



測点	水深 (m)	流速 (m/s)	流量 (m³/s)	底高 (m)	水深 (m)	流速 (m/s)	流量 (m³/s)	底高 (m)
00000	175.0	0.0	0.0	175.0	0.0	0.0	0.0	175.0
00005	174.5	0.1	0.1	174.5	0.1	0.1	0.1	174.5
00010	174.0	0.2	0.2	174.0	0.2	0.2	0.2	174.0
00015	173.5	0.3	0.3	173.5	0.3	0.3	0.3	173.5
00020	173.0	0.4	0.4	173.0	0.4	0.4	0.4	173.0
00025	172.5	0.5	0.5	172.5	0.5	0.5	0.5	172.5
00030	172.0	0.6	0.6	172.0	0.6	0.6	0.6	172.0
00035	171.5	0.7	0.7	171.5	0.7	0.7	0.7	171.5
00040	171.0	0.8	0.8	171.0	0.8	0.8	0.8	171.0
00045	170.5	0.9	0.9	170.5	0.9	0.9	0.9	170.5
00050	170.0	1.0	1.0	170.0	1.0	1.0	1.0	170.0
00055	169.5	1.1	1.1	169.5	1.1	1.1	1.1	169.5
00060	169.0	1.2	1.2	169.0	1.2	1.2	1.2	169.0
00065	168.5	1.3	1.3	168.5	1.3	1.3	1.3	168.5
00070	168.0	1.4	1.4	168.0	1.4	1.4	1.4	168.0
00075	167.5	1.5	1.5	167.5	1.5	1.5	1.5	167.5
00080	167.0	1.6	1.6	167.0	1.6	1.6	1.6	167.0
00085	166.5	1.7	1.7	166.5	1.7	1.7	1.7	166.5
00090	166.0	1.8	1.8	166.0	1.8	1.8	1.8	166.0
00095	165.5	1.9	1.9	165.5	1.9	1.9	1.9	165.5
00100	165.0	2.0	2.0	165.0	2.0	2.0	2.0	165.0
00105	164.5	2.1	2.1	164.5	2.1	2.1	2.1	164.5
00110	164.0	2.2	2.2	164.0	2.2	2.2	2.2	164.0
00115	163.5	2.3	2.3	163.5	2.3	2.3	2.3	163.5
00120	163.0	2.4	2.4	163.0	2.4	2.4	2.4	163.0
00125	162.5	2.5	2.5	162.5	2.5	2.5	2.5	162.5
00130	162.0	2.6	2.6	162.0	2.6	2.6	2.6	162.0
00135	161.5	2.7	2.7	161.5	2.7	2.7	2.7	161.5
00140	161.0	2.8	2.8	161.0	2.8	2.8	2.8	161.0
00145	160.5	2.9	2.9	160.5	2.9	2.9	2.9	160.5
00150	160.0	3.0	3.0	160.0	3.0	3.0	3.0	160.0
00155	159.5	3.1	3.1	159.5	3.1	3.1	3.1	159.5
00160	159.0	3.2	3.2	159.0	3.2	3.2	3.2	159.0
00165	158.5	3.3	3.3	158.5	3.3	3.3	3.3	158.5
00170	158.0	3.4	3.4	158.0	3.4	3.4	3.4	158.0
00175	157.5	3.5	3.5	157.5	3.5	3.5	3.5	157.5
00180	157.0	3.6	3.6	157.0	3.6	3.6	3.6	157.0
00185	156.5	3.7	3.7	156.5	3.7	3.7	3.7	156.5
00190	156.0	3.8	3.8	156.0	3.8	3.8	3.8	156.0
00195	155.5	3.9	3.9	155.5	3.9	3.9	3.9	155.5
00200	155.0	4.0	4.0	155.0	4.0	4.0	4.0	155.0
00205	154.5	4.1	4.1	154.5	4.1	4.1	4.1	154.5
00210	154.0	4.2	4.2	154.0	4.2	4.2	4.2	154.0
00215	153.5	4.3	4.3	153.5	4.3	4.3	4.3	153.5
00220	153.0	4.4	4.4	153.0	4.4	4.4	4.4	153.0
00225	152.5	4.5	4.5	152.5	4.5	4.5	4.5	152.5
00230	152.0	4.6	4.6	152.0	4.6	4.6	4.6	152.0
00235	151.5	4.7	4.7	151.5	4.7	4.7	4.7	151.5
00240	151.0	4.8	4.8	151.0	4.8	4.8	4.8	151.0
00245	150.5	4.9	4.9	150.5	4.9	4.9	4.9	150.5
00250	150.0	5.0	5.0	150.0	5.0	5.0	5.0	150.0
00255	149.5	5.1	5.1	149.5	5.1	5.1	5.1	149.5
00260	149.0	5.2	5.2	149.0	5.2	5.2	5.2	149.0
00265	148.5	5.3	5.3	148.5	5.3	5.3	5.3	148.5
00270	148.0	5.4	5.4	148.0	5.4	5.4	5.4	148.0
00275	147.5	5.5	5.5	147.5	5.5	5.5	5.5	147.5
00280	147.0	5.6	5.6	147.0	5.6	5.6	5.6	147.0
00285	146.5	5.7	5.7	146.5	5.7	5.7	5.7	146.5
00290	146.0	5.8	5.8	146.0	5.8	5.8	5.8	146.0
00295	145.5	5.9	5.9	145.5	5.9	5.9	5.9	145.5
00300	145.0	6.0	6.0	145.0	6.0	6.0	6.0	145.0
00305	144.5	6.1	6.1	144.5	6.1	6.1	6.1	144.5
00310	144.0	6.2	6.2	144.0	6.2	6.2	6.2	144.0
00315	143.5	6.3	6.3	143.5	6.3	6.3	6.3	143.5
00320	143.0	6.4	6.4	143.0	6.4	6.4	6.4	143.0
00325	142.5	6.5	6.5	142.5	6.5	6.5	6.5	142.5
00330	142.0	6.6	6.6	142.0	6.6	6.6	6.6	142.0
00335	141.5	6.7	6.7	141.5	6.7	6.7	6.7	141.5
00340	141.0	6.8	6.8	141.0	6.8	6.8	6.8	141.0
00345	140.5	6.9	6.9	140.5	6.9	6.9	6.9	140.5
00350	140.0	7.0	7.0	140.0	7.0	7.0	7.0	140.0
00355	139.5	7.1	7.1	139.5	7.1	7.1	7.1	139.5
00360	139.0	7.2	7.2	139.0	7.2	7.2	7.2	139.0
00365	138.5	7.3	7.3	138.5	7.3	7.3	7.3	138.5
00370	138.0	7.4	7.4	138.0	7.4	7.4	7.4	138.0
00375	137.5	7.5	7.5	137.5	7.5	7.5	7.5	137.5
00380	137.0	7.6	7.6	137.0	7.6	7.6	7.6	137.0
00385	136.5	7.7	7.7	136.5	7.7	7.7	7.7	136.5
00390	136.0	7.8	7.8	136.0	7.8	7.8	7.8	136.0
00395	135.5	7.9	7.9	135.5	7.9	7.9	7.9	135.5
00400	135.0	8.0	8.0	135.0	8.0	8.0	8.0	135.0
00405	134.5	8.1	8.1	134.5	8.1	8.1	8.1	134.5
00410	134.0	8.2	8.2	134.0	8.2	8.2	8.2	134.0
00415	133.5	8.3	8.3	133.5	8.3	8.3	8.3	133.5
00420	133.0	8.4	8.4	133.0	8.4	8.4	8.4	133.0
00425	132.5	8.5	8.5	132.5	8.5	8.5	8.5	132.5
00430	132.0	8.6	8.6	132.0	8.6	8.6	8.6	132.0
00435	131.5	8.7	8.7	131.5	8.7	8.7	8.7	131.5
00440	131.0	8.8	8.8	131.0	8.8	8.8	8.8	131.0
00445	130.5	8.9	8.9	130.5	8.9	8.9	8.9	130.5
00450	130.0	9.0	9.0	130.0	9.0	9.0	9.0	130.0
00455	129.5	9.1	9.1	129.5	9.1	9.1	9.1	129.5
00460	129.0	9.2	9.2	129.0	9.2	9.2	9.2	129.0
00465	128.5	9.3	9.3	128.5	9.3	9.3	9.3	128.5
00470	128.0	9.4	9.4	128.0	9.4	9.4	9.4	128.0
00475	127.5	9.5	9.5	127.5	9.5	9.5	9.5	127.5
00480	127.0	9.6	9.6	127.0	9.6	9.6	9.6	127.0
00485	126.5	9.7	9.7	126.5	9.7	9.7	9.7	126.5
00490	126.0	9.8	9.8	126.0	9.8	9.8	9.8	126.0
00495	125.5	9.9	9.9	125.5	9.9	9.9	9.9	125.5
00500	125.0	10.0	10.0	125.0	10.0	10.0	10.0	125.0

図3.5.4.46 1969年洪水時泥流シミュレーション結果(ケース1) 貯水池縦断状況(1/2)

(V) 1:300 / (H) 1:6000

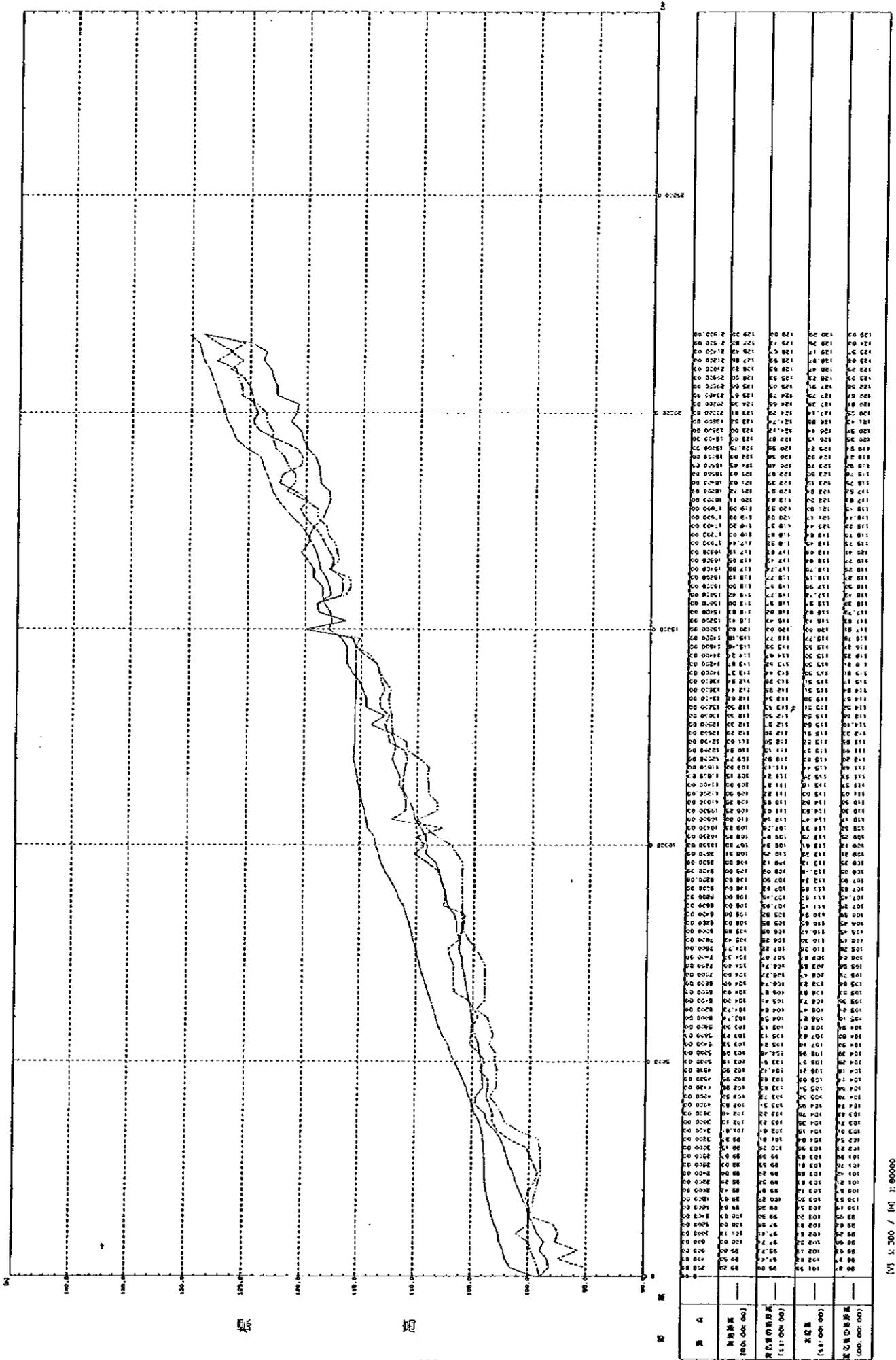


図3.5.4.46 1969年洪水時泥流シミュレーション結果(ケース1)貯水池縦断状況(2/2)

[V] 1:200 / [H] 1:60000

表3.5.4.19 1969年洪水(ケース1)投入-排出量の収支 1/2 (毎時)

経過時間 (時間)	投入(二河川total)		排 出			
	水量 (m3)	土砂量 (m3)	水量 (m3)	土砂量 (m3)	水深 (m)	排砂濃度 (ppm)
0						
1	2,008,800	25,110	0	0	0.00	0.00
2	4,017,600	50,220	0	0	0.00	0.00
3	6,026,400	75,330	0	0	0.00	0.00
4	8,035,200	100,440	0	0	0.00	0.00
5	10,044,000	125,550	0	0	0.00	0.00
6	12,052,800	150,660	0	0	0.00	0.00
7	14,061,600	175,770	0	0	0.00	0.00
8	16,070,400	200,880	0	0	0.00	0.00
9	18,079,200	225,990	0	0	0.00	0.00
10	22,690,800	258,908	319,735	197,058	2.93	61631.79
11	28,234,800	313,038	10,207,734	1,777,638	4.52	17414.62
12	33,778,800	388,379	17,406,526	816,579	3.06	4685.48
13	39,322,800	484,931	18,051,961	413,531	3.06	2290.78
14	44,866,800	602,694	21,979,958	107,494	3.19	1853.93
15	46,393,200	691,448	27,749,131	481,048	3.53	1733.56
16	48,852,000	820,994	33,434,124	500,194	3.93	1496.06
17	42,375,600	641,228	38,309,025	551,028	4.24	1438.38
18	36,831,600	502,254	42,169,108	506,254	4.50	1200.53
19	31,287,600	384,491	44,035,187	454,291	4.53	1031.65
20	25,743,600	287,939	43,278,906	403,539	4.37	932.41
21	20,199,600	212,598	40,472,267	459,198	4.08	1134.60
22	14,655,600	158,468	36,182,706	699,268	3.73	1932.60
23	10,044,000	125,550	31,425,154	1,018,750	3.42	3241.83
24	8,035,200	100,440	26,518,922	1,286,240	3.17	4850.27
25	6,026,400	75,330	22,209,207	1,374,330	3.14	6188.11
26	4,017,600	50,220	18,451,680	1,305,220	3.05	7073.72
27	2,008,800	25,110	14,931,046	1,143,910	3.06	7661.29
28	0	0	11,836,818	900,000	3.19	7603.39
29	0	0	10,035,498	678,800	2.62	6763.99
30	0	0	7,808,753	308,200	0.93	3946.85
31	0	0	6,387,003	196,000	0.08	3068.73
32	0	0	4,952,754	81,200	0.02	1639.49
33	0	0	3,928,912	29,400	0.01	748.30
34	0	0	3,077,306	14,600	0.11	474.44
35	0	0	2,944,919	28,800	0.15	977.96
36	0	0	2,325,167	30,000	0.07	1290.23
37	0	0	1,611,373	10,200	0.02	633.00
38	0	0	1,295,901	3,800	0.03	293.23
39	0	0	1,063,310	-1,000	0.02	-94.05
40	0	0	877,723	400	0.01	45.57
41	0	0	729,267	800	0.01	109.70
42	0	0	609,731	1,800	0.02	295.21
43	0	0	513,233	-1,600	0.01	-311.75
44	0	0	434,648	1,800	0.01	414.13
45	0	0	370,641	-2,200	0.01	-593.57
46	0	0	318,773	3,800	0.01	1192.07
47	0	0	276,524	-4,400	0.01	-1591.18
48	0	0	241,873	200	0.01	82.69
49	0	0	213,120	-200	0.01	-93.81
50	0	0	189,022	2,800	0.01	1481.31
51	0	0	168,543	-400	0.01	-237.33
52	0	0	150,784	-600	0.01	-397.92
53	0	0	135,658	4,200	0.01	3096.01
54	0	0	122,636	-3,200	0.01	-2609.35
55	0	0	111,084	-400	0.01	-360.09
56	0	0	101,059	0	0.01	0.00
57	0	0	92,451	-1,400	0.01	-1514.32
58	0	0	85,252	1,600	0.01	1876.79
59	0	0	78,715	2,400	0.00	3048.97
60	0	0	73,051	0	0.01	0.00

表3.5.4.19 1969年洪水(ケース1)投入-排出量の収支 2/2 (累計)

経過時間 (時間)	投入(二河川total)		排 出		
	水 量 (m3)	土砂量 (m3)	水 量 (m3)	土砂量 (m3)	排砂率 (%)
0			0	475,800	6.56%
1	2008800	25110	0	475,800	6.56%
2	6026400	75330	0	475,800	6.56%
3	12052800	150660	0	475,800	6.56%
4	20088000	251100	0	475,800	6.56%
5	30132000	376650	0	475,800	6.56%
6	42181800	527310	0	475,800	6.56%
7	56246400	703080	0	475,800	6.56%
8	72316800	903960	0	475,800	6.56%
9	90396000	1129950	0	475,800	6.56%
10	113086800	138858.4	319,735	672,858	9.28%
11	141321600	1701896.4	10,527,469	2,450,496	33.78%
12	175100400	2090275.2	27,933,995	3,266,075	45.02%
13	214423200	2575206	45,985,956	3,679,606	50.73%
14	259290000	3177900	67,965,914	4,087,100	56.34%
15	305683200	3869348.4	95,715,045	4,568,148	62.97%
16	354535200	4690342.8	129,149,169	5,068,343	69.87%
17	396910800	5331571.2	167,458,191	5,619,371	77.47%
18	43742400	5833825.2	209,627,302	6,125,625	84.45%
19	465030000	6218316	253,662,489	6,579,916	90.71%
20	490773600	6506254.8	296,941,395	6,983,455	96.27%
21	510973200	6718852.8	337,413,662	7,442,653	102.60%
22	525628800	6877321.2	373,596,368	8,141,921	112.24%
23	535672800	7002871.2	405,021,522	9,160,671	126.28%
24	543708000	7103311.2	431,540,444	10,446,911	144.02%
25	549734400	7178641.2	453,749,651	11,821,241	162.96%
26	553752000	7228861.2	472,201,331	13,126,461	180.96%
27	555760800	7253971.2	487,132,377	14,270,371	196.72%
28	555760800	7253971.2	498,969,196	15,170,371	209.13%
29	555760800	7253971.2	509,004,694	15,849,171	218.49%
30	555760800	7253971.2	516,813,447	16,157,371	222.74%
31	555760800	7253971.2	523,200,450	16,353,371	225.44%
32	555760800	7253971.2	528,153,201	16,434,571	226.56%
33	555760800	7253971.2	532,082,116	16,463,971	226.96%
34	555760800	7253971.2	535,159,422	16,478,571	227.17%
35	555760800	7253971.2	538,104,341	16,507,371	227.56%
36	555760800	7253971.2	540,429,508	16,537,371	227.98%
37	555760800	7253971.2	542,040,881	16,547,571	228.12%
38	555760800	7253971.2	543,336,782	16,551,371	228.17%
39	555760800	7253971.2	544,400,091	16,550,371	228.16%
40	555760800	7253971.2	545,277,815	16,550,771	228.16%
41	555760800	7253971.2	546,007,082	16,551,671	228.17%
42	555760800	7253971.2	546,616,813	16,553,371	228.20%
43	555760800	7253971.2	547,130,045	16,551,771	228.18%
44	555760800	7253971.2	547,561,693	16,553,671	228.20%
45	555760800	7253971.2	547,935,334	16,551,371	228.17%
46	555760800	7253971.2	548,254,107	16,555,171	228.22%
47	555760800	7253971.2	548,530,631	16,550,771	228.16%
48	555760800	7253971.2	548,772,504	16,550,971	228.16%
49	555760800	7253971.2	548,985,624	16,550,771	228.16%
50	555760800	7253971.2	549,174,646	16,553,571	228.20%
51	555760800	7253971.2	549,343,189	16,553,171	228.19%
52	555760800	7253971.2	549,493,973	16,552,571	228.19%
53	555760800	7253971.2	549,629,632	16,556,771	228.24%
54	555760800	7253971.2	549,752,268	16,553,571	228.20%
55	555760800	7253971.2	549,863,351	16,553,171	228.19%
56	555760800	7253971.2	549,964,410	16,553,171	228.19%
57	555760800	7253971.2	550,056,861	16,551,771	228.18%
58	555760800	7253971.2	550,142,112	16,553,371	228.20%
59	555760800	7253971.2	550,220,827	16,555,771	228.23%
60	555760800	7253971.2	550,293,878	16,555,771	228.23%

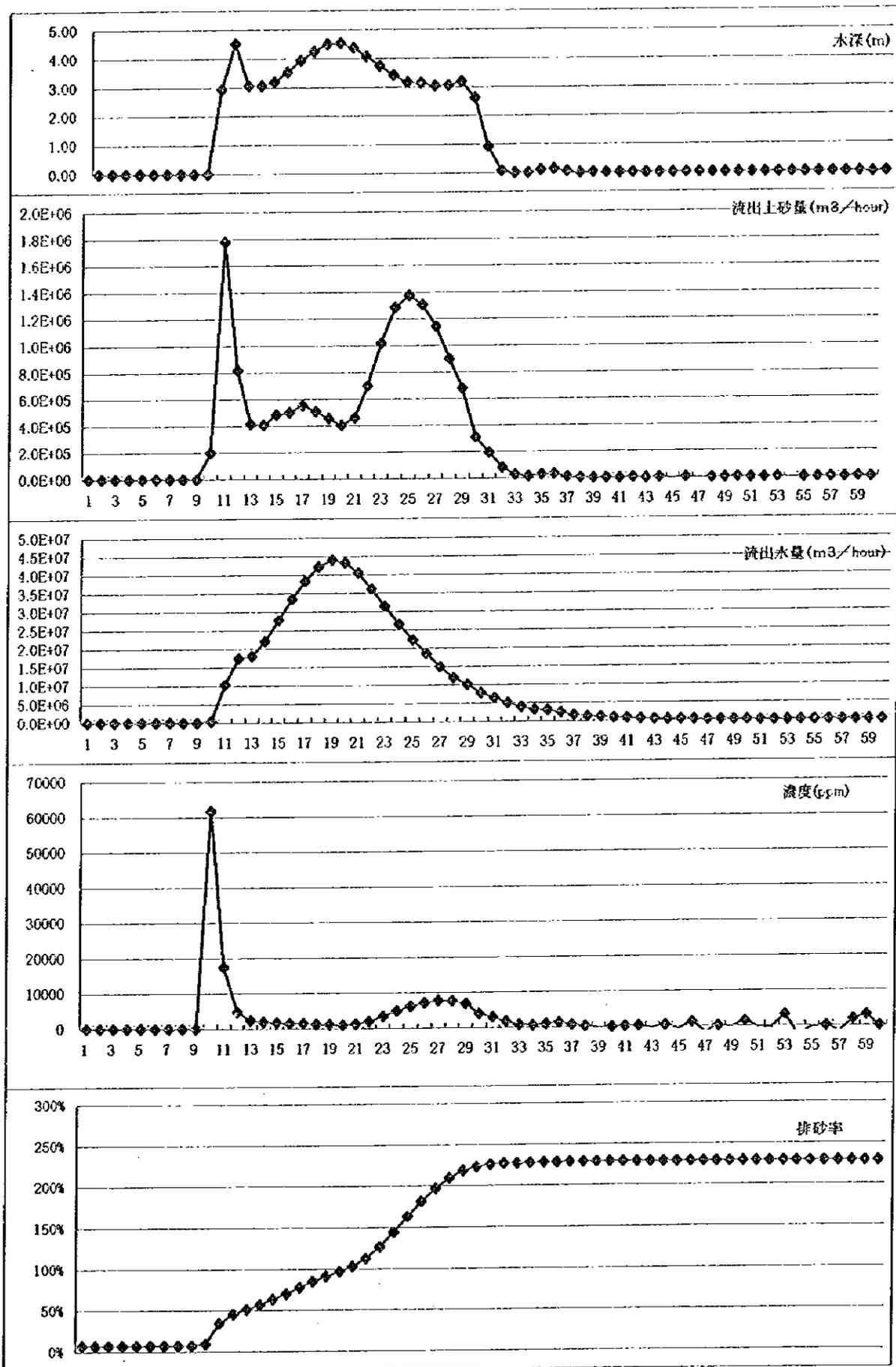


図3.5.4.47 1969年洪水(ケース1) -水深・流出量・濃度・排砂率

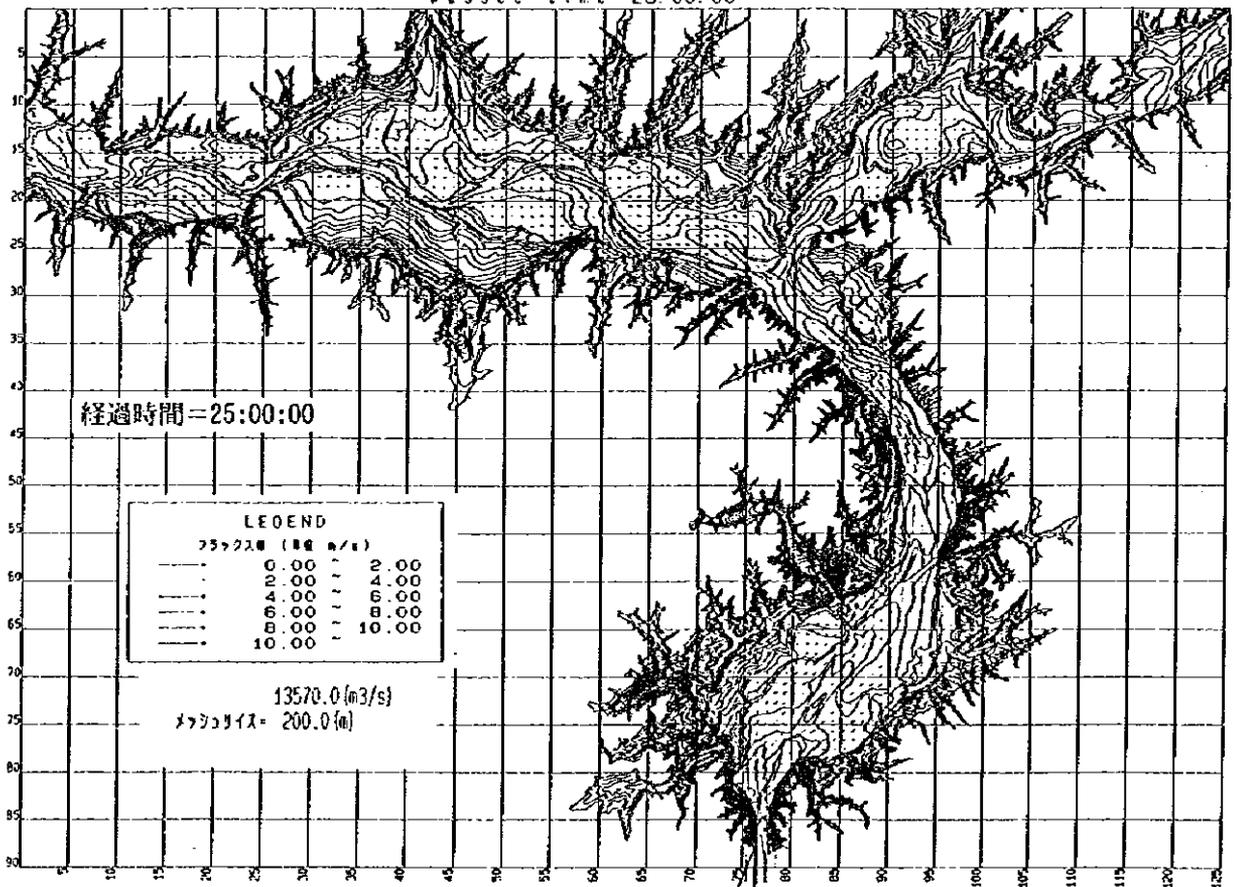
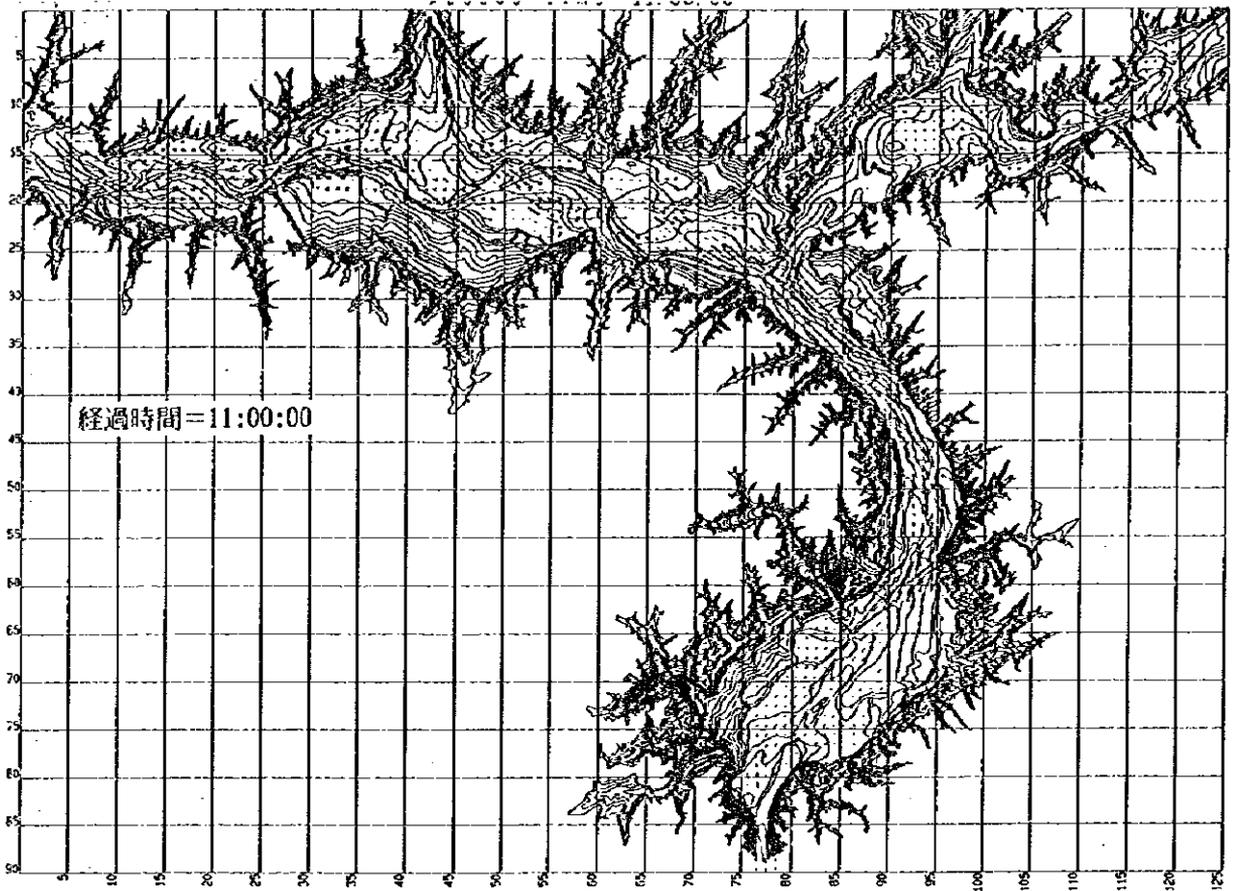


図3.5.4.48 1969年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース2) フラックス平面図

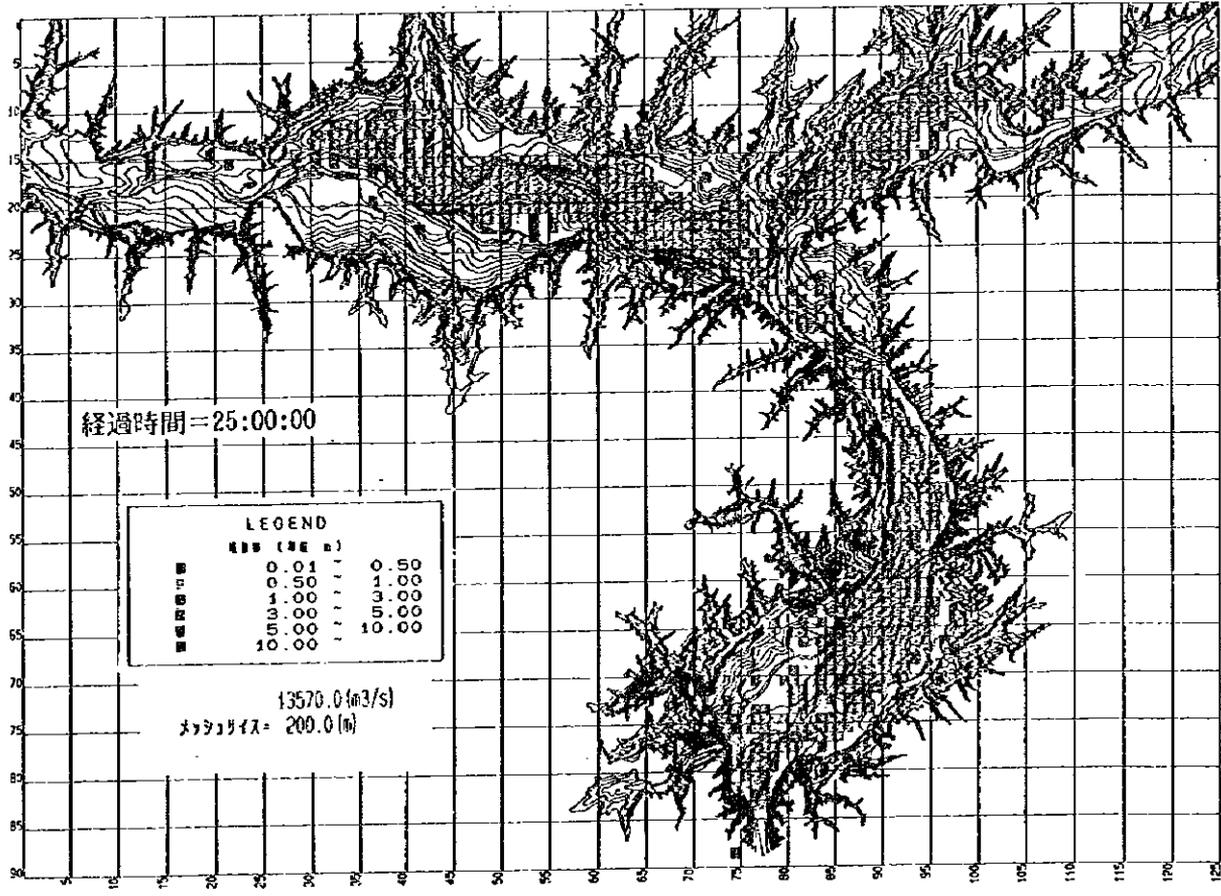
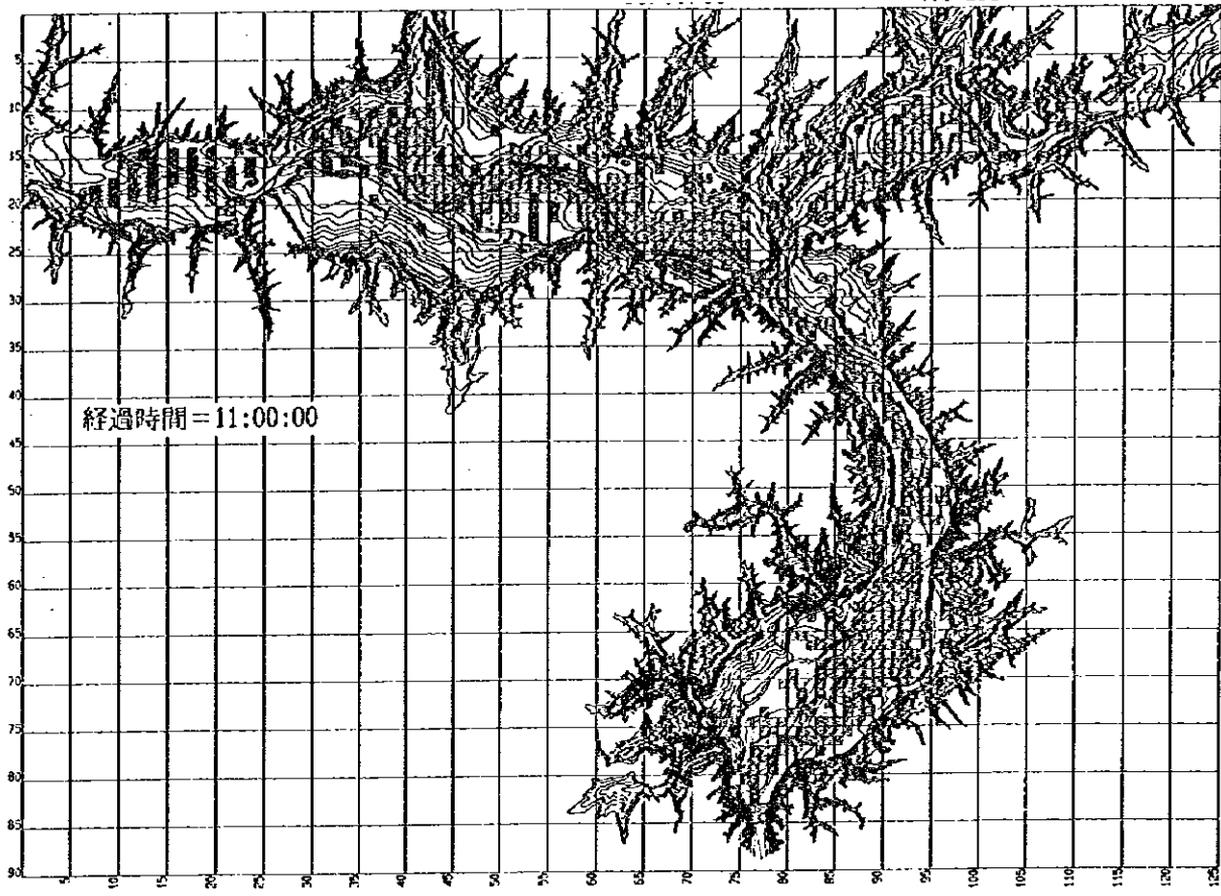


図3.5.4.49 1969年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース2) 堆積状況平面図(1/2)

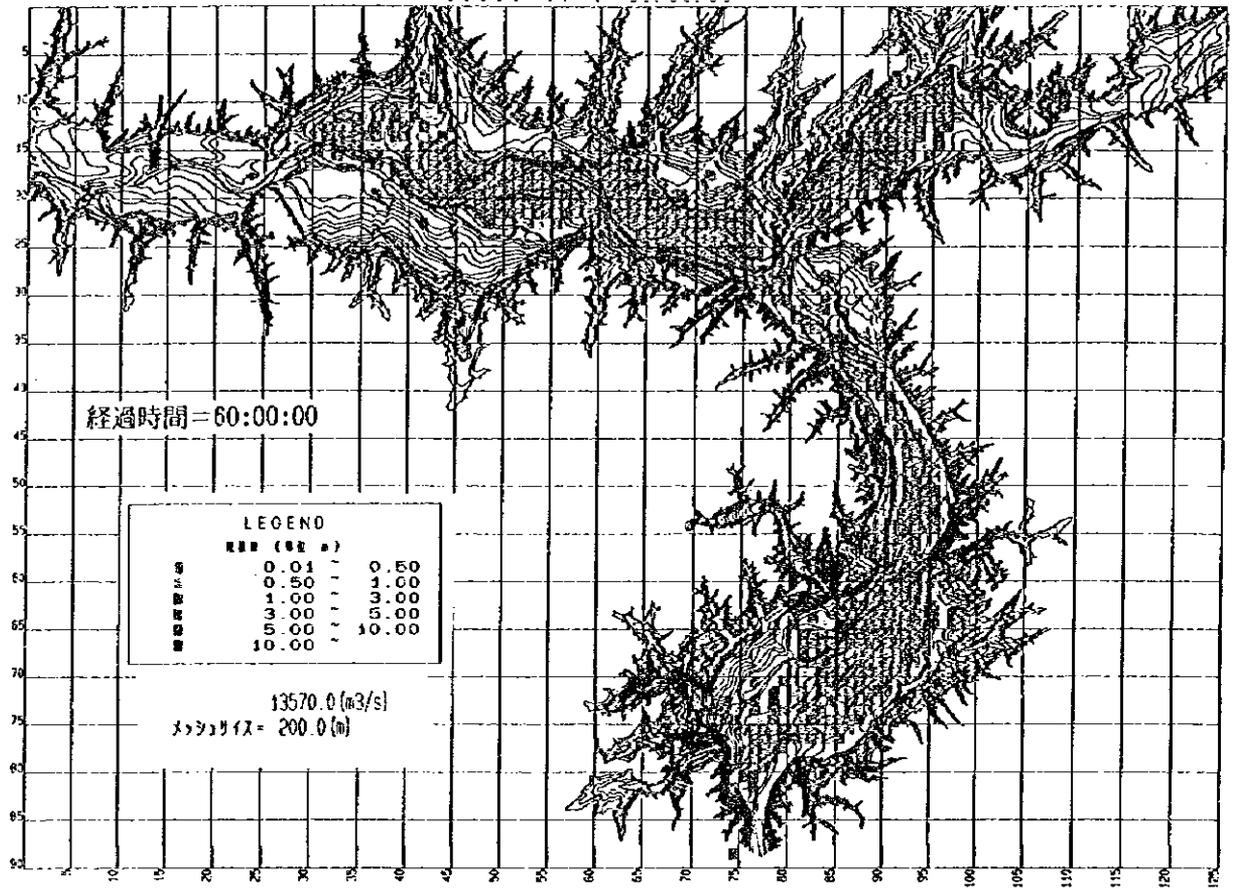


図3.5.4.49 1969年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース2) 堆積状況平面図(2/2)

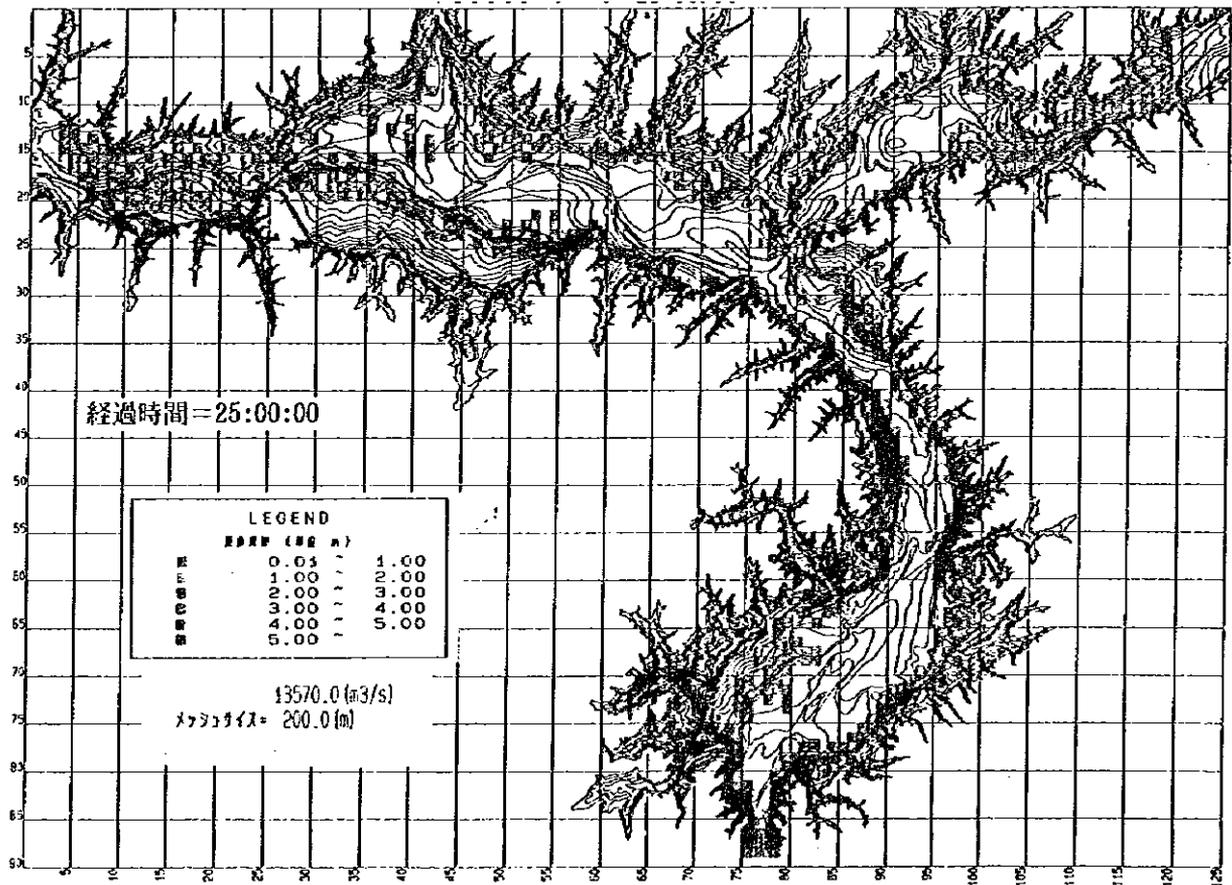
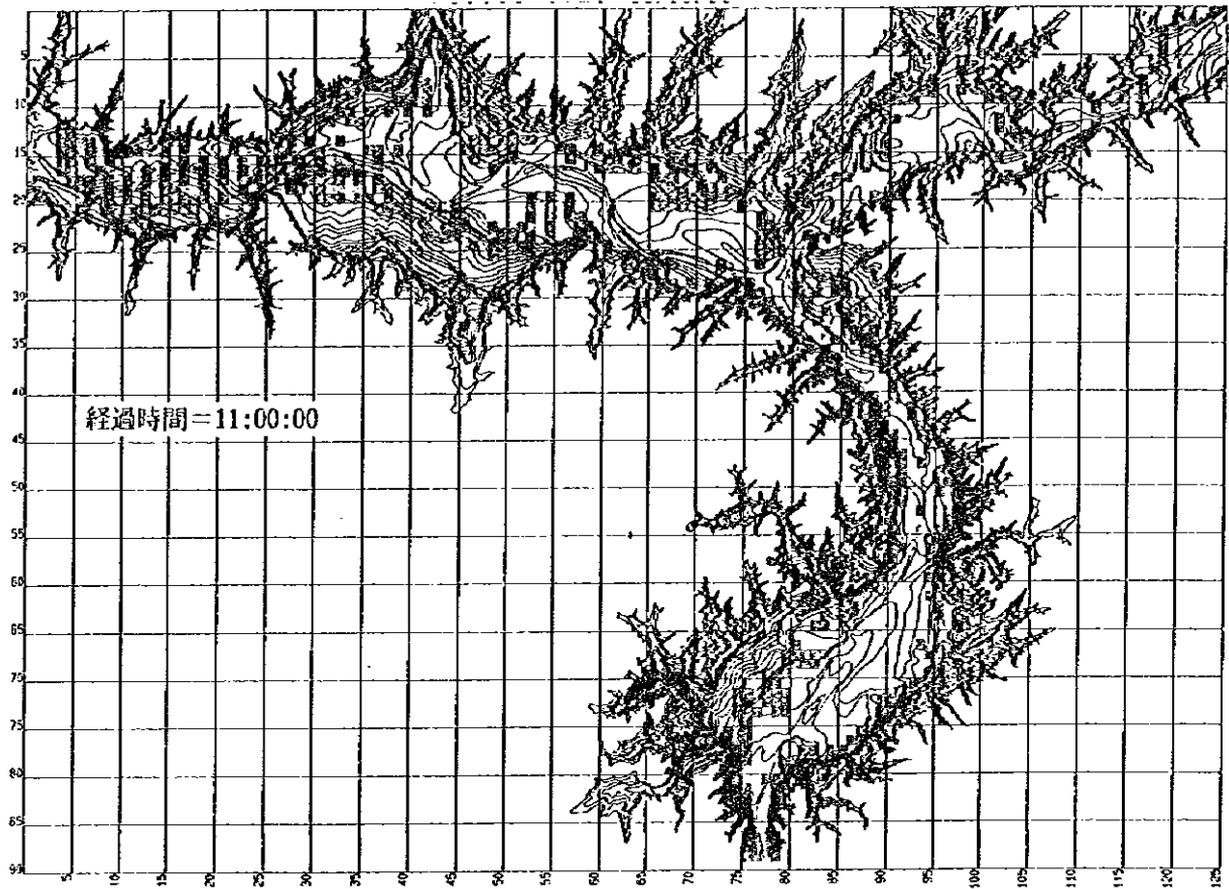


図3.5.4.50 1969年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース2) 洗掘状況平面図(1/2)

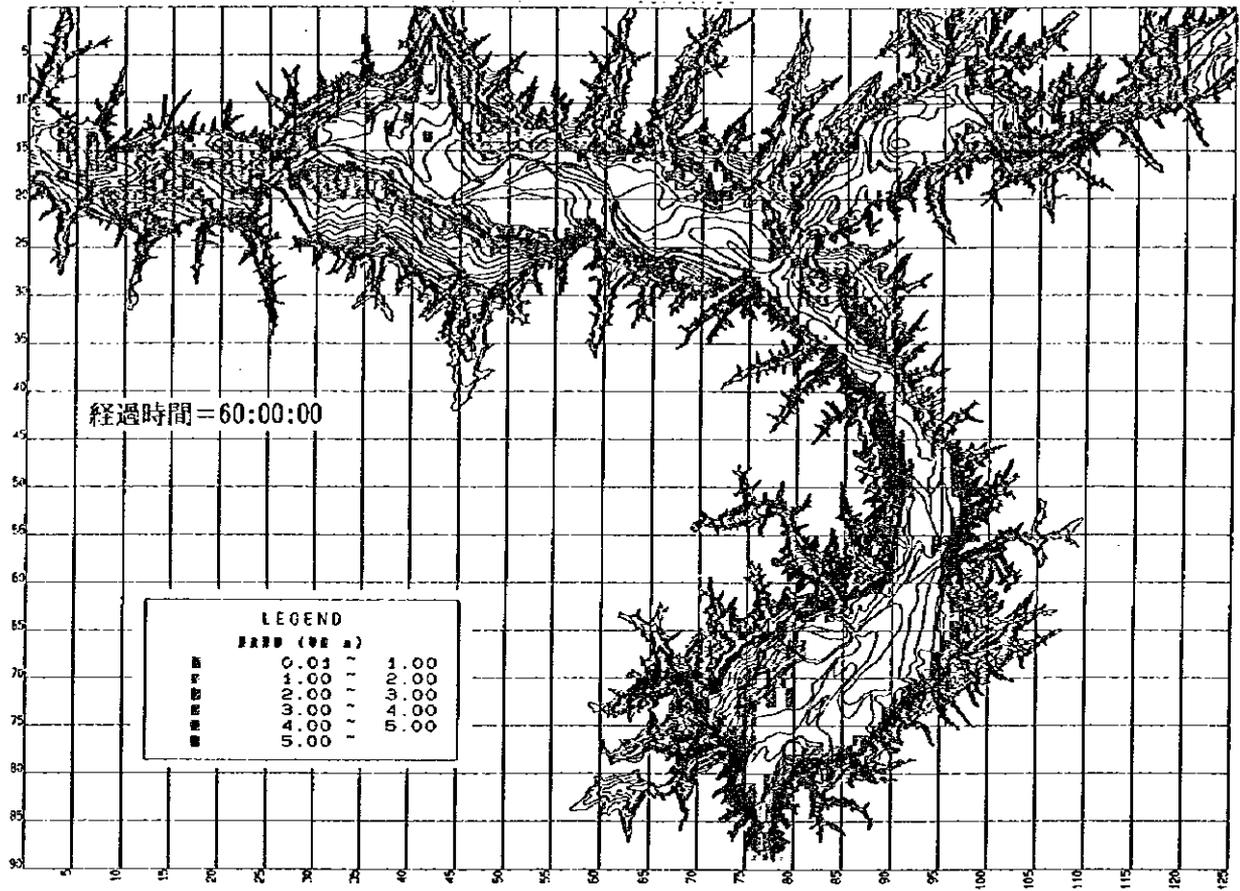


図3.5.4.50 1969年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース2) 洗掘状況平面図(2/2)



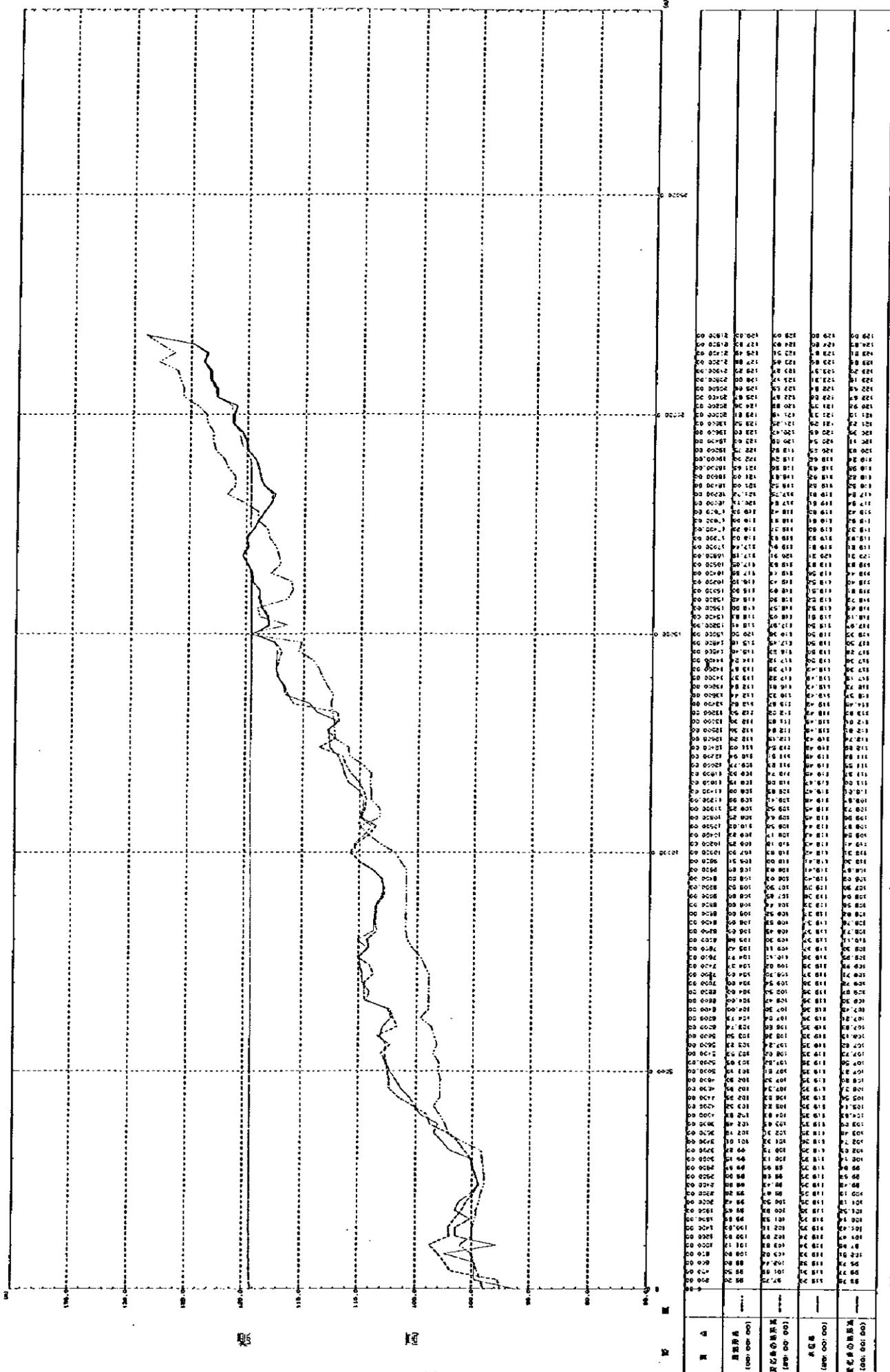


図3.5.4.51 1969年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース2) 貯水池縦断状況(2/2)

(M) 1: 200 / (H) 1: 80000

表3.5.4.20 1969年洪水(ケース2)投入-排出量の収支 1/2 (毎時)

経過時間 (時間)	投入(二河川total)		排 出			
	水量 (m3)	土砂量 (m3)	水量 (m3)	土砂量 (m3)	水深 (m)	排砂濃度 (ppm)
0						
1	2,008,800	25,110	0	0	0.00	0.00
2	4,017,600	50,220	0	0	0.00	0.00
3	6,026,400	75,330	0	0	0.00	0.00
4	8,035,200	100,440	0	0	0.00	0.00
5	10,044,000	125,550	0	0	0.00	0.00
6	12,052,800	150,660	0	0	0.00	0.00
7	14,061,600	175,770	0	0	0.00	0.00
8	16,070,400	200,880	0	0	0.00	0.00
9	18,079,200	225,990	0	0	0.00	0.00
10	22,690,800	258,908	515,619	3,458	3.54	670.73
11	28,231,800	313,038	1,129,856	2,438	5.44	215.78
12	33,778,800	383,379	3,876,303	11,979	7.09	309.03
13	39,322,800	481,931	6,174,910	18,531	8.77	300.10
14	44,866,800	602,694	7,977,883	22,894	10.70	286.97
15	46,393,200	691,118	10,172,874	15,018	12.76	147.93
16	48,852,000	820,994	11,883,884	15,391	14.77	129.54
17	42,375,600	611,228	12,873,478	12,628	16.69	98.10
18	36,831,600	502,254	13,914,580	10,454	18.25	75.13
19	31,287,600	381,491	14,796,013	13,491	19.44	91.18
20	25,743,600	287,939	15,587,627	7,139	20.27	45.80
21	20,192,600	212,598	15,790,400	8,598	20.87	54.45
22	14,655,600	158,168	15,815,936	2,068	21.31	13.08
23	10,044,000	125,550	16,117,569	9,950	21.56	61.73
24	8,035,200	100,440	16,315,788	9,240	21.67	56.63
25	6,026,400	75,330	16,179,780	6,130	21.68	37.89
26	4,017,600	50,220	16,413,361	9,620	21.63	58.61
27	2,008,800	25,110	16,142,044	11,110	21.52	68.83
28	0	0	16,290,677	6,400	21.36	39.29
29	0	0	16,040,166	9,600	21.15	59.85
30	0	0	16,050,273	11,400	21.11	71.03
31	0	0	15,970,904	19,600	21.13	122.72
32	0	0	16,082,960	11,800	21.07	73.37
33	0	0	15,868,264	17,800	20.94	112.17
34	0	0	15,947,086	14,200	20.75	89.04
35	0	0	15,947,393	14,600	20.46	91.55
36	0	0	15,408,680	4,800	19.89	31.15
37	0	0	15,346,406	16,800	19.28	109.47
38	0	0	15,011,412	13,200	18.68	87.93
39	0	0	14,939,632	7,000	18.07	46.86
40	0	0	14,131,789	10,200	17.45	72.18
41	0	0	14,132,462	11,200	16.81	79.25
42	0	0	13,785,373	13,200	16.14	95.75
43	0	0	13,193,532	15,400	15.43	116.72
44	0	0	12,822,013	15,000	14.64	116.99
45	0	0	12,356,348	17,600	13.75	142.44
46	0	0	11,581,900	21,000	12.74	181.32
47	0	0	10,688,497	33,800	11.39	316.23
48	0	0	9,310,545	289,800	9.80	3112.60
49	0	0	8,036,268	80,400	8.77	1000.46
50	0	0	6,737,297	188,800	7.42	2802.31
51	0	0	5,226,484	191,600	6.37	3665.94
52	0	0	3,045,489	74,200	4.60	2436.39
53	0	0	2,023,430	27,200	4.26	1341.25
54	0	0	1,238,243	14,200	3.83	1146.79
55	0	0	848,818	-200	3.50	-23.56
56	0	0	618,599	200	3.36	32.33
57	0	0	481,415	2,800	3.30	581.62
58	0	0	407,722	0	3.25	0.00
59	0	0	345,202	-1,000	3.22	-289.69
60	0	0	289,241	1,800	3.17	622.32

表3.5.4.20 1969年洪水(ケース2)投入-排出量の収支 2/2 (累計)

経過時間 (時間)	投入(二河川total)		排 出		
	水量 (m3)	土砂量 (m3)	水量 (m3)	土砂量 (m3)	排砂率 (%)
0			0	475,800	6.56%
1	2008800	25110	0	475,800	6.56%
2	6026100	75330	0	475,800	6.56%
3	12052800	150660	0	475,800	6.56%
4	20088000	251100	0	475,800	6.56%
5	30132000	376650	0	475,800	6.56%
6	42184800	527310	0	475,800	6.56%
7	56246400	703080	0	475,800	6.56%
8	72316800	903960	0	475,800	6.56%
9	90396000	1129950	0	476,800	6.56%
10	113086800	1,388,858	515,619	479,258	6.61%
11	141321600	1,701,896	1,645,476	481,696	6.61%
12	175100400	2,090,275	5,521,778	493,675	6.81%
13	214423200	2,575,206	11,696,718	512,206	7.06%
14	259290000	3,177,900	19,674,601	535,100	7.38%
15	305683200	3,869,348	29,847,476	550,148	7.58%
16	354535200	4,690,343	41,731,359	565,543	7.80%
17	396910800	5,331,571	54,604,837	578,171	7.97%
18	433742400	5,833,825	68,519,417	588,625	8.11%
19	465030000	6,218,316	83,315,430	602,116	8.30%
20	490773600	6,506,255	98,903,057	609,255	8.40%
21	510973200	6,718,853	114,693,457	617,853	8.52%
22	525628800	6,877,321	130,509,393	619,921	8.55%
23	535672800	7,002,871	146,626,962	629,871	8.68%
24	543708000	7,103,311	162,942,750	639,111	8.81%
25	549734400	7,178,641	179,122,530	645,241	8.90%
26	553752000	7,228,861	195,635,891	654,861	9.03%
27	555760800	7,253,971	211,677,935	665,971	9.18%
28	555760800	7,253,971	227,968,612	672,371	9.27%
29	555760800	7,253,971	244,008,778	681,971	9.40%
30	555760800	7,253,971	260,059,051	693,371	9.56%
31	555760800	7,253,971	276,029,955	712,971	9.83%
32	555760800	7,253,971	292,112,915	724,771	9.99%
33	555760800	7,253,971	307,981,179	742,571	10.24%
34	555760800	7,253,971	323,928,265	756,771	10.43%
35	555760800	7,253,971	339,875,658	771,371	10.63%
36	555760800	7,253,971	355,284,338	776,171	10.70%
37	555760800	7,253,971	370,630,744	792,971	10.93%
38	555760800	7,253,971	385,642,156	806,171	11.11%
39	555760800	7,253,971	400,581,788	813,171	11.21%
40	555760800	7,253,971	414,713,577	823,371	11.35%
41	555760800	7,253,971	428,846,039	834,571	11.51%
42	555760800	7,253,971	442,631,412	847,771	11.69%
43	555760800	7,253,971	455,824,944	863,171	11.90%
44	555760800	7,253,971	468,646,957	878,171	12.11%
45	555760800	7,253,971	481,003,305	895,771	12.35%
46	555760800	7,253,971	492,585,205	916,771	12.64%
47	555760800	7,253,971	503,273,702	950,571	13.10%
48	555760800	7,253,971	512,684,247	1,240,371	17.10%
49	555760800	7,253,971	520,620,516	1,320,771	18.21%
50	555760800	7,253,971	527,357,812	1,509,571	20.81%
51	555760800	7,253,971	532,584,296	1,701,171	23.45%
52	555760800	7,253,971	535,629,785	1,775,371	24.47%
53	555760800	7,253,971	537,653,215	1,802,571	24.85%
54	555760800	7,253,971	538,891,458	1,816,771	25.05%
55	555760800	7,253,971	539,740,276	1,816,571	25.04%
56	555760800	7,253,971	540,358,875	1,816,771	25.05%
57	555760800	7,253,971	540,840,290	1,819,571	25.08%
58	555760800	7,253,971	541,248,012	1,819,571	25.08%
59	555760800	7,253,971	541,593,214	1,818,571	25.07%
60	555760800	7,253,971	541,882,455	1,820,371	25.09%

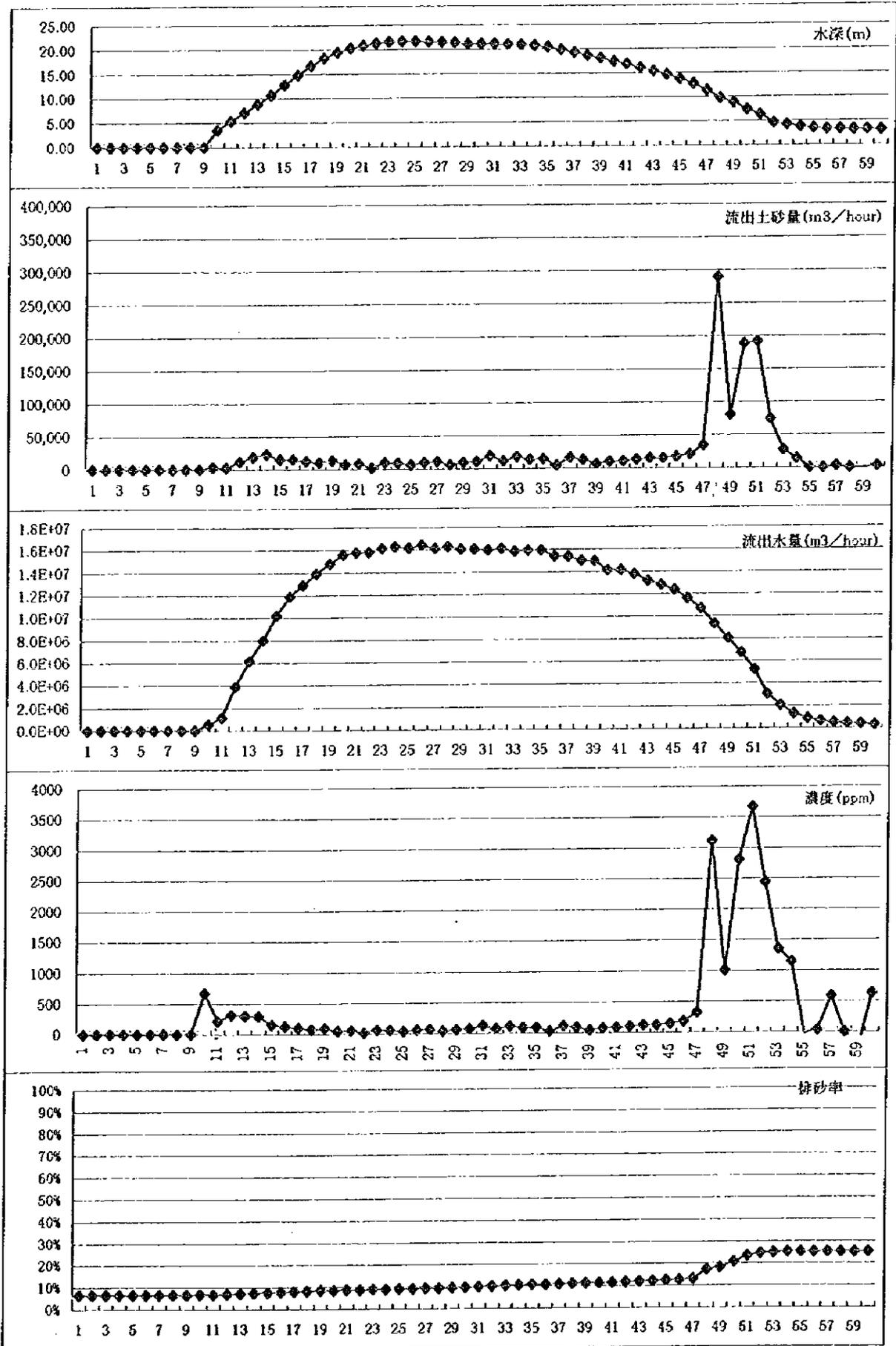


図3.5.4.52 1969年洪水(ケース2) - 水深・流出量・濃度・排砂率

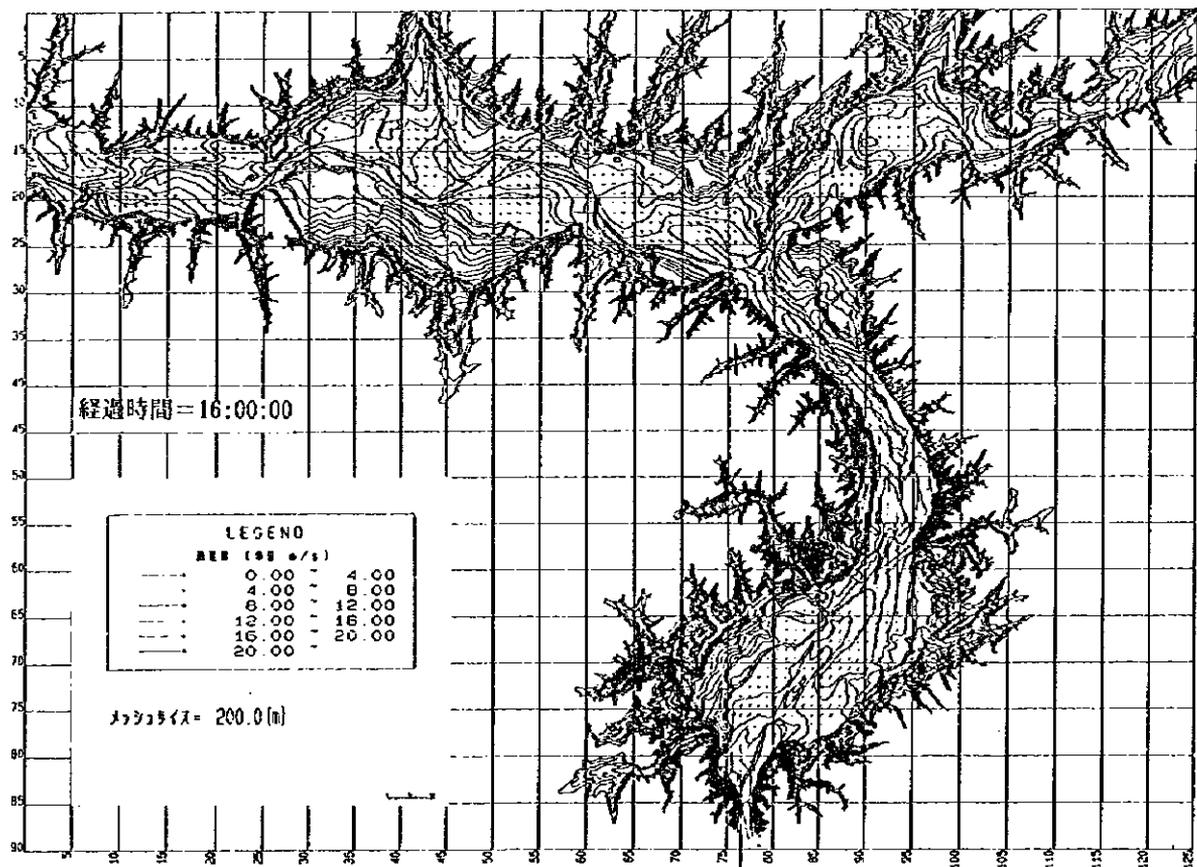
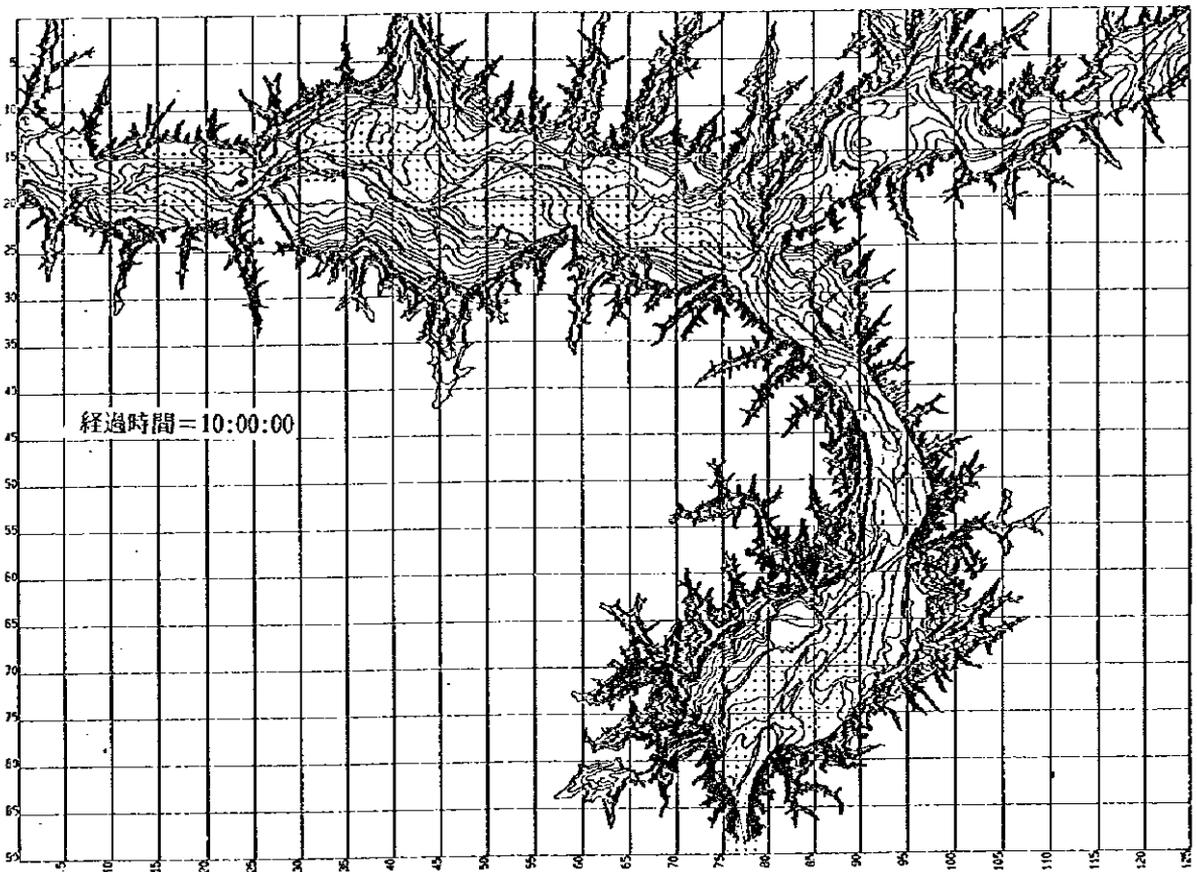


図 3.5.4.53 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) --流速平面分布図(1/3)

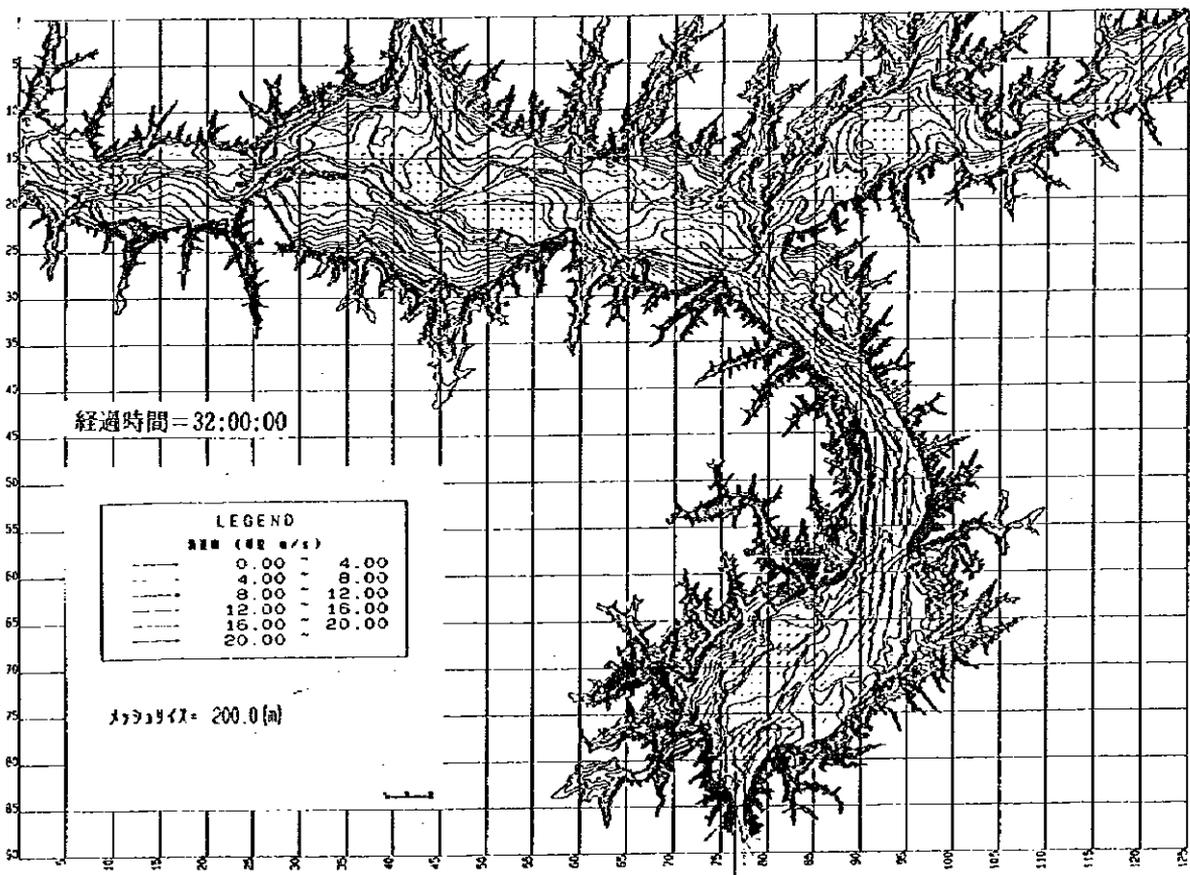
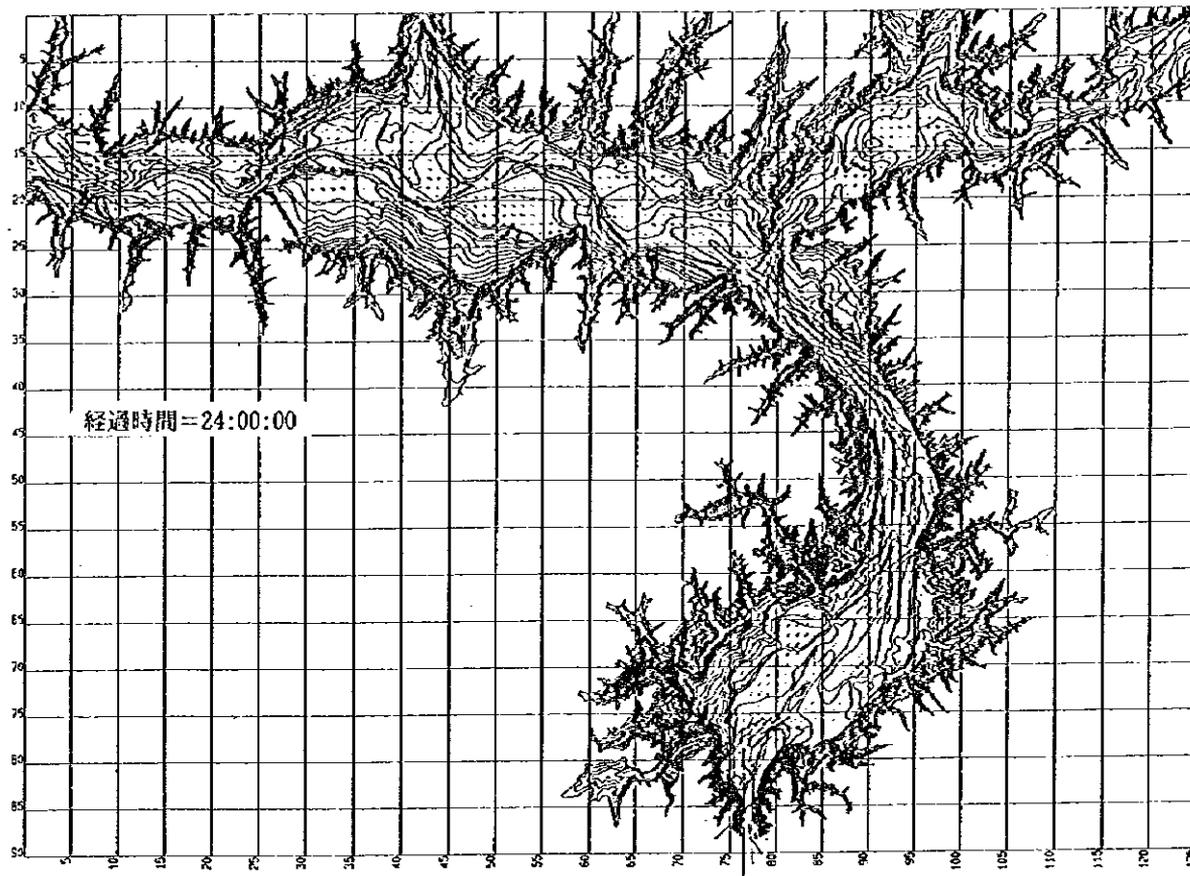


図 3.5.4.53 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) - 流速平面分布図(2/3)

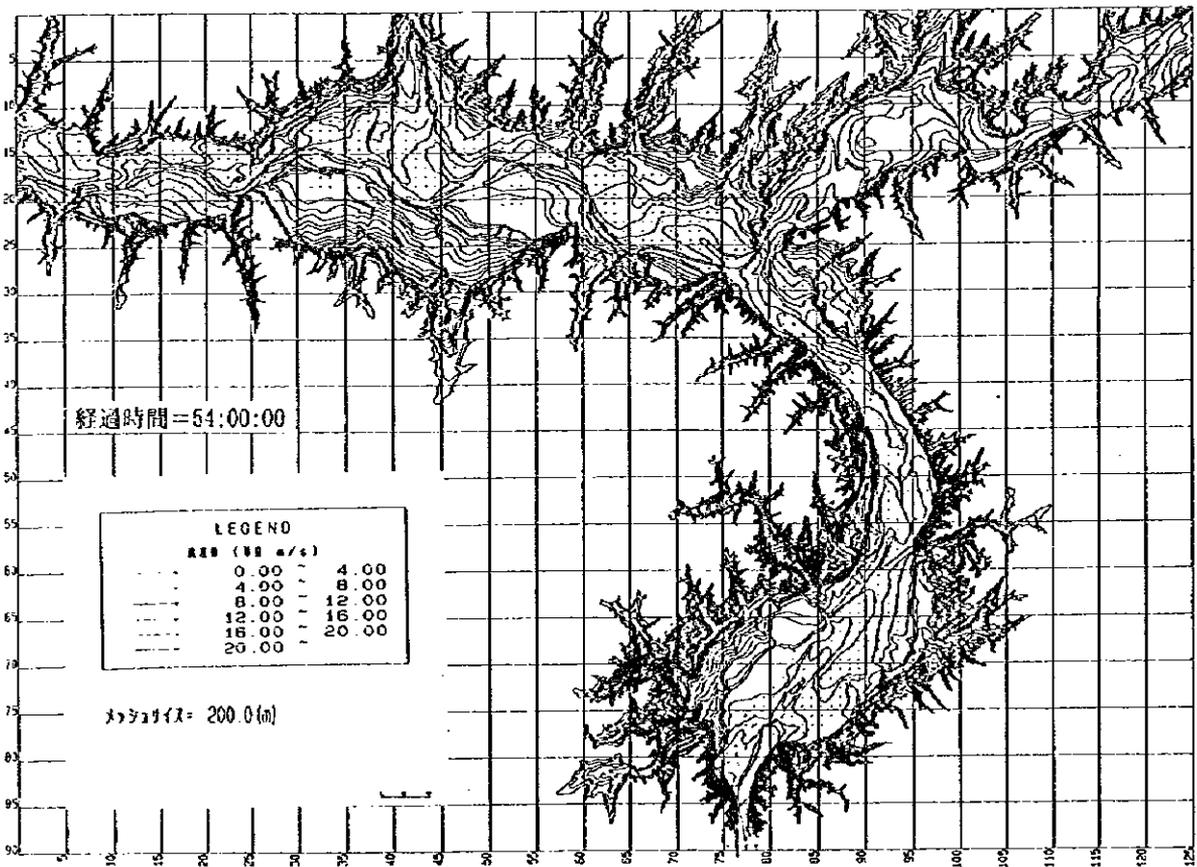
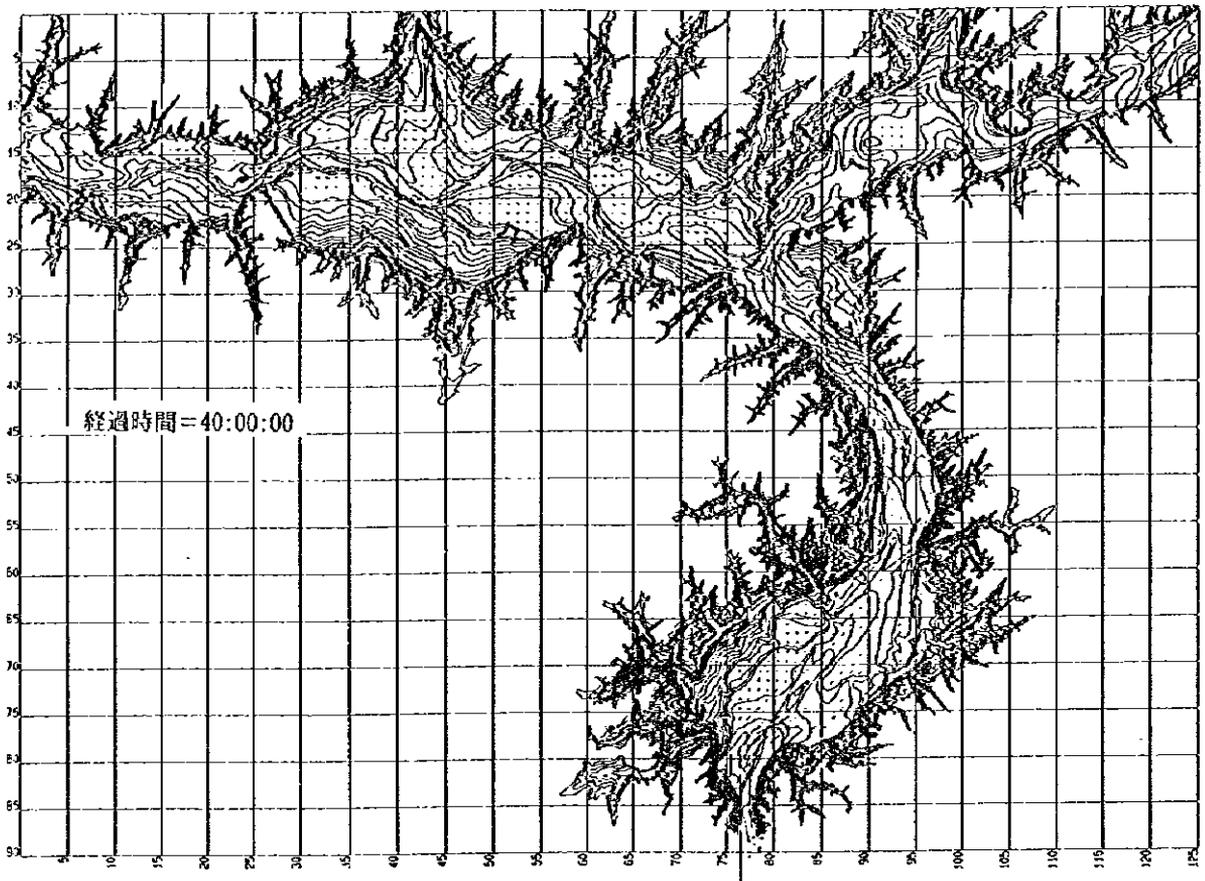


図 .3.5.4.53 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) -流速平面分布図(3/3)

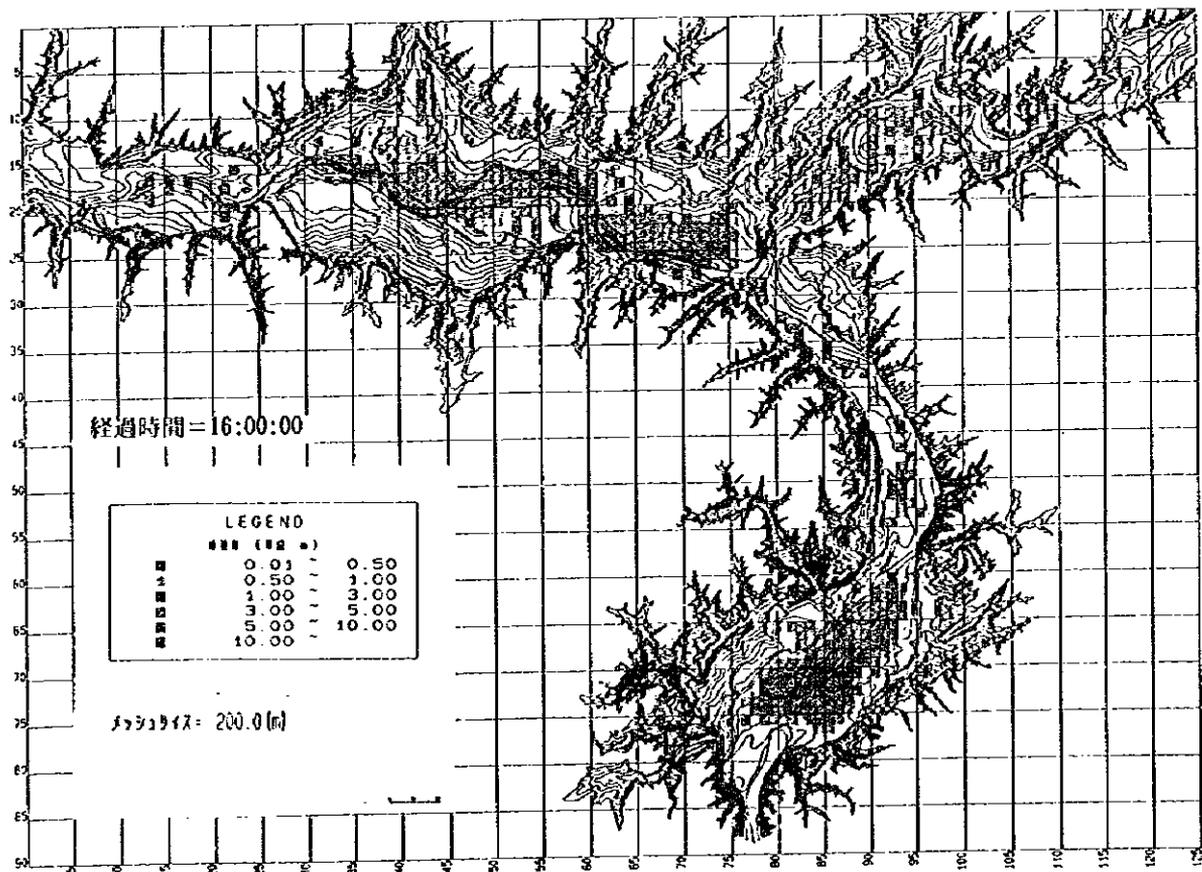
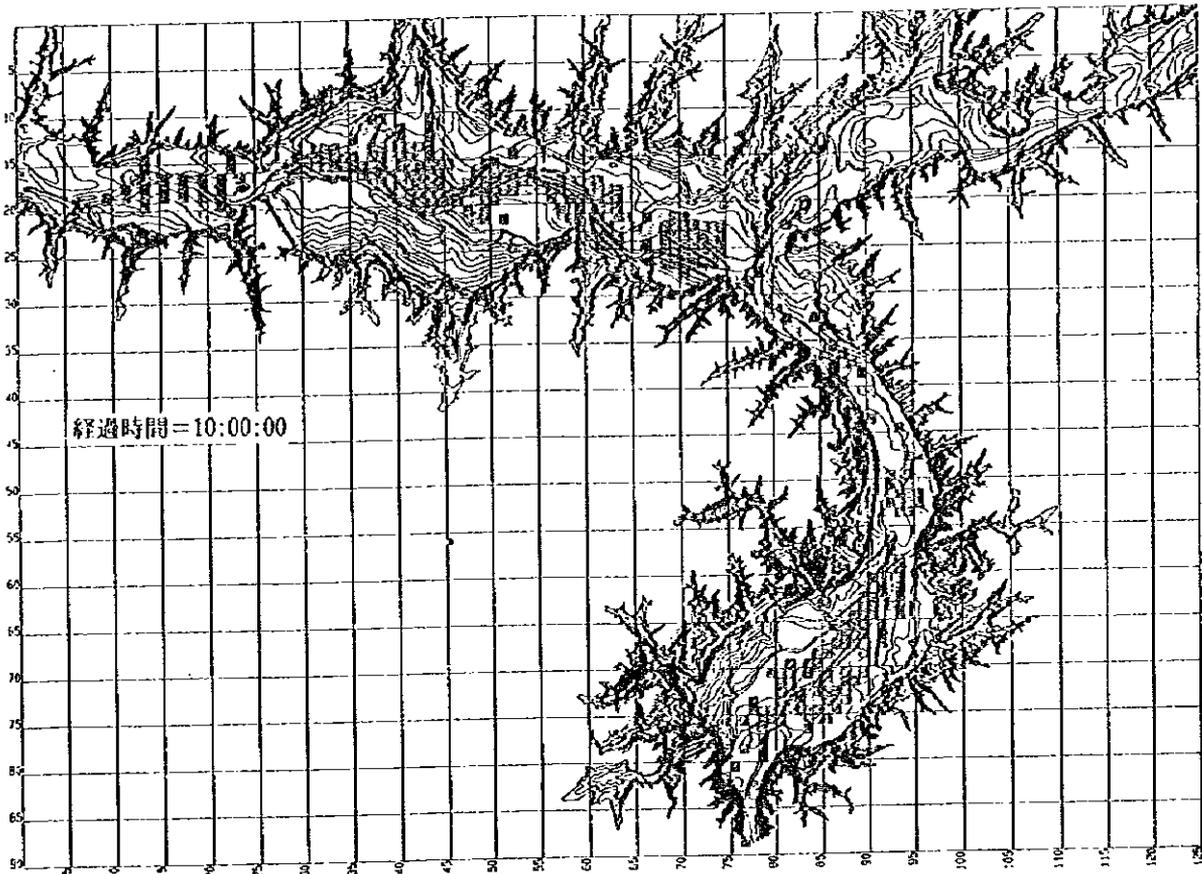


図 3.5.4.54 1962年洪水時泥流シミュレーション結果(ケース1) - 堆積状況平面分布図(1/3)

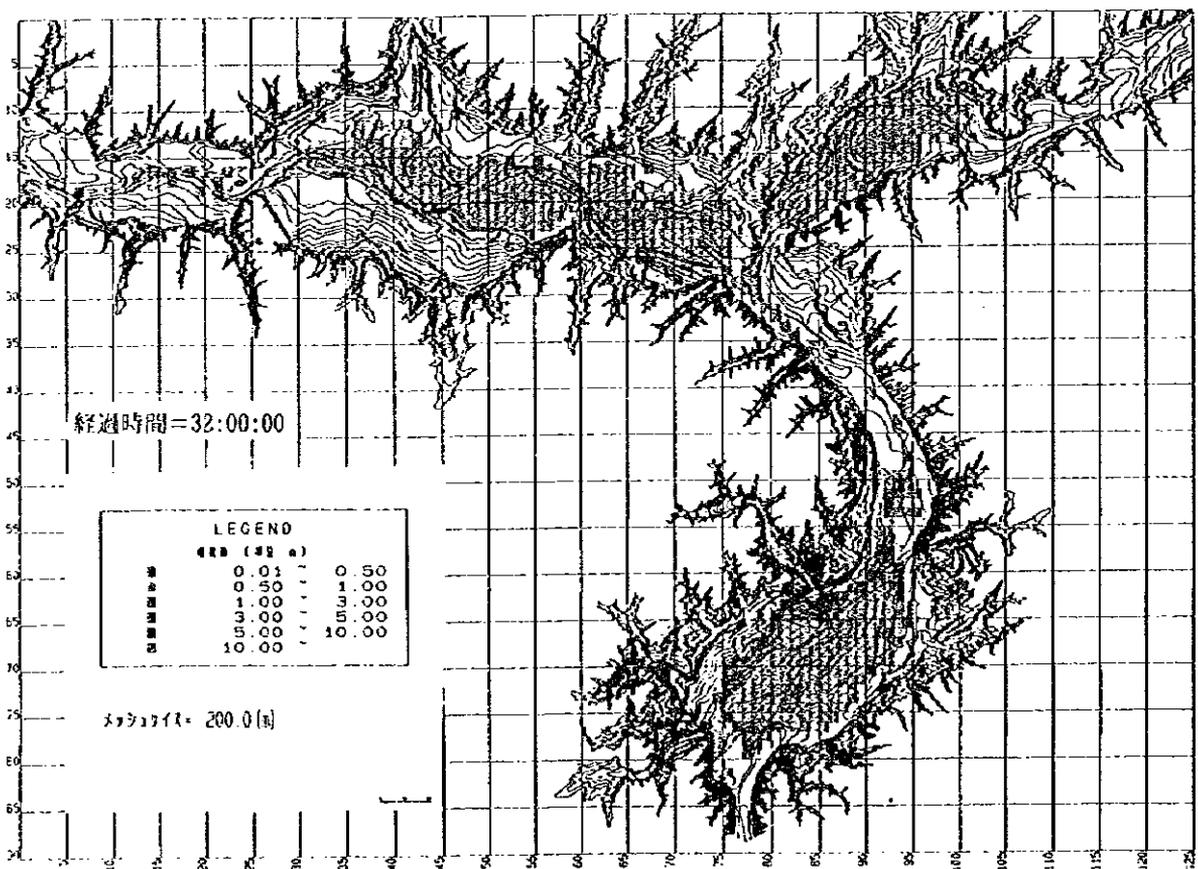
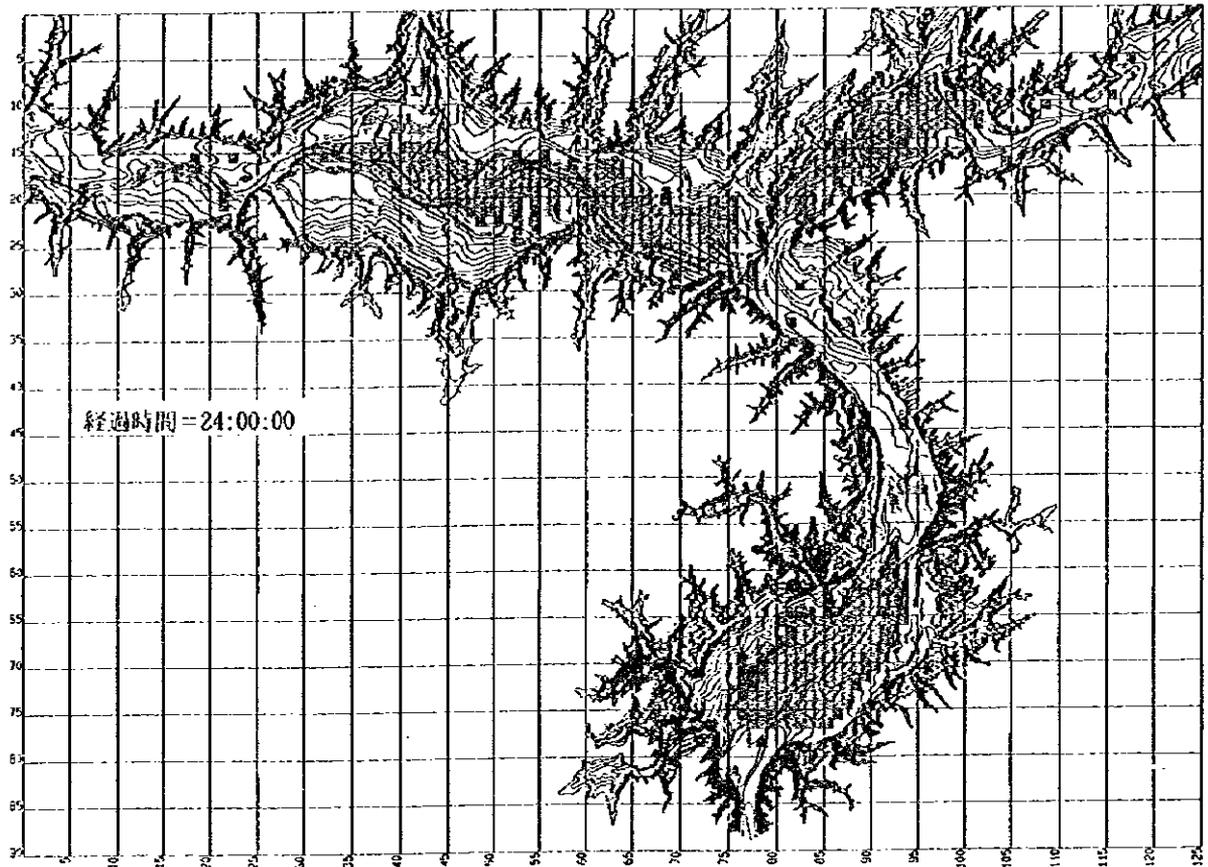


図 3.5.4.54 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) -堆積状況平面分布図(2/3)

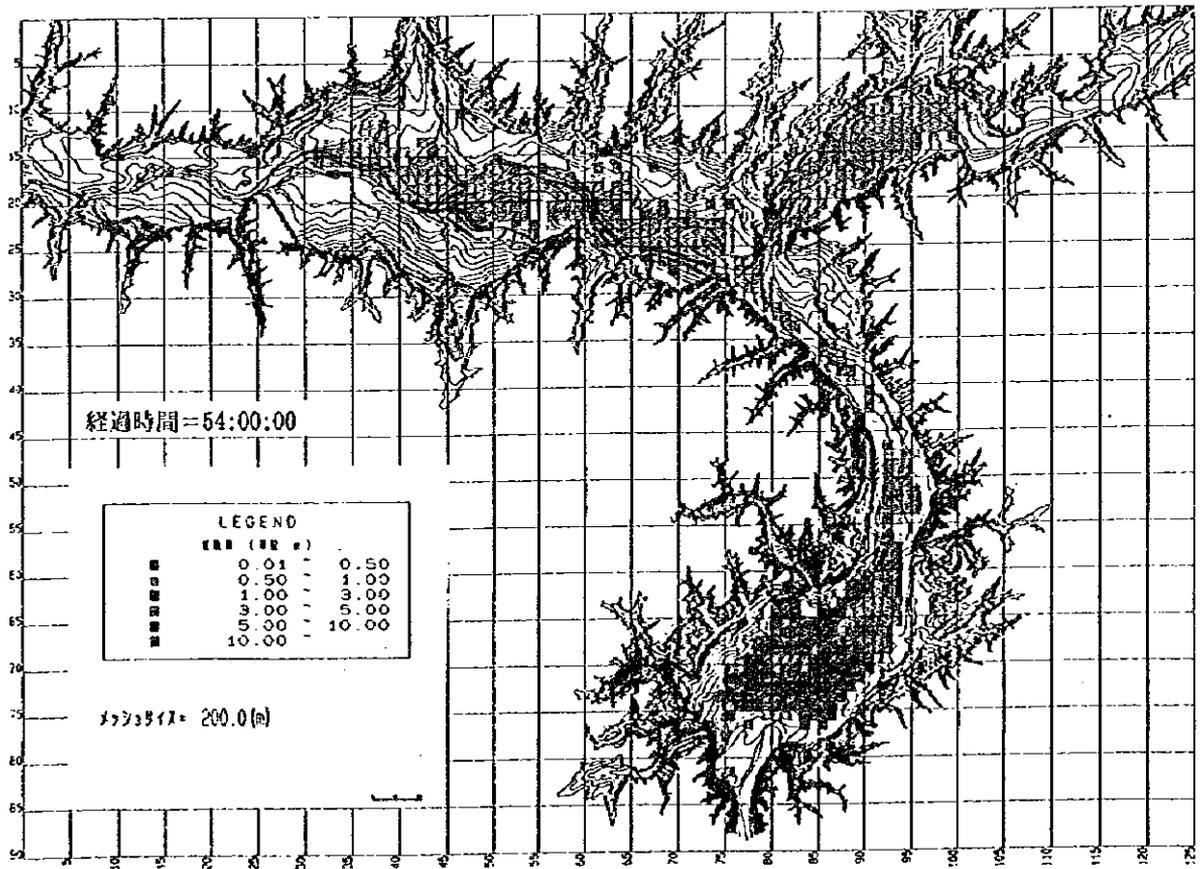
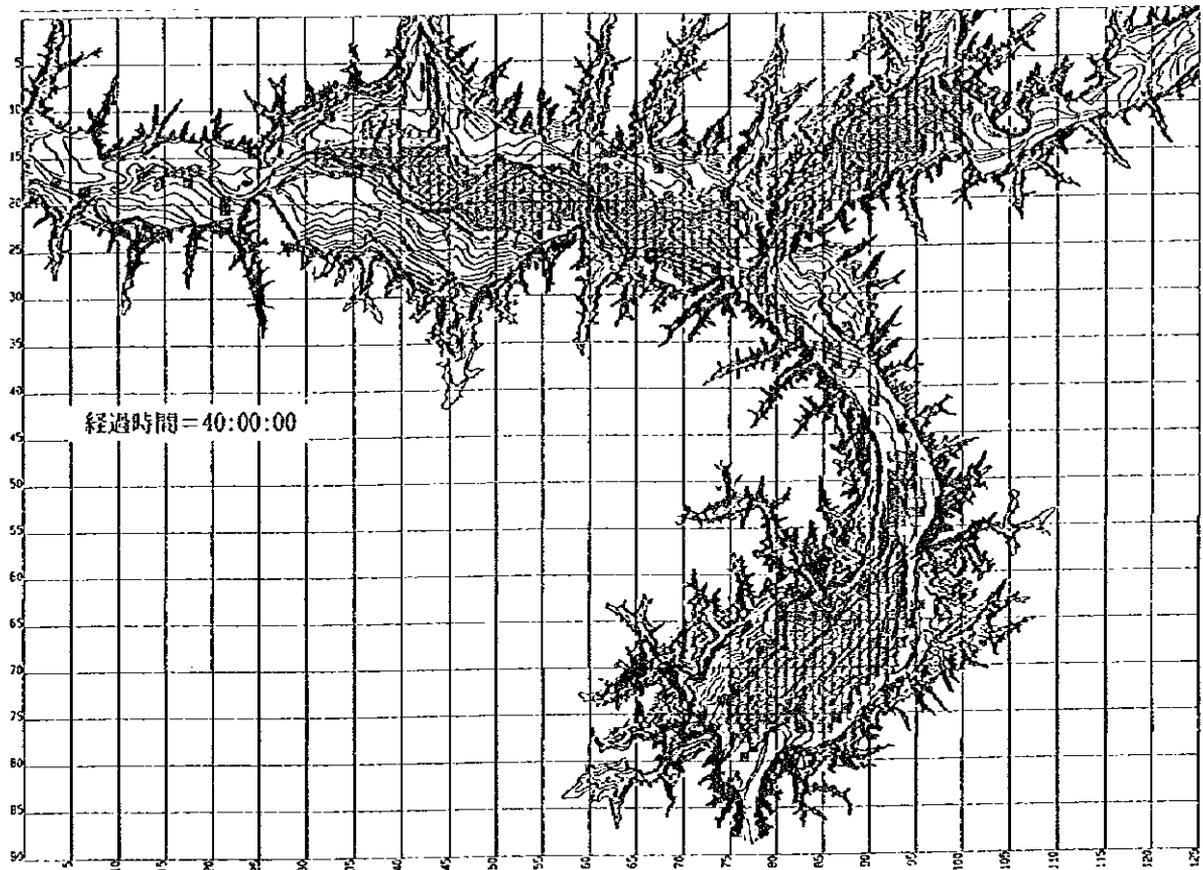


図 3.5.4.54 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) -堆積状況平面分布図(3/3)

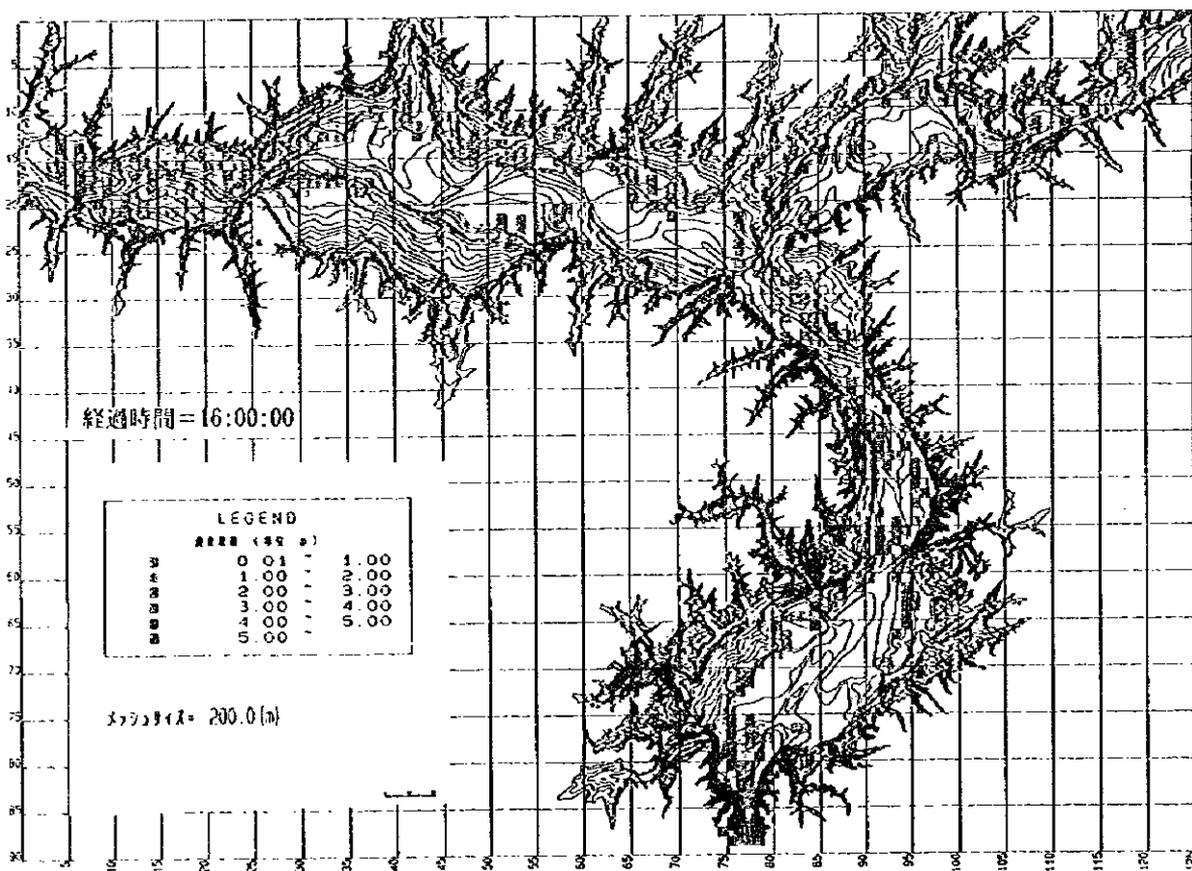
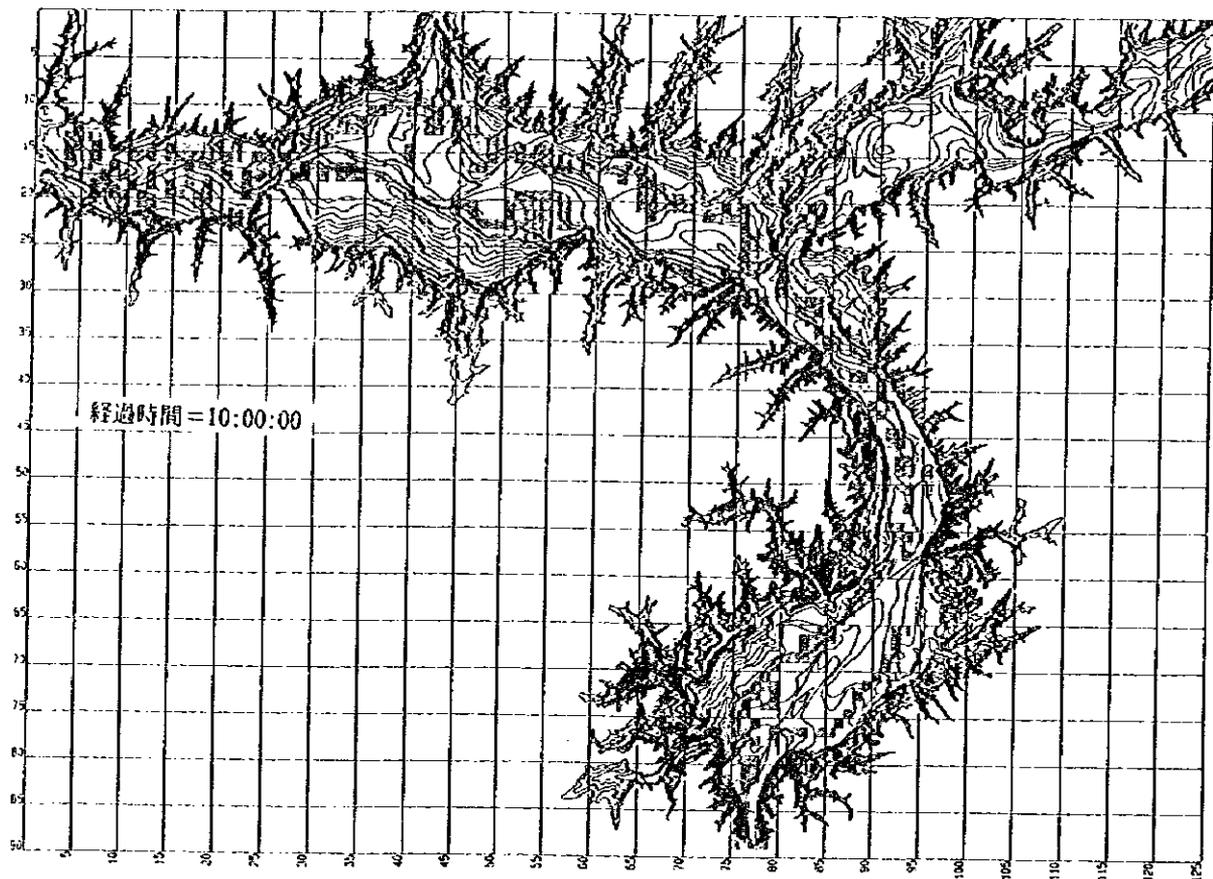


図 3.5.4.55 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) - 洗掘状況平面分布図(1/3)

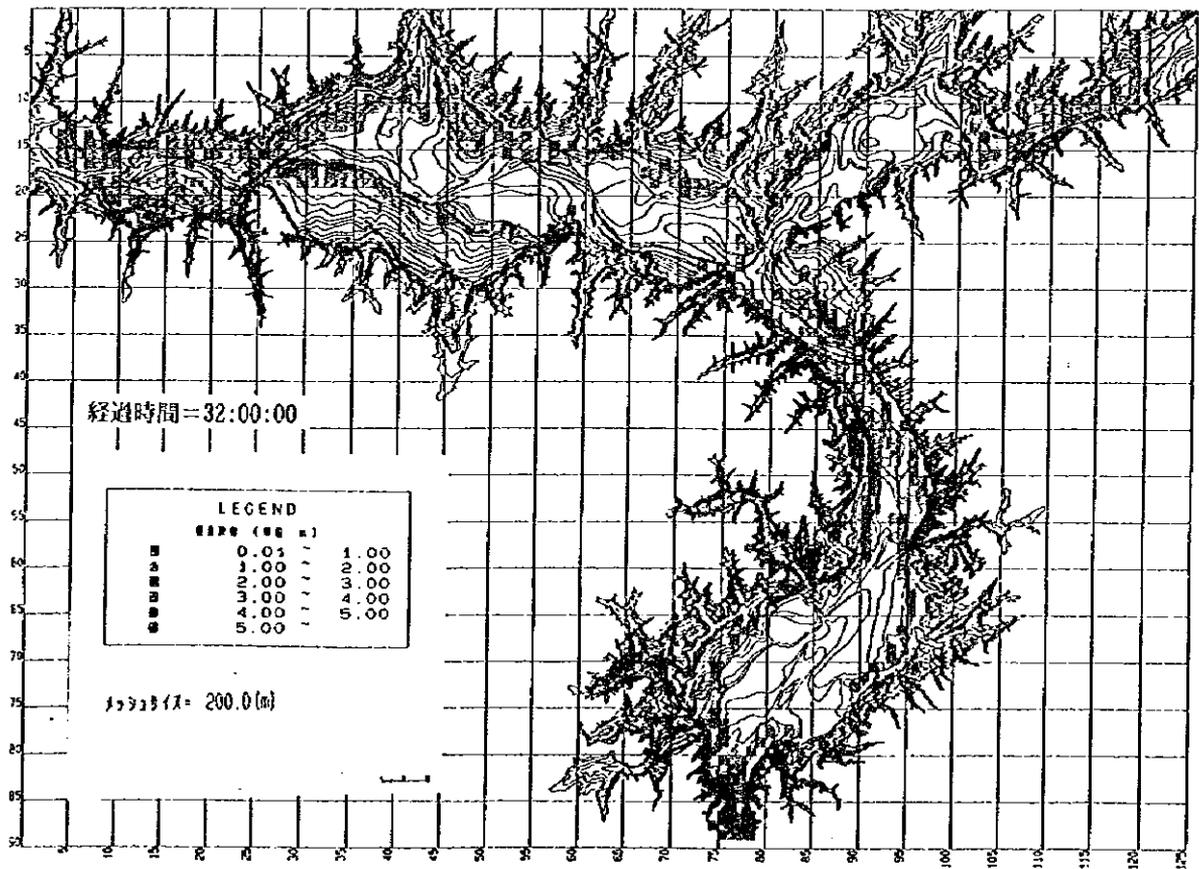
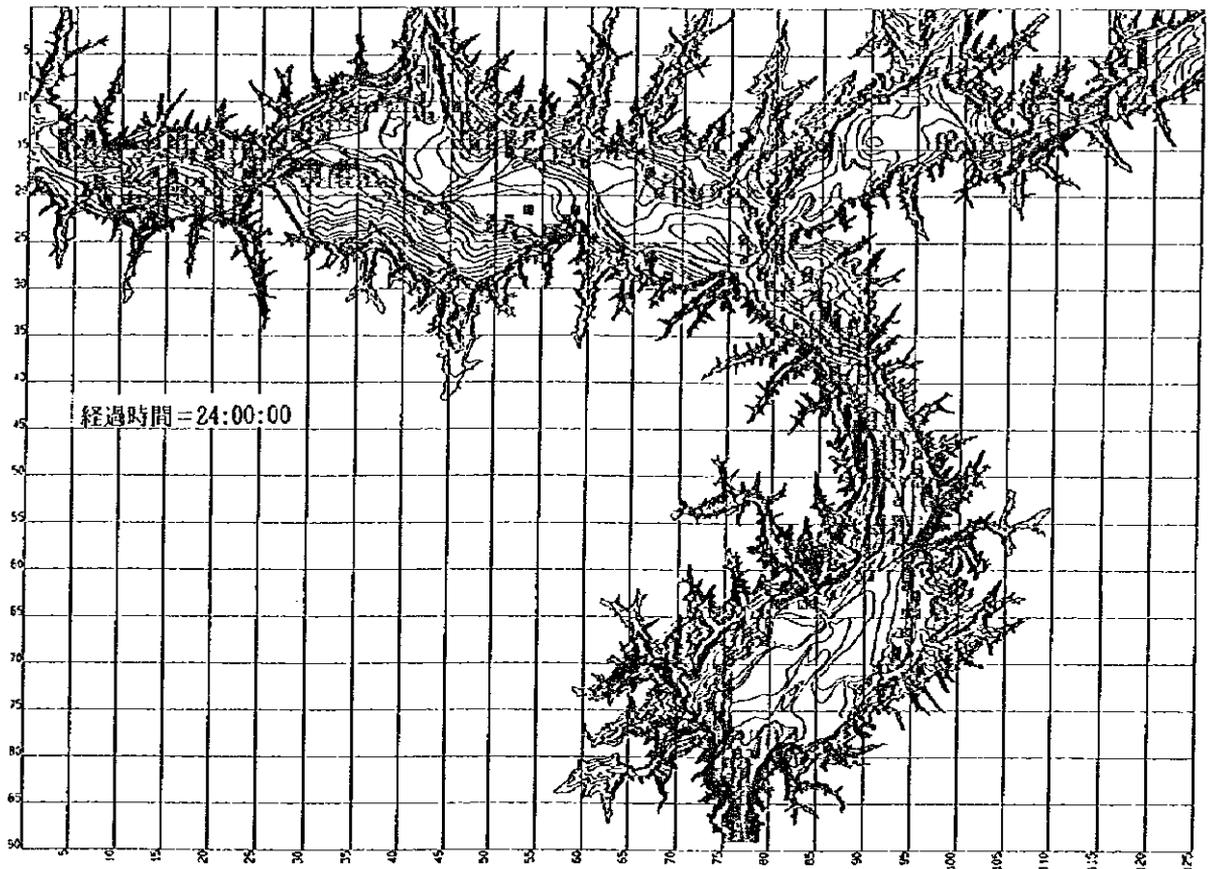


図 3.5.4.55 1962年洪水時泥流シミュレーション結果(ケース1) - 洗掘状況平面分布図(2/3)

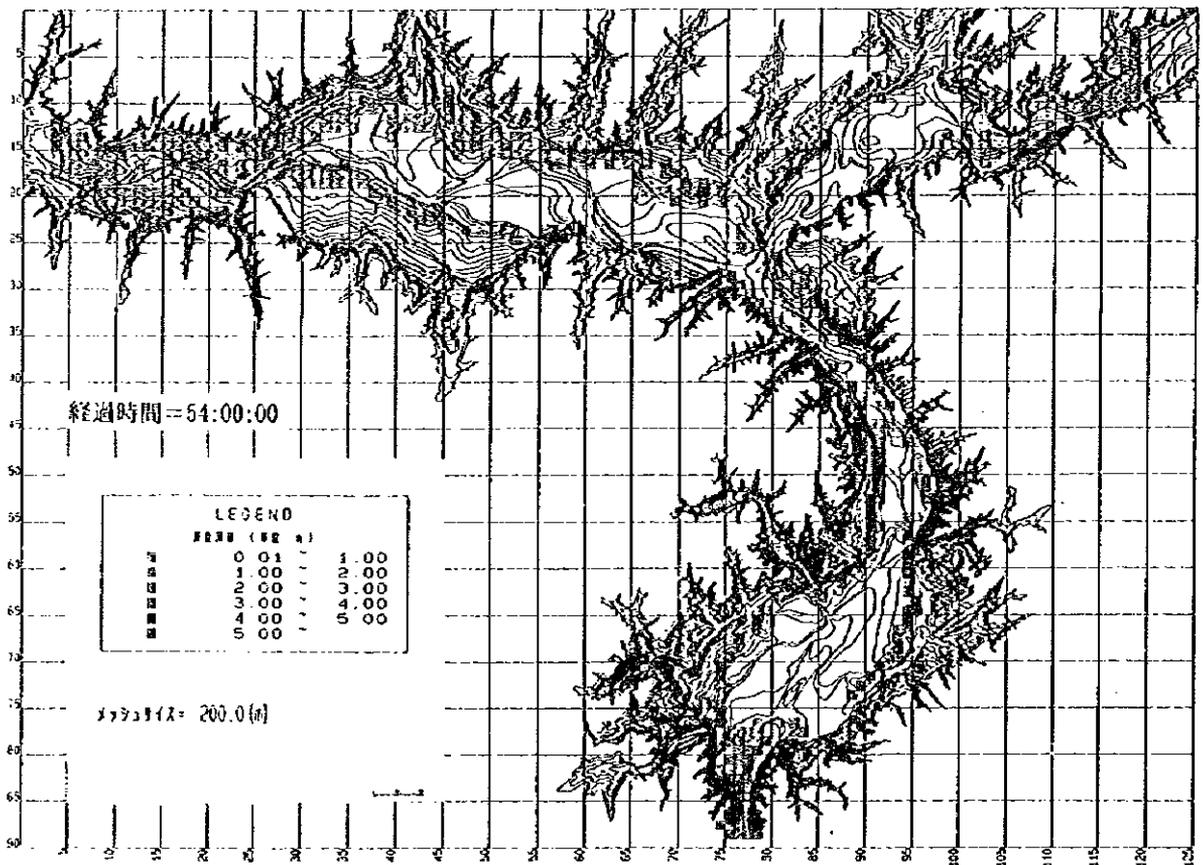
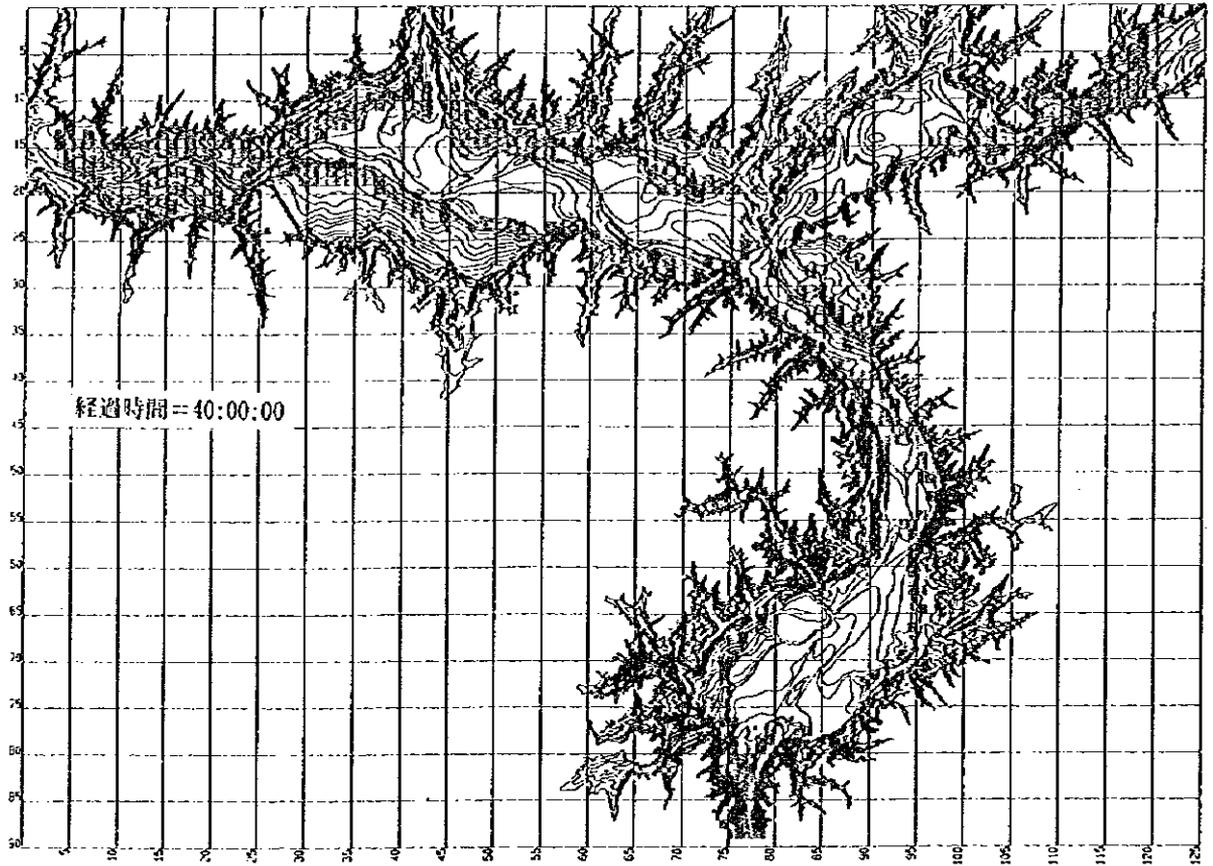


図 3.5.4.55 1962年洪水時泥流シミュレーション結果 (ケース1) -洗掘状況平面分布図(3/3)

## (5) 考察

### 濁水流出量

ダム部には 10 時間で濁水が到達し、ケース 1 ではダム直上流部の水深は 11 時間後に大凌河からの流入による一度目のピーク、19 時間後には忙牛河からの流入による二度目のピークを迎え（共に 4.5m）、40 時間後にはダム部からの流出は終了している（図 3.5.4.47）。一方ケース 2 ではダム直上流部の水深は 25 時間後にピーク（21.7m）を迎え、60 時間後にはほぼダム部からの流出は終了している（図 3.5.4.52）。

ケース 1 は排砂ゲートがない場合であり、死水位まで下げた状態では濁水が流入しても自由にダム部から流出することが出来る。そのため流量ピークは  $12200\text{m}^3/\text{s}$ （19 時間後）にも達する。しかしケース 2 ではダムの底孔からの放流によって流出量が制限される影響で、濁水が流入しても自由にダム部から流出することが出来ず（最大水深時で  $5800\text{m}^3/\text{s}$ ）、25 時間後に 21.7 m の水深のピークを迎えている。

### 地形変化

ハイドロ投入開始直後（5 時間後）の堆積・洗掘平面図（図 3.5.4.43～図 3.5.4.45）を図 3.5.4.40 と比較すると、地形変化と傾向は全述の排水オペレーション時とほぼ同じで、引き続き合流点までの間で河道における堆積とその周囲での洗掘が進んでいる。

ケース 1 では、11 時間後になると投入点から金嶺寺鉄橋の区間（横 4～35 メッシュ）の洗掘が進む一方で、2 つの変化が見られる。一つは、ダム上流部における 1～5m の洗掘現象の発生で、もう一つは合流点下流の堆積部（縦 32～60）の下流方向への移動（～縦 82）である。

さらに 60 時間後には、忙牛河からの流入によって投入点～下流 4 km 程の区間で洗掘、さらに合流点までの区間で堆積が起きている。また合流点より下流では堆積厚が増している。

流量フラックス図と比較すると、これらの堆積と洗掘の関係は、次の様に関係付けられる。狭窄部で流量フラックスが増す結果、洗掘が進み、その下流側の流れが散逸してフラックスが減少したところでこれらの土砂が堆積するが、流量の増加に従い、掃流力が増して上流から下流へ堆積土砂が移動する。

一方、ケース 2 では、11 時間後のフラックス図をケース 1 と比べると、貯水池ポケット部で大きく流れが弱くなっているのが分かる。これは後述する、エネルギー勾配の減少によるものである。11 時間後の堆積の様子はケース 1 と変わらないが、ダム直上流部では、堆積が進んで

いる。その後は、ケース1と同様に投入部下で洗掘・その下流部で堆積という現象が進んでいくが、60時間後では、ダム直上流でやや洗掘が起きている。縦断図からも、距離4000m~10000mの区間で5m程の堆積が確認される。

最終時間の様子を比較すると、以下のようにまとめられる。

- ① 大凌河・忙牛河両投入点から両河川の狭窄部までの区間の状況は違いがない。
- ② 両河川の狭窄部から合流点までの区間の堆積量は、ケース2で若干増加している。
- ③ 合流点下から堤体上流までの区間の堆積量は、ケース2でかなり増加している。
- ④ 堤体直上流における洗掘は両ケースで、起きている。

### 土砂流出率

土砂の流出率は、ケース1では最終的には228%に達するが、ケース2では25%に留まった(表3.5.4.19、図3.5.4.47および表3.5.4.20、図3.5.4.52)。この違いの主な原因は、流入する濁水のピーク量とピーク形に対して、ケース2ではダムの底孔から放流される量が小さく、ダム近辺における水深が大きくなりすぎることであると思われる。

掃流力による流砂量は、その力学的な構成から、水深とエネルギー勾配の積によって規定される(  $\tau^*$  :無次元掃流力 =  $hI_{\text{net}}/sd$   $I_{\text{net}}$  :エネルギー勾配 )。

ケース1の流れではエネルギー勾配(水面勾配にほぼ近似)がほぼ地形勾配に等しかったが(図3.5.4.46)、ケース2の流れでは下端で流出量が制限されて水位が縦断的に一定となるため、エネルギー勾配が地形勾配よりもかなり緩くなってしまう(図3.5.4.51)。その結果、ケース2では排水時のシミュレーションと同様、貯水池内における掃流力は極度に減少するので上流から下流への縦断的な土砂移動は十分に進まず、ダム堤体近辺のみにおいて若干の土砂が移動・排砂される結果となり、最終的に十分な排砂率を得ることが期待できないと推測される。

### 1962年洪水を想定したシミュレーションについての予察

ダム部自然状態における1969年洪水ハイドロでの排砂率は111.87%となった。1969年洪水の場合と比較すると半分程の排砂率に落ちたが、計算結果は投入ハイドログラフ終了時(54時間経過)までのものでダム付近ではまだ流出が続いているおり、最終的にはもう少し伸びると思われる。しかし、底孔からの放流を考慮した場合には、1969年洪水シミュレーションと同様に排砂率は著しく落ちるとと思われる。

## 問題点

本計算では、ダム部の水位が自然状態の場合と流出量が規定され水位が高い場合の両者を考慮し、ブラウン式を用いることによって、浮遊砂を含む掃流砂運搬の土砂移動現象をシミュレーションした。前者の場合は問題なく現象を再現できるが、水位が高い状態での貯水池内における土砂運搬・沈降といった現象は本来、掃流力のみでは十分に再現できないものであり、浮遊砂の移動をより忠実に再現するためには、拡散のモデルを組みこんで計算する必要がある。

また計算時間の短縮化のため、次のような処理を行った。

- ① 標高メッシュを 200mメッシュに設定した。
- ② 実観測データから三角ハイドロを作成し、流入ハイドログラフとして使用した。

① によってメッシュが粗くなったため、水道の維持と形成による部分的な縦侵食といった現象を明確には表わせなくなった。また、②によってピークの立ち上げの角度が急になった影響で、流入量と底孔からの流出量とのバランスがずれて、高水位を保った状態が長く続き過ぎた可能性がある。排水オペレーションとのタイミングとも併せて、数パターンハイドログラフによる違いを、今後検証する必要があるだろう。

モデルはダム堤体付近の水位が低下し、濁水が自由水面を有して底孔を流した場合に生じるであろう局所洗掘を再現していないので、実際はもう少し多く排砂される可能性もある。(図 3.5.4.56 参照)

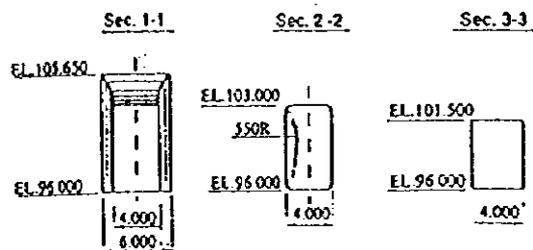
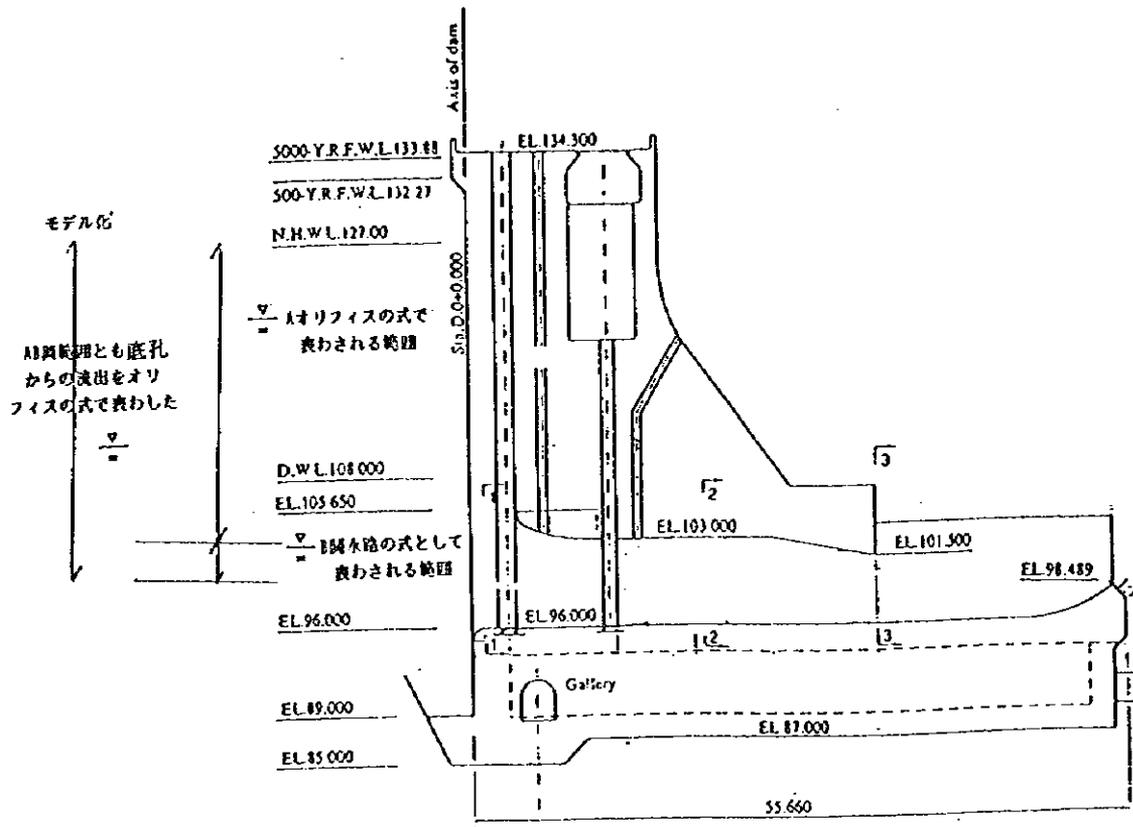


図 3.5.4.56 底孔からの流出量のモデル化

### 3.5.5 まとめおよび中国側への提言

#### 3.5.5.1 ゲートオペレーションによる排砂効果の評価

白石ダム完成後は、大量の浮遊砂が貯水池に流入することが予想され、その堆砂対策として次の方法が考えられている。

- A 貯水池の水位を維持したまま、ダム底部に設置した排砂施設（底孔）から密度流の原理を利用して土砂を通過させる。
- B 大規模の洪水が発生した時は、貯水池を死水位まで下げて、洪水の掃流力により堆積土砂を洗掘し、貯水池容量を回復させる。

従って、本解析は以下のことを目的とした。

- 1) Aについては、準3次元拡散モデル、Bについては二次元泥流モデルを用い、貯水池内での浮遊砂の挙動をシミュレートし、底孔からの排砂量を算定する。
- 2) Aについては、排砂効果の高い底孔のゲートオペレーションを検討する。

さらに、準3次元拡散モデルを用い平水時の排砂量を算定し、洪水時の排砂量とあわせて、30年後の白石ダム貯水池内の堆砂量を予測した。解析結果を以下にまとめる。

#### (1) 底孔のゲートオペレーションによる排砂(貯水池を維持した場合)

1962年(50年に一回)、1962年(20年に一回)、1984年(10-20年に一回)の洪水を対象として、250mの平面メッシュサイズのモデルを用いて貯水池内の土粒子の挙動を解析した。それぞれの計算は、1.5億 $\text{m}^3$ の堆砂形状と、貯水池内の浮遊砂濃度0ppm、貯水池が洪水期制限水位125.6mを維持している状態を初期条件として与えた。

まず、底面からの巻き上がる土粒子を考慮することなしに、異なる粒径の土粒子の挙動を再現した。貯水池に流入した土粒子のうち、 $d_{10}(=0.1\text{mm})$ 、 $d_{50}(=0.02\text{mm})$ はともにダム堤体にいたらず沈降してしまう。一方、 $d_{90}(=0.003\text{mm})$ は堤体に達するが、貯水池全体に広がり底孔付近が特に高濃度になるということとはなかった。また、底層密度流は忙牛河と大凌河合流部で確認できたが、その流れはダム堤体にいたらなかった。次に、土粒子の底面からの巻き上げの式(芦田、道上の式)をモデルに組み込み、中央粒径 $d_{50}(=0.02\text{mm})$ の貯水池内の挙動を解析した。底孔のゲート操作によって、貯水池に堆積した土砂子が巻き上げられ、底孔付近に到達しダム下流に排出された。

ダム貯水池に流入する土砂の約50%は、洪水時に集中する。したがって、洪水時にできるだけ多くの浮遊砂を底孔から排出することが必要である。しかし、貯水池は細長く上流部で大きく湾曲していること、忙牛河からの流入と大凌河からの流入が合流することなどから、洪水の勢いは減衰される。さらに、ダム直上流の付近のポケットでは、回転する流れが起こり、ダムに向かう流れは非常に弱く

なる。上述の浮遊砂もこの流況にしたがい、ダム堤体付近にその多くは至らず、ダム直上流の浮遊砂濃度は貯水池上流付近にくらべ、高くない。この結果、底孔のゲートオペレーションにより排砂効果はあまり期待できないようである。

### (2) 排砂効果の高いゲートオペレーションの策定（貯水位を維持した場合）

洪水波形に比べて浮遊砂濃度波形は遅れてダムに到達するために、ダムからの放流は貯水位が最高となった後も継続して長時間放流することが、排砂には効果的である。反面、このような操作は無効放流を増す結果となる。そこで、洪水時に排砂を優先させた場合（無効放流増大）、貯水を優先させた場合（無効放流減少）それぞれの排砂シミュレーションを行い比較検討し、洪水時のダム操作ルールを検討した。これらのシミュレーションは、巻き上げの式を組み込んだ、一様粒径（ $d=0.02\text{mm}$ ）、500 $\mu\text{m}$ 平面メッシュサイズのモデルを用いた。

1984年洪水時の排砂率が15.8%で最も高い。（表3.5.5.1参照）洪水発生後、水位が1.3m上昇した時点で2,500 $\text{m}^3/\text{s}$ の放流を5時間程度継続する、中国側の放流ルールは排砂効果の面で優れているようである。全般にダム直上流の浮遊砂濃度のピークは、洪水ピークより遅れてくる。したがって、洪水時には、ダム堤体直上流に濁度計を設置して、浮遊砂の濃度が高いときになるべく大きな流量を放流し排砂することが必要と考える。

表3.5.5.1 シミュレーション結果（貯水優先の場合）

	流入量 ( $\times 10^6\text{m}^3$ )	放流量 ( $\times 10^6\text{m}^3$ )	流入-放流量 ( $\times 10^6\text{m}^3$ )	流入砂量 ( $\times 10^4\text{m}^3$ )	排砂量 ( $\times 10^4\text{m}^3$ )	流入-排砂量 ( $\times 10^4\text{m}^3$ )	排砂率 (%)
1962年	1,292	1,317	-25	32.2	3.9	28.3	12.2
1969年	559	564	-5	7.2	0.8	6.4	11.0
1984年	666	664	2	8.3	1.3	7.0	15.8

浮遊砂1 $\text{m}^3$ を排出するために必要な放流量（ $\text{m}^3$ ） $Q_{\text{out}}$

	1962年	1969年	1984年
$Q(\text{m}^3)$	338	705	511

### (3) 常時における貯水池内の浮遊砂の挙動

6月、7月、8月の平水時においては、貯水池の水の多くは、発電取水口(EL.103.0m)から発電所を通じて下流へ放流される。ここでは、平水時における貯水池内の浮遊砂の挙動を洪水時と同様に準3次元拡散モデルを用いて再現した。また、平時の流量、流入浮遊砂濃度は、1955年から1992年の38

年間における実測値の平均値をもちい、再現期間は6月1日から8月31日の3カ月間とした。貯水池から排出される土砂は、8月31日までに流入する総浮遊砂量の6.5%となった。これは、発電用取水口が比較的低い位置(EL.103m)に設置したことが、排砂の面で有利に働いたと考える。

#### (4) 30年後の堆砂量の予測

中国側は、30年後の白石ダム貯水池の堆砂量(堆積)を3億 $m^3$ 程度に抑え、利水容量7億 $m^3$ を確保することとしている。そこで、30年後の堆砂量は、38年間の時系列から連続した30年の年堆砂量を加算して求めた。年堆砂量はシミュレーション結果である排砂率と中国側の計算結果である流入浮遊砂量よりもとめた。ゲートによる排砂のみでは、30年後の堆砂量は38ケース中最小2億1,900万 $m^3$ 、最大4億6,700万 $m^3$ 、中間値は4億2,900万 $m^3$ であった。一方、忙牛河からの浮遊砂の流入を40%抑えることができたと仮定した場合、30年後の堆砂量は38ケース中最小1億6,500万 $m^3$ 、最大3億5,500万 $m^3$ 、中間値は3億2,700万 $m^3$ となった。したがって、30年後の堆砂量を目標である3億 $m^3$ に抑えるためには、ダム上流域で堆砂対策を実施すべきであると判断する。

#### (5) 洪水時の掃流力を利用した排砂の効果

二次元泥流シミュレーションモデルを用いて、貯水位を死水位まで下げて洪水の掃流力により堆積土砂を運搬・洗掘し、貯水容量を回復させる場合の排砂効果を評価した。洪水発生に合わせて予め無効放流をすることは、予報がはずれた場合、貯水量を大幅に失ってしまう可能性も十分あるので、現在の洪水予報レベルを考慮すれば、現時点では採用し難いと考えられる。しかし、ここでは、将来貯水池の堆砂が予想以上進み、何らかの手段を用いて排砂しなければならない場合を想定した。

#### 泥流シミュレーションモデル

モデルは、固液混相流である泥流のうち特に乱流現象のみを対象としている。流れの基礎方程式として、運動方程式と連続式を鉛直方向に積分したものを与えた二次元浅水流モデルであり、さらに混合粒径の流砂および元河床からの洗掘を考慮した、移動床モデルとなっている。河幅が広く流れの平面的な変化が無視できない場合や、氾濫の範囲や土砂の堆積状況を把握したい場合に有効である。

#### 1969年洪水を想定したシミュレーション

1969年の洪水を対象として、貯水位を死水位まで下げてから濁水を流入させる場合の解析を行った。堤体部については、比較のために、自然河川に近い状態に戻した場合(ケース1)と、オリフィスの式をモデルに組み込んで底孔からの放流を考慮した場合(ケース2)の2ケースを想定した。それぞ

ぞれの計算は、1.5 億 m<sup>3</sup>の堆砂形状と、貯水池が洪水期制限水位 125.6m を維持している状態を初期条件として排水シミュレーションを行い、排水終了後から濁水のハイドログラフを与えた。

#### シミュレーション結果

土砂の排出率は、ケース1では最終的には228%に達するが、ケース2では25%に留まった。ケース2では流入する濁水の量に対して、底孔から放流される量が小さく、ダム近辺における水深が大きくなり、縦断方向のエネルギー勾配は減少する。すなわち、貯水位を維持した場合の排砂シミュレーションと同様、貯水池堤体付近における流速は極度に減少し、上流から下流への縦断的な土砂移動は十分に進まず、ダム堤体近辺のみにおいて若干の土砂が移動・排砂される結果となった。したがって、この方法においても排砂効果はあまり期待できないと推測される。

#### (6) 排砂シミュレーションの問題点および今後の課題

これまで実施した排砂シミュレーションの結果からは、底孔のゲートオペレーションによる排砂の効果は期待したほど大きくない。しかし、この解析には、以下の問題がある。

- 1) 再現性の確認が現在ではできない。
- 2) モデルは完璧なものではない。

たとえば、準3次元拡散シミュレーションでは、

—ウオッシュロードの巻き上げをうまく再現する式は現在ないので、浮遊砂を扱う式でこれを代用している。また、その係数は、実験あるいは実測により通常定めるものである。したがって、ここでは係数については平均値をもちいている。

—河床変動を考慮していないので、流速が高まる金嶺寺鉄橋下流付近での浮遊砂の挙動をうまく再現していない可能性がある。

泥流シミュレーションでは、

—土砂の移動は細粒分の多い土砂に適切なブラウン式をもちいてモデル化しており、水位が低い自然状態の流れは問題なく現象を再現できたと考える。しかし、水位が高い状態での貯水池内における土砂運搬、沈降という現象は、掃流力のみで十分に再現できないので、より忠実に再現するためには、拡散の式をモデルに組み込み計算する必要がある。

したがって、本シミュレーション結果についての中国側への提言は以下とする。

- 1) 中国側の実施した実験結果と本結果について、貯水位を維持する場合の排砂シミュレーションでは特に密度流、巻き上げの効果を、貯水位を下げて洪水の掃流力により排砂する場合のシミュレーションでは、境界条件と入力条件について、その詳細を比較すること。
- 2) 排砂量は巻き上げの効果に大きく影響を受けるので、貯水池オペレーション開始後は、貯水池内、ダム直下流地点などで浮遊砂濃度の計測を実施し、その影響を検討すること。また、本シミュレーション結果と比較し、同様あるいはそれ以下の排砂量しか期待できない場合は、ゲートオペレーション以外の堆砂対策を早急に検討、実施すること

### 3.5.5.2 貯水池への土砂流入、堆砂についての観測計画

貯水池に流入する浮遊砂は降雨に伴って発生し、短時間のうちにピークを迎える。貯水池に流入した浮遊砂は、沈降、移流、拡散、あるいは底面から巻き上がりその一部は堤体に到達し、下流へと排出される。このような浮遊砂の挙動を把握するためには、自動観測機器を一部用いて年間を通じた継続的な観測を行う必要があると考える。さらに、貯水容量の経年変化を把握するためには、年一回程度の定期的な深淺測量を実施することが必要であろう。

本観測計画の目的は以下の通りである。

- 1) 対象となる濁水の一般的性質の把握
- 2) 上流域で実施された堆砂対策の検証、評価
- 3) 底孔のゲートオペレーションによる排砂効果の検証

(今回実施した準三次元拡散シミュレーション結果の検証)

これらの目的を達成するための主な観測項目は以下の通りである。

- 1) 浮遊砂の定点観測 (連続観測)
- 2) 堆砂形状の調査
- 3) 流砂・堆砂の採取、測定

#### (1) 浮遊砂の定点観測

浮遊砂の定点観測は、大凌河、忙牛河、涼水河からの流入3地点と、放流地点においては堤体直上流および堤体下流の計5地点で実施する。表3.5.5.2に観測地点および観測項目を示す。

表 3.5.5.2 浮遊砂の観測地点および観測項目

流入地点

観測地点	流量、水位	水温	浮遊砂濃度	浮遊砂の粒度
流入点1:大凌河	常時:日単位	常時:日単位	常時:日単位	常時:適宜
	洪水時:時間単位	洪水時:時間単位	洪水時:時間単位	洪水時:適宜
流入点2:涼河	同上	同上	同上	同上
流入点3:忙牛河	同上	同上	同上	同上

放流地点

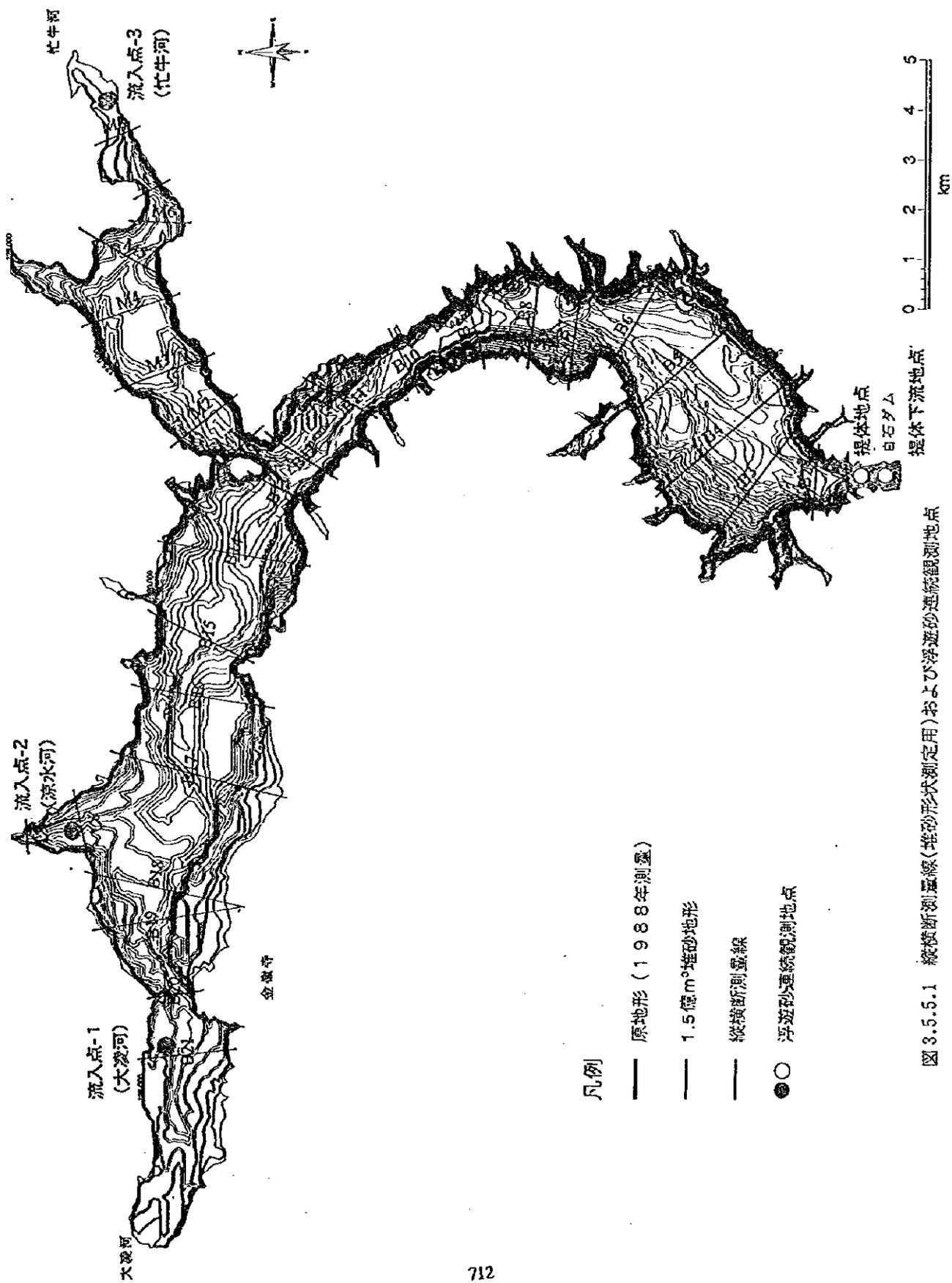
観測位置	放流量、水位	水温	浮遊砂濃度	浮遊砂の粒度
ダム堤体直上流	常時:日単位	常時:日単位	常時:日単位	常時:適宜
	洪水時:時間単位	洪水時:時間単位	洪水時:時間単位	洪水時:適宜
		垂直分布の観測	垂直分布の観測	
ダム堤体下流地点	常時:日単位 洪水時:時間単位	常時:日単位 洪水時:時間単位	常時:日単位 洪水時:時間単位	常時:適宜 洪水時:適宜

貯水池流入部

流入土砂の特性は、その供給源である流域の地質、土壌の性質によって決まるが、流入土砂の理化学性は貯水池内における土砂の沈降、分級現象を規定し、堆積機構、堆砂分布または捕捉率、沈殿・堆積後の自重圧密現象に影響を及ぼす。貯水池には、大凌河本川、忙牛河、涼水河からの浮遊砂の流入がある。したがって、図 3.5.5.1 に示す、大凌河、忙牛河、涼水河の各流入点で、浮遊砂濃度、水温を観測する。その目的は以下の通りである。

- 1) 貯水池内に流入する浮遊砂の動態を知るための基礎データを取得する。
- 2) 貯水池上流で実施される堆砂対策の効果を評価する。
- 3) 浮遊砂の濃度と流量の関係および時間変化を知る。

中国側は、流砂観測地点において、常時には日単位の観測、洪水時には時間間隔の浮遊砂濃度および流量の観測を実施している。常時、洪水時いずれにおいても、浮遊砂濃度は採水したサンプルを乾燥して測定しているようである。手動採水による観測では浮遊土砂の濃度変化のピークを捉えられない可能性が高い。また、洪水時の採水は危険であると考え、したがって、観測を効果的に行うためには、図 3.5.5.2 に示すような自動観測機器を用いて、年間を通じた継続的な観測を行うことが望ましい。



凡例

- 原地形 (1988年測量)
- 1.5億 $m^3$ 堆砂地形
- 縦横断面測量線
- 浮遊砂連続観測地点

図 3.5.5.1 縦横断面測量線(堆砂形状測定用)および浮遊砂連続観測地点

## ダム堤体部

浮遊砂濃度および水温の垂直分布の観測を以下の目的で実施する。

- 1) 貯水池内の浮遊砂の動態を知るための基礎データの取得
- 2) 洪水時のゲートオペレーションによる排砂を効果的に行うため

洪水時において、堤体浮遊砂濃度の垂直分布と時間変化を観測しそのピークを捉える必要がある。手動採水による観測ではこのピークを捉えられない可能性が高い。したがって、底孔のゲートオペレーションにより排砂を実施するためには、ダム堤体部においては、図3.5.5.2に示すような、水温、濁度の垂直分布を計測、記録できる昇降式あるいはガイドレール式の自動観測装置を設置することが望ましい。

## 貯水池下流部

観測の目的は以下の通りである。

- 1) 貯水池から流出される浮遊砂の量、粒度を把握する。
- 2) 貯水池のゲートオペレーションによる排砂効果の評価を行なう。

浮遊砂濃度、水温観測については、貯水池流入部と同様な方法で実施する。常時においては、巻き上げの効果を見込まない場合、 $d_{50}=0.02\text{mm}$ 程度の土粒子も排出されずそのほとんどが貯水池内に堆積するシミュレーション結果となった。一方、巻き上げの効果を見込んだ場合は、全流入砂量の6.5%程度は排出される結果となった。したがって、浮遊砂の粒度分布の調査については、巻き上げ効果を評価するために、貯水池流入地点以上のサンプリングが必要であると考えられる。

## 浮遊砂濃度自動観測システムについて

前述の通り、浮遊砂濃度の観測については、図3.5.5.2に示すような濁度計をセンサーとする自動観測システムの設置が望ましい。しかし、建設費用、観測装置の維持管理の問題等を考慮すれば、まず、従来方法である採水を基本とする浮遊砂濃度の観測を続ける。次に、その観測結果から、ダム堤体直上流での浮遊砂濃度が高くなり、ゲートオペレーションによる排砂の効果が大きいと判断された場合は、迅速な貯水池排砂ゲートオペレーションができるように自動観測装置と、通信設備からなるシステムを構築することになろう。

## 浮遊砂濃度の測定方法について

浮遊砂濃度は一般に、採水サンプルをろ過し、残留した土粒子を蒸発乾燥させて測定することによ

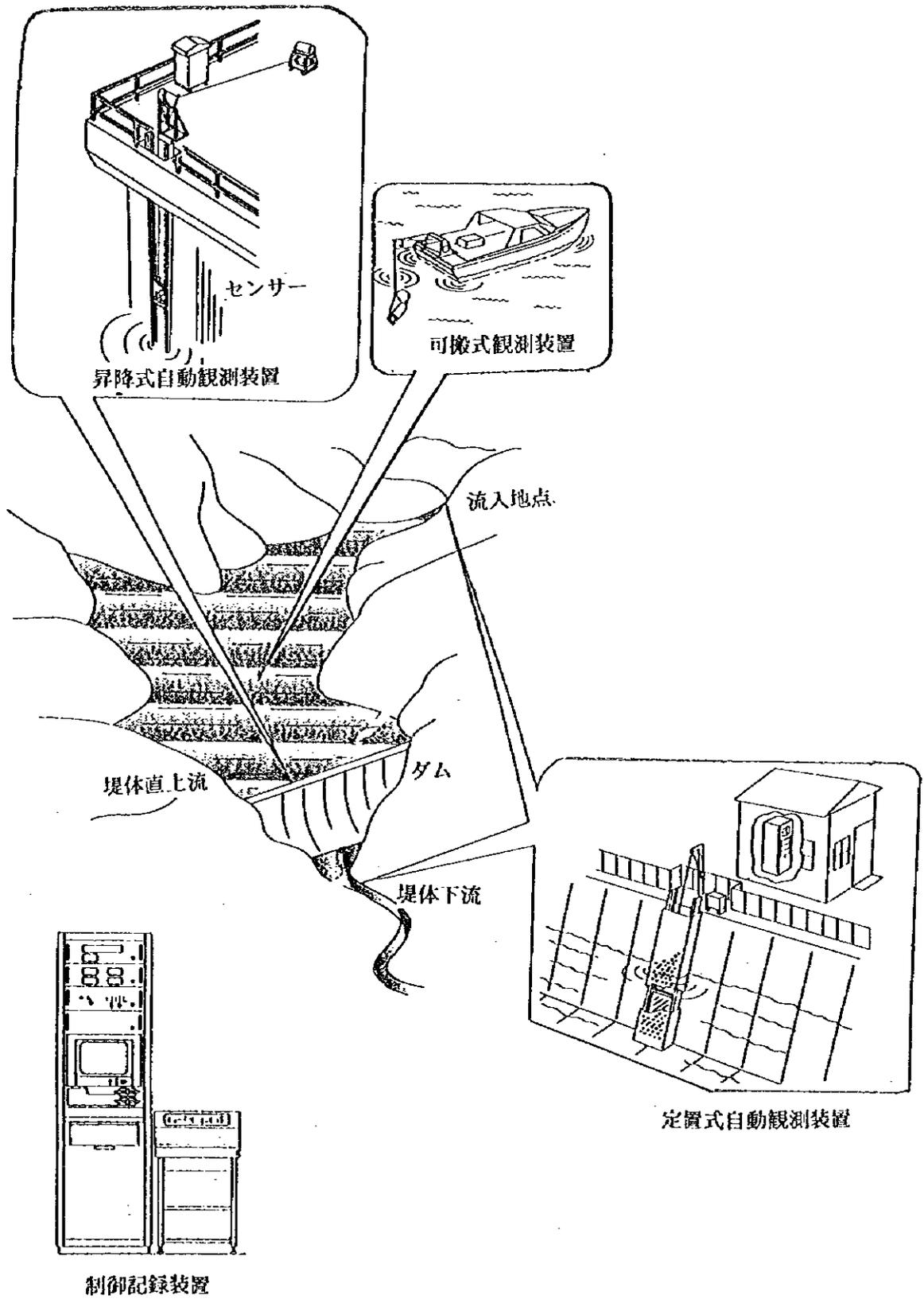


図 3.5.5.2 浮遊砂自動観測システムイメージ

り求められるが、この他に、濁度を測定することにより算定することができる。濁度と浮遊砂濃度の関係は以下の通りである。

$$\gamma = \frac{C}{T_b} = Kd^m$$

ここに、

$\gamma$ :濁度係数

C:浮遊砂濃度

$T_b$ :濁度

d:粒径

$K, m$  は濁質および濁度計の種類によって異なる定数である。

濁度計には光学式をはじめ数種類あるが、白石ダムの貯水池流入部については、特に高濃度の濁度が測定できる濁度計をを選定する必要がある。

## (2) 浮遊砂の粒度分布調査

土砂の拡散シミュレーションにおいては、沈降速度の取り扱いが予測精度に大きく影響を及ぼす。中国側は、大凌河流域水文観測地点において年10回程度浮遊状態で流れる砂の粒度分布調査を実施している。今後は、同様な粒度分布調査を流入3地点で実施する必要がある。

## (3) 堆砂の採取、測定

河床、池床の材料の粒度分布を的確に把握することは、堆砂分布形状の解析、粗度係数、流速分布また流砂量の評価を行なうために重要である。また、貯水池に流入する土砂の沈降、分級現象も明らかになる。サンプリングは採水器を用いて、年一回程度、深淺測量とを実施するさい同時に行なえばよいだろう。またサンプリングの位置は、各測線において複数点、左右岸、ミオ筋の3点で最低計測すること望ましい。

## (4) 貯水池内部の浮遊砂濃度、水温の垂直分布観測

貯水池内部の浮遊砂の濃度、水温の垂直分布については継続的に観測することは必要ないと考える。しかし、深淺測量の際に実施し、同時刻での流入点、放流点との観測結果と併せて解析する必要もある。測定は、採水あるいはポータブルな濁度計を用いる。

## (5) 気象観測所

白石ダム貯水池周辺の気象状況を把握するために、白石ダム堤体付近に気象観測所を設置する。

## (6) 堆砂形状の調査観測

貯水池築造後の堆砂量を測定する場合には、いわゆる貯水池の深さを測る深浅測量を実施する。貯水池内の堆砂量は、ダム建設時に行なった水準測量の原貯水容量と、堆積後の深浅測量結果からえられた現貯水容量との差から求める。

### 現地形での縦、横断測量

原貯水容量は現地形の地形図あるいは、縦断、横断測量図から求められる。中国側は1988年に貯水池およびその周辺の測量を実施し、1万分の1の地形図を作成している。1988年からすでに9年を経過しているので、同様の側線(図3.5.5.1)での、縦、横断測量を実施して、現地形の形状を把握する必要がある。

### 深浅測量

貯水池の堆積形状は自由水面からの深さ、つまり複数地点の水深を測定することにより求める。したがって、まず、各測点の正確な位置を決定することが必要である。次に、貯水池の横断面図に正確な深浅測量の結果を書き入れる。水深およびその際の水位を測定して、これを参考にして池底標高を求めるとともに測定位置を正確に決めることが必要である。深浅測量は、浅い位置では水深を直接測定することができるが、深い位置では一般に音響測深機を用いて測定する。測定位置は、トランシットまたは、電磁波測距儀で測定することになる。

白石ダム貯水池においてはこの深浅測量を年一回実施する。縦断方向の測定間隔は最低、中国側の設定した測線(図3.5.5.1中の大凌河B2~B24、忙牛河M1~M8、涼水河L8~L9)に沿って実施する。各側線での横断方向の測点間隔は200m程度とする。また、堤体付近での堆砂形状は底孔のゲートオペレーションに影響があるので、高密度の測量点が必要となろう。

基本的深浅測量については、以上の通りであるが、白石ダム貯水池はその貯水池面積が広いため、これらを実施することは、容易ではない。効率よくかつ精度の高い結果を得るためには、音響測深機と位置が正確に測定できるGPS等を用いた深浅測量システムを導入することが必要となろう。参考として、農林水産省、農業工学研究所で現在開発中のDGPSを用いた深浅測量システムを次項に示す。

## DGPSを用いた無人探査船による深淺測量システム

### システムの特徴

本システムは、DGPSと音響測深機を搭載して無線操縦が可能な小型測量船による測深システムである。従来の深淺測量では、移動している船、すなわち測量位置の同定とアナログで記録された測深データの処理に多くの人手と労力を要している。本システムは測定手法として人工衛星による測位システムであるDGPS(Differential GDP)を使い、デジタルで測深結果をできるタイプの音響測深機を組み合わせることで、測量地点の位置及び水深のデータを連続に記録する。これらの装置を無線可能な小型探査船に搭載することで、迅速かつ機動性を高めた地形測量調査が行なえる。

### システム構成

本システムは、測位部、測深部、記録装置、探査船、陸上に基地局からなる。(図3.5.5.3)

測位装置: DGPSでは、2台のGPS(参照地点-地上局、未地点-探査船)で単独測位を行ない共通誤差を打ち消すことで、水平方向の測位精度が1mまで改善できる。参照地点の補正データを特定省電力無線を介してデータ通信し、リアルタイムで位置を同定する。

測深装置: デジタル出力を有する精密音響測探機を用いる。超音波の周波数は200KHzである。

記録装置: 探査船側GPS及び音響測深機からのデータは、船に搭載したノートパソコンに記録する。

探査船: 上記測機材、バッテリー等を搭載しうる浮力を持ち、分解して車で運べる自走可能な双胴タイプの小型船を用いた。

### (7) 排砂・堆砂シミュレーションと観測項目との関連

本解析で用いたシミュレーションモデルは完璧なものではなく、その結果は今後の観測結果により検証されるべきである。また、この観測結果をもとに様々な入力条件、モデルの諸定数が明らかになることにより、さらに精度の高いシミュレーションが可能となる。今後はこのような観測の積み重ねとモデルの改良が継続されることが望まれる。観測結果をもとに得られるモデルの入力条件、諸定数はたとえば、以下となる。

- 1) 流砂量式の選定およびその諸係数の決定
- 2) 河床相度係数(マンニング抵抗則)
- 3) 貯水池縦断面形状
- 4) 流量条件(洪水ハイドロ)
- 5) 放流条件
- 6) 密度流条件(水温、濁度、風速、日射量など)
- 7) 底質条件(各メッシュ毎の池床材料粒度分布、比重、空隙率、交換層厚)

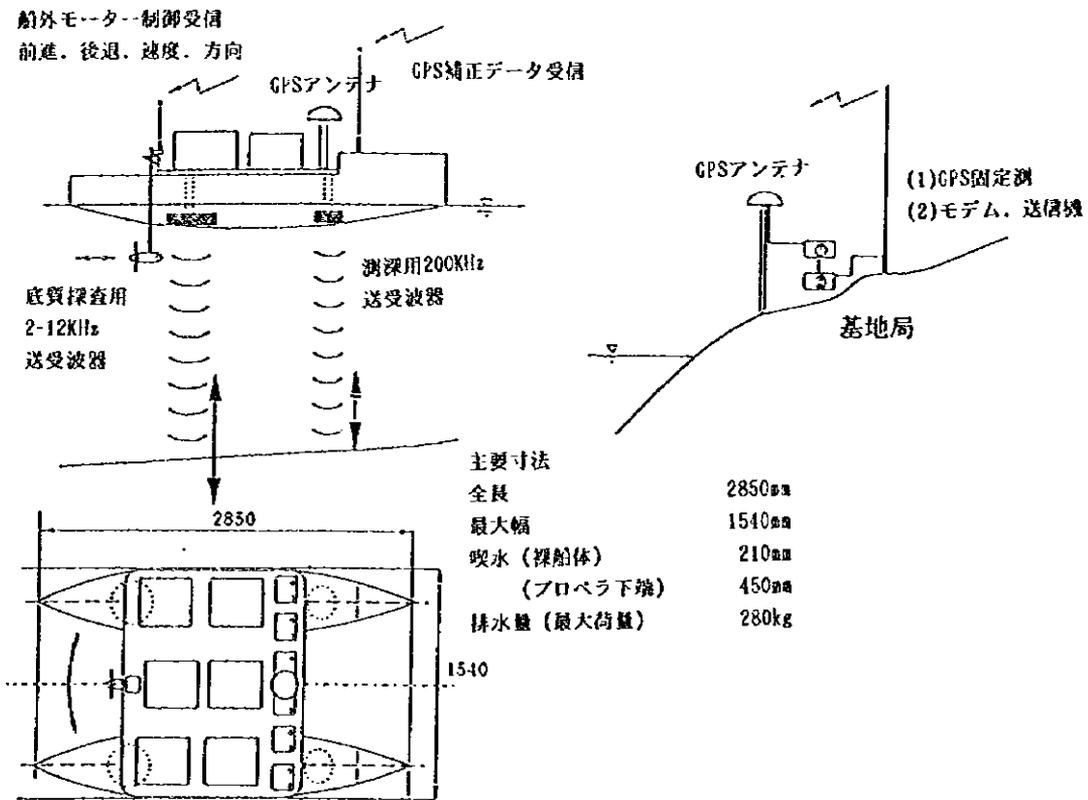


図3.5.5.3 DGPSを用いた無人探査船による深浅測量システム（農業工学研究所タイプ）

## 8)ダム貯水位

### 3.5.5.3 総合的堆砂対策についての提言

当初、排砂・堆砂シミュレーションの最終課題は、貯水池へ流入する浮遊砂を排出し貯水池の延命をはかる一方、下流域への安定水供給を行うための貯水機能を確保する最適貯水池運用方式を検討することにあった。しかし、白石ダム貯水池は特にその地形の影響で、堤体直上流では洪水の流速が落ち、浮遊砂の大部分は貯水池内に沈降して容易に排出されないだろうという判断から、本解析は「貯水池内に流入する浮遊砂が堤体に設置した底孔からどの程度排出できるか、また、いかに排出させるか」という問題に焦点を置いた。

シミュレーション結果からは、ゲートオペレーションによる排砂効果は、あまり期待することができない、あるいは不確定要素が多いため、堆砂対策は底孔のゲートオペレーションに頼ることはできないと考える。したがって、白石ダム貯水池の堆砂問題を考える場合、ゲートオペレーションによる貯水池内からの排砂だけでなく、上流域土砂供給源対策、上中流域での貯水池への流入する土砂の軽減といった全流域にわたる総合的な見地から検討を加えることが必要と考える。

ここでは、リモートセンシングによる河道の土砂堆積域の変化および土地被覆とその経年変化を解析し、さらに、得られた河道の土砂堆積状況、土地被覆状況と浮遊砂量との関連を検討して土砂生産地を推定した。また、白石ダム貯水池の堆砂対策を立案するためには、過去の水文資料を整理解析し、浮遊砂の時間的、空間的流出傾向を知ることが必要である。将来の流量および浮遊砂流出を予測するモデルがあれば、さらに適切な底孔によるゲートオペレーションによる排砂が可能であろう。ここでは、朝陽、迷力営子、大凌河地点における日浮遊砂量、日流量の時系列解析をおこなった。

#### 上流域での効果的な堆砂対策についての初步的考察

中国側で作成した大凌河流域の各観測所での浮遊砂量・土砂生産係数(1955年—1985年の多年平均値)を図3.5.5.4に示す。土砂生産係数が大きい流域は、迷力営子、徳立吉、叶柏寿、六合成であり、洪水直後の1984年9月の河道における土砂堆積が顕著な地域と一致している。特に、迷力営子では浮遊砂量が13.19mil. t/yearと大凌河での24.67mil. t/yearの53%に相当するため、忙牛河流域からの土砂流出対策が急務と考える。

中国側は、現在建設中の白石ダム、閻王鼻子ダムにのほかに、1)大凌河、上窩堡上流、2)忙牛河支川、六合成上流、3)老虎山河、徳立吉上流にダムの建設を計画しているようである。特に忙牛河支川、六合成上流のダムは、大凌河流域中もっとも土砂生産の激しい流域に建設されることになる。したがって、積極的に排砂するようなオペレーションをしなければ、相当量の浮遊砂が貯水池内に堆積し、

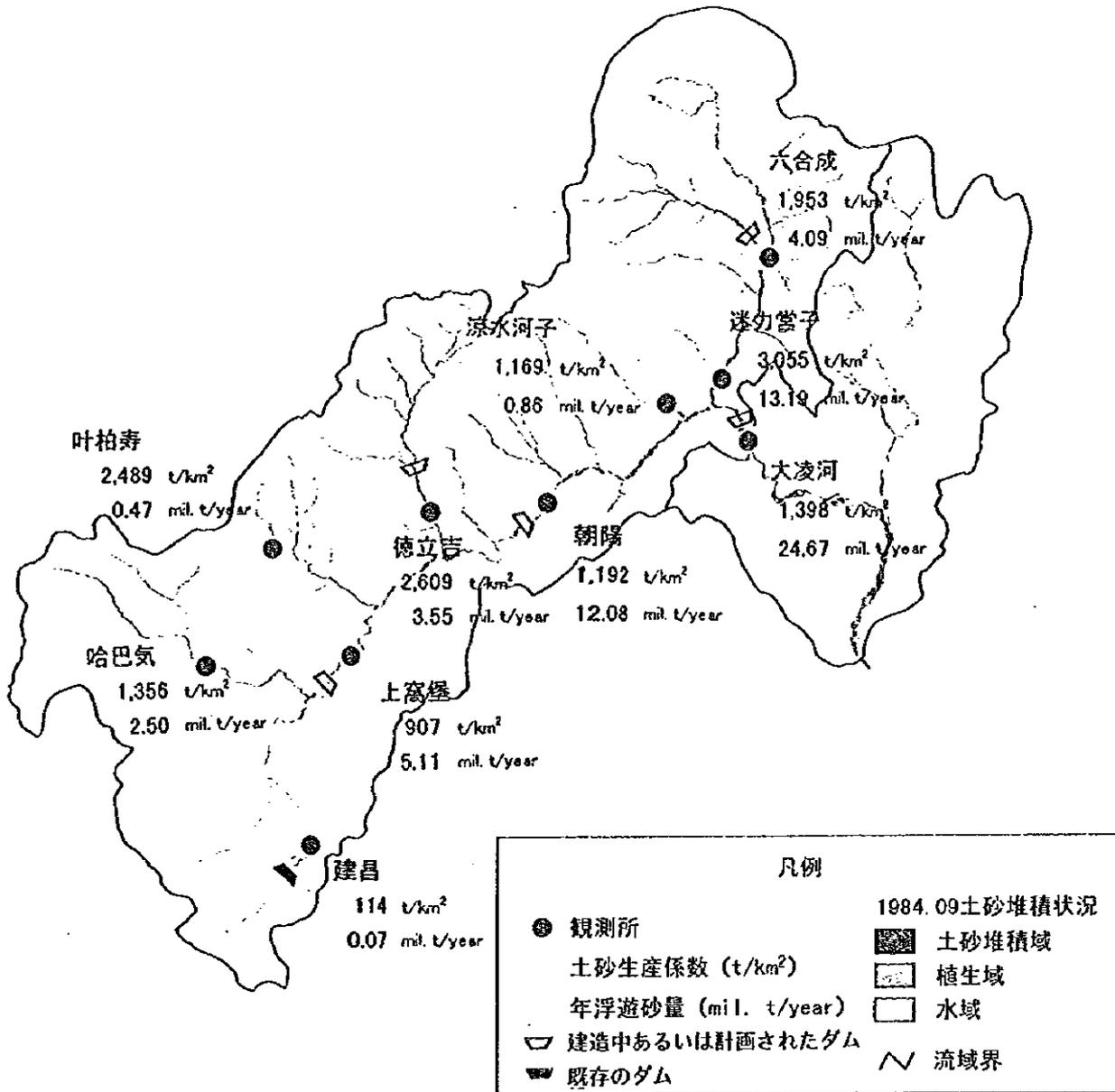


図 3.5.5.4 大凌河流域の浮遊砂量・土砂生産係数

よってダム下流へ流下する浮遊砂量を堆積相当分軽減することになる。このダムの規模、用途、建設時期等については情報を得ていないので、ここで結論はだせないが、早期にこのダムを建設し、完成後は、当面利水より貯砂ダムの機能を優先させれば、白石ダムへ流入する土砂を大幅に軽減できるだろう。一方、この流域においては、緑化等による土砂生産域での堆砂対策を重点的に実施し、土砂生産量を減ずれば、このダムの延命と本来の利水機能を確保することができるであろう。また、老虎山河流域も土砂生産が多く、老虎山河に計画するダムの運用についても同様なことがいえる。

荒廃地化した流域内の裸地や少植生域では降雨により激しい表面侵食を受けるため、自然のままでは植生が回復することは難しく、緑化などの対策工が必要となる。その際、効果的な対策事業を展開するためには、さらに、流域内の土砂生産域やその生産の過程を詳細に調査し、緑化による土砂生産の抑制効果や適正な配置の検討を行い、土砂生産域での対策を検討する必要がある。







JICA