

写真撮影による河床材料調査

中路 貴夫¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

河床材料調査は、流砂の移動量や河床の変動算定など河道計画に必要な基礎資料として、粒度分布、比重、空隙率などの調査を行うものである。調査地点は原則として河川の縦断方向については1 km間隔、1断面については3点以上をとるものとなっていることから、調査する河川の縦断延長が長い河川によっては調査地点数は非常に多くなり、調査に要する時間やコストが相応に必要となる。本論文では、現場での写真撮影による簡易的な調査手法により、画像から解析を行う粒度分析方法と従来どおりの採取法（容積法）による調査と同時に実施し、その適用性について考察したものである。

キーワード 河床材料，写真画像解析，粒度分布

1. はじめに

河床に分布している材料（礫や石分など）の粒度を調べる最も簡単な方法として、“ふるい”を用いた粒度分析が行われている。この方法は、現地の最大粒径によって試料（河床材料）の採取量が定められており¹⁾、巨石（直径30cm以上の礫）が分布するような地点においては、極めて大量の礫材料（河床材料）を対象とした試験となることから多くの労力が必要とされている。

また、河床材料調査ガイドライン（案）²⁾によれば、河床材料調査は1回/3年に実施することを基本としながら、河床変動が生じる規模の出水等が発生した場合には、河床材調査を実施するのが望ましいとされている。

今後、淀川水系河川整備計画を進めていく中で定期的に河床材料を把握することが必要であることから、調査には相応のコストがかかる。そこで、河床材料調査の調査効率の向上・調査コストの削減のための方策として、「河床の写真画像解析による粒度分析方法」について試験的に実施し、その適用性について検証した。

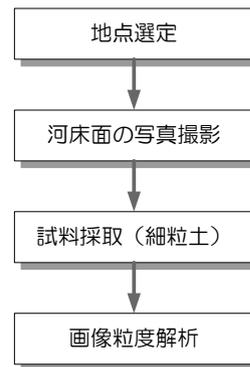


図-1 画像粒度解析による作業の流れ

(1)地点の選定

写真画像解析は、上述したように大量の試料採取を行うことなく、粒度曲線を作成するところに、ふるい分け試験との差別化が図られている。したがって、本調査では粗粒径の礫の分布が予想される、宇治川、桂川、木津川を対象に表-1の調査サイトを設定した。

2. 写真画像を用いた粒度解析方法

写真画像を用いた粒度解析方法は、画像中の礫の大きさ（面積）を読み取り、全体面積（撮影面積）に対する礫の占める面積比の関係から、ふるい分析と同様な粒度曲線を作成するものである。

図-1に画像粒度解析の一連の流れを示した。

表-1 調査サイト一覧

河川名	調査サイト
宇 治 川	49.2k 左岸
	43.0k 右岸
桂 川	16.0k 左岸
木 津 川	37.0k 左岸
	30.9k 右岸

(2)河床面の写真撮影

現地の河床面の写真撮影方法を写真-1, 2に示す。

写真-1は、他河川で最大粒径が30cmを超えるような礫（巨石）が分布する河床で行われている方法で、最大礫径 50cmを想定して、その最大粒径の礫 1個の占める面積比（礫の面積/撮影面積）を5%以下に抑え、撮影範囲を2m×2mとして撮影している状況である。撮影面積が広いことから、写真の歪みを少なくすることを目的として、三脚を使用して撮影範囲直上4mの高さにカメラを据えて撮影している³⁾。

一方、写真-2は本調査で河川の河床面を撮影している状況である。表-1に示した対象地点に分布している礫の最大粒径が、おおよそ10cm～20cm（礫の面積約78～314cm²）程度であったことから、100cm×100cmの撮影面積（約10,000cm²）を設定し、人の高さからデジタルカメラを用いて撮影を行った。

通常、石分や礫質材料を対象とした“ふるい分析方法”は、地盤工学会基準「石分を含む地盤材料の粒度試験方法」（JGS 0132）に準じて行われている。この基準では、表-2に示すように、1個の礫（最大粒径の礫）が占める重量比率が概ね5%以下となるように採取量が定められている。写真画像解析においても、最大粒径に応じて撮影範囲（面積）は最大礫の面積（等価円として求めた面積）が撮影した全体面積の5%以下になるように撮影範囲が提案³⁾されており、本調査においても確立された条件設定がないことから目安として採用した。

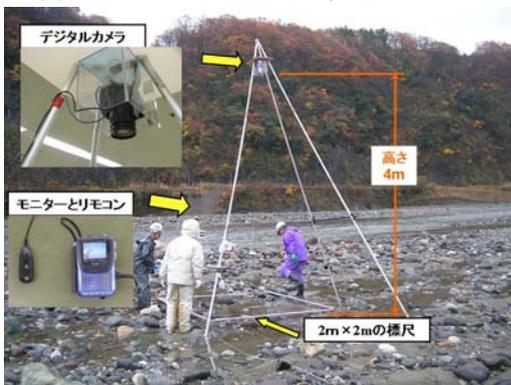


写真-1 河床面の写真撮影状況(1)
(巨石が分布する他河川の例)

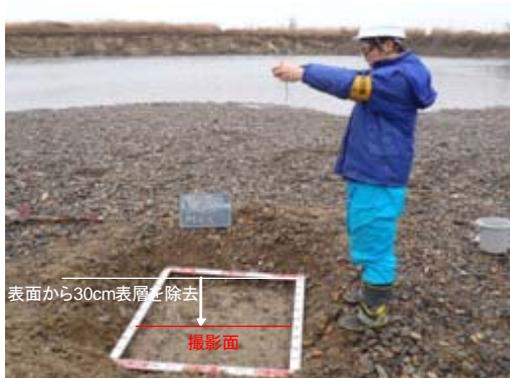


写真-2 河床面の写真撮影状況(2)

表-2 最大粒径に応じた採取試料量の目安と
1個の礫が占める重量割合の試算

① 試料の最大粒径	② 試料質量 kg	③ 最大粒径相当の 石の質量 (kg)	④ 石1個の占める 割合 (%)
300 mm	750～1500	38	5.1～2.5
125 mm	100～200	2.7	2.7～1.4

①, ②; JGS 0132 「石分を含む地盤材料の粒度試験方法」の採取量の目安
③ ; 最大粒径を直径とした”球”を仮定して求めた質量。
④ ; 試料質量②に対する1個の最大粒径の石③が占める重量割合。(③/②)

(3) 試料採取(細粒土)

本調査では画像解析による方法と従来どおりの採取法（容積法）による結果の比較を目的としていることから、写真撮影した河床面下（GL-30cm～GL-60cm）の試料採取を行った。採取した試料のうち、100mm以上の礫については、現場で長径・中径・短径・質量の計測を行い、100mm未満の試料については試験室に持ち帰りふるい分け試験を行った。

なお、写真画像解析のみの場合は、19.1mm未満の粒径については試料約1.5kg程度（日本工業規格「土の粒度試験方法」JIS A 1204）を現地から持ち帰り、その試料に対してふるい分け試験を実施した。

(4) 画像粒度解析

現地で撮影した写真画像から、以下の手順で粒径加積曲線を求めた。

a) 撮影した写真の整理と写真のゆがみ補正

現地で撮影した写真を整理し、画像解析に用いる写真を選択する（写真-3）。

撮影した写真は、多くの場合斜めに撮影されているので、設置したスケールのゆがみから正方形（遠くのものには広げ、手前側は幅を狭めて）に調整し、撮影時のゆがみ補正を行った（写真-4）。



写真-3 撮影した画像

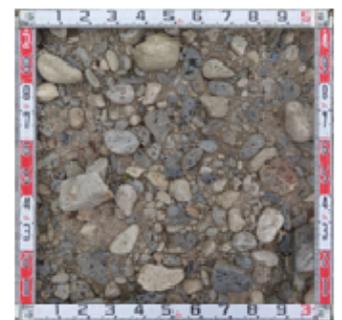


写真-4 ゆがみを補正した画像

b) 礫の囲い込み

CAD 上に貼付けた写真から、ペンタレットによって個々の礫の縁取りを行う。この作業は、個々の礫の大

きさ（面積）を求めめるための重要な工程であり、写真-5に示すように現状は“手動認識”によって行われている。1枚の画像の処理に要する時間は2～3時間程度であるが、工場生産されているような均一粒径製品の粒度解析などでは“自動認識”ソフトも市販されているようである。しかし、様々な粒径が不規則に分布するような河床においては、現状、自動認識による精度が期待できない状況にあることから、写真-5に示したような方法で作業した。

手動によって認識された画像は、写真-6に示すように赤で縁取られ、内部はハッチングされているので、認識していない礫とで識別されている。

c) 粒子の認識と粒子直径の計算

CAD上で礫の囲い込みが終了した画像は、専用のソフトを使用して個々の礫の認識と、面積ならびに等価円形にしたときの直径（粒径）が自動計算される。認識された個々の礫には写真-7に示すようにナンバーリングされて識別される。

本調査では、囲い込みを行なった礫径は、なるべく作業手間がかからないよう「粗礫」の基準粒径である19.1mmまでとした。

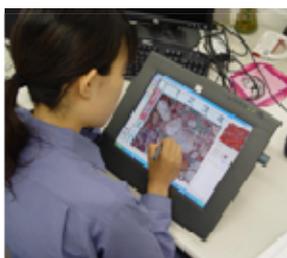


写真-5 礫の囲い込み

写真-6 囲い込み後の写真

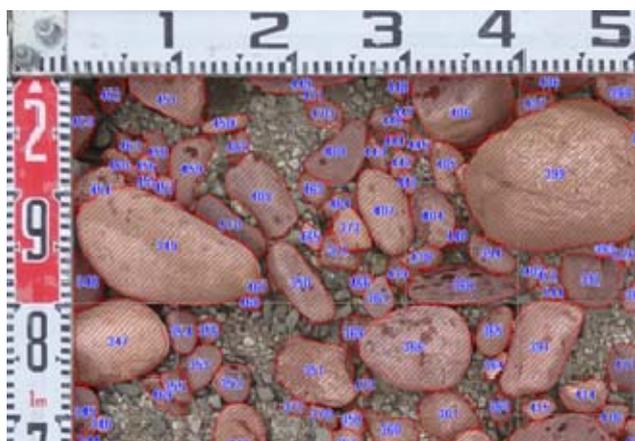


写真-7 粒子の認識と識別番号

d) 粒径加積曲線の作図

c)の計算結果をもとに、認識した礫の面積を全体の撮影面積で除して、各々の礫の面積比を計算した。個々の

礫の面積比と直径（粒径）から図-2に示すような粒径と通過百分率（面積百分率）の関係（粒度曲線）を作図するものである。

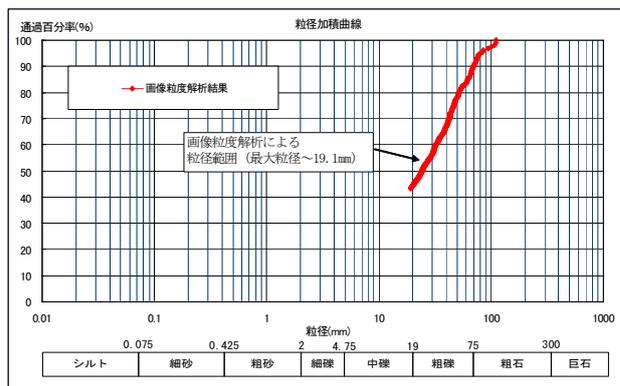


図-2 画像粒度解析による粒径加積曲線

e) 粒径加積曲線の合成

図-3に画像粒度解析結果と19.1mm未満の試料のふるい分け（土の粒度試験法）による結果を合成した粒度曲線を示した。図中の太線（赤線）は画像粒度解析による結果で、細線（青線）はふるい分けによる結果である。

本調査においては、19.1mm以上の礫について上述した画像粒度解析による方法で粒径加積曲線を得ることが出来るが、粒径幅が広く19.1mm未満の礫や細粒土が多く分布する河床においては、現地より持ち帰った試料で粒度試験を行い、その結果を合成して粒度曲線を作図する必要がある。しかし、粒度曲線の合成に必要な現地から持ち帰る試料量は1.5kg程度（日本工業規格「土の粒度試験方法」JIS A 1204）であり、容積法に比べれば、現地の攪乱や現地作業量の大幅な軽減に結びついているといえる。

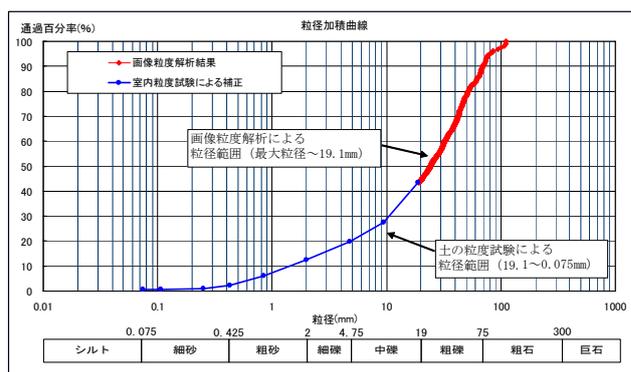


図-3 画像粒度解析とふるい分けによる結果の合成

3. 画像粒度解析と容積法の比較検証

試験の精度について確認する目的で、写真撮影による粒径加積曲線と、実際に通常的手法による粒径加積曲線とを重ね合わせた例を図-4に示す。

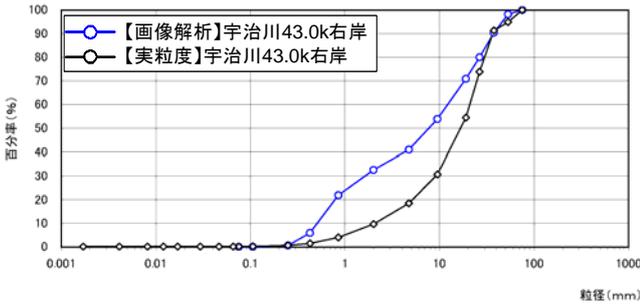


図-4 画像粒度解析と容積法による粒径加積曲線

また、各地点の精度を比較するために次の2点について着目し、試験結果を整理した。

(1) 粒径加積曲線の位置

粒径加積曲線の位置は、曲線の左側の面積（粒度による線とY軸（通過百分率 $D_{10} \sim D_{80}$ ）線とで囲まれる範囲）を換算面積（図-5）とし差を比較した。

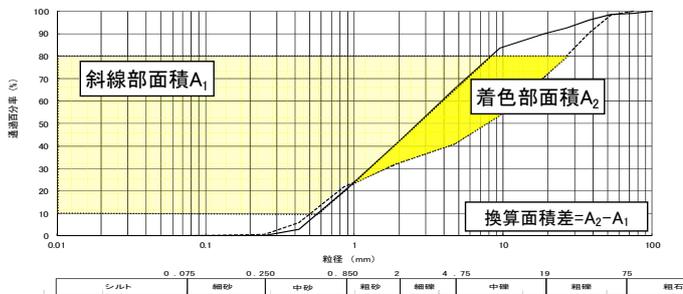


図-5 換算面積差イメージ

(2) 粒径加積曲線の傾き

粒径加積曲線の傾きは、均等係数 $U_c (=D_{60}/D_{10})$ で代表させた。両方による D_{60} 、 D_{10} の比較を図-6、7に示す。

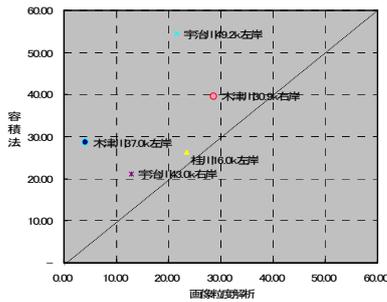


図-6 D_{60} の比較

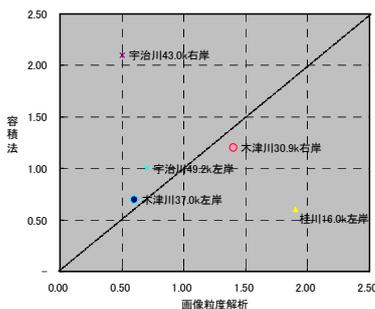


図-7 D_{10} の比較

また均等係数の比（画像粒度解析/容積法）を横軸、(1)で求めた面積の差分（容積法-画像粒度解析）を縦軸に取り、各試験結果をプロットした（図-8）。

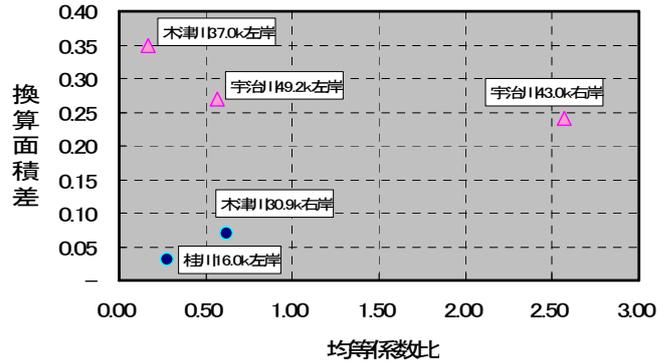


図-8 換算面積差と均等係数比の関係

プロットした結果、赤△で標記される箇所については、写真による解析と通常的手法による解析との適合性が良くないケースである。

宇治川 43.0km 右岸、宇治川 49.2km 左岸、木津川 37.0km 左岸は、写真撮影面では細粒分がほとんど占められていたが、実際に深度方向 30cm の範囲には、比較的大きな礫が多く分布していることに起因すると考えられ、このようなケースでは、試験の精度も落ちる傾向がみられる。（図-9）。

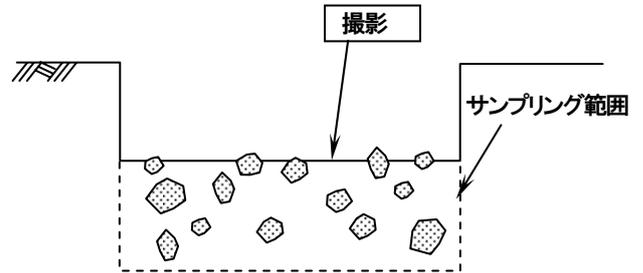


図-9 画像解析の誤差の原因イメージ

これを逆にとると、出水前後での表面の粒度状況変化を把握するには、適切な手法であると考えられる。したがって、比較的高頻度に材料が攪乱されるような環境においては、出水前後の画像を解析することにより、出水によるレスポンスを効率的定量的に把握する方法としての適用性が高いと考えられる。

(3) 作業効率とコスト削減

写真画像粒度解析と従来どおりの採取法（容積法）による粒度分析において、作業効率とコストについて下表のとおり比較した。

表-3 画像粒度解析と採取法(容積法)による作業効率とコスト比較

		容積法(現地採取)	写真画像解析
現地作業	作業内容	50cm四方の河床面下30cm掘削して、GL-30cm~60cmの試料を採取。10cm以上の礫は、現地で寸法と、重さを量り、残りを試験室に持ち帰る。	河床面の表層にスケールを置いて、真上より写真撮影。写真で解析できない19.1mm未満の細粒土約1.5kgを試験室に持ち帰る。
	作業時間(1試料あたり) コスト(1試料あたり)	1地点あたり3名で3時間程度の作業 約23,000円	1地点あたり3名で1時間程度の作業 約7,700円
室内作業	作業内容	試験室に100kg程度持ち帰り、JIS A 1204「土の粒度試験」の実施	・写真の画像解析(1画像3時間程度) ・試験室に1.5kg程度持ち帰り、JIS A 1204「土の粒度試験」の実施(19.1mm未満) ・粒径加積曲線の合成(1試料1時間程度)
	作業時間(1試料あたり) コスト(1試料あたり)	3時間程度 (土の粒度試験にかかる時間) 約23,250円	4時間程度 (解析と粒度試験にかかる時間) 約24,950円(人件費(12,500) + 試験費(12,450))
合計	コスト(1試料あたり) 作業時間(1試料あたり)	約46,250円 6時間程度	約32,650円 5時間程度

結果、現地作業では作業効率として容積法より約66% (1時間/3時間) 低減、コストとして約66% (7,700円/23,000円) 削減される。室内作業では容積法と写真画像解析ではほぼ等しい。全体では作業効率として容積法より約20% (5時間/6時間) 低減、コストとして約30% (32,650円/46,250円) 削減される。

4. 課題の分析と解決の方向性

画像解析による粒度分布調査は効率性や応用範囲の広さの面などで、優位性が考えられる。ただし、写真画像は撮影時に暴露している面での情報しか取得できないため、次の様な現地条件では十分な調査精度が確保困難な場合が想定される。このため、適用に当たっては十分留意する必要があると考えられる。

(1) 表層と材料採取範囲とにギャップがあるサイトの適用性

木津川 37.0km の様に、暴露した撮影面の粒度分布に細粒分が卓越するような場合には、暴露面だけでは粗粒分のサンプル数が少なく、画像解析による調査精度は低下する。従って、出水直後に細粒の土砂のみが繰り返し堆積していると考えられる箇所などでは、この手法の適用は困難である。

一方、アーマコートの発達している個所では、表層分を除去しないと適正な粒径を把握することが困難である。したがって、アーマコートの分布が予想される場合には、調査面の暴露時に、撮影面を更に下げるなどの配慮が必要であると考えられる。

(2) 分布礫の形状

今回の調査サイトでは確認されなかったが、層理や片理の発達する基盤岩が分布する流域においては、短径と中長径とで大きなギャップのある礫が生産されやすい場合がある。このような粒度特性のある個所では、礫径は3辺数値を実測により計測することが、適正な礫分の粒度把握には重要である。写真画像による解析は、画像より

把握される2辺を基に粗粒分の粒径を計測するため、このような個所での粒度分布の適正な把握に当たっては、課題がある。対処方法としては、予めある程度現地で実際に短中長径のサンプルデータを取得しておき、2径との相関関係を整理することで推定するなどの対処法が考えられる。

5. その他の活用例について

写真画像は、撮影後にPC上で繋ぎ合わせる事が比較的容易に可能である。調査の目的や現地の条件などに併せて、写真の繋ぎ合わせにより解析範囲を適宜変更させた分布礫径の計測が可能である。

例えば、調査の目的などに応じて、河川の縦横断方向に連続的な写真画像を解析し、ここに分布する礫径の計測も可能である。加えて、河岸でトレンチを掘りこの掘削面を対象に解析することにより、鉛直方向の礫分分布状況を定量的に把握することが可能であると共に、画像と併せて堆積状況の遷移や河道の変動傾向把握にも活用が可能である。



写真-8 現場適用事例 (トレンチ掘削)

6. おわりに

画像粒度解析は、簡便に現地において河床面を乱すことなくその粒度構成を把握できる他、作業に要する労力と時間を縮減できることから、流路延長の長い河川では限られた時間と予算の中でより多くの調査が可能となる大きな利点がある。また、現地で調査した地点の情報が数値データのみならず、画像データとして残せるため、トレーサビリティが高く、測定毎の経年変化を視覚でも読みとることが出来る利点も大きい。

今回の調査では細粒分が卓越するような箇所においては限界があることがわかったが、たとえば河床変動計算において計算に用いる代表粒径に注目し、容積法と画像粒度解析によって得られた代表の粒径加積曲線において、その代表粒径の比率を算出し、その誤差が計算に影響を及ぼさない範囲内であれば、河床変動計算にあたるデータとして適用できると考えている。

今後、更なるサンプル数を蓄積し、河床変動計算における誤差許容範囲を明確にすることにより、河床変動計算においても貢献できる有効な調査手法であると考えられる。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：第3編 第4章 粒度試験，地盤材料試験の方法と解説，pp115～136，2009.
- 2) 国土交通省 河川局編：河床材料調査ガイドライン（案），2009.
- 3) 谷上実，畠山正則：河床材料調査における写真画像粒度手法の適用について，第40回地盤工学研究発表会講演集，pp85～86，2005