

砂防堰堤の自動設計モデルの開発について

きくちまさと とびおかさとし どうの わきまさみつ はなだりょう た くろかわ ゆ り
菊池将人¹・飛岡啓之¹・堂ノ脇将光¹・花田 良 太¹・黒川祐梨¹

¹パシフィックコンサルタンツ(株)国土基盤事業本部・防災危機管理部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

BIM/CIMモデル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いる背景から、2次元設計を介さない3次元モデルによる砂防堰堤の自動設計モデルの開発を行った。自動設計モデルは、3次元モデルの要所にパラメータ（変数）を紐付け、入力数値と形状を連動させることが容易に可能（パラメトリック設計）な特徴と、一からモデルの作成を必要とせず、参照データから地形形状に応じて砂防堰堤の3次元モデルが自動作成される特徴を有している。本モデルで配置計画の検討や設計検討した場合の期待できる効果として、設計者の生産性の向上やミスの防止、早期の受発注者間の課題共有や合意形成が実現されることを示した。

Key Words : BIM/CIM, 砂防堰堤, パラメトリック設計, 自動設計

1. 背景と目的

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、調査・計画・設計段階からBIM/CIM (Building/ Construction Information Modeling, Management) モデル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いる¹⁾。BIM/CIMモデルとは、対象とする構造物などの形状を3次元で表現した3次元モデルに、部材名や寸法、数量などの属性情報を組み合わせたものである。

現在、BIM/CIMモデルの多くは、2次元設計図面を基に作成された3次元モデルである。このことから、細部修正が必要となった場合2次元設計図面から修正が必要となり、設計者の作業負担が増加し、ミスも生じやすいという課題がある。

また、地形や地質は場所によって異なるため、基本的には土木構造物は現場ごとの単品生産である。このため、一度作成したBIM/CIMモデルを他の場所で活用することは難しい。場所ごとに3次元モデルを作成しなければならないため、設計作業にかかるリソースの大幅な削減が難しいという課題もある。

さらに、近年土砂災害発生件数の増加と甚大な土砂災害が頻発している。災害発生後には多くの場所で、災害復旧に向けた迅速な施設計画・設計が求められる。その際、施設規模の設定などについて試行作業を必要とするが、現在の作成方法では作業上の労力が大きいため、迅速な災害復旧を進める上での支障となっている。これらから施設規模の設定など

の設計作業の効率化や、受発注者間の早期の合意形成が実現できるよう3次元モデル作成などの設計の高度化が求められている。

以上のように、近年頻発している土砂災害に対する迅速な対応が求められているものの、BIM/CIMモデルを活用した迅速かつ効率的な対応の実現には至っていない。このことから、業務効率化・高度化を目的とし、2次元設計を介さない3次元モデルによる砂防堰堤の自動設計モデルの開発を行った。

2. 自動設計モデルの特徴

(1) 使用ソフトウェア

自動設計モデルの開発には、ダッソー・システムズ株式会社が提供する3次元ソフトウェアである「CATIA 3DEXPERIENCE」を採用した。その理由は下記の通りである。

- ① 現在使用されている3次元CADの中でもハイエンドCADに位置づけられるソフトウェアであり、従来よりも複雑な設計を行うことが可能
- ② ヒストリーCADに分類されるソフトウェアであり、形状の作成履歴を残すことができる。これにより、作成履歴の確認やオペレーターが定めた順序に基づく形状の作成などを行うことができる
- ③ 3次元モデルの要所にパラメータ（変数）を紐付け、入力数値と形状を連動させることが容易に可能（パラメトリック設計）

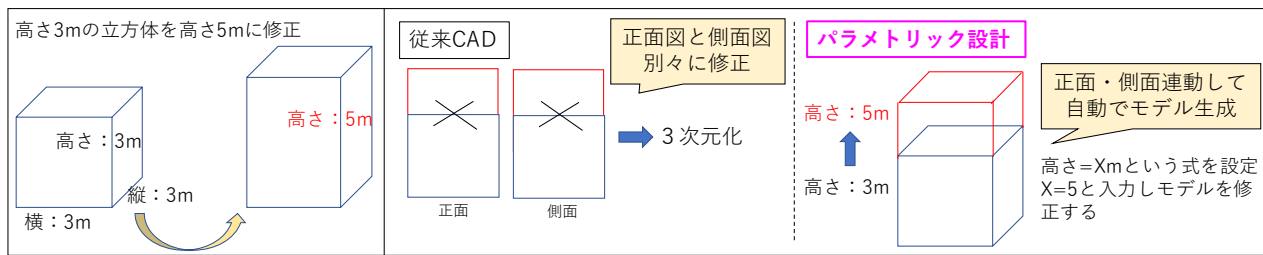


図-1 パラメトリック設計の概要図

(2) パラメトリック設計

パラメトリック設計の概要を図-1 に示す。例えば、CADにおいて立方体の高さを変更したい場合、従来の方法では、正面と側面のそれぞれの正方形を長方形に図化し直した後、3次元にモデル化する必要があった。一方、パラメトリック設計では、立方体の高さと入力数値を紐づけるために「高さ＝ $X[m]$ 」と数式を設定し、 X に変更したい高さである5mを入力するだけで直方体に修正することができる。この機能を活用することにより、設計作業や修正の省力化が望める。また、パラメータ同士で数式を組むことも可能である。例えば、図-2 に示すように、縦の入力数値を「勾配×高さ」と設定することで、高さの入力数値の変更に伴い縦の入力数値も変更される。この機能により、開発した自動設計モデルには、副堰堤や垂直壁の位置を計算する経験式²⁾など、各パラメータ間の相関性に関する設計基準に準拠するように構築している。

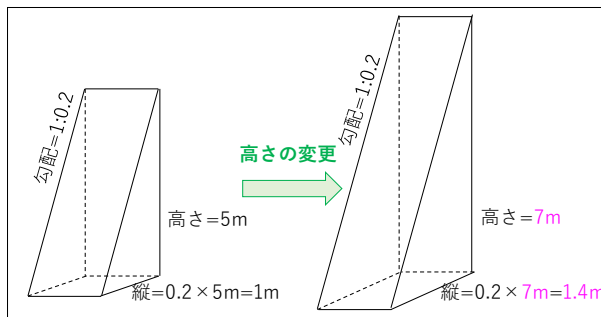


図-2 パラメータ間で数式を組んだパラメトリック設計

(3) モデルのパッケージ化と適用

前述したように、基本的に土木構造物は現場ごとの単品生産であるため、一度作成した3次元モデルを再利用することが難しい。この課題を解決するため、予め設定した設計基準に基づき、基点となる地形や線から砂防堰堤の3次元モデルを自動的に作成するように開発した。具体的には、図-3 と下記に示すロジックに基づき、砂防堰堤の3次元モデルが自動的に作成される。

- ① 地形や中心線などを参照データとして設定
- ② 参照データから、水通し形状や根入れ深、掘削高などの設計基準に基づき3次元モデルを作成
- ③ ①と②をパッケージ化
- ④ ③でパッケージ化したモデルに別の地形や中心線、基準点を参照させる
- ⑤ 別の参照データから、地形形状に応じて砂防堰堤の3次元モデルが自動作成される

このようにモデルを構築したことで、他の場所で砂防堰堤の3次元モデルを作成する際、地形や中心線を参照するだけで、地形形状に応じた砂防堰堤の3次元モデルが自動で作成される。このため、一から3次元モデルを作成する必要はなく、10分程度で砂防堰堤の3次元モデルが作成できる。

3. 自動設計モデルを活用した配置計画・設計

前述した特徴を有する砂防堰堤の自動設計モデルを用いた配置計画の検討や設計検討によって、期待できる効果について以下に示す。

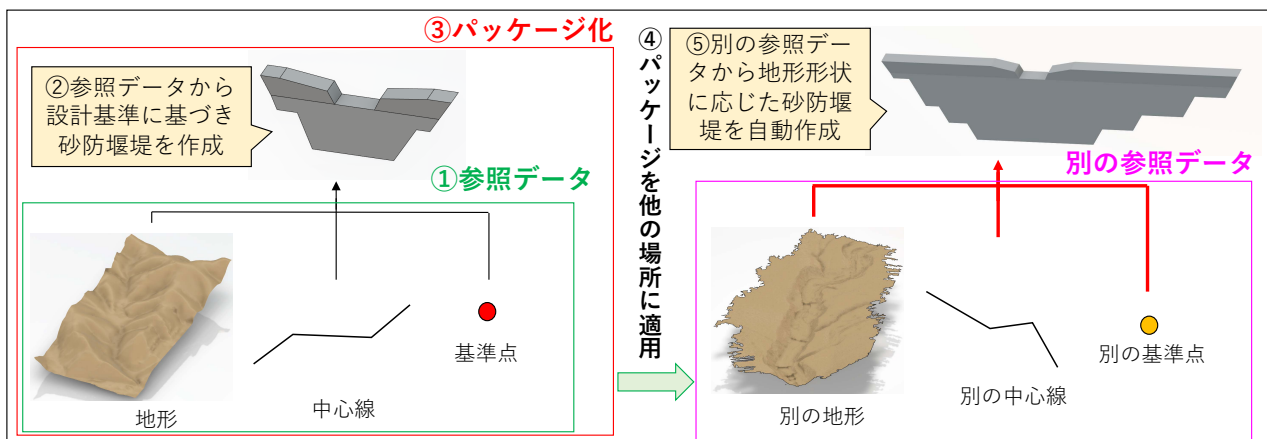


図-3 モデルのパッケージ化と適用の概要図

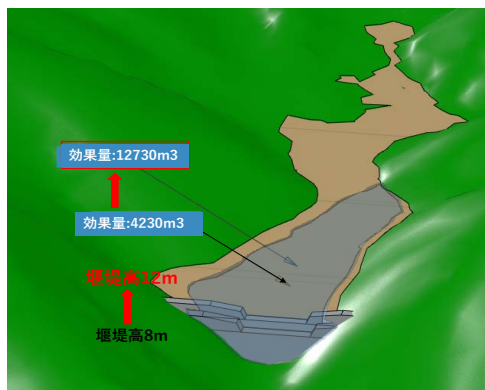


図-4 堰堤高の変更に伴う効果量の自動計算



図-5 堰堤位置変更に伴う効果量及びCoボリューム自動計算

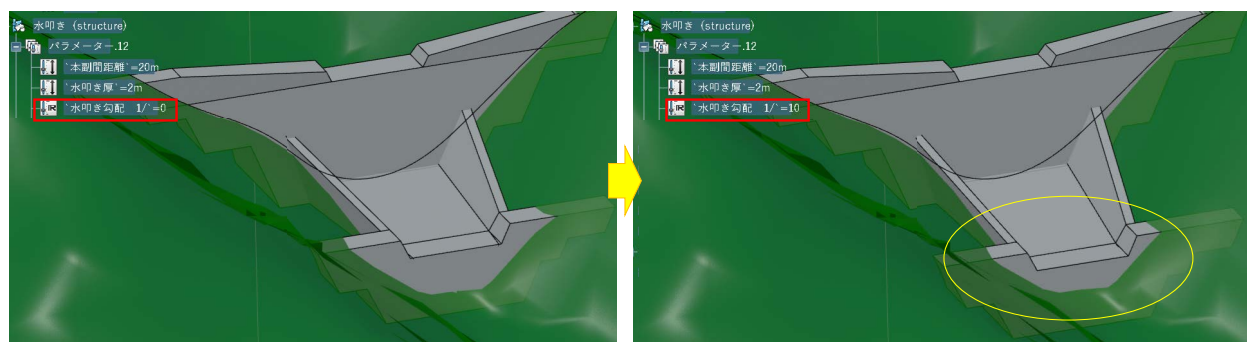


図-6 水叩き勾配を例としたパラメトリック設計

(1) 配置計画検討への活用

自動設計モデルは、堰堤位置や堰堤高をパラメータとして設定し、図-4 と図-5 に示すように、主に下記を自動計算することができる。

- ① 設定した堰堤位置の現河床勾配
- ② 対象の砂防堰堤が捕捉できる土砂量（以下、効果量）
- ③ 地形に応じ段切りした砂防堰堤のコンクリートボリューム

上記3項目は、堰堤位置や堰堤高を変更した場合もその変更に従って自動計算されるため、従来のような堆砂範囲の縦横断面図を作成し、平均断面法で効果量を算出していた方法が半日程度かかるのに対して、本モデルでは10秒程度で効果量を算出できる。このため、計画地点で捕捉すべき目標土砂量に対し必要な施設規模（堰堤高）を算出する試行作業が、極めて短時間で行うことができる。

また、コンクリートボリュームも自動算出されるため、費用対効果に優れる施設配置の設計が、従来手法より短時間で求めることが可能となった。

(2) 設計検討への活用

自動設計モデルでは、堰堤位置や堰堤高以外にも水通し幅や根入れ距離など、施設形状に関わる諸元もパラメータとして設定した。図-6 に示すように、パラメータに数値入力することで、副堰堤や水叩き（プール）といった前庭保護工の形状が連動して変更される。これにより、3次元で地形や支障物を確認しながらパラメータへ数値入力し、前庭保護工も

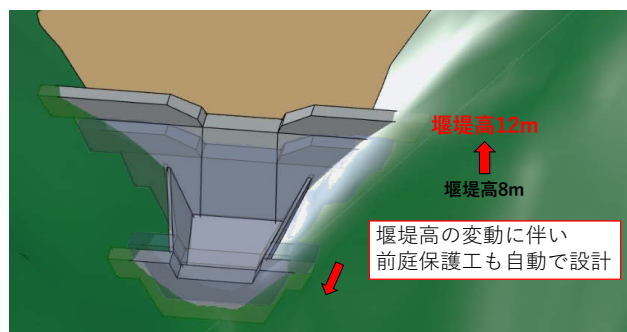


図-7 堰堤高を変更した際の前庭保護工の自動設計

含めた砂防堰堤を設計することが可能となった。

また、本モデルでは、各パラメータ間の相関性に関する設計基準にも準拠するように組み込んでいる。図-7 に示すように、堰堤高により副堰堤・垂直壁の位置を決める経験式をモデルの中に組み込んでいる。このため、効果量の試行作業によって本堰堤の施設規模（堰堤高）が決まった際、副堰堤・垂直壁を含む前庭保護工の位置や規模を自動的に計算した3次元モデルが瞬時に作成される。つまり、施設全体が地形条件や支障物などの問題がないか、従来の手法よりも極めて効率的に確認することができる。これにより、受発注者間の早期の課題共有や合意形成が実現される。

(3) 土工形状や数量の自動算出

自動設計モデルは、前述した前庭保護工を含む施設全体の自動設計に加え、その施設形状に応じた掘削や埋戻し、土工数量を自動的に計算するように開

発した。また、施設形状に連動して掘削、埋戻しを再計算するように構築した。このため、図-8に示すように、施設形状が変化した際、土工形状・土工数量を瞬時に算出することができ、土工数量を含めた計画施設の比較検討が短時間でできる。

さらに、図-9に示すように、本モデルで算出したコンクリートボリュームや土工数量などは、全てExcel形式で出力することができるように構築しており、堰堤位置や施設形状を変更した際の数量比較が容易に可能である。このように、自動かつ容易に比較できることから、数量の計上漏れや修正の未実施などのミス防止が期待される。

4. 今後の展望

本稿では、2次元設計を介さない3次元での砂防堰堤の自動設計により、従来の設計手法と比べ下記の事項について効果が期待でき、設計者の生産性向上に加え、受発注者間の業務効率化・高度化に繋げることができることを示した。

- ① 配置計画の検討において、費用対効果に優れた施設配置を短時間で求めることができる
- ② 本堰堤の施設規模（堰堤高）が決まったあと瞬時に施設全体が自動設計されることにより、3次元で施設全体や地形条件、支障物などの確認が効率的にできるようになった。これにより、受発注者間の早期の課題共有や合意形成が実現される
- ③ 施設形状に関わる数量を自動で計算するため、修正した際の数量の計上漏れなどのミスが防止できる

本稿で示した自動設計モデルは、前述したように、参照データとして設定した地形や中心線などから設計基準に基づき、3次元の砂防堰堤を作成するモデルである。これにより、別の参照データを準備することで、地形形状に応じた3次元の砂防堰堤を自動作成する機能を有している。したがって、自動設計モデルに組み込んだ新しいモデルは、その後設計する別の場所でも自動で作成される。

例えば、図-10に示すように、前述した自動設計モデルの内容に加え、側壁護岸の構造について、地域ごとの構造に切り替えることが可能である。このような地域独自の基準や構造、設計者のノウハウなどをモデルとしてストックすることができ、多機能化させていくことで、設計するたびに高性能なモデルに更新していくことができる。

また、本稿では堰堤高や水叩き勾配のパラメータに数値入力して砂防堰堤の設計ができることを示した。現在は、施設構造の要所をパラメータとして設定し、数値入力より構造形式が決まるモデルとなっている。今後は、外力などの諸条件をパラメータとし自動的に安定計算を実施、その外力を満足するこ

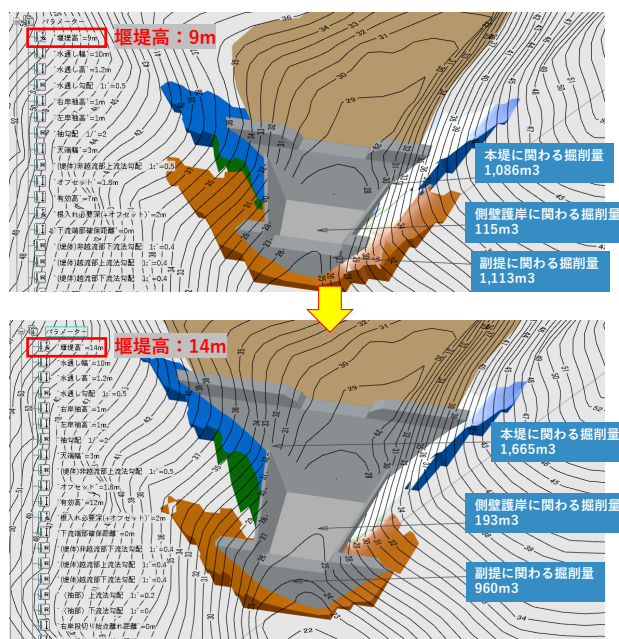


図-8 施設形状に連動した土工形状変化

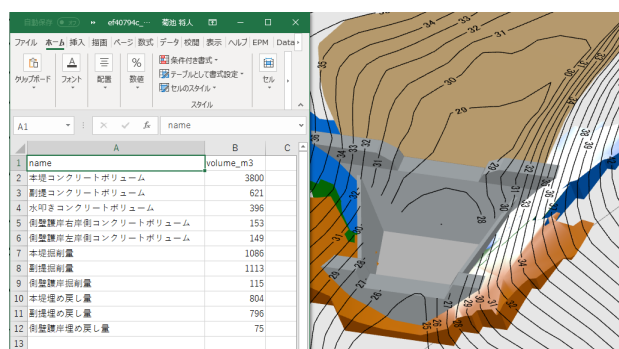


図-9 数量排出概要図

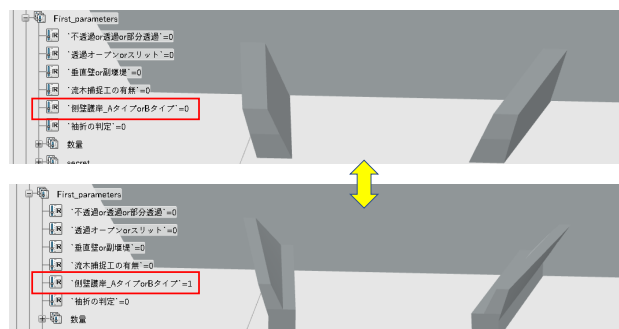


図-10 側壁護岸の構造形式の切り替え

とができる施設形状を作成するモデルを開発する予定である。

謝辞：本稿における自動設計モデルは、ダッソー・システムズ株式会社 和泉弘龍氏にご協力いただき開発をしたものである。深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案），第1編 共通編，第3編 砂防及び地すべり対策編，2021。
- 2) 社団法人 全国治水砂防協会：改訂版 砂防設計公式集（マニュアル），1980。