

ダム流域における出水時の濁質と 水質特性の検討

EXAMINATIONS OF TURBIDITY AND WATER QUALITY AT FLOODS IN THE CATCHMENT AREA OF A RESERVOIR

高橋 迪夫¹・千田 宏明²・松尾 聡³・黒沢 善恒⁴・清水 竜二⁵

Michio TAKAHASHI, Hiroaki CHIDA, Satoshi MATSUO,
Zenko KUROSAWA and Ryuji SHIMIZU

¹ 正会員 日本大学教授 土木工学科 (〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 番地)

² 学生員 日本大学大学院工学研究科 (〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 番地)

^{3~5} 日本大学工学部土木工学科 (〒 963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 番地)

It is an important subject to understand the turbidity and the water quality in the catchment area of a reservoir. This paper reports the characteristics of turbidity and water quality at floods in the catchment area of Shichigashuku reservoir from 1996 to 1998.

It was proved from continuous observations at floods that the turbidity also increases with the flow discharge. Functional relationships between the suspended loads and the flow discharge were obtained. The correlations between the characteristics of turbidity and water quality were discussed. It was understood that the water quality correlates well with the unresolved loads of turbidity.

Key words : turbidity, water quality, floods, the catchment area of reservoir

1. はじめに

ダム貯水池は水資源として、さらにまた自然環境の面から近年ますます注視され、その水環境の管理、保全が重要な問題となっている。一般的にダム貯水池における水質は、貯水池に流入する河川の汚濁負荷量に大きく左右される。一方、河川における流送負荷量は、出水時に増大し^{1)~5)}、したがって、ダム貯水池における水質の汚濁、富栄養化等の水質環境の問題を解決していくためには、ダム流域における出水による汚濁負荷の流出・流送特性を十分に把握することが重要である。

本報は、宮城県刈田郡に位置する七ヶ宿ダム流域を対象として、貯水池に流入する地域特性の異なる2つの河川における汚濁負荷の流出・流送特性が出水によって増水時から減水時にわたってどのように変化するかを、1996年から1998年の出水時の機会を捉えて観測し、それをもとに検討を試みたものである。

2. 流域の概要と観測方法

七ヶ宿ダムは、阿武隈川水系白石川の上流部に建設され、平成元年に湛水を開始した多目的のロックフィルダムである。ダムの集水面積は237km²で、そのうち白石

川流域が 131km²、横川流域が 53km²、残りは貯水池に直接注ぐ残流域で 53km²である。

流域の土地利用は 90%が森林であり、残りは主に白石川流域では集落、田畑およびスキー場などに利用され、横川流域では草地となっている。また、横川流域には小規模の崩壊地が点在している。

観測は、1996 年 9 月 22 日～23 日の台風 17 号による出水時には横川流域の萩崎および白石川流域の永井、茂ヶ沢、関の計 4 地点において、1997 年 9 月 17 日の台風 19 号による小出水時には萩崎および関の 2 地点において、また、1998 年 7 月 23 日の集中豪雨による出水時には萩崎、関およびダム貯水池直下流の材木岩の各地点において、ほぼ 15～60 分の間隔で濁度計（アレック社製）による濁度計測と、採水による水質分析を行った。流域の概要および観測点の位置を Fig.1 に示す。

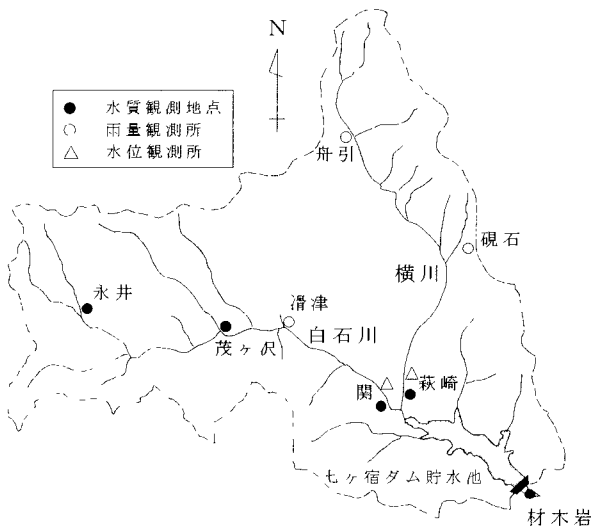


Fig.1 流域の概要および観測点の位置

3. 観測結果および考察

(1) 流量と濁度の関係

Fig.2 および Fig.3 は、1996 年～1998 年までの白石川（関地点）と横川（萩崎地点）の出水における流量 Q と濁度 TB の関係を時間を追って示したものである。これより、関地点においては増水時から減水時にかけての流量と濁度の関係は 96 年、97 年とともにほぼ時計回りのループを描いており、減水時に比べ増水時に濁度が高くなる傾向が見られる。一方、98 年においては、流量に対する濁度の関係が、ほぼ線形に近い形を示している。白石川流域は源流から観測点までの流路長約 22km、標高差 300m と比較的緩やかな河川である。また、98 年においては 7 月初旬から 8 月中旬にかけて断続的に降雨があり、特に 7 月 23 日および 8 月 6 日には、かなり大量の降雨があった。これより、98 年の出水において高濃度の濁度

が急激に増減したのは、観測日以前の長雨により斜面が緩み、7 月 23 日の出水によって白石川流域で斜面崩壊あるいは河道、表面侵食が生じたことによるものと思われる。この点に関して、流域調査を 8 月中旬に行った結果、随所に斜面崩壊が確認された。しかしながらこの崩壊が、いずれの降雨・出水によって生じたものかは明瞭ではなく特定するに至っていない。萩崎地点においては、出水時における流量と濁度の関係が線形に近い形をとり、増水時と減水時で同一の流量に対してほぼ同一の濁度となっている。また、関地点よりも高濃度の濁質を含んでいることも認められる。これは、蔵王山南麓を流下する横川は流路長約 20km、標高差 1300m とかなりの急河川であり、また横川流域には小規模の崩壊地が点在し、その結果、横川では河床堆積物および流域の表面侵食による濁質がより多く流出・流送されることに起因するものと思われる。さらに、横川流域において出水初期に濁度が急激に高濃度になることがみられるが、これが貯水池、堰等の人為的な操作に起因するものか、地域特性等の自然的要因によるものか不明であり、今後も継続して調査・検討を行う必要がある。なお、1998 年 7 月 23 日の観測においては、貯水池下流側の材木岩地点における濁度の増加はほとんど現れず、貯水池内に流入した濁度は、ほぼ貯水池内に貯留されたものと思われる。

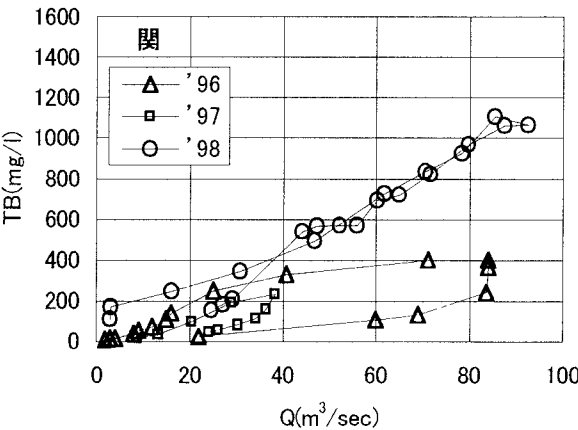


Fig.2 関における濁度と流量の関係

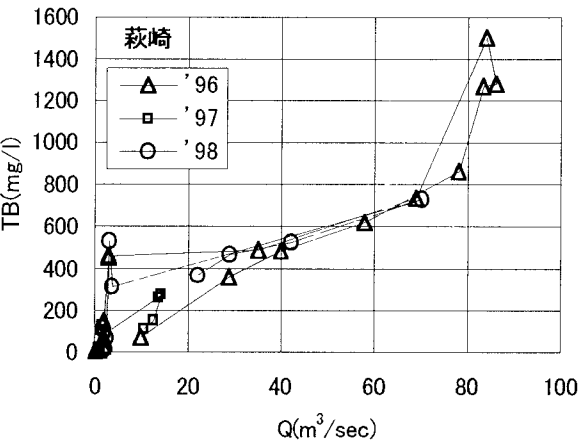


Fig.3 萩崎における濁度と流量の関係

Table 1 は、1996 年～1998 年の各出水期間の関および萩崎地点の、濁質総負荷量、濁度ピーク時の流送負荷量、および流送負荷量を流域面積で除した比負荷量を示したものである。これより、ピーク流量が 70～90 m³/sec を示した 96 年と 98 年の出水においては、関と萩崎のピーク時で白石川と横川の合流後に約 580～660 tf/hr (5600～6500 KN/hr)，また、出水期間中には 2200～1500 tf (22000～15000 KN)の濁質負荷量が流送されたことがわかる。次に、比負荷量をみると、96 年の出水では萩崎地点の比流量が関の約 2.5 倍であるのに対し、比負荷量の値は関の約 9.3 倍となっていることがわかる。また、97 年は小出水のためそれほど顕著ではないが、萩崎地点の比流量が関に比べて若干小さめであるのに対して、比負荷量は関の約 1.2 倍の値を示している。これより、いずれの年も萩崎地点における比負荷量が関地点の負荷量に比べて大きいことがわかる。一方、98 年においては、萩崎の比流量は関の約 1.8 倍であるのに対して比負荷量は同程度となっており、このことから 98 年の関地点の流送負荷量の増大が理解される。

Table 1 関および萩崎の濁質流送負荷量と比負荷量

地点	項目	96 年	97 年	98 年
関	出水期間中の濁質総負荷量 (kg)	522×10 ³	114×10 ³	1130×10 ³
	ピーク時の流送負荷量 (kg/hr)	121×10 ³	32×10 ³	478×10 ³
	ピーク時の比負荷量 (kg/hr・km ²)	0.923×10 ³	0.224×10 ³	3.65×10 ³
	ピーク時の流量 (m ³ /sec)	84	38	94
	ピーク時の比流量 (m ³ /sec・km ²)	0.641	0.29	0.718
萩崎	出水期間中の濁質総負荷量 (kg)	1700×10 ³	41.1×10 ³	397×10 ³
	ピーク時の流送負荷量 (kg/hr)	454×10 ³	14.3×10 ³	184×10 ³
	ピーク時の比負荷量 (kg/hr・km ²)	8.56×10 ³	0.269×10 ³	3.48×10 ³
	ピーク時の流量 (m ³ /sec)	86	14	70
	ピーク時の比流量 (m ³ /sec・km ²)	1.62	0.264	1.32

このように、流量と濁度との関係は細かく見ると、降雨特性、出水規模、あるいは増水・減水期で異なるが、流量と平均的な濁度との関係をもとに、流量と浮遊土砂量との関係を以下に検討する。

Fig.4 は、Fig.2 および Fig.3 をもとに関および萩崎の両地点における 96 年～98 年の流量と、wash load を含む浮遊土砂量との関係を示したものである。本報で対象とした流域においては、出水時における濁度と浮遊物質 SS の関係がほぼ濁度=SS として表わせることが報告されている⁵⁾。これより、濁度から SS を求め、さらに浮遊土砂の単位重量を 2650 kgf/m³ (26.0KN/m³)と仮定することにより浮遊土砂量 Q_s を算出した。これより各地点

ごとに、 $Q_s = \alpha Q^m$ のべき指数式を想定して回帰式を求めると、wash load を含む浮遊土砂量と流量との関係は、白石川の関地点と横川の萩崎地点において、それぞれ式 (1)および式(2)によって表される。

$$\text{関： } Q_s = 2.12 \times 10^{-6} Q^{2.04} \quad (R^2 = 0.917) \quad (1)$$

$$\text{萩崎： } Q_s = 4.68 \times 10^{-6} Q^{1.98} \quad (R^2 = 0.878) \quad (2)$$

この結果、両地点のべき指数 m は $m \approx 2.0$ であり、これは全国の河川の実測結果の平均値⁶⁾とほぼ一致している。一方、萩崎地点における α の値は平均的には関地点の約 2.2 倍となり、流量に対する浮遊土砂量の割合が大きいことが理解できる。また、横川は全国の河川の中でも浮遊土砂量の割合の大きい河川に位置づけられることがわかる⁶⁾。

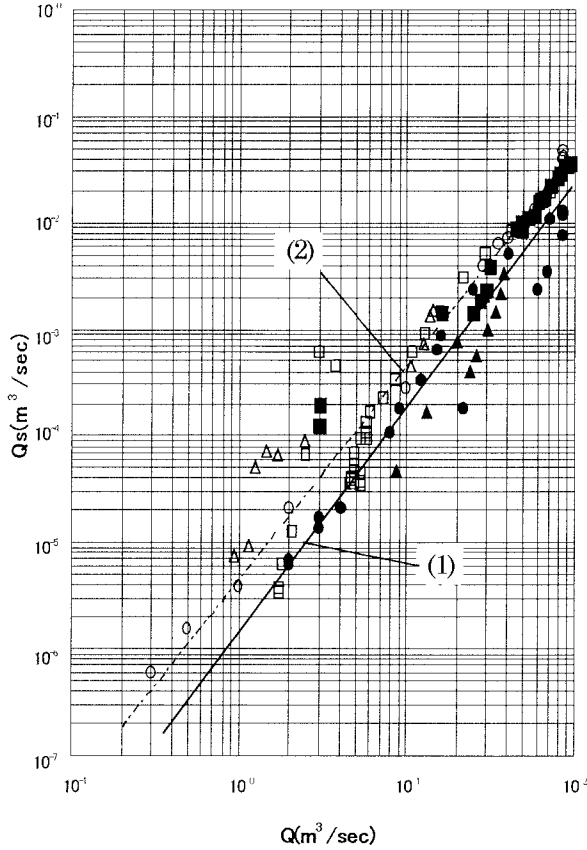
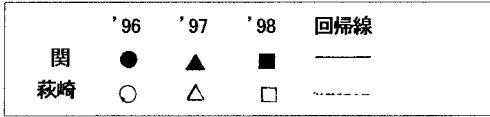


Fig. 4 関および萩崎における浮遊土砂量と流量の関係

(2) 水質特性量と濁度の関係

Fig.5～Fig.10 は、1996 年～1998 年の出水における関および萩崎の水質特性量と濁度の相関をみたものである。

図中の mix とは、採水した試験水をそのままの状態で水質分析を行った値、また、filtering とは、試験水をろ紙（1μm メッシュ）を通して、ろ過した後に水質分析を行った値を示している。この両者を比較することにより、汚濁負荷が溶解性のものか、流送粒子あるいは粒子等に付着した非溶解性のものかが、おおよそ推測し得ることが期待される。また、Table 2 は各水質特性量と濁度との関係を非線形型回帰式を仮定して求めた。

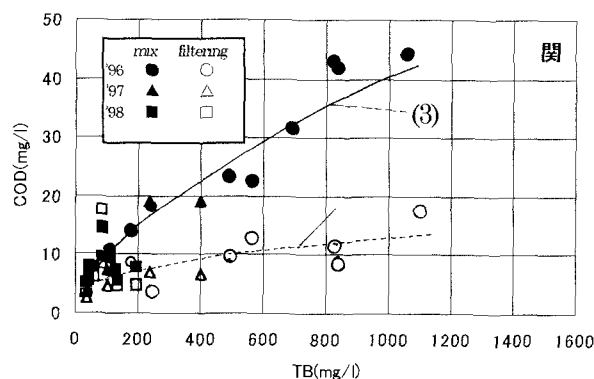


Fig.5 関における COD と濁度の相関

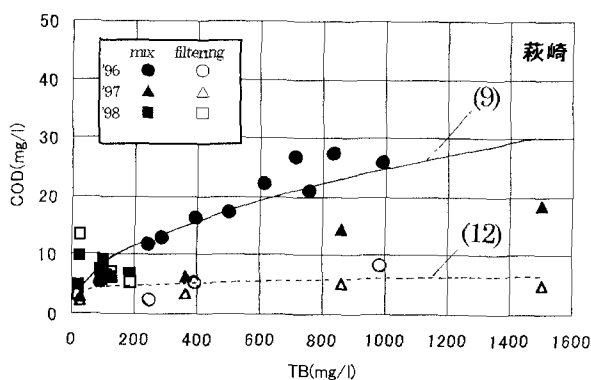


Fig.6 萩崎における COD と濁度の相関

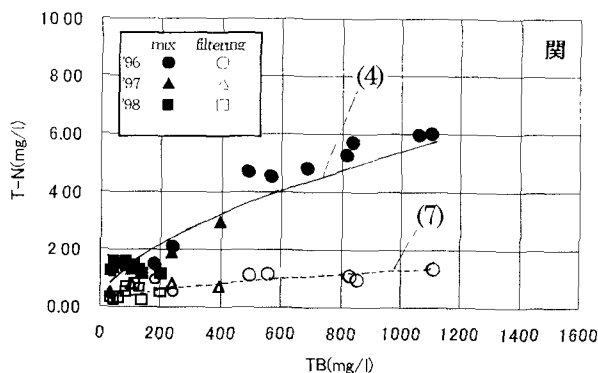


Fig.7 関における T-N と濁度の相関

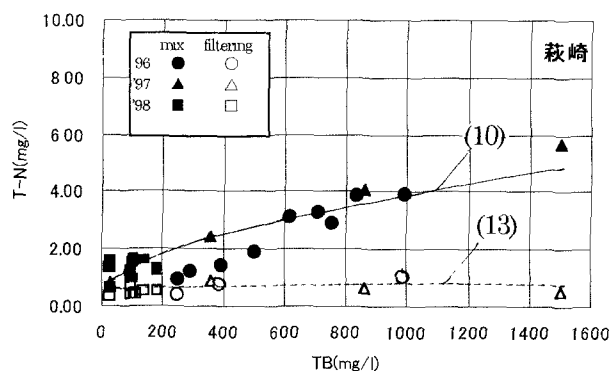


Fig.8 萩崎における T-N と濁度の相関

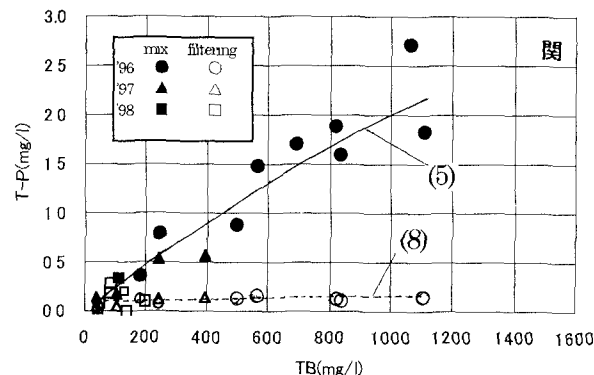


Fig.9 関における T-P と濁度の相関

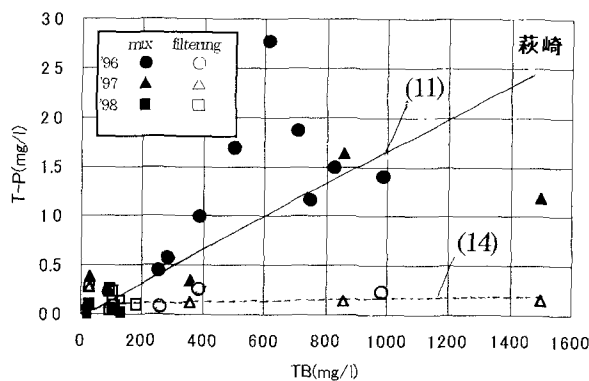


Fig.10 萩崎における T-P と濁度の相関

Fig.5～Fig.10 より、関および萩崎における濁度と COD、T-N および T-P 濃度とは、濁度の低い領域で幾分ばらつきが見られるが、mix と filtering とともに全体的には良い相関が認められ、両地点ともに濁度の増加に伴い各水質特性量の濃度も増加することがわかる。また、いずれの地点においても、ろ過した後の水質特性量の濃度に比べて採水したままの試験水の濃度がかなり高い値を示しており、その結果、出水時には洪水によって地表面、

河道などから洗い流された流送粒子あるいは粒子等に付着した非溶解性の汚濁負荷が大きなウェイトを占めていることがわかる。次に、関および萩崎地点の水質特性量を比較すると、濁度と COD および T-N との間には関に比べて萩崎の方が低い濃度で推移するという流域によって異なった相関関係が認められる。これは、平常時においても関地点の T-N 濃度は萩崎地点よりも幾分大きい値を示していることとも考え合わせ、関の白石川流域における集落、田畑、およびスキー場などの土地利用形態に一因があるものと推察される。しかしながら、T-P に関しては、萩崎地点のばらつきが大きいために、明瞭な差異を認めることができない。

Table 2 水質特性量と濁度の関係式

地点	分析項目 (mg/l)	回帰式 (TB : mg/l)	R ²
関	mix	COD $0.578 \times TB^{0.614}$ (3)	0.868
		T-N $0.124 \times TB^{0.545}$ (4)	0.931
		T-P $0.00432 \times TB^{0.891}$ (5)	0.832
	filtering	COD $1.35 \times TB^{0.324}$ (6)	0.612
		T-N $0.0946 \times TB^{0.372}$ (7)	0.477
		T-P $0.0271 \times TB^{0.237}$ (8)	0.611
萩崎	mix	COD $0.861 \times TB^{0.485}$ (9)	0.827
		T-N $0.139 \times TB^{0.452}$ (10)	0.770
		T-P $0.0016 \times TB^{1.006}$ (11)	0.618
	filtering	COD $3.34 \times TB^{0.081}$ (12)	0.803
		T-N $0.457 \times TB^{0.064}$ (13)	0.794
		T-P $0.0856 \times TB^{0.088}$ (14)	0.323

(3) 有機性窒素と無機性窒素の割合

Fig. 11 は、1996 年～1998 年までの関および萩崎における有機性窒素と無機性窒素三態の割合を示したものである。この両図より関地点においては、96 年、97 年ともに有機性窒素の割合が 1/2 強を占めていることがわかる。これに対して、98 年の出水においては無機性窒素の割合がほぼ 3/4 を占め、有機性窒素は 1/4 に減少しており、萩崎の 96 年の出水に類似の割合となっていることがわかる。一方、萩崎地点においては、97 年の小出水時には有機性窒素の割合が 1/2 強を示しているが、96 年と 98 年の出水においては無機性窒素の割合が 3/4 以上となり、ほぼ無機性窒素によって占められていること認められる。これらのことより、97 年のような小出水においては、両流域とも、有機性窒素の割合が 1/2 以上になること、また、萩崎地点においては中規模出水になると流域の表面侵食および河床堆積物の流出・流送によって無機性の濁質が 3/4 以上の割合を占めること、そしてまた、関地点においては 98 年の出水によって斜面崩壊あるいは河道、表面侵食により無機性窒素が増大していることが推察さ

れる。しかしながら、両流域における水質特性は、流域特性および出水規模によって異なる可能性があり、より詳細な検討を加えるためには、出水特性および各流域における点源負荷挙動を考慮に入れ、流域特性を十分に把握し、系統的なデータを蓄積することが必要であろう。

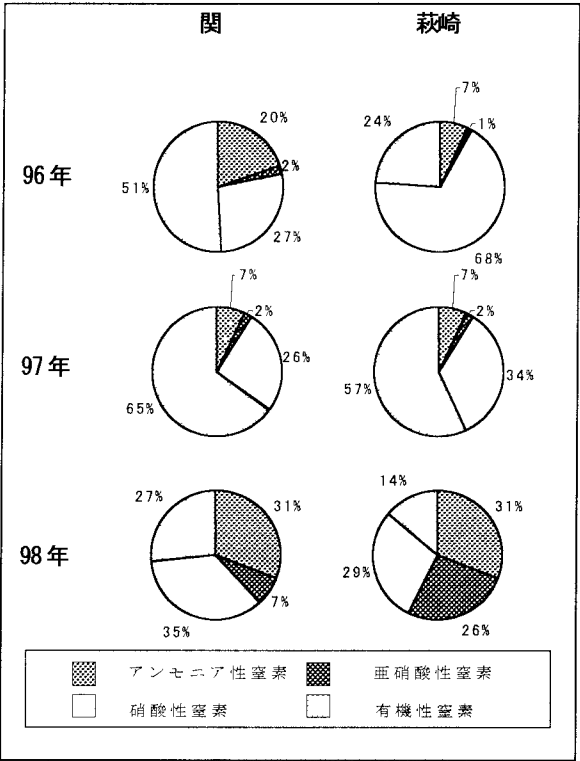


Fig. 11 関および萩崎における有機性窒素と無機性窒素の割合

4. まとめ

- セヶ宿ダム流域を対象として、台風等の出水時の機会を捉えて、貯水地に流入する流域特性の異なる 2 つの河川の汚濁負荷特性が、出水によって増水時から減水時にわたってどのように変化するかを観測し、これを基に検討を行ったが、これを要約すると次のようである。
- (1) 流量と濁度の関係から、白石川流域の関地点においては、1998 年を除き、減水時に比べ増水時に濁度が高くなる傾向がみられた。一方、萩崎地点においては、流量と濁度の関係が線形に近い形をとり、増水時と減水時で、同一の流量に対してほぼ同一の濁度となることがわかった。
 - (2) 白石川流域の関および横川流域の萩崎に対して、wash load を含む浮遊土砂量と流量との関係がベキ指数式で表された。その結果、両地点のベキ指数はほぼ同一の値となり、また、全国河川実測結果の平均値の 2 にほぼ一致した。
 - (3) また、萩崎地点における流量に対する浮遊土砂量

の割合は、平均して関地点の 2.2 倍となり、全国の河川の中でも浮遊土砂量の割合が大きい河川に位置づけられることがわかった。

(4) 水質特性値と濁度の相関から、両地点において濁度の上昇に伴い水質特性量も増大することがわかった。また、COD および T-N に関しては流域特性の違いにより水質特性値の相違が認められた。

(5) 水質特性量の濃度は、ろ過した後の濃度に比べて採水したままの試験水の濃度がかなり高い値を示しており、出水時には非溶解性の汚濁負荷が大きなウェイトを占めていることが推測できた。

(6) 96 年および 98 年の萩崎地点の出水時の有機性窒素および無機性窒素の割合から、中規模出水では、無機性窒素が多く流出することがわかった。

(7) 関地点の 98 年の出水における有機性窒素および無機性窒素の割合が、96 年の出水の萩崎地点の出水と類似しており、98 年の出水では、関地点において斜面崩壊あるいは河道、表面侵食によって汚濁負荷が流出・流送されたことが推察できた。

今後もさらに系統的な観測データを蓄積して、ダム流域およびダム貯水池における汚濁負荷の時・空間特性と輸送機構ならびに汚濁負荷の収支に関して多面的に検討を加えていきたい。

謝辞：本観測は、東京工業大学環境物理工学専攻の石川研究室と合同で実施されたものである。本研究を遂行するに当たり、石川忠晴教授、大学院横山勝英氏をはじめ石川研究室の諸氏には多大な御指導、御協力をいただ

いた。ここに記して衷心より感謝の意を表する。また、御援助いただいた建設省七ヶ宿ダム管理所ならびに、御指導、御協力いただいた日本大学工学部中村玄正教授および中村研究室の諸氏に厚くお礼申し上げる。さらに、本観測に尽力をいただいた水理学研究室の諸君に感謝申し上げます。

本研究は、日本大学総長指定研究「地球環境と人間との調和—水環境と人間—」の研究費の補助を受けて実施されているものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 田村広丈・首藤伸夫：北上川流域における流出と濁質発生量の解析，第 31 回水理講演会論文集，pp. 179～184，1987.
- 2) 張 旭紅・首藤伸夫：貯水池に流入，流出する濁質の挙動，第 32 回水理講演会論文集，pp. 245～250，1988.
- 3) 横山勝英・石川忠晴：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，水工学論文集，第 39 巻，pp. 249～254，1995.
- 4) 高橋迪夫・笹岡知也・服部健太郎・牧野宗一・宗方直美：ダム流域における出水時の水質の経時変化，東北地域災害科学研究，第 33 巻，pp. 173～179，1997.
- 5) 梅田信・横山勝英・石川忠晴：七ヶ宿貯水池の流入濁質に関する観測と考察，土木学会第 52 回年次学術講演会講演集，pp. 764～765，1997.
- 6) 建設省河川局監修・日本河川協会編：建設省河川砂防技術基準（案）—調査編—，山海堂，pp. 303～324，1986.

(1998. 9. 30 受付)