

手取川下流部における河道設計に向けた取り組み ～平成25年7月洪水観測とその再現計算～

STUDY ON RIVER CHANNEL DESIGN FOR DOWNSTREAM OF TEDORI RIVER
EVALUATION AND DATA COLLECTION OF FLOOD IN JULY 2013

谷口和哉¹・能澤祐明¹・川上拓²・秋田麗子²

Kazuya TANIGUCHI, Hiroaki NOZAWA, Taku KAWAKAMI and Reiko AKITA

¹国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 (〒920-8648 金沢市西念4-23-5)

²日本工営株式会社 河川・水工部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

The existing 1D numerical model based on the traditional river channel design method was evaluated for the downstream of the Tedor river. It was found to be unsuitable since the river's complex topography significantly changes due to sand-bar flush at the river mouth. This study shows that 2D numerical model of non-uniform sediment transport can reproduce actual conditions with better accuracy.

In addition, this article describes additional field observation that was carried out since the existing data was not adequate to establish the 2D model introduced in this study. The field observation included new multi point gauging stations and aerial laser survey. Additional field data was obtained from the flood that occurred in July 2013 and was utilized for establishing initial condition of the numerical model and reviewing its outcomes. Such additional data was found to be very useful. Some issues regarding practical application of field observation are also discussed.

Key Words : 2D numerical model of non-uniform sediment transport, Flood observation, Multi point gauging station, Sand-bar at River mouth, Training Levee

1. はじめに

現在、河道改修方策を検討するための水理量は、「河道計画検討の手引き」¹⁾にあるように準二次元不等流計算モデルによって予測するのが実務上、一般的となっている。一方、学術分野ではより高次で高性能の水理解析モデルが開発されており、電算機性能の向上とインターネットの普及により、iRIC Project²⁾に代表されるとおり、多くのユーザーがこれらを利用しやすい環境が整いつつある。平成26年の「河川砂防技術基準 調査編」³⁾の改定においても、最新の技術的・学術的な内容が積極的に取り入れられた。今後は、河道設計においても、従来の計算手法にこだわらず、新たな計算技術を取り込んだ検討へと進展させていくことが重要と考える。

一級河川手取川では、河口部を含む下流域において整備計画目標流量に対する流下能力が不足し、早急な河道改修が必要となっている。しかしながら、導流堤によって流末が急激に縮小する複雑な平面形状を呈し、また、河口砂州が洪水時にフラッシュされるなど地形変化が顕著であることから、水理現象を一次元かつ定常の計算手法で取り扱うことが難しい。

このような背景のもと、手取川を管理する金沢河川国道事務所では、河道設計において現地の水理現象を的確に予測可能な計算手法を採用することを目指し、平面二次元河床変動解析モデルの構築を進めている。また、本モデルの開発に際して必要な検証データを取得するため、平成24年度から、水位や地形等の現地観測を開始したところである。

平成25年7月に発生した中規模洪水では、多地点の水位観測、洪水前後の地形計測などを実施した。この現地観測データと解析モデルによる同洪水の再現結果とを照らし合わせることで、解析モデルにおける改良点を見出し、水位や地形の再現精度を向上させることができた。また、現時点の解析モデルを用いて、設定河道に対する疎通能力や長期安定性の評価を実施している。

このような従来の河道設計の枠に収まらない河道設計手法は、全国的にも試行錯誤段階にあるため、実務レベルでの手順や手法、具体的な成果の事例、現実的な課題などを広く共有することには意義があると考えられる。このため、本稿では、手取川における解析モデルの開発や現地観測の実施状況、これらの課題について、具体的にその内容を報告するものである。

2. 対象エリアの概要

(1) 対象エリア

調査・検討対象エリアは一級水系手取川（流域面積809km²，幹線流路延長72km）のうち，河口から2.0km地点までの区間である（図-1）．本エリアでは，河川整備計画（平成18年12月策定）において，河道掘削による治水安全度の向上を計画している．

(2) 地形条件

対象エリアは，河口部ながらなお急流で，河床勾配1/410，平均粒径60mm，セグメント1に分類される．河口には，海域に向かって導流堤が2基（流心部：透過型，右岸部：不透過型）あり，これによって低水路幅を縮小させ，掃流力を上げることで河口閉塞を防止している．（図-2）

(3) 河口砂州の消長

流心部導流堤の端部付近には，河口砂州が形成されている．この河口砂州は，洪水時に消失することがたびたび確認されるものの，復元スピードが数箇月以内と速いこと，冬期風浪による堆積が著しいことから，直接測量が難しい．（図-4）

(4) 大改修後の再堆積

手取川の改修の歴史は古く（昭和9年直轄化），本エリアでも，特に戦後から昭和40年代までの間に，天井川の解消を目指して河道掘削を推し進めた（平均河床高にして1～2mに相当する規模）．

しかし，掘削を終えて以降，河床は堆積傾向に転じた．これまでの約40年間で，河床高はほぼ戦後のレベルまで回復し，これが流下能力不足の主要因となっている．（図-3）なお，掘削後の再堆積は，2km地点より上流側では生じておらず，本エリア特有の現象となっている．

3. 解析モデルの開発

(1) 解析モデルの概要

手取川下流部の平面的に複雑な地形条件，洪水中の大きな地形変化，地形変遷の経緯を踏まえ，現象予測に用いる解析モデルは，①平面二次元モデル，②非定常モデル，③河床変動解析モデルを基本とした．表-1に本解析モデルの概要を示す．

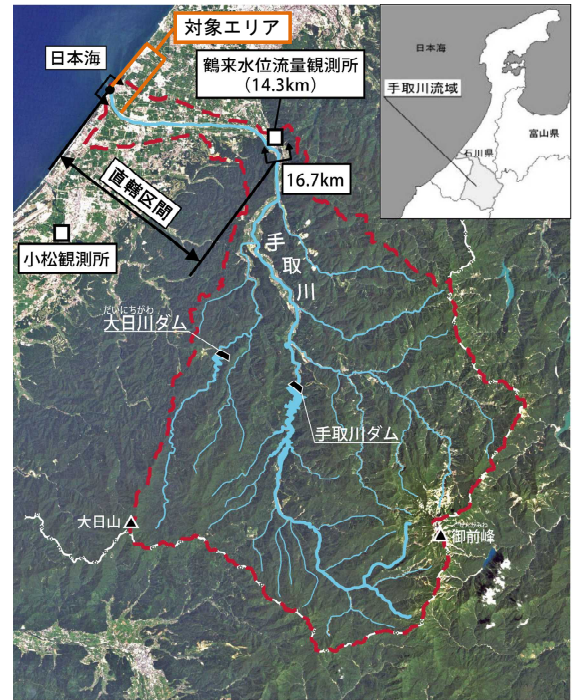


図-1 手取川流域位置図



図-2 手取川河口部の地形

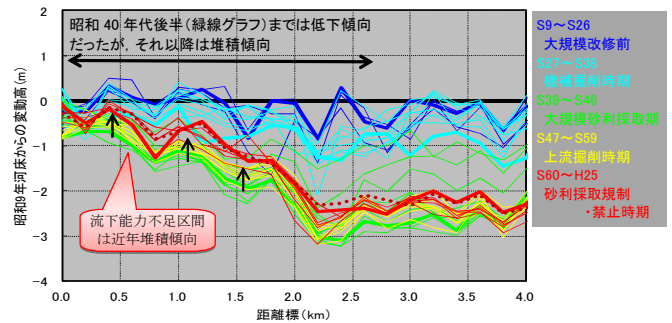


図-3 昭和9年を基準とした平均河床高の変化

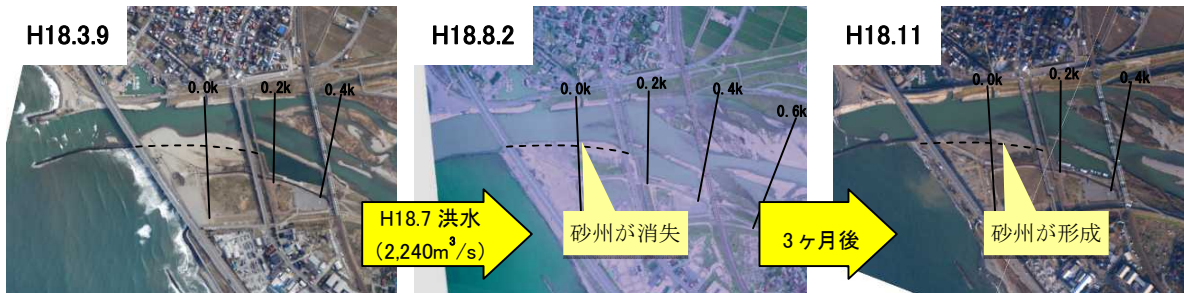


図-4 河口砂州の消長（平成18年7月洪水前後）

表-1 解析モデルの概要

項目	内容
基本モデル	平面二次元河床変動解析
流れの式	二次元浅水流方程式
座標系	一般座標系
流砂量式	芦田道上の式（掃流砂・浮遊砂）
粒径分割	混合粒径（10区分）

表-2 境界条件・初期条件の設定

項目	内容	
境界条件	上流端流量	鶴来地点の流量時系列
	下流端水位	金沢港潮位
	上流端給砂量	掃流砂：並行給砂 浮遊砂：採水結果に基づくQ~Qs式
初期条件	河床高	洪水前測量
	河床材料	河床材料調査
粗度係数	低水路	既往洪水の逆算粗度
	高水敷	支配的な被覆状況より設定
	樹木群	空中写真より範囲を確定 樹木群の平均的な透過粗度を設定

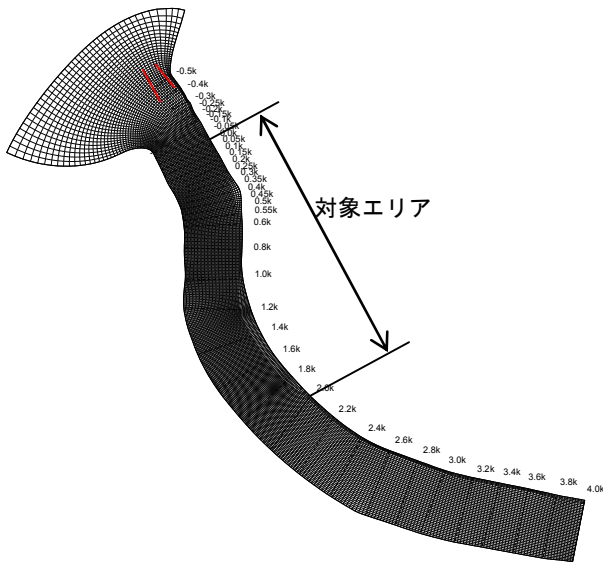


図-5 解析範囲及び構築メッシュ

(2) 解析範囲と構築メッシュ

対象エリア（0.0～2.0km区間）に対して、上下流に広く解析範囲を設定した。下流側は、導流堤の影響を考慮するため、海域約1kmまでの扇状の範囲とした。上流側は対象エリアより2km上流とした。解析メッシュは、対象エリアにおいて縦断方向20m、横断方向10m程度の解像度となるよう、図-5のとおり設定した。

(3) 境界条件と初期条件

境界条件、初期条件等については、表-2のとおり、各種調査・計測によって得られる情報をもとに設定した。

4. 現地観測体制

(1) 観測実施の目的

解析モデルの構築に際し、複数の既往洪水についてその再現計算を実施したところ、水位と地形については時間的・空間的に疎な実績データしかないので、適切な初期条件が設定できず、また再現結果に対する精度検証が十分に実施できなかった。

上記の課題を受けて、不足する現地情報を取得するため、平成24年度より新たに現地観測を開始した。

新たな現地観測では「密な水面形・河床形状の時間変化を捉える」ことを重点的な目標とした。

(2) 地形計測の概要

河床形状の把握に向けては、航空レーザ測量を採用することで空間精度を高めるとともに、洪水後直ちに実施することで時間精度の向上を図るものとした。

レーザ測量では計測できない水中については、従来どおり横断測量によって補完するものとした。ただし、その縦断距離間隔は10～50mとし、一般的な横断測量の間隔より小さく設定した。

(3) 水位多点観測の概要

水面形の把握に向けては、既往の水位観測所（3箇所）に加えて、観測地点を増設することで空間密度を高めるものとした。

水位計は、ロガー及びバッテリー内臓型の圧力式水位計（U20ウォーターレベルロガー、測定範囲0～9m、精度±0.5cm、Onset社）（図-6）とした。河口部であるため、チタン製素材を用いて海水に対応した。

観測地点は、対象エリアにある既往の観測地点3地点に、新たに9地点を加え、計12地点とした。また、大気圧補正のため、大気圧計を1基配置した。水位計の配置は図-9のとおり、左右岸の水位差や縦断水位が把握できるような配置とした。

水位計の固定にあたっては、護岸や根固などの構造物がある場合にはこれに固定し（図-6）、構造物がない場合には、河床に単管を1m以上貫入させて固定し、その内部に水位計を設置するなどの対処をとった。

設置工事後には、水位計センサー部の標高測量を実施し、計測する圧力値（水深）から水位を換算できるようにした。

水位計測間隔は10分ピッチとした。これにより、ロガーのデータ容量の制約から、3箇月に1回のデータ抽出が必要となる。また、現地状況の確認については1箇月に1回実施した。

なお、参考までにコストについて記すと、水位計の購入、設置工事、標高測量などを合わせて、1箇所あたり20万円前後であった。

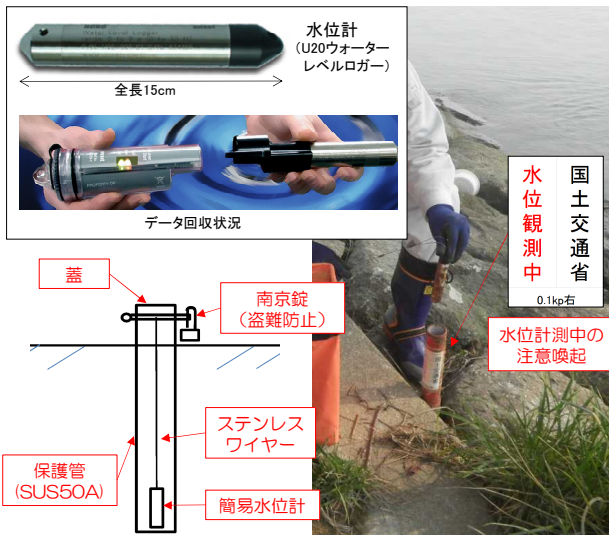


図-6 水位計の設置状況

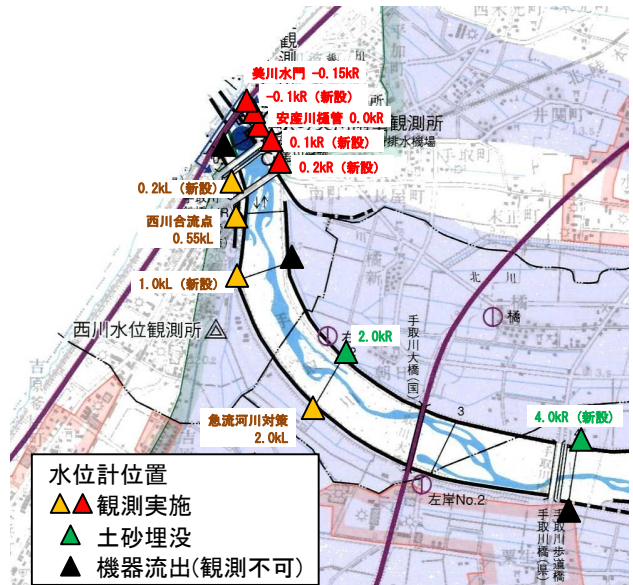


図-9 H25年7月洪水時の水位観測状況

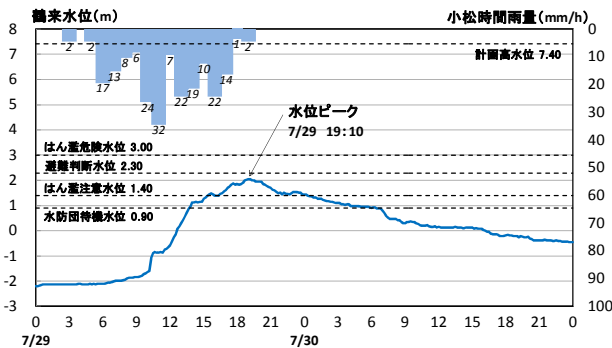


図-7 H25年7月洪水の雨量・水位時系列

表-3 洪水前後の調査項目・実施日一覧

調査項目	調査日	
	洪水前	洪水後
垂直写真撮影	6月17日	8月14日
航空レーザ測量	6月16～22日	8月10～11日
河川横断測量	平成24年12月	平成25年10月

(洪水発生；平成25年7月29日)

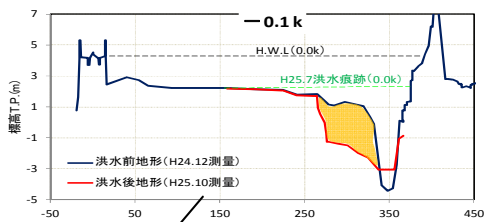


図-8 平成25年7月洪水前後の河口部の地形変化

5. 平成25年7月洪水の観測

新たな観測体制のもと、平成25年7月に中規模洪水が発生し、現地観測を実施した。以下、その概要を示す。

(1) 洪水の概要

平成25年7月29日未明より、梅雨前線の影響を受けて北陸地方を中心に強い雨が降り続けた。石川県小松市内では観測史上最多の雨量（24時間雨量199.5mm）を観測した。

手取川では、基準地点の鶴来（河口より14.3km、流域面積747.6km²）において、避難判断水位に迫る高い水位を記録した（図-7）。最大流量は約2,300m³/sであり、流量年超過確率は1/15相当、鶴来観測所における平均年最大流量1,100m³/sの2倍程度の洪水となった。

(2) 地形計測の結果

本洪水の直前に、直轄範囲全区間16.7kmの航空レーザ測量を実施したところであった。また、定期横断測量についても平成24年11月に実施していた。

本洪水の発生を受け、洪水による河道状況の変化を捉えるため、急遽、洪水後調査を実施した。実施内容は、洪水前調査と同じとした（表-3）。

本洪水では、河口砂州のフラッシュや滯筋の切り替えが生じたが、今回調査によってこの範囲や規模を明確に把握することができた（図-8）。

(3) 水位観測の結果

12箇所の水位観測地点のうち、8地点では良好な水位計測データを得ることができた。

しかしながら、2地点では計器が流出して発見できず、データが回収不能となった。また、他の2地点では計器が土砂に埋没し、データの回収はできたものの、土砂に埋没した時刻以降の計測データは使用できなかった（図-9）。

6. 観測データによる解析モデルの改良・検証

解析モデルによって平成25年7月洪水の再現計算を進める中で、計算結果が今回の観測値に近づくためにはいくつかの改良が必要であった。以下にそのうち2つについて具体例を示した上で、本洪水の再現計算結果を示す。

(1) 下流境界条件の改良

河口より1km沖合の下流端境界条件として、平均潮位（T.P.+0.4m）を与える定常条件としたところ、導流堤内～河口部において洪水減水期の水面形の予測精度が低かった。これを踏まえ、金沢港潮位時系列データを与えたところ、潮位の高かった実績が反映され、水位の再現性が向上した（図-10）。

これより、導流堤内～河口部には潮位影響が大きく及び、流れの非定常性が強いことから、下流端境界条件としては実績の時系列潮位データを用いた方がよいことが分かった。

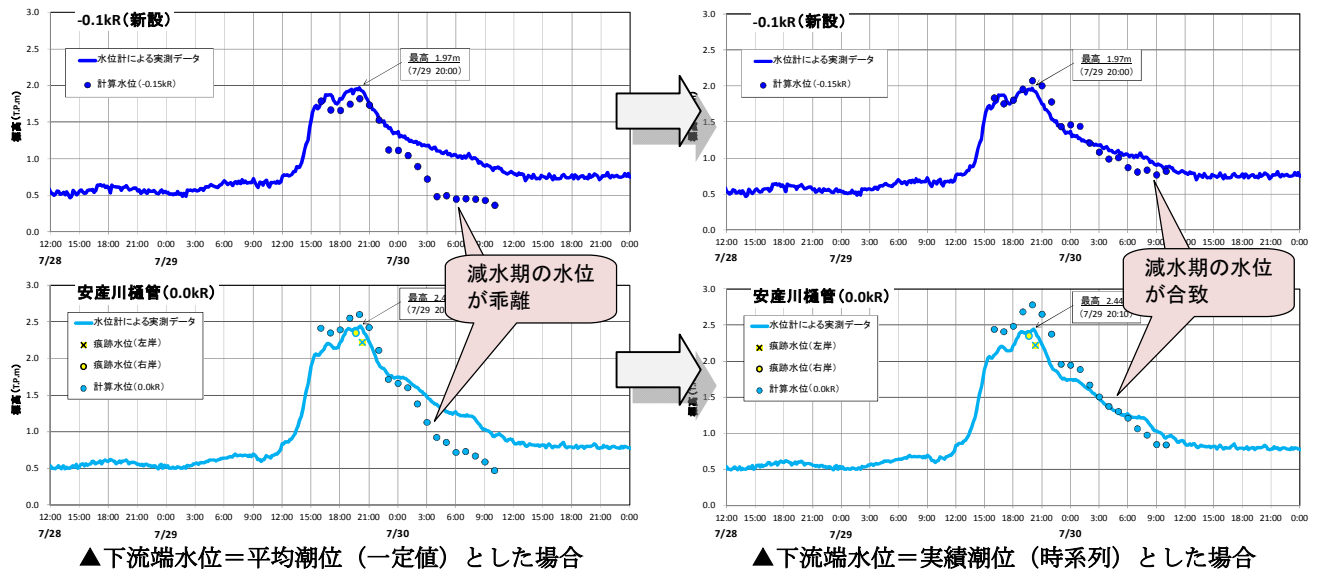


図-10 下流端水位条件の改良による水位再現性の向上

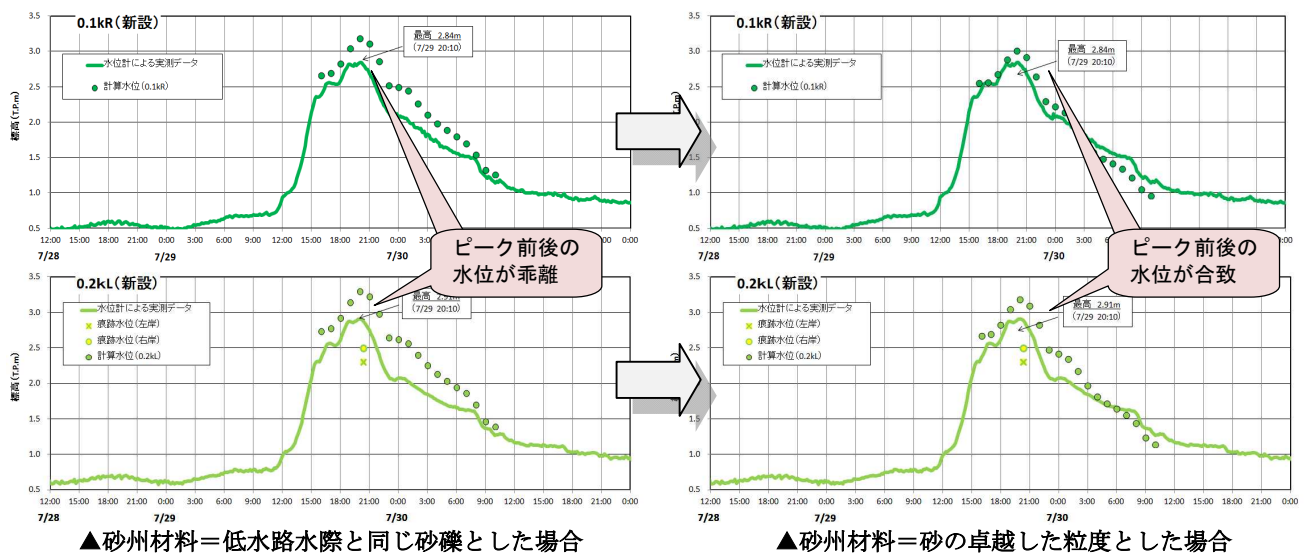


図-11 河口砂州部の河床材料設定の改良による水位再現性の向上

(2) 初期河床材条件布の改良

河口砂州周辺のピーク時付近の水位は、実際より高く計算され、河口砂州のフラッシュが実現現象に比べて生じにくい条件となっていることが推測された。

洪水後、現地ではフラッシュ後の砂州断面が観察されたが、それによると砂州下層は河床砂礫～石礫であるのに対し、上層は砂が主体となっていた（図-12）。一方、初期河床材料条件として参考としたデータは、低水路水際における砂礫主体の粒度分布（平成21年度河床材料調査）であり、砂州を表現するには粗粒分が多すぎる可能性が示唆された。

このため、河口砂州部については、砂分の卓越する粒度分布（平成24年度環境調査）を与えたところ、水位の再現性が向上した。（図-11）

これより、河口砂州のフラッシュの予測においては、河床材料の土層構造が重要な因子となることが分かった。

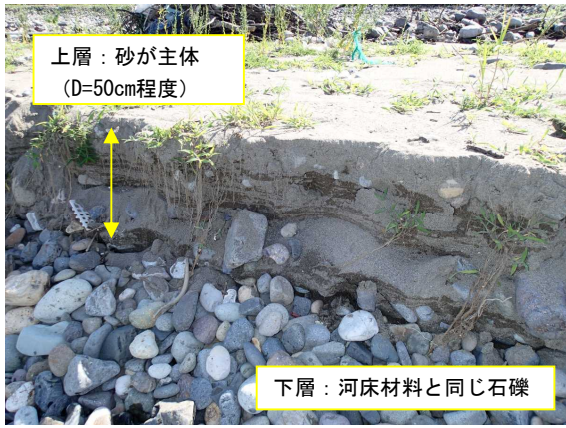


図-12 河口砂州の断面（上部に砂層が覆う）

(3) 洪水再現計算結果

以上のような改良を経て、平成25年7月洪水の水面形の時系列を概ね再現することが可能となった。

(図-13, 図-14)

河床変動については、河口砂州のフラッシュ範囲や全体的な河床変動量のオーダーが合致するが(図-15)、実際に生じた滞筋の切り替えや砂州の移動を予測するまでには至っていない。

流量ピーク時点の流速分布をみると、導流堤～河口部において6m/s程度の高流速が発生しており、このような強い流れによって導流堤内の堆積土砂や河口砂州がフラッシュされている状況が分かる。(図-16)

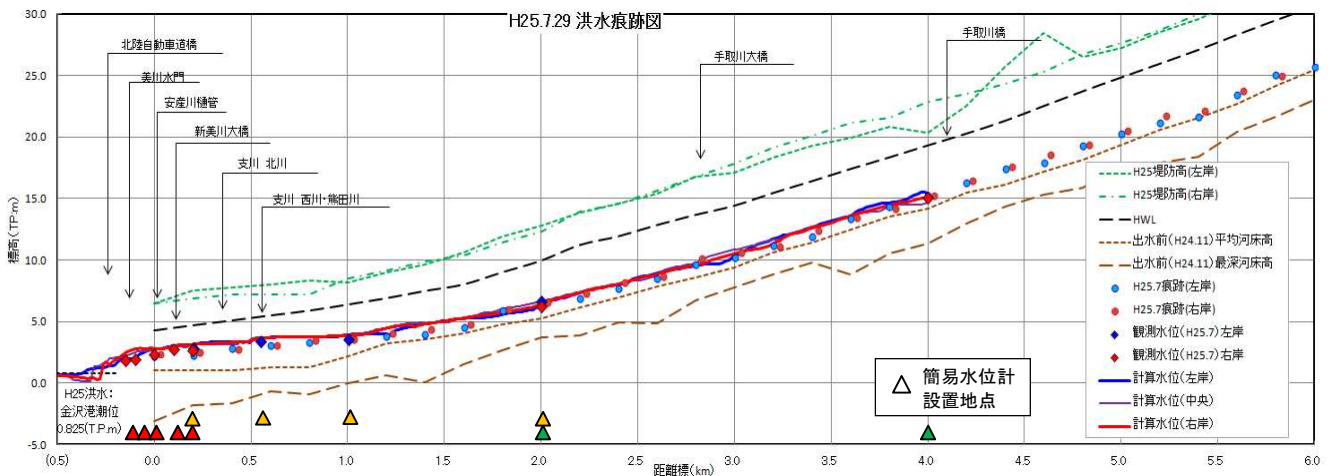


図-13 平成25年7月洪水における下流部の最高水位縦断面図（計算結果と実績値の比較）

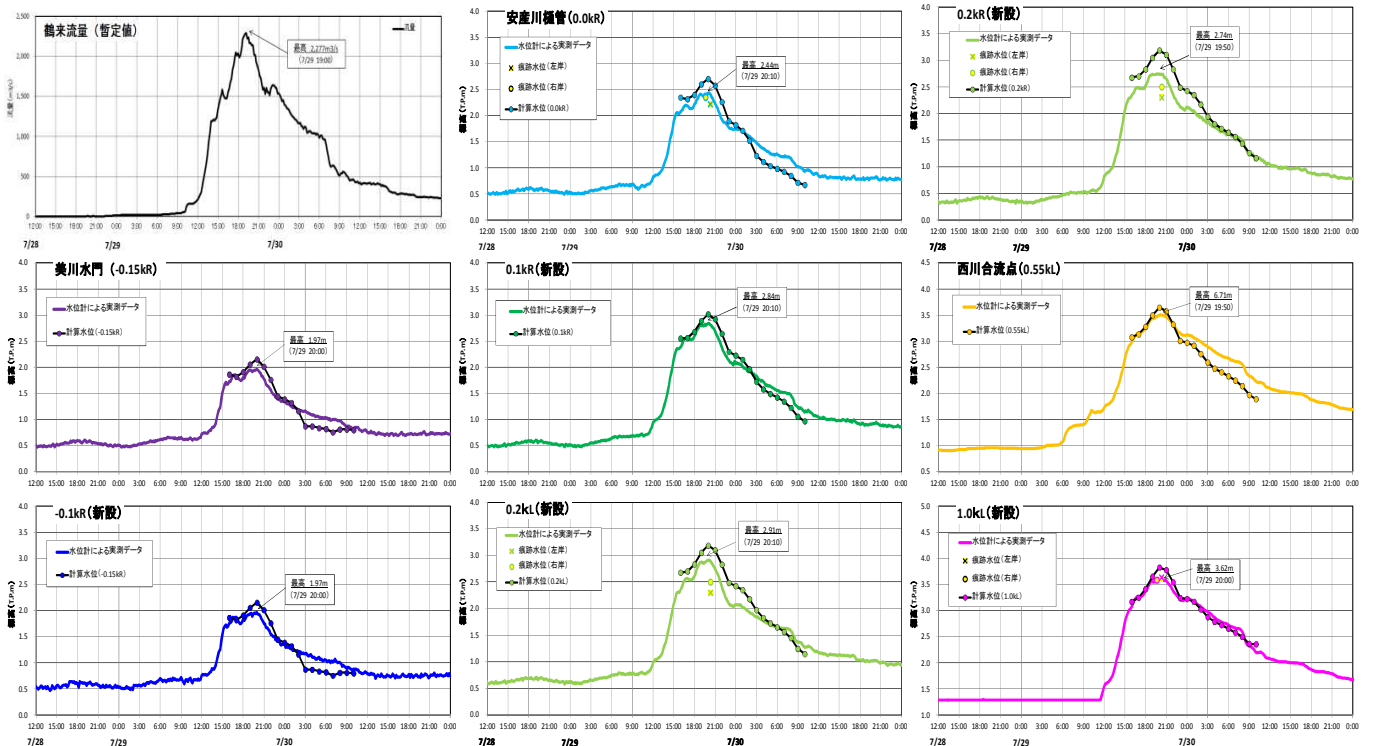


図-14 平成25年7月洪水における河口部近傍の水位時系列（計算結果と実績値の比較）

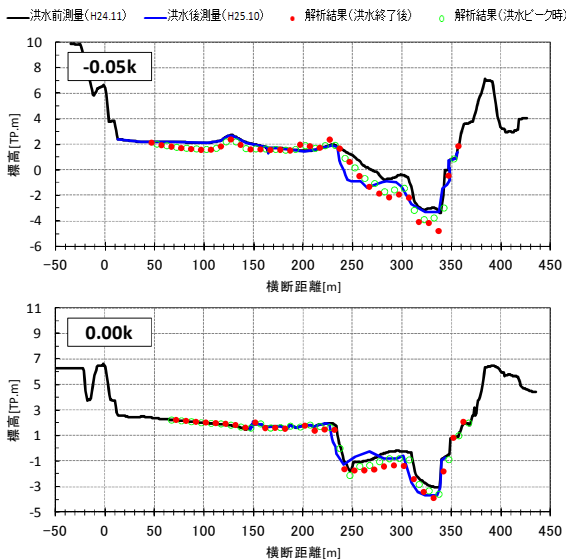


図-15 河口部の河床変動（計算結果と実績値）

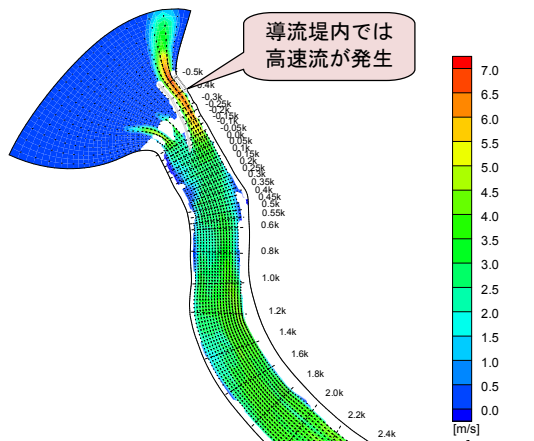


図-16 ピーク流量時の流速分布（計算結果）

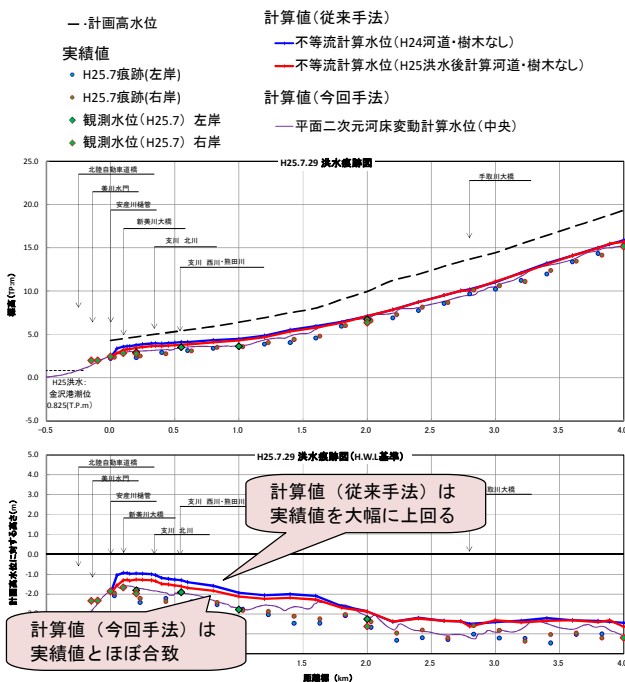


図-17 最高水位縦断面図（準二次元不等流計算による計算結果）

(4) 一次元モデルとの比較

準二次元不等流計算モデル（現行の河道設計において用いているモデル）によって同洪水のピーク流量流下時水位を予測したところ、図-17のとおり、実績に比べて最大約1m高い計算水位となった。特に、河口部における乖離が大きく、対象エリアにおける複雑な地形条件を一次元モデルで取り扱うことの困難さが明確となった。

7. おわりに

(1) 新たな河道設計手法の確立に向けて

本稿では、複雑な水理条件となる手取川河口部周辺においては、準二次元不等流計算による現象予測精度が低く、平面二次元河床変動解析モデルの方が実現象に合致することを示した。これより、従来の一次元計算に基づく河道設計手法に換えて、本計算手法を採用することの妥当性を示した。

一方、現段階では滞筋や砂州の移動現象が予測できないこと、流量確率1/15以上の洪水における再現性は検証できていないことなどから、予測値の不確実性を織り込んだ中で、計画論に反映する手法について今後検討を進めていく。

(2) 現地観測の有用性の確認

本稿では、従来の現地観測に比べて高密度な情報の得られる新たな現地観測（水位多点観測、航空レーザ測量など）を実施したことで、解析モデルの精度向上が可能となったことを具体的に示した。

(3) 現地観測における合理化の観点

本稿では、ロガー内蔵型のカプセル式水位計が、洪水中に流出・埋没し、観測不能となるケースが相次いだことを報告した。一方で、流出・埋没リスクのない非接触式計器を多地点に設置するには、労力・費用等の負担が大きく現実的ではない。

本調査の場合、解析モデルの精度検証に資するという目的に照らし合わせると、一部の観測不能は、特段大きな問題とならなかった。これを踏まえると、今後の水位観測においては、流出・埋没の生じにくい場所選定や固定方法の工夫改善を行うことは当然であるが、ある程度の観測不能リスクを前提として多点観測によって全体をカバーするという柔軟な発想に切り替えることも重要と考えている（計器を消耗品とみなすなど）。

参考文献

- 1) 国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，2002
- 2) 清水康行他：http://i-ric.org/
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局：国土交通省河川砂防技術基準 調査編，2015.4

(2015. 2. 13受付)