



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	貯水池における密度成層に関する研究（第3報）：濁質粒度の鉛直分布とその季節変化
Author(s)	大谷, 守正; 八鍬, 功
Citation	北海道大學工學部研究報告, 103, 41-51
Issue Date	1981-02-27
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41673
Type	departmental bulletin paper
File Information	103_41-52.pdf



貯水池における密度成層に関する研究(第3報)

——濁質粒度の鉛直分布とその季節変化——

大谷 守正* 八 鍬 功*

(昭和55年9月30日受理)

Studies on the Density Stratification in Reservoirs (3)

—— Vertical Distribution of Grain Size of Suspended
Solids and Its Seasonal Change ——

Morimasa OHTANI and Isao YAKUWA

(Received September 30, 1980)

Abstract

This paper treats the vertical distribution of suspended solids of various size and their seasonal change in reservoir waters.

In order to grasp the characters of these phenomena, observing the concentration of turbidity was undertaken and the water temperature was measured at a point 50–100 m from the dam at the Katsurazawa Dam Reservoir from May 1978 to April 1979.

The results of the observation show that in the stagnant period of summer the mean particle size becomes smaller as the water increases in depth and in other seasons the distribution curves are found to be irregular.

The vertical distribution of suspended solids in reservoir waters appears to be closely related to the inflow and outflow.

1. 緒 言

貯水池の濁水化現象は、貯水池の富栄養化現象とともに、最近注目されるようになり、水質問題として、大きな課題の一つになっている。微細粒子を多量に含んだ濁水の貯水池における長期滞留は利水機能の劣化や生態系への影響を与え始めていると言われており、長期濁水化現象を制御することが望まれている。しかし貯水池における濁質の輸送機構は貯水池の形状、流入水の濁度および濁質の粒度分布ならびに、放水の形式等によって異なり、これらの諸条件が相互に関連し問題の解決を困難にしている。この複雑な現象を解明するためには詳細な現地観測を重ねることが必要である。

本論文は濁度の大きい桂沢ダム貯水池において濁質粒度の貯水池内分布とその季節的变化を湖内の水温分布、濁度、懸濁物質量の観測結果とあわせて検討し濁水化現象解析及び貯水池密度成層機構解明へのアプローチを試みたものである。

* 共通講座(数物系)理学第一講座

2. 観 測 方 法

観測は1978年5月から1979年4月までの1年間毎月1回の割合で図-1に示す桂沢ダム貯水池内の提体から50~100mはなれた、もとの幾春別川流心付近(Sta. 1)で行なった。

濁質の粒度分布は各深度から北原式採水器によって採水した約1lの湖水を研究室に持ち帰り光透過式粒度分析器を用いて測定した。なお粒度分析の結果得られた篩い分け係数、歪度はトラスク(Trask)が提案した篩い分け係数 S_0 、歪度 S_K にしたがった。 S_0 、 S_K は下記のように与えられる。

$$S_0 = \sqrt{d_{75}/d_{25}} \quad S_K = \frac{d_{75} \times d_{25}}{(d_{50})^2}$$

d_{50} 、 d_{75} 、 d_{25} はそれぞれ累積百分率が50%、75%、25%に相当する粒径をあらわしている。 S_0 は濁質の篩い分けの度合をあらわす指数で、その値が1に近いほど篩い分けがよく均一な粒径からなることを示し、 S_K は中央粒径に比べて大きいものと、小さなものとの割合を示す指数である。その値が1より大きければ中央粒径より粒径の大きい所で、1より小さければ反対に粒径の小さい方向にかたまることになる。

各深度の水温は現地でサーミスター水温計により0.01℃まで読み取り、また濁度の測定には光検出半導体素子を用いた濁度計(白陶土基準、JIS K 0101)を用いた。懸濁物質量の測定はJIS, K 0101の15の5の方法に準拠し粒度分析に使用した1lの湖水を用いて、メンブランフィルター0.45μに残留する懸濁物質を105~110℃の温度で2時間乾燥し、デシケーター内で冷却し秤量した。

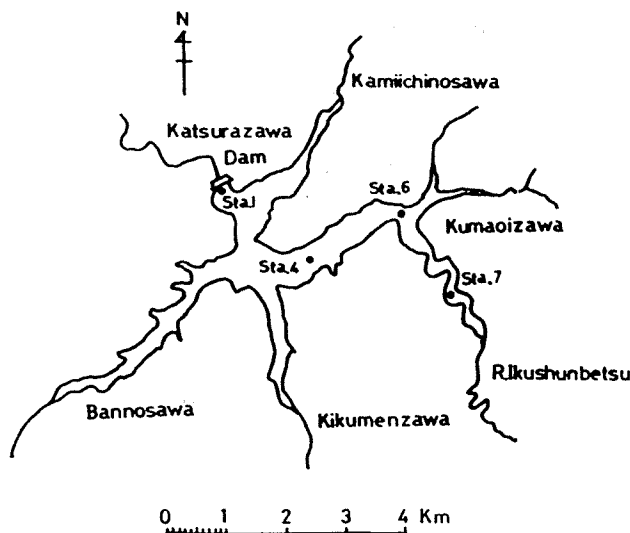


図-1 桂沢ダム貯水池平面図

3. 濁質粒度の貯水池内鉛直分布とその季節変化

観測した桂沢ダム貯水池の概要および水温年変化、透光度計を用いて測定した濁りの年変化については前報¹⁾に詳述したのでここでは主に粒度の貯水池鉛直分布とその季節的变化について述べる。

濁質粒度の貯水池内鉛直分布は湖水の停滞、循環という季節的变化と密接な関係がある。一般

的な分類にしたがえば桂沢ダム貯水池の場合は次のように分類できる。

I 春季循環期 (4~5 月)

II 夏季停滞期 (6~9 月)

III 秋季循環期 (10~11 月)

IV 冬季停滞期 (12~3 月)

つぎに上記の分類にしたがって濁質粒度分布の季節的变化について考察する。

観測当日の天候、貯水位と深度 10 m 毎および躍層付近の水温、濁度、懸濁物質質量、中央粒径 (d_{50})、篩い分け係数、歪度を表-1 に示す。

表-1 貯水位及び主な深度における水温、濁度、懸濁物質質量、中央粒径、篩い分け係数、歪度

観測年月日	天候	貯水位 (m)	深度 (m)	水温 (°C)	濁度 (ppm)	懸濁物質質量 (g/l)	中央粒径 $d_{50}(\mu\text{m})$	篩い分け係数 $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$	歪度 $d_{75} \times d_{25} / (d_{25})^2$
(1) 1978年5月19日	曇時々雨	186.54	0	13.00	38.5	0.0264	0.9	2.42	0.89
			10	6.30	67.0	0.0666	1.31	2.05	0.91
			19	4.20	152.0	0.1400	1.55	2.47	0.77
			21	4.20	175.0	0.1724	1.12	2.16	0.82
			31	5.11	291.0	0.3109	1.30	2.10	0.94
			39	5.27	455.0	0.5643	1.14	1.89	0.99
			43	5.31	—	0.6807	0.95	2.73	1.67
(2) 6月26日	晴	182.40	0	23.51	3.0	0.0058	1.35	2.81	0.63
			10	6.20	30.0	0.0526	0.62	1.86	1.45
			20	4.80	135.0	0.1397	0.62	1.97	1.45
			22	4.80	150.0	0.1463	0.75	2.61	0.76
			30	4.95	222.0	0.1927	0.76	2.07	1.38
			40	5.25	450.0	0.4691	0.78	1.97	1.29
			42	5.25	475.0	0.5224	0.60	1.97	1.29
(3) 7月28日	晴	172.71	0	25.30	16.0	0.0139	1.75	2.05	0.63
			6	6.15	38.0	0.0559	1.05	2.47	1.38
			10	5.40	74.0	0.0870	0.70	2.72	1.96
			17	5.00	115.0	0.1180	0.75	1.97	1.17
			20	5.01	130.0	0.1535	0.63	2.06	1.39
			30	5.30	395.0	0.4067	0.55	1.83	0.99
			34	5.40	448.0	0.4400	0.65	2.00	1.52
(4) 8月23日	晴一時曇	167.09	0	22.50	23.0	0.0143	1.35	2.39	0.91
			9	5.75	86.0	0.0660	1.15	1.99	0.90
			12	5.20	108.0	0.0940	0.85	2.06	1.30
			20	5.45	240.0	0.3010	0.66	1.85	1.26
			24	5.70	390.0	0.377	0.55	1.69	1.08
(5) 9月28日	晴	170.32	0	17.45	6.4	0.0073	1.00	2.30	1.55
			10	13.90	39.0	0.0805	0.76	1.93	1.30
			14	5.88	63.0	0.1010	0.60	2.00	1.36
			20	5.60	88.0	0.1600	0.56	1.95	1.17
			27	5.60	152.0	0.2610	0.50	1.87	1.02
(6) 10月28日	曇後晴	174.19	0	10.10	17.9	0.0335	0.60	2.39	2.68
			10	9.80	24.0	0.0425	0.75	1.98	1.55
			14	9.25	27.5	0.0525	0.85	2.01	1.18
			20	6.55	81.0	0.1150	0.65	2.04	1.35
			28.3	5.75	128.0	0.2035	0.52	1.79	0.92

観測年月日	天候	貯水位 (m)	深度 (m)	水温 (°C)	濁度 (ppm)	懸濁 物質 量 (g/l)	中央粒径 $d_{50}(\mu\text{m})$	篩い分け 係 $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$	歪度 $d_{75} \times d_{25} / (d_{25})^2$
(7) 1978年11 28日	曇 後 雨	179.60	0	5.30	17.5	0.0490	0.70	2.46	1.51
			10	5.80	18.0	0.0370	0.82	2.75	1.52
			20	5.83	18.2	0.0590	0.78	2.74	1.26
			22	5.83	18.5	0.0660	0.71	2.48	1.25
			28	5.82	24.5	0.0800	0.70	2.33	1.21
			32	5.72	94.0	0.1020	0.55	1.73	1.29
			40	5.72	125.0	0.2630	0.75	2.09	1.44
			43	5.72	125.0	0.3610	1.35	2.22	0.79
(8) 12月15日	曇 後 晴	181.18	0	2.25	13.0	0.0167	0.70	2.53	1.51
			10	3.75	20.0	0.0250	0.82	2.73	1.20
			20	4.20	14.5	0.0192	0.65	3.13	1.46
			30	4.35	16.0	0.0240	0.60	3.08	2.38
			40	5.85	190.0	0.2705	0.55	2.21	1.47
(9) 1979年 1 月19日	晴後曇 後雪	180.71	0	0.10	8.8	0.0043	0.45	3.64	2.62
			10	3.20	8.0	0.0110	0.42	2.82	1.80
			18	4.05	10.0	0.0140	1.02	3.31	1.29
			20	4.10	12.0	0.0160	0.77	2.43	0.90
			30	3.95	16.0	0.0239	0.92	3.33	1.70
			34	5.40	35.0	0.0250	0.52	2.04	1.87
(10) 2 月21日	曇一時雨	174.33	0	0.15	3.0	0.0043	0.86	3.03	1.27
			10	2.50	8.0	0.0090	1.10	2.79	1.42
			15	3.40	10.0	0.0094	0.93	2.22	1.00
			20	4.20	11.0	0.0135	3.40	2.59	0.29
			26	4.50	12.0	0.0144	1.00	2.84	1.63
(11) 3 月14日	晴	168.34	0	0.20	3.0	0.0012	2.65	2.79	0.35
			10	1.80	5.0	0.0079	3.35	2.55	0.30
			13	2.60	6.0	0.0112	2.50	3.02	0.32
			19	4.10	18.2	0.0137	0.53	2.95	1.93
(12) 4 月17日	曇	177.73	0	0.70	28.0	0.0090	1.65	2.67	1.25
			10	2.05	170.0	0.1530	1.42	2.89	1.14
			16	1.65	400.0	0.5900	1.12	2.87	0.98
			20	1.50	—	0.9350	0.93	2.60	1.08
			30	1.60	—	1.4560	0.83	2.38	1.41
			31.5	1.70	—	1.4930	0.80	2.39	1.55

図-2～図-13の左図は縦軸に深度、横軸に濁度、懸濁物質量をとってそれぞれの鉛直分布を示し、また右図は表層（表面付近）、中層（全水深のほぼ中間の点）、下層（湖底堆積物を乱さない程度の湖底近くの点）における濁質の粒度累積曲線を示したものである。粒度は対数正規確率紙上に粒度累積曲線（重量基準）であらわしてある。

図-2は春季循環期にあたる1978年5月19日の観測結果で、水温分布を見ると、表面水温は13.0°Cとなり水温躍層が発達しつつあり夏季停滞期の水温分布に移行する前の過渡的な形をしている。また濁度、懸濁物質量はともに表層から下層にむかって一様に増大している。表層、中層、下層のそれぞれの中央粒径は0.9 μm 、1.12 μm 、0.95 μm であり、表層、中層、下層とも

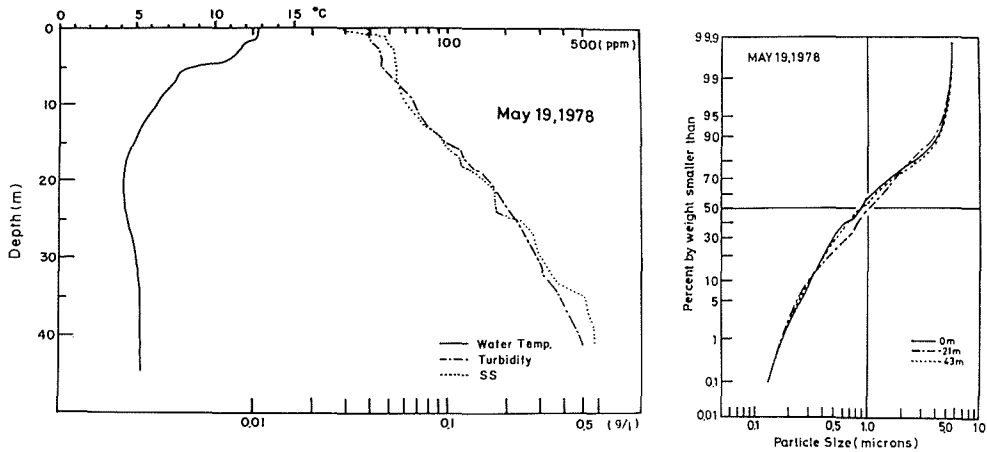


図-2 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1978年5月19日)

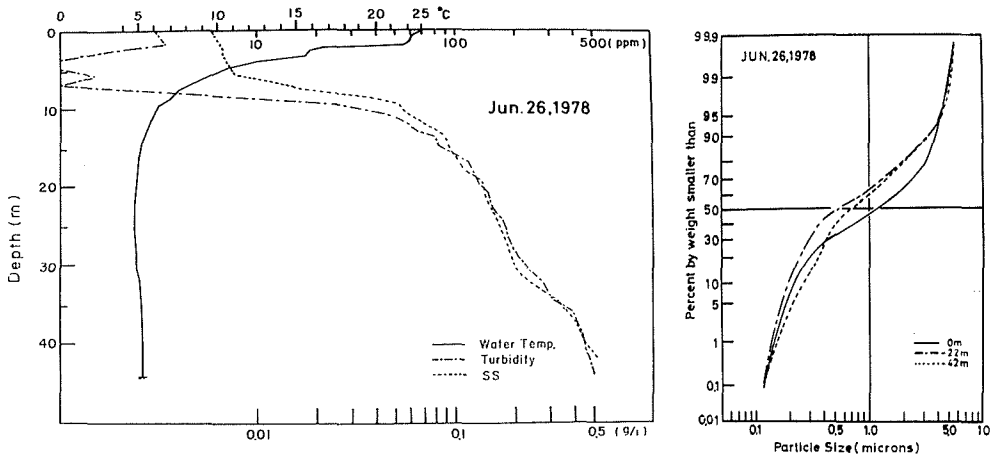


図-3 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1978年6月26日)

同じような粒度累積曲線となっている。このことは流入した融雪水が潮水と良く混合し、濁質を構成する粒子の割合が表層から下層まで一様であることを示している。

図-3 から図-6 は夏季停滞期における観測例である。図-3 の6月26日の観測では水温躍層は十分発達し、表水層と深水層との間に大きな温度較差をつくっている。深水層における濁度、懸濁物質質量とも5月の観測時と大差はないが、水温躍層と同深度に濁度の躍層が見られる。表層の中央粒径が $1.35\ \mu\text{m}$ と大きく、中層 ($0.75\ \mu\text{m}$)、下層 ($0.6\ \mu\text{m}$) との間に粒度分布の差が見えはじめてきている。7月に入ると表水層の厚さはますますうすくなり水温分布は典型的な夏季停滞期の水温分布をしており図-4 に示すように表面水温は 25.3°C まで上昇し水温躍層が水深 2~5 m の位置に形成され、濁度の一時的に大きくなる部分が水温躍層と同じ位置である 2.8 m に見られる。中央粒径は表層 $1.75\ \mu\text{m}$ 、中層 $0.75\ \mu\text{m}$ 、下層 $0.65\ \mu\text{m}$ で3層における粒度分布の違いがはっきりしている。

図-5 の8月23日の観測においても発達した水温躍層が存在し、同水深に濁度の躍層が見られる。3層における粒度分布の相異はいっそう明瞭となり、中央粒径はそれぞれ、 $1.35\ \mu\text{m}$ 、 $0.85\ \mu\text{m}$ 、 $0.55\ \mu\text{m}$ で表層から下層へと微細粒子の占める割合が大きくなっている。図-6 に示す9月28日の観測では気温の低下とともに水温も低下しはじめて表水層の厚さが増大し躍層の位置が

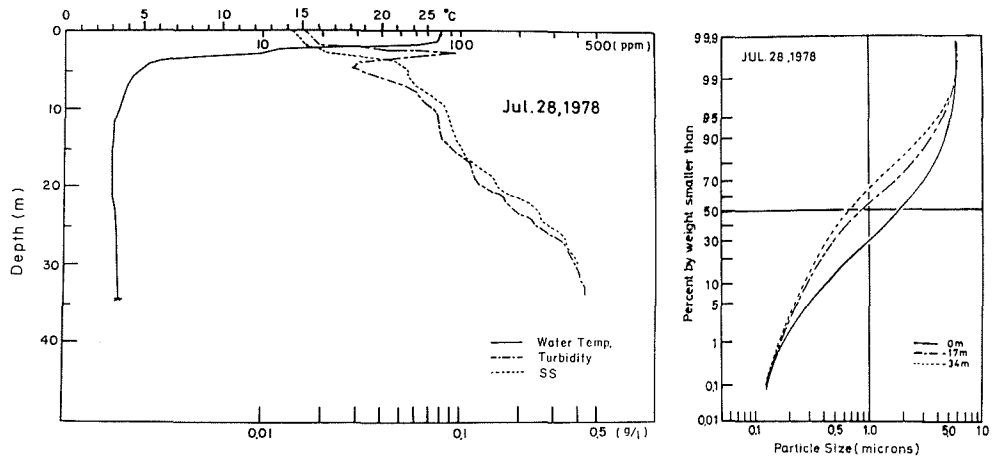


図-4 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1978年7月28日)

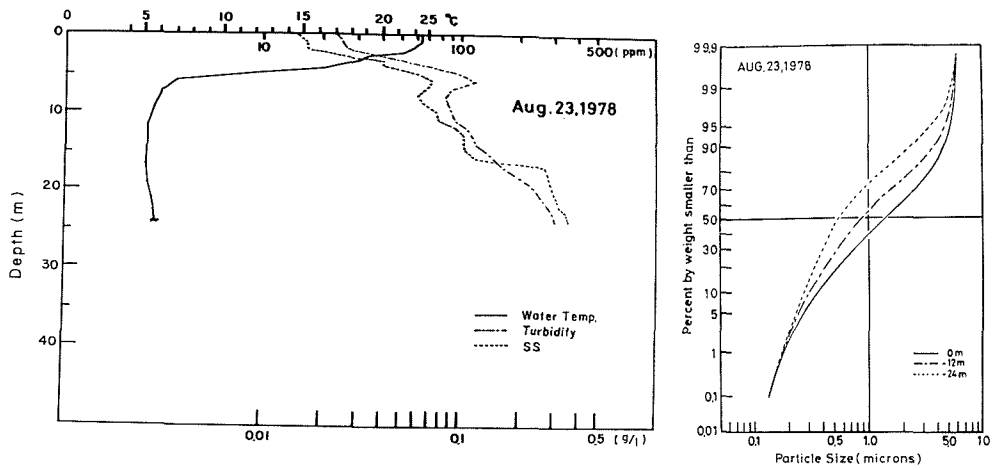


図-5 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1978年8月23日)

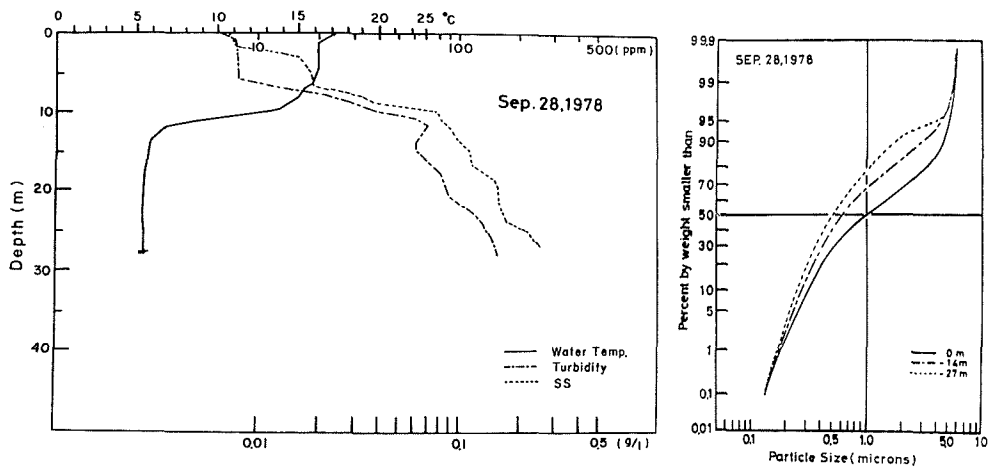


図-6 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1978年9月28日)

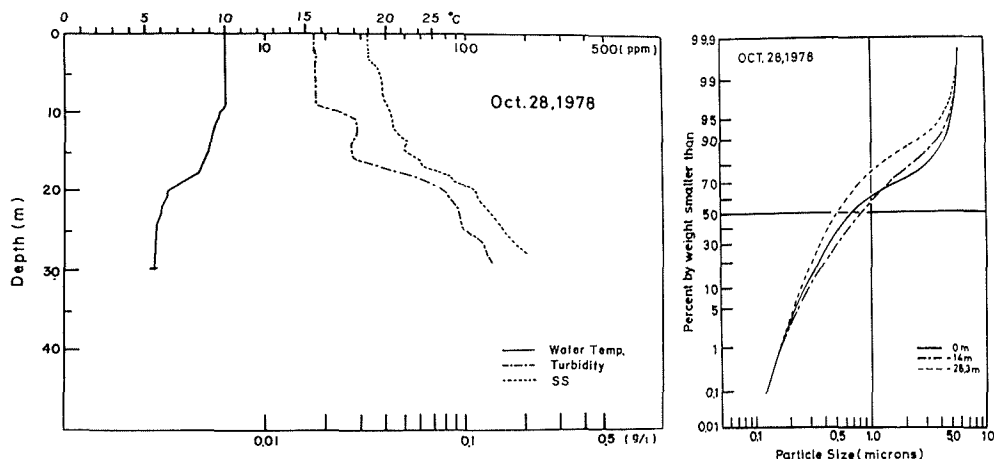


図-7 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1979年10月28日)

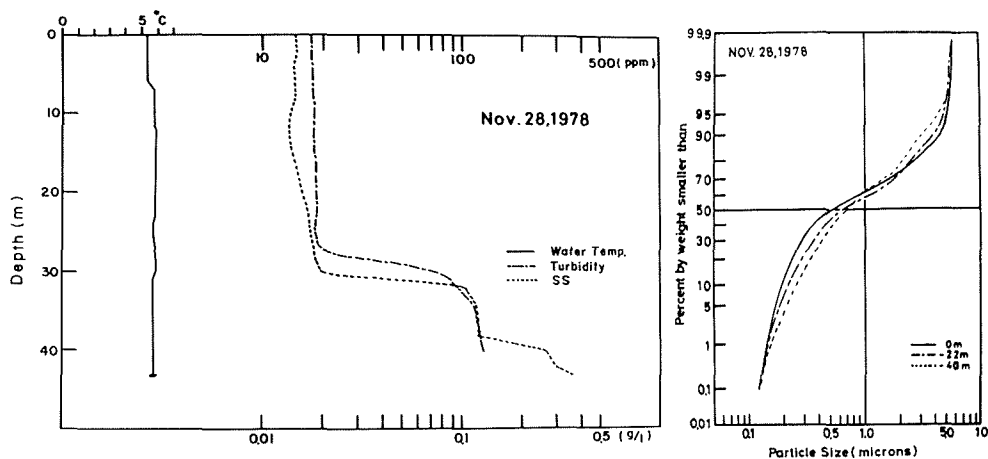


図-8 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1979年11月28日)

深くになっているが依然として強い躍層が存在して、粒度分布も8月の観測と同様、表層、中層、下層によって異なり3層の各粒径の占める割合が異なっている。

図-7～図-8は秋季循環期の例であるが図-7に示す10月28日の観測では表面水温が10.0°Cまで低下し、表水層の厚さはますます厚くなって、水深10mまで水温が一樣になっている。この部分では濁度の変化はなく、水温が変化しはじめると濁度にも変化があらわれ水温の変化にともなって2つの濁度の躍層が見られる。循環期に入ると粒度分布にも変化があらわれ表層と中層における粒度分布曲線は同形となる。さらに大循環をむかえる11月には図-8に示すように水温鉛直分布は直線に近くなり、表層から湖底までほぼ一樣な水温になる。しかし濁度の躍層は解消せず水深27m付近から急激に濁度が増加し10月の観測時には見られなかった顕著な濁度の躍層が形成されている。一方粒度分布にも大きな変化があらわれ、表層、中層、下層とも中央粒径の差がなくなってくる。これは循環期に生ずる対流による粒度組成の均一化が行われたものとおもわれる。

図-9～図-12は冬季停滞期の例である。図-9は12月15日の観測例であるが水温分布に弱い逆列成層が見られる。また濁度の躍層はさらに深い位置に移動している。表層、中層、下層の中央

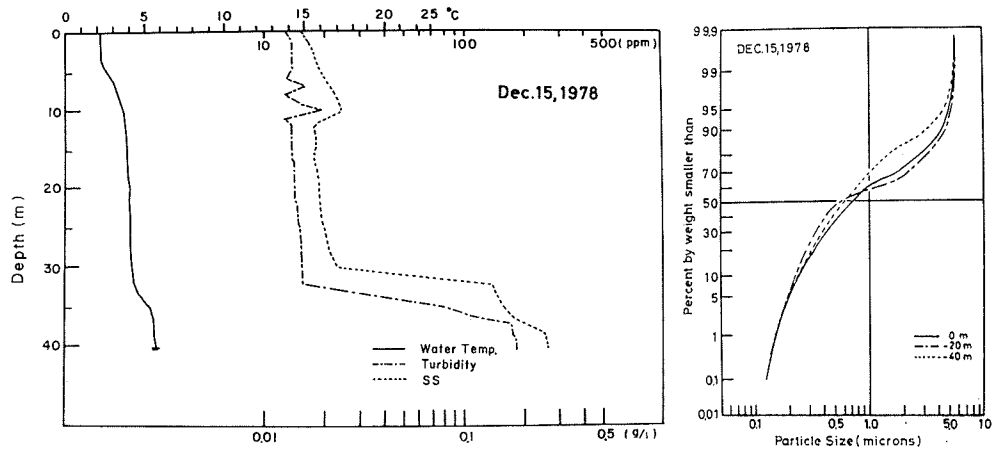


図-9 水温，濁度，懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布（1979年12月15日）

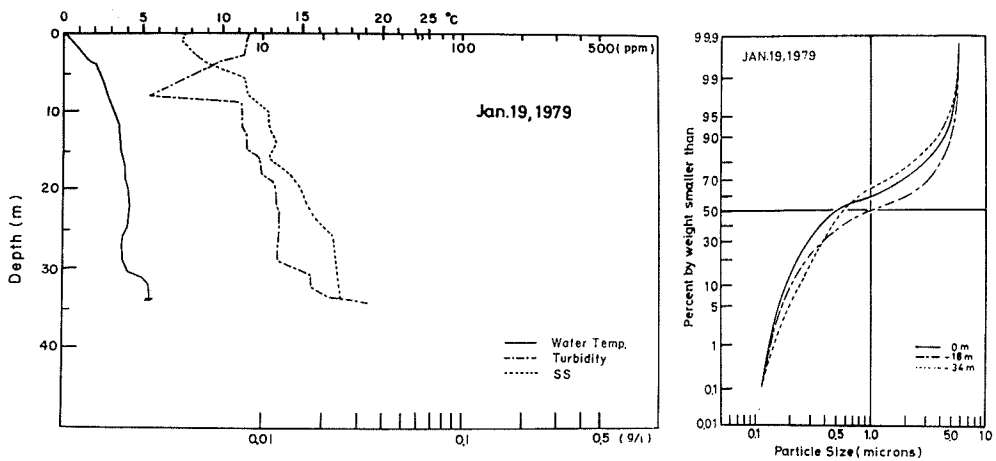


図-10 水温，濁度，懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布（1979年1月19日）

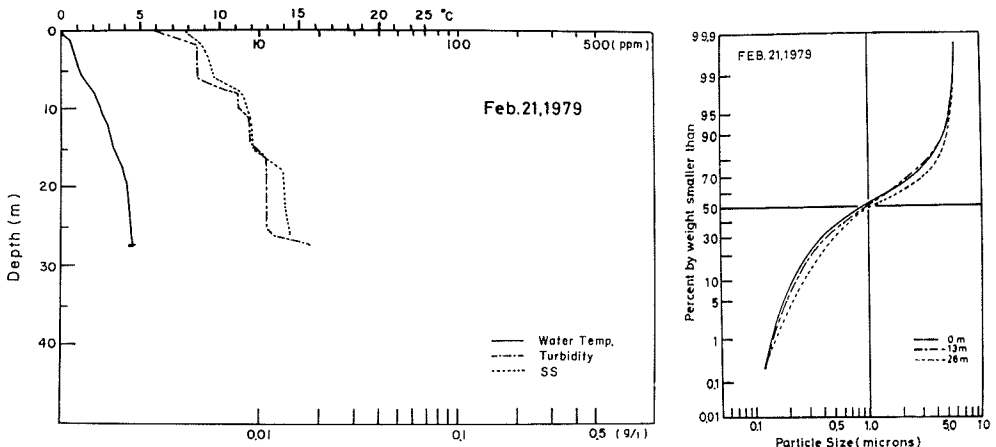


図-11 水温，濁度，懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布（1979年2月21日）

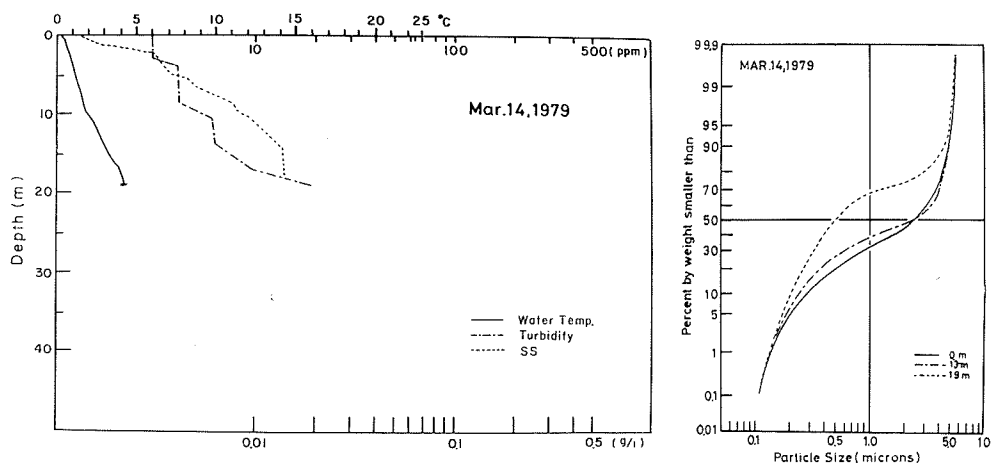


図-12 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1979年3月14日)

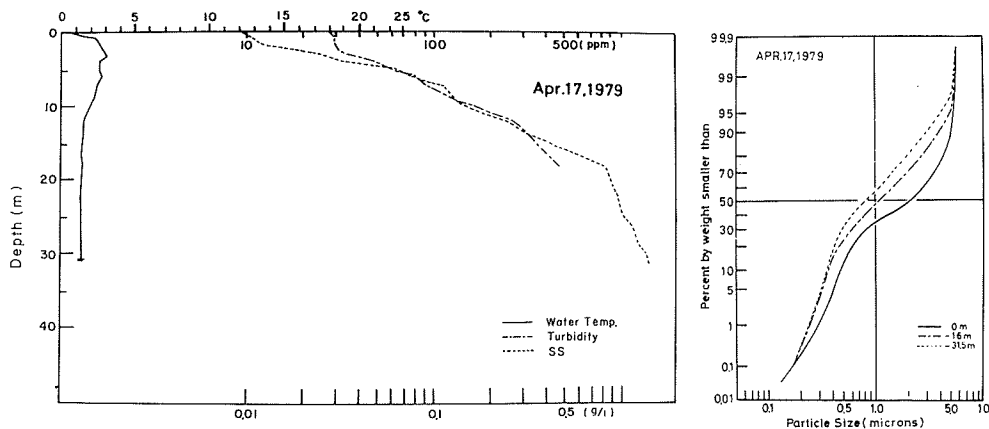


図-13 水温、濁度、懸濁物質質量鉛直分布及び粒度分布 (1979年4月17日)

粒径はそれぞれ $0.70 \mu\text{m}$, $0.65 \mu\text{m}$, $0.55 \mu\text{m}$ で湖底に近づくほど小さくなっているが分布形を見ると表層、中層は $1 \mu\text{m}$ 以上の粒子については同じであり相違はみられない。

図-10の1月の観測例では深層部に存在していた顕著な濁度の躍層は消滅し、一方粒度分布は不規則な分布形をなし12月の観測にくらべると大きな変動を示している。

図-11は2月の観測例であるが、水温分布は逆列成層をなし1月と変わらないが、濁度、懸濁物質質量とも減少している。しかし粒度分布曲線は表層、中層、下層ともほとんど同じ形となり全層が一様な粒度組成を示している。

図-12は3月の観測例で放水によって水深が浅くなっているのが見られるが、水温、濁度は2月の観測時と大きな変化はない。一方粒度分布は大きく変化し、表層、中層は中央粒径値も大き

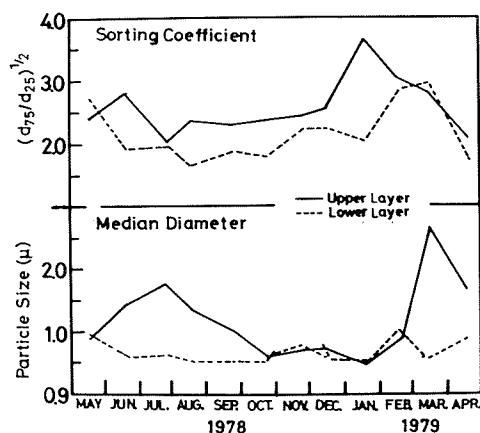


図-14 中央粒径、篩い分け係数の年変化

くなり、それぞれ $2.65\ \mu\text{m}$ 、 $2.50\ \mu\text{m}$ となって下層と大きな差異を見せている。

図-13は時期的には春季循環期の例で水温分布を見ると逆列成層はなくなり表層水温は上昇している。また濁度、懸濁物質量は高濃度の融雪濁水の流入により図-12の場合とくらべると急に大きくなり、また粒度分布は流入水の影響を大きくうけて上層、中層、下層に明瞭な粒度分布の相違が見られる。

図-14は表層、下層における中央粒径、篩い分け係数の年変化を示したもので、下層では中央粒径は年間を通じて $1\ \mu\text{m}$ 以下が多くその変動も小さいが、表層では一般に下層にくらべて中央粒径が大きく、 $2\ \mu\text{m}$ よりも大きな値も観測され、その変動も大きい。また篩い分け係数は下層では2、上層では2.5をはば中心に変動している。これは年間を通じて下層では高濁度の期間が長く微細粒子の占める割合が大きいことによる。

4. 濁度躍層付近の濁質粒度分布

観測の結果によれば多くの場合6月から10月まで濁度躍層は水温躍層と同位置あるいはその近くに存在するが、時期によって水温躍層が存在せず、濁度躍層のみ存在する場合がみられる。

図-15は1978年6月26日の水深6m、10m、11月28日の水深28m、32mにおける粒度分布図であるが6月には夏季停滞期の水温躍層が存在し、11月には秋季循環期で水温躍層が消滅し濁度躍層のみ存在している。6月には濁度躍層の位置が比較的水深の浅い位置にあり、11月には濁度躍層が深層部に位置する。また6月の観測例では水温躍層が存在し測定点での温度差は 3.1°C で濁度も小さく、懸濁物質量も少ない場合であるが、中央粒径に大きな違いがある。水深6mでは $1.55\ \mu\text{m}$ 、水深10mでは $0.62\ \mu\text{m}$ と小さく、微細粒子の占める割合が水深10mでは大きくなっている。篩い分け係数は水深6mの方が大きく、歪度は水深10mの方が大きい。11月の例では水温差はほとんどなく、濁度の躍層が存在し、濁度が大きい場合である。中央粒径値は6月の観測例ほど差はないが躍層内部の方が小さい値になっている。6月、11月いずれの場合においても濁度躍層付近においては、躍層を境にして粒度分布は異なり濁度の増加と共に濁度躍層内では微細粒子の占める割合が大きくなる。このような現象は6月、11月の例のみではなく、濁度躍層が存在する場合には常に濁度躍層付近と躍層内部とでは粒径分布の違いが見られる。

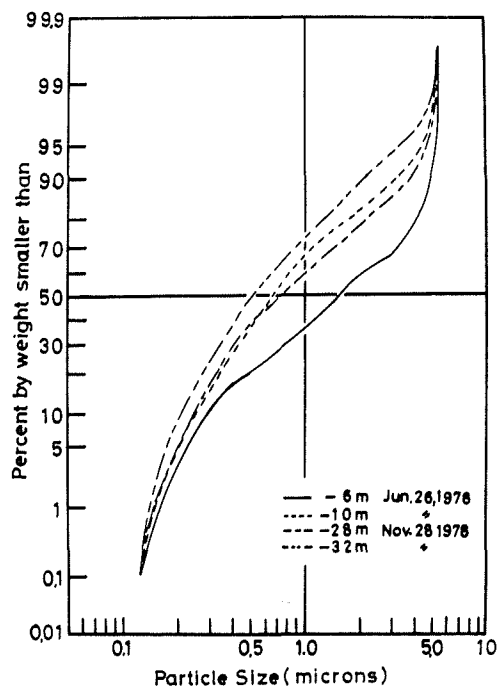


図-15 濁度躍層付近における粒度分布

5. 結 語

以上、桂沢ダム貯水池における水温、濁度、粒度分布の観測結果について述べたのであるが、これまでに得られた主な成果を要約すればつぎのようになる。

貯水池内における上層、中層、下層の粒度分布を比較すると春季循環期から夏季停滞期にいたる期間は湖水の循環により上層、中層、下層の3層間の粒度組成に定まった関係は見いだせないが、夏季停滞期に入ると、上層、中層、下層と順次、中央粒径が小さくなり微細粒子の占める割合が大きくなることが認められる。秋季循環期に入ると再び各層間の粒度分布に不規則な変化が生じ冬季停滞期に入ってもその傾向が見られる。また年間を通して中央粒径及び篩い分け係数の変化はいずれも上層が大きく、下層が小さい。

これらの粒度分布変化はいずれも上層、中層において大きく、同位置に流入する河川水と取、放水による影響が大きな要因の一つになっているものとおもわれる。

水温躍層のある場合には、濁度躍層はそれと同位置かそれに近い位置に発達する。しかし水温躍層が無い場合でも濁度躍層のみが存在する場合がある(11月~12月)、濁度躍層付近と濁度躍層内では粒度分布が異なる。

謝 辞

本観測にあたり助力を受けた理学第一講座、高橋助教授、浦上講師、大川原技官、ならびに一方ならぬ御協力をいただいた桂沢ダム管理事務所に対し感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大谷守正, 八鍬 功: 貯水池における密度成層に関する研究(第2報), 懸濁物質, 溶解物質が密度成層におよぼす影響, 工学部研究報告, 99(昭55), pp. 67-77.
- 2) 中村俊六, 足立昭平: 濁水化貯水池における濁質粒度の変動, 土木学会論文報告集, 第279号, 1978年11月, pp. 61-68.