

「地すべり災害対応のBIM/CIMモデル」を活用した 応急横ボーリング工の配置計画手法

今江健太・奥山悠木・北村和輝・杉本宏之

1. はじめに

降雨等によって地すべり災害が発生し滑動が継続している場合、滑動の抑制を図るために応急横ボーリング工による地下水排除が計画されることが多い。地すべり滑動が活発な場合は、地すべりブロック内での作業は危険を伴うため、ブロック外から応急横ボーリング工を施工する。横ボーリングは自然排水させるために5~10度の仰角が必要であり、地表から掘削して地下数10mのすべり面付近に到達して地下水を排除できる箇所を見つけることは容易ではなく、検討に時間を要する。

近年、各分野でBIM/CIMによる3次元モデル活用の取り組みが進められている。対象物を3次元の要素として取り扱うことで、対象物の位置関係や空間的な配置を正確に確認することができ、設計のミス防止や成果品の品質向上につながると期待される。また、コンピュータ上のデジタルデータとなるため、作業の自動化による省力化等も期待されている。地すべり災害対応においても「地すべり災害対応のBIM/CIMモデル」^{1,2)}が、発生した地すべりの状況や保全対象との位置関係の3次元把握等に活用されている。BIM/CIMモデルの活用を更に進め、応急横ボーリング工の配置計画において、応急横ボーリング工とすべり面との位置関係を3次元的に確認することや、すべり面付近の地下水を排除できる箇所を自動抽出する等の活用が考えられ、検討を進めている。

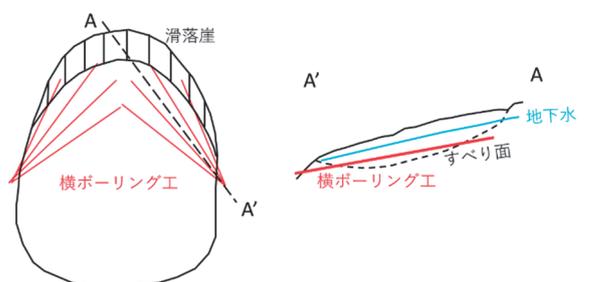
本稿では、これまでの応急横ボーリング工の配置計画における課題を述べた上で、BIM/CIMの3次元化や自動処理による応急横ボーリング工の配置計画手法の概要、地すべり災害現場での試行結果とその利点について紹介する。

2. 応急横ボーリング工の配置計画における課題

応急横ボーリング工は、滑動中の地すべりに対

して実施されるため、図-1のように地すべりブロック外から施工されることが多い。滑落崖等の亀裂下を狙って応急横ボーリング工を実施することが多いが、施工箇所を選定する際には、地すべり周囲の地表面形状とすべり面形状の位置関係を踏まえ、更に横ボーリングの延長（一般に50m程度）や仰角（一般に5~10度）を考慮し、狙った箇所に到達可能か検討が必要である。図-1 (A)のように横ボーリングが滑落崖直下のすべり面や亀裂の地下水を排除できることが望ましいが、地すべり側部に適地がなく、横ボーリングが地すべり滑落崖直下に到達することが難しい場合や、地下水が豊富と推定される場合などは、図-1 (B)のようにすべり面付近を狙うこともある。

(A) 滑落崖付近を狙った横ボーリング



(B) すべり面付近を狙った横ボーリング

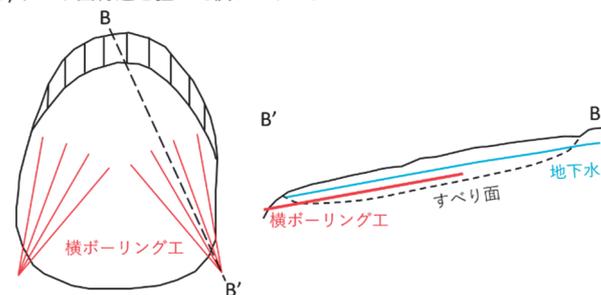


図-1 応急横ボーリング工の配置例
(左：平面図 右：縦断面図)

配置計画を検討する際には、仮決めした候補地から、地すべりを斜めに切る断面図（図-1のA-A'測線やB-B'測線）を作成するなどしてすべり面への横ボーリングの到達状況を確認するが、発災直後は調査が充分でないため、想定を基に検討する

ことが多くなる。災害対応という時間的な制約がある中で、このような試行錯誤的な方法で検討するため、地すべりブロックの周囲に適地がどれだけ存在するか網羅的な検討は難しい。また、すべり面付近への到達状況を確認するには新たに断面図を作成する必要があるなど、時間と手間を要することも課題であった。

これらの課題に対してBIM/CIMを活用することで、地すべりブロックの周囲からすべり面付近に到達する箇所を探索する作業を自動化することができ、また、候補箇所を網羅的に抽出することができるため、より適した候補箇所の選定も可能となる。また、応急横ボーリング工の配置とすべり面の位置関係を3次元モデルで確認することができる。

3. BIM/CIMによる配置計画手法

今回検討したBIM/CIMによる配置計画手法の作業手順は図-2のとおりである。まず、応急横ボーリング工の配置計画を検討するため、地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを作成する。次に、横ボーリングモデルを地表面モデル上にメッシュ状に多数配置し、すべり面を貫通するものを抽出する。更に、施工困難な箇所を除外し、それらについて優先順位を設定する手順とした。以下で、各項目について説明する。

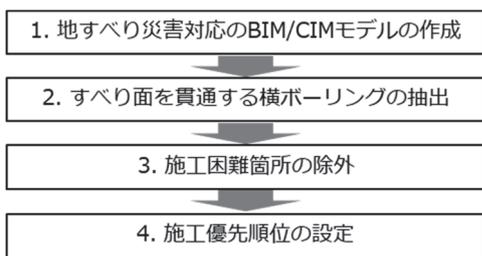


図-2 BIM/CIMによる配置計画手順

(1) 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの作成

応急横ボーリング工の配置計画を検討するために、地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを作成する。データ及びモデルの統合（重ね合わせ）には3D CADソフトを使用する。応急横ボーリング工の配置計画を行うには、地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの標準的なデータであるカラー点群データと基本データ（等高線、河川、道路、建物等）に加えて、地表面サーフェスモデルとすべり面サーフェスモデルの作成が必要となる。

カラー点群データは、UAVによって撮影された災害後の空中写真からSfM解析ソフトで作成するが、地すべり周辺と保全対象が含まれるように広めの範囲を作成することが望ましい。地表面サーフェスモデルは、災害後のカラー点群データやレーザープロファイラー測量によって作成された地形データから作成する。

すべり面サーフェスモデルを作成する際は、すべり面の深さや形状を設定する必要があるが、応急対策時には調査ボーリングは未実施と想定されるため、ブロック規模や周辺の地質・地質構造等を考慮してすべり面の深さや形状を推定し、すべり面サーフェスモデルを作成する。この際、深度や形状が異なる複数のすべり面サーフェスモデルを作成することも有効と考えられる。

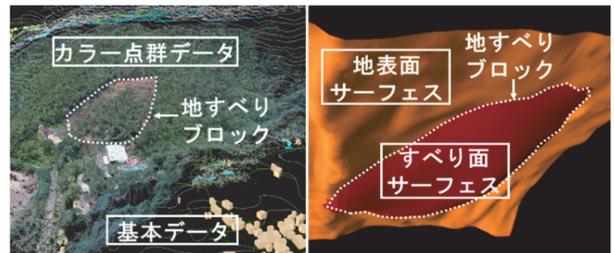


図-3 地すべり災害対応のBIM/CIMモデル
(必要な要素は、カラー点群データ、基本データ、地表面サーフェス、すべり面サーフェス)

(2) すべり面を貫通する横ボーリングの抽出

横ボーリングを線形モデルで作成し、施工箇所を中心として360度全周方向に展開した横ボーリングモデルをグループ化して横ボーリングユニットとし、地すべりブロック外の地表面サーフェス上にメッシュ状に多数配置する。図-4の例では、延長50m、仰角5度または10度、間隔30度の12本の横ボーリングモデル（線形モデル）をグループ化して横ボーリングユニットとし、平面直交座標のXY方向に10m間隔で配置している。

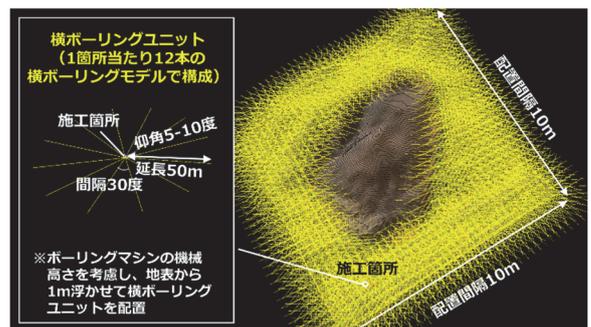


図-4 横ボーリングモデルの配置方法

すべり面を貫通する横ボーリングの抽出は、3D CADソフトに備わっている線（ライン）や面（サーフェス）等のぶつかり（干渉）を調べる干渉チェック機能を用いる。干渉チェック機能により、地すべり地外からすべり面を貫通して地すべり土塊に入り、もう一度すべり面を貫通する横ボーリングモデル（図-1(A)の状況）と地すべり地外からすべり面を貫通して地すべり土塊に入る横ボーリングモデル（図-1(B)の状況）を抽出する。中には、地すべり土塊への貫入延長が著しく短い横ボーリングモデルもあり、それらは手動で除外する。

また、地形条件によっては、すべり面を貫通する前に横ボーリングモデルが地上へ飛び出す場合があるため、地表面サーフェスモデルとの干渉チェックを行い除外する。

上記の方法により、横ボーリングと地形及びすべり面の3次元的な位置関係を確認し、候補箇所を抽出する。なお、横ボーリングユニットは一律の形状のため、実際の施工では現場条件に合わせて横ボーリングの延長、間隔、仰角を調整する。

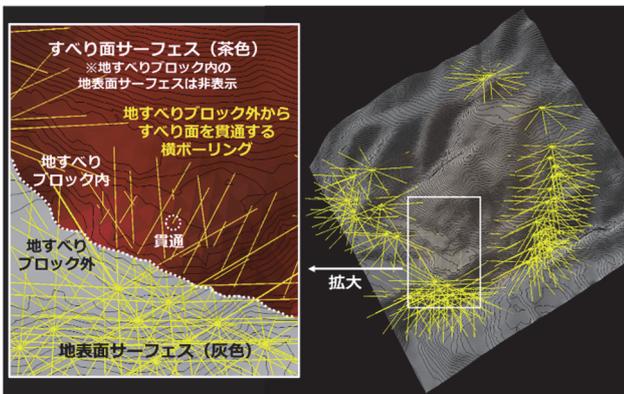


図-5 すべり面を貫通する横ボーリングモデルの抽出結果

(3) 施工困難箇所の除外

抽出された候補箇所の中には、実際には施工が

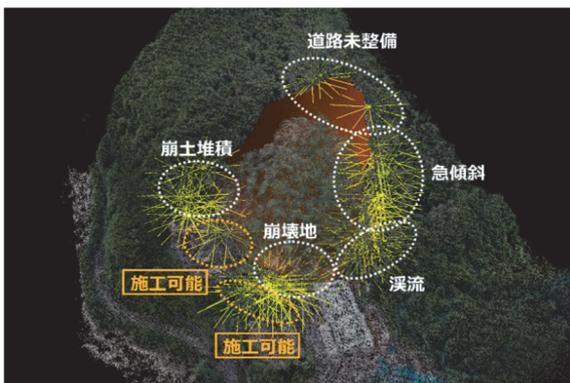


図-6 施工困難箇所の除外

難しい箇所も含まれている可能性がある。そのため、カラー点群データを用いて地形条件や河川、道路、建物等地物との位置関係などを考慮して施工の可能性を検討し、応急対策工の施工が困難な箇所を除外する（図-6の白点線の範囲）。具体的には、崩壊地や崩土堆積地等の安全確保が困難な箇所、道路が未整備等のアクセスが困難な箇所、倒壊建物や倒木があり施工ヤード整備に時間を要する箇所、溪流や急傾斜地等の施工に不適な箇所などが考えられる。

(4) 施工優先順位の設定

抽出された候補箇所が複数の場合、施工優先順位を設定する必要がある。施工優先順位を検討する際には、地すべり発生の原因となっている地下水の排除に効果的であるか、1箇所から何本のボーリングが掘削できるか、早期に掘削が可能であるか等を考慮する。

地すべり発生の原因となっている地下水の排除については、図-1 (A) のように横ボーリングモデルが滑落崖直下ですべり面サーフェスを貫通する箇所の優先順位が高いが、図-1 (B) のように地下水が豊富と推定されるすべり面付近に到達する箇所も重要である。また、1箇所から複数の横ボーリングを掘削できる箇所も、対策効果や施工効率の点から優先度が高い。道路からのアクセスや施工ヤード整備が容易など、迅速に施工可能な箇所も優先度が高い。

これらの条件を考慮した自動抽出は現時点ではできないため技術者が判断する必要がある。地すべり災害対応のBIM/CIMモデル上で、応急横ボーリング工の候補箇所とカラー点群データ、地表面サーフェス等を重ね合わせ、地形や湧水の状況等を踏まえて地下水排除効果の見込み、施工の迅速性などを考慮して施工優先順位を設定する。

4. 災害現場での試行

本手法の適用性を確認するために、実際に応急横ボーリング工が施工された地すべり災害現場を対象に試行を実施した。対象とした現場は、2021年8月に発生した島根県出雲市多伎地区で、地すべり規模は幅約100m、長さ約50m、最大深さ約10mである（図-7）。



図-7 島根県出雲市多伎地区
(松江国道事務所提供)

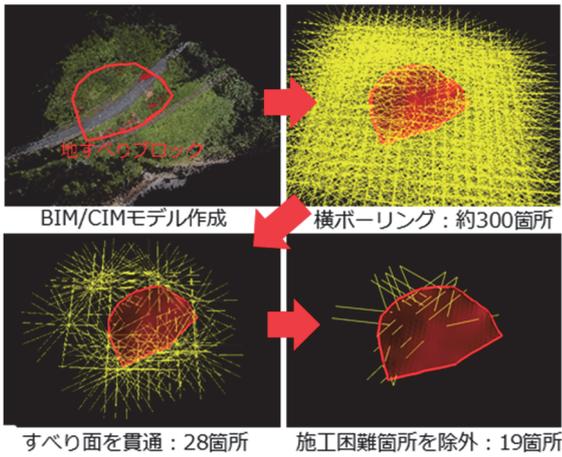


図-8 多伎地区における試行結果

UAVで撮影された空中写真からカラー点群データを作成し、オープンデータと組み合わせてBIM/CIMモデルを作成した。横ボーリングモデル(延長50m、仰角5度)を10m間隔でブロック外に約300箇所配置し、すべり面に貫入しないものと地表面を飛び出すものを干渉チェックにより除外し、28箇所が抽出された。更に施工困難箇所として、急傾斜な地すべり側部斜面、道路がなくアクセス困難な地すべり背後地を除外した結果、19箇所が抽出された。19箇所の中には、実際に応急横ボーリング工が施工された箇所も含まれている。BIM/CIMを活用した本手法を用いること

による利点としては、表-1のように検討成果の質の向上や作業の自動化による省力化、検討の作業性の向上等が挙げられる。

表-1 配置計画にBIM/CIMを活用する効果

効果	活用の概要	利点
デジタルデータによる自動化	候補箇所を網羅的に抽出できるようになり、より適した箇所の選定が容易になる。	検討成果の質の向上
	3D CADの干渉チェック機能により、すべり面に到達する横ボーリング掘削箇所を抽出する。	自動化による省力化
3次元モデルの重ね合わせによる確認	横ボーリングモデルと地表面サーフェス、すべり面サーフェスとの3次元的位置関係により、すべり面に到達可能か確認する。	検討の作業性の向上
	カラー点群データと候補箇所を重ね合わせ、現地状況から施工可能な箇所を抽出する。	
	カラー点群データ、表面サーフェスを重ね合わせ、地下水排除効果、施工迅速性などの観点から優先箇所を選定する。	

5. おわりに

本稿では、地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを活用した応急横ボーリング工の配置計画手法を紹介した。今後も災害時の緊急的な調査から応急対策工や警戒避難体制等の一連の災害対応の検討ができ、現場で使いやすいBIM/CIMとなるよう開発及び改良を進めていく予定である³⁾。最後に本研究にご協力いただいた関係各位に感謝申し上げる。

参考文献

- 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン(案)第3編 砂防及び地すべり対策編、2021
- 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム：地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料、土木研究所資料 第4412号、2021
- 杉本宏之、奥山悠木、今江健太、北村和輝：BIM/CIMを活用した土砂災害対応の迅速化・効率化、土木技術資料、第65巻、第3号、pp12~15、2023

今江健太



研究当時 土木研究所 土砂管理研究グループ地すべりチーム 交流研究員、現日本基礎技術(株)
IMAE Kenta

奥山悠木



土木研究所 土砂管理研究グループ地すべりチーム 主任研究員
OKUYAMA Yuki

北村和輝



研究当時 土木研究所 土砂管理研究グループ地すべりチーム 交流研究員、現(株)エイト日本技術開発
KITAMURA Kazuki

杉本宏之



土木研究所 土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員
SUGIMOTO Hiroyuki