

### 3次元パラメトリック設計（自動設計）による砂防施設配置の最適化の取組み

パシフィックコンサルタンツ株式会社（株）：○花田 良太、堂ノ脇将光、飛岡 啓之、菊池 将人、黒川 祐梨  
国土交通省 湯沢砂防事務所：鈴木 啓介、戸田 満

#### 1. はじめに

国内では建設現場の生産性向上を図る i-Construction の取組みにおいて、CIM の導入による受発注者双方の業務効率化・高度化が推進されており、令和 2 年 2 月「CIM 導入ガイドライン 第 10 編 砂防編」が公開された。近年砂防分野でも多くの BIM/CIM 活用業務が実施されているが、従来の手法で 2 次元図面を作成した後に 3 次元モデルを作成するため、設計作業時間の短縮による生産性向上は図られているとは言い難い。

一方で、近年土砂災害が頻発しており災害後には早期の災害復旧が求められる。災害復旧の迅速化に向け、災害査定 の簡略化などによる効率化などが進められているものの、施設計画/設計についてはトライアルによる施設規模の設定や、地形地質などに合わせて各箇所合った施設設計などが必要とされるため、設計計算・作図作業に時間を要しており生産性の向上が必要である。

以上を踏まえ、「BIM/CIM 活用による業務効率化・高度化の達成」を目標として、2 次元設計を介さずに直接 3 次元堰堤モデルを作成し、生産性向上を図りながら砂防施設配置計画の最適化を試みた。

#### 2. 対象流域、施設

検討対象流域は、湯沢砂防事務所管内の信濃川水系魚野川支流水無川の左岸支川の高倉沢である。流域諸元及び設計条件を表-1 に示す。本施設は高倉沢の水無川本川との合流手前の谷出口で検討している堰堤で、河床に大量の巨礫が不安定に堆積していること、溪岸部に残る旧土石流堆積物の山脚固定を図るため不透過型を採用した。また、旧土石流堆積物が残るなどの地盤条件からローダムとし、流域全体での効率的な施設整備の観点から堤高は 14.5m とした。

表-1 流域諸元・設計条件

流域面積 (堰堤計画地点)	3.21km <sup>2</sup>
現河床勾配	1/6.8
堰堤高	14.5m
土石流ピーク流量	499.5m <sup>3</sup> /s
土石流流体力	353.9kN/m
最大礫径	3.7m

#### 3. 3次元パラメトリック設計の概要

本検討には、3次元ソフトウェアである CATIA を用いた。3Dモデルの要所にパラメータ（変数）を紐付け、数値と図面形状を連動させることが可能（パラメトリック設計）であるため、砂防堰堤の構造諸元にパラメータを紐付け、2次元モデルを介さずに直接3次元堰堤モデルの設計を行った。主な変数は、以下のとおりである。

表-2 主な設定変数

変数	内容	備考
ダム軸位置	縦断位置起点からの距離によりダム軸を変更する	線形は別途設定が必要
水通り形状 (幅/高さ等)	数値入力することで図面と連動し、側壁位置などが変更される	水深などの計算は別途実施
堤高	数値入力することで地形（根入れ）を踏まえて水通り天端 EL（堤高）を設定	
袖勾配、袖高	数値入力することで図面と連動	
天端幅、上下流法勾配	数値入力することで図面と連動	安定計算は別途実施

これらを数値入力することで、3次元図面が作成され、下記が自動算出される。

- ・施設効果量：堤高、ダム軸を踏まえ、その地点における現河床勾配を自動計算し、これを踏まえ施設効果量（計画捕捉土砂量＋計画土石流発生抑制量）が自動算出される
  - ・堰堤コンクリートボリューム：水通り形状、堤高などを踏まえて三次元でのボリュームが算出される
- なお、地形データは LP 点群データから作成した TIN サーフェスを用いた。

#### 4. 3次元パラメトリック設計による施設配置最適化

通常予備設計での配置設計は3案による比較検討を行うが、直接3次元設計を行うことで効果量などが自動算出されるため、比較的容易に結果を算出することが可能であることから、ダム軸を合計10地点設定し、効率的となる施設配置をトライアルで検討した。結果を以下に示す。溪流の地形特性として、ダム軸が上流にいくほど費用対効果が低下し、最下流で費用対効果が最も大きくなる結果が得られた。ただし、経済性は前庭保護工などを含めて検討すべきではあるが、ソフトの有用性確認のため便宜的に本堰堤のコンクリート量のみを用いている。

表-3 代表地点の比較検討結果

	第1案：予備設計最適案	第2案	第3案
配置概要	本川へ影響なく、左岸支川を避けた位置	第1案+10m上流	第1案+20m上流
平面図			
正面図			
施設概要	堤高：14.5m	堤高：14.5m	堤高：14.5m
施設効果量	17,482m <sup>3</sup> (118%) ◎	16,692m <sup>3</sup> (113%) ○	14,760m <sup>3</sup> (100%) △
経済性	コンクリート(本堤) 85,356(千円) (103.9%) △	コンクリート(本堤) 84,654(千円) (103.0%) △	コンクリート(本堤) 82,188(千円) (100.0%) ○
費用対効果	効果量÷経済性=2.048 (m <sup>3</sup> /万円) ◎	効果量÷経済性=1.972 (m <sup>3</sup> /万円) ○	効果量÷経済性=1.796 (m <sup>3</sup> /万円) △

#### 5. 生産性の向上効果

本設計では、地形及びモデルの組み込みなどの下準備で半日程度、パラメータ入力(ダム軸の変更等)による施設配置のトライアルが半日程度で作業が可能で、概ね1.0人日で作業が可能であった。(ただし、安定計算などの設計計算は別途実施)

これにより通常3案で配置比較検討を実施するところを10案分確認することで、より高頻度に施設配置を確認することができたため、施設配置の最適化を図ることが可能となった。加えて、積雪を前に測量作業に入ることが可能となったこと、また、その後の詳細設計に向けての時間を確保することができるなど、関連業務も含めた全体の効率化を図ることができた。

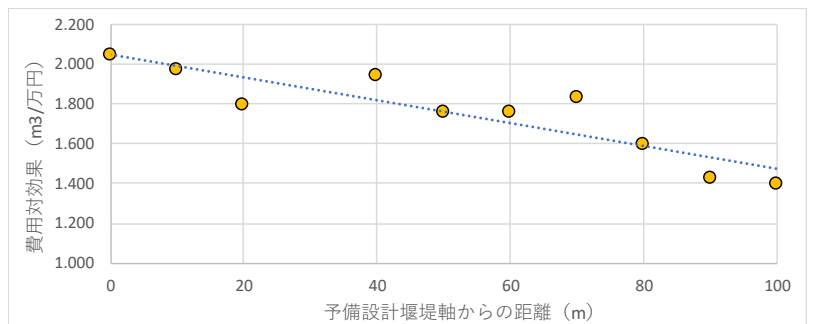


図-1 費用対効果算定結果

#### 5. おわりに

本検討では、「BIM/CIM活用による業務効率化・高度化の達成」を目標に、2次元設計を介さずに直接3次元モデルを作成することで生産性向上を図り、砂防施設配置計画の最適化を試みた。結果、施設配置計画を検討する際の施設効果量の算定や、堰堤形状の作図やコンクリートボリュームの算出などの時間を通常の2次元設計よりも大幅に短縮でき、通常よりもより多くの地点での費用対効果を確認できることから高精度に施設配置の最適化を図ることが可能であった。加えて、計画/設計等の検討時間を短縮化することで測量などの調査工程も確保することができるため、災害復旧などの迅速性を求められる場面などでも活用が可能と考えられる。

一方、近年砂防工としてICT土工などが実施されているが、施工の掘削時に地質状況などが異なるなどの状況が判明し図面の修正などが必要になった場合にも、当初より直接3次元図面の作成を行うことで現場状況に応じて修正しやすい設計が可能になると考えられる。