

# 鬼怒川礫河道における盛石構造物(トリピラ水制)の洪水による変形とその考察

## FIELD OBSERVATION ON THE STABILITY OF TRI-PYRA GROUYNE AT KINU RIVER

須賀 如川<sup>1</sup>・三品 智和<sup>2</sup>  
Nyosen SUGA and Tomokazu MISHINA

<sup>1</sup>フェロー員 特別上級技術者[防災] 工博 宇都宮大学名誉教授 河相工学研究堂 代表  
(〒276-0023 千葉県八千代市勝田台4-2-4)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 中央技術株式会社 設計部 河川チーム (〒310-0902 茨城県水戸市渡里町3082番地)

This paper deals with the results of field observation on the body change of Tri-Pyra groynes after floods and its consideration. Nine groynes which were made only by stone and gravel were constructed at the gravel and stone bed channel of the Kinu River. The length and the height of the groyne are about 10m and 2m respectively. Soon after the construction, floods occurred 4 times in 2 years. Field investigation and 2D flow calculation lead to the conclusions that the local erosion around the groyne during the floods was negligible and that the deformation occurs according to the coming off phenomena of surface stones of 20cm in diameter at high flow velocity larger than 3m/s. This information is considered to contribute to practical application.

**Key Words :** *Tri-Pyra groyne, stone and gravel structure, field observation, Kinu River, practical application*

### 1. はじめに

鬼怒川の礫河道にトリピラ水制が9基施工された。この水制は、ブルトラーとバックフォーで積み上げただけの簡易な盛石状(盛土)の構造物である。積石等の安定対策工は行っていない。代表的なトリピラ水制の大きさは、長さ $L=10\text{m}$ 、高さ $Z=2\text{m}$ 、河岸での幅 $B=20\text{m}$ 程度である。施工数は平成22年度末に6基、平成23年度末に3基である。竣工後すぐに洪水があった。洪水は平成23年に2回、平成24年に2回である。そのうち、平成23年9月末の洪水(台風15号)は、顕著な洪水であった。これらの洪水によりトリピラ水制に変形が生じた。

ここではトリピラ水制の変形内容について、現地調査を行い、一部については2次元流況計算(固定床)による比較検証を行った。さらに平成19年度に鬼怒川で実施した礫追跡調査や更新層厚調査の結果も踏まえた考察を行った。その結果、トリピラ水制の変形は局所洗掘に基づいて変形が生じたのではなく、表面の個々の礫が流れによって剥がれたことが主因であることがわかった。また、礫の流失が生じ易い場所は、水制先端部と中央の尾根筋付近であることが判明した。この結果は、トリピラ水制の構造設計に役立つものと考えられる。

### 2. 鬼怒川のトリピラ水制

#### (1) トリピラ水制の概要

トリピラ水制<sup>1)2)</sup>とは、三角錐を寝かせた形状を基本とする準不透過の越流型水制である。その特徴は斜面形状にあり、それが平面的にも斜めとなっていることである。トリピラ水制は自然形成型の水制であるとも言える。自然形成の水制として、文献<sup>3)</sup>では富士川禹之瀬地区のもの、笛吹川上流の琴川合流点のもの、また国外の例として中国の怒江、イタリアのテベレ川の例を紹介している。これらは礫や玉石のみによって形成されている。また、類似型の既存水制としては、斜面が強調されるものに伝統工法の荒籠(あらこ)や多摩川の二子玉川地区のもの、平面的に斜めのものに網走川の石積水制<sup>4)</sup>などがある。

斜面効果については、筑後川の荒籠に関する水理実験の例<sup>5)</sup>がある。これによれば、水制先端部の局所洗掘の規模が水制天端以下の水位に対して僅少であり、越流の条件のもとで洗掘が拡大することが示されている。また、平面的にみて下流側に斜めの水制は、通常の直角水制と比べて非越流時の渦の形成が緩やかである。トリピラ水制はこの両方を併せ持つものである。また、このことは自然形成の河岸堆積物の状況からも裏付けされている<sup>1)</sup>。

表-1 鬼怒川におけるトリピラ水制の現地施工と実績洪水の概要

施工地区 平均河床勾配 水制の構成材料	竣工日 基 数	水制諸元				施工後の洪水実績							
		NO 上流 より	水制長 L	水制高 Z	間 隔 S (中心間)	1) 台風12号 H23. 9. 4		2) 台風15号 H23. 9. 21		3) 低気圧 H24. 5. 4		4) 台風4号 H24. 6. 20	
						状態	Q m <sup>3</sup> /s V m/s	状態	Q m <sup>3</sup> /s V m/s	状態	Q m <sup>3</sup> /s V m/s	状態	Q m <sup>3</sup> /s V m/s
a) 塩谷町大久保 98. 0k付近 (左岸) i=1/200 φ200mm以上	H23. 4月 2基	1)	L=10m	Z=2. 4m		残存	Q=1100 (佐貫) V=3. 3	小	Q=2400 (佐貫) V=4. 6	中	Q=900 (佐貫) V=3. 1	大	Q=1700 (佐貫) V=3. 9
		2)	L=20m	Z=3. 6m	L=30m	残存		小		中		大	
b) さくら市押上 95. 0k付近 (左岸) i=1/200 φ10~50mm	H23. 4月 2基	3)	L=13m	Z=3. 0m		大	Q=1100 (佐貫) V=3. 8	流失	Q=2400 (佐貫) V=5. 1	流失に付き 水制無し		流失に付き 水制無し	
		4)	L=20m	Z=3. 5m	L=60m	大		流失					
c) 宇都宮市石井町 76. 0k付近 (左岸) i=1/300 φ200mm以上	H24. 4月 3基	5)	L=10m	Z=2. 0m		未施工		未施工		残存	Q=900 (石井) V=2. 0	中	Q=1700 (石井) V=3. 1
		6)	L=10m	Z=2. 0m	L=60m	未施工		未施工		残存		中	
		7)	L=10m	Z=2. 0m	L=60m	未施工		未施工		残存		中	
d) 宇都宮市鑑山町 73. 75k付近 (左岸) i=1/300 φ100mm	H23. 4月 2基	8)	L=14m	Z=3. 0m		大	Q=1800 (石井) V=3. 9	流失	Q=4800 (石井) V=5. 3	流失に付き 水制無し		流失に付き 水制無し	
		9)	L=20m	Z=3. 0m	L=80m	大		流失					

残 存 : 変形無し, 小 : 水制先端部の流失, 中 : 水制先端部と水制天端部の流失, 大 : 水制本体の残存率が1/2以上, 流 失 : 全流失

## (2) 鬼怒川のトリピラ水制の期待されていた効果

今回、鬼怒川において施工された水制は、現地発生の礫や玉石等をブルトーザーとバックホーで盛土・整正したものであり、石積加工等は行っていない。計画当初は以下のことが期待されていた。a) 基礎処理無しで直接河床に盛石を行う簡易構造のため、施工が容易であり、施工後の維持修繕も容易である。また、基本的に水深と流れが顕著でない限り、仮締切無しでの施工が可能であり、施工付近のアーモアコートの破壊を最小限に抑えられる。b) 数回の小洪水によって砂が入り込んで間詰めが行われ、それと同時に表面礫のアーモア化が進行し、水制自体の強度が増加する。この際に安定する方向への多少の変形や成長もあり得る。c) 水制の安定により背後の寄州が形成され、植生繁茂による固定化によって河岸保護に効果がある。d) 大洪水時で流速の大きい条件のもとでは、通常の直角方向で強固な直壁タイプの水制の場合と異なり、水制周辺の局所洗掘は軽微と考えられる。また、盛石の表面の玉石や礫は次々と剥がされるが、本体の変形の進行は通常水制に比して緩慢であると想定される。これによって洪水流による河岸付近の局所洗掘や河岸侵食の進行を抑制する効果が期待できる。

## (3) トリピラ水制の現地施工

水制は鬼怒川の直轄区間内において、平成23年4月完成3地区、平成24年4月完成1地区、計4地区にて9基施工された。対象地区の詳細は、a) 塩谷町大久保(98k左岸)、b) さくら市押上(95k左岸、東北新幹線直下)、c) 宇都宮市石井町(76k左岸)、d) 宇都宮市鑑山町(73.75k左岸)である。c)の宇都宮市石井地区以外はトリピラ水制の上流にそれぞれ同数の通常の石出し水制も設置されており、水

制の総数は15基である。表-1にはトリピラ水制を取上げ、その緒元と施工後の洪水実績を示した。表に示す流速値は河岸沿い流速の推定値であり、過去の洪水痕跡から水面勾配を推定し、今回の洪水痕跡高と粗度係数(河道諸元値)から算出した等流計算値である。

トリピラ水制の構造としては、現地発生材を使用した盛石構造を基本としており、地区別に構成材料を3種類(φ10~50mm, φ100mm以上, φ200mm以上)に分けている。また、規格としては、水制長:10~20m, 水制高:1~3.5m, 水制間隔(中心間隔):30~80mの範囲としている。

## 3. トリピラ水制の洪水による変形

### (1) 施工後の洪水実績

施工後の洪水実績としては、平成23年9月には立て続けに2回の洪水(台風12号, 台風15号)が生起し、なかでも台風15号(Q=2400m<sup>3</sup>/s, 佐貫)は比較的規模が大きく、最近10年間では最大である。平成24年洪水は9月現在で、2回生起(低気圧, 台風4号)している。なお、参考までに図-1に佐貫観測所の流量データ(H12~H16の5年間)を用いて、流量と年洪水発生回数との関係を示した。この図より対象の4洪水の内、3洪水はQ=1000~1500m<sup>3</sup>/sの範囲にあり、年1回程度の洪水に相当する。

洪水後の残存状況については、平成23年3月完成の3地区(a)b)d)地区)の水制6基は、平成23年9月初(台風12号)の洪水には耐えたものの、同年9月末(台風15号)の洪水によって4基が流失した。残った水制は最上流のa)塩谷町地区であるが、2回目の洪水(台風15号)によって水制の先端部が流失した。

また、平成24年4月完成のc)地区の水制2基については、現在のところ2回の洪水に耐えて残っている。ただし、2回目の洪水(台風4号)によって水制の先端部と尾根筋付近の材料が移動し、平面形状にも変形が生じた。

### (2) 流失したトリピラ水制 [押上(95k), 鑑山町(73.75k)]

b)のさくら市押上(95k)の水制は、 $\phi 100\text{mm}$ 程度の玉石を含んだ10~50mmの砂利主体の構成材料である。また、河岸にはカゴマットが設置されている。洪水時の河岸沿いの流速の推定値として、1回目の洪水(台風12号)では3.8m/s程度、2回目の洪水(台風15号)では5.1m/s程度と推定された。河岸状況については、カゴマットの覆土は流失したものの、河岸浸食は受けていない。

d)の宇都宮市鑑山町(73.75k)の水制は、 $\phi 100\text{mm}$ 以上の玉石主体で構成され、3基の水制間の河岸には $\phi 100\text{mm}$ 以上の捨石工が敷設されている。洪水時の河岸沿いの流速の推定値として、1回目の洪水(台風12号)では3.9m/s程度、2回目の洪水(台風15号)では5.3m/s程度と推定された。b)とd)地区の結果を踏まえて、河岸沿い流速がおおよそ5m/sを超えると、径10cm以下の材料では表面から離脱し、流失まで至るようである。

ここで図-2には、d)の鑑山町地区の台風前後(台風12号前と台風15号の後、その間2洪水生起)の河岸侵食幅の縦断変化を示した。なお、河岸侵食幅の判定は航空写真から判読しているため、 $\pm 1\sim 2\text{m}$ 程度の誤差はある。また、上流側の2基は通常の棒状の石出し水制である。この図より水制上下流の自然河岸では、10m以上の河岸侵食が生じたが水制区間は5m以下であった。ただし、上流側の石出し水制では右岸から左岸に向けての横断方向の流れ(クランクフロー)によって河岸侵食が顕著となっている。これから水制は流失したものの、河岸沿い流れに対しては水制と捨石による河岸侵食の軽減が図られたものと考えられる。

### (3) 残存したトリピラ水制 [大久保(98k), 石井町(76k)]

a)の塩谷町大久保(98k)の水制は、 $\phi 200\text{mm}$ 以上の玉石主体で構成され、水制間の河岸には $\phi 200\text{mm}$ 以上の捨石工が敷設されている。洪水時の河岸沿いの流速の推定値として、1回目(台風12号) : 3.3m/s, 2回目(台風15号) : 4.6m/s, 3回目(低気圧) : 3.1m/s, 4回目(台風4号) : 3.9m/sである。2基共に1回目の洪水では残存したものの、2回目の洪水にて水制先端部が一部流失し、3・4回目の洪水により水制本体の1/2が流失した。水制背後の寄州については、4回の洪水によって、寄州規模の増大が図られ、一部で植生繁茂が見られる。河岸侵食幅については、水制と捨石工により侵食が生じておらず維持されている。

c)の宇都宮市石井町(76k)の水制は、 $\phi 200\text{mm}$ 以上の玉石主体で構成され、水制間の河岸には $\phi 200\text{mm}$ 以上の捨石工が敷設されている。河岸沿いの流速の推定値として、1回目(低気圧) : 2.0m/s, 2回目(台風4号) : 3.1m/sであ

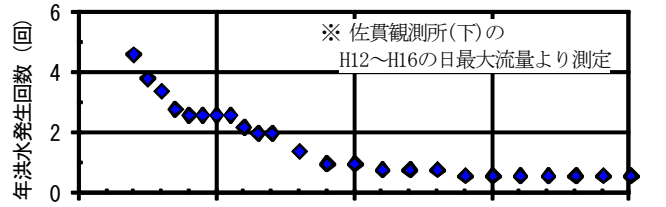


図-1 年間の洪水生起回数(佐貫観測所(下))

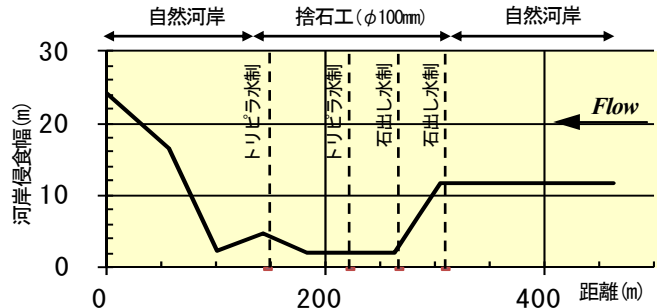


図-2 鬼怒川鑑山町地区(73.75k)の河岸侵食幅



写真-1 水制表面の礫移動(鬼怒川石井町地区)

る。3基共に1回目の洪水では残存したものの、2回目の洪水において写真-1に示すように水制先端部と尾根筋付近が流失し、平面形状に変形が生じた。また、河岸侵食は生じておらず、水制背後の寄州の形成が確認された。

## 4. 数値実験による水制付近の流れの近似値

### (1) 数値実験の概要

c)の宇都宮市石井町(76k左岸)のトリピラ水制を対象として、既存の2次元計算<sup>5)</sup>を用いて実績洪水の近似検証を試みた。なお、2次元計算による一般の越流型水制の再現性は小さいが、トリピラ水制では自然界の河岸堆積物において局所洗掘や河岸侵食を受けた痕跡が無いこと、また既発表論文<sup>4)</sup>での類似水制(荒籠)の水路実験より、2次元性の大きな流れの範囲(非越流)では水制周辺の水平軸渦の発生は少なく洗掘量も軽微との実験結果を受けて、ここでは2次元計算による検討を試みている。

数値実験の概要としては、1/200の直線河道に76k地先のトリピラ水制を図-3のように単純化して設定し、表-2に示す計算条件で2次元計算を行った。流量設定につい

ては、平成24年5月洪水(低気圧)と同年6月洪水(台風4号)の痕跡水位を参考にし、水制天端付近(H24.5月洪水、H=2m程度)と水制中腹(H24.6月洪水、H=1m程度)になるような流量( $Q=100 \cdot 300 \text{ m}^3/\text{s}$ )を設定した。縦断勾配については、区間の平均河床勾配が1/300程度であるが、当該付近の河岸沿いの地形で見ると蛇行の集束部で若干急であることから、1/200に設定している。

## (2) 計算結果

2次元計算の結果として、まず図-4に水制付近の流速ベクトルを流量別( $Q=100 \cdot 300 \text{ m}^3/\text{s}$ )に示し、図-5に水制1基目(上流側)の水制中心部( $x=88$ )における水位と流速の横断変化を示す。この結果より、ベクトル図を流量別と比較すると、 $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ (水制中腹の水位)で、かつ上流側の1基目において、水制による顕著な流向変化が生じている。 $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ (水制天端付近の水位)では、1基目は流向変化が生じているものの、2基目と3基目はほぼ直線的な流れを呈している。水制背後の平面渦については、その規模は流量の小さい $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ のケースで大きく、かつ上流側の1基目で顕著な平面渦が見られる。また、流速の横断変化については、水制の河岸取付近( $y=50$ )で最大値を示し、先端に向けて徐々に低下している。

次いで河岸沿い流速について、その縦断変化( $y=53$ )を図-6に示す。水制による河岸沿い流速の低下量は、 $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では水制無しの場合の河岸流速 $2 \text{ m/s}$ に対して1~ $1.5 \text{ m/s}$ に低減し、 $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ 時では水制無しの場合の河岸流速 $3 \text{ m/s}$ に対して、水制本体を除くと2~ $2.5 \text{ m/s}$ にそれぞれ低減している。

ここで水制本体に掛かる流速について、図-7に流量と流速の関係を場所別に示す。場所別としては水制上流側・尾根筋・水制先端とし、その代表値は図-3の立体図に示す①水制上流側は河岸接続部( $y=56 \text{ m}$ )から2m離れ水制中心線より2m上流側の地点とし、②尾根筋は河岸接続部( $y=56 \text{ m}$ )から水制中心線上に2m離れ地点とし、③水制先端は河岸接続部( $y=56 \text{ m}$ )から水制中心線上に5m離れ地点

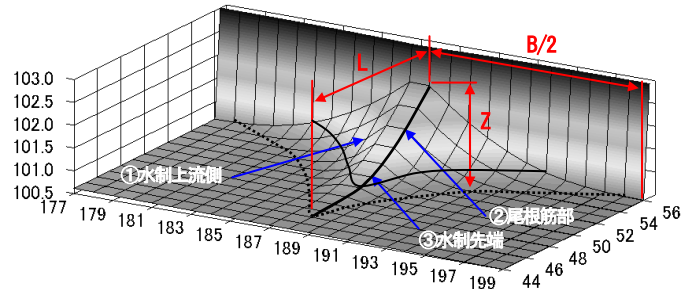


図-3 トリピラ水制

表-2 数値実験の概要

水制タイプ	トリピラ水制
水制基数 N, 水制間隔 S	N=3基, S=50m(L×5倍)
水制諸元 図-3参照	L=10m, Z=2m, B=20m
計算地形	301m×65m = 19,565 1メッシュ: 1m×1m(直交座標) 低水路幅: 50m, 河床勾配: i=1/200
流量条件 Q	$Q=100 \cdot 300 \text{ m}^3/\text{s}$ (定常流)
粗度係数 n	n=0.035

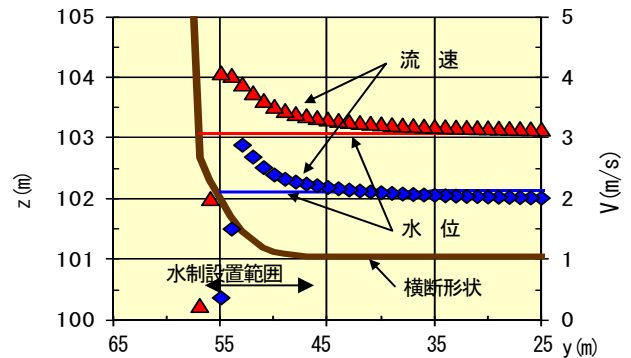


図-5 横断方向の水位と流速( $x=88$ ) [流速は絶対値]

とした。また、図-8・図-9・図-10には1基目を取上げ、流速( $Q=100 \cdot 300 \text{ m}^3/\text{s}$ )、無次元掃流力 $\tau_*$ ( $Q=100 \cdot 300 \text{ m}^3/\text{s}$ )及びフルード数( $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ )の分布図をそれぞれ示す。なお、無次元掃流力は $\tau_* = hI/1.65d$ とし、エネルギー勾配Iを Manning式( $I = (V \cdot n / h^{2/3})^2$ )より算出した。よって、流速Vと水深hは2次元計算値を与え、粗度係数( $n=0.035$ )とトリピラ水制の構成粒径( $d=20 \text{ cm}$ )を一律に与えた簡略値

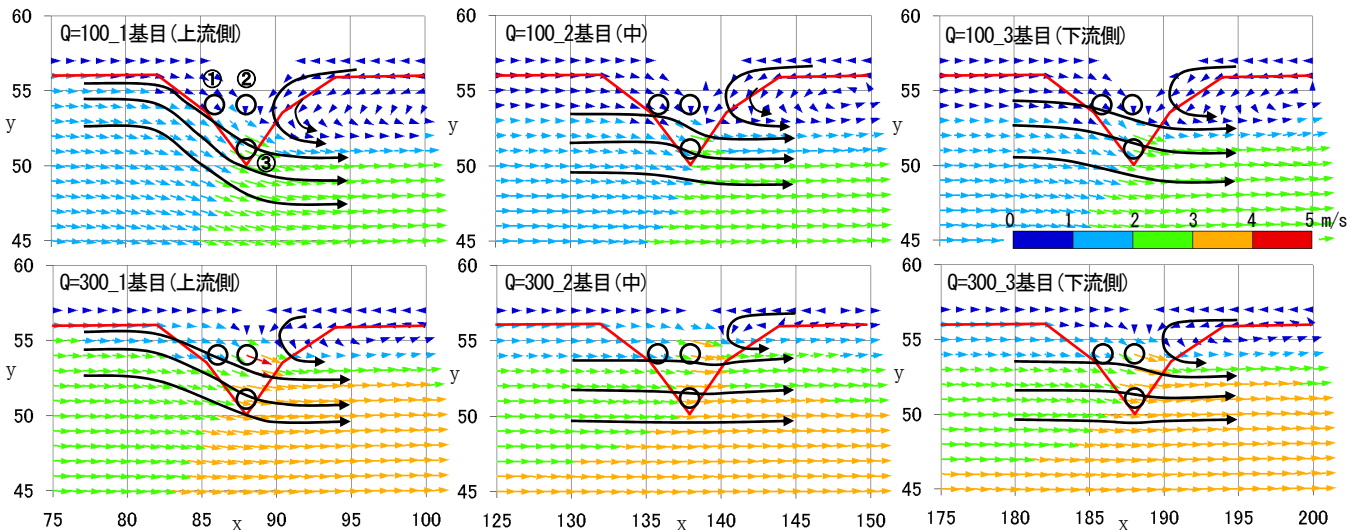


図-4 ベクトル図(平面単位:m) [図示の○印は図-3と対応し、①水制上流側、②尾根筋、③水制先端]



である。これらの結果から水制本体に掛かる流速としては、①水制上流側、②尾根筋、③水制先端に分類すると、②尾根筋の流速が顕著に増大している。また、1基目に着目してみると、 $Q=300\text{m}^3/\text{s}$ の時に尾根筋付近で $4\text{m}/\text{s}$ 以上の高い流速域が発生しており、そのFr数は1を超え射流を呈している。また、無次元掃流力 $\tau_*$ の値で見ると、 $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ 時には水制先端付近のみで高く $\tau_*=0.03\sim 0.05$ の範囲にある。 $Q=300\text{m}^3/\text{s}$ 時には②尾根筋・③水制先端・①水制上流側の順で高く、その値は② $\tau_*=0.07\sim 0.09$ 、③ $\tau_*=0.04\sim 0.05$ 、① $\tau_*=0.01\sim 0.02$ の範囲にある。このように流速・無次元掃流力共に流量が増えると、尾根筋付近の値が顕著に増大していることがわかる。

### 5. 水制の礫の移動や洗掘に関する考察

トリピラ水制の強度に関して、本体に掛かる流速は計算結果から水制中腹の水位( $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ )では $3\text{m}/\text{s}$ 以下、水制天端の水位( $Q=300\text{m}^3/\text{s}$ )では $5\text{m}/\text{s}$ 以下であることがわかった。この計算結果をモニタリング結果と照合すると、水制中腹の洪水(H24.5月洪水)ではほぼ原形を留めており、 $3\text{m}/\text{s}$ 以下の流速には耐えるものと判断できる。しかし、水制天端(H24.6月洪水)まで水位が上昇すると、水制先端と尾根筋において表面礫が流失し、それに伴う変形が生じている。これから水制表面からの礫の離脱は $3\text{m}/\text{s}$ 以上の範囲で生じるものと考えられる。なお、無次元掃流力 $\tau_*$ で見ると、水制中腹の水位( $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ )では水制先端部で $\tau_*=0.03\sim 0.05$ にあり、水制天端の水位( $Q=300\text{m}^3/\text{s}$ )では尾根筋付近で $\tau_*=0.07\sim 0.09$ にある。これから判断して、離脱の限界掃流力は概ね $\tau_{*c}=0.05\sim 0.07$ の範囲にあることが考えられる。

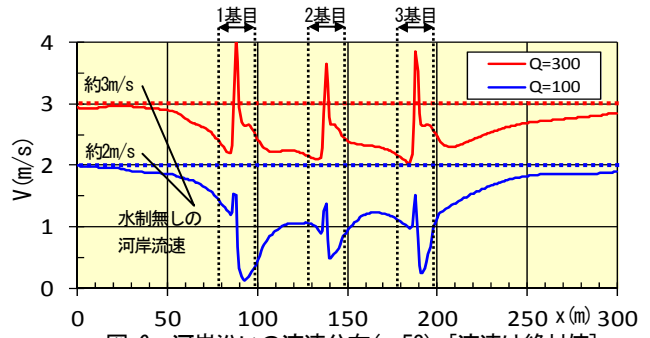


図-6 河岸沿いの流速分布(y=53) [流速は絶対値]

水制表面からの礫の離脱過程については、2通りに分けることが適当だと思われる。一つ目は水制先端からの離脱である。これは先に流速増加が生じる水制先端で離脱が生じ、追って河岸方向に伝播するケースである。特に水制先端部が一度流失すると、水制自体の自律性(安定勾配)が低下し、以降の洪水流によって徐々に流失度を増していることが主因と考えられる。二つ目は尾根筋からの離脱であり、その後水制の平面形状に変形が生じるケースである。その原因の一つが尾根筋付近での射流域の発生である。また、礫が少し動くそのまま移動する形状であり、水制表面からの離脱量が増加する。平面形状の変形は尾根筋より下流側面で生じ、上流側面の変形は僅少である。地区別の残存状況から判断すると、前者の離脱過程はa)塩谷町大久保が該当し、後者はc)宇都宮市石井町が該当する。b)のさくら市押上とd)の宇都宮市鑑山町については、他の地区に比べて水制の構成材料も小さく、洪水増水期から離脱が開始されたと予想され、前者の影響が大きいものと判断している。

離脱した礫については、まず水制近傍に留まり、その後遠方へ移動しているようである。参考値として、図-11に東北自動車道地区(96k)での単体礫の礫追跡調査の結果<sup>6)</sup>を示す。この調査は平成19年9月洪水( $Q=2000\text{m}^3/\text{s}$ 、

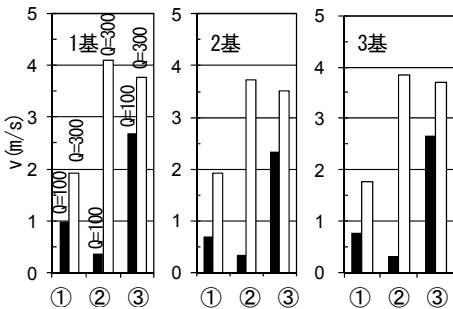


図-7 水制本体に掛かる流速 [流速は絶対値]

※ ①水制上流側、②尾根筋、③水制先端の位置を 図-3と図-4に記入

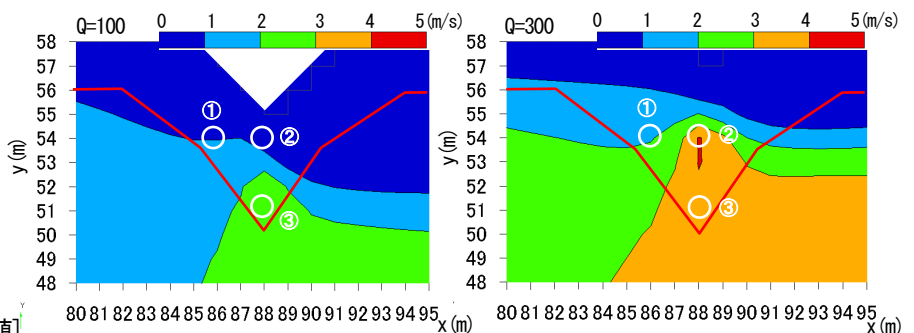


図-8 流速分布図(1基目) [流速値は絶対値]

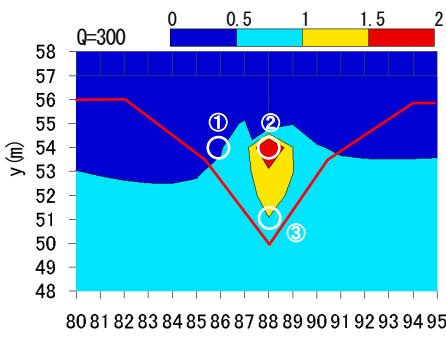


図-9 フルード数分布図(1基目)

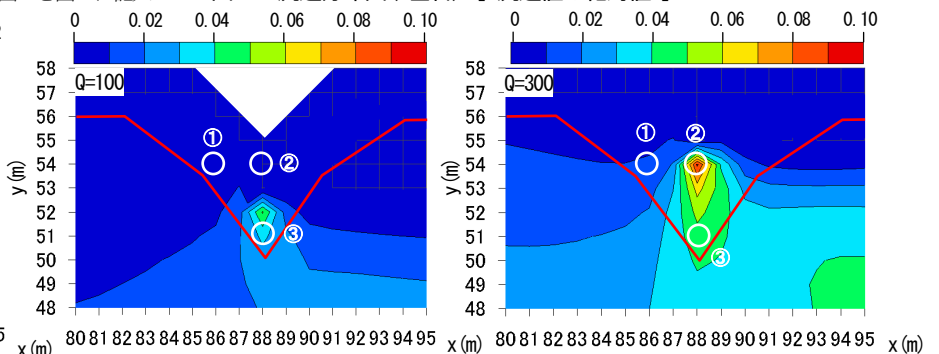


図-10 無次元掃流力 $\tau_*$ (1基目)

佐貫)による礫移動距離を示したもので、台風15号(H23.9月洪水)に次ぐ洪水流量であった。この結果から径1.4mの巨石は留まるものの、径0.5m以下の玉石等は礫径に関係なく、60~230mの範囲で移動している。移動距離が小さい場合の礫(10m以下)は、洪水主流から離れた場所にあり、流速は2m/s以下である。このように一度離脱した礫は、単体礫となり礫同士のジャムアップ等による停止が無い限り、遠方に輸送されるものと考えられる。

次いで水制背後の礫の寄州形成に関しては、その堆積量は平面渦の規模とその継続時間が関与しているものと考えられる。計算結果より平面渦の規模は水制中腹水位(Q=100m<sup>3</sup>/s)の方が大きく、その流速範囲は1m/s以下である。モニタリング結果からは、石井地区(76k)の寄州は現在のところ固定化まで至っていないものの徐々に堆積していくものが見られる。また、塩谷町地先(98k)の寄州はこれまで4回の洪水が生じ固定化している。この寄州の固定化は河岸保護にも有効的と判断している。

ここで水制周辺の局所洗掘に関して、既往調査<sup>9)</sup>の結果を踏まえて考察する。図-12は1回の洪水における更新層厚の調査結果を示したもので、図-11の結果と同地区・同洪水で実施されたものである。調査手法は図示のように長さ2.5mの鉄筋棒を河床以深に埋設し、河床表面にリングを設置し、1回の洪水での最大侵食深(当初リング位置と侵食で降下したリング位置との差分)と最大堆積深(降下した位置と洪水後の河床高との差分)を観測するものである。この結果から当該地区の場合には、全体を通して最大侵食深が最大堆積深を上回っている地点が多く、侵食傾向(河床低下)にあることがわかる。また、最大侵食深が80cm以上の地点は洪水主流部や構造物<sup>6)</sup>(低水路内に設置した幅30m、長さ70m、高さ2m程度の大礫盛土・大礫堆と呼ぶ)の近傍であり、最大侵食深が30cm以下の地点は洪水主流から離れた河岸付近である。トリピラ水制周辺の最大侵食深の詳細は不明であるが、残存水制の先端(76kの3基)での崩壊やすべりの形跡がみられなかったことから判断して、洪水主流や構造物等で見られる顕著な河床更新は発生していないものと考えられる。

## 6. 結論

本論文では鬼怒川礫河道におけるトリピラ水制の現地施工物件について、洪水後の変形を視察し関連の考察を行った。主要な結果を以下に示す。

1) 期待されていた効果の内、トリピラ水制周辺の局所洗掘が僅少であること、また水制背後の寄州形成などもあり、河岸保護に関しては今回の4洪水の外力条件のもとでは発現したものと考えられる。特に洪水後のトリピラ水制の残存部に局所洗掘による崩壊やすべりがみられなかったことは、従前の直壁タイプとは大きく異なる。

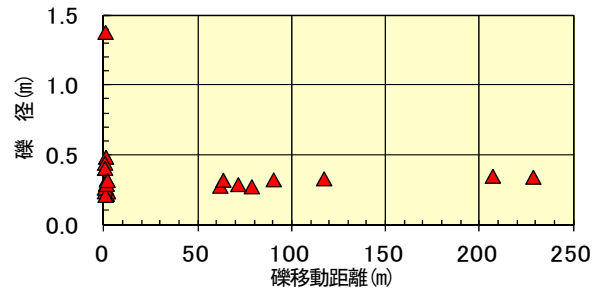


図-11 東北自動車道地区(96k)の礫移動距離

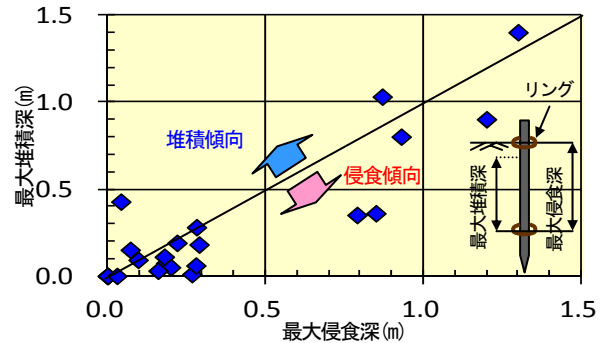


図-12 東北自動車道地区(96k)の更新層調査(リング調査)

2) 径20cm程度の玉石からなるトリピラ水制は、流速3m/s程度までの流速に耐え得る。初期に期待した洪水の繰返しによる表面礫の間詰めとそれに伴う水制自体の強度増加に関しては明確な確認はできなかった。今後の洪水の追跡調査を待つて再評価する必要がある。

3) 玉石が流失する部分は、水制先端と尾根筋である。流速5m/sでは玉石は流水によって容易に剥がされる。尾根筋付近の玉石は当初、水制下流面に堆積するが、次いで遠方にまで輸送されるようである。

4) トリピラ水制は河岸の補強対策に有効である。特に盛石のみの簡易構造の利点(施工の容易さや施工時のアーマールコートの破壊の最小化等)を活かした追加補強が容易であり、その際の補強すべきポイント(尾根筋・水制先端)がわかった。また数値実験の結果(流速・せん断力等)はトリピラ水制の設計時の参考値となり得よう。

**謝辞:** 関東地方整備局下館河川事務所には、現地施工地区の案内また工事内容および洪水等の説明をして頂きました。ここに感謝を表します。

## 参考文献

- 1) 須賀如川・三品智和：自然形成型水制の合理性に関する第一段の考察, 水工学論文集, Vol. 54, pp. 1033-1036, 2010. 2.
- 2) 須賀如川・三品智和：自然形成型水制(自然形成型水制)の実用性に向けた実態調査とその考察, 河川技術論文集, Vol. 16, pp. 101-106, 2010. 6.
- 3) 佐々木葉・河合隆當：網走川の挑戦, 建設業界 CE(2月号), 日本工業協会, Vol.59, 2010.
- 4) 市山誠・山本善光・古賀忠直・今村久代：筑後川城嶋地先における荒籠修復の実験による検討, 土木学会年次学術講演会, Vol. 61, 2006. 9.
- 5) 水理公式集例題プログラム集, 平成13年版.
- 6) H21 鬼怒川礫河原再生検討業務 報告書, (財)リバーフロント整備センター, 2010. 3.

(2012.9.30 受付)