため、地下水の全体揚水量をより厳しく管理する必要がある、今後考慮しなければいけない事柄である。

## 5. データ様式の提案

本事例は、地質リスクを回避した事例であり、データ様式 A 表を用いる。

### A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者	公共	
	工事名	水道水源流域調査	
	工種	水道水源保全	
	工事概要	水道水源保全対策	
	①初工事費	547,500 万円(最悪の想定ケース)	
	当初工期		
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	地質調査時	
	予測されたトラブル	帯水層厚の見込み違いによる誤った塩水侵入シナリオ	
	回避した事象	地下水塩水化の過剰対策	
	工事への影響		
リスク管理の実際	判断した時期	地質調査時	
	判断した者	地質調査業者	
	判断の内容	最適な地質構造の決定	
	判断に必要な情報	物理探査解析技術、地質情報	
リスク対応の実際	内容	追加調査	ボーリング調査
		修正設計	
		対策工	
	費用	追加調査	120 万円
		修正設計	
		対策工	
		②合計	120 万円
変更工事の内容	工事変更の内容	無対策	
	③変更工事費	0 円	
	変更工期		
	間接的な影響項目		
	受益者	地下水利用者	
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)	547,380 万円	
	工期		
	その他		

### 引用文献

- 1) 永井正彦(2002):逆浸透(RO)法海水淡水化技術の上水道分野への適用,三菱重工技報, Vol.39, No.5 (2002-9)

## [論文 No. 3] 斜面上の橋梁設計における地質リスクマネジメント

大地コンサルタント株式会社   ○寺井 康文  
 ダイシン設計株式会社       近藤 嘉伸  
 北海道胆振総合振興局室蘭建設管理部   濱野 淳則

### 1. はじめに

#### (1) 斜面上の土木構造物設計における地質調査

斜面は地形や地質分布が変化しやすいことに加え、地すべりや落石、湧水などさまざまな土木地質的問題を有するため、構造物の配置や形式のわずかな違いによって災害などの地質リスク要因も変化する。

このため斜面上の構造物は、計画から詳細設計に至るまで複数の段階を踏み最適な設計を行ってトータルコストを縮減することが求められ、これには各段階において必要十分な地質調査を実施して地質リスクをマネジメントすることが不可欠である。

#### (2) 現状の問題

しかしながら著者の知る限り、設計技術者の地質調査結果に対する誤解や、地質調査技術者の設計に対する無知により、短期的なコストを重視し詳細設計～施工段階まで大きな地質リスクを残したまま設計を進める事例や、事業段階に適さない地質調査項目を実施し不必要なコストを費やす事例が少なくない。

地すべりを例にとると、事業の段階と求められる地質調査は表 1 のように対比されるが、地質調査技術者は「現在の事業段階に必要な情報は何か」を把握できないことが多く、設計技術者は「必要な情報を得るために何を調査すればよいか」は判らない。このため両者ともに、地質調査の不足が発生しないよう、なるべく多くの調査項目を行うことを事業者（発注者）に提案する傾向となる。

ある事業に必要な以上の地質調査コストをかければ、他の事業に必要な地質調査のコストが不足するだけでなく、事業者には「投じたコストに対し、得られる有益な情報が少ない」と地質調査への不信感を与えることとなり、将来的に地質調査のコストが削減され、トータルコスト縮減に貢献できなくなることが最大の懸念事項である。

表 1 事業段階と必要な地質情報の例（地すべりの場合）

事業段階	必要な地質情報	主な地質調査項目
計画	地すべりの分布（有無） 地すべりの規模 （対策が可能か？）	地形判読 地表踏査（広域） ボーリング・サウンディング （土塊の性状・厚さの確認）
↓		
予備設計	地すべりの活動性 地下水の挙動	動態観測（ボーリングによる観測孔作成） 水位観測、地下水検層など
↓	地すべり発生機構 地すべりの詳細な形状	地表踏査（地すべりブロック単位） ボーリング（地すべり縦断面）
詳細設計	安定解析結果 対策工法の比較検討	ボーリング（地すべり横断面）
↓	支持層の分布 地盤定数	標準貫入試験 室内試験
施工		

※大まかな流れを示すもので、必ずしもすべての事項をこの順序で行うわけではない

## 2. 事例の概要

本事例は、ダム建設事業にともなう付替道路の橋梁詳細設計と、並行して実施された地質調査業務の過程を、地質リスクマネジメントの観点で整理したものである。

### (1) 経緯

道路計画と予備設計は約 10 年前に実施され、合わせて概略的に地質調査が行われた。その後現在までに、隣接する斜面で貯水池地すべりの調査と対策工設計が実施された。

### (2) 地形地質条件

道路は現河床との比高 40m 程度の段丘面に計画され、対象の橋梁は支沢を横断するもので、予備設計では橋長 89m、2 径間連続鋼鈹桁橋としている。

地質は新第三紀の泥岩で、風化が早く層理構造が発達するため、周辺には流れ盤構造に起因した地すべり地形が多数形成されている。段丘面には段丘堆積物の上位に複数の降下軽石が堆積し、これら堆積物の層厚は最大 10m 程度と厚くなっている。

橋梁は明瞭な上下流に分布する 2 つの地すべりブロックを回避して計画されている。これらの地すべりは貯水池に影響があるため対策工（排土工）が設計されている。

### (3) 地質リスク

既往調査で橋脚計画箇所やや厚い斜面堆積物が確認されているが、隣接する斜面が貯水池地すべりとして対策されるため、地すべりのリスクは考慮せずに予備設計が行われた。ところが、その後の地すべり対策工設計では橋脚計画箇所は対策工の対象とされなかった。

斜面堆積物が地すべりである場合、橋脚の設置は末端の掘削となるため、地すべり活動を助長する可能性が高い。またダム貯水位の変動による斜面の不安定化も予想され、橋脚施工後も大きなリスクが残る。

### (4) 地質リスクマネジメント方法と結果

本事例では、以下のとおり地質調査を 2 段階に分けて実施し、その間に予備設計の見直しを行うことで地質リスクを管理した（図 1）。

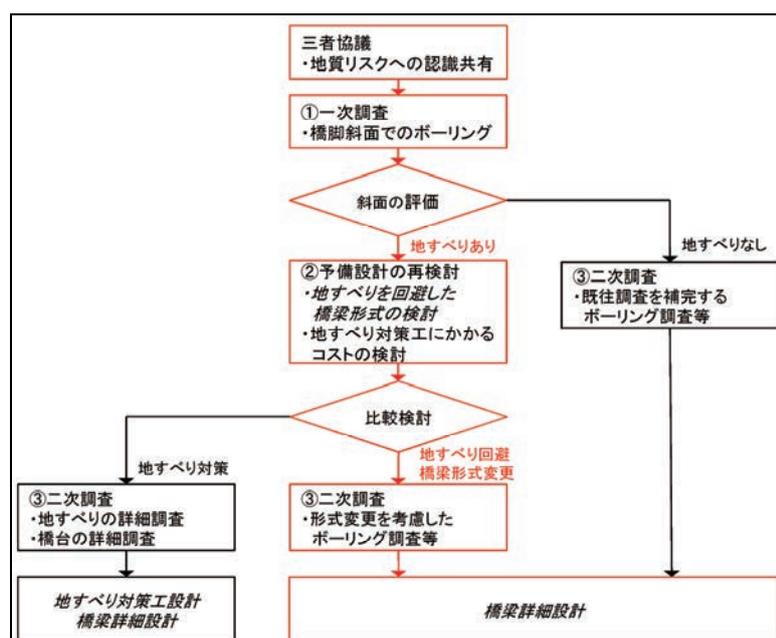


図 1 地質リスクマネジメントのための業務実施フロー

① 一次調査

地質リスク（地すべり）の有無によって設計方針が大きく異なるため、最小限の調査コストで地質リスクの有無を確認した。

② 予備設計の再検討

一次調査の結果、地質リスク（地すべり）の存在が確定的となった。このためリスクを低減するためのコスト（地すべりに対する詳細な地質調査～対策工事）を算出し、一方で地すべりを回避する橋梁形式を検討し、両者の比較を行った（表2）。

③ 二次調査

検討の結果、橋梁形式の変更により地すべりを回避することとなったため、選定された橋梁形式に対して詳細な地質調査を行い、必要十分な地質情報を得た（図2）。

表2 橋梁選定比較表（抜粋）

側面図	断面図	比較項目	評価													
<p>単純下路式鋼トラス橋</p>		<p>経済性</p> <table border="1"> <tr> <td>上部工</td> <td>265,000 千円</td> <td>(736千円/m2)</td> </tr> <tr> <td>下部工</td> <td>41,400 千円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>仮設工</td> <td>----- 千円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>306,400 千円</td> <td></td> </tr> </table>	上部工	265,000 千円	(736千円/m2)	下部工	41,400 千円		仮設工	----- 千円		合計	306,400 千円		1.000	<p>○</p> <p>得点9</p>
			上部工	265,000 千円	(736千円/m2)											
			下部工	41,400 千円												
			仮設工	----- 千円												
		合計	306,400 千円													
		構造性、耐震性	ランガー橋に比べ、支間中央の部材高が低く、直角方向の安定性はよい。	○												
		施工性	ペント、及びクレーンが設置できないことから、ケーブルエレクションによる架設となる。	△ -1												
維持管理	耐食性鋼材のため塗装の必要はないが、安定鋼が定着するまで管理する必要がある。	○														
景観	桁は耐食性鋼材のため色彩の自由度はなく、色は茶褐色となる。	○														
<p>2径間連続非合成鋼桁橋</p>		<p>経済性</p> <table border="1"> <tr> <td>上部工</td> <td>205,200 千円</td> <td>570千円/m2</td> </tr> <tr> <td>下部工</td> <td>73,800 千円</td> <td></td> </tr> <tr> <td>仮設工</td> <td>55,600 千円</td> <td>(抑止杭含む)</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>334,600 千円</td> <td></td> </tr> </table>	上部工	205,200 千円	570千円/m2	下部工	73,800 千円		仮設工	55,600 千円	(抑止杭含む)	合計	334,600 千円		1.092	<p>×</p> <p>得点4</p>
			上部工	205,200 千円	570千円/m2											
			下部工	73,800 千円												
			仮設工	55,600 千円	(抑止杭含む)											
		合計	334,600 千円													
		構造性、耐震性	地すべり害に横脚を設置するため、対策工（抑止杭）が必要である。又、対策工を設置しても地滑りを完全に抑止できない。	× <p>-2</p>												
		施工性	ペントの設置は地盤条件から不可である。又トラッククレーンは設置場所が無いこと及び桁重量から不適である。よってケーブルエレクションでの架設となる。	△ -1												
維持管理	耐食性鋼材のため塗装の必要はない。単径間案に比べ橋脚上の支承の維持管理が必要となる。	△ -1														
景観	桁は耐食性鋼材のため色彩の自由度はなく、色は茶褐色となる。	○														

2. 事例分析のシナリオ

本事例では地質リスクが発現していないが、既往予備設計に従って地すべりを考慮しない詳細設計を行い、施工中に地すべりが活動して対策工を追加するケース(1)を想定し、地質リスクを確認し単純トラス橋によりリスクを回避した結果(2)と比較した。

(1) 地質リスクを管理せず施工中にリスクが発現（想定）

橋脚の床掘は地すべり斜面脚部の掘削であり、地すべりが活動する可能性が高い。地すべりが活動した場合、工事を完遂するためには地すべり対策工事を追加施工し、安全を確保する必要がある。

(2) 地質リスクを回避するための橋梁を選定（実際）

地質リスクマネジメントを行って予備設計に遡って地質リスク（地すべり）への対応方針を決定し、地すべり斜面での橋脚設置を回避しトラス橋を選定したのが実際のシナリオである。

### 3. データ収集分析

前述した2つのシナリオに沿ってマネジメント効果を検討する場合、以下の項目に妥当性が求められる。本事例では、不確実さは概して安全側（効果が小さくなる側）に評価しており、実際にはより大きなマネジメント効果が得られていたと考えられる。

#### 1) 想定シナリオ、実際のシナリオにおけるコストの精度

工事が行われていない事例であるが、設計業務と地質調査業務が並行して行われ、予備設計（比較設計）で行った橋梁工事のコストは想定シナリオを含め高い精度となっている。

#### 2) 対策コストに関わる地質条件

地すべりの有無を判定するための地質情報を得たのみで、地すべりの規模（想定より大きい可能性あり）、活動状況（初期安全率が想定より小さく、対策工費が大きくなる可能性あり）、地下水の挙動（地下水排除工の併用で対策工費が小さくなる可能性）等を詳細に検討する資料は得られていないため、追加対策工のコストは精度が低い。地質条件の不確実さにより追加対策工のコストは大きくなる可能性が高く、マネジメント効果も大きくなる側に作用する。

#### 3) リスクの生起確率

地すべり断面形状に不確実さが残るが、安定解析の試算により主断面での安全率は  $F_s=1.05$ （現況） $\rightarrow 0.71$ （床掘時）まで低下する。床掘幅が地すべり幅（30m程度）の半分を占めることから、生起確率を100%とするのは妥当と評価する。

またダム貯水位が常時満水位から最低水位まで変動すると残留間隙水圧により  $F_s=0.74$  まで低下する。橋脚施工中にリスクが発現しなかった場合、完成後に地すべりが活動して橋脚に損傷を与える可能性があり、コスト損失としてはこのケースのほうが大きい。

#### 4) トラブルの内容と事業コスト損失

地すべりが活動した結果、追加施工される地すべり対策工のみをコスト損失としている。

このほかのトラブルとコスト損失として、工事中断による人件費の損失や、応急対策（埋め戻しなど）、工程の遅れによる事業便益の減少などが予想され、最悪の場合は人的被害も懸念される。これらのコストは定量化が難しいため、コスト損失には計上していない。

#### 5) 地質リスクに対する技術者の判断

本事例ではボーリング1孔のみの追加調査を行い、地表踏査や隣接する地すべりの調査データとの比較といった「状況証拠」の積み重ねで地質リスクの有無を判定したため、地質調査技術者の技術的判断が大きなウェイトを占めている。技術者の判断によっては調査コストが増大する可能性があるが、橋梁工や地すべり対策工に比べてコストのオーダーが1~2桁小さく、マネジメント効果には大きな影響を与えない。

### 4. マネジメント効果

生起確率を100%と設定できるため、地すべり対策工を追加する想定シナリオ(1)と実際のシナリオ(2)とのコストの差がマネジメント効果となる。

効果の分析にあたっては、シナリオ(1)における発注時（2径間桁橋のみ）を当初工事、リスクが発現して地すべり対策工を追加した状態を変更工事とする。シナリオ(2)における単純トラス橋と2径間桁橋のコスト差を対策工のコストと評価し、一次調査（追加調査）、予備設計（修正設計）と合わせてリスク対応のコストとした。

マネジメント効果は20百万円程度で総工事費の10%にも満たないが、最悪のケースとして人的被害も想定される地質リスクであり、本事例のマネジメントは非常に効果的であったと評価できる。

- ・「マネジメント効果」（22,500千円）
  - = 「リスクを考慮しなかった場合(1)のトータルコスト」（334,600千円）
  - 「リスクマネジメントを行った(2)トータルコスト」（312,100千円）
- ・「地質リスク対応のコスト」（33,100千円）
  - = 「一次調査」 + 「比較設計」 + 「対策工」
  - 「一次調査」（700千円）
    - 調査ボーリング1孔15m
  - 「比較設計」（5,000千円）
    - 橋梁予備設計（修正）1業務
  - 「対策工」（27,400千円）
    - 単純トラス橋（306,400千円） - 2径間桁橋（279,000千円）

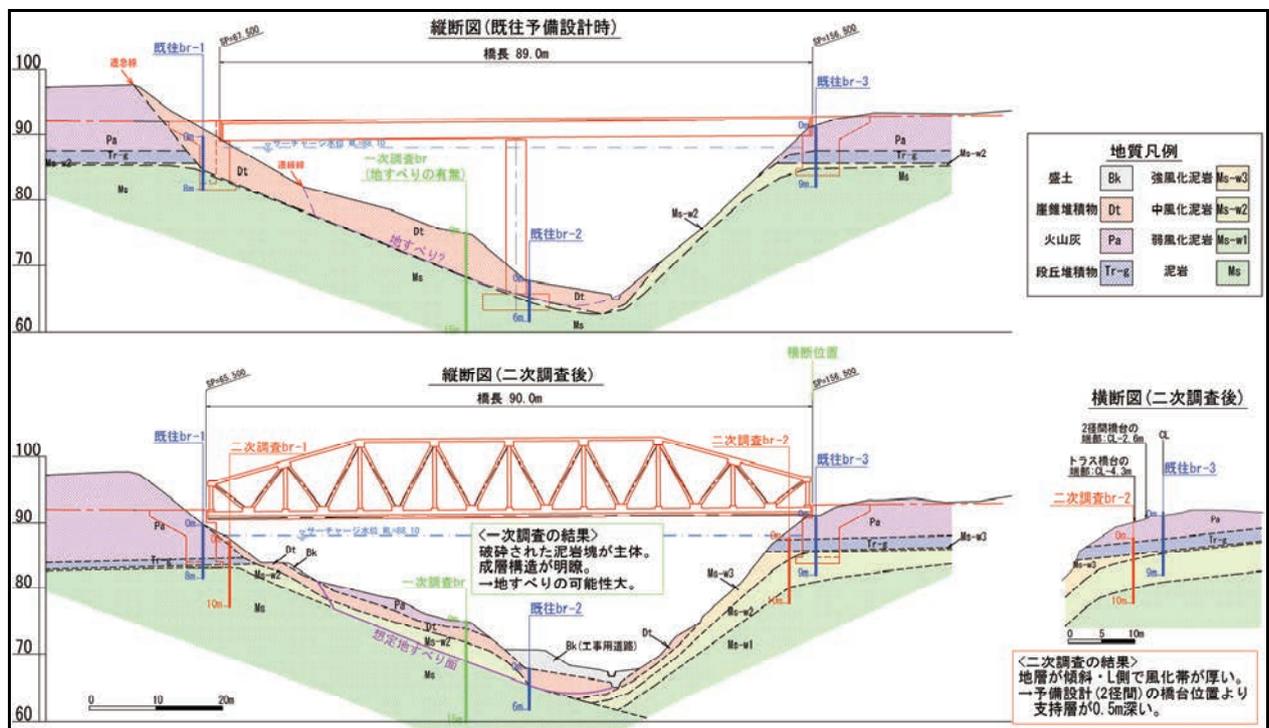


図2 当初と二次調査後の地質断面図

## 5. データ様式

本事例では、地質リスクを回避したためA表を用いるが、マネジメント効果は、リスクが発現した想定シナリオとリスクを管理した本シナリオの比較となるため、③－(①＋②)で表現される。また実際の工事費（単純トラス橋）は表示されない。

表3 データ様式A表

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	北海道室蘭建設管理部	
	工事名		
	工種	橋梁	
	工事概要	2径間鋼鈹桁橋 L=90m	
	①当初工事費	279,000千円	
	当初工期	16ヶ月（下部工・上部工）	
リスク回避 事象	予測されたリスク発現 時期	施工時	
	予測されたトラブル	橋脚床掘時の地すべり活動。	
	回避した事象	－	
	工事への影響	－	
リスク管理 の実際	判断した時期	詳細設計時	
	判断した者	発注者、設計者、地質調査者	
	判断の内容	一次調査で地すべりの有無を確認し、地すべりが分布する場合は予備設計の見直し（地すべり対策と地すべり回避の比較検討）を行う。	
	判断に必要な情報	橋脚計画箇所の上部斜面の地質状況	
リスク対応 の実際	内容	追加調査	ボーリング1孔
		修正設計	予備設計のやり直し
		対策工	単純トラス橋（L=90m）へ変更し地質リスクを回避
	費用	追加調査	700千円
		修正設計	5,000千円
		対策工	27,400千円（単純トラス橋と2径間桁橋の差額）
		②合計	33,100千円
変更工事の 内容（想定）	工事変更の内容	施工中に地すべりが活動し、地すべり対策工を追加した場合を仮定。	
	③変更工事費	334,600千円	
	変更工期	28ヶ月 （地すべり調査～対策設計にかかる期間を含む）	
	間接的な影響項目	・ 工事中断による人件費等の損失 ・ 全体の事業遅れによる便益の減少 ・ 床掘面の崩壊による人的被害のおそれ	
	受益者	納税者	
リスクマネ ジメントの 効果	費用（①－③－②）	リスク発現による総工事費（変更工事費）が想定であるため、 ③－（①＋②）＝22,500千円	
	工期	12ヶ月（地すべり調査～観測～対策設計にかかる期間）	
	その他	施工中にリスクが発現すれば、工事中断による損失や、工程の遅れによる事業便益の減少など、計上していないコスト損失が発生するほか、人的被害発生のおそれもある。	

## [論文 No. 4] 軟弱地盤上の道路構築について

株式会社キタック 金子 敏哉

### 第1章 事例の概要

本事例は、「道路の予備設計」の段階で「詳細な地盤調査や対策検討」を実施したことにより、「地質リスクを低減した軟弱地盤対策工法の計画」が可能となり、道路工事の効率化とコスト縮減を図った事例である。以下に概要を記す。

計画されていた新潟西バイパスは、信濃川の氾濫原低地を通過する延長約 9km、盛土高さ 5～10m の自動車専用道路である。当該道路の概略設計時には、周辺の地形や地質に関する既存資料を収集し基礎地盤の地盤状況を推定した。この結果、周辺の地形は自然堤防や後背湿地等が複雑に分布し、基礎地盤には軟弱な粘性土が厚く分布していることが推定された。また、後背地には腐植土の分布も推定された。

軟弱地盤対策工法は、「段階盛土工法+サーチャージ工法」を前提としたが、本工法は、粘性土の種類や厚さによって施工方法や必要な工期が異なることが特徴的な工法である。また、分布している土質によっては、本工法が採用できない場合も考えられたことから、当該道路では「初期段階・道路の予備設計の段階」で「詳細な地盤調査」を実施し、「地質リスク」を低減した後に軟弱地盤対策工法を検討した(図.1 参照)。さらに、この結果を基に、「路線全体の軟弱地盤対策工法」を計画し、「道路の詳細設計時」に作成する工事工程計画の基礎資料とした。

これまでの工事工程は、主に各インターチェンジ(IC)の供用年度、橋梁やボックスの施工年度、盛土量のバランス等から決められていたが、当該道路では、地質リスクを低減した軟弱地盤対策工法の検討結果も加えた工事工程、いわゆる「軟弱地盤対策工法を踏まえた工事工程」を作成することで道路盛土工事の効率化とコスト縮減を図った。

### 第2章 事例分析のシナリオ

#### (1) 当該道路の基礎地盤について

道路の概略設計時に、周辺の地形や地質に関する既存資料を収集し地盤状況を推定した。この結果、道路の基礎地盤には、N 値 0～4 を示す軟弱な粘性土が道路の始点側から終点側方向に従い厚く分布することが推定された。また、計画道路が後背湿地を通過する区間には、腐植土の分布も推定された。

#### (2) 軟弱地盤対策工法の考え方

軟弱地盤対策工法は、「段階盛土工法+サーチャージ工法」が工法の中で最も安価な工法であることから、この工法を優先的に検討することとした。本工法は、周辺の道路盛土工事においても積極的に採用されていたことから、当該道路においても適用可能な工法と判断した。本工法を実施してもすべり破壊や周辺地盤の変状が問題となった場合には、深層混合処理工法等の地盤処理工法を検討することとした。

#### (3) 軟弱地盤対策工法検討の課題

##### ① 「段階盛土工法+サーチャージ工法」検討の課題

「段階盛土工法+サーチャージ工法」は、粘性土の種類や厚さおよび工学的特性により、

盛土の施工方法や必要な工期が異なる。したがって、地盤調査が不十分な状態で本工法を検討・採用した場合、工事中の工程変更や場合によっては対策工法の変更も考えられた。ちなみに、道路概略設計時に検討した結果は、軟弱な粘性土の厚さが 5m の場合の「段階盛土工法+サーチャージ工法」の必要な工期は 1~2 年程度、粘性土の厚さが 20m の場合の必要な工期は 3~4 年程度である。軟弱な粘性土の厚さが工法の工期を大きく支配している。

②工事工程作成の課題

「道路の詳細設計時」に作成される「工事工程」は、路線を区間割りし、対象区間の供用年度や橋梁およびボックス等の施工時期、盛土の施工バランス等が勘案され策定される場合が多い。路線の区間割りは、各 IC の位置や橋梁およびボックス等の位置を目安に区間割りされている。

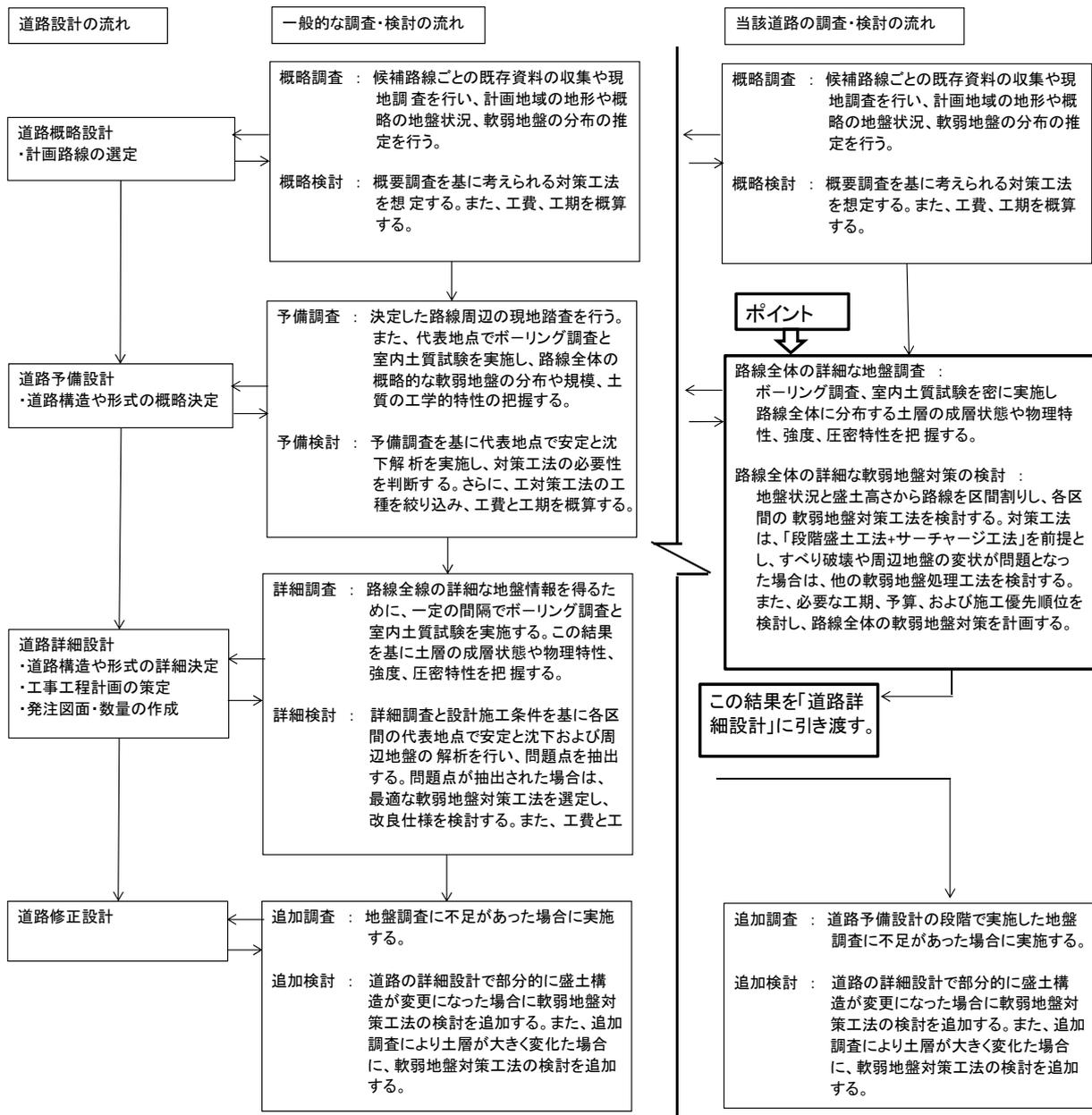


図.1 当該道路の調査・検討の流れ

このような方法で各区間の工事工程を組み立てると、盛土施工期間は実質「1～2年間」となる場合があり、時間をかけられない盛土工程が予測された。このような場合の軟弱地盤対策工法は、急速載荷条件下での対策工法となり、対策工事費の増大が考えられた。

#### (4) 課題に対する解決策

##### ①の課題に対する解決策

「道路の予備設計」の段階で「路線全体の詳細な地盤調査」を実施した。調査は、調査→地質断面作成→追加調査→地質断面図修正により、地質リスクを低減させるものとした。

##### ②の課題に対する解決策

詳細な地盤調査を基に「段階盛土工法+サーチャージ工法」を検討し、必要な工期、工事費を算出し、「路線全線の軟弱地盤対策工法」を計画することとした。この資料を「道路の詳細設計」に引き渡し、「軟弱地盤対策工法を踏まえた工事工程」を作成することを提案した(図.1 参照)。

### 第3章 データ収集分析

#### (1) 路線全体の地盤状況の把握

路線全体の地盤状況を把握する目的で、先ず、周辺の既存資料(地形図やボーリング調査)を基に概略の地質縦断図を作成した。この地質縦断図を基にボーリング位置を選定し調査→地質断面作成→追加調査→地質断面図修正により地質リスクを低減した地質縦断図を作成した。なお、ボーリング位置の選定は、以下の点を考慮し選定した。

- ・地形が変化する箇所
  - ・地層の厚や土質が変化していると予測される箇所(概略の地質縦断図から推定)
  - ・家屋や重要構造物が隣接している箇所および橋梁やボックスが施工される箇所
- 調査結果から、路線全体の地盤状況は図.2のとおりとなった。

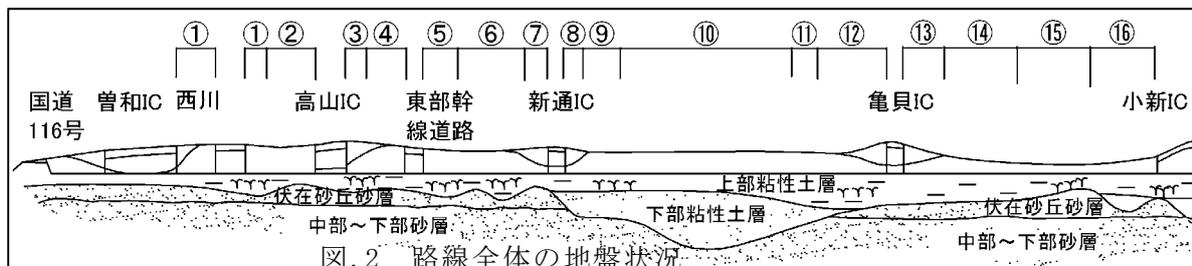


図.2 路線全体の地盤状況

土質の分布状況	上部粘性土層	シルト質粘土を主体とする。N値0～1を示す非常に軟弱な粘性土である。始点側は層厚5～10m、終点側は層厚10～15程度で分布している。部分的に腐植土を挟在している。道路盛土において、すべり破壊や過大な沈下が発生する土層である。
	下部粘性土層	シルト質粘土、砂質シルト、砂まじりシルトからなる。N値は2～4を示す。上部層と比較すると砂層の狭が多い。路線の中央部に、埋没谷を埋めるような形状で分布している。層厚は、10～15m程度である。道路盛土において、長期的な沈下が発生する土層である。
	伏在砂丘砂層	海岸砂丘砂層で、起伏に富んでいる。N値は、10～20程度を示す。
	中部～下部砂層	当該地の支持層となる。N値は、25～30以上を示す。

#### (2) 路線全体の軟弱地盤対策工法の計画

軟弱地盤対策工法の検討に先駆け、路線を16区間に区割りした。この区割りは、土質の分布状況と工学的特性および盛土の規模を勘案したものである。軟弱地盤対策工法の検討は、各区間ごとに実施した。解析結果から、「段階盛土工法+サーチャージ工法」はほとんどの区間で実施が可能であり、工法の必要な工期は1年から5年であった。本工法が実

主たる構造物	小新IC構																		
	曾和IC構				西川橋				内野IC橋 東部幹線 (新川橋) 排水路工				新通IC構				亀貝IC		
得点 No.	①	②	③④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯				
段階盛土工法	安定度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	路面の残留沈下 (供用後3年)	X	○	X	X	○	○	X	X	X	○	○	○	○	○				
	盛土完了直後の周辺への変状	S <sub>c</sub> =17.0	S <sub>c</sub> =18.0	S <sub>c</sub> =16.0	S <sub>c</sub> =15.0	S <sub>c</sub> =14.0	S <sub>c</sub> =41.0	S <sub>c</sub> =34.0	S <sub>c</sub> =29.0	S <sub>c</sub> =11.8	S <sub>c</sub> =20.9	S <sub>c</sub> =24.4	S <sub>c</sub> =17.1	S <sub>c</sub> =26.4	S <sub>c</sub> =17.8				
サージャージ工法	安定度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	路面の残留沈下 (供用後3年)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	盛土完了直後の周辺への変状	S <sub>v</sub> =7.9	S <sub>v</sub> =8.4	S <sub>v</sub> =6.0	S <sub>v</sub> =6.3	S <sub>v</sub> =8.4	S <sub>v</sub> =7.4	S <sub>v</sub> =7.4	S <sub>v</sub> =10.3	S <sub>v</sub> =11.8	S <sub>v</sub> =20.9	S <sub>v</sub> =24.4	S <sub>v</sub> =17.1	S <sub>v</sub> =26.4	S <sub>v</sub> =17.8				
暫定施工上の問題点	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
軟弱地盤処理工費 (百万円)	段階盛土工法 (暫定2車)	456	207	167	441	384	161	297	281	59	371	436	61	716	118	127	83	87	
	+ サージャージ工法	25	14	13	7	-	9	35	13	5	21	-	-	-	9	14	13	8	
	+ 深層混合処理工法	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	500	100	900	-	-	-	-	
	+ 敷設材工法	68	42	-	-	-	-	-	-	-	10	83	-	-	-	-	-	-	
合計	549	263	180	411	584	237	332	294	305	595	936	161	1616	182	141	96	95		
必要な工期	1年間																		
	2年間																		
	3年間																		
	4年間																		
	5年間																		
	6年間																		
段階盛土工法 + サージャージ工法 施工優先順位	4	4	6	3	3	6	5	2	2	-	-	2	5	5	1	5	1		

図.3 路線全体の軟弱地盤対策工法の計画

平成7年(1995)

第30回土質工学会研究発表会 論文集  
「新潟西バイパスを事例とした軟弱地盤の道路構築について」から引用

施できない区間は、深層混合処理工法(低改良率杭の DJM 工法)を実施することとした。

以上の検討結果を基に「路線全体の軟弱地盤対策工法」を計画したものが図.3 である。

「段階盛土工法+サーチャージ工法」においては施工の優先順位も計画し、これらの資料を「道路の詳細設計」に引き渡すこととした。

(注) 低改良率杭の DJM 工法の改良仕様  
改良杭の径 φ 1m 改良杭の間隔 2.3m×2.3m  
盛土敷幅全面に配置

#### 第4章 マネジメントの効果

ここでは、マネジメント効果を以下のような考えで計量的に算出した。

##### (1) マネジメントを実施した場合(表.1 参照)

当該道路でのマネジメントは、「道路の予備設計時」に「詳細な地盤調査」と「詳細な軟弱地盤検討」を実施し、「路線全線の軟弱地盤対策工法」を計画したことである。さらに、この結果を用い「路線全体の軟弱地盤対策工法を踏まえた工事工程」が計画され、各区間の工事は、この計画に従いほとんど問題なく進められた。このマネジメントによる軟弱地盤対策工法の費用は、概算で 6,557,000 千円である。

##### (2) マネジメントを実施しない場合(表.1 参照)

マネジメントを実施しない場合の各区間の盛土の施工工期は、1~2 年程度が予測される。したがって、「段階盛土工法+サーチャージ工法」の必要な工期がこの工期を超えた区間は、確実性と経済性から「低改良率の DJM 工法」を実施するものとした。工期短縮の面では「バーチカルドレーン工法」も考えられたが、本工法の場合、「盛土の沈下観測結果→妥当性の確認検討→場合によっては盛土施工の追加あるいは放置期間の延長」等の事態が考えられたことから、1~2 年の施工工期では実施が困難と判断した。マネジメントを実施しない場合の軟弱地盤対策工法の費用は、概算で 7,520,000 千円である。

##### (3) マネジメントの効果

マネジメントにより概算で 15%程度コスト削減が図れた。

概算工事費は、軟弱地盤対策工法の費用  
+盛土材料費用+盛土施工費用である。

表.1 マネジメントの効果

区 間	マネジメントを実施した場合の対策工法	概算工事費(千円)	マネジメントを実施しなかった場合の対策工法	概算工事費(千円)
①	段階盛土工法+サーチャージ工法+敷設材工法	812,000	低改良率のDJM工法	1,063,000
②	段階盛土工法+サーチャージ工法	180,000	段階盛土工法+サーチャージ工法	180,000
③	段階盛土工法+サーチャージ工法	211,000	低改良率のDJM工法	285,000
④	低改良率のDJM工法	564,000	低改良率のDJM工法	564,000
⑤	段階盛土工法+サーチャージ工法	237,000	低改良率のDJM工法	361,000
⑥	段階盛土工法+サーチャージ工法	332,000	段階盛土工法+サーチャージ工法	332,000
⑦	段階盛土工法+サーチャージ工法	294,000	段階盛土工法+サーチャージ工法	294,000
⑧	段階盛土工法+サーチャージ工法+敷設材工法	105,000	低改良率のDJM工法	160,000
⑨	段階盛土工法+サーチャージ工法+敷設材工法	595,000	低改良率のDJM工法	791,000
⑩	低改良率のDJM工法	936,000	低改良率のDJM工法	936,000
⑪	低改良率のDJM工法	161,000	低改良率のDJM工法	161,000
⑫	低改良率のDJM工法	1,616,000	低改良率のDJM工法	1,616,000
⑬	段階盛土工法+サーチャージ工法	182,000	低改良率のDJM工法	270,000
⑭	段階盛土工法+サーチャージ工法	141,000	段階盛土工法+サーチャージ工法	141,000
⑮	段階盛土工法+サーチャージ工法	96,000	段階盛土工法+サーチャージ工法	96,000
⑯	段階盛土工法+サーチャージ工法	95,000	低改良率のDJM工法	270,000
	合 計	6,557,000	合 計	7,520,000

## 第5章 データ様式の提案

本事例は、Aタイプの事例であることから、学会のデータ様式Aを用いて整理した(表.2参照)。なお、表中の「当初の工事費」はリスクマネジメントを実施しない場合の対策工法の費用とした。

表.2 A 地質リスクを回避した事例

対象工事	発注者	国土交通省 新潟国道事務所		
	工事名	新潟西バイパス 道路構築工事		
	工種	軟弱地盤対策工法		
	工事概要	軟弱地盤上の道路構築における軟弱地盤対策工法		
	①当初工事費	概算 7,520,000千円(リスクマネジメントを実施しない場合の軟弱地盤対策工法の費用)		
	当初工期	昭和60年～平成10年		
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	道路の予備設計の段階		
	予測されたトラブル	工事中の工程の変更や対策工法の工種の変更		
	回避した事象	同上		
	工事への影響	効率的な道路工事の遂行		
リスク管理の実際	判断した時期	道路の予備設計の段階		
	判断した者	発注者 軟弱地盤対策検討者		
	判断の内容	道路の予備設計の段階で詳細な地盤調査と詳細な軟弱地盤対策工法の検討を実施し、これを基に路線全体の軟弱地盤対策工法を計画した。		
	判断に必要な情報	路線全体の詳細な地盤状況と土質工学的特性		
リスク対応の実際	内容	追加調査	一般的には道路の予備設計の段階で概略な調査と対策工法の検討を実施するのだが、当該道路では詳細調査と詳細な対策検討を行った。	
		設計	詳細調査に基づき「段階盛土工法+サーチャージ工法」を検討した。本工法が実施できない区間は、軟弱地盤処理工法を検討した。	
		対策工法	・段階盛土工法+サーチャージ工法 ・敷設材工法 ・低改良率DJM工法	
	費用	追加調査	50,000千円(予備設計時に実施した詳細調査費用)	
		設計	30,000千円(詳細調査に基づいて実施した対策検討費用)	
		対策工法	6,557,000千円(詳細調査・対策検討から決定した対策工法の費用)	
		②合計	6,637,000千円	
	変更工事の内容	変更設計の内容	――	
変更設計に伴う追加費用		――		
変更工期		――		
間接的な影響項目		――		
受益者		――		
リスクマネジメントの効果	費用(①-②)	883,000千円		
	工期	――		
	その他	――		

## 【論文 No. 5】 道路盛土工事中に発現した地質リスク事例

(株) 興和 高橋 浩之

### 1. 事例の概要

新設道路(延長 1.3km)は沖積平野内の軟弱地盤上に構築が計画されており、計画盛土形状では過大に沈下が発生するため残留沈下対策が必要となった。残留沈下対策は、圧密促進工法(バーチカルドレーン)併用のサーチャージ工法が実施された。今回、このサーチャージ工法による盛土を施工中に、一部区間(延長 0.1km)で盛土のすべり破壊現象が顕在化した。破壊現象は盛土施工中に生じたため、所定の盛土施工が不可能となり、原因究明の調査と別途対策工の検討を行った。その結果、別途対策工として軽量盛土工を実施した。

#### ①盛土のすべり破壊現象

- ・計画高 3.2m に対して、2.7m まで盛土を施工した直後に、盛土天端中央部で過大な沈下が発生した。(盛土の施工速度は、緩速施工で 5cm/d としていた)
- ・道路 L 側の水路は大きく隆起し、流路に支障をきたした。水路の目地には所々段差が生じ、背面土砂との間に隙間が生じた。
- ・道路 R 側の水路は、水平方向の移動が確認された。
- ・道路 L 側、R 側のり面に、縦断方向に亀裂が発生した。

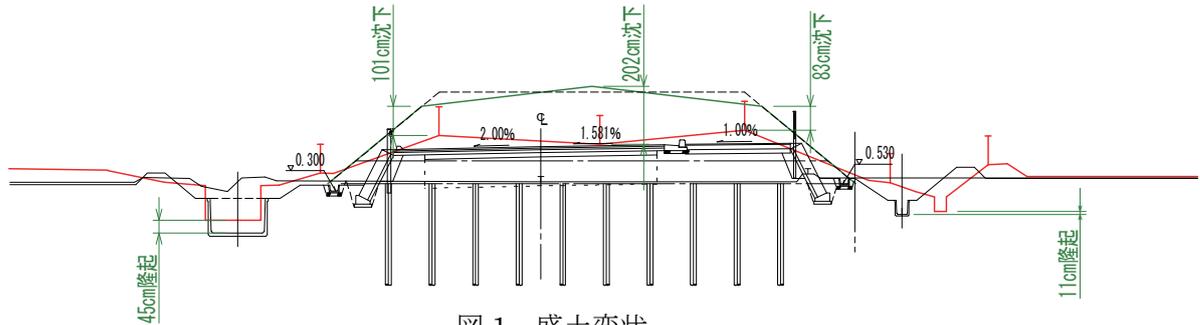


図 1 盛土変状

#### ②リスクの特定

盛土のすべり破壊現象の解明と別途対策工の検討のために地質調査、解析を実施した。その結果、盛土のすべり破壊は、当該区間(延長約 0.1km)の地盤強度が道路縦断方向の他区間より小さいことが原因で発生したと考えられた。

本事例では、盛土のすべり破壊に対する原因究明の追加調査・解析費、応急対策工事費をリスク事象として事例分析を行った。

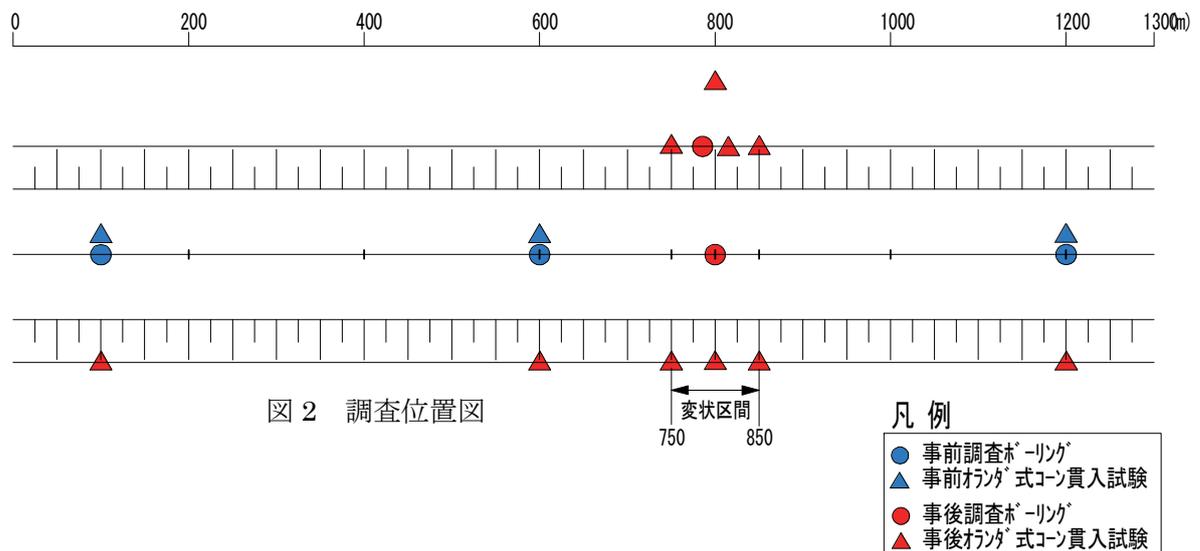


図 2 調査位置図

#### 凡例

- 事前調査ボ-リング
- ▲ 事前ラング式コーン貫入試験
- 事後調査ボ-リング
- ▲ 事後ラング式コーン貫入試験

## 2. 事例分析のシナリオ

### (1) リスク発現のプロセス

計画盛土高 3.2m に対して、2.7m まで盛土を施工した直後に盛土天端中央部で異常沈下が起こり、周辺地盤の変状も発生した。盛土は 30cm 巻だしの転圧(盛土速度：5cm/d)で施工しており、直前の 2.4m までは異常はなかった。また、盛土の施工は、地盤の鉛直変位、周辺地盤の水平変位を観測し、盛土の安定管理を実施しながら行っていた。

盛土破壊直前までと破壊後の安定管理を図 3 に示す。

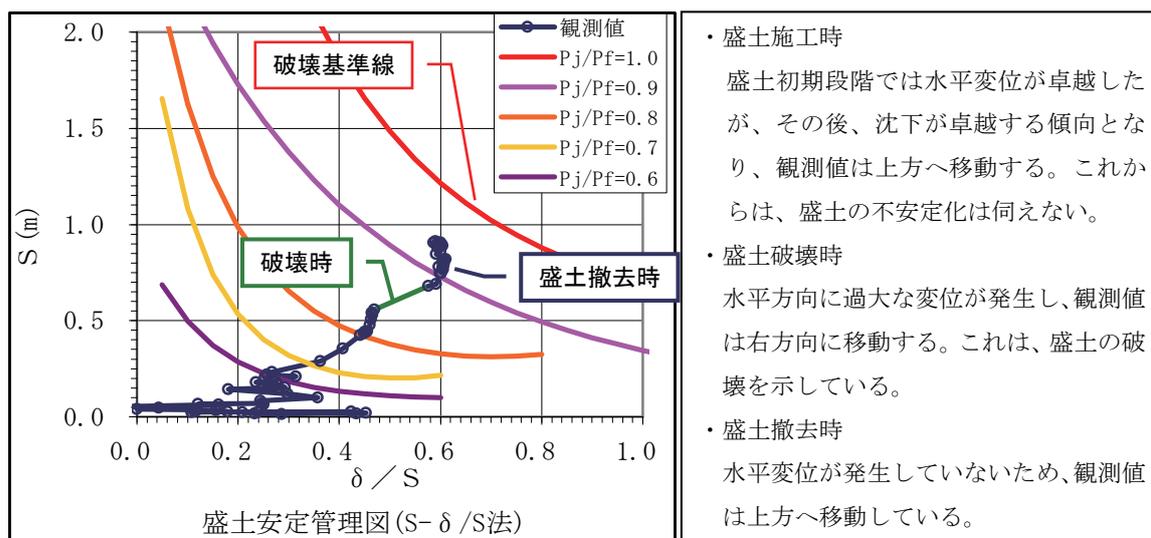


図 3 安定管理図

### (2) 発現したリスクへの対応

盛土によるすべり破壊現象に対応するために、まず、盛土の撤去を実施した。盛土撤去中においても安定管理図で盛土の安定性の確保に努めた。(図 3 参照)

盛土のすべり破壊現象の原因を究明するために、当該区間の地盤構成、地盤強度を確認した。調査、解析は、ボーリング調査、室内土質試験(物理、一軸、圧密)、オランダ式二重管コーン貫入試験を実施し(図 2 参照)、その結果を事前調査時の結果と比較した。

### (3) 想定されるリスクマネジメント

今回の事例に対する想定されるリスクマネジメントは、以下に示す①事前調査時点、②設計時点、③施工時点の 3 時点で行う事に大別される。

#### ① 調査時点

一般に、道路縦断方向の地盤構成を確認するためのボーリング調査の頻度は、沖積平野内においては、200m~500m に 1 カ所となり、ボーリング調査の補間としてサウンディング試験を実施する計画となる。調査頻度が不足すると、地盤構成の連続性、地盤強度のバラツキ、特異値などを評価できない可能性がある。

#### ② 設計時

地盤の不均一性を考慮した設計が考えられる。しかし、基本的には地質調査結果を踏まえた設計となるため、地盤条件を考慮した上で工法の信頼性、経済性が対策工選定の重要な要素となる。

### ③施工時

盛土のすべりに対する安定性は、沈下量、水平変位量の観測により安定管理図で評価を行う。盛土施工中に盛土の安定管理を実施することによって、盛土施工中の安定性を定量的に評価でき、不測の事態に対応できる。

### (4)適切なリスクマネジメント

今回の事例は、事前調査時点の調査不足が原因と考えられるため、この時点で適切なリスクマネジメントを実施していれば、盛土のすべり破壊は回避できたと考えられる。

事前の道路縦断方向の調査では、延長約 1.3km に対して 500m 程度間隔でボーリング調査を実施して、地盤構成、地盤強度を評価していた。このため、盛土のすべり破壊現象が生じた当該区間(約 0.1km)では、直接の調査は実施されていなかった。事前の調査段階で、ボーリング調査を補間するサウンディング試験(200m 間隔程度)を実施していれば、当該区間の強度が他区間と比較して小さい事が把握され、今回の破壊事例は避けられた可能性があった。

## 3. データ収集・分析

### (1)データ収集

本事例のデータは、計画道路に対する事前の地質調査報告書、軟弱地盤対策工の検討に関する解析報告書、変状後に実施した地質調査報告書となる。

### (2)データ分析

#### ①地盤条件解明のプロセス

変状が発生した区間の地盤条件を再確認するために、調査ボーリング 2 孔、室内土質試験(物理、一軸、圧密)、オランダ式二重管コーン貫入試験 10 カ所を実施した。

#### ②地盤条件変更プロセス

事前調査と変状後に実施した調査の結果について比較検討を行った。特に、盛土のすべり破壊現象が発現したため地盤強度に着目した。地盤強度(粘着力)は、一軸圧縮試験結果とオランダ式二重管コーン貫入試験によるコーン指数で評価を行った。この結果、当該区間の強度は、道路縦断方向の他区間に比べて小さいことが知れた。ただし、地盤構成については、事前調査と大きな相違はなかったが、道路横断方向で軟弱層の層厚の変化が若干確認された。(次項、図 4、図 5 参照)

#### ③対策工法の再検討

盛土のすべり破壊の原因は地盤の強度不足であることが得られたため、このまま、対策工としてサーチャージ工法を実施するのは不可能となった。

対策工の再検討は、サーチャージ工法が不可能である事をふまえ、軽量盛土工法と深層混合処理工法の比較を行った。この結果、対策の効果、周辺地盤への影響、経済性ともに優れた軽量盛土工法を追加対策工として計画した。

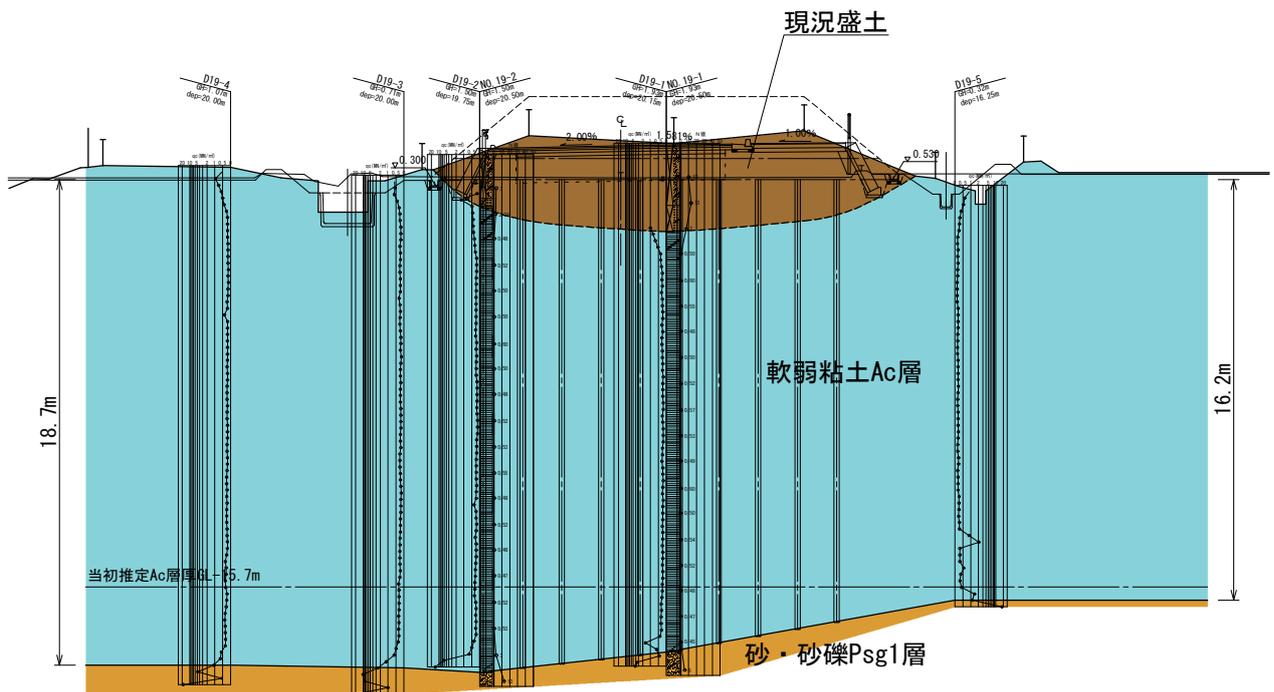


図4 地質断面図

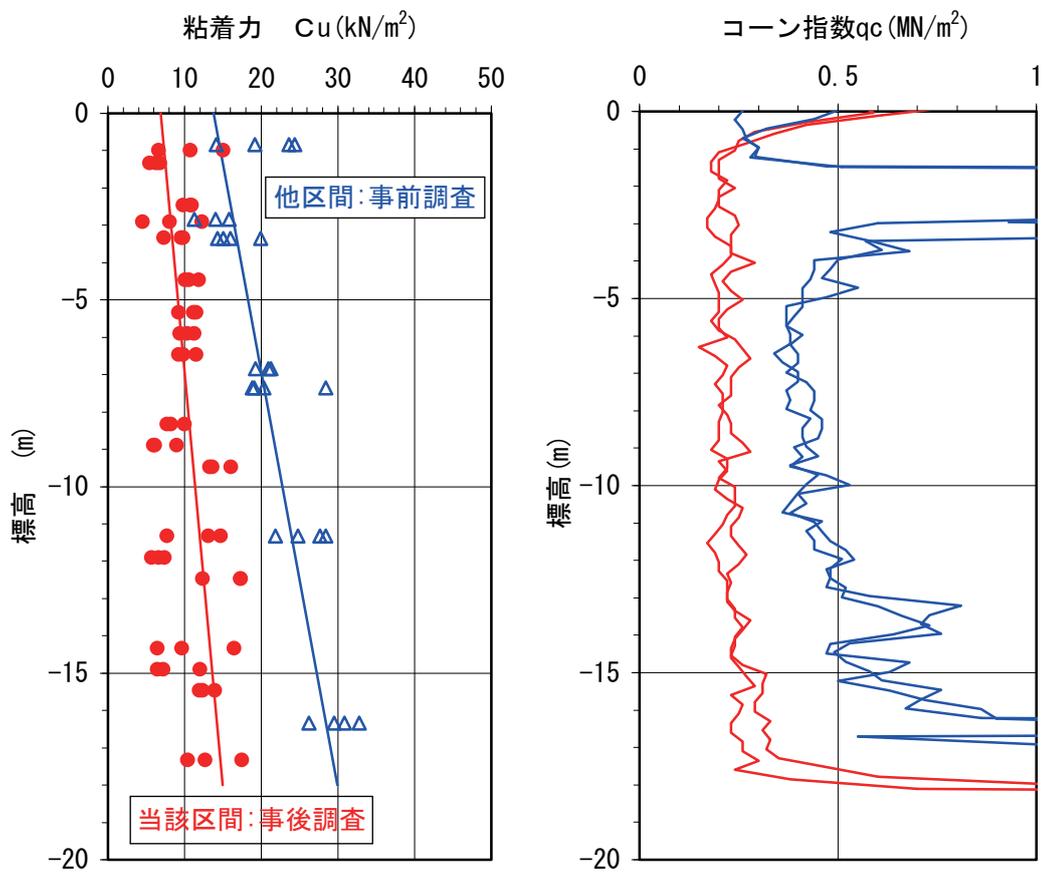


図5 粘着力・コーン指数 深度分布図

#### 4. マネジメント効果

##### (1) マネジメント効果の計量方法

本業務は、事前の地質調査時点で地質リスクマネジメントの不備(道路縦断方向の調査不足)があり、当該区間の地盤強度の設定を他区間と同等としていたため、盛土の破壊現象が生じ、その結果として再調査、復旧対策工事の費用が発生した。マネジメント効果の計量は、盛土のすべり破壊に対して要した費用・当初対策工に要した費用と破壊を回避できたであろう事前の想定調査の費用を算出する。

##### ・ マネジメント効果(推定)の計量

##### 【①盛土すべり破壊対策費+②当初対策工費-③想定事前地質調査】

①.盛土すべり破壊対策費：追加調査+盛土撤去+水路補修

②当初対策工費：圧密促進工法(バーチカルドレーン工法)+サーチャージ工法

③.想定事前調査費：当初調査に対する不足分

##### ①.盛土すべり破壊対策費

・追加調査費

11,200 千円

・調査ボーリング 2 孔 延べ 60m

・室内土質試験(物理、一軸、圧密) 12 試料

・オランダ式二重管コーン貫入試験 10 孔 延べ 150m

・対策工設計費

・盛土撤去工+水路補修工 1.0 式

2,000 千円

##### ②当初対策工費

・バーチカル土レーン工

8,000 千円

・サーチャージ盛土工

23,000 千円

##### ③想定事前調査費：当初調査に対する不足分

・事前調査

5,000 千円

・調査ボーリング 1 孔 25m

・室内土質試験(物理、一軸、圧密) 6 試料

・オランダ式二重管コーン貫入試験 20m×5 孔

##### (2) マネジメントの効果

盛土すべり破壊対策費と当初対策工費の総額は、①+②=44,200 千円であり、事前調査段階で盛土のすべり破壊を回避するために必要な想定事前調査費は、③=5,000 千円となる。

このため、マネジメント効果は、この差額となり、

$$44,200 \text{ 千円} - 5,000 \text{ 千円} = 39,200 \text{ 千円}$$

となる。

ここで、最終の追加対策工となる軽量盛土工法の工事費は、事前地質調査段階の地質マネジメントを適切に実施していれば、当初段階においても、この軽量盛土工法が設計されたため除外している。

5. データ様式の提案

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	〇〇県	
	工事名	〇〇工事	
	工種	道路土工	
	工事概要	サーチャージ盛土+(バーチカルドレーン工)	
	①当初工事費	31,000 千円	
	当初工期	10ヶ月((ドレーン工は含まない))	
リスク発現事象	リスク発現時期	工事段階	
	トラブルの内容	盛土のすべり破壊	
	トラブルの原因	当該区間の基礎地盤強度が当初設計段階より小さかった。	
	工事への影響	サーチャージ盛土の撤去、水路工の補修、軽量盛土工法への変更	
追加工事の内容	追加調査の内容	調査ボーリング 2 カ所、オランダ式二重管コーン貫入試験 10 カ所、原因の究明、対策工の再検討	
	修正設計内容	対策工を軽量盛土工法に変更	
	対策工事	盛土の撤去、水路の補修	
	追加工事	軽量盛土工	
	追加費用	追加調査	11,200 千円
		修正設計	上記に含む
		対策工	盛土撤去工、水路補修工
		追加工事	2,000 千円
		②合計	13,200 千円
	延長工期	1年(追加調査+軽量盛土工)	
	間接的な影響項目	調査、解析業務を別途発注	
負担者	地方自治体		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	当初地質調査時	
	対応(すべき)者	調査者、発注者	
	対応(すべき)内容	調査頻度を密に実施	
	判断に必要な情報	地盤構成、地盤強度	
	対応費用	調査	5,000 千円
		対策工	—
		③合計	5,000 千円
	想定工事	工事概要	—
		④工事費	—
		工期	—
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))	39,200 千円	
	工期	工期が遅延した 1 年を短縮	
	その他	—	

## 【論文 No. 6】 新設道路の切土法面工事にて発現した地質リスクについて

応用地質(株) 大井手淳二

### 1. 事例の概要

A 県の新設道路にて切土施工中、法面内に変状が生じたため、ボーリング調査が実施され、排土工が設計された。しかし、設計された排土工施工後も変状が進行し、追加調査・検討を実施した。本業務は平成 22 年 4 月の受注であったが、発注者の要望は、平成 23 年 3 月に予定している暫定 2 車線供用に間に合わせることであり、追加調査による変状原因の把握と、法面安定化のための対策工法比較検討、詳細設計を迅速に行うことを求められていた背景がある。

追加調査の結果、既往ボーリング調査時に決定したすべり面位置よりも深い位置に低角度流れ盤の破碎帯が存在し、これを素因とするすべり面が存在することが明らかとなった。

つまり、既往の排土工が誘因となってさらに深い地すべりが滑動したものである。なお、低角度の破碎帯は既往ボーリングでも確認されていたが、当時のボーリングは 1 箇所のみで、破碎帯の連続性は把握されていなかった。また、既往調査時には深い岩すべりは考慮せず、円弧すべりを設定していた。以上のように、調査数量の不足と、地質構造を考慮せずすべり面を決定したことから、地質リスクが発現した事例である。

追加調査の結果を受けて、地すべり対策工(排土工ほか)を提案・実施し、地すべりを安定化させることができた。これにより、遅延した道路工事の遅れを取り戻し、発注者の要望どおり、早期の道路供用を実現することができた。

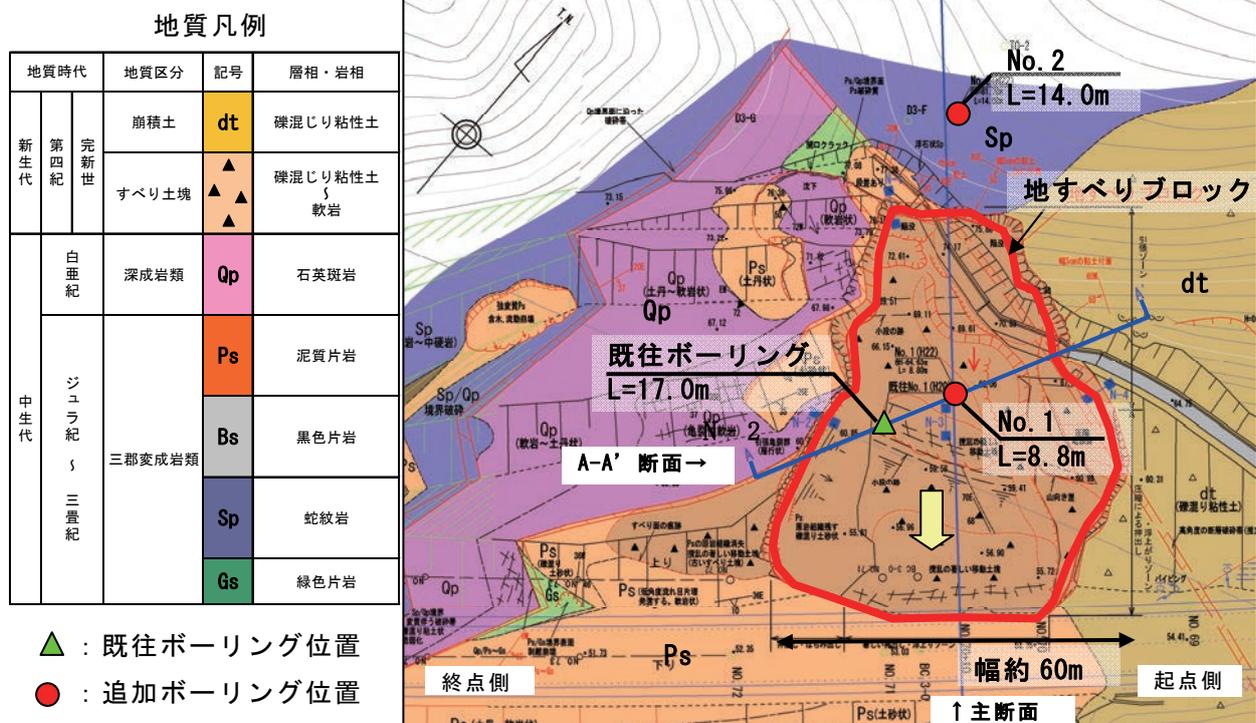


図 1 地質平面図および調査位置図

## 2. 事例分析のシナリオ

リスク発現に至るプロセスを図2に示した。

本事例では、排土工の施工によって深い地すべりを誘発し、地質リスクが発現したものである。

これは、すべり面の設定に誤りがあったため、排土工の設計が適切なものになっていなかったと考えられる。追加調査立案に先立ち、既往調査報告書を精査した際、既往ボーリングですべり面と設定した位置より深い深度に脆弱な破碎帯があることが分かった。この破碎帯は、地すべりブロックの平面形状から考えてすべり面となる可能性が否定できないものであった。既往調査の段階でこの破碎帯をすべり面と認定しなかったのには、2つの原因があり、まず、地すべり機構解析の不備(地質構造の軽視)である。変状を生じていた法面の周辺は変成岩類が分布している。変成岩類に特徴的な片理面が法面に対して流れ盤となる場合は、岩すべりを疑うべきであるが、既往調査では、コアの硬軟に重点をおき、すべり面を設定していた。原因の2つ目は、調査数量の不足である。これは、1つ目の原因と複合的に作用しているが、既往ボーリングで捉えた破碎帯の連続性を捉えようとしなかったことが問題と言える。1本目のボーリングで破碎帯を認めた段階で、地すべり主断面方向に追加調査(2本目のボーリング)を提案・実施し、破碎帯の連続性を検討すれば、すべり面位置を浅く設定してしまう誤りは防げたであろう。

つまり、地質リスク発現に至った一番の原因は、地質構造を軽視し、安易にすべり面を決定したことにあると言える。

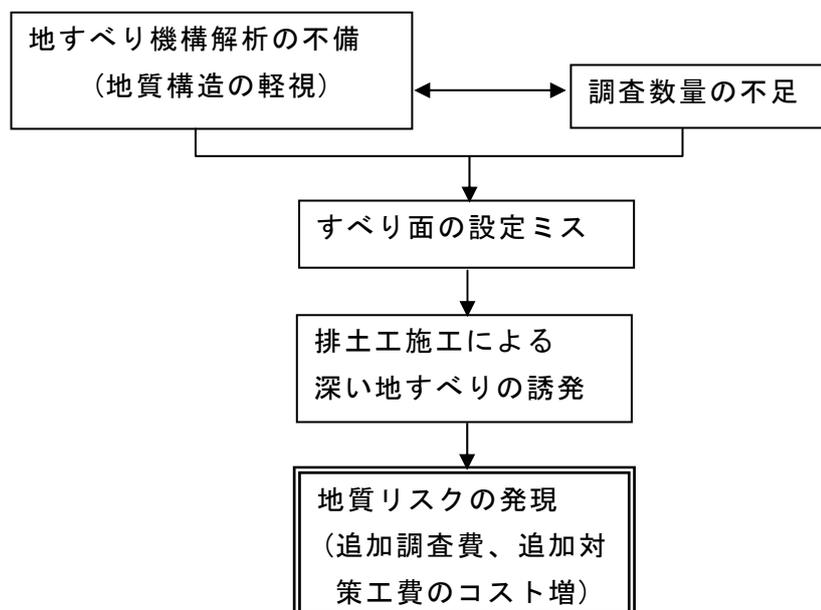


図2 本事例における地質リスク発現のプロセス

### 3. データ収集分析

地表地質踏査により、以下の3つの地質構造を確認した。

- ① 該当法面周辺の三郡変成岩類は傾斜 10° の流れ盤である。
- ② 地すべりブロック右側部に石英斑岩が貫入する。
- ③ 地すべりブロック左側部には、高角度の破碎帯が分布する。

よって、この①～③の面の組み合わせが地すべりの素因であり、当初設計の排土工が末端部排土となったことから地すべりが生じたと想定し、ボーリング調査を提案、実施した。

ボーリング調査の結果、地すべり土塊内で実施したボーリング No. 1 孔で地質構造と調和的な低角度の破碎帯を捉え、これをすべり面とした(図 6)。なお、この破碎帯は約 10m 離れた既往ボーリングでも捉えていたが、その上位の岩盤状況が硬質であったため、すべり面が浅く設定されていた(図 7)。

結果として、地表地質踏査により想定した地すべり機構(図 8)を実証することができ、適切な地すべり対策工(排土工、押え盛土工、横ボーリング工)の施工により地すべりを安定化させることができた(図 9)。これにより、中断していた道路工事が再開され、発注者の要望であった、早期の道路供用が実現した。

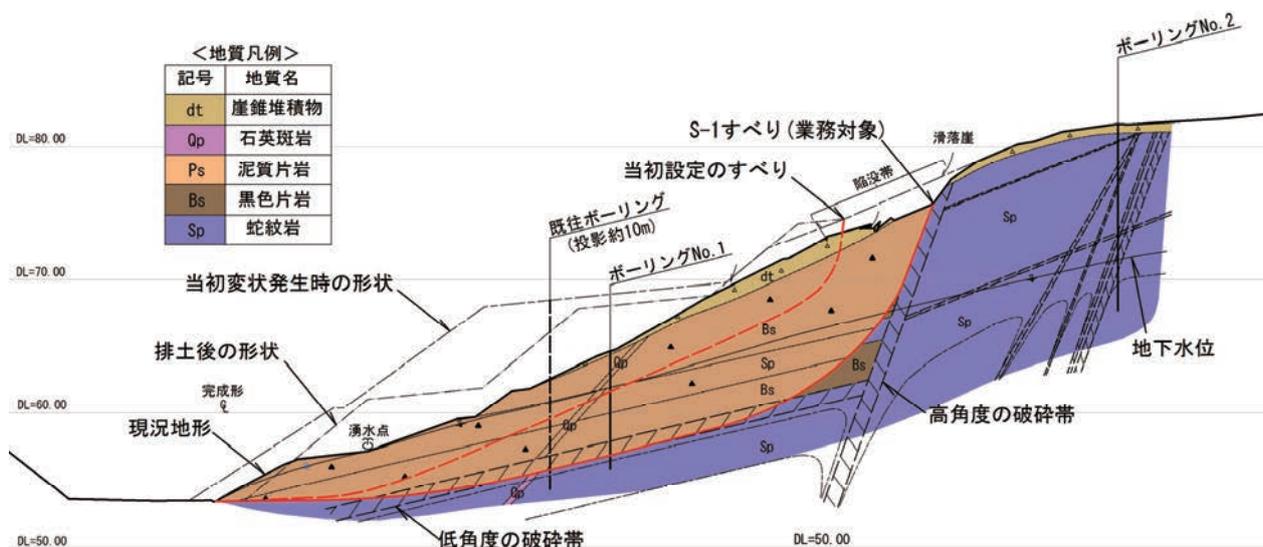


図 6 地すべり主測線断面図

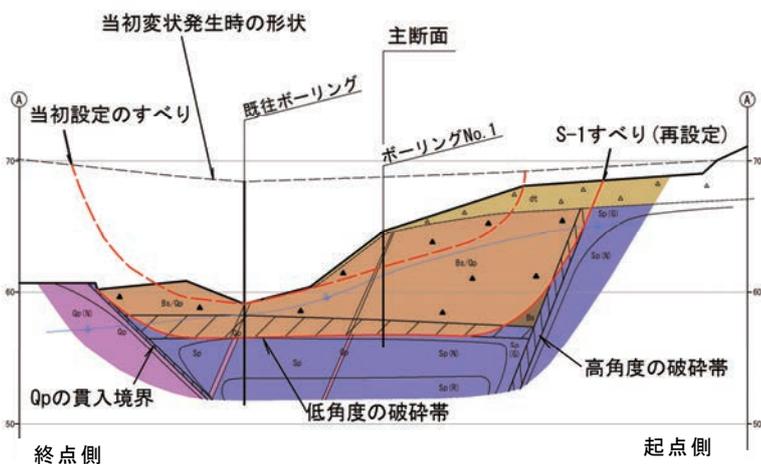


図 7 地すべり横断図 (A-A'断面)

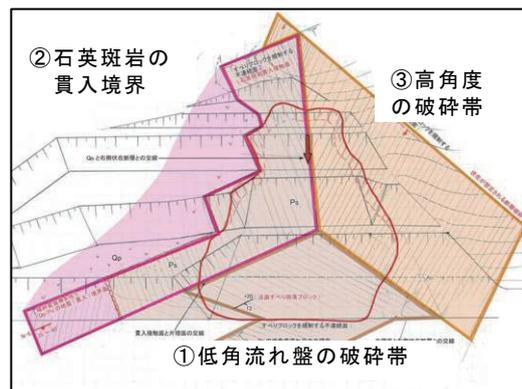


図 8 すべり機構模式図



## 5. データ様式の提案

本事例では、切土法面内に最初に変状が生じた段階で、適切な調査および設計を実施していれば、遅滞なく道路施工が実施できたと考えられる。その点を考慮し、B表にデータを記入した結果を表2に示す。

表2 B表への記入

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	A 県 土木建築事務所	
	工事名	B 道路建設工事	
	工種	切土法面工事	
	工事概要	切土法面に生じた変状への対策	
	①当初工事費	9,000 千円	
	当初工期	平成 23 年 3 月末	
リスク発現事象	リスク発現時期	工事段階	
	トラブルの内容	切土法面内に滑落崖、側方崖などの変状が生じた	
	トラブルの原因	切土による地すべりの誘発	
	工事への影響	切土工事が中断し、道路供用を遅延させる恐れがあった	
追加工事の内容	追加調査の内容	ボーリング調査、地表地質踏査、地すべり機構解析	
	修正設計内容	地すべり対策工の設計	
	対策工事	なし	
	追加工事	排土工、押え盛土工、横ボーリング工、吹付砕工	
	追加費用	追加調査	5,400 千円
		修正設計	なし(追加調査に含む)
		対策工	なし
		追加工事	79,900 千円
	②合計	85,300 千円	
	延長工期	なし(道路供用に間に合わせた)	
間接的な影響項目	なし		
負担者	追加調査、対策工事:発注者		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	工事段階	
	対応(すべき)者	発注者、地質技術者、設計技術者	
	対応(すべき)内容	切土工事中、最初に変状を認めた時点で、地質構造を考慮した調査及び設計を実施する。	
	判断に必要な情報	地表地質調査による地質構造把握、地すべり機構の想定、それを実証するためのボーリング	
	対応費用	調査	5,400 千円
		対策工	なし
		③合計	5,400 千円
	想定工事	工事概要	排土工、押え盛土工、横ボーリング工、吹付砕工
④工事費		79,900 千円	
工期		遅延無し	
リスクマネジメントの効果	費用 $((①+②)-(③+④))$	9,000 千円	
	工期	遅延無し	
	その他		

## 【論文 No. 7】 対策工施工斜面における地すべり災害の再発について（Bタイプ）

川崎地質株式会社 小山 純二

### 1. 事例の概要

#### (1) 地すべり災害の概要

町道沿いの切土のり面において、平成 19 年 2 月に幅 50m×長さ 30m 程度の地すべり災害が発生し、調査・設計結果に基づき対策工が施工された。しかし、平成 22 年 9 月に再び幅 40m×長さ 55m 程度の地すべり災害が発生した。2 度目の地すべりは方向や形状が異なるため、当初のものと異なる地すべり現象であると想定されたが、当初調査時には地すべり地背後のボーリング調査を実施していなかったため、実施していた場合には背後の地質・水位・地中変動状況が判明し、2 度目の災害を免れた可能性がある。

#### (2) 地すべり災害の経緯

##### ① 当初の地すべり災害

平成 18 年 10 月中旬に、町道沿いの切土のり面末端部のブロック積擁壁に幅 40m 程度の連続した水平亀裂が発見された。地表踏査の結果、切土のり面上部で明瞭な滑落崖状の亀裂や段差は認められないが、表層崩壊が認められた。調査ボーリング 2 本、および、約 2 ヶ月間の地すべり観測（パイプ歪計、地下水水位観測）を行ったが、明瞭な累積変動は認められなかったため、現在は不活発であると判断された。

平成 19 年 1 月末に、ブロック積擁壁において水平亀裂の拡大が確認されたため、地すべり観測を再開した結果、歪の累積が認められた。その後も加速度的に変位が進行し、平成 19 年 2 月初旬には歪計計測で 10,000 $\mu$  以上を記録した。

平成 19 年 2 月中旬には、ブロック積擁壁の倒壊が発生し、その 1 週間後には斜面全体の地すべりも発生し、移動土塊が道路上に堆積した。

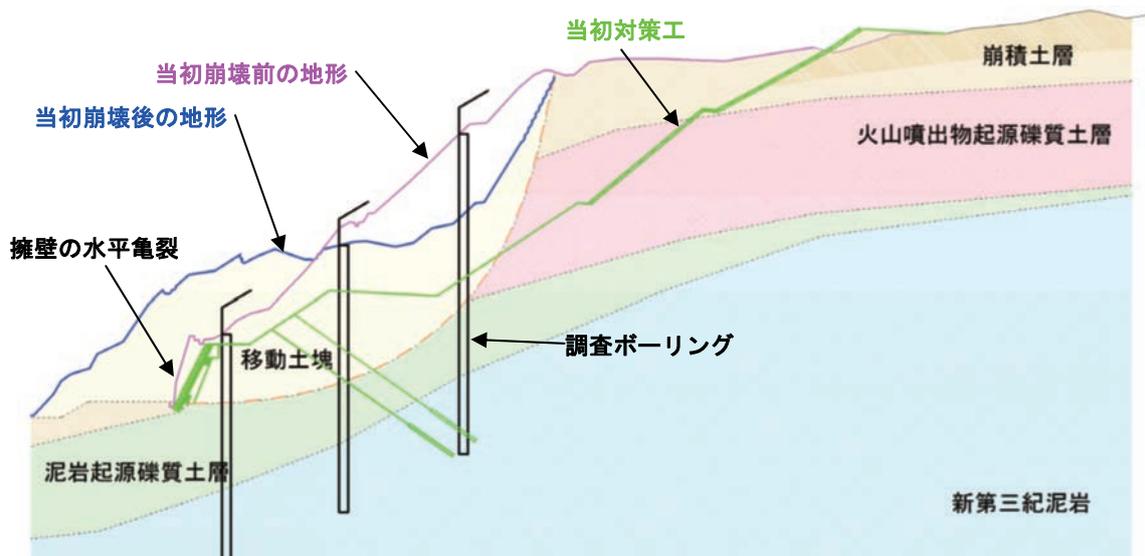


図. 1 当初の調査結果

調査の結果から、比較的緩やかな傾斜の新第三紀泥岩を基岩とし、泥岩起源礫質土層、

火山噴出物起源礫質土層、および、崩積土が被覆していると想定された。地すべり観測結果から、泥岩起源礫質土層内の軟質部をすべり面とした地すべりであると判定された。孔内水位観測では、季節による水位変動はほとんど認められていなかったが、調査地南西部の露岩部では融雪期に多量の湧水が認められていた。このような融雪水が地すべり活動の誘因となった可能性が高い。

地すべり背後での調査ボーリングも検討されたが、現況のデータから背後にすべりが存在していないと想定されたため、協議により地すべり地内のボーリングのみが実施された。

対策工としては、排土工およびグラウンドアンカー工が設計・施工された。対策工施工後に100mm/日の降雨を経験したが、明瞭な変状は発生しなかった。

## ② 2回目の地すべり災害

平成22年9月末に、長雨（1週間雨量が150mm以上）の影響により当該切土のり面で地すべり活動が再び発生した。当初の地すべりとは「すべり方向」、「すべり面形状」、「すべり面の地質」等が異なるが、当初の地すべり災害に近接して発生しており、既設のグラウンドアンカー工、のり枠工、ブロック積擁壁工等を破壊し、町道上に土砂が崩落した。

調査結果から、基盤岩である新第三紀泥岩が想定以上の高まりで存在すること、火山噴出物起源礫質土層が山頂平坦面には分布しないこと、すべり面は新第三紀泥岩と泥岩由来礫質土層との境界部に分布することが判明した。また、滑落崖には複数の湧水・浸み出しが認められ、地下水位の高い斜面であることが判明した。

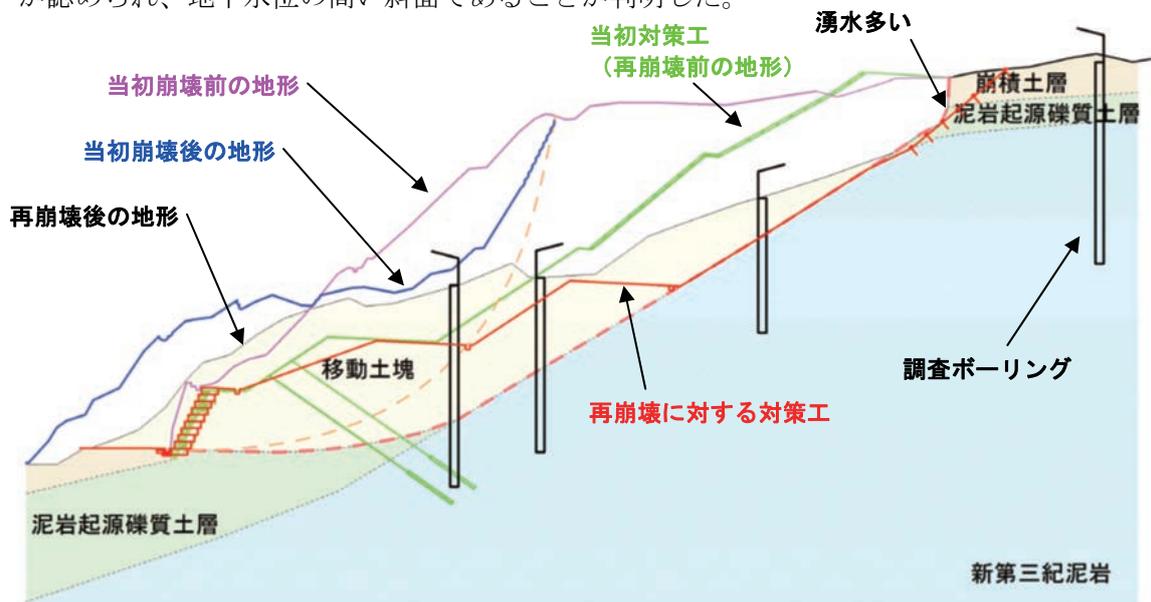


図.2 2回目の調査結果

対策工としては、排土工およびかご枠工が設計・施工された。

## 2. 事例分析のシナリオ

当事例のようなリスク発現を防止するためには、「地すべり地背後の調査」が必要か否かの判断が重要となる。当初災害時に地すべり地背後の調査が実施されなかった理由を以下に示す。

- ・ 崩壊地形の上方に平坦面が分布している。当初の踏査時には伐採木の搬出跡の山道等が一部に認められるが、開口亀裂等の地形異常は認められなかった。
- ・ 火山噴出物起源礫質土層は、火山噴出物が再堆積したものであり、広域的な広がりを持って堆積しており、調査ボーリングで確認されたものと同様な層厚で堆積すると想定された。
- ・ 火山噴出物起源礫質土層は、φ2～20mm程度の火山礫を多く含み、また、φ40cm～100cm程度の安山岩・玄武岩転石が点在することから、泥岩起源礫質土のような弱層が連続する可能性は低いと推定した。

マネジメントの効果は、「地すべり地背後の調査」を実施した場合に判明すると考えられる地質情報・地すべり観測情報を基に対策工を設計した場合と、実際に発生した追加調査費および対策工費を比較して試算した。

### 3. データ収集分析

調査位置の選定によるが、追加調査を実施した場合には、以下の情報が収集できたものと考えられる。

- ・ 地すべり地背後は基盤が比較的急傾斜で分布している。
- ・ 火山噴出物起源礫質土は斜面部には層厚 9m程度で分布するが、山頂平坦部には分布しない。
- ・ 泥岩起源礫質土層は斜面部から山頂部にかけて連続して分布する。
- ・ 地下水位は非常に浅い深度に分布する。

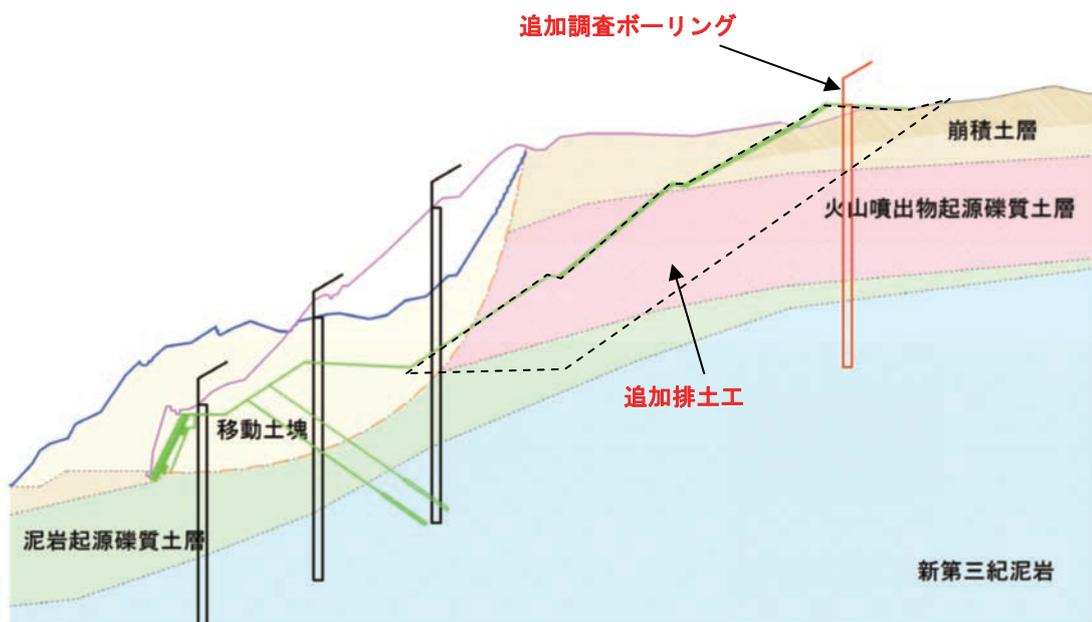
調査・設計段階で上記情報が収集できていた場合には、地すべり地背後に弱層が分布することが把握でき、対策工の設計を変更できた可能性がある。

### 4. マネジメントの効果

「地すべり地背後の調査を実施した場合」を想定し、コスト比較を行った結果を表.1 に示す。想定調査としては、地すべり地背後でのボーリング調査および地すべり観測を選定し、想定対策工は、再崩壊時の設計を参考に基盤岩まで排土工を追加するものとした。

表.1 想定コスト比較

費目		費用
①追加調査・工事	調査ボーリング、地すべり観測	16,500 千円
	かご枠工、排土工	72,000 千円
②当初工事	グラウンドアンカー工、 排土工、水抜き工	143,000 千円
③想定調査・工事	調査ボーリング、地すべり観測	2,000 千円
	排土工の追加	45,000 千円
<b>マネジメント効果 (①-③)</b>	<b>88,500 千円 - 47,000 千円</b>	<b>41,500 千円</b>



## 5. データ様式の提案

当事例について、データ様式にまとめると表.2 となる。

表.2 B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	地方自治体	
	工事名	町道 A 線 道路災害復旧工事	
	工種	地すべり対策工	
	工事概要	グラウンドアンカー工(16.5m×20本) 排土工(12000m <sup>3</sup> ) 水抜き工(20m×7本)	
	①当初工事費	143,000 千円	
	当初工期	不明	
リスク発現事象	リスク発現時期	工事から3年後	
	トラブルの内容	近接して地すべりが発生	
	トラブルの原因	想定外のすべりの分布	
	工事への影響	地すべり対策工の新規施工	
追加工事の内容	追加調査の内容	調査ボーリング 6本, 動態観測 3ヶ月	
	修正設計内容	地すべり対策工の新規設計	
	対策工事	かご枠+排土工	
	追加工事	なし	
	追加費用	追加調査	16,500 千円
		修正設計	かご枠+排土工
		対策工	72,000 千円
追加工事		なし	
	②合計	88,500 千円	

	延長工期	不明	
	間接的な影響項目	道路の通行止め	
	負担者	管理者、地域住民、納税者	
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	調査段階	
	対応(すべき)者	調査技術者、発注者	
	対応(すべき)内容	崩壊背面の調査ボーリングを提案	
	判断に必要な情報	崩壊背面の地質状況を把握 (ボーリング L=20m×1本) 地中変位および地下水位状況を把握 (動態観測 3ヶ月)	
	対応費用	調査	2,000 千円
		対策工	-
		③合計	2,000 千円
	想定工事	工事概要	排土工の追加(14,000m <sup>3</sup> )
④工事費		45,000 千円	
工期		変更なし	
リスクマネジメント の効果	費用(②)-(③+④)	41,500 千円	
	工期	変更なし	
	その他	近接地すべり発生の可能性低減	

以上

【論文 No. 8】 行政側から見た公共事業の地質リスク事例

日本建設情報総合センター ○山本 剛  
 セントラルコンサルタント 渡邊 郁夫

1, はじめに

この論文は、道路の計画・建設・管理を担当する行政側担当者から見た地質リスクについて考察をするものである。

失敗は「関係者に迷惑をかけ、不名誉なこと」「責任を追及されたくない」などの理由により、我が国では「隠すべきもの」として、失敗事例が隠されることがしばしばである。しかしながら、革新的技術開発や新たな技術的知見は、多くの場合失敗を経験することにより獲得されることから、失敗には多くの学ぶべき点がある。このため、失敗等のプロセスを検証し、そこから得られた経験知識を広めることは、技術の信頼性を高めるために非常に有効であり、今後の失敗を防ぐための技術の取得になる。このような趣旨で「経験知識データベース（道路事業）」（平成 17 年 1 月）は元国土交通省の道路の公共事業に携わった経験豊かな技術者達によって、後輩技術者への教育のために作られたものである。

このデータベースは 88 件の事例が掲載されており、この論文ではこのうち、発現した地質リスクに関係する 13 件の事例を紹介・分析するものである。なお、データベースの巻頭には「必ずしもすべて事実に基づいたものではなく、知識として吸収しやすいように、シナリオ化している。」と記載されていることをお断りしておく。

2, データベースの例

データベースは一例として図一 1 に示すように分野・事例名称・場所・年月・失敗事象・失敗に至る経過・失敗の原因・失敗事象への対応・失敗の総括・知識化・略図が記載されている。

3, 事例の整理と考察

データベースにおいても考察がなされているが、道路を担当する公共事業者からの視点からなされていることから、ここでは地質リスクの観点で整理を行ない表一 2 にまとめた。

(1) 事例 1

事例 1 は図一 1 に示すように現地踏査で見つけられなかった古い亀裂から雨水が入り、地すべりが発生したものである。

道路事業・経験知識データベース	
分野	予備・詳細設計
事例名称	地すべり指定区域内で、切土施工中に上部より地すべり発生
場所	山地部の二次改築 年月:平成 8 年
失敗事象	急峻な山間部において、新設道路の施工途中（切土既成）に突然地すべりが起きた。
失敗に至る経過	・地すべり指定区域内の工事であるため、施工に先がけ、現地に法面感知センサー、歪計を設置し日々地層の変動観測を行う等注意を払っていた。 ・前々日より豪雨が降り続いていたので工事を中断し、観測を続けていたが前触れもなく、突然地すべり（幅 20m 程度）が起きた。地すべりした箇所はその谷沢部にあたる。
失敗の原因	・かなり古い亀裂（崩落位置より相当離れた上部の位置で、事前調査時未確認の亀裂跡）に雨水が集中浸透し、斜面の安全率が急激に低下し、突然の地すべりが発生したと考えられる。
失敗事象への対応	・集水井戸を設けボーリングで集水して地下水位を下げるのと同時に、表面水の集水及び、鋼管抑止杭を設置した。 ・崩落後の法尻には井桁擁壁を設置し対応した。
失敗の総括	・地すべり指定区域内であり、周辺には民家等が全くない地域とはいえ、谷沢のように雨水が集中する箇所については、特に綿密な事前調査を行い、充分な検討が必要であった。
知識化	・地すべり地帯では予想外の災害が起き、復旧費用もかさむこととなるので、充分な調査設計、入念な施工が必要である。 ・今後はルート選定時に、地すべり地帯は避けることを基本とし、やむを得ず通過する場合は、高架にする等地すべりに対する構造の対応が必要である。

図一 1 道路事業・経験知識データベースの一例

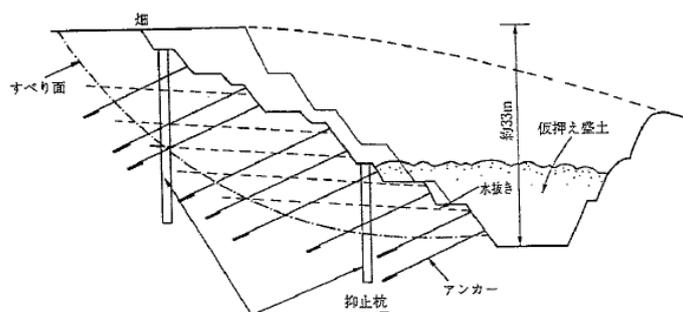
地すべり指定地であれば、現地踏査でも

慎重に調査がなされ、ベテランの地質技術者であれば発見できるものと推察される。

また、資料ではやむを得ず地すべり地帯を通過する場合は高架構造の検討を推奨しているが、近畿地方においては、奈良県の山間部の地すべり地帯を通過する十津川道路などで高架構造が採用され、平成23年の台風12号による紀伊半島大水害でも大きな被害がなく「命の道」として地元自治体からは評価されている。

## (2) 事例2

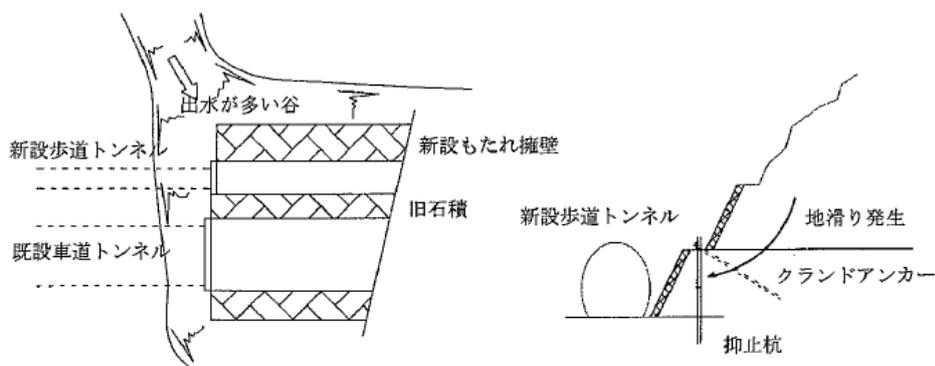
事例2は地すべり多発地帯であることを認識がなく、既存文献調査など基本的な調査を行わずに、5段の切り土をおこない、円弧すべりが生じたものである。地質技術者が関与していれば、路線計画段階で、高さを変更するなどの措置ができたと考えられる。



図一2 事例2の状況

## (3) 事例3

事例3は既存トンネルの横に歩道トンネルを設置する際に、地山が動いたものである。過去にトンネル坑口は地すべりをおこしていたが、それを知らずに設計し、調査も十分に行わずに、地すべり対策が不十分なままに施工したものである。現地踏査をすれば地質技術者であれば十分に予見できたものと思われる。

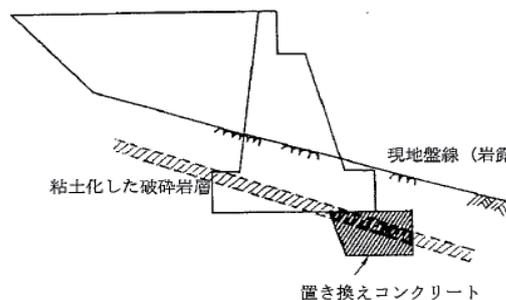


図一3 事例3の状況

## (4) 事例4

事例4は地すべり地帯の露頭岩盤上に橋台を直接基礎で設置する工事において、露頭岩盤とされていた所の下に破碎帯があり、床堀に伴い岩盤滑りが生じたものである。その結果、支持力確保のため置き換えコンクリートで対応したものである。

地すべり地帯など地質の悪い所では慎重な評価をすべき事例である。



図一4 事例4の状況

(5) 事例 5

山間部の道路盛土において、横断排水管を設置してあったが十分な断面積でなく、ダムアップして盛土が崩壊したものである。設計に当たっては上流からの土石流による排水管の閉塞の可能性も考慮が必要であるため、山の安定性についての評価も重要である。

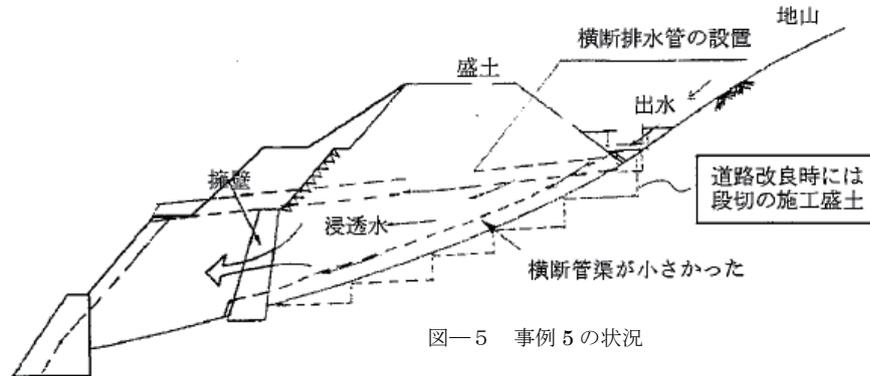


図-5 事例 5 の状況

(6) 事例 6

国道に接した土地を埋め立てた際に十分な地下水の排水対策を講じなかったため、道路本体が埋め立てた土地の山側から来た雨水や地下水によって道路盛土においてが崩壊したものである。ややもすれば機械的になりがちな請願工事の審査に、土質に関する技術力が必要となった事例である

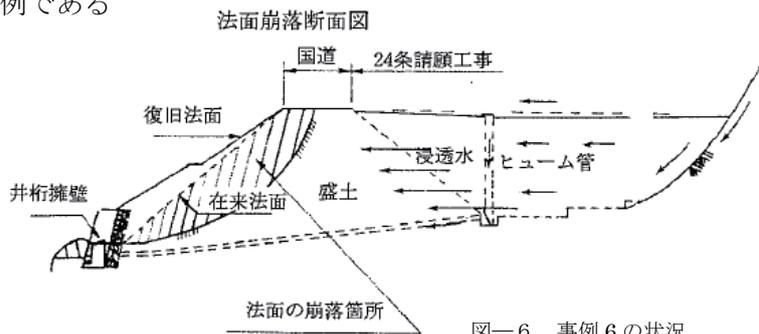


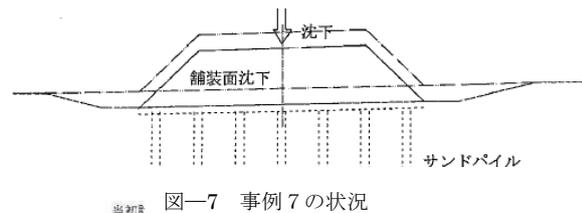
図-6 事例 6 の状況

(7) 事例 7・8・9・10

いずれも軟弱地盤上の盛土工事を行い、周辺地盤にまで影響を与えたトラブルである。

事例 7 は詳しい調査の後に盛土工事に入ったが、深層部の崖錐や砂礫層の下に隠れた軟弱層が沈下したもので、事前調査ボーリングを一本でも長深度にしておれば防げた事例である。

事例 8 は事前の十分な地質調査と軟弱地盤対策を行わずに盛土を行った事例で、河川埋没の大きな事故を引き起こしている。



当初 図-7 事例 7 の状況

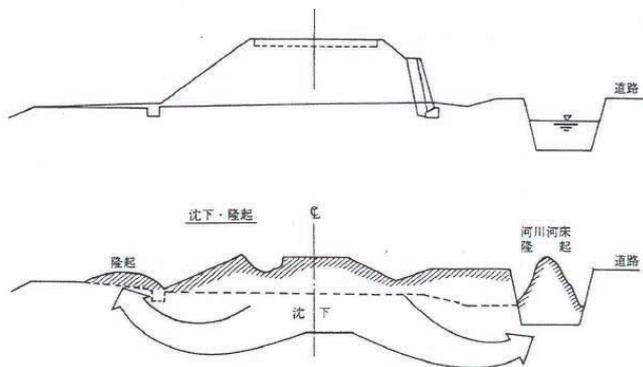
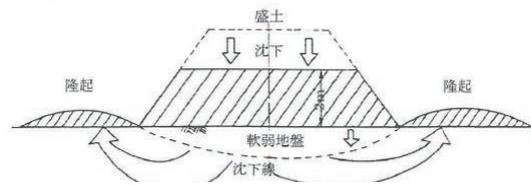


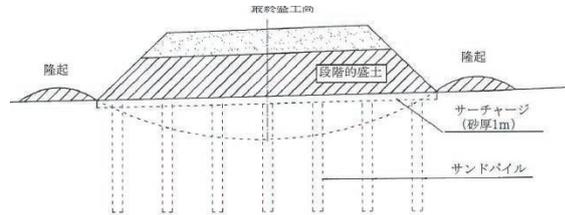
図-8 事例 8 の状況

事例9も同様に事前の十分な地質調査と軟弱地盤対策を行わずに盛土を行った事例で周辺地盤を隆起させている。



図一9 事例9の状況

事例10は十分な地質調査を怠り、さらに、軟弱地盤であることを認識しながら、工期と工費の関係で急速施工を行った事例である。設計者はもとより発注者・施工者に地質に関する技術者が必要とされた事例である。

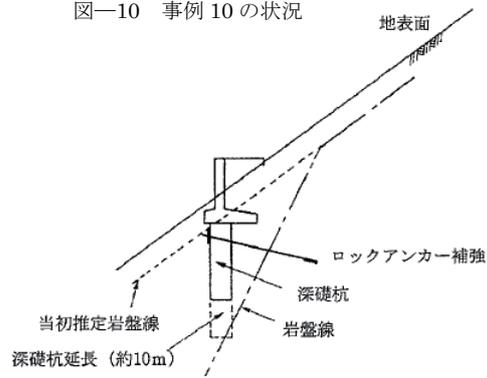


図一10 事例10の状況

(8) 事例11・12・13

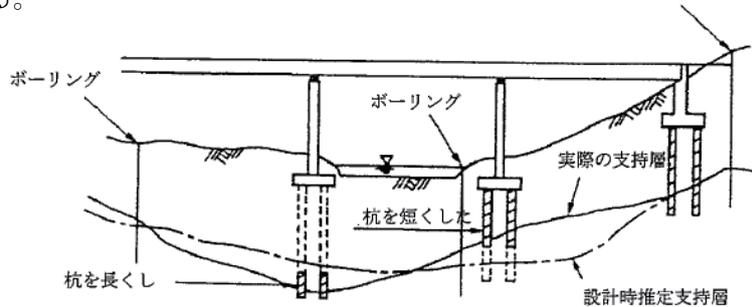
事例11～13は実際の地質が設計における地質条件と異なっていたために、施工時に大幅な設計変更を余儀なくされた事例である。

事例11はジャストポイントでボーリング調査がなされなかったために、岩盤位置が想定より深く、深礎杭が岩盤に到達できなかったことから、地震時水平力確保のために、ロックアンカーを追加施工した事例である。



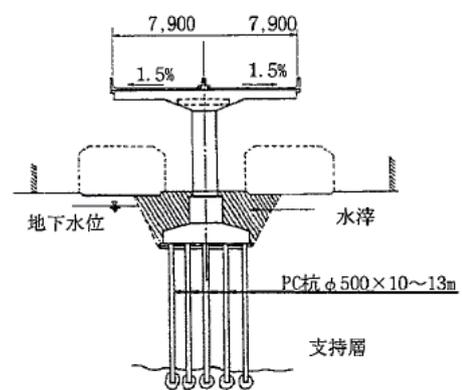
図一11 事例11の状況

事例12は渡河橋梁において設計時の支持層が実際と異なり、杭の設計をやり直した事例である。



図一12 事例12の状況

事例13は住家が近い箇所で橋梁基礎工事を、当初ジーゼルハンマーで施工するという、現在では考えられない施工法で設計していたものである。現地での施工では騒音振動対策のために回転式のウォータージェット工法(先端ミルク注入)で施工したもので、そのために支持力が変わり、基礎より上部の設計を大幅に変更したものである。設計時の問題も大きいですが施工時においても、支持力が変わることを前提に基礎杭を増やすなどの対応を検討すべきであったと考えられる。



図一13 事例13の状況

表一-1 地質リスクが発現した事例一覧表

事例番号	事象	失敗の要因	失敗の結果	知識化(教訓)	再度発生防止対応案
1	地すべり 急峻な山間部において、新設道路建設のために切土を行った時に豪雨が発生し、20m地すべり崩壊した。	地すべり地帯である認識はあったが、古い電線跡を見逃すなど周辺の地質調査、ボーリング等調査不足。	道路崩壊 工事遅延 周辺地帯への影響	地すべり地帯は十分な調査・設計や入念な施工が必要である。 ・ルート選定時に地すべり地帯を避けることや高築構造等を検討するなど、設計初期の段階からの検討が必要である。	・ルート選定時に十分な地質データが必要 ・十分な地質の知識を持った技術者が調査・設計に携わる。
2	地すべり 新設道路建設のために切土を行っていた時に幅100m高さ30mの円盤滑りが発生した。	既存文献調査や地表調査などの基本的な地質調査を怠った。地すべり多発地域である認識がなかったため、十分な地質調査や対策をせずに切土を行った。	道路崩壊 工事遅延 周辺地帯への影響	地すべり地帯は十分な調査・設計や入念な施工が必要である。 ・ルート選定時に地すべり地帯を避けることや計画書を更迭して切土を無くしたり量を減らしたりする検討が必要である。	・ルート選定時に十分な地質データが必要。 ・地質の知識を持った技術者が設計に関与する。
3	地すべり 歩道トンネル出口部を掘削中に山が動きだし、グラウトアンカーを設置するなど、緊急対応を行った。	過去に地すべりが生じていたにも関わらず、地質詳細調査を行わずに、一般的な施工法で設計を行った。	工事遅延	地すべり法面は過去の経緯等も配慮して、詳細な地質調査検討が必要がある。	・詳細設計時に地質に関する知識のある技術者が必要である。 ・詳細設計時に十分な地質データが必要
4	地すべり 大規模工事 変更 橋台位置の覆土している岩盤に直接基礎で設計していたが、岩の下に粘土化した砂層があり、施工時に滑り落ちたため、その下の岩盤部分までコンクリートで置き換えた。	覆土している岩盤の下に砂層帯がある想定できなかった。	工事遅延	地すべり地帯では十分な地質調査を行って、設計する必要があら。 ・掘削段階で施工場所の地質を確認する必要がある。	・詳細設計時に当該地点の地質データが必要。 ・施工者に地質に関する知識のある技術者が必要
5	盛土路体 崩壊 山岳道路の盛土部分において、豪雨時に山側からの出水が路体に浸透し、数10mに渡り崩壊した。	山側からの豪雨時の出水に耐えられるだけの、横断水路が確保できていなかったため等。	道路崩壊 周辺地帯への影響	・集水面積や、土石流発生の可能性などを検討して、異常な豪雨時においても、山側からの出水や土石流に対しても、耐えつる、横断水路を確保する必要がある。	・詳細設計時に地質に関する知識のある技術者が必要である。
6	盛土路体 崩壊 道路の盛土区間の山側において、掘削工事で埋め立てを許可した。施工完了後の豪雨時に水が路体に浸透して谷側の法面が崩壊した。	地下・地上の排水施設が豪雨に対して不十分であった。埋め立て申請を許可するときにそれらを検討しなかった。	道路崩壊 周辺地帯への影響	・規模の大きい埋め立てについては、地上・地下の排水計画を十分に検討する必要がある。	・掘削工事を設け部署においても、地質関係の知識を持った技術者が必要である。
7	地盤沈下 軟弱地盤上に十分な対策を行った後に盛土を行ったが、地盤沈下が発生した。	深さ20mのボーリングを100m間隔で実施し、地質を十分に把握しと判断し、施工したが、支持層としていた砂層層等の下に厚さ20m以上の軟弱層があり、それが沈下一本も深いボーリングが無かったため最下の軟弱層が発見できなかった。	道路崩壊 周辺地帯への影響	・大規模な軟弱地盤地域ではボーリング等の地質調査を深部まで実施する必要がある。 ・文獻調査を十分実施して地質状況を把握する必要がある。	・予備設計・詳細設計時に詳細な地質データが必要。 ・地域の地質状況に精通した地質技術者が設計・調査に関与する。
8	地盤沈下 側方流動 軟弱地盤上に盛土・ブロック積み擁壁を設置したため地盤沈下・側方流動が発生した。	十分な地質調査を実施しない、軟弱地盤上に盛土をおこなった。	道路崩壊 工事遅延 周辺地帯への影響	・軟弱地盤箇所では十分な地質調査と対策が必要である。	・予備設計・詳細設計時に詳細な地質データが必要。 ・地質の知識を持った技術者が設計に関与する。
9	地盤沈下 側方流動 軟弱地盤上に盛土を行ったため地盤沈下・側方流動が発生した。	既存文献調査や地質調査をせずに、軟弱地盤といふ認識が無く、十分な地質調査を実施しない、軟弱地盤上に盛土をおこなった。	道路崩壊 工事遅延 周辺地帯への影響	・軟弱地盤箇所では十分な地質調査と対策が必要である。	・予備設計・詳細設計時に詳細な地質データが必要。 ・地質の知識を持った技術者が設計に関与する。
10	地盤沈下 側方流動 軟弱地盤上に盛土を行ったため地盤沈下・側方流動が発生した。	軟弱地盤であることは予見していたが、詳細な調査をせずに、工期確保ができていなかったため、急遽施工を行った。	道路崩壊 工事遅延 周辺地帯への影響	・軟弱地盤箇所では十分な地質調査と対策が必要である。	・予備設計・詳細設計時に詳細な地質データが必要。 ・地質の知識を持った技術者が設計に関与する。 ・十分な工期の確保
11	大規模工事 変更 深礎杭の基礎位置が設計と大幅に相違し深く、深礎杭を延長したが岩盤に到達できなかったため、地震時耐力が不足した。	深礎杭の基礎位置が設計と大幅に相違し深く、深礎杭を延長したが岩盤に到達できなかったため、地震時耐力が不足した。	工事遅延	・斜面における基礎構造物の設計にはジャストポイントの地質調査が必要である。	・詳細設計時に当該地点の地質データが必要。 ・詳細設計時に当該地点の地質データが必要。
12	大規模工事 変更 橋梁設計時に、地質データ不足で支持層を想定して設計したことから、施工時に各々の橋脚で基礎杭の長さが大幅に変わった。	ジャストポイントでボーリング調査を行っていなかった。	工事遅延	・重要構造物の設計にはジャストポイントの地質調査が必要である。	・詳細設計時に当該地点の地質データが必要。
13	大規模工事 変更 橋梁建設後、載荷試験を行ったところ、杭の鉛直支持力が不足していたため、荷重軽減対策を実施した。	住居に近いところで、ジーゼルハンマーによる施工を前もって確認し、ありえない設計がなされていた。 回転式ウォータージェット工法に変更することで、支持力が不足した。	工事遅延	・設計者の成果は十分チェックする必要がある。 ・現場に適した施工を行うために、設計に際して現地調査を十分に行う必要がある。 ・地盤によっては、工法変更に伴い支持力が変わることを確認しておく必要がある。	・詳細設計時・施工中に杭の設計や地質に関する知識のある技術者が必要である。

#### 4, 考察

失敗の影響は道路崩壊や周辺地への影響など大きな影響を与えたものが、13件中8件あった。これは社会的影響が大きいため、避けなければならない事故である。このため、費用や時間をかけても、これらの地質リスクを避ける必要のある事例であった。

これらのリスクを避けられなかった最大の原因は調査（地質資料）不足であると考えられる。そして、地質資料が必要だった時期は主に予備設計や詳細設計時である。この時点での調査は時間と経費を確保できれば、十分な調査は可能である。

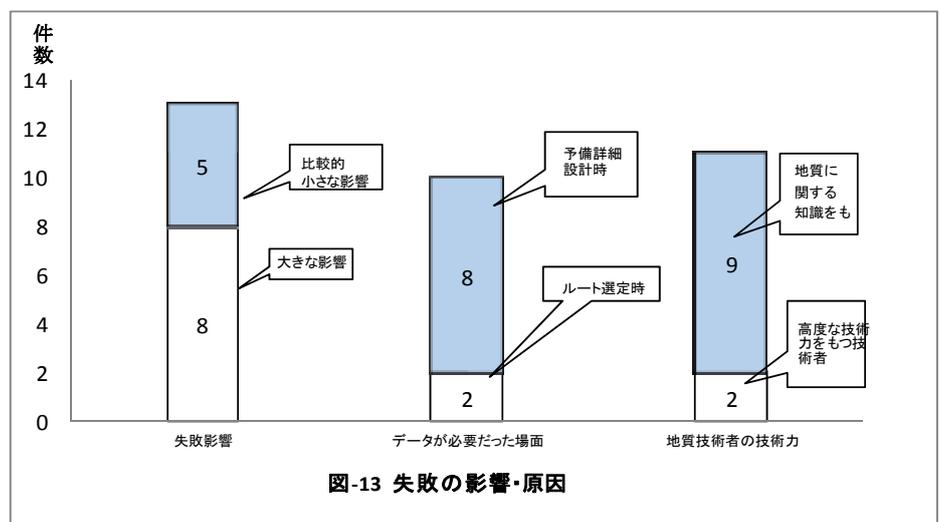
しかし、地すべり地帯を避けることや、切り土量を減らすために路面の計画高の変更は、ルート選定時に十分な地質データが必要となる。しかし、その時点ではルート公表前であることが多いため、「地すべり事例調査」や「地域の地盤生成の歴史の調査」さらには、「既存ボーリング調査」など、既存文献調査に頼ることが多い。既存文献調査はしばしば軽視されがちであるが、非常に重要で地域の地質の実情に詳しい地質技術者の活用が望ましい。

調査不足となった原因は推測になるが、予算不足・調査期間不足・ルート変更のため・既存資料など基本的地質情報収集不足・地質評価ミス・現地踏査不足などが考えられる。このうち予算不足や調査期間不足・ルート変更などは行政側の責任が大きいですが、それ以外原因は設計者の技術力不足によるところが大きいと考えられる。このデータベースはそもそも、行政を退官した技術者達が作成したもので、データそのものが昔の時代のものもあることを考慮しても、設計者の地質に関する技術力不足が大きいと感じた。特に、現地踏査や既存文献調査なども行わずに設計を行うなど、基本的な技術力や設計にあたっての配慮が十分でなかったと思われる。設計者としては、発注者の意向により、地質データ不足のまま詳細設計などに携わることがある可能性もあるが、技術者として設計に責任を持つ意味からも、必要なデータは収集するか、調査を要求すべき事柄であると思う。

さらに、このデータベースから読み取れる内容として、設計者以外にも行政側や施工を担当する建設会社にも地質に関する技術力不足の事例があった。これらを勘案すると、地質リスクの高い箇所においては計画から維持管理までの広範囲にわたり、地域の地質に関するアドバイザーや指導者が必要だと思われ、今後の建設マネージメントの制度設計に生かされるべき事柄だと思われる。

#### 5, 謝辞

経験知識データベースの使用をご快諾いただいた、近畿建設協会の霜上理事長ならびにデータベース作成に携わった方々に感謝申し上げます。



## 【論文 No. 9】 施工中の路面下空洞(開口亀裂)の対応事例

株式会社 構研エンジニアリング ○牛渡 聡、太田 昌宏

### 1. 事例の概要

#### (1) リスクの発現

新第三紀の砂岩が分布する山地において、新設道路の路盤設置工を施工中に、深さ 1m の盤下げを行ったところ、7 箇所空洞が確認された(最大 80cm×50cm、深さ 3.8m 程度、写真 1 および図 1、2)。当該箇所は、2ヶ月前に空洞探査を実施して空洞がないと判定した箇所であった。

対策工検討のため、工事が一時中断した。

#### (2) 既往調査

前年度切土施工中に、切土法面および路床において奥行き 5m と 1.6m 程度の空洞が発見された(写真 2)。この時点では、空洞の成因等の検討は行われていない。

対策としては、法面の空洞にはモルタルを充填し(注入量は 13m<sup>3</sup>程度)、路床の空洞は掘削により除去している。

#### (3) 当年度調査計画と結果

当年度は、事前に路面下の空洞探査のため、地中レーダー探査(L=120m 区間、測線 1m ピッチ、周波数 270MHz と 500MHz)を実施した。空洞分布の可能性のある箇所で簡易動的コーン貫入試験を実施して Nd 値の低下がないことから空洞は無いものと判断した。

施工後に確認された空洞の形状は、幅 33~55cm、奥行き 45~85cm、スタッフ計測による深さは 1.3~3.8m。空洞は道路縦断方向(E-W 方向)にほぼ平行な細長い長方形で、急立した形状をなしている。開口亀裂に見受けられた。空洞の内側(亀裂面)は半光沢黒色(いわゆる「マンガン焼け」)を示し、流入粘土は確認できなかった。

#### (4) 今後の対応方針

再調査の結果に基づいて、対策を提案した。



写真 1 路床部の空洞



写真 2 前年度に確認された空洞



図 1 空洞確認箇所 (数字の単位は mm)

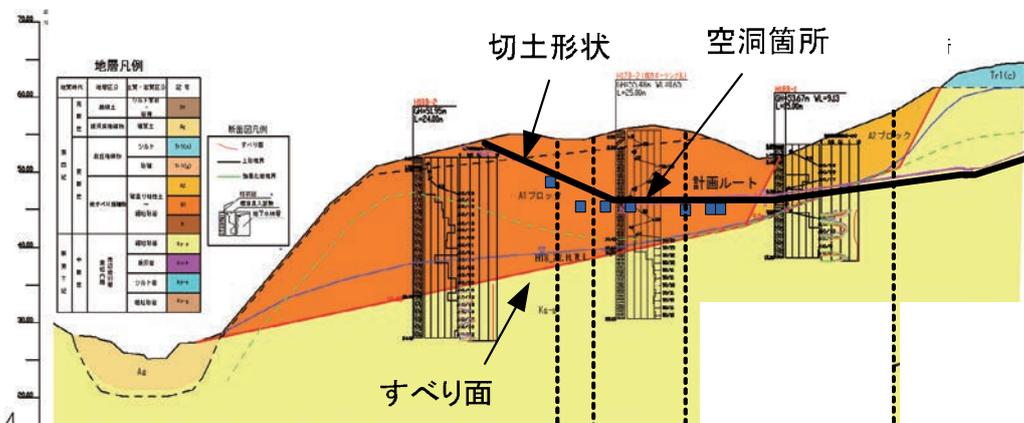
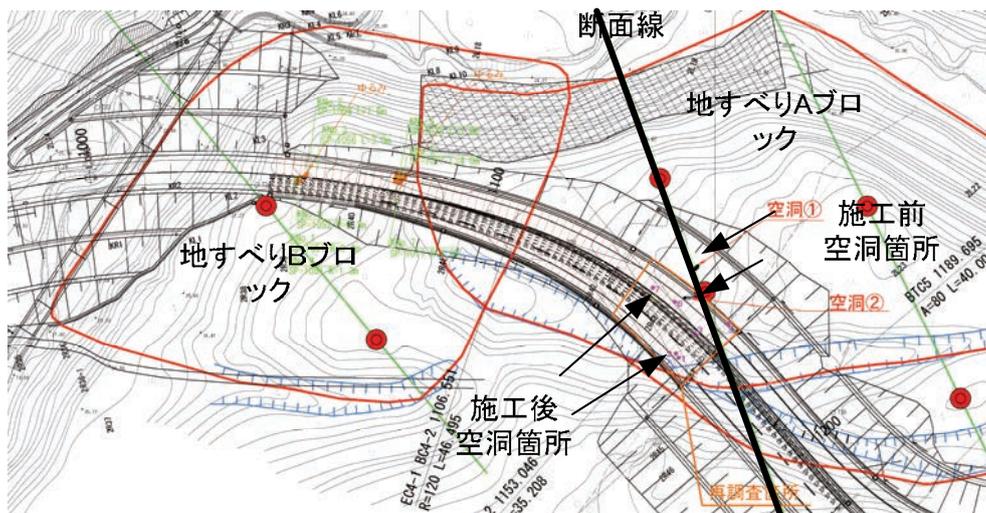


図2 空洞の分布状況と地質断面図

## 2. 事例分析のシナリオ

### (1)再調査(再探査)

前回調査よりも密度の高い測線(1m→0.5m 毎)を配置し、地中レーダー探査を再度行う(図3)。さらに、周波数をより細部に対応した高周波の1,000 MHzを追加する。

### (2)調査方法の妥当性

前回実施した調査手法を選定した理由と、調査結果が誤っていた理由を検証する。

### (3)空洞の形状と生成原因の推定

調査計画を立案するため空洞の形状と生成原因を推定する。

### (4)対策方針の検討

空洞の形状や分布状況を推定して、対策工を提案する。

### (5)施工結果の聞き取り

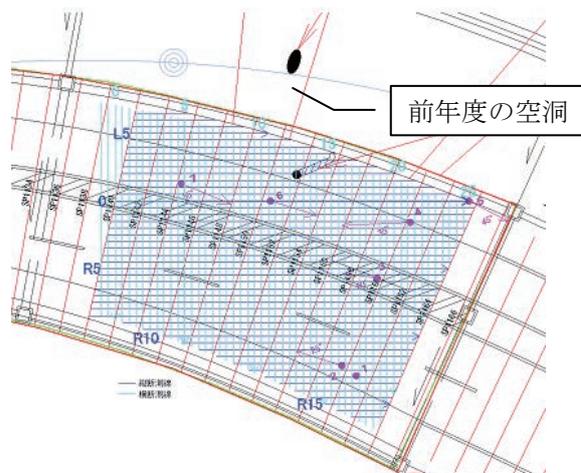


図3 新たな地中レーダー測線配置図

施工結果から対策の妥当性を検証する。

### 3. データ収集分析

#### (1)再調査計画と結果

空洞直上の測線で計測した結果、レーダー画像から空洞を認識できなかった(図3)。ただし、埋設管(φ300 ヒューム管)は認識可能であった。

#### (2)空洞の生成原因の推定

空洞の生成理由としては、a.地下水による溶食作用、b.地すべり頭部近傍の引張亀裂、c.亀裂帯における地下水の浸食等が想定された。a: 水溶性岩石ではなく近傍の帯水層に乏しいこと、b: 空洞の連続性に乏しい、c: 「マンガン焼け」から想定して熱水変質を受けた亀裂帯の浸食によるものと判断した。

#### (3)調査方法の妥当性の検討

一般的に行われている空洞探査方法を比較検討した(表-1)。亀裂探査は参考文献1参照。

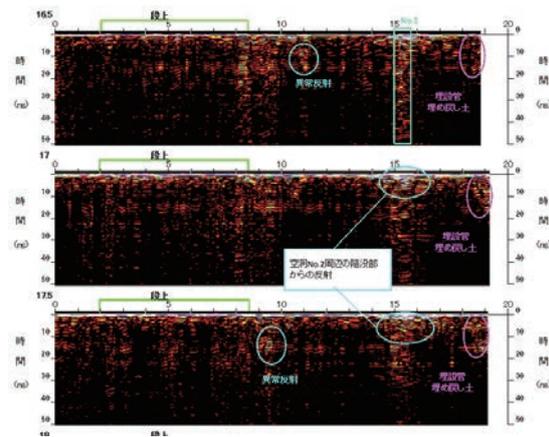


図4 再調査地中レーダー画像例

表-1 空洞探査方法の比較

探査方法	電気探査		電磁探査		地震探査			ファイバースコープ	
	比抵抗2次元探査 比抵抗3次元探査	比抵抗トモグラフィ	地下レーダー探査	EM法	表面波探査	浅層反射法	弾性波トモグラフィ	ファイバースコープ	
物性値	比抵抗値	比抵抗値	反射断面	導電率・比抵抗値・磁化率	S波速度	反射断面	P波速度	画像	
可深深度	20m以内	ボーリング掘進長による	2m程度	10m程度	15m	数m~数10m	ボーリング掘進長による	ケーブル長による	
分解能	電極間隔以上深くなると分解能	ボーリングの孔間距離による	数cm~数10cm程度	1m以上	1m以上	数m以上	ボーリングの孔間距離による	数cm以上の空洞	
検出方法	地盤と対象物との比抵抗値のコントラ	地盤と対象物との比抵抗値のコントラ	反射波の連続性や回折波のパターン	伝導率・磁化率の異常箇所	地盤と対象物との速度値のコントラスト	反射波の連続性や回折波のパターン	地盤と対象物との速度値のコントラスト	画像	
作業性	△	△	◎	◎	○	×	△	◎	
問題点	電極の接地が必要。地表に導電体が存在すると影響を受ける。	ボーリング孔が必要になるため、経費と時間が掛かる	地下水以深×コンクリート厚大×	送電線、建物などの導電体の近傍ではS/N比が急激に低下する	外部振動に弱い	外部振動に弱い	ボーリング孔が必要になるため、経費と時間が掛かる	非開口の場合は削孔が必要。レーダー等により検出された空洞の確認調	
適用性	埋設物	○	○	◎	導電体:◎ 非導電体:△	○	△	△	—
	空洞	○	○	○	△	高密度:× 定常振動法:○	△	△	○

表 1 示すように地中(地下)レーダー探査が最適と判断し、採用した。

一般に地中レーダーは、埋設管や空洞の探査に用いられているが、ほぼ水平方向に分布している。この場合、レーダー波が発信点方向に反射するため反射波が捉えやすいのに対して、ほぼ垂直方向の空洞の場合には、反射波が発信点付近に向かわないことが想定される。これは、一種の電波ステルス性といえる。

地中レーダー探査は、このような形状の空洞には不向きであったと考えられる。他の有効な探査方法については、資料収集など、さらに検討する必要があると考えている。

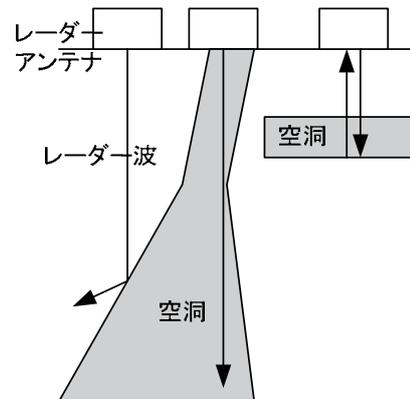


図 5 レーダー反射波模式図

#### (6)対策方針

空洞内の充填物質がないことから地下水により流出した可能性が高いこと、空洞の成因から想定して経時的に上方に拡大する可能性(進行速度は不明)があると判断した。なお、河床部付近における空洞の出口や充填物の堆積等は確認できなかった。

このため次の対策方針を立案した。

##### ・空洞の確認

まず、路床部の空洞探査のため、大型振動ローラーを走行させて、路床面の変状(陥没等)の有無により浅い弱部の空洞の位置を確認する。

##### ・空洞の充填

次に空洞を充填する。充填方法としては、砂、可塑性モルタル等の注入が想定された。空洞は亀裂を介して地表部に連続している可能性があるため、モルタル等による注入は河川に流出して汚染させる可能性がある。ちなみに、可塑性モルタル注入の経費は、次のとおりである。※単価 33 千円/m<sup>3</sup>、プラント費用 1,000 千円

実際の対策は、砂を充填して水締めを行っている。

また、発注者判断により、念のため 1m の盤下げをして空洞の有無を確認して対策工を実施している。

##### ・充填後の対応

なお、今後の空洞の延伸による路盤材の落下を防止する方法(路面をカバーする)も検討したが、発生時期が未詳なこと、経費増であることから、採用するに至らなかった。その代わり、道路パトロールの際に陥没発生の可能性がある区域として注意をはらうこととし、万一発生した場合にはその都度対応することとした。

#### (7)今後に向けて

今回発現した地質リスクの回避に向けて、今後は表 3 の方策が必要と判断している。

表 3 地質リスクの回避に向けた方策

時 期	方 策	留意点
調査設計	岩盤内の空洞や開口亀裂を発見した時点で既往の調査設計資料の見直し、地表踏査による成因の推定と追加調査の実施	空洞・開口亀裂状況(形状、深さ等)に応じた調査方法の立案
施 工	空洞や開口亀裂の分布に留意し、発見時は発注者へすみやかな報告	空洞・開口亀裂の発見・対応マニュアルの提示
維持管理	道路パトロールの頻度増加、重点的な路面点検	点検方法の確立が必要

#### 4. マネジメント効果

土木工事施工中には、予期せぬことが発生することがある(特に地盤に関して)。事象発生後に臨機に対応して短期に解決することが、工事の中断期間を短縮し、工事の品質を低下させないためにもっとも重要である。当初の調査・解析不足もあるが、現地状況をよく観察して事象の原因を想定して追加調査・解析により対応策を提案すること、対応結果が不成功の場合の対応も迅速に行う必要がある。

今後は路面のパトロールにより路面変状から空洞への路盤陥没を想定して、調査・対策の実施を行う必要がある。

今回の空洞の事例では、供用前に対策を施すことができたが、岩盤内の小規模空洞(開口亀裂)の調査・探査の困難さ、路面下空洞の対策方法の未確立(例えば参考文献 2)等の課題が明らかになったといえよう。

#### 5. データ様式の提案

この観点から事例分析結果をまとめ、表 4 に示す。

#### 6. 謝 辞

本論文の発表にあたり、当社ならびに協力会社職員諸氏の協力を受けたことを謝する次第である。

#### 【参考文献】

- 堀田 淳・高見雅三・石丸 聡・川村 晃：苔の洞門における地中レーダー・電気探査による岩盤の亀裂探査、物理探査学会学術講演会講演論文集、2005
- 直轄国道の舗装(路面)に関する保全検討委員会：路面地下の適切な管理のあり方について、平成 23 年 3 月

表 4 B. 地質リスクが発現した事例

大項目		小項目	データ	
対象工事		発注者	公共	
		工事名	道路新設工事	
		工種	切土、路盤、舗装	
		工事概要	路床切土	
		①当初工事費	—	
		当初工期	平成 23 年 4 月～10 月	
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期	切土施工中	
		トラブルの内容	路床部の空洞	
		トラブルの原因	探査精度不足	
		工事への影響	空洞の発見と対策を早急に行う必要あり	
	追加工事の内容	追加調査の内容	地中レーダー探査、振動ローラー	
		修正設計内容	—	
		対策工事	盤下げ切土(発注者判断)	
		追加工事	—	
		追加費用	追加調査	—
			修正設計	—
			対策工	
			追加工事	—
	②合計			
	延長工期	半月		
間接的な影響項目	工程の圧迫			
負担者	公共			
最 小 限 に 回 避 し た リ ス ク	リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	/	
		予測されたトラブル		
		回避した事象		
		工事への影響		
	リスク管理の 実際	判断した時期		
		判断した者		
		判断の内容		
		判断に必要な情報		
	リスク対応の 実際	内容		追加調査
				修正設計
				対策工
		費用		追加調査
修正設計				
対策工				
③合計				
回避しなかつ た場合	工事変更の内容			
	④変更後工事費			
	変更後工期			
	間接的な影響項目			
	受益者			
リスクマネジメン トの効果	費用④－ (①+②+③)			
	工期			
	その他	路面陥没の回避		

## [論文 No10] 沖積砂礫層の地下水取水に関する残留塩分問題

株式会社 エイト日本技術開発 ○木村 隆行  
〃 磯野 陽子  
〃 今田 真治

### 1. 事例の概要

日本には、図 1 に示すように、狭長な谷平野が海に接している箇所が多く分布する。通常、海岸部には浜堤が発達し、背後は後背湿地の淡水成粘土が分布し、その下位には沖積砂礫層や洪積砂礫層が分布する。

ここでは、河川改修工事に伴い、沖積砂礫層から伏流水を取水している水道水源への工事影響が懸念されたため、その工事期間中の代替え水源を確保する検討を行った事例を紹介する。

現地では、地下水への塩水クサビの常時の侵入は浜堤箇所までであり、内陸部に入ることにはない。また、高潮などによる河川の塩水遡上も、塩止め堰により水道水源までは到達しない。そこで、ほぼ水道水源と近接する位置関係の A 地点で、代替え水源を計画した。ボーリング結果では、表層部に砂礫層はなく淡水成粘土の下に砂礫層が断続し、その砂礫層からほぼ目的の水量が得られると判断された。

しかし、観測を行う内、時々、電気伝導度 EC が上昇する傾向が認められた。A 地点で水源を確保した場合、水量的には目的は達成されるが、水質上のリスクが発生する可能性が大きいと考えられた。そのため、その地質リスクの背景となる堆積環境を分析し、地層区分を明確化し、地質リスクを回避した事例である。取水候補は B 地点に変更した。

### 2. 事例分析のシナリオ

通常、海成層は粘土というイメージが強く、砂礫という土質で考えた場合、イコール帯水層という判断になりがちである。しかし、土砂供給の多い場合は漸移層として粘土から砂、砂礫層の海成層が内陸部に伸びており、縄文の海進の記録を地層内に留めている場合がある。このような地層形成の地史を理解し、適切な地質区分をしておくことが、地質リスク対応には重要になる。工学の砂礫でなく、地質としての砂礫の判断である。

A 地点では、土質的には砂礫層で、透水係数も  $k=5 \times 10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm/s}$  であったが、細粒分が混入した薄層が部分的に介在した。そのため地層の CNS 分析で、含有イオンの構成



図 1. 現地の位置図

を確認したところ、その砂礫層が海成層であることが判明した。また、上流からの淡水供給によっても、一部に過去の塩分が残留していることが判明した。

そのため、旧河道に当たる上流の B 地点を選定し、表層部に淡水成の砂礫層を確認したため、B 地点で取水する計画に変更し水質上のリスクを回避した。この地質リスク回避のシナリオとしては、下記ようになる。

- ・リスクの可能性 (A 地点水質の不安定性、EC 変動 Fe Mn Al が基準オーバー)
- ・リスクの把握 (A 地点の CNS 分析による砂礫海成層の把握)
- ・リスク回避の検討 (B 地点での淡水成の砂礫層の確認把握 Mn 基準オーバー)
- ・リスク回避の提案 (B 地点での取水計画への変更)

### 3. データ収集分析

#### (1) A 地点の CNS 分析結果および顕微鏡観察結果

A 地点の観測では、時々、電気伝導度が 15ms/m から 40mS/m 程度に上昇する不安定な状況があった。そのため、堆積環境を把握するため、A 地点のボーリング試料で CNS 分析を実施した。その結果を図 2 に示す。10m 以深の試料では、硫黄 TS=0.2%以上をしばしば示し、堆積物は海成層と判断できた。この 10m 以深では、粒状黄鉄鉱も確認され、過酸化水素 pH 試験でも 3.5 以下の強酸性を示し海成層であった。ただ、TS=0.2%以下になるのは砂礫～砂であり、化石海水が淡水で流されたものと考えられた。しかし、細粒のやや多い箇所は残留していると考えられた。また、TOC/TS の比率では海成層は 4.3 以下を示すため、7m 以深は海成層と推定できた。更に淡水成でしか形成されないビビアナイトを 5m で確認した。TOC/TN では 10m 以深の有機物の多くが 15 以上を示し、陸生植物を多量に含むが、これは河口付近で上流から多くの植物が混入したものと考えられた。

また、鬼界アカホヤテフラの褐色火山ガラスが 10m 以浅のみに確認され、10m が約 7300 前の境界であることが推定された。

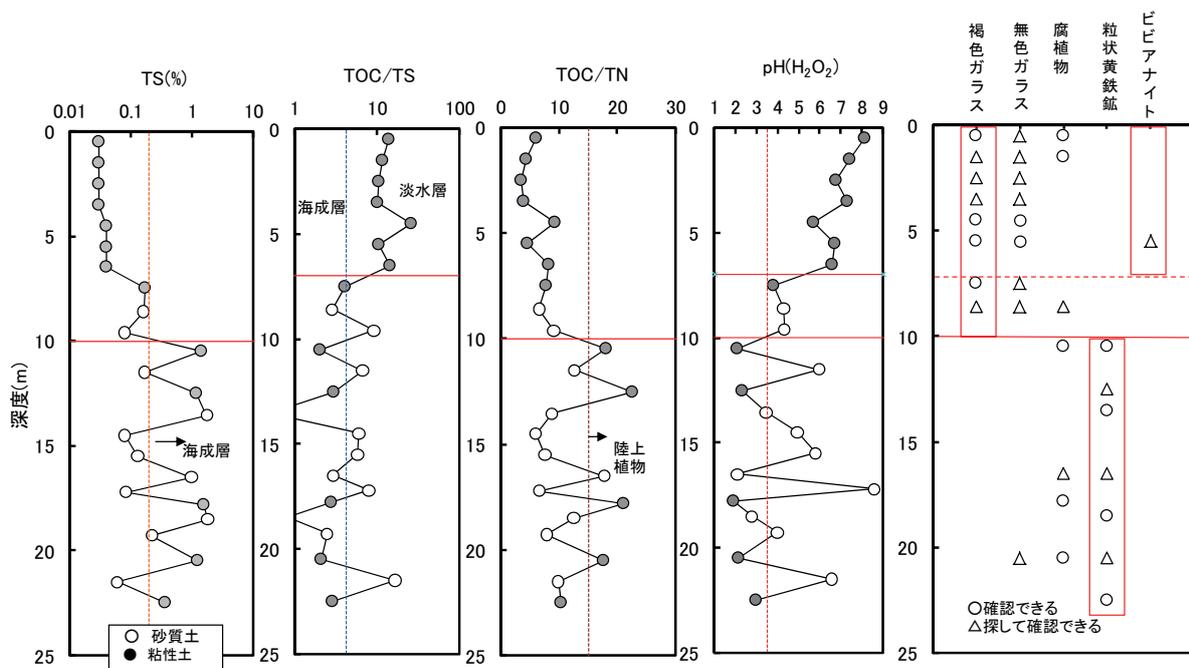


図 - 1 深度相関図



写真1 ビビアナイト

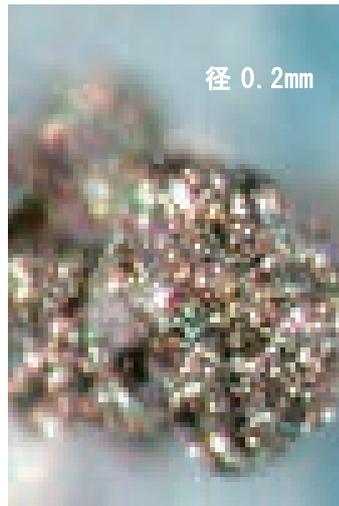


写真2 粒状黄鉄鉱

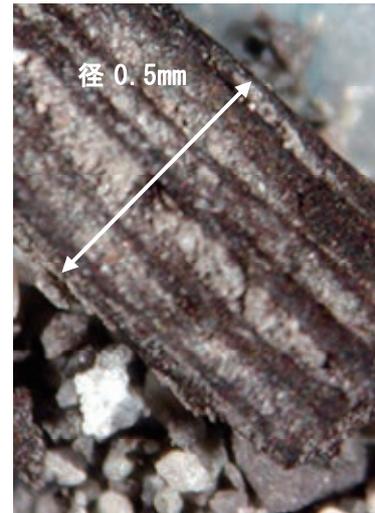


写真3 腐植物

以上の分析結果から、A地点の10m以深では浅海の堆積環境であり、河口の海岸線が現在より1km以上内湾に入り、海進とともに土砂が堆積していたものと考えられる。しかし、その後、約7300年前に急激な海面上昇と豪雨による土砂供給があったものの、その時点で沿岸流によって高い浜堤が形成されて、ボーリング地点は淡水湖になり、5000年以上かけて粘性土が堆積していったものと考えられる。浜堤の形成は地下水への塩水進入も防御し、10m以深においても堆積当初に含有していた化石塩水が上流からの地下水供給により、長期に洗い流され、細粒分を含む部分にのみ痕跡を残すことになったと考えられる。

この介在する細粒層にはFeが確実に介在し、有機物もやや多く、結果として水質にはFeとMn、Alが飲料水基準をオーバーした。また、ECも変動した。

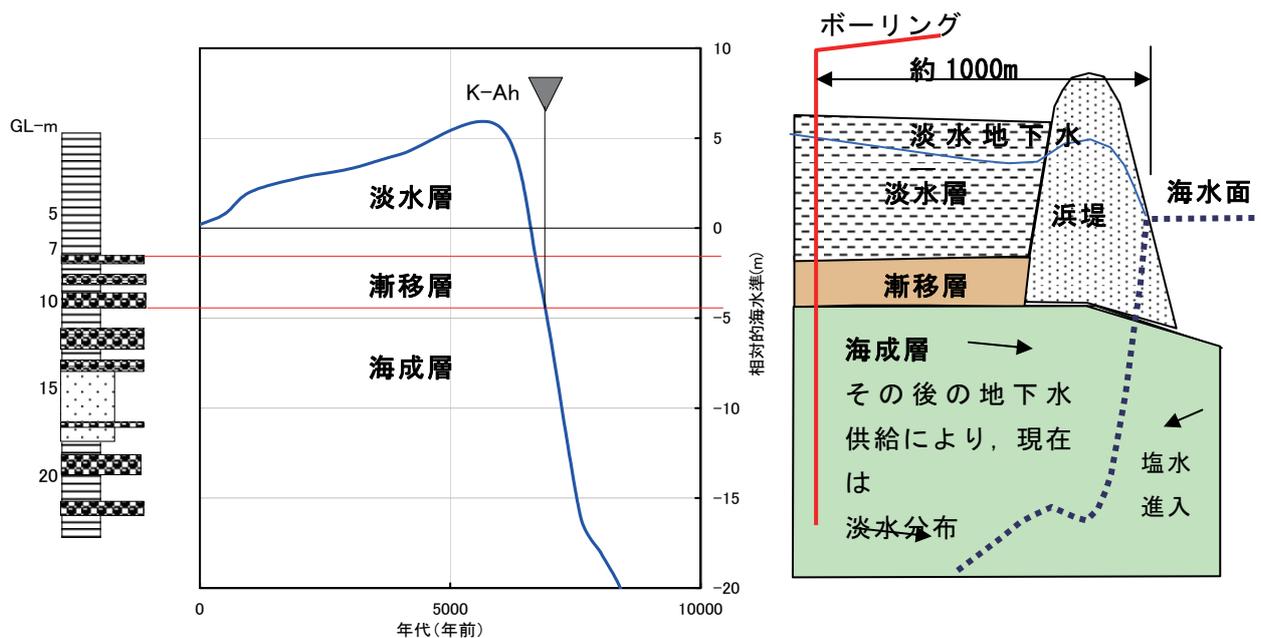


図3. A地点の海水準面変動と堆積環境

(2) B地点の CNS 分析結果および顕微鏡観察結果

B地点での調査ボーリングで、同様の分析を行った結果を表1に示す。ここでは、9mまでの砂礫層は淡水成、それ以深の粘土は海成層であることが判明した。この水質については Mn が基準をオーバーした。

表 1. B地点分析結果一覧表

深度(m)	土質	堆積環境	透水係数 (cm/s)	pH	Ec (mS/m)	Eh(mV)	残渣観察						CNS元素分析結果					
							褐色ガラス	無色透明ガラス	腐植物	粒状黄鉄鉱	自形鉱物	ビビアナイト	2mm以上礫	TC	TOC	TC-TOC	TN	TS
0.5	砂礫	淡水成層		6.85	4.33	265	△	△	-	-	-	-	△	0.8	0.77	0.03	0.11	0.03
1.2				6.64	3.52	297	△	△	-	-	-	-	○	0.73	0.72	0.01	0.1	0.02
2.4				7.37	2.74	282	-	-	-	-	-	-	○	0.35	0.35	0	0.07	0.02
3.4				7.82	2.59	261	-	-	-	-	-	-	○	0.31	0.29	0.02	0.06	0.02
4.5				1.5E-01	7.28	2.47	287	-	-	-	-	-	○	0.24	0.24	0	0.05	0.02
5.4				3.2E-02	6.70	8.40	295	-	-	-	-	-	○	0.28	0.29	-0.01	0.05	0.03
6.5					7.07	4.77	290	-	-	-	-	-	○	0.29	0.3	-0.01	0.06	0.03
7.5				1.5E-01	7.34	2.94	278	-	-	-	-	-	○	0.32	0.33	-0.01	0.06	0.03
8.5					7.42	2.21	279	-	-	-	-	-	○	0.32	0.33	-0.01	0.05	0.06
9.5	粘土	漸移層		6.68	2.65	187	-	-	△	△	-	-	1.12	0.9	0.22	0.11	0.1	
10.45				6.15	7.75	165	-	△	-	△	-	-	2.05	2.02	0.03	0.16	0.22	
11.5		海成層		3.87	55.60	302	-	△	○	○	-	-	2.81	2.68	0.13	0.2	0.91	
12.45				4.57	44.80	269	-	-	○	○	-	-	2.73	2.63	0.1	0.2	1.07	

※残渣観察結果凡例 ○：確認できる △：探して確認できる -：確認できない

(3) AとB地点の地質構造比較

A, B地点の地質構造は図4のようになり、A地点の方が、水量・水質とものリスクが大きいと判断された。

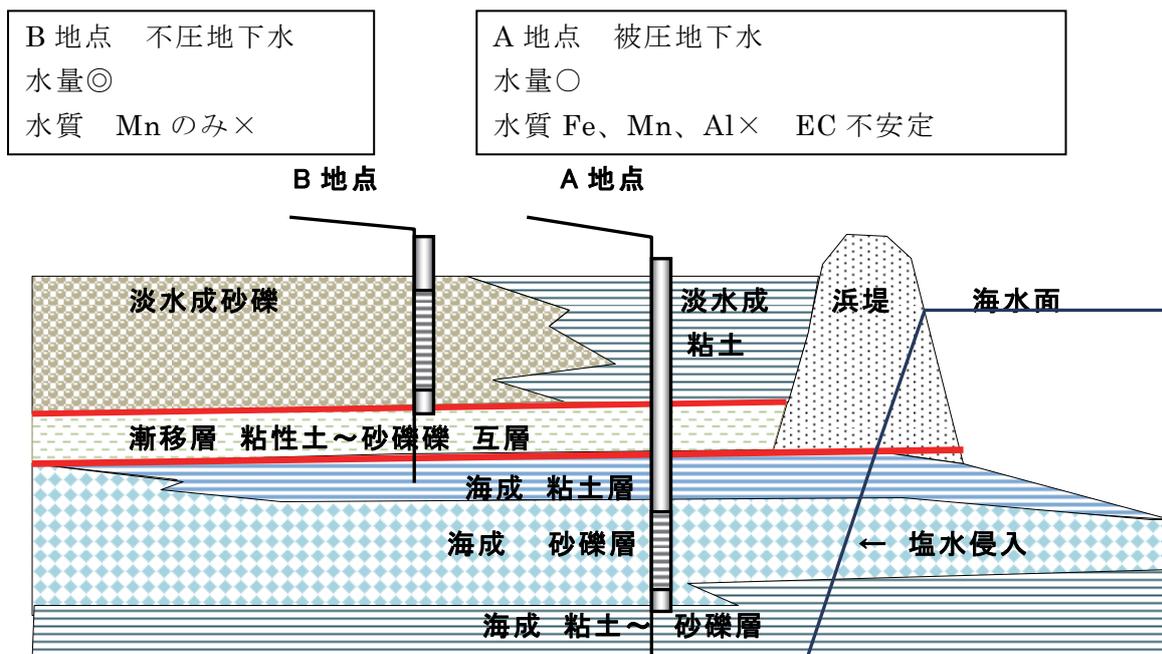


図 4. 周辺の地質構造

#### 4. マネジメントの効果

河川工事により近接する水道水源への濁水混入は確実と考えられていた。FEM 解析や一次元理論方程式による解析でも、濁水影響は生じると考えられていた。他の水源からの活用も検討したが、水量的に余力がなく、対策としては、新規に影響ない地区に新設したほうが安いのではないかと考えられていた。

そこでA地点を候補地として調査を行った。在来の柱状図では砂礫と粘土の区分だけで、海成層と淡水成層の区分はできていなかった。A地点で把握した砂礫層は被圧地下水でありかつ海成層で水質的に多くの問題を保有していることが判明した。そこで、上流のB地点で不圧地下水を取水する計画を検討した。このA地点B地点に加え、現在の水道水源に濁水処理施設を追加して対応するケースを検討した。

その結果は表2のようになり、B地点新設が経済的になり、B地点案を採用した。

表2. 工法比較表

対策位置	水道水源	A地点新設	B地点新設
地下水区分	不圧地下水 (伏流水)	被圧地下水	不圧地下水 (伏流水)
帯水層の堆積環境	淡水成層	海成層	淡水成層
河川工事影響	濁水混入		
対策	濁水処理施設追加	新設+水質対策	新設+水質対策
水量のリスク	ほぼ問題ない	取水可能 深井戸 2本	十分取水可能 浅井戸 1本
水質のリスク	濁度	Fe、Mn、Al 一般細菌 EC不安定(残留塩分の絞り出し)	Mn 一般細菌
リスクの発生可能性	濁水混入確実	Fe、Mn、Al、一般細菌の処理必要	Mn 一般細菌の処理必要
その他の予想されるリスク		長期揚水による ・残留塩分絞り出し ・揚水による地盤沈下 ・塩水クサビの侵入助長 ・細粒層からの硫化水素の吸い込み	・下位の海成層からの硫化水素の吸い込み
対策工事費用	濁水ろ過装置追加 維持管理 291,000,000円	深井戸2本 水質ろ過装置維持管理 468,000,000円	浅井戸1本 水質ろ過装置維持管理 208,000,000円

## 5. データ様式の提案

本事例は、地質リスクを回避した事例であり、データ様式 A 表を用いると下表になる。

### A. 地質リスクを回避した事例

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		公共
	工事名		河川工事
	工種		河川改修
	工事概要		工事に伴う水道水源対策
	①初工事費		291,000,000 円
	当初工期		
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		地質調査時
	予測されたトラブル		水質リスク増大
	回避した事象		水質リスクの長期化拡大化
	工事への影響		
リスク管理の実際	判断した時期		地質調査時
	判断した者		地質調査業者
	判断の内容		地質環境に配慮した候補地の選定
	判断に必要な情報		堆積環境把握技術 地史
リスク対応の実際	内容	追加調査	追加調査 B 地点 CNS 分析 解析
		修正設計	
		対策工	
	費用	追加調査	2,000,000 円
		修正設計	
		対策工	
		②合計	2,000,000 円
変更工事の内容	工事変更の内容		B 地点 取水井設置
	③変更工事費		208,000,000 円
	変更工期		
	間接的な影響項目		
	受益者		
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)		81,000,000 円
	工期		
	その他		

# [論文 No. 11] 東北地方太平洋沖地震によって発生した宅地地盤の滑動に伴う河川の変状事例

新協地水株式会社 技術部 原 勝重, ○ 藤沼 伸幸

## 1. 事例の概要

本事例は、東北地方太平洋沖地震時に郡山市安積町のあさか台団地内を流れる準用河川荒川の大型水路側壁が右岸斜面の押し出しにより倒壊したものである。現地調査と資料調査の結果から、右岸斜面の押し出しは斜面上部に位置するあさか台団地の谷埋め盛土による宅地造成部が幅約 100m、長さ約 30m にわたって滑動したため生じたことが判明した。現地の状況から、大型水路の撤去・再設置は谷埋め盛土の滑動を沈静化した後に行う必要がある。対策工を立案するために地盤調査・室内土質試験・パイプ歪計設置および計測・地下水位計測などを提案・実施し、谷埋め盛土の滑動沈静化に向けた対策工を検討するとともに、施工中・施工後の監視を行って、大型水路の撤去・再設置を完成させ、かつ、宅地および住宅被災の復旧が行えるようにしたものである。

## 2. 事例分析のシナリオ

### (1) 現状変状調査と資料調査における調査計画の立案

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により生じた大型水路の側壁倒壊について、変状の著しい状態でありその対策工を早急に検討するため現地調査を実施した。現地調査の結果、変状の発生は大型水路側壁部だけでなく、斜面上部の宅地造成部の広範囲におよぶことが確認された(図-1)。

また、周辺部の空中写真判読や造成前の地形判読を実施した結果、宅地造成部の一部では明瞭な谷埋め盛土による造成が実施されており、大型水路の変状が生じた範囲と谷埋め盛土の範囲とが一致することを確認した(図-2)。

現地調査および資料調査結果から水路の変状は宅地造成部の押し出しが要因と判断されたが、対策工の実施が河川敷地内に限定されているため、河川敷地内での対策により宅地造成部の変状進行を抑止できる対策工を立案可能な調査計画とする必要があった。

このため、調査は造成団地の変状の素因・誘因を把握することを目的とし、変状の発生状況・範囲および旧谷地形の形状などを考慮して、宅地地盤の開口亀裂に簡易伸縮計の設置、すべり頭部 1 カ所、すべり末端部の 2 カ所において機械ボーリング、標準貫入試験およびスウェーデン式サウンディング試験、パイプ歪計と自記水位計の設置・計測を実施した(図-3)。

表-1 計画した主な調査項目

実施項目	数量	目的
機械ボーリング	3.0 カ所	地質状況および・地下水位の把握
標準貫入試験	3.0 カ所	地盤の硬軟・締め具合の把握
スウェーデン式 サウンディング試験	2.0 カ所	地盤の硬軟・締め具合の把握
室内土質試験	3.0 試料	解析に用いる土の強度の決定
パイプ歪計の設置・観測	3.0 カ所	すべり面の把握・推定
自記水位計の設置・観測	3.0 カ所	地下水変動の把握
簡易伸縮計の設置	3.0 カ所	変状の進行状況の監視



図-1 大型水路と住宅団地で発生した変状例

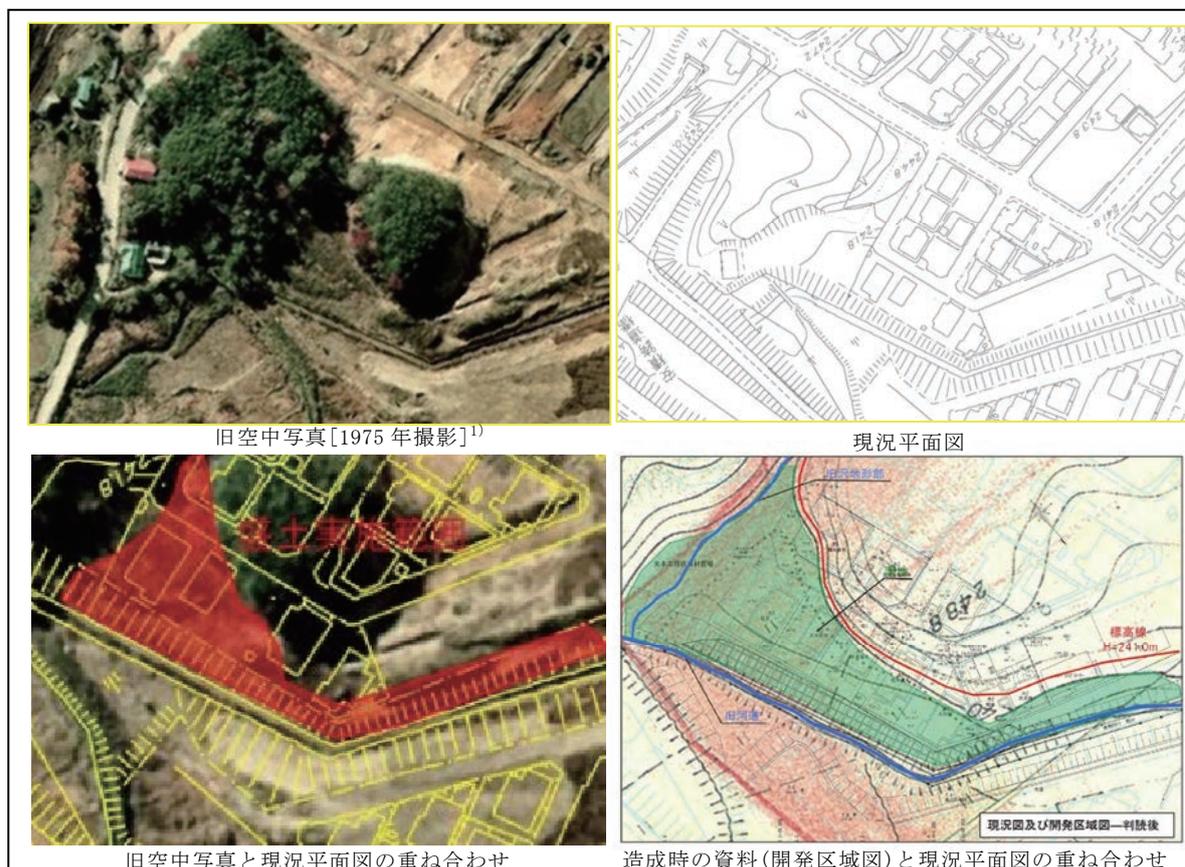


図-2 空中写真判読・地形判読による谷埋め盛土範囲の推定

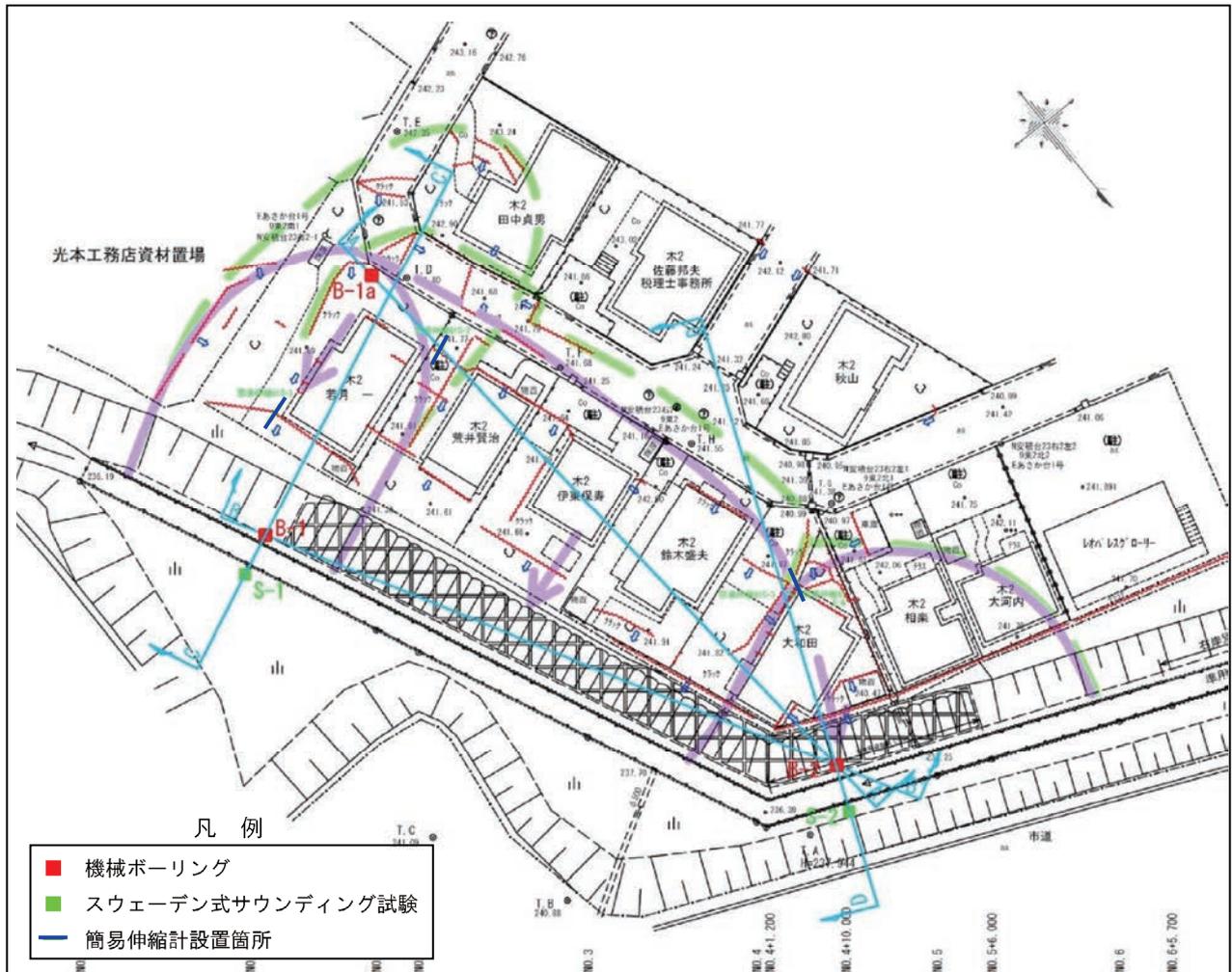


図-3 現地調査・資料調査から推定した谷埋め盛土のすべりブロックと調査位置

## (2)地盤調査結果・室内土質試験結果および計測結果

①地盤調査結果：機械ボーリング・標準貫入試験およびスウェーデン式サウンディング試験結果より、谷埋め盛土部の盛土層厚は約 4.0m で、N 値が  $N=1\sim 2$  と極めて緩い状態であることが判明した。また、孔内水位を  $GL-1.0m$  付近に観測した。

②室内土質試験結果：盛土では  $c_{cu}=18.5(kN/m^2)$ 、 $\phi_{cu}=22.5(\text{度})$  [ $c'=0.0(kN/m^2)$ 、 $\phi'=34.3(\text{度})$ ]、地山(砂質シルト)では  $c_{cu}=7.4\sim 13.9(kN/m^2)$ 、 $\phi_{cu}=20.1\sim 26.7(\text{度})$  [ $c'=0.0\sim 3.0(kN/m^2)$ 、 $\phi'=34.5\sim 35.5(\text{度})$ ]の結果を得た。

### ③パイプ歪計および自記水位計計測結果

パイプ歪計の計測結果からは、盛土と地山の境界部付近で歪が累積する傾向が認められた。また、降雨後に地下水位が上昇すると準確定～確定変動となることが確認された。

以上の調査結果から、谷埋め盛土の盛土内～盛土と地山の境界部付近にすべり面が形成され、谷埋め盛土が河川方向へ移動していること、地下水の上昇時には変動種別で準確定～確定変動を示す範囲まで変動量が増加することが確認された。

調査結果より作成した推定地層断面図および推定したすべり面および観測したパイプ歪変動と地下水位変化の例を図-4 に示す。

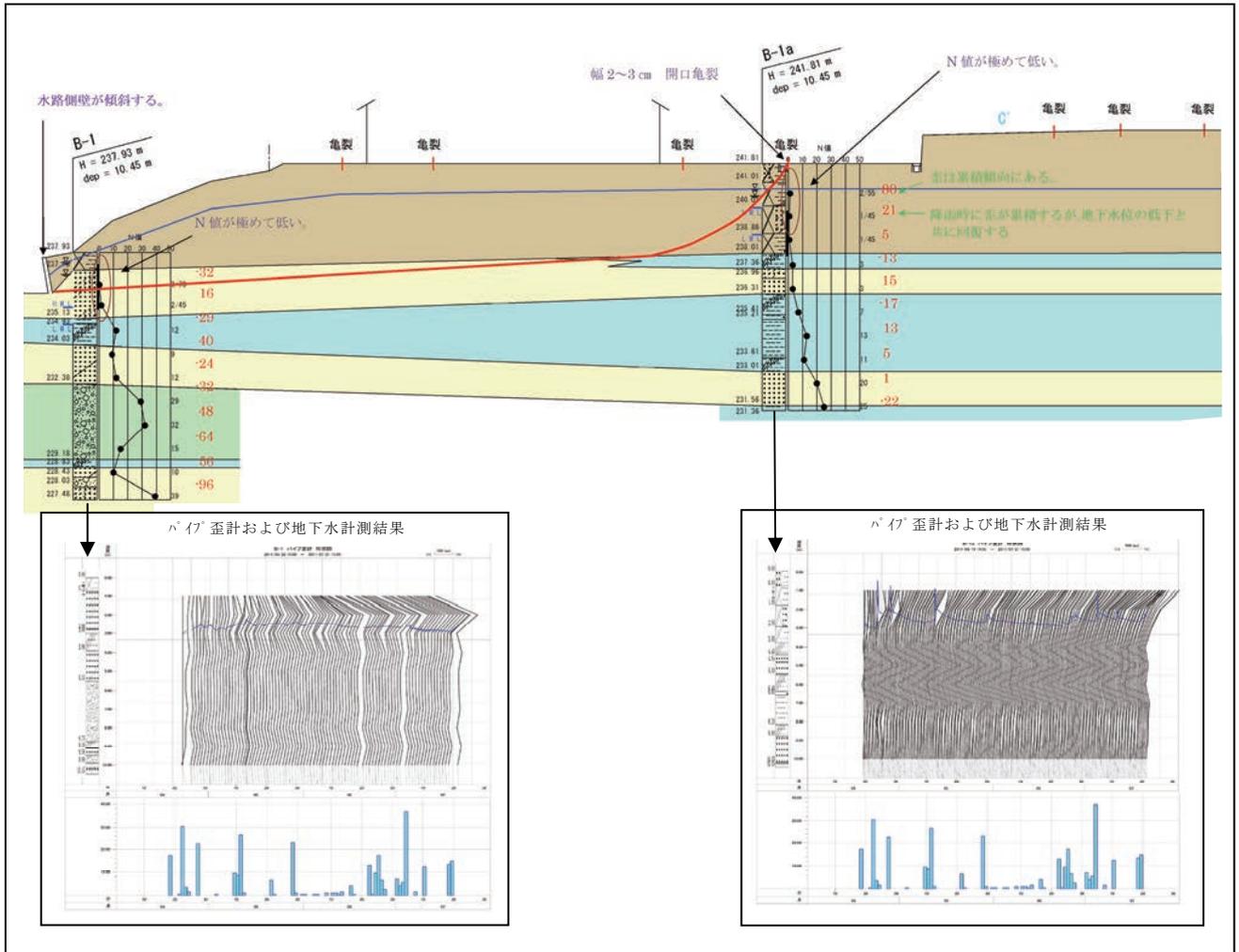


図-4 推定地層断面図およびすべり面の推定

### 3. 事例分析の結果

大型水路の変状に関しては、東北地方太平洋沖地震が直接の誘因ではあるが、その素因としては近接する宅地造成部で実施された谷埋め盛土造成およびその盛土材料の強度不足であり、その結果として河川方向への谷埋め盛土の滑動が生じたと判断された。

大型水路の変状対策を実施するためには、

- ①宅地造成部の谷埋め盛土における河川方向へのすべり変状を止める必要があること。
- ②対策工は、河川区域内で行う必要があること。
- ③宅地造成部の谷埋め盛土の変状によって宅地および住宅が被災した地域住民と、対策工の施工に関する合意形成を行う必要があること。
- ④施工時には、宅地造成部の変状を監視しながら行う必要があること。
- ⑤対策工施工後には、宅地造成部の谷埋め盛土のすべり変動の沈静化を確認する必要があること。

などの問題点が生じた。

### 4. 対策工の提案・概略設計

対策工の提案段階では、地形的制約から地下水位を低下させる抑制工が困難であるため、対策工の効果を早期に確認することが可能であり、水路の撤去・再設置が可能な抑止杭工を提案し、協議により概略設計までを実施した。

また、抑止杭工としては河川区域内での施工であり、被災住宅に近接することから水を使用せず、振動の少ない回転埋設工法による鋼管杭の設置（くさび杭、押さえ杭）を採用した。

なお、抑止杭工施工後約1年間について、すべり頭部のパイプ歪計と自記水位計の計測によりすべり変動の監視を行い、変動の進行が沈静化したことを確認した。

表-2 対策工の検討結果

地すべり対策工	工種	工種概略	評価	適合
抑制工	地表水排除工	変状箇所への地表水侵入防止	変状発生後、ビニールシートによる応急対策工を実施	○
	地下水排除工	地下水の排除によるすべりの滑動力と抵抗力のバランスを改善する	河川であり、地下水位低下の確実性が少なく、対策効果判定に時間を要する	×
	侵食防止工	河川構造物による斜面末端部の侵食防止	抑止工による対策実施後、河川のり面の侵食防止を目的とした護岸工を実施。	○
	斜面改良工	排土によるすべり滑動力抑制や末端部の抑え盛土によるすべり運動の抑制	すべり面上部が宅地であり、排土は敷地の制約により不可。すべり面下部も河川であるため、盛土は不可	×
抑止工	杭工	杭を不動層まで挿入し、せん断抵抗力や曲げ抵抗力を付加し、滑動力に直接抵抗する	盛土下部の不動層まで杭を挿入することですべりを抑制する効果が期待できる	◎
	アンカー工	基盤内に定着させた鋼材の引っ張り強さを利用し、滑動力に抵抗する	基盤を確認しておらず、基盤深度が深いと現実的ではない	×
	土留め工	コンクリート擁壁やシートパイル等によりすべりや崩壊を直接防止する	切度実施時の計画安全率が確保できない	○

◎ 適用が効果的である。○ 適用可能である。× 適用できない

## 5. 効果と課題

抑止杭工は、平成24年1月～3月にかけて実施された。抑止杭工の施工中～施工後1年間の監視の結果、すべり変動が沈静化したことを確認した。その結果、大型水路の撤去・再設置を行うことが可能となり、併せて被災した各住宅の地盤および住宅の復旧が行えるようになった。このことから対策工施工後における変状監視・変状沈静化の確認のための計測が重要であることを再認識した。

本事例はそれまで認識されていなかった谷埋め盛土の造成地において地震時に発生したリスクの事例である。

本調査地は造成前の資料(開発区域図)を確認することができたが、造成宅地地盤が谷埋め盛土か否かについては造成時の図面等が無い場合が多いため、新旧地形図の比較や新旧空中写真の判読等による判断を実施することが多いと考えられる。

しかし、谷埋め盛土の材料や締固めの程度および強度特性、さらには地下水位等の情報を得るためには、簡易的あるいは精度の高い地盤調査を行う必要があるとともに耐震性の判断を行うことが今後の課題であり、潜在的なリスクの発見には複数の調査方法を組み合わせることが重要であると考えられる。

## 6. データ様式の提案

### B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	—	
	工事名	—	
	工種	—	
	工事概要	(大型水路の設置・撤去)	
	①当初工事費	36,500 千円	
	当初工期	—	
リスク発現事象	リスク発現時期	大型水路の変状発生時	
	トラブルの内容	宅地造成部のすべり変状発生	
	トラブルの原因	宅地造成部の谷埋め盛土の存在および盛土材料の強度不足	
	工事への影響	宅地造成部のすべり変動を抑制しないと大型水路工事の実施不可	
追加工事の内容	追加調査の内容	調査ボーリング+標準貫入試験, スウェーデン式サウンディング試験 室内土質試験(物理試験,力学試験), パイプ歪観測, 地下水位観測	
	修正設計内容	地すべり対策工事の追加	
	対策工事	(大型水路の設置・撤去)	
	追加工事	杭工事	
	追加費用	追加調査	7,500 千円 (修正設計分含む)
		修正設計	—
		対策工事	—
		追加工事	17,500 千円
		②合計	25,000 千円
	延長工期	約1年 (すべり変動の沈静化確認)	
	間接的な影響項目	—	
負担者	地方自治体, 国		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	造成実施時	
	対応(すべき)者	開発業者・地方自治体	
	対応すべき内容	谷埋め盛土の変状対策	
	判断に必要な情報	各種試験結果・空中写真判読結果	
	対応費用	調査	パイプ歪観測, 地下水位観測
		対策工	—
		③合計	0 (本事例では杭工事施工後について継続して実施)
	想定工事	工事概要	—
		④工事費	—
工期		—	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))	61,500 千円	
	工期	平成23年3月～平成25年4月 約2年間	
	その他	古い宅地造成部について, 本事例と同様の潜在的リスクについて検討が必要	

[参考文献]

- 1) 国土交通省：国土情報ウェブマッピングシステム, <http://nlftp.mlit.go.jp/WebGIS/index.html>

## [論文 No. 12] トンネル掘削工事における地質リスク事例

中央開発(株) 関西支社 西川 力

### 1. 事例の概要

当該トンネルは、発破掘削による NATM 工法で施工していた道路トンネルである。このトンネルの掘削切羽付近の左側壁において、施工済みの支保工および背面の岩盤が突然崩落した。崩落の状況を図 1 に示す。崩落発生後、応急処置として崩落箇所を吹付けコンクリートで覆い、切羽から約 10m 手前までを埋め戻し土及びエアモルタルで充填した。その後、工事を中断し、崩落の原因究明及び対策について検証を行っていた。

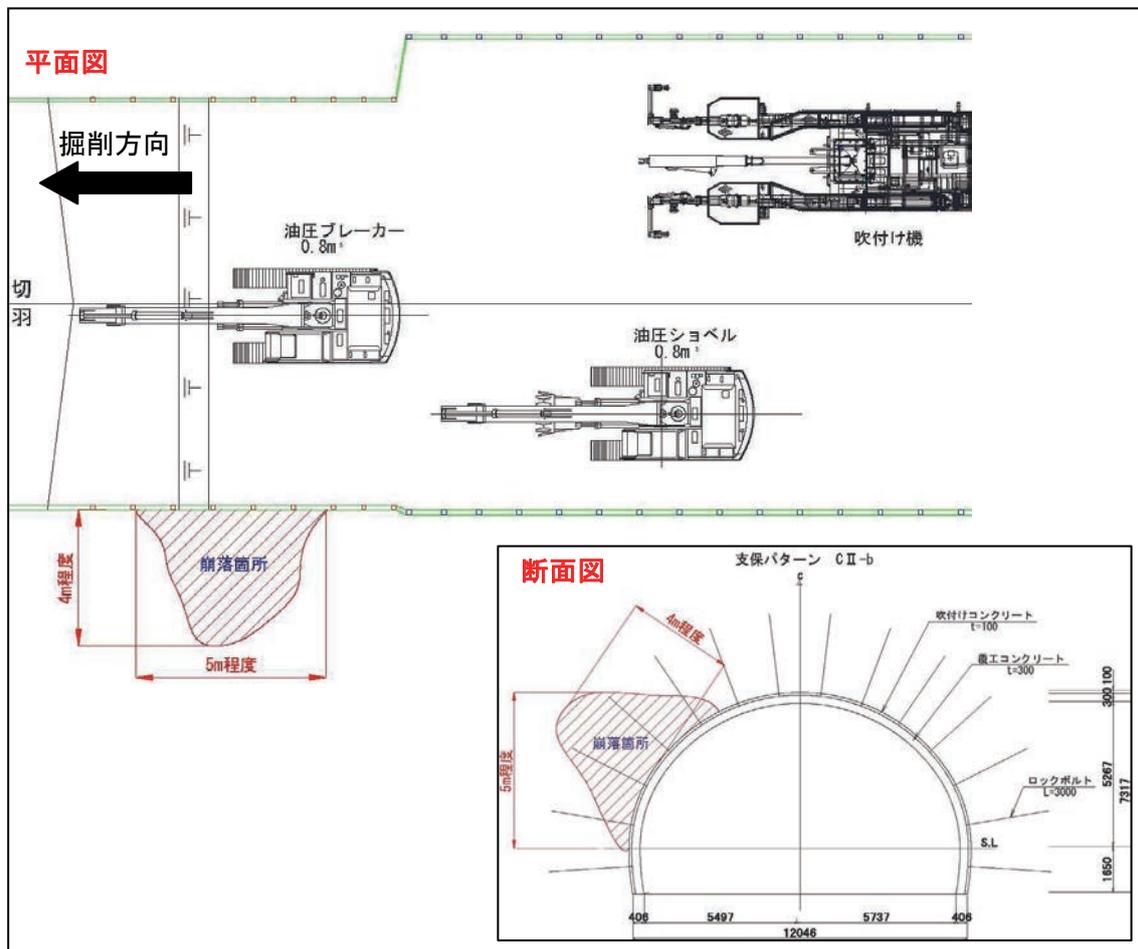


図 1 崩落状況図

## 2. 事例分析のシナリオ

当該地の地質は、基盤岩として花崗岩が分布しており、断層等は認められていない。事前地質調査で実施した弾性波探査や比抵抗探査において、崩壊箇所周辺に異常は確認されなかった。また、崩落直前の地山判定では比較的堅硬な花崗岩が確認されていた。切羽観察や変状計測の結果にも崩落の前兆は認められず、当該事象は想定していない、突然発生した崩落であった。

### (1) ボーリング調査

この岩盤崩落の現状確認及び原因究明、対策工や支保工計画に必要な基礎資料の収集を目的としてボーリング調査を実施した。ボーリングコア観察により崩落原因である岩盤の状態や分布を捉え、ボアホールカメラによりその正確な位置と走向傾斜を確認した。併せてX線回折および浸水崩壊度試験を実施し、膨潤性粘土の有無を確認した。

### (2) 調査結果

調査結果を図2の平面図に示す。ボーリングの結果、崩落箇所付近でひん岩の貫入とその周囲の花崗岩が熱水変質していることを確認した。

崩落箇所付近で確認したひん岩は2～3cm程度の角礫状コアで採取されるD級岩盤であった。岩片自体はやや硬質であるが、多数の亀裂が容易に開口するため、ボーリング掘進時に孔壁崩壊が頻発した。

ひん岩の周辺で確認された花崗岩は、ひん岩の貫入によって熱水変質し、岩芯まで強く変質を受けていた。淡桃灰色の短柱状～岩片状コアを呈す。部分的に割れ目面が細礫状に破碎し軟質となっていた。

ボーリング孔からの顕著な湧水は認められず、湧水量は少量であった。

X線回折の結果、膨潤性粘土鉱物は不検出であった。また浸水崩壊度試験の結果、経時変化は確認されなかった。

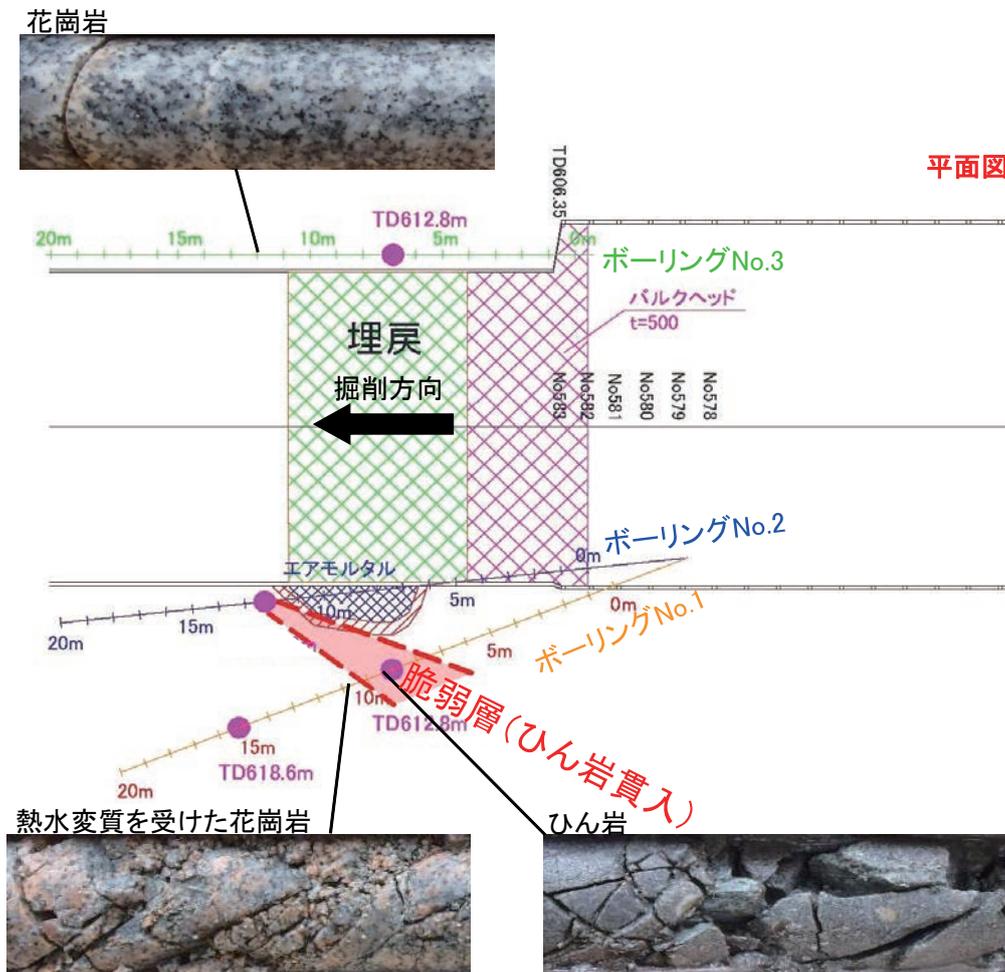


図2 調査結果平面図

### 3. データ収集分析

これらの結果から、今回の崩落の原因について分析する。

①多量の地下水が存在し、湧水に起因して崩落した？

⇒湧水量は少なく崩落に至る原因とは考えにくい。

②膨潤性粘土鉱物が存在し、はらみ出しにより崩落した？

⇒試験の結果、膨潤性粘土鉱物は不検出、浸水崩壊度は変化なし。

膨張による崩落は考えにくい。

③局所的な脆弱層が存在し、支保工に緩み荷重が作用し崩落した？

⇒ひん岩の貫入とその周辺の強変質した花崗岩で構成される脆弱層が支保の背面に存在した。崩落の主原因である可能性が高い。

従って、本事例の崩落は、支保工の背面に分布する局所的な脆弱層によって、支保工の耐力を上回る緩み荷重が作用したことが原因であると推定される。

この脆弱層は、層厚が薄く局所的な分布であることから、事前の弾性波探査や比抵抗探査の結果に異常として現れなかった。また切羽面にも脆弱層は出現しなかったため、崩落を事前に予測することは困難であったと考えられる。

#### 4. マネジメントの効果

ここで「側方の地山情報の収集によって脆弱層を事前に把握できた」と想定して、実際に発生した対応とを比較した（図3）。

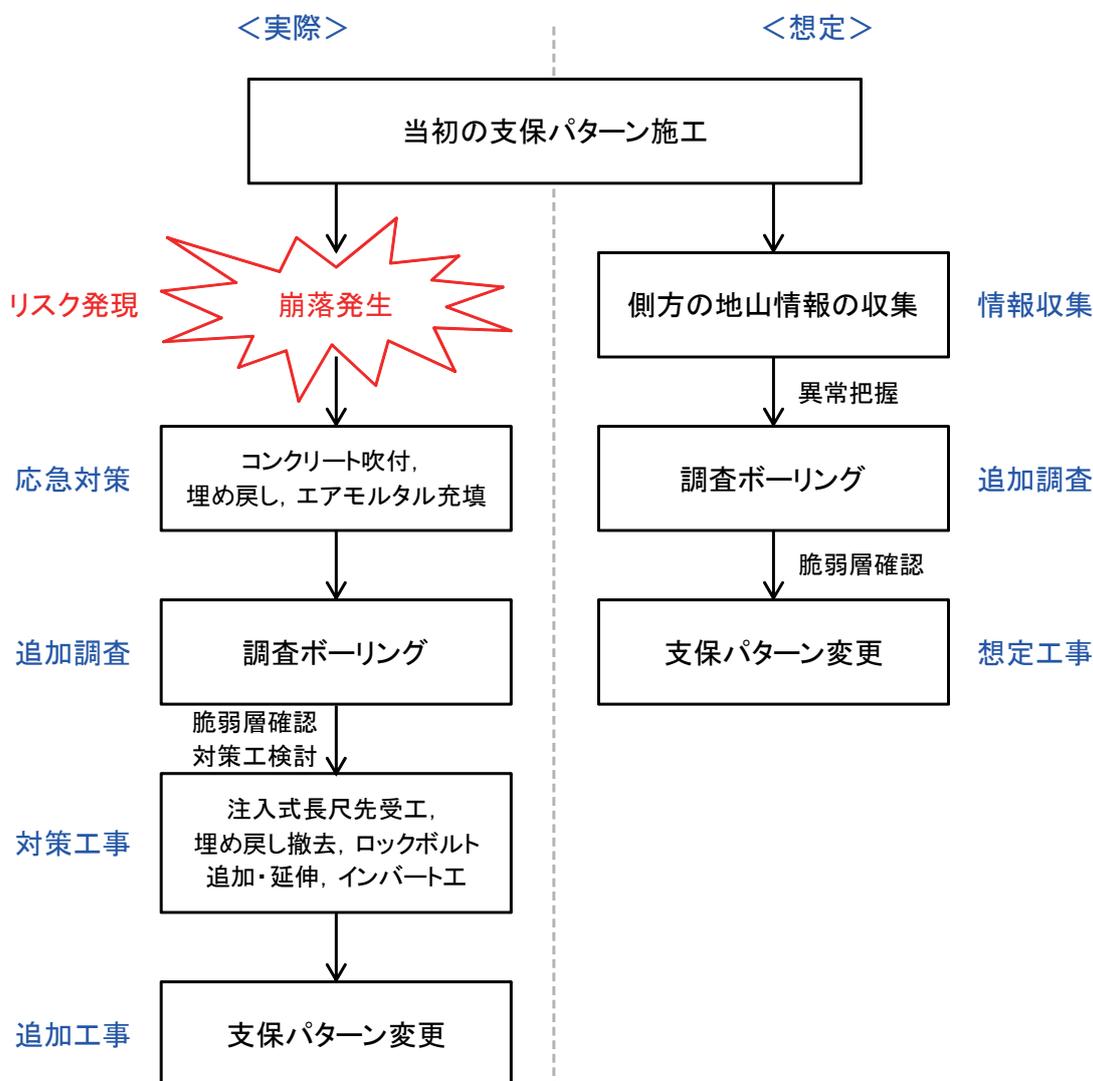


図3 リスク発現時（実際）とリスク回避時（想定）の対応比較

図3に示すように、リスク発現時には、崩落直後の応急対策工事（コンクリート吹付け、埋め戻し、エアモルタル充填）と本対策工事（注入式長尺先受工、埋め戻し撤去、ロックボルト追加・延伸、インバート工）が必要となる。対してリスク回避時には側方の地山情報の収集（前方探査、地山観察、ロックボルト削孔時の状況記録）が追加対応となる。

## 5. データ様式の提案

### B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者		
	工事名		
	工種	道路トンネル工事	
	工事概要		
	①当初工事費		
	当初工期		
リスク発現事象	リスク発現時期	掘削時	
	トラブルの内容	切羽手前の側壁が崩落	
	トラブルの原因	側壁背面に局所的な脆弱層が存在し、支保工の耐力を上回る緩み荷重が作用した。	
	工事への影響	工事中断	
追加工事の内容	追加調査の内容	調査ボーリング	
	修正設計内容		
	対策工事	（応急対策） 崩壊箇所にコンクリート吹付。 手前 10m 程度を埋め戻し土およびエアモルタルで充填。 （本対策） 注入式長尺先受工、埋め戻し撤去、ロックボルト追加・延伸、インバート工	
	追加工事	支保パターン変更	
	追加費用	追加調査	
		修正設計	
		対策工	
		追加工事	
		②合計	
	延長工期		
	間接的な影響項目		
負担者			

リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	施工時
	対応(すべき)者	工事業者, 地質技術者, 設計技術者

	対応(すべき)内容	側方の地山情報の収集, 異常の把握 ボーリング等による詳細調査 最適な支保工の検討	
	判断に必要な情報	側方の地山情報の収集	
	対応費用	調査	
		対策工	
		③合計	
	想定工事	工事概要	側方の地山情報の収集 異常箇所に対して調査ボーリング 支保パターン変更
		④工事費	
工期			
リスクマネジメントの 効果	費用 $((①+②)-(③+④))$		
	工期		
	その他	人的被害の回避	

## [論文 No. 13] NEXCOにおける土質・地質調査の考え方

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 川井田 実

### 1. 地盤調査は原点だ

宇宙時代にはどうなっているか知らないが、現世ではあらゆる構造物は地盤の上または中にあり、地盤がなければ存在し得ない(海上浮遊式構造物だって海底に係留されている)。したがって、構造物を建設するにあたって、その基礎となる地盤を的確に把握することが重要なのはいうまでもない。我々が「地盤のことを知る」ために日々行っている地盤調査は、人々の生活（基盤）を築くための“原点”なのである。

高速道路の構造物に関する地盤調査は、NEXCO 3社が制定した「土質地質調査要領」（以下「調査要領」という）に基づいて実施されている。高速道路の計画、建設および維持管理に対する地盤調査の重要性に鑑みて、調査要領は以下のようにして効果的な地盤調査が実施できるようユーザーを支援している。

- ・調査計画立案を「技術業務」と位置づけ
- ・実施調査計画を策定する前に現地踏査を実施
- ・踏査結果に基づき、発注者と受注者が協議して、発注時の調査計画を柔軟に修正
- ・後続調査の計画も作成
- ・地形判読、地形地質踏査およびその他の調査結果に基づいて「土木地形地質図」を作成
- ・設計および施工に対する留意点を報告書および図面に明記

### 2. 「作業」から「コンサルタント」へ

乱暴な表現をお許しただけならば、従来の地盤調査は、ボーリングと原位置試験と土質試験という“作業”を実施し、その結果をまとめたものであった。発注者側の技術者に十分な知識や経験があれば、地盤調査と設計・施工を結びつける役割は彼が果たすわけで、地盤調査は“作業”のみでも問題はなかったのだが、業務の質・量の増大、技術者の不足、技術的知識の多様化に伴う専門分野の細分化などによって、こうした役割を果たせる技術者が少なくなっている。受注者側も専門化がすすみ、設計コンサルタントや建設会社側に、地質・土質に関する知識を持った技術者が少なくなってきた。

こうした技術・知識の不足は、単に調査や設計業務の遂行に支障をきたすだけでなく、地盤に設置された構造物の健全性に重大な影響を及ぼす。これらの背景から、NEXCOの前身である日本道路公団は平成4年に調査要領および調査等共通仕様書（の地盤調査に関する部分）を全面改正して、前章の箇条書きに記したような内容を盛り込んだ。

地盤調査はこれまでの“作業”から“コンサルタント”業務に変貌をとげたのである。

### 3. 業務プロセス改善によるリスク低減

#### (1) 地盤調査と医療

地盤調査は、図1に示すとおり医療行為に例えることができる。病院に行くと、まず問診票を記入し、体温を測り、医者の前に座ると聴診器をあてられ、血圧を測る。こうした“見て触れて”の診察は、地盤調査では地形判読や地表地質踏査にあたる。体内の状況を

把握するためにレントゲンや心電図をとるが、服を脱ぐ程度で痛みのない“間接的な”診察である。まさに物理探査や検層である。いよいよ体内を直接見なければならぬときは内視鏡を用いる。ボーリングやサウンディングがこれにあたる。ボーリングはサンプリングを伴う。採血や採尿はサンプリングが簡単なので、診察の初期に行われるが、サンプルの分析を行うという意味で、地盤材料試験に相当する。入院してもしなくても、日々の経過を観察することは、動態観測にほかならない。治療には、薬を与えるだけでなく、手術が必要な場合もある。地盤調査の場合は、調査会社が対策工を直接施すことはまずないが、その提案は重要な仕事である。

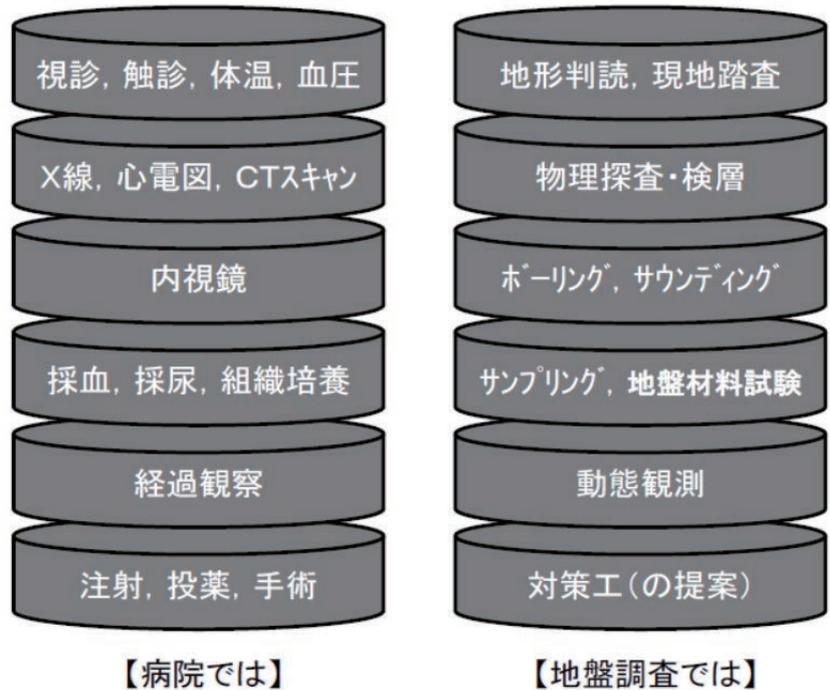


図1 医療と地盤調査

医師が、視診や触診もせず、いきなり内視鏡やメスを振りかざしたら、患者はすたこら逃げ出すに違いない。地盤調査も同様で、地形判読や現地踏査といった行為なしに、やみくもにボーリングや地盤材料試験を行ったのでは、ほんとうに的確な調査ができるかという点非常に疑わしい。従来の作業主体の地盤調査でも、気の利いた受注者は、地形や地質に関する情報を収集し、調査結果や設計・施工に関する留意点等を含めた考察を報告書に記載してくれていた。しかし、契約上は「報告書作成」という作業の一環となっており、現行の調査要領のように“技術業務”としての評価はされていなかったのである。

医師が、視診や触診もせず、いきなり内視鏡やメスを振りかざしたら、患者はすたこら逃げ出すに違いない。地盤調査も同様で、地形判読や現地踏査といった行為なしに、やみくもにボーリングや地盤材料試験を行ったのでは、ほんとうに的確な調査ができるかという点非常に疑わしい。従来の作業主体の地盤調査でも、気の利いた受注者は、地形や地質に関する情報を収集し、調査結果や設計・施工に関する留意点等を含めた考察を報告書に記載してくれていた。しかし、契約上は「報告書作成」という作業の一環となっており、現行の調査要領のように“技術業務”としての評価はされていなかったのである。

(2) 地盤調査の流れ

NEXCOの地盤調査の流れをもう少し詳細に見てみよう。

図2は、ごく一般的な詳細調査の流れである。

受注者は、まず、契約書の内容を確認し、既存資料の調査を行って、調査の目的を把握する。その後、地形判読および地形地質踏査を行い、調査対象地盤を把握するとともに、調査・設計・施工に関するおおまかな課題を抽出する。そして、ここまでの知見に基づいて「実施調査計画」を作成する。実施調査計画は、契約書に記された当初の調査内容にとられることなく、把握した課題に対して最も適切な調査内容を提案する。発注者と実施調査計画について協議し、当初計画どおりのもの、変更・追加が必要なもの、費用や時間の関係で後続の調査に委ねるもの等に分類し、

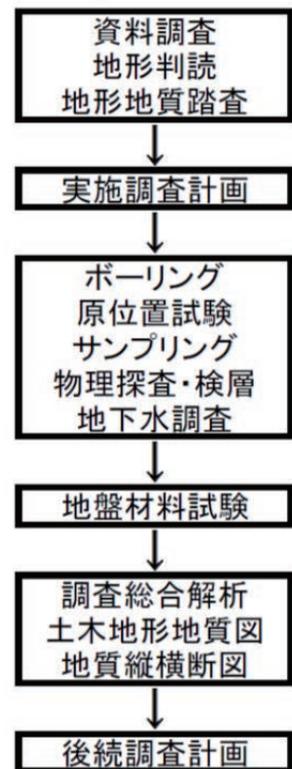


図2 詳細調査の流れ

実際に行う調査内容を決定する。

実施内容が決定すれば、ボーリングや原位置試験等に入り、サンプリングした試料について地盤材料試験を行う。いきなりボーリングから始まることはないことはお分かりいただけたらう。

調査総合解析とは、地形判読や地形地質踏査、ボーリング、原位置試験、地盤材料試験等のあらゆる調査結果に基づいて、調査対象区間における高速道路の設計・施工に関する課題を、総合的に評価・考察・判定するものである。また、地形判読および地形地質踏査の結果から、地形・地質の観点での道路の設計・施工に対する情報を平面図に示した「土木地形地質図」を作成する。

実施調査計画の段階で先送りした調査項目や、調査の過程で新たに判明した課題に対する調査内容を、優先度を添えてまとめたものが、後続調査計画となる。

### (3) リスクの低減

地盤や地質に起因するリスクを回避あるいは低減する方法は、以下の順序で考えることが基本である。

- ① リスクのある地盤や地質を避ける
- ② 避けることができない場合は、技術的に対処しやすい設計とする
- ③ 上記が選択できない場合は、その対策を早くから準備する

建設工事で厄介となるような地盤や地質は、その形成過程から、現況の地形にその特徴を表していることが多い。すなわち、地形判読や地形地質踏査を行うことは、地形の生い立ちを知って、起こり得るであろう問題の所在を学び、リスクの回避や低減方法を考える最も基本的で有効な行為である。

## 4. 適用例

### (1) 実施調査計画

実施調査計画には、調査目的、調査位置、調査方法および調査数量を詳細に記載して、目的に照らして必要性・優先度からグレード付けする。先にも述べたとおり、契約当初の内容にこだわらず、発注者と受注者が「協議して」内容を決定する。あとで報告書を読んだ人がわかるように、当初計画と実施計画とを対比して示すことが重要である。

当初計画からの変更は、ボーリング位置、サンプリング深さ、原位置試験・地盤材料試験の種類や数量、解析方法の変更を伴う。

表1は構造物基礎調査の一例である。当初設計に対して、優先度の見直しや、

表1 ボーリング計画変更の例

提案		当初設計時		計画構造物
新規 ボーリング番号	優先度 (ランク)	当初設計時の ボーリング番号	優先度 (ランク)	
-	-	NO.1	B	橋脚 (大口径深礎)
-	-	NO.2	A	橋脚 (大口径深礎)
-	-	NO.3	A	橋脚 (大口径深礎)
NO.4'	A	NO.4	B	橋台
-	-	NO.5	A	橋台
-	-	NO.6	A	切土
NO.7'	A	NO.7	B	橋脚
NO.8'	A	NO.8	B	橋脚

ボーリング位置の変更の提案がなされている（理由の欄は省略）。

## (2) 土木地形地質図

JIS A 0206 でいうところの工学地質図（土木および建築構造物の調査、設計および施工、維持管理などで利用することを前提に、地質図上に工学的地質情報を重ね合わせて表示した図）の先駆けともいえるもので、土木地形地質図の場合は、道路構造の図も重ねて表示する。用いる記号は調査要領にも記されているが、JIS A 0204 を適用するほうが「共通語」という観点では望ましいと思われる。

図3は、土木地形地質図の作成例である。地形図に地質分布を表示し、道路構造（この場合は長大切土）を重ね、滑落崖や転石、露頭、崖錐の分布等が図示あるいは表記されている。

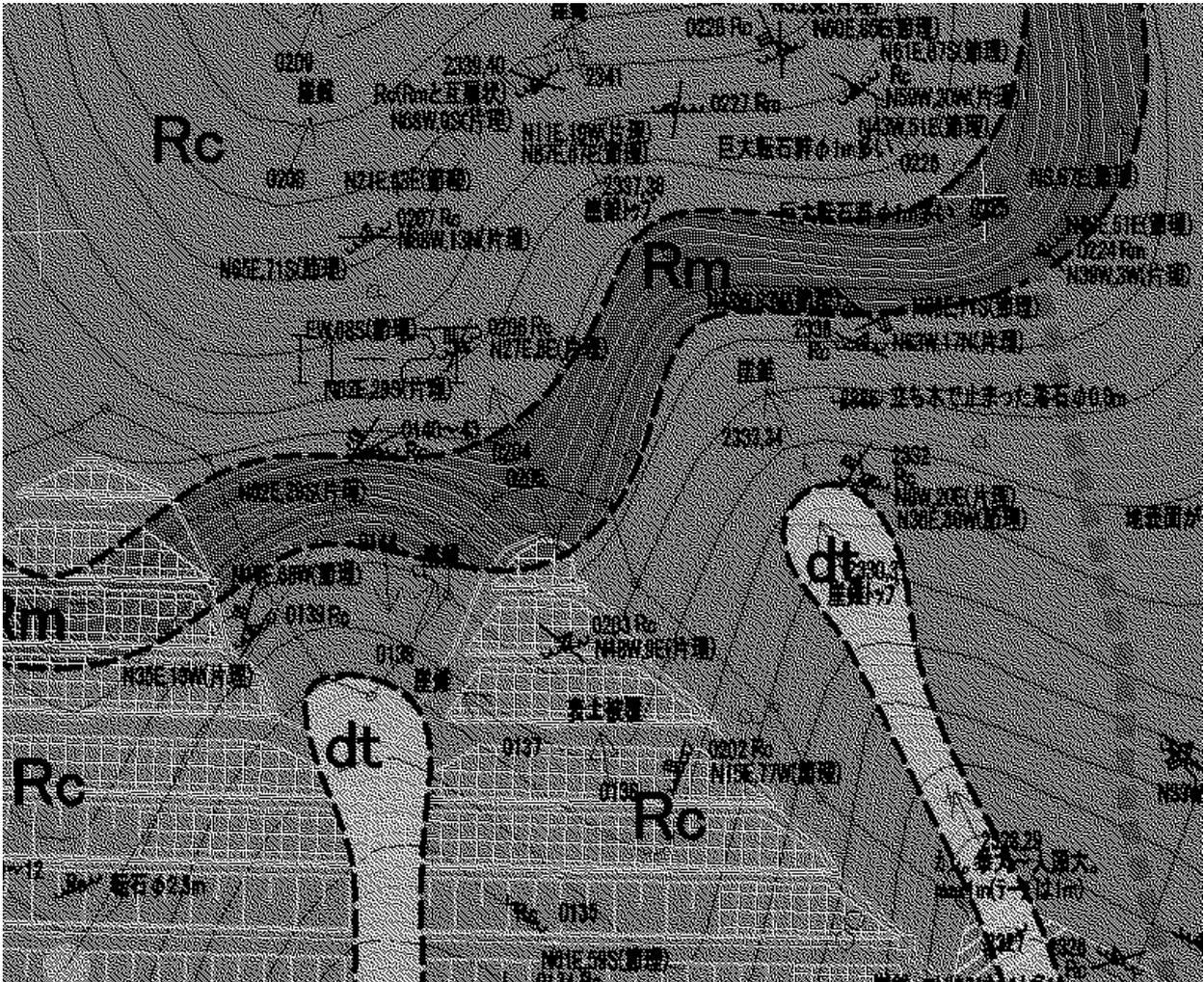


図3 土木地形地質図の例

## (3) 後続調査計画

調査報告書の最後には、後続調査計画が記される。当該調査で実施を見送った調査項目や、当該調査の過程で判明しその調査では対応できなかった課題に対する調査項目を提案するものである。

調査目的、調査位置、調査方法・数量等を記載し、必要性や優先度などからグレード付けした内容とする。

課題の解決のための調査方法を追求するのであるから、ボーリングや地盤材料試験の不足だけでなく、原位置試験の追加や数値解析の提案といったこともあり得る。

## 5. 導入して20年だが…

「検証」という行為になかなか予算がつきにくいから、地盤調査の業務プロセスの改善が、どの程度事業の効率化（例えば、工事の設計変更の数や金額が減ったとか）につながっているかを、全般的に評価した事例はない。むしろ、新しい業務プロセスを導入して20年が経過しているにもかかわらず、定着したとは言い難い事例が多く見られる。

例を挙げると、

- ① 軟弱地盤の詳細調査なのに、乱れの少ない試料採取をせず、N値しか測っていない
- ② 軟弱地盤で一軸圧縮試験を行っているのに、鋭敏比を求めていない
- ③  $\phi - 0$ 法で安定計算するのに、 $\overline{CU}$ 試験をやっている
- ④ 盛土材の締固め度を間違えて供試体を作製しせん断試験をやっている
- ⑤ 全応力解析なのに  $c'$ 、 $\phi'$  を使っている

といった報告書に現在でも遭遇する。また、図4は、土木地形地質図として納品されたものの抜粋であるが、平面図に地表の地質区分を明示し道路構造を重ねただけで、設計・施工に関する留意点等が記されておらず、前章で述べた土木地形地質図としての体をなしていない。

こうした事象は、発注者側だけではなく、受注者側も理解不足・知識不足があることから発生する。新しい（もう20歳ですが）業務プロセスは、地形や地質に対する視診を取り入れ、実施調査計画を協議して見直す等、地盤調査をすすめる過程で互いの不足する知識や技術を補うことができ、そうしたことでより良い成果を希求するものであるが、“共倒れ”ではどうしようもない。結局は、マニュアルやシステムを改善したところで、それを使いこなす人の技術力が伴わないことには、良い成果は得られないのである。

「地盤のことは地盤のプロに」という意識で、「プロが力を発揮しやすく、それを評価した業務システム」に改良したのだが、肝心の“プロ”が少ないのでは心細い。

冒頭に述べた地盤調査の重要性を再認識し、それに相応しい仕事をしたいと思う。

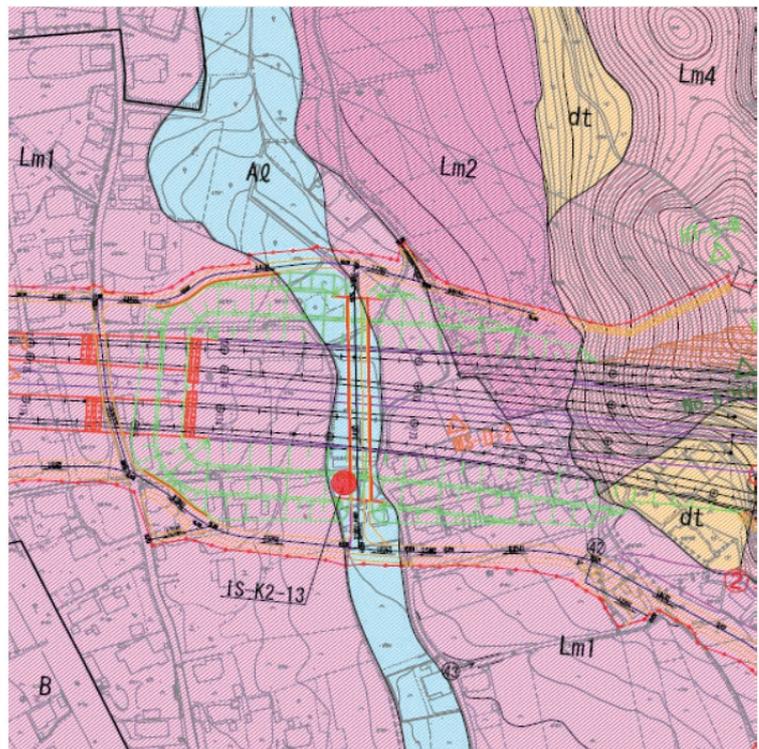


図4 土木地形地質図もどき

## 【論文 No. 14】 岐阜県飛騨圏域を対象とした落石のリスク評価

岐阜大学 ○野々山麻衣子 本城勇介 原隆史  
高木朗義 倉内文孝 大竹雄  
東北大学 森口周二  
岐阜県 宗宮裕雄

### 1. はじめに

#### (1) 研究の背景と経緯

岐阜大学では、岐阜県内の社会基盤施設を対象として、その施設を取巻くリスクに基づき整備維持管理の合理的な優先順位決定モデルを作成することを目的とした「リスクに基づくアセット総合マネジメントによる社会基盤の戦略的整備意思決定に関する研究」を実施している<sup>1)</sup>。これまでに、道路斜面の落石<sup>2)</sup>と橋梁<sup>3)</sup>についてリスクマネジメントの手法を開発し、県内の一部地域を対象としてプロトタイプを構築している。

#### (2) リスク対象と対象地域

本稿では、道路斜面の落石について、リスクマネジメントの考え方や評価手法、および岐阜県内の一部地域を対象としたプロトタイプの実算結果を示す。対象とした地域は、図1に示す古川・高山・下呂土木事務所管内（以下、飛騨圏域）である。落石危険個所が多く存在する岐阜県の中でも、飛騨圏域は特に危険個所が多く、県内の落石危険個所の半数以上がこの地域に含まれる。また、この地域には、孤立可能性のある集落も含まれており、幅広い経済損失の評価が可能であるとして対象地域に選定した。

#### (3) リスク事象の定義

本稿におけるリスク事象は、「落石の発生に伴う道路の遮断」と定義する。また、各斜面のリスクは「落石生起確率と、そのために生じる各種損失の積」として定義する。落石の発生時には必ず道路が全面通行止めの状態になると仮定して評価を行う。そのため、具体的な作業として、落石生起確率（斜面危険度）と通行止め時の経済損失を求めることが必要になる。



図1 研究対象地域

### 2. 斜面危険度評価

以下では、道路斜面の落石生起確率の評価方法について示す。ただし、本稿中には最低限の内容について記載し、詳細は参考文献<sup>2),4)</sup>を参照するものとする。

#### (1) 使用データ

道路斜面の落石の生起確率の評価のために用いたデータは、次の2種類である。

##### a) 安定度調査表（1996年度）

安定度調査表とは、1996年度に実施された道路防災総点検において専門家による各種点検対象項目（落石・崩壊、岩石崩壊、地すべり、雪崩等）の評価の結果、詳細な調査を行った道路斜面の点検結果を記述したものである。各種点検対象項目の中で、本研究が対象とするデータは、「落石・崩壊」、「岩石崩壊」に関する調査表である。各項目の点検細目に基づいて各斜面を専門家が点検し、それぞれに定められた評点に従って、斜面の危険度を点数化して

いる。さらに、その細目の合計点や専門家の総合的な判断により、斜面の相対的な危険度（「総合評価」と呼ぶ。）を決定している。この総合評価により、調査対象全斜面は「要対策」、「カルテ対応」、「対策不要」の3段階に分類される。

#### b) 落石履歴データ（2004年度～2008年度）

落石履歴データは、2004年度～2008年度の5年間に道路面に到達した落石の履歴データである。このデータには、発生年・発生箇所・落石高・落石径等の情報が含まれている。

#### (2) 評価手法

本研究における斜面危険度評価は、大きく2つの手順に分けられる。第1に専門家が斜面をランク付けした安定度調査表に基づき、ロジスティック回帰分析により対象全斜面の相対的な危険度（相対危険度）を推定する。第2に推定された相対危険度が、2004年度から2008年度までの5年間に報告された落石履歴データ（絶対的事実）と一致するように危険度をキャリブレーションし、個々の斜面について絶対的な危険度（絶対危険度）を推定する。

#### (3) 危険度評価結果

斜面危険度評価結果として、3地域（古川・高山・下呂）の「落石・崩壊」および「岩石崩壊」の絶対危険度の頻度分布を比較してまとめたものを図2に示す。ここで、図中に示される確率は、1年あたりの年確率である。

これらの結果より、古川地域は他の2地域に比べ落石崩壊危険度の高い斜面が多いことがわかる。また、岩石崩壊の危険度は、落石・崩壊のそれと比較して、どの地域でも低いことがわかる。これは、岩石崩壊の点検箇所における落石履歴が少数であったことを反映しているためである。

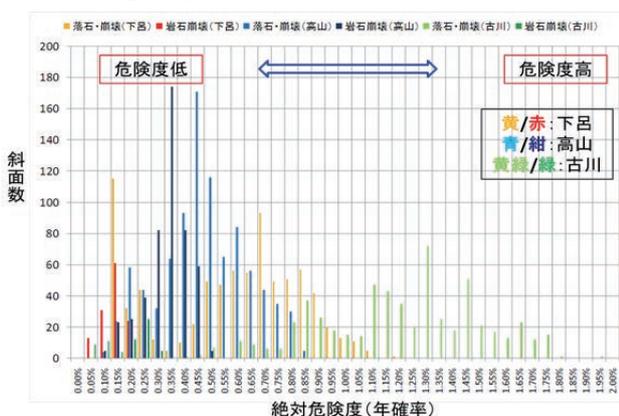


図2 落石発生確率頻度分布図(3地域)

### 3. 経済損失評価

リスクの評価に必要な経済損失については、落石の発生に伴う道路途絶を前提とした上で、「道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル（案）」<sup>5)</sup>で提案されている評価方法を基礎とし評価する。道路利用者や地域住民が被る損失として、事故損失、復旧費用、迂回損失、救急医療損失および孤立集落損失の5種類を考慮する。ここでは各項目の評価に関する基本的な考え方のみを記し、詳細は参考文献<sup>1)</sup>を参照するものとする。

#### a) 事故損失： $D_1$

事故損失 $D_1$ は、崩壊してきた落石が車両を直撃する、あるいは、道路に到達した落石に車両が制動できず衝突することによって、死亡、負傷、物損を被る災害被災者の被害額を計上する。

#### b) 復旧費用： $D_2$

落石に伴う復旧費用 $D_2$ は、本稿においては、落石の規模は考慮しておらず、蓄積されているデータ数も十分ではないという理由から、復旧費用算出の詳細モデルの作成は避け、各斜面で一律同金額とし、これまでに蓄積されている情報から応急復旧費の平均値とした。

#### c) 迂回損失： $D_3$

迂回損失  $D_3$  は、落石の発生に伴い通行止めになることにより発生する社会経済的損失である。対象地域を含む道路ネットワーク全体での走行時間と走行距離の増加に伴う消費者余剰の変分と道路の途絶日数の積として算出する。なお、空間的相関（同時発生）は考慮しないため、複数のリンクの同時途絶は考慮していない。

d) 救急医療損失： $D_4$

救急医療損失  $D_4$  は、落石に伴う道路途絶により、住民が救急医療享受の機会を失い、死亡者が発生するという損失である。本来は、救急医療だけでなく、消防・警察・通勤・通学といった場合にも、地域住民の被る損失は存在する。しかし、通勤・通学の場合には、迂回することにより目的が達成できることから、迂回損失  $D_3$  と重複して計上されることとなる。このため、災害により医療を享受するまでの時間がかかることで発生する間接的な損失に限り、迂回損失では評価できない損失として救急医療損失を計上している。

e) 孤立集落損失： $D_5$

孤立集落損失  $D_5$  は、落石の発生による道路途絶に伴って影響を受ける各種サービスの途絶回避に対する支払意思額（以下、WTP）と、孤立集落地域の世帯数の積で評価するものとする。各種サービス（水道、電気、ガス、情報通信手段、医療サービス、介護サービス、郵便・宅配便サービス）の途絶が回避されることに対する WTP を、普段使用しているサービス料金に上乗せする金額として把握するためのアンケート調査（有効サンプル数 1357）を実施した。孤立集落地域の世帯数は、岐阜県道路維持課により H20 年度に実施された岐阜県内全市町村を対象とした孤立する可能性のある集落（孤立予想集落）の調査結果に基づいている。この孤立集落損失  $D_5$  は、いつ発生するか判らない災害に対して、発生したときのことを考えて平常時に支払ってもよいと考える額を調査した結果であり、平常時の集落の孤立に対する不安感を含んだ評価結果である。そのため、他の経済損失とは性質が異なり、取り扱いには注意が必要となる。

落石の発生に伴う経済損失評価結果の 1 例として、経済損失の合計が上位 10 位となるリンク（路線区間）の損失額を図 3 に示す。ここで、損失額の合計とは、事故損失、復旧費用、迂回損失、救急医療損失の合計であり、孤立集落損失は含まれていない。図より、迂回損失と事故損失が支配的であることがわかる。これらの損失は、リンクの交通量に依存するものであり、交通量が全体の損失額に大きな影響を与えたと考えられる。現に、図に示した 10 のリンクのうち 9 リンクは国道であり、交通量が比較的少ない県道や地方主要道に比べて、交通量の多い国道の方が上位となる傾向があることを確認している。

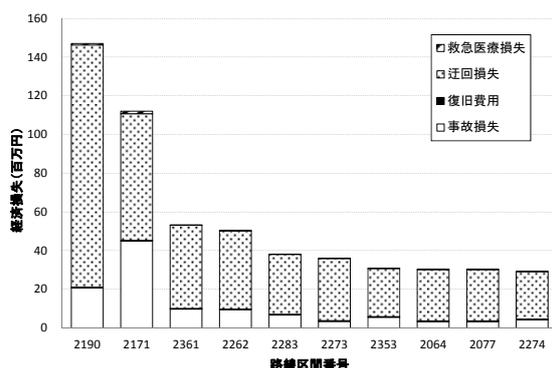


図 3 各損失額 (損失額合計の上位 10 リンク)

4. リスクマネジメント

前節までに示した斜面危険度と経済損失の結果に基づくリスクマネジメントについて示す。また、以下のリスクマネジメントに関する記述の中では、リスクを回避するための費用（コスト）を設定する必要があるが、この費用は斜面の落石対策費用と考え、1996 年の道路防災総点検実施時に作成された「箇所別記録表」の提案対策工の情報を基に評価している。

(1) リスクと費用便益比について

本稿では、各斜面のリスクと、各リンク（路線区間）のリスクの2種類のリスクについて評価を行う。斜面危険度評価より得られた各斜面の落石の発生確率  $P^s$  と、経済損失評価より得られた各種経済損失（事故損失  $D_1$ 、復旧費用  $D_2$ 、迂回損失  $D_3$ 、救急医療損失  $D_4$ 、孤立集落損失  $D_5$ ）を用いて、各斜面と各リンクのリスクは以下のようになる。

$$\text{斜面} : R^s = P^s (D_1 + D_2 + D_3 + D_4) \quad (1)$$

$$\text{リンク} : R^l = P^l (D_1 + D_2 + D_3 + D_4) + D_5 \quad (2)$$

ここで、 $P^l$ は、リンクが落石により閉塞される確率であり、リンク内に  $n$  個の斜面が存在する場合、次式により評価する。

$$P^l = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \cdots (1 - P_n) \quad (3)$$

リンク全体として対策が完了しない限り、孤立への不安感は解消されないため、孤立集落損失  $D_5$ は、リンク単位のリスク評価にのみ考慮するものとしている。また、孤立集落損失には、孤立に対する平常時の不安感を含んだものとして算出しているため、常に存在するリスクとして取り扱っており、孤立集落損失に落石の発生確率を乗じていない。

式(1)と式(2)のリスクに対して、各斜面の対策費用を  $C^s$ 、各リンクの対策費用（対象リンクに存在する斜面の対策費の総和と定義する）を  $C^l$  とすれば、各斜面および各リンクの費用便益比 ( $B/C$ ) は以下のようになる。

$$\text{斜面} : (B/C)^s = \Delta R^s / C^s = R^s / C^s \quad (4)$$

$$\text{リンク} : (B/C)^l = \Delta R^l / C^l = R^l / C^l \quad (5)$$

通常、便益はリスクの減少分  $\Delta R$  として定義されるが、本研究では、斜面に対策を講じた後は、落石が発生しないことを前提条件としているため、リスクの値そのものが便益と一致する。

(2) 斜面単位のリスク評価結果

式(1)と式(4)に基づいて、各斜面のリスクと  $B/C$  を評価した結果について示す。飛騨圏域内の「要対策」と「カルテ対応」の斜面のうち、未対策のもの（合計 1706 箇所）のリスクと  $B/C$  の評価結果では、 $B/C$  が 1 を超える斜面は 288 箇所であり、効率性の観点からのみ判断すれば、対策を講じるべき斜面が未だ残されているということが確認できる。

ここで、リスクの評価結果が上位 100 位の斜面（リスクが約 27（万円/年）以上に相当する）に着目して議論を進める。図 4 は、リスクが上位 100 位の斜面が存在するリンクを地図上で強調表示したものである。また、同時に、過去の落石発生場所を地図上に示している。これらの結果より、本研究でリスクが高いと評価された斜面が存在するリンク周辺では、過去にも多くの落石が発生している傾向があり、本研

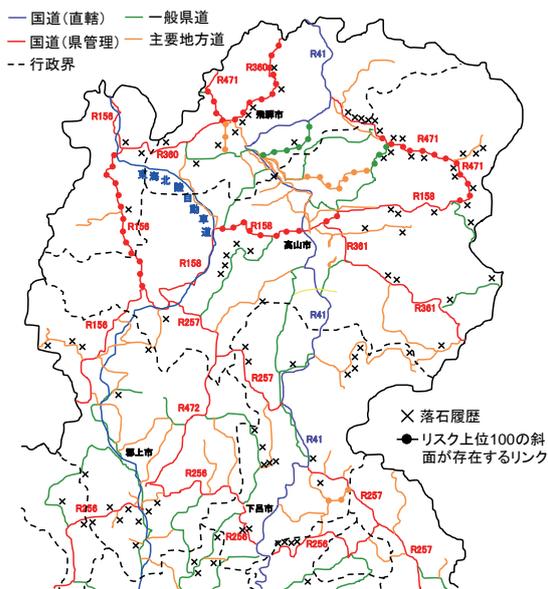


図 4 リスク上位 100 の斜面が存在するリンクと落石履歴

究の評価結果は、現実の落石のリスクを適切に表現できていることが確認できる。

図5は、リスクが上位100位の斜面のリスクと費用便益比の関係を示したものである。図より、リスクが高い箇所で必ずしもB/Cが高くなるというわけではないことが確認できる。また、リスクが他の斜面に対して突出して高い斜面が3箇所あり、このような斜面は対策優先度が高いと判断できる。その他の斜面についてはリスクにそれほど大きな差はないが、B/Cが突出している箇所が数箇所存在しており、このような斜面は対策の効果が高いと判断できるため、やはり対策を優先的に講じるべきである。このように、リスクとB/Cの値から総合的に評価が可能であり、対策優先順位等の検討材料として非常に有益であることがわかる。

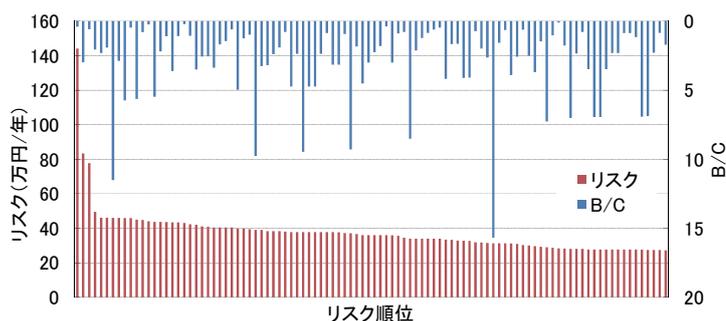


図5 リスク上位100の斜面のリスクと費用便益比

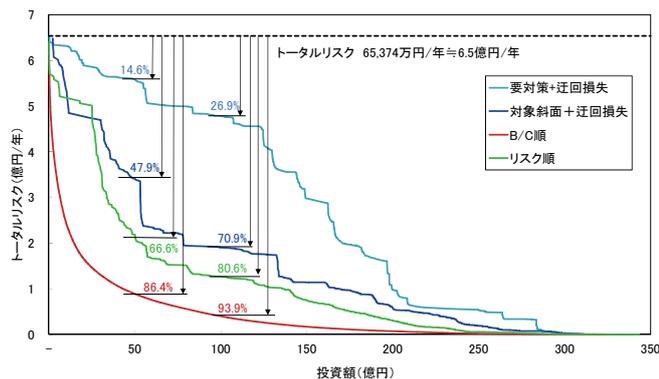


図6 投資額とリスクの減少額の関係

図6は、投資額に対するリスクの減少をグラフ化したものである。対象全斜面のリスクの総額（トータルリスク）は約6.5億円であり、投資額（対策費用）が増加することでトータルリスクがどのように変化するかを示している。図6を作成する上で、4種類の対策の方針を設定した。1つ目は、本研究のリスク評価結果を用いない対策方針である。防災点検結果で「要対策」と判断された斜面のうち、迂回損失が高額となる順（道路の重要度が高いと考えられる順番）に、対策を進めるといった一般的な概念での取扱いの場合であり、図中では「要対策+迂回損失」と表現されている。2つ目は、雨量規制の対象となる路線に存在する斜面（対象斜面）のうち、迂回損失が高額となる順に対策を進めるといった岐阜県での現実的な対応を加味した場合であり、図中では「対象斜面+迂回損失」と表現されている。3つ目は、本研究で得られたB/Cの値の高い順に対策を実施するものであり、図中では「B/C順」と表現されている。4つ目の対策方針は、リスクが高い斜面から順に対策を進めるものであり、図中では「リスク順」と表現されている。図より、被害損失の大きい斜面のうち危険なものから実施するといった一般的な概念での取扱いと比較すると、効率性に基づく指標であるB/Cの順で対策を進めた場合、極めて効率的に全体のリスクを低減できることが確認できる。また、「リスク順」の場合も、「要対策+迂回損失」に比べて効率的にリスクを低減していることが確認できる。ただし、実際には雨量規制道路を優先して対策を実施しており、岐阜県での現実的な対応を考慮した「対象斜面+迂回損失」と比較すると、それでも大きな効果が期待できる。これらの結果より、落石に対してリスクマネジメントを実施する意義が非常に大きいことがわかる。ただし、図6は、投資額に対するリスク低減の効率性を確認するものであり、必ずしも効率的にリスクを低減させるものが最良の対策とはならないことを言及し

ておく。

表1 孤立集落に関するリンクの評価結果

(3) リンク単位のリスク評価結果

式(2)と式(5)に基づいて、各リンクのリスクと費用便益比 (B/C) を評価した結果について示す。ここでは、特に、孤立集落損失について議論する。対象地域に存在する孤立の恐れのある13集落に関するリンク

リンクID	路線種別	路線名	斜面数	リスク合計(万円/年) ( )内孤立集落損失	B/C	リスク順位 (96区間中)
2145	国道	360号線	83	892.6(437.8)	0.00	3
2246	一般県道	御岳山朝日線	63	317.0(303.4)	0.00	20
2256	一般県道	御岳山朝日線	3	304.4(303.4)	0.22	22
2254	一般県道	朝日高根線	3	303.6(303.4)	0.08	22
2040	一般県道	稲越角川停車場線	29	1075.5(435.8)	0.04	2
2055	一般県道	打保神岡停車場線	11	181.0(175.1)	0.03	31
2080	一般県道	槍ヶ岳公園線	7	101.7(97.7)	0.01	45
2147	一般県道	清見河合線	41	434.9(118.1)	0.01	15
2345	一般県道	湯屋温泉線	1	350.5(350.3)	3.50	16
2227	地方主要道	宮萩原線	5	442.3(417.5)	0.16	13
2223	地方主要道	宮萩原線	28	447.7(417.5)	0.03	12
2142	地方主要道	神岡河合線	16	505.8(179.2)	0.03	11
2144	地方主要道	神岡河合線	1	192.5(179.2)	0.09	27

について、そのリンクの評価結果をまとめたものが表1である。表1より、リスクの順位を見ると、孤立集落に関するリンクは全体的に上位に位置していることが確認できる。また、各リンクのリスクに対して、孤立集落損失が占める割合は大きい傾向が確認できる。以上の結果は、孤立集落損失を考慮してリスク評価を行うことの重要性を示している。しかしながら、表1のB/Cが1.0以上となるのは、13リンクのうちわずか1リンクであり、効率性の観点のみでは、必ずしも孤立危険性の解消を優先するような対策方針とはならないことがわかる。ただし、孤立集落問題は、効率性のみでは判断できない複雑な問題であるため、今後、公平性等を表現する評価指標を導入することにより、総合的に判断する枠組みの構築が必要である。

## 5. 結論

本稿では、岐阜県飛騨圏域の道路斜面の落石を対象として構築したリスクマネジメントプロトタイプについて報告した。斜面危険度、経済損失、対策費用の各項目について算出方法と評価結果、および各斜面と各リンクのリスクの評価結果を示した。各斜面の評価結果は、過去の落石履歴との比較により、現実との整合性が確認された。各リンクのリスク評価結果では、特に孤立集落損失について言及した。その結果、孤立集落損失を経済損失として考慮する必要性を示した。本稿に示したプロトタイプは、いくつかの限定条件のもとに成立しているものであるため、今後も細部の高度化を進めていく。また、他の社会基盤施設を含めて統一的にリスクマネジメントを行うための考え方や手法について研究を進める予定である。

### 参考文献

- 1) 岩田麻衣子, 高木朗義, 倉内文孝, 本城勇介: 岐阜県内を対象とした社会基盤施設のリスクマネジメントその1: 研究概要と経済損失評価, 第44回土木計画学研究発表会, 2011.
- 2) 森口周二, 本城勇介, 沢田和秀, 原隆史, 浅野憲雄, 高木朗義: 岐阜県内を対象とした社会基盤施設のリスクマネジメントその2: 道路斜面落石のリスクマネジメント, 第44回土木計画学研究発表会, 2011.
- 3) 大竹雄, 流石堯, 森本博昭, 村上茂之, 小林孝一, 本城勇介, 高木朗義: 岐阜県内を対象とした社会基盤施設のリスクマネジメントその3: 橋梁のリスクマネジメント, 第44回土木計画学研究発表会, 2011.
- 4) 本城勇介, 町田裕樹, 森口周二, 原隆史, 沢田和秀, 八嶋厚, 岐阜県飛騨圏域を対象とした道路斜面危険度評価, 土木学会論文集C, Vol.67, No.3, pp.299309, 2011.
- 5) 独立行政法人土木研究所, 道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案), 土木研究所資料, 2004.

## 【論文 No15】 熱変質凝灰岩の切土後劣化による地すべり発生とその対策

株式会社 エイト日本技術開発 ○橋尾 宣弘  
" 佐田 真  
" 工藤 健雄

### 1. 事例の概要

西南日本の日本海側に広く分布する新第三紀堆積岩は、土木工事で様々な問題の原因となっている。特に熱変質を受けた凝灰岩は、切土施工で崩壊や地すべり等の問題を生じる事例が非常に多い。ここでは、県道改良工事の両側切土施工箇所、施工後1年が経過した後に顕在化した地すべりに対して調査解析を行った事例を紹介する。

対象路線の切土区間は、写真-1に示すように地すべり地区に隣接しており、熱変質によって膨潤性スメクタイトを含むグリーンタフ凝灰岩で形成される起伏の乏しい丘陵地に位置する。この丘陵地の鞍部緩斜面域を、延長230m、最大高18mの両側切土で掘削施工した。

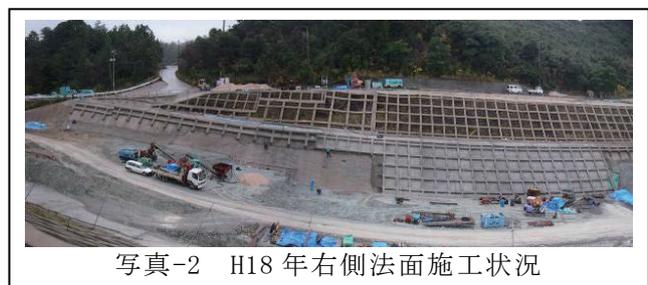
この切土区間は施工着手から供用開始までに約6年を要しており、施工トラブルを含めた概略経緯は以下の通りである。



① 当初設計では切土勾配を土砂地山相当の1:1.0と設定し、植生法面保護工を計画していた。しかし、H15年の掘削着手段階でH=3m程度のパイロット掘削面が繰り返し崩壊を生じたため、施工を中断し追加調査と法面工再検討を実施した。ここで右側法面は、保全物件の関係で法勾配の変更が困難であったため、抑止工による対策を検討した。

② H15年再検討で右側法面上半部に分布する土砂範囲は、円弧すべり崩壊を想定してアンカー工を計画した。また、法面下半部に分布する軟岩に対しては、軟岩の崩壊事例を解析した素因評価法<sup>1)</sup>を用いて軟岩安定勾配1:1.2を求め、クサビ状不安定土塊を設定してこれを補強する鉄筋挿入工を計画した。

③ H17～18年施工段階では、軟岩部のスレーキング劣化が著しく、なおかつ多量の湧水を生じたため、H15年の素因評価法を再検討し、軟岩安定勾配を1:1.5として不安定土塊を見直し、鉄筋挿入工仕様の修正と横ボーリング工の追加を行った。



④ これらの法面对策によって、左右両側法面ともH20年に竣工し当面安定していたが、供用開始後のH21年には右側法面中央部において、軟岩部を含む法面全体に及ぶ地すべりが発生し、側溝圧壊・法枠亀裂・法肩開口亀裂などの変状が生じた(図-1)。

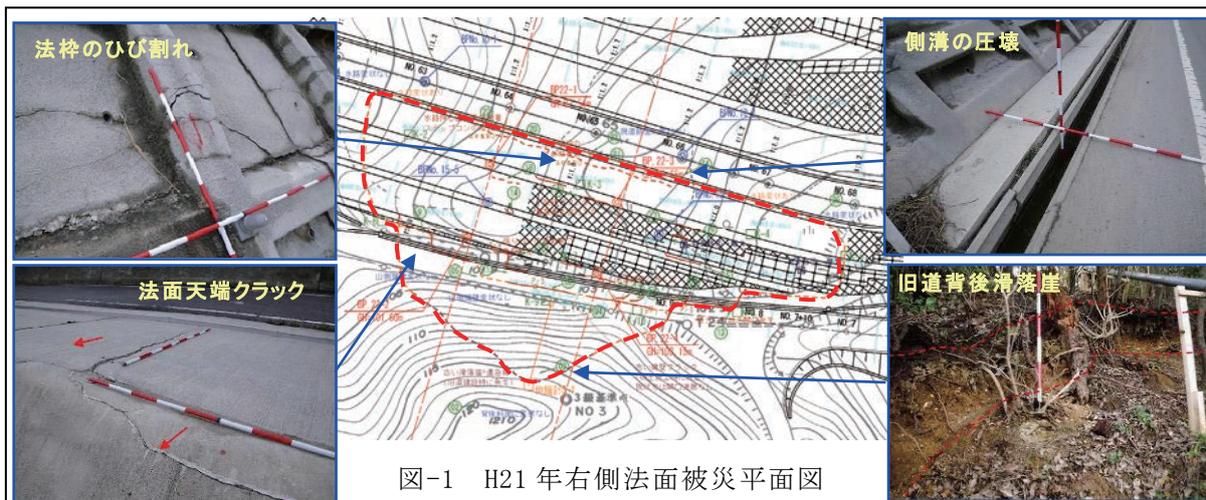


図-1 H21年右側法面被災平面図

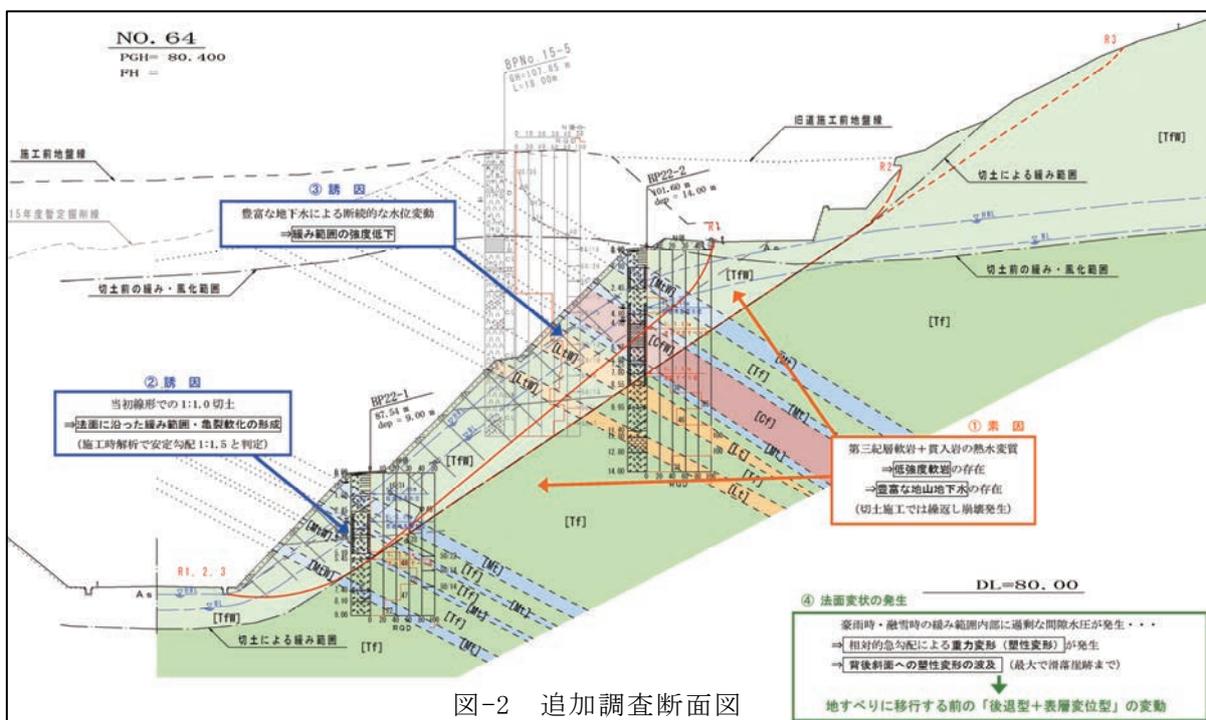


図-2 追加調査断面図

- ⑥ H22年追加調査にて地すべり調査観測を行った結果、軟岩安定勾配に対して相対的に急勾配で施工した右側法面には、重力変形による軟岩部の劣化（緩み～亀裂軟化）が法面に沿って発生し、地山背後からの多量の地下水（裂罅水）供給も加わって、地すべり変状を生じている発生機構が考えられた（図-2）。
- ⑦ 斜面全体におよぶ地すべり土塊は、③検討段階の土砂すべり土塊より大きいいため、既設アンカー工は設計荷重を超過していた。また、くさび土塊想定鉄筋挿入工はすべり面に達していない。

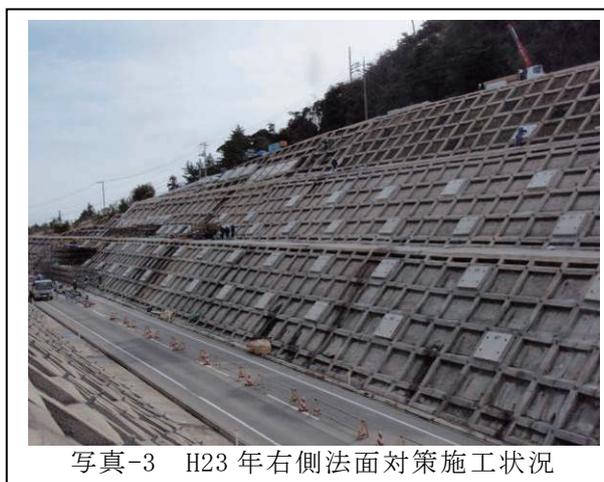
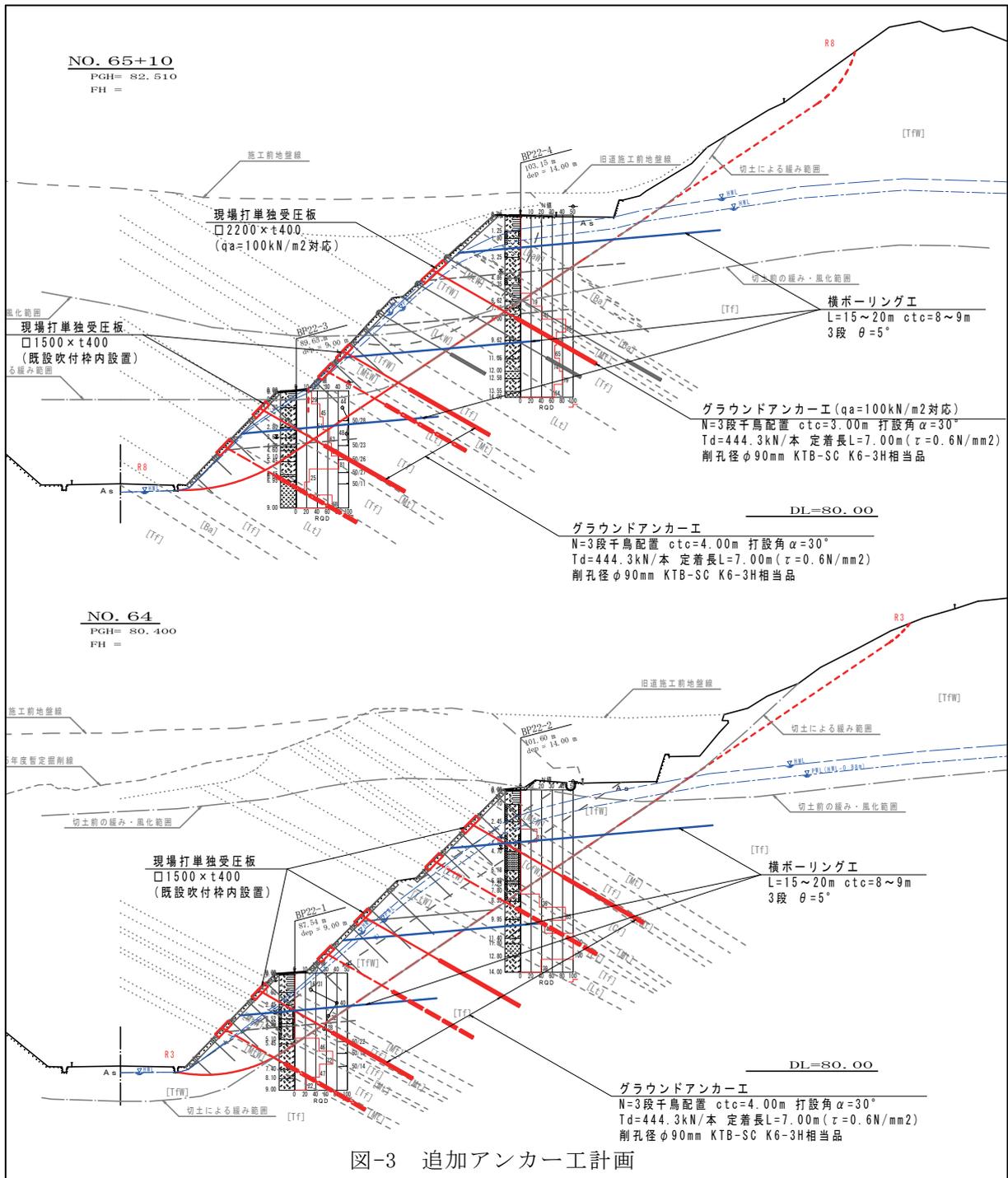


写真-3 H23年右側法面对策施工状況

このため、地すべり対策として追加対策工を検討し、枠内 RC 受圧板+アンカー工と追加横ボーリングを施工した (図-3、写真-3)。

- ⑧ H23 年施工の追加アンカー工緊張力導入後に H18 年既設アンカー工の残存引張力を計測した。この結果、全体の約 9 割が依然「過緊張」状態にあり除荷が困難であったため、アンカー頭部防護工を検討し、これを H24 年施工で設置した。



## 2. 事例分析のシナリオ

本事例は、施工途中段階の法面工見直し段階において、切土後の軟岩法面の劣化（重力変形による軟岩部の緩み～亀裂軟化）を想定できず、土砂部対策、軟岩部対策に区分してそれぞれの対策工を検討・施工したため、法面全体の地すべりを誘発する地質リスクが発現した現場であった。掘削前～掘削途中に完成断面の軟岩法面が長期的安定を保つことが困難と予見できるかどうか、予見可能として具体的な劣化規模を想定できるかどうか、がリスク回避の最大の課題である。

ここではリスクの原因分析とリスク回避の可能性について検討する。

## 3. データ収集分析

地質リスク発現の原因は以下の通り。

### ① 膨潤性スメクタイトを含む熱変質凝灰岩の分布（写真-4, 5）

グリーンタフ変動によって形成された凝灰岩は、形成後に続いた火山活動（玄武岩・粗面岩の貫入）による熱変質を受け、新鮮岩でも膨潤性スメクタイトを豊富に含む変質軟岩に変化していた。このため、切土暴露時に非常に強いスレーキング劣化を生じるため、逆巻掘削施工でも小崩壊を繰り返す問題地山であった。

### ② 凝灰岩内の貫入岩に関係した多量の地山裂隙水の存在（写真-6）

受け盤構造となる右側法面では、地層方向に貫入した玄武岩等が供給源と考えられる裂隙水が施工途中の法面で確認されており、この豊富な地下水の供給が切土後の軟岩地山の劣化を助長させる誘因となった。

### ③ 安定勾配より過度に急勾配で掘削したことによる重力変形・亀裂軟化

H18 法面工見直し段階で、施工時地山状況を考慮した素因評価法による軟岩安定勾配は1:1.5であった。

この判断に基づいて、反対車線の左側法面では軟岩法面勾配を1:1.0から地山補強土工付き1:1.2に変更して施工した結果、地山状況も裂隙水発生状況も右側法面と同程度であったにもかかわらず、重力変形や亀裂軟化は発生していない。左右の法面で決定的に異なるのは流れ盤、受け盤の地質構造

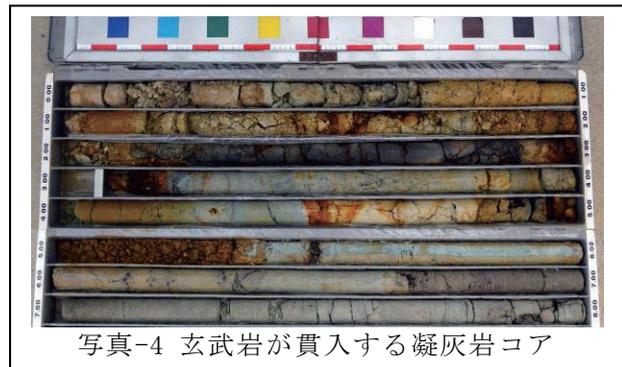


写真-4 玄武岩が貫入する凝灰岩コア



写真-5 掘削中に出現した貫入粗面岩



写真-6 掘削底盤からの裂隙水湧出

と切土勾配である。変質して脆弱化した軟岩を、安定勾配よりも過度に急勾配で掘削した場合には「重力変形によって法面全体に歪みが生じ亀裂軟化が発生しやすい」ことが今回の地質リスク発現に結びついている可能性が考えられる。

①原因と②原因は、ある程度事前調査の段階で把握あるいは予測が可能であり、リスク発現事例との組み合わせで、事前検討段階で指摘可能と考える。

③原因の軟岩亀裂軟化については、リスク発現事例と原因究明に基づく解析事例が少なく、リスク回避のための対策検討に必要な「亀裂軟化を生じる規模」を具体的に把握するための調査解析手法の確立が必要である。切土前後の弾性波速度の差分検討による緩み範囲・低下強度の予測事例<sup>2)</sup>があるが、ある程度の事例収集数によって帰納的に確実度を確保することが必要であり、同様のリスク発現事例の収集分析が非常に重要と考える。

#### 4. マネジメントの効果

H18 法面工再検討段階で、右側法面について長期的な斜面変動の地質リスクを予見・対策できたと仮定し、その場合の二重施工を回避した法面对策工事費と調査解析費の合計と、実際の事例の費用の比較を表-1に示す。

表-1 地質リスク発現時と予見対応時の対策費用比較（右側法面）

	供用後地すべり発生事例 の実際の費用		地質リスク発現を予見した場合 の見込み費用
工事期間	平成 15 年 8 月～平成 24 年 12 月 (68+20=88 ヶ月)		平成 15 年 8 月～平成 21 年 9 月 (74 ヶ月)
測量調査 設計費 (千円)	H15	11,500	11,500
	H18	12,600	22,500
	H22	11,500	
	小計	35,600	34,000
施工費 (千円)	H15～21	157,620	186,310
	H23～24	90,500	
	小計	248,120	186,310
合計(千円)	283,720		220,310
差額(千円)	63,410		

想定されたリスクに対する対策は、法面完成時の長期的緩み範囲の想定による抑止工の検討（アンカー工計画）を想定している。施工途中での法面对策の変更となるため、法面中段部まで施工された対策工の費用を見込んだ上で、変更対策工の費用を見込んでいます。

全体費用としてはリスク予見時が経済的で工事期間も短く、地質リスク予見によるコスト削減効果は 63,410 千円減（14 ヶ月減）となっている。

#### 5. データ様式の提案

本事例は、地質リスクが発現した事例であり、データ様式 B 表を用いる。

B. 地質リスクが発現した事例

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	県	
	工事名	県道改良工事	
	工種	切土工、法面工、アンカー工	
	工事概要	吹付法枠＋アンカー工＋鉄筋挿入工	
	①当初工事費	170,220,000円(右側法面工＋H15・18測試)	
	当初工期	平成21年3月	
リスク発現事象	リスク発現時期	供用開始 1年後	
	トラブルの内容	地すべり変状の発生	
	トラブルの原因	軟岩地山の供用後劣化	
	工事への影響	供用開始後であり工事影響なし	
追加工事の内容	追加調査の内容	ボーリング調査N=4孔 L=46m 動態観測	
	修正設計内容	地すべり解析＋法面工詳細設計	
	対策工事	単独受圧板＋アンカー工＋横ボーリング工	
	追加工事	既設アンカー頭部防護工	
	追加費用	追加調査	9,500,000円
		修正設計	2,000,000円
		対策工	82,500,000円
		追加工事	8,000,000円
		②合計	102,000,000円
	延長工期	2年	
	間接的な影響項目	バス路線の片側交互通行	
負担者	県、国		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	H18施工途中の法面工再検討段階	
	対応(すべき)者	発注者、コンサルタント	
	対応(すべき)内容	軟岩地山劣化発現とその範囲	
	判断に必要な情報	軟岩地山劣化事例・解析手法	
	対応費用	調査	20,000,000円
		対策工設計	2,500,000円
		③合計	22,500,000円
	想定工事	工事概要	法面工＋アンカー工＋横ボーリング工
④工事費		186,310,000円	
工期		平成21年9月までに完成	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))	63,410,000円	
	工期	1.5年短縮(リスク発現なし)	
	その他		

<参考文献>

- 1) 奥園誠之：「切取斜面の設計から維持管理まで」鹿島出版会 1983
- 2) 橋尾宣弘，磯野陽子，木村隆行：「応力開放に伴う残積土のり面崩壊の強度評価」第44回研究発表会講演要旨 日本地すべり学会 2005

【論文 No. 16】 維持管理におけるグラウンドアンカー施工のり面の  
地質リスク管理事例について

○ (株)相愛 常川 善弘  
 (株)相愛 松田 誠司  
 (株)相愛 弘田 朋志  
 (株)相愛 東 豊一

### 1. はじめに

グラウンドアンカーが施工されたのり面（以下、アンカーのり面）において、古いものでは 50 年近く経過している。供用後、表層地盤やアンカー定着層の風化・劣化等、地質に関わる経年変化により、受圧板背面の地耐力の低下や定着部の引き抜けによるアンカー緊張力の低下や、抑止力の低下に伴う斜面変状の再発事例も確認されている（図 1）。アンカー工は面的に抑止機能を発揮しているため局所的なアンカー機能の低下では直ちに変状に繋がるケースは少ないが、機能低下範囲の拡大や低下度合いが進むにつれ斜面変状の危険性が高まる。したがって、供用後の運用段階における地質情報の管理と経時変化特性の把握は重要であり、地質の経年変化による斜面の再変状も地質リスクの一つと考える。

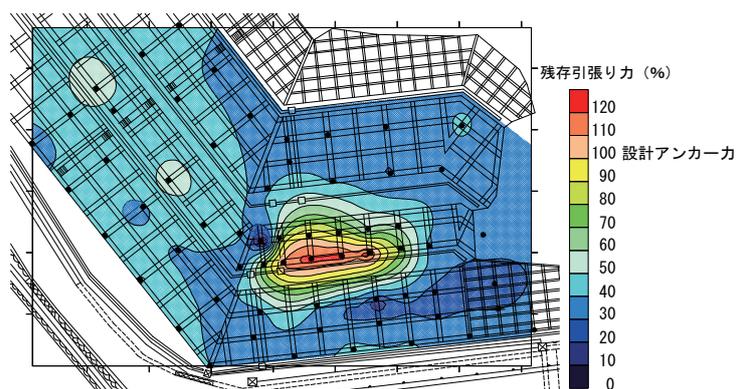


図 1. 施工後 15 年経過した  
アンカーのり面の緊張力分布（例）

本報告では、予測が困難な気象条件や地質の経年変化を含め運用段階における地質リスクマネジメントの観点から、アンカーのり面の維持管理に向けての検討事例について報告する。

### 2. 事例の概要

アンカー工施工時に豪雨による変状履歴があるアンカーのり面（図 2）について、供用開始に当たり維持管理の初期点検として、背面地質の影響によるアンカー緊張力の低下や降雨等による再変状有無について、アンカー工の抑止機能を維持し、斜面安定性を確保できているかの確認を行った。

維持管理対象となるアンカーのり面は、道路切土のり面で、施工時に幅



約 40m, 長さ約 50m 規模の岩盤地すべりが発生  
図 2. 変状履歴のあるアンカーのり面状況

した箇所である（図 3）。地質は四万十帯南帯の古第三紀の砂岩と頁岩（一部凝灰質頁岩）により構成され、地質構造はのり面中央部に向斜軸を有する褶曲構造で、向斜軸が道路側に傾斜した特異な流れ盤構造であった。

対策工として、アンカー工と水抜きボーリング工の対策後、主測線上で孔内傾斜計観測（1箇所）、地下水位観測（2箇所）と併用して、アンカー荷重計観測（2箇所）によるモニタリングを実施している。アンカー対策後、台風により日雨量 293.5mm 時に、孔内傾斜計およびアンカー荷重計にて斜面の再変状を確認し、のり面コンクリート小段部のヘアクラックが発生している。また、アンカーのり面の詳細な変状状況確認のため、リフトオフ試験による面的調査を行い、再変状ブロックの範囲を特定し、追加対策工として頭部排土工および増加したアンカー荷重を設計アンカー力まで除荷調整した。その後、再変状時と同等の日雨量 250mm の降雨を経験したが、地下水位も計画水位以下で、ほぼ設計アンカー力を維持している。変状対策から約 1 年半後、無事道路も開通し、平成 25 年 2 月に供用開始に至っている。

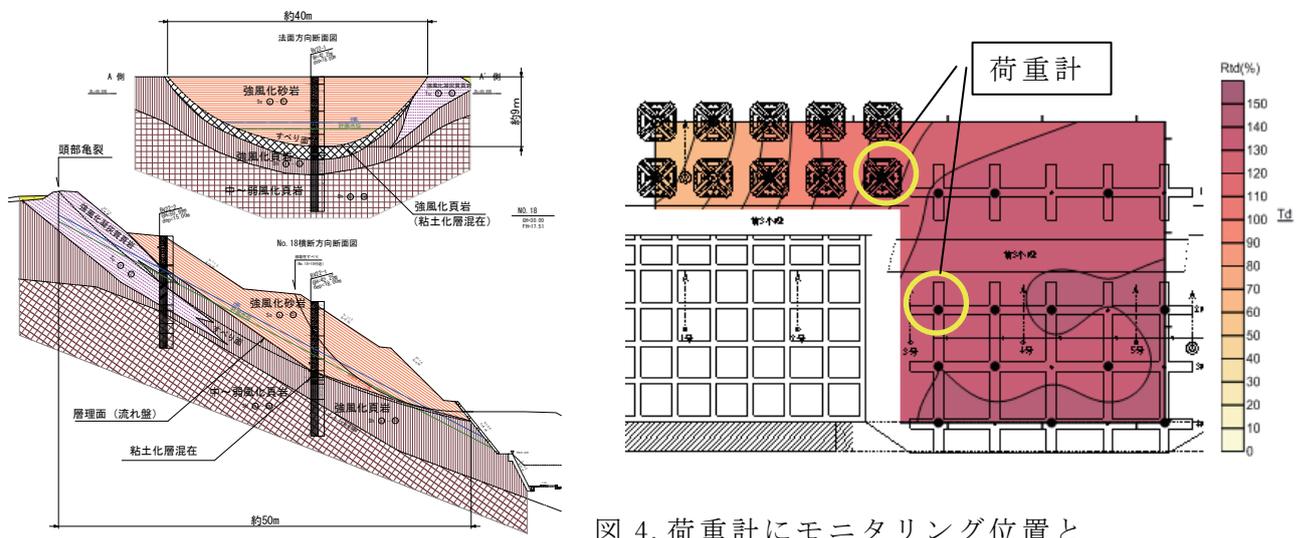


図 3. 推定地質概要

図 4. 荷重計にモニタリング位置と設計アンカー力比 Rtd 分布図（変状時）

### 3. 事例分析のシナリオ

アンカー対策後に発生した斜面変状時のモニタリング結果より、降雨による地下水位と斜面変状の関連が大きく、設計アンカー力にて、日雨量 200～250mm 程度で臨界水位付近にあることが把握できている。

よって、地質リスク分析として、リスク発現時の想定シナリオは、背面地質および表層地質の経年劣化を原因とするアンカー残存引張り力の低下により、抑止機能の低下（臨界水位の低下）による降雨時の斜面変状を想定した。

地質リスクマネジメントとして、供用後において、維持管理調査を行い、斜面安定の安全確保に必要な設計アンカー力を維持していることを確認し、アンカーのり面が健全性を維持しているかの評価を行った。

点検により、緊張力の低下が確認された場合もしくは、変状の再発が確認された場合は、地質リスクの発生の回避や、発生した地質リスクを最小限に回避するための、モニタリングの強化や再緊張工等の追加対策工の検討を迅速に行うこととなる。

### 3. データ収集分析

運用段階のアンカーのり面の維持管理調査として、のり面の外観目視点検、携帯用触針式地下水位計による地下水位確認、ハンディーの計測器を用いたアンカー荷重計測（図 5）を行った。

アンカー荷重計の観測箇所は、施工時の荷重管理位置の 2 箇所とし、観測頻度は、供用後すぐの初期点検（初期値確認）と、その後は、臨界水位となる日降雨量 200mm 以上の降雨時に異常時観測（臨時観測）を行うこととした。降雨データは近傍の気象観測所のデータを使用した。なお、モニタリング機器の設置およびモニタリング箇所と頻度については、施工管理時に設置が完了しており、観測位置について、のり面の再変状時に面的調査および地下水位観測を含め十分な調査を実施しその妥当性確認している。

したがって、運用段階においては、継続観測のみで、効率的かつ効果的に管理できる状態になっている。今回の報告においては、8 月まで 200mm 以上の降雨がなかったことから初期点検の実施結果までの評価となるが、荷重観測結果を図 6 に示す。



図 5. ハンディーロガーを用いた  
荷重計測状況

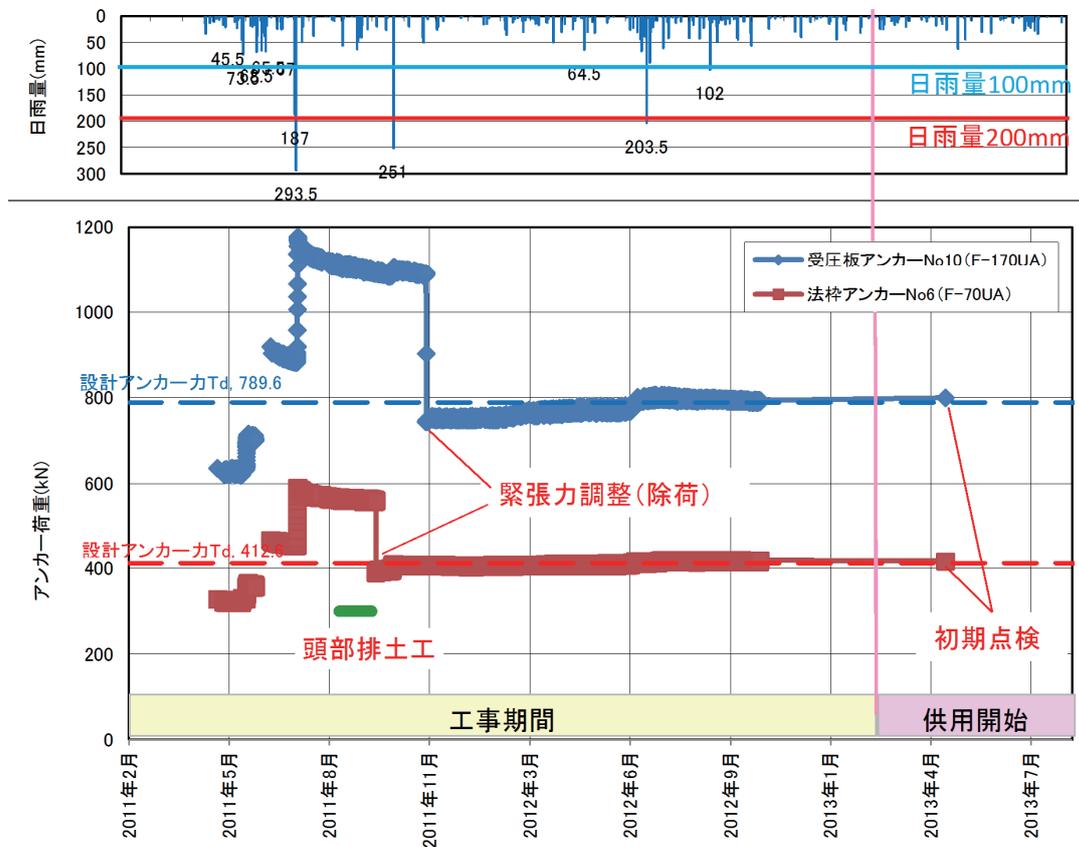


図 6. アンカー荷重と日降雨量の関係

初期点検の結果、供用開始時期においても、設計アンカー力を維持しており、また、アンカーおよびのり面の外観目視点検、地下水位観測においても、異常は確認されなかった。

アンカー荷重計を用いたのり面管理について、アンカー工は縦型伸縮計と同様な構造をしており、緊張力の増減を管理することによりセンサーとして、斜面変状の有無を確認することができる。

また、孔内傾斜計観測やGPS観測でのり面管理は変状発生後の変位確認となるが、アンカーのり面において、アンカーのセンサー的機能を用いた緊張力管理は、斜面変状前の緊張力の低下段階での事前把握や、斜面変状後のアンカー緊張力増加状況等のアンカー材料評価も可能であり、早期に発見し、追加対策の緊急性やその必要性の判断が迅速に実施できる。荷重計が設置している場合は、リフトオフ試験より1回の観測費や施工性を含め対応しやすいメリットがある。

#### 4. マネジメントの効果

マネジメントの効果の評価について、これまで工事段階までに地質リスクが「発現した」もしくは、「存在した」ケースについて、費用や期間の拡大となるリスク評価（A型：回避した事例、B型：発現した事例、C型：最小限に回避した事例）を行ってきた。

一方、運用段階の地質リスク評価においては、工事段階までの地質リスク評価対して、地質の経年劣化に対する定期点検や、地震・豪雨等の気象に関する異常時点検等、「地質リスクが発現していないこと・存在しないこと」を「確認・管理」することが目的となり、費用対効果等の評価基準が異なると考える。

したがって、本報告では、地質リスクマネジメント効果として、地質リスクが「発現・存在していなかった場合」の評価について、D型（その他の事例）にて、地質リスクを「管理した事例」として効果下記の評価提案を行った。

運用期における維持管理調査のマネジメント効果案を表1に示す。評価の結果、地質リスクを管理した場合が200千円（トータルの維持管理点検費）に対し、地質リスクを管理しなかった場合の42,000千円（施工費）、約41,900千円のマネジメント効果と評価した。

表1. マネジメント効果（概算費）

項目	費用	工期
①地質リスクを管理した場合	100千円	1日（点検1回）
②地質リスクを管理しなかった場合（被災）	42,000千円	135日
リスクマネジメントの効果 ①－②	41,900千円	134日
リスクマネジメント管理費率 ①/②×100	0.2%	-

※点検費用は自社見積価格（現在、自主点検）

#### 5. データ様式の提案

D型：地質リスクを管理した事例のデータ様式案を表2に示す。

運用段階中に、維持管理を行った結果に対する費用対効果とし、点検機器・補修を含む運用期における維持管理のトータルコストと管理対象の当初施工費を比較した。

また、運用段階で地質リスクが発生した場合は、運用段階の維持管理点検費のトータル

コストに対し、A型、B型、C型での評価で対応可能と考える。評価基準を当初施工費との比較としたが、詳細が分れば調査段階のトータル費用または、被災後の想定対策費でもよいと考える。また、運用段階のモニタリング機器費用について、施工管理時に設置した場合は、運用段階の機器費用評価に含まれることとした。これは、地質リスクマネジメントにおいて、初期段階（工事段階）での地質リスクの発現確率および供用後の維持管理に向けて、初期条件の把握は非常にマネジメント効果が高いと考えており、できるだけ早い施工段階からの地質に関する多くの情報の取得に取り組み、維持管理点検を実施しやすい状況を準備することが、運用段階での維持管理に繋がりやすい評価となるように考慮した。

表 2. D型：地質リスクを管理した事例

対象	発注者	—		
	調査名	—		
	工種	維持管理・モニタリング		
	調査概要	初期点検 1 回，臨時点検（日降雨量 200mm 以上時） 現地踏査 1 式 地下水観測（触針式水位計）2 孔 荷重計計測（手動観測）2 箇所		
	調査費	300 千円※		
	当初工期	2 回（平成 25 年度）※		
管理するリスク	地質リスク事象	リスク発現時期	運用段階	
		トラブルの内容	地質の経年劣化による抑止力の低下，または，地震や記録的な豪雨により，計画抑止力を超えるすべりが発生する．	
		トラブルの原因	背面地質性状の変化，気象	
		工事・供用への影響	供用の中断および対策工の追加．	
	管理の内容	判断に必要な情報	地質情報（地下水位，のり面変位量，変位深度，アンカー緊張力）	
		管理機器の内容	荷重計およびデータロガー（ハンディー） 水位観測孔	
		管理機器の設置	—（施工時設置）	
		管理機器の変更設置	—	
		管理費用	調査	100 千円×1 回＝100 千円
			調査機器	—
			① 計	100 千円×1 回＝100 千円
			機器設置	—
			変更設置	—
			② 計/式	0 円
		管理工期	1 日（1 回）	
間接的な影響項目	中断による供用制限・中止			
負担者	管理者			

当初工事 (管理対象)	対象工事	工事概要		頭部排土工・受圧版・法枠工，アンカー工 (N=30 本) 水抜きボーリング工 (N=5 本)
		③当初工事費(管理込)		42,000 千円
	管理の内容	調査		リフトオフ試験 (面的調査) : N=15 本 動態観測 : 1 式
		管理機器の内容		荷重計およびデータロガー(ハンディー) 水位観測孔
		管理機器の変更設置		-
		対策工		アンカー工の緊張力調整 : N=30 本
		管理費用 (内訳)	追加調査	リフトオフ試験 (面的調査) : 600 千円 動態観測 : 200 千円
			管理機器	荷重計 200 千円×2 基 = 400 千円
			機器設置	荷重計設置 2 箇所 0 円 (緊張定着併用) 水位観測孔 2 箇所 0 円 (調査ボーリング併用 $\Sigma L=14m$ )
			変更設置	-
	計		1,200 千円	
	リスクマネジメントの効果	費用③ - (①+②)		42,000 - (100+0) = 41,900 千円
		管理費率 (①+②)/③×100		100/42,000×100 = 0.2%
		工期		1 日 (1 回)
その他		-		

※点検費用は自社見積価格 (現在, 自主点検)

## 6. おわりに

アンカーのり面の斜面安定性評価において, 地質の経年変化に関する事例は様々で, 変状ブロックの拡大等, アンカー対策工範囲内だけの限定的なものではないため, 運用段階における定期的な現地踏査は基本であり重要である。また, 運用期における地質情報の管理においてもデータベース化に向けたカルテの作成をはじめ, 地質情報の量・質を含め効果的な管理手法や管理技術の取り組みが始まっており有効に活用していく必要がある。

また, 斜面の安定性評価と合わせてアンカー材料の評価も重要であり, 地質リスク発現時において, 使用アンカー材料の緊張力の調整機能の有無等で対策費用も大きく異なることがある。このため, 潜在的な地質リスクにも対応できるようアンカー仕様も重要な項目である。

以上より, 運用段階での地質リスクマネジメント評価について, 今後も, 管理対象の供用期間の評価, 定期点検の頻度, 計測機器の耐用年数等を含め点検事例実績を増やし, より効果的で効率的な維持管理手法および維持管理の普及に向けて取り組んでいきたいと考える。 <参考文献>

- 1) (社) 地盤工学会; 「グラウンドアンカー設計・施工基準同解説 JGS-4101-2000」, 2000.5
- 2) (社) 日本道路協会; 道路土工「切土工・斜面安定工指針」, 2009.6

## 1. はじめに

観測や計測，サンプリングの最適な位置を決める問題では，推定されるモデルの不確定性に注目するケースが多い<sup>1)など多数</sup>。しかし，この方法では得られる観測情報の値そのものを反映させることはできない。そこで，本研究では得られる値やそれに基づく意思決定も反映できる情報の価値 Value of Information (以下，VoI) に基づく方法の提案を行った。VoI は確率論に基づく意思決定のための指標であり<sup>2)</sup>，Howard<sup>3)</sup>や Ang and Tang<sup>4)</sup>は VoI を用いた意思決定の例として決定木 (decision tree) について確率を割り振った比較的単純な問題を用いて VoI を解説している。能島ら<sup>5)6)</sup>は地震後のライフラインのシャットダウンなどの意思決定問題を対象に VoI を用いた先駆的な研究を行っている。

本研究では正規分布に従う空間分布の場に観測が与えられた場合を対象に VoI の観点から最適な観測点位置およびその点数を決定する方法について提案する。目的関数を不確定性の程度とする場合，コストとの関係は多目的最適化問題として考える必要があるが，VoI は情報が得られることによるリスク削減量の期待値と解釈できるため，観測に必要なコストとの総和を考えることで一つの目的関数の最適化問題として定式化することができる。そのため，観測点位置だけでなく観測点数も最適化することができる点も大きな特徴である。ガウス場の空間分布問題 (クリギング) を対象に 1 次元と 2 次元の最適観測点配置について検討した例を示す。

## 2. 情報の価値 VoI (Value of Information) の定式化

ある評価領域内において評価値  $x$  が基準値  $x_0$  よりも大きいかなんかを判断する問題を考える。例として，土壌中の有害物質の濃度  $x$  を限られた観測点の情報からクリッキングなどを用いて推定し，ある基準値  $x_0$  以下であれば一般土，以上であれば産業廃棄物と判断する問題，あるいは，液状化危険度  $x$  を算定してある基準値  $x_0$  に基づき液状化対策の必要性を判断する問題などが考えられる。検定では第 1, 2 種の誤りがあり，第 1 種誤りは帰無仮説が正しい時，それを棄却する過ち，第 2 種誤りは帰無仮説が正しくない時，それを棄却しない過ちである。この検定の誤りの考え方を参考に，判断に対する誤りを，1) 第 1 種誤り：実際には  $x > x_0$  であるにも係わらず  $x < x_0$  と判断する過ち。(対策が必要なのに不要と判断)，2) 第 2 種誤り：実際には  $x < x_0$  であるにも係わらず  $x > x_0$  と判断する過ち。(対策が不要なのに必要と判断)，と定義する。第 1 種誤りが生じる確率を  $P_1$ ，第 2 種誤りが生じる確率を  $P_2 (= 1 - P_1)$  とする。それぞれの誤りに対してペナルティー  $C_1, C_2$  を設定するとその期待値，すなわちリスクを算定することができる。小さい方のリスクをとるように意思決定することが合理的であることから，次のようにリスクを表すことができる。

$$J = \sum_i L_i = \sum_i \min(C_1 P_{1,i}, C_2 (1 - P_{1,i})) \quad (1)$$

ここで， $i$  は評価点を表しており，サメクションをとることで評価領域全体のリスクとしている。

例として，基準値  $x_0$  が 3.0 の時に，評価値  $x=3.0$  が得られたとする。評価値には不確定性が含まれ正規分布でモデル化することができ，その平均が 3.0 と考える。第 1, 2 種誤りのペナルティーを 10.0, 2.0 と仮定する。これらは例示のための架空の数値で物理的意味はない。評価値が基準値以下と判断するとそれが誤りである確率は 0.5 であるため，そのリスク (ペナルティーの期待値  $= 10 \times 0.5$ ) は 5.0 となる。評価値が基準値以上と判断するとやはりその確率は 0.5 であり，そのリスクは 1.0 である。前者をリスク 1，後者をリスク 2 と呼ぶことにする。当然小さい方のリスクを取るべきであるため，評価値は基準値以上と判断，すなわちリスク 2 の 1.0 を取ることになる。評価値の平均を 0.0 から 4.0 まで変化させた場合のリスクの分布を図-1 に示す。推定値の不確定性を表す標準偏差は 0.4 とした。評価

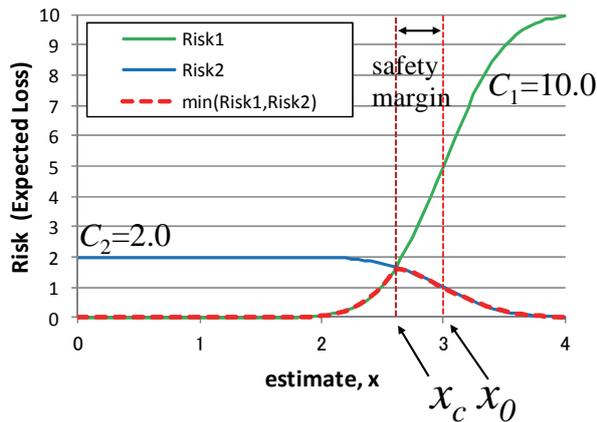


図-1 判断ミスリスクと推定値の平均の関係  
推定値の標準偏差0.4, ペナルティー  $C_1=10$ ,  $C_2=2$

値の平均が 3.0 の場合はリスク 1 と 2 が 5.0, 1.0 にそれぞれプロットされており, 平均値が小さくなるとリスク 1 は小さく, リスク 2 は大きくなる. リスク 1 と 2 が交差している点が判断の分岐点であり, そこより右側では評価値が基準値以上, 左側では基準値以下と判断することが合理的である. この点を判断基準  $x_c$  と呼ぶ. 判断基準値  $x_c$  と基準値  $x_0$  の距離が安全余裕度を表している.

推定値の平均と標準偏差についてクリギングを用いて算定する. クリギングは地質統計手法による空間分布の推定問題として広く知られている<sup>78)</sup>. クリギングと VoI 算定の詳細な定式化を示すことは非常に煩雑になり, 多くの紙面を要するのでここでは省き, 基本的考え方と検討例 (3, 4 章) だけを示すこととする. 評価点における評価値ベクトル  $\mathbf{x}$  が観測量ベクトル  $\mathbf{z}$  によってクリギングを用いて更新されたとして, その時の VoI は次のように求められる.

$$VoI = \int J(\mathbf{x} | \mathbf{z}) p(\mathbf{z}) d\mathbf{z} - J(\mathbf{x}) \quad (2)$$

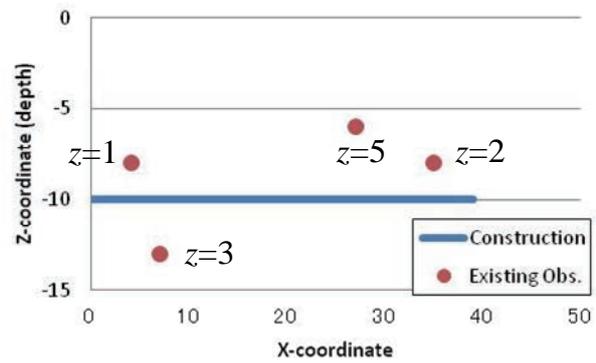
ここで,  $p(\mathbf{z})$  は観測量ベクトルに関する確率密度関数である.

1 点 ( $\mathbf{z}$  の次元が 1) の最適な観測点位置を決める問題であれば全ての観測点候補地点について VoI を計算し最小となる点を決めればよいが, 決めるべき観測点の数が増えると次元の呪いにより計算が困難になる. そのため, VoI を目的関数, 各観測点の位置を最適化のための変数として定式化する. 後に示すように (図-4) 局所解が存在する問題であることから最適化手法としては大域解探索手法の一つである粒子群最適手法 PSO (Particle Swarm Optimization) を用いる. PSO は 1995 年に Kennedy ら<sup>9)</sup> によって提案された比較的新しい方法である. 実数型の変数を対象とした最適化に適しており, パラメタも比較的少なく扱いやすい方法とされている.

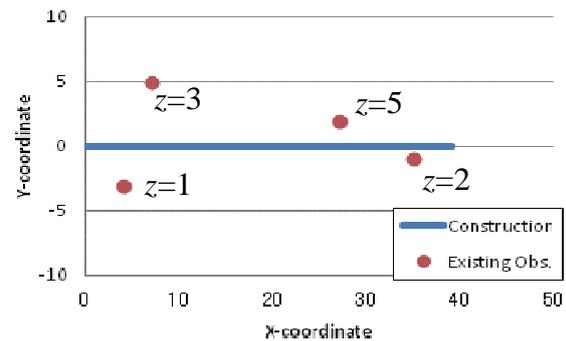
### 3. 1次元の最適配置の例題

#### (1) 基本検討条件

簡単な架空の例題を通して情報の価値 VoI (Value of Information) に基づく観測点の最適配置の例示を行う. 図-2 に示すように既存の観測情報が 4 点存在すると仮定する. これら 4 点では観測量が既知であり, 図に示されている数値が得られているとする. 観測量誤差の標準偏差は 0.1, 場の平均は 2.0, 場の標準偏差は 1.0, 自己相関距離はすべての方向に 5m とした. 青い線で示されている部分が評価領

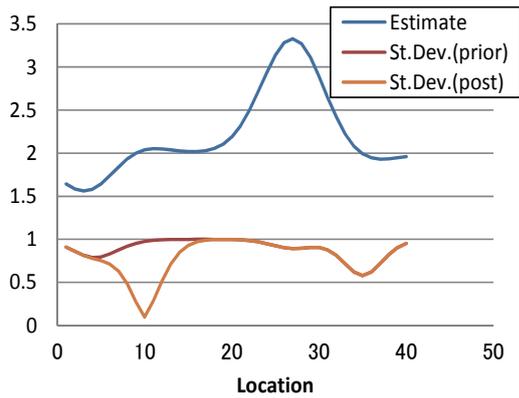


(1) 断面図

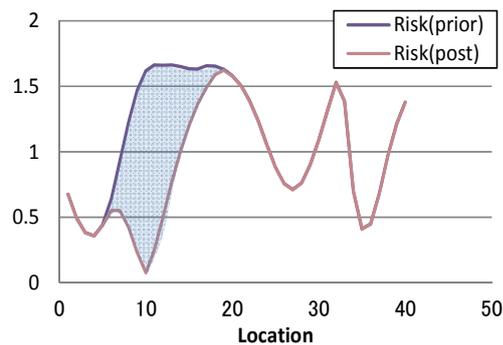


(2) 平面図

図-2 既存の観測情報と評価領域



(1) 推定値の平均と標準偏差の分布



(2) 判断ミスリスクの分布

差分が Value of Information を表す

図-3 新たな観測情報 1 点 (10m 地点) の追加による判断ミスリスク削減

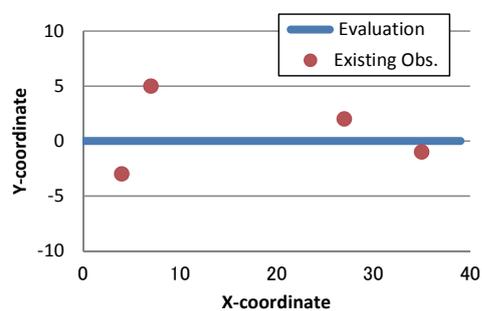
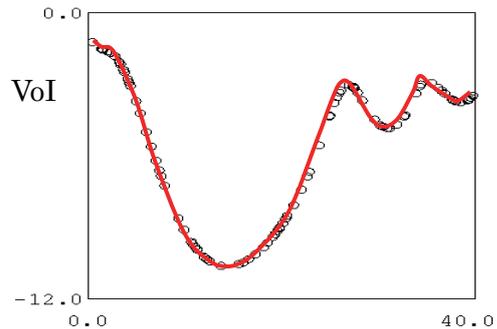


図-4 観測点を 1 点追加する場合の VoI

下図：既存の観測点位置の平面図とその値

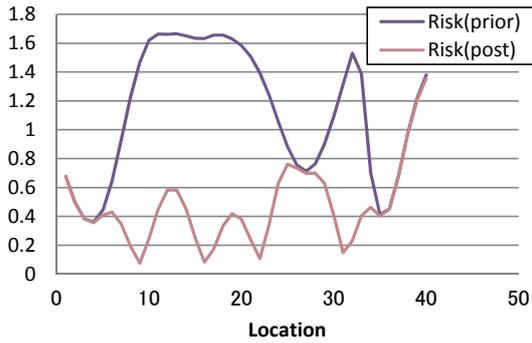
域 (図の凡例では construction) であり、観測量に基づいて推定値をクリギングによって求める。基準値  $x_0$  は 3.0, 第 1, 2 種誤りのペナルティは 10.0, 2.0 とする。

## (2) 情報の価値 VoI の試計算

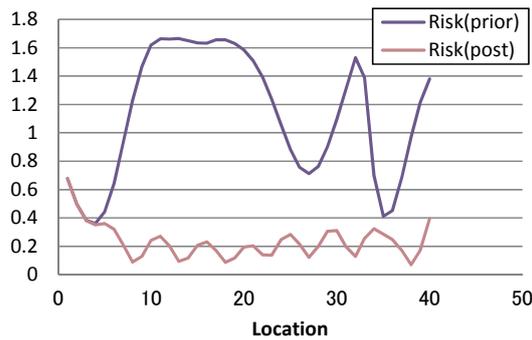
既存の 4 点の観測情報から図-3(1)に示すように評価領域における推定値  $x$  の分布がクリギングにより求められる。その標準偏差の分布も求められ、図では St. Dev. (prior)として示した。さらに、既存 4 点の観測情報から得られる判断ミスリスク分布も得られる。図-3(2)に risk(prior)として示した。式(2)の右辺の第 2 項に相当する。

既存の 4 点に加えて 10m の地点に新たな観測点を設ける場合について VoI の計算を行う。新たな観測点を考慮して更新された標準偏差分布を図-3(1)に St. Dev. (post)として示した。当然のことながら新たな観測点の周りで標準偏差が小さくなっている様子がわかる。リスクについては標準偏差だけでなく観測量の値にも影響される。図-3(2)に risk(post)として新たな観測点を考慮した場合のリスクの期待値の空間方向への分布を示す。式(2)の右辺の第 1 項に相当する。新たな観測点周りでリスクも減少している。事前のリスクと新たな観測量により更新された事後のリスクの差分が情報の価値 VoI であり、図-3(2)では色をつけて表示した部分が VoI の値となる。

リスクが一番大きくなるのは不確定性 (推定値の標準偏差) の大きさが同じであれば図-1 に示したように判断基準  $x_c$  の周辺に推定値の平均がある場合である。このように不確定性の程度だけでなく推定値も含めて判断に関わるリスクから最適な観測点を議論できる点が VoI を用いる利点である。すなわち、不確定性が大きくても推定値の平均値が判断基準  $x_c$  と大きく離れていれば判断ミスの可能性

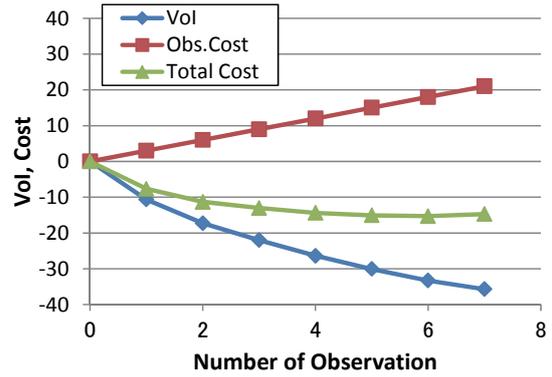


(1) 4点追加する場合

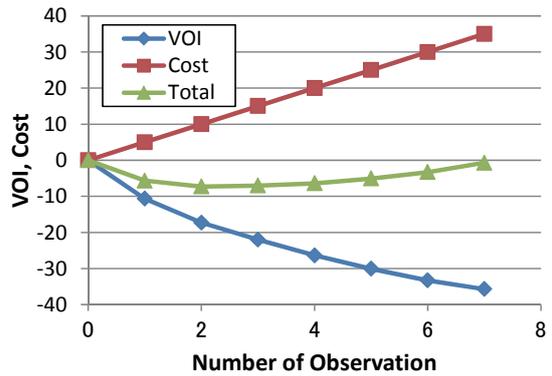


(2) 7点追加する場合

図-5 観測点を追加する場合の追加前後のリスク分布



(1) 観測コスト5の場合



(2) 観測コスト3の場合

図-6 最適な観測点数

は小さくなるのでそのリスクも小さくなり、そういった場所で観測を行っても価値は小さいと判断されることになる

### (3) VoIに基づく観測点の最適化

最初に観測点1点を追加する場合の最適な位置について検討する。一点の場合は特に最適化手法は必要ではなく領域内の候補地点全てについて計算することが可能である。評価領域についてVoIを計算した結果を図-4に示す。15m付近に一番小さくなる地点があるがそれ以外にも28m付近、38m付近にも局所的に小さくなっている場所があり、このように局所解が存在する問題となっていることがわかる。1点を追加する場合には15m付近に観測点を設けることがVoIの観点から最適であり、その場合のVoIの値は-11程度である。4点追加する場合と7点追加する場合、すなわち4次元と7次元の場合についてPSOにより最適化した結果のリスク分布を図-5に示す。リスクが減少している地点が選ばれた追加観測地点である。追加観測点は既存観測点がない領域に選ばれているが、必ずしも等間隔ではなく、既存の情報を踏まえて最適な配置が示されている。

同様に1点追加する場合から7点追加する場合まで最適な観測点配置を求め、その場合のVoIを図-6に示す。図には観測に要するコストが1点あたり5と3の場合を仮定してobs.costとして示している。点数とともに観測にかかる費用が線形に大きくなっている。観測コストとVoIを足し合わせるとトータルコストとなる。それぞれトータルコスト最小となる点が現れており、観測コスト5の場合は6点、観測コスト3の場合は2点の場合となっている。観測コストが高くなると最適な観測点数も減っている。図にも示されているように観測点数に対してVoIは線形に減少していない。このことは、観測点数が増えるにつれて徐々に1点あたりの観測の価値が減少することを意味しており、そのためトータルコスト最小点が存在する結果となっている。

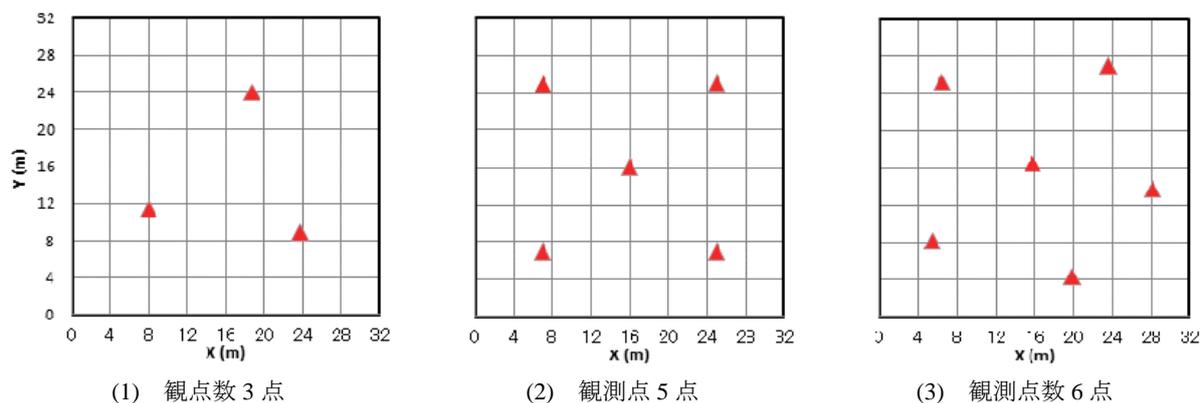


図-7 既往の観測点がない場合の最適な観測点位置

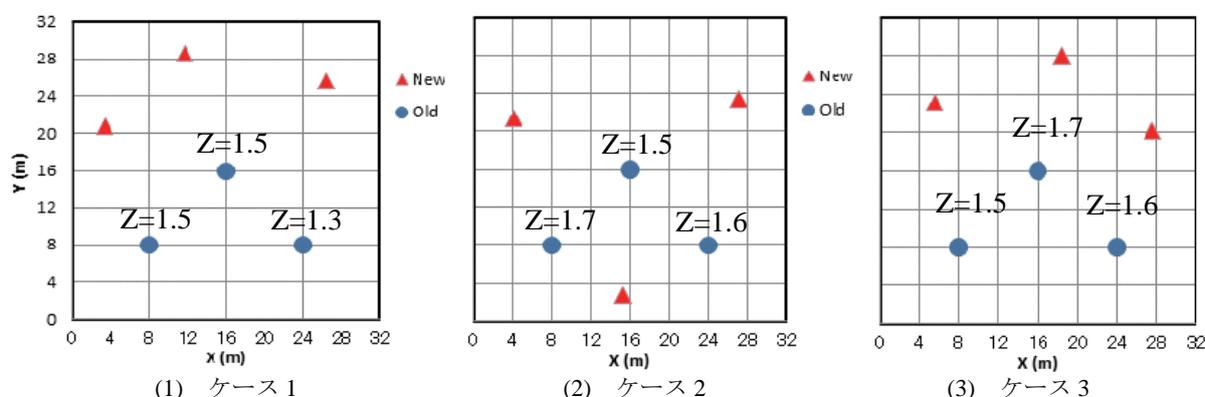


図-8 既往の観測点が3点ある場合の最適な追加観測点位置

## 4. 2次元の最適配置の例題

### (1) 基本検討条件

次に2次元の観測点最適配置問題への適用例を示す。確率場の平均値は1.0、標準偏差は0.5、自己相関距離は $x, y$ 方向ともに15m、観測量誤差の標準偏差は0.1とした。判断のための基準 $x_0$ は2.0、判断ミスの特罰係数 $C_1, C_2$ は10.0, 2.0とした。対象とする領域は32m×32mの正方形の領域とした。領域の大きさは米田ら<sup>10)</sup>によって検討されている土壌汚染を対象とした最適な調査計画の問題とほぼ同様(米田らは1辺31.6mの正方形)とした。

### (2) 既往の観測点がない場合の観測点の最適化

既往の観測情報がない場合について、観測点数3, 5, 6点の場合について、PSOを用いてそれぞれ最適配置を求めた。得られた最適観測点配置の結果を図-7に示す。環境省のガイドライン<sup>11)</sup>では5地点均等混合法と呼ばれる方法が紹介されており、その配置は図-7(2)を45度回転させたものとなっている。米田ら<sup>10)</sup>は推定値(土壌汚染の濃度)の不確定性の最小化の観点から最適化手法(遺伝的アルゴリズム)を用いて最適配置を求めている。その結果は図-7(2)と同様であり、既往の観測データがない場合は従来の不確定性に基づく方法と同等の解が得られることがわかる。

### (3) 既往の観測点がある場合の追加観測点の最適化

既往の観測点がない場合は基本的にそれぞれの観測点周辺の面積が同じ程度になるように規則的に配置される傾向があり、直観的にも想像することができることから必ずしも高度な手法が必要ではない。より重要な問題設定は既往の観測点がある場合、あるいは多段階の調査計画である。多段階の調査計画とは最初数点の観測を行い、その結果に基づき追加の観測に関する点数や個所を決める逐次配

置の考え方である。例として、3点の既往の観測情報がある場合について、最適な追加観測地点を算定した結果を図-8に示す。既往の観測地点は同じであるが、得られた値が異なる3ケースを仮定して最適な追加観測点を算定した。判断のための基準  $x_0$  は 2.0 であることから、観測された数値がそれに近い既往の観測点を重視して追加の観測点が決まっている傾向がみられる。不確定性の大きさだけに基づく方法ではこのように得られた観測の値も考慮して最適な観測点を決めることはできない。

## 5. まとめ

本報告では観測点の最適化を行う方法について提案を行った。観測点最適化の問題は、1)観測配置に対する目的関数の設定、2)目的関数に関する最適化問題の解の算定、の2ステップから考えることができる。本論文では前者について論じ、情報の価値 VoI (Value of Information)の基本概念の解説及び1,2次元の例題を示した。VoIを判断の誤りに関するリスク(経済損失の期待値)の期待削減量として定義しており、単なる不確定性の量だけでなく、得られている観測値も反映した指標となっている点、及び、観測に必要なコストとのトータルコストを考えることで最適な観測点数を決めることができる点が大きな特徴である。

### 参考文献

- 1) 吉田郁政, 豊田耕一, 星谷勝: 時間更新を考慮した逆解析と観測点配置の評価指数, 土木学会論文集, No.543/I-36, pp.271-280, 1996
- 2) Raiffa, H. and Schlaifer, R., Applied statistical decision theory. Boston: Clinton Press, Inc., 1961.
- 3) Howard, R. A., "Information value theory", *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, SSC-2, No.1, 22-26, 1966
- 4) Ang, A.H.-S. and Tang, W.H., "Probability concepts in engineering planning and design. Volume II – decision, risk and reliability", John Wiley & Sons, 1984
- 5) Nojima, N. and Sugito, M., Bayes Decision Procedure Model for Post-Earthquake Emergency Response, Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability, Proc. of the 5th U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering, pp.217-226, 1999.8
- 6) 能島 暢呂: 緊急地震速報による予測震度の不確定性を考慮した緊急対応モデル, JCOSAR2011 論文集(第7回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム), pp.111-118, 2011.10
- 7) Christakos, G., Random Field Models in Earth Sciences, Academic Press Inc., 1992
- 8) Cressie, N., Statistics for Spatial Data, John Wiley & Sons, 1991
- 9) J. Kennedy and R. Eberhart, Particle swarm optimization, *Proc. of IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, Vol.4, pp.1942-1948, 1995.
- 10) 米田稔, 森澤眞輔, 西村留美: 土壤汚染概況調査の5地点混合方式における試料採取地点最適配置, 土木学会論文集, No.622/VII-II, pp.51-58, 1999
- 11) 環境省, 水・大気環境局, 土壤環境課: 土壤汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン(改訂第2版), 第2章 土壤汚染状況調査, 2012.  
[http://www.env.go.jp/water/dojo/gl\\_ex-me/index.html](http://www.env.go.jp/water/dojo/gl_ex-me/index.html) (2013.10.28 閲覧)

## 〔論文 No. 特②〕 不確実性を考慮した個別要素法による落石危険度評価

○森口周二 東北大学

大竹雄 岐阜大学

### 1. はじめに

落石の被害を軽減するために、全国で調査が実施されており、各危険個所に対して対策を講じるための努力が続けられている。しかしながら、未だ膨大な数の危険個所が存在しており、全ての危険個所に対して十分な対策を講じるには、将来に渡り長い時間と多くの費用を必要とする。そのため、より効率的な落石対策が望まれているが、そのためには落石の危険度を定量的に評価できる枠組みが必要である。

落石挙動予測手法として、経験則や簡単な物理式に基づく手法（例えば落石便覧式）と数値解析が挙げられる。また、数値解析は、失点系の手法（例えば、吉田らの手法<sup>1)</sup>や右城らの手法<sup>2)</sup>）と非失点系の手法（例えば、不連続変形法<sup>3)</sup>や個別要素法（DEM）<sup>4)</sup>）の2つのグループに分類できる。失点系の手法は、非失点系の手法と比べて計算コストが低く、使用に際して特殊な知識や経験を必要とする場面が少ないため、実務でも広く利用されている。対して、非失点系の手法は、計算コストが高く、得られる結果が使用者の技量や経験に依存するといった問題はあるものの、落石の形状の影響を考慮できるという利点を有しており、適切に使用すれば落石挙動を高精度に表現することができる。筆者らは、非質点系手法の一種である個別要素法<sup>5)</sup>を用いた落石危険度の定量的評価の枠組みを提案している。この枠組みは落石危険度の定量的評価と非質点系手法（本論文内では主に個別要素法）の欠点の解消を同時に達成するものである。本論文では、この枠組みを実斜面に対して落石の危険度を評価した事例について報告する。

### 2. 危険度評価の枠組み

#### (1) 枠組みの基礎

提案する落石危険度評価の枠組みは、本城ら<sup>6)</sup>が提案する地盤構造物の信頼性設計の枠組み（図-1）を基礎としている。この方法では、全体の評価工程を①数値解析、②不確実性解析、③信頼性解析の3つのプロセスに分離する。①の数値解析は、数値解析ツールを用いて、対象事象の応答を調べるプロセスである。このプロセスでは、対象事象に対して支配的な基本変数の値の組み合わせを変化させ、それぞれの組み合わせに対する対象事象の応答を出力しておく。②不確実性解析は、基本変数の不確実性を統計的学的手法により定量化するプロセスである。③の信頼性解析では、①で得られた数値解析の結果を用いて基本変数に対する対象事象の応答曲面を仮定する。その後、得られた応答曲面と②で定量化された不確実性の情報を用いて、モンテカルロシミュレーションを実施し、その結果からある定められた状態に対する超過確率を算出し、信頼性の評価を行う。

この枠組みを用いて、液状化地盤上の水路の耐震設計の適用例が報告されており<sup>8)</sup>、その有用性が確認されている。この枠組みを用いることにより、数値解析は現象の傾向を捉え

るためだけの目的に限定されるため、多くのケースに対して解析を実施する必要はなく、計算コストの高い手法であっても利用可能となる。また、解析パラメータに関してバラツキを考慮するため、実現象を表現する際の解析パラメータの設定の難しさという問題も大幅に改善される。さらに、数値解析のプロセスとその他のプロセスが独立しているため、数値解析手法の高度化や変化に即座に対応することができ、新しい解析手法を随時採りこむことが可能である。

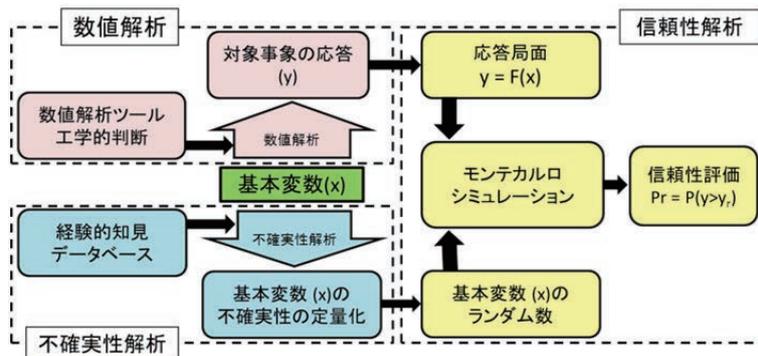


図-1 数値解析を用いた信頼性設計の枠組み<sup>6)7)</sup>

## (2) DEMによる落石危険度評価の枠組み

図-2 は、本研究で用いる落石危険度評価の枠組みを示したものである。まず、評価対象事象を決定する。これは、落石のエネルギーや到達距離といった定量的な評価と、落石がある範囲に到達するか否かの二値的な評価の2種類がある。これらの違いは、応答曲面で採用する回帰モデルの関数形を変化させることで対応できる。次に、DEMによる落石シミュレーションを実施する。シミュレーションの中では、条件を変化させて、解析条件や解析パラメータが評価対象事象に与える影響を調べる。複数ケースの解析結果を得た後、その結果を用いて評価対象事象の応答曲面を構築する。具体的には、評価対象事象に影響する変数を含む関数を作成し、数値解析結果を表現するようにフィッティングを行う。最後に、得られた応答曲面を用いてモンテカルロシミュレーションを実施し、その結果から危険度を評価する。

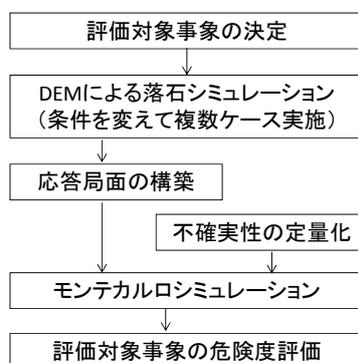


図-2 数値解析を用いた落石危険度評価の枠組み

### 3. 実斜面への適用

以下では、先述の枠組みを用いて実斜面の落石危険度評価を実施した結果について示す。

#### (1) 対象斜面

図-3に対象斜面の写真を示す。対象斜面は、長野県に位置するものであり、斜面下には建物が存在している。この建物に対する落石の危険度を評価した。現地踏査の結果、図-3に示した3箇所の落石の発生源が存在することを確認した。また、斜面中腹には、過去に発生した落石と考えられる崖錐が溜っており、概ね10~20cm程度の大きさであった。岩種は球状石灰岩であり、風化や雨水による浸食などの作用により、不連続面が発達した状態と考えられる。また、斜面の表面形状はレーザープロファイラーを用いて取得した。得られた表面形状を図-4に示す。本事例では、落石が建物の領域まで到達するか否かを評価対象事象とし、落石の到達確率を出力結果とすることで危険度評価を行った。



図-3 対象斜面の写真

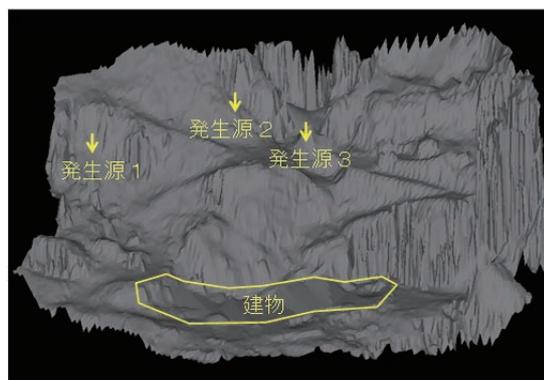


図-4 対象斜面の表面形状

#### (2) DEMによる落石シミュレーション

数値解析の後に実施する応答局面の構築作業では、数値解析の中で入力条件を変化させて得られる複数ケースのシミュレーション結果を基に、応答局面を構築する。そのため、数値解析では、入力パラメータや解析条件を変化させて複数ケース実施する必要がある。本事例においては、落石の体積、アスペクト比、反発係数を変化させた。体積とアスペクト比については、現地調査の結果を踏まえて、図-5に示すように、3種類のサイズと3種類のアスペクト比（縦横比）を設定した。つまり、合計で9種類の体積の落石モデルをシミュレーションの中で用いた。反発係数は、0.1, 0.2, 0.3, 0.4の4種類とした。現地の斜面表面は表土で覆われており、反発係数は0.1以下と推定されるが、冬季の温度低下による表面の凍結に伴う反発係数の上昇も考慮して広めの範囲でシミュレーションを実施した。また、落石の発生源については、現地調査の結果に基づいて、図-4の3か所の発生源を設定した。以上の条件より、体積9種類、反発係数4種類、発生源3箇所の全ての組み合わせである108ケースの解析を実施した。

全108ケースの解析結果（落石経路）を図-6~8に示す。図-6~8はそれぞれ、サイズ（大

中小), アスペクト比, 反発係数で落石経路を色分けしたものである. これらの図より, サイズが小さく, アスペクト比が1に近く, 反発係数が高いケースが建物の領域に到達しやすい傾向が確認できる. また, 108 ケースの中で落石が建物の領域まで到達するのは3 ケースのみであり, 落石が到達する確率はさほど高くないことがわかる. また, 到達するケースは反発係数が0.4の場合であり, 危険度側の条件の場合にのみ到達していることが確認できる.

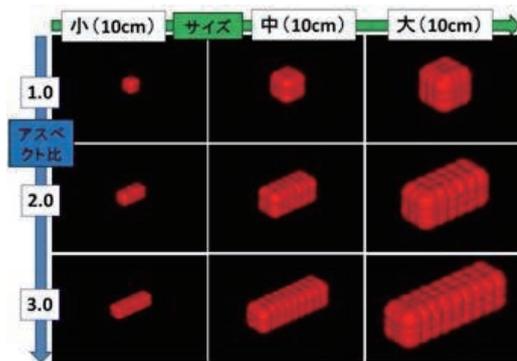


図-5 落石モデル

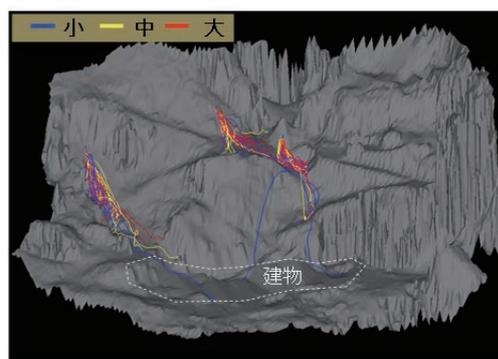


図-6 解析結果 (落石サイズで色分け)

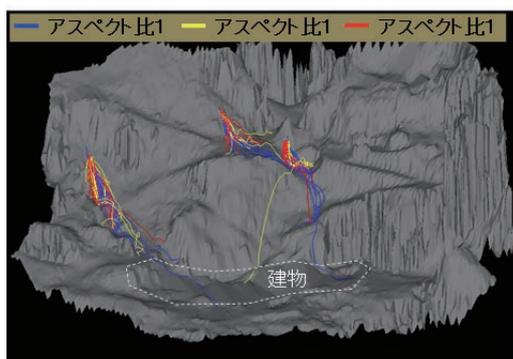


図-7 解析結果 (アスペクト比で色分け)

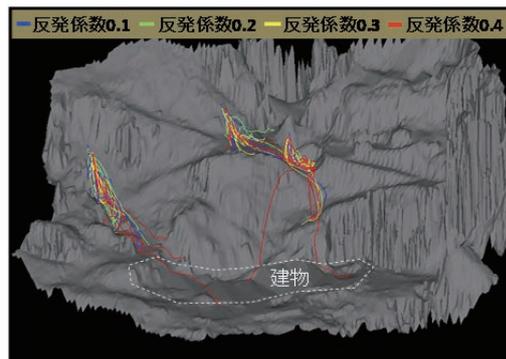


図-8 解析結果 (反発係数で色分け)

### (3) 応答局面の構築

到達距離やエネルギーなどの量に関する危険度評価を実施する場合には, その量を出力する関数を構築する. しかし, 本事例では, 落石が到達する確率を評価するため, 個別要素法によるシミュレーション結果 (到達しない: 0/到達する: 1) と関連パラメータをロジスティック回帰分析により関連付けを行う. 本事例では, 関連パラメータを, 落石の反発係数, 落石のアスペクト比, 落石の体積の3種類とした.

ロジスティック回帰分析は, 関連パラメータを変数として, ある現象が発生する確率を出力するモデルを構築することができる. ロジスティック回帰分析で用いられる数式モデルを以下に示す.

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-z)} \quad (1)$$

$$z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \cdots + \beta_n x_n \quad (2)$$

ここで、 $x$ は関連パラメータ、 $\beta$ は回帰係数である。本事例の中では、落石が発生した場合に、建物の領域まで到達する確率  $P$  を出力するモデルを構築する。ロジスティック回帰分析により得られた回帰係数を表-1 に示す。各関連パラメータの回帰係数の他に、オッズ比と  $t$  値を表中に示している。この結果より、反発係数の影響が大きいことが確認できる。

表-1 回帰係数の計算結果

	$\beta$ の値	オッズ比	t値	
切片	$\beta_0$	-3.034	4.8E-2	-1.8
反発係数	$\beta_1$	11.606	1.1E+5	-2.5
アスペクト比	$\beta_2$	-1.279	2.8E-1	-2.0
体積	$\beta_3$	-60.619	0.0E+0	-1.5

#### (4) 関連パラメータの不確実性の定量化

前節までの結果で、シミュレーション結果から落石の到達確率を出力するモデルが構築された。このモデルは、シミュレーション結果を反映した1本の数式として表現されている。そのため、関連パラメータの値の組み合わせを変化させて、モンテカルロシミュレーションを行うことで多数ケースの結果を出力することができる。ただし、モンテカルロシミュレーションの入力値となる関連パラメータの不確実性を定量化する必要がある。具体的には、各関連パラメータの平均値と標準偏差、および分布形状を決定する。表-2に各関連パラメータの不確実性を定量化した結果を示す。これらの結果は、現地調査の結果に工学的判断を加味して決定したものである。

表-2 関連パラメータの不確実性を定量化した結果

	平均値	標準偏差	分布関数
反発係数	0.1	0.1	対数正規
アスペクト比	2	1	対数正規
体積(m <sup>3</sup> )	0.008	0.008	対数正規

#### (5) 落石到達確率の評価

各関連パラメータは独立であるとして、先述の落石の到達確率を出力するモデルと、関連パラメータの不確実性を定量化した結果を用いてモンテカルロシミュレーションを実施した。つまり、関連パラメータの確率分布に従って、乱数を発生し、様々な組み合わせケースについて到達確率を計算した。本事例では、100万回の試行を行った。モンテカルロシミュレーション結果を踏まえて、次式により、対象斜面で落石が生じた際の平均的な到達確率  $P_r$  を計算した。

$$P_r = \frac{\sum P_i}{N} \quad (2)$$

ここで、 $P_i$ は組み合わせ  $i$  の到達確率、 $N$  は試行回数である。この結果、 $P_r$  は2.2%という結果を得た。ただし、この確率は、落石が発生したという想定の下で、落石が建物の領域

に到達する確率という条件付き確率であるため、以下のように絶対確率  $P_z$  に変換する。

$$P_z = P_r P_y \quad (3)$$

ここで、 $P_y$  は、1年間に当該斜面で落石が発生する確率である。本事例では、現場の落石状況（斜面中腹に存在する過去の落石）から考えて、1回/年～1回/10年程度ではないかと考えられたため、安全側（危険度を大きく評価する）の観点から1回/年と想定した。すなわち、先述の条件付き確率が絶対確率に等しく、当該斜面上で落石が建物領域に到達する絶対確率は2.2%/年（50年に1回程度）と算定される。また、DEMによるシミュレーションの結果を踏まえれば、到達するのは10cm角程度の小規模な落石であり、大規模な対策工は必要ないと判断できる。

#### 4. まとめ

本論文では、DEMを用いた落石の危険度評価の枠組みを実際の斜面に適用し、危険度評価の具体的な手順を示した。非線形性の強い落石挙動の予測には、十分な試行回数のシミュレーションが必要となるが、高度な数値解析手法を用いる場合、計算コストの関係上多くの試行回数を確保できない。本論文で示した枠組みは、応答曲面の利用により、この問題を解消可能としている。また、入力パラメータや計算条件のバラツキを考慮するために、入力パラメータの設定に関する難しさが比較的少なくなる。本論文で示した枠組みは、落石危険度評価だけでなく、今後の数値解析を用いた設計や防災の中で重要なものになると思われる。

なお、本論文で示した危険度評価の枠組みでは、現地調査の結果に基づいて地形や入力パラメータ、およびバラツキの大きさを推定することになる。そのため、調査結果の精度は極めて重要であり、結果を大きく左右するものとなる。そのため、本論文で示した危険度評価の枠組みを使用する上で、使用する調査結果の精度に関する十分な検討が重要である。

#### 参考文献

- [1] 吉田博, 荒田久和, マイコンによる落石の飛躍シミュレーション, 第1回落石の衝撃力およびロックシェットの設計に関するシンポジウム論文集, pp.55-61, 1983.
- [2] 右城猛, 落石シミュレーション手法の開発, 地すべりと斜面崩壊に関するシンポジウム論文集, 地盤工学会四国支部, No.58/VI-37, pp.129-136, 2000.
- [3] Shi G.H. and R.E. Goodman, Discontinuous Deformation Analysis, Proc. 25th U.S. Symposium on Rock Mechanics, pp.269-277, 1984
- [4] Cundall P. A. and Strack O. D. L (1979): A discrete numerical model for granular material, *Geotechnique*, 29, pp.47-65, 1979.
- [5] Moriguchi S., Otake Y., Honjo Y. and Hara T., Level III reliability based design employing numerical analysis: Application of RBD to DEM, Proc. of 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, pp.531-536, 2011.
- [6] Honjo Y., Hara T. & Kieu Le T.C.(2010): Level III Reliability Based Design of Examples set by ETC10, Proceedings of 2nd International Workshop on Evaluation of Eurocode 7.
- [7] Honjo Y., Challenges in Geotechnical Reliability Based Design, Proceedings of 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, pp.11-27, 2011
- [8] 大竹雄, 本城勇介, 応答曲面を用いた実用的な地盤構造物の信頼性設計法: 液状化地盤上水路の耐震設計への適用, 土木学会論文集C, Vol.68, No.1, pp.68-83, 2012

## 【論文No. 特③】 サウンディング試験結果の統計モデルと弾性波探査結果との合成

岡山大学大学院環境生命科学研究科 西村伸一

### 1. はじめに

本研究では、ため池や河川の堤防のような土構造物の管理手法を確立することを目的としている。堤体維持管理のための内部診断に用いる調査手法として、サウンディングを中心に考えており、本研究は、N値の空間分布を詳細にモデル化する手法を提案するものである。一般に、地盤強度をはじめ、様々な土質定数を推定するため、標準貫入試験 (SPT) によるN値が計測される。本研究でも、SPTによるN値を基準としているものの、サウンディング試験として、より簡便に高密度の情報を得るため、スウェーデン式サウンディング試験 (SWS試験) を用いるものとする。また、この試験結果を基に、N値の空間分布を表現する統計モデルを決定している。

サウンディング試験で得られる情報は、点推定値であるため、計測点間の情報を補間する必要がある。そのため、ここでは、地質統計学の一手法である、インディケータシミュレーション法<sup>1)</sup>を用いる。これによって、決定された統計モデルにしたがい、N値の点推定値を空間的に補間することができる。さらに、インディケータシミュレーションでは、主となる情報をハードデータ、補助的な情報をソフトデータとして用いることができる。本研究では、補助的なデータとして弾性波探査の結果を利用する方法を提案する。弾性波探査手法としては、地盤定数との相関性が強いS波が精度良く計測されるとされる表面波探査<sup>2)</sup>を利用する。本研究では、実際の貫入試験であるSWS試験をハードデータ、表面波探査結果を補助データ (ソフトデータ) と考え、2つの情報の合成によって精度の高いN値分布を同定し、堤体内でN値の低い箇所を検出することを試みる。

### 2. 現地試験結果

ため池の堤体であるサイトHにおいて、サウンディングと表面波探査を実施した。図1に示すようにため池堤体の縦断方向に沿って5m置きに9箇所、サウンディングを実施し、同じ箇所で表面波探査を実施した。式(1)は、稲田によって示された、砂質土を対象とした標準貫入試験結果 $N_{SPT}$ とスウェーデン式サウンディング試験 (SWS) 結果との回帰式<sup>3)</sup>であり、換算N値 $N_{SWS}$ が得られる。回帰式のばらつきを考慮するために、確率変数 $\epsilon_r$ を導入し、最終的に式(2)を提案し、 $N_{SPT}$ を得る。この式は、 $N_{SPT}/N_{SWS}$ の変動係数が0.354であることを表している。

$$N_{SWS} = 0.67N_{SW} + 0.002W_{SW} \quad (1)$$

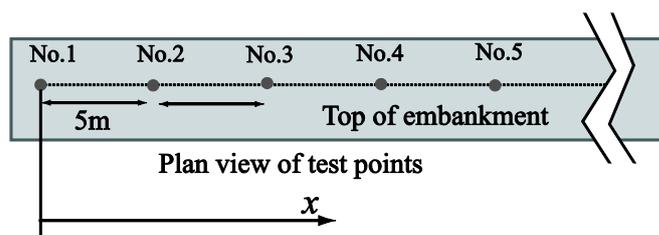


図1 堤体平面図と試験間隔

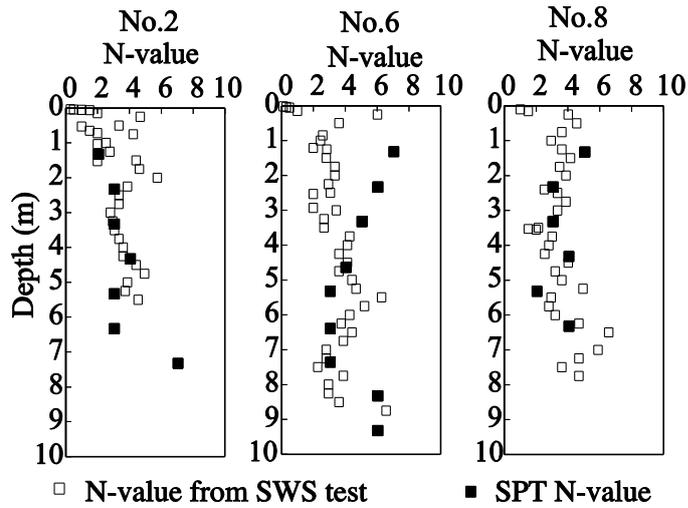


図2 SPT と SWS による N 値の比較

$N_{SW}$ : 半回転数  $W_{SW}$ : 重錘の重さ

$$N_{SPT} = (1 + 0.354\varepsilon_r) N_{SWS} \quad (2)$$

$\varepsilon_r$ :  $N(0, 1)$  の正規確率変数

図2に、現地における標準貫入試験結果とSWSによる換算N値が示されており、比較的適合度が良いことが分かる。一方、図3には、現地において実施した表面波探査によるN値分布を示している。ここでは、S波からN値への換算は、次式の今井の式<sup>4)</sup>を用いる。

$$V_s = 89.8N^{0.341} \quad (3)$$

サウンディングと比較すると、局所的な変化には追従できないが、平均的なN値の分布が表現されている。

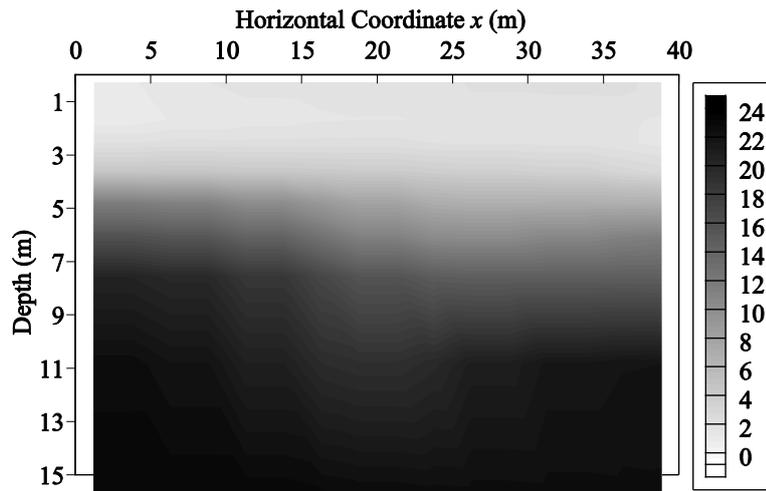


図3 表面は探査による N 値の空間分布

### 3. 土の強度の統計モデル

### (1) モデル化の手法

地盤定数を代表する変数を $\xi$ とし、これが空間座標  $\mathbf{X}=(x, y, z)$ の関数であるとする、一般に、 $\xi$ は、空間座標の関数として次式で与えられる。

$$\xi(\mathbf{X})=\mu(\mathbf{X})+U(\mathbf{X}) \quad (4)$$

ここで、 $\xi(\mathbf{X})$ は、平均値関数 $\mu(\mathbf{X})$ と確率成分 $U(\mathbf{X})$ の線形結合であると仮定する。

変数 $\xi$ を空間的に離散化してベクトル表示したものを $\boldsymbol{\xi}=(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_M)$ とする。  $M$ はテスト箇所の個数であるとし、土質試験や地盤調査から得られた結果を  $\boldsymbol{\Xi}=(\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_M)$ と定義する。ベクトル $\boldsymbol{\Xi}$ は、確率ベクトル  $\boldsymbol{\xi}=(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_M)$ の一つの実現値である。もし変数  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_M$  が $M$ 次元正規分布を構成していると仮定すると、その確率密度関数は次式で与えられる。

$$f_S(\boldsymbol{\Xi})=(2\pi)^{-M/2}|\mathbf{C}|^{-1/2}\exp\left\{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{\Xi}-\boldsymbol{\mu})'\mathbf{C}^{-1}(\boldsymbol{\Xi}-\boldsymbol{\mu})\right\} \quad (5)$$

ここで、 $\boldsymbol{\mu}=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M)$  は確率変数  $\boldsymbol{\xi}=(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_M)$ の平均値関数であり、次式の座標値に関する多項式で与える。ただし、ここでは、堤体の縦断面 ( $x$ - $z$ 断面) を解析を対象とし、モデル化を二次元に限定するものとする。

$$\mu_k = a_0 + a_1x_k + a_2z_k + a_3x_k^2 + a_4z_k^2 + a_5x_kz_k \quad (6)$$

$(x_k, z_k)$ はパラメータ $\xi_k$ に対応する水平と鉛直座標 (深度) を表し、 $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$  は、平均値関数の回帰係数を表す。  $\mathbf{C}$  は  $M \times M$  の共分散行列であるが、基本的に次に示す4タイプから選択する。

$$\mathbf{C} = [C_{ij}] =$$

$$\sigma^2 \exp\left(-|x_i - x_j|/l_x - |z_i - z_j|/l_z\right) \quad (7a)$$

$$\sigma^2 \exp\left\{-\frac{(x_i - x_j)^2}{l_x^2} - \frac{(z_i - z_j)^2}{l_z^2}\right\} \quad (7b)$$

$$\sigma^2 \exp\left\{-\sqrt{\frac{(x_i - x_j)^2}{l_x^2} + \frac{(z_i - z_j)^2}{l_z^2}}\right\} \quad (7c)$$

$$N_e \sigma^2 \exp\left(-|x_i - x_j|/l_x - |z_i - z_j|/l_z\right) \quad (7d)$$

$$\begin{cases} N_e = 1 & (i = j) \\ N_e \leq 1 & (i \neq j) \end{cases} \quad i, j = 1, 2, \dots, M$$

ここで  $[C_{ij}]$  は、 $i, j$  点間の共分散 $C_{ij}$ を要素とする共分散マトリクスを表し、 $fD$ は標準偏差、 $l_x, l_z$ は、 $x, z$  方向の相関距離をそれぞれ表す。また、パラメータ $N_e$ は、2点間の距離が0付近の急激な相関性の減少 (金塊効果<sup>5)</sup>と呼ばれる) を表現するパラメータである。

対数尤度を基に、情報量基準AIC<sup>6)</sup>が式(8)で与えられる。

$$\text{AIC} = -2 \cdot \max\{\ln f_S(\boldsymbol{\Xi})\} + 2L = M \ln 2\pi + \min\left\{\ln(\mathbf{C} + (\boldsymbol{\Xi} - \boldsymbol{\mu})'\mathbf{C}^{-1}(\boldsymbol{\Xi} - \boldsymbol{\mu}))\right\} + 2L \quad (8)$$

ここで、 $L$ は、式(5)のモデルを決定するパラメータの数であるが、本研究の場合は、式(6)の回帰係数の数と式(7)の $l_x, l_y, N_e$ で与える共分散を決定するパラメータの数の和を表す。

AICを最小化することによって(MAIC)、最適な共分散関数 (4つのタイプの中の1つ) , 平均値関数とその回帰係数の数, 標準偏差 $\sigma$ , 相関距離 $l_x, l_y$ , 金塊効果のパラメータ $N_e$ を決定

することができる。

## (2) 堤体の統計モデル

サイトHにおいて実施したサウンディングの結果に対してモデル化を行う。ただし、堤体部と基盤部では大きく物性が異なるため、別々にモデル化を行うものとする。

堤体部分について、式(6)に示した平均値関数を仮定して統計モデルを決定しようと試みた結果、相関距離が適切に決定されなかった。これは、試験結果の水平方向のトレンドが、やや周期性を示し、二次関数では追従できなかったためである。さらに高次の項を加えることも考えられるが、高次のトレンド関数は、外挿域で極端な値を示すため。これを採用しないこととした。代替案として、ここでは、式(6)の座標の2次までの関数を加えて、 $x$ 方向の周期性を考慮した平均値関数を検討している。ここでは、式(6)に、 $\sin\{(x/5-1/2)\pi\}$ の項を加えた平均値関数を検討した。これは、 $N$ 値に10mに1周期とする周期性が見られるためである。結果、次式が最適な平均値関数として、選択されている。

$$\mu = 1.98 + 0.816 \sin\left[\left(\frac{x}{5} - \frac{1}{2}\right)\pi\right] + 0.157z \quad (9)$$

また、同時に決定された共分散関数は以下の関数が選択される。水平方向の相関性が鉛直方向の10倍程度に同定されており、これは、一般に報告されている値<sup>7)</sup>に近いため、適切なモデル化がなされたと判断される。

$$C_{ij} = 0.604 \cdot (1.24)^2 \exp\left(-|y_i - y_j|/6.14 - |h_i - h_j|/0.63\right) \quad (i \neq j) \quad (10)$$

$$C_{ij} = (1.24)^2 \quad (i = j)$$

基盤部と堤体部では物性が大きく異なるため、基盤部については、SWMを用い、平均値関数と標準偏差を同定している。MAICによって求められた平均値関数と標準偏差を以下に示す。ただし、基盤部と堤体部の境界は、SWS試験結果によるものとし、相関構造は、堤体部と同様とする。

$$\mu = -5.98 - 0.34x + 4.83z + 0.0039x^2 - 0.183z^2 + 0.012xz \quad (11)$$

$$\sigma = 1.189 \quad (12)$$

## 4. インディケータシミュレーションシミュレーション法

本研究では、2種類のデータの合成によって、より精度の高い $N$ 値の空間分布を求めようとしているが、データの合成法としてインディケータシミュレーション法(IS)<sup>1)</sup>を用いている。ここでは、SWS試験による $N$ 値をハードデータとして、表面波探査による $N$ 値をソフトデータとして用いている。インディケータシミュレーションは、任意のパラメータ $R$ （ここでは $N$ 値）に対して、式(13)以下で定式化される。

$$i(\mathbf{u}; r_k) = \begin{cases} 1, & (R(\mathbf{u}) \leq r_k) \\ 1, & (R(\mathbf{u}) > r_k) \end{cases} \quad k = 1, \dots, k \quad (13)$$

$i$ は、パラメータ $R$ の2値変換値である。 $r$ はパラメータ $R$ の任意の値を表し、 $r_k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ )は、 $R$ の特定の値であると同時に、2値変換値の閾値を表しており、 $K$ 段階存在する。 $\mathbf{u}$ は座標を表し、 $\mathbf{u} = (x, z)$ であり、式(10)における $i$ は、この座標点における値である。 $n$ 個の計

測点 $u_\alpha$ における2値変換値  $i(\mathbf{u}_\alpha; r)$  から、式(13)をとおして、任意の位置 $\mathbf{u}$  におけるパラメータ $R$ の確率分布関数 $F$ が得られる。

$$F(\mathbf{u}; r_k | (n+n')) = \text{Prob}\{R(\mathbf{u}) \leq r_k | (n+n')\} = \lambda_0 F(r_k) + \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(\mathbf{u}; r_k) i(\mathbf{u}_\alpha; r_k) + \sum_{\alpha'=1}^{n'} \nu_{\alpha'}(\mathbf{u}; r_k) w(\mathbf{u}_{\alpha'}; r_k) \quad (14)$$

式(14)中、 $w$  はソフトデータ ( $n'$ 個) を表し、確率分布関数の形で与えられるが、以下にその決定手順を示すものとする。

- 1) 計測データ $w$ の確率分布関数として、ハードデータと同じ確率分布関数 $F$ を仮定する。
- 2) 計測データの計測値を用いて、インディケータクリッキングを実施する。
- 3) クリッキングの結果として得られる出力点毎の確率分布を、インディケータシミュレーションのソフトデータとする。

$\lambda_\alpha, \nu_{\alpha'}$  は、補間係数で、次の連立方程式を解くことによって決定される。

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta(\mathbf{u}) C_{\beta\alpha} + \sum_{\beta\psi=1}^{n\psi} \nu_{\beta\psi}(\mathbf{u}) C_{\beta\psi\alpha} = C_{m\alpha}, \quad \alpha = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_\beta(\mathbf{u}) C_{\beta\alpha\psi} + \sum_{\beta\psi=1}^{n\psi} \nu_{\beta\psi}(\mathbf{u}) C_{\beta\psi\alpha\psi} = C_{m\alpha\psi}, \quad \alpha\psi = 1, \dots, n\psi$$

$C_{\alpha\beta}$ は、ハードデータの計測点 $\alpha, \beta$ 間の共分散、 $C_{m\alpha}$ は、任意点 $m$ と点 $\alpha$ 間の共分散を表す。一方、 $C_{\alpha'\beta'}$ は、ソフトデータの計測点 $\alpha', \beta'$ 間の共分散、 $C_{m\alpha'}$ は、任意点 $m$ と点 $\alpha'$ 間の共分散を表す。式(14), (15)をとおして、 $\alpha, \beta$ は、ハードデータの位置を、 $\alpha', \beta'$  はソフトデータの位置を表すものとする。最終的に次式によってパラメータ $R$ の乱数が作成される。

$$r^{(l)}(\mathbf{u}) = F^{-1}(\mathbf{u}; p^{(l)} | (n+n\psi)) \quad (16)$$

ここで、 $p^{(l)}$ は、 $[0,1]$ の範囲の一樣乱数を表し、添え字 $l$ はモンテカルロ法の試行回数を表す。最終的に、シミュレーションでは、式(16)で作成される乱数 $r$ が、パラメータ $R$ の実現値として使用される。

## 5. サウンディングと表面波探査の合成によるN値推定法と実堤体盛土への適用

ISによって、空間の各点において、N値が乱数として生成される。図4 (a)-(c)は、サイトHにおける縦断方向断方向のN値の平均値、標準偏差とN値が2以下となる確率を示している。堤体部のN値が相対的に小さく、周期性のある平均値関数の影響で、堤軸方向に対して、N値の大きな部分と小さな部分が繰り返しているのが特色である。標準偏差は、ハードデータの計測点で小さくなっている。また、N値が閾値2を下回る確率は、基本的に、N値の平均値が、小さくなっているところで大きくなっている。この確率の経年変化を見ることで、堤体内部での強度劣化部分を判断する材料になると考えている。

## 6. まとめ

- (1) N値の空間分布の統計モデルを求めた。
- (2) サウンディング結果から、地盤定数の統計モデルを決定する方法を示した。また、インディケータシミュレーション法を利用し、サウンディングと表面波探査の2種類の試験結果を合成した。これにより、より信頼性の高いN値の分布構造を得ることができると考えられる。

(3) N 値が 2 を下回る確率の分布から堤防の劣化状況を的確に知ることができる。

### 参考文献

- 1) Deutsch, C. V. and Journel, A. G. : Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press, 1992.
- 2) 林 宏一: 表面波を用いた地下浅層部の探査, 非破壊探査, Vol.53, No.5, pp.254-259, 2004.
- 3) 稲田倍徳: スウェーデン式サンディング試験結果の使用について, 土と基礎, Vol.8, No.1, pp.13-18, 1960.
- 4) 今井常雄, 麓 秀夫, 横田耕一郎: 日本の地盤における弾性波速度と力学的特性, 第 4 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.89-96, 1975.
- 5) Journel, A.G. and Huijbregts., Ch. J. : Mining geostatistics, Academic Press, 1978.
- 6) Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, IEEE Trans. on Automatic Control, AC-19, No.6, pp.716-723, 1974.
- 7) 西村伸一: 土構造物の物性値の不確実性と不均質性, 土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.121-126, 2007.

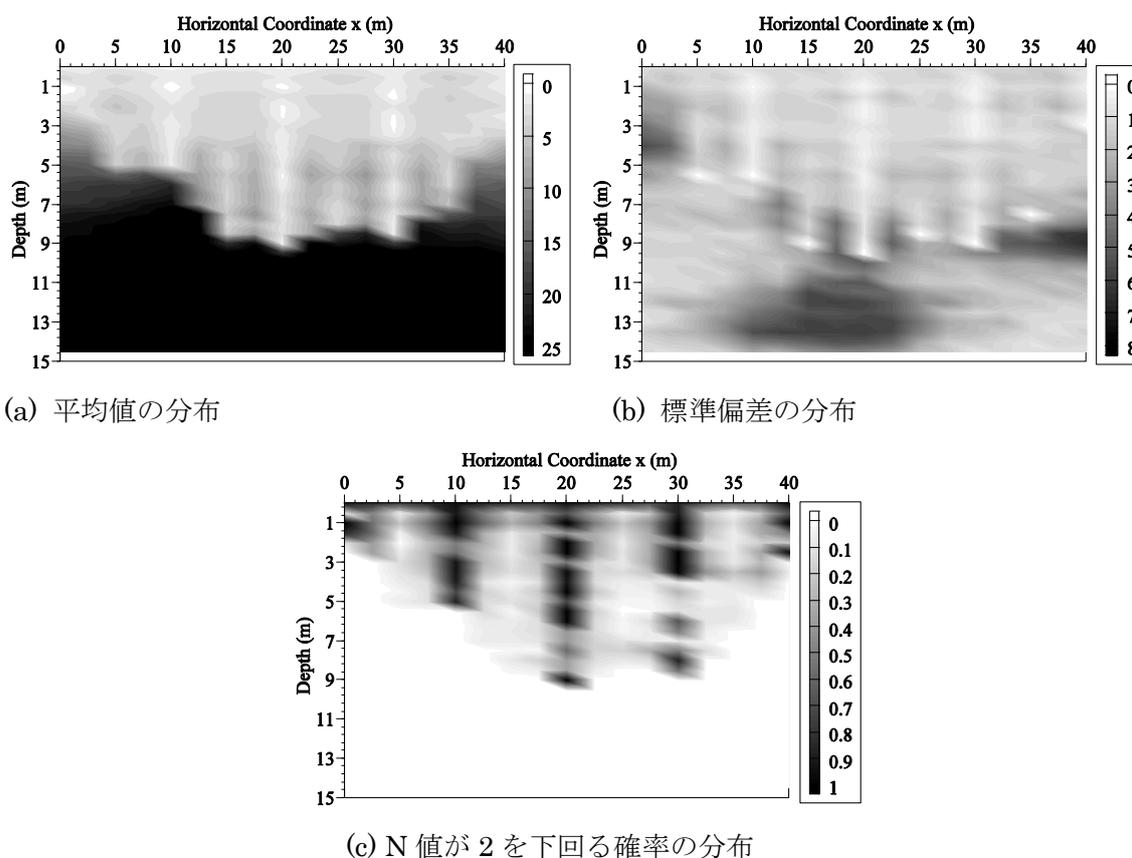


図 4 インディケータシミュレーションによる N 値の空間分布

# [論文No.特④] 地質リスクマネジメント体系化委員会

## 活動報告

体系化委員会 幹事: 黛廣志

## (1) 体系化委員会の目的

体系化委員会は、地質リスクマネジメントの目的・実施者・時期・実施場所・実施項目・実施方法・評価等の体系の確立を目指す事を目的に活動する。

## メンバー

委員長 : 小笠原正継

(地質リスク学会副会長 / (独) 産業技術総合研究所)

副委員長 : 原隆史 (地質リスク学会理事 / 岐阜大学)

委員 : 小橋秀俊 (国土交通省)

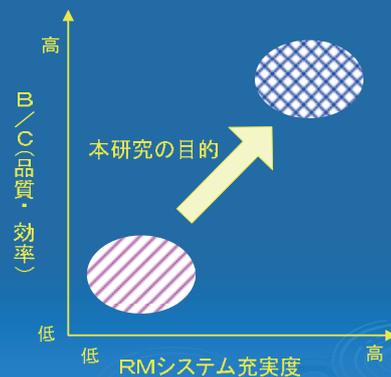
委員 : 阿南修司 ((独) 土木研究所)

幹事 : 尾園修治郎 (㈱建設技術研究所)

幹事 : 黛廣志 (川崎地質㈱)

幹事 : 小田部雄二 (㈱アサノ大成基礎エンジニアリング)

幹事 : 渡辺寛 (㈱日さく)

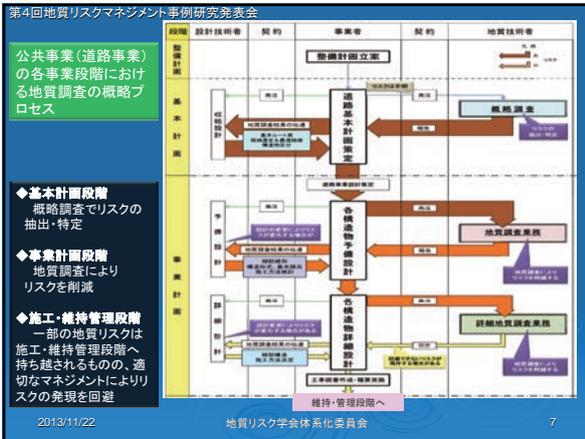


## 検討項目 (報告書目次案)

- (1) 体系化委員会の位置づけと目的
- (2) 地質リスクマネジメントの組織的取り組みの現状と課題
- (3) 地質リスクマネジメントの概念
- (4) 地質リスク要因
- (5) 地質リスクマネジメントのしくみ
- (6) 地質リスクマネジメントのツール

## (2) 地質リスクマネジメントの組織的取り組みの現状と課題

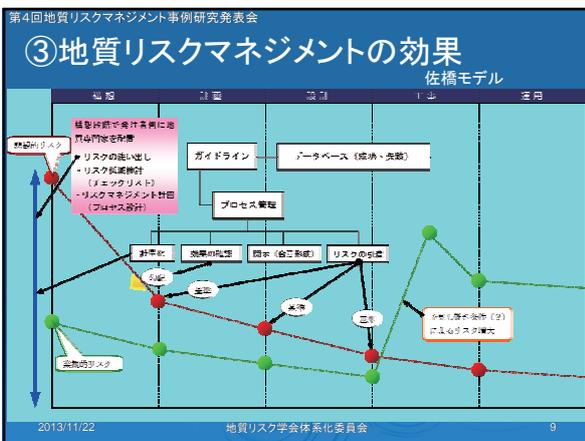
- ① 事業別に見た取り組み状況
- ② 事業主体別に見た取り組み状況
- ③ 事業段階別に見た取り組み状況
- ④ 海外の取り組み状況



- 第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会
- ### (4) 地質リスク要因
- ①地質の不確実性
  - ②地質技術的課題
  - ③工学的課題
- 2013/11/22 地質リスク学会体系化委員会 10

- 第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会
- ### (3) 地質リスクマネジメントの概念
- ①地質リスクマネジメントの必要性
  - ②地質リスクマネジメントの定義
  - ③地質リスクマネジメントの効果
- 2013/11/22 地質リスク学会体系化委員会 8

- 第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会
- 地質リスクの要因
- 関係者の取り組み姿勢に内在するリスク
  - 事業の特性に内在するリスク
  - 事業主体の特性に内在するリスク
  - 事業段階に内在するリスク
  - 目的構造物の特性に内在するリスク
  - 地質の不確実性に内在するリスク
  - 地質技術に内在するリスク
  - 工学的な手法に内在するリスク
- 2013/11/22 地質リスク学会体系化委員会 11



- 第4回地質リスクマネジメント事例研究発表会
- ### (5) 地質リスクマネジメントのしくみ
- ①地質リスクマネジメントの体系の概要(全体的体系)
  - ②事業プロセス(段階)に応じた手法
- 2013/11/22 地質リスク学会体系化委員会 12

## (6)地質リスクマネジメントのツール

- ①リスク特定のためのツール(仕組み)
- ②計量化ツール(リスクの計量、マネジメント効果の計量)



ガイドライン研究委員会の  
検討結果を反映する

## 最後に

地質リスクは  
地質技術者がマネジメント  
することが重要です



事例収集と内外への情報発信を  
お願い申し上げます

ご清聴ありがとうございました

地質リスク学会 事務局

NPO 地質情報整備活用機構 事務局内

〒101-0047 東京都千代田区内神田1-5-13 内神田TKビル3F 301号室

(社)全国地質調査業協会連合会 事務局

〒101-0047 東京都千代田区内神田1-5-13 内神田TKビル3F 302号室

電話：03-3518-8873 FAX：03-3518-8876