

加藤清正による流水制御法「白川の石塘」の機能評価

FUNCTIONAL ESTIMATION ON ISHIDOMO OF SHIRAKAWA RIVER CONSTRUCTED IN EDO PERIOD

大本照憲¹・富本和也²・澤田誠一³・

Terunori OHMOTO, Kazuya TOMIMOTO and Seiichi SAWADA

¹正会員 工博 熊本大学教授 工学部社会環境工学科 (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪二丁目 39-1)

²学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科前期博士課程 (同上)

³正会員 熊本県土木部港湾課 (〒862-0912 熊本県熊本市水前寺 6-18-1)

In Kumamoto Prefecture, there are many flood protection and water utilization works as diversion structures, levees and groins made of stones which were constructed by Kiyomasa Kato as a feudal lord in the early Edo era. However, most works have not been clarified with actual evidence as to how they play a role in flood protection. In this paper, Ishidomo of the Shirakawa river, which was pointed out as masonry separation levee for flood protection works, has been investigated from the viewpoint of historical river regulation methods by applying a hydraulic model to Ishidomo with culvert or overflow spill way. The model scale was 1/250. In addition, abandoned path of the Shirakawa River were identified by topographical information analysis based on laser profiler data and old map in Edo era.

Key Words : Shirakawa River, Kiyomasa Kato, Separation Levee, Laser Profiler

1. はじめに

熊本市の中心市街地を流れる白川，坪井川および井芹川は，藩政時代に加藤清正により付け替え工事が実施され，白川と坪井川は石塘を通して分流させ坪井川と井芹川は逆に市街部において合流させていたことが指摘されている。

白川の石塘に関しては，「籐公偉業記」(1832 年)¹⁾によれば，「・・・慶長以前は石塘の所，白河の塘危く洪水毎に其塘破壊して小川(井芹川)に流入，砂突埋横手池田の他水懸り兼，旱田に及ける故，塘底より石を以築立，白川塘の不崩様此處に水取磧を営み給ひける故，両手永の田地四百壹町五畝七歩白河塘不破様に石塘にて堅固に成し故，小川突埋る害を免る，・・・」とあり，土木学会編「明治以日本土木史」(1936 年)²⁾には，「白川の非常洪水に際しては，一部の洪水を坪井川に分流せしむると共に，坪井川の増水には之と反対に白川に排除せしめんが為め，石塘の堤脚に暗渠を造り，之を埋没せしめ置きたがるが如く，幕末における大洪水時に際し，端なくも石塘の堤脚より放水在りしにより，之を採求して其事実を知るに至りしといへる。」と，記されている。

一方「熊本市史」(1917 年)³⁾には，石塘の築堤の項で「築堤の法に工夫を凝らし，一方白川の水量大なる場合には水を白川に通じ，二川の水量をして平均せしむる方を案出したり。之を今に伝えられたる水越なり。」と記

されている。

古文書によれば，「籐公偉業記」¹⁾では水取磧を有する石積護岸，「明治以日本土木史」²⁾では堤脚に暗渠を有する石積護岸であり，「熊本市史」には水越(乗越堤)を有する石積護岸と記されている。しかし，石塘の具体的な構造，機能を記している文書は上記以外に発見されていない。

熊本市の治水安全度を考える上で要衝とも言える石塘の構造および流水制御機能および白川，坪井川および井芹川の河道変遷については絵図や古文書を中心とした考察に止まり，河川工学的に十分な検討は成されておらず不明な点が多い。

ところで，我が国では第二次世界大戦後に治水施設の整備が急速に進められたが，これらの事業はコンクリートや鉄を多用した近代工法であり，我が国の気象条件，地形・地質条件，土地利用形態の中で実践された伝統工法は次第に用いられなくなった。

しかし近年，川をめぐる情勢に大きな変化が生じてきた。自然環境に配慮し，住民にとって親しめる川が求められている。その一方で，異常気象の多発により，想定を越えるような災害に当たってもその被害を最小限にすべき対応が求められるようになった。その中で，伝統的河川工法には霞堤，轡塘，乗越堤および野越しに代表さ

れる超過洪水対策に繋がる工法が開発され、自然地形に対する合理性、長年月の環境変化に対する順応性などから高く注目される。

伝統的河川工法である石塘を、歴史学的考察に加えて河川工学的立場から実証的な機能評価を行なうことは、今後の河道計画に活かす上で重要なことであると考えられる。そこで、本研究では、古文書や絵図の文献調査に加えてレーザ・プロファイラーのデータを基に地形解析を実施し、白川、坪井川および井芹川の旧河道を検討する共に、縮尺 1/250 の水理模型実験を実施して石塘の水位制御、河床せん断応力に着目した石塘の水理機能について考察した。

2. 白川、坪井川および井芹川の旧河道

小出博は、「日本の河川-自然史と社会史-」(1972)⁴⁾の中で白川の河道について

「・・・白川は緑川とともに、熊本平野の北側と南側を平行して東西に流れている・・・1つの共通した平野の中を並行して別々に流れる河川は、西南日本では熊本平野の白川と緑川だけである。」と記し、更に続けて、

「・・・現在の白川の流路は地形的にいかにも不自然な流れである。ことに平田町（蓮台寺）で直角に曲がり、南流から西流に変わるあたりで、このことが強く感ぜられ、この流路が自然にできたものかどうか疑問を抱かせる。しかしこれは疑問に止まって、それ以上の進展はいまのところ望めない。」と述べている。

また坪井川についても元は白川に合流しており、加藤清正が熊本城築城の際に、城をまもり、水運を考えて坪井川を付け替えたとしている。しかしこれらは確たる文献、資料があるわけではないと記している。

こうした推論⁵⁾はいくつかあるが、本研究では現在残されている絵図、微地形から白川、坪井川および井芹川の旧河道を検討する。

2.1 古文書および絵図

松本⁶⁾によれば、日本での国絵図作成は古代律令国家の成立とともに成され、江戸時代に幕府の命によって作成された諸国の国絵図には4種類あると述べている。熊本大学付属図書館に保管された細川藩の永青文庫には、上記の慶長・正保・元禄・天保の年代を冠した国絵図が保存されている

図-1は1605年に徳川幕府の命により加藤家に作らせた「慶長国絵図」⁷⁾の一部である。この絵図には、熊本城、郡名、郡高、田方面積、畠方面積を朱書している。また、国堺は黄土色、郡堺薄紫色に近い。図より、白川は本庄付近で大きく北に湾曲し、その頂部で坪井川に合流後、本山付近で現在の河道に戻る。

井芹川は熊本城の西側を通り、古町のあたりで大きく西に曲がり、高橋方面へ流れている。現在の河道と大きく異なる点は白川が北に蛇行して熊本城に迫り、その直南、現在の熊本市付近で坪井川と合流して流れていること、井芹川が現在の花岡山の西側ではなく、東側を通る河道となっていることである。

図-2は、幕府が正保元年(1644年)に加藤氏に代わって細川氏に作成を命じた「正保国絵図」⁷⁾の一部である。図中には郡界を白色の波線で示し、郡名を記している。

図-1の「慶長国絵図」に比べ、図-2の「正保国絵図」では熊本城付近にあった白川の蛇行は見られなくなっており、直線化されていることが分かる。また、図-1および図-2に共通する蓮台寺から川尻に南下する郡界は、小出博により指摘された蓮台寺で直角に曲がり、南流から西流に変わる不自然な流れと対応している。

郡界は、川を郡境とする場合が多く、白川の旧河道は蓮台寺から川尻に向かって南流し川尻で緑川に合流していた可能性を有している。この様に解釈すれば川尻の地名は白川の末端を意味することが窺われる。この点については、さらにレーザ・プロファイラーのデータを地形解析し、後述する。

図-3は、「熊本城下絵図」(1819年以前)⁹⁾の一部を示したもので、熊本城下における街路、武家屋敷、寺社、町屋の配置状況を概括的に知ることが出来る。図中の波線は、後述のレーザ・プロファイラーのデータから地形高の低い部分を白川旧河道と見立て、図中に落とした線である。図の波線上では、田圃や川掘りがある。

なお、富田¹⁰⁾は、「慶長国絵図」と郡界を基に、熊本城周辺で大きく湾曲した白川旧河道を推定しており、レーザ・プロファイラーから推定された図中の波線に近い形状であることが認められた。

2.2 地形解析

レーザ・プロファイラーから得られたデータを地形解析し、地形の起伏から白川、坪井川および井芹川の旧河道を検討する。

図-4は熊本平野の等高線をメートル単位で示す。平野の北側に白川、南側に緑川が東から西に向かって流れている。地形高は、全般的に北東から南西に向かって低くなっており、地形は大まかに東西方向で1/600、南北方向に1/400の勾配である。

また、白川の右岸側と左岸側の堤内地の地形高を較べれば相対的に左岸側が低くなっており、城下町は右岸側に当たり、左岸側に較べて相対的に治水安全度は高いことが分かる。さらに、絵図によれば、白川の左岸側には長六橋周辺を除いて、人は余り住んでおらず、城下町に沿った右岸側の多くは石積護岸で防御されている。

図-5は白川が南流から西流に急激に向きを変える蓮台寺から川尻の間の等高線を示す。白川は天井川である。



図-1 慶長国絵図



図-2 正保国絵図



図-3 「熊本城城下絵図」の一部 (1819年以前)

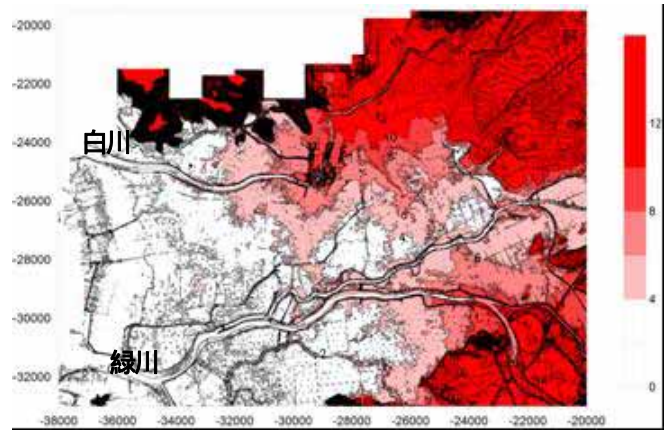


図-4 熊本平野の地形高

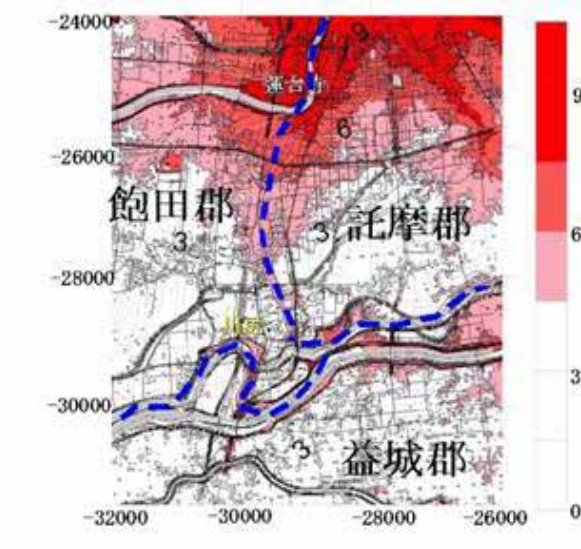


図-5 旧流路と地形高

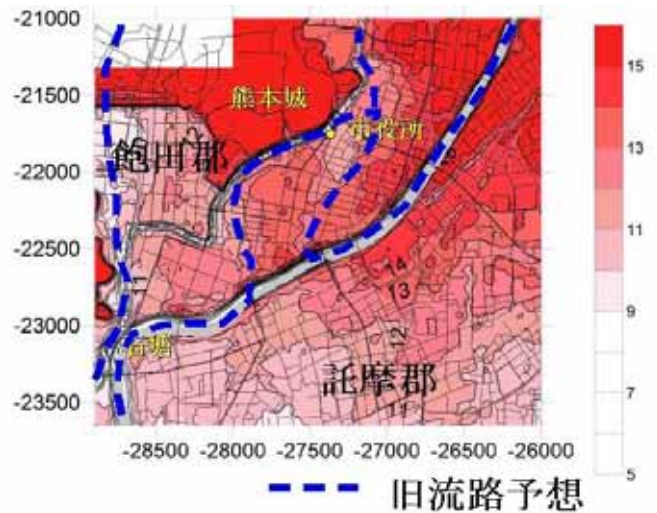


図-6 旧流路と地形高

白川は洪水時には阿蘇の新規火山灰“ヨナ”を大量に含んで(昭和28年6月26日水害では試算された体積土砂濃度10%)流下し、下流域は氾濫土砂によって自然堤防が形成されるために天井川と成りやすく、堤防周辺で地形が高く、堤防から離れるに従って低くなる傾向がある。

図より地形は蓮台寺付近で高く川尻に向かって低くなることが読み取れる。また蓮台寺付近を起点とすれば、東西方向の勾配が約1/750であるに対して、南北方向の勾配が約1/350であることから南北方向の地形勾配が大きい。また、図中の波線は「正保国絵図」の郡界を示す。

図中の郡界線は、地形高の峰部に当たることが分かる。白川の右岸は飽田郡、左岸側は詫間郡であり、緑川の左岸側は益城郡と考えれば、川は郡界として利用されていた可能性が高い。また、菊池川の高瀬と緑川の川尻は近世においては肥後における代表的な年貢米等の物資集積港であった。

図-6は現在の熊本市の中心市街地の地形高を示す。図中の波線は「慶長国絵図」から白川が本庄付近で大きく北に湾曲し、その頂部で坪井川に合流後、本山付近で現在の河道に接続していることを参考に、地形高の低い箇所から旧流路を推定したものである。また、この河道湾曲部を図-3の「熊本城下絵図」にプロットしたのが図中の波線である。図より大きく湾曲した波線上の旧流路に着目すれば、現在の熊本市役所付近で最も地形高が低く、白川と坪井川が合流していた可能性が高く、さらに図-3の「熊本城下絵図」からその上流側では田圃が、さらにその下流側では川掘りが見出される。上記より、白川の旧流路は、図-6の波線で示された可能性が高く、清正時代にこの湾曲部の括れ部分を短絡させたものと解釈出来る。

3. 石塘の機能評価

「明治以日本土木史」(1936年)²⁾によれば、「清正が築造せる石塘は、白川と坪井川とを分離せる延長百八十間の石堤にして、其白川筋には水制を配置し、又此部の坪井川筋に石塘堰と称する延長十六間、幅三間幅の石堤を築きて坪井川の水量を調節し、之より各水門を設けて灌漑用水を引用せり。」とある。

白川の石塘は加藤清正による熊本城下町形成の一環として図-3に示された古町の東端、現在の二本木地区(白川河口より上流10.5 Km -10.9Kmの区間)に当たる祇園橋から白川橋の辺りに延長180間(約355m)の石積護岸で補強された背割堤と解釈されている。

しかし、「慶長国絵図」からも明らかな様に白川と坪井川は各々単独に流れており、その後の「正保国絵図」では、坪井川は白川から切り離し坪井川に合流させ、「熊本城下絵図」でも明らかな様に古町の東端で敢えて白川に近づけた絵図となっていることが分かる。

背割堤を「合流点を下流へ移動することによって流況の異なる両川の合流を円滑にするため、両川の干渉部をこの堤防によって分ける」¹¹⁾と定義すれば、白川の石塘はこの定義に適合しないことから背割堤とは見なされない。

3.1 石塘の水力模型実験

模型水路は、現況河道に基づく縮尺1/250の無歪模型として製作した。対象地区は白川橋から泰平橋(白川河口より上流10.6 Km -11.2Km)の600m区間である。模型

水路は、長さ480cm、幅240cm、縦断勾配1/1000の台に設置された。白川は天井川であることから、坪井川に較べて平均河床高は約2m近く高い。

本実験では石塘の構造は「籐公偉業記」(1832年)¹⁾および土木学会編「明治以日本土木史」(1936年)²⁾が主張する暗渠説、「熊本市史」(1917年)³⁾が主張する越流堤説の2ケースに、どちらも閉め切り越流無しの現況堤防のケースを含めた3ケースを対象とする。

計測位置を図-7に示す。石塘はL-2(10/750m)~L-7(10/850m)の100mと仮定し、Case2、Case3では、L-5(10/830m)~L-7(10/850m)の20mの区間にそれぞれ暗渠、越流堤を設置する。暗渠は河床近傍に高さ2mに固定し、長さを20m、33.25m、50m、100mの4種類とした。乗越堤は、河床から高さ3m位置から越流させている。

河床の粗度係数には現況河道の粗度0.027に対して、フルードの相似則から模型粗度0.011に設定した。

洪水流量は、白川においては洪水流量の規模が確率年10年、30年および150年(基本高水)に当たる1500m³/s、2000m³/s、3000m³/sの3ケースに設定した。坪井川の洪水流量については、坪井川改修総体計画書(昭和37年10月作成)¹²⁾をもとに、対象区間の流量を算出した。

基準点は白川河口から10.6km地点を選定し、基準点水深は一次不等流計算によって求められた確率規模別の水深を参考に設定した。坪井川の基準点水深は等流水深を用いた。

流速測定には非接触型の粒子画像流速測定法(PIV)と点計測である二成分電磁流速計を併用した。実験条件を表-1に示す。なお、座標系は流下方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸とし、計測線L-8の白川左岸を原点に取る。

3.2 実験結果

図-8は、石塘が暗渠を有する場合と乗越堤を有する場合の洪水流量の変化に対する白川から坪井川への分岐流量を示す。なお、 Q (m³/s)は分岐流量である。乗越堤に比べ、暗渠のほうが白川から坪井川への分岐流量の大きいことがわかる。また、暗渠および乗越堤の何れのケースにおいても洪水流量の増大に伴って分岐流量は増大するが、洪水流量に対する分岐流量の比は、両者で大きく異なり、暗渠では若干減少傾向にあるのに対して乗越堤では増大傾向にあることが分かる。坪井川は白川に較べて河床が約2mほど低いことから、乗越堤においては越流水深が坪井川の水位に影響されないのに対して、暗渠では洪水流量の低い段階から白川と坪井川の相互干渉が強く、相対的な分岐流量の変化は乗越堤に較べて小さくなっている。

図-9は、石塘の暗渠幅を変化させた場合の分岐流量の変化を示す。直線河道からの横越流量は越流量係数に難はあるもののDeMarchiの式、Forchheimerの式によつ

表 - 1 実験条件

Case No.		確率年	白川			坪井川				
			Qm(l/s)	Qp(m ³ /s)	基準水深(m)	Qm(l/s)	Qp(m ³ /s)	基準水深(m)		
Case1	現況河道	1	10	1.52	1500	5.412	0.1	100	3.600	
		2	30	2.02	2000	6.399	0.15	150	3.034	
		3	150	3.03	3000	7.911	0.2	200	2.374	
Case2	暗渠 (幅 8 c m)	1	10	1.52	1500	5.412	0.1	100	3.600	
		2	30	2.02	2000	6.399	0.15	150	3.034	
		3	150	3.03	3000	7.911	0.2	200	2.374	
Case3	越流堤	1	10	1.52	1500	5.412	0.1	100	3.600	
		2	30	2.02	2000	6.399	0.15	150	3.034	
		3	150	3.03	3000	7.911	0.2	200	2.374	
Case2'	暗渠幅変更	1	13.3cm	30	2.02	2000	6.399	0.15	150	3.034
		2	20cm							
		3	40cm							

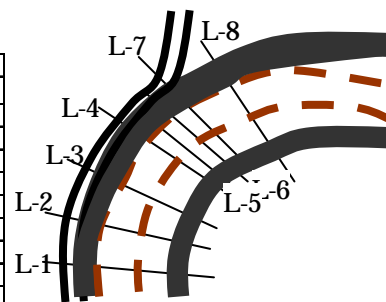


図 - 7 計測位置

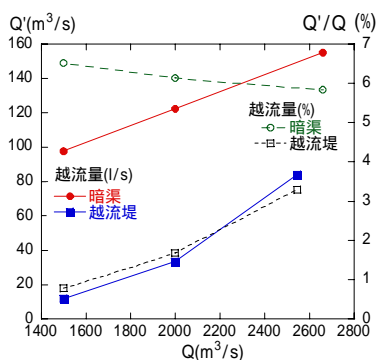


図- 8 洪水流量に対する分岐流量の変化

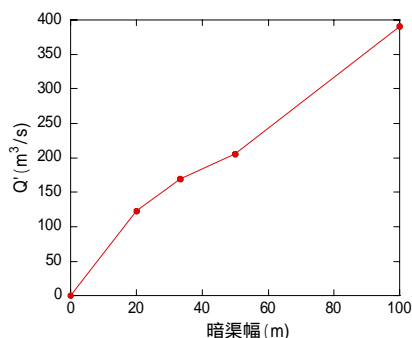


図- 9 暗渠幅に対する分岐流量の変化

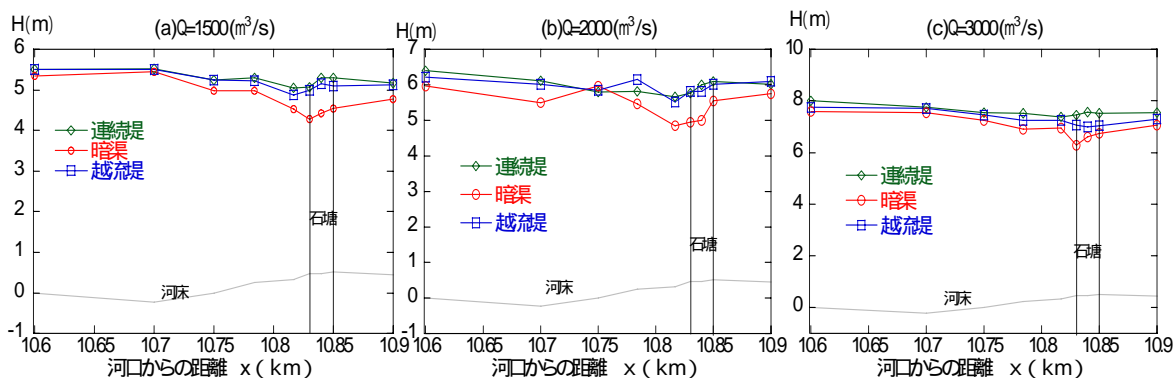


図- 10 河道中央の水位変動

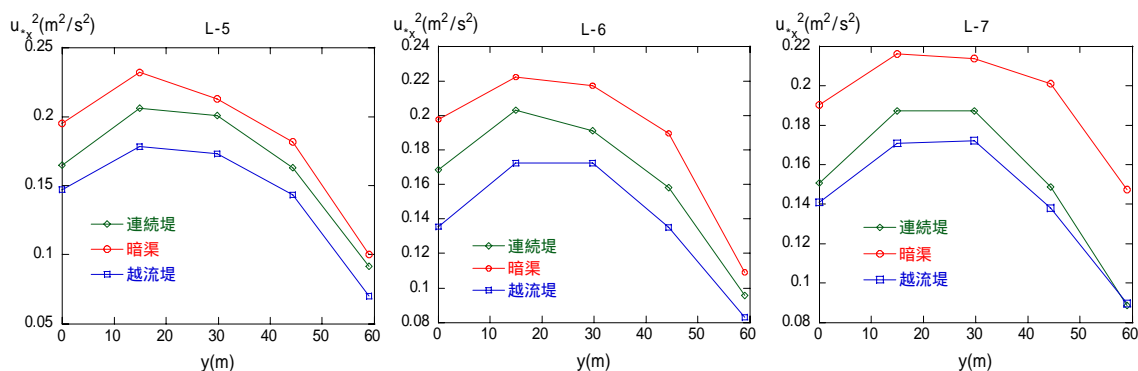


図- 11 主流方向掃流力の横断方向変化

て良好に表現され越流幅と比例関係にあるが、暗渠を有する石塘においても湾曲部や白川および坪井川の相互干渉を受けながらも分岐流量は近似的に暗渠幅と直線関係にあることが分かる。

図-10は、河道中央部における水位の縦断方向変化を

示す。分岐流量の無い連続堤の水位に対する低下は、越流堤に比べ暗渠のほうが顕著に見られ、石塘の下流端近くで水位の低下は最も著しい事が分かる。これは先述した越流堤に比べ暗渠のほうが分岐流量が大きいことが主因である。

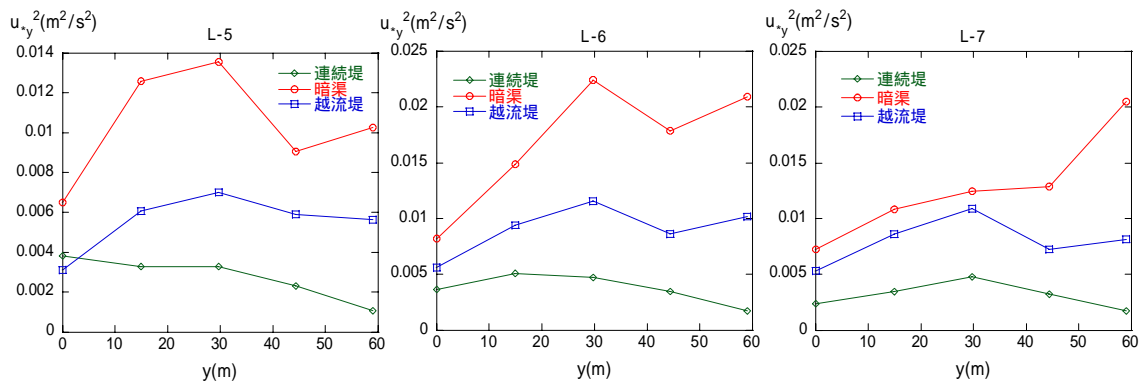


図-12 横断方向掃流力の横断方向変化

流下方向および横断方向の掃流力は、Manning の抵抗則を用いれば次式によって表される。

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = u_{*x}^2 = gn^2 U |U| / h^{1/3}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = u_{*y}^2 = gn^2 V |V| / h^{1/3}$$

ここに、 τ_{bx} および τ_{by} は、主流方向および横断方向の掃流力、 U および V は主流方向および横断方向の平均流速、 g は重力加速度、 n は Manning の粗度係数、 h は水深である。

図-11、図-12 は、石塘設置箇所である計測線 L-5、L-6 および L-7 における掃流力の横断分布を示す。

連続堤、暗渠および越流堤における主流方向の掃流力の横断分布は相似な分布形状を有し、河道中央より左岸側で大きく、右岸側に近づくに従って小さくなる傾向を有している。これは、現況河道では右岸側の堤防では凹凸が比較的大きいため遠心力二次流がそれ程大きく発達しなかったためであると考えられ、主流方向の掃流力は、暗渠で最も大きく、次ぎに連続堤、越流堤が最も小さいことが分かる。

横断方向の掃流力の横断分布は、連続堤では右岸方向に減少傾向を示すのに対して、暗渠のケースでは右岸に近づくに従って増大傾向を有する。また、横断方向の掃流力は、暗渠で最も大きく、次ぎに越流堤、連続堤が最も小さいことが分かる。

暗渠の存在は河床付近での流速を増大させ横断方向の掃流力を右岸近傍で急激に増大させることが認められる。

水理模型実験から、暗渠を有する石塘は、従来指摘された治水安全度を向上させるものとは見なされず、むしろ低下させる働きのあることが認められた。

白川では、清正時代に造られた旧馬場楠堰が湾曲部に斜め堰として建設され、その取水口は湾曲部外岸に取り付けられ、その下流には鼻繰り井手¹⁴⁾が存在する。

湾曲部外岸からの取水は、平水時に水位が低下しても比較的安定した取水が可能であり、土砂の混入も少ない。

そのため、湾曲部外岸に暗渠を設けた主因は、平水時に坪井川に流量を増大させ利水機能を高めることにあり、石塘は利水施設であることが示唆された。

4. まとめ

文献調査から、「籐公偉業記」および土木学会編「明治以前土木史」から石塘の下部に暗渠を有していた可能性が高い。しかし、石塘は河道湾曲部外岸に建設されており、さらにその下部に暗渠が存在する場合には、水位の横断分布は湾曲部内岸に較べて外岸で相対的に水位が低下し、河床近傍で大きな流れおよび掃流力が発生し、堤防根付部の洗掘を促進することが認められた。即ち、石塘は、従来指摘された治水安全度を向上するのではなく、むしろ低下させる働きのあることが認められた。そのため、湾曲部外岸に暗渠を設けた主因は、平水時に坪井川に流量を増大させ利水機能を高めることにあったことが推論された。

また、「慶長国絵図」と「正保国絵図」の比較、レーザ・プロファイラーのデータを基に地形解析を実施し、白川、坪井川および井芹川の日河道を検証した。特に、白川が蓮台寺を南流し川尻付近で緑川に合流していた可能性が高いことが示された。

参考文献

- 1) 鹿子木量平維善：籐公偉業記、1832(『肥後文献叢書第二巻』所収。)
- 2) 土木学会編：明治以前日本土木史、岩波書店、pp.167、1936
- 3) 熊本市：熊本市史、1917
- 4) 小出博著：日本の河川 自然史と社会史、東大出版界、1970
- 5) 山中進、鈴木康夫編著：肥後・熊本の地域研究、大明堂、1992
- 6) 松本壽三郎：肥後慶長国絵図、谷川健一編、加藤清正-治水と築城-、富山房インターナショナル、2006
- 7), 8), 9) 熊本市：新熊本市史(別編第1巻絵図・地図)、2003
- 10) 富田統一：熊本の三河川と城下町の形成、くまもと市史研究、第11号、pp.1-20、2003
- 11) 高橋裕：河川工学、東大出版界、1990
- 12) 熊本県：坪井川改修総体計画書、1962
- 13) 室田明、福原輝幸、鋤田義浩：横越流堰の越流量の評価に関する研究、土木学会論文集、題363号II-4(ノート)、1985
- 14) 大本照憲：加藤清正の遺構「鼻繰り井手」の流水制御、水工学論文集、第42巻、pp.283-288、1998

(2010.4.8 受付)