

『河川護岸設計の照査手法の研究』

株式会社フジヤマ 防災・環境保全部

清水雅子 大塚良子 遠藤弘人
高橋果朋 平塚貴大

1. はじめに (概要も含む)

河川護岸設計業務は、『河川構造物設計要領』や『護岸の力学設計法』など、配置する施設ごとに定められた基準に基づき設計される。

一方、河道内形状に大きな変化をもたらす「水制工」などの設計における整備効果は、類似河川での実施事例など経験に頼ることが多い。しかし、現場条件は箇所ごとに条件が異なるため、工事後、必ずしも期待する結果になるとは限らない。

例えば、水制を設置する場合、『河川構造物設計要領』においては以下の記述がある。*1

『合理的な水制工の設計を行うためには、以下の事項に留意して水制設置場所の種々の特性と水理について「日本の水制」(山本晃一著)などの文献を参考に十分検討し、必要に応じて流況解析、模型実験を行い施工後の経緯を踏まえつつ改良を図るものとする。また、水制の機能(制流)や河川環境を考慮し、出水後の変化や完成後のモニタリングを踏まえて順応的に整備していくことが望ましい。』

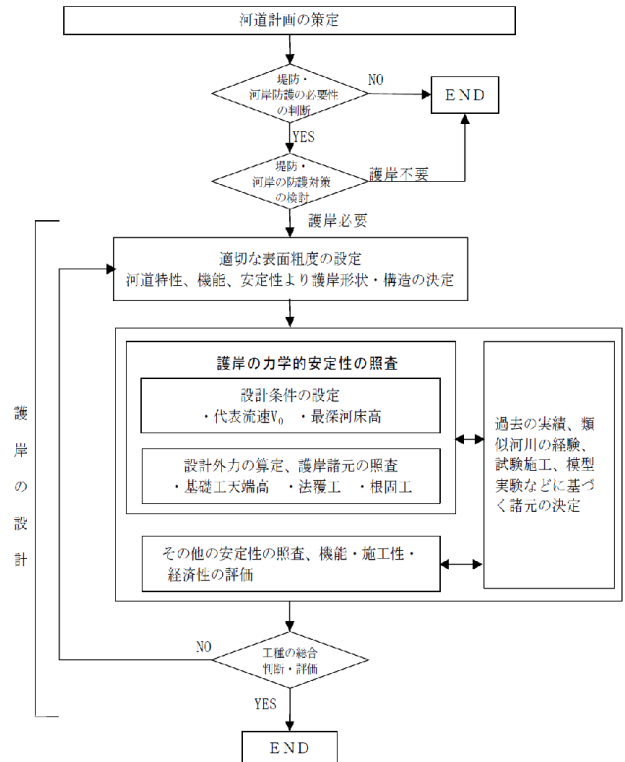
河道形状に変化をもたらす場合、設計の段階で望ましいことは、流況解析や模型実験を行うことが示されている。しかし、実施するには一般的に時間とコストが多くかかるため、中小河川の設計では、実施することが難しい現状がある。

本研究では、設計前後の流況や河床変動の傾向などの河川応答の評価を、河川の流れ・河床変動解析ソフトウェア「iRIC」を用い、これまでより簡易な手法で行うことを目指した。これにより、経験のみに頼らない設計照査手法として活用することを目的とする。

<iRIC ソフトウェアについて>

当該ソフトウェアについては、Web ページ*3 に以下の説明がされている。

『水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォームで、無償で利用することができます。河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアとして開発が始まりましたが、その後、氾濫や流出、津波、土石流モデルなどの様々な数値シミュレーションモデルに対応することで機能拡張が継続されています。』



(力学設計 第3章)

図 3-1-2 護岸設計フロー

図-1 護岸設計フロー*2

これまでの流況解析手法は、地形モデルや河道モデルを作成する段階で、多大な労力を必要としていた。当該ソフトウェアを利用する最大の利点は、三次元点群データから地形モデルや河道モデルが比較的容易に作成できることである。また、当該ソフトウェアには様々なソルバーがあり、同一プラットフォーム上で目的に合わせてソルバーを使い分けることができる。

静岡県においては、航空レーザ測量による三次元点群データを一般に公開しており、誰でも無償で利活用できる環境にある。

本研究では、河道内の流れと河床変動の検討のため、Nays2DH ソルバー (非定常平面 2 次元流れ、河床変動計算) を用いて解析を実施した。

2. 課題・問題点

1) 対象河川

対象とした杉川は、全長約 19km の一級河川である。静岡県浜松市天竜区春野町川上を起点とし、岩岳山や枝松山といった山々から駆け下りた水を受けながら山間地を流下し気田川に合流する、天竜川流域の二次支線である。流域の地質は、砂岩・粘板岩などの海底で堆積して隆起した堆積岩が主で、土砂生産が活発である。

設計対象箇所は河床勾配 $i=1/79$ と急勾配である。出水時に①河床洗堀によるブロック積破損、②越水による背後土砂の吸出し、③流体力による浸食が生起したことで、数か所が被災したと考えられた(図-2)。また、一部では越水により背後の山が法すべりを起こした(図-3)。そのため、設計においては既設護岸の撤去・再設置は不可能と判断し、新設護岸を河川側に前出しするとともに、縮小する河積を補填するため右岸の護岸を大きく後退させる措置を取り、最深河床評価高より 1.5m の根入れを確保した。

なお、本稿は流況解析による設計照査が主題のため、護岸設計についての詳細な説明は省略する。

2) 護岸設計上の課題

課題は、以下の事項である。

- ・左岸側を大きく前出しし右岸側を後退させ、河道形状を大きく変更する(図-4)。
- ・現況の CS 立体図(図-5)から、湾曲部外岸の滞筋とは別に、内側の砂洲中央に直線的な滞筋が存在する。現地調査から、この滞筋の河床材料は周辺と比べて相対的に大きな粒径であることから、出水時には砂洲中央において直線的な高速流が発生していると想定された。
- ・以上2点から、河道形状の改変により洪水時に出現する滞筋が移動し、水衝部の位置や護岸周辺の流速が変化する可能性がある。

3. 対応策・工夫・改善点と適用結果

1) 対応策

iRIC の Nays2DH ソルバーを用いた解析により、設計前後の滞筋や流速、河床洗堀傾向等の河川応答を確認し、護岸の安定性照査(設計護岸の妥当性)を実施することとした。手順は以下のとおりである。

- a) 現況の河道モデルを作成し、固定床により流況解析を行うとともに、河道モデルの妥当性を確認する
- b) 施設配置後の河道モデルに対し、固定床による流況解析を行い、流速分布を確認、現況モデルとの比較検討する
- c) 施設配置後の河道モデルを移動床から解析し、出水後の河床変動の傾向性を確認する
- d) b)及びc)から、設計護岸の妥当性を検証する

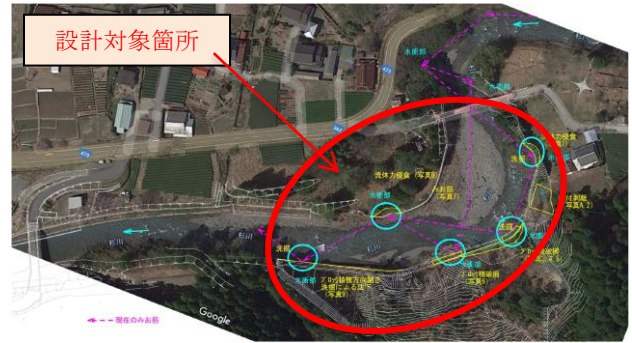


図-2 設計対象箇所の航空写真：GoogleMaps より



図-3 設計対象箇所：UAV 撮影写真

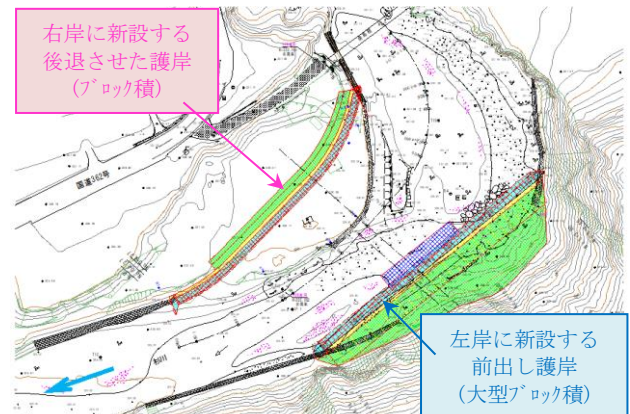


図-4 新設護岸配置図

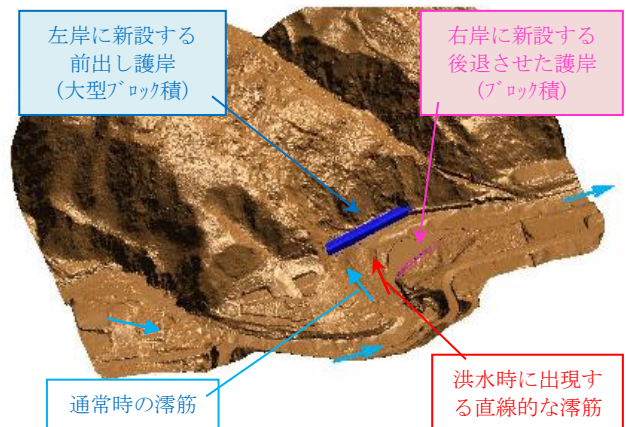


図-5 現況 CS 立体図への新設護岸重ね図

2) 解析条件

流況解析及び河床変動解析は、iRIC ソフトウェアの Nays2DH ソルバーを用いて実施した。主要な解析条件は以下のとおり。

- ・洪水時流量 30年確率規模
- ・流量ハイドログラフ ピーク流量一定
- ・河道モデル 3次元点群データより作成
但し、水面下は測量にて補完
- ・粗度係数 0.04
- ・境界条件 初期水位は等流計算にて算定
- ・河床材料 代表粒径 200mm

3) 適用結果

3-1) 現況河道の解析結果 (固定床)

現況河道における流況を確認するため、河道を固定床と仮定した流況解析を行い、流速分布及び水深分布を確認した。

その結果、常時は湾曲部外岸の滞筋に流心があり 2~3m/s 程度の流速で流下しているが(図-6)、洪水時は水位上昇に伴い湾曲部内側に流心が移動し 8~9m/s の流速で直線的な流れが生じていることを確認した(図-7)。これは、現地調査で確認された砂洲中央部の滞筋及び大粒径の河床材料分布傾向から推測した事項と一致しており、作成した現況河道モデルに対しても、一定の妥当性があることを確認した。

なお、護岸詳細設計において用いた流速は、第9次治水事業 5 年計画の基礎調査において等流流速法で算定された 7.35m/s を用いており、今回の非定常平面 2 次元流れによる Nays2DH 解析結果の 8~9m/s と概ね合致している。

3-2) 施設配置後の解析結果 (固定床)

施設配置後の解析を行った結果、洪水時の流速は湾曲部において最大 8.89m/s と(図-8) 現況からの流速増加は認められなかった。これは、右岸側で大きく護岸を後退させ有効河積を確保したことによると考察する。

一方、設計において、流速を 7.35m/s とした場合の遠心力による湾曲部水位上昇により、平均河床高から HWL までの 4.0m から更に 3.1m の水位上昇(=水深 7.1m) と推定していたが、流況解析結果に基づく水深分布(図-9)においても約 7m と同様の値が示された。よって、設計で考慮した水位上昇高は妥当であることが裏付けられた。

3-3) 施設配置後の解析結果 (移動床)

施設配置後の河床洗堀の傾向把握のため、移動床による解析を行った。その結果、湾曲部直下流の右岸側において比高 2m 程度の堆積域が発達し、逆に左岸側で比高 4m に及ぶ洗堀域が発達することが示された(図-10)。

解析は、洗堀~堆積の傾向を確認するため、河床材料の代表粒径を一律に 200mm としたが、現地



図-6 現況河道の流速：通常時

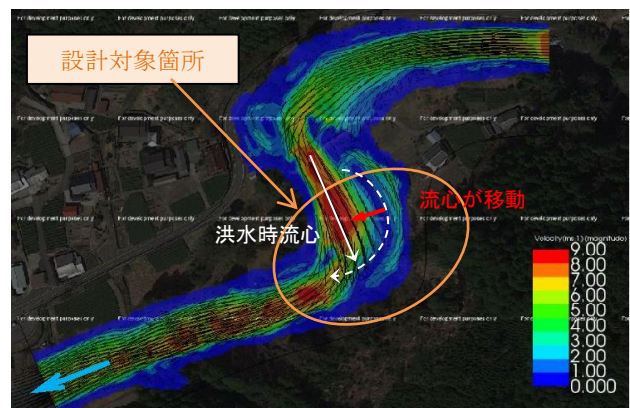


図-7 現況河道の流速：洪水時

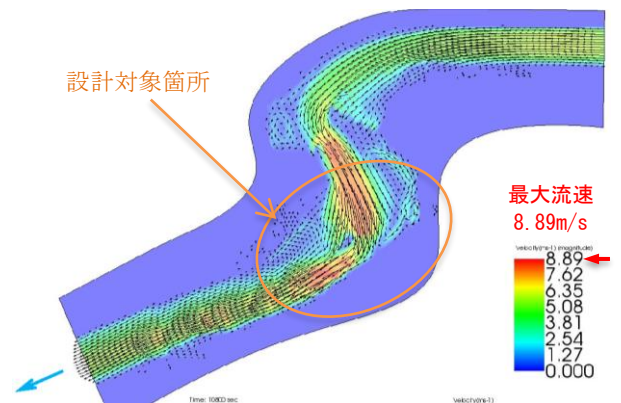


図-8 計画河道の流速：洪水時

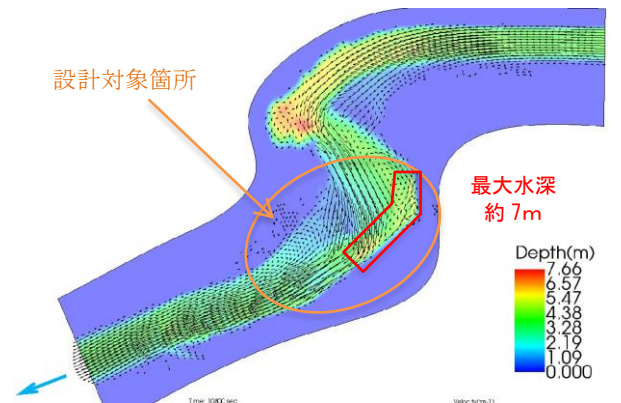


図-9 計画河道の水深：洪水時

には直径 500mm を超える河床材料も多く分布していることから、解析結果は定性的な傾向を把握することに留めることとした。

3-4) 流況解析による照査結果と設計への反映

解析結果に基づき行った設計照査及び設計へ反映させた点について、以下に示す。

○河道計画

設計前後の流速分布の変化がなかった（8～9m/s ⇒ 最大 8.89m/s）ことから、左岸の護岸を前出しすることの補償措置として右岸を大きく後退させ河積を確保する河道計画はおおむね妥当であることを確認した。

○施設計画

施設配置後の流速分布を参考に特に流速が早い領域へ根固めブロックを設置することとした。本現場には、既存の根固めブロックがあるため、それらを布設替えし有効活用する計画とした。

また、湾曲部外岸の水位上昇量から計画護岸高（HWL）より上部への対応の必要性を確認し、護岸天端以上の法面へのコンクリート張工を追加した。

更に、解析により求められた最大流速から、根固工として用いる巨石の必要粒径を $D=1.16m$ と算定した。これにより、現地に存在する巨石が一定程度の洗堀防止効果があることを確認できたため、現地に分布する巨石を集積し洗堀対策として護岸前面に敷設することを提案した。

4. おわりに

以下のことから、iRIC ソフトウェア Nays2DH ソルバーを用いた解析により設計前後の河川応答を評価でき、護岸の設計照査方法として有効であることを確かめることができた。

- ・三次元点群データおよび現地測量調査結果から作成した現況河道モデルは、一定程度の精度が確保されることが確認された。
- ・流況解析結果（固定床）から、片岸前出し及び対岸後退の河道計画が妥当であると確認された。
- ・設計後の河道に対して水衝部の位置移動や流速変化が懸念されたが、解析結果（固定床）から移動や流速変化はほとんど認められないことが確認された。
- ・一部、流速が局所的に高まる箇所が認められたため、当該箇所に根固めブロックを配置する措置を行うことができた。
- ・水衝部に当たる設計箇所は HWL より 3m 程度の水位上昇が認められ、HWL 以上の法面にブロック張工の必要性を提示し設計に反映した。
- ・河床変動解析結果より、当該設計箇所及び周辺の堆積及び洗堀の傾向分布が示された。

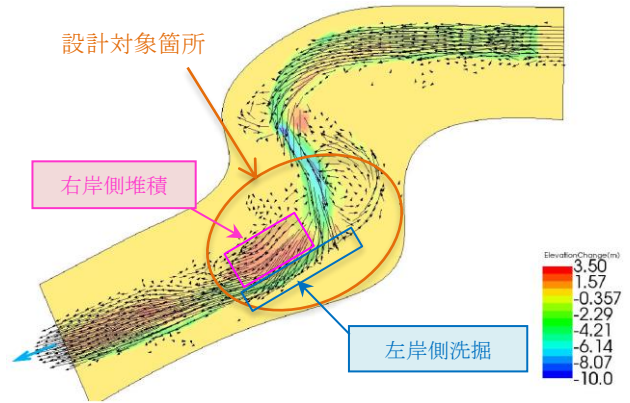


図-10 計画河道の河床高変化量（比高差）

<一般化に向けた課題>

解析を設計照査の 1 手法として一般化するための更なる課題について、以下に挙げる。

- ・作成する現況河道モデルの信頼性を確認する（キャリブレーション）ために、通常は出水時の河川水位データを用いるが、中小河川においては現状、水位観測データがない河川も多い。今回の対象河川では、CS 立体図に表れていた洪水時の滯筋や過去の計画流速から河道モデルの妥当性を判断したが、モデルの信頼性の確認方法については、今後、更なる研究が必要である。
- ・今回の移動床による河床変動解析では、洗堀及び堆積の傾向のみを計るため、代表粒径を一律 200mm と仮定した。今後、河床変動解析を行っていくためには、河床材料調査による代表粒径などの決定に加え、流砂に関する境界条件の設定（供給土砂の粒径別土砂量など）が必要であり、それらのデータの入手方法について検討が必要である。

<今後の展望>

本稿では 1 つの河川における研究を報告したが、「これまでより簡易な手法で解析を実施し設計照査として活用する」ため、今後も研究を継続する。

また、護岸設計は通常、計画高水位までの洪水を対象に行われるが、『河川砂防技術基準』に「超過洪水への配慮」が位置付けられたように、超過外力により生じる現象をとらえた上で設計を行うことにより、先手必勝の護岸設計へとつなげられるよう、設計時に簡易的な解析を用いる手法について模索していきたい。

参考文献

1. 国土交通省 中部地方整備局, 河川構造物設計要領, 第 2 編 河川編, 第 4 章 水制, P2-4-1
2. 国土交通省 中部地方整備局, 河川構造物設計要領, 第 2 編 河川編, 第 3 章 護岸, P2-3-3
3. iRIC について <https://i-ric.org/about/>