

加藤清正による洪水制御法「轡塘」について — 浜戸川島田地先の轡塘を事例として — On Flood Control Works by Kiyomasa KATO

大本照憲**、矢北孝一***

by Terunori OHMOTO, Koichi YAKITA

Abstract

In Kumamoto Prefecture, there were many flood protection works such as diversion structures, levees and groynes 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 proof as to how they play a role in flood protection. In this paper, Kutsuwa Domo commonly employed by Kiyomasa, which entails the widening a river at the confluence or rushing points to weaken floods, was investigated from the viewpoint of historical river regulation methods by applying a hydraulic model to a Kutsuwa domo located at Shimada district in the Hamado river. The model scale was 1/150. The results of this paper showed that Kutsuwa domo was originally created by Kiyomasa, different from Kasumi bank (open levee) and effective works for floods exceeding the design limit.

1 はじめに

『明治以前日本土木史』¹⁾によれば、乗越堤を日本で本格的に採用したのは加藤清正が最初であることを示唆しているが、乗越堤にも増して清正独特の洪水制御工法として注目すべきものに轡塘(くつわども)がある。轡塘は、川の一部区間を大きく拡幅させ、異常洪水時にはこの拡幅部に河道内遊水地としての機能を持たせたことが予想されているが、その流水制御機能について実証的研究は成されておらず、不明な点が多い。

古文書^{2,3)}によれば、轡塘は近世における肥後の河川に対して一般的に用いられた洪水制御工法であることが記されており、最も著名なものとして緑川と御船川の合流部に築堤された桑鶴の轡塘がある。また、『明治以前日本土木史』¹⁾には菊池川沿いの高瀬町(現玉名市)大橋より下流8ヶ所に轡塘があったとされているが、現在は全て撤去されており、場所の確認はされていない。

比較的保存状態が良いものに浜戸川島田地先の轡塘がある。緑川の支川である浜戸川流域は、江戸時代には下流部で湾曲が甚だしく、勾配が緩慢で水位が12尺(3.6m)以上に達すると越水、破堤を繰り返す治水安全度の低い地帯であったことが記されている¹⁾。そのため、文久2年(1862)に兩岸の堤防を堅牢に修築したのであったが、同年の洪水により数十カ所において破堤を生じた。そのため、当時廻江郷の総庄屋である石坂偵之助および取締役甲斐甚九郎は、治水策を案じ水位10尺(3m)に達

すれば越水可能な石造乗越堤を3ヶ所設けたとされている^{4,5)}。以上のように、肥後熊本では江戸時代を通じて轡塘を多用していたことは文献等から推察され、現存する桑鶴の轡塘や島田地先の轡塘は貴重な遺構であり、また轡塘内の遊水地は生物の生息環境として良好な場所ともなっている。

肥後の伝統的河川工法である轡塘を、歴史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うことは、今後の河道計画に活かす上でも、また遺構の価値を将来に伝承する上からも重要な事であると考えられる。

本論文では、菊池川、緑川および浜戸川における轡塘の歴史的経緯を調査するとともに、浜戸川島田地先の轡塘を事例として、轡塘の治水機能を検証するために縮尺1/150の水理模型実験を実施し、轡塘による流れおよび流砂の制御機能について検討を行った。

2. 1 轡塘

轡塘(別名:久津輪塘)の語源は、轡(口輪)をもって暴れ馬を制御するが如く洪水を治めたとの解釈から呼称されたとする説⁴⁾があるものの、その由来は明確では無い。著者が調べた範囲では、轡塘は鹿子木量平維善による「藤公遺業記」²⁾の説明が最も古く、注釈として「塘を築かずして水川を殺ぐ所なり」の文面が加えられている。久津和土井は南部長恒による疏導要書(1834)⁶⁾の中にも見られるが、その語源には触れられていない。真田秀吉は「藤公遺業記」の注釈に基づき『明治以前日本土木史』¹⁾において「轡塘とは霞堤の称にして」と定義し、轡塘は霞堤に類似のものとして扱っている。しかし、後述するように轡塘はその全てが不連続堤の形を取っていないため、轡塘を霞堤と同一視することは適切では

Keyword:治水、加藤清正、轡塘、水理模型実験

** 正会員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科
(〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

** 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科

ない。

最近、『河道計画の技術史』⁷⁾(1999)において山本は、清正が明の時代の総理河道職を4度歴任した潘季馴(1521-95)の治水技術を修得し肥後の川に轆塘として適用したのではないかと推論している。森山⁸⁾は、清正が肥後に入国する以前には主計頭として和泉国大鳥郡(現在、大阪府堺市)の代官を務めた実績を持ち、秀吉政権下で海外渡海朱印状の交付が大名に許されたのは清正のみであるという事実から、財政強化策として清正が新田開発と同時に外国貿易を重視したことを実証している。山本が指摘した様に、中国の治水技術に関する情報⁹⁾を入手していた可能性は十分にあると考えられるものの、その証拠となる文書は発見されておらず、また後述の菊池川および緑川における轆塘に技術的進展が見られることから、肥後の地において轆塘は発想されたことが予想される。

2.2 菊池川の轆塘

菊池川¹⁰⁾は、図-1に示す様に阿蘇外輪山北西部の深葉山地(標高1041m)を水源とし、盆地状の菊池平野で迫間川、合志川、岩野川等の支川を合わせて流路を西北に取り、山間部の山鹿市に入って支川の和仁川、江田川等の支川と合流して玉名平野に出て、玉名市において支川の本葉川、繁根木川を合わせて有明海に注ぐ。流域面積996km²、幹線流路延長71km、山地部の面積は流域の71%を占める熊本県最北端の一級河川である。

戦国・江戸時代の高瀬町(現在の玉名市)は、菊池川の水運を利用した物流の集散地であり、流域内で収穫された米やその他の農産物等を大阪へ回漕するための重要拠点であった。このため菊池川の治水構想は、高瀬、御蔵、御茶屋および大野牟田(滑石、小浜等)を洪水から如何に防御するかということに集約されていた。このことは、1855年(安政2年)に菊池川絵図方御用懸の井上英右衛門によって作成されたとする「菊池川全図」¹¹⁾からも予想される。同図によれば、菊池川河口より上流14.5kmに位置する八の字堰で有名な白石堰までの区間に、石刻が右岸に14基、左岸に17基、杭刻が右岸に47基、左岸に53基が築造され、最も長い石刻で48間、杭刻で114間であることが判明した。また、「明治以前日本土木史」によればこの区間に轆塘が8ヶ所築造されていた

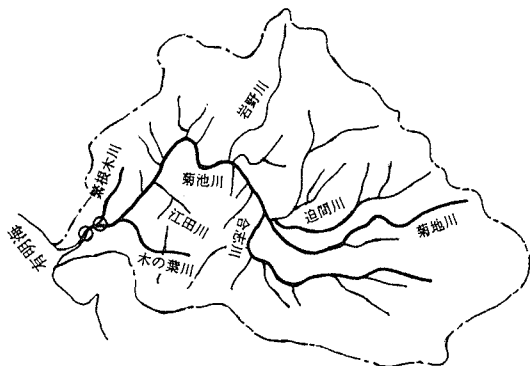


図-1 菊池川水系の概略

ことが記されているが、どの場所に在ったかについては示されていない。「疏導要書」⁶⁾には、木葉川が菊池川に合流する地点に設けられた久津和土井に関して以下の記述がある。

「此川(菊池川)山川の急流にて、降雨の節の水嵩太く、高瀬邊に落集り、水害多きにより、清正公水理を考えられ、久津和土井と云ことを案じ出し、此邊所々に築置れしと世に云傳ふ、其趣意を考えれば、右の如く暫時に漲り来る水にて、海邊を隔り又川の曲屈もありて、此邊に落集り、水滞して引かぬるにより、川の左右の土井筋五六町間に、一町又は五六段幅づつ土井を築捨にして、図の如く喰違いにし、洪水の節はこの築捨の間より山際の低みの所、数町の内へ逆水を湛え、出水一時に引落さる様に仕掛たる物也、尤築捨の所、水の入口には、石垣を築き戸立を拵らへ、水の洗ざる様に仕掛け、川水太くなるに随ひ、漸々に流れいるやう水道を掘りたる物にて至て功の入たる仕掛と見ゆる也、惣じて平生は此水入の地面に田畠を仕着て、出水寡き時は随分順作なる様計らひし物なり、右の如く場所を川の上下数ヶ所に設けることによりて、降雨の節一時に落下る水右の久津和土井にて湛へ、数日にして漸々に引落すこと故、格別の水害はなき由也。」(出典:「疏導要書」)

上記の文章より明らかなように、「疏導要書」では菊池川と木葉川の合流点処理を久津和土井として紹介しているが、後述の桑鶴の轆塘とは堤防形態が大きく異なり、洪水流量の低減を目的とした乗越堤を有する遊水地であると見た方が理解が容易となる。そのため、「明治以前日本土木史」において真田秀吉¹¹⁾は、轆塘を霞堤と同一視していたことから、この地先の堤防を轆塘とは考えていなかったことが推察される。

「菊池川全図」および「玉名市史」¹²⁾の付図を調べたところ、小田地先から梅林地先にかけて3重の轆塘(別名:銅鶴塘)、河崎地先、桃田地先、および大濱・小嶋地先に3重の轆塘と見られる堤防形態が認められた。その中の一例として、高瀬町の対岸にある桃田地先の轆塘を図-2に示し、その説明を「藤公遺業記」から引用すれば以下の通りである。

洪水落場之事

「石塘之内久鳥山の方に、十八間洪水落之所有、塘根敷石の上に土手築立、洪水田中に溢れし時、此所を破り水を落備也、其譯を問ふに、菊池川古は此所の様に流れ来しを、桃田千田河原にて築留、今の河筋流し給ふ故、高瀬、御蔵、御茶屋(天正十六年迄は御蔵御茶屋無し)及高瀬町人家共に漂没せん事を御思惟有て桃田千田河原の川塘床に敷石を築、其上に土手を築立、御蔵漂没の洪水の時は、其土手を破り川水を殺き、水害を救う御備を付置れし由、然る時は新地に溢れ入石垣十八間の水落所より海に落す水理之由」(出典:「藤公遺業記」)

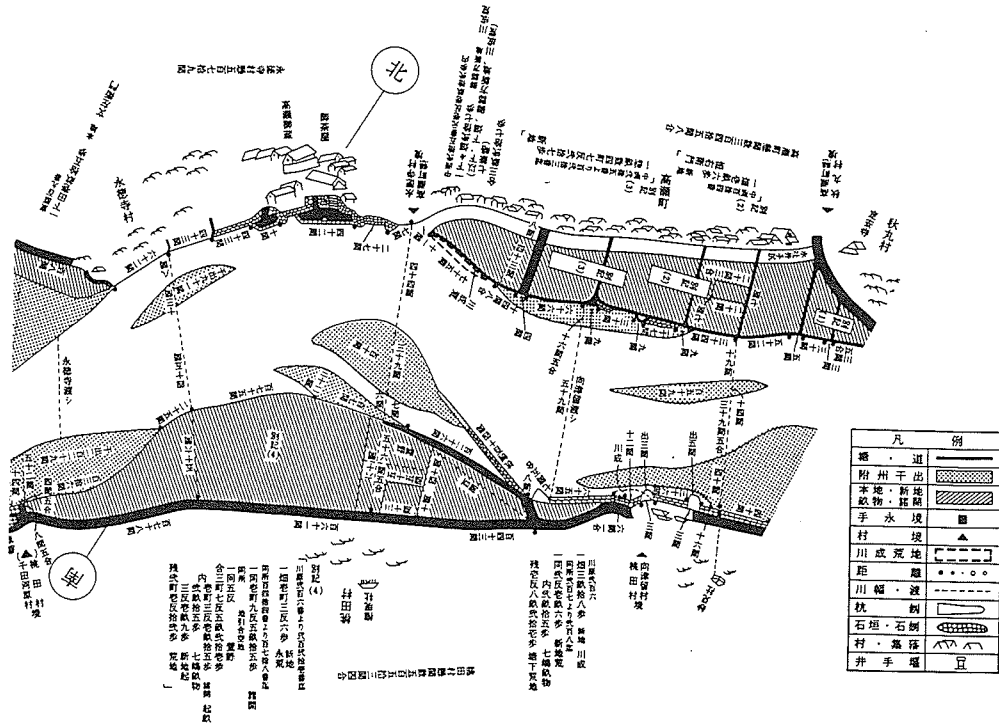


図-2 桃田地先の轡塘 (出典：『玉名市史』)

「藤公遺業記」では、菊池川流域において最重要拠点である右岸側の高瀬町、御蔵、御茶屋を洪水から守るために、左岸側の桃田地先には長さ18間の石造乗越堤を築造し、その上に土手を築き、異常洪水時にはこの土手を破り、乗越堤から越流・氾濫させて壊滅的被害を回避していたことが示されている。

桃田地先の堤防形態が轡塘と考えられるのは、長さ126間の枝塘と本塘とで造られた形状が半円形の尻無塘のためである。この枝塘は、濁流と化した洪水流が乗越堤を直撃することを回避するための流向制御機能と環状減勢効果を有し、さらに、流砂を河川敷にて堆積させ微土を含んだ水のみを乗越堤から越流させる機能を有することが認められる。

現在の河川工学では、本堤からほぼ直角方向に河道内に設けられた堤防は横堤と称され、河道内遊水効果、低水路の固定、高水敷の土地利用を高める機能があるとされている¹³⁾。枝塘は、横堤ないしは副堤と形状および機能において一致する部分もあるが、枝塘を乗越堤との組み合わせによって洪水防御を考えている点で大きく異なる。また、菊池川に見られる轡塘は、堤内地に洪水流を引き入れる施設としての機能が主であり、河川湾曲部の内岸に形成される自然砂州を利用する形を取っており、川幅を意図的に大きくしたものではなく、後述する緑川の轡塘と較べて形状および規模が異なる。

2.3 緑川の轡塘

緑川水系の概要を図-3に示す。緑川は、阿蘇外輪山の南側に当たる熊本県上益城郡清和村の三方山(標高

1578m)を水源とし、上流域では勾配1/250で高峻な山岳地帯を流下し、中流域では1/600~1/1000、下流域では1/2500~1/3000の勾配を有し、右支川の御船川、加勢川、天明新川および左支川の釈迦廻川(旧名:佐俣川)、浜戸川と合流して有明海に注ぐ流域面積1100km²、幹線流路延長76kmの一級河川である¹⁴⁾。

「藤公遺業記」²⁾によれば、清正は甲佐町においてそれまで平行に流れていた緑川と佐俣川を1本に纏めるために新川を開削し、旧緑川を農業用水路として利用し、甲佐町から白旗村に至る区間の新緑川筋の右岸側には5ヶ所の遊水地を設け、合流による負荷を軽減させていたことが記されている。また、城下町を洪水から守るために加勢川の右岸に清正堤を築き、加勢川の洪水流量を低減させるために木山川に合流していた御船川を緑川に付替え、その右岸側に大名塘を築かせている。さらに、新たに御船川と緑川とが合流する地点は治水上の弱点となる



図-3 緑川水系の概略

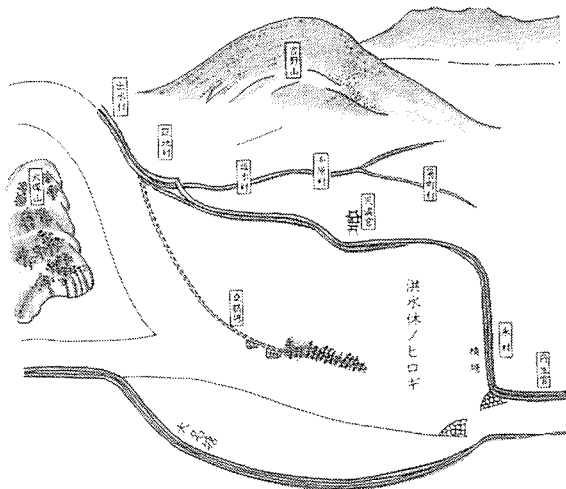


図-4 桑鶴の轆塘（出典：「籐公遺業記」の付図¹⁵⁾）

ことから、桑鶴の轆塘を築いたとされている。「籐公遺業記」の付図¹⁵⁾を図-4に示す。図中には本塘の内側に枝塘（桑鶴塘）が造られ、枝塘は下流端が欠落した不連続堤となっており、枝塘と本塘の間の河川敷は平水時には耕地として利用され、洪水の氾濫する場合には欠落部から漸次この部分に浸水する形を取り、洪水の流勢を弱める機能を持たせている。また、枝塘により合流部の川幅を狭めて主流速を高めたことにより、土砂輸送能力が高まり、土砂の堆積が抑えられ、流路の安定化において合理的であることが認められる。さらに、轆塘の出口には兩岸より水制を突出させて河幅を狭め、下流域への洪水負荷を抑えると同時に、轆塘では氾濫しやすい形を取っていることが分かる。

ところで、桑鶴の轆塘の主目的は桑鶴塘と本塘で囲まれた高水敷に対して遊水地としての機能、即ち洪水流量の低減効果を狙ったものであることが、下記の鹿子木量平維善による「籐公遺業記」²⁾に説明されている。轆塘の遊水効果を見積もるために、「籐公遺業記」の付図に較べてより詳細な江戸末期の作とされる図-5の肥後藩絵図¹⁶⁾、建設省熊本工事事務所所蔵の航空写真および縮尺1/1000の地図を基に算出した遊水地面積を図-6に示す。桑鶴の轆塘の遊水面積を106ha、堤防高を約3mに見積もれば、貯水容量は318万 m^3 となる。また、昭和41年に緑川の遊水地に関する現地踏査を行った本田彰男¹⁶⁾によれば、緑川と御船川の合流点より上流に9ヶ所の轆塘が在り、その遊水面積が54町であったことが報告されている。堤防の高さを3mに仮定すれば、9ヶ所の轆塘による全貯水量は161万 m^3 となる。最大貯水量4600万 m^3 、満水時の水面面積1.81 km^2 、150年確率の洪水に対するピークアウト流量650 m^3/s の緑川ダムとの比較から分かるように、轆塘内の遊水地による洪水流量の低減効果に大きな期待は持てないことが予想される。

肥後藩絵図においては、轆塘の左岸本堤は連続堤として示されておらず、この一帯は現在の航空写真および現地踏査においても堤防の形跡が見当たらない。異常洪水時における破堤氾濫を防ぐ上からも、清正は轆塘の左岸

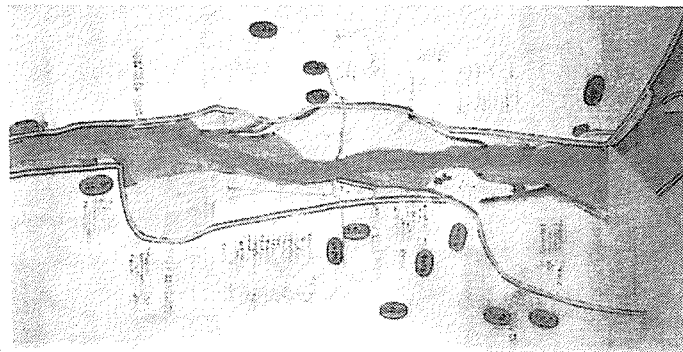


図-5 肥後藩絵図¹⁶⁾における桑鶴の轆塘

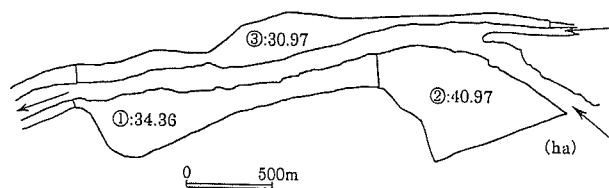


図-6 桑鶴の轆塘の遊水地面積

上流域から堤内地に氾濫させたのではないかと想像される。

2. 4 浜戸川の轆塘

浜戸川¹⁸⁾は、緑川の左支川に当たり、下益城郡中央町の山地（標高410m）を水源とし、小熊野川、錦郷川を合わせ、旧緑川となって本川の緑川に合流する流域面積124.5 km^2 、幹線流路延長28.2kmの中小河川である。江戸時代には下流部において湾曲が甚だしく、勾配が緩慢で水位が12尺(3.6m)に達すると越水、破堤を繰り返す治水安全度の低い河川であることが、「城南町史」¹⁹⁾に記されている。浜戸川の洪水による被災状況および災害復旧工事は、「城南町史」および「村誌富の里」²⁰⁾を参照すれば、表-1の様に纏められる。表から浜戸川流域の水害頻度が19世紀において特に高いことは、本田彰男¹⁷⁾によって纏められた白川、緑川、菊池川における年代別水害頻度表とも対応する。宝暦の時代を境にして水害が急増した形を取っているのは、藩主細川重賢による「宝暦の改革」²⁰⁾により災害調査が綿密となり慣用的表現である「前代未聞の大変なり」から具体的で詳細な表現への記述の変更があったことが要因である。この他に、水害の頻度が高くなった理由として鹿子木量平は「水理考」³⁾で水田開発のために轆塘を連続塘に変えたことによる河床上昇を挙げ、本田彰男¹⁷⁾は水利施設の数の増大から利水形態の発展を指摘している。また、表より浜戸川における水害の対処は、多くが原形復旧であり、特に1860年前後の数年においては毎年のように破堤が繰り返されていたことが読み取られる。

浜戸川流域の住民は連続塘のみでは洪水が制御できないことを身をもって知り、その代替案として注目したのが乗越堤を有する轆塘であったことが推察される。この

表一 浜戸川の水害史

年代	被災状況および災害復旧
文禄4年(1595)	6月2日洪水にて熊本一つになり、海の如し、是希代の大水也
寛文4年(1664)	5月8日大洪水
寛文9年(1669)	8月11日大風雨、大洪水
延宝元年(1673)	6月14日大雨洪水
享保4年(1719)	5月強風雨・洪水
享保14年(1729)	強風雨
享保17年(1732)	閏5月の豪雨
寛政8年(1796)	6月10日、辰年の大洪水で緑川、廻江川(浜戸川)の堤防が至るところで決壊。
同11年(1799)	春、寛政8年の洪水によって決壊した堤防のうち、出水塘・桑鶴塘は藩費で石垣を築造。その他、坂本・著町・両永・丹生宮・菰江・苅崎・碓江地先の川塘を各村懸かりで嵩上げ、吹付をし、石垣で補強。
文化7年(1810)	夏の豪雨による災害は、一村・一手永の力では復旧できず、工事緩急の順位を決めるために下益城郡中の惣庄屋が会談し、平坦地の杉島・廻江・河江の3手永から復旧工事に着手することを決定。
文政3年(1820)	夏の洪水によって廻江川(浜戸川)塘筋が方々で決壊。
同11年(1828)	5月21日の洪水では、六田村から鵜瀬村の間の塘筋の決壊435間は、6月4日から10日まで手永寄夫9761人によって復旧、半崩532間は、8月までに2130人をもって復旧。
天保元年(1830)	6月15日の洪水で、六田村川塘筋破損142間は、同月21日から7月2日まで、手永寄夫3420人をもって復旧。
同2年(1831)	6月の洪水によって廻江・六田・阿高・宮地・沈目・陳内・塚原・藤山・鵜瀬村の川塘493間が破損し、同月12日から水留をはじめ、手永寄夫21168人によって、8月8日に復旧。この浸水状況は永青文庫・天保二年六月洪水絵図に描かれている。
同3年(1832)	6月8日・11日の洪水によって、榎津・六田・才木・阿高・宮地・沈目・陳内・塚原・藤山・鵜瀬村の川塘590間が決壊し、同月15日から手永寄夫26142人によって水留をはじめ、8月28日に完工。
同4年(1833)	天保2年の洪水による廻江・木札村境の川塘決壊箇所は応急に廻塘としたのを、この年、2850人の出夫で元の塘株に復旧。廻江・清藤村懸かり川塘筋の耕地で洪水のため打穿となっていた箇所を、郡中寄夫20620人で埋戻。またこの年の5月の洪水で六田村から鵜瀬村までの川塘筋の決壊箇所220間を同月13日から手永寄夫2030人で着工し、15日に完了。
安政5年(1858)	洪水によって、才木村列6ヶ村の川塘筋131間余が決壊、279間余が半潰し、数百町が浸水したので、郡中寄夫42330人をもって復旧。
同6年(1859)	5月4日以降の洪水で、廻江川塘が大破(根切365間余、半切332間余)し、復旧に着手したが、構築中に120間が再破。郡中寄夫のみで短期間に復旧することが困難であったので、宇土郡に助力を求め、手永・村ごとに丁場割を行い、6月9日に着工。
万延元年(1860)	4月、島田村がかり廻江川の塘根切れ22間が現出夫6000人余をもって復旧。
文久元年(1861)	4月、洪水で六田村列5ヶ村にわたり川塘が決壊(根切101間余、半崩686間)し、郡中寄夫(現出夫約14000人)をもって復旧。
同2年(1862)	6月の洪水で六田村列7ヶ村の川塘が決壊(根切128間、半崩503間)して、廻江手永の力に及ばず、郡中寄夫(現出夫約17800人)をもって復旧。
同3年(1863)	廻江川の洪水の勢いを殺ぐために、六田村以下4ヶ村に水吐6ヶ所を伴う轆塘が新設され、寄夫66000人によって、翌年の春に竣工。

(注：大人1人役を3人と計算しているため、実際の人数は記載人数の1/3である)

轆塘は、高瀬町を洪水から守るためにその対岸の桃田地先において施工された実績を持ち、清正の伝説的偉功と鹿子木量平がその治水機能を高く評価し、清正の治水工法を藩に推奨したことが採用の理由であると見られる。

ところで、天保4年の災害復旧において「天保2年の洪水による廻江・木札村境の川塘決壊箇所は応急に廻塘とした」の記述から、破堤に伴って切所池即ち押堀(おしほり)が形成され、そのための応急処置として迂回堤防が造られたことが分かる。

押堀は、破堤時に決壊口が洗掘されて形成された切所

池のことで、江戸期には埋め立てるのが困難なため永荒地として放置され、破堤地の塘の修復も旧状に戻すことなく押堀を大きく迂回して修築するケースが多い。浜戸川では、この切所池と見られる内穿は埋立てられ、原形に復されている。伊藤安男²¹⁾によれば、「押堀は長い年月の間に自然消滅しても不自然な迂回堤防があれば、そこは破堤地であると考えてもよい。」との解釈がある。

緑川や浜戸川の轆塘は、押堀に対する応急処置としての迂回堤防とその形状は類似しているが、洪水を制御するために意図的に造られたその当時においては根拠的処

置であり、治水理念が異なるものと考えられる。浜戸川の轡塘は、『明治以前日本土木史』¹⁾にその形状、大きさについて以下の様な説明がされている。

浜戸川は緑川の左支にして、下流部は水路甚しく迂曲し、勾配緩慢なるが為め洪水の疎通頗る不良なり。故に水位 12 尺以上に達すれば破堤或は越水するを常とするを以て、文久 2 年(1862)に兩岸の堤防を堅牢に修築せしに、同年の洪水により数十ヶ所において破堤を生じたるを以て、当時廻江郷の総庄屋石坂偵之助及び取締役甲斐甚九郎は治水策を案じ、水位 10 尺以上に達すれば之を水越堤によりて排除し、以て堤防の安固を期せんとして守富村大字榎津及び隈庄町大字島田において三ヶ所の地を相し、兩岸の堤防を切り下げ、此部において水越堤を造れり。三ヶ所のうち最上流のものは、左岸は守富村木原の堤防延長 23 間(41.8m)を 3.4 尺(1.03m)切下げ、右岸堤は隈庄町下宮地に於いて之亦 25 間(45.5m)の間に対して 3.4 尺切下げ石張りなし、水位 10 尺に達すれば越水する構造にして、後年此上に高さ 2 尺の木造戸立を施せり。又中流の水越は左岸堤を隈庄町島田に於いて、右岸堤を同町大字六田に於いて何れも延長 30 間(54.5m)を切下げ、之亦水位 10 尺に達すれば越水する構造となし、此部の高水敷を特に広大ならしめたり。最下流の水越は中流部より 825 間(1485m)の位置即ち左岸堤は守富村榎津、右岸堤は隈庄町島田地先にあり。兩岸共延長 23 間にして、前 2 ヶ所に異らざれども、前二ヶ所に比すれば高水敷の遊水地狭小なり。(出典：『明治以前日本土木史』)

築造時の轡塘の絵図は発見されておらず、明治 18 年前後の作と考えられている下益城郡一帯の「水利土工負擔区域調査略圖」²⁾に轡塘の形状は確認できるが、大きさは記されていない。現在の轡塘の形状および遊水地の面積を図-7に示す。

最下流に当たる榎津地先の兩岸に築造された規模が最小の轡塘は、平成 10 年 5 月の現地踏査では、その存在を確認できなかった。その他の轡塘は、大きな改変は加えられておらず、乗越堤には地先住民により土囊が積まれ、その上に灌木、雑草が繁茂しているが乗越堤の石張りは確認でき、乗越堤の大きさは「明治以前日本土木史」の記述と一致することが認められた。

現在の浜戸川は、昭和 40 年の出水によって水害を引き起したため、昭和 48 年に計画河道に対する変更の協議が

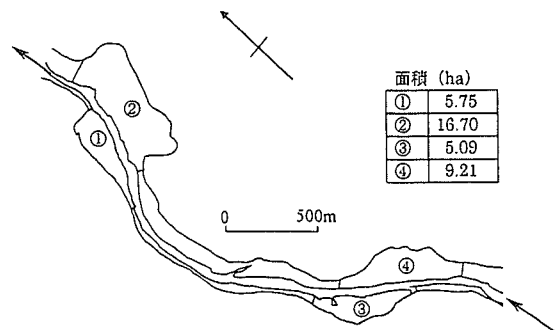


図-7 浜戸川の轡塘における遊水地面積

持たれ、その後の河川改修によって低水路が浚渫および拡幅され、計画論において乗越堤の機能は期待されていない¹⁸⁾。なお、浜戸川の轡塘が菊池川および緑川の轡塘に較べて大きく異なるのは、菊池川では高瀬を、緑川では河口の貿易港である川尻を護るために藩主の指令に従って遊水地や氾濫源が特定の場所に決定されているのに対して、浜戸川では地先防衛のために流域住民が協議の上、乗越堤の規模や遊水地の大きさを決定している点が挙げられる。

3. 水理模型実験

轡塘は、下流への洪水流量の負荷を低減するための河道内遊水地としての機能に加えて、異常洪水時には破堤氾濫を回避するために堤内地に外水を引き入れるための施設として築造されたものと推察されるが、その水理的機能について実証的に研究した事例は無い。そのため、浜戸川流域では最大規模の島田地先の轡塘を選び、その水理的機能、特に大出水の洪水制御について考察する。

検討対象としたのは、低水路の流れと高水敷上の流れとの相互干渉、土砂制御機能、洪水流の安定性についてである。なお、浜戸川の轡塘が築造された当時の河道平面形状や横断形状に関する資料が存在しないために熊本県の河道計画案に沿って模型水路が作製された。また、浜戸川の河川改修に伴って流積が広がり、乗越堤から越流する際の洪水流量は、100 年確率の洪水流量の 1.5 倍となった。そのため、水理模型実験では轡塘の水理的機能に対する定性的評価を目的に実施した。

3. 1 実験装置および方法

実験水路は、計画河道に基づく縮尺 1/150 の無歪模型として製作した。模型水路の全体像と計測断面の位置を図-8に示す。水路は、長さ 480cm、幅 240cm、縦断勾配 1/850 の台に設置され、低水路は幅 27cm、高さ 2cm の矩形断面で流下方向に逆 S 字の蛇行を示し、形測線 L-1~L-6 の間に高水敷がある。

境界条件は、低水路と高水敷の境界に高さ 4cm、幅 3cm の仕切棒を設けて高水敷が浸水しない単断面蛇行、乗越堤を閉め切った複断面蛇行、および乗越堤から越流のある複断面蛇行の 3 種類である。なお、乗越堤は、右岸側では長さ 43cm、高水敷より高さ 1.6cm、左岸側では長さ 38.5cm、高水敷からの高さ 1.6cm に設定した。

流量は、浜戸川改修計画に基づく 100 年確率の洪水流量 520m³/s および超過洪水流量として 100 年確率の洪水

表-2 実験条件

	Case1	Case2	Case3
流量 (Q/s)	3.0	3.0	3.0
基準水深 (cm)	4.89	4.89	4.52
備考	単断面蛇行	複断面蛇行	複断面蛇行 乗越堤

流量の約1.5倍を対象とした。フルド相似則に基づき実験条件表-2は、100年確率の洪水流量の約1.5倍のケースである。また、基準水深の設定は浜戸川が緑川に合流する地点から轆塘の下流端に当る上流11.4kmの間を一次元不等流計算によって求められた水深を参考にした¹⁸⁾。

実験は、各ケースに対応した所定の流量を通水し、下流端の堰によって基準点での水深を設定した後、水深の縦断方向および横断方向の変化量をポイントゲージにより計測、流速測定には二成分電磁流速計を使用し、流速の主流方向成分と横断方向成分、および横断方向成分と鉛直方向成分の同時計測が同一地点で行われた。

各測点での流速変動は、サンプリング周波数100Hzで、4096個のデータを統計処理した。本研究では、轆塘の平面形状が流れに与える影響に着目していることから河床は平坦固定床で、低水路の平面形状は計画河道によって単純化が図られている。

3. 2 実験結果

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、低水路中央の底面を原点に取る。計測線は轆塘のある領域を5区分し、低水路中央の流下曲線に対して法線となるように設定している。なお、Case3においては右岸側乗越堤からの越流量が0.30 l/sであるのに対して、左岸側からの越流量は0.35 l/sであった。左右岸の越流量の計測結果から、高水敷の広さは同程度とすべきであるが、右岸側高水敷が左岸側高水敷に比べて約3倍の広さを持ち、高水敷の広さは越流量に対応していない結果となっている。当時においては、右岸側の高水敷に対して過大な広さを取ったものと予想される。

次に、低水路中央における水深の縦断方向変化を図-

9に示す。基準水深を同一に設定した場合には、Case1の単断面水路とCase2の轆塘を有する複断面水路において水深に顕著な差異は無いことが分かる。定常流においては、轆塘内の高水敷は水位の低下に寄与しないことが分かる。また、下流端の堰の高さを同じに設定し、乗越堤から越流させたCase3の水深は、Case1およびCase2と類似した流下方向変化を示す。計測線L-3,L-4およびL-5における水深の横断方向変化を、図-8に示す。単一湾曲部の内岸と外岸の水位差は遠心力効果により $B \cdot U^2 / (g \cdot r_c)$ (但し、B:低水路幅、U:断面平均流速、g:重力加速度、 r_c :低水路中心線の曲率半径)により試算され、Case1の単断面湾曲水路に適用すれば約0.7mm程度であり、実測値においても湾曲による顕著な水深の横断方向変化はない。同様にCase2においても水深は、横断方向に大きくは変化しないことが分かる。しかし、Case3では水深が計測線L-3の左岸高水敷 $y=-60\text{cm}$ において3mm、また、計測線L-4の左岸高水敷 $y=-35\text{cm}$ 付近で1.3mm程度低下することが認められる。この水位の低下は、高水敷に現れた鉛直方向に軸を持つ渦即ち水平循環流に伴って生じたことが考えられる。

鉛直方向に積分して得られる平均主流速の横断分布を図-11に示す。高水敷の広いL-2~L-4の間では単断面蛇行流Case1において主流速が最も大きく、高水敷の影響により低水路における主流速は低下することが認められる。また、乗越堤からの越流に伴って水位が低下し、全般的に、低水路における主流速および高水敷の逆流速はCase3がCase2に比べて大きくなり、高水敷上の水平循環流が強まり、流れは安定していることが分かる。即ち、主流部が乗越堤に向かって短絡化することは無く、乗越堤から越流する流れは逆流の形態で堤内地に導かれ

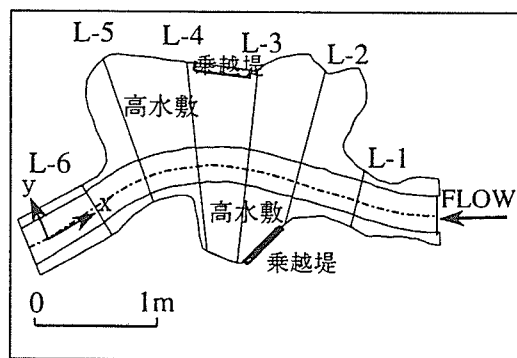


図-8 計測位置

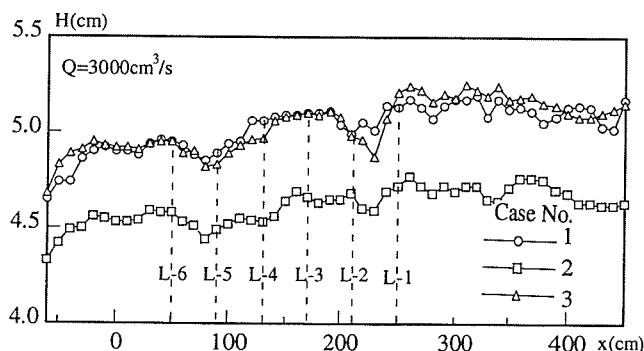


図-9 水深の縦断方向変化

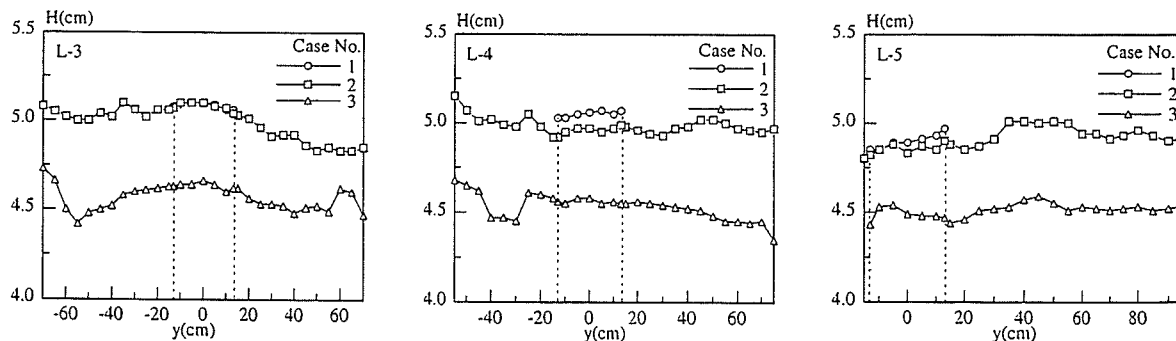


図-10 水深の横断方向変化

ることが分かる。さらに、主流速は低水路近傍の高水敷上および低水路においては左岸側が右岸側に比べて大きくなる傾向を持つ。これは、計測線L-1~L-4の間で高水敷より上層の流れが低水路上で短絡化したことによるものであり、Case3において乗越堤からの越流量が右岸側

に比べて左岸側で大きくなることも対応している。また、左岸側の高水敷と低水路の境界付近で主流速の顕著な低下が見られ、これは左岸側低水路護岸に沿った上昇流の発生に影響されたことによるものと考えられる。

次に、洪水時における高水敷の沈降性浮遊物質の捕捉効果を定性的に明らかにするために流砂実験を行った。実験は、Case2およびCase3の水力条件において平均浮遊物質濃度 100mg/l, 給砂量 300mg/s に設定した中央粒径 $d_{50}=0.94\text{mm}$ の珪砂を上流端より1時間継続して投入した。実験結果を表-3および表-4に示す。

浮遊物質の大半は低水路を通して流下し、全給砂量 1080g に対して高水敷に堆積した浮遊物質の割合はCase2で約4%、Case3で約5.5%であった。乗越堤からの越流が無い場合には、左岸高水敷の堆積浮遊物質量は右

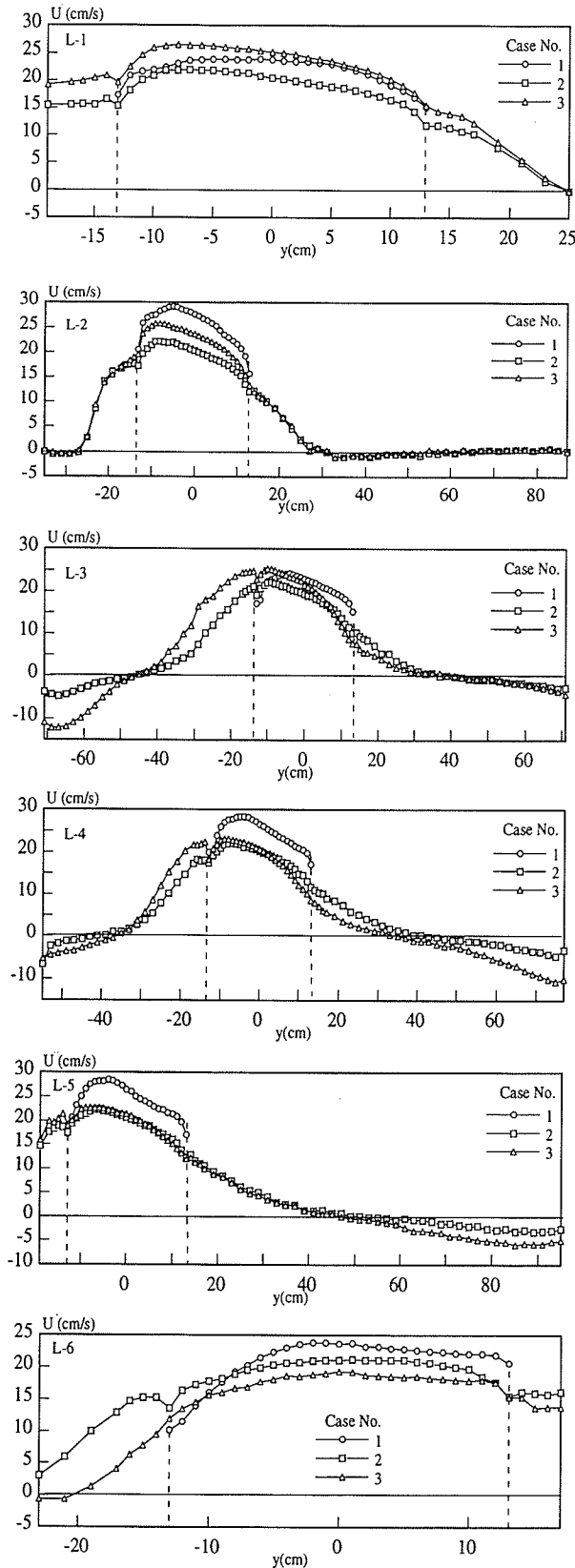


図-1-1 主流速の横断分布

表-3 浮流砂の堆砂実験 (Case2)

	区間	堆砂量 (g)	比堆砂量 (mg/cm^2)
右岸	L1-L2	3.801	1.09
	L2-L3	2.773	0.81
	L3-L4	3.058	0.99
	L4-L5	4.747	1.06
	L5-L6	3.445	3.23
左岸	L1-L6	20.606	1.25
	L1-L2	0.0	0.0
	L2-L3	5.403	2.91
	L3-L4	7.809	5.40
	L4-L5	1.548	6.38
	L5-L6	1.513	3.77
L1-L6	21.939	4.00	

表-4 浮流砂の堆砂実験 (Case3)

	区間	堆砂量 (g)	比堆砂量 (mg/cm^2)
右岸	L1-L2	3.502	1.00
	L2-L3	1.546	0.45
	L3-L4	3.617	1.17
	L4-L5	12.860	2.87
	L5-L6	11.367	10.67
左岸	L1-L6	36.336	2.21
	L1-L2	0.586	0.81
	L2-L3	5.774	3.11
	L3-L4	7.828	10.95
	L4-L5	0.026	0.11
	L5-L6	1.096	2.73
L1-L6	23.309	4.25	

岸高水敷の堆積浮遊物質量に較べて若干大きくなり、区間L3-L4で最も大きく、単位面積当たりの堆積浮遊物質量は区間L4-L5で大きくなる。また、越流の有るCase3では、右岸高水敷の堆積浮遊物質量は左岸高水敷のそれより大きく、堆積浮遊物質量は右岸高水敷では区間L4-L6に、左岸高水敷では区間L3-L4に集中していることが分かる。浮遊物質の捕捉に関して、右岸高水敷の広さは越流が在る場合には浮遊物質の捕捉効果を高め、越流が無い場合には大きな役割を演じないことが分かる。

4 まとめ

本研究では、菊池川、緑川および浜戸川における轆塘の歴史的経緯、模型実験より機能評価を検討した結果、川の一部区間を拡張した主目的は、轆塘内の遊水地における洪水流量の低減（遊水機能）では無く、洪水流を遊水地で減勢させることに在り、轆塘は越流時に破堤氾濫を回避するための装置であり、超過洪水対策と見なされる。また、押堀に対する応急処置としての迂回堤防や霞堤とは異なり、肥後における洪水防御の実践から独自に発想されたものであることが示唆された。さらに、浜戸川島田地先の轆塘を対象にした水理模型実験から、轆塘の遊水地は越流に伴う本流の不安定化を抑え、安定した水平循環流が形成され、堤内地への沈降性浮遊物質の浸入を阻止する機能を有することが認められた。なお、参考にした古文書は江戸末期に書かれたものあり、轆塘に対する歴史的考察には限界があり、資料に関してはさらに調査したい。また、越流後の氾濫水の処理および氾濫区域における土地の利用形態については今後の検討課題と考える。

参考文献

- 1) 土木学会編：『明治以前日本土木史』,pp.164-170, 岩波書店, 1936
- 2) 鹿子木量平維善：『藤公遺業記』(1832) (『肥後文献叢書第二巻』所収,pp.149-154,隆文館発行,1909)
- 3) 鹿子木量平維善：水理考, (1832-1841) (熊本県立図書館所蔵)
- 4) 森山恒雄：加藤清正の土木と治水 (その四), 月刊建設, pp.84-88,1991年10月号
- 5) 熊本城址保存会編：加藤清正の土木治水,1936 (熊本県立図書館所蔵)
- 6) 南部長恒著：疏導要書(1834) (中野嘉太郎編：『加藤清正伝』所収,pp.454-455.隆文館発行、1909 (青潮社復刊,1979)
- 7) 山本晃一著：『河道計画の技術史』,p.26, 山海堂、1999
- 8) 森山恒雄：清正の領国経営, (安藤英男編著：『加藤清正のすべて』所収,pp.63-96,三秀舎出版,1993
- 9) 周 魁一：中国古代の河流泥沙運動の理論と実践, (森田明編：『中国水利史の研究』所収,pp.7-34、国書刊行会,1995)
- 10) 建設省菊池川工事事務所：菊池川,1999
- 11) 井上英右衛門：菊池川全図,1855, (熊本県立図書館所蔵)
- 12) 玉名市史編集委員会編：『玉名市史』、pp.151-169,1992 (熊本県立図書館所蔵)
- 13) 高橋裕著：『河川工学』,p.200,東大出版界,1990
- 14) 建設省熊本工事事務所：河川事業概要、1998
- 15) 中野嘉太郎編：『加藤清正伝』付図.隆文館発行、1909 (青潮社復刊,1979) 勝国治水遺：および発行年は不明 (熊本県立図書館所蔵)
- 16) 肥後藩絵図：江戸後期 (熊本県立図書館所蔵)
- 17) 本田彰男：『肥後藩農業水利史』,p.76,熊本県土地改良事業団体連合会発行、1970
- 18) 熊本県土木部河川課：浜戸川中小河川改修事業全体計画書, pp.1-57,1993
- 19) 松本雅明編著：『城南町史』,pp.460-464,1965 (熊本県立図書館所蔵)
- 20) 富合村史編集委員会編：『村誌富合の里』,pp.389-391.1971 (熊本県立図書館所蔵)
- 21) 伊藤安男著：『治水思想の風土』,pp.178-199,古今書院, 1994
- 22) 「水利土功負擔區域調査略圖」：明治18年、(城南町歴史民族資料館蔵)