

三次元CIMを活用した抑制工の配置計画手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令2～令4

担当チーム：地すべりチーム

雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：杉本宏之、判田乾一、吉柳岳志、
竹下航、奥山悠木、高原晃宙、
野坂隆幸

【要旨】

地すべり対策における抑制工を対象に、BIM/CIM を活用した配置計画手法を示すことを目的として検討を行った。応急対策に関する検討として、応急横ボーリング工について BIM/CIM モデル上で仮想横ボーリングモデルをメッシュ状に配置し、配置候補箇所を自動的に抽出する手法を提案し、事例検討を通して作業の省力化や意思決定の迅速化等の効果が明らかとなった。また、恒久対策に関する検討として、BIM/CIM による集水井の配置計画に必要となる地下水位低下量および低下範囲について全国 12 地区の事例を整理し、集水ボーリング設置範囲およびその上流側 10 m 以内の範囲で平均 4 m 程度の水位低下が見られる実態が明らかとなった。

キーワード：地すべり、BIM/CIM、抑制工、施設配置計画

1. はじめに

近年、建設分野で BIM/CIM の活用が進められており、地すべり分野においても標準的なモデルが示されており、地すべり対策における施設配置計画に BIM/CIM を活用することにより応急対策・恒久対策それぞれでメリットが想定される。応急対策については、発災後のカラー点群データや CAD の設計支援機能の活用により現地状況の把握や最適な配置計画の検討が可能となり、応急対策への迅速な着手が可能になると期待される。恒久対策については、BIM/CIM の活用によりすべり面形状や三次元的な地下水分布を考慮した効果的な施設配置の検討が可能になると期待される。

一方で、施設配置計画への BIM/CIM 活用にあたってはいくつか留意すべき事項がある。応急対策については、限られた時間の中で BIM/CIM を活用して配置計画を検討する具体的な手法が示されていないこと。恒久対策については、地下水排除工の配置検討に必要な地下水排除工による水位低下量および低下範囲が明らかになっていないこと。また、安定解析も三次元で行うことを考えた場合、計画安全率の設定について参考となる知見が少ないことが挙げられる。

上記に対して、本研究では特に地すべりの抑制工を対象として、BIM/CIM を活用した配置計画手法を示すことを目的に以下の検討を行った。

応急対策については、応急対策として施工されることの多い横ボーリング工および押え盛土工を対象とし

て、以下の検討を行った。

- BIM/CIMを活用した応急横ボーリング工の配置計画に関する検討
 - BIM/CIMを活用した応急押え盛土工の配置計画に関する検討
- 恒久対策については、恒久対策として施工されることの多い集水井を対象として以下の検討を行った。
- BIM/CIMを活用した集水井の配置計画に関する検討
- さらに、三次元安定解析を用いる場合の計画安全率の設定手法に関して、以下の検討を行った。
- 三次元安定解析における計画安全率に関する検討
- 本研究における検討項目を整理すると図-1の通りである。以降では、検討項目ごとに研究内容とその成果について述べる。

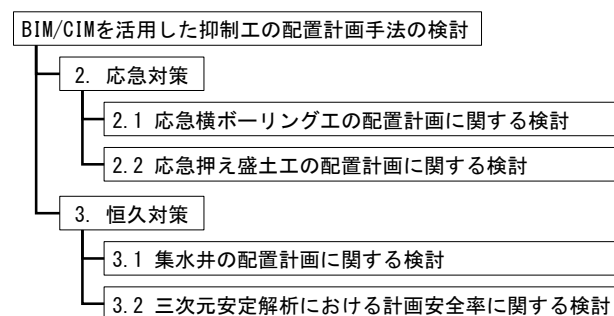


図-1 本研究における検討項目の体系
(番号は以降の章番号と対応)

2. 応急対策への BIM/CIM 活用に関する検討

2.1 BIM/CIM を活用した応急横ボーリング工の配置計画に関する検討

2.1.1 研究目的

地すべり災害発生直後に応急的な地下水排除を目的として計画される応急横ボーリング工は、工事の安全性の面から地すべりブロック外から施工される場合が多い。しかし、ブロック外から地すべりのすべり面に横ボーリングが到達可能な箇所を見つけることは容易ではなく、配置計画の検討に時間を要する場合がある。

そこで、「地すべり災害対応の BIM/CIM モデル」²⁾を応急横ボーリング工の配置計画に活用し、すべり面に到達可能な箇所を三次元モデル上で自動抽出することができれば、作業の省力化が可能となり、配置計画の迅速化が期待される。

本検討では、BIM/CIM モデルを活用して応急横ボーリング工の配置計画を行う手法について検討するとともに、実際の災害事例を対象に本手法を試行し、適用性や利点の整理を行った。

2.1.2 研究方法

手法の検討においては、地すべり災害対応の BIM/CIM モデルの作成から配置候補箇所の抽出、施工優先箇所選定までの全体の作業手順をまとめるとともに、各項目における具体的な検討方法を整理した。

災害事例における試行では、実際に応急横ボーリング工が施工された長野県長野市小松原地区を対象に検討を行い、本手法の適用性や利点を整理した。

2.1.3 研究結果

(1) 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、仮想的に横ボーリングモデルを地表面モデル上に多数配置し、ブロック外からすべり面に到達可能なものを抽出する。更に、施工困難な箇所を除外し、それらについて優先的に施工する箇所を選定する手順とした。以下で、各項目について説明する。

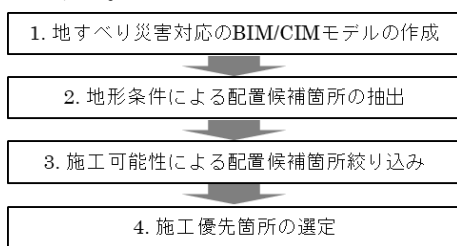


図-2 BIM/CIM による配置計画手順

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域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を作成する。

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決める必要があるが、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。

② 地形条件による配置候補箇所抽出

応急横ボーリングの延長 50m 程度、仰角 5~10 度、施工箇所を中心として 360 度全周方向に線形モデルを展開した仮想横ボーリングモデルを作成し、地すべりブロック外の地表面上にメッシュ状に配置する。表-1 の項目のイメージの例では、仮想横ボーリングモデルを全周に 30 度ピッチで展開し、平面直交座標の XY 方向に 10 m ピッチで、ボーリング掘削機械の機械高を考慮して地表面上 1 m に配置している。

自動抽出は、3D CAD ソフトに備わっているラインや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。また、地形条件によっては、すべり面貫入前にボーリング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、飛び出すものを除外する。

上記の方法により、すべり面に到達可能な箇所について、応急横ボーリングと地形、すべり面の三次元的な位置を確認して網羅的に抽出する。

③ 施工可能性による配置候補箇所の絞り込み

抽出された地形条件による配置候補箇所の中には、実際には施工が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と考えられる箇所を除外する。

④ 施工優先箇所の選定

絞り込まれた配置候補箇所数が多い場合、優先順位を付ける必要がある。その際には、地すべり発生の原因となった地下水の排除に効果的と考えられる箇所であることやボーリングの本数がより多く掘削できること、早期に掘削が可能であること等を考慮する。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、応急横ボーリング配置候補箇所とカラー点群データ、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優先箇所を選定する。

(2) 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。対象地は2021年7月に地すべり災害が発生した長野県長野市小松原地区とした。地すべり規模は幅約150m、長さ約240m、最大深さ約26mである(図-3)。

災害対応のBIM/CIMモデルを作成し、仮想横ボーリングモデル(延長50m、仰角5度)を10mメッシュ間隔でブロック外に約750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、42箇所が抽出された。更に施工可能性による絞り込みを行った結果、5箇所まで絞られた(図-4)。本災害現場は、地すべり頭部や側部の溪流部や急斜面について施工性が悪いと判断されることから、最終的に5箇所が選定された。5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り、利点として表-1のように、ミス防止や意思決定の迅速化、作業の自動化による省力化等が挙げられる。



図-3 長野県長野市小松原地区地すべり

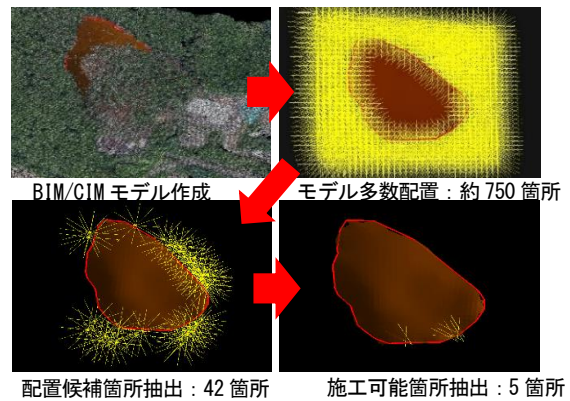


図-4 小松原地区における試行結果

表-1 応急横ボーリング工の配置計画にBIM/CIMを活用する効果

効果	活用目的	活用の概要	利点
視覚化による効果	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を確認する。 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。	検討の作業性の向上、ミス防止
	現場条件の確認	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。	現場作業の手戻り防止
	事業計画の検討	すべり面に到達可能な箇所を網羅的に抽出し、最適な箇所を選定するプロセスが明確になる。	説明性の向上、意思決定の迅速化
省力化・省人化	施設配置の自動化	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自動抽出する。	自動化による省力化

2.2 BIM/CIM を活用した応急押え盛土工の配置計画に関する検討

2.2.1 研究目的

地すべりの応急対策として施工される押え盛土工は、従来は平面図および断面図を用いて配置や形状が計画されることが多いが、以下のような点で課題があった。

- ・道路や建物等の制約条件を考慮した盛土法尻位置の決定に労力を要する
- ・地表面形状が複雑な斜面では現地地形に擦り付ける部分などで、実際の施工には適さない形状になるなどのミスが生じやすい³⁾
- ・盛土により横ボーリング等の排水を阻害しないようにする必要があるが⁴⁾、三次元的な位置関係を考慮した干渉チェックは容易ではない
- ・特に複雑な斜面形状の場合に、正確な盛土量の算定

に労力を要する

上記の課題に対し、押え盛土工の計画に BIM/CIM モデルを活用することでミス防止や省力化のメリットが想定されるが、具体的に検討された事例は多くない。

本研究では、実際の地すべり災害現場を対象に BIM/CIM による応急押え盛土工の配置計画を試行し、BIM/CIM 活用のメリットを整理した。

2.2.2 研究方法

対象とする地すべり災害現場は、長野県長野市小松原地区とした。本地区を対象に作成した地すべり災害対応の BIM/CIM モデルをベースとして、仮想の押え盛土モデルを配置した。また、盛土周辺に仮想の横ボーリングモデルを配置し、盛土との干渉チェックを試行した。さらに、配置した盛土モデルに対して三次元 CAD を用いて土量計算を実施した。これらの作業を通して、応急押え盛土工の配置計画に BIM/CIM を活用するメリットを整理した。

2.2.3 研究結果

(1) 盛土範囲・形状に関する検討

最初に、BIM/CIM モデル上で押え盛土工の配置可能範囲の検討を行った(図-5(a))。その際、カラー点群データを用いて地すべり末端付近に位置する建物との位置関係を確認することで、盛土法尻位置の制約条件を考慮した盛土範囲の検討を容易に実施することができた。

次に、CAD を用いて上記の盛土範囲に合わせた押え盛土の三次元モデルを作成し、BIM/CIM モデル上に配置した(図-5(b))。BIM/CIM モデル上に配置することで、現地形との擦り付け部の形状を三次元的に確認することが可能となり、盛土形状の修正をスムーズに行うことができた。

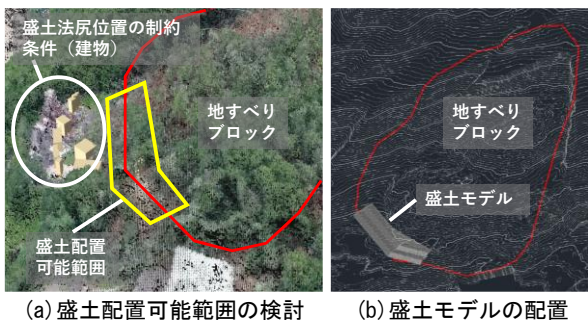


図-5 盛土範囲・形状の検討

(2) 他施設との干渉チェックに関する検討

(1)で配置した押え盛土モデルの周辺に、仮想の横ボーリングモデル(横ボーリング工の配置検討用に360°に横ボーリングを展開したモデル)を配置した。その上で、盛土モデルと横ボーリングモデルの干渉チェックを試行した(図-6)。BIM/CIM モデル上で干渉

チェックを行うことで、各施設の位置関係が三次元的に視覚化され、施設位置の調整を容易に行うことができた。

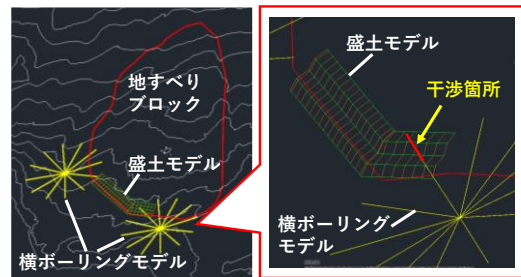


図-6 他施設との干渉チェック

(3) 土量算定に関する検討

(1)で配置した押え盛土モデルについて、三次元 CAD により盛土量を算定した(図-7)。その際、CAD の機能を用いて、現地形と盛土後地形との差分から盛土量を自動的に算定する方法を用いた。これにより、従来の平均断面法等と比較して作業の省力化が図れ、より迅速かつ正確に盛土量を算定できることが確認できた。

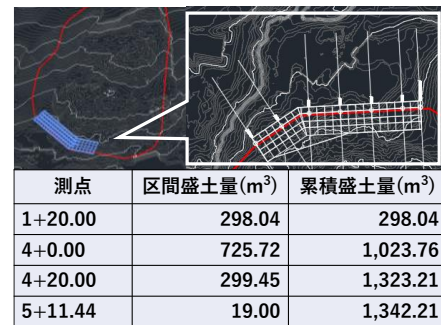


図-7 盛土量の算定

(4) BIM/CIM 活用のメリット整理

以上の検討結果を踏まえ、応急押え盛土工の配置検討に BIM/CIM を活用するメリットを表-2に整理した。BIM/CIM の活用により、配置計画におけるミス防止や省力化の効果が期待できることが確認できた。

表-2 配置計画における BIM/CIM 活用のメリット

活用項目	従来手法の課題	BIM/CIM活用のメリット
盛土範囲・形状の検討	道路や建物等の制約条件を考慮した盛土法尻位置の決定に労力を要する	カラー点群データから建物等との位置関係が確認でき、盛土範囲の検討が容易になる
	地表面形状が複雑な斜面では現地形に擦り付ける部分などで、実際の施工には適さない形状になるなどのミスが生じやすい	現地形との擦り付け部の形状を3次的に確認・修正することができ、ミス防止につながる
他施設との干渉チェック	横ボーリング等の他施設との3次的な位置関係を考慮した干渉チェックに労力を要する	盛土と他施設との位置関係が3次的に視覚化でき、干渉チェックが容易となる
土量算定	特に複雑な斜面形状の場合に、正確な盛土量の算定に労力を要する	3次元CADにより土量算定の自動化が可能となり、作業の省力化が図れる

3. 恒久対策への BIM/CIM 活用に関する検討

3.1 BIM/CIM を活用した集水井の配置計画に関する検討

3.1.1 研究目的

地すべりの地下水排除を目的として計画される集水井の施設配置は、代表測線における縦断的な地下水分布に基づいて検討される場合が多い。しかし、地すべり地における地下水分布には空間的なばらつきが多く、上記の方法では空間的な地下水分布を十分考慮できないことが考えられる。そこで、集水井の配置計画に BIM/CIM を活用し、三次元的な地下水分布を考慮した施設配置が検討できれば、より効率的かつ効果的な配置計画の立案が可能になると期待される。

BIM/CIM による集水井の配置検討にあたっては、集水井の設置による地下水位低下量および低下範囲を想定する必要がある。既往研究⁵⁾では、集水井本体に近いほど地下水位低下量が大きく、その低下範囲は集水井ボーリング設置範囲に限定されることが報告されている。しかし、上記の研究は縦断面における検討であり、平面的な地下水位低下量および低下範囲は必ずしも明らかになっていない。

本研究では、BIM/CIM を活用した集水井の配置計画手法の確立のため、集水井による平面的な地下水位低下量および低下範囲を把握することを目的として、全国の集水井施工事例を収集し分析を行った。

3.1.2 研究方法

(1) データ収集

集水井設置前後の地下水位及び雨量データ、地下水排除工の施工期間データを収集した。収集したデータは、観測孔毎に図-8 のように整理した。本検討で対象とした地区数は12地区、検討に用いた集水井は23基、観測孔は30孔である。

本検討で対象とした地下水位データは、複数の地下水排除工を近接して設置した場合、一基あたりの地下水排除効果が不明瞭になることから、観測孔の近傍で地下水排除工が同時期に複数設置されていない、もしくは地下水排除工が複数設置されても地下水位に変動が見られないデータを対象とした。なお、既往研究⁶⁾を参考とし、集水井から直線距離100m以内の観測孔を対象とした。また、水みちの変化や地下水排除工の集水井機能の劣化を考慮し、集水井設置前、設置後で各々最大で5年間のデータを使用した。対象とした地下水位データは、2000年頃以前は触針式水位計による観測データが含まれており、2000年頃以降は自記式水位計による観測データとなっていた。

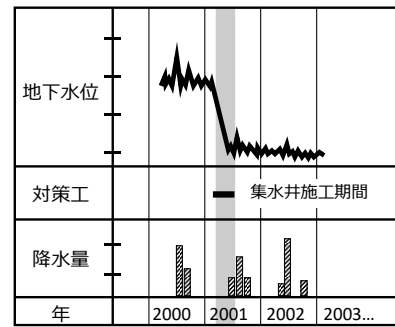


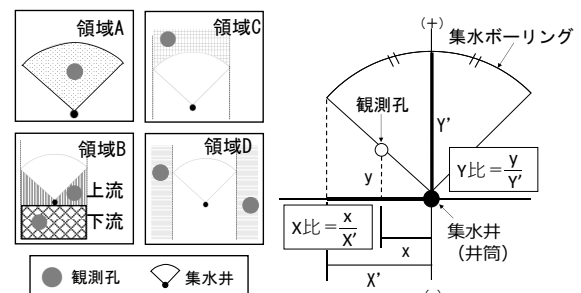
図-8 地下水位-雨量の関係

(2) 地下水位低下範囲の評価方法

既往研究⁵⁾では、地下水位の低下範囲は集水井ボーリング設置範囲に限定されると報告されている。本研究では集水井ボーリング設置範囲に着目し、領域区分を用いる方法と集水井からの距離を用いる方法で評価した。

領域区分を用いる方法では、集水井ボーリング設置範囲の観測孔を領域 A とし、集水井から下流（集水井より上流を領域 B 上流、下流を領域 B 下流）、上流（領域 C）、側方（領域 D）の領域に区分した（図-9(a)）。

集水井からの距離を用いる方法では、集水井により集水井ボーリングの長さが異なることから、集水井から観測孔までの距離を集水井ボーリングの長さによって規格化した。横断方向は、集水井ボーリングの幅と集水井から観測孔までの横断方向の距離の比（以降、X 比とする。）とした。縦断方向は、集水井ボーリング長と集水井から観測孔までの縦断方向の距離の比（以降、Y 比とする。）とした（図-9(b)）。



(a) 領域区分による方法 (b) 集水井からの距離による方法

図-9 地下水位低下範囲の評価方法

(3) 地下水位低下量の評価方法

地下水位は降雨に伴って変動するため、地下水位低下量の評価方法には、降雨時または無降雨時の地下水位を用いるいくつかの方法が考えられる。地下水位低下量は、観測孔毎に日最高地下水位（触針式水位計による観測データの場合は観測時地下水位）と日雨量または3日間累積雨量の関係をプロットし、集水井設置の前と後それぞれで線形近似した地下水位の差とした

(図-10)。地下水位低下量を評価する降雨条件は下記の2通りについて整理した。なお、100年確率日雨量は、対象地区から最近傍の観測地点のアメダス雨量データから、(一財)国土技術研究センターの水文統計ユーティリティ Ver1.5⁷⁾ を用いて計算した。

- (a) 100年確率日雨量時
- (b) 対象期間中の最大および最小3日間累積雨量時

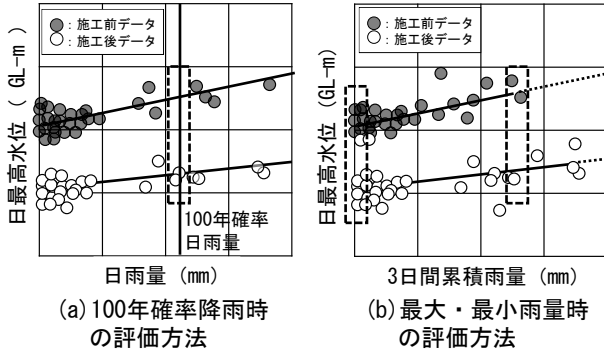


図-10 地下水位低下量の評価方法

3.1.3 研究結果

(1) 地下水位低下量の評価

検討にあたっては、地下水位低下量の変化が大きいと考えられる領域 A で確認した。収集した地下水位データは経験降雨が 100 年確率降雨に満たないため、100 年確率降雨時の評価方法の場合、評価する地下水位が外挿値になるという課題がある。そのため、経験降雨の中で最大・最小雨量時の評価も行った。

図-11 は、最大および最小の 3 日間累積雨量時の地下水位低下量を示している。同一観測孔を線でつないで表示した。結果は、最小雨量時より最大雨量時の方が地下水位低下量大きい観測孔がある一方で、両者で地下水位低下量に大きな差がない観測孔も見られた。

図-12 は、集水井から観測孔までの直線距離と地下水位低下量の関係を示している。評価方法 (a) の地下水位低下量は平均 4.2 m、評価方法 (b) の地下水位低下量は平均 3.6 m であった。比較的数量が多い「集水井から 20~50 m 程度の観測孔」について線形近似を試みたが(図には示していない)、いずれも決定係数が 0.1 未満とばらつきが大きい結果となった。

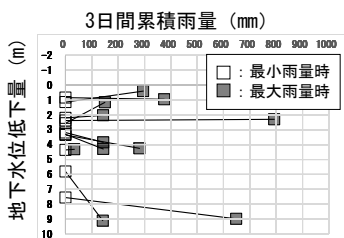
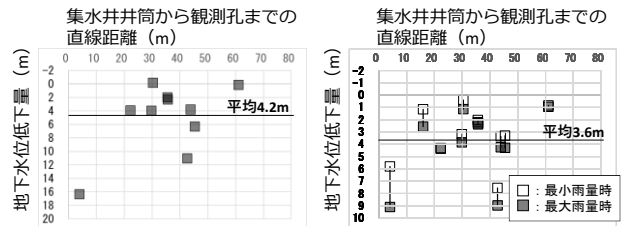


図-11 3日間累積雨量と地下水位低下量の関係 (最大・最小雨量時の評価)



(a) 100年確率降雨時の評価方法 (b) 最大・最小雨量時の評価方法

図-12 集水井から観測孔までの直線距離と地下水位低下量の関係

(2) 地下水位低下範囲の評価

(a) の評価方法の平面的な地下水位低下量の分布状況を図-13 に示す。各領域の地下水位低下量の平均は、領域 A が 4.2 m、領域 B 上流側が 1.1 m、領域 C が 4.5 m、領域 B 下流側および領域 D は 1 m 未満であった。

領域 A で、地下水位低下量 5 m 以上の観測孔は 3 孔あり、X 比 Y 比ともに 0.1 未満の集水井に近い観測孔がある一方で、Y 比 0.8 の集水井ボーリング先端付近の観測孔も確認された。領域 B 上流側にも地下水位低下量 5 m 以上の観測孔が 1 孔あり、X 比-0.6、Y 比 0.2 の位置にある。領域 C の地下水位低下量 5 m 以上の観測孔は 2 孔あり、X 比 0.3~0.8、Y 比 1.0~1.2 の位置にあり、集水井ボーリング先端から約 10m 以内にある。領域 B 下流側および領域 D の地下水位低下量 5 m 以上の観測孔は、確認できなかった。地下水位低下量 5 m 以上の観測孔が確認できた範囲は、集水井から上流方向に集水井ボーリング長の 1.2 倍(実測値で 60 m 程度)、かつ集水井ボーリング幅の 0.8 倍 (実測値で 40 m 程度) の範囲であった。

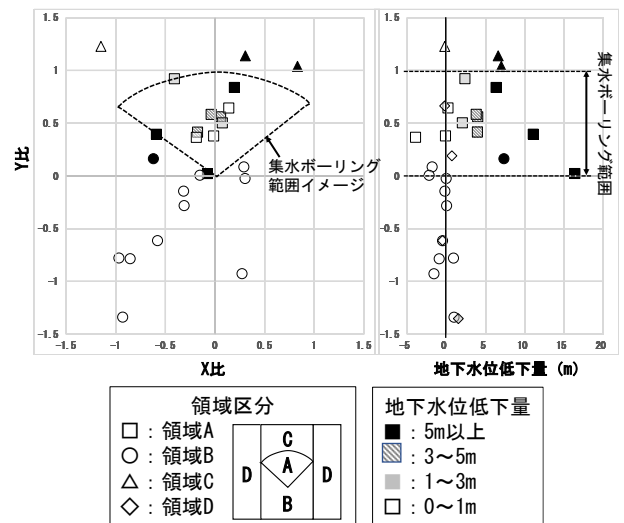


図-13 地下水位低下量の平面分布

3.2 三次元安定解析における計画安全率に関する検討

3.2.1 研究目的

地すべり防止計画において、目標とする安全度を設定し、必要な工事量を決定するために計画安全率を定める。従来、計画安全率は簡便法による二次元安定解析に基づき各地の地すべり地で経験的に定められてきた値を参考として設定されることが多い⁷⁾。一方、大規模かつ複雑な形状の地すべりでは三次元安定解析を用いる事例もあるが、上記の二次元安定解析に基づく経験的な計画安全率そのまま適用できるかは十分検証されていない。今後、BIM/CIMの普及により地すべり調査・計画の三次元化が進み、三次元安定解析の適用事例が増加することが見込まれるため、三次元安定解析を用いる場合の計画安全率の設定に関する考え方を整理することが重要である。

本研究では、そのための第一段階として、三次元安定解析を用いた対策事例を収集し、施工完了後の地すべり変動状況について実態を整理した。

3.2.2 研究方法

全国の地すべり事業箇所より、三次元安定解析を実施しており、対策工の施工が完了している事例を10地区収集した。同一地区の中に複数ブロックが存在する場合は、①計画安全率が最も大きい、②初期安全率が最も小さい、③ブロック規模が大きい条件を満たす1つのブロックを代表ブロックとして整理した。各地区について、初期安全率、計画安全率、施工完了前後の変動状況、施工完了後の経験降雨および経験地震を整理した。これらの情報から、施工完了後に比較的規模の大きい降雨や地震を経験しても大きな地すべり変動が生じていなければ、設定した計画安全率に基づく対策工事により地すべりの必要な安定度が確保できている

ことが確認できると考え、このような整理を行った。

3.2.3 研究結果

10地区の整理結果を表-3に示す。いずれの地区においても、安定解析手法として三次元極限平衡法の1つである修正ホフランド法が使用されていた。初期安全率は0.98~1.00、計画安全率は1.05~1.20であった。

各地区の施工完了前後の地すべり変動状況を整理した。地区ごとに観測計器が異なっていたため、統一的な指標として地すべりの変動種別⁷⁾を用いた。施工完了後の変動種別は、10地区のうち3地区では変動C（ただし一時的な異常変動である可能性が否定できない=変動D疑い）であったが、残り7地区についてはいずれも変動なしであった。ただし、対象地区では2地区を除き施工完了後の観測期間が5年未満と短かったため、十分な評価ができていないことに留意が必要である。

各地区について施工完了後の経験降雨を整理したが、対象期間中に30年確率日降水量を上回る降水量を観測した地区は10地区のうち1地区であり、50年確率日降水量を上回る降水量を観測した地区はなかった。同様に、施工完了後の経験地震を整理したところ、対象期間中に震度4を観測した地区が5地区あったものの、震度5弱以上を観測した地区はなかった。

以上をまとめると、三次元安定解析を実施した10地区について施工完了後の変動状況を整理したところ、3地区で変動C（変動D疑い）、7地区で変動なしであった。ただし2地区を除き観測期間が短いため十分な評価はできなかった。また、施工完了後の経験降雨および経験地震を整理したが、ほとんどの地区で対象期間中に規模の大きい降雨や地震を経験しておらず、対策により地すべりの安定度が十分確保されているか検証することはできなかった。

表-3 三次元安定解析事例の整理結果

地区No.	初期安全率	計画安全率	施工完了年度	変動種別 ※			経験降雨			経験地震 震度4の回数	降雨・地震の対象期間
				施工完了前	施工完了後	施工完了後観測期間	最大日降水量(mm)	30年確率日降水量に対する比	50年確率日降水量に対する比		
1	1.00	1.20	H19	C	変動なし	H20-R3	200	0.90	0.79	1	H20-R3
2	1.00	1.12	H27	B	変動なし	H28-H30	123	0.51	0.45	2	H28-H30
3	0.98	1.15	H15	C	変動なし	H16-H19	119	0.73	0.67	0	H16-H25
4	1.00	1.05	H29	C	変動なし	H30-R1	156	0.79	0.73	1	H30-R1
5	0.98	1.20	H24	C	C(D疑い)	H25	188	0.70	0.64	0	H25-R2
6	0.98	1.10	H25	B	変動なし	H26-H29	103	0.67	0.64	1	H26-H29
7	1.00	1.20	H25	C(D疑い)	C(D疑い)	H26-R1	195	1.02	0.95	0	H26-R1
8	1.00	1.15	H30	変動なし	C(D疑い)	H31-R3	224	0.69	0.60	0	H31-R3
9	0.98	1.20	R2	C	変動なし	R3	302	0.87	0.80	0	R3
10	0.98	1.20	H18	変動なし	変動なし	H19-H20	312	0.73	0.68	1	H19-H30

※変動A：確定変動、変動B：準確定変動、変動C：潜在変動、変動D：異常変動
 ※一時的な異常変動（変動D）である可能性が否定できない場合は「D疑い」と記載

今後、三次元安定解析を用いる場合の計画安全率の設定手法の確立に向けては、本研究で示した整理方法を1つの枠組みとして、さらなる事例の蓄積を進めることが有効であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、地すべりの応急対策および恒久対策として計画される抑制工を対象に、BIM/CIM を活用した配置計画手法を示すことを目的として検討を行った。その結果、応急対策および恒久対策についてそれぞれ以下の成果を得た。

< 応急対策 >

① 応急横ボーリング工

- BIM/CIM モデル上で仮想横ボーリングモデルをメッシュ状に配置し、配置候補箇所を自動的に抽出する手法を提案した。
- 本手法について実際の災害現場を対象に試行を実施した結果、従来手法と比較して作業の自動化による省力化の効果や、配置候補箇所の選定プロセスの明確化による説明性の向上、意思決定の迅速化等の効果が明らかとなった。

② 応急押え盛土工

- BIM/CIM を活用した配置計画手法を実際の災害現場を対象に試行した。
- その結果、盛土と現地地形との擦り付け部の形状を3次元的に確認できミス防止につながることで、3次元CADによる土量計算の自動化により作業の省力化が可能になるなどのメリットが確認された。

< 恒久対策 >

③ 集水井

- BIM/CIM を活用して3次元的に配置計画を検討するために必要となる地下水位低下量および低下範囲について、全国12地区の事例を調査した。
- その結果、集水ボーリング設置範囲内で平均4.2m、集水ボーリングより上流側10m以内の範囲で平均4.5mの水位低下が見られる実態が明らかとなった。

④ 三次元安定解析を用いる場合の計画安全率

- 全国10地区の適用事例について実態を整理した。
- 設定した計画安全率に基づく対策により必要な地すべり安定度が確保されているかを検証する方法として、対策完了後の経験降雨や地震の規模および地すべり変動状況を整理する方法を示した。

参考文献

- 1) 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，2022
- 2) 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
- 3) 杉本宏之・竹下航・今江健太・北村和輝：地すべり対策におけるBIM/CIMの活用—地すべり災害対応のBIM/CIMモデルを中心に—，ダム技術，No.425，2022
- 4) 国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所：地すべり防止技術指針及び同解説，2008
- 5) 丸山晴輝・北島義則：地すべり地における集水井の地下水排除効果に関する検討，日本地すべり学会誌，Vol.33，No.3，pp.13-18，1996
- 6) 天野浄行・松山裕幸：地下水排除工の水位低下の影響圏に関する検討，土木学会年次学術講演会講演概要集 第60回，pp.361-362，2005
- 7) 国土技術研究センター：水文統計ユーティリティ，<https://www.jice.or.jp/tech/software/rivers/hydrology>

RESEARCH ON PLANING METHODS OF LANDSLIDE CONTROL WORKS UTILIZING BIM/CIM

Research Period: FY2020-2022

Research Team: Landslide Research Team

Snow Avalanche and Landslide Research Center

Erosion and Sediment Control Research Group

Author: SUGIMOTO Hiroyuki

HANDA Kenichi

KIRYU Takeshi

TAKESHITA Wataru

OKUYAMA Yuki

TAKAHARA Teruyoshi

NOSAKA Takayuki

Abstract:

We researched on planning method utilizing BIM/CIM, targeting landslide control works planned as emergency and permanent measures. As research on emergency measures, we suggested a planning method of emergency drainage borings utilizing BIM/CIM, that we can automatically extract possible positions to place the borings, by arranging virtual drainage boring models in a grid pattern. Through a case study, we showed the effectiveness such as labor-saving and speedier decision-making. Also, as research on permanent measures, we organized 12 cases in Japan about the amount and extent of groundwater level dropping, required for planning drainage wells utilizing BIM/CIM. As a result, an average of approx. 4 m water level dropping is shown in the area where drainage borings are placed and within 10 m upstream area of it.

Keywords: landslide, BIM/CIM, control works, planning method