

災害対応への地すべり CIM 活用

— 地すべり災害対応の BIM/CIM モデル —

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上席研究員 杉 本 宏 之

1. はじめに

国土交通省では i-Construction やインフラ分野における DX の推進等の一環として BIM/CIM の活用が進められている。地すべり分野では、令和元年 5 月に「CIM 導入ガイドライン（案）第 9 編地すべり編」¹⁾ が公表され、「地すべり CIM」として本格的な導入が始まった。ガイドラインでは、地すべり対策の技術指針である「地すべり防止技術指針」²⁾ に沿って、地すべり対策事業の調査・機構解析～効果評価・維持管理の各段階において地すべり機構解析の BIM/CIM モデルや地すべり防止施設の BIM/CIM モデルを作成・活用することが示された。

一方で、地すべり災害への対応においても、地すべり災害の全体像の的確な把握のために BIM/CIM の活用が効果的と考えられるが、迅速性が強く求められる災害対応時に、詳細な BIM/CIM モデルを作成・活用することは難しく、通常の地すべり対策事業とは異なる BIM/CIM モデルが必要と考えられた。そのため、(国研)土木研究所では、地すべり災害対応における BIM/CIM の活用手法について検討を行い、「地すべり災害対応の CIM モデルに

関する技術資料（案）」として令和 2 年 5 月に公表し、令和 2 年 7 月豪雨災害などで発生した地すべり災害における技術支援、コロナ禍における地すべり災害へのリモート技術指導等に本手法を活用してきた。これらの活用実績をもとに BIM/CIM モデルの作成手法を改良し、「地すべり災害対応の BIM/CIM モデルに関する技術資料」³⁾ として令和 3 年 4 月に公表した。その内容は、令和 3 年 3 月の「CIM 導入ガイドライン（案）第 9 編地すべり編」から「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」⁴⁾ への改訂の際に反映されており、新たに地すべり災害対応の BIM/CIM モデルがガイドラインに追加された。

本稿では、地すべり災害対応への BIM/CIM の活用について、地すべり分野における BIM/CIM モデルの活用について全体を概観した上で、地すべり災害対応の BIM/CIM モデルを中心に紹介する。

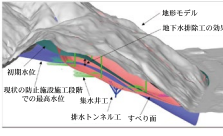
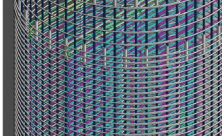
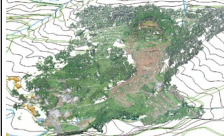
2. 地すべり分野における BIM/CIM の活用

地すべり対策の計画立案に際しては、地形、地質調査や地すべりの動態観測等の調査成果から、地すべり発生の素因・

誘因、地すべりブロックの範囲・規模、すべり面形状・位置、地下水の状況等の地すべり発生・運動機構について検討する地すべり機構解析が必要となる。その上で、地すべり防止施設の配置計画では、地すべりの状況と地すべり防止施設の 3 次元的な位置関係を適切に把握して検討する必要がある。また、地すべり防止施設の整備後に、施設の効果の評価を行うためには、整備状況に応じて地下水面等の地中の情報を時系列的に把握するなど、時間的な変化を適切に把握する必要がある。これらの評価・検討において BIM/CIM を活用することにより、3 次元的な位置関係や時間変化が視覚化され、適切な理解が促進されることが考えられる。このように、地すべり分野では、図-1 に示すような各段階において BIM/CIM を活用することにより効率的・効果的な検討が可能となると考えられる。

地すべり分野では、図-1 の地すべり対策の流れと各段階での BIM/CIM の活用目的・方法の違いなどを考慮し、表-1 のように地すべり機構解析の BIM/CIM モデルや地すべり防止施設の BIM/CIM モデルが定義されている。また、災害対応のための地すべり災害対応の BIM/CIM モデ

表-1 地すべり分野の BIM/CIM モデル

地すべり CIM (地すべり分野で活用される BIM/CIM モデルの総称)		
		
国土交通省中部地方整備局 富士砂防事務所	国土交通省中部地方整備局 富士砂防事務所	国土交通省中部地方整備局 富士砂防事務所
地すべり機構解析 の BIM/CIM モデル	地すべり防止施設 の BIM/CIM モデル	地すべり災害対応 の BIM/CIM モデル
「地すべり防止技術指針及び同解説」に記載されている地すべり機構解析に必要な調査等の結果を基に、作成したモデル	「地すべり防止技術指針及び同解説」で示されている地すべり防止施設を構造物モデルとしてモデル化するもの	「地すべり防止技術指針及び同解説」で示されている緊急時の処置の対応を検討するために、作成されるモデル

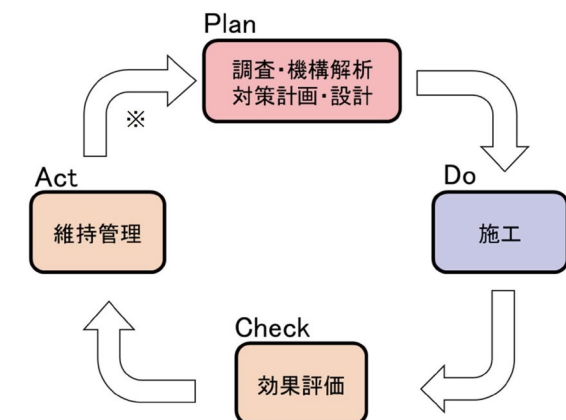
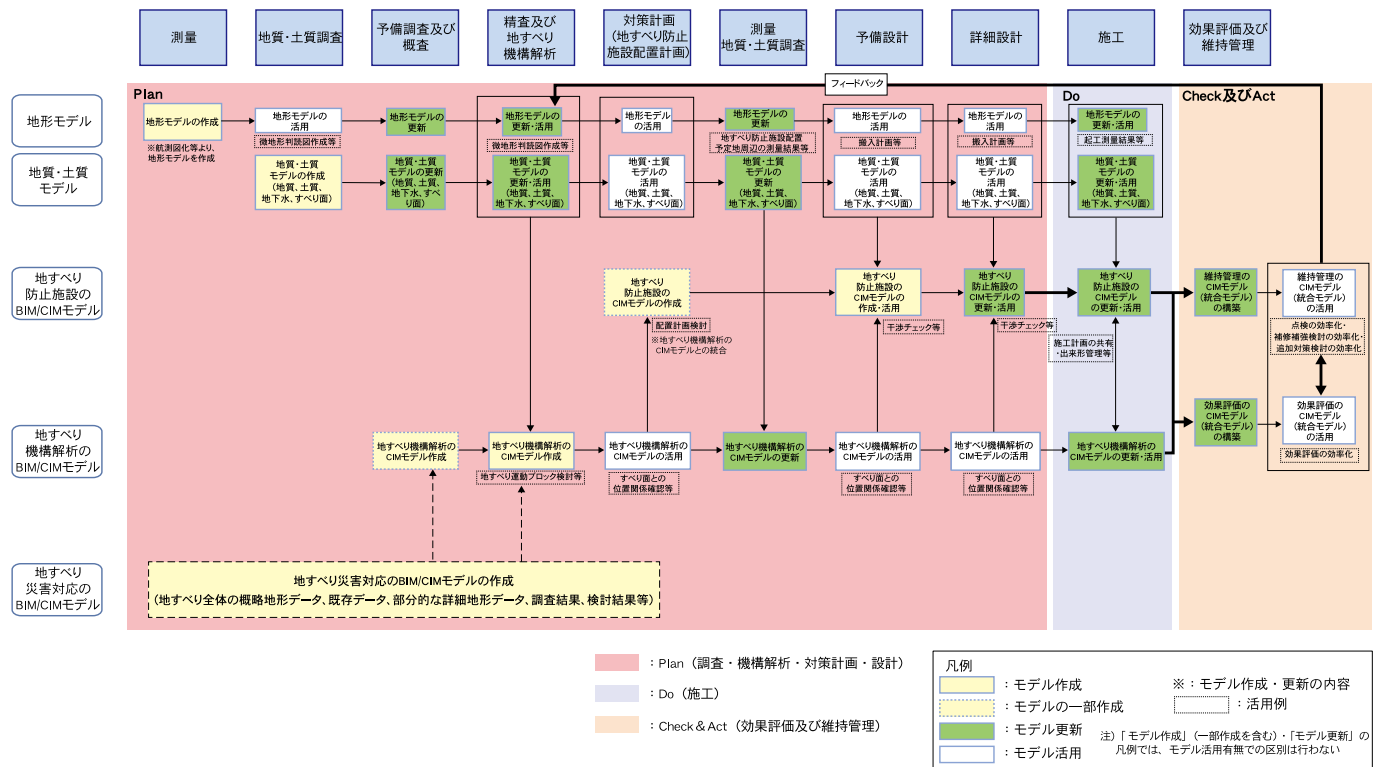


図-1 地すべり対策の流れ³⁾



図－2 BIM/CIMモデル作成・活用・更新の流れ⁴⁾

ルを加えて、地すべり分野で活用されるBIM/CIMモデルの総称を「地すべりCIM」としている。

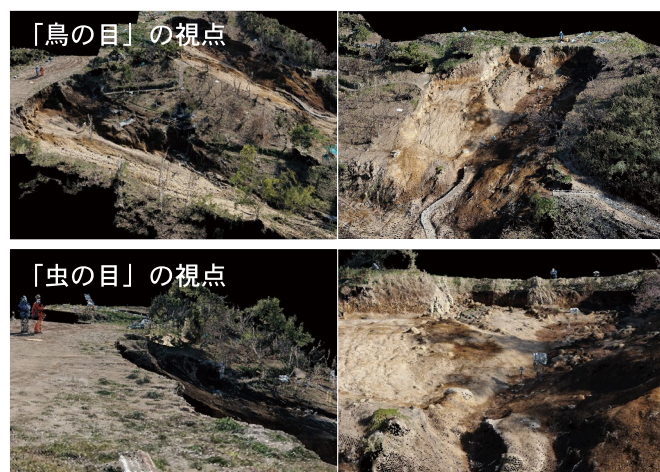
地すべりCIMには、図－1の地すべり対策の流れに対応したBIM/CIMモデルの更新や各段階で作成したBIM/CIMモデルの統合を順応的に図っていく「見守りのBIM/CIM」としての特徴がある。各段階の活用目的を踏まえた適切なBIM/CIMモデルを構築することにより、発注者・受注者間の解釈の集約が促進され、地すべり対策の最適解への合意形成の迅速化や情報共有の効率化、3次元モデルによる地すべり機構解析の促進等、BIM/CIMの有効性が十分に発揮されると期待される。

地すべり対策の各段階における、地すべりCIMの各モデル（地すべり機構解析のBIM/CIMモデル、地すべり防止施設のBIM/CIMモデル、地すべり災害対応のBIM/CIMモデル）の作成・更新・活用の流れを図－2に示す。

3. 地すべり災害対応のBIM/CIMモデル

(1) 地すべり災害対応における課題

地すべり災害が発生した場合は、緊急時の対応として、現地調査を行った上で、警戒避難対策や応急対策工事等の検討が行われる。その際には、地すべり周辺の斜面地形や地すべりによる変状発生状況、



図－3 カラー点群データによるバーチャル現場

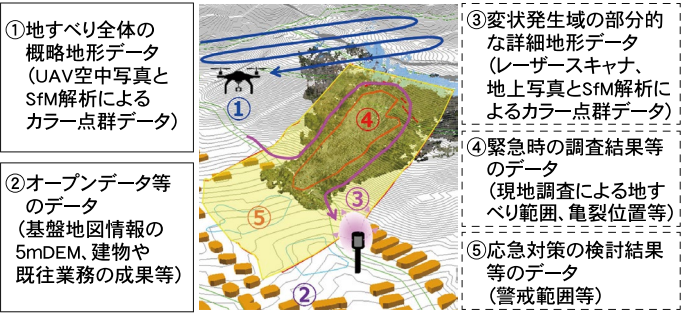
保全対象の位置等の3次元的な関係をふまえて、地すべり災害の全体像を的確に把握した上で検討を行うことが重要である。しかし、大規模な地すべり災害では、現地状況の情報の不足や、逆に情報過多によって整理が追いつかないなどで、地すべり災害の全体像の把握が難しいという課題があった。また、災害時の対応は、国・都道府県・市町村の土木部局や防災部局、民間の調査会社、建設会社等の多数の関係機関が連携する必要があることから、地すべり災害の状況について十分に情報伝達・情報共有することが重要であるが、それらを地形図や写真だけで防災直後に迅速に行うことは難しかった。

このような、「全体像把握が難しい」、「情報伝達・情報共有が難しい」という災害対応の現場での課題を解決するため、「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」³⁾では、UAVで撮影した災害後の空中写真を基にカラー点群データを作成し、それに地図等のデータを組み合わせた地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを作成し、「バーチャル現場」として活用することを提案している。

カラー点群データは、地すべり災害の範囲をUAVで撮影した数10枚～数100枚の写真から、SfM解析によって作成できる。カラー点群データは、位置情報と色情報を持ち、コンピュータでは、3次

表－２ 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの概要

目的	・ 発災直後の地すべり災害の全体像の 3 次元的把握 ・ 発災直後の警戒避難対策・ 応急対策工事の検討
要件	・ 短時間で作成できること 外業＋内業：1.0日程度が目標 ・ 一般的な技術で対応できること UAV写真撮影、SfM解析、GIS/CAD処理 ・ 全体像が把握できる概略精度で可 迅速性を優先し、精緻な精度は求めない



図－４ 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの構成

表－３ 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの作成手順

作成手順	作業イメージ	必要な機材
ステップ① UAVによる 空中写真撮影		点検等で用いる 一般的なUAV
ステップ② SfMによる 点群データ作成		点群作成に用いる SfMソフト
ステップ③ オープンデータの ダウンロード		解析やモデル作成等 に用いるPC
ステップ④ GIS/CADによる データ重ね合わせ		モデルの作成 表示に用いる GIS/CAD等ソフト

元空間上の色のついた点の集合として表示される。カラー点群データを高密度に取得してコンピュータで表示させることで、図－３に示すように、写真と同様の見た目の立体的な地表面モデルとなる。図－３は地すべり災害の状況をカラー点群データで再現したモデルの例である。モデルを移動・回転、拡大縮小することで、自由な視点から地すべり災害の状況を見ることができ、また、モデルを動かすことで立体的な形状を認識することもできる。地すべり全体を俯瞰する「鳥の目」の視点では、全体の状況がひと目で把握できる。また、地すべりの細部に注目する「虫の目」の視点では、各部分の詳細な状況がよく分かる。現地調査では、全体を俯瞰できる場所がない場合や、危険なために確認したい場所に近づけない場合もあるが、「バーチャル現場」であればそのようなこともなく、「鳥の目、虫の目」で全体から細部まで確認するこ

とができる。

(2) BIM/CIMモデルの構成および作成方法

地すべり災害対応のBIM/CIMモデルは、主な活用目的を、発災直後の地すべり災害の全体像の3次元的把握や警戒避難対策・応急対策工事の検討と想定している(表－2)。発災直後に短時間で作成できるようにするため、一般的な技術で作成できるモデルとし、また、測量成果のような精度は求めないこととしている。

地すべり災害対応のBIM/CIMモデルは、迅速性を優先するために、地すべり災害全体の概略的な精度の地形データと地すべり地も含めた周辺の基盤地図情報等のオープンデータなどを組み合わせたものとしている(図－4)。必要に応じて、現地踏査において確認された主要な変状発生箇所等で取得した詳細な点群データや緊急時の調査結果等のデータ、警戒避難

対策・応急対策工事の検討結果等のデータを組み合わせることも有効と考えられる。

発災直後に用いる地すべり災害対応のBIM/CIMモデル作成手順は以下の4ステップで1日程度で作成できる(表－3)。

- ①地すべり全体を含めた周辺の地形や保全対象を対象範囲としてUAVによる空中写真撮影を行う。
- ②空中写真からSfM解析ソフトによってカラー点群データを作成する。
- ③基盤地図情報等のオープンデータをダウンロードする。
- ④GIS/CAD等により、カラー点群データとオープンデータ等を重ね合わせる。

4. BIM/CIMモデルの活用

(1) BIM/CIMモデルの活用ケース(表－4)

①地すべりを含む周辺の災害全体の概要把握

UAV 空中写真から災害後の地すべり全体の点群データを作成して地図情報等のオープンデータと組み合わせ、迅速に地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを作成する。地すべり周辺の斜面地形や地すべりによる変状発生状況、保全対象の位置等の3次元的な関係をふまえ、地すべり災害の全体像を的確に把握する。

②発生機構の推定

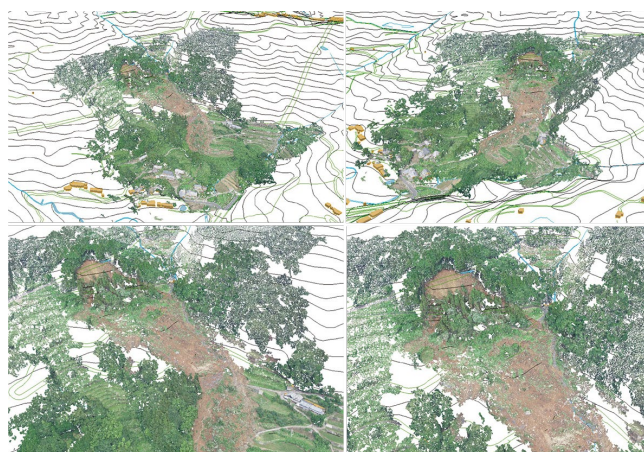
発生した地すべりの状況を点群データで表現し、周辺地形等をオープンデータ等のデータで表現する。必要に応じて、地すべりによって発生した変状の位置等の調査結果を重ね合わせる。BIM/CIMモデル上で地すべりの状況を確認し、発生機構の推定等を行う。

③警戒避難体制の検討

警戒避難範囲を検討する際には、地すべり範囲、動きの方向、拡大の可能性の

表－4 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの活用ケース

No	確認内容	BIM/CIMモデル作成のポイント	活用イメージ	No	確認内容	BIM/CIMモデル作成のポイント	活用イメージ
1	地すべりを含む周辺の災害全体の概要を把握	・発災直後の地すべり地形を点群データで表現する ・地すべり周辺の地形、保全対象等のオープンデータ等を点群データと重ね合わせる ・必要に応じて、調査結果等や検討結果等を追加する	①地すべり全体の概略地形データ (UAV空中写真とSIM解析によるカラー点群データ) ②オープンデータ等のデータ (基盤地図情報の5mDEM、建物や既往業務の成果等) ③変位発生域の部分的な詳細地形データ (レーザーキタ、地上写真とSIM解析によるカラー点群データ) ④緊急時の調査結果等のデータ (現地調査による地すべり範囲、動位変位等) ⑤応急対策の検討結果等のデータ (警戒範囲等) 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの例	4	応急対策の検討	・点群データ等により土砂の堆積状況や現地の段差や勾配の状況、構造物・道路・河川・樹木の配置等を3次的に確認する ・土砂流出が発生した場合の3次的な流出経路を予測する ・地形形状や地物の配置の現地状況等を考慮した3次的な応急対策の配置計画等を表現する	地すべり発生 地下排水路 資機材の搬入路を考慮した検討 警戒範囲 流出経路 保全対象家屋 流出堤 保全対象からの視点での検討 BIM/CIMモデルを用いた応急対策の検討
2	発生機構の推定	・地すべり全体を点群データで、周辺をオープンデータ等のデータで表現する ・必要に応じて変位位置等を重ね合わせて地形や変位の現地状況が3次的に確認できるように表現する ・モデル上で機構解析を把握できるように表現する	発生機構の推定への活用イメージ BIM/CIMモデルを用いた分析・検討	5	BIM/CIMモデルの共有	・災害後の現地状況や発生機構を視覚的に把握できるよう表現することが望まれる ・Web会議システムやWeb-GISを活用する ・汎用性の高いファイル形式でCIMモデルを関係者に送信して共有することも考えられる	各会場のカメラ表示画面 3次元モデル表示画面 下流部を調査対象 地すべり発生 発生機構 オンライン会議 地すべり地全体のBIM/CIMモデル Web-GISによるBIM/CIMモデル共有イメージ 汎用性の高いファイルでのBIM/CIMモデル共有イメージ
3	警戒避難体制の検討	・地すべりの範囲と方向、拡大の可能性のある範囲、地すべり下方斜面の形状、保全対象との位置関係、標高差等を3次的に確認する ・検討の際には、モデルを動かして多数の方向からの視点で地すべりの影響範囲を予測する ・警戒範囲等は線等で表現する	BIM/CIMモデルを用いた警戒範囲等の検討	6	会議や説明会への活用	・関係者の会議や住民説明会・マスコミ記者会見への説明では視覚的に把握できるように表現することが望まれる	BIM/CIMモデルを用いた関係者協議 BIM/CIMモデルを用いたマスコミ記者会見



図－5 地すべり災害対応のBIM/CIMモデル



図－6 地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの活用状況

ある範囲、保全対象の位置等の3次元的位置関係を確認することが重要である。検討の際には、BIM/CIMモデルを動かして多数の方向からの視点で地すべりの影響範囲を予測する。

④応急対策の検討

応急対策工事の検討では、地すべりや周辺地形、保全対象等の状況等を考慮し、応急対策工の配置計画や施工計画の検討を行う。最新の空中写真から作成したカラー点群データを「バーチャル現場」とし、土砂の堆積や現地の地形、構造物・道路・河川・樹木の配置等の現地状況を詳しく確認した上で計画を立案することが有効である。

⑤BIM/CIMモデルの共有

国・自治体等の関係機関相互の情報伝達、打合せ協議、専門家による技術支援

において、Web-GISやWeb会議システムを活用してオンラインで現場のCIMモデルを共有する。または、汎用性の高いファイル形式で送信することで共有する。CIMモデルによる「バーチャル現場」を活用することで、状況認識の共通化、判断の迅速化、誤解による間違い防止等の効果が期待される。

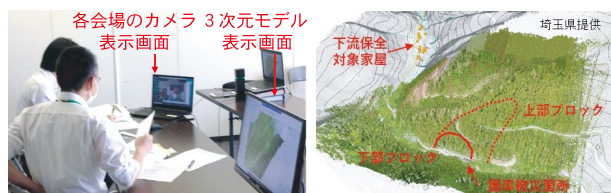
⑥会議や説明会への活用

カラー点群データによって「バーチャル現場」を表示しながらの説明は、地図等を用いた説明よりも直感的で分かりやすい。関係者の会議や住民説明会やマスコミ記者会見で活用することで、地すべり災害の状況等についての理解の向上、コミュニケーションの迅速化等が期待される。

(2)BIM/CIMモデルの活用事例

①長崎県佐世保市小川内町牧の地地区

長崎県佐世保市小川内町牧の地地区で発生した地すべり災害に対して、長崎県からの要請によって令和2年7月に災害調査を行い、警戒避難体制および対策工事についての技術指導を行った。発災直後のUAV写真等から作成した地すべり災害対応のBIM/CIMモデル(図－5)を「バーチャル現場」として(国研)土木研究所において事前分析を行い、調査すべきポイントを絞り込むなどして現地調査の効率化を図った⁵⁾。また、関係機関への調査結果説明や報道向けの記者会見においてもBIM/CIMモデルを活用し、調査結果を視覚的に分かりやすく説明するように努めた(図－6)。



オンライン会議①
(5月25日)

地すべり地全体の
BIM/CIMモデル



オンライン会議②
(7月29日)

地すべり末端部の被災
箇所のBIM/CIMモデル

図－7 リモートでの災害支援の状況



道路周辺の踏査

林地内の踏査



ボーリングコアの
確認



BIM/CIMモデルを用いた
調査結果説明

図－8 現地調査の状況

②埼玉県秩父市定峰地区

埼玉県秩父市定峰地区で発生した地すべり災害に対して、埼玉県からの要請によって、令和2年5月および7月にリモートで技術指導を実施した⁶⁾(図－7)。令和2年5月は、新型コロナウイルス感染症拡大防止のために緊急事態宣言が行われている状況であり、県境をまたぐ移動について自粛が求められていたため、オンライン会議によるリモートで技術指導を実施することとし、現地状況の把握のために埼玉県にBIM/CIMモデルの作成を依頼し、それを確認しながら応急対策等についての技術指導を行った。植生に覆われている箇所や細かな亀裂等の変状はBIM/CIMモデルだけでは確認できないため、現地を調査した調査会社に現地状況聞きながら、BIM/CIMモデル上で位置を確認するなどして現地状況の的確な把握に努めた。

その後、復旧対策の配置計画等についての技術指導のため、8月に現地調査を実施して現場を確認した(図－8)。それまでに何度もこの現場のBIM/CIMモデルによって検討を行っているため、初めて訪れた現場とは思えないほど、現地の地すべりの状況が把握できていると感じられた。また、地すべりの規模感や斜面勾配等の感覚についても、BIM/CIMモデルによって想像していたものと現地での状況に大きな乖離はなかった。本事例の経験から、BIM/CIMモデルを活用したリモートによる技術支援でも一定程度の対応が可能であると考えているが、リモートによる対応のみでどこまで技術支援が可能かということについては、引き続き事例を積み重ねながら慎重に確認してい

く必要があると考えている。

5. おわりに

本稿では、「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」³⁾で提案した地すべり災害対応のBIM/CIMモデルの概要と、地すべりチームが行った技術支援での活用事例について報告した。地すべり災害対応のBIM/CIMモデルは、地すべり分野での活用を想定しているが、他分野においても活用できると考えられる。ぜひ活用を検討いただき、業務の効率化・迅速化に役立てて頂ければ幸いである。最後になったが、BIM/CIM作成・活用にご協力いただいた関係各位に、この場を借りて感謝申し上げたい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：CIM導入ガイドライン(案)第9編地すべり編，<https://www.mlit.go.jp/common/001289037.pdf>，2019。
- 2) 国土交通省砂防部・国土研究所：地すべり防止技術指針及び同解説，P145，2008。
- 3) 国研 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，https://www.pwri.go.jp/team/landslide/kanrisya/cim/cim_model.pdf，2021。
- 4) 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，<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001395763.pdf>，2021。
- 5) 和田佳記・竹下航・杉本宏之：地すべり災害の初動時におけるCIMモデルの活用－令和2年7月豪雨での災害対応の事例－，日本地すべり学会誌，Vol. 58，No. 2，pp23-29，2021。
- 6) 竹下航：地すべり災害対応のCIMモデルを活用したリモートによる技術支援，砂防と治水Vol. 53，No. 4，pp29-31，2020。