

排水トンネル工事中に確認された破断面について

— 現場から学んだ一考察 —

山形森林管理署最上支署 治山グループ ○佐々木 尚
地域技術官 山田 悠貴
山形森林管理署最上支署 大蔵治山事業所
治山技術官 武藤 哲平

1. はじめに

東北森林管理局では、平成4年度より山形県最上郡大蔵村において銅山川地区民有林直轄地すべり防止事業を実施している。当事業地は、地域一帯に火山堆積物であるシラスが厚く覆い、加えて豪雪地帯という特性からシラス層が地下水帯水層となり地下水位が上昇しやすいため、平成8年の融雪期に約130haにも及ぶ日本最大級の大規模地すべり災害が発生した。その滑動方向は南西から北東に向かって移動し、国道付近ですべり方向が変わり西の銅山川方向に移動する複雑な地すべりであった（図1）。

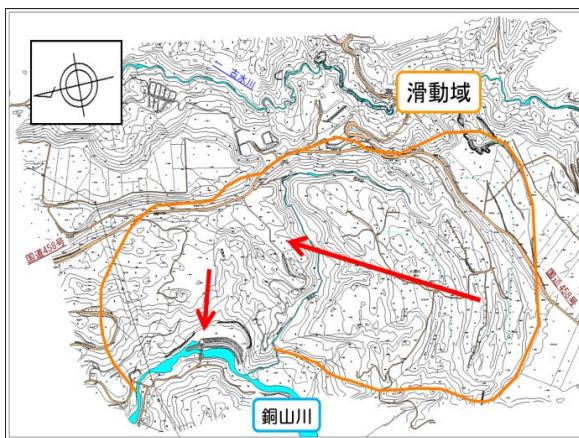


図1. 大規模地すべり災害 滑動図

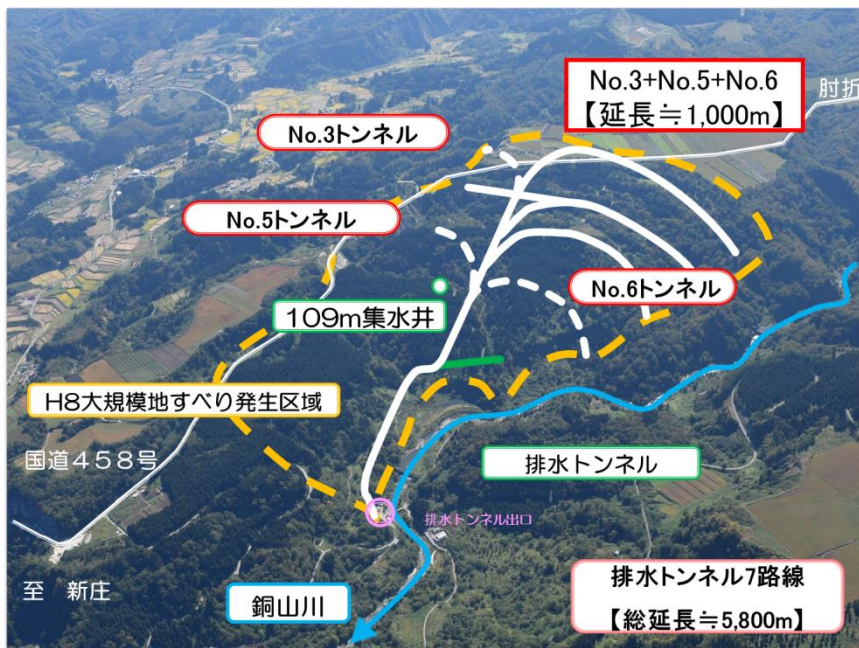


図2. 排水トンネル計画図

大規模地すべり災害を受けて、当事業では排水トンネル及び集水井、落とし込みボーリングを組み合わせた立体排水工を実施している。排水トンネルは全7路線【実線・点線】（総延長：約5.8km）あり、現在は平成26年度より第7期工事として3路線【点線：No.3, 5, 6路線】（延長：約1km）の排水トンネル工事を実施している（図2）。

2. 破断面の確認とその検証

(1) 破断面の確認

第7期工事において排水トンネル掘削作業を実施していたところ、平成27年12月にNo.5排水トンネルの掘削断面に破断面が確認された。

(2) 破断面の検証

破断面は、掘削断面に向かって右上から左下の方向に走り（写真1）、押し出された部分は黒っぽく上下の面は凹凸がない滑らかな鏡肌が確認できた（写真2）ことから、すべり面である可能性が考えられた。そこで、当事業の実施にあたり地すべり発生機構や移動特性を明らかにするため、過去実施した地すべり機構解析における排水トンネル付近のボーリング調査結果を用いて2つの検証を実施した。

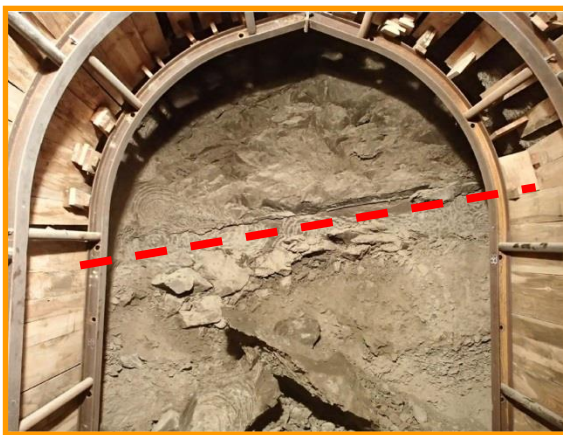


写真1. 破断面写真



写真2. 破断面接写写真

① すべり面の深さ

地すべり機構解析に基づき作成した当事業の計画当時のすべり面等高線図（図3）によると、想定すべり面は深さ140～145mと推定された。

また、平成16年に実施したボーリング調査（CW-3）で深さ143.5m地点に平滑面が確認されたことから、今回確認された破断面は深さ153mと、すべり面等高線図により想定されたすべり面には10m程度の差があった。

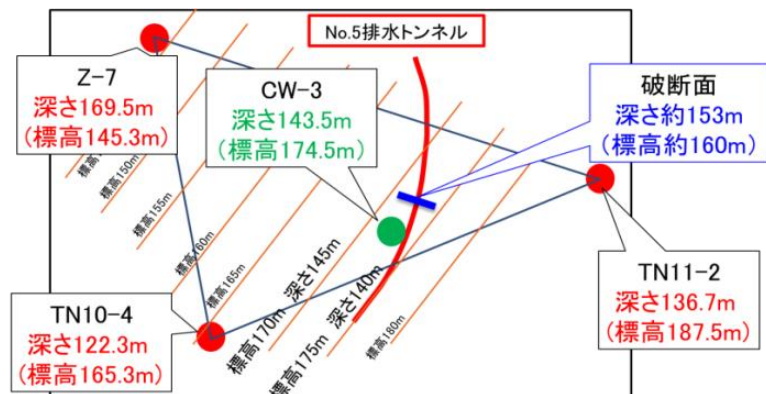


図3. 機構解析に基づくすべり面等高線図（模式図）

② 傾斜方向

同様に地すべり機構解析結果より、銅山川地区一帯をボーリング調査した結果から判明したすべり面の傾斜方向は”北東方向”となっていたが、今回確認された破断面の傾斜方向は”北方向”を示し異なるものであった（図4）。

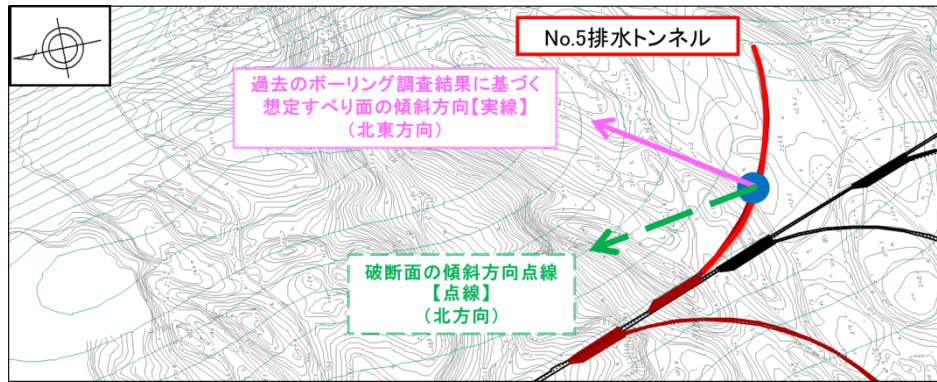


図 4. 破断面傾斜方向図

以上のことから、今回確認された破断面は「すべり面ではない」可能性が高いと考えられた。

3. 追加調査による検証

しかし、工事の安全確保の観点から破断面確認箇所の地質状況をより詳細に把握することが必要であると考え2種類の追加調査を実施し、更なる検証を行った。

(1) 追加ボーリング調査の実施

破断面確認箇所やその付近の地質状況の確認を目的として、破断面が確認された付近 (a 地点)、No. 5 排水トンネル中間部 (b 地点)、終点部 (c 地点) の計 3 箇所 (図 5) で新たに追加のボーリング調査を実施した。

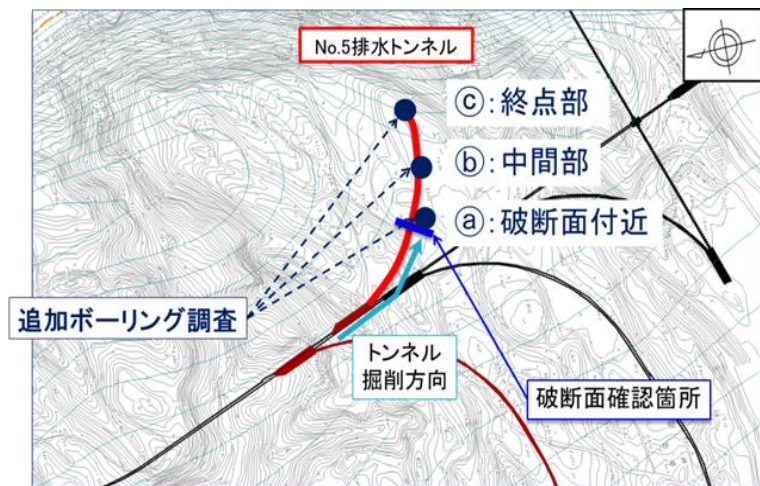


図 5. 追加ボーリング調査位置図

ここでは、平成 24 年度に実施した深さ 109m 集水井 (以下、「集水井」とい

う。) のボーリング調査にて確認されたすべり面の痕跡等を比較対象区として検証を行った。

集水井のボーリング調査結果 (図 6、写真 3) では、凹凸がなく滑らかな鏡肌を呈したすべり面の痕跡が確認されたのは、中硬質コアと硬質コアの境目で深さ 103m の位置であった。

破断面が確認された付近 (a 地点) のボーリング調査結果は、深さ 153m で地質状況が中硬質コアから硬質コアに変化し、すべり面と思われる痕跡が確認された (図 7、写真 4)。

そのほか、b 地点、c 地点の 2 地点でも同様にすべり面と思われる痕跡が深さ 150～160m 地点で確認された。これらの結果は、比較対象区で確認されたすべり面の痕跡及びコアの配置状況とも相似するものであった。

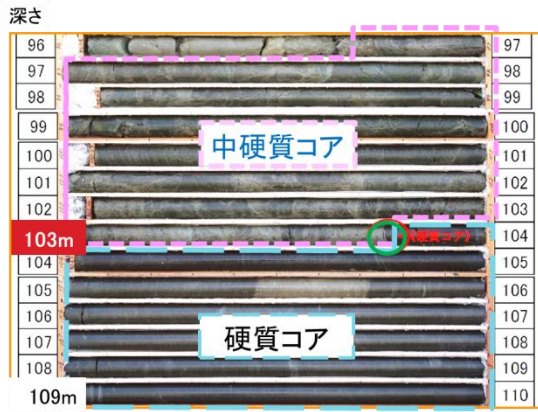


図 6. 109m 集水井 コア写真

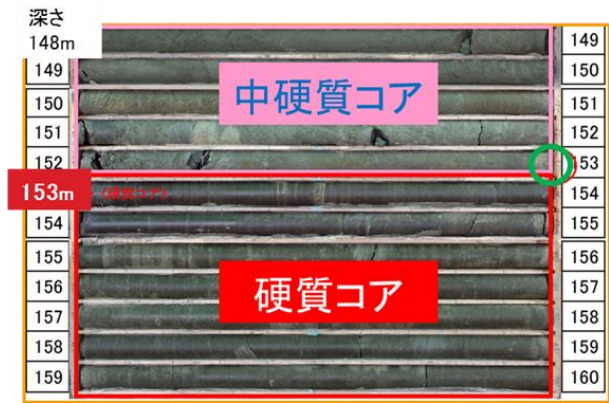


図 7. a 地点（破断面付近） コア写真

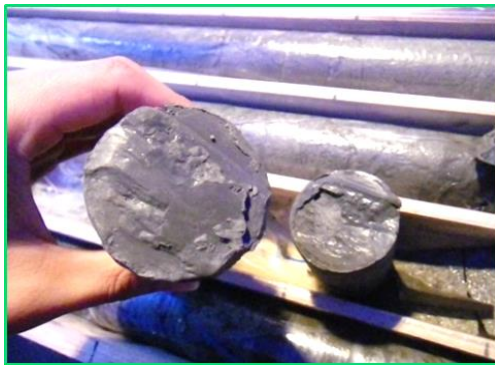


写真 3. 109m 集水井 すべり面の痕跡



写真 4. a 地点（破断面付近）
すべり面の痕跡

(2) 超音波調査(BHTV 調査)の実施

超音波調査(BHTV 調査)は、超音波を用いて通常、カメラでは確認できない地質の強度や亀裂の傾斜方向を確認することができる。今回は、上記追加ボーリング調査に加えて実施した。

破断面が確認された付近(a 地点)における地質の強度は、深さ 145m 付近と 153m で強度が変化し、深さ 153m では上記追加ボーリング調査で確認されたすべり面の深さとも合致した(図 8)。

また、亀裂の傾斜方向については深さ 153m で地質が硬質に変化し、その周囲ですべり面の付近に見られる亀裂が多く確認された(図 9)。その亀裂位置をトンネル掘削断面に照合すると、深さ 153m の亀裂は亀裂方向と深さが今回確認された破断面と一致することが確認できた(図 10)。

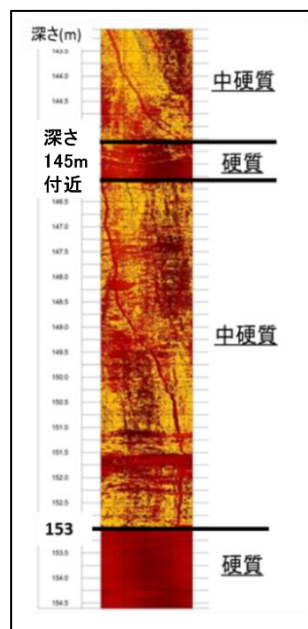


図 8. 強度分布

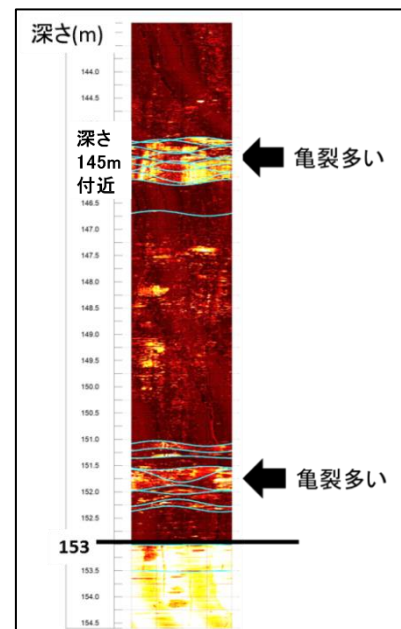


図 9. 亀裂分布

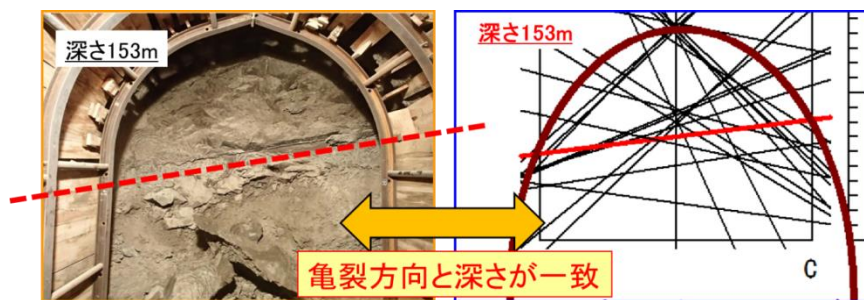


図 10. 亀裂方向比較

4. まとめとその後の工事について

追加調査の結果から、①今回確認された深さ 153m の破断面は痕跡及びコアの配置状況が相似していること、②破断面の確認された深さ 153m で地質強度が明瞭に変化していること、③深さ 153m 付近ですべり面付近によく見られる亀裂が多く確認されるなどすべり面の持つ特性が表れていることが確認された。

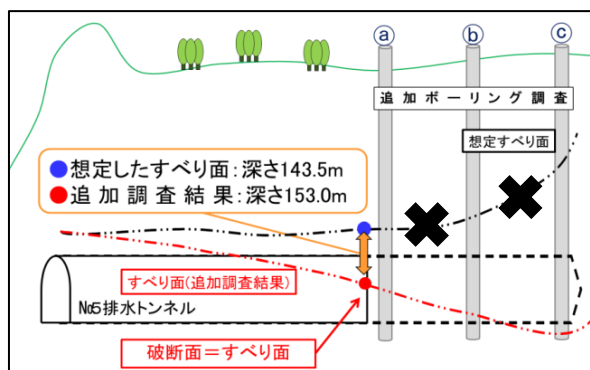


図 11. No.5 排水トンネル縦断模式図

以上より、今回排水トンネル工事中に確認された破断面を「すべり面である」と判断した。

本来、すべり面の下に設置する計画であった排水トンネルが、すべり面より上になってしまう（図 11）ことから、No.5 排水トンネルの工事を中止とした。

なお、既に掘削済みの排水トンネルについては、安全が確保できる位置まで部分的にコンクリートで閉塞した。

5. 今後に向けて

銅山川地区地すべりは、規模が大きく、すべり面方向が途中で変化する複雑な特性を有するため、排水トンネルを安全かつ効果的に計画・実施することが非常に難しい現場といえる。地すべり機構解析等すべり面の解析を行った上で排水トンネル工事を進めていたところ、第 7 期工事において排水トンネルの路線上ですべり面の発生という不測の事態が発生した。これにより、第 7 期工事の計画変更だけでなく、当事業全体の計画変更にも繋がる可能性が生じた。

このように想定外の事象を経験したことで、工事の安全確保と事業の効率的・円滑な進行管理という観点から、チェックボーリング調査の重要性を再認識した。

昨今、ボーリング調査の精度及び技術向上が図られる中で、地すべり機構解析時の調査だけでなく、設計計画時に排水トンネル計画路線上でチェックボーリング調査を行うことが重要である。この調査により、すべり面位置の再確認と周辺地質状況を的確に把握することが、工事の安全確保と事業の効率的・円滑な進行管理に繋がるものであると考える。

最後に今回、本研究を行うにあたり、調査データや写真を提供いただいた大成建設株式会社、国土防災技術株式会社に感謝の意を表す。