

貯水池の堆砂に関する研究

昭和 51 年 5 月

江 崎 一 博

目 次

第 1 章	緒 論	1
第 1 節	概 説	1
第 2 節	貯水池堆砂の現況	1
第 3 節	貯水池堆砂に関する諸問題	7
3-1	貯水容量減少にともなう機能障害	7
3-2	ダム付属構造物の機能障害	7
3-3	貯水池上流河道河床上界	7
第 4 節	貯水池堆砂に関する従来の研究	8
4-1	堆砂量に関する実証的研究	8
4-2	堆砂形状に関する実証的研究	8
4-3	モデル水路における実験的解析的研究	8
第 5 節	本研究の目的と内容	8
第 2 章	貯水池堆砂の実態に関する研究	10
第 1 節	概 説	10
第 2 節	全国主要貯水池の堆砂状況	10
第 3 節	比堆砂量の特性に関する考察	11
3-1	比堆砂量の地域別分布	11
3-2	比堆砂量の水系別分布	11
3-3	階段状貯水池群の比堆砂量	13
3-4	流域が隣接している貯水池の比堆砂量	13
第 4 節	堆砂形状の分類と考察	14
4-1	一般的考察	14
4-2	捕捉率が大きい貯水池の堆砂形状基本型	15
(1)	堆砂形状Ⅰ型の貯水池の特性	15
(2)	堆砂形状Ⅱ型の貯水池の特性	27
(3)	堆砂形状Ⅲ型の貯水池の特性	27
4-3	捕捉率が小さい貯水池の堆砂形状	27
第 5 節	堆砂粒度分布の考察	28
5-1	新郷貯水池	28
5-2	泰阜貯水池	28
5-3	美和貯水池	29
5-4	世木貯水池	30
5-5	横山貯水池	30
5-6	堆砂粒度分布の特性	30
第 6 節	結 語	35
第 3 章	堆砂量の予測に関する研究	37
第 1 節	概 説	37
第 2 節	土砂生産流出過程と堆砂量予測の基本的な考え方	37

2-1	雨水の侵食作用による生産土砂の流出過程	37
2-2	山腹崩壊による生産土砂の流出過程	37
2-3	堆砂量予測の基本的な考え方	38
第3節	流入土砂量と水理量および崩壊因子との関係	38
3-1	掃流砂量と水理量との関係	38
3-2	浮遊砂量と水理量および崩壊因子との関係	39
3-3	解析可能因子の選定	40
第4節	捕捉率	40
第5節	堆砂量予測式とその適合性の検討	42
5-1	解析対象貯水池の選定	42
5-2	解析対象貯水池の現況	42
5-3	流量資料の検討	44
5-4	流量、河床こう配と限界掃流力との関係の検討	45
5-5	浮遊土砂量と洪水量との関係の検討	48
5-6	水理、崩壊因子を用いた堆砂量予測式	49
5-7	堆砂量予測式の適合性の検討	62
5-8	堆砂量予測式適用上の問題点	65
第6節	結 語	66
第4章	堆砂形状の予測に関する研究	68
第1節	概 説	68
第2節	世木貯水池を対象とした既往予測法の検討	68
2-1	既往予測法の世木貯水池への適用	68
(1)	Area increment 法の適用	68
(2)	Empirical area reduction 法の適用	69
(3)	掃流砂による河床変動予測法の適用	70
第3節	堆砂形状予測に関する考察	71
3-1	堆砂形状基本型の予測	71
3-2	堆砂形状Ⅰ型の予測	71
(1)	実際貯水池における topset bed 形状の特性	72
(2)	実際貯水池における bottomset bed 形状の特性	74
(3)	堆砂形状Ⅰ型の予測に関する試案	74
第4節	結 語	75
第5章	結 論	76
参 考 文 献		79
付 表		85
付 図		108

第1章 緒 論

第1節 概 説

わが国には河川法第44条で規定されるダム、すなわち、河川の流水を貯留あるいは取水するため設置され、かつ基礎地盤から堤頂までの高さが15m以上のものが昭和50年現在約2600ある。¹⁾ただし、そのうち約6割は高さ30m未満の規模の小さいダムで、しかも、その大部分はかんがい用ため池である。一方、広い集水面積をもつ河川に設置された高さ50m以上の規模の大きいダムは主として昭和30年代以降に数多く建設され、昭和50年現在では工事中のものもふくめると約400にも達し、今後も水資源開発の有効な方策として全国各地に多数計画されている。これらの大ダム貯水池は、その規模の大ききのゆえに設置された河川の治水治水両面において果たす役割は非常に大きい。ところが、このような大ダムが設置されるとそれ以後その河川の河相に変化があらわれ、この変化は年月の経過とともに次第に顕著になってくる。この典型的な例がダム設置による土砂流送状況の変化に起因する河床変動であろう。すなわち、ダムの上流では貯水池に土砂礫が堆積することによって貯水池内、および上流河道の河床が上昇し、ダムの下流では土砂流送が遮断されるために河床は洗堀され低下する。とくに、貯水池に土砂が堆積すると貯水容量の減少にとともに各種用水補給や水力発電、洪水調節などの治水治水機能の低下をもたらし、また貯水池上流河道の河床が上昇すれば洪水時のはらんらん区域が増大し、いわば、ダム築造という人為的原因によるあらたな災害が発生する。このような貯水池の堆砂による機能障害、あるいは災害は今後ますます深刻な形で増加するものと考えられ、何らかの有効適切な流入土砂抑止対策、あるいは堆積土砂除去対策の早急な確立が強く要請されているところであるが、このような対策をたてるためにはまず何よりも貯水池堆砂の現状に関する調査によってえられる情報を解析しその特性を明らかにすることが必要であろう。

第2節 貯水池堆砂の現況

現在わが国では河川法第44条に規定されるダム貯水池の大部分は原則として毎年堆砂調査をおこなうことになっており、とくに、発電用貯水池の堆砂量は通産省公益事業部でまとめられて昭和28年以降発電水力誌に公表されている。通産省がまとめた昭和47年度貯水池土砂堆積状況表によると、²⁾ 全国発電用貯水池265ヶ所の総堆砂量は約6億5000万 m^3 に達している。これを貯水池の規模別にみると、総貯水量500万 m^3 以下の規模の小さい貯水池97ヶ所の堆砂量は、約7000万 m^3 で全国堆砂量の10%程度にすぎないのに対し、総貯水量1000万 m^3 以上の規模の大きい貯水池128ヶ所の堆砂量は約5億3000万 m^3 で全国の80%以上をしめている。ただし、通産省の資料はおもに電力会社が管理している貯水池に関するものであって、建設省、水資源開発公団、地方自治体が管理している多目的ダム貯水池の資料の大部分はふくまれていない。しかし、これらの多目的ダム貯水池は一般に規模が大きく、しかも河川の最上流に位置するものが多いので、その堆砂状況は土砂流送の実態をかなりよく反映しており、発電水力誌に公表されている資料だけでは全国の堆砂状況を知るには不充分と考えられたので、筆者はこれら多目的ダム貯水池の資料を直接各関係機関に依頼して蒐集した。表1-1は発電水力誌に公表された資料、および筆者が蒐集した資料をもとに作製した昭和47年度における全国主要貯水池の堆砂状況表で

表1.1 全国主要貯水池堆砂状況表 (昭和47年度)

地方	府県	貯水池	水系	河川	管理者	竣工年	経過年数	ダム高m	総貯水量10 ⁴ m ³	流量m ³ /日	位置	堆砂量10 ⁴ m ³	年平均堆砂量10 ⁴ m ³	比堆砂量m ³ /m ² /年	備考
北海道	北海道	新冠	新冠川	新冠川	北海道電力	S.38	9	61	667	180	A	43	5	265	○位置
		岩知志	砂流川	砂流川	。	S.33	14	33	514	567	C	319	23	402	A: 上流に高さ15m以上のダムがなく一応上流に位置する貯水池
		第3理堤	内川	内川	扶桑町農協	S.28	19	21	714	270	A	190	10	370	B: 上流に高さ15m以上のダムがある貯水池
		岩	内川	内川	日本電工	S.29	18	43	1538	140	A	53	3	199	C: 支川に高さ15m以上のダムがある貯水池
		大夕張	十勝川	十勝川	北海道電力	S.17	30	35	903	605	A	402	13	214	○堆砂量額の () 内の数字は昭和46年度堆砂量
		金山	夕張川	夕張川	電源開発	S.30	17	76	19330	388	A	548	32	883	
		桂沢	夕張川	夕張川	北海道庁	S.36	11	68	8730	433	A	382	36	823	
		鷹泊	。	。	。	S.42	5	60	15445	470	A	11	2	47	
		浦水沢	。	。	。	S.32	(14)	64	9270	151	A	(30)	(3)	(172)	
		静内川	。	。	。	S.28	19	35	2152	489	B	205			
青森	青森	静内川	静内川	静内川	北海道電力	S.28	19	16	625	2172	B	378			
		日尾	岩木川	岩木川	北海道電力	S.15	32	25	558	516	B	294			
		森吉	岩木川	岩木川	青森県	S.41	6	66	2380	864	A	546	91	1053	
		森吉	岩木川	岩木川	青森県	S.34	13	58	3880	172	A	107	8	478	
		森吉	岩木川	岩木川	秋田県	S.45	2	72	4250	100	A	10	5	500	
		森吉	岩木川	岩木川	。	S.28	19	62	3720	125	A	177	9	745	
		森吉	岩木川	岩木川	。	S.41	6	61	1500	87	A	24	4	460	
		森吉	岩木川	岩木川	。	S.32	15	59	5100	320	A	305	20	635	
		森吉	岩木川	岩木川	。	S.28	19	40	935	637	B	329			
		森吉	岩木川	岩木川	。	S.38	9	65	3160	172	A	77	9	497	
岩手	岩手	内十四田	北上川	北上川	建設省	S.42	5	50	4710	1196	C	638	128	1067	○四十四田貯水池では酸性水処理のため上流で清石灰を投入している。このため堆砂量が堆砂量にかなりよくまわっていると思われる。
		田瀬	。	。	。	S.29	18	82	14650	740	A	56	3	42	
		池田	。	。	。	S.39	8	90	11416	583	A	157	20	337	
		石瀬	。	。	。	S.28	19	53	1615	154	A	83	4	284	
		花山	。	。	。	S.32	15	48	3660	127	A	53	4	278	
		大倉	。	。	。	S.36	11	82	2840	89	A	38	3	388	
		釜房	。	。	。	S.44	(2)	46	4530	195	A	(76)	(38)	(1949)	○奥只見貯水池の比堆砂量 () 内の値は昭和38年度の年間堆砂量1017万tを換えた昭和38年より昭和47年までの期間の堆砂量136万tより求めたものである。
		高城	。	。	。	S.41	6	57	1905	68	A	12	2	294	
		木地山	。	。	。	S.35	12	46	820	63	A	27	2	357	○大鳥貯水池の比堆砂量は奥只見貯水池より下流の滝城川で求めた。
		上郷	。	。	。	S.37	10	24	740	1810	C	288			
福島	福島	龍沢	赤川	赤川	東北電力	S.30	17	64	4142	162	A	126	7	458	
		八久和	。	。	。	S.32	15	97	4693	148	A	224	15	1009	
		高桑	。	。	。	S.36	(10)	58	1270	410	A	(93)	(9)	(227)	○田子倉貯水池の比堆砂量は上流にある奥只見貯水池 (昭和38年度の堆砂量は約1.5倍) 大鳥貯水池の堆砂量を加えて求めた。
		奥只見	。	。	。	S.36	11	157	80100	481	C	1153	105	2179 (914)	
		大鳥	。	。	。	S.38	9	83	1580	543	B	5	1	(90)	
		田子倉	。	。	。	S.34	13	145	49400	702	B	110	8	(275)	○奥只見貯水池の比堆砂量は田子倉貯水池より下流の滝城川で求めた。
		滝	。	。	。	S.36	11	46	2700	1988	C	241	22	(170)	
		滝	。	。	。	S.36	11	46	2700	1988	C	241	22	(170)	
		滝	。	。	。	S.36	11	46	2700	1988	C	241	22	(170)	
		滝	。	。	。	S.36	11	46	2700	1988	C	241	22	(170)	

表1.1 全国主要貯水池堆砂状況表 (昭和47年度)

地方	府県	貯水池名	水系	河川	管理者	竣工年	経過年数	ダム高m	貯水量10 ⁴ m ³	流域面積km ²	位置	堆砂量10 ⁴ m ³	年平均堆砂量10 ⁴ m ³ /年	比堆砂量(195)	備考	
東北	福島	上田	阿賀野川	只見川	東北電力	S.29	18	52	2577	2142	B	258	258	(195)	○本名、上田、宮下、新坂、各貯水池の比堆砂量はそれぞれ上流にある貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
		宮上	〃	〃	〃	S.29	18	34	2150	2402	B	178	178	(215)		
		柳津	〃	〃	〃	S.21	26	52	2150	2480	B	468	468	(217)		
		新郷	阿賀野川	阿賀野川	〃	S.28	19	34	2431	2740	B	209	209	(228)		
北陸	新潟	上野原	〃	〃	〃	S.14	33	28	2272	5230	C	817	817	〃	○神津貯水池の比堆砂量は宮下貯水池より下流の流域面積で求めた。	
		鹿瀬	〃	〃	〃	S.33	14	90	1237	5820	B	201	201	〃		
		鹿瀬	〃	〃	〃	S.4	43	34	1807	6601	B	444	444	〃		
		岩船	〃	〃	〃	S.3	44	33	1646	6277	B	558	558	〃		
		黒川町1	右衛門川	黒又川	新潟水力電気	S.37	10	30	588	746	C	360	360	〃		
		黒川町2	〃	〃	〃	S.33	14	91	4285	246	B	231	231	〃		
		三浦	〃	〃	〃	S.39	8	83	6400	110	B	6	6	〃		
		三浦	〃	〃	〃	S.39	8	75	1540	70	A	74	74	1321		
		三浦	〃	〃	〃	S.37	20	80	4781	346	C	404	404	(913)		
		三浦	〃	〃	〃	S.31	16	40	1174	89	A	155	155	10		1088
富山	富山	黒部	黒部川	黒部川	関西電力	S.37	10	186	19830	184	A	1861	1861	186	10108	○三浦貯水池の比堆砂量は御田貯水池の堆砂量を加えて求めた。
		黒部	〃	〃	〃	S.39	8	64	545	45	A	158	158	20	4389	
		黒部	〃	〃	〃	S.36	11	82	1700	85	B	10	10	〃		
		黒部	〃	〃	〃	S.39	8	56	427	762	A	204	204	〃		
		黒部	〃	〃	〃	S.29	18	42	1135	1950	B	449	449	〃		
		黒部	〃	〃	〃	S.33	14	140	22340	51	A	60	60	4	840	
		黒部	〃	〃	〃	S.42	5	101	3140	46	A	93	93	19	4043	
		黒部	〃	〃	〃	S.5	42	76	4736	1140	B	724	724	(1142)		
		黒部	〃	〃	〃	S.5	42	70	3385	929	B	1386	1386	(1169)		
		黒部	〃	〃	〃	S.17	30	49	1112	814	B	867	867	(1155)		
石川	石川	小牧	庄川	庄川	〃	S.26	21	51	971	762	B	348	348	(1054)	○庄川水系の各貯水池の比堆砂量はそれぞれその貯水池より上流にある貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
		小牧	〃	〃	〃	S.28	19	67	2227	646	B	361	361	(1042)		
		小牧	〃	〃	〃	S.31	16	63	3354	580	B	738	738	(1032)		
		小牧	〃	〃	〃	S.36	11	141	36578	339	A	213	213	19		485
		小牧	〃	〃	〃	S.38	9	90	1420	47	A	52	52	6		1229
		小牧	〃	〃	〃	S.38	9	72	1430	78	A	33	33	5		813
		小牧	〃	〃	〃	S.14	4	76	2720	80	A	7	7	2		197
		小牧	〃	〃	〃	S.40	7	57	1010	86	A	40	40	6		664
		小牧	〃	〃	〃	S.12	40	128	4300	185	A	100	100	〃		
		小牧	〃	〃	〃	S.32	15	76	5340	71	A	129	129	9		1211
関東	栃木	五平	利根川	利根川	建設省	S.31	16	112	5900	271	A	118	118	7	272	〃
		五平	〃	〃	〃	S.38	9	177	8760	179	A	80	80	9	497	
		五平	〃	〃	〃	S.39	8	77	2631	194	A	18	18	2	46	
		五平	〃	〃	〃	S.40	7	131	2440	167	A	21	21	3	180	

表1-1 全国主要貯水池堆砂状況表 (昭和47年度)

地方	府県	貯水池	水系	河川	管理者	竣工年 年数	ダム 高m	貯水量 10 ⁴ m ³	流域 面積km ²	位置	堆砂量 10 ⁴ m ³	年平均 堆砂量(万) m ³	比堆砂量 m ³ /km ² 年	備考		
関東	群馬	横保	利根川	利根川	東京電力	S.30	72	2850	310	B	245	—	(505)	○横保貯水池の比堆砂量は矢沢貯水池の堆砂量を加えて求めた。		
		藤原	〃	〃	建設省	S.31	95	5249	401	B	(77)	—	(584)	○藤原貯水池の比堆砂量は横保貯水池より下流の流域面積で求めた。		
		相保	〃	〃	〃	S.33	14	67	2900	111	A	42	3	270		
		下久保	〃	〃	水資源公団	S.42	5	129	13000	328	A	40	8	244		
		久保	〃	〃	〃	S.35	12	95	2890	170	A	61	5	299		
	埼玉	小川内	荒川	多摩川	多摩川	東京電力	S.32	15	149	19810	263	A	130	9	330	○相模野貯水池の流域面積は山中湖、河口湖の流域面積を除いた値である。
		相模野	相模川	相模川	神奈川県	S.22	25	6320	8291	A	757	30	37	366		
		相模野	相模川	相模川	日本軽金属	S.41	6	81	1365	100	A	283	47	4717		
		相模野	相模川	相模川	〃	S.27	20	46	762	34	A	48	2	706		
		相模野	相模川	相模川	中部電力	S.36	11	125	10740	318	A	1592	145	4551		
東海	静岡	畑第1	大井川	大井川	〃	S.32	11	69	1140	368	B	291	26	(4651)	○大井川水系の貯水池の比堆砂量はそれぞれ上流にある貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
		畑第2	〃	〃	〃	S.32	15	100	15000	459	B	2752	183	(6732)		
		井川	〃	〃	〃	S.10	37	62	495	178	A	486	—	—		
		井川	〃	〃	〃	S.43	4	105	3000	54	A	149	37	6898		
		井川	〃	〃	電源開発	S.31	16	156	36985	(3303)	B	6396	400	(2175)		
	長野	佐久間	天竜川	天竜川	〃	S.33	14	84	3470	(3976)	B	1302	93	(1623)	○天竜川水系の貯水池の流域面積はすわ湖の流域面積を除いた値である。	
		秋葉	〃	〃	〃	S.26	21	58	4243	(3126)	B	3713	—	—		
		平野	〃	〃	中部電力	S.11	36	50	1076	(2456)	C	887	—	—		
		平野	〃	〃	〃	S.43	4	105	5800	288	A	464	116	4028		
		平野	〃	〃	建設省	S.32	15	69	2920	311	A	1094	73	2345		
岐阜	美和	小沢	〃	〃	〃	S.44	3	155	12300	381	A	510	170	4462	○佐久間貯水池の比堆砂量は昭和31年度以降の年間貯水池、養神貯水池の堆砂量、および小沢貯水池、美和貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
		美和	〃	〃	〃	S.43	4	83	1500	250	A	80	20	800		
		美和	〃	〃	長野県	S.18	29	85	6222	73	A	605	21	2858		
		美和	〃	〃	関西電力	T.14	48	53	2940	2083	B	2464	—	—		
		美和	〃	〃	〃	S.11	36	41	1412	230	B	660	—	—		
	岐阜	高根第1	〃	〃	建設省	S.44	3	133	7962	2409	B	2319	129	1840	○秋葉野貯水池の比堆砂量は佐久間貯水池より下流の流域面積で求めた。	
		高根第2	〃	〃	中部電力	S.44	3	133	4357	125	A	69	23	1840		
		朝日	〃	〃	〃	S.44	3	69	1193	173	B	114	—	(1237)		
		朝日	〃	〃	〃	S.29	18	84	251	225	B	318	—	455		
		朝日	〃	〃	〃	S.29	18	71	1758	98	A	72	4	—		
近畿	和歌山	横山	相模川	相模川	建設省	S.38	9	81	4300	471	A	909	101	(2184)	○横山貯水池の比堆砂量(1内の値は初年度(昭和39年度)堆砂量394万m ³ を除いて求めたものである。	
		矢作	〃	〃	〃	S.45	2	100	9000	505	A	190	95	1881		
		宮川	〃	〃	〃	S.31	16	97	7650	126	A	64	4	317		
		本原	〃	〃	〃	S.37	10	103	8700	97	A	80	8	825		
		池原	〃	〃	電源開発	S.39	8	110	3387	300	C	191	24	(1176)		
	奈良	七色	〃	〃	〃	S.40	7	69	6130	462	B	131	—	(1155)	○池原貯水池、七色貯水池の比堆砂量はそれぞれ上池にある貯水池の流域面積を除いた値で求めた。	
		七色	〃	〃	〃	S.40	7	69	6130	462	B	131	—	(1155)		
		七色	〃	〃	〃	S.32	(14)	74	2330	204	B	(173)	—	—		

表1-1 全国主要貯水池堆砂状況表 (昭和47年度)

地方	府県	貯水池	水系	河川	管理者	竣工年	経過	ダム	総貯水量	洗	位置	堆砂量	年平均	堆砂量	備考	
							年数	高m	10 ⁴ m ³	面積m ²		10 ⁴ m ³	堆砂量10 ⁴ m ³	比堆砂量 m ³ /m ²		
近畿	奈良	東	宇陀川	上津町	北条開発	S.35	12	24	13,72	76	B	755	46	(1,852)	○嵐内貯水池、○野野貯水池の比堆砂量はそれぞれ上流にある貯水池の流域面積を除いた値で求めた。	
																三津野
	和歌山	東	吉野川	吉野町	相模山泉	S.31	26	74	3,884	112	A	142	6	625		
																有田町
	和歌山	東	日置川	日置町	朝西電力	S.32	15	42	2,545	204	A	376	24	867		
																日置町
	京都	大	高田	本	本	水鏡舎田	S.11	23	67	7,890	615	C	(4)	(2)	(33)	○大瀬川貯水池の流域面積はびわ湖の流域面積を除いた値である。
	兵庫	東	大野	明	明	京都府	S.35	12	61	2,800	354	A	96	8	226	
中国	岡山	東	朝	朝	岡山県	S.30	17	74	9,690	255	A	31	2	78		
																朝
中国	本	高梁	高	高	中国電力	S.11	2	103	12,750	625	C	32	16	256		
																高
広島	東	上	大	大	広島市	S.9	38	54	3,110	124	A	16	0.4	34		
																大
広島	東	高	高	高	神野瀬町	S.29	27	61	3,966	157	A	58	2	137		
																高
山口	佐々	阿武	阿武	阿武	中国電力	S.31	13	67	2,910	91	A	50	4	423		
																阿武
鳥取	鳥取	鳥取	鳥取	鳥取	鳥取県	S.10	60	85	9,940	225	B	17	(2)	(277)		
																鳥取
鳥取	鳥取	鳥取	鳥取	鳥取	鳥取県	S.13	1	56	710	70	A	13	3	464		
																鳥取
四国	徳島	徳島	徳島	徳島	徳島県	S.30	17	87	5,428	404	B	513	30	(961)	○長安1貯水池の比堆砂量は上流にある小見野貯水池、および近江貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
																徳島
高知	高知	高知	高知	高知	四国電力	S.42	5	63	1,675	271	A	202	40	1491	○大瀬川貯水池の比堆砂量は上流にある長沢貯水池、大瀬川貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
																高知
高知	高知	高知	高知	高知	高知県	S.34	13	72	1,912	23	A	135	10	4,720	○大瀬川貯水池、六内川貯水池のそれぞれ初年度堆砂量(大瀬川貯水池49万m ³ 、六内川貯水池85万m ³)を除いた比堆砂量は1742、2051である。	
																高知
愛媛	愛媛	愛媛	愛媛	愛媛	愛媛県	S.30	17	87	5,650	295	A	818	48	1,631	○高梁川貯水池の比堆砂量()内の値は初年度堆砂量130万m ³ を除いて求めた値である。	
																愛媛
愛媛	愛媛	愛媛	愛媛	愛媛	愛媛県	S.19	28	46	1,930	386	C	320			○高梁川貯水池の比堆砂量は上流にある別子貯水池の堆砂量を加えて求めた。	
																愛媛
河	河	河	河	河	河	S.28	18	55	3,220	171	B	(180)	(10)	(598)		
																河

表1-1 全国主要貯水池堆砂状況表 (昭和47年度)

地方	府県	貯水池	水系	河川	管理者	竣工年	経過 年数	ダム 高さ m	貯水量 10 ³ m ³	流域 面積 km ²	位置	堆砂量 10 ³ m ³	年平均 堆砂量10 ³ m ³	比堆砂量 m ³ /km ² 年	備	考
九州	福岡	美野川	田川	田川	愛媛県	S.34	13	61	4820	456	A	151	12	255		
						S.35	12	80	2700	84	A	41	3	407		
	福岡	日向	大分川	大分川	福岡県	S.31	16	52	2750	118	A	27	2	143		
						S.37	10	82	4000	178	A	28	3	157		
	熊本	北川	五ヶ瀬川	緑川	建設省	S.45	2	77	4600	359	A	53	27	738		
						S.34	13	79	4020	158	A	95	7	463		
	宮崎	市所	上瀬川	耳川	熊本県	S.30	17	110	9150	211	A	1521	89	4240		
						S.13	34	80	3433	431	B	475	14	(1414)		
	鹿児島	薩摩	瀬川	小丸川	宮崎県	S.30	17	63	3000	81	A	502	30	3646		
						S.25	22	68	4868	384	C	435	20	(825)		
薩摩		立花	三ツ瀬川	三ツ瀬川	九州電力	S.37	10	71	1000	41	A	55	6	1341		
						S.38	9	130	26132	415	A	1081	120	2894		
薩摩		北川	大淀川	宮崎県	九州電力	S.34	13	75	2130	148	A	121	9	629		
						S.33	11	64	3800	87	A	73	5	599		
鹿児島		岩瀬川	大淀川	大淀川	九州電力	S.42	5	56	5200	364	A	21	4	119		
						S.35	12	45	850	941	A	301	25	267		
鹿児島		高田	高田	川内川	建設省	S.7	40	38	1247	1377	B	729				
						S.39	8	118	12300	845	A	334	42	519		

○岩瀬貯水池の比堆砂量は上流にある岩瀬川貯水池、上瀬川貯水池の堆砂量を加えて求めた。
 ○瀬川貯水池の()内の比堆砂量は昭和32年より昭和47年までの堆砂量117万m³について求めた値である。
 ○立花貯水池の比堆砂量は上記瀬川貯水池の堆砂量 117万m³を加えて求めた値である。
 ○岩瀬貯水池では昭和31年8月かきりの連続的貯水池周辺山地の地すべり崩落が発生した。

ある。この表には比較的規模の大きい貯水池170ヶ所の堆砂状況が示されているが、※印をつけたのが発電水力誌に公表されていない多目的ダム貯水池である。これらの未公表の貯水池40ヶ所の総堆砂量約6000万 m^3 をさきに述べた265ヶ所の貯水池の総堆砂量6億5000万 m^3 に加えると、これら305ヶ所の貯水池の総堆砂量は約7億1000万 m^3 となる。一方表1・1に示す170ヶ所の貯水池の堆砂量は約6億3000万 m^3 であって、これらの貯水池だけで全国の約90%をしめている。したがって、今後ますます深刻化するものと予想される堆砂に関連した諸問題は、おもにこのような規模の大きい貯水池において生ずるであろう。

第3節 貯水池堆砂に関する諸問題

さきにも述べたように貯水池に土砂が堆積すると種々の機能障害、災害が発生するが、以下これら堆砂に関するおもな問題を実例について述べる。

3-1 貯水容量の減少にともなう機能障害

貯水を目的とするダム貯水池では堆砂による貯水容量の減少は貯水池本来の機能を低下させる根本的な障害であるが、とくに最近わが国におけるダム建設の主流をなしている多目的ダム貯水池においては、治水機能の低下、すなわち、洪水調節容量の減少と関連して堆砂の初期の段階においても問題になる。現在わが国でこのような事態が発生しているのは天竜川水系美和ダムである。美和ダムは昭和48年までに総貯水量の約30%、有効貯水量の約20%が埋没し洪水調節機能に支障をきたすようになり、現在年間30万 m^3 ～40万 m^3 の堀削・浚渫をおこない有効貯水容量の回復をはかっている。

3-2 ダム付属構造物の機能障害

堆砂が進行しダム直上流における堆砂層厚が増大すれば取水口など付属構造物の機能にも障害があらわれてくる。

大井川水系千頭ダムでは昭和10年竣工後20年間で総貯水量の80%が埋没し当初満水面下36mに設置された取水口の使用に支障をきたす状態となり、昭和33年取水口の改良を実施している³⁾。

3-3 貯水池上流河道河床上昇

堆砂の進行とともに土砂礫の堆積区間が次第に上流へ遡行するいわゆる背砂現象にともない、貯水池終端より上流河道の河床が上昇して洪水時の浸水区域が増加するという災害が最近わが国でもかなり発生している。

天竜川水系泰阜貯水池の背砂に関連して生じた紛争は昭和36年国会でもとり上げられるほど深刻な問題であったが、田中⁴⁾によれば大淀川水系轟ダム、庄川水系小原ダムでも同様な紛争が生じており、これらを契機として以後各地のダム建設において問題となり計画面での大きな障壁となっている。

このほか貯水池堆砂に関連する問題としては、ダム下流への土砂流送が大部分抑止されることによる下流河道の河床低下、あるいは最近とくに大規模な貯水池においてみとめられる放流水の濁りの長期化現象などがある。

以上のような貯水池堆砂に関連した諸問題の解明は災害防止対策の面からみてもきわめて重要であるが、ダム計画の技術面からみても貯水池の耐用年数や容量配分計画の策定、ダム付属構造物の配置などの点から堆砂機構の究明が要請される。この点わが国はもとより国際的にも

国際大ダム会議や国際水文学会などの課題として取り上げられ土砂水文学の発展にともなって数多くの研究がなされ種々の特性が明らかにされてきている。

第4節 貯水池堆砂に関する従来研究

貯水池堆砂に関する従来研究は、堆砂量に関する実証的研究、堆砂形状に関する実証的研究、およびモデル水路における実験的解析的研究に大別されそれぞれかなりの成果がえられている。

4-1 堆砂量に関する実証的研究

この方面の従来研究はいずれも堆砂量に関する因子、すなわち流域面積、貯水量、地質因子（岩石分布率など）、地形因子（起伏量、高度、谷密度など）、気象因子（降水量など）、植生状況などのうちいくつかの因子に着目して multiple regression analysis などの統計的手法によって堆砂量との関係を求めている。

鶴見⁵⁾や吉良³⁾は流域面積貯水量比、あるいは流入水量貯水量比を堆砂量に関する因子としてとり上げ、相関を求めている。田中⁴⁾は貯水池を地質気象状況によって8ヶの群に分類し、それぞれの群について地形因子との相関を求めている。石外⁶⁾は貯水池を地質状況によって3ヶの群に分類しそれぞれの群について大雨時年降水量と起伏量との積の対数値と比堆砂量の対数値との間にかかなりの相関があることを示している。また渡辺⁷⁾は地形因子と堆砂量との間に指数関数的な関係を見出している。このほか米国では Witzig,⁸⁾ Anderson,⁹⁾ Flaxman¹⁰⁾ などの研究がある。

このように従来研究はおもに流域山地における土砂生産に関連する因子と堆砂量との関係を求めているのが大部分であって、生産された土砂が貯水池へ流送される過程において関連する河道水量と堆砂量との関係を土砂水文学的に検討したものはほとんど見当たらない。

4-2 堆砂形状に関する実証的研究

堆砂形状に関連する因子は堆砂量よりもさらに数多く取り扱いは一層むづかしいので、従来この方面の研究はあまりおこなわれていない。現在のところ、米国の Bureau of Reclamation よりごく実用的な予測法¹¹⁾が提案されているほか、浅田¹²⁾がおこなった流砂係数を用いたシミュレーション手法ぐらいである。

4-3 モデル水路における実験的解析的研究

この種の研究は従来かなりおこなわれているがそのほとんどが掃流砂による堆砂を対象としたものである。^{13)~20)}しかし最近芦田^{21), 22)}や椿、平野^{23), 24)}によって掃流砂のほか浮遊砂もふくまれている場合の堆砂機構もかなりあきらかにされてきている。

第5節 本研究の目的と内容

貯水池堆砂現象には、土砂の生産、運搬ならびに堆積という河川の土砂流送に関するすべての問題がふくまれ、数多くの因子が相互に複雑に関連しているのでモデル的に取り扱うことは非常にむづかしい。しかし堆砂に関する諸問題の重要性よりすれば何等かの究明が要請され、現段階ではまず何よりも堆砂の実態にもとづいて、各貯水池独自の特性を考慮しつつ土砂水文学に裏付けされた一般特性を追求することがきわめて重要である。

そこで、本研究はまず、第2章においてわが国の主要貯水池における堆砂状況に関する資料をもとに地域特性と一般特性について考察をおこなった。

ついで、第3章では、従来の堆砂量に関する研究においてほとんど考慮されていない土砂水理学的立場から堆砂量の特性的について考察をおこない、土砂生産、流送に関連する因子として崩壊地面積、河道水理量をとり上げ、堆砂量との関係について捕捉率の特性を考慮しつつ実証的な検討を加えて堆砂量予測法の開発を試みた。

第4章ではまず、従来のおもな予測法の実際貯水池への適用性について淀川水系世木貯水池を対象として検討をおこない、ついで捕捉率が高い貯水池における堆砂形状予測について考察を加え、実際貯水池においてみとめられる topset bed および bottomset bed それぞれの特性をもとに堆砂率が30%程度の段階までの堆砂形状のマクロ的な予測法を提案した。

第2章 貯水池堆砂の実態に関する研究

第1節 概 説

貯水池堆砂現象は非常に複雑であるから、その解明にはまず、実際貯水池における堆砂の実態をあきらかにすることが先決である。

そこで、本章ではわが国のおもな貯水池における堆砂の現況、とくに、堆砂量、堆砂形状、および堆砂粒度分布にみとめられる地域特性、あるいは一般特性について検討をおこなった。

第2節 全国主要貯水池の堆砂状況

表1・1には全国主要貯水池の堆砂状況を示す指標として総堆砂量のほかに年平均堆砂量、および比堆砂量を、上流に高さ15m以上のダムがなく一応最上流に位置すると考えられ、しかも貯水量が大きく流入土砂の大部分が堆積すると考えられる貯水池、および上流に大ダムが設置されていても残流域からの流入土砂が多くその大部分が堆積すると考えられる貯水池について求めてある。ただし上流に大ダムが設置されている場合の比堆砂量は、上流のダム貯水池の築造年度が下流の貯水池より新しい場合には上流の貯水池の堆砂量を下流の貯水池の堆砂量に加えて、また古い場合には上

流の貯水池の流域面積を除いた残流域についてそれぞれ比堆砂量を求めた。しかしこのような土砂捕捉率が大きいと考えられる貯水池においても、堆砂量には工事捨土など人為的原因によるものや池岸周辺山地が崩落堆積したものがふくまれている場合もあって必ずしも河川の流送土砂状況に対応しないのであるが、全国的な規模でマクロ的に比較検討する場合には比堆砂量などはやはり有力な指標であろう。

ここではまず表1・1において比堆砂量あるいは年平均堆砂量が異常に大きく堆砂の進行が急激で近い将来に機能障害が生ずるおそれがある貯水池についてその

表2.1 堆砂の進行がいちじるしい大貯水池

貯水池	河川	竣工年	総貯水量 10 ⁴ m ³	昭和47年度 総堆砂量 10 ⁴ m ³	年平均 堆砂量 10 ⁴ m ³	埋没 年数
雨畑	富士川	昭和41年	1,365	283	47	29 ^年
静内	静内川	41	2,980	546	91	33
秋葉	天竜川	33	3,470	1,302	93	37
四十四田	北上川	42	4,710	638	128	37
美和	天竜川	32	2,920	1,094	73	40
小見野々	那賀川	42	1,675	202	40	42
横山	揖斐川	38	4,300	909	101	43
小波	天竜川	43	5,800	464	116	50
丸山	木曾川	29	7,952	2,319	129	62
奈川渡	信濃川	44	12,300	510	170	72
畑籾第1	大井川	36	10,740	1,592	145	74
水窪	天竜川	43	3,000	149	37	81
井川	大井川	32	15,000	2,752	183	82
佐久間	天竜川	31	32,685	6,396	400	82
二川	有田川	42	3,010	166	33	91
二津野	熊野川	36	4,379	470	43	102
上椎葉	耳川	30	9,150	1,521	89	103
永瀬	物部川	30	5,050	818	48	105
黒部	黒部川	37	19,930	1,861	186	107
一ツ瀬	一ツ瀬川	38	26,132	1,081	120	218
風屋	熊野川	35	13,072	555	46	284
鶴田	川内川	39	12,300	334	42	293
奥只見	阿賀野川	36	60,100	1,153	105	572

共通特性、地域特性を検討してみる。

堆砂の進行状況は年平均堆砂率（年平均堆砂量／総貯水量）で示されるが、ここでは（総貯水量／年平均堆砂量）で与えられる一応貯水池が土砂で完全に埋没する年数についてこの値がほぼ100年以下であるような貯水池、および年平均堆砂量が40万 m^3 以上の値を示し流入土砂量がかなり多いと考えられる貯水池を表1・1でしらべると表2・1のようになる。

これによれば、天竜川水系の貯水池はいずれも寿命が非常に短かく何等かの対策が早急に要請される。このほか大井川、黒部川、木曾川、富士川など中部山岳地帯を流れる河川、あるいは上津川、有田川、那賀川、物部川、耳川、一ツ瀬川など地質構造上西南日本外帯に属する多雨地帯を流れる河川のように流域に破砕帯地すべりなどの荒廃地が多数存在する河川に設置された貯水池にはいずれも大量の土砂が流入している。

ただし北上川水系四十四田貯水池では酸性水処理のため上流で消石灰を投入しているのでこの沈澱堆積量がかかなりふくまれていると思われる。また奥只見貯水池では昭和38年に年間堆砂量1017万 m^3 という天竜川水系佐久間貯水池の昭和36年度年間堆砂量1361万 m^3 につぐ莫大な値を示しているが、昭和39年以降の年平均堆砂量は15万 m^3 程度にすぎない。これら二つの貯水池では流域の荒廃状況、洪水状況などに格段の相異があることを考慮すれば、昭和38年の奥只見貯水池の堆砂量には多分に人為的な原因によるものがふくまれていると考えられる。

表2・2は表1・1の一部の貯水池について、流域の荒廃状況を示す指標である崩壊地数および面積を2.5万分1地形図により求めた結果を示したものである。現在2.5万分1地形図は中部山岳地帯などに未刊の地域があり表1・1の貯水池全部についてしらべられなかったが、この表と表1・1あるいは表2・1の堆砂状況とを比較すれば崩壊地数と堆砂状況との間にかかなりの相関があるのが認められよう。しかし中には利根川水系川俣貯水池や岩木川水系目屋貯水池のように流域に多数崩壊地が存在するにもかかわらず現在のところ堆砂はさほどいちじるしくない貯水池もある。これはおもに洪水の規模頻度で代表される河道の土砂流送状況の相異によるものであろう。

第3節 比堆砂量に関する考察

このような検討はすでに浅田²⁵や芦田²⁶吉良²⁷などによってもおこなわれているがここでは表1・1に示した未公表の多目的貯水池40ヶ所の資料を追加して考察をおこなった。

3-1 比堆砂量の地域別分布

表1・1の比堆砂量を地方別にまとめると表2・3のようになる。

これによれば急峻な高山地帯をもつ中部地方の貯水池の比堆砂量が最も大きく、逆に起伏の少ないゆるやかな隆起準平原が広く発達し小規模な盆地が多い中部地方の貯水池の比堆砂量が最小であるが、このことは従来すでに認められている傾向である。

3-2 比堆砂量の水系別分布

表1・1で貯水池が多数設置されている水系について比堆砂量、および総堆砂量をしらべると表2・4のようになる。ただし、木曾川、耳川のように多数貯水池が設置されていても小規模な貯水池がかなり存在する水系は除いた。

わが国のように地形・地質・気象・植生などが小地域でも複雑に変化する場合には、同一水

表2.2 流域内崩壊地および地質状況

貯水池	崩壊地 個所数	崩壊地面積 A _d km ²	流域面積 A km ²	$\frac{A_d}{A}$	流域地質	備考
目屋	211	1.31	172	$\times 10^{-2}$ 0.76	新第三紀層	○ △印のついた貯水池は一部 5万分1地形図使用
素波里	162	0.56	100	0.56	新第三紀層	
鏡畑	62	0.23	320	0.07	安山岩, 新第三紀層	○ ○印のついた貯水池は 5万分1地形図使用
萩田	20	0.03	87	0.03	花崗岩, 安山岩	
萩田	17	0.08	740	0.01	花崗岩, 古生層	○ 流域地質はつぎの資料によ り、おもな岩石名を示した。 (単一岩石で流域の約80% 以上を占める場合はその岩 石名だけを示した) ・通産省地質調査所 5万分1, 20万分1 50万分1 地質図
湯田△	151	1.49	583	0.26	新第三紀層, 安山岩	
石湖	21	0.19	154	0.12	新第三紀層, 安山岩	○ 内外地図K.K. 20万分1, 30万分1 分県地質図
花山	5	0.04	127	0.03	新第三紀層, 安山岩	
鳴子	78	0.68	210	0.32	新第三紀層, 安山岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
皆瀬	81	0.69	172	0.40	新第三紀層, 安山岩	
大荒	14	0.04	89	0.04	安山岩, 新第三紀層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
沢倉	4	0.04	162	0.03	花崗岩, 安山岩, 片麻岩	
笠堀	16	0.04	70	0.06	新第三紀層, 流紋岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
五十里	65	0.16	271	0.06	流紋岩, 新第三紀層, 古生層	
川俣	453	2.37	179	1.32	流紋岩, 古生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
相木	165	0.61	167	0.37	花崗岩, 中生層	
相沢	13	0.09	111	0.08	流紋岩, 閃緑岩, 安山岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
蘭原	185	0.71	494	0.14	流紋岩, 安山岩	
二瀬	66	0.24	170	0.14	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
下久保△	1	0.003	328	0.001	古生層	
小河内	31	0.10	263	0.04	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
相模	202	0.57	828	0.07	古生層, 新第三紀層	
雨畑	143	0.58	100	0.58	中生層, 古第三紀層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
畑第1	772	4.01	318	1.26	中生層	
窪	87	0.41	54	0.76	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
小波	484	1.99	288	0.69	花崗岩, 結晶片岩, 古生層, 中生層	
美和△	128	1.06	311	0.34	古生層, 中生層, 結晶片岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
裾花△	105	0.27	250	0.11	新第三紀層	
黒部△	122	1.40	184	0.76	花崗岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
室牧	31	0.05	85	0.06	片麻岩, 安山岩	
上市川	20	0.10	45	0.22	花崗岩, 中生層, 安山岩,	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
御母衣	67	0.20	399	0.05	流紋岩, 安山岩, 花崗岩	
笹生	112	0.20	71	0.28	古生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
刀利	19	0.16	46	0.35	安山岩 流紋岩	
厚川	58	0.31	58	0.53	安山岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
山川	393	1.11	471	0.24	古生層	
宮川	23	0.12	126	0.10	古生層, 中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
風屋	235	1.46	(342)	0.43	中生層	
二川	142	1.06	229	0.46	古生層, 中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
七川	9	0.03	102	0.03	古第三紀層	
殿山	103	0.17	294	0.06	古第三紀層, 中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
大野	19	0.03	354	0.01	古生層	
引原	0	0	48	0	安山岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
湯原	0	0	255	0	花崗岩, 玢岩, 火山灰	
河本	0	0	225	0	石英斑岩, 花崗岩, 結晶片岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
佐波川	0	0	88	0	石英斑岩	
木屋川	0	0	84	0	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
小見野々	76	0.34	271	0.12	古生層, 中生層	
永瀬	57	0.47	295	0.16	古生層, 中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
鹿野川	9	0.04	456	0.01	古生層, 中生層	
日向	24	0.05	84	0.06	安山岩, 結晶片岩,	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
上神	47	0.16	210	0.08	中生層, 古生層	
市葉	29	0.15	158	0.10	中生層, 花崗岩	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
渡川	44	0.18	81	0.22	中生層	
一ツ瀬	132	0.53	415	0.13	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
立花	6	0.03	41	0.07	中生層	
綾北	31	0.05	148	0.03	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
綾南	17	0.03	87	0.03	中生層	
岩瀬	13	0.02	354	0.01	中生層	○ 風屋貯水池の流域面積は上 流の猿谷貯水池の流域面積 を除いた値である
岩鶴田	133	0.41	805	0.05	安山岩, 火山灰, 中生層	

表2.3 地方別比堆砂量

地 方	貯水池数	比 堆 砂 量 (m ³ /km ² ·year)		
		平均値	最大値	最小値
北海道	10	443	1,053	47
東 北	28	452	1,949	42
北 陸	19	1,784	10,108	197
関 東	13	692	4,717	46
東 海	16	2,994	6,898	455
近 畿	13	780	1,676	33
中 国	15	201	604	34
四 国	13	1,148	2,494	99
九 州	16	979	4,240	119

表2.5 階段状貯水池群の比堆砂量

水 系	河 川	貯 水 池	比堆砂量 (m ³ /km ² ·year)
阿賀野川	只 見 川	奥 只 見	314
		大 鳥	90
		田 子 倉	275
		滝	170
		本 名	195
		上 田	215
		宮 下	217
庄 川	庄 川	柳 津	289
		小 牧	1,142
		祖 山	1,169
		小 原	1,155
		成 出	1,054
		椿 原	1,042
		鳩 ケ 谷	1,032
利 根 川	利 根 川	御 母 衣	485
		矢 木 沢	180
		檜 俣 原	505
大 井 川	大 井 川	藤 原	564
		畑 薙 第 1	4,551
		畑 薙 第 2	4,651
天 竜 川	天 竜 川	井 川	6,732
		佐 久 間	2,175
木 曾 川	飛 弾 川	秋 葉	1,623
		高 根 第 1	1,700
熊 野 川	北 山 川	高 根 第 2	1,445
		朝 日	952
		池 原 色	1,176
熊 野 川	十 津 川	七 色	1,155
		風 屋	1,352
那 賀 川	那 賀 川	二 津 野	1,676
		小 見 野 々	1,491
		長 安 口	961

表2.4 水系別比堆砂量

水 系	貯水池 数	総堆砂量 10 ⁴ m ³	比 堆 砂 量 (m ³ /km ² ·year)		
			平均値	最大値	最小値
石狩川	6	1,319	347	823	47
北上川	6	1,229	463 (342)	1,067	42
阿賀野川	10	3,640	210	314	90
利根川	8	641	322	564	46
大井川	4	5,121	5,311	6,732	4,551
天竜川	7	14,005	3,414	6,898	1,623
庄 川	8	5,329	1,039	1,229	485
熊野川	6	1,600	1,237	1,676	825
吉野川	6	1,271	1,452	2,494	197
大淀川	5	1,245	404	629	119

註：北上川水系比堆砂量平均値()内の値は、四十四田貯水池の比堆砂量1,067m³/km²/yearを除いたものである。

系でも河川によって堆砂状況にはかなりの相異が認められるので表2.4の値はごく概略的な傾向を示すにすぎないのであるが、一応東北日本の河川にくらべて西南日本の河川の方が一般に流送土砂量が多いという傾向がみとめられる。

3-3 階段状貯水池群の比堆砂量

表2.5は同一水系同一河川に階段状に設置された貯水池の比堆砂量である。

これによれば、いずれの河川でも比堆砂量はほぼ同じ order となっておりこのような規模の大きい貯水池群では比堆砂量がかなりよくその河川の土砂流送状況を示すものと考えられる。ただ庄川水系御母衣貯水池の比堆砂量が少いのは、庄川の土砂供給源がおもに白山山地より御母衣ダム下流で本川に流入する左支川にあることによるものと思われる。²⁸⁾

3-4 流域が隣接している貯水池の比堆砂量

註：飛弾川の貯水池群については昭和48年度の堆砂量を用い、高根第2貯水池の昭和45年度の堆砂量90万m³を除いてある。

従来、計画においては近傍の貯水池の堆砂実績をもとに比堆砂量を推定することがよくおこなわれているが、実際には表2.6に示すように規模の大きい貯水池でも河川独自の状況の影響をうけて全く異なったorderになる場合もある。すなわち、地形・地質・気象・植生などの河川の地域性と河道形状、人為作用などの河川の個別性ととの堆砂状況への影響度において、地域性が卓越すればほぼ似た状況を示し、個別性の影響が強ければ異なった状況になると考えられる。したがって、計画においてはそれぞれの貯水池が設置されている河川の個別性に充分留意して地域性などの共通特性の検討をおこなうべきであろう。

表2.6 流域が隣接している貯水池の比堆砂量 (m³/km²・year)

貯水池	比堆砂量	貯水池	比堆砂量	貯水池	比堆砂量	貯水池	比堆砂量
目屋	478	二瀬	299	宮川	317	奈川渡	4,462
素波里	500	小河内	330	坂本	825	高根第1	1,840
湯田	337	相模	366	小兒野々	1,491	秋神	455
石淵	284	雨畑	4,715	永瀬	1,631	三浦	2,858
花山	278	畑薙第1	4,551	上椎葉	4,240	七川	625
鳴子	768	小洪	4,028	市房	463	殿山	807
皆瀬	497	美和	2,345	一ツ瀬	2,894	高暮	137
荒沢	458	犀川	813	立花	1,341	来島	49
八久和	1,008	刀利	4,043	綾北	629	長安口	961
三面	913	笹生川	1,211	綾南	599	小兒野々	1,491
猿田	1,088	横山	1,367	岩瀬	119	魚梁瀬	983
五十里	272	二川	1,450	鶴田	519	奥只見	314
川俣	497	風屋	1,352	桂沢	172	矢木沢	180
藪原	46	二津野	1,676	大夕張	823		

第4節 堆砂形状の分類と考察

4-1 一般的考察

貯水池に流入する土砂がどのように分布して堆積するかといういわゆる堆砂形状の問題は、貯水池容量配分計画に関連して非常に重要である。

従来の実測結果によると掃流砂、浮遊砂がともに相当量流入する規模の大きい貯水池における堆砂形状は一般に図2.1.1のようになる。すなわち掃流砂はまず貯水池終端付近に堆積し次第に明瞭な段丘(delta)(図2.1.1の foreset bed, topset bedの区域)を形成しつつ漸次浮遊砂の堆積区域である bottomset bedの上を下流へ移動するとともに、topset bedの区域は次第に上流へ遡行していわゆる背砂現象が認められるようになる。一方 wash load をふくむ浮遊砂は貯水池形状、水理因子などの影響をうけて貯水池内を拡散浮遊するかあるいは密度流を形成して貯水池底層部をダムまで進行し、一般に貯水池全域にわたり一様に沈澱堆積してほぼ旧河床に平行な bottomset bed,あるいは density current bedを形成する。

しかし、このような状況を示すのは掃流砂・浮遊砂がともに相当量流入する場合であって、

実際の貯水池に流入する土砂の粒度組成は、流域における生産状況、河道における流送状況などに影響されて掃流砂・浮遊砂のいずれか一方の流入のみが卓越する場合も考えられ、このような場合には堆砂形状は図2・1・2、あるいは図2・1・3のようになるであろう。したがって堆砂形状は流入する土砂の粒度組成に対応して図2・1のような三つの基本型に分類される。（以下図2・1・1, 2・1・2, 2・1・3の形状をそれぞれⅠ型、Ⅱ型、Ⅲ型とする）

このように流入土砂の粒度組成が堆砂形状に影響する因子の中でもとくに大きなウエイトを占めるのであるが、このほか堆砂形状を規定する重要な因子としては貯水位、貯水池形状がある。

すなわち貯水位の変動が大きい場合には、掃流砂が相当量流入していても図2・1・1のようなdeltaが形成されず図2・1・2のⅡ型の形状と大差ない形状を示す場合もある。

また浮遊砂が大量に流入しても、貯水池が自然湖のように流入河道にくらべてきわめて巾が広い形状であって浮遊砂が拡散して湖底に一樣に沈澱堆積すれば bottomset bed や density current bed の層が薄くほとんど認められない場合もある。

ただし以上述べたことは流入土砂の大部分が堆積する規模の大きい貯水池に関することであって、捕捉率が小さい貯水池、すなわち流入水量の規模にくらべて貯水池の容量が小さく、貯水池内の水の流動が激しい貯水池においては、delta は形成され難く一般に図2・1・1のような掃流砂堆積層、浮遊砂堆積層の区分が明瞭でない。したがって流入水量と貯水容量との比率、あるいは捕捉率もまた堆砂形状に影響する因子であって、以下このような捕捉率が小さい貯水池における堆砂形状をⅣ型とする。

以上、堆砂形状に影響するおもな因子として流入土砂の粒度組成、貯水位、貯水池形状、および捕捉率について述べたが、このほかにも貯水池に流入する支川の影響なども考えられ、実際の貯水池における堆砂形状はこれらの因子の複雑な影響をうけて千差万別の状況を呈する。しかし単に形状のみに着目すれば上に述べた四つの型に対応づけることは比較的容易なので、ここでは、貯水池における堆砂形状をこれらの型に分類し、形状に関連する因子に関する情報がえられた貯水池については、これらの因子との関連性について検討を加え共通特性を見出すことを試みた。図2・2～図2・51はおもな貯水池50ヶ所における堆砂形状であるが以下これらを四つの型に対応させて検討してみる。

4-2 捕捉率が大きい貯水池の堆砂形状基本型

(1) 堆砂形状Ⅰ型の貯水池の特性

図2・2～図2・28に示す27ヶ所の貯水池における堆砂形状は一応図2・1・1のⅠ型に対応するものである。これらのうち図2・2～図2・21の貯水池はいずれも現在最上流に位置する貯水池（ただし、図2・18～図2・21の貯水池では終端付近に小規模なせき、砂防ダムがある）であり、図2・22の佐久間貯水池は直上流に平岡貯水池があるが、すでに満砂状態であって、図2・23、図2・24の貯水池と同様に支川に大貯水池が設置されているが本川からの流入土砂量が多い状況になっている。図2・25～図2・28はいずれも現在は上流に大貯水池があるが竣工後数年間は最上流に位置した貯水池である。

これらの貯水池の大部分は流域に崩壊地がかなり存在しており（表2・2参照）河床こう配は急であり洪水の発生頻度も高い。したがって流域において土砂生産が活発におこなわれ、しかも

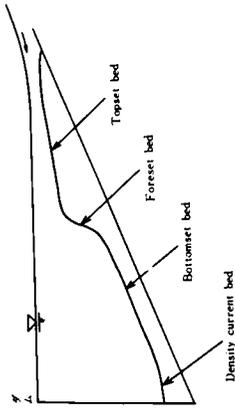


圖 2-1-1 堆砂形狀 I 型

圖 2-1 貯水池堆砂形狀基本型

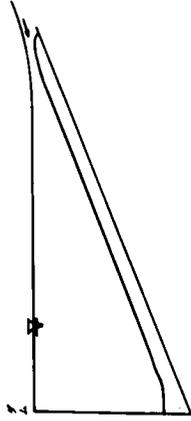


圖 2-1-2 堆砂形狀 II 型

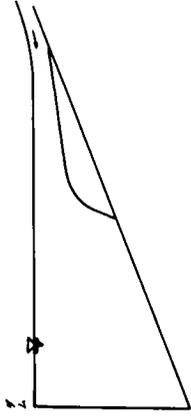


圖 2-1-3 堆砂形狀 III 型

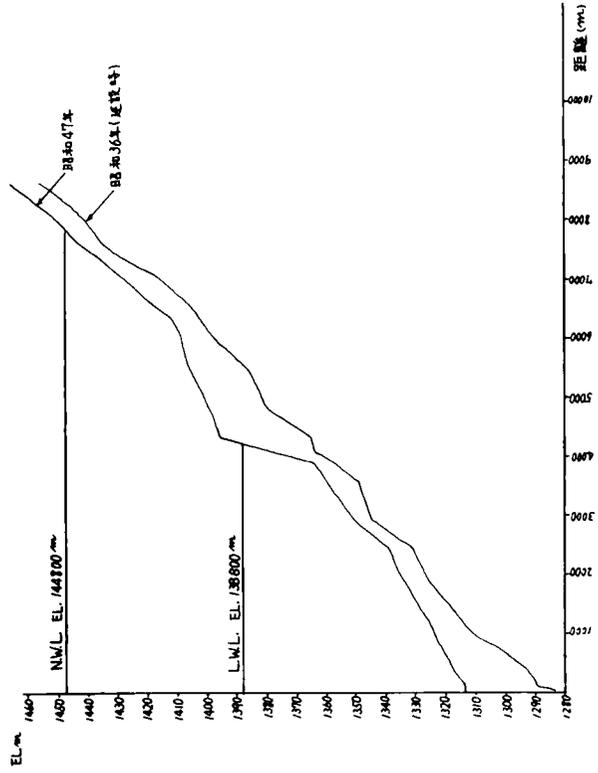


圖 2-2 黑部貯水池縱斷圖

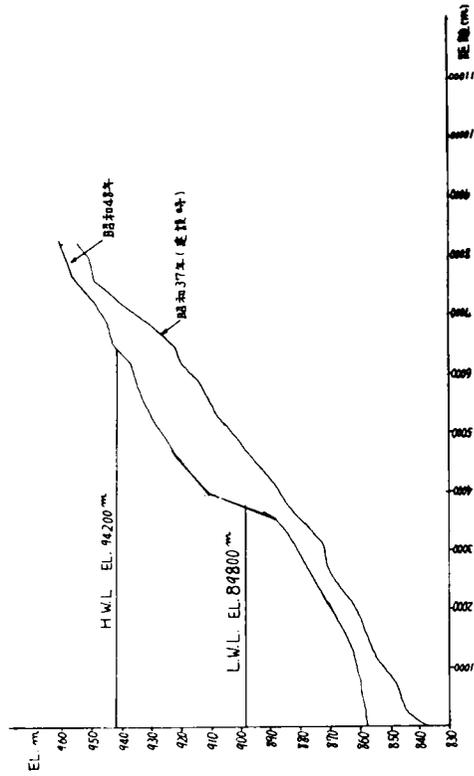


圖 2-3 烟蘆第 1 貯水池縱斷圖

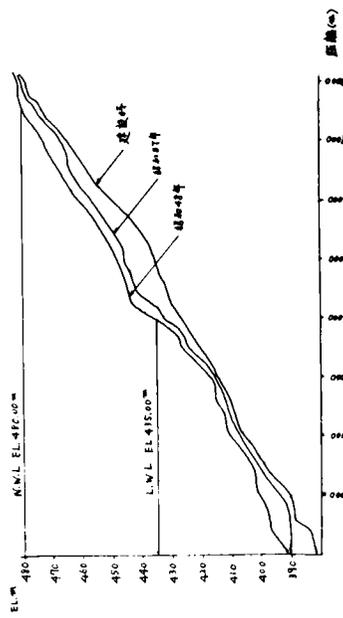


図2.4 上椎葉貯水池縦断面図 (耳川)

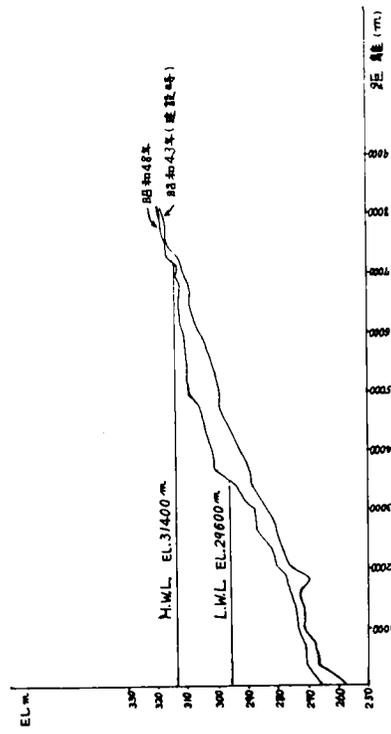


図2.6 小見野々貯水池縦断面図

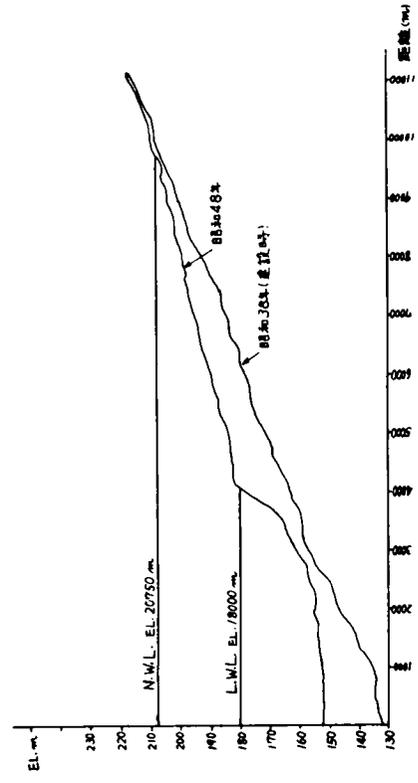


図2.5 横山貯水池縦断面図

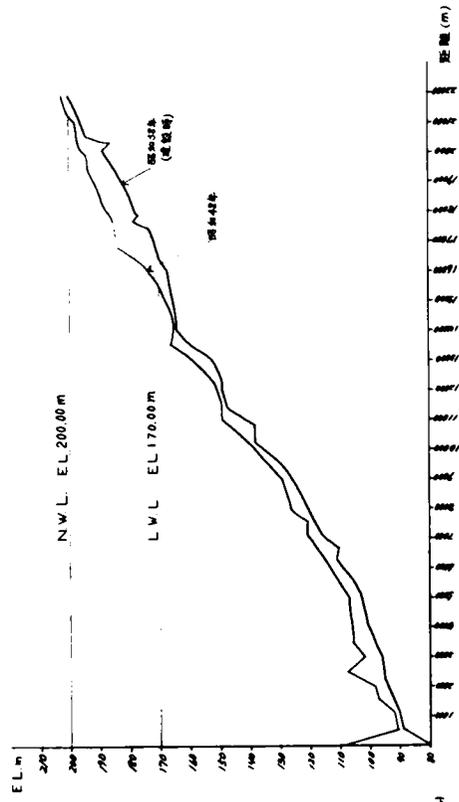


図2.7 一ツ瀬貯水池縦断面図

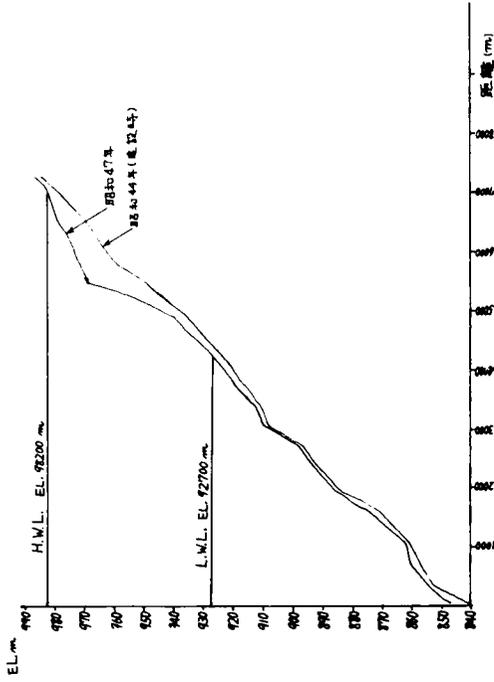


図2-12 奈川瀨貯水池縦断面図 (梓川)

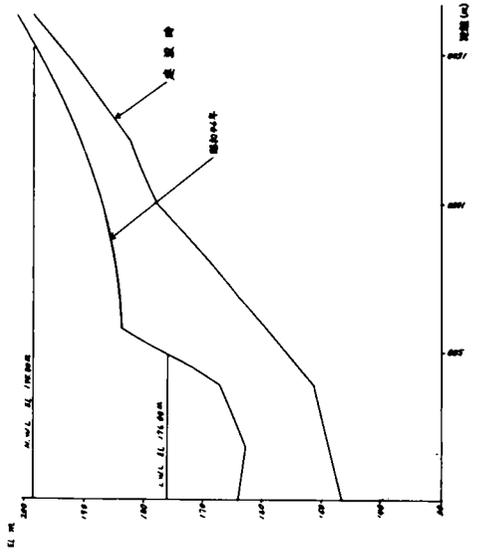


図2-11 上市川貯水池縦断面図

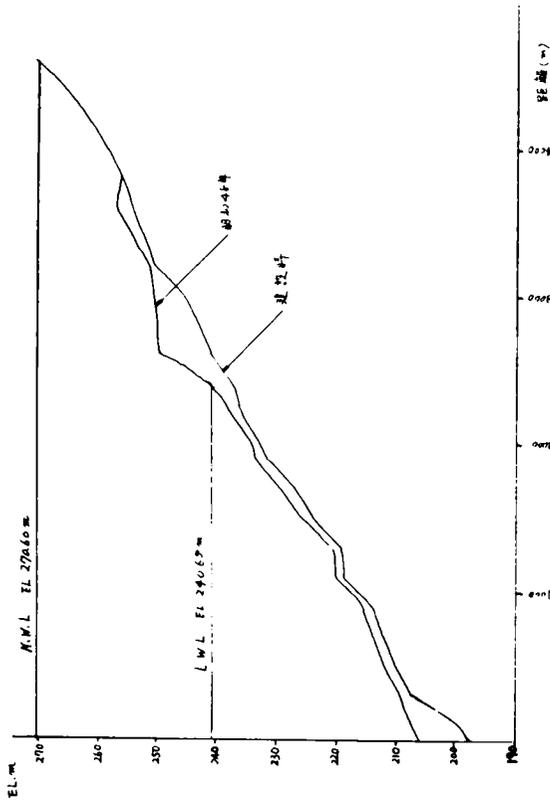


図2-8 大倉貯水池縦断面図

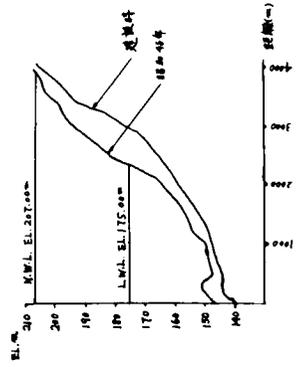


図2-10 笠畑貯水池縦断面図

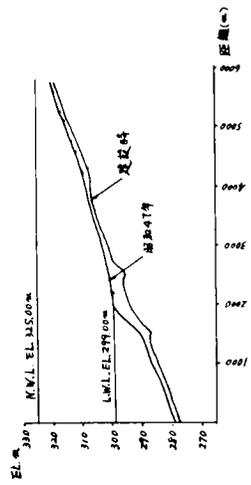


図2-9 笠畑貯水池縦断面図

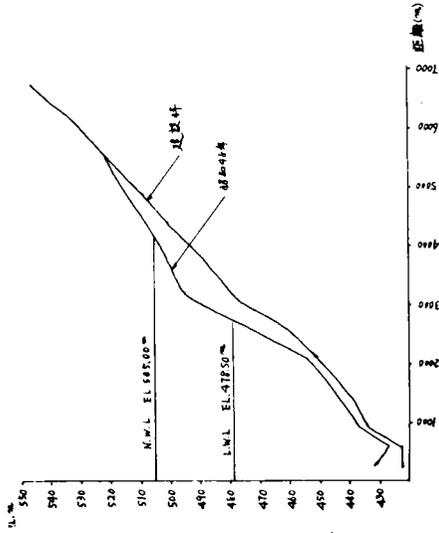


図2-13 水窪貯水池縦断面図

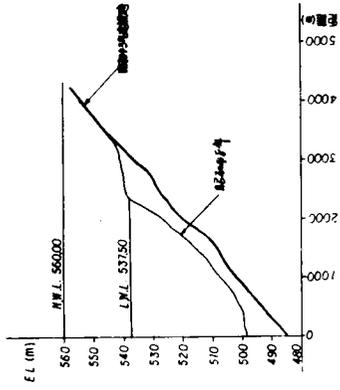


図2-15 梶花貯水池縦断面図

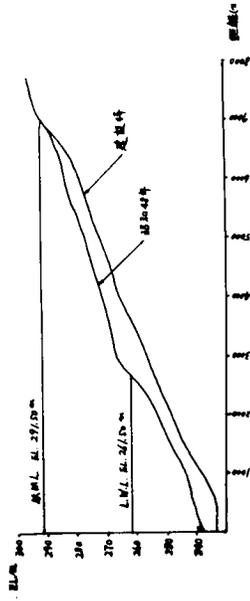


図2-17 横北貯水池縦断面図

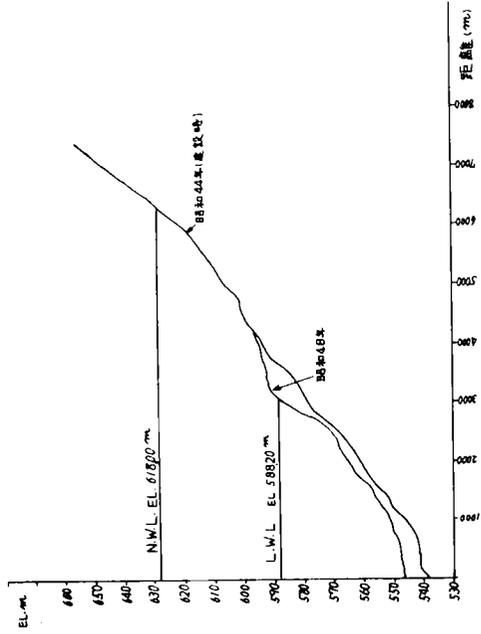


図2-14 小流貯水池縦断面図

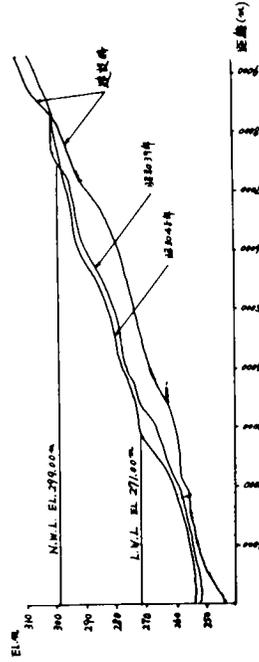


図2-16 渡川貯水池縦断面図

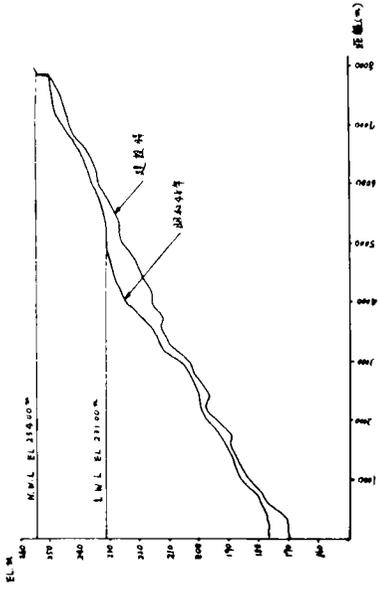


図2-20 鳴子貯水池縦断面図

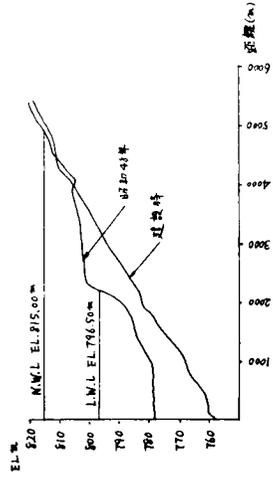


図2-21 美和貯水池縦断面図

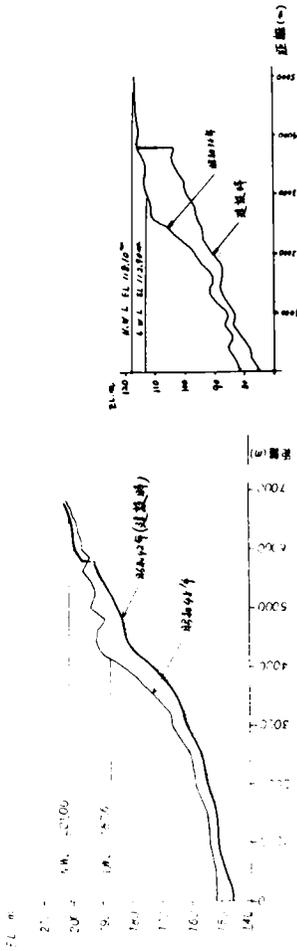


図2-19 大淀川第1貯水池縦断面図

図2-18 二川貯水池縦断面図

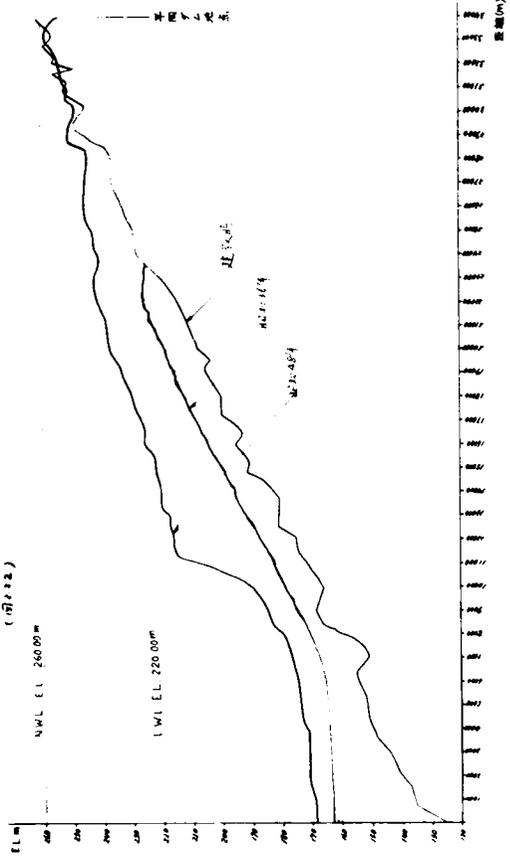


図2-22 佐久間貯水池縦断面図

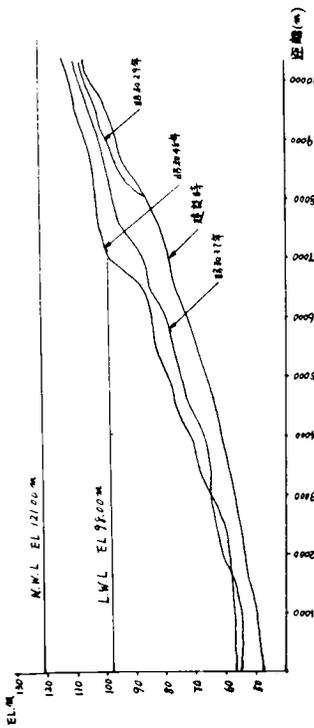


図2-23 三面貯水池縦断面図

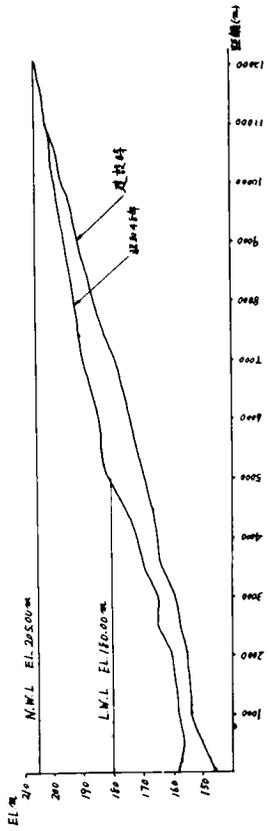


図2-24 松尾貯水池縦断面図

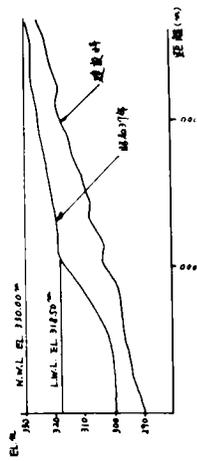


図2-25 菅野貯水池縦断面図

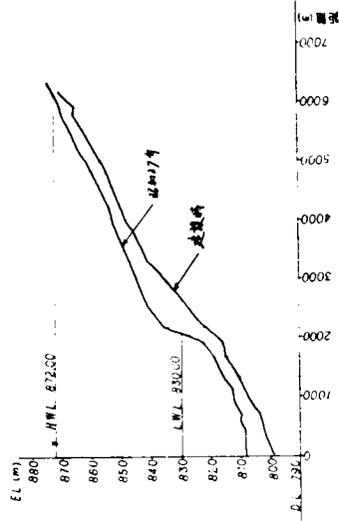


図2-26 朝日貯水池縦断面図

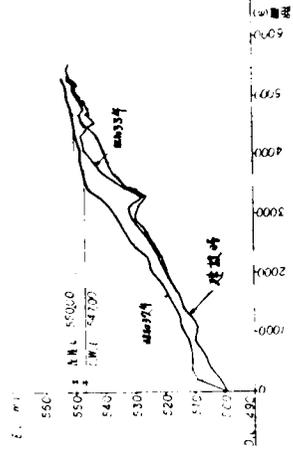


図2-27 鳩谷貯水池縦断面図

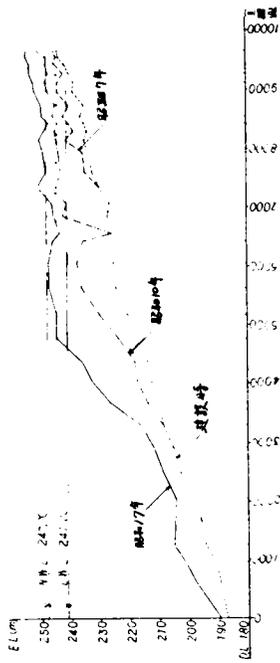


图 2-28 租山貯水池縦断面図

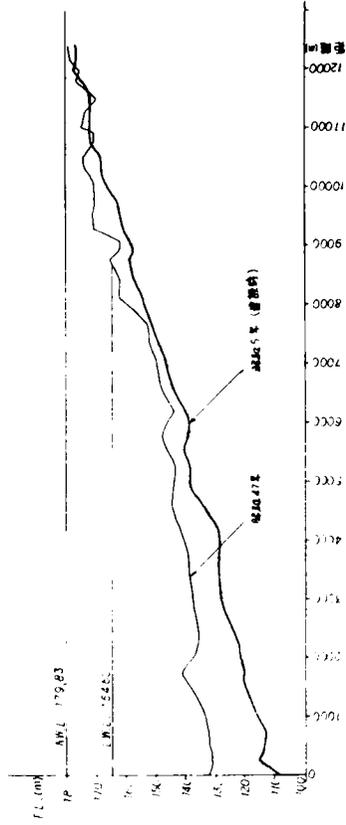


图 2-30 小牧貯水池縦断面図

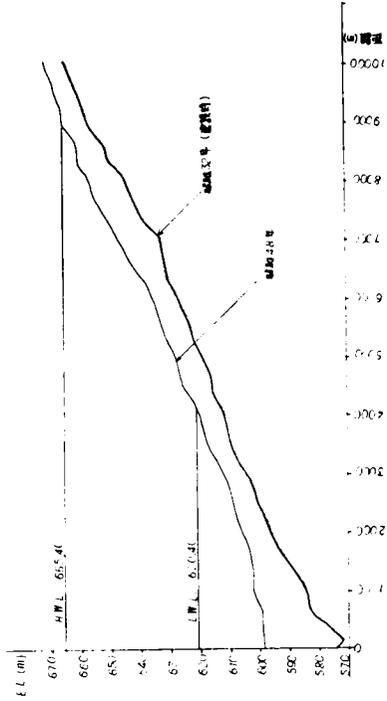


图 2-29 井川貯水池縦断面図

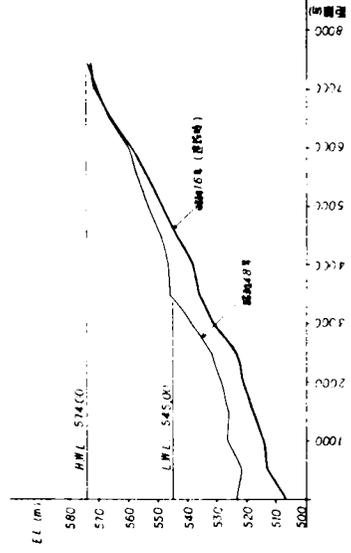


图 2-31 大橋貯水池縦断面図

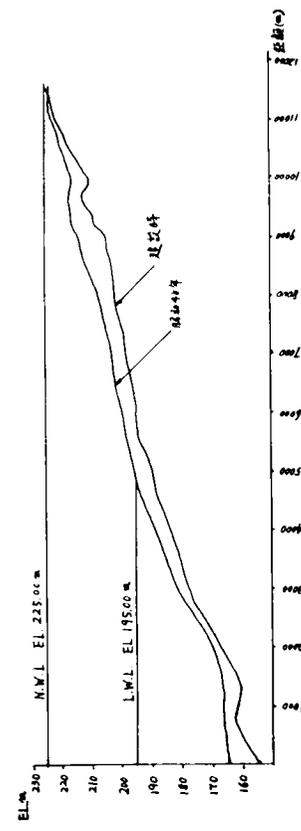


図2.32 長安口貯水池縦断面図

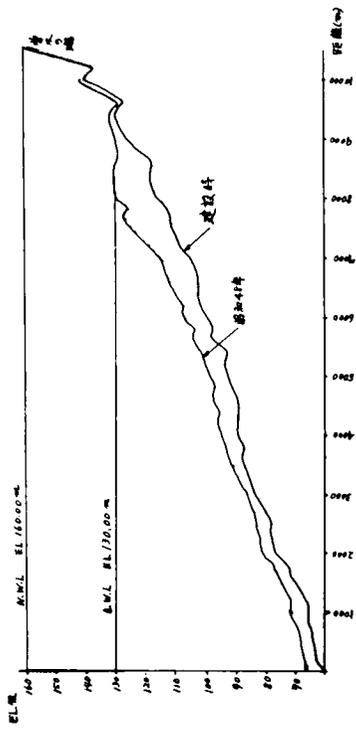


図2.34 鶴田貯水池縦断面図

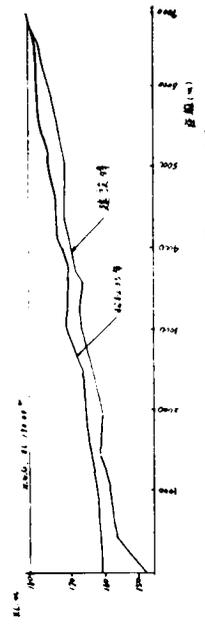


図2.33 夏瀬貯水池縦断面図 (石外による)

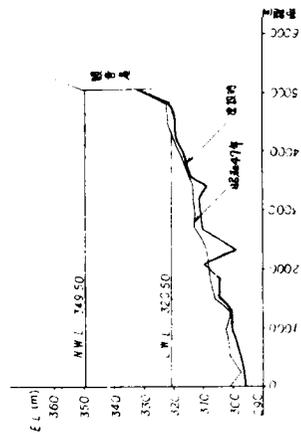


図2.35 稜南貯水池縦断面図

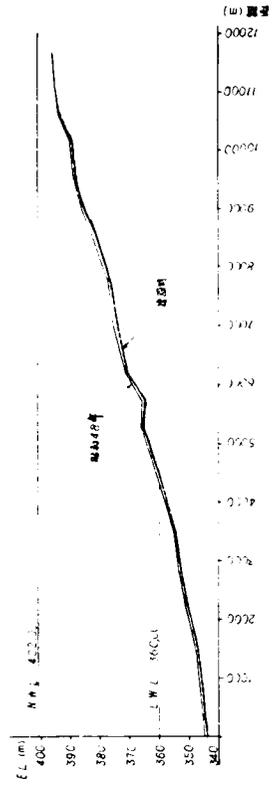


図2.36 瀬原貯水池縦断面図

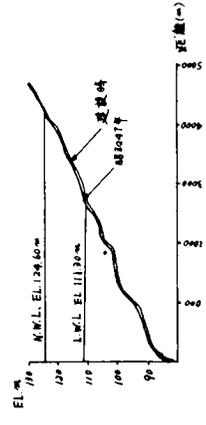


図2.37 花山貯水池縦断面図

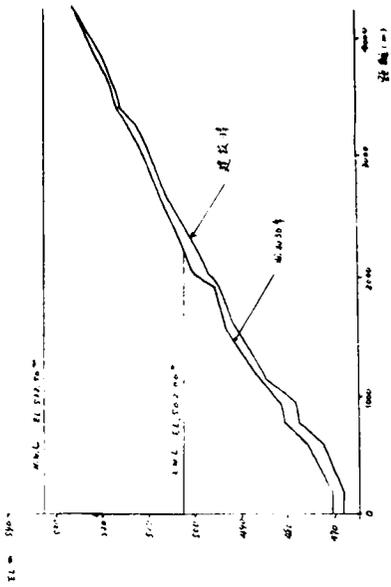


图 2-38 王泊貯水池縦断面图 (大暮川)

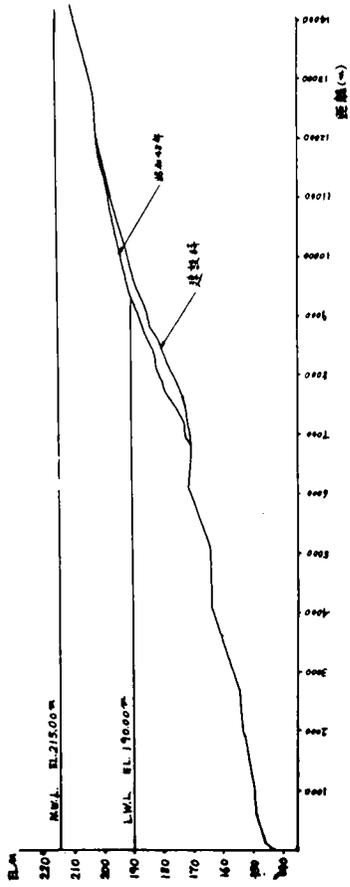


图 2-39 田瀾貯水池縦断面图

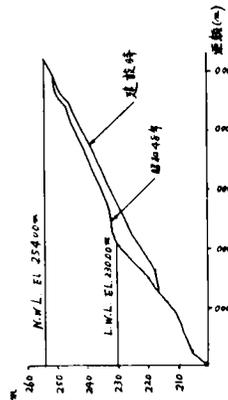


图 2-40 荒沢貯水池縦断面图

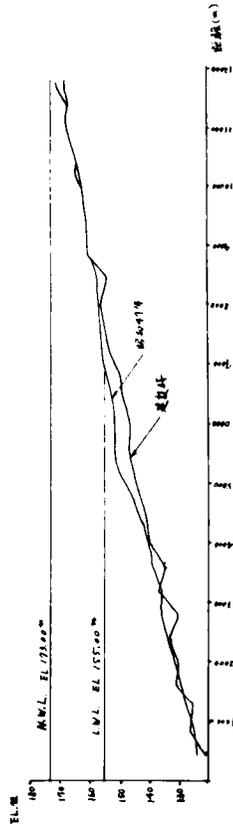


图 2-41 大野貯水池縦断面图

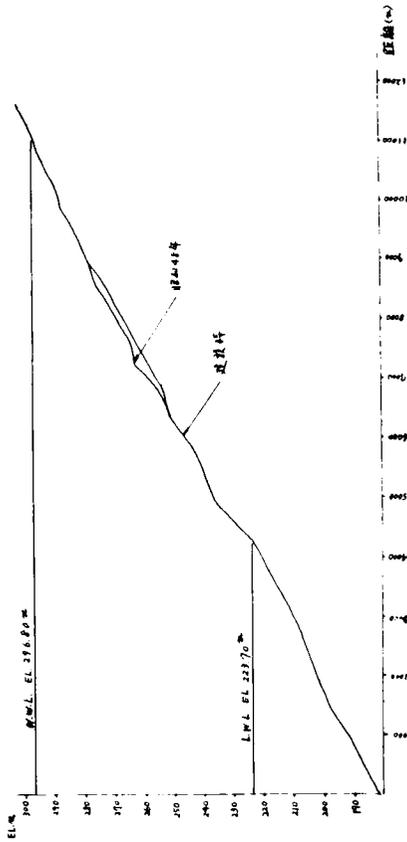


図2.42 下久保貯水池縦断面図

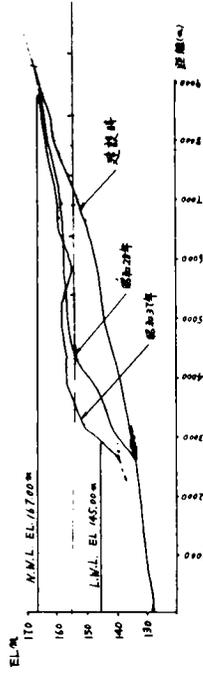


図2.44 相模貯水池縦断面図

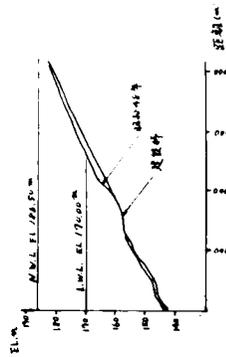


図2.43 佐波川貯水池縦断面図

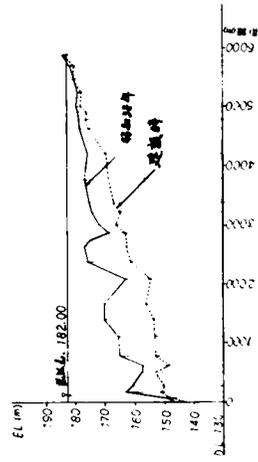


図2.45 神通川第一貯水池縦断面図

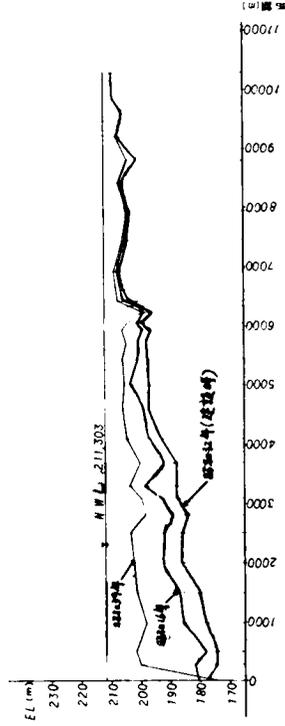


図2.46 笠置貯水池縦断面図

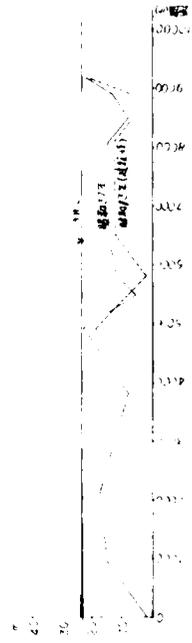


図2.47 川辺貯水池縦断面図

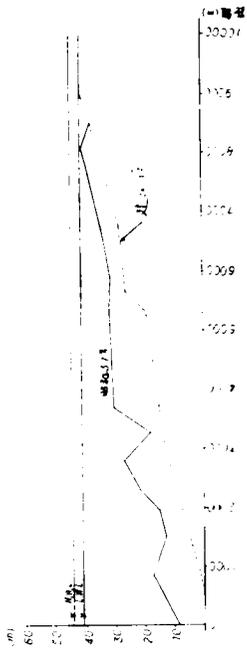


図2.48 宮下貯水池縦断面図

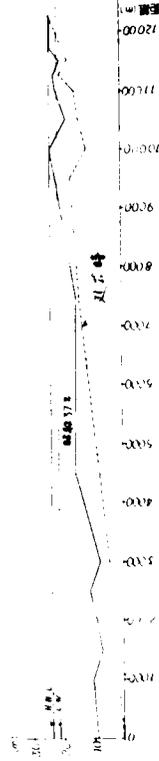


図2.49 新郷貯水池縦断面図

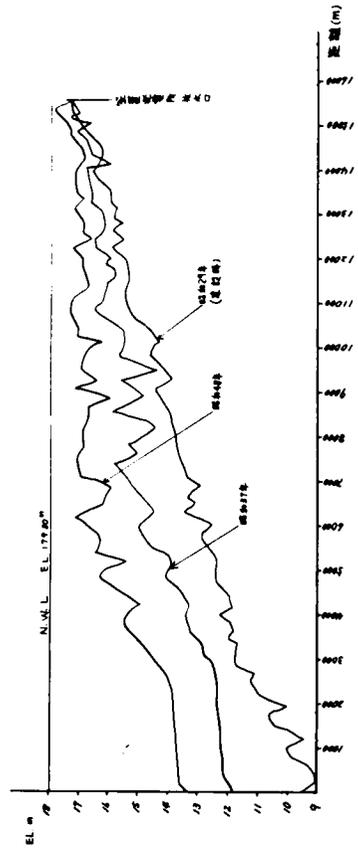


図2.51 丸山貯水池縦断面図

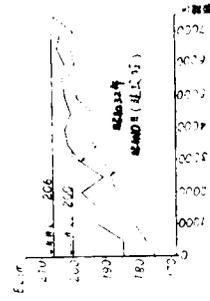


図2.50 大鷲沢貯水池縦断面図
(吉良による)

上流河道の上砂流送能力が大きい貯水池では一般に掃流砂・浮遊砂ともに相当量流入し堆砂形状はⅠ型になるのが多いと考えられる。図2・2～図2・28について foreset bed (delta) の位置をみると、低水位付近に形成されている場合が多くとくに多目的貯水池に多いが、多目的貯水池では洪水期間中制限水位以下に貯水位が低下した状況にあることに関連しているのであろう。ただしこれらの貯水池の大部分は現在のところ堆砂の比較的初期の段階（堆砂率30%程度以下）であって堆砂が進行すれば状況が変化することも充分考えられる。

(2) 堆砂形状Ⅱ型の貯水池の特性

図2・29～図2・38に示す10ヶ所の貯水池の堆砂形状は一応図2・1・2のⅡ型に対応する。

これらのうち図2・29～図2・33の貯水池はいずれも直上流に大規模な貯水池がある。したがって、掃流砂の流入は残流域以外はほとんどなく、流入上砂の大部分は浮遊砂と考えられる。これに対し図2・34～図2・38の貯水池は上流に大規模な貯水池がなく一応最上流に位置するものである。

図2・38の王泊貯水池について石外⁶⁾がおこなった粒度調査結果によればシルト、粘土が大部分をしめ粗砂、礫などは貯水池終端付近にわずかにみとめられるにすぎないようである。これと同様の状況が他の貯水池についても筆者が直接ダム管理所に照会した結果ではみとめられるようである。

図2・34～図2・36、および図2・38の貯水池では上流に緩こう配の区間がある。図2・37の花山貯水池は河床こう配は $1/100$ 程度でかなり急ではあるが洪水の発生頻度が少く、しかも規模が非常に小さい。掃流砂の流送能力はマクロ的には流量、河床こう配にほぼ比例することを考慮すれば、最上流に位置する貯水池でも図2・34～図2・38の貯水池のような状況にある場合には掃流砂の流入は少いと考えられる。

(3) 堆砂形状Ⅲ型の貯水池の特性

図2・39～図2・44の貯水池の堆砂形状は一応図2・1・3のⅢ型に対応する。これらのうち図2・44の相模貯水池以外の貯水池では現在のところ流域には崩壊地が少いようである。(表2・2参照) wash load をふくむ浮遊砂の供給源はおもに崩壊地で代表される裸地の侵食によるものであるから、流域に崩壊地が少い場合には浮遊砂の流入も少いと一応考えられよう。ただし図2・39～図2・43の貯水池はいずれも堆砂量が少く、図2・23の三面貯水池や図2・28の祖山貯水池における堆砂の初期の状況がⅢ型に対応することを考慮すれば、これらの貯水池においても堆砂の進行とともに浮遊砂の流入も充分考えられる。

図2・44の相模貯水池では表2・2に示すように流域にかなり崩壊地が存在するにもかかわらず堆砂がかなり進行した状況でも bottomset bed がほとんど認められない。

この貯水池はダム地点より約1km上流からほぼ2kmの間の区間は非常に巾の広い自然湖のような形状になっているので、浮遊砂の堆積層の厚さが測深機に検出されないほど微小であるためと思われる。

4-3 捕捉率が小さい貯水池の堆砂形状

図2・45～図2・50はいずれも流入水量にくらべて貯水容量が小さく捕捉率も小さいと考えられる貯水池の堆砂形状である。これらの貯水池の堆砂形状と図2・1の規模の大きい貯水池の堆砂形状とのおもな相異は、ダム付近までいちぢるしく土砂が堆積し、掃流砂堆積層と浮遊砂堆積

層との区別が明瞭でなく、ダム地点に近いほどむしろ堆積層の厚さが増加しているということであろう。これは貯水池内の水の流動が激しいために貯水池の奥深くまで容易に土砂が流送されることによるものと思われる。

図2・51の丸山貯水池は図2・46の笠置貯水池の直下流に位置するので流入土砂の大部分は浮遊砂と考えられるが、貯水容量が大きいわりに流入水量との比は小さく捕捉率も小さいと考えられるので堆砂形状はⅡ型よりも図2・45～図2・50の貯水池の堆砂形状に近い。

第5節 堆砂粒度分布の考察

貯水池に堆積した土砂の粒度分布、いいかえれば掃流、浮遊それぞれの形式で流送されてきた土砂の分布状況を知ることは堆砂機構を究明するために非常に重要である。しかし現在のところわが国では粒度調査、とくにボーリング調査がおこなわれた貯水池は数少く、筆者のえた情報では天竜川水系泰阜貯水池、美和貯水池、阿賀野川水系新郷貯水池、黒部川水系黒部貯水池、庄川水系鳩ヶ谷貯水池、木曾川水系横山貯水池、淀川水系世木貯水池の7ヶ所である。以下黒部、鳩ヶ谷貯水池をのぞいた他の貯水池の堆砂粒度分布状況の概要を公表された文献、あるいは資料をもとに述べる。

5-1 新郷貯水池

新郷貯水池では昭和45年度に貯水池内4ヶ所でボーリング調査がおこなわれた。この調査結果をまとめて浅田²⁹⁾が公表したのが図2・52である。この図によると、堆砂の大部分は中砂、細砂、シルトなど細粒土砂で占められており、おもに浮遊砂が堆積したものと考えられる。浅田によれば貯水

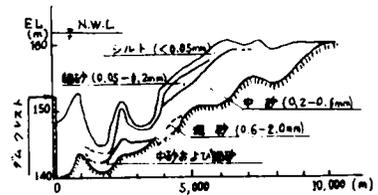


図2-52 阿賀野川新郷調整池の堆砂縦断形状と堆砂粒度 (浅田による)

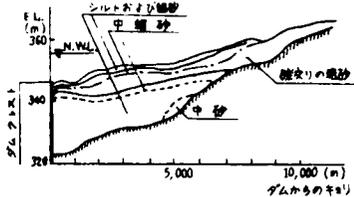


図2-53 天竜川泰阜貯水池の堆砂縦断形状と堆砂粒度

泰阜貯水池は調査がおこなわれた時点ではすでに満砂状態になっておりダム付近まで掃流砂堆積層(礫混りの粗砂)がみとめられるが、貯水池の底層部の大部分は新郷貯水池と同様に細砂、シルトなど浮遊砂堆積層である。この貯水池の上流にもやはり盆地区間があるのでこの区間における土砂の選択流送が浮遊土砂の堆積が圧倒的に多い堆砂特性にかなり影響しているようである。

池終端付近にわずかに最大径10cm以下の礫混りの掃流砂堆積区域が存在するようであるが、このように流入土砂の大部分が浮遊砂であるのは、上流に緩こう配の盆地区間があるためと思われる。

5-2 泰阜貯水池

泰阜貯水池では昭和40年度に貯水池内6ヶ所で粒度調査がおこなわれた。この調査結果について芦田³⁰⁾が公表したのが図2・53である。

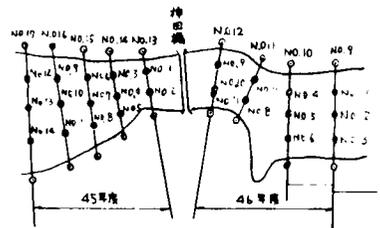


図2-54-1 美和貯水池堆積土砂ボーリング調査箇所平面図 (塩沢による)

5-3 美和貯水池

美和貯水池では昭和45年、46年の2年間にわたって図2-54に示す約2kmの区間内9ヶ所の測点においてそれぞれ2~3ヶ所のボーリング調査がおこなわれた。ただし公表された調査結果³¹⁾には採取した資料の土質試験結果しか掲載されていないので、粒度分布のごく概略的な状況を示すに

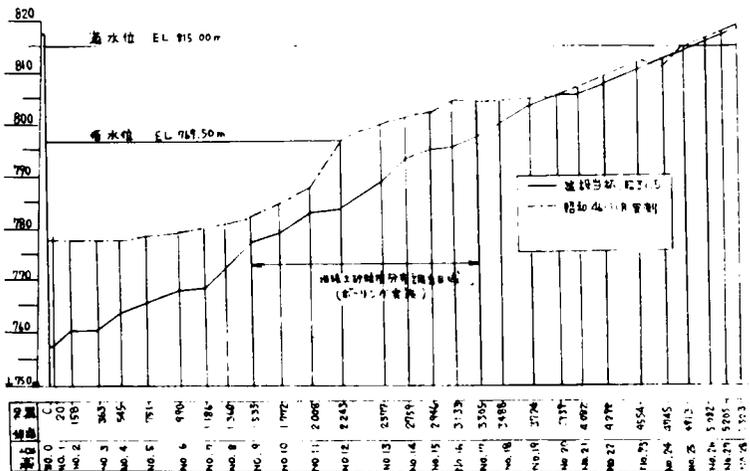


図2-54-2 美和貯水池堆砂縦断面図(塩沢による)

表2.7 美和貯水池ボーリング調査資料(塩沢による)

資料試験結果一覧表(45年度分)									資料試験結果一覧表(46年度分)								
測点No.	ボーリング孔番	深 度 m	比 重 1/m ³	水 分 %	砂 分 %	シルト %	粘 土 %	最大径 mm	測点No.	孔 番	深 度 m	比 重 1/m ³	水 分 %	砂 分 %	シルト %	粘 土 %	最大径 mm
No.17	No.14	3.00~3.50	2.76	2	78	12	8	4.75	No.9	No.1	4.80~5.20	2.726	0	11.0	57.5	31.5	0.420
	〃	7.00~7.50	2.78	38	5	34	23	50.80		〃	6.35~6.75	2.691	0	3.0	55.0	42.0	0.25
	No.13	4.00~4.50	2.77	14	76	6	4	19.10		No.2	0.20~0.60	2.611	0	5.0	55.0	40.0	0.25
	〃	7.00~7.50	2.78	4	84	7	5	19.10		〃	2.60~3.00	2.623	0	1.5	63.5	35.0	0.11
No.16	No.12	4.00~4.50	2.77	10	80	6	4	19.10	No.3	2.20~2.60	2.696	0	5.0	57.0	38.0	0.25	
	〃	9.00~9.50	2.72	27	67	4	2	19.10	〃	3.20~3.60	2.660	0	3.0	57.0	40.0	0.11	
	No.11	3.80~4.30	2.77	35	53	8	4	25.40	No.4	0.60~1.00	2.741	0	6.0	74.0	20.0	0.42	
	〃	7.00~7.50	2.79	15	64	15	6	19.10	〃	2.50~2.90	2.692	0	4.0	56.0	40.0	0.25	
No.15	No.10	3.00~3.50	2.76	47	33	12	8	25.40	No.5	3.00~3.40	2.744	0	5.0	64.0	31.0	0.11	
	〃	7.00~7.50	2.78	1	77	16	6	9.52	〃	3.85~4.25	2.762	0	3.0	64.5	32.5	0.11	
	No.9	2.00~2.50	2.75	66	24	6	4	38.10	No.6	0.10~0.50	2.721	0	3.0	55.0	42.0	0.11	
	〃	7.70~8.20	2.74	4	42	37	17	19.10	〃	1.30~1.70	2.720	0	3.0	56.0	41.0	0.11	
No.14	No.8	3.00~3.50	2.78	0	54	36	10	4.76	No.7	2.00~2.40	2.741	0	2.0	54.0	44.0	0.11	
	〃	6.00~6.50	2.78	0	37	47	16	4.76	No.11	5.80~6.20	2.699	0	4.0	58.5	37.5	0.11	
	No.7	4.00~0.50	2.79	0	22	63	15	0.42	〃	3.00~3.40	2.680	0	8.0	76.0	16.0	0.25	
	〃	4.00~4.50	2.79	0	4	74	22	2.00	〃	6.30~6.70	2.761	0	5.0	77.0	18.0	0.25	
No.13	No.7	7.00~7.50	2.77	0	46	24	26	9.52	No.7	2.00~2.40	2.695	7.0	70.0	23.0	—	9.52	
	No.6	3.00~3.50	2.79	0	56	30	14	4.76	〃	5.00~5.90	2.720	5.0	73.5	21.5	—	4.76	
	〃	6.00~6.50	2.77	0	65	23	12	4.76	No.10-1	0.60~1.00	2.780	2.0	88.5	13.5	—	4.76	
	No.5	3.00~3.50	2.79	0	13	67	20	4.76	〃	4.00~4.40	2.772	3.0	79.5	19.5	—	4.76	
No.12	〃	7.00~7.50	2.73	0	8	68	24	4.76	No.10-2	0.80~1.20	2.750	0	84.0	16.0	—	2.00	
	No.4	0.00~0.50	2.79	0	5	73	22	0.42	〃	4.00~4.40	2.711	4.0	71.0	25.0	—	4.76	
	〃	4.00~4.50	2.80	0	14	42	44	4.76									
	〃	6.00~6.50	2.80	0	1	66	33	4.76									
No.11	No.3	3.80~4.30	2.79	0	9	70	21	0.42									
	〃	7.00~7.50	2.79	1	83	8	8	4.76									
	No.2	3.00~3.50	2.77	8	50	32	18	9.52									
	〃	7.00~7.50	2.79	0	61	32	7	0.42									
No.10	No.1	3.80~4.30	2.78	10	61	22	7	19.10									
	〃	7.00~7.50	2.78	1	21	56	22	4.76									

すぎないのであるが、この試験結果は表2.7のとおりである。これによると測点No.11より下流は大部分シルトで占められる浮遊砂堆積区域であり、測点No.12より上流は浮遊砂と掃流砂が混在している区域と推定されるが、昭和41年以降測点No.17より上流において砂利の堀削採取がおこなわれているので、ボーリング調査がおこなわれた時点には堆砂状況は相当人為的影響を受けていると考えられる。図2-55はこのような砂利採取がおこなわれる以前の昭和38年当時測点No.17付近でダム管理所が撮影した堆砂層であって掃流砂浮遊砂堆積層の区分が明瞭にみとめ

られる。

5-4 世木貯水池

世木貯水池では昭和41年に図2-56に示す5ヶ所の測点において粒度分布調査がおこなわれた。図2-57は各測点における粒径加積曲線である。³²⁾ これによれば測点No.9より下流では粒径が急激に小さくなっており大部分浮遊砂の堆積区域であろう。また測点No.10より上

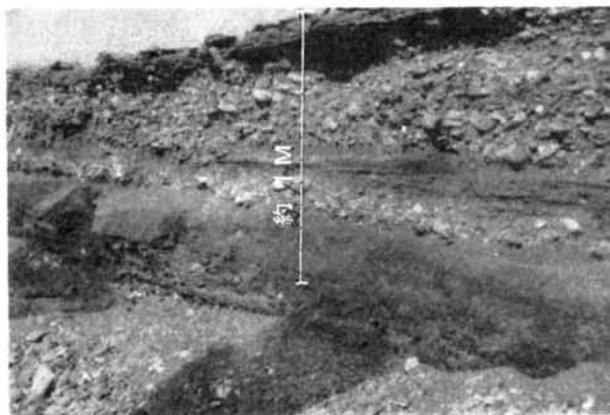
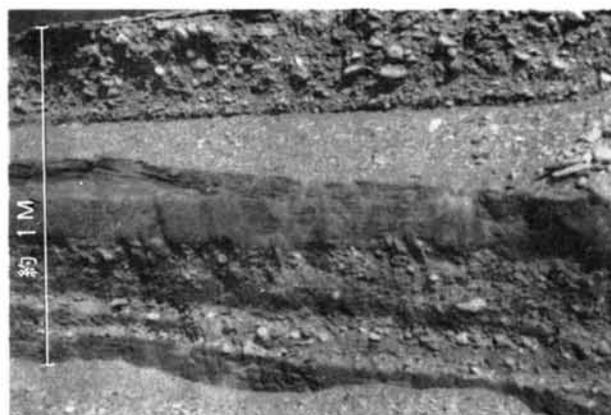


図2-55 美和貯水池 測点No.17付近
堆砂状況 (昭和38年撮影)



流は掃流砂の堆積区域と考えられ図2-55に示した美和貯水池と同様にこぶし大程度の礫もかなり堆積しているようである。

5-5 横山貯水池

横山貯水池では昭和47年に図2-58に示す9ヶ所の測点においてボーリング調査がおこなわれた。図2-59は各測定における土質柱状図であり、図2-60は採取深度別粒径加積曲線を測点ごとに示したものである。³³⁾

図2-59をみると測点No.17より上流区域では底層部にかなりの厚さ(6m~8m程度)のシルト・細砂

が大部分をしめる浮遊砂堆積層があり、この上部にこぶし大程度までの礫が大部分をしめる掃流砂堆積層があることが推定され、とくに、測点No.19, No.17では前年(昭和46年)に堆積した浮遊砂層の上を掃流砂が次第に堆積していく過程がみとめられる。ただ、測点No.15では表層から底層まで砂であり、しかも底層には小礫までかなり堆積している特異な状況になっているが、これは測点No.15の直上流で流入している左小支川の影響とも考えられ、下流側測点No.13の底層部にも似たような状況がみとめられる。

測点No.11より下流は浮遊砂堆積区域であろう。

5-6 堆砂粒度分布の特性

以上、ボーリング調査がおこなわれた貯水池の粒度分布状況について述べてきたが、これらの調査結果にみとめられたいくつかの特性を列挙すればつぎのとおりである。

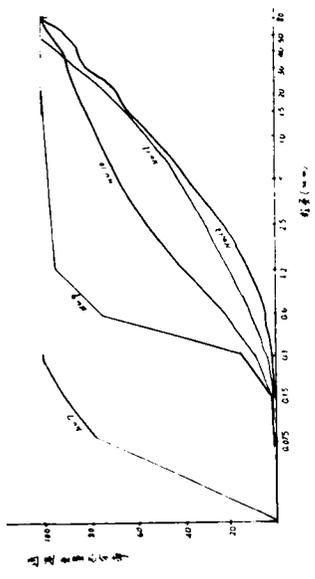


図2.57 世木貯水池粒度分布調査測点別粒徑加積曲線図(藤田による)

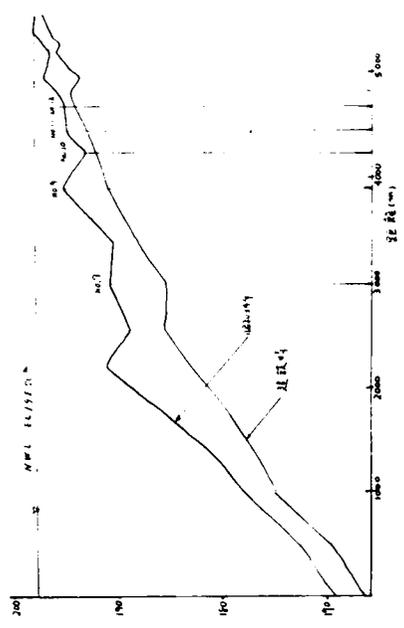


図2.56 世木貯水池粒度分布調査測点位置図(藤田による)

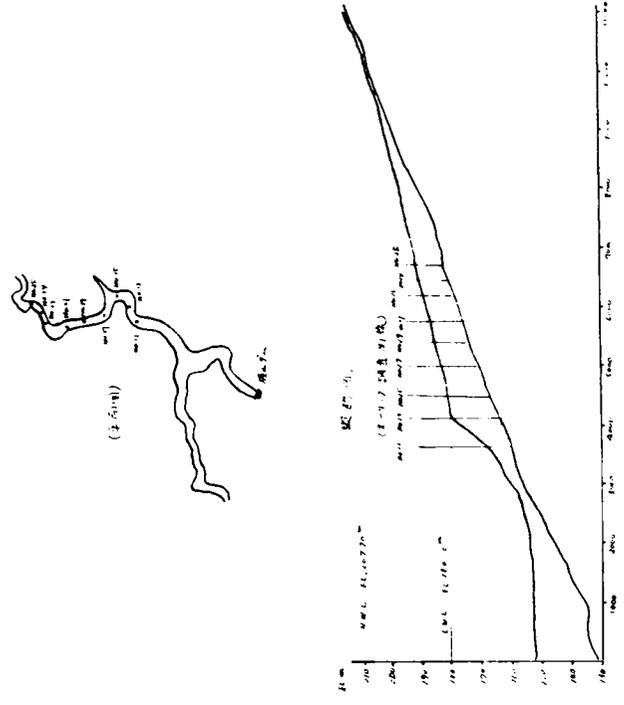


図2.58 横山貯水池ボーリング調査区域図

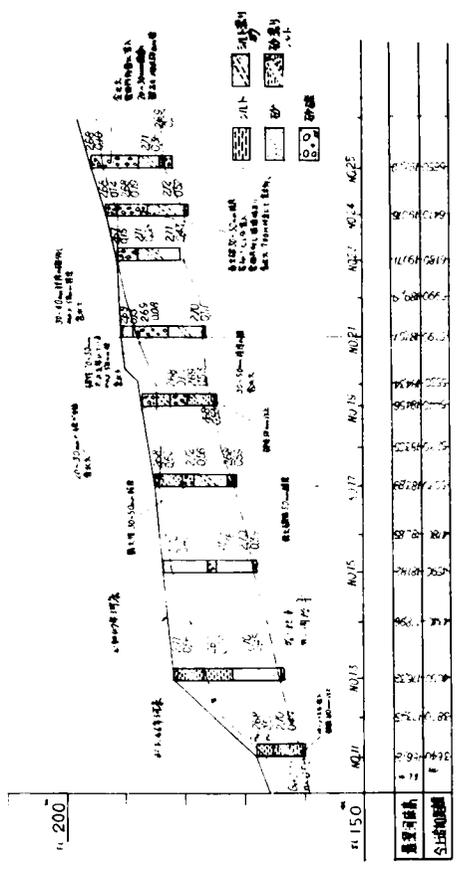


図2.59 横山貯水池ボーリング調査測点別土質柱状図

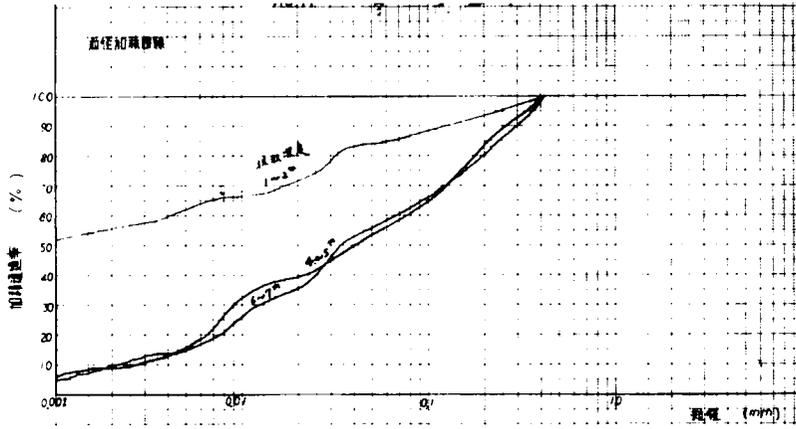


图 2-60-1 测点No.11

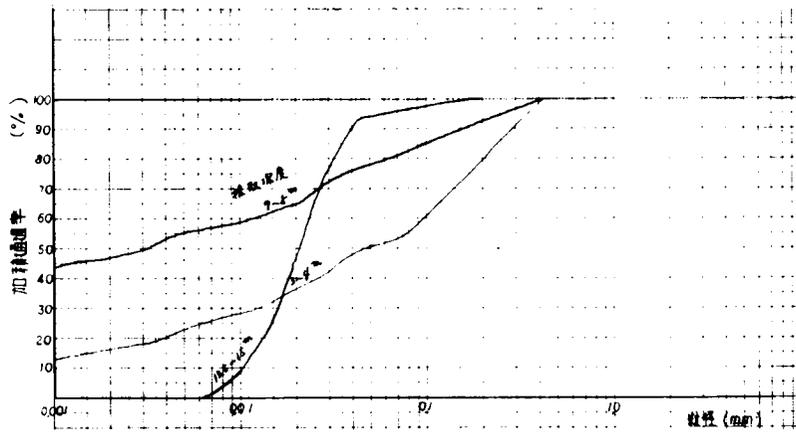


图 2-60-2 测点No.13

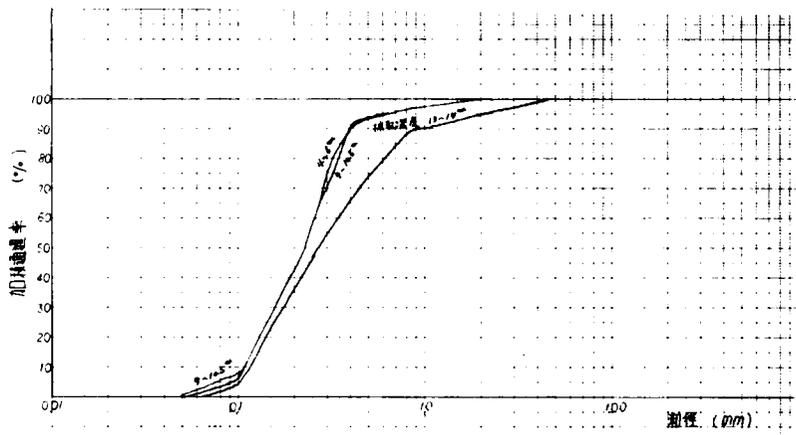


图 2-60-3 测点No.15

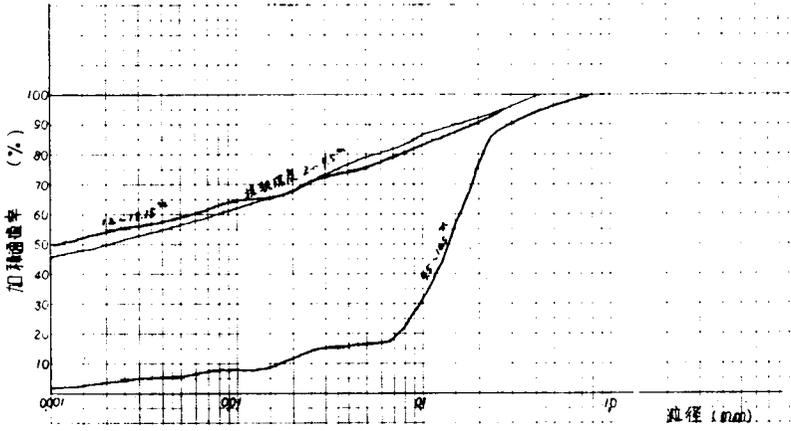


图 2-60-4 测点No.17

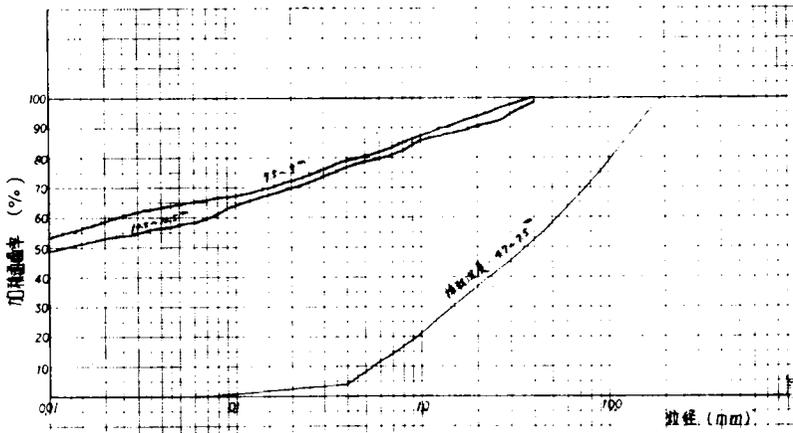


图 2-60-5 测点No.19

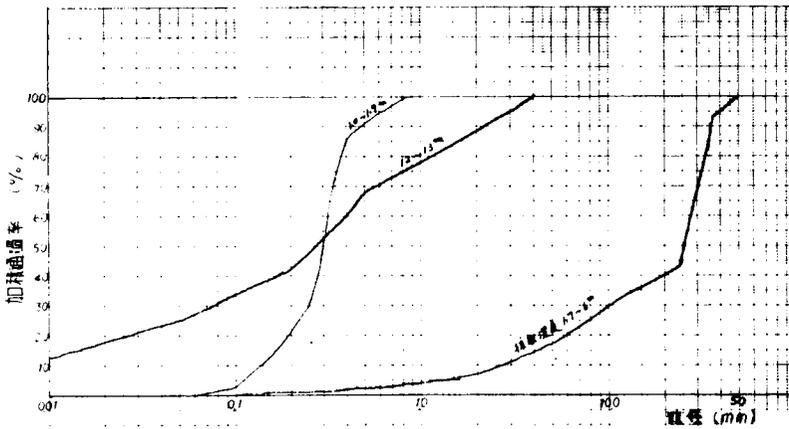


图 2-60-6 测点No.21

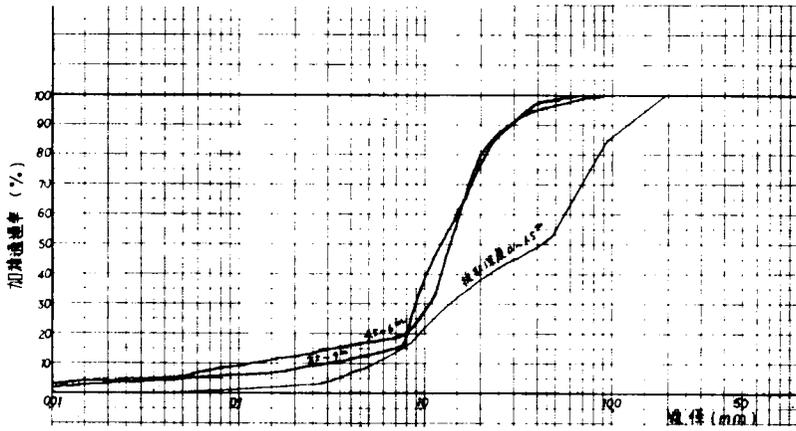


图 2-60-7 测点No.23

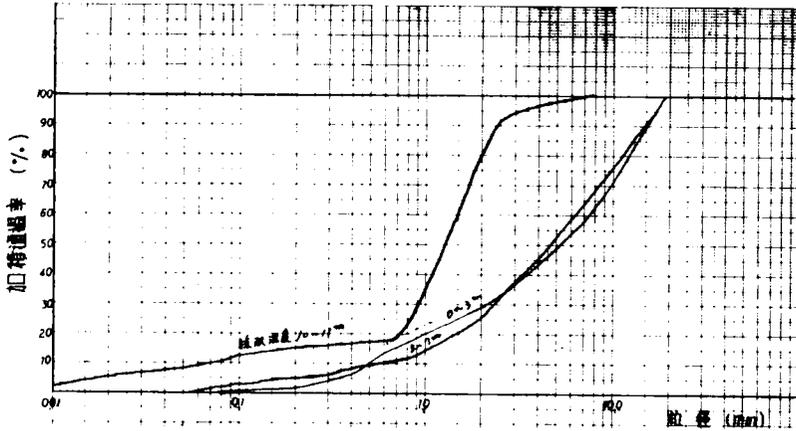


图 2-60-8 测点No.24

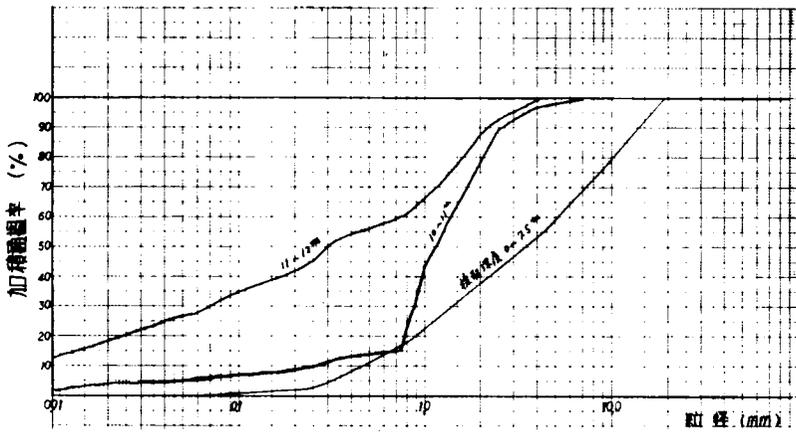


图 2-60-9 测点No.25

- (1) 上流に緩こう配の盆地区間がある貯水池では流入土砂の粒度はこの盆地区間における選別流送に影響されて大部分細砂以下の浮遊砂である。
- (2) 掃流砂、浮遊砂ともに流入している貯水池では一般に粒径加積曲線に明瞭な相違がみとめられ、ある地点を境として下流は浮遊砂堆積区域、上流は掃流砂堆積区域となるようである。
- (3) 調査区域内に堆積している礫の最大径はほぼこぶし大程度であることが多い。
- (4) 横山貯水池における堆砂の間隙率は図2・59に示すように砂層シルト層では大体0.4~0.6であるが礫層では0.2~0.1でかなり小さい。

第6節 結 語

本章ではわが国のおもな貯水池における堆砂状況について、堆砂量、堆砂形状、および堆砂粒度にそれぞれ認められる一般特性、地域特性などの検討をおこなったが、これらの結果をまとめるとつぎのようになる。

- (1) 中部山岳地帯、西南日本外帯を流れる河川には堆砂の進行がいちぢるしい貯水池が多く何等かの対策が早急に必要である。
- (2) 堆砂の進行がいちぢるしい貯水池には流域の崩壊地が多数存在するものが多く崩壊地の規模と堆砂状況にはかなりの相関が認められる。しかし中にはあまり相関が認められない貯水池もあるが、これはおもに河道の上砂流送状況が関連していることによる。
- (3) 比堆砂量を地域別、水系別にみると、概して東北日本を流れる河川より西南日本を流れる河川の方が流送土砂量は多いという傾向にある。
- (4) 階段状貯水池群では上流のダムの影響を補正して求めた比堆砂量は一般にほぼ同じ値になる。
- (5) 流域が隣接している貯水池の比堆砂量は、各河川独自の状況、すなわち個別性の影響がふくまれている場合もあって必ずしも類似した値にならない。
- (6) 捕捉率が大きい大規模な貯水池の堆砂形状は、流入土砂の粒度組成によってⅠ型（topset bed, foreset bed bottomset bed および density current bed の各領域が認められる型）、Ⅱ型（topset bed, foreset bed が認められない型）、Ⅲ型（topset bed, foreset bed のみの型）の三つの基本型に分類される。
- (7) 堆砂形状を規定するおもな因子は土砂粒度組成のほか貯水位、貯水池形状、および流入水量と貯水容量との比（あるいは捕捉率）である。
- (8) 流域における土砂生産が活発であり、しかも上流河道の土砂流送能力が大きい貯水池の堆砂形状は一般にⅠ型である。
- (9) 堆砂形状Ⅰ型の貯水池では foreset bed (delta) が低水位付近に形成されているものが多い。ただし、ここで対象とした貯水池は大部分堆砂の比較的初期の段階にあるので堆砂が進行すればこのような特性とは異なったものになることも充分考えられる。
- (10) 上流に盆地など緩こう配区間がある貯水池では掃流砂の流入は少く、堆砂形状はⅡ型になる場合が多い。
- (11) 流域における土砂生産が少い貯水池では堆砂の初期の段階ではⅢ型になる場合が多い。

ただし相模貯水池のように自然湖に近い形状の貯水池では浮遊砂が相当量流入しても浮遊砂堆積層がほとんど測定されずにⅢ型になる場合もある。

- (12) 流入水量にくらべ貯水容量が小さく、貯水池内の水の流動が激しい捕捉率の小さい貯水池では一般に掃流砂・浮遊砂堆積区域が混在し、土砂は貯水池奥深くまで流送されて下流に厚く堆積する傾向を示す場合が多い。
- (13) 掃流砂、浮遊砂ともに流入している貯水池では一般に下流部と上流部では粒径加積曲線に明瞭な相違がみとめられ、ある地点を境として下流は浮遊砂堆積区域、上流は掃流砂堆積区域となるようである。
- (14) 調査区域内に堆積している礫の最大径はほぼこぶし大程度である場合が多い。

第3章 堆砂量の予測に関する研究

第1節 概 説

第1章第4節で述べたように堆砂量予測に関する従来の研究は土砂生産におもに関連する因子に着目して堆砂量との相関を求めたものが大部分であって、河道における土砂流送過程を考慮して土砂水理的に検討したものはほとんどない。

そこで本章ではまず、土砂の生産・流出・流送過程との関連において堆砂量予測の基本的な考え方を述べ、ついで貯水池に流入する土砂量と水理、崩壊因子との関係の一般特性についてマクロ的な検討をおこない、さらに捕捉率の特性を考慮し、既設45ヶ所の貯水池における資料をもとに各貯水池独自の状況を考察しつつ堆砂量と水理、崩壊因子との関係の検討をおこない堆砂量予測式を導いた。

第2節 土砂生産流出過程と堆砂量予測の基本的な考え方

貯水池に堆積した土砂を貯水池への移動過程によって分類するとつぎのようになる。

(I) 貯水池に流入する河道の水流により流送されてきたもと。

これはさらにつぎのように分類される。

(1) 裸地斜面の表土が雨水による侵食作用によって剝離され河道に流入し流送されてきたもの。

(2) 山腹崩壊により生産された土砂が流送されてきたもの。

(3) 道路工事など人為的作用により生産された土砂が流送されてきたもの。

(II) 貯水池周辺の山地斜面において生産されて直接貯水池へ流入崩落堆積したもの。

以上の分類のうち(II)は生産土砂量が直接堆砂量に関係するものであるから量的に予測することは不可能に近い。また現在のところこのような事例はわが国ではごく稀であって堆砂の大部分は(I)に属すると考えられるので以下(I)を対象として考察をすすめる。

2-1 雨水の侵食作用による生産土砂の流出過程

わが国の山地はおおむね植生が良好であって、治山事業の進展にともないいわゆるハゲ山で代表される大規模な裸地斜面はごく少くなっているため、山地において裸地と考えられるのは道路工事など人為的作用による捨土や切取斜面を除けばおもに崩壊地であろう。したがって、雨水による侵食で生産される土砂の供給源は崩壊地と考えられよう。

雨水流によって容易に地表より剝離流送される微細土砂の斜面における流送過程は、河道における bedmaterial load の流送過程に類似して斜面における水理量に関連することが充分考えられるが、斜面より河道に流入すればほとんど河道条件の影響を受けずに wash load として流送される。いいかえれば、wash load の流送源はおもに崩壊地における侵食と考えられよう。

2-2 山腹崩壊による生産土砂の流出過程

貯水池上流の各河道、山地斜面に堆積している土砂の大部分は、豪雨、地震、雪崩などの自然的外力によって発生した山腹崩壊による生産土砂が崩壊地から貯水池への流出過程において一時的に堆積しているものであるが、これらのうちおもに崩壊地付近に堆積している微細土砂は雨水流による侵食、あるいは河道水流による侵食によって wash load として流送される。一

方各河道に堆積しているbedmaterial loadは、その河道区間の水理量に関係する水流の流送力と供給土砂量との大小関係に規定されつつ流送される。したがって、貯水池直上流河道区間においても流送土砂量は必ずしもこの区間の流送力に対応しない。ただこの区間への供給土砂量が流送力を下廻らない場合にはこの区間の流送土砂量は流送力に対応するであろう。しかしこのような供給土砂量と土砂流送力との大小関係は、既往の山腹崩壊の発生頻度規模や洪水の発生頻度規模、あるいは各河道の状況などに関連するものであるから、その一般特性を見出すことは非常にむずかしく、各貯水池において上流山地河道の実態を調査した上で経験的に判断するよりほかないであろう。

道路工事など人為的作用による生産土砂は山腹崩壊による生産土砂と同様の流出過程をとるであろう。

2-3 堆砂量予測の基本的な考え方

堆砂量は貯水池終端において流入する土砂量とダム余水吐より下流へ流出する土砂量との差であるから、堆砂量予測の問題は結局貯水池終端における流入土砂量の予測と捕捉率の推定の二つの問題になろう。捕捉率については第4節で述べることにして、ここでは流入土砂量予測に関する本解析の基本的な考え方を述べる。

米国では流砂量を実測して流量との相関を求め流入土砂量を予測する方法がおこなわれているが、流送土砂の大部分が浮遊砂である場合には有力な方法である。しかしわが国の山地河川では実測困難な掃流砂も大量に流送される場合が多いのでこの方法を適用することは困難な状況にある。

ただし、わが国においても浮遊砂の実測はこれまでかなりおこなわれており、wash loadをふくむ浮遊砂量はほぼ流量の二乗に比例するという結果がえられている。また従来の土砂水理学の成果によれば限られた粒径範囲については掃流砂量は水理量によって規定されるようである。

もとより実際の貯水池上流河道では、水流の流送力と土砂供給量との大小関係や混合砂礫などの問題があるが、いずれも現段階では量的に取り扱うことはきわめてむずかしく、とくに本研究のように全国的な規模で資料を解析する場合にはほとんど不可能に近い。そこで、ここでは流入土砂量が流量など河道の水理量に対応するという前提のもとに掃流砂量、浮遊砂量に関する従来の成果をごくマクロ的に処理して資料を解析し実際の状況への適合性を検討することにした。

第3節 流入土砂量と水理量および崩壊因子との関係

貯水池への流入土砂量は掃流砂量と浮遊砂量との和であるから以下これらと河道水理量、あるいは崩壊因子との関係について従来の成果をもとにマクロ的な検討をおこなう。

3-1 掃流砂量と水理量との関係

掃流砂量に関する従来の公式の大部分は、掃流力が限界掃流力より充分大きい場合つぎの形であらわされる。

$$q_b = \alpha u_*^3 \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、 q_b ：単位巾当りの掃流砂量

u_* ：摩擦速度

α ：土砂の粒径、比重、粗度などに関する係数

である。

等流では

$$u_* = \sqrt{g h s} \dots\dots\dots(3.2)$$

ここに、 h ：水深

s ：河床こう配

であり、また単位巾当り流量はManning式では

$$q = \frac{h^{5/2}}{n} s^{1/2} \dots\dots\dots(3.3)$$

であるから、

$$u_* = \sqrt{g} n^{1/2} (q s)^{1/2} s^{1/2} = \gamma (q s)^{1/2} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\gamma = \sqrt{g} n^{1/2} s^{1/2}$$

となる。(3.4)式を(3.1)式に代入すると

$$q_b = \beta (q s)^{1/m} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\beta = \alpha \gamma^m$$

となるが、佐藤、吉川、芦田公式では $m=3$ であるから、この場合(3.5)式は

$$q_b = \beta (q s)^{1/3} \dots\dots\dots(3.6)$$

となって q_b はほぼ $q s$ に比例することになる。いま河巾を B とすれば全断面掃流砂量 Q_b は

$$Q_b = B q_b \doteq B \beta q s = \beta Q s \dots\dots\dots(3.7)$$

Q ：流量

となる。

したがって、継続時間が T である洪水期間中の総掃流砂量 V_b は形式的には

$$V_b = \int_T Q_b dt \doteq \int_T \beta Q s dt = \beta s \int_T Q dt = \beta I s \dots\dots\dots(3.8)$$

$$I = \int_T Q dt \text{ : 洪水時総流入量(洪水量)}$$

となる。

もとよりこの結果はごくマクロ的な検討にすぎないのであるが、掃流砂量が洪水量 I および河床こう配 s に関係することがある程度推察される。

3-2 浮遊砂量と水理量および崩壊因子との関係

従来の実測結果によると wash load をふくんだ浮遊砂量 Q_s はほぼ Q の二乗に比例する³⁴⁾

$$Q_s = \alpha Q^2 \dots\dots\dots(3.9) \quad (\alpha = 4 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-8})$$

係数 α の値は河川によって異なり河道の水理量、流域の荒廃度などに関連するものと考えられるが、現在のところわが国では α の特性についてはほとんど考究されていないようである。Egiazaroff⁽³⁵⁾ によると α の値は $A_d \cdot D/A$ によって決定される常数として取り扱おうと比較的観測値が系統的に表示されるようである。ここに A, A_d はそれぞれ流域面積、流域内の裸地面積であり D は流域平均こう配である。

wash load はわが国の山地の状況よりすれば大部分が崩壊地における雨水の侵食、あるいは崩壊地から河道に崩落した崩土の水流による侵食によるものであろうから、崩壊地の規模が wash load の流量量に関連することが充分考えられる。しかし斜面における雨水の侵食機構があきらかでない現段階では浮遊砂量の予測は(3.9)式のような経験式によらざるをえない。また(3.9)式の係数 α の特性についても Egiazaroff がおこなったようにマクロ的な検討によって崩壊地特性などとの関連を実証的に推定するよりほかないであろう。

3-3 解析可能因子の選定

本解析のように流入土砂量の一般特性を実測資料をもとに全国的な規模でおこなう場合には、河道水理量などの土砂流送機構への関連性に関する現在の土砂水理学の段階を考慮すれば解析可能でしかも情報がえられ易い因子の数は限られたものになる。

河道水理量として流量、河床こう配、土砂粒度、河道横断形状などが考えられるが、これらのうち流量、河床こう配以外の因子は、本解析のような全国的な規模の場合にはとり入れることは非常に困難である。そこで本解析では水理量として流量、河床こう配の二つの因子を対象とすることにした。

崩壊地特性については大規模な災害が発生した地域では崩壊土量、面積などの詳細な調査がおこなわれているが、貯水池の流域では現在のところその数はきわめて少い。

しかし、比較的大規模な崩壊地については、2.5 万分 1 地形図、あるいは 5 万分 1 地形図に記載されているので崩壊地の面積はこれらの地形図で計測できる。

崩壊因子としては面積のほか傾斜度があるが地形図では計測が困難であるので、マクロ的な比較検討をおこなう本解析では崩壊因子として崩壊地面積のみを対象とすることにした。

第4節 捕捉率

貯水池に流入する土砂のうち浮遊砂は貯水池内を拡散浮遊するか、あるいは密度流を形成してダム付近まで流送されるので、浮遊砂の一部がダム余水吐から下流へ流出することも充分考えられる。とくに堆砂が進行すれば相当量の浮遊砂がダム下流へ流出するであろう。したがって流入する洪水の規模にくらべて貯水容量が小さい場合などでは浮遊砂の捕捉率が問題になる。しかし、捕捉率には貯水池内における浮遊砂の挙動に関連する因子、すなわち流入水量、貯水容量、浮遊砂の粒度、余水吐の位置操作状況などの数多くの因子が関連しているので理論的な取り扱いには非常にむずかしく、現在のところ Brown および Brune によって実測資料に関する巨視的な検討がおこなわれた程度である。

Brown⁽³⁶⁾ は米国の貯水池33ヶ所の資料によって捕捉率と総貯水量・流域面積比との関係を探求している。Brune⁽³⁷⁾ は米国の貯水池44ヶ所における余水吐から放流される浮遊砂量と堆砂量の実測資料、あるいは貯水池終端付近における浮遊砂量の実測資料などにより捕捉率と総貯水量・

表3.1 解析対象貯水池における流入河川別流域面積、河床こう配

貯水池	ダム地点 流域面積	貯水池終端 流域面積	貯水池周辺 流域面積 (小支川を含む)	河床こう配 (貯水池終端)	備考	貯水池	ダム地点 流域面積	貯水池終端 流域面積	貯水池周辺 流域面積 (小支川を含む)	河床こう配 (貯水池終端)	備考							
目屋	172 ¹⁾	暗門川	73	12 ²⁾	1/150	○	二川	229 ³⁾	有田川	202	27 ⁴⁾	1/150	○					
		大沢川	39		1/90				△									
		湯沢川	48		1/70				△									
紫波里	100	柏毛川	70	30	1/100	○	大野	354	由良川	305	49	1/270	○					
豊畑	320	玉川	284	36	1/150	○			河本	225	西川	214	11	1/220	○			
萩形	87	小阿仁川	66	21	1/100	○	佐波川	88	佐波川	73	15	1/120	○					
菅瀬	172	菅瀬川	143	29	1/100	○			木屋川	84	木屋川	60	24	1/190	○			
田瀬	740	鎌ヶ石川	686	54	1/210	○	小見野々	271	那賀川	189	82	1/170	○					
石瀨	154	胆沢川	88	17	1/60	○			永瀬	295	横山川	135	32	1/120	○			
		前川	49		1/160		○	上基生川			98	1/150		**				
花山	127	一迫川	109	18	1/100	○	鹿野川	456	宇和川	219	32	1/200	○					
鳴子	210	江合川	167	43	1/100	○			黒瀬川	145		1/100	△					
大倉	89	大倉川	80	9	1/40	○			舟戸川	60		1/120	△					
荒沢	162	東大島川	72	44	1/80	○	日向神	84	矢部川	39	45	1/70	○					
		西大島川	46		1/100				○									
笠堀	70	五十嵐川	49	21	1/60	○	渡川	81	渡川	44	37	1/130	○					
五十里	271	男鹿川	136	39	1/200	○	立花	41	三財川	26	15	1/50	○					
		湯西川	96		1/200				○									
川俣	179	鬼怒川	75	51	1/60	○	綾北	148	綾北川	95	53	1/150	○					
		馬坂沢	53		1/50				○									
矢木沢	167	利根川	57	82	1/60	○	岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○					
		奈良沢川	28		1/40				×									
相俣	111	赤谷川	68	3	1/50	△	鶴田	805	川内川	736	69	1/1500	△****					
		西川	40		1/50				×									
下久保	328	神流川	289	39	1/110	○	<p>備考欄</p> <p>○：貯水池縦断面より求めた河床こう配値</p> <p>△：ダム管理所に照会してえられた河床こう配値</p> <p>×：2.5万分1地形図より求めた河床こう配値</p> <p>*：秋山川の河床こう配については資料がえられなかったので桂川のみ対象とした。</p> <p>**：上基生川の河床こう配は貯水池終端にある砂防ダムより上流の河床こう配である。</p> <p>***：貯水池終端にある滝より上流の河床こう配。</p> <p>****：貯水池終端にある滝より上流の河床こう配。</p>											
二瀬	170	荒川	93	30	1/40	○												
小河内	263	丹波川	162	58	1/80	○												
		小菅川	43		1/50							○						
相模	828	桂川	702	63	1/300	○						綾南	87	綾南川	70	17	1/300	△***
		秋山川	63		—									*				
畑薙第1	318	大井川	240	78	1/70	○						岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○
小浜	288	小浜川	262	26	1/50	○												
美和	311	三峰川	285	26	1/100	○						岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○
裾花	250	裾花川	235	15	1/80	○												
上市川	45	上市川	40	5	1/40	○						岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○
犀川	56	犀川	28	5	1/40	○												
笹生川	71	笹生川	22	21	1/60	○						岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○
		小沢川	13		1/60									○				
		磯帽子川	15		1/60							○						
横山	471	笹斐川	268	59	1/130	○						岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○
		坂内川	144		1/70									○				
七川	102	古座川	33	42	1/100	○						岩瀬	354	岩瀬川	298	56	1/330	○
		平井川	33		1/100									○				
		漆野川	13		1/60									○				

平均年間総流入量比との関係を求めている。

筆者は前報²⁰⁾においてBruneの結果のわが国の貯水池への適用について天竜川に階段状に設置された平岡貯水池、佐久間貯水池を対象として昭和32年より昭和37年までの両貯水池の堆砂資料をもとにして検討をおこなった。すなわち佐久間貯水池にはごく小規模の支川しか流入していないこと、および平岡貯水池より下流佐久間ダムまでの流域面積は約180km²で佐久間貯水池の流域面積約3,300km²の5%程度にすぎないことなどから平岡貯水池より下流の残流域から佐久間貯水池へ流入する土砂の影響は非常に小さいと考えられたので平岡貯水池の捕捉率Eを

$$E = \frac{\text{平岡貯水池の当年堆砂量}}{(\text{平岡貯水池の当年堆砂量}) + (\text{佐久間貯水池の当年堆砂量})}$$

により佐久間貯水池の捕捉率を100%に近いと仮定したごく便宜的な方法で検討をおこない、図3.1のBruneの曲線のほぼ上限値に近いという結果をえた。もとよりごく概略的な結果にすぎず今後より詳細な検討が望まれるところであるが、本解析では図3.1の上限値によって解析対象貯水池の捕捉率を推定することにした。この詳細は次節で述べる。

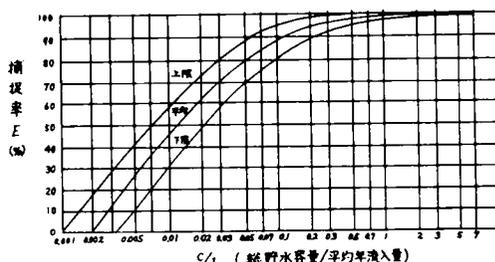


図3.1 E~C/I図(G.M.Bruneによる)

第5節 堆砂量予測式とその適合性の検討

5-1 解析対象貯水池の選定

これまで述べてきたことよりあきらかなように、堆砂量と諸因子との関係を解析するには河川の最上流に位置して規模が大きく流入土砂の大部分が堆積する貯水池を対象とするのが望ましいのであるが、上流河道流域が全く自然状態にある貯水池は現在では数少く、取水せきや砂防ダムなどの構造物、あるいは道路工事などの人為的作用によって土砂流送状況が影響されている場合が多い。しかしこのような各貯水池独自の状況をすべて取り入れて解析することは不可能なのでここでは、上流に高さ15m以上のダムがなく一応最上流に位置すると考えられてしかも貯水容量も充分大きく現段階では捕捉率をほとんど考慮する必要がないと思われる貯水池を対象とすることにした。このような条件を満たす貯水池は表1.1でもかなりの数に達するが、最近電力会社関係の資料はえられ難い事情にあるのでここでは多目的貯水池をおもな対象として解析をおこなうこととした。

5-2 解析対象貯水池の現況

表3.1は解析の対象とした45ヶ所の貯水池における流域面積(ダム地点の流域面積、および常時満水位時貯水池終端より上流の流域面積)、貯水池終端付近の河床こう配を示したものである。

ただし、大支川が流入している貯水池については支川別の流域面積、河床こう配を示してある。(付図2~46各貯水池流域平面図参照)

また表3.2は各貯水池の捕捉率を図3.1のBruneの曲線の上限値によって求めたものである。これによれば、解析対象貯水池については現段階では捕捉率はほぼ100%とみなすことができよう。

表3.3は多目的ダム管理所に照会してえられた上流河道区間、貯水池終端付近における河床表面砂礫粒度状況である。(一部貯水池については昭和38年にダム管理所が撮影した終端付近の写真を付図47~50に示した)ただし粒度は転石、玉石、礫、砂、泥土というごく大まかな分類でしか照会できなかつたのであるが、全国的な規模で比較する場合この程度以上の詳細な

調査は莫大な経費を要し困難であろう。しかも、単に河床表面の状況であるから粒度組成の一部を示すにすぎないのであるが、この表によれば上流河道にはどの貯水池でも粗大砂礫が存在す

表3.2 解析対象貯水池捕捉率表
(図3.1による)

貯水池	総貯水量 C × 10 ⁴ m ³	平均年量 I × 10 ⁴ m ³	C I	捕捉率 E
目屋	3,880	51,386	0.076	0.90
石洲	1,615	40,303	0.040	0.85
田瀬	14,650	68,402	0.210	0.97
鳴子	5,000	43,414	0.115	0.93
花山	3,660	22,424	0.163	0.95
大倉	2,800	14,064	0.199	0.96
萩形	1,495	25,957	0.058	0.88
波里	4,250	28,459	0.149	0.95
鯉畑	5,100	76,724	0.066	0.89
菅瀬	3,160	38,394	0.082	0.90
荒沢	4,024	74,949	0.054	0.87
五十里	5,500	31,631	0.174	0.95
川俣	8,760	22,053	0.397	0.98
矢木	20,430	49,892	0.409	0.98
相俣	2,500	17,093	0.146	0.95
園原	2,031	31,854	0.064	0.89
下久	13,000	18,856	0.689	0.99
二瀬	2,690	15,647	0.172	0.95
相模	6,320	125,921	0.050	0.86
美和	2,959	43,899	0.067	0.89
小滝	5,800	17,756	0.327	0.98
横花	1,500	30,578	0.049	0.86
横山	4,300	102,235	0.042	0.85
笠堀	1,430	36,550	0.039	0.84
上市	505	17,823	0.028	0.81
犀川	1,430	23,715	0.060	0.90
笹生	5,881	24,542	0.240	0.97
大野	2,855	54,226	0.053	0.86
七川	3,080	32,594	0.094	0.92
川原	3,010	37,524	0.080	0.90
二湯	9,960	43,630	0.228	0.97
河本	1,735	29,121	0.060	0.90
佐波	2,460	11,204	0.220	0.97
木屋	2,180	12,941	0.168	0.95
鹿野	4,820	56,248	0.086	0.90
永瀬	5,880	81,165	0.072	0.90
日向	2,790	16,632	0.168	0.95
渡川	3,390	27,672	0.123	0.94
立花	1,000	14,844	0.067	0.89
綾北	2,082	35,038	0.059	0.87
綾南	3,800	17,501	0.217	0.97
岩瀬	5,700	73,912	0.077	0.90
鶴田	12,300	154,736	0.079	0.90

註1: 流入量は「多目的ダム管理年報」より求めた。
 註2: 小河内貯水池、畑瀬第1貯水池、小見野々貯水池についてはIに関する資料がえられなかつたが、いずれも貯水容量が大きいで捕捉率は100%に近いとみなすことができよう。

表3.3 貯水池終端および上流河道区間における河床表面砂礫粒度

(ダム管理所回答による)

貯水池	上流河道区間							調査区間
	貯水池終端	泥土	砂	礫	玉石	転石	岩盤露出区間の有無	
目屋							有	5
石洲							—	10
田瀬							—	不明
鳴子							有	4
花山							—	43
大倉							—	5
萩形							有	12
波里							有	4
鯉畑							有	17
菅瀬							—	2
荒沢							—	10
五十里							有	1
川俣							有	5
矢木							有	不明
相俣							有	10
園原							有	1
下久							有	10
二瀬							有	1
相模							有	20
美和							—	1
小滝							—	1
横花							—	1
横山							—	3
笠堀							—	1
上市							—	20
犀川							—	22
笹生							有	8
大野							—	12
七川							有	2
川原							有	1
二湯							有	2
河本							—	2
佐波							有	12
木屋							有	2
鹿野							有	1
永瀬							有	2
日向							—	5
渡川							有	1
立花							有	3
綾北							有	20
綾南							有	20
岩瀬							有	
鶴田							有	

備考 礫: こぶし大程度以下
 玉石: こぶし大~人頭大程度
 転石: 玉石以上
 ○一部貯水池については回答がえられなかつた。

るのに対して、貯水池終端付近には砂以下の細粒土砂しか堆積していない川内川水系鶴田貯水池、大淀川水系綾南貯水池のような貯水池もある。これら2ヶ所の貯水池の終端は滝になっているので洪水減水時に一時的に河床表面に堆積したものは考えられず、しかも滝より上流の河道はいずれも緩こう配であるので、洪水時の土砂選択流送状況がある程度示すものと考えられる。

付表1～42は解析対象多目的貯水池における昭和47年までの各年堆砂量、および「多目的ダム管理年報」り求めた各年日流量規模別頻度を示したものである。

これによれば大規模な洪水が発生した年には大量の土砂が流入している傾向が大体においてみとめられる。

5-3 流量資料の検討

多目的貯水池の流量資料としては建設省河川局より毎年刊行されている「多目的ダム管理年報」がある。

ただし、この年報に記載されている流量は、一定時間内における貯水位変化、すなわち貯留量と放流量から算定される流量を原則として当日9時から翌日9時までの24時間について平均した日流量であるので洪水時の各時刻の流量は不明である。しかし本解析が対象としている流入土砂量あるいは堆砂量は流量のほかおもに洪水継続時間も関連した洪水量の規模に関係すると考えられるから、ここでは洪水時の日流量より求めた総流入量を洪水量として用いることにした。

他の解析対象貯水池(表3.1の小河内、畑薙第1、小見野々各貯水池)の流量資料としては小河内貯水池については「小河内ダム管理年報」を、また畑薙第1、小見野々貯水池については実測ハイドログラフをそれぞれ用いた。

これらの流量資料も多目的貯水池と同様に貯水位変化から逆算して求めたものである。このように貯留量より逆算された流入量は図3.2のように貯水池周辺からの流入量 I_1 と貯水池終端より上流河道区間からの流入量 I_2 との和であるが、一般に流入土砂の大部分は上流河道区間を流送されてきたものであるから図3.2のM点における流入量 I_2 によって流入土砂量が規定されるであろう。また図3.3のように貯水池が分岐している場合にはM点、N点における流入量 I_1 、 I_2 によって流入土砂量が規定されるであろう。したがって、流入土砂量予測には貯水池終端における流量資料が望ましいのであるが、このような山地河川の洪水時流量観測は危険をとめない観測資料の精度も劣るので、ここでは洪水流出の時差などの問題はあがるが簡単に流域面積比で換算して貯水池終端の流量(流入量)を求めることにした。ただし貯水池終端は常時満水位に対応する湛水区域の上流端とした。

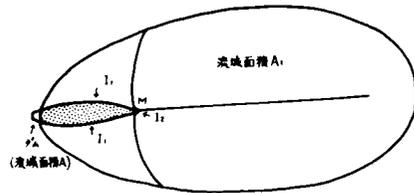


図3.2 貯水池流域分割図

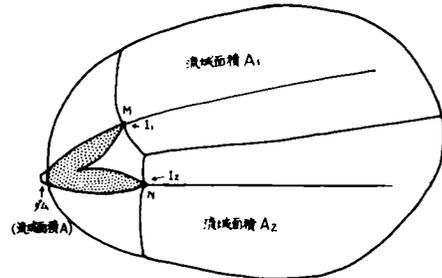


図3.3 貯水池流域分割図

5-4 流量、河床こう配と限界掃流力との関係の検討

流送土砂量と洪水量との関係を検討する場合には限界掃流力などの土砂流送限界に対応する流量が問題になる。

粒径範囲の広い混合砂礫が流送される山地河川における砂礫の流送機構や限界掃流力の問題については最近かなりの研究が進められているが、これらの成果を実際問題に適用する上で必要な情報資料は現段階では必ずしも得られていない場合が多いので、ここでは実用上の便を考慮して、貯水池の上流端で普通見受けられる程度の砂礫の移動限界に対応する流量がどの程度になるか概略の検討をおこなってみた。

限界掃流力式として岩垣が提案した式を用いると、粒径 3 mm 以上の砂礫について

$$u_*^2 = 0.809 d \dots\dots\dots(3.10)$$

u_* : 摩擦速度 (m/s)

d : 粒径 (m)

であるから、この式の左辺に(3.4)式を代入すると、

$$g n^{\frac{3}{2}} s^{\frac{3}{2}} (qs)^{\frac{3}{2}} = 0.809 d \dots\dots\dots(3.11)$$

となる。

この式を変形した

$$qs = \left(\frac{0.809}{g} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{s^{\frac{1}{2}}} \cdot d^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(3.12)$$

においてManning-Strickler式³⁴⁾

$$n = 0.0417 d^{\frac{1}{4}}$$

を代入して整理すると

$$qs = 0.376 s^{\frac{1}{2}} \cdot d^{\frac{2}{3}}$$

あるいは

$$QS = 0.376 BS^{-\frac{1}{2}} \cdot d^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(3.13)$$

S : 河床こう配

B : 河巾, $Q = Bq$

となる。

図3.4~図3.8は(3.13)式により河巾B, 河床こう配SをパラメーターとしてQSとdとの関係を示したものである。

筆者は前報²⁰⁾において $QS = 1$ の条件を満足する流量を土砂流送限界に対応する流量としてこの流量以上の流入量の総量を洪水量としたが図3.4~図3.8によるとこの条件はほぼ碁石大~

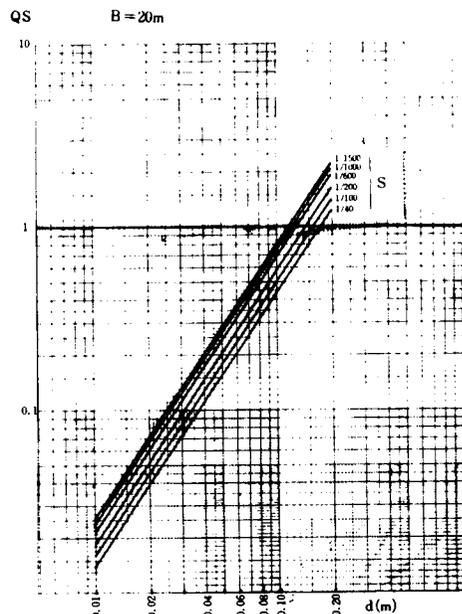


図3.4 QS ~ d 図

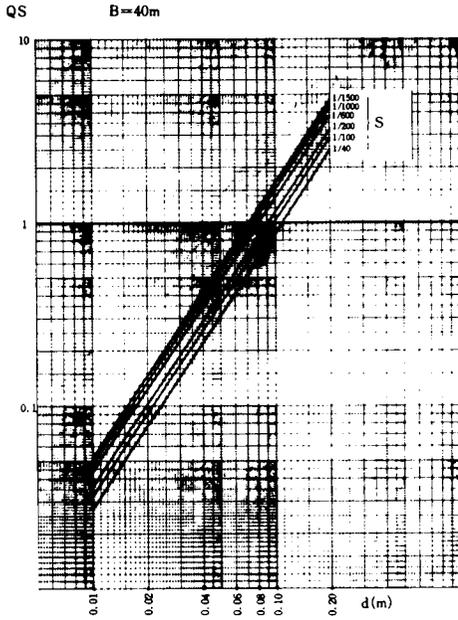


图3.5 QS ~ d

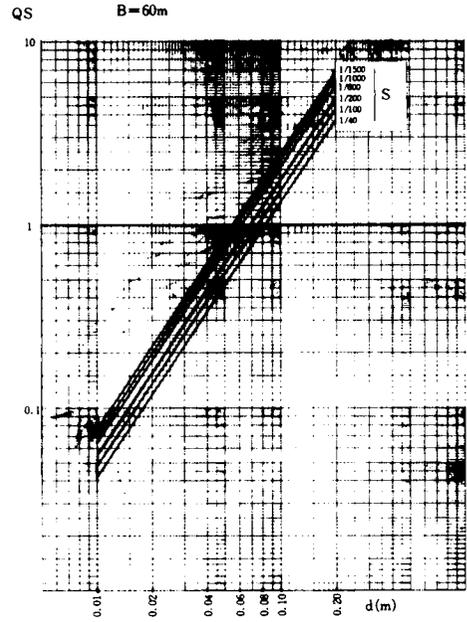


图3.6 QS ~ d

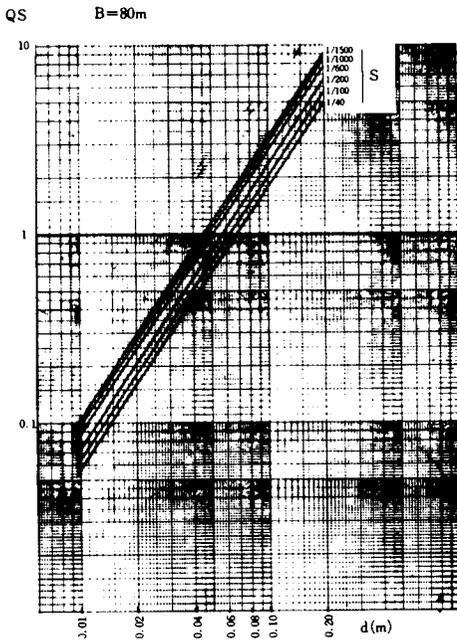


图3.7 QS ~ d

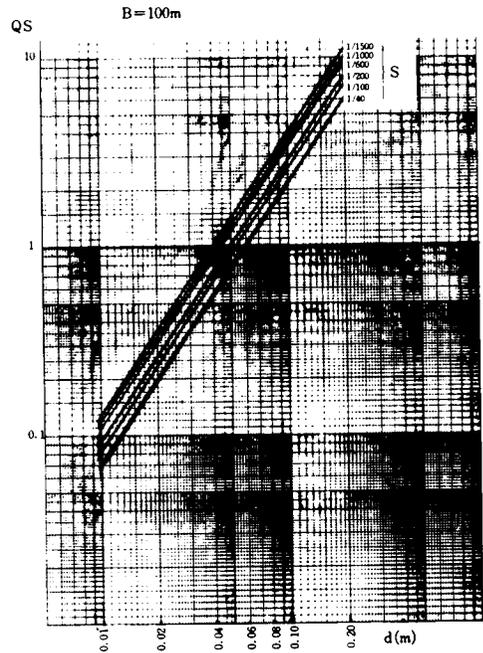


图3.8 QS ~ d

こぶし大程度の礫の流送限界に対応する。したがって、日流量 \bar{Q} についても $\bar{Q}=1/S$ 以下であれば礫以上の粗粒部分はほとんど流送されないことになる。

表3.3で鶴田、綾南、花山、湯原各貯水池のように貯水池終端付近には砂以下の細粒物質しか堆積していないか、全く土砂が堆積していない状況にあり、しかも堆砂形状はⅡ型に対応し(図2.34~図2.37参照)一応礫の流入は少いと考えられる貯水池について既往最大日流量 \bar{Q}_{max} と \bar{Q}_0 (\bar{Q}_0 は貯水池終端における $\bar{Q}=1/S$ の値をダム地点に流域面積比で換算した値である)とを比較すると表3.4のようになる。

これによれば各貯水池とも \bar{Q}_{max} は \bar{Q}_0 以下であって、このようなごくマクロ的な考え方でもある程度は実際の状況に対応するようである。

一方流域に崩壊地がかなり存在し浮遊土砂が相当量流入すると考えられる岩木川水系日屋貯水池、相模川水系相模貯水池、小丸川水系渡川貯水池(表2.2参照)のそれぞれについて、貯水池終端における $\bar{Q}=1/S$ に対応するダム地点の日流量を示した表3.5と付表1、18、36とを比較すると、いずれの貯水池でも表3.5の値以下の日流量しか発生していない年の堆砂量は少い。また上に述べた既往最大日流量が $\bar{Q}=1/S$ 以下であって流入土砂の大部分が浮遊砂と推定される綾南、花山、湯原各貯水池では、付表7、29、39、および図2.35、2.36、2.37、から推察されるように浮遊砂の流入量は少い。したがって河床こう配が $1/400$ 程度以上(表3.1に示したように鶴田貯水池を除く他の貯水池の河床こう配はすべて $1/400$ 程度以上である)のこれらの貯水池では、 $\bar{Q}=1/S$ 以下の規模の洪水時に流送される浮遊砂の量はさほど多くないと一応考えられる。

しかし、川内川水系鶴田貯水池では既往洪水時の日流量はいずれも $\bar{Q}=1/S$ 以下であるにもかかわらず、付表41に示すように相当量の土砂が流入している。この貯水池の上流にはきわめて緩こう配($1/1500$ 程度)の盆地区間があるので、掃流砂の流入は少いと考えられるが、流域には雨水の侵食をうけ易い火山灰土(シラス)が広く分布しておりこれが浮遊砂として大量に流入するのである。

わが国ではこのような緩こう配区間がある貯水池は稀であろうが、いずれにせよこのように流入土砂の大部分が浮遊砂であってしかもその量が多い貯水池には掃流砂の流送限界のみでは実際の状況に対応しないから別途の考察が必要になる。これについては次節で改めて述べることにするが、これまでの検討結果、および表3.3からも推察されるように粗大な礫が河床堆積物の大部分を占めていることが多いわが国の山地河川の状況を考慮すれば、掃流砂の流送限界を、前報と同様に一応礫の流送限界にほぼ対応する

表3.4 $\bar{Q}=1/S$ に対応するダム地点の日流量 \bar{Q}_0 、既往最大日流量 \bar{Q}_{max} 比較表

貯水池	日流量	\bar{Q}_0	\bar{Q}_{max}
鶴田		1,641 m^3/s	1,536 m^3/s
綾南		373	352
花山		117	110
湯原		708	386

表3.5 $\bar{Q}=1/S$ に対応するダム地点の日流量 \bar{Q}_0 表

貯水池	日流量	\bar{Q}_0
相模	桂川	354 m^3/s
渡川	渡川	239
日屋	暗門川	353
	大沢川	397
	湯沢川	251

$$\bar{Q}S = 1 \dots\dots\dots (3.11)_1 \quad \begin{array}{l} \bar{Q} : \text{貯水池終端における日流量} \\ S : \text{貯水池終端における河床こう配} \end{array}$$

としても実際の状況にある程度は対応すると考えられる。

なお、流量資料に記載されているダム地点の日流量を \bar{Q}_0 とせば図3.2の場合は(3.14)₁式は

$$\bar{Q}_0 \frac{A_1}{A} S = 1 \dots\dots\dots (3.14)_2$$

となり、図3.3の場合は

$$\begin{cases} \bar{Q}_0 \frac{A_1}{A} S_1 = 1 \\ \bar{Q}_0 \frac{A_2}{A} S_2 = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (3.14)_3$$

となる。

5-5 浮遊土砂量と洪水量との関係の検討

いま、洪水時における浮遊土砂量 Q_s (m^3/s)が(3.9)式であらわされるものとして24時間内の毎時観測流量を Q_i ($i=0, 1, 2, \dots, 24$)とすれば、24時間における総浮遊土砂量 V_s (m^3)は近似的につきの式で与えられよう。

$$\begin{aligned} V_s &= \alpha \left\{ \frac{Q_0^2 + Q_1^2}{2} + \frac{Q_1^2 + Q_2^2}{2} + \dots\dots\dots + \frac{Q_{23}^2 + Q_{24}^2}{2} \right\} \Delta t \quad (\Delta t = 3600\text{sec}) \\ &= \alpha \left\{ \frac{Q_0^2 + Q_{24}^2}{2} + \sum_{i=1}^{23} Q_i^2 \right\} \Delta t \dots\dots\dots (3.15) \end{aligned}$$

一方、日流量 \bar{Q} はつききの式で求められる

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \frac{1}{T} \left\{ \frac{Q_0 + Q_1}{2} + \frac{Q_1 + Q_2}{2} + \dots\dots\dots + \frac{Q_{23} + Q_{24}}{2} \right\} \Delta t \\ &= \frac{1}{24} \left\{ \frac{Q_0 + Q_{24}}{2} + \sum_{i=1}^{23} Q_i \right\} \dots\dots\dots (3.16) \end{aligned} \quad (T = 86400\text{sec})$$

ここで

$$\gamma = \left\{ \frac{Q_0^2 + Q_{24}^2}{2} + \sum_{i=1}^{23} Q_i^2 \right\} / \left\{ \frac{Q_0 + Q_{24}}{2} + \sum_{i=1}^{23} Q_i \right\} \bar{Q} \dots\dots\dots (3.17)$$

とおいて γ の値を実測ハイドログラフについてしらべると、図3.9~3.42に示すようにハイドログラフによって多少の差はあるがほぼ1と2の間の値になる。したがって(3.15)式はつききのようにならわすことができる。

$$\begin{aligned} V_s &= \alpha \gamma \bar{Q} \left\{ \frac{Q_0 + Q_{24}}{2} + \sum_{i=1}^{23} Q_i \right\} \Delta t \\ &= 86400 \alpha \gamma \bar{Q}^2 \dots\dots\dots (3.18) \end{aligned}$$

したがって、ある期間における浮遊土砂量 $\sum V_s$ は

$$\sum V_s = 86400 \sum \alpha \gamma \bar{Q}^2 = \sum \alpha \gamma \bar{Q} I \dots\dots\dots (3.19)$$

$$I = 86400 \bar{Q} : \text{日流入量}$$

とあらわされることになる。

γ の値は洪水によって多少異なり、また α も流域の状況の変化などに対応して年度によって

異なった値となることが充分考えられるが、概略的にみれば一応ある期間内の浮流土砂量はほぼ $\sum \bar{Q}^2$ に比例すると考えられるから浮流土砂量の比率は $\sum \bar{Q}^2$ の比率である程度推定されよう。たとえば、付表41に示した鶴田貯水池では大規模な洪水が発生した昭和46年度、47年度のそれぞれ1年間において付表41の日流量の階級別に対応して流入した浮流土砂量の比率は、各階級の中央値を \bar{Q}_i 、年間発生頻度を f_i とすれば $\bar{Q}_i^2 f_i$ の比率である程度推定されよう。ただし河川における土砂流送の大部分は洪水時におこなわれるから少くとも平水量、あるいは豊水量程度以下の流量に対応する浮流土砂量は考慮しなくてもよいであろう。鶴田貯水池では昭和40年度より昭和47年度までの期間における豊水量の平均値は $44 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であるので付表41で $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の規模の日流量について昭和46年度、47年度における $\bar{Q}_i^2 f_i$ 、 $\bar{Q}_i^2 f_i$ の総和 $\sum \bar{Q}_i^2 f_i$ 、 $r_i = \bar{Q}_i^2 f_i / \sum \bar{Q}_i^2 f_i$ 、および当年の最大日流量 \bar{Q}_{\max} より \bar{Q}_i までの r_i の和 $R_i = \sum_{\bar{Q}_{\max}}^{Q_i} r_i$ を求めると表3.6のようになる。これによれば昭和46年、47年いずれの場合も $\bar{Q} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の日流量に対応する浮遊土砂量は全体の80%程度となる。

表3.7は鶴田貯水池と流況がよく似た相模貯水池（豊水量 $42 \text{ m}^3/\text{s}$ ）で大規模な洪水が発生した昭和34年、昭和41年における $\bar{Q}_i^2 f_i$ の値、比率を示したものである。この表でも $\bar{Q} = 200 \sim 300 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度以上の日流量に対応する浮遊土砂量は全体のほぼ80%程度となっている。

表3.8は堆砂の進行がいちぢるしい美和貯水池、横山貯水池、永瀬貯水池、および二川貯水池においてとくに大量の土砂が流入した年の $\bar{Q}_i^2 f_i$ の値、比率を示したものである。この表と表3.9に示したこれらの貯水池における(3.14)式に対応する日流量の値とを比較してみるといずれの場合も表3.9の値以上の日流量に対応する浮遊土砂量は全体のほぼ70~80%となっており、表3.7の相模貯水池の場合も表3.5の値とくらべるとほぼ似た傾向が認められる。

しかしこのように $\bar{Q}_i^2 f_i$ の値により浮流土砂量の比率についてある程度推定可能なのは大規模な洪水が発生して $\bar{Q}_i^2 f_i$ の値にかなりの開きがある場合であって、付表7の花山貯水池のように発生した洪水の規模が小さく、発生頻度が少ない場合には適用することは困難である。

以上述べたことは $30 \text{ m}^3/\text{s} \sim 50 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の規模の日流量を対象としたものであるから実際の状況への対応性など検討を要する問題点がふくまれており、あくまでごく便宜的な方法にすぎない。今後このような wash load をふくんだ浮流土砂の流送限界について、理論的な究明はきわめて困難としても、浮流土砂が水のにごりとして容易に観察されることより、雨量あるいは流量の規模との関連について系統的な調査がおこなわれた段階ではさらに合理的な推定も可能であろう。

5-6 水理、崩壊因子を用いた堆砂量予測式

これまでの考察に基き掃流砂量が(3.8)式で、また浮遊砂量が(3.19)式でそれぞれ与えられるものとすれば、ある期間における流入土砂量 V_T はつぎの式であらわされる。

$$V_T = \sum \beta I S + \sum' \alpha \gamma \bar{Q} I \dots\dots\dots (3.20)$$

ここに I 、 \bar{Q} はそれぞれ貯水池終端における洪水量、日流量である。

したがって、堆砂量 V_{ST} は、貯水池の捕捉率を E 、また土砂の間隙率を第2章第5節で述べた横山貯水池の調査結果を考慮して掃流砂について λ_1 、浮遊砂について λ_2 とすれば一応つぎの式で与えられよう。

表3.6 鶴田貯水池日流量規模別 $\bar{Q}_i^2 f_i$ 値

日流量	昭和47年度 年間堆砂量 $76 \times 10^4 \text{ m}^3$					昭和46年度 年間堆砂量 $65 \times 10^4 \text{ m}^3$				
	\bar{Q}_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	
50~60 m ³ /s	55	31	9.4	0.011	1.000	24	7.3	0.013	1.000	
60~70	65	17	7.2	0.008	0.989	18	7.6	0.014	0.987	
70~80	75	10	5.6	0.007	0.981	7	3.9	0.006	0.973	
80~90	85	10	7.2	0.008	0.974	6	4.3	0.008	0.967	
90~100	95	7	5.4	0.007	0.966	7	6.3	0.011	0.959	
100~150	125	28	43.8	0.051	0.959	16	25.0	0.045	0.948	
150~200	175	9	27.6	0.032	0.908	12	36.8	0.065	0.903	
200~250	225	5	25.3	0.030	0.876	2	10.1	0.018	0.838	
250~300	275	2	15.1	0.018	0.846	4	30.3	0.054	0.820	
300~400	350	5	61.3	0.071	0.828	4	49.0	0.088	0.766	
400~600	500	1	25.0	0.029	0.757	3	75.0	0.133	0.678	
600~800	700	3	147.0	0.172	0.728	0	0	0	0.545	
800~1,000	900	1	81.0	0.095	0.556	1	81.0	0.144	0.545	
1,000~1,200	1,100	0	0	0	0.461	0	0	0	0.401	
1,200~1,400	1,300	1	169.0	0.198	0.461	0	0	0	0.401	
1,400~1,600	1,500	1	225.0	0.263	0.263	1	225.0	0.401	0.401	
$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 854.9 \times 10^4$					$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 561.6 \times 10^4$					

表3.7 相模貯水池日流量規模別 $\bar{Q}_i^2 f_i$ 値

日流量	昭和41年度 年間堆砂量 $147 \times 10^4 \text{ m}^3$					昭和34年度 年間堆砂量 $69 \times 10^4 \text{ m}^3$				
	\bar{Q}_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	
50~60 m ³ /s	55	28	8.5	0.032	1.000	42	12.7	0.028	1.000	
60~70	65	18	7.6	0.028	0.968	33	13.9	0.031	0.972	
70~80	75	13	7.3	0.028	0.940	16	9.0	0.020	0.941	
80~90	85	7	5.1	0.019	0.912	10	7.2	0.016	0.921	
90~100	95	6	5.4	0.020	0.893	10	9.0	0.020	0.905	
100~150	125	10	15.6	0.059	0.873	8	12.5	0.028	0.885	
150~200	175	4	12.3	0.046	0.814	3	9.2	0.020	0.857	
200~250	225	2	10.1	0.038	0.768	1	5.1	0.012	0.837	
250~300	275	1	7.6	0.028	0.730	2	15.1	0.033	0.828	
300~400	350	0	0	0	0.702	1	12.3	0.028	0.792	
400~600	500	1	25.0	0.093	0.702	1	25.0	0.055	0.764	
600~800	700	0	0	0	0.607	2	94.0	0.209	0.709	
800~1,000	900	2	162.0	0.607	0.607	0	0	0	0.500	
1,000~1,200	1,100	0	0	0	0	0	0	0	0.500	
1,200~1,400	1,300	0	0	0	0	0	0	0	0.500	
1,400~1,600	1,500	0	0	0	0	1	225.0	0.500	0.500	
$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 266.5 \times 10^4$					$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 450.0 \times 10^4$					

表3.8 横山貯水池, 美和貯水池, 二川貯水池, 永瀬貯水池日流量規模別 $\bar{Q}_i^2 f_i$ 値

日流量	横山貯水池 昭和40年度 年間堆砂量 $381 \times 10^4 \text{ m}^3$					美和貯水池 昭和36年度 年間堆砂量 $309 \times 10^4 \text{ m}^3$					二川貯水池 昭和44年度 年間堆砂量 $65 \times 10^4 \text{ m}^3$					永瀬貯水池 昭和47年度 年間堆砂量 $113 \times 10^4 \text{ m}^3$				
	\bar{Q}_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i	f_i	$\bar{Q}_i^2 f_i$	r_i	R_i			
30~40 m ³ /s	35	31	3.8	0.013	1.000	8	1.0	0.023	1.000	3	0.4	0.010	1.000	44	5.4	0.016	1.000			
40~50	45	27	5.5	0.019	0.987	2	0.4	0.009	0.977	3	0.6	0.015	0.990	26	5.3	0.016	0.984			
50~50	55	13	3.9	0.014	0.968	2	0.6	0.013	0.968	1	0.3	0.008	0.975	17	5.1	0.016	0.968			
60~70	65	13	5.5	0.019	0.954	1	0.4	0.009	0.955	0	0	0	0.967	6	2.5	0.007	0.952			
70~80	75	12	6.8	0.022	0.935	2	1.1	0.025	0.946	3	1.7	0.042	0.967	7	3.9	0.012	0.945			
80~90	85	2	1.4	0.005	0.913	2	1.4	0.032	0.921	2	1.4	0.036	0.925	5	3.6	0.011	0.933			
90~100	95	6	5.4	0.018	0.908	0	0	0	0.889	0	0	0	0.889	4	3.6	0.011	0.922			
100~150	125	14	21.9	0.074	0.890	2	3.1	0.070	0.889	5	7.8	0.195	0.889	7	10.9	0.032	0.911			
150~200	175	2	6.1	0.021	0.816	2	6.1	0.138	0.819	1	3.1	0.077	0.693	3	9.2	0.028	0.879			
200~250	225	1	5.1	0.017	0.795	1	5.1	0.115	0.681	0	0	0	0.616	2	10.1	0.031	0.851			
250~300	275	3	22.7	0.077	0.778	0	0	0	0.566	0	0	0	0.616	2	15.1	0.045	0.820			
300~400	350	3	36.8	0.124	0.701	0	0	0	0.566	2	24.5	0.616	0.616	1	12.3	0.037	0.775			
400~600	500	2	50.0	0.169	0.577	1	25.0	0.566	0.566	0	0	0	0	3	75.0	0.226	0.738			
600~800	700	0	0	0	0.408	0	0	0	0	0	0	0	0	1	49.0	0.148	0.512			
800~1,000	900	0	0	0	0.408	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.364			
1,000~1,200	1,100	1	121.0	0.408	0.408	0	0	0	0	0	0	0	0	1	121.0	0.364	0.364			
1,200~1,400	1,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1,400~1,600	1,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1,600~1,800	1,700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 295.9 \times 10^4$					$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 44.2 \times 10^4$					$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 39.8 \times 10^4$					$\Sigma \bar{Q}_i^2 f_i = 332.0 \times 10^4$					

表3.9 (3.14)式に対応する
ダム地点の日流量 \bar{Q}_0 表

貯水池	日流量	\bar{Q}_0
美和	三峰川	109 m ³ /s
二川	有田川	170
横山	掛斐川	228
	坂内川	229
永瀬	横山川	262
	上韭生川	452

$$V_{st} = \frac{1}{1-\lambda_s} \sum \beta I S + \frac{E}{1-\lambda_s} \sum' \alpha \gamma \bar{Q} I \dots\dots\dots(3.21)$$

この式の右辺第2項にふくまれる $\alpha \bar{Q}$ は(3.9)式によれば Q_s/Q ,すなわち浮遊砂濃度 c_s の平均値 \bar{c}_s と考えられるが, γ, α あるいは \bar{c}_s は年によって異なった値となることが充分考えられるので(3.21)式のままでは取扱いが困難である。そこでいま

$$\eta = \frac{\sum' \gamma \alpha \bar{Q} I}{\sum' I} = \frac{\sum' \gamma \bar{c}_s I}{\sum' I}$$

とおけば η は一応ある期間における $\gamma \bar{c}_s$ の平均値とみなすことができるから(3.21)式はつぎのようになる。

$$V_{st} = \frac{\beta S}{1-\lambda_s} \sum I + \frac{E}{1-\lambda_s} \eta \sum' I \dots\dots\dots(3.22)$$

ここに, \sum, \sum' はそれぞれ掃流砂,浮遊砂の流送限界に対応する流量以上の和であるが,現在のところこれらの値の厳密な推定は困難なので,ここではごくマクロ的に考えて処理することにして,掃流砂については(3.14)式に対応する日流量以上の総和をとることにした。

また,浮遊砂については前節の検討結果にもとづいて河床こう配 $1/400$ 程度以上の貯水池では $\sum' \approx \sum$ とした。(ただし鶴田貯水池については浮遊砂のみ考慮して $\bar{Q}=300\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水を対象とすることにした)。

したがって,(3.22)式はつぎのようになる。

$$V_{st} = K_1 S \sum I + K_2 \eta \sum I = K_1 S I_T + K_2 \eta I_T \dots\dots\dots(3.23)$$

あるいは

$$\frac{V_{st}}{I_T} = K_1 S + K_2 \eta \dots\dots\dots(3.24)$$

となる。

ここに

$I_T = \sum I$: ある期間の貯水池終端における総洪水量

$$K_1 = \frac{\beta}{1-\lambda_s}, \quad K_2 = \frac{E}{1-\lambda_s}$$

である。

η は浮遊砂の濃度に関連する因子であるから,流域における浮遊砂のおもな供給源である崩壊地の規模に関係することが充分考えられる。

そこで,まづ図3.2のように大支川が流入していない貯水池(以下このような型の貯水池を集中型とよぶことにする)について V_{st}/I_T (V_{st}, I_T は原則としてダム築造初年度より昭和47年までの総堆砂量,および貯水池終端における総洪水量)と,河床こう配 S ,および崩壊地密度 A_d/A (A_d :崩壊地面積, A :流域面積)との関係について検討をおこなうことにした。ただし I_T は流量資料に記載されているダム地点の日流量 \bar{Q}_0 について(3.14)₂式を満足する値以上の洪水量の総和を流域面積比で貯水池終端の値に換算したものである。

表3.10に示した27ヶ所の貯水池における $V_{st}/I_T, S, A_d/A$ の値をみると V_{st}/I_T と $S,$

○ 多目的貯水池のハイドログラフは
「多目的ダム管理年報」による。

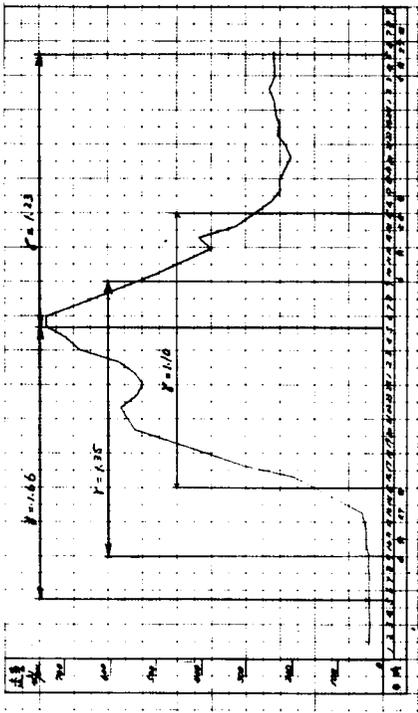


図3.9 美和貯水池 昭和36年 6月28日

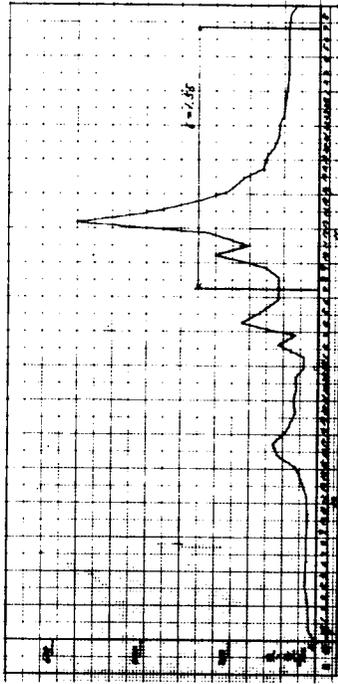


図3.10 上市川貯水池 昭和44年 8月11日

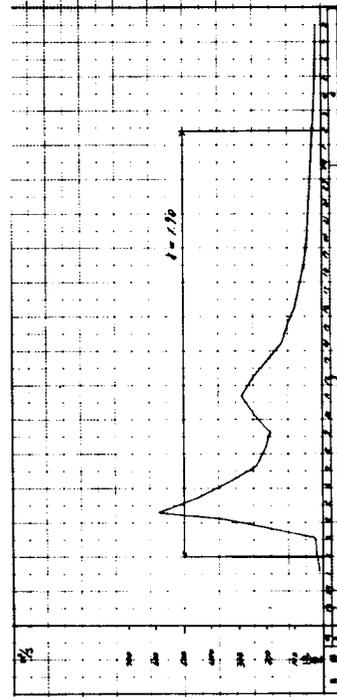


図3.11 木屋川貯水池 昭和39年 9月 3日

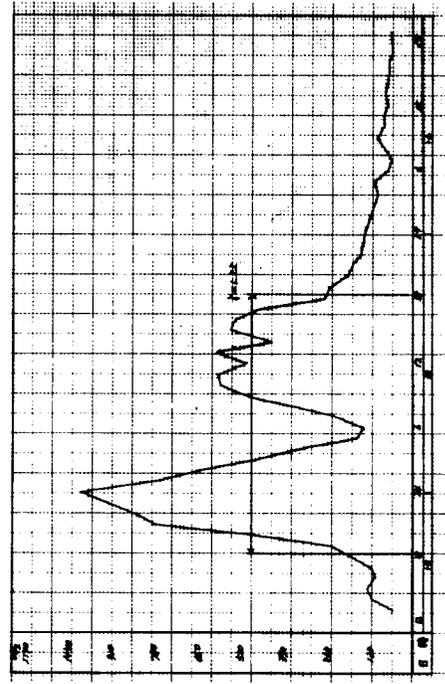


図3.12 笹生川貯水池 昭和49年 9月14日

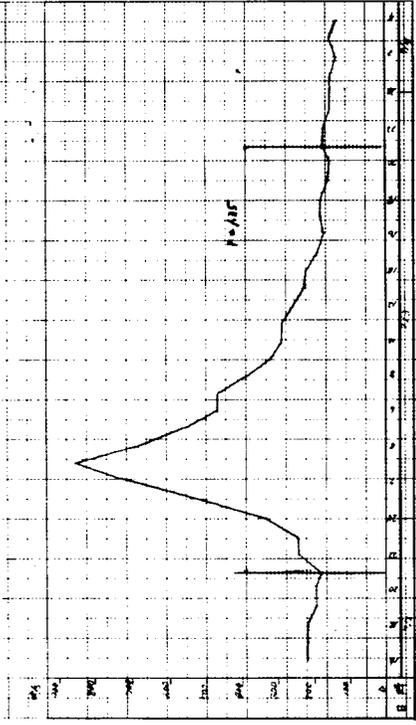


図3.14 市房貯水池 昭和40年7月3日

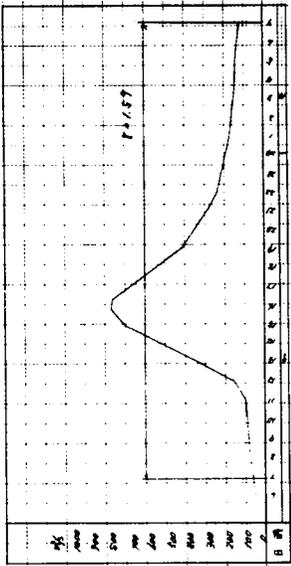


図3.13 北川貯水池 昭和38年8月9日

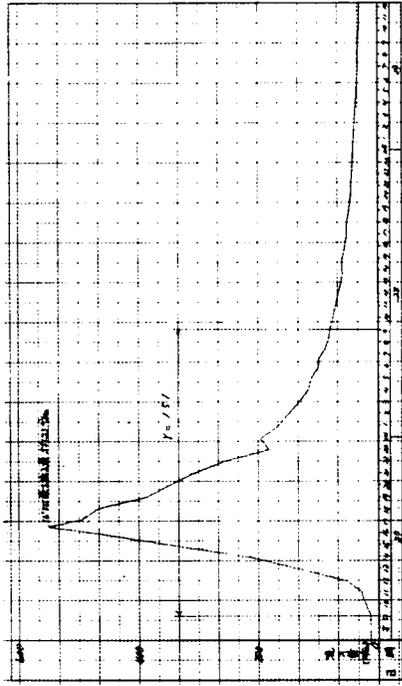
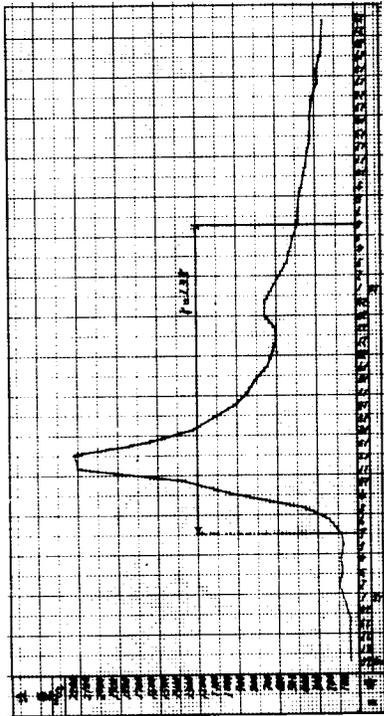


図3.16 目屋貯水池 昭和42年3月27日



湯田貯水池 昭和40年7月16日

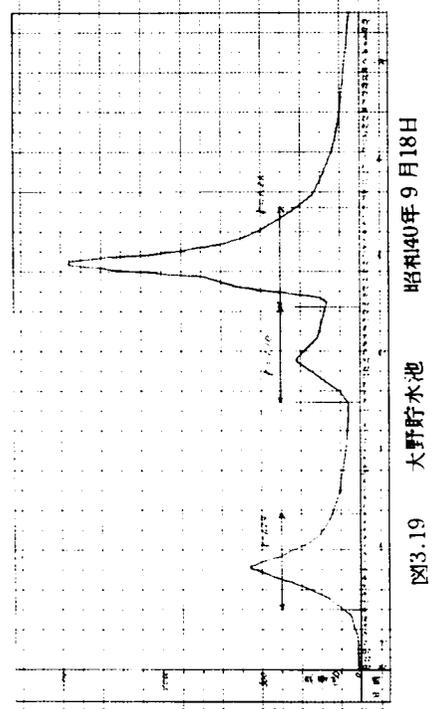
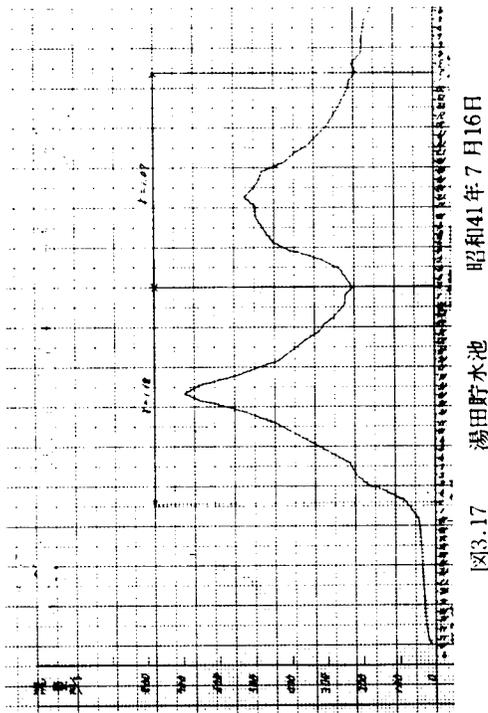
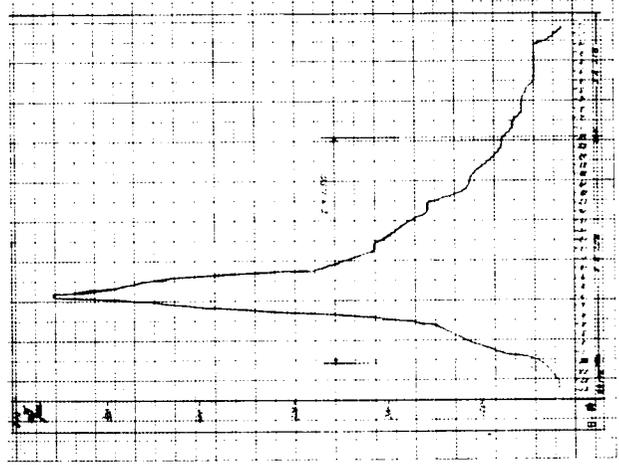
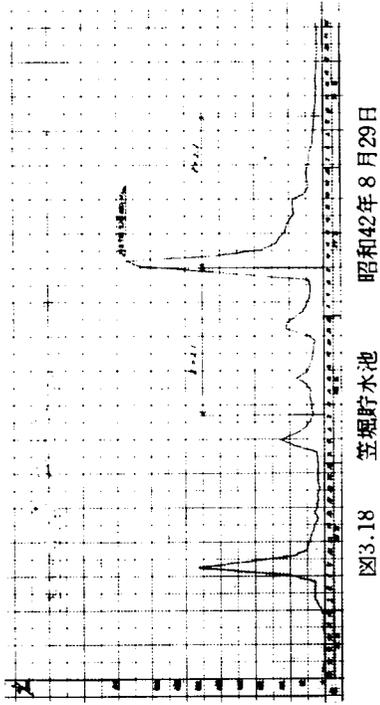


図3.20 桂沢貯水池 昭和41年8月20日

図3.19 大野貯水池 昭和40年9月18日

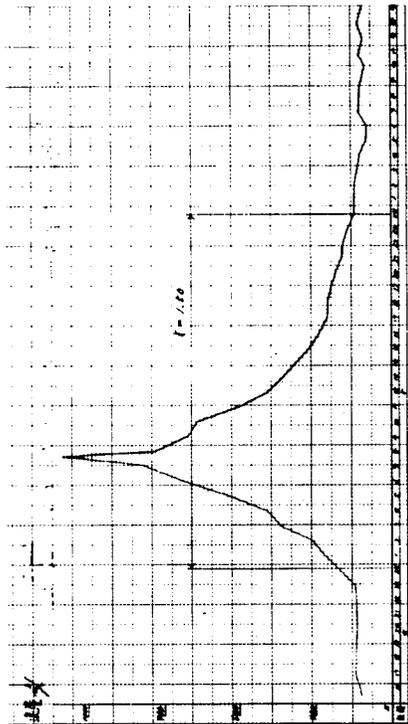


図3.22 日尾貯水池 昭和36年4月5日

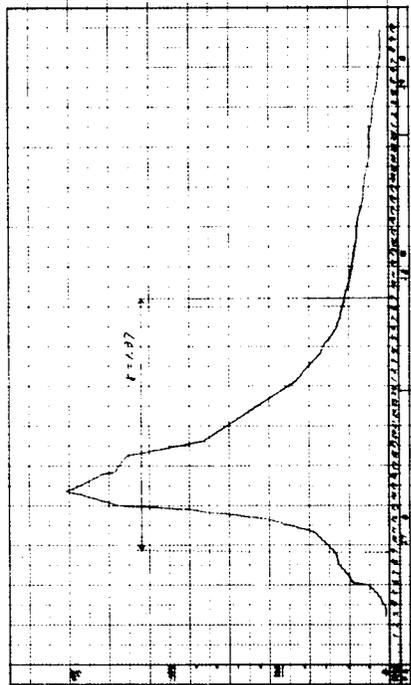


図3.23 宮川貯水池 昭和37年7月27日

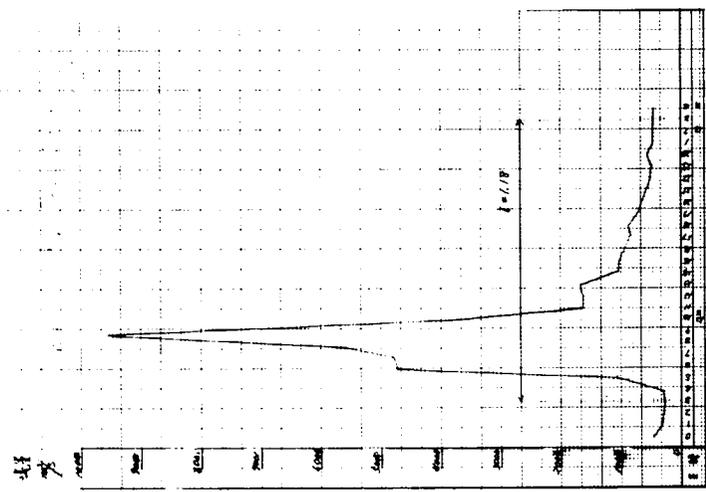


図3.21 笠堀貯水池 昭和44年8月12日

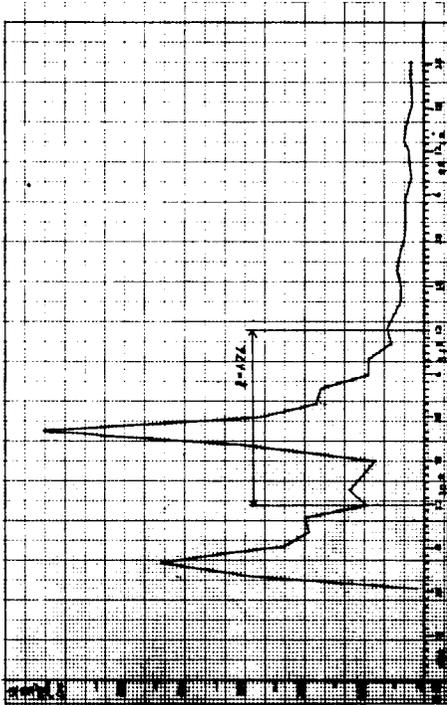


図3.24 笹生川貯水池 昭和37年 8月30日

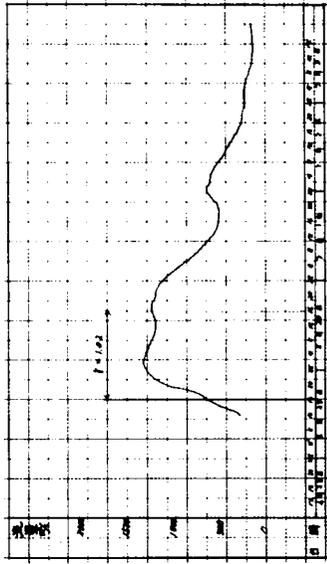


図3.26 鶴田貯水池 昭和44年 6月30日

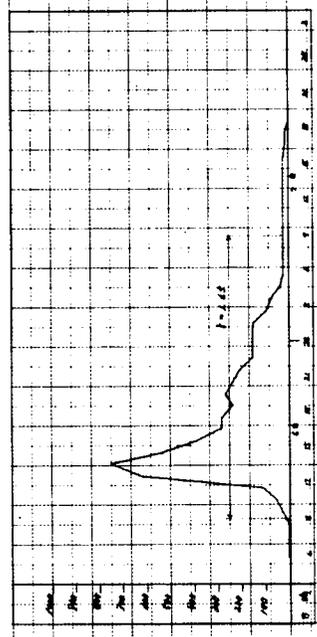


図3.25 三面貯水池 昭和45年 8月6日

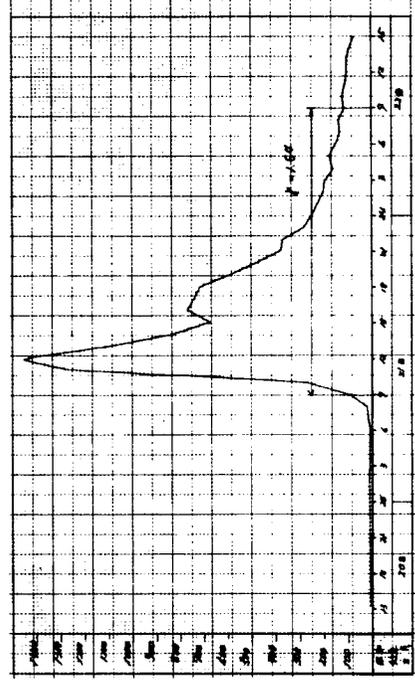


図3.27 柳瀬貯水池 昭和45年 8月21日

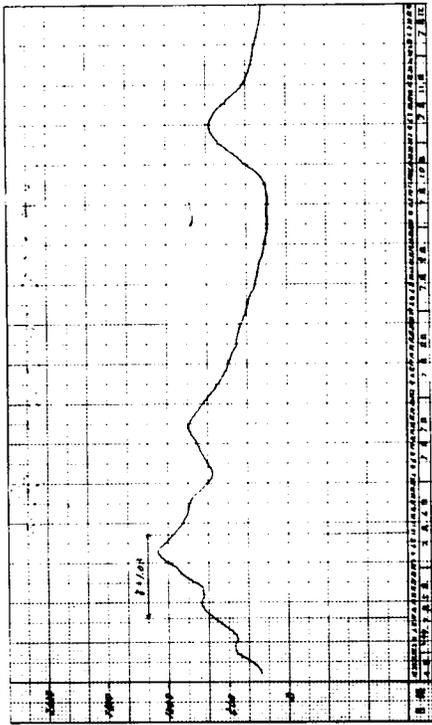


図3.29 鶴田貯水池 昭和44年7月4日～13日

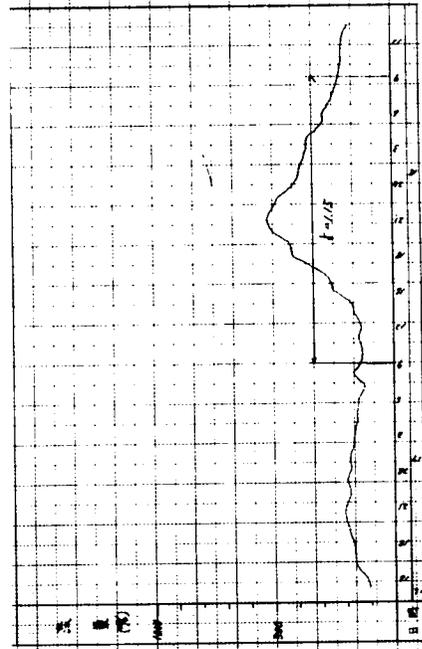


図3.31 湯田貯水池 昭和45年4月17日

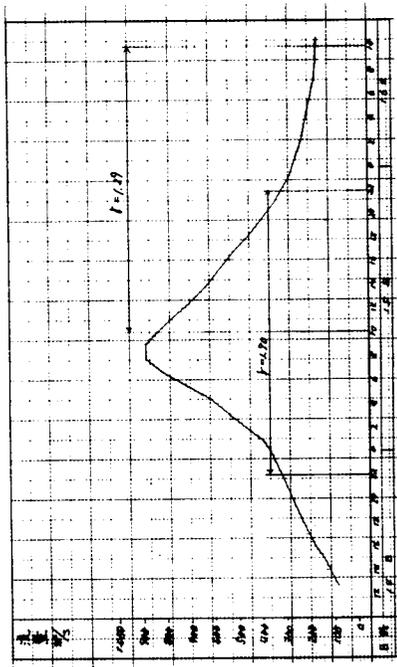


図3.28 鶴田貯水池 昭和45年8月15日

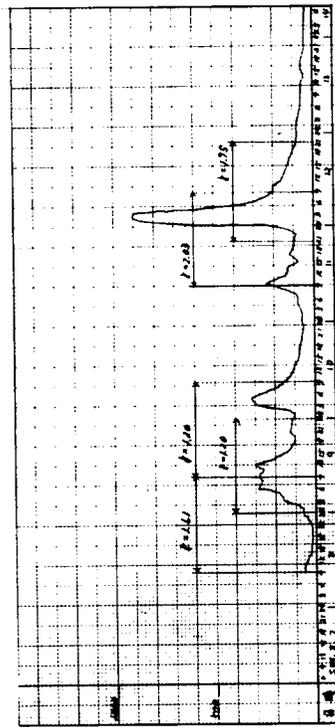


図3.30 矢木沢貯水池 昭和44年8月11日

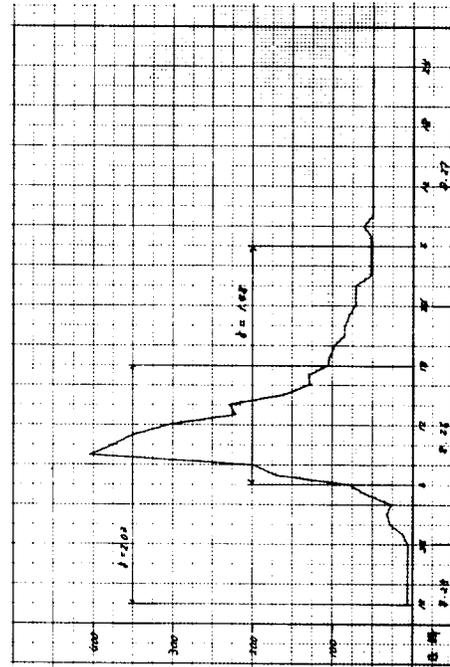


図3.32 畑薙第1貯水池 昭和37年8月26日

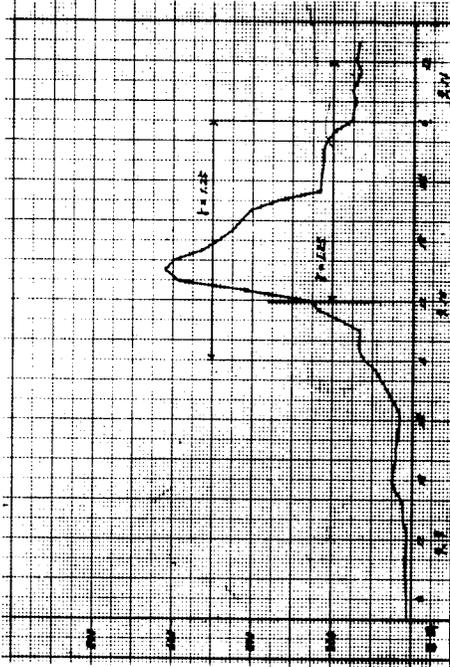


図3.33 畑薙第1貯水池 昭和40年9月10日

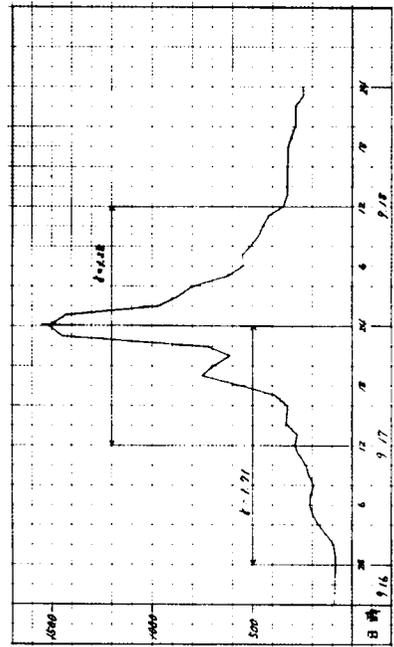


図3.34 畑薙第1貯水池 昭和40年9月17日

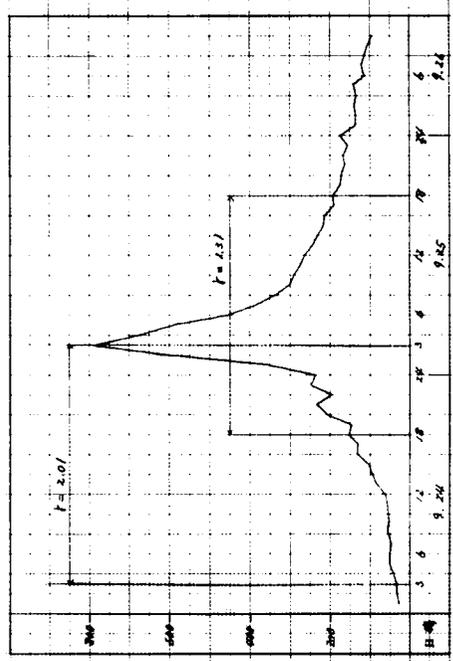


図3.35 畑薙第1貯水池 昭和41年9月25日

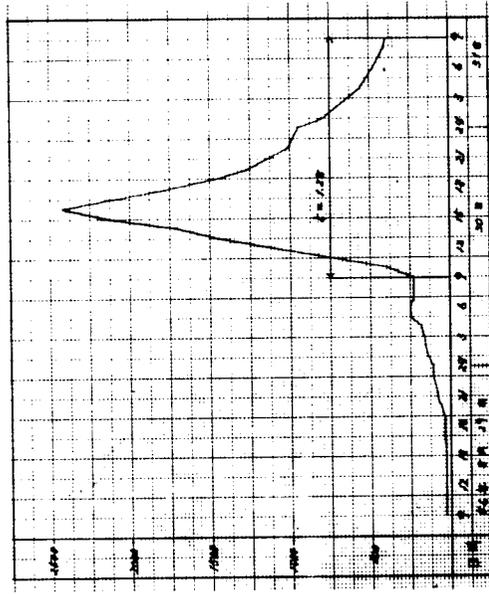


図3.36 小見野々貯水池 昭和46年8月29日

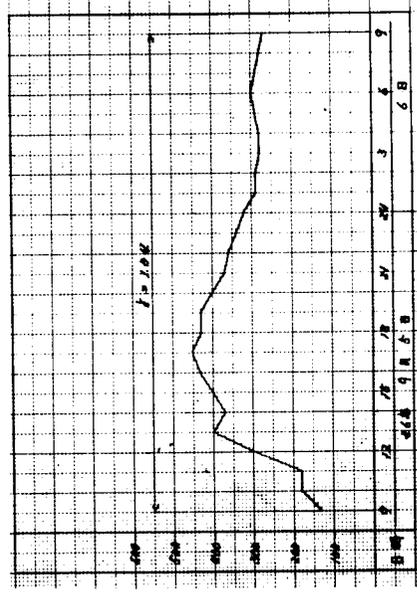


図3.38 小見野々貯水池 昭和46年9月5日

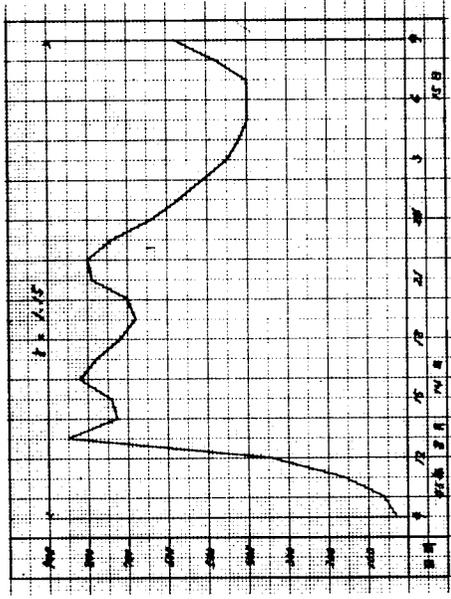


図3.37 小見野々貯水池 昭和45年8月14日

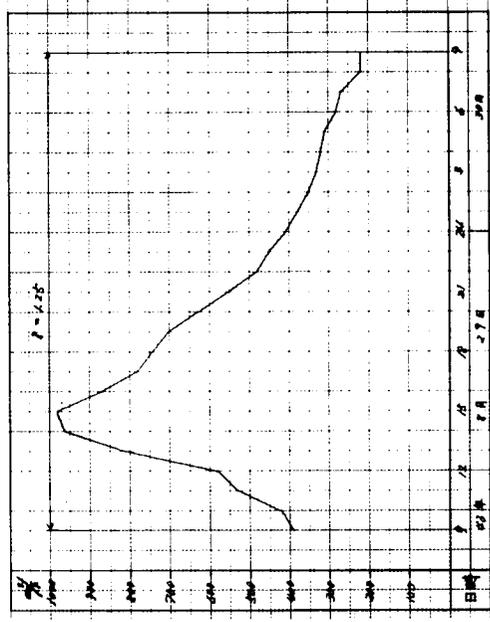


図3.39 小見野々貯水池 昭和43年8月29日

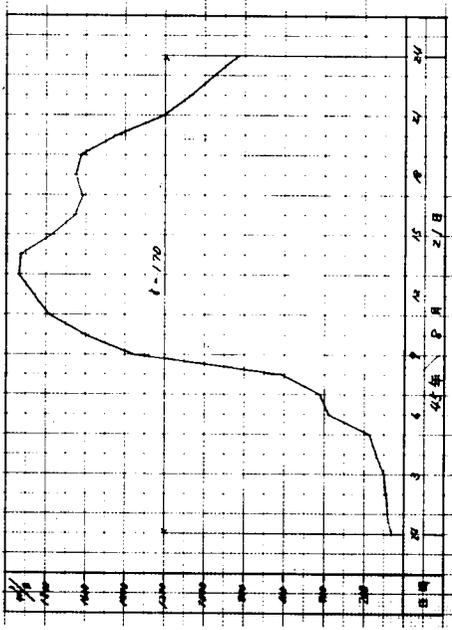


図3.41 小見野々貯水池 昭和45年8月21日

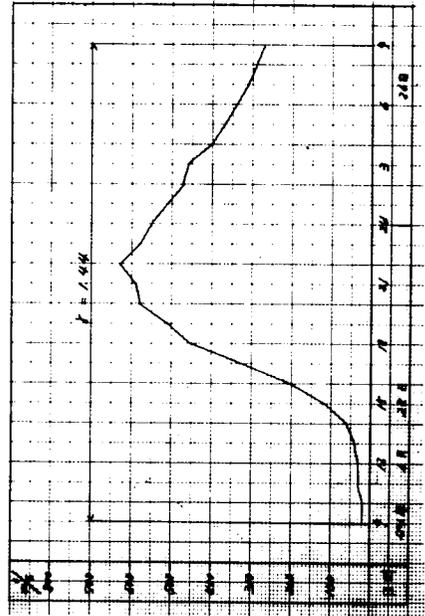


図3.42 小見野々貯水池 昭和44年6月25日

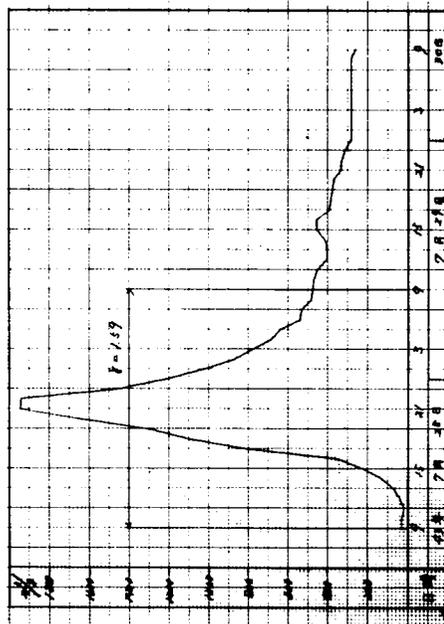


図3.40 小見野々貯水池 昭和43年7月28日

表3.10 堆砂量予測式による計算値と実測値比較表（集中型貯水池）

貯水池	V_{ST} $\times 10^4 m^3$	I_T $\times 10^4 m^3$	$\frac{V_{ST}}{I_T}$ $\times 10^{-2}$	S $\times 10^{-2}$	$\frac{A_d}{A}$ $\times 10^{-2}$	① $0.94 I_T S$ $\times 10^4 m^3$	② $1.33 I_T \frac{A_d}{A}$ $\times 10^4 m^3$	③ $V_{Sc} = ① + ②$ $\times 10^4 m^3$
畑薙第1	1,592	55,576*	2.90	1.43	1.26	747	931	1,678
皆瀬	73	3,678	1.98	1.00	0.40	35	20	55
岩瀬	21	16,030	0.13	0.30	0.01	45	2	47
大倉	38	2,252	1.69	2.50	0.04	53	1	54
立花	55	9,522	0.58	2.00	0.07	179	9	187
河本	22	10,617	0.21	0.45	0	45	0	45
小渋	464	19,721	2.35	2.00	0.69	371	181	552
日向神	41	5,295	0.77	1.43	0.06	71	4	75
素波里	10	3,653	0.27	1.00	0.56	34	27	61
佐波川	85	5,805	1.46	0.83	0	45	0	45
木屋川	6	3,450	0.17	0.52	0	17	0	17
二川	166	22,056	0.75	0.67	0.46	139	135	274
美和	1,094*	51,758	2.11	1.00	0.34	487	234	721
相模	522*	112,486	0.46	0.33	0.07	349	105	454
小河内	114*	10,974	1.04	1.25	0.04	129	6	135
下久保	40	3,829	1.04	0.91	0	33	0	33
上市川	158	4,040	3.91	2.50	0.22	95	12	107
鎧畑	305	44,114	0.69	0.67	0.07	278	41	319
小見野々	155	43,759*	0.35	0.59	0.12	243	70	313
萩形	24	2,215	1.08	1.00	0.03	21	1	22
渡川	117*	18,994	0.62	0.77	0.22	137	56	193
大野	96	17,106	0.56	0.37	0.01	59	2	61
綾北	121	27,186	0.45	0.67	0.03	171	11	182
田瀬	56	6,536	0.85	0.48	0.01	29	1	30
裾花	80	4,946	1.62	1.25	0.11	58	7	65
笠堀	74	3,659	2.02	1.67	0.06	57	3	60
鳴子	242	5,256	4.60	1.00	0.32	49	22	71

註： V_{ST} ：堆砂量実測値 V_{Sc} ：(3.25)式による堆砂量計算値

1. 美和貯水池の堆砂量は昭和41年度より昭和47年度までの期間の砂利採取量 $145 \times 10^4 m^3$ を加えた値である。
2. 相模貯水池の堆砂量は昭和28年度より昭和47年度までの期間の堆砂量である。
3. 小河内貯水池の堆砂量は丹波川における値である。
4. 渡川貯水池の堆砂量は昭和32年度より昭和47年度までの期間の堆砂量である。
5. 畑薙第1貯水池の洪水量はピーク流量 $300 m^3/sec$ 以上の洪水ハイドログラフより求めた。(中部電力提供資料による)
6. 小見野々貯水池の洪水量は各年第3位までの洪水ハイドログラフおよび長安1貯水池の日流量を流域面積比で換算した値より求めた。

(四国電力提供資料による)

A_a/A の関係はほぼつぎの式であらわされるようである。

$$\frac{V_{sT}}{I_T} = a S + b \frac{A_a}{A}$$

係数 a , b の値を multiple regression analysis によって求めると $a=0.94$, $b=1.33$ となる。したがって、

$$V_{sT} = 0.94 I_T S + 1.33 I_T \frac{A_a}{A} \dots\dots\dots(3.25)$$

となる。この式で計算した値を表3.10の右端①, ②, ③の欄に示す。

(3.25)式と(3.23)式とを比較すれば(3.25)式の右辺第1項は掃流砂量に、また右辺第2項は浮遊砂量にそれぞれ対応するものと一応考えられる。

表3.10の27ヶ所の貯水池について(3.25)式、および筆者が前報²⁰⁾において提案した式

$$V_{sT} = 8.85 I_T^2 S^2 + 7.83 I_T \frac{A_a}{A} D^2 \dots\dots\dots(3.26)$$

I_T : ダム地点の洪水量

D : 崩壊地の傾斜度

それぞれによって計算した値と実測値とを比較したのが表3.11である。

(3.25)式による計算値は立花貯水池ほか2,3の貯水池ではやや過大、あるいは過少になっているが全般的に見て(3.26)式より実測値に近い値を与えるようになって、とくに A_a/A の値が大きい貯水池における(3.26)式の精度はかなり劣る。

これはおもに(3.26)式を導く際の A_a の値が測量年次の古い5万分1地形図によって求められていることによるものと思われる。

5-7 堆砂量予測式の適合性の検討

図3.3のように大支川が流入している貯水池(以下このような型の貯水池を分岐型とよぶことにする)について(3.25)式の適合性を検討する。

このような貯水池の堆砂量は本

表3.11 (3.25)式, (3.26)式による計算値と実測値比較表 (集中型貯水池)

貯水池	実測値	(3.25)式に	(3.26)式に
		よる計算値	よる計算値
	$\times 10^4 m^3$	$\times 10^4 m^3$	$\times 10^4 m^3$
畑薙第1	1,592	1,678	3,770
皆瀬	73	55	89
岩瀬	21	47	9
大倉	38	54	23
立花	55	187	142
河本	22	45	2
小波	464	552	663
日向	41	75	151
素波里	10	61	120
佐波川	85	45	4
木屋川	6	17	1
二川	166	274	461
美和	1,094	721	823
相模	522	454	251
小河内	114	135	62
下久保	40	33	5
上市川	158	107	64
鎧畑	305	319	207
小見野々	155	313	395
萩形	24	22	6
渡川	117	193	562
大野	96	61	14
綾北	121	182	107
田瀬	56	30	5
裾花	80	65	37
笠堀	74	60	36
鳴子	242	71	176

表3.12 分岐型貯水池における堆砂量計算値 V_{sc} と実測値 V_{st} 比較表

貯水池	$\frac{A_d}{A}$ $\times 10^{-2}$	河川名	S $\times 10^{-2}$	I_r $\times 10^4 m^3$	$0.94 I_r S$ $\times 10^4 m^3$	$1.33 I_r \frac{A_d}{A}$ $\times 10^4 m^3$	V_{sc} $\times 10^4 m^3$	V_{st} $\times 10^4 m^3$
目屋*	0.76	暗門川	0.67	1,958	12	20	87	107
		大沢川	1.11	444	4	5		
		湯沢川	1.43	1,927	26	20		
石瀬*	0.12	胆沢川	1.67	7,100	111	11	122	52
荒沢	0	東大鳥川	1.25	19,826	232	0	241	126
		西大鳥川	1.00	937	9	0		
五十里*	0.06	男鹿川	0.50	5,871	27	5	32	118
川俣	1.32	鬼怒川	1.67	2,089	32	37	94	80
		馬坂沢	2.00	714	13	12		
矢木沢	0.37	利根川	1.67	1,312	20	7	38	21
		奈良沢川	2.50	367	9	2		
相俣	0.08	赤谷川	2.00	3,080	58	3	71	41
		西川	2.00	476	9	1		
二瀬*	0.14	荒川	2.50	3,947	93	8	110	43
		大洞川	2.50	356	8	1		
犀川*	0.53	犀川	2.50	743	17	6	23	33
笹生川	0.28	笹生川	1.67	2,248	35	9	68	129
		小沢川	1.67	606	9	2		
		縄帽子川	1.67	699	11	2		
横山	0.24	揖斐川	0.77	45,706	331	146	887	909
		坂内川	1.43	24,558	331	79		
七川	0.03	古座川	1.00	7,061	66	3	156	102
		平井川	1.00	7,061	66	3		
		添野川	1.67	1,091	18	0.4		
鹿野川*	0.009	宇和川	0.50	15,258	70	2	231	151
		黒瀬川	1.00	16,668	157	2		
永瀬	0.16	横山川	0.83	75,975	592	161	1,110	818
		上笹生川	0.67	25,875	163	55		
		坂舞川	2.00	6,673	125	14		

注：○石瀬貯水池の建設時河床線に関する資料がえられなかったので昭和37年度の河床線を基準とした。したがって実測堆砂量は昭和38年度より昭和47年度までの期間の値である。

○二瀬貯水池の昭和40年度以前の日流量は1日1回の観測値しか記載されていないので精度が劣ると考えられたので、ここでは昭和41年度より昭和47年度までの期間の資料を用いて計算した。

○石瀬貯水池前川、五十里貯水池湯西川、犀川貯水池倉谷川、鹿野川貯水池舟戸川についてはいずれも(3.14)式に対応する日流量以上の規模の洪水は発生していない。

川支川から流入する土砂量の和と考えられるからつぎの式で与えられよう。

$$V_{sT} = 0.94(I_{T1}, S_1 + I_{T2}, S_2) + 1.33 \frac{A_d}{A} (I_{T1} + I_{T2}) \dots\dots\dots(3.27)$$

ここに I_{T1}, S_1, I_{T2}, S_2 はそれぞれ図3.3のM点, N点における洪水量, 河床こう配である。(ただし I_{T1}, I_{T2} は流量資料に記載されているダム地点の日流量 \bar{Q}_0, \bar{Q}_0 について(3.14)式を満足する値以上の洪水量の総和を流域面積比で本川, 支川各貯水池終端の値に換算したものである。) また貯水池が二つの河道に分岐している場合には堆砂量はつぎの式で与えられよう。

$$V_{sT} = 0.94(I_{T1}, S_1 + I_{T2}, S_2 + I_{T3}, S_3) + 1.33 \frac{A_d}{A} (I_{T1} + I_{T2} + I_{T3}) \dots\dots(3.28)$$

このような分岐型の貯水池14ヶ所について(3.27)式あるいは(3.28)式によって求めた計算値と実測値とを比較したのが表3.12であってこの場合も大体において実測値に近い値を与えるようである。表3.13はこれらの貯水池に(3.26)式を適用した計算値と(3.27)式, あるいは(3.28)式による計算値, 実測値とを比較したものである。ただし, (3.26)式の場合, 前報²⁰⁾と同様に本川の河床こう配を用いた。この表からあきらかなようにさきの集中型貯水池にくらべると分岐型貯水池における(3.26)式の精度はさらに劣るようであってとくに,

表3.13 分岐型貯水池における(3.26)式による計算値と(3.27), 式, (3.28)式による計算値および実測値比較表

貯水池	堆砂量実測値	(3.26)式による計算値	(3.27)式, (3.28)式による計算値
	$\times 10^4 m^3$	$\times 10^4 m^3$	$\times 10^4 m^3$
目屋	107	1,072	87
石湊	52	335	122
荒沢	126	364	241
五十里	118	72	32
川俣	80	437	94
矢木沢	21	892	38
相俣	41	53	71
二瀬	43	145	110
犀川	33	253	23
笹生川	129	422	68
横山	909	2,043	887
七川	102	283	156
鹿野川	151	69	231
永瀬	818	2,482	1,110

A_d/A の値が大きい貯水池では(3.26)式による計算値はかなり過大になる。

つぎに鶴田貯水池について前節に述べたことより日流量 $\bar{Q} = 300 m^3/s$ 以上の洪水を対象として(3.25)式の右辺第1項を省略した式に適用すると

$$V_{sT} = 1.33 I_T \frac{A_d}{A} = 1.33 \times 282174 \times 10^4 \times 0.05 \times 10^{-2} \approx 191 \times 10^4 m^3$$

となる。(I_T は昭和40年から昭和47年までの総洪水量である) 一方この期間の実測堆砂量は約 $334 \times 10^4 m^3$ である。ただし付表41によるとダム竣工年である昭和40年の堆砂量は他の年にくらべて発生した洪水の規模のわりにかかなり大きく, 工事中の捨土など人為的原因による堆砂がふくまれているとも考えられるので, この年を除いた昭和41年~昭和47年の期間について計算すると

$$V_{sT} = 1.33 \times 232148 \times 10^4 \times 0.05 \times 10^{-2} \approx 158 \times 10^4 m^3$$

となる。この期間の実測堆砂量は約 $197 \times 10^4 m^3$ であって計算値はかなり近似した値になる。

このように鶴田貯水池の堆砂量が(3.25)式の右辺第2項のみによって与えられること, およ

び表3-10、表3-12で A_a/A の値が0または非常に小さい田瀬、荒沢、下久保、大野、佐波川各貯水池では浮遊砂の堆積層である bottomset bed がほとんど認められないこと(図2.39～図2.43参照)、さらに図2-3の畑薙第1貯水池においては一応 bottomset bed と考えられる低水位 E.L.898.00 m 以下の部分の堆積量は約900万 m^3 程度であって(3.25)式の右辺第2項の計算値930万 m^3 と大差ないことなどよりすれば(3.25)式の右辺第1項、第2項がそれぞれ掃流砂、浮遊砂の堆砂量に対応すると考えられるが、もとより各貯水池において粒度調査が実施される段階まではこのことはあくまで推定にとどまるものである。

5-8 堆砂量予測式適用上の問題点

前節までの検討によれば表3-1の貯水池の大部分では(3.25)式、(3.27)式、(3.28)式によって堆砂量はかなりの精度で近似される。すなわち少なくともこれらの貯水池については水理・崩壊因子と堆砂量との間にかなり共通した特性がみとめられる。しかし、これらの予測式は

- (a) 上流河道山地には水流の土砂流送力を下廻らない程度の土砂生産供給堆積量があり水理量と土砂流送量には対応関係がある。
- (b) 従来の限界掃流方式ではほぼ礫程度の流送限界に対応する規模以上の洪水を対象としている。
- (c) 貯水池終端付近の河床こう配によって掃流砂量が規定されるとしてこの付近の背水の影響を考慮していない。

などの条件を前提としているので実際には必ずしもこのような条件を満足しない状況もありうる。

たとえば、

- (1) 土砂生産頻度が少く規模も小さいのに対して河道が急峻で大規模な洪水の発生頻度が高い貯水池では(a)の条件が成立しないことも充分考えられる。
- (2) 上流河道が転石などの巨礫床であるか、あるいは砂床であれば(b)の条件による洪水の規模は過大あるいは過小になる可能性がある。
- (3) 上流河道に緩こう配区間があればこの区間によって土砂流送量が規定され(c)の条件では過大な値を与える。
- (4) 河床こう配に変化がなくても上流河道の河巾が広く貯水池終端付近で急に狭くなっている場合にはこの急縮部におけるせき上げの影響により流入土砂量が抑制されて(c)の条件ではやはり過大な値になる。

などの状況が考えられる。

付表43、44、45に示した宮川貯水池、市房貯水池、蘭原貯水池ではいずれも前節の予測式による計算値が実測値の10倍以上の過大な値を与える事例である。

以下この理由について各貯水池の現況をもとに推察した筆者の私見を述べる。

わが国における最多雨地帯である大台ヶ原山系を流域にもつ宮川貯水池では、付表43にみられるように大規模な洪水が頻繁に発生しているのであるがそのわりに推砂量は少い。上流河道は滝が連続する急峻な幼年期の峡谷であって貯水池終端付近の河床こう配は5%程度の急こう配であるから洪水時の土砂流送力は非常に大きいであろう。しかし表2-2によれば流域にはあまり崩壊地はなく土砂生産はさほど活発でないようである。したがって一応上の(1)の状況に対応するが、(2)の状況あるいは滝が多いという特異な河道形状が関連していることも考えられる。

有名な急流河川である球磨川に昭和35年に設置された市房貯水池も多雨地帯であること、河床こう配が急峻であること(1/40程度)、崩壊地がさほど多くないこと(表2・2参照)など宮川貯水池とよく似た状況であって付表44にみられるようにかなりの規模の洪水が発生しているにもかかわらず堆砂量は少ない。図3.43は貯水池終



図3.43 市房貯水池上流河道状況(上田³⁸⁾による)

端直上流付近の河床状況であるが大部分巨礫転石で占められている。したがってさきの(1)、あるいは(2)の状況に対応すると一応考えられる。

利根川水系片品川に昭和39年設置された蘭原貯水池でも発生した洪水のわりに堆砂量は非常に少ない。(付表45参照)これは貯水池終端直上流に河巾の広い堆積区間が存在

することによるものと思われる、さきの(4)の状況に対応すると考えられる。

また表3・12で鹿野川貯水池の堆砂量計算値がやや過大になつているのは宇和川上流にかなり緩こう配(2.5万分地形図によれば約1/350)の盆地区間が存在していること、すなわちさきの(3)の状況が関連していると考えられる。

このように実際の貯水池の堆砂状況には土砂生産供給堆積状況、土砂粒度、河道形状、あるいは取水ダム砂防ダムなどの各貯水池独自の状況の影響が多分にふくまれる場合が少なくないから予測に際しては十分な調査をおこない状況に応じて適宜修正するべきであろう。

また巨礫をふくむ混合砂礫の掃流機構、wash loadをふくむ浮遊砂の流送機構など今後さらに検討を要する課題は多い。

第6節 結 語

以上、本章では河道の水量と土砂流送量との間の対応関係を前提として堆砂量と水利崩壊因子との関係について、現段階では捕捉率をほとんど考慮する必要のない大規模な貯水池45ヶ所を対象として検討をおこなったが、えられたおもな結果をまとめるとつぎのとおりである。

- (1) マクロ的には掃流砂量は流量、河床こう配に、またwash loadをふくむ浮遊砂量は流量、崩壊地密度(崩壊地面積流域面積比)によっておもに規定される。
- (2) 捕捉率は、天竜川佐久間、平岡両貯水池における検討結果ではBruneの曲線のほぼ上限値であたえられる。
- (3) 従来の限界掃流力公式によれば $\bar{Q}S=1$ (\bar{Q} :日流量)の条件はほぼ礫の流送限界であつて実際の状況にもある程度対応する。
- (4) 貯水池終端付近の河床こう配 S が $1/300 \sim 1/400$ 程度以上の急こう配の貯水池では、 $\bar{Q}S=1$ の条件に対応する日流量 \bar{Q} 以上の洪水時に浮遊砂も大部分流送されると考えられるものが少くない。
- (5) 貯水池上流河道が緩こう配で掃流砂の流入は少ないが浮遊砂が大量に流入する鶴田貯水池のような場合には、日流量の規模別発生頻度を考慮して浮遊砂の流送限界に対応する日流量の規模がある程度推定可能である。

- (6) 貯水池終端付近の河床こう配が $\frac{1}{400}$ 程度以上の急こう配の貯水池では、(3.14)式で与えられる掃流砂流送限界をそのまま浮遊砂流送限界として(3.25)式、(3.27)式、(3.28)式を適用した結果、集中型貯水池、分岐型貯水池ともに従来の(3.26)式よりも良好な結果がえられた。
- (7) 鶴田貯水池のように上流河道がきわめて緩こう配である場合には浮遊砂流送限界を掃流砂流送限界で近似させることは実際の状況に全く対応しないので、上の(5)で述べたような考え方などによって浮遊砂流送限界に対応する日流量の規模を別途に推定する必要がある。
- (8) (3.25)式、(3.27)式、(3.28)式にふくまれる $0.94 \bar{I}_T S$ が掃流砂堆砂量、 $1.33 \bar{I}_T \frac{A_d}{A}$ が浮遊砂堆砂量にそれぞれ対応すると一応考えられる。しかし堆砂粒度調査実施例の少い現段階ではあくまで一応の推定にすぎない。

ただし、これらの予測式の適用に際しては、貯水池独自の状況を充分考慮する必要があり、またwash loadをふくんだ混合砂礫の流送機構や捕捉率など今後さらに検討を要する問題が少くない。

第4章 堆砂形状の予測に関する研究

第1節 概 説

貯水池内における流入土砂の堆積機構に関連する堆砂形状の予測は、容量配分計画、ダム付属構造物の配置、あるいは背砂遡上にともなう洪水災害などに関連して非常に重要な問題であるが、実際の貯水池では一般に掃流浮遊両形式の堆積機構が混在するため解析的な取り扱いが非常にむづかしく量的な予測がきわめて困難な現状である。

しかしながら、問題の重要性よりすれば何等かの予測手法が要請されるところであってこれまでもいくつかの方法が提案されている。

本章ではまず次節において従来のおもな予測法の実際貯水池への適用性について淀川水系世木貯水池を対象として検討をおこなった。

ついで、第3節では捕捉率が大きい貯水池における堆砂形状予測について考察をおこなった。すなわち、まず図2・1の3種の堆砂形状の定性的な予測に関する筆者の見解をのべ、つぎに図2・1の堆砂形状I型の topset bed, foreset bed, および bottomset bed それぞれの特性について実証的な検討をおこない、これらの結果にもとづき堆砂形状I型の予測に関するマクロ的な手法を提案した。

第2節 世木貯水池を対象とした既往予測法の検討

2-1 既往予測法の世木貯水池への適用

現在堆砂形状予測法としてかなり用いられているものに、米¹¹⁾国の Bureau of Reclamation¹¹⁾ で開発された Area-increment 法, Empirical area reduction 法などの経験的な方法と、掃流砂の堆砂形状を河床変動予測の手法を適用して推定する水理学的な方法³⁹⁾とがある。

現在のところこれらの方法のわが国の貯水池への適用性に関する検討例は少なく、とくに Bureau of Reclamation³⁾ が提案した方法³⁾についてはわずかに吉良³⁾がおこなっている程度である。

そこで、ここでは第2章第5節で引用した淀川水系世木貯水池における昭和39年度の堆砂形状に対するこれらの方法の適用性について検討をおこなった。

(1) Area increment 法の適用

この方法は図4・1のように各標高における堆砂断面積が等しいと仮定して総堆砂量 V_s を貯水池最高水位(常時満水位)以下に分布させ、つぎの式を用いてダム地点の堆砂深 h_0 を仮定して試算的に求めるのである。

$$V_s = A_0 (H - h_0) + V_0 \dots\dots (4.1)$$

世木貯水池では $V_s = 99 \times 10^4 \text{ m}^3$, $H = 32.5 \text{ m}$ が与えられているので h_0 を仮定し図4・2の貯水位容量曲線より V_0 , 図4・3の貯水位面積曲線より A_0 をそれぞれ求め (4.1) 式の右辺に代入した結果と V_s とを比較することをくり返しおこなったところ $h_0 = 8 \text{ m}$ のとき (4.1) 式の右辺 $101 \times 10^4 \text{ m}^3$ となりほぼ実測値に近い値がえられた。この結果をもとに求めた堆砂形状が図4・4

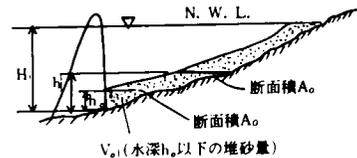


図4・1 Area increment 法

であって貯水池終端、および中央部を除いては比較的実測値に近い。これは世木貯水池が断面変化の少ない貯水池であって各標高における堆砂断面積が等しいという前提にある程度対応していることによるものと思われる。

(2) Empirical area reduction 法の適用

この方法は貯水位—貯水容量曲線を無次元化した図4・5によりⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの四つの型に分類しそれぞれについてつぎの式により堆砂面積を求めるのである。

$$\text{Ⅰ型: } A_p = 3.417 P^{1.5} (1-P)^{0.2} \dots\dots (4.2.1)$$

$$\text{Ⅱ型: } A_p = 2.324 P^{0.5} (1-P)^{0.4} \dots\dots (4.2.2)$$

$$\text{Ⅲ型: } A_p = 15.888 P^{1.1} (1-P)^{2.3} \dots\dots (4.2.3)$$

$$\text{Ⅳ型: } A_p = 4.232 P^{0.1} (1-P)^{2.5} \dots\dots (4.2.4)$$

註：世木貯水池の場合はⅢ型に対応する。

ここに

$P = h/H$ H ：常時満水位に対応する水深

h ：任意の水位に対応する水深

(図4・6参照)

であり、 A_p は P のところの堆砂面積 A_s に対応する無次元量であってつぎの式であらわされる。

(図4・6参照)

$$A_s = \frac{A_p}{A_{p0}} A_{s0} \dots\dots (4.3)$$

まず、ダム地点の堆砂深 h_0 を仮定し、 $P_0 = h_0/H$ に対応する A_{p0} を(4.2)

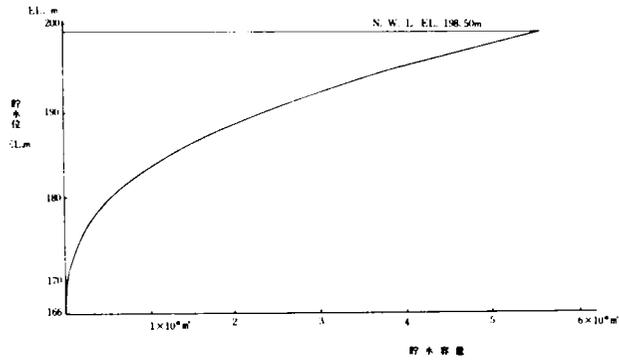


図 4・2 世木貯水池 貯水位—貯水容量曲線

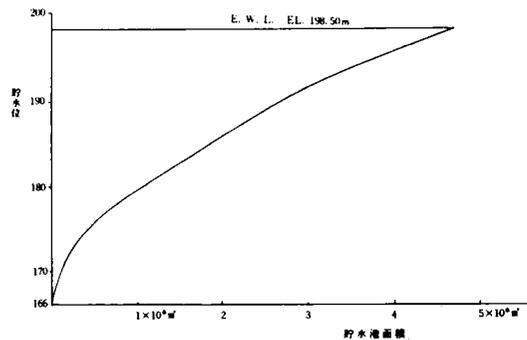


図 4・3 世木貯水池 貯水位—貯水池面積曲線

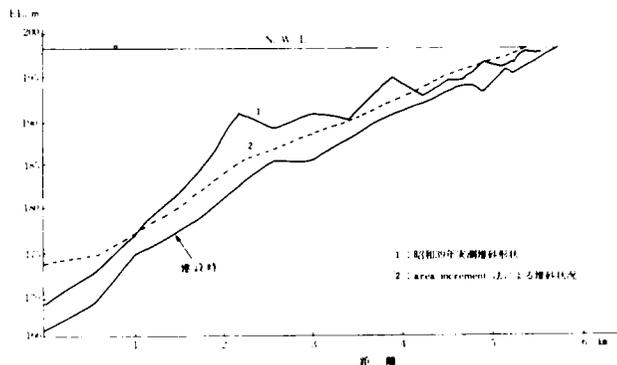
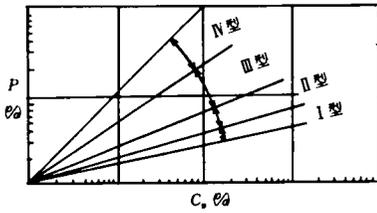


図 4・4 Area increment 法による世木貯水池堆砂形状図



P, C_s: 常時満水位に対する水深, 貯水量を基準として無次元化した水深, 貯水容量

図 4-5 Empirical area reduction 法

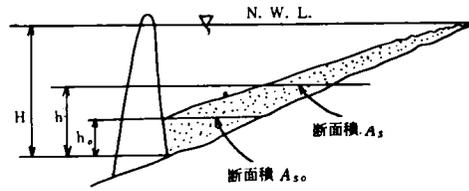


図 4-6 Empirical area reduction

式より求め, また図4-3より h_0 に対応する堆砂面積 A_{s0} を求めて (4-3) 式によって任意の水深 h_i , $p_i = h_i/H$ に対応する A_{si} を計算すれば, 総堆砂量 V_s は $\sum (A_{si} + A_{s,i+1}) \Delta h/2$ で求められるからこの値と実測値とがほぼ等しくなるまで計算をくり返すのである。

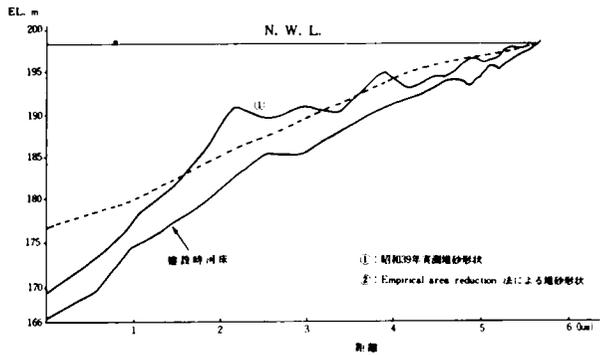


図 4-7 Empirical area reduction 法による世木貯水池堆砂形状図

世木貯水池では $h_0=11\text{m}$ の場合堆砂量計算値は $101 \times 10^4 \text{m}^3$ となって実測値にほぼ近い値がえられた。この場合の堆砂形状を求めると図4-7のようになって Area-increment 法 とくらべるとダム地点付近でかなり実際と異なった形状になる。

(3) 掃流砂による河床変動予測法の適用

この方法は掃流砂量式, 流砂に関する連続式, および不等流式による河床変動数値計算法であるが, 一般に計算が非常に繁雑であって電子計算機を用いないと所要の解がえられないことが多い。

世木貯水池では昭和41年度に建設省土木研究所ダム水理研究室で, 掃流砂量式として佐藤吉川芦田公式を用い, 上流河道における粒度調査結果をもとに $20\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量についてダム築造年より昭和39年までの河床変動計算が電子計算機を用いておこなわれた。この結果を示したのが図4-8であるが, これと図2-57の堆砂粒度調査結果とを比較すれば掃流砂の堆砂についてはかなり実際の状況に近い結果をあたえている。

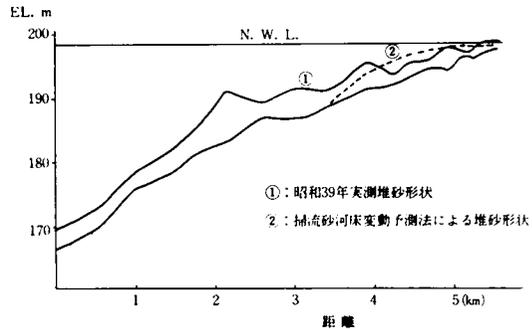


図 4-8 掃流砂河床変動予測法による世木貯水池堆砂形状図

2-2 適用結果の検討

世木貯水池は図2・57からも推察されるように掃流砂の流入が少く堆砂の大部分は浮遊砂と考えられ、藤田¹²⁾の推定によれば昭和39年度の堆砂量の90%は浮遊砂となっている。したがって、堆砂形状は図2・1のⅡ型に近い型であってこのような場合には Area increment法は比較的適用性があると考えられる。ただし、貯水池内の断面形状の変化が少ない場合でないと各標高における堆砂断面積が一定という仮定は成り立たないであろう。Empirical area reduction法は米国の貯水池30ヶ所の資料に基き堆砂形状が貯水池形状によって規定されるという前提に問題があって、適用性は Area-increment法にくらべるとかなり劣るようである。

水理学的な方法は図2・1のⅠ型の topset bed 形状、あるいはⅢ型の形状予測に有効であろうが計算が繁雑であることや使用する掃流砂量式の精度などの問題がある。この点については浅田¹²⁾がおこなったような実測資料に基き係数を導入したシミュレーション手法なども一つの方法であろう。

第3節 堆砂形状予測に関する考察

3-1 堆砂形状基本型の予測

第2章第4節において流入土砂の粒度組成、すなわち、掃流砂浮遊砂の比率によって堆砂形状を三つの基本型に分類した。

したがって、堆砂形状予測ではまず掃流砂浮遊砂の比率により最も可能性の高い基本形状を予測することが先決であろう。

掃流砂浮遊砂の比率は(3・25)式の右辺第1項、第2項の比率によって一応推定可能である。しかしこの式の比率の妥当性については、実際貯水池における粒度調査の裏付けに乏しい現段階ではさらに検討を要するところであって現在のところはあくまで一応の推定にとどまる。また(3・25)式は河道流域の最近の状況をもとに導かれたものであるから、予測に際しては流域河道の将来変化の影響も当然考慮すべきであろうが、このような予測はきわめてむづかしいので状況の変化に応じて適宜修正するよりほかないと思われる。

3-2 堆砂形状Ⅰ型の予測

図2・1の三つの基本型のうちⅡ型、Ⅲ型はⅠ型の特別な場合であるからここではⅠ型の予測について実測資料にみとめられる特性をもとにマクロ的な考察をおこなう。

従来の粒度調査結果よりすれば図4・9の topset bed, foreset bed は掃流砂堆積層であり、また bottomset bed は浮遊砂堆積層と一応考えられる。

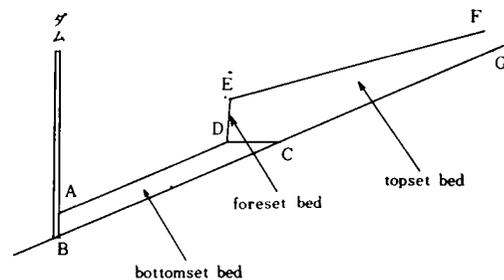


図4・9 堆砂形状Ⅰ型

したがって、堆砂形状Ⅰ型の予測は(3・25)式で推定した掃流砂量、浮遊砂量に対応する topset bed, bottomset bed 形状の予測、すなわち図4・9においてAD線、CD線、EF線、および段丘肩E点の予測ということになる。

これらのうちCD線、すなわち掃流砂浮遊砂境界面については、粒度調査実施例の少ない現段階では一般的な特性を見出すことはむづかしく、予測に際しては芦田²²⁾がおこなったように水平

と仮定するよりほかないであろう。

そこでここでは実際貯水池においてみとめられるEF線、E点、およびAD線の特性について検討をおこなうことにした。

(1) 実際貯水池における topset bed 形状の特性

図2・2～図2・28をみると、多目的貯水池など年間貯水位変動が大きい貯水池では段丘が低水位付近に形成されている場合が多い傾向がみとめられる。

表4・1は堆砂形状がI型に対応する多目的貯水池における昭和47年度までの2～3年間の年間最低水位を示したものである。

これによれば、大部分の多目的貯水池では毎年貯水位が低水位付近まで低下しているようであって、このような貯水位変動が大きい貯水池では少くとも堆砂の初期の段階（これらの貯水池の大部分は堆砂率20%以下である）では年間最低水位、あるいは低水位付近に段丘が形成されることが多いと一応考えられよう。

しかし、図2・13の水窪貯水池や図2・12の奈川渡貯水池のように堆砂の初期の段階でも段丘が低水位よりもかなり高い位置にある貯水池もあるが、これらの貯水池が年間貯水位変動の少い発電専用貯水池であることによるものと思われる。

一方、図4・10は大井川水系千頭貯水池における堆砂の進行にともなう段丘の位置の変動状況を示したものであるが、これによると堆砂の初期（堆砂率が約30%程度以下の段階）には低水位付近に形成されていた段丘が堆砂の進行とともに次第に上昇しダムのクレスト付近に近づいていく傾向がみとめられる。

したがって、段丘の位置は貯水位のほか堆砂率にも関連するものと考えられる。

しかし現在のところわが国の大規模な貯水池は大部分堆砂率が20%～30%以下の段階であって、堆砂率による段丘の位置の変動に関する事例は千頭貯水池のほかにはなく一般的な傾向については今後の検討をまつよりほかないが、少くとも堆砂率が30%程度の段階までは低水位、

表4.1 年間最低水位と段丘肩標高

貯水池	低水位 EL.m	段丘肩標高 EL.m	年間最低水位 EL.m		
			昭和47年	昭和46年	昭和45年
横山	180	180(48年度)	181	182	182
鎧畑	299	299(47年度)	299	299	299
笠堀	175	180(48年度)	192	180	189
小波	588	588(48年度)	591	590	591
裾花	537.5	538(48年度)	542	539	539
渡川	271	271(48年度)	280	275	282
綾北	261.5	263(48年度)	268	266	273
二川	187.6	188(48年度)	185	186	184
鳴子	231	225(48年度)	230	229	229
美和	796.5	800(48年度)	802	798	803
三面	98	98(48年度)	110	100	100
大倉	241	250(48年度)	251	252	249
管野	318.5	319(37年度)	318(37年)	319(36年)	319(35年)
相模	145	155(37年度)	159(37年)	156(36年)	158(35年)

注：年間最低水位は「多目的ダム管理年報」による

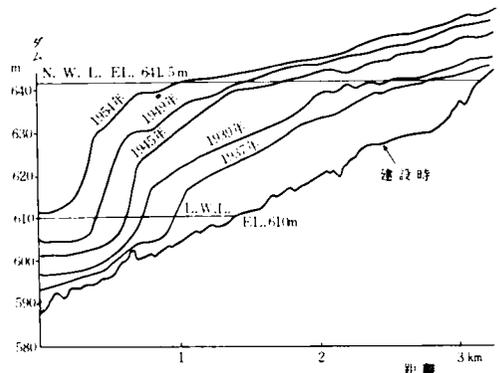


図 4・10 千頭貯水池堆砂形状経年変化図

あるいは年間最低水位付近に段丘が形成される場合が多いということは一応かなり共通した特性のようである。

つぎに、図4・9のEF線の形状、およびEF線とCG線との関連性を実際貯水池についてしらべてみた。

ただし対象とした貯水池は、終端付近にダムや取水せきがあるもの、支川に大ダムがあるものは除外して現在最上流に位置するものでとくに大規模な topset bed が形成されており、し

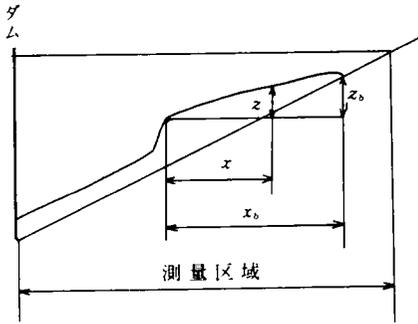


図 4-11-1 topset bed 形状

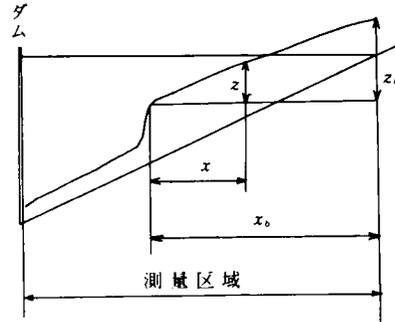


図 4-11-2 topset bed 形状

かも砂利採取や池岸崩落、あるいは支川からの土石流の流入などの影響がなく、大部分水流の流送力に対応した土砂が自然堆積したものと考えられる貯水池である。

このような条件をほぼ満足する貯水池 8ヶ所において図4-11の x/x_0 と z/z_0 との関係をおもな測点についてしらべた結果が図4-12である。

これによると x/x_0 と z/z_0 の関係はつぎの式でかなりの程度近似されるようである。

$$\frac{z}{z_0} = \frac{x}{x_0} \quad \text{あるいは} \quad z = \frac{z_0}{x_0} x \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

ここで $i_f = z_0/x_0$ は図4・9のEF線のこう配であるから、この値と旧河床線CG線のこう配 i_0 との比 i_f/i_0 を上の8ヶ所の貯水池について求めると表4・2のようになる。

これによれば i_f/i_0 の値は0.6~0.8程度であるから(3.3) はつぎのようになる。

$$z = ai_0 x \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

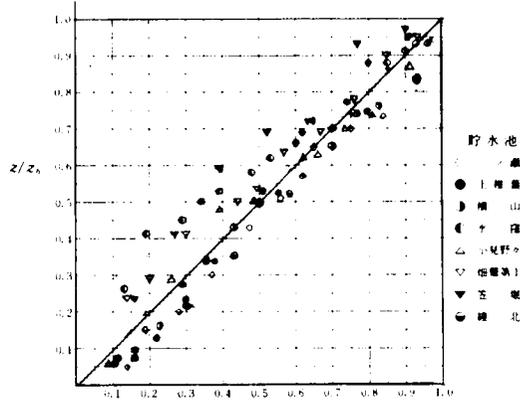


図4.12 実際貯水池における x/x_0

$x/x_0 \sim z/z_0$ 関係図

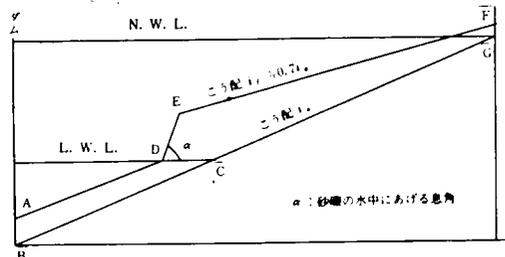


図 4-13 堆砂形状 I 型予測試案図

$$\alpha = 0.6 \sim 0.8$$

i_0 : 旧河床こう配

したがって、対象とした8ヶ所の貯水池の topset bed は原河床こう配の7割程度のこう配の直線でかなりの程度近似されると考えられる。

(2) 実際貯水池における bottomset bed 形状の特性

図2・2～図2・28によれば大規模な貯水池では、bottomset bed がほぼ旧河床に平行に形成されている場合が多い。

しかし中には、横山貯水池、美和貯水池、佐久間貯水池のようにダム直上流部に大規模な density current bed が形成されている貯水池もある。

このような density current bed は、ダム直上流部で高濃度の濁水が長期間滞留することによって形成されるものと考えられる。

しかし現在のところ貯水池における泥水密度流の機構については不明な点が多いので、このような状況の量的な予測はむづかしいが、上に述べた3ヶ所の貯水池にかなり共通する定性的な特性としては、いずれも流域に崩壊地が多数存在し wash load が大量に流入すると推定され、しかも堆砂率が20%～30%程度でかなり進行しており洪水時濁水が容易にダム地点まで流入し易い状況にあることなどである。ただし横山貯水池ではダム直上流で大支川が流入しているのでこの支川の影響がふくまれていることも考えられる。

(3) 堆砂形状I型の予測に関する試案

これまでの検討によれば少なくとも堆砂率が30%程度までの大規模な貯水池の堆砂形状にはかなりの共通特性がみとめられる。

そこでこれらの検討結果をもとに堆砂率が30%程度の段階までの堆砂形状I型の予測についての試案を述べるとつぎのとおりである。(図4・13参照)

① 掃流砂浮遊砂の境界CD線は一応水平と想定しほぼ低水位付近にあると仮定する。

もとよりこれは今後の調査により検討を要する重要な問題であるが、図4・10の千頭貯水池、あるいはさきに topset bed 形状のEF線の検討の対象とした8ヶ所の貯水池の実例よりすればさほど無意味な想定ではないと思われる。

② 図4・13のABCDの区間を浮遊砂堆積区域としてAD線は旧河床に平行とし、与えられた浮遊砂堆積量をもとに試算的にAD線の位置をきめる。

もしこの区間の断面形状の変化が少ない場合には、Area increment 法も適用可能であろう。

③ 与えられた掃流砂堆積量に対応する図4・13のCDEFGの区間の形状はつぎの条件を満足するように試算的にきめる。

(1) $\angle CDE$ を砂礫の水中における息角 α にする。

(2) EF線のこう配を旧河床こう配の7割程度にする。

もとよりこれはあくまでごくマクロ的な予測法についての一試案にすぎず、今後さらに数多

表4.2 実際貯水池における i_f/i_0

貯水池	i_0	i_f	i_f/i_0
一ツ瀬	1/200	1/270	0.74
上椎葉	1/70	1/90	0.78
畑薙第1	1/70	1/90	0.78
小見野々	1/170	1/270	0.63
水窪	1/60	1/90	0.67
横山	1/130	1/210	0.62
綾北	1/120	1/180	0.67
笠堀	1/40	1/60	0.67

くの調査資料がえられた段階においてより精細な考究が必要である。

第4節 結 語

以上、本章では堆砂形状について実証的な検討をおこなったが、えられたおもな結果をまとめるとつぎのようになる。

- (1) Area increment 法 は世木貯水池のように堆砂の大部分が浮遊砂であってⅡ型の形状に対応し、しかも貯水池内の断面変化が少い場合にはある程度適用性がある。
- (2) Empirical area reduction 法は貯水池形状によって堆砂形状が規定されるという前提に問題があり適用性はかなり劣る。
- (3) 掃流砂の河床変動予測法は使用する流砂量式にもよるが世木貯水池では佐藤吉川芦田式を用いた場合にはかなり実際の状況に対応した結果がえられた。
- (4) 堆砂形状予測に際してはまず、流入土砂の粒度組成、すなわち掃流砂浮遊砂の大小関係により第2章第4節で分類した三つの基本型のいづれに対応するかを推定する必要があるが、これは(3・25)式あるいは(3・27)式、(3・28)式にふくまれる $0.94I_r S$ 、 $1.33 I_r \frac{A_d}{A}$ の大小関係で一応推定可能である。
- (5) 堆砂率が30%程度の段階までの大規模な貯水池の topset bed 形状、および段丘 (fore-set bed)の肩の位置にはかなりの共通特性がみとめられ、段丘肩の位置は低水位あるいは年間最低水位付近にある場合が多く、また最上流に位置する貯水池で水流の自然堆積作用によって形成された大規模な topset bed 区域の河床線はほぼこう配が旧河床こう配の6割～8割程度の直線状である。
- (6) 大規模な貯水池における bottomset bed はほぼ旧河床に平行に形成される場合が多いが、中には佐久間、美和、横山貯水池のように wash load が大量に流入し堆砂がかなり進行しており濁水が容易にダム地点まで流入し易い状況にある場合には、ダム直上流にかなり大規模な density current bed が形成されている。
- (7) 堆砂率が30%程度までの堆砂形状Ⅰ型予測に関する試案として bottomset bed 形状を旧河床に平行とし、掃流砂浮遊砂境界面を低水位付近に水平に設定し topset bed 区域の河床こう配を旧河床こう配の7割程度とするごくマクロ的な方法を提案した。

もとよりこれらは貯水池内堆積土砂に関する粒度調査の実施例が少ない現段階におけるごくマクロ的な検討結果にすぎず、今後粒度調査などが各地で実施された段階においてさらに検討を要するところである。

第5章 結 論

以上、第1章から第4章にわたって貯水池の堆砂に関する筆者の研究について述べてきたが、最後に本研究によってえられたおもな成果をまとめるとつぎのようになる。

第1章ではまず現在わが国の貯水池に堆積している約7億 m^3 の土砂の約90%が貯水量500万 m^3 以上の規模の大きい貯水池に堆積していることより、今後堆砂に関連した諸問題はおもにこのような大規模な貯水池において生ずることを指摘し、ついで堆砂に関するおもな問題を実例にそくして説明し堆砂現象の解明の重要性を述べた。

さらに堆砂に関する従来の研究の概要を述べ、ついでモデル化して取り扱うことがむづかしい現段階では実証的方法によらざるをえないことを説明し、堆砂量に関する従来の研究では土砂水理学的な考察がほとんどおこなわれていないこと、また堆砂形状に関する研究においても実証的な研究が少いことなどを述べて、実証的な考究をおこなう本研究の立場をあきらかにした。

第2章ではわが国の大規模な貯水池の堆砂にみとめられる地域特性、一般特性などについて検討をおこなった。

まず第2節では流域に多数崩壊地が存在する中部山岳地帯、および西南日本外帯に設置された貯水池では一般に堆砂の進行が急激であって近い将来に問題が生ずるであろうことを指摘した。つぎに第3節では比堆砂量に関する特性について検討をおこない、地域別水系別にみれば概して西南日本の河川に設置された貯水池の方が比堆砂量が大きい傾向にあることを述べ、また同じ河川に階段状に設置された貯水池群の比堆砂量はほぼ同じ値である場合が多いことをあきらかにし、流域が隣接する貯水池では必ずしも同じ order にならず河川の個性の影響が多分に考えられることを指摘した。第4節では大規模な貯水池の堆砂形状はおもに流入土砂の粒度組成、すなわち掃流砂浮遊砂の比率によって一応三つの基本型に分けられるが実際にはこのほか貯水位、貯水池形状、捕捉率などに影響され捕捉率の小さい貯水池ではダム直上流部付近に厚く堆積する場合が多いことなどを説明した。

第5節では貯水池に堆積した土砂の粒度状況についてボーリング調査が実施された貯水池の資料をもとに検討をおこない、上流に緩こう配の区間がある貯水池では掃流砂の流入が少ないこと、掃流砂浮遊砂ともに流入している場合には一般に下流側が浮遊砂堆積区域、上流側が掃流砂堆積区域となり調査区域内では最大径がこぶし大程度である場合が多いなどの傾向がみとめられた。

第3章では堆砂量の予測について45ヶ所の貯水池の資料をもとに実証的な考究をおこなった。

まず第2節では貯水池に堆積した土砂を生産源によって分類し、水流によって流送されてきた土砂の生産源はわが国の山地の状況よりすればおもに崩壊地であることを述べ、ついで堆砂量予測は流入土砂量予測と捕捉率予測の二つの問題になり、流入土砂量の予測については水流の流送力と流送土砂量との対応関係を前提としているなどの本研究における堆砂量予測の基本的な立場をあきらかにした。

ついで第3節では貯水池に流入する土砂を掃流砂浮遊砂に分け、それぞれの流送量と水理崩壊因子との関係について従来の成果をもとにマクロ的な検討をおこない、掃流砂量はほぼ流量

河床こう配の積に比例し、浮遊砂量は wash load を含む場合、経験式 $Q_s = \alpha Q^2$ によるほかに、係数 α が崩壊因子に関連するという Egiazaroff の成果を述べ、本研究のように全国的な規模で解析をおこなう場合の解析可能因子は水理因子として流量、河床こう配、崩壊因子として崩壊地面積程度に限られることを説明した。

つぎに第4節では捕捉率については現在のところ Brune の実証的成果によるよりほかに、天竜川水系佐久間、平岡両貯水池を対象とした筆者の前報における検討では Brune の曲線の上限値がほぼ適合することより本研究ではこの上限値によって捕捉率を推定することを述べた。

第5節では最上流に位置し規模が大きく現在のところ捕捉率はほぼ 100%とみなすことができる貯水池を対象として解析をおこない、まず、解析対象の貯水池の現状を述べ、ついで水理因子としての貯水池終端における流量は貯水池の平面形状、すなわち集中型と分岐型によって別個に取り扱いそれぞれダム地点の実測値より流域面積比で換算推定することを述べた。つぎに、従来の限界掃流力公式をもとに流量、河床こう配と限界掃流力との関係についてマクロ的な検討をおこない、(3.14) 式の条件はほぼ礫の流送限界に対応し実際の状況にもかなり対応していること、および河床こう配が $1/500 \sim 1/400$ 程度以上の急こう配の貯水池では (3.14) 式を満足する日流量以上の規模の洪水時に浮遊砂も大部分流送されと考えられる場合が少なくないこと、さらに鶴田貯水池のように掃流砂の流入は少いが浮遊砂が大量に流入している貯水池については一応豊水量程度以上の日流量の規模別発生頻度を考慮した比率によって流入浮遊砂量の比率が推定可能であることなどをあきらかにした。また堆砂の進行がいちぢるしい貯水池においては (3.14) 式の条件を満足する日流量以上の洪水時に全体のほぼ80%程度の浮遊砂が流送されと考えられることを述べた。そこで、河床こう配が $1/500 \sim 1/400$ 程度以上の貯水池については (3.14) 式の条件に対応する日流量以上の洪水を対象とすることにしてまず、集中型貯水池27ヶ所の堆砂量洪水量比と河床こう配、崩壊地面積との関係をしらべたところほぼ一次関係と推定されたので Multiple regression analysis により係数を求め堆砂量予測式 (3.25) 式を導き実測値にかなり近似した値がえられた。ついで分岐型貯水池14ヶ所に (3.25) 式を変形した (3.27) 式あるいは (3.28) 式を適用して (3.25) 式と同様にかなり良好な結果がえられた。さらに筆者が前報で導いた (3.26) 式による結果と比較したところ本研究で導いた式の方が一般的により精度が高く、とくに分岐型貯水池では (3.26) 式はかなり過大な値を与え、このような貯水池ではダム地点の洪水量のみでは推定誤差が相当大きくなることをあきらかにした。最後にこれらの堆砂量予測式は水流の流送力と流送上砂量との対応関係を前提としていることや礫程度の流送限界に対応する規模以上の洪水を対象としていること、あるいは上流河道における河道形状の影響を考慮していないことなどより実際には必ずしもこのような条件に対応せず予測式ではかなり過大な値になるいくつかの貯水池の実例をあげ、予測式の適用に際しては貯水池独自の状況を充分考慮すべきであることを指摘し、さらに wash load を含む混合砂礫の流送機構や捕捉率など今後に残された問題が少なくないことを述べた。

第4章では堆砂形状について実証的な考究をおこなった。

まず、第2節では従来のおもな予測法の実際貯水池への適用性について淀川水系世木貯水池を対象として検討をおこない、堆砂形状がⅡ型に対応ししかも断面変化の少ない貯水池では Area-increment 法は比較的適用性があるが、貯水池形状によって堆砂形状が規定されるという前

提にもとづく Empirical area reduction 法はかなり精度が劣ること、および掃流砂の河床変動予測法は掃流砂の堆砂についてはかなり実際の状況に近い結果がえられることなどをあきらかにした。ついで堆砂形状の予測について考察をおこない、まず、(3.25) 式の右辺第1項第2項の大小関係によって三つの堆砂形状基本型が一応推定可能であることを述べ、さらに実際貯水池の堆砂形状Ⅰ型について検討をおこなったところ、少なくとも堆砂率が30%程度の段階までは bottomset bed や topset bed の形状にかなりの共通特性がみとめられたので、この結果をもとに堆砂率30%程度の段階までの堆砂形状Ⅰ型の予測に関するマクロ的な方法を提案した。

本研究は、土砂の生産運搬堆積という河川の流送土砂に関するすべての問題が含まれている貯水池の堆砂について、わが国の大規模な貯水池を対象としてマクロ的な立場から実証的な検討をおこなったものであるが、もとより残された問題点は少ない。

今後各地でおこなわれる粒度調査などの実態調査資料をより広範囲に蒐集し、さらに詳細な考究をつづける所存である。

終りに、本研究にあたって終始御指導を頂いた京大防災研究所芦田和男教授、および貴重な資料を提供して頂いた建設省、水資源開発公団、各都府県庁、電力会社の関係各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) ダム総覧 1976年版 日本ダム協会 1975年11月
- 2) 昭和47年度貯水池土砂堆積状況表
発電水力No.130 p.79~p.86 1974年5月
- 3) 吉良八郎：
貯水池の堆砂に関する水理学的研究
香川大学農学部紀要 第12号 1963年
- 4) 田中治雄：
わが国における貯水池築造に関する応用地学的研究
電力中央研究所報告No.57011 p.173~p.254 1957年
- 5) 鶴見一之：
貯水池堆砂量の算法
土木学会誌 vol.39, No.3 p.13~p.15 1954年
- 6) 石外 宏：
貯水池における碎屑物の堆積作用に関する研究
電力中央研究所報告No.66010 1966年
- 7) 渡辺和衛：
静岡県大井川上流治山治水調査報告
地質調査所月報 vol.10, No.11 p.1~p.15 1959年
- 8) B·J·Witzig：
Sedimentation in reservoirs
Proc. A.S.C.E. June p.1047~p.1106 1943年
- 9) H·W·Anderson：
Flood frequencies and sedimentation from forest watersheds.
Trans. A.G.U. vol.30, p.567~p.586 1949年
- 10) E·M·Flaxman & R·L·Hobba：
Some factors effecting rates of sedimentation in the Columbia River basin.
Trans. A.G.U. vol.36, p.293~p.303 1955年
- 11) W·M·Borland & C·R·Miller：
Distribution of sediment in large reservoirs.
Proc. A.S.C.E. vol.84, HY 2, p.1~p.18 1958年
- 12) 浅田 宏：
山地河川の流砂量と貯水池の堆砂過程に関する研究
電力中央研究所報告 総合報告No.2 p.1~p.52 1976年
- 13) 杉尾捨三郎：
堰上流の堆砂現象に関する実験
土木学会誌 vol.38 No.11 p.26~p.30 1953年

- 14) 杉尾捨三郎：
堰上流の堆砂に関する解析的研究
土木学会論文集第32号 p.18~25 1956年
- 15) 杉尾捨三郎：
矩形水路におけるせきの堆砂現象に関する次元解析的研究
土木学会論文集第80号 p.7~p.15 1962年
- 16) 山岡 勲：
堰における堆砂の進行過程とその形状について
北海道土木試験所月報第104号 p.1~p.28 1962年
- 17) 吉良八郎：
貯水池の堆砂機構に関する実験(1), (2)
農業土木研究別冊(1) p.55~p.68 1960年
- 18) 矢野勝正, 芦田和男, 定道成美：
ダムの背砂に関する研究(1)
京大防災研究所年報第6号 p.254~p.265 1963年
- 19) 椿東一郎, 浜村 実：
貯水池の堆砂過程について
九州大学工学集報 vol.40, No.5 p.749~p.756 1967年
- 20) 江崎 博：
貯水池の堆砂に関する研究
建設省土木研究所報告第129号 p.55~p.83 1966年
- 21) 矢野勝正, 芦田和男, 大同淳之, 前田 武：
浮遊砂による貯水池の堆砂に関する研究
京大防災研究所年報第7号 p.348~p.363 1964年
- 22) 芦田和男：
ダムの堆砂に関する研究
京大防災研究所年報第10号 p.109~p.119 1967年
- 23) 椿東一郎, 平野宗夫：
掃流砂, 浮遊砂の流入による貯水池の堆砂過程
九州大学工学集報 vol.42, No.3 p.326~p.343 1969年
- 24) 平野宗夫：
浮遊砂の流入による貯水池の堆砂過程
九州大学工学集報 vol.42, No.6 p.836~p.842 1969年
- 25) 浅田 宏, 石川晴雄：
発電用貯水池土砂堆積状況に関する調査報告書
電力中央研究所技術研究報告 土木72019 1972年
- 26) 芦田和男, 奥村武信：
ダム堆砂に関する研究

- 京大防災研究所年報第17号B p.555～p.570 1974年
- 27) 吉良八郎：
ダム堆砂量の実態
土砂の流送運搬に伴う自然環境変化に関する研究（自然災害特別研究研究成果）p.7～
p.12 1975年
- 28) 奥村武信：
山地流域における土砂流出過程について
新砂防 No.94 p.18～p.28 1974年
- 29) 浅田 宏：
貯水池の堆砂形状およびダム上流の河床変動の予測
大ダム No.64 p.8～p.14 1973年
- 30) 芦田和男：
ダムにおける Sedimentation
1965年度水工学に関する夏期研修会講義集（ダム河川コース）
土木学会水理委員会 1965年
- 31) 塩沢 勝：
美和ダムの堆砂と浚渫計画について
ダム日本 No.362 p.27～p.46 1974年
- 32) 藤田政治：
日吉ダムの堆砂に関する研究 建設省近畿地方建設局 p.1～p.60 1966年
- 33) 建設省中部地方建設局：
昭和47年度横山ダム貯水池内堆積土砂試掘工事報告書 1972年
- 34) 土木学会：
水理公式集 1971年
- 35) I. Egiazaroff：
Polyphase currents with nonuniform sediments and the physics of river flow
13th I.A.H.R. Proc. vol. 2 p.165～p.176 1969年
- 36) C・B・Brown：
前出文献(8) p.1080～p.1086
- 37) G.M. Brune：
Trap efficiency of reservoirs
Trans. A.G.U. vol.34 p.407～p.418 1953年
- 38) 上田年比古：
降雨流出に関する基礎的研究
九州大学学位論文 1961年
- 39) A.S. Harrison：
Deposition at the head of reservoirs,
Proc. 5th hydraulic Conference, State university of Iowa, Bulletin 34,

付表・付図 目 次

付表 1	目屋貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	85頁
付表 2	素波里貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	85
付表 3	萩形貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	86
付表 3	燈畑貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	86
付表 5	皆瀬貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	87
付表 6	田瀬貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	87
付表 7	花山貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	88
付表 8	大倉貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	88
付表 9	鳴子貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	89
付表10	荒沢貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	89
付表11	笠堀貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	90
付表12	五十里貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	90
付表13	川俣貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	91
付表14	矢木沢貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	91
付表15	相俣貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	92
付表16	下久保貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	92
付表17	二瀬貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	93
付表18	相模貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	93
付表19	小波貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	94
付表20	美和野貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	94
付表21	裾花貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	95
付表22	上市川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	95
付表23	犀川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	96
付表24	笹生川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	96
付表25	横山貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	97
付表26	七川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	97
付表27	二川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	98
付表28	大野貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	98
付表29	湯原貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	99
付表30	河本貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	99
付表31	佐波川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	100
付表32	木屋川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	100
付表33	永瀬貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	101
付表34	鹿野川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	101
付表35	日向神貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	102
付表36	渡川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	102
付表37	立花貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	103
付表38	綾北貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	103
付表39	綾南貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	104
付表40	岩瀬貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	104
付表41	鶴田貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	105
付表42	石淵貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	105
付表43	宮川貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	106
付表44	市房貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	106
付表45	蘆原貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度	107
付図 1	解析対象貯水池位置図	108

84	寸図 2	目屋貯水池流域平面図	109
	付図 3	素波里貯水池流域平面図	109
	付図 4	鍛畑貯水池流域平面図	110
	付図 5	石瀨貯水池流域平面図	110
	付図 6	皆瀨貯水池流域平面図	111
	付図 7	花山貯水池流域平面図	111
	付図 8	鳴子貯水池流域平面図	112
	付図 9	田瀨貯水池流域平面図	112
	付図10	萩形貯水池流域平面図	113
	付図11	大倉貯水池流域平面図	113
	付図12	荒沢貯水池流域平面図	113
	付図13	笠堀貯水池流域平面図	113
	付図14	矢木沢貯水池流域平面図	114
	付図15	川俣貯水池流域平面図	114
	付図16	五十里貯水池流域平面図	115
	付図17	相俣貯水池流域平面図	115
	付図18	小河内貯水池流域平面図	116
	付図19	相模貯水池流域平面図	116
	付図20	二瀨貯水池流域平面図	117
	付図21	下久保貯水池流域平面図	117
	付図22	裾花貯水池流域平面図	118
	付図23	上市川貯水池流域平面図	118
	付図24	小洪貯水池流域平面図	119
	付図25	美和貯水池流域平面図	120
	付図26	畑籾貯水池流域平面図	121
	付図27	笹生川貯水池流域平面図	121
	付図28	横山貯水池流域平面図	122
	付図29	犀川貯水池流域平面図	122
	付図30	七川貯水池流域平面図	123
	付図31	二川貯水池流域平面図	123
	付図32	大野貯水池流域平面図	123
	付図33	湯原貯水池流域平面図	124
	付図34	河本貯水池流域平面図	124
	付図35	佐波川貯水池流域平面図	125
	付図36	木屋川貯水池流域平面図	125
	付図37	小見野々貯水池流域平面図	125
	付図38	永瀨貯水池流域平面図	126
	付図39	鹿野川貯水池流域平面図	126
	付図40	日向神貯水池流域平面図	127
	付図41	渡川貯水池流域平面図	127
	付図42	立花貯水池流域平面図	127
	付図43	綾北貯水池流域平面図	127
	付図44	綾南貯水池流域平面図	128
	付図45	岩瀨貯水池流域平面図	128
	付図46	鶴田貯水池流域平面図	129
	付図47	鳴子貯水池終端付近河床状況(写真)	129
	付図48	相俣貯水池終端付近河床状況(写真)	129
	付図49	五十里貯水池終端付近河床状況(写真)	129
	付図50	七川貯水池終端付近河床状況(写真)	129

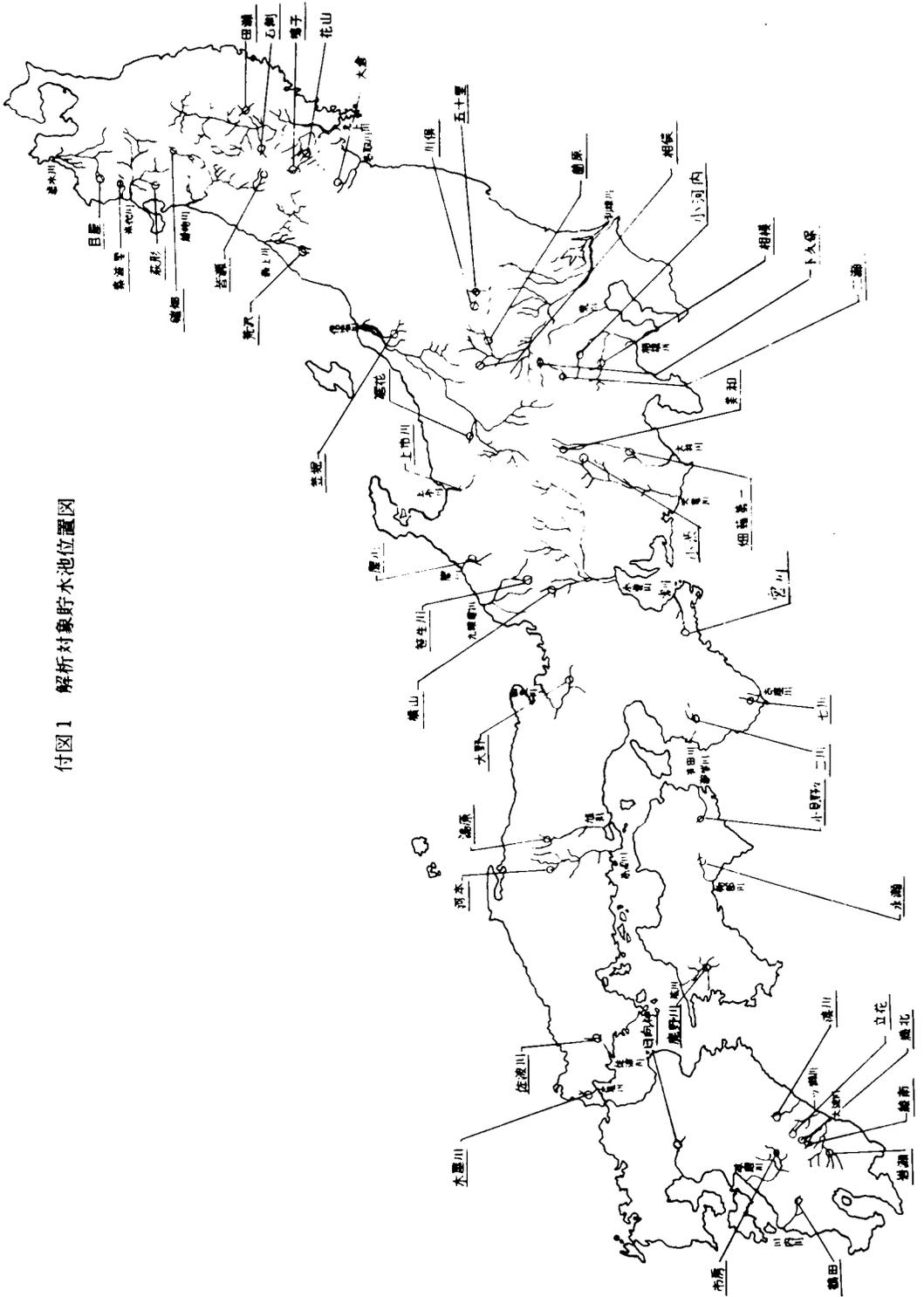
付表45 蘭原貯水池各年堆砂量および日流量規模別頻度

空白欄は頻度0

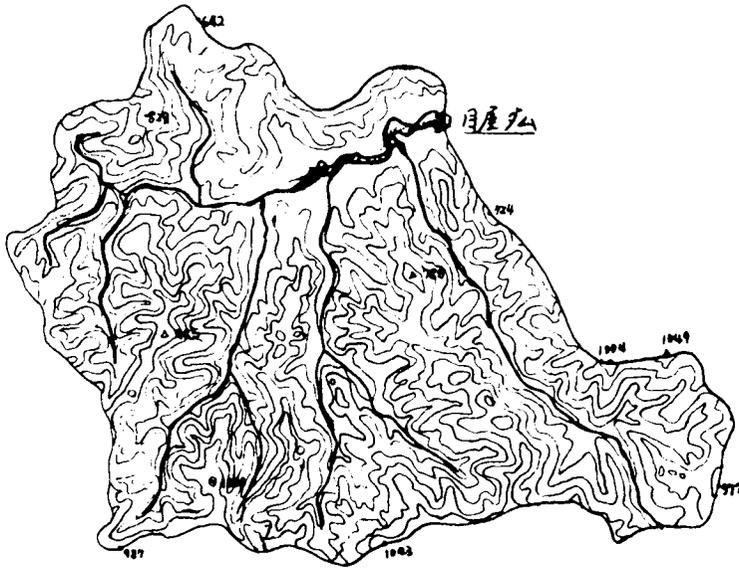
年度	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28
各年堆砂量 日流量(m ³ /sec)	2	4	2	3	1	3	3	0												
30~40	7	11	20	12	13	7	10	17												
40~50	4	3	8	1	6	3	7	12												
50~60		1	4		3	2	3	5												
60~70	1	1	3	1	3		2	2												
70~80			1	2	1															
80~90			1				1	1												
90~100																				
100~150	1	2					2	1												
150~200	1	1		1			1													
200~250																				
250~300																				
300~400																				
400~600							1													
600~800																				
800~1000																				
1000~1200																				
1200~1400																				
1400~1600																				
1600~1800																				
1800~2000																				

注：各貯水池日流量資料は建設省河川局「多目的ダム管理年報」による。

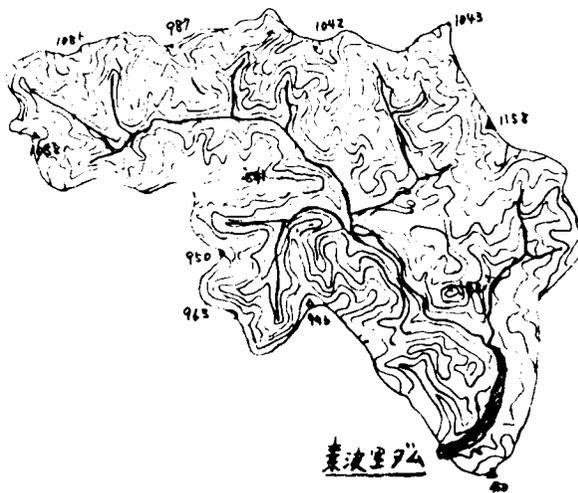
付図1 解析対象貯水池位置図



付図2 日屋貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図3 素波里貯水池流域平面図 1 : 200,000



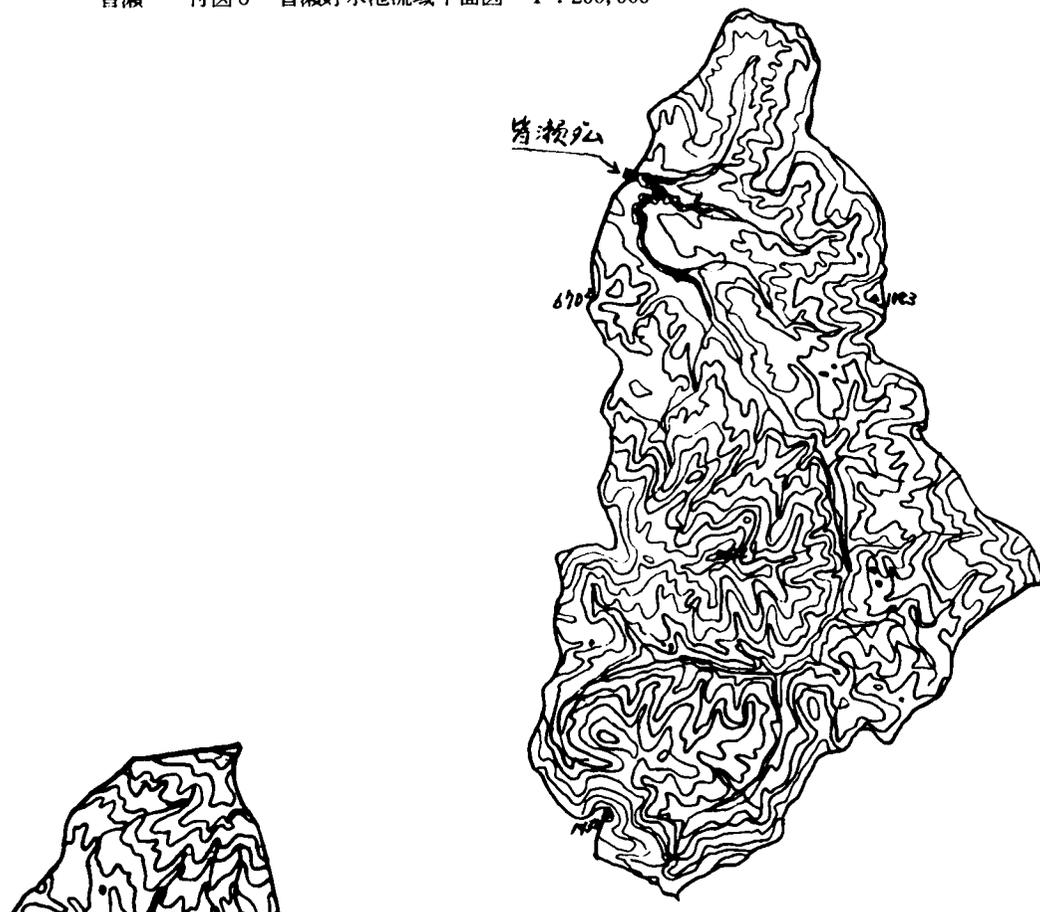
付図4 鏡畑貯水池流域平面図 1:200,000



付図5 石瀬貯水池流域平面図 1:200,000



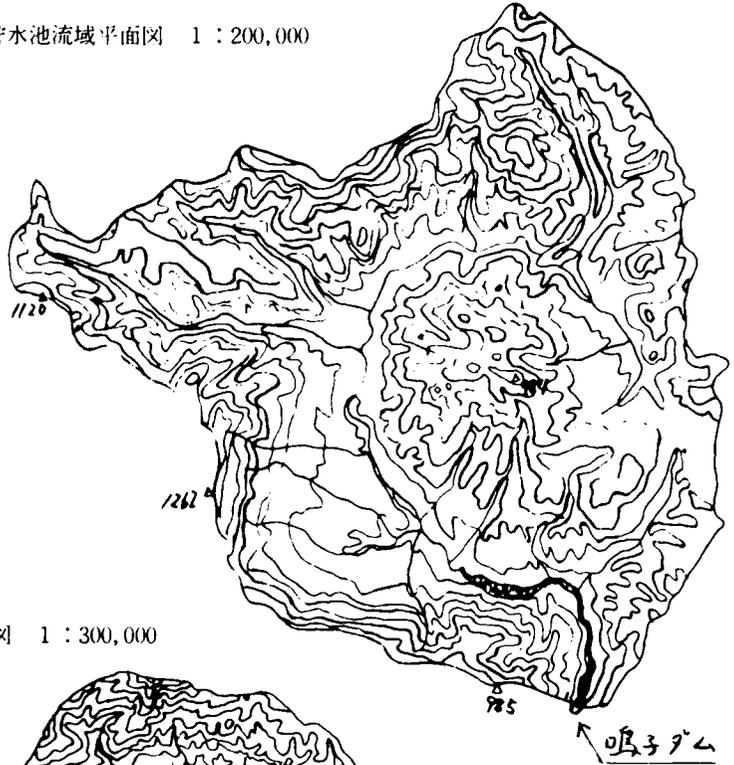
皆瀬 付図6 皆瀬貯水池流域平面図 1:200,000



付図7 花山貯水池流域平面図 1:200,000



付図8 鳴子貯水池流域平面図 1 : 200,000



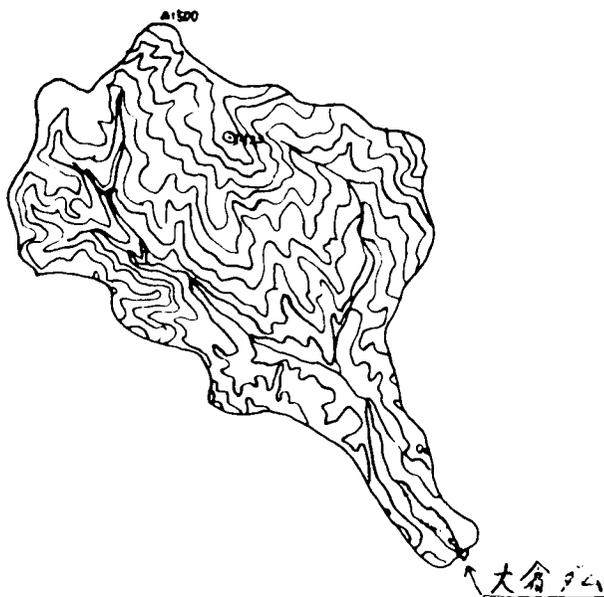
付図9 田瀬貯水池流域平面図 1 : 300,000



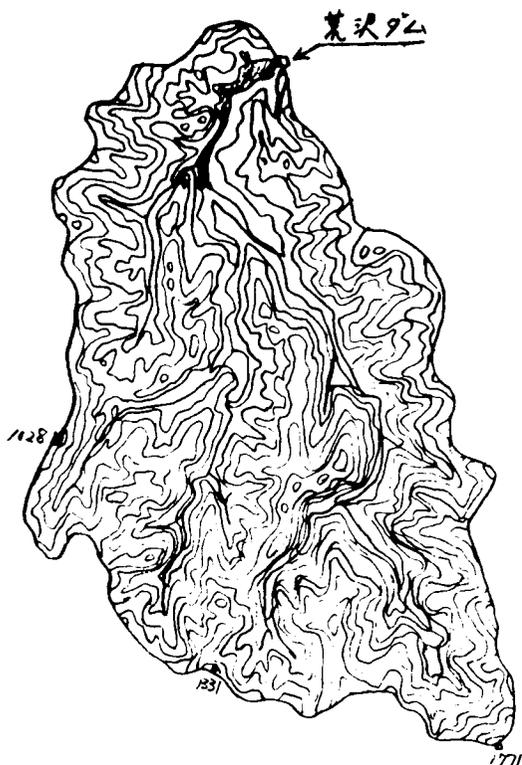
付図10 萩形貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図11 大倉貯水池流域平面図 1 : 200,000



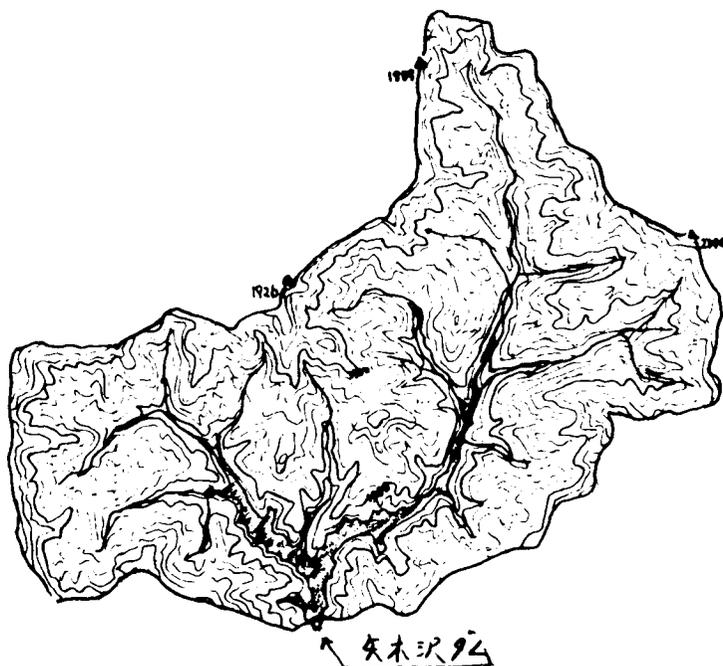
付図12 荒沢貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図13 笠堀貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図14 矢木沢貯水池流域平面図 1 : 200,000



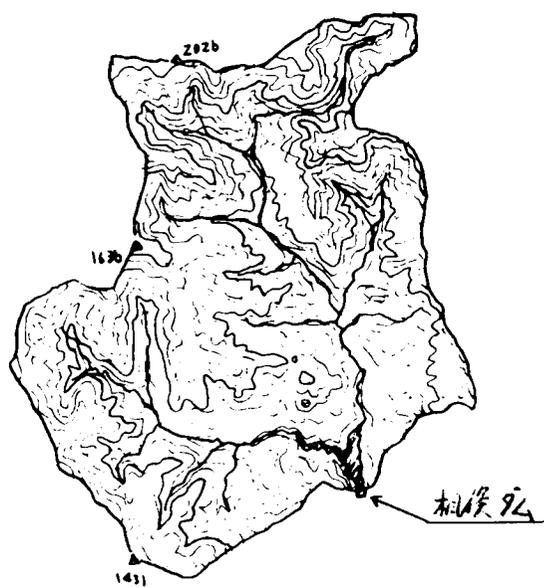
付図15 川俣貯水池流域平面図 1 : 200,000



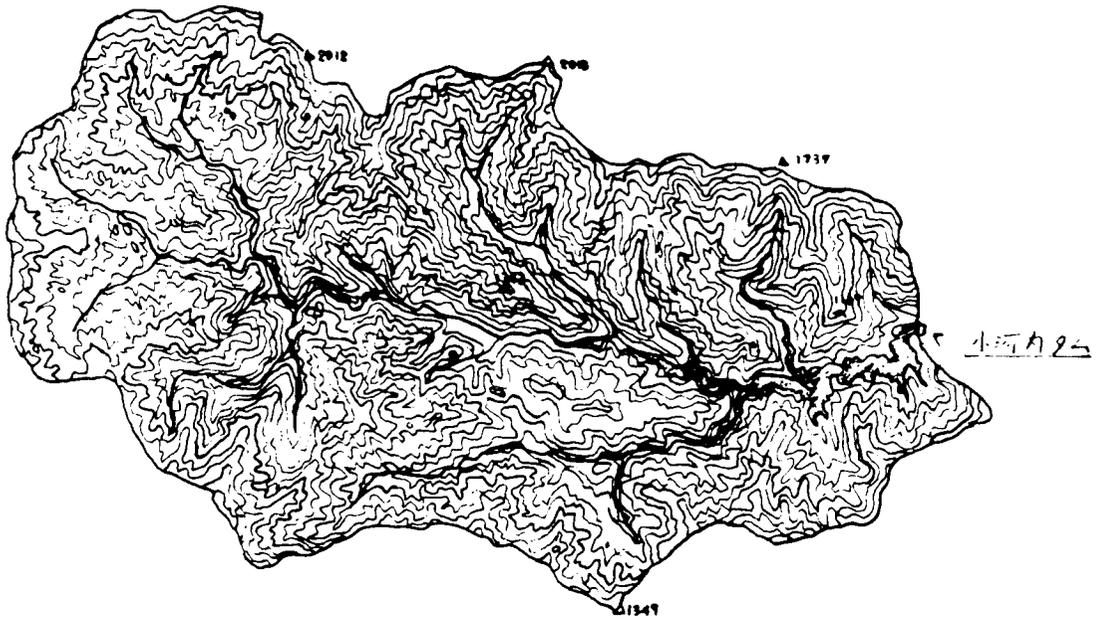
付図16 五十里貯水池流域平面図 1 : 200,000



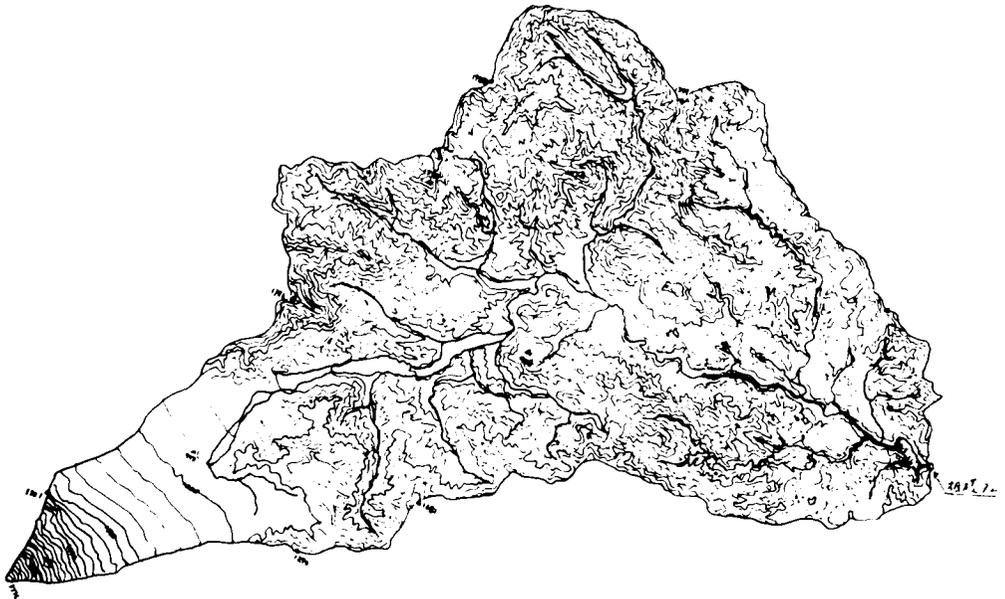
付図17 相俣貯水池流域平面図 1 : 200,000



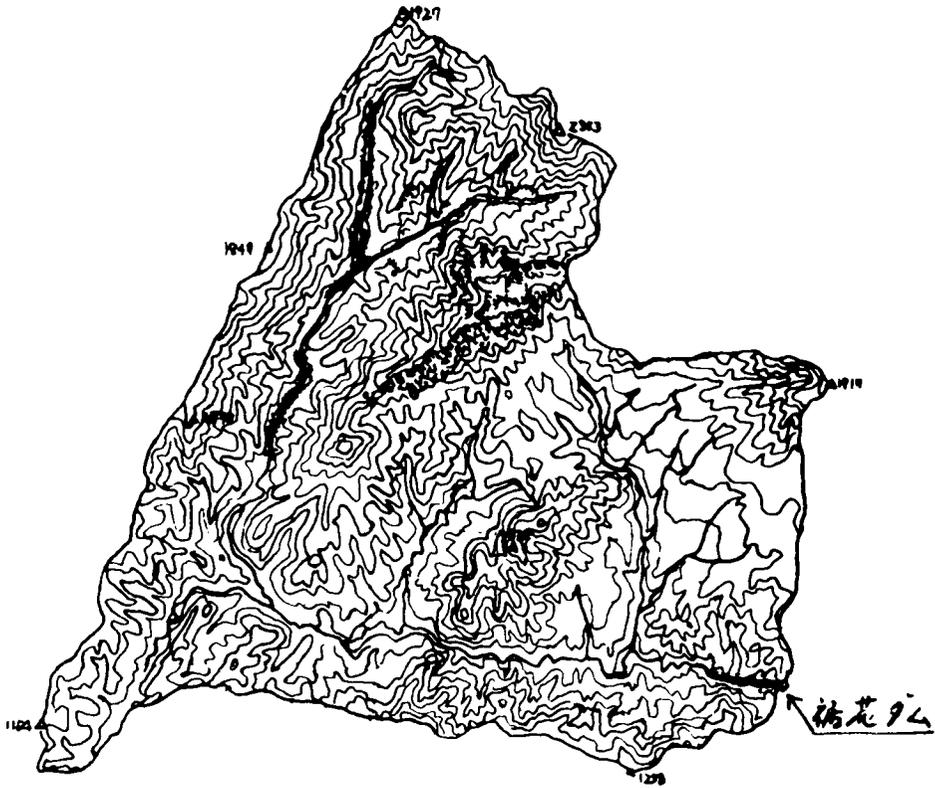
付図18 小河内貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図19 相模貯水池流域平面図 1 : 400,000



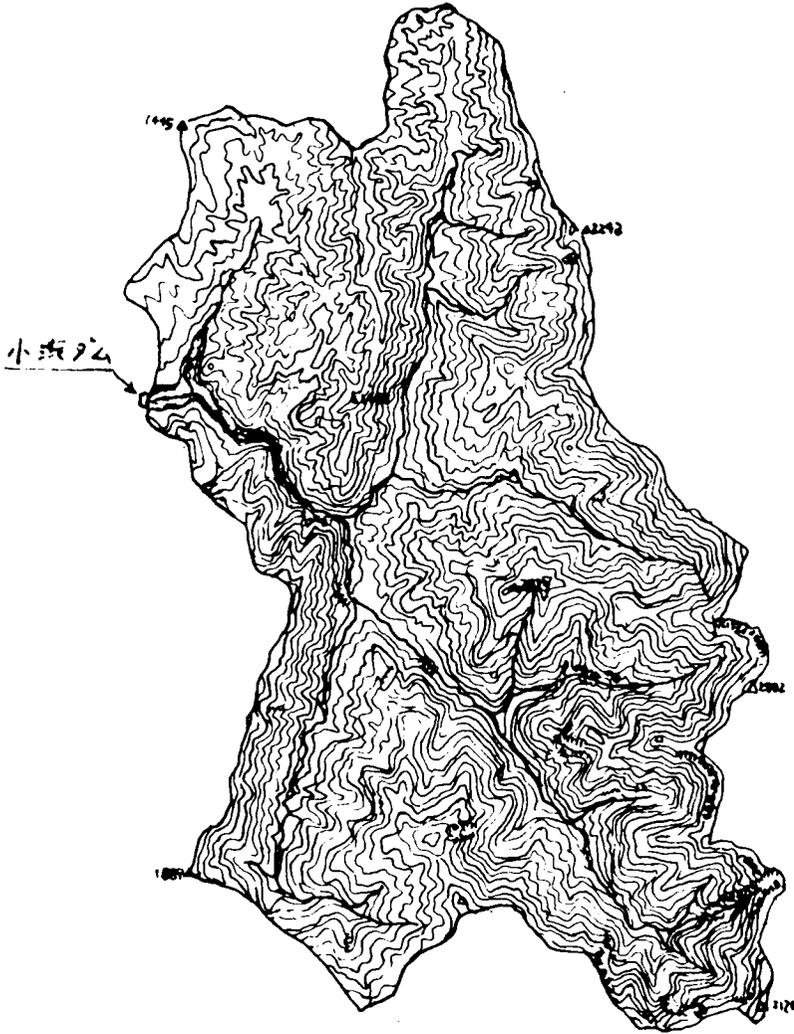
付図22 裾花貯水池流域平面図 1 : 200,000



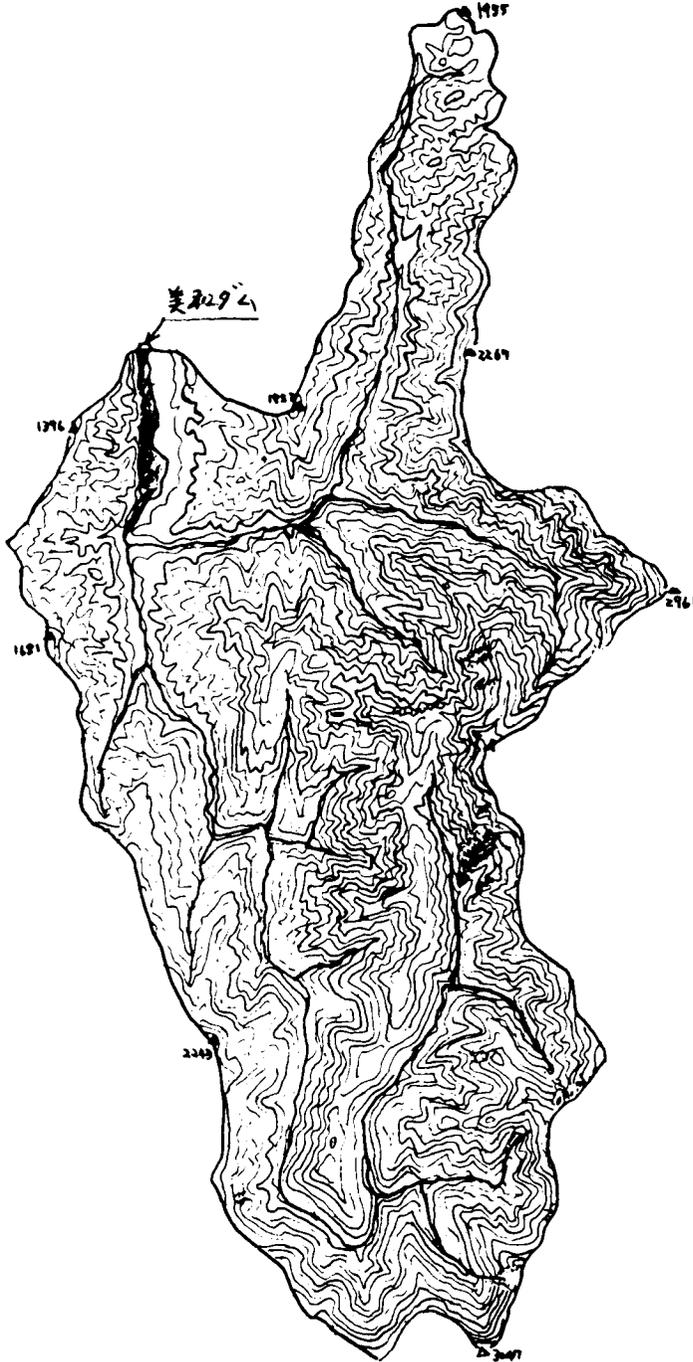
付図23 上市川貯水池流域平面図 1 : 200,000



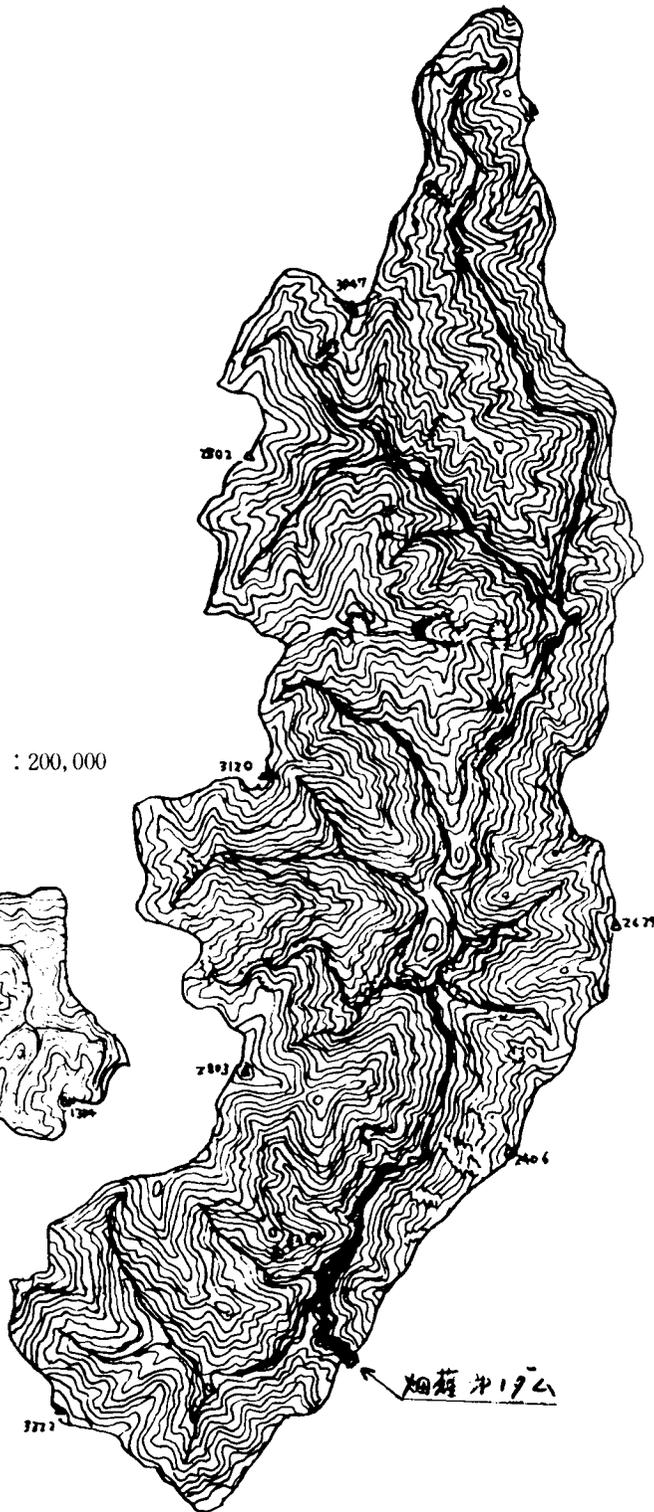
付图24 小洪貯水池流域平面図 1 : 200,000



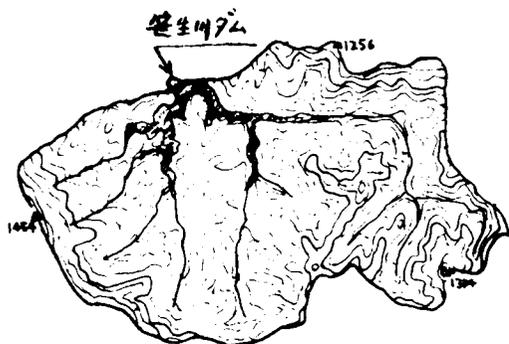
付図25 美和貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図26 畑薙第1貯水池流域平面図 1 : 200,000



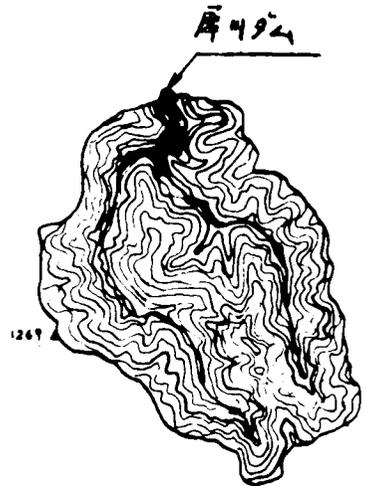
付図27 笹生川貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図28 横山貯水池流域平面図 1 : 200,000

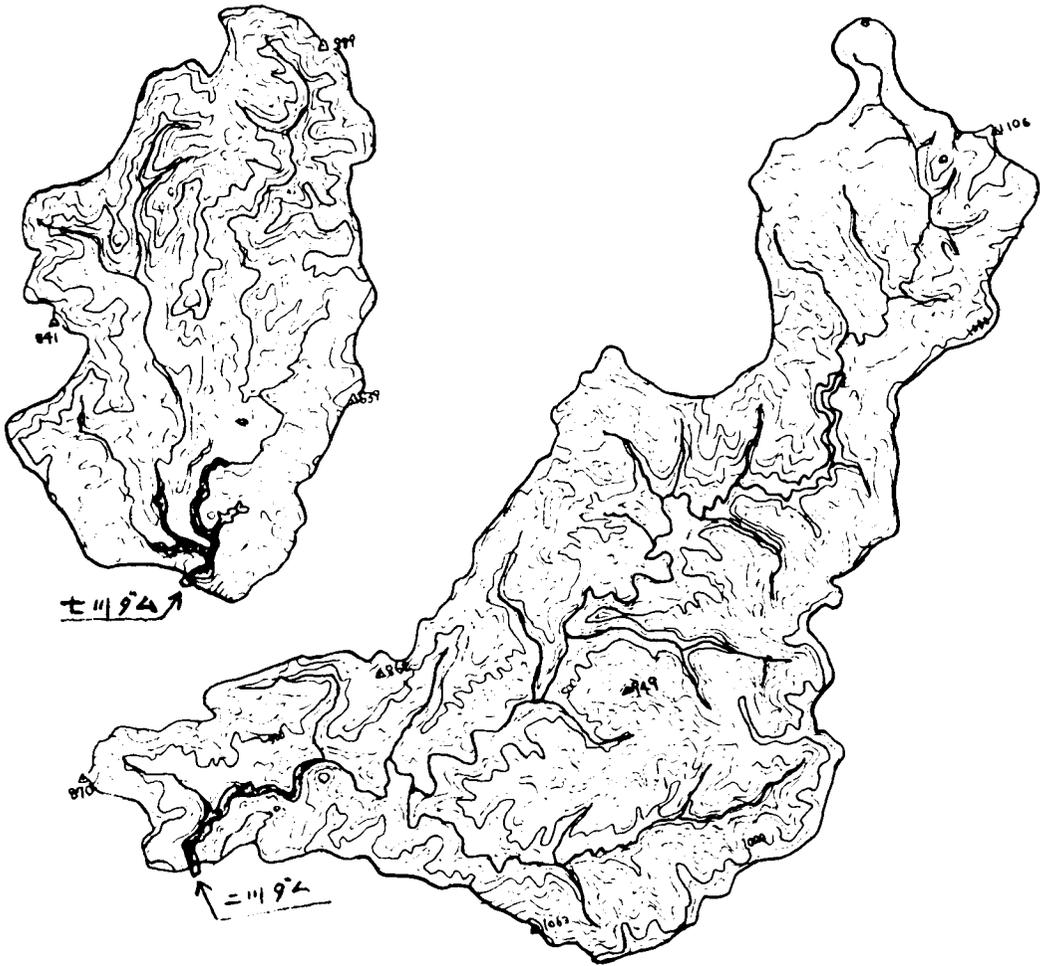


付図29 犀川貯水池流域平面図 1 : 200,000

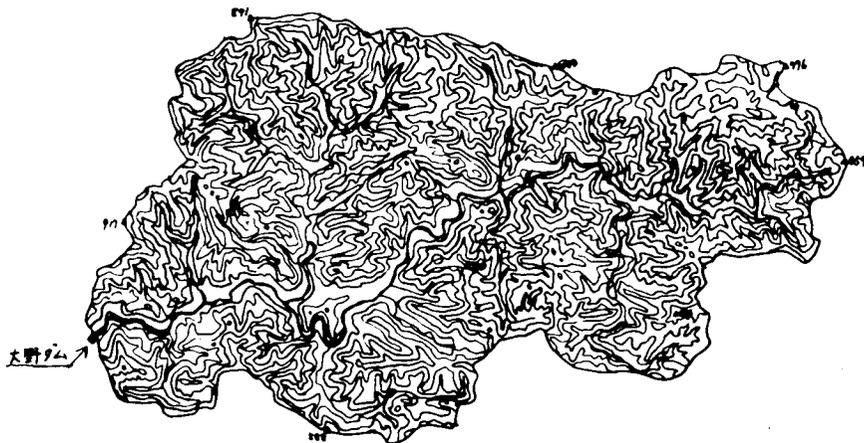


付図30 七川貯水池流域平面図 1 : 200,000

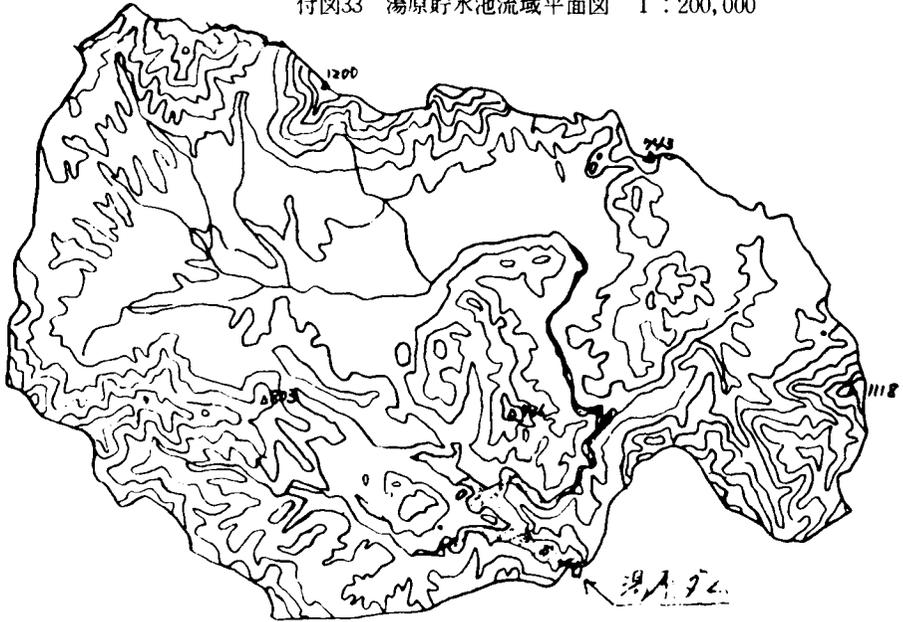
付図31 二川貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図32 大野貯水池流域平面図 1 : 300,000



付図33 湯原貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図34 河本貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図35 佐波川貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図36 木屋川貯水池流域平面図

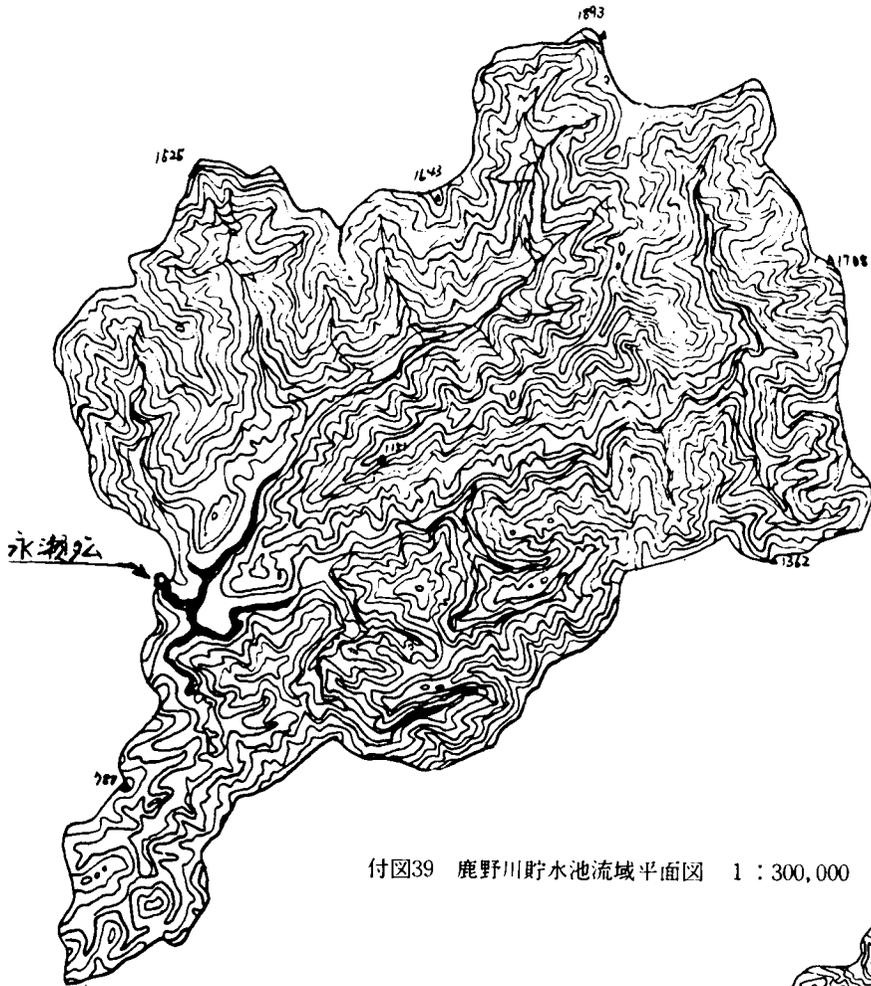
1 : 200,000



付図37 小見野々貯水池流域平面図 1 : 200,000



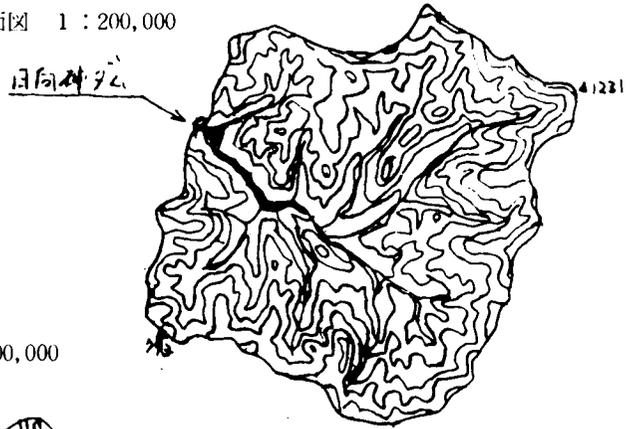
付図38 永瀬貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図39 鹿野川貯水池流域平面図 1 : 300,000



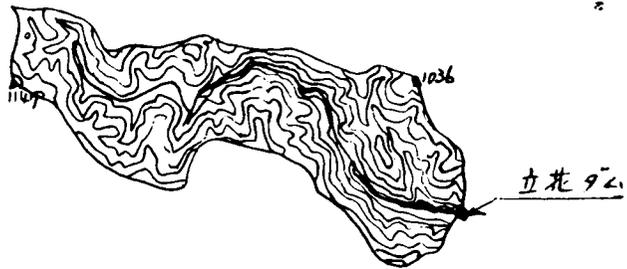
付図40 日向神貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図41 渡川貯水池流域平面図 1 : 200,000



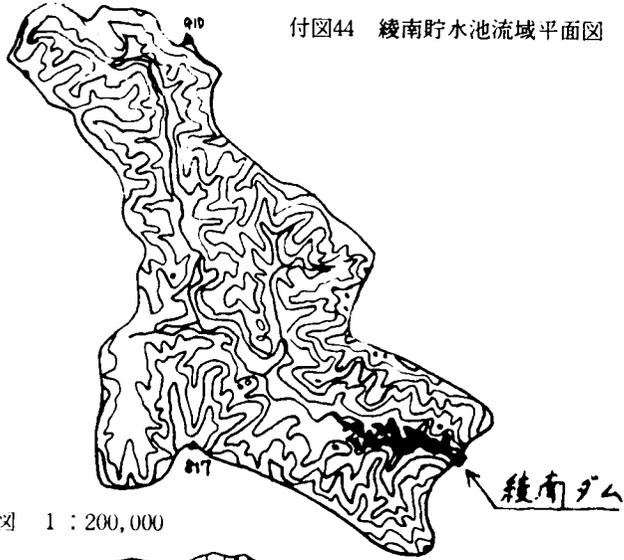
付図42 立花貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図43 綾北貯水池流域平面図
1 : 200,000



付図44 綾南貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図45 岩瀬貯水池流域平面図 1 : 200,000



付図46 鶴田貯水池流域平面図 1 : 400,000



付図47 鳴子貯水池終端付近河床状況

(昭和38年撮影)



付図48 相俣貯水池終端付近河床状況

(昭和38年撮影)



付図49 五十里貯水池終端付近河床状況

(昭和38年撮影)



付図50 七川貯水池終端付近河床状況

(昭和38年撮影)

