

土砂災害対策と今後の展望

(株)東京設計事務所 ○中嶋祥太
平石直也

近年、気候変動の影響により局地的豪雨や線状降水帯の発生が増加し、全国各地で土砂災害のリスクが高まっている。特に山間部に立地する公共施設やインフラ施設では、背後地や周辺山間部からの土石流被害が顕在化しており、効果的な対策が求められている。本稿では、水道施設の上流に位置する山地で発生する土石流に対して県が実施したシミュレーション結果を踏まえ、施設の敷地内で実施した土砂災害対策の設計事例を紹介する。

Key Words : 土砂災害、土石流対策、防土堤、防護柵、導流、水道施設

1. はじめに

近年の豪雨により山腹崩壊や土石流といった災害が複数回発生しており、全国的な土砂災害の被害拡大が懸念されている。「水道施設における停電、土砂・浸水災害に対する対策状況等調査（令和元年）の結果」¹⁾によると、土砂災害警戒区域に位置する重要度の高い水道施設は 2,975 施設である。そのうち、土砂災害対策を実施しておらず、バックアップがない施設であるため、被災時に「1 日平均給水量」以上の給水が確保できない施設は 2,068 施設と報告されており、約 7 割を占めている。

本事例の対象施設は山腹部に位置し、上流側に急峻な地形を有している。周辺の山々では、県による土石流の発生シミュレーションが実施されており、施設敷地内まで複数の土石流が到達する可能性が示されている。

土石流対策としては、砂防ダムといった発生源付近の対策が一般的であり、対策地区の管理者である都道府県が整備を担当する。しかし、管内には土砂災害が発生する可能性が高い山間部が多く、都道府県による対策完了までには長期間を要する。対策の優先順位は複合的な理由で判断されるため、今回の対象地区では一部を除いて、都道府県による発生源付近の対策は計画されていない。

このような中、浄水場や取水場などの重要な水道施設については、想定最大規模降雨等による土砂災害発生時においても市民生活への影響を最小限にとどめることが急務である。そのため、当該自治体では過年度に耐水化と土石流対策を並行して検討した上位計画を策定しており、施設の重要度から、水道施設側での対策が必要と判断されている。本稿では、浄水場施設内で土石流対策を行った設計事例を紹介する。

3. 対策手法

(1) 対策の基本方針

土石流に対する既存施設の対策手法として表-1の3ケースについて比較した。これらは一般的な耐水化対策でも検討対象となる手法であるが、本検討では土石流特有の着目点に留意した。

表-1 土石流対策手法

	ケース① 施設全体を移設	ケース② 施設単位で対策	ケース③ 施設周囲に防土堤を設置
対策イメージ			
メリット	・耐震化・改築も完了 ・将来施設の土石流対策が不要	・対策が最小限になる可能性有 ・対策施設を限定	・土石流対策を単独で実施可能 ・対策検討が容易 ・経済性が高い
デメリット	・事業費が高額となる ・移転先の用地確保が困難 ・長期間の工事となる	・施設数が多い場合、設計費用が高額となる ・維持管理性が悪化する	・維持管理性が悪化する
有利なケース評価	対策高が高く、築年数が古い	施設数が少ない	施設数が多い
			採用

土石流被害範囲：■ 土石流の流下方向：▶

ケース②について、土砂を伴う災害特有の問題点として、止水板や防水扉等の止水製品を土石流対策として代用することについて現時点ではメーカー保証が得られないことを確認した。そのため施設単位の対策としては、開口の閉塞や扉等の維持管理動線の高所への変更など、根本的な土砂侵入経路対策が必要となる。また、既存施設の躯体が土石流を受けることとなるため、各施設の構造計算が必要となる。

ケース③は「道路土工 切土工・斜面安定工指針」²⁾における落石防護工のうち防土堤を参考として検討した。土石流の特徴として土砂の堆積があるが、洪水と異なり土石流流下方向と反対側の面には土砂が回り込みにくいという特徴がある。そのため、敷地全周に設置する必要がないことから、土石流の流下方向次第では、防土堤の総延長が短くなる。

以上の比較検討の結果、ケース③：防土堤の設置を対策手法として採用した。

(2) 防土堤の設計手順

本事例で採用した防土堤は、図-2のフローに基づき、設計を行った。①設計条件の確認においては、対策施設を多く包含することを目的として敷地外周に設置することが望ましい防土堤の特性上、既設状況について敷地境界、既設の構造物及び地下埋設物を明確にすることが重要である。さらに、土石流の流下範囲に存在する民家等の施設に影響を与えないように設計する必要があり、対策施設より下流側の周辺施設の状況についても、広く把握が必要となる。

関連機関との調整に関して、防土堤を設置する敷地境界付近には場内の配管設備関係のほか、場外に電柱や水路が近接して存在するケースも多いため留意が必要である。さらに、対象施設は山間部に位置するため、敷地境界付近の工事は道路占用が必要となったことから、特に⑤施工計画において関連機関との調整が必要であった。

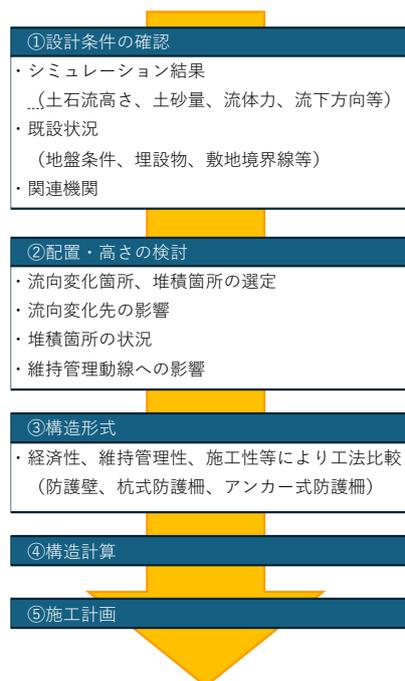


図-2 防土堤の設計フロー

(3) 防土堤の配置検討

本事例では敷地条件を踏まえ、敷地境界部に防土堤を設置する方針とした。防土堤の主な目的は、a) 土砂流入の遮断、b) 流向の制御（以下「導流」）、c) 設備への直衝防止の3つに大別される。周辺施設への影響を避けるため、全て a) での対策が望ましいが、既存構造物が存在する敷地への対策であるため、地形的制約や維持管理性に十分配慮し、必要に応じて b)、c) により対応する。

a) の場合は、浸水対策とは異なり、土砂が堆積するため、対策施設と上流地形の間に「ポケット」が形成される点にも留意が必要である。

b) で流向が変化する際に周辺宅地等が拡散角内にある場合は、流向制御により悪影響を及ぼすことがないように、慎重に検討する必要がある。都道府県が定める「特定開発行為技術基準」では、土石流流向制御工は土石流と 45° の角度を確保することとなっており、 45° を堆積と導流の判断基準とした（**図-3**）。

c) について、給水管や電柱等の設備が露出している場合、土石流が直接衝突することを避ける必要がある。しかし、設備部分が土石流よりも上部に存在する場合は、周辺に堆積することに対して十分な強度を有することが想定される。そのため、周囲を全て囲むことは不要と判断し、設備の前面に最低限の防土堤を配置することで対策が可能と判断した。

以上より、配置上の前提条件を整理すると次のとおりである。

- ・ 流下方向に対して壁面が 45° 以上の場合は、防土堤前面に土砂堆積を考慮する（ 45° 未満の場合は、土石流が導流される）
- ・ 原則土砂の進行方向を周辺家屋に向けず、導流される場合は家屋の安全性を確保する
- ・ 流下方向に対して逆行側（堆積しない面）は、防土堤を必要最低限とする
- ・ 堆積が想定される面はポケットとなるため、逆行面であっても堆積を想定する
- ・ 防土堤が途切れる部分から、流下方向に対して 30° の範囲に土石流範囲が広がる

特に、流下方向の異なる複数の土石流が想定される立地の場合、各土石流でそれぞれ堆積・導流を判断する方向が異なるため、注意が必要である。敷地の制約上、やむを得ず土石流を宅地等の方向へ導流する場合は、宅地等への影響を防ぐための防土堤が、別途必要となる。

また、敷地境界と防土堤設置位置との間の閑地においては、側溝の清掃や除草、その他設備の点検といった維持管理が必要である。そのため、防土堤に維持管理用通用口が必要となるので、土石流の広がる範囲を考慮して設置する。なお、通用口により防土堤のラインが途切れるため、通用口は必要最小限に絞って位置選定することが望ましい。

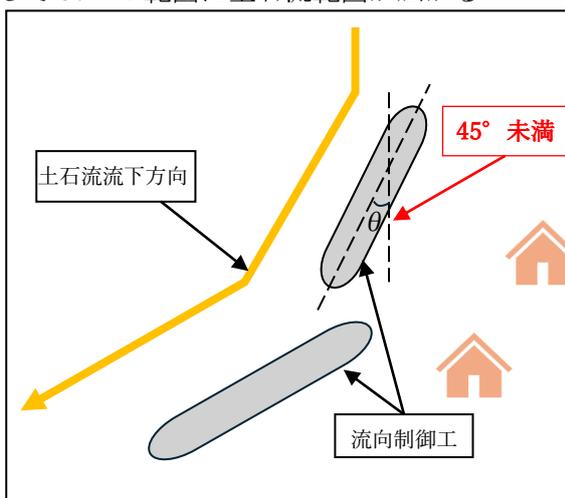


図-3 導流の考え方

(4) 防土堤の高さ

防土堤の高さは以下に示すとおり、土石流が堆積する部分と導流される部分で考え方が異なる。なお、流向方向が異なる複数の土石流が想定される場合は、同一部分であっても双方の土石流を受ける可能性があり、双方を満足する高さを採用する（**図-4**）。

- ・ 堆積部：土石流高さ以上かつポケット容量が土砂量を満足する高さ
- ・ 導流部：土石流高さ＋余裕高

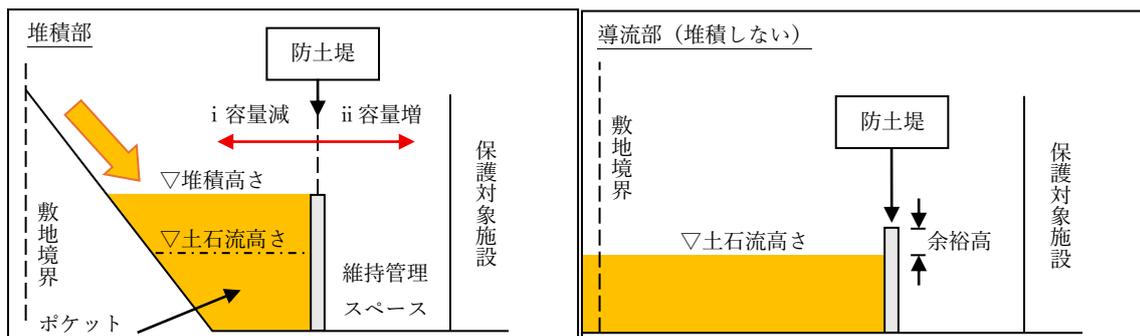


図-4 防土堤高さの関係

1) 堆積部：流下する土砂がポケット内から流出しない容量を確保する必要がある。維持管理スペース確保のためには**図-4 i**のように敷地境界側へ寄せることが望ましい。しかし、ポケット容量を確保するためには防土堤高さを高くする必要があり、経済性の悪化に繋がる。これに対して、**図-4 ii**のように保護対象施設側へ近づける場合は、将来の設備更新工事等の作業ヤードを含めた維持管理性が悪化することになるため、トレードオフの関係にある。

「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説」³⁾(以降、指針と略す)では、余裕高を見込まず、計画堆砂勾配(1/6の勾配 $\tan \theta$)の考慮により防土堤を低くしている。これは土石流等のシミュレーションにて十分余裕を見込んでいることに加え、一般に対策位置が山間部であることから、他の対策施設が隣接しないことが要因であると推察される。しかし、本事例では上部解放の水槽を含む施設に隣接しており、浄水処理の可否に直結するため、少量であっても土砂の流入は許容できない。そのため、一般的な土石流の計画堆砂勾配は考慮せず、「土石流対策の手引き」⁴⁾を参照して水平の堆積を考慮することで、防土堤の高さに余裕を見込むこととした。

2) 導流部：指針上余裕高を見込まない堆積部と異なり、導流部の基準では、流量に従い余裕高を確保することとなっている。本事例では、敷地直近上流側の横断側線において、土石流量が $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下のため、余裕高として最低値の 0.6m を採用した。

3) その他：防土堤は敷地境界付近に設置することから、現在境界用として設けられているフェンスの位置に設けることとなり、侵入防止柵を兼ねる箇所が存在した。浄水施設の特性上、既設のフェンスには忍返しがあつたため、防土堤にも忍返しが必要となる。しかし、場外の道路を通行する一般人の手が届く高さにするのは危険であるため、当該箇所は既設フェンス高に合わせることとし、堆積・導流で求められる必要高さよりも高く設計した。

(5) 防土堤の構造形式

防土堤の構造形式には表-2のような複数の選択肢がある。

表-2 防土堤の構造形式

工法	構造形式	特徴	占有面積	概算費用
現場打重力式擁壁	コンクリート構造	剛構造、一般的	大	低～中
杭式防護柵	鋼製杭+ワイヤーネット	剛構造、省スペース	小	中
アンカー式防護柵	アンカー+ワイヤーネット	柔構造、変形吸収	中	中～高

重力式擁壁は一般的に採用される工法であり、施工性も良い。しかし、高さとの平面的な占有範囲に相関関係があるため、十分なポケット量を確保できる広い敷地で有利となる。重力式擁壁は水密性が高いことから、表裏双方に排水システムを確保する必要がある。

杭式防護柵は支柱間隔を広くとることが可能（最大 10m）であり、平面的な占有面積も少ないことから、埋設物や維持管理性、施工性に関して有利である。また、ワイヤーネットは一時的に取り外すことが可能であり、防土堤高さが高い場合にも一部の撤去を行うことで、被災時の土砂撤去も容易である。さらに、当工法はダウンザホールハンマによる施工と大口径ボーリングによる手法を取ることが可能であり、後者は作業足場が必要であるため比較的高額となるものの、狭隘箇所や斜面にも施工が可能である。

比較の結果、敷地占有面積が限られる箇所や必要高が高い箇所では、杭式防護柵を採用した。支障物がなく十分な敷地を有する箇所は、経済性に優れた重力式擁壁を選定した。

4. おわりに

本稿では、土石流に対して浄水施設敷地内で対策を行った事例を報告した。水道施設側での土石流対策事例は全国で少数であるが、土砂災害警戒区域内の重要度が高い水道施設の 7 割が未対策であり、近年頻発する豪雨災害等を受け、今後施設側での土石流対策設計は増加することが見込まれる。本事例が今後実施される土石流対策の参考となり、国土強靱化の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省、水道施設における停電、土砂・浸水災害に対する対策状況等調査（令和元年）の結果、2021
- 2) 社団法人日本道路協会、道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）、2009
- 3) 国土技術政策総合研究所、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説、2016
- 4) 西日本高速道路株式会社、土石流対策の手引き（平成 29 年 7 月）、2017
- 5) 国土技術政策総合研究所、土石流・流木対策設計技術指針解説、2016
- 6) 日本建築防災協会、土砂災害特別警戒区域内の建築物に係る構造設計・計算マニュアル、2019