

さまざまな可視化技術を活用する時代へ

片山直樹

(株式会社日本海技術コンサルタンツ)

1. はじめに

近年の科学技術の発展に伴い、これまでにない映像表現が可能になってきている。例えば、UAV (Unmanned aerial vehicle: 無人航空機) が安価に供給されるようになり、誰でも望んだ空中写真を手にすることができるようになってきた。また、1 度に 360° の撮影が可能な全天球カメラも普及しており、トンネル内空の点検など、さまざまな分野での応用が模索されている。

撮影側の技術だけでなく、投影側の技術も発展がめざましい。VR (Virtual Reality: 仮想現実)、AR (Augmented Reality: 拡張現実) はすでにスマートフォンやゲームで楽しめており、これらを組み合わせた MR (Mixed Reality: 複合現実) も実用され始めている。

このような技術は、「これまで見ることはできなかったものを見せる技術」と位置づけることができることから、本文では「可視化技術」と呼ぶ。以下において、いくつかの可視化技術を活用し、成果品の精度および品質向上に努めた地すべり調査業務を紹介する。

2. 業務概要

紹介する業務は、平成 29 年 9 月 17 日に山陰地方に接近した台風 18 号（直近観測所での日雨量 87mm, 最大時間雨量 14mm）により被害が拡大した地すべりの調査業務である。

地すべりの規模は幅 35m×斜面長 25m 程度、平均斜度は 23° 程度であり、地すべりブロックの下方には水路越流水等の影響による表層崩壊が認められ、末端部の変状が保存されず判然としないう特徴を有していた（図-1, 2）。地すべり頭部には最大落差 2.5m の滑落崖が馬蹄形に形成され、付近のブロック積擁壁はほぼその形状を保ちながら下方に移動し、幅 2m 程度までの線状凹地が地すべりブロック内に複数確認された（図-3）。このため、この地すべりブロックは斜面末端側から滑動する後退性地すべりであると考えられた。



図-1 地すべりブロック全景



図-2 地すべり末端部での表層崩壊



図-3 地すべりブロック内に複数確認された線状凹地

3. 全地球カメラを活用したボアホールカメラ

すべり面の把握を目的としたボーリング調査およびパイプひずみ計観測を計画したが、業務発注時期の関係もあり 1 月～2 月の冬季の調査であったため、滑動を誘発する降雨が期待できず、パイプひずみ計観測結果がすべり面決定根拠として利用できない可能性があった。このため、すべり面判断の精度向上を目的とした補助的な調査の一つとして、ボアホールカメラの実施を検討した。ただし、業務予算に限りがあったことから、簡易的な方法として全地球カメラ（RICOH 社製 THEATA V）を活用したボアホールカメラを作成し実施した（図-4）。

ボアホールカメラを用い、ボーリングコアで「すべり面の可能性あり」と評価した深部 2 箇所の孔壁状況を確認した結果、1 箇所でせん断の影響は受けていないと評価することができた（図-5）。ボアホールカメラの活用により、すべり面判定の精度向上に加え、適切な地すべり対策工を検討することができ、トータルコストの縮減にも寄与することができたと考える。

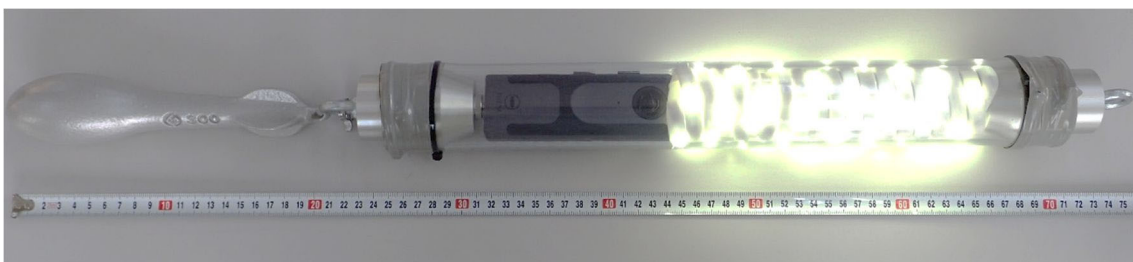


図-4 自作ボアホールカメラ

中国四国支部設立25周年記念シンポジウム
「応用地質の基礎（これまで）と発展（これから）」

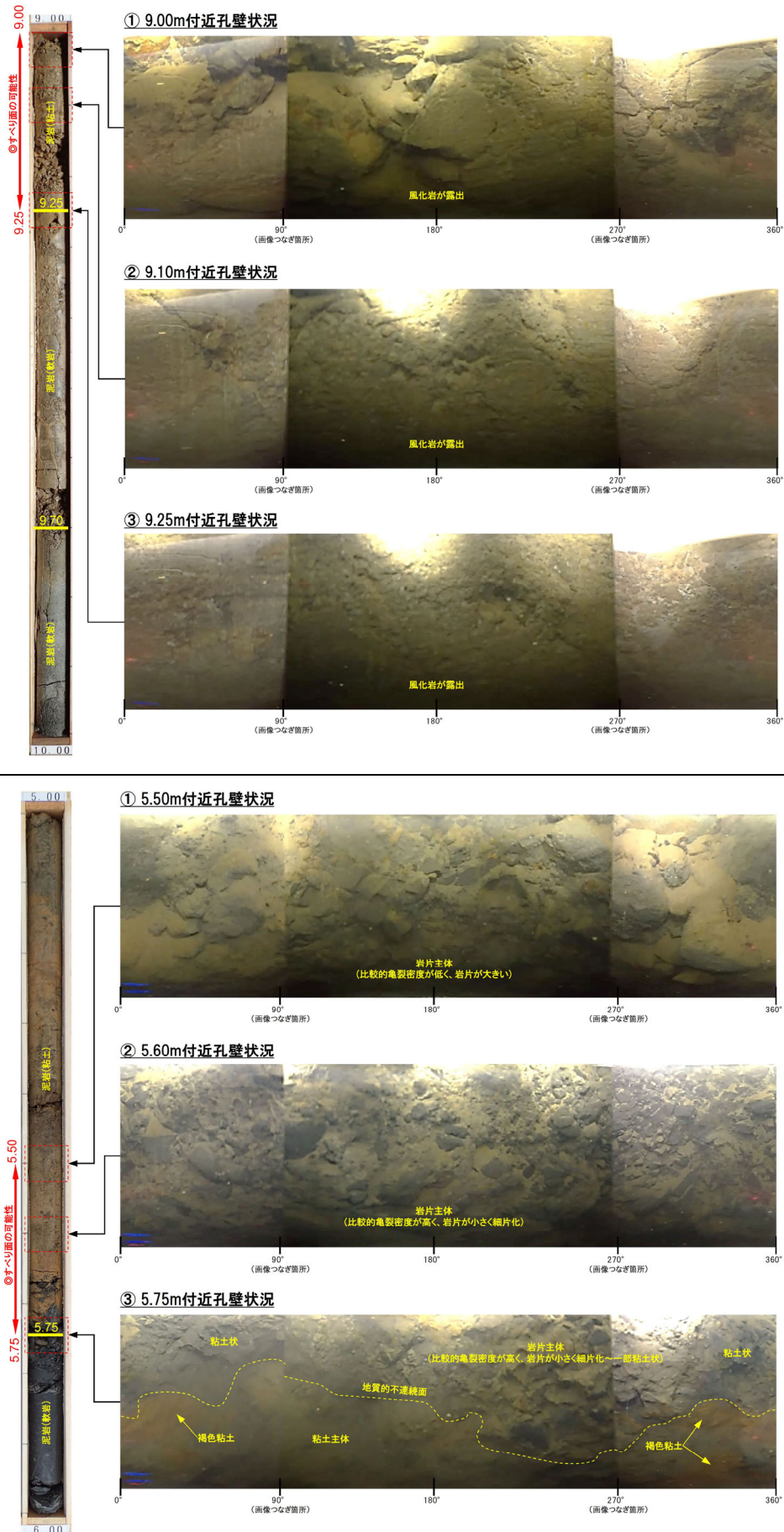


図-5 ボアホールカメラ調査結果（上段：すべり面確認できず，下段：すべり面確認）

4. 高密度電気探査を活用した近似三次元安定解析

当該地すべりへの対策工法として排土工が選択された。一般的には、地すべりブロック中央付近に設ける主測線で二次元安定解析を行い、計画安全率を満足する対策工断面規模を計画し、それを地すべりブロック全幅にわたり水平展開することで、地すべり全体への対策工とする。

ただし、主測線で計画安全率を満たす対策施工量を求めたとしても、側方の地形形状やすべり面深度が異なる場合、部分的に十分な安定性が確保できていない可能性があり、結果として地すべりブロック全体が安定しない計画となる危険性をはらんでいる。当該地すべりは規模が小さいため、排土量のわずかな不足でも斜面全体の安定性に与える影響が大きく、慎重な検討が必要であった。

このため、近似的な三次元安定解析により、二次元解析結果に基づく排土形状の妥当性について照査することとした。

三次元安定解析は、Lambe-Whitman らの方法による近似法を用いた。このとき、副測線でのすべり面深度を推定する必要があったため、高密度電気探査により移動層同等層の側方分布を確認し、各副測線におけるすべり面深度の推定を行った（図-6）。

近似三次元安定解析の結果、地すべりブロックの安全率は $F_s=1.20$ となり、地すべりブロック全体に対しても安定化が図れる排土計画であることが確認できた（図-7）。

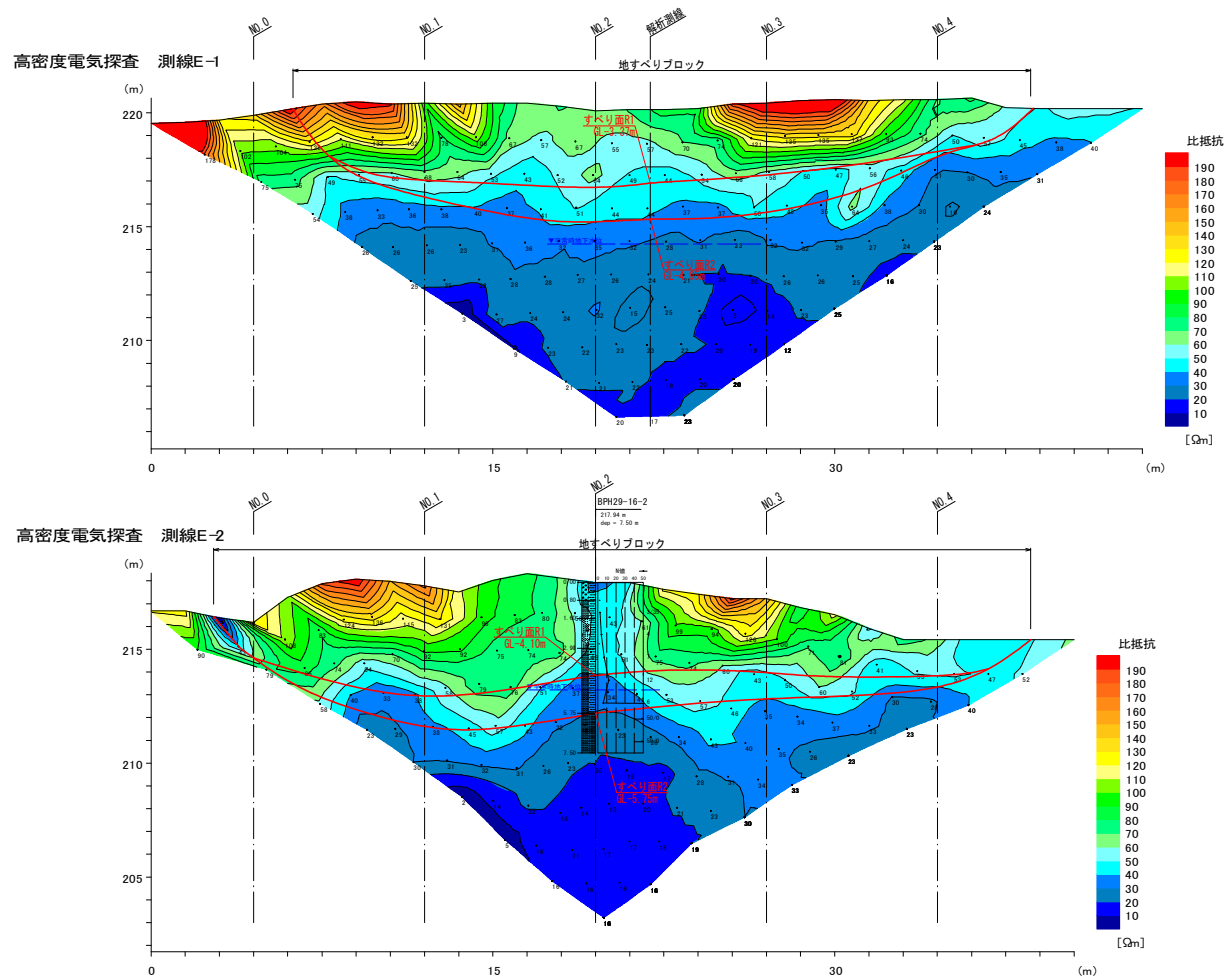


図-6 高密度電気探査結果

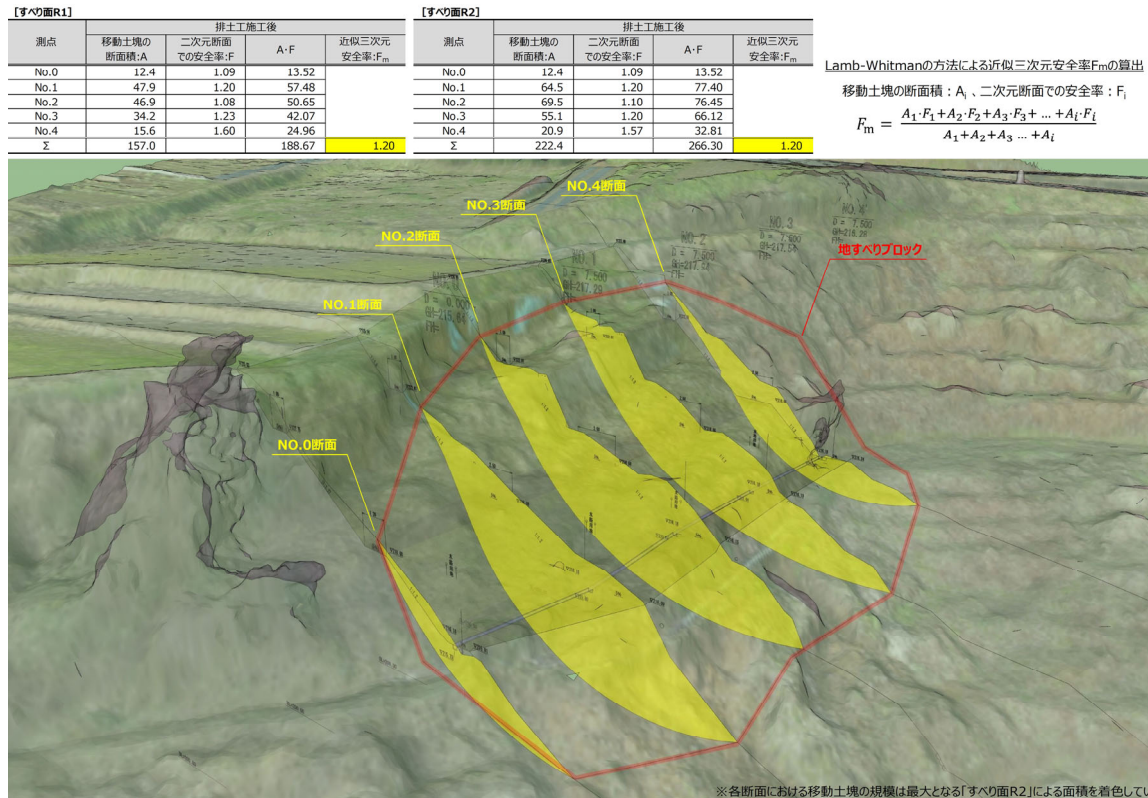


図-7 近似三次元安定解析結果

5. 三次元モデルを活用した地元説明

地すべり調査結果や排土工後の地形変化について、地元関係者に対し報告、説明を行い、地すべり対策工事に関する合意形成を行う必要があった。このとき、従来の成果物である平面図や断面図を用いた説明では、最終的な出来形について共通したイメージを持つことが困難な場合があり、誤解が生じ、施工後のトラブルに発展する可能性もある。とくに高齢者に対する説明を行う場合、二次元情報からなる平面・断面図から、三次元イメージを想起することが苦手な方が多いように感じる。

当該地区の地元関係者も高齢者が多かったことから、より理解しやすい説明の必要性が高いと判断し、三次元モデルを用いた調査結果の報告や施工後イメージの共有を行った。地元説明会では、紙の図面に加えプロジェクタによる三次元モデルでの説明を加えた結果、良好な反応が得られ共通認識を持ってもらうことができたと考える。

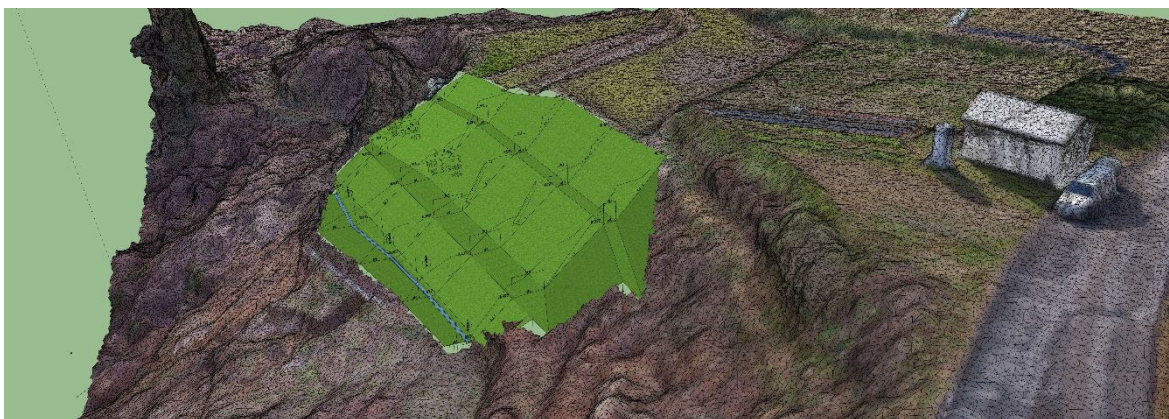


図-8 排土工施工後イメージパースの例

6. まとめ

紹介した業務では、いくつかの可視化技術を用いた。

まず、安価かつ手軽にボアホールカメラを行うため、市販の全天球カメラの活用例を紹介した。近年、小型の全天球カメラが安価に手に入るようになってきた。まだ防水性が十分でないため防水ハウジングが別途必要だが、今後はより小型化が進み、耐圧防水機種も販売される可能性もあり、地中狭所での調査に活用しやすい時代になっていくと考える。

つぎに、排土工の三次元効果を確認するため、高密度電気探査によりすべり面（移動層）の側方分布を推定した内容を紹介した。高密度電気探査自体は、従来からある技術であるが、地中の断面的な可視化には効率的な探査方法である。このような物理探査はボーリング結果などと組み合わせることで、厳密性に劣る部分はあるにせよ、調査対象のおおよその分布を知ることが可能となり、調査精度を向上させ、より安全で経済的な設計を可能にする可視化技術といえる。

また、より理解しやすい地元説明を行うために三次元モデルの作成・利用を行った内容を示した。近年では UAV を利用した空中写真を用いて、SfM 処理による点群データの生成、それを用いた 3D モデルの作成までの一連が容易かつ安価に行えるようになってきた。従来は 3D モデルの作成にはコストと時間がかかるため、一般的な業務成果での利用はあまり行われなかった。このため、設計物の出来形の三次元形状については、二次元情報から各自がイメージするほかなかったが、この能力には個人差があるため、場合によっては誤解を生むことが避けられなかった。このような観点から考えると、3D モデルは誰にでも共通したイメージを見せるための可視化技術ともいえよう。

今回紹介した業務では、いくつかの可視化技術を活用することで、コストを抑えつつ成果品の質を向上させることができたと考える。今後は、さらに高度な可視化技術が手軽に利用できる時代になるであろう。これらの可視化技術を地質調査や土木設計、すなわち応用地質分野で活用することで、多彩な表現を実現することができる。

一般に、地質に関する事象はその時間的・空間的規模が大きすぎ、理解されにくい。また、地下を対象とするため直接見えず、イメージする能力が不可欠であり、一層理解を困難なものとしている。しかし、だからこそ興味を引く。面白さがある。その面白さを市井の人にもわかりやすく伝えるためにも、さまざまな可視化技術の活用は非常に有用である。