河川砂防技術研究開発
【成果概要】

		氏　名（ふりがな）	所　属	役　職
①研究代表者		長田　健吾（おさだけんご）	国立高専機構阿南高専	准教授
②技術研究開発テーマ	名称	総合土砂管理計画の立案に資する実用的解析技術の開発と 那賀川大規模置き土事業による将来土砂動態の解明		

③研究経費（単位：万円）	平成29年度	令和元年度	令和2年度	総 合 計
※端数切り捨て。	200万円	157万円	140万円	498万円

④研究者氏名　（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）

氏　名	所属・役職（※平成　年3月31日現在）

⑤研究の目的・目標（様式地河-1、地河-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）

長安口ダム（那賀川）の堆砂対策として計画されている日本最大の置き土事業が，下流河道の土砂動態など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．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．

本研究では，那賀川大規模置き土事業による長期・広域の将来土砂動態を推定できる実用的な簡易平面二次元洪水流－河床変動解析法を開発する．置き土量・粒径の変化と下流に位置する川口ダムが土砂動態に与える影響や，土砂堆積による治水懸案箇所について明らかにする．

研究1年目～2年目前半は，那賀川の長距離区間に適用できる簡易平面二次元解析法の構築を行い，既往の置き土事業（2007年～）による土砂動態（土砂移動・河床変動量）を説明できるモデルを完成させる．研究2年目後半～3年目は，計画される置き土量とその粒径を変化させた将来予測解析を実施し，川口ダム貯水池の堆砂量・ダム通過量，下流域の土砂堆積箇所（治水懸案箇所）および河口到達量について明らかにする．また，置き土増量により，川口ダムへの堆砂量の増大が特に懸案事項となる．川口ダムの機能維持には，川口ダムの操作方式を変更した場合の検討が必要であり，操作方式を変更した場合に川口ダム堆砂量・土砂通過量がどのように変化し，下流河道にどのような影響を与えるかについても明らかにする．

⑥研究成果

（具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。）

※1年目成果の概要（2019年度河川技術論文集）

1）那賀川長距離区間の土砂動態予測のための簡易平面二次元解析法の構築

長田ら（2016年度河川技術論文集）が構築した簡易平面二次元解析法（流砂モデルは掃流砂のみ）について2点改良を行った．1点目は，置き土材料の砂分が浮遊砂として河口へ到達する可能性があるため，浮遊砂モデルの組み込みを行った．2点目は，長安口ダム下流に流入する支川からの流量・土砂量を考慮する必要があることから，**図-1**に示すように，支川の河幅，河床勾配を考慮した一次元水路を接続したモデルを構築した．支川流量は下流側の水位や流量を満たすように調整して与え，流出土砂量は，支川水路の一次元解析により掃流砂量，浮遊砂量を算定した．

2）2014年洪水（既往最大洪水）を対象とした簡易平面二次元解析法の検証

構築した簡易平面二次元解析法を2014年洪水データに適用し，実測値および平面二次元解析法による結果と比較・検証を行った．解析対象区間は，**図-1**に示す長安口ダム直下（約64km）から河口までの区間とした．本洪水では，**図-1**に示すように，既設水位観測所10箇所に加え，2013年度に設置した簡易水位計13箇所において水位時系列データが観測され，縦断的に密な水位観測データが得られた．計算時間間隔Δtは，平面二次元解析0.1sec（河床変動0.2sec）に対して，簡易平面二次元解析0.5sec（河床変動0.5sec）で設定した．簡易平面二次元解析は，式の構造が準二次元解析に近いため，Δtが粗くても安定した計算が可能である．置き土（2014年は小浜・小計のみ）の初期形状は，洪水前に撮影された写真を参考に与えた．解析粒度分布は，実測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．初期河床には，2011年前後に測量された断面（区間により測量年度が異なる）を用いた．直轄区間より上流側は，多くの箇所で基岩が露出し，さらに2007年以前（置き土開始前）は粗粒化の進行も生じていたことから，2007年時点の河床は，そこからの河床低下が少ないことが想定される．そこで2007年前後に測量された河床形状を解析に取り込み，直轄区間より上流に関しては，この河床高を下回らないように河床変動計算を実施し，基岩の影響などを考慮した．

紙面制約の関係上，主要な結果のみ示す．**図-2**，**図-3**に，水面形の時間変化（川口ダム～長安口ダム下流）と流量ハイドログラフについて簡易平面二次元解析法による解析結果と観測値との比較を示す．各観測値と解析値を比較すると，水位・流量について十分に再現できていない箇所も見られるが，全体的には解析結果は観測値を再現することが出来ている．**図-4**に，平面二次元解析・簡易平面二次元解析法による河床変動量の結果を示す．両解析結果を比較すると，洗掘・堆積箇所の傾向は似ていることが分かる．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

設定した粗度係数

区間	平面二次元	簡易平面二次元
河口～17.5k	0.030～0.032	0.031～0.034
17.5k～川口ダム	0.033～0.039 一部岩区間 （0.043～0.055）	0.036～0.041 一部岩区間 （0.043～0.045）
川口ダム～ 長安口ダム	0.055～0.065	0.052～0.057

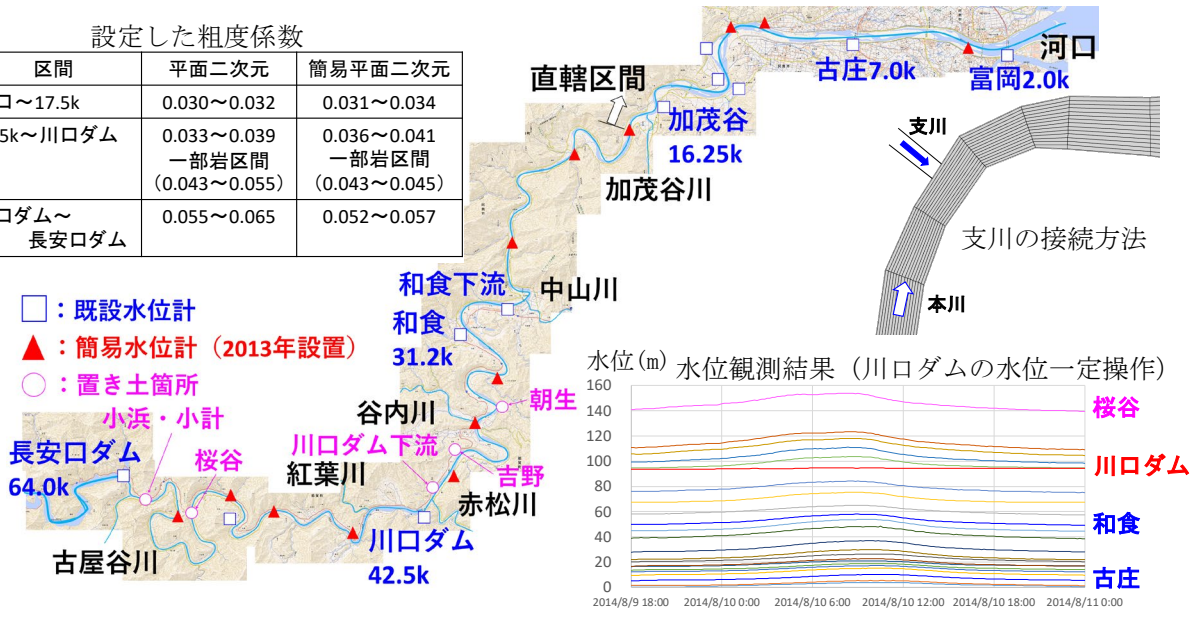

図-1 対象区間の概要・支川の接続方法・設定した粗度係数および水位観測結果(2014 洪水)

⑥研究成果（つづき）

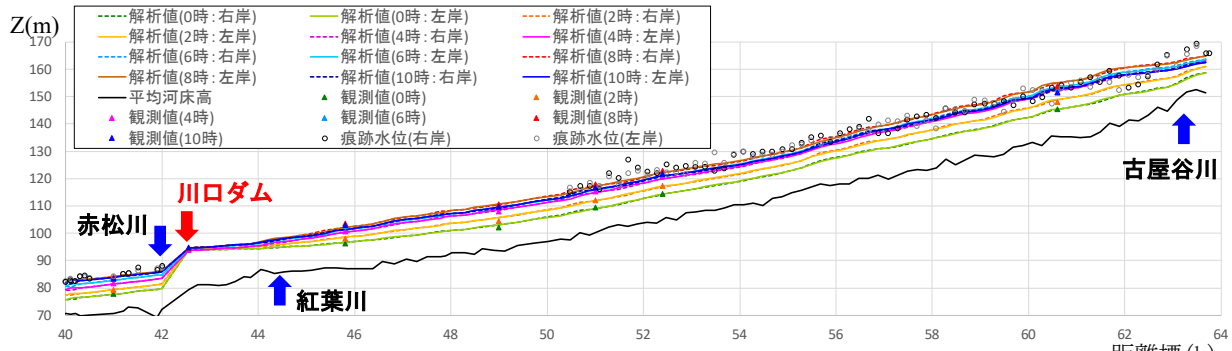

図-2 解析水面形と水位観測値との比較（40k～64k：簡易平面二次元解析法）

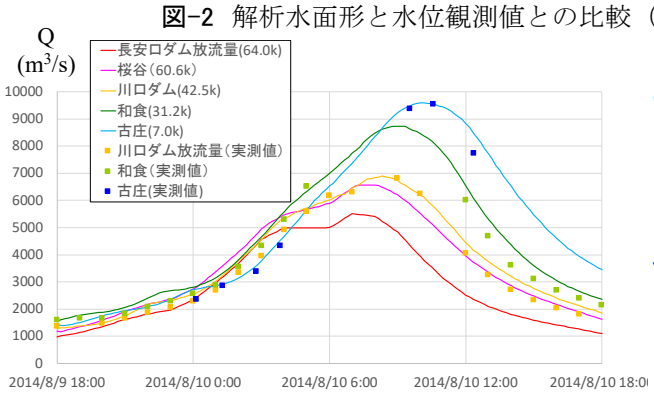

図-3 解析流量と観測値との比較

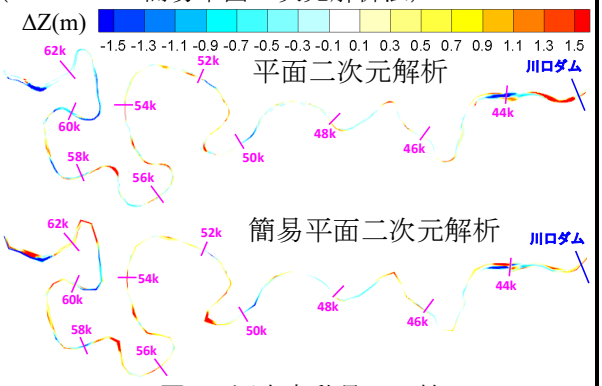

図-4 河床変動量の比較

有することが明らかとなった．また，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の計算時間で解析結果が得られることが明らかとなった．

※2年目成果の概要（2020年度河川技術論文集）

1）2007年～2017年までの置き土・洪水データへの解析法の適用とその検証

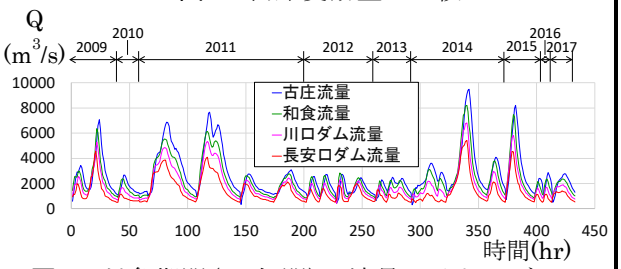

図-5 対象期間（10 年間）の流量ハイドログラフ（2008 年は洪水なし）

1年目で構築した解析法について，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2017年までの期間を対象とした解析を実施した．置き土は，これまで計6箇所（**図-1**参照）で実施され，解析には各地点の経年的な置き土データを基にその土量を与えた．**図-5**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500m^3/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．初期河床形状は，2007年前後に測量されたデータを用いた．河床変動計算に関して，直轄区間より上流の基岩の取り扱いは，2007，2011，2014，2017年の各測量断面を比較し，この中で各測点の最低河床高よりも計算河床高が低下しないように制御した．

図-6に，実測値と解析結果の河床変動量の比較を示す．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みを示す．解析による河床変動量は，細かく見れば実測値と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-7**に，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途中地点に堆積し，川口ダム貯水池（42.5k～50.3k）においてさらに堆積が生じ，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．このことは，川口ダムより下流の県区間における河床変動量実測値にも現れていて，川口ダム上流に比べると，ほとんど土砂堆積が進行していない状況であることが実測値からも確認できた．

⑥研究成果（つづき）

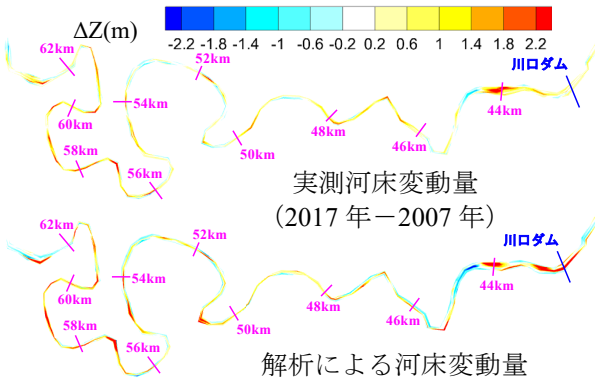

図-6 河床変動量の比較
（川口ダム～長安口ダム下流）

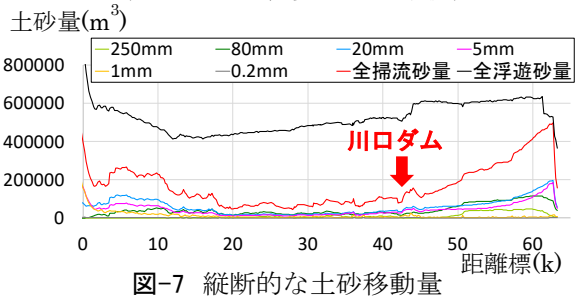

図-7 縦断的な土砂移動量
（解析終了時までの総和）

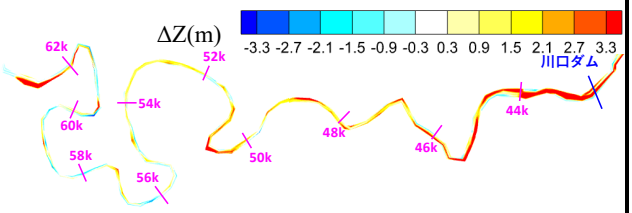

図-8 30 年後の河床変動予測結果（川口ダム上流）

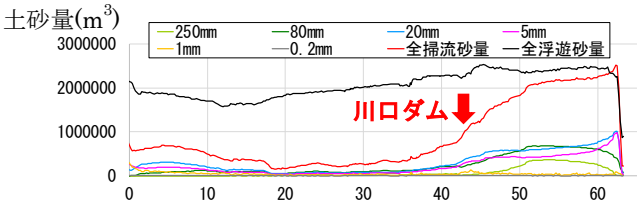

図-9 縦断的な土砂移動量の 30 年後予測結果

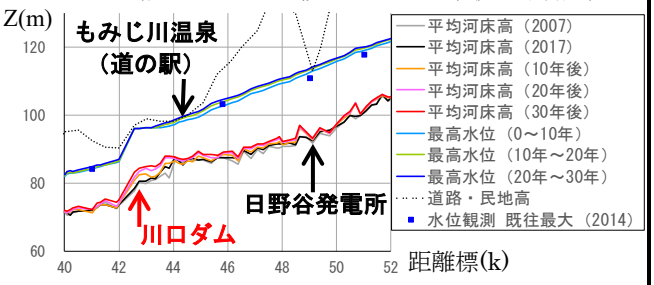

図-10 水面形・河床変動量の予測結果

2）置き土増量にともなう土砂動態の将来予測計算（川口ダムへの影響予測）

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年のデータを用いた．置き土は，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．粒度分布に関しては，まずは現状の置き土粒径と変わらないものを与え解析を行った．川口ダムは現状の水位一定操作（93.5m～95m）を行う条件とし，解析期間は30年として図-5のハイドロを3回繰り返したものを与えた．

図-8，図-9に河床変動量および縦断的な土砂移動量（30年間の総和）の解析結果を示す．置き土増量により，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-10に縦断図を示す．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．図-10には，道路・民地高（低い方を表示）と過去最高水位（2014年洪水）の観測値を併せて示す．川口ダム貯水池の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，本予測では約20年後に地盤高を水位が上回ることとなり，もみじ川温泉（道の駅）付近も，約30年後には，浸水の危険性が出てくる予測となった．現状の水位一定操作を続けると，川口ダム貯水池の土砂堆積進行により一部で浸水被害が生じる可能性を示した．

※3年目成果の概要（2021年度河川技術論文集）

1）置き土増量にともなう土砂動態の将来予測計算（川口ダム土砂堆積の軽減策の検討）

図-11に，川口ダムの現状操作水位（2009～2017の実際の水位）と流量ハイドログラフとの関係を示す．川口ダムの土砂堆積軽減策を探るために，この現状操作水位からダム水位を低下させた5パターン（93m，92m，91m，90m，フリーフロー操作）の解析を実施した．図-12は，図-10との比較として，フリーフロー操作における川口ダム上流の水面形と河床変動量の経年変化を示す．川口ダムの操作水位を徐々に低下させることで，土砂堆積量も徐々に軽減し，現状操作の結果に比べて川口ダムサイト（42.5km）から48km付近に掛けて土砂堆積の軽減が顕著に現れた．90mおよびフリーフロー操作の条件では，もみじ川温泉（道の駅）周辺の浸水を回避できることが明らかとなった．日野谷発電所では，現状操作では約1.2m程度，地盤高を水位が上回るが，90m操作では0.6m，フリーフローでは0.3mと，浸水深は現状操作に比べて大きく低下する．置き土増量の条件下において，90mおよびフリーフロー操作は，川口ダム上流の土砂堆積・水位上昇に対し，その軽減効果を持つことが明らかとなった．

⑥研究成果（つづき）

2）置き土増量にともなう土砂動態の将来予測計算（川口ダム下流河道への影響検討）

現状操作，90m操作およびフリーフロー操作の各条件において，川口ダムから流下した土砂がその下流に対してどのような影響を与えるかについて，100年間の土砂動態解析を行い検討した．本検討では，置き土の粒度について現状の粒度分布（ダンプ運搬のため150㎜以上を排除）と大きな石を含む分布の2パターンで検討を行った．しかし，縦断的な河床変動や水面形に関して両者はほとんど変わらない結果となったことから，以下は現状の粒度分布の結果のみを示す．

図-13に，現状操作およびフリーフロー操作における河床変動量の経年変化を示す．川口ダム下流では，川口ダムから28km付近にかけて土砂堆積が顕著に現れる結果となった．この区間は，蛇行が多く，さらに川幅が所々拡幅する箇所があるため，堆積が生じやすいと考えられる．**図-14**は，現河道（2017年）の水面形を基準として，各操作・各年における水面形との差を示したものである．2017年河道の水面形は，2017年河道に既往最大洪水（2014年洪水）を流下させ，縦断的な最大水位を算定したものである．これらの図を見ると，28km～31km付近の和食地区，36.5km～37.5km付近の相生地区（それぞれ那賀町の主要集落）は，浸水の危険性が高まることが示され，これらの地区は土砂堆積・水位上昇による治水懸案箇所になると考えられる．特に，和食地区は，2014年洪水時に大規模な浸水が生じたことで堤防整備が進んでいるが，本検討によれば，上流側から流水が侵入する恐れがあることが分かる．和食地区は，その下流28.5kmに屈曲部を有し，現状でも土砂が堆積している箇所であり，実際に置き土による河床上昇が生じれば，河床掘削など何らかの対応が必要になると考えられる．

下流の直轄区間では，平均的な河床高および水位が現状（2017年）とほとんど変わらない結果となった．現河道（2017年）では，22km付近～川口ダムに掛けてほとんど土砂の無い状況であり，下流直轄区間においては，まずは供給減少による河床低下が進むと考えられる．ただし，早期に下流河道へ到達する浮遊砂の供給により砂州が高くなり，植生繁茂などにより河道の二極化の拡大が懸念される．直轄区間においては，河道内植生の管理などを行いながら，二極化対策を適時進める必要があると考えられる．

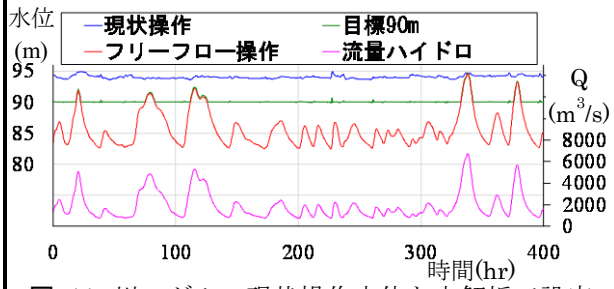

図-11 川口ダムの現状操作水位と本解析で設定

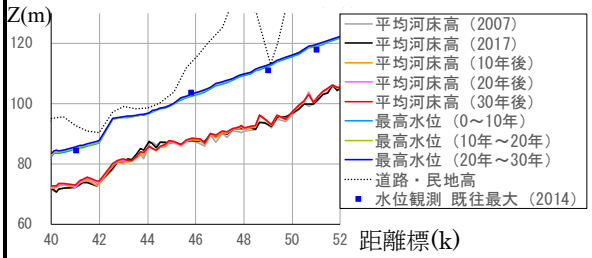

図-12 水面形・河床変動量の予測結果（フリーフロー）

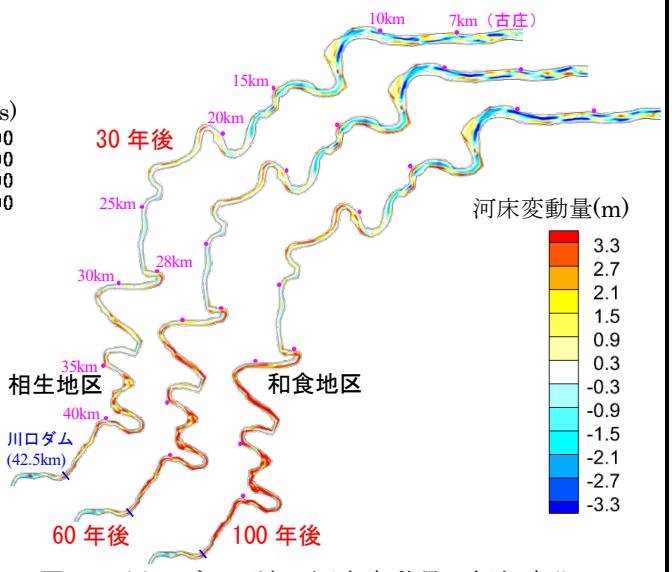

図-13 川口ダム下流の河床変動量の経年変化（フリーフロー）

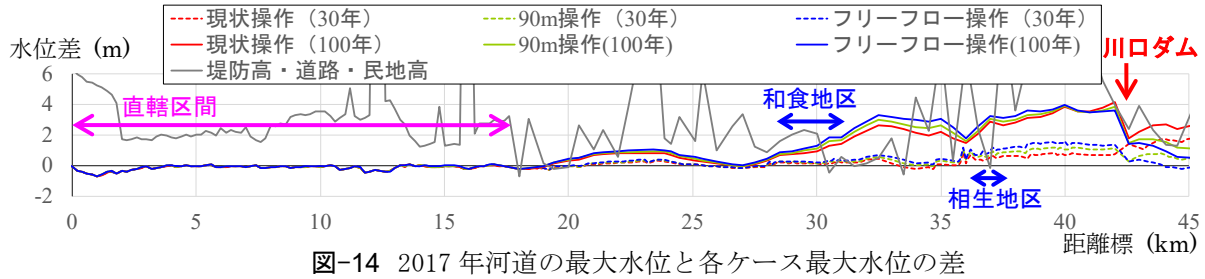

図-14 2017 年河道の最大水位と各ケース最大水位の差

⑦研究成果の発表状況

（本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。（以下記入例）
・これまでに発表した代表的な論文
・著書（教科書、学会妙録、講演要旨は除く）
・国際会議、学会等における発表状況
・主要雑誌・新聞等への成果発表
・学術誌へ投稿中の論文（掲載が決定しているものに限る）
・究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況
・企業とのタイアップ状況
・特許など、知的財産権の取得状況
・技術研究開発成果による受賞、表彰等）

◇発表論文

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年6月

長田健吾，清水敦司，青木朋也，前川 忍：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，河川技術論文集，第26巻 ，pp.627-632，2020年6月

長田健吾，有田由高，朝山千春，新居鈴菜：那賀川大規模置き土事業が下流河道に与える影響の長期予測，河川技術論文集，第27巻 ，2021年6月（印刷中）

◇研究会での発表

H29年度河川管理に関する勉強会（主催：四国地方整備局）日時：H30年1月15日

R2年度河川管理に関する勉強会（主催：四国地方整備局）日時：R2年11月13日

⑧研究成果の社会への情報発信

（ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。）

現状の研究成果は，ウェブ等に公開していません．

⑨表彰、受領歴

（単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。）

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

（研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。）

構築した簡易平面二次元解析法は，非定常準二次元解析法と流線を融合した手法であり，これにより平面二次元解析に近い情報を短時間で得ることはできるが，詳細検討が必要な場では，平面二次元解析などの高精度の解析に比べると精度は十分ではない．今回の検討は，那賀川64km区間と広域であり，また100年間の長期の将来検討が必要な中で，これまで知り得なかった情報を得ることが目的であり，現状で平面二次元解析などの高次解析の適用が難しい本課題について解析法の構築とその活用により結果を得たものである．本研究成果は，大規模置き土事業の計画立案，現在検討が行われている総合土砂管理計画の立案を手助けするものになると考えられる．

一方，上述のように本解析法の精度は高いものでなく，また詳細検討には向かないことから，それによる課題も本研究の進捗とともに明らかとなった．川口ダムの操作方法の検討や土砂堆積の把握についてより具体的な話を進めるためには，川口ダム付近に着目したより詳細な検討が必要と考えられ，平面二次元解析以上の解析精度を持つ洪水・土砂移動解析法での検討が必須であると考えられる．本問題に関しては，関係機関と議論を重ね，必要な研究を進めていきたいと考えている．

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

（本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。）

縦断的に多く観測された水位情報を用いた既往最大洪水（H26年8月洪水）の解析は，洪水時の縦断的な水面形，流量ハイドログラフ，各支川からの流入量など，これまで十分に分かっていなかった情報を与え，大規模洪水の実態を知り得る情報となり，那賀川の県管理区間を含む縦断的な河川管理を実施する上でも有用な情報になり得る．総合土砂管理計画の立案において，実際に生じた洪水時の縦断的な土砂移動量に関しては，ほとんど情報がない状況であった．2007年から2017年の置き土・洪水データを用いた検討では，那賀川の平面的な地形を考慮した条件下での各粒径の移動状況，掃流砂・浮遊砂の内訳などの土砂移動情報を与え，今後の計画の検討に役立つと考えている．

置き土増量の影響は，現状でも土砂堆積が進行する下流川口ダムに早期に現れることは，かねてより問題点として共有していた．本研究では，川口ダムへの影響予測（30年後まで）を行い，川口ダムが現状操作を続ければ，貯水池周辺で浸水被害が生じる危険性があることを具体的に示した．これに対して川口ダム貯水池の土砂堆積・水位上昇を軽減する川口ダムの操作方式の改善策を検討し，90mやフリーフロー操作まで洪水時のダム水位を低下させて運用すれば，高い効果が得られることを提示した．簡易平面二次元解析で得られる結果は，平面二次元解析などに比べると比較的粗い結果であるため，川口ダムの操作方式を今後どのように変えていく必要があるか，護岸工の整備がどこまで必要かなどの詳細については，本検討結果をベースとして今後さらに議論・検討が必要と考えている．

置き土増量の川口ダム下流への影響に関して，100年間の将来予測結果を示した．下流河道の蛇行や屈曲部での将来的な堆積の可能性についても，以前より事務所との共通認識として抱えていたが，これに関しても具体的な図面・数値として提示することができ，それによる水位上昇と浸水危険地域についても議論できる情報を提供できたと考えている．粗々ではあるが置き土を伴う将来の土砂動態とそれによる問題点を示したことで，今後，総合土砂管理計画を検討していく上で，議論のたたき台になると考えられる．