

## [論文 No.6] 砂防えん堤の掘削に伴う地すべりの誘発に対する対応事例

株式会社 愛媛建設コンサルタント 吉岡 崇

### (1) 事例の概要

当事例は、砂防えん堤の詳細設計段階から施工時において発現した地質リスクである「地すべり」に対する対応事例である。筆者は地質技術者として本事例に参画した。

リスクが発生した箇所は、海岸に面した狭小な低平地に人家が密集する地域の上流で、低平地は、流域面積 0.1km<sup>2</sup>、流路延長約 500m 程度の小溪流（平均勾配 1/6）の出口に広がっている(図1)。地すべりは、概略設計時点では地質リスクとして認識されておらず、詳細設計時点に筆者らによる空中写真判読及び地表踏査で発覚した。このため、通常的基础地盤調査に加えて地すべりの動態に関する調査を実施し、地すべりの安定性を評価するとともに対策工に関する提言を行った。また、施工時には動態観測を行うとともに、施工時の地すべり動態から追加対策工を提案し発現したリスクを最小限に回避した。

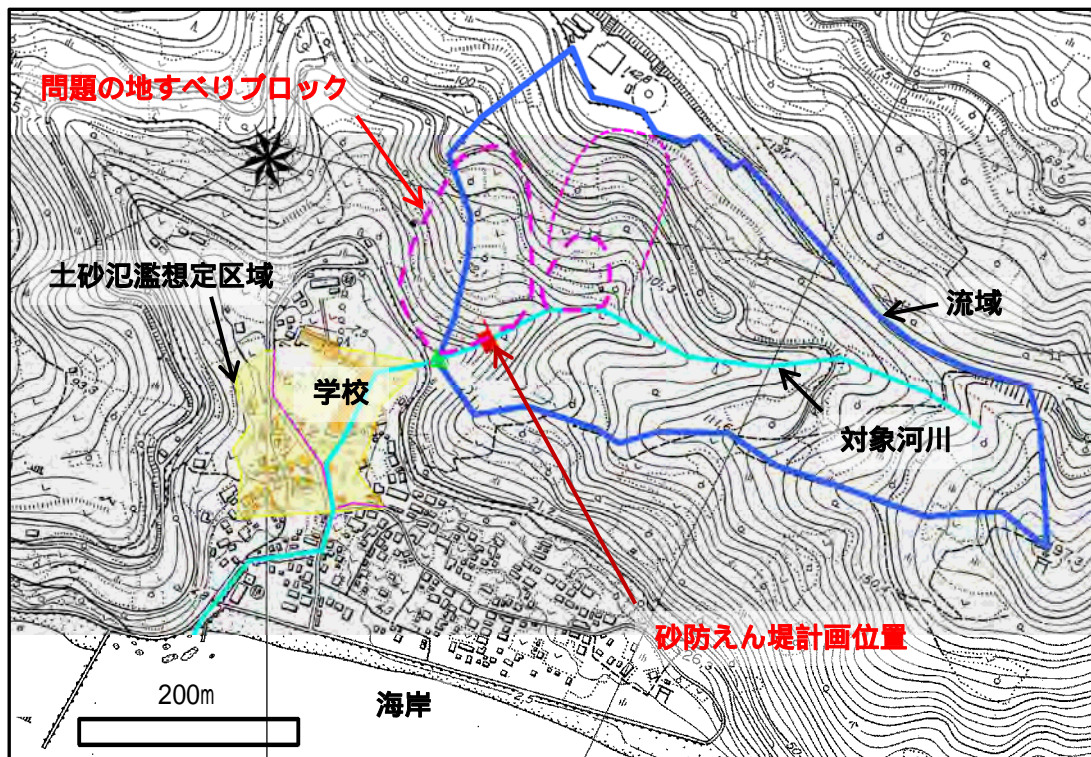


図1 計画えん堤と地すべり

### (2) 事例分析のシナリオ

図2に各段階におけるリスクと対応(模式断面図)を示す。

本事例は、予備設計で持ち越された地質リスクについて、詳細設計段階から施工段階にかけて対応したものであり、発現したリスクを最小限に回避した事例(C型)に分類した。

予備設計時点の地質概査では、右岸に露岩が少なく崩積土が厚い状況は認識されていた

ものの、地すべりの存在までは認識されていなかった。

詳細設計段階における地質調査の初期には、以下の状況から、右岸斜面に地質リスクとして「地すべり」が存在する可能性が高いと判断した。

当箇所周辺は地すべり多発地帯であること。

右岸には岩盤の露出がほとんど無く崩積土が厚く堆積していること。

右岸斜面上方は緩傾斜面が連続していること(地すべり地形)。

緩斜面の上部には滑落崖に相当する急傾斜面が連続すること(地すべり地形)。

このため、通常の基礎地盤調査に加えて右岸の地すべりの分布と動態の把握を目的とした調査を追加提案した。

地形判読により推定される地すべりは、厚さは約 20m、長さ約 170m、幅約 100m の規模である。地すべり調査の結果、以下の理由により現在は休眠中の地すべりと判断した。

地すべりの末端部に設置した孔内傾斜計による動態観測で変位が確認されない。

施工後 30 年程度経過した既設の流路工（コンクリート三面張）に変状が認められない。

地すべり地形は開析が進んで形状がやや不明瞭。

ただし、この判断については観測期間が十分でないこともあり、施工時に新たなリスクが生じる結果となる。

掘削に伴う地すべりの安定性について試算したところ、掘削規模を小さくすれば、地すべりにほぼ影響を与えない結果となった。右岸斜面は土砂が厚いにもかかわらず 40° 以上の急勾配斜面であり、表層は多数の崩壊地が認められる状況であった。そのため、試行計算で求めた円弧すべりに対して抑止工（アンカー工）を導入して掘削時の斜面安定を図ることにした。併せて、施工中に地すべり動態観測を行い、地すべりの性状を監視しながら施工を行った。

施工は掘削面をアンカーで押さえながら逆巻きで実施した。掘削及び掘削面へのアンカー工がほぼ終了した時点で、孔内傾斜計に変位が認められ

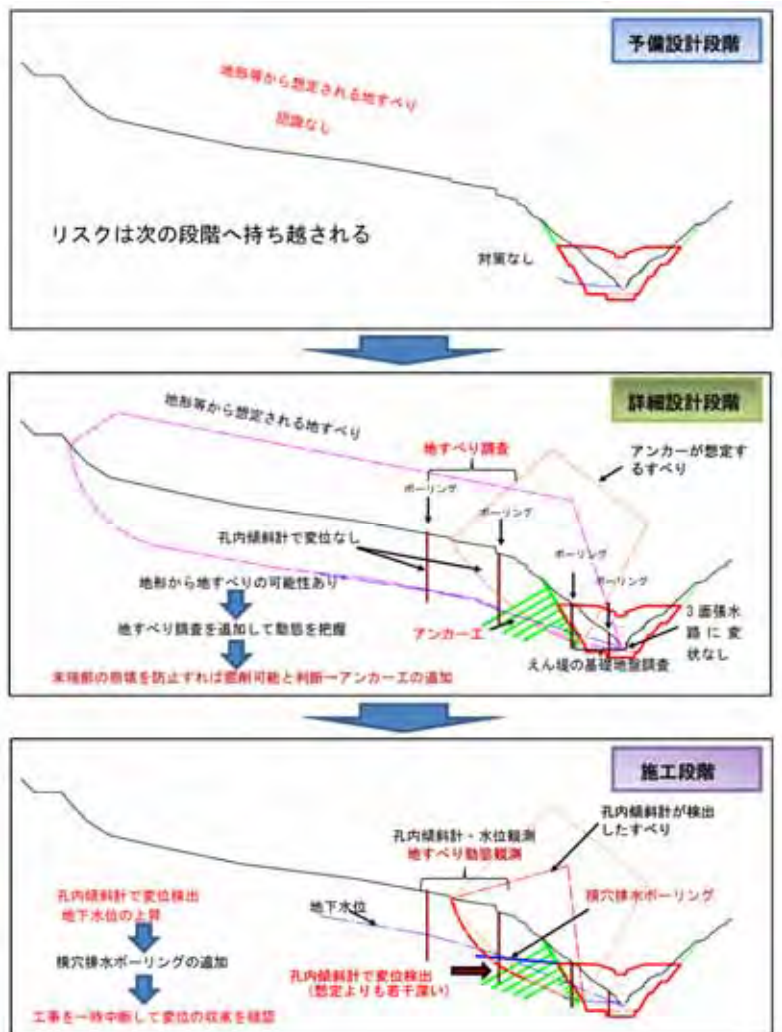


図2 各段階におけるリスクと対応（模式断面図）

た（施工時に新たなリスクが発生）。掘削は少雨期に行われていたが、季節外れの日雨量100mmを超える降雨により、孔内傾斜計で月間変位量0.2mmオーダーの微少な変位が観測された。当箇所は、常時の地下水位は想定すべり面よりも低い位置にあったが、変状発生時には自記水位計の観測により地下水位の急上昇が認められたため、横穴排水ボーリング工の追加を提案した。

その後の観測では、地すべり変位は収束しており、地すべりの再滑動という最悪のシナリオは回避された。

### (3) データ収集分析

リスク発生の原因については予備設計段階の経緯について発注者から成果報告書の貸与を受けるとともに、設計業者へのヒアリングを実施した。当初工事費は予備設計段階での想定工事費とした。

発現したリスクに対する追加費用については、詳細設計時点の数量から推定した。追加調査については、実績値を採用した。

マネジメントを実施しなかった場合の工事費算出には、追加調査や解析等が必要であるために被災時の対策費等は算定困難である。経験的な見地から大規模地すべりがある程度ゆっくりとした移動速度で再滑動した場合に発生しうる地すべり対策工を想定し、集水井2基とアンカー工の増し打ちによる対応を考えた。地すべり土塊が急激に移動して集落を飲み込むような破局的リスクまでは想定しなかった。

### (4) マネジメントの効果

本事例のマネジメントの効果を次のように試算した。

$$\begin{aligned} \text{C型マネジメントの効果} &= \text{リスクを回避しなかった場合の工事費用} \\ &\quad - (\text{当初工事費用} + \text{追加工事費用} + \text{リスク対応費}) \\ &= 310,000 \text{ 千円} - (150,000 \text{ 千円} + 46,000 \text{ 千円} + 10,000 \text{ 千円}) \\ &= \mathbf{104,000 \text{ 千円}} \end{aligned}$$

当初工事費用 = 150,000 千円

予備設計段階（リスクを認識していない段階での想定金額）

追加工事費用 46,000 千円

地すべり対策工 アンカー工（33基） 36,000 千円

横穴排水ボーリング工 10,000 千円

リスク対応費用

地すべり調査 10,000 千円

リスクを回避しなかった場合の工事費用 310,000 千円  
 地すべり対策工 集水井工 (2 基) @30,000 千円 × 2  
 アンカー工 85,000 千円  
 調査測量設計費用 15,000 千円  
 (工期延期 1 年 6 ヶ月以上)  
 えん堤の再構築 当初工事費用を計上 = 150,000 千円

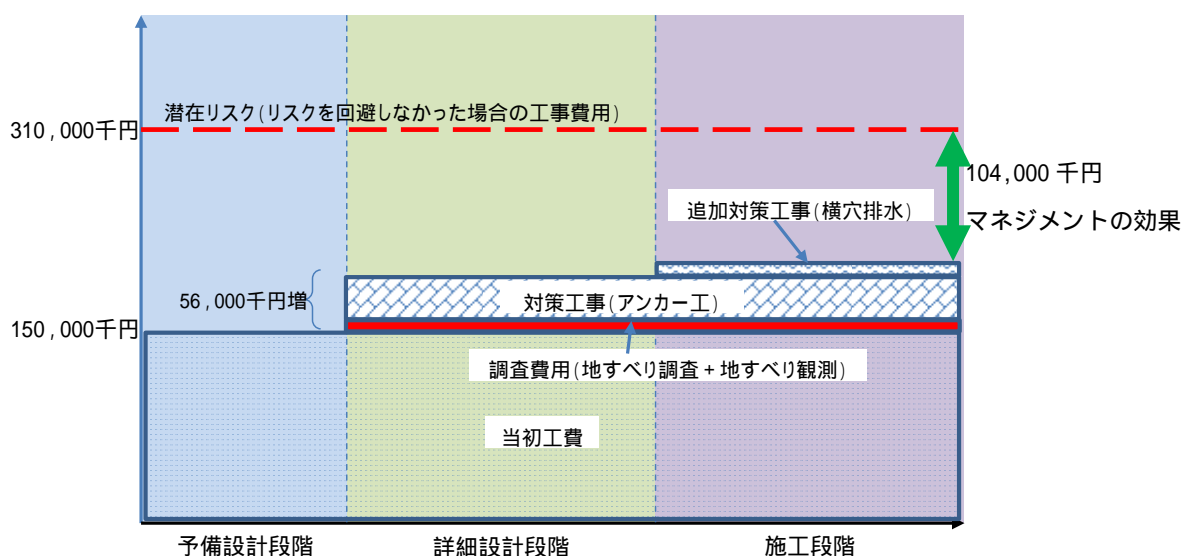


図3 マネジメントの効果

本事例では、施工段階に入る前にある程度リスクに対応できたために、施工不能となるような事態に陥ることはなかった。また、実施設計段階の調査で把握できなかった地下水の性状と地すべりの動態について、施工段階で計測施工を行うことにより、施工中に発生した変状に対して速やかに対応できた。

本事例は、地質調査のあり方について 2 つのことを示唆している。一つは初期段階における地質の「見立て」の重要性であり、もう一つは、状況変化への柔軟な対応である。前者は地形判読、地表踏査等の地質技術者としての基本的スキルに負うところが大きく、この段階で地質リスクが認識されない場合、後段階で大きな変更を余儀なくされる。後々の手戻り・予期せぬコスト増を考えれば、予備設計段階にこそ地質技術者のセカンドオピニオンが必要と考える。後者は、発覚した地質リスクに対して限られた工期と予算の中で、柔軟に対応する必要がある。地質データはたくさんあるほど客観的な判断が可能となるが、調査に係る費用対効果と時間の制約をマネジメントする能力が地質技術者に求められている。

(5) データ様式の提案

本事例はリスク発現のタイミングが詳細設計段階と施工段階の2回あるので、C表原案に発現したリスクの欄を追加して記入した、リスクを回避しなかった場合の(想定)の工事費・工期は、経験(過去の同程度の規模の施工事例)に基づいて行った。リスクを計量化するにあたり、トラブルの範囲をどこまでにするのかが、一番の問題となるとともに、評価する技術者によって差が出やすいところであろう。評価する際のデータが少ないと、悲観的想定をせざるを得ない。

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	県	
	工事名	某川総合流域防災事業	
	工種	砂防工事(えん堤工)	
	工事概要	土石流対策として集落上流の渓流にえん堤(H=14.5m)1基を設置する。	
	当初工事費	150,000千円	
	当初工期	3年(実施設計・用地取得含む)	
発 現 し た リ ス ク	リスク発現事象	リスク発現時期	詳細設計着手時
		トラブルの内容	右岸が地すべり地の可能性
		トラブルの原因	計画(予備設計)段階で認識されず次段階にリスクが持ち越されたため
		工事への影響	えん堤工の適正についての再検討 構造形式変更の可能性 追加工事の必要性
追加工事の内容	追加調査の内容	追加調査の内容	地すべり調査 調査ボーリング 孔内傾斜計観測 地下水位観測
		修正設計内容	詳細設計段階での対応のため、修正設計は生じていないが、以下のリスク対応を行った。 ・えん堤工の適正についての再検討 ・構造形式の再検討 ・えん堤形状の変更(掘削形状の最適化についての検討) ・掘削に対する地すべりの安定解析 ・斜面安定解析 ・抑止工の検討
	対策工事	掘削時の斜面安定化	
	追加工事	アンカー工	
	追加費用	追加調査	10,000千円
		修正設計	-
		対策工	アンカー工 N=33
		追加工事	36,000千円
		合計	46,000千円
	1	延長工期	-
間接的な影響項目			
負担者		発注者	



発 現 し た リ ス ク 2	リスク発現 事象	リスク発現時期	施工時(床掘り終了時)	
		トラブルの内容	孔内傾斜計で想定よりも深い位置で変位を検出 地下水位の上昇	
		トラブルの原因	詳細設計段階でリスクを軽視 全体の工程から観測期間が十分でなかった	
		工事への影響	施工の中断 対策工の追加	
	追加工事 の内容	追加調査の内容	切土面の定点観測の追加 工事の中に地すべり動態観測(孔内傾斜計・地下水位観測)を盛り込んであったため大幅な費用増は発生していない。	
		修正設計内容	斜面安定解析 横穴排水ポーリング工	
		対策工事	斜面安定化	
		追加工事	横穴排水ポーリング工	
		追加費用	追加調査	-
			修正設計	-
			対策工	横穴排水ポーリング工 L=280m
			追加工事	10,000千円
		合計	10,000千円	
		延長工期	変位の収束が確認されるまで約3ヶ月の中断	
	間接的な影響項目			
負担者	施工業者			
発現したリスク1と2の合計( )			47,000千円	
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	本堤掘削時	
		予測されたトラブル	地すべりの滑動により河道が閉塞 施工不能 重機の埋没	
		回避した事象	地すべりの不安定化	
		工事への影響	観測結果待ちのため3ヶ月中断	
	リスク管理 の実際	判断した時期	掘削時	
		判断した者	発注者(地質技術者の助言)	
		判断の内容	対策工の追加 経過観察(地すべり動態観測)	
		判断に必要な情報	地下水位 地すべりの動態	
	リスク対応 の実際	内容	追加調査	地すべり調査 地すべり動態観測
			修正設計	掘削時の斜面安定化対策の追加
			対策工	アンカー工 横穴排水ポーリング工
		費用	追加調査	10,000千円
			修正設計	-
			対策工	47,000千円
合計	57,000千円			
回避しな かった場 合	工事変更の内容	地すべり対策工(集水井工, アンカー工) えん堤やり直し		
	变更后工事費	310,000千円		
	变更后工期	最低1年6ヶ月以上の延長		
	間接的な影響項目			
	受益者	土石流氾濫想定区域の関係者		
リスクマネジメント の効果	費用 - ( + + )	113,000千円		
	工期	3ヶ月中断		
	その他			