

# 河道屈曲部上流側で生じる水位上昇の 軽減策に関する基礎研究

## STUDY ON COUNTERMEASURES FOR REDUCING WATER LEVEL RISE IN UPSTREAM REACH OF ELBOW SECTION

長田健吾<sup>1</sup>・梶本泰司<sup>2</sup>・野本粹浩<sup>3</sup>・高瀬遼太郎<sup>4</sup>

Kengo OSADA, Yasushi KAJIMOTO, Tadahiro NOMOTO and Ryotaro TAKASE

<sup>1</sup>正会員 博士 (工学) 国立高専機構阿南高専准教授 創造技術工学科建設コース  
(〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木265)

<sup>2</sup>非会員 国土交通省四国地方整備局 那賀川河川事務所 調査課長  
(〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内390)

<sup>3</sup>非会員 国土交通省四国地方整備局 那賀川河川事務所長 (同上)

<sup>4</sup>非会員 住友金属鉱山 (株) 別子事業所 (国立高専機構阿南高専 建設システム工学科 元学生)  
(〒792-8555 愛媛県新居浜市西原町3-5-3)

The largest recorded flood in the Naka River occurred in August 2014. The water levels in the upstream reach of the elbow section were higher than the design high water level because the water level rise occurred by form resistance of elbow section. It is necessary to develop new countermeasures for reducing of water level rise at the elbow section. We proposed the method to remedy the channel form using the embankment including boulders. We investigated effectuality of this method by using the 2-D riverbed variation analysis and the model experiment. It is shown that this method have the advantage of being able to lowering of water levels in the upstream reach of the elbow section.

**Key Words :** *water level rise, sediment transport, elbow section, 2-D riverbed variation analysis, model experiment*

### 1. はじめに

徳島県的那賀川では、平成26年8月に来襲した台風11号による豪雨により、計画流量を上回る約9,500m<sup>3</sup>/sの戦後最大出水が発生した。直轄管理区間(河口～17.5k)では、無堤地区を含む5地区(持井、楠根、深瀬、吉井、加茂)で大規模な浸水被害が発生し、上流の和食地区(那賀町)でも大規模な浸水被害が生じた。

13.6kの吉井地区(図-1)では、平成16年度に堤防の締め切りが完了し、河道は屈曲形状が残される形となった。この河道屈曲部の形状抵抗により、平成26年8月洪水時には屈曲部上流側において縦断的に計画高水位を越え、余裕高部の法面侵食が発生するなど堤防決壊に繋がる危険な状況であったことが確認された。那賀川は、上述の加茂地区、和食地区も屈曲部上流の外岸側に位置し、これらの地区は無堤地区であることから本川水位の上昇が大規模な浸水被害に影響した。那賀川には、このような屈曲部が多く存在し、洪水による被害を助長している

ことから、河道屈曲による形状抵抗を減らし、水位上昇を軽減させることが重要課題となっている。

吉井地区の屈曲部周辺は、経年的な土砂堆積も課題となっており、流下能力向上のための砂州の切り下げ(河道掘削事業)と樹木伐採が計画されている。しかし、砂州の切り下げによる対策では屈曲形状を是正することはできないため根本的対策になっていない。加茂、和食地区では、現在堤防整備が進められ、完成後は吉井地区と同様な状況となることから、屈曲による抵抗を減じ水位上昇を軽減する新たな方策の検討が必要である。

本研究では、巨石付き盛土砂州<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>の考え方を参考に、屈曲部上流側に巨石を混ぜ入れた侵食に強い盛土を設置し、縦断的な滞筋線形を滑らかに是正することで水位上昇を軽減する方策を検討する。はじめに、平成26年8月洪水を対象として、平面二次元洪水流・河床変動解析を実施し、平成26年8月洪水時の流況・土砂動態を把握する。次に、流れと土砂動態の検討結果も踏まえ、滞筋線形が滑らかとなるように巨石入り盛土による断面改修案を設定し、その断面形状決定の考え方を提示する。この



図-1 那賀川検討区間の概要、水位計設置位置と河床粒度分布

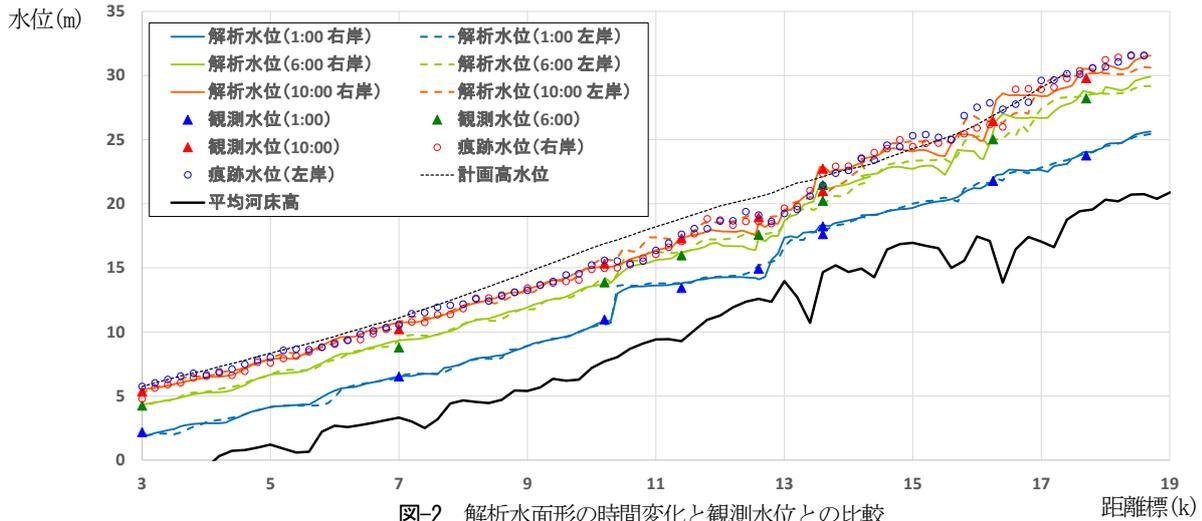


図-2 解析水面形の時間変化と観測水位との比較

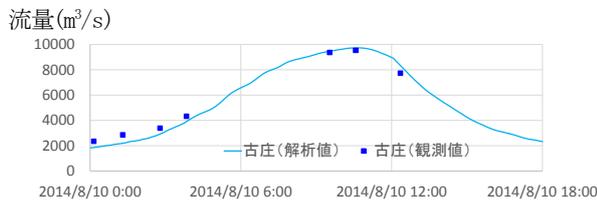


図-3 流量ハイドログラフの解析値と観測値の比較

断面改修案を対象とした解析および模型実験を実施し、断面改修案が屈曲部上流側の水位軽減にどの程度効果を発揮するか明らかにする。

## 2. 那賀川平成26年8月洪水の再現計算

### 2.1 解析対象区間と解析条件

一般座標系平面二次元洪水流・河床変動解析法を、平成26年8月洪水データに適用し、洪水時の流況と土砂動態を把握する。解析対象区間は河口～18.6k区間(図-1)とし、本区間では既設水位観測所6か所、簡易水位計4箇所 で水位データが観測されている。吉井地区の屈曲部では、水位計が両岸の樋門に設置され、観測データが得られている。解析の境界条件として、上流端境界条件に十八女橋と加茂谷観測所の水位観測値を、下流端境界条件に潮位データをそれぞれ与えた。粗度係数は、観測水位、流量ハイドログラフを再現する値として0.03～0.033を与

えた。河床変動解析には、混合粒径の解析に一般に用いられる平野の式<sup>3)</sup>と芦田・道上式<sup>4)</sup>を用いた。河床材料分布は、洪水後におおよそ1km間隔で測定されたデータがあり、解析では150mm, 60mm, 20mm, 7mm, 2mm, 0.6mmの6粒径を用いて、各地点の粒度分布を再現したものを与えた。

### 2.2 解析結果とその考察

図-2に解析水面形の時間変化と観測水位、痕跡水位の比較を示す。痕跡水位は、台風通過に伴う南東からの暴風の影響で、下流左岸側および16kより上流側の山地域で水位観測値とのズレが大きくなった。解析は、水位観測値を再現するように実施したため、これらの箇所の痕跡水位は十分に再現できていない。水位観測値に関しては、屈曲部の内岸と外岸の観測値を含め観測水位の時間変化を再現できている。また、図-3に示す流量ハイドログラフも、解析値は概ね実測値を再現できている。図-4に、水深・水位分布と流速分布の結果を示す。13.6k屈曲部上流側の河道形状が緩やかに湾曲しているため、屈曲部外岸側に流れが集中し、屈曲による形状抵抗を受けやすい状況となっていることが分かる。屈曲部上流右岸側の水位は、14.4k付近まで縦断的に高い状況が続き、堤防の洗掘被害などを防止するためにも水位低減対策が必要となる。また、14.4kから上流では、14.4k～14.6kで

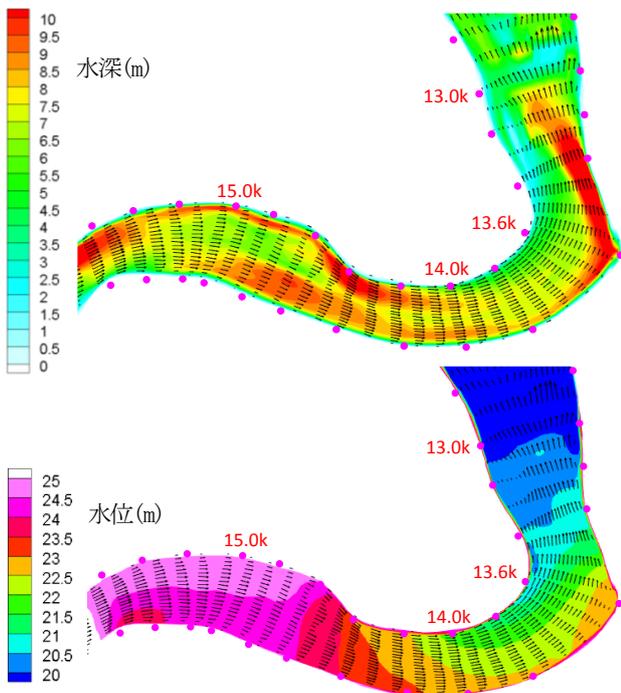


図-4 水深・水位の解析結果と流速分布

河幅が大きく減少することで、水位上昇が生じている。14.6k～15.2k区間は上下流に比べ河幅が広く、水位上昇も重なり、経年的な土砂堆積（中州形成）区間となっている。中州の影響により流れは二分され、主流は民家が多い右岸側に寄って流下している状況で、下流側屈曲部と併せて水位上昇・土砂堆積の是正が必要である。

図-5には、河床変動量の実測値と解析による結果を示す。実測値は、H23年測量データとH26年洪水後の測量データをもとに作成したものであり、H26年洪水以外の洪水の履歴も含まれる。実測では、14.4kより上流側と屈曲部外岸・内岸側で土砂堆積が生じている。解析では、14.4kより上流側と屈曲部外岸側の土砂堆積は傾向を再現できているが、屈曲部内岸側への堆積が再現できず、洗掘傾向となった。平面二次元解析では、屈曲を含む河道形状における二次流の再現が難しく、内岸への堆積を表現できなかったものと考えられる。以下の断面改修案の検討では、解析のみでは屈曲部における二次流の影響を検討できないため、模型実験も併せて検討を実施した。

### 3. 巨石入り盛土を用いた断面改修案の設定と解析による効果検証

#### 3.1 設定した断面改修案とその断面決定の考え方

那賀川13.6k～15.6kにおいて水位上昇の低減を目指した断面改修案を設定した。その考え方を以下に述べる。

図-6に、河道形状等を考慮して設定した理想とする滞筋線形（黄色点線）を示す。設定した滞筋は、13.6k～14.4k区間では、現状、屈曲部外岸に寄っている滞筋をやや河道中央に寄せ、14.4k～15.6k区間は中州の影響で

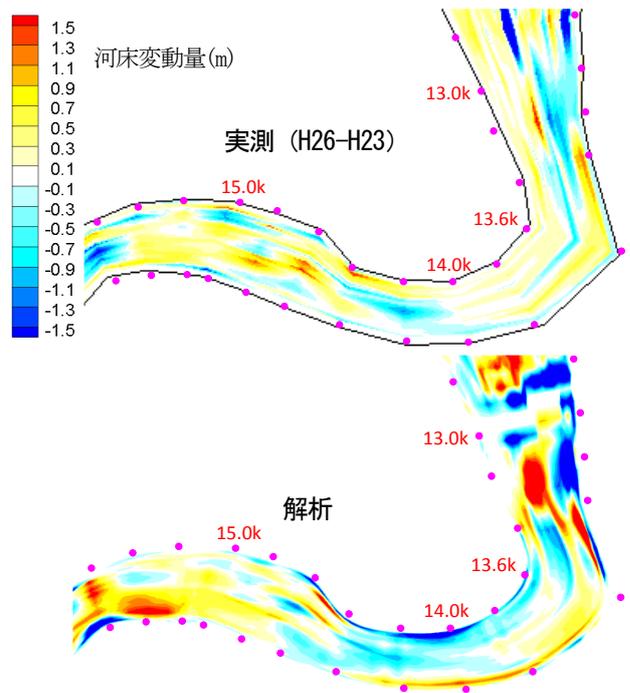


図-5 河床変動量の実測値と解析結果

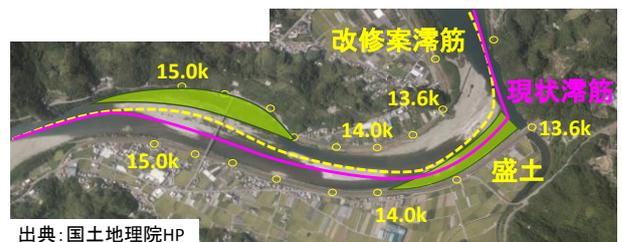


図-6 滞筋は正案と盛土設置位置

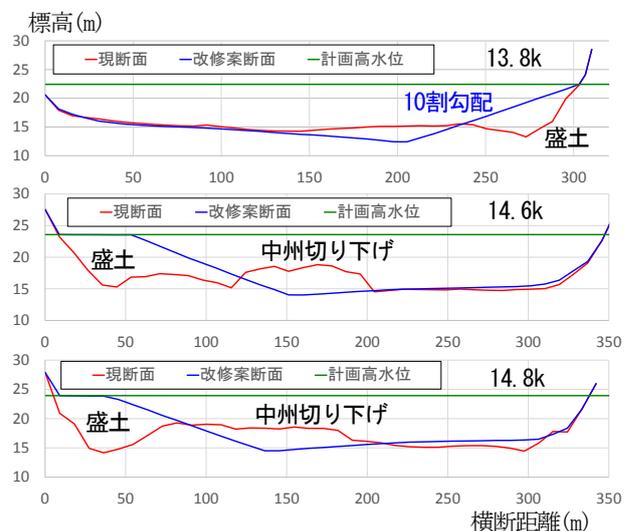


図-7 設定した改修案の断面形状例

右岸に偏っているため河道中央付近を通るようにし、縦断的に見て滑らかになるように設定した。次に、河幅は、水位上昇や土砂堆積などができるだけ生じないようにするために縦断的に見て概ね一定に近い状況が望ましく、13.6kや14.6k～15.2k区間が上下流と比較して河幅が広いいため、断面改修案は14.2k～14.4kの河幅を参考に縦断的な河幅を決定した。設定した滞筋線形および河幅を再現

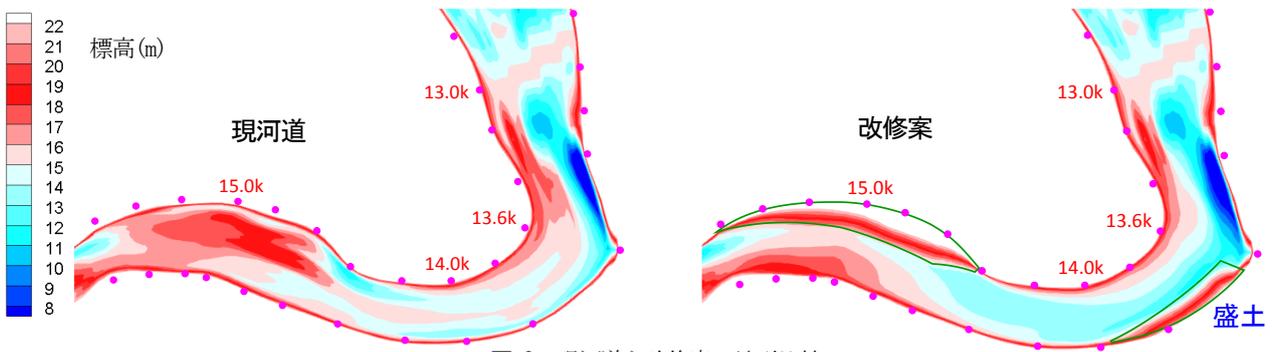


図-8 現河道と改修案の地形比較

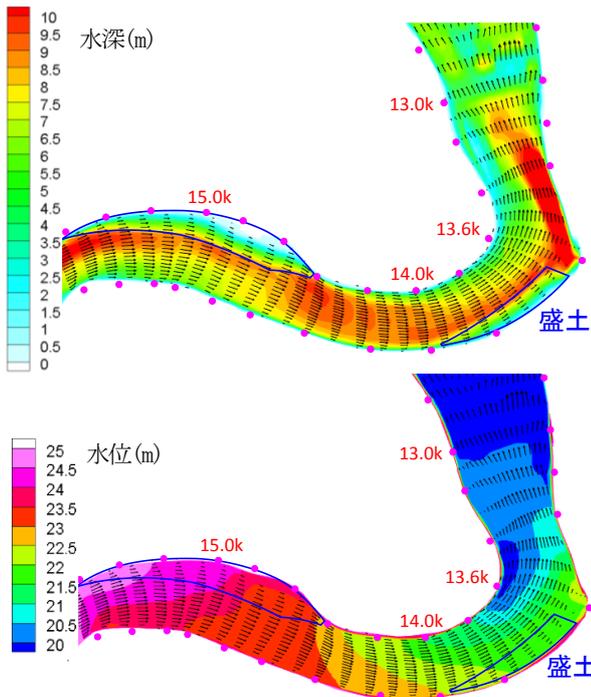


図-9 水深・水位の解析結果と流速分布 (改修案)

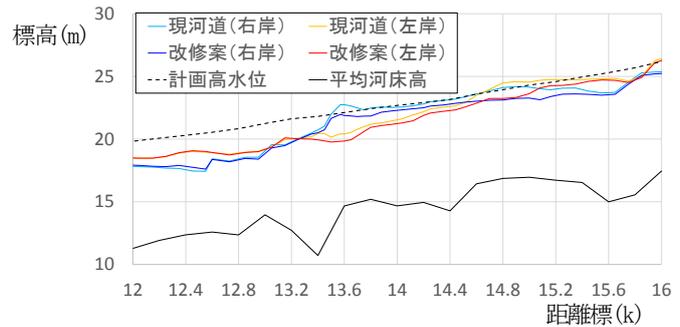


図-10 現河道と改修案の水面形比較

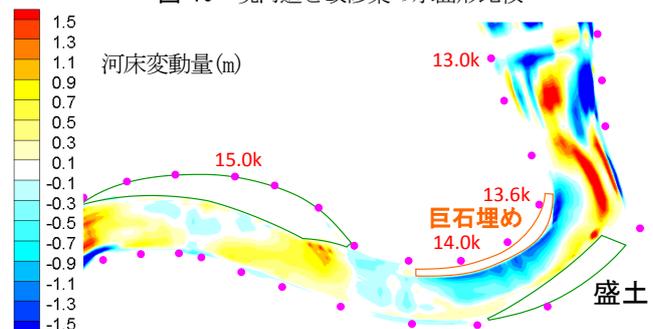


図-11 河床変動量の解析結果 (改修案)

できるように、図-6の緑で示す箇所に巨石入り盛土を設置する。常願寺川で検討された巨石付き盛土砂州<sup>1),2)</sup>は、盛土砂州上流端および付け根部分に1m級の根石を配置し、耐侵食性を高め水はね効果を発揮するものであった。常願寺川では盛土材料となる現地の材料も広い粒度分布を有するため、根石による補強により洪水に耐え得る強度が得られたと考えられる。一方、那賀川の対象区域の材料は、平均粒径が40mm程度と盛土材料としては細かく、この材料だけでは根石を施しても容易に侵食を受け、盛土の水はね効果を維持できない出来ないことが想定される。そこで、巨石(300mm~500mmを想定)を現地材料と混ぜ合わせることで盛土を形成し、盛土の耐侵食性を高めることを考えた。巨石材料としては、那賀川上流のダムに多量の巨石が堆積していることから、このような石を活用することを想定する。現地材料と巨石の割合は1:1とした。盛土の基礎的な知見を得るためにこの配合としたが、実際に施工する場合は、現地の施工性などを考慮した配合割合を考える必要がある。盛土の斜面勾配は、上述の条件下で様々な断面形状を検討した中で、侵食に対し安全性が高い10割勾配の緩傾斜勾配を採用し

た。盛土を設置する区間は河幅が広く、緩傾斜盛土の設置が可能と考えた。

図-7に、盛土を含む断面の横断形状を、図-8に現河道と改修案の平面的な形状比較を示す。盛土の天端高さは、河幅を適切に狭めるため、また盛土を乗り越えることで天端からの侵食が生じないように、計画高水位と同様の高さに設定した。また、河幅を狭くすることもあり屈曲部内岸側で洗掘が生じる恐れがあるため、13.6k~14.2k左岸の河床に巨石を埋め込む案とした。14.4kから上流は、中州を切り下げることで滞筋を現状よりも河道中央に寄るようにし、現状のように土砂が堆積しないように盛土により河幅を狭くする断面形状とした。

### 3.2 解析による断面改修案の検証結果

2章と同様の解析法を用い、改修案の効果検証を実施する。巨石材料として400mmを代表粒径として与え、盛土箇所に巨石材料を考慮した粒度分布(巨石50%配合)を与えた。粗度係数は、巨石を混ぜ込むことで抵抗が増加することを考慮し、盛土箇所0.04を与えた。検討流

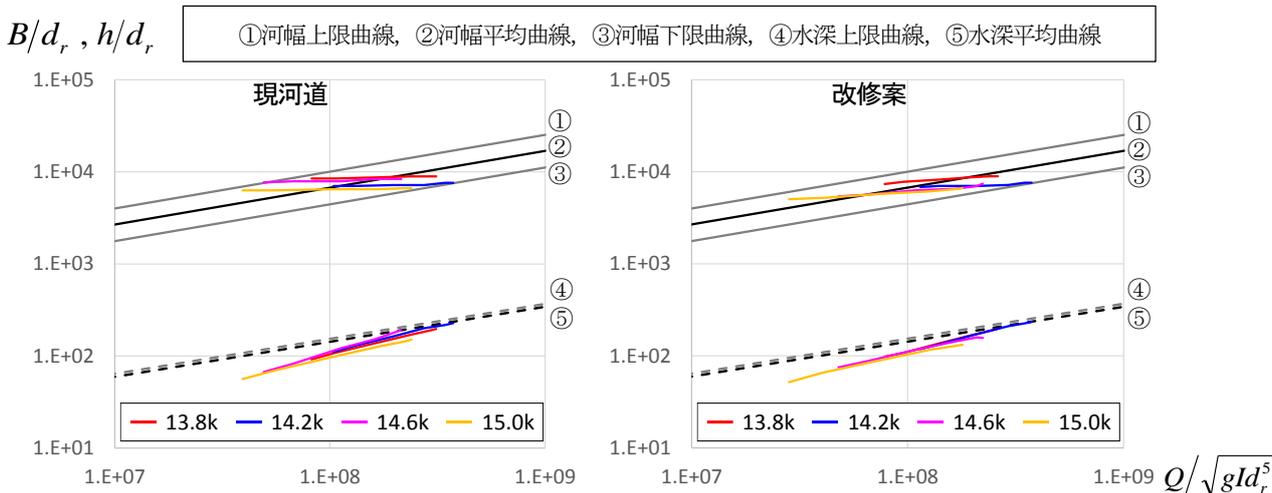


図-12 各断面の無次元流量—無次元河幅・水深関係の時間変化と福岡の式との比較

量は、平成26年8月洪水のハイドログラフを上流端より与えた。図-9に、図-4との比較となる改修案の水深・水位および流速分布を示す。盛土を設置することで滞筋が河道中央部に寄せられ、滞筋は、図-6の理想線形に近づいている。また、屈曲部外岸側の水位が現河道に比べ低下していることが確認できる。図-10に、現河道と改修案の左右岸水面形の比較を示す。改修案では、屈曲形状および縦断的な河幅の是正により流量ピーク時の水位が現河道に比べて最大1.2m程度低下し、縦断的に計画高水位を下回る結果となった。

図-11に改修案の河床変動量を示す。盛土箇所は、若干の変動は見られるが、大きな侵食などは解析結果では生じていない。盛土により河幅が狭められたことにより13.6k～14.2k区間の内岸洗掘が懸念されたが、巨石の埋め込みにより堤防際では洗掘が抑制され、その前面が洗掘される結果となった。現河道において14.4kより上流で生じていた堆積は、改修案では河幅を狭めたことなどから、堆積量が軽減された。13.6kより下流外岸側に堆積する土砂量が増加したが、改修案を作成する段階で現状よりも河床高を低下させた低い箇所への堆積が主であり、河積にも余裕があるためこの堆積に関しては問題ないと考えている。また、13.4k左岸への堆積に関しては、二次流の関係で必ず堆積が生じる箇所であるため、この箇所に関しては改修案においても維持掘削が必要となる。

図-12に、現河道および改修案における各断面の無次元流量—無次元河幅・水深関係の時間変化と福岡の式との比較を示す。各断面のラインは、洪水波形の中で洪水初期から流量ピークまでの時間帯の動きを表示した。現河道では、無次元河幅のラインは低い流量の段階から洪水流量ピーク時までほぼ水平に移動していることが分かる。治水上安定な河道を目指す上でラインは河幅平均曲線に平行となることが望ましく、改修案は若干ではあるが河幅平均曲線の傾きに近づいている。

以上の解析による検討から、巨石入り盛土による滞筋・河幅の是正は、屈曲部の水位低減に対し有効であることが明らかとなった。



写真-1 模型実験施設の全景

## 4. 模型実験による断面改修案の効果検証

### 4.1 模型実験の概要

次に、那賀川13.0～15.6k区間を対象とした模型実験により改修案の効果を検証する。実験施設の縮尺は、フルード相似則により平面縮尺1/500、鉛直縮尺1/150のひずみ模型とした(写真-1)。この模型に、図-8に示す現河道および改修案の地形を作成した。ひずみ模型であるため、盛土の斜面勾配は3割勾配となり、斜面侵食に対しては厳しい条件となる。地形作成後、以下の流量を通水した。

Case1：はじめに平均年最大流量4500m<sup>3</sup>/sを洪水継続時間2年分(49時間)通水→実験スケールでは流量4.9L/sを72分間通水

Case2：Case1通水後、既往最大流量9500m<sup>3</sup>/sを実時間で1時間分(那賀川のピーク継続時間30分×2回に相当)を通水→実験スケールでは流量10.4L/sを1.5分間通水

上述Case1, 2の通水を合わせると、H26年8月洪水規模の2波形分に相当する。実験に用いた材料は、現地の無次元掃流力と一致する材料として平均粒径0.6mm程度が望ましいことが分かり、珪砂3, 4, 5号を混ぜ合わせたものを準備した。また巨石材料として約6mmの礫を用い、河床材料と1:1で混ぜ合わせ盛土材料とした。実験では、

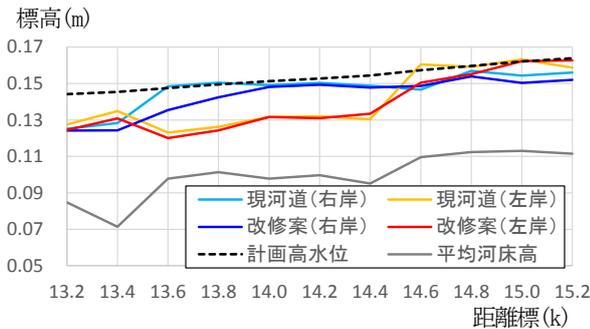
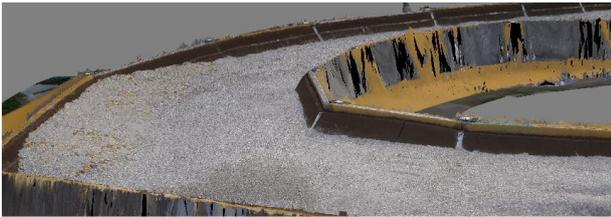


図-13 現河道と改修案の水面形比較 (実験結果)



(a) 初期河床形状



(b) 通水後河床形状

図-14 初期と実験終了後の河床状況比較 (写真測量成果：使用ソフト Agisoft PhotoScan)

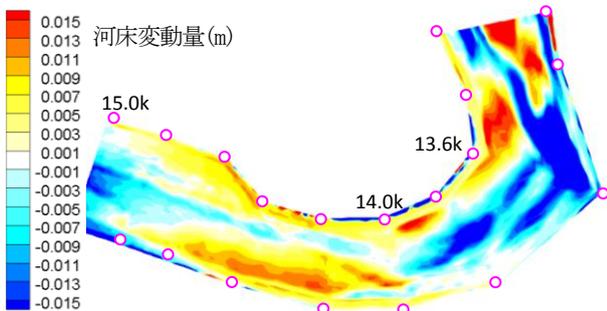


図-15 河床変動量 (Case2後河床形状-初期河床形状)

通水中の水位観測を行うとともに、通水前後の地形を写真測量により計測した。

#### 4.2 模型実験結果とその考察

図-13に現河道と改修案における最大流量通水時 (Case2) に測定した水面形を示す。改修案の水位は、現河道の水位を多くの点で下回る結果が得られた。図-14に、写真測量 (利用ソフト：Agisoft PhotoScan) により取得した初期と実験終了後の河床地形情報 (屈曲部より上流を望む) を示す。また、図-15には、初期地形と実験終了時地形から算出した実験の河床変動量を示す。図-14、図-15を見ると、解析結果 (図-11) では見られ

なかった盛土斜面の侵食が生じ、また、屈曲部二次流による屈曲部内岸の堆積も生じている。実験の巨石入り盛土は、斜面勾配を実際の3倍程度急勾配で設定し、H26年洪水の2波形分で検討を行ったため、厳しい条件下での検証となった。その中で侵食量は盛土の規模から考えると小規模であり、堤防には侵食が到達していないことから、設定した巨石入り盛土は那賀川洪水に対し十分に機能する施設であると考えられる。内岸への堆積に関しては、Case1の72分間の通水開始直後に堆積が進行し、30分程度経つとこの形状で平衡状態となった。現状も土砂堆積と樹木繁茂が生じている箇所であるため、この箇所に関しては維持掘削を続ける必要があると考えられる。滞筋は、巨石入り盛土の付け根部分を流下する状況となり、解析と同様に図-6で設定した理想の滞筋線形に近い流れとなった。以上の結果から、巨石入り盛土による断面改修案は、滞筋線形の是正と水位低減に対し効果を持つことが実験からも明らかとなった。

#### 5. 結論

本研究では、那賀川で課題となっている屈曲形状による水位上昇の軽減を目指し、巨石入り盛土を用いた対策について基礎的な検討を実施した。水位低減のための断面改修案は、滞筋線形および河幅の是正を意識して盛土位置・形状を決定し、盛土斜面は耐侵食性を高めるために緩傾斜勾配を採用した。解析および模型実験により断面改修案の効果を確認した結果、設定した巨石入り盛土は、滞筋線形の是正に対して機能し、屈曲部の水位低減に効果を発揮することが明らかとなった。

謝辞：本研究は、公益財団法人河川財団の河川整備基金による補助を受け実施した。また、徳島大学武藤裕則教授に模型実験の進め方などご教示頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 長田健吾, 福岡捷二, 氏家清彦：急流河川における砂州を活かした治水と環境の調和した河道計画, 河川技術論文集, 第18巻, pp.227-232, 2012.
- 2) 丸山和基, 二俣秀, 今井克治, 徳島美幸, 福岡捷二：「巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工」の機能維持確保のための技術検討, 河川技術論文集, 第21巻, pp.195-200, 2015.
- 3) 平野宗夫：Armoringを伴う河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp.55-65, 1971.
- 4) 芦田和男, 道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 5) 福岡捷二, 坂口達哉：無次元流量に対する無次元河幅・水深のとり範囲と整備途上河川への適用, 水工学論文集, 第56巻, pp.I-1423-I-1428, 2012.
- 6) 福岡捷二：札内川の河道変遷を考慮した治水と環境の調和した安定な河道縦・横断形状に関する研究, 研究紀要(XXIV), 北海道河川財団, pp.123-164, 2013.

(2017. 4. 3受付)