

緑川中流域において藩政時代に考案された 合流点処理工法の実態と機能評価

EFFECTS OF SUBMERGED LONGITUDINAL DIKES CONSTRUCTED
IN EDO PERIOD ON RIVER CHANNEL IN MIDDLE REGION OF MIDORIKAWA RIVER

大本照憲¹・澤田誠一²・清田慎太郎³

Seiichi SAWADA, Terunori OHMOTO and Shintaro KIYOTA

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

²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)

³学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科前期博士課程

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 of the works have not been clarified with actual evidence as to how they play a role in flood protection water utilization. In this paper, Shizumidomo called in Japanese, which was constructed at confluence of Midorikawa river and Samatagawa one as longitudinal dike, has been investigated from the viewpoint of historical river regulation methods by applying a hydraulic model. The model scale was 1/200. In addition, Kutsuwadomo and Hane in Midorikawa river basin as open levee were discussed by excavation of levees and old map in Edo era.

Key Words : Midorikawa River, Kiyomasa Kato, Open Levee, Submerged Longitudinal Dikes

1. はじめに

戦国・江戸期に肥後熊本で創意工夫された伝統的河川制御法は、明治以降の近代工法とは大きく異なる¹⁾。本研究が対象とする緑川では比較的良好に残された伝統的河川構造物が存在するものの、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。

緑川は、阿蘇外輪山の南側に位置する熊本県上益城郡清和村の三方山(標高1578m)を水源とし、流域面積1100km²(山地793km², 平地307km²)、幹川流路延長76kmの一級河川である。上流域では河床勾配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津留川(旧名:佐俣川)、浜戸川と合流して有明海に注ぐ一級河川である。

肥後藩の総庄屋であった鹿子木量平維善の「籐公遺業記」²⁾によれば、図-1に示す様に清正はそれまで平行に流れていた緑川と津留川(旧佐俣川)を甲佐町において合流させ、旧緑川を農業用水路として利用した。また、旧緑川が北西に大きく曲がる地点に長さ662.5mを有し現存する斜め堰では最大級の鵜の瀬堰を設け、その堰下流より約3kmまでの区間に新川を開削し、美里町(旧中央町)岩下地先で釈迦院川と合流させた。同書²⁾の中で「甲佐は緑川佐俣川共に山間より流れ出る所にて洪水の時は急流烈敷故所々に轡塘(クツワドモ)を設けて急流を休る處也」と記され、轡塘は佐俣川との合流によって洪水負荷の大きくなった区間に設けられたことが示唆される。

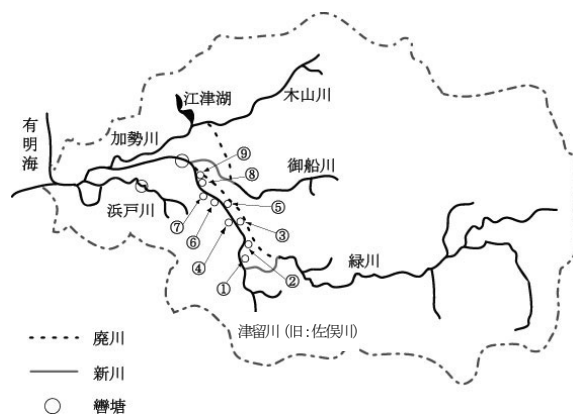


図-1 緑川水系

昭和41年に緑川の遊水地を現地調査した本田彰男の「肥後藩農業水利史」³⁾によれば、緑川と御船川の合流点処理である桑鶴の轡塘の他に、さらにその本川上流に轡塘が9ヶ所あり、その内訳は左岸側に麻生原、田口、府領の3ヶ所、右岸側に仁田子、大町、塔之木、糸田、吉田、大塚に6ヶ所あると記されている。

轡塘⁴⁾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超過洪水対策として築造されたものである。これらの轡塘は、鵜の瀬堰で付け替え工事が行われた時期と重なり、1601~1610年に築造されたものと考えられている。

また、緑川下流域を洪水から守るために支川である加

勢川の右岸には清正堤を築き、その対岸の左岸側に当たる現在の嘉島町を無堤とした。さらに、加勢川の洪水流量を低減するために木山川に合流していた御船川を緑川に付替え、緑川と御船川の合流部は治水上の弱点となることから、その右岸側には大名塘を、左岸側には約100ha強の遊水地を有する桑鶴の嚮塘を築いたとされている¹⁾。緑川における治水上の要は、緑川と御船川の合流点処理である桑鶴の嚮塘が挙げられ、更にその本川上流域からの洪水流量を如何に低減させるかが治水戦略となる。

清正は緑川中流域の入口に当たる甲佐において鶴の瀬堰により付け替え、土砂生産の大きい佐俣川との合流点では左岸の美里町岩下地先の不連続堤、右岸の甲佐町仁田子には嚮塘を設け、さらに合流点近傍には河道中央に沈み塘を築造しているが、その堤防形態の詳細および機能は不明である。特に、美里町岩下地先の不連続堤については緑川絵図でしか認識できなかったが、平成15年度の国土交通省との共同研究によって盛土された堤防の一部が掘り起こされ、その実態が明らかになったので後述する。

「沈み塘」は、河口から上流の26.4～26.9kmの区間で、緑川中流域の支川佐俣川との合流点より約300m下流の直線区間に高さ約2m、幅約10m、長さ約500mの台形断面を呈した石積みの導流堤が河道のほぼ中央に直線状に現存する。本研究では沈み塘の築造目的が不明であり、藩政時代に建造され現存する河川構造物の機能評価の事例は少ないことから、室内実験によりその機能評価を行った。

2. 緑川と佐俣川の合流部における堤防形態

2.1 絵図および古文書

図-2は江戸後期の作とされる緑川絵図²⁾で、鶴の瀬堰直下流域の佐俣川（現津留川）との合流点および甲佐町仁田子地先の堤防形態を示す。また、絵図から読み取られた水刳ねの長さを図-3に示す。『緑川堤防根帳』によれば、上揚地先から府領地先に至る両岸の堤防の総延長は一万四百六十八間（18.8km）に及び、その構造材により区分すれば石塘九千八百八十四間五尺（16.5km）土塘二千八百八十三間一尺（3.9km）とある。

一般に明治以前の堤防に対する考え方は、堤防強固のために上流で洪水流が氾濫しない場合には、洪水流が勢いを増して下流に噴出し、下流の堤防を決壊する可能性が高まることから、好ましくないと捉えている。但し、水の打ち掛りし箇所、即ち水衝部に当る堤防については被害が甚大となるために強固にするよう説いている。

『甲佐堤防根帳』³⁾においても、「…甲佐堤防非常の水にも決ずんば、下流に至り大に決る所あらんか。答曰、然り。いかなる水にも決ざりと云は水当強き所也。大水には心もなくば水脇にて決て、水脇の決は決口際の荒地にて、水の及びし所は上田に成る所多し、水当強き所よ

り決めれば水の及ぶ所多く、荒地多く砂石田地に入り大いに害あり。嘗て上豊より犬塚まで堤防勒（クツワ）に築たる所東西に九ヶ所なり。是予ねて堤を決し置くの法也。」との記述がある。水の当たりが弱い所からゆつくりと洪水流を堤内地に導き、その流れには垂土が含まれているため、洪水が引いた後はそれが堆積し良田となる所が多かったとされている。

図-2に示された仁田子の嚮塘（遊水地の試算値：109.5ha）は、桑鶴の嚮塘（遊水地：114.5ha）に匹敵する遊水機能を持つ。緑川と佐俣川の合流点における左岸側堤防は、地元では上流より「一の刳」、「二の刳」、「三の刳」と呼ばれる不連続な形態と成っている。江戸後期のものとされる緑川絵図には「一の刳」と「二の刳」および「二の刳」と「三の刳」の開口部は、各々、20間（36.4m）および31間（56.4m）であり、下流側の方が広い。さらに、「三の刳」には水制が二基施されている。

2.2 レーザ・プロファイラーおよび現地調査

図-4は、レーザ・プロファイラーのデータを地形解析した緑川と佐俣川の合流点直下流域における地形高を示す。この地域は河口から24～27kmの区間に当たり平均河床勾配は1/340であり、比較的勾配は大きい。図より、仁田子遊水地の地形勾配も再急勾配で下流方向に1/300～1/400の勾配を持つ。洪水時に不連続部から堤内地に流入した氾濫水は、地形勾配に沿って流下し、嚮塘末端の出口から河道に流出する形態を取っており、仁田子の嚮塘は霞堤に類似した構造を有している。即ち、下流への洪水の大量流下を抑制する洪水調節機能および堤内への氾濫水を河道に戻す氾濫水還元機能が示唆される。

図-5および6は、各々、「一の刳」および「二の刳」末端の開口部と根石の状況を示す。発掘作業から、「一の刳」と「二の刳」の不連続部では空石積の護岸が施され、「一の刳」および「二の刳」と一体化されていることが認められた。またこの不連続部は逆流侵入する形状を取り、緑川本流が有する運動量を減勢し、掃流砂の堤内地への流入を抑制するためであったことが考えられる。また、「二の刳」の末端部の根石は、堤内地の排水を円滑にするために緑川本流に対して下向きの形状となっている。

図-7および8は、「二の刳」の横断面および底部で発見された松製の胴木を示す。裏込め部は、丸石およびシルト・粘土の中詰土から構成され強度を確保している。

図-9および10は、各々、「一の刳」および「二の刳」の横断形状を示す。堤防の天端幅は、「一の刳」で2.67mに対して「二の刳」では2.96mである。法面勾配は、「一の刳」では川表で1割3厘、川裏で1割5部2厘、「二の刳」では川表で7分4厘、川裏で7分3厘である。

また、知野泰明⁴⁾によれば戦国時代の終わりから江戸時代始めにかけて、堤防の高さは3間（5.5m）程度であり、1700年代のものでは5間（9.1m）規模のものも現れ、今日の堤防と同規模である。

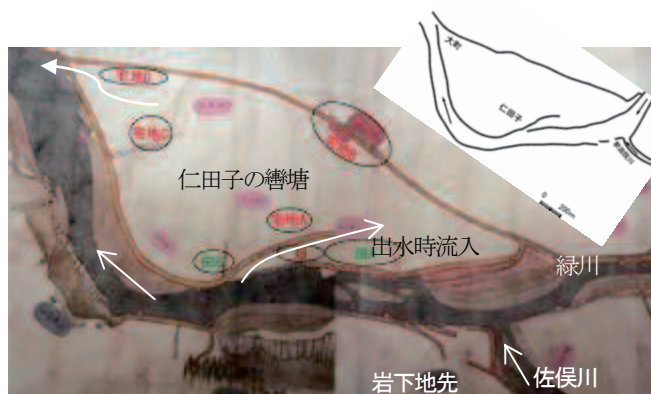


図-2 甲佐町周辺の堤防形態



図-3 岩下地先の堤防形態

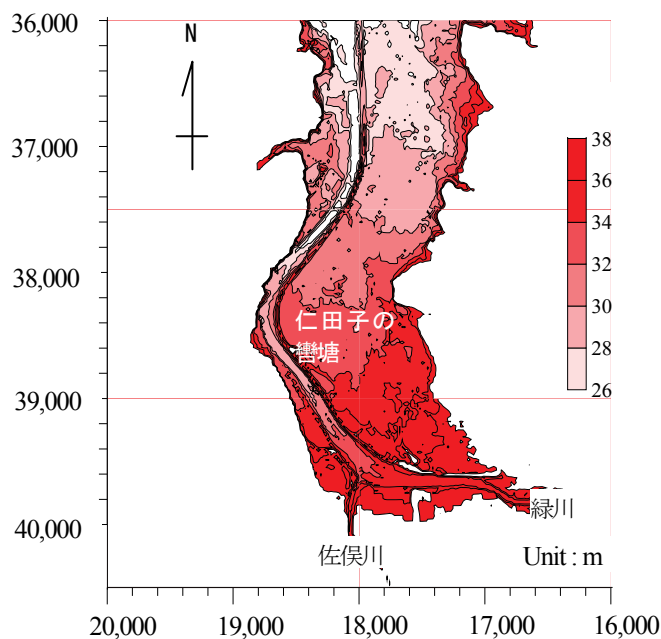


図-4 緑川と佐俣川の合流部近傍の微地形

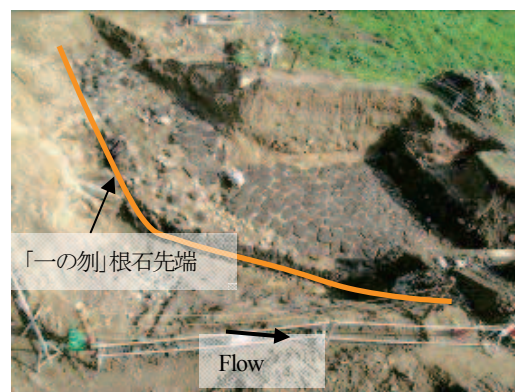


図-5 「一の刎」後端の開口部と根石



図-7 「二の刎」横断状況



図-6 「二の刎」後端の開口部と根石



図-8 「二の刎」底部の松製洞木

山本晃一⁸⁾の調べでは、元禄2年(1689)に書かれた「地方竹馬集」では、土堤法勾配は、川表で1割5分、川裏で2割が標準であるとされ、それより後の寛政6年(1794)の「地方凡例録」では、「堤防は元来紀州流においては、川表1割であれば川裏1割3分にし、大きな堤防であれば川表は1割2分、裏法1割4～5分としていた。近年は土

堤は1割、砂堤ならば1割5分、石堤は5分としている。堤防を丈夫にするには、土堤では1割2～3分、砂堤は1割7～8分、石堤は1割であるが、坪数が多くなるので、前条による。」とされている。岩下地先では、空石積み護岸の法勾配は、「二の刎」に較べて「一の刎」の方が緩く、また、堤防敷幅は大きく取られている。これは、「一の

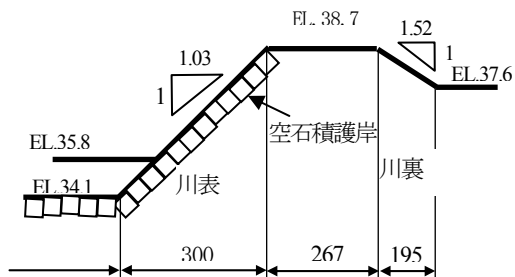


図-9 一の勿横断面図

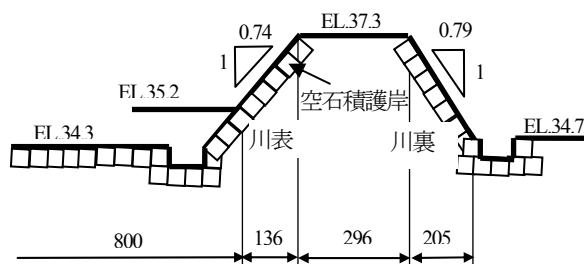


図-10 二の勿横断面図

勿」が緑川の水衝部に位置するためであると考えられる。なお、江戸後期に記された鹿子木量平による「水理考」では、緑川の河床上昇を抑え治水安全度を上げるためには堤防は極力低く抑え、洪水流を氾濫させた清正の手法を推奨している。美里町の前身である「中央町史」には明治45年7月13日の洪水で、「二の勿」から下流の堤防が数箇所決壊し、水田は荒河原と化し、惨状を呈したことが記されている。

岩下地先では合流点処理として不連続な堤防形態を採用した理由として次の2点が考えられる。1つは、治水上の優位さである。高い連続堤防では、工事費がかさむ上に、異常洪水に対しては決壊という極めて悲惨な状況が生起する。さらに、不連続部から洪水を堤内地に誘導することによって勿ねを挟んだ堤内地と堤外地における水頭差を小さくし、水圧を減殺することが考えられる。

岩下地区においては後背地が岩山で囲まれており、地形的に大きな遊水面積を有していないために貯水機能は小さいので期待出来ない。他の一つは、利水上の優位さである。岩下地区は船着場として利用され、物資の集積場所でもあった。そのため、川裏は船の停泊地として、さらには洪水時の退避場所として利用された可能性が考えられる。なお、合流点処理として類似のものに、木葉川が菊池川に合流する地点に設けられた久津と土井があり、佐賀藩の藩士であった南部長恒⁹⁾が著した「疏導要書」(1834)に詳述されている。

さらに、図-6に示す通り、平成15年度の発掘調査によって「二の勿」の川表前面には長さ8mの石積みの根固めが施されていることが見出された。この根固め工は、上流の「一の勿」先端から「二の勿」後端まで流下方向約300m区間に連続的に施工されたことが示唆される。この根固め工は、勿ねの補強と同時に舟運としても利用された可能性が高い。なお、「二の勿」後端の角部における石積みは算木積みと称され熊本城石垣の角部の石積みに類似の形態を取っている。

3. 沈み塘の機能評価

図-11は、河口から上流26.6kmにおける河床横断形状の経年変化を示す。この地点は、流下方向には沈み塘の中央部分に当たる。図より、河道の峰部は左岸から80m近傍、

滞筋は左岸から60mおよび100m近傍に位置している。また、その高低差は、最大で約3mに及んでいることが分かる。

1982～2007年の25年間で河道の峰部および谷部の位置は極めて安定していることが分かる。緑川水系では1982年、1988年および2007年に大きな出水があり、城南基準点の流量は計画高水流量4200 m³/sに対して、それぞれ、2330 m³/s、3730 m³/s、3130 m³/sであった。特に、2007年の横断形状は上流域において土石流災害が頻発した後の結果であり、右岸側の滞筋部で80 cm程上昇しているが、全般的には大きく変化していない。

図-12は、2007年に計測された沈み塘における横断形状の詳細測量の結果を示す。河床横断形状は、流下方向に相似形状を示し、流下方向に峰部と谷部の高低差が増大していることが認められ、特に左岸側の滞筋部で顕著である。

直線部における砂州の発生について、黒木・岸の領域区分図¹⁰⁾に従えば、沈み塘が無い場合には単列砂州が形成され、沈み塘が在る場合には川幅が半減されるため非発生となる。沈み塘は人工的に固定砂州を河道中央部に造り、滞筋を安定させている。

3.1 実験装置および実験条件

本実験では現地のを再現するため縮尺を1/200とした。開水路は、長さ10m、幅40cm、高さ20cmの亚克力樹脂製可変勾配直線水路である。実験区間は8mで河床材料は、中央粒径 d_{50} が1.18mmの均一に近い砂である。水路に河床材料を測定長全域に亘って厚さ5cmで均一に敷き均した。

沈み塘の模型は高さ1cm、幅5cm、長さ10cmのステンレス製の板を40枚連続して河床上に長さ4mに亘って設置した。水路勾配1/340、また流量は甲佐町における確率年が10年、30年および150年確率に対応した洪水流量に設定した。実験条件を表-1に示す。所定の流量を水路に通水し洗掘されてきた河床形状を超音波砂面計で測定し、現地の河床形状と比較した。また沈み塘の下流端に捕砂器(幅1cm×39ヶ所)を設置し、掃流砂を一定時間捕捉することによって掃流砂量を求める。流速測定には接触型の点計測である二成分電磁流速計を使用し、サンプリング周波数100Hzで、4096個のデータに関して統計処理を施した。なお、座標系は初期河床の水路中央を原点に取り、流下方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直方向にz軸を取っている。

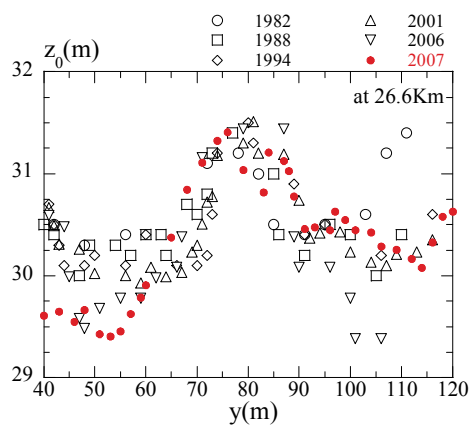


図-11 河床横断形状の経年変化

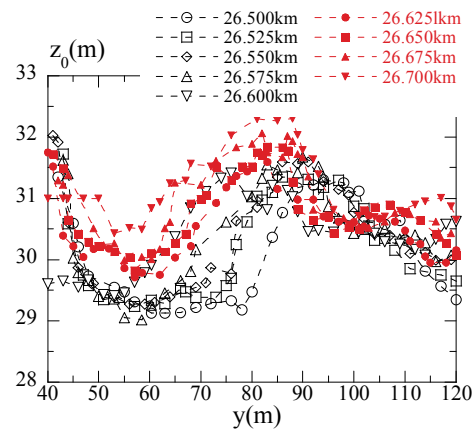


図-12 河床横断形状の流下方向変化

表-1 実験条件

	確率年	流量		基準点水深		河床勾配	河床材料(d_{50})	
		模型	原型	模型	現地		模型	現地
Case1	10 年	3.97 ℓ / s	2,240 m^3/s	3cm	6m	1/340	1.18mm	20cm
Case2	30 年	4.78 ℓ / s	2,720 m^3/s	3.25cm	6.5m			
Case3	150 年	5.66 ℓ / s	3,200 m^3/s	3.5cm	7 m			

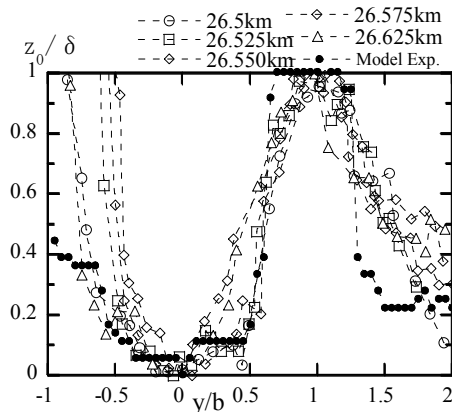


図-13 無次元河床横断形状

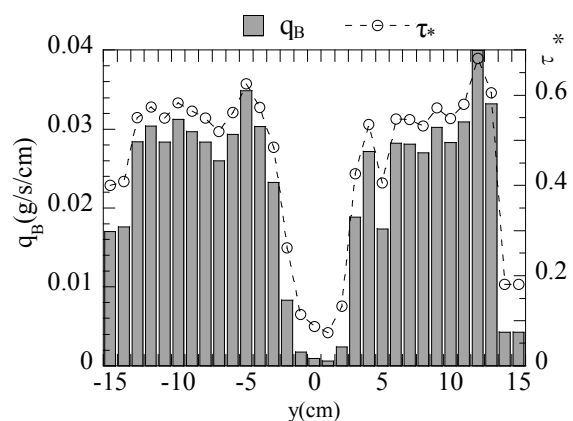


図-14 掃流砂量の横断分布

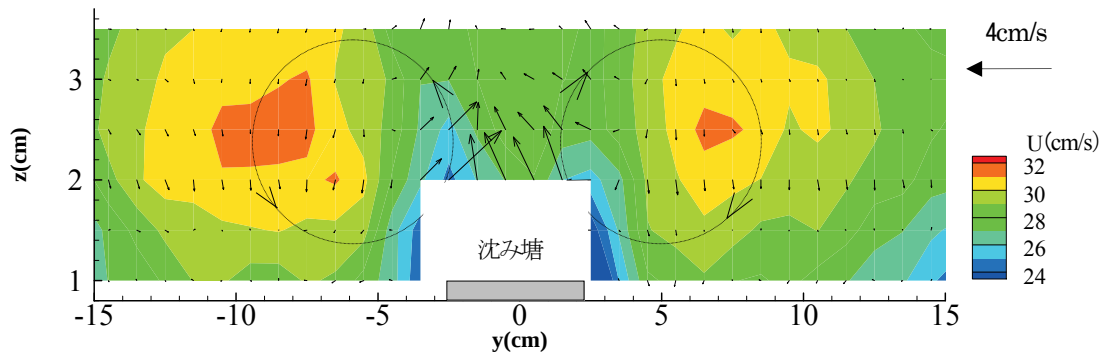


図-15 主流速および二次流ベクトル (超過確率 150 年)

3.2 実験結果

(1) 河床形状と掃流砂量

図-13 は、河床が平衡状態に達した通水後 20 時間経過後の河床横断形状を示す。実河川との相似性を検討するために縦軸は河床高 z_0 を波高 δ 、横軸は横断距離 y を半波長 b で無次元化した。ここに、波高 δ は峰部と谷部の高低差であり、半波長 b は峰部から谷部までの横断距離を示す。模型水路における河床横断形状は実河川の横断形状を再現していることが認められ、沈み塘近傍で峰部、

沈み塘と側岸の中央で谷部を有する円弧状の形状であることが分かる。なお、波高 δ は、実河川で 3.1m、模型水路で 2.1cm、半波長 b は、実河川で 27.8m、模型水路で 13cm であったことから、模型では波長は良好に再現されているが、波高は若干小さい。

図-14 は、掃流砂量の横断分布を示す。また、掃流砂は転動が主体の運動形態であったことから掃流力は Meyer-Peter-Müller の掃流砂量式から逆算により求めた。

沈み塘背後では僅かに掃流砂は存在し、沈み塘から離れるに従って急激に掃流砂量が増大することが分かる。また、掃流砂量は、滯筋の谷部では横断方向の変化は小さい。掃流力も掃流砂量の横断分布を反映し、峰部で小さく、谷部で大きな値をし、縦筋河床における掃流砂量や掃流力と類似の分布傾向を示すことが分かる¹¹⁾。

(2) 主流速および二次流

図-15は緑川の計画規模である超過確率150年の洪水における主流速および二次流ベクトルの横断面分布を示す。

主流速の極大値は、横断方向には沈み塘中央部から約10cm(実寸20m)離れ、鉛直方向には半水深より若干上方に位置し、極大流速点の水面降下現象が明瞭に現れている。主流速の横断分布は、掃流砂量の分布と類似の傾向を持つとともに、実河道における滯筋が沈み塘から約20m離れた位置にあることとも対応している。二次流ベクトルから沈み塘上層で強い上昇流、沈み塘から約10cm程度離れた位置で下降流となる、時計回りと反時計回りの二次流セルがペアで存在していることが示唆される。

この二次流セルが主流速に対して沈み塘上層で極小値、沈み塘から10cm離れた位置で極大値を生み、更に、掃流力、流砂量および河道形状に強い影響を及ぼしていることが読み取れる。即ち、沈み塘は安定した二次流セルを発生させ、河道の安定化に寄与していることが認められる。

本地点は、緑川中流域における計画高水流量の基準地点として、沈み塘上層に架かる中甲橋から浮子を用いた流量観測が行われている。

浮子は水面近傍の流れに強く規定され沈み塘上層に投下された浮子は、沈み塘上層の水面が流れの発散域に当たるために高速流の収束域に向かって移流される。このため、浮子観測による流量観測では流量を過大に見積もることになり、河道疎通能を過大解釈することに繋がることが認められた。また、河床変動、掃流砂量および流況から総合的に判断して沈み塘は、緑川と佐俣川の合流部で不安定化しやすい河道や流れに対して安定した上昇流および下降流を発生させ、その結果として滯筋の安定化を図っていることが明らかにされた。特に、佐俣川が流砂量の大きい川であったことを考えれば、舟運機能を高めるための手段として効果的な導流堤の機能を果たしていたことが分かる。

4. まとめ

清正は、緑川本川の上流域における洪水流量を如何に抑えるかに意を注ぎ、不連続堤防の轡塘によって堤内地に水を導く方法を取った。美里町岩下地先における水刼ねは、清正が構想した利水・治水戦略の一部を成すものと考えられる。その内容は、先ず緑川と御船川の付け替えによる水量の増大によって航路を確保し、次に轡塘によ

って流域の治水安全度を上げたことである。佐俣川と緑川の合流点における不連続な石積みの堤防形態は、当時の技術水準から考えれば治水安全度は高いものであり、さらに船着場として優れた機能を有することが示唆される。なお、今回発掘された岩下地先の不連続堤防が築造された年代については、「二の刼」末端における角部の石積みが算木積みであり、慶長年間の作である可能性が高いことが指摘されている。

さらに、沈み塘のある実河道の横断測量結果と室内実験における河床形状の比較から、沈み塘の高さ及び水路幅で無次元化した形状は、ほぼ相似形となり、現況河道を再現していることが示された。掃流砂量の横断分布は、沈み塘直下で極小値を、沈み塘と側壁の中央で極大値を示し、ここでは滯筋が形成され、合流部で不安定化しやすい河道に対して舟運機能を持たせるための合理的対策であることが伺えた。

主流速の横断分布は掃流砂量の横断分布とほぼ同位相となり、合流点直下の安定した中州の機能を有し、出水時における土砂流出に対し、滯筋部における土砂の堆積を防ぎ、河道を安定化させ、治水安全度の向上と舟運機能の確保に寄与している。

現在と比較すれば、自然外力が防災力に較べ圧倒的に勝っていた藩政時代において緑川と佐俣川の合流点処理は極めて多重安全装置の効いた手法であることを、古文書、絵図および現地調査により検討した。しかし、合流点直下流にある旧中央町の不連続堤、仁田子の轡塘については文献、現地調査およびレーザ・プロファイラーの地形解析に留まり、水理学的に実証的内容にはなっておらず、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 土木学会編：明治以前日本土木史，岩波書店，1936。
- 2) 鹿子木量平維善：水理考(1832年)，(熊本県立図書館所蔵)
- 3) 本田彰男：肥後藩農業水利史，熊本県土地改良事業団体連合会発行，1970。
- 4) 大本照憲，矢北孝一：加藤清正による洪水制御法「轡塘」について，土木史研究，第21号，pp135-145，2001。
- 5) 肥後藩絵図，緑川絵図，江戸時代後期(熊本県立図書館所蔵)，1837。
- 6) 渡辺寛太：甲佐堤防根帳，1813，佐藤征子現代語訳，熊本県文化財調査報告，107集，1990。
- 7) 知野泰明：河川伝統技術と現代的評価，阿賀野川伝統技術検討懇談会講演録，2001。
- 8) 山本晃一：河道計画の技術史，山海堂出版，1999。
- 9) 南部長恒：疏導要書(1834年)，日本経済評論社1992。
- 10) 黒木 幹男，岸 力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，土木学会論文集，第382号，II-10，87-96頁，1984。
- 11) 大本照憲，平野宗夫：縦筋河床の形成領域と掃流力の分布特性に関する研究，土木学会論文集，第399号，II-10，75-84頁，1988。

(2012.4.5 受付)