

山地河道における河床材料調査法

箱石憲昭* 福島雅紀** 櫻井寿之***

1. はじめに

ダム地点近傍は山間部であることが多く、山間部を流れる川の河道を山地河道と呼んでいる。この山地河道においては、巨礫が点在し河床材料が2オーダー以上異なる粒径で構成されていることが多く、河床材料の粒度分布を適切に把握することが難しい。本誌9月号で述べたように、ダムからの土砂供給等による下流河道の変化に関する予測精度向上のためには、山地河道における土砂移動に関する知見の収集が必要であるが、その前提となる河床材料調査において間違っ了解析手法を用いた事例も見受けられる。

そこで、一般的に用いられる河床材料調査法について、その分類と特徴を紹介し、特に粒径の大きな礫が存在する山地河道において留意すべき点をまとめた。さらに、現地河川における容積サンプリング法と、表面サンプリング法（線格子法）の調査結果の比較を試み、その結果を示した。

2. 河床材料調査法の分類とその特徴

2.1 容積サンプリング法

図-1に示すように、河床から調査に必要な量の河床材料を直接採取し、ふるい分析によって通過



図-1 直接採取の状況(鬼怒川65kp付近)

表-1 ふるい分析に使用する試料の最少質量の目安

試料の最大粒径(mm)	試料の最少質量	最少質量に対する最大粒径1粒の試料の質量百分率(%)
2	200g	0.0056
4.75	400g	0.037
19	1.5kg	0.63
37.5	6kg	1.2
75	30kg	2.0
100	70kg	2.0
300	2ton	2.0
1,000	70ton	2.0

質量百分率を求め、粒径加積曲線を作成する。直接採取法と呼ばれることもある。

表-1の灰色で塗りつぶした部分は、JIS A 1204「土の粒度試験方法」によって規定される、ふるい分析に使用する試料の最少質量の目安である。表-1の最右列には、最少質量に対する最大粒径1粒の質量の割合を百分率で示した。1粒の質量は、砂の単位体積質量を $2,650\text{kg/m}^3$ 、形状を球体と仮定して求めた。この最大粒径1粒の質量が試料の全質量に占める割合が大きくなると、粒度分析結果の誤差も大きくなる。そこで、最大粒径75mmに対する割合2.0%を参考値として、最大粒径がさらに大きな場合の試料の最少質量を試算した。これによると、最大粒径が300mmになると2tonの砂礫を採取してふるい分析を実施することが必要となり、現実的ではないことが理解できる。容積サンプリング法は最大粒径が100mm程度以下の河床材料に対して用いるのが効率的と言える。

容積サンプリング法を用いて、最大粒径が100mmを超える河床の粒度分布を調べる場合、粒径100mm程度以上の礫は現地で長径、中径、短径を計測し、それらの径から算定される体積に単位体積重量を掛けることで質量を算定することが多い。粒径100mm程度以下の河床材料の一部はふるい分析の試料として利用される。ここで、最終的な粒径加積曲線を作成するためには径から算定された結果とふるい分析の結果を合算する必

要があり、そのためには採取した全ての河床材料について、粒径100mm程度以上とそれ以下の河床材料の質量の割合を計測しておくことが必要となる。

2.2 表面サンプリング法

容積サンプリング法が河床を大きく掘削する必要があるので、表面サンプリング法では河床表面に見える河床材料のみを対象としている。鉛直方向には表層と同様な粒度構成が連続していると仮定し、調査対象とする試料の選定ルールを決めて、ふるい分析に相当する結果を得るものである。

2.2.1 面積格子法

面積格子法は、図-2に示すように河床に1辺1m～2m程度の方角枠を設置し、そこに水糸などを用いて最大粒径程度の間隔で格子を設定し、格子点直下となった粒子について、長径、中径、短径を計測するものである。なお、調査を簡略化する場合もしくは粒径が大きいため3軸を計測できない場合には中径のみの計測でもよい。3軸の粒径を計測した場合には、 $\sqrt{a \cdot b \cdot c}$ を代表的な粒径とする。調査結果の整理にあたっては、粒径階にふるい分析で採用するふるい目もしくはφスケールを採用し、個々の粒径階に含まれる河床材料の個数密度分布を算定する^{2),3)}。もちろん粒径階を分けることなく、個々の粒径で個数密度を整理し、その累加分布を粒径加積曲線と見なすこともできる。

調査にあたっては、以下の点に注意する。

①面積格子法で計測する粒子の個数は100個程度とする。格子間隔は最大粒径によって変化させ

ると効率的であるが、間隔を大きくすると100個のサンプリングを行うために多地点での計測が必要となる。もちろん面積格子の枠を大きくすることも可能であるが、枠の可搬性を考えると2m×2m程度が最大と考えられる。また、後述する線格子法に比べ局所的な調査となることから、河床材料の平面的な不均一性を反映した結果となる場合がある。そのような場合にはむしろ後述する線格子法を適用するのがよいであろう。

②格子点直下に砂が存在した場合、主に礫を対象とする調査手法であることから、近傍の礫を計測してしまう傾向がある。しかしながら、調査法の原理を考えると、格子点直下の材料を厳密に選択して計測することが妥当な結果を得る上で重要である。

③一つの粒子が二つの格子点直下に存在するような格子の設定は望ましくはない。ただし、調査を進める中で、そのような状況が発生した場合には、Kellerhals et al⁴⁾の指摘するように、その粒子を二度計測する。

2.2.2 線格子法

線格子法は、図-3に示すように河床に巻尺などを敷設し、巻尺の始点および終点を決めた上で最大粒径程度の間隔で、目盛直下にある粒子の長径、中径、短径を計測するものである。よって、線格子法は面積格子法の採取ルールを少し変更した手法と考えられ、調査にあたっての注意点および調査結果の整理方法は面積格子法と同様である。

なお、面積格子の枠は可搬性の観点からその大きさが制限されたが、線格子法ではそのような懸念はなく、最大粒径が300mm以上の河床では線

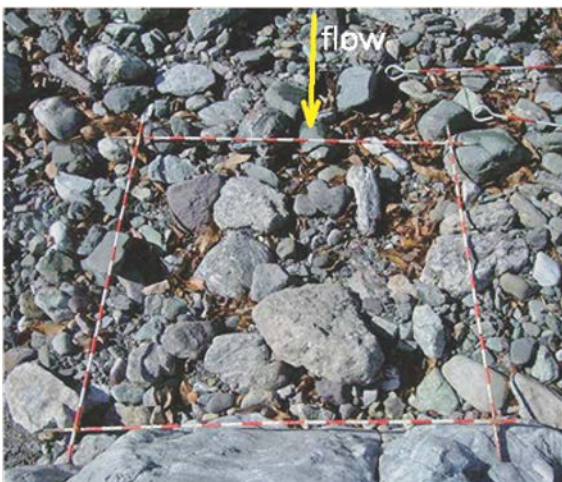


図-2 面積格子法による調査状況
(下久保ダム上流)

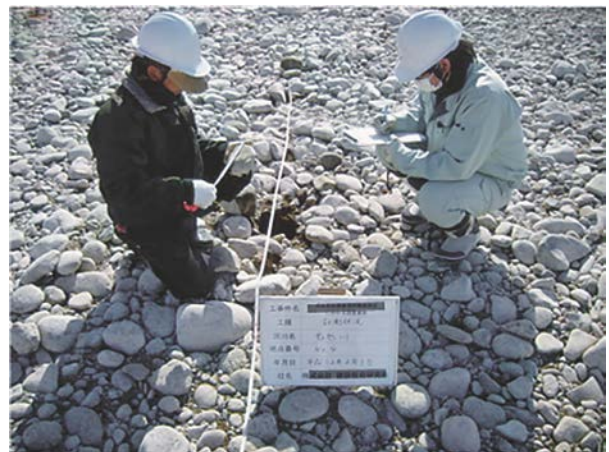


図-3 線格子法による調査状況
(鬼怒川65kp付近)

格子法を用いると、より効率的に作業ができると筆者らは考えている。特に、河床材料が空間的に変化する地点で河床の平均的な粒度分布を把握したい場合には、その地点を横断するように線格子を設けるとよい。また、始点から終点までの距離が直線状に確保できない場合には途中で折り返すことも可能であり、調査地点の状況に柔軟に対応できる調査法であるとも言える。一方、局所的な粒度分布の特徴は捉えにくく、砂州の上下流など地点ごとの特徴を評価する場合には面積格子法を採用するとよい。

2.2.3 平面採取法

平面採取法は、一定の表面積中にある表面に露出した全礫を確認し、個々の粒径を計測することで表面積を算定し、一定の表面積に占める砂礫の表面積の割合（表面積密度分布）を算定するものである。この表面積密度分布を積算し、表面積累加分布としたものが容積サンプリング法における粒径加積曲線に対応する³⁾。この方法の欠点として、採取すべき対象の砂礫を見分けることが難しく、特に砂や細礫など小粒径の場合には表層と下層の区別が付きにくいことが挙げられる。そのため、事前にペイントの付いた刷毛などで河床表層を着色する方法が採用されることもある。

2.2.4 写真測定法

写真測定法は、なるべく歪みのないように河床表面の写真を撮り、写真上で面積格子法、線格子法、平面採取法に従った解析を行うものであり、現地調査に時間を掛けることができない場合に有効である。その点で優れた手法ではあるが、室内での作業時間が増大すること、礫の重なり具合によっては粒径の判読精度に誤差が生じることは理解しつつ適用すべき手法と考える。

写真測定法に関連して、リモコンタイプの模型ヘリコプターなどで撮影した低高度航空写真、空間解像度の高い航空写真などのリモートセンシング技術を活用した粒度分析の可能性についても研究が進んでおり、河床表層の粒度分布を広域で把握するための技術として今後の河川管理への活用が期待されている。

3. 河床材料調査法による調査結果の比較

3.1 調査方法

線格子法による調査結果を個数密度で整理した

表-2 調査地点の河床表面の特徴

地点名	調査地点の位置と特徴
N1(那珂川28.5kp)	低水路水際。表層にはほとんど砂を確認できず。表層1層を除去すると砂を確認。
N2(那珂川31kp)	低水路水際。表層にはほとんど砂を確認できず。表層1層を除去すると砂を確認。
N3(那珂川37.5kp)	低水路水際。砂州前縁線。表面礫間に砂を確認できず。表層を30cm程度除去しても砂を確認できず(透礫層の状態)。
N4(那珂川38kp)	低水路水際。表層礫間に砂を確認。ただし、他に比べて少ない。
N5(那珂川41kp)	低水路高水敷河岸近く。表層礫上に砂が乗っている状況を確認。

結果が容積サンプリング法によるふるい分析の結果に一致することは山本²⁾、Kellehals and Bray⁴⁾に述べられている。しかしながら、実河川の河床材料はそもそも不均一性を有しており、調査法による粒度分布の違いを検証する上では適当ではないと考えられている。そこで、那珂川を対象として、比較的均質な空間を選択した上で上記の点を確認した。図-4は、表-2に示す5地点で、容積サンプリング法および線格子法による河床材料調査を実施し、地点ごとに調査手法の違いによる粒度分布を比較した結果の一部である。なお、調査にあたっては、容積サンプリング法では1辺1mの方形枠、線格子法では30m～50mの調査測線を設けて調査を実施した。また表-2には地点名に加え、それぞれの調査地点の河床表面の特徴を示した。

3.2 調査結果

礫間を埋める砂が存在しない状態いわゆる透礫層が形成されていた地点N3、砂の割合が他に比べて少ない地点N4では、線格子法の結果が容積サンプリング法による調査結果とよく一致していた。これは、河床が鉛直方向にほぼ均一であったことで、表面サンプリング法を実施する上での前提条件が満たされていたためと考えられる。一方、マトリクスとしての砂の存在割合が比較的多く、鉛直方向に粒度分布が異なる地点N2、N5では、粒径2mm以下で両者の結果に差が生じていた。

現地調査では、空間的な材料の不均一性から容積サンプリング法と線格子法との整合性を検証できないと指摘されることがあるが、砂分が少なく、人為的攪乱の少ない、しかも比較的均質な砂州を対象とした現地調査を実施することで、河床材料調査手法として線格子法の精度を確認できたと考えている。

4. まとめ

試料の採取量と調査結果の誤差との関係から、容積サンプリング法は最大粒径が100mm程度以下

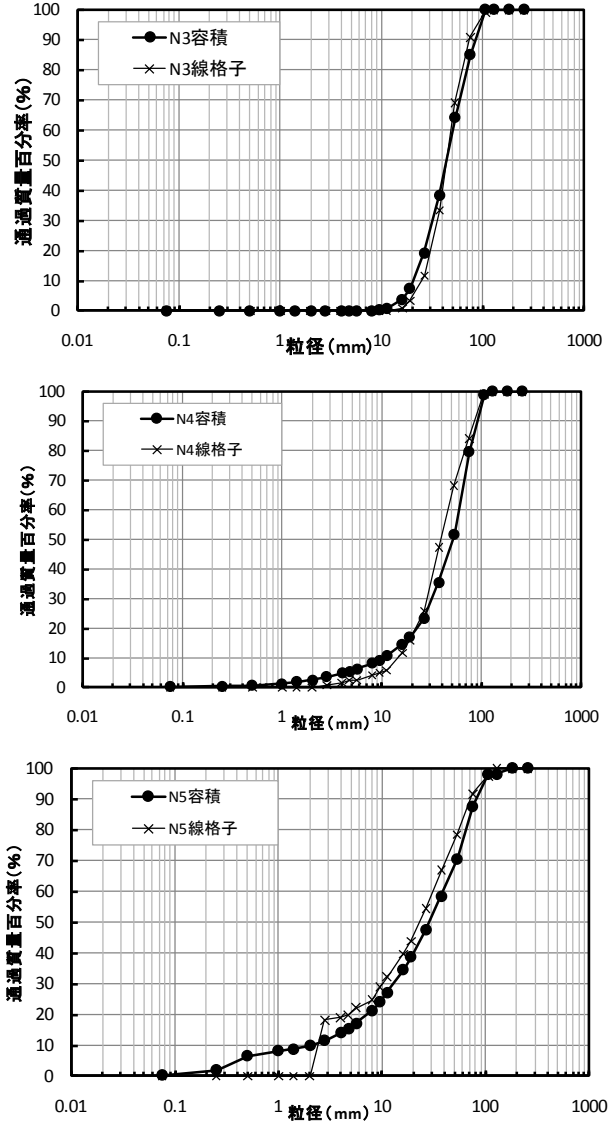


図-4 容積サンプリング法と線格子法による調査結果の比較の一例

下の河床材料に対して用いるのが効率的と言える。

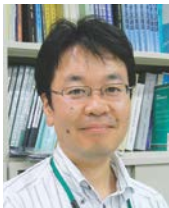
実務上よく利用される線格子法について、容積サンプリング法による調査結果と比較した結果、既往の研究^{2),4)}で述べられているように、個数密度で調査結果を整理することで河床表層の粒度分布がよく表現されることが確認された。しかしながら、個数を質量に換算して粒径加積曲線を作成するような間違っただ事例も見られるので注意が必要である。

線格子法を用いた調査結果は、平面的な不均一性は平滑化しつつも、河床表層の状態のみを反映した粒度分布を与えることとなる。しかしながら、巨礫もしくは大礫を含む河道における河床材料調査の作業効率を考えた場合、最も効率的な調査手法として線格子法が推奨される。

参考文献

- 1) 福島雅紀、櫻井寿之、箱石憲昭：山地河道における河床材料調査法に関する検討、ダム技術、No.285、pp.41～49、2010。
- 2) 山本晃一：礫河床のサンプリングと統計的処理、土木技術資料、第13巻、第7号、pp.40～44、1971。
- 3) Church, M. A., Mclean, D. G. and Wolcott, J. F. : River Bed Gravels: Sampling and Analysis, Sediment Transport in Gravel-bed Rivers, Sediment Transport in Gravel-bed Rivers, John Wiley and Sons, pp.43-118, 1987.
- 4) Kellerhals, R. and Bray, D. I. : Sampling Procedure for Coarse Fluvial Sediments, J. of Hydraulic Div., ASCE, Vol.97(HY8), pp.1165-1180, 1971.
- 5) 福島雅紀、櫻井寿之、箱石憲昭：面積格子法による河床材料調査法の精度に関する検討、土木学会第65回年次講演会概要集、2010。

箱石憲昭*



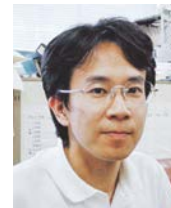
独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム 上席研究員
Noriaki HAKOISHI

福島雅紀**



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 主任研究官 (前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム主任研究員)、博士 (工)
Dr. Masaki FUKUSHIMA

櫻井寿之***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム 主任研究員
Toshiyuki SAKURAI