



都市域からの雨天時汚濁流出調査報告書

昭和 50 年 3 月

建設省土木研究所

都市域からの雨天時汚濁流出調査報告書

建設省土木研究所
都市河川研究室

は　じ　め　に

この調査報告書は、昭和48年度から49年度まで、土木研究所都市河川研究室が行なった、雨天時における都市域からの汚濁流出に関する調査結果をまとめ、それに考察を加えたものである。調査区域は東京都の谷端川下水道排水区（5.42km²）で東京の副都心の一つである池袋より2kmぐらい西に位置している。流域は古くから良好な住宅地として発展している。

雨天時における都市域からの汚濁流出を調査・検討した論文は非常に少ない。わが国では下水道普及率も低く、雨天時合流式下水道からの越流下水が深刻な水質汚濁を引き起こしているという話も東京、名古屋でさわがれた以外には耳にしていない。しかしながら、下水道普及率が90%以上という欧米諸国では、雨天時における合流式下水道からの越流下水は看過し得ない程深刻な水質汚濁源として認識されており、わが国でも古くから下水道に着手した都市では、一部関係者の間でこの問題の重要性が認識され始めている。その意味では、この報告書がこれら関係者のお役に立てば幸いである。

またわが国では、分流式下水道への計画の転換が早い時期に決定されたのではあるが、雨水の都市用水への転換も叫ばれている昨今、この水質に対しても十分の把握がなされねばなるまい。

最後になったが、この調査と時期を同じく並行して、東京都下水道局の合流式下水道越流水に関する調査が進行しており、それにわれわれも参画していた。本報告は、同局の御好意によりその結果も利用させていただいた。ここに記して、おことわりするとともに謝意を表したい。

目 次

は じ め に

第1章 都市域における汚濁源の検討	1
1-1. 家庭下水	1
1-2. 路 面	2
1-2-1 路面散水実験	3
1-2-2 米国における研究成果	9
1-2-3 考 察	13
1-3. 下水管渠	14
1-3-1 下水管内よりの汚濁流出特性調査	14
1-3-2 不良下水管内堆積物調査	25
1-4. 雨水マス	27
1-4-1 雨水マス内堆積汚濁負荷量調査	27
1-4-2 雨水マスからの流出に関する考察	35
1-5. そ の 他	36
1-5-1 汚水マス	36
1-5-2 降下ばいじん	36
1-6. ま と め	39
第2章 雨天時合流式下水道からの越流現象	41
2-1. 調査の概況	41
2-2. 雨天時汚濁負荷流出特性	42
2-3. 出水後の汚濁負荷堆積回復特性	45
2-4. 晴天時下水の流量・負荷量パターン	50
2-5. 雨天時汚濁負荷流出のシミュレーション	56
2-5-1 シミュレーション手法について	56
2-5-2 谷端川排水区に対するシミュレーション結果	58
2-6. ま と め	73
第3章 雨天時下水の処理対策について	74
3-1. 雨天時下水の処理対策のシミュレーション	74
3-1-1 稀釈倍率の引上げ	75
3-1-2 滞 水 池	77

3-1-3 結果の考察	77
3-2 アメリカでの一事例の紹介	80
付 録	85
あ と が き	147
参 考 文 献	148

TM-104.FT-6 .F- 326

第1章 都市域における汚濁源の検討

都市河川の汚濁機構を考える場合、果して汚濁負荷がどこから、どのように流出してくるかということが非常に興味ある関心事になっている。いったん河川あるいは海へ流出してしまった場合に、汚濁負荷がどのような挙動、変化を示すかといった問題は、古くから論じられ、かなりの研究成果を示しているが、都市域全体をながめたとき、汚濁負荷の源ともいふべき汚濁源について、どこに、どの程度あり、どのような形で流出してくるのかを調査したものは非常に少ない。そこで第1章では、ここ数年雨天時を中心に土木研究所都市河川研究室および東京都下水道局で実施した、一連の汚濁源調査の結果およびまだ調査をおこなっていないいくつかの汚濁源についての考察を記すことにする。

なお地表面上の負荷だけを対象にすれば分流式下水道（雨水管）からの汚濁物質ということになる。

1-1 家庭下水

汚濁源としての家庭下水について、汚濁負荷原単位^{*}を調査したものに土木研究所下水道研究室の調査がある（表-1.1.1）。この調査では処理場に流入した負荷量を処理人口で割って汚濁負荷原単位を求めており、処理人口が増大するに伴って原単位も大きくなる傾向を有しているという結果を出している。

谷端川下水道排水区の最下流点で、晴天時1時間毎に採水した下水を分析して負荷量を求め、そのときの推定人口で割って原単位を求めると表-1.1.2のようになる。推定人口の算出は、谷端川排水区がある、東京都豊島区^{**}の平均人口密度に谷端川排水区の面積を乗じて求めた。谷端川の流域は、住居地域が主体であり、その他に商店街、小さな町工場という土地利用であり、いわゆる工業地域はない。表-1.1.2の負荷量の中には、商店、飲食店からの負荷も含まれており、その意味では、家庭下水の原単位というよりはむしろ都市域で生活する場合に必然的に発生する一人一日当りの平均発生負荷量と解釈したほうがよいであろう。

一つの完結した都市（それ自身の中に住宅、商店、オフィスなどをもっている都市）で、いわゆる都市活動によって、単位面積当り、1日に発生する汚濁負荷量を谷端川排水区を例にとって計算してみると、1464～2327 BOD₅ g/m²/日となる。純然たる家庭下水のBOD₅原単位を50 g/人/日とすると、谷端川流域は見かけ上300人/ha～500人/haの人口密度をもつ住宅都市と同じことになる。実際の人口密度が約230人/ha前後であるから、負荷密度の点ではいかに商業活動による営業排水の影響が大きいかわかる。現在の下水道計画^{***}では、営業排水量は見込まれているが、営業排水による汚濁負荷量は見込まれていないようである。今後、人口密度あるいは営業排水量などとの関連で、営業排水に起因する汚濁負荷量についての調査がすすめられることが必要と思われる。なお谷端川流域の晴天

* 通常は、大人の人が1日の日常生活を送る場合に使用した水に含まれる汚濁負荷総量をさし、g/人/日で表わされる。

** 実際には板橋区も含まれる。

*** 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 建設省下水道部

表-1.1.1 家庭下水の汚濁負荷原単位

	報 告 者	水質分析年度	調査対象地域	g/人/日				処 理 場
				BOD ₅	SS	(ケルダール)窒素	PO ₄	
日 本	洞 沢	昭25 - 28	東京都三河島処理場	30.5	65.2	-		1
	"		東京都芝浦処理場	61.4	117.3	-		1
	"	昭 39	住 宅 団 地	35.4	36.9	-		3 (平均値)
	土木研究所	昭 43	"	39.5	41.8	(7.0)*	Pとして(1.1)*	59 (平均値)
	建設省下水道部	昭 45	"	43.55	27.42	11.36	2.3	2 (平均値)
	土木研究所	昭 46	全国下水処理場 (夏期冬期)	50	50	10	2	(最多処理場数値)
米 国	"	昭 46	住 宅 団 地	46.6	46.1	8.0	2.8	28 (平均値)
	WPCFマニュアル	1950年代		77.1	90.7	-	-	
	Metcalf 他	1926-1930	大都市の合流式下水道	100.6	116.6	15.7	-	5 (平均値)
	"	1921-1930	" (工場排水含)	133.0	172.8	20.2	-	5 (平均値)
	"	1924-1931	" (工場排水含まず)	62.9	101.6	8.5	-	5 (平均値)
	"	1926-1930	分 流 式 下 水 道 (工場排水含)	166.9	131.5	15.7	-	5 (平均値)
	"	1923-1930	" (工場排水含まず)	52.1	50.4	9.7	-	5 (平均値)

* BOD, SS との成分比から求めた推定値

表-1.1.2 谷端川における家庭下水の汚濁負荷原単位

水 質 分 析 年 度	推定人口 (人)	g/人/日				備 考
		BOD ₅	SS	T-N*	T-P	
昭 47 年度	131,500	89.6	121.5	15.9	2.7	S.47.
昭 48 年度	128,900	99.8	70.1	-	-	S.48. 7. 12
昭 49 年度	126,400	62.8	46.4	17.4	1.3	S.49. 8. 7-S.49.8.9

* 47 年はケルダール窒素, 49 年はケルダール窒素に硝酸性および亜硝酸性窒素を加えたもの

時下水についての考察は第2章で行なうことにする。

1-2 路 面

路面を汚濁源の一つとして取り上げたのは、流出計算の結果*年間の雨天時の流出水の90%以上が不浸透域からのものであり、地表からの汚濁物の供給は、主に不浸透域からなされているであろう、しかも不浸透域が主に屋根と道路で構成されていることを見ると汚濁物の堆積しやすい道路が、地表の汚濁源の主体であろうと考えたからである。米国では、雨天時の路面排水水質についてかなり研究されているが、わが国では路面排水水質に関する研究は十分されておらず、これから解明されなければならない

* 例えば土木技術資料 vol.16 No.5

い点が非常に多い。

1-2-1 路面散水実験

昭和49年1月東京都谷端川流域の中に道路特性別に3ヶ所の実験地を選定し散水実験を行なった。散水装置は、 $\phi 25\text{mm}$ 、3mの塩ビ管に $\phi 6\text{mm}$ の噴霧器用ノズルを千鳥に0.2m間隔に17個、計3本のパイプを並列して組み立てた。水は、小型トラック上の量水槽からホースで導かれる。これにより 30mm/hr 程度の散水が可能であるが、雨滴は実際の 30mm/hr 降雨に比較して小さく、路面に到達するときの速度も実際にくらべてかなり小さい。図-1.2.1 および2に散水実験地位置および、散水装置を示す。

散水には水道水を用い、集水には雨水マスを利用し、バケツに流出水を受けた後採水した。集水時間間隔は、最初の4検体が2.5分、次いで5分が2検体、あとの3つは10分間隔とした。散水後は、デッキブラシで路面を洗い、洗浄水の量も測定した後に採水した。

実験は大きな失敗もなく行なわれたが、Na2地点では、散水パイプの2本のエアーが抜けなかった為に散水強度も小さく表われ、散水面積が小さくなった。即ち、Na1、Na3地点では 35.2mm/hr の強度で 7.5m^2 に散水したのに対し、Na2地点は 31.2mm/hr で 6m^2 に散水できただけであった。水質分析の結果は表-1.2.1に掲げる。

図-1.2.3～12は、各汚濁指標別の水質の散水経過時間による変化を示したものである。ほとんどの項目は時間の1乗に反比例して減衰するが、T-Nについては減衰が遅く時間の0.6乗に反比例して減衰するという結果が得られた。

表-1.2.2は、散水地点別の汚濁負荷堆積と散水40分間の流出量を示したものである。図からもわかるように、地点別の汚濁負荷堆積量のバラツキは非常に大きい。特にNa3地点は、側溝にかなりの土砂があった地点であり、殆んど土砂の認められなかった他の2点と異なる結果が得られた。

散水後40分までの流出分が堆積量に占める割合の大きいもの、すなわち流出しやすいものは、S-BOD 89%、 Cl^- 83%、 BOD_5 75%、T-N 72%、 S^{2-} 72% などであり、逆に流出成分の割合の低いものはSS 17%、Cu 28%、T-P 29%、Zn 30%などである。流出率の差は物理的特性と溶解性成分の割合によって生じたものと思われる。

なお本実験を行った昭和49年1月14～16日は、これまでの無降雨期間の記録を更新した(70日間)ときのはほぼ最終近くにあたり、負荷量も最大に近いものと判断される。

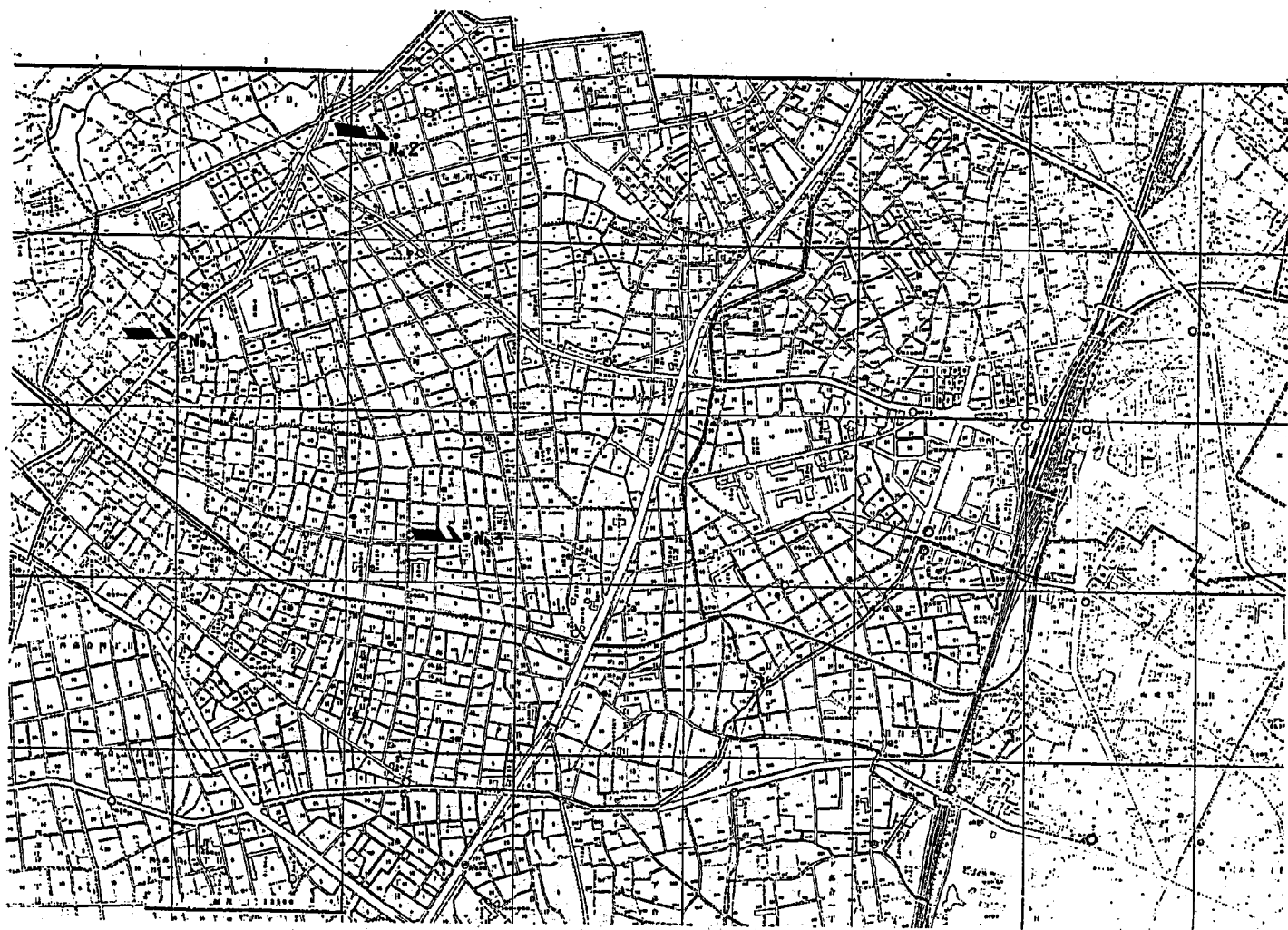


図-1.2.1 散水実験地

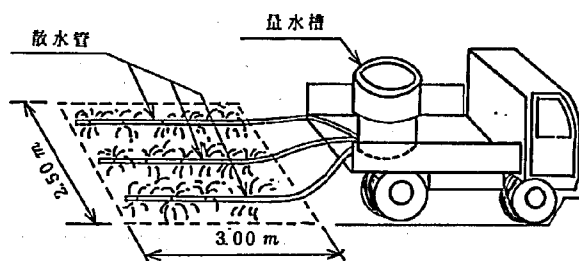


図 - 1.2.2 路面散水実験概要

表 - 1.2.1 地点別水質時間変化

地点	採水時間	水量	BOD ₅	溶解性	COD	TOC	SS	T-N	T-P	Cl ⁻	S ²⁻	Pb	Cu	Zn	Mn
		ℓ		S-BOD											
No 1 (7.5m)	0 - 25	110	884	75.4	1360	718	(376)	183	0.78	521	0.17	0.44	0.18	0.85	0.44
	- 50	"	41.0	45.8	86.1	57.7	77	11.3	0.31	25.2	0.17	0.08	0.07	0.57	0.27
	- 7.5	"	25.6	18.0	46.9	18.1	21	7.64	0.15	13.0	0.07	0.03	0.04	0.35	0.12
	-100	"	14.9	15.9	34.5	12.1	18	5.18	0.11	9.2	0.13	0.03	0.02	0.27	0.09
	-150	220	15.5	12.2	24.1	9.2	13	4.61	0.09	7.9	0.14	0.03	0.02	0.25	0.07
	-200	"	9.3	10.3	20.6	5.8	5	4.47	0.08	7.5	0.11	0.01	0.01	0.24	0.06
	-300	440	7.5	7.6	15.4	5.7	7	3.73	0.08	6.4	0.13	0.02	0.02	0.22	0.05
	-400	"	6.4	7.2	14.6	4.1	13	3.32	0.07	1.9	0.15	0.02	0.01	0.21	0.03
	-500	"	5.8	6.3	12.1	2.8	7	2.94	0.07	0.9	0.22	0.01	0.02	0.20	0.02
	路面洗浄	250	23.8	9.5	139.0	56.1	1420	9.17	2.30	8.8	0.20	0.47	0.27	1.55	0.86
No 2 (6.0m)	0 - 25	78	72.4	61.2	209.0	67.1	(372)	19.2	0.58	36.5	0.32	0.44	0.28	1.49	0.40
	- 50	"	30.8	27.7	64.1	12.9	105	8.73	0.44	15.5	0.11	0.08	0.06	0.50	0.15
	- 7.5	"	18.0	15.9	34.0	11.0	59	7.00	0.29	9.8	0.13	0.07	0.03	0.27	0.08
	-100	"	11.3	11.1	24.8	7.2	29	5.55	0.15	7.1	0.16	0.03	0.02	0.15	0.04
	-150	156	10.5	8.7	20.8	8.5	22	4.83	0.14	7.1	0.14	0.04	0.03	0.16	0.04
	-200	"	8.0	6.7	16.7	6.0	23	3.61	0.11	6.0	0.10	0.02	0.02	0.13	0.02
	-300	31.2	6.1	5.2	12.7	4.9	12	3.70	0.11	7.3	0.09	0.02	0.01	0.12	0.02
	-400	"	4.2	3.5	11.1	4.1	11	2.97	0.08	1.9	0.18	0.01	0.01	0.10	0.01
	-500	"	4.6	2.1	9.0	3.3	4	2.79	0.07	0.7	0.11	0.01	0.01	0.10	0.01
	路面洗浄	21.0	37.5	7.9	306.0	93.8	1710	18.9	6.73	10.0	0.22	0.91	0.63	4.22	0.22
No 3 (7.5m)	0 - 25	110	(323)	(22.0)	325	67.3	(670)	106	7.71	18.7	0.29	0.80	0.39	2.19	0.48
	- 50	"	87.6	79.8	139	19.5	154	37.0	1.86	6.8	0.14	0.27	0.10	0.64	0.20
	- 7.5	"	58.0	45.9	98.3	12.6	113	35.0	2.32	42.4	0.17	0.20	0.08	0.42	0.17
	-100	"	40.5	35.1	61.8	16.8	96	26.0	1.31	33.1	0.14	0.10	0.04	0.27	0.09
	-150	220	35.7	29.1	57.7	10.2	80	23.4	1.19	28.3	0.11	0.13	0.05	0.31	0.14
	-200	"	23.9	21.7	46.6	6.3	52	19.0	1.11	18.3	0.18	0.08	0.03	0.22	0.07
	-300	440	21.8	15.9	36.2	13.7	42	13.7	0.86	13.4	0.10	0.06	0.02	0.17	0.04
	-400	"	14.9	14.8	32.4	4.8	38	11.8	0.82	10.5	0.12	0.05	0.02	0.14	0.04
	路面洗浄	19.5	134	33.9	483	25.6	4170	69.4	28.0	55.1	0.26	1.08	1.49	10.8	3.49
			136	33.9	470	23.4	3550	68.3	29.8	58.9	0.16	0.82	1.42	10.2	1.51

注) 単位はmg/ℓ. () 内は水質汚濁防止法を上回った値。

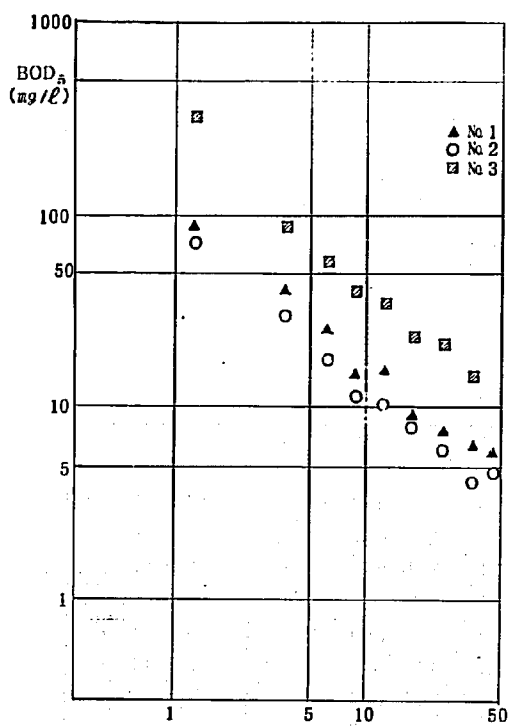


図- 1.2.3 BOD₅ 時間変化 t (min)

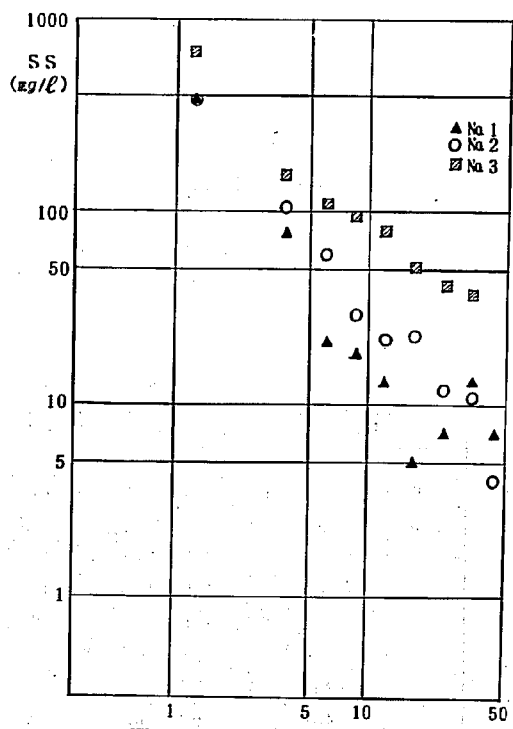


図- 1.2.4 SS 時間変化 t (min)

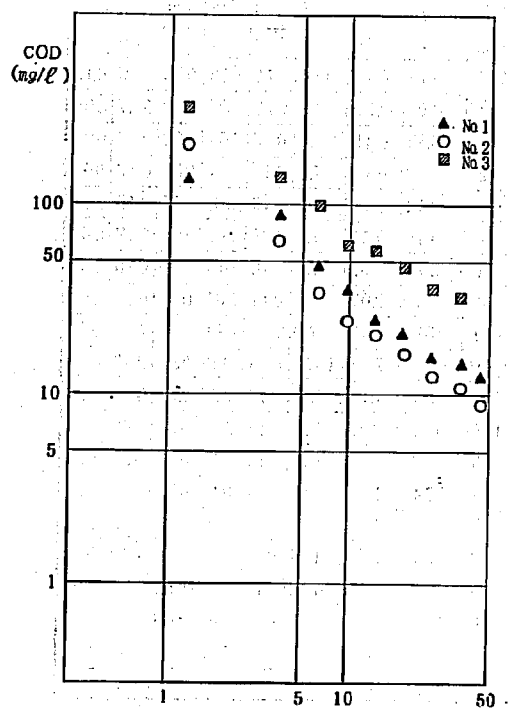


図- 1.2.5 COD 時間変化 t (min)

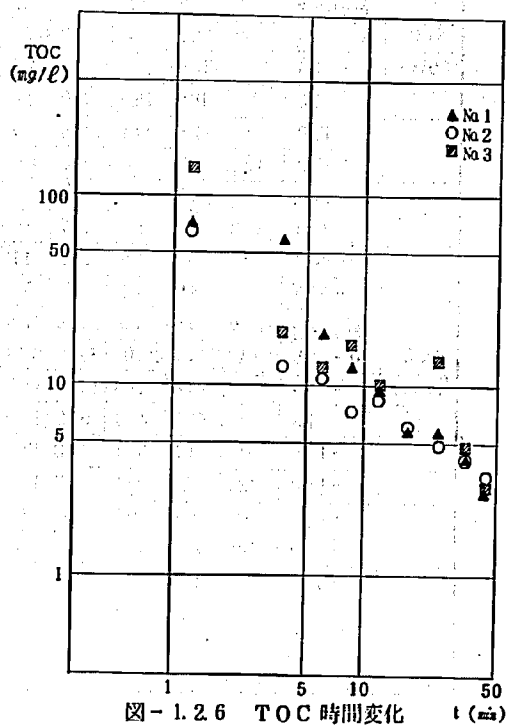


図- 1.2.6 TOC 時間変化 t (min)

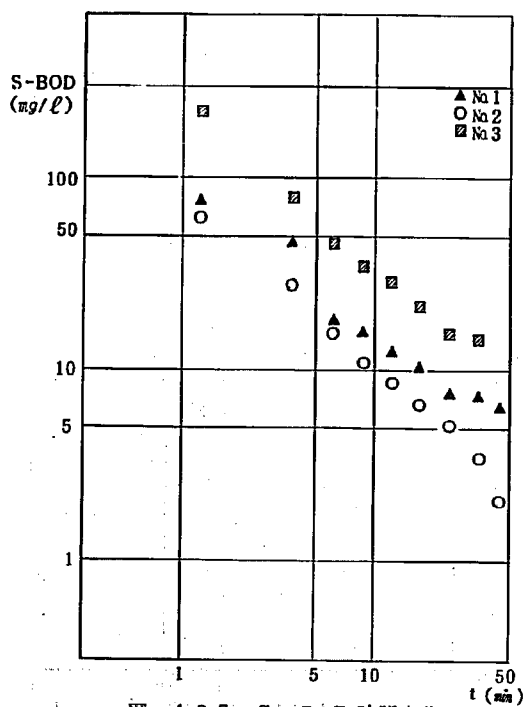


図 - 1.2.7 S - BOD 時間変化

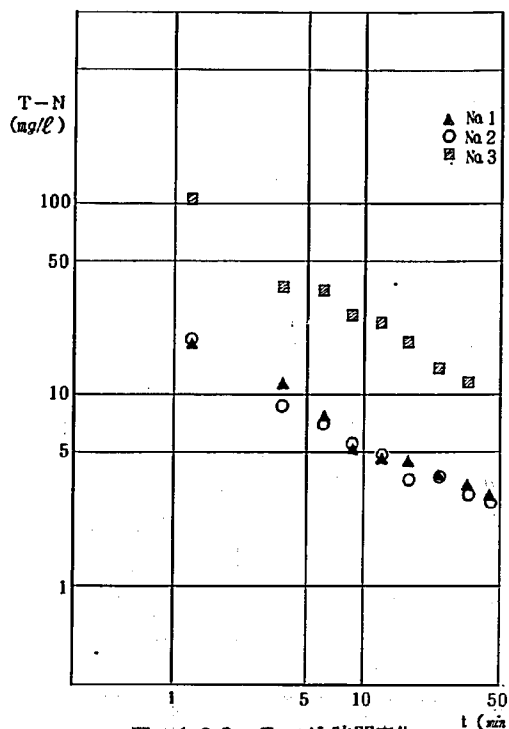


図 - 1.2.8 T - N 時間変化

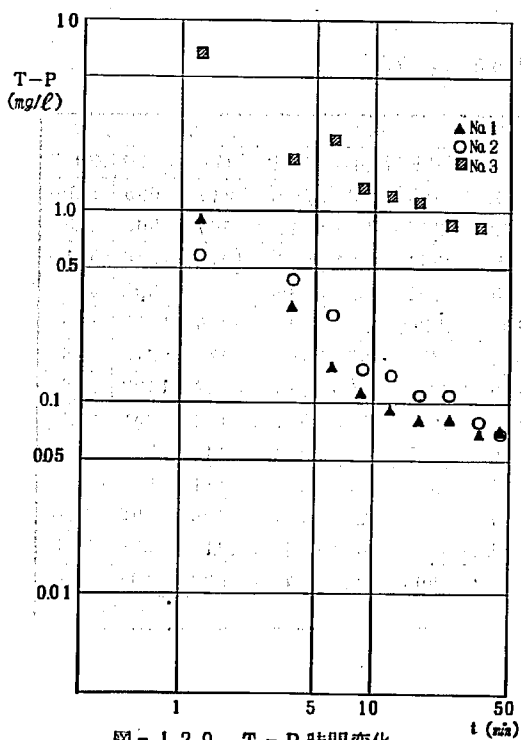


図 - 1.2.9 T - P 時間変化

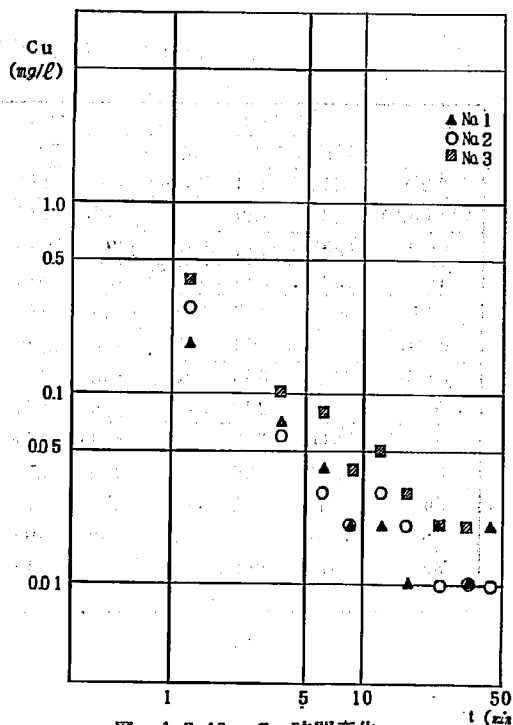


図 - 1.2.10 Cu 時間変化

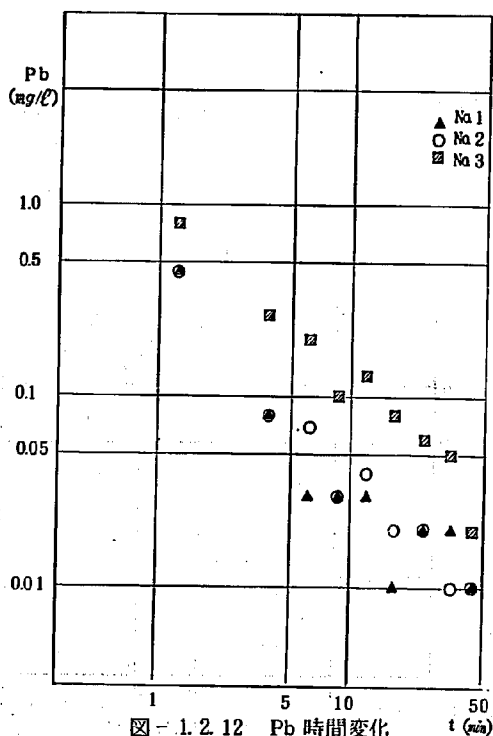
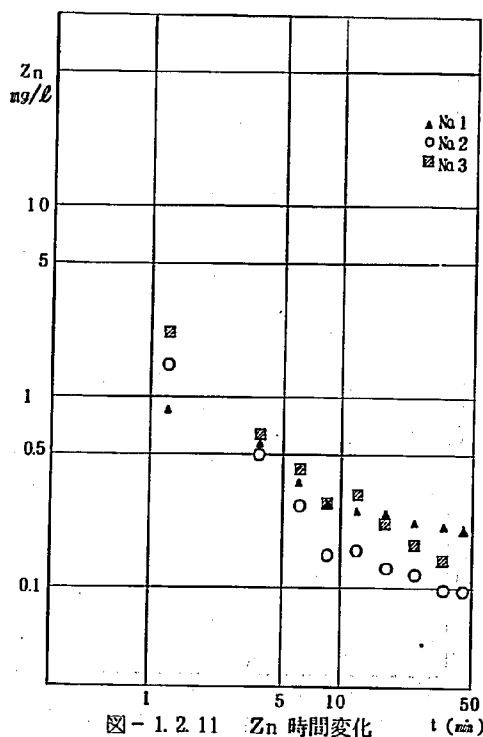


表-1.2.2 散水後40分までの流出量

地 点 項 目	No 1			No 2			No 3			平 均		
	堆積量	流出量	流出率	堆積量	流出量	流出率	堆積量	流出量	流出率	堆積量	流出量	流出率
BOD	517	404	78.1%	429	274	63.9%	1488	1137	76.4%	811	605	74.6%
溶解性BOD	449	380	84.6	275	236	85.8	977	889	91.0	567	502	88.5
COD	1287	753	58.5	1771	653	36.9	2864	1624	56.7	1974	1010	51.1
TOC	539	336	62.3	558	212	38.0	391	327	83.6	496	292	58.9
SS	5666	892	15.7	6977	971	13.9	12408	2372	19.1	8350	1411	16.9
T-N	178	130	73.0	190	109	57.4	752	573	76.2	373	270	72.4
T-P	1143	335	29.3	2745	353	12.9	11110	3486	31.4	4999	1428	28.6
Ca ²⁺	274	239	87.2	210	171	81.4	910	762	83.7	465	388	83.4
SO ₄ ²⁻	51.6	3.20	6.20	4.31	2.97	6.89	3.77	3.22	8.54	4.41	3.16	71.7
Pb	283	120	42.4	435	1.11	25.5	5.74	3.27	57.0	4.31	1.86	43.2
Cu	1.74	0.72	41.4	3.00	0.74	24.7	5.05	1.25	24.7	3.26	0.90	27.6
Zn	1329	695	52.7	2032	5.03	24.8	35.84	8.54	23.8	23.15	6.84	29.5
Mn	5.06	2.08	41.1	2.00	1.18	59.0	8.94	2.47	27.6	5.33	1.91	35.8

単位 ng / ml

1-2-2 米国における研究成果

米国では路面の凍結防止剤を散布しており、この薬剤が雨天時に公共用水域に流出して水質汚濁の問題をおこしたこともあって、路面排水の水質に関する研究はかなり進んでいる。

ここでは1972年に、EPAの援助で行なわれた、路面における汚濁負荷の堆積および流出に関する調査結果を紹介しておく。

この調査は、雨天時における都市域からの流出水が放流水域にどのくらいのインパクトを与えているか調査し、適切な対策を検討するために行なわれたものである。

調査結果にもとづいて得られた結論を列挙すると以下のようになる。

1. 「路面排水は、一般にかなり汚染されている。」

事実、路面排水は多くの点で汚水と類似している。米国の典型的な都市を考えてつくった仮想都市における計算では、通常あるいはそれより強い降雨（ピーク降雨強度が0.5 in./hr (12.7mm/hr) 以上）のとき、初めの1時間における降雨流出水は、表-1.23に見られるよう、同じ時間内の汚水に比較してかなり高い汚濁負荷をもっていることがわかった。

表-1.23 仮想都市の放流水域に流入する汚濁負荷量

	路面排水 (1時間降雨) (lb/hr)	生下水 (lb/hr)	二次処理水 (lb/hr)
沈殿物+SS	560,000	1,300	130
BOD ₅	5,600	1,100	110
COD	13,000	1,200	120
T-N	880	210	20
T-P	440	50	2.5
一般細菌(個/hr)	4000×10^{10}	$460,000 \times 10^{10}$	4.6×10^{10}

(注) lb/hr $\div$ 0.4536 kg/hr

この仮想都市は次のようになっている。

人口 100,000 人

総面積 14,000 エーカー (約 57 km²)

土地利用

住居地域 75 %

商業地域 5 %

工業地域 20 %

道路(流域内) - 緑石延長400マイル(約644km)

汚水量 12×10^8 gal/day (約45420 m³/day)

表-1.23の計算では、道路は(清掃あるいは降雨によって)平均5日に1度の割合できれいにされている、という条件で行なわれた。ということは、表に示されたような汚染水の流出は1年間では何回も起るであろうことが考えられる。この結果から、路面排水は、とくに放流水面の流量が小さいときや、

あまり拡散が期待できないときは、放流水面の水質汚濁源として真剣に考えられねばならない。

2 「路面堆積負荷の大部分は無機物である。それは砂またはシルトに似た鉱物のようなものである。」

無機物の大部分は付近の大地から、風に飛ばされたり、洗い流されたり、物にくっついて運ばれてきたものであり、これ自身はそれほど大きな水質汚濁源ではない。しかし、この無機物とともに、割合としては小さいが有機物が運ばれてくる。一つの場所をみた場合、路面清掃からの日数が経つにつれて、両者（無機物と有機物）ともに負荷密度（lb/curb mile）が大きくなるが、有機物のほうが無機物よりも速く堆積するというデータが得られている。しかしながら、ここで問題にしているような期間（数日から数週間）では、依然として有機物は無機物にくらべて非常に少ない。

路面にある汚濁物質の種類と量は表-1.2.4のような結果である。この表は試験地の加重平均をとったものである。表から路面上については総量として分析されたが、重金属はその化学的な構造によっては、生態系に重大な影響を及ぼすので、EPAではこれらの化学構造についてさらに詳細な研究を試みている。

有機系の殺虫剤・農薬も検出されているが、このような物質の環境に与える影響がどの程度のものか、いまだ確証をもって論じることができないので、ここではあえて論じることとはさける。

3 「一定の場所における汚濁物質量は、その場所が清掃あるいは降雨によってきれいになされたときからの経過日数に左右される。」

サンプリングは路面の汚濁物質の収集に焦点をおき、時間の経過とともに堆積量がどのように変化するかを積極的に調査したわけではない。しかし、各試験地からの情報で堆積速度を算定することができ、時間と負荷密度との関係が明らかになった。この関係を土地利用別に図示すると図-1.2.13のようになる。

4 「路面上の汚濁物質量は、各種の因子によって左右され、かなりバラツキが見られた。」

試験地の総平均は1400lb/curb mileであり、土地利用別の負荷密度の結果を表1.2.5に示す。

負荷密度に関与する主な因子は次のようなものである：付近の土地利用、清掃あるいは降雨からの経過時間、交通量とその特性、路面形状と状態、公共サービス（清掃、ゴミ回収等）の実施状況、季節、等々。

表-1.2.4 路面上の汚濁物質

測定項目	加重平均 (lb/curb mile)
TS	1400
BOD ₅	13.5
COD	95
VS	100
栄養塩類	
T - P	1.1
硝酸塩	0.94
T - N	2.2
細菌類	
一般細菌(個/curb mile)	99×10^9
大腸菌(個/curb mile)	5.6×10^9
重金属	
Zn	0.65
Cu	0.20
Pb	0.57
Ni	0.05
Hg	0.073
Cr	0.11
農薬・殺虫剤	
P,P - DDD	67×10^{-6}
P,P - DDT	61×10^{-6}
Dieldrin	24×10^{-6}
PCB	1100×10^{-6}

(注) lb/curb mile $\approx$ 0.282 kg/km

5. 「この調査の重要な発見の一つは、すべての汚濁ポテンシャルの大部分が路面上の汚濁物質に含まれる微粒子に関係している、ということであろう。」

表-1.2.6に見られるように、 43μ より小さい微粒子は全体の5.9%にすぎないが、酸素要求量は全体の1/4、栄養塩類は全体の1/4から1/3を占めている。そしてさらに重金属の1/2、殺虫剤・農薬の3/4を占めている。

6. 「CODは酸素要求量を推定するのによい方法である。」

路面堆積物中にはかなりの有害物質が含まれており、とくに重金属はBODテストにかなりの妨害を及ぼすと思われる。

7. 「路面堆積物は道路横断方向に一様に分布しているのではない。」

典型的な道路における負荷密度の横断分布は図-1.2.14のようになる。総負荷量の78%は縁石から6inのところであり、40inのところまででは95%にもなる。これは多分、車などによって直接道路縁に飛ばされたり、空気流によって飛ばされるためであろう。

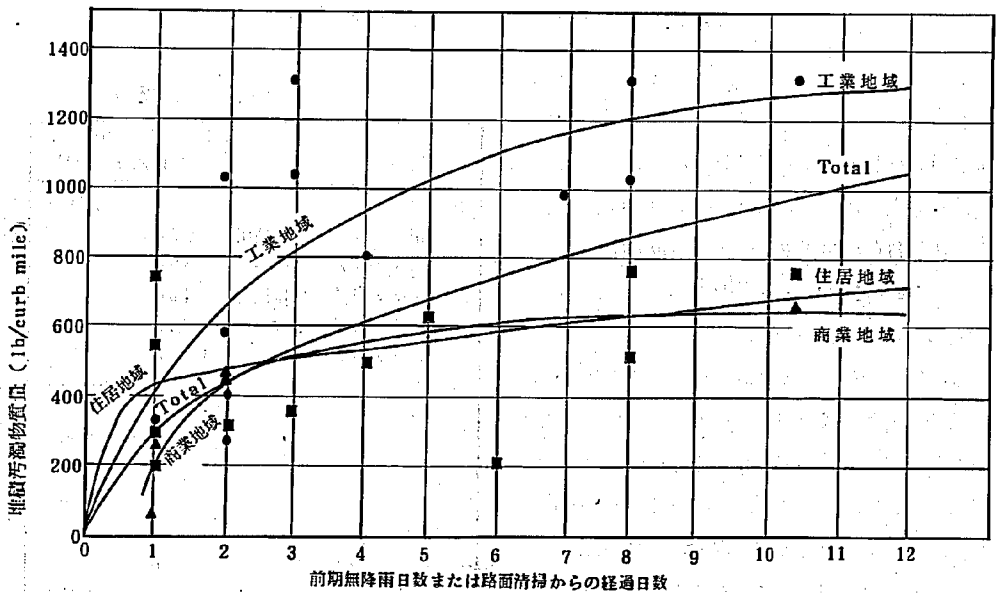


図-1.2.13 汚濁物質堆積速度

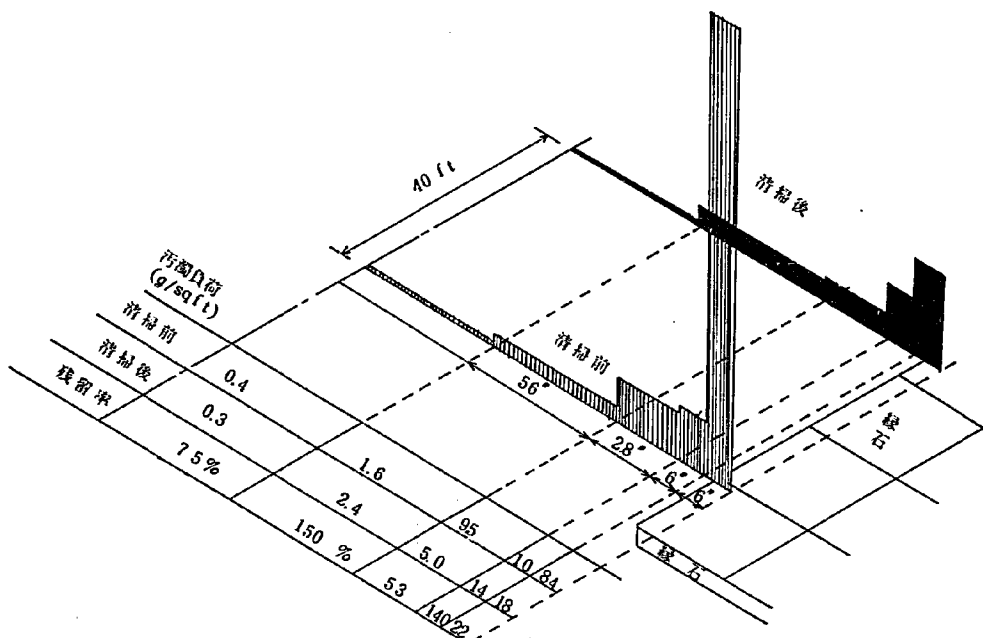


図-1.2.14 清掃前後の路面負荷の横断分布

8 「降雨によって汚濁物質が路面から洗い流される速さは3つの主因子による。降雨強度、路面特性、粒径の3つの因子である。」

一連の実験から得られたデータを分析したところ、汚濁負荷流出現象は簡単な指数方程式

$$N_e = N_0 (1 - e^{-krt})$$

で表わせることがわかった。

N_e は、最初 N_0 の負荷量をもっていた一定の粒径の粒子が、降雨強度 r in/hr の雨が t 分間降ったときに流出した負荷量である。比例定数 k (hr/in.min) は路面特性によるが、 $10 \sim 1000 \mu$ の粒子に対してはほとんど一定となっていた。

路面特性は負荷流出にかなりの影響を及ぼし、例えばアスファルト舗装の場合は、コンクリート

舗装に比べて、80%も大きな負荷流出があった。また路面状態も重要な因子で、良好な状態の路面にくらべて、悪い管理状態の路面は2.5倍もの負荷流出があった。

9 「現在の路面清掃作業は、路面の美観を保つことが主目的であり、かなり綿密なプログラムによって行なわれているが、汚濁物質を除去する点ではあまり大きな効果はない。」

路面清掃による汚濁負荷除去効率は、汚濁粒子の粒径によってかなり差があり、表-1.2.7 のようであった。

表-1.2.5 土地利用別汚濁負荷密度

土 地 利 用	算術平均 加重平均 (lb/curb mile)
住居地域	1,200
低密度/古/一個建住宅	850
低密度/古/集合住宅	890
中密度/新/一個建住宅	430
中密度/古/一個建住宅	1,200
中密度/古/集合住宅	1,400
工業地域	2,800
軽工業	2,600
工業	890
重工業	3,500
商業地域	290
ビジネス街	290
ショッピングセンター	290
総 平 均	1,400

10. 「路面清掃の効率を、単位面積当りの清掃機械の稼動時間と見比べてみると、汚濁負荷の除去効率を高めるためには、現在の数倍もの労力がかかる。」

表-1.28に汚濁負荷除去効率と機械の稼動時間との関係を示した結果を掲げる。

11. 「路面上の汚濁負荷について、路面清掃の除去効率を測定する方法が、この研究で試みられた。」

除去効率を算定する式として

$$M = M^* + (M_0 - M^*)e^{-KE}$$

が用いられた。ここでMは清掃後に残存する負荷量, M_0 は初期負荷量, Eは清掃時間(分/1000sq ft), M^* とKは定数で、清掃機械、粒子径、路面状態に左右される。

表-1.26 粒径別汚濁負荷構成比

粒径別構成比(重量%)			
	<43 μ	43 μ ~246 μ	>246 μ
T-S	5.9	37.5	56.5
BOD ₅	24.3	32.5	43.2
COD	22.7	57.4	19.9
VS	25.6	34.0	40.4
T-P	56.2	36.0	7.8
硝酸塩	31.9	45.1	23.0
T-N	18.7	39.8	41.5
重金属	51.2		48.7
農薬殺虫剤	73		27
PCB	34		66

1-2-3 考察

降雨によって路面から流出してくる汚濁負荷量の流出速度が、残存している負荷量に比例すると考えると、流出現象を表わす方程式は

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad (1)$$

N: 残存負荷量

k: 比例定数

となるが、さらに降雨強度 r (mm/hr) にも比例すると考えると(1)式は

$$\frac{dN}{dt} = -krN \quad (2)$$

と書き換えられる。(2)式より r が t に関して一定とすると

$$N = N_0 e^{-krt} \quad (3)$$

N_0 : 初期堆積負荷量

となり、この間に流出した負荷量 N_c は

$$N_c = N_0 (1 - e^{-krt}) \quad (4)$$

で表わされる。

図-1.215は、谷端川流域で行なった実験結果から、BOD₅について縦軸に残存率 N/N_0 、横軸に時間をとったものである。(3)式より

$$\log N/N_0 = -krt \quad (5)$$

であるから、グラフから $-kr$ を読みとれる。すると N_1 , N_2 , N_3 地点の kr は各々 0.615, 0.5, 1.05 (1/hr) となった。みかけの降雨強度 r は、 N_1 と N_3 地点については 35 mm/hr, N_2 地点は 30 mm/hr であるから、 N_1 , N_2 , N_3 各地点の k は、それぞれ 293×10^{-4} , 278×10^{-4} , 5.0×10^{-4}

hr/mm・min となった。

米国の実験ではkについて $24 \times 10^{-4} \sim 8.0 \times 10^{-4}$ [hr/mm・min] という結果が得られており、同じような汚濁負荷流出特性をもっていることがわかった。

さいごに路面の負荷密度の点では、谷端川の3地点の平均が $243 \text{ BOD}_5 \text{ g/curb m}$ であるのに対し、米国の調査では $38 \text{ BOD}_5 \text{ g/curbm}$ となつて米国のほうが1.5倍の負荷密度をもっている。なお谷端川流域の道路率を15%と考えると谷端川全流域では $0.811 \text{ (g/m}^2\text{)} \times 5.42 \text{ (km}^2\text{)} \times 10^6 \times 0.15 = 0.66 \text{ ton}$ の BOD_5 負荷量が路面に堆積していることになる。

表-1.27 路面清掃の
粒径別除去効率

粒 径 (microns)	清掃効率 (%)
2000	79
840~2000	66
246~840	60
104~246	48
43~104	20
< 43	15
全 体	50

表-1.28 除去効率と機械稼動時間

効 率 (%)	所 要 時 間 (min/1000sqft)	必要清掃回数
95	1.5	6.3
90	0.85	3.6
70	0.50	2.1

1-3 下水管渠

下水管渠を敷設する場合、管底に沈殿物が堆積しないよう十分な勾配をとるのであるが、これが長年の間には不等沈下を起こしたり、予期せぬ程大きなゴミが管路を塞さいだりして汚濁物の堆積が生じる。このような堆積物の一部が

雨天時に流出してくることは、雨天時下水を分析してみれば明らかであり、汚濁負荷の堆積量および流出特性を把握する必要がある。以下に流出特性調査と堆積調査の概要と結果を報告する。

1-3-1 下水管内よりの汚濁流出特性調査

1) 調査概要

図-1.3.1に示す谷端川試験流域内(椎名町)に於いて、昭和49年3月12日から13日にかけて尚図に示した区間で、上流端(図中の止水堰マンホール)より注水し、下流No1採水点、No2採水点の2ヶ所で採水し、水質を分析した。

2) 調査方法

調査の具体的方法を図-1.3.2下水管内汚濁流出特性調査フローチャートに示した。図中消火栓よりの注水は、東京都水道局係官立会のもとに実施した。フローチャートについて若干の説明を加えると、

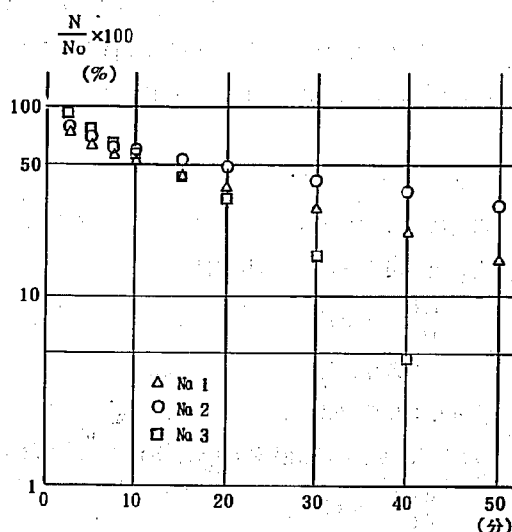


図-1.2.15 BOD_5 の流出率

i) 準備

上流端マンホールの上蓋をとり、量水堰（30° 三角堰・含水槽）を、流れが丁度下水管に落下する位置に設置した。水槽には2台のポイントゲージを設置し、1台のポイントゲージは計画越流水深にセットし、他の1台のポイントゲージは実越流水深の追跡用に使用する事とした。水槽より消火栓位置迄は約80mあり、ホース3本を継いで注水する事にした。ここで注意した事は、消火栓のバルブを開くと最初のうち水道管内のサビ等によるニゴリが出るため、初期のうちは、実験用ホースとは別のホースを消火栓にセットし、他流域に流した。（消火栓テストの項参照）

採水準備としてはNo1 採水点、No2 採水点に採水用具、試料ビン、洗じよう水等を用意した。

ii) 消火栓テスト

東京都水道局係官立会いのもとに消火栓のバルブを開き、注水能力の試験をすると同時に水道管内のニゴリを他流域に流した。試験の結果、ほぼ計画流量を注水する事は可能であることがわかった。

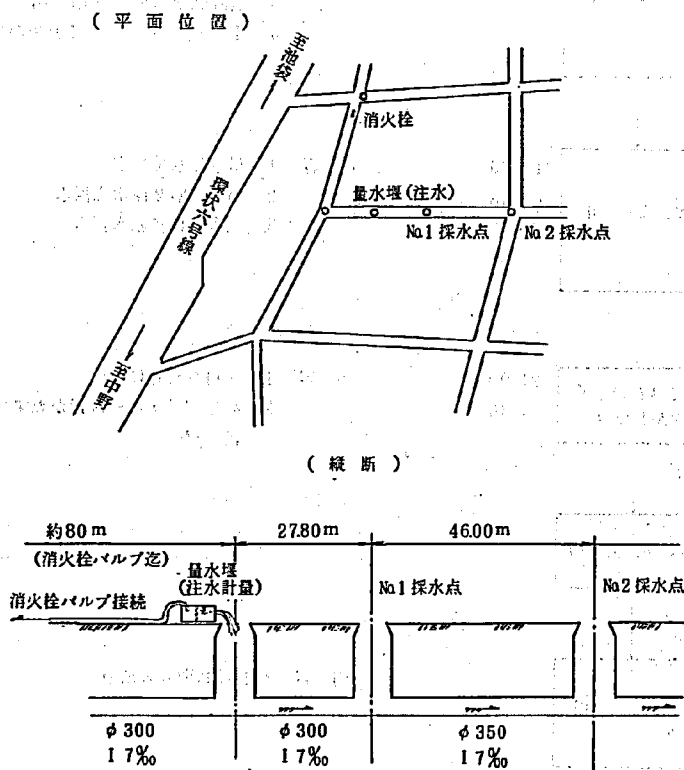


図 - 1.3.1 汚濁流出特性調査地点図

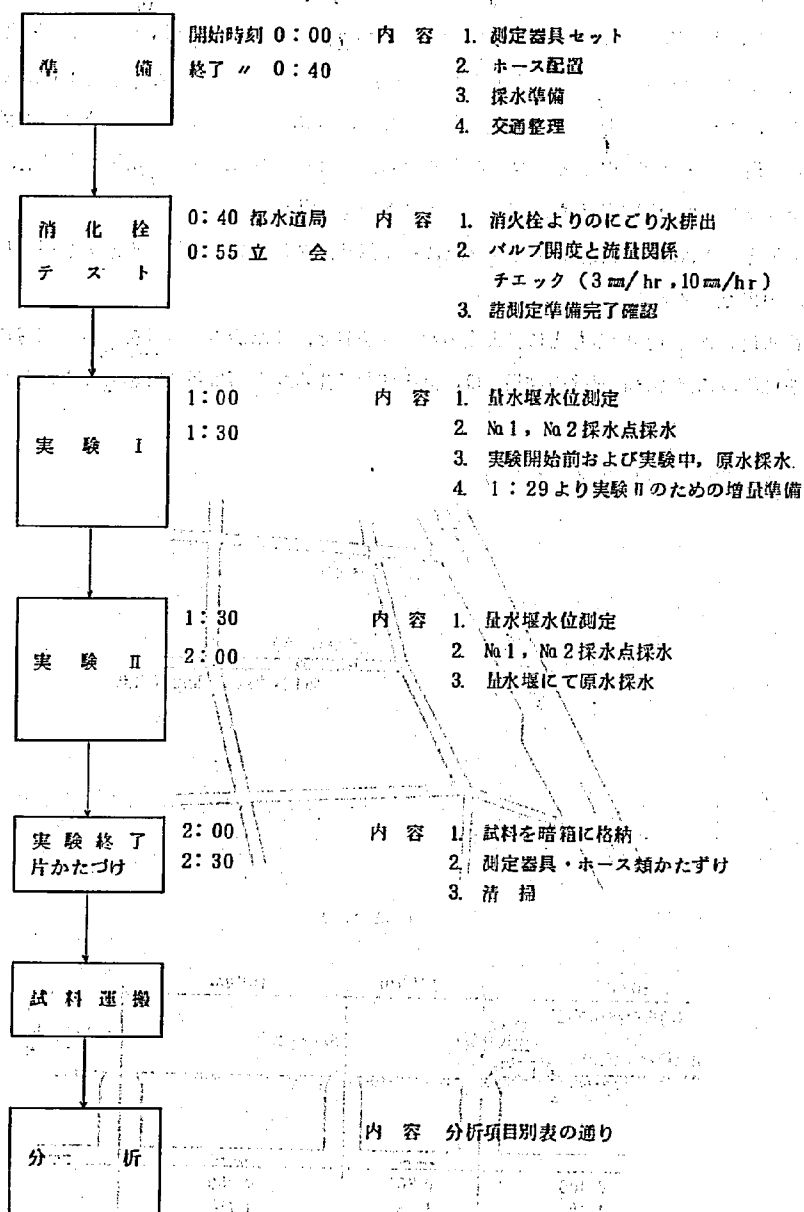


図-1.3.2 下水管内汚濁流出特性調査フローチャート

iii) 実験 I

消火栓テスト終了後、試験用ホースとつなぎかえ、実験 I 開始の準備とした。量水堰、No 1、No 2 採水点の準備 OK を再確認し、実験 I を開始した。No 1、No 2 採水点の採水開始のスタートは、注水開始と同時に上流端マンホールから、水性ペイント液、発泡スチロール片、うきを投下し、各採水点を一番先に、前記のどれかが通過した時を 0 とし、採水を開始した。従って No 1 採水点と No 2 採水点では当然採水時刻に差が出てくる。

iv) 実験 II

実験 II は実験 I に連続して実施し、実験 I の最後の採水を No 2 採水点で終了後、消火栓バルブを開き増量した。増量された水が量水堰で確認された時点で、実験 I と同様、水性ペイント液、うき等を投下し、採水点を通過した時をもって、各点の採水開始 (0) とした。

実験終了は No 2 採水点で最後の採水を終了した時点で実験終了した。

4) 調査結果

水質の分析結果については後述することとし、本項では現地試験結果について記述する。注水した流量測定結果は、表-1.3.1 量水堰 H-Q 数値表にまとめた。実験 I の場合、6 mm/hr の降雨に相当する計画注水量 2.5 l/s に対し、3.0 l/s 注水している。実験 II の場合には 20 mm/hr の降雨に相当する 8.3 l/s に対し、7.8 l/s となっている (図-1.3.3)。現地試験の場合、この程度の差は、種々の制約下で実施した場合にはさげられないと考えられ、むしろ今回の試験は成功したと評価出来よう。

採水時刻、採水量、試料 No、分析項目を一覧表にし、表-1.3.2 に採水試料一覧表に示した。実験中の要員配置、作業分担、必要器材等、今後この様な調査を計画する場合の参考になればと考え図-1.3.4 下水管内汚濁流出特性調査実施表として示した。

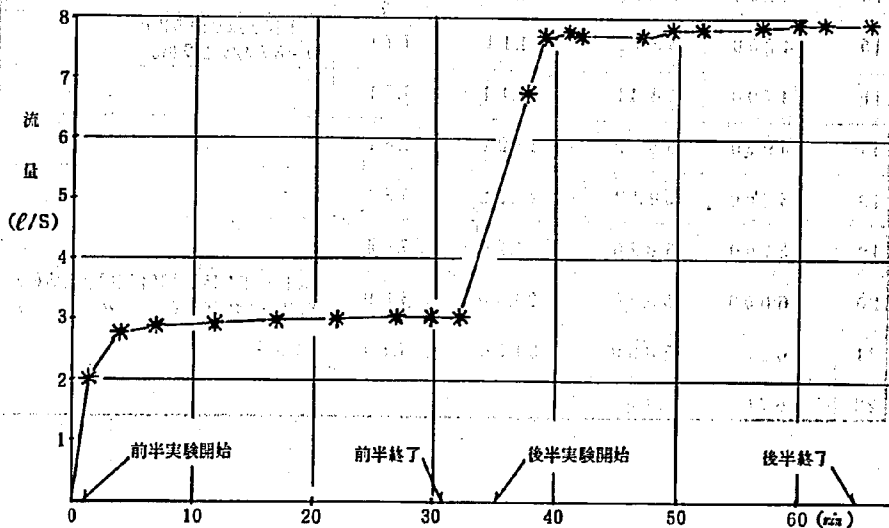


図-1.3.3 注水流量の変化

表-1.3.1 量水堰 H - Q 数値表

No	観測時刻	量水堰 P.G. 読み	量水堰 越流水深	流量	備
1	(A.M.O:23'30") 0'0"	start		ℓ/s	量水堰 P.G 基準高 37.00 cm
2	1.41	49.34	12.34	2.06	
3	4.00	51.03	14.03	2.82	原水採水
4	7.00	51.22	14.22	2.93	
5	12.00	51.34	14.34	2.97	No.1 採水点水深 3.5 cm Q=5.0ℓ/s 但し仕上げがあり信頼性なし
6	17.00	51.39	14.39	3.00	
7	22.00	51.44	14.44	3.03	
8	27.00	51.47	14.47	3.05	
9	30.00	51.48	14.48	3.06	
10	32.00	51.47	14.47	3.05	
11		54.09	17.09	4.58	増水、にぎりが出る。38分迄にぎりは続く。
12	37.30	57.14	20.14	6.78	原水採水
13	39.00	58.10	21.10	7.71	
14	41.00	58.18	21.18	7.76	
15	42.00	58.11	21.11	7.71	No.1 採水点水深 5.2 cm Q=8.7 ℓ/s と算出。
16	47.00	58.11	21.11	7.71	
17	49.30	58.22	21.22	7.81	
18	52.00	58.22	21.22	7.81	
19	57.00	58.26	21.26	7.84	
20	60.00	58.30	21.30	7.89	No.1 ... 25' 15" (第2回採水開始後) No.2 ... 24' 30" (")
21	62.00	58.30	21.30	7.89	原水採水
22	67.00	stop			

表-1.3.2 採水試料一覧表

採水時刻	量水堰地点 (原水採水)	Na 1 採水点		Na 2 採水点		分 析 項 目
		試 料 Na	採 水 量	試 料 Na	採 水 量	
(start) 0	原水 0 原水 30	1-1 Na 0 1-2 Na 0	281本 181本 " "	2-1-0 2-2-0	Na 1採水点と同量	BOD, SS, S-BOD, COD, T-N, T-P, TOC, Pb, Cu, Zn, S ²⁻ , Mn, Cl ⁻
0.5分 (")	—	1-1 Na 1 1-2 Na 1	281 181 " "	2-1-1 2-2-1	"	"
1.0分 (")	—	1-1 Na 2 1-2 Na 2	282 "	2-1-2 2-2-2	"	上記を含んで NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, Alb-N
2.0分 (")	—	1-1 Na 3 1-2 Na 3	282 "	2-1-3 2-2-3	"	"
3.0分 (")	—	1-1 Na 4 1-2 Na 4	281 181 " "	2-1-4 2-2-4	"	BOD, SS, S-BOD, COD, T-N, T-P, TOC, Pb, Cu, Zn, S ²⁻ , Mn, Cl ⁻
4.5分 (")	—	1-1 Na 5 1-2 Na 5	281 181 " "	2-1-5 2-2-5	"	"
7.0分 (")	—	1-1 Na 6 1-2 Na 6	281 181 " "	2-1-6 2-2-6	"	BOD, SS, S-BOD, COD
10.0分 (")	—	1-1 Na 7 1-2 Na 7	282 "	2-1-7 2-2-7	"	BOD, SS, S-BOD, COD, T-N, T-P, TOC, Pb, Cu, Zn, S ²⁻ , Mn, Cl ⁻ , NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, Alb-N
15.0分 (")	—	1-1 Na 8 1-2 Na 8	281 181 " "	2-1-8 2-2-8	"	BOD, SS, S-BOD, COD
20.0分 (")	—	1-1 Na 9 1-2 Na 9	281 181 " "	2-1-9 2-2-9	"	BOD, SS, S-BOD, COD, T-N, T-P, TOC, Pb, Cu, Zn, S ²⁻ , Mn, Cl ⁻
30.0分 (")	原水 60	1-1 Na 10 1-2 Na 10	281 181 " "	2-1-10 2-2-10	"	BOD, SS, S-BOD, COD
合 計	検体数 3	検体数 22	総量 2828本 1816本	検体数 22	総量 2828本 1816本	

注. 原水の分析項目, Pb, Cu, Zn, Mn, Cl⁻の5項目とする。

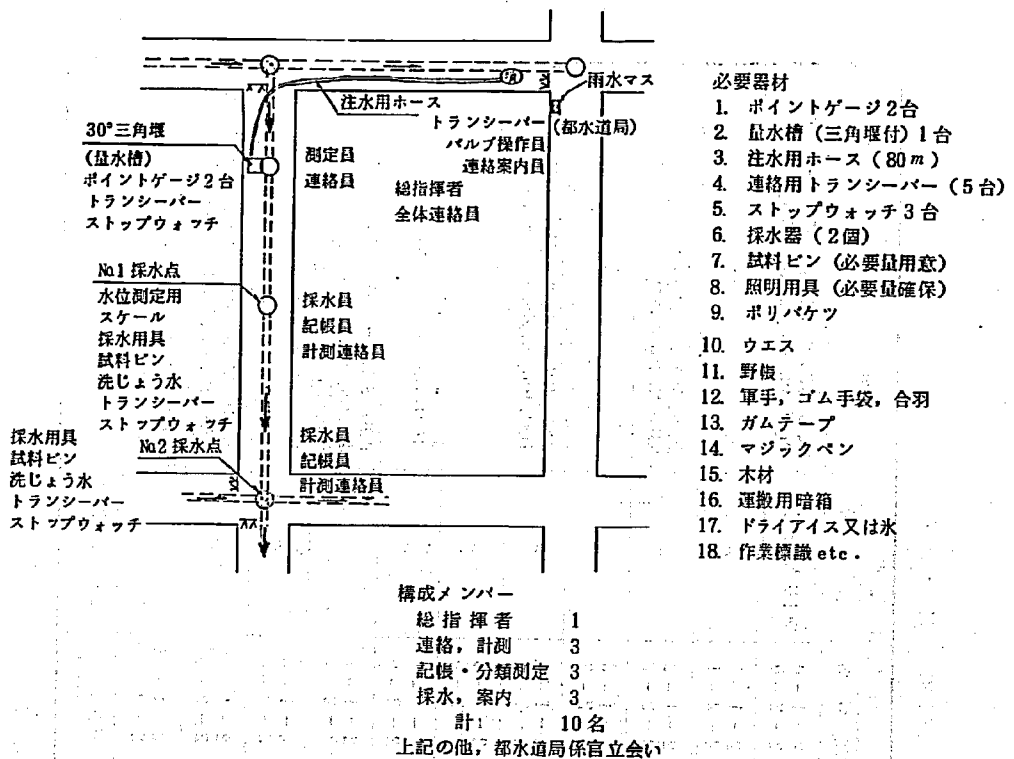
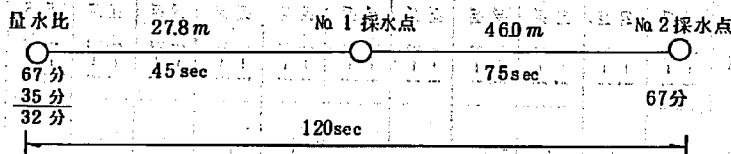


図-1.3.4. 下水管内汚濁排出特性調査実施表

尚概略であるが量水比地点のマンホールからNo 2採水点までの流下時間は以下の通りである。



次に水質分析結果の一覧表を表-1.3.3に示す。No 0は、注水前の下水管内の水を採水したものであるが、流量が少ないため採水時に管底の汚物が入り、異常に汚ないというわけで解析の対象からはずした。また、No 1地点とNo 2地点での水質の時間変化をみると、No 2地点の方がなかなかきれいにならなかった。流量を増やした際に、No 1地点ではさほど水質の悪化が認められないが、これは丁度No 1地点に管径の1/4程度の堆積物があり、これが流量を増加するまで流れ切れずに除々に流れたためであろう。

図-1.3.5 ~10に各水質項目の時間変化を示した。BOD₅をみると、No 1地点では、最初の1分程度で流れ易い成分が流れ去ってしまったためか、あとは除々に時間の0.5乗に反比例して減少する。No 2

表-1.3.3 水質分析結果一覽表

(単位: mg/L)

分析項目	BOD ₅	S-BOD	COD	SS	T-N	アルブミ ノイド-N	Org-N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	TOC	Pb	Cu	Zn	Mn	S ²⁻	Cl-
地点No																		
実験1-1 0	97200	38530	25545	412	181.62			105.15			29.14	388.2	0.06	0.11	0.18	0.29	3.14	148.5
1	87200	30194	126.75	293	50.32			21.51			8.08	166.5	0.11	0.10	0.21	0.28	0.76	64.1
2	147.36	38.42	5490	107	16.78	4.98	1258	3.20	0.06	0.94	6.52	684	0.04	0.02	0.18	0.13	0.31	24.5
3	7.94	2.94	17.12	26	4.33	1.35	2.13	0.99	0.05	1.16	0.93	128	0.00	0.00	0.05	0.05	0.03	23.2
4	6.31	1.75	10.84	14	3.46			0.73			0.33	11.6	0.00	0.00	0.03	0.03	0.05	23.3
5	3.80	1.98	7.19	10	3.24			0.70			0.26	7.8	0.00	0.00	0.02	0.03	0.18	23.0
6	4.99	2.23	7.76	8	3.05			0.72			0.31	7.5					0.15	23.4
7	3.52	1.61	5.22	9	2.94	0.78	0.89	0.81	0.02	1.22	0.27	6.9	0.00	0.00	0.09	0.02	0.05	23.3
8	3.76	1.18	5.72	7				0.45				5.8						
9	3.34	1.34	5.69	6	3.24			0.51			0.26	6.2	0.00	0.00	0.01	0.02	0.09	22.3
10	3.08	1.08	4.81	4				0.48				5.4						
実験1-2 0	4.93	2.05	5.52	11	3.85			1.71			0.14	6.4	0.00	0.00	0.01	0.02	0.62	23.1
1	4.90	1.78	5.56	8	3.01			0.37			0.14	5.2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.42	22.7
2	2.82	1.04	3.62	6	2.22	0.45	0.68	0.28	0.02	1.24	0.13	3.9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.28	23.6
3	2.52	1.24	3.56	9	2.07	0.41	0.69	0.07	0.02	1.29	0.12	4.8	0.01	0.00	0.01	0.02	0.07	22.5
4	2.70	0.88	4.20	4	2.14			0.05			0.11	4.2	0.00	0.00	0.02	0.04	0.16	22.9
5	2.04	1.12	2.72	8	1.98			0.05			0.10	4.3	0.00	0.00	0.06	0.02	0.03	22.4
6	1.92	0.92	2.54	3	2.04			0.00	0.02	1.28	0.09	3.4					0.16	
7	1.85	0.84	3.31	6	1.83	0.38	0.53	0.00			0.08	2.8	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	22.4
8	2.94	1.12	2.90	4				0.08				3.6						
9	2.34	0.90	2.99	5	1.90			0.00			0.08	4.1	0.00	0.00	0.04	0.01	0.07	25.2
10	1.82	0.84	3.42	5				0.06				4.8						
実験2-1 0	38240	20536	9345	34	77.65			57.77			4.84	1023	0.00	0.00	0.04	0.02	0.29	92.4
1	76944	24342	223.94	485	105.38			77.51			13.39	194.2	0.07	0.10	0.22	0.26	1.83	62.6
2	84.65	24.91	54.93	138	10.43	2.96	5.40	3.14	0.04		1.26	36.2	0.03	0.01	0.10	0.13	0.54	29.1
3	59.35	19.35	28.52	96	6.69	1.80	2.86	1.91	0.02		1.09	19.4	0.01	0.00	0.05	0.03	0.60	24.4

表-1.3.3 水質分析結果一覧表(続き)

(単位: mg/L)

分析項目 地点No	BOD ₅	S-BOD	COD	SS	T-N	アルブミ ノイド-N	Org-N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	TOC	Pb	Cu	Zn	Mn	S ²⁻	Cl ⁻
実験2-1	4	3652	1074	1674	62	632		194			046	153	000	000	007	004	060	244
	5	2088	577	1456	54	582		184			028	108	000	000	002	001	024	231
	6	1864	684	1243	40	543	002	199			044	112					043	250
	7	977	193	822	18	441	096	153	001	145	033	91	000	000	008	001	036	242
	8	521	125	918	19			098				82						
	9	462	202	691	21	482		100			022	79	000	000	002	001	051	251
	10	791	530	741	17			121				80						
実験2-2	0	1886	542	1050	26	419		184			031	93	000	000	003	001	026	251
	1	4136	696	1894	42	400		071			018	142	011	000	002	001	023	235
	2	1652	584	1115	23	316	076	054	001	146	019	98	000	000	003	002	014	235
	3	2420	612	1033	35	284	079	023	001	124	019	86	000	000	000	004	038	233
	4	4773	916	1499	62	318		041			020	216	000	000	013	011	074	239
	5	1784	615	1062	28	294		048			019	124	004	002	004	002	008	249
	6	1697	586	1044	20	281		027			019	88					060	241
	7	774	492	694	18	253	061	025	001	126	013	82	000	000	002	001	018	229
	8	456	298	605	14			020				58						
	9	388	312	573	20	262		012			011	64	000	000	001	001	012	227
	10	402	236	478	17			026				60						
実験原水	0												000	000	000	000		230
	30												000	000	000	001		227
	40												000	000	002	000		221
	60												000	000	001	000		225

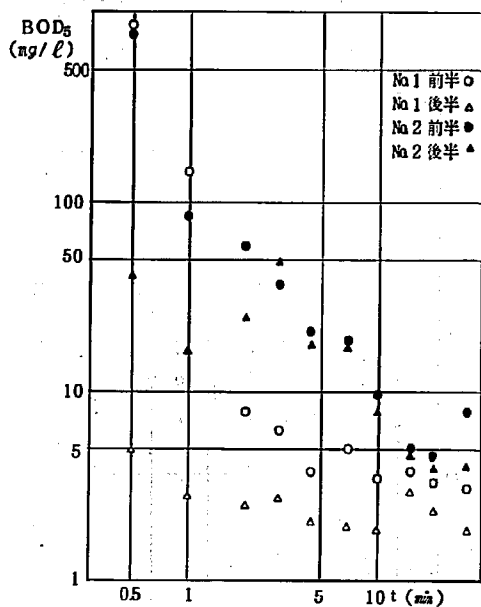


図-1.3.5 BOD_5 時間変化

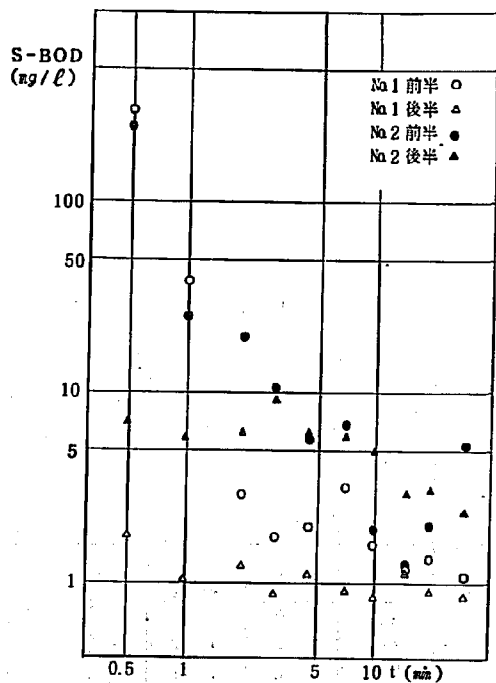


図-1.3.6 S-BOD 時間変化

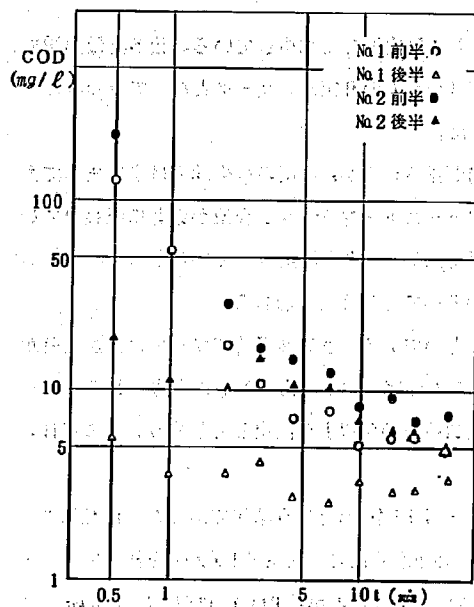


図-1.3.7 COD 時間変化

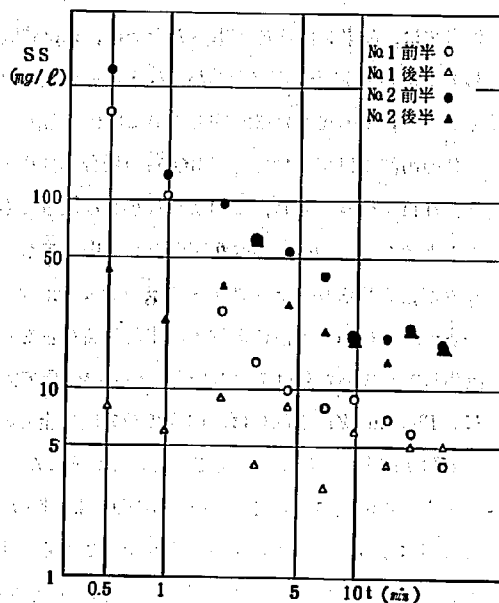


図-1.3.8 SS 時間変化

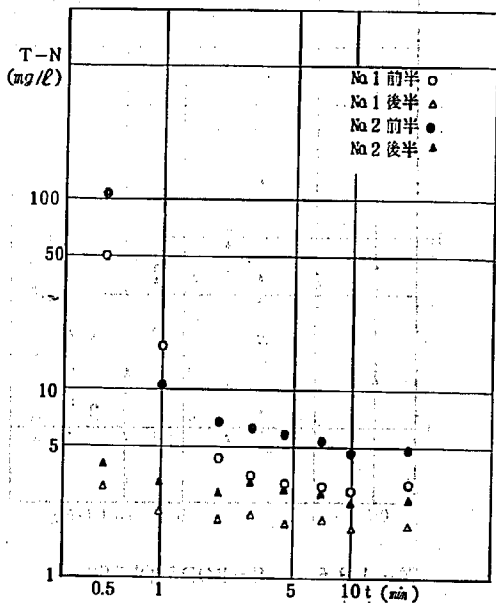


図 - 1.3.9 T - N 時間変化

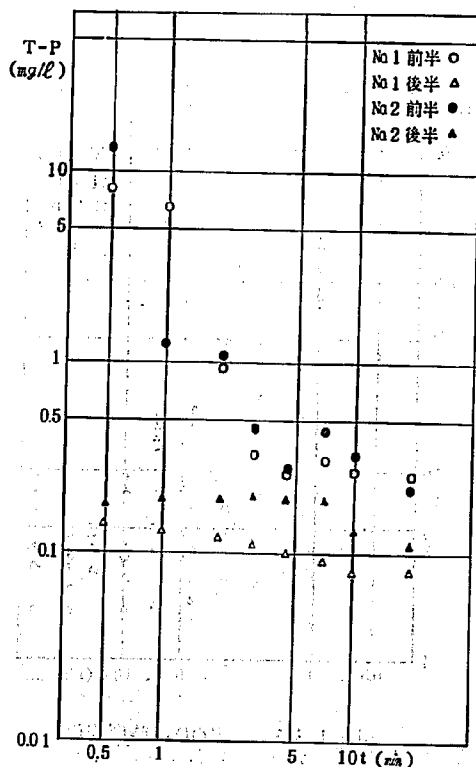


図 - 1.3.10 T - P 時間変化

地点では、前半に汚濁源があったために、ほぼ時間の1乗に反比例して減少している。後半流量が増加して堆積物を押し流し始めたのが、採水点に到達したのが4分ごろのBOD₅のピークとなって表われたのであろう。その後もほぼ時間の1乗に反比例して減少した。

他の汚濁項目についても、BOD₅の場合と同様の傾向が見られるが、濃度の減少速度はまちまちである。注目すべきことは、このような小さな流量でも、ファースト・フラッシュ現象が顕著に現われていることである。さきに述べた路面排水の場合でも、降雨初期がもっとも汚染されているという結果であったが、これらがファースト・フラッシュを形成しているのであろうと思われる。

表-1.3.4はNo.2地点における流出汚濁負荷量を示したものである。調査終了時にすべての汚濁負荷が流出してしまったわけではないが、通常の降雨で流出するものはすべて流出したと思われる。さらに、Pb, Cu, Znを除けば、前半の30分間で全ての汚濁負荷の40%以上が流出してしまう。特にNH₄-Nは77%が前半の30分間で流出してしまった。

下水管単位長当りの堆積量は、BOD₅ 4.1 g/m, T-N 1.1 g/mという結果であった。ただしこれらの値は相当バラツキがあることが予想される。BOD₅の下水管内堆積密度4.1 g/mを使って谷端川流域の400 mm以下の下水管6万mに換算すると谷端川流域の下水管内堆積BOD₅負荷量は330 kg または0.6 kg/haという値を得る。

表-1.3.4 下水管内からの流出汚濁負荷量

	前半(8時/日 30分)		後半(8時/日 30分)		合 計	単位長さ当り 負荷量 g/m
	量	比率 %	量	比率 %		
BOD	151.3	50.0	151.7	50.0	303.0	41
S-BOD	50.7	45.0	62.0	55.0	112.7	15
COD	80.6	41.7	112.8	58.3	193.4	26
SS	209.6	39.3	324.3	60.7	533.9	7.2
TOC	73.8	37.9	120.8	62.1	194.6	26
T-N	40.8	50.6	39.8	49.4	80.6	1.1
NH ₄ -N	15.7	76.9	4.7	23.1	80.4	0.28
T-P	3.4	56.3	2.0	43.7	5.4	0.073
S ²⁻	2.6	46.4	3.0	53.6	5.6	0.076
Pb	0.012	10.8	0.100	89.2	0.112	0.0015
Cu	0.012	27.3	0.032	72.7	0.044	0.00060
Zn	0.264	46.8	0.300	53.2	0.564	0.0076
Mn	0.109	32.2	0.230	67.8	0.339	0.0046

下水管長 73.8 m 単位 g

1-3-2 不良下水管内堆積物調査

下水管渠は、都市活動によって生じた下水を集水・排除するとともに、雨水を集水・排除する役割を果たす。その意味では、不良という名はいささか酷であるが、ここでいう不良というのは、本来ならば流送されるはずの汚濁物が下水管内に残留堆積していることを指している。堆積する原因としては、粗大ゴミ（木材、コンクリート破片、砂利等）が管渠を閉塞する、不等沈下あるいはビルの建造によって局所的に管渠がなめらかな勾配をとれなくなるなどが考えられる。谷端川流域は比較的勾配もきつく（平均地表勾配 14.4%）、なかなか堆積はしないであろうと考えていたが、結果は予想に反してかなりの残留物が下水管渠に堆積していた。以下調査概要から話をすすめよう。

(1) 調査概要

昭和 49 年 12 月、谷端川流域の下水管渠内の堆積物の量、質および堆積の原因について調査を行なった。調査箇所が流域に分布しており、箇所数も多かったせいもあって、調査を完了するまでに 1 カ月近くを要した。調査期間中に小さな降雨が 2、3 あったが、流域全域で見れば堆積量に大きな相異がでないだろうと判断し、調査を継続した。このような調査は、調査期間中に大きな出水を見たら、それまでの結果は降雨以降の結果と大いに異なることが予想され、調査時期についての配慮が必要である。

(2) 調査方法

調査対象区域内（谷端川流域）のマンホール 300ヶ所をアト・ランダムに選び、すべてについて接続

管径、下水管内堆積物の量および種類（ナイロン、木片、石、泥等）、質等について調査を行なった。

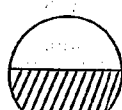
調査方法は調査地点図（調査対象マンホール明示）にもとずいて、マンホールの蓋をあげ、堆積物の有無をたしかめると同時に接続管径をスケールで測定した。堆積物の量の算出は、堆積深、長さ、幅をスケールにて計測し、体積を計算によって算出した。下水管の状態については4段階にわけ、OK、C、B、Aの記号で示した。OK、C、B、Aの判定区分は下図のとおりであり、堆積深が $3D/4$ 以上のときA、 $D/2$ から $D/4$ までがB、 $D/4$ 以下で砂利や砂、ヘドロなどが堆積しているときはCとした。



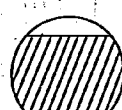
OK (良好)



C (不良)



B (重傷)



A (重体)

(3) 調査結果

調査対象300個のマンホールおよび接続管についての管内状態をまとめると表-1.3.5のとおりである。

堆積物のある下水管のうちから無作為に5箇所を選んで、堆積物の全量を取りだし、体積および重量を測定した。その結果を表-1.3.6に示す。

この結果より、スケールでの体積測定は十分正しい値を提供してくれることがわかった。

次に15箇所でサンプリングを行なったが、その分析結果を表-1.3.7に示す。調査地点毎にかなりのバラツキが見られるが、この原因は、サンプル中にかなりの砂利があることもあり、これが分析対象試

表-1.3.5 下水管内堆積物調査結果

マンホール		接続下水管	
区 分	個 数	区 分	個 数
良 好 (OK)	253	良 好 (OK)	588
不 良 (C)	34	不 良 (C)	44
重 傷 (B)	7	重 傷 (B)	12
重 体 (A)	3	重 体 (A)	2
不 明	2		
谷端川幹線マンホール	1		
計	300	計	646

料に含まれる場合とそうでない場合とで乾泥量に大きな差がでたことが最も大きいと考えられるが、その他に調査地点付近の土地利用、交通量、道路状態なども関係してく

ると思われる。

きわめてラフな計算であるが、谷端川流域には約6000個のマンホールがあり、

300個の調査で約11 m^3 の堆積物があったので全流域では約220 m^3 の堆積物がある

と推定される。5ヶ所の全量調査より1 m^3 当たり約2400 kg で、含水率が23%とす

表-1.3.6 5地点の体積および重量比較

調査マンホールNo	No 16	No 60	No 101	No 150	No 216
調査中計算にて算出した体積	0.080 m^3	0.070 m^3	0.010 m^3	0.024 m^3	0.152 m^3
全量を取り出して測定した体積	0.078 m^3	0.067 m^3	0.012 m^3	0.025 m^3	0.148 m^3
全量を取り出して測定した重量	20124 kg	14740 kg	3000 kg	6250 kg	36556 kg

⑤ 全量測定は6ℓポリバケツにて測定、重量は6ℓポリバケツに堆積物をいれヘルスメーターを使用して測定した。

表-1.3.7 試料分析結果表

地点名	BOD ₅	TOC	COD	VSS	T-N	T-P	Pb	Cu	Zn	Mn	Cd	Ni	含水率
単 位	g/kg乾泥	〃	〃	〃	〃	〃	mg/kg乾泥	〃	〃	〃	〃	〃	%
Na 4	0.47	828	3.40	62	0.36	0.32	401	308	563	420	1.5	20.2	18.9
Na 16	1.11	1003	6.25	69	0.73	1.62	308	171	1036	246	3.4	41.8	13.7
Na 40	0.91	9.31	6.02	31	0.87	1.17	366	418	948	169	2.2	27.3	16.2
Na 60	1.26	11.69	3.93	58	0.83	0.88	380	75.6	288	312	1.0	26.2	14.5
Na 95	2.31	22.32	16.93	73	2.40	1.22	138	284	597	299	1.1	42.6	19.5
Na 97	2.88	29.05	19.11	97	1.18	0.22	195	237	603	446	2.1	17.0	30.2
Na 100	0.57	4.97	2.57	27	0.27	0.26	259	323	542	398	1.3	26.3	16.9
Na 107	3.19	12.30	11.38	47	0.62	0.41	468	436	995	219	5.8	30.4	20.7
Na 118	2.76	12.90	8.40	72	1.19	0.30	95.0	88.6	428	424	3.1	10.4	21.8
Na 151	5.99	19.77	18.21	76	1.41	0.88	374	720	889	638	6.2	27.4	28.2
Na 157	4.11	23.14	18.51	64	2.01	1.95	97.4	71.2	399	193	1.2	18.3	28.4
Na 198	2.62	16.33	11.80	61	1.45	1.38	227	138	1433	194	20.0	25.4	24.5
Na 217	13.33	41.24	62.30	198	3.60	0.80	769	91.0	670	1469	2.6	56.5	49.5
Na 267	2.38	11.78	8.59	51	1.13	0.98	305	86.6	467	212	1.3	12.4	16.4
Na 288	3.00	12.60	11.29	74	1.31	0.66	157	240	617	152	1.8	14.6	25.9

ると流域全体で約400tonの残留物が堆積していると考えられる。BOD₅については約2.5g/kg乾泥であるから流域全体の管内残留物には約1tonのBOD₅しか堆積していないことになる。

なお上述2400kg/m²の値は、少し大きすぎると判断され、ヘルスメーターの精度が問題になるが、いづれにしても、砂が主成分であることは容易に想像できる。ただ次項雨水マスのそれと比してBOD₅等が小さいのが少し気になる。雨水マスの場合は、丹念に行えば全量回収が容易なのに比して、下水管の場合ほとんど不可能であり、ふわふわした有機汚泥の流失が予想される。これがBOD負荷量が小さく見積られた大きな要因と考えられる。また同よう接続管内の調査は精度に限度があり、場合によって、ほとんど不可能になる。これも1つの要因といえよう。

1-4 雨水マス

雨水マスは、地表からの雨水を下水道に取り込むために設けられている。地表の土砂が本管に流入しないように、底部に土砂だめがあり、土砂だめの深さは取付管の取付部の管底より15cm以上と定められている。常時、十分な頻度で土砂の排除が行なわれていれば問題はないのだが、実際には殆んど行なわれていない。しかも、雨水の流入により底部の土砂は容易に下水道に流入する。それ故雨水マスは、晴天時路上等からの汚物を貯めておき、雨天時に流出するという、言わば雨天時の汚濁供給源となっている。そこで堆積汚濁負荷量の測定が必要であろうと考え、昭和49年3月に谷端川流域で雨水マス内堆積汚濁負荷量調査を実施したのでその結果を報告し、考察を記すことにする。

1-4-1 雨水マス内堆積汚濁負荷量調査

東京都谷端川流域内において、雨水マス内堆積汚濁負荷量調査を実施した。調査は流域内の8プロッ

クをアト・ランダムに選び出し、そのブロック周囲の雨水マスおよびマス蓋の形状、ドロダメ内の堆積量および水質、底質について調査を行った。

1) 調査概要

図-1.4.1に見られる調査位置図の8ブロック周囲の雨水マスについて以下の調査を行った。

1. マス蓋の形状及雨水マス内法寸法
2. 堆積面の深さ(賦存量)及状況
3. 汚水4ℓ, 汚泥2ℓ 採集(1ブロックにつき)
4. 写真撮影(1ブロックあたり4枚)

調査位置の詳細および調査時期は次のとおりである。

調査位置		調査年月日
第1地点	豊島区長崎4丁目38番地	昭和49年3月18日
第2地点	豊島区長崎2丁目28番地	昭和49年3月19日
第3地点	豊島区長崎1丁目6番地	昭和49年3月25日
第4地点	豊島区要町1丁目57番地	昭和49年3月20日
第5地点	豊島区千早町2丁目13番地	昭和49年3月23日
第6地点	豊島区高松町2丁目37番地	昭和49年3月22日
第7地点	板橋区中丸町27番地	昭和49年3月21日
第8地点	豊島区池袋本町2丁目7番地	昭和49年3月25日

2) 調査方法

雨水マスをジョレン、ヒシヤク等により98%程度までかい出しその8ヶ所分をあらかじめ目盛のついたドラムカンに入れ上部上澄分は別のドラムカンにサイフォン等で入れ両者を十分攪拌して1ヶつつサンプルをとった。
上澄水は4ℓ、底質については2ℓ採集した。

3) 調査結果

調査結果をまとめたものを、表-1.4.1~4に示す。

表-1.4.4からわかるように、街区別にバラツキが大きい。一般に、雨水マス中の汚水の水質は非常に汚染されており、また底質にはかなりの重金属が含まれていることがわかる。

以上の結果から谷端川全流域での雨水マス内堆積量汚濁負荷量を計算してみると、BOD₅で約170kg TSとしては、約93tonあることになる。

図-1.4.1

調査位置図



表-1.4.1 汚水汚泥採集量表

地点名	対象雨水マス数 (ヶ所)	総汚水量 (採水量)(㎡)	総汚泥量 (採泥量)(㎡)	調査年月日
1	10	0.175	0.085	49. 3. 18
2	10	0.167	0.037	49. 3. 19
3	4	0.030	0.054	49. 3. 25
4	8	0.214	0.039	49. 3. 20
5	10	0.167	0.079	49. 3. 23
6	10	0.123	0.113	49. 3. 22
7	10	0.172	0.133	49. 3. 21
8	10	0.081	0.123	49. 3. 25

表-1.4.2 堆積面の深さ調査結果

第1地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深 さ	0.05	0.16	0.10	0.03	0.10	0.03	0.04	0.10	0.18	0.19

第2地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深 さ	0.02	0.06	0.21	0.01	0.08	0.12	0.04	0.05	0.01	0.05

第3地点

雨水マスNo	1	2	3	4						
深 さ	0.09	0.09	0.06	0.09						

第4地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8		
深 さ	0.08	0.13	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02		

第5地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深 さ	0.11	0.03	0.04	0	0	0.05	0.14	0.04	0.01	0.09

第6地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深 さ	0.04	0.04	0.04	0.16	0.08	0.08	0.07	0.10	0.03	0.02

第7地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深 さ	0.04	0.20	0.05	0.08	0.03	0.02	0.04	0.06	0.11	0.07

第8地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
深 さ	0.17	0.21	0	0.03	0.05	0.01	0.03	0.07	0.11	0.06

表-1.4.3 雨水マス構造及内法寸法一覧表

第1地点

(単位m)

雨水マス No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨水マス形状	A	H	A	H	H	A	A	H	H	A
雨水マスの深さ(h)	0.84	0.94	0.85	0.85	0.85	0.82	0.85	0.80	0.80	0.82
ドロダメの深さ(h')	0.22	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
備考										

第2地点

雨水マス No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨水マス形状	D	A	A	A	F	F	F	A	A	A
雨水マスの深さ(h)	1.01	0.85	1.16	0.76	0.52	0.57	0.52	0.70	0.84	0.87
ドロダメの深さ(h')	0.16	0.15	0.16	0.17	0.16	0.15	0.18	0.15	0.12	0.15
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.30	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20
備考								家庭排水		

第3地点

雨水マス No	1	2	3	4
雨水マス形状	A	D	D	A
雨水マスの深さ(h)	0.79	0.82	0.70	0.70
ドロダメの深さ(h')	0.15	0.16	0.15	0.08
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.20	0.20	0.20	0.20
備考				

第4地点

雨水マス No	1	2	3	4	5	6	7	8
雨水マス形状	A	A	A	C	C	C	A	A
雨水マスの深さ(h)	0.82	0.76	0.75	0.95	0.85	0.95	0.80	0.70
ドロダメの深さ(h')	0.17	0.18	0.20	0.35	0.30	0.25	0.20	0.16
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.35×0.45	0.35×0.45	0.35×0.45	0.50	0.50
取付管径(d')	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25
備考								

表-1.4.3 雨水マス構造及内法寸法一覧表 (続き)

第5地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨水マス形状	A	A	D	A	E	A	A	D	A	D
雨水マスの深さ(h)	0.72	0.58	1.11	0.72	0.72	0.70	0.99	0.90	0.76	1.04
ドロダメの深さ(h')	0.12	0.00	0.13	0.15	0.00	0.15	0.14	0.19	0.20	0.16
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.27	0.20	0.35	0.20	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.35
備考		コンクリートが流れ込んでいる。	家庭排水有							

第6地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨水マス形状	A	A	E	B	B	A	D	A	A	A
雨水マスの深さ(h)	0.75	0.75	0.54	0.70	0.72	0.72	0.70	0.75	0.74	0.62
ドロダメの深さ(h')	0.15	0.15	0.00	0.15	0.16	0.14	0.16	0.10	0.15	0.15
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.20	0.20	0.10	0.20	0.70	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
備考										

第7地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨水マス形状	D	A	A	A	G	A	A	A	A	A
雨水マスの深さ(h)	0.77	0.85	0.75	0.75	0.96	0.77	0.71	0.75	0.65	0.73
ドロダメの深さ(h')	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.15	0.20	0.20	0.20	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
備考	家庭排水有									

第8地点

雨水マスNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
雨水マス形状	A	A	E	E	A	A	A	D	A	A
雨水マスの深さ(h)	0.69	0.78	0.69	0.69	0.83	0.78	0.71	0.81	0.76	0.77
ドロダメの深さ(h')	0.16	0.14	0.00	0.00	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
底部の大きさ(d)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
取付管径(d')	0.20	0.20	0.15	0.15	0.20	0.15	0.22	0.20	0.20	0.20
備考										

表 - 1. 4. 4 分 析 結 果

項 目	地 点 名	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
	水 泥 の 別								
BOD ₅	水 質 (mg/l)	649.0	362.0	1682.0	574.0	396.0	444.0	211.0	146.0
	底 質 (g/kg乾泥)	13.54	9.56	8.57	13.03	11.47	6.85	8.42	1.76
S-BOD	水 質 (mg/l)	362.0	276.0	984.0	406.0	284.0	359.0	67.3	93.3
	底 質 (g/kg乾泥)	3.54	1.30	3.52	4.89	1.86	4.97	6.41	0.76
COD	水 質 (mg/l)	552.4	310.7	641.4	209.4	103.0	425.0	537.0	155.1
	底 質 (g/kg乾泥)	50.7	42.8	63.6	46.7	47.2	36.4	53.4	17.4
TOC	水 質 (mg/l)	482.9	380.6	813.8	305.2	297.5	396.8	422.7	185.1
	底 質 (g/kg乾泥)	69.8	45.3	72.4	38.5	42.8	52.8	69.4	26.9
SS	水 質 (mg/l)	521.0	332.0	774.0	1167.8	1120.4	460.4	561.0	164.8
	底 質 (g/kg乾泥)	(1.612) 38.0 %	(2.614) 53.8	(1.526) 34.5	(1.788) 44.1	(1.741) 42.5	(1.621) 38.3	(1.828) 45.3	(1.329) 24.8
Cl ⁻	水 質 (mg/l)	25.8	19.5	251.3	96.9	41.6	162.6	55.9	263.0
	底 質 (g/kg乾泥)	350.42	368.14	669.75	848.46	345.14	412.37	578.94	337.90
S ²⁻	水 質 (mg/l)	8.90	7.14	4.56	4.78	5.12	4.09	3.08	2.03
	底 質 (g/kg乾泥)	0.40	0.46	0.36	0.90	0.65	0.59	0.46	0.11
T-N	水 質 (mg/l)	45.24	33.48	96.15	28.64	30.43	39.00	42.19	15.51
	底 質 (g/kg乾泥)								
ケルダール-N	水 質 (mg/l)	43.72	31.09	94.38	27.53	29.15	38.11	42.05	14.35
	底 質 (g/kg乾泥)	6.28	3.94	8.12	4.02	4.09	5.18	6.05	1.94

表-1.4.4 分析結果(続き)

項-目	地-点-名 水・泥の別	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
Cd	水質 (mg/l)	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	底質(mg/kg 乾泥)	1.52	0.09	1.30	2.37	1.79	1.52	2.91	1.32
Pb	水質 (mg/l)	0.75	1.03	1.31	0.75	0.75	1.12	0.37	0.75
	底質(mg/kg 乾泥)	138.19	83.79	74.59	149.77	127.48	29.91	155.56	45.40
Cu	水質 (mg/l)	0.57	0.80	1.04	0.30	0.46	0.32	0.57	0.48
	底質(mg/kg 乾泥)	85.42	35.43	65.08	67.80	127.17	30.90	128.53	53.85
Zn	水質 (mg/l)	4.04	5.75	6.64	1.64	2.94	3.56	3.69	2.67
	底質(mg/kg 乾泥)	671.03	437.68	337.67	776.05	714.06	430.71	900.90	389.18
Mn	水質 (mg/l)	1.14	0.96	0.39	0.70	0.61	0.74	0.44	0.39
	底質(mg/kg 乾泥)	1.97.18	13.880	163.73	77.46	95.07	107.39	84.50	61.61
Fe	水質 (mg/l)	41.01	54.29	39.25	38.67	34.76	33.00	24.02	19.33
	底質(mg/kg 乾泥)	6250.00	16250.00	4570.31	4078.12	3539.06	518.750	3539.06	476.59
T-P	水質 (mg/l)								
	底質(mg/kg 乾泥)								

※ こまかいごみが濾過紙を通ったが無視した。

※※ 含水比 = $\frac{\text{水分量}}{\text{湿泥重量}} \times 100$ (—) 内数値 = $\frac{\text{湿泥重量}}{\text{乾泥重量}}$ を示す

1-4-2 雨水マスからの流出に関する考察

雨天時に雨水マスから汚濁負荷が流出してくるのかという議論があるが、この点を解明するには堆積量調査と並行して流出量調査が行なわれねばならないことは確かである。

ただこの調査は、後で述べる雨天時下水の観測中に、S・48.11.10の降雨でBOD₅にして約8 tonという非常に大きな流出汚濁負荷をキャッチしたので、流域内の汚濁負荷の堆積ポテンシャルを早急に調べたいという動機が強く働いたために行なわれたもので、出来るだけ調査箇所数を多くとったため、流出のほうの調査に手が回らなかったということもある。雨水マスへの雨水および汚濁負荷の流入機構、さらに雨水マスからの流出機構はよくわかっていないのだが、Palmer*が1949年にデトロイトで行なった調査によると、2時間半の降雨の前後の雨水マス内のBODは234 mg/lから96 mg/lに落ちていたという。以上のことを考え合わせれば、雨水マスが雨天時流出汚濁負荷の主要な補給源であることが容易に察しられるであろう。

APWAの調査**によると、雨水マスへの総流入水量と塩類(NaCl)の雨水マスからの流出率の関係は図-1.4.2のようにになっている。この図をつかって、SWMモデル***では、BODの流出率も塩類と同様と考え

$$R = 100 (1.0 - e^{-\frac{X}{1.6V}})$$

R : 流出率

X : 総流入水量

V : 降雨前の雨水マス内残存水量

を雨水マスからの汚濁負荷流出率としている。

雨水マス容量がわが国のものに比べて約10~15倍もある米国の調査結果をそのまま適用することはできないが、かなりの汚濁負荷流出が雨水から見られることは疑いの余地がないであろう。

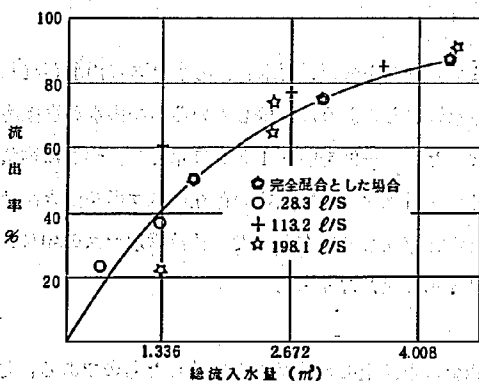


図 - 1.4.2

雨水マス流入水量と流出
塩 (NaCl) 量との関係

* Palmer, C.L., "The Pollutational Effects of Stormwater Overflows from Combined Sewers," Sewage and Industrial Wastes, February 1950

** American Public Works Association, "Water Pollution Aspects of Urban Runoff," January 1969, Federal Water Pollution Control Administration Contract WP-20-15

*** Environmental Protection Agency, "Storm Water Management Model," July 1971, EPA Contract Nos. 14-12-501, 502, 503

1-5 その他

1-5-1 汚水マス

汚水マスは、通常家庭下水を公共下水道に排水するための接続点として設けられ、私設のものと公共のものがある。汚水マスは、雨水マスと異なり、土砂だめのようなものは設けられておらず、汚水をすみやかに流し去るために底部はインバートがきられている。それ故、汚水マス内に汚物が堆積することは一般には考えられず、もし堆積していたとしても雨天時に堆積物が流出してくるためには、どこからか雨水の流入がなければならない。そこで昭和50年1月に、谷端川流域を対象として汚水マス堆積物調査、途中の接続管の堆積物調査、および雨水流入経路調査を行なった。以下その結果を報告する。

(1) 調査方法

調査は谷端川の流域をいくつかのブロックに分け（1ブロックはだいたい50軒）、そのうちの21ブロックについておこなった。調査のプロセスを図-1.5.1のようになる。調査は大別して「雨水追跡調査」と「堆積物調査」の2つに分かれる。

まず雨水追跡調査では、ブロック内にいくつの家があるか調査し、そのなかで屋根からの雨水が雨どいを通して直接汚水管または汚水マスに流入している戸数を調査した。つぎに、雨水追跡調査の結果雨水が汚水管、汚水マスに流入していると判明したものについて、汚水マス、汚水管の堆積物調査（堆積物の有無）を行なった。

(2) 調査結果

雨水追跡調査

雨水追跡調査の結果を表-1.5.1に示す。表からもわかるように1003軒のうち26%に当たる260軒の家が屋根に降った雨水を直接汚水管、汚水マスに接続していた。残りの家の多くは、道路縁のL字側溝、雨水マスおよび間地に雨どいの口を出していた。

堆積物調査

雨水追跡調査を行なった21ブロックのうち11ブロックを選び、汚水管、汚水マスに雨水が流入している箇所での堆積物調査を実施した。まず、私設汚水管がどのように接続しているかを雨水が直接汚水管、汚水マスに流入している箇所総てについて行なった。（一例を図-1.5.2に示す）。つぎに堆積物の有無をすべての汚水マスを対象に調べたのであるが、汚水マスに堆積物の存在は数ヶ所を除き認められなかった。私設の汚水管についても堆積物はほとんど存在していなかった。私設汚水マスの中に、土砂だめのあるものがあつたが、全体に対する割合は1%に満たなかった。

1-5-2 降下ばいじん

表-1.5.2は東京23区の降下ばいじん中の重金属と路上の堆積量とを比較したものである。量的な比較は当を得たものではないかも知れないがPb, Cu, Zn, Mnなどの構成比はほぼ同じであり、都市域での工場排水を除いた場合の重金属汚濁の構成を示しているものと思われる。

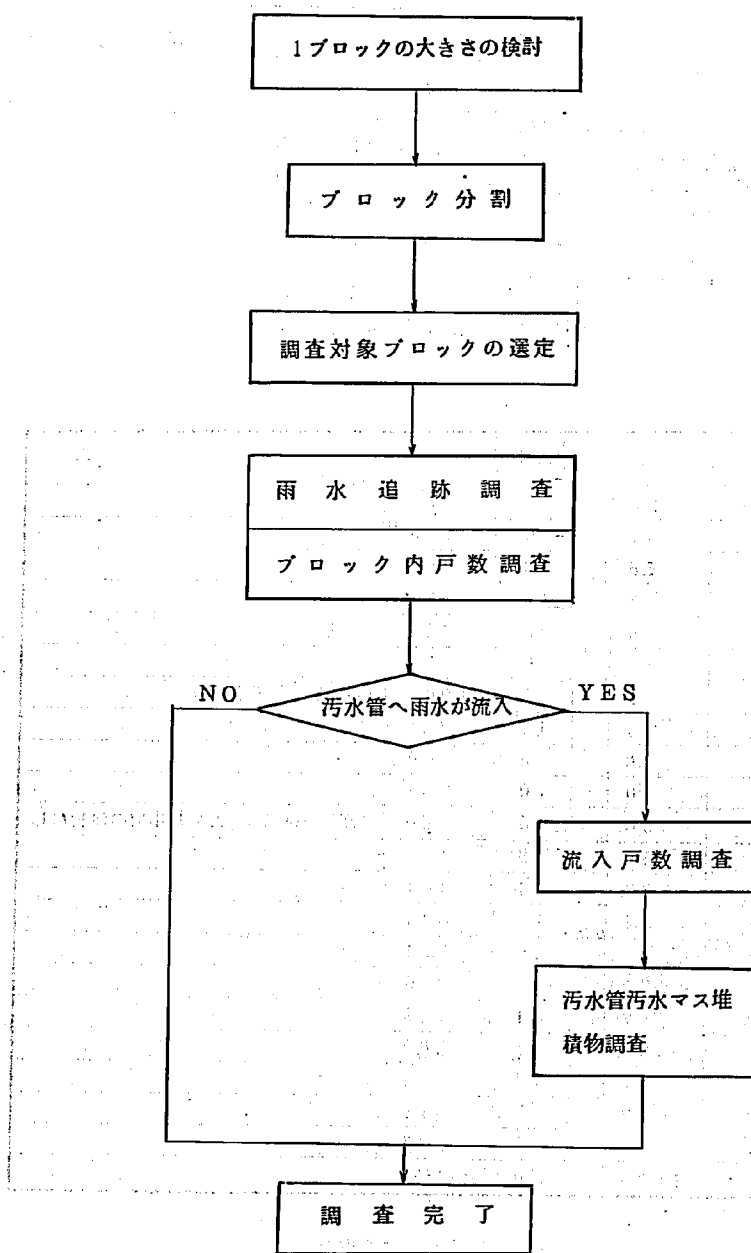


図-1.5.1 汚濁源調査作業プロセスのフロー

ブロックNo 8

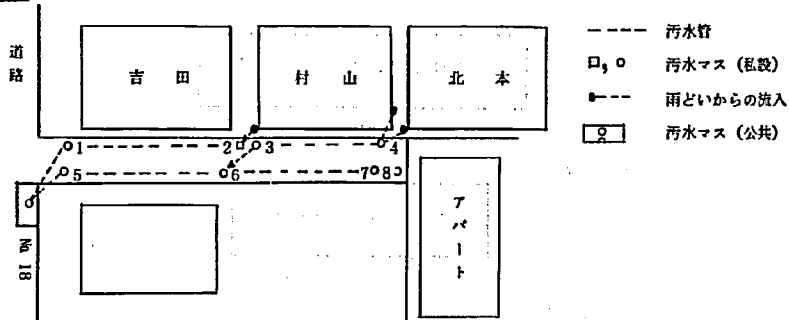


図-1.5.2 私設管接続調査例

表-1.5.1 雨水追跡調査結果

ブロックNo	軒数	污水マス 流出軒数	比率%	備考
1	23	4	17.4	
2	57	6	10.5	
3	66	13	19.7	
4	102	10	9.8	
5	15	3	20.0	
6	77	6	7.8	
7	1	1	100.0	豊島区立第五小学校
8	44	12	27.3	
10	26	6	30.0	
12	30	10	33.3	
14	30	0	0.0	高速道路工事のため約半数の建物なし
16	56	8	14.3	
18	76	14	18.4	
20	34	15	44.1	
22	42	16	38.1	
24	75	30	40.0	
26	67	51	73.9	
28	63	17	26.9	
30	37	14	37.8	
32	72	23	31.9	
34	13	1	7.7	
合計	1,003	260	平均25.9	

表-1.5.2 降下媒塵中の重金属との比較

項目	降下媒塵		路上堆積	
	量 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{月}$	比率%	量 $\mu\text{g}/\text{m}^2$	比率%
Pb	11.8	19.7	431	11.9
Cu	855	143	3.26	9.0
Zn	31.9	533	23.25	64.2
Mn	7.6	127	5.33	14.8

1-6 まとめ

以上述べてきたことをまとめてみると

(1) 谷端川排水区におけるBOD₅発生負荷密度は1.5~2.5 g/m²/日程度であり、完結した都市では見かけ上の人口膨張が起っていると考えられる。

(2) 路面排水はかなり汚染されていて、有機物のみならず、かなりの重金属を含んでいる。

(3) 路面の負荷密度は、BOD₅では0.4~1.5 g/m²であり、一回の降雨でこれが流出すると一般家庭下水よりも高い負荷強度をもつことになる。

(4) 下水管渠内に堆積している汚濁負荷は、雨天時における流出負荷の主要な汚濁源の一つであり、谷端川流域のように地形勾配が急なところでも20~30 ton/haの管内堆積物密度がある。

(5) 雨水マスは雨天時に流出してくる流出負荷の主要な汚濁源の一つであり、かなりの重金属を含んでいる。

(6) 汚水マス、私設汚水管には堆積負荷はほとんどない。

(7) 路面の重金属構成比と降下ばいじんの重金属構成比はかなり類似しており、路面堆積物の重金属源として降下ばいじんが主要な源の一つと考えられる。

(8) 谷端川流域の堆積汚濁負荷

量、家庭下水は、kg/日であり、参考 * TSとしての値までにのせた。

以上の結果をふまえて、今後の課題は、

(1) 表-1.6.1.にみられる例えば、BOD₅の負荷ポテンシャルは、後述する実測流出負荷量を相当下まわるものとなった。これまでの多くの調査が下水管内堆積物が、主力とされて来ていたし、われわれもそれを予想していたのであるが、調査結果は、それに反するものとなった。ただし実際の調査に際し、昼間に行ったため、水流もあって、サンプリングも困難であったこと、浮遊性物質の捕捉も必ずしも満足のいくものでなかったことなどもあり、再調査の必要性を感じている。

(2) 同じくBOD負荷ポテンシャルと既往実測最大排出負荷量の相違の原因として

i) 強雨の際の実測値であるため、浸透域からの寄与など通常の降雨の際とは異なる地点からの流出が予想される。

ii) マンホール300ヶ所からもれた異常堆積箇所がある(単考は一ヶ所知っている)。

iii) マンホールの調査では、パイプ内がどうしても調査もれとなる。

などが挙げられよう。これらの調査も今後必要とならう。

(3) もう一つ強調しておきたいことは、これらはすべて谷端川の結果であり、都内には、もつと厳しい設計条件の敷設地域がある。この地域へのポテンシャル調査も早急に実施し、問題の大きさを把握する必要がある。

表-1.6.1 谷端川流域汚濁源別負荷ポテンシャル

汚濁源 項目	家庭下水 (kg/日)	路面 (kg)	雨水マス (kg)	下水管(kg)	
				小管径	マンホール
BOD ₅	7940	660	770	330	1020
SS	5870	6790	92900*	580	406600*
T-N	2200	303	435	89	524
T-P	164	41		6	354

家庭下水は、kg/日であり、参考 * TSとしての値までにのせた。

(4) これまでの調査は、ポテンシャルの調査が主体をなしており、時系列的な、すなわち汚濁補給量としての把握が弱い。

今後この観点での調査も試みるべきであろう。

第2章 雨天時合流式下水道からの越流現象

合流式下水道というのは、家庭下水、工場排水などととも、雨天時には雨水も同じ管渠系統で集水・排除する下水道システムである。晴天時には、雨水は流入してこないから通常下水は終末処理場に集められ、高級処理を受けて公共用水域に放流される。しかし雨水時には雨水も流入してくるわけで全下水量を処理場に集めて処理するのは、管渠、処理場の建設を考えると不可能に近い。そのため合流式下水道システムでは、通常、晴天時時間最大流量（日平均流量の約2倍）の3倍量までの下水を処理場に送り、残りは未処理のまま雨水吐きより直接公共用水域に放流される。処理場規模は晴天時日最大流量*（日平均流量の1.2～1.5倍）で設計されているから、晴天時時間最大流量の3倍量が流入してきても、全量を高級処理出来るわけではなく、たかだか時間最大流量程度の量が高級処理され、残りは沈砂池、最初沈殿池で簡易処理を受けて放流されるので、これによる負荷流出量もばかにならない。また異常なまでの人口増のために当初設計した時間最大よりも大きくなり、事実上3倍量でなくなっているところもあり、この問題も決して小さくない。このように合流式下水道システムでは、雨天時における下水の挙動が非常に重要な関心事となってくる。

本章では、同じく谷端川排水区（5.42km²）下流端（水位計設置地点）で、雨天時および晴天時に対して行った水質調査について報告する。

2-1 調査の概況

雨天時における合流式下水道の流出量特性および汚濁負荷流出特性を把握するため、47年～49年の3ヶ年間にわたって東京都との協力のもとに、谷端川下水道排水区の下流端（雨水吐直上流）で流出下水を観測し、採水・分析を行なった。47年、48年は雨天時と晴天時とを別々に、49年は10日間連続で流出下水を採水・分析した（別途晴天時2.5日）。簡単にその経緯を説明すれば、47年は天気予報を唯一の情

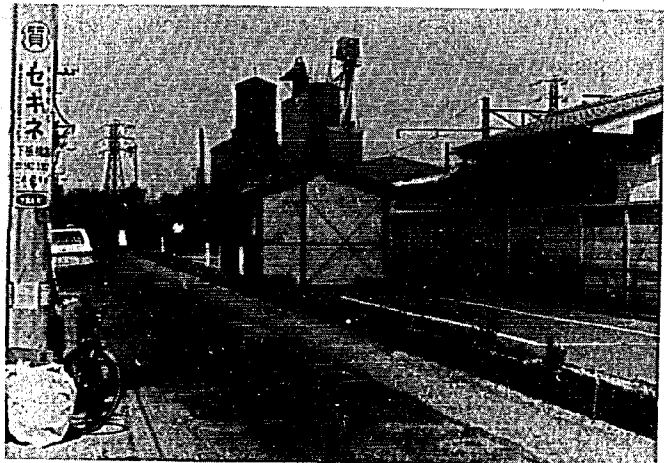


写真-1 観測小屋

* 以前は晴天时日平均流量で設計されていた。

報源として、降雨前に出勤していたが、カラブリが多かったり、また非常に小さな雨であったりしたことから、48年、49年はこのようなカラブリをなくすため、谷端川の下流幹線上にプレハブの観測小屋を設け、常駐して雨天時下水の適確な採水を試みた（48年度45日間、49年度10日間）。48年度は、雨天時および雨天後10～24時間の観測にとどめたが、49年度は、雨天後の履歴も一つの因子であることから、連続的な汚濁収支をとるべく、連続採水を行うと共に、BODの補助としてCOD、TOCの分析、重金属の晴天時および雨天時観測も追加した。採水時間間隔は、一般的に、晴天時は1時間、雨天時初期は（降雨）強度に応じて2～5分、ピークまでは5～10分、ピーク以降は10～30分、流出終了後（雨天後といういい方をする）は1～2時間程度を採用している。

2-2 雨天時汚濁負荷流出特性

雨天時の合流式下水道から流出してくる負荷量の特徴を調べるため、浮流砂量公式にならって縦軸に負荷量（g/s）、横軸に流量（m³/s）をとった両対数紙に、採水順に番号を付してプロットしてみた（付図-1～4）。先ずBOD₅負荷量と流量との関係であるが、個々にはループを示しながらある中、をもった範囲内でパラレルな関係にあることがわかる。晴天時を一応対象外にする意味でQ>1.6 m³/sとし、48年のデータにBOD₅負荷量が50 Qから150 Qの間にある観測値（プロット数）を数えてみると、全体の72%がこの中におさまる。しかしながらループの立ち上りの位置、終点の位置をみると必ずしも同じ経路をたどらない。また48年のデータと49年のデータを比較すると、同じ流出量でも48年の場合が大きな負荷量の流出をみている。晴天時についても同様に48年の方が大きい。この間に急激な人口流出があったわけでもなく、また管内の清掃が行われたわけでもないので、この原因はよくわからない。出水後半における濃度の減少は著しく、ふた山降雨の場合における後半の流出負荷量は流量が増えてもほとんど変化を示していない。これは補給源の減少が非常に早いためであろう。

次にSSの負荷量であるが、こちらのほうはほとんど流量とパラレルな関係を示している。これは物性（とくに密度）の相違、補給源として、地表面雨水マスの寄与が無視できないことからもうなずける。しかしながら、もう少し細かくみると、ふた山降雨の後半では、ループの位置は初めのにくらべて相当下にきている。BOD₅よりは補給源の減少は遅いが、それでもかなり減少するということであろう。

以上のような流出負荷量（BOD₅、SS）と流量との関係から、

$$Q_L = -\frac{dL}{dt} = K Q^n \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Q_L : 流出負荷量 (g/s)

L : 流量内（残存）負荷量 (g)

Q : 流量 (m³/s)

K, n : 定数

という関係式が成り立つと考えられ、BOD₅では $n \approx 1$ 、SSでは $n \approx 2$ という関係になる。(2.1)式から流量がわかれば流出負荷量が推定できるわけで、降雨データあるいは流量データしかない場合に流出負荷量を予測するには非常に便利な関係式と考えられる。

また上述ループ特性に対しては、次式のように考えてみる。

$$Q_L = -\frac{dL}{dt} = K' L^m \dots\dots\dots (2.2)$$

K', m : 常数

すなわち本式は $m=1$ の場合、流出負荷量（速度）は流域内残存負荷量に比例するという関係であるが、なお初期の流れやすさなどを考慮すると $m>1$ の場合もありえよう。（2.1）式が、本来十分な補給がある場合に求められた関係であること、逆に谷端川の場合には汚濁源からの補給がすぐに減少する傾向が認められること（とくにBODのループ特性に見られる）は、本式の関係の存在を示唆している。

両式を複合し、ほかに連続式も考えあわせると、

$$Q_L = -\frac{dL}{dt} = KL^m Q^n \dots\dots\dots (2.3)$$

および

$$L = L_0 + \int_0^t (\text{晴天時負荷量}) dt - \int_0^t Q_L dt \dots\dots\dots (2.4)$$

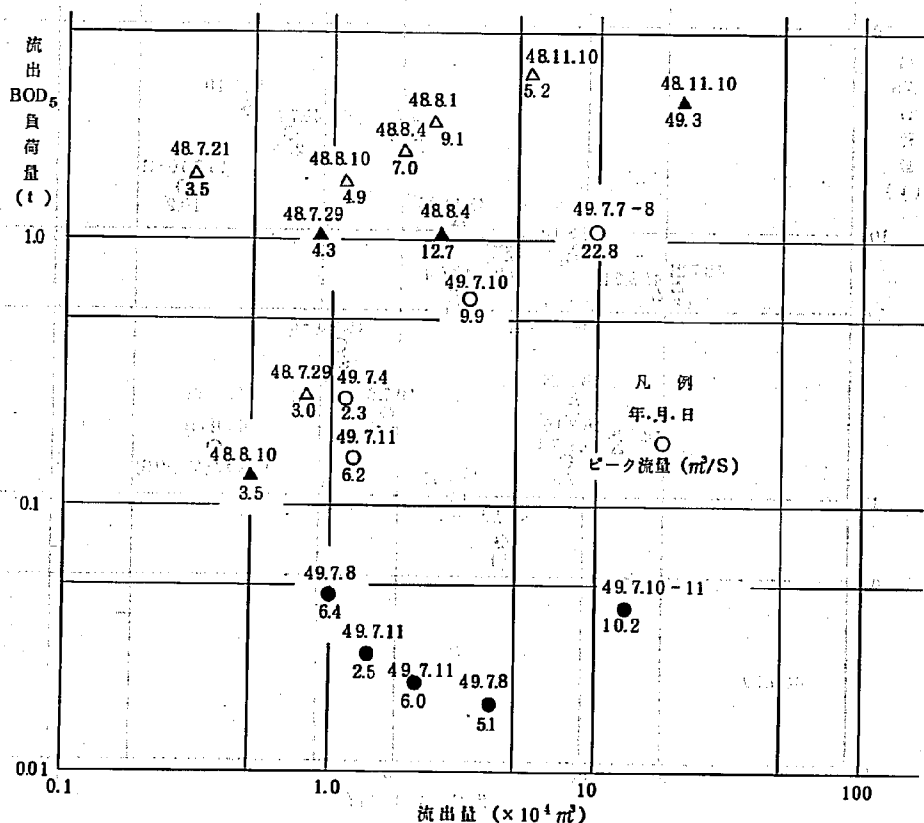
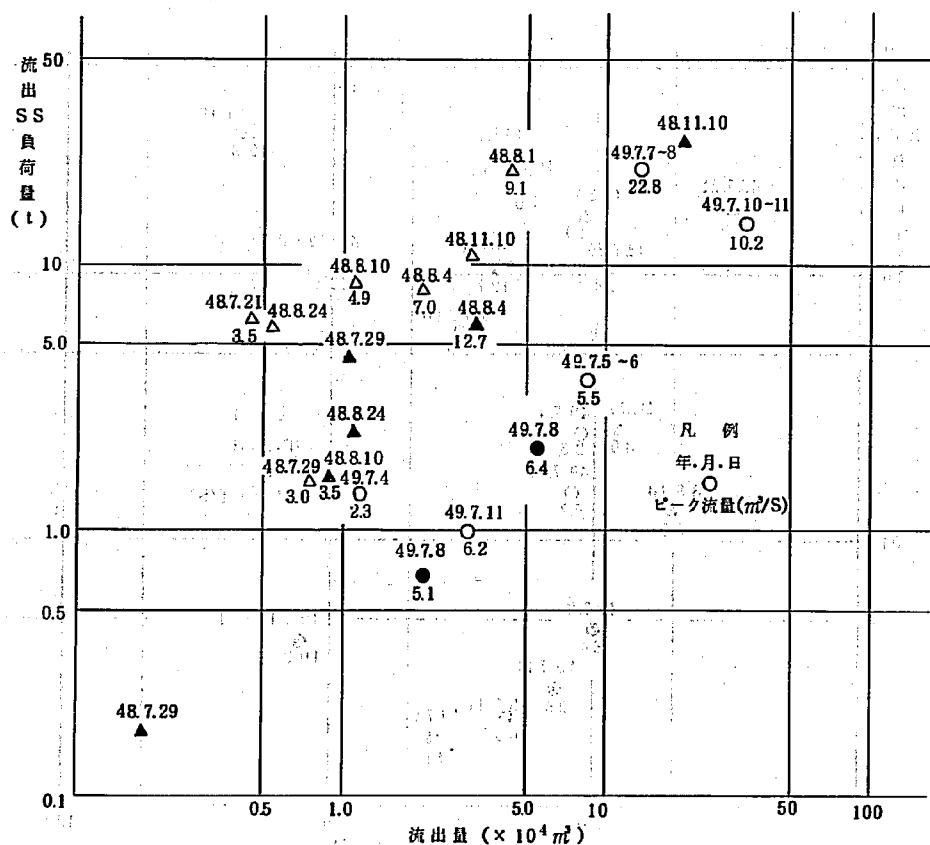


図 - 2.2.1

T-N, T-Pについては、まだ十分な検討を行っていないので何ともいえないが、とくにT-Pは雨天時の家庭での負荷発生パターンが異なっていることが予想され（例えば雨の日は洗濯しない）晴天時との比較で、雨天時流出負荷特性の把握をすることは非常に困難であると思われる。

さて、47年から49年の雨天時流出下水の負荷量時間変化を示すと付図-5～15のようになる。これによるとBOD₅については流出後半で同時刻の晴天時負荷量を下まわる流出負荷量しかでてこない。さらにふた山降雨の場合には、前半の総流出負荷量にもよるが、後半の濃度減少が著しいため流出負荷量も小さくなっている。そこで、48年、49年のデータについて、雨水による負荷量が晴天時負荷量を越えた部分いわば積極的に雨水によって動かされた部分について総負荷量を求め、その期間の流出総量（晴天時分を除く）と比較を行ってみた（図-221）。図中黒くぬりつぶしたものはふた山目の出水によるものを示している。当然のことながらふた山目は下にきているが、48年7月29日については逆転している。この原因としては、この日は日曜日であり、総流出負荷量を求める場合の基準のウィーク・ディの晴天時負荷量曲線



☒ - 2 2 2

であること、あるいは前半の流量が小さいため、ふた山目の出水で、はじめて堆積物が動かされたのではないかなどと考えられるが定かでない。SSについてもBOD₅で行なったのと同様、総流出負荷量と流出総量との比較を行なってみると(図-222)やはり同じような傾向がうかがえる。

まずBOD₅については、通常の降雨($Q < 5 \text{ 万 m}^3/\text{s} = 10 \text{ mm}$)程度では、2~3 ton(48年)、または0.6 ton以下(49年)の負荷量がでること、また48年11月10日の場合には設計程度の流量が流れて、約8 tonのBODがでていることから、これが通常考えられる上限ではないかなどが推測される。

これに比してSSは前にも指摘しているように比例特性が強い。これまでのSSの最大は48.11.10の40 tonである。しかし、48年と49年とで、同よう相当差があることも同じである。

この原因については、1つには晴天時流送負荷量の減少と関係があるのか(後述)とも考えられるが、因果関係はよくわからない。

憶測の域を出ないが、有力な要因として前述 $Q_{\text{peak}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ *が出た48年11月10日の出水(付図-6~8参照)によって、下水管内の小石、砂等の堆積要因の大半が流下除去されてしまい、それ以降下水管内堆積可能性が減少したということが考えられる。証拠はなににもないが、他に原因が考えられない現在、十分ありうることといえよう。因みに、不良下水管調査に関して、推定堆積汚濁量が過小なことを指摘したが、この調査は50年1月でありこれとも辻つまはあう。

2-3 出水後の汚濁負荷堆積回復特性

付図のポルトグラフからもわかるように、出水後の流出負荷量は晴天時のそれに比較しても小さく、これは場合によっては出水中でも起っていることもある。とくに(付図-6~8)この解釈はなかなかむづかしいが想像するに出水後の下水がきれいになっているのを見ても上流側ではすでに堆積が進行していることが推測される。

さて、図-221は出水後の堆積回復特性を調べるためS-49年の結果をもとに負荷量収支を計算したものであるが、出水後に晴天時ポルトグラフよりおちこんだ負荷が、晴天時の負荷量にもどるために要する期間は多少バラツキがあるがほぼ1~2日であり、これは概略昨年の結果にも一致する。次に出水後のおちこみ分(図ではマイナス分)の負荷量についてであるが、常識的に考えると、その間に上流側で堆積した負荷量と考えられ、この堆積した負荷量は出水によって流水した分(図ではプラス分)の負荷量と等しくなると考えられる。まず49年については、図-23.1に見るように、初期の晴天時の高まりだけ除けば、洪水中および後の収支は概略の一致を見ている。これに比べると48年度の結果(付図-6)では、雨天後のマイナスのおちこみが、雨天時流送分に比して大きいものが多い。

もちろんこの両者は必ずしも一致しなくてもよく、直前降雨によって汚濁ポテンシャルが減少したのち、堆積(ポテンシャルの補充)が完了しないうちに降雨があれば、上述のような場合も起りうるわけである。しかし、実際の降雨状況は、48年の場合無降雨期間が長かったために調査を延長したほどで、一般的には十分回復していたものと考えられ、この場合には必ずしもあたらない。

* 観測地点は元河川であるため $C = 0.8$ で設計してあり $50 \text{ m}^3/\text{s}$ は $C = 0.5$ であったらマンホールが吹いてしまう流量である。

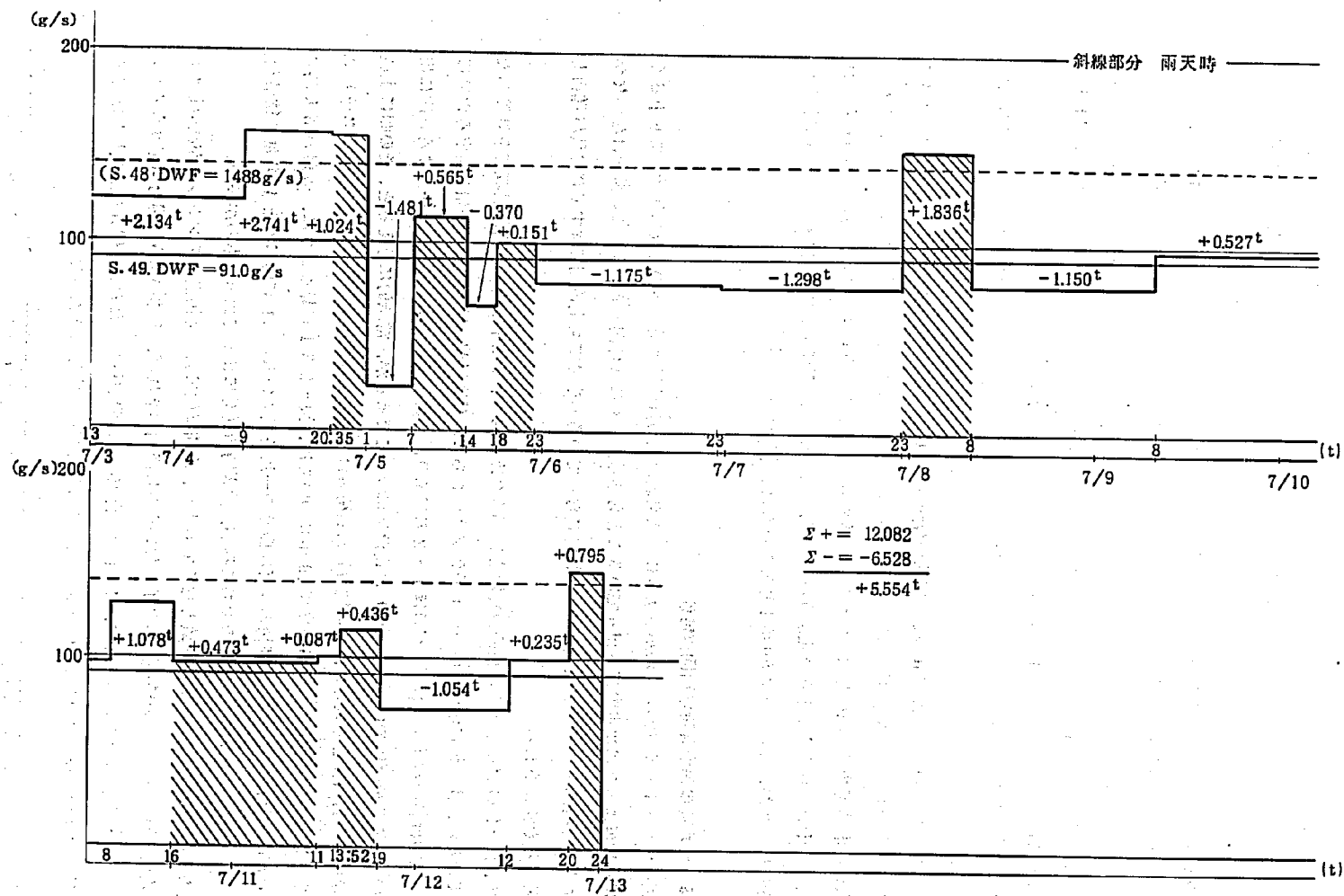


図 - 2.3.1 - S.49. 7.3 ~ 7.12 BOD 負荷量収支図

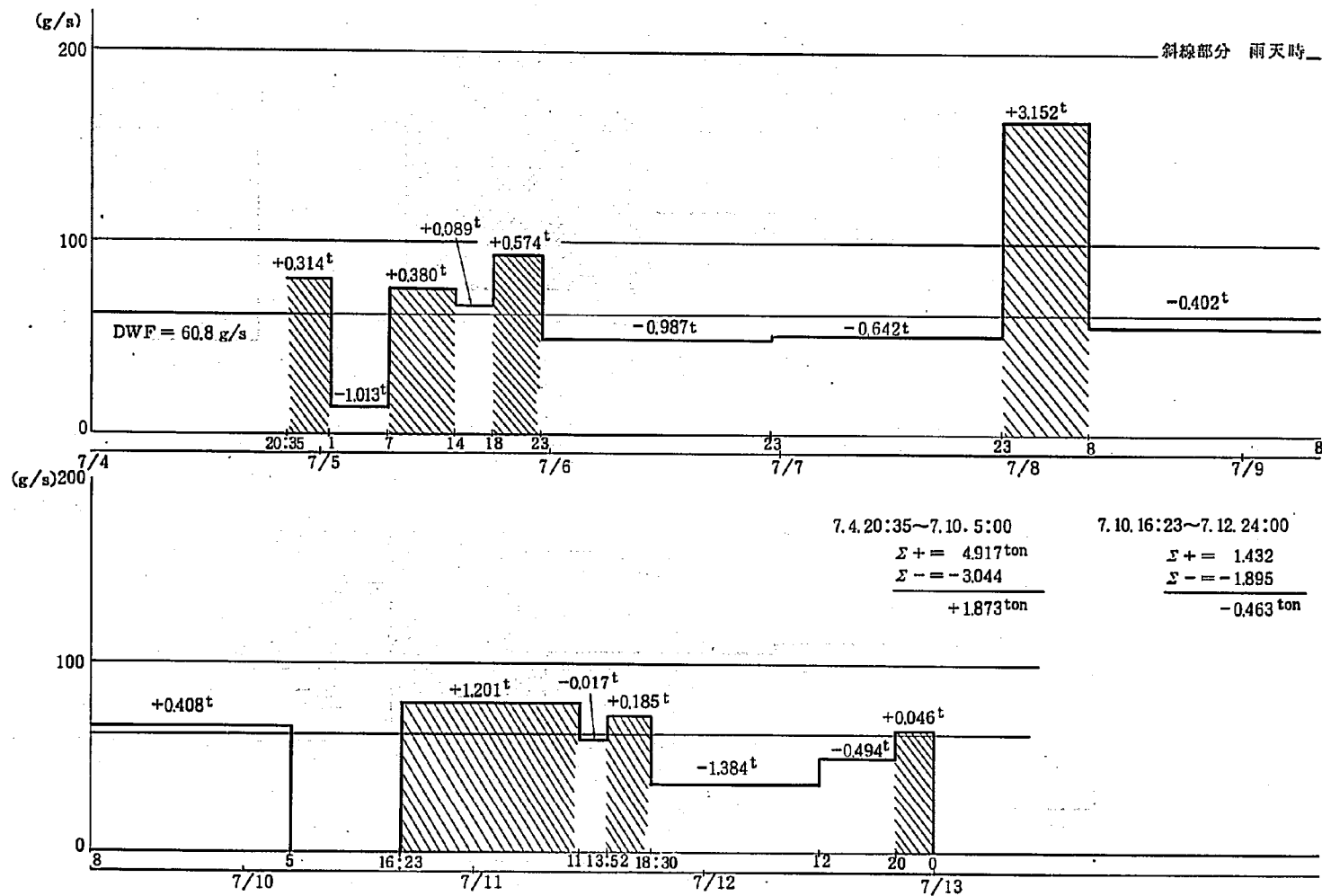


圖 - 2.3.2 S-49 7.4~7.12 COD負荷量收支圖

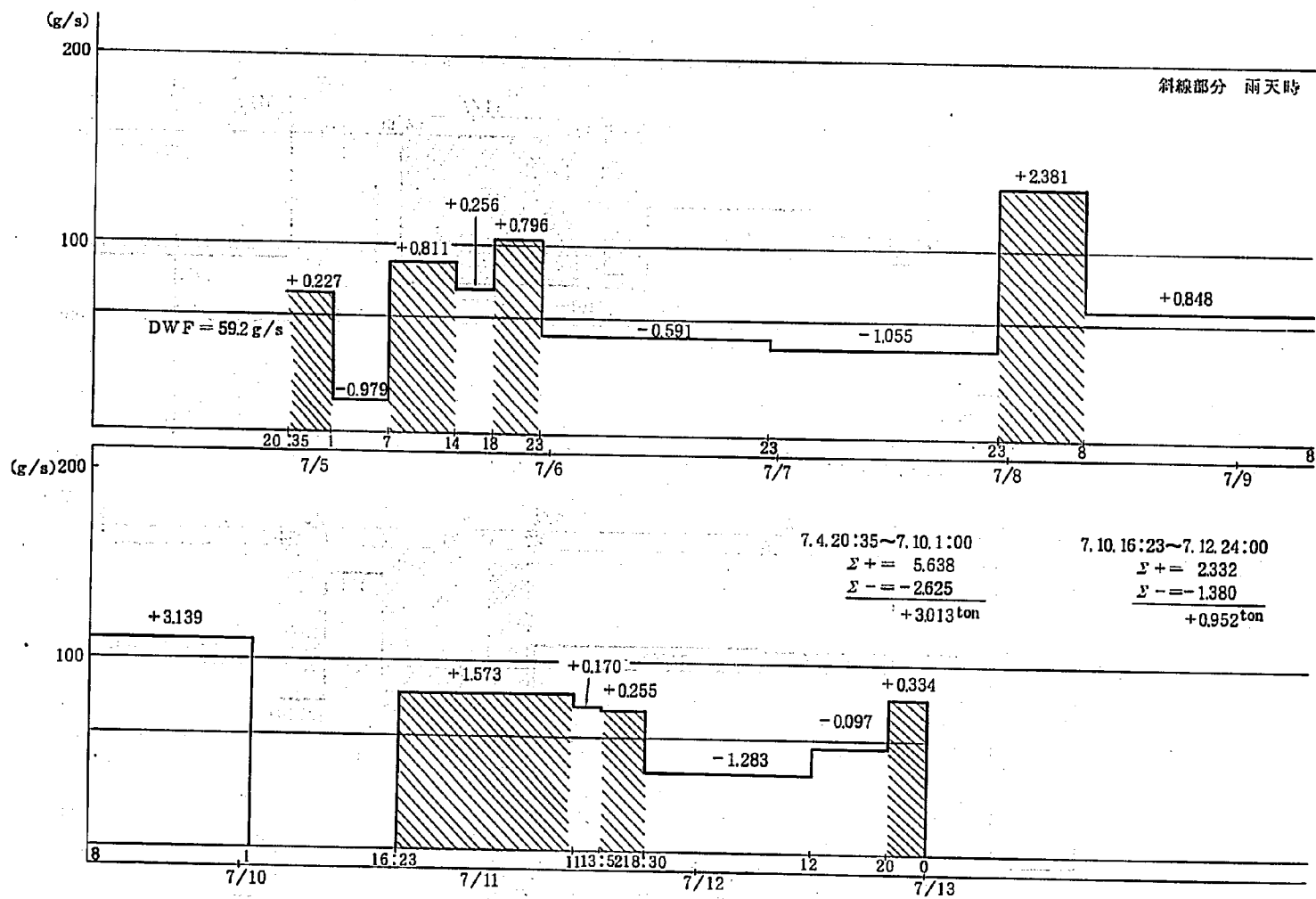


图 - 2.3.3 S.49. 7.4~7.12 TOC 负荷量收支图

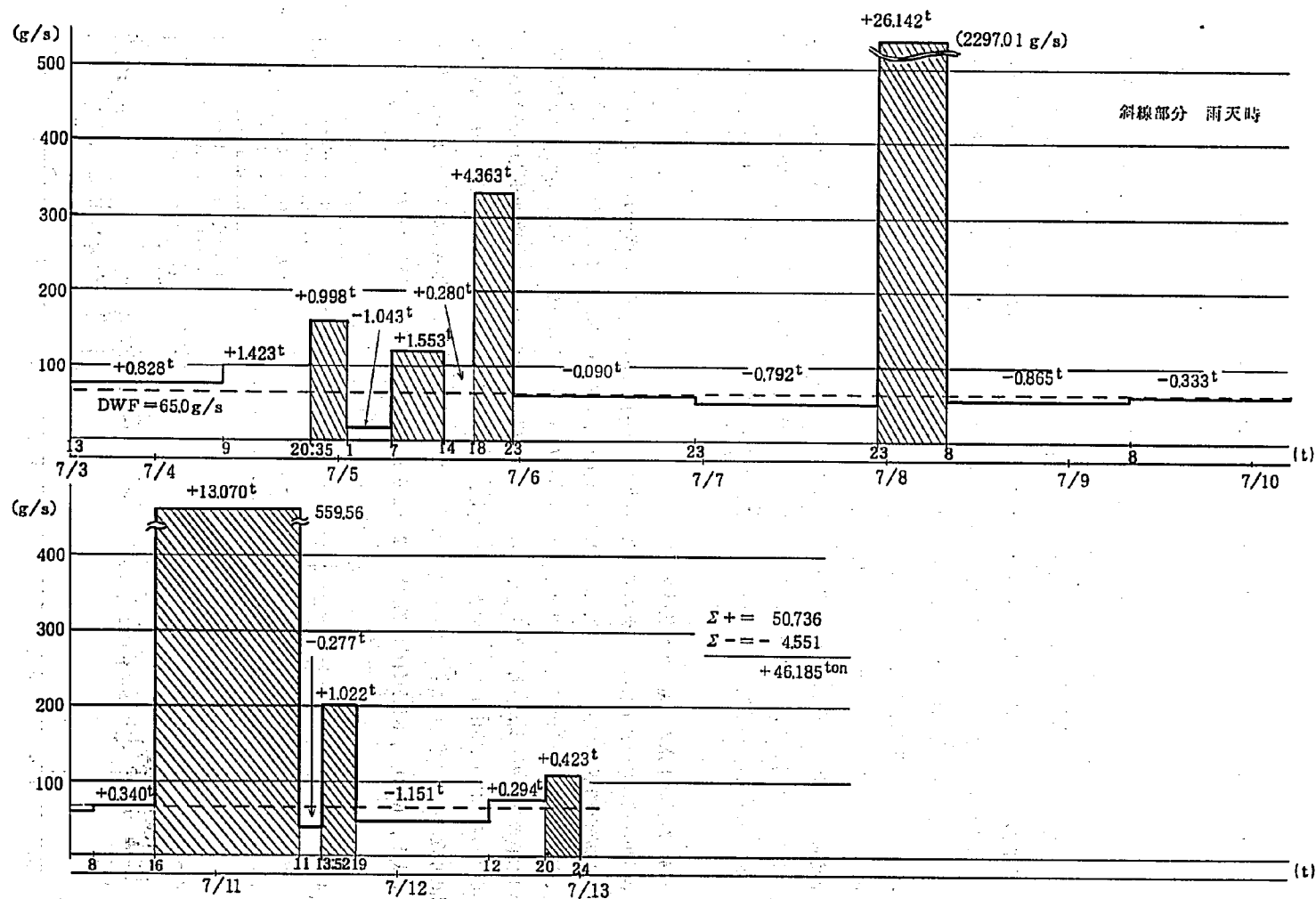


圖 - 2.3.4 S. 49. 7. 3~7.12 SS 負荷量収支圖

49年度当初は、この原因として、

i) BODが晴天時と雨天時では異なる値を出すのではないか、すなわち雨天時には重金属の混入により低目のBODを与えるのではないか。

ii) いずれにしても先行降雨等による履歴がどうなっているのか。

などに着眼し、i)に対しては①COD、TOCも分析して検討を加える。②雨天時、晴天時の下水の脱酸素係数に相違がないか調べる。ii)に対しては、10日間の連続採水を行ってみる、等の方針を確認実施して見たのであった。まずTOC、CODについては付図-15および図-2.3.2~3に示すようにほとんどBODと同じように変化し、ほぼBODで代表できることがわかったしまた脱酸素係数にもほとんど差はえられなかった。ii)については、上述のような結果になったのである。なお履歴の効果についてはシミュレーションの項で少し触れよう。また49年度の場合雨天後の落ちこみ量(マイナス)が小さいのも一つの個性であり、ほぼ48年度(付図-8)の半分程度になっている。これも48年度11月洪水の“大掃除”説をたすける結果ではある。

堆積回復特性については、まだ一部問題を残しており、今後回復速度の測定、晴天時負荷流送量の変動特性などを検討する必要がある。後者については処理場等での結果を再検討してみたい。

SSについては、圧倒的にプラスが目立ち地表、雨水マス等からの寄与を予想させる(図-2.3.4)。

2-4 晴天時下水の流量・負荷量パターン

谷端川流域は合流式下水道システムで下水の収集排除が行なわれているが、昭和47年、48年、49年の晴天時流出下水のパターンを、下水流量およびBOD₅、SS、T-N、T-Pの負荷量(g/s)と濃度(mg/l)について図示すると図-2.4.1~9のようになる。図からもわかるように、晴天時の下水流量および負荷量パターンはかなり安定している。流量、負荷量、濃度について時間最小量と時間最大を日平均値からの比(変動比)で表わすと、表-2.4.1のようになる。49年のT-Nを除いた他の負荷が他の年度に比べて小さいことが認められるが、原因はまだ不明である。流量変動が0.6~1.3と小さいのに対し、BOD₅、SSの負荷変動が約0.2~2.0と非常に大きいのは意外であった。

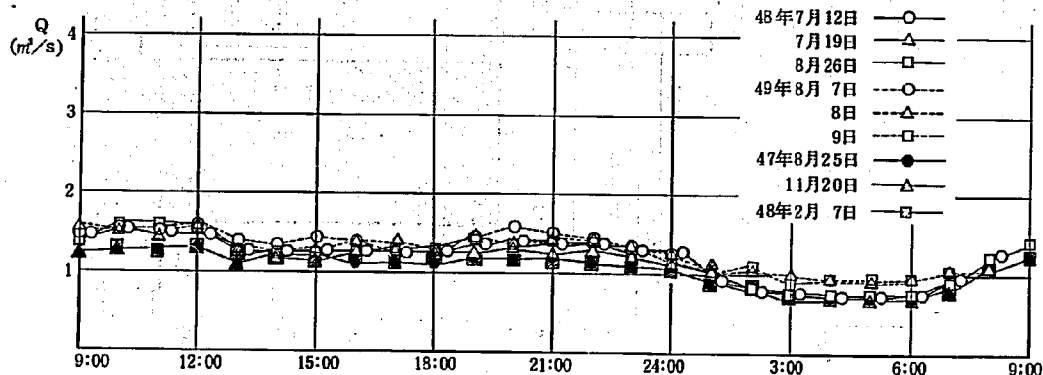


図-2.4.1 晴天時下水流量曲線

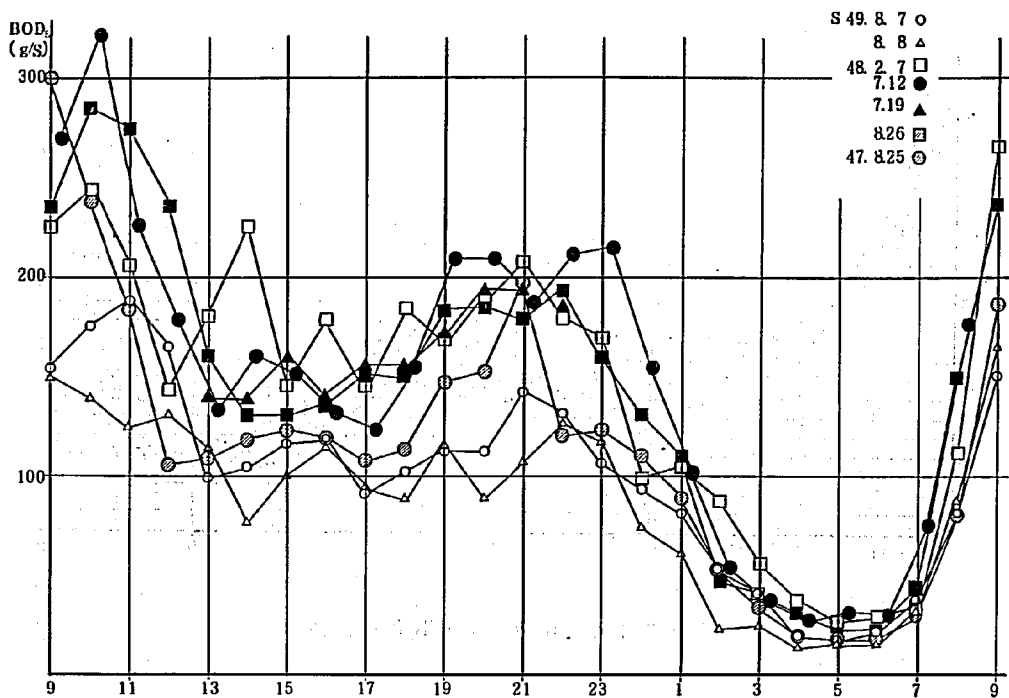


图 - 2.4.2 晴天時 BOD₅ 負荷量曲線

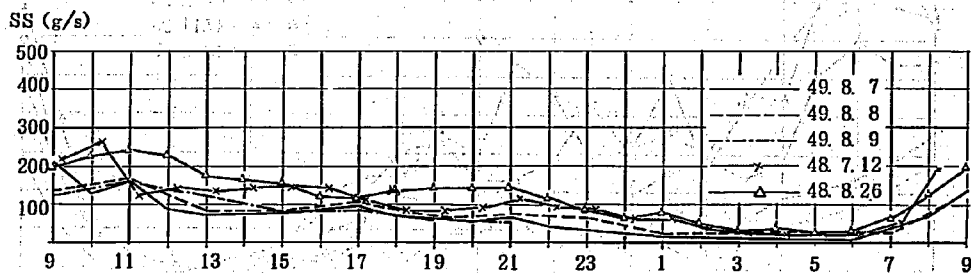


图 - 2.4.3 晴天時 S S 負荷量曲線

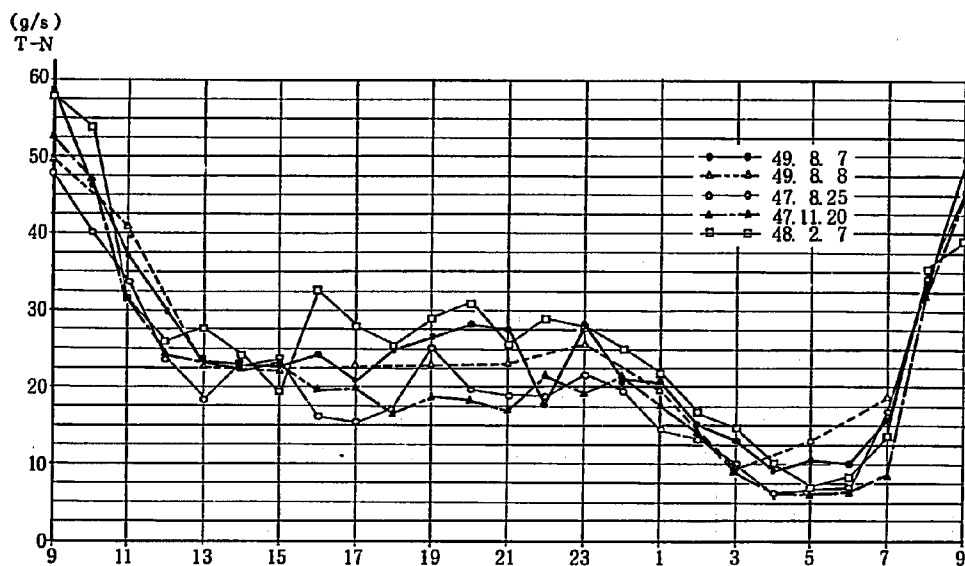


圖 - 2.4.4 晴天時 T - N 負荷量曲線

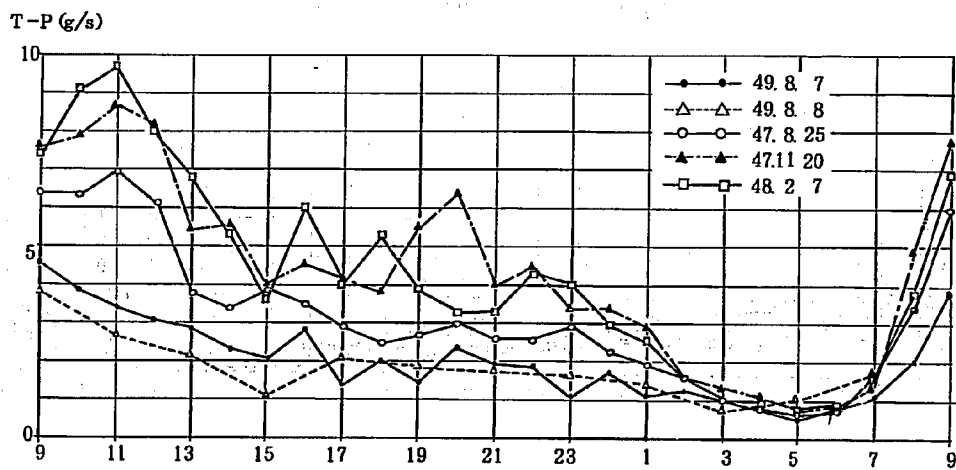


圖 - 2.4.5 晴天時 T - P 負荷量曲線

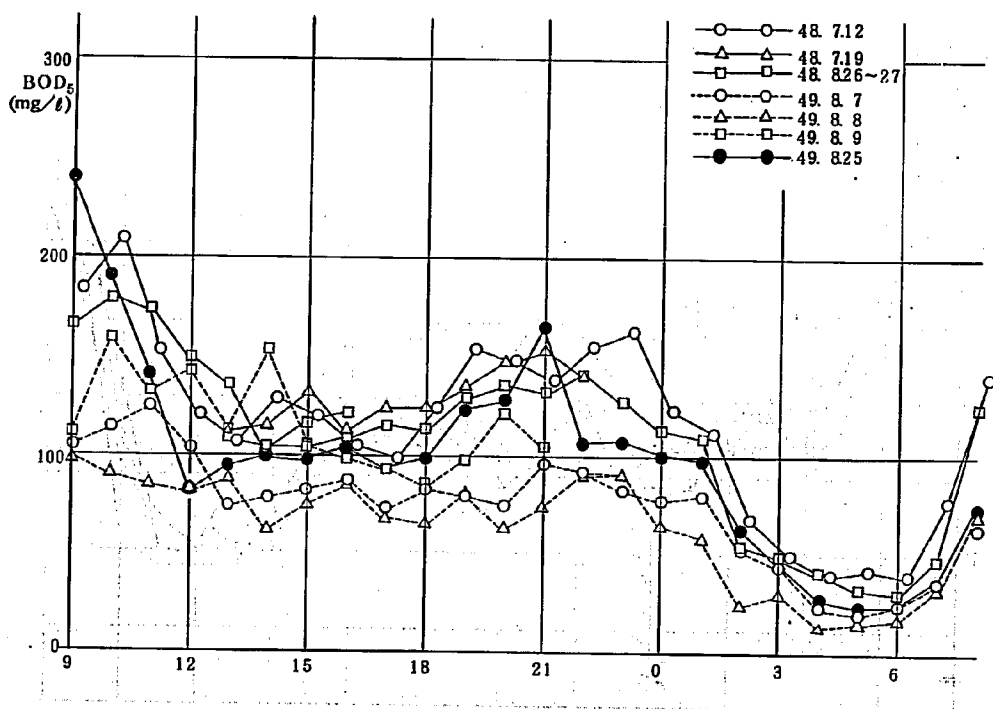


圖 - 2.4.6 晴天時 BOD_5 濃度曲線

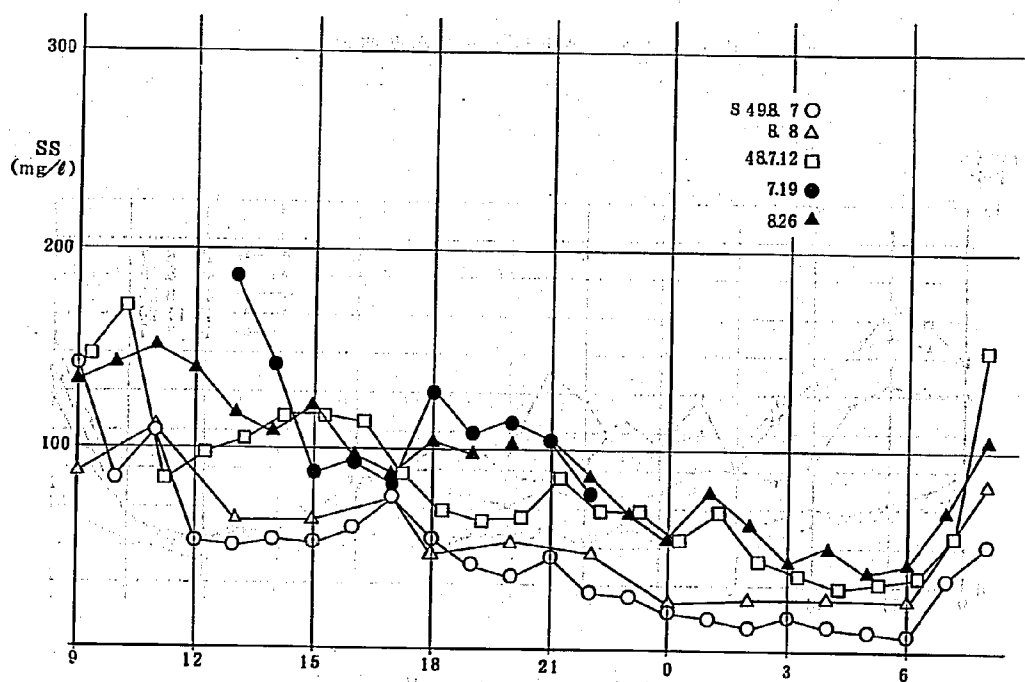


圖 - 2.4.7 晴天時 SS 濃度曲線

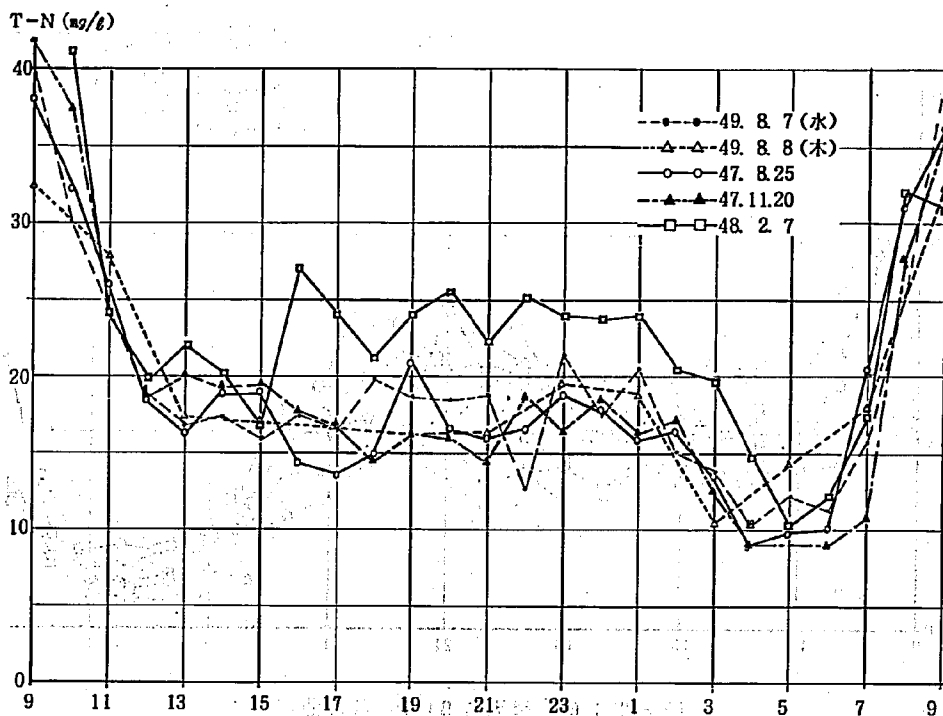


図 - 2.4.8 晴天時 T - N 濃度曲線

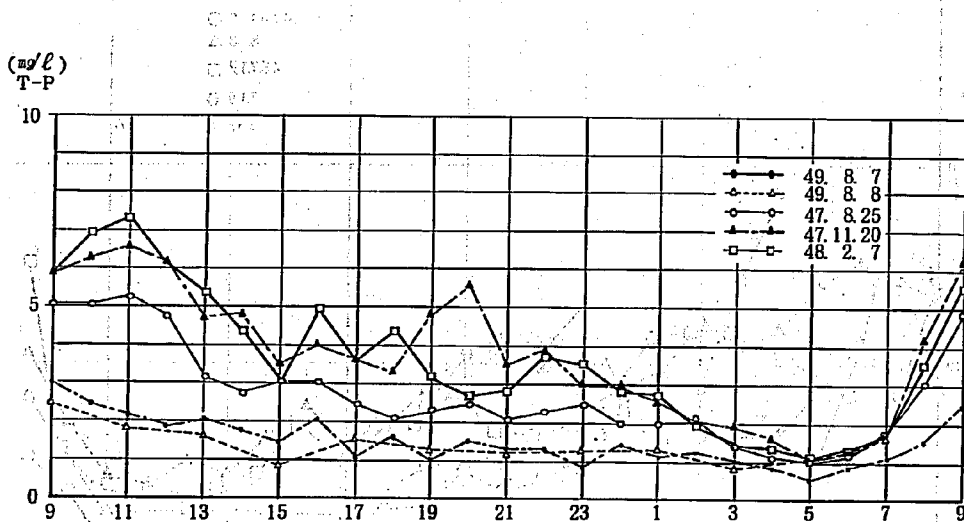


図 - 2.4.9 晴天時 T - P 濃度曲線

表 - 2.4.1 晴天時下水の変動比表

年月日	流 量 (m ³ /S)					B O D ₅										S S									
						負荷量 (g/S)					濃 度 (mg/ℓ)					負荷量 (g/S)					濃 度 (mg/ℓ)				
	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave
47. 8. 25	1.30	0.70	1.08	0.65	1.20	300	18	115.96	0.16	2.59	237	24	97.83	0.25	2.42										
47. 11. 20	1.30	0.70	1.12	0.63	1.16																				
48. 2. 7	1.30	0.65	1.09	0.60	1.20	236	28	146.00	0.19	1.62															
48. 7. 12	1.55	0.70	1.19	0.59	1.30	320	28	149.21	0.19	2.14	209	40	116.63	0.34	1.79	265	20	104.00	0.19	2.55	171	31	82.46	0.38	2.07
48. 7. 19	1.31	1.21	1.26	0.96	1.03	194	140	163.20	0.86	1.19	147	112	129.60	0.86	1.13						186	78	112.50	0.69	1.65
48. 8. 26	1.48	0.75	1.15	0.65	1.28	285	23	145.24	0.16	1.96	178	30	108.75	0.28	1.64	240	25	123.00	0.20	1.95	152	39	91.92	0.42	1.65
49. 8. 7	1.60	0.89	1.34	0.65	1.19	188	17	100.12	0.17	1.89	125	20	73.58	0.27	1.70	210	10	66.00	0.15	3.18	142	8	45.58	0.18	3.12
49. 8. 8	1.60	0.92	1.27	0.72	1.26	165	13	88.40	0.15	1.87	90	14	63.38	0.22	1.42	135	25	74.80	0.33	1.80	111	25	55.85	0.45	1.99
49. 8. 9	1.54	0.90	1.23	0.73	1.25						159	86	116.23	0.74	1.37	135	10	68.60	0.15	1.97					

年月日	T - N										T - P									
	負荷量 (g/S)					濃 度 (mg/ℓ)					負荷量 (g/S)					濃 度 (mg/ℓ)				
	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave	Max	min	ave	min ave	Max ave
47. 8. 25	48.0	6.5	21.64	0.30	2.22	38.3	9.0	19.25	0.47	1.99	7.0	0.7	3.18	0.22	2.20	5.3	1.1	2.78	0.40	1.91
47. 11. 20	52.7	6.2	21.73	0.29	2.43	20.0	9.0	19.11	0.47	1.05	8.7	0.8	4.37	0.18	1.99	6.6	1.2	3.81	0.31	1.73
48. 2. 7	58.1	7.3	26.49	0.28	2.19	41.0	10.5	22.85	0.46	1.79	9.7	0.8	4.27	0.19	2.27	7.3	1.2	3.66	0.33	1.99
48. 7. 12																				
48. 7. 19																				
48. 8. 26																				
49. 8. 7	58.8	9.3	25.60	0.36	2.30	35.0	12.5	19.55	0.64	1.79	4.6	0.5	2.04	0.25	2.25	3.0	0.6	1.52	0.39	1.97
49. 8. 8	49.7	9.5	24.35	0.39	2.04	32.5	10.5	19.71	0.53	1.65	3.8	0.7	1.81	0.39	2.10	2.5	0.8	1.39	0.58	1.80
49. 8. 9																				

2-5 雨天時汚濁負荷流出のシミュレーション

2-5-1 シミュレーション手法について

欧米についていえば、初期には稀釈のみで処理したもの、大量の実測値を用いて、前期無降雨日数、流量、降雨開始からの時間などをパラメータに行ったもの⁽²⁴⁾、汚濁源調査資料⁽²⁰⁾を用いて、各ブロック（街区）毎に追跡したもの（SWMモデル）⁽²¹⁾⁽²³⁾などがあり、参考になるところも多いが詳しくは別にわれわれが抄訳したものもあるので⁽⁷⁾それにゆずるとして、われわれが谷端川排水区に対し現在まで手がけたシミュレーション手法には大別して2つがある。

すなわち1つは浮遊砂量公式を応用して昨年ごろまで提案し^(12, 13, 14 など)また実際に越流水対策の検討にも用いたもので、

$$Q_s = \alpha Q^n \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

とするものである。根拠としているのは、図-2.5.1 および2などである。nはBODの場合約1（それ故に雨天時コンスタント濃度、昨年は $\alpha = 100$ を使用）、SSの場合 $n = 2$ 程度である。本法の特徴は、

i) SSの場合は相当よいシミュレーションになるが、BODの場合も、ファーストフラッシュ 特性こそ出ないが、負荷のピークは流量ピークの方に一般に支配され、これを無視した影響は意外に小さいこともあって、対策のシミュレーションには十分使える。ただし滞水池の評価が甘くなる、安全側ということはある（図-2.5.3）。

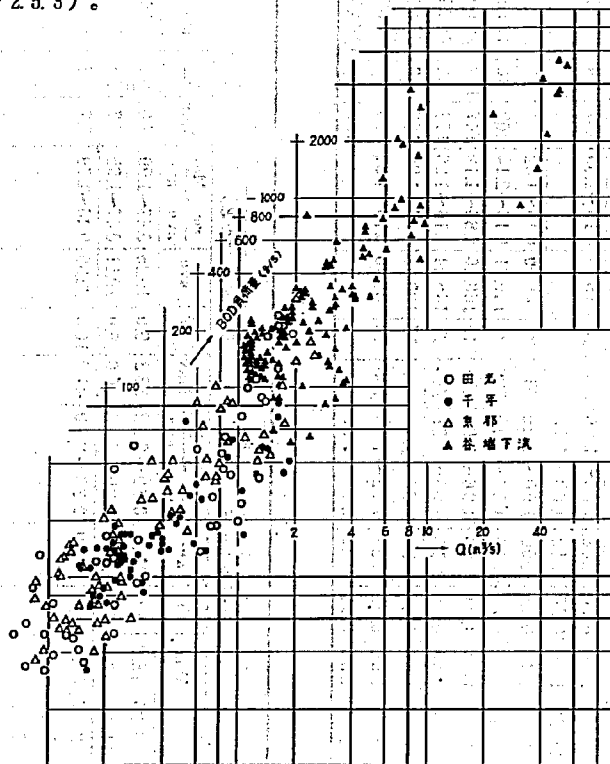


図 - 2.5.1

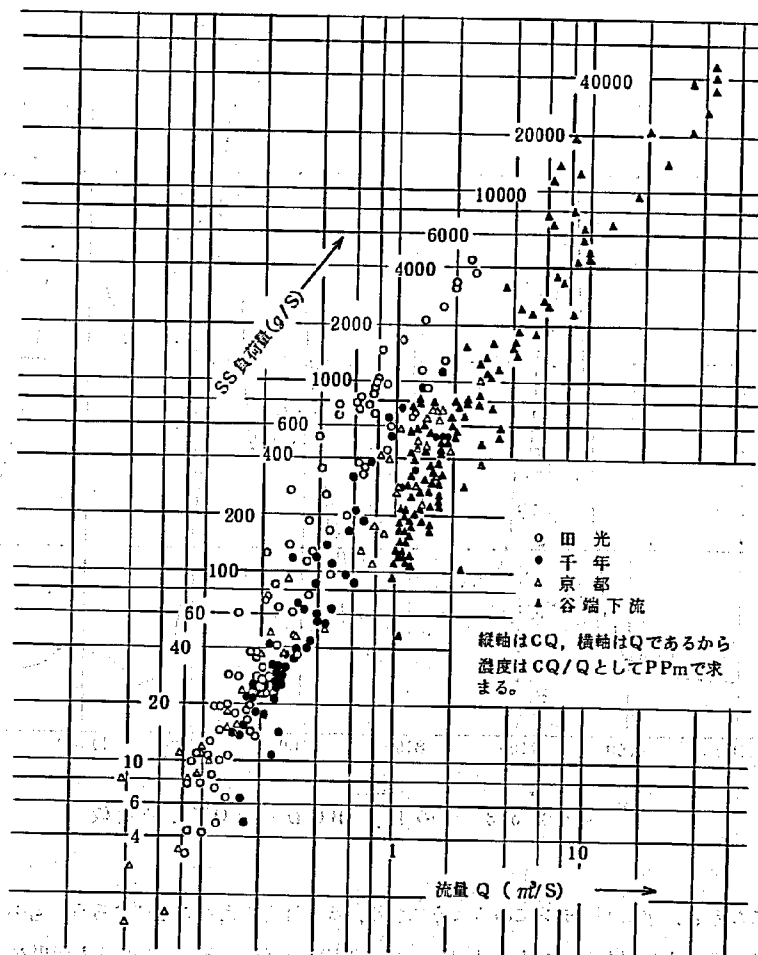


図 - 2.5.2

ii) やはり無限に汚濁負荷源(ソース)があることになって、長い雨に対してはおかしくなる。などとなり、まだまだ改善の余地が残る。

それに対して今年行ったものは、2-1でも触れたように、 Q^n のほかに流域内汚濁物質残存量を考慮する手法である。もう一度示すと

$$Q_L = -\frac{dL}{dt} = KL^m Q^n \quad (2.6)$$

$$L = L_0 + \int_0^t (\text{晴天時負荷量}) dt - \int_0^t Q_L dt \quad (2.7)$$

ただし L_0 は初期残存負荷量である。すなわち流砂量公式のほかに残存量が多ければ移動機会も多いとするもので、それぞれの項の精度が上がるほどシミュレーションの精度も上り、履歴現象も組み入れられる。もちろんある程度のデータが必要という欠点もあるが、第1章に述べた汚濁源調査の結果が用いら

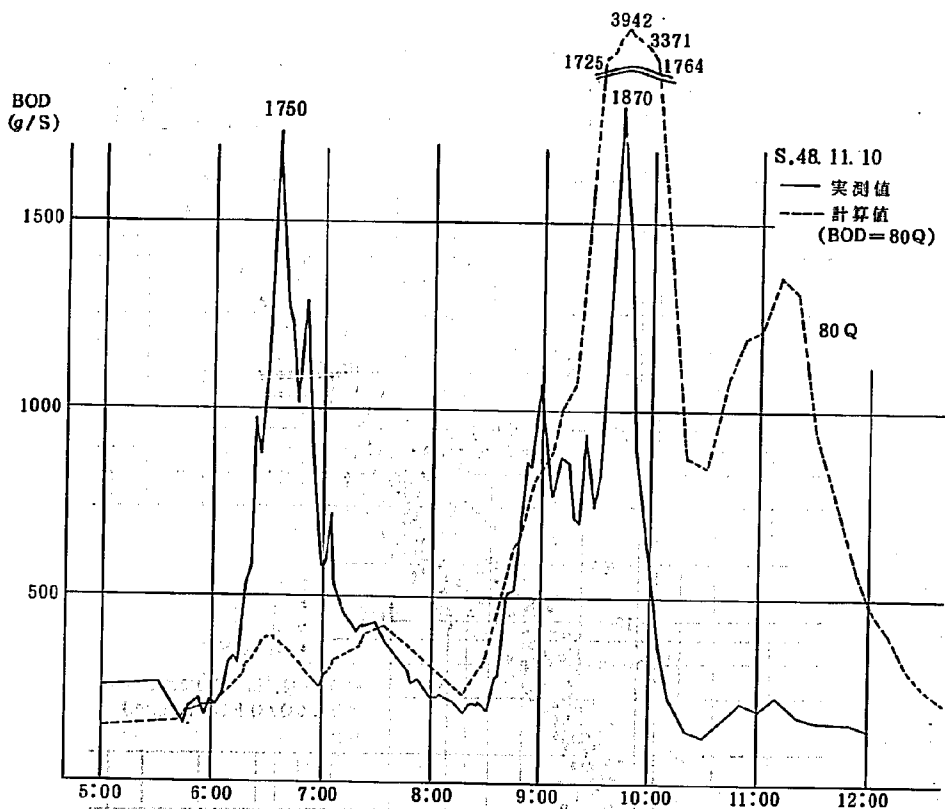


図-2.5.3 その1 $BOD = \alpha Q^{1.0}$ との比較

れるようになると、逆にルーチンにのりようになり、普遍性を備えることになる。もちろんブラックボックスであるから精度もおおのずと限度があるが、SWMモデルなどにくらべると簡単なのは利点の1つといえよう。

解法は Δt 時間内に Q_L ：一定という形でどんどん解いていってもよいが、急激に流量が増加するときは、 $Q_L = \frac{Q_{L1} + Q_{L2}}{2}$ として逐次代入法によるのがよからう。また用いる流量も対策のシミュレーションの場合は修正RRL法(9)-(11)などによればよいが、ここでは直接観測値を用いる。

2-5-2 谷端川排水区に対するシミュレーション結果

結論からさきに述べると、シミュレーションの結果はこれから触れる種々の問題点などがあって、必ずしも全面的には成功していない。そこでここでは、よく一致するものだけを紹介するにとどめず、常数等を2、3変えて各要素の役割をみながら検討を進め、これからの研究の資にしたい。

始めに常数について触れよう。

1) n については、付図-1~4を参考にして、BODの場合は $n=1$ 、SSは $n=1.7$ とし、これは原則として固定した。

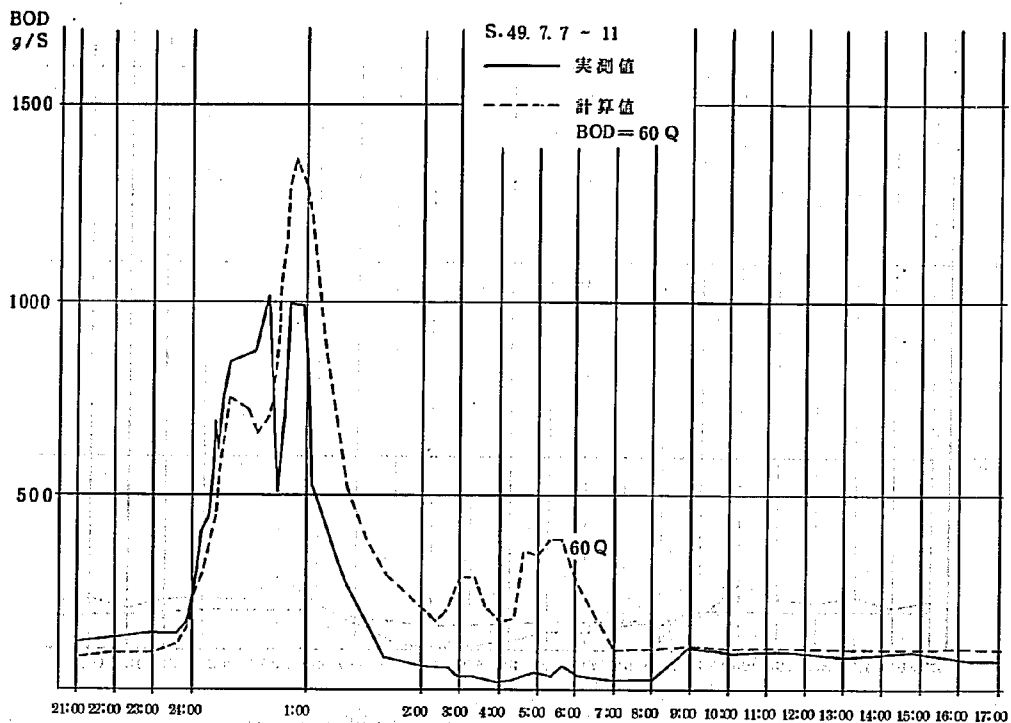


図 - 2. 5. 3 その 2 (1) $BOD = \alpha Q^{1.0}$ との比較

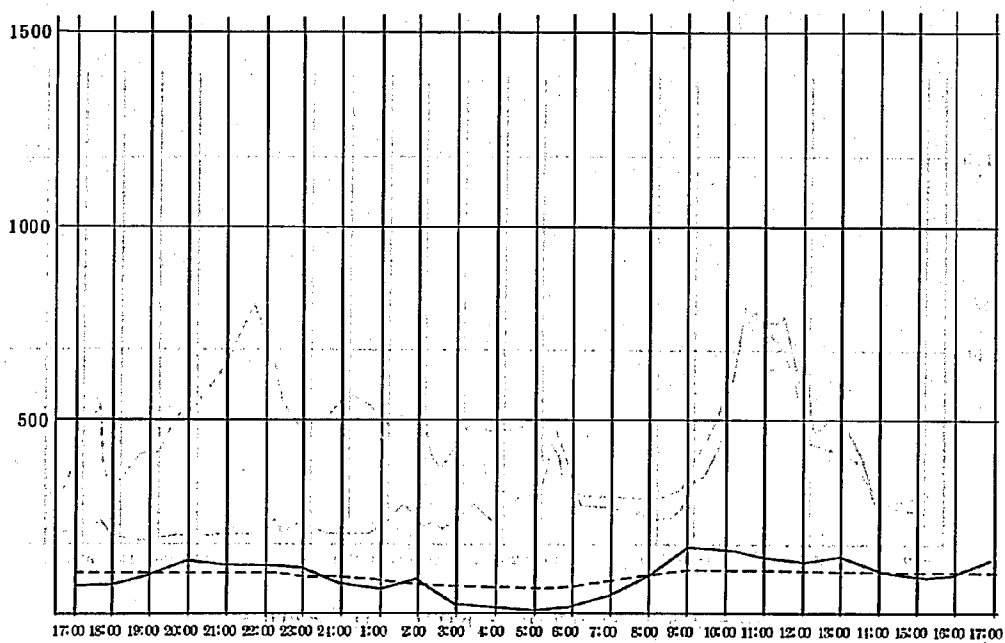


図 - 2. 5. 3 その 2 (2) $BOD = \alpha Q^{1.0}$ との比較

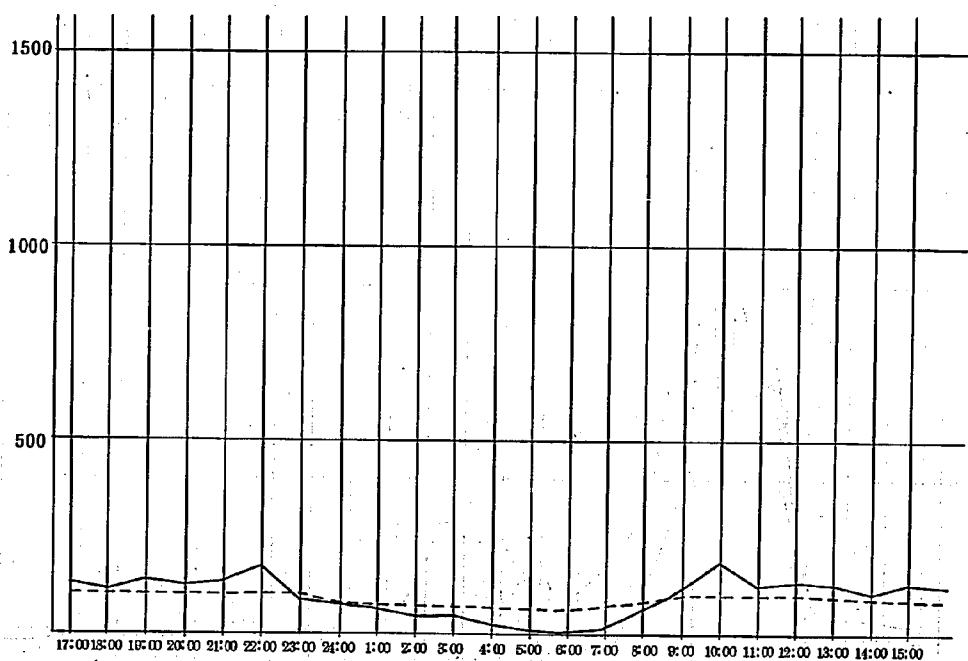


図 - 2.5.3 その2 (3) $BOD = \alpha Q^{1.0}$ との比較

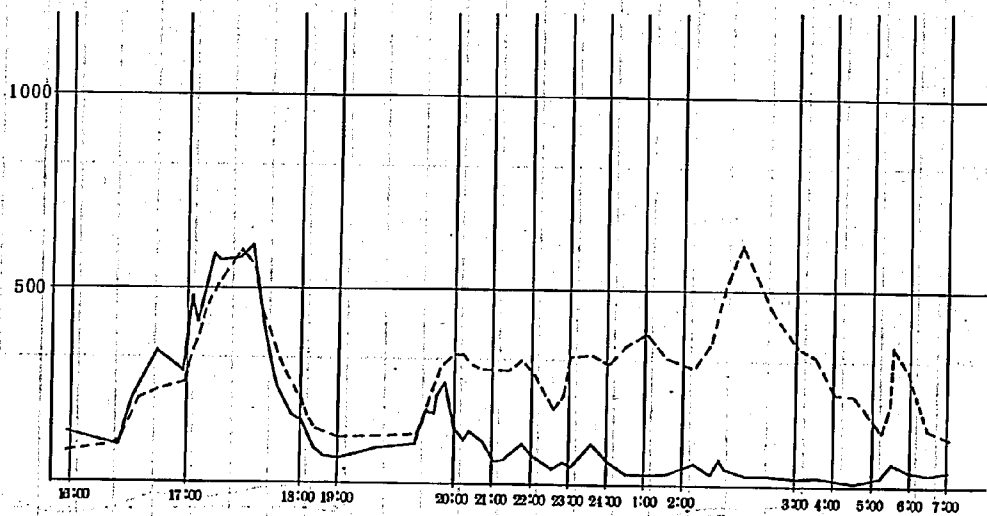


図 - 2.5.3 その2 (4) $BOD = \alpha Q^{1.0}$ との比較

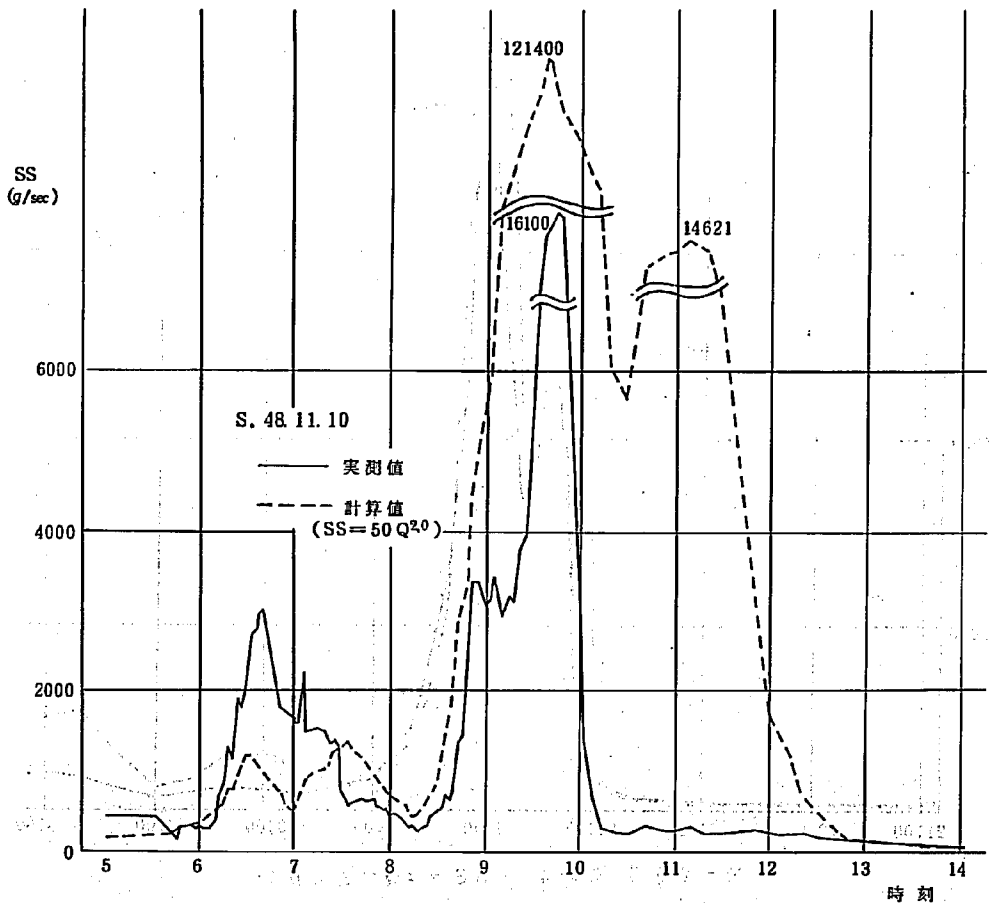


図-2.5.3 その3 $SS = \alpha Q^{2.0}$ との比較

ii) L_0

初期堆積量 L_0 は、本来一つの降雨についていえば、雨天直前のそれであり、これを正しく求めることは現在のデータでは不可能である。ただし推定値を用いることはでき、それには2つの方法が考えられる。1つは汚濁源調査結果を用いる方法、もう1つはこれまでの実測流出負荷量を用いる方法である。

例えばBODについていえば、前者からは2～3 ton、後者については42.6.15および48.11.10のともに約8 tonがある。この両洪水はピーク流量 50 m^3/s のほぼ同規模の洪水である。同ようSSも後者は約40 tonである。

またSSの汚濁源調査では、約400 ton程度の固形性堆積物があると推定されたが、流出水の水質分析の対象となるSSの粒径は、高々0.5 mm以下と判断され、堆積物の粒度分布(図-2.5.4)より、これに相当する分は約100 ton程度と推定される。

iii) 晴天時負荷補給量 (Dry Weather Flow)

基本的には、8月7～9日観測の晴天時負荷量時間変化を用いたが、実際にはその間にも堆積、洗掘が起っていることも考えられ(その結果が下流端で観測されている)るので、判断の資にする意味で

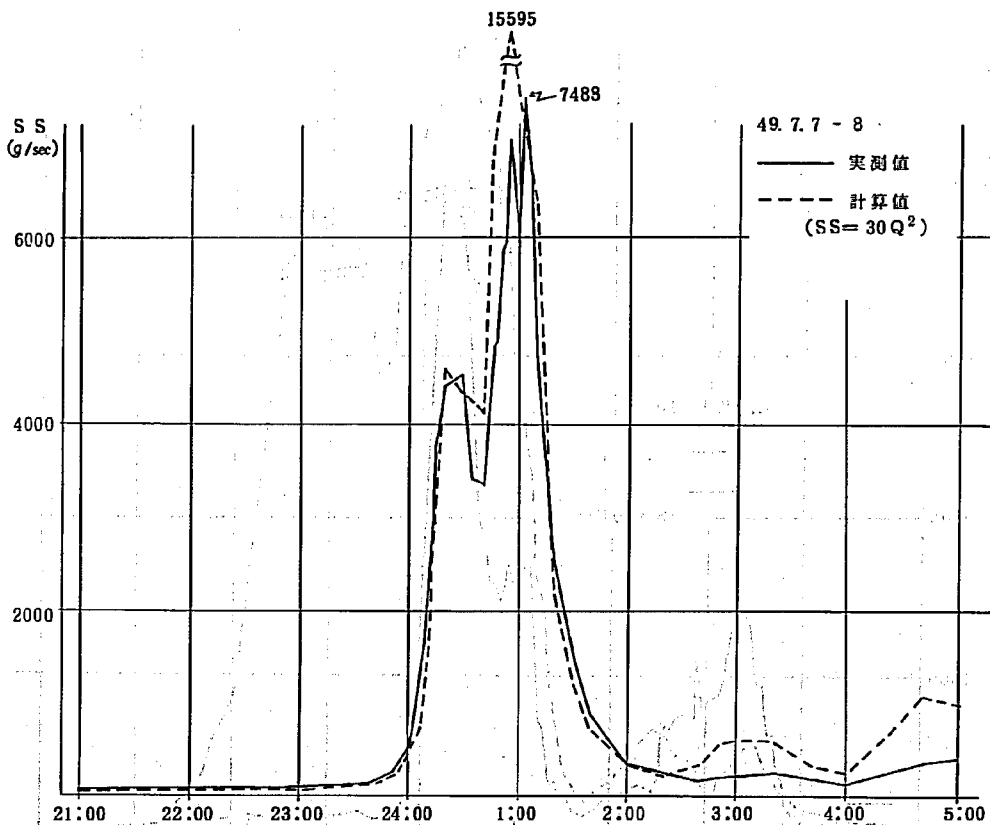


図 - 2.5.3 その4 $SS = \alpha Q^{2.0}$ との比較

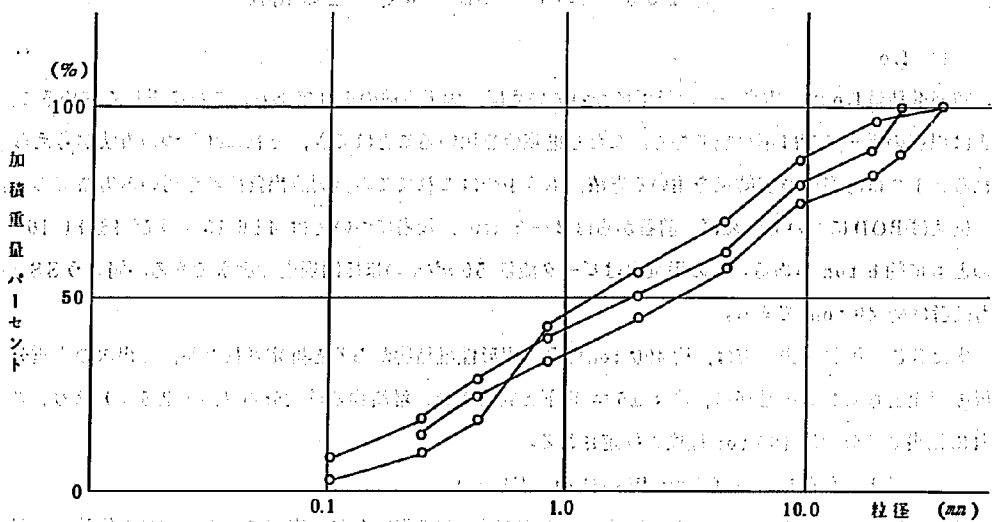


図 - 2.5.4 下水管内堆積物粒度曲線

1.5 DWF といった捕給も行ってみた。

iv) m

これに関する資料はBODのmの方が、SSのmより小さいと思われること以外には現在なにもない。物理的には、 $m=1$ の場合流出量が流域残存量に比例するとするものであり、 $m>1$ の場合は、残存量が多いほど動きやすい、逆に少いと出にくいように働くもので、そういう状態も十分想定できるといえよう。要はトライアンドエラーで求めることにした。

v) 検討対象降雨

多くの洪水をえらびたかったのであるが、時間に制約を受けた関係もあって（49年12月に機種の変更もあった）、実際にはS.48年11月10日、S.49年7月7日～11日（およびS.49年8月7日～9日（晴天時））の2ケースであった。ただし、前者は前述のように $Q_{peak}=50\text{ m}^3/\text{s}$ を含む大出水、後者は7.7に $Q_{peak}=20\text{ m}^3/\text{s}$ があり2日の晴天時を含んで7.10に $Q_{peak}=10\text{ m}^3/\text{s}$ を2つ含むマスの大きい洪水であり、バラエティには富んでいるものである（付図-15の5～9参照）。

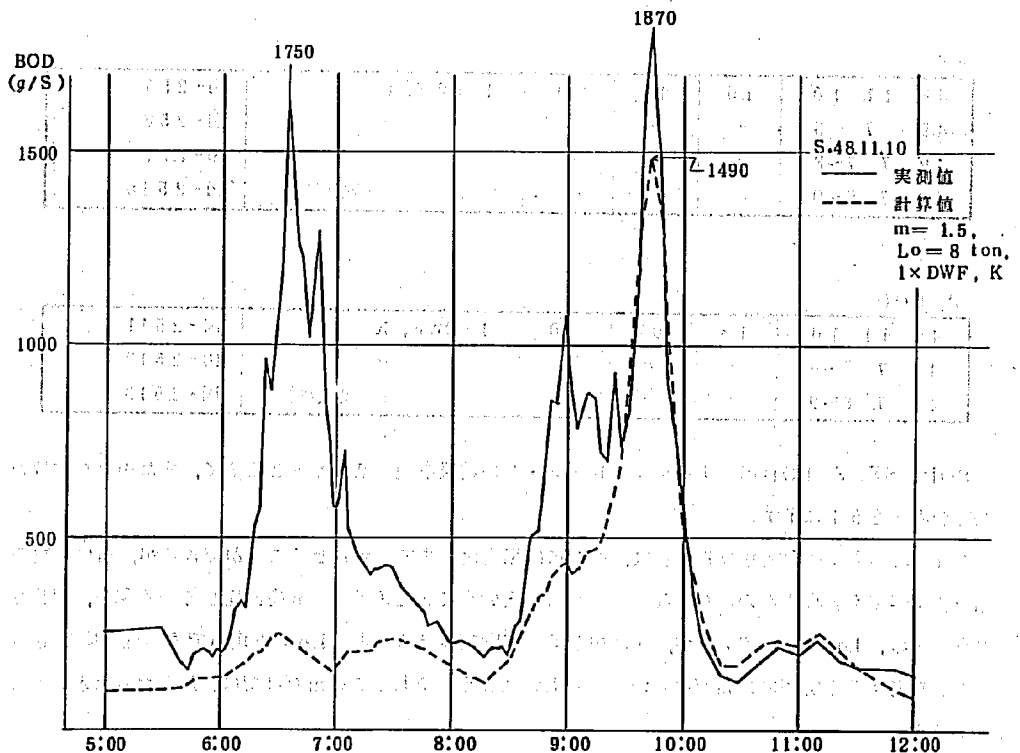


図 - 2.5.5: その1

表-2.5.1 シミュレーション常数一覧

BOD

	m	n	Lo	備 考	
48. 11. 10	1.5	1.0	8.0	1×DWF, K (=0.3125)	図-2.5.5 (その1)
	2.5	"	"	1.5×DWF, "	
	"	"	"	" 2K	
	3.0	"	"	" "	図-2.5.5 (その2)
	3.5	"	"	" "	
	4.5	"	"	" "	
	"	"	"	1.2×DWF, "	図-2.5.5 (その3)
49. 7. 7~8	1.5	1.0	8.0	1×DWF, K	図-2.5.6 (その1)
49. 7. 7~11	1.5	1.0	3.0	1.5×DWF, K	図-2.5.6 (その2)
	2.0	"	"	" "	
	"	"	"	1.2×DWF, "	図-2.5.6 (その2)
	"	"	"	" 1.5K	
	2.5	"	"	" "	

SS

48. 11. 10	1.0	1.7	100.0	1×DWF, K	図-2.5.7
49. 7. 5	"	"	"	" "	図-2.5.8
49. 7. 7~8	"	"	"	" "	図-2.5.9
49. 7. 8~9	"	"	"	" (晴天時)	図-2.5.10

S-BOD

48. 11. 10	1.3	0.7	2.0	1×DWF, K	図-2.5.11
49. 7. 7~8	"	"	"	" "	図-2.5.12
49. 7. 8~9	"	"	"	" (晴天時)	図-2.5.13

BOD, SS, S-BODに対するシミュレーションの結果を図-2.5.5~2.5.7に、また用いた常数の一覧を表-2.5.1に示す。

これらの結果より判断されることは、個々には相当程度まで一致させることができるが、同じ常数を用いてすべてを表現するのはなかなかむずかしいということであろう。nを固定している現在、変化させる量は、Lo, m, Kであるが、Kは初期条件で固定させること、Loも推定値である程度固定されることを考えると実際にはmだけということもいえよう。そしてこのmだけでは、無理だったということであろう。

ここですこし発想の転換をはかって、例えばBODについてLoが48年と49年では異なるとよいと考えてみよう。その理由は、1つにはS. 48. 11. 10の出水が大雨であるために強雨時は相当に地表からも(加えて浸透域からも)、負荷が供給されたのではないかと、これは付図-6~8の流量カーブと

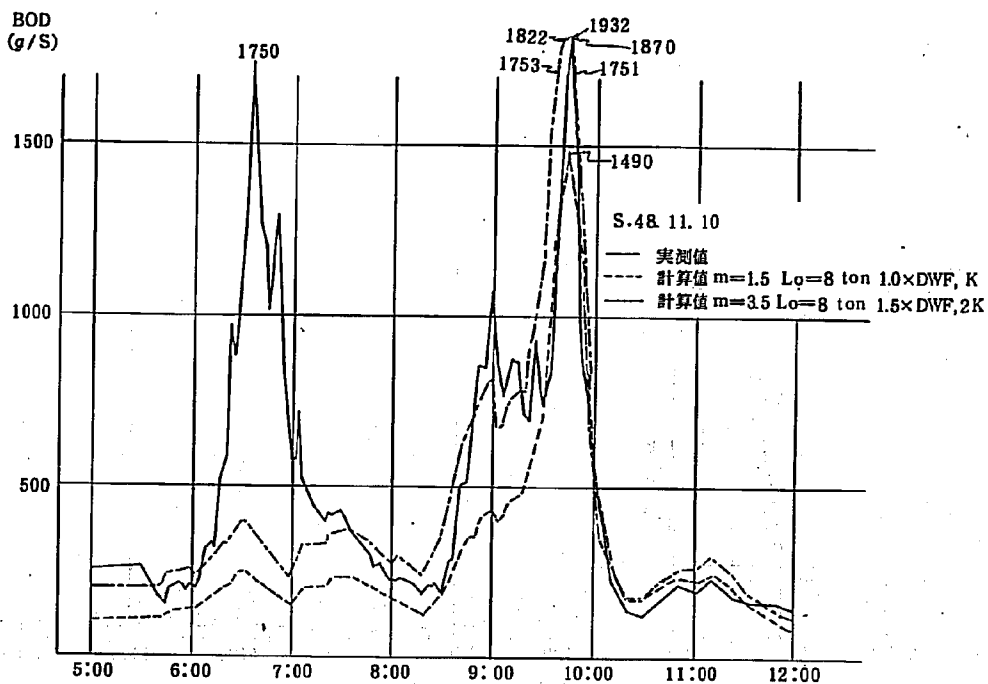


図 - 2. 5. 5 その 2

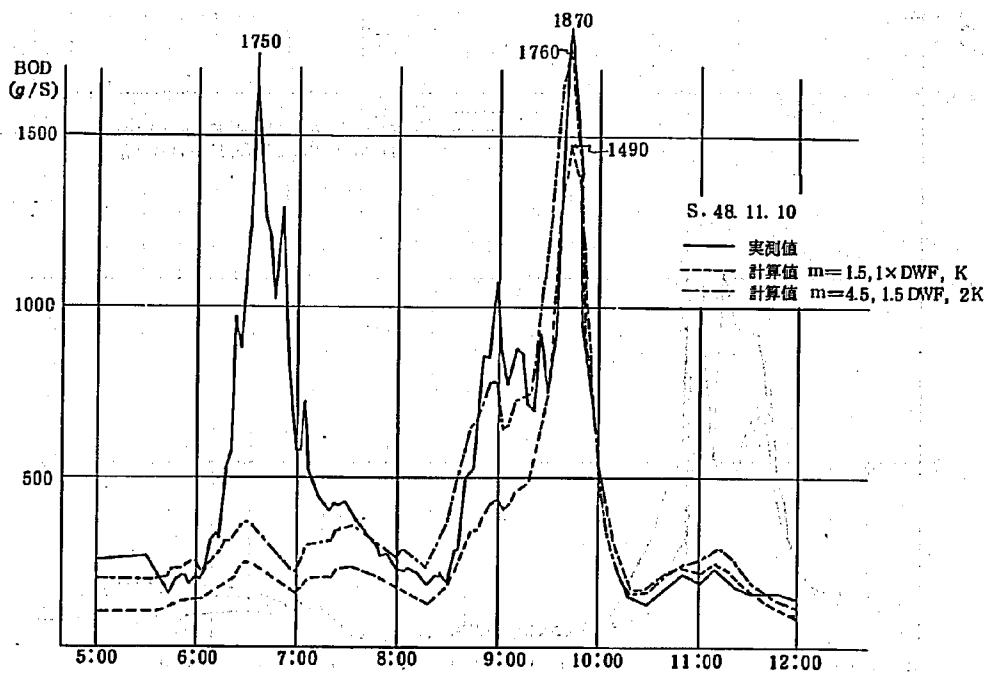


図 - 2. 5. 5 その 3

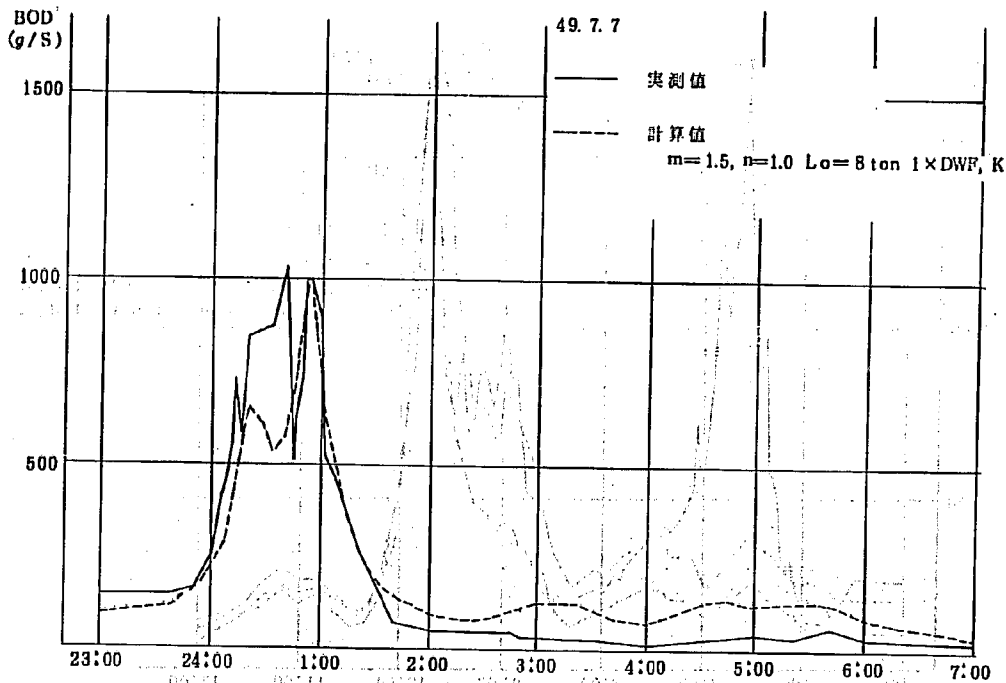


図 - 2.5.6 その 1

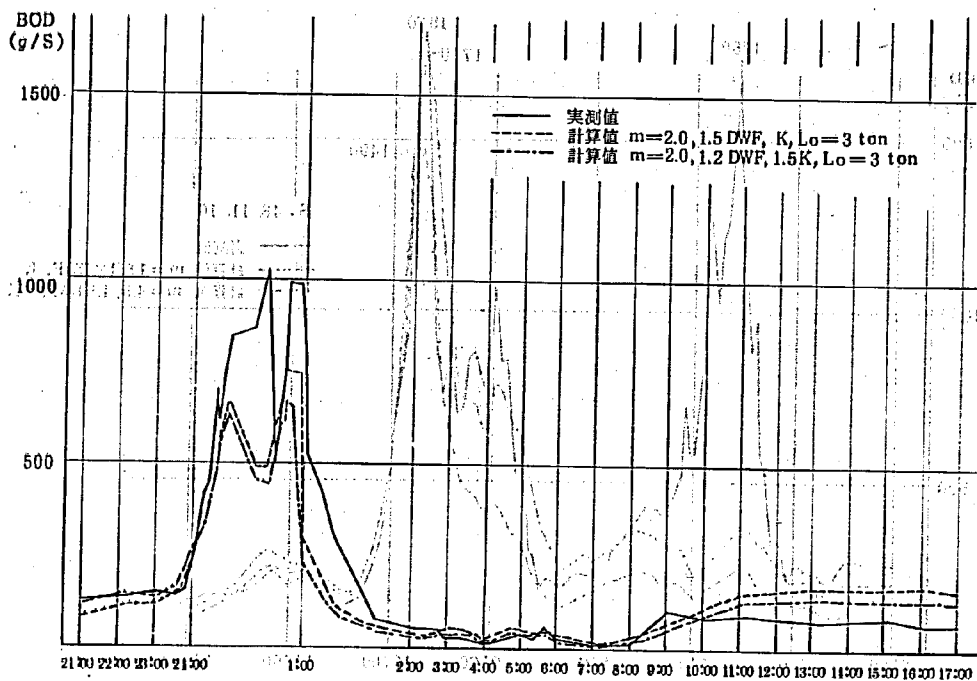


図 - 2.5.6 その 2 (1)

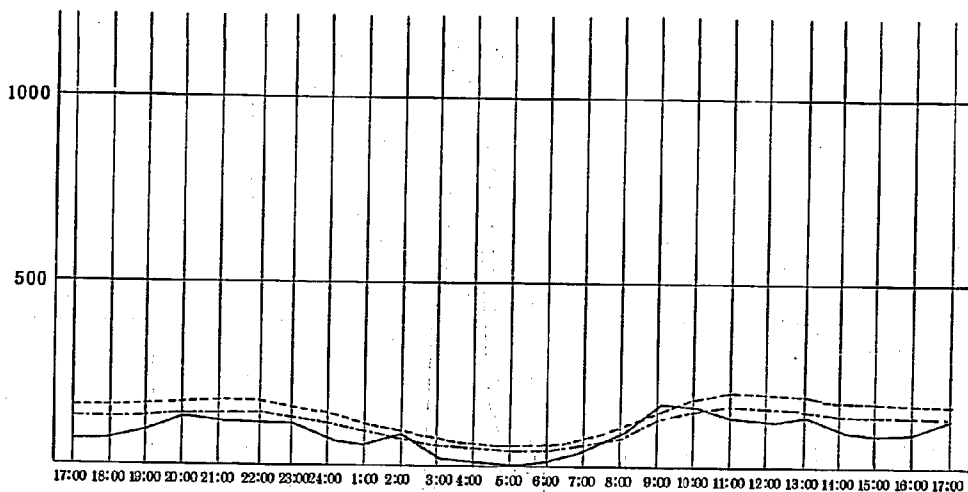


図 - 2.5.6 その 2 (2)

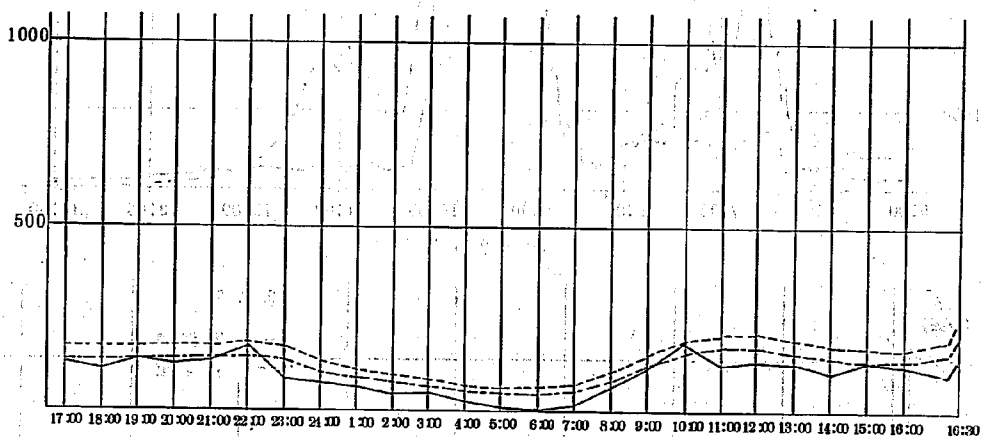


図 - 2.5.6 その 2 (3)

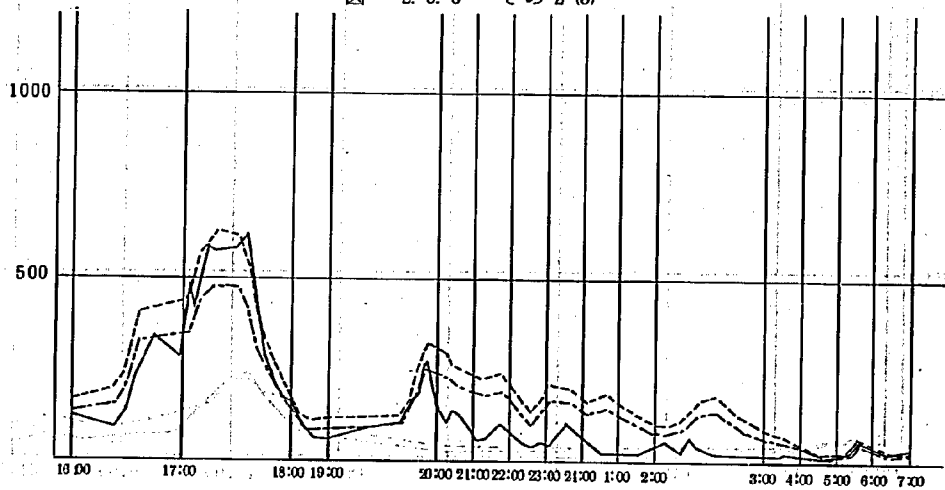


図 - 2.5.6 その 2 (4)

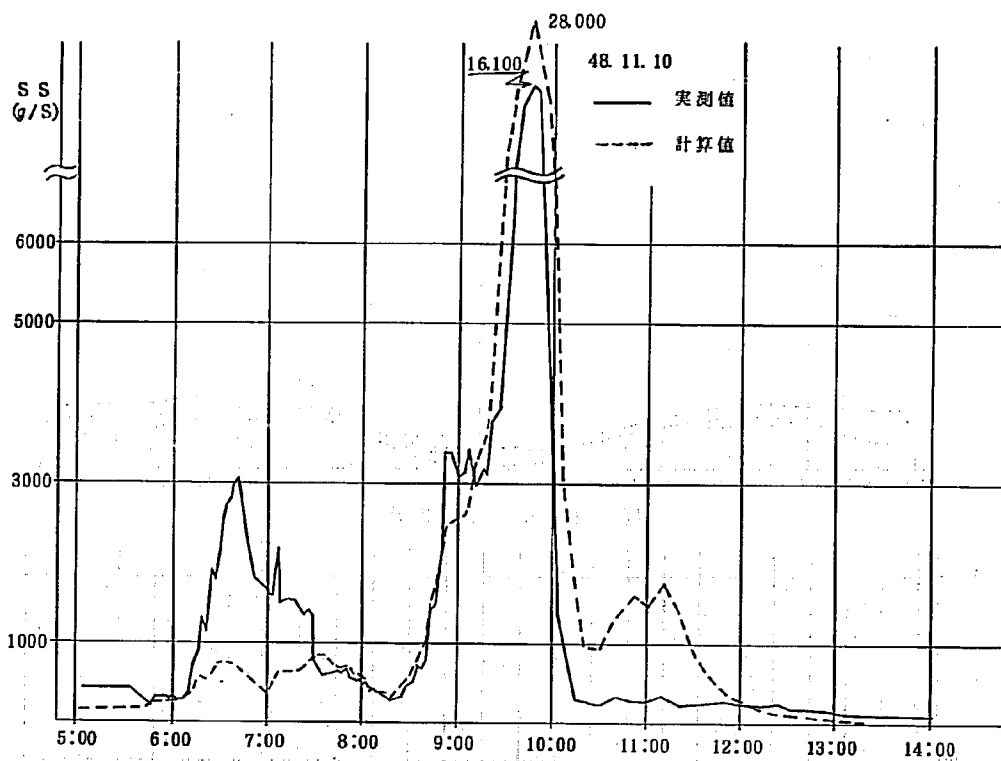


图 - 2. 5. 7

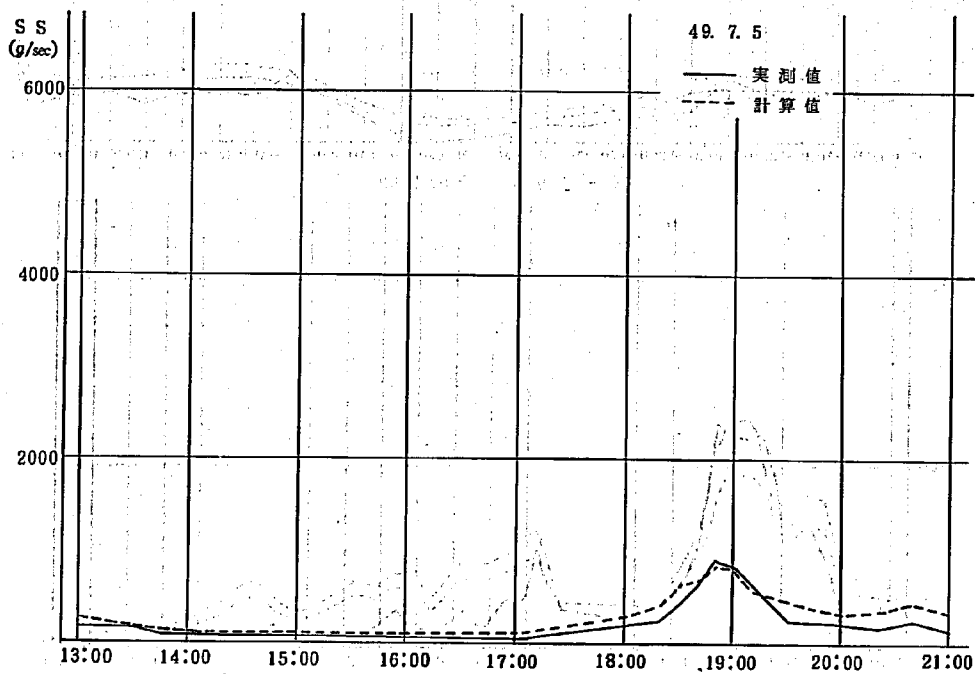


图 - 2. 5. 8

負荷カーブを比較していただいてもわかるように、再度のファースト・フラッシュが認められることも、それを予想させる。もう1つは前述のように、同規模の降雨による排出および回復負荷量が48年と49年で大きく相違すること、いいかえれば負荷ポテンシャルを異にするのではないか*、この2つの理由によっている。

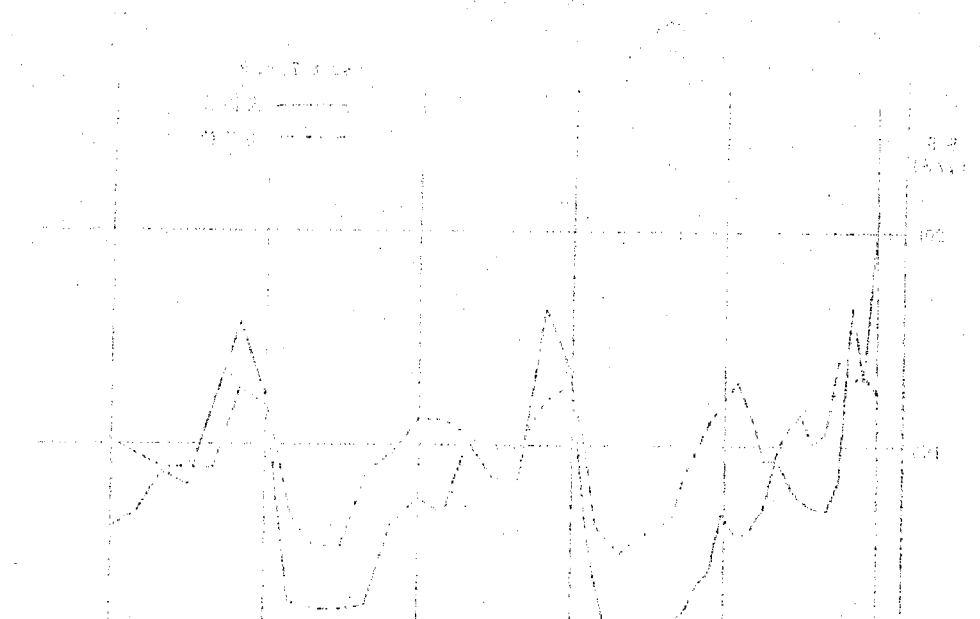
このように考えて再度結果(図-2.5.5)を見ると、まだまだ他の雨天時の資料に適用して見る必要があると思われるが、図-2.5.6のようにS. 49. 7. 7~11まで連続して相応の一致を見せている点、本シミュレーションが履歴を含め相当のところまで現象を表現しえていることに気付く。

なお各常数の変化による効果は図より御判読いただきたいが、晴天時負荷補給量、 L_0 および K の変更**の効果がわかるとともに、 m がある程度大きくするとそれ以上にほとんどきかないこと、ひいては大きなファースト・フラッシュの再現は Q の指数を変更しないことには無理なことなどがわかる。なお S 、 $S-BOD$ 等についても今後試みてみたい。

少し大胆すぎる仮説を紹介したが、今後シミュレーションに関して、検証洪水の増加はいうまでもないが、

i) 晴天時のシミュレーションの精度を上げる必要がある。そのためには、流砂の限界掃流力理論を応用して Q のかわりに $(Q-Q_c)$ を用いてみる(図-2.5.14)。

ii) 地表汚濁源の項の導入。
などを行ってみたいと思っている。



* 下水管の堆積負荷量調査も、これを裏付けているといえよう。

** K は、 L_0 を加えても、 m を加えても調整する必要があり(例えば初期条件にセット)、表中にかいてある。
 K は一定ではない。

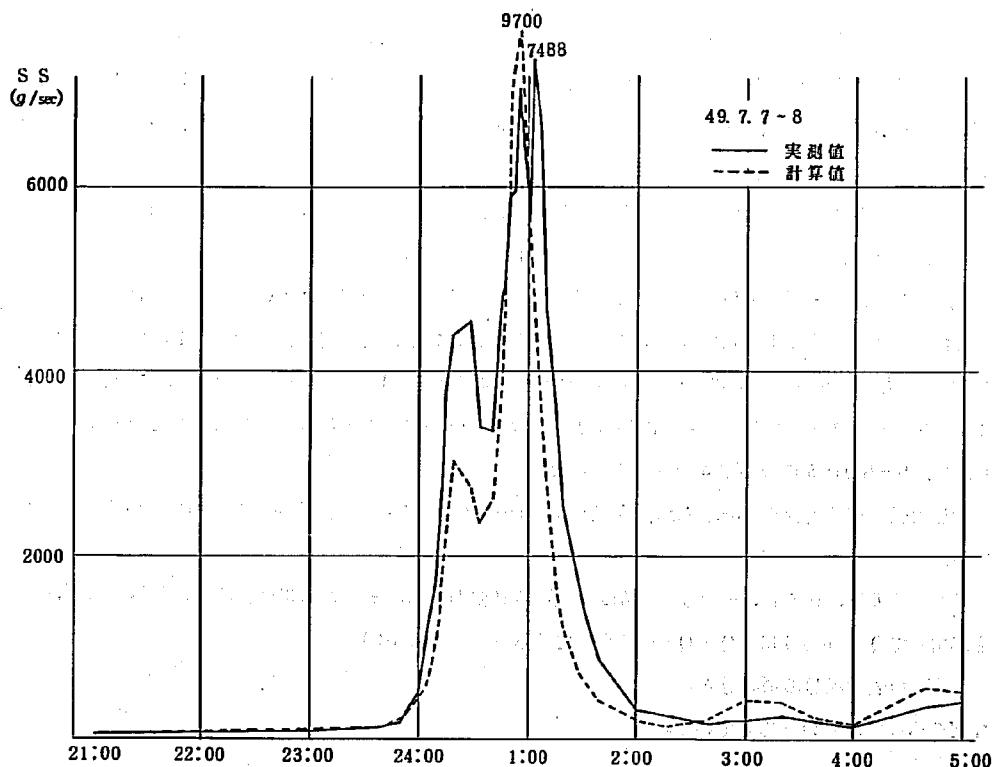


图 - 2.5.9

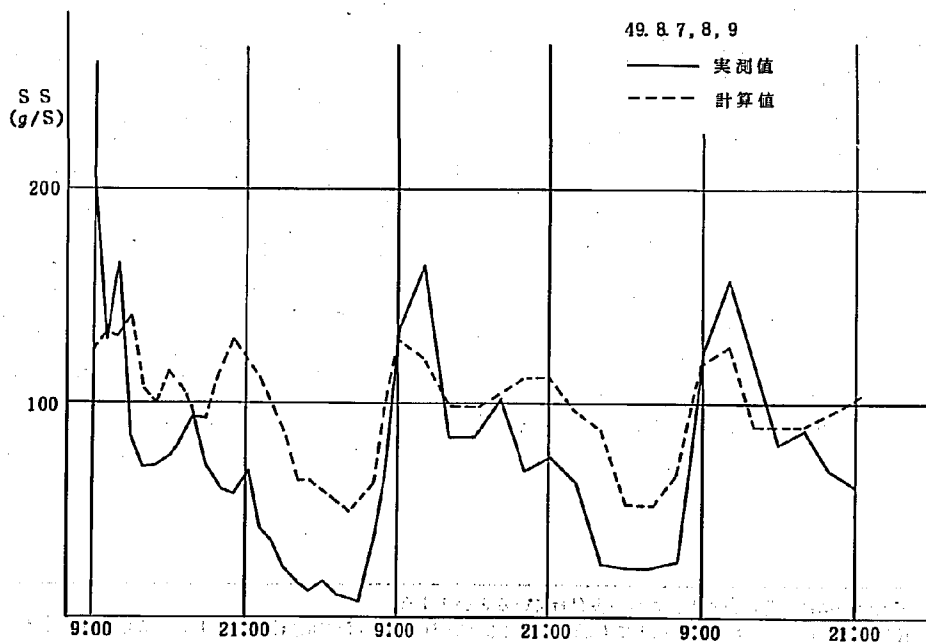


图 - 2.5.10 SS (晴天时)

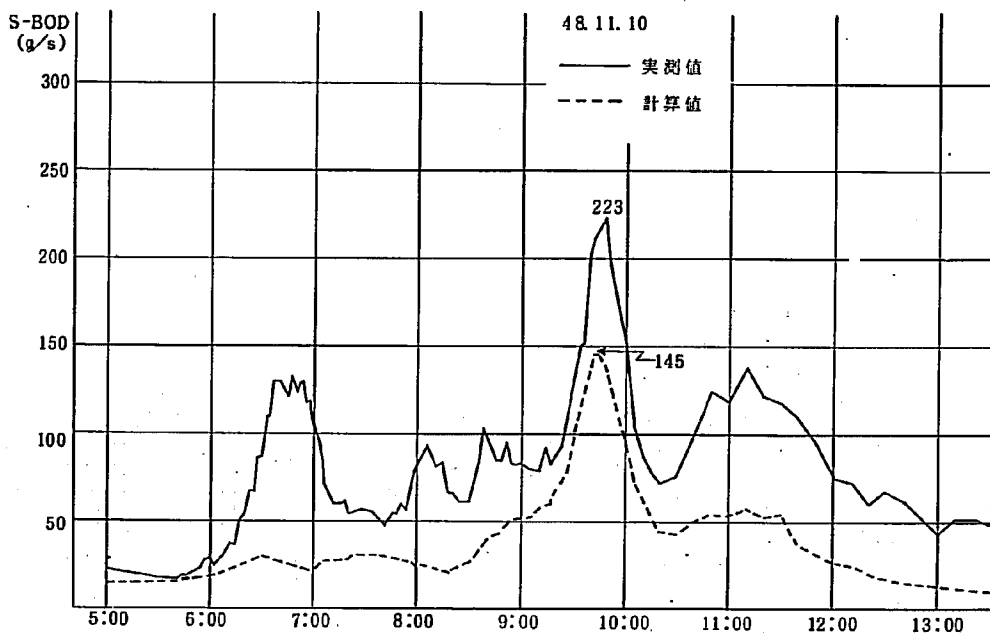


图 - 2.5.1.1

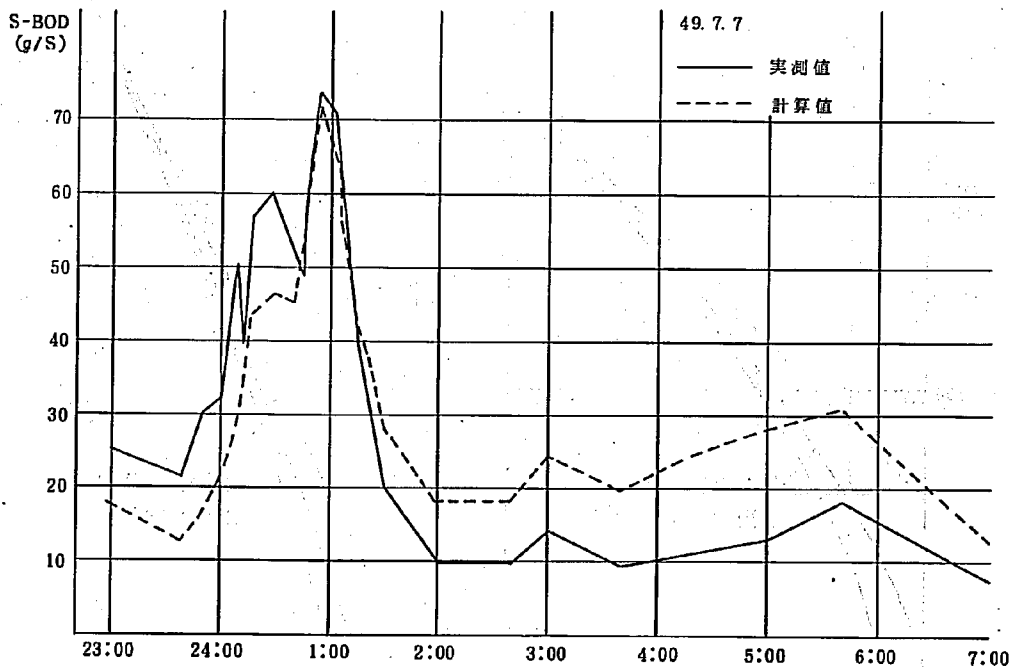


图 - 2.5.1.2

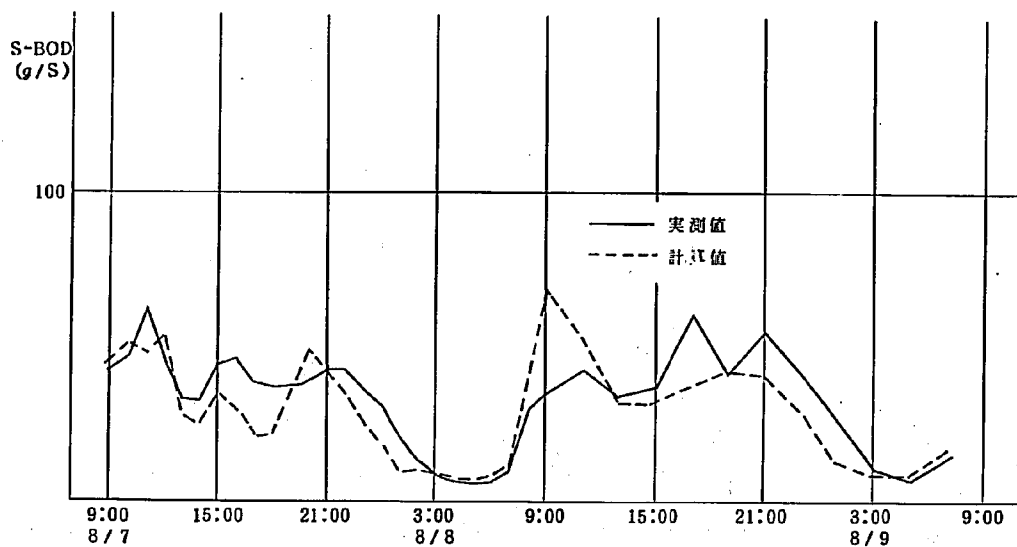


図 - 2. 5. 13

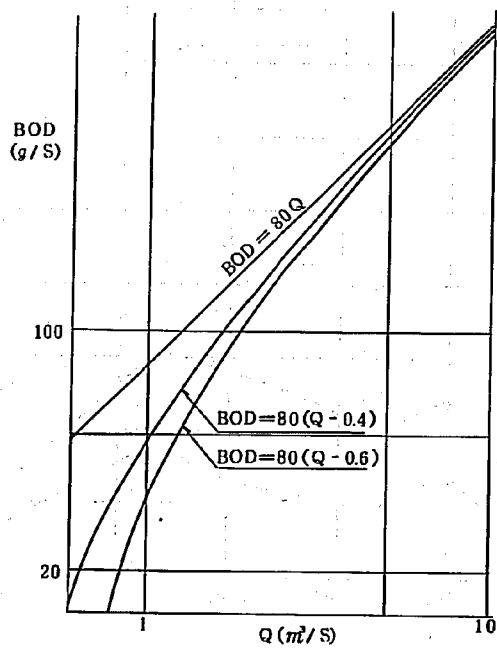


図 - 2. 5. 14 その1

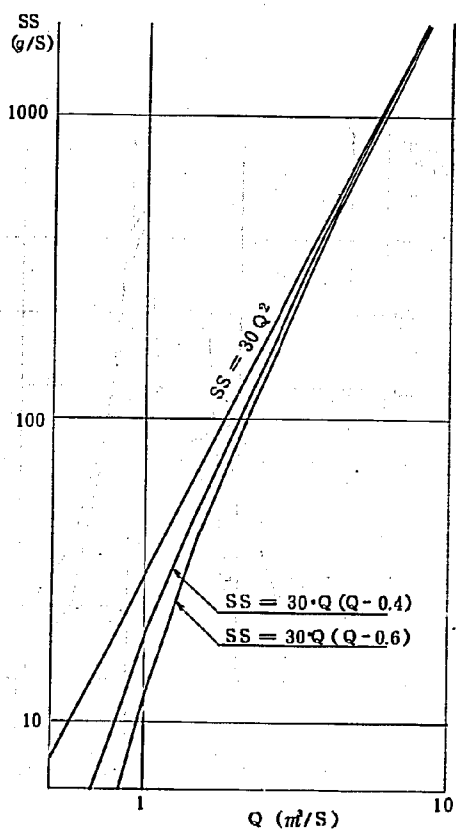


図 - 2. 5. 14 その2

2-6 ま と め

49年までの3年間に、谷端川排水区の下流端で採水分析した結果についてまとめてみた。当初は皆目見当のつかなかった現象も徐々に見えるようになってきた。同ようシミュレーションに関しても、より実状を示すモデルを開発できた。これは般用性からいってもさらに検討を進める必要があると思っている。

また晴天時負荷特性について、あと一つの努力が必要であろう。

第3章 雨天時下水の処理対策について

3-1 雨天時下水の処理対策のシミュレーション

雨天時における合流式下水道からの越流水の問題は、すでに1950年頃から Boston, Concord, Detroit 等の都市における実測から指摘されている。わが国で本格的な雨天時下水の観測が行なわれたのは、1967年（昭和42年）の土木研究所の調査が最初である。このときの調査でも雨天時に合流式下水道の雨水吐から越流する下水が、従来考えられていたような稀釈されたきれいな水ではなく、多量の浮粒子を含むかなり汚染されている下水であることが報告されている。

わが国では下水道普及率も低く、合流式下水道からの越流下水の問題は、わずかに下水道関係者の間で認識されている程度で社会的な関心度もうすいのが現実である。このようなわけで合流式下水道からの越流下水対策として滞水池を建造するなり、分流式に切り替えるなどの処置を講じてその効果を検討したという例はいまだ耳にしていない。米国では下水道普及率も高く、雨天時の合流式下水道からの越流下水がかなり深刻な汚染源となっているため、これまで多くの対策が提案され、実施されている（図-3.1.1）。

ここでは、稀釈倍率を上げた場合、および滞水池を造った場合に、放流汚濁負荷の削減という観点からどのくらいの効果があるか検討してみたいと思う。

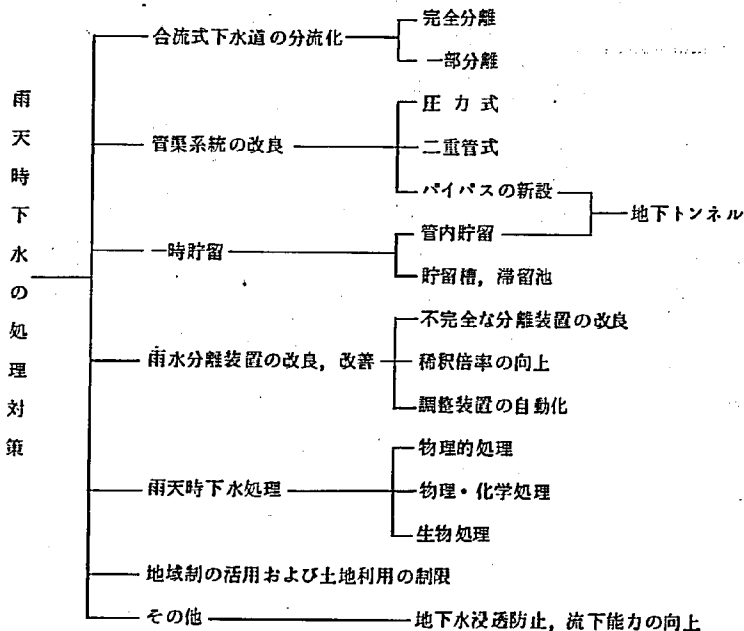


図-3.1.1 これまでに提案された雨天時下水の処理対策

BOD₅については、ひと雨による総流出負荷量の精度が、今のところ堆積量をも考慮した式よりは、単純に流量だけの式の方が良い点、および何年間かの降雨に対して計算してみたいという点から、つぎの

$$-\frac{dL}{dt} = 100 \cdot Q$$

$$(\text{流出負荷量 g/s}) = (100 \text{ mg/l}) \cdot (\text{流量 ml/s})$$

という式を用いて計算した。

流量は、降雨資料をS.40～S.44年まで、土木研究所水文研究室が土研屋上(赤羽)で観測した全データを5分間隔で読みとったものを使用し、修正RRL法で求めた(変数は既往データを用いてチェック済)。晴天時汚水量はS.48.7.12に観測された日変化パターンをそのまま用いた。

SSについては、堆積量をも考慮したつぎの

$$-\frac{dL}{dt} = K \cdot L^m \cdot Q^n$$

$$(K = 0.635, L_0 = 100 \text{ ton}, m = 1.0, n = 1.7)$$

という式で流出負荷量を求めた。また流量はS.49年に谷端川下流観測所で得られた水位データを、H～Q曲線を使って求めた。晴天時汚水量については、S.49.8.7～9の平均パターンを使用した。

以下の事項については、BOD₅、SSの両方の場合のシミュレーションに共通であり、

1. 雨水吐室の稀釈倍率に用いる晴天時時間最大下水量は1.6 ml/sとした。従って3倍量は、4.8 ml/sとなる。
2. 晴天時汚水量と雨水流出量を加えたもの(以下、雨水吐流入量と記述)の流量が、雨水吐越流開始流量以上のものは、雨水吐地点で放流される。滞水池がある場合は、滞水池が満杯でなければ、滞水池に流入する。
3. 滞水池へは、雨水吐からの越流開始流量を越えた分が流入し、滞水池が満杯になれば、それ以降の越流水は直接公共用水域に放流される。
4. 滞水池から処理場への流送は、雨水吐流入量が時間最大下水量1.6 ml/s以下のときのみに行われ、流量は流送可能量(1.6 ml/s－雨水吐流入量)と流送能力との小さいほうとした。流送能力は、晴天時最小流量と1.6 ml/sとの差として0.9 ml/sとしたので、滞水池から処理場へ送られた汚水は、全て2次処理されるものとした。
5. 1次処理施設からの放流水質はBOD₅、SSとも70 mg/lとした。
6. 2次処理施設からの放流水質はBOD₅、SSとも20 mg/lとした。

3-1-1 稀釈倍率の引上げ

都市域への急激な人口流入によって、当初計画した計画下水量を大中に上回る下水量になっている例もかなりあり、極端な場合には晴天時に雨水吐室から未処理の生下水が越流している現象も見うけられる。

水質汚濁の防止という観点から、合流式下水道の越流水対策として単に稀釈倍率だけを上げると

とが考えられているが、このような対策が真に効果的なものであるかを探って見た。ここでは、稀釈倍率の引上げに応じて、遠集管渠の能力と一次処理施設の能力が引上げられるものとする。従って、現在3Qの能力でも、稀釈倍率が5Q、10Qなどに引上げられれば、管渠および一次処理施設も5Q、10Qの能力をもつようになる。

稀釈倍率の変化に対する雨水吐放流量と雨天時における全放流負荷量を比較したものが図-3.1.2および図-3.1.3である。

図を見ても明らかなように、稀釈倍率の引上げによって雨水吐から直接放流される下水量は著しく減少する。しかしながら、稀釈倍率の引上げによって一次処理水量が増大し、雨天時における総放流負荷量の減少を期待するまではいかない。

稀釈倍率を3倍としたときには、 BOD_5 で約166t/年、SSで215t/年の総放流負荷があるが、これを5倍に引上げても BOD_5 は158t/年、SSは201t/年にしか減少せず、約5%前後の削減率の上昇でしかないことがわかる。

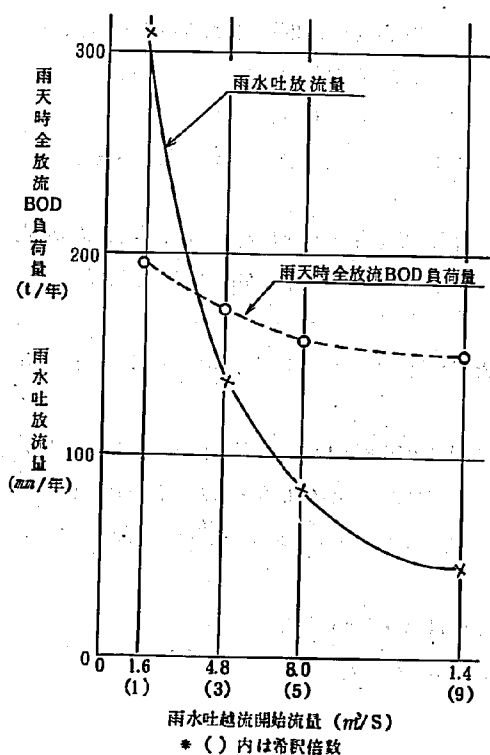


図-3.1.2 稀釈倍率の引上げ効果 (BOD_5)
S. 40~S. 44 平均

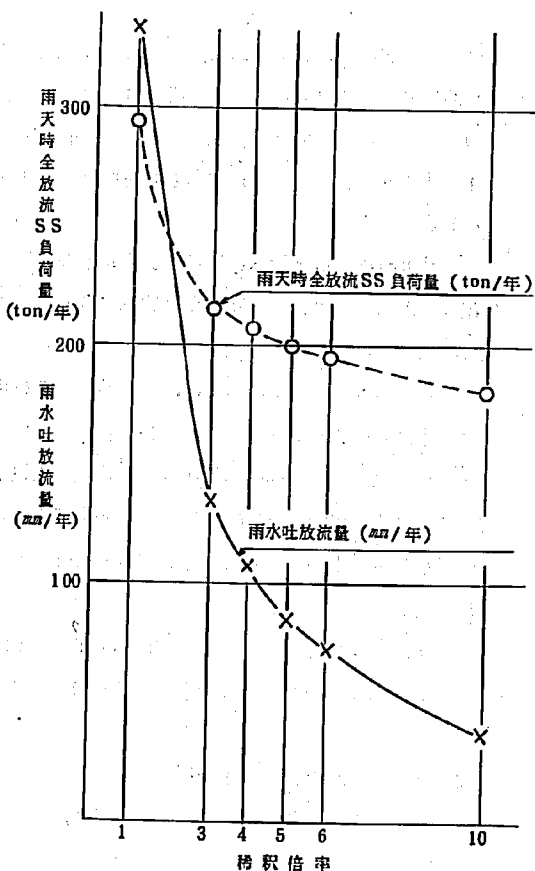


図-3.1.3 稀釈倍率の引上げ効果 (SS) S. 49

3-1-2 滞水池

雨水吐からの越流水を滞水池に導き、一時的に貯留するという対策があるが、滞水池容量と直接公共用水域に放流される負荷量および雨天時の全放流負荷量との関係を示したものが図-3.1.4および図-3.1.5である。

流域平均5mmの滞水池をつくった場合、 BOD_5 、SSの全放流負荷は各々142t/年、164t/年となり BOD_5 で15%、SSで33%前後の削減率の昇が期待できる。さらに、SSのシミュレーションでわかったことであるが、滞水池容量を大きくすればする程、直接放流される下水の水質が良くなるということである（これは、滞水池が大きくなれば、滞水池が満杯になった以降に雨水吐に流入する下水がより稀釈されたものであることを考えれば当然といえよそれまでなのだが）。ところが、単に雨水吐の稀釈倍率を上げただけでは、直接放流される下水の平均水質は、稀釈倍率を上げれば上げる程高くなる傾向にある。

雨天時における総放流負荷の削減という観点ばかりでなく、直接未処理で放流される下水の平均水質を下げるという観点からも、単に稀釈倍率を上げて処理場規模を大きくするよりは、滞水池をつくって、越流下水を一時的に貯留し、晴天時に処理場に戻してやるシステムのほうがすぐれているという結論になるであろう。

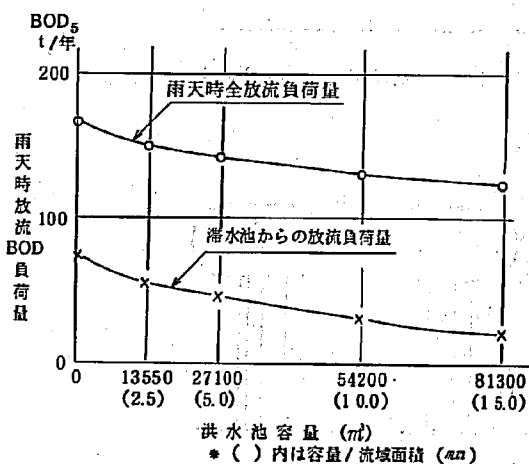


図-3.1.4 滞水池容量と放流負荷量 (BOD_5)

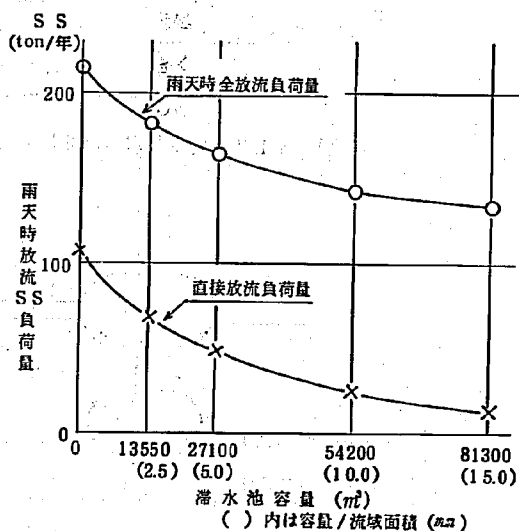


図-3.1.5 滞水池容量と放流負荷量 (SS)

3-1-3 結果の考察

いままで、雨天時合流式下水道の越流下水対策の中で、単に稀釈倍率を上げた場合と、滞水池をつくって一時的に越流下水を貯留した場合の効果を比較してきたのであるが、現在の3Qの排水システム、稀

積倍率を5Qにしたときの排水システムおよび容量54200 m^3 （流域平均10mm）の滞水池を作った場合の排水システムを、放流水量および放流負荷量を明らかにして図式化すると図-3.1.6～11のようになる。ただし、前にも述べたように、 BOD_5 はS.40～S.44の5年間の平均、SSはS.49についての値

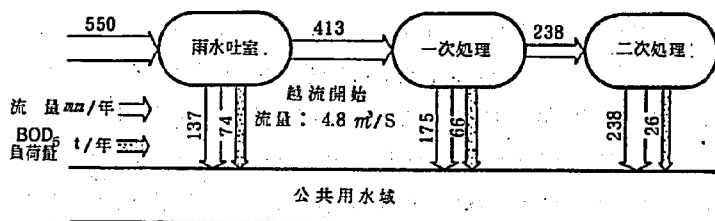


図-3.1.6 現在の雨天時下水システム (BOD_5)

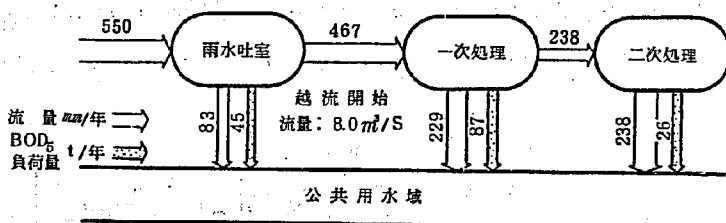


図-3.1.7 雨水吐室越流開始流量を上げた排水システム (BOD_5)

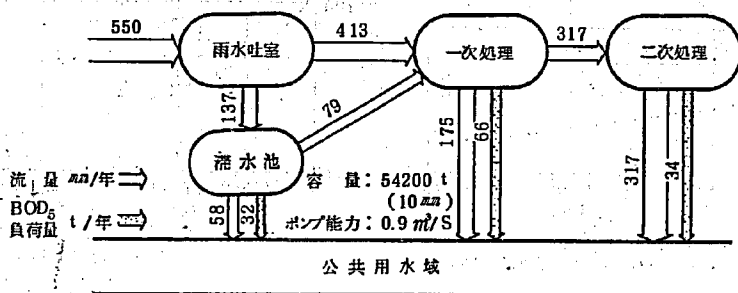


図-3.1.8 現システムに滞水池を加えた排水システム (BOD_5)

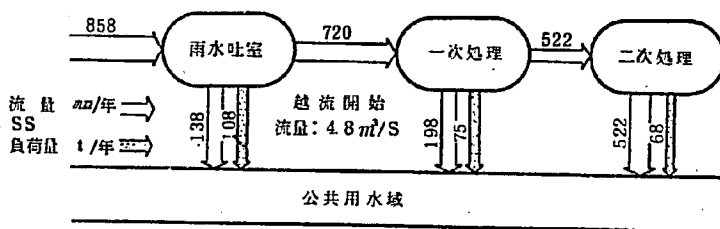


図-3.1.9 現在の雨天時下水排水システム (SS)

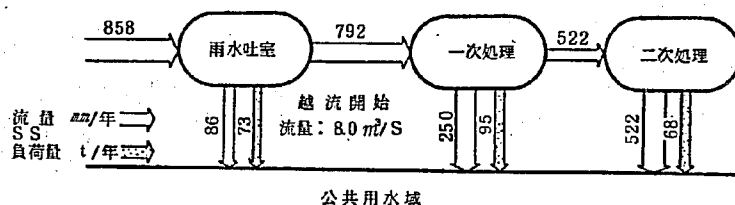


図-3.1.10 雨水吐室越流開始流量を上げたシステム (SS)

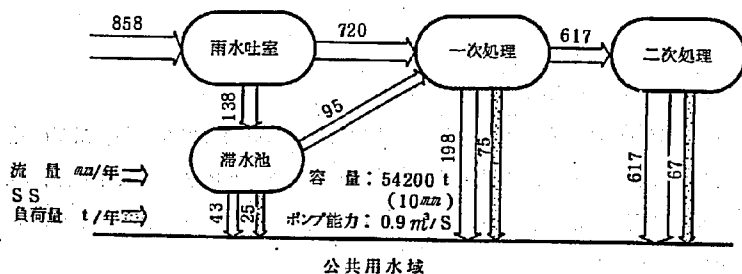


図-3.1.11 現システムに滞水池を加えた排水システム (SS)

であることをとわておく。

いままでは雨天時のみを対象にしていたが、晴天時をも解析対象にとり入れて、真の意味で年間総放流負荷量 (SS) がどうなるかを、稀釈倍率の引上げおよび滞水池をつくった場合について検討したものが図-3.1.12 および 13 である。図を見てわかるように、どんなに稀釈倍率を上げても、またどんなに大きな滞水池をつくっても、年間の総放流負荷量の削減という意味では高々 7% 前後の効果しか現われないといえる。この大きな原因は、谷端川流域がかなり地形の急な (平均地表勾配 1.5%) かつ良好な住宅街であり、米国で見られるような、雨天時放流負荷が年間の晴天時放流負荷に匹敵する程悪質な雨天時下水を流出してはいないということであろう。管勾配がレベルに近いような低平地では、管内堆積量も相当大きく、雨天時下水が晴天時下水と同程度の放流負荷が得られることが予想される。

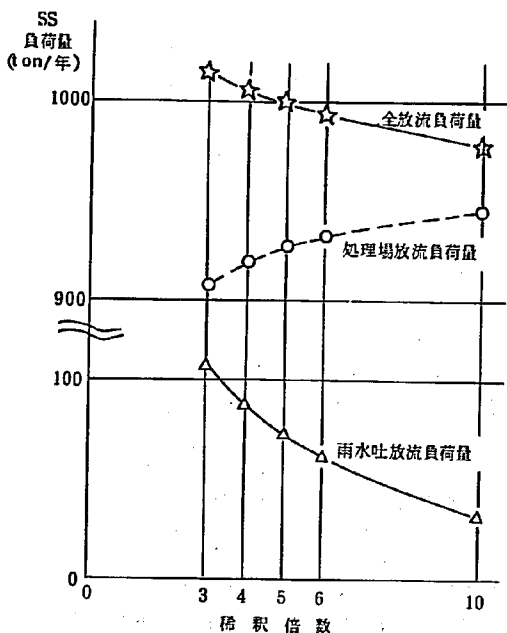


図-3.1.12 雨水吐越流開始流量の引上げ効果

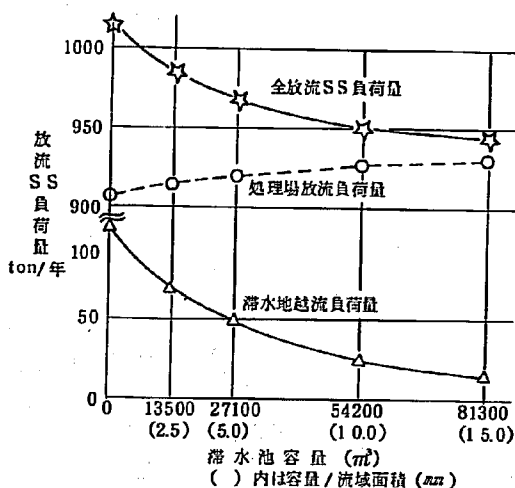


図-3.1.13 滞水池の容量と放流負荷量

3-2 アメリカでの一事例の紹介

さて、今まで放流負荷量の削減という観点からのみ対策の効果を論じてきたが、対策の是否は費用をぬきにしては検討できないであろう。単に米国で使われている費用関数などの紹介では、わが国の実情にそぐわない点が多々あらうと思われるので、ここでは、費用の問題も含め、どのような対策案を採用するか決定する場合の方法例を紹介したいと思う。

米国のMinnesota州 St. Paul は1926年に合流式下水道が整備されたが、市街地の拡大、人口増加により既存の下水道は能力の限界にきている。そのため雨天時下水の排除がうまくいかず、1952年から1972年までに6回も洪水を経験し、しかも1972年の洪水の後で99人の市民が98000ドル以上の損害賠償を要求して裁判所に訴訟を起こした。このようなわけでSt. Paul市当局にとっては、合流式下水道の改善は主に洪水対策として早急に行なわねばならないことであり、市は職員および地方の専門家から成る作業グループを編成し、対策案の検討を行なった。

まず3つの基本的な対策案について検討を行なった。

- (1) よくはん濫の起こる地域に雨水排除用のバイパス管を新設し、既存の下水道システムに接続する。
- (2) 雨水を放流水面へ放流する。
- (3) よくはん濫の起こる地域の外部に、雨水を一時的に貯留する滞水池をつくる。

以上3つの基本案の中で(1)は下流側の管が既に容量限界にきているので実現困難であるが、(2)については河川あるいは付近の湖への放流は可能である。Mississippi河への放流は、莫大な建設費がかか

るので（河は数マイル先）将来のこととしておいといて、Lake Phalen, Frost Lake, Wakefield Lake などへの放流は150万ドルから200万ドルぐらいでできる。しかしながら Frost Lake, Wakefield Lakeは容量も小さいので汚染問題を引き起こす可能性がある。(3)の一時貯留はさらに①地下トンネル ②開水路貯留 ③滞水池の3つに分けて検討された。①の地下トンネルは、直径28フィート、最小管長900フィートで約550000 cuftの容量をもち、建設費も149万ドルで済むが、維持管理費が高く、またこのようなシステムの運営が技術的に確実にできるかどうか疑問である。②の開水路貯留は、約610000 cuftの容量をもたせることが必要であるが、10フィート管で8000フィート、8フィート管で12000フィートの長さを要し、どちらも215万ドルぐらゐの費用がかかる。さらに建設にともなう、交通・商業活動への影響が大きい。③の滞水池は新たな集水システムを必要とするが、さらに、位置をどこにするかで2つの案に分かれた。一つはLake Phalenのそばの市民公園、もう一つは空地で

表 - 3. 2. 1 各対策案の比較

基 準		Lake Phalen への放流	Wakefield Frost Lake	ディープ ・トンネル	開水路 貯水池	一 時 貯 留	
						公 園	空 地
費用 (millions)		\$ 2.0	\$ 1.5	\$ 1.49	\$2.15	\$ 2.38	\$ 1.59
すべての洪水を防げるか		Yes	No	No	No	Yes	No
レクリエーション水域への排水	要 不 要	—	—	+	+	+	+
雨水処理	要 不 要	—	—	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A
美観の破壊	Yes No	—	—	+	+	—	—
フェンス	要 不 要	+	+	+	+	—	—
放流水面の要量が適切か	Yes No	+	—	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A
放流水面まで長距離か	Yes No	—	+	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A
幹線道路上の工事	要 不 要	+	+	+	—	+	+
既存施設の利用妨害	Yes No	—	+	+	—	+	+
ディープパイプ	要 不 要	+	+	—	+	+	+
高額の管理費	要 不 要	+	+	—	+	+	+
技術的信頼度	Yes No	+	+	—	+	+	+
法的問題	Yes No	+	—	+	+	—	+
土地取得	要 不 要	+	+	+	+	+	—

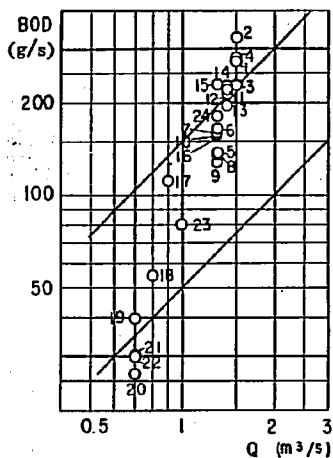
(+: メリット側, —: デメリット側)

ある。Lake Phalenのそばに滞水池をつくれば、湖を汚染することなしに洪水が防げるが、約238万ドルを要し、さらに子供が池に落ちないようにフェンスが必要で、市民公園もなくなってしまう。空地に滞水池をつくる場合は、フェンスは必要だが約189万ドルで済む（5エーカーの土地が25000ドルで取得出来たとする）。しかし、付近の市民に池は危険でなく、また見にくいものでもないことを納得させる必要がある。そしてさらに、ひょっとしたら付近の建築物は耐水化（flood proofing）しなければならないだろう。

以上、各案のメリットとデメリットを一覧表にすると表-3.2.1のようになり、市は(3)の③の滞水池案（空地につくる）を採用した。

St. Paulにおける例は、おもに洪水防御面からの合流式下水道の改善策を検討したものであるが、この例に見られる対策案の選定方法は汚濁流出の防止という観点から合流式下水道を改善する場合にも十分適用出来るわけで、今後各種の対策案から実行案を選定する場合に、費用および流出負荷のてい減効果を含んだ評価基準について検討する必要がある。

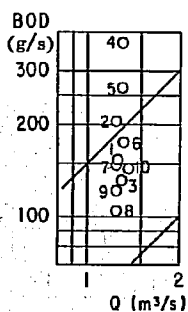
付 録



付図-1の1

BOD (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

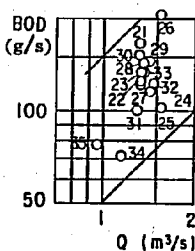
48. 7. 12 (晴天時)



付図-1の3

BOD (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

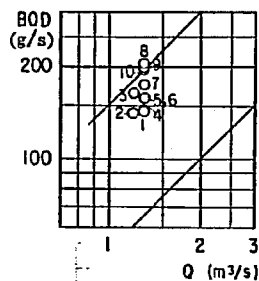
48. 7. 20 (雨天時)



付図-1の4 その2

BOD (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

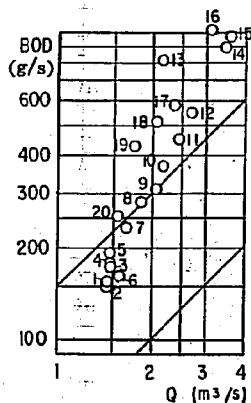
48. 7. 21 (雨天時)



付図-1の2

BOD (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

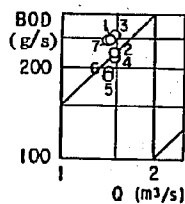
48. 7. 19 (晴天時)



付図-1の4 その1

BOD (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

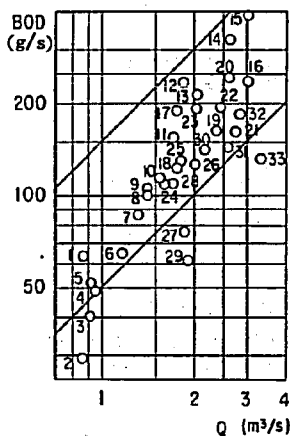
48. 7. 21 (雨天時)



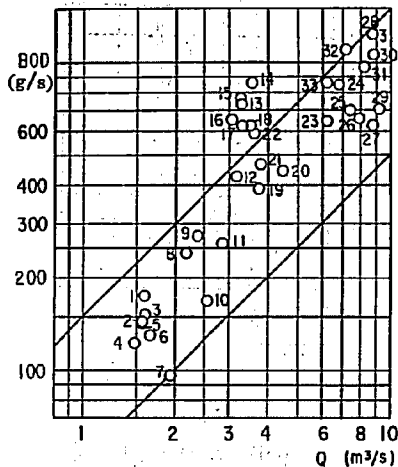
付図-1の5

BOD (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

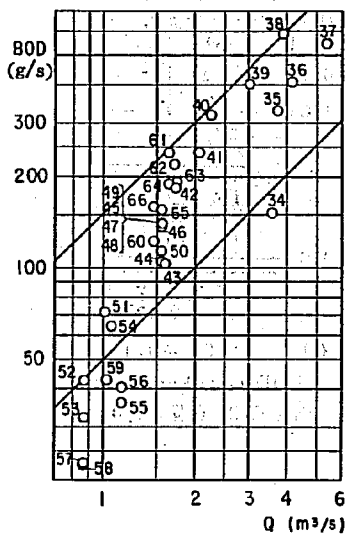
48. 7. 26 (晴天時)



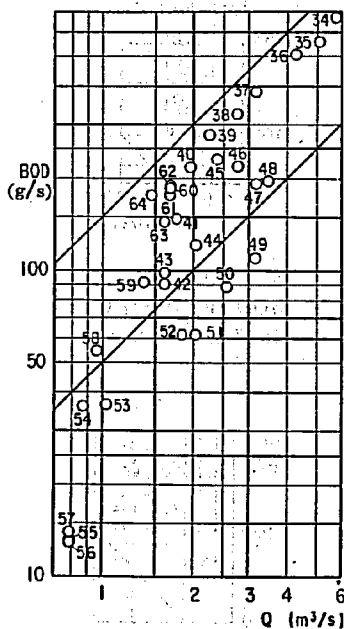
付図-1の6 その1
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 7. 29 (雨天時)



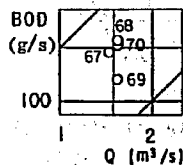
付図-1の7 その1
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 1 (雨天時)



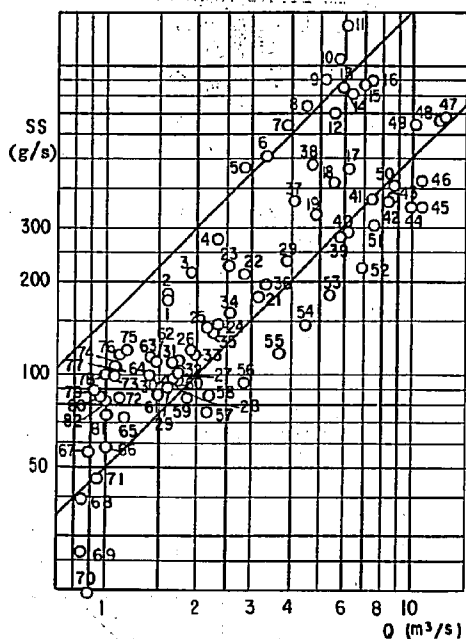
付図-1の6 その2
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 7. 29 (雨天時)



付図-1の7 その2
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 1 (雨天時)

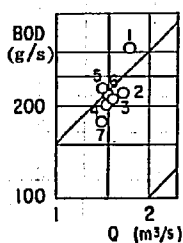


付図-1の6 その3
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 7. 29 (雨天時)



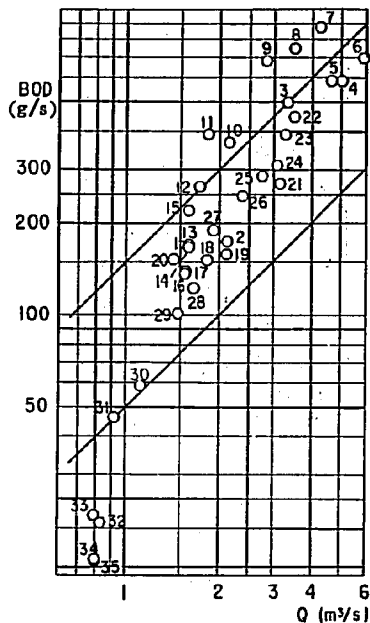
付図-1の8

BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 4 (雨天時)



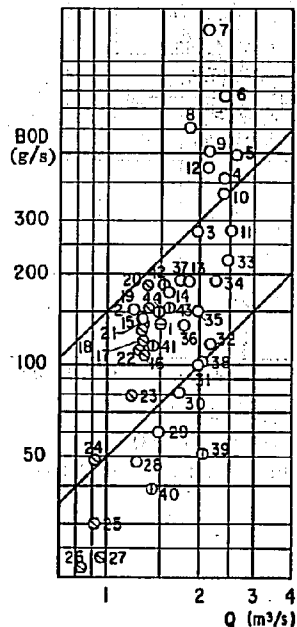
付図-1の9

BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 10 (晴天時)



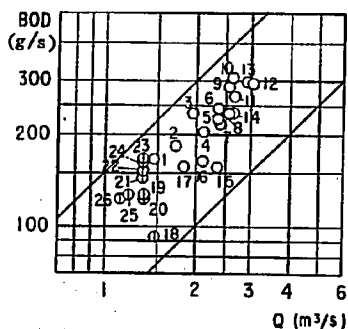
付図-1の10

BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 10 (雨天時)

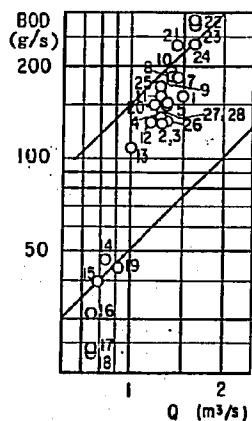


付図-1の11

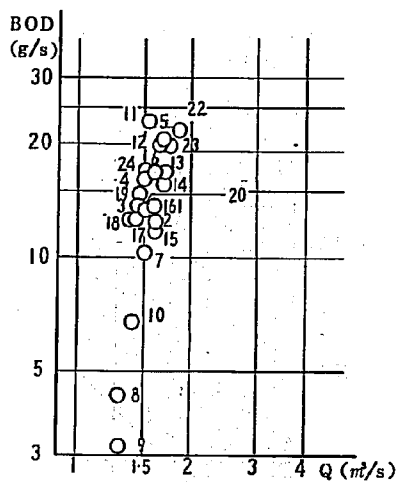
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 24 (雨天時)



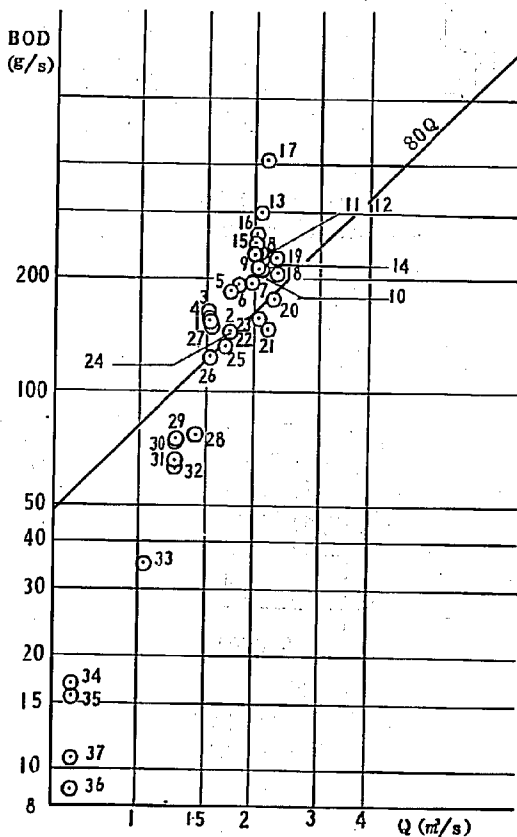
付図-1の12
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 25 (雨天時)



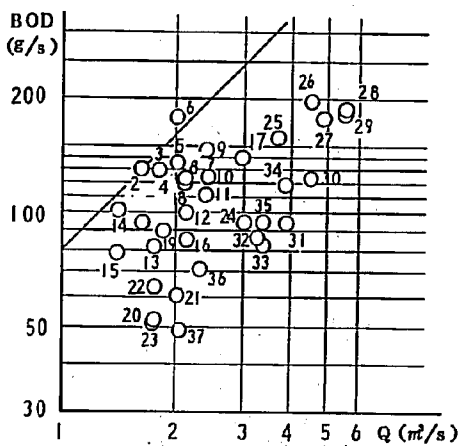
付図-1の13
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 26 (晴天時)



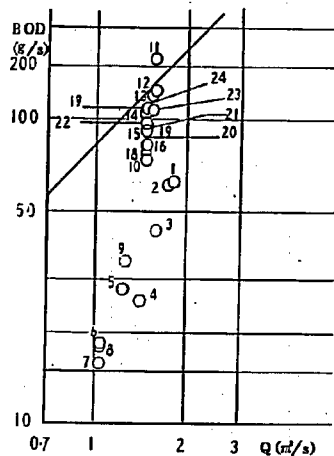
付図-2の1
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7. 3 13:00 ~ 7/4 20:00
(晴天時)



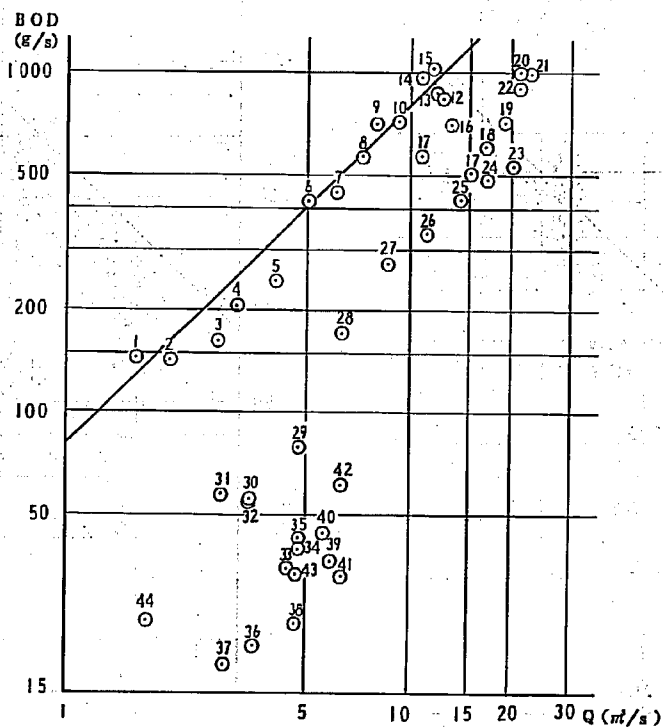
付図-2の2
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7. 4 20:35 ~ 7/5 6:00
(雨天時)



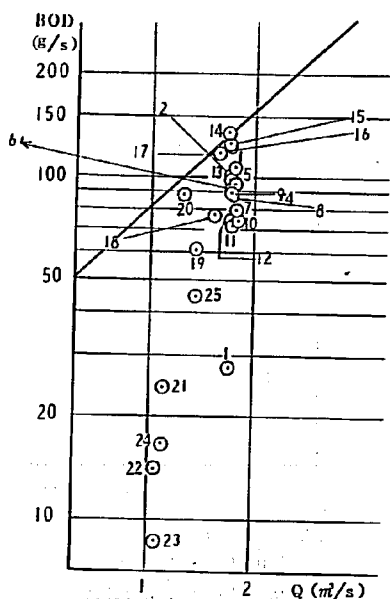
付図-2の3
 $BOD(g/s) \sim Q(m^3/s)$
 49.7/5 7:00 ~ 22:00
 (雨天時)



付図-2の4
 $BOD(g/s) \sim Q(m^3/s)$
 49.7/5 22:10 ~ 7/6 22:00
 (晴天時)

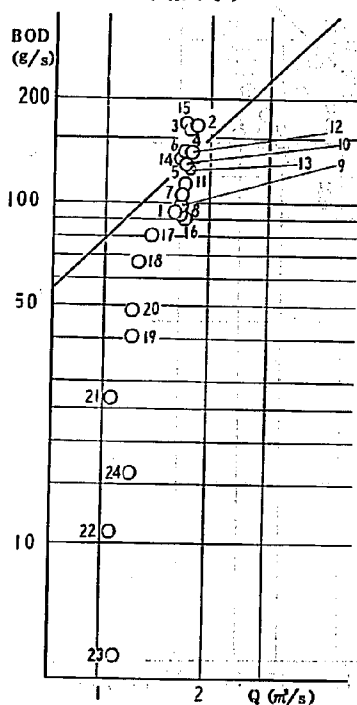


付図-2の5
 $BOD(g/s) \sim Q(m^3/s)$
 49.7/7 23:00 ~ 7/8 7:30
 (雨天時)



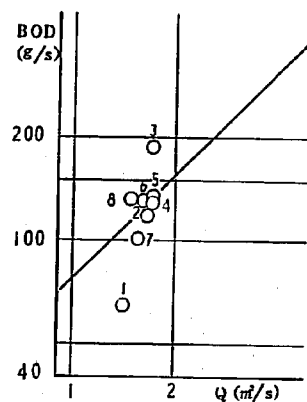
付図-2の6

BOD(g/s)~Q(m³/s)
49. 7/8 8:00~7/9 7:00
(晴天時)



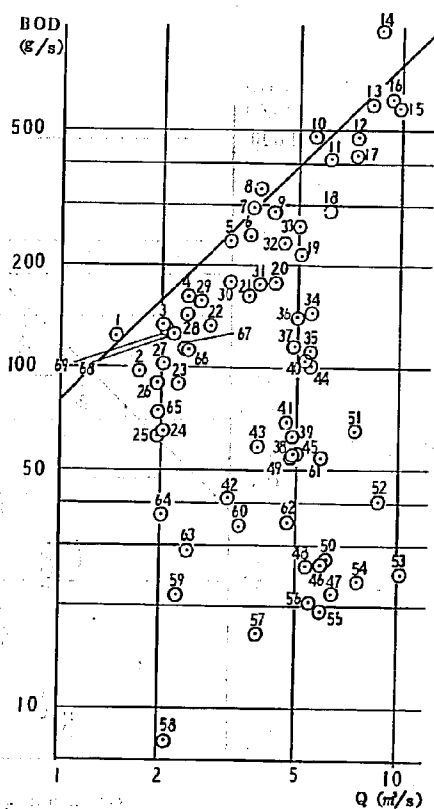
付図-2の7

BOD(g/s)~Q(m³/s)
49. 7/9 8:00~7/10 7:00
(晴天時)



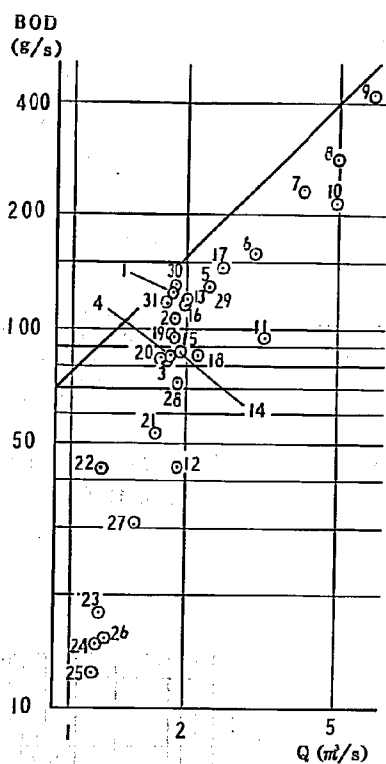
付図-2の8

BOD(g/s)~Q(m³/s)
49. 7/10 7:30~15:00
(晴天時)

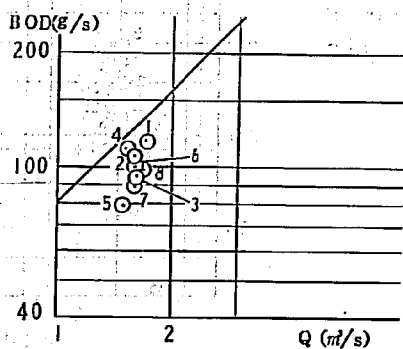


付図-2の9

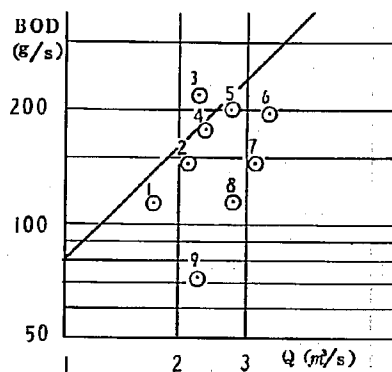
BOD(g/s)~Q(m³/s)
49. 7/10 15:30~7/11 10:00
(雨天時)



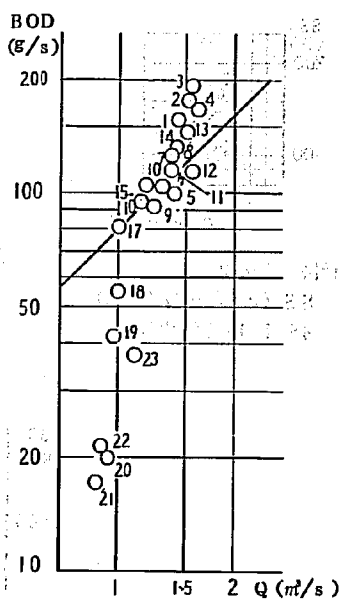
付図 - 2 の 10
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7/11 11:00 ~ 7/12 11:00
(雨天時)



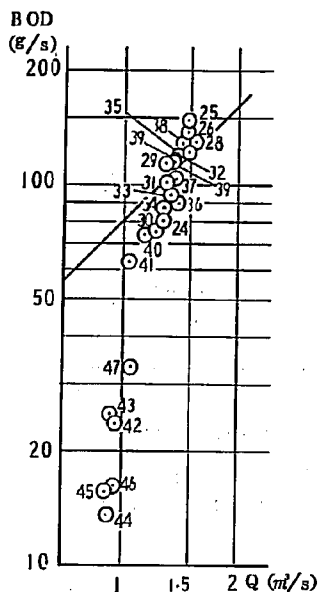
付図 - 2 の 11
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7/12 11:30 ~ 19:30
(晴天時)



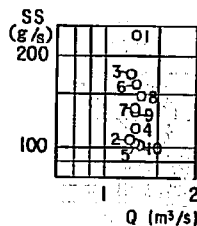
付図 - 2 の 12
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7/12 20:00 ~ 24:00
(雨天時)



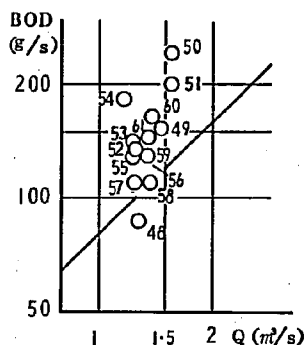
付図 - 2 の 13
BOD (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 8/7 (晴天時)



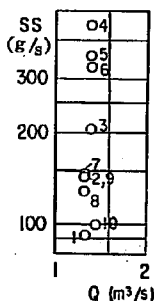
付図-2の14
BOD(g/s)~Q(m³/s)
49. 8/8 (晴天時)



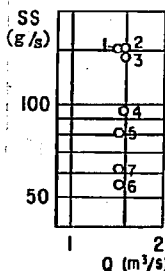
付図-3の2
SS(g/s)~Q(m³/s)
48. 7. 19 (晴天時)



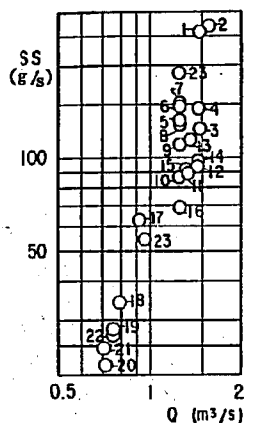
付図-2の15
BOD(g/s)~Q(m³/s)
49. 8/9 (晴天時)



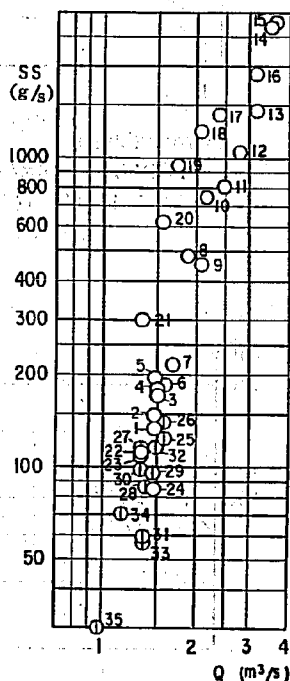
付図-3の3
SS(g/s)~Q(m³/s)
48. 7. 20 (晴天時)



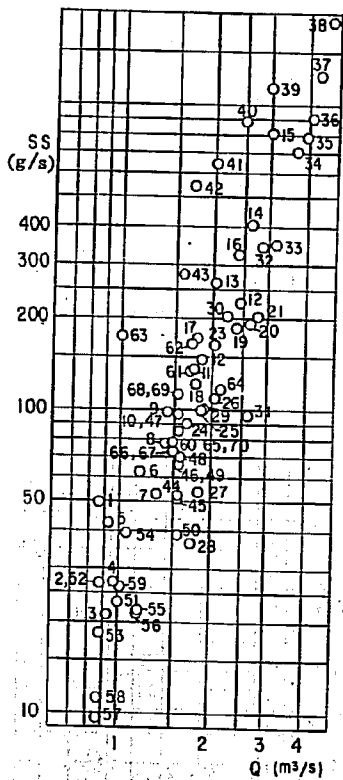
付図-3の5
SS(g/s)~Q(m³/s)
48. 7. 26 (晴天時)



付図-3の1
SS(g/s)~Q(m³/s)
48. 7. 12 (晴天時)

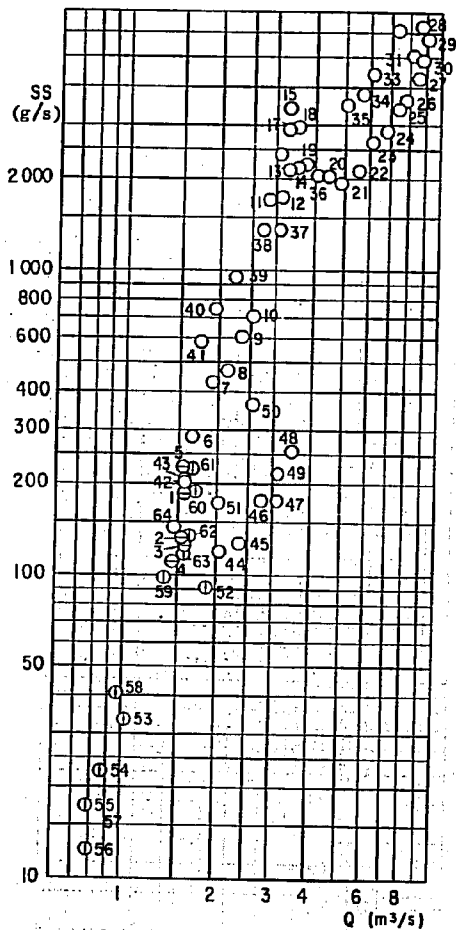


付図-3の4
SS(g/s)~Q(m³/s)
48. 7. 21 (雨天時)



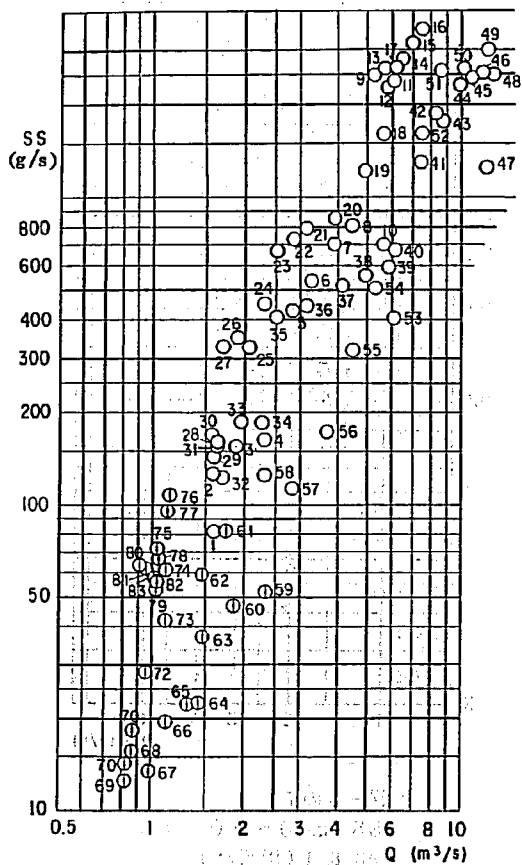
付図-3の6

SS (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 7. 29 (雨天時)

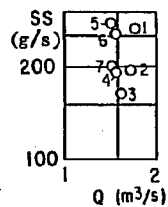


付図-3の7

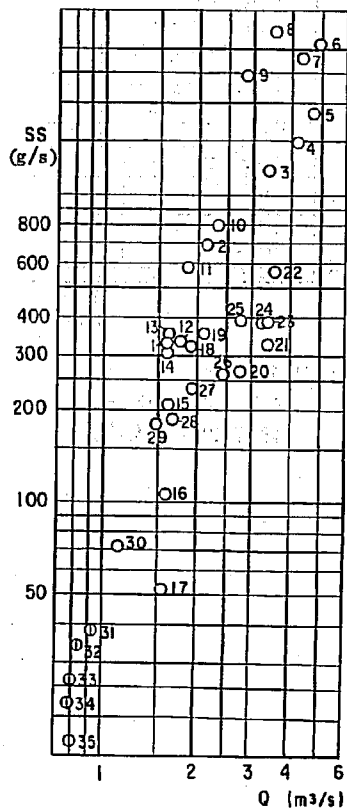
SS (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 1 (雨天時)



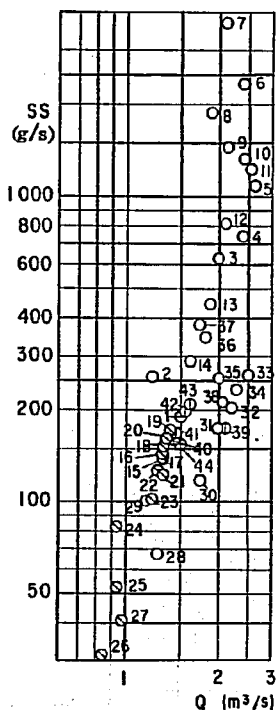
付図-3の8
 $SS (g/s) \sim Q (m^3/s)$
 48. 8. 4 (雨天時)



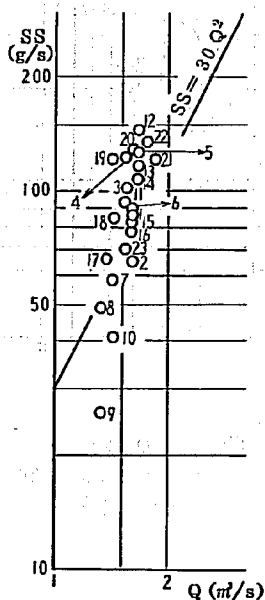
付図-3の9
 $SS (g/s) \sim Q (m^3/s)$
 48. 8. 10 (晴天時)



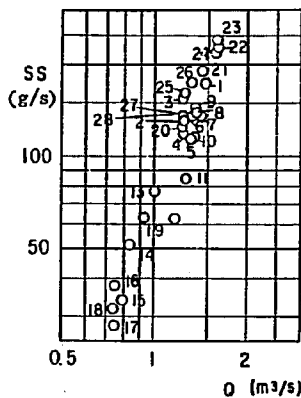
付図-3の10
 $SS (g/s) \sim Q (m^3/s)$
 48. 8. 10 (雨天時)



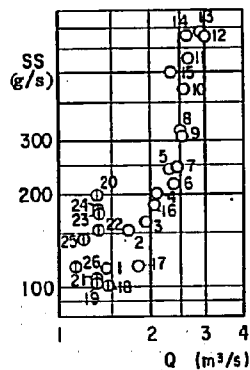
付図-3の11
SS (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 24 (雨天時)



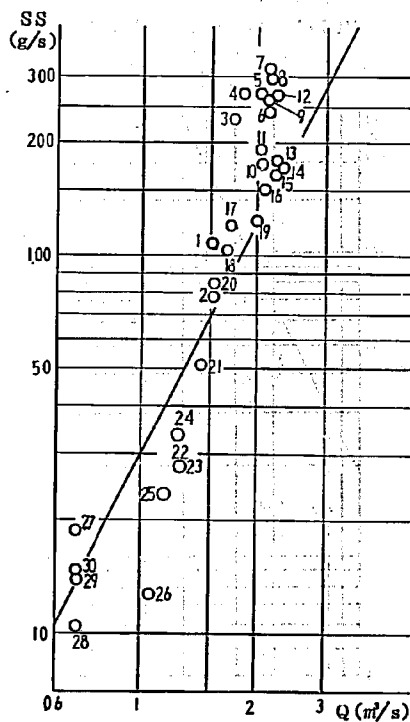
付図-4の1
SS (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7/3 13:00 ~ 7/4 20:00
(晴天時)



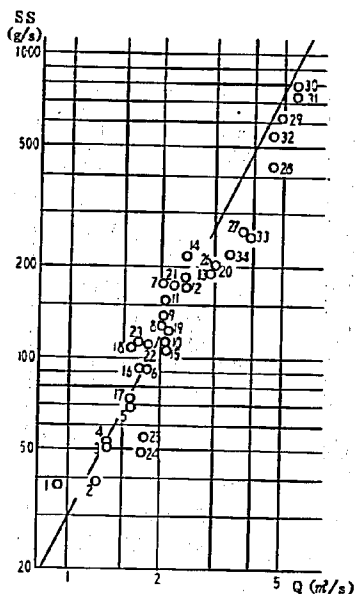
付図-3の12
SS (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 25 (雨天時)



付図-3の13
SS (g/s) ~ Q (m³/s)
48. 8. 26 (晴天時)

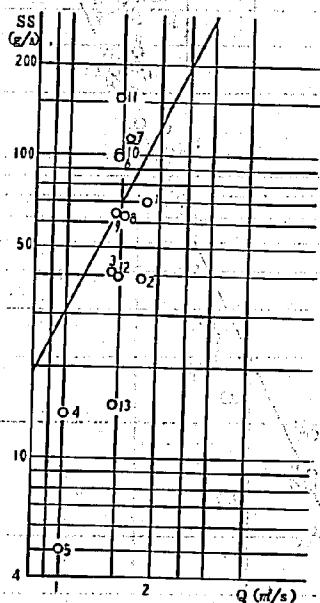


付図-4の2
SS (g/s) ~ Q (m³/s)
49. 7/4 20:35 ~ 7/5 6:00
(雨天時)



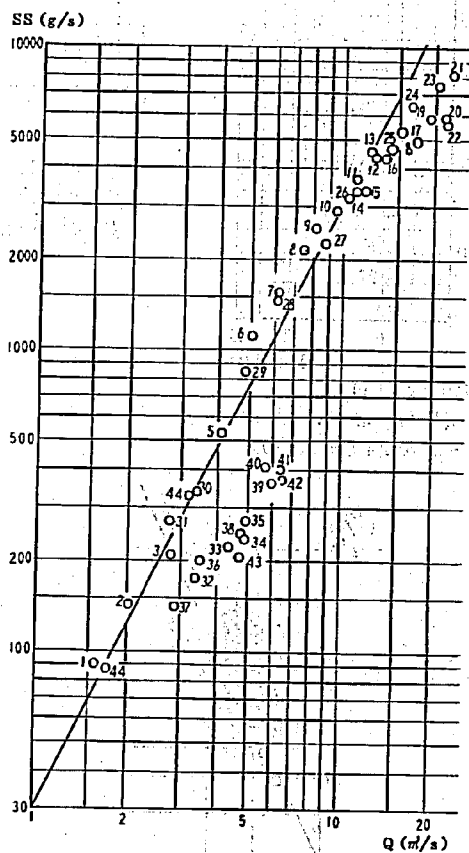
付図 - 4 の 3

SS (g/s) ~ Q (m/s)
49.7.5 7:00 ~ 7.5 22:00
(雨天時)



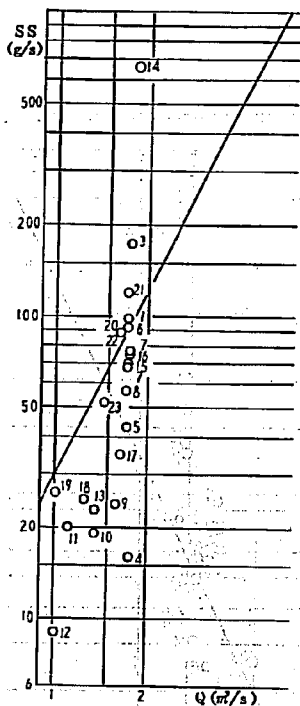
付図 - 4 の 4

SS (g/s) ~ Q (m/s)
49.7.5 23:00 ~ 7.6 22:00
(晴天時)



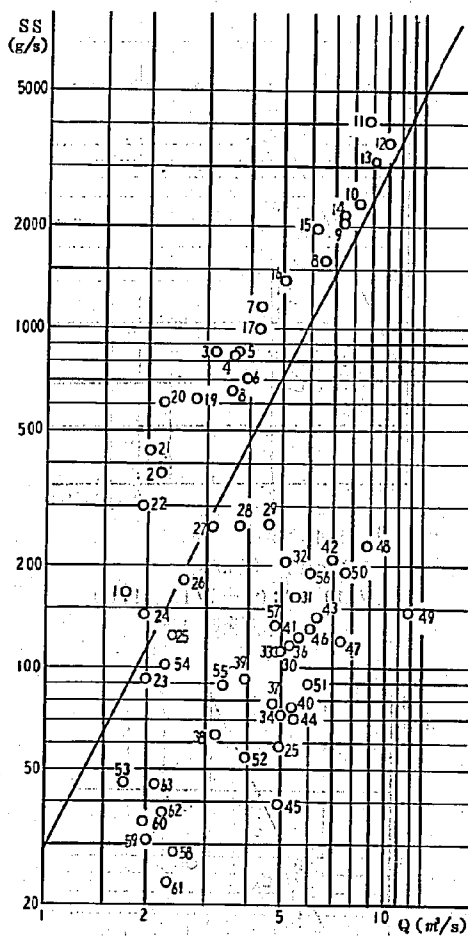
付図 - 4 の 5

SS (g/s) ~ Q (m/s)
49.7.7 23:00 ~ 7.8 7:30
(雨天時)



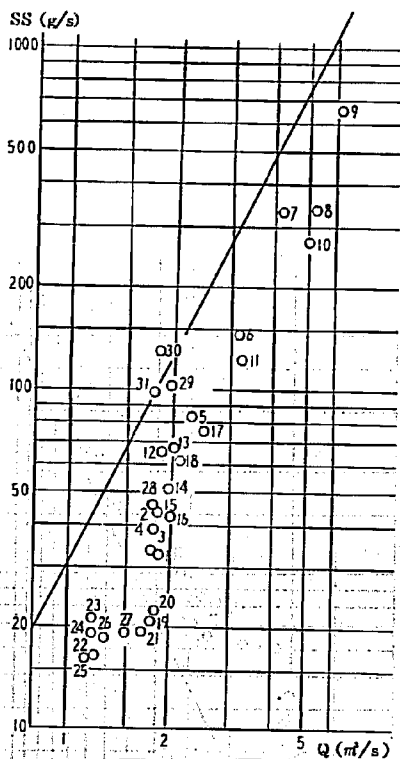
付図-4の6

SS (g/s) ~ Q (m³/s)
49.7/8 8:00 ~ 7/10 15:00
(晴天時)



付図-4の7

SS (g/s) ~ Q (m³/s)
49.7/10 16:00 ~ 7/11 10:00
(雨天時)

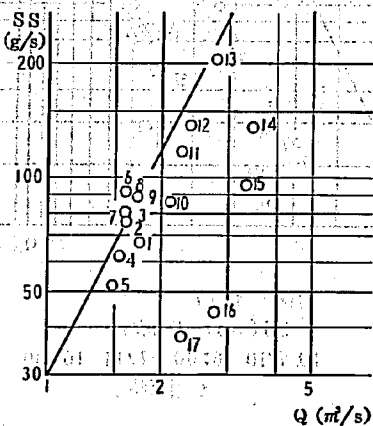


付図-4の8

SS (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

49.7/11 11:00 $\sim$ 7/12 11:00

(雨天時)

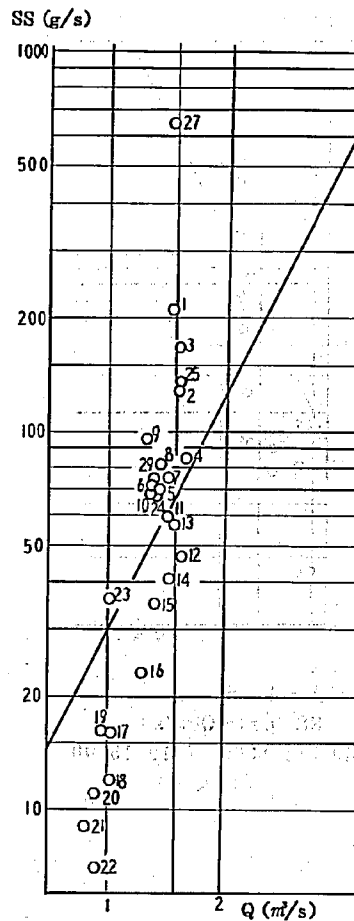


付図-4の9

SS (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

49.7/12 12:00 $\sim$ 24:00

(雨天時)

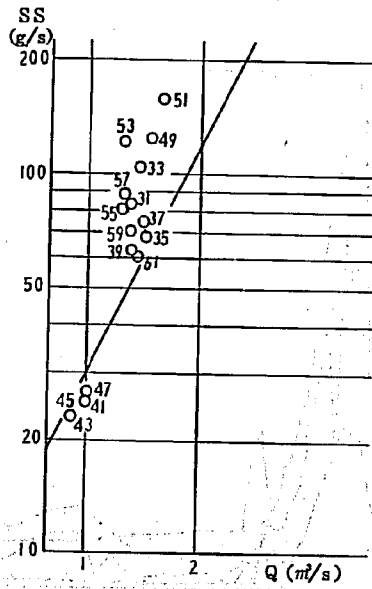


付図-4の10

SS (g/s) $\sim$ Q (m³/s)

49.8/7 $\sim$ 8/9

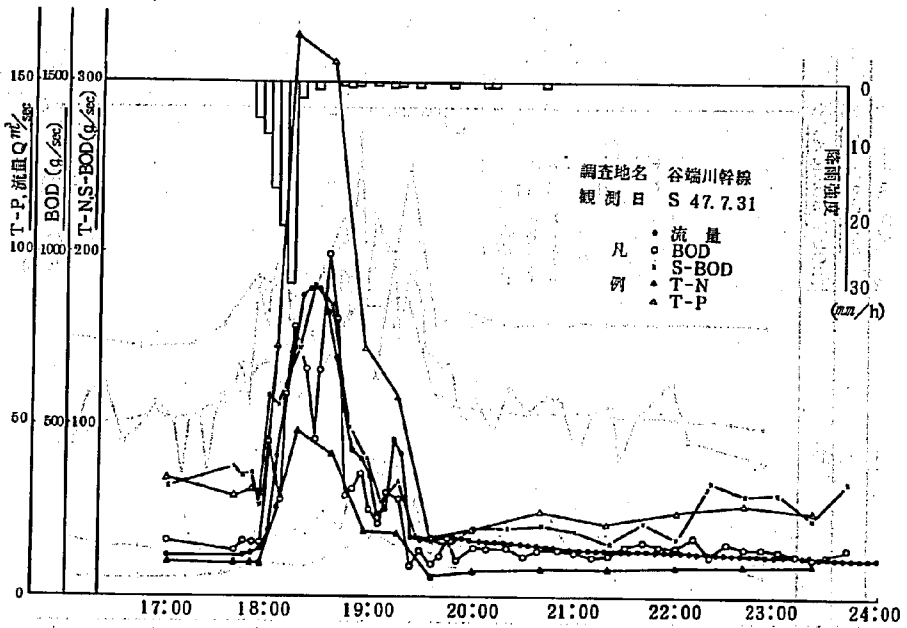
(晴天時)



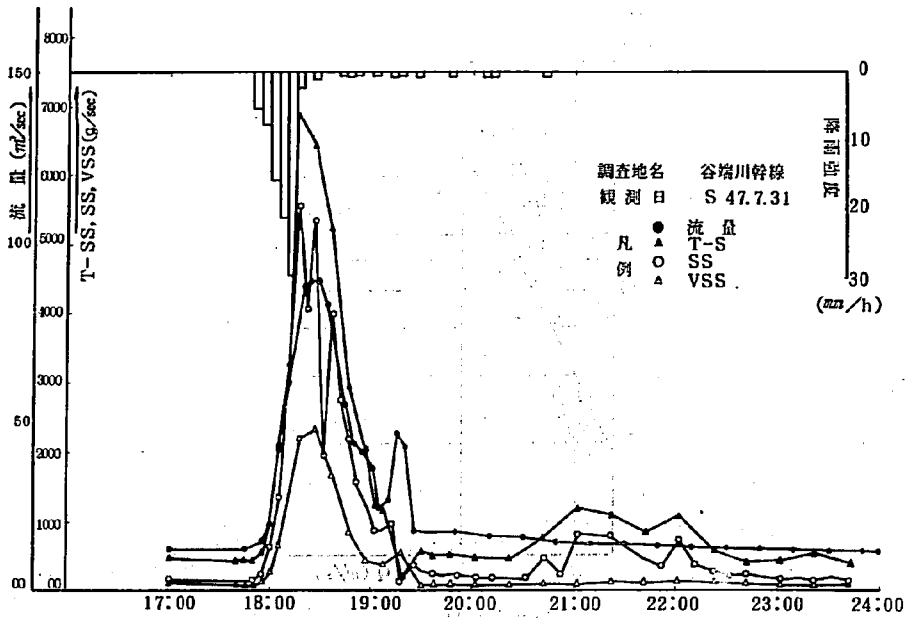
付図 - 4 の 11

$SS(\text{g}/\text{s}) \sim Q(\text{m}^3/\text{s})$

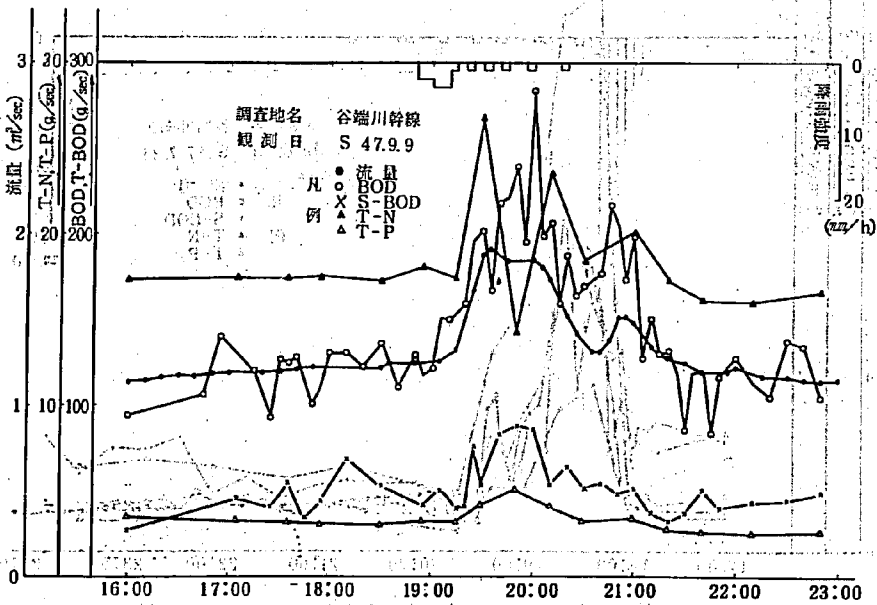
49. 8/7 ~ 8/9 (晴天時)



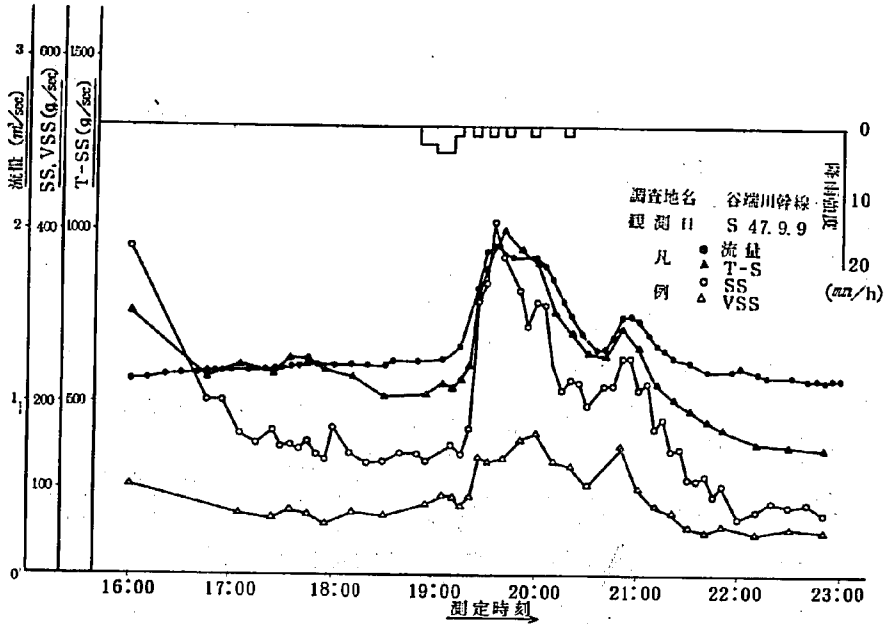
付図 - 5 の 1 雨天時下水の負荷量パターン



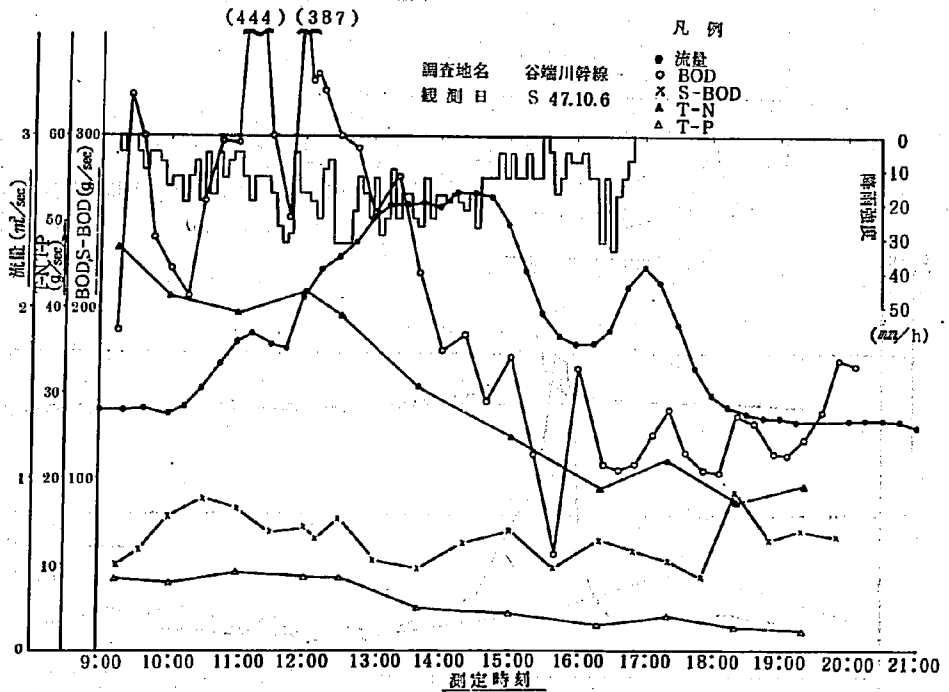
付図-5の2 雨天時下水の負荷量パターン



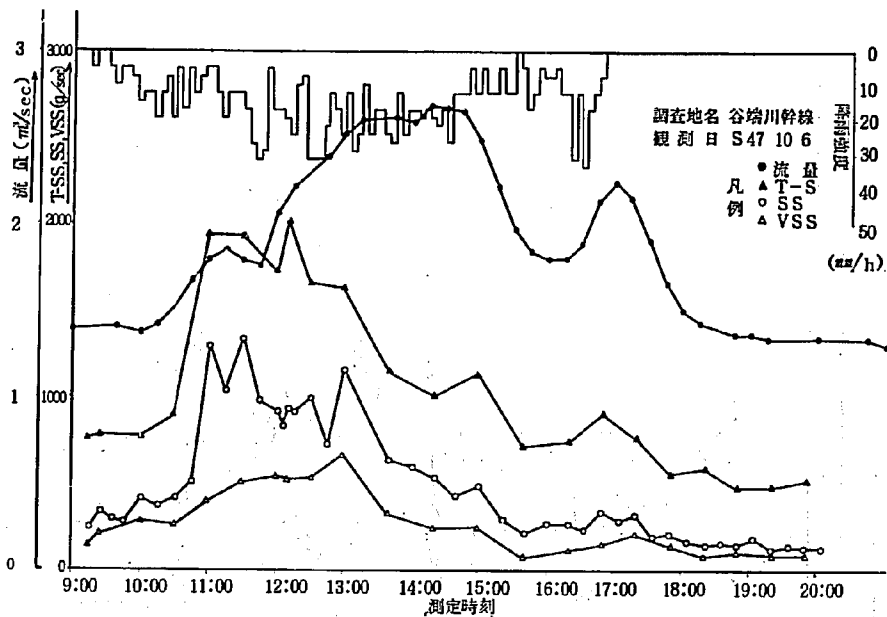
付図-5の3 雨天時下水の負荷量パターン



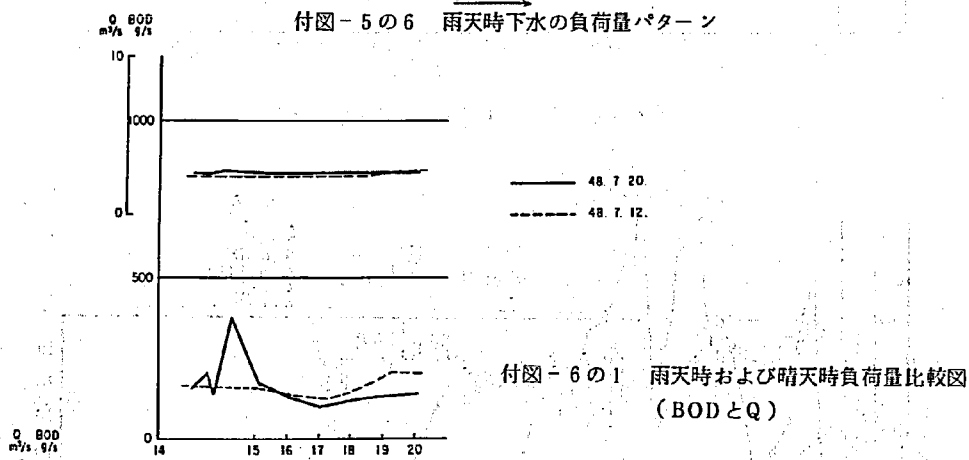
付図-5の4 雨天時下水の負荷量パターン



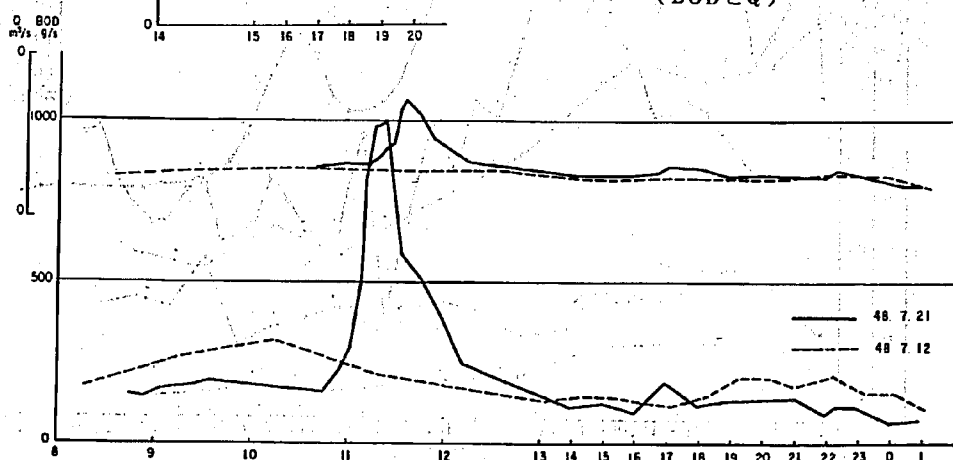
付図-5の5 雨天時下水の負荷量パターン



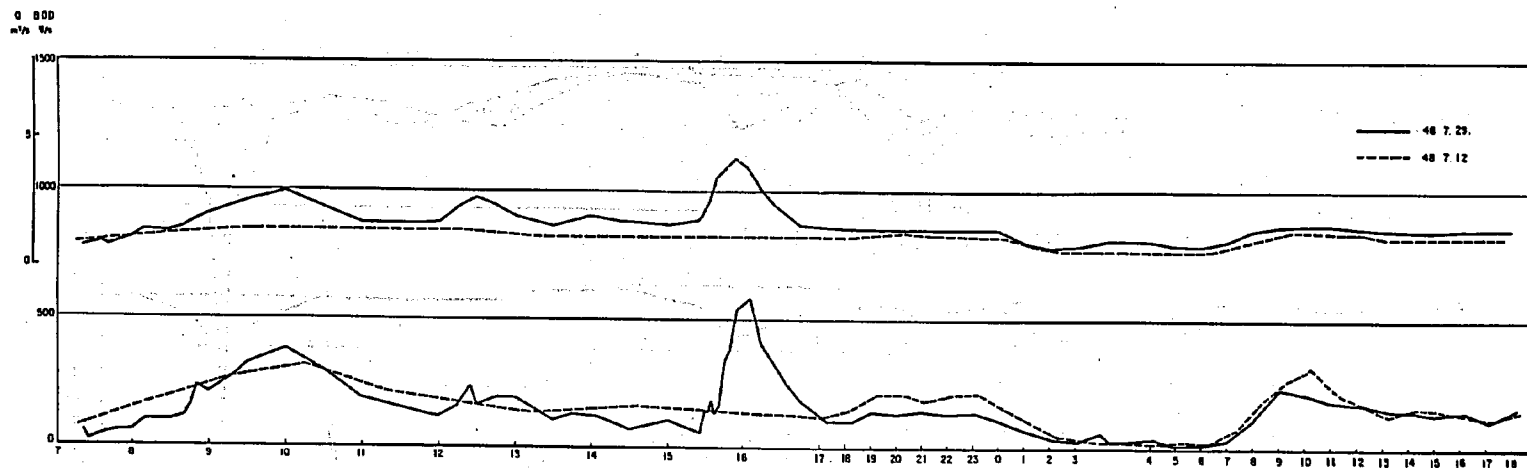
付図-5の6 雨天時下水の負荷量パターン



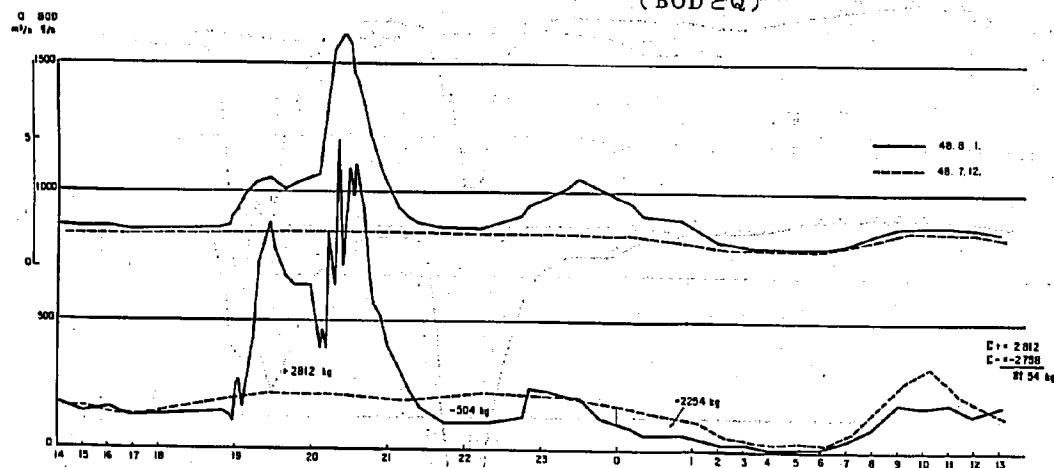
付図-6の1 雨天時および晴天時負荷量比較図
(BODとQ)



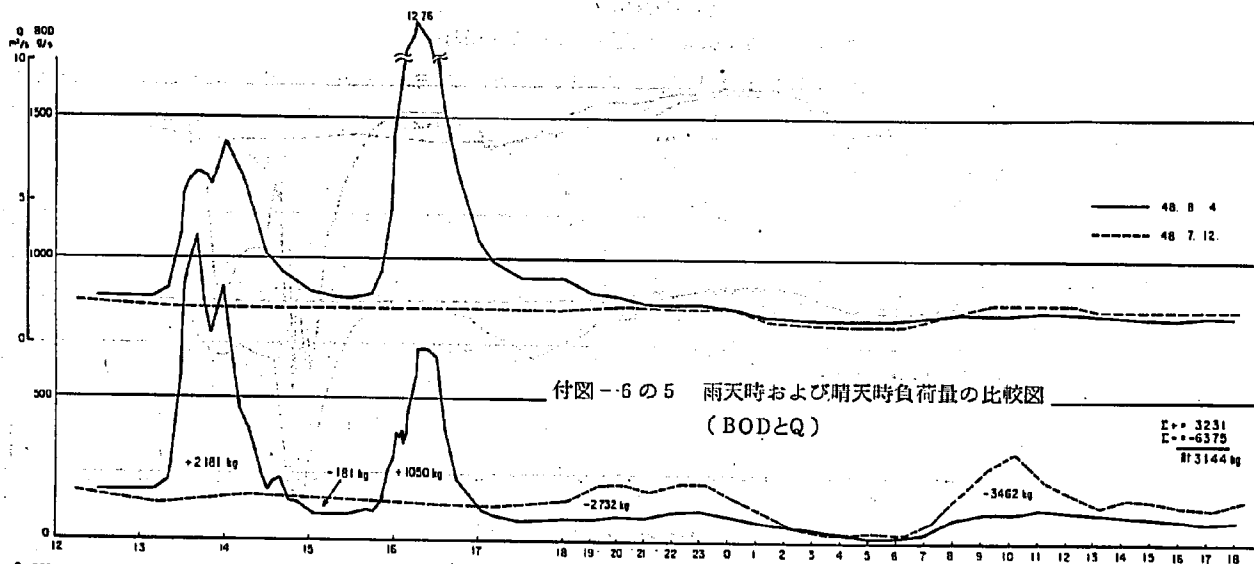
付図-6の2 雨天時および晴天時負荷量の比較図
(BODとQ)



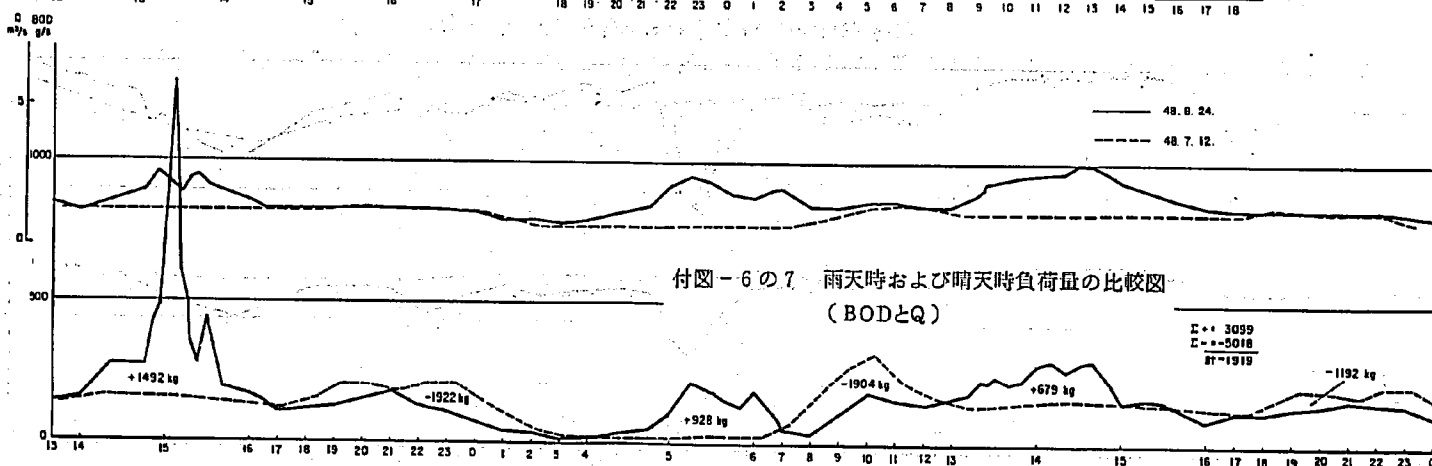
付図 - 6 の 3 雨天時および晴天時負荷量の比較図
(BODとQ)



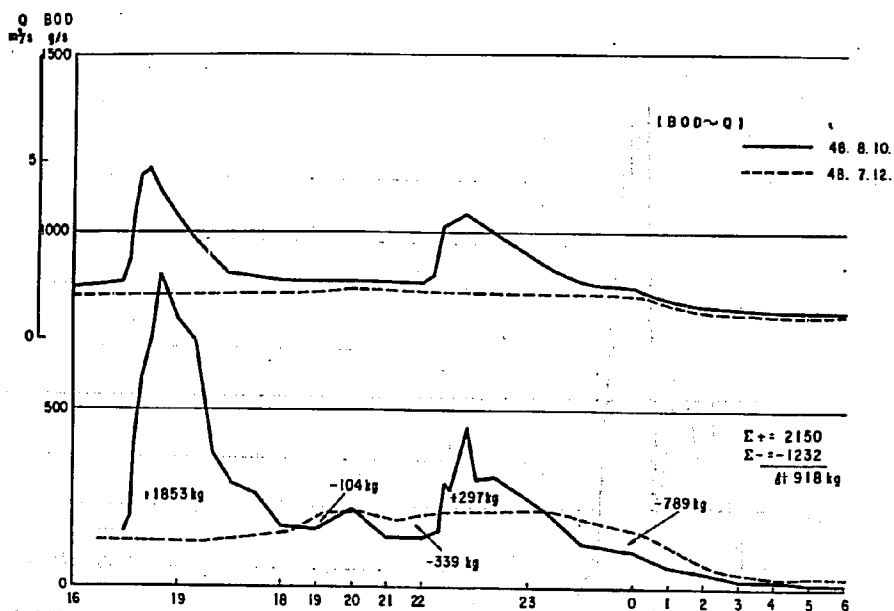
付図 - 6 の 4 雨天時および晴天時負荷量の比較図
(BODとQ)



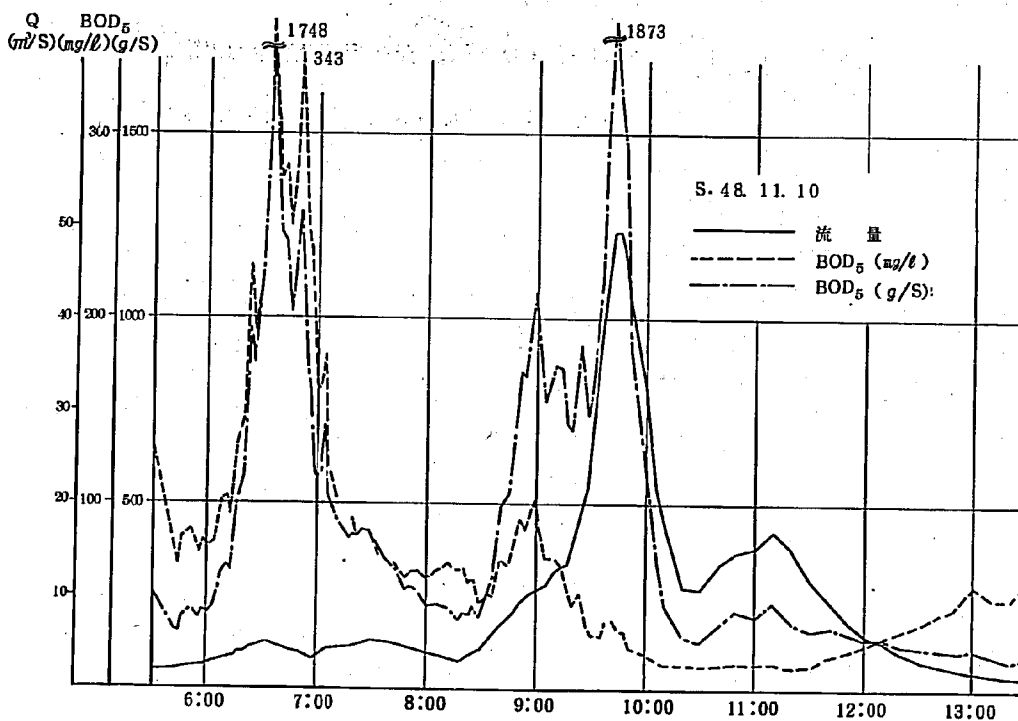
付図-6の5 雨天時および晴天時負荷量の比較図
(BODとQ)



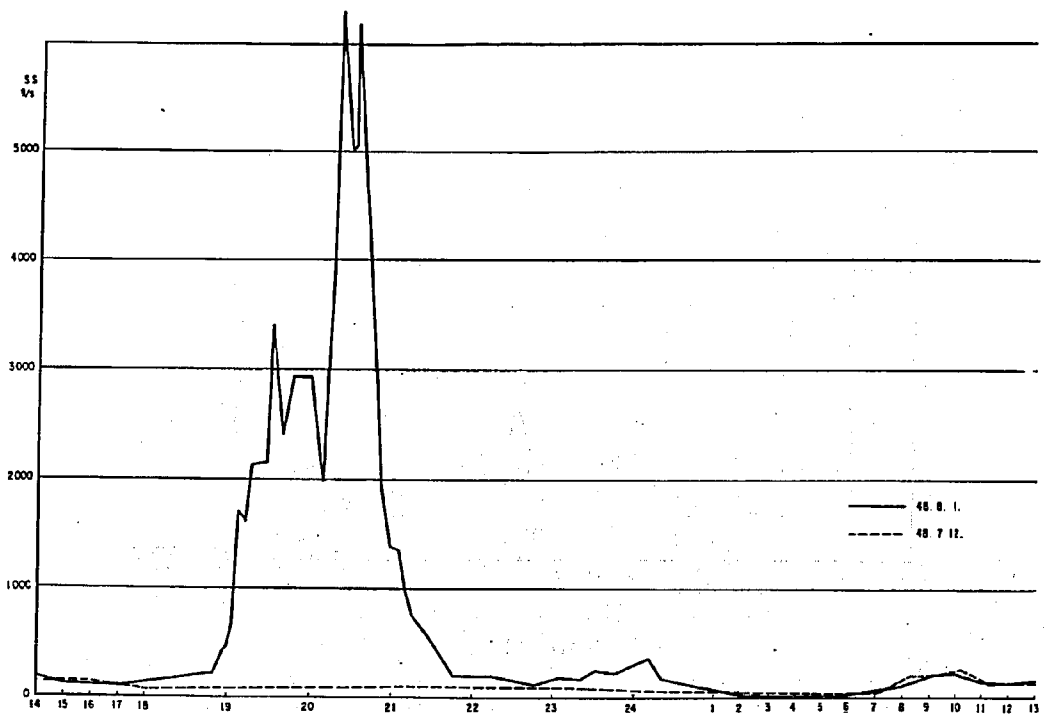
付図-6の7 雨天時および晴天時負荷量の比較図
(BODとQ)



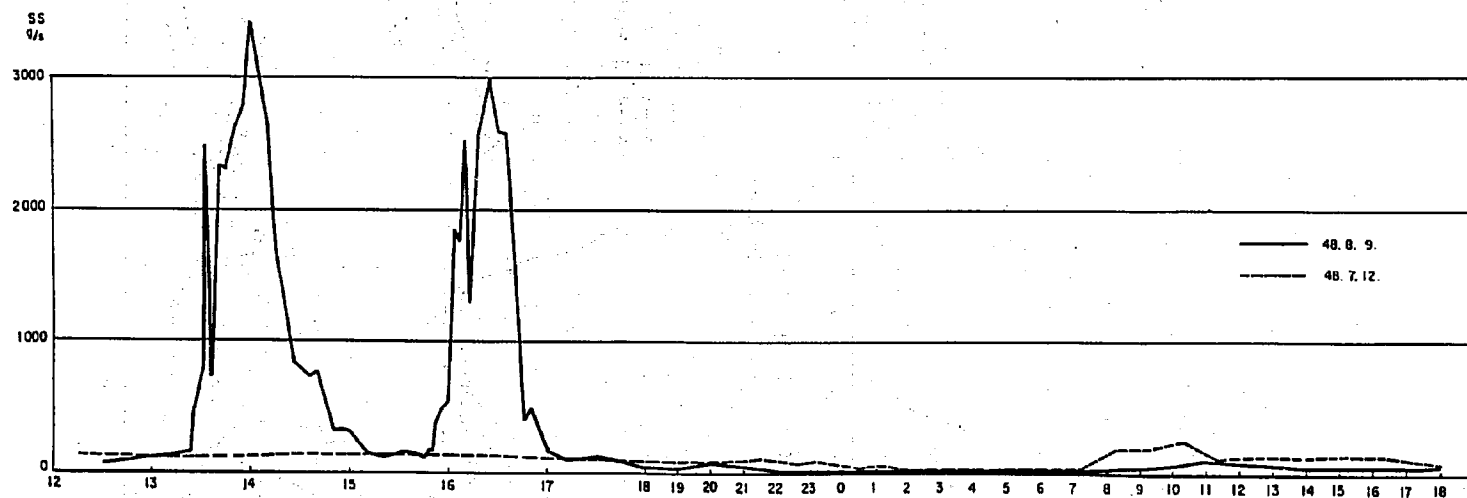
付図 - 6 の 6 雨天時および晴天時負荷量の比較図
(BODとQ)



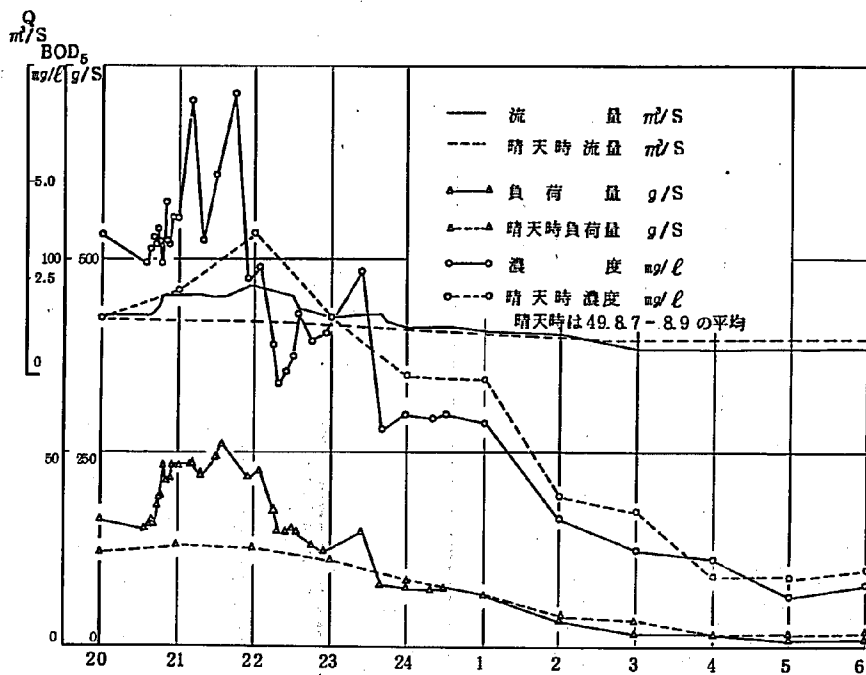
付図 - 6 の 8 雨天時下水のパターン



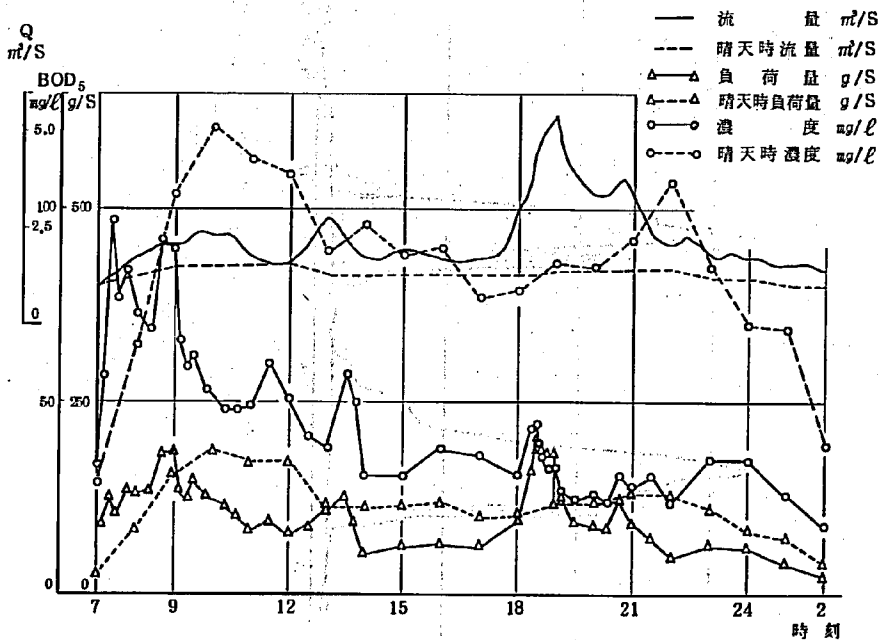
付図 - 7 の 1 雨天時および晴天時負荷量の比較図 (SS)



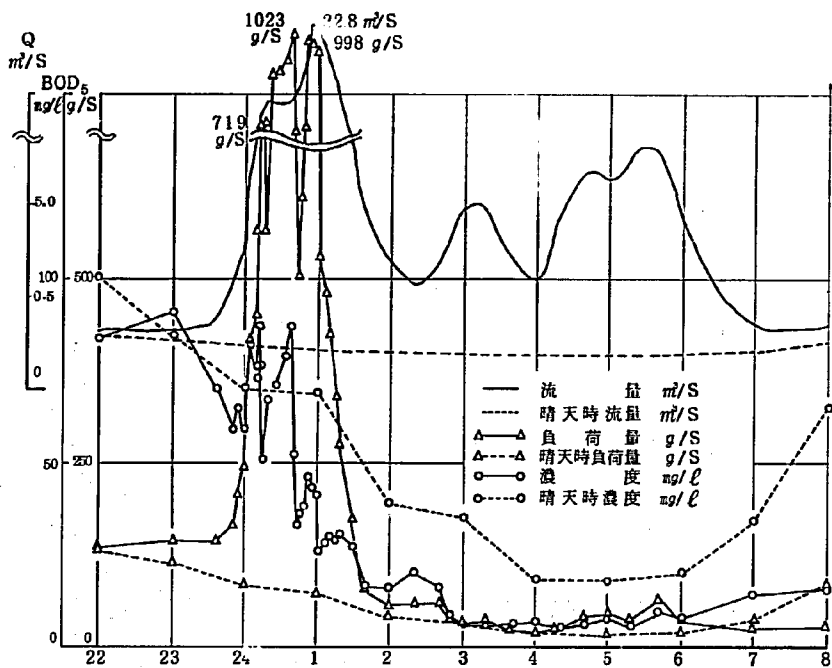
付図 - 7 の 2 雨天時および晴天時負荷量の比較図 (SS)



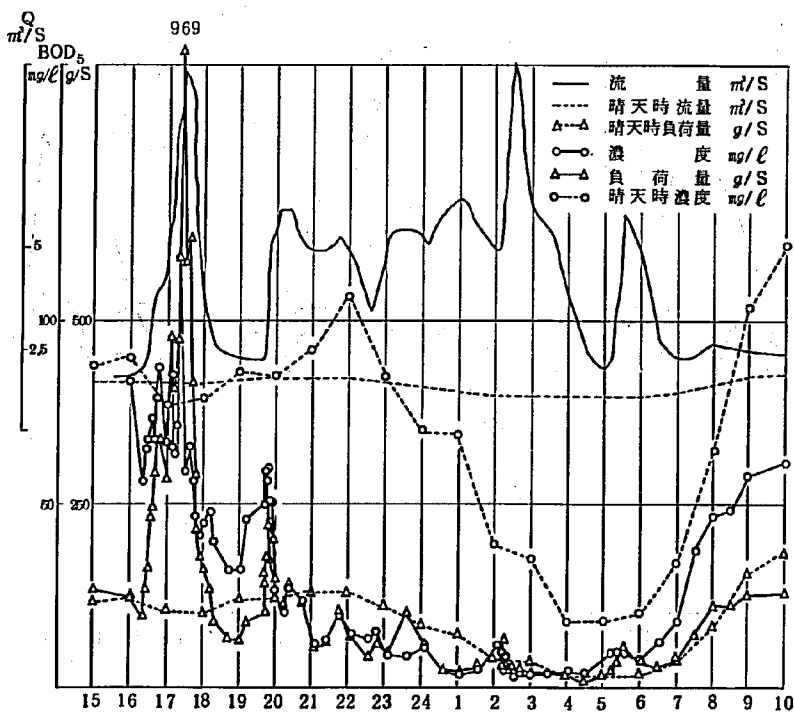
付図-8の1 BOD_5 の時間変化
(49. 7. 4 ~ 49. 7. 5)



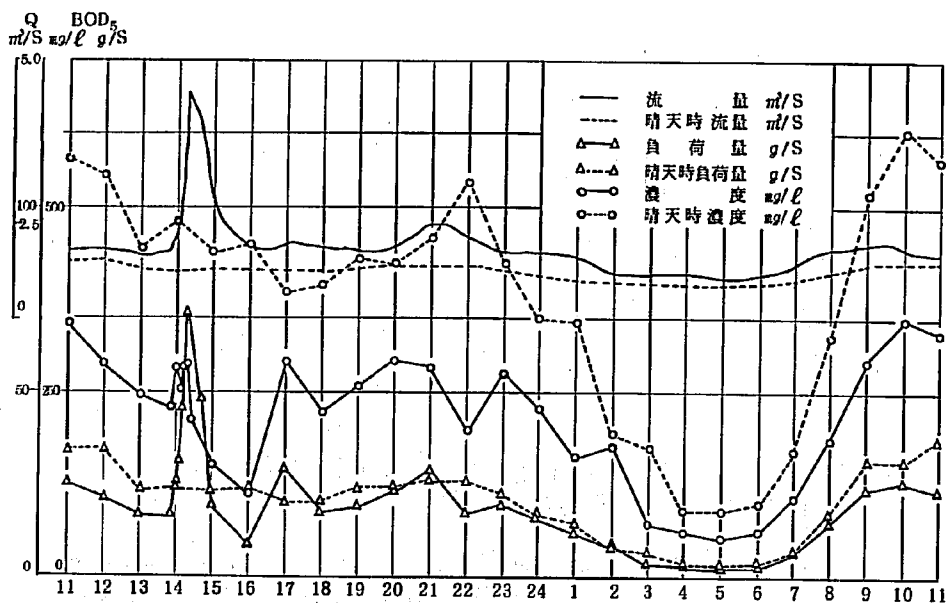
付図-8の2 BOD_5 の時間変化
(49. 7. 5 ~ 49. 7. 6)



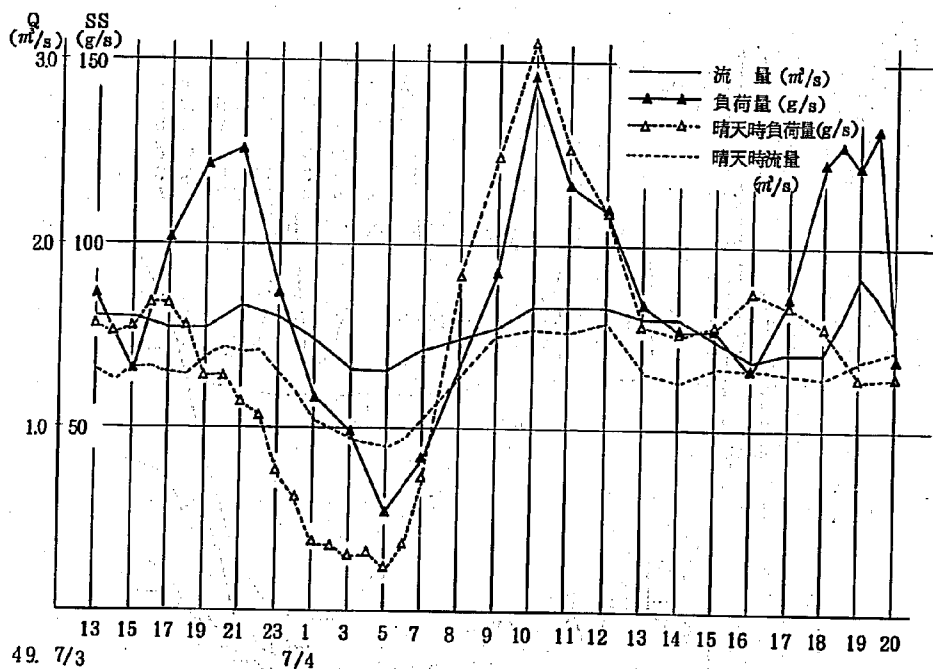
付図-8の3 BOD₅の時間変化
(49.7.7~49.7.8)



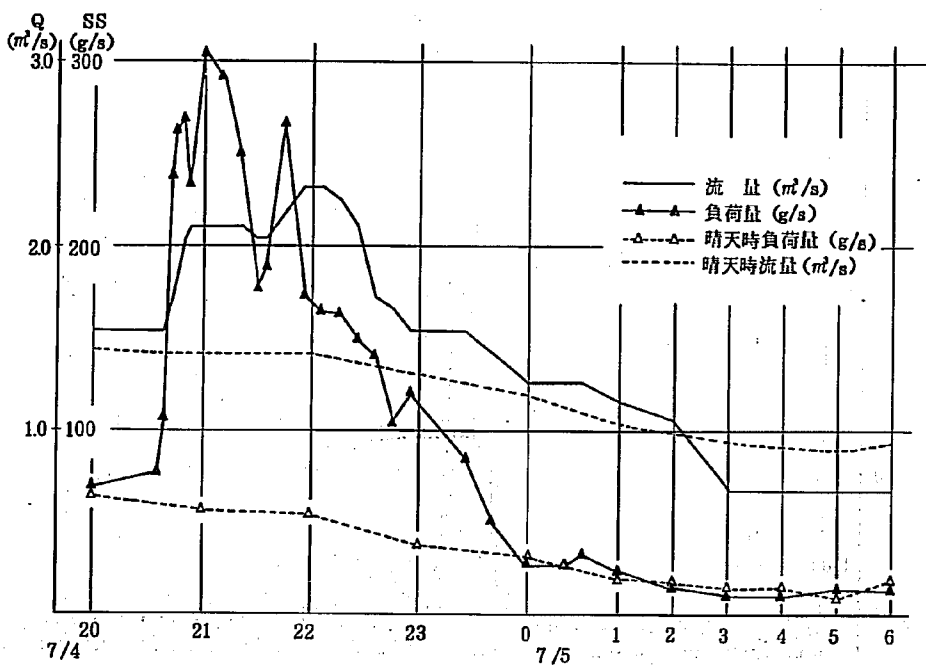
付図-8の4 BOD₅の時間変化
(49.7.10~49.7.11)



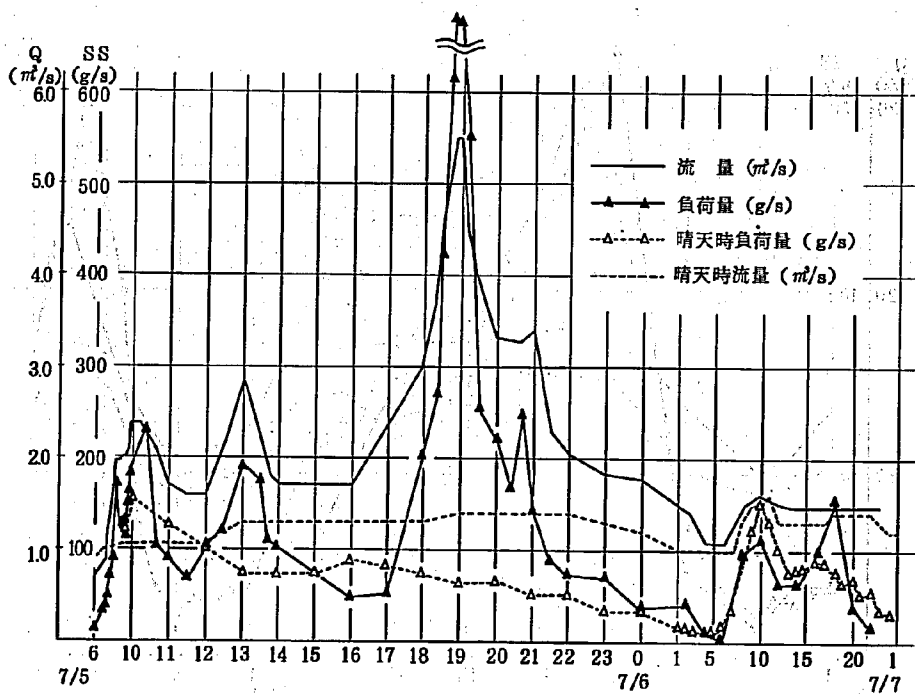
付図-8の5 BOD_5 の時間変化
(49. 7. 11~49. 7. 12)



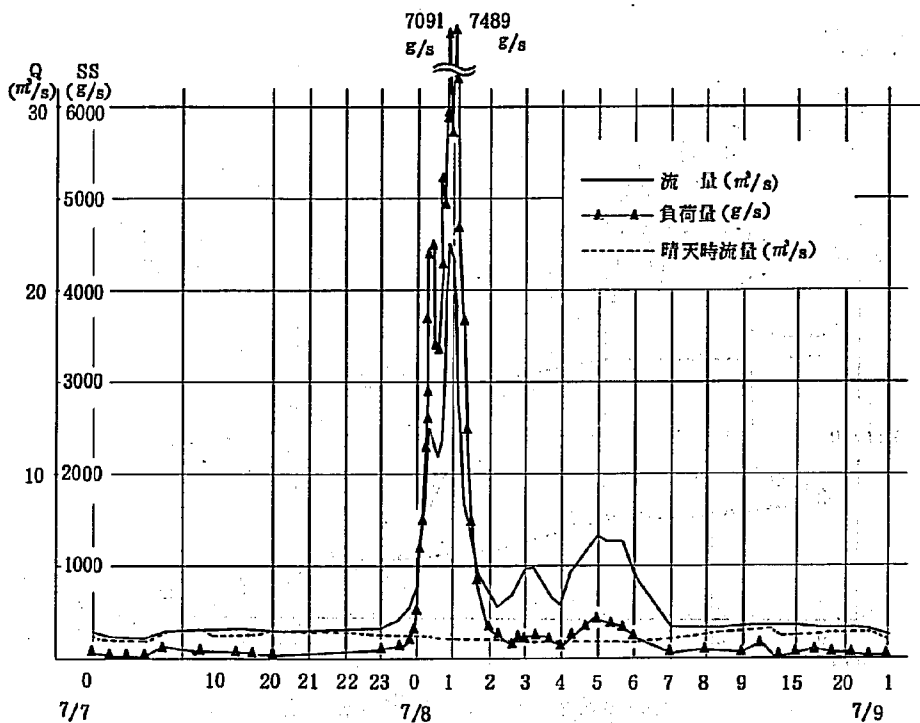
付図-9の1 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



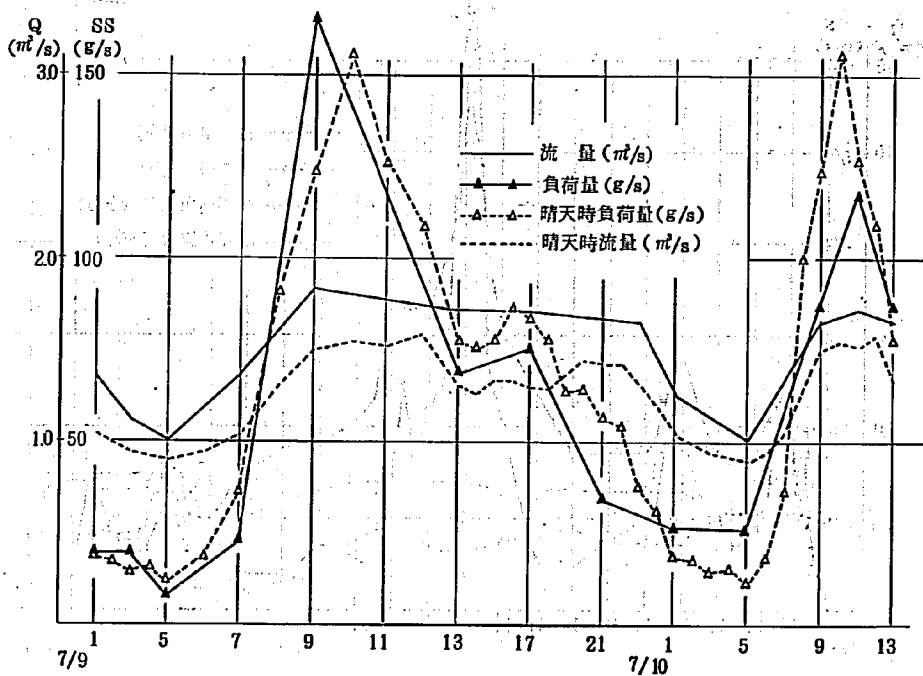
付図-9の2 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



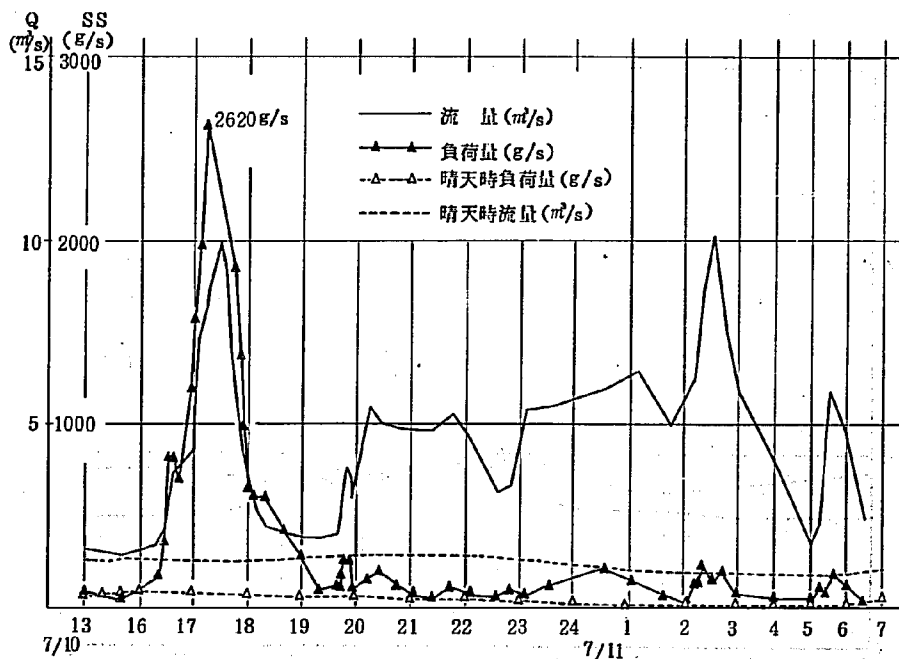
付図-9の3 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



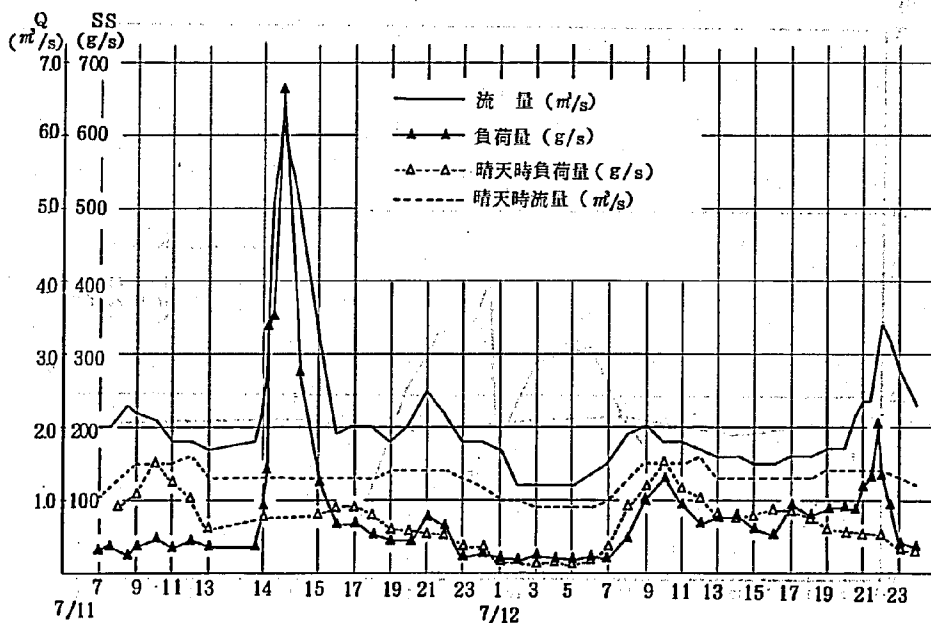
付図-9の4 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



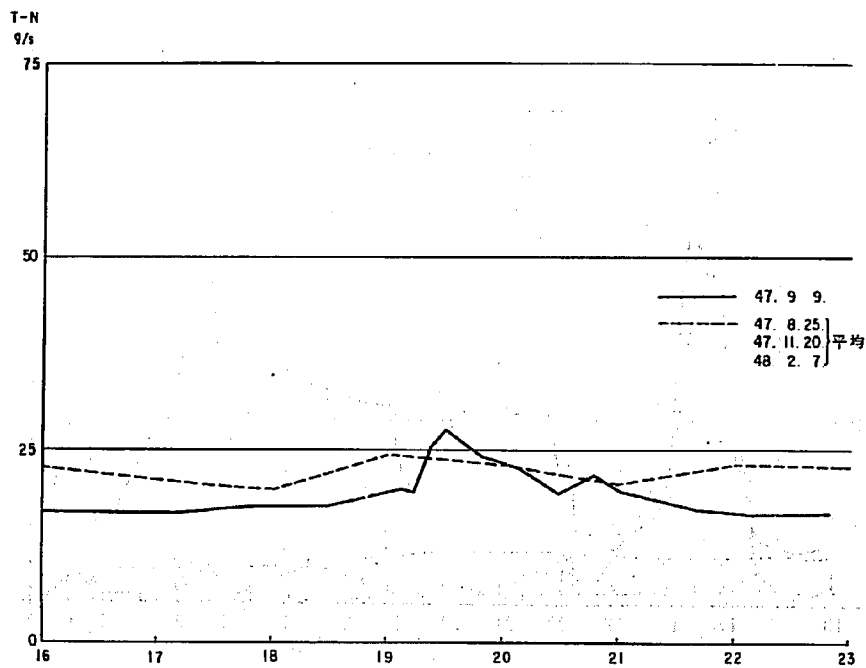
付図-9の5 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



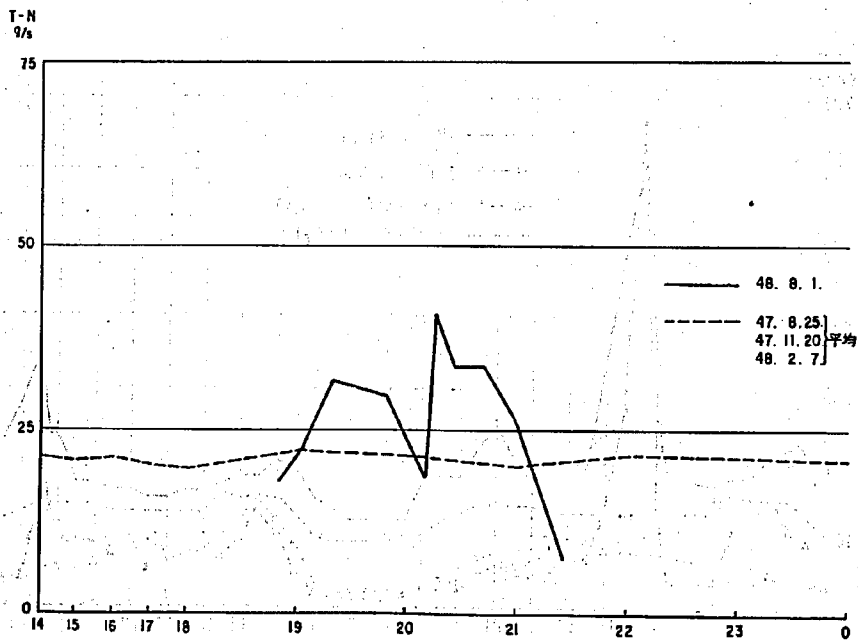
付図-9の6 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



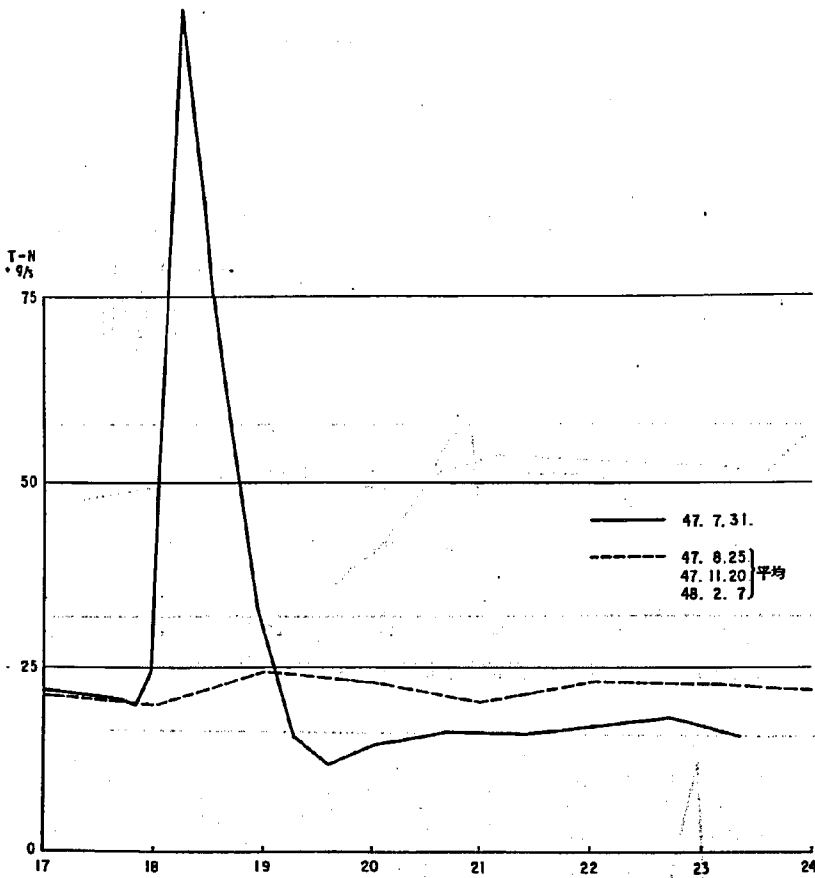
付図-9の7 雨天時と晴天時負荷量の比較
(SSとQ)



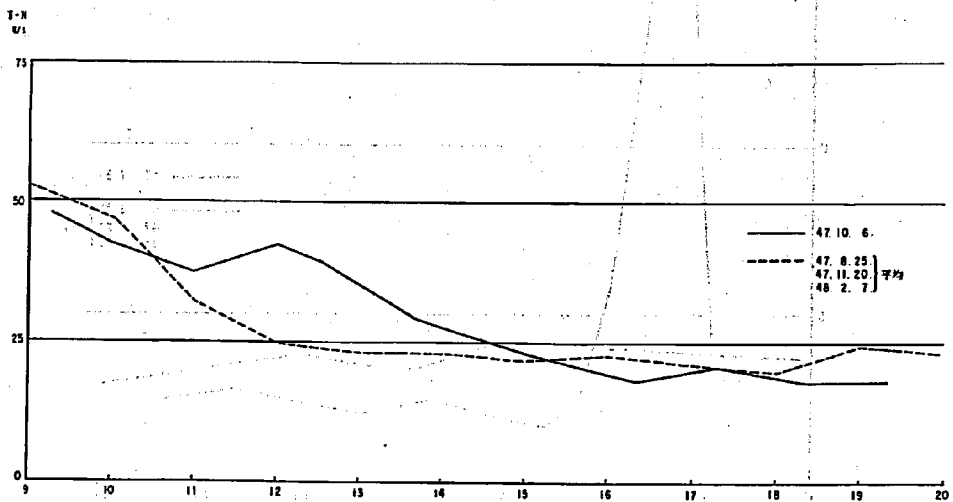
付図 - 10 の 1 T - N 雨天時および晴天時負荷量の比較図



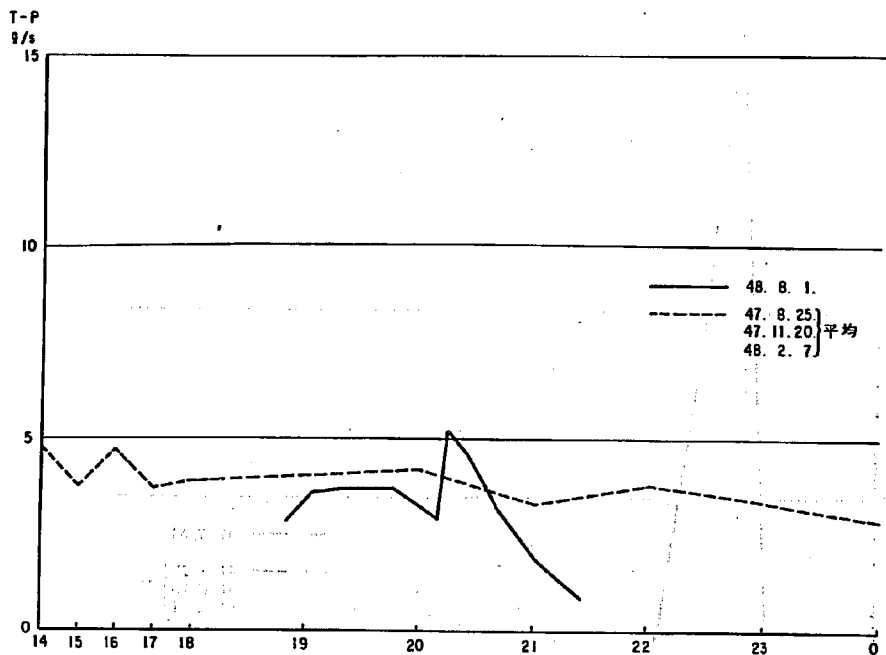
付図 - 10 の 2 T - N 雨天時および晴天時負荷量の比較図



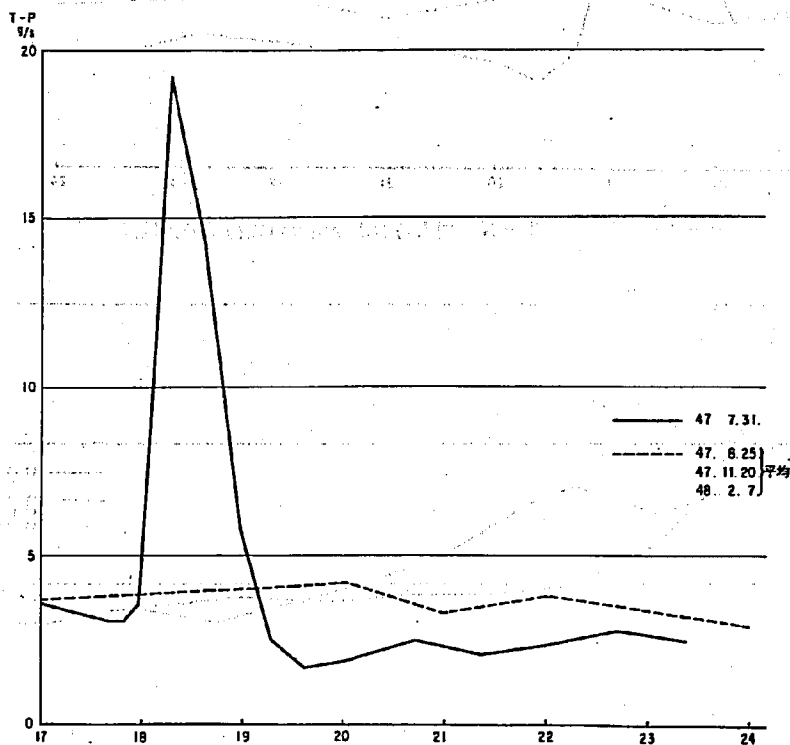
付図-10の3 T-N 雨天時および晴天時負荷量の比較図



付図-10の4 T-N 雨天時および晴天時負荷量の比較図

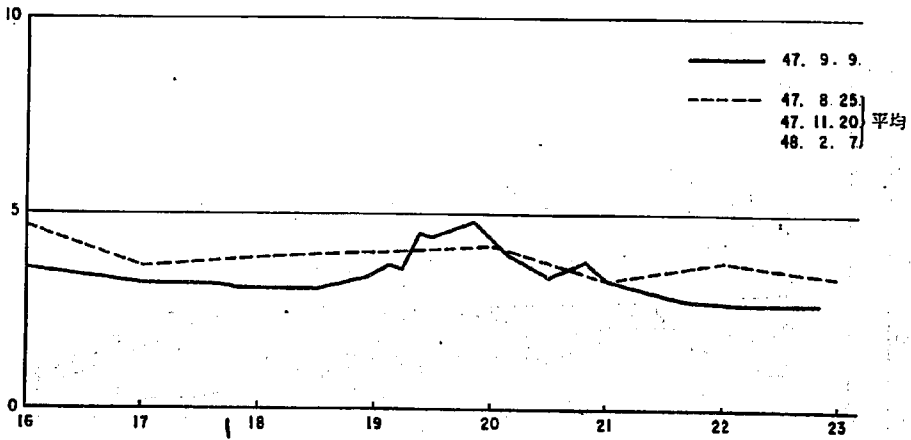


付図-11の1 T-P 雨天時および晴天時負荷量の比較図



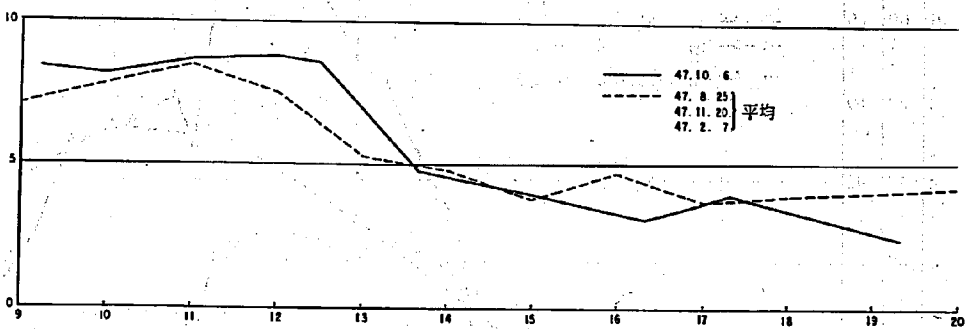
付図-11の2 T-P 雨天時および晴天時負荷量の比較図

T-P
9/5



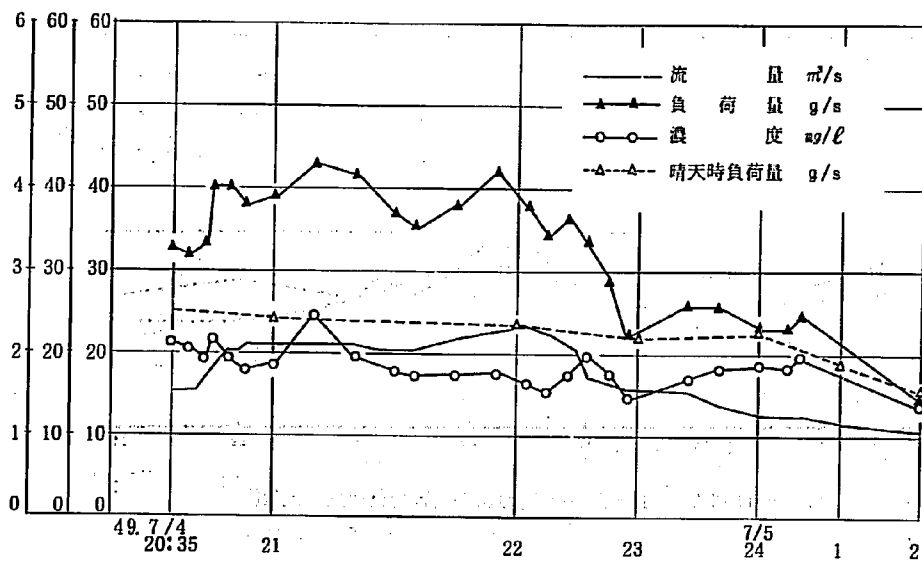
付図 - 11 の 3 T - P 雨天時および晴天時負荷量の比較図

T-P
1/A



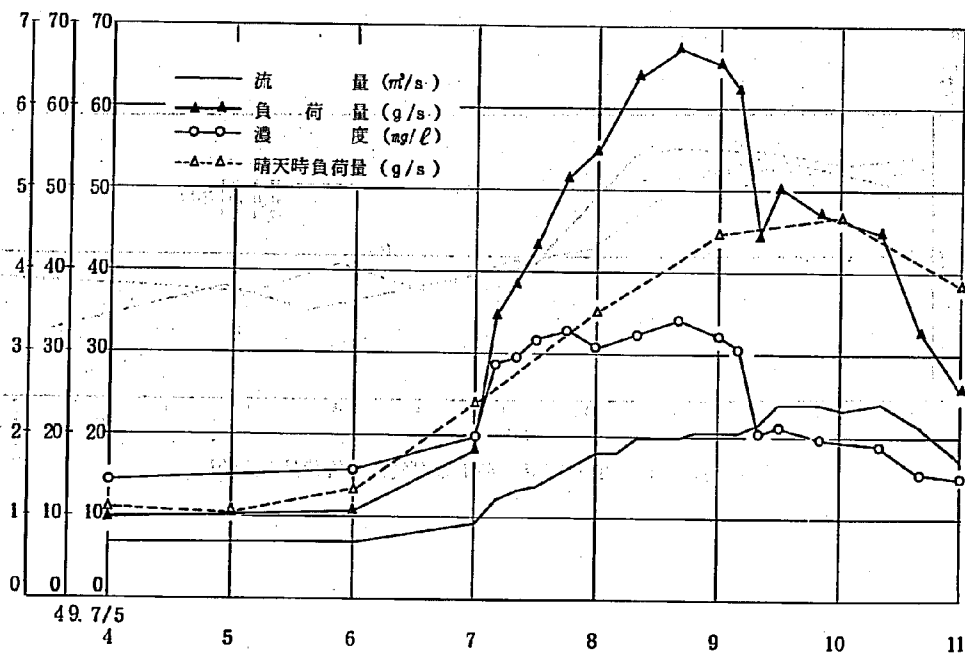
付図 - 11 の 4 T - P 雨天時および晴天時負荷量の比較図

Q T-NT-N
 m^3/s mg/l g/s



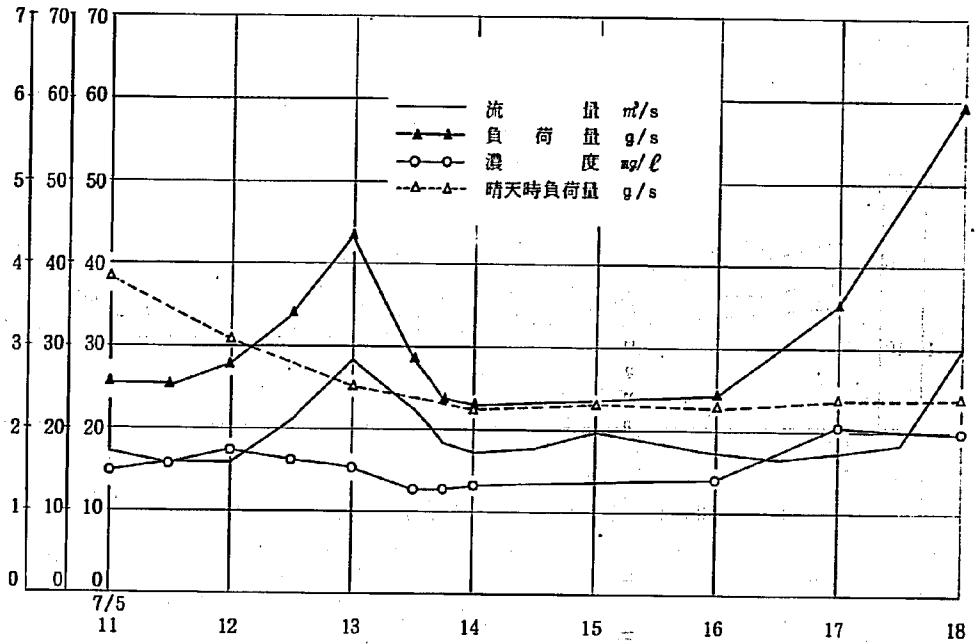
付図-12の1 雨天時負荷量と水質 (T-N)

Q T-N T-N
 m^3/s mg/l g/s



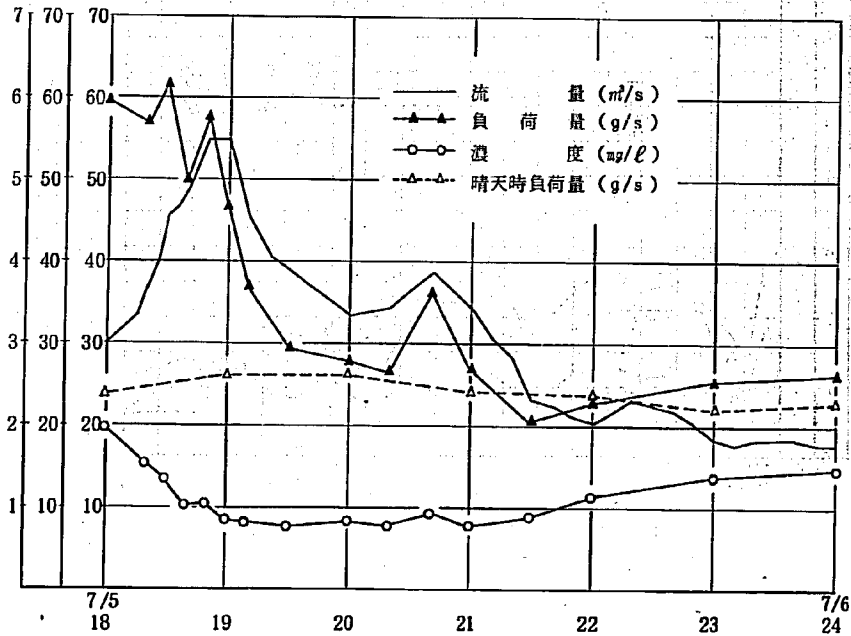
付図-12の2 その1 雨天時負荷量と水質 (T-N)

Q T-N T-N
m/s mg/l g/s

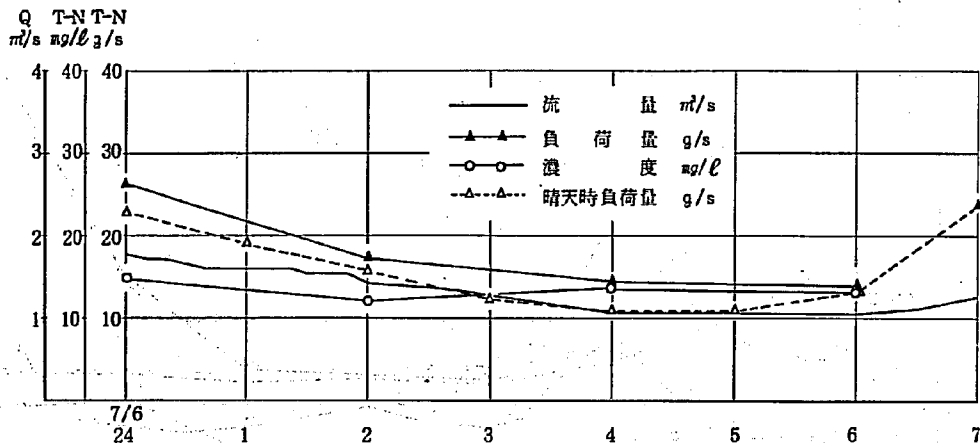


付図-12の2 その2 雨天時負荷量と水質 (T-N)

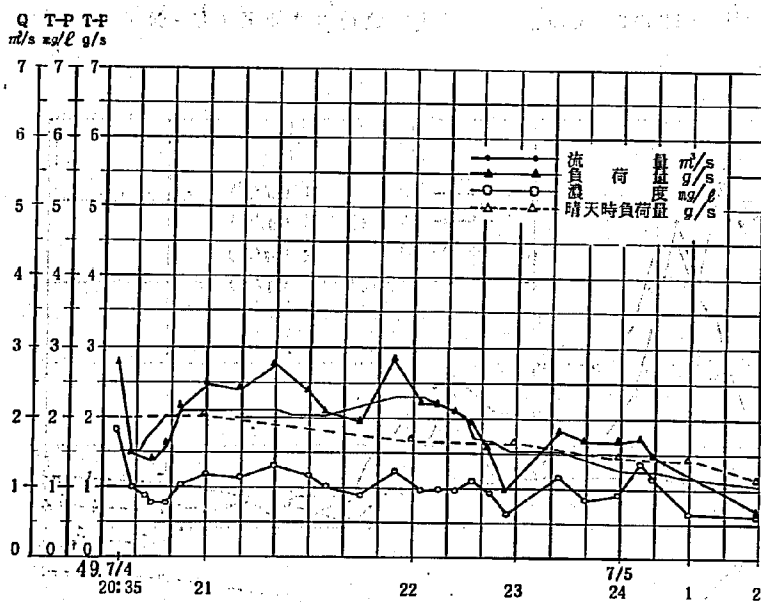
Q T-N T-N
m/s mg/l g/s



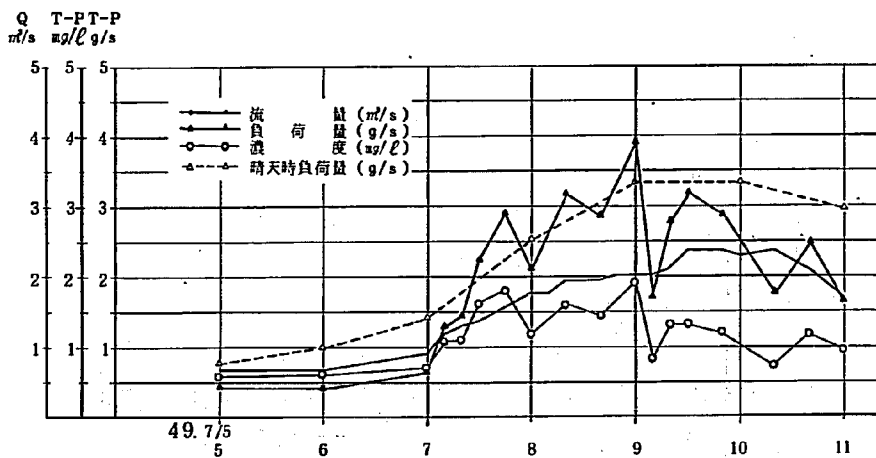
付図-12の2 その3 雨天時負荷量と水質 (T-N)



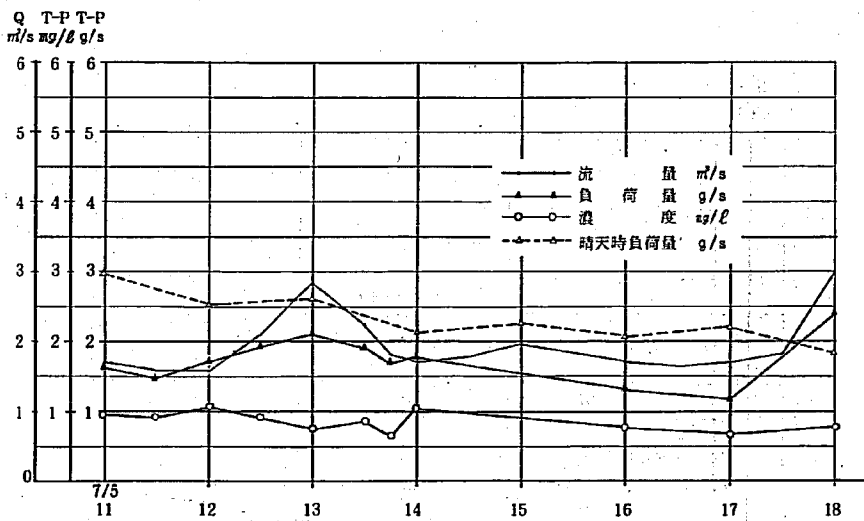
付図-12の2 その4 雨天時負荷量と水質 (T-N)



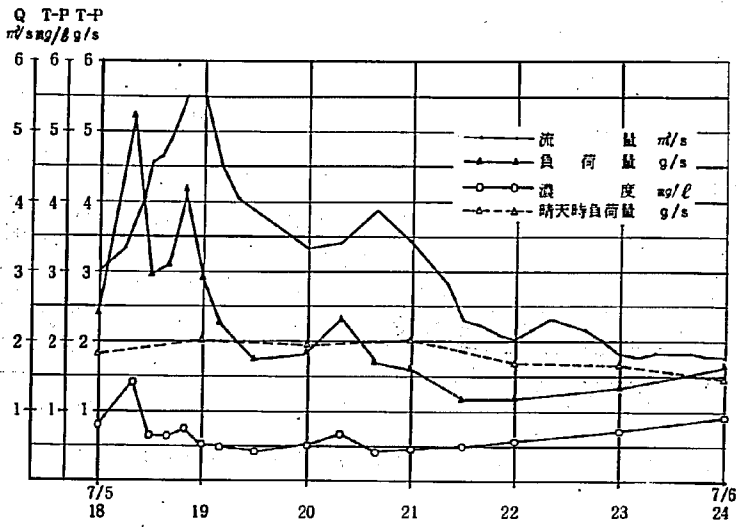
付図-13の1 雨天時負荷量と水質 (T-P)



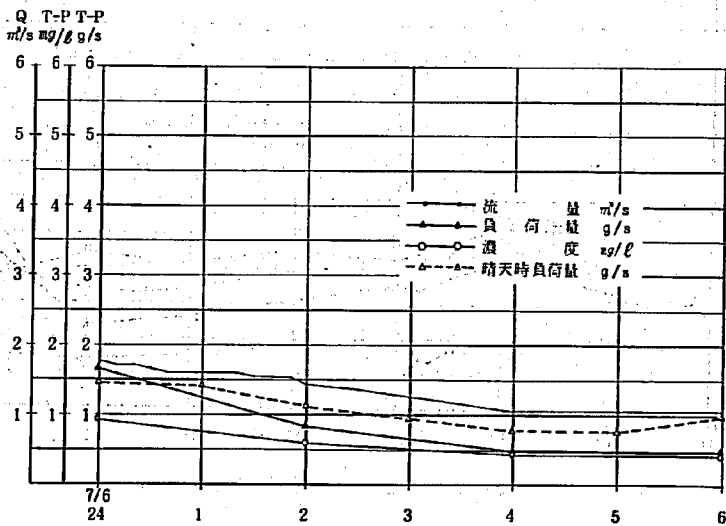
付図-13の2 その1 雨天時負荷量と水質 (T-P)



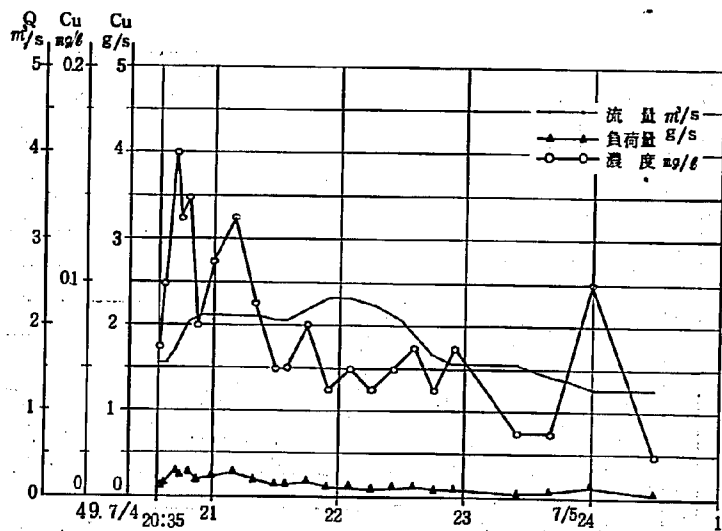
付図-13の2 その2 雨天時負荷量と水質 (T-P)



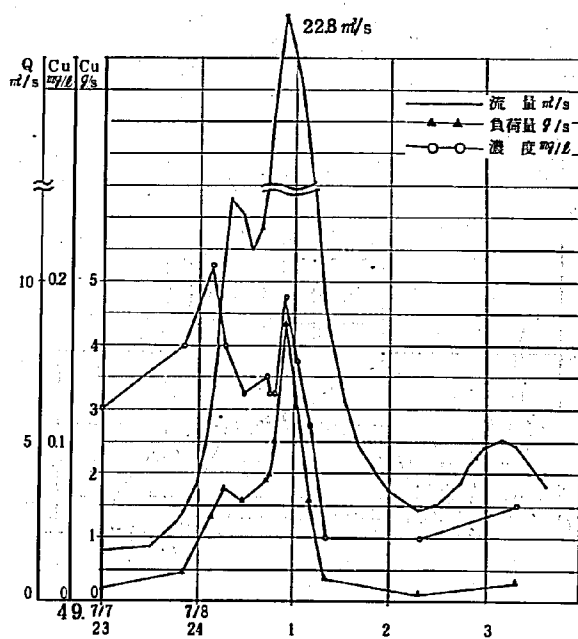
付図-13の2 その3 雨天時負荷量と水質 (T-P)



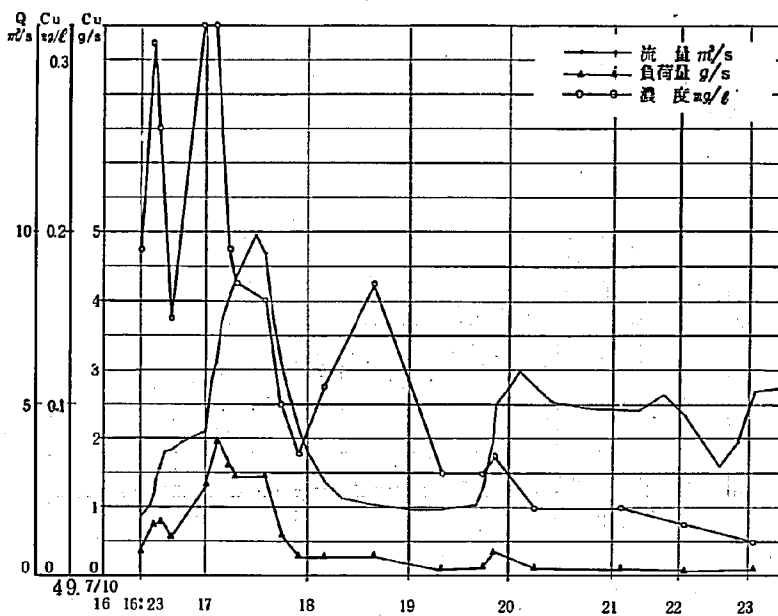
付図-13の2 その4 雨天時負荷量と水質 (T-P)



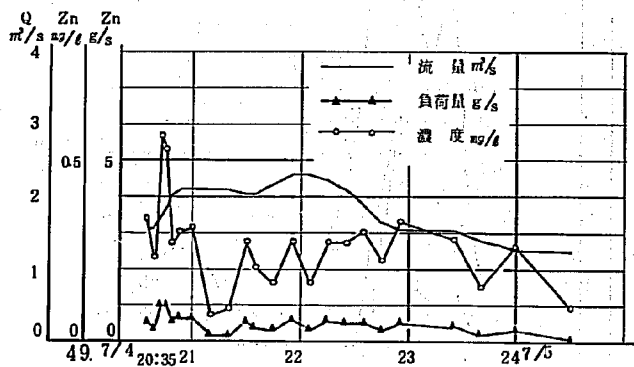
付図 - 14 の 1



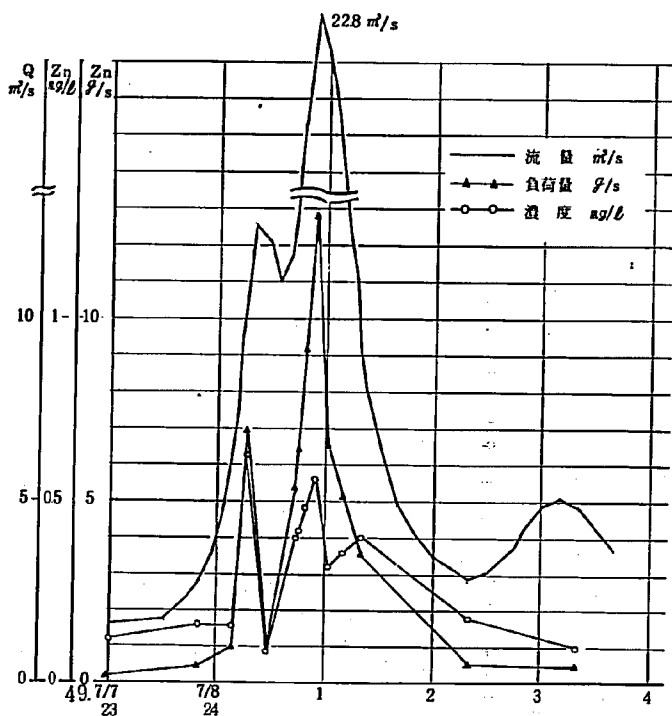
付図 - 14 の 2



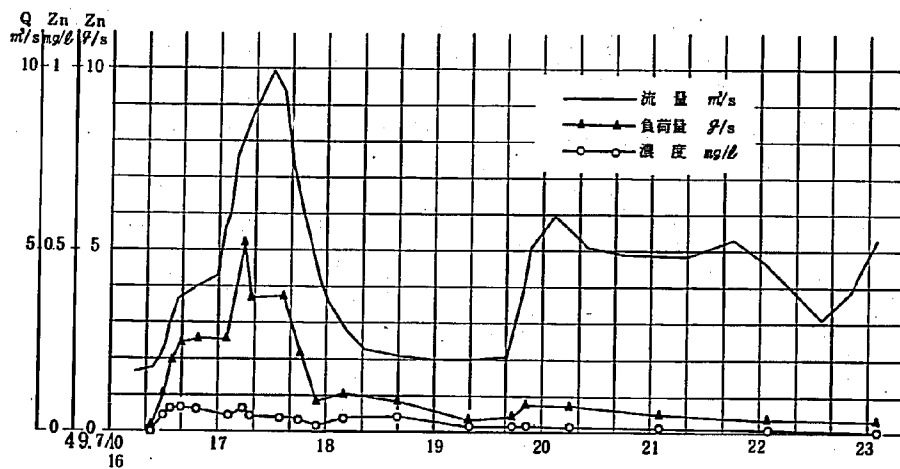
付図 - 14 の 3



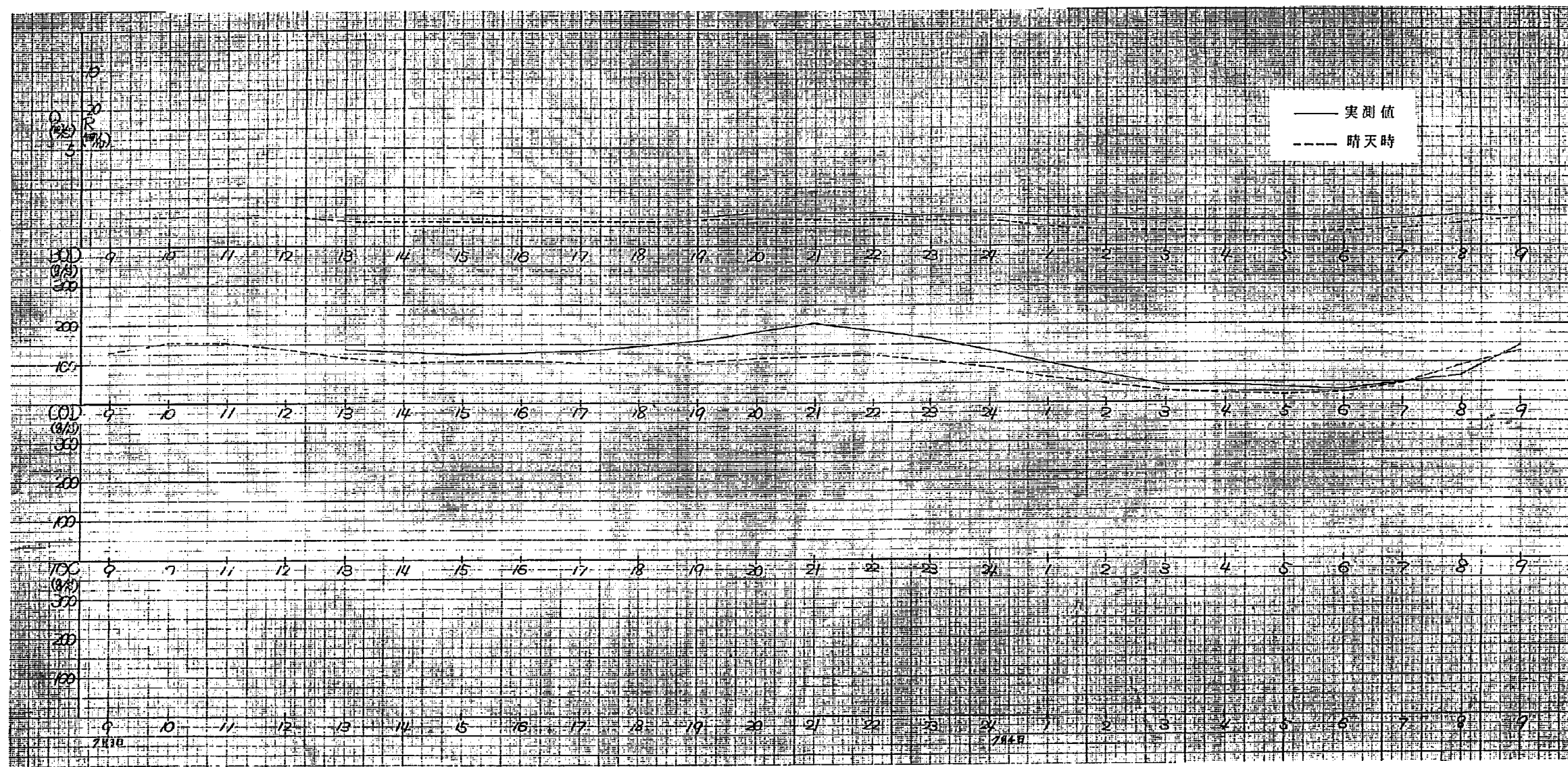
付図 - 14 の 4



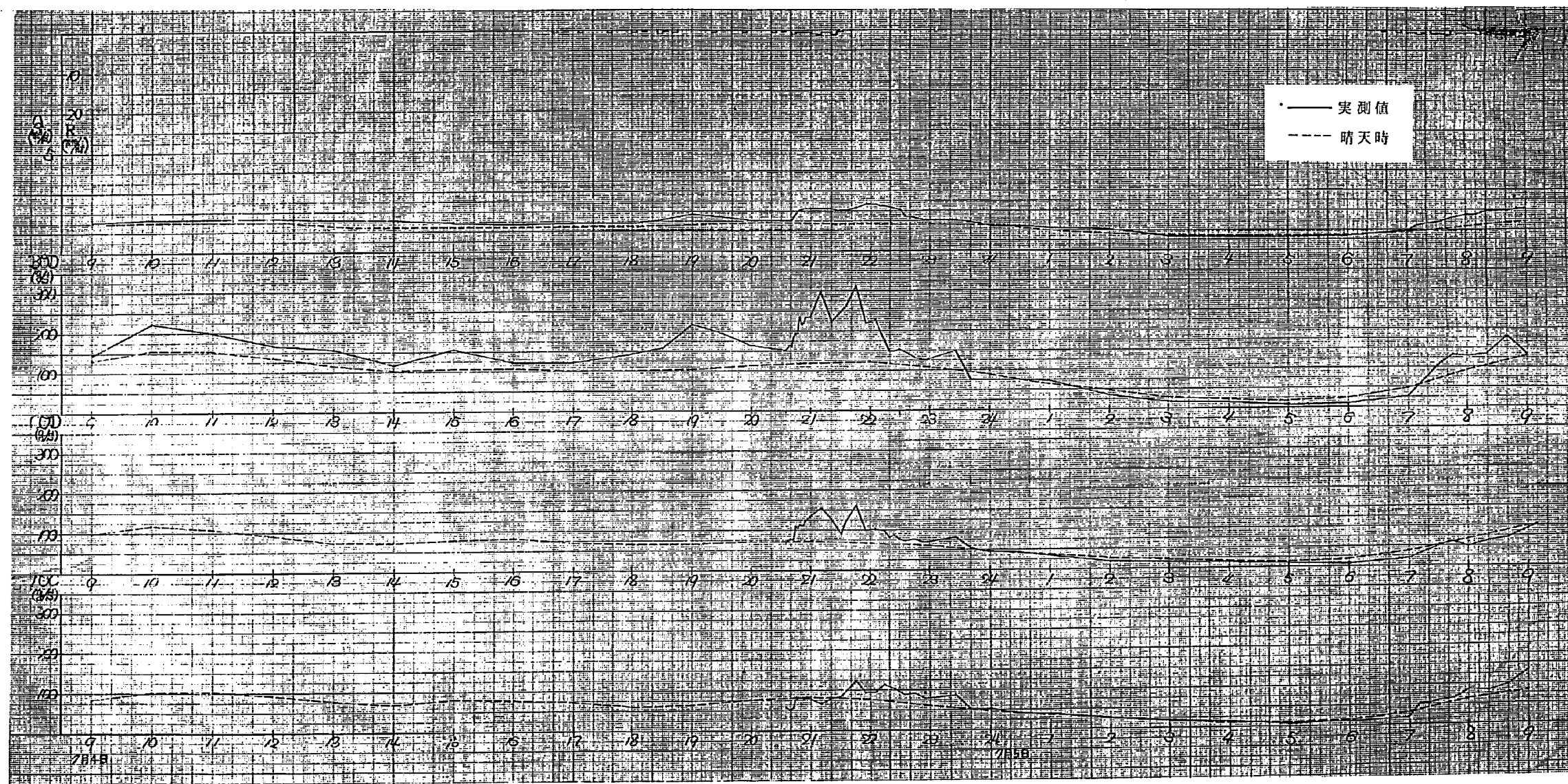
付図 - 14 の 5



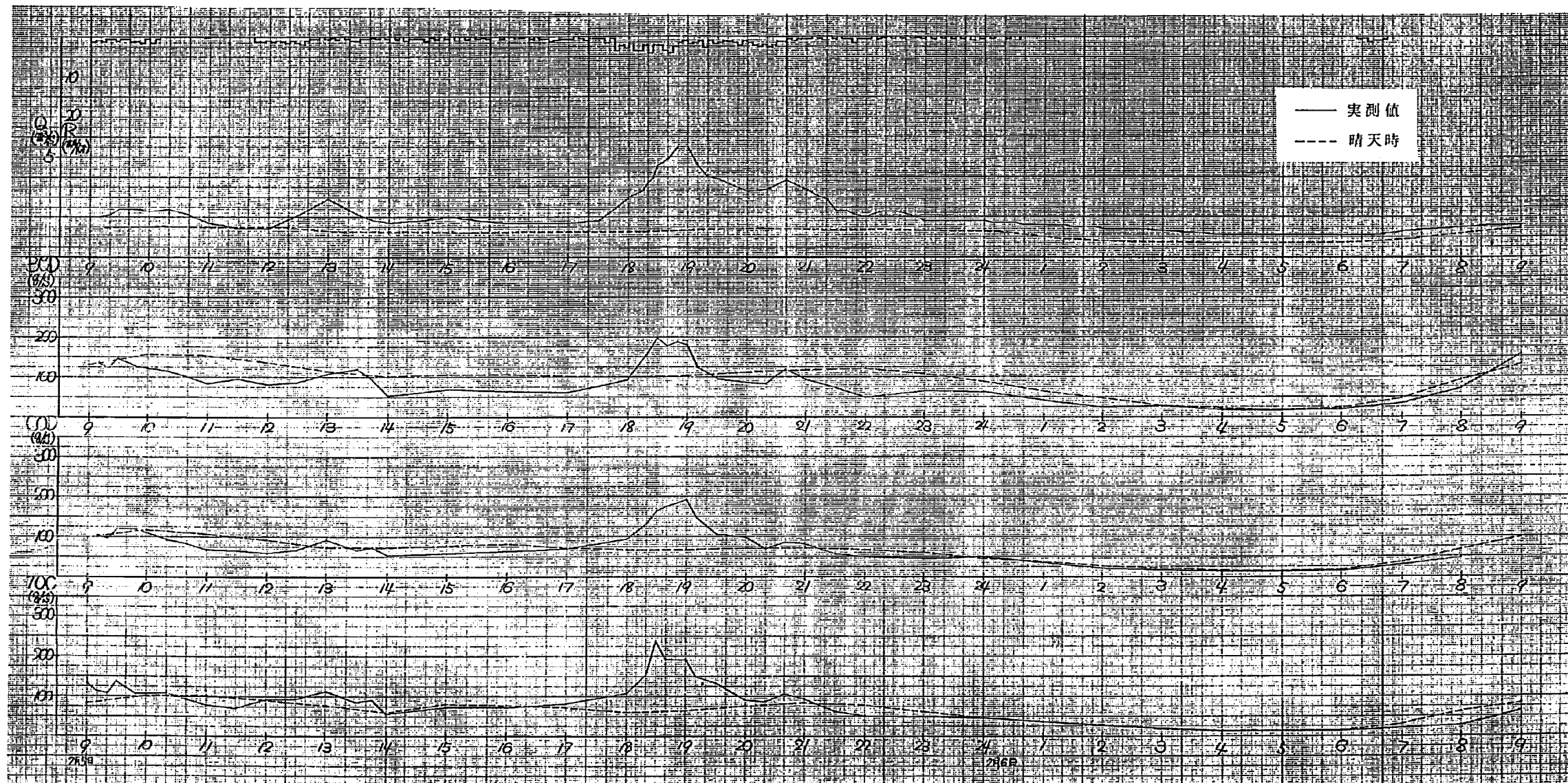
付図 - 14 の 6



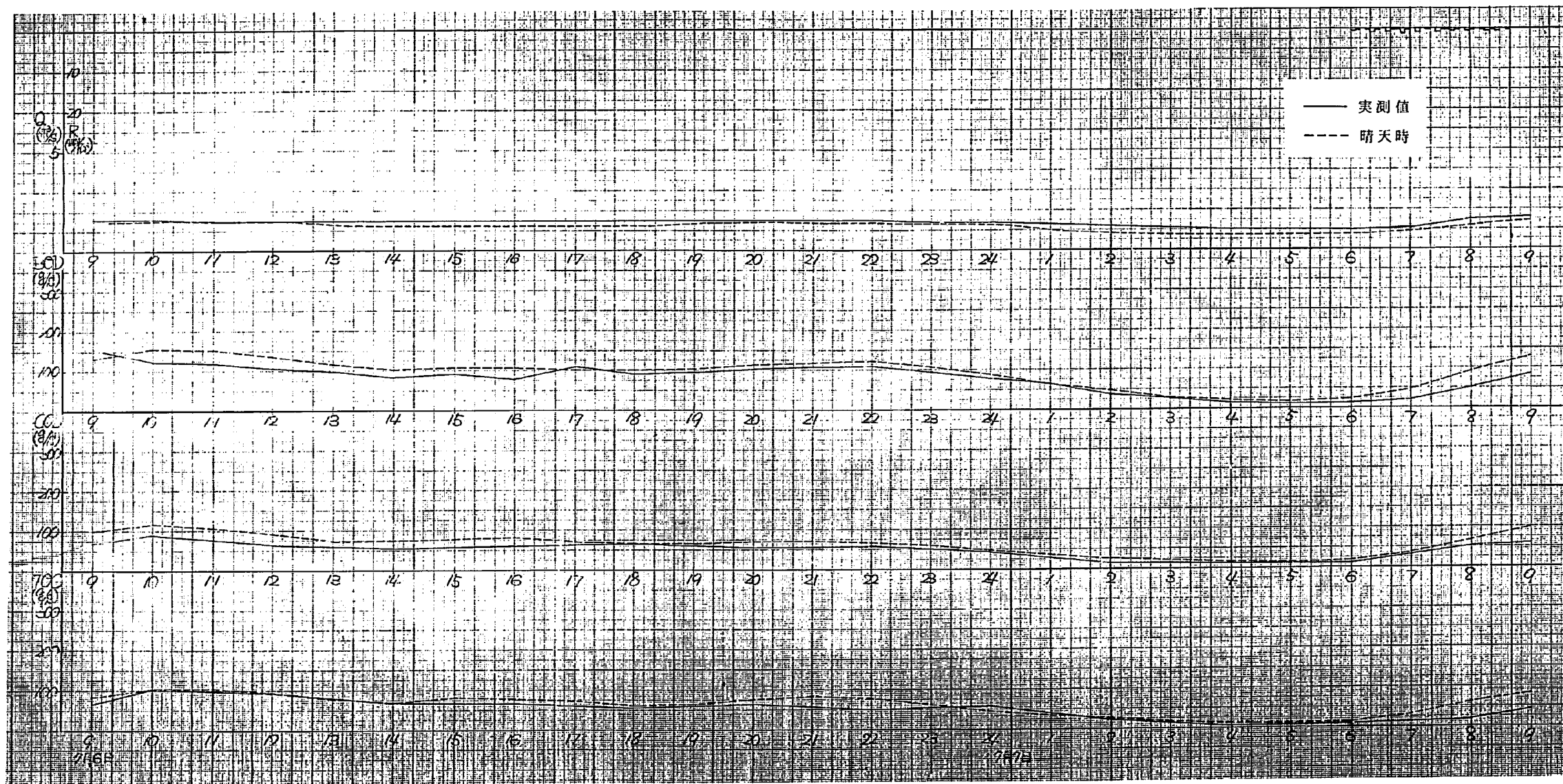
付図 - 15 の 1



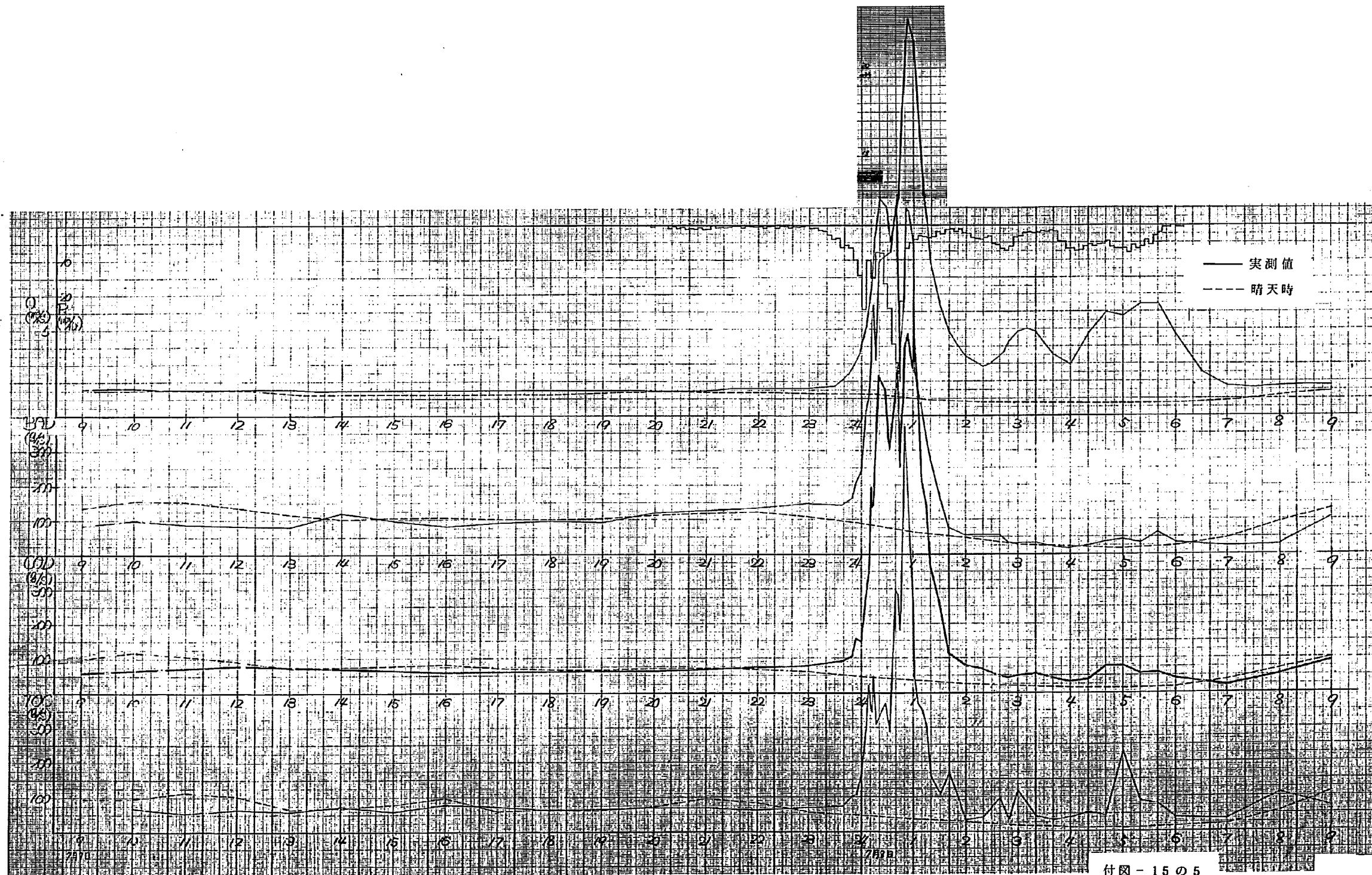
付図 - 15 の 2



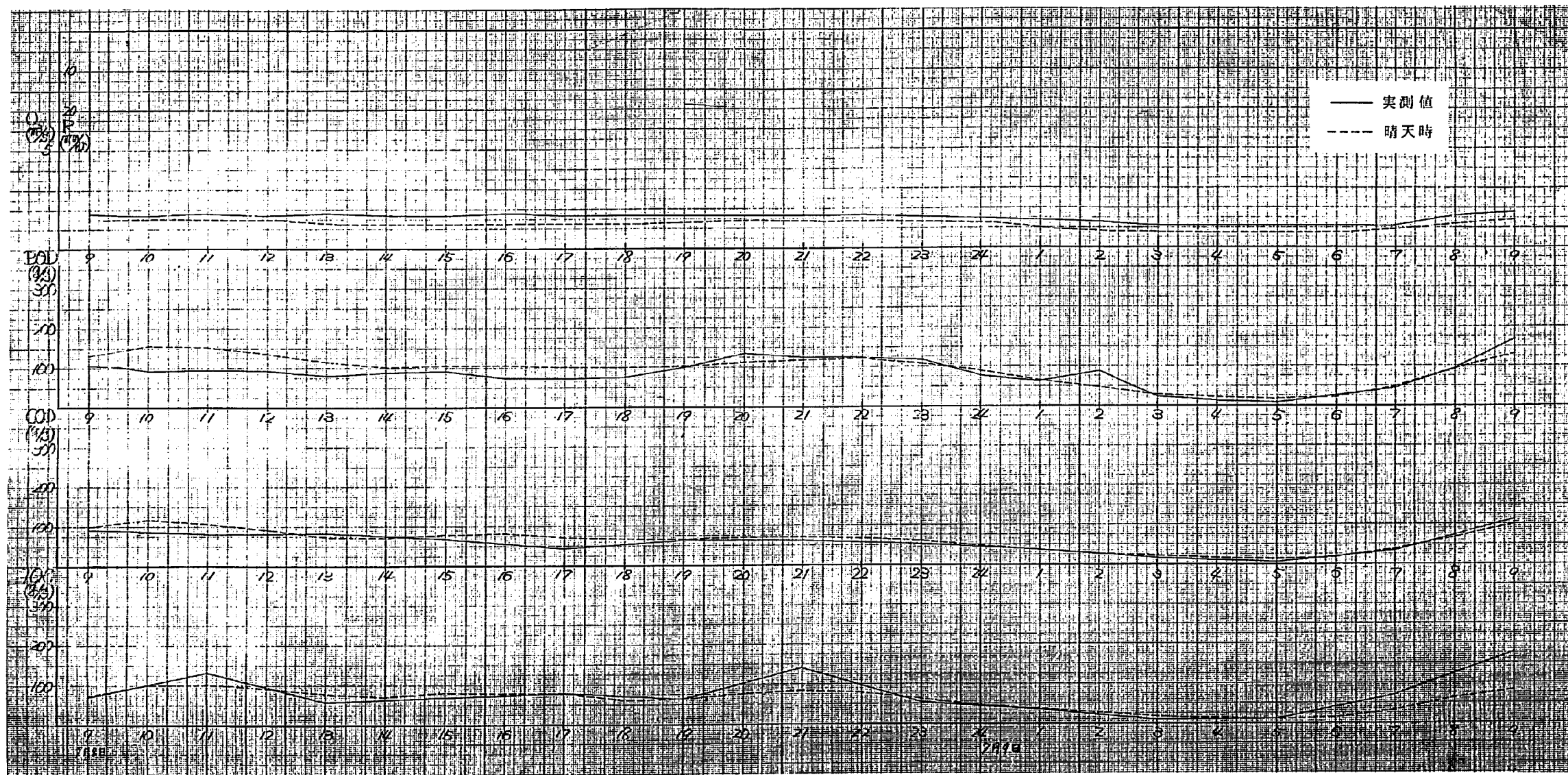
付図 - 15 の 3



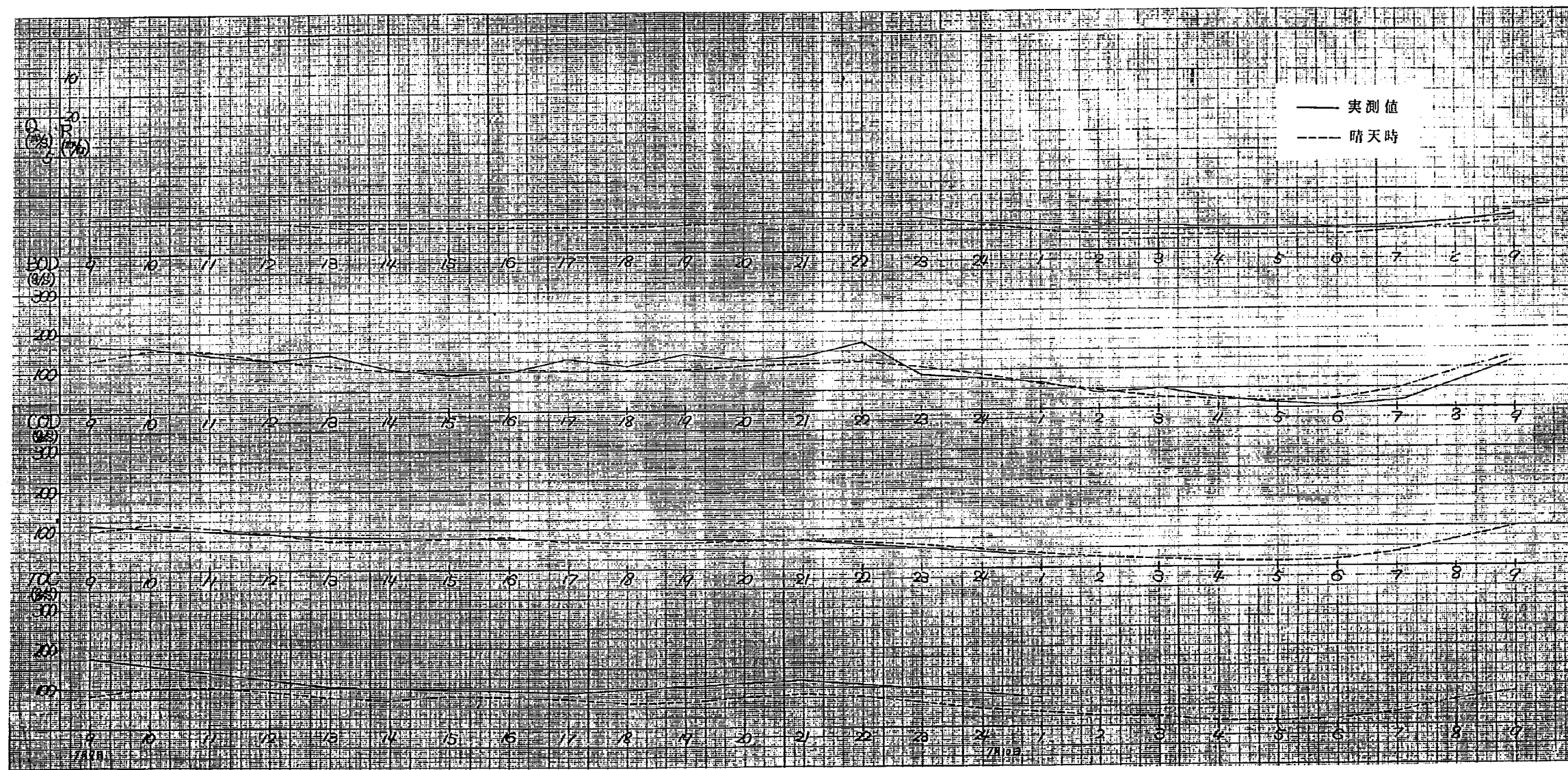
付図 - 15 の 4



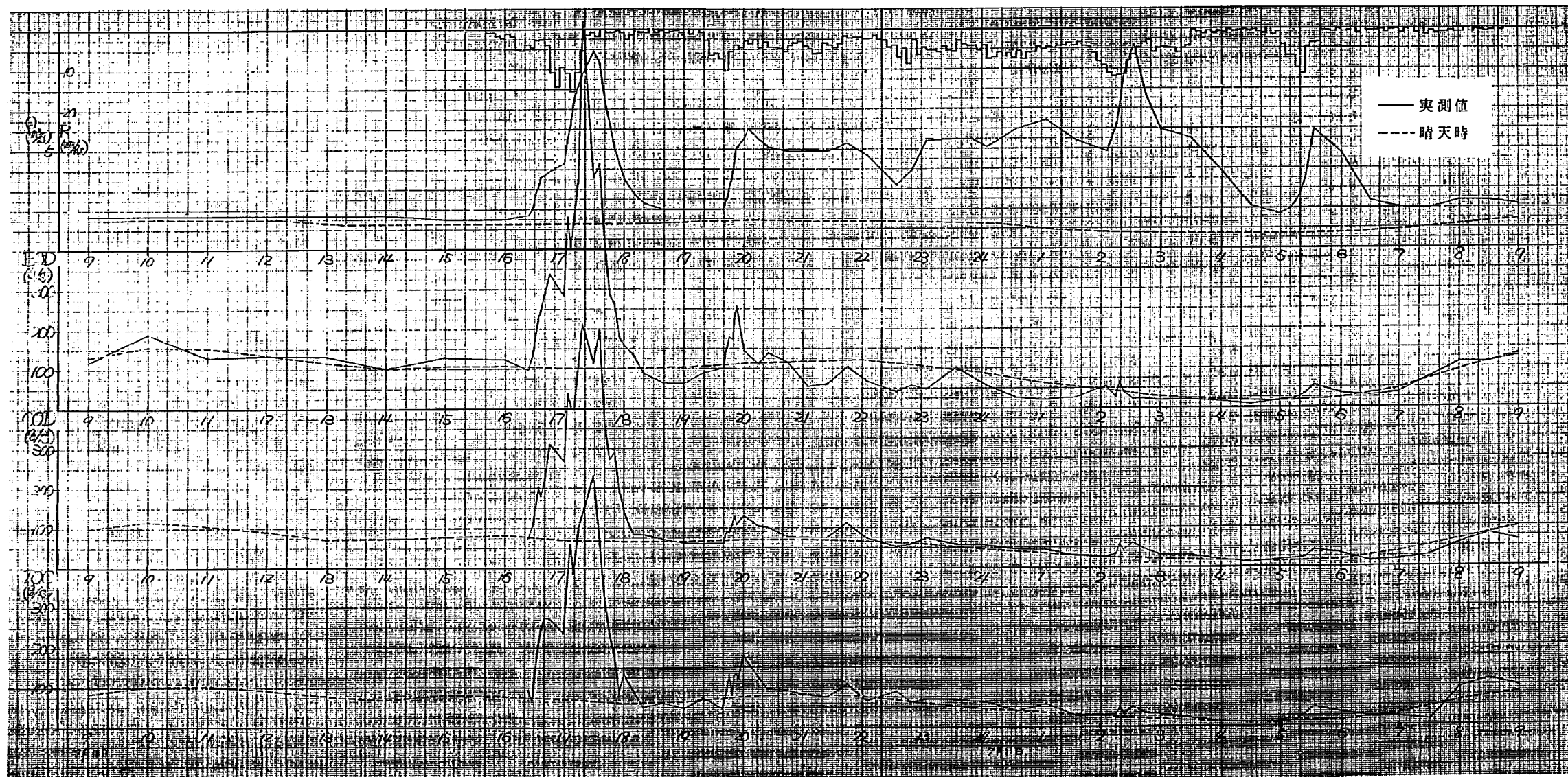
付図 - 15 の 5



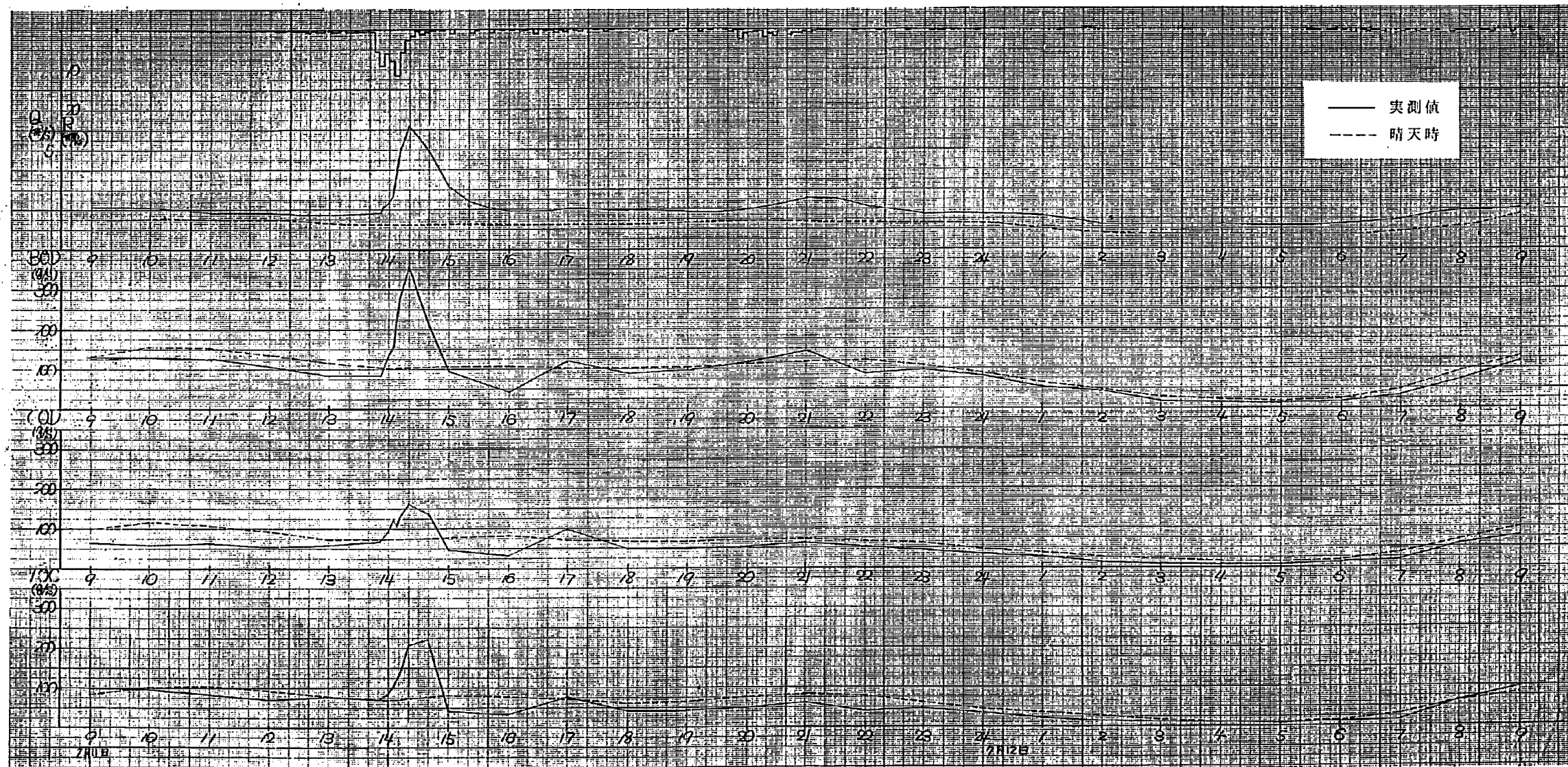
付図 - 15 の 6



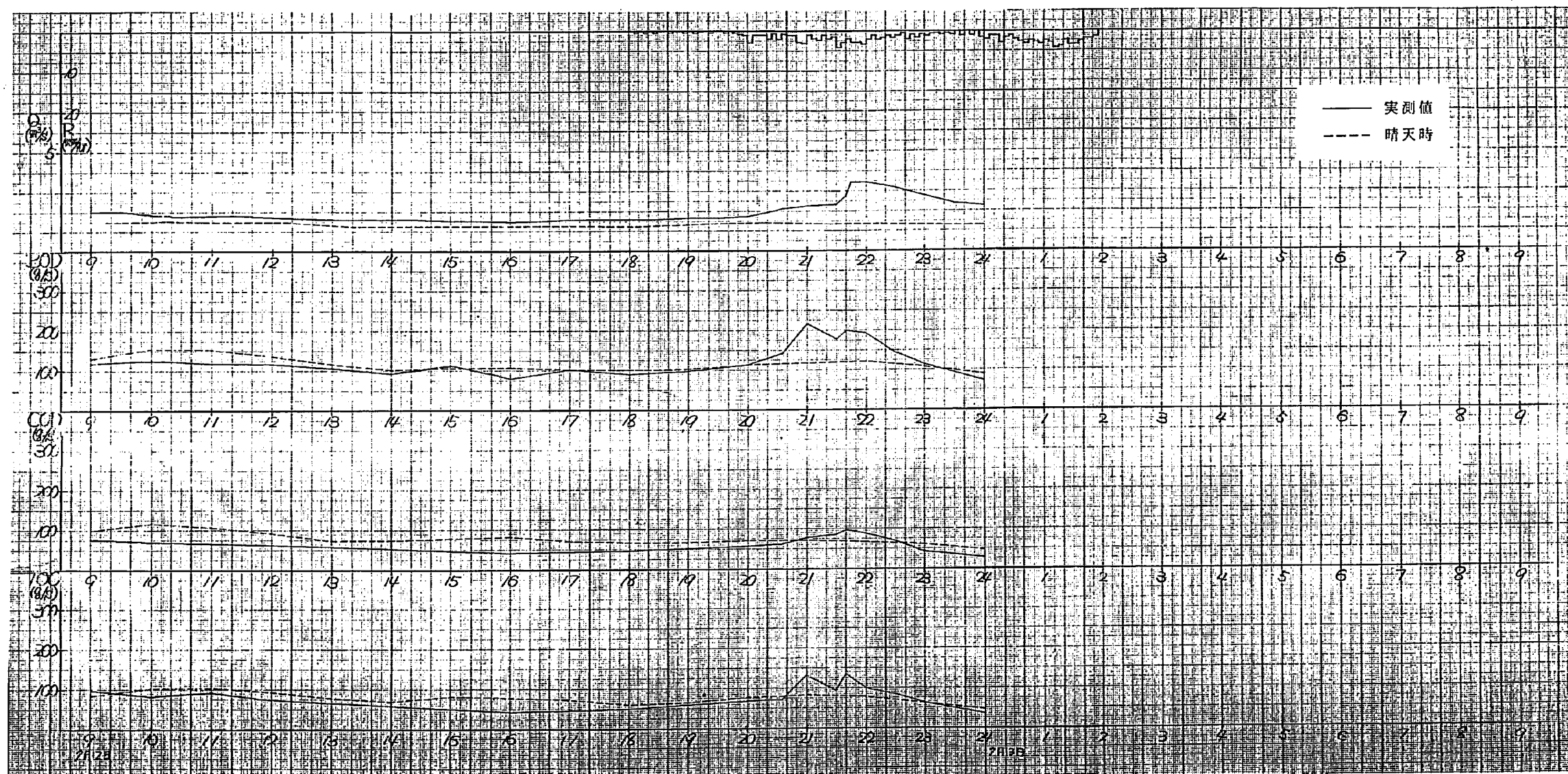
付図 - 15 の 7



付図 - 15 の 8



付図 - 15 の 9



付図 - 15 の 10

あ　と　が　き

都市域からの雨天時汚濁流出について、これまでの成果をまとめて見たが、年度末のこととて時間が足りず、でき上がったものを見ても、まだまだ不満な点は多い。とくに雨天時分流式の水質特性については、これまで日本での資料は皆無に近く、欧米の資料の紹介をする予定であったが、果せなかった。同よう滞水池等のコストについてもあまり触れ得なかった。次回を期したい。

都市域においては、雨天時汚濁対策同よう、洪水防築あるいははんらん防止の面からも、水をためて出さない方式が考えられ始めている*が、その意味で「滞水池」方式は、今後脚光をあびていくことが予想される。同よう雨水の地下還元を狙った「浸透性舗装」や「あまどい」を直接下水に接続しないで庭に出す方式なども、推奨さるべき方法なのであろう。

このほか今後の課題としては、

- 1) 低平地での汚濁負荷ポテンシャルの実態調査
- 2) 汚濁負荷回復特性
- 3) 浸透域の負荷ポテンシャル
- 4) 対策の費用および効果の評価

などが挙げられよう。

末尾ながら、全調査の実施にあたって、元都市河川研究室研究員松原重昭技官（現 関東地建 企画課勤務）の努力、および東京都下水道局計画部技術開発課、計画第一課および西部管理事務所の方々の御協力によるところが大きかったことをここに付記して感謝する。

なお本報告の大半を中村栄一研究員が、一部を私が執筆した。またグラフ、資料の作製、電算には、当研究室山守 隆、山口和子、杉山 勉技官および東洋大土木科学生 黒崎、阿比留、松浦の三君が当った。

昭和 50 年 3 月

都市河川研究室長

山　口　高　志

* 例えば宅開規制に伴なう「防災調整地」など。

参 考 文 献

1. 建設省土木研究所：雨天時下水排除の合理化に関する調査研究報告書，S. 45. 3
2. 建設省土木研究所：東京都における雨水流出量調査報告書，S. 46. 3
3. 建設省土木研究所：下水処理施設の合理化に関する調査報告書，S. 47. 12
4. 東京都下水道局：東京都における雨水流出量調査報告書，S. 47. 3
5. 東京都下水道局：東京都における雨天時流出水の解析報告書，S. 48. 3
6. 東京都下水道局：東京都における合流式下水道越流現象のモデル調査報告書，S. 49. 3
7. 東京都下水道局：水質汚濁防止からみた雨水流出係数，雨水処理施設および収集システムの評価に関する調査報告書，S. 50. 3
8. 建設省：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，S. 49.
- 9~11. 山口高志，松原重昭，山守 隆：都市域からの降雨流出調査 第1報~第3報，土木技術資料 Vol 13 No 10, Vol 14 No 11, Vol 15 No 7
12. 松原重昭：都市域からの雨天時汚濁流出特性と排水システムの合理化，土木技術資料 Vol 16 No 5
13. 山口高志，松原重昭，山守 隆：都市域からの雨天時汚濁流出（その1），29回年次学術講演会講演概要集，土木学会編 S. 49. 10
14. 山口高志，松原重昭，杉山 勉：都市域からの雨天時汚濁流出（その2），29回年次学術講演会講演概要集，土木学会編，S. 49. 10
15. 建設省土木研究所：S. 48年度河川事業調査費報告，S. 49. 6
16. 建設省土木研究所：S. 48年度下水道事業調査費報告，S. 49. 6
17. James P. Heaney and Richard H. Sullivan : Source Control of Urban Water Pollution, J. WPCF vol. 43 No 4
18. APWA: Water Pollution Aspects of Urban Runoff , 1967
19. Francis J. Condon : Storm and Combined Sewer Abatement Technology in the United States, 1974
20. EPA : Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants, EPA-R2-72-081, November 1972
21. EPA : Storm Water Management Model , July 1971
22. Clyde L. Palmer : The Pollutational Effects of Storm-Water Overflows from Combined Sewers , Sewage and Industrial Wastes, February 1950
23. John A. Lager , Robert P. Shubinski , Larry W. Russell : Development of a Simulation Model for Storm water Management , J. WPCF , December 1971
24. A. L. H. Gameson and R. N. Davidson : Storm Water Investigations at Northampton, J. of Inst. Sew. Purif. 1963