

地すべり誘発リスク箇所に計画するハイブリッド砂防堰堤の設計事例について

四電技術コンサルタント 法人会員 ○佐竹一希 田中成樹 鈴江弘典 三好俊貴
愛媛県中予地方局久万高原土木事務所 非会員 大宿聡一郎

1. はじめに

近年の自然災害は、降雨の局所化・集中化により激甚化しており、土砂災害においても、土石流・地すべり・がけ崩れが複合的・同時多発的に発生するような、未曾有の規模の災害に対応していく必要がある。

本稿では、土石流危険渓流に計画する砂防堰堤において、同渓流内に潜在する地すべり誘発リスクを考慮し、掘削レス基礎工法の採用や、ハイブリッド砂防堰堤（左右岸別工法）を適用した事例について報告する。

2. 地形・地質概要及び調査計画の策定

タノサキ谷川は、主溪流長約 1750m・高低差 650m（平均渓床勾配 $i=1/2.6$ ）を流下する、流域平均幅が 100m 以下の急峻で細長い土石流危険渓流である。当該溪流は、中流域から上流側のほぼ全域が「地すべり地形分布」に該当（図-1）するとともに、下流域は渓床と尾根部の比高差が少なく、堰堤計画の際に土砂・流木が捕捉できる有効高さが確保できないことから、「地すべり地形分布」範囲内に堰堤を配置せざるを得ない流域地形となっている。また、事前に実施した周辺地質概査より、左岸側山腹斜面及び上流砂敷範囲に、旧地すべり跡や活動的な地すべりブロックが介在していることが懸念されたため、通常実施する堰堤基礎地盤のボーリング調査に加え、地すべりブロックの規模・深さ及び地盤性状把握のための追加調査及び動態観測結果を踏まえた地すべり解析を実施した。

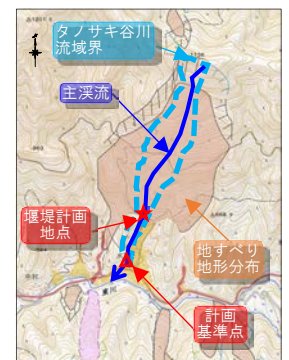


図-1. 流域概要図

3. 地質調査及び地すべり解析結果

左岸袖部地山は、斜面内に滑落崖・根曲がり・湧水などが多く、明瞭な地すべり地形である（図-2）。斜面上部にて実施した追加ボーリング孔での動態観測結果からも、左岸袖部は崩積土が厚く、上部崩壊土層下（層厚 15m 級）において、極緩慢（0.2mm 以下/月）ではあるものの潜在的な地すべり変動が確認された（現況安全率 1.00：図-3）。計画堰堤左岸側は地すべりの末端に位置し、計画基礎底面まで掘削を行った場合、受働域の排土となるため、地すべりを誘発させる可能性が高い。

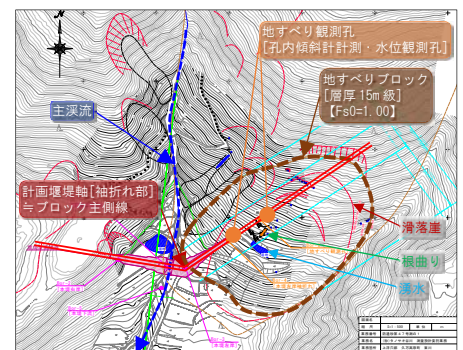


図-2. 地質踏査平面図

4. 地すべり誘発リスクを考慮した堤体工法の選定

堤体工法の選定を行うに当たり、堤体の安定確保はもちろんのこと、調査結果を踏まえ、以下の地すべりリスクを考慮する必要がある。

(1) 袖部掘削に伴う地すべり誘発リスク

施工時に袖部の掘削により安全率が 1.00 を下回るため、掘削を伴う堤体工法検討を行う場合には、別途仮設地すべり対策工（地下水排除工：横ボーリング）を実施し、掘削後の仮設安全率を確保する必要がある。

(2) 供用後の潜在的な地すべりリスク

予期せぬ地下水上昇や地震の発生などで地すべり活動が増進され、供用後の堤体に影響を及ぼす可能性が懸念される。これらの地すべり変動に対し、致命的な損傷とならないフレキシブルな構造とすることが望ましい。

(3) 堤体工法の比較検討及び最適案堤体工法の概要

砂防堰堤計画における一般的な堤体工法である「1.重力式 Con 堰堤」、「2.砂防ソイルセメント堰堤」に加え、供用後の地すべり変動に追従できるフレキシブルな堤体構造として、ブロックの組合せにより堤体を形成する「3.砂防ブロック堰堤」を比較対象とした。また、袖掘削を最小限とするとともに、施工時の地すべり対策工が

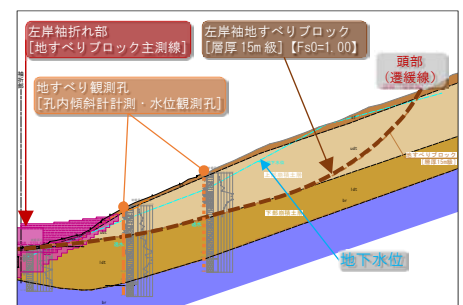


図-3. 地すべりブロック主測線図[左岸袖折]

表-1. 地すべりリスクを踏まえた非越流部堤体工法比較検討表

工法名称	【第1案】 重力式Con堰堤	【第2案】 砂防ソイルセメント堰堤	【第3案】 ブロック堰堤	【第4案】セル+緩傾斜DW堰堤 (鋼矢板打込基礎)	
工法概要図					
工法概要	一般的な無筋Con堰堤	内部材にINSEM材を用い、堤体の安定性を確保する工法	Con7ブロックを組合せて一体化させることにより堤体を安定させる工法	鋼矢板打込により非越流部を構築し、袖部掘削を最小限に抑える工法	
地すべり対策要否	左岸袖掘削に伴い、施工時地すべり対策工[地下水排除工(横Bor工)]を併用して実施			掘削を必要とせず地すべり対策工が不要	
直工総額比	1.00	1.22	1.73	0.88	
評価	経済性	○ 右岸側対策は最安価	△ 経済性に劣る	△ 堤体幅が広くなり、不経済	○ 比較案中最も安価
	地すべり安定性	△ 追従性が低く損傷リスクが高い	○ 潜在的な地すべり挙動にある程度追従	◎ 追従性が高く地すべり地内での実績多い	○ 潜在的な地すべり挙動にある程度追従
	総合評価	△ 右岸側工法としては最適だが、追従性が低く左岸側には不適	△ 経済性、安定性ともに中位	△ 追従性が高く地すべり地内での実績も多いが、最も高価となる	○ 最も安価であるとともに、地すべり地内での実績も多い

不要となる『掘削レス工法』として、「4.鋼矢板打込基礎工法」を選定し、施工時の地すべり対策工の要否を含んだ計4工法について比較検討を行った(表-1)。

非越流部比較検討の結果、当該計画における左岸側の堤体工法を「セル+緩傾斜式ダブルウォール堰堤(鋼矢板打込基礎)」とした。基礎工を、鋼矢板打込・連続配置により構築するものであり、仮設対策が不要となるよう地すべりブロック範囲内の袖掘削を最小限に抑え、打込んだ鋼矢板を地山嵌入の代替とした工法である(図-4)。堤体工法は、堰堤軸の尾根形状を考慮して「セル堰堤(直線部)+緩傾斜式ダブルウォール堰堤(袖折れ部)」の複合構造とし、前述の基礎部直線鋼矢板とセグメント鋼矢板・L型ユニット(タイ材)を連結・組立により築立する。また、堤体内部の中詰め材は、掘削により発生した現地発生土を流用する。

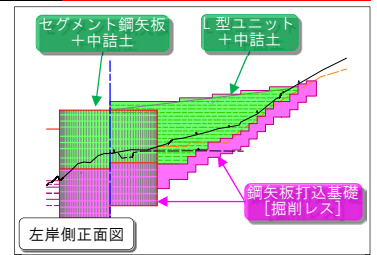


図-4. 左岸堤体工法概略図

5. ハイブリッド砂防堰堤(左右岸別工法)の適用

次に、コスト削減の観点から、左右岸別工法の適用について検討を行った。前述の通り、左岸堤体内部材に現地発生土を使用する場合、堤体体積が膨大であり購入土を大量に要することから、「右岸:重力式Con堰堤、左岸:セル+DW堰堤」のハイブリッド堰堤形式を適用し、右岸側の掘削土を左岸側内部材として流用する計画とした。これにより、掘削量は増えるものの、中詰に必要な購入土砂量を約5,500m³削減でき、両岸同工法の場合より約14百万円のコスト削減が可能となった。

6. BIM/CIMモデル化

当該砂防堰堤計画において、設計した2次元データに座標及び標高等の情報を付与し、3次元モデル化を行った(BIM/CIM統合モデル:図-5)。統合モデルを発注者及び地権者協議のための説明資料として活用し、基礎根入れや地すべりブロック範囲を3次元的に可視化することにより、合意形成の迅速化が可能となった。

7. おわりに

地すべり誘発が懸念された斜面への砂防施設計画にお

いて、掘削を殆ど必要としない鋼矢板打込基礎形式を採用することにより、施工時の地すべり誘発リスクを低減できるとともに、堤体が地すべり末端の押え盛土としての機能も果たし、供用後の地山安定化も期待できる。

また、ハイブリッド砂防堰堤の適用により、現地発生土の有効活用が可能であり経済的となるとともに、右岸側で掘削した土砂をそのまま左岸側の中詰土として埋め戻せるなど、施工性においても効率化となった。

今回のハイブリッド砂防堰堤適用事例は、潜在している地すべりリスク低減を設計段階で反映した全国的にも類を見ないケースであり、今後、同様の砂防施設設計検討を実施するに当たり、大いに役立つものとする。

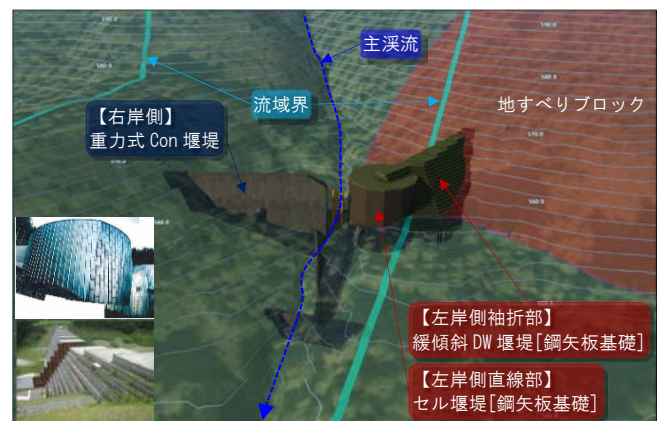


図-5. BIM/CIM統合モデル

参考文献

- 1) 地質図 Navi ; <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>
- 2) 飲み川2号砂防堰堤における掘削レスダブルウォール工法の活用事例 : <http://www.jsece.or.jp/event/conf/abstract/2011/pdf/P-090.pdf>