

# 嘉瀬川中流域の水害防備林と前堤の現状と 洪水流に及ぼす影響について

## PRESENT CONDITIONS OF THE FOREST FOR FLOOD DAMAGE PROTECTION AND THE AUXILIARY LEVEE IN THE MIDSTREAM OF KASE RIVER AND INFLUENCE ON FLOOD FLOWS

池田 幸太郎<sup>1</sup>・大串 浩一郎<sup>2</sup>  
Kotaro IKEDA, Koichiro OHGUSHI

<sup>1</sup>学生会員 佐賀大学大学院 工学系研究科博士前期課程 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

<sup>2</sup>正会員 工博 佐賀大学助教授 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

In the Saga plains many facilities were built for flood control in the Edo era. It is very useful for future flood control technology to clarify those functions. In this study, the forest for flood damage protection and the auxiliary levee are focused. They are located in the midstream of Kase River and considered as a historic facility for flood control. At first the study grasps those present conditions and clarifies those functions by a 2-D depth-averaged numerical analysis on curvilinear coordinate systems successively. As a result, luxuriant growth areas of the forest increase year by year, and, as a result, water level becomes high at the time of flood in comparison with the past. The water level rise by the forest for flood damage protection has an influence upstream. Therefore, water level is high and speed is small upstream. Because flows gather in low-flow channel by the forest for flood damage protection, low-flow channel is fixed.

**Key Words:** *historic facility for flood control, forest for flood damage protection, auxiliary levee*

### 1. はじめに

従来河道内にある樹林帯は洪水時の水の流下を妨げるものとして取り除かれる事が多かったが、平成9年の河川法改正により、堤防の機能を維持・増進するため、堤防などに沿って設置された樹林帯を河川管理施設として適正に整備又は保全する事になった。さらに平成12年には、河川審議会より「流域での対応を含む効果的な治水のあり方」に関する中間答申がなされ、堤防の強化による治水対策だけではなく、超過洪水に対してどのように水害を軽減するかが検討されてきた。

本研究で対象とした嘉瀬川が縦断する佐賀平野は、背振山脈と有明海に挟まれた低平地であり、洪水時に有明海の影響を受ける範囲では主に内水氾濫の割合が大きく、さらに上流の移化帯河川・扇状地では外水氾濫の危険性が高い。これらの治水対策は藩政時代より行われており、佐賀平野を流れる各河川には遊水地や堤外地の流水を堤内地へ越流させる乗越(のこし)、堤内地に流れ込んだ水の流下方向を制御する水受堤などの治水施設が数多く施されている。昭和初期までは嘉瀬川流域にも石井樋、

堤内・堤外遊水地、乗越、水害防備林、水受堤など多くの治水施設があった。しかし、昭和20年代に発生した水害によってその多くは埋没もしくは崩壊している。また昭和32年に完成した北山ダム、昭和35年に完成した川上頭首工により、大規模な洪水が発生する確率は減少し、残った治水施設も堤外地に設置されたものは洪水の流下を妨げるものとして、堤内地に設置されたものは用地開発のために排除され、現在ではそれらの治水施設が遺構として点在している状態である。しかし、このような治水遺構を発掘・復元し、その治水機能を解明していくことは今後の治水を考えていく上で非常に有用であると考えられる。

本研究は、このような背景の下で、嘉瀬川中流部の歴史的河川形状に着目し、現在における治水遺構の状態を確認し、さらに流れの数値シミュレーションを行うことで、それらが現在洪水流に対してどのような影響を及ぼすのか明らかにすることを試みたものである。

### 2. 研究対象領域の概要

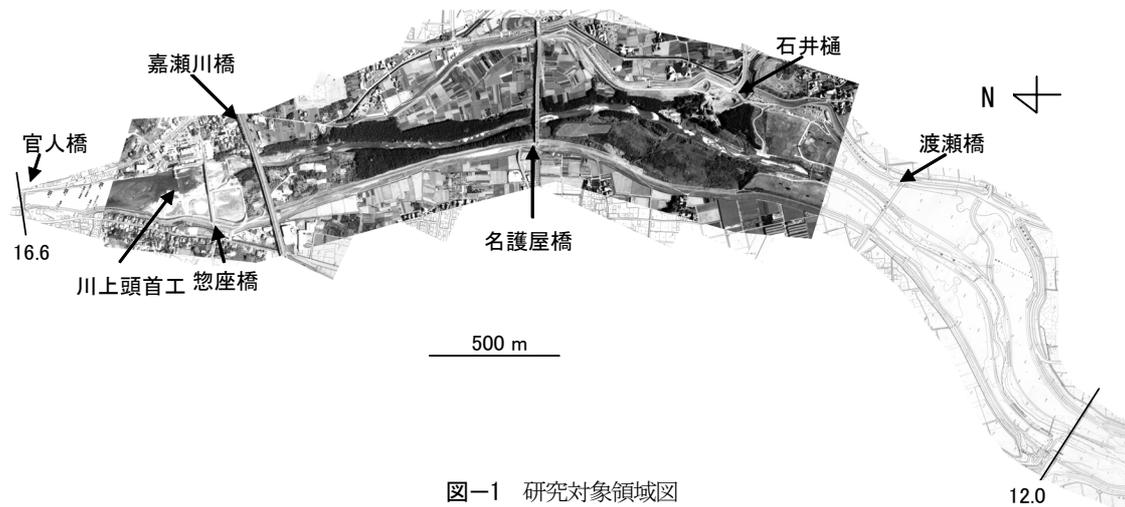


図-1 研究対象領域図

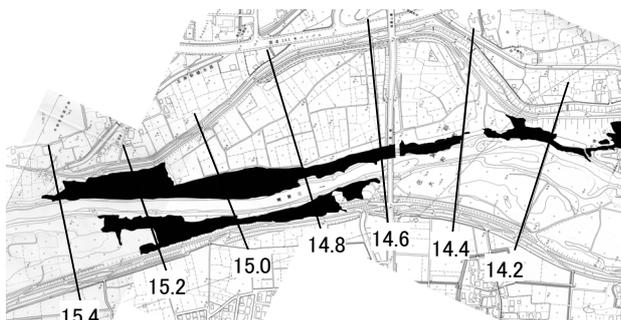


図-2 水害防備林分布(1987年) (黒色部が林)

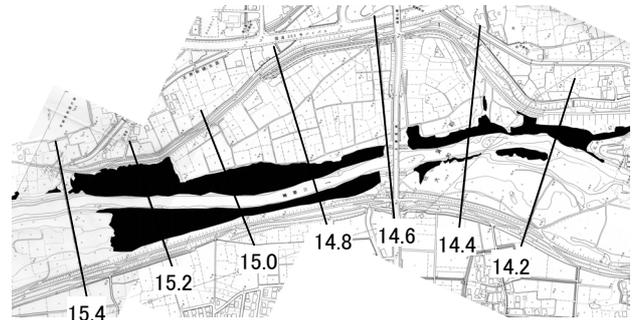


図-3 水害防備林分布(2003年) (黒色部が林)

本研究で対象としたのは嘉瀬川河口より12.0kmから16.6kmの区間である。図-1は対象領域の空中写真および平面図である。これより上流は花崗岩類が広く分布した山地を流れる山地河川である。そのため、出水時には土砂の流出が著しい。また対象区間の河床勾配は約1/670であり、両岸の堤内地には住宅地が建ち並んでいる。以下に対象領域の大きな特徴である水害防備林と前堤(まえてい)について示す。

### (1) 水害防備林について

13.8kmから15.4kmの区間には低水路に沿って水害防備林として竹が繁茂している。特に14.2kmから15.4kmの区間の左岸の水害防備林は尼寺林と呼ばれ、その機能は従来から出水時の土砂の篩い分け機能<sup>1)</sup>があるとされており、それに加え、近年の研究<sup>2)</sup>では左岸高水敷全体の死水域化を促し、流心を堤防からそらすことで堤防の決壊を防ぐ機能があることも明らかになっている。しかし、現在では林の手入れがなされておらず、そのほとんどが放置林になっており、1987年の水害防備林の分布(図-2)と2002年の水害防備林の分布(図-3)の比較から明らかかなようにその繁茂面積は増加傾向にある。特に右岸の林は低水路に向かって大きく拡大しており、最大で約25mの拡大が認められる。図-4は2003年12月に行われた水害防備林の調査資料をもとに算出した密生度の縦断方向の変化を示したものである。密生度 $\lambda_{veg}$ は次式より

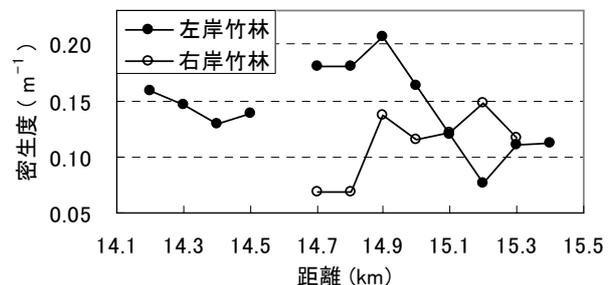


図-4 水害防備林の密生度



図-5 前堤の分布(黒色部が前堤)

算出した。

$$\lambda_{veg} = \frac{nD_m}{s^2} \quad (1)$$

ここで、 $n$  : 竹の本数、 $D_m$  : 竹の平均直径、 $s$  : サンプリング格子幅である。これより、左岸の密生度は15.2km地点で最小となり下流に行くにつれて増加し、そ

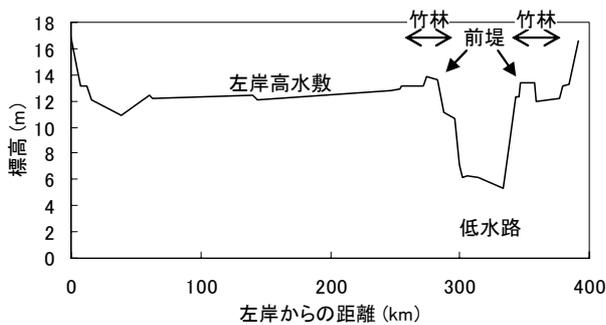


図-6 14.7km地点の横断面

の後ほぼ一定の値をとることがわかる。対して右岸の密度は下流に行くにしたがって減少するという特徴がある。また、名護屋橋付近では兩岸の林は途切れている。

### (2) 前堤について

低水路に沿った多くの箇所では前堤が設置されていることも嘉瀬川中流域の特徴である<sup>3)</sup>。図-5に示すように14.2kmから15.4km区間の特に左岸において低水路に沿って前堤が設置されており、その大部分が水害防備林に覆われている。また、前堤はその上流部と下流部で本堤と繋がっており、そのため左岸の高水敷は本堤と前堤によって囲まれている。従来の研究<sup>4)</sup>では200mピッチの横断面データしかなく、前堤の詳細な分布および形状を明らかにすることは困難であったが、本研究では25mピッチの横断面データを用いたことでそれらがより詳細に明らかになった。図-6に14.7km地点の横断面図を示す。平水時には流水はこの前堤に挟まれた低水路部分で流下するが、出水時には流水が前堤を越えて高水敷へと浸入する。図-7に前堤高の縦断面図を示す。ここで図中の左岸高水敷高とは高水敷中央点の河床高である。この図より、上流部の前堤が本堤よりも高くなっているが、15.35kmから15.20km区間において前堤がない部分があることが分かる。それより下流では数箇所前堤が無い部分が見られるが、高水敷との高低差は約1mから2mとなっている。また以前はこの前堤の14.8km付近に乗り越えが施され、出水時には左岸高水敷へと流水を流入させていたが、今回の研究ではその乗り越えを確認する事は出来なかった。これは、現在の前堤の形状が過去の出水による土砂の堆積によって変化したためと考えられる。

## 3. 数値解析の概要

解析対象河川の形状が、堤外遊水地が設置されているために拡張を繰り返していることや、前堤などのように複雑な形状をしており、数値解析モデルを適用するには河川形状の表現、計算格子形成の容易さを考慮する必要がある。そこで本研究では、一般曲線座標系による解析方法<sup>5),6)</sup>を採用することとした。

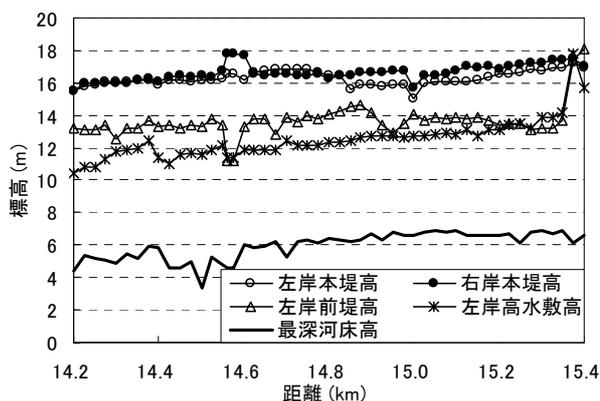


図-7 前堤の縦断面図

### (1) 一般曲線座標系による基礎式

本研究における数値解析の基礎式は、次のような2次元の一般曲線座標系に基づく連続式と運動方程式である。連続式

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{Vh}{J} \right) = 0 \quad (2)$$

運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{M}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{UM}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{VM}{J} \right) = \\ -gh \left( \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho J} - \frac{F_x}{\rho J} \\ + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( -\overline{u^2 h} \right) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( -\overline{u'v' h} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left( -\overline{u^2 h} \right) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left( -\overline{u'v' h} \right) \\ \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{N}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{UN}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{VN}{J} \right) = \\ -gh \left( \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho J} - \frac{F_y}{\rho J} \\ + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( -\overline{u'v' h} \right) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( -\overline{v^2 h} \right) \\ + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left( -\overline{u'v' h} \right) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left( -\overline{v^2 h} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $t$  : 時間、 $x, y$  : 空間座標、 $h$  : 水深、 $g$  : 重力加速度、 $M, N$  :  $x, y$  方向の流量フラックス、 $U, V$  : 流速ベクトルの反変成分、 $\rho$  : 水の密度、 $z_s$  : 水位、 $\tau_{bx}, \tau_{by}$  : 底面せん断応力、 $F_x, F_y$  : 水害防備林による抗力、 $J$  : 座標変換のヤコビアンである。ヤコビアンおよび流速ベクトルの反変成分は以下のように定義される。

$$J = 1 / (x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi) \quad (5)$$

$$U = \xi_x u + \xi_y v, \quad V = \eta_x u + \eta_y v \quad (6)$$

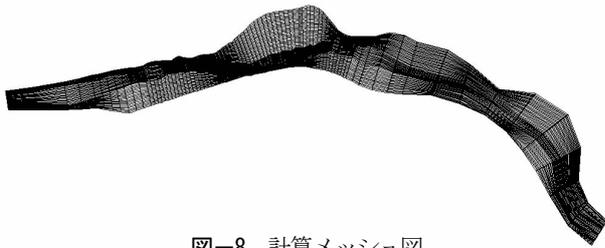


図-8 計算メッシュ図

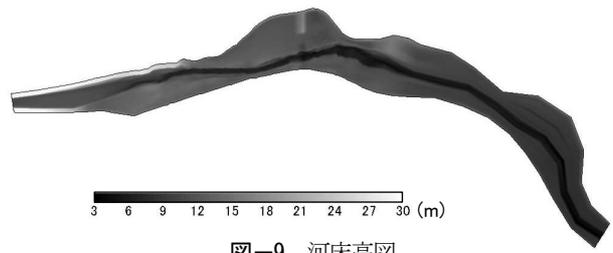


図-9 河床高図

ここで、 $u, v$  :  $x, y$  方向の水深平均流速，下付き添え字の $\xi, \eta, x, y$ はその方向に関する空間偏微分を表している．水深平均レイノルズ応力 $-\overline{u'^2}, -\overline{u'v'}, -\overline{v'^2}$ は次式で算出する．

$$-\overline{u'^2} = 2 D_h (\partial u / \partial x) - (2/3)k \quad (7)$$

$$-\overline{u'v'} = D_h (\partial u / \partial y + \partial v / \partial x) \quad (8)$$

$$-\overline{v'^2} = 2 D_h (\partial v / \partial y) - (2/3)k \quad (9)$$

$$D_h = \alpha h u_* \quad (10)$$

ここで、 $D_h$  : 渦動粘性係数， $k$  : 水深平均乱れエネルギーでNezu and Nakagawaによる鉛直方向の $k$ の分布に関する実験式<sup>7)</sup>を適用した． $\alpha$  : 定数， $u_*$  : 摩擦速度である． $\tau_{bx}, \tau_{by}$ は底面粗度係数 $n$ を用いて以下のように与えた．

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}}, \tau_{by} = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (11)$$

水害防備林の影響は次式で表される抵抗項として与えた．

$$F_x = (1/2)\rho C_d \lambda_{veg} h u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (12)$$

$$F_y = (1/2)\rho C_d \lambda_{veg} h v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (13)$$

ここで、 $C_d$  : 抗力係数であり1.2とした． $\lambda_{veg}$  : 水害防備林の密生度である．また、水害防備林は冠水しないものとした．基礎式の離散化手法として有限体積法を採用し、変数配置にはスタッガードスキームを用いた．また、移流項の離散化には風上差分を用い、その他の空間方向差分には中央差分を用いた．また、時間方向差分にはAdams-Bashforthの2点公式を適用した．

## (2) 計算条件

### a) 計算メッシュ

図-8は計算に用いたメッシュ図を示している．縦断方向に85断面，横断方向には左岸高水敷で30断面，低水路で20断面，右岸高水敷で20断面となるように設定した．一つのメッシュの縦断幅はおよそ25~200m，横断幅は1~9mである．

### b) 河床形状

河床形状については2003年に測量された25mピッチと200mピッチの横断データを用いた．河川形状の変化が大きい15.650~14.200km区間においては25mピッチの横断データを用い、その他の区間では200mピッチの横断デー

タを元に各格子点に河床データを入力した．また各断面の堤防天端高は越水しない高さを与えた．図-9は河床高の分布を示している．この図より低水路と高水敷とが明確に区別され、上流で広い低水路が水害防備林に挟まれた狭い低水路に変化している．さらにその低水路沿いの前堤もよく表現されている．また名護屋橋は左岸から伸びる突堤に設置されており、その突堤も表現されているのが分かる．

### c) 解析対象洪水

本研究で解析対象とした洪水は、1990年7月2日に梅雨前線と台風6号から変わった低気圧による出水(ピーク流量は1,039m<sup>3</sup>/s (16.6km地点の観測値))ならびにそれより大規模な2パターンの洪水である．

大規模な洪水に対する水害防備林の検討を行うために、まず、嘉瀬川の16.6km地点に1990年洪水の観測流量を流下可能な流量にまで引き伸ばした流量を、河口に有明海の計画高潮位を境界条件として与えて水害防備林がある場合と無い場合で1次元数値計算を行い、得られた結果を大規模洪水として平面2次元数値計算に用いた．1次元数値計算の結果、大規模洪水の16.6km地点におけるピーク流量は水害防備林がある場合に1,900m<sup>3</sup>/s、無い場合に2,000m<sup>3</sup>/sとなった．これら洪水は嘉瀬川のこの地点における計画高水流量2,500m<sup>3</sup>/sの43%, 76%, 80%の流量にあたる．

境界条件として、上流端(16.6km地点)に流量を、下流端(12.0km地点)に水位を与え、不定流の計算を行った．また、河道の底面粗度係数は低水路で0.028, 高水敷で0.033とし、助走時間として5時間一定の流量と水位で計算した後、洪水流量と水位の変化を与えた．

また、水害防備林の分布については1990年当時の空中写真がないために1987年の空中写真から分布を読み取り、1990年の水害防備林分布とした．また、2002年の空中写真から水害防備林の分布を読み取り、現在の水害防備林分布とした．

計算ケースは1990年の洪水に対して1990年の水害防備林分布 (CASE 1), 2002年の水害防備林分布 (CASE 2), 大規模洪水に対して水害防備林がある場合 (CASE 3), 水害防備林がない場合 (CASE 4) の4パターンである．

その他の計算条件としては計算時間間隔0.015s, 初期条件として縦断方向水面勾配1/653, 水域, 陸域の判定基準水深0.1mを与えた．

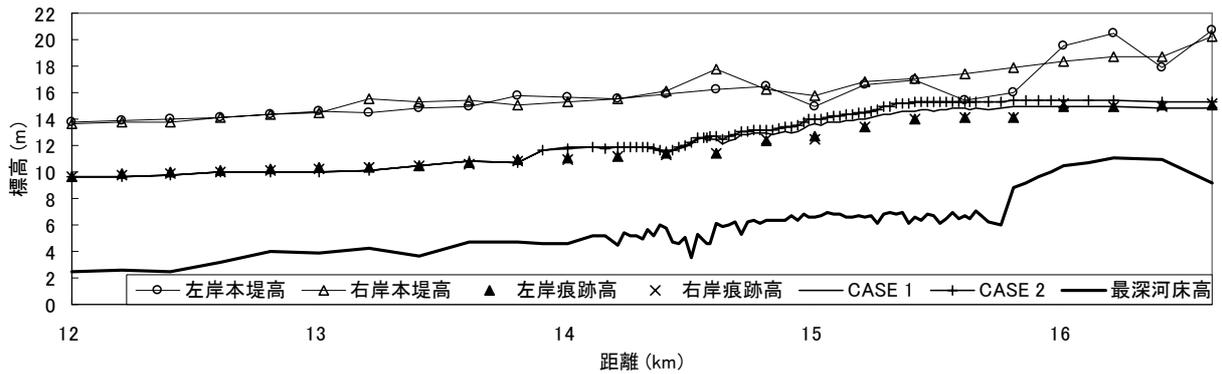


図-10 CASE 1, CASE 2の計算水位と痕跡高の比較図

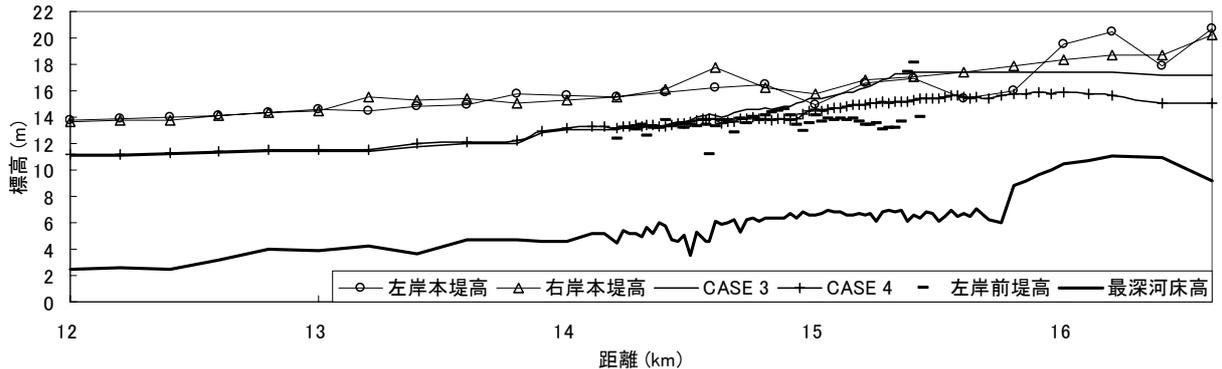


図-11 CASE 3, CASE 4の計算水位比較図

#### 4. 計算結果および考察

##### (1) 洪水痕跡高との比較

図-10はCASE 1とCASE 2についての計算水位と痕跡高とを比較したものである。ここで、計算水位はそれぞれの地点の計算された最大水位である。この図より以下の事が分かる。

CASE 1の計算で用いた地形や水害防備林のデータが1990年のものとは異なるが、計算水位は痕跡高とよく合う結果を得た。しかし、13.8～16.0km区間では水位が痕跡高よりも0.5～1m程度大きくなっている。この要因として、特に14.6～15.4km区間に繁茂している水害防備林の抵抗を適切に評価できていない可能性もある。対してCASE 2においては痕跡高よりも1～2m大きな結果となっている。これは14.6～15.4km区間の主に右岸高水敷に繁茂している水害防備林が低水路に向かって最大で25mも拡大し、水の流れを阻害して水位を上昇させたものと考えられる。また、水害防備林が繁茂している部分で水位が上昇した結果、その影響がさらに上流の林がない部分にまで伝わっている。

##### (2) 水害防備林と前堤が水位に及ぼす影響

図-11はCASE 3とCASE 4における、それぞれの地点の最大計算水位を示している。この図より、14.0kmより下流では水位の差はほとんど無いが、水害防備林が繁茂している区間から水位差が大きくなり、最大で3mの水位差が見られる。またCASE 3の場合、15.4km付近で水位が最大になっている。これは河道が狭窄すると共に水害防備

林が繁茂しているためにより多くの水位上昇が発生したものと考えられる。この箇所での水位上昇はさらに上流の林が繁茂していない部分に影響を及ぼし、林が無い部分においても水位差が約2mとなっている。

前堤との関係を見てみると、どちらの場合でも前堤が低くなる15.2km地点から水位が減少している。これはこの部分から左岸高水敷に水が流れ込んだためである。竹林がある場合に水位上昇が大きくなるので、出水時にはこの部分から左岸高水敷に水が流れ込みやすい構造となっていることがわかる。

##### (3) 流速分布

図-12、図-13はCASE 3, CASE 4において、上流端(16.6km地点)の流量がピーク流量時の流速ベクトルおよび流速コンターを示している。これらの図より以下の事が分かる。

CASE 3において、上流から15.4km付近までは流速は小さく、横断分布はほぼ一様であるが、CASE 4では流速は最大で10m/s以上あり、さらに低水路と高水敷とで流速分布が異なっている。CASE 3では水害防備林を考慮しており、林によって流下を阻害された水が上流部で溜まり、その結果河道全体で流速がほぼ一様になったものと考えられる。対してCASE 4では水害防備林はなく、上流部で水が溜まらないためにそのまま流下し、流速が大きくなったと考えられる。以前は16.0km地点の右岸には用水の取水口があり、堤防が乗越になっていた<sup>2)</sup>。昭和20年代の洪水ではこの乗越が破堤して流水が右岸堤内地へと氾濫している。従って、水害防備林の上流で水が溜まる

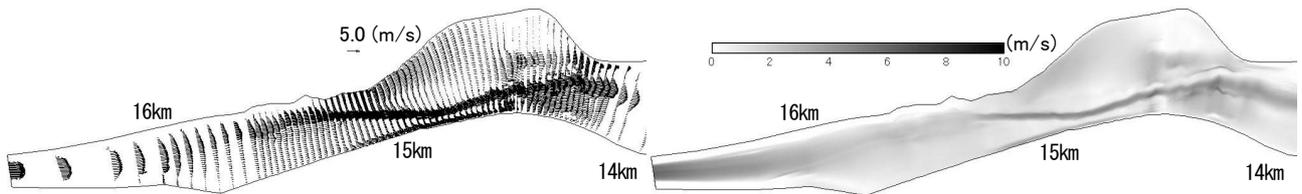


図-12 CASE 3の流速ベクトルと流速コンター図

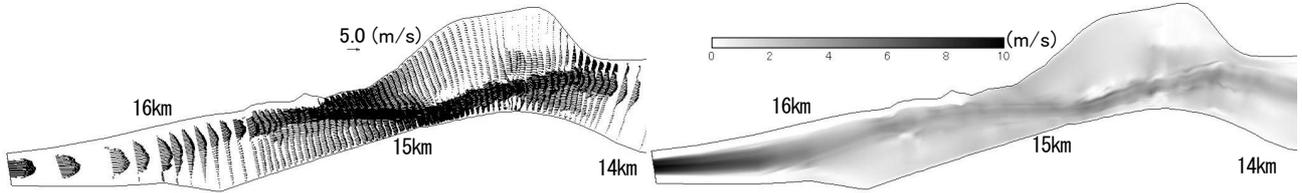


図-13 CASE 4の流速ベクトルと流速コンター図

ことで流速を小さくし、乗越から流下できない水を堤内地へ越水させていたものと考えられる。しかし、現在では河川改修工事によって乗越部分は嵩上げされて消滅しており、堤内地においても耕作地から宅地になっており、破堤は許されない状況である。従って水害防備林による過度な水位上昇は破堤の可能性が大きくなるので、適切な管理が必要である。

水害防備林が繁茂している区間ではCASE 3の場合には流れは低水路と高水敷の流れに明確に分けられる。低水路において流れは中央に集中し流速は4~5m/sとなる。高水敷の林がある部分では流速は1m/s以下と小さく抑えられていることがわかる。しかし、林がない部分では流速は1.5m/s程度とやや大きくなる。これは林によって水位が上昇し、林がないCASE 4に比べて水面勾配が大きいためと考えられる。対してCASE 4では低水路全体で流速が4m/s程度と大きくなっており、CASE 3と比べて流速は小さくなるが低水路全体で流速が大きくなっていることがわかる。従って低水路に沿って繁茂している水害防備林によって低水路の中心に主流部分が形成されることで、低水路の側壁は洗掘されないで流路は固定される。低水路の固定は水害防備林の機能と考えられる。また、高水敷での流速は1.0m/s程度とCASE 3と比べて小さくなるが、どちらのケースでも低水路の流速と比べて1/3程度に抑えられていることが分かる。

## 5. 結論

本研究では、嘉瀬川中流部に位置する治水遺構に着目し、それらの現状を明らかにすると共に、1990年洪水および大規模洪水を想定して一般曲線座標系による平面2次元数値計算によりこれらの治水遺構が洪水流に及ぼす影響を明らかにする事を目的として研究を進めた。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 水害防備林の繁茂面積は年々増加しており、以前と比

べて洪水時には大きな水位上昇を引き起こす。

2) 水害防備林の水位上昇は上流域に影響し、上流域において水位が高く、流速が小さい領域が形成される。

3) 前堤には低い場所があり、主にその場所から左岸高水敷へと流入する。

4) 水害防備林には低水路の固定機能がある。

今後は前堤の有無について検討を行っていく予定である。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、九州大学の黒澤靖先生より嘉瀬川の水害防備林に関する資料を、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所より地形に関する資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 成富三平：武略・地政両全の偉人成富兵庫を語る，先哲遺徳顕彰会，pp. 214-226, 1971.
- 2) 田中秀子，大串浩一郎，岸原信義，古瀬圓吉：佐賀平野における河川伝統技術の発掘と復元に関する研究，低平地研究，No. 12，pp. 17-21, 2003.
- 3) 成富三平：武略・地政両全の偉人成富兵庫を語る，先哲遺徳顕彰会，pp. 227-241, 1971.
- 4) 池田幸太郎，大串浩一郎：嘉瀬川中流域の歴洪水流に及ぼす影響について，河川技術論文集，第11巻，pp. 381-386, 2005.
- 5) 細田尚，長田信寿，岩田通明，木村一朗：一般座標系での主流と2次流の遅れを考慮した平面2次元流モデル，水工学論文集，第44巻，pp. 587-592, 2002.
- 6) 長田信寿：水理公式集 例題プログラム集 平成13年度版，土木学会，2001.
- 7) Nezu, I. and Nakagawa, H : Turbulence in open channel flows, IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, pp.53-56, 1993.

(2005. 9. 30受付)