

六角川流域の浸水特性と治水対策 に関する基礎的検討

A BASIC INVESTIGATION ON INUNDATION CHARACTERISTICS AND FLOOD CONTROL MEASURES IN ROKKAKU RIVER BASIN

大串浩一郎¹・矢野真一郎²・島谷幸宏³・泊 耕一⁴・中山 雅文⁵・高瀬 智⁶

Koichiro OHGUSHI, Shinichiro YANO, Yukihiro SHIMATANI

Koichi TOMARI, Masafumi NAKAYAMA and Akira TAKASE

¹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)

²正会員 工博 九州大学学術研究員 大学院工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 工博 国土交通省 九州地方整備局 武雄河川事務所 所長 (〒843-0023 武雄市武雄町昭和745)

⁴国土交通省 九州地方整備局 山国川河川事務所 調査課長 (〒871-0026 中津市高瀬1851-2)

⁵国土交通省 九州地方整備局 河川部 河川管理課 係長 (〒812-0013 福岡市博多区博多駅前2-10-7)

⁶国土交通省 九州地方整備局 武雄河川事務所 調査課 (〒843-0023 武雄市武雄町昭和745)

Rokkaku River meanders through western Saga lowland with mild slope and flows into the Ariake Sea that has the largest tidal range in Japan. A 60% of the basin is flat area and a lot of inundations occurred so far. In this study, hydraulic and hydrological analyses were executed considering inundated water inside river dykes. Moreover, by using GIS, satellite images and aerial photographs effectively, a basic investigation is carried out to construct the system to manage water optimally in whole river basin. The satellite images are used to estimate a change of land use and those are compared with inundation maps in 1980's and 1990's on the GIS. The aerial photographs are used for aerial triangular surveying that can obtain orthoimages and DEMs of the river basin concerned.

Key Words : Rokkaku River, Ariake Sea, satellite images, GIS, aerial photographs, lowland, flood protection, inundation, DEM

1. はじめに

我が国では、総人口の約55%の人々が低平地に居住し、このため河川が氾濫すれば生命、財産、社会経済に大きな被害を及ぼす。また、近年の水害原因別被害額の構成比の推移を見ると、内水による被害の占める割合が増加している。これは、浸水被害を受けやすい低地域にも市街地が形成されてきたと考えることもできる。

九州西北部白石平野を貫流する六角川は、緩勾配で蛇行し、我が国最大の潮位差を有する有明海に注ぐ感潮河川であり、河道延長47kmのうち、感潮区間が約29kmに及ぶ。流域は約6割が低平な内水域で、地形条件から治水対策が非常に困難な浸水常襲地帯となっている。

本研究では、従来あまり考慮されていなかった内水解析を取り込み、さらにGISや衛星画像、航空写真を有効

活用して流域全体で最適な水管理を行うシステムを構築するための基礎的な検討を行った。

2. 研究方法の概要

(1) 土地利用情報の把握のため、人工衛星LANDSATの画像による土地被覆分類を行い、土地利用状況が年とともにどのように推移してきたかを把握し、また、既往の浸水実績の情報(浸水マップなど)と共にGISに取り込み、情報の統括を行った。

(2) この流域は嘉瀬川流域と同様に藩政時代に成富兵庫による治水・利水システムが作られた。これを把握するため、航空写真をもとに空中三角測量を行い、オルソ画像の作成及びDEMを構築し、地盤高や堤防配置などの再現を試み、合わせて洪水氾濫解析のための地盤高など

の基礎データとした。

(3) 1次元非定常解析と多池モデルを組み合わせ、内水域は小ブロック（池）に分け、各ブロック毎に貯留関数法による流出解析を行い、各小ブロックからのポンプ排水と外水位とを組み合わせた水理計算を行った。

3. 衛星画像とGISによる土地利用分類と浸水特性の関連性に関する検討

研究対象地域として六角川流域以外に嘉瀬川流域も加えた佐賀平野を考察することとした。用いたデータ及び資料は、1985年、1991年、2001年のLANDSAT-TM衛星画像（1985年、1991年は8月、2001年は10月の画像）、国土地理院発行の数値地図25000（行政界・海岸線）、国土数値情報（1987年・1992年）、佐賀県土地保全図（1985年）、1985年・1990年浸水実績図、佐賀統計年鑑（1987年・1992年）である。

解析手順は次の通りである。まず、衛星画像に含まれる幾何歪や大気の影響を除去するために、LOWTRAN7並びにArcViewImageAnalysisを使用して必要な幾何補正と大気補正を行った。土地利用分類については、まず、教師なし分類のISODATA法を用い、デジタルデータをもとに特徴の類似するピクセルを自動的に分類した。

分類後の画像を国土数値情報や佐賀県土地保全図をトレーニングデータとして用いて土地利用分類図として再度変換を行った（図-1,2）。分類した画像についてGIS(ArcView)を用いて各市町村別のデータとして解析を行い、合わせて1985年、1990年の浸水実績図を同様のGISにデジタイザを用いた取り込み、両者の関連性について考察した。

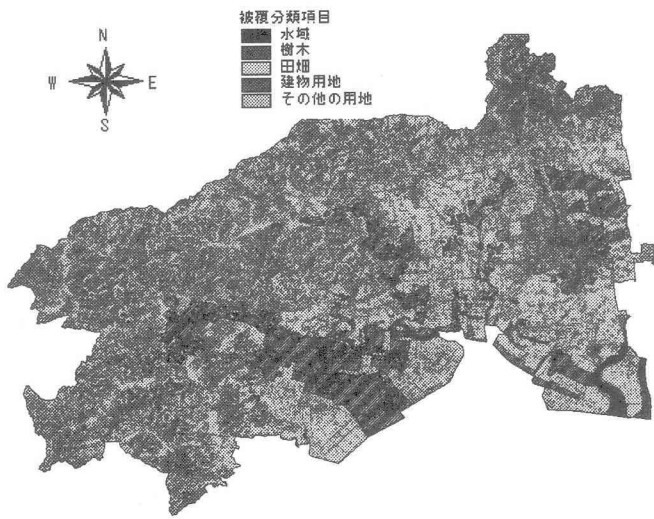


図-1 土地利用分類及び浸水図（1985年8月）



図-2 土地利用分類及び浸水図（1991年8月）

表-1 浸水域と土地利用分類図を重ねた図から得られた各市町村浸水域内の土地利用状況

市町名	全面積 (km ²)	樹木(km ²)		田畑(km ²)		建物用地(km ²)		その他の用地(km ²)		合計(km ²)	
		1985年(S60)	1990年(H2)	1985年(S60)	1990年(H2)	1985年(S60)	1990年(H2)	1985年(S60)	1990年(H2)	1985年	1990年
佐賀市	112.82	3.24	3.78	11.54	19.77	1.51	9.61	1.19	6.23	17.49	39.39
大和町	59.69	0.52	0.74	2.11	4.15	0.04	0.27	0.17	0.39	2.84	5.55
久保田町	15.69	0.62	1.29	1.18	9.16	0.05	0.99	0.12	1.47	1.97	12.91
川副町	51.06	0.89	3.61	4.27	18.32	0.12	1.80	0.23	2.77	5.50	26.50
東与賀町	16.85	0.39	0.58	1.96	4.66	0.16	0.29	0.13	0.54	2.64	6.07
多久市	105.70	0.42	1.43	2.17	4.28	0.36	0.57	0.39	1.14	3.34	7.42
武雄市	139.12	0.89		3.30		0.43		0.82		5.44	10.36
小城町	49.81	0.20	0.46	1.12	1.85	0.01	0.30	0.05	0.44	1.38	3.05
三日月町	22.57	0.34	1.03	2.22	7.66	0.02	1.04	0.08	1.76	2.66	11.50
牛津町	14.58	0.70	0.89	1.73	5.37	0.21	2.09	0.40	1.86	3.03	10.21
芦刈町	17.63	0.73	1.81	2.87	11.26	0.08	1.38	0.20	1.82	3.89	16.27
北方町	29.96	0.99	1.27	2.46	3.83	0.15	1.33	0.48	1.63	4.08	8.07
大町町	12.53	0.15	0.41	0.35	3.07	0.06	0.99	0.06	0.91	0.62	5.37
江北町	27.47	0.46	2.15	1.57	9.96	0.08	1.44	0.20	2.16	2.31	15.71
白石町	50.74	6.98		24.66		2.16		4.49		38.29	41.68
有明町	35.80	—		—		—		—		—	23.73
福富町	22.12	1.07	2.26	3.04	9.93	0.29	2.22	0.36	6.20	4.76	20.60
塩田町	50.65	—		—		—		—		—	7.56
合計	834.79	18.58	21.71	66.54	113.28	5.73	24.31	9.37	29.32	100.22	188.62

図-1,2では、ポイントトレーニングデータとして、佐賀県土地保全図をデジタイザで入力したデータと国土数値情報をそれぞれ用いている。前者に比べて後者の国土数値情報の解像度が100mと荒いことより、1991年の土地利用分類には前者より多くの誤差が含まれていると考えられる。例えば、森林樹木と田畑の分類については、その合計は両者でほとんど変化ないが、内訳が大きく違っている。しかし、他に情報がないのでそのまま使用することとした。また、それぞれの図に示している斜線部分は、1985年浸水図並びに1990年浸水図を示している。本来、1990年の衛星画像を用いるべきであったが、この年の8月画像が存在しなかったため翌年の画像を用いることとした。

浸水域が建物用地を避けるように広がっていることから建物の集中する市街地は、治水対策がある程度効果を発揮していることが分かる。しかし、1990年のように大きな水害になると広範囲にわたって浸水域が広がり、治水対策の効果が見られるところもあるが、治水上、劣悪な状況には変わりがない状況である。

表-1は、図-1,2の浸水区域と重なった地域において各市町村の浸水域内の土地利用状況について整理したものである。表の中で斜線で網がけしてあるのは、1991年の衛星画像の中で武雄市、白石町、有明町、塩田町には雲があるため判別不可能であったことを示している。

六角川流域・牛津川下流域が浸水常襲地帯であるのは、地形が低平地である上に、土地利用状況に田畑が多いことから氾濫流の妨げとなるものが少ないためと考えることができる。しかし、このことから遊水地としての効果あるとも考えることができる。

以上のように、衛星画像を利用することで、土地利用状況の経年変化を把握することができる。また、この画像を浸水域と重ねることによって、広い地域での浸水特性を把握することが可能である。

4. 空中三角測量を利用した流域の3次元解析

六角川流域においても、社会体制の変化や水管理体制の変更に伴い治水遺構が姿を消しつつあるが、その一方で、伝統的治水工法も見直されつつある。本研究では特に遊水地に注目し、空中三角測量の技術を応用し、近年の耕地整理などの影響を受ける以前の昭和23年(1948年)並びに最も新しい平成14年(2002年)の様子を3次的に再現し、浸水シミュレーションを行い遊水地に関する考察を行った。

検討対象地域は六角川流域(六角川本川と支川牛津川の流域)で、使用したデータは、以下の通りである。

- ・昭和23年撮影の航空写真 (38枚)
- ・昭和22年発行の25000分の1地形図
- ・平成14年撮影の航空写真 (32枚)

- ・平成12年発行の25000分の1 地形図
- また、使用したソフトウェアは、以下の通りである。
- ・IMAGINE Ortho BASE Pro (空中三角測量など)
 - ・ERDAS IMAGINE 8.5 (モザイクなど)
 - ・Virtual GIS (三次元空間再現、浸水シミュレーション)

空中三角測量を行うためには、オーバーラップした2つの隣り合った航空写真と重なった部分における既知の基準点が数点必要である。基準点においては、地表のx,y,z座標(水平位置並びに標高データ)が既知である必要がある。上記のソフトウェアと必要な情報を用いることで空中三角測量を行った後にDEM(Digital Elevation Model)を作成できる(図-3)。このDEMは、後に2次元氾濫数値シミュレーションを行う際の地盤データとして利用することが可能である。現在、国土地理院から発行されている数値地図25000の50mメッシュ標高では、標高データが1mずつ変わるので低平地では使用に耐えない。本研究で得られたDEMはこれに変わる精度を有し、レーザープロファイラのようなコストはかけなくて良い点が長所である。

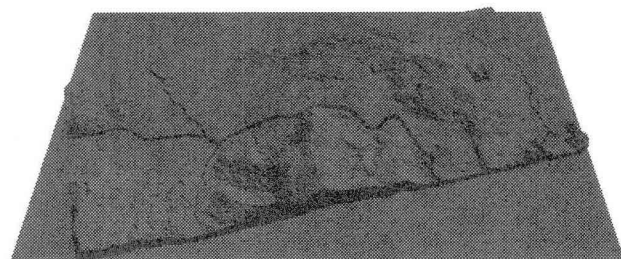


図-3 空中三角測量により作成された六角川流域のDEM

さらに、DEMからオルソ画像を作成することが可能である。オルソ画像は、図-4に示すように、航空写真が本来中心投影であったものを正射投影に変更することである。地図の描き方はこの正射投影であり、この一連の作業はそのまま地図作成の作業に類似している。

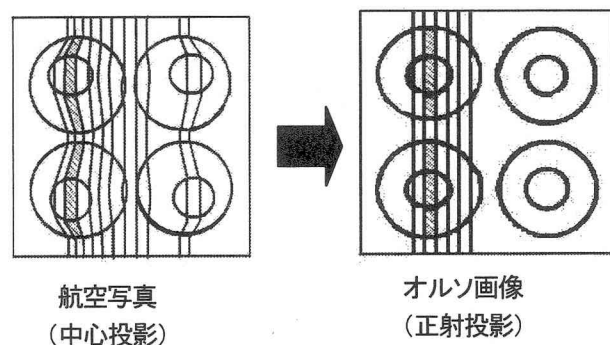


図-4 オルソ画像の概念図

空中三角測量の精度評価を行った。その手法は、既知の地上基準点（GCP）と推定された点との相違量による誤差見積りである。その結果は図-5に示す通りである。

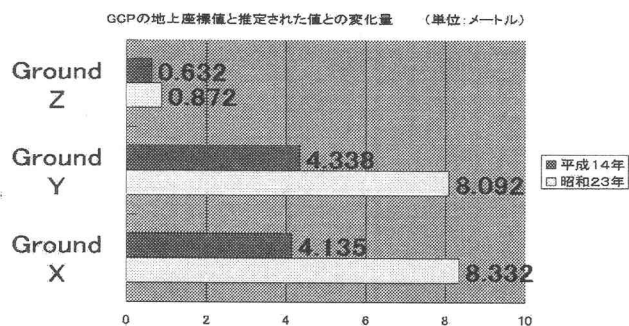


図-5 空中三角測量の精度評価（水平方向はx, y、鉛直方向はzで表し、単位はm）

図-5によれば、誤差が大きいのは水平方向で、しかも古い写真で8mと平成14年の写真の約倍の誤差がある。鉛直方向は比較的誤差が小さいが、それでも60～80cmはある。レーザープロファイラの精度が10cm内外であることを考えると、やはりお金をかけて測定した方が高い精度が出ると結論づけられるかも知れないが、本研究で用いた地形図は国土地理院の2万5千分の1であるので、この縮尺で大部分の誤差が出たと考えられる。ちなみにデジタイザでこの地形図から基準点を取り込む際には、1mmずれただけで25mずれることになる。また、平成14年に比べて昭和23年が水平方向で大きな誤差が出た原因は、既知である標高データの数の不足やカメラの性能や情報量の不足によるものであると考えられる。

オルソ画像まで作成した個々の画像をつなぎ合わせることをモザイクと呼ぶ。本研究では、図-6のように個々

の画像のモザイクにより流域全体の画像を作成し、特に六角川本川の武雄川合流地点と牛津川の横堤付近について3次元の浸水解析を行った。



図-7 六角川武雄川合流地点（昭和23年）



図-8 牛津川横堤付近の3D浸水図（昭和23年）

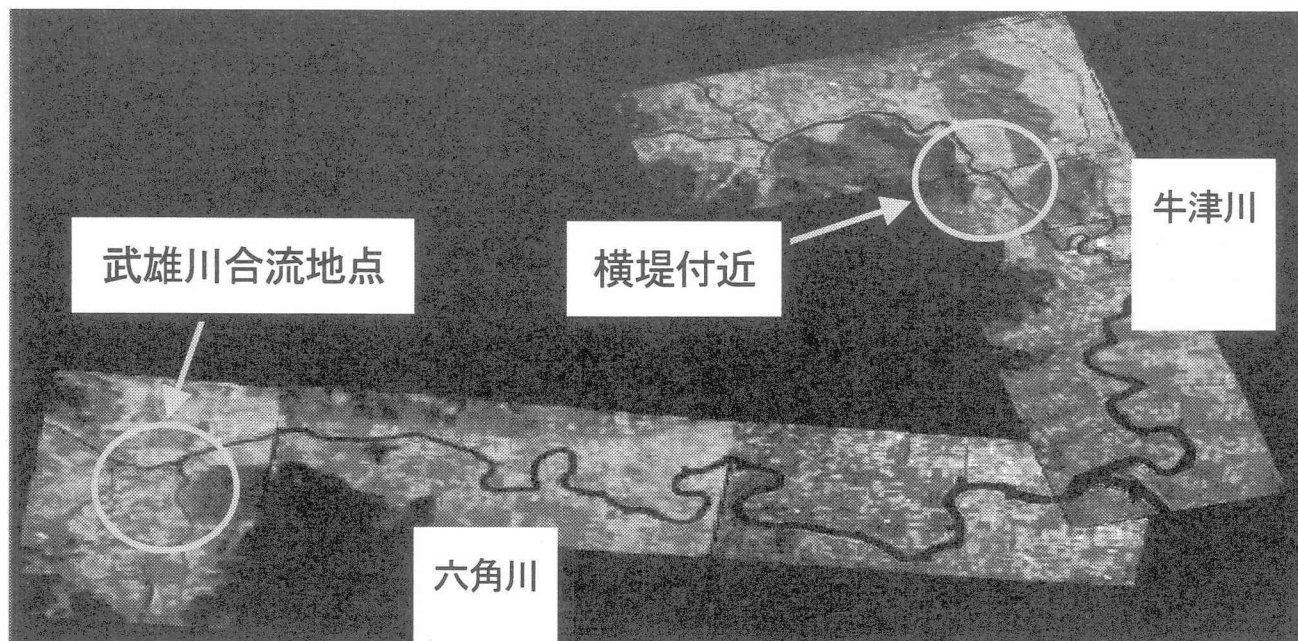


図-6 六角川及び牛津川におけるオルソ画像を用いた3D浸水解析

図-7は、昭和23年当時の六角川と武雄川が合流する地点であるが、オルソ画像をソフトウェアで処理すると低いところから水を貯めていくようなシミュレーションが可能である。合流地点の周辺が特に地盤高さが低くなっていることが分かる。現在はこの付近の河川改修はかなり進み、これよりも上流側が逆に地盤が低くなっている。

図-8は、同じく昭和23年当時の支川牛津川右岸中流域にあった横堤である（現在は一部を残してほとんど撤去されている）。牛津川本川堤防から越水した際に横堤が洪水流をせき止め、横堤上流側が遊水地の機能を果たし、下流域の浸水被害を軽減していたものと思われる。

以上のように、本研究では、伝統的治水工法である遊水地の昔の姿と、その考え方を現在に生かした形を少しであるが示せた。空中三角測量の結果は、氾濫数値シミュレーションを行う際の地表データとして用いることができるので、今回の成果をステップとして、本格的な解析が可能である。

5. 六角川流域の内水・外水1次元解析

上述のように六角川は河道延長47kmのうち、感潮区間が約29kmに及び、この流域は低平地が約60%を占めている。この低平地では内水氾濫による浸水がたびたび起こっている。また、地形条件から治水対策が非常に困難な地域でもある。そこで、本研究は主に内水流域を対象として水文・水理解析を行い、低平地における内水氾濫の特徴について分析した。

解析対象洪水は、1986年7月洪水並びに1990年7月洪水である。水文解析には貯留関数法を、水理解析では六角川・牛津川の1次元水理計算を境界条件を与えて行った。これにより内水氾濫の制約条件となる外水位を求めた。また、内水氾濫状況の縦断的な評価を行った。

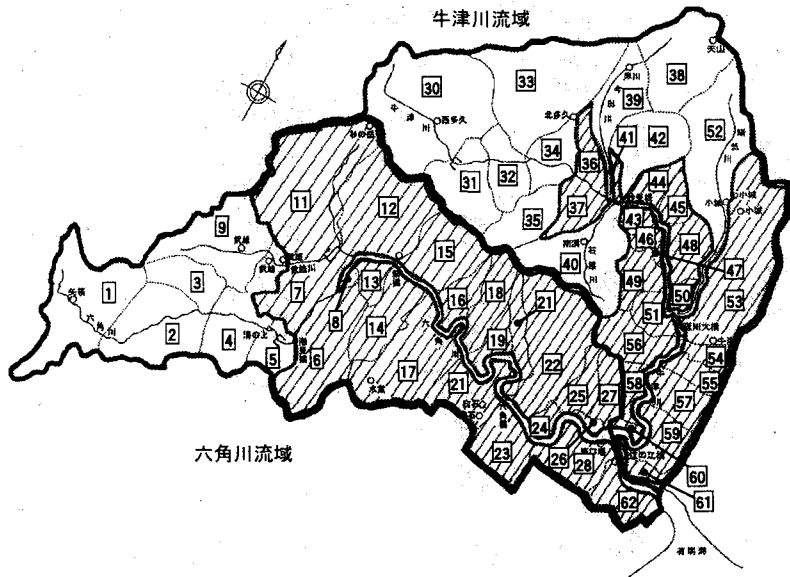


図-9 六角川流域の内水域と各小流域の番号

貯留関数法の係数 K, P については六角川水系治水計画による値を用いた。図-10,11はそれぞれ潮見橋（六角川）、妙見橋（牛津川）における1990年7月洪水の降水量と流量ハイドログラフである。

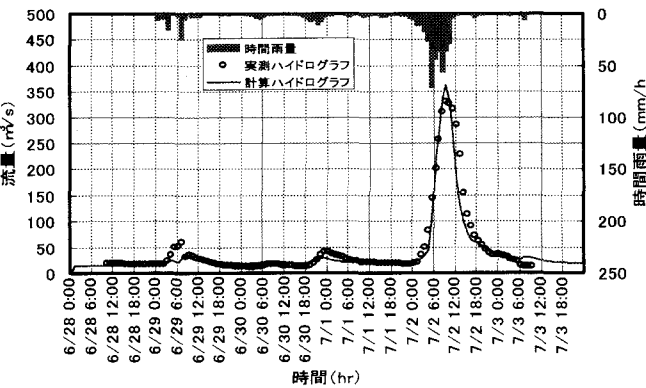


図-10 潮見橋における流出計算結果 (H.2.7)

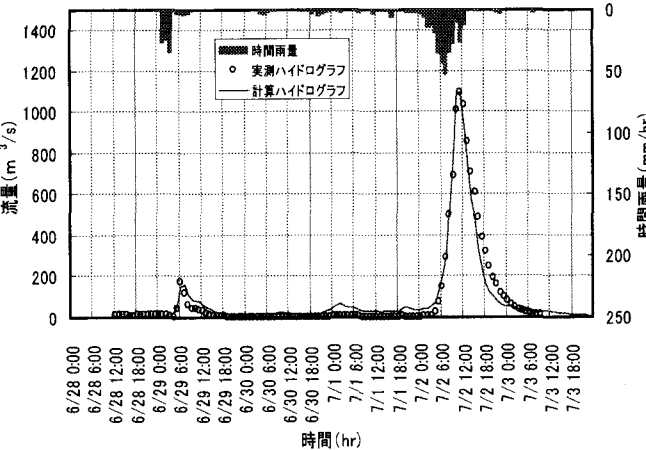


図-11 妙見橋における流出計算結果(H.2.7)

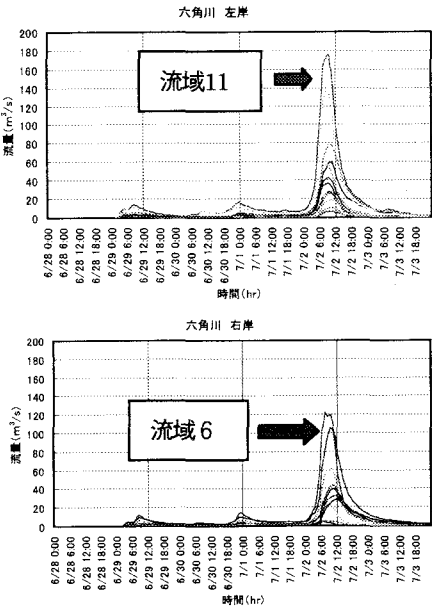
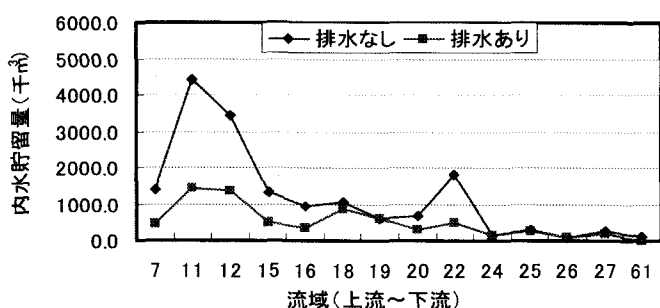


図-12 六角川両岸内水域のハイドログラフ (H.2)

図-12は六角川兩岸内水域の流出ハイドログラフの計算結果である。この結果から言えることは、1990年洪水では特に流域面積の大きいサブ流域で大きな出水となったということである。同様の計算を牛津川で、また1986年7月洪水についても行った結果、必ずしも流域面積が大きいから大きな出水が起こっているとは限らないことが分かった。図-13は、1990年7月洪水の際の六角川左岸内水域における内水貯留量と平均内水深の各サブ流域毎の上流から下流にかけての縦断分布図である。グラフ内には、周辺の排水ポンプによる排水ありの場合も同時にグラフ化している。

六角川 左岸(内水貯留量(累加))



六角川 左岸(内水域水位(累加))

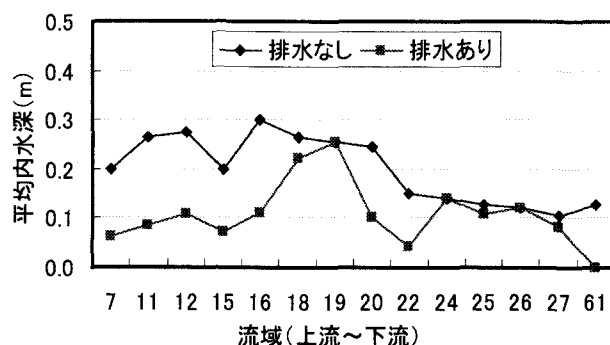


図-13 内水域の貯留量・平均水深の縦断分布

さらに、1次元水理解析により水面形の時々刻々の形状を計算し、それに上乗せする形でポンプで排水できる可能量を上流14～24km並びに下流3.8～13.8kmについて計算した。その結果、六角川上流域ではポンプで排水しようとしても既に外水位が高く、排水できなかった地域が出た。牛津川では上流・下流域とも同様に排水できない時間がピーク流量付近で出てきていたことも分かった。

6. 結論

本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) 浸水域と衛星画像による土地利用分類図の比較により、ある程度の降雨では六角川右岸域や牛津川下流右岸域に浸水域が集中するが、主に田畑の地域が遊水の機能を果たしていることが分かった。
- (2) 空中三角測量を応用し、昭和20年代のまだ堤防群が多く残っている時期の地表の様子を3次元的に再現できた。六角川や牛津川の下流域では、従来は干拓堤防として流域に存在していたものがかなり消失している。牛津川中流域右岸の横堤は現存しているが、現在そのほとんどが撤去され治水堤防としては機能していない。
- (3) 実績洪水を対象として、内水貯留量と平均内水深を縦断的に評価することによって、水の量だけでみた内水氾濫状況の特徴をつかむことができた。ポンプ排水量を最大限に行っても溜まる水量が、内水域で最低限調節しなければならない量である。内水処理計画を考える場合には、この水量を被害が生じないように遊水地や水路網を用いて貯留させる必要がある。

謝辞：本研究は、土木学会水理委員会河川懇談会の平成14年度開始テーマの1つとして進められたものである。また、本研究の一部は、平成14年度文部科学省科学研究費補助金萌芽研究（課題番号14655179）並びに（財）河川環境管理財団の河川整備基金助成事業の援助のもとで行われた。本研究で用いたランドサットTM/ETM+データは宇宙開発事業団より提供されたものである。さらに、本研究遂行にあたり大学院学生であった佐田一徹君、並びに学部学生だった上田恭裕君、中村和博君には資料提供やデータ整理で多大の援助を得た。あわせて感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 佐田一徹：GISを利用した土地利用と浸水特性の関連性に関する検討ー佐賀平野をケーススタディとしてー，佐賀大学大学院修士論文，2003。
- 2) 上田恭裕：六角川流域における水文・水理解析，佐賀大学卒業論文，2003。
- 3) 中村和博：空中三角測量を利用した六角川流域のバーチャル3D解析，佐賀大学卒業論文，2003。
- 4) 建設省河川局：改訂新版 建設省河川砂防技術基準（案）同解説 調査編、山海堂、2001。

(2003. 4. 11受付)