

オーガナイズドポスターセッション2 (OPS2) 報告

日時：2019年6月13日 11:00~12:00

テーマ：河川技術分野における数値解析の役割と今後の展望

企画・進行：観測・解析WG 内田・島本・堀江

◆ 企画趣旨

コンピュータ技術の急速な発展に伴い、河川技術分野における研究や実務の内容は大きく変わってきた。即ち、河川における流れや土砂輸送の複雑な方程式を数値的に解くことや、そのインプット、アウトプットデータの処理に留まらず、各種計測やビックデータ解析など様々なところでコンピュータによる高速かつ膨大な演算・情報処理能力が活用されている。河川技術分野における数値解析の役割も多面的となっており、多くの技術者、研究者がそれぞれの立場で活用するようになっている。本OPSでは、まず数値解析の主たる目的である、流れや土砂の複雑な挙動解析の投稿論文の著者から、解析に関する最新の研究成果と現状の課題等について話題提供いただく。そして、話題提供者をパネラーとして迎え、著者の皆様からのアンケート結果などをもとに、会場と併せて意見交換を行い、開発者、ユーザーなど数値解析に様々な立場で関わってきた参加者間で、数値解析に期待される役割と今後の展望について共有する。

1. 趣旨説明 (広島大学 内田龍彦)

本OPSでは、河川技術分野において河川技術分野における数値解析の役割も多面的となっており、多くの技術者、研究者がそれぞれの立場で活用するようになっていることを踏まえ、話題提供と参加者からのアンケート結果に基づいて、OPSの会場の皆様と、数値解析に期待される役割と今後の展望について共有することを目的としています。まずアンケートに協力いただいた方々への御礼申し上げます。アンケートには6月13日9時において、152件(図-1.2, 最終153件)もの協力をいただきました。

2019年度河川技術に関するシンポジウム
—新しい河川整備・管理の理念とそれを支える河川技術に関するシンポジウム—
2019年6月12-13日 東京大学農学部

日時：2019年6月13日 11:00~12:00
オーガナイズドポスターセッション2 (OPS2)

河川技術分野における数値解析 の役割と今後の展望

オーガナイザー
広島大学 内田龍彦
国土交通省水管理・国土保全局島本和仁
いであ(株) 堀江克也

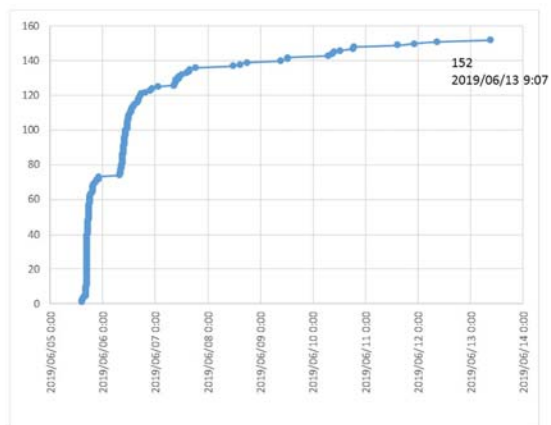


図-1.1 OPS タイトル

図-1.2 OPS 背景

具体的な議論に先立ち、数値解析法の定義と本 OPS で取り扱う範囲について説明します。数値解析法は、解析解を得ることが困難である方程式系をコンピュータを用いて数値的に解くツールですが、図-1.3 に示す通り、目的、結果の解釈から大きく四つに区分されます。いずれも数値解析の重要な役割ですが、河川技術への応用との観点から、本 OPS では、複雑あるいは多量の境界条件やモデル式を含む方程式系の解のふるまいを理解するために、実現象の内外挿補間を信頼性が保証された数値解析結果から、新たな情報を抜き出す役割に限定したいと思います。話題提供者には河川技術分野で最先端の数値解析法の研究を今回の河川技術論文集に投稿された著者を選びました（図-1.4）。話題提供の後、話題提供者をパネリストと迎え、本 OPS の企画・進行者と会場の皆様と併せて議論します。



本OPSのねらいと進行

ねらい
開発者、ユーザーなど数値解析に様々な立場で関わってきた参加者間で、現状の課題や様々な考えを共有し、河川技術において数値解析に期待される役割と今後の展望を探る。

- ◆河川流の三次元挙動の数値解析に関する投稿論文からの話題提供
1. 中央大学研究開発機構、福田朝生
改良された袋詰玉石工の洪水時の安定性評価技術の開発とこれを利用した袋詰玉石工の構造・配置の技術的検討
 2. 長岡技術科学大学、楊 宏遠
二次元固定床模型実験及びそれを再現する数値解析モデルによる床止め工の圧力と流速等の考察
 3. 電力中央研究所 地球工学研究所 佐藤隆宏
流体力学領域ダム洪水時のゲートレス化に伴う放流特性の水理模型実験と三次元数値流体解析の比較検討
 4. 中央大学研究開発機構、竹村吉晴
巨岩・巨岩が点在する山地河川に対する平面二次元解析法の課題と新しい解析法の提案

◆アンケート結果に基づくパネルディスカッション

アンケート設問：<https://forms.gle/vvPinrpAFFpE5Cu49>

図-1.3 数値解析法の目的と本 OPS の議論の範囲

図-1.4 本 OPS のねらいと進行

2. 話題提供

(1) 中央大学研究開発機構、福田朝生

「改良された袋詰玉石工の洪水時の安定性評価技術の開発とこれを利用した袋詰玉石工の構造・配置の技術的検討」

京浜河川事務所との共同で研究している内容で、対象河川は多摩川です。土丹の露出という課題をもつ多摩川においては、帯工袖部の土丹が侵食される課題があります。屈撓性の高い袋詰玉石工がこのような侵食に対する対策として有効な工法と考えられるが、洪水時の流体力に対して安定に設計することが重要です。図-2(1).2 は袋詰玉石工の流出例です。本研究では、現地袋詰玉石工の流出事例の分析や、袋詰玉石工の洪水流に対する安定性評価技術の構築・活用により、流出しにくい袋詰玉石工の構造や配置に関する知見を得ることを目的としています。具体的なアイデアは、流出時の変形を抑制するため、小さな袋で小分けし、この袋数個分を大きな袋で包む構造とした改良型袋詰玉石工を検討しております（図-2(1).3）。このために、袋詰玉石工と流れの相互作用を検討できる三次元数値解析法を応用します。三次元解析では、大規模な解析となるため、本研究では、計算領域全体を小ブロックに分けて、並列計算を行うことで、このような大規模計算を可能としています（図-2(1).4）。

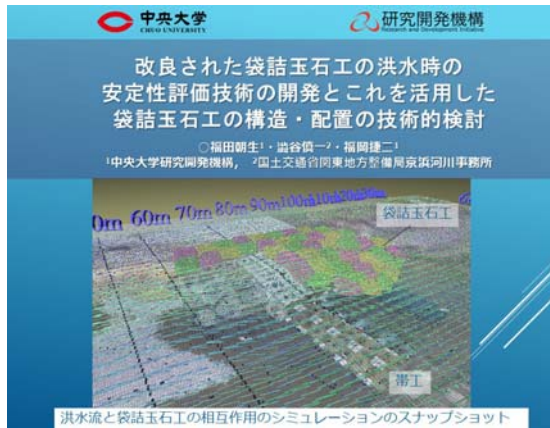


図-2(1).1 表紙

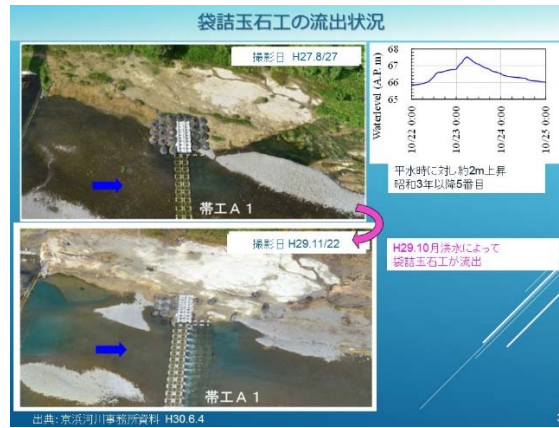


図-2(1).2 帯工下流の袋詰玉石工の流出例



図-2(1).3 小分けした改良型袋詰玉石工

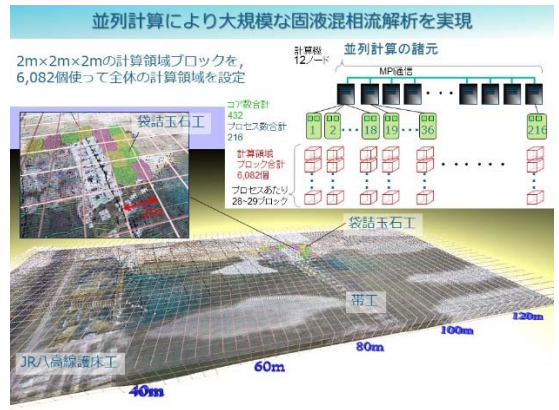


図-2(1).4 大規模数値計算のための並列計算方法

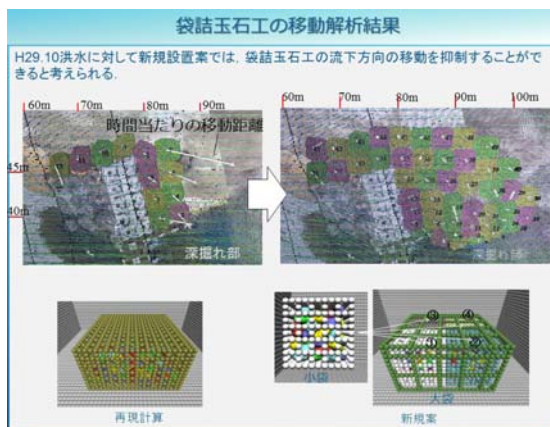


図-2(1).5 三次元数値解析法による袋詰玉石工の構造検討

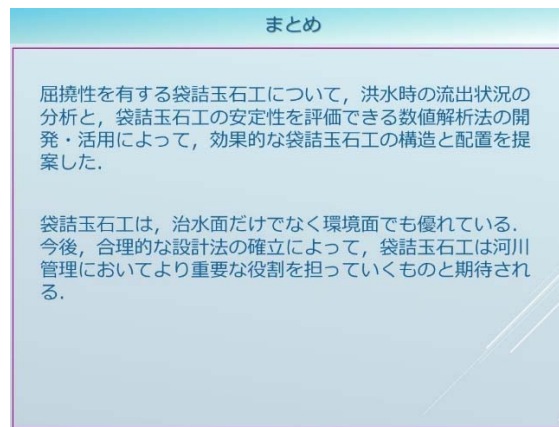


図-2(1).6 まとめ

まず、H29.10洪水の再現計算を行い、袋詰玉石工が数値解析でも流出することを確認しました。次に、変形を抑制するための本改良型工法を数値解析法で検討し（図-2(1).5）、現地でも施工しております。まだ大きな洪水は受けていませんので、今後のモニタリングが必要です。このような数値解析を活用することで袋詰玉石工の適用範囲が広がり、治水

と環境の調和した河川管理において袋詰玉石工がより重要な役割を担っていくものと考えます。

(2) 長岡技術科学大学, 楊 宏選

「二次元固定床模型実験及びそれを再現する数値解析モデルによる床止め工の圧力と流速等の考察」

研究目的は模型実験に対して、数値解析を行って、水理実験の情報を補完するためです。模型実験は国土交通省国土技術政策総合研究所で行われています。実験は、ふとんかご流出前と流出後を対象に行われました(図-2(2).2)。その前に移動床の実験が行われ、下流部のふとんかごの流出過程が観察されましたが、流れの詳細が不明であったために、数値解析から、その情報を抜き出そうというのが研究背景になっています。

数値解析法は、非圧縮性気液二相流 VOF モデルと多孔質物体中の流れを扱うダルシー則によって構成されています(図-2(2).3)。これにより、自由水面を有する跳水と床止め工下部の浸透流を同時に計算することが可能です。図-2(2).3 は二つの実験条件において計算した結果と実験結果の比較です。浸透流の計算結果については、ベクトルの大きさは関係無く向きのみを示しています。水面形と流速の実験結果が比較されており、良く再現できていると思われます。

2019年度 河川技術に関するシンポジウム
 ー新しい河川整備・管理の理念とそれを支える河川技術に関するシンポジウムー
 2019年6月12-13日 東京大学農学部

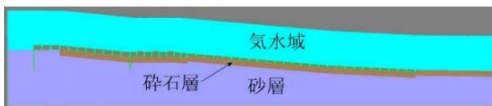
日時：2019年6月13日 11:00~12:00
 オーガナイズドポスターセッション2 (OPSS2)

二次元固定床模型実験及びそれを再現する
 数値解析モデルによる床止め工の圧力と
 流速等の考察

楊宏選・山本陽子・福元豊・細山田得三・大家悟・福島雅紀

図-2(2).1 表紙

数値解析方法



非圧縮性気液二相流VOFモデルと、多孔質物体中の流れを扱うダルシー則によって構成される。自由水面を有する跳水と床止め工下部の浸透流を同時に計算する。透水層の運動方程式は以下である。

$$\frac{\partial(\gamma p \vec{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\gamma p \vec{U} \vec{U}) - \nabla \cdot (\gamma T) = -\gamma \nabla p + \gamma \rho \vec{g} + \gamma \vec{F}_\sigma - \frac{\gamma \mu}{D} \vec{U}$$

ここで、 γ は空隙率、 D は透過度(単位[m²])である。

図-2(2).3 数値解析法の概略

2. 模型実験の縦断面図

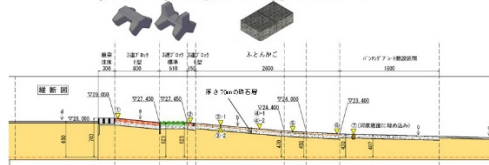


図-1 ふとんかご流失前の模型実験縦断面図
 (単位はmm, 標高の単位はm)

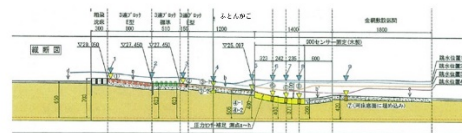


図-2 ふとんかご流失後の模型実験縦断面図

図-2(2).2 計算対象の模型実験縦断面図

ふとんかご流失前後の実験結果と計算結果の比較

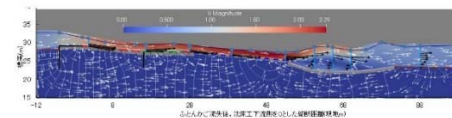
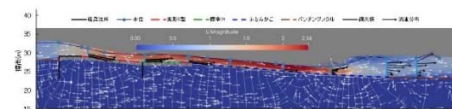
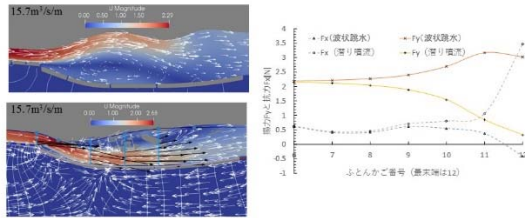


図-2(2).4 ふとんかご流出前後の実験結果と
 計算結果の比較

跳水形態による洗掘孔直上流のふとんかごに作用する流体力の縦断分布



結論

- (1) 実験と比較して、数値実験は流れ場を概ね正しく計算できた。
- (2) ブロック下の敷砂利粒径増大で揚圧と動水勾配の抑制が図れる。
- (3) 屈とう性構造落差工は等ポテンシャル線の集中がなくパイピングの問題が小さい。
- (4) 跳水位置に長周期性の圧力変動があり、揚力が局所的に最大。後部で水位が低下する場合、抗力が局所的に最大。波状跳水と潜り噴流の繰り返しで最大揚力と最大抗力が洗掘孔直前のブロックに繰り返し作用する可能性が大きい。
- (5) 洗掘孔内で潜り噴流の洗掘と波状跳水の埋め戻しが繰り返されるが、埋め戻しの流れが弱い。

図-2(2).5 跳水形態によるふとんかごに作用する流体力

跳水位置では長周期の圧力変動が生じており、これがブロックの安定性を低下させると考えられます。図-2(2).5は跳水形態によるふとんかごに作用する流体力の比較です。洗掘孔内では、跳水形態による二つの流れ場が形成され、それぞれの状態で流体力の状態が大きく異なることが計算で説明できています。水面形と流速の実験結果が比較されおり、良く再現できていると思われます。今後は乱れエネルギーなども含めていろいろな視点でさらに検討し、実験と数値解析を併せて検討していきたい。

(3) 電力中央研究所 地球工学研究所 佐藤隆宏

「流体科学領域ダム洪水吐のゲートレス化に係わる放流特性の水理模型実験と三次元数値流体解析の比較検討」

三次元数値解析がどう使えるかがこのセッションの目的のひとつであるので、この点を中心に説明します(図-2(3).2)。なお、この研究は四国電力との共同研究となります。戦前に建設されたダム調整池式水力発電所では、ダム貯水池堆砂進行に伴う有効貯水容量が減少し、運用実態が流れ込み式発電所とほぼ同様の状況になっている地点が多くなっています。このような地点では流域面積が小さく、降雨発生から放流開始までの時間が短く、洪水時に適切なゲート操作が出来なくなる危険性が考えられます。このような地点では洪水吐のゲートレス化によりリスクの低減が期待できますが、本研究ではダム貯水池堆砂が進行したゲートレスダムの放流特性評価への三次元数値流体解析の適用性を検討しています。なお、下流端水位条件を与える必要がある平面二次元解析では放流特性を評価することが難しく、ダム形状が流れに与える影響を適切に評価できる三次元数値流体解析が必要と考えています。

本解析法の特徴を図-2(3).3に示します。陰解法を用いることで連続性を保証したうえで、時間を前進させて計算を行っています。直交格子を用いて移流項と拡散項の精度を向上させ、数値拡散を小さくしようとしています。最小格子はダムの滑らかな形状を再現できるように設定し、計算格子は約300万個となっています。ダムと地形データについては、ダム

形状は縦断面図、横断面図から作成し、河川調節地の形状は1m等高線から1mメッシュの数値地図を作成し、現地写真から転石情報などを手動で考慮して作成しました。上流端にはプールを作成し、安定的に水が流れるように設定しています。

ダム洪水吐のゲートレス化に係わる 放流特性の水理模型実験と 三次元数値流体解析の比較検討

電力中央研究所
地球工学研究所
流体科学領域
佐藤 隆宏

2019年度河川技術に関するシンポジウム
20190613
CRIEPI

© CRIEPI 2019

1

図-2(3).1 表紙

背景・目的

- ✓ 戦前に建設されたダム調整池式水力発電所では、ダム貯水池堆砂進行に伴う有効貯水容量の減少により、運用実態が流れ込み式発電所とほぼ同様の状況になっている地点が多い
- ✓ 河川最上流部にあるダムは流域面積が狭い地点が多く、降雨発生から放流開始までの時間が短い。近年の異常豪雨の頻発化も併せて、ダムゲート管理に伴う災害発生リスクの増大が懸念される
- ✓ 洪水吐のゲートレス化によって、運用・保守の合理化・省力化や災害発生リスクの低減が期待される
- ✓ ダム洪水吐の放流特性の評価に際し、三次元数値流体解析を用いることが出来るメリットは大きい
 - 蛇行部を有する急流河川で堆砂が進行したゲートレスダムの放流特性に対し、三次元数値流体解析の適用性を検討する

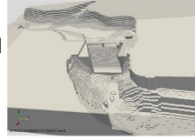
© CRIEPI 2019

2

図-2(3).2 三次元解析をどう使うか？

三次元数値流体解析

- ✓ 三次元数値流体解析コードSLOSH-NAGARE※
- ✓ 直交格子、有限差分法、VOF法、陰解法
- ✓ 移流項:3次風上、拡散項:4次中央
- ✓ 最小格子0.1875m
- ✓ ダム上流面円弧(R0.5m)、橋脚(径1.5m)
- ✓ 格子数約300万 四国電力明谷ダム
- ✓ 河川・調整池数値地形
 - ✓ 1m等高線→1mメッシュ数値地図
 - ✓ 転石情報や現地写真→微修正
- ✓ 上流端:プール
- ✓ 下流端:自由流出



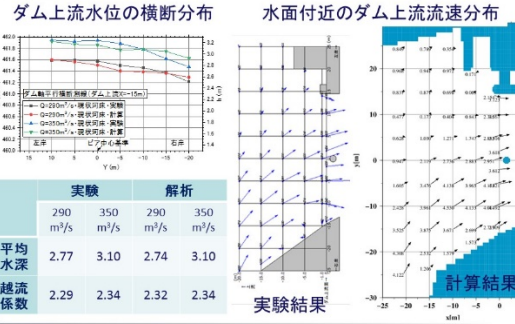
© CRIEPI 2019

※電力中央研究所研究報告N12010

3

図-2(3).3 数値解析方法

ダム調整池流況の実験との比較

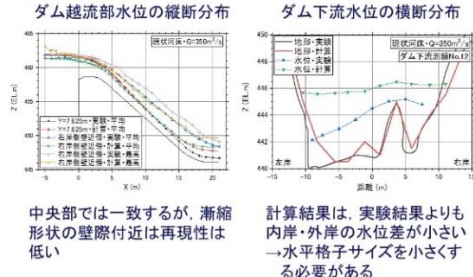


© CRIEPI 2019

5

図-2(3).4 実験結果と計算結果の比較 (調節池)

ダム越流部と下流部の流況比較



© CRIEPI 2019

4

図-2(3).5 実験結果と計算結果の比較 (ダム越流部)

おわりに

- ◆ 湾曲部やダム越流部、排砂門などが存在し、常流と射流、排砂門全開流れとダム越流流れが混在するような複雑な現象にも三次元流体解析の適用が可能で、水理設計や評価に用いることが出来る
- ◆ 高齢化で堆砂が進行するなど、既設ダムのリスク評価に三次元流体解析を適用できる

四国電力明谷ダム (ゲートレス化工事後)



© CRIEPI 2019

7

図-2(2).6 まとめ

ダム上流部の水面形を見ると、流量が異なる条件で水位がよく再現できていることが分かります(図-2(3).4)。ダム下流については、計算結果が実験結果よりも内岸・外岸の水位差が小さい課題があり、これについては水平格子サイズを小さくする必要があると考えています。

以上のように、湾曲部やダム越流部、排砂門などが存在し、常流と射流、排砂門全開流れとダム越流流れが混在するような複雑な現象にも三次元数値流体解析の適用が可能である結果が得られました。なお、本研究で検討した四国電力明谷ダムは、ゲートレス化工事が既に完了しており、適切に運用されています。

(4) 中央大学研究開発機構, 竹村吉晴

「巨岩・巨石が点在する山地河川に対する平面二次元解析法の課題と新しい解析法の提案」

山地河川では、水深に対して大きい岩・石が存在しています。本研究ではこのような山地河川の解析法を確立することが目的であり、太田川河川事務所との共同で研究を行っています。水面形を用いた洪水流解析法が確立され、多くの河川で適用されてきました。山地河道の洪水流解析はダム操作ルールの検討、山地河川の河道計画、流出解析モデルの検証材料さらには生物の生息場の検討などにおいて重要ですが、大きな岩や石が点在し、常射流が混在する山地河川に対しては、従来の平面二次元解析法には課題があります。一般に用いられる、定期横断測量に基づく解析では、巨岩・巨石を含む山地河川の詳細な地形とそれらの抵抗等を考慮できないため粗度係数の値が時間・空間的に大きく変化する課題があります。さらに平面二次元解析では、巨岩・巨石周辺の三次元流れ・非静水圧分布を考慮できないため、詳細な地形を与えても山地河川の流れ構造の解析には不十分である課題があります。このため、如何に詳細な地形を取り込んだ計算を行うのかということが重要になります。そこで、本研究では、三次元数値解析を用いずに、水面と河床面の運動方程式を解き、流速鉛直分布を多項式で近似することで、水深積分モデルでありながら大きな巨石周辺の三次元流れと非静水圧分布を解くことが出来ることが特徴です(図-2(4).2)。一方、詳細な地形データは写真測量に基づいて作成しました(図-2(4).3)。巨石などは解析において地形データとして取り扱われ、大きな石が1mの計算格子で再現できていることが分かります。図-2(4).4は水面形の比較です。計算は水面形の時間変化を再現するように行いますが、粗度係数は全区間で概ね0.032の一定値となり、温井ダムからの放流量ハイドログラフを概ね再現することが出来ました。解析結果の詳細を見ると、水頭換算で1m程度の非静水圧成分が底面に生じていることが分かりました。これにより、二次元解析において計算された不自然な水面形が改善されることが分かりました(図-2(4).5)。

最後に、平面二次元解析法と提案した準三次元解析法(Q3D-FEBS)をまとめます。従来の平面二次元解析においても流量ハイドログラフのような積分量は粗度係数を大きくすることで再現することが出来ます。詳細な地形を与えても平面二次元解析では、水位、流速の

横断分布には課題があることが分かり、このような詳細データと本準三次元解析法を用いることによって、従来の平面二次元解析法の課題が解決されることが明らかとなりました(図-2(4).6).



図-2(4).1 表紙

写真測量と計算格子による黒滝観測所周辺の三次元地盤コンター図

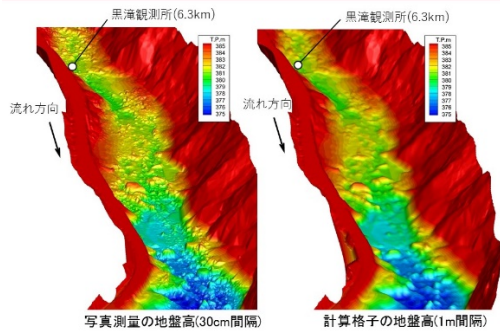


図-2(4).3 写真測量による三次元地形データと数値解析の詳細地形データ

詳細な地形を与えた平面二次元解析とQ3D-FEBSの比較

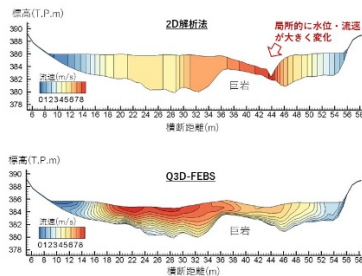


図-2(4).5 平面二次元解析結果と Q3D-FEBS 法の計算結果の比較

Q3D-FEBS: Quasi-3D model considering Flow Equations on Boundary Surfaces

モデルの特徴

- ▶ 流速鉛直分布を仮定し、水深積分の連続式・運動方程式と水面・底面上の運動方程式を解く
- ▶ 水深積分モデルの枠組みで巨岩・巨石周辺の三次元流れや圧力分布を効率的に解析(同計算条件なら平面二次元解析の2~3倍の計算時間)する。

$$u_i = \Delta u_i (12\eta^3 - 12\eta^2 + 1) + \delta u_i (-4\eta^3 + 3\eta^2) + U_i$$

$$\eta = \frac{z_s - z}{h}, \Delta u_i = u_{si} - U_i, \delta u_i = u_{si} - u_{bi}$$

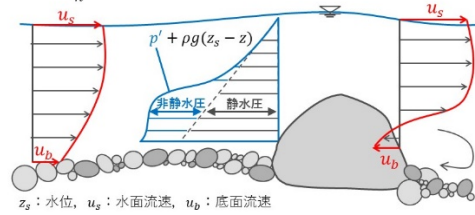


図-2(4).2 本解析法の特徴

観測水面形と解析水面形の比較(増水期)

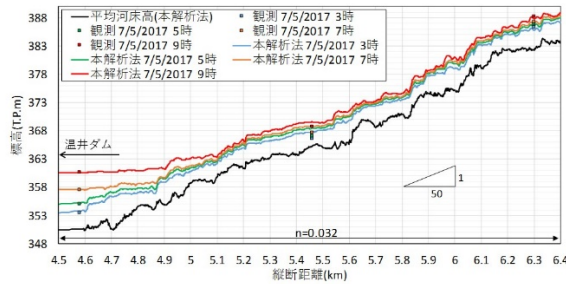


図-2(4).4 観測水面計と解析水面形の比較

まとめ

巨岩・巨石の点在する山地河川において、観測水面形を用いて洪水解析を実施することで算定できる水理量と解析法の整理

水理量	平面二次元解析 + 定期横断測量	平面二次元解析 + 詳細地形データ	Q3D-FEBS + 詳細地形データ
洪水流量ハイドログラフ	○	○	○
水位・流速等の断面平均値	×	△	○
水位・流速等の縦・横断分布	×	×	○
粗度係数	0.04~0.072	0.04	0.032

図-2(4).6 数値解析法の比較のまとめ

3. 河川技術分野における数値解析の役割と今後の展望に関するパネルディスカッション

司会：広島大学 内田龍彦，パネリスト：中央大学 福田朝生，長岡技術科学大学 楊宏選，電力中央研究所 佐藤隆宏，中央大学 竹村吉晴，国土交通省 島本和仁，いであ(株)堀江克也

(以下，司会者名，パネリスト敬称略)

司会：本パネルディスカッションではアンケート結果に基づいてパネリスト，会場と今後の数値解析法の役割を見出すために意見交換します。パネルディスカッションの課題は大きく4つに分けられます(図-3.1)。まず，現状の課題と目標を定めた後，これに対して，データ環境の変化と今度のデータ，解析のあり方を議論します。そして，これらの議論をまとめて，新たな河川技術の展開に向けて議論します。

パネルディスカッション

司会	広島大学 内田龍彦
パネリスト	福田朝生 (中央大学研究開発機構) 楊 宏選 (長岡技術科学大学) 佐藤隆宏 (電力中央研究所 地球工学研究所) 竹村吉晴 (中央大学研究開発機構) 島本和仁 (国土交通省 水管理・国土保全局) 堀江克也 (いであ(株))
議題	1. 現状の数値解析の課題，要望 2. 多量のインプット、アウトプットデータ処理，結果の解釈と検証 3. 河道，洪水データの今後のあり方 4. 数値解析を活用した新たな河川技術の展開に向けて (まとめ)

図-3.1 パネルディスカッションの進行

議題1 現状の数値解析の課題，要望

司会：数値解析法の現状の課題を明らかにする前に，アンケート結果の解析から分かったことがありますのでまずはそれを共有します(図-3.2)。アンケート結果は，一見，入力データ，境界条件が重要であるということを示しているだけのように見えますが，下の表のように整理すると数値解析の課題は解析対象スケールに依存していることが分かります。即ち，スケールが大きい計算領域を対象とする場合はデータに課題がより多いですが，小さいスケールを対象とする場合は数値解析法や計算機の課題が現れることが分かります。数値解析法が多面的になってきた現在，各計算方法の課題を適切にとらえることが必要であります。多くの方々はその違いを認識しているということが分かります。さて，アンケート結果の自由意見について，パネリストから説明いただきます。それぞれの課題についてアンケート結果は多く寄せられましたが，ここではその一部を議論します。全アンケート結果は，別ファイルにまとめておりますのでそちらを参照ください。課題についてはいかがでしょうか。

数値解析法の課題に関するアンケート結果 (148)

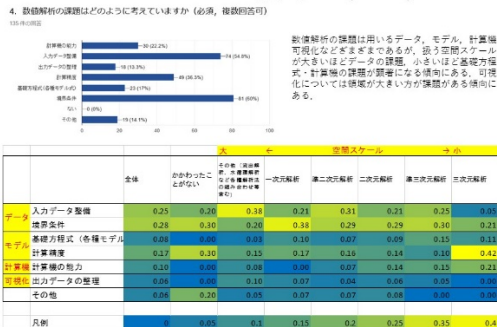


図-3.2 種々の解析法のスケールの違いによる数値解析法の課題

1. 現状の数値解析の課題, 要望

経緯

- 河床変動計算では、流れの解析精度は十分であるが流砂量の計算精度が低いために、河床変動計算結果を河川管理にそのまま活かすことができていない。言い換えれば、河床変動計算はまだ河川管理には使われていない。流砂量式の整備は永遠の課題である。
- 河床変動計算：河床材料に関するデータが不備な河川が大半。流出計算：分布型モデルを用いても、地形データ不足により短期の精度確保が困難。川種一定、河床勾配一定としなければならず、集中型モデルと実質的に同じ内容の計算とせざるを得ないことが多い。
- 流域からの供給土砂の質と量を予測できる解析法
- 河床変動の予測について、一洪水くらいはある程度実用的に予測できるかもしれませんが、複数洪水のあとの変化などは、その水理量（ハイドログラフ）を正確に与えたとしても、ほとんど定量的に把握できていないように思います。実際には、どんな決りがくるか事前にわからないということも、河床変動の中長期的な観しとしたいと思います。このような条件のなかで、例えば護岸の洗掘の危険性などを適切に評価できるようなアプローチがあるかというのではないかと思います。
- 土砂移動、河床変動を大きく伴う場での洪水解析

要望・目標

- 河川の維持管理を実施するためには、河床高変化を長期的に高精度に予測できる解析法が必要と考える。
- 維持管理を考えると10~20年程度の中期予測技術が、総合土砂や流域特性などを踏まえた場での特性を把握するためには、100年レベルの長期予測技術が必要と思う。
- 上流から下流（土砂生産域から河口）までの、洪水・土砂・流水の流動および侵食・堆積を再現でき、被災範囲の予測ができる解析手法。
- 土砂懸れによる河床変動、河道閉塞等を含めた大規模災害の一体的解析
- 大規模洪水発生時に河川に流入する土砂流入量ハイドログラフを考慮して、洪水流と河床変動を解析し、河岸・堤防侵害危険箇所を予測するための解析法。
- 河川橋脚構造物の破壊危険性を予測し、今後どのような観測データが必要か考えるきっかけにするための解析法。
- 構造物の劣化に伴う破壊や流水の影響等を考慮すると、粒子法が重視されると思う。

図-3.3 現状の数値解析の課題, 要望に関するアンケートの自由意見

パネリスト (堀江)：河床変動解析の課題、特に現地で再現が難しいことが多く挙げられていました。私が業務で関係する場合においても特に単純な場、短い区間では合いやすいが、長期長区間の場合は難しいと感じています。

パネリスト (竹村)：詳細な地形が測れば詳細な計算が可能であると話題提供したことと同様に河床変動解析においても、定期横断測量から詳細な地形が計測されれば、解析法の妥当性の検証が進むので、これを進めていくことが重要である。

司会：目標となるものはどうでしょうか？

パネリスト (堀江)：河川の維持管理においては長期予測が重要であり、このためには精度を向上させることが重要である。

司会：課題についてはどのようにデータを活用するのか、ということ、目標については河道の維持管理に活かせるような精度をもつ解析法というものと思います。

議題2 多量のインプット, アウトプットデータ処理, 結果の解釈と検証

司会：計測データ処理, また AI についてはどうか。

パネリスト (佐藤)：AI はブラックボックスという意見が多かった一方で、入力条件等に不確実性があるなかで、計算結果の解釈には幅を持った結果の整理が必要という意見は重要な指摘としました。

パネリスト (島本)：AI についてのコメントが多かったということが印象的であったが、全体的には物理モデルとのバランスが重要である。物理モデルの良い点はプロセスの記述であり、土木技術者として重要なことはプロセスを解釈することである。これにより、AI による結果を適切に解釈する技術者が重要である。

司会：結果の解釈という話でもしたので、データの解釈についての議論をしたいと思います。ここで、最初の議論を思い出しながら議論したいと思います。

パネリスト（楊）：計算の開発者は多くいることが分かった。課題は、開発された解析法を適用できるようにしたい。

司会：プログラムの公開は重要であり、ユーザー、開発者の有機的な情報交換に役立つと思う。

パネリスト（福田）：verification, calibrationの話が挙げられている。NS方程式を精緻に解くと、河床材料粒子の詳細な運動までシミュレーションできるようになる。このような新しい解析が技術の発達において重要と考えます。

2. 多量のインプット、アウトプット データ処理、結果の解釈と検証

データ処理

- ・最終的にはAIで全てできる時代になるかもしれませんが、現象の成り立ちや数値解析のログが分かる人材はこれからは重要だと考えています。
- ・河床変動や河床形、流量の予測など、AIの活用範囲は検討が進んでいくと考え、課題は、その信頼性と人間の判断をどの程度に追加していくか、ということだろう。結果の責任は人間が取ることをしっかりと認識すべき。
- ・河床変動解析では精度が必要な場合が多い。例えば、流入土砂量（LQ値）を考えると、流入土砂量は流量のべき乗関数とされているが、実際には様々な要素（河川の状況、短時間雨量等）の影響を受けるはずである。このような複雑な不確かさを、AIである程度解決できるのではないかと。
- ・ビッグデータを対象としたAIによる解析は歓迎すべき。ただし、AIによる評価・判断プロセスがブラックボックス的である点に留意し、その解釈について技術者による検証が（今後の技術発展には）必須だと感じる。
- ・解析に用いる各条件の不確かさがある中で、計算機の増進向上と計算技術の向上により、1つの解が意味を持つのではなく、複数の解をもつ。確もった結果の整理が重要になってきているものと考えられます。その中で、異なる要素間と各条件の組合せ別の解析結果をAIにより分析することで、より高度な解析結果の解釈ができるようになるものと期待できますが、AIによりもたらさせる結果に対し、どのような論理を持って取り扱うかが技術的共通認識のもとで整理された上で、数値解析結果の解釈・活用がされていく必要があると考えます。

2. 多量のインプット、アウトプット データ処理、結果の解釈と検証

結果の解釈・技術者育成

- ・解析が高度化・複雑化する中で、数値解析の中心を担う、適切に使い分けられる技術者を育成する必要が急務であると思う。数値解析は数値データからの内生的な情報を持つならば、高次元な数値解析から得られた情報（数値解析の出力結果）と高次元データ（精度の大きさ、配置、発生状況状況等）を関係づけるような研究も必要。
- ・数値解析分野には昔から興味をもち多くのソフトウェアエンジニアリングに入社することができるとなりましてたけども、結果の解釈や結果の数値解析アルゴリズムの理解が不可欠で、技術者がなすべきは、自己開発プログラムプログラムの数値解析モデルの検証に、専念する事がある。
- ・Commentary 集の、今後の展望に期待します。よりリアルタイム解析での修正/verification 又は calibration 手法の確立。
- ・verification 又はcalibration 手法には、数値解析の初期値/境界値からの数値計算を逸脱しているような取り返り難いように意識して居ます。多くの人の参加での議論する事が大切だと思います。
- ・河床変動解析では精度が必要な場合が多い。例えば、流入土砂量（LQ値）を考えると、流入土砂量は流量のべき乗関数とされているが、実際には様々な要素（河川の状況、短時間雨量等）の影響を受けるはずである。このような複雑な不確かさを、AIである程度解決できるのではないかと。
- ・不確かさを低減する観点では、複数の数値解析結果をAIが認識し、必要な情報を抽出するアプローチが増えていくのではないのでしょうか。
- ・現象の理解とAIによる解析は必ずしも一致しないと考え、AIを水辺予測に適用した経験があるが、算出値がブラックボックス的なため、なかなか難しい。
- ・算出するスケールによるものかもしれませんが、セグメントやリーチスケールくらいのざっくりとした長期的な変化を予測する手法として有用な事もありますし、1m以下のグリッドでの変化の程度などは知識ベースの方法が優れているように思います。
- ・AIの学習による解析結果は数値データから導かれた数値な結果と見なさるべきで、いかに信頼性の高いと認めます。数値解析については水理学的な理論に基づいた結果なので、2つの解析手法は相違があるものと思われ、お互いに互換性があると思えますので、両方の解析を比較して使い分けを考えた事があります。特に信頼のない数値計算以上の予測結果は大きな信頼性がある情報があるので、お互いに足りないところをもう一方に求めさせていく必要があると思えます。

(a) データ処理

(b) 結果の解釈・技術者育成

図-3.4 多量のインプット、アウトプットデータ処理、結果の解釈と検証

議題3 河道、洪水データの今後のあり方

司会：それでは3つ目のデータと解析のあり方について議論したいと思います。

パネリスト（竹村）：数値解析を行う側は単にデータを要望するのではなく、目的と求められるデータの質について明確にする必要がある。例えば、データに対してアウトプットを明示することやどこまで計測すればどのようなことが分かるのかをデータ取得側、提供側に示すことが大事と考える。計測側と解析側が有機的に意見交換が重要になるだろう。

パネリスト（福田）：ALB など詳細なデータは重要である。構造物周りの解析にはこのようなデータが重要と考える。

パネリスト（堀江）：3次元解析の検証はどのようなデータで行なっているのか、現在取得されているデータで十分かについて疑問があります。三次元解析の検証はどのようにするのか？

パネリスト（福田）：三次元解析では単純な流れ場を対象として、粗度などのデータについても直接検証することになります。複雑な場については検証データは取得することが難しい点もあるが、NS方程式に基づき、仮定の少ない三次元解析の場合は小さなメッシュを用いた解析など自己補完的に検証データが作成できることも利点である。

会場（中央大学 福岡先生）：重要な点が抜けていると思うので指摘したい。即ち、川の現象が何で決まっているのかを考えることが重要である。それは水面形である。河床のデータが重要

であることは言うまでもないが、時間変化が計測できる水面を合わせる事が大事である。水面には河道の様々な影響が現れており、この水面形、水面形の時間変化を再現することが前提である。水面形の計測は現在多くの河川で計測されており、これを意識して議論いただきたい。

司会：精度が保証された中で議論することが重要であるので、水面形の時間変化は再現した中で計算結果を議論する必要があるということは重要な指摘であると思う。ありがとうございます。この問題にはパネリストの福田先生が言われたものの中には水面形があっている validation の中で、きちんと方程式が解かれているという verification もされていないといけないという重要な話である。また、竹村先生は詳細な流れの計算ができるようになってきたので合わせてデータが必要になるということだと思います。横断データから LP で砂州のような形も検証できるようになりました。また、会場からの指摘にあったように、各点の水位データは国交省が整備を進めてこられました。これらを皆が使用して、活用して議論することになってくると思うがこれについてはどうか。

パネリスト（島本）：水位、LP は重要。水面形の把握は解析の深化とともに重要であり、最近追えるようになってきたと認識している。データのプラットフォームの整備、特に三次元データ整備、リアルタイム系の洪水、雨量データ整備がある。この中で、どこに重点を置くか、について研究者との情報交換が重要であると考えます。研究者、行政のお互いのフィードバックが重要である。横断データをとってきたが今後どのようなデータが重要かを踏まえたプラットフォームを整備したいと思います。

パネリスト（竹村）：水面形についての重要な指摘があったので、先ほどの説明を補足したい。水面形を満たすように計算するということがとても重要である。これをベースにすることが重要であるが、その中で、この中で詳細なデータを用いて解析する。何が必要なのかも併せて検討することが大事と思う。

パネリスト（島本）：水面形と併せて、河床材料の質の話も触れる必要があると思う。解析、観測技術が発達して、流れている河床材料についても分かってくる事が重要である。

3. 河道、洪水データの今後のあり方

- ・今後A&B測量により河床形態の3次元点群データが得られていくので、それに適した解析手法が必要となる。
- ・グリーンレーザ等の地形データの取得に解析(河川、河運、定置)
- ・中小河川を含めたデータの集約・蓄積がまず必要(プラットフォームの整備)
- ・河運計画データの取得方法の検討が必要だと思います。
- ・数値解析手法での検証を行う際、いわゆるベンチマークとなる検証データが整備されておらず、開発者が個別に検証材料を探したり、実験・観測でデータを取得している状況にある。検証データを整備したり、例えばデータベース化することで、解析技術の精度・信頼性の向上に繋がるのではないか。
- ・大量データの整理、保管、スパコン使用時の連携
- ・解析手法の十分
- ・3次元解析の検証はどのようなデータで行っているのか？現在取得されているデータで十分か？
- ・河川の数値解析技術の発展のため、学際的に河川の数値解析技術を構築できる枠組みを確立していくことが重要だと思います。
- ・水文現象、陸地流出解析、洪水解析等の個別の技術はそれぞれ発展しているが、これらの連携は必ずしも十分でないように思う。これらの連携が行われればより発展した研究が行われる可能性がある。例えば、水文分野の知見は洪水流や河床変動の解析を行うことによって地元の課題の解決に役立つ。洪水解析においても水文現象の解析から得られる流量などの情報を連携条件として用いることができる。
- ・河川分野でのこれまでの解析は河川分野独自で発展したものが多く、河川専用解析プログラムが実際ではよく使われています。そのため、他分野で発展した解析プログラムを河川技術に適用する際に、抵抗を受けるお客さんも多くいる印象です。そのため、河川以外で発展した解析技術などを取り込んでこれまでの河川技術に関する数値解析を融合させていくような仕組みが発達していくことが今後の解析技術高度化につながると思います。
- ・A&B等で地形データを取得するにしてもどれくらいの密度で観測する必要があるかは、解析との関係から議論し見極めていく必要がある。
- ・地形変化のデータは深達測量などが得られているが、精度分布の経年変化のデータがありません。精度分布の解析精度を必ずしも十分に検証できないことも多い。精度分布のデータを定期的に得ようとする。現状ではやはり劣力が多いため、精度分布の観測技術の向上が期待される。
- ・水位、量的な地形データは充実してきているが、河床組成、水質・生物データ等は依然、不足している。また、長期的な解析をするためのデータはまだこれから継続的なデータ取得の努力が必要だが、予算・人員などから継続性がどこまで確保されるのか不透明。
- ・雨量データの高精度・高密度化や、DEMデータの公開が進む一方、河川の基本となる河川横断測量データの公開が遅れていると感じる。

図-3.5 河道、洪水データの今後のあり方に関するアンケートの自由意見

議題4 数値解析を活用した新たな河川技術の展開に向けて（まとめ）

司会：いままでの結果を踏まえてまとめるにあたり会場からの意見は？

会場（ICHARM 江頭先生）：三次元流れを解けば流砂が分かるという話をされているが、その前に、流砂と流れの相互作用（マイクロ構造）についてどのように扱っているかを明確にしたい。マイクロとマクロの関係が大事である。これらを踏まえた上で100年先の議論をしてもらいたい。河床変動が合わないというのはどういうことか明確にしてほしい。

司会：再現しないといけない水面形の時間変化をマクロ的なものとして考えると、それがあつたとして、マイクロ現象を解析の中でどのように記述してどこに課題があるかを明らかにすることが、技術の発展に重要であるというのは最もだと思う。データについては洪水データ、水面形データ、ALB データなどが多く集まるので、これらを使ってしっかりと検証することが重要と思います。まとめるつもりではあつたが、課題は共有できたように思う。

会場（中央大学 福岡先生）：今後の展望として、三次元解析はやるべきであると思う。先ほどの土砂と流れの相互作用について、精緻な三次元解析法は切り込むことが出来ると考えられる。大事なことは、数値解析は現場の実現象の上にあるべきであることと、今までできなかった新しい問題にチャレンジすることであると思う。そして、三次元解析結果を用いて、一次元、二次元に戻した時にどうであるかの議論に戻ればよいのではないか。

司会：これまでの意見を踏まえて、この議論は報告書にまとめるつもりです。また、今回、議論できていない貴重なアンケート意見については報告書で発表しています。貴重な研究発表をしていただいた話題提供者、会場から意見をいただいた皆様、アンケートに協力いただいた皆様に感謝します。

4. 数値解析を活用した新たな河川技術の展開に向けて（まとめ）

1. 現状の数値解析法の課題、要望
河床変動解析、リアルタイム解析、広域解析、長期予測、高精度化
2. 多量のインプット、アウトプットデータ処理、結果の解析と検証
AIのブラックボックス、適切な適用・応用、入力データの不確実性に対する備をもった結果の整理・解釈、解析を適切に理解できる技術者の育成
3. 河運、洪水データの今後のあり方
三次元解析の検証・Verification Validation、データと解析のバランス、水面形の時間変化の再現の重要性とそのデータ整備、粒度分布、横断測量からALB（点群データ、三次元データ）、三次元データとリアルタイムデータのプラットフォームとその活用
4. 新たな視点
・解析のマクロ現象（水面形の時間変化という）とマイクロ現象（流れと流砂の相互作用）の両面の妥当性の議論が現象解明に重要。
・三次元解析によるこれまでできなかった新たな問題へのチャレンジとそれによる一次元、二次元解析法などの体系化に向けた挑戦が技術発展に重要。

※ 本スライドは後日報告書作成時に修正したものです

図-3.6 OPS2 のまとめのスライド