那賀川における置き土動態の把握と 新たな大規模置き土事業による影響予測 ELUCIDATION AND PREDICTION OF TRANSPORT PROCESSES IN THE CONDITION WITH A LARGE AMOUNT OF REPLENISHED SEDIMENT IN THE NAKA RIVER

長田健吾¹・清水敦司²・青木朋也³・前川 忍⁴ Kengo OSADA, Atsushi SHIMIZU, Tomoya AOKI and Shinobu MAEGAWA

 ¹正会員 博士(工学) 国立高専機構阿南高専准教授 創造技術工学科 (〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265)
²非会員 国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所 前副所長 (〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内390)
³非会員 修士(工学) 国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所 前調査課長 (〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内390)
⁴非会員 阿南市役所土木課(元国立高専機構阿南高専学生) (〒774-8501 徳島県阿南市富岡町トノ町12-3)

A prediction of the future on the impact of increasing replenished sediment is an important task for properly planning and managing in the Naka River downstream of the Nagayasu-Guchi Dam. For updating the simple two-dimensional analysis method to be able to the long-term prediction model, we applied this method to the data of flood flow and replenished sediment from 2007 to 2017 for validating. This paper shows this method has the ability to explain riverbed variation for the past ten years and we demonstrate the sediment transport rate of each grain size included the effect of the Kawaguchi Dam. Next, the future prediction on the sediment transport considered with increasing replenished sediment was conducted by using this method. The results showed sediment deposition and water level rising will proceed over time in the upstream of the Kawaguchi Dam, and it revealed that the risk of flooding will increase in some areas along the Kawaguchi Dam reservoir.

Key Words : simple two-dimensional analysis method, flood flow, sediment transport ,riverbed variation, replenished sediment

1. はじめに

長安ロダム(那賀川)では堆砂対策として置き土量を 現在の約2倍に増量する日本最大の置き土事業が計画さ れている.しかし,現状でも,これまでの置き土¹によ り,下流河道の一部で土砂堆積が進行している区間もあ り,この置き土増量が下流河道にどのような影響を与え るか,その将来予測が重要課題となっている.現在,一 次元解析による予測が行われているが²),那賀川は多く の蛇行・屈曲部を有し,それらが土砂堆積・水位上昇に 影響していることから,平面形状を考慮した長期・広域 の将来予測が不可欠である. 長田ら³は、平面二次元解析に近い情報を得られる簡 易平面二次元解析の開発を進めてきた.本解析法を,那 賀川の長距離区間(那賀川河口から長安口ダム: 64km)に適用できるように改良を加え⁴,既往最大洪水 (2014年8月洪水)に適用し、実測データおよび平面二 次元解析との比較検証を行った.両解析結果の比較から, 多少の違いは見られたが、洪水流(水面形の時間変化, 流量ハイドログラフ)・土砂動態(土砂移動量,河床変 動)ともに、平面二次元解析と概ね変わらない結果とな り、那賀川長距離区間の検討ツールとして平面二次元解 析に近い能力を有することが明らかとなった.また、本 検討において簡易平面二次元解析の計算に要した時間は、 平面二次元解析に比べて約1/8となり、長距離区間の検 討モデルとして有用であることが明らかとなった.

本研究では、構築した解析法(那賀川の長距離区間に 対応)について、長期間の将来予測モデルとして精度向 上を図るため、置き土が開始された2007年から最新の測 量結果(航空レーザ測量による全川測量)が得られた 2017年までの期間を対象とした解析を実施する.本解析 により、これまでの置き土による10年程度の土砂動態を 構築した解析法により説明できるか示すとともに、長安 ロダム下流に位置する川ロダム(堤高低い:42.5km)の 影響を含むこの期間の土砂動態がどのような状況であっ たかを明らかにする.次に、構築した簡易平面二次元解 析を用いて、置き土増量にともなう土砂動態の将来予測 計算(30年間)を実施する.特に、置き土増量の影響が 早期に出てくると考えられる川ロダム貯水池およびその 上流域について、土砂堆積の進行やそれによる水位上昇 など、治水上懸案となる事項について明らかにする.

2. 簡易平面二次元解析法の概要

簡易平面二次元解析法による洪水流解析について,詳細は長田ら^{3,4}を参照して頂き,ここでは紙面の関係上, 概要のみ示す.

本解析法に用いる基礎方程式の基本的な構造は,非定 常準二次元解析法⁹とほぼ同じである.その中で,簡易 に河川平面形状を取り込んだ計算格子の適用,流線の活 用による平面流速ベクトルの算定などにより,平面二次 元解析に近い情報を得られるように工夫している.まず, 計算格子に関して,従来の準二次元解析法では,横断面 を数分割することで計算断面を作成するが,本解析法で は平面二次元解析法に近づけるために,また河床変動解 析も扱えるようにするために,図-1に示すように横断面 形状を均一幅で数十個の分割断面に分ける.横断測線の 左右岸杭座標を用い,分割断面の平面位置を算定して縦 断的に繋ぐことで,本解析法で用いる計算格子となる. 平面二次元解析では横断測線間の縦断的な分割を行うこ とが主流であるが,本解析法ではそれを行わず,横断面 形状と平面形状が最低限表現できる計算格子を用いる.

本解析法で用いる運動方程式および力のつり合い式 (横断流速分布の算定式)は、非定常準二次元解析法の 式⁵に流線の曲がりによる運動量変化項を付加し、蛇 行・屈曲による影響を考慮できるようにした.また、植 生は、準二次元解析では死水域とされてきたが、平面二 次元解析と同様に透過するものとして形状抵抗項をそれ ぞれの式に付加した.作成した各分割断面(図-1)にお いて、準二次元解析と同様、横断流速分布を力の釣り合 い式により算定する.ここで算出される流速値の方向は 準二次元解析で得られる流速と同じく、横断面に直交方 向となる.この流速方向を、流線を用いて補正し、平面 二次元解析のように平面的な流れの方向を得られるよう



にする.流線は、横断面のある点から左側を流れる流量 と全流量との比(流量割合P_Q)を用い、例えば図-1に示 すようにP_Qが5割の流量に対応する座標値(X₅, Y₅)を断 面内で求め、上下流断面の同じ流量割合の座標点をそれ ぞれ結ぶことで、図-2のような流線が求まる.流速ベク トルの横断方向の補正は、図-2左上に示すように、横断 面を挟む上下流の2つの流線の平均方向を算出し、これ を流速ベクトルの方向と仮定してベクトルの補正を行う ことで、図-2右に示すような各断面の簡易な平面流速ベ クトルを得た.各断面の流量および水位の時間変化を、 運動方程式および連続式により算定することで、洪水伝 播を見積もる.

上述のように、平面流速ベクトルを見積もることで、 土砂移動・河床変動解析に関しては、平面二次元解析と ほぼ同じ方法で計算が可能となる. 粒径別単位幅流砂量 の算定は、流線方向には芦田・道上式に流線方向の勾配 を考慮した式®を採用し、流線に直交する方向には、長 谷川の式ⁿを用いる. 浮遊砂の浮上量,沈降量の算定は、 辻本・北村によって提示された式®を用いて算定する. 掃流砂、浮遊砂の各輸送に関しては、平面二次元解析の ように流下方向に細かな計算格子を設けていないため、 流線と計算格子の方向が大きく異なる場合、計算格子の 土砂収支を考える河床変動式を用いると、土砂を適切に 下流へ輸送できない(河床変動を適切に計算できない) 可能性がある. そのため、本研究では、流下方向の土砂 移動は流線に沿うと考え、流線を用いて河床変動計算を





(a) 朝生



(b) 小計(小浜大橋下流) 写真-1 置き土状況(那賀川河川事務所提供)



(c) 小浜 (小浜大橋上流)

行う式を構築した^{3),4)}.

長安口ダム下流には6つの支川が流入するため,各支 川からの流入量・土砂量を取り扱えるモデル化が必要と なる.本解析法⁴では、支川の河幅,河床勾配を考慮し た一次元水路を設定し、本川と接続する.設定した支川 水路の下流端条件に本川合流部の水位を与え、流量は本 川の水位および流量を満たすように調整して与え、水路 内の洪水流解析を行う.また、支川からの流出土砂量は、 得られた水理量をもとに、掃流砂量、浮遊砂量を算定し た⁴.

3. 既往データによる解析法検証と土砂動態解明

(1) これまでの置き土状況と解析条件

長田ら⁴が構築した簡易平面二次元解析法(那賀川の 長距離区間に対応)について,長期間の将来予測モデル としてさらに精度向上を図るため,置き土が開始された 2007年から最新の測量結果が得られている2017年までの 期間を対象とした解析を実施する.図-3に解析区間を示 す.置き土は、これまで計6箇所(図-3参照)で実施さ れてきた.図-4に各地点の総置き土量の経年変化を示す. 過去、川口ダム(42.5km)の下流に数回置き土が実施さ 総置き土量 (m³)



2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 図-4 各地点の総置き土量とその合計の経年変化



れたことがあるが、近年では、置き土のほとんどが長安 ロダム直下に位置する小浜・小計(写真-1参照)に置か れてきた.小計は川幅が広い箇所であり、後述するよう に将来的にはこの箇所に集中的に投入される予定となっ ている.解析には、このデータに基づいて各地点の置き



土を与えた.置き土形状に関しては,写真-1に示す写真 などを参考に与えた.図-5に,置き土の粒度分布を示す. 置き土材料は,採取地点で150mm以上の石が除かれるた め,下流河道に比べると細かい粒度分布となっている.

図-6 に, 2008 年~2017 年の洪水流量ハイドログラフ を示す(2008年は洪水なし).対象とする洪水は、置き 土を流下させたと考えられる長安口ダム放流量 500m3/s 以上の洪水をつなぎ合わせた. この期間には, 那賀川既 往最大洪水となる 2014 年 8 月洪水,既往3番目となる 2015 年 7 月洪水が含まれ、これら大規模な洪水を複数 含むハイドログラフは、将来予測計算を行う上でも活用 できると考えられる. 解析は, 2008 年から開始するた め、上述の 2014 年洪水のように多地点での水位観測値 が得られていない(2014 年以前は簡易水位計の測定な し). 支川合流部付近に水位観測結果がないため、支川 からの流量は、各合流点の下流に位置する流量観測値を 再現できるように(例えば古屋谷川・紅葉川であれば下 流の川口ダムの流量を再現できるように)流量調節を 行った. 図-7 には、2014 年 8 月洪水時の数箇所の水位 観測値と川口ダムの水位の比較を示す.川口ダムでは流 入量と流出量が同じとなるようにゲート調節による水位 一定操作(水位 95m~93.5m の一定操作)が行われて いる. 解析に洪水時のゲート操作を組み込めば, 既往 洪水に関してはこの水位一定を再現可能と考えられるが, 将来予測計算ではゲート操作を入れることができない. 本解析では、川口ダムの水位を再現できるように、川口

ダムのゲートに対応するメッシュに形状抵抗を与え、その抗力係数を変化させることで水位一定状況を再現した. 粗度係数に関しては、2014 年洪水を対象とした計算 ⁴⁾ により得られた数値(図-3 左上)をそのまま用いた. 初期河床形状は、2007 年前後に測量されたデータを用いた(県区間は場所によって測量時期が異なる).解析 粒度分布は、測定された粒度分布を表現できるように 250mm,80mm,20mm,5mm,1mm,0.2mmの6粒径 を用いて、粒度分布を再現した.22kより上流は、縦断 的に基岩が露出し、河床変動に影響を与える.基岩の取 り扱いは、2007 年、2011 年、2014 年、2017 年の各測量 断面を比較し、この中で各測点の最深河床高よりも計算 河床高が低下しないように制御した.

(2) 解析結果とその考察

以下に解析結果を示す.ここでは,紙面の関係上,置き土の影響が最も大きかった,川口ダム〜長安口ダム下 流までの区間の結果を示す.図-8に,水位の観測値と解 析結果の比較を示す.図は、2014年洪水と2015年洪水の 各洪水流量ピーク時の比較を示すが,解析水面形は観測 値を概ね再現できている.図-9に、実測値(2017年– 2007年)と解析結果の河床変動量の比較を示す.実測値 と比較すると,解析による河床変動量は,細かく見れば 傾向が異なる箇所もあるが,全体的に見れば河床洗堀・ 堆積の位置や量の傾向は似ていることから,過去10年の 洪水による置き土動態をある程度説明できていると考え



られる.図-10には、本解析により得られた各粒径の縦 断的な土砂移動量の総和を示す.多くの置き土が実施さ れた小浜・小計地点から流下した土砂は、蛇行等の影響 を受け徐々に堆積し、250mm程度の石は、川口ダム貯水 池(42.5km~50.3km)に流入した辺りでほとんど停止し ている.川口ダム下流には、浮遊砂を除くとほとんどの 土砂が通過できていないことが分かる.通過量が少ない 掃流砂の通過粒径を見ると、その大半が5mm~20mmク ラスの小礫・中礫であることが明らかとなった.川口ダ ムでは水位一定操作を行っているため、特に川口ダム直 上では、水面勾配が上流部に比べて緩やかになり、その 影響で、大きな粒径集団が通過できない状況であること が分かる.

4. 置き土増量にともなう土砂動態の将来予測

構築した簡易平面二次元解析を用いて,置き土増量 にともなう土砂動態の将来予測計算を実施した.初期 河床形状は,2017年の測量データを用いた.置き土量 は,小計地区に年間約22万m³ずつ投入されるため,こ の量を計画されている断面形状を参考に与えた.置き 土の粒度分布に関しては,将来的にダム堆積土砂運搬 用のベルトコンベア²が整備されれば,現状(図-5)よ りは大きな石も含め輸送できることになっているが, 本研究ではまず現状の置き土粒径を与え,解析を行っ



た.川ロダムは、現状の水位一定操作を行うことを想 定した条件として、その影響を検討した。川ロダムの 堆積量増加を想定して30年間の予測計算とし、流量ハ イドログラフは、図-6のハイドログラフを3回繰り返し たものを与えた。

図-11, 図-12に河床変動量と掃流砂移動量の経年変 化を示す. 図-13には、川口ダム上流の河床高および水 面形の経年的な予測結果、周辺地盤・道路高(低い方 を表示),過去最高水位(2014年洪水)の観測値をそれ ぞれ示す.置き土の増量により,現状に比べ流下土砂 量が増加するが、その大半は、川口ダム上流に堆積す る結果となった. 図-13に示すように、30年後には川口 ダム上流の河床勾配が概ね一定に近づくため、川口ダ ムからの流出土砂量は図-12に示すように徐々に増加す る. 図-13から、川口ダム貯水池の経年的な土砂堆積に 伴い,水位も経年的に上昇することが分かる. 貯水池 沿川で低い箇所に位置する日野谷発電所(公営企業の ダム水路式では最大出力規模)の建屋は,写真-2に示 すように2014年洪水の段階で、建屋地盤高より1.5m~ 2m下のところまで水位が迫っていた.本予測結果では、 水位上昇により約20年後に日野谷発電所の地盤高を水 位が上回ることが示された.また、もみじ川温泉(道 の駅)付近も、約30年後には、浸水する可能性が出て くる予測結果となった.本解析による予測は、今後十 分な検証が必要と考えられるが、現状の水位一定操作 を続けた状態で置き土の増量が開始されれば、川口ダ





写真-2 日野谷発電所の2014年8月洪水時の状況 (徳島県企業局提供)

ム貯水池の土砂堆積進行により沿川で浸水被害が発生 する危険性が高まることが明らかとなった.川口ダム の機能維持と置き土事業の継続のために、今後、何ら かの対応が必要であると考えられる.

5. まとめ

本研究では、簡易平面二次元解析法を那賀川の土砂動 態に対する長期間予測手法として確立するために、本解 析法を2007年~2017年までの置き土・洪水データに適用 して解析法の検証を行った.水位・河床変動量データと の比較から、簡易平面二次元解析法は、置き土を伴う那 賀川土砂動態の長期予測手法として利用可能であること が示された.また、本解析により川口ダムの土砂通過量 を算定した結果、浮遊砂の多くは川口ダムを通過する結 果となったが、掃流砂に関しては、ほとんど通過できて いないことが分かり、その大半が小礫・中礫サイズの小 さな粒径集団であることが明らかとなった.次に、本解 析法を用いて、置き土増量を想定した将来予測解析を実 施した. 川口ダムが現状操作のままでは、置き土の大半 が川口ダム上流側に堆積することが示され、その影響を 受けて水位も徐々に上昇し、沿川で浸水被害が生じる恐 れがあることが明らかとなった.

今後,川ロダムの操作方式に関して,洪水時の水位を 下げるなど,いくつかのケースについて検討を行い,川 ロダムの今後の改善策について議論できる情報を提供す る予定である.また、川ロダムを土砂が通過するように なれば、下流域の土砂堆積の発生とそれによる水位上昇 が懸念されることから、これについても検討を進める予 定である.

謝辞:本研究は,国土交通省河川砂防技術研究開発地域 課題分野(河川)(代表:長田健吾)の助成を受けて実施した.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 武蔵由育,志宇知誠、山下正浩,竹林洋史,湯城豊勝,鎌田 磨人,赤松良久,河口洋一,中田泰輔:置土された土砂の流 下過程の数値解析モデルの構築と実河川における適用,土木 学会論文集B1(水工学), Vol.67(4), pp.I_817-I_822, 2011.
- 2) 長安ロダム貯水池機能保全技術会議:長安ロダム貯水池機能 保全対策レポート(最終報告),https://www.skr.mlit.go.jp/na kagawa/committee/pdf/dam-reservoir/report/report.pdf, 2016
- 長田健吾,清水敦司,赤松 薫:流線を活用した簡易平面二 次元洪水流-河床変動解析法の開発,河川技術論文集,第22 巻,pp.121-126,2016.
- 4)長田健吾,青木朋也:那賀川長距離区間を対象とした簡易平面二次元解析法の実用性の検証,河川技術論文集,第25巻, pp.243-248,2019.
- 5) 福岡捷二, 佐藤宏明, 出口桂輔: 洪水流の非定常準二次元解 析法の研究, 土木学会論文集B, Vol.65 No.2, p.95-105, 2009.
- 山口里実,清水康行:河床勾配の影響が考慮された平衡流砂 量式によるdune河床の再現計算,水工学論文集,第53巻, pp.715-720,2009.
- 7)長谷川和義:沖積河川における流れと河床移動の予測手法に 関する水理学的研究,北海道大学博士論文,1984.
- 2) 辻本哲郎,北村忠紀:植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植 生域の拡大過程,水工学論文集,第40巻,pp.1003-1008, 1996.

(2020.4.2受付)