

超急峻斜面における調査・施工について

坂田 健剛

長野県建設部河川課（〒380-8570 長野市大字南長野字幅下692-2）

県道沿いの山腹斜面が岩盤崩落して県道を完全に閉塞し、復旧及び再度災害防止のための対策が必要となった。

一つのミスが命取りの危険な現場であるが、現場条件を考慮し、UAVによる3次元測量や無足場施工、ICT技術を活用した施工等、様々な技術を駆使して効率的かつ的確に現場を進めることができるよう工夫した取組を紹介する。

キーワード 急斜面、ICT、鉄筋挿入、無足場工法

1. はじめに

今回、岩盤崩落が発生した箇所は、長野県中部の上田市南部旧武石村の集落内を通る幹線道路である主要地地方道美ヶ原公園沖線に接する自然斜面である。（図-1）

同路線は、コロナ過以前には年間50万人以上の観光客が訪れていた美ヶ原高原エリアに位置し、近くには番所ヶ原スキー場、道の駅 美ヶ原高原、王ヶ頭電波塔や牧場等がある観光アクセス道路になっている。

また、美ヶ原林道を行くと松本市浅間温泉へと繋がっており、地域間を結ぶ路線としての役割もある。

崩落箇所は、冬期通行止区間であり、2021年4月20日の交通開放を前に道路維持JV業者がパトロールを2021年4月6日に行ったところ、岩盤斜面が幅13m、斜面長50m、高さ42m、深さ3mの範囲で崩落（推定土量1,000m³）し、幅20mにわたって県道を完全に塞いでいることが確認された。（写真-1,2）崩土の先端は県道を超えてさらに20m下方の一級河川武石川まで達したが、河道閉塞までには至らなかった。幸いにも、けが人等はなかったが、斜面が不安定な状態であったため、通行止期間の継続を余儀なくされた。すぐに緊急調査を実施し、復旧方針の検討、復旧工事を実施した。

当箇所は、斜面勾配が50° から75° のまさに超急峻斜面であり、一つのミスが命取りの危険な現場であるが、調査業者、施工業者と知恵を出し合い、様々な技術を駆使して効率的かつ的確に現場作業を進めることができるように工夫した。その事例を本稿で紹介する。



図-1 位置図

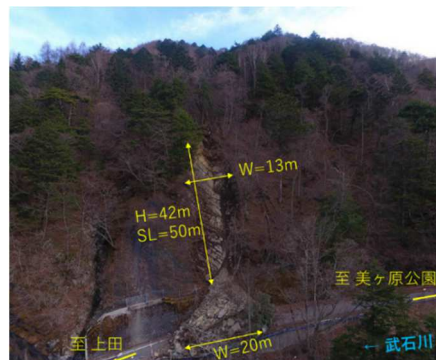


写真-1 上空から



写真-2 斜面上部（左） 道路閉塞状況（右）

2. 現地調査と復旧方針について

(1) 現地調査

現地調査の結果、以下の素因・誘因が考えられた。

【素因】

- ・尾根凸部遷急線にあり地形的に不安定
- ・尾根部のため岩盤が風化していた
- ・岩盤に節理が多く発達し、流れ盤と受け盤が複合したブロックで分離しやすい
- ・標高1400mの積雪寒冷地で凍結融解が著しい

【誘因】

当該地に近い鹿教湯アメダス（降水量）、及び松本（気温）の崩壊発生冬季の気象状況を図-2に示す。

これを見ると、寒暖差が激しく凍結融解が進んでいたことと、3/20頃の多量の降雨（43mm/日）と気温上昇による融雪が誘因となって崩壊が発生したものと考えられる。

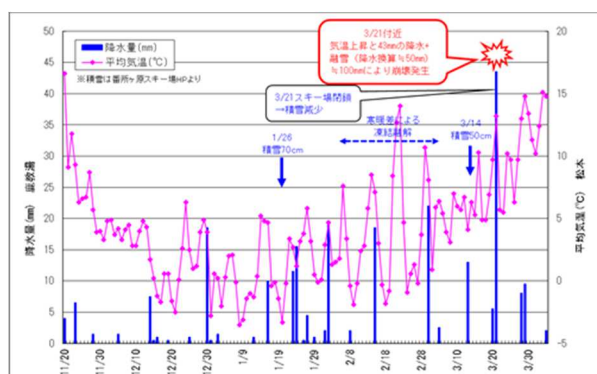


図-2 被災時の気象状況

(2) 現地調査時の工夫

(a) UAVレーザによる測量

当箇所は、平均勾配60°の超急斜面であり、測量作業の効率性、安全性を考慮してUAVレーザによる測量を行った。これにより、危険な現場での作業時間が大幅に減ることによる災害リスク軽減と横断面がどこでも抽出できる点、周辺の危険な転石も確認できたことから、設計検討時に路線測量成果を待つことがなくなり、滞りなく検討することが可能になった。

(b) 弾性波探査の実施

滑落崖は、オーバーハングしていたり、表面が強風化していたりと不安定な状況であり、対策工を検討するために法面全体の詳細な岩盤状況を調査する必要があった。本来であれば、地質調査ボーリングを2本以上実施して、風化して崩落する恐れのある範囲やすべり面を推定したいところだが、今回は、最急勾配75°の斜面であり、斜面上の地質調査ボーリングは、不可能であった。

そこで、比較的安全な滑落崖頭部での地質調査ボーリング1箇所と弾性波探査を併用して実施し、すべり面を推定することとした。図-3に調査概要を示す。

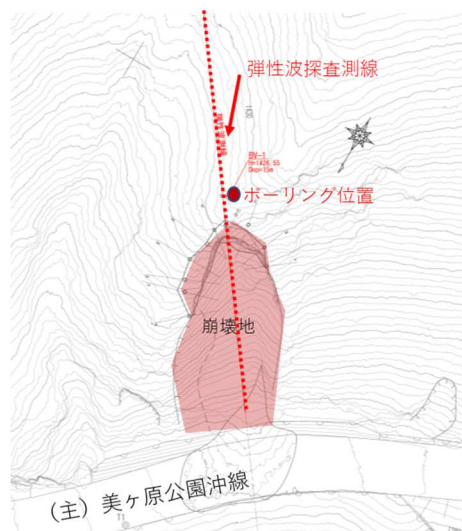


図-3 調査概要

弾性波探査は、人工的な衝撃により弾性波を発生させ、その地中の弾性波速度（伝播速度）により、地盤の固さや種類、成層状況などを確認する方法で、今回現場での作業は1日で完了した。これは、ボーリング調査を1箇所実施するよりも遥かに早い。

また、地質調査ボーリングと併用することで調査精度が上がる。たとえ、ボーリングを2箇所実施したとしても、それは点の情報であり、それを線で繋いで地層を推定することしかできない。しかし、弾性波探査であれば高密度解析により法面の詳細な二次元解析が可能になる。その結果をボーリング結果と比較することで信頼性が高い解析が可能になることから採用した。

今回の弾性波調査結果を図-4に示す。

弾性波速度が低ければ、亀裂が多く風化している岩が分布しており、高ければ亀裂が少ない、良好な岩が分布していることを示している。結果を見ると、直線斜面から尾根～滑落崖にかけての表層は速度が低い風化帯であり、滑落崖の下部から平滑な崩壊面までは良好な岩が分布していることがわかる。

この結果を考慮し、崩壊面延長線の良好な岩と風化岩の境界を想定すべり面とした。

一般的には、山岳トンネルやダム、地すべり等の検討時に活用することが多い弾性波探査を実施することで、的確に岩盤状況を捉えることができ、対策工の設計に活かすことができた。

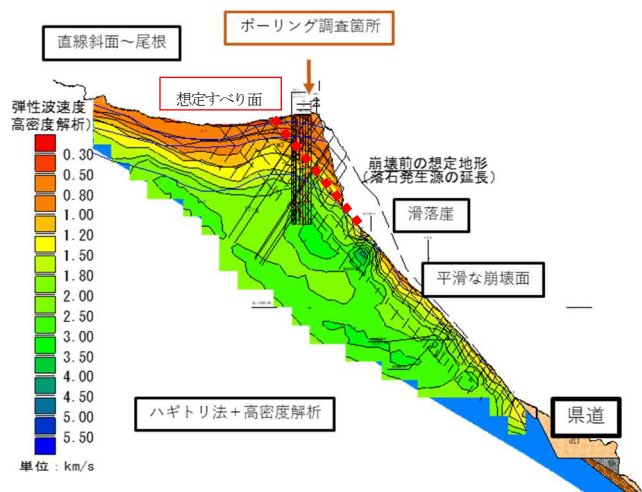


図-4 総合解析図

(3) 復旧方針

今回の復旧計画について、図-5に示す。

滑落崖斜面については、分離面が後退する可能性のある風化岩が残存しており、安定勾配が確保できていないため、抑止対策として鉄筋挿入工を施工する。滑落崖の表面については、風化により岩盤の目に沿った細かな亀裂が密に発達していたため、モルタル吹付工を施工することにより落石防止、風化防止対策を行うこととした。他にも、周辺を現地調査した結果、崩落箇所周辺に浮石・転石が多く見つかった箇所があり、斜面下を通る県道まで落石が影響する可能性が生じたため、原位置対策としてロープネット工を施工することとした。

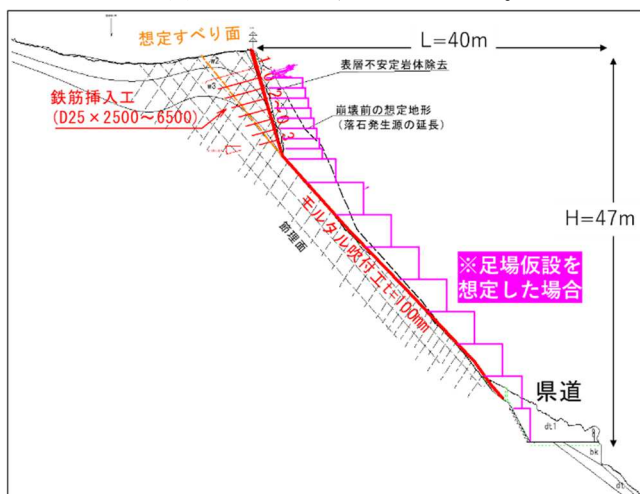


図-5 復旧計画

3. 施工時の工夫について

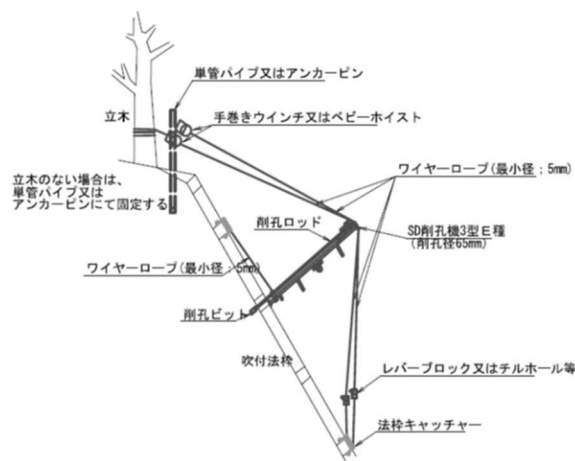
(1) 無足場工法の採用

今回の現場で一番苦悩したのが、鉄筋挿入工削孔時の仮設計画である。

足場を組むにしても、斜面の勾配が非常に急で起伏が激しく、表面が強風化している状態であったため、斜面

内からの足場支持は不可能な状態であった。そのため、足場を組むとしたら、県道から立ち上げる必要があったが、今回の施工箇所は県道からの高さ47m、県道からの離れ40mと高いだけでなく、道路から離れていることもあり、安全性、施工性、経済性に懸念があった。(図-5) また、削孔箇所の岩質が中硬岩に相当することもあり、削孔中の振動に耐えられるのかも不安があった。

そこで、「スタンドドライブ(SD)工法(図-6)」と呼ばれる無足場での削孔が可能な工法を採用した。



※この図は標準機器設置例であり、現場条件により異なる。

図-6 スタンドドライブ(SD)工法

この工法は、上下4箇所をワイヤーで固定して削孔反力を従来の削孔機重力で抑えるのではなく、ワイヤーの緊張力で抑える仕組みである。今回は、上2箇所を立木で固定し、下2箇所を法面に簡易なアンカーを打設して固定した。

削孔機械等の重量が比較的軽く、積載可能重量500kgのモノレールでの現場搬入を実施した。

本工法は、岩盤でも長さ7.0mまで削孔可能ということであったが、本当に削孔できるのか半信半疑であった。しかし、いい意味で期待を裏切られ、現場はスムーズに進み、事故なく工事を終えることができた。



写真-3 削孔状況

(2) 3次元測量データを活用しての位置出し

今回の現場は、起伏が激しい地形条件であり、鉄筋挿入の間隔を設計通りに設置するための現場への墨出しに時間を要することが想定された。

そのため、モルタル吹付工の完了後、地上型レーザースキャナによる3次元測量を行い、データ上で配置設計をした後、現場への墨出しを行った。3次元データで検討を行うことにより、鉄筋の干渉についてもチェックが可能になり、精度の高い検討が可能となった。

この工夫により、モルタル吹付工から鉄筋挿入工までの間を滞りなく作業を進めることができた。



写真-4 鉄筋挿入位置の墨出し

(3) 3次元での出来形管理

今回、モルタル吹付工に関わる出来形管理について、地上型レーザースキャナによる3次元測量での管理を行った。危険な斜面内での作業を削減できた。

また、鉄筋挿入工の配置間隔については、従来通りテープにより測ったが、施工業者の強い探求心により UAV 写真測量と地上型レーザースキャナ(TLS)により測量を実施し、それぞれのデータについて比較検討し、今後の ICT 活用工事の参考とすることとした。

(4) そのほか

施工業者の現場での工夫として、パワーアシストスーツ(PAS)採用による負荷軽減とモーション検知センサー設置による安全管理を行った。(写真-5, 6)

PAS は、グラウト練混ぜ時に、人力によりグラウト材を移動、投入する際に使用して労力負荷軽減を行った。使用者からは、低負荷での作業が可能になり、疲労軽減、効率化に繋がったとの感想をいただいた。このような常に安全に気を配ることが必要な現場では、少しでも疲れを軽減させることが安全な施工につながると考える。そういったことから、施工性だけでなく安全面にも効果があったのではないかと。

モーション検知センサーは、斜面上部の作業場に設置し、人が前を通ると「ここから先は危険です」とアナウンスしてくれるものを設置した。普段の安全教育、安全管理だけでなく、作業現場(崖上)にも注意喚起を看板等の目だけでなく、音でもすることによって、より安全への意識が傾き、現場を進めることができたといえる。

これらは、工事全体からすれば小さな工夫かもしれない

いが、こういった小さな工夫の積み重ねが今回のような条件が厳しい現場でも事故なく終わった要因だと考える。

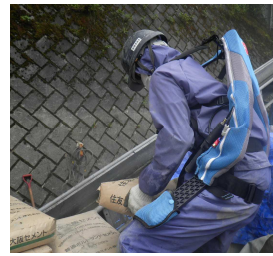


写真-5 PAS



写真-6 検知センサー

ここまでスタンドドライブ工法による無足場施工、3次元データを活用しての施工を通して、この現場での有効性をとりまとめるとともに鉄筋挿入工の出来高管理に関わるテープ測量、UAV 写真測量、TLS 測量のデータを比較検討することとした。

4. 結果・考察

(1) スタンドドライブ工法の有効性

今回、スタンドドライブ工法での無足場での施工をしたことにより、足場を設置した場合よりも大幅な施工性の向上(工期短縮)が図られた。(図-7)

足場がある場合だと2500空m3ほどの足場が必要になり、その設置撤去に60日(40空m3/日)かかってしまう予定であったが、今回の工法だと15日間で済み、67日の工期短縮に繋がった。

削孔機械の重量が200kgと比較的軽量なため、基本的には4点で支えているワイヤーの伸縮で削孔箇所への移動が行えるため、他の機会に比べてスムーズにできたことも工期短縮に繋がった。

また、コスト削減も図られた。(図-8)

こちらも足場工の場合だと足場工に関わる工事費が多くを占め、10,000千円ほどかかる予定であったが、今回それが丸々不要となったため、足場工で実施するよりも直接工事費で2,400千円のコスト削減が図られた。

さらに、モノレールの規格について、今回は積載重量500kgのもので運搬ができたが、足場工でやる場合は、それでは削孔機械が運搬できず、モノレールの積載可能重量を上げなくてはならない可能性が高い。その観点からも、コスト削減が図られたと考える。

今回の現場のように不安定な超急斜面上での作業は、作業日数をできる限り短縮することが事故リスクの軽減に繋がり、何よりの安全性向上だといえる。このことから、先で述べた施工性、経済性のみでなく、安全性にも有効であった。

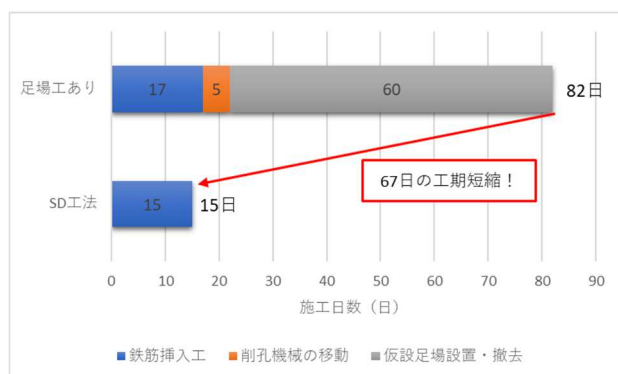


図-7 足場設置した場合との工期比較

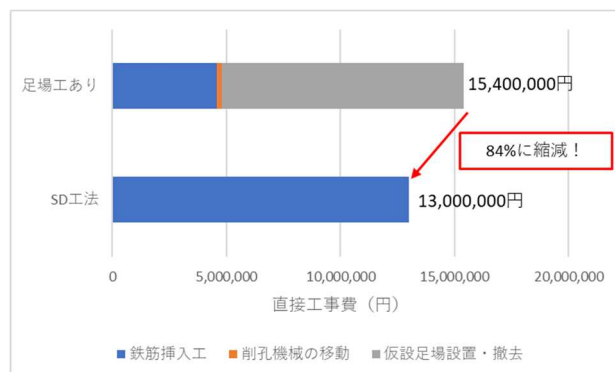


図-8 足場設置した場合との直接工事費比較

(2) 3次元データ活用の有効性

ICT 活用工事といえば、ICT 建機にデータをインプットして生産施工上に繋げるのが一般的である。今回の現場では、基本的に人力作業によるものが多く、3次元測量やデータを活用した施工が有効かどうか疑問であったが、施工性と安全性向上の面で効果があった。

まずは3次元測量を実施することによって、作業の省人化が図れ、ほかの作業に人員を充てることができ、滞りなく現場を進めることができた。特に、鉄筋挿入位置の検討に3次元測量データを活用した際には、モルタル吹付工と並行して測量を行うことにより、スムーズにモルタル吹付工から鉄筋挿入工に移行できた。従来であれば、現場の安全上、吹付がすべて完了してからか、作業を止めて測量をする必要があったが、斜面上での測量作業がないため、吹付作業を止めることなく実施できた。残る吹付工を施工している間に、測量データを活用して配置位置の検討をパソコン上で行ったことで、効率的な施工に繋がった。

安全性の面では、測量、出来形管理時に危険な斜面上での作業が不要となったことによる作業員の転落、転倒、墜落リスクが低減できたことが一番大きい効果である。

(3) UAV 写真測量と LS 測量の比較について

比較結果を表-1に示す。

一般的には、UAV よりも TLS の方が精度が高く、今回のように起伏、高低差が激しい現場では、UAV は不向きとされていたが、結果的にはどちらもテープ測量に較べ

て同程度の結果となった。周りに立木等の障害物が少なく、好条件であったことが要因の一つかと思われる。ちなみに、管理基準の配置誤差規格値は100mmである。両測量ともテープ測量に較べて10mm程度の誤差であったことから、精度的に十分使用可能であったといえる。

まだまだ事例収集、整理は必要であるが、UAV でも TLS と同程度の精度が見込めるのであれば、今回のような急斜面での場合は、UAV を使用して出来形管理を行うのが効率的で、安全上も望ましいと考えられる。

※UAV: 写真測量

TLS: 地上型レーザー

スキャナ

表-1 鉄筋挿入工の配置間隔 比較結果

	UAVとテープの差	TLSとテープの差
縦(58側線)	11mm	14mm
横(57側線)	13mm	13mm
計(115側線)	12mm	13mm

5. まとめ

今回、超急斜面である危険な現場において、施工性、安全性、精度等を向上させるために様々な取り組みを行ったが、それぞれ有効性が確認できた。

特に今回は、現場作業をしている最中は常に重大な事故リスクが伴う現場条件であったため、“現場作業日数の短縮＝事故リスクの回避（安全性向上）”につながり、施工性向上、工期短縮が重要課題であった。

その点、足場の不要なスタンドドライブ工法と UAV や TLS による3次元測量の活用効果が大きかったと感じた。

今回のように危険度が高く、交通を確保するために早急な復旧が求められるような現場は、実績の多い工法を採用することが多く、実績が少ない工法や最新技術等の採用を敬遠しがちだと感じる。

危険な現場こそ、新技術による施工性向上が見込まれる工法や今回の施工業者のように ICT 技術、BIM/CIM を臆することなく積極的に活用し、施工効率を上げ、現場での作業ができる限り少なくなる工夫をすることが重要であると私は考える。

謝辞：本調査・工事にご協力いただいたすべての関係者に敬意を表するとともに、感謝を申し上げます。

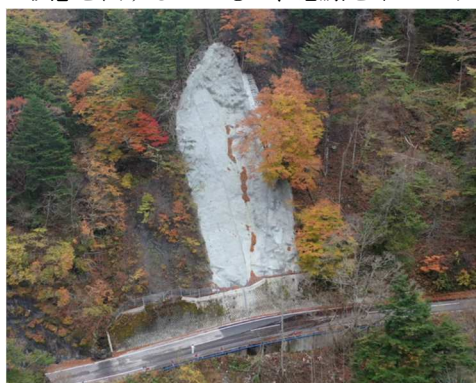


写真-7 竣工写真