

平成16年神通川大出水における痕跡水位の 局所的縦断形状と河岸侵食箇所、侵食量の関係

RELATIONSHIP BETWEEN FLOOD MARK PROFILES
AND BANK EROSION RATE IN 2004 JINZU RIVER FLOOD

黒田勇一¹・九田将茂²・川口広司³・福岡捷二⁴

Yuichi KURODA, Masashige KUDA, Hiroshi KAWAGUCHI and Shoji FUKUOKA

¹正会員 国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所工務第一課長 (〒930-8537 富山市石金3-2-37)

²国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所調査第一課河川計画係長 (〒930-8537 富山市石金3-2-37)

³正会員 博(工) 中央大学研究開発機構助教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁴フェロー会員 Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The Jinzu river which is a very steep channel experienced a large flood in October 2004. River banks were severely eroded over the entire reach of the river although levee breach did not happen fortunately. Flood marks and bank erosion immediately after the flood were surveyed in detail.

The present paper deals with the relationship between bank erosion position bank erosion rate and flood marks under the concept that water surface profiles during floods is the most important index characterizing the dynamic behavior of flood through river channel with irregular cross section. The 2D numerical computation shows that occurrence position of bank erosion nearly coincides with the position of abrupt change in flood marks.

Key Words : Jinzu river, steep slope river, flood mark, bank erosion, numerical computation,

1. はじめに

わが国の河川勾配は諸外国の河川に比べて急峻であるが、その中でも北陸地方、中部地方の山脈に源を持つ河川は特に急流である。また、土砂の生産域を流域に含むことが多く、氾濫原に多くの人口や資産を抱えており災害を受けやすい環境にある。

急流河川では、洪水流の持つエネルギーが著しく大きいことから、流路を安定させるための対策や河岸、堤防の侵食対策等の治水対策を行ってきた。しかし、急流河川の不規則な河道線形や河床状態の影響を受け、洪水流が偏流し易く、河岸の侵食・洗掘が生じ破堤の原因となることが懸念される。このため、洪水流下状況の検討から破堤など治水上問題のある箇所を事前に予測することは特に重要である。

福岡はこれまでの堤防や河岸の調査研究で、実際に破堤や欠壊が生じた河道区間では、洪水時の水面形の場所

的变化が大きいこと、このため洪水時の水面形の急変する場所は、河川管理上、特に注意が必要であることを示してきた¹⁾。本研究は、急流河川である神通川で発生した平成16年の大出水時の洪水後の被災及び侵食箇所、洪水後の痕跡水位縦断形と侵食量、河道の法線形と侵食量の関係を検討し考察する。さらに、平成16年の洪水流を非定常浅水流解析により再現し、洪水ピーク時の流れと河道の断面及び平面特性について考察を行い、水面形状と被災との関係を検討する。

2. 平成16年10月20日神通川出水の概要

(1) 神通川の概要

神通川は、その源を岐阜県高山市川上岳^{かおれだけ}(標高1,626 m)に発し、岐阜、富山両県を貫流し日本海に注ぐ幹川流路延長120km、流域面積2,720km²の富山県最大の一級河川である。

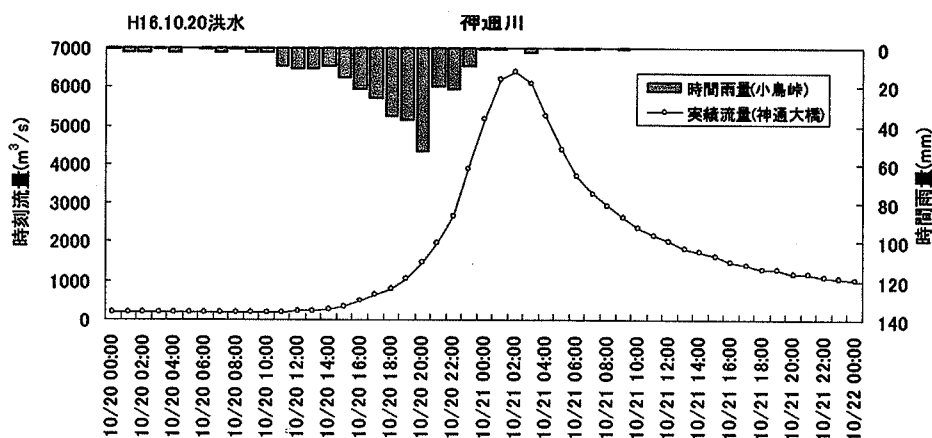


図-1 平成16年10月20日神通川洪水 神通大橋地点流量・小鳥峠雨量図

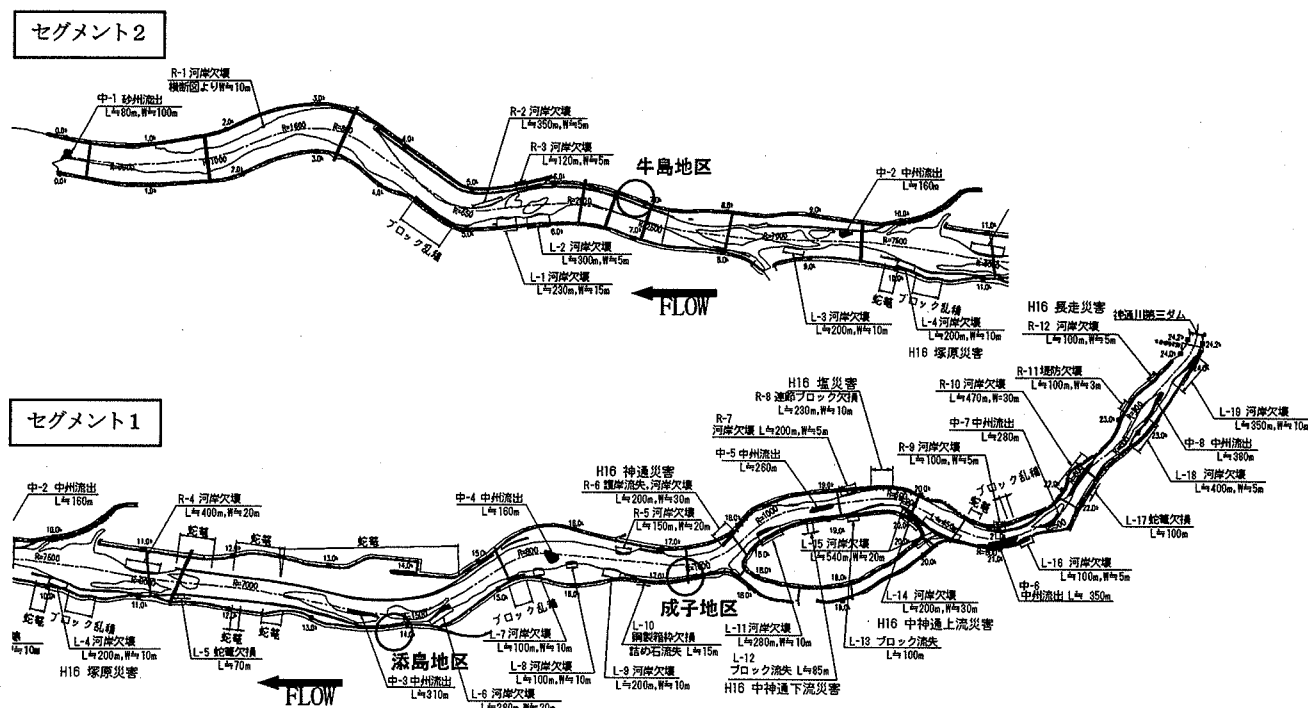


図-2 被災箇所平面図

中上流部は河床勾配が1/70～1/200と急流であり、その流域は比較的多雨地帯である。河口部は比較的緩流で河床勾配は1/1,800程度であるが、河口から10kmでは1/300、扇状地の上流では1/180と急変している。平均年最大流量は約2,500m³/s、近年では、昭和47年に約4,100m³/s、昭和58年に約5,650m³/sを記録している。

(2) 平成16年10月洪水

平成16年10月13日に発生した台風23号は、北太平洋上で勢力を拡大させ日本列島に接近し、20日16時に高知県に上陸した。台風は秋雨前線を刺激し、非常に強い雨を伴いながら本州を縦断し、神通川流域でも20日午後から激しい雨が降り出した。降雨は上流域で非常に強く、神通川流域の小鳥峠では総雨量325mmと観測史上最大を記

録した。このときの流量は6,460m³/sを記録した。図-1に出水時の流量と雨量を示す。

神通川では、幸いにも破堤に至る被害は発生しなかったが、一部で痕跡水位が計画高水位を超え、数多くの箇所では河岸侵食被害を受けた。

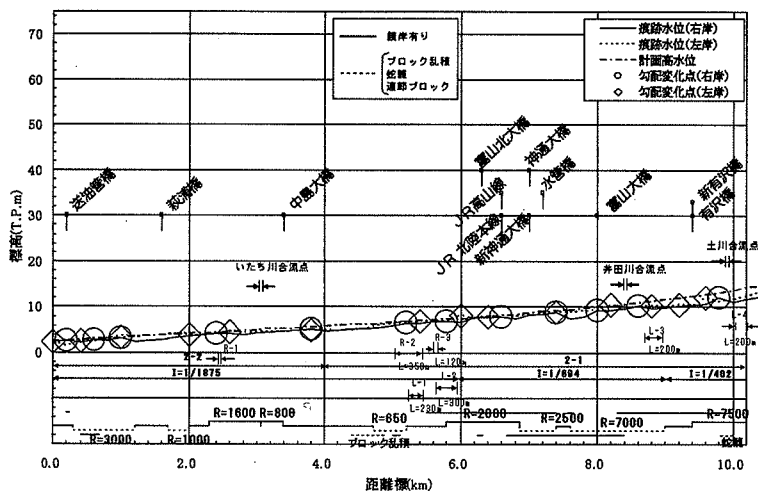
(3) 洪水痕跡及び被災箇所

洪水の減水後、直ちに被災箇所の確認と洪水痕跡の測定を実施した。測定結果を図-2に示す。

洪水痕跡の計測結果は、図-3に示すとおり、河口近くの2km付近、基準点神通大橋近傍の6km及び8km付近、また、20kmから上流区間では連続して計画高水位を上回る洪水痕跡が見られた。

被災箇所は、河岸欠壊、護岸流失、ブロック流失、蛇

(セグメント2)



(セグメント1)

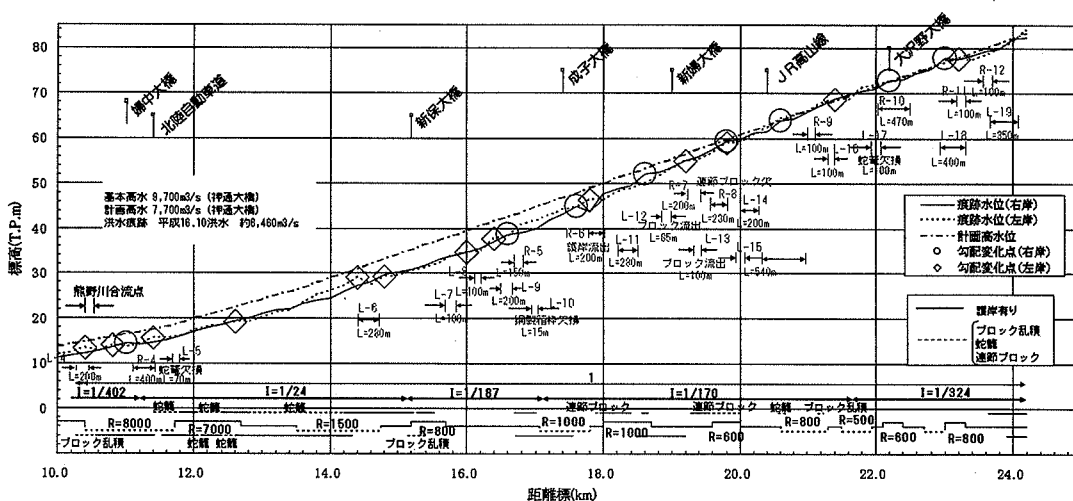


図-3 洪水痕跡及び被災箇所

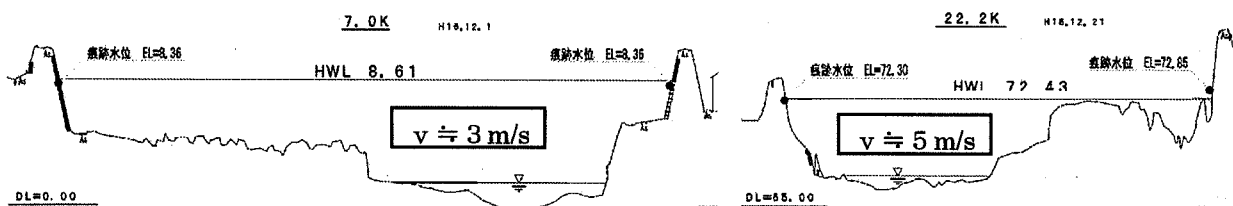
(セグメント2)
【神通大橋】(セグメント1)
【大沢野大橋】

図-4 代表断面の水位と流速

竈欠損、鋼製箱枠欠損・詰め石流失等、河川管理上影響があるものを取り上げた。(以下、侵食箇所という。)
被災規模の状況と侵食箇所の延長と幅を表-1に示す。

侵食箇所の延長は、短いものでも100m、長いものは500mにも及ぶものがある。侵食箇所の幅は、下流部(セグメント2)では5~10m程度、上流部(セグメント1)では10~30m程度となっている。

侵食箇所について、侵食を受けた区間の距離標及び延長を図-3に記入した。下流部よりも上流部において被災

箇所が多くなっている。また、20kmより上流では、ほぼ連続的に河岸が侵食されている。

また、図-2に示すように、被災箇所と平面線形(河道の湾曲)との関係を見ると、下流部ではその多くが湾曲部において被災箇所が発生しているのに対し、上流部では湾曲部で発生しているほか、直線部においても侵食箇所が発生している。

これは、図-4に示すように、上流部では流速が約5m/sと非常に速く、急流河川特有の高いエネルギーによるも

表-1 被災状況と侵食箇所一覧表

右岸側被災箇所一覧表

番号	位置	種別	延長(m)	欠陥幅(m)	痕跡勾配
R-1	2.4k付近	河岸欠陥	-	10	-1/9,524
R-2	5.0k付近	河岸欠陥	350	5	1/1,639
R-3	5.7k付近	河岸欠陥	120	5	-1/837
R-4	10.8k付近	河岸欠陥	400	20	-1/733
R-5	16.5k付近	河岸欠陥	150	20	1/571
R-6	17.6k+150	護岸流失	200	30	-1/176
R-7	19.2k付近	河岸欠陥	200	5	1/244
R-8	19.4k+100	護岸ブロック欠陥	230	5	1/505
R-9	21.0k付近	河岸欠陥	100	5	1/130
R-10	22.0k付近	河岸欠陥	470	30	1/6,897
R-11	23.0k+100	堤防欠陥	100	3	-1/1,000
R-12	23.4k+134	河岸欠陥	100	5	1/382

左岸側被災箇所一覧表

番号	位置	災害種別	延長(m)	欠陥幅(m)	痕跡勾配
L-1	5.4k付近	河岸欠陥	230	15	-1/33,333
L-2	5.6k付近	河岸欠陥	300	5	-1/364
L-3	8.8k付近	河岸欠陥	200	10	-1/1,143
L-4	10.0k付近	河岸欠陥	200	10	1/262
L-5	11.4k+80	蛇籠欠陥	70	-	1/15,385
L-6	14.4k付近	河岸欠陥	280	20	-1/129
L-7	15.6k付近	河岸欠陥	100	10	1/247
L-8	16.0k付近	河岸欠陥	100	10	1/1,818
L-9	16.4k付近	河岸欠陥	200	10	1/483
L-10	16.8k	鋼製箱枠欠陥	15	-	1/218
L-11	18.2k付近	河岸欠陥	280	10	1/244
L-12	18.6k+150	ブロック流失	85	-	1/108
L-13	19.2k	ブロック流失	100	-	1/694
L-14	19.8k+100	河岸欠陥	200	30	1/1,481
L-15	19.8k付近	河岸欠陥	540	20	"
L-16	20.0k+100	河岸欠陥	-	-	"
L-17	21.2k付近	河岸欠陥	100	5	-1/3,030
L-18	22.0k+100	蛇籠欠陥	100	-	1/304
L-19	22.8k+50	河岸欠陥	400	5	-1/5,000
L-20	23.6k付近	河岸欠陥	350	10	1/80

被災箇所と水面勾配の関係

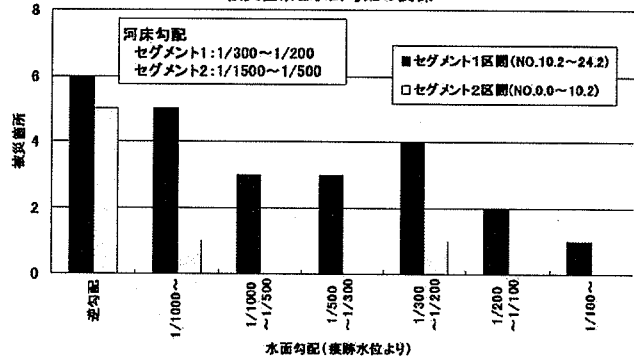


図-5 痕跡勾配毎の被災箇所数

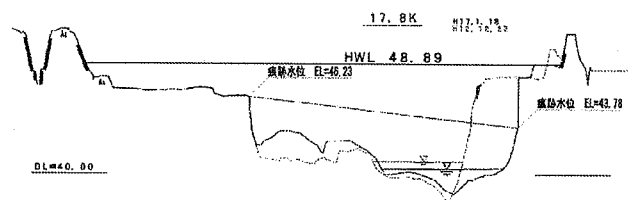


図-6 17.8k横断面図と痕跡水位

と考えられる。

3. 被災箇所と痕跡水位の関係

急流河川では、洪水流が蛇行して流下することから、洪水痕跡の勾配変化点を図-3の洪水痕跡グラフ上に○及び◇印で示した。洪水痕跡縦断面形が急な変化する箇所において、多くの侵食が発生していることがわかる。

そこで、侵食箇所における痕跡水位の変化を、その前後の観測点との勾配を数値で表し、侵食箇所と水面勾配との関係を図-5に示した。

セグメント1区間(10.2~24.2k)では、その7割において、水面形が逆勾配となっているところや、急に水面勾配が変化しているところで侵食箇所が発生している。

セグメント2(0.0~10.2k)でも、その半数以上において、水面形が逆勾配のところ河岸侵食が発生している。

なお、水面勾配が急に変化しているが、河岸侵食が発生していないところもある。これは護岸が設置されている箇所や、直線部であることの影響と考えられる。また、水面形へ影響を与えるものとして、河口部では砂州の影響が考えられ、橋梁や支川合流による影響も見られる。

神通川の3大水衝部といわれる成子(17.5k左岸)、添島(14.0k左岸)、牛島(6.8k右岸)の3地区を見てみると、牛島地区では水面形が逆勾配になっていたが、

護岸が施工されているため侵食箇所は発生していない。添島地区では護岸の設置されている上流側の、設置されていない水面形が逆勾配になっているところで、 $L=280m$ 、 $W=20m$ の侵食箇所が見られた。成子地区では、水面形に大きな変化は見られないが、その上流の急な湾曲部において左右岸ともに侵食箇所が発生している。湾曲部内岸側においても被災を受けている箇所があり、11.0kと18.2kにおける相対水深(高水敷水深/低水路全水深)はそれぞれ、0.31、0.39となっている。福岡ら²⁾によると相対水深0.3以上では最大流速線は低水路中央にシフトし、そのラインに沿って洗掘が生じることを明らかにしている。

なお、洪水痕跡のうちの一部については、河岸が侵食を受け欠陥してしまったため、洪水時の水位とは異なる位置に痕跡が残った箇所が17.8k右岸と20.0k左岸の2箇所あった。図-6に示すように、河岸が崩れた後、水位が低下してからの痕跡と考えられる。これも痕跡水位が急な変化を生じた理由の一つとなっている。

4. 痕跡水位の急変をもたらし流れと河道特性

被災箇所に見られる痕跡水位急変部が、どのような河道特性の流れによるものかを二次元数値解析と既往の複断面蛇行河道の三次元流れの研究結果²⁾を用いて考察する。

(1) 非定常浅水流解析手法と計算条件

解析法は、渡辺・福岡ら³⁾による二次元非定常洪水流の一般座標系浅水流方程式を用いた。ただし、水際の境界（氾濫フロント）処理は次のように行った。DRYセルへの流入流速を0、水際境界となる流速計算点は非定常項、水位勾配項と底面摩擦項を計算した。流体部とDRYセルとの水際には、河川流の水位がDRYセルより高い場合のみ水位勾配項を計算した。DRYセルより水面が低い時は水位勾配を0とした。渡辺・福岡らが行っていた段差部の処理は行っていない。

水位、流速等の計算変数はスタッガードに配置し、計算格子は横断測量断面に沿って決めた。メッシュ縦断間隔は測量断面間の距離約200mであり、縦116×横20メッシュを解析領域とした。

計算対象は、水位観測所のある大沢野大橋（距離標22.31km）から荻浦橋（1.69km）までを含む神通川本川22km区間とした。計算区間の上下流には境界条件を設定するための池を設け、大沢野大橋と荻浦橋の計算水位が水位観測値とほぼ等しくなるように調整をした（図-7）。計算は上下流観測所において、水位ハイドログラフの減衰、大沢野大橋と荻浦橋の水位ピークの時間遅れを精度良く設定できている。また、大沢野大橋における計算流量とH-Qによる流量との誤差は、洪水ピーク時で2%未満であった。なお、西派川（20kmで本川から分派、18kmで本川合流）は、計画流量が300m³/s（本川6700m³/s）と小さいため対象外とした。支川井田川・熊野川の合流の影響も、対象洪水ピーク流量（各1077m³/s、162m³/s）が本川流量（6007m³/s）と比べて十分に小さいため考慮しない。計算河床は平成12年のものを用い、粗度係数は低水路、高水敷、各河道領域において計画流量に対して設定されたものを初期値として、痕跡水位を説明できるように試算を繰り返して決定した。

平成16年の洪水の痕跡水位は、河床変動や河岸侵食により影響を受けている箇所もあるが、計算に使用した河床高は平成12年の河道横断測量成果とした。計算による水面形と痕跡水位との対応を既往の複断面蛇行流れの知見を含めて考察し、縦断水位分布の急変点と河岸侵食箇所および河岸侵食を引き起こす流れの関係を把握することを狙いとした。

(2) 痕跡水位急変・被災箇所付近の流れと河道特性

ここでは、被災の多かった距離標15kmから23kmの区間に着目して痕跡水位が急変し、被災が発生した付近の流れと河道特性について考察する。

図-8は、洪水痕跡水位と大沢野大橋で洪水ピークが生じた時の解析水位の縦断分布を比較したものである。図-3と同様に洪水痕跡の勾配変化点を○印で示す。17.8km付近の計算水位は痕跡より大きくなっているものの、水位急変部が痕跡水位と同様に見られ、計算結果は痕跡水位を概ね再現している。17.8km断面では、図-6に

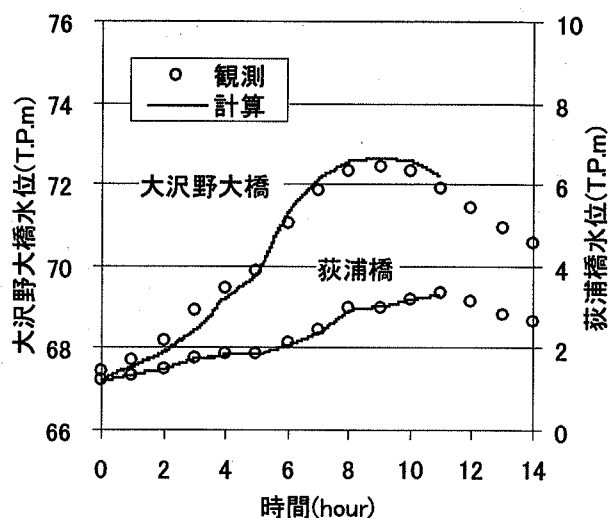


図-7 上下流の水位ハイドログラフ設定状況

示した低水路右岸で30mの河岸侵食が洪水ピークより前の水位上昇期に起こったため、水位が大きく計算されたと考えられる。この箇所を含めて、上流部の被災箇所と水面、河道特性による流れの関係を以下に説明する。

17.8km断面は、上下流とも複断面河道である。18.3kmとともに蛇行部の内岸側が被災した。痕跡水位による高水敷水深は、低水路水深と比較して大きい（18.2km相対水深=0.39）。そのため、この付近では複断面的蛇行流れとなり³⁾、内岸の流速が速くなり、河岸侵食が引き起こされたと考えられる。図-9の中で複断面的蛇行流れによる内岸侵食被災は、他に15.5km左岸、16km左岸、22.2km右岸が挙げられる。図-8の水位縦断分布によると、15.5km左岸は計算のみ、16km左岸は痕跡のみ、22.2km右岸は痕跡と計算で水位勾配が変化していることが確認できる。

20.4km断面は神通川が西派川に分派する箇所であり、上下流と比較して水面幅が大きくなっている。下流では高水敷に洪水がのらず、水面幅が小さくなるため、流速、水面勾配が大きくなる。図-8の水位縦断分布と図-9の水位コンター図において、痕跡と計算による水位勾配の急変が被災箇所下流部で確認できる。計算結果の水位急変部はこの水面幅の減少のためにより流速が増大したためである。このような縮流による被災箇所は、図-9においては16.5km両岸、19.2km両岸が上げられる。どちらの被災箇所も、図-8において痕跡・計算水位が縦断的に折れ曲がっている。

19.6km右岸、20.4km左岸は、複断面形状をしているものの高水敷に洪水が流れていない。低水路内の水深は内岸と比べて外岸が大きい。これらの水衝部断面では、単断面河道の蛇行流れとなり、外岸侵食被災を受けている。被災箇所において、外岸の水位が内岸より高くなることにより、縦断水位勾配は小さくなるように変化している。

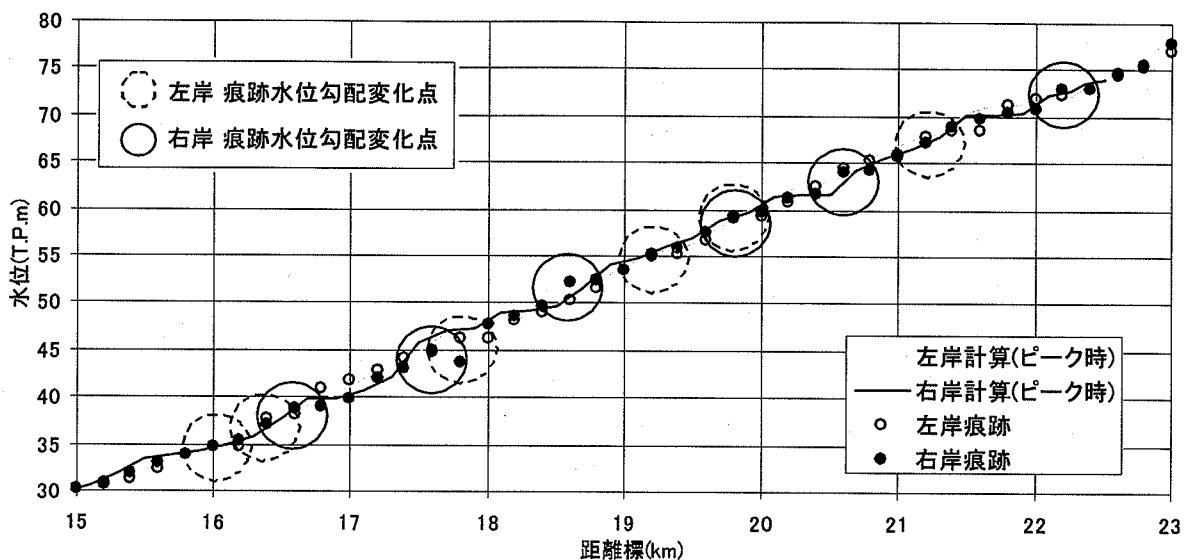


図-8 痕跡水位と洪水ピーク時の解析水位縦断分布

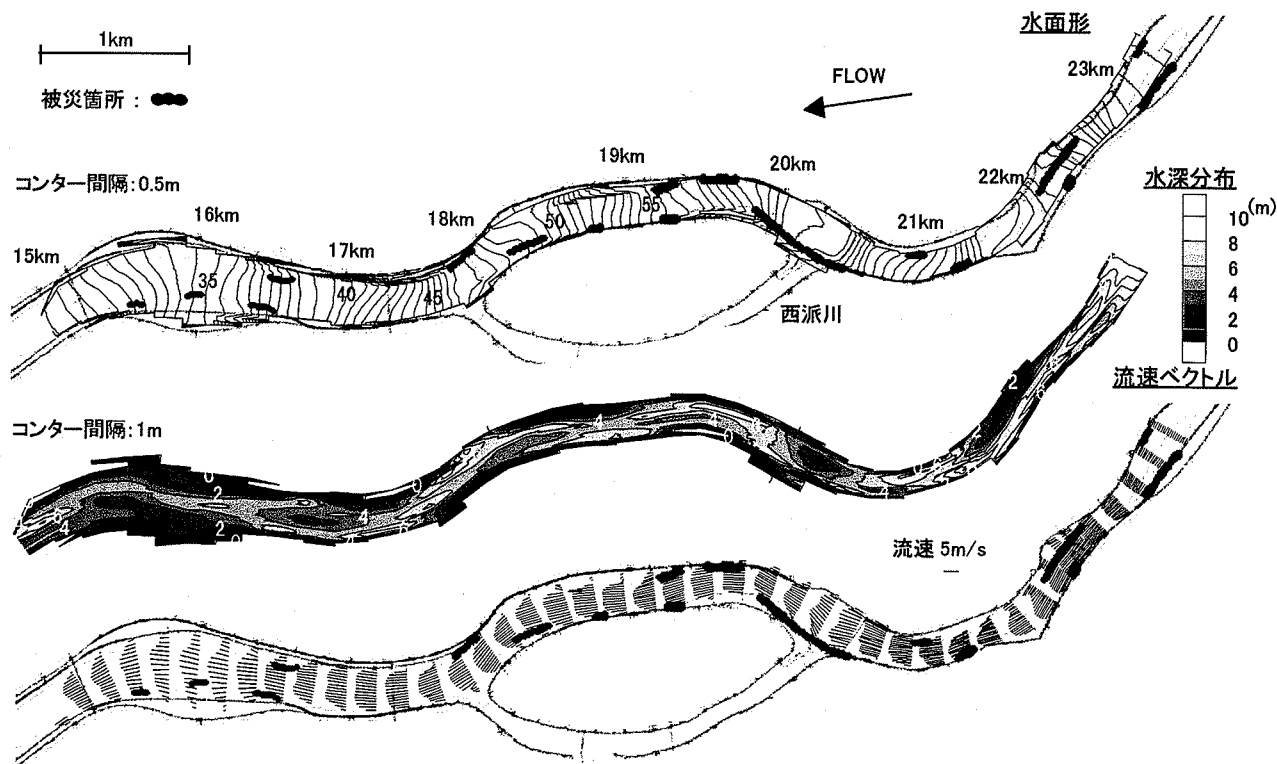


図-9 洪水ピーク時の計算水位・水深・流速分布と侵食被災箇所

5. まとめ

神通川で発生した平成16年の大出水において、洪水後に距離標毎（およそ200m）に測定した洪水痕跡水位縦断形およびその変化点と、洪水後に点検した河道内の被災箇所及びその河岸侵食、河床形状、河道法線形の検討、非定常洪水流の浅水流解析と既往の複断面蛇行河道における流れの知見から、河岸侵食箇所と洪水流の水面形、痕跡水位勾配変化点には密接な関係があることが明らかとなった。これより、河川の維持管理にあたっては、洪水時の水面形が急変する付近の流れの状況を監視し、問題がある場合は改善することが必要となる。

参考文献

- 1) 福岡捷二：今後の豪雨災害対策の技術的課題，季刊 河川レビュー，No.130，Summer，pp.26-31，2005
- 2) 福岡捷二：洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく 河川の維持管理技術，河川技術論文集，第12巻，2006
- 3) 福岡捷二・渡邊明英・原俊彦・秋山正人：水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算，土木学会論文集，No761/II-67，pp. 45-56，2004.
- 4) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法—治水と環境の調和した川づくり—，森北出版社，2005

(2006. 4. 6受付)