

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施工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。

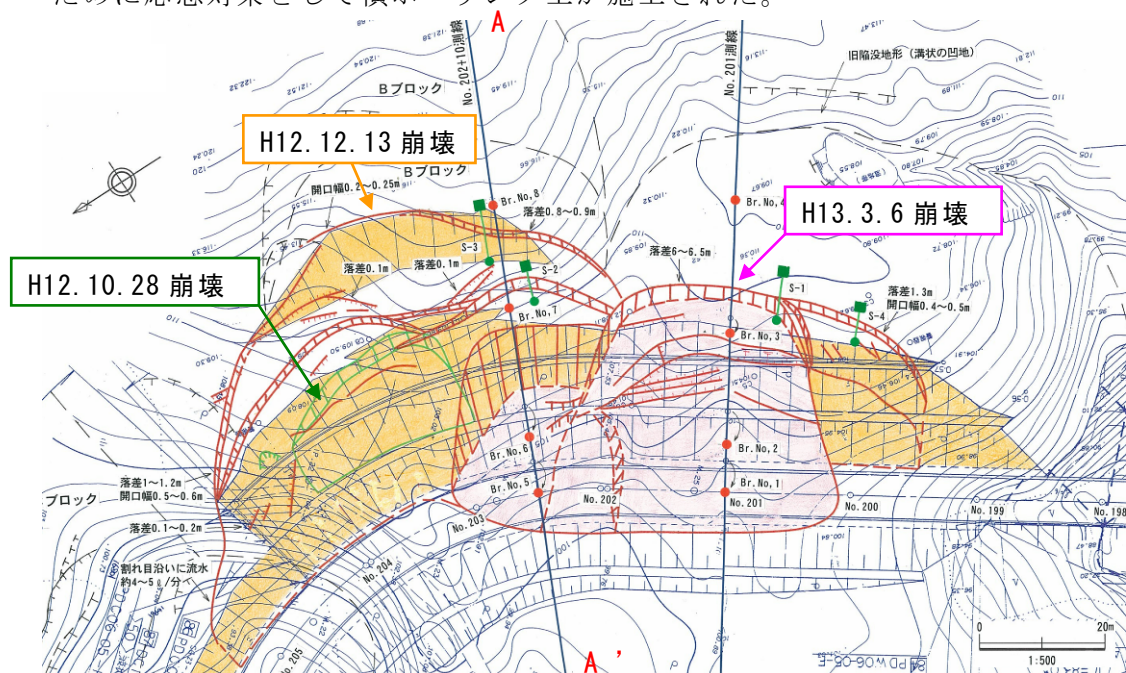


図-1 崩壊状況平面図

※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。

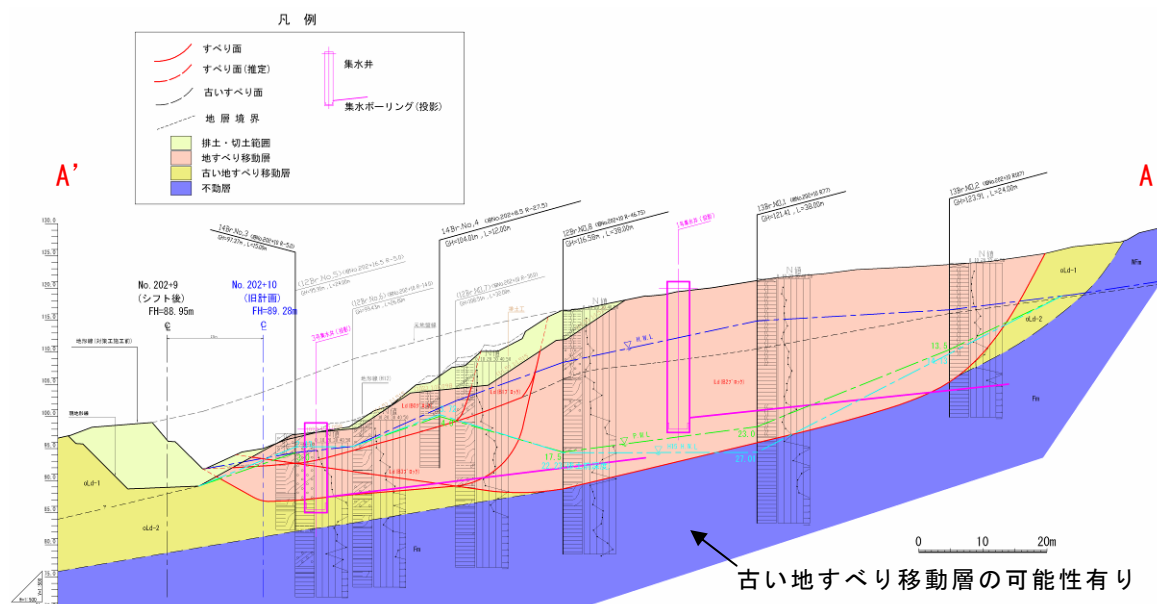


図-2 対策工断面図

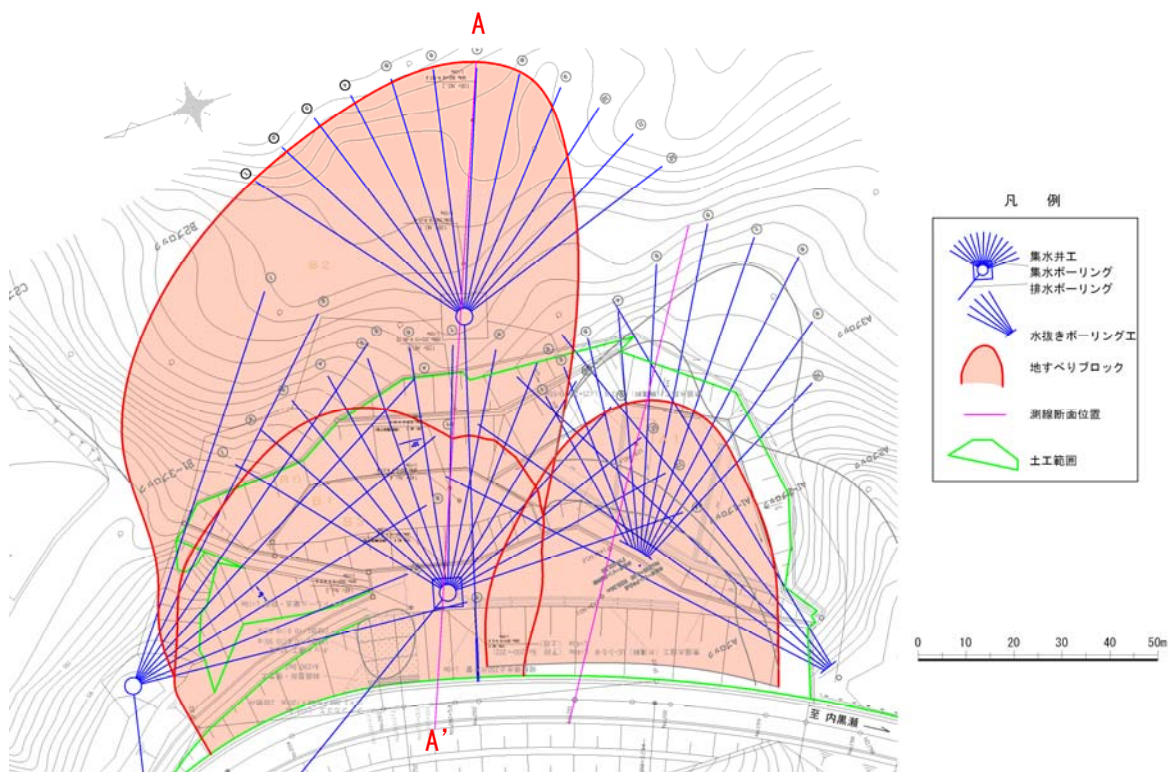


図-3 対策工平面図

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、破砕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 集水ホーリング工：ΣL=1,770m 排水ホーリング工：ΣL=194m 横ホーリング工：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	リスク管	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