

2 加藤清正の遺構「鼻操り井手」



大本 照憲
OHMOTO Terunori

熊本大学大学院先端科学研究部
教授

日本三大名城に数えられる熊本城を築いた加藤清正は、治水・利水の名手でもあった。清正は多くの灌漑施設とともに、阿蘇山からの流出土砂や洪水への対策などの多くの土木工事をおこなった。今も熊本に残る「鼻操り井手」の仕組みを紹介する。

加藤清正の遺構

加藤清正は、豊臣秀吉から肥後の統治を任された1588年から亡くなる1611年の23年間に、現在熊本の一級河川である菊池川、白川、緑川および球磨川の4河川に対して創意工夫の施された数多くの治水・利水事業を精力的に展開した¹⁾。その中の一つに、白川の中流域に設けられた灌漑水路の鼻操り井手がある。

古文書^{2,3)}には、1608年頃に当時畑作地帯だった白川下流の左岸側台地を新田開発するためには、難所である中須山を長さ215間(390m)に亘って深く掘削し、農業用水路を通す必要があったと記されている。さらに、白川は河床材料として阿蘇山から放出された新規火山灰(ヨナ)を持ち、洪水時には大量の火山灰が用水路に流れ込むことが予想され、深く掘削された水路に火山灰等が堆積すれば通水能力を低下するため土砂の堆積を防ぐ必要があった。また、地形が急峻な岩山にあって、深く掘削された水路から堆積した火山灰を人力によって浚渫することは、過酷な作業となる。そのため、ヨナの堆積を防ぎ、安定した流量を確保することを狙って考案された農業用水路は清正独特の工法とされ「鼻操り井手」と呼ばれている。

なお、水路に対して鼻操りという呼び名が付されたのは、岩山をくり抜いたアーチ状の石橋の形状が「牛の鼻輪」に類似したことによる。鼻操り井手

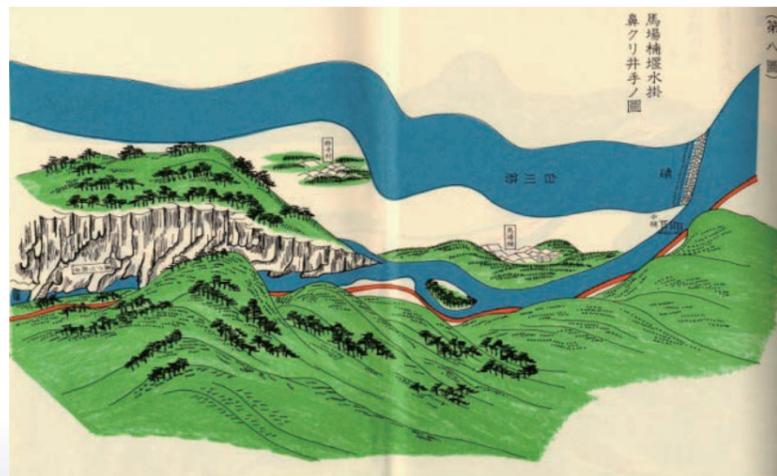


図1 『勝国治水遺』に示された鼻操り井手

に関する古文書は歴史研究家⁴⁾によって調査され時代背景は明らかにされているが、その形状および水理学的機能についてはあまり検討されていない。本論では、現地踏査および水理模型実験により鼻操り井手の形状、大きさ、水理学的機能および土砂輸送能力について述べていく。

鼻操り井手の役割と現状

鼻操り井手について説明した文献として最古のものに、江戸時代末期に肥後藩主の命により加藤清正の治水・利水事業を調査した総庄屋の鹿子木量平によるとされる『勝国治水遺』²⁾がある。図1は『勝国治水遺』の付図に示された鼻操り井手の概略、図2は平板測量から得られた鼻操り井手の平面図である。

白川左岸の馬場楠堰から導かれた水路は、中須山を挟んで鼻操りのある本水路と分水路に分かれ、下流で合流して再び1本の用水路となっている。分水路は分岐点において本水路に較べて路床が1m高い位置にあり、その下流には2ヶ所に土砂吐きが設けられている。現存する鼻操りは、半壊状のものを含めて26基あり、代表的な鼻操りの様子を上流から第1基目に当たる写真1および第23基目写真2に示す(1995年10月撮影)。江戸末期には既に50基近くが壊され、第1基目の鼻操りも半壊状態にあることが分かる。左岸には作業用の階段が認められる。

鼻操りは、壁の厚さが60～280cmの範囲にあり平均では158cm、壁の間隔は90～500cmあり平均では290cmとなっている。穴の形状は、蒲鉾型で半円形に近い物が13基、長方形が7基、扇形に近いものが4基、半崩壊状態で特定できないものが2基で、穴の高さは100～160cmあり平均では130cmであった。

26基の鼻操りがある区間での路床の平均縦断勾配は約1/250である。また、上流より10基目の鼻操りの路床形状を図3に示す。この場所では、岩盤上に代表径15cm程度の礫が散在しており、ヨナは堆積していない。図3より路床は、鼻操りの設置位置で最も低く、壁間の

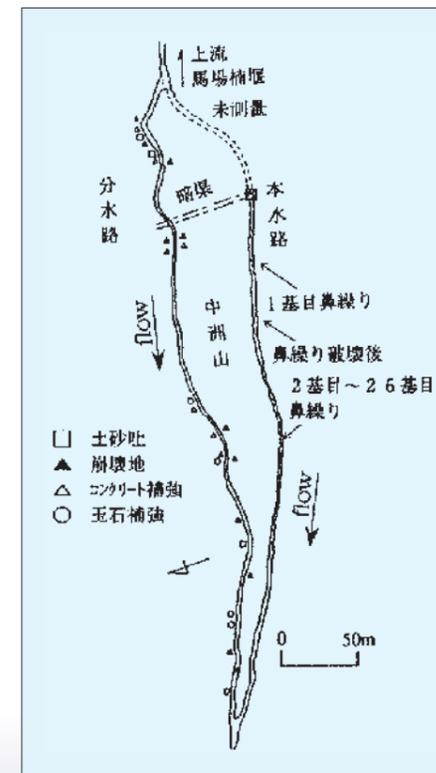


図2 鼻操り井手の平面図

中央位置で高い正弦波に近い形状を示し、波長600cmに対して波高は80cmとなっている。また、左岸と右岸の近傍で、路床の洗掘形状に顕著な差は見られず、ほぼ左右対称に近い形状となっていることが認められる。

文献の中には¹⁾、鼻操りの穴の位置は、左右交互に開けられていたとするものもあるが、調査の結果から壁の中央位置に半円形状に穿孔されており、左右交互に開けられた痕跡は無いこと、約400年が経過した現在でも路床の洗掘形状はほぼ左右対称であることから、鼻



写真1 半壊状態の鼻操り井手



写真2 第23基目の鼻操り井手

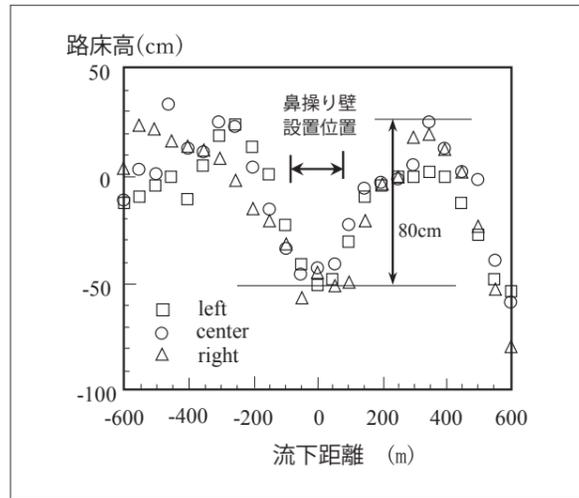


図3 鼻操り井手の路床形状

操りは建設当初より壁のほぼ中央位置に半円形状に穿孔されていたことが推察された。

また、鼻操りの壁を残すことで節約された作業量に関しては、鼻操り2基目から26基目を対象に試算した所、全長が111mで、井手の底面から地表面までの高さを約4mとすれば、鼻操りが無い場合には掘削岩量が934m³となるのに対して、鼻操り壁面を残したことにより掘削岩量が688m³となり、削減された掘削岩量の割合は26%となる。

なお『勝国治水遣』には鼻操り井手の建設により95町1反2畝3坪(約94.3ha)の水田が開発され、税収が3倍に増えたことが記されている。馬場楠土地改良区の理事長によれば、約400年経過した現在では183町(181.5ha)の水田がこの井手の恩恵を受けている。

模型実験の装置および方法

現地調査より鼻操りの穴の形状は半円形に近く、穴の高さは平均130cm、壁面間の距離は平均290cmである。模型実験は縮尺率が約1/10で実施された。用いた水路は長さ5m、幅25cmのガラス製可変勾配水路で、潤辺は滑面である。鼻操りはモルタルで5基製作し、図4に示す様に等間隔で水路内に設置した。鼻操りの穴の形状は半円形とし、直径22cm、壁の厚さ16cm、壁間の距離29cmとしている。

なお水路床は、現状では正弦波に近い洗掘形状となつて

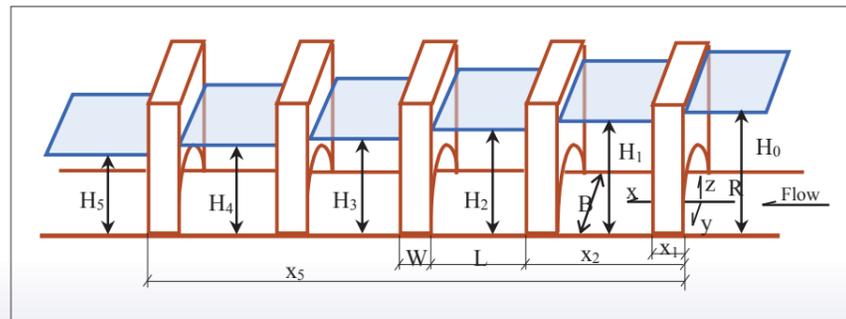


図4 模型水路概略

いるが、建設当初は平坦に近かったと予想されることから平坦床とした。流量は熊本市水道局作成の『平成3年度白川中流域堰取水流量観測報告書』において、馬場楠堰の夏の平均取水量が3m³/secであることを参考とし、また分岐点における本水路への流量配分を80%と仮定してフルード相似則の下に設定されている。流速の計測位置は2ヶ所で、上流より2基目と3基目の鼻操り間および5基目の鼻操りの下流位置とした。センサーには二次元電磁流速計を使用し、流速の主流方向成分と鉛直方向成分を同時計測した。

実験結果

境界条件から明らかなように、鼻操り間の流れは水門下流部のもぐり流出に類似しており、壁面噴流の特徴⁵⁾を表すことが予想される。座標系は図4に示す様に、流下方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸を取る。

図5は各鼻操り間の水面形を示す。いずれの鼻操り間においても水深は0<x-x₁<14cmの区間では流下方向に若干低下傾向にあるが、ほぼ一様に近く、14cm<x-x₁<29cmでは流下方向に増大しており、この区間では逆圧力勾配となっている。全般的に水深は流下方向に低下傾向にあり、鼻操り壁は流れに対して極めて大きな形状抵抗を示した。江戸後期に鼻操り壁50基余りを壊したのは、形状抵抗が大きいために流量が確保出来なかったためであることが分かる。

図6は水路中央部の主流速の鉛直分布を示す。鼻操り壁間の主流速は、路床からの高さzが12cmまでの区間では流下方向に大きく変化せず相似形を保っているが、それより上層では相似な分布形を示さず、逆流速は水面に近づくに従って増大していることが分かる。また半値幅は約11cmであり、半径Rに一致している。

鼻操り間では上方から強い下降流が生じており、この連行量が極大流速の増大をもたらしたことが考えられ

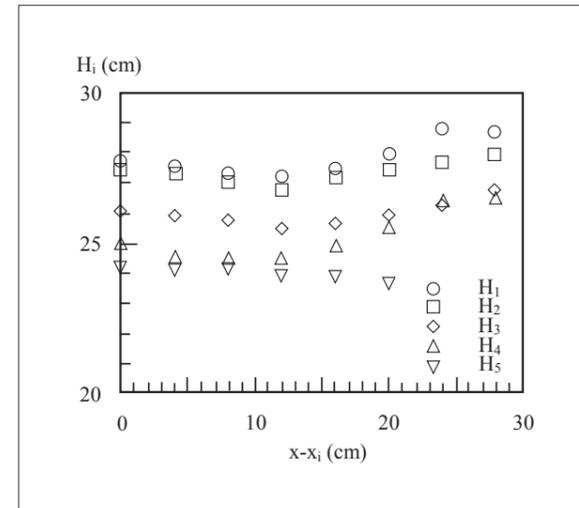


図5 鼻操り壁間の水面形

る。鼻操りより下流の27cmまでの範囲においては、極大流速は流下方向に大きく変化しておらず、この区間はポテンシャルコアの領域にあることが考えられる。二次元壁面噴流における底面摩擦力 τ_0 は、Bradshaw等⁶⁾によれば次式によって表される。

$$\tau_0 = c_f \rho U_{\max}^2 / 2, c_f = 0.0315 / (U \max \delta / \nu)^{0.182}$$

ここに、 ρ は水の密度、 ν は動粘性係数である。上式を鼻操り間の流れ場に適用すれば、 $\tau_0 / \rho = u_*^2 = 27.2(\text{cm} / \text{sec})^2$ となることから実際の鼻操りにおいて、摩擦速度は $u_* = 16.5(\text{cm} / \text{sec})$ となる。それ故、無次元限界掃流力を0.05とすれば、鼻操り間において路床に留まる砂粒径は3.7cm以上となり、これ以下の砂は流送されることが推察され、中央粒径が0.2mm程度のヨナが鼻操り井手に堆積することはない。

明らかになったこと

加藤清正によって築造された鼻操り井手の現地調査や模型実験により、以下が明らかになった。

- ①鼻操りは半壊状のもの2基を含めた26基が現存し、穴は壁面下部の中央位置に半円形状に穿孔されている。
- ②鼻操り壁面を残すことにより、削減された掘削岩量は全体の約26%となり、作業量が大幅に節減された。
- ③路床の洗掘形状が左右対称であることから、穴の位置は建設当初から中央であったことが推察された。
- ④鼻操り間の流れは下層では壁面噴流の形態、上層

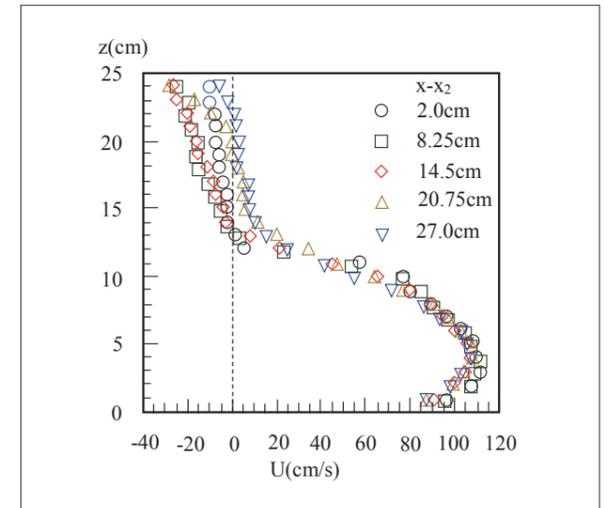


図6 主流速の鉛直分布

では循環流を形成することが明らかになった。
⑤鼻操り間の流れは路床面近傍で安定した高速流を維持するため、中央粒径が約3.7cm以下の砂やヨナを流送する能力があることを明らかにした。

奇抜な形状になった別の理由

なお、鼻操り井手が開水路とトンネルを折衷した奇抜な形状になった主な理由として、水路へのヨナの堆積を防ぐことが指摘されているが、別の理由も推察された。それは、所期の流量を流下できる水路を、短期間に安全な作業工程と最小の作業量で中須山に建設するための工法が、結果的に鼻操り井手の形状になったという点である。

『相川文書』によれば、川普請においては農閑期に婦女子まで動員し、男女の別なく賃金賦役の体制を取っていることが記されている。このため作業は人海戦術の形で進められたことが予想され、岩盤が阿蘇火砕流堆積物の溶結凝灰岩で柔らかい岩質から比較的掘削しやすいため、開水路とトンネルを折衷した鼻操り井手は、作業工程の効率と工事期間の短縮から現場で発想されたものと考えると理解が容易となる。さらに、鼻操り壁は斜面崩壊の抑止機能を持つことも一因に挙げられる。

<参考文献>

- 1) 建設省熊本工事事務所:加藤清正の川づくり・町づくり、平成7年10月
- 2) 小島徳貞編:勝国治水遺、著者および発行年は不明(熊本県立図書館所蔵)
- 3) 中野嘉太郎編:加藤清正伝、隆文館発行、1909(青潮社復刊、1979)
- 4) 森山恒雄:加藤清正の土木と治水(その三)、月刊建設、pp.85-89、1991年9月号
- 5) N.Rajaratnam: Turbulent Jet、(野村安正訳:噴流)、森北出版、1981
- 6) Bradshaw, P. and Gee, M.T.: Turbulent Wall Jets with and without an External Stream, Aeronautics Research Council, No.3252, 1962