

山地河川の露岩化した河床における 砂礫堆回復に関する実験的研究

A TRIAL TO RECOVER GRAVEL-BEDS AT BEDROCK EXPOSED REACHES IN
A MOUNTAIN RIVER

矢島良紀¹・小林草平²・中西哲³・赤松史一⁴・三輪準二⁵
Yoshinori YAJIMA, Sohei KOBAYASHI, Satoru NAKANISHI,
Fumikazu AKAMATSU, Junji MIWA

¹非会員 理修独立行政法人土木研究所 河川生態チーム (〒305-8516つくば市南原1-6)

² 非会員 農博	同上
³ 正会員 工修	同上
⁴ 非会員 理博	同上
⁵ 非会員 工修	同上

To examine the usefulness of geotextile bags, which were filled with gravels, in a trial to recover gravel-beds without using power vehicles in mountain rivers, status of the bags and changes in bed materials around the bags were surveyed before and after flood events at a bedrock-exposed reach in the upper Kinu River. The bedrock-exposed reach was partly covered by pebbles and gravels at upstream areas of the installed bags after a flood, which indicates an effectiveness of the bags for the recovery of gravel-beds. A part of the bags were moved downstream for a few-meters distance by the flood, while it contributed on the deposition of gravels at its settling position. Since no damage on the bags was found, the bags can still be effective even if they move to and settle on other positions. Benthic invertebrates and fish appeared to increase in abundance after the retention of pebbles and gravels. Limitations and possibilities of installing geotextile bags on river restoration works were discussed.

Key Words : mountain river, bedrock exposure, gravel-beds, river restoration, geotextile bags, polyethylene nets, benthic biota

1. はじめに

ダムや堰の下流において上流からの土砂供給量が減少した結果、以前は礫河床であった河川で土丹や岩盤が露出した事例は多い¹⁾。砂礫が無くなり岩盤が広がる、礫と礫の間の空隙を休息場や産卵場に必要とする水生昆虫や魚類が姿を消す可能性がある²⁾³⁾。砂礫が減少すると、生物の多さや種多様性が失われ、生態系の健全さが損なわれることが懸念される。

環境や生態系保全の観点から、岩盤が露出してしまった区間に水制工や巨礫を設置することで、上流から流されてくる砂礫の滞留を促し、礫河床の回復を狙った取り組みが報告されている²⁾⁴⁾。しかし、岩盤が露出するプロセスは未だ不明な部分が多く、河川内に砂礫を効果的に滞留させる手法は確立していない。さらに、生物生息場の観点からは、砂礫が滞留しさえすれば良いわけでは必

ずしもなく、河川生物にとって好適な河床地形（瀬淵構造等）が発達するような砂礫の滞留が望まれる。河川の状況に応じて砂礫の滞留に効果的な手法が異なることは十分に考えられ、現時点では様々な手法を試行錯誤してその効果を確かめていく段階にある。

砂礫の滞留を促すために河川に構造物を設置するが、大きな出水において構造物が流出しないことが前提となる。そのため、大きな碎石や巨礫が水制としてよく用いられ、固定のために岩盤を掘削して巨礫をはめ込む場合もある¹⁾⁴⁾。こうした施工はいずれも重機を必要とするため、重機が進入できない場所では行えない。ところが、特に山地河川など斜面が急勾配だと、河川まで重機の搬入路が近辺にない場所が多い。重機を用いずに可能な施工法があれば、施工可能な場所は格段に増えるであろう。

近年になって河川護岸工や護床工においてジオテキスタイル製のふとん籠（以降ふとん籠と略す）の使用が増えている。ジオテキスタイルは衝撃や紫外線に対してあ

る程度の強度を有するとともに、柔軟性があり変形を許容するためその用途は多様である。また、ジオテキスタイル自体の重量はさほど無く、現場に持ち運ぶことは容易であり、籠に詰める礫があれば現地で重機を使わずに組み立てられ設置が可能である。これまで著者らは栃木県を流れる鬼怒川上流において、黒部ダムの下流区間で露岩化が進行するプロセスの解明に取り組むとともに⁵⁾、岩床における砂礫堆の回復を検討してきた。本研究では、砂礫堆の回復におけるふとん籠の有効性を検討することを目的に、岩床にふとん籠を人力のみで設置し、出水後のふとん籠の状態や近辺の河床材料の変化を調査した。

2. 調査地と方法

(1) 調査地概要

調査は鬼怒川本川の北緯36度52分、東経139度36分、標高665m付近に位置する黒部ダム（東京電力管理、集水域：267.3km²）の下流約1.5kmの栃木県日蔭地区で行った（図-1）。黒部ダムは1912年に竣工した堤高28.7mのダムで、堤内は完成数年後から満砂状態が続いている。出水時に黒部ダムのゲートは開き、上流から運ばれてくる砂礫はゲートを通過しているが、20cm以上の礫はダムで停滞し下流に運ばれにくくなっていると考えられる⁵⁾。黒部ダム下流の5km区間では岩盤区間が点在しているが、いずれも近くに重機の搬入路はない。河川工事に伴い黒部ダム付近から河川内に搬入路を延ばすことはこれまでにあったが、巨礫が散在する区間が幾つもあり岩盤区間への移動は困難である。対象とした地点へは、県道23号に繋がる農道から比較的緩い斜面に歩道が伸びており、徒歩で河道に到達しやすい（図-1）。

対象区間は岩盤が優占する20m区間で、約200m直線区間の下流側に位置しており、40-50m下流で河道が大きく屈曲している（図-1）。直線区間の河道幅は40-55m、平均河床勾配は1/104、 d_{50} は40mm、 d_{84} は110mmであった。対象区間では1971から1981年の間に河床高が2-3m低下し（黒部ダム上流における砂利採取が原因と考えられる）、1981年の航空写真に岩盤は認められないが、1992年以降の航空写真には岩盤が確認できる。対象区間で滲筋は右岸に寄り、流心と右岸側に岩盤が拵がる一方、比高が高い左岸側には多数の巨礫が存在し、その間には砂礫が堆積していた。右岸では高さ1m程度の岩盤の段差が平水時の水際線をなしていた（図-2参照）。流心部には主に3箇所高さ0.5-1mの横断的な岩盤の段差がある。それ以外の箇所では傾斜はあるが比較的平坦な場が多い。

(2) ふとん籠の特徴

ふとん籠として、前田工織株式会社のファイバーユニット箱型（ポリエチレン製無結節網、網目25mm、長

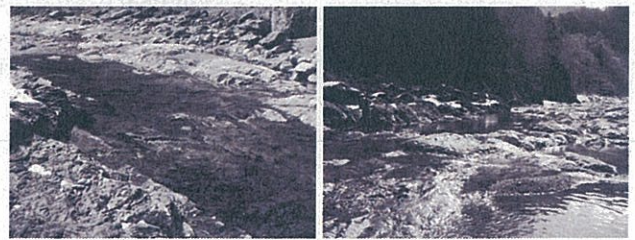


図-1 調査対象地の鬼怒川上流の栃木県日蔭地区

さ2000mm×幅1000mm×高さ500mm、全面二重）を用いた。容量は1m³で約1.5tの礫が入る。耐候性、耐衝撃性に優れ、河床変動への追従性もよく、根固め工、護床工、のり覆工に通常使用される。単体の大きさや重さは1m程度の巨礫に相当し、柔軟性があるため岩盤の凸凹に追従する。また、平たい形状であるため、球形に近い巨礫よりは河床上での突出が小さい。衝撃性に優れるものの、上流から幾度も大きな石が衝突すると網が切断する可能性がある。網の破損による礫の流出を防ぐため、二重構造の網をさらに2つ重ねて使用することとした。一部の籠は破損を多少とも防ぐため外側の網をシリコンボンドでコーティングした。また、一部は外側の網として、編み目がさらに太いパワフルユニットを用いた。

(3) ふとん籠の設置

流心はふとん籠の流出のおそれがあるものの、流心を外れると砂礫滞留に対する効果はあまり狙えない。対象区間には過去に巨礫が流心に存在していたことから、ふとん籠の配置・設置の仕方によっては固定せずとも流出を防ぐことは可能と考えられる。このためふとん籠の岩床への固定は行わなかった。岩床の微地形を最大限活かすことを考え、小規模な実験水路における障害物の流出や砂の滞留の観察を踏まえ、岩盤上においてかけ上がり（逆勾配）の部分に設置すれば効果が期待できると判断した。対象区間でそのような場は主に2箇所あり、それぞれ岩床の段差の数m上流にあたった。本研究では、それらの場にふとん籠を設置することとし、岩盤地形にうまくはまるように、上流側は籠6体を連結して（横3×縦2）、下流側は籠3体を連結した2組を1mの間隔をおいて



図-2 対象区間の微地形，籠設置箇所，調査エリア区分

設置することとした（下流側でも当初は籠6体1組を予定したが、3体の2組に分けた方が河床への収まりが良かった）（図-2）。

計12体のふとん籠を作成する上で、径が5-15cmを主とする玉石を12m³以上必要とした。これらの石は全て人力で、下流40-50mの河原から採集し、ふとん籠設置場所まで運搬した。玉石を用いたのは角張っていないため網の損傷の可能性をより低めると考えたからである。玉石の収集は15人日程度の作業であった。

ふとん籠の設置は2010年3月上旬に行った（図-3）。ふとん籠の網を直方体の形にして玉石を詰めるのに、木枠（長さ2m×幅1m×高さ0.5m）に網を張って抑える必要があった。網の中に四隅から玉石を敷き詰め、隙間をなるべく作らないように石の大きさと方向を考えながら1つずつ詰め、満杯になってから籠の上側を被せ、最後にポリエステル紐（径6mm）で20-30箇所結って閉じた。完成したふとん籠に接するように次のふとん籠を隣りで作成し、紐（ポリエチレン、径12mm）で6-8箇所結って籠同士を連結した。4人で作業した場合、1体を完成するのに1~1.5時間かかり、全12体は2日間かけて仕上げた。出水後に流れてきた石がふとん籠の上流側に衝突するこ

とを防ぐため、また籠上流側と河床の段差を解消するため、余った玉石は全てふとん籠の上流0-1mの範囲に敷き詰めた。

(4) ふとん籠の状態と河床材料の調査

2010年の各出水の後にふとん籠の移動の有無と破損具合を確認した。また、河床材料の調査を設置直後と比較的大きな出水の後に行った。設置直後はVRS-GPS（GPS5800、ニコントリプル社）によりふとん籠周囲の岩盤が露出している範囲を調べた。大きな出水の後として7月上旬と12月上旬に、上下流65m×横30mを対象とした河床材料調査を行った。河床を優占する材料で泥（<0.074mm）、砂（0.074-2mm）、細礫（2-20mm）、中礫（20-50mm）、粗礫（50-100mm）、小石（100-200mm）、中石（200-500mm）、大石（>500mm）、岩盤のいずれかに区分し、測量した5mグリッドの点を基準にこれらの分布を平面的に記録した。また、7月出水後には堆積したと思われる砂礫を採集し粒度分布を調べた。圧力式水位計（HOBO U-20、オンセットコンピュータ社）を設置し、期間中の水位を10分間隔で記録した。

対象区間の河道における断面平均流速を、山地河道での有効性が示されているHeyの式を指数近似した式から推定した⁶⁾。

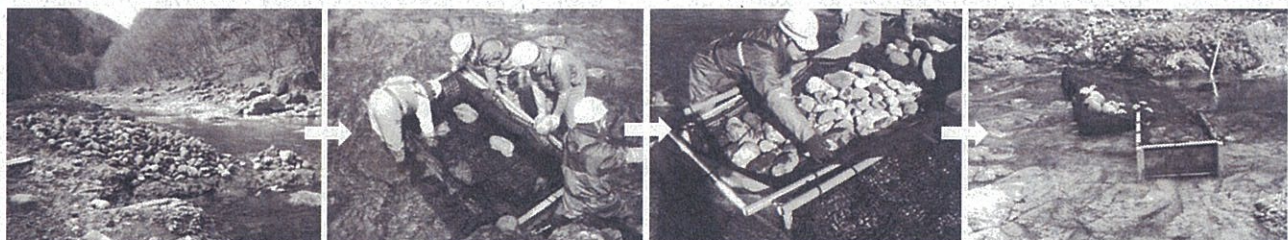
$$\frac{U}{\sqrt{gRI_e}} = 6.5 \left(\frac{R}{3.5d_{84}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

ここでUは断面平均流速（m/s）、Rは径深（m）、d₈₄は84%粒径（110mm）、I_eはエネルギー勾配（平均河床勾配：0.96%）、gは重力加速度（9.807m/s²）である。

各流量の流速によってふとん籠が動く可能性について検討した。米国内務省開拓局⁷⁾から提供されている礫径と移動限界速度の式を用いて掃流力によって動きうる河床材料の大きさを算出した。

$$V_c = 0.155\sqrt{d}$$

ここで、V_cは移動限界速度（m/s）、dは粒径（mm）である。移動限界速度には断面平均流速に0.7をかけて求めた河床底面流速を用いた。



近くの川原から石を収集し設置場所付近に運搬する。

木枠に籠(ネット)を張り四隅から石を敷き詰める。

籠内を石で満たし、最後に蓋をかぶせて紐で結ぶ。

複数のふとん籠を接するように作成し、籠同士を紐で連結する。

図-3 ふとん籠の組み立ての工程

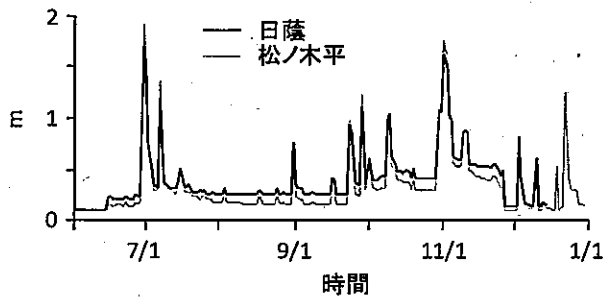


図-4 調査区間(日蔭)と下流1km(松ノ木平)での水位変化

また、各流量の流速を前面に受けた場合のふとん箆に働く抗力 (F_D) を算出した。

$$F_D = C_D A_p \rho \frac{V^2}{2}$$

ここで、 C_D は抗力係数(1.2と設定⁹⁾)、 A_p は抗力を受ける面積(m^2)、 ρ は水の密度($1000kg/m^3$)、 V は流速(m/s)である。

3. 結果

(1) 出水パターンとふとん箆の経過

7月上旬と11月上旬に水位が1.5mを上回る出水があり、それらの間に水位が0.5-1mの出水が5回あった(図-4)。7月と11月の出水では下流の川治ダムでは時間あたり最大で $100m^3/s$ 近くの流量が確認されたが、例年に比べると小さい出水であった(ほとんどの年で $200m^3/s$ 以上、4-5年に一度 $500m^3/s$ 以上、8-10年に一度 $1000m^3/s$ が観測されている)。7月の出水に比べて11月の出水では流量ピーク後に水位の高い期間が比較的長く続いた。

7月や11月の出水($100m^3/s$)において河道特性から推定される断面平均流速は2-3m/sで(表-1)、このときの掃流力で動きうる礫は10-20cmであった。ふとん箆を1m級の礫と想定すると(実際は箆を連結しているのもそれ以上の大きさがある)、ふとん箆が掃流力で動きうるのは $1000m^3/s$ 以上の流量時であった(表-1)。また、水中におけるふとん箆の静止摩擦係数を0.6⁹⁾と仮定すると(ただし岩盤の表面は比較的滑らかであるため、静止摩擦係数はより低い可能性がある)、3つ連結のふとん箆組の静止摩擦力は $8820N$ [水中での自重($(1500-1000) \times 3$)kg \times 重力加速度 $9.8m/s^2 \times$ 静止摩擦係数0.6]で、流速によってこの摩擦力を越える抗力が働きうるのは $500m^3/s$ 以上の流量規模であった(表-1)。

7月の出水後に下流側に設置した片方のふとん箆組が10m下流に移動し、砂礫に一部覆われた状態で見つかった。他のふとん箆は移動も変形もなかった。また、12月の調査ではふとん箆の移動は確認されなかった。どのふとん箆も最後まで網の切断・損傷は確認されず、シリコンボンドのコーティングも剥がれていなかった。

表-1 各流量において河道特性から想定される平均流速、掃流力による可動礫径、ふとん箆3個組にかかる抗力

流量 m^3/s	流速 m/s	礫径 mm	抗力 N
10	0.9-1.1	17-24	361-511
20	1.2-1.4	30-43	654-925
50	1.8-2.1	66-94	1433-2029
100	2.4-2.9	120-170	2597-3676
200	3.3-3.9	218-308	4704-6659
500	4.8-5.8	477-675	10317-14604
1000	6.5-7.7	864-1223	18688-26455

(2) ふとん箆周辺の河床材料の変化

当初、対象区間(河川内)は広く岩盤に覆われていたが、7月の出水後に砂礫が堆積した(図-5、図-6)。対象区間を岩盤の段差を基に5つのエリアに区分し河床材料の変化を見たところ、エリア1(最上流と2番目の段差の間で、上流側ふとん箆の上流、図-2を参照)、エリア2(2番目と最下流の段差の間でふとん箆に上下流をはさまれた場)、エリア3(最下流の段差の下流、一部のふとん箆の移動した先を含む)では、出水前は岩盤率(全面積に占める岩盤の割合)が100%であったが(図-7)、7月調査時には10-70%であった。砂礫による被覆率はエリア3で最も大きく、次いでエリア1であった。砂礫の粒度分布分析の結果、エリア1で堆積した砂礫は d_{50} が16-32mmが主であったが、エリア2のふとん箆の下流側は d_{50} が1-2mmの砂が主であった。12月調査時はエリア1-3のいずれでも砂礫が減少し岩盤率が増加した。礫の中でも特に細かい砂礫が減少する傾向にあり、エリア1では中礫から粗礫が目立つようになった(図-8)。エリア4(流心左岸側、エリア2とは岩盤の段差で隔てる)とエリア5(最上流段差より上流)では、ふとん箆の影響は及ばないと当初はみていたが、岩盤率においてエリア1-3と同様の傾向がみられた(図-8)。8-10月においても現地を確認していたが、この期間に河床材料の大きな変化は認められなかった。

4. 考察

(1) ふとん箆の課題と可能性

本研究では、重機の進入が困難である鬼怒川上流の岩盤露出区間において、人力のみの施工として現地でもふとん箆を組み立てて設置し、砂礫滞留への効果を検証した。出水後に河床に砂礫の被覆率が上がったが、一部のふとん箆が10m下流に移動するなど望まなかったことも起きた。以下に、ふとん箆の今後の課題と可能性について整理する。

ふとん箆の設置までの段階で時間を最も要したのは、玉石の採集と設置現場までの運搬であった。本研究では下流40-50mに比較的大きな砂州があったため、そこか

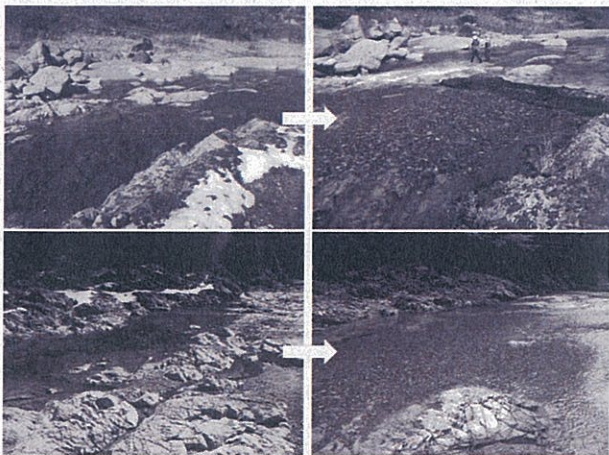


図-5 3月（設置前，左）と7月（出水後，右）の河床



図-6 7月の河床材料調査の結果とふとん籠の位置

らの採集が可能であった。近くに砂州がない場所での設置となると、より時間と労力がかかることになる。しかし、砂州が近くになくても河道の陸域に玉石が取り残されている場合はあり、こうした玉石の活用が次の可能性として考えられる。

ふとん籠が今回設置できたのは、設置時において水深が0.5m程度、流速が20-30cm/s程度の場所であった。水深と流速がこれ以上になると木柵を用いることなど作業効率が格段に悪くなると考えられた。対象区間では上流の黒部ダム取水により平水時は $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 以下の流量であった。平水時流量がこれより数倍を越えると河川内で人力によるふとん籠の設置可能な場は限られてしまうと考えられる。

7月の出水規模でふとん籠が移動することは想定していなかった。 $100\text{m}^3/\text{s}$ 規模の出水で下流側のふとん籠が動いた理由として、瞬時により大きな流速が発生した可能性や、河床地形によって流量が集中した可能性が考えられる。ふとん籠が動いた場所は上流で二分する滞筋の片方であることに加えて、上流のふとん籠の存在によって流れがさらに集中したかもしれない。また、岩盤とふとん籠の間に働く摩擦が想像以上に小さかった可能性も

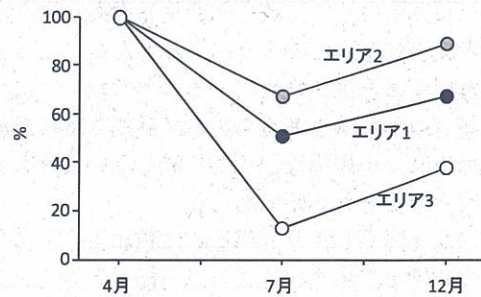


図-7 出水前後における岩盤率の変化

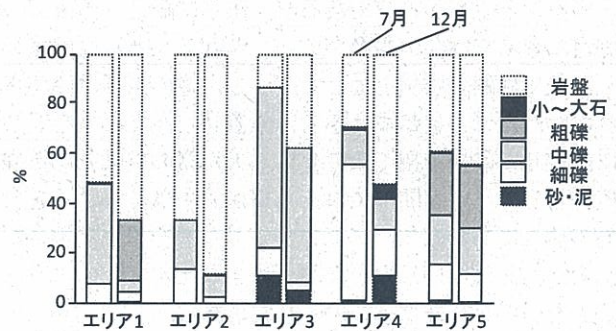


図-8 7月と12月におけるエリア別河床材料面積割合

ある。上流側のふとん籠組は連結籠数が多かったとともに、比較的平坦な地形に設置しており流量は集中しにくかったものと考えられる。

ふとん籠の網の破損は全く確認されなかった。今回の出水で堆積した砂礫は5cm以下がほとんどであったが、出水中に10-20cm程度の礫が通過していたことは別の研究における礫の移動調査から明らかである。より大きな礫が衝突すると網が切れる可能性は高くなるが、黒部ダム下流ではこうした礫の移動は限られている⁹⁾。ジオテキスタイル製ふとん籠の用途はこれまで主に河岸に限られてきたが、河川流心部であっても出水中に衝突する石が大きくなれば効果を発揮する可能性を示している。

7月の出水後にエリア1ではふとん籠の上流全面に砂礫が堆積したのに対して、エリア2では礫の堆積は少なかった。エリア1に比べてエリア2では上流の段差とふとん籠の間の距離が短く、流れが乱れていたためと考えられる。また、エリア1のふとん籠組は横断方向にも長かったことが砂礫の堆積を高めたと考えられる。エリア3では移動したふとん籠の周辺を中心に砂礫が堆積した。エリア3のすぐ下流は河道の屈曲部にあたり、元々流れが淀みやすい上にふとん籠の存在により砂礫の堆積が促されたと思われる。

7月に砂礫で覆われた河床の一部は11月の出水で再び岩盤が現れた。7月と11月の出水に水位ピークの大きな違いはなく、ピーク後の水位の下がり方の違いが河床材料の変化に起因することが考えられる。すなわち、7月の出水はピーク後に水位が急激に低下したため、移動中の砂礫が取り残されたが、11月の出水ではピーク後も比較的長く高い水位が続いたため、砂礫はより滞留しやす

い場へと移動し尽くし、流心に留まる砂礫が少なかったことが考えられる。このように、ふとん箆によって堆積した砂礫はずっと維持されているのではなく、流出と再堆積を繰り返すものと考えられる。砂礫の堆積が維持されるためには、小規模な出水で移動しないより大きな礫の堆積が少なくとも必要であろう。

連結箆数を増やしたり互構造的に重ねることで、ふとん箆の安定性を高めていくことは可能と考えられる。効果的なふとん箆の結合や配置は今後検討していく価値がある。ふとん箆の流出を防ぐ目的においては、岩盤に固定することも一つの案であるが、出水に耐えうるまでの固定は容易ではない場合が多い。今回、ふとん箆は移動した先で砂礫の堆積を促した。ふとん箆の破損は確認されなかったことを踏まえると、設置時にふとん箆を完全に固定して破損を招くよりも、ふとん箆の移動をある程度許容し、一定区間内でふとん箆が落ち着くところを自然の流れにあわせて決めた方がより効果を狙える場合があるかもしれない。ふとん箆が大きな出水でどのような経過を辿るか今後追っていく必要がある。

(2) 水生昆虫や魚類の生息場の観点から

岩床から礫床になると水生昆虫の現存量や種多様性は格段に増加することがこれまでの著者らの研究から明らかである³⁾。また、対象区間で施工前の2月にはカジカの捕獲数が0匹であったが、7月の調査では20匹以上(4.9匹/100m²)確認され、約100m上流にある部分的に岩盤が露出している区間(無施工区間、4.6匹/100m²)と比べて捕獲数が多かった。したがって、今回の砂礫の堆積程度でも対象区間において底生動物や魚類を増加させる効果があったと推察される。しかし、今回は平瀬や淵のような環境に砂礫が堆積したに過ぎず、底生動物やカジカが最も多い場合は河床礫が10-30cmの早瀬であることを踏まえると³⁾、エリア2のような段差に挟まれたような場所にこうした礫が留まることが理想であり砂礫堆の回復における今後の大きな課題である。

5. 結論

①人力のみで組立・設置したふとん箆により、流心で岩床が優占していた小区間で砂礫の被覆率が増加した。上流の岩盤段差とふとん箆の距離が比較的大きく、ふとん箆を横断方向に長く連結した場で砂礫堆積への効果が特に大きかった。

②平均流速から想定される掃流力や抗力は、ふとん箆を動かすほど大きくなかったにも関わらず、一部のふとん箆が下流に移動したのは、河床地形やふとん箆の設置に

よりその場に流量が集中したためと考えられた。

③移動したふとん箆は移動先で砂礫の堆積を促した。出水後にふとん箆の損傷はなかったことから、対象区間内でふとん箆の移動をある程度許容した施工の可能性が考えられた。

④小区間での実験であったが底生動物や魚類を増やす効果はみられた。底生動物の観点から、瀬的な環境に10-30cm礫が堆積し維持されることが今後の課題である。

謝辞：本研究はふとん箆の組み立てと設置において前田工織株式会社に多大なご協力いただいた。中村智幸博士には黒部ダム下流の過去や現況を、栃木県日光土木事務所、国土交通省日光砂防事務所、国土交通省鬼怒川ダム統合管理事務所、東京電力株式会社の方には河川の流量や土砂に関する情報をいただいた。ご協力いただいた方々に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 福島雅紀, 櫻井寿之, 箱石憲昭: 大きな石による河床再生技術に関する実験的検討, 水工学論文集, Vol.54, pp.763-768, 2010.
- 2) 石山信雄, 渡辺恵三, 永山滋也, 中村太士, 剣持浩高, 高橋浩輝, 丸岡昇, 岩瀬晴夫: 河床の岩盤化が河川性魚類の生息環境に及ぼす影響と礫河床の復元に向けた現地実験の評価, 応用生態工学, Vol.12, pp.57-69, 2009.
- 3) 小林草平, 中西 哲, 天野邦彦: 山地河川の小規模ダム下流における砂礫の減少と底生動物群集, 陸水学雑誌, Vol.72, pp.1-18, 2011.
- 4) 森 僚多, 石川武彦, 長田健吾, 福岡捷二: 多摩川水系浅川における河床高回復現地実験と河道管理手法, 河川技術論文集, Vol.16, pp.113-118, 2010.
- 5) 小林草平, 中西 哲, 藤原正季, 矢島良紀, 赤松史一, 天野邦彦: 山地河道のダム下流における河床露盤化と河床材料特性, 河川技術論文集, Vol.15, pp.453-458, 2009.
- 6) 長谷川和義: 河川上流域の河道地形, ながれ, Vol.24, pp.15-26, 2005. 土木学会編: 土木工学における数値解析, 流体解析編, サイエンス社, 1974.
- 7) USBR: Design of small dams, US Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1977.
- 8) Gordon, ND, McMahon TA, Finlayson BL, Gippel CJ, Nathan RJ: Stream hydrology: an introduction for ecologists, 2nd edn., John Wiley & Sons, West Sussex, 2004.
- 9) 前田英史, 梅田明宏, 八嶋 厚: ジオテキスタイル製ふとん箆に関する水中静止摩擦試験, 土木学会第59回年次学術講演会, pp.307-308, 2004.

(2011.5.19受付)