

オーガナイズドセッション

「河道計画・管理のための流れ・地形変化の解析技術力向上に向けて」 記録

2014年6月5日 15:10~18:00

オーガナイザー：戸田祐嗣（名古屋大学）、内田龍彦（中央大学 研究開発機構）

趣旨説明，基調講演，話題提供の概略を示し，総合討議で行われた議論を取り纏める．ここでは，概略説明のため，趣旨説明，基調講演，話題提供のスライドの一部のみの紹介に留めているが，パワーポイントの全スライドについても公開しているので，そちらも参照されたい．

趣旨説明

オーガナイザー 中央大学 研究開発機構 内田 龍彦

- ・ 流れ・地形変化を解析する技術は，河川計画・管理のための根幹技術の一つである．社会情勢（洪水外力の増大，ダムにたよらない治水，環境や生態系への配慮）が変化してきた中で，解析技術に求められる要望が増大し，研究の学際化が進み始めている．また，降雨予測や計算機・情報処理など関連技術の発達による技術革新も相まってきた．そのような状況下で，
 - ✓ 流れ・地形変化の解析技術開発の現況の把握と今後の課題の抽出
 - ✓ 世の中に求められている解析技術とは．
 - ✓ 河川流・河床変動解析技術の役割や現状の課題とは．
 - ✓ 現場で問題になっていることとは．などについて，本オーガナイズドセッションを通じて理解を深めたい．

OS: 河道計画・管理のための流れ・地形変化の解析技術力向上に向けて

目的

『流れ・地形変化の解析技術』

河川計画・管理のための**根幹技術**の一つ

社会情勢（洪水外力の増加，できるだけダムによらない治水，環境，生態系への配慮）の変化による**要望の増大(実務)**と**裾野拡大・学際化(研究)**

関連技術（降雨予測，計算機，情報処理，リモートセンシング）の発達による**技術革新**



河川技術に関わる実務，研究分野を盛り上げる中心となっている．．．はず？



今，河川技術に関するシンポジウムで取り上げるべきテーマ

基調講演 1

「河道管理のための洪水流，土砂移動解析技術の進展と課題解決への道筋」

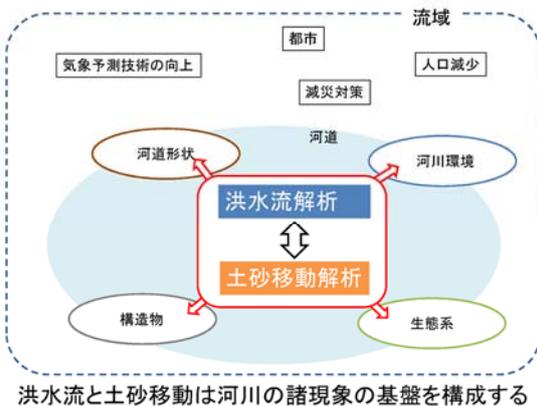
中央大学 研究開発機構 福岡 捷二

- 洪水流，土砂移動解析技術が今までどのように進展してきたか，砂礫河川・石礫河川の洪水流・河床変動解析の研究や数値移動床水理学の最前線など経験も踏まえ紹介．そこから見えてくる課題を抽出し，今後への方向性を示す．
- 洪水流・河床変動解析に関する調査研究の変遷を整理（1950年～現在）．
- それらを踏まえると，これからの河川技術には，時空間的にスケールの異なる河川の諸現象を広範囲に統合的に読み解く解析技術，新しい土砂移動解析法の河川への適用技術の開発，気象予測技術の向上による治水計画技術の展開などが必要である．
- 特に，洪水流と土砂移動は河川の諸現象の基盤を形成していることから，それらの十分な理解に基づく解析技術と適用性の広い解析モデルを持つことが不可欠である．

1. 洪水流・河床変動に関する調査・研究の変遷と今後の方向性

- 1950年代から1960年代後半
 - 水理解析，実験水路を用いた移動床水理の基礎現象の検討
 - 大型水理模型実験による河道計画
 - 数値解析時代の幕開け
- 1970年代
 - 河川の流砂研究の隆盛期
 - 総合治水計画
 - 洪水氾濫解析
- 1980年代から1990年代後半
 - 洪水流，河床変動の現地河川観測と分析
 - 洪水流の一次元解析から準二次元・二次元数値解析へ
 - 治水，利水，環境の整備と保全を目的とする河川の総合管理
 - 多自然型川づくり

- 2000年から現在
 - 河川整備基本方針，河川整備計画の策定
 - 多自然川づくりの基本方針策定
 - 大型模型実験と数値解析手法の相互補完に基づく河道設計技術
 - 洪水流と河床変動を一体的に解く数値解析技術の進展と洪水-土砂水理システムの理解増進
 - 河川を広がりを持った洪水-土砂水理システムとして捉えた河川砂防技術基準の改定，維持管理基準の策定
 - 総合土砂管理
 - 防災から減災へ。
- これから
 - 時空間的にスケールの異なる河川の諸現象を広範囲に統合的に解く数値解析技術の活用による多自然川づくり
 - 新しい土砂移動解析法の河川への適用技術の開発
 - 治水と環境の調和した多自然川づくり設計技術の推進
 - 気象予測技術の向上による治水計画技術の展開
 - 気候変動に適応した治水対策，超過洪水対策の検討・実施
 - 河川と都市の連携による都市の耐水安全性の確保技術
 - 人口減少時代の流域管理。



・河川の計画，管理を適切に行うためには，洪水流と河床変動の十分な理解に基づく解析技術と適用性の広い解析モデルを持つことが不可欠である。

・洪水流は土砂の移動，河床の変動を引き起こし，また，河床の変動は洪水流下形態に影響を及ぼす。したがって，両者の一体的な解析モデルが望まれる。

・洪水流と土砂の移動は，河川で起こっているあらゆる現象，すなわち，河道の縦横断面形，構造物とその周りの流れ・洗掘・堆積，河川環境，河川生態等に密接に関係している。このため，洪水流と土砂移動の一体的解析モデルは，これら密接に関係する要素の解明に役立つ基盤を構成するものである。

そのような解析モデルとは，「観測水面形の時間変化を境界条件に与え，洪水流と河床変動を一体的に解析し，流れの三次元構造，特に，河床底面付近の流即場を的確に表現することにより土砂移動を正しく記述できるものであることが必要である。これにより，異なる時空間スケールからなる種々の水理現象を広範囲に，統合的に解析可能」なものである。

基調講演-1 スライド 3-6

- 観測水面形の時間変化を境界条件に与え，洪水流と河床変動を一体的に解く解析技術を開発してきた．特に，河床底面付近の流速場を的確に表現できることが特徴である．
- 近年では水位を同時多点で高精度に観測でき，水面形の時間変化を高精度に容易に求めることができるため，その時間変化を既知量（境界条件）とし，流量ハイドログラフを未知量とすることは本質的である．
- 水面形時系列データに基づく解析フロー，BVC法や土砂移動・河床変動の解析法を紹介．
- 川の特徴を的確に捉えてそこでの特徴的な現象を認識した上で，自分が使用する解析技術を適切に選択していくことが必要となる．

- ・ 砂礫河川において、水面形の時間変化を境界条件とした洪水流と土砂移動の一体的解析は平均河床高、最新河床高分布の計算を可能にする等、多くの問題解明に繋がった。
- ・ 今回の検討に用いた石狩川、信濃川下流、斐伊川のように複雑な河道構成を有する河川では平面二次元解析では河床変動を十分に説明できないため、流れの三次元性が考慮されている BVC 法を用いる必要がある。

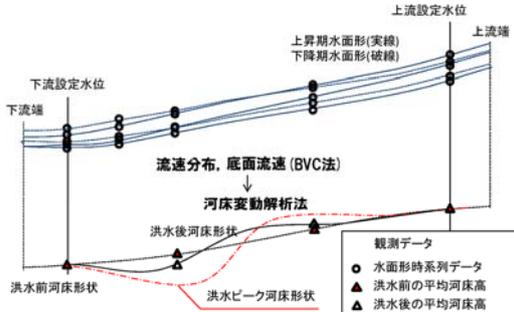


図-1 水面形時系列データに基づく洪水流・河床変動解析のイメージ

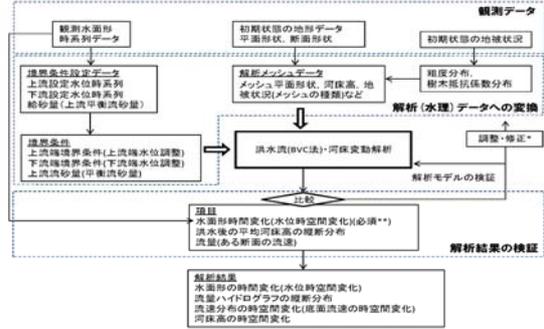


図-2 水面形時系列データに基づく洪水流・河床変動解析フロー

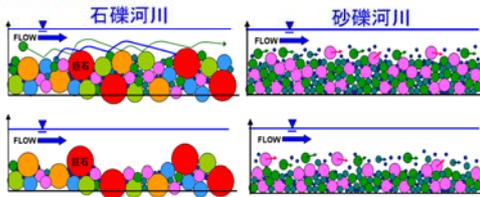
基調講演-1 スライド 8-9

- ・ 石礫河川では、構成する石礫の形が多様でそれが流砂特性を規定する。特に、粒子間のかみ合わせ効果と衝突が与える影響が大きいいため、その特性を十分考慮した解析法の進展が必要である。
- ・ 従来の研究ではブラックボックスであった石礫河川の土砂運動の力学機構を明らかにするために、任意形状の粒子群の運動と流れを直接計算する数値移動床水路が開発されている。

5. 石礫河川の洪水流と河床変動解析

・石礫河川では、石礫の大きさ、形状が多様な分布を持ち、河床の凹凸が大きく、多量に移動するために、先に示した従来の砂礫河川の解析法は、そのままでは使えない。現段階では、長田・福岡による石礫河床の凹凸分布とせん断応力ではなく石礫に及ぼす流体力を考慮した河床変動解析法が、比較的説明力が高い。

・しかし、従来モデルでは石礫河川における流れと石礫群の相互作用や石礫群の間で頻りに起こる衝突による運動量交換等、石礫河川の力学の本質である粒子群と流れの間の相互作用が考慮されていない。



6. 数値移動床水路による移動床水理学の地平を開く

任意形状粒子群の個々の粒子運動に着目し、流れをEuler的に、粒子運動をLagrange的に直接解析する数値移動床水路を用いた福田・福岡らの解析は、流れと粒子群の相互作用を考慮しており、この成果は、土砂水理学の新しい地平を開く可能性がある。

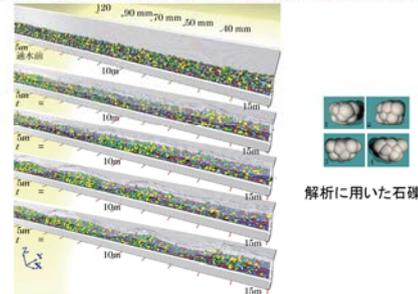


図-10 数値移動床水路における反砂堆の発達

基調講演-1 スライド 20-21

- ・ 河道全体の水理現象をカバーできる方程式系からなる一つの解析モデルを基本として、それぞれ場の状況に応じた適切な方程式群を選択できる多重構造の解析モデルが望まれる。現在の技術基準は、一般論で書かれており、このような要請にこたえることは難しい。複雑な洪水、土砂移動場の解析は、労力、費用がかかっても必要であれば実行する。今は、簡単な解析でおおよその判断出来ればよいという時代ではなく、検討対象領域の上下流の広い区間を含めて、明確な根拠に基づき、洪水、土砂移動を検討する時代である。
- ・ 洪水流、土砂移動の課題は、治水と環境の調和、維持管理、超過洪水対策、都市の水害対策、総合土砂管理、人口減少と流域治水の在り方、気候変動に適應した治水対策等これからの解決すべき重要な課題に密接に関係する。河川技術開発、研究開発への時代の要請は、待ったなしの状況にあることをしっかりと意識する必要がある。

基調講演 2

「機能が高度に集中したシステムとして河川を捉える視点から解析技術の役割を考える」

国土交通省 国土技術政策総合研究所 藤田 光一

- ・ 流れ・地形変化解析が河川技術の王道，または「川を制するものは」的ストーリーに頼っていて大丈夫なのか．生物，気象，水資源や砂防などは観測結果や計算結果そのものが社会にとって受け入れられやすい答えなのに対して，流れ・地形変化解析は意思決定における“途中段階”．そのままでは社会との距離も大きい．
- ・ ただ，河川は，狭い場所で，自然外力・インプットを集中的に処理し，自然環境を形成・提供する“機能が高度に集中するシステム”であり，その度合いはますます上昇している．問題は，そのことを社会との関係できちんと見せることが出来ていないことではないか．なぜ河川技術が必要なのかということ，我々自身がまず認識すべき．

河川システム(流砂系)の作用、機能

- ・ 害的事象を生起させる(山腹崩壊、土石流)物を破壊。
- ・ 平地を作る→使える土地の高さと広さを決める
平地を奪う(浸食)。
- ・ 生態系を支える物理環境条件(地形、基質)を決める：河川に近いほど影響度高い。
- ・ 物質供給・輸送・貯留(粒子態)。
- ・ 洪水氾濫の起こり方を規定する。
- ・ 河川水の利用のしやすさを規定する。
- ・ 河川生態系に関係する水理環境を規定する。

→狭い場所で、自然外力・インプットを集中的に処理し、自然環境を形成・提供するシステムになっている。

課題認識の入り口

- ・ 社会との関係で存在感が薄くなっていないか？
- ・ 生物、気象、水資源、砂防 → 「答え(観測結果、計算結果)」が社会にとっても答え(少なくとも身近)
- ・ 流れ・地形変化解析 → 意思決定における“途中段階”．社会との距離が大．所詮“狭い川の中の話”と見られがち．「川を制するものは」的ストーリーに頼っていて大丈夫か？
- ・ 重要度下がったのか？ そんなことはない。 → 河川は、機能が高度に集中するシステム．その度合いはますます上昇．システム破綻は大事をまねく！
- ・ 問題は、そのことを社会との関係で、きちんと見せていないことではないか？
- ・ では、必要性、重要性の説明が不十分なことが問題の本質か？
- ・ [閉じた世界→安住の地→緊張感低下→技術発展に関しての関連性が生じにくい状況]
- ・ という流れになっている？とすれば、それこそ問題ではないか？
- ・ 河川部会 会則 第2条 の意味の再確認 → 河川技術の発展には他とのつながりが必須。

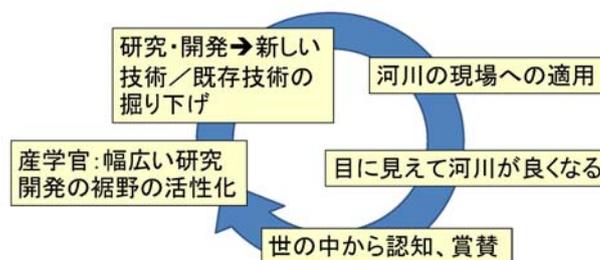
基調講演-1 スライド 3,5

- ・ 河川技術の発展には、他とのつながりが必須．新しく開発された研究や技術は，河川の現場へ適用され目に見えて発展が見える（河川が良くなる）と世の中に認知される．河川技術は現場をターゲットにしており，現場とのフィードバック，社会への発信が重要である．

土木学会水工学委員会河川部会 会則 第2条の主旨

「河川技術」:

河川(水・土砂・物質循環系を含む)と人間および生物との関係をより良いものに変えていくための実践的技術の総体



基調講演-1 スライド 6

- 他とのつながり,つまり社会の関心と流れ・地形変化を橋渡しするもの(災害リスク,コスト,クライシスマネージメントなど)に改めて着目する.社会とつながる多くの事象が河川を介して起きていることを理解する必要がある.
- そのために必要な事柄として, 評価につなげる, 長期的将来変化を扱う, 信頼度まで言う, 実況把握に踏み込む, などが挙げられる.
- これらを考えていくことにより,「河道設計」の河川技術としての重要性と今日の重要性が抽出され,社会への提案に昇華させるといった期待がもたせられる.
- 他とのつながりを形あるものにしていくために,“河川洪水観測重点ゾーン”という方向性がある.社会への貢献を具体的に詰めた上で,解析・観測との一体化,解析・計測技術の急速な展開の取り込み,個別技術から統合技術へという包括アプローチ,波及効果という観点からの代表性などを考慮し,説得力のあるビジョンを提示していくことが,まずは鍵を握るものと思われる.

「他とのつながりを持たせる」とは?

□社会の関心と流れ・地形変化を橋渡しするものに改めて着目する

- **災害リスク**: 現在,将来に向けての変化,気候変動影響,流域状況変化シナリオとそれに対する感受性
- **コスト**: 河道維持管理,土砂管理,施設管理,国土保全のための営為 「資源」も?
- **クライシスマネージメント**: 状況(予兆)把握,予測,予報・警報,指示・誘導,早期収束
- **河道・環境の行く末**: 不可逆かつ致命的変化や悪性の変化が起こる可能性,修復コスト

□必要となる事柄→新たな技術展開への契機

- 「評価」とつながる → 他領域への越境とフィードバック,他領域とのキャッチボール
- 長期的将来変化を扱う → 長期の流量生起・土砂供給設定,何が川の姿を決めているか?(履歴性)の理解が必須,非決定論的条件の設定法,“シナリオ”,不確実性表現
- 信頼度まで言う → システム同定のやり方の根本,観測値の活用法,信頼度表現
- 実況把握に踏み込む → 種々観測値のリアルタイム組み込み,リアルタイム予測

□問題解決の提案: 様々なレベル,類型 技術進化の舞台として

- 河道設計: 国土のあり方・目標像の包括提案と位置づけ.何を果たすかを強調明示.
- 洪水時,危機状況下でのマネージメント,オペレーション(河床変動を考慮した)
- 河道に受け持たせられること(容量),その限界 → 国土マネジメントの基底条件としてのメッセージ

「河道設計」の河川技術としての重要性

- 複数目的を統合する技術である。
気候変動適応,環境再生,超過洪水対応,システム持続性・堅牢性などをビルドイン → 社会との関係,関心への回答を具体的に織り込むという方向
- 抽象論,一般論に逃げ込めない技術である。
- ロジックが求められ,鍛えられる。
- 結果を問われる真剣勝負になる。
- 河川技術の基本事項を考えさせられる。
- 様々な分野の知見とつながる開かれた技術である。

「河道設計」の今日の重要性

- 防災・減災の潜在的切り札としての立ち位置。
- 地形をつくる,そのシステムをつくる技術である。
- “現況河道重視”の先に進む必要性。
- 考える時間・空間スケールを大きくとる必要性。

社会への提案
に昇華させる
という期待

基調講演-2 スライド 20,21

他とのつながりから出てくる大事な問い

- 粒度分布はどのようにして形成されるのか?
- 移動床の抵抗の実相 → 今求められる精度との関係
- HWL越えた河川の流れ,水面変動,河床の挙動は?
- どこから溢れ出すか技術的に読めるか?
- 大規模洪水,大規模流域インパクト作用下での土砂供給の捉え方
- 河道の基本諸元(幅,深さ)の決まり方と変動の法則
平衡状態 <> 個々のインパクト応答の重畳
- 土砂供給と河道状態との関係性 土砂供給量に見合う河道?
- 本当に必要な供給土砂,忌避すべき供給土砂は明示できるのか?
- 堤防を危うくする洗掘,侵食は予測できるのか? 決定論的に予測できない事象はある? とすればどうしたらよいか?
- 砂供給減少の帰結
- 礫粒径以上の材料の供給を増やすことの意味
- 「側方侵食の抑制」,それを緩めることの意味と河道設計

河川の流れの総合的把握

- ① 水理システムへの力学的な理解に基づく柔軟な未知数設定 ※簡略説明のため非常定常項省略

“河川洪水観測重点ゾーン”という方向性

- 社会への貢献を具体的に詰めた上で,
 - 解析と観測,計測との一体化
 - 解析技術,計測技術の急速な展開の取り込み
- ② 水 ● 包括アプローチ:断片情報から包括情報へ,個別技術から統合技術へ
- ③ 水 ● 流量観測など従来の技術向上課題を包含
- ④ 河 ● 波及効果という観点からの代表性
→ 技術展開の共通の舞台として

- 河川 説得力のあるビジョンの提示が鍵を握る
- 多くの扱うべき水理量がある中で総合的・戦略的視点からより合理的な観測を実施する手法を見いだす上での基本フレームに,

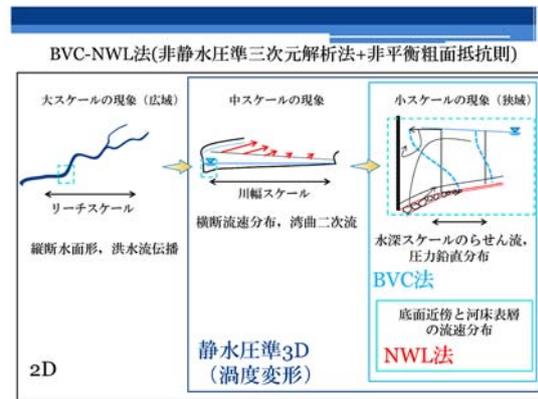
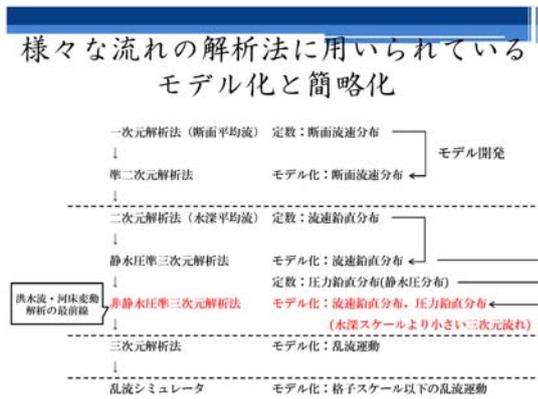
基調講演-2 スライド 23,25

話題提供 1

「河川流解析の役割と適用範囲」

中央大学 研究開発機構 内田 龍彦

- ・ 河川流解析とは、何なのか．その役割と適用範囲について研究事例を踏まえ紹介する．
- ・ 様々な流れの解析法には、それぞれの仮定を元にしたモデル化と簡略化が行われている．
- ・ 最新の計算技術では、数値実験水路での乱流計算や礫床河川の詳細な流れ機構が計算可能であるが、今回は洪水流を対象とすることから、非静水圧準三次元解析法までに議論を絞る．
- ・ BVC-NWL 法（非静水圧準三次元解析法 + 非平衡粗面抵抗則）とは、渦度変形、圧力鉛直分布や底面近傍と河床表層の流速分布を考慮でき、狭域～広域まで様々なスケールでの詳細解析が可能である．
- ・ 水深積分された運動方程式、底面流速、渦層・粗度層の運動方程式の各項の大きさを、スケールに応じて調べた結果を紹介．
- ・ 礫床河川の局所流解析では非平衡粗面抵抗則が必要である．
- ・ （従来の解析法での）底面せん断応力が、河床表面に作用している力かどうかを調べたところ、そうではなかった．そのレベルの議論が洪水流解析のレベルで行われるようになってきた．
- ・ BVC-NWL 法を用いた水衝部の三次元流れを、現地礫床河川（常願寺川）の計測結果と比較した．
- ・ まとめとして、流れの解析では、広域の流れを解析できる枠組みの中で、流速鉛直分布を決定する渦度の変形と圧力効果を考慮できる非静水圧準三次元モデル（BVC 法）と底面極近傍と河床表層の流れの非平衡性が解析できる非平衡粗面抵抗則（NWL）が開発された．それは、礫床河川の水衝部の三次元流れなどをよく説明できる．



話題提供-1 スライド 2,4

話題提供 2

「流砂・河床変動の解析技術の課題」

京都大学 防災研究所 竹林 洋史

- ・ 既存の「流砂・河床変動」の解析技術は、技術者・研究者に理解されているのか．
- ・ 河床変動計算をはじめとした解析技術は、あるていど完成しているものと思われるかもしれないが、何が出来て何が出来ていないのかを理解して使用することが重要．実際は、まだまだ出来ていないことは数多くある．
- ・ 現状での解析が困難な課題としては、次のようなものが挙げられる．細粒土砂の発生・輸送・堆積プロセスの解析、現地の粘着性土の侵食速度の評価、空隙率の時空間分布、掃流砂・浮遊砂・ウォッシュロード・土石流の遷移領域の力学機構、サブグリッドスケールの現象が解析に与える影響、など．



話題提供-2 スライド 3

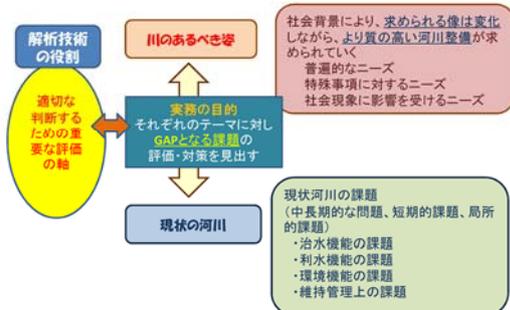
話題提供 3

「これからの河道計画・管理の解析技術（シーズ）に求めるもの」

河川部会長 日本工営株式会社 松田 寛志

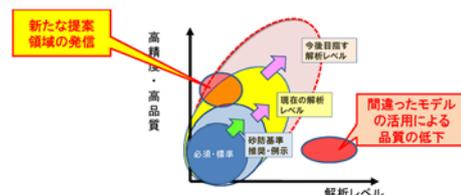
- ・ これからの解析技術に求めるものを実務者としての視点から整理した。
- ・ 実務者におけるスタンスの一例を挙げると、個々のテーマに対して求められる精度の範囲の中で信頼性が高いものが求められる、モデルの採用には、説明が容易なものが優先される傾向がある、モデル利用者は、解析技術の詳細な質の理解が不十分、などが主に挙げられる。
- ・ それぞれのテーマに対して GAP となる課題の評価・対策を見出すという実務の目的に対して、解析技術の役割は、適切な判断をするための重要な評価の軸。
- ・ 現場が抱える問題点は、マニュアル化や解析技術の盲目的な活用による技術的な判断思考の弱まり、解析モデルの特性を適切に理解した活用が行われているか、何をもって解析が合う・合わないを判断すれば良いのか、などが挙げられる。
- ・ そのような問題点をいかに改善すべきか、という点では、上記の問題点が改善されるような仕組みづくりをしていく事が重要。
- ・ 各解析モデルの適用範囲や再現精度に関してとりまとめた情報があると良い。
- ・ それとともに、新たな解析技術を活用していく環境づくりや提案を積極的に行う。
- ・ 仕組みづくりとしては、モデル適用事例について学識者と情報共有できる場を設ける、実務レベルでの技術的課題に対する気づきを具体化させて、提言していけるような場を作る、などが必要。

実務における解析技術の役割



解析技術力向上に向けて

1. 新たな解析技術を活用していく環境づくりや提案を積極的に行う
2. モデル活用における適用技術を学識者と共有する場づくり
3. 実務レベルでの技術的課題に気づき、その課題を具体化させ提言していく
4. より多くの観測データの活用、新たなICT技術の積極的な導入（MMS, 航空レーザ, ADCP等）



話題提供-3 スライド 3,8

総合討議

進行： 河川部会副部長 名古屋大学 戸田 祐嗣
パネラー： 中央大学 研究開発機構 福岡 捷二
国土交通省 国土技術政策総合研究所 藤田 光一
中央大学 研究開発機構 内田 龍彦
京都大学 防災研究所 竹林 洋史
河川部会長 日本工営株式会社 松田 寛志

趣旨説明

名古屋大学 戸田祐嗣

- 近年、計算機能力向上を背景に観測技術や解析手法の開発が進展され、その中で解析手法は高度化と多様化の道を辿ってきた。ここで今一度、解析技術の枠組み自体を見直す機会に来ているのではないか。流れ・河床変動解析の現在の典型的な枠組みとして共通化していけるもの、個別的に発展させる必要があるものなどがあるはずである。
- 総合討議での論点として、今日的な解析技術の持つ意味、技術開発の最前線での課題や今後の展開、新しい技術の波及・普及のためには、今後野解析技術への期待、取り扱うべき範囲、などの観点から議論を進めたい。

要素技術の進歩を反映・活用した新技術開発の試み

●各分野での要素技術の高度化

観測技術の向上	計算手法の向上	関連機器・情報の高度
水位観測 簡易水圧式水位計 (多点観測)	洪水流 非静水圧・構造物周リ・抵抗の与え方など	コンピュータ演算能力
地形測量 音波測深(スワス測量) 航空レーザー(地上+水中)	河床変動 混合粒徑・河床波など	既往データの電子化 横断測量など地形データ 植生群落(分佈・高さなど)
流速・流量観測等 ADCP 電波	構造物安定性 堤防・橋脚・など	大容量情報処理技術 CAD・GIS

これら要素技術の進歩の中で、既存の扱えるものの範囲や解析の枠組みに因わずに、新しい方向性を議論すべきではないか！

問題の難易度に応じて様々な技術を組みなおすこともできるようになった！

●たとえば
・多点水位観測+洪水流・河床変動：洪水伝播と出水中の河床変動の解明

総合討議の論点

- ・今日的な解析技術の持つ意味
出来ることの範囲が広がった：より複雑・複合的な現象をそのまま扱える！
実験・観測との新しい組み合わせ・相互補完
- ・技術開発の最前線での課題・今後の展開
- ・新しい技術の波及・普及のためには(実務、研究ともに)
- ・今後の解析技術への期待、取り扱うべき範囲
社会情勢の変化(温暖化、人口減など)に対応できる流れ・地形の解析技術とは・・・
より総合的な対策(河川と流域、都市、海岸)が求められるなかで・・・

総合討議 スライド 2,4

フロア：移動床の水理は、昔は水深と流速を与えて流砂量や河床波がどうなるのかということをやってきて、次に流量が与えられたので水深や流砂量、ひいては河床地形はどうなるのかということに使ってきた。これは平衡状態や等流状態での議論だが、現実にはさらに時間的に変化している。そのような中で、福岡先生が開発されている水面形の時空間変化を境界条件として与える解析技術は、移動床水理をさらに発展させる転換点となっていると思われる。ただ、計画論としてその技術をどのように組み込んでいくのか、また組み替えていくのか？

福岡：今まではどちらかということ逆の質問が多かった。実際起こったものについては計算できるが、将来予測についてはどうするのか、とよく質問された。それは川の変化によって粗度係数がどのように変わるのかわからなかったから。それが現在の解析では、運動方程式に基づいて水面形の変化に応じた粗度係数のある程度の範囲まで推定できるようになったことが大きな進歩であり、議論の幅が広がった。それを計画論に組み込んでいくことはこれからの課題であり、よく考えて良いアイデアを出していきたい。

フロア：流れ・河床変動解析が花形かという話題があったが、最近では土砂水理学の研究者は全国的にみても非常に減少しており、それに興味を持つ学生も少なくなっている印象である。そのような中、どのように興味を惹きつけるのか？はつきりとしておもしろい社会にインパクトを与えるようなものを具体的に出さないといけないのではないか。

内田：実用的な流れの解析モデルの中で非静水圧の流れの三次元性と合わせて非平衡の粗面抵抗則まで考えられるようになってきた。粗面抵抗則という問題を扱うためにはそれを計測する必要もでてくる。このようなこれまで検討できなかった新しい領域の検討は、その領域を深く研究していくことによってさらにアイデアが出てきて、その方法をまた他者とディスカッションしていくことによって連鎖的に盛り上がるのではないかと。

竹林：分かりやすい部分に関しては研究が進んでいるが、それでもなお基本的な部分にも課題はある。ただ、すぐに解決できる課題ではないため、研究としても手が出しづらく、重要であるのに横に置かれている、というのが現状。解析技術について、若い人に興味を持ってもらうために取り組んでいる活動の一つは、iRic である。誰でも簡単に河床変動を計算できるこのソフトを使って、まずは興味を持ってもらい、使いながら楽しんでもらうことによって、今後十年・二十年で流砂や河床変動の研究者・技術者が増えていくきっかけになれば良いと考えている。

藤田：反対に、長年河床変動の研究をされている先生方にお伺いしたいのは、河床変動の解析を何のためにされているのかということ。ビジョンを示せるのか？

フロア：研究者としては、まず自分がおもしろいと思うことをやりたいし、それが社会的にもインパクトがあるなら、なおやりたい。その2つが揃っていることが重要。

フロア：底面せん断応力で本当に流砂の動きを表現できるのか、という疑問は以前からあった中で、福岡先生が示された粒子レベルでの解析技術開発の展開は、新しい進展の方向だと感じた。

福岡：我々の研究グループでは、粒子そのものにかかる力から見直してきており、その方向性を今後技術として実際に使える形にまでもっていきたい。特に、内田先生が示されたのは、既存の解析の枠組みの中でモデル化していくというアプローチ。全体の枠組みがある中で、どの部分を個別にモデル化していくべきかを十分に検討する必要がある。礫の形状や礫による川底の形を考えたモデリングは難しい部分ではあるが、粒子と流体との運動量変化の部分まで含めて底面でどのような力が働くかは重要であり、数値実験として解析技術の活用が期待される。次にそれらを全体の枠組みでどのように整合性を取っていくかは課題であるが、そのような検討から一番良い解を見つけていきたい。

戸田：解析技術と様々な場との接点やその他の部分との展開ができる方向性を考えていくことは、今後重要であると思われる。例えば、河川の解析は今までは一方向的に水文学から情報を受けていたが、逆に、河川から水文のほうに情報提供をすることはできないのか、あるいは、破堤を考えた時に河川-堤防-氾濫原では、堤防破壊の局所的な複雑な流れのところは非静水圧を用いるなど、解析技術を軸にした繋がりが可能などところがあるように見受けられる。今後、解析技術を軸にした他との連携は検討していくべき課題である。

フロア：流砂の問題では、力学フレームをしっかりと作った上での検討が何より必要。ダイナミックスをきっちり議論したうえで次に進むべきである。

竹林：しっかりと組み上げた力学フレームに対応しているような流砂の力学モデルは、現在のところできていない状態である。若手世代がそういうことを意識して、今後検討していかなければならないと思っている。

フロア：流砂に様々な人が集まってくるということはまず重要で、iRic の取り組みや移動床数値水路を

用いた運動現象の見える化はそれに貢献されている。ただ、手当たり次第にたくさんの人を集めるというのではなく、その中から面白い自然現象や特異なものに興味を持って、透徹性のある物の見方ができる研究者が数少なくても良いから生まれてきてほしいし、そうなるためには現象を見た目だけではなく力学現象の本質を見せるような工夫とそのような流れ・地形を解析できる教育体制が重要である。

フロア：地球温暖化の話では、その指標としての水温が分かりやすいキーワードになっている。河川の場合は、時空間スケールに応じて焦点が合うものが異なり、例えば、洪水がもっている時間スケールと土砂移動や河川環境をみる時間スケールなど挙げられるがそれぞれが異なる。このミスマッチをいかに見せるかというところが非常に難しい。そういった中で、河川の場合のキーワードともとれる水位多点計測は非常に重要であるが、そのどのような見え方や時間スケールが将来にとって最適であるのかを現状で教えて頂きたい。

藤田：河川は機能が高度に集中したシステムであるという捉え方から、河川の動態を司っている根本は何なのかをまず考えることが議論の幅を広げるのではないかと。そのきっかけから考えていくことが、最終的には河川のシステム自体をどのように規定して表現していくのかに繋がり、そういう思考が面白いところなのではないか。

福岡：河川流れ・河床変動の見える化については長年重要であると思っていたので今回紹介したように実践してきた。そこから、現象をさらに見える化して、さらにそこで起こっている現象を理解してもらおうというのは、また努力のいる話である。現象を絵にするという事自体、その現象についてきっちり理解していないと出来ないことで、現時点で我々が分かっている事をまずは少しずつでも見える化していく努力が必要。一方、河川を考える上での見方に応じた時間スケールの違いの話については、一つ答えを持っている。それは、河川の縦横断面形をどうすることによって、環境で現在良いといわれているものを残していくのか、ということ。平水時と洪水時で変化する流量に応じて環境の問題も変わるように、川幅や縦断面形についても同様で支配する流量は一つではない。双方向の視点から、議論して本物にしていくということを心がけたい。

フロア：見える化の方向として、河川に関わる基盤情報データや解析プログラムソースなどをより柔軟に公開してほしい。

藤田：位置データなどの基盤情報は国土交通省が経年的にデータを取得している。取得したデータをデータベース化して、それをさらに使える状態にするのは非常に重要なこと。例えば、国総研の河川関係のデータベースをしっかりと蓄積し使用できる状態（公開）にしておくということが望ましいので、種々の調整が必要となるが基本的な方向性としてはそのように考えており、取り組むべき重要なことであると思っている。質については、データを取得する側と実際に使用する側で乖離がある部分もあるので、双方向に議論する中で質を高めていく必要がある。

竹林：解析プログラムのソースコード自体は、現状では一般には公開はしていないが、将来的には公開していきたいと考えている。現段階では、そのソースコードへの対応がどこまでできるかが不透明。公開すると、実際に使って頂いた方から修正項目のフィードバックがあり助かる部分もあるので、段階的に公開していくような仕組みを考えていきたい。

松田：色々なプログラムソースを学識者から共有して頂ければ、技術者の方で計算を実施し、フィードバックしていけるような形はできやすい。そのためにも、勉強の場のような、学識者と実際に使って頂く方との意見交換ができるような場作りというところからでも始められると、発展していくのではないかと考えている。

フロア：中小河川の多自然川づくりを実践しているが、そこでポイントとなるのは川の形を考えるということである。iRicのような簡単に河床変動を解析できるソフトが開発されて川の形について

の議論が技術者間でも可能となったことは前進である。一方で、解析技術をブラックボックス的に使用するのには問題ではないかという指摘については、使う側としてそのような問題意識をもって使用する必要があると感じた。

松田： 解析を使う方の裾野が広がるというのは重要なことであると思う。ただ、目的に対して適切なものを選択しているかどうかというのは、河川砂防技術基準などに立ち返って頂き反映してほしい。

フロア： 解析の信頼性は前例がないと判断しづらいし、使いづらい部分もある。そのような意味で、iRic は、行政や技術者も巻き込んで普及活動に力を入れてこられた背景から様々な方が使用され、認められた河川技術となりつつある。素晴らしい活動をしてこられたと感じる。

戸田： 計測技術と解析技術との両輪での前進についてはいかがか？気象分野ではデータ同化が当たり前のように使われている。ただ、河川はデータ同化という意識は今まで少ないように感じるが、計測技術の進展によってそれが出来る可能性もあるのではないか。

福岡： データ同化が河川分野で使えるようになってきたのは、数値解析の前進によるものが大きい。河床の土砂量が精度よく計算できるようになってくれば、洪水ごとに各場所での計測結果を用いた変化や、ひいては川の形の変化や植生との関係など様々なことが分かる。解析技術が進展し今やっと計測結果をデータ同化などの形で活かせる仕組みの端緒が見えてきた。一つずつ出来る事を積み上げて、進展させていくべきである。

藤田： データ同化という手段は、ただ単に解析精度向上というものを越えて、今まで不明であったパーツを間接的に組み込む手段である。これにより今まで分からなかった現場の状況が手に取るように分かるようになり、それを集約し再構成し直すと、新たな素過程の発見や見えなかったものが見えてくる可能性を含むことから、研究手段として期待がもてる。

総括

河川部会副部長 名古屋大学 戸田 祐嗣

- ・ 今回の OS は、これをきっかけに広い視点で解析技術の枠組みを捉え直して、我々の分野が他から見て生き活きと見えるようになっていくための一つのスタートの議論。今後も河川部会として継続的に検討・議論していきたい。