

3次元点群データを活用した土工事における 法面損傷リスクの予測と事前対策効果の実証

上武建設株式会社
上武建設株式会社
株式会社 EARTHBRAIN
株式会社 EARTHBRAIN
株式会社 EARTHBRAIN

○ 前田 真司
山田 祐也
岩崎 智朗
谷口 亮
番上 勝久

1. はじめに

日本の建設業界では、人口減少と技能者の高齢化に伴い、生産性向上が求められている。老朽化したインフラの維持管理や新たな都市・地域開発のニーズが高まる中、効率的な施工を実現するためには、より手戻りの少ない施工方法の立案が必要である。国土交通省が推進する i-Construction や BIM/CIM の原則適用により、3次元データの活用が進んでいる。

土工事の中でも、特に多量の土砂の移動を伴う土工事では、地形が日々変化するため、施工土量の進捗把握が重要である。近年、UAV（ドローン）を用いた3次元測量で取得された点群データや3次元設計データを使用した土量算出技術の利用が一般化している。

施工現場において、雨水の適切な排水管理は環境事故防止、第三者公衆災害防止、さらには施工品質の維持において重要な課題である。しかし実際は、対策箇所や内容の判断は多くの場合、現場担当者の経験に依存しており、想定外の豪雨や、長期的な降雨により排水設備のオーバーフローや施工現場外への雨水流出、完成地形の崩壊のリスクが存在する。こうした被害が発生した際には、復旧工事が必要となり、施工コストの増大（利益減）に繋がる可能性がある。中でも一度完成した法面が降雨により損傷することによる手直しは多くの現場で発生していることから、法面損傷の恐れがある箇所を事前に発見し対策することが望ましい。

そこで本研究では、施工進捗把握のために定期的に取得される3次元点群データに着目し、筆者らが従前に考案した雨水表層流解析を活用することで効率的かつ効果的な雨水対策が可能となることを示す。特に完成した法面の損傷リスクに注目し、雨水表層流解析の予測精度を確認する。予測結果に基づき当該箇所に事前対策を行い、法面損傷が予防可能か検証する。

2. 本研究の位置づけ

既往研究では、広域的な流域把握を基にした災害対策が数多く提案されてきた一方で、施工現場のような局所的な雨水対策に関する研究は限定的である。例えば、大窪ほか(2013)や谷口ほか(2023)の研究では、デジタル標高モデル (DEM) や3次元点群データを用いて雨水の集水状況を可視化する手法が提案されている。

大窪ほか(2013)は、デジタル標高モデル (DEM) を用いて豪雨時の雨水の流れを解析し、高速道路への集水状況を可視化する手法を提案している¹⁾。本手法は、主に地表面の水流を追跡し、リスク箇所の可視化に役立つものの、具体的な防災対策の立案方法や効果については言及していない。解析結果を使用した具体的な対策手段の提案やその効果検証については、さらなる検証が必要であると考えられる。

谷口ほか(2023)の研究では、土木施工現場における3次元点群データを活用した雨水の集水状況に関する地理情報解析手法が提示され、施工現場の雨水管理の利便性向上を志向している²⁾。具体的には、3次元点群データをDEMに変換し、現場内の仮設排水地点も考慮した流向解析や累積流量解析を行い、雨水の流路や集水域を解析する手法である。しかし、これらの解析手法の精度検証や有効性評価は行われていない。

本研究は、谷口ほか(2023)の研究で提示された解析手法を使用し、降雨前後の地形との比較を通じて、法面損傷に関するリスク予測精度の確認を行う。加えて、リスク予測箇所に対する事前対策の効果についても検証し、その結果を現場作業者に迅速かつ効率的に情報伝達する方法についても言及する。

本研究の成果は、施工現場での雨水管理の効率化と安全性の向上に寄与し、土木施工における実務的なリスク管理手法の改善とその普及を目指す。

3. 解析の手順

3.1 対象地

検証を行った土木工事現場（図-1）は企業施設用地（開発面積 48.7ha）であり、傾斜地にあるため起伏にとんだ地形である。造成工事としては終盤を迎えており、完成した法面が多数みられることから、雨水が法面に及ぼす影響の把握や、対策した結果の検証が可能である。

3.2 データ収集

UAV（ドローン）を用いて、対象地の 3 次元点群データを定期的を取得した。本解析で使用した点群は水平、鉛直精度ともに±10cm を担保しており、点群密度は 16 point/m²の密度である。

本点群データは高解像度であり、地形の詳細な情報を提供し、3 次元点群ビューワー等による施工進捗のモニタリングが可能となるほか、取得した地形における雨水の流れの予測が可能となる。

3.3 雨水表層流解析の方法

Esri 製の ArcGIS Pro 3.1.2 と 3D Analyst を使用し、取得した 3 次元点群データを TIN データに変換したのち、20cm グリッドの DEM（ラスタ形式）を生成した。続いて、Spatial Analyst を使用し雨水の流路、集水域を解析し、可視化を行った（図-2）。

なお、本解析は地表面の形状を解析対象としており、地下水等の影響や地下への浸透等の考慮はしていない。また、降雨強度を考慮せず均一な水量を仮定して、地形勾配に基づく雨水の流れを解析対象とした。

4. 法面損傷の予測精度検証

4.1 精度検証の方法

降雨前の解析結果と、実際の降雨後の地形データと比較することで、法面損傷の予測精度を確認した。具体的には、降雨前の 2024 年 2 月 19 日に計測した点群を解析し、リスク箇所を目視確認により特定した。法面部分の流路と集水域の形状に着目し、法面法肩部分の集水域が平地の方まで延伸しており、流路が法面上に可視化されているケースを法面損傷リスクがある地点と判別した（図-3）。場所によっては集水域の表示がないケースもあるが、その場合は流路のみで判断した。その後、降雨後に法面損傷箇所を調査し、解析結果と損傷箇所の一致度を目視確認することで解析精度の評価を行った。

降雨前に計測した 3 次元点群データ対して行った雨水表層流解析の結果によると、法面損傷リスク箇所として 11 件抽出することができた（図-4）。

続いて、降雨後の 2 月 29 日に UAV を用いて計測し、法面損傷のリスク箇所が実際に損傷を受けたかどうかを確認した。



図-1 検証現場の航空写真

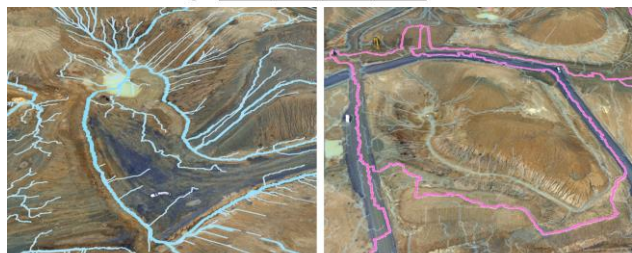


図-2 雨水表層流解析の結果（2024年2月19日地形）

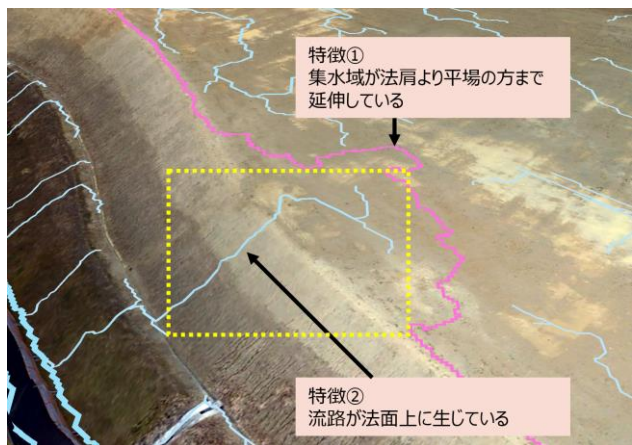


図-3 法面損傷リスクの特徴

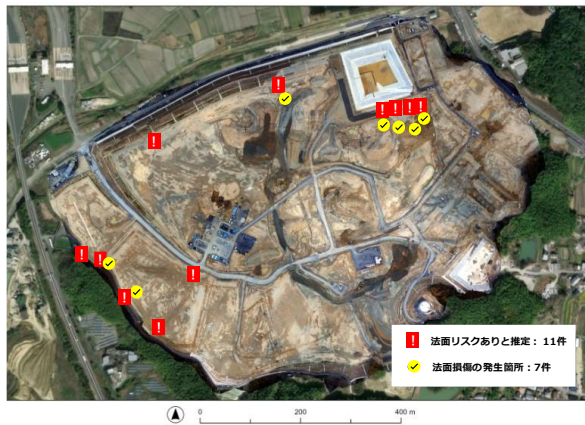


図-4 法面損傷リスクと損傷箇所（2月29日地形）

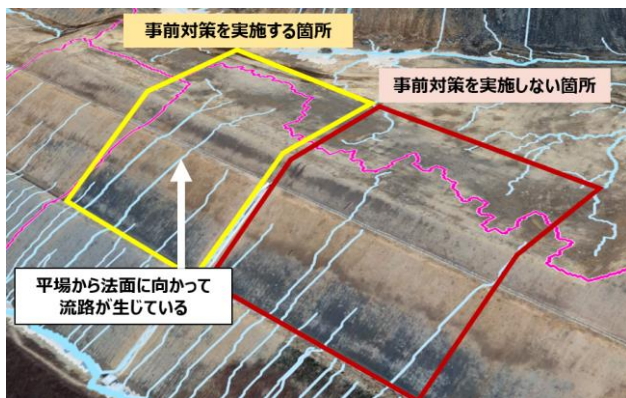


図-5 モデルエリアの設定（2月29日地形）

4.2 精度検証の結果

雨水表層流解析を行った地形で合計7日間（2月19～27日）、計45mm程度降雨を観測した。

降雨後に補修が必要となる法面損傷は7件発生していた。解析結果と比較したところ実際の損傷箇所はすべて事前の解析結果に含まれていることが確認できた（図-4）。なお、解析によって損傷リスクありと示された箇所のうち、4箇所は降雨後に損傷が生じなかった。

5. 法面損傷の予防効果検証

5.1 解析結果を活用した予防検証の方法

本検証では2月29日に計測した点群データに対して解析を行い、法面損傷リスク箇所の抽出を行った。続いてリスク箇所が隣接するエリアをモデルエリアとして設定し（図-5）、その片方のみに対して、法肩部分の法面方向の微小な傾斜部に対して盛土し、堰堤を施工した。これは法面への雨水流出を防ぐことによる、法面損傷の予防が目的である（図-6）。その後再度解析を行い、事前対策を実施した箇所に法面損傷リスクの特徴が存在しないことを確認した（図-7）。対策効果の評価するため、事前対策を講じた箇所と講じていない箇所を比較し、法面損傷の有無を確認した。

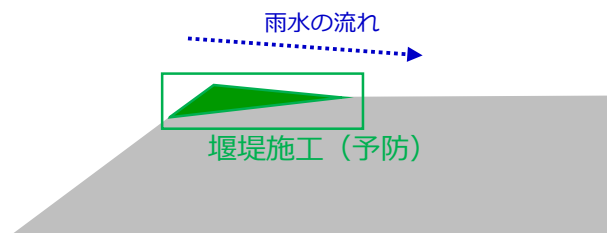


図-6 法面損傷の事前対策方法

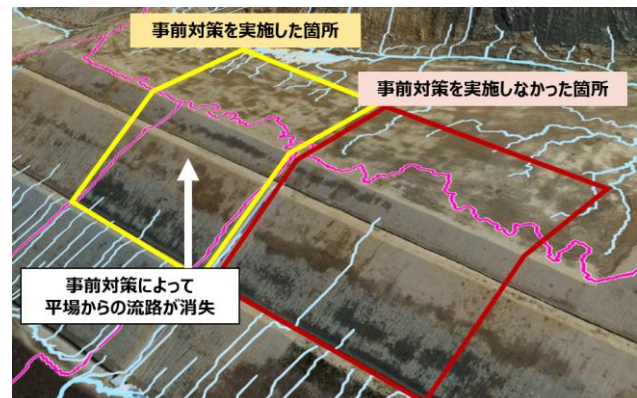


図-7 モデルエリア事前対策後の解析結果（3月22日地形）



図-8 モデルエリア降雨後の法面損傷状況（4月22日地形）

5.2 予防検証の結果

設定したモデルエリアに対して、降雨後の4月22日の地形を目視により対策の有無による法面の状態を確認した。モデルエリアのうち、事前対策を講じた箇所においては法面損傷が確認できなかったが、事前対策を講じなかった箇所では法面の損傷の確認ができた（図-8）。

この結果から、法面損傷リスクを予測し、特定の箇所に対して事前対策を講じることによる予防効果を確認できた。さらに、雨水表層流解析による事前対策が施工現場における損傷リスクの大幅な低減に寄与することを示した。事前対策が行われたエリアでは、損傷が一切発生しなかったことから、データに基づいた対策の重要性が明確となった。

6. データ解析による雨水対策の実践

6.1 現場全体のリスク箇所の情報伝達の方法

(株)EARTHBRAINの3Dビューワーアプリケーション内の注釈機能を活用し、法面損傷リスク箇所に対してマーキングを行った。このマーキングを基に、対策が必要となる可能性がある箇所のマップ(図-9)を作成し作業員に渡すことで、迅速かつ効率的に建設機械による対策作業を開始できることを確認した。この方法により、現場監督と作業員の間でのコミュニケーションが円滑に行われ、リスク箇所への迅速な対応が可能となった。

従来の雨水対策としては現場監督と作業員が一緒に現場巡回をくまなく行い、現地を目視判断によってリスクの評価を行っていた。雨水表層流解析結果を活用し、リスク箇所をマーキングしたマップを作業員に渡すことで、作業員のみで巡回作業を開始することができた。雨水表層流解析によってリスク箇所が可視化されたことで、監督の経験のみに頼らず、現場関係者全員が共通認識を持って対策要否の判断が可能となった。

また仕上がり高さに近づくにつれて、現場の高低差が小さくなり、目視では雨水の流下方向が把握しづらくなったが、本解析により目視では気づかなかったリスク箇所の特定が可能となった。

従来の紙ベースの管理方法と比較して、デジタルツールの導入は作業効率の向上に大きく寄与している。特に、確実な情報共有が可能となることでヒューマンエラーの減少が期待され、現場における手戻りの削減にもつながると考えられる。

さらに、リスク箇所をあらかじめ特定し、周知することで、作業員のみでの降雨前の事前対策作業開始が可能となり、現場監督の負担が軽減された。

6.2 時間削減効果の試算

事前対策による手戻り削減時間の推定においては、令和3年度版国土交通省土木標準積算基準書<共通編>を基に算出した値を使用した。

具体的には、法面損傷の補修作業には、法面整形工の日当たり標準作業量を適用し120分/箇所(4分/m²、30m²/箇所を想定)とした。再度法面損傷が発生することを防ぐため、法肩に堰堤の構築を行う必要があった。この作業時間を路体盛土工の日当たり標準作業量を準用し6.3分/箇所(0.9分/m²、7m²/箇所を想定)とした。降雨後の2月19日時点の地形においては7箇所法面損傷が発生したことから、計884.1分補修作業に要した。

一方、降雨前にリスクの高い11箇所すべてに対して法肩に堰堤を設ける事前対策を講じると、計69.3分となると推定された。このことから補修作業に要する時間を事前対策に置き換えることで、約92.2%の時間削減が見込まれると分かった。

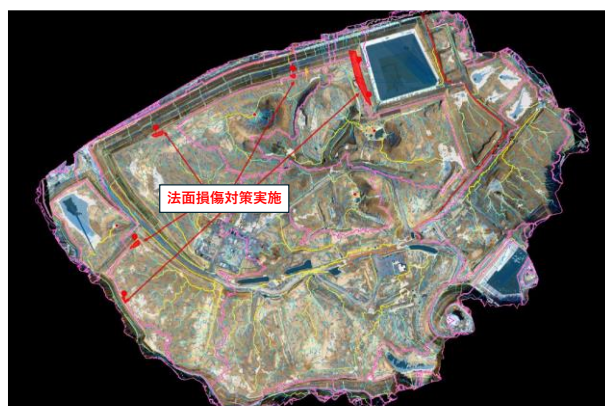


図-9 デジタル上での作業指示

7. まとめ

本研究は、3次元点群データと地理情報解析を用いた雨水リスクの予測および事前対策手法の有効性を実証したものである。主な成果として、以下の点が挙げられる。まず、雨水表層流解析により法面損傷リスクのある箇所を予測した結果、降雨後の法面損傷箇所と多くが一致することを確認した。これにより、解析手法の信頼性が実証され、施工現場における法面損傷のリスク予測手法として有用であることを示した。

さらに、解析結果を基に当該箇所の法肩部分に堰堤を設ける事前対策を講じた結果、法面損傷が予防可能であることを実証し、事前対策により補修作業時間が92.2%削減されることが推定できた。これは、3次元データにより適切に事前リスクを予測し、予測結果に基づき予防保全的に対策する施工管理手法の経済合理性を示すことができたと言える。本研究の成果は、土木施工現場における雨水リスク管理の根本的な改善に寄与するものであり、法面を有する施工現場において、同様の効果が得られるだろう。

今後は、モバイル端末を活用した情報伝達の迅速化と精度向上、さらなるデジタルツールの導入、他の現場での適用事例の蓄積を通じて、解析手法と事前対策の精度と効率をさらに向上させることが重要である。また、雨水管理だけでなく、他の防災管理にも応用可能な技術として、広範な利用が期待される。

参考文献

- 1) 大窪克己・里優・濱田政則：雨水の流線追跡解析による豪雨時の高速道路への集水状況の可視化に関する研究、土木学会論文集F5(土木技術者実践)、69巻・2号、pp.27~35、2013
- 2) 谷口亮・番上勝久・前田真司・山田祐也：土木施工現場における雨水の防災管理に向けた3次元点群データの活用、地理情報システム学会講演論文集、E8-04、2023