

郡別川に見られる礫列の粒径特性と空間分布特性

Gravel Size Structure of Rib Steps and Spatial Distribution of Gravel on the Bed Surface
found in the Gunbetsu Stream

北海道大学工学部土木工学科
北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科
北海道開発土木研究所河川研究室
北海道開発土木研究所環境研究室

○学生員 川村 信也 (Shinya KAWAMURA)
正 員 長谷川和義 (Kazuyoshi HASEGAWA)
学生員 田中 航太 (Kouta TANAKA)
正 員 渡邊 康玄 (Yasuharu WATANABE)
正 員 野上 毅 (Tsuyoshi NOGAMI)

1. はじめに

山地河川の小規模河床形態には階段状河床形状があり、河川横断方向に直線状に構成砂礫が並ぶリブと、円弧状、もしくは楕円状にならぶステップ・プールの存在が知られている。これらの河床形状によって形成されるプール部は様々な水棲生物に良好な生活環境を提供しており、環境保全や周辺生物の生態把握のためには、礫列、礫段の構造を理解することが必要不可欠である。

竜澤・長谷川¹⁾は、これらの河床形態を魚道に応用することを提案し、自然型魚道の設計指針の軸として、推定波長にあわせた間隔で人工ステップ部を設け、その間にTalbot型粒度分布を有する河床材料を敷き詰めて階段状河床形態を再現する方法を示している。しかし、人工的に敷設されるステップ礫の粒径分布や並びに関する指針は示されておらず、ステップの細部構造に対する設計への対応が必要となっている。

しかし、それらに関する報告は、藤田・道上・澤田⁶⁾や門田・鈴木⁷⁾らによる平面形態の計測例以外はほとんど存在していないのが現状である。一方、常射流が混在して流れる溪流のより正確なシミュレーションを行うため、ならびにそれらの水理環境と水棲生物の関連を明らかにするためには、河床波の知識以外に河床砂礫の空間分布特性を知ることが不可欠である。これらを知ることによって粗度の空間分布が推定でき、また生息環境の評価が可能となる。流砂量推定上も重要な意味を持つ。

本論文は郡別川調査区間における礫列ステップ部の詳しい計測をもとにバリオグラムによる平面構造の解析をおこなったものであり、さらに表層砂礫の分布特性を相関法によって調べ粒径の縦断分級波の存在を示したものである。

2. 群別川について

観測対象とした群別川は、北海道留萌市に位置し、流域面積33.9km² (山地流域面積31.5km², 平地流域面積2.4km²)、幹線流路長15.7kmを有する二級河川である。図-1に調査流域の地図を示す。この河川は比較的自然状態に近く急勾配 (平均河床勾配1/44) であるため、数多くの明瞭に発達した礫列が形成されている。我々が観測した区間は河口から上流2km付近の約400m区間であるが、同区間は大きな分岐流路の片方側であり、観測地上流から280m付近に分岐流の合流部がある。河床地形の詳細と礫の分布特性を

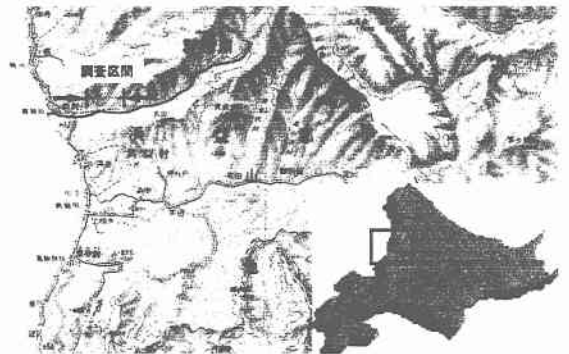


図-1 群別川的位置

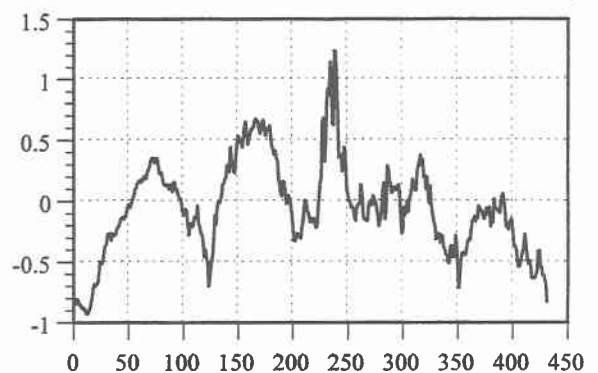


図-2 群別川河床縦断面図 (河床平均勾配差し引き)

知るために、河床標高、河床表層砂礫の粒径、水深等を縦断方向1m、横断方向1mの間隔で測定した。

2.1 河床形態

図-2に河道中心線に沿う河床縦断面図をしめす。ただし平均勾配高は差し引いてある。図中の100m~400m区間で多く見られるのこぎり刃のような細かい波が小規模河床波、つまり礫列、礫段であり、区間内に約40個の明瞭な礫列が確認できる。計測データから求められた礫列の平均波長は7.55m、平均波高は0.23mであった。これらの小規模河床波がいくつか集まり、波長80m~100m規模の中規模河床波を形成している。

2.2 粒径特性

図-3(a)は、中心線から右岸・左岸側にそれぞれ4m離れた

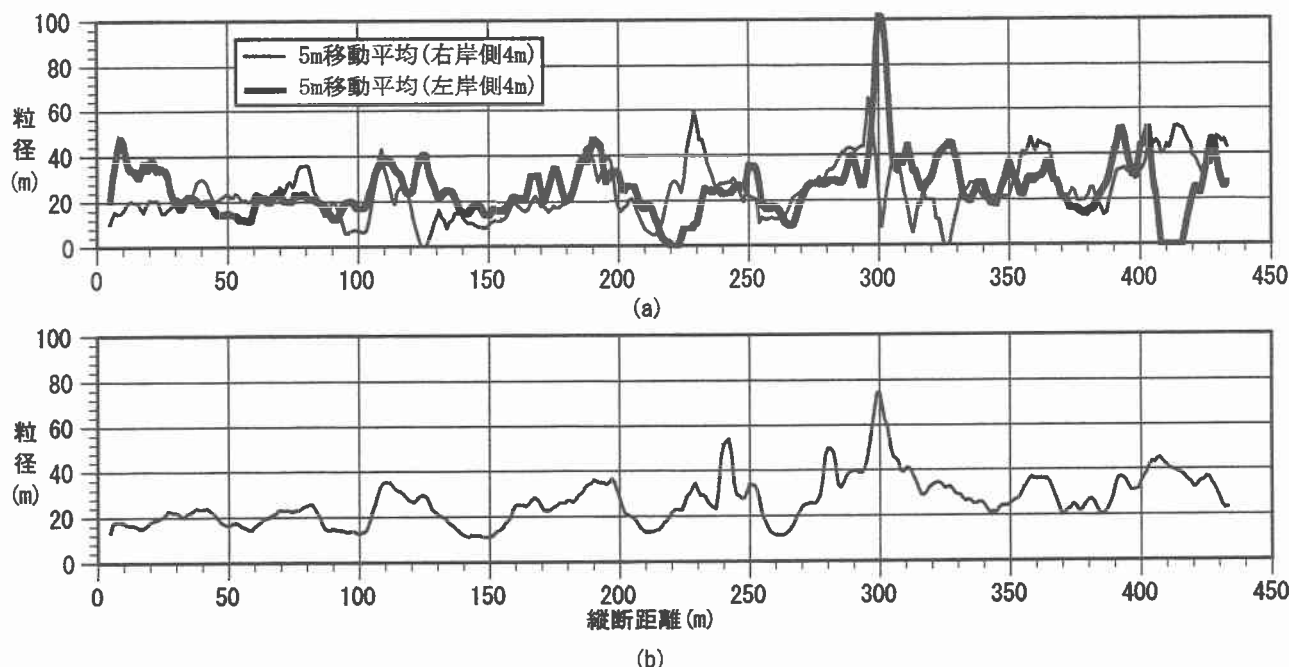


図-3 河床表層砂礫の縦断方向粒径分布図

縦断線に沿って測定された河床表層砂礫の粒径変化を、また図-3(b)は平均粒径の変化をそれぞれ示すものである。ただし5m(5側点)にわたる移動平均をおこなったものである。これらによれば、河床起伏の周期とは異なる60m程度の周期変化が認められる。

2.3 調査対象礫列

図-4は、それぞれ典型的な礫列を3箇所選び、礫列とその上下流一部区間の詳細な平面を描いたものである。図-5にデータ採録位置を示す。

3. 礫の空間分布特性の解析

バリオグラムによる礫列の平面構造解析と河川縦断方向の粒径の自己相関、相互相関解析を行った。バリオグラムとはクリギングと呼ばれる地球統計学的手法による空間予測のために必要な指標であり、空間的相関つまりデータが距離と方向にどのような関係を持つかを測定するもので、次式で表される。

$$\gamma = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} (d_i - d_j)^2$$

ここで、 $N(h)$ は2点間の距離が h になる i, j の組の集合、 $|N(h)|$ は $N(h)$ の要素数、 d_i は中心礫の粒径、 d_j は中心礫から h の距離にある礫の粒径である。(図-6)

この解析においては、確率場がほぼ正規分布に従うことが要求されるが、郡別川の粒径別個数分布はほぼ対数正規分布に従うため、ここでは

$$\phi_i = \log_2(d_i)$$

$$\phi_j = \log_2(d_j)$$

以下の ϕ スケールを用いることによって正規分布化をはかる。

3.1 ステップの平面構造解析

図-4によると、ST-1の場合、礫列は河川横断方向にほぼ一直線に砂礫が並んでおり、一般的なステップ部となっている。これとは対照的に、ST-2、ST-3の場合では礫列は複数の円弧状の配列が接続した曲線的な配列となっている。

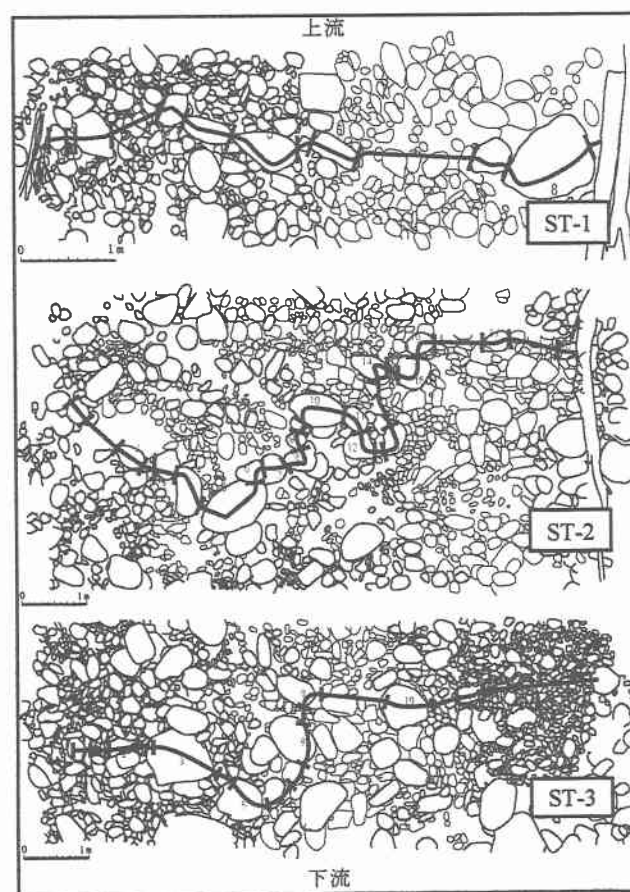


図-4 礫列平面スケッチ

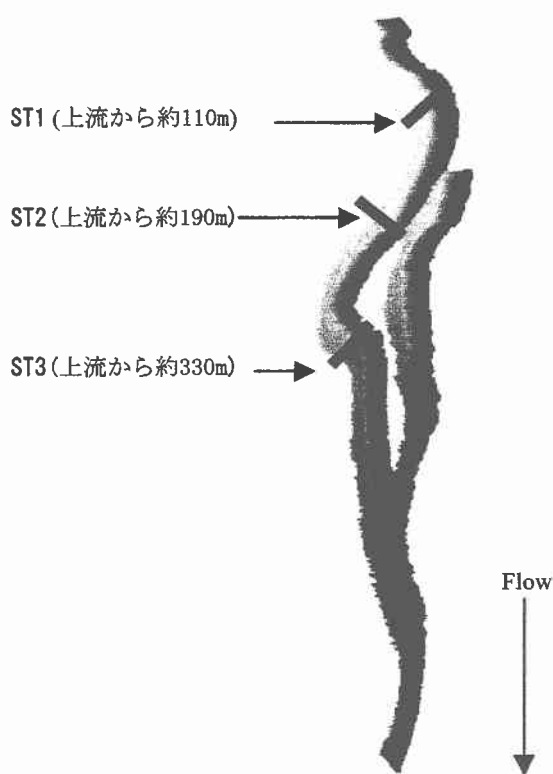


図-5 計測対象礫列の位置

多くの高モードの礫段が隣接して一つの礫列を形成しているようである。現地ではST-1のような礫列は少なく、ST-2, 3のような複雑な形状をした礫列のほうが多く見受けられる。

ST-1に関してはバリオグラムを測定するための十分なデータ数を確保できなかったため信頼性を欠くので省略する。ST-2とST-3のステップ構成砂礫に対してバリオグラムを測定した結果をステップ全体、右岸側1/3、中央1/3、左岸側1/3をそれぞれ平均化して図-7に示す。ここで縦軸は

$$\gamma_* = \frac{\gamma}{\phi_i^2}$$

によって、標準化して示している。図-7で明らかなように、ST-2は、中心からの離反距離とともにほぼ一様ないはゆるやかな円弧状を描いて γ_* が変化している。これは、中心礫の径と周辺礫の径があまり違いをもたないことを示している。一方、ST-3は、 $h=800\text{mm}$ 付近で谷を持つ振動系の変化を示している。 γ_* の低下は相関の回復を意味し、ステップ礫の連なりになんらかの構造を持っている事が予想できる。同じ礫列形態のステップでこのような差が生まれる原因として次のことが考えられる。ST-2は直線に近い河道中の砂礫堆の接合部(流れの変曲部)にあって一層の礫から成る礫列であり、ステップ礫とその周りの砂礫が均一に近い、一方、ST-3は河川湾曲部の変曲点における大波高ステップであり、多モードの礫段を含む構造になっていてステップ構成礫とその周りの礫が大小さまざまであるためと考えられる。800mという値は多モード礫段の1横断波長に対応しているものと見られる。

左岸側のグラフが他のものと大きく違っているが、これ

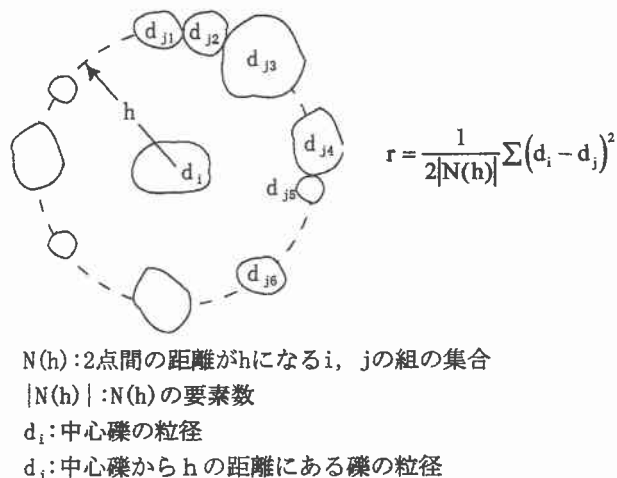


図-6 バリオグラムにおける粒径の定義

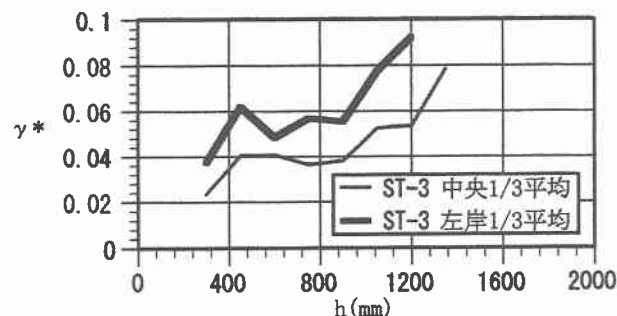
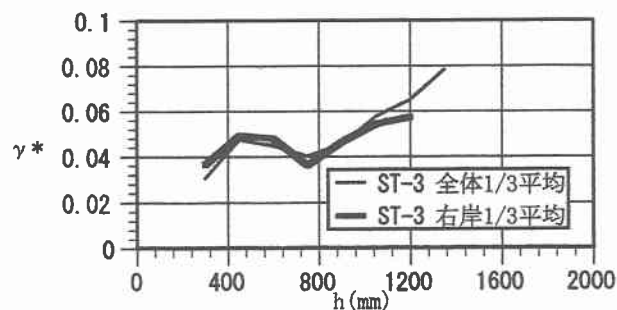
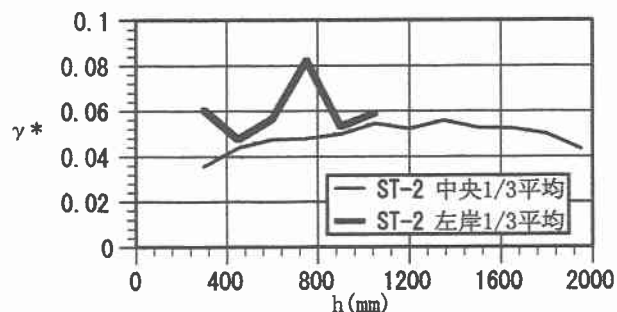
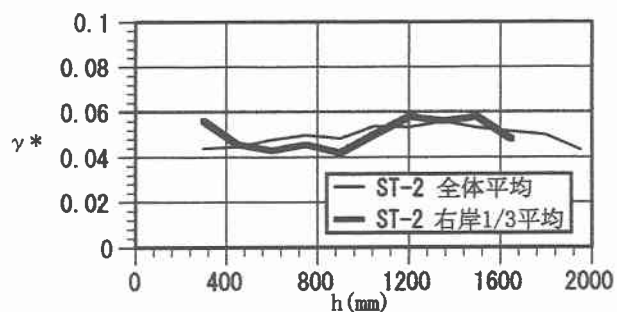


図-7 バリオグラムの解析結果

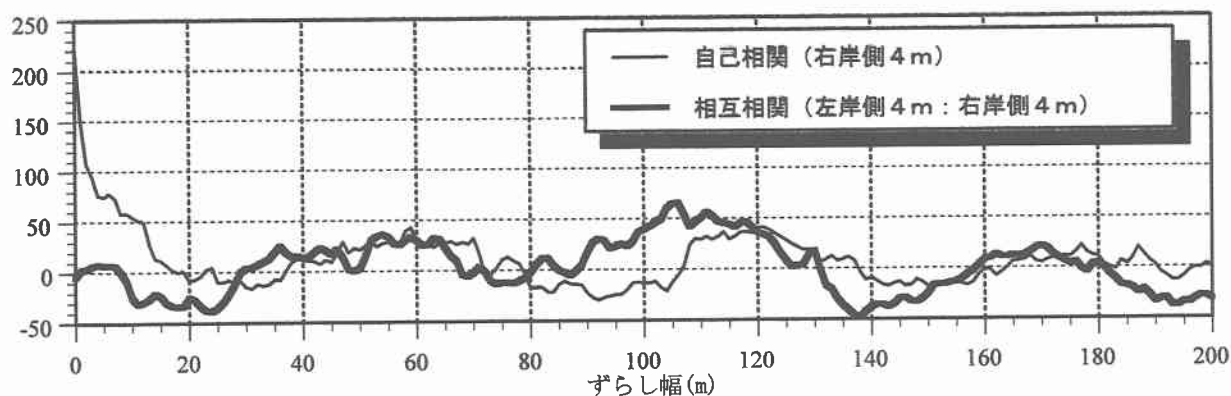


図-8 相関図

は標本数が少なかったためと考えられる。

3.2 表層砂礫分布の特性

河川中心より4m右岸側の粒径データ433個に対する自己相関、および4m右岸側の粒径に対する4m左岸側の粒径の相互相関を図-8に示す。2つのグラフから明瞭な約60m周期の波があるのがわかる。この波は、図-3における波、すなわち粒径の大小のくり返し対応したものであり、分級作用によって粗い砂礫と細かい砂礫が交互に現れる分級波を表しているものと考えられる。発達した縦横断分級波においては自己相関と相互相関が全域において逆位相になるはずであるが、郡別川における調査では、横断方向の分級が必ずしも明瞭なものでなく、縦断分級波の存在を示す結果となった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- [1] ステップ礫が円弧状もしくは楕円状に並ぶ高モードの礫段を含む礫列のステップで、河道湾曲部の変曲点に現れるような大波高ステップ周辺では、高モード礫段のスケールに対応する約80cmの周期で粒径の相関が回復している。したがってその周期で同程度の粒径が並んでいると見ることができる。しかし同型の比較的小さなステップにおいては一様径の並んでいる割合が高く、この現象は見受けられないようである。
- [2] 粒径の自己相関および相互相関の結果より、分級作用による縦断分級波の存在が示唆できる。その波長は約60mで、小規模波長7m、砂礫堆波長100mと異なる値をとる。これらの並びの重なりがいかなる現象を生んでいるか、さらに詳しい検討が必要である。

謝辞：本研究は、平成13年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)(課題番号:13555139, 研究代表者:長谷川和義)の助成を受けて行われた。記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義：溪流河川における河床砂礫の混合特性と階段状河床形の形状特性，水工学論文集，第42巻，pp.1075-1080, 1998.
- 2) 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義：溪流の小規模河床形態に関する研究，土木学会論文集，No.656/II-52, pp.83-101, 2000.
- 3) 長谷川和義：山地河川の形態と流れ，水工学シリーズ88-A-8, pp.1-22, 1988.
- 4) 長谷川和義：溪流の淵・瀬の水理とその応用,1997年度(第33回)水工学に関する夏期研修会テキスト, pp.A-9-1~A-9-20, 1997.
- 5) 長谷川和義，上林悟：溪流における淵・瀬(ステップ・プール)の形成機構とその設計指針，水工論文集，第40巻，pp.893-900, 1996.
- 6) 藤田正治・道上正規・澤田豊明：階段状河床の洪水による変形に関する現地調査，水工学論文集，第43巻，725-730, 1999.
- 7) 門田章宏・鈴木幸一・渡辺誠司・森一庸：重信川山地部における河床形態に関する測量調査，水工学論文集，第44巻，pp.741-746, 2000.
- 8) 長谷川和義・田中航太・川村信也・渡邊康玄・野上毅：溪流における礫列の細部構造，水工学論文集，第46巻，投稿中