

川内川における河床変動特性と 予測に関する研究

THE STUDY ON PREDICTION OF RIVER-BED EVOLUTION OF ITS CHARACTERISTICS IN THE SENDAI RIVER

坂本 洋¹・林 健太郎²・竹島 士朗³・石本 俊亮⁴・倉吉 一盛⁵・白石 芳樹⁶
Hiroshi Sakamoto, Kentarou Hayashi, Shirou Takeshima, Toshiaki Ishimoto, Kazumori Kurayoshi and
Yoshiki Shiraishi

¹正会員 (株)建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12 CTI ビル)

²正会員 国土交通省 川内川河川事務所 (〒895-0075 鹿児島県薩摩川内市東大小路20-2)

³非会員 国土交通省 川内川河川事務所 (〒895-0075 鹿児島県薩摩川内市東大小路20-2)

⁴正会員 (株)建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12 CTI ビル)

⁵非会員 (株)建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12 CTI ビル)

⁶正会員 (株)建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12 CTI ビル)

The corrosion occurs as a result of repetition of corrosion and sedimentation that arises along with flooding. Therefore, it is difficult to obtain such values relating corrosion as corrosion depth. Particularly, it can be said that to obtain maximum depth of corrosion and scale of river-bed degradation over flooding is considerably difficult due to the repetitive nature of corrosion.

In this study, the river-bed monitoring was implemented in the Ebino area located in the upper reaches of The Sendai River where corrosion frequently occurs to observe its river-bed in the terms of maximum depth of corrosion and scale of degradation. In addition, a quasi-three-dimensional model was constructed to estimate the corrosion depth and examine the corrosion characteristics by the use of data obtained by river-bed monitoring.

Key Words : river-bed monitoring, maximum depth of corrosion, river-bed evolution,
quasi-three-dimensional model

1. はじめに

川内川は、流域面積 1,600km²、幹川流路延長 137km の一級河川である。流域の地形は、狭窄部を挟んで、盆地、平野が形成され、変化に富んでいる。また、地質的には南九州特有のシラスが、上流部から中流部にかけて広く分布し、河床にもシラス堆積物が多く見られる。

本研究で対象としている川内川上流えびの地区の河床に分布する地層は、加久藤層群と呼ばれる洪積世中期から後期の新しい堆積物で構成され、河川の掃流力に対して抵抗が弱い地質であるが、河川改修が行われる前までは、上流からの比較的粒径の大きな土砂がシラス層上に堆積することにより河床は護られていた。ところが、昭和40年代の高度成長期を契機にえびの地区の市街化が進展とともに、度重なる浸水被害対策として、蛇行河道の

ショートカットや河床掘削などの河道改修が行われた。これにより、浸水被害は減少したものの、砂利などによって護られていたシラス層が河床に露出し、河床低下を助長する結果となった。

この河床低下により護岸や床固め工など河道内構造物の基礎部が露出し、河川管理施設の安全性が低下している。そのため、洪水が起こると構造物が損壊し、多大な被害が発生することが懸念される。しかし、洪水時における河床変動は、流量の増加による洗掘作用と流量の減衰による堆積作用が繰り返され、洪水時の洗掘深の把握が困難である。特に、洪水時における最大洗掘深や面的な河床低下量は未解明である。

本研究は、洪水時における最大洗掘深と面的な河床低下について、河床モニタリングを行ったものである。また、その観測結果より数値解析モデルを構築し、河床洗掘深を予測し、河床変動特性を把握したものである。

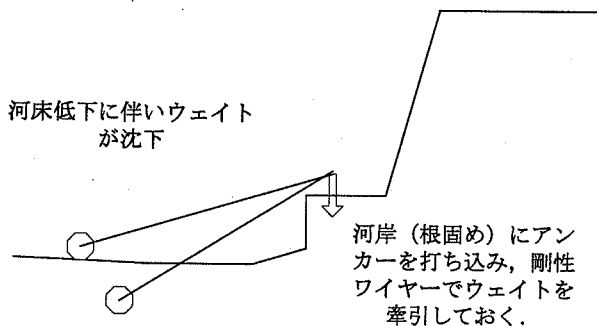


図-1 アンカー方式河床モニタリング機器
設置直後 洪水最中

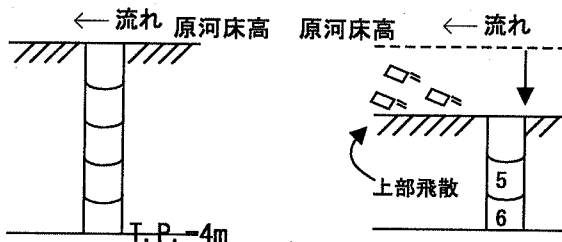


図-2 埋設式河床モニタリング機器

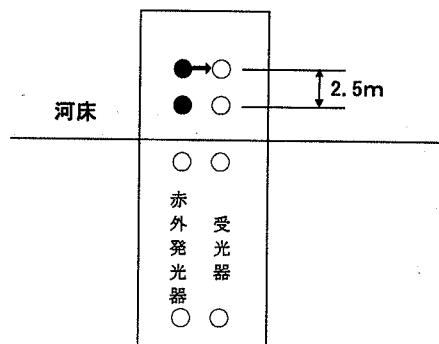
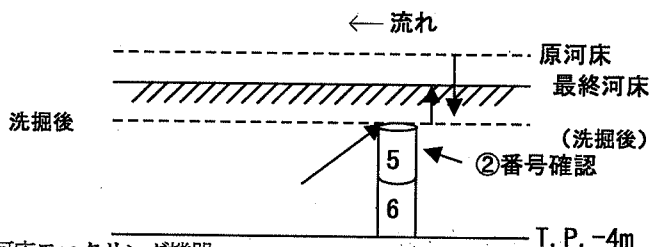


図-3 光電式砂面計
洪水後（計測）



2. 河床モニタリング機器の選定及び観測位置

(1) 河床モニタリング機器の選定

既往の河床モニタリング機器の特徴と課題についてとりまとめ、その課題を踏まえた上で河床モニタリング機器を選定する。

a) アンカー方式河床モニタリング機器

アンカー方式の河床モニタリング機器とは、図-1に示すとおり、河岸にアンカーを打ち込み、剛性ワイヤーでウェイトを牽引し、河床低下に伴いウェイトが沈下する仕組みのものである。

川内川において平成10年度¹⁾にこの機器により河床変動モニタリングを実施した。しかし、洪水流下時にゴミなどがワイヤー部に引っかかり想定以上の荷重がかかったため破損し、データの取得ができなかった。

b) 埋設式河床モニタリング機器

洪水前に図-2に示す長さ10cmの中空セグメントを埋設しておき、河床が低下するに連れて計測器上端の水中に露出したセグメントが飛散し、そうでないものは地中に残置される。計測は、残置セグメント最上部のセグメント番号を目視確認することより飛散セグメント数を推定し、既知の計測器上端部設置時標高からの低下量を計測するものである。

本機器は、最大洗掘深の観測には適している。しかし、洗掘を時系列で観測することができないことや洪水後に残置セグメントを確認するため、河床を掘り返す必要があるなどデータ取得に手間がかかる。また、セグメントは水溶性の材料を使用しているため、長期間埋設すると水に溶けるなどの問題もある。

c) 光電式砂面計

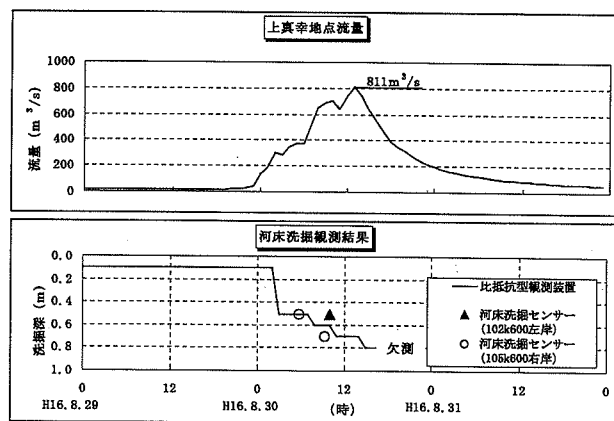
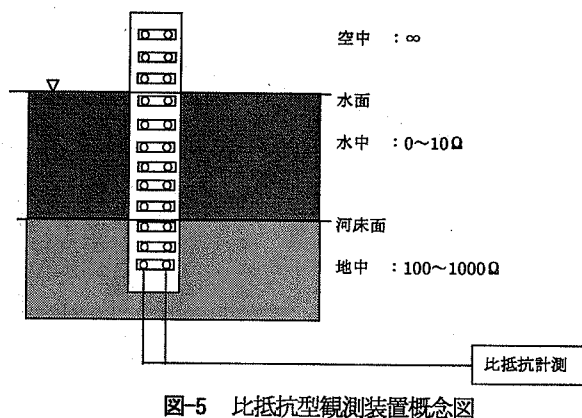
光電式砂面計の測定原理は、図-3に示すとおりセンサー棒に埋め込まれた各センサーが赤外線発光器と受光器で対になっており、この各センサーが砂、泥などで遮断されると回路がオフになり、そのセンサーの位置をICメモリに記録する仕組みとなっている。

光電式砂面計は、洗掘深を時系列で観測できる。しかし、砂などにより光波を出す箇所が目詰まりや濁度が著しい場合に河床高を誤認するなどの問題もある。

d) 河床モニタリング機器の選定

本研究では、a)～c)までの既往の河床モニタリング機器の課題を踏まえ、洪水流下時のゴミや流木などにより破損するおそれがない河床埋め込みタイプの河床洗掘センサー及び目詰まりにより誤認しない電気的比抵抗によって計測する比抵抗型観測装置を採用した。

河床洗掘センサーは、河床が洗掘されると、予め埋め込んで置いたセンサーが飛ばされ、その結果を無線で受信局に伝達し、記録するものである。概念的には図-4に示すとおりである。なお、センサー長は1個20cmである。



比抵抗型観測装置は、図-5の概念図のとおり、河床下の土砂の部分と水の部分及び空気の部分の抵抗率が異なることから、各層の境界面の位置を測定する装置である。

(2) 河床モニタリング機器設置位置

河床洗掘センサーは、図-6に示す洗掘が予想される3測線上に設置した。また、面的に河床変動を捉えるため、測線上に機器を2箇所設置することとした。

比抵抗型河床高観測装置は、河床洗掘の時系列的なモニタリングを行うとともに、河床洗掘センサーのデータ確認を行う目的で設置した。したがって、河床洗掘センサーの近傍に設置することが望ましいため、現地踏査や河道断面の重ね合わせなどから、洗掘が大きいと予想される105k250地点に設置した。

3. 河床モニタリング結果

観測期間平成16年1月～9月において、3度の出水があった。其中最も大きな出水は、平成16年8月30日の台風16号であった。このとき洗掘センサーは、102k600地点左岸側で1個及び105k000地点右岸側で2個が飛散した。この場合の洗掘深は、土被り30cmを考慮すると、それぞれ50cm及び70cm河床が低下したことがわかる。また、比抵抗型計測装置でも最大70cmの洗掘深を記録していた。これを時系列で示したものが図-7である。105k000地点の洗掘センサーと比抵抗型観測装置の結果

表-1 計算条件一覧表

条件	設定条件
計算モデル	準三次元モデル
対象区間	101k～106k400
計算格子	縦断方向:73分割 横断方向:31分割(低水路:20分割、高水敷:5分)
河床地形	平成15年度測量図
上流端流量	上真幸地点:811m ³ /s
下流端水位	217.73(T.P.+m):痕跡水位左右岸平均
粗度係数	高水敷:準二次元粗度係数(新河道計画 ⁴⁾) 低水路:0.033(検証粗度)

を比較すると概ね時間的にも洗掘深も整合している。ただし、比抵抗型観測装置の近傍に設置した河床洗掘センサーは、飛散していなかった。これは、横断的な観測位置の違いによって洗掘されなかったことが考えられる。

4. 観測結果と準三次元モデルとの比較

(1) 痕跡水位との比較

平成16年8月30日台風16号における痕跡水位調査結果²⁾における痕跡水位と平面流況解析結果を比較する。

流れの基礎方程式は、福岡・渡辺・西村の準三次元解析法³⁾を用いた。

平面流況解析に用いた計算条件は表-1に示すとおりに設定した。なお、低水路粗度係数は、痕跡水位及び観測水位から設定した。また、高水敷粗度係数は、「川内川新河道計画検討業務」⁴⁾で設定されている値を使用した。

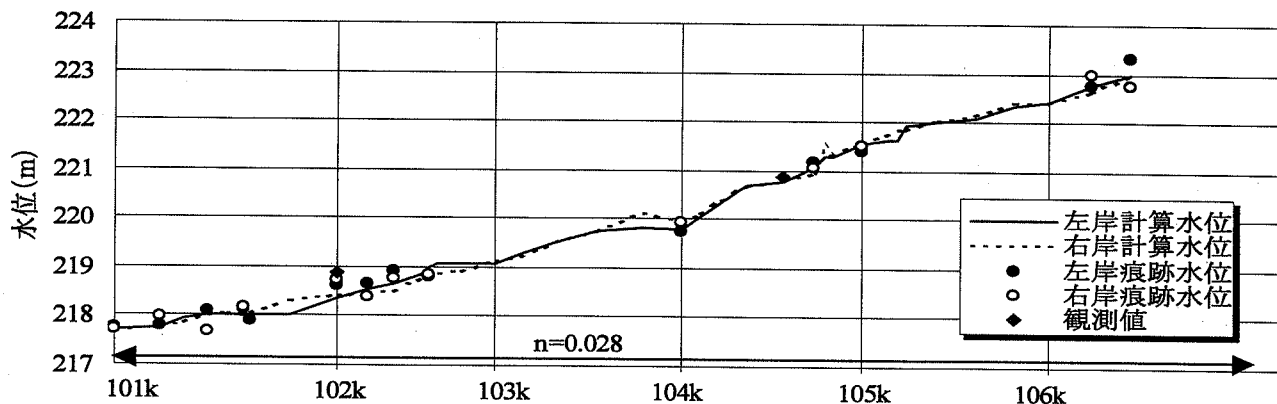


図-8 平成16年8月出水時の痕跡水位と解析結果との比較

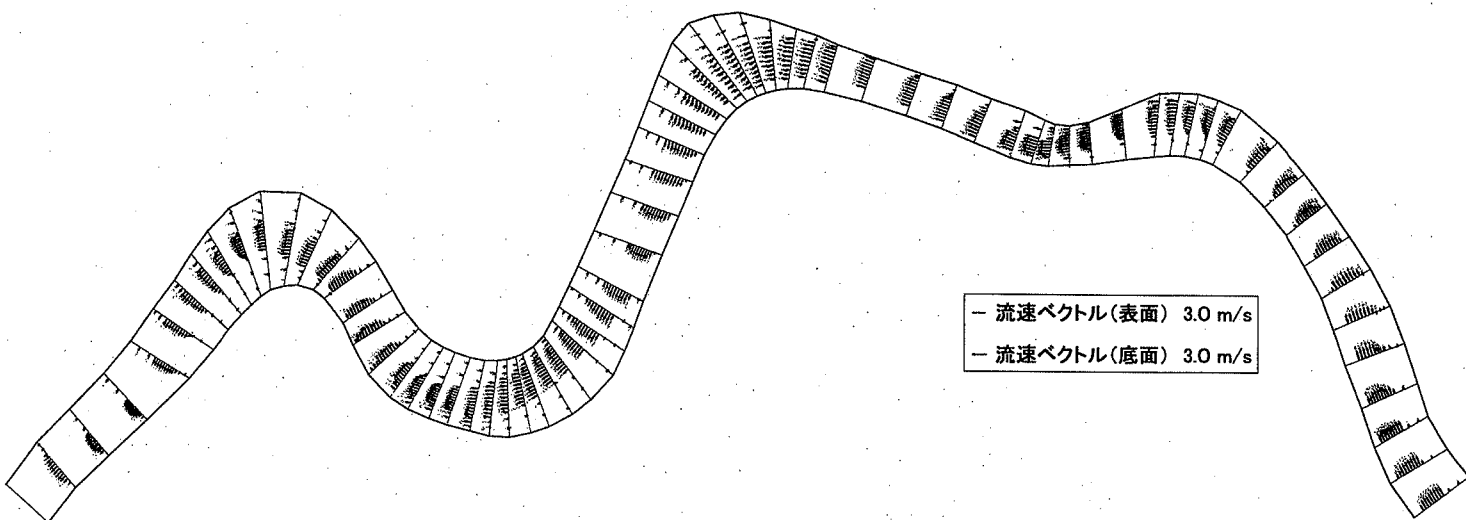


図-9 平成16年8月出水時の表面及び底面流速ベクトル図

図-8は平成16年8月台風16号出水時の痕跡水位と解析結果を比較したものである。この結果より準三次元計算水位は、痕跡水位及び水位観測結果を概ね再現していることがわかる。

図-9は平成16年8月出水時流量 $811\text{m}^3/\text{s}$ 流下時の準三次元計算による流速ベクトルを示している。この図より、湾曲内岸側の流速に比べ、湾曲外岸側の流速が速くなっていることがわかる。

(2) 河床モニタリング結果との比較

河床高の変化は、掃流砂を対象とした次の流砂の連続式を用いる。

$$\frac{\partial z_0}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bsi}}{\partial s} + \frac{1}{r} \frac{\partial (rq_{Bni})}{\partial n} \right) = 0 \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 z_0 は河床高、 λ は河床材料の空隙率、 q_{Bsi} 、 q_{Bni} は s 、 n 方向の単位幅当たりの掃流砂量を示す。

q_{Bsi} は、次式に示す芦田・道上の式⁵⁾を用いる。

$$q_{Bsi} = p_i \cdot 17\tau_{*i}^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}} \right) \quad (2)$$

表-2 河床変動計算条件一覧表

条件	設定条件																										
計算モデル	準三次元モデル																										
対象区間	101k～106k400																										
計算格子	縦断方向:73分割 横断方向:31分割(低水路:20分割、高水敷:5分割)																										
河床地形	平成15年度測量図																										
上流端流量	ピーク流量:811m ³ /s																										
下流端水位	Q=41.36(H-213.03) ²																										
粗度係数	高水敷:新河道計画による粗度係数 低水路:0.030(検証粗度係数)																										
粒径区分	<table><tr><td>粒径 (mm)</td><td>0.075</td><td>0.250</td><td>0.425</td><td>0.850</td><td>2.00</td><td>4.75</td><td>9.50</td><td>19.0</td><td>26.5</td><td>37.5</td><td>53.0</td><td>75.0</td></tr><tr><td>百分率 (%)</td><td>1.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.8</td><td>2.8</td><td>6.6</td><td>8.1</td><td>15.4</td><td>9.8</td><td>15.8</td><td>23.6</td><td>15.4</td></tr></table>	粒径 (mm)	0.075	0.250	0.425	0.850	2.00	4.75	9.50	19.0	26.5	37.5	53.0	75.0	百分率 (%)	1.1	0.2	0.4	0.8	2.8	6.6	8.1	15.4	9.8	15.8	23.6	15.4
粒径 (mm)	0.075	0.250	0.425	0.850	2.00	4.75	9.50	19.0	26.5	37.5	53.0	75.0															
百分率 (%)	1.1	0.2	0.4	0.8	2.8	6.6	8.1	15.4	9.8	15.8	23.6	15.4															
流砂量式	縦断方向:芦田・道上式 横断方向:長谷川式																										

ここに、 p_i は粒径 d_i の砂の河床に占める割合、 σ は砂の密度、 ρ は水の密度、 τ_{*i} は第 i クラスの砂の粒径別無次元掃流力、 τ_{*ci} は第 i クラスの砂の粒径別無次元限界掃流力でEgiazaroff⁶⁾の式より求める。

q_{Bni} は、長谷川の式⁷⁾を用いる。

$$q_{Bni} = p_i \cdot q_{Bsi} \left[\frac{v_b}{u_b} - \sqrt{\frac{\tau_{*ci}}{\mu_s \mu_k \tau_{*i}}} \frac{\partial z_0}{\partial n} \right] \quad (3)$$

ここに、 ρ_s は砂礫の密度、 ρ :水の密度、 z_0 :河床高、 μ_s 、 μ_k は静止及び動摩擦係数、 u_b 、 v_b は s 、 n 方向の河床での流速を示す。

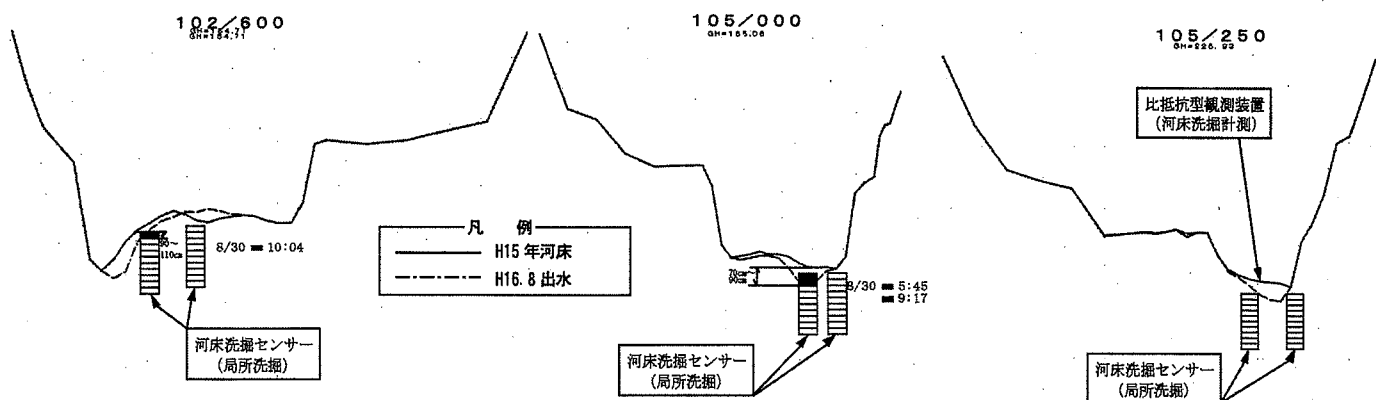


図-10 河床変動前後横断面図

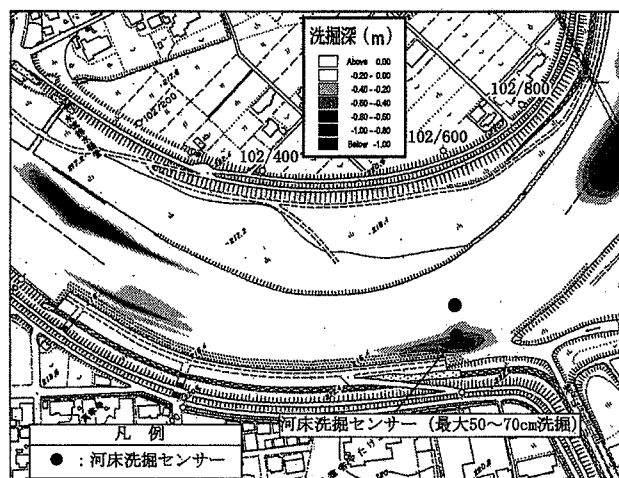


図-11(a) 洗掘深コンター図

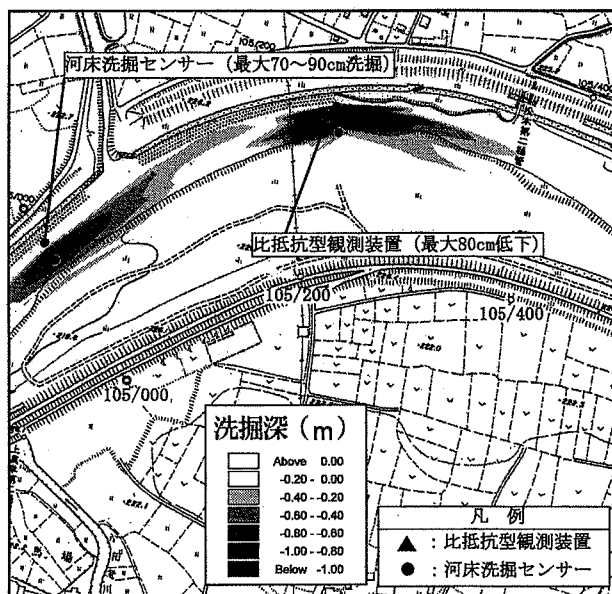


図-11(b) 洗掘深コンター図

平成16年8月台風16号出水時の河床変動計算は表-2の計算条件を用いて再現計算を行った。図-10は河床変動前の横断形状と河床変動計算後の横断形状の重ね合わせと洗掘センサーの洗掘された位置を示している。また、図-11(a)～(b)は、河床変動前後の洗掘深コンターを示している。この計算結果より、102k600地点、105k000地点の河床洗掘センサーによる洗掘深50cm～70cmを概ね再現することができていることがわかる。また105k250地点に設定している比抵抗型観測装置の観測結果は70cm河床が低下しており、この結果についても、解析による洗掘深が70cm程度となり、比抵抗型観測装置の観測結果についても概ね再現できていることがわかる。

図-11の洗掘深コンター図を見ると、湾曲外岸側が洗掘されていることがわかる。

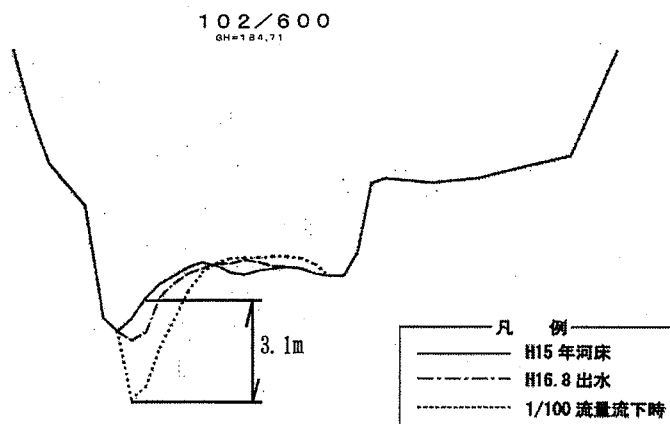


図-12(a) 計画流量流下時横断面図

5. 計画高水流量流下時における洗掘予測

準三次元モデルを用いて「川内川新河道計画検討業務」⁴⁾に示されている計画規模1/100の計画高水流量（上真幸地点ピーク流量1,900m³/s）が流下した場合の洗掘深について予測した。

図-12は、河床変動前横断形状と計画規模1/100流量流下時の河床変動計算後の横断形状を重ね合わせたものである。この解析予測結果から、それぞれの地点において、102k600地点で3.1m、105k000地点で1.9m、105k250地点で2.3m程度洗掘されることがわかった。

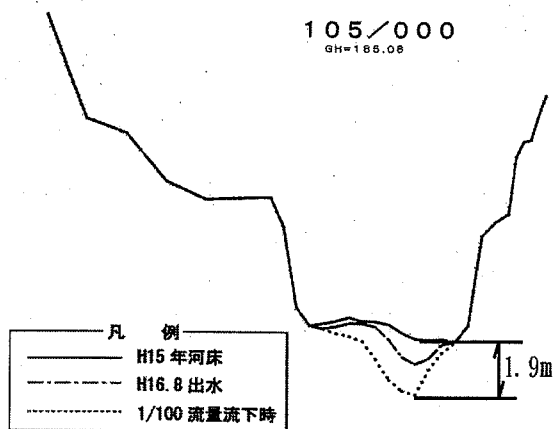


図-12(b) 計画流量流下時横断面図

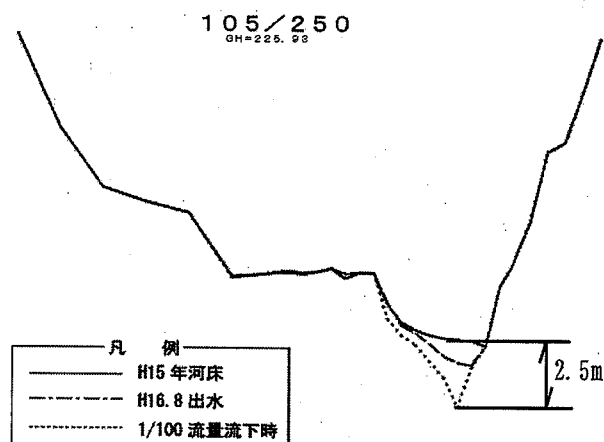


図-12(c) 計画流量流下時横断面図

また、平成16年8月出水 ($811\text{m}^3/\text{s}$: 計画高水流量の約42%) と計画高水流量 ($1,900\text{m}^3/\text{s}$) 流下時の河床高では、流量規模により洗掘深が異なることがわかる。このことより、流量規模と洗掘深で相関関係があることが考えられる。

6. おわりに

本研究から、①本研究で用いた河床モニタリング機器により洪水時における洗掘深を観測することができること、②準三次元解析により観測結果を概ね再現することが可能であること、③準三次元解析により計画高水流量流下時の洗掘深を予測することができること、④予測した結果、湾曲外岸側で洗掘深が大きくなり、計画高水流量流下時で最大3m程度洗掘されること、などの知見を得た。

本研究では、平成16年8月30日台風16号の1洪水を対象に準三次元解析を実施している。今後は、他の洪水においても、その妥当性を確認し、精度向上を図っていく。

本研究により、流量規模別の洗掘深を予測することがある程度可能となったことから、今後は、流量規模と洗掘深の関係について検討するとともに、洗掘深と側方浸食の関係についても研究を行い、河道の質的安全性の評価手法を確立する。さらに、流量規模により、洗掘深と側方浸食を予測し、河岸等の被災を予測することができるシステムの開発を行っていく。

謝辞：本研究は、被災予測システム開発の一環として、国土交通省川内川河川事務所の委託により研究をおこなったものである。本研究を実施するにあたり、川内川河川事務所の関係各位には資料及びデータの提供など多大な協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省. 九州地方整備局 川内川河川事務所: 川内川河道モニタリングシステム検討業務, 1999.
- 2) 国土交通省. 九州地方整備局 川内川河川事務所: 川内川痕跡調査業務, 2004.
- 3) 福岡捷二, 渡辺明英, 西村達也: 水制工の配置法の研究, 土木学会論文集, No.443/II-18, pp.27-36, 1992.
- 4) 国土交通省. 九州地方整備局 川内川河川事務所: 川内川新河道計画検討業務, 2003.
- 5) 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, 土木学会, pp. 59-69, 1972.
- 6) Egiazaroff, I. V. : Calculation of nonuniform sediment concentration, J. of Hyd. Div., ASCE, Vol. 91, HY4, pp. 225-247, 1965.
- 7) 長谷川和義: 蛇行流路における流れと平衡底面形状に関する研究, 土木学会論文報告集, 第338号, pp. 105-114, 1983.

(2006. 4. 6 受付)