

加藤清正の遺構「鼻繰り井手」について¹

On the Hanaguri Channel as a Monumental Irrigation Work

by Kiyomasa Katou

大本照憲²・松里智一郎³

Terunori OHMOTO, Tomoichirou Matsuzato

1. はじめに

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24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行ったことは良く知られている¹⁾。その中の一つに、白川の中流域に設けられた鼻繰り井手がある。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大地を新田開発するためには、難所である中洲山を500m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、白川は阿蘇山から放出された新規火山灰（ヨナ）を河床材料として持ち、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。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、過酷な作業である。そのために、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のが「鼻繰り」と呼ばれる清正独特の工法とされている。なお、農業用水路に対して鼻繰りという呼び名が付けられたのは、水路の形状が牛の鼻輪に類似したことによる。鼻繰り井手に関する古文書は歴史研究家⁴⁾によって調べられ時代背景は明らかにされつつあるが、その形状および水理学的機能については十分な検討が成されていない。本研究では、現地踏査を行い、鼻繰り井手の形状および保存状態を明らかにし、さらに模型実験により水理学的機能および土砂輸送能力について検討する。

2. 鼻繰り井手の役割と現状

鼻繰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。その内容を抜粋すれば、「右鼻繰式百拾五間の処は、山中を掘抜たる処からにて深井手の底は巖なりされば白川ハ土砂多く流るる処にて深井手の底に居込むときハ井手岸高く険阻の処浚へ土砂杯揚る処無し是に因て鼻繰りとて八十ヶ所程橋の如くにして上ハ兩岸に渡る様に巖取残しその下を掘穿き井手幅より縊りほそめ水上の流水を上の方きに貯へ鼻繰の下より激流して井手底に土砂の居付さる様の仕法の志か、しかるに水理の意を知らざる役人其井手筋を見聞し時鼻繰の橋五十余打欠きたりされとも兩岸に取残しに成し岩水行縊りて土砂居付ざるだけの御仕法残しゆえ水行滞さる之右の深井手兩岸は木萱蕃茂して、打闕所悉見ること成難し、所々に見えし処を視て、処の役人に尋るに右之如く語りし也、今此鼻繰無くば式百十余間井手貫流せん時は、土砂居込で水乗兼旱田多からむ、此理は無類の御仕法なればかかる深井手の処は石垣にて鼻繰を作り度きものなり、」である。

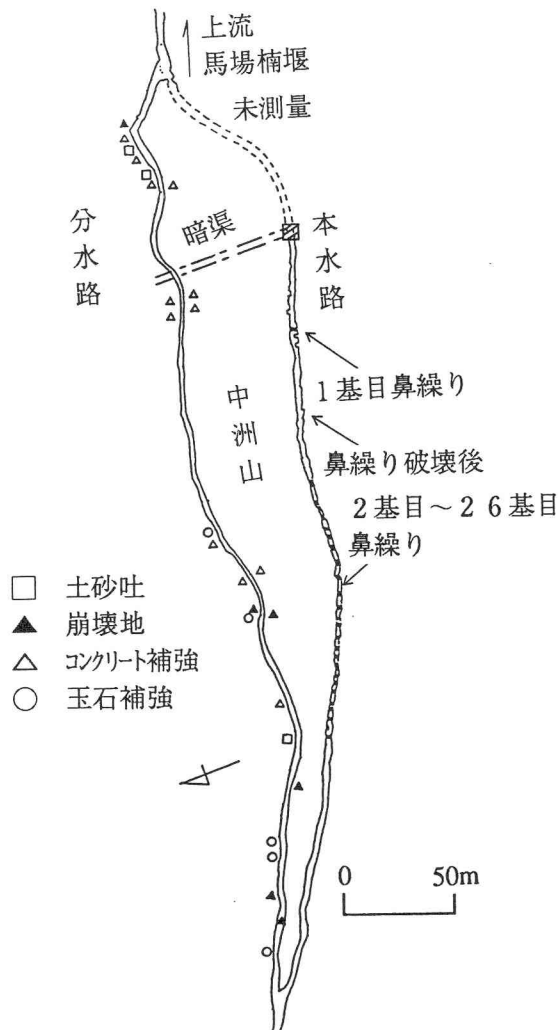
この中で注目されることは、鼻繰りの構造は土砂の堆積を避けるためのものと予想している点と水理の意を解さない役人によって当初80カ所あった鼻繰りが52カ所破壊されて当時28カ所が残るのみと指摘している点である。現在、鼻繰り井手に関する地形測量の資料が無いことから、平成7年10月下旬に鼻繰り井

1 キーワード：加藤清正、歴史的な水理構造物、土砂流送、壁面噴流

2 熊本大学助教授 工学部環境システム工学科（〒860 熊本市黒髪2-39-1）

3 鹿児島県（〒892 鹿児島市吉野町2641）

手の上流にある馬場楠堰工事により井手の水が抜取られた機会に、現地調査を実施した。図－１は、平板測量から得られた鼻線の地形図である。白川左岸の馬場楠堰から導かれた水路は、中洲山を挟んで鼻線のあ
る本水路と分水路があり下流で合流して、再び１本の水路となっている。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、下流には２ヶ所土砂吐きが設けられている。現存する鼻線は、半壊状



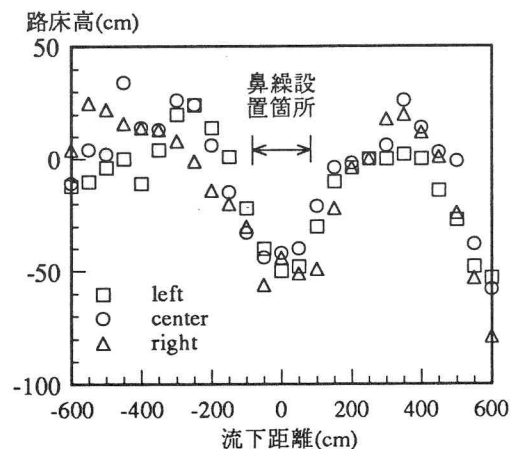
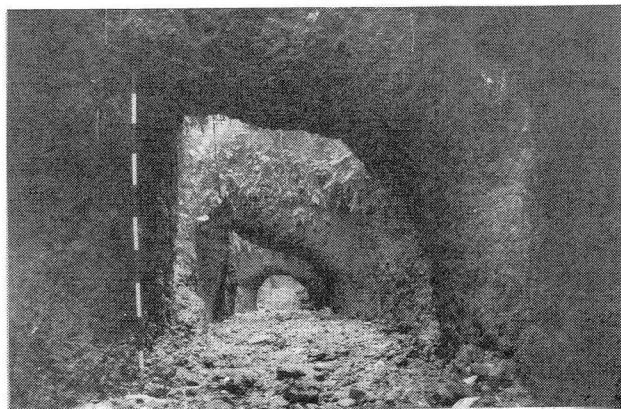
図－１ 鼻線井手の平面図

表－１ 鼻線井手の代表長さ

No.	L_i (cm)	W_i (cm)	A_i (cm)	B_i (cm)
1	130		100	220
2			150	
3			140	
4	180	200	140	250
5	160	270	140	
6	110	160	120	
7	220	310	100	220
8	220	240	130	200
9	280	380	120	220
10	160	500	120	200
11	250	470	120	210
12	170	150	150	200
13	120	150	150	200
14	140	540		210
15	160	340	260	250
16	160	300	150	200
17	160	90	110	180
18	270	220	120	220
19	140	250	120	200
20	60	140	130	200
21	100	450	130	180
22	150	140	150	180
23	70	490	160	200
24	140	290	150	230
25	120	310	110	230
26	130		140	230
平均	158	290	136	210

L_i :鼻線の間隔, B_i :壁厚, A_i :高さ, B_i :底面幅

写真－１ 鼻線井手



図－２ 鼻線井手の路床形状

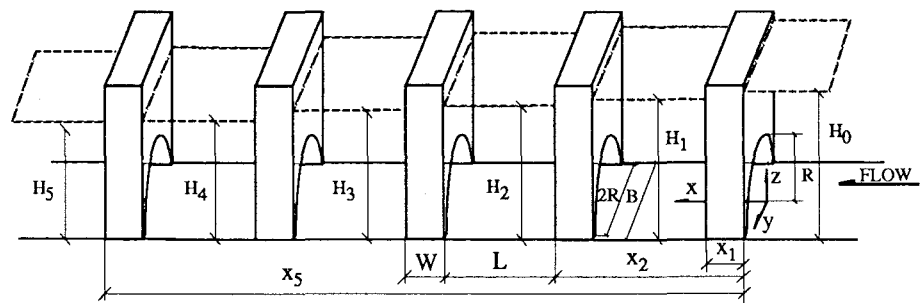
のものを含めて26基あり、代表的な鼻繰りの様子を写真－1に示す。鼻繰りの諸寸法は表－1に示す通りであり、壁の厚さは60～280cmの範囲にあり平均では158cm、壁の間隔は90～500cm、平均では290cmとなっている。鼻繰りの穴の形状は、蒲鉾型で半円形に近い物が13基、長方形が7基、扇形に近いものが4基、半崩壊状態で特定できないものが2基であり、穴の高さは100～160cm、平均では130cmであった。26基の鼻繰りがある区間での路床の平均縦断勾配は約1/250である。また、上流より10基目の鼻繰の路床形状を図－2に示す。この場所では、岩盤上に代表径15cm程度の礫が散在しており、ヨナは堆積していない。図より路床は、鼻繰りの設置位置で最も低く、壁間の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を取っていることが認められる。文献の中には¹⁾、鼻繰りの穴の位置は、左右交互に開けられていたとするものもあるが、今回の調査では壁の中央位置に半円形状に穿孔されており、路床の洗掘形状から左右交互に開けられた痕跡は見当たらず、鼻繰りは建設当初より現状に近い形状であったことが推察された。また、鼻繰りの壁を残すことで節約された作業量に関しては、鼻繰り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、鼻繰りが無い場合には掘削岩量が934m³となるのに対して、鼻繰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、「勝国治水遺」には鼻繰り井手の建設により95町1反2畝3坪（約94.3ヘクタール）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、平成7年では183町（181.5ヘクタール）の水田がこの井手の恩恵を受けている。

3. 模型実験の装置および方法

現地調査より、鼻繰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。実験施設の都合上、縮尺率を約1/10で模型実験を実施した。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。鼻繰りは、モルタルで5基製作し、図－3に示す様に等間隔で水路内に設置した。鼻繰りの穴の形状は、半円形とし直径22cm、壁の厚さ16cm、壁間の距離29cmとしている。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パーセントと仮定してフルード相似則の下に設定されている。水理条件を表－2に示す。流速の計測位置は2ヶ所で、上流より2基目と3基目の鼻繰り間および5基目の鼻繰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の同時計測および主流方向成分と横断方向成分の同時計測が同一地点で行われた。計測結果は、サンプリング周波数20HzでAD変換した後、一測点2048個のデータに関して統計処理を施した。

表－2 実験条件

	模型	実物
流量(ℓ /sec)	15	2400
水路幅(cm)	25	210
上流水深(cm)	30	250
水路勾配	1/250	1/250
フルード数	0.097	0.097



図－3 実験模式図

4 実験結果

境界条件から明らかなように、鼻繰り間の流れは、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⁹⁾を表すことが予想される。座標系は図－3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。

4. 1 平均流特性

図-4は、各鼻線り間の水面形を示す。いずれの鼻線り間においても水深は $0 < x - x_1 < 14\text{cm}$ 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、 $14\text{cm} < x - x_1 < 29\text{cm}$ では流下方向に増大しており圧力に静水圧分布を仮定すればこの区間では逆圧力勾配となっている。図-5および図-6は、それぞれ2基目と3基目の鼻線り間および5基目の鼻線りの下流位置における主流速の等値線と二次流ベクトルを示す。図-5より、主流速の高速域は流下方向に若干拡大しているがほぼ相似な流速分布形を呈している。しかし、路床からの高さ z が鼻線りの半径である 11cm を越えた上層においては、全般的に逆流を形成し、その大きさは鼻線り壁間の中央部に当たる $x - x_2 = 14.5\text{cm}$ で大きな値を示す。二次流は、横断成分に較べて鉛直成分が卓越し、鼻線り流出直後の $x - x_2 = 2\text{cm}$ においては上層の $z > 11\text{cm}$ で強い下降流が現れ、鼻線り流入直前の $x - x_2 = 27\text{cm}$ においては上層の $z > 11\text{cm}$ で強い上昇流が発生することに特徴がある。即ち、鼻線り間の流れは鼻線り壁面の境

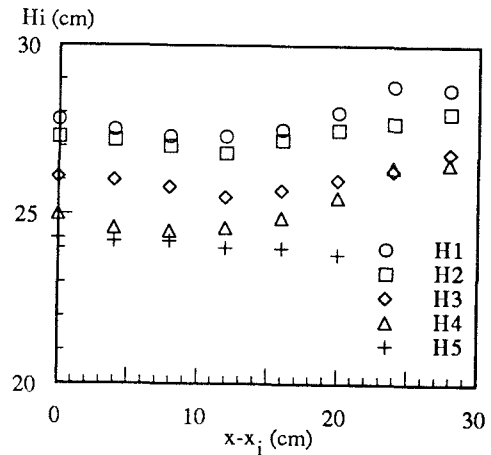


図-4 鼻線り間の水面形

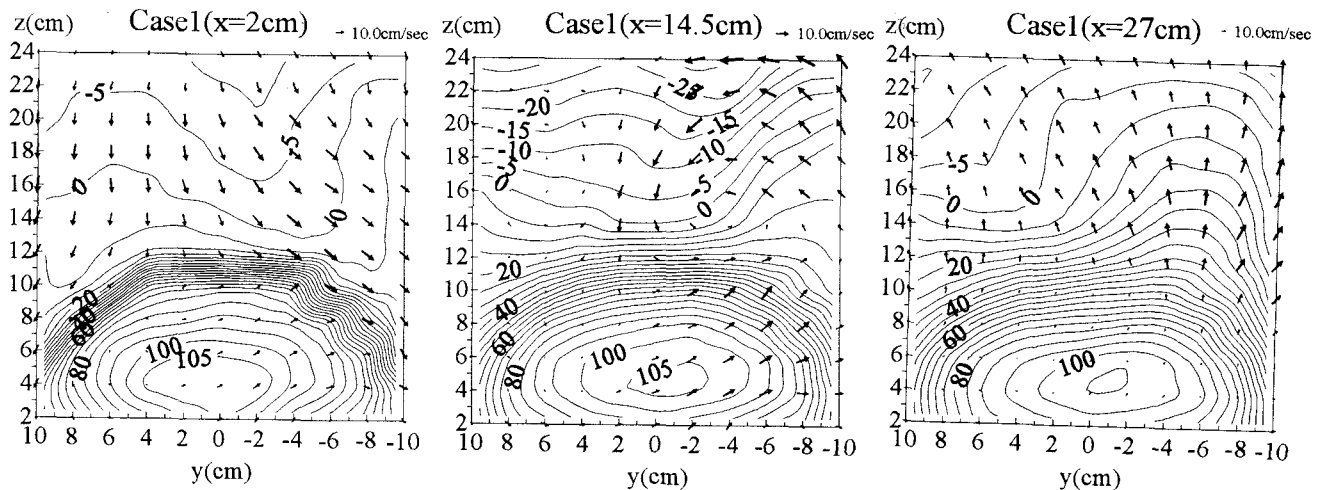


図-5 主流速の等値線および二次流ベクトル (鼻線り間)

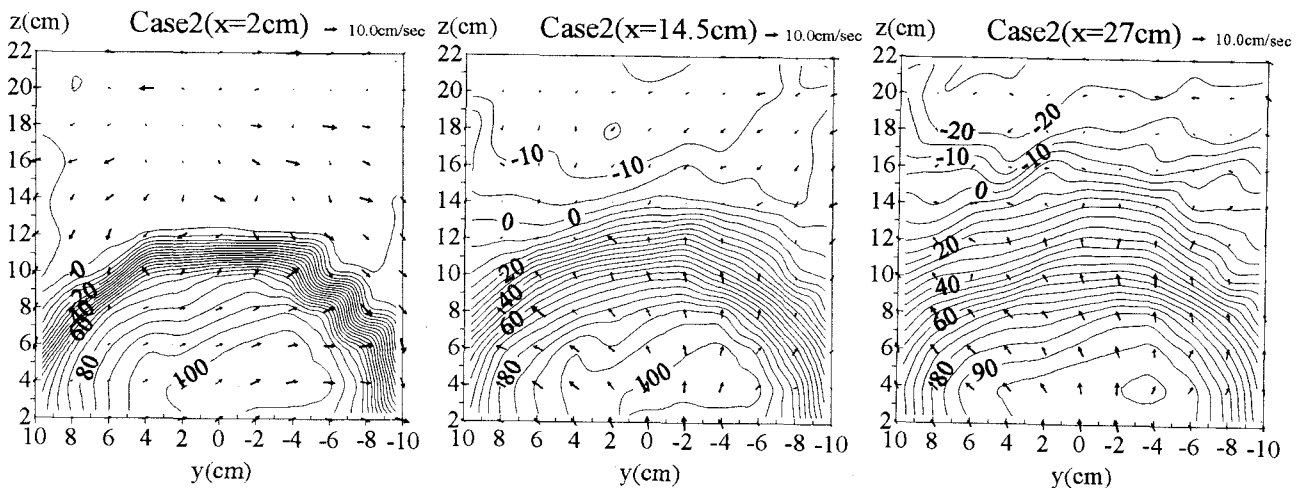


図-6 主流速の等値線および二次流ベクトル (鼻線り下流部)

界の影響を強く受けた形を取り、上流の鼻縁りを通過した壁面噴流本体は、流下方向に空間スケールを拡大し鼻縁りの半径11cmを越えて発達した上層の流れは下流側の鼻縁り壁面に衝突して上昇流に向きを変え、水面付近では大きな逆流となって反転し、上流の鼻縁り壁面に衝突し下降流となって、壁面噴流本体に合流する形を取り、下層の壁面噴流と上層の循環流が強い相互作用を取ることが窺える。一方、下流側に障害物としての鼻縁りが無い場合には、図-6から主流速は半円形の壁面噴流が流下に従って鉛直上方に拡大し、一様に減衰したものと解釈できる。また、二次流は横断成分に較べて鉛直成分が卓越し、半水深以下の下層において発生した上昇流が流下に伴って発達していることが認められる。図-5と図-6との比較から、主流速は半水深より下層の壁面噴流部は両者ではほぼ類似の傾向を持つが、極大流速は鼻縁り間の方が大きな値を示す傾向にあること、および二次流と半水深より上層における主流速は鼻縁り壁面の影響により両者で大きく異なる。

図-7および図-8は、それぞれ図-5および図-6に対応した水路中央部の主流速の鉛直分布を示す。図-7より鼻縁り間の主流速は、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、それより上層では主流速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、極大流速 U_{max} は $x=2\text{cm}$ で $U_{max}=110\text{ cm/sec}$ 、 $x=27\text{cm}$ で $U_{max}=107\text{ cm/sec}$ 、境界層厚さ δ は $x=2\text{cm}$ で $\delta=3\text{ cm}$ 、 $x=27\text{cm}$ で $\delta=4\text{ cm}$ である。図-8は、下流側に障害物としての鼻縁りが無い場合であり、極大流速は $x=2\text{cm}$ で $U_{max}=104\text{ cm/sec}$ 、 $x=27\text{cm}$ で $U_{max}=98\text{ cm/sec}$ 、境界層厚さは $x=2\text{cm}$ で $\delta=4\text{ cm}$ 、 $x=27\text{cm}$ で $\delta=3\text{ cm}$ である。また、半値幅（主流速が極大流速の1/2となる z の値）は、図-7および8から何れの場合にも11cmである。極大流速は、鼻縁り間の方が、下流に鼻縁りが無い場合に較べて大きくなっていることが注目される。鼻縁りより下流の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係数 τ_0 は、Bradshaw等⁶⁾によれば次式によって表される。

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

ここに、 ρ は水の密度、 ν は動粘性係数である。上式を鼻縁り間の流れ場に適用すれば、 $\tau_0 / \rho = u_*^2 = 27.2 (\text{cm/sec})^2$ となることから実際の鼻縁りにおいて、摩擦速度は $u_* = 16.5\text{ cm/sec}$ となる。それ故、無次元限界掃流力を0.05とすれば、鼻縁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0.2 mm程度のヨナが鼻縁り井手に堆積することはない。

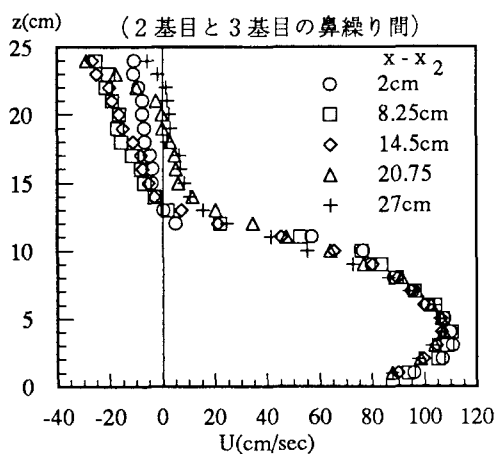


図-7 主流速の鉛直分布

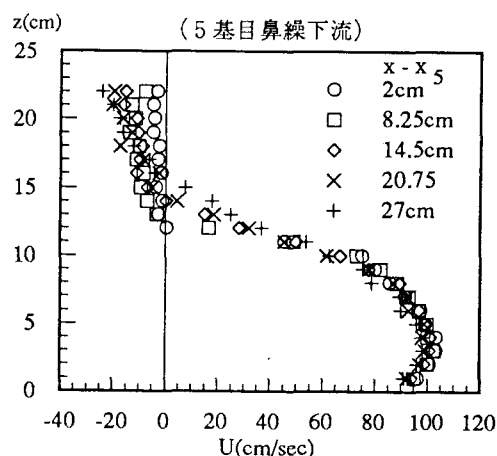


図-8 主流速の鉛直分布

4. 2 乱れ特性

図-9および図-10は、それぞれ鼻縁り間および鼻縁り下流部における主流方向と鉛直方向の流速変動からなるレイノルズ応力 $-u'w'$ の水路中央での鉛直分布を示す。図-9より、全般的に鼻縁り間においてはレイノルズ応力の絶対値は、半値幅に近い $z=11\text{cm}$ 近傍において極大値を取ることおよびゼロとなるのは $z=5\text{cm}$ である。また、レイノルズ応力がゼロ点となる位置は、図-7の極大流速の発生位置と一致せず上層に

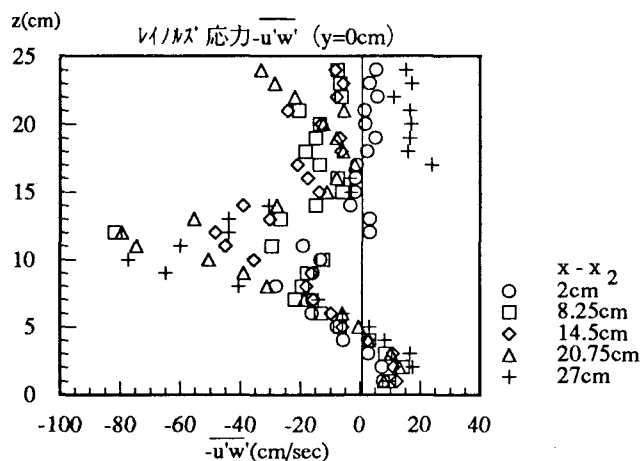


図-9 レイノルズ応力 ($-\overline{u'w'}$) の鉛直分布

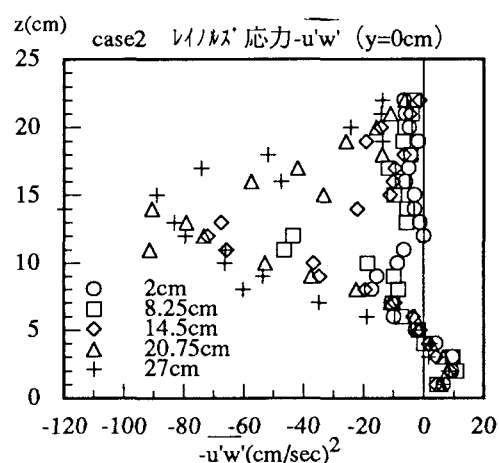


図-10 レイノルズ応力 ($-\overline{u'w'}$) の鉛直分布

あること、およびレイノルズ応力の絶対値は、流下に従って増大することが分かる。一方、下流側に障害物となる鼻縁が無い場合には、図-10より全体的傾向は図-9に類似しているが、レイノルズ応力の絶対値の極大値は、鼻縁間の場合に較べて若干大きく、その発生位置は $z=14\text{cm}$ であり、多少高い位置にあることが分かる。また、何れの場合においてもレイノルズ応力は、 $z=7\text{cm}$ 以下の下層では相似性を保っているが、それより上層では大きく崩れている。

5. まとめ

本研究では、加藤清正によって築造された鼻縁井手を現地調査することにより、その実態を明らかにした。さらに、模型実験により鼻縁間の流れおよび土砂輸送能力について検討した。得られた結果を要約すれば、以下の通りである。

- (1) 鼻縁は半壊状のもの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) 鼻縁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) 鼻縁間の流れは、下層では壁面噴流の形態、上層では循環流を形成することが明らかにされた。
- (5) 鼻縁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以下の砂を流送する能力があることを明らかにした。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、数多くの資料を提供して下さった建設省熊本工事事務所長の高野安二氏、馬場楠土地改良区理事長の永坂元二郎氏、九州開発エンジニアリング顧問の堀井武雄氏および現地調査等に協力して頂いた熊本大学工学部技官の矢北孝一氏、河川研究室学生諸氏に対してここに厚くお礼申し上げます。

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（新潮社復刊、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