

石狩川開発建設部 ○野村 強
 “ 鈴木 英一

まえがき

石狩川の支川、幾春別川の上流に位置する桂沢ダムは、昭和32年に完成し、洪水防御・農業用水水力発電・鉱工業及び水道用水の確保などの目的をもつ、北海道では最初の多目的ダムである。また、周辺は原始林などに囲まれ、富良野・芦別道立自然公園として指定されており、近年ダム周辺環境整備も施され、四季を通じて訪れる人々も多い。しかし、完成当初から貯水池は濁りが激しく、これは上水道源としての役割上や景観上からみても好ましくないと思われる。

そこで昭和52年より、濁りの原因の究明から将来対策までを目的として調査を行っており、これまでに濁りの発生源となる崩壊地の状態や濁度成分と粒度の分析などの調査、平水時と洪水時の流入河川・湖内における濁水挙動についての現地調査を行い、さらにこれらの調査結果をもとに数理モデルによる解明を行ってきた。

本報告は、これまで調べてきた一連の調査の結果について述べるものである。

1 調査地域概要

(1) 調査地域概要

桂沢ダムは、道央を南北に走る夕張山地の西側に位置しており、流域面積15.12km²の集水地である。東側は幾春別岳1,063mを主脈とする標高500～1,000m級の山々によって芦別ダムに流入する水系との分水界を形成している。西側は標高500m前後の丘陵地的な山々によって幌内、幾春別方面と境されている。南側は西側とほとんど同高度の山々によって夕張方面と境されている。北側は標高700～800m級の山々でキムダム流域と境されている。

ダム流域は、比較的複雑な形態をなしており、俗に言う樹枝状水系を示している。

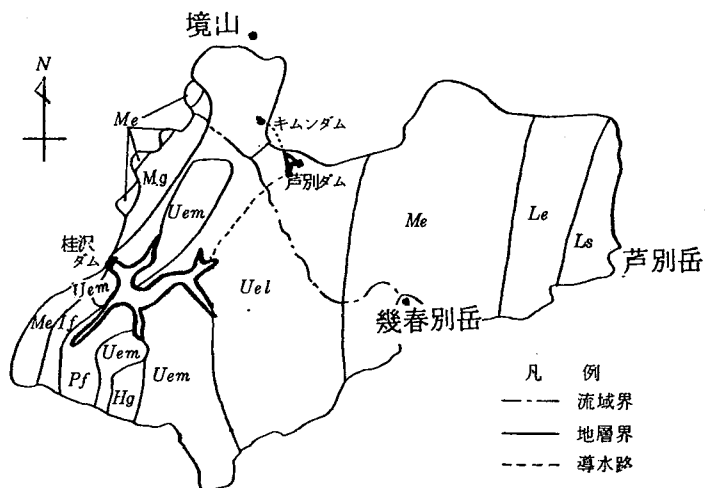


図-1

(のむら つよし)(すずき えいいち)

(2) 地質概要

この流域は、図-1に示す通り、大部分が中生代白亜紀層によって占められており、わずかに西側の一部が新生代古第三紀層である。白亜紀層は、蝦夷層群と名づけられている地向斜堆積物であり、主に砂岩や頁岩、泥岩より構成されている。本流域に分布している白亜紀層は、蝦夷層群以外に函淵層群や空知層群などがある。表-1参照

表-1 桂沢濁流域に発達する地質の総括表

地質時代			地層名	主たる層相、構成
新生代	古第三紀	漸新世	幌内層 (Pf)	泥岩
		始新世	不整合 石狩層群 (If) (幾春別層, 若鍋層など)	砂岩、泥岩 炭層を伴う。
中生代	白亜紀		不整合 函淵層群 (Hg)	砂岩、礫岩
		上部 エゾ層群	中部層 (Uem)	泥炭シルト岩
			下部層 (Uel)	泥炭シルト岩
		中部 エゾ層群	三笠層 (Mg)	泥岩、砂質泥岩
主部層 (Me) (左久層を含む)	砂質頁岩、頁岩 互層、砂質頁岩 砂岩瓦層			

(3) 植生概要

どちらかという低海拔地域と思われる当流域では、針葉樹のエゾマツの他にダケカンバを含むエゾマツ-ダケカンバ群落は東部を中心に大部分を占めている。また、西部には、カラマツの植林地が集中しており、南部には、エゾマツ-シオノギ群落や伐採跡地が見られる。そして露岩地が東部に見られる。

但し、第四紀層(河床、段丘、崖鉢堆積物)は省略。

(4) 崩壊地分布状況

流域内では、大小さまざまな崩壊地が多数分布するが、特に北西部や北東部には、大規模なものが発生している。桂沢ダムでは、小規模な崩壊地が全域にわたって一様に分布しており、大規模なものはほとんど無いが、東側の幾春別岳周辺や北西の山腹には数箇所ある。これらはほとんど中部蝦夷層群である。また、芦別岳西斜面では、崩壊が発生していない。崩壊の顕著な地域は、ほとんどが中部蝦夷層群か下部蝦夷層群であった。また、崩壊のほとんどない地域は、下部空知層群であった。そして、キムンダムでは、奔別岳や境山周辺に大規模なものが見られるが、他はほとんどが小規模なものである。ここでも大規模な崩壊地はほとんどが中部蝦夷層群であった。

(4) 地すべり地分布状況

分布傾向としては、桂沢湖を中心にみると、その北側の地域に比較すると南側の地域に地すべりが集中している¹⁾と見なせる。中でも、ダム湖周辺と惣芦別川沿い、幾春別岳などの地域では、特に地すべりの発生が多い。

このように地すべりが多くある地域と全くない地域に分けることができ、かなり偏っているの²⁾が見られる。これは、地すべり地が、地質構造(大小の断層)に沿って分布するという³⁾ことを意味している。

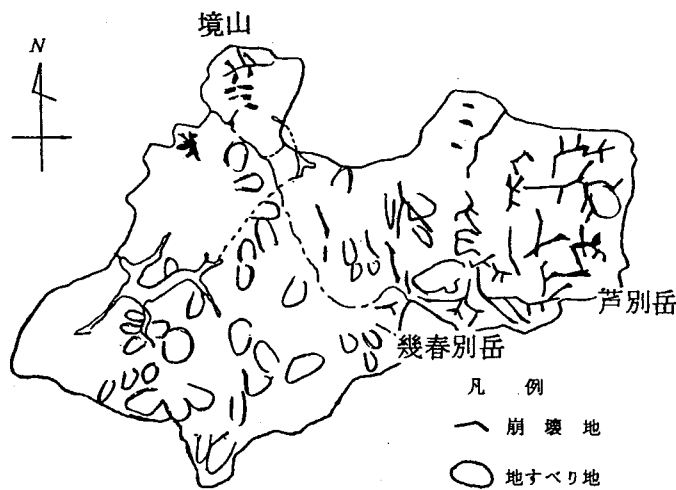


図-2

(5) 堆砂量状況

表-2は、桂沢ダム堆砂状況一覧表で、これによると、昭和39年、41年、50年において、かなりの堆砂があったことがわかり、また、堆砂量と時間的な推移には直接の関係がなく、数年おきに堆砂量の多い年が現われるということがわかる。

表-2 桂沢ダム堆砂状況一覧表

年度	期間堆砂量 (m^3)	累加堆砂量 (m^3)	流域面積あたりの 期間堆砂量 (m^3/km^2)
昭和35	20,600	20,600	136
36	155,200	175,800	1,026
37	164,011	339,811	1,085
38	—	—	—
39	43,000	179,000	285
40	32,000	210,000	212
41	38,000	248,000	252
42	32,000	280,000	212
43	27,000	307,000	179
44	26,000	333,000	172
45	33,000	366,000	218
46	25,000	391,000	165
47	22,000	113,000	146
48	22,000	435,000	146
49	38,000	473,000	252
50	40,000	513,000	265
51	21,000	534,000	139
52	22,000	556,000	146
53	21,000	557,000	139
54	21,000	598,000	139

2 濁度成分 (供給源物質調査)

これまでの調査で、周辺の地質は、中生代古第三紀の泥岩、砂岩で一部にレキ岩もみられることがわかった。これらの岩石は、各紀に砂質土や粘土が海底に蓄積固結し、そのまま大きな変質を受けなかったため、アンモナイト等の化石が含まれている状態である。変質を受けることがなかったこと、すなわち固結度が低く、吸水性が高いため、風化、崩壊し易いといえる。

鉱物学上、粘土はフィロ硅酸塩と呼ばれるもので、その性質上水中に懸濁すると、沈降性が悪く濁水の主な原因物質とみなすことができる。

(1) X線による透視度を用いた調査

X線回折調査によると、流域の崩壊地及び河床の粘土鉱物は、緑泥岩、絹雲母、絹雲母-モンモリロナイト混合層鉱物等であり、造岩鉱物は石英、斜長石などで、これらが白亜紀層の全地点で確認された。また、湖底試料からはこれらの鉱物が確認できたことから、濁りの構成物質は、

白亜紀層から流入したものと考えられる。

(2) 土質の粒度分布の測定

貯水地内の水に含まれる懸濁物の粒度試験によると、その成分は $1\sim 3\mu m$ 以下の粒子であり、その成分は、粘土鉱物に比べ比重が大きく、また量的にも多くみられる造岩鉱物の微細な石英の粒子であり、これがコロイド状態にあるため、沈降するのが非常に遅くなるということがわかった。

(3) 微粒子の沈降性について

水中での直径 $1mm$ 以下の粒子の沈降速度は、ストークスの式で表わされるように、粒子の直径や比重などの物理的性質によって、きまるとされているが、直径 $5\mu m$ 以下になると、コロイド的性質をもち、極端に沈降性が悪くなり、沈降するためには、粒子相互に凝集し、大径の粒子に成長する必要があるため、化学的な性質も調査する必要がある。

そのため、粒子の凝集性を示す指標である界面動電位について測定した。これは、電位が高いほど粒子が反発しあうため、凝集しづらいという性質をもつものであり、 $5mV$ 程度の電位が凝集の難易を分けるものと一般に言われているが、調査の結果では、 $12\sim 20mV$ とかなり高い値を示し、特に湖底近くでは $25.6mV$ と高い値が検出され、これはかなり凝集性が悪いことを示している。

さらに、分散剤を使って、凝集性を測定した沈降試験の結果では、湖底の成分はかなり凝集性は低いですが、全般に分散剤の効果は認められ、凝集性を有していることがわかった。

(4) 水質分析

資料を採取した地点付近の河川水又は湖水を採水し、その水質分析を行なった。その結果、電導度は流入する河川により、かなり差が見られるが、一般に高めであり、これは泥岩の微細粒子を多く溶し込んでいるためと思われ、また、湖水では表面に比べると電導度が低いことがわかった。

さらに濁度は、一般に流入河川、湖表面では、同じ程度の低めの値を示し、湖底近くでは極端に高くなっている。

表一 3 濁質の分析結果総括表

桂状ダム 資料採集 昭和53年10月17、18日

地点 系	資料の採集状況			採取した土質の分析結果				採水した河川水の水質							沈降試験A による懸集 性順位区分				
	採集地点	同左 の地質	同左 の種類	採集 時刻	分析 方法	分析結果	粒 度 組 成				JISA- 1204に よる密度	界面 動電位	PH 温度	電 気 伝導度		濁 度	SS (GFP)	蒸 発 残留物 (a)	同左の 強熱減量 (b)
							JISA-1204光透過法/分析結果												
1	上一の沢上流 地より性崩壊 地	泥 岩	崩積土	18日 10:00	X線解析 定方法	緑泥石、絹 雲母、絹雲 母-モンモ ロナイト混 合層	01μ以下 0.009%	03μ以下 0.12%	05μ以下 0.34%	1μ以下 1.77%	2.56	-15.0	7.7 8.5	25℃ 155	2	<1	78	18 ppm b/a × 100% 2.31	1
2	熊倉沢上流 地より性崩壊 地(河床近く)	泥 岩	崩積土	17日 16:00	同 上	絹雲母-モン モロナイト 混合層、緑 泥石	0.1μ 0.017	0.3μ 0.11	0.5μ 0.35	1μ 1.76	2.69	-18.6	6.6 10	8.3	4.8	4.2	11.2	21 18.8	5
3	幾春別川上流 崩壊地 (河床近く)	泥 岩	崩積土	18日 13:45	同 上 (EO処理)	絹雲母 モン モロナイト 混合層、緑 泥石、絹雲母	0.1μ 0.010	0.3μ 0.13	0.5μ 0.40	1μ 1.96	2.71	-13.8	7.5 10	1.35	2.0	1.1	9.7	2.0 20.6	5
4	菊面沢上流 地より性崩壊 地	泥 岩 礫 岩	崩積土	18日 14:00	同 上 (EO処理)	モンモロナイ ト、 緑泥石 絹雲母	0.1μ 0.013	0.3μ 0.16	0.5μ 0.49	1μ 2.28	2.69	-20.6	7.6 8	1.67	2	<1	1.00	1.6 16.0	2
5	盤の沢上流 露天崩壊地	砂 岩 泥 岩	崩積土	18日 15:00	同 上	カオリナイト モンモロナイ ト 絹雲母	0.1μ 0.013	0.3μ 0.12	0.5μ 0.37	1μ 1.62	2.65	-14.8	7.0 10	2.47	3	1	1.35	3.0 22.2	2
6	上一の沢下流 河床 中州	泥 岩	河床土	17日 13:00	同 上 (EO処理)	絹雲母-モン モロナイト 混合層、緑泥 石、絹雲母	0.1μ 0.016	0.3μ 0.11	0.5μ 0.32	1μ 1.29	2.68	-14.8	8.0 10	1.07	1.25	7.8	1.41	2.7 19.1	3
7	熊倉沢下流 河床	泥 岩	崩積土 河床土の 混合	17日 15:00	同 上	同 上	0.1μ 0.009	0.3μ 0.118	0.5μ 0.267	1μ 1.36	2.69	-13.9	6.9 -	8.6	6.8	4.5	1.11	1.9 17.1	3
8	幾春別川下流 河床 中州	泥 岩	河床土	17日 11:50	同 上	同 上	0.1μ 0.015	0.3μ 0.130	0.5μ 0.341	1μ 1.53	2.69	-14.9	7.1 10	1.47	2.7	1.5	9.9	2.6 26.3	2

地点 系	資料の採集状況			採取した土質の分析結果				採水した河川水の水質							沈降試験A による懸集 性順位区分				
	採集地点	同左 の地質	同左 の種類	採集 時刻	分析 方法	分析結果	粒 度 組 成				JISA- 1204に よる密度	界面 動電位	PH 温度	電 気 伝導度		濁 度	SS (GFP)	蒸 発 残留物 (a)	同左の 強熱減量 (b)
							JISA-1204光透過法/分析結果												
9	菊面沢下流 河床 中州	泥 岩	河床	18日 10:30	X線解析 定方法	絹雲母-モン モロナイト 混合層、緑泥 石、絹雲母	01μ以下 0.003%	03μ以下 0.078%	05μ以下 0.245%	1μ以下 1.277%	2.70	-13.5	6.7 10℃	1.55	6	<1	9.0	1.9 2.11	2
10	盤の沢下流 河床	泥 岩	河床土	18日 9:50	同 上 (HCL 処理)	カオリナイト 絹雲母 モンモロナイ ト	0.1μ 0.017	0.3μ 0.136	0.5μ 0.378	1μ 1.36	2.67	-13.4	6.4 10	2.83	1.0	2	1.60	3.7 23.1	3
11	上一の沢左岸 の湖岸 波食部	泥 岩	崩積土	17日 16:20	同 上	絹雲母、緑泥 石、絹雲母- モンモロナイ ト混合層	0.1μ 0.004	0.3μ 0.077	0.5μ 0.219	1μ 0.828	2.69	-14.0	7.3 11.5	1.19	4.5	1.8	1.03	2.1 20.4	3
12	幾春別川右岸 の湖岸 波食部	泥 岩	崩積土	17日 15:35	同 上 (HCL 処理) (EO処理)	絹雲母-モン モロナイト 混合層、緑泥 石、絹雲母	0.1μ 0.008	0.3μ 0.076	0.5μ 0.233	1μ 1.158	2.70	-13.0	7.2 12	1.28	2.9	1.2	9.3	2.3 24.7	4
13	桂沢右岸の湖 岸 波食部	泥 岩	崩積土	17日 16:00	同 上 (EO処理)	緑泥石、絹雲 母、絹雲母- モンモロナイ ト混合層	0.1μ 0.024	0.3μ 0.32	0.5μ 0.92	1μ 4.22	2.64	-16.0	7.2 12	1.19	4.2	1.3	1.00	2.4 24.0	4
14	同上左岸の高 岸	泥 岩	崩積土	17日 16:30	同 上	緑泥石、絹雲 母、絹雲母- モンモロナイ ト混合層	0.1μ 0.011	0.3μ 0.179	0.5μ 0.607	1μ 2.74	2.64	-12.2	7.4 12	1.19	3.8	1.1	1.04	3.1 29.0	3
15	ダム湖中央部	泥 岩	底 質	17日 15:00	同 上	絹雲母-モン モロナイト 混合層、緑泥 石、絹雲母	0.1μ 0.020	0.3μ 0.355	0.5μ 1.075	1μ 4.38	2.72	-12.5	6.6 7.5	8.3	2.40	6.9	2.13	2.6 12.2	5
16	ダム湖堤体付 近	泥 岩	底 質	17日 14:00	同 上	同 上	0.1μ 0.039	0.3μ 0.401	0.5μ 1.22	1μ 6.84	2.71	-16.1	6.8 7	7.5	3.10	4.7	2.73	3.5 12.8	5
16'	ダム湖堤体付 近、湖底より 5~6m		水中の 浮遊物	14:00	同 上 (HCL 処理) (EO処理)	同 上						-25.6							

1 ~ 5 : 山地 6 ~ 10 : 河床 11 ~ 14 : 湖岸 15 ~ 16 : 底質 16' : 浮遊物

3 貯水池内濁水挙動調査

これまでの調査で濁水の原因は、微粒鉱物によるものであることがわかったので、この調査では湖内に流入する各河川と湖内の濁度について、現地観測をして濁水の流入形態と湖内での挙動を明らかにすることを目的として実施した。

このとき、ダム湖の濁水現象を支配する要因は、湖内側と流入側の2つに分けて考えるものとする。

- 湖内側
 - ・ 湖内の水温分布と濁水分布による水の密度分布（鉛直方向）
 - ・ ダム湖からの放流と河川からの流入による水の動き
- 流入側
 - ・ 流入河川水の水温と濁度による密度（その密度と同じ湖内密度の深度に流入する）
 - ・ 濁度の負荷、粒度分布（ストークスの法則）
 - ・ 流入量（平水時と洪水時）

したがって、これらを各河川について、その特性をみつけるため表-5に示す期日・項目について調査した。

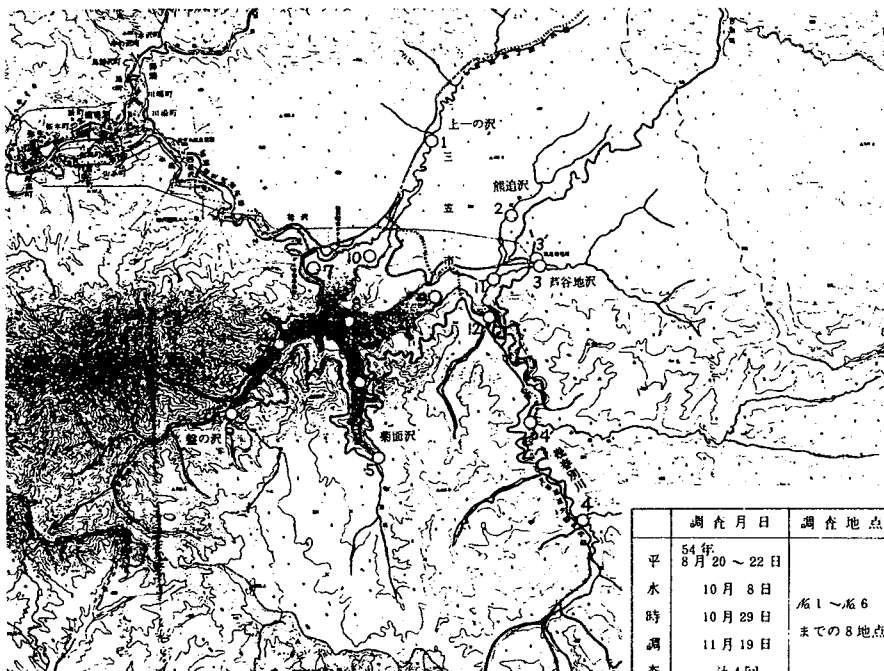


図-3

(1) 平水時における挙動

平水時における流入河川の濁度については、ほとんど問題とならない位少なかったが、たまたま10月8日に熊追沢、幾春別川下流、熊追発電所の8地点において、10月29日には、熊追発電所、幾春別川下流の2地点において高い値を示したが、これは発電所地点の流れは、芦別ダムの放流水である事、幾春別川下流地点は上流側で川沿いに行なわれている道路工事の影響がでているためと推察できる。したがって、一般に各河川とも濁度は低く、平水状態においてはダム湖に与える影響は無視できると考えられる。（図-4）

地点	調査地点位置
1	上の沢
2	熊追沢
3	戸谷地沢
3'	熊追発電所放流水
4	幾春別川
4'	幾春別川
5	菊面沢菊面橋
6	盤の沢
7	湖内堤体付近
8	湖内菊面沢合流点
9	湖内熊追、幾春別合流点付近
10	湖内上の沢流入点
11	湖内熊追沢流入点
12	湖内幾春別川流入点
13	湖内菊面沢流入点
14	湖内盤の沢流入点

表-4 調査地点位置

	調査期日	調査地点	調査項目	調査のタイミク等
平水時調査	54年8月20～22日	底1～底6までの8地点	水温測定	各測定日時毎に1回
	10月8日		流量測定	〃
	10月29日		濁度測定	〃
	11月19日		粒度分布測定	10月8日底2、底3の2地点のみ
洪水時調査	54年8月28日～9月1日	底1～底6までの8地点	水温測定	底1～3'、5、6地点では
	9月5日		流量測定	期間中1回/1日
	9月7日		濁度測定	底4、4'で期間中1～4時間おき
	計2回		粒度分布測定	

表-5 調査期日・調査項目等

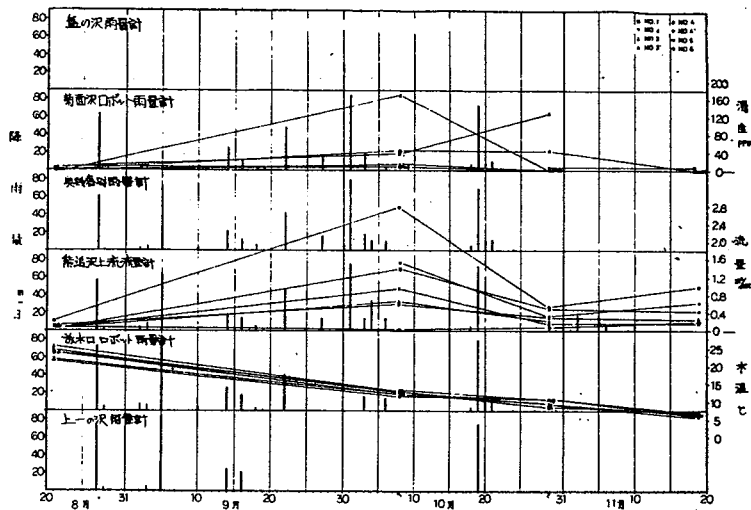


図-4 平水時、日降雨、河川流量、水温、濁度

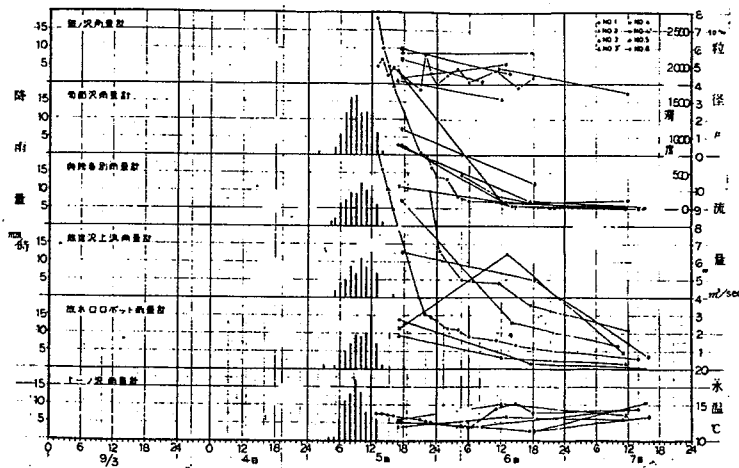


図-5

(2) 洪水時における挙動

洪水時の流入濁度及び湖内濁度の挙動を調査することを目的として、その対象を9月5日の洪水とし、調査箇所は図-3に示した。このときの流量-濁度の関係、流量-粒度(50%粒度)の関係を図-6、図-7にそれぞれ示した。

流量-濁度相関は、一般に $C = aQ^b$ (C :濁度、 a 、 b :常数、 Q :流量) の関係があるとされており、当調査においても良く成り立つことが明らかとなった。

一方、流量-粒度の関係は幾春別川の観測で5%有意水準で相関があったが、各河川とも異なると推定される。

水温については、芦別ダムからの流入水が一般に低いことがわかるが、その他特に一般に河川水温は、気温との相関が強いとされているが、当調査からも同様の結果が得られ、日平均気温との回帰は次式で示される結果を得た。

$$\text{水温} = 0.791 \times \text{日平均気温} + 2.93$$

相関係数：0.935

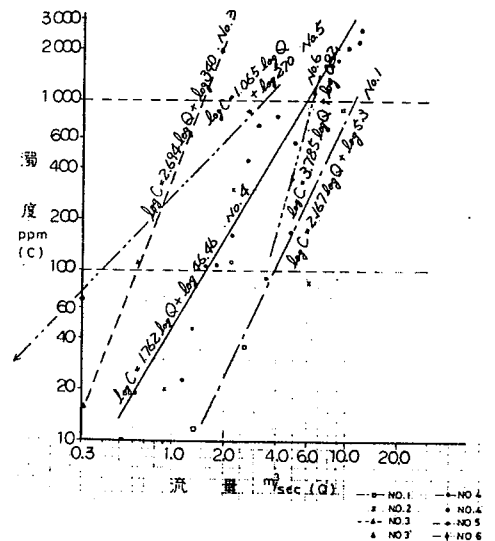


図-6 洪水時に於ける流量と濁度の関係

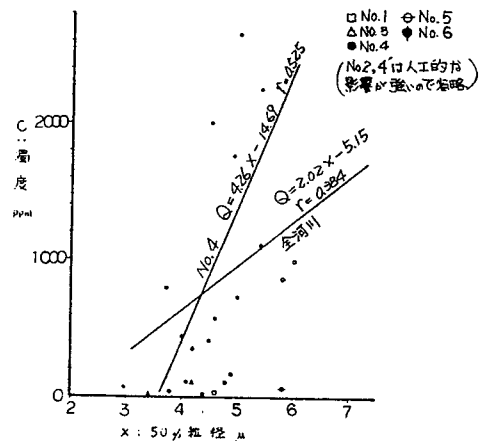


図-7 洪水時における流量と粒度の関係

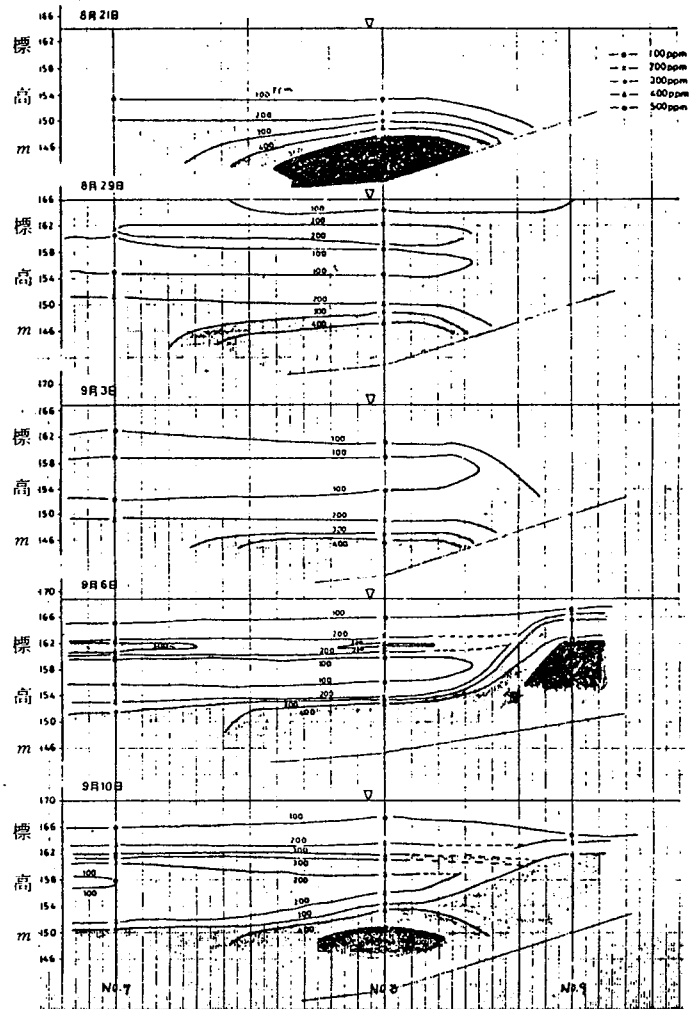
(3) 洪水後のダム湖内の変化

9月5日の洪水を間にはさんで8月21日～9月10日の期間5回の湖内における水温、濁度の分布を調査した。その結果を図-8に示す。

これから、洪水時に流入する河川により懸濁物質が湖内に運ばれ、貯水池内に入りこむ懸濁物質の深度は、流入水と貯水池の密度によって決まるといえることが明らかとなった。

すなわち、流入濁度が大きいと、濁度支配の密度流が存在し、流入水は中層流と底層流の二つの密度流となって分岐し、流入しているものである。さらに、湖内の濁度分布は各河川の流入より、短時間ではあるが局部的に影響を受けているということがいえる。

図-8 湖芯方向断面の濁度分布模式図



4 湖内濁水シミュレーション

これまでの調査結果を基礎に数理モデルを使用して、貯水池内の水温分布、濁度分布の挙動をある一定期間についてシミュレートし、実測値とモデルの適合性を検証するとともに、長期的な濁水挙動解析について考察するものとした。

シミュレーションは、河川及び湖内における洪水時、平水時の挙動について調査した54年の調査をもとに行ない、その結果については、湖内水温、濁度の実測値及び取水後の水道原水の水温、濁度の実測値との照合により、整合性を検証するものとした。

シミュレーションは、短期(8月21日～9月10日)と長期の融雪洪水後～降雪期前(5月29日～6月10日及び6月28日～10月31日)で行ない、その方法は、短期において十分実測値との整合性を高める様、諸定数や流入条件などを調整し、その後、長期のシミュレーションを実施し、モデルの検証及び考察を行なうものとした。

(1) シミュレーションモデル及び入力データについて

イ シミュレーションモデルについて

当調査で使用したモデルは、鉛直1次元モデルといわれるもので、貯水池水温の分布や懸濁物質の沈降などから、水温・濁水現象を表現できるように開発されたものである。

図一 9 に示すこのモデルは次の様な考え方を基本としている。

- (イ) 水温分布・濁度分布は、水平方向に一様とする。
- (ロ) 流入、流出にともなう貯水池内の流動範囲は、内部フルード数で決まるものとする。
- (ハ) 大気圏との熱収支として日射、大気輻射、水面からの反射、逆輻射、蒸発、熱伝導を考慮する。

- (ニ) 水温の時間変化は移流、拡散、対流混合、大気圏との熱収支によるものとする。
- (ヒ) 対流混合は、不安定な密度分布 ($\frac{dp}{dy} > 0$) が生じた場合に安定な分布を得るまで鉛直方向に貯水池内の水を混合させるものとする。
- (ヘ) 濁度の時間変化は、移流、拡散、対流混合、沈降によるものとする。

以上の考え方に基づいて基礎方程式を差分化し、水温分布、濁度分布の時間変化を数値計算する。基礎方程式は、標高 y の水平層に関し、次の様に与えられる。

熱保存方程式

$$\frac{\partial T_y}{\partial t} = \frac{(\alpha+D)}{A_y} \frac{\partial}{\partial y} (A_y \frac{\partial T_y}{\partial y}) - \frac{1}{\rho c A_y} \frac{\partial}{\partial y} (A_y \phi_y) - \frac{1}{A_y} \frac{\partial}{\partial y} (v_y A_y T_y) + \frac{1}{A_y} (v_{iy} B_y T^i - v_{oy} B_y T_y)$$

水温の時間的変化
鉛直拡散項
輻射熱項
鉛直移流項

水平移流項

濁度保存方程式

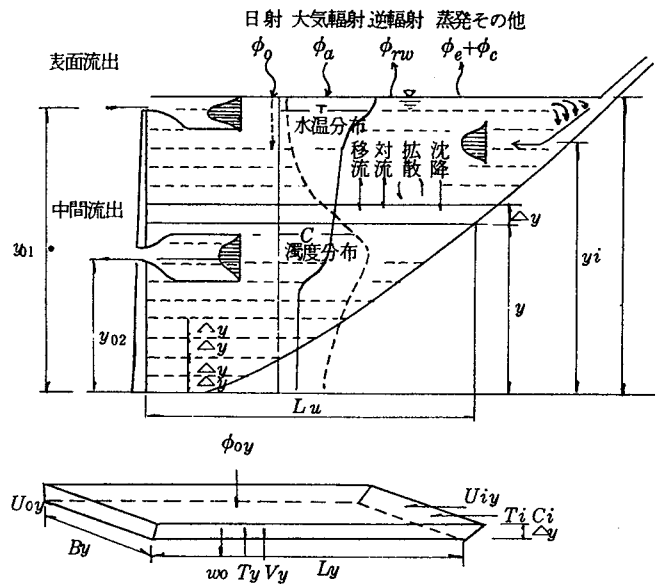
$$\frac{\partial C_y}{\partial t} = \frac{(\alpha+D)}{A_y} \frac{\partial}{\partial y} (A_y \frac{\partial C_y}{\partial y}) - \frac{1}{\rho c A_y} \frac{\partial}{\partial y} (A_y \phi_y) - \frac{1}{A_y} \frac{\partial}{\partial y} (v_y A_y C_y) + \frac{1}{A_y} (v_{iy} B_y C^i - v_{oy} B_y C_y) - \frac{1}{A_y} \frac{\partial}{\partial y} (v_y A_y C_y) + \frac{1}{A_y} (v_{iy} B_y C^i - v_{oy} B_y C_y)$$

濁度の時間的変化
鉛直拡散項
鉛直移流項
沈降項

連続式

$$\frac{\partial Q_{vy}}{\partial y} = g_{iy} - g_{oy}$$

図一 9 貯水池の流動形態と熱濁度収支モデル



- ϕ_{0y} : 標高 y に達する輻射熱
- B_y : " における貯水池平均幅
- L_y : " における貯水池長
- T_y : " における水温
- C_y : " における濁度
- v_y : " における鉛直方向移流流速
- U_{oy} : " における水平方向流出流速
- U_{iy} : " における水平方向流入流速
- w_o : 懸濁粒子の沈降速度

- T_y : 標高 y の水温
- C_y : 標高 y の濁度
- u_{iy} : 標高 y の流入水の水平方向流速
- v_{oy} : 標高 y の流出水の水平方向流速
- v_y : 標高 y の鉛直方向流速
- w_o : 懸濁粒子の沈降速度
- T^i : 標高 y の流入水温
- C^i : 標高 y の流入水濁度
- A_y : 標高 y の貯水池平面積
- B_y : 標高 y の貯水池平均幅
- ϕ_y : 標高 y に達する輻射熱 (鉛直上向きが正)
- α : 分子拡散係数
- D : 渦動拡散係数
- ρ : 水の密度
- c : 水の比熱
- t : 時間
- Q_{vy} : 標高 y の鉛直方向の流量
- g_{iy} : 標高 y の水平方向の流入量
- g_{oy} : 標高 y の水平方向の流出量

1次元モデルにおける水平方向一様の仮定は、成層型貯水池で良く成り立つと考えられる。一般に貯水池が成層型であるか混合型であるかは、貯水池内水の年間交換回数 α （年間総流量／貯水池総容量）で表わされ、 $\alpha < 10$ 程度するとき、安定した成層型になるとされている。

当ダム湖においても、54年で α を計算すると4になり、桂沢ダム湖を安定した成層型と見なせ、1次元モデルの適応可能と考えられる。

ロ 入力データについて

シミュレーションの検証を行なうための入力データは、流量データの流出量、流入量とも桂沢ダム管理月報から日平均値を与えるが、流入量の内、自然河川については、常時は日平均値を、洪水時は変化が激いため時間流量を与えるものとした。ダムの日平均流入量は、流域面積比でダムに流入する6河川に分配する。また、幾春別川の洪水波形は、奥桂橋テレメータ水位記録、又はタンクモデルにより推定した。

流入水温は、全流入一様とし、昭和54年の調査結果から河川水温 Y と日平均気温 X の次の関係式を用いて日平均値として与えた。すなわち、

$$Y = 0.789X + 2.98 \quad (\text{但し、} Y > X \text{のとき } Y = X \text{とみる})$$

さらに、流入濁度は、昭和54年度の調査結果から各河川毎に濁度と流量の関係式を求め、これに粒度分析結果から得た $10 \mu m$ 以下の濁度にするための係数をかけて、濁度算定式とする。尚、芦別ダムについては、日平均の懸濁物質の流入量を考えた。

すなわち、

上　　の　　沢	$C = 0.73 \times 15.19 Q^{1.193}$
熊　　追　　沢	$C = 0.82 \times 75.39 Q^{1.313}$
芦　　谷　　地　　沢	$C = 0.89 \times 157.57 Q^{1.446}$
幾　　春　　別　　川	$Q \geq 3 \text{ m}^3/\text{s} \quad C = 0.80 \times 234.52 Q^{0.938}$ $Q < 3 \text{ m}^3/\text{s} \quad C = 0.80 \times 27.90 Q^{2.138}$
菊　　面　　沢	$C = 0.70 \times 149.20 Q^{1.177}$
盤　　の　　沢	$C = 0.72 \times 45.69 Q^{1.224}$
芦別ダム放流水	$C = 0.80 \times 36.39 Q^{1.323}$

また、形状データの標高は、ダム底を 136 m と見なし、1次元モデルの分割幅を 2 m とし、計算期間及び初期条件は下記の通りとした。

短期　昭和54年8月21日0時～昭和54年9月10日24時

初期条件は8月21日の実測値

長期　昭和54年5月29日0時～昭和54年6月10日24時

初期条件は5月29日の実測値

及び昭和54年6月28日0時～昭和54年10月31日24時

初期条件は6月27日の実測値

物理定数の内、代表粒径は湖内濁質の50%粒径の平均 $1.8 \mu m$ とし、減衰係数は透明度の実測値から 1.27 とした。渦動拡散係数、水面反射係数、水面吸収率は各々 0.0 、 0.03 、 0.5 の

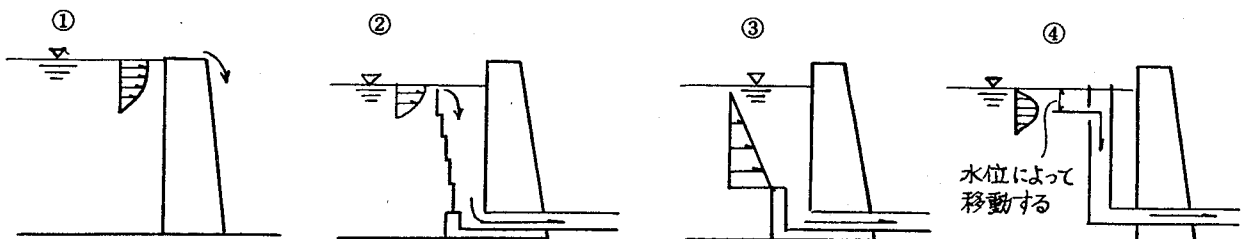
標準値とした。流入方式及び定数、流出方式及び定数は実測及び推定から表-8、表-9に示す。

表-8 流入方式

流入	流入方式	河川幅 (m)	河川勾配	Manning の係数	内 部 フルート数	表層からの 連行率
1	自然河川流入	15	0.013	0.05	0.25	0.5
2	自然河川流入	177 熊追沢 9 芦別 -	0.020 熊追沢 0.021 芦別 -	0.05	0.25	0.5
3	自然河川流入	9	0.020	0.05	0.25	0.5
4	自然河川流入	14	0.006	0.05	0.25	0.5
5	自然河川流入	1353 菊面沢 10 盤の沢 10	0.0185 菊面沢 0.020 盤の沢 0.017	0.05	0.25	0.5

表-9 流出方式

流 出	流 出 方 式	流 出 口 標 高	取 水 方 法
1.ダム洪水時	表層流出		①
2.発 電	5/29 0時~8/21 9時 表層流出		②
	8/29 9時~10/31 24時	水面~E.L.156 m	③
3.水 道	移動流出		④

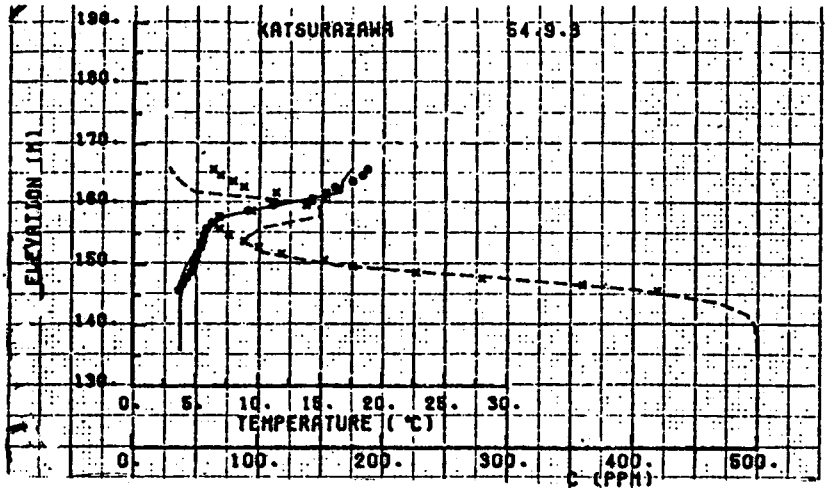


ハ シミュレーション結果

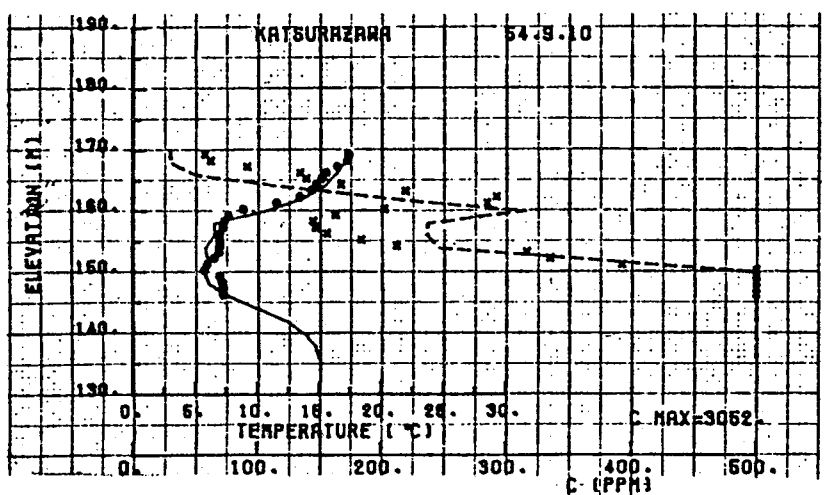
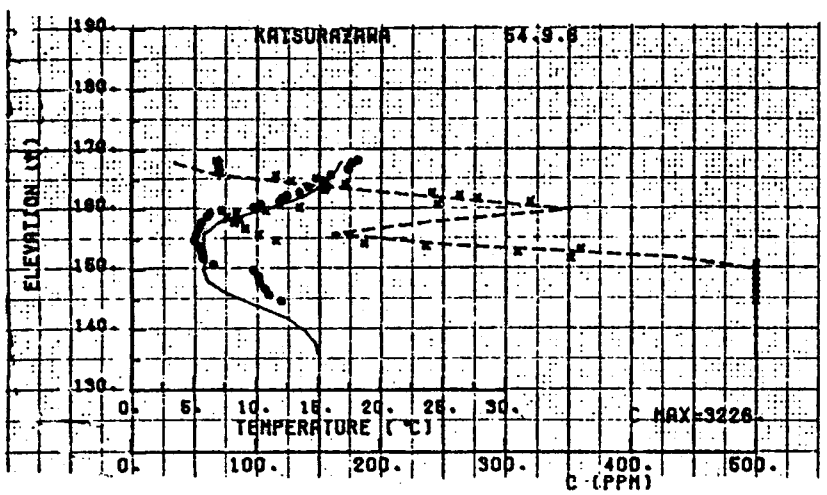
湖内水温、濁度分布図を図-10、図-11に示す。

短期の湖内水温、濁度分布のシミュレーション結果(図-10)を見ると、実測値と良い整合を示しており、湖内状況が良くわかる。特に水温分布において著しく、9月5日の洪水による比較的高い水温でありながら濁度が非常に高いために高密度水となって、底層付近に流入するのが良く表現されている。濁度についても比較的良好な整合を示すが、表層付近の濁度が低めにでる傾向があり、これは、深さによる粒径の違いをこのモデルでは表現できない事に起因するものと思われる。

水道用水について、シミュレーション結果と実測値を比較すると、水温は比較的良好な整合を示しているが、濁度にはずれがある。



- 凡例
- 実測水温
 - × 実測濃度
 - 予測水温
 - 予測濁度



また、6月28日～10月31日の長期の湖内水温、濁度分布のシミュレーション結果(図-13)では、やはり比較的良好な整合を示している事がいえる。但し、水温については良い結果が得たのに対し、濁度は実測値とややずれを示す。8月21日～9月3日の底層部の濁度で実測よりかなり低い結果を示す。実際には8月21日以前に底層部に高濁度の流入があったと思われるが、シミュレーション結果は、これを表現していない。しかし、9月5日の洪水の後には、底層部の濁度が実測値と良好な整合を示しており、洪水規模の大きさがずれを打消したと考えられる。これらから言えることは、桂沢ダムにおける湖内状況は、大規模洪水によって支配されているということである。

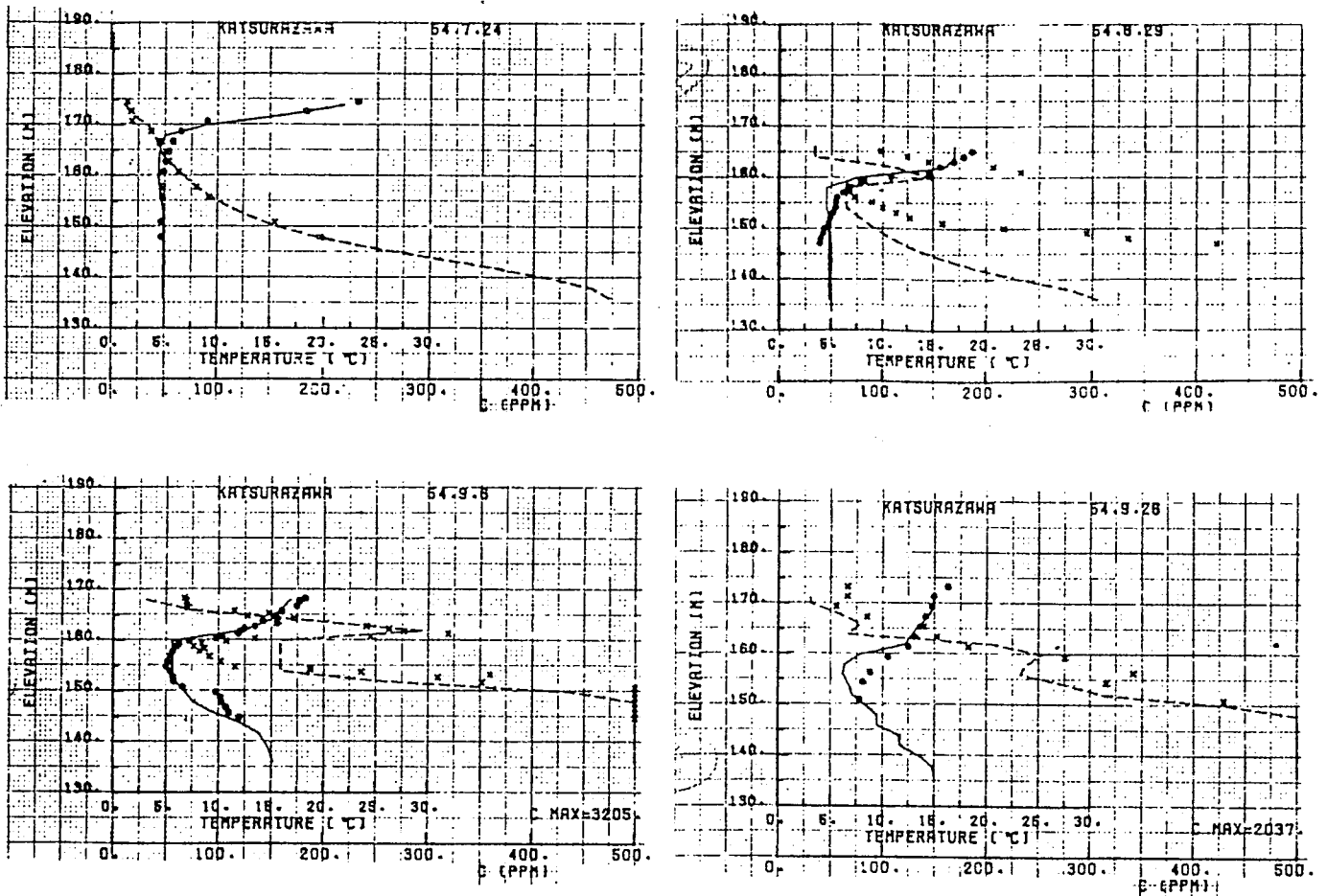


図-11

あ と が き

本調査で明らかになった点を要約すると次のようになる。

- 流域の地質は、大量にアンモナイト等を含む中生代白亜紀、新生代古第三紀の泥岩ないしは砂岩で構成されている。
- 流域の崩壊地及び河床の粒土鉱物は、緑泥岩、絹雲母、絹雲母－モンモリロナイト混合層鉱物である。
- 湖底試料から流域の土質が粘土鉱物でなく、石英、斜長石などの造岩鉱物に濁水を生じる可能性があること。
- 粒度分布から流域、底質とも1～3 μm 粒度が卓越していること。
- 平水時の河川による濁度が湖内の濁度を与える影響はなく、洪水時になると河川の濁度は高濁度となり、このダム特有の濁度支配の密度流ができ、中層流と底層流となって分岐し、湖内に流入している。
- 1次元モデルを用いた当ダム湖の濁水シミュレーションは、実測値と少々ずれがでたが、かなり適合性の良い結果を得た。これは濁水の挙動が、気温による表層水温の変化、洪水時の高濁度による密度流などに支配されるためと考えられる。

このような濁水の原因や挙動を考えると、今後の濁水対策については、濁度の大きい層から取水して、貯水池内の懸濁物質を減らす選択取水方式や、発生源を断つための流域の緑化や砂防などの保全などが考えられるが、そのような方法の有効性についても十分検討することが望ましいと思われる。

最後に、本報告文は、河川総合開発事業調査の内、ダム貯水池水質関連資料業務及び濁水調査で行なった調査内容の一部抜粋であることを付記する。したがって、詳細は報告書を参照されたい。

参 考 文 献

- 1) 「土木鉛直一次元モデルによる貯水池流動形態の解析プログラム」 電源開発株式会社 土木建設部、開発計算センター(1979年3月)
- 2) 安芸周一 「貯水池水質の挙動と予測」第10回ダム技術講演討論会テキスト(1978年3月)
- 3) 安芸周一、白砂孝夫 「貯水池流動形態のシミュレーション解析－その1発電専用貯水池の流動形態－」 発電水力№134(昭和50年1月)
- 4) 白砂孝夫、安芸周一 「貯水池の濁水現象とその水理的軽減対策」発電水力№126(昭和48年4月)
- 5) 宮永洋一、秋元保等 「貯水池流動形態のシミュレーション解析手法」電力中央研究所報告－研究報告378022、財団法人電力中央研究所土木技術研究所(昭和54年6月)
- 6) 石橋毅、秋元保等 「成層型貯水池内の流れと熱収支の現地観測」第21回水理講演会論文集(1977年2月)
- 7) 「水理公式集」土木学会編
- 8) 宮永洋一、石橋毅、斉藤茂 「貯水池流動形態に関する実験的研究(その2)濁質粒度が貯水池濁水現象に及ぼす影響について」電力中央研究所報告書－研究報告書380016、財団法人電力中央研究所土木技術研究所(昭和55年10月)