

ステップを形成する大礫堆の実態と その河川の特徴

FIELD CONDITION OF JAM-UP DEPOSIT OF LARGE STONE AS A STEP AND THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CHANNEL REGIME

三品 智和¹・須賀 如川²
Tomokazu MISHINA and Nyosen SUGA

¹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)

²フェロー員 工博 特別上級技術者[防災] 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)

This paper deals with a step structure of jam-up deposit of large stone in divergence-convergence channel in an alluvial fan and the morphological characteristics of channel regime. Field condition of the development of large stone deposit, the scale and the stability are investigated based on field data and field observation. Longitudinal interval (distance) of existence of large stone deposit was also discussed in this study through actual typical channel data. Results of investigation are considered to give fundamental idea of original meandering system in large stone bed river channel, and insisted an important role of large stones which cover the surface layer of channel bed, especially at a jam-up deposit.

Key Words : jam-up deposit of large stone, role of large stone, interval of steps, divergence-convergence channel, channel meandering, field investigation

1. はじめに

大礫河川を観察すると、巨石・玉石等の大礫径から成るステップ(瀬に該当)を確認することができる。これは山地河道のステップ&プールに類似した大礫の集積形態と考えられ、河川技術者の間では昭和40年頃から広く知られている。定性的には大礫径とその割合が大きいほど縦断落差の大きいステップが形成され、そのステップ上流で流路幅の大きい発散、ステップ位置で流路幅の小さい収束へ移行しており、その状態は比較的安定している¹⁾。この大礫材料から成る集積をここでは大礫堆と称することにす。しかし、大礫材料が存在する河川であっても、大礫の集積が顕著ではなくステップが未発達な河川も存在する(安倍川, 大井川等)。そこで本論文では、まず本州の代表的な主な扇状地河川(20河川)を取上げ、流送土砂量と扇状地特性値等から見た大礫堆の形成条件とその分類を試みる。次いでステップが存在する河川のうちから、似たような大礫を含む混合粒径の河床材料を持ち、かつ流送土砂量等が同程度な河川として、規模の大・小で鬼怒川と渡良瀬川及び余笹川と黒川を取上げ、実測データ(ステップの縦断間隔・最大巨石・礫径等)に基

づく実態比較を行い、実証を深める。こうして大礫を含む扇状地河川の蛇行形成の骨格である大礫堆について、その基本的な性質を吟味する。

2. 流送土砂量と扇状地特性値から見た 大礫堆の発達状況

(1) 流送土砂量からみ見た大礫堆の発達

流送土砂量の指標としては、比流出土砂量を用いる。この値は、期間内における年平均のダム堆砂量をダム集水面積で割った値である。一般に比流出土砂量 q_s は集水面積の0.7乗に反比例すると言われている²⁾。本州の代表的な扇状地河川の比流出土砂量の値としては、主に文献³⁾の記載値等を参照し、表-1にまとめている。ここで、 q_s が $2000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以上は流出土砂量が極めて多い河川、次いで $1000 \sim 2000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ が比較的多い河川、 $1000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以下が比較的少ない河川に分類する。参考文献⁴⁾によれば鬼怒川・渡良瀬川・多摩川・神通川等は、大礫堆の発達河川に該当し、これを3分割にあてはめると q_s は4河川とも $500\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以下と流出土砂量の少ない河川に位置付けられる。なお、相模川もこれに該当する。常願寺川の場合には勾配急変地点付近の限定された

区間における大礫堆の形成である。これは上流からの土砂供給が急減する地点の存在という特殊条件と判断すべき特例である。また、千曲川の対象区間は、土砂堆積の多い長野盆地より上流側の急流区間であり、大礫の存在とステップの形成が明瞭である。笛吹川の対象区間は、三川合流(笛吹川・日川・重川)より上流側であり、山地部は侵食河道を呈し、そこからの土砂供給が少なく、千曲川と同様に大礫の存在とステップの形成が明瞭である。

これに対して、 q_s が $2000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以上の黒部川・大井川・大谷川(鬼怒川支川)等については、大礫の供給はあるものの、大礫堆の安定性は低いものと考えられる。その一例として、比流出土砂量が極端に多い大谷川を取上げ、不安定な大礫堆の実態を調べる。大谷川は中禅寺湖を経由とする流域面積 125.5km^2 、流路延長 29.5km 、河床勾配 $1/120\sim 1/35$ の急流河川であり、日光火山群の荒廃部からの活発な土砂流出の影響を直接受けている。なかでも支川稲荷沢からの土砂供給は極めて多く、 q_s は約 $8000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ である。大谷川の流出土砂は、同様に土砂量の多い釜無川支川の御勅使川と比べると、細粒土砂に加えて大礫供給量が多いことが特徴的である。この大谷川では鬼怒川との合流点から 9km 上流地点に旧大谷川の分派地点があり、これより上流で稲荷川分派点までの約 9km の河道では、昭和初期まで河道の著しい蛇行変遷があったことが知られている。大礫径に関する現地調査結果⁹⁾によると、流路工による河川改修が行われた河道において、現在でも 1m を超える巨石が存在している。そして、約 9km 付近を境に上流側では大礫径とその割合が高く、下流側では低い。このことから推測すると、稲荷沢等から供給された大礫は、下流側へ大礫集積とその移動・変形を繰り返しているが、大礫の集積部(単体は除く)としての移動は 9km 付近までであり、その下流側には達していないようである。つまり、流送土砂量の多い大谷川では、大礫堆の規模の拡大には至らず、その発達に伴う定着は高くないと推察される。大礫堆が存在しないか、あるいは存在しても未発達である理由としては、土石流の流下や細粒土砂を含む大量の土砂流下が関与しているものと考えられる。

一般に土砂量の多い河川では、大礫材料が少ないのが通例であるが、大礫材料が存在する場合であっても明確な大礫堆の発達した河川の例は見当たらない。これに対し、一般に侵食河道を呈している河川では流送土砂量が比較的少なく、河床材料の粗粒化が進行し、大礫堆は発達傾向にある。発達した大規模の大礫堆は動きが鈍く、変形の手遅れである。これには大礫堆の成長による規模の拡大があり、大礫堆の表層構造はしっかりとしている。その表層構造は、大礫間の適度な間詰め材($\phi=2\sim 5\text{cm}$ の砂利)によって大礫同士が噛合い、かつ瓦積みのように、礫の平坦面が下流向きに揃うなど、強固な表層構造を形成している。

表-1 本州の主な扇状地河川(20河川)における比流出土砂量と扇状地特性値

NO	河川	q_s $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{y}$	I_A	T (m)	T_G (m)	R (m)
1	胆沢川	550 ^{***}	1/100	3.8	3.8	17.2
2	鬼怒川 [#]	150-500 ^{***}	1/240	18.5	11.2	12.0
3	大谷川	8000 ^{***}	1/90	57.0	20.0	5.1
4	渡良瀬 [#]	370 ^{***}	1/140	35.1	13.0	20.8
5	多摩川 [#]	250 ^{***}	1/210	10.5	7.2	26.2
6	相模川 [#]	303 ^{**}	1/150	5.7	3.7	56.7
7	黒部川	2858 ^{**}	1/90	102.9	17.9	0.5
8	常願寺 [#]	776 ^{**}	1/60	40.0	32.0	5.7
9	神通川 [#]	260 ^{**}	1/150	78.0	8.0	4.1
10	庄川	1536 ^{**}	1/190	123.0	19.3	7.6
11	小矢部川	-(少ない)	1/120	75.0	14.8	3.7
12	手取川	1000 ^{***}	1/170	100.0	20.2	5.2
13	千曲川 [#]	-(やや少ない)	1/120	50.3	12.1	4.7
14	梓川	750 ^{***}	1/140	130.0	20.0	2.6
15	笛吹川 [#]	-(少ない)	1/50	62.5	11.7	13.9
16	安倍川	2500 ^{***}	1/210	90.3	6.0	2.2
17	大井川	3777 ^{**}	1/220	62.0	8.7	0.2
18	天竜川	1469 ^{**}	1/480	118.7	10.7	2.8
19	木曾川	881 ^{**}	1/320	154.0	12.8	7.4
20	揖斐川	1000 ^{***}	1/330	60.0	30.9	1.6

*: 参考文献⁹⁾より引用, ***: 計画ダム土砂量からの概算値

***: ダム及び砂防ダム実績堆砂量から著者算出, 記号は図-1参照

#: 現地調査から大礫堆が明瞭と判断された河川

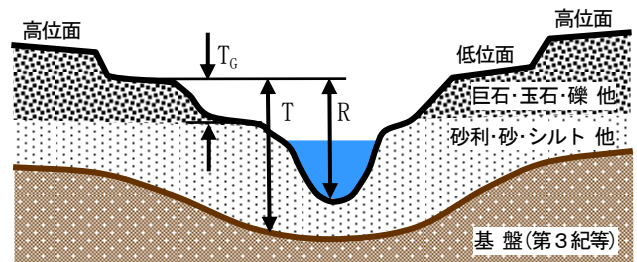


図-1 堆積層厚(T)・礫層厚(T_G)・下刻深(R)の模式図

(2) 扇状地特性値から見た大礫堆の発達

扇状地の特性値としては、扇状地面(扇頂部の沖積面)の平均的な縦断勾配(I_A)・第4紀に堆積した礫質な堆積層厚の平均値(T)・堆積層厚(T)の内、最上部の礫層厚の平均値(T_G)・扇状地面と現河床高の標高差とする下刻深(R)等を用いる。図-1に便宜的に単純化してこれらの3者間の関係について、河川断面の模式図を示している。なお、扇状地特性値は参考文献⁹⁾の付録データを使用し、ひとつの河川で複数の扇状地面がある場合には最低位面を採用した。

まず河川侵食による扇状地堆積物の侵食状況と流送土砂量との関係について述べる。図-2は礫層厚(T_G)と下刻深(R)の関係図を示したものである。図より4分割し、その該当河川と比流送土砂量 q_s を表-2に表記している。①②に該当する河川($R>T_G$)は下刻深(R)が礫層厚(T_G)を上回っており、堆積層内の礫層(T_G)は河川侵食によって削り取られ、礫の供給源となっていると考えられる。その

表-2 RとT_cの分類と比流出土砂量

分類	河川名	比流出土砂量
① R=2.0以上×T _c	胆沢・多摩・相模	250-300
② R=1.0~2.0×T _c	鬼怒・渡良瀬・笛吹	300-500
③ R=0.5~1.0×T _c	神通・木曽	250-900
④ R=0.5以下×T _c	大谷・黒部・大井・他9河川	750以上

傾向は①の該当河川(胆沢川・多摩川・相模川)で高く、河川侵食の進行は礫層厚の2倍以上である。これに対して、③④に該当する河川(R<T_c)では下刻深(R)が礫層厚(T_c)を下回っており、河川侵食は礫層以深まで達していないものと判断される。なかでも④の黒部川・大井川・揖斐川については、河川侵食の進行は礫層厚の10%以下である。ここで、第4紀以降の堆積物(T)で見た場合の河川侵食の進行を示したのが図-3である。堆積層厚(T)と下刻深(R)の関係を見ると、R>Tの領域は河川侵食の進行が基盤まで達している可能性が高い。その該当河川は胆沢川・多摩川・相模川の3河川である。比流出土砂量q_sとの関係を見てみると、①②の該当河川ではq_sは500m³/km²/year以下であり、③の該当河川は250~900m³/km²/yearと幅があるが、④の該当河川はq_sは700m³/km²/year以上に概ね分類される。図-4の比流出土砂量(q_s)と下刻深(R)の関係によれば、流送土砂量の多い河川ほど、礫層侵食の進行は遅い傾向にあると言えよう。

次に大礫堆の発達河川と扇状地特性値との関係について述べる。大礫堆の発達河川(鬼怒川・渡良瀬川・多摩川・神通川)では、神通川以外は①②領域の河川(R>T_c)に収まっていることから、堆積層内の礫層が侵食された河川で大礫堆の発達が見られるということになる。4河川の扇状地平均勾配(I_A)と礫層の層厚(T_c)については、表-1より概ねI_A=1/140~1/240、T_c=7~13mの範囲にあることがわかる。なお、神通川では上流に狭窄部が存在し、河床材料は狭窄部上流で細かく、下流では河口付近の最下流を除く区間において、大礫の存在が見られ、また狭窄部下流の宮川からの流送土砂は少ないので対象区間の河道では流送土砂が少なく大礫堆の発達が見られる。

堆積層内(T)の最上部にある礫層(T_c)は、流送土砂量が少ない時代に河川侵食によって削り取られている可能性が高い。礫層は巨石・玉石等の大礫の供給源でもある。しかしながら、下刻深(R)が堆積層の層厚(T)を上回っている河川(R>T)については、河川侵食が基盤まで達している可能性が高く、大礫堆は未発達か、形成されても消失していることが考えられる。

以上のことから、河床表面に大礫が多い河道の条件は、河岸及び近傍の小支川からの礫や巨石の供給があり、かつ上流からの土砂量が多くないことである。

なお、礫河床の河川はこの他にも存在する。例えば、急激な河床低下が発生して河床面における細粒分が流失し、表面下に存在していた礫や巨石が露出するような場合で、ダム建設後の下流河道などがこれに該当する。また、山腹崩壊や土砂流などの異常現象、あるいは人為などもある。

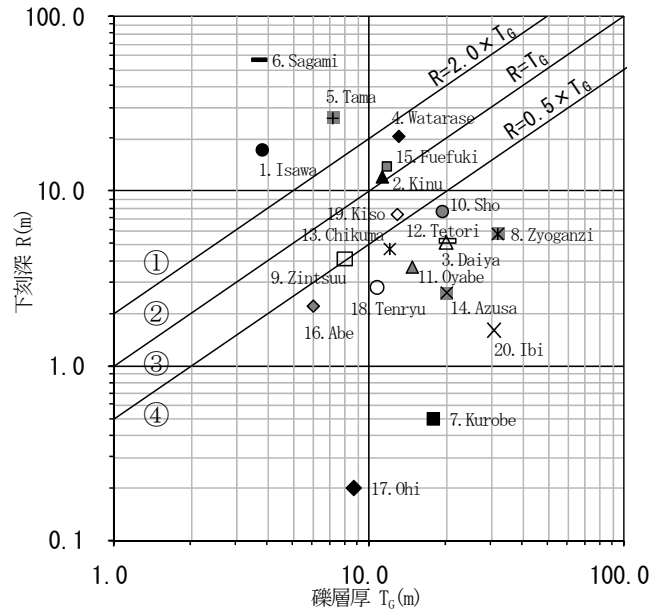


図-2 礫層厚(T_c)と下刻深(R)の関係図

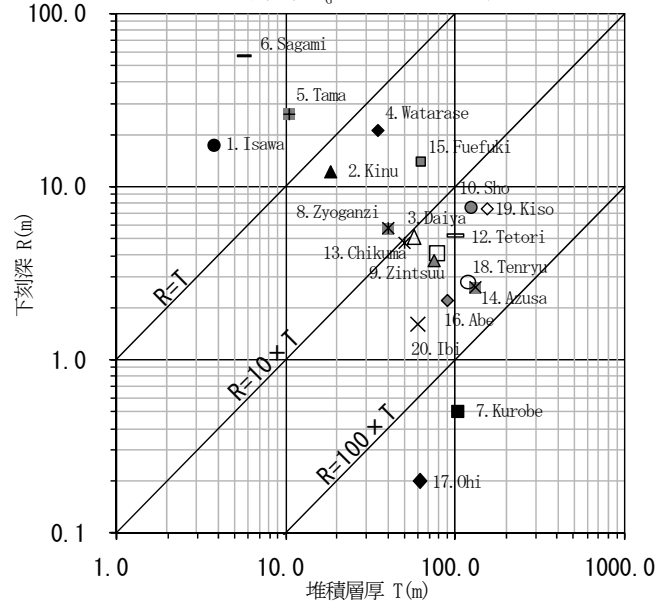


図-3 堆積層厚(T)と下刻深(R)の関係図

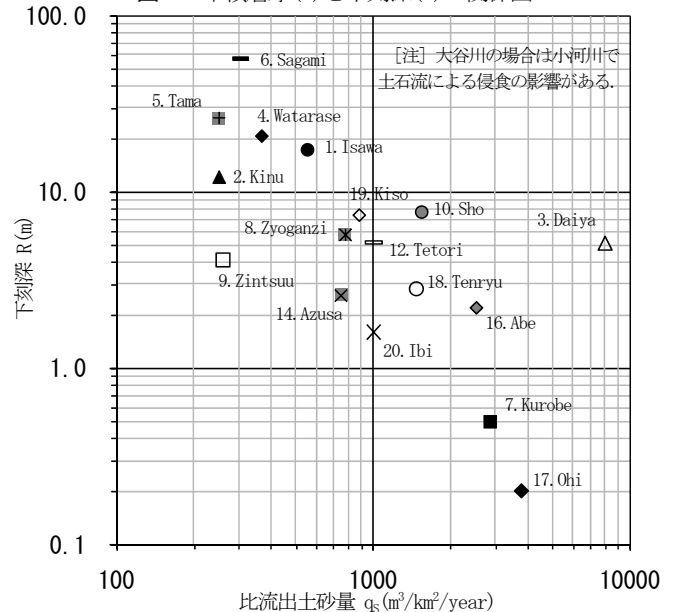


図-4 比流出土砂量(q_s)と下刻深(R)の関係図

[注] 大谷川の場合は小河川で土石流による侵食の影響がある。

3. ステップ間隔に関する実態比較

(1) 対象河川の概要

典型的な大礫堆の発達河川として、規模の大小から鬼怒川と渡良瀬川及び余笹川と黒川を取上げ、ステップの縦断間隔や最大巨石径等の実測データに基づく、実態比較を試みる。表-3は比較河川の河道概要である。

まず鬼怒川と渡良瀬川については、両河川共に大礫を含む混合粒径河道であり、築堤以前の平面地形は河道幅が発散・収束を呈しており、その中で砂礫砂州を挟んだ2列蛇行の流路形態を有している。流送土砂量としては、両河川共に比流出土砂量 q_s が $500\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以下であり、流送土砂量は少ない河川に位置付けられる。洪水流量は基本高水流量で見ると、鬼怒川 $8800\text{m}^3/\text{s}$ (石井)に対し渡良瀬川 $4600\text{m}^3/\text{s}$ (高津戸)である。比較対象区間は、同程度の平均河床勾配の区間($1/200\sim 1/150$)とし、鬼怒川85～110k地点、渡良瀬川35～55k地点とした。なお、本論文においては、礫は $10\sim 50\text{cm}$ 、巨石は 50cm 以上の河床材料をいう。大礫とは両者を含めることとした。

次に余笹川と黒川については、余笹川は一級河川那珂川の支川で、黒川是那珂川合流点より3.6km付近で合流する余笹川の支川である。両河川は平成10年8月末、未曾有の大洪水が発生し甚大な被害が生じた。その後、災害復旧工事が実施され、改修後はほぼ全川に亘り護岸・根固・拡幅等が施工された。大礫堆の実態調査としては、既発表論文⁵⁾⁸⁾⁹⁾の実測データを再精査し、H10.8月洪水直後の最深河床高の縦断落差及び最大巨石・礫径(H13調査)等より比較検討を行った。対象区間は同程度の河床勾配区間($1/100\sim 1/80$)とし、余笹・黒川合流点より余笹川が1.4～11.4km、黒川が14.4～24.4kmとした。

(2) 鬼怒川と渡良瀬川の実態比較

図-5は河道内の最大巨石・礫径の縦断分布図(鬼怒川:100～108km, 渡良瀬川:42～50km)であり、下流側は $1/200$ 程度、上流側は $1/150$ 程度の河床勾配である。大礫の選定は目視で確認できる範囲内での最大礫を選定し、3点法にて礫径を測定した。図には両河川を比較するため、最小二乗法による回帰直線を示した。また、図-6に大礫堆のステップの縦断間隔を左右岸別に示している。なお、ステップ縦断間隔の測定には、堤内地盤高を採用しているが、これは人為作用(河道掘削・築堤等)を受ける以前の比較的オリジナルに近いステップ地形が残されていると判断し、鬼怒川250m・渡良瀬川200m間隔で測定し、平均的な河床勾配($1/200\sim 1/150$)より急な区間をステップと便宜上仮定した。

観測結果として、最大巨石・礫径の縦断分布(図-5)を見ると、全体を通して最大巨石・礫径は鬼怒川の方が大きく、これは目視観察と合致する。ステップの間隔(図-6)については、平均で鬼怒川が約1.2km毎に1ステップ、渡良瀬川が約0.9km毎に1ステップの間隔で存在しており、

表-3 余笹川・黒川の流域概要

河川名	比較1		比較2	
	鬼怒川	渡良瀬川	余笹川	黒川
流域面積 ^{※1}	1093 km ²	472 km ²	118 km ²	94 km ²
洪水流量 ^{※1}	8800 m ³ /s	4600 m ³ /s	1740 m ³ /s	810 m ³ /s
河床勾配 ^{※2}	1/150 ～1/200	1/150 ～1/200	1/80 ～1/100	1/80 ～1/100
河道幅 ^{※2}	550～650 m	300～400 m	70～100 m	40～60 m

※1石井(鬼怒川)・高津戸(渡良瀬川)・黒川合流点(余笹川)・三蔵川合流点(黒川)での上流側の流域面積と洪水流量を表示。なお、余笹川・黒川の洪水流量は、平成10年8月洪水の実績流量⁷⁾を記載。

※2対象区間の平均的な河床勾配と堤防間幅を表示。

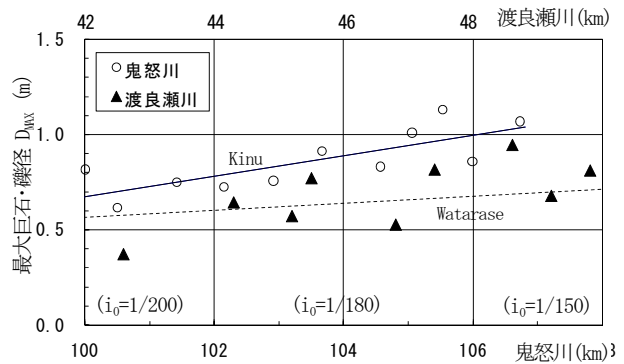


図-5 鬼怒川・渡良瀬川の最大巨石・礫径の縦断分布図

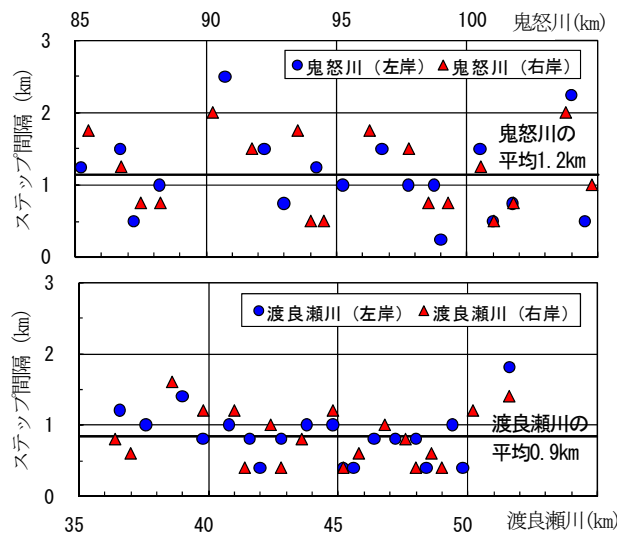


図-6 鬼怒川・渡良瀬川のステップ間隔の縦断変化

鬼怒川の方がステップの間隔が大きい傾向を示している。

現河道内の流路のステップ(瀬に該当)については、鬼怒川小林橋地区(103.5km, $i_0=1/200$)のステップを取上げると、ステップの縦断延長約100m、落差3m程度、瀬の部分の平均勾配 $1/30$ 、最急勾配 $1/15$ 程度(低水路の流水に沿った勾配、河道縦断方向には局部的にさらに急になる)である。また、参考文献¹⁰⁾によれば、堤内地のステップ位置と河道内のステップ位置を比較すると、ほとんど堤内地のステップ位置近傍に現河道のステップが存在しており、これから判断して、築堤以降のステップ位置の変化は小さく、維持していることがわかった。

鬼怒川と渡良瀬川の河川比較からは、最大巨石・礫径およびステップの縦断間隔において、鬼怒川の方が大きい傾向を示している。つまり、大礫堆のステップ間隔を決める要素として、比流出土砂量 q_s ・平均河床勾配 i_0 ・洪水流量 Q ・最大巨石・礫径 D_{max} の4項目とすると、前2者($q_s \cdot i_0$)がほぼ同じとすれば、後2者($Q \cdot D_{max}$)が大きいほど、ステップの縦断間隔は大きくなっているとみてよさそうである。

(3) 余笹川と黒川の実態比較

図-7は沖積地幅と河道位置(左岸沖積地端より)の縦断変化を示し、図中には沖積地端の山付き流下区間を図示している。また、図-8は最大巨石・礫径の縦断分布図を示している。なお、観測点間の河床面の河床材料は、主として砂・砂利である。

大礫堆の実態調査として、図-9は最深河床高の縦断落差を200m間隔で示したものである。大礫堆のステップ判断としては、当該区間の平均河床勾配が1/100程度であるので、2.5m(200m間隔)以上をステップと判断し通し番号(余笹川：Y1～Y10、黒川：K1～K8)で示した。

観測結果として、まず両河川の谷底沖積地内の蛇行形態としては、300～500mの谷底沖積地内を流下し、その特徴として、余笹川では沖積地中央部付近での蛇行に対して、黒川では沖積地端の山付き沿いを流下し沖積地形状に沿った蛇行を呈している⁹⁾。また、最大巨石・礫径の縦断分布(図-8)は、両河川共に1m以上の巨石が存在するが、2m以上の巨石については、余笹川の方が多い。これは目視観察の結果と合致する⁹⁾。次いで大礫堆のステップ落差(図-9)は、図より余笹川ではY8・Y9を外せば、約1km間隔で2.5～3.0mのステップがほぼ等間隔で存在しているのに対し、黒川ではステップ落差が不規則であり、K1・K3・K7に限っては4m以上の落差の大きいステップが存在している。なお、余笹川Y8(9.0km)と黒川K1(15km)のステップ位置は、河道が屈曲する湾曲部($r=70\sim 80m$)であり、側岸侵食が制限された条件のもとでの水衝作用による局所洗掘の影響が加担されていると判断される。また、余笹川Y9(9.9km)は落差工直下に位置し、局所的水衝流による深掘れと判断される。

両河川における上述値の差が生じる原因として、洪水流量 Q と最大巨石・礫径 D_{max} は余笹川の方が大きい、黒川は山付き区間を呈しており、河道がほぼ固定していることがあげられる。黒川の場合には、河道固定により大礫堆の規模拡大とそれによる安定化が得られたものと判断される。余笹川の場合には沖積地内を自由蛇行しており、中期的に区間全体では同一規模(ステップ落差)の大礫堆がほぼ等間隔に存在している。河道は黒川ほどは固定化されておらず、大礫堆は縦断的に均衡ある状態を維持しつつ、ある範囲内で移動と発達を繰り返しており、極めて大きな洪水が生起しない限り、安定していると考え

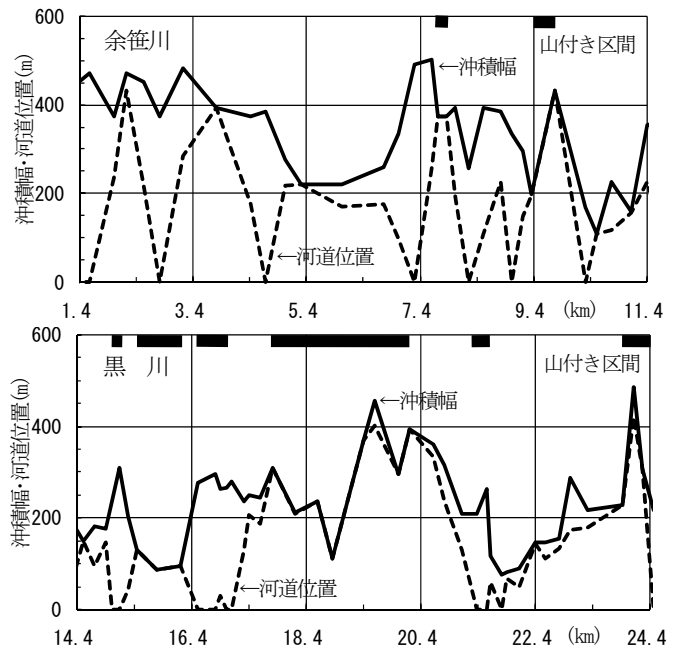


図-7 余笹川・黒川における沖積幅・河道位置

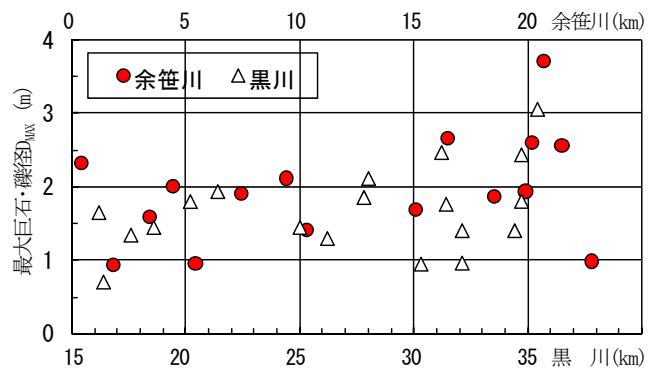


図-8 余笹川・黒川における最大巨石・礫径の縦断分布図

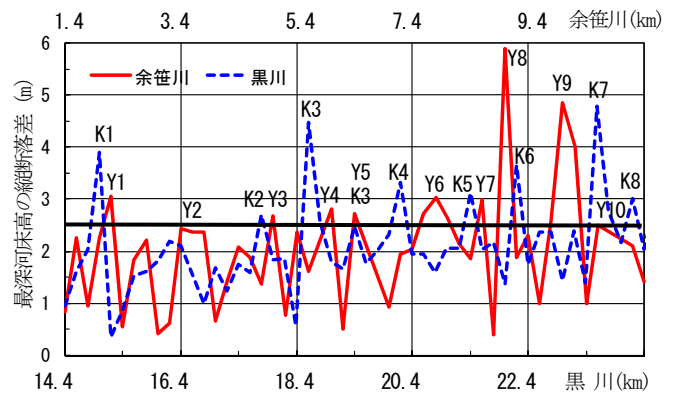


図-9 余笹川・黒川における最深河床高の縦断落差(200m間隔)

られる。災害復旧後の現在の余笹川では、全川に亘り護岸が施工され、河道は固定されている。今後は側方侵食による土砂供給が減少し、大礫堆の安定化が生じるものと予測される。実際にH20調査⁹⁾で、災害直後(H10)のステップ15ヶ所を調査したところ、内9ヶ所はステップ位置の変化が無く、10年程度は安定していることが確認された。このように、余笹川・黒川の場合には、流送土砂量 q_s ・平均河床勾配 i_0 ・洪水流量 Q ・最大巨石・礫径 D_{max} 以外に沖積地内の蛇行流路が関与していることが推察される。

4. 大礫堆の発達過程の問題点

ボーリング資料によると大礫堆はその下層まで大礫堆で構成されているものでもない。このような事実を背景とし、大礫堆の安定性について考えると、安定の基本となる規模の拡大には大礫のジャムアップが必要であるが、大礫のジャムアップは徐々に発達するものであるとしても、昔からの地点で維持される理由などの解明が必要である。また、河川の蛇行の変遷過程や安定化との過程も今後の課題として興味深い。

また、大礫堆の発達メカニズムについて考えてみる。まず、何らかの異常外力があった場合にランダムに発生した小規模の大礫堆が流下過程で流下速度の違いから他をとり込みつつ規模の拡大(テイクオーバー)が行われる。この場合、流量が大きいほどとり込み拡大が活性化し、また礫の粒径が大きいほど大礫のジャムアップが促進され、大礫堆が形成される。次にひとつの大礫堆について見ると、次のような過程に分けることもできよう。すなわち、まず大礫の存在があると、それが大きいほど後続の流下礫の捕捉があつて、ジャムアップの形成と促進が生じる。大礫堆の成長の結果、その上流の河床勾配が小さくなり、礫の流量が減少するが、大礫堆の成長は継続する。これと同等にステップ高さの増大とステップ下流の河床低下があつて安定化の方向に向うこととなる。ステップ高さが大きくなるということは、テイクオーバーの現象が活発に行われた結果であり、このことはステップ間隔の増大を意味し、規模の拡大につながり、規模の拡大が河床形態の安定をもたらすものと想定される。

5. 結論

本論文の主要な結果を以下に示す。

- 1) 大礫堆の発達河川として、既往論文¹⁾では大礫を含む混合粒径の河床材料を持ち、かつ流送土砂量の少ない河川が取上げられた。本論文ではより具体的にダム堆砂量換算の比流出土砂量 q_s を用いた結果、 $q_s=500(\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year})$ 以下の河川で大礫堆が発達しているという傾向がわかった。
- 2) 比流出土砂量の多い河川では、一般には大礫材料は少ない。しかし、大礫材料が存在する場合には、大礫のジャムアップによる大礫堆の形成はあるが、下流方向への移動と集積を繰返しており、規模の拡大には至らず大礫堆自体の安定性は低いと考えられる。
- 3) 沖積層内の礫層厚(T_0)と下刻深(R) (沖積地面高と河床高の標高差)に着目すると、下刻深が礫層厚を上回っ

ている河川($R>T_0$)では、長期に亘る河川侵食によって礫層内の大礫が河床面に現れ、その後大礫のジャムアップによる大礫集積の規模拡大が生じたことで、大規模な大礫堆に発達するものと考えられる。なお、基盤まで侵食が進むと大礫堆の安定性は損なわれるようである。

4) ステップの縦断間隔を決める要素として、流送土砂量 q_s ・河床勾配 i_0 ・洪水流量 Q ・最大巨石・礫径 D_{max} 等に着目し、前2者が同程度の鬼怒川と渡良瀬川を比較した結果、後2者が大きいほど、ステップの縦断間隔は大きくなることがわかった。実際の河川における数値の集積は、今後の参考値となりえよう。

5) 谷底沖積地河川では、拘束境界付近(沖積地端の山付部等)の流路位置が安定している河道区間ほど、ステップ落差の大きい大礫堆が存在していることが余笹川と黒川の比較調査より確認された。すなわち、沖積地面積の小さい中小河川等では、大礫堆の間隔や規模を決める支配要因として、4項目($q_s \cdot i_0 \cdot Q \cdot D_{\text{max}}$)以外に沖積地に関する側方侵食の拘束条件が関与していることがわかった。

参考文献

- 1) 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，第10巻，pp.95-100，2004.6.
- 2) 芦田和男・奥村武信：ダム堆砂に関する研究，京大防災年報，17号B，pp.555-570，1974.
- 3) 須賀堯三：川の個性，鹿島出版会，pp.118-124，1992.
- 4) 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，水工学論文集，第49巻，pp.955-960，2005.2.
- 5) 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明：谷底沖積地の自由蛇行河川における護岸・根固の現地調査と二・三の考察，河川技術論文集，第9巻，pp.131-136，2003.6.
- 6) 齊藤亨治：日本の扇状地，古今書院，pp.257-266，1998.
- 7) 上野鉄男：余笹川流域の1998年8月水害の研究，京都大学防災研究所年報，第47号B，2004.4.
- 8) 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明・菅俣崇・福田一郎・築瀬和裕：余笹川の災害対策後河道の河道特性に関する考察，水工学論文集，第46巻，pp.343-348，2002.2.
- 9) 三品智和・須賀如川：余笹川大洪水災害復旧10年後の河道変化に関する考察，河川技術論文集，第15巻，pp.261-266，2009.6.
- 10) 三品智和・須賀如川・古川保明：発散・収束河道の大礫堆に関する堤内地を含めた総合的現地観測とその考察，河川技術論文集，第11巻，pp.375-380，2005.6.

(2011.5.19 受付)