

七ヶ宿ダム流域における濁質の流出・流送過程に関する粒径別考察

A field study on size gradation of wash load discharged from
the catchment area of Shichigasyuku Reservoir

横山 勝英*・石川 忠晴**

by Katuhide YOKOYAMA and Tadaharu ISIKAWA

A field experiment was planned and carried out in the catchment area of Shichigashuku Reservoir in order to study the transport of fine suspended materials (wash load) contained in flood water. In data processing, focus is made on the difference of behavior between *relatively* coarse component and finer one: A careful check is made on the conservation of each component by time integration of its flux across the measuring stations so that sorting process at the upstream end of the reservoir is clarified. The most interesting output of this study is that a percentage of relatively coarse component has a peak with a time lag of few hours after the peak of flood discharge.

Key Words: wash load, components of different diameter, field experiment

1. はじめに

濁質流出現象は、古くから河岸洗掘・堆積やダム放流水質の問題と関連して、流砂現象の一部として研究されてきた。例えば金屋敷、芦田、江頭¹⁾は裸地侵蝕と濁質流出の関係を力学的に取り扱っている。また江頭²⁾は貯水池内の濁質篩い分け現象を詳細に取り扱っている。一方近年、分布型流出モデルの発展に伴い、土地被覆状態と濁質発生量に関する水文学的観点からの研究も現れている³⁾。また水質環境の面から、濁質に付着する化学成分などの研究も盛んになりつつあり⁴⁾、これらが総合されることにより、濁質の研究は新たな展開を迎える可能性が出てきたと考えられる。

ところで、流砂現象に関する力学的研究においては、濁質の粒度組成が重要なファクタである。また、水文学的研究においても濁質起源と粒度組成の関係が将来的課題として残されており、水質的見地からの研究においても比表面積と付着物との関係が重要な要素として考えられねばならない。したがって、これらの研究を融合してゆく過程において、流出濁度の粒度組成の実態に関する調査研究が必要になってくると考えられる。その基礎的段階として、本研究では宮城県七ヶ宿ダム流域において、洪水時の濁質の粒度組成に着目した現地観測を行い、粒径別の収支を検討し、さらに粒径別の流出・流送特性の違いについて考察した。

* 学生員 東京工業大学大学院 環境物理工学専攻 (〒226 横浜市緑区長津田町4259)

** 正会員 工博 東京工業大学教授 大学院環境物理工学専攻 (〒226 横浜市緑区長津田町4259)

2. 観測流域の概要

観測は阿武隈川水系白石川にある七ヶ宿ダム流域で行った。図-1に流域及び貯水池の平面形状を示す。七ヶ宿貯水池は最大水深約45m、貯水池容量約1億 m^3 の建設省直轄ダムで、オールサーチャージ方式で洪水時も表層放流を行っている。貯水池の上流端には貯砂を目的とした副ダム（容量135万 m^3 ）が設けられている。

七ヶ宿ダム流域の面積は237 km^2 であり、大きく3流域に分かれている。ひとつは勾配の比較的緩やかな白石川流域（面積131 km^2 、標高差300m）、ひとつは蔵王山南麓の横川流域（面積53 km^2 、標高差1300m）であり、これらからの流出水は副ダムを通過して貯水池に流入する。残りは貯水池に直接注ぐ残流域で面積は53 km^2 である。

流域の大部分（93%）は森林であり、残りの部分の土地利用は白石川沿いでは集落と田畑が、横川沿いでは草地が多い。また横川沿いには小規模の崩壊地が存在する。残流域は白石川流域に類似した地形であり、土地利用は森林のみである。

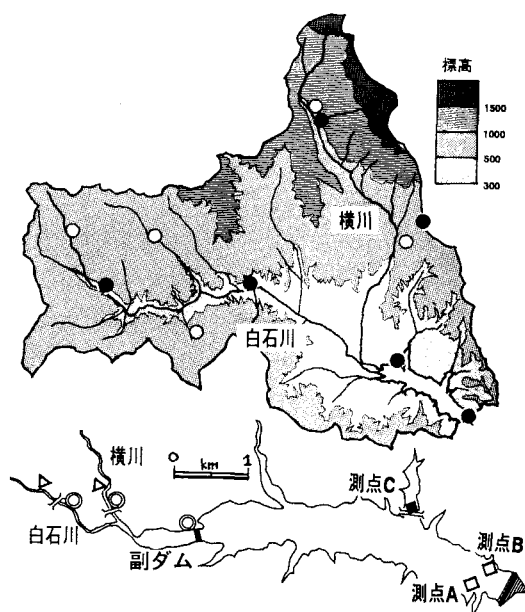


図-1 流域、貯水池平面形状

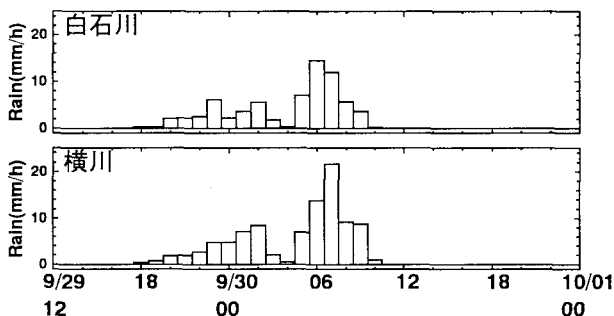


図-2 平均雨量波形

3. 観測方法

前述のように、七ヶ宿ダム上流域は、地理的特性の異なる2流域から構成されている。また、そこからの流出物は一旦副ダムを通過する。そこで筆者らは両流域からの流出濁質の違いに着目して長期的にデータ収集を行うことを考え、図-1に示すように観測点を配置した。図中○は筆者らが設置した雨量観測点である。雨量計は大田計器製作所製の転倒ます型雨量計を用いた。また●は建設省が設置している雨量観測点である。両河川の流量は△の地点で建設省により測定されている。

濁質の計測点は◎の地点（両河川最下流の橋梁上、及び副ダム堤体上）に設置した。洪水流出に合わせて30分～2時間間隔で採水を行い、その場で水温と濁度を計測した後、持ち帰って粒度分析した。また、貯水池内（□）において洪水の前

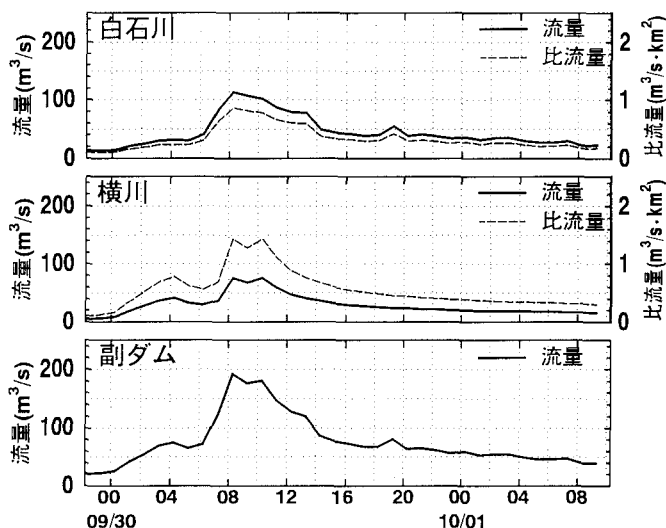


図-3 流量・比流量波形

後に水温・濁度の鉛直分布を計測するとともに、濁水層で採水を行い粒度分析を行った。また、残流域からの濁質流入を検討するために、洪水中に入り江内(■)において濁度測定を行った。水温及び濁度計測はアレック電子(株)製のACL-1180を用いた。本器はカオリンを用いて濁度と重量濃度の関係をキャリブレーションしている。SSとカオリンではその関係に違いがあるかもしれないが、例えば張ら³⁾によればSSと濁度は良い相関があることが示されているので、ここではそのまま使用した。また粒度分析は建設省土木研究所が保有する日機装製マイクロトラック粒度分析計を用いた。

4. 観測洪水の概要

観測は、1994年9月29日～10月1日の台風26号による出水時に実施した。Thiessen法により求めた各流域の平均雨量波形を図-2に示す。総雨量は横川流域で97mm、白石川流域で70mm、残流域で57mmである。横川及び白石川の流量波形及び比流量波形を図-3に示す。ただし、河川流量は補正を施してある。七ヶ宿ダムでは流量データを、河川流量(水位-流量曲線から算定)と貯水池流入量(貯水位と流出量から算定)の2通りで観測しているが、著者らは過去のデータ整理から貯水池流入量の方が真値に近いとの知見を得ている。そこで、貯水池流入量をもとに河川流入量を補正した。具体的な補正方法は省略するが、河川流入量を0.92倍して使用している。

図に示す時間内での流出率は、横川流域で0.80、白石川流域では0.66となっている。

5. 濁質の収支

観測された濁度の時系列と濁質通過量及び比濁質通過量(通過量を各流域面積で除した量： $(\text{kg}/\text{sec})/\text{km}^2$)を図-4に示す。比濁質通過量で比較すると横川流域からの濁質流出の大きいことがわかる。また、白石川では流量ピーク付近の短時間を除いて濁質量は小さい。

洪水前後の貯水池の成層状態を図-5に示す。洪水前は測点Aにおいて、洪水後は測点Bにおいて観測した。洪水直後の出船は危険なため貯水池内(A)では観測を行えなかった。そのため取水塔(B)において観測を行ったが、図-1に示すように測点AとBは貯水池のスケールからみてほぼ同一の点とみなすことが出来る。測点AとBでの観測結果を比較すると濁度分布からわかるように、洪水は水温成層下部に流入している。参考

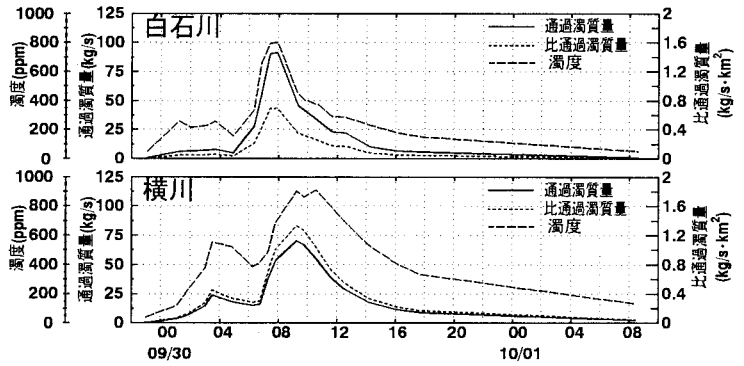


図-4 濁度、濁質通過量、比濁質通過量の時系列

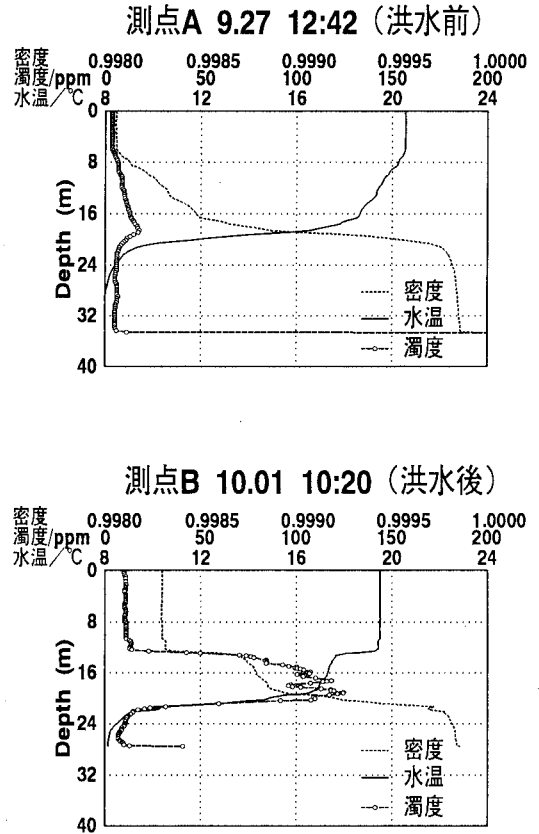


図-5 貯水池成層状態

までに副ダムにおける水温と密度の時系列を図-6に示す。これから洪水は等密度の層に水平流入しているものと考えてよい。前述のように、七ヶ宿ダムではオールサーチャージ方式で表層放流しているので、洪水量とほぼ等量の表層水が下流に放流されている。

粒度分布のヒストグラムと粒径加積曲線を図-7に示す。各観測点の濁度のピーク時のものを代表的な例として示している。これらより得られた粒度分析の結果では、副ダム地点での濁質には $27\mu\text{m}$ より大きい粒子がほとんど含まれていなかった。また、貯水池内では $6.6\mu\text{m}$ より大きい粒子が全く含まれていなかった。これは沈降の効果によるものと考えられる。そこで以下では、濁質を3つ($0\sim 6.6\mu\text{m}$, $6.6\sim 27\mu\text{m}$, $27\sim 300\mu\text{m}$)の成分に分けて収支を検討する。

副ダムでは河川水が流入してから堤体に流達するまでに、滞留のため時間遅れが生じる。 $27\mu\text{m}$ 以下の濁質の収支について、滞留効果を考慮しない推定濁度波形を図-8の上に、滞留効果を考慮した推定濁度波形を図-8の下に示す。滞留効果は単純な押し出し流れを想定し、上流2地点の $27\mu\text{m}$ 以下の濁度観測値から、

〔(濁度の時間遅れ)=(副ダム体積)/(流入量)〕として副ダム地点の濁度波形を推定した。同地点の $27\mu\text{m}$ 以下の観測濁度波形と比較すると、滞留効果を考慮すれば両者はほぼ一致することがわかる。

また、各粒径についてStokes則から沈降速度を算出したものが図-9である。 $27\mu\text{m}$ より大きい粒子の沈降速度は 4m/時 以上である。これに対して、副ダムの平均水深は約 7m 、平均滞留時間は約 2.8時間 である。したがって、 $27\mu\text{m}$ より大きい粒子は副ダムを通過する間にほぼ沈降することが示され、成分の分離が妥当であったと言える。

粒度ごとの濁度時系列及び通過濁質量を示したものが図-10である。通過濁質量を時間積分し、また図-5の貯水池内濁度分布が水平面内で一様と仮定して空間積分し、粒度ごとの総量を比較したものが表-1である。なお、表-1では残流域からの流出をカウントしていない。そこで、残流域を考慮するために洪水中的入り江(C)の成層状態を図-11に示す。図-11によれば入り江(C)では、濁度の上昇がほとんど見られなかったので、残流域からの流入濁質量

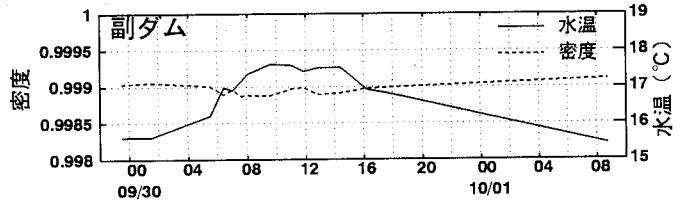


図-6 水温、密度時系列

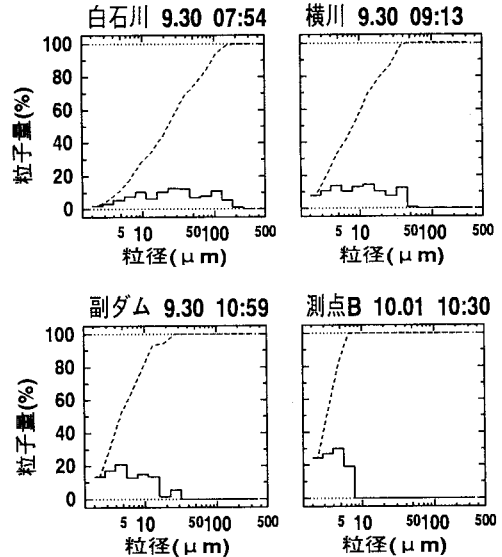


図-7 濁質の粒度分布

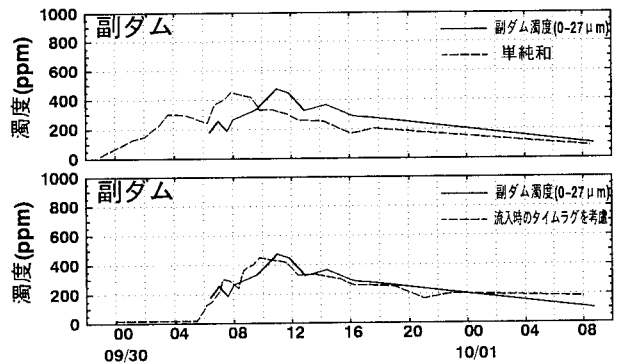


図-8 濁度波形の推定

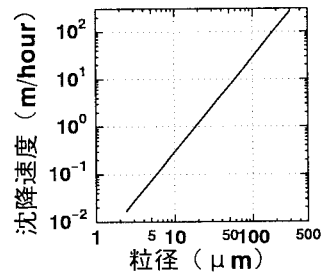


図-9 沈降速度

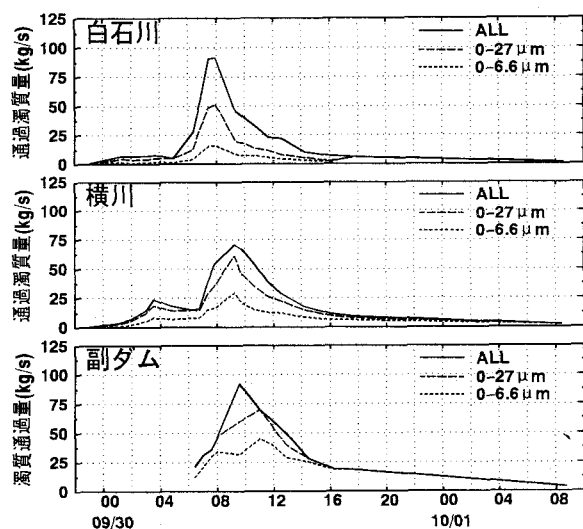


図-10 粒度別時系列

は少なかったものと思われる。この表に示されるように、濁質を3つの成分に分離し、副ダム及び貯水池での沈降の効果を考慮することにより、濁質の成分ごとの収支関係をほぼ理解することができる。

6. 粒度ごとの流出特性

流量と濁度の関係について整理したものを図-12に示す。粒径の区分は便宜的に前述の3つ(0~6.6 μm 、6.6~27 μm 、27~300 μm)を採用した。流量-濁度のループ特性は全体的に白石川と横川で逆回りになっている。また、白石川は流量に対する濁度の応答が線形に近いのに対して、横川は初期段階で濁度の応答が遅れてループを描いている。粒度別にみると、白石川では6.6 μm 以下の粒子は流量の増加に対する濁度の増加率は小さいが、それ以上のものは線形的に responding していることが分かる。横川でも27 μm 以下の細粒分についての応答曲線は流量が大きくなるにつれ緩やかになる一方、粗粒分は流量に比例して増加する傾向にあることがわかる。

この傾向をより明確にするために、粗粒分(27 μm より大きい)と細粒分(27 μm 以下)の重量比と流量の時系列を図-13に、

表-1 粒度別総量 (ton)

	白石川	横川	合計	副ダム	貯水池
0~300 μm	1633	1925	3558	2526	1750
0~27 μm	926	1509	2435	2330	1750
0~6.6 μm	489	841	1330	1854	1750

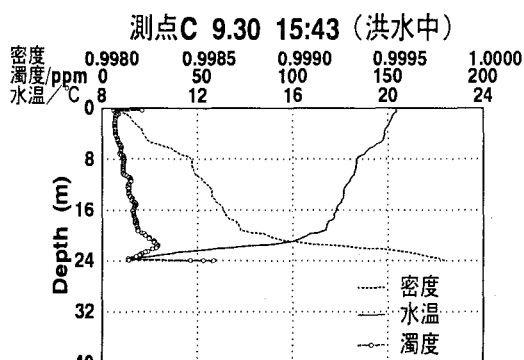


図-11 入り江の成層状態

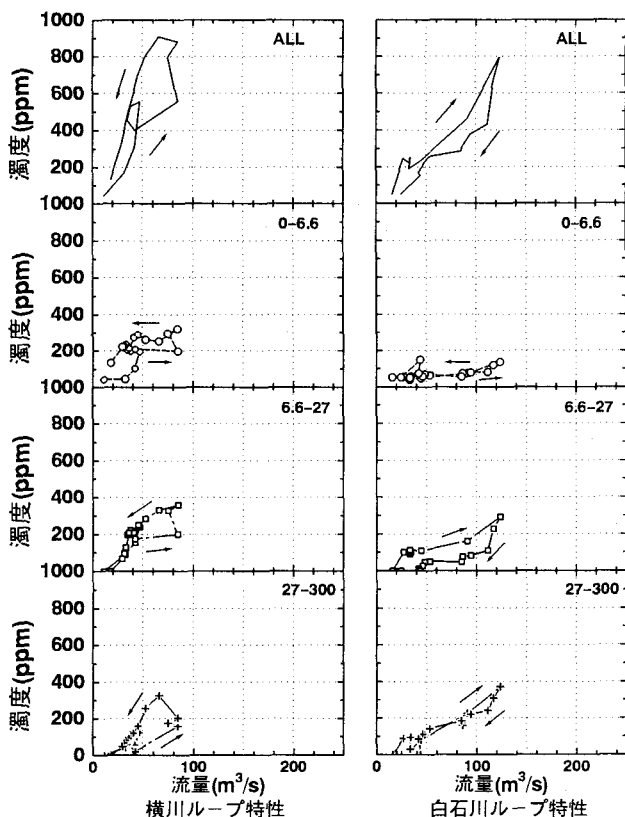


図-12 流量-濁度ループ特性

比と流量のループ特性を図-14に示す。
 ただし、図-14では縮尺は横川が白石川の2倍にしてある。両河川ともに洪水初期には細粒分が多く流出しているが、洪水ピーク後に粗粒分が増大することがわかる。つまり単に粒径別にみると図-12のように両河川の流出特性の違いがあらわれるのに対し、図-14のように粗粒分と細粒分の比をとると、粒度組成の時間変化に共通の特性が現れてくる。このことの一般性及び物理的理由について、今後検討してゆきたいと考えている。

7. 結論

本研究では、七ヶ宿ダム流域における濁質流出・流送過程について粒度組成に着目して現地観測を行い、以下の結論を得た。

- 1) 濁質を粒径別に分離することで、流送過程の収支はとれる。
 - 2) 地理的特性の異なる2流域からの流出特性は、濁質全体のみならず粒径別にも異なる。
 - 3) 洪水初期には細粒分が、逓減期には粗粒分の比率が高くなる。
- 今後は、粒径のもつ物理的な特性を考慮して、検討を重ねてゆくことを考えている。

謝辞

建設省七ヶ宿ダム管理所には観測の便宜を図って頂き、各種データの提供を受けた。また、建設省土木研究所には粒度分析に際しご助力を頂いた。また、日本大学高橋迪夫助教授ならびに研究室の皆様には洪水観測に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

- 参考文献 -

- 1) 金屋敷忠儀、芦田和男、江頭進治：山地流域における濁度物質の生産・流出モデルに関する研究、第24回水理講演会論文集, pp. 143-151, 1980.
- 2) 江頭進治：密度成層場の流れと混合機構に関する基礎的研究、pp. 88-115, 1980.
- 3) 例えば、張ら：降雨に伴う濁質の発生及び流出過程、水工学論文集第38巻, pp. 259-264, 1994.
- 4) 例えば、福嶋ら：湖沼河口域における懸濁態物質の動態、国立公害研報告第117号, pp. 39-55, 1988.

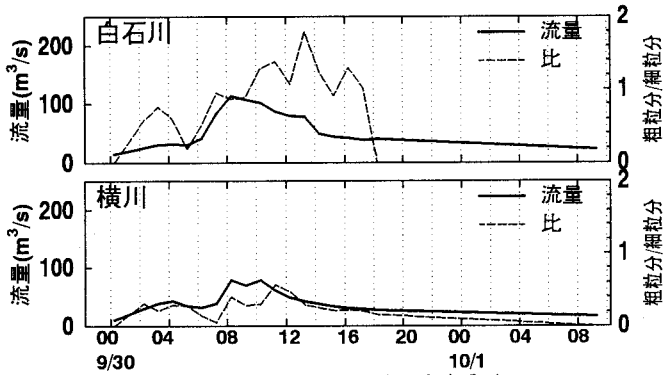


図-13 粗粒分・細粒分比時系列

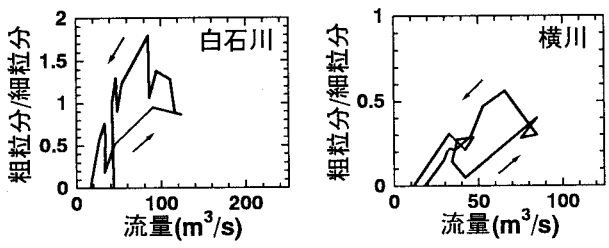


図-14 粗粒分・細粒分比ループ特性