

3次元流体解析を用いた土砂流入対策工の効果検証事例について

八千代エンジニアリング株式会社 正会員 ○川村一人, 星野北斗, 関基, 保坂幸一

1. はじめに

A発電所では、**図-1**に示す砂防堰堤の水褥池に直結した取水口より導水する構造のため、取水口内への土砂流入が発生し、定期的な土砂撤去が必要となっている。土砂撤去には人力でしか作業できない箇所もあり、作業負担軽減のためにも、施設整備による対策が求められている。砂防堰堤のように3次元の流れが発生する箇所施設設計を行う場合、水理模型実験による効果検証を実施している事例が多いが、実験実施においては費用・時間を要する課題がある。一方、近年の水理解析技術の革新、計算機の性能向上を受けて、堰堤からの落差を伴う複雑な流れに対しても、3次元流体解析を適用することで、水理模型実験よりも安価に水理現象の定量化・可視化が可能となってきている。

本論文では、砂防堰堤内の発電取水口への土砂流入対策工検討にあたり、3次元流体解析を適用した施設設計の方向性検討及び対策効果検証を実施することで、3次元流体解析の水理模型実験の代替手法としての可能性について検討した。

2. 解析モデル概要

(1) 三次元流体解析手法

砂防堰堤での3次元流体解析の適用事例¹⁾がある等温・非圧縮・不混和流体の2相流(水・空気)モデルである「OpenFOAM」の「InterFOAM」ソルバを活用した。このモデルの基礎方程式は、連続式と Navier-



図-1 砂防堰堤施設状況

Stokes 方程式であり、離散化手法には有限体積法、自由水面の解析にはVOF法を用いている。

(2) 3次元モデルの構築

3次元流体解析に用いる地形・構造物モデルは、LPデータおよび現況構造図より作成し、水褥池内の土砂堆積状況については、簡易な測量を実施してモデルに反映した。メッシュサイズは、砂防堰堤の水通し部からの落水～対策工周辺～取水口までの一連の流水現象が表現されるように、河道域から段階的に調整し、最小メッシュサイズ0.125mとして設定した(**図-2**)。計算時間は流況が定常状態となる秒数、計算時間間隔は自動制御(最大クーラン数0.5)とした。また、乱流モデルは、格子幅の依存性が少ないLESのSmagorinskyモデルを採用した。

(3) 検討条件の設定

取水口への土砂流入が、主に洪水時に発生していることを踏まえて、土砂流入対策工の効果検証は、洪水時と平水時の流況を対象に、以下に示す3ステップで実施した。

STEP1:現況施設における再現性検証(洪水・平水)

STEP2:土砂流入対策工の効果検証(洪水)

STEP3:対策工設置による取水への影響検証(平水)

境界条件として、上流端流量は、洪水時は計画高水流量の530m³/s、平水時は観測記録をもとに、1.5m³/sを設定した。また、取水口からは、発電用の水利使用分を取水する条件とした。

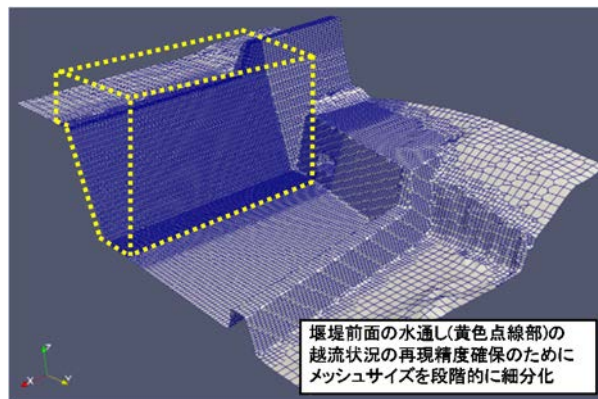


図-2 3次元モデル(堰堤付近)

キーワード 三次元流体解析, 砂防堰堤, 土砂流入対策工

連絡先 〒060-0003 札幌市中央区北3条西1丁目1-11 八千代エンジニアリング株式会社 TEL011-252-6104

3. 検証結果

(1) STEP1: 流況の再現性検証

洪水時の再現性は、出水時の観測記録がないため、計算水位が水褥池内の HWL を超過しないことから確認した。平水時の再現性は、**図-3**に示すように取水口前面の流速・流向について解析結果と現場状況が概ね一致していることより確認した。

(2) STEP2: 洪水時の対策工の効果検証

STEP2 では土砂流入の低減効果が得られるように施設形状や規模等を複数パターンの対策工を検討して最適な対策工を選定する流れとした。解析結果より、現況施設では、堰堤から鉛直に流下する流れが水面に当たって拡散し、取水口に向かう高速流(6~8m/s程度)が発生することで土砂が流入していると推察される(**図-4**)。その要因を踏まえて、砂防堰堤の水通し部・取水口等の位置関係や流下阻害、砂防施設機能への影響を考慮して、取水口と平行な位置に砂防施設の計画高相当の擁壁を設置する方針とした。設定した対策工による解析の結果、取水口に直接向かう流れが対策工により抑制され、流速も低減(2~3m/s程度)し、対策工としての効果を示した(**図-5**)。

(3) STEP3: 対策工設置による取水への影響検証

対策工の設置によって、取水口へ向かう水通し部は狭くなるが、対策工の前面・背面で水位差は生じておらず、水の流れも確保されていることから、平水時の発電取水に影響がないことを確認した。

4. 対策工の補強検討

対策工は、水褥池内に設置することから、流下物の衝突による損傷が懸念される。そのため、対策工の保護工の設置について検討した。保護工の設置範囲は、3次元流体解析の洪水時の解析結果をもとに、対策工に向かう流れが卓越する範囲を抽出する方法で検討を行い、対策工の設計方針に反映した(**図-6**)。

5. まとめと今後の展開

土砂流入抑制のための対策工検討に当たって、3次元流体解析による対策効果の検証や複数案の比較検討による最適案の選定を実施することで、3次元流体解析の施設設計への活用方法を示すことができた。一方で、実洪水時の流況や堆積土砂に関する情報が無いことから、定期的な観測・モニタリングを実施し、実現象による再現性の検証や対策効果の定量化を実施していくことが今後必要と考える。

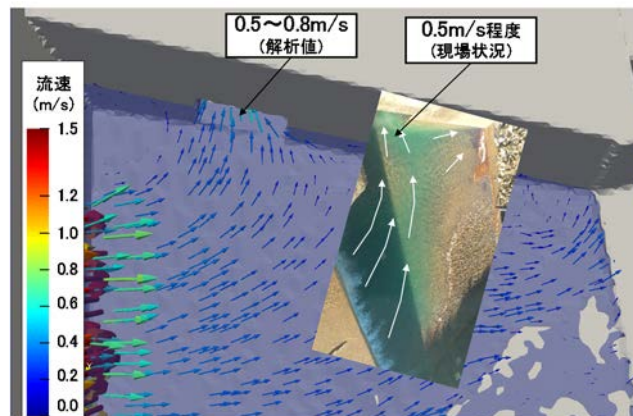


図-3 流況の再現性検証（平水時）

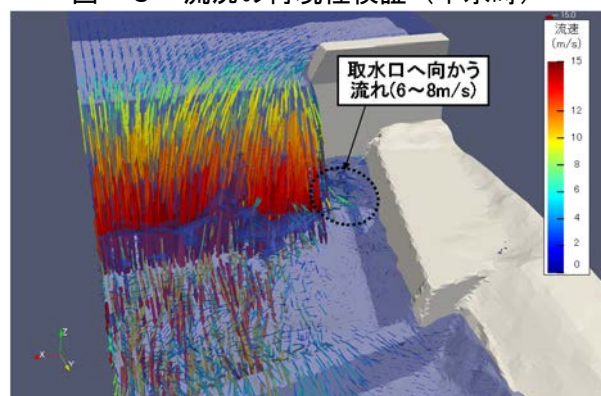


図-4 現況施設の解析結果（洪水時）

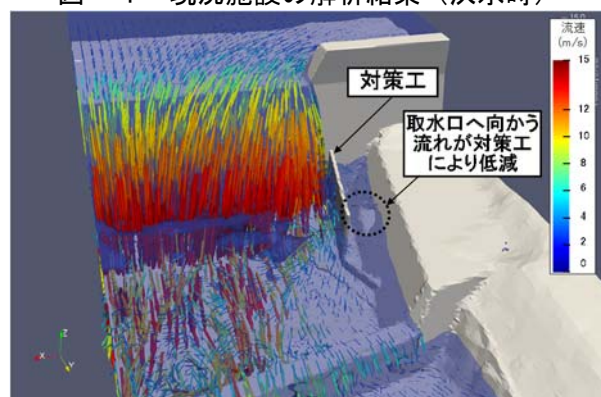


図-5 対策工設置時の解析結果（洪水時）

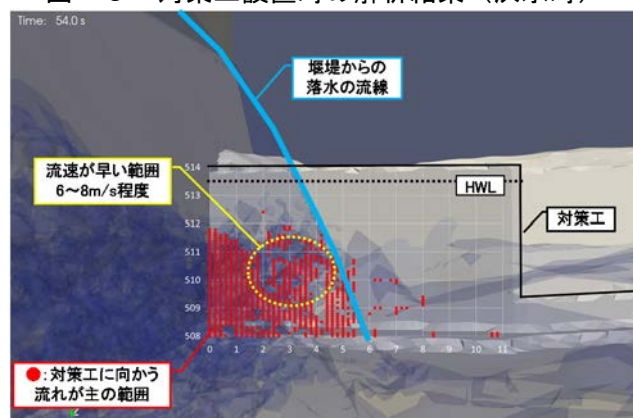


図-6 対策工の補強範囲の検討イメージ

参考文献

- 1) 小林ら：三次元流体解析を用いた砂防堰堤の前庭保護工の機能検証事例について(2020)