

# しおいだにがわ 汐井谷川における大規模斜面对策 ～斜面对策における BIM/CIM の導入～

松田 征之助<sup>1</sup>・原田 隆二<sup>1</sup>・大木 鉄夫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 筑後川河川事務所 九州北部豪雨復興出張所  
(〒838-1511 福岡県朝倉市杷木池田 483-1)

国土交通省九州地方整備局では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨による災害を契機として、平成 29 年度から赤谷川流域で直轄砂防事業(直轄特定緊急砂防事業)に着手している。この直轄砂防事業で対象としている汐井谷川において、大規模な斜面崩壊(地すべり性崩壊)に対する対策工の検討を行っており、本稿はその内容について報告するものである。また、検討にあたり BIM/CIM の導入を行ったことから、併せてその事例を報告する。

**Key Words:** 平成29年7月九州北部豪雨,大規模斜面对策(地すべり性崩壊),BIM/CIMの導入

## 1. はじめに

平成 29 年 7 月 5 日の昼頃から夜にかけて、九州北部の福岡県から大分県に強い雨域がかかり、短時間に記録的な雨量を降らせ、特に朝倉市から日田市北部においては観測史上最大の降雨を記録した(図-1)。この豪雨により筑後川右岸流域では、同時多発的に土石流や斜面崩壊等が発生するとともに、大量の土砂や流木が流下し、甚大な被害をもたらした。

気象庁では、記録的短時間大雨情報や、九州では初めてとなる大雨特別警報を発表し、7 月 5 日から 6 日の豪雨を「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」と命名した。

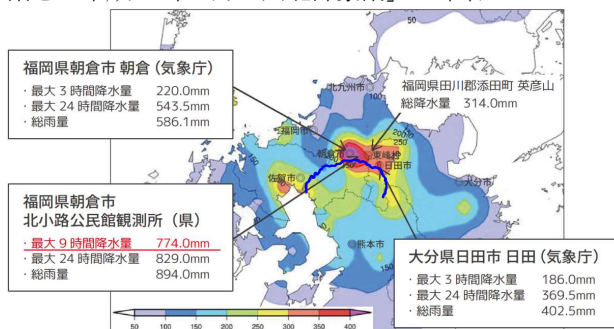


図-1 平成 29 年 7 月 5 日～6 日の降水量分布図  
(気象庁公表資料を基に観測雨量を整理)

福岡県が管理する筑後川支川の被害が甚大であった赤谷川、乙石川及び大山川については、福岡県知事からの要請を受け改正河川法に基づく「権限代行」制度を全国で初めて適用し、福岡県に代わって応急復旧工事及び本復旧工事を国土交通省九州地方整備局にて実施している。



写真-1 赤谷川流域で発生した斜面崩壊

さらに、赤谷川流域では斜面崩壊が特に多く発生したことから、溪流や河道に大量の不安定土砂や流木が堆積した(写真-1)。これらの土砂等の再移動による二次災害発生を防止するため、同じく福岡県知事からの要望を受け、河道整備と一体的に土砂災害対策を進める特定緊急砂防事業として直轄による砂防事業を実施している。

この特定緊急砂防事業で対象としている赤谷川左支川小河内川の支川汐井谷川において、大規模な斜面崩壊(地すべり性崩壊)が発生した。現在、地域の安全・安心を確保するためにこの大規模斜面崩壊に対する対策工の検討を行っており、本稿はその内容について報告するものである。また、検討にあたり斜面对策の効率的検討等を目的として BIM/CIM の導入を行ったことから、併せてその事例を報告する。

## 2. 汐井谷川大規模斜面崩壊の概要

### (1) 大規模斜面崩壊地周辺の状況

赤谷川流域は、筑後川河口から 60.7km 地点の右支川であり、流域面積 19.9km<sup>2</sup>、河川延長 9.4km の福岡県管理河川である。その流域のほとんどが山地地形であり、下流域の一部をなす平地部では果樹園や水田が広がっている。大規模斜面崩壊が発生した汐井谷川流域は、赤谷川左支川小河内川の左支渓であり、流域面積 0.55km<sup>2</sup>、河川延長 1.4km である(写真-2)。



写真-2 大規模斜面崩壊地周辺の状況

### (2) 地形・地質概要

大規模斜面崩壊が発生した汐井谷川右岸斜面の山体は、北西に突き出たやせ尾根地形を形成している。汐井谷川と本川である小河内川は、左右岸山体が押し迫った谷幅の狭い溪谷となっているが、合流地点のみ谷幅が広く、盆地状の平底谷となっている。

崩壊斜面の基盤地質は、地すべり性崩壊の要因となりやすい三郡変成岩の結晶片岩であり、黒色を呈する泥質片岩の分布が主体となっている。結晶片岩には、薄く剥がれやすい片理面が発達しているが、当該斜面に対しては受け盤の関係となる。また、断層は、比較的規模が大きく明瞭な破砕帯を伴う 23 条の分布が確認されており、斜面に対して受け盤の関係のものが主体をなすものの、流れ盤となるものも認められる。

### (3) 大規模斜面崩壊の発生状況

汐井谷の斜面下部では被災直後から堰止湖が形成されていたが、平成 30 年 1 月の現地調査時に汐井谷川右岸の尾根沿いで段差を伴い連続する地割れを確認し、不安定斜面が未だ広範囲に残留していることが懸念された。このため、地盤傾斜計、地盤伸縮計による観測、及びボーリング調査に着手した。国土技術政策総合研究所、及び(国研)土木研究所に状況を報告し、平成 30 年 6 月に(国研)土木研究所と合同での現地調査を行った結果、地すべり挙動を伴う斜面であることを特定した。

その直後である平成 30 年 7 月豪雨では、赤谷川流域の松末小学校雨量観測所にて、時間雨量 34mm、総雨量 367mm を記録し、この豪雨により斜面に変位が発生している(写真-3)。また、斜面頭部の地盤伸縮計では最大約 20mm の変位を計測している(図-2)。地すべりの規模は、斜面長約 200m、幅(上下流方向)約 350m、すべり面深度約 40m、土量約 90 万 m<sup>3</sup> である。

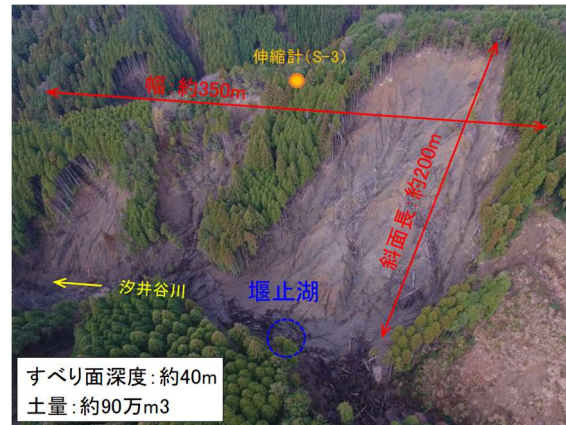


写真-3 大規模斜面崩壊の発生状況

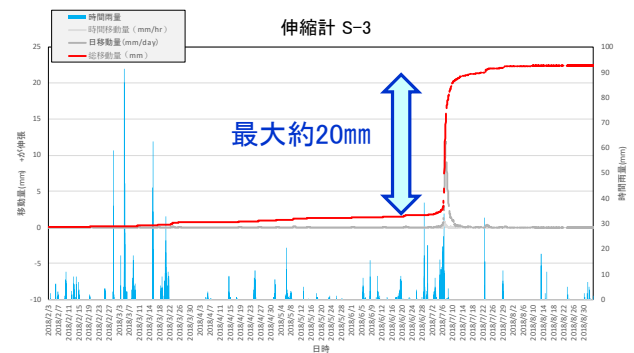


図-2 地盤伸縮計の変位 (平成 30 年 7 月豪雨)

## 3. 地すべり対策の検討

今回の大規模斜面崩壊については、これまでの観測結果、及び(国研)土木研究所との合同現地調査による地すべり挙動の特定から、地すべり対策として検討するものとした。

### (1) 地すべり範囲の検討

汐井谷川右岸斜面は変状地形が分布すること、ボーリングコアに無構造角礫が分布すること、動態観測において平成 30 年 7 月 5 日～7 月 7 日に降雨と連動した変位が観測されたことから断続的に滑動している岩盤地すべりと推定される。ただし、変状地形の規模が小さいことや動態観測における変動量が小さいことから、初生地すべりの段階と推察される。

地すべり移動体の平面範囲は、地表に発生した段差地形や地割れの位置から推定し、断面形状については、平成 30 年 7 月豪雨時に発生したパイプ歪計の変位発生深度とボーリング調査結果から推定した。



また、推定したすべり面候補の他孔への連続位置については、ボアホールテレビ展開画像を用いてすべり面位置としての妥当性を確認し、写真4に示すとおり複数ブロックで構成される地すべり移動体を推定した。

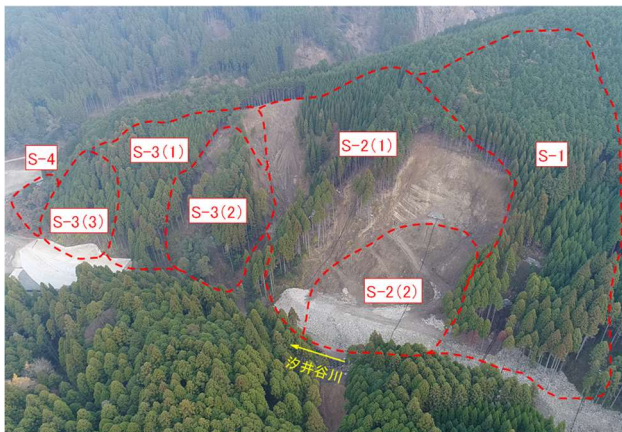


写真4 地すべりブロック分布図(応急対策完了後の写真)

## (2) 素因・誘因

素因としては、断層が多数分布しており、その断層の組み合わせによって、複数の地すべり移動体が形成されたものと推定される。誘因としては、降雨による地下水上昇、降雨による河川水位上昇に伴う斜面末端部の侵食、地震動等が考えられるが、動態観測の結果から、降雨に伴う急激な地下水上昇であると考えられる。

## (3) 安定解析

S-1～3の各ブロックの現況安全率は、降雨時以外は断続的な動きが確認できないことから、既往最高水位時を $F_s=0.98$ と設定した。ただし、S-2(2)ブロックについては、すべり面が緩勾配で、他ブロックと比較して滑動兆候も低いことから $F_s=1.00$ と設定した。また、S-4ブロックについては、他ブロックに比べて大きさが小規模であり、地すべり滑動による堰止湖の形成の可能性が低いと考えられることから対策工の対象から除外した。

地すべり安定解析における対策工の評価については、地下水を十分調査できている状況を踏まえ、(国研)土木研究所と協議のうえ、疑似三次元法(ラムフィットマン法)を採用するものとした。

## (4) 応急対策

下流域の当面の安全性向上、及び砂防堰堤工事現場における安全確保のために、令和元年度出水期までに河道閉塞部を安定化することを目標とし、計画安全率を $F_s=1.05$ として対策工を計画することとした。

対策工の検討については、頭部排土工は立木等の大規模な伐採が生じ時間を要することから、横ボーリング工、及び押え盛土工の抑制工を主体として検討を行った。

横ボーリング工は、地下水位低下効果が大きくなる地すべりブロック内での水深が深い位置に計画した。配置は、面的に水位低下を図るため、S-1～S-3ブロックを面的にカバーする位置で、特に地すべりブロック規模が大きいS-1及びS-2(1)に対して複数配置した。また、S-2(2)ブロック、及びS-3(3)ブロックは、地下水位面が深くすべり面での水深が浅いため、水位低下効果が小さいことから配置しないこととした。(表-1)

表-1 横ボーリング工の受け持ちブロック

ブロック区分	細区分	横ボーリング工						
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
S-1	—							
S-2	S-2(1)		○	○	○			
	S-2(2)							
S-3	S-3(1)	○						
	S-3(2)	○						
	S-3(3)							

押え盛土工については、地すべりブロックの規模が大きい上流区間は、単独の対策工による抑制効果に限界があるため、横ボーリング工と押え盛土工を併用し、横ボーリングで地下水位低下を図っても安全率が1.05を下回る箇所計画した。

押え盛土工の検討にあたっては、上流区間については、次の理由から石材(砕石)を採用した。

- ①単位体積重量が大きい
- ②地盤変形への追従性がよい
- ③転圧が不要で、気象条件にも左右されにくいことから施工速度が速い
- ④排水性がよく、地下水の排水を妨げない

下流区間については、汐井谷川の流下幅、及び工事用道路を確保する必要があることから、残存型枠を用いて急勾配法面の構築が可能である砂防ソイルセメント工法を採用した(写真-5)。



写真5 応急対策工の実施状況

## (5) 恒久対策

保全対象の状況及び下流の砂防施設の計画を勧告し、計画安全率を $F_s=1.10$ とした(図-3)。

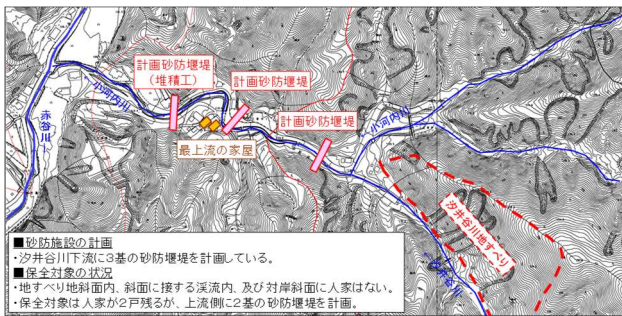


図-3 砂防施設計画と保全対象の状況

対策工の検討にあたっては、応急対策による水位低下効果が明瞭であったことから、横ボーリング工を追加で採用するものとした。また、横ボーリング工を行った場合にも計画安全率を下回る箇所には押え盛土工を採用するものとした。

横ボーリング工については、応急対策で施工した横ボーリング工に加えて、水位低下効果の低かった低標高部に追加で配置することとした。なお、配置計画の検討にあたっては、後述する BIM/CIM の活用を行っている。

押え盛土工については、すべり面末端が河床付近の低い位置にある地すべりブロックが多いことから、地すべりブロック下部に押え盛土工を設けるものとした。

なお、地すべりブロックに隣接する汐井谷川の河道については、応急対策で施工した袋詰玉石の水路を活用するものとし、計画流量の流速に対して袋詰玉石では安定しない区間のみ、他の箇所では応急対策に用いた根固めブロックを落差工に有効活用する計画とした。

#### 4. BIM/CIM の導入

国土交通省では、「ICT の全面的な活用」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取組である i-Construction(アイ・コンストラクション)が推進されている。この一環として、調査・計画、設計段階から三次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても連携・発展させ、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図ることを目的として BIM/CIM(Building/Construction Information Modeling, Management)の検討が進められている。当該地区においても大規模斜面对策の効率的検討等を目的として BIM/CIM を導入するものとした。

##### (1) BIM/CIM の導入目的

当該検討における BIM/CIM は、以下を目的として導入している。

- ①地すべり移動体、地下水分布の三次元的な把握
- ②対策工の効果的位置関係の三次元的検討
- ③対策効果の可視化

- ④維持管理段階における対策施設の詳細記録
- ⑤各種協議での合意形成時間の短縮と判断の迅速化

##### (2) モデルの概要

BIM/CIM モデルの作成対象範囲は、対象の地すべりの範囲、及びその周辺の影響範囲とした。現況地形の縮尺は、微地形が把握できるものとして 1/500 とした(図-4)。

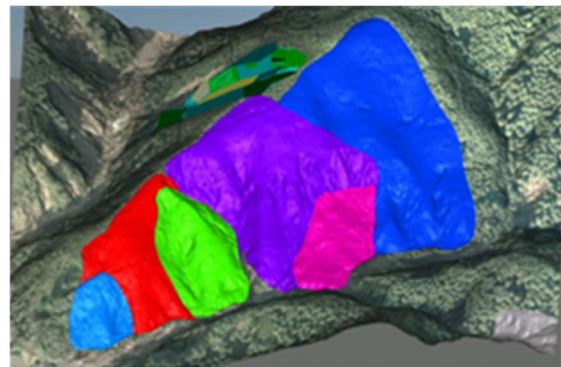


図-4 BIM/CIM モデル(地形・地すべり移動体)

BIM/CIM モデルは、「地すべり機構解析の CIM モデル」、及び「地すべり防止施設の CIM モデル」に分けられる。そのそれぞれにどのレベルまでモデルで詳細に表現するかを定義する「詳細度」が設定され、地すべり機構解析の CIM モデルでは 100~300、地すべり防止施設の CIM モデルでは 100~400 の範囲で数字が大きくなるほど詳細となる。

当該地区の「地すべり機構解析の CIM モデル」については、複数の地すべりブロックにより構成され、地すべり機構が複雑な地すべりであることから、実態に即した運動ブロック範囲や深さ、運動ブロックに作用する地下水位が把握できるとともに、地下水の水みちや帯水層、地質の破碎部の分布等が把握できる詳細度 300 を採用した。

「地すべり防止施設の CIM モデル」については、地すべり防止施設の主構造の正確な外形形状(長さ、口径等)が判断できるモデルとして、詳細度 300 を採用した。なお、参考として、詳細度 400 では、詳細度 300 に加えて本体の細部構造、及び配筋等も含めて正確に表現するモデルである。

地質調査結果については、縦断方向、横断方向の各地質断面を準 3 次元地質断面図モデル(図-5)として整理し、また、ボーリング調査結果については、ボーリング柱状図、及びボーリングコア写真を属性情報をリンクさせている(図-6)。

なお、BIM/CIM モデルを構築するために使用したデータは、測量成果(レーザプロファイラデータ、オルソ画像)、地質調査成果(ボーリングデータ、地質平面図、地質縦断図、地下水位データ)、対策工検討成果(横ボーリング工)である。



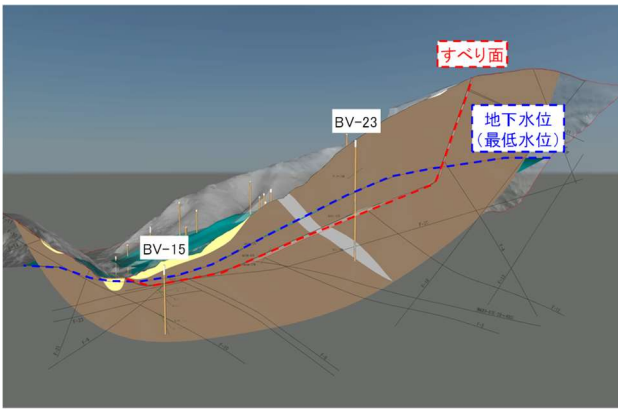


図-5 準3次元地質断面図モデル(パネルダイアグラム)

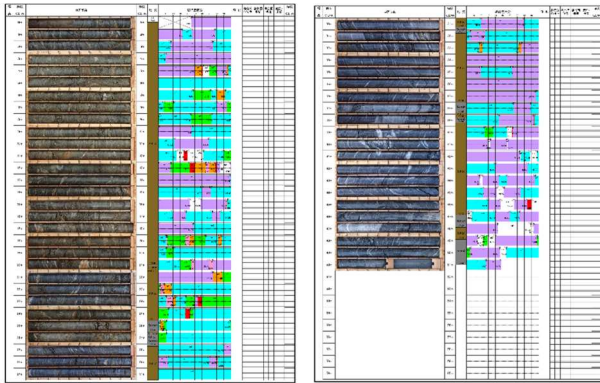


図-6 ボーリング調査地点情報

### (3) BIM/CIMモデルの活用

#### a) 地すべり移動体、地下水分布の三次元的な把握 対策工の効果的位置関係の三次元的検討

地すべり移動体、既往最高水位、既往最低水位については、三次元モデルを作成しており、これにより地すべり移動体と地下水の分布や相互の関係の把握、また、妥当性の確認ができるものとしている。三次元化することで、地下水位分布(既往最高・既往最低)と横ボーリング工の位置関係も明確にすることができる(図-7)。

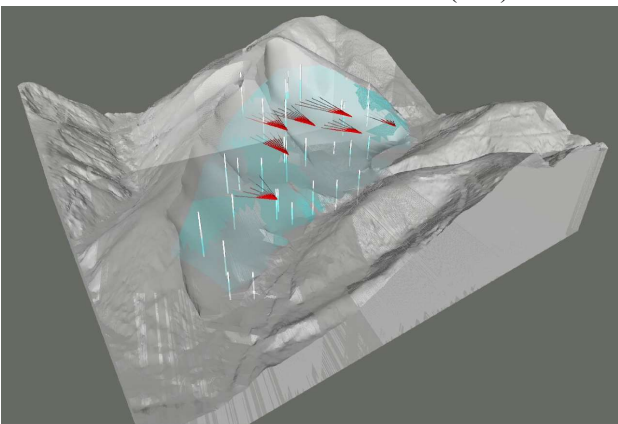


図-7 BIM/CIMモデル(地下水・横ボーリング工)

作成した BIM/CIM モデルについては、受発注者間の打合せにも用いており、複数のマウスにて受発注者双方が BIM/CIM モデルの操作を行い、地すべりブロック、

地下水位、対策工の複雑な位置関係の理解を容易にし、対策工の効果的な設計に活用を図っている(写真-6)。

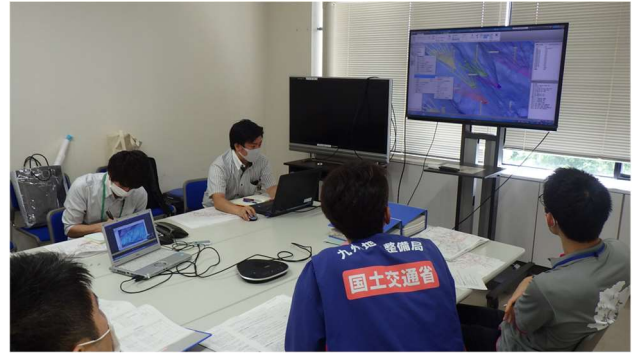


写真-6 BIM/CIMを用いた受発注者の打合せ

なお、三次元モデルを用いた設計を行う中での設計の効率化の一例として、横ボーリングと既存の水位観測孔の干渉の確認(図-8)や横ボーリングがすべり面に対して陥入量が不足する状況(図-9)等を容易に視覚的に明らかにすることができた。

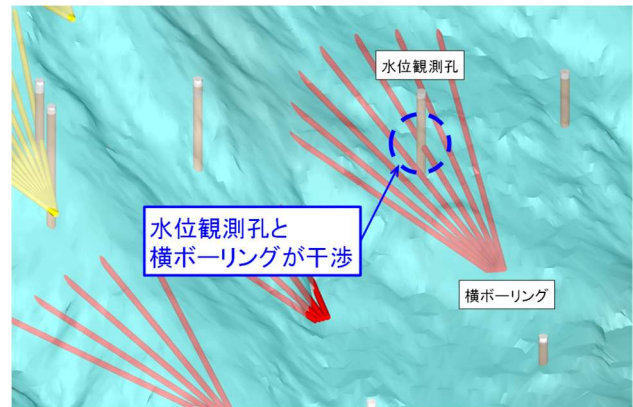


図-8 水位観測孔と横ボーリングの位置関係

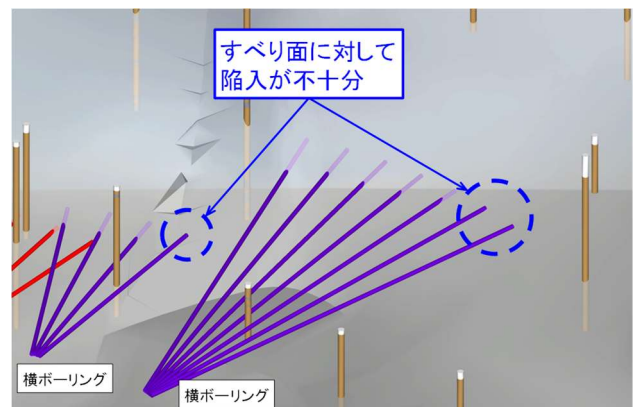


図-9 横ボーリングとすべり面の位置関係

#### b) 各種協議における合意形成と判断の迅速化

BIM/CIMモデルは、関係機関との打合せなどで、スクリーンなど大画面に映し出すことにより、同一内容・同一レベルの情報を多数の参加者で共有することができる。その結果、複雑な構造等に関する誤認の回避や、合意形成時間の短縮と判断の迅速化を可能とした(写真-7)。



写真-7 BIM/CIMを用いた(国研)土木研究所との打合せ状況

また、諸協議における地すべり移動体の分布形態を視覚的に把握することを目的として、三次元化した地すべり移動体のデータを基に 3D プリンタによる模型の製作を行った(写真-8)。



写真-8 3Dプリンタによる模型

模型を用いることで、地すべり面の強度定数等の諸元と地すべり移動体形状の関係の理解が促進されるなど、関係機関との協議を円滑に進めることを可能とした(写真-9)。



写真-9 3D模型を用いた(国研)土木研究所との打合せ状況  
(国研)土木研究所との打合せに BIM/CIM モデル、及び

3D プリンタによる模型を用いており、(国研)土木研究所から、BIM/CIM 活用に関する以下の見解を得た。

- ・ CIM では、地下水位や対策工の表示条件を変えて具体的に確認しながら協議できた。今後も積極的に推進すべきである。
- ・ CIM は結果を一方的に見せるのではなく、協議の中で双方が使用することが効果的である。
- ・ 3D プリンタによる模型で地すべりブロック形状を分かりやすく確認できた。
- ・ CIM を普及させるためには、誰もが自在に使用できるようなインターフェースを開発することが望ましい。
- ・ VR に発展させる技術開発のアイデアもある。

### c) BIM/CIM に関する今後の展開

今後は、横ボーリング工による地下水低下状況を三次元的に把握し追加対策の必要性の検討に用いることや、施工後に地中位置の把握が困難な横ボーリング等の地下構造物を三次元的に記録することで、地中での位置関係の把握を容易にすることが期待される。また、地下水位などの観測成果や施設点検の結果等と BIM/CIM モデルをリンクさせ、日常的に情報の集約・統合を図ることで、維持管理情報の一元管理とともに資料検索を容易にし、維持管理の効率化・高度化を図るための検討が必要と考えている。

## 5. おわりに

九州北部豪雨復興出張所では、発災直後の平成 29 年 8 月から流域内に堆積した不安定土砂や流木による二次災害防止のため緊急的に応急対策工事に着手し、関係機関と一体となって地域の復旧・復興に全力で取り組んでいるところである。

引き続き、地域の皆様のご協力を頂きながら事業を進め、BIM/CIM などの最新の技術も駆使しつつ、赤谷川流域における土砂災害対策のさらなる推進を図っていきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：地すべり防止技術指針同解説，2008
- 2) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン（案）第 9 編地すべり編，2019