

水力発電所改修工事中の台風による地すべり発生後の災害復旧対策

前田建設工業(株)
前田建設工業(株)
前田建設工業(株)
前田建設工業(株)

○石井 健太
加藤 清次
羽根田 隆
谷口 徳晃

1. はじめに

大分県豊後大野市にある水力発電の軸丸発電所は、設備の老朽化が進行していたため、更新工事を行うこととなっており、発電所敷地の嵩上げと既設発電所建屋の撤去・新設を行う計画である。

発電所基礎掘削は、既設発電所撤去後に親杭横矢板とグラウンドアンカーを併用した山留を構築し、基礎掘削を進めていた。基礎掘削中、2022年9月18日～9月19日にかけて台風14号が通過し、大雨の影響によって、山留め背面の地山で地すべりが発生し、基礎掘削継続が不可能となった。

本報告では、地すべり発生後の災害復旧対策について紹介する。

2. 工事概要

軸丸発電所は、大正9年に運転を開始しており、水路工作物については約90年が経過するとともに水車・発電機についても昭和29年の再開発以降60年以上経過しているため、総合更新工事（導水路、ヘッドタンク、水圧鉄管、発電所、放水路等の改修）が実施される計画であった。図-1に軸丸発電所の更新前後のイメージ図を示す。

また、既設発電所は全て撤去し、新設発電所を構築するため、親杭横矢板と土留めアンカーを併用した基礎掘削を行う計画としていた。山留の検討条件として、発電所周辺は砂岩が分布しているが、既設発電所施工時に掘削・埋戻しを行った記録が残っていたため、埋土層を考慮して山留検討を行った。検討の結果、山留の標準仕様は、親杭 H-300@1.5m、除去式アンカー3段となった。図-2に基礎掘削及び山留平面図、図-3に山留断面図を示す。

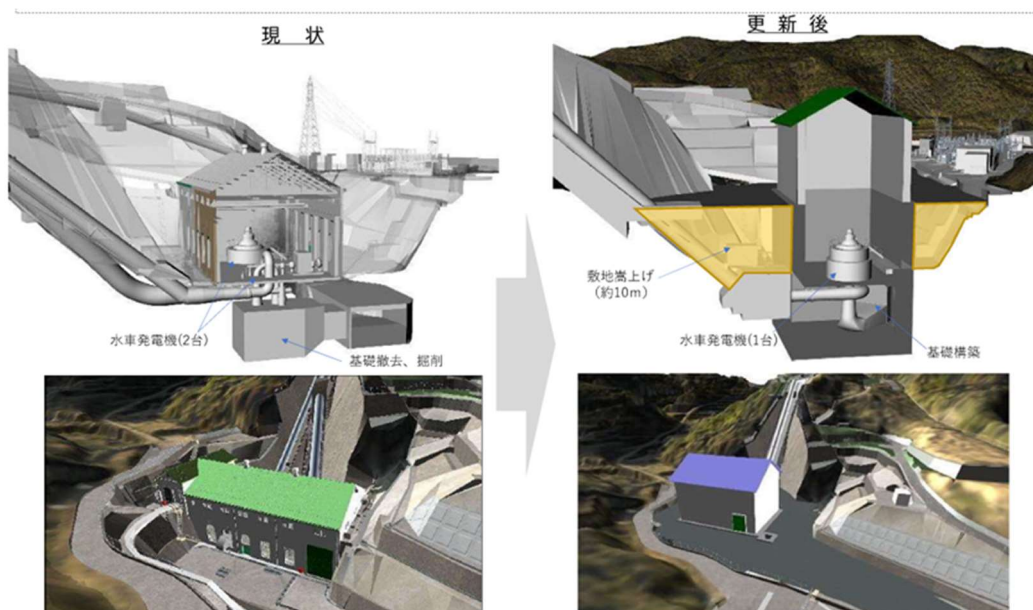


図-1 軸丸発電所更新前後イメージ

キーワード 水力発電所 地すべり グラウンドアンカー 安定解析

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社 TEL03-5276-5166

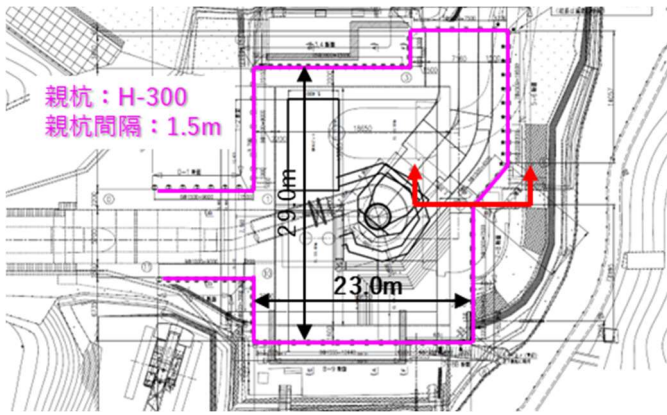


図-2 発電所基礎掘削及び山留平面図

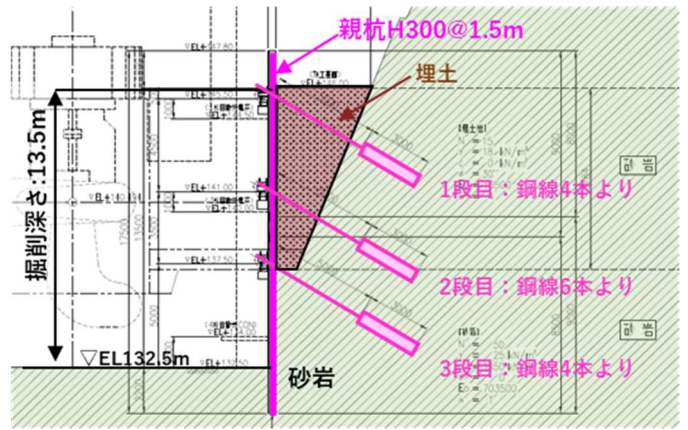


図-3 山留断面図

3. 地形地質

軸丸発電所周辺は、主に阿蘇火山起源の火砕流で形成された大野川丘陵地とよばれる丘陵が広がり、四方を大小の河川によって開析の進んだ山地に囲まれた盆地状をなす。

軸丸発電所周辺地域の地質は、中生代後期白亜紀の大野川層群霊山層の砂岩を基盤として、その上位を第四紀の阿蘇火砕流堆積物が覆っている。

周辺のボーリング調査では、基礎掘削部はこれらの内の霊山層砂岩の CL~CM 級の岩盤が広く分布し、基礎掘削部の山留めの深度付近では、表層付近で褐色の風化岩、深部では新鮮な CM 級の分布が想定されていた (図-4)。しかし、基礎掘削中、表層付近ではボーリング調査の結果通りの褐色風化岩であったが、深部では地すべりの主測線付近を中心にボーリング調査では確認されていなかった褐色風化岩が分布していた。また、風化岩の層理面の方向は、発生した地すべりの方向に対して受け盤となる状況であった。今回発生した地すべりは発電所南側の斜面である。

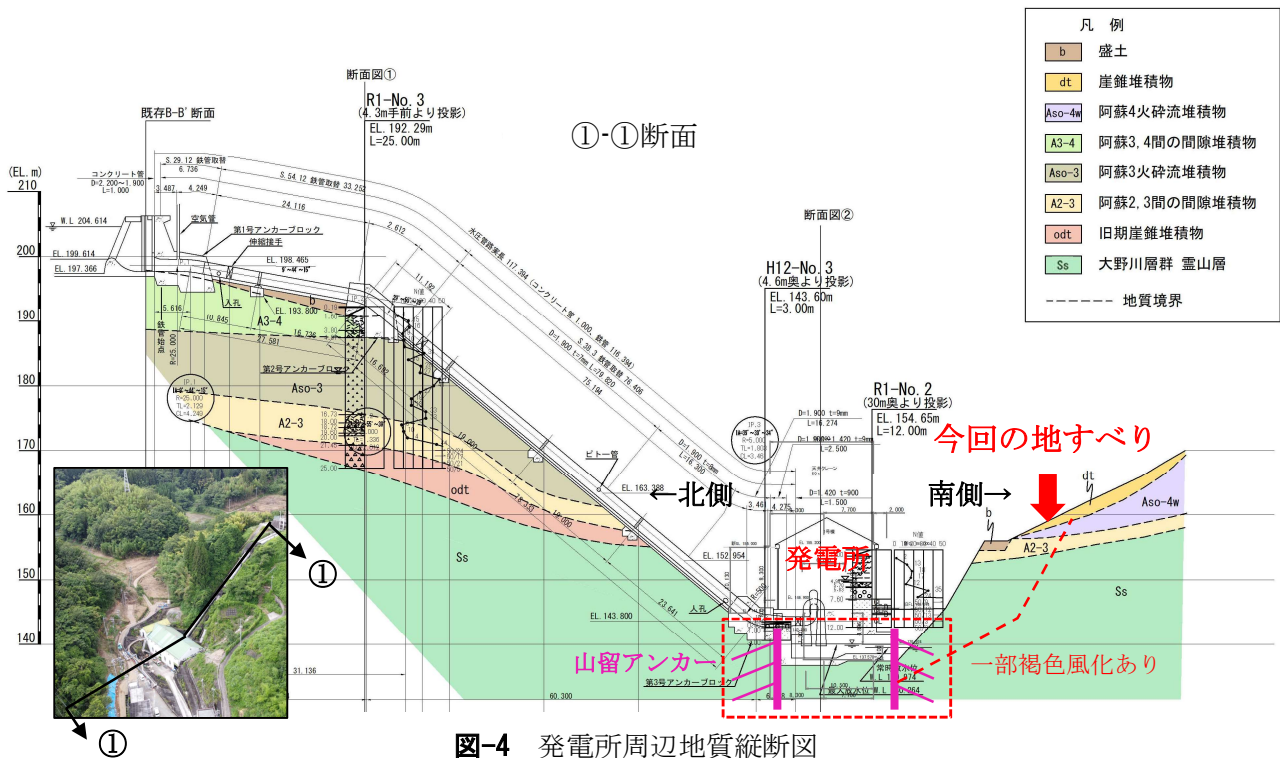


図-4 発電所周辺地質縦断面図

4. 被災の概要

発電所建屋の基礎掘削は、親杭天端から約 10m を下がった時点で多段式傾斜計で計測していた親杭の水平変位量が掘削側へ増加し、2 段目アンカー荷重も増加傾向にあった。対策としてアンカーの増し打ちを計画し、**写真 1** に示す通り、増設アンカーを打設するために山留前面に施工機械足場用の盛土を施して準備をしていた。施工直前に台風 14 号が通過し、台風通過後の掘削箇所は水没していた(**写真-2**)。

台風通過時の計測データからは、大雨による地下水位の上昇によって、まず、アンカー降伏荷重付近を推移していた 2 段目アンカーが破断し、その後、他のアンカーも破断した。また、アンカー破断と同時に親杭は掘削側に大きく傾倒した(**図-5**)。山留天端の上方斜面の既往モルタル吹付工は一部剥がれ、山留天端から約 10m 上方にある道路は発電所方向に崩れて通行不能となった(**写真-2**)。さらに、道路沿いに設置されていた既往の灌漑用水路も破損して水が漏れていた。

最寄りの気象庁観測点「竹田」の 18 日の日雨量は過去 40 年における最大の 360mm で、また、1 時間最大雨量は 48.5mm と激しい雨となる時間帯もあった。



写真-1 台風通過直前の現場状況



写真-2 台風通過直後の現場状況

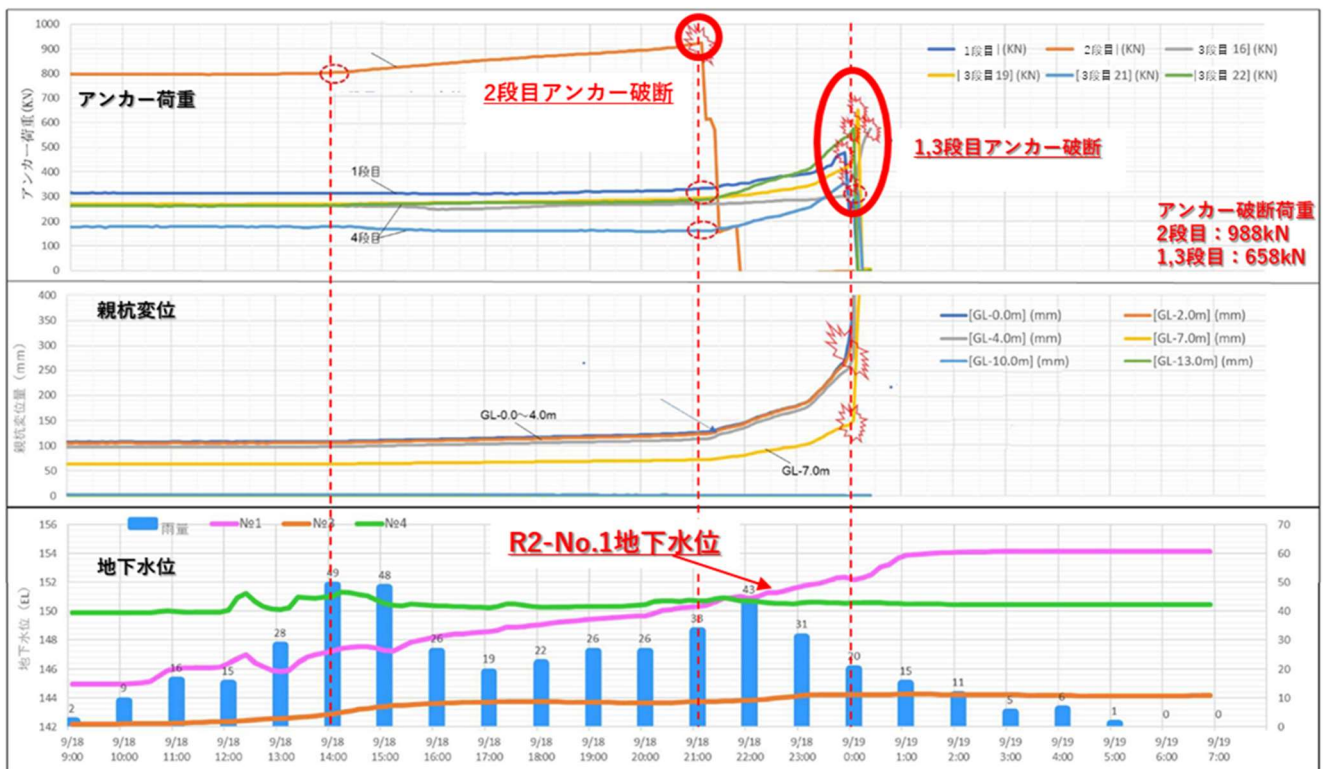


図-5 被災時の計測データ

被災のメカニズムとして、基礎掘削で岩盤が応力解放されたことで地山の緩みが発生したと考えられる。また、地山の緩みは、山留設計段階での地質調査では確認できなかった風化岩の存在も影響したと考えられる。さらに、豪雨により急激に地下水位が上昇したことで、地山の滑動抵抗力が低下し、地すべりが発生した。この時発生した地すべりは、山留設計時に想定していた外荷重を上回るものであり、山留を含めた背面の工用道路と灌漑用水路も損壊するに至ったと推定される（図-6）。

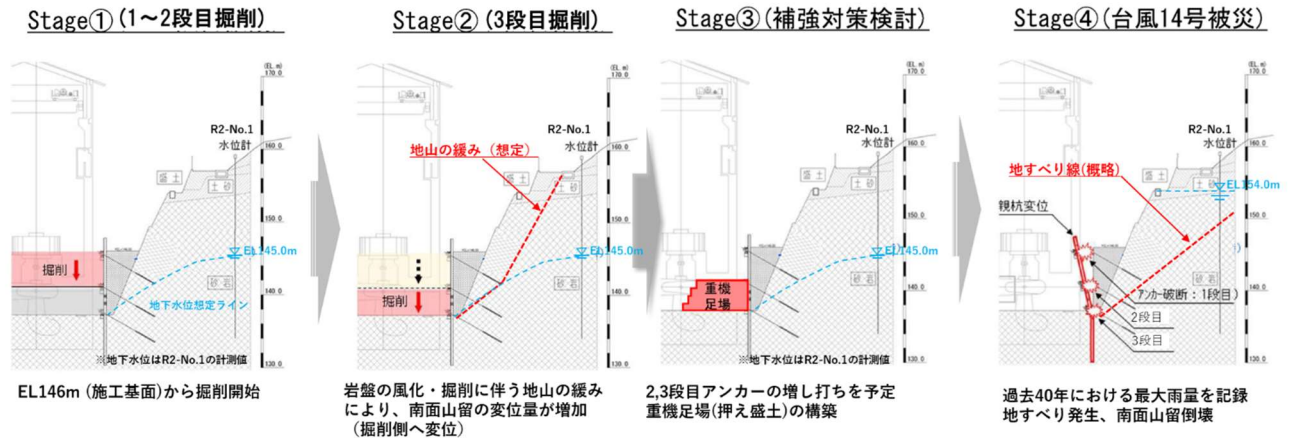


図-6 被災の流れ(イメージ図)

5. 調査結果および地すべり概要

(1) 現地踏査及びボーリング調査結果

台風通過後、地すべり調査のため、現地踏査及び追加ボーリング調査を実施した。図-7 に現地踏査結果とボーリング調査位置図を示す。

現地踏査により地すべりブロックは、幅約 35m、斜面長約 30m と判明した。頭部よりさらに斜面約 15m 上方まで地すべりの滑動に伴って生じた落差 10cm~50cm 程度、地すべりの移動方向と直交方向の長さ 5~15m 程度の亀裂が所々で認められた。

調査ボーリングを地すべり主側線上の 3 箇所で行い、コア採取とともにボアホールスキャナーで孔内を観察した。図-8 に Bor-No.1 のコア写真を示す。調査ボーリングの結果、調査地は、表層部に最大厚さ 3m 程度の砂質粘土からなる崖錐堆積物と、この下位に分布する砂岩層からなる。深度 8.35m までコアに破砕構造と緩みが認められることから、8.35m までを緩みゾーンと考えられる。

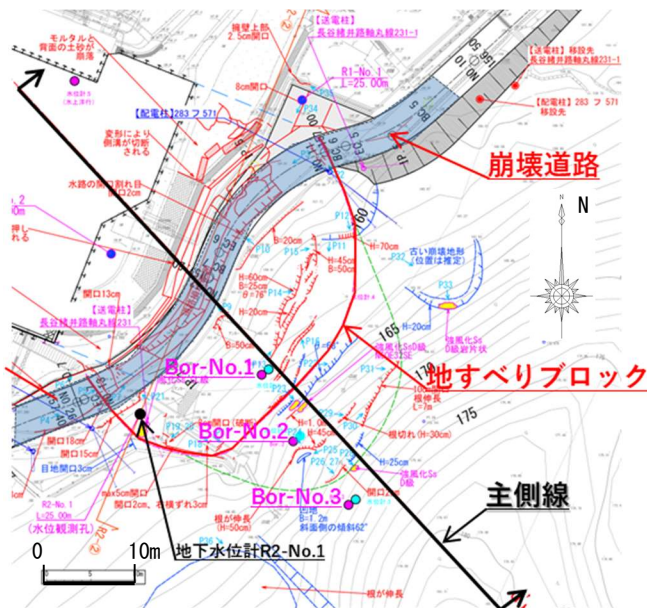


図-7 現地踏査結果及びボーリング調査位置図

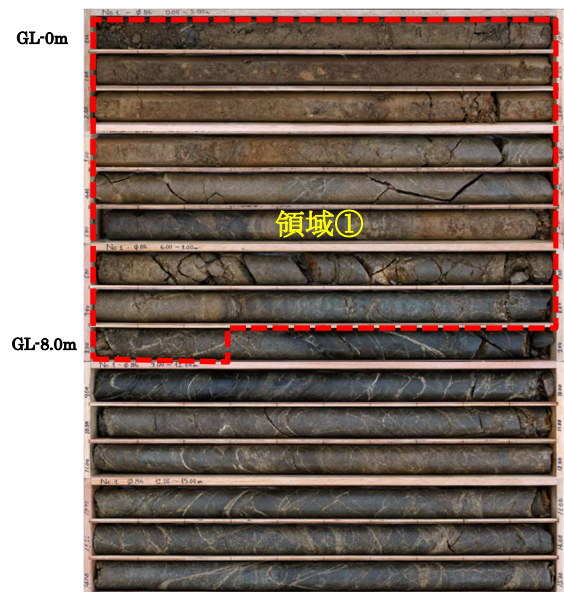


図-8 Bor-No.1 コア (GL 0m~15m)

また、Bor-No.2 (図-9) は、深度 9.18m までコアに破碎構造が認められ、今後緩みがある可能性がある範囲と考えられた。Bor-No.3 (図-10) は、不規則な割れ目が少なく、固結度が高かった。

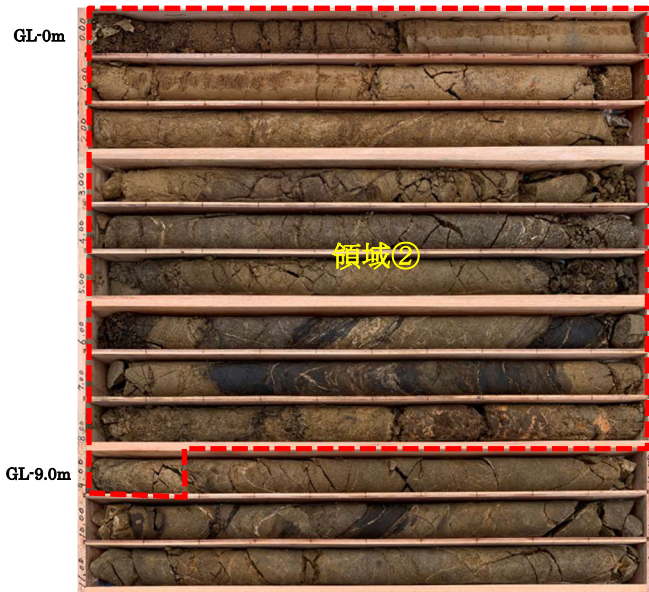


図-9 Bor-No. 2 コア (GL 0m~-12m)



図-10 Bor-No. 3 コア (GL 0m~-12m)

(2) すべり面の推定

押え盛土後に実施された調査ボーリング孔における傾斜計ではすべり面の判定は難しく、コアの破碎状況とボアホールスキャナによる開口割れ目の状態から、4つの領域に分類し、すべり面を推定した(図-11)。コアの破碎部や開口割れ目が認められ、地表面の変状が顕著な箇所を「領域①」、領域①の上で、コア破碎部の存在や地表面の変位状態から今後緩みが生じる可能性のある箇所を「領域②」、すべりに伴い開口割れ目が見られた箇所を「領域③」、その他の領域を「領域④」とし、領域①の下端をすべり面とした。地すべり対策工は、関係者と協議の結果、「領域①」に対して対策を講じ、詳細な仕様検討では領域②③も考慮することとした。

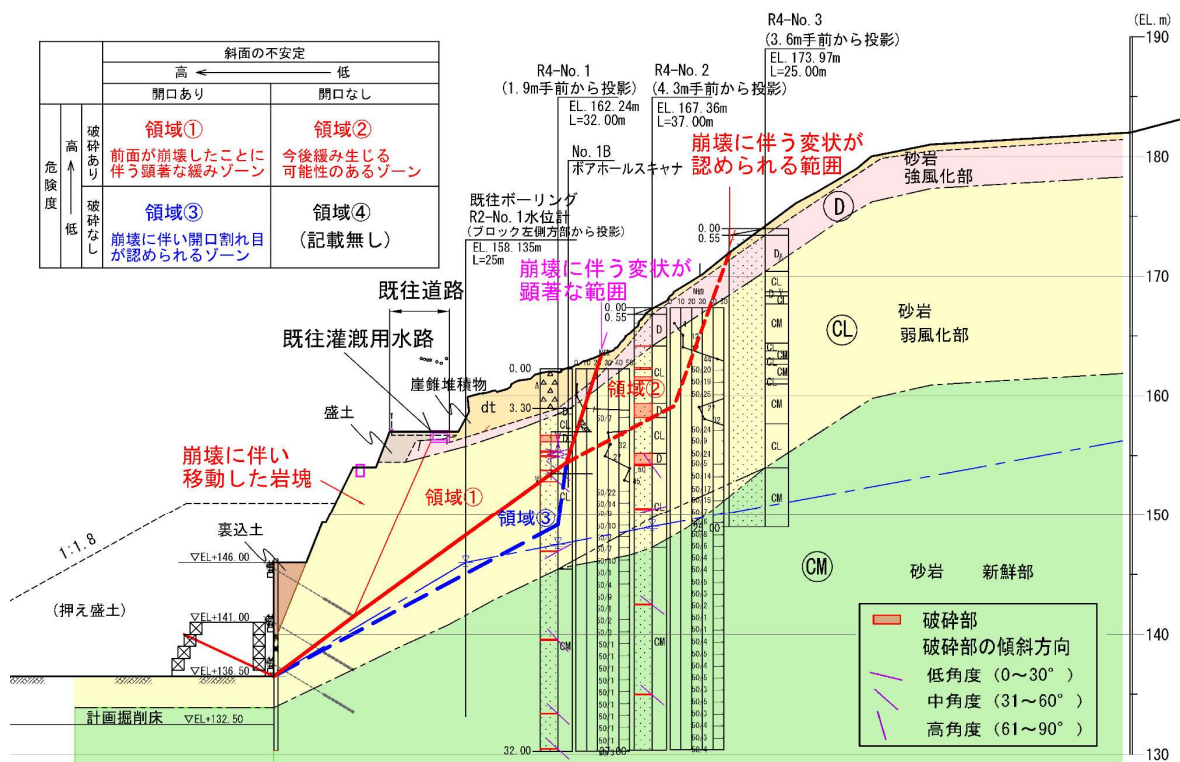


図-11 地質断面図

6. 対策工

(1) 応急対策

調査ボーリング施工前に応急対策として、山留前面に押え盛土を施工した。基礎掘削部はすでに水没しているため、山留の天端付近にバックホウを設置し、ダンプトラックで運搬された割栗石を水中へ投入しながら押え盛土を構築した（写真-3）。また、調査ボーリングを実施する前に施工する必要があったため、押え盛土に必要な数量は、既往文献¹⁾に示される地すべりブロック幅とすべり面深度の関係よりすべり面深度を概略的に推定し、安定解析を実施してもとめた（図-12）。

押え盛土計画時の安定解析は、施工中の降雨による水位上昇や、応急対策後、いずれ基礎掘削部に溜まった水を抜くことになるため、水位低下時の残留間隙水圧を考慮して実施した。また、水中投入となる盛土材のため締固めができないことから、押え盛土の仕様は、盛土材の単位体積重量を既往文献²⁾を参考に $\gamma=15\text{kN/m}^3$ と軽量に設定し、勾配を砂の安息角程度の 1:1.8 とした。この他、施工の際は、重機が山留天端付近で作業することになるため、施工機械等の荷重を上載荷重として考慮し、施工中の既往山留の安定性を確認した。



写真-3 応急対策（押え盛土）の施工状況

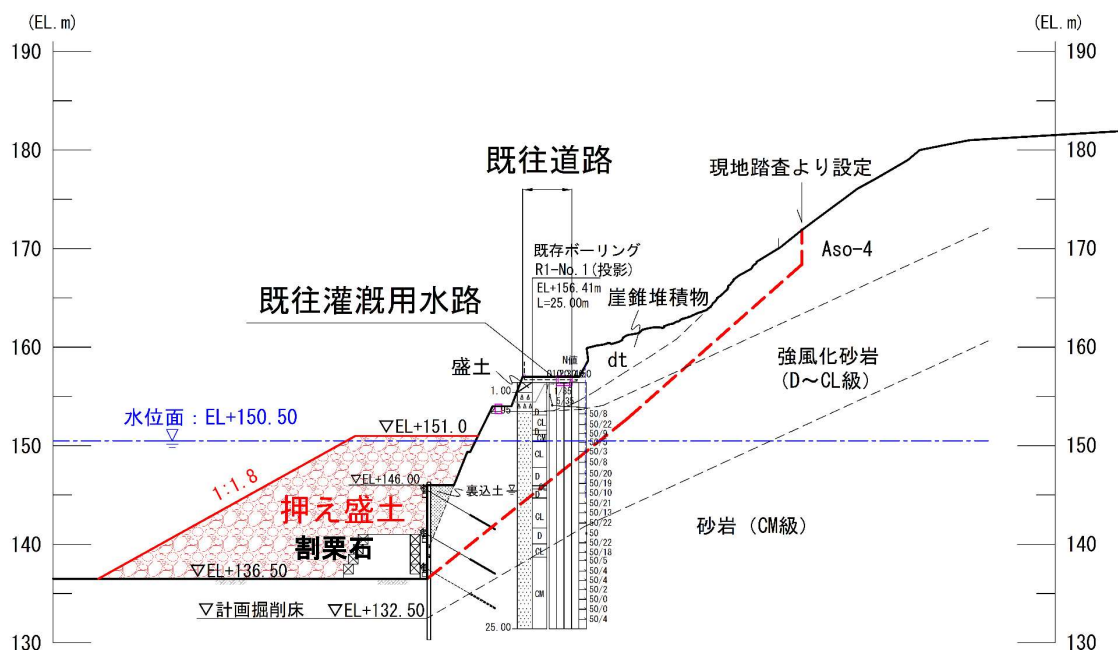


図-12 応急対策工（押え盛土）計画断面図

(2)復旧対策（恒久対策）

恒久対策としては、被災した既往灌漑用水路、山留工復旧の他、基礎掘削再開のために必要な地すべり対策工が必要であった。また、事業として発電時期をなるべく遅らせないようにする必要があるために、工期短縮を優先的に考慮する必要があった。さらに、被災した灌漑用水路については農繁期を考慮し翌年5月までに復旧させる必要があった。

以上を考慮し、各種検討の結果、灌漑用水路を切り回す必要のある方法では復旧に時間がかかることがわかったため、切り回しの必要のない既往道路の山側に切土を行って灌漑用水路と共に道路を新設計画する案を採用し、この計画に沿って地すべり対策工、復旧山留工等を計画した。

a)切土工および上方斜面の対策

切土工は、変状した土砂を撤去する目的も含め、新設道路を挟んで上方3段、下方2段の構成とし、灌漑用水路を設置する計画とした（**図-13**）。また、斜面上方は用地の制約があったため、切土勾配は、上から3段目までの新設道路より上方は1:0.8、下方の4段目と5段目は1:1.0勾配とした。上から3段目までの切土は、現状斜面勾配よりも急勾配で切土することとなったため、切土に伴う斜面の不安定化を考慮し、すべり検討を行って最上段にロックボルト、切土の2段目～3段目にグラウンドアンカーによる対策を計画した。また、3段目の法尻付近に水抜きボーリング工を計画した。ロックボルト工については工期短縮のため、のり面工としてパネル工を採用した。アンカー工は、領域②よりも深部にアンカー定着部を設ける計画とした。

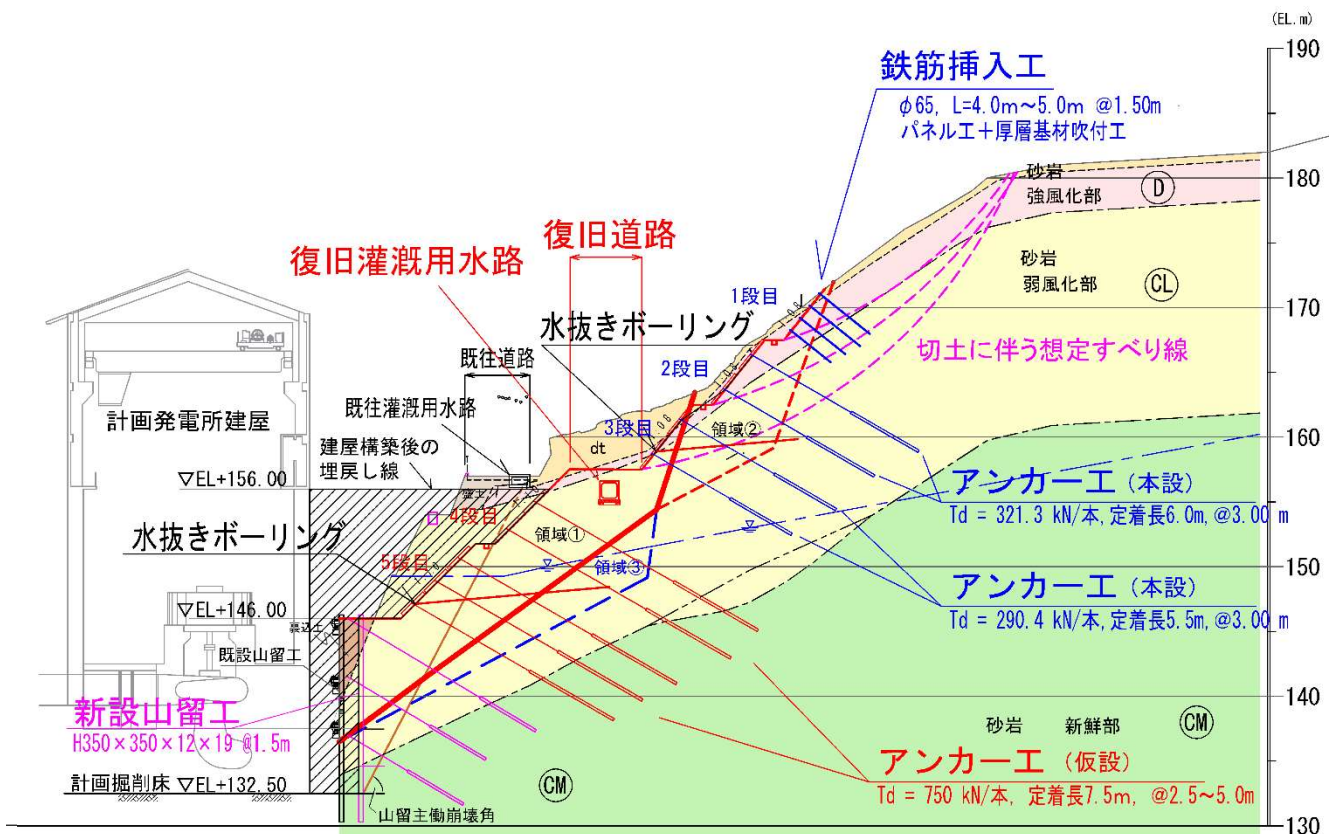


図-13 対策工計画断面図

b)地すべり対策工

地すべり対策工については、4段目と5段目にアンカー工、および、5段目に水抜きボーリング工を計画した。安定解析に際しては切土を考慮して必要抑止力を算出した（**図-14**）。また、地すべり対策工の計画安全率は、地すべり末端下方で今後建屋施工業があることから、重要性を考慮して長期計画安全率 $F_s=1.20$ としたが、新設建屋が構築された際には4段目と5段目の切土法面は将来埋め戻されることとなっていたため、ア

ンカー工自体は仮設仕様として合理化を図った。また、アンカー工の間隔は、万が一、施工中に地すべりの動きが認められた場合に備えて、追加の打設が可能なように一部の列については間隔をあけて受圧板を配置した（図-14）。

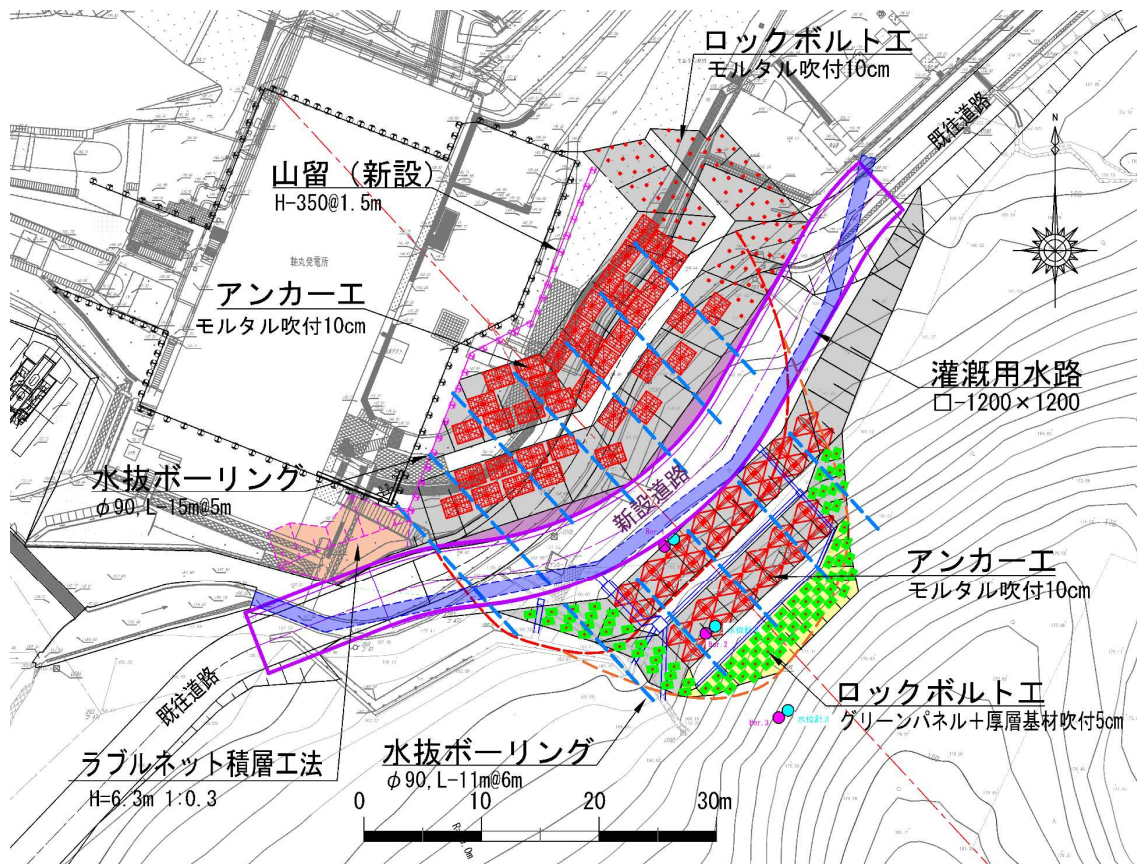


図-14 対策工計画平面図

c)新設山留工

地すべりにより基礎掘削側に傾倒した既往山留工の背面に、復旧後の親杭横矢板とアンカーによる山留工を計画した。新設山留の設計思想として、計画掘削床から崩落道路までを緩み範囲として土圧を算定し山留アンカーの仕様を検討した。



写真-4 対策工完了

7. おわりに

本報告では、台風 14 号の災害復旧工事における地すべり対策について報告した。災害発生から 9 か月後に基礎掘削工事を再開することができた（写真-4）。災害復旧において、九州電力殿、電力中央研究所殿、西日本技術開発殿には多くのご協力を頂き、安全に施工を進めることができた。ここに感謝の意を表す。

9. 参考文献

- 1) (公財)高速道路調査会, 地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書, p36-37, 昭和 60 年
- 2) (一財)土木研究センター, 「ラブルネット積層工法」設計・施工マニュアル, p32, 平成 27 年