

スーパーウェルポイント工法による地すべりの 応急対策

国土交通省 四国地方整備局
四国山地砂防事務所 建設監督官
笠井庸宏

1. はじめに

地すべり災害が発生した場合、被害の拡大防止や早期復旧を図るため、体制を確立し応急対策を実施することとなる。応急対策工としては、例えば、ブルーシートを用いた表面排水工、地すべりブロック側部からの横ボーリング工などが挙げられる。しかし、施工にあたって、地質・地下水調査成果が十分に存在しない場合がほとんどで、必要な進入路や施工ヤードの確保が制約されるなど課題は多い。さらに、時間的に余裕も無いため、総合的な技術者判断の下で実施可能な対策を順応的に実施する場合も多い。そのため、地すべり災害発生時の応急対策の実施については合理性や効率性の観点から、新工法の適用などで選択肢を増やす取り組みを継続し、事例を蓄積することが重要と考えている。

国土交通省四国地方整備局四国山地砂防事務所は、有瀬地区地すべり(徳島県三好市西祖谷山村)で、災害関連緊急事業を実施中であり、令和3年度に応急対策としてスーパーウェルポイント工法(以下 SWP 工法という。)による汲み上げ井戸を施工した。結晶片岩地すべりにおいて応急対策として施工した事例は少ないと思われるので報告する。

2. 有瀬地区地すべりでの応急対策実施

有瀬地区地すべりは、吉野川右支境川に接しており、地すべり上には斜面地集落が形成されている(図-1)。また、境川下流には吉野川に沿って土讃線が位置している。この地区は昭和 35 年に地すべり防止区域に指定され、徳島県土木部が排水工主体の地すべり対策を実施してきたが、平成 29 年に地すべり末端の小ブロック頭部に亀裂が発生した。平成 30 年 7 月豪雨では側部に亀裂、末端部が崩壊するなどして市道が被災するなど地すべり災害が発生した。

有瀬地区では、経年的に地すべり対策工事を実施してきたため、道路に近接しており施工性の良い箇所には、すでに横ボーリング工や集水井工が整備されていた(図-2)。一方で、この小ブロックは境川に面する地すべり末端に位置しており、斜面勾配が急であり施工性が悪いことから、斜面中腹に位置する市道より下の斜面において排水工が施工されていなかった。そのため、地すべり災害発生誘因と



図-1 有瀬地区地すべり全景

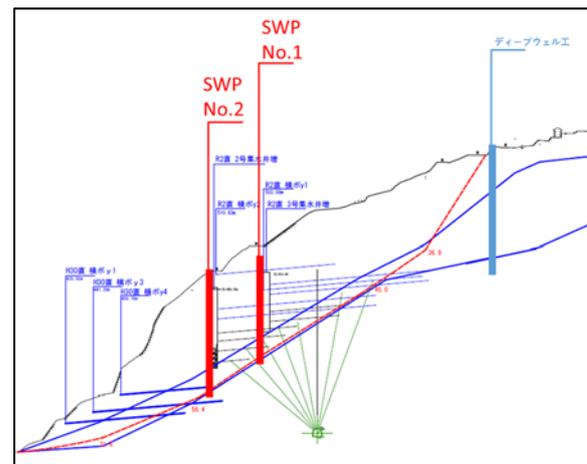


図-2 有瀬地区の地すべり対策施設配置状況

なった地下水が十分に排除できていないと考えられた。

地表から自然排水が見込める位置では十分な対策工の実施が見込めず、地下水の排除のため恒久対策として排水トンネル工を計画した。ところが、地すべり災害が発生して以降、0.3mm~0.5mm/日の変位が継続し、30mm/hr 程度の降雨で 10mm/日程度の変位が懸念される活発な地すべり活動が継続した。排水トンネル掘削から建て上げボーリングの実施まで2年以上の期間を要する見込みだったため、活動の沈静化を目的として小ブロック外からの流入地下水排除を目的としたディープウェル工を実施した(図-3)。

ディープウェル工の施工後に応急対策工としての効果を判定するため、ディープウェル工の稼働前後で地盤伸縮計

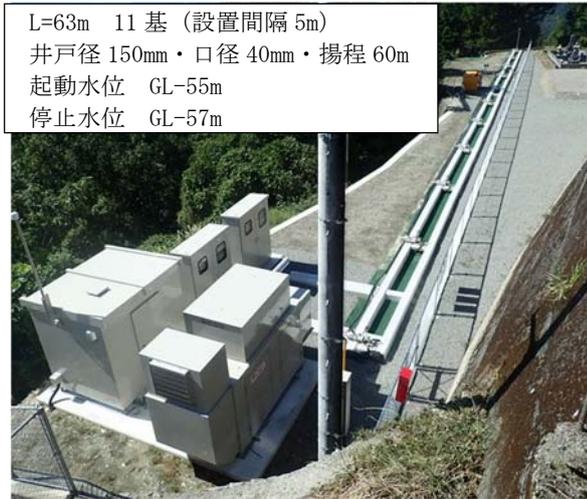


図-3 ディープウェル工の整備状況

と雨量の関係を比較した。その結果、ディープウェル工施工後に地盤伸縮計の変位が小さくなる傾向はあるものの、積算雨量が大きくなるとディープウェル工施工前と比較して地盤伸縮計の変動傾向に余り変化が見られなかった。そのため、それまでも目安としていた 30mm/hr といった一定以上の降雨では変位が懸念される状況が継続し、ディープウェル工を中心とした排水工の効果は限定的に機能していると考えられた。そこで、追加で応急対策を検討した。

応急対策で排除する対象となる地下水について検討するため、日最高水位と降雨量の関係について、積算時間を変えて相関性を分析した。その結果、144 時間積算降水量が最も日最高水位と相関が良いことから、すべり面変動に寄与する地下水位は深層の地下水の影響を受けていると考えられた。一方、小ブロック頭部に設置されている伸縮計の変動は、地下水位と最も相関する 144 時間積算降水量よりも短い積算降水量で最も高い相関を示した。このため、地すべり変動は、小ブロック背後から流入する地下水だけでなく、小ブロック周辺の表層から流入する水の影響も受けていることが想定された。

応急対策として小ブロック内の地下水排除を目的とした横ボーリング工や既設集水井での増し打ちボーリングも実施したが、施工適地が限られた。こういった施工適地の問題やディープウェル工の効果分析なども踏まえて地すべり中層から深層の地下水を対象として、SWP 工法を用いた汲み上げ井戸による排水を試みることにした。

3. SWP 工法の概要

(1) SWP 工法の概要

SWP 工法は、真空ポンプと水中ポンプを組み合わせ、能動的に飽和地下水を集水・排水する工法の一つである(図-4)。構造は、スクリーンとその内側に、最下部に吸水孔を

真空ポンプ 出力 11.0kw・排水ポンプ 出力 22.0kw
 削孔径 550mm・鋼管径 406.4mm

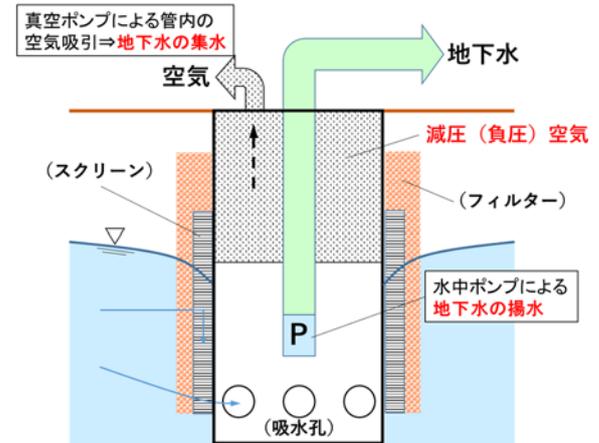


図-4 SWP 井戸構造イメージ

設けた鋼管を設置する二重構造となっている。また、スクリーン外部には、豆砂利によるフィルターを設置して間詰めとしている。

排水する仕組みは、地表に真空ポンプ設置して常時稼働させて鋼管内を減圧する。これにより孔内水位を引き上げて吸水孔から地下水を集水し、鋼管内に設置した高揚程の水中ポンプで揚水する仕組みとなっている。真空ポンプで集水する工法的な特徴や電気代などの維持経費を要することから、地すべり対策工法としては一般的な工法では無い。

有瀬地区の地質は、亀裂の多い三波川帯の結晶片岩で、地すべり土塊の中を亀裂に沿って脈状に地下水が流動していることが想定されていた。ディープウェル工では亀裂から井戸孔に地下水が流れだし、孔内水位が上昇した場合に排水する仕組みとなっている。そのためと思われるが、晴天時には孔内水位が上昇せず余り排水されていない。真空ポンプが組み合わせられている工法を採用することで、亀裂内に存在する地下水を集水して効果的に排水することを期待した。一方で、亀裂の多さから真空ポンプが限定的に機能することも懸念された。

4. SWP 工法を用いた応急対策の実施

(1) 施工位置の検討

施工位置について、既設の対策工位置や既往の地すべり調査成果を参考に施工位置を決定した。また、施工性及び安全確保の観点から位置を調整した。

地すべり面からの水頭位の高さと、滑り面全体から排水するという観点から、水頭位が高くなっている付近に汲み上げ井戸の施工位置を決めることにした(以降は SWP_No.1 という)(図-5)。

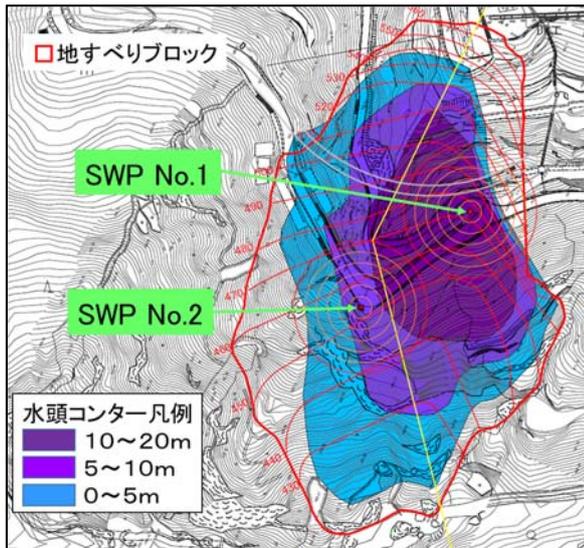


図-5 SWP 工法施工位置と水頭コンター図

次に既往実績から SWP 工法による汲み上げ井戸の集水範囲を直径50m程度と仮定し、横断方向にもう1箇所汲み上げ井戸の施工を検討した(以降は SWP_No.2 という)。また、施工位置を検討する際には、滑り面全体を見て排水工未施工となっている範囲となるように位置を確認した。

施工性の観点から、施工機械の設置などに必要な平地部分が確保できることや機械搬入が容易であることが求められた。小ブロックは全体が山林で占められ、こういった条件に見合う場所は、小ブロック中腹を横断している道路上のみだった(現在は通行止め中)。管理者である三好市と調整して道路を占用することとなったが、最低限の交通が可能となるように道路脇に施工位置をずらすなどの調整が発生した。

施工位置は地すべりブロック内であり、変状が発生した構造物が多くある。そのため、安全確保の観点から位置の調整を行なった。滑り面からの水頭位を考慮して設定した施工位置はアンカー工を施工した法面と近接していた(図-6)。施工時及び施工後の観測時の安全確保のため、可能な限り当該法面から離れるように位置を調整した。

(2) SWP 工法の施工

1) 本体設置孔(汲み上げ井戸)の施工



図-6 SWP 工法施工箇所周辺の構造物変状

SWP 工法は、真空ポンプによる吸引を利用する工法であり、孔周辺の透水性が集水能力に大きな影響を与えることとなる。そのため、掘削時に発生するスライムの除去が可能なパーカッション方式が適しており、本体設置孔の掘削工法として採用した(図-7)。ワイヤーロープの先端に取り付けたビットを一定のストロークで自由落下させ、その衝撃で土砂を突き崩しながら掘削を進める特性上、土質の硬軟により偏心する可能性を踏まえ、偏心管理を実施した。

また、掘削作業中は孔壁保護のため一定量の粘土泥水が孔内に必要であった。掘削スライムは、ペーラーと呼ばれるバケットにより、粘土泥水とともに汲み上げ排出した。粘土泥水は常時補給が必要になることから、掘削スライムを粘土泥水と共にくみ上げた後、スライムと粘土泥水とに分離し、粘土泥水は孔内へ戻し再利用した。

2) ポンプ等機器設置と調整

本体設置孔内のスクリーン(L=10m)については、地すべり面周辺の地下水を積極排水する目的から、スクリーン中心を地すべり面高さに合わせ設置した。

真空ポンプ設置後の調整として、本体孔内に水と空気を交互に圧送を繰り返す、孔周囲の細粒分を洗浄除去し、地盤内へ割裂注水により「みずみち」を形成する作業を行った。真空ポンプの負圧については、これまでの他現場での実績を踏まえた目標値を設定した(-0.06Pa 以上)。しかし、SWP_No.1 については、その目標値の負圧確保が困難であった。SWP_No.1 については過去に実施されてきた排水工等が比較的近くに位置している。このことが SWP No.1 の負圧が目標値まで達しない要因の一つになっているのではないかと推測しているが、今後こういった真空ポンプを併用した汲み上げ井戸を利用する際の留意点について検討を進める必要がある。

目標値を達成するため SWP_No.1 について、排水ポンプ位置を上下させることによる負圧の調整を行った。排水ポンプの位置を上昇させ、地下水を孔内下部に溜めることにより孔内総体積を縮小させて負圧を増加させることを試みたが、この水中ポンプ位置の調整により地下水が排出されなくなっ



図-7 汲み上げ井戸の施工状況



図-8 真空ポンプのみ稼働させている状況



図-9 水中ポンプで排水している状況

た。調整後のポンプ位置より下で亀裂等による溢水が発生しているものと推測しているが、結果的に SWP No.1 については、水中ポンプ揚水可能位置に調整を行ない負圧の目標値は達成できなかった。

3) 観測孔等の施工

本体設置孔施工箇所付近でボーリングを実施し、すべり面位置を本体設置孔掘削前に予め確認した。すべり面については、今回採取コア試料の他、これまでの各調査での報告と照合し決定した。このボーリング孔については、稼働開始後の効果検証を行うために、水位計を設置し観測孔として利用することとした。

真空ポンプは常時稼働となるが、水中ポンプについては孔内水位の上昇に合わせた運用が必要となる(図-8、図-9)。センサースイッチを設置し、水中ポンプを自動で起動・停止を行うことで、省力化を図った。センサーについては、水に接触すると反応する。SWP 本体孔内に設置した場合、真空ポンプで吸引した際に気化した水分がセンサーに触れて液化し、それに反応して起動・停止する誤作動が発生する可能性を懸念した。また、観測孔は、観測機器設置でスペースがない状態であったことから、センサーを設置する孔を別途で施工した。

4) 稼働状況

2021年11月より SWP_No.1 が、2022年1月より SWP_No.2 が稼働している。2022年2月において、SWP_No.1 は約 1,000L/日、No.2 は約 4,000L/日の地下水を排除している。この地下水は、既存の周辺道路側溝を利用してブロック外へ排水している。先発で施工したディープウェル工が、降雨に連動し、断続的に稼働していることに対し、SWP 工法では、24時間連続で真空ポンプを稼働させ集水を行い、継続的に地下水排除できている。

4. おわりに

地すべり応急対策として SWP 工法による汲み上げ井戸を2箇所施工した。地すべりブロック内の施工で、地形的な制約が多い中での施工・調整となったが、事故無く、竣工することができた。また、稼働開始後、短い期間ではあるが、SWP 工法による地下水排水は継続的に実施できている。想定していたよりも施工に時間を要したが、地すべり災害が発生した際に、次期出水期の安全を確保するため、非出水期に実施する応急対策として十分に活用できると考えている。今後、降雨期を迎えることとなるが、梅雨や台風等の大雨時の稼働状況について、地すべりの挙動と合わせて機能発揮状況について分析をすすめる予定としている。

有瀬地区地すべりについては過去から事業が実施されてきた経緯があり、地形・地質調査成果が比較的多く存在した。しかし、一般的にはこういった成果がほとんど無い場合がほとんどだと思われる。そのため四国山地砂防事務所では今回の SWP 工法の施工と合わせて UAV による空中電磁波探査も実施した。降雨直後と渇水期の2時期のデータを取得しており今後分析を進める予定としている。現場としては、最近の調査技術や施工法の開発に合わせた地すべり応急対策の考え方についてとりまとめる必要性を感じており、今後取り組むこととした。

最後となるが、この地すべり災害の対応にあたり現場でご尽力頂いた建設会社や関係者の皆様、適切なご助言を頂いた有識者の先生方にお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 地すべり災害復旧技術研究会:災害復旧事業における地すべり対策の手引き、社団法人全国防災協会
- 2) 中谷洋明・後藤 明・今村俊裕・向井啓司・綱木亮介:能動的な斜面排水工法の適用性の検討、砂防学会誌, Vol69, No.4, p.21-24, 2016