

パラメトリックモデルと連動した3次元シミュレーションの取り組みについて

パシフィックコンサルタンツ株式会社 ○八十川 伊織・菊池 将人・飛岡 啓之

1. 背景と目的

災害規模の予測や効果的な砂防構造物の検討において、シミュレーション技術は重要である。砂防施設の施設配置計画や予備設計では、施設位置や施設規模の違いによる経済性や施工性、景観性などの要素を比較検討し最適案を決めることが多い。既往災害をシミュレーションによって再現し、その結果を基に砂防施設配置を立案することが行われている事例のように（国総研，2015）、設計とシミュレーションを組み合わせる行うことが、施設の性能を検証するうえで有効である。しかし、設計の比較検討に関しては、施設の性能を検討する必要があるが、シミュレーション技術を用いた検討を行っている事例は多くない。

砂防分野において設計とシミュレーションを行う場合、それぞれで異なるソフトウェアを使用する必要がある。また、設計とシミュレーションとの異なるソフトウェア間の互換性が低いため、データ変換に手間が生じる。例えば、設計では一般的にAutodesk社や株式会社フォーラムエイトなどCADソフトウェアを使用することが多い。一方、土石流のシミュレーションではKanakanoやiRICなどが使用されることが多く、CADとは別で独自のシステム環境で構築されているため、設計結果に関するシミュレーションを行うには各ソフトにあったデータ変換が必要となる場合がある。また、シミュレーション後に設計をやり直す場合、設計位置や規模を変えようとすると多大な時間を要する。

砂防分野でのシミュレーションは、1次元や2次元で行われることが多い。しかし、実際の溪流では堆積や洗堀機構は非常に複雑で、流水の分散・集中による偶然的要因を多分に含む（中村・新谷，1984）。そのため、シミュレーションを行う施設の中でも、施設形状によって土砂捕捉量が大きく異なる遊砂地や、曲線部を設ける流路工等の複雑な構造物については、1次元や2次元のシミュレーションでは実際の現象を再現することが難しいため、3次元シミュレーションを用いる必要性が高い（飯田ら，2023）。

3次元シミュレーションは、数値解析や水理模型実験といった方法があるが、特に水理模型実験が行われることが多い。しかし、水理模型実験も施設の模型の製作やシミュレーションの実施に多大なコス

トと時間を要する。数値解析による3次元シミュレーションでは、1次元や2次元と同様に設計とのソフトウェアの互換性が低いことや、計算が複雑であるためシミュレーションに時間がかかるという課題がある。

これらの課題を解決するため、効率的で実用的な設計と連動した数値解析による3次元のシミュレーション技術開発の取り組みを行っている。設計の効率化を図るため、パラメトリックモデルを用いた設計を使用した。パラメトリックモデルを用いた設計では、パラメータ値を変更することで瞬時に比較検討を行えるため、設計における多くのトライアルを行える利点がある（菊池ら，2021）。この効率的で実用的なパラメトリックモデルと3次元シミュレーションを連動させることが、設計とシミュレーションの効率性の向上につながると考えられる。そこで、本稿ではパラメトリックモデルと連動した効率的な3次元シミュレーションを溪流保全工において行った検討例について報告する。

2. 方法

2.1 設計

パラメトリックモデルを活用した3次元設計には、3D-CADソフトウェアとしてダッソー・システムズが提供する「3DEXPERIENCE CATIA」を使用した。本取り組みでは、曲線部を設ける溪流保全工のモデルを作成した。溪流保全工は、全長約400m、幅約150mである。また、流路幅や曲線部の曲線半径など構造部位にパラメータ入力することで、施設構造が変化するように作成している。作成したモデルを図-1に示す。

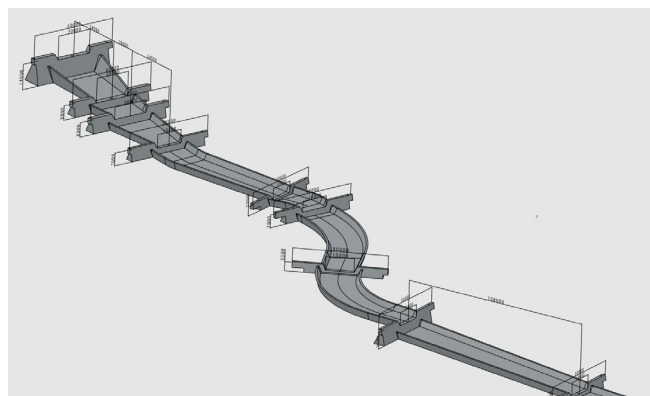


図-1 作成した溪流保全工のモデル

2.2 3次元シミュレーション

3次元シミュレーションには、実用性を考慮し、時間コストを抑えて解析ができ、流体力学分野等で使用されることが多い「格子ボルツマン法」を用いて計算を行った。また、「3DEXPERIENCE CATIA」と互換性がありダッソー・システムズが提供する流体解析ソフトウェアである「XFlow」を活用した。計算条件については、表-1に示す。「XFlow」が2相までの計算となるため、今回は空気と水の混相流をモデルの上流端から流した。

表-1 3次元シミュレーションの計算条件

項目	数値	備考
縮尺	S=1	実スケール
流れ	混相流(空気/水の2相)	
解析時間	10s	最下流部まで到達
時間刻み	0.00025s	
格子	サイズ	シミュレーション時間を抑えるような格子サイズとした
	数	
水	流速	約1m/s 投入地点

3. 結果

作成した溪流保全工のモデル上に空気と水の混相流を確認することができた。効率性の評価として、溪流保全工のモデル製作に2日、シミュレーションに約1時間を要した。水理模型実験では、モデルの製作に2～3か月かかり、解析時間は準備時間を除き約1時間かかる。そのため、水理模型実験と比較しモデル製作から解析まで大幅な時間の削減となった。

溪流保全工の水路幅を10mから20mに変更して行った2つのシミュレーション結果を図-2に示す。パ

ラメトリックモデルのため、溪流保全工の設計変更は1分程度で完了しており、設計変更後の溪流保全工において混相流の解析結果が異なることを確認することができる。このように、パラメトリックモデルを用いることで、溪流保全工のモデルの水路幅を変更することが容易となった。また、設計とシミュレーションのソフトウェアの互換性があるため、設計変更後のシミュレーションも容易になった。

4. おわりに

今回はパラメトリックモデルと連動した効率的な3次元シミュレーションの開発に向けた溪流保全工での検証を実施した。パラメトリックモデルと格子ボルツマン法を用いた3次元シミュレーションを組み合わせることで、施設の効果の検証を効率的に行うことが出来ると考えられる。

今後は、シミュレーションをより実現象に近づけるため、粗度等の再現や、水だけでなく流木等を流すシミュレーションの検証を取り組んでいく予定である。さらに、水理模型実験結果や既往災害との比較による再現性の把握にも取り組んでいきたい。

参考資料

- ・国土技術政策総合研究所（2015）：豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点（国総研資料 第874号）。
- ・中村ら（1984）：十勝岳ヌッカクシフラノ川における土石移動シミュレーション，北方森林学会，32巻 p. 265-267
- ・飯田ら（2023）：水理模型実験手法を用いた遊砂地の施設効果検証，令和5年度砂防学会研究発表会概要集。
- ・菊池ら（2021）：砂防堰堤の自動設計モデルの開発について，令和3年度 建設コンサルタント業務研究発表会。

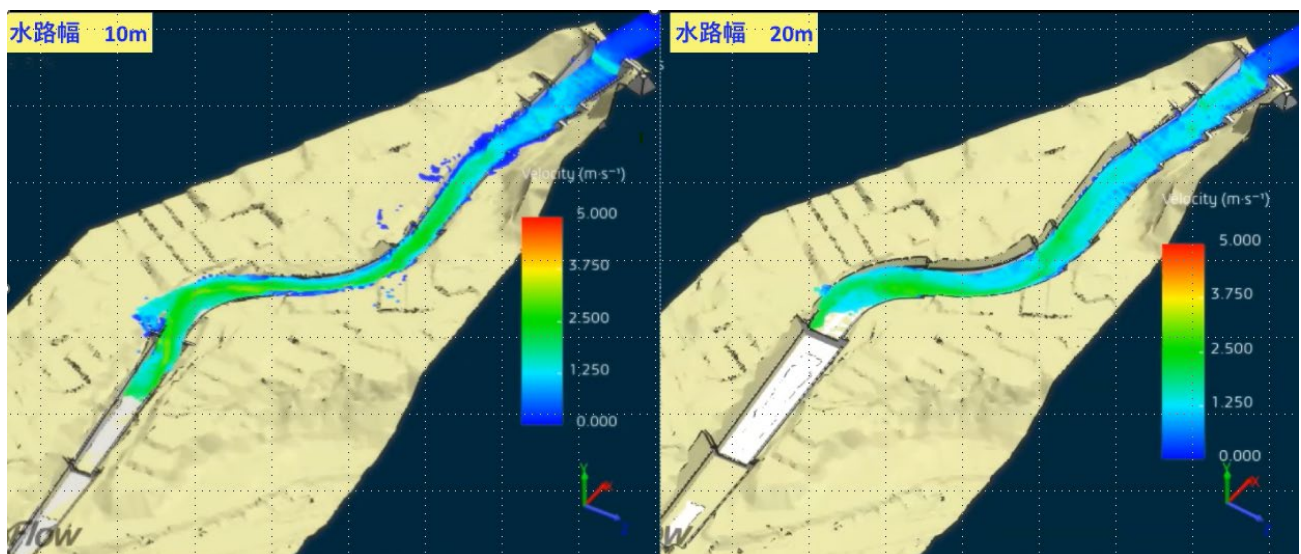


図-2 3次元シミュレーション結果