平成18年7月豪雨時の川内川洪水解析と 推込分水路の影響の検討

FLOOD SIMULATION OF THE SENDAI RIVER AT THE DISASTER OF 2006 AND INVESTIGATION OF EFFECTS OF THE SHIGOME DIVERSION CHANNEL

川池健司1・中川 —2・馬場康之³ Kenji KAWAIKE, Hajime NAKAGAWA and Yasuyuki BABA

¹正会員 博(工) 京都大学准教授 防災研究所(〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノロ)
 ²正会員 工博 京都大学教授 防災研究所(〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノロ)
 ³正会員 博(工) 京都大学助教 防災研究所(〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノロ)

From July 15 to 24, a front stagnated over Japan, and the heavy rainfall was brought. Especially the Sendai River basin was severely and uniformly damaged from the upstream to the downstream. At four observatory stations, water level of the Sendai River exceeded the design high water level. Around the Torai area, one of the most severely damaged areas, a diversion channel is planned to construct. Therefore in this study, applying a two-dimensional numerical model, flood simulation is conducted in the Sendai River and the effect of this diversion channel is investigated. As the results, though a part of the water level of the Sendai River is not expressed successfully, it is found that this diversion channel has an effect of decreasing the water level around Torai area.

Key Words : Flood simulation, 2D numerical model, meandering, Sendai River

1. はじめに

平成18年7月豪雨において川内川流域は甚大な被害を 受け、流域内に15箇所ある国土交通省の水位観測所のう ち11箇所で観測史上最高水位を記録し、4箇所で計画高 水位を上回った.中でも宮之城水位観測所では、計画高 水位を3m近くも上回る水位に見舞われ、付近のさつま 町虎居地区では甚大な被害を受けた.宮之城地点におい てこのように水位が上昇した原因としては、総雨量が 1,000mmを超える猛烈な降雨に加えて、虎居地区の下流 にある川内川の湾曲部が水位上昇を助長したのではない かという指摘もなされている.

災害後の同年10月には、川内川が河川激甚災害対策特 別緊急事業(激特事業)に採択され、今後5年間で356億 円の費用を投じて外水氾濫に対する対策を講じることに なった.その内容は、今回の水害で被災した地域の、被 害形態や土地利用に応じたハード的対策(築堤、輪中堤、 家屋嵩上げなど)が中心となっている.その一環として 虎居地区では、今回のような壊滅的被害を解消するため、 河道の掘削・築堤とともに、湾曲部には推込(しごめ) 分水路と呼ばれる大規模ショートカットを掘削する事業 が計画されており、水位の大幅な低減と外水氾濫の防止 の効果が期待されている.

そこで本研究では、この推込分水路によってどの程度 川内川の水位が低減されるのかを、数値解析を用いて検 証することを目的とする.本研究で対象とする河道区間 の特徴は、湾曲部分による水位のせき上げであるが、湾 曲部分を含む流れについてはこれまで多くの研究がなさ れてきた1).2).3). その多くが湾曲によって生じる二次流や, 内岸と外岸で生じる水位差など、その三次元性について 論じており、三次元数値解析モデルの開発に関する研究 もなされている4.しかし、非定常な洪水流が長距離に わたって流下する実河川では、三次元モデルの適用は困 難であり5, 平面二次元モデルが適用されることが多い. その事例として、渡辺らのは一般座標系による数値解析 モデルを用いて、水位上昇期の高水敷への氾濫による流 量の低減、ならびに水位下降期の高水敷からの流入によ る流量の増大などの、河道内貯留による流量ハイドログ ラフの変形について、円山川を対象として検討している. さらに福岡ら⁷は、同様の数値モデルを用いて、江戸川 で詳細に観測された水位の再現計算を行い、洪水ハイド ログラフの伝播特性と水面形追跡による流量ハイドログ ラフの高精度推定法について論じている. 重枝ら⁸は、

大分県の大野川およびその支川である乙津川を対象とし て蛇行区間を含む河道内樹林による水位上昇の影響を検 討するのに,非構造格子を用いた有限体積法による平面 二次元解析モデルを適用している.

本研究では、三次元モデルの適用上の難しさに加えて、 ここでは湾曲区間内の流れの三次元性よりもむしろ、湾 曲部上流区間での水位上昇に着目するため、数値解析に 用いるモデルは平面二次元の洪水氾濫解析モデルとする.

2. 平成18年7月豪雨による川内川流域の被害

7月18日から南下して九州地方南部に停滞し始めた梅 雨前線は、活発化して熊本・宮崎・鹿児島県境を中心と する広いエリアに豪雨をもたらした.18日から24日まで の累積雨量は、気象庁の4観測地点(えびの、紫尾山、 大口、加久藤)で1,000mmを超えるすさまじい豪雨で あったが、中でも甚大な被害を受けたのが川内川流域で あった.

(1) 川内川流域の被害

川内川流域では、河川の氾濫や土砂災害により5名の 死者が出た.浸水家屋は床上・床下がそれぞれ1,812戸 と492戸に達し、流域管内の3市3町では、約5万人に避難 勧告等が発令された.国土交通省の水位観測所では、 図-1に示すように、4箇所で計画高水位を突破し、さら に2箇所で危険水位を突破した.また、全水位観測所15 箇所のうち11箇所で既往最高水位を記録するなど、直轄 区間117kmのうち、上・中・下流部がまんべんなく被災 した⁹.今回の災害を通して、本川河道内の狭窄部や堰 や湾曲部をめぐって上流側住民と下流側住民の意見の対 立が見られたり、ダム操作の見直しが議論されたりする などの難しい問題が提起された.

(2) 鶴田ダムと虎居地区

図-1に示すように、川内川本川の中流に、7,500万m³ の洪水調節容量(総貯水容量1億2,300万m³)をもつ鶴田 ダム(多目的ダム)が建設されている.今回の出水では、 ダム湖の水位が満水位に達するおそれが出てきたことか ら、7月22日14時40分から「ただし書き操作」と呼ばれ る特殊なダム操作を行うことになった.これは、ダムか らの放流量をダムへの流入量になめらかに近づけていき、 その後はダムへの流入量と同じ量だけダムから放流する という操作である.その結果、最大で2,000m³/sの洪水調 節を行ったものの、最大で計画高水流量(2,400m³/s)を 上回る3,572m³/sの洪水がダムから放流された.

鶴田ダムから13km下流にある宮之城地点では,ダムより下流の支川流域に降った豪雨も加わって,計画高水位を約3.0mも上回る水位を観測した.このため,付近の虎居地区では530戸にのぼる浸水家屋が発生した.この



図-1 災害時の川内川本川の水位状況

虎居地区のすぐ下流には、河道がほぼ180°湾曲した区間 があり、これによって水位上昇が助長された可能性が指 摘されている.

(3) 河川激甚災害対策特別緊急事業

川内川流域は、広い範囲にわたって甚大な被害を受け たことから、同年10月に激特事業に採択された.事業規 模は全体事業費356億円(九州地方では過去最大規模), 採択延長は約62km(全国歴代2位)である.平成22年度 までの5年間の事業によって、今回と同じ規模の外力を 受けても、外水氾濫による被害を抑え、浸水家屋約 2,300戸のうち約1,500戸の浸水被害を解消する計画と なっている.

具体的な対策は、被災地ごとに異なっており、河道掘 削、築堤、輪中堤、家屋の嵩上げなど、各地域の被害形 態や土地利用に応じた効果的な対策が計画されている. 例えば、今回の水害で壊滅的な被害を受けた虎居地区で は、川内川の湾曲部に大規模なショートカット(推込分 水路)を建設し、さらに河道掘削と築堤によって、浸水 被害を解消する計画となっている¹⁰.

3. 数値解析モデル

本研究では、川内川の河道とそれに隣接する氾濫原を 含めた領域において、平面二次元洪水氾濫解析を行う. 洪水流の解析には一次元不定流解析が用いられることも 多いが、今回対象とするような湾曲部やそのショート カットを問題としている領域では、その平面形状を考慮 することが重要であるため、本研究では平面二次元解析 を行うこととする.平面二次元洪水氾濫解析に用いる基 礎式は、下記の浅水方程式である.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y}$$
$$= -gh\frac{\partial H}{\partial x} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right) - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$
(2)

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y}$$

$$= -gh\frac{\partial H}{\partial y} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right) - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$
(3)

ここに、hは水深、Hは水位、u、vはx、y方向の流速、M (=uh)、N(=vh) はx、y方向の流量フラックス、&は水平渦動 粘性係数、nはManningの粗度係数、gは重力加速度であ る.この基礎式を用いて、領域を非構造格子に分割した 洪水氾濫解析を行う.離散化の方法は著者ら¹¹⁾に従い、 水平渦動粘性係数は、通常用いられる下記の式¹²⁾を用い ることとする.

$$\varepsilon = \frac{\kappa u_* h}{6} \tag{4}$$

ここに、 κ はカルマン定数(=0.40)、 u_* は i_e をエネル ギー勾配として、以下の式で表される摩擦速度である.

$$u_*^2 = ghi_e = \frac{gn^2\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}$$
(5)

4. 解析条件

ここでは、解析の対象領域とともに、上述の数値モデルを用いて平成18年7月豪雨時の川内川の流況を再現するための解析条件について述べる.

(1) 平面二次元洪水氾濫解析

本研究で対象とする川内川の区間は、図-2に示される ように、湯田水位観測所(41.8kp)から倉野橋水位観測 所(26.0kp) までの15.8kmである. 虎居地区をはじめと して、この区間に隣接する氾濫原を含めた領域を16,926 個の非構造格子に分割し、各格子には200m間隔の川内 川の横断測量図と2,500分の1地形図から読み取った標高 を与える. 図-3は, 平面二次元洪水氾濫解析の対象領域 とその標高である. 推込分水路の部分は、激特事業の計 画図から平面形状を読み取り, 分水路の上下流端の河床 高をなめらかに接続させるように標高を決定する.川内 川本川では、流量実績や土地利用の詳細なデータが得ら れなかったことから、水位を再現するための粗度係数を 同定することが難しいため、渡辺ら⁹と同様に河道の低 水路、高水敷、および氾濫原の粗度係数をそれぞれ 0.025, 0.035, 0.06とする. なお、本対象区間では河道樹木 や流木等の流下物による阻害の影響はそれほど大きくな かったことから、これらについては考えないこととする.



図-2 平面二次元洪水氾濫解析の対象領域





(2) 上流端·下流端境界条件

上・下流端の境界条件には、図-4に示す湯田および 倉野橋での実測水位を用いることにするが、倉野橋の実 測値が一部欠測となっているため、図中の破線のような 値を仮想の実測値として用いる.下流端では、倉野橋で の実測水位をそのまま与える.上流端では、上流端に位 置する解析格子に単位幅流量を与えることとし、各タイ ムステップにおけるその格子の水位と湯田の実測水位と の大小に応じて0.1m²/s単位でその単位幅流量を調整する.

(3) 支川流域からの流入流量

宮之城地点の水位の時間変化を見ると,鶴田ダムから の放流量が大きくなる時刻よりも早い時間帯で,水位の 急激な上昇が始まっている⁹.これは,鶴田ダム流域よ り下流側に降った豪雨の影響と考えられるため,川内川 の支川流域からの流入流量は決して無視できない.本研 究では,平面二次元洪水氾濫解析の解析対象区間に接続 する残流域を,夜星川,穴川,海老川,泊野川,五反田



川,大山口川, 久富木川, 荒瀬川, 倉野川, 山田川の10 支川流域に分割し, 各流域でkinematic wave法による流 出解析¹³⁾を行って,川内川本川への流入流量を求める. 支川流域に与えた降雨強度には,図-5に示すような,ア メダスのさつま柏原および紫尾山で観測された時間雨量 を用いることとする.具体的には,両地点が図-2のよう な位置にあることから,川内川の左支川流域にはさつま 柏原の値をそのまま与え,右支川流域にはさつま柏原と 湯田基準点からの水位 [m]



実測値との比較

紫尾山が等分に影響していると考えて両者の平均雨量を 与える. 図-3中には、支川流域からの流入流量を与える 点も併せて示している.

5. 解析結果

(1) 平成18年7月豪雨時の再現計算

まず,平成18年7月豪雨時の川内川の流況を再現する ため,推込分水路を考慮しない条件で,宮之城水位観測 所の実測水位を再現することを試みた.すなわち,図-3 において推込分水路に相当する格子の地盤高が十分高い と仮定した計算を行った.まず,湯田(上流端)での流 量を決定する必要があるが,4.(2)のような方法で上流 端流量を与えた結果,図-6のように湯田での実測水位を 再現する流量を上流端境界条件として与えることとした.

このときの,宮之城水位観測所における水位の計算値 と実測水位との比較を示したのが,図-7である.この図 より,洪水初期の水位は計算によって適切に表現されて いるものの,洪水流量が大きくなってきた時間帯では計 算水位のほうが全体的に低くなっており,ピーク水位を 十分に表現できていないことがわかる.したがって,水 位を上昇させる要因についてさらに検討する必要がある と考えられる.

(2) 推込分水路の効果

つぎに、上述の解析条件を用いて、推込分水路を考慮 した条件で解析を行った.その結果得られた宮之城での 水位の時間変化を、図-8に示す.この図には、推込分水 路を考慮しない前述の解析結果も併せて示している.解 析の結果、推込分水路を考慮することによって、0.55m



宮之城水位の変化

の水位低減効果が得られた.その分,虎居地区の浸水深 は軽減されるが氾濫状況の抜本的な改善には至らないた め,計画のような築堤がさらに必要と考えられる.

(3) 水平渦動粘性係数を一定値と仮定した解析

上述の解析方法では、洪水ピーク時の川内川の水位上 昇がまだ十分に表現しきれていないことがわかった. そ こで式(4)が厳密には水深方向への拡散係数の評価式であ り、水平渦動粘性係数の値はこれより大きな値をとると 考えられることから、水位上昇の要因として、水平渦動 粘性係数を一定値をもつ係数と仮定して、宮之城水位観 測所での実測水位を再現するよう、係数の値を同定した. その結果、 ~2.0 [m²/s] 程度のとき宮之城での実測水位 のピーク値が再現されることがわかった. ~2.0 [m²/s]と したときの、宮之城水位の計算値と実測値の比較を、 図-9に示す. さらに、推込分水路を考慮した解析を行っ





宮之城基準点からの水位 [m]



図−10 推込分水路の有無による 宮之城水位の変化(ε=2.0のとき)

た結果を図-10に示す.この解析からも、ピーク水位は 0.5m程度低減するという結果が得られた.

6. おわりに

本研究では、平成18年7月豪雨時の川内川の洪水流況 を再現し、推込分水路の効果を検討したが、解析におい てはまだ不十分な点が多いと考えている。例えば、本解 析では川内川の水位上昇が十分には表現し切れておらず、 一定値と仮定した水平渦動粘性係数や同定されていない 粗度係数を用いている点が挙げられる。したがって、解 析の精度を上げるためには、引き続きこれらのパラメー タの設定方法についても検討していく予定である。 謝辞:本研究は土木学会で結成された九州豪雨災害緊急 調査団による成果である.本研究を進めるにあたり,国 土交通省川内川河川事務所より川内川の出水状況および 河川断面や周辺地形に関するデータを快くご提供いただ いた.また,京都大学工学部学生(当時)の阿野 誠君 には,データ作成を行うにあたり協力を得た.ここに記 して謝意を表します.

参考文献

- 今本博健,石垣泰輔,藤沢寛:複断面彎曲開水路流れの水理 特性について(1),京都大学防災研究所年報,第25号 B-2, pp.529-543,1982.
- 武藤裕則,塩野耕二,今本博健,石垣泰輔:複断面蛇行開水 路流れの水理特性について(1),京都大学防災研究所年報, 第38号 B-2, pp.561-580, 1995.
- 3) 杉山均, 齊藤卓也: 複断面蛇行開水路流れの三次元乱流構造 解析に関する研究, 土木学会論文集, No.712/II-60, pp.25-43, 2002.
- 4)渡辺明英,福岡捷二:複断面蛇行流路における流れと河床変動の3次元解析,水工学論文集,第43巻,pp.665-670,1999.
- 5) 福岡捷二:洪水の水理と河道の設計法,森北出版, 2005.
- 6) 渡辺明英,福岡捷二, Alex George Mutasingwa,太田勝:複 断面蛇行河道におけるハイドログラフの変形と河道内貯留の 非定常2次元解析,水工学論文集,第46巻, pp.427-432, 2002.
- 7) 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,No.761/II-67, pp.45-56, 2004.
- 8) 重枝未玲・朝位孝二・坂本 洋・長太茂樹・秋山壽一郎・樋 口直樹・重岡広美・徳永智宏:大野川とその派川の乙津川を 包括した平面2次元洪水流解析と河道内樹木が乙津川への分 流量に及ぼす影響,河川技術論文集,第12巻,pp.85-90, 2006.
- 9) 国土交通省川内川河川事務所:川内川の出水状況(第2報), 2006.
- 10) 国土交通省川内川河川事務所:河川激甚災害対策特別緊 急事業, 2006.
- 川池健司,井上和也,戸田圭一:非構造格子の都市氾濫解 析への適用,水工学論文集,第44巻, pp.461-466, 2000.
- 例えば、清水康行、倉林弘志、藤田睦博: 複列・網状砂州 河道における河床変動計算,水工学論文集,第45巻, pp.739-744,2001.
- 高橋保,井上素行,中川一,里深好文:山岳地域における 土砂流出の予測,水工学論文集,第44巻, pp.717-722, 2000.

(2007.9.30受付)