

『銅山川地すべり』における「集水井工」施工に関する報告 ーシラス地帯での集水井の井壁保護計画と施工結果ー

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
国土防災技術株式会社 山形支店 内藤祥志 鈴木 亘

1. はじめに

山形県最上郡の西南に位置する大蔵村は、脆弱な地質及び積雪に起因する地下水の影響により古くから地すべりが多発している地域であり、そのため多くの地すべり防止区域が存在する。

林野庁東北森林管理局では、山形県及び大蔵村からの要望を受け、大蔵村南山地内の銅山川右岸部328.34ヘクタールを『銅山川地区地すべり』として地すべり防止区域を指定し、民有林直轄地すべり防止事業を平成4年度より実行している。その主たる地すべり対策工は、地下水排除を目的とする排水トンネル工を主体とした立体排水工によるものであるが、平成25年度から、排水トンネル工を施工できない箇所には深さ109mにも及ぶ集水井工を施工することになった。

今後、全国的に同等規模の「集水井工」が計画された場合には、本事例が参考となることを想定し、今回、深さ109mにも及ぶ集水井工におけるシラス地帯での井壁保護計画とその施工結果について実態報告を行い、円滑な事業遂行の一役とすることを目的とする。

2. 地形及び地質

当該地域の地形は、丘陵状で肘折火山噴出物が厚く堆積し、銅山川等による浸食と開析が進行している。また、陥没地形が連続して同心円状の地形を形成し、古くから地すべりが繰り返されてきたことが推測される。平成8年の融雪期には約130ヘクタール[幅1,100m・斜面長1,300m・最大すべり面深度150m]が滑動するという大規模な地すべりが発生し、国道などに甚大な被害をもたらした。

当該地域の地質は、下位から古口層、野口層、シラス層が重なり分布している。古口層は第三系中新統の砂質泥岩を狭在する黒色泥岩であり、野口層は第三系中新統から鮮新統の凝灰質砂岩で古口層と整合で重なっている。未風化の砂岩は、硬質で難透水性であるが、風化が進むにつれて固結度が低下し透水性が上昇する特性を持つ。また、シラス層は約1万年前の肘折火山活動により噴出した石英安山岩質の半固結火砕流堆積物であり、野口層の上位に不整合で堆積し、径1～20cmの多孔質の軽石を多く含んでいる。その特性は、固結度が低く脆弱で空隙が多いため、透水性が高い。

3. 工事概要とその経緯

(1) 集水井工の施工概要

集水井工とは、深層地下水を集水ボーリングを活用し井戸内へ集め、地すべり地外へと排水する工法で、地すべり対策工における抑制工の一種である。本工事における集水井工の工期は、平成25年7月から平成27年3月までであり、工種等は次表(表1)のとおり

である。

表1 集水井工の工事概要

工種	数量	規格等
集水井工	1基	ライナープレート製 L=109m 径4m
排水ボーリング	1本	SGP90A L=81.6m
No.1集水ボーリング	17本	VP40A $\Sigma L=1,700m$ 深さ104m付近に設置
No.2集水ボーリング	36本	SGP40A $\Sigma L=3,600m$ 深さ40m付近に設置

(2) 集水井工の導入経緯

『銅山川地区地すべり』では、平成8年の地すべり滑動時に「強制排水工」を導入したことで、地すべり滑動を一時的に沈静化させた。この強制排水による施工効果によって、当地すべりでは地下水排除工が有効であると判断され、その後は、恒久対策として「排水トンネル工」及び「落とし込みボーリング工（「強制排水工」の深部への掘り増し、不足分の新設）」の施工を順次進め、“概成”へと向けた対策工が順次導入された。

このため、集水井の施工箇所は、多量の地下水の流入源となっているI拡大ブロック頭部位置であり、周辺には平成8年の災害以降に9基の強制排水工を施工した箇所である(図1参照)。

「I拡大ブロック」の当初計画では、「全体ブロック」と同様に「排水トンネル工」の導入後に「強制排水工」を排水トンネルへと落とし込むことにより、“自然排水”が可能となる方法が検討されたが、その後の調査でI拡大ブロックでは“すべり面深度及び形状(傾き)”から排水トンネル工がすべり

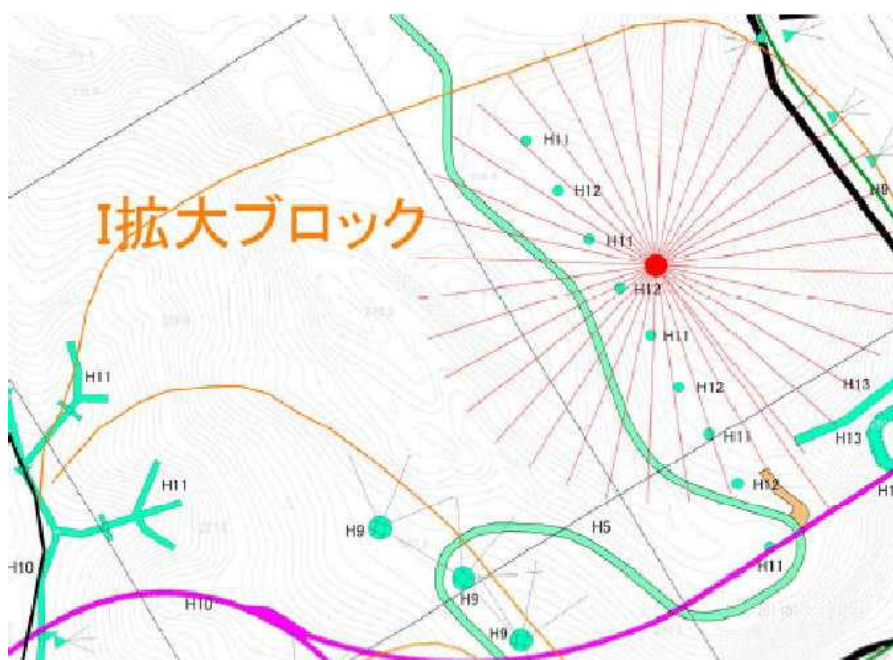


図1 I拡大ブロックの既設「強制排水工」と「集水井」の施工位置

面を貫くこととなり、施工や維持管理上危険が伴うため、「排水トンネル工」の導入が困難な区域であることが判明した（「排水トンネル工」は施設維持のため、すべり面以深の基岩層内に構築する必要がある）。

「強制排水工」は応急的な地下水排除対策であり、排水トンネルが施工不能な当該箇所においては、恒久的な地下水排除工を検討する必要があった。上記の現場条件を勘案した対応策として、「I拡大ブロック」での恒久的な地下水排除工法として「集水井工」を計

画するに至った（図2、図3参照）。

また、施工位置については、すべり面が右側壁に向かい深くなることから右側壁強制排水に隣接する位置に施工し、集水ボーリングをすべり面に沿わす施工が望まれたが、排水トンネル標高よりも排水ボーリング施工位置が低くなってしまふことから、排水ボーリングが施工可能となる位置に計画とした。

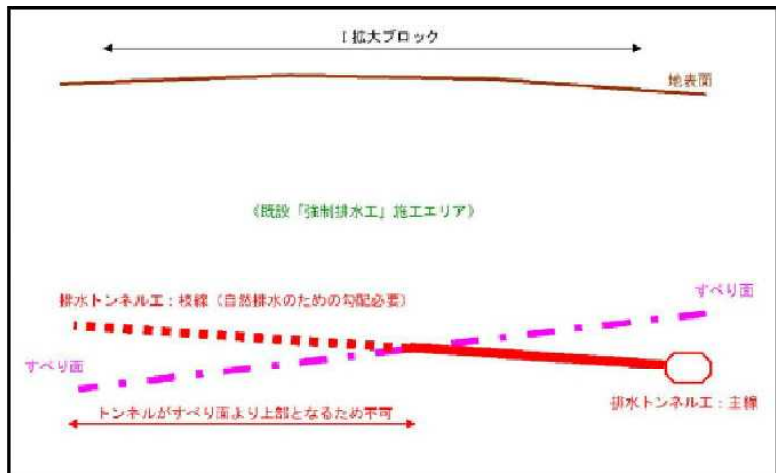


図2 I 拡大ブロックの模式断面図

4. 研究方法

本報告では、集水井工施工において時間を最も要した「集水井掘削作業」に視点を置き、計画設計段階での井壁崩壊対策と実際の施工時の状況を対比し、井壁崩壊対策の適否について考察する。また、計画設計段階で計上されていなかった対策について整理し、その効果発現について考察する。

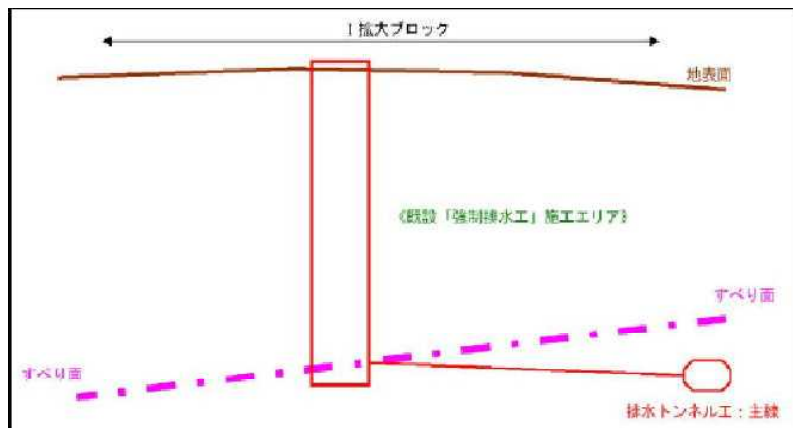


図3 「強制排水工」の代替施設としての「集水井」施工模式断面図

上記を進めるに当たって、実際の施工現場における確認および施工担当会社へのヒアリング等により情報収集を実施し、結果については、計画設計担当会社へのフィードバックを実施した。

なお本報告で示す「井壁崩壊」とは、不安定な土塊（シラス等）が地下水とともに流下し井戸内へと湧き上がるように流入する現象で、土木工事における基礎工等に見られる「ボーリング現象」と同じ現象である。

5. 結果及び考察

(1) 施工計画（設計内容）

過去に当事業地内で施工した排水トンネル換気孔及び集水井の施工状況より、特に砂質土層は地盤が軟弱なうえに地下水が多く賦存し、掘削面での崩壊が度々発生し井戸本体と地山の間大きな間隙が生じるため、薬液注入工による対策を行った。本施工箇所も調査ボーリング及び地下水検層の結果より、厚く堆積した軟弱な砂質土層及び大量の地下水の存在を把握している。

このため、集水井工施工には作業上の安全確保に十分配慮する必要があるとあり、掘削面への地下水流入をできる限り少なくする対策を検討した。施工箇所付近には、先に述べたとお



写真1・2 スーパーウェルポイント工（左：揚水管挿入、右：設置完了）

り既存の「強制排水工」があったものの、より強力に地下水位の低下を図ることが可能である「スーパーウェルポイント工」を仮設工事として導入した。

「スーパーウェルポイント工」は、圧力吸引を実施することで真空状態を構築し、土中の空気循環を促して効果的に地下水を集水するもので強制排水工の一種である。これにより、通常の「強制排水工」よりも広範囲かつ効率的に地下水位の低下を図った（図4参照）。

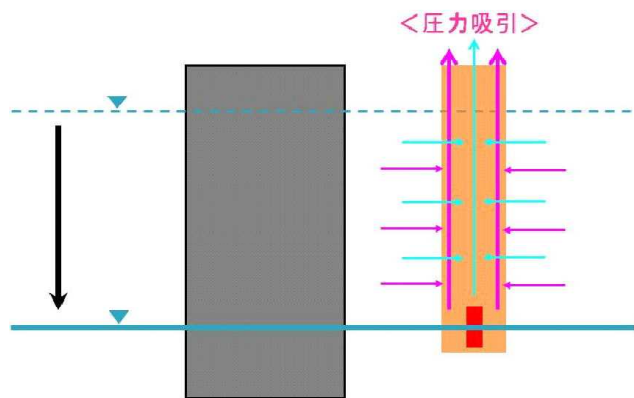


図4 スーパーウェルポイント機能模式図

(2) 施工結果

①掘削作業前

集水井掘削作業を開始しようとしたところ、シラスが崩れやすくライナープレートを設置していくことが困難であり、掘削作業の継続可否及び作業の安全確保のため、外周薬液注入工を実施した。これにより、ライナープレート設置時の止水及び地盤の安定化を図った。



写真3 薬液注入工実施状況

②掘削作業中

掘削作業を進めていくと、融雪期である3月から4月にかけて「井壁崩壊」が深さ30m～40m付近で計4回発生した。この井壁崩壊については、発生深度別で応急対策と本格対策に分けて実施することで、掘削作業を継続することができた。

応急対策については、発生深度が深さ40mより上位で発生したものに実施した。対策内容は、地下水の流れを変えることにより、井壁崩落が発生しないようにするため、底盤コンクリート打設薬及び側壁部液注入工を施工した。まず、底盤コンクリート打設によって掘削面からの土砂及び地下水の流入を防ぎ、次に側壁部への薬液注入により掘削面へ地下水が移動することを防ぐと同時に不安定な土砂の固定を図った。



写真4・5・6・7 井壁崩壊発生状況

左上：土砂流入状況、右上：土砂崩壊後ライナープレート背面の空隙
 左下・右下：井壁崩壊による電動バックホウの埋没状況

表2 井壁崩壊発生履歴一覧

回数	発生年月日	発生深度	対策内容
1回目	平成26年2月28日	GL-33.5m	応急対策
2回目	平成26年4月1日	GL-38.0m	応急対策
3回目	平成26年4月14日	GL-40.0m	本格対策
4回目	平成26年4月21日	GL-40.5m	本格対策

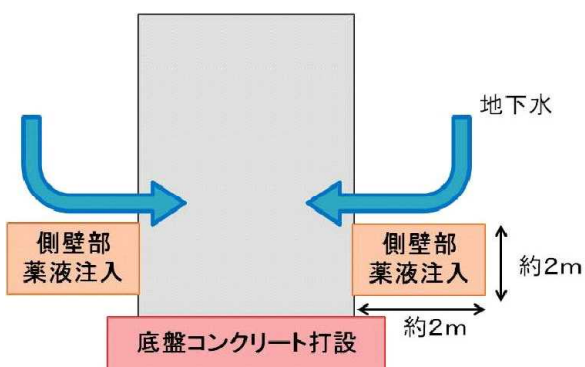


図5 応急対策施工模式図

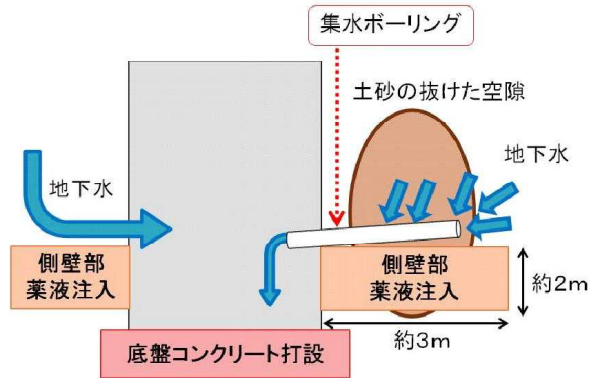


図6 本格対策施工模式図

さらに、発生深度が深さ40m以下で施工した本格対策については、ライナープレート背面の空隙調査の結果、明瞭な空隙及び帯水層の存在が判明したことから、応急対策では対処しきれなかったため、追加対策として導水工である集水ボーリング工を導入した。こ

れにより、確実に地下水の流れを変えることができ、掘削作業を再開した。

(3) まとめ及び考察

「集水井掘削作業」の仮設工事である「強制排水工」として計画されていた「スーパーウェルポイント工」については、止水効果及び周辺地下水位の低下が認められたものの、計画段階で想定していたレベルまでの崩壊対策（井壁周辺の構成土の改善）には至らなかった。

これは、集水井を掘削していくことで、開削された部分（井戸本体）からの空気を吸引してしまうことによって、スーパーウェルポイントが本来の機能を発揮できなかったからであると推測される。本来、スーパーウェルポイント工を含めた強制排水工は、揚水孔横方向に空隙がないことを想定した軟弱地盤等に適応したものであると考えられるが、実際の施工段階では、井壁背面土の崩壊が4回発生し掘削作業前の「外周薬液注入工」及び井壁崩壊対策としての「底盤コンクリート打設」、「側壁部薬液注入工」、「導水工（集水ボーリング工）」を実施することで、井壁背面土の崩壊を抑止しながら掘削作業を進めた。

施工時の井壁崩壊状況を考慮すると、「強制排水工」、「外周薬液注入工」の導入は必須であったと考えられる。よって、地質状況及び地下水流動状況を勘案し、井戸本体掘削前の導入について検討することが重要である。

(4) 今後の課題

今後に向けて、以下3点の課題を挙げる。

- ① 井壁崩壊対策を講じることで施工時の問題を解消することは可能であるものの、その対策の程度（数量及び品質等）の見極めが必要である。
- ② 本工事のような深い「集水井工」の施工は、一般の治山林道必携に対応していないことが多く、調査・計画段階からどのように設計積算を行うか検討し、発注時どの程度見込むことが適正であるか判断することが困難である。
- ③ 本工事により完成した深さ109mにも及ぶ集水井工において、今後継続的なモニタリングを実施することで適正な維持管理手法を提案する。

6. おわりに

今回の集水井工施工においては、予測不可能なことが多く発生するなど当森林管理局が持つ技術基準等に当てはまらない事項が多々あった。しかし、このような経験を通して「土の中のことは非常に分かりにくいこと」、「適切な指示・素早い判断など対応の難しさ」を痛感し、日々変化していく現場状況を的確に把握し、計画設計会社及び施工担当会社と意思疎通を図りながら適切な対応をしていくことが重要であると強く感じた。

本工事のように作業条件の難しい現場は稀であるが、4回の井壁崩落を経験しながらも無事工事を完成できたことは、今後同様の事業を進めていく上で参考となり、大きな自信となった。

最後に、集水井工に係る調査及び計画立案にご協力いただいた国土防災技術株式会社、並びに約20ヶ月にも及ぶ工事施工に携わった大成建設株式会社の皆様方に紙面をお借りしてお礼申し上げます。