

低平地における遊水地を持つ支川の 出水時の水位特性

CHARACTERISTIC OF WATER LEVEL OF A RIVER BRANCH WITH RETARDING BASIN IN LOWLAND AREA

鷲見哲也¹・桑原元希²・辻本哲郎³

Tetsuya SUMI, Motoki KUWABARA and Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 博(工) 名古屋大学大学院講師 工学研究科地圏環境工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²学生会員 名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程

³正会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科地圏環境工学専攻

The heavy rainfall occurred in the western area of Gifu prefecture in July 2002. Then, floodwater from the Ohtani River over fixed overflow weir damaged residences in the Arasaki area, Ohgaki City. This river is a small branch connecting to the main river, which has a small bed slope and long recession of water table after rainfall.

In order to make clear the characteristics of this flood, firstly a numerical simulation is applied to this area and the results show overflow phenomena and temporal and longitudinal change of water level. Secondly, the effect of fixed overflow weir and of downstream river improvement were examined for this rainfall event. The results show that peak-cut effect is small due to late peak occurrence of downstream water level and small capacity of retarding basin, and that improvement of downstream river channel is most effective.

Key Words : Overflow weir, retarding basin, river branch, river improvement

1. はじめに

遊水地は一般に下流への流量のピークカットの効果を持たせるものであり、自然越流型の遊水地については、遊水地容量が小さくピーク継続時間が長い場合や堰高が低すぎる設計ではその効果は発揮できない。また、支川に設置された場合は本川の水位によって越流量が支配され、その設計も評価も複雑で、一般のピークカット設計のようにはない。また流量のピークと水位のピークの生起時刻が全く異なる事もありうる(図-1)。

2002年7月の台風6号と梅雨前線に伴う豪雨は、岐阜県西部において水害をもたらした¹⁾。大垣市西部を南流する大谷川では、低平地区間に設置された洗堰から遊水地に長時間越流し続け、遊水地から続く同市荒崎地区住宅地で浸水被害を引き起こした(図-2)。下流で合流する大河川の整備進捗と支川整備間の整合性において、しばしば安全度向上の不均衡や整備手順に問題が生じることもあり得る。本研究ではこの洪水での洗堰・遊水地の効果、下流の整備と支川の整備、堰の嵩上げが支川安全度に与えるであろう影響について、単純化した計算モデルを用いて検討した。

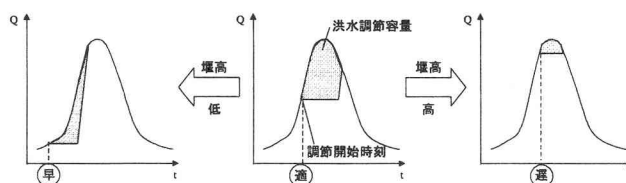


図-1 洗堰遊水地の効果



図-2 氾濫域航空写真(2002.7.11撮影, アジア航測提供)

2. 本洪水と水系の概要

(1) 水系全体の概要

図-3の様に大谷川は水系の中では小さな支川の一つであり、相川、杭瀬川、牧田川、揖斐川の順に大河川に合流する。今洪水は、7月9日深夜から7月10日の昼にかけての豪雨によるもので、特に揖斐川流域では、上流の根尾で最大時間降雨が111mm、総降雨562mmであった。図-4は主な観測点での水位変化であるが、揖斐川万石地点および牧田川鳥江地点では計画高水位を上回る水位となった。本研究で対象とする区間は、杭瀬川から上流の流域であり、高湊地点が最下流の観測点となる。高湊地点と、大谷川との合流点に近い野口地点とを比較すると、ピーク付近では殆ど水位が同じであることがわかる。流量のピークと水位のピークが大きく異なる事が推測でき、下流水位の上昇の遅れが影響しているものであろう。

(2) 大谷川および洗堰の概要

被災した荒崎地区住宅地は小河川の大谷川の右岸洗堰から越流水が流れ込む遊水地の北西辺沿いに位置する(図-5)。遊水地は主に水田に利用されている。1950年代までは大谷川の洗堰付近の右岸は無堤であったが、土地改良に伴う築堤時に下流への流量負荷の軽減の為に洗堰が設けられた。洗堰は1980年に現在の高さ(標高7.8m、幅110m、図-6、図-7)となったが、左岸堤防より2.2m低く、右岸堤防高も左岸より1m程低いいため、これまで5回越流した。本洪水では、7月10日6時10分から約25時間にわたって洗堰から遊水地へと越流入していたとみられる。ピーク時には、越流堰内外の水位はすでにほぼ同じであったとみられ、ピーク水位記録は8.77m+T.P.とされている¹⁾。

河川計画(図-6、図-8、図-9参照)では、第1期計画として、揖斐川の徳山ダムによる洪水調整効果および杭瀬川下流部整備によって見込まれる水位低下(2007年目標)を前提に、右岸堤防および堰高の嵩上げおよび水位上昇に備える左右岸堤防補強が予定されている。第2期計画は、下流河川の計画堤防高に擦り付ける堤防嵩上げと洗堰撤去である。下流域の杭瀬川の整備は、引き堤や橋梁の付け替え、河道付け替えによる拡幅などが進行中であり、一部は終了しているが、牧田川的能力が確保されるにはまだ時間が掛かる。

地形の特徴としては、図-5中の浸水域北西辺より西側に扇状地があり、南東側は標高10mを下回る低平地が広がっている。この低平地部に設置された洗堰は、下流河川の背水による水位上昇による影響や、通常の大河川に設置される洗堰・遊水地で考えるような自流水のピークカットの効果を明らかにする必要がある。

次節以降では、大谷川、相川を含む杭瀬川流域を、本洪水に限って解析を行い、この被災の原因と改善策の効果について検討する。

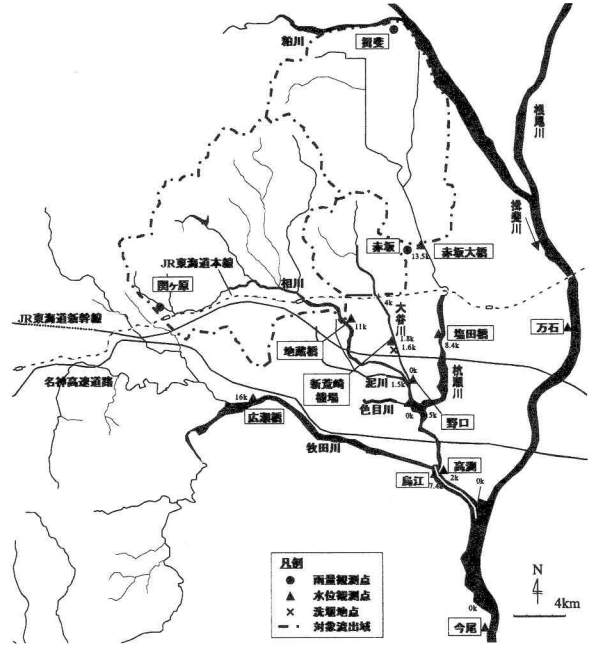


図-3 対象流域図

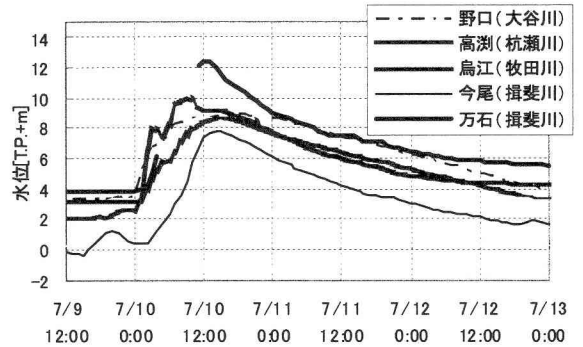


図-4 河川水位ハイドログラフ

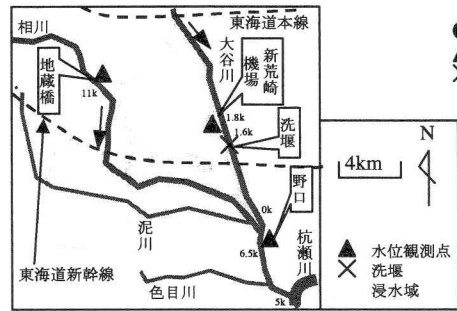


図-5 大谷川・遊水地付近概要図

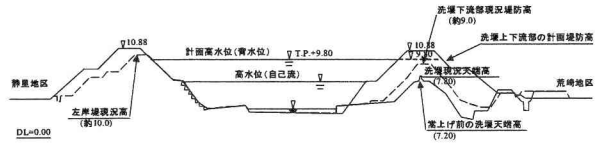


図-6 洗堰横断面図(現況と第2期計画)



図-7 洗堰の様子

3. 水系のモデル化と2002年7月出水の解析

本研究では、情報の不足を考慮し、流域の治水システムを簡略化したモデルを用いて、本洪水に限ってであるが、その流れの解析を行い、特性について議論する。

(1) 解析モデルの概要

図-10に全体の解析モデルの概略を示す。牧田川合流点を最下流点とし、杭瀬川5km地点に相川が、相川6.5km地点に大谷川が合流する。それぞれ杭瀬川13.6km地点（赤坂大橋観測点）、相川11.0km（地藏橋地点）、大谷川4.0km地点（JR東海道線橋梁）より上流を流出域とし、流出解析によって流量が与えられるものとした。

a) 流出域の設定

流出解析は1価貯留関数を用いた。

$$s = kq^p, \quad \frac{\partial s}{\partial t} = r_{ave} - q(t + T_l) \quad (1a, 1b)$$

ここに、 k, p : 貯留関数の定数、 T_l : 遅れ時間、 r_{ave} : 流域平均雨量、 q : 流出高、 s : 貯留高、である。有効降雨パラメータは、 $f_I R_{sa} - f_{sa}$ モデルを用いた。よって流量は次式で得る。

$$Q = f_I \cdot A \cdot q_I + (f_{sa} - f_I) \cdot A_{nv} \cdot q_{saI} + Q_b \quad (2)$$

ここに、 Q : 流出量、 f_I : 1次流出率、 f_{sa} : 飽和流出率、 q_I : 全降雨による流出高、 q_{saI} : 飽和点以降の降雨による流出高、 A : 流域面積、 A_{nv} : 有効面積（＝流域面積）、 Q_b : 基底流量、である。有効降雨パラメータは、新川で用いたパラメータを3流出域共に使い、 $f_I=0.6$ 、 $R_{sa}=90mm$ 、 $f_{sa}=0.95$ とした。貯留関数のパラメータは、河道での計算も加えて水位観測点での水位が実測値に近似できる様に調整し、表-1の結果を得た。これらを用いて得た流出流量ハイドログラフを図-11に示す。降雨波形は、大谷川流域は赤坂雨量観測点、相川流域は関ヶ原観測点、杭瀬川流域は掛斐と赤坂の各観測点雨量の平均値を与えた。

表-1 貯留関数パラメータ

河川名	k	p	T _l (hr)
大谷川 (JR橋梁)	40	0.6	0.2
相川 (地藏橋)	40	0.6	0.2
杭瀬川 (赤坂大橋)	25	0.6	1.0

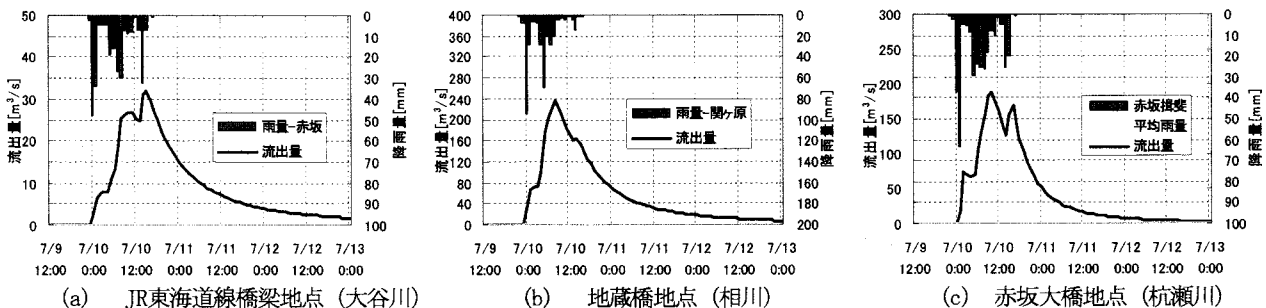


図-11 流出域流量ハイドログラフ

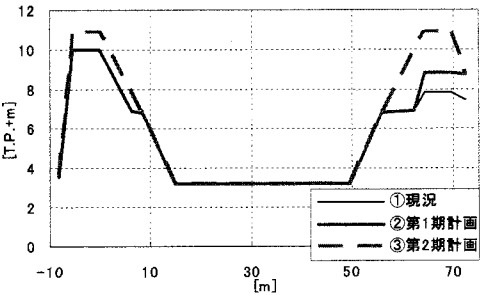


図-8 大谷川横断面モデル図 (1.6km地点、洗堰)

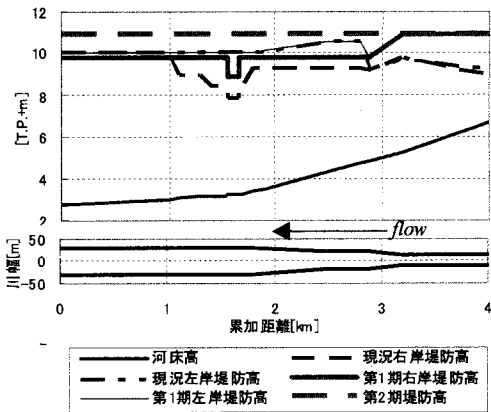


図-9 大谷川をモデル化した縦断形状

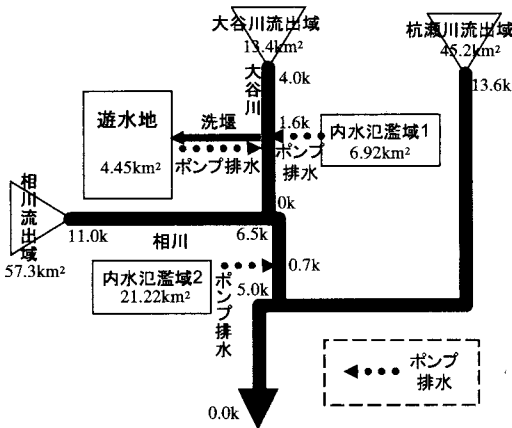


図-10 水系のモデル化

b) 排水区の設定

遊水地を持つ大谷川右岸側堤内地と、大谷川と杭瀬川で挟まれる地域、及び相川右岸の残留域については、一部には小規模河川を含むが、単純化の為にそれぞれポンプ排水区として設定した。図-10の様にそれぞれの流域面積を定め、この地域に降った降雨は時間遅れを無視してポンプ所前から排水できるものとし、そのポンプ強度は、農地排水用として一律に6.77mm/hr対応で、集水面積に乗じた量をポンプ能力とした。また、河川水位の8.5m+T.P.をポンプ停止・再開水位とし、それを上回った場合に運転停止という単純なルールを仮定した。これらのポンプ排水能力の合計は61.8m³/sである。

c) 河道の解析

河道は次式の1次元不定流解析によって解くものとし、6点式アボット法による中心差分スキームで解くソフトウェア（CTI-MIKE11）を利用した。

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (3b)$$

ここに、 Q : 流量、 A : 流下断面積、 q : 横流入量、 α : 運動量補正係数、 g : 重力加速度、 H : 水位、 n : マニング粗度係数[m^{-1/3}・s]、 R : 径深、である。マニングの係数は全区間0.038を与えた。

d) 河道のモデル化

大谷川は相川との合流点から4.0kmを計算領域とする。断面形は水位観測点断面データ、資料¹⁾及び現地の測量結果を参考に、図-8及び図-9の様に、現況、第1期計画、第2期計画の3通りで、計画は堤防・堰の嵩上げ及び堤防完成・堰締切りとした。堰高は、現況で7.8m+T.P.、第1段階で8.85m+T.P.、第2段階で締切りとなっている。河道は合流点から3kmおよび1.8km地点で拡大し、堰(1.6km地点)に近い1.8km地点で勾配急変点となっている。

相川の断面形も、地藏橋と野口地点の断面形データ及び現地測量に基づいてモデル化した。図-12に縦断形状を示す。図中の累加距離10.5km付近より上流は扇状地区間(勾配1/211)であり、大谷川合流点(6.5km)より下流は勾配を1/1750とし、その中間は1/630とした。杭瀬川合流点までの1kmは幅広な河道であり、貯留性を有すると考えられる。

大谷川、相川も含めた杭瀬川下流部の空中写真を図-13に示す。図-14および図-15は設定した河道形状である。この特徴は、相川との合流点である5km地点から上流10kmまでは最大で幅200m以上の幅広な河道であるが、下流端から2~5kmは堤防間が約100mとなっており、相対的に狭い。解析においては、これを250m以上に広くして疎通能力を高めた場合についても検討した。下流端から2kmまでは整備中であり、洪水時は広い断面であった。

e) 下流端境界条件の設定

杭瀬川下流端水位は、高瀬地点の観測水位を与えた。

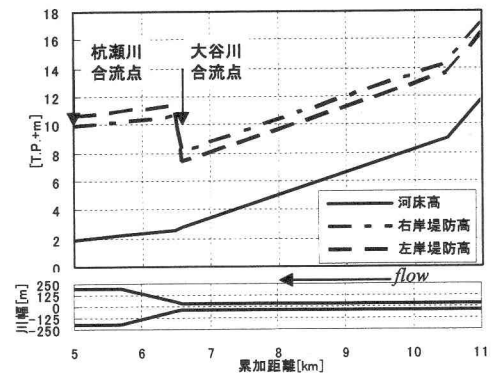


図-12 相川をモデル化した縦断形状



図-13 高瀬地点(左下)から上流を望む(㈱パスコ提供)

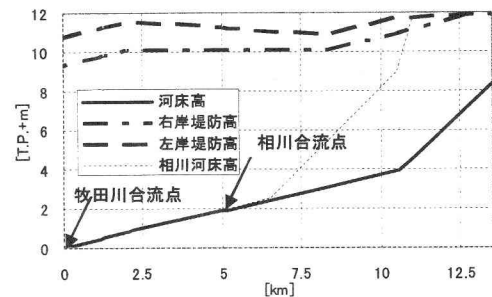


図-14 杭瀬川をモデル化した縦断形状

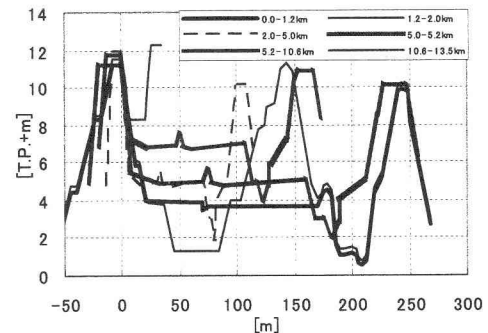


図-15 杭瀬川の横断形状(モデル)

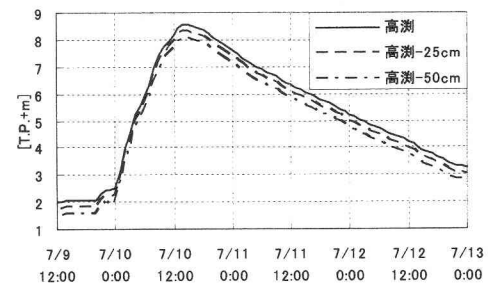


図-16 下流端水位条件

下流端水位の影響を見るために、この水位を便宜上、10cm、25cmおよび50cm低下させたものと10cm上昇させて計算した結果も検討した。(図-16参照)

f) 遊水地と洗堰の設定

大谷川右岸洗堰の越流量は、本間公式³⁾から与えた。

$$Q = \begin{cases} C_1 W (H_{us} - H_w) \sqrt{(H_{us} - H_w)} & \text{for } (H_{ds} - H_w) / (H_{us} - H_w) \leq 2/3 \\ C_2 W (H_{ds} - H_w) \sqrt{(H_{us} - H_{ds})} & \text{for } (H_{ds} - H_w) / (H_{us} - H_w) > 2/3 \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 Q : 越流量、 C_1 : 第1堰係数 ($= (2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2}$)、 C_2 : 第2堰係数 ($= (3^{3/2}/2) \cdot C_1$)、 W : 堰幅[m]、 g : 重力加速度、 H_{us} 、 H_{ds} : 堰を挟んだ上下流水位、 H_w : 堰高、である。堤内側遊水地は、本来であれば2次元氾濫解析を適用すべきところであるが、単純化の為、図-17の地盤高分布から南東から北西方向に地盤高コンターを横断する曲線上に1次元化し、幅広の広矩形断面(最大2.07km)を仮定し、標高10mまでの緩い勾配の部分(1/573)をモデル化した。抵抗はマンニング粗度係数を1.0と仮定した。

4. 解析結果と考察

(1) 大谷川の整備(堤防・堰嵩上げ)と、杭瀬川拡幅による効果

図-18は大谷川の洗堰設置部でのピーク水位の計算結果である。横軸は大谷川堤防・洗堰の3段階の整備状況を示し、凡例は下流の杭瀬川2.0-5.0km区間の拡幅を仮定した場合の結果を示している。大谷川の堤防嵩上げ・堰締切りが遊水地への貯留を減らす事による河道水位上昇への効果は殆どない事がわかる。また、下流河道の拡幅による上流水位への効果は20cm位であった。大谷川(累加距離6.5km-10.5km)から下流に相川へ続き(同5.0km-6.5km)、さらに杭瀬川に合流して下流端までの流れに沿った縦断水位の時間変化を見たものが図-19である。ピーク時前後は、相川から大谷川まで殆ど水平であり、図(a)では杭瀬川2-5km区間で水面に勾配が現れる。図(b)の杭瀬側狭窄部を拡幅したケースでは水面勾配がゆるくなる形でその効果が現れている。この時は下流端水位が全体のピーク水位を強く支配していると言える。

杭瀬川に手を加えないケースで大谷川洗堰の役割について考察する。図-20は、洗堰近傍の堤内地水位と河川水位を比較したものであり、河川水位がピークを迎える前に堤内外の水位はほぼ同じになっている。図-21は洗堰の越流流量の時間変化を示しており、図中の「実水位」は現況のケースを示しているが、これと図-20と比較しても分かるように、水位のピークを迎える前に流入のピークは終わっている。

ところで計算の詳細を見ると、越流のピーク時には、大谷川では相川合流点から洗堰まで逆流が起こっている。そこで、相川と大谷川が合流した直下流地点での流量ハイドログラフを現況と第2期計画(完全締め切り)とで比較したのが図-22である。流量はピークカットされ

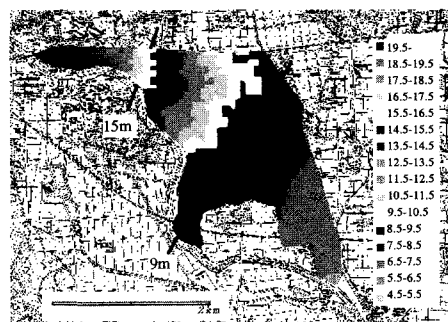


図-17 遊水地地盤高分布 (単位: m+T.P.)

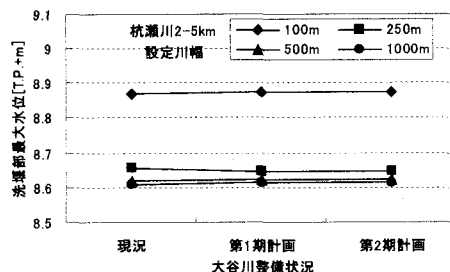
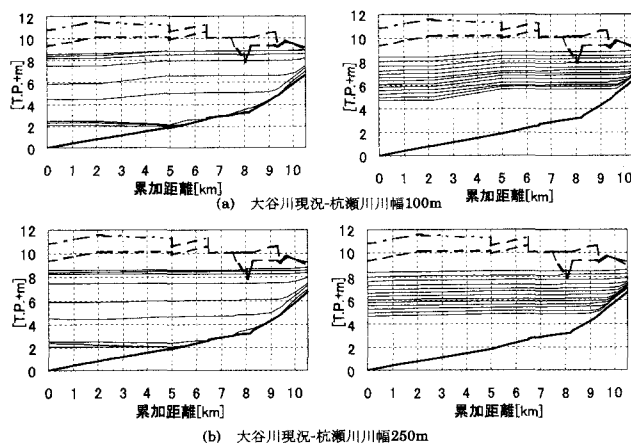


図-18 洗堰部大谷川最高水位
(堰嵩上げ、杭瀬川拡幅による効果)



7/10 12:00-7/11 18:00 7/11 18:00-7/12 6:00

図-19 縦断水位時間変化
(3時間毎、左図:水位上昇、右図:水位下降)

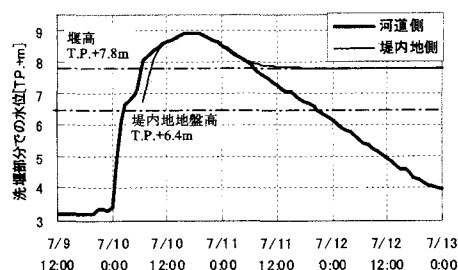


図-20 堤内地・河道の水位変化

ている。下流水位のピーク(図-16で10日16時)は、流入ハイドログラフのピーク(10日10時頃)より遅くなっている。これによる背水が、流量ピーク後の水位を押し

上げ、洗堰は「満水」となり、水位ピークを下げる機能をこの時点で既に失っている。掛斐川のような大河川は長い時間遅れを持っていることから、このような時間差の問題は一般的であり、洗堰に限らず支川・本川の河川整備の問題に関係している。

(2) 下流端水位低下による効果

図-16の様に下流端水位を下げた場合の大谷川1.6km地点ピーク水位を図-23に示す。下げ幅の約6割程度の影響が現れており、図-19に見られるように上流への背水の影響が強いことから、その効果は大きい。

(3) 遊水地貯留量拡大による効果

洗堰の越流による遊水効果が現状で発揮し始めるのに必要な遊水地の状態を見るために、仮に遊水地の地盤高を下げて貯留量を大きくした時について検討を行った。図-24に大谷川ピーク水位を示す。地盤高を0m, 1m, 2m, 3m下げた場合、累積越流量の最大値（貯留効果のおよその規模を表す）はそれぞれ約132万, 264万, 446万, 520万 m^3 となる。現況の3倍程度（地盤高2m低下）にして初めて水位ピーク時（10日16時前後）の越流が十分効果を発揮し（図-25）、その結果20cm以上の水位低下が見込める。本洪水での条件で水位に対して効果を持たせるには、かなり大きな規模の貯留が必要となる。

5. まとめ

本研究での大谷川およびそれに合流する河川の水系の1次元不定流解析により、次の事を得た。

- ・2002年7月の洪水に限った解析であるが、大谷川の洗堰は、河道内水位を下げる効果は非常に僅かであった。
 - ・流量のピークカットはあるが、下流で合流する大河川の遅い水位上昇による背水の効果の方がかなり大きい。
 - ・最も効果的なのは下流側の水位を下げる事である。
 - ・今回の堰・河道や洪水の条件では、この堰だけではあと3倍程度以上の貯留はないと発揮できない。
 - ・土地利用を行う遊水地での堰の設計には、下流水位の時間特性（時間差・スケール）を考慮する必要がある。
- 今回対象とした河川は山地-扇状地から非常に低い平野に出て、掛斐川に合流している。掛斐川流域も含めた検討や、より実際の条件を入れた解析を行う事でより精緻な議論ができるが、それ以上に、学術的にはこのような地形特性や大河川を下流に持つ支川という治水対策の制約が多いと考えられる所の特性をより一般的に整理するとともに、短期的・一時的に有効な方法を選ぶ為の技術的検討が必要がある。本研究は、そうした対策のための特性を整理するための一検討ということになる。

謝辞：本研究での解析にあたり、河川情報センターにデータを提供いただいた。ここに謝意を表す。

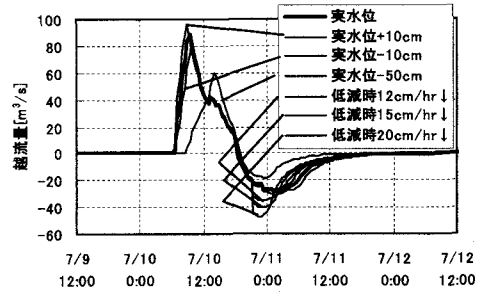


図-21 堰越流量（負は本川への戻り流れ）

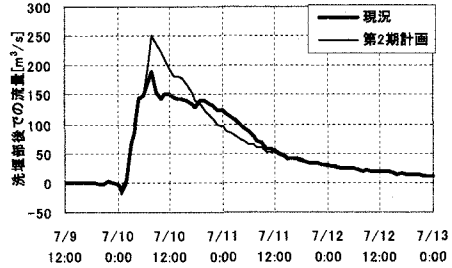


図-22 相川大谷川合流点流量（流量カットの効果）

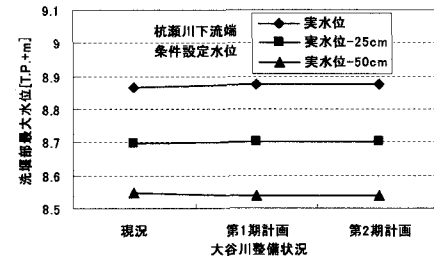


図-23 大谷川1.6km地点最大水位（下流端水位低下の効果）

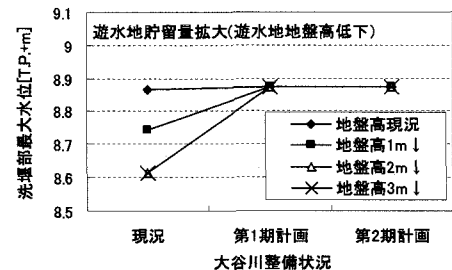


図-24 大谷川1.6km地点最大水位（遊水地地盤下げた場合）

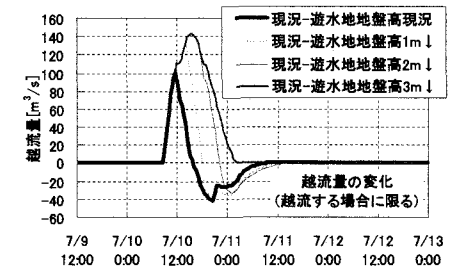


図-25 堰越流量（遊水地地盤を下げた場合）

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：第19回（平成14年度第1回）中部ブロック河川技術懇談会資料，pp. 1-27，2002。
- 2) 国土交通省中部地方整備局・木曽川上流工事事務所：速報 平成14年7月10日出水 掛斐川・長良川出水状況パンフレット，2002。
- 3) 土木学会：水理公式集平成11年度版，245p，1999。
- 4) (社)日本河川協会：改訂解説・建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編，pp. 79-94，1997。

(2003. 4. 11受付)