

砂防堰堤における3次元土工モデル

いであ株式会社 ○上葛 健太, 鳥居 義仁, 木村 啓祐, 森 克味

1. はじめに

BIM/CIM (Construction Information Modeling/Management) は、計画・調査・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、受発注者双方の業務効率化・高度化を図るものである。国土交通省では、令和2年3月に『CIM導入ガイドライン(案)第10編 砂防編』を拡充するなど、i-Constructionの施策のひとつである「ICTの全面的な活用」に対して、BIM/CIMの活用を積極的に推進している。¹⁾

砂防事業では、狭隘な施工スペースや法面の崩壊の危険性が高いこと等の現場特性から安全性の向上が求められており、そのための無人化施工に向けてCIMモデルの活用が期待されている。しかし、現状では設計段階で作成する3次元モデルが2次元の図面をベースに作られており、床掘り端部では実際の施工に適さないモデルとなっていることから、施工時に改めて部分的な3次元モデルを作成するなど、「一貫したモデル」が作成出来ていない状況にあり、CIMモデル活用の障害となっている。

昨年の増田ら(2019)²⁾の検証結果では、砂防堰堤の3次元設計により、数量算出や施工計画で一定の効果が得られるものの、これまで施工段階で行っていた“現場合わせ”をどのように設計で考慮し、どのようにモデル作成するかが今後の課題であると提言している。

そこで本論文では、施工時に“現場合わせ”を行わないで済むような3次元土工形状モデルの作成方法を検討し、そのモデルを導入することによる波及効果について整理した。また、今後、フロントローディングを実践していくために必要となる検討課題とその解決策や検討の方向性について取りまとめた。

2. 砂防土工における土工形状モデルの作成

砂防土工における土工形状モデルの基本的な考え方は、ガイドライン³⁾で道路土工を例として示されている。しかし、道路土工と砂防土工では、縦断方向や延長、断面変化点、勾配等で条件が大きく異なるため、ガイドラインの手順通りに線形モデルから作成した場合、①断面変化点、②現況地形との境界、③切り盛りの境界等が適切に反映されない問題があった。(図-1: Aモデル)

そこで、最初から3次元地形を基にモデルを作成する方法を検討した。まず、堰堤底面の掘削面を決めて、縦横断方向に中心線を引き、それぞれで横断形を設定する。さらに、縦断と横断の間を分割するような方向にも断面方向を設定して同様の処理とする。これを地形に合わせて放射線状に設定していくことで、複雑な地形に合わせたモデル作成を可能とした。(図-2: Bモデル)

3. 土工形状モデルで求める効果と現状の課題

3次元土工形状モデル(Bモデル)を作成することにより、これまで部分的にしか適用されていなかった情報化施工を一層拡大して適用出来ることになる他、無人化施工や、現場不一致による条件変更が少ない施工が可能になると考えられる。

また、それらによって求める効果を、生産性向上や品質確保、安全性向上、担い手確保などに分類して整理した。(表-1)

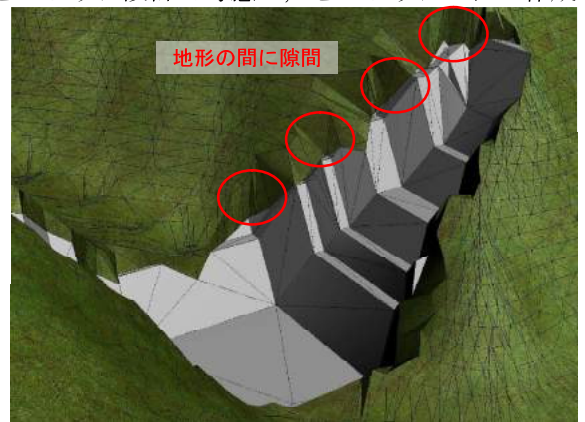


図-1 ガイドラインに基づくモデル(Aモデル)

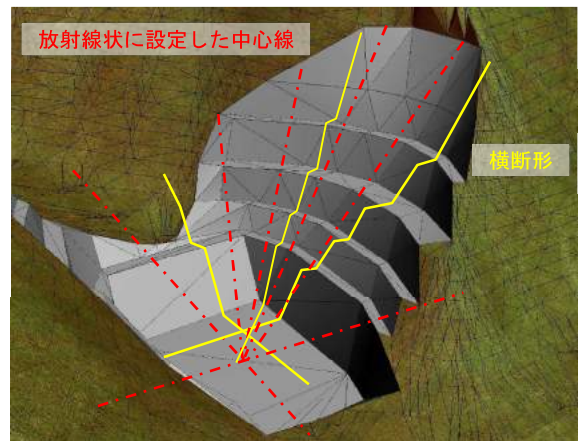


図-2 3次元地形から直接作るモデル(Bモデル)

表-1 Bモデル作成による効果と課題

実現可能となる内容	効果の分類	求める効果	現状の課題
情報化施工の適用範囲の拡大	生産性向上	・測量などの計測作業の合理化 ・建設機械の自動制御による品質、精度の向上 ・丁張なしの施工による施工効率の向上	詳細データの取得 (地形、地質)
	品質確保	・各種帳票作成作業や出来形管理の効率化 ・機械施工による施工品質のバラつき低減 ・任意点計測による出来形管理の精度向上	
無人化施工の実現	安全性向上	・人と機械の分離による安全性の確保 ・災害時や危険箇所における迅速な対応	現場不一致の解消 (地形、取付け)
	担い手確保	・女性や高齢者等の多様な人材の活用	
条件変更の少ない施工の実現	生産性向上	・手戻り防止、条件変更による作業中断の防止	現場合わせの解消 (過掘り、経験)
	担い手確保	・“現場合わせ”に対応した熟練技術者以外の人材登用	
			形式・基準の統一 (ガイドライン、納品形式)

4. 土工形状モデルを作成するための課題に対する解決策

実際の砂防堰堤詳細設計で、3次元土工形状モデル（Bモデル）を作成した結果から明らかになった課題や、今後、派生して生じる影響について、調査・計画・設計・積算・施工の各段階に分けて整理した。（表-2）

- (1) 調査段階：起工測量や施工中に大きな設計変更が生じないように、高精度な地形モデルの作成や、3次元的に地層を把握する必要がある。（図-3）ただし、単に精度向上を図ると調査期間や費用が増大するため、変更が生じやすい範囲のみ重点的に行うなどメリハリをつけることが重要である。
- (2) 計画段階：谷幅が狭く急峻な地形である程、過掘りを考慮した場合の掘削影響が大きくなるため、不経済となることが考えられる。透過型砂防堰堤の場合、袖嵌入による止水が必要ないため、人工地山工法（図-4）を適用して谷幅が広い箇所を候補地とする等、考え方の転換を図る必要がある。
- (3) 詳細設計段階：設計-施工で一貫したモデル（図-5）とするため、施工時に現場条件の不一致により掘削影響等が変わらないように、事前に考慮して設計する必要がある。特に、切土勾配の変更や斜面崩壊による斜面の切り直しや、法面对策工をあとから追加施工することは大きな手戻りとなり、無人化施工を行う上でも大きな障害となるため、調査・設計費にコストをかけて、十分精査・検討しておく必要がある。
- (4) モデル化の段階：地形変化点等で地形モデルとの間に隙間が生じて作図エラーとなりやすい。そのため、最初から3次元地形ベースで設計する必要がある。その結果、納品形式である LandXML 形式⁴⁾ではモデルを表現しきれないため、手引き⁵⁾等の改定も合わせて検討する必要がある。また、簡単にモデル修正が出来るツールの開発（モデリング手法の改善、地層に応じた自動勾配設定による作図機能など）も必要である。
- (5) 積算・施工段階：労働安全衛生法の切土勾配の基準に適合しない切土端部で生じる急勾配の法面については、これまで過掘り対応等で施工業者に委ねられていたが、過掘り形状を標準とすることにより、労働安全衛生法を順守・徹底することが可能となり、労働災害の減少などの労働安全災害防止効果が得られると考えられる。

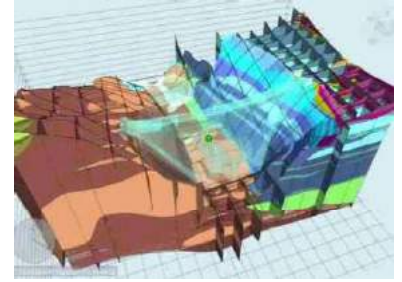


図-3 3次元地盤モデルの例



図-4 人工地山工法の事例



図-5 設計-施工モデル（土工形状+堰堤）

表-2 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	<ul style="list-style-type: none"> ・高精度な地表面データが必要である ・3次元的に地層を把握する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画堰堤付近および掘削影響範囲の点密度を上げる ・3次元地盤モデル作成や3次元地層解析等を実施・反映する ・ボーリング調査(上流側斜面等)や物理探査(弾性波探査等)を追加する
計画 (概略・予備)	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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)	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・変更を見越した対応・対策を事前に考慮して設計する
	<ul style="list-style-type: none"> ①地層区分の見直しにより、緩い勾配に切り直す 	<ul style="list-style-type: none"> ①地質調査で3次元的に地層を把握する
	<ul style="list-style-type: none"> ②軟弱地盤の出現により、再度上段から切り直す 地盤によっては、法面对策工をあとから追加施工する 	<ul style="list-style-type: none"> ②床掘り時の斜面安定計算を必ず実施する 切土斜面頭部は切土補強(鉄筋挿入、吹付工)を標準とする
設計 (モデル化)	<ul style="list-style-type: none"> ③切土端部での擦り付けを現場合わせとする 	<ul style="list-style-type: none"> ③細かな取り合い部まで隅切り形状を考慮して設計する
	<ul style="list-style-type: none"> ・地形変化点や取合い部で作図エラーが発生するため、線形モデルからの3次元モデル化が困難である 	<ul style="list-style-type: none"> ・線形モデルから作成せずに、3次元地形から直接モデルを作成する
	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・実情に合わせてガイドライン(案)や基準・規定を改定する ・容易に修正可能なモデリング手法やCADの自動作図機能を開発する
積算・施工	<ul style="list-style-type: none"> ・切土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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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

5. 今後の展望

本論文では、砂防事業特有の3次元土工形状モデル（Bモデル）を作成することによる影響・課題と、想定される今後の解決策の方向性について、調査から施工までの各段階で取りまとめた。特に、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、施工時に生じる変更内容をあらかじめ想定してモデルに反映しておくことが重要である。今後も積極的に3次元モデルを利用することで、少しずつでも課題解決を図り、設計・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】

- 1) 『3次元データ利活用方針』, 平成29年11月 国土交通省
- 2) 増田ら：砂防堰堤におけるCIMの活用事例, 2019年度砂防学会研究発表会概要集, R6-017
- 3) 『CIM導入ガイドライン(案)第2編 土工編』, 令和元年5月 国土交通省
- 4) 『LandXML1.2に準じた3次元設計データ交換標準の運用ガイドライン(案)』, 平成31年3月 国土交通省大臣官房技術調査課
- 5) 『CIM事業における成果品作成の手引き(案)』 令和元年5月 国土交通省大臣官房技術調査課