

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予見された。



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 億円削減することができ、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。

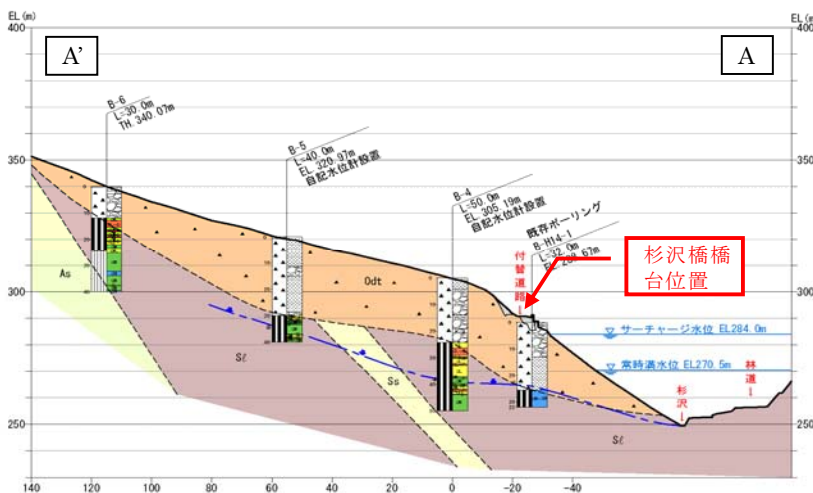


図2 杉沢橋に沿う調査測線の地質断面図 (精査前)



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		粘土質土～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。	基質支持
B		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。	基質支持
C		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。	礫支持

図3 崩落堆積物を構成する土層のタイプ

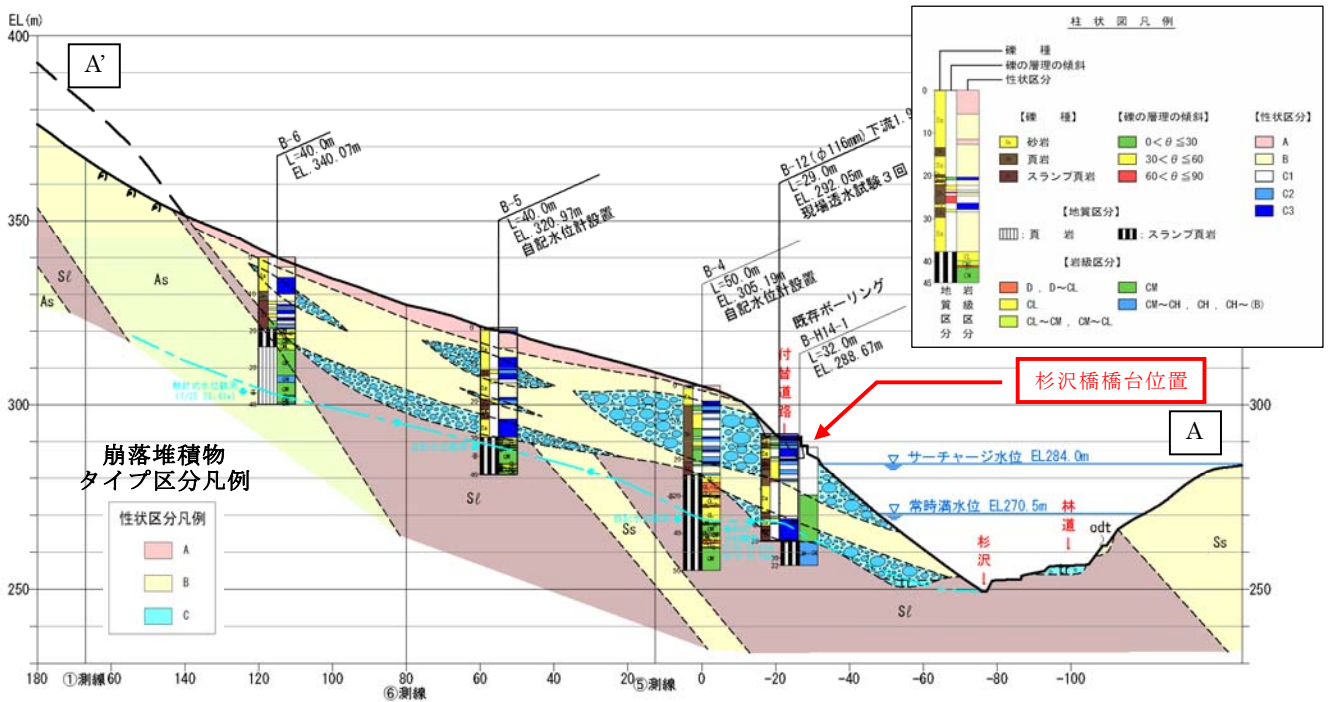


図4 杉沢橋に沿う測線の地質断面図（精査後）

(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応策として、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案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。

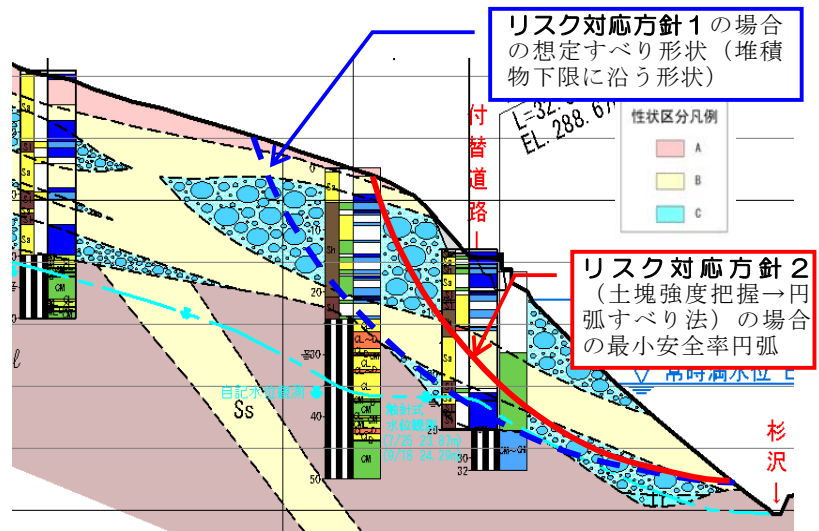


図5 安定計算結果（対策工検討すべり形状）

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/m^2 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。

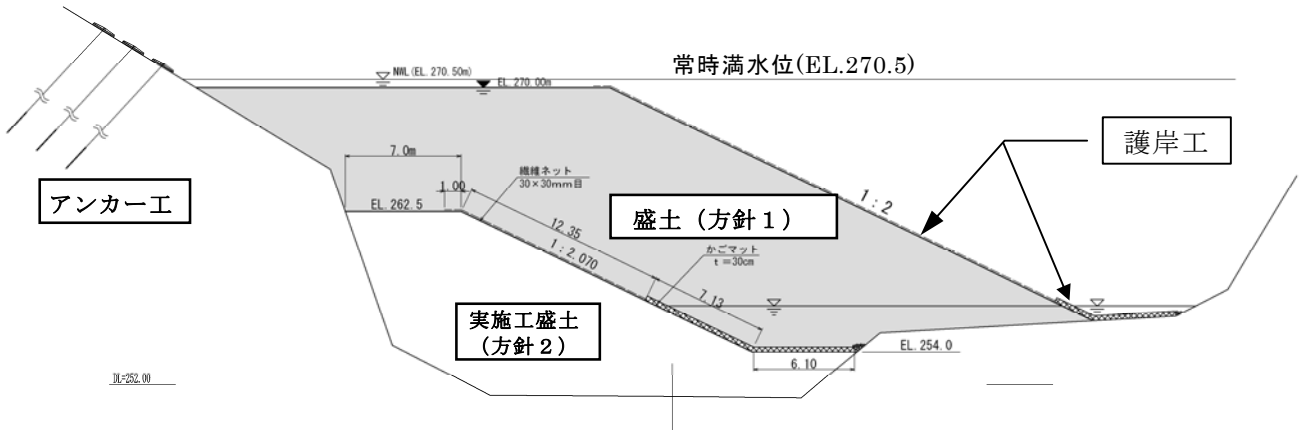


図6 実工事と仮想の対策工(リスク対応方針1)との比較図

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 押え盛土 アンカー工 (1,200kN/m) 護岸工	一式 約 88,000m ³ 68×3 段=204 本 約 200m	3,000 千円 100,000 千円 204,000 千円 39,000 千円	346,000 千円
対応方針2 (実施工)	追加精査費用 設計費 押え盛土 護岸工	一式 一式 約 39,200m ³ 180m	5,000 千円 2,000 千円 51,000 千円 26,000 千円	84,000 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