

自然形成型水制の合理性に関する第一段の考察

BASIC INVESTIGATION OF A NEW TYPE GROUYNE BASED ON NATURE MADE

須賀 如川¹・三品 智和²

Nyosen SUGA, Tomokazu MISHINA

¹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番地)

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

This paper deals with a new type groyne which can be called nature made stone structure, or laid triangular sharp pyramid type groyne. This type of groyne can be seen at some gravel and stone bed river channels. On the other hand, man made old groynes of similar shape, called arako jetty, are still functioning at ash-mud bed channels in Kyushu, some are for more than 200 years. Here, considering the nationality of these groynes, stability and some function of the groyne were evaluated by field consideration, experiment and 2D calculation. Comparison was also made with ordinary type groynes. As conclusion, adaptation of this type of groynes is proposed as fundamental stages and the direction of further development is suggested.

Key Words : new type groyne, nature made structure, tripyra groyne, basic consideration, practical application

1. はじめに

水理的に合理性ある自然形成型(不透過の越流型)の水制を取上げる。合理性の内容としては、対象流量までの一般の水制に共通する機能を有し、通常洪水に対する強度と安定を併せ持つことである。このような構造物として、土砂量が少ない礫河川において長期的に安定して存在し、水制機能を発揮している自然形成の砂礫帯がある。これは長く伏した三角錐を基本とする形状となっている。本論文では、このような水制について、類似形状水制の実験結果の吟味、2次元水理計算の実施、及び適用性の検討を行い、自然形成型水制の合理性について第一段の考察を行った。その結果、川の自然の営力を反映した構造物という利点性、及び今後の発展性を示唆することができた。この論文では、これまで注目されることのなかった自然の造形物が有する水制機能を評価したところに実際面での意義と論文としての特徴があると言えよう。

2. 自然形成型水制と研究の内容

河川における注目すべき合理性が、長期にわたって安定した自然の各種の造形物に存在する。その一例として

自然形成型の水制が現実の河川において見られることがある。これにより河岸地形と安定した蛇行流路が維持されている場合には、明瞭な水制機能が存在すると判断される。例えば、中国の怒江は流砂量の少ない極めて安定した礫河川であるが、処々にこのような水制状の自然造形物がほぼ連続して見られる(後述)。日本の河川においても、巨石・玉石・礫などの多い溪谷等において存在例がある。これらの自然形成水制に共通する形状の特徴は、緩い斜面を有し、かつ方向が斜めの三角錐であり、英文では Laid Triangular Sharp Pyramid Type Groyne(Tri-Pyra Groyne)と表現できることから、以降これらの基本形を尊重した水制を自然形成型水制とし、「トリピラ水制」と呼称する。

トリピラ水制の形状と似た形状を部分的に持つ水制に荒籠(あらこ)がある。注目点は荒籠の側面及び先端部の斜面形状である。荒籠は九州の潟土(ガタド)河川において設置され、大規模な河道掘削の影響等によって損壊したものを除くと、古いものが数多く現存しており安定した構造物と評価される。なかには 200 年以上の長期わたり機能を持しているものも存在する。このことは局所洗掘が問題となる通常の水制と異なり、水制の先端や側面における洗掘が顕著でなく、水制自体の安定性が大

きいことを意味していると思われる。

本論文においては、水制全般の背景とトリピラ水制の位置づけを行った後、トリピラ水制が安定する理由について一般的考察を行う。次いで、従来の研究で得られている荒籠の先端部の洗掘軽減量の実験結果¹⁾に、補足的な数値計算を行って、水制先端部付近の流況を調べ荒籠の洗掘軽減効果の存在理由について吟味を追加する。トリピラ水制は荒籠の検討例から明らかにされた水制先端部等の形状の効果の水制全体に拡張したものと位置付けられる。ここでは、このことを定性的に考察の後、2次元流の数値実験によって検討を行った。これは水制周辺の洗掘量が小さいことから洪水流の局所的3次元性が低いと判断されることによる。その結果、トリピラ水制は流量が小さいときに水制の機能が大きいこと、及び流量が大きいときには自然の抵抗と自身周辺の局所洗掘の低減効果を有することなどもあり、安定度が大きいことが判明した。さらに適用範囲の拡大についての検討を行い今後の発展性に言及した。ただし、水制群としての機能については、今後の課題とした。

3. 河川における水制の課題とトリピラ水制の意義

(1) 水制の課題と従前の研究

水制建設の歴史は古い。利根川²⁾³⁾や信濃川⁴⁾においては、河川改修の初期の段階で流路安定対策に長い水制が適用された。木曾川や淀川でも舟運にも役立つ大型の水制が建設された。急流河川についても、実用的な水制の研究が行われた。その典型例は常願寺川の橋本規明⁵⁾によるピストル水制であり、その新技術が評価された。そして、水制の施工例の増加があった。戦後初期の段階で水制に関する全国調査が実施され、水制に関する考え方の整理が行われた⁶⁾。しかし、それにもかかわらず1960年代以降、水制は敬遠されているとみなしうる。この傾向は山本⁷⁾による全国的なレビューがあっても変わらない。河岸保護工としては、護岸の力学設計法⁸⁾と美しい山河を守る災害復旧基本方針⁹⁾を基本とした技術指針に基づいて全国規模で工事が行われている。その多くは災害後の対策工として実施され、そのなかで水制工が検討される事例は限定的である。その結果、一部の河道においてみおの鮮明化が生じた。みおの鮮明化とは、新しく建設された護岸沿いに流れを呼び込み、やがてみお部の河床低下・みお部の低水路幅の縮小・河岸と平行するみお部対岸の砂州の発達(砂州高の上昇)・みおと砂州の比高差の増大・低水路の流量容量の増大・砂州の冠水頻度の減少・砂州における植生の繁茂と安定化・みおの延伸・蛇行システムの変形¹⁰⁾¹¹⁾・クランクフローの発達¹²⁾¹³⁾等の諸現象を統括するものである。さらに付帯事項として、護岸工事(特に基

礎工)に伴う仮締切の設置も看過できないことがある。これは、河床表層のアーモークートやパイプメントを乱し、あるいは流路の安定した蛇行地形を局所的に変更するものであり、ときに悪影響をもたらすものである。そこで、水制の施工例は復活傾向にある。しかし、未だ事例数は多くはない。その限りにおいて、水理のかつ河川工学上の合理性があり、その合理性の根拠や内容が明瞭で、かつ技術評価が容易であることが求められている。

水制に関する従前の研究論文の数は、国内だけでも長年にわたり毎年5編以上であり、その多くは年次学術講演会等で発表されている。研究内容としては、条件・現象・手法及び水制に関連する事項等の通常のものほぼ網羅されているとみなしてよい。しかし、その多くは室内実験的・基礎的なものであり、研究成果が実際に十分反映されているとは言えない。

(2) トリピラ水制の水理的特徴と意義

トリピラ水制は自然形成の三角錐形状を基本としている。そのような自然形成構造物の実例を写真-1及び概念図を写真の中を示す。これは笛吹川の琴川合流点直下部のもので、2008年12月の状況である。有効径50cm以上の巨石や礫が洪水流によって自然にジャムアップした状態である。その区間では縦断的な蛇行が維持されており、交互に存在するこのような構造物は、比較的安定しているとみなし得る。この例では自然形成水制の形は扁平な三角錐で交線や面は若干曲線・曲面となっている。トリピラ水制では、斜め下流向き水制角度と上流側の壁面勾配及び水制先端部への水制縦断勾配が着眼点であり、水制中央の縦断線より下流側の部分については、自然の堆積があり状況に応じた形状となっている。また、ブロック水制と根固ブロックが変形して同様の形状となっているものも存在する(例：富士川禹ノ瀬流入部右岸側2基)。

一般に自然形成の水制は長期的に安定していることから洪水流との関係は円滑であり、強い小型の渦の発生はなく、大きな局所洗掘は生じないものと考えられる。トリピラ水制周辺の流れの状況を図-1に示す。同図には流量を大洪水・年1回程度の洪水・平水流量に相当する大・



写真-1 笛吹川 琴川合流点直下流の自然形成型水制
(写真右上には同水制の平面図(上)と側面図(下)を挿入)

中・小の3段階に分けて、各流量時の上層と下層の平均的な流線を想定している。

まず、流量が少ない低水・平水時には、トリピラ水制の上流側斜面(壁面)をわずかに斜めに流れ、水制の先端付近に近づくほど流れが束ねられるような形で下流側に向うまとまった流れが生じる。この傾向は上層流の方が明確となり、集束の度合いはトリピラ水制の上流側斜面の勾配が大きいほど、かつ水制縦断勾配の大きいほど顕著となる。ただし、高さが一樣で直壁を有する通常の斜め水制と比較すると、集束の度合いは緩和されており、著しい渦の発生はなく、水制周辺の明確な洗掘もない。次に年1回程度の洪水等にも低平水流量時の流況が基本的には維持されるが、流速は若干大きくなり、全体としての流向が対岸向きから下流向きとなる。その傾向は下層流よりも上層流の方が顕著であることから流れのねじれはあるが、水制周辺の強力な渦は発生しないので洗掘に対する安全性は大きい。見方を変えると、水制全体としての抗力は通常水制に比して小さいことがわかる。トリピラ水制はこの段階の流量時にも流況を整流し、かつ局所洗掘を抑制する効果を有すると解釈することができよう。大洪水時にはトリピラ水制は水面下となるが、流況の整流効果及び河岸沿いの局所洗掘軽減効果は存在する。

なお、トリピラ水制の施工はリップラップの他、石張りやコンクリート張り、あるいはブロック積みなど、河川の流れの程度に応じて各種の材料の使用が可能であり、基礎工が軽量物でよいことから大規模な仮締切が不要となるなどの利点がある。また、自然形成型であることから、自然景観への阻害が軽減される場合が多いことも理解されよう。さらに、トリピラ水制の適用範囲は基本的特性から判断する限り、自然形成されない場所にも拡張することが可能と判断される。

4. 自然形成水制の実態とその考察

自然形成水制は、巨石・大礫のジャムアップ現象によって形成されるものが多い。巨石・大礫であっても分級作用のない土砂流の層流流動や分級作用があっても土石流のように終結段階のみの現象の中には、自然形成水制は含まれない。また、巨石・大礫の存在はあっても、他の粒径の土砂量が多く、巨石・大礫がそれらと同様の運動を行う場合や個別に単体の輸送形態をとる場合にも自然形成の水制は形成されない。なお、発散・収束河道の要となる横筋大礫帯¹⁰⁾¹¹⁾の中には自然形成水制の機能を有するものが含まれていると考えられる。これに対し通常の交互砂州のポイントバーには河岸沿いの水路が形成され2列蛇行に変移するものも含まれており、自然形成水制でなく別現象として取扱うのが適当である。

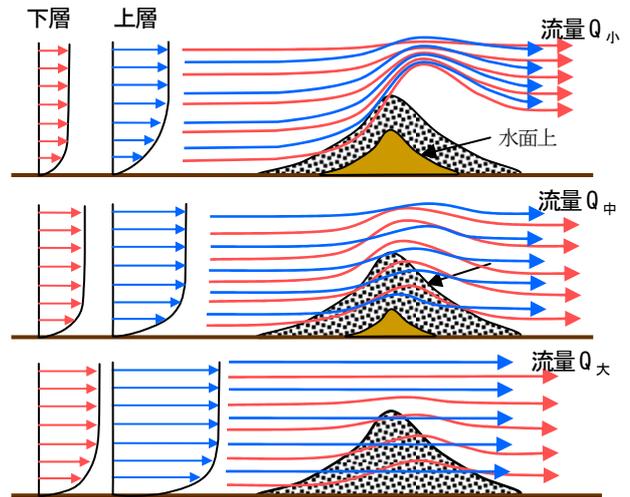


図-1 トリピラ水制の流況イメージ



写真-2 怒江その1 (中国雲南省)



写真-3 怒江その2 (中国雲南省)

以上の条件から、巨石・大礫が存在し、かつ通常時の流送土砂量が多くない河道において自然形成の水制を見ることが出来る。例えば日本の河川としては、前述の富士川支川笛吹川本川の上流部(写真-1)や土砂量の多い大武川合流点より上流の釜無川、及び富士川下流部では土砂量の多い早川合流の影響が薄らぐ南部町あたりの左岸側(岩質河岸沿いに存在)で、左右岸交互の水制や連続した自然形成水制群、あるいは単体の自然形成水制を見ることが出来る。なお、全体としてみると掘削や護岸・根固等の河川改修を大規模に実施した河川が多いことから、自然状態が長期間にわたって維持されている河道が減少しており、そのために自然形成の水制の数は少なくなっていると思われる。

手つかずの自然の河川で、巨石・礫の多い河道の場合には自然形成の水制は多く見られる。例えば、中国雲南省の三江併流区間では、石灰岩主体の5000mクラスの山岳地帯に3川の大河(東から長江上流の金沙江、メコン川上

流の瀾滄江，サルウィン川上流の怒江が直線的な狭谷を形成して並流し，それぞれの河道に大小さまざまな自然形成水制が存在する。写真-2及び写真-3は，怒江における巨石・大礫のジャムアップによって形成された自然形の水制の例である。この付近の怒江の河道諸元の概略値は，平均的な勾配 $i_0=1/400$ ，乾期流水幅 70～100m，乾期の平均的水深 2～3m，河川の流量は乾期 80～150m³/s，雨期 2000m³/s(植生等の痕跡から水位を推測)，最大流量 4000m³/s(住民ヒヤリングによる最高水位，土地利用状況等から判断)，最大流速 4.3m/s 程度である。

怒江の自然形成水制を構成する材料は，径 1m 超の巨石も少なくなく，かつそのほとんどの巨石・礫は玉石となっていない。これらは，上流から輸送されたのではなく近傍にて生産された材料と推定される。なお，河床の砂州の構成材料は玉石やよく磨かれた砂利等である。また，河道の蛇行性状に不自然さはなく，かつ局所洗掘や河道侵食も少ないこと等から，これらの自然形成水制はかなり長期にわたり安定しているものと考えられる。長老住民へのヒヤリング結果からも大洪水の経験はあるが，少なくとも 30～40 年間は不変とのことである。

怒江において調査を行った六庫市からチベット境界までの約 350km にわたって，著しいわん曲等を除くと，直線的なステップ・プール河道となっており，2 種類の自然形成水制がある。まず，水路の 1/3 程度もの規模を有する自然形成の水制は流水方向に交互に存在し，発散・収束河道の横筋大礫帯とも似ている。写真-2 はその代表例である。何れの堆積物も洗掘を受けた痕跡はみられず安定していると見ることができよう。また，写真-3 に見られる少し小型の連続した自然形成水制はいわゆる発散領域に形成されている。富士川下流部の南部町地区左岸の自然形成水制はこれと同様のものと判断される。

5. 荒籠(あらこ)の流況特性

荒籠周辺の洪水流況について，例えば九州地整¹⁾では写真-4 に示す筑後川河口 14.5k 左岸付近の荒籠の水路実験を行っている。実験内容は縮尺 1/70 (歪み無し)とし，荒籠の水制長 L と流量 Q をそれぞれ 3 ケース，計 9 ケースである。実験の結果によれば，荒籠長 15m の場合には下流側に堆積傾向が確認されたとのことである。長さ 25m の荒籠では平均最大流量である 3300m³/s の場合の洗掘は，水制の周りではなく，水制先端下流側に帯状に見られるが，その洗掘は軽微である。計画流量 9700m³/s では水制の上流側半分より先端までの洗掘が認められた。これは水制の安定を損ねるものである。なお，筑後川の現地では粒径 0.075mm の濁土であるにも拘らず，100 年以上も存在するものや破損されたものがあるなど微妙な状況にあ



写真-4 筑後川 14.5k 左岸に現存する古い荒籠¹⁾

表-1 荒籠の実験条件¹⁾

	原型値(筑後川)		模型値(水路)	
	平均年最大	計画流量	Case1	Case2
流量	3300 m ³ /s	9700 m ³ /s	0.08 m ³ /s	0.21 m ³ /s
水面勾配	0.00036	(1/2777)	0.00036	(1/2777)
水深	6 m	8 m	0.086 m	0.114 m
平均流速	2.2 m/s	3.7 m/s	0.26 m/s	0.44 m/s
河道延長	—		20m(水路延長)	
河道幅	255m	290m	3m(水路幅)	
河床材料	0.019mm (60%粒径)		0.3mm(石炭粉, 一様粒径)	

表-2 流況計算の計算条件

項目	計算条件
流量	0.21 m ³ /s (Case1)・0.08 m ³ /s (Case2)
河床勾配	0.00036 (等流と仮定)
粗度係数(一様粗度)	0.014 (Case1), 0.010 (Case2)
メッシュ(直交座標)	X201×Y181 (1メッシュ: 0.02m×0.02m)
水制長, 水制幅, 水路高	0.36m, 0.25m, 0.086m
等流流速	0.27 m/s (Case1), 0.49 m/s (Case2)

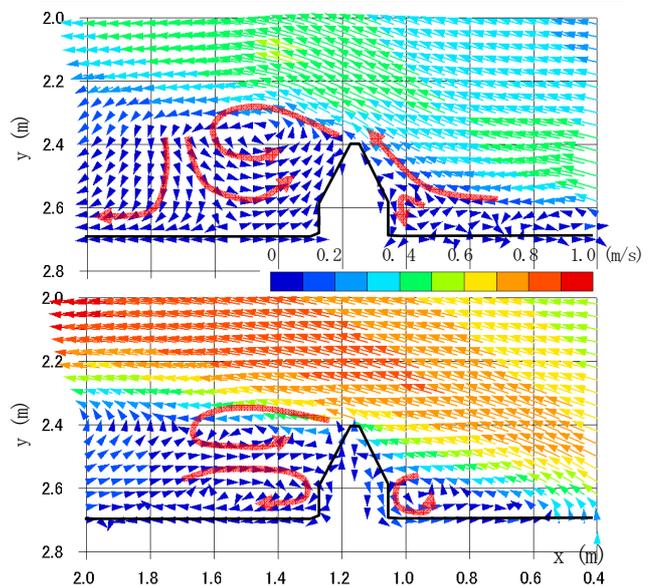


図-2 流速ベクトル(上: Case1, 下: Case2)

るが，実験結果はそのような状況がある程度反映していると考えられる。次に荒籠の流況計算では，平面渦以外の渦は著しくないので，非越流時には流れの 3 次元性は軽微と考え 2 次元流としても高精度の結果が得られると判断し，実験と同じ条件で 2 次元計算を行った。

今回の流況計算では表-1 に示す実験ケースを採用し、表-2 に示す計算条件で2 ケース ($Q=0.08, 0.21\text{m}^3/\text{s}$) 行った。なお、地形データは実験水路と荒籠の地形を直交座標で模式的に表現した。また、計算プログラムは既存¹⁴⁾ のものを使用し、定常流量で計算を行った。水路実験との妥当性については、実験の流況測定結果は鮮明でないため、明確な評価は困難であったが、大勢としてはほぼ合致しており、両者の等流流速は約1割内に収まっていた。

計算結果として、図-2 には荒籠周辺の流速ベクトルを示した。図には荒籠の上下流の渦を流速ベクトルから判読し表示している。荒籠の上流側の流況として、Case1 では荒籠に沿うように流れており、河岸近傍 ($x=1, y=2.6$ 付近) の流況は停滞している。Case2 になると、荒籠沿いの流れが河道中央側に移動し、河岸近傍では比較的明瞭な渦が形成されている。一方、荒籠の下流側の流況は、Case1 では荒籠の先端から下流 $x=1.6\text{m}$ 付近(水制長の約2倍)まで比較的大きな渦が形成されており、Case2 ではその渦は縮小し、河岸近傍では逆回りの渦が発生している。実験結果の報告によれば、荒籠先端の洗掘量は Case1 では軽微であるが、Case2 では増大し、根固工の必要性を考察している。これは、流況計算の結果と概ね対応していると判断される。

6. トリピラ水制と従来型水制の流況比較

トリピラ水制と従来型の水制について、2次元流況計算による流況比較を試みた。対象とした水制を図-3 に示す。水制長と水制高は5mと2mに設定し、河床変動や局所洗掘のない固定床としている。なお、トリピラ水制の形状は、水制先端に向けて弧を描くような平面形状とし、水

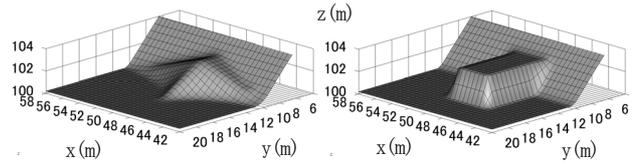


図-3 トリピラ水制(左)と四角棒状(右)の立体図

制の縦断形状は河道中心側に伏せた形状(2.5割)としている。計算条件としては、前章と同様の計算プログラムを用いて、定常流量で計算を行った。河道地形は河床勾配1/200、粗度係数0.035とし、台形断面の直線河道としている。

計算結果として、流速ベクトルを図-4 に流量別(平均流量に相当する $Q=250\text{m}^3/\text{s}$ ・中小洪水を想定した流量として $500\text{m}^3/\text{s}$) に示した。また、図-5 には水制中央部横断の流速分布と水位変化を流量別($Q=250\cdot 500\text{m}^3/\text{s}$) に示した。なお、計算範囲は $x=200, y=100$ ($100\text{m}\times 50\text{m}$) とし、1メッシュ $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$ としている。以下に主要な結果を列挙する。

a) トリピラ水制では $Q=250\cdot 500\text{m}^3/\text{s}$ 共に水制周辺の流況がスムーズに連続して流下している。 $Q=250\text{m}^3/\text{s}$ 時には水制沿いに河道中央側に流向を変えているが、 $Q=500\text{m}^3/\text{s}$ 時には水制天端上を直線的に流下し、水制工の少し離れた下流側では局所的な流速増大が見られる。b) 四角棒状水制では、トリピラ水制に比べて流れの急変があり、 $Q=250\text{m}^3/\text{s}$ 時には水制の上下流において平面渦の形成が見られる。 $Q=500$ 時には水制天端上を直線的に流下し、その下流 $x=55\text{m}$ 付近の河岸近傍で局所的な落ち込み流れが見られる。c) 水制の河道中央側への影響範囲は、 $Q=250\cdot 500\text{m}^3/\text{s}$ 共に四角棒状水制の方が大きい。トリピラ水制の河道中央側への影響範囲は先端を基準にして、 $500\text{m}^3/\text{s}$ の

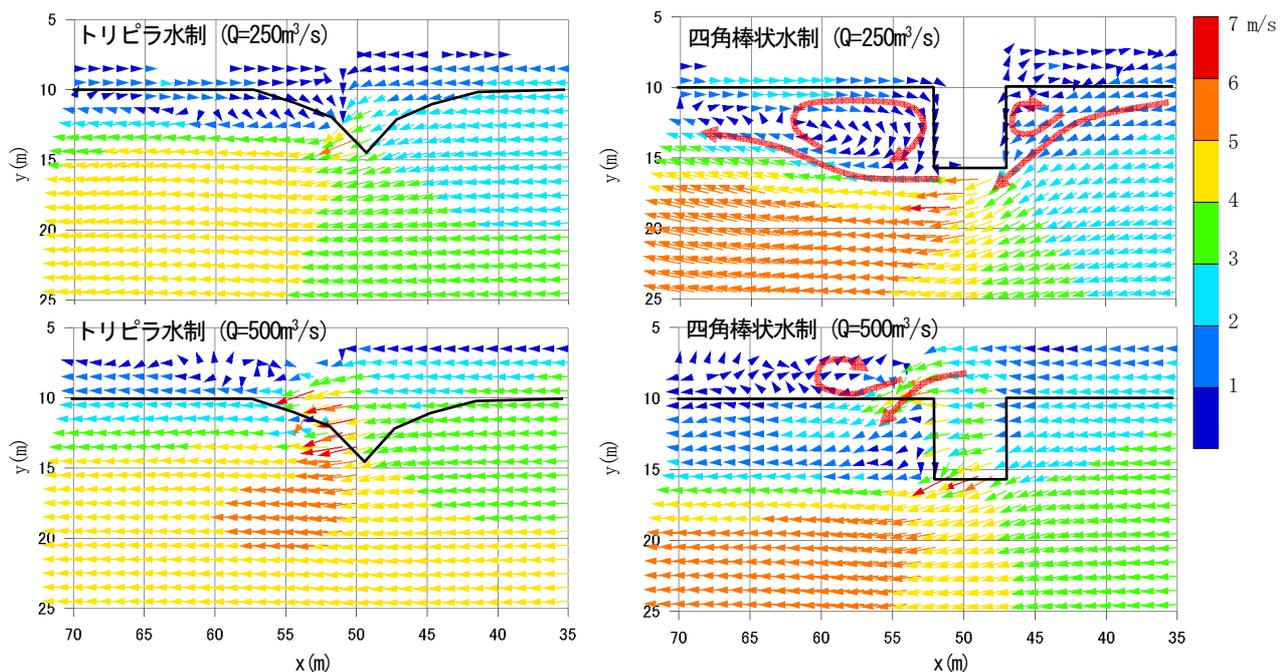


図-4 流速ベクトル (水制1基)

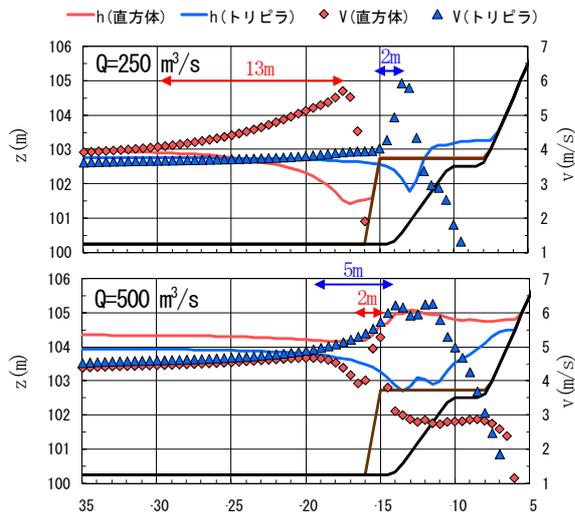


図-5 水制中心線上の横断方向の水位と流速

場合で横断方向に5m下流方向に10m程度である。d)横断方向の流況については、両水制で $Q=250 \cdot 500 \text{ m}^3/\text{s}$ 共に水制前で急激な流速増大が見られる。その流速ピーク値から河道中央側への影響範囲は、両水制に顕著な差が見られる。流量小の $Q=250 \text{ m}^3/\text{s}$ ではトリピラ水制が約2mに対して、四角棒状水制は約13mである。逆に流量大の $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ ではトリピラ水制の影響範囲が大きく5mに対して、四角棒状水制は2m以下である。トリピラ水制 $250 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、計算例では流れの乱れる範囲が狭く、局所的に流速の大きい部分がある。これは、水制の本体上であり水制縦断勾配を大きくしているためと考えられる。

7. 結論

自然形成型(不透過の越流型)の水制の提案を行った。これは従前には注目されなかったものであるが、水理上及びこの種の水制の機能上の合理性や実用上の利点も大きいと考えられたので、第1段の検討を行い以下の結論を得た。

- 1) 注目した水制の基本形状は、自然河川において長期にわたり安定して存在する自然形成の造形物である。注目した理由は、この造形物が水理的合理性を有すると考えられるからである。合理性が発揮される主な理由は、構造物が流れに対して角度が斜めであり、かつ斜面となっている点にある。その形状は伏した細長い三角錐を基本とすることから、この自然形成型の水制をトリピラ水制と呼称する。
- 2) 流れに対して斜面となる構造物が利点を持つことは、六角川や筑後川など九州の潟土(ガタド、粒径 $75 \sim 5 \mu$)河道において、長期にわたり安定して機能してきた荒籠(あらこ)によっても部分的に明らかである。このことに関して、荒籠周辺の洗掘が小さいことを実証した過去の模型実験結果に2次元計算を行って現象内容の理解を深めた。

トリピラ水制の場合には、その形状から判断して流水に対して荒籠以上に水制全体にわたって、正面から対峙することはなく、水制周辺の局所渦の発生は微弱であり、越流する場合にも安定度が大きいと推定される。

3) トリピラ水制の場合には、水制周辺の局所洗掘は発生が軽微で河道維持に有効である。また、流れの3次元性は通常水制に比し微弱であることから、2次元計算によるトリピラ水制の数値実験を行った。これにより、トリピラ水制を設置した場合の想定流況がわかるので流況改善のための水制計画に資することができよう。

4) 自然形成水制は、自然状態で巨石・大礫の存在する流砂量の比較的少ない河川で多くみられるものである。一方、トリピラ水制の適用範囲は、自然形成水制が形成される河道のみならず、その水理特性や一部類似特性を有する荒籠の適用範囲等から判断して、広く一般に拡張することが可能と判断される。

5) トリピラ水制の今後の発展のためには、詳細な水理機能や水制の安定性についてさらに外力と設計諸元との関係を明確にする必要がある。また、水制群としての総合的な機能の考慮(2次元計算を活用)も重要である。これにより、河道固有の蛇行システムが保持され、施工性はもとより生態や景観等にも好ましく、かつコスト面にも優れた水制工法として尊重されることが期待される。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 白井勝二：利根川河道と護岸水制，河川技術論文集，Vol. 10，pp. 125-130，2004. 6.
- 3) 白井勝二・福岡捷二：利根川における護岸水制の変遷とその今日的役割，水工学論文集，Vol. 46，pp. 505-510，2002. 2.
- 4) 土屋進：急流河川の河道計画と河床変動対策，広島大学学位論文，2001. 12.
- 5) 橋本規明：新河川工法，森北出版，1956. 6.
- 6) 秋草勲・吉川秀夫・坂上義次郎・芦田和男・土屋昭彦：水制に関する研究，土木研究所報告，第107号，1960.
- 7) 山本晃一編著：護岸・水制の計画設計，山海堂，2003. 6.
- 8) 国土技術センター，護岸の力学設計法，山海堂，2007. 11.
- 9) 国土交通省，美しい山河を守る災害復旧基本方針，2006. 6.
- 10) 須賀如川：大礫を含む混合粒径河川における河道システムの本質に関する考察，河川技術論文集，Vol. 10，pp. 95-100，2004. 6.
- 11) 須賀如川・三品智和・長谷部正彦・池田裕一：砂礫砂州と2列蛇行の水理特性に関する考察，水工学論文集，Vol. 52，pp. 775-780，2008. 2.
- 12) 須賀如川：大きい河岸侵食力を有するクランクフローの基本的事項に関する考察，水工，Vol. 49，pp. 955-960，2005. 2.
- 13) 須賀如川・三品智和・唐沢潔・竹内清文・古川保明：発散・収束河道のクランクフローに関する現地調査とその考察，水工学論文集(CD-ROM)，pp. 979-984，Vol. 50，2006. 2.
- 14) 水理公式集例題プログラム集：平成13年版。

(2009. 9. 30 受付)