

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

COMPREHENSIVE FIELD INVESTIGATION INCLUDING PROTECTED LAND
ABOUT JAM-UP DEPOSIT COMPOSED OF LARGE STONES
FORMED IN DIVERGENCE-CONVERGENCE CHANNEL

三品智和¹・須賀如川²・古川保明³

Tomokazu MISHINA, Nyosen SUGA, Yasuaki KOGAWA

¹正会員 工修 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)

²フェロー員 工博 宇都宮大学名誉教授 河相工学研究堂 (〒276-0023 千葉県八千代市勝田台 4-2-4 番地)

³正会員 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 the actual condition and stability about jam-up deposit composed of large stones as a main formation cause of divergence-convergence channel system. As a point of this study, investigation was made by comprehensive field survey including the protected land. As main results, the original condition of development of alluvial area in protected land has the effective information of geographical feature of actual state of meandering channel system, and is also found to be appropriate to classify the degrees of stability of the jam-up deposit into three categories. Among them, jam-up deposit of large stones stabilized in some 1000 years have direct effect on morphological river formation of divergence-convergence channel system.

Key word: jam-up deposit of large stones, graded large bed materials, divergence- convergence channel system, practical use of information from protected land, comprehensive field investigation,

1. はじめに

大径礫や巨石を含む混合粒径河道で生じている発散・収束現象は、河道形成の基本的な現象であるが、その内容と意義及び重要性については、実務においては十分に認識されているとはいえない。また、実験的研究や理論的研究はもとより、その基本となる実態の調査・研究が不十分である。

大礫を含む混合粒径河川の河道システムに関し、これまでに、須賀²⁾によって基本事項の提案が行われている。その主な内容としては、鬼怒川・渡良瀬川等に代表される大径礫や巨石を含む混合粒径河道では、多くの場合自然状態で流路と水流の発散・収束河道が生じている。また、発散・収束河道の蛇行形態は、大礫を多く含む混合粒径材料が洪水流による分級作用によって形成される大礫堆が核となって発達する河道システムである。その河道条件としては、河道に玉石や巨石等の大礫が多く存在し、かつ土砂量としては、比較的少ないことなどが挙げられる。

上述の仮説を受けて、鬼怒川上流部(87k~110k)及び支川大谷川(0k~17k)を例に取上げ、特に大礫堆に焦点をあ

て、その実態と安定性に関して、現地踏査及び河川資料等を基に考察を行った。なお、大礫堆の実態とその安定性については、河道内巨石の縦断分布や高木樹齢等に加えて、堤内地の地形や戦前からの集落位置の情報等を活用した。河川調査に堤内地情報を活用したことは、本研究の特徴のひとつでもある。

以下に本論文の調査・検討事項を示す。

- 1) 大礫堆に関する既往の研究と本研究の位置付け
- 2) 大礫堆の安定性を捉えるための基本的な考え方
- 3) 鬼怒川扇状地における大礫堆の現地調査から推定される現時点での実態
- 4) 基幹大礫堆及び大礫堆の安定性とその評価
- 5) 基幹大礫堆の安定性についての関連事項
- 6) 不安定大礫堆の実態とその安定性

2. 発散・収束河道の大礫堆に関する既往の研究 と本研究の位置付け

昭和22年(1947)当時の鬼怒川河道を写真-1に示す。写真から判断する限りでは、流路と水流の発散・収束が縦断

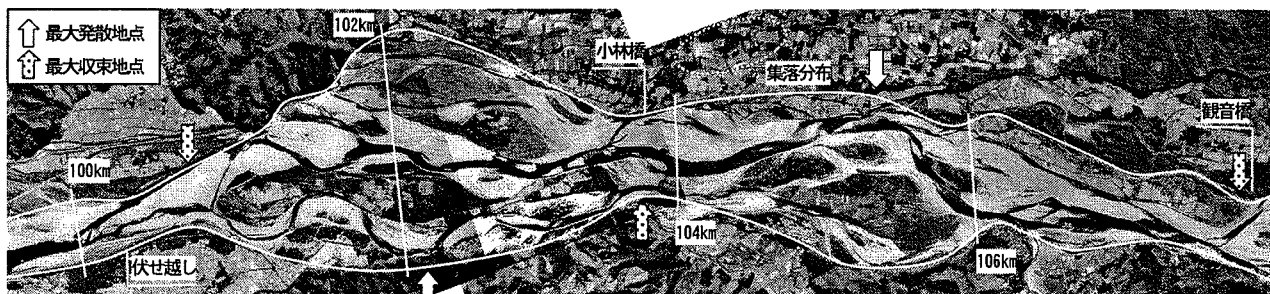


写真-1 鬼怒川の発散・収束河道 [昭和22年(1947)撮影]

的に繰返し生じていることがわかる。この現象の要因は、収束部で形成されている大礫堆の影響によるもので、これが後に述べるように比較的河道に対し安定性が高いため、その上流側では発散面を形成しているものと考えられている¹⁾。以下に発散・収束河道の大礫堆に関する既往の研究成果を簡潔に示す。

一般に急流河川では、河床勾配は一定であるか、あるいは変化するにしても徐々に変化し、その変化は連続的と考えられている。これは、巨視的に捉えれば正しいといえる。しかし、大礫を含む混合粒径河道を詳細に見ると、その縦断形状は、いくつかのステップを形成し、一様ではない。また、河床材料も下流方向に徐々に小さくなっているものではない。実際には、図-1に示すように、大礫のジャム・アップ現象による大礫堆の形成が生じ、それがここでいうステップ(収束面)を形成している。このステップは比較的安定しているため、ステップの上流区間では堆積が進行し、発散面を形成している。

上述した既往の研究成果を鑑み、本研究では発散・収束現象の基本要因となる大礫堆に焦点をあて、大礫堆の安定性を捉えるための基本的な考え方を示したのち、その実態と安定性について考察を行うこととした。

3. 大礫堆の安定条件

大礫を含む混合粒径河道で多く見られる発散・収束河道は、各種の要因が係わるシステムではあるが、その中で特に極めて安定性が高い大礫堆、あるいはそれ以下の大礫堆が支配要因となり、その安定条件の基に成立していると考えられる。反対に安定条件を得にくい条件としては、例えば、均一粒径や大量の土砂流出、あるいは一定流量等の条件があげられる。この場合には、核となる大礫(玉石・巨石等)のジャムアップ現象に基づく大礫堆が形成されにくい。発散・収束河道は成立しにくいと考えられる。鬼怒川河道では、上流からの流出土砂量が少なく、かつ大礫を多く含んだ混合粒径河道であるため、発散・収束河道の形成条件を満足していることになる。

次に大礫堆の安定性は、下流側への移動・伝播よりも早期に規模の拡大が行われた場合に得られるものであり、規模の拡大と共に安定性は増大していると考えられる。この場合、安定性の判断には、大礫堆の縦断落差(ステップの高低差)及び堤内地と堤外地との形状・位置の比較、

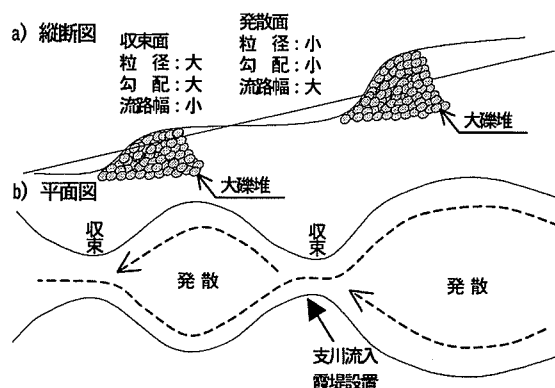


図-1 大礫堆と発散・収束現象の概念図

及び支川合流・霞堤・旧派川及び高木樹齢等より総合的に判断することが有用と考えられる。特に大礫堆が比較的安定している場合には、その直下流において支川の合流があり、霞堤が設置されていることが多いので、安定性を見極めるには良い判断材料となる。

以上の発散・収束河道の大礫堆に関する一般特性の仮説を実証するため、鬼怒川における大礫堆の実態とその安定性について、堤内地の地形情報を含めた詳細な現地観測を行った。その結果を次に述べる。

4. 現地観測に基づく大礫堆の実態とその安定性

(1) 鬼怒川固有の河道特性

鬼怒川は、利根川水系の一大支川で、栃木県と群馬県境の鬼怒沼を水源とする、延長177km、流域面積1,760km²の一級河川である。鬼怒川の河道特性に関する特筆すべき事項は以下のようなものである。

- 1) 氏家付近(83km)を境に上流の観音橋(107km)までは扇状地河川であり、氏家より下流側は、ローム層を侵食して形成された幅広の横侵食河道である。
- 2) 氏家より下流の河川の年齢としては、7千年程度の発達途上にある若い河道である。
- 3) 大礫を含んだ混合粒径の砂礫河川であり、分級作用により大礫堆が発達している。
- 4) 流路と水流の発散・収束現象が縦断的に繰返し生じている。その典型例が写真-1である。
- 5) 発散・収束現象の基本形態は、戦後の人為作用(砂利採取・ダム・砂防ダム・河川改修等)にも拘らず比較的安定している。

6) 大礫堆の安定が発散・収束現象の安定をもたらし、さらに河道の安定の主要因となっている。

(2) 鬼怒川扇状地における堤内地情報を含めた現地観測による大礫堆の実態とその考察

大礫堆の実態及び安定性の判断には、堤外地の地形・巨石分布・高木樹齢等の調査に加えて、過去の状況が比較的保存されている堤内地の地形情報を活用した。これは、堤外地のみの判断では、戦後の人為作用(砂利採取・ダム・砂防ダム、河川改修等)による攪乱要因が大きく、適正に見極めるのが難しいためである。

伏せ越し从小林橋上流(100~105km)の右岸側における堤内地・堤外地及び低水路の縦断形状を図-2に示す。また、同図には、低水路河岸沿いの最大巨石径の縦断変化を示している。なお、図に示す地盤高は、平面図(1/5000)のコンターを縦断方向に250m間隔に区切り、その区間毎の平均値として求めたものである。

この区間は、鬼怒川において最大の発散部(伏せ越し及び小林橋上流の2地点)の区間に該当する(写真-1参照)。その最大発散幅は、昭和22年当時において、102km付近で約1450m、105km付近で約1050mである。図に示す堤内地・堤外地の形状から判断する限りでは、103.75km付近に大規模な大礫堆が存在している。この大礫堆は、ステップの縦断落差が大きく、かつ堤外地の方が2m程度の河床低下はあるものの、堤内・外地の形状・位置はほぼ一致しており、安定性は大きいものと判断できる。事実、この大礫堆の上流部には、鬼怒川で2番目に大きい大発散面を形成している。なお、最大発散部(102km付近)の形成に直接関連する大礫堆は、101.25km付近に存在するもので、ステップ高は小さいが、堤内・外地の地盤高に差はほとんどなく、大礫堆の直下流部において、清水川が合流しており、前出同様に安定性は高いものと判断できる。

次に現河道の大礫堆の安定性について考察を行う。両者の大礫堆(101.25km・103.75km)は、共に最大巨石径のピーク値、堤内・外地のステップの位置とがほぼ一致していることがわかる。すなわち、大礫堆の下流側への若干の移動はあるものの、長い時間スケールで見れば、ほぼ安定しており、その存在価値は高く評価できる。なお、101.25~103.75km間の発散部においても、小規模な大礫堆は存在している。これらの安定性については、まだ未解決部分はあるが、収束部で形成される大礫堆に比べ、下流側に移動しており、安定性はやや落ちると考えられる。

ここで大礫堆の安定性と集落の立地条件に関して、関連する知見が得られたので報告する。図-2には、堤内地に立地する戦前から存在する旧家の縦断位置とその地盤高を示している。これより、小林橋付近の集落形成は、大礫堆(103.75km付近)より直上流付近(右岸)の発散面で多く

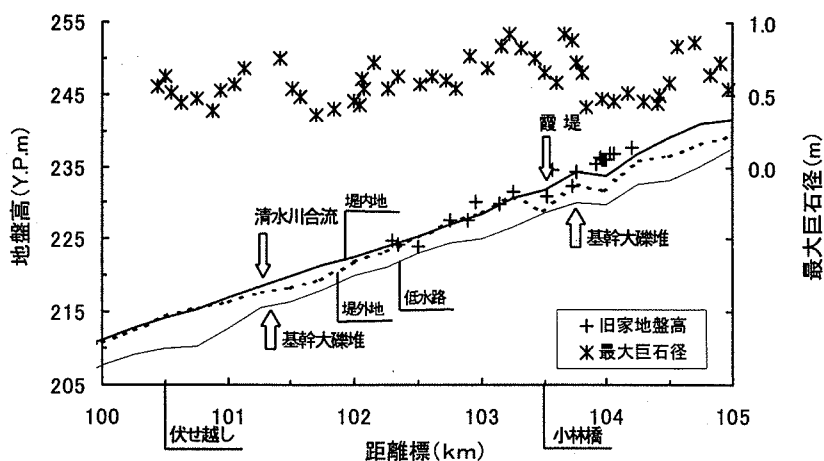


図-2 小林橋付近における大礫堆の縦断形状と最大巨石径及び旧家屋高の関係

見られる(写真-1参照)。この付近は、大礫堆の安定性に基づく大発散面が形成されており、広大な土地が存在し、かつ洪水時の流路変動が少なく、安定した土地条件であると判断できる。おそらく、この土地に住み始めた人々は、そのことを承知の上、集落を形成・発展させてきたものと考えられる。ただし、洪水時には、少なからず浸水氾濫が生じるため、ほとんどの旧家では、家屋の周囲に小規模(高さ1m程度)の堤防が築かれている。この堤防は、輪中堤のようなもので、家屋を洪水から守るために設置したものである。これらの知見によって、鬼怒川付近の社会形成には、大礫堆の安定性と密接な関係があり、この地区の河道特性をたくみに利用した結果と評価される。

このように、伏せ越し上流部や小林橋付近の収束部に存在する大規模な大礫堆は、千年オーダーでその場にほぼ固定し、安定性は極めて高い。このような、発散・収束河道のオリジナル地形に直接影響を及ぼしている大礫堆をここでは、基幹大礫堆と称している。これ以外に百年オーダーで下流に移動・発達する大礫堆、及び十年オーダーで移動・変形する不安定大礫堆が存在している。これらについては、後に述べるように、下流に移動・発達する過程で、大礫堆の規模が大きくなり、ある程度の安定性が得られれば、派川を生じさせる要因となっている。なお、各年オーダーの大礫堆の安定期間は、現在の氏家下流の鬼怒川が約7千年の河道であること、及び支配的土砂生産の行われている大谷川の水源域火山の活性が1万年オーダーであることに基づき推定している。

(3) 基幹大礫堆及び大礫堆の安定性とその評価

ここでは、鬼怒川87~105km(L=18km)を例に取上げ、堤内地・堤外地及び低水路の縦断形状等を基に、基幹大礫堆と大礫堆の安定性とその評価を行う。調査結果を図-3に示す。地盤高の測定手法は、前出図-2と同様である。また、同図には、堤内・外地の形状から判断した比較的大きな縦断落差(ステップの高低差)を持つ大礫堆、及び霞堤の位置をそれぞれ矢印で示している。

オリジナルの収束部(昭和22年航空写真)と図に示す大

礫堆の位置を比較すると、大礫堆①③④⑥⑪が基幹大礫堆と推定できる。その規模は、基幹大礫堆①が最も大きく、ステップの縦断落差が両岸で 7~9m 程度あり、順に基幹大礫堆③⑥が 6~7m 程度、基幹大礫堆④⑪が 5~6m 程度となっている(図-3 の表参照)。このことから、相対的に見て、巨石密度が高く、その最大径が大きい上流側ほど、規模が大きく安定した大礫堆が形成されていると考えられる。事実、基幹大礫堆⑥より上流側では、基幹大礫堆の間隔が小さく、明瞭な発散・収束河道が生じており、特に基幹大礫堆①③の上流側では、鬼怒川最大の発散面(上位 2 地点)が形成されている。

一方、基幹大礫堆以外の大礫堆は、基幹大礫堆に比べ、ステップの縦断落差が小さく、かつ堤内・外地、及び低水路のステップ位置の差異が大きい。このことは、大礫堆が下流側へ移動したものと推測され、基幹大礫堆より安定性は小さいと考えられる。ただし、大礫堆⑧~⑪については、霞堤の位置とほぼ一致しており、築堤の施工から現在まで(100 年以上)、大礫堆の安定性は保たれていると考えられる。

基幹大礫堆の安定性を裏付ける証拠として、図-3 に示した⑤~⑦の大礫堆位置(フロント位置)を昭和 22 年の航空写真(写真-2)に記している。これから次のことが推察できる。イ) 基幹大礫堆⑥の下流部(95km)では、水流がまとまっていること。ロ) 支川①は、基幹大礫堆の規模が大きいため、大礫堆の下流部で合流出来ていないこと。ハ) 基幹大礫堆の直上流右岸側で集落が存在していること。二) 支川②の蛇行形状は、細かい蛇行形状を呈していること。以上の事項は、基幹大礫堆の安定性が極めて高い条件の基に成立する。なお、二)の補足として、大礫堆の直上流部では、河道内の大径礫密度が高く、一方支川では、山地からの流出で砂分を多く含んでいるため、それらが流末部で堆積するため、容易に蛇行を生じるものと推測される²³⁾。

(4) 基幹大礫堆の安定性についての関連事項

ここでは、鬼怒川河道の過去の流路変遷と基幹大礫堆との関係を一部報告する。鬼怒川は、過去に 2 回河道変遷を繰り返している。当初は田川沿いを流れ、その後五行川沿いに移行し、約 7 千年前には現在の鬼怒川に移行したといわれている。図-4 には、鬼怒川・五行川・田川縦断図及び河道幅をそれぞれ示している。図より、過去の分岐点位置と基幹大礫堆⑥とがほぼ一致していることがわかる。こ

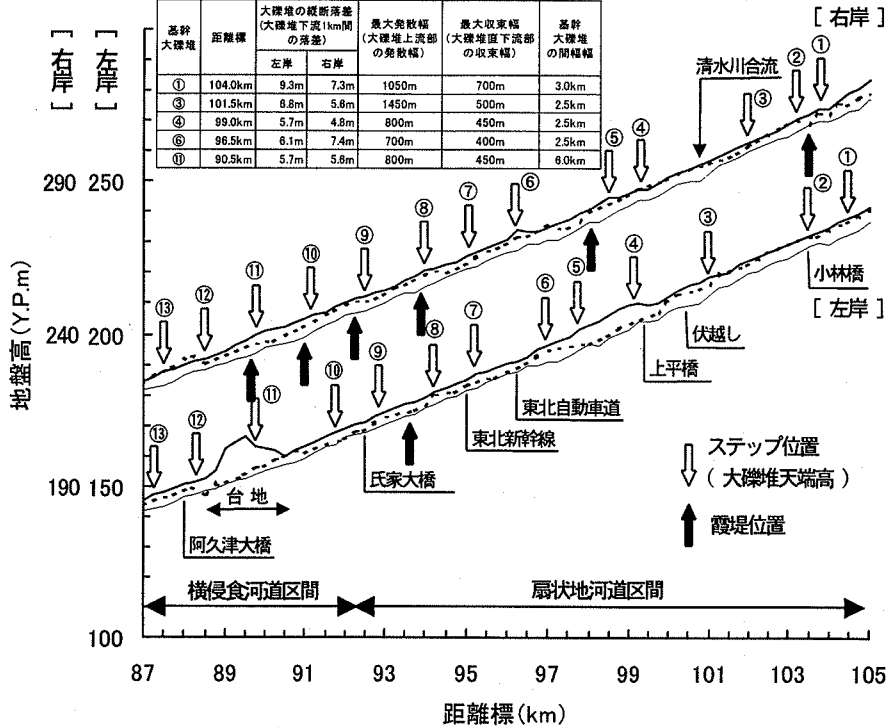


図-3 堤内地・堤外地及び低水路の縦断形 [鬼怒川 87~105m (L=18km)]

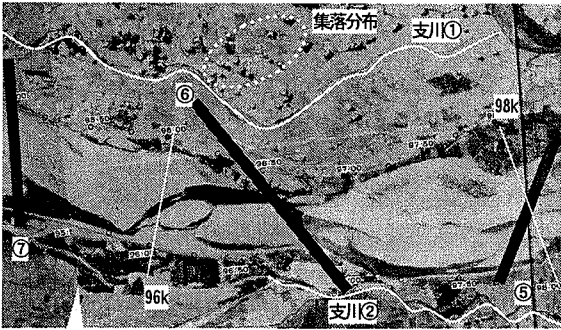


写真-2 大礫堆の推定位置 [昭和 22 年(1947)の航空写真に記載]

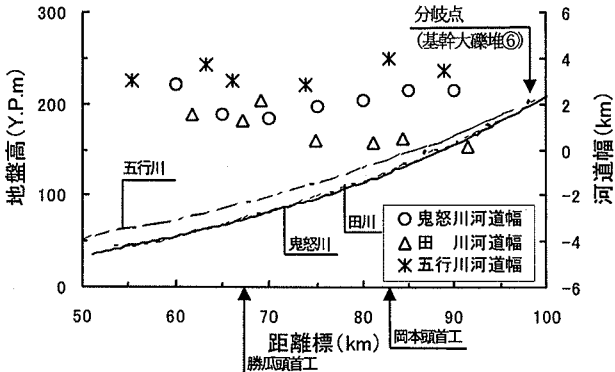


図-4 鬼怒川・五行川・田川における縦断図及び河道幅

れは、五行川から現在の鬼怒川に転流した理由の一つに大礫堆の存在があると推察される。おそらく、大礫堆の方向を考えると、大礫堆とその発達が導流堤の役割を果し、現在の鬼怒川に流路を変更したとも推察できる。ちなみに、五行川の河道幅が広く、他(鬼怒川・田川)より長期間に亘り流下していたことが考えられる。これらの知見については、推定内容であり、今後追加調査の必要性がある。

(5) 不安定大礫堆の実態とその安定性－鬼怒川支川大谷川の不安定大礫堆－

これまで述べてきたように、鬼怒川では河道に対して数千年・数百年の安定を持つ大礫堆(基幹大礫堆・大礫堆)が核となって、発散・収束河道のシステムを形成している。

ここでは、数十年オーダーの不安定な大礫堆の実態と安定性について、鬼怒川支川大谷川を例に取上げ、昭和22年(1947)航空写真からの河川形状・旧派川位置・現状大礫の分布状況等を基に考察を行う。

a) 大谷川の流域概要

大谷川は、中禅寺湖を水源とし、日光市と今市市を流下し鬼怒川に合流する流域面積125.5km²、流路延長29.5km、河床勾配1/120～1/35の急流河川である(図-5参照)。河道特性としては、日光火山群(男体山、女峰山、赤薙山)による土砂生産の影響を直接受けているため流出土砂量は大きく、大谷川左岸沿いに上流から荒沢、田母沢及び稲荷川等があるが、その中でも稲荷川からの流出土砂量は極めて大きい。

b) 鬼怒川と大谷川の巨石配列の相違

大径礫の配列状況と河道の安定性について、大谷川と鬼怒川との巨石配列の比較から検討する。鬼怒川支川の大谷川は、鬼怒川本川に比べ大礫堆の河道に対する安定性が小さい傾向にある。鬼怒川と大谷川の巨石配列を写真-3に示す。鬼怒川は巨石・玉石等が下流側に拌むような安定配列を組んでいるのに対し、大谷川は不安定配列を組んでいる。安定配列を組む条件としては、3つの条件が挙げられる。1) 大礫を含む混合粒径河川であること。2) 流出土砂量が少ないこと。3) 人為作用が少ないことが挙げられる。鬼怒川本川では、上述3条件を満足している。大谷川合流後の鬼怒川では、佐貫上流区間で土砂が調整(堆積傾向にある)されている。特に大径礫が多く存在する場所では、分級作用により安定配列を組んだ大礫堆を形成していると考えられる。一方、大谷川では戦後の流路工・落差工等の大規模な人為作用が行われており、かつ稲荷川からの供給土砂量が大いいため、不安定な巨石配列を組んでいるものと考えられる。

次に大谷川の大礫堆の実態とその安定性について述べる。

c) 大谷川的不安定大礫堆

大谷川は、写真-4に示すように稲荷川合流後、直線的河道上の6.5km下流において、左岸側に分派が生じている。分派付近の大谷橋(鬼怒川合流点より9km地点)は、右岸側は台地であり、左岸側の山地が終了している場所である。

河道内の大径河床礫の密度と最大巨石径の縦断変化を図-6に示す。なお、測定方法については、大径河床礫密度は河道内に25m²(5m×5m)の面積格子を設置し、大径河床礫(50cm以上)数を測定し、また最大巨石径は目視により河道内の最大巨石を判別し、3点法で巨石径を測定し

分派地点(大谷橋)

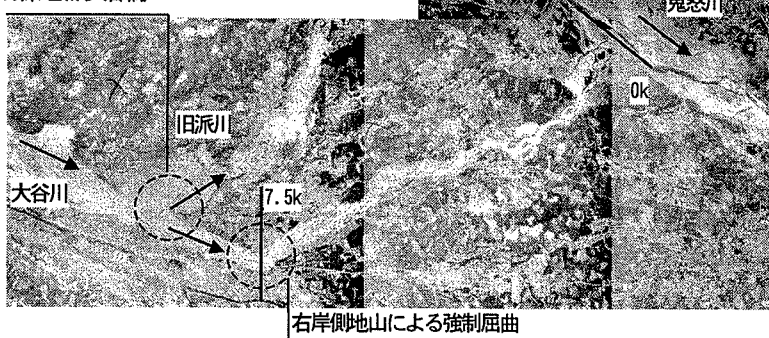


写真-4 昭和22年(1947)当時の大谷川

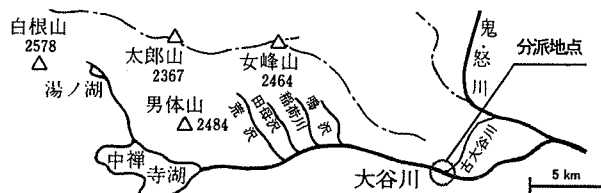


図-5 大谷川流域図

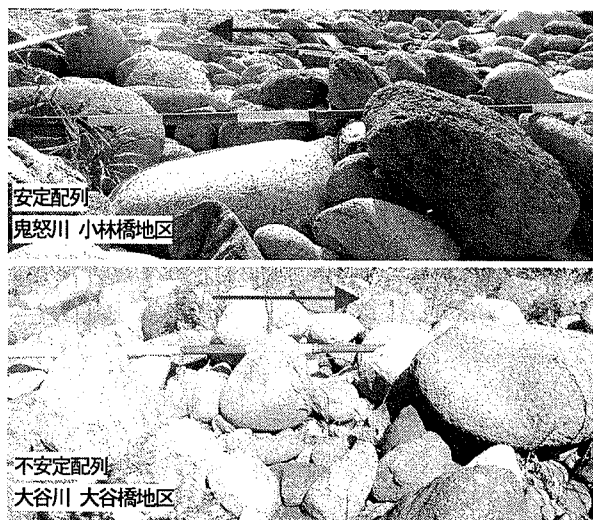


写真-3 大谷川と鬼怒川の巨石配列

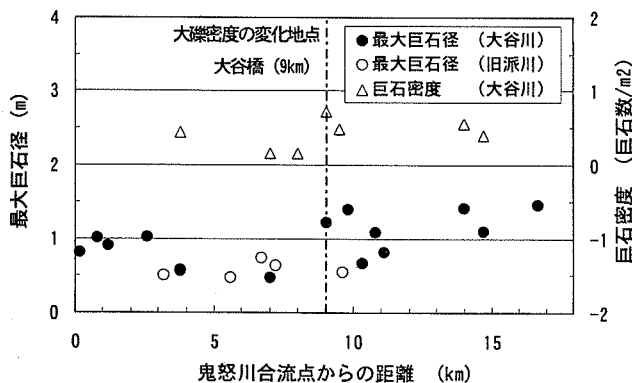


図-6 最大巨石径と巨石密度の縦断変化(大谷川・旧派川)

たものである。この図から縦断的な巨石分布をみると、巨石は大礫堆が存在する旧分派点上流では多く、旧分派点下流では少ない傾向にある。過去の土石流堆からの巨石生産があるため土砂流出量の多い河川ではあるが、分級作用による大礫堆の形成があり、流下と共に規模の拡大があったものと推察される。大谷川のように巨石含み、

かつ土砂量の多い河川では大礫堆は徐々に下流に伝播したものと考えられる。

旧派川では、古大谷川沿いに現在も旧河道状を呈し、田畑や畦に旧河道の石が利用されており、図にはその最大径の縦断変化を示している。その現状から判断すると、旧派川に流入した土砂の粒径は大きな玉石もあるが、多くは10～20cm程度であったと考えられる。本川下流の礫はこれより大きいことから、転流ではなく、派川を生じていたものと考えられる。なお、大谷川がその下流において左に屈曲しているのは、右岸の地山の形状によるものである。

このように、大谷川で見られる大礫堆は、数10年オーダーの不安定な大礫堆である。すなわち、巨石を含み土砂生産の多い河川では、数十年規模で分級作用による大礫堆の形成があり、流下と共に規模の拡大が生じており、現在では、鬼怒川合流点より9km付近まで、大礫堆が下流側に伝播していることが認められた。

5. 総合考察

本研究では、発散・収束河道の大礫堆について、鬼怒川を例に取上げ、現地観測と河川資料を基に大礫堆の実態とその安定性に関し考察を行い、次の知見を得た。

(1) 大礫堆の現状を判断するには、堤内・堤外の地形から推定することが有効的である。堤外地の地形のみの判断では、特に戦後の人為作用の攪乱要因が大きく、適正に見極めることが難しい。ここでは、築堤以前の比較的オリジナルの状態に近い堤内地の地形情報等が有用であることを見出した。

(2) 大礫堆の規模・安定性の推定には、大礫堆の縦断落差(ステップの高低差)、及び堤内地と堤外地との形状・位置(大礫堆の移動)の比較に加えて、支川合流・霞堤・旧派川・高木樹齢及び戦前から住んでいる旧家の分布状況等より総合的に判断することが有効的である。

(3) 大礫堆には、その安定度合(大礫堆の規模、下流側への伝播の移動距離等)によって、3種類に分割して整理するが適当である。すなわち、千年オーダーでほぼ固定されている基幹大礫堆、百年オーダーで下流に移動する大礫堆、及び十年オーダーで移動・変形する不安定大礫堆に分類される。

(4) 基幹大礫堆の見極めには、大礫堆より上流側の発散部の大きさ、大礫堆の縦断落差及び現状の大径礫密度とその最大径等とし、また、大礫堆の判断は、基幹大礫堆の位置を確定した後、堤内地と堤外地の位置・形状の比較、支川合流及び霞堤位置等から総合的に判断を行うのが妥当である。

(5) 不安定大礫堆の判断には、十年オーダーで移動・変形が生じるため、堤内・堤外地の位置・形状のみからの判断は難しく、現状の河道内巨石密度とその最大径の縦断変化に加えて、砂州の縦横断形状から判断することが適当である。

(6) 基幹大礫堆の安定性は、極めて高いものである。例えば、小林橋地区(103.5k)では堤内・堤外地と比較した場合、堤外地の方が大礫堆の天端高が2m程度低下しているものの、位置の変化はほとんどない。一方、大礫堆の安定性は、オリジナル(堤内地)と比較した場合に250m程度の下流側への移動はあるものの、長い時間スケール(数百年程度)で見れば、安定性は高いと推定できる。

(7) 鬼怒川河道では、氏家橋付近(93km)を境に上流側の扇状地河道、下流側のローム層侵食による横侵食河道において、大礫堆の分布状況が異なる。扇状地河道区間では、明確な発散・収束河道が生じている。これは、基幹大礫堆が適当な間隔で固定し、その間に大礫堆がある程度の間隔で存在していることが支配要因となっている。一方、横侵食河道区間では、大礫堆を主とした小規模な発散・収束河道が形成されている。これは、基幹大礫堆の形成に必要となる大径礫や巨石の存在が、上流部に比べ少なく、基幹大礫堆まで発達していないのが要因と考えられる。

(8) 十年オーダーの不安定大礫堆は、例えば鬼怒川支川の大谷川で見られる。大谷川に代表されるような、巨石を含み土砂生産の多い河川では、数十年規模で、分級作用による大礫堆の形成があり、流下と共に規模の拡大が生じていることが推定される。現在では、鬼怒川合流点より9km付近まで、大礫堆が下流側に伝播していることが認められた。

6. 結論

大礫堆の実態把握は、従前の河川資料だけでは判断が難しく、堤内地情報を入れることによって、概ねその実態と安定性に関する知見を得ることができた。今回得られた知見に関しては、これまで十分な研究・調査が行われておらず、河川改修や河道復元事業等の実施に反映されることはなかったと思われる。今後は、特に発散面の細部構造・蛇行形態の変化等の調査・解析を行い、現象の内容及意義及び重要性を指摘すると共に、河川事業を行う上での重要な基礎資料として中心的役割を果しうる研究を実施する予定である。

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，VOL. 10, pp95～100, 2004.
- 2) 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，VOL. 9, pp131～136, 2003.
- 3) 三品智和，須賀如川，他5人：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，pp343～348, 2002.

(2005. 4. 7 受付)