

第1回

地質リスクマネジメント 事例研究発表会 講演論文集



平成22年9月24日(金)

主催：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、独立行政法人港湾空港技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、
社団法人地盤工学会関東支部、一般社団法人日本応用地質学会

はじめに

地質リスクマネジメント事例研究への期待

第一回の地質リスク事例研究発表会に対して、このように多くの事例研究が集まり、喜びに堪えません。投稿・発表して頂く皆さまの勇気とご努力に心から感謝申し上げます。

今、日本の建設界では、様々な局面で競争・競走が激化しています。

そこで問われなければならないのは、何のための競争・競走か、であると思います。

競走は共創と対になって、その真の機能が十分に活かされると思います。競走の真の機能の一つは、共創に向けて、体を張って、自分の存在意義や「居場所」を主張し獲得する点にあるように思います。

宮嶋望氏の「みんな、神様をつれてやってきた」（地湧社）には、共創と競走の様子が生き活きと描かれています。宮嶋氏が代表を務める新得共働学舎は、ヨーロッパで開催される山のチーズオリンピックで金賞を受賞するなど、その手づくりチーズは数多くの国際賞を受賞しています。

そこでは、心身に障害を持つ方々が、ともに暮らし働いているそうです。両腕が無くても自ら朝四時に起き、雪をすくうスクレイパーの柄を足と体を使ってあごの下にぐっとはさみ、おなかでそれを押し、通路にある牛糞をゆっくりと丁寧に一箇所に集めるイチカワさん。自己や他者との競走、すなわち、体を張って、彼は自分の存在意義を見つけ、牛舎の管理とチーズづくりという共創になくならない人になっています。

地質リスク学会は、今後の建設界に問われている「何を共創すべきか」、「存在意義は何か」を考え、実践していく「さきがけ」になりたいと思っています。

地質リスクマネジメントの共創とは、断絶した「地層」、つまり、「断層」の共創的マネジメントにあると思います。建設事業の執行過程は、自然、先人の暮らしの歴史、現在の地元の人々の暮らし、未来の子供たちの、「くらしの地層」の声に耳を傾けながら、それらの上に、構想、調査、計画、設計、施工、維持管理、廃棄という「事業執行の地層」を丁寧に折り重ねていく過程と解釈できます。地質リスクは、人々の「くらしの地層」や「事業執行の地層」を上手く重ねることができなかつたとき、顕在化することが多い。これらの断絶した「地層」、つまり、「断層」を共にマネジメントすることが求められています。存在意義について、私たちは徹底的に「事業コスト損失とその要因の不確実性の低減」という「ニッチ」にこだわってきました。事業の品質も工期も安全も環境も勿論大事です。ただし、一般の人々の多くがコストについても知りたいと思っている中で、それが十分に語られることは少なかった。私には、今後は、コストについても語ることが、建設に従事する者の証であるように思われます。建設従事者が建設従事者であるためには、「体を張って」コストを語る必要があるように思うのです。

今回は、各論文の投稿者と発表者の方々が、「断層」を発注者、設計者、施工者、住民、自然と共にマネジメントし、かつ、体を張って、コストを究めようとして頂きました。事例研究発表会では、その勇気とご努力を是非とも共有させて頂きたいと思います。

最後に、皆さまのますます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。

第1回地質リスクマネジメント事例研究発表会
講演論文集 目次

第Ⅰ部 プログラム	1
第Ⅱ部 取組状況報告	
報告① 独立行政法人土木研究所からの報告 「土研現場ナレッジDBの構築検討」 佐々木 靖人（同研究所 材料地盤研究グループ 上席研究員）	1
報告② 独立行政法人港湾空港技術研究所からの報告 「羽田空港D滑走路建設工事から推察される地盤リスク」 渡部 要一（同研究所 地盤・構造部 地盤研究領域 土質研究チーム 室長）	5
報告③ 地盤工学会関東支部からの報告 「地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会」の取組状況および活動報告 伊藤 和也（地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会 幹事 / 独立行政法人労働安全衛生総合研究所）	8
報告④ 地質リスク学会からの報告 「地質リスク学会と産総研による“建設工事におけるジオテクニカル・ベースライン・レポート―推奨ガイドライン―“の翻訳事業について」 小笠原正継（地質リスク学会 副会長 / 独立行政法人産業技術総合研究所）	10
第Ⅲ部 事例研究発表会	
論文 No.1 「静岡県太田川ダム貯水池斜面安定対策におけるコスト縮減」 鈴木 悟（静岡県袋井土木事務所企画検査課）	1
論文 No.2 「県道路改良工事」 西村 悟之（㈱荒谷建設コンサルタント）	7
論文 No.3 「都市部での地質調査における地質リスク低減プロセスの事例」 阿川 展久（㈱荒谷建設コンサルタント）	13
論文 No.4 「CM方式を活用したトンネル施工事例」 鳥居 敏（応用地質㈱ 関西支社）	19
論文 No.5 「地すべり地帯に計画された道路改築工事のルート選定」 鈴木 俊司（㈱ドーコン）	25
論文 No.6 「地盤の特徴にあわせた地盤調査の必要性 （地質リスクは人為的なもの?）」 田上 裕（基礎地盤コンサルタンツ㈱ 九州支社）	29
論文 No.7 「中小規模の斜面掘削作業を伴う工事 における労働災害の防止対策の提案」 伊藤 和也（(独)労働安全衛生総合研究所）	35

論文 No.8 「トンネル事前調査における地質情報の不確実性に起因する建設コストの変動リスク評価の試み」	4 1
長谷川信介（(独) 防災科学技術研究所）	
論文 No.9 「地質リスク管理としての GBR –シンガポールの公共工事より–」	4 7
折原 敬二（基礎地盤コンサルタンツ株）	
論文 No.10 「名古屋港西五区耐震強化岸壁（-14m）築造工事における 栈橋杭の根入れ長の変更」	5 3
西村 真二（株地盤試験所）	
論文 No.11 「江合川下流流路工事業における東鳴子温泉源泉 へのリスク低減効果」	5 9
森本 大志（宮城県土木部 防災砂防課）	
論文 No.12 「排土工法により隣接した土塊の地すべりを誘発した事例（Bタイプ）」	6 5
緒方 康浩（株日本地下技術）	
論文 No.13 「道路トンネル設計に伴う坑口部の地質調査事例」	7 1
渡邊 聡（復建調査設計株）	
論文 No.14 「道路工事中に発現した地質リスク事例」	7 7
高野 邦夫（株ダイヤコンサルタント 東北支社）	
論文 No.15 「道路建設に伴う切土による岩盤すべり」	8 3
松村 法行（株ダイヤコンサルタント 関西支社）	
論文 No.16 「切土掘削中に発生した地すべりの調査と観測施工」	8 9
吉村 辰朗（復建調査設計株 福岡支社）	
論文 No.17 「地すべり災害において実施したリアルタイム監視 によるリスク管理について」	9 5
藤井 勇（株藤井基礎設計事務所）	
論文 No.18 「国道 108 号地すべり災害復旧事業におけるリスク回避事例」	1 0 1
佐々 真也（宮城県土木部 道路課）	

第 I 部 プログラム

第 1 回地質リスクマネジメント事例研究発表会 プログラム

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、独立行政法人港湾空港技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、社団法人地盤工学会関東支部、一般社団法人日本応用地質学会

<開催趣旨>

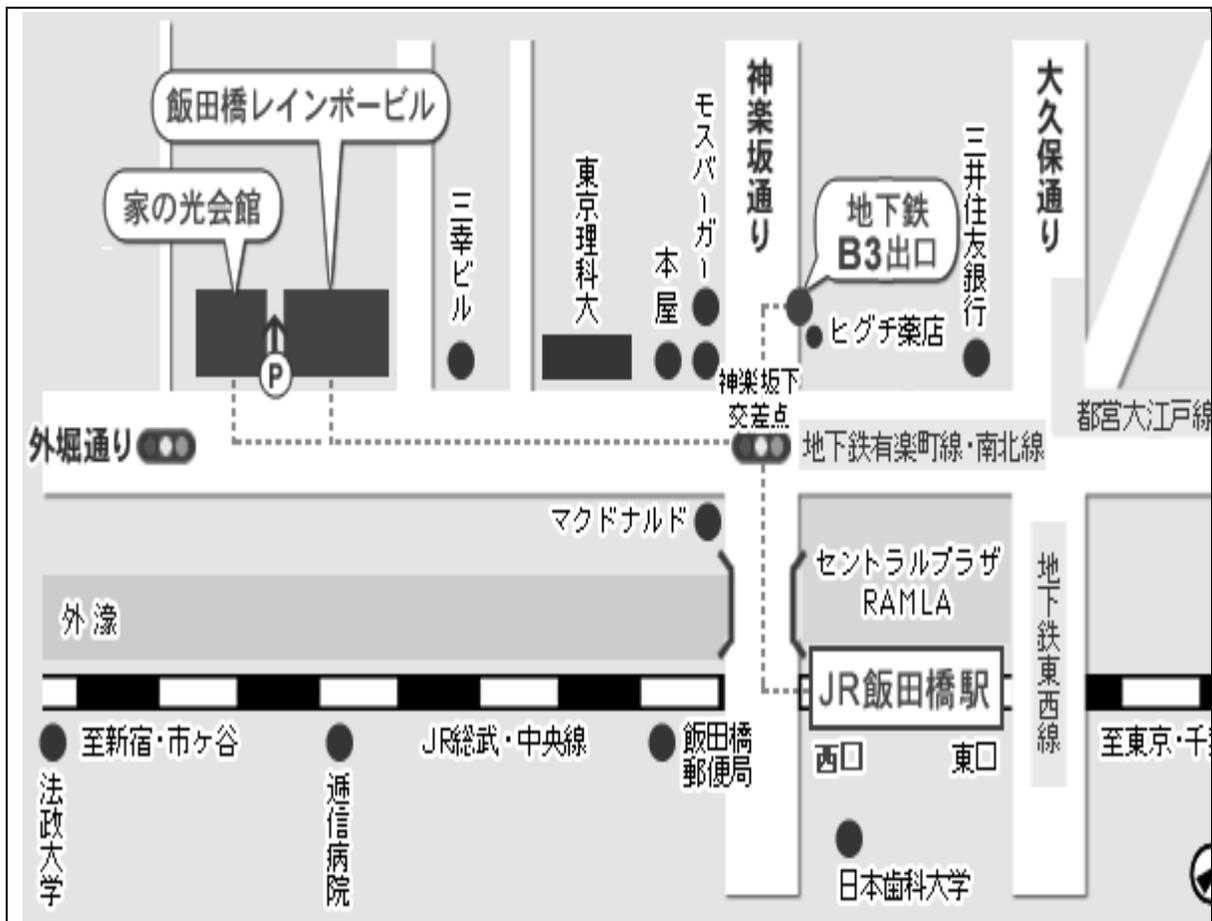
事例研究発表会の主な目的は、建設工事等における地質リスクのマネジメントの実例を紹介し、様々な課題を議論し共有することにあります。

<開催要領>

開催日：平成22年9月24日（金） 定員：200名

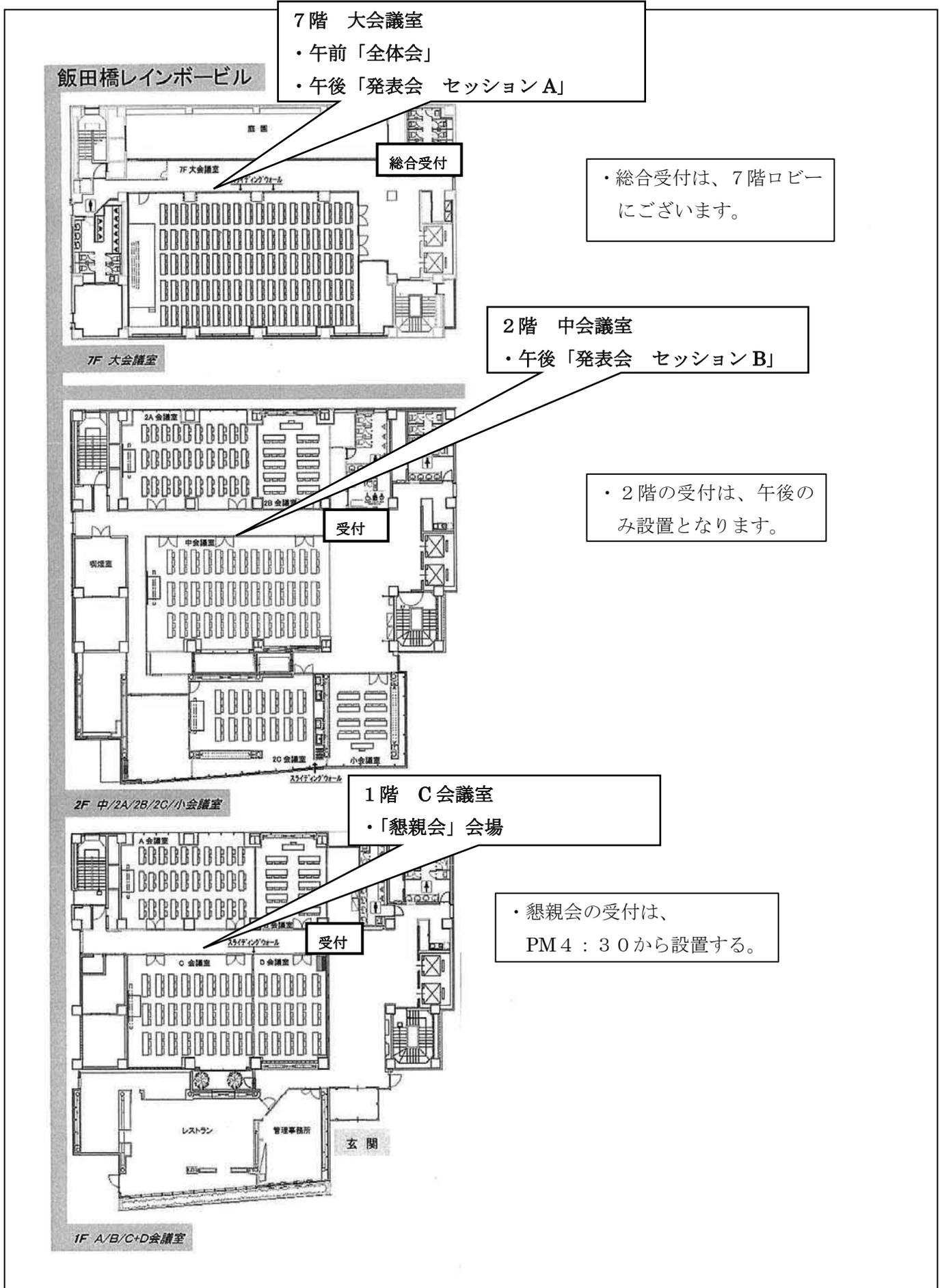
開催場所：飯田橋レインボービル

〒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

会場内配置図



<プログラム>

会場：7階 大会議室
・全体会（9:30～12:00）

開場 9:30

開会挨拶 9:45～10:00 開会挨拶 渡邊 法美（地質リスク学会 会長）

取組状況報告 10:00～12:00（1機関 25分）

報告① 独立行政法人土木研究所からの報告 10:00～10:25

「土研現場ナレッジDBの構築検討」

佐々木 靖人（同研究所 材料地盤研究グループ 上席研究員）

報告② 独立行政法人港湾空港技術研究所からの報告 10:25～10:50

渡部 要一（同研究所 地盤・構造部 地盤研究領域 土質研究チーム 室長）

報告③ 地盤工学会関東支部からの報告 10:50～11:15

「地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会」の取組状況および活動報告

伊藤 和也（地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会 幹事

／ 独立行政法人労働安全衛生総合研究所）

報告④ 地質リスク学会からの報告 11:15～11:40

「地質リスク学会と産総研による“建設工事におけるジオテクニカル・ベースライン・レポート－推奨ガイドライン－”の翻訳事業について」

小笠原正継（地質リスク学会 副会長 / 独立行政法人産業技術総合研究所）

優秀論文賞授与式 11:40～12:00

会場：7階 大会議室 / 2階 中会議室
・事例研究発表会（午後） 13:00～16:30（18編）

会場：1階 C会議室
・懇親会 17:00～

<事例研究発表会について>

1. 事例研究発表会の時間配分について

事例研究発表会の時間配分については、以下を予定しております。

- ・2会場に分かれ、以下の時間帯で実施する。

13:00～14:40

14:50～16:30

- ・口頭発表時間は、1編当たり12分とする。

- ・1セッション（5編）の基本時間割

100分（1編12分×2編＋10分質疑）＋（1編12分×3編＋15分質疑）

＋総合討論15分

2. セッション区分

時間配分	第1会場（7階大会議室）	第2会場（2階中会議室）
13:00～14:40	セッションA-1（5編） <発表者> 論文No.1 鈴木 悟 論文No.2 西村 悟之 論文No.3 阿川 展久 論文No.4 鳥居 敏 論文No.5 鈴木 俊司	セッションB-1（5編） <発表者> 論文No.10 西村 真二 論文No.11 森本 大志 論文No.12 緒方 康浩 論文No.13 渡邊 聡 論文No.14 高野 邦夫
14:50～16:30	セッションA-2（4編） <発表者> 論文No.6 田上 裕 論文No.7 伊藤 和也 論文No.8 長谷川信介 論文No.9 折原 敬二	セッションB-2（4編） <発表者> 論文No.15 松村 法行 論文No.16 吉村 辰朗 論文No.17 藤井 勇 論文No.18 佐々 真也

セッション司会者

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

地質リスクマネジメント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	題名	事例種類
セッションA-1 13:00~14:40 7階 大会議室	1	鈴木 悟	静岡県袋井土木事務所企画検査課	静岡県太田川ダム貯水池斜面安定対策におけるコスト削減	A型
	2	西村 悟之	㈱荒谷建設コンサルタント	県道路改良工事	C型
	3	阿川 展久	㈱荒谷建設コンサルタント	都市部での地質調査における地質リスク低減プロセスの事例	A型
	4	鳥居 敏	応用地質㈱関西支社	CM方式を活用したトンネル施工事例	A型
	5	鈴木 俊司	㈱ドーコン	地すべり地帯に計画された道路改築工事のルート選定	C型
セッションA-2 14:50~16:30 7階 大会議室	6	田上 裕	基礎地盤コンサルタンツ㈱九州支社	地盤の特徴にあわせた地盤調査の必要性（地質リスクは人為的なもの?）	A型
	7	伊藤 和也	(独)労働安全衛生総合研究所	中小規模の斜面掘削作業を伴う工事における労働災害の防止対策の提案	D型
	8	長谷川信介	(独)防災科学技術研究所	トンネル事前調査における地質情報の不確実性に起因する建設コストの変動リスク評価の試み	D型
	9	折原 敬二	基礎地盤コンサルタンツ㈱	地質リスク管理としてのGBR -シンガポールの公共工事より-	特別枠
セッションB-1 13:00~14:40 2階 中会議室	10	西村 真二	㈱地盤試験所	名古屋港西五区耐震強化岸壁 (-14m) 築造工事における栈橋杭の根入れ長の変更	A型
	11	森本 大志	宮城県土木部 防災砂防課	江合川下流流路工事業における東鳴子温泉源泉へのリスク低減効果	C型
	12	緒方 康浩	㈱日本地下技術	排土工法により隣接した土塊の地すべりを誘発した事例 (Bタイプ)	B型
	13	渡邊 聡	復建調査設計㈱	道路トンネル設計に伴う坑口部の地質調査事例	A型
	14	高野 邦夫	㈱ダイヤコンサルタント東北支社	道路工事中に発現した地質リスク事例	B型
セッションB-2 14:50~16:30 2階 中会議室	15	松村 法行	㈱ダイヤコンサルタント関西支社	道路建設に伴う切土による岩盤すべり	A型
	16	吉村 辰朗	復建調査設計㈱福岡支社	切土掘削中に発生した地すべりの調査と観測施工	C型
	17	藤井 勇	㈱藤井基礎設計事務所	地すべり災害において実施したリアルタイム監視によるリスク管理について	A型
	18	佐々 真也	宮城県土木部 道路課	国道108号地すべり災害復旧事業におけるリスク回避事例	A型

第Ⅱ部 取組状況報告

- 報告① 独立行政法人土木研究所からの報告 1
「土研現場ナレッジDBの構築検討」
佐々木 靖人（同研究所 材料地盤研究グループ 上席研究員）
- 報告② 独立行政法人港湾空港技術研究所からの報告 5
「羽田空港D滑走路建設工事から推察される地盤リスク」
渡部 要一（同研究所 地盤・構造部 地盤研究領域 土質研究チーム 室長）
- 報告③ 地盤工学会関東支部からの報告 8
「地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会」の取組状況および活動報告
伊藤 和也（地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会 幹事
/ 独立行政法人労働安全衛生総合研究所）
- 報告④ 地質リスク学会からの報告 10
「地質リスク学会と産総研による“建設工事におけるジオテクニカル・ベースライン・レポート-推奨ガイドライン-”の翻訳事業について」
小笠原正継（地質リスク学会 副会長 / 独立行政法人産業技術総合研究所）

報告①

土研現場ナレッジDBの構築検討

Civil Engineering Field Knowledge Database of PWRI

佐々木靖人（(独) 土木研究所）

Yasuhito Sasaki (Public Works Research Institute)

1. はじめに

暗黙知を形式知にすることで知識の明確化・共有化を図り、作業の効率化・新発見や新技術開発等を容易にするのがナレッジマネジメントであり、その核となるのがナレッジDBである。しかし地質リスクマネジメントにおいて十分活用されているとはいえない。多様な地質リスクに対応するには、知識の体系化により事前にリスクを整理し、的確に対応する必要がある。そこで著者は平成19-20年に、ナレッジDBの地質リスクマネジメントへの利用可能性を明らかにするため、既往DBの調査と(独)土木研究所(以下土研)内の地質・地盤研究者のディスカッションにより利用可能性を整理し、DBのスキーム案を提案した¹⁾。さらにその後、土研内有志による「土研ナレッジDB検討会」に発展し、その結果、今年度内ないし平成23年度から全所で「土研現場ナレッジDB」を運営する方向である。現在は試行的に災害対応事例を収集するとともにDBシステムの構築検討を行っている段階である。DBの目的は土木分野全般のためのものに拡大しているが、地質リスクマネジメントにおいても有益と考えられるので紹介する。

2. 土研の立場と現場ナレッジDBの必要性

土研は全国の土木現場と常にコンタクトしていることを特徴とする研究機関であり、土研の研究者が現地調査や現場の技術相談によって得た現場の知見や教訓は貴重な資産である。これをデータベースとして蓄積し所内で活用するとともに、公開可能なものを一般に提供することは、土木技術の向上を図り安全で豊かな国土の構築に資する。

特に土研は、「国土(現場)の現在の姿と課題」を国土交通省等とともに明らかにし、次の技術政策に活かすことが重要な仕事の一つである。たとえば地質チームでは国土交通省の協力により道路斜面災害の統計的な実態を明らかにして次期の道路管理政策検討のための基礎データとしているほか、災害事例を詳細に分析してその教訓を道路管理者に還元している。橋梁の不具合事例については土研内の構造物メンテナンス技術研究センター(CAESAR)が詳細なナレッジDBを構築しつつある。これらのDBは主に研究、基準作成、技術政策提案、管理者支援のための専門的なDBであるが、教訓や知見の部分を抜き出せば一般の現場技術者にも有益なものとなり、典型的な事例は市民への啓蒙にも活用できる。

また、土研は現場から多くの技術相談があるのも特徴である。たとえば著者の年間相

談件数は百数十件程度あり，所全体では年間数千件以上になる．これまでその多くは個別に対応されてきた．その経験は次の技術相談や基準類に活かされ，ときに次の研究課題になった．しかしそれだけでは個人の経験に留まり組織に蓄積されず，また若い研究者や現場技術者の参考になりにくい．特に災害事例や土木構造物の不具合事例等は共通した原因・機構によるものが多いため，研究者も経験技術者も減少している現在，これらの原因・教訓・対応策などを組織的に整理し活用することが必要である．

3. 既往のナレッジ DB の実態調査

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

表－1 ナレッジ DB のタイプ分類

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

表－2 他機関におけるナレッジ DB の代表事例と内容およびタイプ

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

4. ナレッジ DB の利用可能性の検討

地質・地盤分野におけるナレッジ DB の利用可能性や課題を，所内の地質・地盤研究者のブレインストーミングにより次のように整理した¹⁾。

① データソース

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

② 利用可能性

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

③ 課題

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

④ DB 構築時の留意点

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

5. 土研現場ナレッジ DB のスキーム案

上記の議論から，適した DB として表-1 の「知識自由記述タイプ」が選定された。その後，平成 21 年 3 月からは地質・地盤関係者だけでなくやや広いメンバーを含めた有志による「土研ナレッジ DB 検討会」を組織し，検討会を実施した結果，土研現場ナレッジ DB のスキーム案を以下のように提案した。

① DB の概要

・DB は，所内に既に設置している技術指導 DB を活用し機能を補強（自由キーワード検索，知識・教訓の記述，公開機能等）。

・事例は標準様式での「概要」（表題，概要，知識・教訓等を文章で簡潔に記述）と自由様式での「詳細資料」の 2 本立てとし，詳細資料なしも可とする。

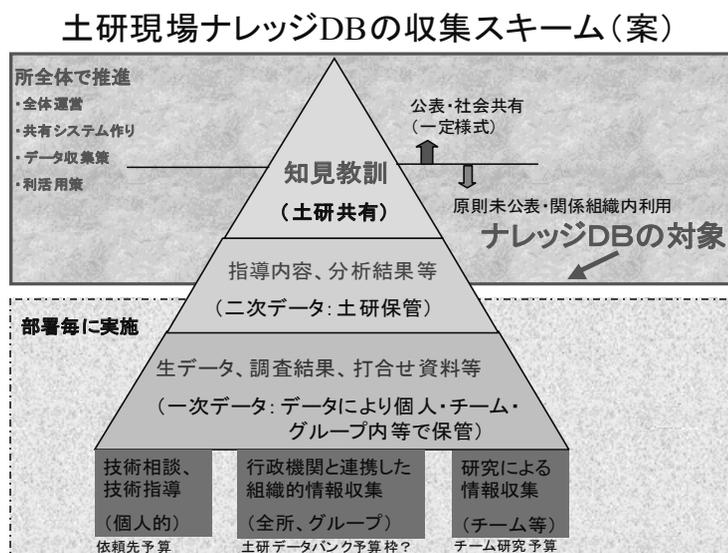


図-1 土研現場ナレッジDBのスキーム案

- ・「概要」は原則公開とし、詳細資料は技術相談者と協議の上決定する。

② DBの質を確保し価値を高める方策

- ・ 経験ある土研幹部等が真に伝えたい技術政策提案，重要な知見・教訓を登録する。
- ・ 注目の現場，一般技術者が触れにくい現場など，土研ならではの現場を登録する。
- ・ 指針等ではわかりにくい例外的な事例，誤りやすい事例等のポイントを登録する。

③ DBの利用を促進する方策

- ・ 所内に「DBの手引き」を配布し，説明会等でDBの入力・活用方法を周知する。
- ・ 内部利用のための若手と中堅等の現場事例勉強会などを開催。
- ・ 外部にはDBに加え，雑誌連載，事例集の作成，技術講習会等を一連で実施する。
- ・ 将来的にネットでのQAなどコミュニケーション機能なども検討する。

④ 継続的にデータを蓄積するための方策

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

6. ナレッジ DB ネットワーク

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

- ① 運営：「土木・地質地盤ナレッジ DB ネットワーク協議会」を組織しポータルサイトを置く。業界団体や民間企業，研究所，大学等がデータを分散管理する。
- ② データ：収集データは，現場等での「地質・地盤，地形，地下水等に関する技術的な諸問題事例とその対応・教訓等」とし，データベース様式は各組織で自由とするが，「概要」はポータルサイトで全文検索でき，詳細は各組織のDBにリンクする。
- ③ 活用：活用に関しては，一般活用のほか，専門分野毎に活用WGを組織するか既に専門の研究委員会等がある場合はその中で活用を検討する。利用方法としては，研究利用のほか，教育・講習への利用，事例や教訓をまとめた技術者向けや一般市民向けの出版物，地質・地盤関係の新技术・新分野開拓検討等が考えられる。

7. まとめ

土研で検討中の現場ナレッジ DBを紹介した。また，連携スキームを提案した。

文献

- 1) 佐々木靖人(2008):応用地質学におけるナレッジDBの利用可能性,平成 20 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集,

報告②

(独) 港湾空港技術研究所からの報告～羽田空港D滑走路建設工事から推察される地盤リスク～

(独) 港湾空港技術研究所 渡部要一

1. はじめに

羽田空港D滑走路建設工事は、大規模土木工事で設計・施工一括発注方式が採用されたこれまでに類を見ないタイプの公共事業である。100年間の耐用年数を設計上確保し、30年間の維持管理を含めた総合評価方式による契約がなされた。契約金額の変更を伴う契約変更は、発注者から示された条件に基づき、応札者がこれを具体化するための技術提案をする時点（技術提案書提出時点）までに、予測できないもののみを対象に認められるが、それ以外の理由では一切認められない。

従来型発注方式による公共工事では、地盤リスクを伴う事象が発生すると、個別に対処療法的に対応できていたが、設計・施工一括発注方式では、リスクマネジメントそのものが研究途上にある。本稿では、羽田D滑走路の埋立部護岸における地盤リスクの考え方を取り上げ、設計・施工一括発注方式を採用する大規模土木工事における地盤リスクの考え方の方向性についてとりまとめた。

2. 設計・施工一括発注方式における地盤リスク

仕様規定による従来型発注方式では、地盤調査を実施する前に構造形式が選定され、概ね断面を想定した後、その特徴に応じて必要となる頻度や調査項目で地盤調査が実施される。基本設計の段階では、その調査結果を踏まえ、比較断面が作成される。必要であれば再度地盤調査が実施され、実施設計が行われるというのが一般的な方法である。また、技術的に難工事が想定される場合や、新構造形式が採用される場合には、有識者による検討会が開催され、工期の遅延や大きな断面変更によるコスト増が生じないように対応することで、地盤リスクが最小限に抑えられる。このような従来型の契約では、発注者が想定できないリスクが契約上のリスクであると考えることができる。

設計・施工一括発注方式では、発注段階において設計断面を特定することができないため、発注者が想定していないリスクを伴う可能性が高い。受注者が設計と施工を一体的に行うため、設計のリスクは受注者側にあるとするのが原則である。ましてやD滑走路の場合、発注段階では、浮体構造、栈橋構造、埋立・栈橋複合構造の3つの工法案が候補に挙げられていて、構造形式を特定できなかったため、発注者の責任においてリスクを最小化することは不可能であった。このことから、リスクは工法を選定する請負者にあると設定した方が合理的であるとも考えられた。しかしながら、発注者側にリスクの分担が全く無いわけではなく、契約時に想定不可能なリスクに基づいた条件変更は、設計・施工一括発注方式においても設計変更として認められるべきである。しかしそれは、発注者も請負者も予想・予見できない事項に限られることになる。

公式には、リスクに起因した設計変更可能な場合として、「現場の形状、地質、湧水等」と記述されているが、差違があると判断するに及ぶ基準や具体的な項目が示されていない。判断が難しいケースとして、現場の土質断面図や土質特性が提示した条件と違っていても、構造形式によっては、設計にほとんど影響を与えない場合も想定される。また、施工方法や設定工期によっては、設計断面が幾つも成立することになり、最終的なコストはこれらの影響を受ける。以上を踏まえると、条件変更に関する判断基準や判断項目を一概に設定することはできない。契約書記載の範囲で、担当者同士が協議して精査し、合意した判断を得ていくしかないとも言える。

3. 海上埋立工事における地盤リスク

以下の議論では、大規模埋立工事として代表的な埋立空港の傾斜式護岸構造を想定し、埋立部と護岸部に分けて以下の地盤条件と施工条件を仮定した。

埋立部：軟弱な沖積粘土層はサンドドレーンによるバーチカルドレーン工法で地盤改良を実施する。

したがって、埋立工事費を大きく左右するのは沖積粘土層の圧密沈下量と沈下時間であり、これらを精確に予測し、施工中にモニタリングする必要がある。

護岸部：護岸安定検討のための非排水せん断強さと、圧密沈下による強度増加を精確に予測し、施工各段階におけるすべりに対する安定性を検討する必要がある。特に、有効上載荷重が大きいことによる沖積粘土層下層に達する側方流動的な大きなすべりに対する安定性が確保されなければならない。

埋立に係わるリスクは調査、設計、施工におけるそれぞれの段階毎に想定される（表-1）。地盤定数を設定する過程では、設計を意識した調査担当者の思想が盛り込まれ、経験に基づいてやや安全側に設定されてきた。例えば、圧密による沈下が懸念される軟弱地盤上での埋立工事では、長さ 80cm のコアサンプルから、圧密試験用供試体 1 個、一軸圧縮試験用供試体 3~4 個を切り出し、その結果をもって当該深度の力学特性を代表させることが想定される。一軸圧縮試験の結果はばらつきが著しく、また、圧密試験の数量は著しく限られてしまうため、設計上の余裕しるを考慮して特性値に反映させることも多い。逆に、砂質地盤では、せん断強さを弱く見積もり過ぎないように注意を払うこともあるが、試料採取が困難であることから、多くの場合には標準貫入試験による N 値からせん断抵抗角 ϕ_0 を推定している。このとき、 N 値から経験式を用いて ϕ_0 を推定する際には、安全側の値の設定になるように式が提案されていると理解される。

地盤調査・土質試験担当者は構造物の特性や設計上の課題を想定して調査・試験を実施し、地盤定数を設定することが理想であるが、現状の設計体系では、地盤定数の設定は設計担当者が行うことがほとんどである。このため、地盤調査・土質試験担当者が設計まで踏み込むことは無く、地盤調査や土質試験に起因するリスクに関する理解がしっかりできていない中で設計が行われるのが実情である。

表-1 地盤リスク項目

検討段階	想定される地盤リスク項目
調査	土質調査が無い箇所の情報不足（調査間隔、項目） 土質調査のデータの不確実性（原位置・室内試験データのばらつき）
設計	土質調査のデータから推測した層序（構成、支持層）、水平面内（平面的な差違、不連続性）の差違 土質調査のデータから設定した設計値導出の誤差（算定手法、担当者の考え方に起因） 設計モデルの限界（設計モデルが土質データや構造物との相互作用を完全には表現できない）
施工	地盤調査からは予測できない事象（調査間隔から予見できない段丘跡、地盤強度）

リスクの個数とそのリスクによるコストの概念図を図-1 に示す。調査の段階で地盤の情報が集まるにつれて、地盤リスクとされる内容の個数とその大きさは著しく減ぜられていく。これに伴い、発生する地盤リスクは小さなものになっていくことから、対応が求められるコストも減少する。

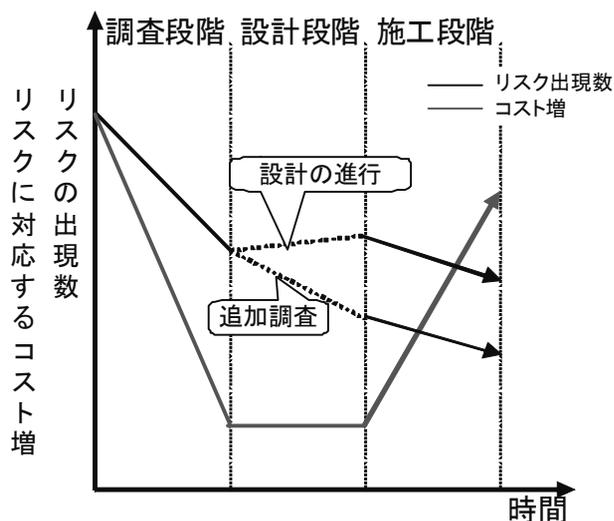


図-1 埋立法による地盤リスクと対応コストの関係概念図

4. D滑走路工事における地盤リスクの例

広告資料に掲載された地盤調査結果「土質調査参考資料」は、その時点で得られていたデータのすべてと、当時の最高レベルの知見に基づいた地質学的、かつ、地盤工学的な解釈を添えたかたちで示された。しかし、地盤リスクとして、発注者が技術提案時に提示された資料（結果の解釈を含む）の妥当性そのものが問われるといったリスクも想定された。そのため、地盤情報の位置づけは、「入札参加者は技術提案書の作成のために必要な地盤条件を自ら設定しなければならない」ともとされ、地盤条件設定における地盤リスクは入札参加者側にあることが明示された。発注者が実施した地盤調査が質的には十分であったとしても、計画位置変更に対応するには量的に不十分である可能性を否定できない。このため、地盤リスクについて、そのすべてを請負者リスクとすることは適切ではない。

「土質調査参考資料」地盤調査結果が最小限のボーリングデータしかないからといって、それに掛かるリスクに起因した設計変更による追加費用を全て発注者が負担するというではない。当該工事では、契約後に、請負者が実施設計を行う段階において追加の地盤調査を実施し、それに基づいた設計をすることにより地盤リスクの最小化が図られた。それに係わる費用については契約額の中に含まれている。これらの追加地盤調査により、「土質調査参考資料」と比較して層序構成の見直しおよび設計値再設定の必要性があるかどうかを検討された。その結果、ごく一部のエリアで地盤改良深度の変更が条件変更として認められることとなったが、「土質調査参考資料」に示された地盤調査結果と追加地盤調査結果とは、概ね一致することが確認された。

5. おわりに

羽田空港D滑走路建設工事では、設計・施工一括発注方式により大規模公共事業が実施された。土質参考資料と追加地盤調査結果をとりまとめた限られた地盤調査結果に基づいて、適切な地盤リスク管理のもと、高度な設計・施工・維持管理技術が要求される大規模構造物が短期間のうちに無事に築造された。D滑走路は2010年10月末に供用開始予定である。

謝辞：本稿のとりまとめにおいて、国土交通省関東地方整備局の野口孝俊氏の多大なる御協力をいただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

報告③

(社)地盤工学会関東支部 「地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会」の 取組状況および活動報告

地盤工学におけるリスクマネジメントに関する研究委員会
幹事 伊藤和也((独)労働安全衛生総合研究所)

1. はじめに

『リスク』という言葉は、その定義においてさえも、その名のとおり不確実性を有していると言われている(中嶋、2004)。自然・社会環境の不確実性に対する将来不安心理を反映してか、現代ではリスクという概念が拡大し、リスクという言葉がより身近なものになっている。

地盤分野においても、近年、“地質リスク”や“地盤リスク”という言葉が用いられるようになってきている。従来から、地質や地盤分野の専門家は、主に調査から得られるボーリング情報と岩石・土質試験からの要素情報を援用して、対象地域の地質・地盤性状を推測し、建設工事などにおける構造物と地盤の挙動を予測してきた。また、トンネルのような長大な地下構造物での施工前に得られる情報は、限定的であり地盤情報の不確実性は高い。このような地盤調査結果に基づく地盤リスクについて、従来の公共事業では、地盤リスクの予測可能性の厳密な検証を経ずに、責任負担を個別の設計変更協議の中で調整・解決してきた。しかしながら、昨今の我が国におけるコスト構造改革や納税者への説明責任から、発注者と請負者関係における情勢は劇的に変化している。すなわち、設計・施工一括発注方式やPFI事業、土壤汚染浄化事業など、地盤リスクを正確に把握しなければ事業として成り立たないものが多くなってきた。海外に目を向けると、よりシビアであり、地盤リスクに関する経済的危険負担は請負側が負う契約事例が多くあり、地盤リスクが工費と工期に多大な影響を与える。

地盤工学では、信頼性設計の概念を導入した研究が脈々とされているが、それらも含めて「地盤リスク」として体系化したのは、2005年に大阪で開催された第13回国際地盤工学会議が先駆けである。現在、国際地盤工学会では、地盤リスクに関連した3つの技術委員会が活動しており、2007年にはGeoriskと名付けた国際学術季刊誌が刊行されている。しかし、これらの掲載論文の多くがリスクの同定やリスクの分析・評価に関するものであり、地盤リスクの包括的なマネジメントシステムなどは提案されておらず、社会技術体系としては未だに成熟レベルには達していない。

建設業においてもリスクアセスメントの導入が行われているが、建設工事の特殊性(重層下請関係、日々作業環境が変化することなど)とともに、地盤リスクのような建設工事特有の不確実性の評価などの問題により、多くの企業では試行錯誤の段階である。我々地盤工学の専門家は、施工時のリスクを含む様々なリスクや責任の一端を担っているが、実際には実務で係わるリスクや直接関係する法令について断片的に学んでいるに留まっている場合が多い。

2. 研究委員会の発足

以上のような研究背景を踏まえ、(社)地盤工学会関東支部では「地盤工学におけるリスクマネジメントに関する事例研究委員会(委員長:日下部治)」を2008年3月に発足、事例研究を開始した。リスクは、科学的な予測解析技術の要素分析的アプローチ辺倒の姿勢から、予想されるリスクに対する回避のみならず、リスクと共存するという前提の上で、リスクをどのようにマネジメントするかというシステムマネジメントの視点も重視される。すなわち、リスクマネジメントは、特定分野の科学技術のみに留まらず、社会・人文科学等と融合した総合的な社会技術の一体系として捉える必要がある。以上の背景より、本研究委員会では、弁護士・不動産業・保険業など地盤工学とは直接関係ないが地盤リスクを内包している業界からも委員が参加し、活動に取り組んでいる(表-1)。

3. 研究委員会の活動と今後について

現在までの活動について、簡単に示すと以下の2点に集約される。

1. 話題提供による地盤リスクの抽出・共有化
各分野からの講師・委員の話題提供により、地盤リスクの問題点の抽出・共有化をはかった。

2. ワーキンググループ活動

4つの事例調査ワーキンググループ(以下、WG)により様々な検討を実施している。

(1)地盤リスクの事例調査WG

(WG長:正垣孝晴委員 防衛大学校)

(2)法律・判例の事例調査WG

(WG長:大久保拓郎幹事 (株)環境地質)

(3)保険・保証の事例調査WG

(WG長:蔵田康博委員 損保ジャパン(株))

(4)契約に関する事例調査WG

(WG長:岩崎公俊委員 基礎地盤コンサルタンツ(株))

これらの委員会活動を踏まえ、平成24年10月から全6回で「地盤工学会誌」の講座を執筆することが決定した。今後、講座の執筆ともに国内シンポジウムなどの実施を視野に活動を行っていく予定である。

表-1 研究会名簿(敬称略)

委員長	
日下部 治	東京工業大学
幹事	
大久保拓郎	(株)環境地質
伊藤 和也	(独)労働安全衛生総合研究所
委員	
西田 博文	
正垣 孝晴	防衛大学校
中山 健二	川崎地質(株)
薦田 哲	紀ノ川法律事務所
小嶋 茂人	(株)ファーストフロア
唐澤 裕一	損保ジャパン
石井 武司	中央大学
伊奈 潔	中央建鉄(株)
大日方尚巳	国土交通省
岩崎 公俊	基礎地盤コンサルタンツ(株)
大里 重人	(株)土質リサーチ
笹倉 剛	鹿島建設(株)
外狩 麻子	東日本旅客鉄道(株)
オブザーバー	
岸田 隆夫	東亜建設工業
稲垣 秀輝	(株)環境地質
大和 真一	日本住宅保証検査機構
上野 誠	新日本設計(株)
渡部 要一	(独)港湾空港技術研究所

報告④

地質リスク学会と産総研による「建設工事におけるジオテクニカル・ベースライン・レポート―推奨ガイドライン―」の翻訳事業について

小笠原正継

産業技術総合研究所 地質情報研究部門

1. はじめに

地質リスク学会と社団法人全国地質調査業協会連合会（全地連）の編集で「地質リスクマネジメント入門」が平成22年4月に出版されたが、その一部として米国土木学会から出版された「建設工事にジオテクニカル・ベースライン・レポート―推奨ガイドライン」の本の日本語翻訳版が含まれている。この米国土木学会の本は平成19年秋に実施された全地連地質リスクワーキンググループの米国調査において、重要な資料として用いられた。その後この本は国内外でも引用されており、その本の内容を理解する重要性が大きいことが明らかになっていた。平成20年末に産総研側からこの本の翻訳を行なうことが提案され、産総研と共に全地連地質リスクワーキンググループが翻訳に取り組むこととなった。

2. 原本の概要

この本は、地下建設工事に伴う地盤リスクを分担し、また管理する手法としてのジオテクニカル・ベースライン・レポート(GBR)の役割を解説し、さらに、リスク管理手法としてGBRを使用するにあたっての理論的根拠、GBRの構成と内容、GBRと他の契約文書との適合性を確実にすることの重要性について議論している。

原典の英語名は次のとおり。

“Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested Guidelines”

Randall J. Essex が著者代表として記されている。

原本の総ページ数は62ページで、以下の章からなっている。1997年に初版が発行され、この第2版は2007年に出版された。

- 第1章 まえがき
- 第2章 背景
- 第3章 地盤工学報告書類
- 第4章 相違する現場状況条項
- 第5章 ベースラインの概念
- 第6章 ジオテクニカル・ベースライン・レポートの作成
- 第7章 他の掘削工事や基礎工事への適用
- 第8章 設計施行一括発注方式
- 第9章 発注者視点
- 第10章 役割と責任
- 第11章 教訓

この本の初版は1997年に、1993年と1996年の間に行われた3つの業界フォーラムでの意見を汲み入れてまとめられた。その後、ジオテクニカル・ベースライン・レポートを使用することでさらに経験が得られ、また他のタイプの地下建設工事や設計・施工一括発注工事(design-build construction)にも適用が拡大するのに従って、2004年には第2版の必要性が明らかになった。この第2版は2004年と2006年の業界フォーラムでの議論においての意見を取り入れている。

3. ジオテクニカル・ベースライン・レポートの意義

契約文書には、ただ一つの解釈的なレポートが含まれていること、そしてそれがジオテクニカル・ベースライン・レポート(GBR)と呼ばれることが推薦される。GBRの第一の目的は、地下および地表面下の工事中において遭遇すると予期される(または想定される)地盤条件が契約上の記述として述べられている唯一の文書であることです。その契約上の記述はベースラインと呼ばれる。

ベースラインと同等か、請負者にとって不利でない地盤状況に関わるリスクは請負者に割り当てられ、逆に、請負者にとってベースラインより実質的により悪い地盤状況に関わるリスクは発注者によって受け入れられる。GBRの他の重要な目的は、プロジェクトの地下部分の建設において予想される手段と工法に関連する地盤工学的状況および現場状況について記述することにもある。

GBRは米国をはじめ海外ではその利用が多く、日本企業が海外で業務を行う上では重要な報告書となっている。そのため、米国土木学会の「建設工事にジオテクニカル・ベースライン・レポート—推奨ガイドライン」を通してのGBRの理解の必要性は高いと考えられる。

4. 翻訳から出版に至る経緯

翻訳の第1次案を産総研小笠原が作成し、地質リスクワーキンググループのメンバーから決められた原本の各章毎の翻訳分担者が修正、書き直しを行い、第2次翻訳が作成された。それを基に第3次翻訳を作成し、全体の調整を行い、最終原稿を準備した。翻訳の準備は平成21年1月から3月まで行なわれ、その後各章毎の第1次翻訳は4月から8月に逐次まとめられ第2次翻訳が作成された。この間、契約に関する用語、技術用語等の訳語については担当者間で議論があり、作業用の訳語リストも作成された。本文の内容と共に、この訳語に関する議論から、米国と日本の工事契約や技術的課題の相違が見えてきたことは、翻訳担当者にとっては貴重な機会であった。

この翻訳版の準備から約1年、様々な検討を加えながら、「地質リスクマネジメント入門」の一部分として出版することができた。

最近では英国の英国地質学会の応用地質学専門グループでもGBRの検討委員会を立ち上げ研究を始めている。全地連地質リスクワーキンググループ、そして地質リスク学会によるGBRのガイドラインの翻訳の活動はこの様な世界的な動向の中で、日本国内における対応として大きな意義があると考えられる。

第Ⅲ部 事例研究発表会

論文 No.1	「静岡県太田川ダム貯水池斜面安定対策におけるコスト削減」	1
論文 No.2	「県道路改良工事」	7
論文 No.3	「都市部での地質調査における地質リスク低減プロセスの事例」	13
論文 No.4	「CM方式を活用したトンネル施工事例」	19
論文 No.5	「地すべり地帯に計画された道路改築工事のルート選定」	25
論文 No.6	「地盤の特徴にあわせた地盤調査の必要性 (地質リスクは人為的なもの?)」	29
論文 No.7	「中小規模の斜面掘削作業を伴う工事 における労働災害の防止対策の提案」	35
論文 No.8	「トンネル事前調査における地質情報 の不確実性に起因する建設コストの変動リスク評価の試み」	41
論文 No.9	「地質リスク管理としての GBR ーシンガポールの公共工事よりー」	47
論文 No.10	「名古屋港西五区耐震強化岸壁 (-14m) 築造工事における 栈橋杭の根入れ長の変更」	53
論文 No.11	「江合川下流流路工事業における東鳴子温泉源泉 へのリスク低減効果」	59
論文 No.12	「排土工法により隣接した土塊の地すべり を誘発した事例 (Bタイプ)」	65
論文 No.13	「道路トンネル設計に伴う坑口部の地質調査事例」	71
論文 No.14	「道路工事中に発現した地質リスク事例」	77
論文 No.15	「道路建設に伴う切土による岩盤すべり」	83
論文 No.16	「切土掘削中に発生した地すべりの調査と観測施工」	89
論文 No.17	「地すべり災害において実施したリアルタイム監視 によるリスク管理について」	95
論文 No.18	「国道 108 号地すべり災害復旧事業におけるリスク回避事例」	101

静岡県袋井土木事務所ダム管理課 渡辺健二
 静岡県袋井土木事務所企画検査課 ○鈴木 悟
 株式会社建設技術研究所 白井一也
 株式会社建設技術研究所 尾園修治郎
 株式会社建設技術研究所 日鼻健三

1. 事例の概要

杉沢橋は橋長 121m の鋼箱桁橋で、静岡県が建設して現在供用中の太田川ダム貯水池左支川である杉沢を横断している。同橋梁の杉沢左岸側橋台の深礎基礎工事中に、D 級岩盤と考えられていた基礎地盤が大規模な岩盤崩落堆積物であることが判明し、湛水後に不安定化した場合、橋梁はもとより杉沢の閉塞など貯水池に重大な影響を与えることが懸念された。

地質調査を行ったところ、当該崩落堆積物と基盤岩との境界面に鏡肌や条線は認められないことから、特定のすべり面に沿う地すべりではないと考えられ、また土塊の性状も不均質である。このため、湛水後の安定を図る対象とすべきすべり形状が不確実であり、均質な土塊に対して通常適用される逆算法による安定解析では最も危険なすべり形状を抽出できない可能性が预见された。

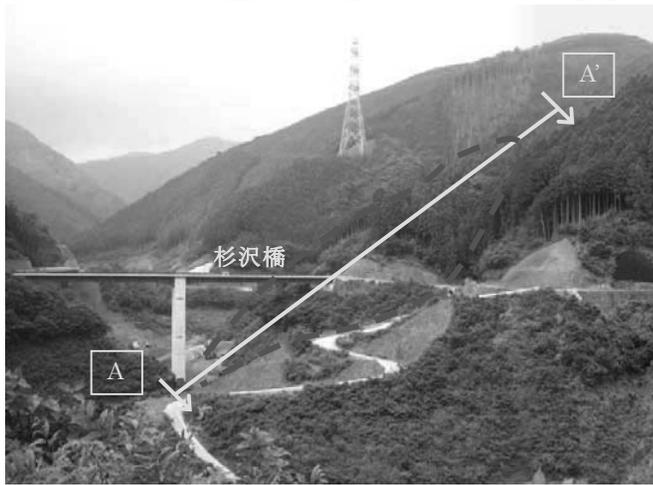


図1 杉沢橋と当該斜面の位置関係

そこで本事例では、当該堆積物の性状や構造を精査し、土層構成や性状の不均質性、供試体の代表性等の地質リスク要因にも留意して、湛水後の安定を支配する土層の強度を精度良く求めた。

この値を用いた順解析による安定解析により、通常行われる逆算法による安定解析を適用した場合に比べて対策コストを約 2.6 億円縮減することができ、貯水池は現在、安全に運用されている。すなわち典型的な A タイプの事例である。

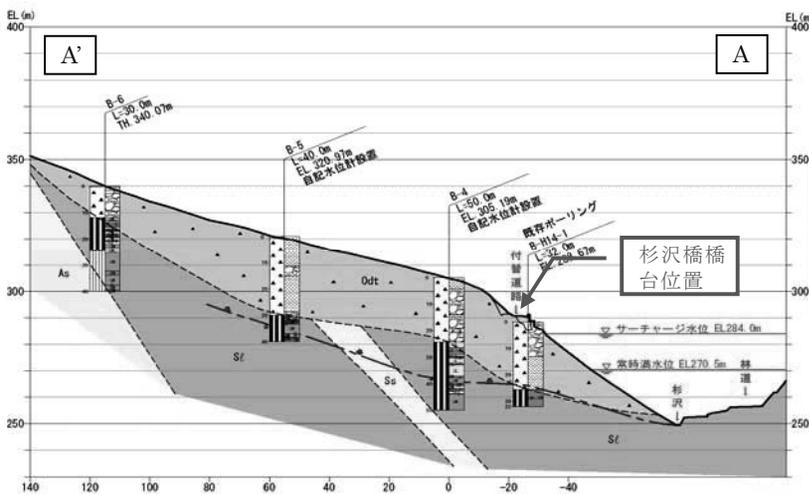


図2 杉沢橋に沿う調査測線の地質断面図（精査前）



杉沢橋橋台背後の法面に現れた岩盤崩落堆積物

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク対応方針

貯水池運用による水位の上下に伴って崩積土斜面の不安定化が懸念される場合、円弧すべり計算を多数試行して最小安全率となる円弧を求めて対策を検討することが多い。しかし、仮定する強度条件によって最も危険なすべり形状は異なり、場合によっては安定性を過大に評価してしまう可能性も考えられる。また本事例のように土層が均一でない場合、弱点となる土層の有無等について十分留意する必要がある。

このように、対策を講ずるべきすべり面に不確実性が高い場合、過小設計になって湛水時に斜面の不安定化を生じたり、あるいは過大設計になって対策費の増大や事業の進捗が遅延するといった地質リスクが考えられる。このとき、リスク対応方針として以下の二つが考えられる。

リスク対応方針1（最も安全と考えられる方法）

土塊全体を地すべり土塊と見なして、基盤との境界を仮想のすべり面とする。この仮想すべり面の強度定数は逆算法によって求め、土塊全体の滑動に対する安全率を向上する対策を実施する。

リスク対応方針2（必要な安全を確保しつつコスト縮減する対応方針）

土塊の性状を精査した上で室内土質試験（三軸圧縮試験）によって確実性の高い土塊強度を求め、これを基にして多数の試計算によって最小安全率のすべり形状を求める。この最小安全率の円弧に対して所定の安全率を確保する対策を実施する。

本事例では、以下の理由によりリスク対応方針2に沿って検討を進めることとした。

- 当該斜面はその地形状況から、長期にわたって安定を保ってきていると考えられ、また土塊の性状からも現況 R/D 比は 1.00 より大きいと考えられる。いずれの対策方針においても、この現況 R/D 比を合理的に設定する必要がある。
- 土塊の強度を精度よく求めることにより現況 R/D 比を合理的に設定することができる。土塊の強度が精度よく求められれば、円弧すべり試行計算の信頼度は高まる。すなわち危険なすべり形状の想定信頼度が高まる。
- 対象となる土塊の規模が大きいため、追加調査費を投入してリスク対応方針2を採用した場合でも、追加調査費に比べて十分大きいコスト縮減効果が期待できる。

(2). 精査結果及びリスク対策

① 精査結果

太田川ダムの貯水池一帯は四万十帯三倉層群の砂泥互層を基盤岩としており、一部に擾乱された混在岩相を挟んでいる。当該斜面に対して新たにボーリング 11 孔（総延長 392m、うち 2 孔はφ116mm の大口径ボーリング）を主とする地質精査を実施した結果明らかになった土塊の性状は以下の通りである。

- 土塊は礫分の量比や基質の粒度から A～C タイプの土層に区分され（図 3）、それらは図 4 に示すような分布をなしているが、特に C タイプの分布形状については不確実である。
- A～C タイプの土層は、礫の含有量や礫同士の噛み合わせ、基質の締まり程度などから、A→B→C の順に強度が大きいと考えられる。

- 各土層の間の境界面についてもすべり面をなしている状況は認められず、概して漸移的な境界条件となっている。

② リスク対策

精査の結果より、上記**リスク対応方針2**を採用する場合には、各タイプの土層の分布形状や強度のばらつき、強度試験供試体の代表性や品質など、詳細な地質リスク要因に対する対策を講じて順計算手法の安全性の信頼度を高める必要がある。それらに対する対策状況を表1に示す。

タイプ区分	ボーリングコアの性状	性状	工学的特長
A		基質支持	粘性土～礫混じり粘性土を主体とし、礫は基質支持によって保持される層相。Bタイプと土相は類似するが、基質のシルト、粘土分はAタイプの方が多い。含水や多く、強度も他のタイプに比して小さい。
B		基質支持	礫混じり土～礫混じり粘性土を主体とする。礫は基質支持によって保持される層相。基質は細礫を伴う粘土混じり土で比較的良く締まっている。褐色の粘性土を伴うものと灰色粘性土を伴うものの2種類ある。
C		礫支持	礫質土～粘土混じり礫質土を主体とする。礫が密集して分布し、シルト以下の細粒分は少ない。礫をかみ合わせたような層相で礫自身の支持によって岩盤質によりAタイプ、Bタイプより大きいものと推測される。

図3 崩落堆積物を構成する土層のタイプ

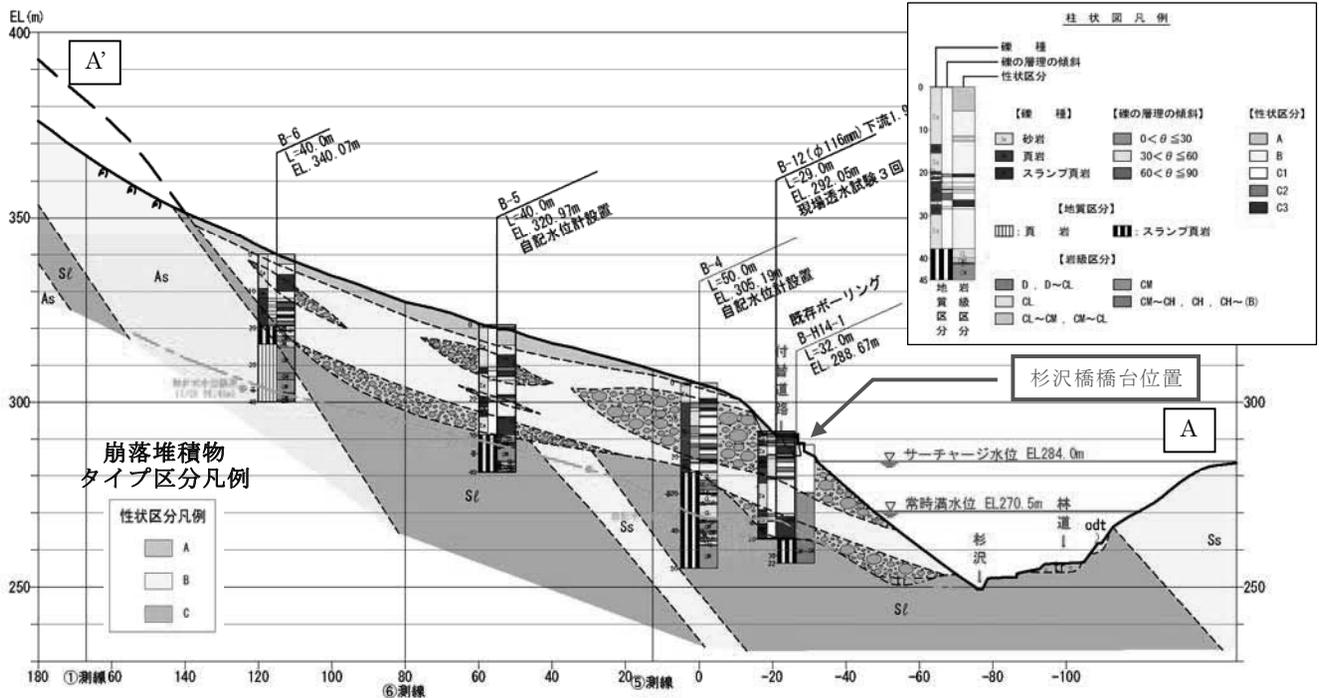


図4 杉沢橋に沿う測線の地質断面図（精査後）

(2). マネジメント効果の考え方

本事例では、湛水の影響を受けて不安定化する懸念のある貯水池周辺斜面に対する対策として、通常適用されることの多い**リスク対応方針1**（土塊全体が滑動すると仮定して逆算法を適用する手法）に代えて、**リスク対応方針2**（土塊の強度を室内土質試験によって直接的に求めて順解析）を行った。これにより、予想外の形状の滑動が発生して橋梁に損傷を与えるという地質リスクの発現を回避し、なおかつ最大限の土塊に対して対策を講じるという過大な対応を避けて必要十分な対策を講じることができた。

ただし、順解析の手法をとる場合の安全性を担保するために、表1に示したような次段階の地質リスクについて解析し、対策する必要があった。このため、通常行われる地質調査に加えて崩落土塊の強度を高い信頼度を持って求めるための追加費用を投入している。したがって本事例における地質リスクマネジメントの効果は、以下の様に算定される。

マネジメント効果＝**リスク対応方針1**（逆解析）による仮想の（設計費＋対策工事費）

－リスク対応方針2（順解析）による実際の（設計費＋対策工事費）

－リスク対応方針2（詳細リスク要因対策）のための追加調査解析費

橋梁の損傷という大きなリスクを考える場合、安易に強度を仮定して円弧すべり計算を行うだけの対応を取るとは少なくともないと考えられるから、マネジメントの効果を計量する際の原因としてリスク対応方針1を取った場合を考える。

表1 順計算手法における地質リスク要因と対応策

地質リスク要因	精査結果とリスクの説明	対応策
各タイプの土層の分布形状が不確実	層位的な構造の検討が困難なため、工学的性質により3タイプの土層に区分。酸化部の介在状況や露頭に見られる土層間の構造等からレンズ状の分布を推定したが、不確実性が残る。	Aタイプが表層部に薄く分布するのみであることはコア状況から確認。最も強度が高いCタイプ土層の分布は信頼度が低いため、全てBタイプとして安定解析を実施する。
各土層の強度のばらつき（強度試験供試体の代表性）	各タイプの土層は岩片と基質の混在物。混在比率は3極化しているわけではなく多少の幅がある。	土層区分結果をコア長1m当たりの粒度構成割合により検証。試料は径の大きな礫を避けて採取。安定計算は試験結果の平均値の他に最低値でも実施し、安全率不足分を対策。
三軸圧縮試験供試体の品質	当該堆積物は岩片と基質の混在物であり、締まりは良いが不均質。このため、不攪乱状態のコアを採取することは通常困難。乱れた試料で三軸圧縮試験を実施しても正しい強度を把握できない。	φ116mmの大口径、特殊なビットを用いた高品質ボーリングを実施。コアの抜き出しや収納、運搬等にも専用器具を用いて細心の注意。試験後の供試体を観察してせん断状況を吟味し、不適切なものは棄却。

3. データ収集分析

(1) 安定解析結果

各対策方針の場合の安定解析結果を表2に示す。表中、リスク対応方針1の強度は逆算値を、同じく2の場合の強度は最低値のケースを示す。また湛水後とはサーチャージ水位から常時満水位への水位低下時を示す。またそれぞれの対策工検討対象のすべり形状を図5に示す。

このように、リスク対応方針2をとったことにより必要抑止力は1/25程度まで削減された。

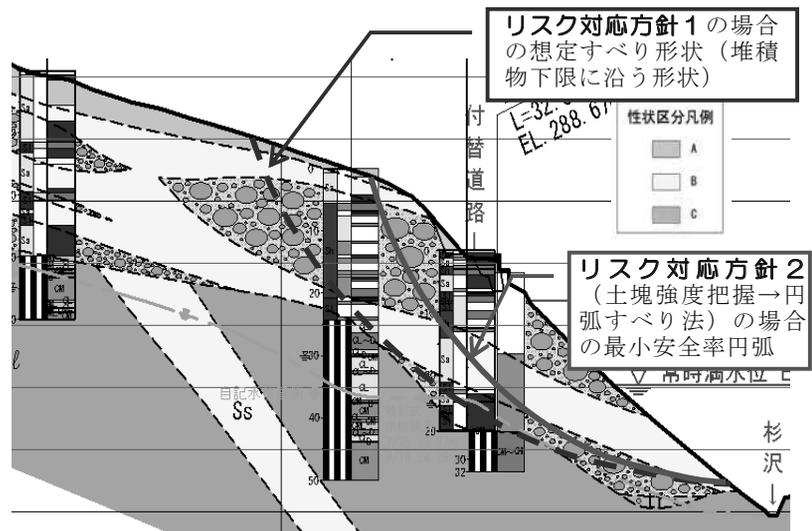


図5 安定計算結果（対策工検討すべり形状）

表2 安定解析結果

リスク対応方針	強度定数		現況安全率	湛水後安全率	計画安全率	必要抑止力 (kN/m)
	C(kN/m ²)	φ(°)				
対応方針1	25	24.95	1.00	0.848	1.100	3,120.4
対応方針2 (実施工)	土層A	80	1.313	1.086	1.100	117.6
	土層B	27.2				

(2) 対策工事費

① リスク対応方針1をとった場合の対策工

リスク対応方針1をとった場合の仮想の対策工としては、支川（杉沢）の分断回避や貯水容量確保の観点から、押え盛土とアンカー工の組み合わせ（図6）を想定した。

② 実工事（リスク対応方針2）の対策工

リスク対応方針2をとった場合の必要抑止力は117.6kN/m²と小さく、小規模な排土と押え盛土を施工することにより、対策後の最小すべり安全率は1.105となり所定の安全率1.10を満足する。対策工の概要を図6に示す。

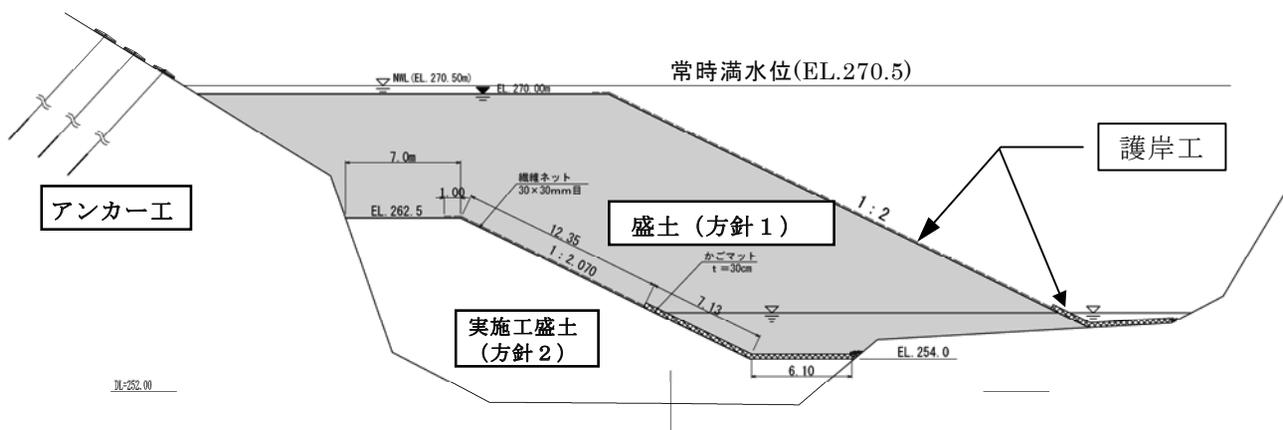


図6 実工事と仮想の対策工(リスク対応方針1)との比較図

4. マネジメント効果

リスク対応方針2をとるための地質リスク削減の追加費用、対策工事のコスト縮減額などを踏まえたマネジメント効果の算定表を表3に示す。このように、約2.62億円のコスト縮減効果が得られた。

表3 リスク対応方針2によるコスト縮減額算定表(工事は)

リスク対応方針	対策工事内容		概算工事費	合計費用
	工種	数量		
対応方針1 (仮想)	設計費	一式	3,000 千円	346,000 千円
	押え盛土	約 88,000m ³	100,000 千円	
	アンカー工 (1,200kN/m)	68×3 段=204 本	204,000 千円	
	護岸工	約 200m	39,000 千円	
対応方針2 (実施工)	追加精査費用	一式	5,000 千円	84,000 千円
	設計費	一式	2,000 千円	
	押え盛土	約 39,200m ³	51,000 千円	
	護岸工	180m	26,000 千円	
	マネジメント効果 (差額)			262,000 千円

5. 今後の課題

本事例では、工事中に出現した特異な地質事象に対し、発注者による地質リスクのマネジメントの結果として約2.6億円というコスト縮減効果が得られた。また試験湛水の開始時期についても、工事量の縮減により遅延を回避できた可能性がある。今後も同様の機会を失わないよう、計画、調査の早い段階から地質技術者と発注者のコミュニケーションを円滑にし、常に地質リスクの認識を高めて安全とコストの両立を心がけてゆく必要がある。

6. データ様式の提案

本事例は A タイプ事例であるので、学会のデータ様式 A を用いた。ただし、リスク対応方針 1, 2 の位置付けが分かり易いよう、項目名等に加筆あるいは修正を行った。

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		静岡県太田川ダム建設事務所
	工事名		二級河川太田川河川総合開発工事(仮設水路工)、同(護岸工)、同盛土工)
	工種		押え盛土工、アンカー工、護岸工
	当初工事費 (リスク対応方針 1をとった場合 の仮想工事)	概要	押え盛土工(V=88,000m ²)、アンカー工(204本)、護岸工(L=200m)
		①工事費	346,000 千円(参考:総調査費=31,500 千円)
当初工期		—	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		ダム貯水池湛水後
	予測されたトラブル		土塊強度の不確実性、及び対策対象すべり形状の不確実性に伴う不十分な対策
	回避した事象		斜面の不安定化による橋台の変位
	工事への影響		最悪の場合、完成後橋梁の架け替え、ダム、橋梁の供用開始遅延
リスク管理の 実際	判断した時期		橋梁基礎工事中(ボーリング調査完了時)
	判断した者		発注者
	判断の内容		斜面は厚い崩落堆積物であり、すべり面はない。よって土塊の強度を正確に求めて信頼性の高いすべり形状を想定し、順解析による安定解析、対策工を実施する。
	判断に必要な情報		土塊の性状、強度、構造
リスク対応の 実際 (リスク対応 方針2に従っ た実際の対 応)	内容	追加調査	土塊の詳細地質解析によるタイプ区分と構造解析、大口径ボーリングによる高品質コア採取、三軸圧縮試験の実施
		設計	対策工比較検討、盛土工・護岸工詳細設計
		対策工	押え盛土(V=39,200m ²)、護岸工(L=180m ²)
	費用	追加調査	5,000 千円(参考:総調査費=36,500 千円)
		設計	2,000 千円
		対策工	77,000 千円
②合計		84,000 千円	
変更工事の内 容	工事変更の内容		—
	③変更工事費		—
	変更工期		—
	間接的な影響項目		追加調査、詳細地質解析、対策工検討などは橋梁上部工工事と並行して進めたため、事業全体への影響はなかったが、リスク対応方針 1 の場合は対策工事の工期が伸び、試験湛水開始時期が遅延した可能性がある。
	受益者		—
リスクマネジ メントの効果	費用(①-③-②)		262,000 千円
	工期		変更なし
	その他		試験湛水開始時期の遅れを回避

株式会社 荒谷建設コンサルタント 鳥取支社 西村 悟之

1. 事例の概要

本事例は、道路拡幅のための切土施工中に大規模地すべりの兆候が現れ、対策が必要となったものである。

対象区間の切土は、切土高さが 10m 程度と小規模であったことや、尾根状地形の突出部に岩盤が露出していたことから表土層は薄いと予想され、標準勾配による切土で設計されていた。しかし、斜面掘削の途中で法面の崩壊、上部自然斜面に段差が生じたため工事は中断され、応急対策を講じて現地踏査・地質調査・解析・対策工検討を行った。

この事例は、工事着手後に対策工が必要となった点では地質リスクが発現した事例であるが、地形判読・現地踏査により背後に存在する大規模地すべりを認識し、地すべりの発生を未然に防いだことは地質リスクを回避した事例とも言える。

2. 事例の分析

(1) リスク発現に至るプロセス

現道は急カーブで見通しの悪い区間があるため、この区間の道路線形を改良する目的で詳細設計が実施され、工事が施工されていた。詳細設計時に現地踏査は実施されていたが、現道沿いにロックネットに覆われた高さ 20m、延長 30m の岩盤が露出していたことから、斜面一連では表土層は薄く、浅所より岩盤が存在するものとして、下段は岩盤の標準切土勾配（1:0.5）、上段は 1:0.8 の切土勾配で設計された。

設計に基づき斜面を掘削したところ、下段の掘削の途中で切土法面が崩壊し、上部の自然斜面上にもクラックが発生したため工事は中断され、押え盛土による応急対策が行われた。

崩壊した切土法面では、土砂状の葉状を呈する蛇紋岩が観察され、岩盤の露出は認められなかった。なお、現道沿いの尾根状地形突出部の岩盤露頭は緑色片岩であり、切土部の地質とも異なっていた。

押え盛土後に現地踏査およびボーリング調査を行った結果、以下のような事実が判明した。

- ・ 崩壊が発生した河川右岸側の斜面では、標高 300m 付近に遷緩線が認められ、凸状台地型の地すべり地形を呈している。
- ・ 斜面上は針葉樹の植林地であるが、根曲がり現象が目立ち、斜面上にも古いものであるが地形の段差が数多く生じている。
- ・ 崩壊箇所付近で谷が開析されるとともに、河川がほぼ直角に流路を変え、屈曲している。
- ・ ボーリング調査により、現在の河川と同標高で、砂礫層（河川堆積物）が確認された。

このようなことから、斜面背後に大規模地すべりの存在があるという地質リスクを予見し、当初設計通りに施工を進めれば大規模地すべりを誘発させることになるトラブルを未然に防止した。

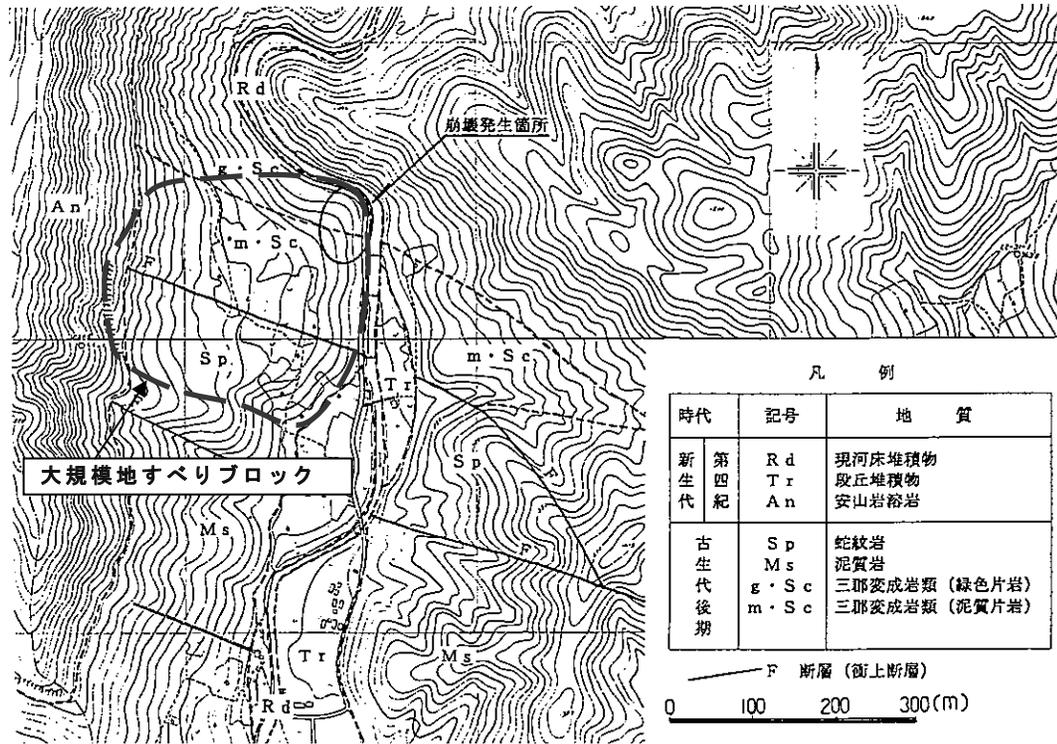


図1 地質図

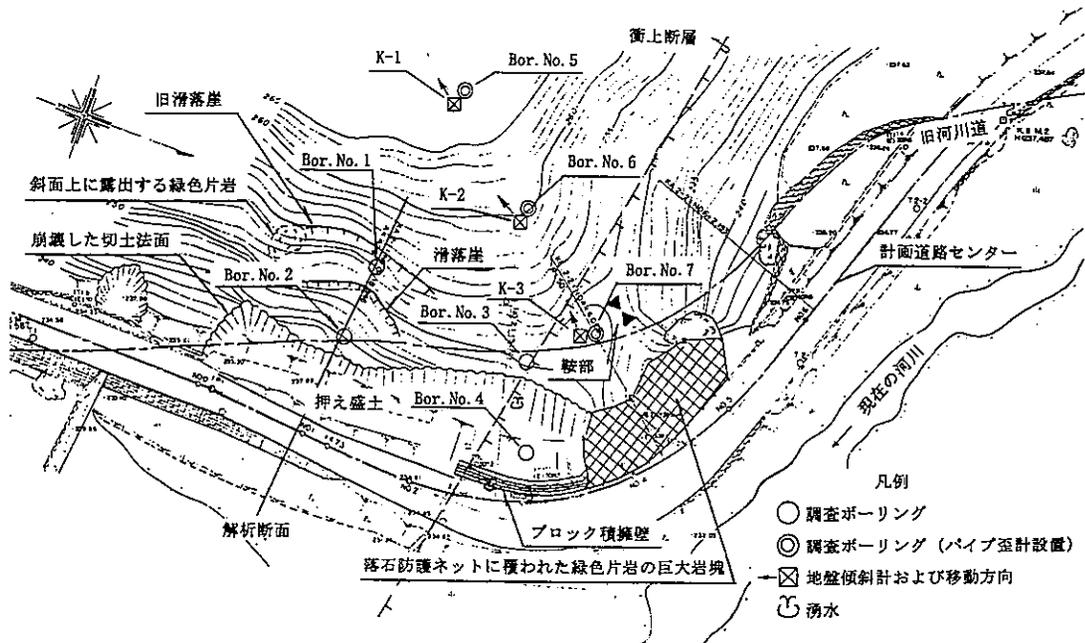


図2 平面図 (崩壊発生箇所拡大図)

(2) 想定されるリスクマネジメント

①設計時

設計段階で、地形判読および広域的な現地踏査を行ってれば、地すべりと判断できる特異地形の認識は可能であったと考えられ、ルート変更も含めた道路改良検討がなされていたものと考えられる。リスクマネジメントには、初期の段階で適切な地形・地質調査が重要であることが判る。

②施工時

施工時においては、実際の掘削状況や地盤の挙動などの情報、設計時との地盤状況の相違などがリスクマネジメントでは重要となる。

(3) マネジメント効果の計量方法

① 当初事業費

② 追加工事費

③ 当初から地すべりを想定した施工方法を採用した場合の工事費

④ 地すべりが発生していた場合の対策工事費（追加用地買収費、安定対策費等）

最善のシナリオ → ③

次善のシナリオ → ①+②

最悪のシナリオ → ①+④

3. データ収集分析

(1) データ収集

本事例で収集したデータは次の通りである。

- ・ リスク発現事象の内容、経緯
- ・ 追加地質調査データ
- ・ 地すべり開析データ
- ・ 対策工設計
- ・ 対策工概算工事費

(2) データ分析

地質調査は設計段階では実施していない。追加調査はボーリング 4 箇所、弾性波探査 2 測線を行い、それを基にすべり面を特定し、地すべり解析によって対策が必要な範囲・深度を決定している。

対策工は、グラウンドアンカー工およびプレキャスト製受圧盤（28 基）とし、その対策工事費は約 50 百万円となっている。また、追加調査・解析・設計費を含めると追加費用は総額で約 70 百万円となっている。

設計段階で地形判読および広域的な現地踏査を行い地すべり地形の存在が認識されていれば、本事例のような対策工は行わず、ルートを変更するなどの対策を講じていた可能性もある。

一方、施工時に掘削した地層状態から対象区間の地質リスクを予見し、現地踏査を行い大規模地すべり存在を把握することにより、地すべり誘発を回避している。仮に大規模地すべりの存在を考慮せず切土勾配を緩勾配にする等の対応で地すべりを発生させていた場合は、その対策費用は上記対策費の数倍に及んでいた可能性が高い。この点からも、施工時における技術者のリスクマネジメントは適切であったと言える。

以上のように、本事例では地質リスクマネジメントによってコスト縮減と円滑な遂行が可能であることが検証できたと考える。

また、対策を行う上では十分な追加調査を行っているが、全く白紙の状態であれば事前調査はどの程度の規模で行い、その調査で地すべりの発生を確実に予測できていたかを検証していく必要がある。本事例のように H=10m 程度の小規模な切土法面では事前調査を行わないことは多いと考えられる。しかし、本事例のように、地形判読などの既存資料の活用、現地踏査を行うことで得られる情報からでも大規模地すべりの存在の認識は可能であることから、事前調査（既存資料収集・現地踏査）の重要性は高いと考えられる。

4. マネジメントの効果について

(1) リスク（低減）の計量化

前述のように、設計段階で広域的な現地踏査を行い大規模地すべり存在の認識ができていれば、他の対策を講じていた可能性が高く、リスクマネジメントにより約 85 百万円のコスト縮減が図れていたものと考えられる。

一方、施工中に大規模地すべりを発生させていたならば、その対策工事費は莫大となり、さらには用地費も必要となり全体では上記対策費の数倍に及ぶと推測されるが、供用延期に伴う影響なども加味する必要があり、現状では計量化することは難しい。

(2) リスクマネジメントの方法

本事例でも事前の現地踏査を十分に行っていれば、適切な設計につながり、対策工事費は削減となった可能性は高い。その点から考えれば地質リスクを回避するために最善の方法は、計画時あるいは設計時に地質の専門家による地質評価を行うことであることは間違いない。しかし、現地踏査のみでは現在の事象の推定はできても、施工時に地盤がどのような挙動を示すのかの定量化ができない。そのためには、地盤の動態観測を行い、最悪のシナリオに至らないような対応を講じることも地質リスクマネジメントの一手法であると考えられる。

(3) マネジメントの効果

本事例では、マネジメントの効果として事業費の大幅な増加、工期の延長を回避することが可能と考えられる。いずれにしても工事内容によって効果の大小はあるものの、地質リスクマネジメントが安全で経済的な工事に寄与することはできると言える。

(4) 地質調査妥当投資額

地質調査の妥当投資額については事業の内容にもよるが、本事例の場合には対策工

事費に対する調査費（解析費含む）約 15%である。最善のシナリオを想定した事前調査費については、工事費の 5%程度と考えられる。

地質調査の妥当投資額については、工種や対象区域の地質特性などによって大きく異なり、一律に論ずることはできない。本事例のように根本的な対策を行おうとすると、工事費は莫大なものとなるために、それに対する調査費の占める割合は小さくなる。ただし、調査費自体の費用としてみた場合は小額とはならないと予想される。したがって、必要最小限の事前調査と動態観測を併用して段階的に調査を行うなどの手法を用いることが現実であろうが、妥当投資額の評価は難しい状況にある。

(5) 求められる技術顧問の能力

本事例を参考にすれば、地質技術顧問には対象の地域の地質・土質に対する判断はもちろんであるが、周辺区域の地質状態、施工状況などといった最小限の情報からでも地質リスクを予見し、適切な対応策を判断することができるという能力が必要と考えられる。それが最悪のシナリオを回避し、コスト縮減に結びつくと言える。

5. データ様式の提案

本事例では、施工に関するデータ、追加調査・解析・対策工事に関するデータを用いて分析を行った。一般的には、これに事前調査に関するデータ、当初計画の内容などのデータがあれば有益な評価が行えると考えられる。

本事例では、「発現した地質リスクを最小限に回避した事例」であるが、地質リスクが発現する以前の、「理想となるリスク対応」という項目も必要となると考えられる。したがって、Bタイプの様式の「リスク管理の理想像」という欄を追加し、理想となるマネジメントによるリスク低減額との対比が可能となるようにした。

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目	データ	
対象工事		発注者	地方自治体(県)	
		工事名	県道道路改良工事	
		工種	道路切土	
		工事概要	切土法面工事(H=10m)	
		①当初工事費	-	
		当初工期	-	
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期	工事中	
		トラブルの内容	切土法面(H=10m)の工事中、最下段まで切土した段階で法面および上部自然斜面に変状が現れ、対策が必要となった。	
		トラブルの原因	現地踏査不足	
		工事への影響	追加対策工事、道路改良中止	
	追加工事の内容	追加調査の内容	ボーリング 4 本、弾性波探査 2 測線	
		修正設計内容	-	
		対策工事	グラウンドアンカー工、鉄筋挿入工	
		追加工事	-	
		追加費用	追加調査	10 百万円
			修正設計	5 百万円

			対策工	70 百万円
			追加工事	-
			②合計	85 百万円
		延長工期	約 1 年	
		間接的な影響項目	片側交互通行による供用時期の延期	
		負担者	施主	
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		施工中
		予測されたトラブル		大規模地すべり
		回避した事象		大規模地すべり
		工事への影響		工事の中断、手戻り
	リスク管理の実際	判断した時期		工事中
		判断した者		地質技術者
		判断の内容		地形判読と現地踏査により、大規模地すべり地の存在があることと、地すべり変動の発生の有無
		判断に必要な情報		地形図、地盤動態観測データ
	リスク対応の実際	内容	追加調査	地表面・地中変位の動態観測
			修正設計	
			対策工	
		費用	追加調査	3 百万円
			修正設計	
			対策工	
	③合計		3 百万円	
	回避しなかった場合	工事変更の内容		グラウンドアンカー工、集水井
		④変更後工事費		200 百万円程度
変更後工期		2 年以上		
間接的な影響項目		供用時期の大幅な遅れ、用地の追加取得、地元とのトラブル等々		
受益者		施主（地域住民、納税者）		
リスク管理の理想像	対応（すべき）時期		設計段階での十分な調査	
	対応（すべき）者		地質技術者	
	対応（すべき）内容		設計・施工上、地形・地質で問題となる項目の抽出	
	判断に必要な情報		既存資料、現況の地盤変動状況資料	
	対応費用	調査	10 百万円	
		対策工	10 百万円	
		⑤合計	20 百万円	
	想定工事	工事概要	-	
		⑥工事費	-	
		工期	-	
リスクマネジメントの効果	費用④－（①+②+③）		100 百万円程度	
	工期			
	その他			
リスクマネジメントの効果（理想像との対比）	費用④－（⑤+⑥）		180 百万円程度	
	工期			
	その他			

1. 事例の概要

本事例は、都市部における高架橋を対象に、構造物基礎詳細調査及び詳細設計までを同時並行で実施する条件の下で、特に時間的な視点により調査工期を最大限活用して地質リスクをマネジメントし、建設プロジェクトのトータルコスト増大を抑制した事例である。

調査地は三角州平野の最南端に位置し、干拓により平坦な埋立地形を呈する。図1に示すように、対象箇所は延長1km程度の高架橋調査区間に23基の橋脚が計画されており、周辺には標高40~50mの3つの小規模な丘陵地（孤立丘陵片）が分布し、地山の大半は河川堆積物により埋没している。

また、隣接工区の支持層はT.P. -30m付近以深に分布する洪積砂礫層（N値50以上）で概ね水平と単調であるが、調査地は江戸時代以降の埋立地であり、埋立前は島であった3つの丘陵地山が分布し一部は造成切土により改変されている。そのため、調査区間では支持層となる基盤岩の不規則な起伏が想定されたことから、橋脚毎に正確な支持層深度を把握し、極力地質リスクを低減して精度の高い調査結果を提供する必要があった。しかし、地質リスクを低減するためには、以下に示す主に3つの制約条件があり、特に、限られた事業用地と工期内という厳しい条件で、全橋脚部の支持層起伏の把握が困難であることが問題となった。すなわち、調査不足によりリスクが悲観的な形で施工時に顕在化すると、支持層の落ち込みによる基礎形式の変更や杭長の大幅な不足等に伴う設計の手戻りや施工ストップ等が発生し、プロジェクト全体の大幅なコスト増大や工事延期等が懸念された。

【制約条件】

- ①人口集中地区で路地が狭い上に交通量が多く民家が密集するため、現場作業時は周辺環境負荷（騒音、振動、搬入出時の交通支障）を低減する必要性。
- ②調査可能な箇所は、事業用地と公道以外の官地のみと限定されていた。その為、受注当初は23橋脚中7箇所まで調査が不可能であった。
- ③地質調査と予備詳細設計業務は同時並行であり設計工期にあまり余裕がない為、タイムリーで正確な地質情報を設計業者に提供する必要があった。また、発注者の要望により、限られた調査工期の中で、今回調査で全橋脚部の詳細設計ができるレベルの成果品を望まれており、工程と品質との間にトレードオフの関係が発生した。

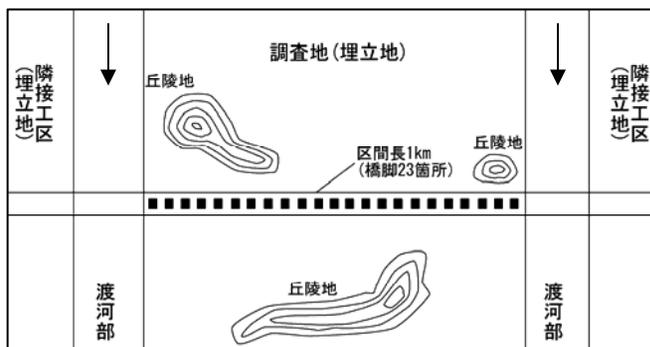


図1 調査位置概要図

2. 事例分析のシナリオ

通常的地質調査は1業務の中で一連の調査を連続的に行うが、今回は業務期間（1年強）を最大限に活用して地質調査を1次と2次に分割し、以下のa)~c)の手順で時間的な視点から地質リスクをマネジメントした（図2）。地質リスクマネジメントのプロセスにおいて特に注意した点は2点あり、一つは、発注者・調査業者・設計業者の三者による技術面に

関する積極的なリスクコミュニケーションの実施である。これは、地質と設計・施工の両観点からの見解を同時に発注者に示すことができるため、スムーズな追加調査等の意志決定を可能にした。二つ目は、技術面以外の点において、前述の制約条件のうち外部環境、すなわち社会環境負荷に対する地元住民へのリスクコミュニケーションや情報公開による不安や不信感の払拭、未然防止活動等の安全管理、CSRの観点より発注者、設計者（施工業者）、地元住民等のステークホルダーの要望に可能な限り応え、バランスよく俯瞰的にマネジメントした結果、品質と工程との間のトレードオフを解決した点である。

- a) まず予備設計段階で1次調査を実施し、調査区間全体の地質構成を概略的に把握した（図4）。これは、予備設計と1次調査結果より抽出された問題点を整理して合理的な2次調査を計画する為と、1次調査中に事業用地の増加が見込まれた為である。
- b) その結果、2次調査時は事業用地が追加され、設計上の問題点を加味した無駄のない合理的な調査（原位置試験及び室内試験の集中的実施等）が可能となった（図5）。詳細な調査により、支持層は旧河道により谷地形を呈する箇所と洪積砂泥互層の存在、貫入岩分布の詳細とN値50未満の強風化部の存在、1橋脚内で支持層傾斜が顕著である箇所の存在等が判明し、調査段階で地質リスクが概ね顕在化した。
- c) さらに、1橋脚内で支持層傾斜が顕著と想定した箇所（図5のボーリング②'）では、今回調査段階で可能な限り地質リスクを低減し成果品質を向上させる必要があった。従って、発注者及び設計業者と協議の上で、地質リスクが許容または保有困難な箇所では、設計業者に渡さなければならない最遅工程を逆算して、さらなる事業用地の追加を待ち、可能な限り追加調査を提案・実施した（図3）。

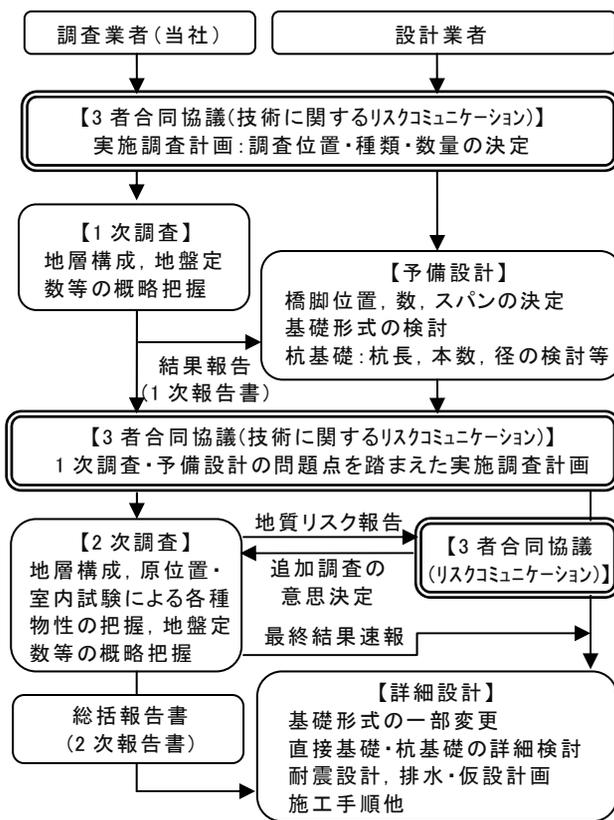


図2 調査実施シナリオ

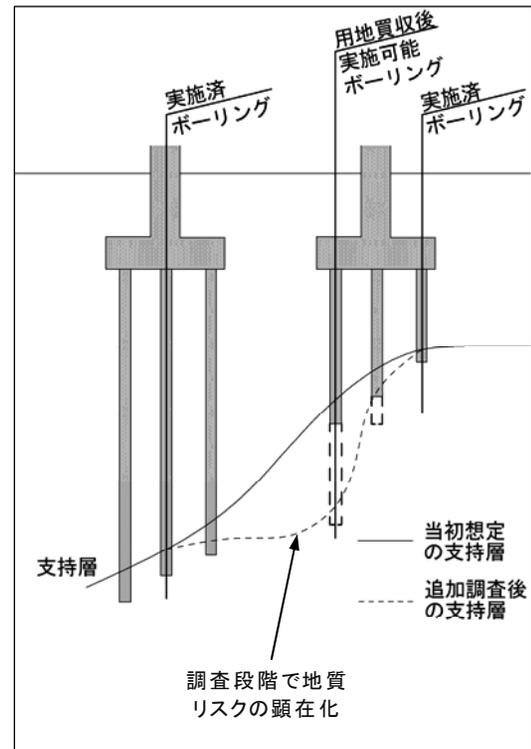


図3 2期に分けた調査で、地質リスク保有困難箇所での追加調査による地質リスク低減(図5参照:Bor②')

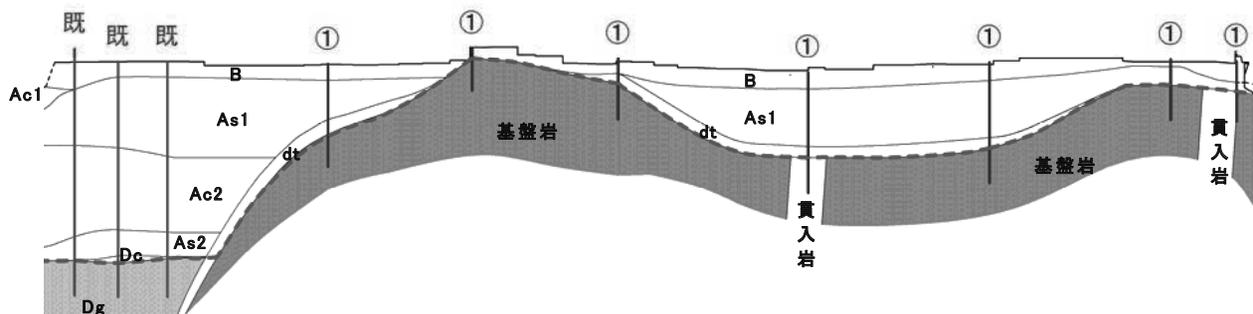


図4 第1次調査結果（予備設計段階）

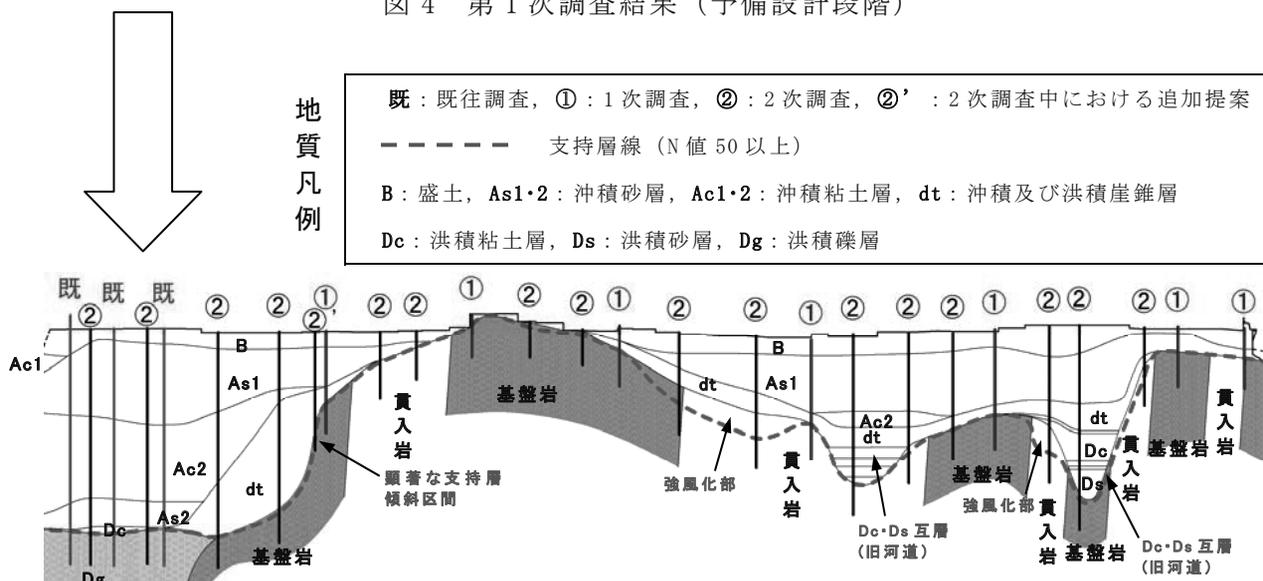


図5 第2次調査結果（詳細設計段階）

3. データ収集分析

今回の調査事例では、1次と2次の2期に分けたことにより、工期内に事業用地が追加され全橋脚部において地質リスクの低減を達成した。しかし、仮に調査を1期のみで実施していた場合は図6のデータに示すように、最も遅い場合は施工中に6橋脚で地質リスクが顕在化して、施工中断や修正設計が発生していた可能性が高い。なお、施工直前にチェックボーリングを実施したとしても、少なくとも修正設計は必要であったと考えられる。

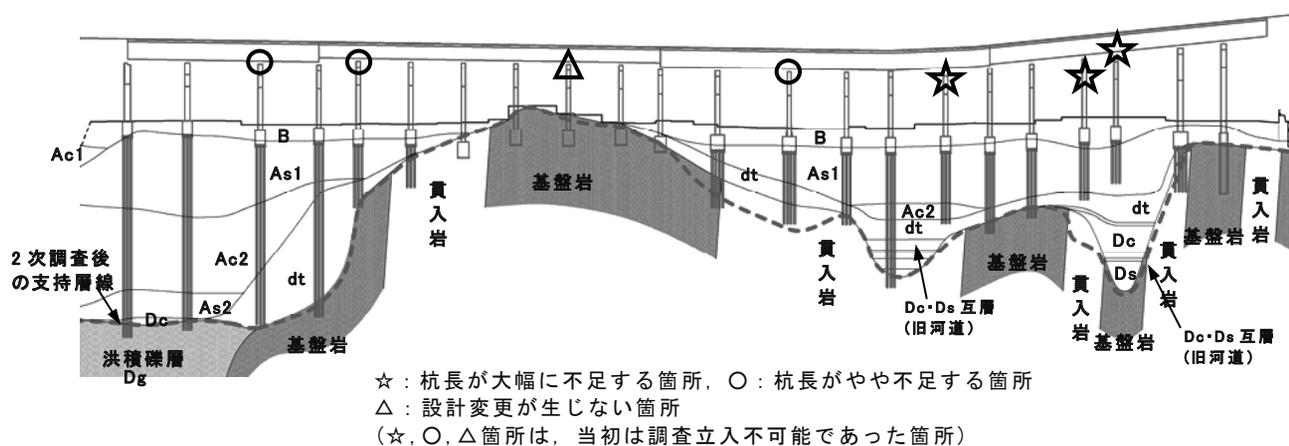


図6 地質調査を1次と2次に分けない連続的な実施により詳細設計した場合、施工時における地質リスク顕在化に伴う事業コスト損失箇所（○☆の計6橋脚）

4. マネジメント効果

(1) 地質リスクマネジメント効果

今回実施した地質リスクマネジメントにより、主に以下の3点のマネジメント効果が得られたと考えている。表1に地質リスク顕在化段階と事業コスト損失規模の関係を示す。

- 1) 地質リスクの低減は、建設プロジェクトの早期段階で対処するほど次工程へのリスクが低減され、トータルコストの増大を回避できることを示した事例であるといえる。今回は、調査・詳細設計段階で地質リスクを低減したため、施工中に地質リスクが顕在化された場合と比較すると、概算で最大4500万円－追加調査費650万円＝3850万円のマネジメント効果が試算される。
- 2) 上記のような比較的容易にマネジメント効果が試算できるものの他に、金銭的試算が容易ではない大規模な時間的・人的コスト損失等を回避したことも評価できる。
- 3) トータルコスト増大抑制に加えて特筆すべき点は、調査不足による施工費増大や工事の延期により、地元市民等からのコンセンサスの喪失を回避したことである。

表1 地質リスクマネジメントの時期と想定事業損失規模

地質リスク 顕在化の時期	地質リスクの影響	事業コスト損失規模 (概算)
調査・詳細設計時 (今回事例)	詳細設計段階で解決済み	特になし
施工直前の チェックボーリング	修正設計, 施工開始時期の延期	【修正設計費用】 2000～3000万円 +小～中規模な間接的影響
施工中	施工中断, 施工終了時期の大幅な延期, 修正設計, 施工段取り替え, 資機材レンタル料等の投資額増大, <u>地元市民とのコンセンサスを失う等</u>	【修正設計費用+鉄筋かご】 3500～4500万円 +大規模な間接的影響

(2) 今回事例の総括

今回の事例は、調査業者と設計業者との並行作業であり、業務期間内で事業用地が増加する見込みがあったため、主に工期を最大限に活用した工程管理の視点から地質リスクの低減を達成した。しかし、調査を1次と2次に分けない連続的な実施であった場合は、23橋脚中6橋脚において悲観的地質リスクが潜在したままとなる。おそらく調査業者は発注者から責任を追及される可能性は低いだろうが、地質技術者に求められることは、地質リスクマネジメントを活用して発注者・設計・施工業者・市民等のあらゆるステークホルダーの要望に可能な限り応える社会的責任を備えることである。また、現場制約条件がさらに厳しい場合の地質リスクマネジメントのあり方について重要なことは、各現場条件を把握・分析して建設プロジェクト全体最適の地質リスクマネジメントを提案かつ実現することである。そのためには、積極的なリスクコミュニケーションを行うことが重要である。

なお、今回の事例は、土質地質調査において日常的に起こりうる事象であると思われる。大切なのはその「地質リスク」を放置せずに、できる限り早期の段階でリスク評価及びリスク対策を実施することと、調査段階で解決できない場合は、建設プロジェクト次工程へ地質リスク及び想定される懸念事象と対応の方向性を明確に示すことである。

5. データ様式の提案

以上の検討データを総括したものを A 表原案に記入した結果、A 表の記入項目の一部を修正することとなった。修正記入した様式を表 2 に示す。

A 表原案では、マネジメント効果＝（①当初工事費用）－（③変更後工事費用）－（②リスク対応費用）と考えており、地質リスクマネジメントの効果で、より施工に経済的な地質データ及び見解の提示や工法等の提案による当初工事費の縮減を達成した事例として取り扱われている。しかし、今回の事例は、高架橋の支持層調査不足により、施工直前～施工中に地質リスクが悲観的な形で顕在化した場合を想定し、調査地全体の支持層把握の品質（精度）に焦点を当てたものであり、地質リスクマネジメントの効果により経済的な設計・施工ができる調査結果や新たな経済的工法の提案に焦点を当てた事例ではない点が原案とは大きく異なる。

今回事例の地質リスクマネジメントは、様々な制約条件の下で全橋脚の支持層深度を把握したことであり、マネジメントの効果は基礎形式の変更や杭長が到達しない等の不測の建設コスト増大の抑制という視点で評価した。すなわち、精度の高い地質調査結果の基で下部工設計した工事費をゼロベースとして、調査→設計→施工というプロセスの中で、地質リスクの悲観的な顕在化によるコスト増額分を抑制した事業コストや間接的效果を地質リスクマネジメント効果として提案する。以上をまとめると、今回事例の地質リスクマネジメントの効果は、マネジメント効果＝（③変更設計・工事費用）－（②リスク対応費用）＋間接的影響項目（時間的・人的、社会的コスト）として取り扱うこととした。

ただし、今後の課題としては、時間的・人的及び社会的な間接的費用についての明確な金銭的試算を行うことである。なぜならば、本コストは決して小さいものではないため、極力正確な試算ができれば客先等に対して地質リスクマネジメントを実施することへの説得力を与える大きな資料となることは間違いないからである。しかし問題点として、地質技術者の知識のみでは限界があるので、正確な試算には発注者や設計技術者の協力が不可欠であることと、あくまでも仮説であることから施工中断期間やこれに伴う損失金額は流動的であるので、発注者や議会等に示す説得力のある資料とすることができかどうか疑問が残る点がある。

補足説明として、今回調査地の下部工基礎形式は、地質条件や経済比較にもよるが、基本的には大別して杭長 L=30m 以上では鋼管ソイルセメント杭基礎、杭長 L=10～30m の短杭では場所打ち杭（ベノト杭）または大口径深礎杭、GL-5m 付近では直接基礎が選定されており、中間層は支持層として不適である。また、調査地の支持層深度は深くても T.P. -30m 前後と比較的浅いことから基本的に支持杭を採用している。

直接基礎の場合は、施工時に支持層変更が生じた場合は設計段階にまで大きな手戻りが生じる。杭基礎の場合は、現場対応はある程度可能である。但し設計上は、①当初設計で杭長が長いもので地層の周面摩擦が期待できる場合は、支持力を周面摩擦と支持層で受け持っているため、多少の杭長の変更があった場合でも周面摩擦の影響により支持力計算上は安定と評価されることが多い。一方、当初設計で杭長が短い場合は、支持力は支持層が支配的に受け持つため、杭長に変更が生じると支持力計算上は不安定となるリスクがある。よって、設計時は過大設計とならない範囲で安全側をみて設計することが多い。

表2 A表修正案への記入

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	自治体	
	工事名	都市高速道路高架橋下部工工事	
	工種	高架橋	
	工事概要	都市高速道路の橋梁構造物基礎	
	①当初工事費	不明	
	当初工期	不明	
リスク回避 事象	予測されたリスク発 現時期	詳細設計のための2次調査中（当該調査は1次と2次の2期に分けて実施した一連の地質調査業務であり、予備と詳細の一連の設計業務と並行作業で実施している）。	
	予測されたトラブル	用地制約条件により、当初は全橋脚部での調査は不可能であった。そのため、一部の橋脚を調査未実施のまま設計した場合は、全23橋脚中6箇所において杭基礎が支持層まで到達せず、工事ストップと修正設計の手戻りが生じていた。	
	回避した事象	1) 施工中断、追加調査と修正設計に伴うコスト増や、2) 施工計画変更や工期延期、3) 工事延期による地元市民とのコンセンサスを失う等。	
	工事への影響	施工中断、段取り替え等の再計画と追加資機材調達等	
リスク管理 の実際	判断した時期	2次調査中	
	判断した者	発注者、設計業者、調査業者の三者	
	判断の内容	1) 事業用地増加により追加調査が見込める箇所は、設計業者へ調査解析結果を引渡さなければならない最遅工程を逆算して（バックワードスケジューリング）、工期内で可能な限り追加調査を実施する。2) 1橋脚内で支持層傾斜が顕著と想定される箇所は、地質リスク許容または保有が困難な箇所と判断し、追加調査を実施する。	
	判断に必要な情報	判断直前の最新地質断面モデル、調査業者及び設計業者の見解	
リスク対応 の実際	内容	追加調査	ボーリング6箇所ΣL=169m（支持層確認）
		修正設計	詳細設計段階で対応可能
		対策工	なし
	費用	追加調査	650万円（当初調査委託費内で対応可能）
		修正設計	なし
		対策工	なし
②合計	650万円（一般調査費）		
変更工事の 内容	工事変更の内容 （想定シナリオ）	追加調査を実施せずに地質リスクが顕在化した場合、6橋脚で杭長の変更が生じることを想定。	
	③変更設計・工事費 （推定）	修正設計費用2000～3000万円（6橋脚、動的解析一式他） 鉄筋かご1500万円（仮に6橋脚分が変更になった場合）	
	変更工期	－	
	間接的な影響項目	工事計画変更に伴う段取り替え等の時間・人件的費用の増加（これは③に反映していない）、地元感情の悪化等。	
	受益者	自治体、納税者（またはステークホルダー）	
リスクマネ ジメントの 効果	費用（③－②）	施工中に地質リスクが顕在化した場合は、最大で3850万円（+間接的影響項目の回避）	
	工期	地質リスク低減のための地質調査及び詳細設計は施工前（工程通り）に終了。	
	その他	本事例は、総合技術監理の視点より、1) 用地制約条件の時間的な変化をマネジメントし、2) 調査工期を最大限に活用して極力地質リスクの低減を図り、3) 予備及び詳細調査・設計が同時並行作業であったため、発注者・設計及び調査業者の三者合同により積極的に地質や設計に関するリスクコミュニケーションが行われ、スムーズな追加調査の意志決定がなされた。また、1次及び2次調査を通してタイムリーで正確な調査結果の提供（毎日のBor柱状図送信）により、設計者が早急に杭長の決定を行うこと等を可能とした（設計クリティカルパスの短縮に寄与）。その結果、建設プロジェクトのトータルコスト増大の抑制と調査・設計業務の工期厳守の両方を達成したと評価できる。	

網掛け ：原案（様式）修正箇所

応用地質株式会社 木村正樹
 応用地質株式会社 鳥居 敏

1. 事例の概要

本事例は、道路整備事業の進捗においてCM方式を採用し、同一の地質技術者が調査の最終段階から施工完了段階まで現地に常駐して事業運営に携わることにより、地質リスクの発現を回避した例である。

兵庫県の豊岡市および養父市において両市を結ぶ道路の整備計画が立ち上がった(図1参照)。この道路には約1.5kmのトンネル建設が含まれており、さらに希少猛禽類の問題もあった。しかし、両市には量的・質的に技術者が不足していたため、民間の技術力を活用して技術的、行政上の課題を解決することを目的としてCM方式の導入を決定した。CM業務は建設コンサルタントを対象としたプロポーザル方式で発注され、当社が特定された。当社はCM業者(コンストラクション・マネジャー、以下CMR)として事業を運営し、無事完了させることができた。

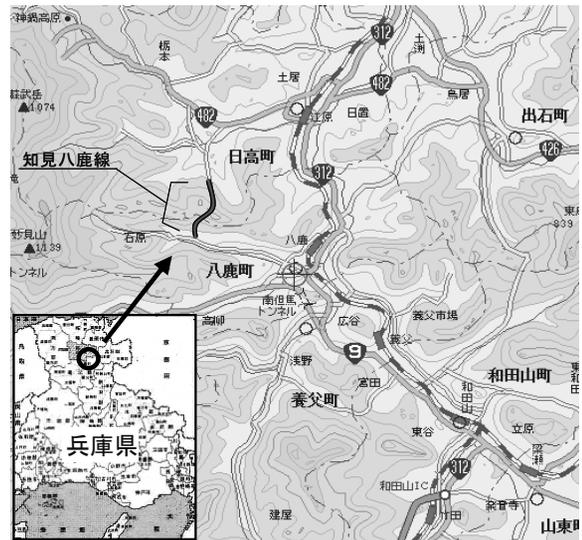


図1 現地案内図

本事業は延長2,772m(うちトンネル延長1,563m)の2車線道路を5年間で整備することが目的である。CMRに与えられた課題は、コスト・工期・品質といった事業の基本となる部分と、猛禽類保護・連絡調整(関係者が2市、県、施工業者と多岐に渡る)・地元貢献などの本事業における特殊性の部分とに分けられる。

この課題に対応するため、CMRは全事業期間5年のうち事業期間後半の3年4ヶ月間事業に関与した。メンバーは全体を管理する非常駐のチーフマネジャーと全期間常駐する工務サブマネジャー、主として工事期間から常駐するマネジャーと施工担当サブマネジャーの4名である(表1参照)。本事業の運営体制を図2に示す。

表1 事業工程とCMRの実施体制

検討項目	業務年度						備考
	H14	H15	H16	H17	H18	H19	
事前調査・測量	■						
環境調査検討委員会	■	■	■	■	■	■	猛禽類対応
CM業者選定		■					
予備設計		■					
詳細設計(明かり・トンネル)			■				
明かり工事				■			
トンネル工事					■		設備工事 H19年度は県担当
CM契約期間			■	■	■	■	安定解析、対策検討
チーフマネジャー			■	■	■	■	非常駐
マネジャー			■	■	■	■	役所・現場事務所
施工担当サブマネジャー			■	■	■	■	現場事務所常駐
工務担当サブマネジャー			■	■	■	■	役所常駐
イベント			■	■	■	■	養父市合併 23号災害 豊岡市合併 兵庫国体 開通

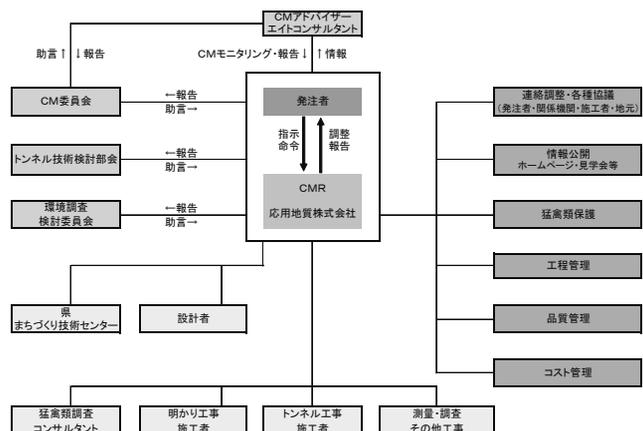


図2 事業運営体制

2. 事例分析のシナリオ

CMR として業務に関与し始めたときは、調査の最終段階であった。このため、それまでの調査結果の確認を行い、問題点の抽出を行った。その結果、以下の点での問題が明らかとなった。

- ① 終点側路線のルート上に砂防河川があり、砂防対応を考慮すると工期厳守が困難。
- ② トンネル地山区分が、火山岩における地質リスクを反映できていない。

火山岩の地質リスクについて、既往文献で設計時と施工時のトンネル支保パターンの差異についてとりまとめたものを図 3 に示す。これによると、設計時→施工時にかけて支保パターンの比較的軽い B

パターンは減少し、逆に支保パターンの重い C I ~ D I パターンは増加する傾向が示されている。これはつまり工期の遅延、工費の増加につながるものである。この点が「トン

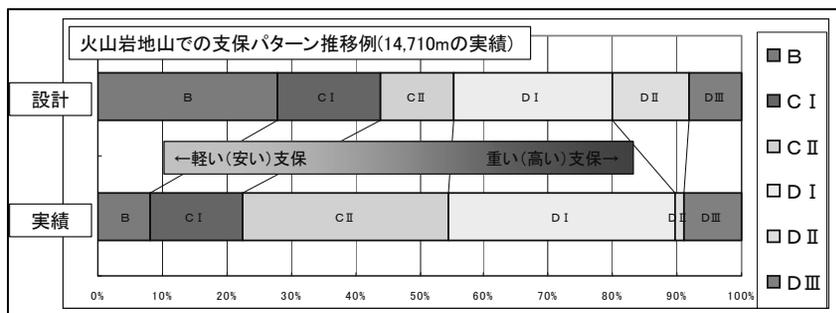


図 3 火山岩地山での支保パターン推移例

ネル工事は 2~3 割増加は当たり前」といわれる原因のひとつであると考えられる。

事前調査の段階で適切な支保パターンを設定しておき、それに基づいて施工計画を立案しておけば、施工段階での工期遅延、工費増加のリスクが軽減できると考え、追加調査(鉛直ボーリング、地表踏査)を実施して調査結果の精度向上を目指した。詳細には以下の対応を行った。

(1) ルートの一部変更

CMR が事業に関与した段階の道路整備ルートはトンネル延長約 1,250m で、終点側明かり部では知見川右岸を通過していた(図 4 参照)。そして、既に坑口ボーリングとトンネルルート全線の踏査・弾性波探査が行われていた。当地の地質は新第三紀の火山岩が主体で溶岩・凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩・凝灰岩からなる(図 5 参照)。溶岩・凝灰角礫岩は不規則に分布し、亀裂に地下水が胚胎して突発湧水が生じる可能性があり、凝灰岩はスレーキングが懸念された。

既往調査結果の見直しと追加調査により道路整備ルートの検討を行った結果、左岸側ルートの方がトンネル延長では約 300m 長くなるものの、その他の項目で有利な点が多く、コストについてもほぼ同等であるとの検討結果となった。このため、左岸側ルートに変更した。

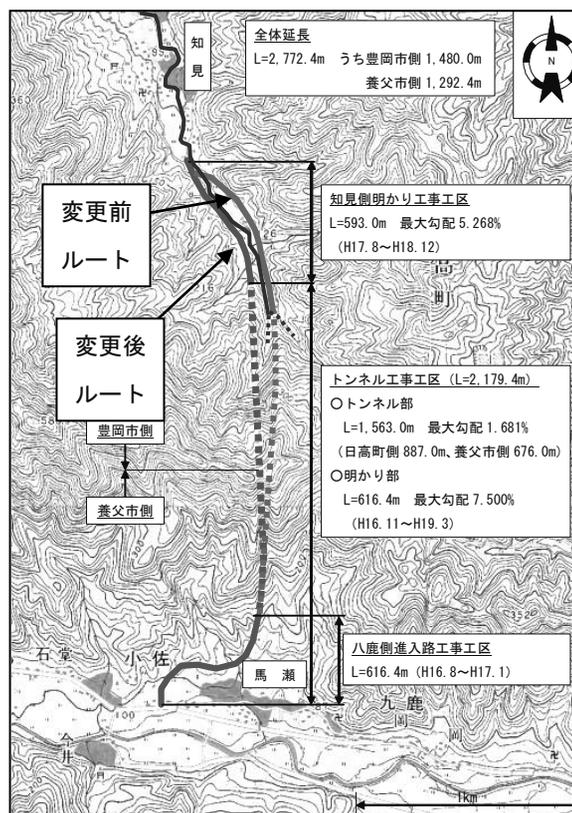
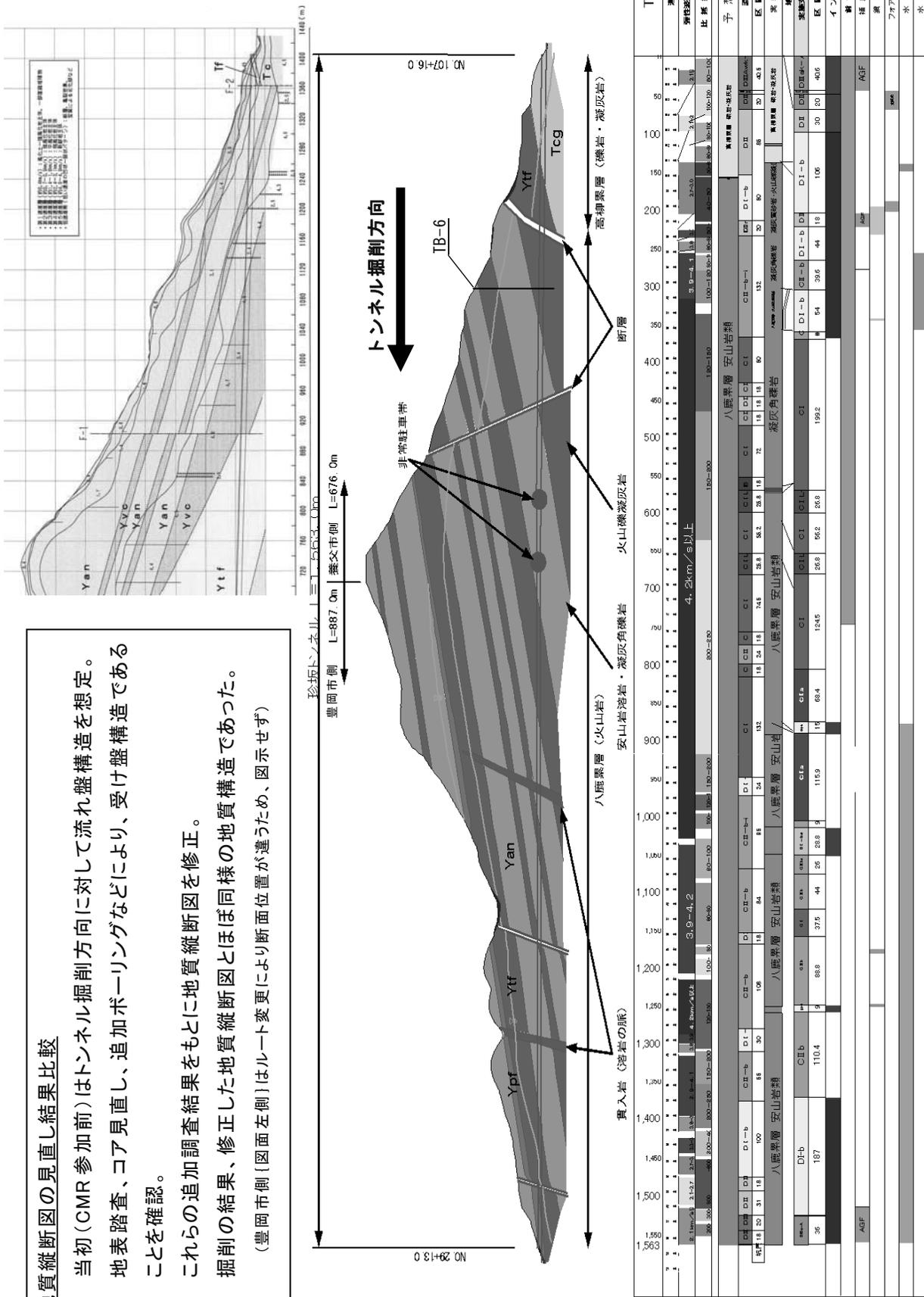


図 4 道路ルートの比較結果図

地質縦断面の見直し結果比較

- ・ 当初(CMR参加前)はトンネル掘削方向に対して流れ盤構造を想定。
- ・ 地表踏査、コア見直し、追加ボーリングなどにより、受け盤構造であることを確認。
- ・ これらの追加調査結果をもとに地質縦断面を修正。
- ・ 掘削の結果、修正した地質縦断面とほぼ同様の地質構造であった。

(豊岡市側[図面左側]はルート変更により断面位置が違いため、図示せず)



(2) 地山区分の変更

CMR は概略調査段階の成果を確認した後、地質確認のための補足踏査、ボーリングコアのチェック、弾性波探査の再解析を実施した。コア鑑定の際には通常の地質判定の他に、NEXCO の切羽判定基準に基づく「切羽判定と同じ基準による強度・風化変質・割目間隔・割目状態の評価」を行い、施工時の切羽評価点を考慮した地山評価を実施した。また、不連続面の確認のため追加ボーリング(TB-6)を実施した。これらの結果、トンネル掘削方向に対して流れ盤と想定されていたが受け盤構造であること、不連続面の傾斜が判明して前後の地下水状況が確認できたこと、などの成果を得ることができた。これらの結果と弾性波探査および比抵抗探査の再解析結果との相関を考慮してトンネル施工レベル付近の地山区分を見直し、支保パターンを再検討するよう設計業者に指示した(図 5 参照)。

3. データ収集分析

トンネル掘削工事の際には、CMR の地質技術者が切羽観察をもとに切羽評価点による判定をほぼ毎日実施した。また、一定期間ごとに前方探査を実施し、その解釈も施工業者と共同で実施した。事前調査で断層による地下水対策が必要と想定された箇所では切羽前方への水抜ボーリングを実施し、地下水による工事遅延のリスク低減を図った。

日々の支保パターンに関する判断は基本的に発注者より CMR に委任されており、CMR から発注者に事後報告する形式を採用したため、判断に要する時間を短縮することができた。発注者としての技術的な裏づけは、有識者を含む委員会(トンネル技術検討部会)に定期的に報告して判断していただくことで担保した。

これらの対応の結果、図 6 に示すように、設計時→施工時の支保パターンについて大幅な乖離を発生させることなくトンネル掘削を完了することができた。

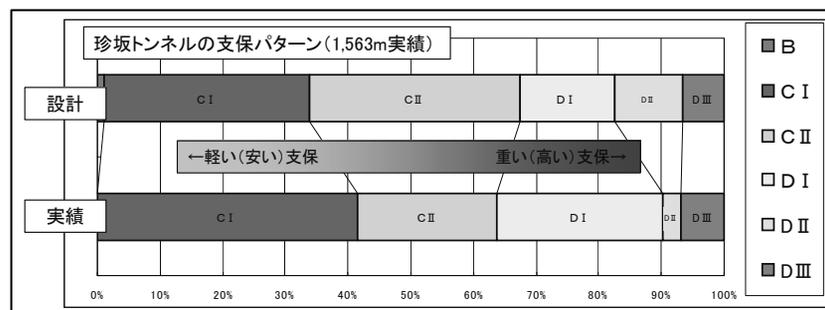


図 6 本トンネルにおける支保パターンの推移

4. マネジメント効果

調査～設計時点で支保パターンの大幅な乖離を発生させないように検討を実施し、施工時には日々の施工管理を確実に実施したことにより、大幅な支保パターンの変更を発生させることなくトンネル掘削を完了することができた。これにより、工期は当初よりも約 1 ヶ月短縮することができた。

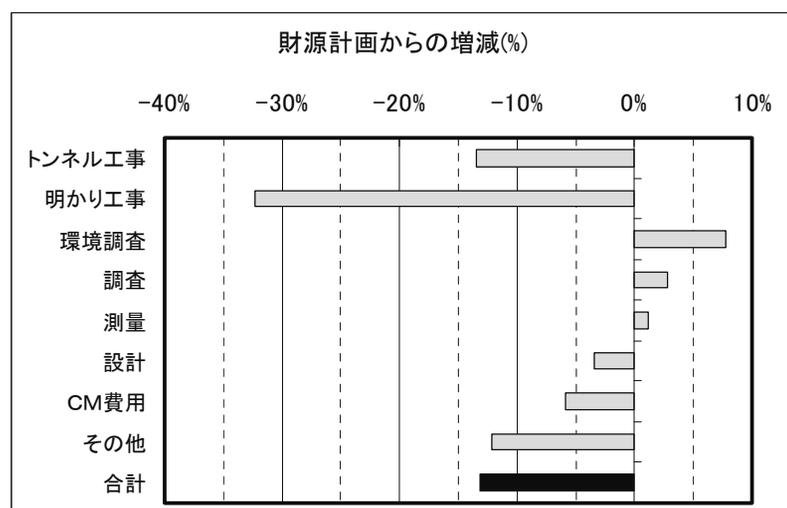


図 7 全体事業費 計画と実績の比較

また、トンネル工事の金額については契約時と比較して約 0.3 億円減額できた(図 7 参照)。

一般的にトンネル工事では工期、工費とも増加傾向であるが、いずれも当初想定範囲を超えることなく無事に計画内に収めることができたことから、本事業における監理は成功したと考えている。

5. データ様式の提案

本事業で地質に関するリスクの軽減および回避にあたって最も有効だったのは、同じ地質技術者が調査段階から施工管理段階まで一貫して携わった点である。トンネルを理解した地盤コンサルタントが CMR として事業に一貫して関わった結果、調査・設計時と施工時の支保パターンの乖離が極めて少なくでき、また各段階における成果を次の段階に確実に伝えることができた。切羽評価点を用いることでその伝達はより円滑にできた。これにより、発注者が満足できる成果を得ることができたと考えている。

今回トンネル調査～施工に対して行った内容は一つ一つを取り上げれば決して斬新な手法や最新の技術を駆使したものではなく、これまで地盤コンサルタントとして業務に携わる中で適用してきた手法を用いてその結果を積み上げていったに過ぎない。その経験を通じて、地盤に関する評価がコストや工期の重要な部分を占めている事業(トンネル、斜面、軟弱地盤などの施工)であれば、品質管理および積算に関するノウハウを持つ人の協力を得ることによって各種マネジメント業務を十分に代行、補助できることを実感した。

表 2 本事業におけるデータ様式への記入(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	兵庫県豊岡市(日高町)・養父市(八鹿町)
	工事名	知見八鹿線道路整備事業
	工種	トンネル工、盛土工、調査工など
	工事概要	2 車線の道路整備事業(全長 L=2,772m)、うちトンネル区間 L=1,563m、
	①当初工事費 (トンネル工事契約時)	<財源計画時> 全体事業費:3,809 百万円 うちトンネル工事:3,044 百万円 <トンネル工事契約時> 全体事業費:3,354 百万円 うちトンネル工事:2,667 百万円
	当初工期	H16.11~H19.3(トンネル工事)
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	トンネル掘削時
	予測されたトラブル	支保パターンが重くなることによる工期遅延、工費増大
	回避した事象	設計支保パターンと実績支保パターンの乖離を防止、突発湧水による切羽崩壊防止
	工事への影響	地質技術者が毎日切羽観察を実施し、各種調査結果の解釈などを行って迅速な支保選定および補助工法の決定を実施。これにより円滑な施工監理を実施。

リスク管理の実際	判断した時期		CM 業務開始時 (H15.12)
	判断した者		CMR
	判断の内容		火山岩地山の設計時と施工時の支保パターンの乖離を少なくすることが工期遅延および工費増大の防止に役立つと考え、事前調査を追加して、支保パターンの見直しを実施した。
	判断に必要な情報		トンネル中央付近の地質分布状況および地下水分布状況。
リスク対応の実際	内容	追加調査	トンネル中央部における鉛直ボーリングの追加。地表踏査の実施。
		修正設計	詳細設計業者に変更した地山区分を渡すことで対応。
		対策工	なし
	費用	追加調査	ボーリングおよび比抵抗探査:1,348 千円 (当初計画からの増額分のみを計上) 地表地質踏査:0 円 (CMR の業務の範囲内で実施)
		修正設計	なし
		対策工	なし
		②合計	1,348 千円
変更工事の内容	工事変更の内容		-
	③変更工事費		全体事業費:3,307 百万円 うちトンネル工事:2,635 百万円
	変更工期		H16.11~H19.2(トンネル工事)
	間接的な影響項目		
	受益者		兵庫県豊岡市(日高町)・養父市(八鹿町)
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)		全体事業費:46 百万円 トンネル工費費:32 百万円
	工期		トンネル工事の工期 1ヶ月短縮 事業の工期厳守
	その他		

引用文献

- 1) 三宅和志(2002): トンネル事前設計における弾性波速度評価に関する研究, 山口大学大学院工学研究課修士論文
- 2) 木村正樹, 岡部幸彦, 鳥居敏, 一幡和之, 安田徹(2006): 火山岩地山トンネルの建設における評価点法の活用, トンネル工学報告集 16, 83-90
- 3) 木村正樹, 櫻井春輔, 一幡和之, 廣瀬榮, 神谷信毅(2007): 地方自治体における CM 方式による道路トンネルの施工, トンネル工学報告集 17, 167-174
- 4) 宮下心(2007): 地方自治体における CM 方式を活用した道路整備事業, 近畿地方整備局, 平成 19 年度管内技術研究発表会
- 5) 鳥居敏, 木村正樹, 石澤伸彰, 岡部幸彦(2008): CM(コンストラクション・マネジメント)方式による道路整備事業の結果と考察, 応用地質技術年報No.28, pp43~60

1. 事例の概要

本事例は、延長約 3.6km の道路改築事業の工事中に発生した地すべりを要因とした地質リスクに対し、発生したリスクを最小限に回避した事例である。

当該道路改築事業では、工事が進むにつれて各所で地すべりが発生した。地すべりについては当初からある程度のものは想定していたが、発生した地すべりは予期しないものであった。さらに、橋梁起点側でも工事中に予期せぬ地すべりが発生したことから、計画ルート周辺の再踏査を行ったところ、地すべりの疑いがある地形が多数存在することが判明した。これらが地すべりであった場合、計画ルート建設に重大な影響を与えることが予測されたため、未改築区間の約 1.3km 区間の工事を中断し、同時に設置した学識経験者から構成される地すべり対策検討委員会に諮問し、検討結果に基づいて工事を再開した。

一般に、道路改良工において予期しない地すべりはしばしば発生するが、今回の事例は、未改築区間約 1.3km 区間に分布が予想される地すべりの性状・規模を明らかにした上で計画ルートの妥当性を再評価することでリスクを最小限に回避できたものである。

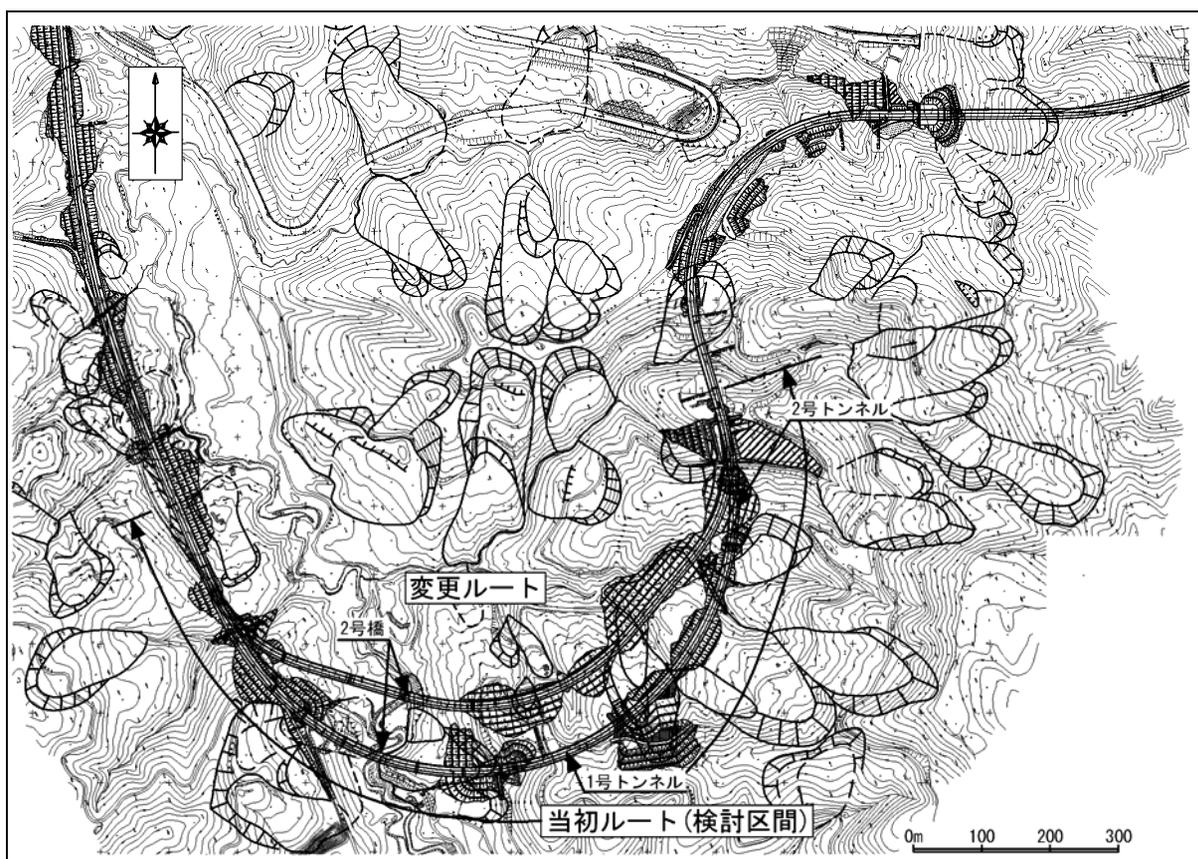


図 1 改築工事ルートと地すべり

2. 事例分析のシナリオ

工事中断までに発生した地すべりは、既存資料では地すべり地形との認識がない、あるいは段丘面と認識されていたが、再踏査では地すべり地形の疑いがあると判断された。このため、工事再開に向けては、当該区間に分布する地すべり地形の把握と、地すべりに対するリスクを最小限に回避するために広範囲に詳細調査を行うことが重要と判断された。

地すべり地形の把握を目的とした調査としては、空中写真撮影と図化を行った上で精度の高い写真判読や地表踏査を実施した。その結果、対象地の段丘面のほとんどは地すべり地形であることが判明した。また、地すべり詳細調査として実施したボーリング調査の進行に伴い、本地域の地すべりは古第三紀の泥岩に挟在する凝灰岩薄層をすべり面とすることが判明したため、凝灰岩に着目した調査を詳細に行い、全体の地すべり像を把握することに努めた。

地すべりの全体像把握後、計画ルートと地すべりの関係を整理すると、表 1 に示すように計画ルートで工事を再開するよりも、平面線形は悪くなるがルート変更を行った方が橋梁箇所の地すべりを回避できるほか、トンネル工を土工に変更するなど地すべりの影響は少なくなり、施工の安全性や経済性からルート変更を行う方が優位であるとの判断となった。

表 1 ルート比較案

		当初ルート	変更ルート(採用案)
延長(m)		1,300	1,200
最小曲線半径(m)		390	200
最急縦断勾配(%)		4.5	4.3
橋長(m)		365	278
No.1トンネル(m)		221	—
No.2トンネル(m)		120	—
道路工(延長一構造物)		594	922
概算直接 工事費 (百万円)	道路工	446	397
	橋梁工	2,549	1,893
	トンネル工	1,021	—
	対策工	4,660	3,940
合計		8,676	6,230

3. データ収集分析

本事例では、工事中断後の追加調査、設計費について発注者から情報収集を行ったほか、当初ルートの決定経緯や工事中断後の地すべりの評価、比較ルートの概算工事費などは地すべり対策検討委員会でまとめた報告書^{1) 2)}から情報を得ることができた。

4. マネジメント効果

本事例におけるマネジメントの有無によるリスク低減効果は、次のように見積もることができる。

$$\begin{aligned} & \text{当初ルートに対する} \{ (\text{概算直接工事費}) + (\text{追加調査費}) + (\text{修正設計費}) \} \\ & - [\text{変更ルートに対する} \{ (\text{概算直接工事費}) + (\text{追加調査費}) + (\text{修正設計費}) \}] \end{aligned}$$

表 2 に示す当初ルートおよび変更ルートの概算直接工事には、工事中断後の調査によって判明した地すべり対策の概算工事費を含んでいる。変更ルートに対する追加調査費および修正設計費は実際の対応なので算出可能であるが、当初ルートに対する追加調査費および修正設計費は想定となる。

当初ルートに対する追加調査は、変更ルートに対する調査費の一部に相当し調査期間の前半に実施しているが、これを厳密に算出することは困難であるため調査期間前半の業務委託費を計上した。修正設計費は、橋梁延長および地すべり対策の工種、箇所数から業務委託費を推定した。

表 2 マネジメント効果

	追加調査費・修正設計費			概算直接工事費		
当初ルート 比較区間L=1.3km	追加調査(想定)	地質調査解析	228	当初ルート 比較区間L=1.3km	道路工	446
		橋梁実施設計	109		橋梁工	2,549
	修正設計(想定)	対策実施設計	42		トンネル工	1,021
		合 計(百万円)	151		地すべり対策	4,660
					合 計(百万円)	8,676
変更ルート(採用案) L=1.3kmを1.2km に短縮	追加調査(実績)	地質調査解析	452	変更ルート(採用案) L=1.3kmを1.2km に短縮	道路工	397
	修正設計(実績)	予備設計	34		橋梁工	1,893
		道路実施設計	29		トンネル工	
		橋梁実施設計	81		地すべり対策	3,940
		対策実施設計	56		合 計(百万円)	6,230
		合 計(百万円)	200			

5. データ様式の提案

本事例では、リスクを回避しなかった場合（当初ルート）でも、工事を再開するために追加調査や橋梁、地すべり対策の設計費が発生するため、C表原案のデータ項目について費用欄を追加したほか、リスクを最小限に回避した場合の工期欄も追加した（表の網掛け部分）。

C表記入の留意点としては③および④の対策工欄に、改築工事の概算直接工事費を記入している点である。

本事例のように単独の工事ではなく、改築事業の一部区間を対象にルート変更を行った事例に対するマネジメント効果を算出するには、概算直接工事費、追加調査費、修正設計費についてリスクを最小限に回避した場合と回避しない場合それぞれについて比較できるデータ様式となっていることが望ましいと考える。なお、本事例のような場合は、タイプ分けとしてはA型（地質リスクを回避した事例）としても扱うことができるため、今後は事例のタイプ分けが明確となるような定義付けを行う必要があると考える。

表 3 C表修正案への記入

大項目		小項目		データ
対象工事	発注者		北海道 札幌土木現業所	
	工事名		札幌夕張線改築事業	
	工種		道路工、橋梁工、トンネル工、地すべり対策工	
	工事概要		延長3.6kmの改築事業の内、未改築の1.3km区間	
	①当初工事費			
	当初工期			
発現したリスク	リスク発現現象	リスク発現時期		工事中断後の再踏査時
		トラブルの内容		当初ルート上に地すべりの疑いがある地形が多数存在する
		トラブルの原因		地形図の精度不足や段丘地形との誤認
		工事への影響		再開後の工事中断
	追加工事の内容	追加調査の内容		
		修正設計内容		
		対策工事		
		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			
間接的な影響項目				
負担者				
最小限に回避したリスク	リスク回避事象	予想されたリスク発現時期		工事再開後
		予想されたトラブル		地すべりによる橋梁の変状、斜面や路面の変状
		回避した現象		工事の中断および、供用後の橋梁ならびに道路の変状
		工事への影響		工事の中断、対策工の検討・施工
		判断した時期		工事中断後
	リスク管理の実際	判断した者		地すべり対策検討委員会、コンサルタント技術者
		判断の内容		約1.3km区間のルートを変更
		判断に必要な情報		地質情報(地すべり地形の分布、地すべり機構および、すべり面の強度パラメータ) 地すべり対策を含む当初ルートの概算工事費、変更ルートの概算工事費
	リスク対応の実際	内容	追加調査	地すべり調査・解析・対策検討
			修正設計	ルートの予備設計(比較設計)、ルート変更による道路実施設計、橋梁実施設計、地すべり対策実施設計
			対策工	ルート変更
		費用	追加調査	452百万円(実績)
			修正設計	200百万円(実績)
			対策工	6,230百万円(概算直接工事費)
	③合計		6,882百万円	
	変更後工期		約5年	
	回避しなかった場合	工事変更の内容		地すべり対策工の追加
		費用	追加調査	228百万円(想定)
			修正設計	137百万円(想定)
			対策工	8,676百万円(概算直接工事費)
			④合計	9,041百万円
		④変更後工事費		
変更後工期		約7年		
間接的な影響項目		供用開始の遅れ		
受益者		管理者、利用者(地域住民)、納税者		
費用④-(①+②+③)		2,173百万円		
リスクマネジメントの効果	工期		約2年	
	その他		-	

引用文献

- 1) 北海道札幌土木現業所 札幌夕張線改築工事地すべり対策検討委員会報告書 2003
- 2) 北海道札幌土木現業所 札幌夕張線改築工事地すべり対策に関する総括報告書 2008

[論文 No. 6] 地盤の特徴にあわせた地盤調査の必要性

(地盤リスクは人為的なもの?)

○基礎地盤コンサルタンツ(株) 九州支社 田上 裕
九州大学 理事 副学長 落合英俊
東京電機大学 理工学部 教授 安田 進
西日本高速道路(株) 技術部上席専門役 前田良刀
九州大学 大学院工学研究科 教授 安福規之
福岡県飯塚県土整備部 道路維持課 右田隆雄
基礎地盤コンサルタンツ(株) 九州支社 白井康夫

1. はじめに

リスクをコントロールする方法として、保有・削減・回避・転嫁する、などがあげられる。地盤リスクの削減にあたって良く推薦されるのが、調査量を増やす方法である。ただし筆者らは、調査量を増やしても必ずしもリスクが削減されるとは考えていない。それは地盤リスク要因として地盤の特徴に合わせた調査を実施していないことが予想され、実際にそのような事例が多く見受けられるためである。地盤の特徴に合っていない地盤調査では、如何に数量を増やしてもリスクは回避できず、不経済な設計となる場合もあり得る。逆に、地盤の特徴に合わせた調査を実施すれば、合理的な設計ができる可能性が多い。ただし地盤の特徴を判断し、精度良く地盤定数を得るには地盤技術者の力量に左右されることが多い。当報文では2件の事例を基に、地盤の特徴に合わせた調査を実施したことで地盤リスクを低減し、どの程度のコストが実際に縮減されたかを定量的に示す。

2. 鋭敏比の高い超軟弱粘土地盤での高架橋基礎杭の設計例

N 値がゼロ、含水比 $W_n=100\sim 150\%$ 、液性指数 $I_L=1.0$ 以上、鋭敏比 S_t が 30 程度というように、極めて軟質で層厚も厚い粘土地盤での高架橋基礎杭の設計例を以下に示す。

(1) 地盤の特徴を無視した地盤定数の設定

上記のような軟弱地盤が表層から厚く分布する場合、一般には杭の水平抵抗で杭本数が決定される場合が多い。設計箇所の数地点で実施された孔内水平載荷試験で得られた変形係数 E_b と、一軸圧縮試験 E_{50} を深度で整理したものを図 1^{1), 2)} に示した。この図の横軸は E_b や E_{50} に道路橋示方書³⁾ でいう「 $\alpha=4$ 」を乗じた値 ($E=\alpha E_b$, αE_{50}) としている。この図より、 E_b の平均値 ($500\text{kN}/\text{m}^2$) は E_{50} の最低値 ($1500\text{kN}/\text{m}^2$) の $1/3$ 程度である。このように得られた調査結果および地盤データをもとに、設計者は、①孔内(原

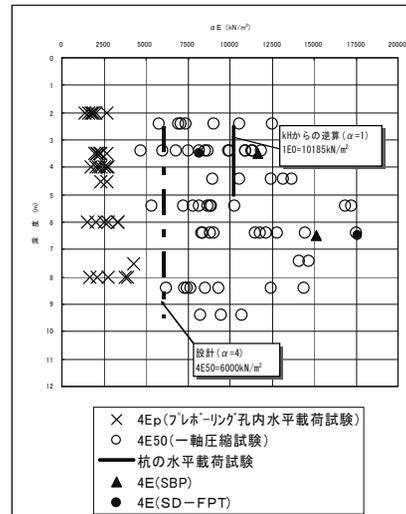


図 1 E_0 の深度分布および実杭の水平載荷試験で得られた実測値¹⁾

位置)で得られた値であるので E_b は信憑性が高い, ②小さい方の地盤定数を用いた方が設計上は安全側となる, ③ E_{50} と E_b の両者があれば従来は必ず E_b を用いている, などの理由で $E_b = 500\text{kN/m}^2$ を設計値として採用していた。

ただし, 当地区の地盤の特徴は, 「鋭敏比が 30 と非常に高く, かつ N 値がゼロの超軟弱粘土地盤」である。このような地盤においては通常のプレボーリングタイプの孔内水平載荷試験では, 図 2²⁾のようにどうしても応力解放の影響を受けるので, E_b は過小評価されている場合が多い。言い換えれば, 当地盤の特徴には孔内水平載荷試験は適用性が低いといえ, いわゆる地盤の特徴に合っていない原位置試験ということができよう。

(2) 地盤の特徴を考慮した設計値と実杭での事後確認

ここで, E_{50} の最低値 (1500kN/m^2) と E_b の平均値 (500kN/m^2) を設計値とした場合には, 図 3²⁾のように基礎の大きさや杭本数が異なり, E_b を設計値にすると E_{50} を採用したときに比べて, 38%ほど工費が高くなる。当地区では最終的には発注者も交えて種々協議し, E_b では図 2 の影響が大きい, 道路橋示方書³⁾では E_b と E_{50} は同等に扱われている, 何でも安全側とする必要はない, などの理由で E_{50} の最低値が設計値として採用された。

後日, 設計値の信憑性を確認するために実杭の水平載荷試験が実施され, それで得られた変形係数 E (10185kN/m^2) を αE_b や αE_{50} と合わせて図 1 に示している。この図より, E_b の平均値では過小評価過ぎることがわかる。なお, 従来の設計はこのような超軟弱地盤でも孔内水平載荷試験の E_b で設計されており, 如何に地盤の特徴と調査方法のマッチングが疎かにされていたかが想像される。

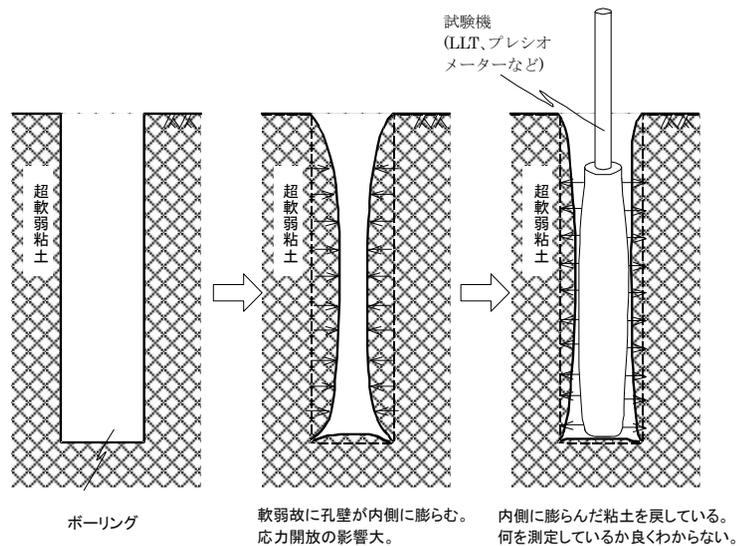


図 2 軟弱地盤での孔内水平載荷試験時の応力解放の影響²⁾

(a) 孔内水平載荷試験の $E_b=500\text{kN/m}^2$ を採用した場合 工費(1.38)	(b) 一軸圧縮試験で得られる $E_{50}=1500\text{kN/m}^2$ を採用した場合 工費(1.0)
杭長 $L=18.5\text{m}$, 杭本数 $N=8$ 本	杭長 $L=18.5\text{m}$, 杭本数 $N=5$ 本

図 3 E_b , E_{50} を採用した場合の設計試算²⁾

3. 互層地盤における海上連絡橋基礎杭の設計例

新北九州空港は 2006 年に開港された海上空港である。本事例は、この空港への連絡橋を対象に、合理的な設計を行なうために技術委員会（地盤基礎工部会）⁴⁾が組織され、その中で経験豊富な調査技術者と設計技術者が対等の立場で、地盤の特徴に合った調査・設計方法および地盤のモデル化を考えていったことにより、結果として N 値設計や岩盤への支持に比較して、大幅なコスト縮減を達成した事例である。なお、以下の (1) から (4) を作成する際には、委員会報告書⁴⁾をかなりの部分に渡り参考として作成した。

(1) 地盤の特徴と地盤リスク

当計画ルート上の地層は図 4 のように示され、非常に起伏に富む中生代の三郡変成岩類(片岩)を基盤とし、その上位に堆積年代が 20 万年以前の砂と粘土が複雑な互層状を呈す洪積層が厚く分布し、層厚 10m 程度の軟弱な沖積粘土層がほぼ水平に堆積する。図 4 を得るには平成 3 年から 7 年の最終調査までのボーリング本数が 66 本（延べ 3,299m）となり、全橋長に対するボーリング密度は単純計算で 1 本/114m である。その中の海上橋部は 1 本/50m となり、高い調査密度となった。このように高い密度の調査となった背景には、洪積地盤の地層連続性の複雑さ、基盤層の深度及び起伏の激しさ、などによる確固とした地盤情報の把握の難しさによるところと、地盤の力学的情報の精度を上げることによって、結果として地盤工学の視点を反映した、より経済的で合理的な設計・施工が可能となるとする二つの考えがあった。

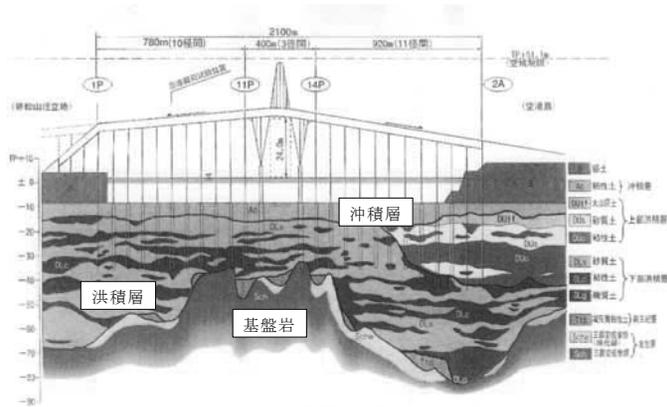


図 4 地質縦断面図⁴⁾

このように高い密度の調査となった背景には、洪積地盤の地層連続性の複雑さ、基盤層の深度及び起伏の激しさ、などによる確固とした地盤情報の把握の難しさによるところと、地盤の力学的情報の精度を上げることによって、結果として地盤工学の視点を反映した、より経済的で合理的な設計・施工が可能となるとする二つの考えがあった。

このような地盤で構造物基礎（鋼管矢板井筒基礎）を設計する場合、重要と考えられるのは、支持層の選定と支持力の評価である。当地区の場合は基盤岩が深くかつ傾斜に富んでいたために、経済性を考慮してなるべく上層の洪積層に支持させたかったという経緯がある。この洪積層を粒度分布で砂と粘土に判別し、砂層を DLs 層、粘土層を DLc 層に分け、各々の N 値の深度分布を図 5 に示した。図-5 より N 値は深さ方向にも直線増加または減少の傾向が見られず、それは水平方向にも同様である。また、この洪積層は粘性土と砂質土の複雑な互層から成り、水平方向、鉛直方向の連続性にも乏しい。

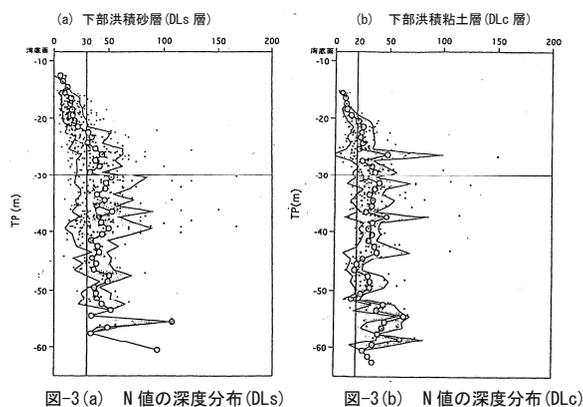


図 5 洪積層の N 値の深度分布図

ここで、道路橋示方書³⁾で言われている支持層（砂層、砂礫層は概略 N 値が 30 以上、粘性土層は概略 N 値が 20 以上）、という観点から眺めると N 値は大きくばらついているものの、砂層・粘土層ともに T.P.-30m 以深では N 値は安定しつつあることが伺える。ただし、この深度以深を支持層として杭の設計を実施するには、次に示す問題点（地盤リスク）が存在した。

- ① 完全な支持杭とみなすのは難しいことから、洪積層での杭の周面摩擦力を正確に評価する必要がある。
- ② この洪積層の特徴として、複雑な互層地盤であることがあげられ、1m 離れると、また1m 深度が変わると地層が変化するくらいの複雑さであった。
- ③ 通常摩擦力はN 値で求められるが、鋼管の打ち込み杭では砂質土と粘性土で5 倍の差があるために、こういう地盤の場合は土質判別（砂か粘土か）の誤差がかなり大きい。

(2) 周面摩擦力推定式の提案

このような互層状の不均質な地盤を対象として鉛直支持力を求めるには、地盤の種別にあまり左右されない合理的な予測方法が求められる。この考え方を反映したモデル化の方法として、ここでは有効応力に基づく強度定数(c', φ')を基礎としたモデル地盤の作成を選択した。この背景には、実際に行った膨大な室内三軸試験や土質調査の結果を無駄にせず、直接的に活用することが、結果として経済的で合理的な設計につながるという考えがあった。

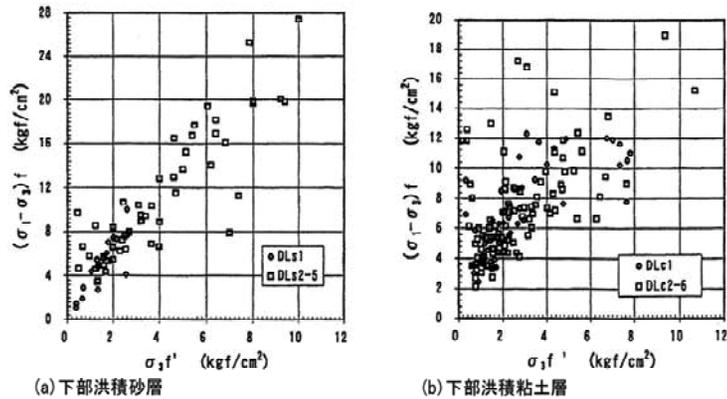


図6 下部洪積砂層と粘性土層の(σ1-σ3)f と 3f の関係

実際にDLs とDLc層とでは図6に示されるように、強度定数(c', φ')に有意な差はなく、強度定数における土質の種類による違いは特に認められなかった。

打込み鋼管杭の開端先端支持力は、支持層付近での閉塞の程度に大きく依存し、破壊メカニズムも変化する。本橋の場合も、支持層付近での閉塞効果の程度を明確に把握し、底面積に対する先端支持力度として評価することは困難であると予想され、そこで図7に示すように支持層以深での杭内周面摩擦力を設計上の杭先端支持力と見なすことを考え、このとき本橋では、地盤のc', φ'を用いて次式にて周面摩擦力度进行评估することとした。

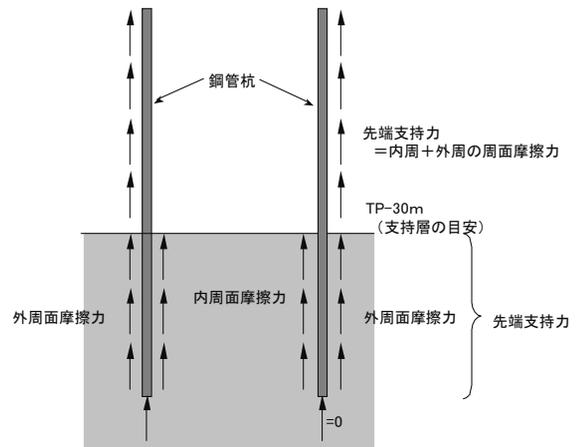


図7 先端支持力の仮定

$$f = c_{\delta} + K \sigma v' \tan \delta \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

- f: 周面摩擦力度(kN/m²), c_δ (=c'): 付着力(kN/m²), c': 有効応力表示の粘着力(kN/m²),
- K: 側圧係数, σv' (=γ'z): 有効上載圧(tf/m²), δ (=2/3 · φ'): 壁面摩擦角(度),
- γ': 水中単位体積重量(kN/m³), z: 各層の中心までの深さ(m),
- φ': 有効応力表示の内部摩擦角(度)

なお、式中の各パラメータは、種々の試験で決定したがここでは省略する。

(3) 実杭を用いた載荷試験による確認

当該地盤は基盤岩が深いため、経済性、施工性の観点から下部洪積層を支持層と想定して、設計を進めてきた。ただし、予想した極限支持力が得られるかどうか確認しておく必要がある。そこで、原位置での杭の支持力特性を把握すること、提案した支持力式の適用性を検討すること、設計時の支持力安全率の低減を図ることを目的として、実杭での静的鉛直載荷試験を12Pと22Pの2ヶ所で実施した。図8は12Pと22Pで、載荷試験で得られた極限支持力（杭先端沈下量が杭径の10%以上の沈下量となる荷重）と提案した式(1)より求めた極限支持力を比較したものである。図8から読み取れるように、12P、22Pともに全体の極限支持力、先端支持力、周面摩擦力は実測値と計算値はよく一致しており、提案した予測式の適用性は良好と判断される。図9は、22Pでの全外周面摩擦力を試験値、提案式(1)および道路橋示方書³⁾によるN値での推定式による計算値の比較をしたものである。図9より提案式(1)は試験値にかなり近い(86%)が、N値による推定では過小評価される傾向が読み取れる。

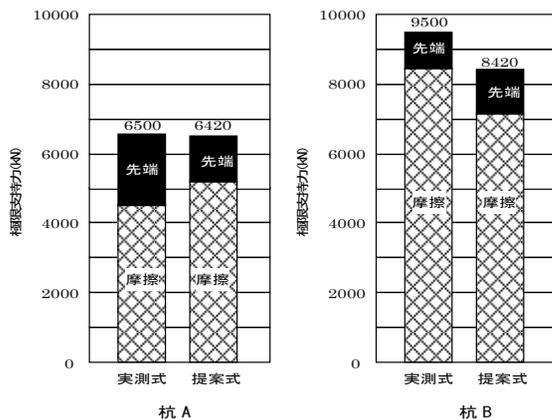


図8 載荷試験結果と提案式による支持力

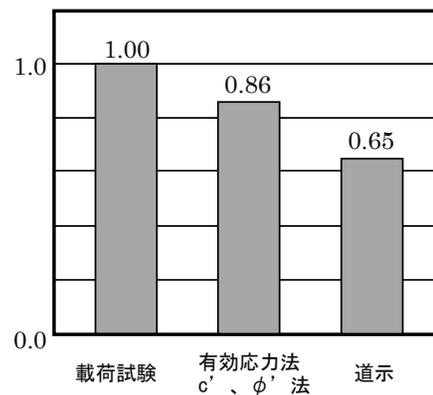


図9 周面摩擦力の比較

(4) コストの比較

橋梁基礎の設計を実施するまでには、かなりの量のボーリング、室内土質試験、現位置試験を行ったことになる。ここで、実際にこれだけの量の調査・室内力学試験が必要だったのか、また基盤岩に支持させればもっと少ない調査量で済んだのでは、という反論があるかも知れない。そこで、①岩盤に支持、②N値で設計して洪積層に支持、③今回の c', ϕ' 法で洪積層に支持、という種類で、調査費、施工費を簡単に比較したものが表1である。表の中の調査費は、予備調査はどの考え方を採用しても同様と考えられたので、詳細調査費で比較した。また詳細調査の中でもボーリング本数については、提案式の場合は基本的に1橋脚に対して1本のボーリングであるが、①、②の場合、当地区のように基盤岩の起伏が激しいと、1橋脚あたり2~4本のボーリングが必要になる場合が多い。そこで、平均的に1橋脚あたり2本のボーリングで計算した。

結果的には、①、②の場合は、サンプリングや室内土質試験費は殆ど必要ないものの、ボーリング本数や深度が増えるために、杭の鉛直載荷試験を除いた地盤調査費は①、②、③で殆ど差がないものとなっている。また、岩盤に支持させる場合は施工費では杭長が長い分費用は高くなり、提案式の方がトータルでは37%ほどのコスト縮減となっている。またN値で設計した場合も提案式と同じ洪積層に支持させるとはいえ、杭長が長くなるので、その分費用は高くなり、提案式の方が約20%ほどコスト縮減となっている。

表 1 杭の設計施工に関する各種工費の比較

項目	岩盤に支持		N 値法 (中間層に支持)		c', φ' 法 (中間層に支持)		
	内訳	費用 (千円)	内訳	費用 (千円)	内訳	費用 (千円)	
調査・試験費	ボーリング調査	2,898m(各ピア 2 本)	188,350	2,898m(各ピア 2 本)	188,350	2,217m	140,235
	サンプリング		0		0		18,181
	室内土質試験		0		0		50,141
	孔内水平載荷	c', φ' 法と同等と仮定	11,543	c', φ' 法と同等と仮定	11,543		11,543
	実杭の載荷試験	必要なし	0	必要なし	0	12P,22P の 2ヶ所, 破壊まで実施	188,206
	小計		199,893		199,893		408,306
施工費	材料および施工費	平均深度 60m 1~24P	28,060,800		21,195,000	平均深度 30.5m 1~24P	17,400,000
合計			28,260,693		21,394,893		17,808,306

4. さいごに

地盤の特徴に合わせた調査試験の重要性を説明し、そうすることにより合理的な設計が可能となりコストが低減された 2 つの事例を示した。なお、実際の設計では設計技術者が地盤調査結果より自分の判断で設計用の地盤定数を設定（または結果に示されている妥当性を判断）して、設計されることが殆どである。ただし、調査技術者と設計技術者の欠点は表 2 に示されるように、調査技術者は調査精度が設計結果に与える影響に関してはあまり範疇がなく、その結果関係ない部分に関して精度を追求する、などが良く見受けられる。逆に設計技術者は調査結果に対しての精度や適用範囲が範疇にないので、地盤定数を最も安全側に設定し、結果として不経済な構造物を作ってしまう、などのことが現実に良く見られる。故にこれらを防ぐには、地盤の特長に合わせた調査を実施することはもちろん重要であるが、まずは調査と設計（+発注者）が融合（よく協議し合う）していくことが一番必要であろう（その頭に「良質な」という言葉が必要であるが）。それが地盤リスク（設計リスク？）の削減に対して、最も手っ取り早くかつ効果的な方法と筆者らは考える。

表 2 調査と設計技術者の欠点

	弱点	その結果・・・
調査	<ul style="list-style-type: none"> 設計に必要な地盤定数に対する要求精度。 調査精度が設計結果に与える影響。 	<ul style="list-style-type: none"> 精度を上げる項目が不明で、関係ない精度を追求する。 調査結果がどこに役立っているか不明。
設計	<ul style="list-style-type: none"> 地盤定数を自分が必要とする精度で得る方法。 得られた調査結果に対する精度や適用範囲。 	<ul style="list-style-type: none"> すべてに渡り調査結果は適用できる。 N 値のみの柱状図さえあれば良い。 地盤定数は安全側の値を使えば良い。

【参考文献】

1) 白井康夫・田上裕：杭の水平抵抗を求めるための地盤調査（地盤の特徴に合わせた調査・試験の必要性），基礎工 38-6，pp33-36,2010.6. 2) 田上裕：基礎の計画と選定に必要な地盤調査（調査と設計が一体となって機能するには），基礎工 30-7，pp35-39,2002.7. 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，2002.3. 4) 新北九州空港連絡橋設計施工委員会：新北九州空港連絡橋 委員会報告書，pp17-100,2007.7.

[論文 No. 7] 中小規模の斜面掘削作業を伴う工事における労働災害の防止対策の提案

(独)労働安全衛生総合研究所 伊藤和也, 豊澤康男
 東京工業大学 竹村次朗 日下部治
 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会

1. はじめに

土砂崩壊による労働災害は、主に斜面掘削や溝掘削などの掘削工事において発生しており、年間約 20～30 件の死亡災害が発生している。これらの土砂崩壊による労働災害は、(1) 溝掘削時の溝崩壊、(2) 斜面の切取り工事中の斜面崩壊による労働災害がほとんどを占めている現状である。溝掘削工事については「土止め先行工法」などの普及により、土砂崩壊による災害が減少する等、一定の効果が表れている。しかし、土砂崩壊のなかでも斜面崩壊による労働災害は目立った減少が見られない状況であり、斜面崩壊による労働災害の防止措置の強化を図る必要があった。このため、独立行政法人労働安全衛生総合研究所では、平成 21 年 3 月から「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会」を開催し、有効な斜面崩壊による労働災害防止対策の強化を図るため、斜面崩壊による労働災害の防止措置の現状、斜面崩壊防止工法の普及状況及び問題点等を調査し、実態の分析と同種災害防止対策に関する所要の検討を行った。本報では、本調査研究会の中でも特に地盤リスクに基づいて検討された内容について概説する。

2. 調査研究会の検討結果

(1) 調査研究会の立場

本調査研究会では、斜面崩壊による労働災害の現状を受け、表-1 の委員構成による計 4 回の調査研究会および 4 回のワーキンググループを開催した。調査研究会委員の斜面崩壊による労働災害防止対策についての主な基本的な共通認識は次の 4 点にまとめられる。

1. 溝掘削時の土砂崩壊による労働災害を防止する対策と斜面掘削時の斜面崩壊による労働災害を防止する対策は大きく異なるものである。すなわち、溝崩壊による労働災害を防止する「土止め先行工法」の考え方をそのまま斜面掘削に適用することは現実的でない。斜面掘削時の崩壊による労働災害を防止する対策を新たに示す必要がある。
2. 中小規模工事で発生しているような死亡災害が大規模工事ではほとんど発生していない。大規模工事の多くでは、経験豊富な機関が地盤調査、

表-1 調査研究会メンバー (敬称略)

座 長	
日下部 治	東京工業大学
委 員	
竹村 次朗	東京工業大学
末政 直晃	東京都市大学
藤沢 和範	(独) 土木研究所
梅田 修史	(独) 森林総合研究所
舘山 勝	(財) 鉄道総合技術研究所
加藤 孝夫	東日本高速道路 (株)
川合 康文	東京都
扇原 博	横浜市
桧皮 政輝	大成建設 (株)
野中 格	(株) 熊谷組
片桐 雅明	(株) 日建設計シビル
高橋 元	建設業労働災害防止協会
別木 孝	国土交通省
高 忠敏	農林水産省
田中 敏章	厚生労働省
オブザーバー	
吉田 哲	厚生労働省
船井雄一郎	厚生労働省

設計・施工を実施するため死亡災害を回避する安全管理の仕組みが機能しているからである。しかしながら、中小規模工事では構造物を築造するための工事に付随して斜面掘削が行われることが多いため、構造物の施工にかかる作業手順や安全対策については検討されるが、必ずしも斜面崩壊に対する危険性の認識が高くない、安全管理の仕組みも十分には機能せず、結果的に災害が多くなっているのが現状と考えられる。そのため、中小規模の工事において安全管理が機能するような方策を検討し、提案することが必要である。

3. 斜面崩壊による労働災害で毎年 20～30 名の労働者が死亡している実態を鑑みると、人の命を大切にするためには、費用対効果を考慮しつつも必要十分なコストを投じて斜面工事の安全性を高めるべきである。
4. 斜面崩壊による労働災害防止対策としての関係者への教育は重要である。本報告書の内容を含め防止対策に関する知見が斜面掘削工事に係る全関係者に周知されることが望まれる。

(2) 適用対象と用語の定義

以上のような本調査研究会の認識に基づき、斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する目的、適用対象を以下のように設定をした。

1. 目的

労働安全衛生関係法令と相まって、擁壁工等工事における中小規模の斜面掘削作業又は斜面下での作業において、適切な対応をとることにより、地山の崩壊又は土石の落下を防止し、もって擁壁工等工事における労働災害の防止を図ることを目的とする。

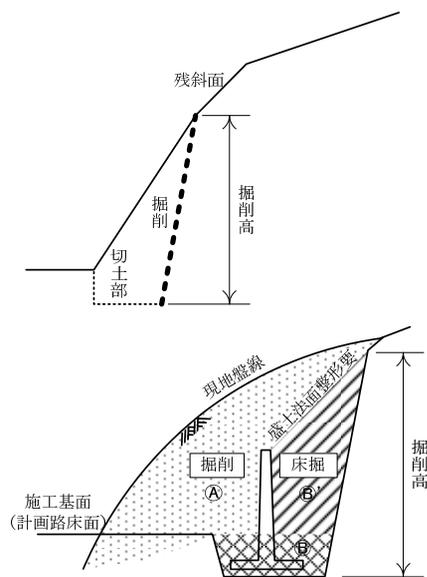
2. 適用対象と用語の定義

擁壁設置等のために中小規模の斜面掘削作業を伴う工事を対象とする。ここで、「中小規模な斜面掘削作業」とは、切土部の掘削高さが概ね 10メートル以下の斜面掘削作業をいい、掘削方法は機械掘削又は手掘りのいずれも含むものとする。(図 2 参照)

3. 斜面下での安全な施工方法

(1) 発注者・設計者・施工者の 3 者の斜面崩壊の危険性の共有化

掘削勾配は地質状況と高さによって決定されるが、斜面崩壊による労働災害が多い小規模工事では、事前にボーリング等の詳細な地質調査がされていないことが多く、施工後に地質状況が設計と異なることが判明するケースがある。そのような場合、工事を一旦止めて、設計変更や対策工を検討する必要があるが、労働災害となつたいくつかの事例の中には、危険性を正しく判断する技術力を持たない施工業者によって危険と知りつつも作業を行い被災したケースや、発注者・設計者が現場の状況を的確に判断出来ずに施工を行い被災したケース等が報告されている。



B' 領域については、実作業は「掘削」行為となるが、数量算出上は、「床掘」として算出するものである

図 2 適用対象と用語の定義

これらは、斜面崩壊の危険性を予測することが非常に難しいことによるが、発注者・設計者・施工者の相互コミュニケーション不足や現場情報の共有化が十分に機能していないことが一因として考えられる。

斜面工事は、工程やパターンが多様にあること等からハードだけに頼った対策では費用対効果を考えると難しい場合が多いことから、設計・計画・施工の各段階において適正で有効なリスクアセスメントを実施することが不可欠である。

斜面掘削工事におけるリスクアセスメント実施上の難しさは地盤内部を完全には掌握できないことにある。地盤リスクを低減するためには、まず事前の地盤調査を行的確にリスクを把握することであるが、斜面掘削では実際に掘削してみても初めて地盤の性状が明らかになることも少なくない。地盤リスクの特徴は、施工途上で新たな地盤リスクが判明するということにあることを認識し、斜面崩壊による労働災害のリスクを施工段階毎に的確にリスクを判断して必要な対策を適切に講じることによりリスクを低減させることが効率の良い安全対策だと考えられる。

設計段階で知り得なかった新たな地盤リスクが施工段階で判明した場合は、その時々で新たにリスクアセスメントを実施する必要がある、その際には、発注者・設計者・施工者の3者等の工事関係者が積極的に係わり、斜面崩壊の危険性について共通の情報を共有化することが重要である。そこで本調査研究会では、発注者・設計者・施工者の3者が斜面崩壊の危険性について共通の情報を共有化し、施工途上で判明した新たな地盤リスクに対応するための「手段」として、調査・計画・設計から施工終了までの全ての工程で掘削地山の情報を共有化する3種類の点検表を提案している。中でも、「設計・施工段階別点検表」は、調査・計画・設計から施工終了までの全ての工程での掘削地山の情報を発注者・設計者・施工者の3者が共有化することが出来るものである(図3参照)。これらの点検表によって、1項目でも該当した場合には安全性の検討を行うことにしており、斜面崩壊の危険要因の芽を早期に摘みとり、安全な施工が可能となる。

この点検表は、掘削する地山の露頭(①設計、②施工計画)、表面(③丁張り)、内部(④掘削工事中 ⑤完了時)と地山の状況が確認できる状態ごとに特に注意が必要な切土部の調査項目をチェックするためのものである。1項目でも有があれば安全性の検討を行い、安全な掘削勾配とするなど、施工の安全を確保してから次の段階に進む。

工事箇所名		有無未に○印をつける： 有=現象が有る / 無=現象が無い / 未=未確認(確認出来ない)										
位置	要因	項目	現象(確認内容)	①設計	②施工計画	③丁張り	掘削		道路土工 土質調査指針		のり面工・ 斜面安定工指針	
							④工事中	⑤完了時	特に注意が必要な切土部の調査等			
残 斜面	地形	地すべり地	亀裂、段差、等高線の乱れ等がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無	3-3-2-(3)	4-4-(7)		
		浮石転石	不安定な状況にある	有無未	有無未	有無未	有無	有無		4-4-(10)	2-3-6	
		オーバーハング	新鮮な崩落が認められる	有無未	有無未	有無未	有無	有無				
切 土 部 斜 面	地質 (土・岩質)	崩積土・強風化斜面	不均一で軟弱な土質である	有無未	有無未	有無未	有無	有無	2-3-1-(2) i	4-4-(2)	2-3-2-(3) i	
		砂質土等	特に浸食に弱い土質である	有無未	有無未	有無未	有無	有無	2-4-1-(2) ii		2-3-2-(3) ii	
		風化が速い岩	表層から土砂化する岩である	有無未	有無未	有無未	有無	有無	2-4-1-(2) ii i		2-3-2-(3) iii	
	構造	割れ目の多い岩	亀裂が多く、もろい岩である	有無未	有無未	有無未	有無	有無	2-4-1-(2) iv		2-3-2-(3) iv	
		流れ壁	流れ壁亀裂で簡単に剥離する	有無未	有無未	有無未	有無	有無	3-3-2-(6) ii		2-3-2-(3) v	
		破砕帯など	すべる可能性がある弱層がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無	3-3-2-(2)		2-3-2-(3) iv	
		湧水	地下水	多量で湧りがある	有無未	有無未	有無未	有無	有無	2-4-1-(2) v	4-4-(4)	2-3-2-(3) vi
	災害記録	凍結	凍結融解	凍結・融解が著しく起こる	有無未	有無未	有無未	有無	有無		4-4-(3)	
		斜面崩壊	斜面崩壊	近傍工事箇所で崩壊履歴がある	有無未	有無未	有無未	有無	有無	3-2-6-(1) (2)		
	掘削勾配		自立性	掘削作業で仕様の勾配が確保できない	—	—	—	有無	—			
月/日 点検者サイン				/	/	/	/	/				
施工の安全性の確保が出来ている 月/日 確認者サイン				/	/	/	/	/				

図3 設計・施工段階別点検表

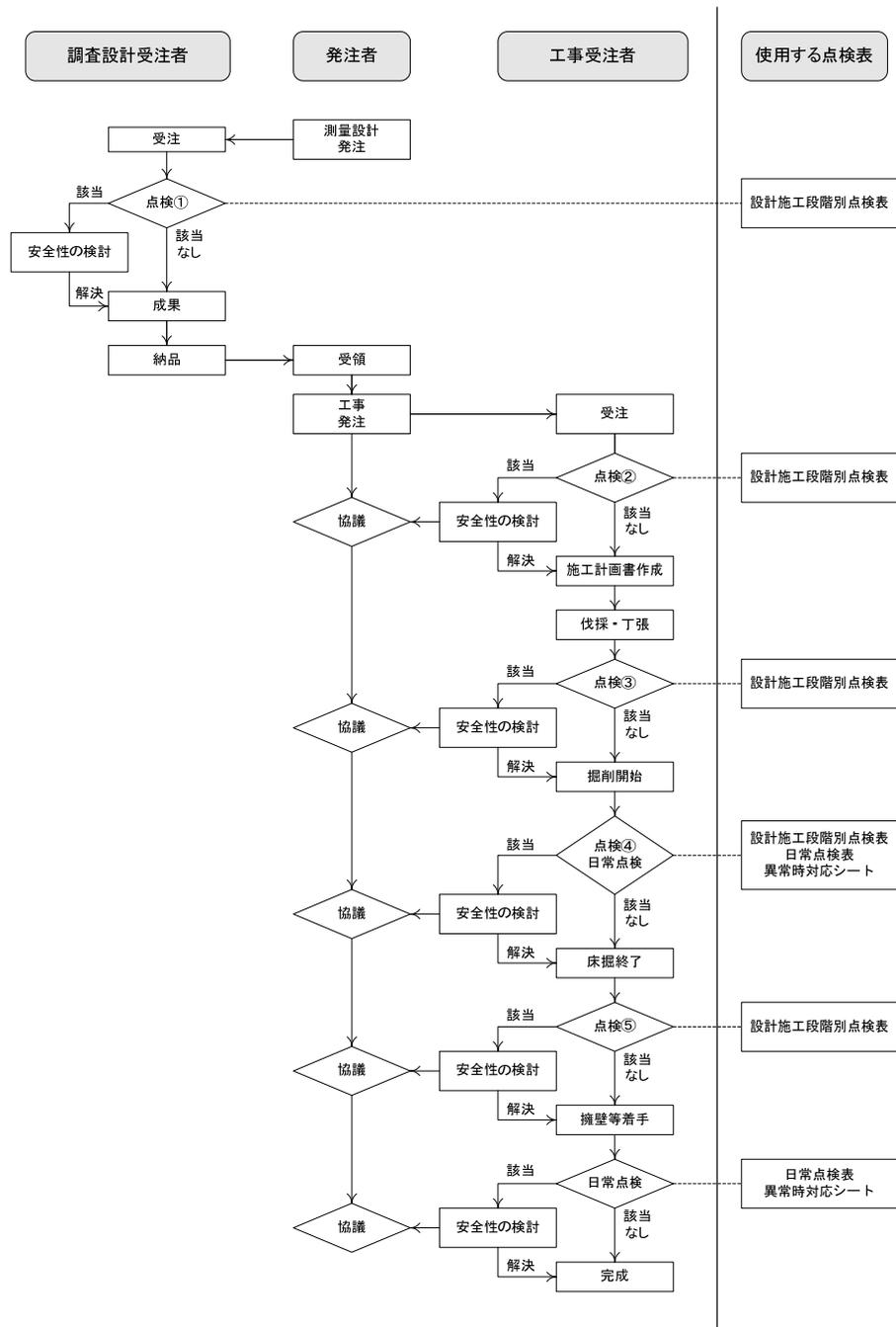


図4 適用対象と用語の定義

調査・計画・設計から施工終了までの一連の流れとそれぞれの点検表の適用箇所について図4に示すとおりである。一般に斜面崩壊による労働災害のリスクは地山に関する情報によって影響される。地山に関する情報は、表2のように工事の各段階で増加していく。そのため、地山の新しい情報が得られる各段階で、地山の状況や変状の様子を点検し、問題があれば必要な対策を適切に講じることが必要である。なお、本報告書では、斜面崩壊による労働災害が多い公共団体発注工事を主な対象としているが、民間発注工事についてもこの思想に基づいて検討することが望ましいとしている。

表 2 地山情報の経時変化

段階	地山情報	状況
①設計時	伐採前の露頭情報	草木に覆われていて、不明な点が多い（設計者の視点）
②施工計画時	伐採前の露頭情報	草木に覆われていて、不明な点が多い（施工業者の視点）
③丁張設置時	伐採後の露頭情報	草木が無くなり露頭が見えやすく地形形状も確認できる
④掘削工事	切土中の地山の状況	切土面、地山の変状を直接確認できるようになる
⑤床堀終了時	切土後の地山の状況	切土面が全て確認でき、設計時の想定地盤条件との比較を含めた工事に入る直前の安全性検討結果の妥当性を検証できる
⑥擁壁等工事	切土後の地山の状況	切土面が風雨にさらされ風化が進むなど地山が変化することがあり、その変状を直接確認することができる

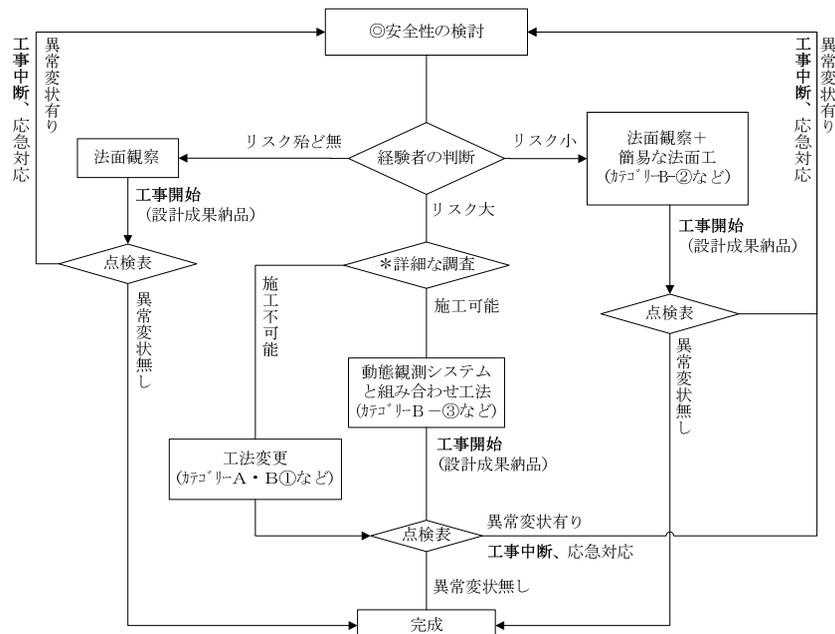


図 5 工事における安定性の検討に関するフローチャート

(2) 安全性の検討について

設計・施工段階別点検表や日常点検表では各段階において点検項目に該当する項目があれば「安全性の検討」を行うこととした。ここで「安全性の検討」とは、ボーリング等の詳細調査を行い、崩壊形態を想定し切取り斜面の安定計算を行うことが理想ではあるが、該当するか否かの判断基準が担当者の経験によることや、該当項目が必ずしも崩壊につながるとは限らないこと等から、複数の経験者の意見を聞き、詳細調査を行うか、仮設のハード対策を行うか、注意して施工するか等の判断をするものとした。安全性が確保できない場合には、工法変更などについての検討が必要となる。「安全性の検討」に関するフローチャートを図 5 に示す。

(3) ハード対策の観点・概念

溝掘削工事では掘削溝の形態・作業方法がほぼ同じであるため「土止め先行工法」で示された工法がハードの対策として有効に機能している。一方、今回対象としている斜面工

表3 ハード対策の観点・概念に相当する工法

カテゴリー	A				B				
目的	作業時に作業員が切土部の下部に進入しない、又は短時間の進入ですむ方法				斜面（残斜面と切土部）を補強する方法（変状が生じてでも避難する時間を確保し崩壊土砂が可能な限り拡散しない方法を含む）				
対策方法	A①				A②		B①	B②	B③
	吊り コヤ粹	残存 型粹	大型 ブロック	圧入機 利用杭等	吊り コヤ粹	大型 ブロック	地山補強 土工法	簡易 法面工	動態観測システムと 組み合わせた施工方法

事では、地形、斜面の高さ、湧水などの地盤条件が工事箇所毎に変化するとともに、作業工程や擁壁工等の対策工の種類に応じた掘削方法が多様にあることから費用対効果を考えると崩壊を百パーセント防止するようなハードだけの対策は難しい。そこで、斜面崩壊による労働災害を低減することを目的とするようなハード対策について、下記の観点・概念によって整理を行なった。

- A. 作業時に作業員が切土部の下部に進入しない又は短時間の進入ですむ方法
 - ①ユニット化した部材の設置で構造物を構築する方法
 - ②無人化施工により構造物を構築する方法
- B. 斜面（残斜面と切土部）を補強する方法（変状が生じてでも避難する時間を確保し崩壊土砂が可能な限り拡散しない方法を含む）
 - ①斜面を補強する方法
 - ②変形を許容する比較的簡易な方法
 - ③変形やひずみを感知するセンサー類と組み合わせた方法

上述のような観点・概念に相当する工法を表3に示す。これらの詳細について、報告書には資料集として記載されている。ただし、資料集で紹介されている工法がこれらを全て網羅しているわけではない。そのため、このような観点・概念を満足するような工法や商品を今後追加していくことが望まれる。

4. おわりに

本報では、調査研究会の中でも特に地盤リスクに基づいて検討された内容について概説した。報告書には、教育・訓練の実施や発注者の配慮等も記載されている。その他多くの課題もあるが、報告書の公開によりその思考・コンセプトが浸透した際に再度検討する必要があるだろう。

最後に、調査研究会の報告書の作成にあたり、御協力頂いた本委員会の委員各位並びにワーキンググループ委員各位に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 独立行政法人労働安全衛生総合研究所 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会：「斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会報告書」, 斜面崩壊による労働災害の防止対策に関する調査研究会, 80p, 2010.

(http://www.jniosh.go.jp/results/2010/0407/report_slope_201004_2.pdf)

[論文 No. 8] トンネル事前調査における地質情報の不確実性に起因する 建設コストの変動リスク評価の試み

(独) 防災科学技術研究所 長谷川 信介

1. はじめに

建設工事、なかでも自然地盤を相手にする土木工事においては、事前調査で予想された地盤状況と実際の地盤状況が大きく乖離し、施工段階で大幅に建設コストが増加する事態がしばしば生じている。このような施工段階における大幅な建設コストの増加は、国や地方公共団体等の財政悪化を背景に、今後は許容されなくなることが予想される。上記のような乖離が生じる原因として、複雑な地質状況、調査技術の限界、調査不足などが挙げられるが、基本的には調査結果の不確実性が顕在化することにより生じると考えられる。近年では建設コストの削減とともに調査コストの削減も強く求められるようになっており、調査コストの削減にともなう調査結果の不確実性の増大、すなわち、大きな乖離が乗じるリスクが増大傾向にあると言える。

このような状況を打開するためには、リスクをマネジメントするという考えに立ち、適切な調査を実施する必要がある。そのための第一歩として、調査結果の不確実性に起因する建設コストの変動リスク（地質リスク）を評価する必要がある。そこで、本研究では、山岳トンネルを対象に、地質リスク評価を試みた。

2. トンネルの概要

検討を行ったトンネルは、全長1.7km の2車線道路トンネルである。地質は四万十帯であり、亀裂の発達した頁岩と、砂岩頁岩互層が分布する（図1）。事前調査で行われた屈折法弾性波探査の結果では、トンネル掘削位置の弾性波速度が4.0km/s 前後と推定されたことから、地山はC I およびC II が主体と予測された。しかし、実際の地質は予測とは大きく異なり、掘削による応力解放やわずかな湧水により容易に細片化しやすい地山であり、掘削当

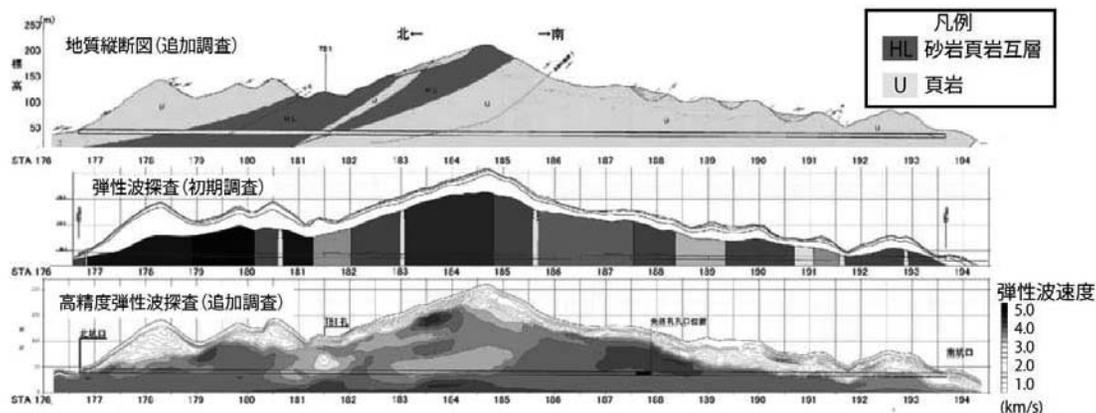


図1 地質断面図と弾性波速度分布図¹⁾

初からほとんどがD 地山であった。このため、未施工区間の地山状況を把握することを目的として、ボーリング調査（図1 に示すTB1 孔）、TB1 孔を利用した高精度弾性波探査、比抵抗電気探査が実施された。TB1 孔においては速度検層および電気検層も実施されたが、上述のように容易に細片化しやすい地山であり、ボーリング孔壁の保持が困難であったため、トンネル掘削位置を除きケーシングが挿入された。このため、速度検層および電気検層では、トンネル掘削位置付近のみ測定された。

3. 事例分析のシナリオ

本研究では、事前調査において TB1 孔のボーリング調査が実施されていた場合を想定し、そのときの地山評価について検討する。

山岳トンネルにおける事前調査は、地山分類表により行われるのが一般的である。しかし、著者らがこれまでに検討した事例²⁴⁾によると、地山分類表による地山評価では、調査の不確実性（弾性波速度の不確実性、および弾性波速度に基づく地山等級の判定における不確実性）を考慮しても、事前調査で予測された地山評価よりも実際の地山状況の方が不良地山であり、不確実性を過小評価していることがわかった。そこで、本研究では、別な手法として、コア評価点を用いた地山評価を行う。

(1) コア評価点を用いた地山評価手法

NEXCO（旧日本道路公団）では、切羽観察記録をもとに評価点をつけ、その評価点をもとに地山等級の判定および標準支保パターンを選定する手法を導入している（新切羽評価点法）。木村ほか²⁵⁾は、新切羽評価点法と同じ評価区分で事前調査における地山評価を行う手法を提案している。この手法は、ボーリングコアを用いて評価点をつけるため、コア評価点を用いた地山評価手法と呼ばれている。なお、この手法は海外で広く利用されている RMR 法に類する手法であり、日本の地山等級に RMR 法を適合させた手法と言える。

コア評価点は、ボーリングコアの圧縮強度、風化変質、割れ目の間隔、割れ目の状態を点数化し、あわせて湧水圧試験やスレーキング試験結果などにより、湧水量および水による劣化を評価し、その合計点により地山評価を行う。この合計点をコア評価点と呼んでいる。コア評価点を用いた地山評価の流れを図 2 に示す。コア評価点とボーリング孔沿いの弾性波速度との相関式を求めておく。そして、トンネル掘削位置における弾性波速度から、上記のコア評価点と弾性波速度との相関式を用いて、トンネル掘削位置におけるコア評価点を算出する。このコア評価点を用いて地山評価を行う。

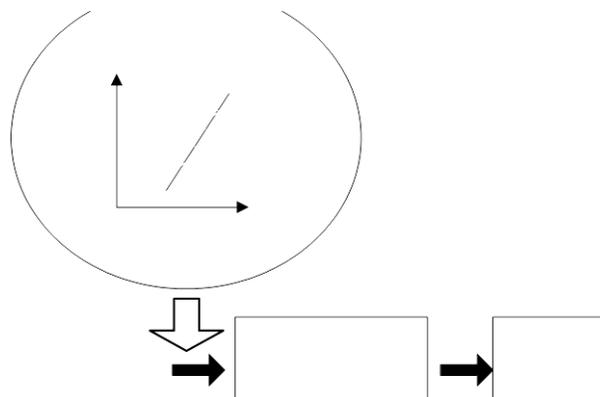


図 2 コア評価点を用いた地山評価の流れ

(2) ボーリング孔沿いの弾性波速度

コア評価点による地山評価を行うためには、図 2 に示したように、弾性波速度とコア評価点との相関式を求める必要がある。ただ、TB1 孔においては、不良地山のため孔壁が維持できなかったため検層は実施されていない。そこで、事前調査段階で TB1 孔調査が実施されたものとみなし、しかも、TB1 孔位置における高密度弾性波探査結果を仮想的に速度検層結果とすることにより、コア評価点を用いた地山評価を行った。

(3) 不確実性の要因と、その評価方法

コア評価点を用いた地山評価においては、図 2 に示したように、トンネル掘削位置において、①弾性波速度の推定、②コア評価点の推定、③地山等級の判定が行われる。そして、①～③の各段階において不確実性が内在する。そこで、各段階の不確実性の以下のように評価する。

① 弾性波速度の不確実性

大津ほか⁶⁾は、地球統計学の一手法である外生ドリフト・クリギングを用いたトンネル掘削位置における弾性波速度の推定と推定誤差標準偏差の評価手法を提案している。そこで、トンネル掘削位置において、この手法による弾性波速度の推定値 (μ)、推定値の誤差標準偏差 (σ) を持つ正規分布乱数 $N(\mu, \sigma)$ を発生させて、弾性波速度データの不確実性とした。ここで、屈折法弾性波探査結果を不確実性は高いが面的な情報を与えるものとし、屈折法弾性波探査による最下層の弾性波速度と TB1 孔における弾性波速度を確度の高い点情報として推定を行った。詳細は、大津ほか⁶⁾を参照されたい。図 3 にトンネル掘削位置における推定結果を示す。赤の実線が事前調査で実施された屈折法弾性波探査結果、青の太実線が推定値 (期待値 μ)、青の細実線が ($\mu + 1\sigma$)、青の鎖線が ($\mu - 1\sigma$) である。TB1 孔の位置では σ はゼロになっている。また、トンネル掘削位置の全体にわたり σ は概ね 1,000m/s となっている。

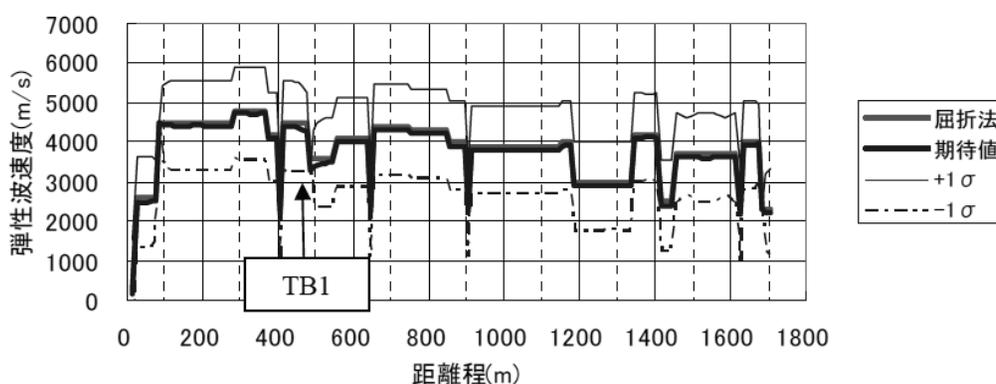


図 3 トンネル掘削位置における弾性波速度の推定結果

② コア評価点の不確実性

ボーリング孔沿いの弾性波速度とコア評価点との関係には、図 4 に示すように、ばらつきが存在する。そこで、弾性波速度とコア評価点データの近似直線を与え、そのときの推定値 (μ) と、推定値の標準偏差 (σ) を持つ正規分布乱数 $N(\mu, \sigma)$ を発生させて、コア

評価点の不確実性を与える。このときの近似式は、コア評価点 C_p 、弾性波速度 $V_p(m/s)$ 、標準偏差 σ とすると、式(1)となる。

$$C_p = 0.0079 \cdot V_p + 9.82, \sigma = 5.9 \quad (1)$$

③ 地山等級の判定における不確実性

コア評価点による地山等級の判定は、図5により行われる。図5の赤色の網掛けで示すように、地山等級においてコア評価点の一部重複する。そこで、同じコア評価点に対して異なる地山等級が取り得る場合には、0~1の一樣乱数を発生させて、0.5以上であれば良好側の地山等級、0.5未満であれば不良側の地山等級と判定することとした。

(3) 掘削コストの算定

不確実性については、(2)①で述べたように、各トンネル切羽位置(10mを単位区間とした)において期待値、推定誤差標準偏差をもつ正規分布乱数 10,000個を発生させて弾性波速度データセットを作成し、それぞれの弾性波速度に対して、②で述べた式(1)および標準偏差をもつ正規分布乱数を発生させてコア評価点を算出し、③で述べた一樣乱数により地山等級の判定を行った。こうして得られた地山等級に対して、表1に示す掘削単価をかけ、トンネル全長にわたり集計することにより掘削コストの算出を行った。なお、掘削コストの算出にあたっては、各トンネル切羽位置における掘削コストデータ(データ数 10,000 個)を降順に並べたのち、トンネル全長にわたり集計を行った。これにより、10,000 個のトンネル掘削コストデータを得た。

4. リスク評価結果と、その効果

横軸に掘削コスト、縦軸に超過確率をとったリスクカーブを図6に示す。ここで、超過確率は、掘削コストを降順に並べた時の上位からの順番をデータ数(10,000 個)で除する

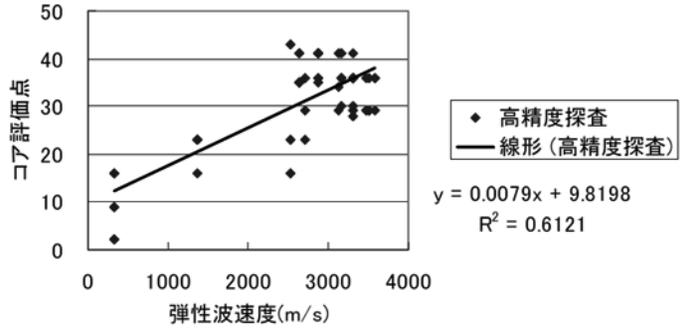


図4 弾性波速度とコア評価点との比較

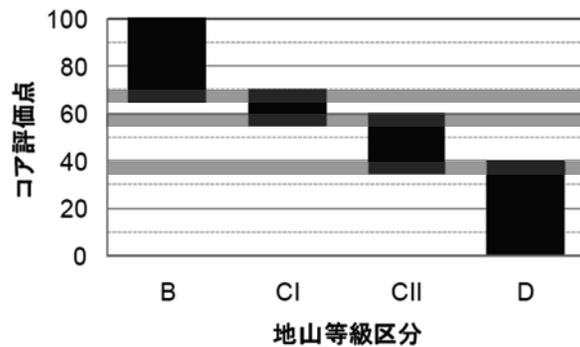


図5 コア評価点と地山等級区分の関係

表1 2車線道路トンネルに対する各地山等級区分の掘削単価⁷⁾

地山等級区分 (支保パターン)	検討に用いる掘削単価 (円/m)
B	620,000
CI	680,000
CII	800,000
D	1,280,000

※直接工事費であり、諸経費は含まない。

ことにより得られる。図7には超過確率10%、50%、90%を、それぞれ悲観シナリオ、最尤シナリオ、楽観シナリオとしたときの地山等級の分布を示す。同図には、当初設計（弾性波速度に基づく地山分類表による地山等級）と施工実績を合わせて示す。

施工実績との乖離量に着目すると、施工実績における地山評価から算出される掘削コスト21.3億円に対して、当初設計における掘削コスト14.2億円（乖離量-7.1億円）、最尤シナリオによる掘削コスト19.0億円（乖離量-2.3億円）であり、TB1孔の調査を実施すること

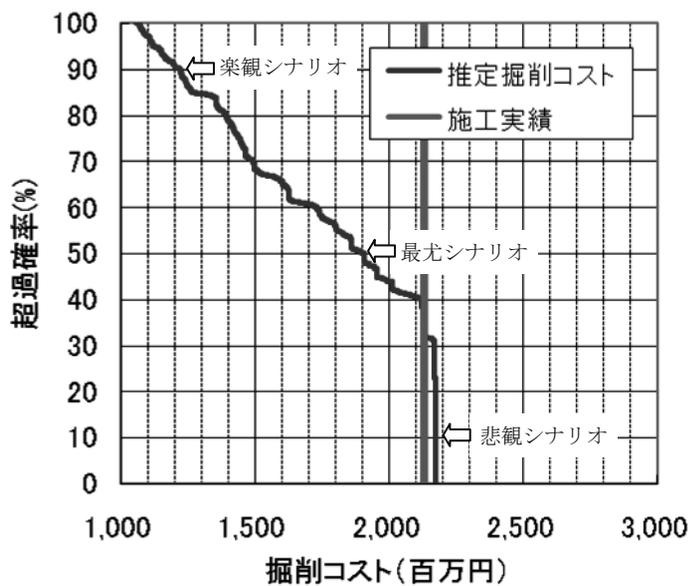


図6 リスクカーブ

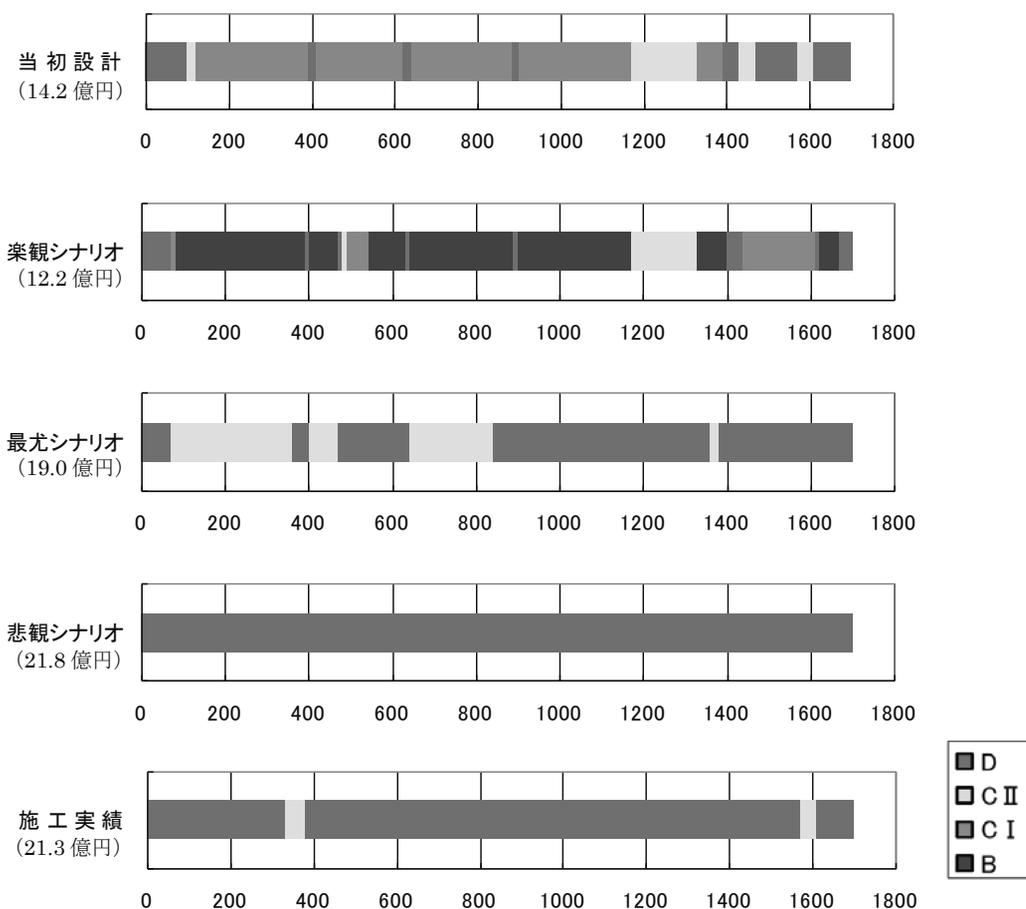


図7 各シナリオにおける地山等級の比較

により乖離量は4.8億円減少している。したがって、4.8億円がTB1孔の調査を実施したことによる効果とみなすことができる。ただ、乖離量は施工後に明らかとなるものである。これに対して、楽観シナリオと悲観シナリオによる掘削コストの評価は、事前調査の段階で可能である。楽観シナリオと悲観シナリオの設定の仕方にもよるが、1つの目安として本検討で得られた楽観シナリオ（12.2億円）と悲観シナリオ（21.8億円）が、このトンネル建設プロジェクトが抱えていたリスクと考えることができるであろう。このように、事前調査の不確実性に起因するリスクを認知することが可能となれば、リスク情報は追加調査実施の意思決定、さらには適切な調査の実施に資することが期待される。

5. 今後の課題

本研究では、地球統計学の一手法である外生ドリフト・クリギングをベースとした統計的リスク評価を試みた。ただ、地球統計学は一種の空間内挿補間法であり、局所的な異常箇所（たとえば断層破碎帯など）に対しては平滑化した評価をしてしまう。このことは、危険側のリスクの過小評価につながる。元来、工学の分野ではリスク＝発生確率×損失量として利用されることが多く、トンネル建設工事においても、難工事（すなわち大幅なコスト増）を生じる不良地山の検出は、リスク評価を行う上で重要な課題となっている。このような局所異常をどのようにリスク評価に取り込んでいくかが今後の課題である。

また、本研究で提示したリスク評価指標は1つの考え方であり、しかも1つの事例での検証である。このため、多くの事例による検証が必要となる。そのためにも、事例データの蓄積が必要である。

引用文献

- 1) 長谷川信介・大津宏康：山岳トンネル事前調査における地山予測の不確実性の評価、第37回岩盤力学に関するシンポジウム論文集、pp.7-12、2008.
- 2) 長谷川信介・木村正樹・杉田理・村岡直：電気探査とボーリング孔を利用した弾性波探査の併用による地山評価精度の向上、第32回岩盤力学シンポジウム、pp.257-262、2003.
- 3) 長谷川信介・大津宏康：山岳トンネルの事前調査段階における地質リスク評価に関する研究、第12回岩の力学国内シンポジウム、pp.141-146、2008.
- 4) 長谷川信介：山岳トンネル事前調査における地盤リスク評価に関する研究、応用地質技術年報、No.29、pp.79-94、2009.
- 5) 木村正樹、杉田理、大塚康範：評価点法を用いた事前調査による地山評価と施工、土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集、第11巻、pp.87-92、2001.
- 6) 大津宏康、坂井一雄、長谷川信介：屈折法弾性波探査を用いた山岳トンネルにおける地山区分推定手法に関する研究、材料、Vol.56、No.9、pp.820-827、2007.
- 7) NATM積算研究会編：NATMの施工と積算、(財)経済調査会、2006.

1. はじめに

シンガポールでは、1970年代後半からの急速な経済発展に伴い大規模公共工事や地下掘削を伴う建築工事が増加し始め、1983年に始まった地下鉄建設工事から大規模掘削工事が飛躍的に増えた。掘削工事の大型化と複雑化に伴い、トンネルの陥没や山留壁の崩壊などの重大事故から周辺住宅の亀裂、道路の沈下、地下埋設物の破損などの小規模損傷まで、地盤に関係する事故は現在も後を絶たない。これら事故の責任は、発注者、設計者、施工業者が応分に負うべきものであるが、その分担割合が極めてあいまいであり契約書や仕様書でも明確にできていないのが実情である。工事にかかわる仕様書では、予見できない地盤の変化による設計変更は認められているのだが、経験ある施工業者でも予見できない事象という付則があるため、発注者と施工業者の間で延々と論争が起こり短期間で決着をみないため、結果として施工業者が事故防止策を施しておき、後で設計変更を請求（クレーム）することが一般的であった。ところが、発注者が経験ある業者という付則を盾にクレームを承認しない事例が増えたため、施工業者は回収できない支出を避けるため適切な処置をせず無理をして工事を進め、重大事故につながったケースも発生した。

近年のシンガポールの公共工事では過去の重大事故や多大な労力を費やすクレーム処理を経て、事故の回避とクレーム処理の円滑化を目的として Geotechnical Baseline Report (GBR) を導入するようになってきた^{1)、2)}。GBRには、地質、地層構成、土質定数など一般的な地盤調査報告書に記載される内容に加え、想定される地質や地盤に関するリスク（ここでは地質リスクと総称）とその対処方法が記載される。それに基づき発注者と施工業者が地盤について予め共通認識を持ち、GBRに記載された地質リスクについては既知のものであるという認識で施工業者が費用を分担し、GBRに記述のない事象を予見できない事象として発注者が設計変更を認め費用を負担するというものである。本報告はシンガポールで導入されている GBR を地質リスク管理という視点から紹介するものである。

2. 事例にみる地質リスク

シンガポールの地下鉄工事では、工事の進捗に合わせて予期しない地盤状況が出現し、事故や頻繁な設計変更が発生した。1983年に施工が始まった第1期地下鉄工事で施工業者が設計変更分をクレームする根拠にあげた予期できない地盤条件には以下のようなものがあつた^{3)、4)}。

- 1) 予期しなかった場所に軟弱粘性土で覆われた溺れ谷があつた

- 2) 透水性の高い砂層が予想外の場所に出現した
- 3) 花崗岩の風化残積土の強度が予測より低かった
- 4) 地層 A と地層 B の境界が予測された位置より大きくずれていた
- 5) 地層 C に含まれる砂岩ボルダーの強度が予測されたものより高かった
- 6) 地層 C に含まれる砂岩ボルダーの大きさが予測よりはるかに大きく、また含有割合も予測より多かった

上記の予期できない地盤条件は、トンネルの陥没、周辺構造物の変状、山留壁の過大変形、大幅な工法変更と工期の遅延などの原因となり、施工業者は多額のクレームを行った。

これらのクレームについて発注者と施工業者は、それが“経験のある施工業者”でも予見できたかできなかったかについて延々と議論を続け、多大な労力を費やしたのである。シンガポールの公共工事ではまだ寡聞にして知らないが、周辺国や民間業務では双方が合意に達せず、クレームが仲裁や訴訟にまで発展するケースをよく耳にする。

3. GBR の導入

シンガポールの GBR は、当初設計変更クレームを低減するという目的で導入された。そのため GBR の記載内容には明確な根拠が必要であり、工事中に遭遇する実際の地盤状況と比較評価ができるベースライン（基準）の役割を果たすと規定されている。地盤に起因するクレームが発生した時のベースラインとし、GBR に記載があれば施工業者の負担、なければ発注者が負担するという意味である。

クレーム対応としての役割に加え、GBR 導入には、複数の入札業者に地盤について同じ情報を提供し共通認識のもとで工事費を積算させ、公正で有効な入札を行う狙いもあった。入札業者間の地盤解釈の違いによって、仮設工やトンネル掘削方法がまったく異なったものとなり、入札金額が倍半分も開く入札が発生したこともあったからである。

2009 年発注の地下鉄工事ダウンタウンライン 3 設計業務では、設計コンサルタントが GBR に相当する Geotechnical Interpretative Baseline Report (GIBR) を作成することが義務付けられた。シンガポールでは、プロジェクトや発注官庁によって GIBR、GIR、GBR など異なる呼称を用いるケースがあり、混乱を避けるため本稿では GBR とする。

発注者は地盤調査を地盤調査会社に別発注し、結果のみをまとめた地盤調査報告書 (Factual Report) が設計コンサルタントに提供される。設計コンサルタントに所属する地盤工学技術者はこの報告書を基に GBR を作成する。過去のプロジェクトでは地盤調査の質と量が根本的に不足していたという反省もあり、地盤工学技術者は、GBR を

完成するために必要なら地盤調査を追加提案できることになっている。

地下鉄ダウンタウンライン3の仕様書では、GBRに以下の項目を記載するよう規定している。

- 1) サイトの地質、土質および岩盤分類
- 2) 各種地盤定数
- 3) 最低限必要な地盤工学的設計定数とその設定根拠
- 4) 想定地層断面図、特に沖積層と基盤層の境界コンター図と断層・褶曲は必ず記載すること。地層境界は変動幅を表示すること
- 5) 各地層のコンター図、表示形式は発注者の許可を得ること
- 6) 概念的な仮設工法、施工方法、および施工に必要な地盤改良工法の提案
- 7) 提案した仮設工法と施工方法により発生する地盤と地下水の挙動予測
- 8) 提案した仮設工法と施工方法を基にしたリスク抽出、リスク解決策、危険要因（ハザード）の抽出
- 9) 仮設および永久構造物の設計施工で遭遇する危険な状況の明示
- 10) 抽出したリスクを処理する方法の提案

上記項目のうち、1)～5)は通常的地盤調査報告書に記載される地盤の解釈と設計地盤定数の提案であり、6)と7)は仮設設計と地盤解析である。特筆すべきリスク関係の記述は8)～10)で規定している。

4. GBRによるリスク管理

シンガポールでは過去の工事、設計、事故などの事例を発表する学会やセミナーが頻繁に開かれているので、第2章で紹介したような過去の予期できない地盤条件は既知の事象として最近のGBRでは特定されているはずである。さらに、抽出したリスクについての対処法の記述も要求されているので、GBRはベースラインだけでなくリスクアセスメントやリスク管理マニュアルとしての役割も担っていることになる。

リスクアセスメントには、地下鉄工事影響圏内の既設構造物の基礎の設計図書や施工記録の収集、基礎形式不明の場合の試掘確認、FEMによる掘削解析、解析で沈下や変形が許容値を超える構造物の構造計算、対処法の提案が含まれる。

地下鉄東北線の地下鉄駅の建設工事では、深度30mの掘削が行われたが、乗降客の多い既設地下鉄駅と運行中のトンネルに近接した工事であったため、厳格な安全管理・リスク管理が求められた⁵⁾。

設計段階において山留壁の設計を兼ねてFEMを用いた掘削シミュレーションを行い、地盤と地下水の挙動予測、山留壁の変形量、周辺構造物の変位量、地下水位・間隙水圧変化、切梁反力などを算出した後、計測機器ひとつひとつに管理値を設定した。

表 1 は、動態観測値に応じたリスク段階ごとに提案した対策案である。

表 1 動態観測管理値に応じたリスク段階と対策

リスク段階	動態観測管理値	対 策
第 1 段階	設計値の 70%	計測の増強、バックアナリシスと設計の見直し
第 2 段階	設計値の 100%	掘削工程の見直し、切梁の補強と追加
第 3 段階	限界値	掘削停止、埋め戻し

(注) 設計値は、切梁軸力を例にすれば、FEM 掘削解析で求まる切梁反力であり、限界値は切梁に使用した鋼材で決まる数字である。

工事では掘削開始からまもなく切梁軸力が設計値に達したため、表 1 のリスク管理計画に従い、図 1 に示すように切梁段数を追加することになった⁶⁾。

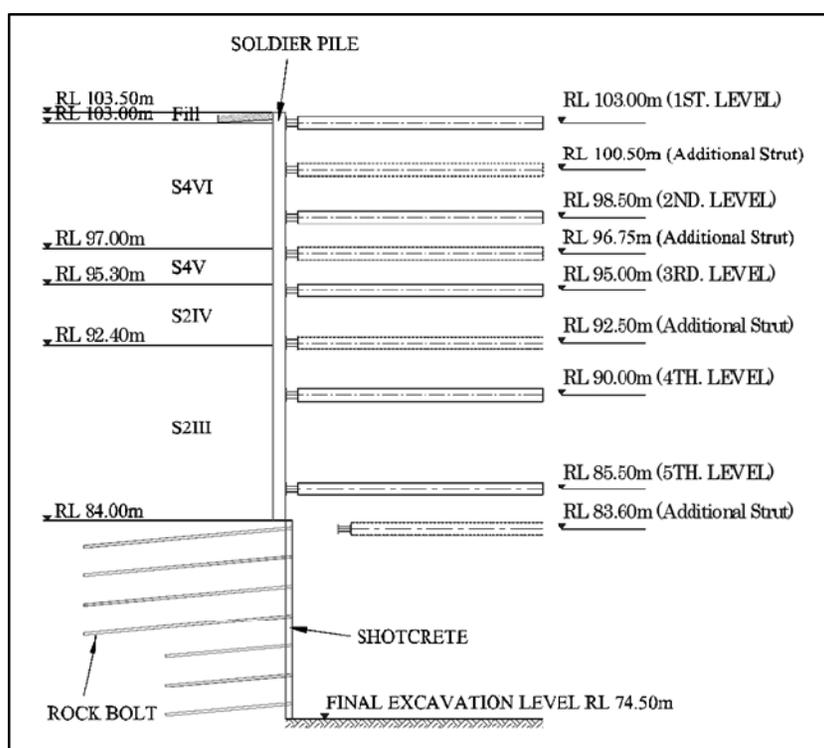


図 1 切梁の追加 (Additional Strut)

このプロジェクトは、デザインビルド (DB) であり、GBR の作成と仮設山留壁の設計は施工業者に雇われた地盤工学コンサルタントが担当した。そのため、施工中の地

質リスクに対する責任は、施工業者とそのコンサルタントに帰することが明白であるとともに、これまで経験したことのない異常な土圧（ベースラインを超えた土圧）が観測されたことで設計変更も容易に認められるはずだという判断のもと迅速に対応し、切梁や腹起しの破損、山留壁崩壊などの重大事故を起こさずに済んだ。

5. まとめと今後の展望

GBR は入札書類の一部として入札に参加する施工業者に提供される。入札業者は入札時に限り GBR の内容に異議を申し出ることが可能であり、修正後いったん合意すれば GBR は契約書類の一部となる。DB で発注される場合の GBR は施工側の地盤工学コンサルタントが作成し、発注者と発注者側コンサルタントが照査した上で契約書類の一部となる¹⁾。当初 GBR は設計変更クレームの低減を目的として発注者側の利益を守ることを主眼として導入された。その後、公共工事での重大事故を契機として、地質リスクの抽出と対処法の明記が加えられた。これは GBR がクレーム時のベースラインとしてのみ利用される単なる契約文書にとどまらず、施工中のリスク管理マニュアルにまでその役割を進化させたもので、工事中のリスク管理に役立っている。

シンガポールでは年々 GBR の重要性が増しており、プロジェクトのバイブルとも呼ばれるようになってきた。図 2 に示すように学会やセミナーにおいて GBR に関する特別セッションを設け、GBR の記述例、遭遇した地質リスクとリスクマネジメント、GBR の利用適用方法の紹介などを行い啓蒙、知識の共有と記載内容の改良が加えられている。発表の中には、GBR の工事保険への適用を論ずるものもある。

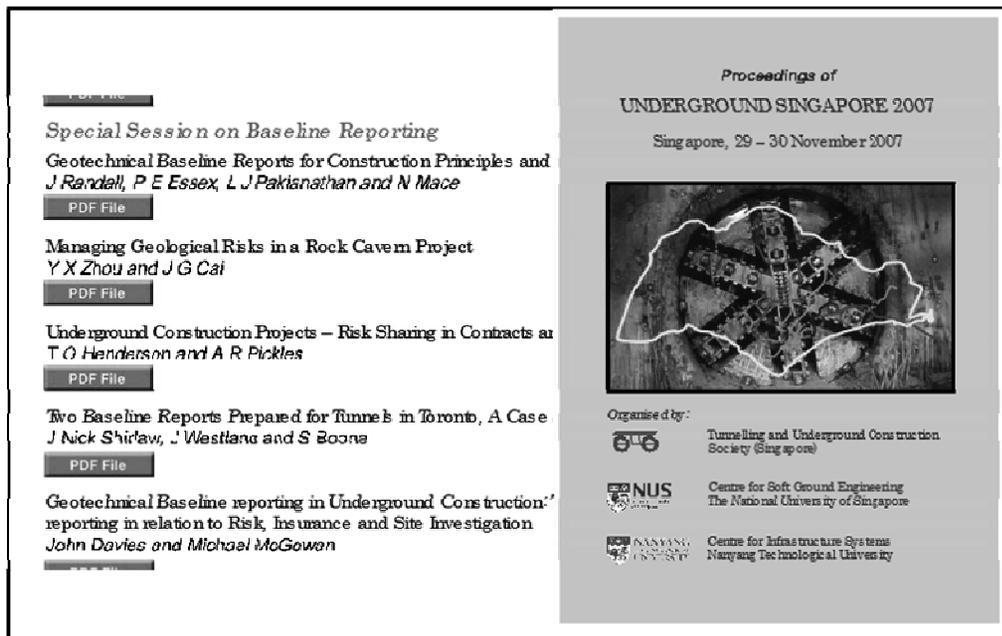


図 2 Underground Singapore 2007 学会での GBR 特別セッション

昨今、日本国内では設計や施工の瑕疵責任問題が大きく取り上げられているが、地質リスク事例で報告されているように予期せぬ地盤状況に遭遇することも多く、責任が誰に帰するか明確でない場合も少なくないように思う。日本国内にも GBR を導入することで、発注者、設計者、施工業者間の責任が明確化され、さらには施工中のリスク管理にも大きく寄与することが期待される。

6. 謝辞

本稿の作成に当たり貴重な助言をいただいた基礎地盤コンサルタンツ（株）の藤堂博明氏および岩崎公俊氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩崎公俊・折原敬二：Geotechnical Baseline Report (GBR)について、地盤工学会誌 57-5、2009.
- 2) 地質リスク学会/社団法人 全国地質調査業協会連合会共編：地質リスクマネジメント入門、p.175、2010.
- 3) 足立格一郎・藤堂博明：海外での地盤エンジニアの役割、地質と調査、1997年1月号.
- 4) 足立格一郎・藤堂博明：海外プロジェクトにおける発注者・請負者間のクレーム問題処理、土木学会論文集、No.588/VI-38、1998.
- 5) 折原敬二：シンガポールの地下鉄、土木学会誌 Vol.90 No.2、2005.
- 6) K.Orihara, M.L.Chan, K. Chabayashi, S. Okamoto, Phillip Teo, G. G. Tan : Excavation of New Dhoby Ghaut Station for MRT North East Line, Underground Singapore 2001

[論文No. 10]

名古屋港西五区耐震強化岸壁（-14m）築造工事における栈橋杭の根入れ長の変更

（独）港湾空港技術研究所 菊池 喜昭

（株）地盤試験所 西村 真二

1. 事例の概要

名古屋港の西五区に-14mコンテナ船用の栈橋式の耐震強化岸壁が計画され建設された。本工事においては栈橋式岸壁の支持杭の根入れ深度の設定にあたって、杭支持力の詳細な検討を経て杭の載荷試験を実施することにより、大きな経済的な効果と事前に地質リスクの解消を実現した例である。

2. 事例分析のシナリオ

名古屋港西五区の地盤条件は、上部は軟弱な沖積粘性土層、NP-40m付近に5m前後の中間砂層、その下は洪積粘性土で、NP-68mに支持層となる砂層がある。

この地盤条件における栈橋式の岸壁の当初設計はNP-70mまで根入れするものであったが、杭の支持力が過大設計となることから、NP-40mの中間砂層に止めることの可能性が検討された。中間砂層に打ち止めるに際しては杭の支持力不足によるリスクが問題となった。

中間砂層における開端鋼管杭の先端支持力を様々な方法で検討した結果、Meyerhofの方法によるものが最も低い値となり、この値でも必要な支持力をギリギリで満足することがわかった。

工費については杭の打ち止め深度をNP-70mとNP-42mとで比較した結果、350本の支持杭に対して鋼管杭の材料費で約7億円、施工費で約3億円の差であった。

これらの検討を踏まえて、中間砂層で打ち止める方針とし、ただし、支持力不足のリスクを避けるために事前に中間砂層で打ち止めた杭に対し載荷試験を実施し、実杭によって支持力性能を確認することとなった。

載荷試験においては相対的に中間砂層が薄い地点で杭先端条件が開端と十字リブをつけたもの、中間砂層が厚い地点で先端開端のものを試験した。試験方法は反力杭を必要としない急速載荷試験で実施した。試験の結果、中間砂層において所定の支持力が得られ実杭による支持力性能が証明された。試験費用は約1億円であった。

これにより、当初設計と比較して大きな経済効果が得られるとともに支持力不足のリスクも回避することができた。なお経済効果については本工事に隣接する工区についても同様の設計が採用されさらに大きなものが得られた。

本工事の計画から杭の根入れ長設定のフローを図-1に示すとともに以降で詳細について述べる。

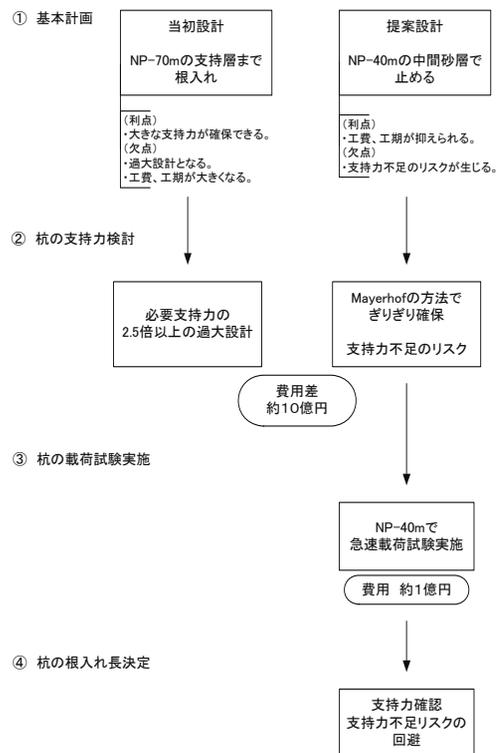


図-1 支持杭の根入れ長設定フロー

3. データ収集分析

(1) 当初設計

杭をNP-68mの支持砂層に根入れする場合の栈橋断面を図-2に示す。この断面による鋼管杭の支持力を港湾基準等によって計算すると極限支持力は海側列杭で29,376kN、陸側列杭で30,679kNとなった。それらを設計荷重と比較した結果を表-1に示す。表によるとこの設計においては必要な支持力に対して2.5~5.0倍の過大設計となることがわかった。

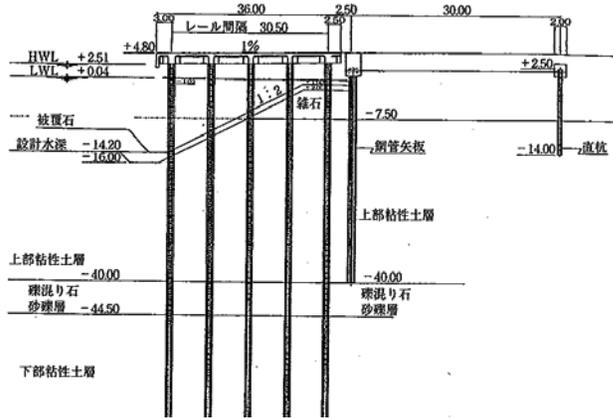


表-1 当初設計による杭の支持力

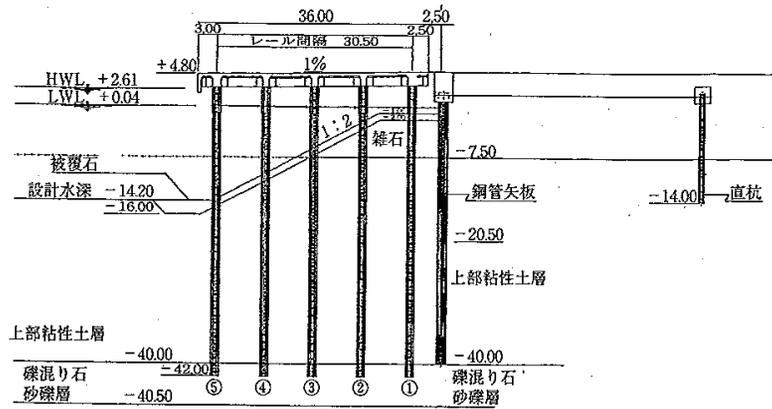
	海側列杭 鋼管杭φ1500		陸側列杭 鋼管杭φ1500	
	常時	地震時	常時	地震時
極限支持力(kN)	29,376		30,679	
設計条件	常時	地震時	常時	地震時
設計荷重(kN)	3,930	3,940	3,430	4,410
安全率	7.5	7.5	8.9	7.0
必要安全率	3	1.5	3	1.5
安全率の比率	2.5	5.0	3.0	4.6

(2) 提案設計

当初設計では過大設計となることになり、NP-40m付近の中間砂層での打ち止めの可能性が検討されることになった。中間砂層に打ち止める際には中間砂層における鋼管杭の先端支持力の確保と砂層直下の洪積粘性土層の強度の有無が過大であった。中間砂層に打ち止める場合の栈橋断面を図-3に示す。

杭の先端支持力の検討については薄層に杭を止めた場合の検討方法としてMeyerhohの方法、JRの方法、阪神高速道路公団による方法、道路橋示方書による方法が試みられた。その中で最も安全側すなわち小さい計算結果となったMeyerhohの方法により設計荷重と比較した。その結果からうじて必要支持力を確保できると推定された。Meyerhohの方法を図-4に、その計算結果を表-2に示す。

なお、検討の中で中間砂層直下の洪積粘性土層の強度については図-5に示すとおり200~600kN/m²の一軸圧縮強度を持つ地盤であるが250 kN/m²として計算した。



下部粘性土層 $c=25.0$ (tf/m²)
 $\gamma'=0.70$ (tf/m³)

-68.00
砂層

図-3 中間砂層に打ち止める場合の栈橋式護岸断面

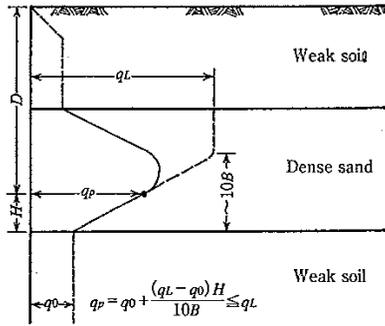


図-4 Meyerhofによる
薄層支持力の算定方法

表-2 Meyerhofの方法による杭の支持力

	海側列杭		陸側列杭	
極限支持力(kN)	12,634		13,936	
設計条件	常時	地震時	常時	地震時
設計荷重(kN)	3,930	3,940	3,430	4,410
安全率	3.2	3.2	4.1	3.2
必要安全率	3	1.5	3	1.5

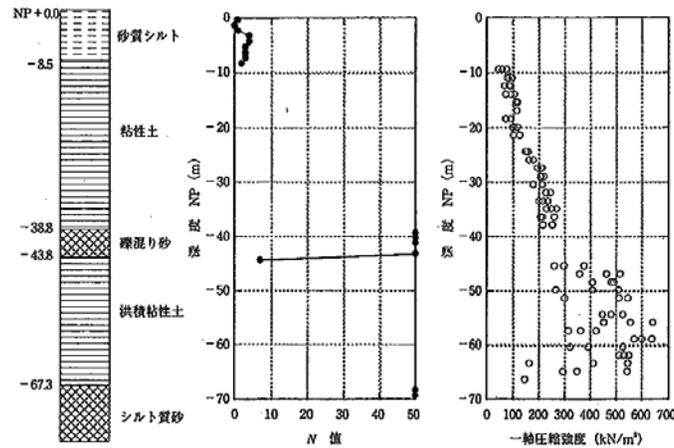


図-5 粘性土地盤の一軸圧縮強度

(3) 費用比較と設計方針

当初設計と提案設計との費用の比較は本工事の護岸延長300mに対して試算した。鋼管杭350本の1本あたり杭径φ1500×板厚15mm部分が28m長くなった場合の材料費および施工費を試算した。その結果、材工で約10億円の差があることがわかった。

材料費 7万円/m × 28m × 350本 = 6.86億円

施工費 3万円/m × 28m × 350本 = 2.94億円 計 9.8億円

経済効果と支持力検討の結果から、中間砂層に打ち止める方針となった。ただし、万が一支持力不足のリスクが顕在化した場合は、その損害は数十億となることが考えられ、事前に実杭による載荷試験を実施して支持力性能を確認することとなった。

(4) 載荷試験の実施

杭の載荷試験を実施するに際しては相対的に薄い地点（砂層厚さ4.5m）と厚い地点（厚さ6.5m）の2地点で実施し、薄い地点においては通常の開端杭と先端支持力を増大させるための十字リブを設けた杭を、厚い地点では通常の開端杭での載荷試験が計画された。

載荷試験方法は急速載荷試験方法が採用された。急速載荷試験は反力杭を必要とせず、異なる地点で複数回の試験を実施する場合に経済的に有利となる。載荷試験杭の条件を図-6に示す。

杭の載荷試験結果として中間砂層が4.5mの地点で実施した開端杭（V-1）の急速載荷試験結果を図-7に示す。また他の杭も合わせた急速載荷試験結果を表-3に示す。急速載荷試験の結果、中間砂層に打ち止めた試験杭は必要な支持力を十分に満足することが確認された。

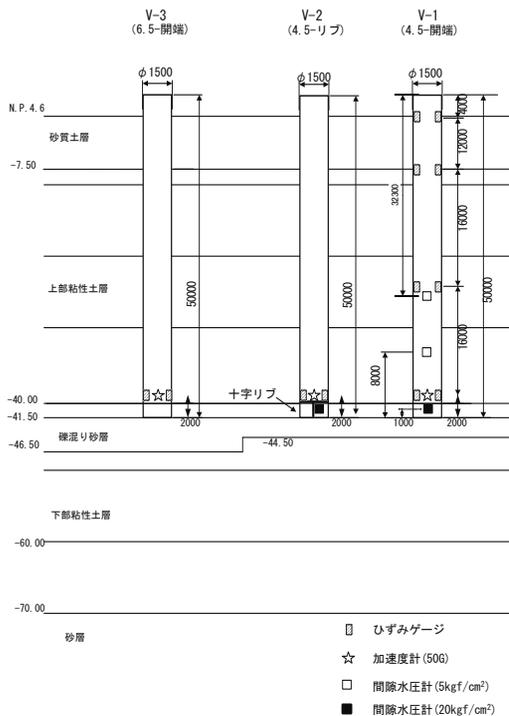


図-6 載荷試験杭条件

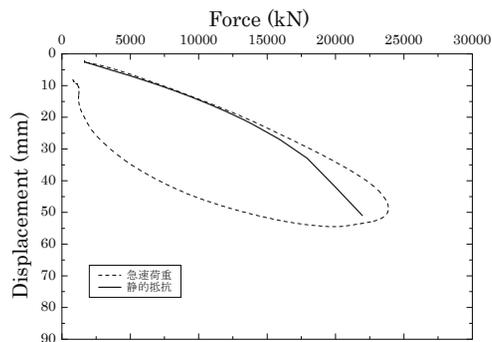


図-7 急速載荷試験結果
(荷重～沈下曲線)

表-3 急速載荷試験のまとめ

NO.	試験条件	周面抵抗	先端抵抗	合計抵抗	必要支持力
V-1	層厚4.5m 開端	15,300	5,100	20,400	11,790
V-2	層厚4.5m 十字リブ	15,600	7,100	22,700	
V-3	層厚6.5m 開端	15,600	5,100	20,700	

4. マネジメントの効果

本工事においては当初設計による杭長を大幅に短くする提案を行い、それを地盤調査結果に基づいた詳細な設計検討を行い中間砂層に打ち止めることになった。中間砂層に打ち止めることにより生じた支持力不足のリスクについては、実杭による載荷試験を実施することにより回避することができた。

本工事におけるコスト面でのまとめは以下の通りである。

杭長を短くすることによるコストダウン: 9.8 億円

載荷試験実施費用 (材工で) : 1 億円

支持力不足が生じた場合の損失: 数十億円

本稿は杭の載荷試験を実施することにより地質リスクを回避するとともに経済設計を実現した例として記述した。なお、本稿で挙げたコストの算定根拠については公式なものではなく定量化のために概算の単価を仮定したものである。

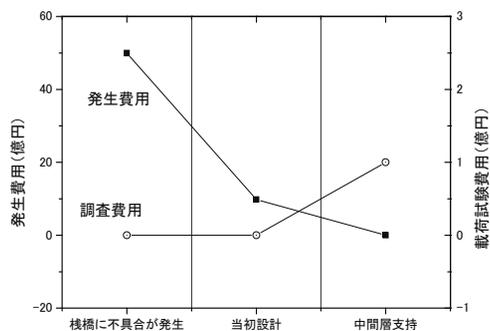


図-8 建設コストの比較

5. データ様式の提案

表-4 様式Aへの記入

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		国土交通省中部地方整備局 名古屋港湾・空港整備事務所
	工事名		名古屋港西5区岸壁(-14m)鋼管杭載荷試験工事
	工種		下部工
	工事概要		鋼管杭による栈橋式の耐震強化岸壁
	①当初工事費		不明
	当初工期		不明
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		① 発注時 ② 竣工後
	予測されたトラブル		① 杭をNP-70mまで根入れした場合の過大設計による高コスト ② 杭を中間層に打ち止めた場合の支持力不足による構造の不具合
	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		① 計画時 ② 計画時
	判断した者		発注担当者
	判断の内容		杭を中間層に打ち止めるが、事前に杭の載荷試験を実施し支持力性能の確認を行う。
	判断に必要な情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 土質柱状図 ・ 一軸圧縮強度データ ・ 工事コスト ・ 載荷試験コスト
リスク対応の実際	内容	追加調査	杭の載荷試験
		修正設計	
		対策工	
	費用	追加調査	材工で約1億円
		修正設計	
		対策工	
		②合計	1億円
変更工事の内容	工事変更の内容		杭長を28m短縮
	③変更後工事費		当初工事費-9.8億円

	変更工期	
	間接的な影響項目	
	受益者	発注者
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)	8.8億円(杭長変更により) 数十億円(支持力不足が生じた場合)
	工期	
	その他	

参考文献

- 1) Meyerhoh. G. G. : Bearing Capacity and settlement of pile foundations, Proc. of ASCE, Vol. 102, 1976
- 2) 菊池ほか：中間薄層で支持された大口径鋼管杭の載荷試験、第35回地盤工学研究発表会，2000
- 3) 菊池ほか：名古屋港西五区耐震強化岸壁（-14m）築造工事における杭の根入れ長の変更，基礎工

[論文 No. 11] 江合川下流流路工事業における東鳴子温泉源泉へのリスク低減効果

宮城県土木部防災砂防課 ○森本 大志

宮城県北部土木事務所 東海林 宏幸

株式会社建設技術研究所東北支社 松浦 努

株式会社建設技術研究所東北支社 井口 昭則

1. 事例の概要

江合川下流火山砂防事業では、平成 18 年度に地元温泉旅館事業者から工事による周辺温泉源への影響が懸念されるとの指摘を受け、工事が一時休止となった。この工事の早期再開に向けて、東鳴子温泉の湧出メカニズムを把握するために地温探査や水質分析等の湧出機構解明調査を実施し、工事が源泉へ与える影響について検討した。また、設計では調査結果を踏まえ上流右岸の浅層で高い地温部を避けた河道計画を策定した。さらに工事の際には、浅層の自噴する 2 つの源泉について、湧出量や泉質等の観測施工によるフィードバック管理を行うことで源泉所有者の懸念を解消し、事業の早期再開と円滑な実施を図った。

本事例は、河床部を掘削した場合の温泉への影響の不確実性を地質リスク事象とする事例で、リスク発現を予想し、調査結果を反映した設計や施工段階の管理方法を検討し、リスクを最小限にした事例（タイプ C）である。

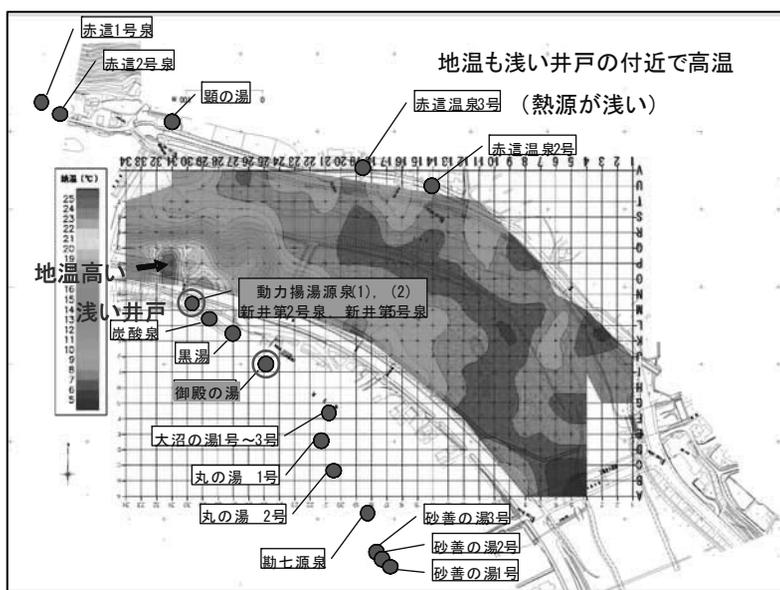


図 1 地温探査による浅層の高温部と源泉位置図

2. 事例分析のシナリオ

(1) 事業の概要とリスクの発現

江合川上流部では、溪岸を成す地質が非常に脆弱で、度重なる豪雨により有害土砂の流出、またそれらによる災害の発生が著しいことを受け、これまでに大規模流路工にみられるような溪岸浸食や縦断浸食防止等の流路工整備が行われてきた。

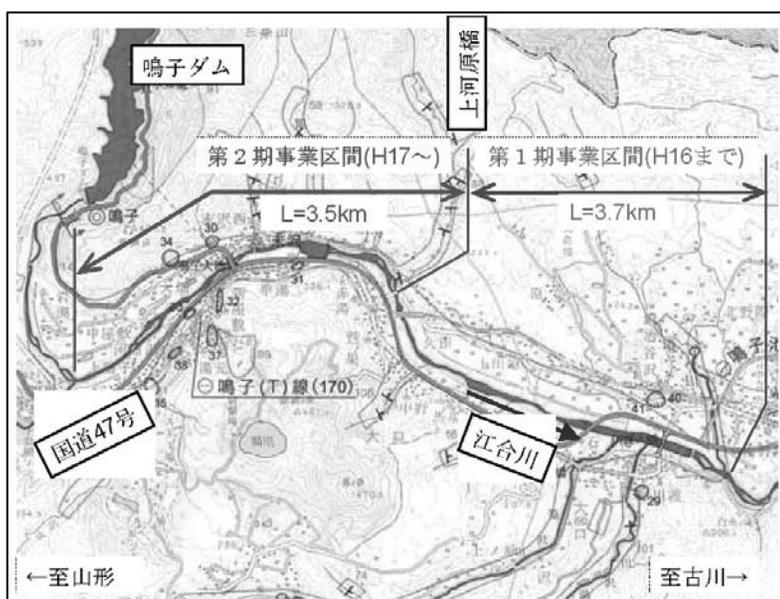


図 2 江合川下流火山砂防事業の範囲

東鳴子温泉周辺において、平成2年度から始まった江台川ト流火山砂防事業は、江台川の鳴子ダム下流部における低水路部の溪岸浸食と縦断浸食防止のために、低水護岸工ならびに帯工の整備を行うものであった。第1期事業は、下流境川合流点より上流上河原橋（市道）までの区間を平成16年度に終え、翌平成17年度より第2期目として下流上河原橋から上流大谷川合流点までの区間に着手していたところである（図2）。

第2期事業は、上河原橋から上流東北電力取水堰（以降電力堰）までの区間 $L=700\text{m}$ に帯工3基、左右岸低水護岸工の計画で着手の予定であった（図3）。平成17年度工事は上流側帯工の右岸袖部を施工したが、平成18年度、残る中央部から左岸袖部までの施工に取りかかる寸前に、付近の温泉旅館経営者より、川の掘削工事が周辺の源泉（図3）に与える影響についての指摘を受けた。

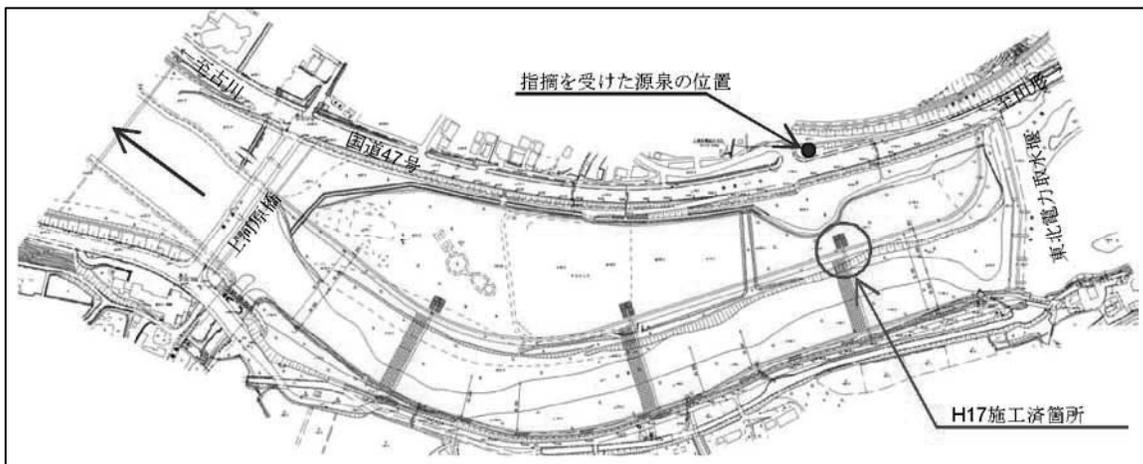


図3 第2期事業範囲と指摘源泉位置図

帯工基礎部は、現在の河床高から約2~3mの低標高部まで掘削しなければならないため、最も近い源泉の湧出底面より低い位置となる。このことから、付近の温泉旅館経営者の不安となり、当事業に対する工事履行へ指摘となったものと推察される。

この指摘により、帯工や低水護岸を建設するために河床部を掘削することで、源泉への影響が懸念される又は源泉所有者の不安を醸成し事業の遅延に繋がったことでリスクの発現おそれがあったと認識することができる。

（2）マネジメントの効果

当該地は温泉地であり、新たな調査（特にボーリング調査）を行うには温泉法に準拠した手続き等が必要だったこと、調査が実施されたとしてもその調査自体が温泉へ与える影響が懸念されたこと、源泉所有者からの指摘を含めて推察される温泉補償の難しさ（表1）等から、強引に工事を推し進めることは、非常にリスクが高く、また基礎データも無い中では行政としての説明責任も果たすことができない。したがって、温泉旅館事業者等のステークホルダーへの説明責任を果たすため、工事の一次休止の判断を行うことが得策と考え、温泉の湧出機構を把握するための調査を実施することとしたものである。

このようなリスク発現を防止するためには、以前の河床部工事の経験から事前に温泉旅館事業者等のステークホルダーへ説明し理解してもらうことが重要であり、そのために事前の調査の実施と源泉の湧出機構の理解を前提とした施工計画を行うことが重要であった。

表 1 温泉補償の難しさ

	項目	困難な要因
①	不明確な因果関係	湧出機構が不明確、各源泉について把握していない。
②	影響判断の長期化	何年も経ってから影響が出る場合もある。
③	判断要素の多様性	影響が湧出量、温度、水質、色など多岐に渡る。
④	代替補償の困難さ	新規掘削許可取得困難、代替温泉の水質も保証できない。
⑤	補償規模の大きさ	営業補償となれば大規模。風評被害等の補償規模は予測不可。

仮に工事を続け、掘削面から多量の温泉の湧出が生じた場合に発生する可能性のある代替温泉施設の建設には、約 3,000 万円の調査費並びに施設整備費がかかり、さらに 7 施設への温泉の供給が行えない、または旅館・ホテル業の休業を余儀なくされた場合の営業補償が 1 日 1 施設平均約 20 万円かかること（大阪環境大学紀要第 7 号の 4 旅館の平均から推定：7 施設 180 日間で 2 億 5,200 万円）が予想された。第 2 期工事期間であったが、湧出機構を理解するための調査（約 3,400 万円）や施工段階のモニタリング調査費用（年間約 300 万円）が発生したものの、事前にこれらのリスクの発現を予想し、工事を継続できたことは、工事遅延による被災や多額の費用の発生を抑制できたと推察される。

3. データ収集分析

(1) 過去の事件事例と調査目的

調査では温泉の湧出機構を把握するために、当該地で地質を把握するボーリング調査が不可欠であったが、温泉地によるボーリング調査が規制されるため、また、調査時の温泉の湧出に対する源泉への影響も懸念されたことから、①既往文献調査（温泉開発に関する調査報告書や国道建設時のボーリング調査結果など）を参考にするとともに、②現地踏査による地質平面図及び断面図の作成、③表流水・河川水の水質分析と区間流量調査、④温泉成分組成分析、などの調査を行った（表 2）。

表 2 調査の目的と調査内容

項目	調査目的	調査内容	備考
源泉の湧出機構	源泉の現況把握	深度、湧出量、水温、水質等の基礎データの収集	季節的変動を含む
	源泉の湧出機構	温泉の化学的組成分析、地温探査、地形地質検討	
工事による影響検討	工事による影響検討	表流水（河川水等）と温泉との因果関係 平面的な影響範囲の把握	影響の有無
	工事計画・施工上の配慮	工事順序や施工方法、護岸構造等	

既往文献の中には、過去の工事においても温泉が枯れた経緯がある。昭和 26 年、当時石積構造であった電力堰のコンクリート改修工事が実施された際には、河川水を大きく締切り、堤基礎部の作業を行ったことにより、右岸側の源泉が枯渇する事故が発生した。この事故では、実際に金銭等による補償が行われており、この温泉経営者の元には当時の補償を巡る様々な記録が残っている。また、この区間から 500m 程上流に国道 108 号の鳴子大橋があるが、この補修工事の際も堤防の掘削に伴い源泉が湧出する事故が起きていることが分かった。

こうした背景や経験を基に、伝統ある温泉地を保護する観点から前述の指摘がなされたものと考えられる。これは物理的な懸念だけではなく、工事に対する不安、しいては不信感の醸成につながり、地元住民の理解を得られることが長期化することが懸念された。したがって、調査実施に当たっては、ただ単に源泉の状況についてモニタリング調査をしたというだけでは工事再開の了承は得られ難く、温泉の湧出機構から工事による影響・対策までを丁寧かつ理論的に説明し、信用を得ることが求められると考えた。

注意すべきは、各源泉所有者が伝統的な言い伝え、思い、地域的な特質や経験に基づく知識を持っているため、表2の内容が必ずしもそれらに符号するとは限らないことである。源泉所有者らの意見をよく聞き、熟知した上で調査に臨むことが必要と判断した。

(2) 調査結果

調査の結果、下記のことが分かった。

- ① 全ての源泉の涵養源は地下水によるものであり、河川水をはじめ表面水が直接温泉水を構成することはない。
- ② 各源泉は、地下深部の各地層を涵養源としているため、表層部の掘削工事による影響は極めて小さい。極めて浅い2つの源泉(表3の源泉Aと源泉B)は、基本的には深部の層に涵養源を有しており、局所的な断層・クラック帯により地表付近に自噴していると考えられる。
- ③ 各源泉とも河川水位との明確な相関はないと考えられるが、これは通常の流水が確保されている場合に限られる(河川水が伏流しない場合は想定外)。
- ④ 伏流水の混入が疑われる源泉Bについては、電力堰の湛水や右岸沢水等高いポテンシャルの水位が影響するものと思われ、今回施工区間の水位に直接的な関係はないと考えられる。

表3 調査対象一覧表

No.	図番	源泉名	右・左岸	深度(m)
1	29	源泉A	右岸	4
2	25	源泉B	〃	1.5
3	14	源泉C	〃	218
4	15	源泉D	〃	218
5	15	源泉E	〃	218
6	17	源泉F	〃	218
7	19	源泉G	〃	218
8	20	源泉H	〃	218
9	21~24	源泉I	〃	145~350
10	26	源泉J	〃	300
11	27	源泉K	〃	170
12	28	源泉L	〃	200
13	30	源泉M	〃	280
14	75	源泉N	左岸	300
15	76	源泉O	〃	300
16	77	源泉P	〃	300
17	78	源泉Q	〃	300
18	81	源泉R	〃	600
19	83	源泉S	〃	600
20	84	源泉T	〃	600
21	-	源泉U	〃	300
22	-	源泉V	右岸	-

断層・クラック帯の位置は、地温探査の結果からも分かるように、非常に局所的なものではあるが、河川敷内に及んでいるため、この付近の施工には特に注意を要すると思われた。

(3) 工事施工方針

以上の結果は、前述の温泉旅館事業者の指摘と比べると、かなり既往の見解と相違したものとなったが、工事施工にあたり極めて影響のない区間(源泉)と影響が懸念される区間(源泉)を絞り込むことができ、工事再開の目処をたてることができた。局所的な断層・

クラック帯の存在する上流右岸付近は、実際のところ、H17年度の帯工一部施工済みであることから、今回ほとんど掘削を要しない箇所ではあったが、だからといって、すぐにH20年度よりこの箇所で中央部から左岸袖部を施工することは、源泉所有者の理解を得られ難い。また、この断層・クラック帯の位置を詳細に特定するには、さらに多額の費用と期間を要するため、早期再開が困難となる。そこで、施工計画段階では温泉の湧出している箇所である可能性がある地温探査で高温部を避けた線形にするとともに、影響の極めて少ないと思われる下流部から施工を始め、順次上流部に施工を進めていく方針が最良と判断した。なおかつ、下流部施工時点より影響の懸念される2つの浅い源泉に関して工事施工と併行したモニタリング観測を行い、その結果をフィードバック管理することで、慎重な施工の意思表示と、効率的、効果的なリスク管理施工を可能にすると考えた。

(4) リスク発現の原因

本事業でリスクが発現した理由は、過去に河床部の掘削による事故事例があるにもかかわらず、平成17年度の施工時に大きな問題が発生しなかったことから、伝統ある温泉地の工事について内在する懸案を、温泉湧出機構を前提として温泉旅館事業者等への丁寧な事業説明を行わなかったことにあると考えられる。しかしながら、事務所一丸となって発生した問題を適確に分析し、温泉という定量的には評価し難い事象に対し、必要最小限の作業により早期の工事再開を実現したプロセスは、今後同じような案件にぶつかった事業において、非常に参考となるものと考えられる。

4. マネジメントの効果

今回の事例では、事業の途中ではあったが、対象区間において事前に当該地で発現し得るリスクを把握することができ、そのリスクに対応した工事体制をとることが出来た。

ここでは、仮にそのまま工事し、河床部の掘削した際に温泉が湧出し、源泉Aや源泉Bに影響を与えた場合の代替温泉の建設や営業補償(252,000千円)を行った場合のコスト比較を表4に示した。2(2)で推定したシナリオを実証したものである。湧出機構を解明し(このために事業工期が約1年遅延、さらに詳細な調査を行えば2年遅延)、施工計画に反映するとともに、住民への説明を円滑化した。工事に関する効果は、工事着工前のマネジメントであり工事費には大きな影響はないが、工期遅延を最小限(1年)に止めた効果をどのように評価するか、今後の課題である。

5. データ様式の提案

本事案は、発現が予想された地質リスクに対して事前に対応することにより、地質リスクマネジメントの定量化を試みた事案である。したがって、事前に把握すべき内容としては、対象温泉施設の経営に関するデータが必要となる。また、今回地温探査や水質調査などから源泉への影響の可能性やその影響範囲を想定したが、このように地質リスクの事象に応じた調査内容の提案、その評価、ステークホルダーへの説明などを考慮して、マネジメント効果を算定することは可能と考えられるが、風評被害や工期の延長、あるいは短縮で得られる効果をどのように表現するかについては今後の課題である。

表4 地質リスクを最小限に回避した事例（C表）

大項目		小項目		データ	
対象工事	発注者		宮城県北部土木事務所		
	工事名		江合川下流流路工工事		
	工種		渓流保全工		
	工事概要		低水路護岸と帯工の設置		
	①当初工事費		2,830,000 千円(L=3.5km の事業費)		
	当初工期		平成 17 年度～平成 25 年度(2 期工事)		
発 現 し た リ ス ク	リスク発 現事象	リスク発現時期		事業期間中(2 期工事の 1 年目工事終了後)	
		トラブルの内容		河道掘削による源泉への影響のおそれ(苦情)	
		トラブルの原因		源泉という稀なケースに対するリスクマネジメントの手法の認識がなかったこと。	
		工事への影響		温泉湧出機構解明調査等で、1 年間工事遅延	
	追加工事 の内容	追加調査の内容		—	
		修正設計内容		—	
		対策工事		—	
		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		—		
間接的な影響項目		—			
負担者		—			
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		事業期間中	
		予測されたトラブル		河道掘削による源泉への影響及び工事の遅延	
		回避した事象		温泉湧出機構解明調査と施工時に源泉モニタリングを行いながらフィードバック管理による管理施工を行うことで、温泉旅館事業者の同意を得て工事の遅延を回避。	
		工事への影響		工事の1年遅延と施工計画の見直し	
	リスク管理 の実際	判断した時期		事業期間中(1年目の工事終了後)	
		判断した者		発注者	
		判断の内容		温泉湧出機構解明調査の必要性	
		判断に必要な情報		地元との意見交換、地質情報、過去の事象事例	
	回 避 し た リ ス ク	リスク対応 の実際	内容	追加調査	・温泉湧出機構解明調査、・モニタリング調査
				修正設計	実施設計段階であり、新たに修正を行っていない。
対策工				—	
費用		追加調査	・34,000 千円、・6,000 千円		
		修正設計	—		
		対策工	—		
③合計		40,000 千円			
回 避 し な か っ た 場 合	工事変更の内容		・温泉湧出機構解明調査＋電気探査 ・代替温泉施設建設 ・営業補償		
	④変更後工事費		・50,000 千円 ・30,000 千円 ・252,000 千円(7 施設営業停止 180 日と想定) ・当初事業費を加算 合計 3,162,000 千円(推定)		
	変更後工期		2 年遅延		
	間接的な影響項目		土砂災害発生時の損失、営業補償、風評被害		
	受益者		管理者、温泉旅館事業者、利用者		
リスクマネジ メントの効果	費用④－(①+②+③)		292,000 千円(推定)		
	工期		2 年程度		
	その他				

①事例の概要

鹿児島県において平成13年に発生した道路災害の地すべり対策工事中に、(図1参照)平成13年災(Aブロック)を挟む形で隣接して、平成15年災(B・Cブロック)地すべりが発生した事例を紹介する。

本道路災害は、平成13年9月の集中豪雨(144mm/h)により発生した、地すべりである。地すべりの規模は、Aブロック(W=40m,L=60m)であった。平成13年11月の災害査定において、不安定土塊を除去し、道路を守るための対策工法である排土工+グランドアンカー工法が採択された。

平成14年5月より復旧工事に着手、逆巻き工法によるアンカー工や現場吹付法砕工等の法面工で対策工事が約70%が完成していた。

平成15年2月の時点において、Bブロック(W=58m,L=54m)・Cブロック(W=40m,L=38m)の変状が確認された。両ブロックの変状は、累積拡大傾向にあったため、工事施工の安全性より工事中止とした。さらに、変状の拡大を防ぐため、Bブロック末端部に押さえ盛土の応急工事を施工した。

その後、地質調査を実施し、地すべりの動態観測をおこない、地すべり解析を行った。図1に地すべりブロックの分割図を示す。また、図2~4に各ブロックの対策工法の図面を示す。



図1 地すべりブロック分割図

②事例分析のシナリオ

本事例は、地すべり対策工法として経済性を重視した排土工を採択したため、新たな地すべり災害を誘発する地質リスクが発現した現場であった。

地質リスクの発現の原因は以下の点が考えられた。

- i. 調査地に分布する古第三紀中期の砂岩頁岩互層は、風化が進行し軟質化した地質であった。さらに、当該地の風化岩盤部も亀裂が多く存在している。さらに、亀裂の状態は、隙間状～開口状で白色の凝灰質粘土を挟在していた。前述の地質的要因が斜面変動を誘発しやすいと考えられる。
- ii. 地方自治体の担当者は、平成13年以前にBブロック末端付近で斜面変動により、水路が変形した状況を把握していた。しかし、平成13年の被災時点においては、所属課が他部署であったため、情報の連携が円滑に行われなかった。
- iii. 排土工法は、少量の施工でも土塊バランスが崩れるケースがあり、新たな斜面変動を引き起こすリスクを抱えた対策工法である。平成13年災では、大規模な土工を計画しており、対策工法選定時点での地質リスクの評価が低かったため、妥当性に欠ける結果となったと考えられた。

本報告では、後述の2つの仮定条件により地質リスクをマネジメントしたケースと実際に起こった事例を比較して分析することとした。

仮定A:平成13年調査の段階において、脆弱な地質や大規模な排土工法に対するリスクが十分に認識されており、隣接地域の過去の斜面変動履歴が把握された。

仮定B:予備調査が十分に実施されて、対策工法が土塊を存置する工法を選定した。

③データ収集分析

筆者は、当該現場の担当技術者として平成13年と平成15年の調査設計業務に携わっており、対策工事の施工時も発注者から設計変更等の協議を受ける立場であった。また、当時の地質調査報告書や災害協議資料等が現存しており地質リスク発生の経過について当事者として検証することが可能である。

平成13年の地質調査時点では、砂岩頁岩層の風化が進行していることや凝灰質粘土の存在については、把握していた。しかし、同様の地質が分布する周辺地域において、過去に地すべりを含む、大規模な斜面変動の履歴は確認されなかったため、特に、大きなリスクを内包することは考慮していなかった。

また、平成13年災のアンカー工事は、計画排土量の2/3程度の土塊を除去した段階にて、施工を実施した。アンカー工を打設するのり面の一部の地質が非常に悪いため表層崩壊が発生して、アンカー打設のり面の形成が困難となった。そこで、アンカー打設のり面の一部において切土補強土工法を採用した。表層崩壊であったため、当該地全体の排土工法へのリスク発現を予見するには至らなかった。

さらに、平成13年当時に発注者や地元住民への聞き取り調査の段階で、隣接斜面の変状は確認できなかった。

本事例では、地質リスクの存在は漠然とした意識下に存在したが、具体的な対策を取るまでには至らなかった。また、発注者においても、災害復旧工事では経済性が優先されることがあり、両者とも地質リスクを正しく把握していなかったと考えられる。

④ マネージメント効果

事前に斜面変状発生地の地質リスクを考慮した、調査費用のコスト増加分と排土を最小化した対策工事の概算費用の合計と実際に掛かった費用の比較を表1にまとめて示す。

表1 地すべり変動拡大発生対策費用比較表

	実際		リスクの発現を 予見した場合の見込
工事期間	平成13年9月～平成16年6月 (34箇月)		平成13年9月～平成14年12月 (15箇月)
調査・測量 設計費用 (千円)	H13	12,600	25,000
	H15	29,500	
	小計	42,100	
対策工事費 (千円)	H13	70,700	200,000
	H15	220,000	
	小計	290,700	
	合計	339,100	225,000
	差	114,100	

想定されたリスクに対する対策は、以下のように想定した。

- 1) 凝灰質粘土層の存在を考慮し、周辺地域の地質調査と斜面変動計測等を行う。
- 2) 発注者や地元住民の情報により、抑え杭+横ボーリング工法で土工を最小とする工法の選定を行う。

平成13年と平成15年の災害復旧にかかった費用は339,100千円であった。リスクを想定して、調査を行い最小限の土工で抑え杭を主体とした地すべり対策工法を選定した場合を想定すると費用効果の差は、114,100千円となると推定される。

また、工期が1年以上延期されることとなり、当該路線が通学路であったため、迂回路を通学することで40分程度の時間的損失を地元の児童生徒に長期間負担させた。

本事例は、災害復旧事業であるため、当該年内に査定が終了することが必須条件となっている。さらに、調査費用や対策工法もコストが優先される。そのため、対策工法選定時点では、現場における技術者の地質リスクに対する安全性への感覚的な要素は排除され、フローと計算のみでの工法選定が機械的に採用されることが多い。

地質技術者は、地質リスクを正しく評価し、発注者に定量的な地質リスクの存在を提示して、リスクについて正しい理解を求めることが重要と思われる。

⑤ データ様式の提案

本事例では、地質リスクの存在に対して、既存の情報収集を丁寧に行うことの重要性を感じた。また、リスクが発現することで時間的ロスが生じることを地元住民への影響を含めた観点で考えることの必要性を感じたため、表2を作成した。

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	市	
	工事名	13災〇〇線道路災害復旧業務	
	工種	道路災害地すべり対策工事	
	工事概要	地すべり	
	① 初工事費	830,300,000円	
	当初工期	平成14年12月	
リスク発現事象	リスク発現時期	排土工実施後	
	トラブルの内容	地すべりの誘発	
	トラブルの原因	排土工	
	工事への影響	工事中止、調査・設計の追加	
追加工事の内容	追加調査の内容	調査ボーリングN=10本 L=160.0m	
	修正設計内容	設計業務	
	対策工事		
	追加工事	排土工+横ボーリング工	
	追加費用	追加調査	29,500,000円
		修正設計	上記に含まれる
		対策工	アンカー工
		追加工事	220,000,000円
		②合計	249,500,000円
	延長工期	17箇月	
間接的な影響項目	生活道路・通学路の通行止め		
負担者	市, 国		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	当初調査時	
	対応(すべき)者	発注者、コンサルタント	
	対応(すべき)内容	既存資料の調査	
	判断に必要な情報	既往変状の確認	
	リスクの説明	発注者	既存の変状等の聞き取り範囲の確認 地質リスクについてシナリオを想定した必要経費等の定量的説明
		地元住民	工期と迂回路設定のリスク説明
	対応費用	調査	25,000,000円
		対策工	
		③合計	25,000,000円
	想定工事	工事概要	抑え杭+横ボーリング工
		④工事費	200,000,000円
工期		15箇月にて完成	
リスクマネジメントの効果	費用((①+②)-(③+④))	114,100,000円	
	工期	19箇月短縮	
	その他		

1. 事例の概要

本業務は、道路トンネル詳細設計に利用するトンネル一般部の地質情報収集を目的として実施した。対象地域では、前年度に予備設計に基づく坑口部の詳細地質調査が実施されており、その調査を基にした坑口部の構造変更も行われていた。

ただし、詳細地質調査 1 は坑口部の構造変更を目的として計画・実施されたものでなく、構造変更の際も新たな地質調査は実施されず、設計に必要な地質情報は設計者によって推定されたものであった。このため、再度トンネル全区間の地形・地質踏査を実施したところ、以下の問題点が明らかとなった。

①坑口直上部および、坑口あかり区間で地すべり地形の確認

②切土のり面部での推定地層断面図の修正

このため、坑口部の設計に見直しが必要となったものである。

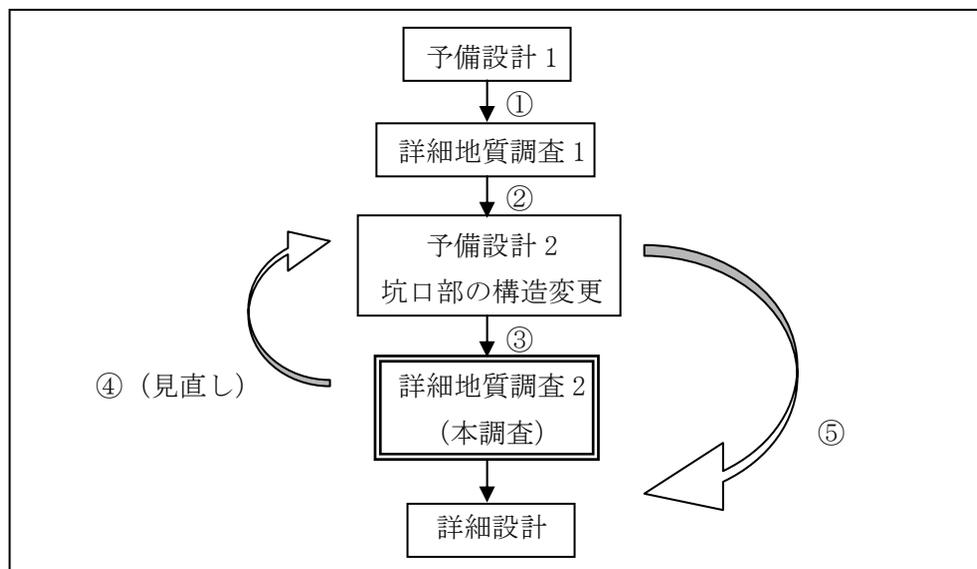


図 1 本事例における調査・設計の流れ

予備設計図面は図 2 の通りである。また、詳細地質調査 1 を基にした坑口部の構造変更後の平面図を図 3 に示す。

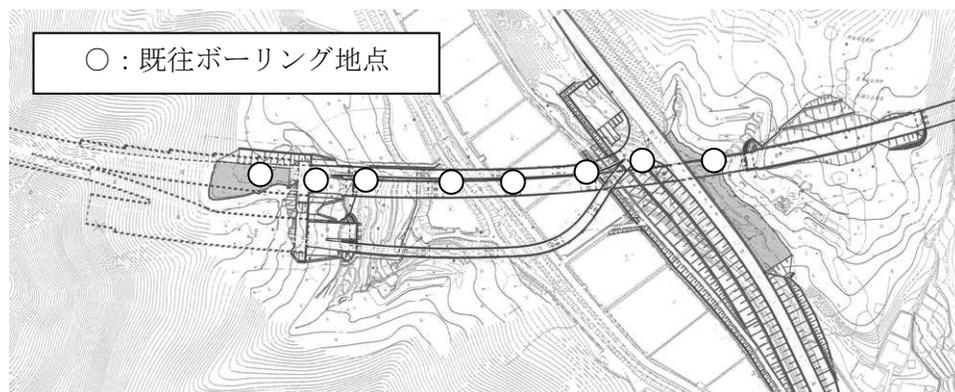


図 2 予備設計図面 (既往ボーリング地点を追記)

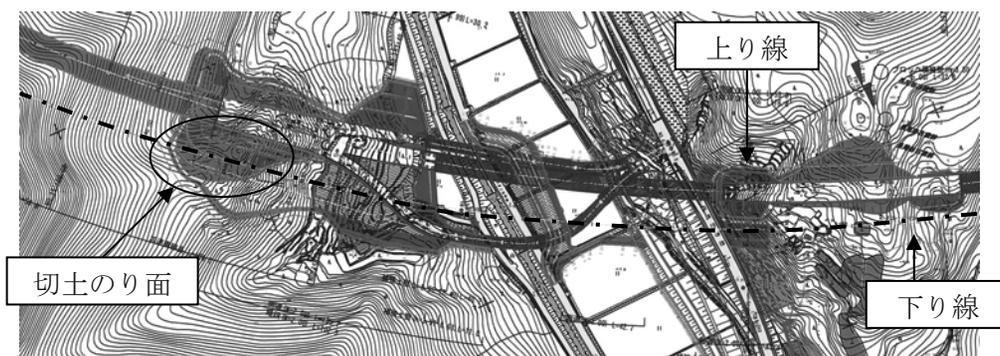


図3 坑口部構造変更後の設計図面

既往設計では、この区間は切土のり面の直下を下り線がトンネルで通過する計画となっており、トンネルとのり面の取り合いが検討されていた（図4参照）。ただし、地質断面などの情報は、上り線で実施したボーリング調査を基に推定したものであった。

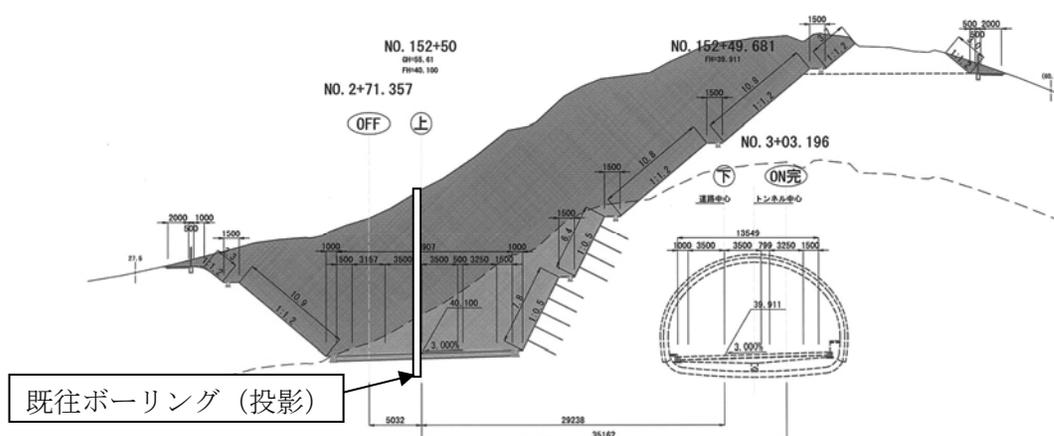


図4 終点側坑口付近での上下線の関係

2. 事例分析のシナリオ

本事例における課題は、詳細地質調査1が坑口部の構造変更を目的として実施されていないために生じた坑口周辺の地形・地質情報の不足に対して、構造変更後の設計に対して合理的な詳細地質調査2を計画・実施することにあつた。

例えば、図4断面図では上り線でのみボーリング調査が実施されているが、構造変更時の地質境界の取り扱いにおいて、ボーリング地点での風化層の層厚を断面上の全域に適応していた。

このように、本事例では不足した地質情報を補うために、下り線も含めた調査を計画・実施した。

3. データ収集分析

(1) 地すべり地形の確認

地表踏査によって、坑口付近には多数の地すべり、崩壊が分布することが確認された。

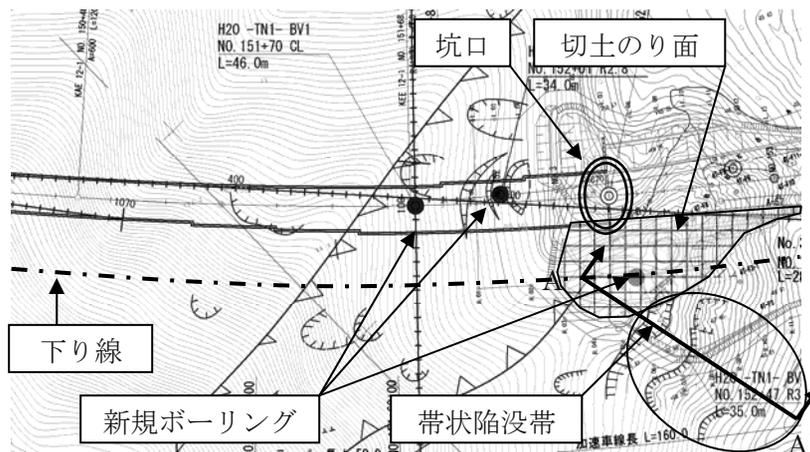


図5 坑口周辺の地形

これらの大部分は、層厚 2~3m程度の層厚の薄い地すべり・崩壊である。ただし、図5に丸で示した地すべりについては、頭部に幅広の陥没帯があることから、地すべりの層厚がかなり厚いと予測された（写真1）。また、頭部陥没帯が現在の尾根上にあることから、すべりは初生的なものと判断された。推定地層断面図を図6に示す。



写真1 地すべり頭部に見られる陥没帯
(写真に写っている2本のポールの間が陥没している)

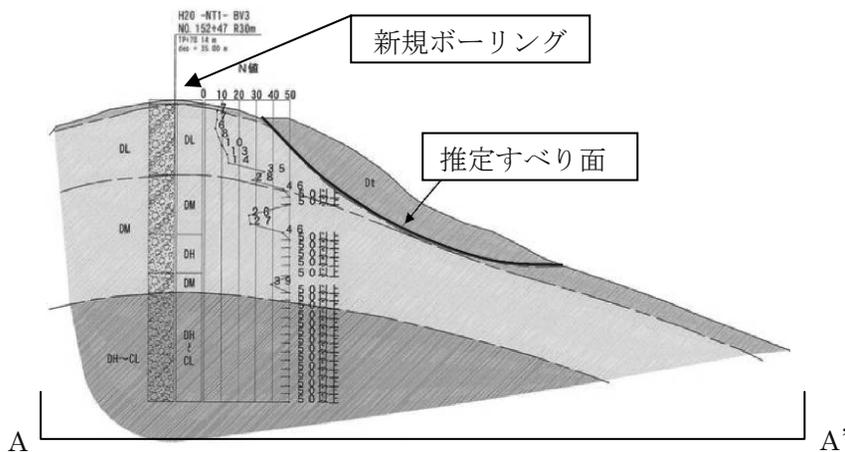


図6 推定地層断面図

(2) 地質断面の修正

既往設計成果に使用していた地質断面図は、地質境界の取り扱いを、縦断面上の層厚をそのまま横断面の全域に当てはめるといった手法がとられていた。しかし、既往のボーリング調査を見ると、尾根部と溪床部では風化層の層厚が違う（尾根部で風化層が厚い）ことが確認された。このため、必要な詳細調査としてボーリング調査を提案・実施した。

実施したボーリング調査によって、尾根部での風化層の層厚が、既往設計に使用された地層の層厚に比べて約 2 倍の厚さであることを確認することができた。この調査結果に基づいて作成した地層断面図を図 7 に示す。

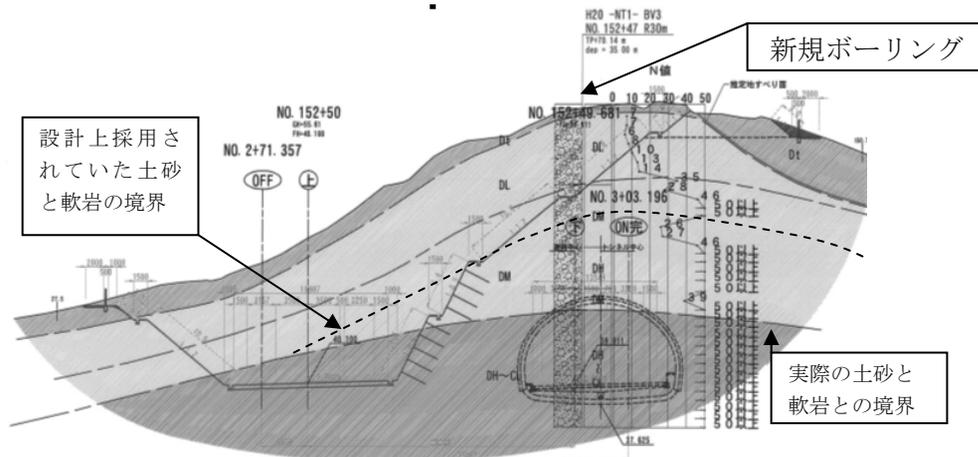


図 7 ボーリング調査による推定地層断面図

(3) 設計上の問題点

本調査より、以下の点が明らかとなった。

- ① 当地点は、土砂と判断される礫岩層 (DL~DM) が層厚 10~25m 程度で分布している。
- ② 地すべりは地層の強風化部の中でも、N値が 30 以下の地層 (DL 層：強風化により赤土化) 中で発生している。
- ③ 斜面の勾配が 40° 程度の箇所、層厚がある程度厚いすべりが生じた。
- ④ 尾根部と溪床部では風化層の層厚が違う (尾根部で風化層が厚い)

①~③より、対象斜面のように DL 層の地層が厚く分布する斜面では、傾斜 40° の斜面は長期的な安定を保てないことを示している可能性がある。既往設計では、対象斜面の DL 層に相当する地層は粘性土とされ、その標準勾配は 1 : 1.2 (約 40°) としていたが、上述のようにこの標準勾配 (1 : 1.2) は対象斜面で初生的な地すべりが発生している斜面勾配 (約 40°) と同傾斜であるため、対象斜面では長期的な安定は確保できない可能性がある。このため、設計に当たっては DL 層に対して別途のり勾配を検討することが望ましいと判断し、現在設定されている粘性土の標準切土勾配よりも 1 ランク低い切土勾配 (1 : 1.5) を設定することを、具体的な手法として提案した。

また、④の通り地質断面に修正が生じたため、トンネル及び切土部の構造に対して再検討が必要となる。

4. マネジメントの効果

マネジメント効果の比較に当たって、「いつ、適切な地質情報を把握したか」を基準として設け、以下の4通りについて検討した。

- ① 予備設計前に地形・地質情報を把握・・・・・・線形変更を実施
- ② 構造変更前に地形・地質情報を把握・・・・・・構造変更へ情報を反映
- ③ 本調査時に地形・地質情報を把握・・・・・・詳細設計時に見直しを実施
- ④ 施工中に地質リスクが顕在化・・・・・・施工中断

これら4通りに対して、検討の流れを図8上にフローチャートとしてまとめた。☆印は、「適切な地質情報を把握した時」を示している。図8下はそれぞれの段階における必要な設計・工事の内容を示している。

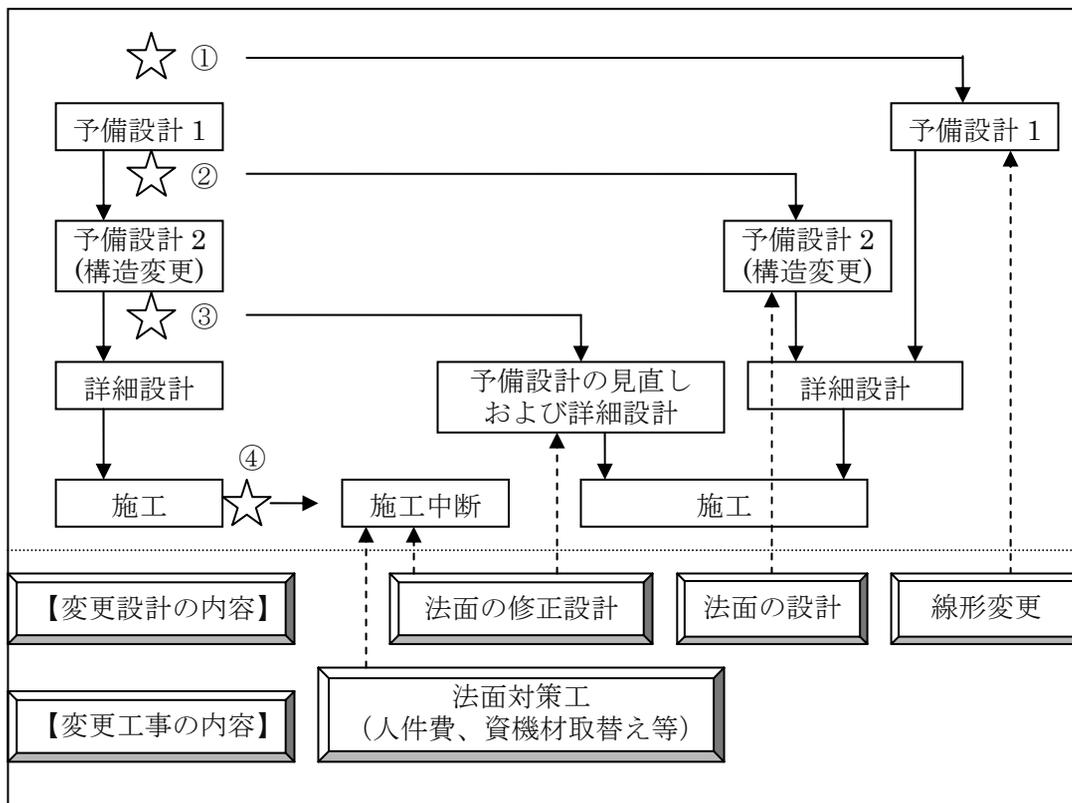


図8 マネジメント比較のフローチャート

本事例では③の段階で地質情報を把握することができた。詳細設計前の調査において施工地周辺の問題点を見逃すと、作業の大幅な手戻り（コスト増）につながるほか、最後まで見落とした場合は、施工中や完成後の管理において安全性を確保できないことなどから、マネジメント効果は大きなものがあったと考える。

一方、フローチャートより地質リスクのマネジメント効果を比較すると、本事例③の段階で地質情報を把握することは必ずしもベストではなく、より初期の地質調査（問題点を発見できる地質調査技術）が重要であることもわかる。

5. データ様式の提案

以上の検討データのうち、③（本事例）と④（施工中に地質リスクが顕在化）のマネジメント効果を定量的に比較し、地質リスク学会様式の分析シートに記入した（表2）。

表2 地質リスクマネジメント効果の分析シート（地質リスク学会様式）

大項目	小項目	データ	
対象工事	発注者	国土交通省	
	工事名	Y道路トンネル工事	
	工種	NATM トンネル本体工事	
	工事概要	トンネル延長 1,228m	
	①当初工事費	—	
	当初工期	—	
リスク回避 事象	予測されたリスク 発現時期	詳細設計前の2次調査中	
	予測されたトラブル	地質構造が不明瞭であり（土砂厚、地すべり）、既往設計通りでは斜面の安定性が懸念される。	
	回避した事象	修正設計のための施工中断および	
	工事への影響	—	
リスク管理 の実態	判断した時期	2次調査中	
	判断した者	発注者・地質調査業者	
	判断の内容	地形・地質踏査の結果を踏まえ、設計上必要な地質情報を得るために、適切な箇所ボーリング調査を実施することとした。	
	判断に必要な情報	土砂と軟岩との境界、地すべりの規模	
リスク対応 の実際	内容	追加調査	坑口部におけるボーリング調査（3箇所）
		修正設計	次年度に実施
		対策工	—
	費用	追加調査	400万円（当初調査委託費内で対応）
		修正設計	300万円（当初調査委託費内で対応）
		対策工	—
		②合計	700万円
変更工事の 内容	工事変更の内容 （想定シナリオ）	施工を中断し、①トンネルとのり面の取り合いの再検討②のり面の安定に関する検討、を実施する。	
	③変更設計・工事費 （推定）	修正設計費用（300万円）および、施工中断・設計変更に伴う人件費・資機材費の増加（2000万円）	
	変更工期	修正設計・工法変更に必要な期間（+3ヶ月）	
	間接的な影響項目	供用時期への影響	
	受益者	発注者	
リスクマネ ジメントの 効果	費用（③-②）	1600万円	
	工期	3ヶ月	
	その他	—	

高野 邦夫^{*1}、大内 学^{*3}、松岡 豊広^{*2}、佐藤 武志^{*3}

1. 事例の概要

(1) 地質リスク発現の概要

本稿では東北日本海側の丘陵を横断する新設道路工事中に切土のり面崩壊として顕在化した地質リスク事例を紹介する。切土のり面崩壊は新第三系中新統船川層泥岩よりなる尾根部を横断する切土区間の工事中に3回発生し、崩壊範囲は幅約120m、長さ約50m、高さ約25mの規模に達し、最終的には切土のり面全体に拡大した。

以下に崩壊状況を記述する。

- ① 平成12年10月25日～28日の崩壊：施工業者が2段目のり面を工事中に1段目小段コンクリートにクラックを確認した。その後、徐々にクラックが開口し、幅約28m、長さ約20mの規模で切土面が滑落した。当時は、地山の岩質に対してのり面勾配(1:1.0)が急であったことが原因とされ、のり面勾配を1:1.5で切り直す方針とされた。
- ② 平成12年12月8日～13日の崩壊：のり面勾配1:1.5で施工基面付近まで切土した段階で幅約30m、長さ約20mの規模で2回目の崩壊が発生した。その後、背後に落差約2mのクラックが発生し、地すべり性崩壊の拡大が懸念されたため、当該区間の工事を中断して地すべり調査が開始された。
- ③ 平成13年2月21日～3月6日の崩壊：2月下旬に確認された亀裂が徐々に拡大し、起点側の幅45mの範囲が3月5～6日に滑落、頭部滑落崖の落差は最大約6mに達した。その後は地すべり活動が小康状態となったが、暫定道路切土面が常に湧水していたため、地すべりが背後に拡大する危険性が高いと判断され、地下水を排除するために応急対策として横ボーリング工が施工された。

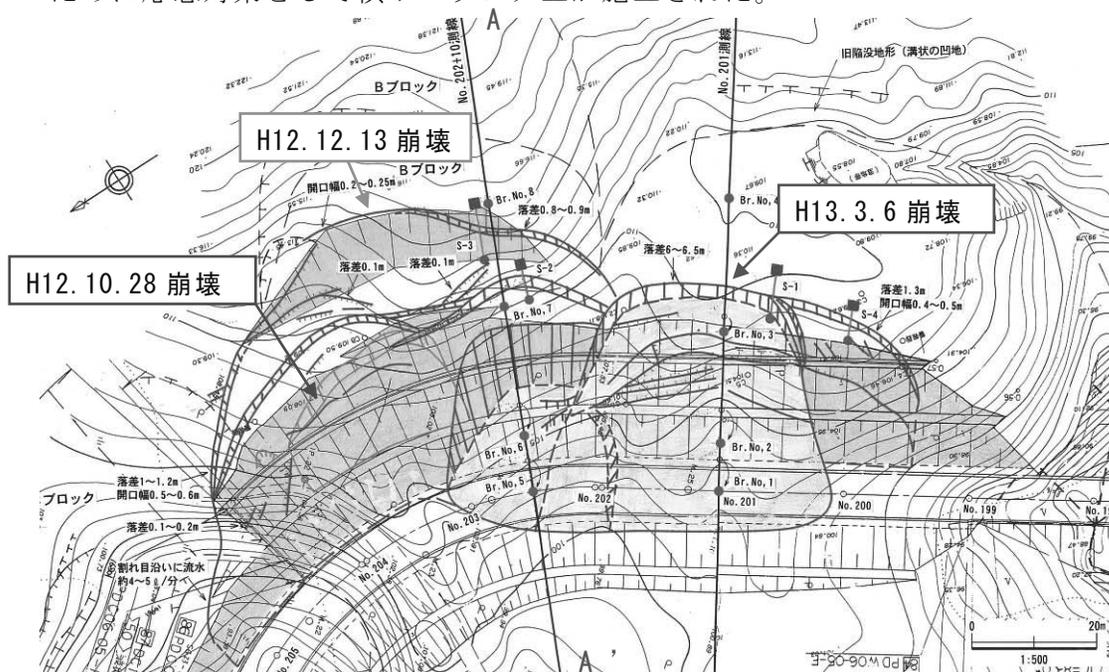


図-1 崩壊状況平面図

※1～3 株式会社ダイヤコンサルタント (※1 東北支社、※2 砂防防災事業部、※3 秋田支店)

(2) リスク事象の特定

切土のり面崩壊対策のための地質調査が2回目の崩壊直後の平成13年1月15日～平成14年8月30日の期間に行われ、当該区間の工事は約1年10ヶ月中断し、その後の対策工施工に約半年を要した。本事例では、切土工事中の崩壊対策費用をリスク事象として事例分析を行った。なお、工期遅延については経費の算定が困難なことから対象としていない。

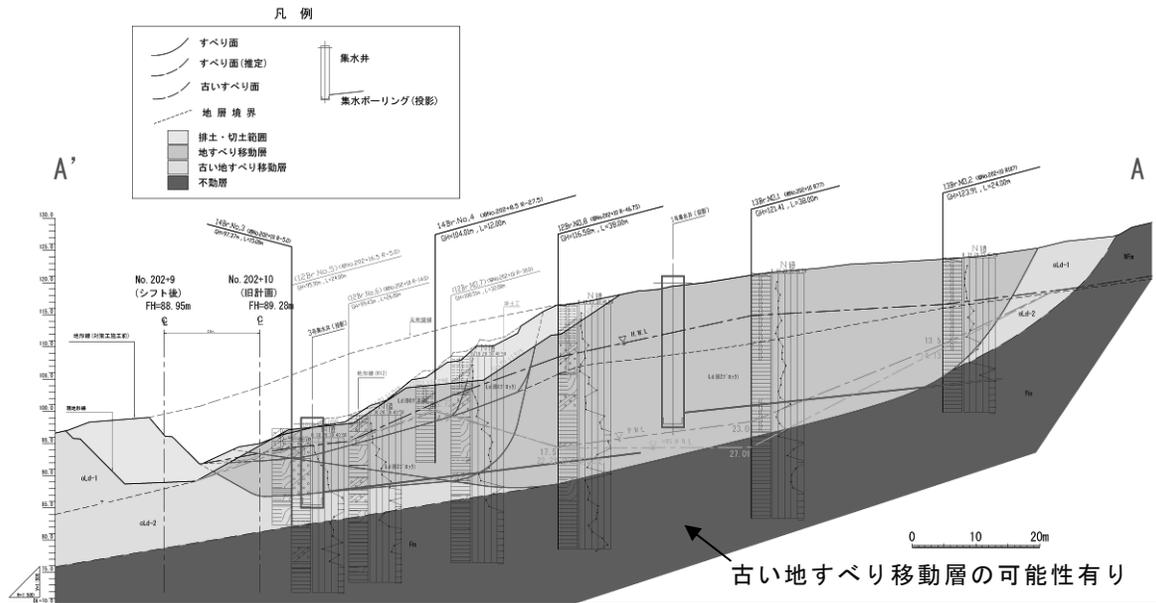


図-2 対策工断面図

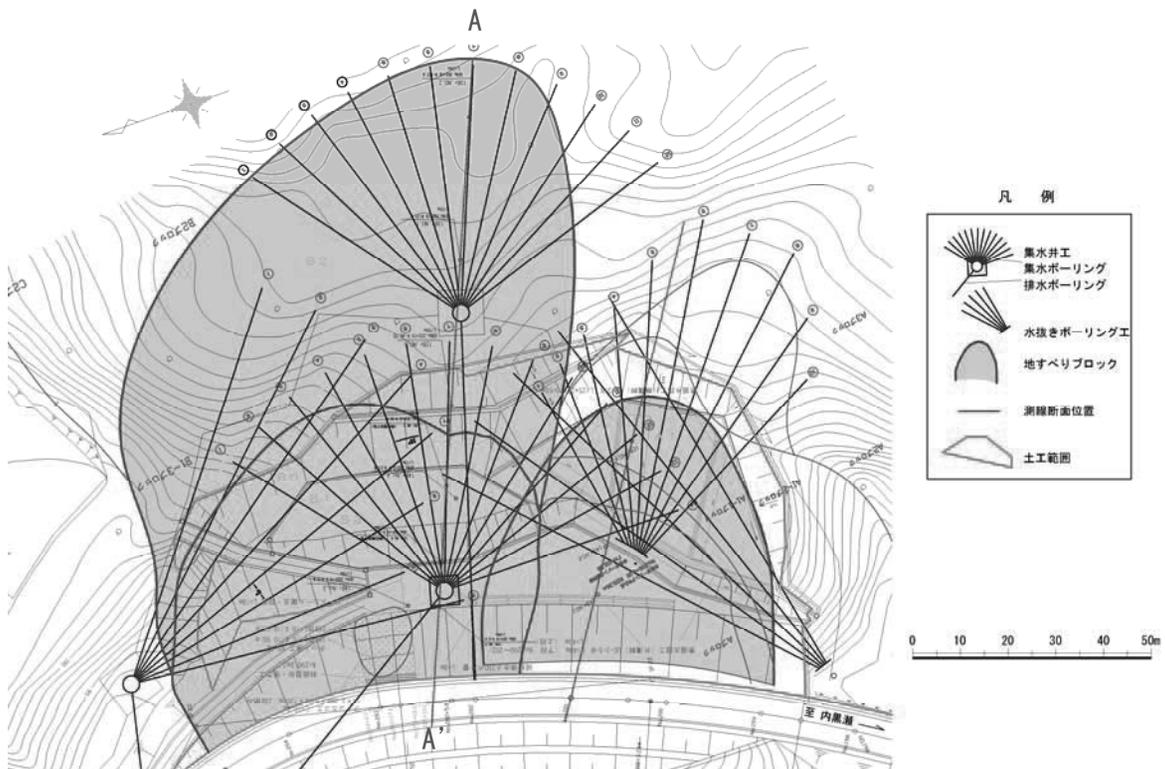


図-3 対策工平面図

2. 事例分析のシナリオ

(1) リスク発現のプロセス

地質リスクが顕在化した新設道路は、計画設計段階で地表地質踏査によるルート周辺の不安定地形の検討が十分になされていなかった。また、切土区間はボーリング調査が行われなかったため、通常の風化～弱風化軟岩より構成される地山と判断され、のり面勾配 1 : 1.0 で設計施工が行われたと考えられる。

2 度目の崩壊発生直後の平成 13 年 1 月から実施された地すべり調査によって、崩壊箇所背後斜面に滑落崖状のやや急な斜面と平坦面が繰り返す古い地すべり地形が分布すること、新規に形成されたすべり面よりさらに深部まで風化、破碎した泥岩が分布すること、地下水位が高いこと等が確認された。これらの調査結果から、切土区間の地すべり性崩壊の発生原因は、地下水位が高い脆弱な古い地すべり移動層から構成される低強度の地山を無対策で切土したためであると結論され、のり面崩壊区間は地すべり対策工が必要であると判断された。

(2) 発現したリスクへの対応

対策工としては、地すべり性崩壊で形成された新規のすべり面より下位に古い地すべり移動層が存在し、健岩の分布が深いことが予想されたことから、アンカー工や杭工等の抑止工は不適と判断された。このことから、応急的な地下水排除工（横ボーリング工）によって安定化しつつある低強度の地すべり移動層の土工を最小限とするために、道路を谷側に最大約 15m 程度シフトし、小規模な末端の押え盛土工、背後斜面を不安定化させない程度の頭部排土工を行い、不足する安全率を集水井工（3 基）、集排水ボーリング工による地下水排除工で補う等の抑制工による対策工が計画された。

(3) 適切なマネジメントの想定

本事業の計画設計段階において適切な地質リスクマネジメントが行なわれていた場合には、のり面崩壊を回避できたと仮定すると、事前に行われるべきであったリスクマネジメントのための地質調査内容は以下のように想定される。

- ① のり面崩壊箇所背後に古い地すべり地形が認められたことから、道路計画段階で、ルート周辺の空中写真判読、地表地質踏査を実施し、古い地すべり等の不安定地形の抽出を行った場合には、切土のり面崩壊として発現した地質リスクを予測し、リスクを回避するためのルート変更が可能であったと考えられる。
- ② ルート変更が困難であった場合には、切土箇所のボーリング調査を行い、地すべり範囲、地山の劣化程度、強度特性、地下水位等を把握し、切土のり面の安定解析を行うことにより、道路縦断勾配、線形の微調整等で切土高を極力低くし、地下水を排除する等のリスク低減が可能であったと考えられる。

3. データ収集分析

本事例のデータは、発注者からの貸与資料及び筆者らが所属する崩壊後の調査設計業務担当会社の資料から収集した。これらのデータから得られた工事中に発生した崩壊状況、原因に基づいて、それまでの技術的判断内容を推定するとともに、崩壊対策調査、対策工事内容等に基づいてリスク発現以降の技術者の対応の経緯などを把握した。また、崩壊の範囲、規模、原因等に基づいて、計画設計段階で理想的なリスクマネジメントを行うために必要な地質調査項目、数量を経験的な見地より想定した（表-1）。

表-1 事前のリスクマネジメントに必要な調査（想定）

リスク対策	必要な調査	調査目的
リスク回避 (ルートの変更の提案)	地表地質踏査(縮尺 1:5,000)：面積=1.5km ² (丘陵区間延長約 3km×約 0.5km)	ルートに周辺の古い地すべり地形を抽出
リスク低減 (切土高を極力低くし、切土前に地下水排除工の施工等を提案)	ボーリング調査：3孔、延べ90m 標準貫入試験：3孔、延べ90m パイプ歪計・地下水位観測：3孔、5ヶ月 機構・安定解析・対策工検討：1式、1断面	古い地すべり移動層の分布、強度、地下水位、安定度等を把握

4. マネジメントの効果

(1) マネジメント効果の計量化手法

本事例は、計画設計段階で地質リスクマネジメントが適切に行われなかったために発生したのり面崩壊によって追加調査、対策工事の費用が発生したと考えられることから、マネジメント効果は、実際に要した崩壊対策費用から計画設計段階で地質リスク発現を防止するために行われるべきであったリスクマネジメントに必要な想定事前地質調査費（前掲表-1）を減ずることにより推定した。

$$\text{マネジメント効果（推定）} = \text{崩壊対策費}^{\ast 1} - \text{想定事前地質調査費}^{\ast 2}$$

※1 崩壊対策費 = 地すべり調査、解析、設計費 + 対策工事費

※2 想定事前地質調査費 = 前掲表-1 に基づき算定

表-2 想定マネジメント効果

費 目			費用 (千円)	工 期	
【 実際 】 崩壊対策費	調査 設計	調査ボーリング等	14孔、延べ321m	28,900	約1年8 ヶ月
		歪計、地下水位計	14孔		
		地表伸縮計観測	2基		
		機構・安定解析	2断面×2回		
		防止工法検討・設計	斜面整形工、地下水排除工他		
	対策 工事	土工・のり面工等	切土工：18,186m ³ 他	61,550	約6ヶ月
		地下水排除工	集水井3基：ΣH=46.5m 集水ボーリング工：ΣL=1,770m 排水ボーリング工：ΣL=194m 横ボーリング工：ΣL=1,000m	104,600	
合計①			195,050		
【 想定 】 事前地質 調査費	調査 解析	地表地質踏査	1.5km ²	1,600	約5ヶ月 (想定)
		調査ボーリング他	3孔、延べ90m	8,310	
		機構・安定解析	1断面	2,280	
	合計②			12,190	
想定マネジメント効果 (①-②)			182,860		

(2) マネジメント効果

本事例のシナリオから検討したマネジメント効果を表-2に示す。

崩壊対策費は実際に要した地質調査費、対策工設計費及び対策工事費を合わせた総額約195,050千円（表-2中の①）であり、計画設計段階で地すべりを回避あるいは低減するために必要な地質調査・解析費は約12,190千円（表-2中の②）と想定されることから、この差額である約182,860千円がリスクを回避あるいは低減した場合のマネジメント効果と試算される。なお、当初工事費は、崩壊発生時に切土工がほぼ完了していたことから、マネジメント効果の算定には考慮しなかった。

5. データ様式の提案

以上の切土のり面崩壊事例の検討結果をB表に記入した。本事例のマネジメントの効果は、顕在化した地質リスク（崩壊）対策費とこれを事前に回避、低減するための想定事前地質調査費から計量化した。崩壊対策費の調査設計費は実際の発注金額を記入し、対策工事費は設計資料の工事数量から積算資料等を参考に算定した。理想的なリスクマネジメントが行われた場合のリスク回避とリスク低減（前掲表-1）は、これらのいずれが選択されたかが明確ではないため、これらを合わせて想定事前地質調査費として積算資料等に基づいて算定した。

B表に対する提案としては、「リスク管理の理想像」の欄に事前に行われるべきであったリスク対策の種類（保有、回避、低減、移転）の欄とその選定理由の欄を追加すれば、リスク対策のシナリオ、リスク発現に至った因果関係をより理解しやすくすることができると思われる（表-3）。

表-3(1) B表記入結果(1)

対象工事	発注者	〇〇県
	工事名	〇〇地区〇〇道整備事業
	工種	道路土工（切土工）
	①当初工事費	83,600千円（トラブル区間の切土、のり面工）
	当初工期	平成12年7月～平成13年3月
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	切土のり面掘削直後に地すべり性崩壊発生
	トラブルの原因	古い地すべり中央部を切土で横断したため、脆弱な地すべり移動層が不安定化し、切土のり面に地すべり性崩壊が発生した。
	地質リスクカテゴリー	②地すべり、崩壊の危険度
	原因となった（楽観的） リスク評価	計画段階：古い地すべりよりなる尾根部を高さ約25mの切土で横断するルートを決めた。 設計段階：切土区間を通常の風化～弱風化軟岩地山と評価してのり面勾配を設計した。
工事への影響	地質調査、対策工設計、のり面工、地すべり対策工により地すべり区間の竣工が約2年間遅延した。	

表-3(2) B表記入結果(2)

追加工事の内容	追加調査の内容	伸縮計観測、測量、ボーリング調査、地すべり観測、機構・安定解析	
	追加設計内容	道路修正設計 (L=120m)、横ボーリング工 2 件、集水井工(集排水ボーリング工) 3 基、排土工設計：1 件	
	対策工事	横ボーリング工、集水井工(集排水ボーリング工)、排土工、盛土工	
	追加工事	当該区間の道路路線を最大約 15m シフトした。	
	追加費用	追加調査	28,900 千円
		修正設計	上記に含まれる。
		対策工	167,150 千円
		追加工事	上記に含まれる。
		②合計	195,050 千円
	延長工期	約 1 年	
間接的な影響項目	工事中の安全管理が必要であった。崩壊に伴い労災が発生する可能性もあった。		
負担者	変更工事：発注者、間接的影響：工事業者		
リスク管理の理想像	対応(すべき)時期	予備設計段階、設計段階、(調査段階)	
	対応(すべき)者	計画段階：設計技術者、設計段階：設計技術者 (調査段階：地質技術者)	
	対応すべき内容	計画段階：不安定地形抽出のためにルート周辺の地質概査を提案すべきであった。 不安定地形抽出：地表地質概査(縮尺 1:5000) 1.5km ² 不安定地形の地山状況確認：ボーリング調査(3 孔、90m)、パイプ歪計・地下水位計設置観測(3 箇所、5 ヶ月)、 機構・安定解析 1 式	
	判断に必要な情報	不安定地形の分布、安定性、地山性状	
	必要なリスク対策種別	回避あるいは低減	
	リスク対策選定理由	無対策で切土した場合、切土範囲の崩壊発生確率が高くなる。	
	対応費用	調査	12,190 千円
		対策工	(予備設計段階で地すべりを回避するルートの選定あるいは地すべり区間の切土高を極力少なくしていれば対策工不用と考えられる)。
		③合計	12,190 千円(想定)
	想定工事	工事概要	(リスク回避、低減がなされた場合には不用)。
		④工事費	—
工期		—	
理の効果	費用②-③	182,860 千円(①は考慮しない。④は 0 円と想定)	
	工期	工期が遅延した約 2 年を短縮(金額は計量化していない)	
	その他	斜面安全管理等の施工業者の負担軽減	

(株)ダイヤコンサルタント 松村 法行

1. 事例の概要

本事案は、第三紀の堆積岩が分布する地域において、道路建設に伴う切土のり面を対象に、流れ盤状に存在する亜炭層や断層による崩壊の可能性を事前に検討し、詳細な地質調査および必要最小限の対策工によって、安全に道路を完成させた事例である。

調査地では、新設する道路（農道）が峠部分を両切りのり面で通過する計画であった（図1）。当初計画では特にのり面对策をせず、標準のり面勾配で切土する計画であったが、上から2段目の小段を掘削中に西側のり面において、流れ盤で存在していた亜炭層をすべり面とする小崩壊が発生した。その際に地質技術者が現地周辺を踏査した結果、このまま切土を進めた場合、深部に存在する別の亜炭層や断層をすべり面とする大規模な岩盤すべりの発生リスクが高いと考えられた。したがって詳細な地質調査（調査ボーリングや切土のり面観察等）を実施し、岩盤すべりの範囲を特定する事で、効率の良い対策工の配置（受圧盤+アンカー工）を計画・施工し、工事中の安全を確保しながら道路を完成させた。

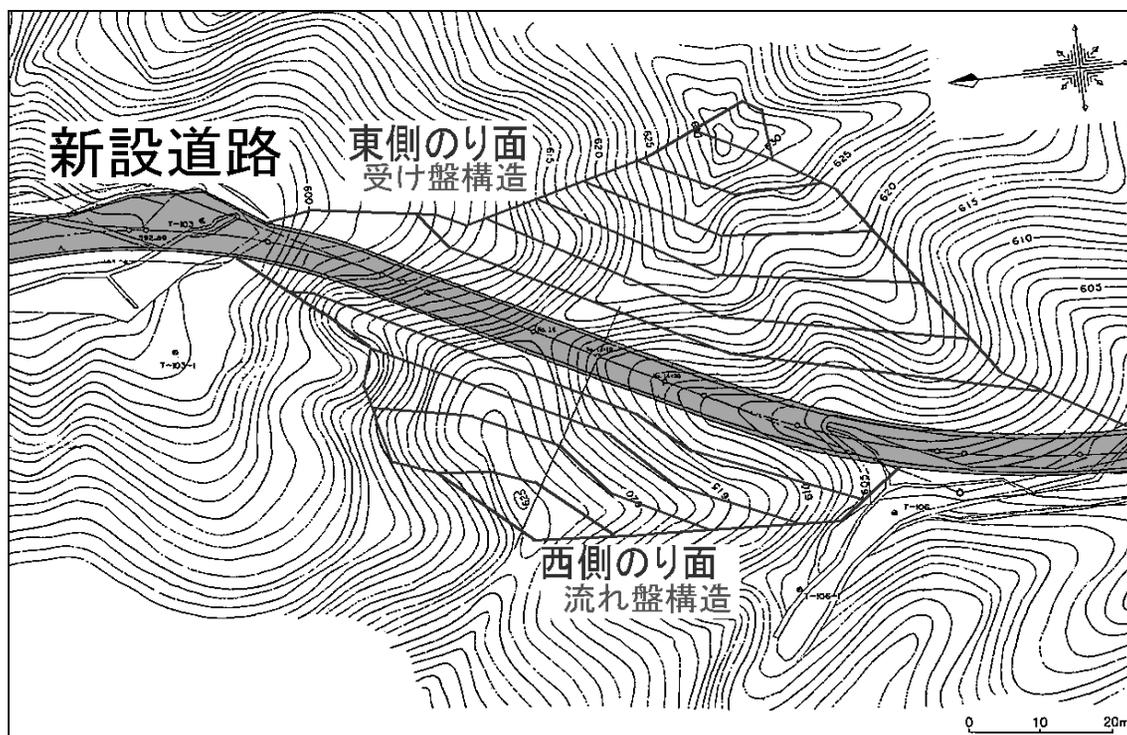


図1. 調査地の地形（峠部を両切りのり面で通過）

2. 事例分析のシナリオ

本事案の経緯フロー図を図2に示す。

(1) 詳細調査の検討

調査地に分布する砂岩・礫岩は、未風化部が硬質な岩盤であったことから、当初は地質的な問題は無いと考え、地質調査をほとんどせず切土工事が進められていた。しかし、工事の初期段階（2段目掘削の途中）でのり面の端部で小崩壊が発生した事から、地質技

術者が現地を確認し、西側のり面は流れ盤構造（10° 傾斜）であり、さらに別の亜炭層や断層が存在する可能性が考えられた。そこで、施主である県担当者と地質技術者が協議した結果、このまま無対策で切土を進めた場合、別の亜炭層や断層がのり面に出現して、大規模な崩壊が発生する可能性が高いと考え、詳細な地質調査を行うこととした。

(2) 詳細調査

調査ボーリングをのり面の中央と左右の小段で行い、さらに地中の変位を把握する目的で孔内傾斜計を設置した。ボーリング結果から地質断面図を作成し、地下深部に他の亜炭層や断層が存在する事を確認された。ただし、それらの連続性は不明な点が多い(亜炭層はその層厚が大きく膨縮することから、まずは孔内傾斜計を測定しながら切土工事を観測施工で進め、変位が増加するようであれば、崩壊防止の対策工を検討することとした。また、切土によって新たに出現するのり面を詳細に観察し、地質構造の推定に役立てることとした。

(3) 切土工事の観測施工

切土工事が最後の1段まで進んだ段階で流れ盤で存在するC-2 亜炭層とF-3 断層の位置で孔内傾斜計に変位が観測された。さらに切土工事が進むにつれ地中の変位が増加することから、このまま切土工事を進めれば崩壊が発生すると判断し、対策工を設計することとした。

(4) 対策工の範囲検討

のり面の詳細観察から、C-2 亜炭層はF-1 断層によって切断されていることが判明した(図3)。また、C-2 亜炭層やF-3 断層ものり面中央付近では計画道路面よりも下位に位置することから、その範囲では崩壊は発生しないと考え、対策工の範囲から除外することとした(図4)。

(5) 対策工の逆巻き施工

対策工は逆巻き施工が可能な「受圧板(PC フレーム) + アンカー工」とした。また、施工順序として、すでに出来ている下から2段目ののり面にアンカー工を施工した後に、際下段の切土工事を再開した。切土工事中も孔内傾斜計によって地中の変位を確認しながら、工事を安全に進められるように努めた。

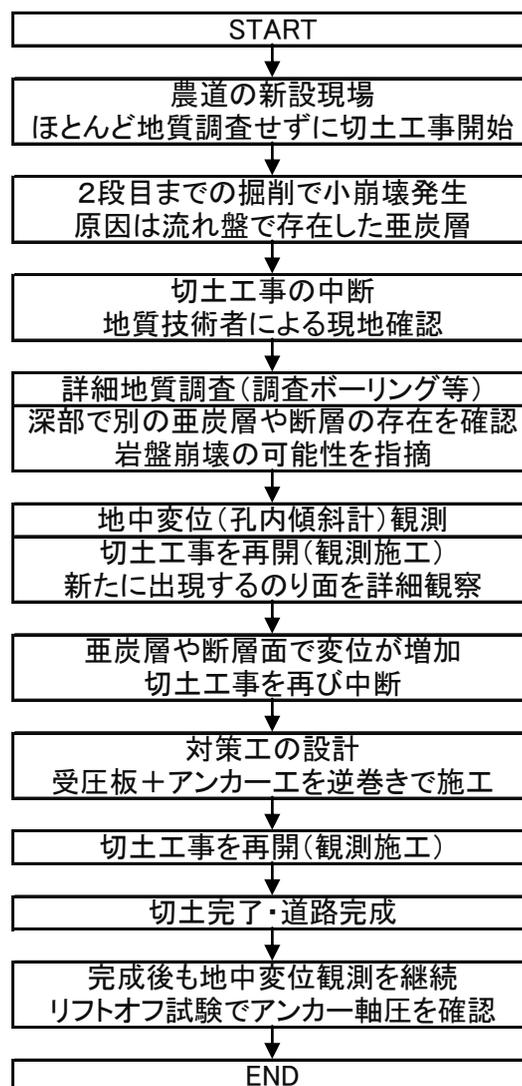


図2. 本事案の経緯フロー図

(6) 切土工事完了後の観測・確認

切土工事完了後もしばらく地中変位観測を続け、地中の変位が増加しないことを確認した。また、アンカー工に設計緊張力以上の応力がかかっているか確認する目的で、アンカー工のリフトオフ試験を行い、軸圧が適切である事を確認した。

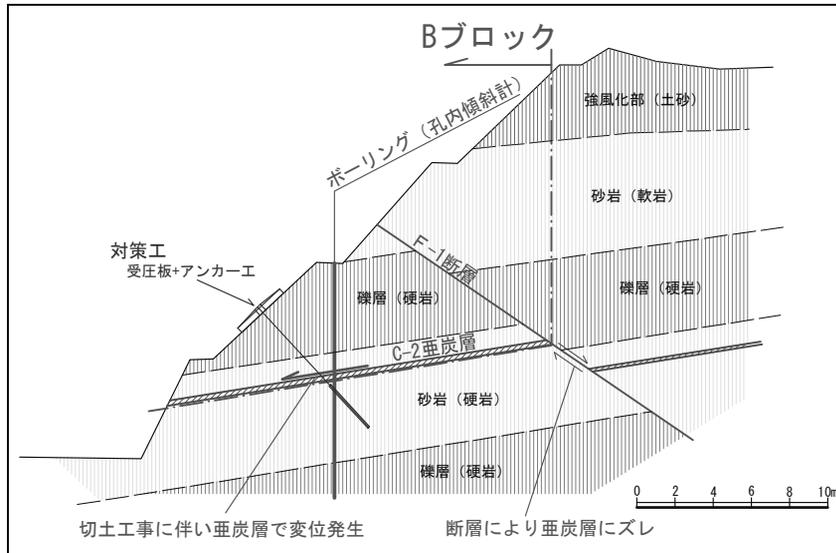


図3. 地質断面図 (Bブロック)

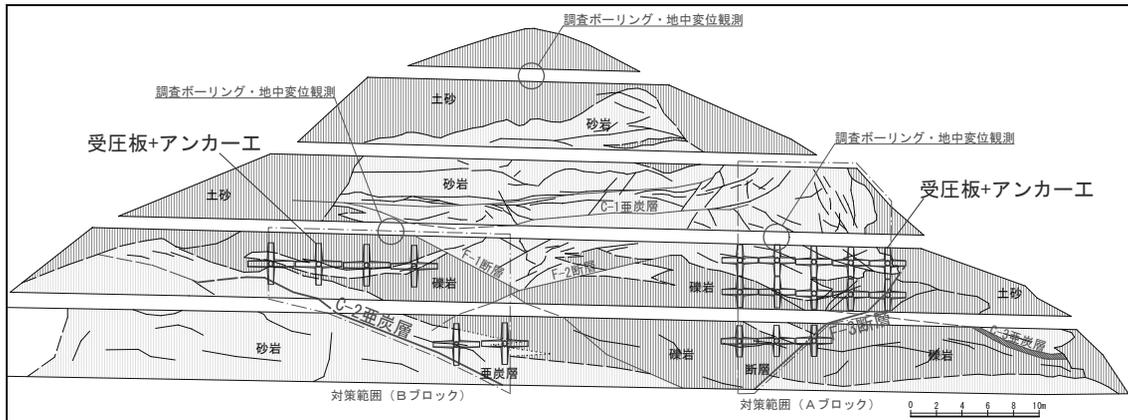


図4. 西側のり面 (正面図)

3. データ収集分析

本事案における最大の課題は、事前の調査で崩壊の形態や規模を正確に推定して過不足のない対策工を設計し、逆巻き施工で工事中の安全を確保しながら道路を完成させることであった。また、切土工事を中断していることもあり、敏速な調査・設計、対策工の施工が必要であった。

本事案では、調査ボーリングをのり面中央の測線だけではなく、左右の測線でも実施することで地質構造を立体的に把握し、さらに切土工事中に新たな切土面を随時観察することで、地質断面図の精度を向上させることで、対策工の必要範囲の特定が可能となった。また、切土工事でも地中変位を高精度な孔内傾斜計で観測することで、工事中の安全を確保できたと言える。

4. マネジメントの効果（リスクの計量化）

マネジメントの効果を表現するため、想定されるケース別に調査・設計費および対策工事費を試算した。

①無対策で切土工事を進めた場合

のり面の大規模崩壊（崩壊土砂：3万m³）の対応に、用地追加買収、崩積土砂の撤去・運搬、のり面工（場合によってはアンカー工を追加）が必要：費用は6000万円以上になる考えられる。

②概略調査のみでのり面全面にアンカー工を施した場合

調査・設計費：800万（ボーリング1孔，観測無し）
対策工事費：5500万円（アンカー工：50本）

③詳細調査を行った場合（本事案）

調査・設計費：1300万（ボーリング3孔，観測施工）
対策工事費：2200万円（アンカー工：19本）

①無対策の場合，大規模な岩盤崩壊によって，崩積土の処分やのり面工を行う必要がある。また，崩壊の滑落崖より背面斜面についての調査や対策工も必要になる事も考えられ，費用はさらに増加する可能性がある。

②概略調査のみの場合は，対策工範囲の絞り込みが出来ず，結果的に過大な対策工となって，費用が増加するものと考えられる。

③本事案では，調査・設計費は増加したが，地質構造を詳細に把握した上で対策工を必要最小限にしたので，対策工費用がかなり縮小できたと言える。

このような検討ケースを調査・設計費と対策工事費で比較すると図5のようになる。③のケースでは①や②のケースよりも調査・設計費が多いものの，対策工事費を大きく削減できたので，トータルコスト（総費用）は縮小できたと言える。

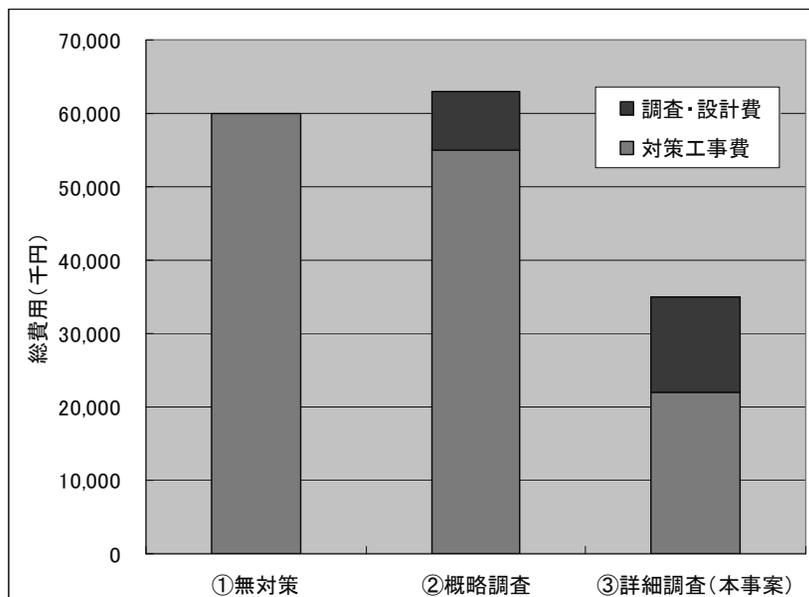


図5. 総費用比較図

5. データ様式の提案

以上の検討結果をA表に記入した。

本事案では、当初予定の無かった調査および対策工を追加することで、大規模崩壊のリスクを除去した事例である。「リスクマネジメントの効果」について、総費用も大きく縮減できたと言えるが、切土工事中の安全を確保できたことも大きな効果である。費用や工期の縮減だけの評価ではなく、数字では表しにくい「安全性」についてもあわせて評価する必要があるであろう。

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		県農道整備事務所
	工事名		—
	工種		農道建設
	工事概要		切土工事
	①当初工事費		不明
	当初工期		2年後の完成予定であった
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		最初の小崩壊後、地質技術者が現地を確認した段階
	予測されたトラブル		切土のり面の大規模岩盤崩壊
	回避した事象		のり面および背後斜面の岩盤崩壊
	工事への影響		調査、対策のために切土工事を中断
リスク管理の実際	判断した時期		切土の観測施工時(地中変位増加した段階)
	判断した者		県担当者および地質技術者
	判断の内容		無対策で切土を続けると大規模崩壊の恐れが高い
	判断に必要な情報		詳細な地質構造の把握 地中の変位観測結果
リスク対応の実際	内容	追加調査	調査ボーリング3孔、孔内傾斜計観測
		修正設計	アンカー工詳細設計
		対策工	受圧板+アンカー工の逆巻き施工
	費用	追加調査	900万円
		修正設計	400万円
		対策工	2200万円
		②合計	3500万円
変更工事の内容	工事変更の内容		アンカー工の逆巻き施工
	③変更工事費		—
	変更工期		当初の道路完成予定から半年遅れた
	間接的な影響項目		切土工事中の安全確保
	受益者		農道通行車両
リスクマネジメントの効果	費用効果 (無対策の場合と事前に対策を施した場合の差)		岩盤崩壊が発生した場合、用地追加買収や崩積土砂の撤去・運搬、のり面工等で6000万円以上 差額2500万円以上
	工期		道路完成が1年以上は遅れたと考えられる
	その他		—

1. 事例の概要

本事例は、河川付け替えを目的とした切土箇所において、地すべりによる変状が発生したため、直ちに追加調査と対策検討を行ない、法面の切り直しとグランドアンカー工による対策工を施工したものである。

対象区間の切土のり面は事前調査を行なっておらず、標準勾配による切土で設計されていた。切土を中段まで終えた段階で、上位の畑にクラックが入り、のり尻付近に盛り上がり等の変状が生じたため、応急対策として押え盛土を施工し、追加調査・解析・対策工設計を行なった。また、安定した状況で工事を進めるように、対策工事中に観測施工を行なった。

この地質リスクの発現によって、約 3100 万円の追加対策工事費が必要となり、工期も約 8 ヶ月延長し、結果として供用が遅れるなどの影響が出た。

この事例は、工事着手後に対策工が必要となった点では地質リスクが発現した事例であるが、追加調査結果から早急にすべり面を確定し、変位観測を行なって大規模な地すべりを未然に防いだことは地質リスクを回避した事例とも言える。

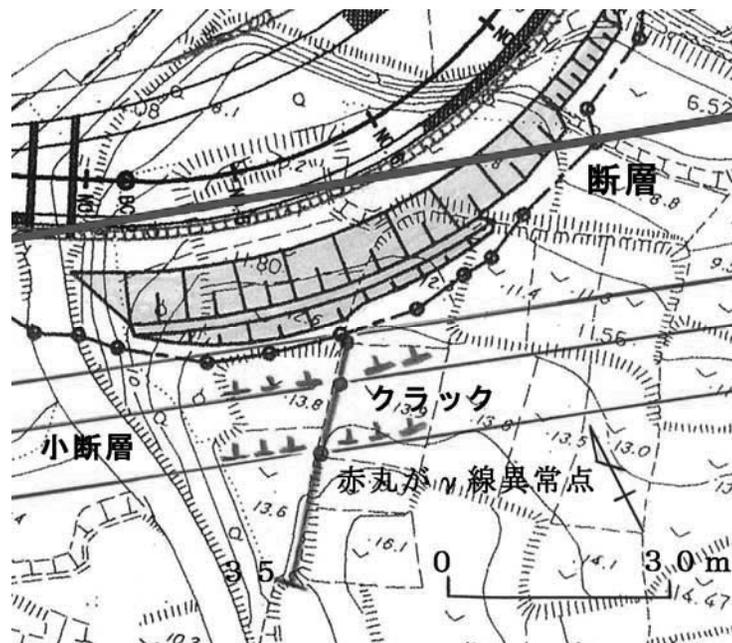


図1 調査位置図（クラック位置と小断層分布）

2. 事例の分析

(1) リスク発現に至るプロセス

法面掘削は、8月末より始められ、11月始めに中段までの掘削が完了した。その直後に、切土法面上方の畑に開口亀裂が発生し、切土のり尻に押し出しの圧縮亀裂を確認し

た。直ちに伸縮計を設置し、応急対策として押え盛土を施工したところ変位は収束傾向となった。掘削完了時の法面観察では、測点 No.6 付近では WNW 方向の小規模（破碎幅：約 2m）な断層破碎帯が認められた（図 1）。上下変位量が約 6m の断層を境として、北側と南側の地層が異なり、当初掘削法面に分布していた砂岩がなくなり、法面下部には風化泥岩が出現していた。

変状発生の素因としては、すべり面になり得る風化頁岩層が、左岸斜面に対して流れ盤となる地質構造を形成していた。誘因としては、斜面をすべり面となる地層付近まで掘削したために、すべり土塊の抵抗部分が除去され不安定化し、弱層がすべり面となって地盤が変動した。

以上のように変位発生は本掘削が誘因と考えられたため、急遽追加調査を行なうと伴に、地すべり機構の把握および対策工の検討を行なった。その結果を踏まえて、傾斜計による動態観測を行ないつつ対策工を施工し、大規模な地すべりには至らなかった。

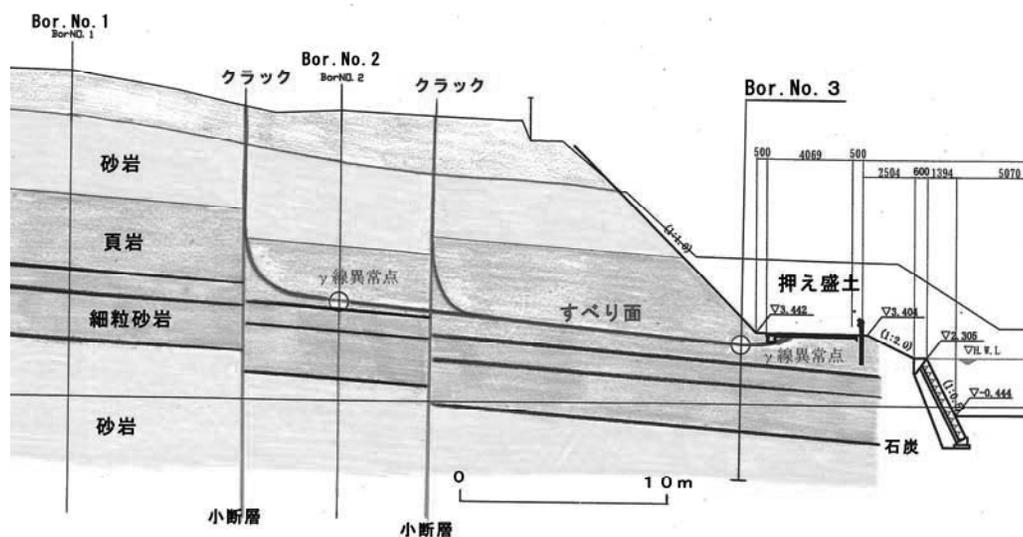


図 2 地すべり形態図

(2) 想定されるリスクマネジメント

① 設計時

設計段階で事前調査を行なって法面に分布する風化頁岩層と断層を把握できていれば、適切な法面設計ができたと思われるが、本事例でもリスクマネジメントには適切な地質調査が重要であることが判る。

② 施工時

護岸基礎掘削時には、地層分布状態から対象区間の地質リスクを判断し、掘削時の切土法面の挙動を観測してリスク管理をしている。施工時においては、実際の掘削状況や地盤の挙動などの情報がリスクマネジメントでは重要となる。

3. データ収集分析

(1) データ収集

本事例で収集したデータは次の通りである。

- ・ リスク発現現象の内容，経緯
- ・ 追加地質調査データ
- ・ 地すべり解析データ
- ・ 対策工設計
- ・ 対策工概算工事費

(2) データ分析

切土のり面に対して，事前に地質調査は実施されていない。追加調査はボーリング3箇所，傾斜計設置2箇所である。今回は，対策工検討を早急に実施する必要があったため，すべり面と地すべり形態の早期決定が重要な課題であった。通常すべり面決定は，コア観察や傾斜計観測による。堆積軟岩である頁岩では目視によるすべり面決定は困難であった。また，応急処置で押え盛土を施工しているため，傾斜計によるすべり面決定もすぐに行なえなかった。今回は，これらの問題を克服するためにボーリングコアを用いてコア γ 線測定を行ない，すべり面を特定した。また，地表 γ 線測定を実施してクラックが小断層起源であることを明らかにし，表層部での地すべり形態を把握した。これらのデータを分析し，対策が必要な範囲・深度を決定した。

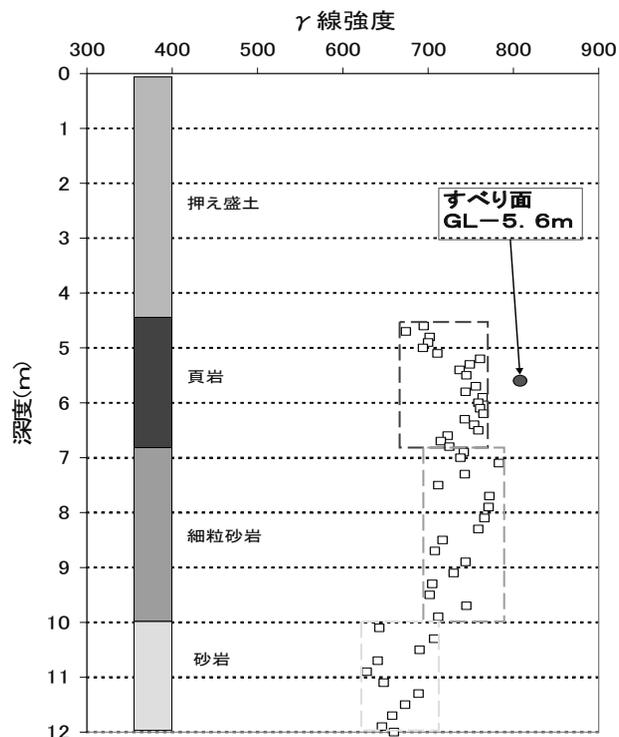


図3 ボーリングコア γ 線測定結果図

対策工は，グランドアンカー工とし，その対策工事費は約3100万円となっている。また，追加調査・解析・設計費を含めると追加費用は総額で4000万円となっている。

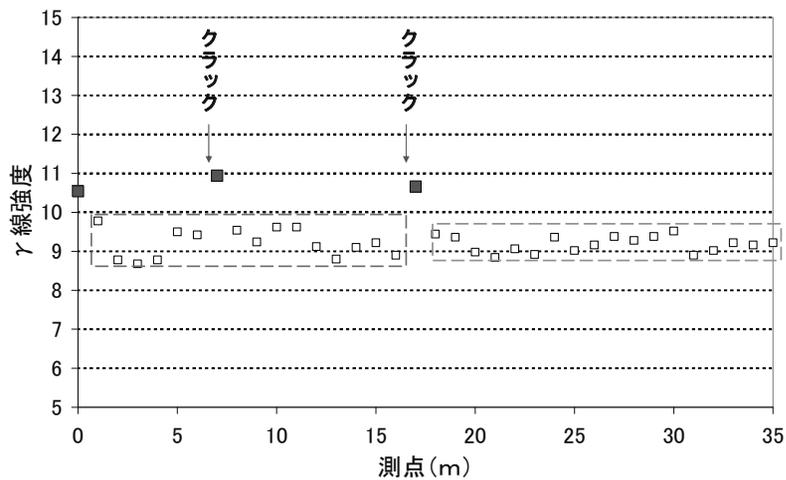


図4 地表 γ 線測定結果図

4. マネジメントの効果

(1) リスクの計量化

リスクデータ表に示すように、追加調査（地質調査）を事前に行なっていれば、対策工費 3100 万円が掛からなかったとの判断が出来る場合に、マネジメント効果があったとなる。しかし、当該区間のように小断層で地層の不連続が生じていた場合、必要最低限の調査・設計が事前に来たかどうかをいうことは、かなり難しい判断である。

一般論として、法面工事で崩壊や地すべりなどを起こした場合、事前に対策をしていた場合より、大がかりな対策工が必要である。その観点に立ち、事前の調査で対応していれば、多少おさえられた可能性がある。

(2) リスクマネジメントの方法

前記のように予測が困難な地すべりの兆候が出た場合には、地質の専門家の意見を参考に施工時に動態観測を行ない、最悪のシナリオに至らないような対応を講じることも地質リスクマネジメントの一手法であると考えられる。

(3) マネジメントの効果

マネジメント効果として事業費の大幅な増加、工期の延長を回避することが可能と考えられる。地質リスクマネジメントが安全で経済的な工事に寄与することはできると言える。

5. データ様式の提案

以上の検討データを C 表原案に記入した。

[参考文献]

- 1) 吉村辰朗(1992)：活断層調査のための γ 線測定方法，活断層研究，No. 10，p. 73-83.
- 2) 吉村辰朗・間野道子(2005)：ボーリングコアの γ 線強度・帯磁率測定によるすべり面検出，地すべり，42，3，p. 12-18.

C. 発現した地質リスクを最小限に回避した事例

大項目		小項目		データ
対象工事		発注者		国交省
		工事名		河川付替工事
		工種		切土
		工事概要		切土のり面工事
		①当初工事費		1300万円
		当初工期		—
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期		工事中
		トラブルの内容		切土のり面掘削終了直後に、クラック・のり尻の押し出し等の変形が生じ、地すべりの兆候が現れ、対策が必要となった。
		トラブルの原因		調査不足(当該地域における事前調査なし)
		工事への影響		追加対策工事, 工期延長
	追加工事の内容	追加調査の内容		ボーリング 3 本, 傾斜計設置, コアγ線測定
		修正設計内容		—
		対策工事		切土とグラウンドアンカー工
		追加工事		—
		追加費用	追加調査	550万円
			修正設計	350万円
			対策工	3100万円
			追加工事	—
	②合計		4000万円	
	延長工期		8ヶ月	
間接的な影響項目		供用時期の延期		
負担者		施主		
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		工事中
		予測されたトラブル		地すべり
		回避した事象		地すべり
		工事への影響		工事の中断, 手戻り
	リスク管理の実際	判断した時期		工事中
		判断した者		地質技術者, 施工者
		判断の内容		① 護岸基礎の掘削により, 当該区間の安定性の低下 ② 掘削時の地中変位より, 地すべり変動の発生の有無
		判断に必要な情報		施工データ, 地盤データ, 地盤動態観測データ
	リスク対応の実際	内容	追加調査	傾斜計による地中変位観測
			修正設計	
			対策工	
		費用	追加調査	180万円
修正設計				

		対策工	
		③合計	180万円
回避しなかった場合	工事変更の内容		大規模地すべりの発生により、地すべり土砂の撤去、安定対策は不可避。
	④変更後工事費		算定困難
	変更後工期		1年
	間接的な影響項目		供用時期の遅れ、用地の追加買収、地元とのトラブル。
	受益者		施主
リスクマネジメントの効果	費用④－(①+②+③)		算定困難
	工期		
	その他		

[論文No. 17]

地すべり災害において実施したリアルタイム監視によるリスク管理について

株式会社藤井基礎設計事務所

○藤井 勇、藤井俊逸、永田和之

1. 事例の概要

検討地は平成21年6月の降雨により道路が被災した箇所である。道路の下側は地滑り的な地形をしており、地滑り頭部にある道路が沈下した。道路の山側及び下側には民家があり地滑りの進行が懸念された。すべりは泥岩をすべり面として発生しており、滑りの進行とともにすべり面の泥岩が強度低下することで地滑り移動速度が加速することが考えられた。

以上の地質的な判断より、本地では伸縮計を基準として災害時の安全管理を行った。

伸縮計は通常の現地読み取り式ではなく、10分毎に観測した結果を通信技術を使いインターネットのwebに表示し関係者で情報を共有し、基準値を超える伸縮量の場合は関係者へメールで知らせるものとした。

このような観測方式は一般的には通常のものよりも高価ではあるが、関係者の安全管理にかかる労力を大きく減らすことになるとともに、工事の安全に寄与することができる。

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

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

ケース1. 通信技術を使った伸縮計により安全管理をする方法

ケース2. 従来の伸縮計を使って、ケース1と同レベルの安全管理をする方法

ケース3. 従来の伸縮計を使って、従来通りの計測を行う方法

2. 事例分析のシナリオ

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

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

ここではリアルタイム計測に着目しリスクマネジメント費用を整理する。

費用1. 計測器の設置・観測にかかる費用

費用2. 計測結果の整理にかかる費用

費用3. 計測結果の関係者通知にかかる費用

費用4. 安全監視員にかかる費用

(2) リアルタイム計測のシステム構成と各ケースにおける安全管理の特徴

リアルタイム計測のシステム構成を図3に、各ケースにおける安全管理の特徴を表1に示す。

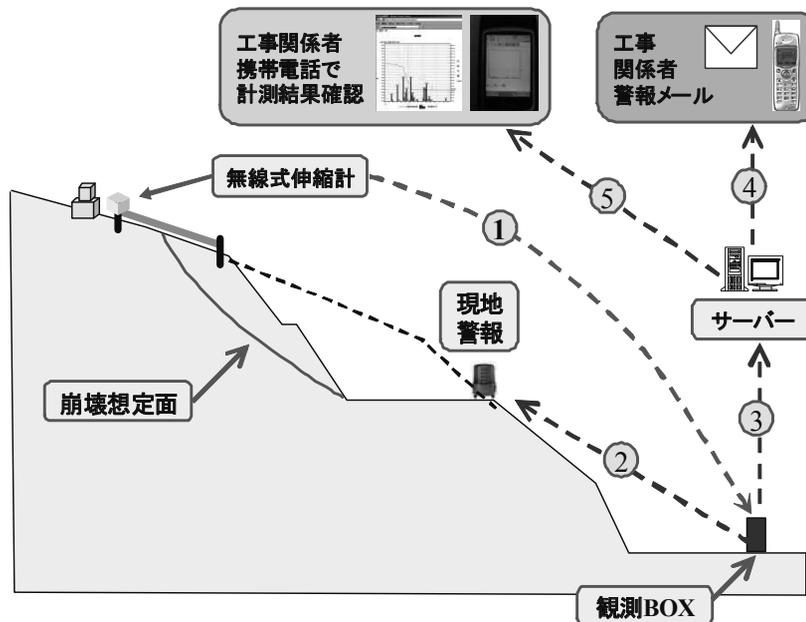


図3 リアルタイム計測のシステム構成

表1 各ケースにおける安全管理の特徴

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

(4) 計測結果

本地の伸縮計移動量を図4、図5に示す。

図4は被災時のものであり、観測は7月1日昼の連絡を受けて設置作業を行い19時から開始した。設置後、雨量の減少とともに伸縮量の伸びが小さくなったことから押え土のうを設置した。応急対策により伸縮量は小さくすることができた。

図5は工事中のもので、工事中に押え土のうを撤去した際、降雨の影響を受けてすべりが進行した時のものである。リアルタイム観測の結果を受け早期に対処したことによりすべりの発生を抑止した。

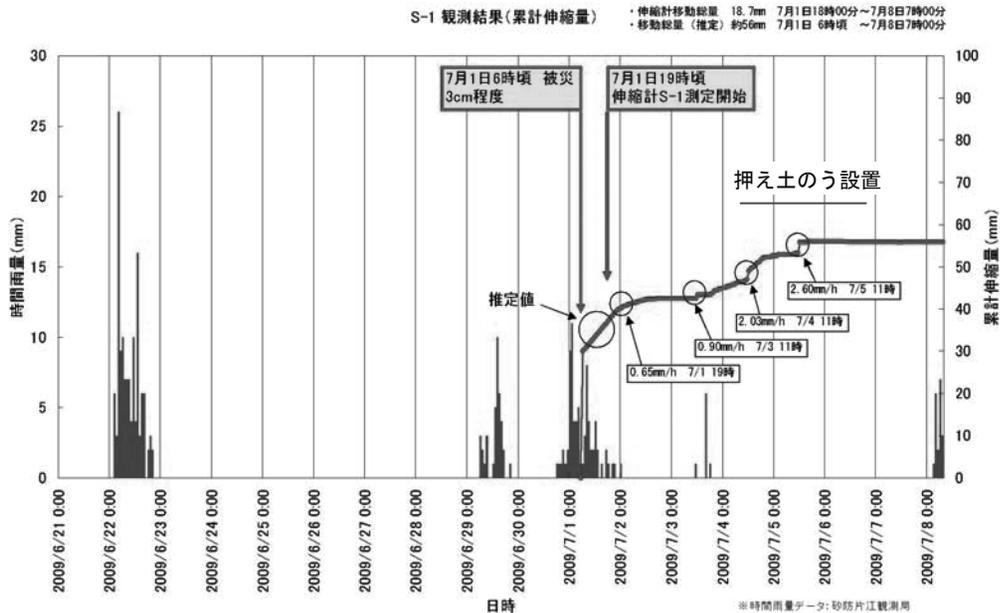


図4 伸縮計観測結果 (被災時)

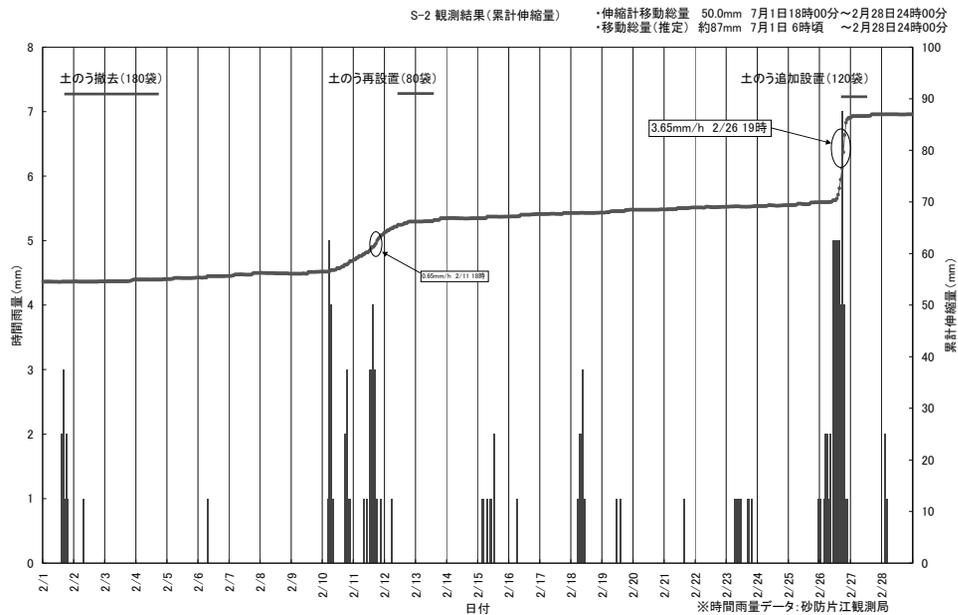


図5 伸縮計観測結果 (押え土のう撤去時)

4. マネジメントの効果

リアルタイム計測と従来からの計測を実施した場合の考え方、コストを表2、表3に示す。

コスト比較では従来計測よりもリアルタイム計測が安くなる。また、サービス水準もケース2、ケース3と比較して以下の点で格段に優れている。

表2 各ケースのコストの考え方

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

表3 コスト比較

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

5. データ様式の提案

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	島根県松江県土整備事務所	
	工事名	S 地区 災害関連緊急地すべり対策工事	
	工種	応急対策	
	工事概要	大型土のうによる押え盛土	
	①当初工事費	計測を従来の方で行っていた場合、地すべりの背後家屋への拡大を予知できずに、背後家屋に被害発生したものと、当初工事費を計上した。 5,298 千円(ケース3)	
	当初工期	---	
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期	災害発生時	
	予測されたトラブル	背後家屋への 2 次災害	
	回避した事象	背後家屋への 2 次災害	
	工事への影響	背後家屋への被害を防いだことにより、背後家屋の撤去や、崩落土砂の処理などがなくなる。その結果、地すべり工事へすぐに入れる状態となった。	
リスク管理の実際	判断した時期	伸縮計設置 1 日目(動きが活発)	
	判断した者	コンサルタント	
	判断の内容	応急対策に緊急を要するという判断から、大型土のうを用いた押さえ盛土を実施	
	判断に必要な情報	通信技術を用いた伸縮計による安全管理システムからの警戒メール・及びインターネットで確認できる伸縮計グラフ	
リスク対応の実際	内容	追加調査	通信技術を用いた伸縮計による安全管理システム
		修正設計	大型土のうを用いた押さえ盛土
		対策工	大型土のうを用いた押さえ盛土
	費用	追加調査	ケース1のコスト 1289 千円
		修正設計	100 千円
		対策工	押さえ盛土の工事費 1,000 千円
②合計	2,389 千円		
変更工事の内容	工事変更の内容	通信技術を用いた伸縮計による安全管理システム+押さえ盛土工事	
	③変更工事費	②にて計上済み	
	変更工期	背後家屋が被災した場合は、3 ヶ月程度、その処理で要するので、3 ヶ月短縮として扱う。	
	間接的な影響項目	背後家屋が崩壊した場合、当然道路も閉鎖となるので、地域住民の利便性が低下する。また、背後家屋の住民が、行政に対する不信感をもたないで済んだ。	
	受益者	島根県	
リスクマネジメントの効果	費用(①-③-②)	5,928-(2,389)=3,539 千円	
	工期	3 ヶ月短縮	
	その他	---	

宮城県土木部道路課 ○佐々 真也
 宮城県農林水産部水産業基盤整備課 遠藤 学
 株式会社 復建技術コンサルタント 菊地 良昭
 株式会社 建設技術研究所 松浦 努

1. 事例の概要

本事例は、国道 108 号（宮城県大崎市鳴子温泉大畑地内）において 2007 年 2 月 17 日に発生した地すべり災害の対策工事を対象にしている。起こりうるトラブルを事前に予測し地質リスクマネジメントを実施することで、経済性で優れた“（斜面）アンカー工+（道路）原型復旧案”という工法を選択し、大幅なコスト縮減を達成できたもの（タイプ A）である。

崩落が発生した箇所は、図 1 に示すように宮城県北と秋田県を結ぶ主要幹線道である国道 108 号上である。国道 108 号は、鬼首リゾート地区と首都圏仙台圏を結ぶ観光道路となっており、また、鳴子温泉と鬼首地区を結ぶ唯一の生活道路ともなっている。地すべりによる通行止めにより、国道 108 号の利用者は、仮設道路完成までの 45 日間の期間、通行止区間を大きく迂回しなければならなかった。

当該地すべりの範囲や発生メカニズムは、発生直後の地表地質踏査により明らかになった。その結果を図 2 に示すが、当該地すべりは山体の緩みが下部斜面から上部斜面に波及し、不安定化が徐々に広がっていく、岩盤クリープ的なメカニズムで発生したものであると推定された。崩壊にいたる要因は次のとおりである。

【素因】

- ・江合川の浸食により、山体に緩みが発生、助長されていった。
- ・地すべりの移動方向と一致する流れ盤傾斜の割れ目が存在していた。
- ・当該地すべり末端に崩壊地（崩壊時期不明）が存在していた。

【誘因】

- ・地すべり末端の崩壊により、不安定化が上部斜面に波及し、長い時間をかけ徐々にクリープ的な変形が蓄積され、応力に耐えられなくなり当該地すべりが発生した。

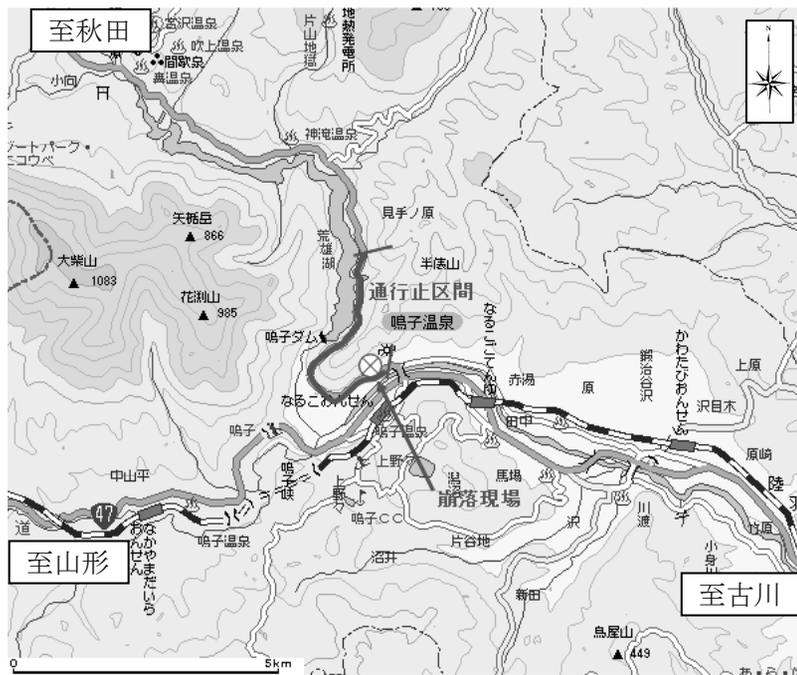


図 1 地すべり災害箇所

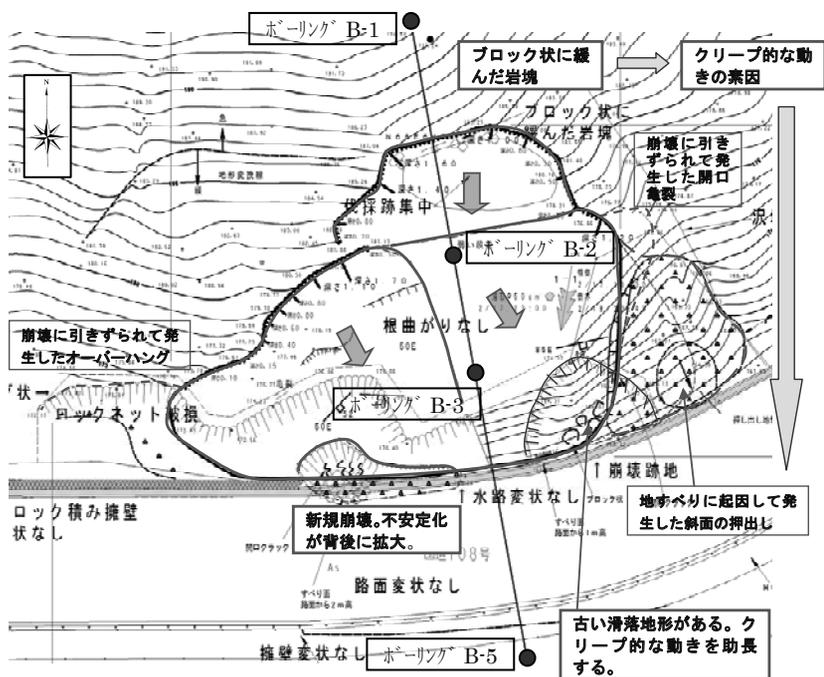


図 2 地すべりによる崩壊位置と調査位置図

2. 事業分析のシナリオ

設計業務では、斜面の対策工事、および道路の災害復旧工事として、図3の対策工法比較図に示す3案を比較検討している。

第1案“(斜面対策) 押え盛土(1.2) + (道路復旧) 現道腹付け拡幅”

第2案“(斜面対策) 押え盛土(1.05) + (道路復旧) 仮設道路活用”

第3案“(斜面対策) アンカー工 + (道路復旧) 原形復旧”

この内第2案は、地質状況によらず用地補償費が高く経済性の劣る案であった。したがって、本事例では地質状況により工事費が変動する第1案と第3案について、地質リスクマネジメントの観点で効果を検討する。

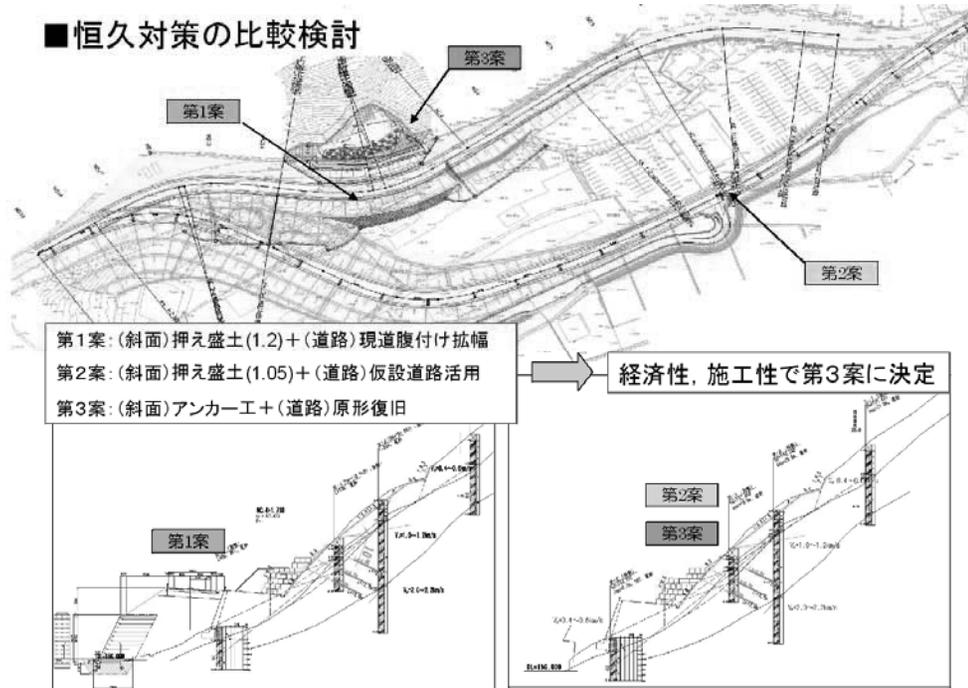


図3 対策工比較検討図

広域的な地形の特徴から、当該地すべりを包含する大規模地すべりが存在する可能性が指摘された(独立行政法人 土木研究所)。

当該地すべりのみを対象にアンカーを計画すると、大規模地すべりの活動により、アンカーが破壊する、またはアンカーが抜けるなどの状況が発生し、アンカーの機能自体が損なわれる可能性が想定された。つまり、当該斜面対策として、アンカー工法が適用できるのかどうか課題となった。

そこで、アンカーの定着部に大規模地すべりの影響を受けた脆弱部が分布しない

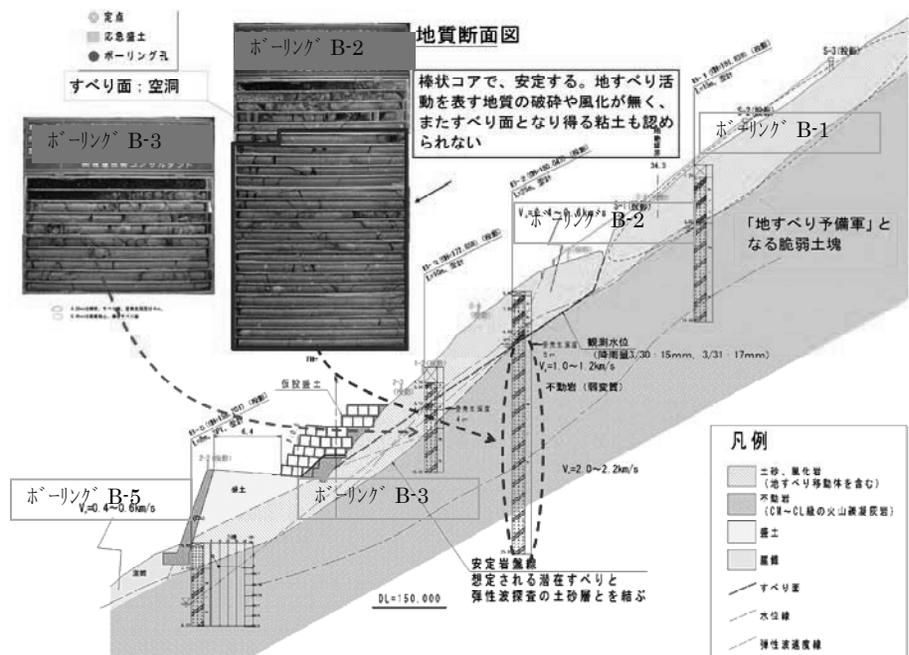


図4 地質断面図

いのか、深部の地質状況を確認するため地質調査を実施した。調査結果を図4の地質断面図に示す。ボーリング B-2 及び、B-3 とともに、深部は棒状コアを呈し、破碎部や著しい風化（土砂）が無く、すべり面もなく、大規模地すべりが存在しないことを確認できた。特に、B-2 孔において深部の地質状況を確認していることが、マネジメントに活かされた。

以上の結果、地質調査により“大規模地すべりが存在しない”ことを確認できたことで、第1案より経済性の高い第3案（最終案）を選択し、大幅なコスト縮減が達成できた。

3. データ収集分析

地すべり発生（リスク発現）の原因については、既往調査設計報告書を収集し分析した。地質調査費については、実績値を用いた。工事費は、既往調査設計報告書の比較検討資料より引用した。なお、本事例においては、協議資料・論文・および事例報告など多くの資料がありデータが充実していたため、分析するに十分なデータを収集することができた。

図5の対策工標準断面図に示すように、地質調査ではボーリング調査、弾性波探査、および地すべり観測を実施している。この内、表1にマネジメントによる地質調査内容の比較表に示すように、B-2 孔を通常 10m 程度計画するところを、掘進長 25m の長尺ボーリングとして計画、実施した。

ボーリングコア観察の結果得られる地質情報と、弾性波探査結果で得られる速度層区分、地すべり観測によって得られる変位データを、相互に入念に解析することですべり面の深度を確定することができた。

表1 マネジメントによる地質調査内容の比較表

	マネジメントを行わなかった 仮の地質調査内容	マネジメントによる 地質調査内容
ボーリング B-2	掘進長 10m	掘進長 25m（長尺ボーリング） （深部の緩みを確認）

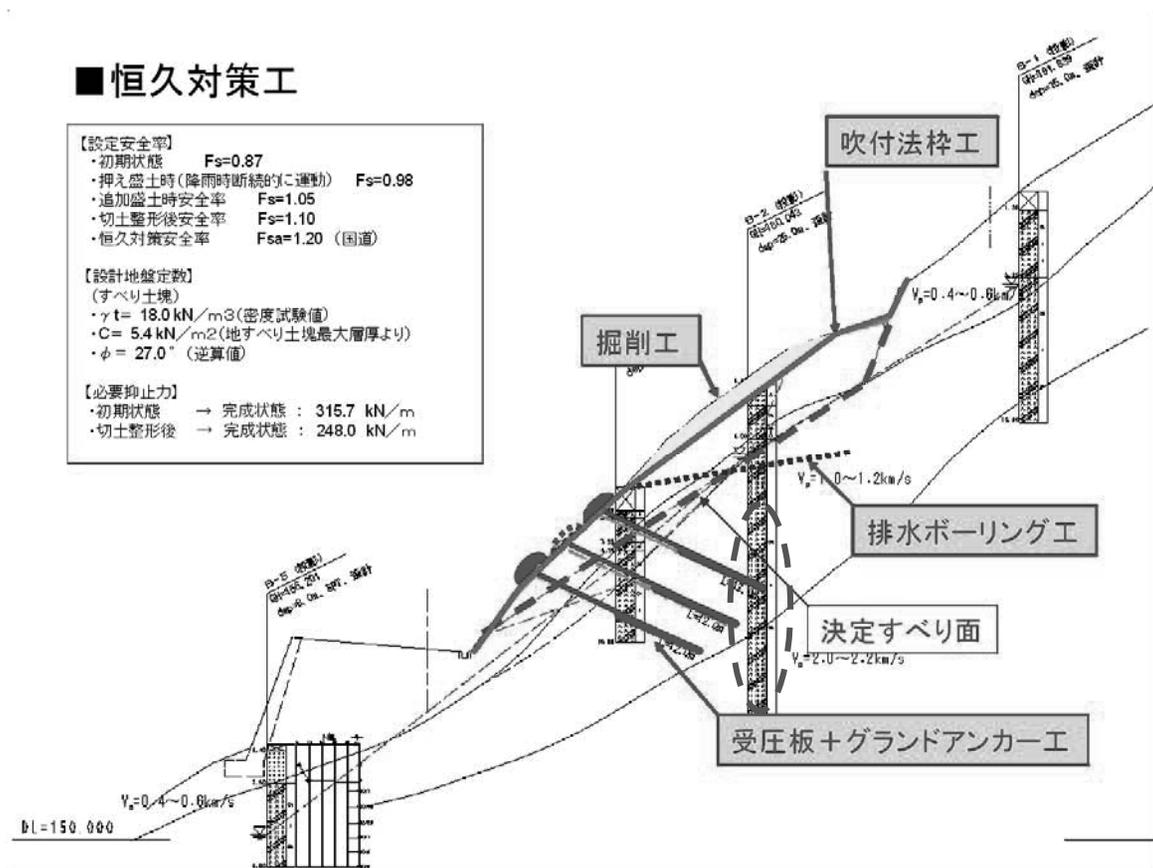


図5 対策工 標準断面図

4. マネジメント効果

リスクの計量化は、表2に従い実施し、その結果マネジメントの効果は、表2に示すように97,000千円と計量された。第一案大規模地すべりを想定した仮の工事費(押さえ盛土案)497,000千円(表2の①)から、対応費用(地質調査費)3,000千円(表2の②)と第3案マネジメント後の費用397,000千円(表2の③)の合計を差し引いた差がマネジメント効果である。

$$\text{マネジメント効果} = \text{【第1案：表2の①大規模地すべりを想定した仮の工事費】} \\ - \text{【表2の②対応費用：地質調査費】} + \text{【第3案：表2の③マネジメント後の最終工事費】}$$

なお、交通遮断損失の算出は次式を用い、内訳は表3の交通遮断損失算出内訳表に示すが、本事例では仮設道路完成までの期間が、マネジメントによらず同一であったことから、交通遮断損失に差は生じなかった。

表2 マネジメント効果算定表

ケース	内容	工事費	備考
①大規模地すべりを想定した仮の工事費	工事費	497,000千円	
	交通遮断損失※	(45日):491,000千円	
	計	1,147,000千円	
②対応費用	工事費	地質調査費:3,000千円	
	交通遮断損失	0千円	
	計	3,000千円	
③マネジメント後の費用	工事費	397,000千円	
	交通遮断損失※	(45日):491,000千円	
	計	1,047,000千円	
リスクマネジメントの効果(①-(②+③))	工事費	97,000千円	
	交通遮断損失	0千円	
	計	計:97,000千円	

※表3 交通遮断損失算出内訳参照

交通遮断損失(円/日)

$$= \text{交通量(台/日)} \times \text{迂回による増加時間(分)} \times \text{車種別時間価値単価(円/台・分)}$$

図6に示すように、乗用車と小型貨物車は、鳴子・花山・鬼首という迂回ルート(表3のB2b)をとっており、平常時の所要時間20分に対し80分かかっているため、60分が迂回による増加時間である。ただし、この迂回ルートは道路幅が狭いことから、バスや普通貨物車は通れなかった。バスや普通貨物車は、鳴子・新庄・湯沢・鬼首という迂回ルート(表3のB2a)を取っており、通常の所要時間20分に対し120分かかっているため、100分が迂回による増加時間である。

これに、それぞれの交通量(台/日)と車種別時間価値単価(円/台・分)を乗じることにより、日あたりの交通遮断損失が算出できる。本事例では、日あたり11,000千円の損失で、通行止め期間45日間を累計すると、約491,000千円の損失となる。



図6 迂回ルート概念図

なお、表3に示す交通量は平成17年度 全国道路街路交通情勢調査をもとにしており、すべての交通が鬼首を目的地としている仮定で積算している。また、交通遮断損失は、費用便益分析マニュアル（国土交通省道路局；H20.11）による「走行時間短縮便益」を引用し、算定した。

表3 交通遮断損失算出内訳表

A：交通量 (台/日)	乗用車	小型貨物	バス	普通貨物	合計
		1,473	606	34	679
B(=B2-B1)：(分) 迂回による増加時間	60		100		—
B1：平常時の所要時間(分) (鳴子・鬼首)	20		20		—
B2a：迂回の所要時間(分) (鳴子・新庄・湯沢・鬼首)	—		120		—
B2b：迂回の所要時間(分) (鳴子・花山・鬼首)	80		—		—
C：車種別時間価値単価 (円/台・分)	40.10	47.91	374.27	64.18	—
D (=A×B×C)： 日当り交通遮断損失(千円/日)	3,544	1,742	1,273	4,358	10,916
E (=D×45)：45日の 累計 交通遮断損失(千円)	159,482	78,390	57,263	196,102	491,237

出典：平成17年度 全国道路街路交通情勢調査

5. データ様式の提案

本事例は、A 表を用いて記入した。当初工事費（網かけ部）のところに「回避しなかった場合の工事費＝大規模地すべりを想定した仮の工事費（497,000 千円）：図2の第1案」を採用した。最終工事費は、図2の第3案を採用した。2. 事業分析のシナリオを記述する上でA表は、項目（当初工事費）の解釈（大規模地すべりを想定した工事費）を変えるだけで、そのまま適用することができた。

表4 A表. 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		宮城県
	工事名		R108号大畑地区地すべり対策工事
	工種		地すべり対策工
	工事概要		斜面对策工事、道路復旧工事
	①大規模地すべりを想定した仮の工事費		497,000 千円
	仮の工期		—
	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		地すべり発生直後
	判断した者		宮城県
	判断した内容		地質調査により“大規模地すべりが存在しない”ことが確認できたことにより、第1案(押え盛土)より経済性の高い第3案(最終案:アンカー工法)を選択した。
	判断に必要な内容		ボーリングコア、地すべり変位データ、弾性波速度
リスク対応の実際	内容	追加調査	深部の地質状況を確認するための長尺ボーリング。大規模地すべりを想定していない場合に比べ、掘進長15m追加(10→25m)して提案。
		修正設計	なし
		対策工	なし
	②費用	追加調査	3,000 千円
		修正設計	0 千円
		対策工	0 千円
		合計	3,000 千円
最終工事の内容	工事変更の内容		なし
	③最終工事費		397,000 千円
	最終工期		10ヶ月
	間接的影響項目		交通遮断損失:仮設道路供用までの45日間の間接損失として491,000千円を計上。
	受益者		宮城県
リスクマネジメントの効果	費用=①-(②+③)		97,000 千円
	工期		—
	その他		—