

砂防堰堤における3次元土工モデルの活用について(その2)

いであ株式会社 ○菅原 圭吾, 森 克味, 上葛 健太, 鳥居 義仁, 加賀 清

1. はじめに

BIM/CIM (Construction Information Modeling/Management) は、調査・計画・設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工・維持管理の各段階においても「一貫したモデル」を連携・発展・共有することにより、設計者や施工者等の事業全体にわたる効率化・高度化を図るものである。

国土交通省では、令和3年3月に「ICTの全面的活用」を実施する上での監督・検査要領や出来形管理要領等の技術基準類を大幅に更新し、ICT活用工事における新たな契約方式・積算方式の設定に着手する等、令和5年度における「BIM/CIM原則適用」に向けて、様々な取組みを積極的に推進している。

砂防事業におけるBIM/CIMの主な活用目的は、施工時に現場合わせて対応していた事象を未然に防ぐ「施工段階における手戻り防止」と、BIM/CIMと組み合わせた無人化施工による「施工時の安全性向上」が挙げられる。

上葛ら(2020)¹⁾の検証では、地層に応じた床掘勾配設定による自動モデル化ツールの開発を提案し、昨年の井上ら(2021)²⁾の検証では、詳細な地質情報の面的な把握が、3次元土工形状モデルの有効化において最も重要な課題とした。

そこで本論文では、これまでの単一地層ではなく、複数の地層モデルを反映した土工形状モデルを作成し、今後の課題及び対応策を整理した。

2. 施工時に生じる変更内容と地層モデル・土工形状モデルへの課題

砂防工事では、地形・地質の情報不足により設計と現場との不一致が生じることが課題となる。この課題については、主に下記の2点が挙げられる。

- ①推定岩盤線が予定位置に出ない：砂防堰堤は左右岸が張り出した尾根地形に配置することが多く、袖部周辺の地層を推定することが困難であるため、実際に掘削してみると設計時の推定岩盤線と大きく異なることがある。
- ②推定していたより地盤が軟弱である：ボーリングでは把握できない転石や局所的な軟弱部が床掘時に出現し、規定の法勾配で掘削できない。

このように現場条件によって変更が生じた場合、床掘勾配の見直しや吹付工・鉄筋挿入工等の法面对策工による安定化を行う必要がある。

そのため、施工段階における手戻りの防止や無人化施工に向けた「設計から施工までの一貫したモデル」を作成するためには、このような施工現場でその都度対処している変更内容を事前に考慮・反映したモデルとする必要がある。

そこで今回、「設計から施工までの一貫したモデル」の中で、地層モデル及び土工形状モデルに着眼した。

一般的な地質調査(堰堤軸3本、堰堤下流1本)より地層モデルを作成し、地層に応じた床掘勾配設定による自動モデル化ツール(3D掘削モデル作成「KUSSAKU_Kit」,川田テクノシステム(株))を用いて土工形状モデルを作成した。

さらに、追加の地質調査として、砂防堰堤袖部の5m程度上流側で実施した(図-1)。その後、同様に地層モデル、土工形状モデルを作成した。

作成したモデルを比較した結果、追加の地質調査を反映した土工形状モデルの方が、掘削土量が多いことが分かった。

その理由として、堰堤軸の断面では右岸袖部の比較的浅い箇所では岩盤線を推定していたが(図-2)、上流側で実施した地質の追加調査では堰堤軸よりも深い箇所では岩盤が確認された(図-3)。このような局所的な地層の変化に起因して、床掘勾配の変更や切り直しといった変更内容が発生するため、詳細な地質情報の面的な把握が必要である。

ただし、地質調査の追加によって設計段階で詳細な地質状況を把握しても、施工段階において掘削箇所の端部で実際の地層と3次元モデルが異なっていれば、地層モデルを再作成する必要があり、施工時の手戻りの防止には寄与されない。

以上より、施工段階における手戻り防止と無人化施工に向けた一貫したモデルを作成するためには、掘削影響範囲を網羅した広範囲な地質情報の把握と、現場状況が異なっていた場合の対応が必要である。

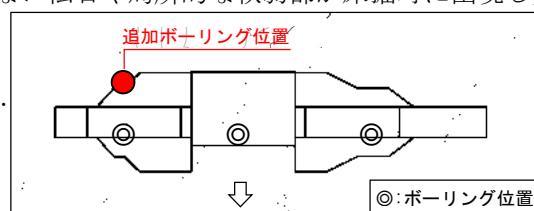


図-1 追加ボーリング位置

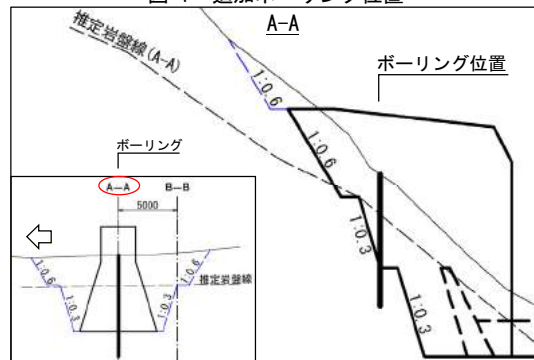


図-2 掘削影響範囲①(堰堤軸:A-A)

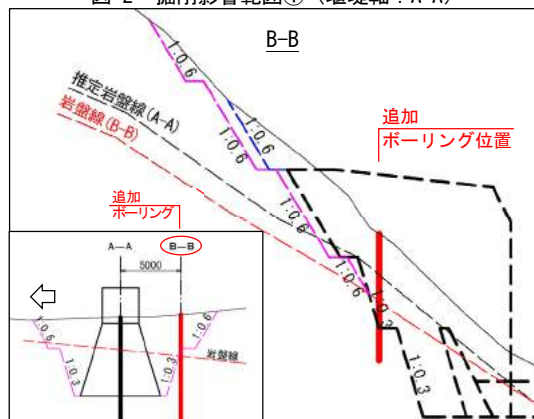


図-3 掘削影響範囲②(堰堤軸上流:B-B)

3. 土工モデルを作成するための課題に対する解決策の提案

複数の地層モデルを反映した3次元土工形状モデルを作成した結果より、詳細な地質情報の面的な把握と、現地の地質状況と地層モデルが異なっていた場合の対応が課題として明らかになった。これらの課題に対する解決策として、モデルを作成する段階で冗長性を持ったモデルの作成が重要であり、以下に「施工時の調整しるを考慮した床掘ルール」及び「地質情報の面的な把握に向けた地質調査方法」を提案する。

施工時の調整しるを考慮した床掘ルール: 床掘勾配の緩勾配化

通常、床掘勾配は「岩盤」の場合1:0.3としているが、地層の切り替わりが生じる段では1ランク落とした「砂礫」の床掘勾配である1:0.6にするなど、あらかじめ緩勾配に設定することにより、確実に床掘法面を自立させる。

また、推定岩盤線より深い岩盤の箇所においても、岩盤が花崗岩などの風化しやすい地質で1:0.3の勾配で自立しないと予想される場合は、床掘勾配の変更に対応できるように、あらかじめ小段幅を広めに設定する。(図-4)

地質情報の面的な把握に向けた地質調査方法: 弾性波探査の実施

砂防堰堤設計時の一般的な地質調査は、堰堤軸3本、堰堤下流1本、計4本のボーリング調査を実施するが、詳細な地質情報を面的に把握するためには、広く浅い情報の取得が望ましい。

そのため、地質調査と弾性波探査の組み合わせを提案する。一般的なボーリング調査に加え、弾性波探査は床掘影響範囲を網羅するよう4測線で実施する。(図-5)これにより、追加の地質調査をせずに地質情報を面的に把握することができる。

また、3次元土工形状モデルを作成して明らかになった課題と、その解決策や今後の検討の方向性について、調査・計画・設計・積算・施工の各段階に分けて整理し、施工業者へのヒアリング結果も記載した。(表-1)

表-1 各段階における課題と解決策

段階	現状の課題	解決策、今後の検討の方向性
調査	・高精度な地表面データが必要である ・地質情報を3次元かつ面的な把握が必要である	・計画堰堤付近および掘削影響範囲の点密度を上げる ・ボーリング調査(4本)と弾性波探査(4本)を実施し、3次元地層モデルを作成する
計画 (概略・予備)	・谷幅が狭く、急峻な地形では、堰堤の掘削影響が非常に大きくなる	・袖嵌入の必要がない人工地山工法の適用を検討する
設計 (詳細)	・施工時に現場条件の不一致による変更が生じないように設計する必要がある (施工時に変更となりやすい事項は以下の通り) ①地質評価によって土量が異なる ②床掘勾配の現場修正が生じる ③施工段階において手戻りが生じる ④床掘端部での擦り付けを現場合わせとする	・変更を見越した対応・対策を事前に考慮して設計する ①②③3次元の詳細な地質情報を面的に把握する ④細かな取り合い部まで隅切り形状を考慮して設計する
設計 (モデル化)	・線形モデルから作成しない場合、納品形式であるLandXML形式に適合しない ・土工形状モデルの修正に手間(コスト、時間)がかかる	・実情に合わせてガイドライン(案)や基準・規定を改定する
積算・施工	・床掘端部で急勾配面が生じるため、労働安全衛生法で定める「掘削面勾配の基準」に適合しない ・異なるソフト間でデータの互換性がない (A社、K社のデータはマシンガイダンスに使用できず、F社のソフトで再作成している)	・冗長性を持ったモデルを作成する 施工時の調整しるを考慮した床掘ルールの適用: 床掘勾配の緩勾配化 ・過掘りを考慮した土工形状モデルを標準とする ・擦り付け端部の隅切り形状を考慮してモデルに反映する ・設計段階でF社のソフトを用いてモデルを作成する ・統一フォーマットの作成を業界全体で取り組む

4. 今後の展望

本論文では、複数の地層を反映した土工形状モデルを作成した結果から明らかになった課題に対して、「施工時の調整しるを考慮した床掘ルール」と「地質情報の面的な把握に向けた地質調査方法」について提案した。さらに、今回明らかになった課題とその解決策や今後の検討の方向性について、調査から施工までの各段階で整理した。施工業者へのヒアリングによると、施工の実態としては、ICT施工は基礎部かつ地質が均一で比較的広範囲であれば効率的であるが、法面の床掘は困難であり、床掘勾配の変更や切り直しが生じるとその都度モデルを作り直す必要がある。しかしながら、地質の情報が面的に事前に把握できていれば、床掘計画時のリスクを事前に想定できることから、地質を3次元化するメリットは大いにあり、BIM/CIMの活用は関係者間の情報共有、リスク共有に有効的なツールである。今後も積極的に3次元モデルを利用していくことで、少しでも課題解決を図り、調査から施工段階における品質向上や生産性向上に向けた取り組みを推進していく。

【参考文献】

- 上葛ら：砂防堰堤における3次元土工モデル、2020年度砂防学会研究発表会概要集、R6-031
- 井上ら：砂防堰堤における3次元土工モデルの活用について、2021年度砂防学会研究発表会概要集、R4-024



図-4 床掘勾配の緩勾配化

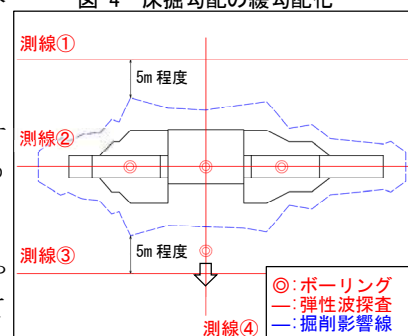


図-5 地質調査提案位置