

# 滑動中の地すべりにおける 応急対策実施の実状と課題について

四国山地砂防事務所 調査課 川西 康喜  
四国山地砂防事務所 調査課 課長 福井 慧  
四国山地砂防事務所 建設監督官 笠井 庸宏

斜面の一部が広い範囲にわたって滑り落ちる地すべりは、人家・道路等への直接被害のほか、川をせき止め天然ダムを形成する恐れもあり、地すべりが滑動しはじめた場合には、被害を少しでも軽減するためにも、迅速な対応が必要となる。

今回、吉野川流域に位置する有瀬地区地すべりにおいて実施された応急対策の紹介と、その実状と課題について整理する。

キーワード 地すべり、応急対策、SWP工法、地下水排除工

## 1. はじめに

近年、集中豪雨の増加や大地震の発生などにより、地すべり災害が多く発生している。地すべりが発生、又はそのおそれがある場所については、地すべり防止区域に指定され、被害防止・軽減のための地すべり対策工事が実施されている。しかし、地すべり現象は複雑であり、対策工事が実施された後も地すべり滑動が活発であることがある。吉野川右支境川に接している有瀬地区地すべりにおいても、平成29年7月豪雨によって滑動が活発化して以降、県及び国直轄によりさまざまな応急対策が実施されてきたが、未だに地すべり現象が継続している。本報告では、地すべり応急対策の基本的な考え方を説明し、有瀬地区での応急対策の実状を紹介する。その後、地すべり現象が継続している理由と有瀬地区での取り組みについての課題を抽出し、今後の改善に向けての取り組みを検討する。

## 2. 検討の手法について

本報告の検討フローは以下の通りである。

- ① 一般的な地すべり応急対策方法をまとめる。
- ② 有瀬地区で実施された対策工について、時系列順に並べることで整理する。
- ③ 一般的な手法と比較することで、これまでの対策方法の課題や改善点を考察する。

## 3. 地すべり応急対策の基本的な考え方について

- (1) 一般的な地すべり対策の流れ

地すべりは上部に台地状の地形を持つ緩斜面に発生することが多く、粘性土をすべり面として滑動することが多い。瞬間的に発生するがけ崩れに対して、地すべり現象は長期間にわたってゆっくりと斜面が滑り落ちることが多い。地すべり対策の流れを図1に示す。対策を行うにあたって、まず地すべりの機構や特性を明らかにする必要があるため、調査を実施することになる。これは、対策工の設計や計画、施工に必要な情報集約を行うためである。調査の結果を元に、地盤の特性や周辺環境に適応した対策法を検討しなければならない。地すべりは地形、地質、地下水の条件により発生する特徴があり、あらかじめ地すべり運動の発生を予測して事前調査を実施しておくことが理想ではあるが、十分な調査ができない箇所で地すべりが発生し、早期復旧を強いられることも考えられる。この場合、緊急的な調査・応急対策が必要になってくる。



図1. 地すべり対策までのフロー

(2) 地すべり災害発生時の応急対策の基本的な考え方

a) 緊急時の調査

緊急時の調査項目を図2に示す。第一に変状が生じている範囲と地すべりの移動方向を確認する必要がある。これらの状況をもとに行われる調査もあるため、正確で詳細な調査が求められる。例えば、移動土塊の境目や変位の大きさ、変位方向を考慮して地盤伸縮計を設置し、変位量を計測する調査が挙げられる。調査時においては、地形・地質構造、構造物・斜面の変状分布などが着眼点となる。特に重要とされているのが、「⑥影響範囲の推定」と「⑦危機管理基準の設定」である。⑥については、既往の災害事例によると、影響範囲は地すべりブロックの長さ・幅の2倍程度に設定するのが望ましいと言われている。ただし、天然ダムの恐れがある場合は、天然ダムの上流・下流の被害影響範囲も推定する必要がある。⑦については、地盤伸縮計の計測値に基づいた危機管理基準値を設定する手法が多い。図3に示す事例では、一日当たりの地盤の移動量によって「注意」「警戒」「避難」「立入禁止」と体制の設定をしているが、地すべりの移動特性、影響範囲によって採用すべき基準値は異なってくる。

①変状範囲と地すべり移動方向の確認	※①～⑦は時系列であるが、併行して対応することもあ
②移動量・変位量の計測	
③発生機構(素因・誘因)の推定	
④移動土塊の挙動の予測	
⑤拡大の可能性の検討	
⑥影響範囲の推定	人命に関わる項目
⑦危機管理基準の設定	迅速な判断が必要

図2. 緊急時の調査項目

地すべり名	地盤伸縮計による管理基準(地すべりの状況による)			
	注意	警戒	避難	立入禁止
A-1	1 mm/D	10 mm/D	2 mm/h	10 mm/h専
A-2	1 mm/7D	17 mm/D	4 mm/h	10 mm/h専

図3. 管理基準値の設定事例

b) 地すべり対策

地すべり対策として使われる工種を表2に示す。地すべりの発生原因として、地すべり滑動の原因となる応力を減少させる抑制工と、地すべり滑動を促進しようとする応力に抵抗する抑止工の2種類が存在する<sup>2)</sup>。

表2. 地すべり応急対策工事の工種

抑制工	工法例	抑止工	工法例
地すべりの誘因となる自然的条件を変化させることによって地すべり運動を緩和させることを目的とする	地表水排除工 (浸透防止工) 	すべり面を貫いた構造物により地すべり推力に対抗し、地すべり移動を停止させることを目的とする	杭工
	地下水排除工 (集水井工、排水トンネル工)		アンカー工
	排土工		シャフト工
	押え盛土		
砂防構造物 (護岸工、砂防堰堤)			

応急的な対策として、浸透防止工、地下水排除工、排土工、押え盛土工が多用される工種として挙げられる。

4. 有瀬地区における応急対策の実状

(1) 有瀬地区地すべりの特徴

有瀬地区周辺の地形図を図4に示す。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。斜面は地すべり地特有の複雑な形態を示しており、昭和35年に地すべり防止区域に指定され境川の右岸斜面約2.5km<sup>2</sup>の範囲にて徳島県により断続的に対策が行われている。主に泥質片岩が分布しており、地すべりが発生しやすい地質となっている。平成29年10月豪雨時には、I-3ブロックの頭部でクラックが発生するなど、滑動が活発化したため、徳島県が災害関連緊急地すべり対策事業に着手した。また、平成30年7月豪雨でも側部にクラックが入り、末端部で崩壊が発生し、河道閉塞の危険が高まったため、国直轄による地すべり対策災害関連緊急事業に着手した。以降、現在に至るまで順次対策工を整備しているが、継続的に地すべり滑動が観測されており、特に道路の沈下、ガードレールの落ち込みなどが未だに拡大し続けている(図5)。



図4. 有瀬地区周辺及びI-3ブロック



図5. 地すべりによる被災箇所(有瀬地区)

(2) 有瀬地区で実施された対策工について

有瀬地区で実施された対策について、時系列順に並べたものを表3に示す。なお、四国山地砂防事務所が対応した「有瀬地区土砂災害対策検討委員会」（以下、委員会）及び平成30年以降に施工した応急対策に着目して整理することとする。

有瀬地すべり事業では、学識者からなる委員会を定期的に開催し、現在行われている応急対策工等の現状報告や、対策工の効果評価についての助言や意見を頂きながら事業を進めている。平成29年の豪雨をきっかけに、同年11月に第1回委員会を開催した。I-3ブロックの崩壊による河道閉塞、及びそれに伴う土石流の発生の恐れがあると指摘を受けた。さらにI-3ブロックはすべり面深度が深く、大きな抑止工・大規模な対策工が求められるため、施工において高度な技術力が必要となる。そこで、3ヵ月後の第2回委員会では、応急対策として排水トンネル工の具体を議論した。早期着手のため、排水トンネルの設計に必要な地質調査ボーリング、施工に向けた追加調査を優先して実施することとした。その後、平成30年7月豪雨が発生し、I-3ブロックの変状が拡大した。

排水トンネル工の施工には長い期間を要するため、整備するまでの緊急的な対応として、I-3ブロック上部に自然流入する地下水をポンプによって揚水して排水するディープウェル工（DW工）、I-3ブロック内の地下水を排水するための横ボーリング工等（図6）の追加対策工を実施することが今後の方針となった（同年11月第3回委員会）。委員会後、方針通りに計画・施工を進めていたが、令和元年8月豪雨により土砂移動が発生。同年12月の委員会にて、平成30年以降に実施した追加対策工の効果が限定的であることを確認した。そこで、追加対策工としてφ300 mmの大口径横ボーリング工を施工した上で、排水トンネルを施工することとした。大口径横ボーリング工は通常の横ボーリング工と比べて排水能力が高く、



図6. 応急対策工による排水状況（当時）

表3. 有瀬地区で実施された地すべり対策

時期	項目	内容	時期	委員会名	主な検討内容
H30年4月	検討	排水トンネル概略検討	H29年11月	有瀬地区土砂災害対策検討委員会（第1回）	<ul style="list-style-type: none"> <li>将来的にI-3ブロックが崩落し、塊川の閉塞(河道閉塞)および崩落土塊の流出(土石流化)が発生する恐れがある</li> <li>不安定化しているI-3ブロックは他の直轄地すべりと比較するとすべり面深度は約60m程度と深い</li> <li>地すべり変動を沈静化させるために大きな抑止力・大規模な対策工が必要となる</li> <li>急峻かつ狭いI-3ブロックにおいて大規模な対策工を可能な限り速やかに施工するため、高度な技術力・機械力が必要となる</li> </ul>
H30年6月	調査	直轄にて有瀬地区の調査の実施(地質調査、弾性波調査)			
H30年7月	災害	H30年7月豪雨			
H30年8月	H30災関申請	DW工、大深度集水井工			
H30年8月～10月	調査	地質調査ボーリング4か所(排水トンネル設計用) Bor-13 H30年10月11日～H30年10月24日 Bor-14 H30年10月26日～H30年10月30日 Bor-15 H30年8月20日～H30年8月21日 Bor-16 H30年8月9日～H30年8月10日			
H30年9月	H30災関採択	DW工、大深度集水井工(直轄地すべり対策災害関連緊急事業を実施)	H30年2月	有瀬地区土砂災害対策検討委員会（第2回）	<ul style="list-style-type: none"> <li>地すべりブロック周辺の地形変化を最小限にとどめる工法として排水トンネル工を選定</li> <li>有瀬地区は、他の直轄地すべりと比較して甚大な規模を有することを確認</li> <li>地すべり移動の状況に鑑み、対策工の実施が急務であることから、排水トンネルの設計に必要な調査ボーリングを優先して実施すること</li> <li>今後の対応方針として以下の3点を整理した</li> <li>①排水トンネル工の設計・施工に向けた追加調査を早期実施する</li> <li>②排水トンネル工に早期着手する</li> <li>③上流大規模ブロックの監視を含めた調査観測計画を推進する</li> </ul>
H30年9月	設計	DW工設計			
H30年9月	施工	シート張工(I-3ブロック頭部の亀裂への雨水、表面水の侵入防止のため)			
H30年10月	設計	横ボーリング 6基設計			
H30年10月	着手	H30災関事業の着手について(DW工、横ボーリング、補工)	H30年11月	有瀬地区土砂災害対策検討委員会（第3回）	<ul style="list-style-type: none"> <li>I-3ブロックは平成30年7月豪雨以降変状が拡大している状況であり、排水トンネル工を整備するまでの緊急的な対応として、以下の対策を実施する</li> <li>・斜面上部から流入する地下水排除を目的としたディープウェル工、及び横ボーリング工</li> <li>・末端部の不安定化を軽減することを目的とした横ボーリング工</li> <li>今後も継続して観測を実施し、対策工の効果を確認しつつ、追加対策工の必要性について随時検討する</li> </ul>
H30年10月	設計	排水トンネル詳細設計			
H30年11月～12月	調査	現地作業 H30年11月28日～H30年12月2日(排水トンネル設計用の弾性波探査)			
H30年12月	施工	DW工施工 11基	R1年12月	有瀬地区土砂災害対策検討委員会（別途説明）	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後の方針は以下の通りとする</li> <li>・令和元年8月の土砂移動を受けて、DW工等のH30災関で実施した追加対策工の効果が限定的であったことから、追加対策工としてφ300の大口径横ボーリング工を施工した上で、令和2年～令和5年にかけて排水トンネル工を施工する</li> </ul>
H31年3月	施工	横ボーリング 5基 法面工、石積工			
R1年5月	設計	大口径横ボーリング設計①			
R1年8月	災害	R元年8月豪雨			
R1年11月	設計	大口径横ボーリング設計②			
R1年11月	R1災関申請	排水トンネル工、大口径横ボーリング工			
R1年11月	R1災関採択	排水トンネル工、大口径横ボーリング工			
R2年3月	施工	横ボーリング 3基 集水井 1基 増打ちボーリング(集水井) 2箇所 道路拡幅 13箇所			
R3年6月	設計	SWP工法 図面作成指示			
R3年6月	調査	SWP工法 地質調査ボーリング追加指示			
R3年6月	設計	SWP工法 地下水係下工の追加指示			
R3年7月	運用	UAV空中電磁探査	R3年3月	有瀬地区土砂災害対策検討委員会（第4回）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工を予定していた大口径横ボーリング工について、新型コロナウイルスの影響で、大口径横ボーリング用の資機材調達、オペレーター確保が困難となった。代替工法として、①横ボーリング工、②既設集水井の増打ち、③新設の集水井工を施工することとした。</li> <li>・これまでの対策工の施工効果は発現されているが、その効果は限定的なものである。</li> <li>・今後、順次施工を進める大口径横ボーリングの代替工法の効果評価を実施しつつ、排水トンネル本体工の施工に着手する</li> <li>・対策工を進める中では、逐次、計器観測を継続し、工事の安全を図ると共に、対策工の施設効果を確認していく。</li> </ul>
R3年11月	運用	SWP運用開始			
R4年2月	施工	排水トンネル掘削開始			
R3年11月	運用	SWP運用開始			
R3年6月に4回			R3年6月に4回	有瀬地区土砂災害対策検討委員会（別途説明）	<ul style="list-style-type: none"> <li>応急対策（SWP工法）実施に関する説明。</li> <li>7～8月頃にコア判定、Gブロックすべり面の考え方、SWP工法進捗状況について説明。</li> <li>※各委員にWeb会議にて個別に説明。</li> </ul>
R3年10月					

地すべり変動に伴う変形を受けても排水能力が維持されやすいという特徴を有するため、既往対策工の効果が限定的であったブロック中央部に施工しても効果が得られると期待されていた。しかし、新型コロナウイルスの影響で、大口径横ボーリング用の資機材の調達、オペレータの確保が困難となり、施工は中止となった。そのため、大口径横ボーリングの代替工法が必要となり、令和3年第4回委員会では、①横ボーリング工、②既設集水井工の増打ち、③新設の集水井工を施工することを今後の方針とし、効果評価を順次実施しつつ、排水トンネル本体工の施工に着手することとした。

令和3年より新しい応急対策として、スーパーウェルポイント工法（SWP工法）について検討し、同年6月より設計に着手した。SWP工法については後述する。

令和3年10月時点の調査結果では、排水トンネル周辺の顕著な累積変位は見られず、排水トンネルの工事実施には問題ないと判断された。ただし、より深部での変位にも留意し、観測結果を総合して考えていくための地質調査・観測については今後検討していくこととした（第5回委員会）。

### （3）SWP工法について

SWP工は排水トンネルの施工上の安全確保や、排水トンネル完成までの暫定対策として施工されたものである。SWP工を現地に設置した当時の状況を図7に示す。SWP工法は水中ポンプと真空ポンプを組み合わせ、能動的に地下水を集水・排水する工法である。地表に設置された真空ポンプにより井戸管を真空引きにし、地すべりの岩盤に負圧を与えることにより、地下水を集水する仕組みである。井戸管にたまった水は、管内に設置された水中ポンプで揚水し、周辺道路側溝を利用して地すべりブロック外へ排水する。DW工と比較すると、より深い層までの地下水を排水することができ、影響範囲も広く吸水力も強いと期待されている。しかし、施工には高度な技術力を要するとともに、ポンプ稼働のための費用が継続的に必要となることから、地すべり対策工法として一般的な工法ではない。地盤沈下対策や軟弱地盤の土地改良として利用されてきた事例はあるが、滑動



図7. SWP工を設置した状況（当時）

中の破碎帯地すべりにSWP工法を用いたのは当事務所が初である。そのため、効果検証について今後の出水期のデータにより引き続き検討が必要である。

## 5. 課題とまとめ

地すべりの災害対応では、何も対策をしないと滑動が日々刻々と進行し、対象とする地すべりの様相が変化するため、十分な調査・機構解析の上で対策工に着手することは困難であり、調査を実施しつつ、並行して応急対策工を施工していく必要がある。有瀬地区地すべりでの対応においてもそれは同様であり、委員会で学識者から意見・助言を頂きながら、各場面で最善と考えられる選択肢をとってきたものと考えている。しかし、最善と考えられる選択肢をとって、対策施設も一定程度完成してにもかかわらず、なお滑動は継続している状況であり、地すべり災害における応急対策の困難さを実感しているところである。排水トンネルの完成後には滑動が鎮静化することを期待したいが、完成後も継続的に水位や斜面変動の観測を続け、状況次第では対策手法をさらに見直す必要もあり得ると考えている。

一方で、有瀬地区地すべりでは、DW工法、SWP工法、UAVを活用した空中電磁探査による地下水分布状況の確認等、滑動中の地すべりに対する適用事例が少ない技術も積極的に活用してきたところである。特にSWP工法に関しては、施工後に大きな出水期をまだ経験してはいないが、一定の地下水排除工を得られることはすでに確認できている。このような有瀬地区における新技術導入の取り組みは、他地区での地すべり災害発生時においても、新技術を導入する際の参考にできるものと考えており、それに資するように手引きの形で整理していきたいと考えている。

今後も、対策工の施工と地すべりの監視・観測を継続し、地すべりの沈静化に努めるとともに、新技術の適用事例については手引きにまとめることにより、有瀬地区に留まらず、今後の地すべり応急対策の一助となるように取り組みを進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 池谷浩・吉松弘行・南哲行・寺田秀樹・大野宏之、現場技術者のための砂防・地すべり・がけ崩れ・雪崩防止工事ポケットブック、平成13年5月
- 2) 土木研究所資料、独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム、地すべり防止技術指針及び同解説（提案）、平成19年9月

## 謝辞

本稿の作成にあたり、多大なるご協力及びご助言を頂きました関係者の皆様に心より感謝の意を表す。