

土木研究所資料

貯留型施設による雨天時汚濁流出抑制計画とその評価

—霞ヶ浦流域山王川を具体的モデルとして—

昭和61年3月

建設省土木研究所
河川部都市河川研究室

「Copyright © (1 9 8 6) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。 」

貯留型施設による雨天時汚濁流出抑制計画とその評価 —霞ヶ浦流域山王川を具体的モデルとして—

都市河川研究室長 松 浦 茂 樹
研究員 谷 本 光 司

要 旨

近年、流域から湖沼へ流入する汚濁物質は、雨天時の流入が大きいことが指摘され、その対策が待たれている。しかし雨天時の汚濁流出機構の解明はまだ不十分で、その対策もほとんど行われていないのが実状である。本報告書では都市化された中小河川を主に対象とし、下水道をも含めて参考となる事例を収集し、雨天時汚濁抑制対策を検討したものである。そして実現の可能性が最も高い貯留型に絞って計画の内容を検討し、霞ヶ浦流域の山王川を具体的事例として効果・費用を評価したものである。

キーワード：貯留型施設、汚濁流出、雨天時、山王川

は じ め に

昭和59年7月の湖沼法の国会成立に象徴されるように、湖沼への関心が近年頓に高まっている。流域の生活・生産活動の活発化による汚濁負荷の流入、その蓄積による水質悪化が社会に深刻な影響を与えているためであろう。水質悪化が悪臭等により周辺環境に悪影響を与えるとともに、用水源としての不安となっているのである。また社会のニーズが物の充足から生活のうるおい、心の豊かさへと移っていくとともに、親水面より湖沼空間が注目を浴びていることにもよろう。

湖沼法成立後、湖沼法に基づく湖沼保全基本方針は昭和59年12月に閣議決定された。現在指定湖沼での湖沼水質保全計画の策定が進められている。一方建設省では湖沼法成立に先立ち、昭和56年12月河川審議会より「河川環境のあり方について」の答申が出された。この答申により、「河川環境の保全と創造」を適正に行う管理が強く打ち出された。湖沼もその対象であり、各湖沼で環境管理基本計画の検討が始まっている。本報告書は、湖沼水質対策の一つとして湖沼への流入河川での雨天時対策を検討したものである。

流域から湖沼へ流入する汚濁物質の中で雨天時の流入が大きいことが近年指摘され、その対策が待たれている。しかし雨天時の汚濁流出機構の解明はまだ不十分で、その対策もほとんど行われていないのが実状である。本報告書は、都市化された中小河川を主に対象とし、下水道をも含めて参考となる事例を収集し、雨天時汚濁抑制対策を検討したものである。そして実現の可能性が最も高い貯留型に絞って計画の内容を検討し、霞ヶ浦流域の山王川を具体的事例として効果・費用を評価したものである。

検討はまだまだ不十分で、雨天時汚濁流出状況の詳細な把握を始めとして数多くの課題が残されている。だが湖沼浄化にとって雨天時汚濁流出抑制対策の妥当性は十分評価する必要がある、本報告書がその一助となると期待している。

目 次

はじめに

第1章 雨天時汚濁流出の特徴	1
1-1 雨天時汚濁流出の機構	1
1) 土地利用状況と流出	1
2) 河床堆積物	3
3) ファースト・フラッシュ	5
4) 汚濁流出とモデル	5
1-2 全汚濁流出と雨天時汚濁流出	6
1) 河川の水質と流出	6
2) 雨天時の流出と負荷	8
1-3 雨天時汚濁流出の把握(調査の方針)	11
第2章 雨天時汚濁流出抑制対策	12
2-1 汚濁抑制対策の現状	12
1) 対策の分類	12
2) 主な既往事例	14
2-2 雨天時対策の河川への適用の概念的整理	14
第3章 貯留型雨天時汚濁流出抑制計画	16
3-1 汚濁流出の抑制物質	16
3-2 貯留型雨天時汚濁流出抑制施設	16
第4章 貯留型雨天時汚濁流出抑制施設の基本条件	19
4-1 施設の設置条件	19
1) 流域および河道の条件	19
2) 流域の計画	19
3) 施設の条件	19
4-2 施設形式とハイドログラフ	19
1) 一時貯留型施設	19
2) 流下型貯留施設	19
3) 完全貯留型施設	20
4-3 取水および放流開始条件	20

4-4	掃流条件と沈降条件	22
-----	-----------	----

1)	掃流条件	22
----	------	----

2)	沈降条件	27
----	------	----

第5章	霞ヶ浦流域山王川における施設計画とその評価	31
-----	-----------------------	----

5-1	山王川の流域および河道の条件	31
-----	----------------	----

1)	山王川の流域および河道の特徴	31
----	----------------	----

2)	山王川の汚濁状況	31
----	----------	----

3)	河床堆積物と掃流特性	33
----	------------	----

4)	流域の各種の計画, 事業	34
----	--------------	----

5-2	貯留型施設の計画	35
-----	----------	----

1)	施設の設計条件	35
----	---------	----

2)	出水条件	35
----	------	----

5-3	一時貯留型施設	38
-----	---------	----

1)	施設の容量	38
----	-------	----

2)	負荷除去効果	38
----	--------	----

3)	施設の費用	40
----	-------	----

5-4	流下型貯留施設	41
-----	---------	----

1)	施設の容量	42
----	-------	----

2)	負荷除去効果	42
----	--------	----

3)	施設の費用	44
----	-------	----

5-5	完全貯留型施設	45
-----	---------	----

1)	施設の容量	45
----	-------	----

2)	負荷除去効果	50
----	--------	----

3)	施設の費用	50
----	-------	----

5-6	各貯留型施設の総合評価	52
-----	-------------	----

第6章	貯留型雨天時汚濁流出抑制施設と環境保全	58
-----	---------------------	----

6-1	施設で生ずる副次的影響	58
-----	-------------	----

1)	臭気	58
----	----	----

2)	腐食	59
----	----	----

3)	騒音	60
----	----	----

4)	汚泥の処理	60
----	-------	----

6-2	周辺環境との調和	60
-----	----------	----

第7章 今後の課題	62
参考資料	63
おわりに	68
参考文献	68

第 1 章 雨天時汚濁流出の特徴

1-1 雨天時汚濁流出の機構

河川で流出する汚濁物質は、その発生源の種類により、点源負荷と非点源（面源）負荷とに大別される。点源負荷とは家庭排水、工場排水等である。これに対し非点源負荷とは、流域や河床等に面的に存在している汚濁物質である。山林、荒地、造成地等、土壌系の負荷、田畑等農地系の負荷、河床堆積物等河川系の負荷、路面・屋根等、都市排水系の負荷などがこれに含まれる。

非点源負荷は、主として雨天時に降雨（雨水流出）を介して河川及び湖沼水域に流出してくると考えられる。したがって、河川あるいは湖沼等閉鎖性水域の汚濁防止・水質改善の観点からみれば、非点源負荷の量的把握ならびにその流出機構の解明は、きわめて重要な課題といえる。

近年、雨天時の汚濁流出については、下水道路線や都市域の小河川等を対象に、調査研究事例が増加してきているものの、まだ研究は十分に進んでいないのが現状である。ここでは現在明らかとなっている知見を整理する。

1) 土地利用状況と流出

先に述べたように、非点源負荷は土壌系負荷、農地系負荷、河川系負荷、都市排水系負荷などに分類され、これらはいずれも流域の土地利用と密接な関係にある。

土地利用の状況は、山林、田畑、宅地等の面積が河川流域全体に占める割合によって表すことができるが、その背景となる人口、家畜頭数、工業出荷額及び汚濁流出と深い係わりをもつ下水道普及人口（普及率）などの社会的指標をも考慮しておくことが大切である。

今ここで、多摩川流域の 5 流域を例とし、土地利用と流出についてみると次のようである。なお、流域の土地利用（表 1.1）及び流域の社会的指標（表 1.2）からすると、宅地流域（都市下水路、下の川）、田園流域（谷地川）、山地流域（平井川）に分けられる。^{1),2)}

表 1.1 調査流域の土地利用状況

流 域	流域面積 (km ²)	山 林 (%)	田 畑 (%)	河 川 (%)	宅地(市街、 住宅)(%)	備 考
青梅羽村福生 都市下水路	10.63	6.2	4.1	1.8	87.9(3,97)	宅地流域
下の川	7.28	1.1	3.2	12.2	83.5(6,94)	
谷地川	7.07	54.6	37.0	0.6	7.8(0,100)	田畑流域
平井川(多西橋)	38.41	73.5	11.9	1.5	13.1(3,97)	山地流域
平井川(細尾)	10.36	96.5	2.2	0.3	1.0(0,100)	

表1.2 流域の社会的指標^{1,2)}

流 域	人 口 (人)	下水道普及 人 (人)	家 畜 頭 数			工業出荷額 (百万円)
			牛 (頭)	豚 (頭)	鶏 (羽)	
青梅羽村 * 福生都市下水路	22,915	1,956	406	1,936	23,290	127,520
下 の 川 *	36,017	13,320	22	78	170	14,787
谷 地 川 **	3,918	—	279	468	16,015	4,723
平井川多西橋 *	28,848	—	30	40	1,727	13,851
平井川細尾 **	586	—	5	8	77	367

注) * ; 1979年調査

** ; 1981年調査

① 雨水の流出機構

宅地流域では小さな降雨でも雨水流出が発生する。すなわち、流量の降雨に対する応答は鋭敏で、降雨があるとすぐに流量が立ち上がり、降雨が終了するとすぐ流量も減少して晴天時の状態に復する性質がある。特に都市下水路は鋭敏で先行降雨の影響はあまり受けないが、同じ宅地流域である下の川では流出率等から見て先行降雨の影響を受けていると見られる。このように同じ宅地流域であっても、下の川と都市下水路とは若干異なった流出機構をもっていると考えられる。

一方、田園、山地流域では流量の降雨に対する応答が鈍く、降雨開始後の流量の立ち上がりは緩やかで、降雨終了後の流量低減には長時間を要する。このため、先行降雨や総降雨量の影響を強く受け、先行無降雨日数が長く、降雨量が小さい場合には雨水流出が観測されないほどである。また、雨水流出率は宅地流域に比べてかなり小さい特色がある。

② 汚濁流出

宅地流域の汚濁流出の特徴のひとつには、ファースト・フラッシュ現象(次項3)参照)がみられることである。しかしすべての出水、すべての汚濁物質に見られるのではなく、全く見られない場合もあり、またファースト・フラッシュがあってもそれに対応する流量は出水ごとに異なっている。このため全汚濁流出に占めるファースト・フラッシュのウエイトの大きさは、河川ごとに評価する必要がある。

さらに宅地流域では、雨水流出より先に汚濁流出が終了するという点もひとつの特徴である。このため出水後期の水質が比較的良好で、時として晴天時水質よりも低濃度であるという現象が観測されている。この点は下水道管ではより明瞭である。

一方、田園流域の河川ではファースト・フラッシュは生じないが、雨水流出より先に汚濁流出が終了する特徴がある。すなわち、あるピーク流量に対して流出する汚濁物質には限界があり、この

点では基本的には宅地流域と変わらないものと考えられる。

山地流域では、汚濁物質の供給能力に明確な限界は見られず、出水量に応じて汚濁負荷の流出が継続している。したがって、山地流域からの汚濁物質供給能力は、ほぼ無限と考えられよう。だが宅地流域との対比で言えば、ファースト・フラッシュが観測されない特徴がある。山地流域、そして田園流域においても出水初期に河床付近で生じる物理現象は同じと考えられ、ファースト・フラッシュは発生しているものの、河川への流入汚濁物質が少ないことから宅地流域の河川より河床に堆積する汚濁物質量が少ないことと、流量の降雨に対する応答が鈍いため掃流力が急激には増加しないこと等が影響し、観測される流出状況ではファースト・フラッシュが認められないものと考えられる。

2) 河床堆積物

流域及び河床に堆積する汚濁物質には、汚濁した有機性に富む浮泥、水生動・植物の死骸、及び河床を構成するシルト、砂、礫等がある。これらの堆積物はその堆積場所、移動抵抗力の大きさにより、概念的に次のように分けられる。

ひとつには、移動抵抗力がきわめて小さく、流出の特性でみると晴天時においても流量の時間変動に応じて浮上・沈降を繰り返し、出水時にはその初期にほとんど流出してしまう汚濁物質である。この成分としては、比重の小さい生物性の有機物や粒径の小さい微細粘土粒子等が考えられる。

もうひとつは、河床の砂分、粘土分及びそれに付着、あるいは間隙に捕捉された有機物等から成る比較的移動抵抗力の大きい汚濁物質である。これは、中小規模出水の流量ピーク時付近では流下する汚濁物質の主成分となっていると考えられる。なお、同等の掃流力が継続する場合には、負荷流出の減少が観測され、その有限性が示唆される。

さらに大規模な出水時に生ずる掃流力に伴い流出する汚濁物質がある。これは、流域・河床に存在する大粒径の土砂を中心とするものである。この存在量は膨大で、かつ無限と考えられる。

都市河川での河床堆積物の例を示したのが図 1.1 及び表 1.3 である。図 1.1 の河床材料は都市河川の流入する湖沼流入部でみたものであるが、粒度分布は、表層ほど粒径が小さい特徴があり、表層での 50% 粒径は 0.007 (mm) である。(図 1.1 参照)

また、表 1.3 は霞ヶ浦に流入している山王川の河床堆積物を人工出水をつくって採集したものであるが、主な河床堆積物は水わた、水草、昆虫の脱皮殻及び河床を構成する砂等である。なおこの人工出水実験において、堆積物を昆虫網(メッシュ 0.5 mm)で捕集すると、強熱減量が 20~70% と高率であり、これには水草等、及び河床に付着した生物性物質が主に含まれている。また、プランクトンネット(メッシュ 20 μ)で捕集した場合には、これに加えて黒色のシルト、砂量が多量となり、その強熱減量は 12~15% である。

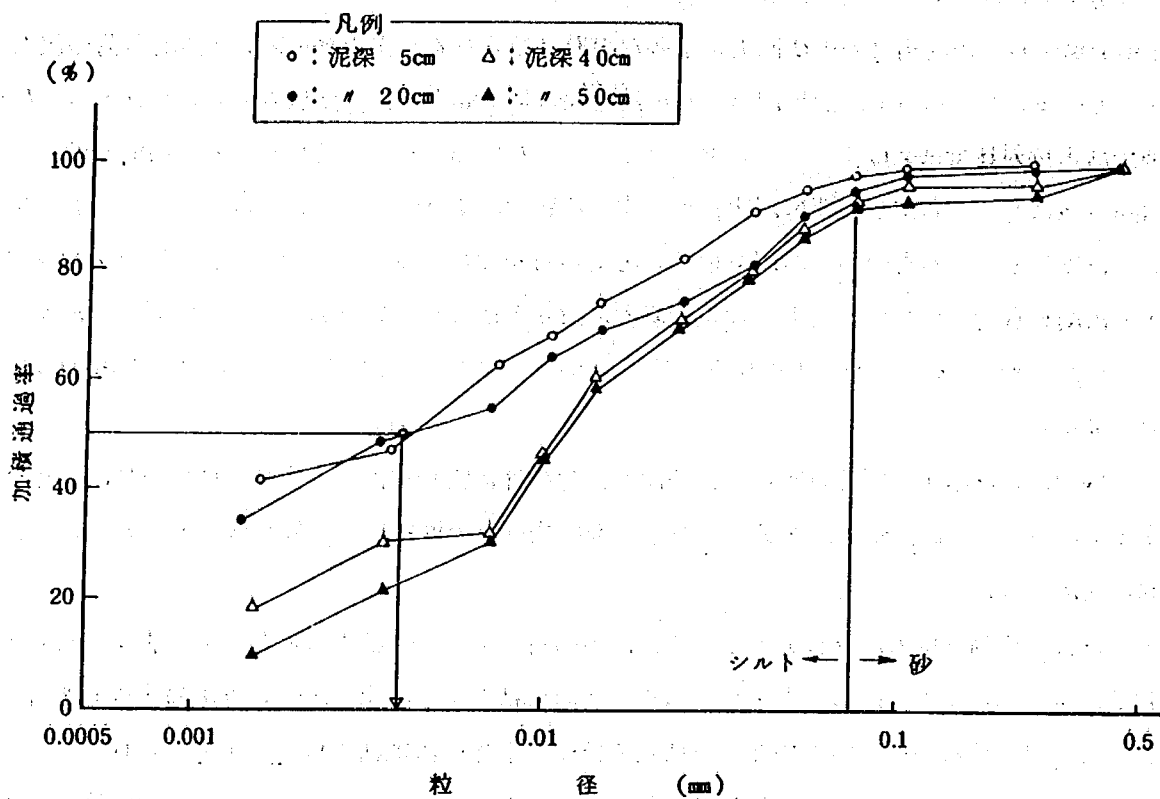


図 1.1 湖沼流入河口部の土質粒子分布

表 1.3 山王川の有機性河床堆積物 (生物質)

堆積物の分類		外 観	堆積物の分類		外 観
植物性流下物	水 藻	—	動物性流下物	ユ ス リ カ	生 死 体 骸
	水 わた	φ 4mm 程度 φ 7mm 程度 φ 10mm 程度		昆虫の脱皮殻	—
	枯 れ 草	湿潤状態で捕集		貝 類	カワニナ類
	水 草	—		ヒ ル	生 体
			その他 (分類不可能)		

3) ファースト・フラッシュ

合流式下水道管渠、下水路等では、雨天時の流出状況を観測すると、出水初期の小さな流量の段階で水質が高濃度となる、いわゆるファースト・フラッシュ現象が知られている。

河川での雨天時流出状況の観測でもファースト・フラッシュがみられることがある。ファースト・フラッシュ現象は河道内のある断面を基準に見た時、それより上流でフラッシュされた汚濁物質が流下距離に対応する遅れ時間を伴って順次到達するので、高濃度状態が継続するものと考えられる。この遅れ時間は河道長と流れの流下速度によって決まり、この間に掃流力の増加があると流水中の汚濁物質濃度はさらに高まり、あるピークを記録する。その後河床からの供給力低下に伴って汚濁物質濃度は再び減少するものと考えられる。

ファースト・フラッシュを形成する汚濁物質（前項2）参照）は、移動抵抗力がきわめて小さく、晴天時には流量の時間変動とともに浮上、沈降を繰り返す性質をもっている。成分は、比重の小さい生物性有機物や微細粘土粒子等が考えられる。この成分の中で生物性物質はBODのファースト・フラッシュに、粘土は濁度（場合によりSS）のファースト・フラッシュと強く関係すると考えられる。多摩川（本川）での調査によれば出水初期にBODのファースト・フラッシュが観測されている。¹⁰⁾

河川でのファースト・フラッシュ現象については、まだ十分に調査されておらずその機構も今後、明らかにして行かなければならない事項である。

4) 汚濁流出とモデル

① 河川の汚濁流出機構

河川の汚濁物質は晴天時、あるいは雨天時に流域から供給されたものである。この汚濁物質は、河川の水理条件の場所的・時間的变化に応じ、沈降・堆積と浮上・流出を繰り返している。こうした汚濁物質の移動に関与する河川の水理量は、掃流力、あるいは摩擦速度である。これらはそれぞれ次の式で定義される。

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R \cdot I \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

$$u_* = \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

河床に存在する粒子性物質にはその粒径、比重等に対応する限界掃流力が存在し、河川の水理条件がこの値を上回ると、河床の物質の浮上・流出が生ずる。

一般に低水時より出水時の方が掃流力が大きいので、晴天時に河床に堆積している物質は出水時に掃流される。同じ晴天時でも、河道特性により場所ごとに掃流力は異なっている。このため、河道内の堆積物質は一様ではなく、掃流力の分布に対応して場所ごとに堆積量や堆積物質の特性（粒径等）が異なっている。

また、流域が都市化して家庭雑排水が多く流入する河川では、晴天時でも日間の時間的な流量変化が見られる。これに対応して掃流力も時間的に変化し、このため限界掃流力の比較的小さい物質は、平日のうちに時間的に沈降・堆積と浮上・流出を繰り返している。

河川の汚濁流出機構は、晴天時と雨天時とで大きく異なる。晴天時は、河床に堆積した汚濁物質が、出水時に掃流される。雨天時は、流域からの汚濁物質が、直接河川に流出する。

② 河川の汚濁負荷量モデルと評価

雨天時の汚濁流出を表わす既存のモデルとしては、限界流量と初期残存負荷量を仮定した次式がある（負荷流出モデル）。このモデルは、下水道管渠の雨天時流出を対象として作成されたものである。

$$L = K \cdot S^n \cdot (Q - Q_c) \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

$$S = S_0 + \int (DWF) \ell dt - \int L dt$$

ここで、 L ：流出負荷量（ g/s ）、 K ：定数、 S ：残存BOD負荷量、 Q ：流量（ m^3/s ）、 Q_c ：限界流量（ m^3/s ）、 S_0 ：初期残存負荷量（ g ）、 $(DWF)\ell$ ：晴天負荷量（ g/s ）、 n ：汚濁物質による定数である。

この負荷流出モデルは、管渠内の晴天時の堆積負荷が有限であり、これが雨天時に掃流され流出することを前提としている。すなわち、下水道管路床には汚濁物質が堆積しており、雨天時の流量増による掃流力の増加にともなう晴天時の堆積負荷が掃流されていく。したがって、管路の堆積物は有限であるところに流出機構とそのモデルのおおきな特徴がある。

一方、河川では晴天時、河床には汚濁物質が堆積しているが、河床は通常コンクリートで被覆されてはいないから、汚濁物質と河床材料（砂礫、粘土等）は一体となって存在している。河床の汚濁物質の一部は小規模の出水によっても掃流されるが、河川への流入汚濁物質が下水道より少ないことから見て、その量は相対的に少ないと考えられる。出水規模が大きくなると、粒径の大きい河床材料も掃流されるようになり、それに伴って河床材料に吸着していたり、河床材料の隙間に捕捉されている汚濁物質が流出してくる。また、流域から土砂の流出と一体となって汚濁物質が流入してくる。このように見ると、河川の汚濁流出の場合、汚濁物質供給に明確な限界はなく、出力規模に応じて汚濁物質が供給されると考えられる。

このように、河川の負荷流出の機構には、河床の条件、土地利用、地形、地質等の流域特性が関与し、負荷流出モデルもこれに応じたものとなる。

なお、通常、河川での汚濁負荷量の算定は、実測した流出と水質より流出負荷量を求め、次式の関係式を設定することにより雨天時汚濁負荷量を求めることが多い。

$$L = a \cdot Q^n \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

ここで、 L ：流出比負荷重（ $g/s/kd$ ） Q ：比流量（ $m^3/s/kd$ ）

a 、 n ：実測値の相関より求める係数

このモデルでは、出水時の水質・流量調査結果より係数を求め、流量が既知の場合、上式の関係より汚濁負荷量を求めるととができる。

1-2 全汚濁流出と雨天時汚濁流出（調査の方針）

1) 河川の水質と流出

河川の流出状況は晴天時、雨天時で大きく異なる。都市域を流れる小河川山王川の年間流出状況の例を図1.2に示した。図の流量は期間中136回の流量観測データに基づくもので、調査日以外の流量

は近隣の園部川流量をもとに流域面積比により補間している。また水質は降雨状況を勘案しながら期間中2～4回/月の採水、分析を行ったものである。図より雨天時には晴天時に比べCOD、BOD、SSの濃度が急激に高くなる傾向がうかがわれる。

この河川では、流量が減少した12月～3月にかけて河川水質が悪化する特徴がみられる。これは、高濃度な都市排水の希釈が河川流量の減少のため少なくなったことも一因と考えられ、流域・河川等の特性がこれに似かよった河川では類似した性質がみられよう。

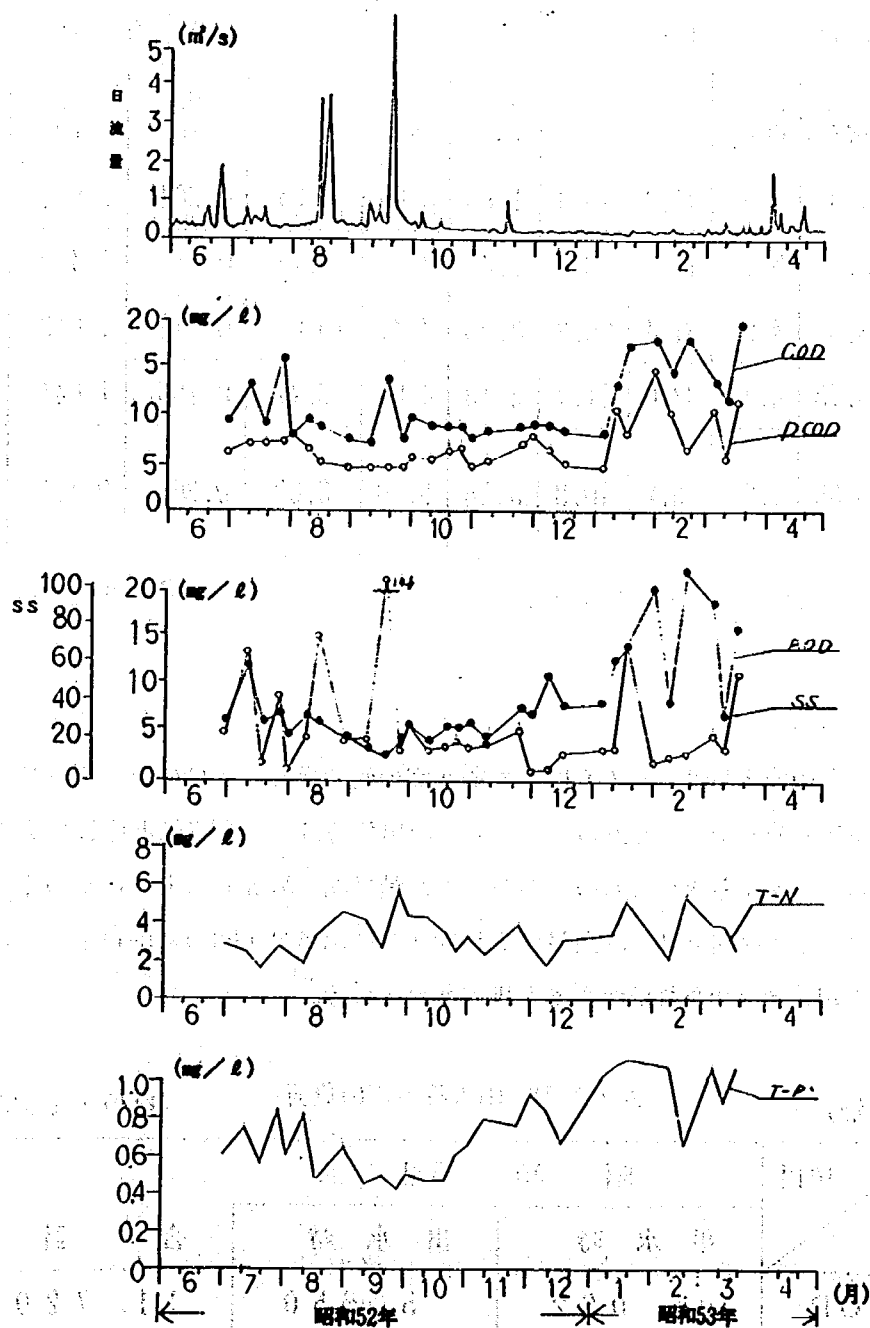


図 1.2 山王川の年間流出状況

(単位: 日流量: m³/s)

つぎに山王川の晴天時、雨天時の年間の平均的水質状況を表 1.4 に示す。表で雨天時の No. 1 ~ 3 は、それぞれ異なる 3 回の出水で実測により出水中の平均水質を求めたものである。また晴天時水質は 3 回の観測の平均値である。雨天時の河川水質は、晴天時のそれに比べ、2 ~ 5 倍と高濃度となり、同時に負荷量も多量となる。

表 1.4 雨天時と晴天時の水質 (単位: mg/l)

内容 項目		流量 注 1 (m³/s)	C O D			T - N			T - P		
			D. C O D	P. C O D		D. T N	P. T N		D. T P	P. T P	
雨天時	No. 1	4.3	3.5	41.9	45.4	1.68	3.86	5.54	0.204	1.898	2.102
	No. 2	3.1	5.6	17.8	23.4	1.47	2.65	4.12	0.041	1.412	1.453
	No. 3	3.8	4.9	81.4	86.3	3.25	7.41	10.66	0.214	1.612	1.826
	(平均)	3.73	4.7	47.0	51.7	2.13	4.64	6.77	0.153	1.641	1.794
晴天時		0.38	7.0	3.2	10.3	3.28	0.40	3.68	0.269	0.151	0.420

注 1) 流量; ピーク水質時の流量

S 58 年度データ

2) 雨天時の流出負荷

雨天時の汚濁負荷の流出量は、表 1.5 に示す霞ヶ浦の例で見ると、C O D、T - N、T - P で異なるものの年間負荷量の約 5 割前後を占める。なお、流出負荷量は、比流量と比負荷重の関係 $L = aQ^n$ を用い年間の流量データより求めたものである。また琵琶湖流域等での実測に基づく事例を表 1.6 に示したが、これによると降雨強度、降雨量ともに大きな降雨では 1 回の降雨によって晴天時の 1 年分、あるいは 2 年分を超える流出負荷量があると推定されている。³⁾

(霞ヶ浦) 表 1.5 (1) 雨天時の流出負荷 (単位: t/年)

項目 内容	昭 和 5 2 年		
	平 水 時	出 水 時	合 計
C O D	6, 0 6 2	5, 6 5 0	11, 7 2 0
T - N	2, 4 8 0	2, 4 1 0	4, 8 9 0
T - P	2 1 5	1 8 3	3 9 8

(流域面積; 1949.3km²)

表 1.5 (2) 雨天時の流出負荷

(山王川)

(単位 ; t / 年)

項目 内容	昭 和 5 8 年		
	晴 天 時	雨 天 時	合 計
COD	1 4 9 (0 . 3 4)	1 6 7 (0 . 8 5)	3 1 6 (0 . 6 1)
T-N	5 4 (0 . 1 1)	2 8 (0 . 4 6)	8 2 (0 . 2 3)
T-P	5 . 5 (0 . 3 8)	5 . 5 (0 . 8 4)	1 1 (0 . 6 1)

注) () ; 粒子性の比率

注) 流域面積 ; 12.3km²

注) 表 1.5 (1)では平水時と出水時に、表 1.5 (2)では晴天時と雨天時に区分している。この区分のしかたの違いを概念的に表わすと下図のようになる。

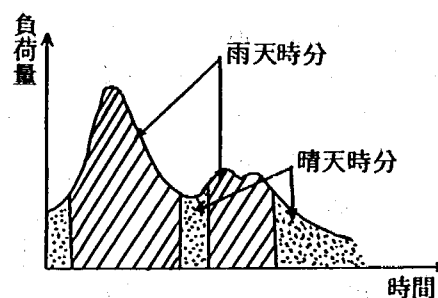
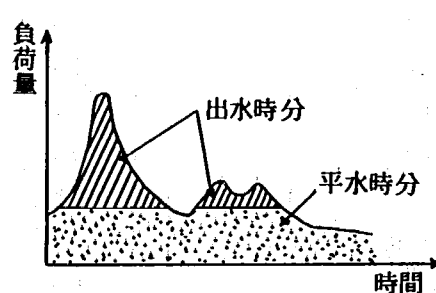


表 1.6 降雨条件と晴天時流出負荷に対する降雨時流出負荷量の比⁷⁾

	降 雨 年 月 日	総降雨量 (mm)	降雨継続 時 間 (時間)	平均降雨 強 度 (mm/hr)	先行晴天 日 数 (日)	流 出 率	1 降雨の累加流出負荷量 平均1日負荷量(晴天時)			
							COD cr	N	P	SS
真 野 川	'78 9月16日	65	5	13.0	6	0.64	396	191	223	7,220
	9 3	77	43	1.3	4	0.33	101	54.7	12.2	1,100
	12 23	26	23	1.1	3	0.39	12.1	12.6	13.5	108
	10 27	19	19	1.0	17	0.09	0.8	0.8	0.5	2.0
	7 7	9	1	6.0	7	0.19	0.8	0.4	0.1	2.4
大 宮 川	'78 9月16日	65.0	4.5	5.0	6	0.68	883	160	95.6	7,850
	10 27	15.5	17.5	0.9	17	0.12	15.6	4.9	3.0	21.6
	12 23	21.0	20.5	1.0	14	0.17	11.1	7.2	7.7	37.9
	7 7	2.0	1.0	2.0	6	0.28	2.5	1.3	0.2	5.5
相 模 川	'77 9月28日	40.5	10.5	3.0	13	0.10	18.7		4.1	37.2
	5 15	30.5	5.6	5.5	10	0.12	16.9		1.7	32.9
	6 2	26.0	3.2	8.2	11	0.08	13.4		1.5	30.3
	8 3	9.0	1.0	9.0	16	0.07	8.7		0.6	8.3
	11 1	6.5	2.5	2.8	26	0.13	7.3		1.3	8.6
	6 28	13.5	4.1	3.3	3	0.07	3.8		0.7	5.1
	9 4	8.0	1.1	7.8	2	0.07	3.6		0.4	7.3
	9 13	5.0	1.0	5.0	3	0.11	3.3		0.6	3.0
	8 24	7.5	3.0	2.5	16	0.10	3.1		0.7	3.2
	5 22	10.5	6.2	1.7	7	0.16	2.4		0.5	3.8
	6 16	4.0	2.9	1.4	6	0.14	1.5		0.4	1.0
	5 26	3.0	4.5	0.7	4	0.31	1.1		0.5	1.4
葉 山 川	'76 10月14日	57.0	24	2.4	4	0.36	28.4	10.5	87.2	39.6
	8 10	34.0	10	3.4	1	0.44	26.7	4.0	48.6	146
	11 17	18.0	17	1.1	3	0.25	6.3	2.5	14.2	10.1
	10 20	11.5	7	1.6	5	0.21	1.5	1.2	4.2	3.3
	11 10	4.0	10	0.4	13	0.27	0.3	0.1	0.9	1.0

このように雨天時の河川水質、及び負荷の流出状況からみて、汚濁流出の抑制は河川及び湖沼水質の改善に対して重要であることがわかる。

1-3 雨天時汚濁流出の把握(調査の方針)

雨天時汚濁流出の状況調査は、現在、調査その端緒についたばかりであり、2～3の河川では調査事例があるものの、未だ十分に行われていない。このため、汚濁流出状況の一般化をするには不十分であり、対策を行う河川ごとに雨天時汚濁流出を把握する必要がある。ここでは、雨天時汚濁流出状況を把握するために基本的に考慮し、調査しなければならない項目を示し、調査に際しての参考とした。

① 流域調査

- 土地利用状況 ; 山林、水田、畑地及び宅地等の土地利用の実態を把握し流域の雨天時流出の特徴を調べる。
- 社会的指標 ; 流域の汚濁源を把握するために、人口、下水道普及率、家畜頭数、工業出荷額など、社会的背景を調べる。

② 河川調査

- 河道特性 ; 河川の河床勾配、河道断面等の把握。
- 河床材料 ; 河床を構成する土質材料の把握。
- 河床堆積物 ; 現況の河床に堆積している汚濁物質の性状とその分布状況の把握。
- 流量観測 ; 流量及び流速、水位等の河川流況について把握。

③ 水質調査

- 晴天時の河川水質 ; 晴天時河川水質の調査と水質実態の把握。
- 雨天時の河川水質 ; 出水規模を考慮した雨天時流出河川水質の調査と水質状況の把握。
- 汚濁物質の粒径と ; 出水時の流出汚濁物質の粒度・粒径分布とその沈降特性の把握。
沈降速度
- 流出汚濁負荷量 ; 雨天時及び晴天時の流出汚濁物質の負荷量把握。

第2章 雨天時汚濁流出抑制対策

本章では、河川における雨天時汚濁流出抑制対策の概括的な検討を行う。まず2-1では下水道等で見られる既往の汚濁流出抑制対策の事例を整理し、気象、設置場所、河川特性、施設型式、負荷除去方法等の条件により分類する。そして2-2で雨天時汚濁流出抑制対策の現状の評価、および対策の河川への適用の概念的整理を行う。

2-1 汚濁流出抑制対策の現状

汚濁流出抑制対策の現状を明らかにするために、河川および下水道での既往の汚濁流出抑制対策の事例を収集し整理・分析した。我国では、雨天時汚濁流出抑制対策の実施例は下水道等において見られるが、河川ではその数は少なく、河川での対策事例は晴天時の場合がほとんどである。なお整理・分析に当っては雨天時での河川への適用性を念頭において行っている。

1) 対策の分類

汚濁流出抑制対策は、気象条件、場所、河川の特性、施設、負荷削減方法等の条件により表2.1に示すように分類される。対象とする河川は都市化した流域をもつ中小河川であり、都市雑排水のウェイトがかなり高いと判断される。このため河川の汚濁特性としては、下水道が分流式に整備されている

表2.1 対策の考え方

項 目	内 容
① 気象条件	・雨天時 ・晴天時
② 場 所	・堤外（河川巾が広い河川） ・堤内（河川巾が狭い河川）
③ 河川の汚濁特性	・下水道が整備されていない ・合流式下水道が整備されている ・分流式下水道が整備されている
④ 施 設	・貯留型の施設 ・分離型の施設 ・河川対応型の施設 ・流路変更型の施設
⑤ 負荷除去方法	・沈澱 ・水草等生物処理 ・二段河川 ・直接処 ・微生物接触処理 ・下水処理場の利用 ・放流

るかどうか重要な条件である。気象条件として雨天時、晴天時に分けているが、本報告の課題は雨天時対策である。

表中の施設、負荷除去方法の内容は、それぞれ表2.2、表2.3に示す通りである。対象としている河川が中小都市河川であるため、その対策には下水道との関連が強い。このため施設の形式を示している表2.2の備考に下水道との関連を示している。さらに負荷削減方法を示している表2.3に下水処

表 2.2 負荷流出抑制施設の特徴 9)

分類	項目	施設の概要	施設の特徴		備考（下水道等の関連）
			立地および場所	河川流出状況との対応	
施設 の 形 式	貯留型	汚濁した河川水を一時、池等の他の施設に貯留する。	堤外・堤内貯留池の敷地が確保できない場合には、地下もしくは河口部の利用、河川に流入する前、水路の利用。	晴天時の貯留 雨天時の貯留	下水道計画がある場合、下水道滞水池としての利用可能性。 山水の治水施設としての利用の可能性。
	河川対応型	汚濁した河川水を河道内で処理	河道内	晴天時での利用 雨天時での利用	_____
	分離型	雨水、汚水を分離して河川に汚水を入れず、汚水を施設で浄化後河川に返送する。	河川敷の利用、河川敷が狭い場合、堤内の休耕田等の敷地を利用、河川に流入する。	晴天時での利用 雨天時での利用	_____
	流路変更型	汚水を湖沼の下流もしくは、湖沼の流域外に放流する。	_____	晴天時および雨天時の汚水を放流する。	流域外の下水道との接続

表 2.3 負荷除去方法 9)

分類	項目	負荷除去方法の概要	流入負荷除去方法の特徴	
			立地および場所	期待される負荷除去の対象物質
負 荷 除 去 方 法	沈 澱	沈澱池で自然沈澱、凝集剤により処理する。	地上・地下でもよいが、処理水量に応じた沈澱池が必要	・粒子態 ・溶解態の一部（凝集剤を用いる場合）
	直 接 処 理	直接的な方法で処理する（ろ過エアレーションなど）。	河川内に施設を設置する。	・粒子態 ・溶解態
	微生物接触処理	接触酸化法等、微生物の浄化能力を利用する。	特に立地場所の制限はないが、施設の敷地面積が必要。	・溶解態
	水草等生物利用	水草、アシ等の植物の吸収、ろ過効果を利用する。	_____	・溶解態 ・粒子態
	下水処理場の利用	既存あるいは計画の下水処理場を利用する。	既存及び計画施設の立地場所の制限がある。	・粒子態 ・溶解態

理場の利用を記している。

2) 主な既往事例

収集した既往の流出抑制対策事例は、表 2.2 の施設の形式に従って分類した(表 2.4)。既往の晴天時対策の中にも、工夫次第では雨天時対策として適用し得るものがあるという判断から、表 2.4 には晴天時対策も記入してある。晴天時、雨天時の別で見ると、貯留型は主に雨天時対策として利用され、分離型、河川対応型は晴天時対策として利用されている事例が多い。米国での事例では、貯留型施設により汚濁流出抑制と洪水調節との両方に対応しているもの(シカゴのディープトンネル、二目的洪水調節池)が見られる。

負荷除去方法との関係で見ると、貯留型施設の事例は下水道等に多く見られることもあって下水処理場を利用するものが多い。既往の事例では、二目的洪水調節池が沈殿処理としているのを除き、他はすべて下水処理場を利用している。

河川対応型施設には、マイクロストレーナ、エアレーションのように直接処理方式を採用しているものと、濁質トラップや堰などにより沈殿作用を利用しているものがある。猪名川で検討されている濁質トラップは、低水路の一部を払巾して滞留部を作ることにより濁質の沈殿除去を目的としている。またドイツのルール河では河道内の 5 ケ所に堰を設置して貯水池化し、汚濁負荷の沈殿を図っている。

分離型施設は、雑排水の汚水を河川に合流する前に処理するものである。負荷除去方法としては微生物接触酸化が多く用いられているが、昆陽池の例では水生植物(ホテイアオイ)を利用している。

流路変更型施設は、汚水を湖沼、河川等の流域外に放流するものである。表 2.4 に示した大谿川は、流域(温泉街)の雑排水を河道下に設置された暗渠により排水するもので、二段河川の例である。ただし汚水の処理は行っておらず、ポンプにより本川(円山川)に強制排水している。

2-2 雨天時対策の河川への適用の概念的整理

表 2.1 ~ 2.4 を参考に、雨天時汚濁流出対策として河川での適用の可能性を概念的に整理したのが表 2.5 である。対象としている河川は、流域の下水道が未整理の都市河川で、都市雑排水による汚濁物質が大きなウェイトを占めている河川である。

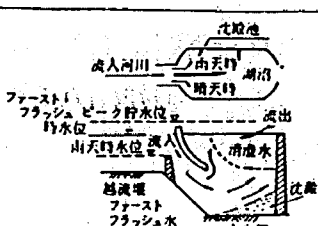
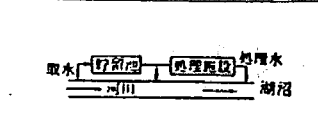
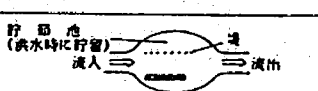
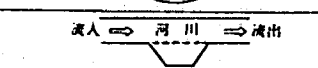
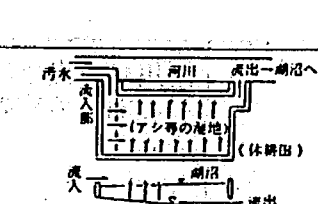
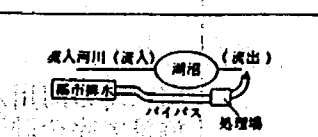
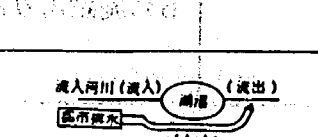
表 2.4 既往の対策事例の現状 9)

貯留型施設	河川対応型施設	分離型施設	注)
①音羽貯留槽(名古屋市設) ②神奈川県横浜市の ③愛知県一宮市 ④大阪府大阪市 ⑤オハイオ州コロンバス(米国) ⑥ミシガン州シカゴ市(米国) ⑦二目的洪水調整池(米国)	①濁質トラップ(猪名川) ②河川の渾水化(ルール河) ③マイクロストレーナ(東横瀬川) ④エアレーション(綾瀬川、道頓堀川)	①ひも状接触酸化方式(土浦市) ②疎間接触酸化法(荒川、多摩川) ③水生植物栄養塩除去法(昆陽池) ④疎間接触酸化(上野市)	①二段河川(大谷川) ②河川、下水の流路変更

注) 施設の形式は表 2.2 にもとづき分類した。

表 2.5 で示すように、貯留型、流路変更型の施設では下水道が敷設されるまでの期間、処理場を有効に利用できる可能性から下水処理場の利用を提示している。また貯留型では河川近傍の堤内地を利用した沈殿処理、あるいは河口部を利用した方法も有効と考えられる。

表 2.5 汚濁流出対策の例 9)

施設の形式と削減方法	項目	方法概要	模 式 図	事例及び類似例
貯留型の施設	沈	雨天時汚濁水を堤内地、あるいは湖沼内に隔壁を作った自然沈澱池、もしくは物理的強制沈澱池に流入させ、貯留する。	取水 → 貯留池 (沈澱) → 排水 → 河川 →	二目的洪水調節池
	澱	雨天時ファースト・フラッシュを越流堰から湖沼内に隔壁を作った自然沈澱池に流入させ、池の下層から貯留する。前の雨天時に流入させ清澄化した水を止水壁を越流させ湖内に流入させる。次の雨天時までの自然沈澱により、汚濁負荷を除去する。		
	下水処理場の利用	雨天時に湖沼流入河川の汚水を貯留し一部処理後河川に放流する。地表面貯留、地下貯留および湖沼内にゴム製のタンクを設置し、一部もしくは全量を貯留する。		・下水道滞水池 (横浜市) ・地下貯留 (大阪市、名古屋市) ・ゴム製タンク (エリー湖) ・ディープトネル (シカゴ)
河川対応型の施設	沈	河道内の遊水池、あるいは遊水部を利用して洪水時に貯留し沈澱させる。		
	澱			猪名川
分離型の施設 (汚水分離の場合)	微生物接触処理	流入河川の河川敷に接触化層をもうけ、支川から流入する汚濁負荷を除去する。これにより湖沼流入河川への汚濁負荷を除去する		多摩川、荒川の磯間浄化 (晴天時に利用)
	水草等生物利用	休耕田の敷地に汚水を導入し、水草・アシ等の植生により汚濁負荷を除去する。通時、浄化池の底泥の還元状態を防止し、溶出をも抑制する。		
流路変更型の施設 (汚水分離の場合)	二段河川	河道の地下に汚水専用の水路をもうけ河川への汚濁負荷を除去する。		大谷川
	下水処理場の利用	汚水をバイパス水路 (管) で下水処理場に流入させ、汚濁負荷を除去する。		
	放流	汚水をバイパス水路 (管) で放流する。		

第3章 貯留型雨天時汚濁流出抑制計画

本章では、汚濁の進行した中小河川において実現の可能性が最も高いと判断される貯留型施設の基本的考え方について述べる。

3-1 汚濁流出の抑制物質

貯留型施設は、雨天時河川水を施設に貯留し、自然沈降または強制沈降により粒子性汚濁物質を除去しようとするものである。したがって除去の対象となる汚濁物質は、SSおよび他の粒子性汚濁物質である。一般に雨天時に粒子性成分の比率の高いリン、COD等について有効な抑制対策になると期待される。

3-2 貯留型雨天時汚濁流出抑制施設

貯留型施設は施設の形式により、さらに表3.1のように分類される。また汚濁負荷の除去方法には表3.2に示すようなものがあり、両者の組合せとしては図3.1のようなパターンが考えられる。各施設の計画に当たっての基本的検討項目を表3.3に示す。

表 3.1 貯留施設の形成

項 目	施設の形式	施設の概要	施設の特徴
貯 留 型 施 設	一時貯留型	河川水を出水時の一時期に、池等の施設で貯留する。	雨天時流出河川水を既設の貯留施設に取水し、一定時間の貯留後、負荷除去方法で処理する。
	流下貯留型	貯留型水路を設け、河川水を緩速流下させる。	雨天時流出河川水を貯留機能を有する水路に通水し、緩速流下効果と負荷除去方法で処理する。
	完全貯留型	出水時の河川水を貯留型施設で完全貯留するとともに施設より放流する。	雨天時流出河川水を貯留機能と、流下機能を有する貯留池に通し、滞留効果と負荷除去方法で処理する。

表 3.2 汚濁負荷の除去方法と特徴

除去方法	除去方法の概要	期待される負荷除去対象物質	立地及び場所
沈 澱	① 沈澱池での自然沈澱。	滞留時間にもよるが、一般に粒子径が大きい、あるいは沈澱速度の大きい粒子性物質	地上・地下、あるいは堤内外地でもよいが、処理水量に応じた沈澱池が必要。
	② 直接的方法（不織布等）を用いた処理（物理的強制沈澱）	直接的方法にもよるが、粒子性物質。	
	③ 凝集剤を用いた処理。（化学的強制沈澱）	粒子性物質及びリン化合物等の一部の溶解性物質。	
下水処理場の利用	既存あるいは計画の下水処理場を利用する。	粒子性及び溶解性物質。	既存及び計画施設の立地場所の制限がある。

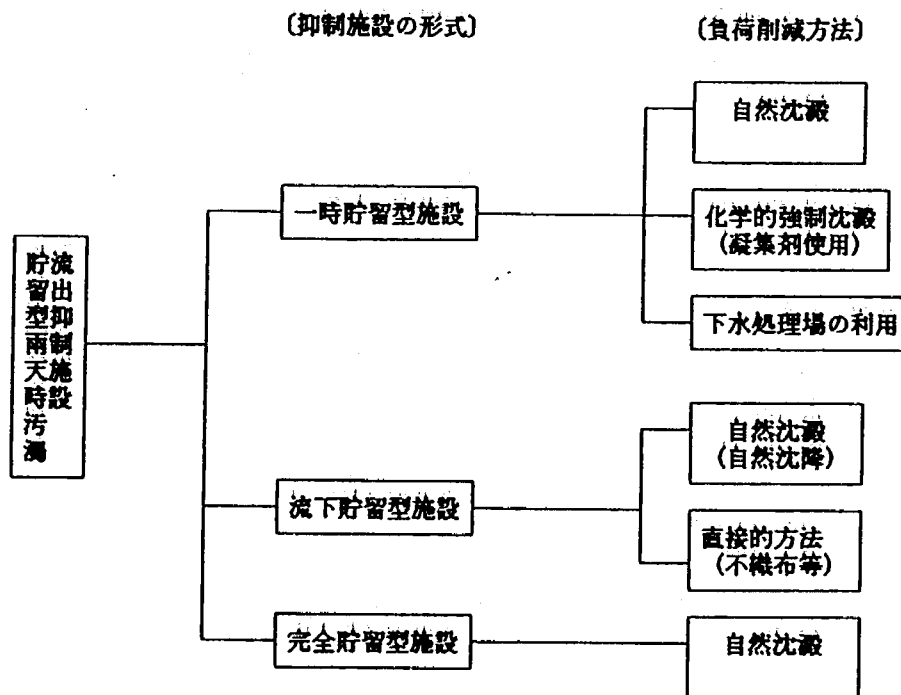


図 3.1 施設形式と負荷削減方法の組合せ

表 3.3 貯留型施設計画の特徴

施設の形式	施設計画の特徴
一時貯留型施設	①計画地点の広さ（設置可能な面積）
流下貯留型施設	①施設内の流速を0.1 ～0.2 (m/s)とする ②施設の取水量（最大取水流量） ③計画地点の広さ（設置可能な面積）
完全貯留型施設	①施設計画の出水条件（出水規模） ②計画地点（河口部）の水深 ③計画地点の広さ（設置可能な面積）

第4章 貯留型雨天時汚濁流出抑制施設の基本条件

本章では貯留型施設の設計のための基本条件を述べる。

4-1 施設の設置条件

貯留型施設の計画をする場合には、流域・河川のもつさまざまな条件に基づき、貯留型施設の可能性および妥当性を検討する必要がある。具体的な検討の手順や方法は次節のケース・スタディに譲り、ここでは検討が必要となる項目を列記するにとどめておく。

1) 流域および河道の条件

- ・河道の特性（▽字型、平坦型等）
- ・堤外地の広さ
- ・河道付近の堤内地の状況
- ・周辺の住宅密集状況
- ・河口部の水面および土地利用状況
- ・河床堆積物の持性

2) 流域の計画

- ・治水計画
- ・下水道整備計画
- ・地域開発計画

3) 施設の条件

- ・施設の形式
- ・負荷削減方法
- ・施設の規模、容量
- ・負荷除去効果
- ・環境への影響

4-2 施設形式とハイドログラフ

貯留型施設は先に表3.1で示したように3種類を考えている。ここではこれら3種類の貯留型施設の取水、貯留、放流の状況をハイドログラフにより概念的に説明する。

1) 一時貯留型施設

雨天時河川水をおある容量まで一時的に貯留する施設である。施設が満杯になると取水を停止する。沈殿により汚濁物質を除去し、出水終了後貯留水を河川に放流する。これを模式的に示すと図4.1のようになる。

2) 流下型貯留施設

雨天時河川水を一定量取水し、施設流下中に汚濁物質の強制沈降を図った後、河川に放流する。こ

れを模式的に表わすと図4.2のようになる。

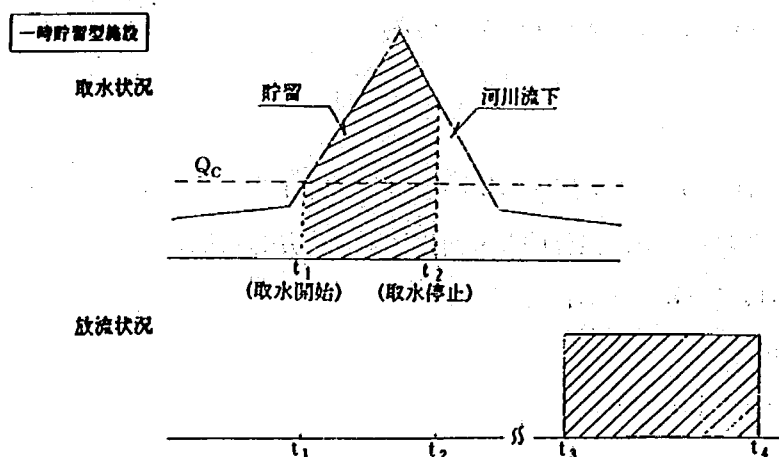


図4.1 一時貯留型施設の取水放流状況

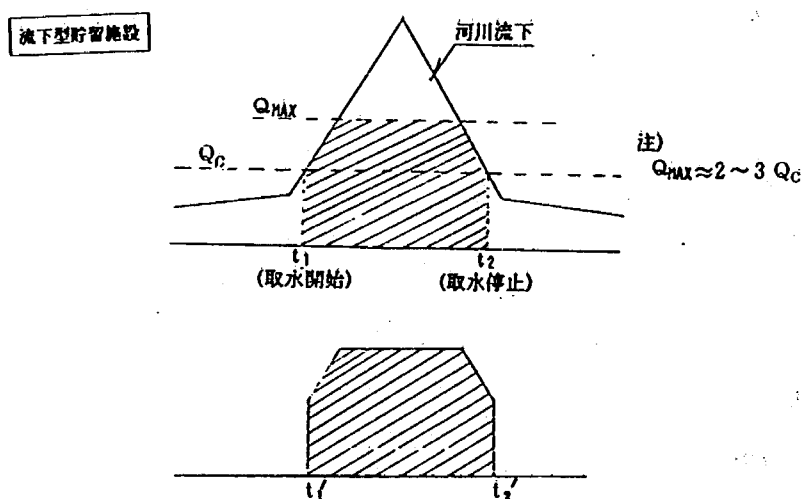


図4.2 流下型貯留施設の取水放流状況

3) 完全貯留型施設

十分大きな容量を確保し、原則として雨天時河川水を全量施設内に取り込む。施設内は常に満水状態で、洪水を流入すると施設内の水が放流される。流入水の施設内での滞留時間中に、自然沈降により負荷が除去される。これを模式的に表わすと図4.3のようになる。

4-3 取水および放流開始条件

雨天時汚濁河川水の取水開始条件は、雨天時水質調査データに基づき、汚濁流水状況を検討した上で決定される。晴天時に河床等に堆積している粒子性の汚濁物質が出水に伴って掃流され始める条件が雨天時汚濁流出の開始、すなわち取水開始の目安となる。したがってその条件は、河床に堆積している

完全貯留型施設

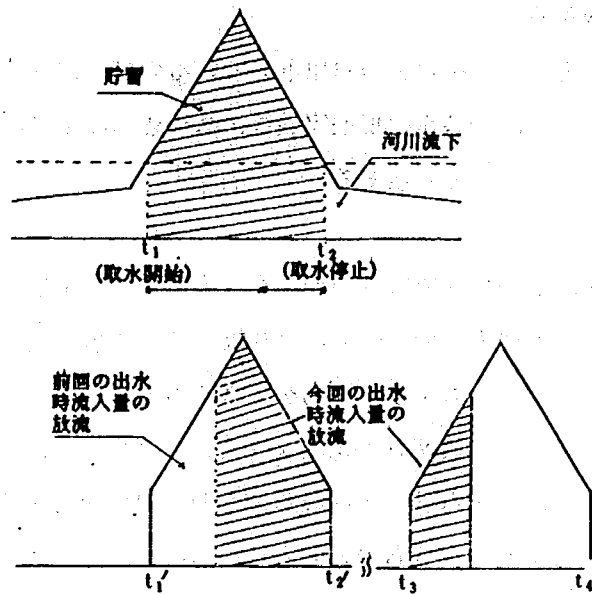


図 4.3 完全貯留型施設の取水・放流状況

汚濁物質の限界掃流力によって定義される。一般には河道内のある地点における水位、流量などの水理量と掃流力とはほぼ一義的に関係付けられるので、施設の計画や効果検討の段階では限界掃流力に対応する流量を、また施設構造の設計段階では対応する水位を目安とすることになる。

放流条件は先にハイドログラフで模式的に示したように、3種類の施設形式によって違ってくる。各貯留型施設の取水および放流の条件、施設等を対比して整理したものが表 4.1 である。

表 4.1 貯留型雨天時汚濁流出抑制施設の取水及び放流の条件

項目	一時貯留型施設	流下型貯留施設	完全貯留型施設
取水	取水開始 ・取水開始水位を越えた時点から取水を始める。	・同左	・同左
	取水量 ・施設への流入量を貯留池水位で監視し、計画容量を貯留する。	・計画取水量を維持するように、ゲート、もしくはバルブ調整を行う。	・河川水の全量を貯留する。
	取水停止 ・施設の計画容量を充足する時点で取水を停止し河川水は自然流下させる。	・河川水位が取水開始水位を下回る時点（出水後期）で取水が停止される。	・河川水位が取水開始水位を下回る時点（出水後期）で取水が停止される。
	取水施設 ・河道内に堰もしくは導水管を設置し、貯留施設に自然流下で取水する。取水停止時には、堰を開放、あるいは導水管閉鎖を行う。	・水門、樋門及び樋管等を堤防内に設置し、ゲート・バルブ調整機能を有する。	・河道内に堰を設置し、貯留施設に自然流下で取水する。
放流	放流開始 ・計画沈澱時間（滞留時間）経過後、放流を開始する。	・流下型施設であるので、取水開始時が同時に放流開始となる。	・貯留施設は基本的に常時満水状況であるので、取水開始時が同時に放流開始となる。
	放流量 ・河川水位及び湖沼水位状況を踏まえ、放流量を設定する。	・取水量と同様	・取水量が放流量となる。
	放流停止 ・貯留量を全量放流した時点で停止となる。	・流下型施設であるので、取水停止時が放流停止となる。	・完全貯留であるので、取水停止が同時に放流停止となる。
	放流施設 ・貯留施設の下流端底部に放流管等を設置し、放流量は放流管のバルブ調節により行う。放流は河川あるいは湖沼に導水管・堰から自然流下により行う。	・施設下流端に放流管等を設置し、自然流下により河川及び湖沼に放流する。	・貯留施設の構造にもよるが基本的には下流端に越え堰をもうける。

4-4 掃流条件と沈降条件

貯留型施設では粒子性汚濁物質を除去の対象としているので、出水時の掃流条件および施設内での沈降条件が重要である。ここでは筆者らの現地実験等に基づき掃流条件について考察する。また沈降条件については既往の研究事例に沿って考察する。

1) 掃流条件

出水時における河床堆積物の掃流特性の把握を目的として人工掃流実験を実施した。実験方法は図4.4に示すように、河川内に人工的に縮流区間を設けて河床堆積物をフラッシュし、水深・流速を測定するとともに、下流側で採水および流下物を捕集するというものである。この川は川幅約4 m、平水時の平均水深は0.25 m、平均流速0.3 m/sである。したがって、マンシングの粗度係数 n を0.04とすると、掃流力 τ_0 は2.2 N/m²となる。すなわち、その限界掃流力が2.2 N/m²以下の物質は、平水時でも河床に堆積することなく流下するものと考えられる。

実験ケースと調査地点Noは図4.4に示してある。4つの調査地点のうち、地点Iは河床が石か礫で構成されており、他の3地点は水草が群生している。実験結果(図4.5, 4.6)を要約すると次のようになる。

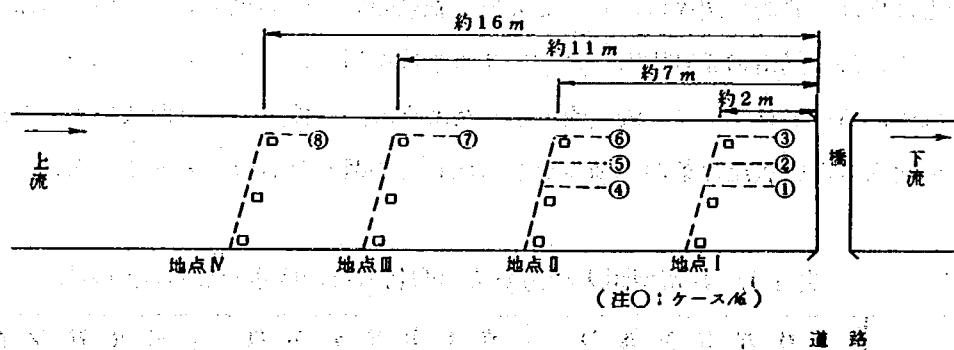
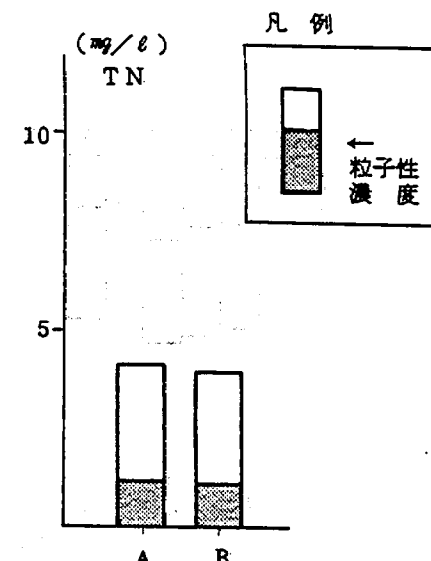
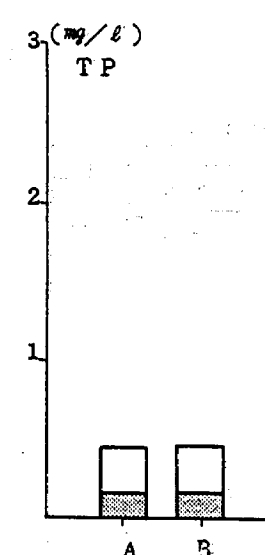
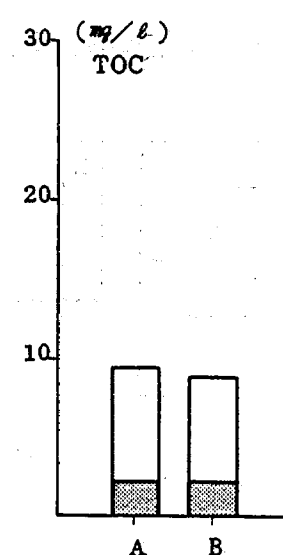
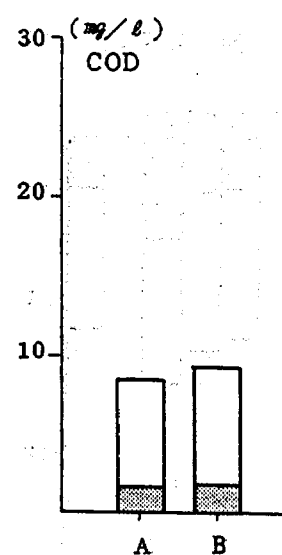
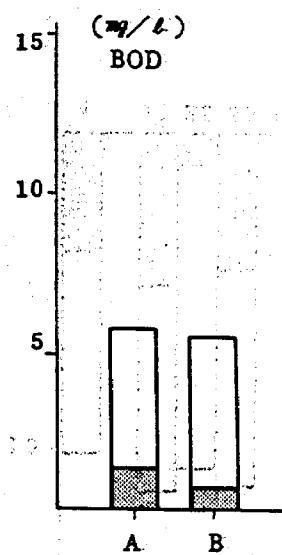


図4.4 実験方法(人工掃流実験)

実験条件
ケース: 3
地点: I
 v/v_0 : 287
 v_0 : 0.290



凡例
← 粒子性濃度

実験条件
ケース: 6
地点: II
 v/v_0 : 269
 v_0 : 0.302

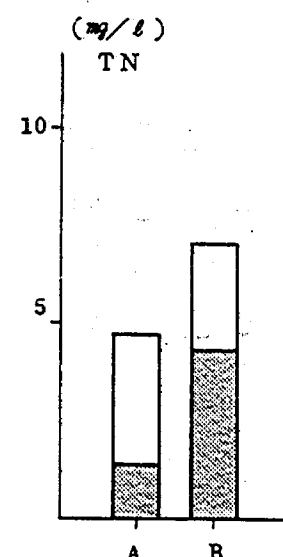
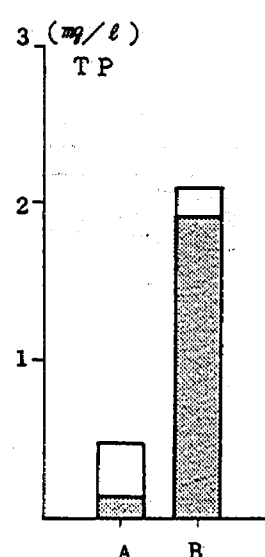
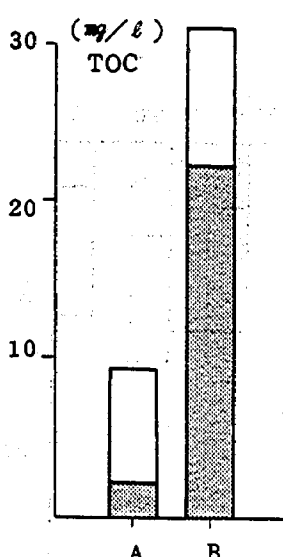
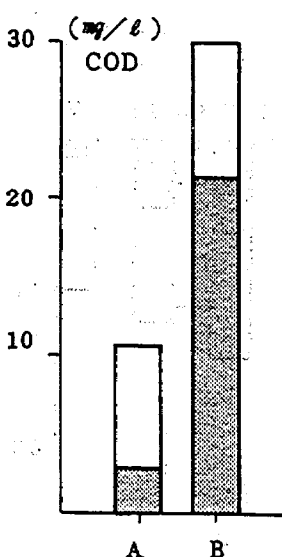
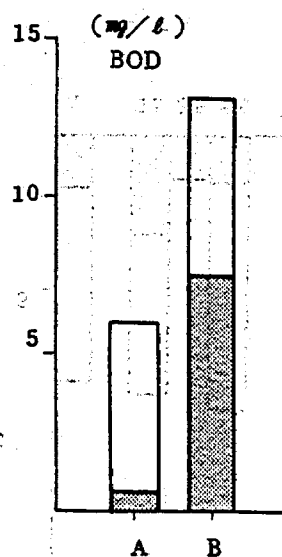
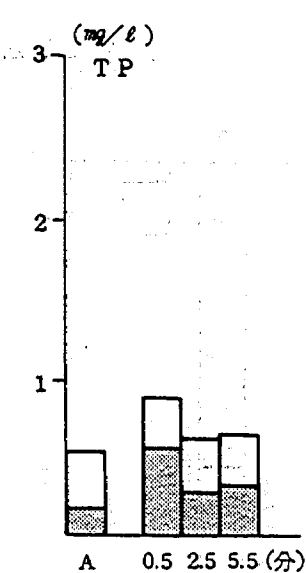
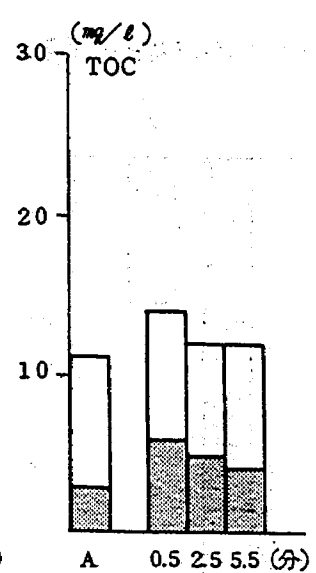
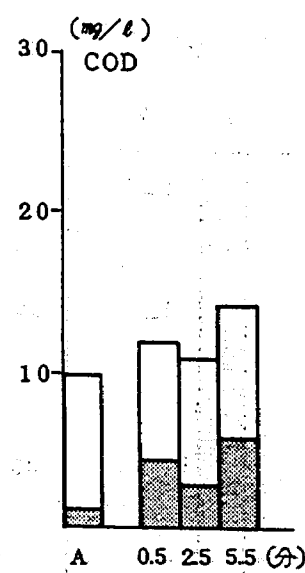
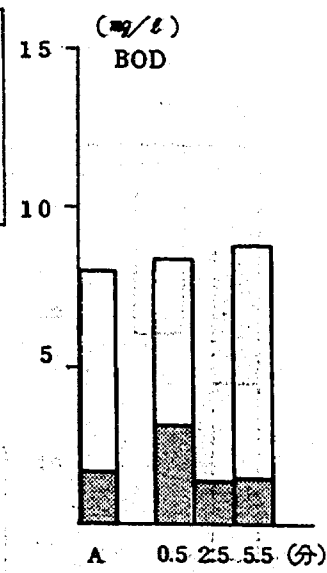


図 4.5(1) 縮流前(A)と縮流後(B)の水質比較 (mg/l)

実験条件
ケース：7
地点：Ⅲ
 v/v_0 ：230
 v_0 ：0.285



凡例
← 粒子性濃度

実験条件
ケース：8
地点：Ⅳ
 v/v_0 ：236
 v_0 ：0.308

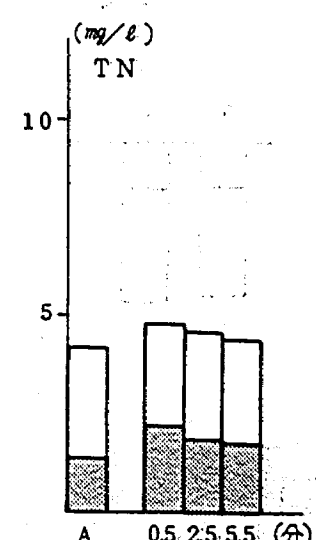
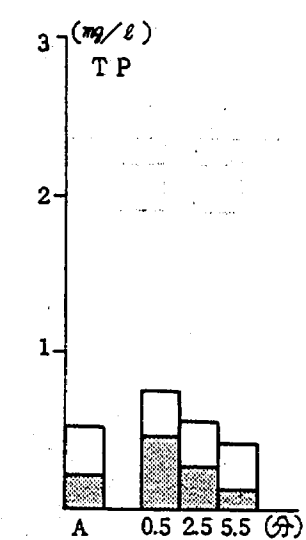
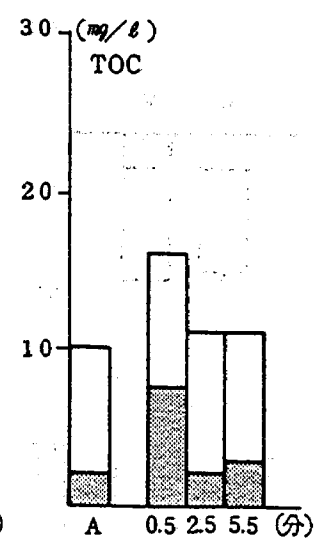
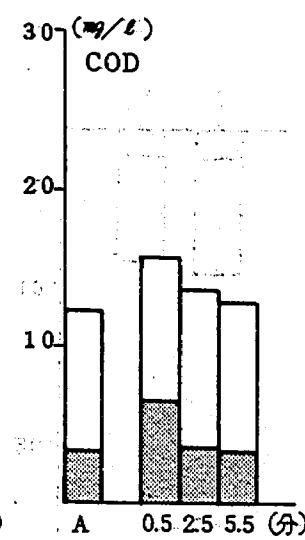
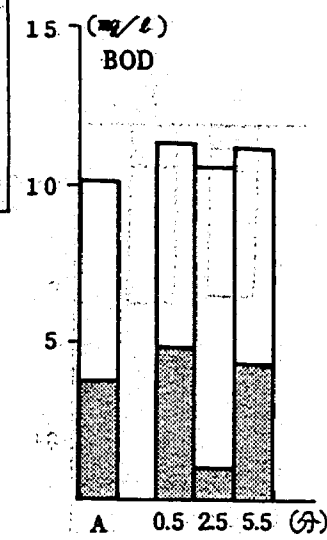


図 4.5(2) 縮流前(A)と縮流後(B)の水質比較 (mg/l)

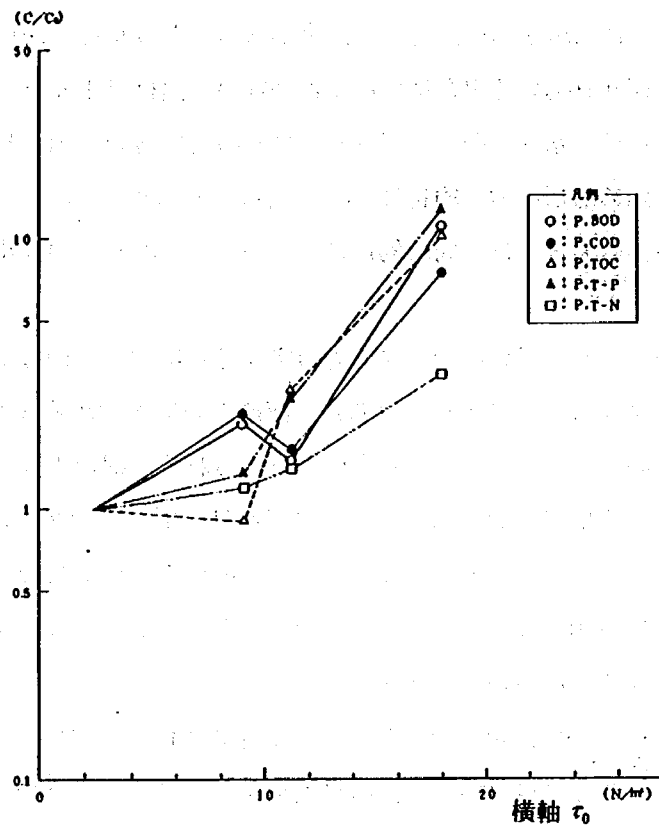


図 4.6(a) 粒子性濃度比 (C/C_0) と τ_0
(ケース No. 4 ~ 6. 地点 II)

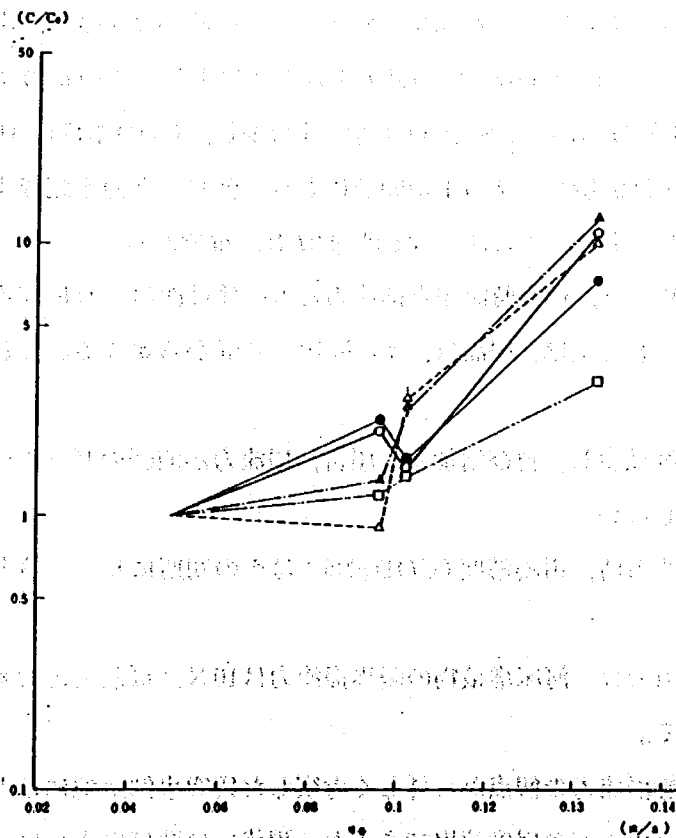


図 4.6(b) 粒子性濃度比 (C/C_0) と u^*
(ケース No. 4 ~ 6. 地点 II)

- ① 掃流力が大きくなった時に河床からの汚濁負荷流出があるかどうかは、河床の状況による。すなわち、河床が石や礫で構成されている場合には粒子性物質の流出はほとんど見られないが、水草等でおおわれた河床の場合には、水草の間に捕捉されていた汚濁物質の流出が見られる。
- ② 河床堆積物質が流出し始める掃流力は約 10 N/m^2 と見られる(図 4.6)。
- ③ 掃流力が一定という条件のもとでは、局所的には河床からの汚濁物質の流出は短時間で終了する。

この川では河道特性が一様断面に近いので、掃流力の空間分布に大きな偏りがないとの前提の下に堆積汚濁物質の移動抵抗特性がほぼ一様と仮定すると、河道内の掃流力が約 10 N/m^2 に達した時に全河床ではほぼ同時に汚濁物質のフラッシュが生じるものと考えられる。掃流力 10 N/m^2 という値は平水時の掃流力の 4.5 倍である。流量では約 $0.83\text{ (m}^3/\text{s)}$ に相当し、平水時の 2.8 倍である。これは、次に詳説するこの川での実際のファースト・フラッシュ時流量にほぼ対応している。

つぎにこの川で昭和55年11月10日に観測された出水のハイドログラフ(図 4.7)をもとに、雨天時に流出する汚濁物質と限界掃流力について考察する。

SS 濃度は出水初期、流量増加中、及び流量ピーク時の計 3 回にピーク値を示している。COD 濃度は、流量ピークに対応したピークは見られず、流量増加中に二つのピーク値を示している。

出水初期の濃度の増加(ファースト・フラッシュ)に対応する掃流力は、約 10 N/m^2 と見積もられる。その後掃流力は約 11 N/m^2 にまで増加し、一度減少する。 τ_0 は16時以降再び増加し始めるが、SS, COD 濃度はそれより遅く 18時から増加を開始する。この時の τ_0 の値は約 11 N/m^2 で、一度目の τ_0 ピークの値と等しい。SS, COD 濃度の最大値は21時に現れ、この時の τ_0 値は約 16 N/m^2 である。その後 τ_0 は増加を続けるが、SS, COD 濃度は減少し、COD 濃度は 100 mg/l 程度の一定値を示すようになる。SS は流量ピークの 1 時間前にもう一度ピーク値を記録する。これは τ_0 が急激に増加する時刻に一致しており、この時の τ_0 は約 27 N/m^2 である。

以上の結果をとりまとめると、雨天時流出と掃流力との関係は次のようになる。

- ① 河床の堆積汚濁物質の巻き上げ、掃流は、 $\tau_0 \approx 10\text{ N/m}^2$ から始まる。これは平水時の掃流力の 4 倍に相当する。
- ② 出水中に掃流力が一度減少し、再び増加する場合、掃流力が前回のピーク値を越えるまでは河床堆積物の巻き上げは生じない。
- ③ 同等の掃流力が継続する時、汚濁濃度(COD 濃度)はその初期にピーク値を記録し、その後減少する。

以上のことからこの河川では、河床堆積物の限界掃流力は 10 N/m^2 前後と考えられ、これは人工掃流実験結果とほぼ一致する。

河床堆積物の掃流条件を掃流力の観点から詳しく考察した研究事例が他にほとんどないため、この川で得られた結果が他の河川にどの程度適用できるか、現状では評価できない。当面は、雨天時汚濁抑制を計画する個々の河川において、同様の調査・検討を行う必要がある。

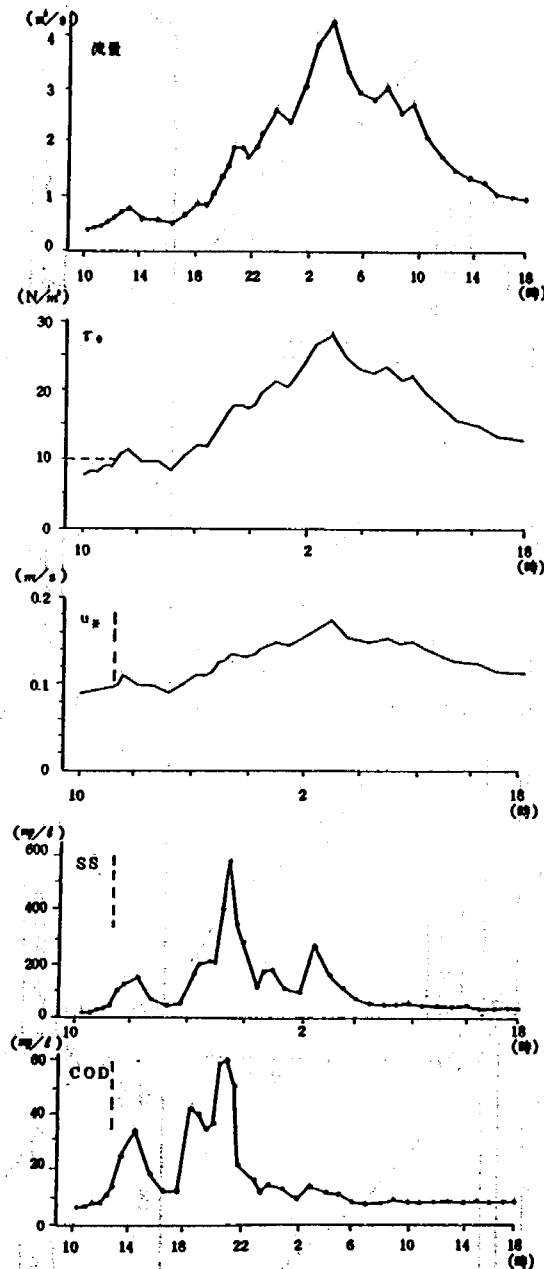


図 4.7 55.11.10 出水のハイドログラフとポリュートグラフ

2) 沈降条件

河川の流出物質の粒子径については十分に把握されていないが、大宮川（琵琶湖流域）でみると図 4.8(a)⁶⁾、また湖沼水（琵琶湖）では図 4.8(b)⁷⁾である。

今ここで大宮川を例として 10μ 以下を溶解態としそれ以上を粒子性とする、出水開始前あるいは流出規模の小さな時にはCOD水質が $15\sim 30$ (mg/l)で、そのうち粒子性成分は $50\sim 68\%$ 程度である。一方、出水時にはCOD水質は $124\sim 137$ (mg/l)となり、粒子性は $92\%\sim 98\%$ と大部分を占めることがわかる。

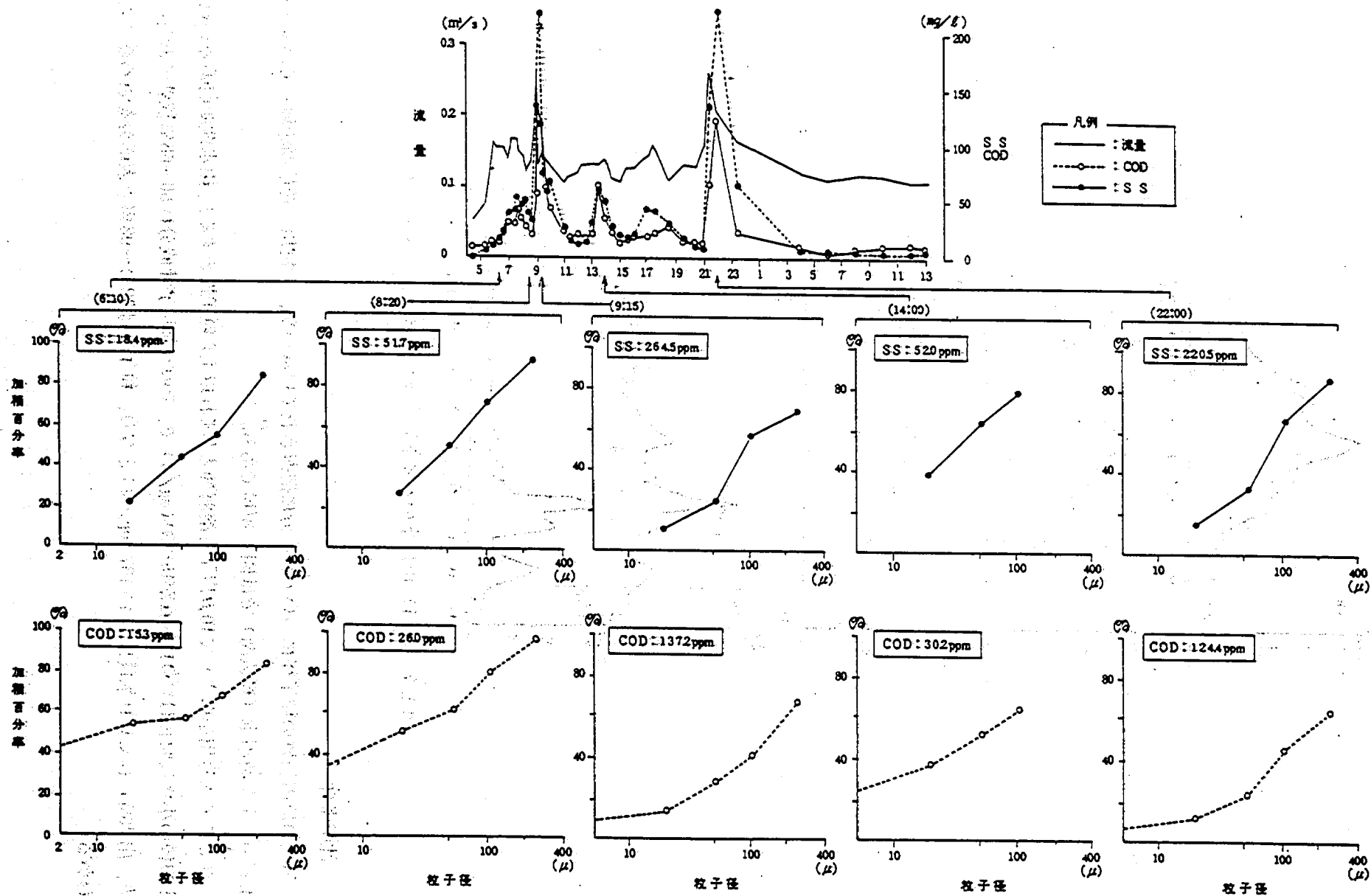


図 4.8(a) 汚濁物質の粒径分布 (大宮川)

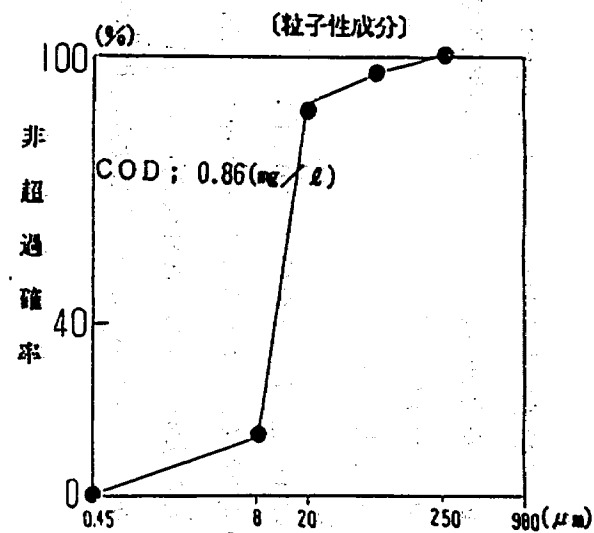
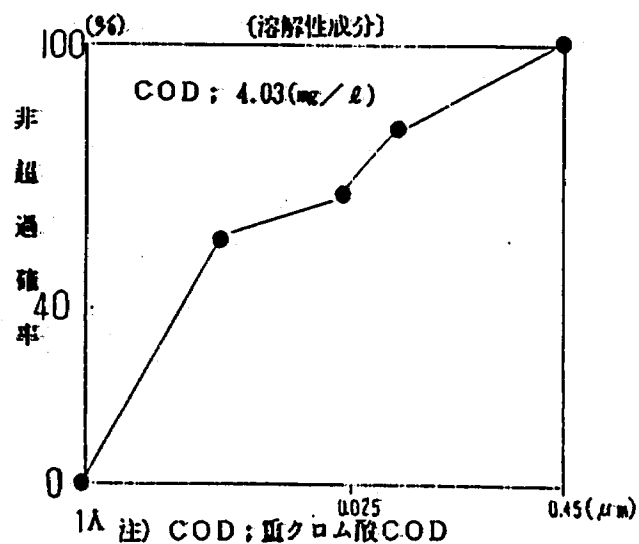
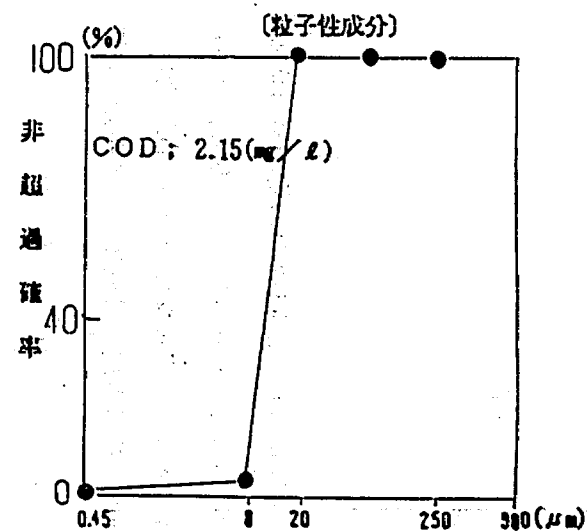
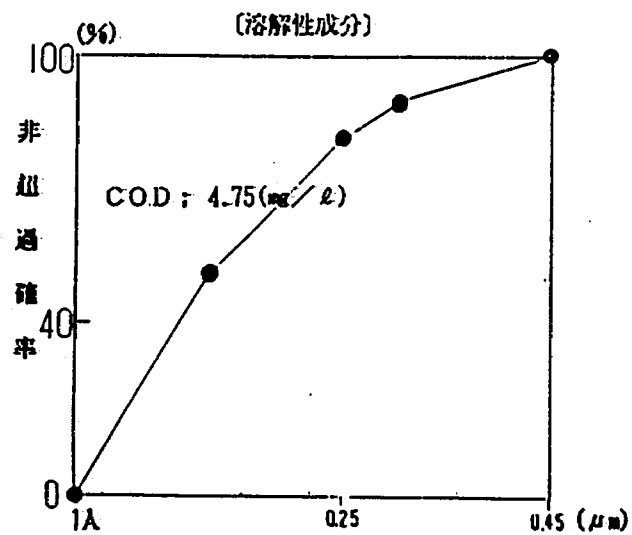


図 4.8(b) 汚濁物質の粒径分布 (琵琶湖)

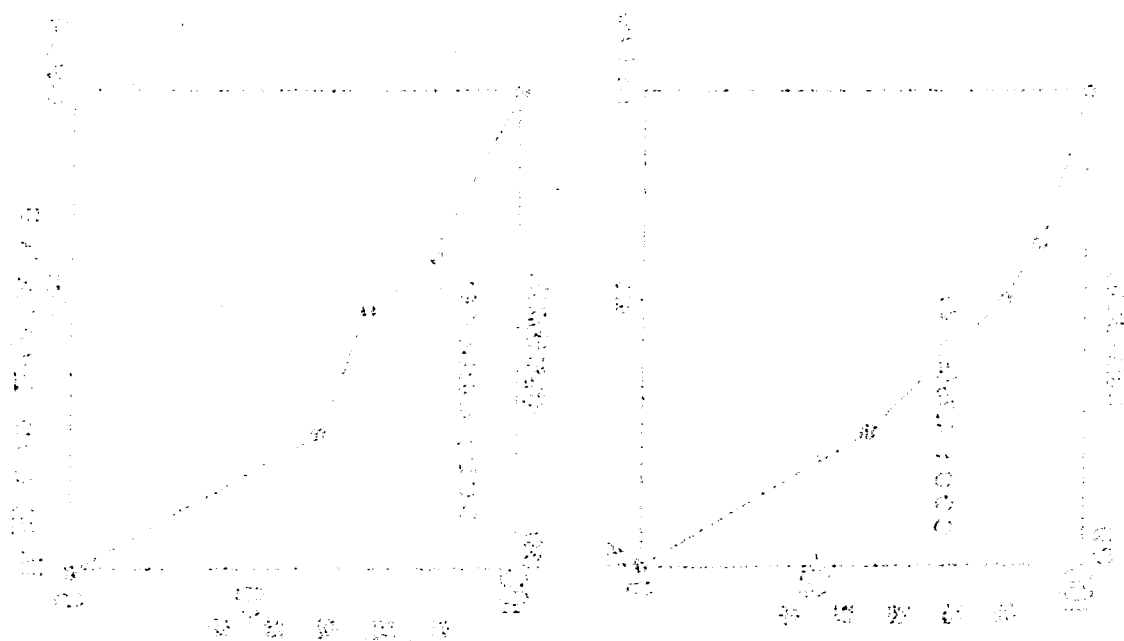
貯留型施設設計のためには、出水時の汚濁物質の粒子径を調査し、沈降速度を算定する必要がある。
単一粒子の沈降速度を表わす式として、次のストークスの式がある。

$$V_s = \frac{g (\rho_s - \rho) D_p}{18\mu}$$

V_s ; 粒子の沈降速度
 g ; 重力加速度
 ρ_s ; 粒子の密度
 ρ ; 水の密度
 D_p ; 粒子径
 μ ; 粘性係数

(4.1)

実際にはこの沈降速度は粒子群の形状や粒子径分布、密度分布さらには貯留池の形状や短絡流、密度流などの偏流現象にともなう流速分布等種々の影響を受けることが知られている⁵⁾。なお、下水道調整池（若宮大通調節池）では、沈降筒を用いて時系列に各水深方向の水質変化を調べ、沈降速度を把握することが行われている⁸⁾。このような沈降筒実験での速度の検討も施設計画にとって有効であろう。



第5章 霞ヶ浦流域山王川における施設計画とその評価

霞ヶ浦流域山王川（流域面積 12.3 km²）を対象に、貯留型雨天時汚濁流出抑制施設計画のケース・スタディを行い、汚濁抑制効果および費用について評価する。その手順として、まず山王川の流域、河道の条件を説明する。次に3種類の貯留型施設のそれぞれについて、規模、効果、費用を検討する。最後に各貯留型施設の総合評価を行う。

5-1 山王川の流域および河道の条件

1) 山王川の流域および河道の特徴

山王川の流域および河道の特徴を表 5.1 に示す。堤外地が狭いため、貯留型施設の設置場所は堤内地または河口部となる（図 5.1）。市街地直下流の堤内地に設置する場合には、可能な施設面積は 200 m 四方（4 万 m²）程度と考えられる。

2) 山王川の汚濁状況

山王川は中流部に市街地を抱え、霞ヶ浦流域の中では汚濁の進行した河川である。霞ヶ浦流域全体と山王川流域とについて年間の流出汚濁負荷量をみたものが表 5.2 である。¹⁵⁾ 両者の調査年が異なるので直接比較はできないが、流域面積では 0.6 % に過ぎない山王川が汚濁流出では 1.7 ~ 2.8 % を占めており、汚濁ポテンシャルは高いと判断されている。

表 5.2 (b) では汚濁負荷を晴天時分と雨天時分に分けている。年間の汚濁負荷流出量に占める雨天時分の割合は、COD で 53 %、T-N で 34 %、T-P で 50 % となっており、晴天時対策、雨天時対策の両方が重要であることがわかる。また汚濁物質に占める粒子性成分の比率は、雨天時分の COD、T-P ではかなり高く、貯留型施設の適用が有効と判断される。

表 5.1 山王の流域及び河道の特徴

項 目	特 徴
河道の特性	河道は平坦型であり、現在治水計画のもとで河道はコンクリート 3 面張りとなっている。河道幅は 4 m である。
堤外・内地	堤外地は狭く、河川は都市排水路化している。堤内地は一部が市街地となっているが、その他は水田等に利用されている。
周辺の住宅密集状況	本川中流部に市街地があり、住宅密集地域となっている。ここでは、水路を通して都市排水が流入する。
河口部の水面及び土地利用状況	本川流入河口部はアシ等の水生植物が繁茂した水深の浅い水域となっている。河口部周辺は水田等の利用が主であり住宅密集地域はない。

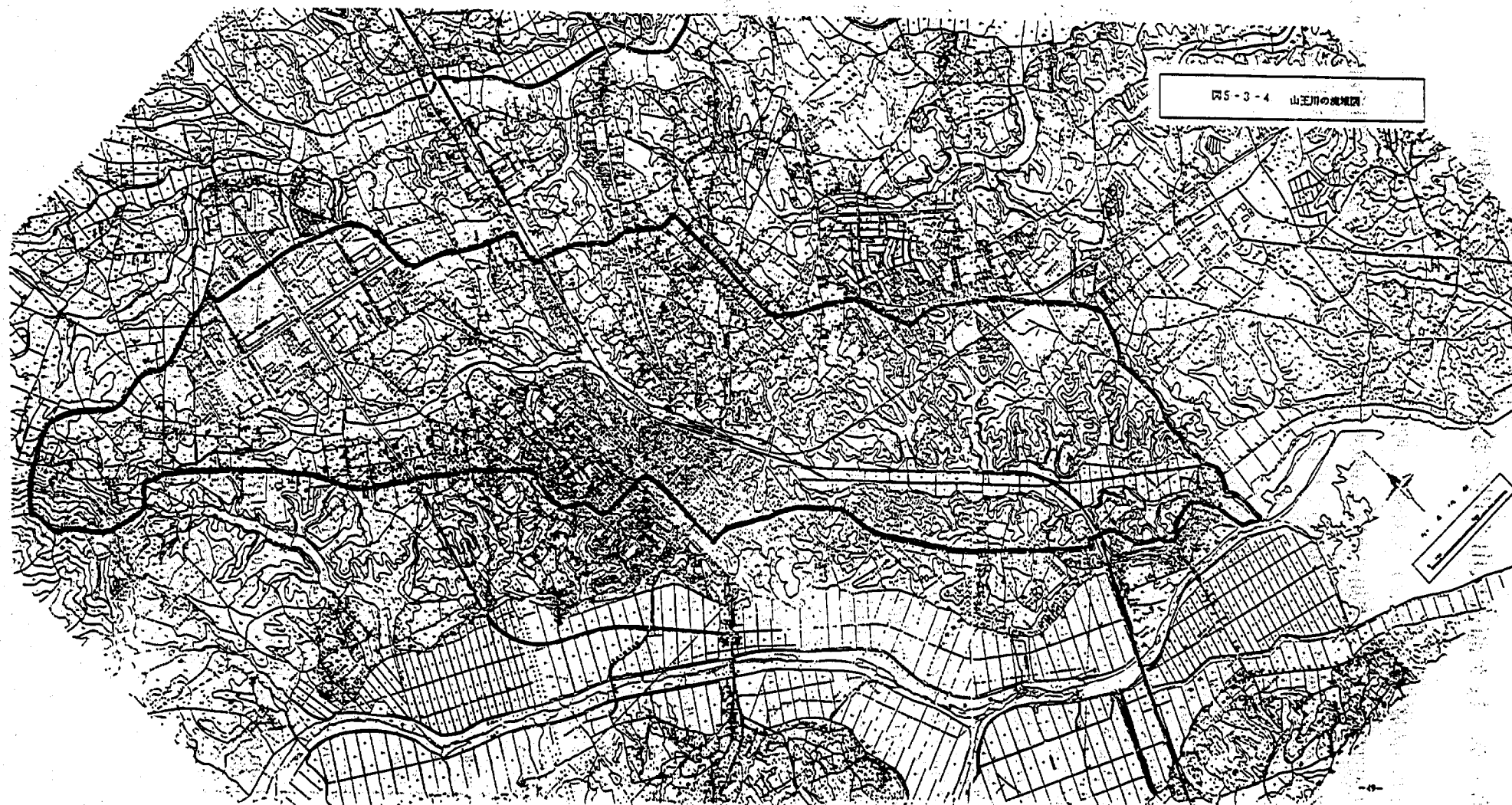


図5.1 山王川の流域図

表 5.2(a) 雨天時の流出負荷

(霞ヶ浦)

(単位; t/日)

項目 内容	昭 和 52 年		
	平 水 時	出 水 時	合 計
C O D	16.6	15.5	32.1
T - N	6.8	6.6	13.4
T - P	0.59	0.50	1.09

(流域面積; 1949.3km²)

表 5.2(b) 雨天時の流出負荷

(山王川)

(単位; t/年)

項目 内容	昭 和 58 年		
	晴 天 時	雨 天 時	合 計
C O D	149 (0.34)	167 (0.85)	316 (0.61)
T - N	54 (0.11)	28 (0.46)	82 (0.23)
T - P	5.5 (0.38)	5.5 (0.84)	11 (0.61)

注) () 粒子性の比率

注) 流域面積; 12.3 km²

3) 河床堆積物と掃流特性

山王川の河口部付近での河床材料粒度分布を図 5.2 に示す。50%粒径は約 0.007 mm で、河床材料は主に粘土、シルトである。これらの河床材料は河川を流下して河口部での掃流力低下により沈降したものである。したがって貯留型施設での除去の対象となる汚濁物質の粒度分布は図 5.2 が参考となる。

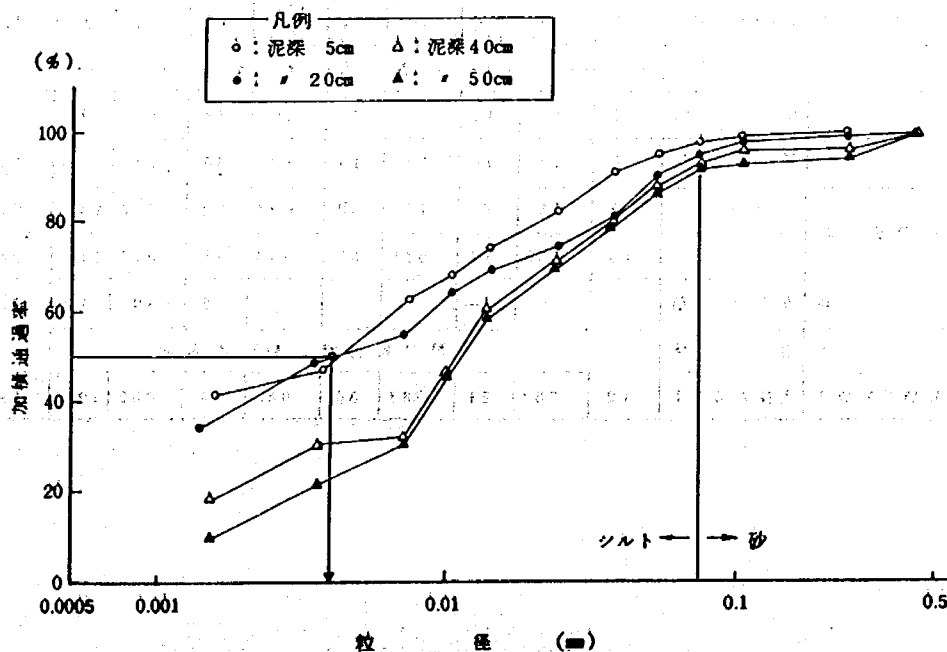


図 5.2 山王川河口部付近での河床材料粒度分布

河床堆積物のデータとしては、前節で説明した人工掃流実験での調査結果がある（表5.3）。この実験においてプランクトンネット（20μメッシュ）で捕集された河床堆積物は水わた、水草、昆虫の脱皮殻、および河床の砂等であった。表にはこれらの沈降速度も示してある。

以上の河床堆積物の掃流特性は前節で考察したように、河道内の掃流力が10N/m²に達すると浮遊移動を開始する。これは流量では約0.8 m³/sに相当し、平水時流量の2.8倍である。

4) 流域の各種の計画、事業

山王川中流部の市街地を中心に、現在流域下水道が計画実施されており、市街地下流の山王川近傍に汚水の本管が敷設されることになっている。なお処理場は山王川流域外に設置される。

また山王川が流入する簀ヶ浦では底泥浚渫事業が実施されており、浚渫底泥の処理（乾燥）ヤードが山王川河口部に近接する湖沼堤内地にある。

貯留型施設により汚濁抑制を図る場合、施設内に沈澱した汚泥の処分方法が一つの課題となるが、山王川の場合、浚渫底泥の処理と併合して行える可能性がある。また将来下水道が整備されれば、下水道施設を利用した汚泥処理の可能性もある。さらに下水道の配管計画を考慮して施設設置位置を選定すれば、下水道滞水池等として有効に利用されることも期待できる。

表5.3 河床堆積物とその沈降速度

項 目		沈下深度(m)	10		20		30		40		100		平均沈降速度 (m/s)
沈 降 物 の 分 離	外 観		時間 (秒)	速度 (cm/s)	時間 (秒)	速度 (cm/s)	時間 (秒)	速度 (cm/s)	時間 (秒)	速度 (cm/s)	時間 (秒)	速度 (cm/s)	
植物性 沈下物	水 藻	—	10	1.0	20	1.0	31	0.97	42	0.95	104	0.96	0.0098
	水 わ た	φ 4 mm程度	3	3.3	6	3.3	8	3.8	11	3.6	27	3.7	0.0354
		φ 7 mm程度	2	5.0	4	5.0	6	5.0	9	4.4	23	4.3	0.0474
		φ 10 mm程度	—	—	3	6.7	5	6.0	7	5.7	19	5.4	0.0595
	枯 れ 草	僅濁状態で捕集	5	2.0	10	2.0	14	2.1	18	2.2	46	2.2	0.021
動物性 沈下物	水 草	—	沈 下 せ ず										
	ユ ス リ ャ カ	生 体	9	1.1	18	1.1	29	1.0	38	1.1	91	1.1	0.011
		死 骸	8	1.3	16	1.3	13	1.3	30	1.3	77	1.3	0.013
	昆 虫 の 脱 皮 殻	—	8	1.3	20	1.0	32	0.94	52	0.77	133	0.75	0.0095
		—	19	0.53	42	0.48	65	0.46	85	0.47	217	0.46	0.0048
	貝 類	カワニナ類	—	—	—	—	—	—	5	8.0	12	8.2	0.081
その他（分類不可能）	ヒ ル	生 体	沈降塔に付着し測定不可能										—
		生体のカラ?	12	0.83	24	0.83	36	0.83	49	0.82	122	0.82	0.00826

5-2 貯留型施設の計画

1) 施設の設計条件

施設の設計条件のうち取水開始流量は限界掃流力に対応する $0.83 \text{ m}^3/\text{s}$ とする。取水開始水位については、施設の取水地点における水位～流量相関を調査することにより決定される。

施設規模の決定のためには、対象となる粒子性汚濁物質の沈降特性が重要である。人工掃流実験で捕集された河床堆積物の沈降速度は、表 5.3 にも示したように $0.5 \sim 5 \text{ cm/s}$ とかなり大きい。一方出水中に河道内を流下する汚濁物質は粒径 10μ 程度のシルトが主成分を占めていると考えられる。前出のストークスの式で粒径 10μ の粒子の沈降速度を求めると $6.1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 、すなわち 5.3 m/日 となる。なお計算に当り粒子の密度は、人工掃流実験の結果に基づき 2.13 g/cm^3 とした。

2) 出水条件

雨天時汚濁抑制施設の効果検討のためには、年間を通じての流量、負荷量資料が整備されていることが望ましい。しかし実際にはそのようにきめ細かな調査が行われている河川はほとんどない。そこで代表的な出水条件を選定し、これを対象に効果および費用の評価を行う。

山王川での既往の出水時調査は15事例ある。この中で流量、水質の測定状況が整っていることを条件に、出水規模の大小を考慮して表 5.4、図 5.3 に示す 4 出水を選定した。

表 5.4 山王川の流出（4 事例）

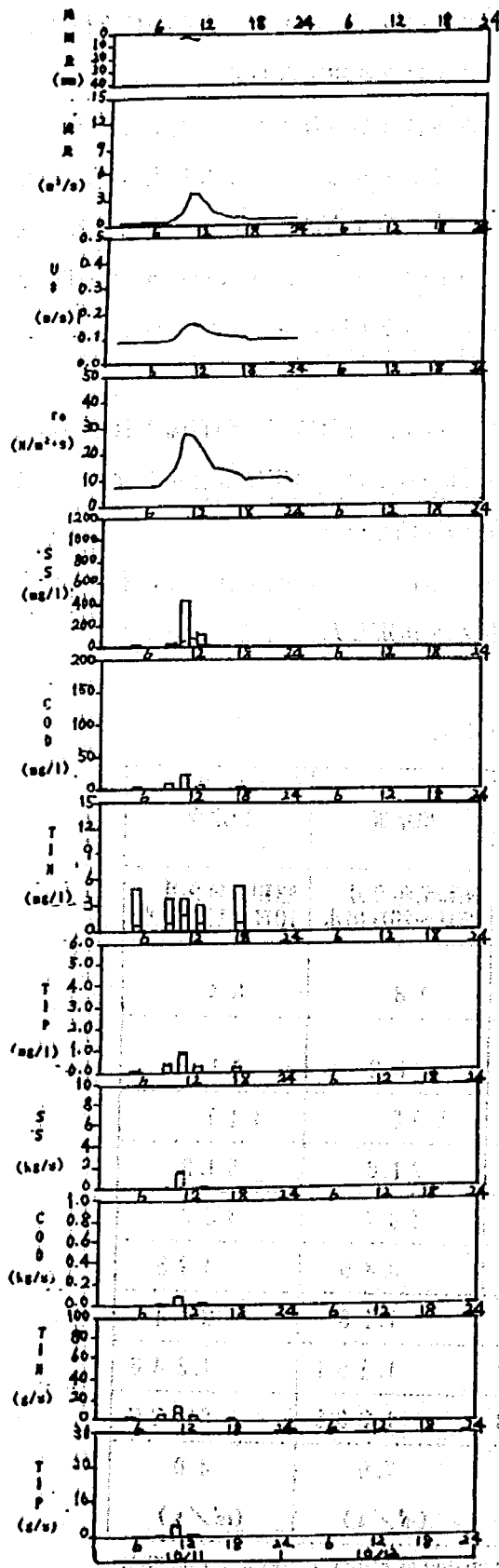
出水名 項 目		出水Ⅰ	出水Ⅱ	出水Ⅲ	出水Ⅳ
時 期		昭和58年10月 11日～12日出水	昭和59年6月 13日～14日出水	昭和57年9月 25日～26日出水	昭和57年9月 10日～13日出水
出水時間 注)		11	13	18	84
ピーク流量 (m^3/s)		3.9	4.9	8.3	11.9
ピーク 水質 mg/l	SS	473	596	598	417
	COD	25.8	45.4	21.8	51.2
	PCOD	23.2	41.9	19.7	45.8
	T-N	3.76	5.54	3.46	4.95
	P-TN	1.77	3.86	1.16	2.74
	T-P	0.992	2.102	1.561	1.346
	P-TP	0.941	1.898	1.236	0.827
ピーク 水質時 流量 (m^3/s)		3.8	4.3	7.9	4.0

注) 出水時間は流量が Q_c 以上となった時間から出水時調査の終了時間までの時間数
(ピーク流量後約 6～12 時間後)

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15)

(出水例Ⅰ)

山王川 昭和56年10月11日出水



(出水例Ⅱ)

山王川 昭和59年6月13日出水

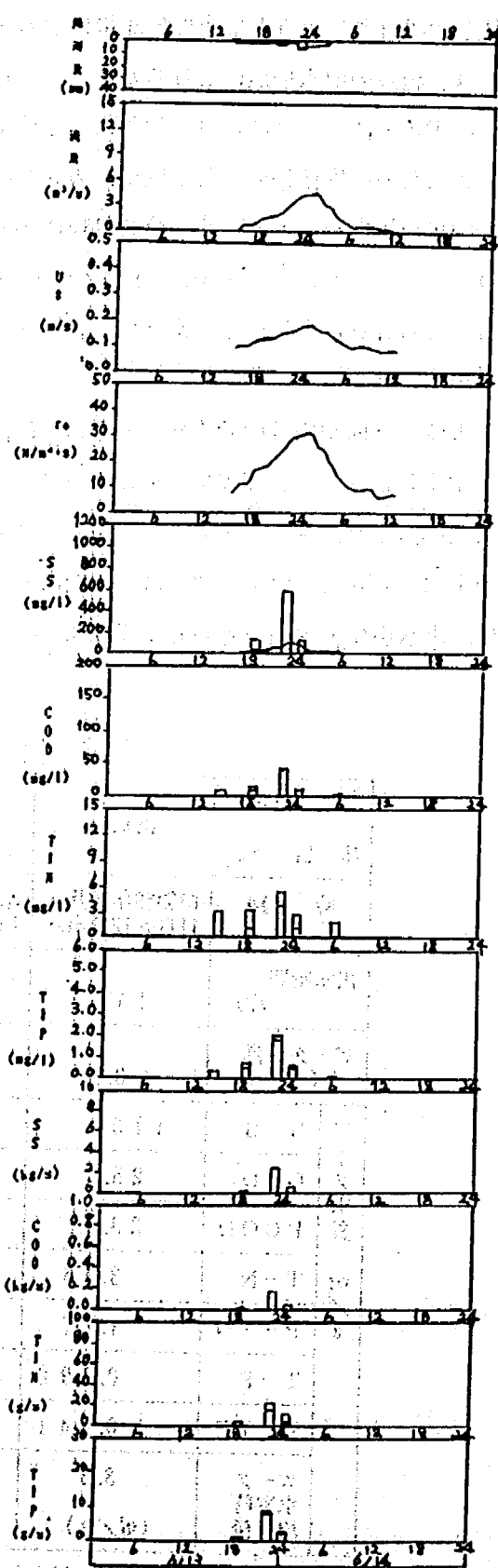
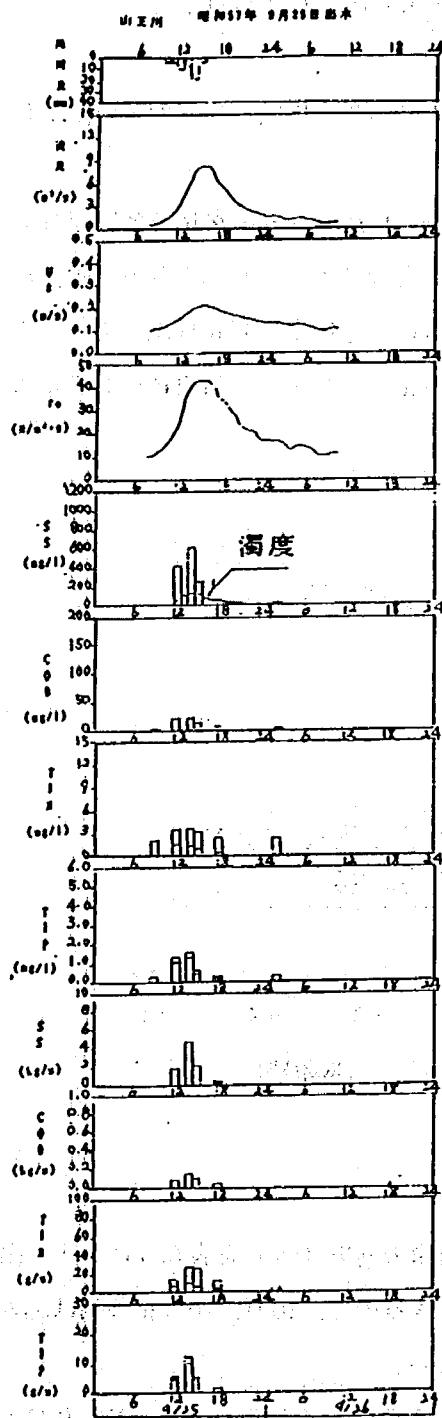


図5.3 山王川の出水事例(その1)

(出水例Ⅲ)



(出水例Ⅳ)

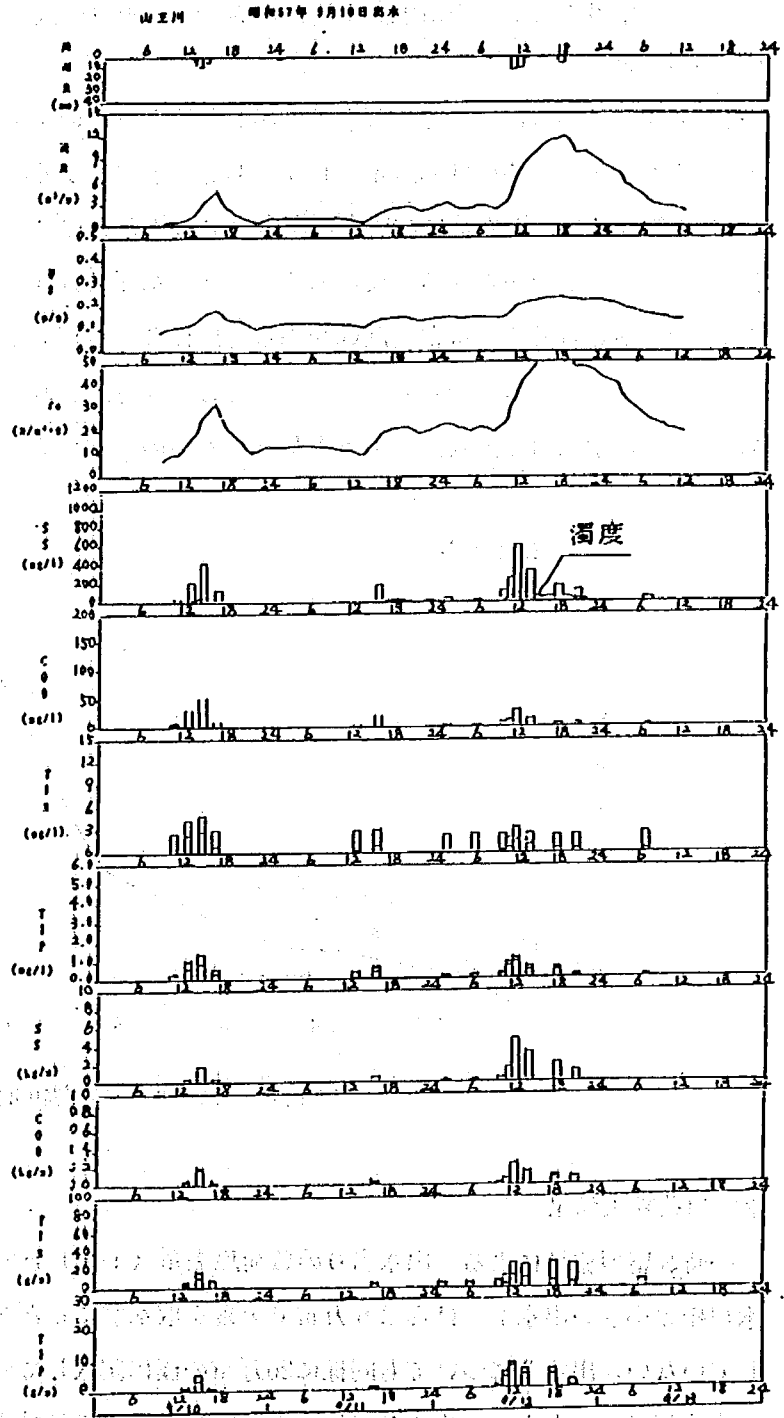


図 5.3 山王川の出水事例(その2)

5-3 一時貯留型施設

一時貯留型施設として、市街地直下流にある200m四方の敷地を設置ヶ所として検討する。

1) 施設の容量

検討対象の4出水について総取水量の累加曲線をみたのが図5.4である。規模が最も大きい出水Ⅳの全量を貯留するためには95万 m^3 が必要であることがわかる。

一方施設面積は、堤内地に設置する場合、最大4万 m^2 程度である。したがって出水Ⅳを全量貯留するためには水深を16mとする必要がある。しかし水深を大きくすると掘削工事費が高くなること、維持管理が困難となることなどの問題がある。既往の下水道滞水池等の水深は1~12m程度であり、ここでは水深を2~5mの範囲で考えることとし、5万、10万、20万 m^3 の3ケースを対象に検討を進める。なお貯留水は自然流入、自然排水が行えるものと考えている。

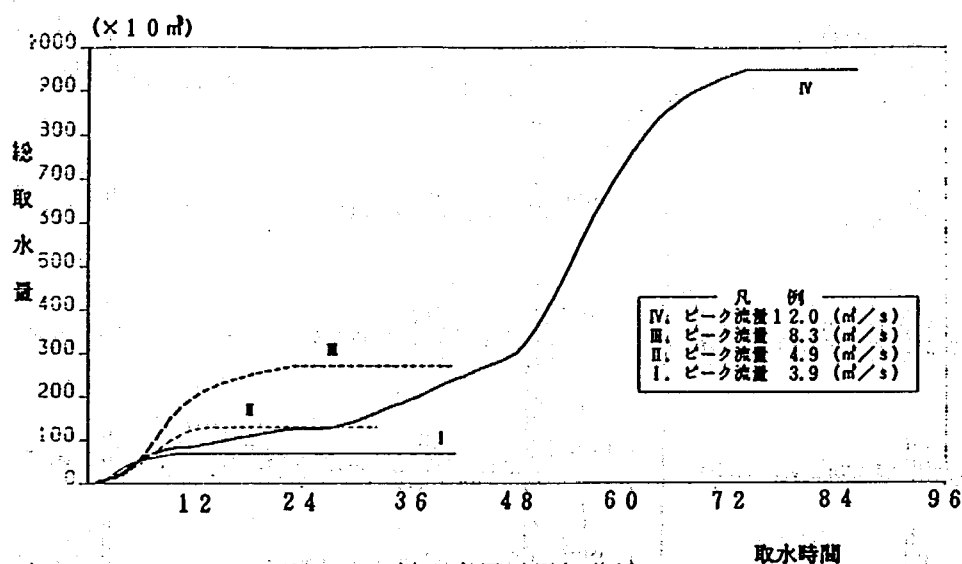


図5.4 総取水量の累加曲線

2) 負荷除去効果

一時貯留型施設による一出水当りの負荷除去量(ton)と負荷除去効果(%)を表5.5に示す。出水規模の小さい出水Ⅰでは容量5万 m^3 で全量を取水することができるので、10万、20万 m^3 の欄は記入していない。出水Ⅱについても同様に20万 m^3 の欄に記入していない。

出水規模の最も大きい出水Ⅳで見ると、容量5万 m^3 では粒子態のCODで1.6t、T-Nで0.11t、T-Pで0.03tの負荷が除去できる。粒子態、溶存態を含めた一出水総流出負荷量に対する除去効果(%)は、CODで14%、T-Nで4.4%、T-Pで7.4%である。同様に容量20万 m^3 では、COD 2.8t、T-N 0.20t、T-P 0.07tを除去し、その効果はCODで24%、T-Nで8%、T-Pで16%である。

表 5.5(a) 負荷削減量と効果 (出水Ⅰ)

施設容量 項目		ケース1 5万㎡	ケース2 10万㎡	ケース3 20万㎡
負荷削減量 (ton)	S S	11.88	—	—
	P・COD	0.73	—	—
	P・T-N	0.060	—	—
	P・T-P	0.031	—	—
削減効果 (%)	S S	82.3	—	—
	COD	64.8	—	—
	T-N	21.2	—	—
	T-P	71.1	—	—

表 5.5(c) 負荷削減量と効果 (出水Ⅲ)

施設容量 項目		ケース1 5万㎡	ケース2 10万㎡	ケース3 20万㎡
負荷削減量 (ton)	S S	18.46	40.71	50.07
	P・COD	0.80	1.65	2.28
	P・T-N	0.057	0.109	0.149
	P・T-P	0.043	0.086	0.102
削減効果 (%)	S S	31.9	70.4	86.5
	COD	23.8	49.1	67.9
	T-N	8.2	15.7	21.4
	T-P	25.3	50.6	60.0

表 5.5(b) 負荷削減量と効果 (出水Ⅱ)

施設容量 項目		ケース1 5万㎡	ケース2 10万㎡	ケース3 20万㎡
負荷削減量 (ton)	S S	11.94	29.08	—
	P・COD	0.89	2.11	—
	P・T-N	0.086	0.208	—
	P・T-P	0.040	0.097	—
削減効果 (%)	S S	34.9	85.8	—
	COD	29.6	70.1	—
	T-N	17.7	42.8	—
	T-P	28.2	68.3	—

表 5.5(d) 負荷削減量と効果 (出水Ⅳ)

施設容量 項目		ケース1 5万㎡	ケース2 10万㎡	ケース3 20万㎡
負荷削減量 (ton)	S S	14.49	19.1	28.7
	P・COD	1.62	1.92	2.77
	P・T-N	0.108	0.139	0.199
	P・T-P	0.032	0.044	0.067
削減効果 (%)	S S	9.2	12.2	18.3
	COD	14.0	16.6	24.0
	T-N	4.4	5.6	8.0
	T-P	7.4	10.2	15.5

注) 削減効果は1出水総流出負荷量に対する削減率

3) 施設の費用

一時貯留型施設は、用地費を除く施設費用の中で貯留池建設費用が、また、維持管理費用では発生汚泥処理費用が重要となる。山王川での一時貯留型施設の貯留池建設費、設備費、汚泥処理費用を推算すると、表5.6(1)のようになる。推算に用いた想定単価を表5.6(2)に示す。

汚濁処理費用推算のためには、年間の発生量の推定が必要である。ここでは出水Ⅳが年12回発生するものと仮定して年間発生汚泥量を求めた。汚泥量の計算に当り、含水率は98%、密度2.13 g/cm³としている。

なお、ここでは用地費、人件費等は除いてある。また貯留池は底面を含みコンクリート製として見積もった。それは、市街地に近いため環境保全の観点から汚泥の処理がすぐ必要とされるから、維持管理上コンクリートで固めることが有利と考えたからである。底面をコンクリート被覆しない場合には、施設の費用は表5.6(3)のように安価になる。また河口部では水深1.5 m程度での設置が考えられる。しかし河口部での設置の場合は、排出するポンプが必要となり、費用にはポンプの設置費とともに維持管理費も必要となる。本研究では、出水時に極力維持管理をしないとの観点より河口部での一時貯留は検討しない。

表5.6(1) 一時貯留型施設の費用

施設規模		1	2	3
施設概要	施設容量 (万 m ³)	5	10	20
	施設面積 (ha)	1.67	3.33	6.67
	水深 (m)	3	3	3
	発生汚泥量 (万 m ³ /年)	0.87	1.14	1.71
施設建設費	掘削費用	0.13	0.25	0.50
	貯留池建設費			
	施設コンクリート費用	* 0.17 ** 2.00	* 0.24 ** 3.89	* 0.34 ** 7.64
	計 (億円)	* 0.30 ** 2.13	* 0.49 ** 4.14	* 0.84 ** 8.14
	設備費 (電気等)	—	—	—
計		* 0.30 ** 2.13	* 0.49 ** 4.14	* 0.84 ** 8.14
維持管理費 (汚泥処理費：万円/年)		417.6	547.2	820.8

注) コンクリート施設の幅：約30cm

表 5.6(2) 貯留型雨天汚濁流出抑制施設の工事単価想定価

掘削費用（注1）	250 円/㎡（掘削土深が3 m以内の場合）
鉄筋コンクリート費用（注1）	36,500 円/㎡
設備費（注2）	貯留池1 ㎡当たり 11,000
処理施設費（注3）	450 円/㎡（不織布を用いた場合）
汚泥処理費（注4）	480 円/㎡

- （注1）「建設物価」及び「積算資料」をもとに単価を調査
（注2）愛知県一宮市の滞水池建設費用より推定した。なお、約 5,000㎡の滞水池について電気関係の設備費約 5,500 万円である。
（注3）不織布の費用は「建物物価」によった。
（注4）汚泥処理費は下水道統計をもとに全国21流域下水道の年間発生汚泥量（㎡/年）汚泥処理費用（万円/年）より汚泥1 ㎡当たりの費用として設定。
なお、発生汚泥量は最初沈澱池汚泥と最終沈澱池汚泥の合計とし、その平均含水率は99～98%である。また、年間汚泥処理費は電力費、人件費、薬品費等を含む年間汚泥処理費の合計とした。

表 5.6(3) 一時貯留型施設の費用

（底面コンクリートなしの場合）

施設規模		1	2	3
施設概要	施設容量（万㎡）	5	10	20
	施設面積（ha）	1.67	3.33	6.67
	水深（m）	3	3	3
	発生汚泥量（万㎡/年）	0.87	1.14	1.71
施設建設費	掘削費用	0.13	0.25	0.50
	施設コンクリート費用	0.17	0.24	0.34
	計（億円）	0.30	0.49	0.84
	設備費（電気等）	—	—	—
	計	—	—	—
維持管理費（汚泥処理費；万円/年）		417.6	547.2	820.8

5-4 流下型貯留施設

流下型貯留施設は施設内で汚濁物質を強制的に沈降させて負荷削減を図るものである。負荷削減方法（強制沈降の方法）は種々考えられるが、ここでは不織布を用いた物理的強制沈降を利用する施設について検討を行う。不織布利用の場合の施設の縦断面図の一例を図5.5に示す。

1) 施設の容量

流下型施設の規模は、最大取水流量で表わされる。山王川の場合、取水開始流量 Q_c は $0.83 \text{ m}^3/\text{s}$ である。ここでは最大取水流量 Q_{max} を $2Q_c$ ($1.7 \text{ m}^3/\text{s}$)、 $3Q_c$ ($2.5 \text{ m}^3/\text{s}$)、 $10Q_c$ ($8.3 \text{ m}^3/\text{s}$)とした3ケースについて検討する。

不織布を用いた物理的強制沈降を有効に行うためには、施設内の流速を $10 \sim 20 \text{ cm/s}$ にする必要がある。施設内の水深を 2 m 、流速を 0.1 m/s とした場合の施設規模を表5.7に示す。最も容量の大きいケース3でも施設面積は $1,660 \text{ m}^2$ で済み、一時貯留型施設よりかなり小さい。

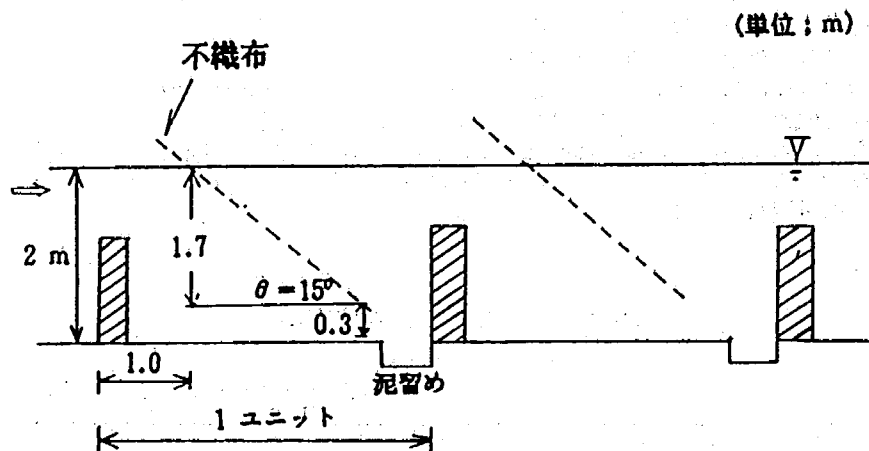


図5.5 流下貯留施設の縦断面（不織布による強制沈降を利用した場合）

表5.7 流下型貯留施設の規模

	ケース1	ケース2	ケース3
最大取水流量	$2Q_c$	$3Q_c$	$10Q_c$
(m^3/s)	1.7	2.5	8.3
施設内流速	0.1	0.1	0.1
(m/s)			
水深	2	2	2
(m)			
施設巾	8.5	12.5	41.5
(m)			
水路長	40	40	40
(m)			
施設面積	340	500	1,660
(m^2)			

注) 不織布は図5.5に示すような配置とし、直列に5ユニット設置するものとする。

2) 負荷除去効果

流下型貯留施設による一出水当りの負荷除去量 (ton) と負荷除去効果 (%) を表5.8に示す。最も規模の大きい $10Q_c$ の施設では、出水Ⅰ、Ⅱ、Ⅲについては全量を施設内に取り込み、処理することができる。SSの削減効果が40%となっているのは、不織布を用いた物理的強制沈降の効果が、山

王川の現地実験に基づき約40%と見積られているためである（巻末参考資料参照）。その他の汚濁物質についても、粒子性成分のうちの40%が沈降除去されるものと仮定している。

表 5.8 より、10Qc の流下型貯留施設では、COD で約30%、T-N で10~20%、T-P で20~30%の除去効果があることがわかる。

表 5.8 (1) 負荷除去量と効果（出水ケースⅠ）

項 目		計 画 流 入 量		
		2 Qc (1.66m ³ /s)	3 Qc (2.49m ³ /s)	10Qc (8.3m ³ /s)
負荷除去量 (ton)	S S	3.12	4.27	5.71
	P. COD	0.21	0.28	0.36
	P. T-N	0.020	0.025	0.032
	P. T-P	0.010	0.013	0.015
除去効果 (%)	S S	21.6	29.6	40.0
	COD	18.7	24.9	32.0
	T-N	7.1	8.8	11.3
	T-P	22.9	29.8	34.4

表 5.8 (2) 負荷除去量と効果（出水ケースⅡ）

項 目		計 画 流 入 量		
		2 Qc (1.66m ³ /s)	3 Qc (2.49m ³ /s)	10Qc (8.3m ³ /s)
負荷除去量 (ton)	S S	6.62	9.37	13.49
	P. COD	0.49	0.69	0.98
	P. T-N	0.049	0.069	0.098
	P. T-P	0.023	0.032	0.046
除去効果 (%)	S S	19.5	27.6	40.0
	COD	16.3	22.9	32.6
	T-N	10.1	14.2	20.2
	T-P	16.2	22.5	32.4

表 5.8(8) 負荷除去量と効果 (出水ケースⅢ)

項 目		計 画 流 入 量		
		2 Qc(1.66m ³ /s)	3 Qc(2.49m ³ /s)	10Qc (8.3m ³ /s)
負荷除去量 (ton)	S S	6.95	10.02	23.14
	P. COD	0.37	0.52	1.10
	P. T-N	0.025	0.035	0.072
	P. T-P	0.015	0.021	0.047
除去効果 (%)	S S	12.0	17.3	40.0
	COD	11.0	15.5	32.7
	T-N	3.6	5.0	10.4
	T-P	8.8	12.4	27.7

表 5.8(4) 負荷除去量と効果 (出水ケースⅣ)

項 目		計 画 流 入 量		
		2 Qc(1.66m ³ /s)	3 Qc(2.49m ³ /s)	10Qc (8.3m ³ /s)
負荷除去量 (ton)	S S	18.9	26.3	56.7
	P. COD	1.3	1.8	3.36
	P. T-N	0.101	0.137	0.257
	P. T-P	0.035	0.048	0.095
除去効果 (%)	S S	12.0	16.8	36.1
	COD	11.3	15.6	29.1
	T-N	4.1	5.5	10.4
	T-P	8.1	11.1	22.0

注) 除去効果は1出水総負荷量に対する除去率

3) 施設の費用

流下型貯留施設の費用を表 5.9 に示す。積算に当たっての想定単価等は、一時貯留型施設の場合と同じものを用いている。流下型貯留は施設面積が小さいので、施設建設費が一時貯留型施設に比べかなり安くなっている。

表 5.9 流下型貯留施設の費用 (5 ユニット)

施設規模		2 Q c 取水	3 Q c 取水	10 Q c 取水
施設概要	水路流速 (m/s)	0.1	0.1	0.1
	水深 (m)	2	2	2
	施設幅 (m)	8.3	12.5	41.5
	水路長 (m)	40	40	40
	発生汚泥量 (万 m ³ /年)	1.04	1.56	3.36
施設建設費	貯留池建設費			
	掘削費用	16.4	25.0	83.0
	施設コンクリート費用	575.1	777.5	2175.0
	計	591.5	802.5	2258.0
	設備費 (電気等)	—	—	—
	処理施設費 (不織布)	12.3	18.6	61.5
(万円) 計		603.8	821.1	2319.5
維持管理費 (汚泥処理費; 万円/年)		499.2	748.8	1612.8

注) コンクリート施設の幅; 約30cm

5-5 完全貯留型施設

1) 施設の容量

完全貯留型施設では雨天時河川水を全量取水し、同時に施設下流から取水量と同量を放流する。流入した河川水は、粒子性汚濁物質を沈降に要する時間（以下これを沈降時間という）以上施設内に滞留する必要がある。したがって対象とする出水規模を設定して、はじめて施設容量が決定される。ここでは出水Ⅰ～Ⅳを対象とする。

つぎに沈降時間について検討する。完全貯留型施設は他の貯留型施設に比べて大きい施設面積が必要とされる。山王川の場合には、河口付近の湖沼の一部を利用する方法が適切と考えられる。山王川河口部の水深分布は1～2mであることから、ここでは完全貯留型施設の水深を1.5mに設定する。一方粒子性汚濁物質（粒径10 μ ）の沈降速度は、ストークスの式により5.3m/日を求められている。したがって沈降時間は7時間となる。

それぞれの出水について、沈降時間7時間を確保するのに必要な容量Vは、次式で与えられる。

$$V = \max_t \left\{ \int_{t-7}^t Q(t) dt \right\} \quad (5.1)$$

実際には流量Q(t)は30分～1時間間隔で測定されているので、容量Vは(5.1)式を差分化して求めることになる。各出水について(5.1)式により必要貯留量を検討した結果を図5.6に示す。またこれに基づいて施設面積を求めたものが表5.10である。4出水の中で最も大きい出水Ⅳを対象としても必要な施設はおよそ400m四方であり、湖沼利用を考えれば十分確保し得る面積である。

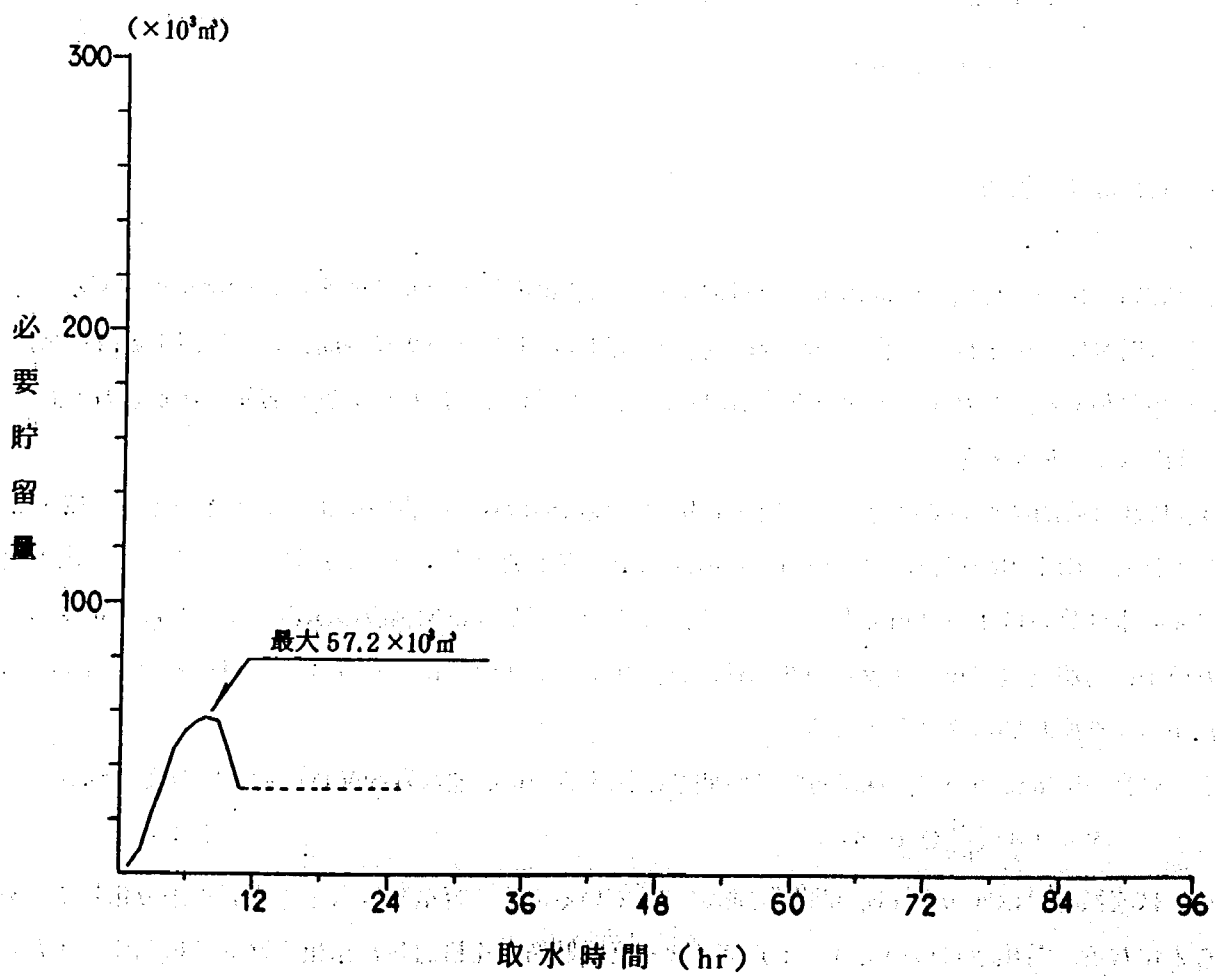
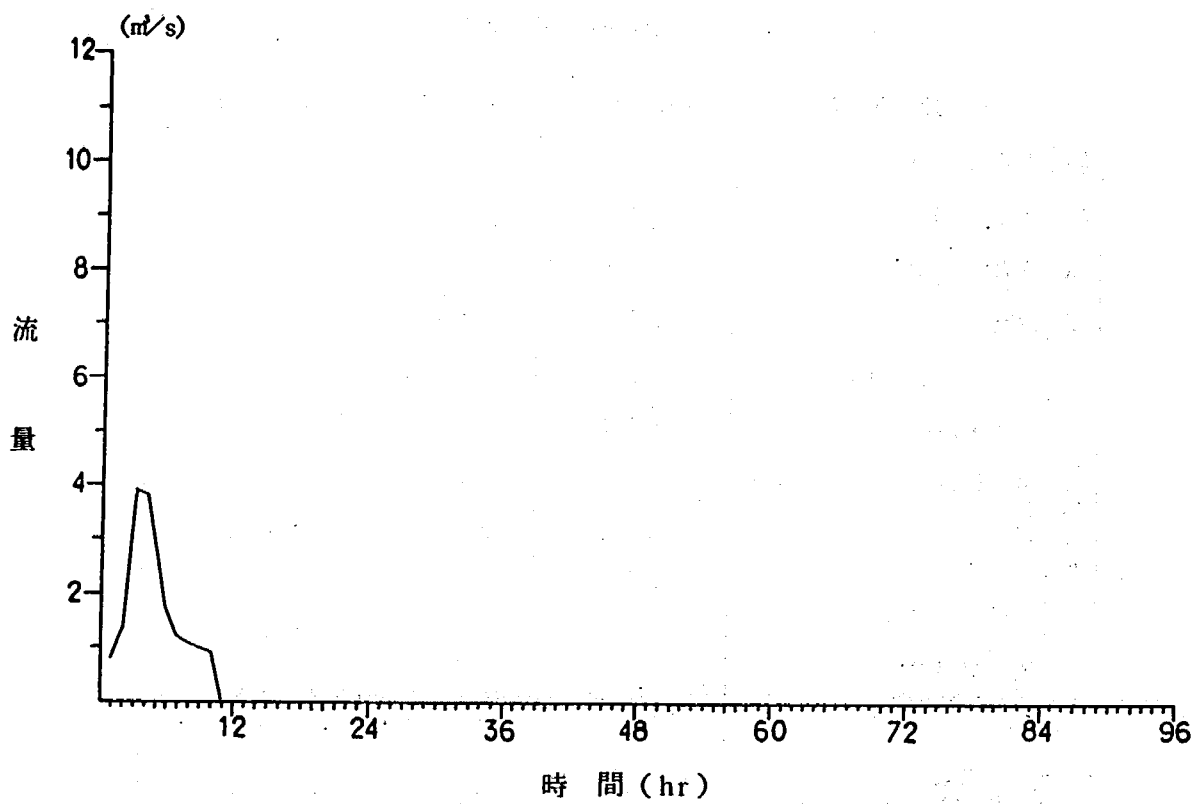


図 5.6(a) 完全貯留型の必要貯留量 (出水 I)

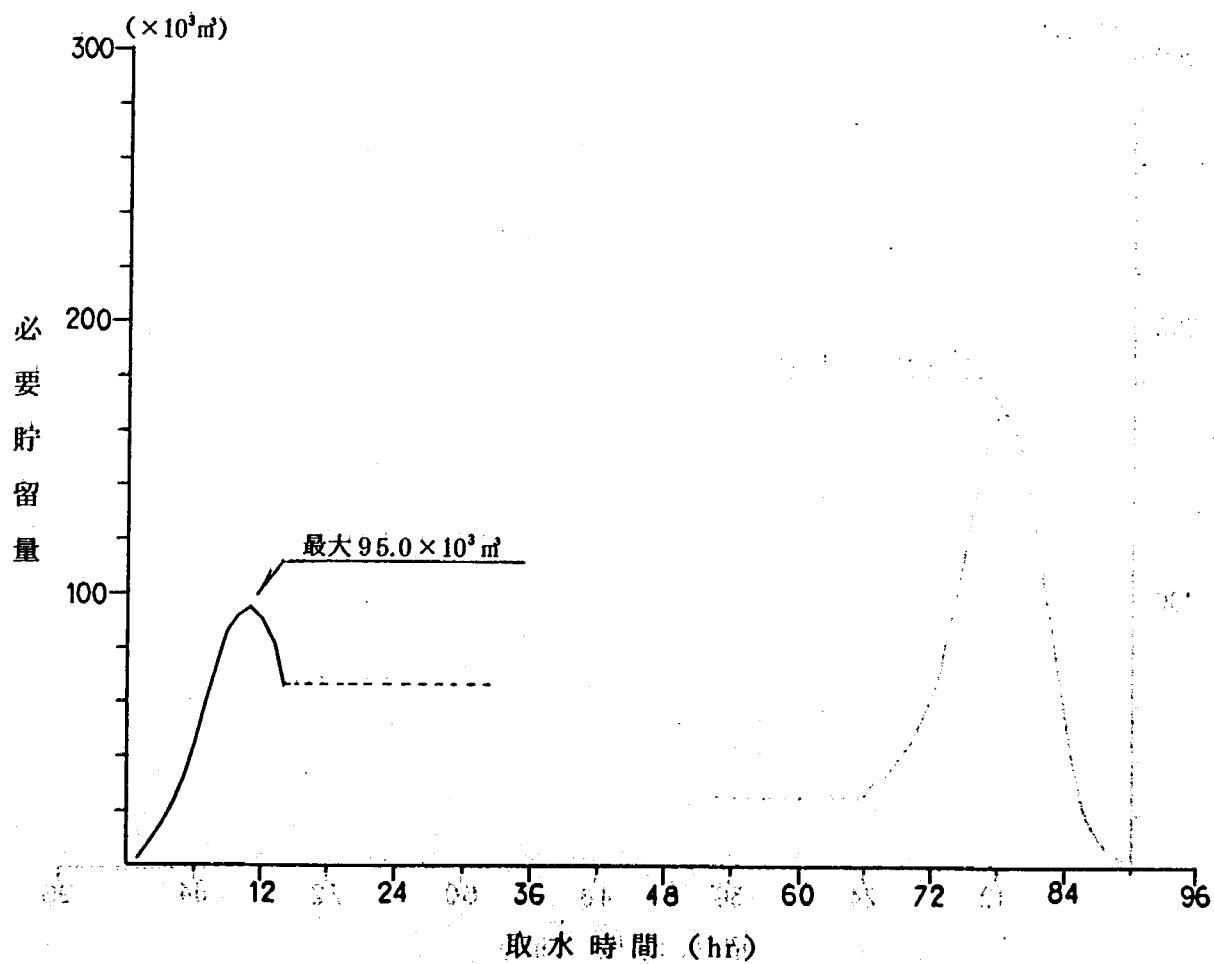
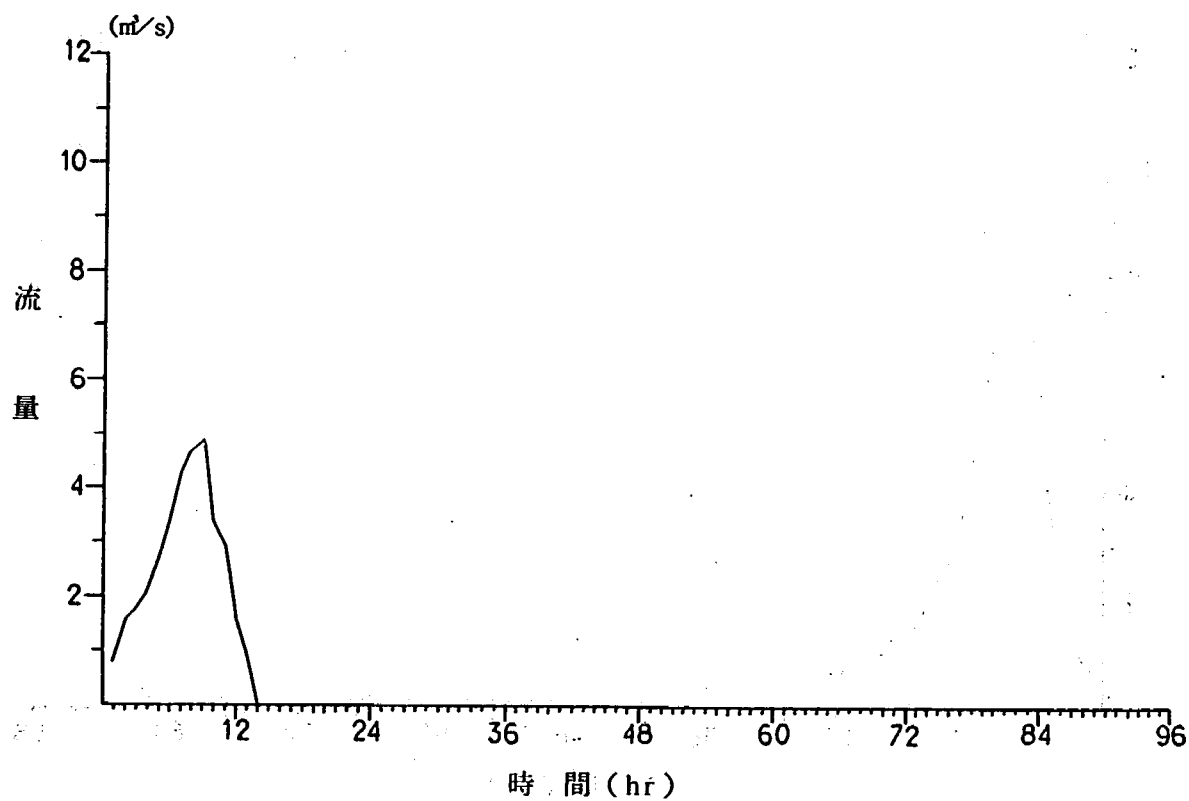


図 5.6 (b) 完全貯留型の必要貯留量 (出水Ⅱ)

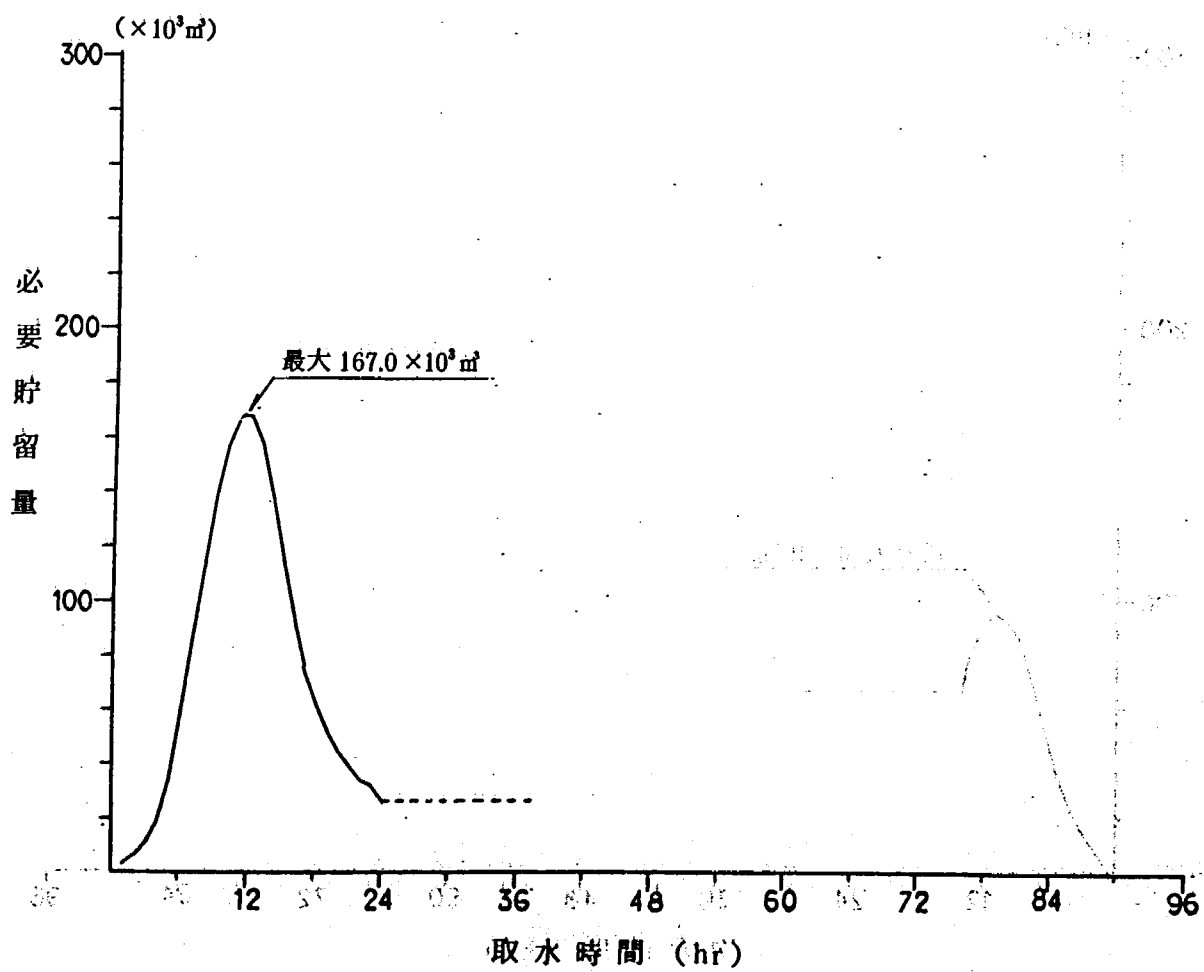
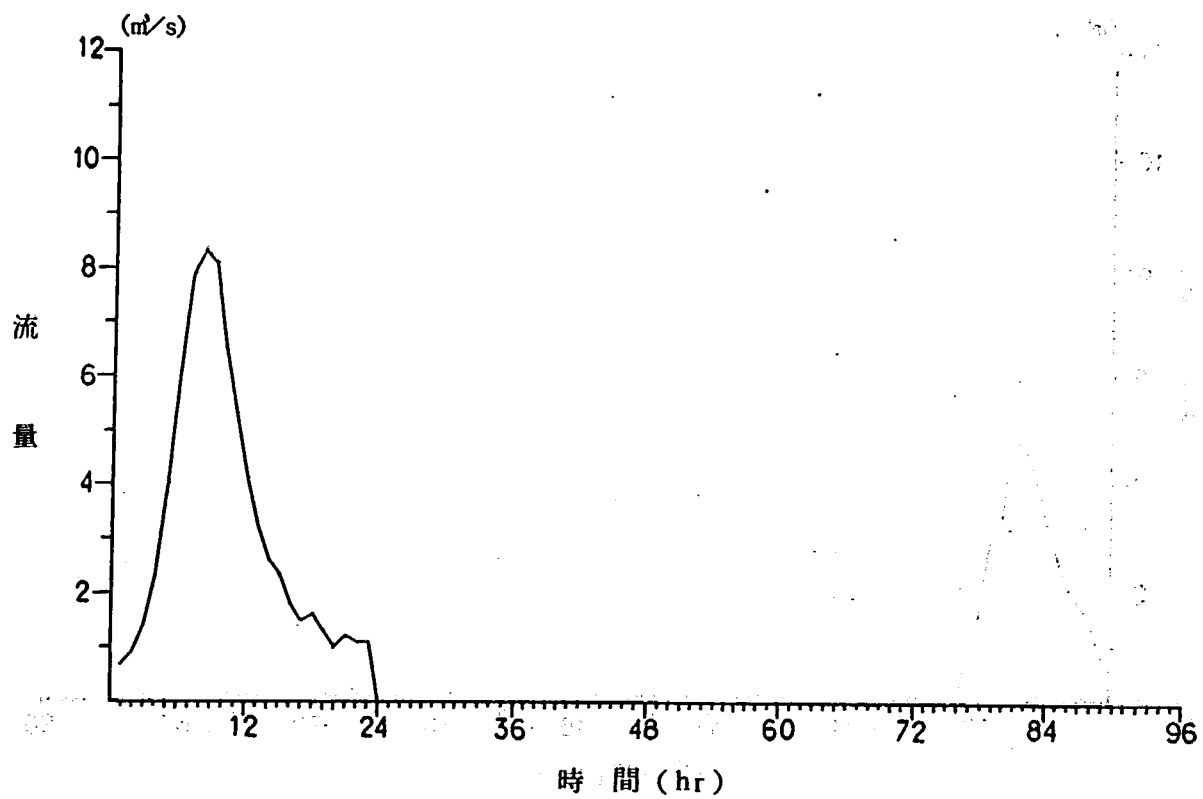


図 5.6(c) 完全貯留型の必要貯留量 (出水Ⅱ)

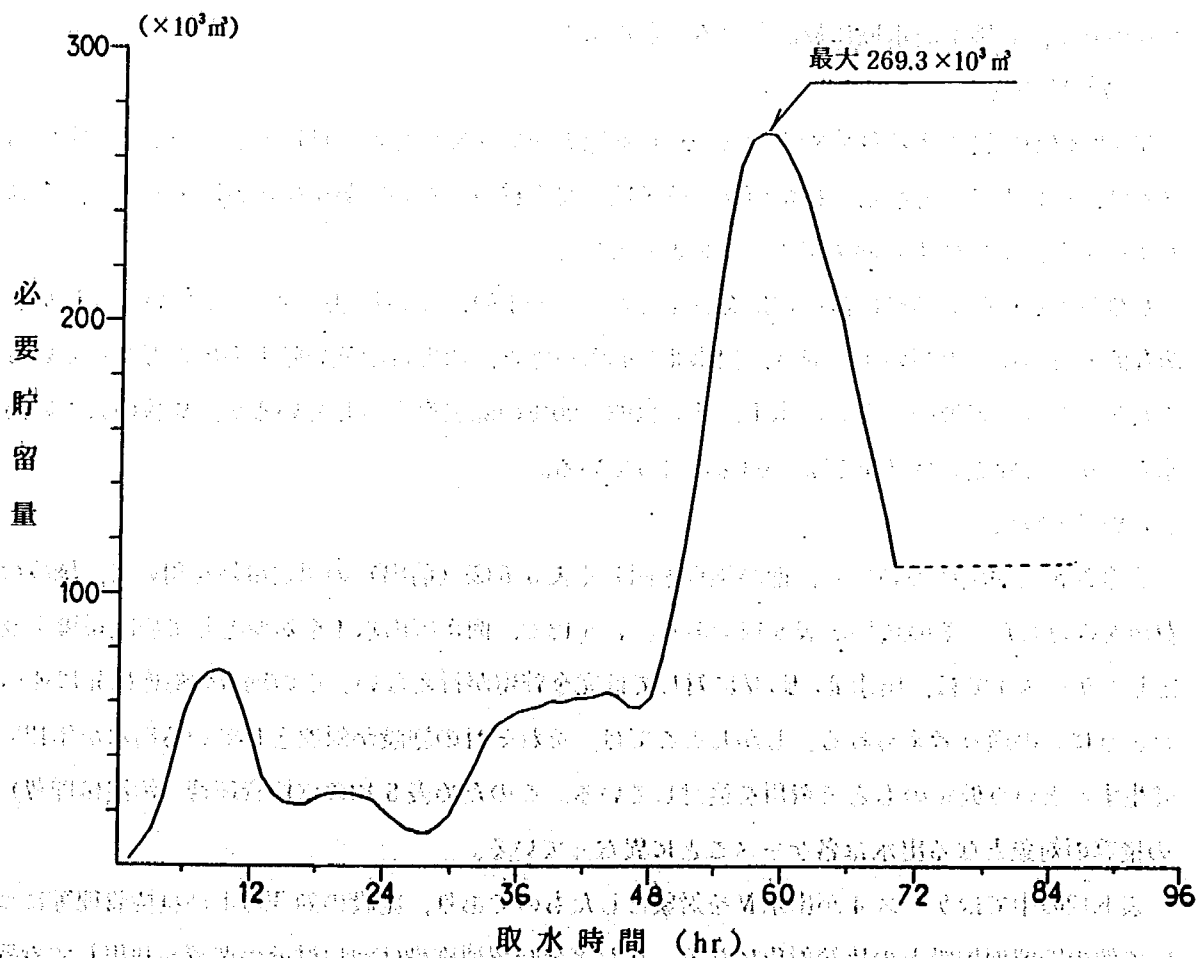
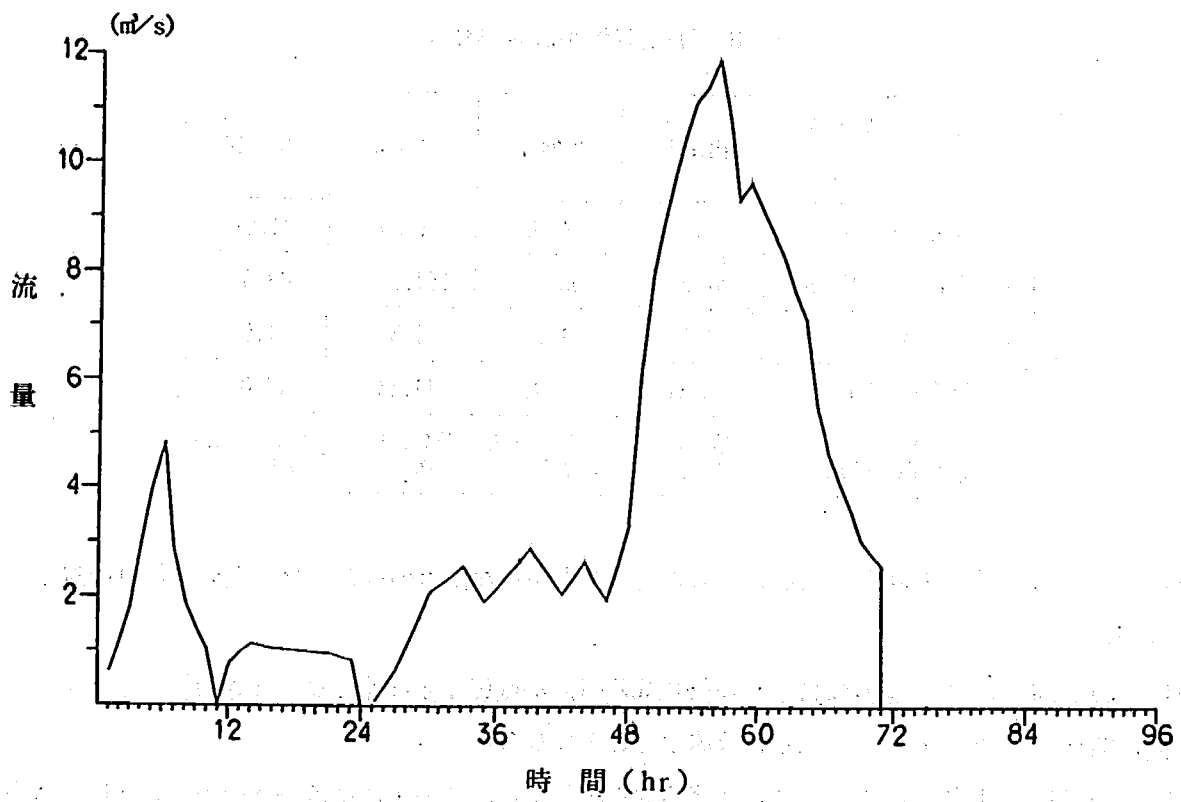


図 5.6 (d) 完全貯留型の必要貯留量 (出水 N)

表 5.10 完全貯留型施設の概要

ケース 項目		出水Ⅰ	出水Ⅱ	出水Ⅲ	出水Ⅳ
ピーク流量 (m ³ /s)		3.90	4.90	8.30	11.91
施設の容量 (×10 ³ m ³)		57.2	95.0	167.1	269.3
施設の概要	水深 (m)	1.5	1.5	1.5	1.5
	施設面積 (ha)	3.81	6.33	11.14	18.0
	(備考) 施設の概略的広さ	195 m四方 の広さ	252 m四方 の広さ	334 m四方 の広さ	424 m四方 の広さ

なお完全貯留型施設の計画で設定したものよりも大規模な出水の場合には、次の2通りの対応が考えられる。

- ① 全量を取水する。この場合、一時的に沈降時間が確保できなくなり、滞留時間に応じて粒子性汚濁物質の一部が沈澱除去し残りは放流することになる。
- ② 取水量を一時的に制限し、常に沈降時間を確保する。この場合には一部の雨天時河川水は施設を経由せず、直接下流水域に放流されることになる。

2) 負荷除去効果

完全貯留型施設による負荷除去量 (ton) と除去効果 (%) を表 5.11 に示す。効果の算定に当たっては、これまでの考察結果に基づき、粒子性汚濁物質のうち90%が粒径10μ以上であり、これがすべて自然沈降により除去できるものとしている。

CODの負荷除去効果は常に70%を越えており、安定的に高い除去率をもっている。しかし溶存態成分の比率の高いT-Nは、出水Ⅱの46%を除き、20%台の低い除去率にとどまっている。またT-Pは、規模の小さい出水Ⅰ、Ⅱでは83~90%の除去率を示しているが、規模の大きい出水Ⅲ、Ⅳでは除去率は低下し55~63%となっている。

3) 施設の費用

完全貯留型施設についても、他の施設と同じく表 5.6 (2) (前出) の想定単価を用いて、施設の費用を推算した。その結果が表 5.12 である。表 5.12 で、例えば出水Ⅰを対象として施設規模を設定したケース1では、出水Ⅱ、Ⅲ、Ⅳに対しては完全貯留が行えない。この場合の対応は先に述べたようにこの通り考えられる。しかしここでは、それぞれの施設が対象としている出水が年12回発生するという仮定のもとで費用を検討している。このため表 5.12 の維持管理費 (汚泥処理費) の積算の対象となる出水は各ケースごとに異なっている。

表 5.12 の中ではケース4が出水Ⅳを対象としたものであり、施設の効果および維持管理等について他の貯留型施設との比較対象になる。なお完全貯留型施設は河口付近の湖沼を利用して設置することを考えているので、施設建設費の積算に当たっては底面のコンクリート打設費用を考慮していない。

表 5.11 負荷除去量と効果

項 目		出水Ⅰ	出水Ⅱ	出水Ⅲ	出水Ⅳ
施設容量		5.7万 m ³	9.5万 m ³	16.7万 m ³	26.9万 m ³
負荷除去量 ton	S S	12.99	30.51	52.07	140.9
	P, COD	0.84	2.24	2.48	8.14
	P, T-N	0.075	0.223	0.163	0.629
	P, T-P	0.036	0.104	0.107	0.236
除去効果 %	COD	74.3	74.4	73.8	71.0
	T-N	26.5	45.9	23.5	25.7
	T-P	82.6	90.0	62.9	55.3

表 5.12 完全貯留型の費用

施 設 規 模		1	2	3	4
施 設 概 要	施設容量 (万 m ³)	5.7	9.5	16.7	26.9
	施設面積 (ha)	3.8	6.3	11.1	18.0
	水 深 (m)	1.5	1.5	1.5	1.5
	発生汚泥量 (万 m ³ /年)	(0.77)	(1.82)	(3.10)	(8.39)
施 設 建 設 費	貯留池掘削費用	0	0	0	0
	施設コンクリート費用	1710	2210	2930	3706
	計 (万円)	1710	2210	2930	3706
	設備費 (電気等)	—	—	—	—
	計	1710	2210	2930	3706
維持管理費 (汚泥処理費；万円/年)		370	874	1488	4027

注) () ; 各施設規模の発生汚泥量は各規模の計算条件である出水規模が1回/月に発生したものとして算定

5-6 各貯留型施設の総合評価

Ⅱ)～Ⅳ)の検討結果に基づき、3種類の貯留型施設の年間費用をまとめたのが表5.13である。これまでの検討では、施設建設費は総額(単位:円)で、維持管理費を年間費用(単位:円/年)で表示していた。しかしここでは両者の単位を年間費用(円/年)で統一している。そのため施設建設費については、下水道事業計画に用いられる半年賦元利均等償還の算出方法に準じ、次の式で年間費用を計算した。

$$\text{每期償還賦金} = \text{元金} \times \frac{r_2 \times (1 + r_2)^n}{(1 + r_2)^n - 1} \quad (5.2)$$

r ; 年利率 n ; 償還期数

年利率は7.3%, nは10期(5年)としている。ただし底面コンクリート打設の一時貯留型施設については、建設費が高いため50期(30年, うち5年据置期間)として求めた。一時貯留型を底面コンクリート有, 無に分けているのは、堤内地での建設の場合には維持管理や環境保全等のために、費用が高くても底面コンクリート打設が必要な場合も生じると考えたためである。

維持管理費の算定ではこれまでと同様、出水Nが年12回発生するという前提に立っている。このため完全貯留型施設は、出水Nを対象として設計したケースのみを示している。

各貯留型施設の費用・効果を総括したものが表5.14, 図5.7である。

山王川流域の場合COD, TN, TPのどれでみても、一時貯留型施設より流下型貯留施設の方が費用、効果の面ですぐれているといえる。完全貯留型施設は効果が大きいが費用も高くなっている。費用効果関係でみると完全貯留型施設は、流下型貯留施設の延長線上に位置するようである。汚濁負荷1kg当りの削減費用を完全貯留型施設でみると、CODで5,600円, TNで72,000円, TPで193,000円である。

表 5.13 各貯留施設の建設費

(単位：万円)

内容	施設	一時貯留型施設（下流部堤内地）			流下型貯留施設			完全貯留型施設（河口部）			
		5万㎡	10万㎡	20万㎡	2Qc取水	3Qc取水	10Qc取水	5.7万㎡	9.5万㎡	16.7万㎡	26.9万㎡
貯留池建設費		* 3,000 ** 21,300	* 4,900 ** 41,400	* 8,400 ** 81,400	592	803	2258	1,710	2,210	2,930	3,706
償還期間		* 10年 ** 30年	* 10年 ** 30年	* 10年 ** 30年	10年	10年	10年	10年	10年	10年	10年
毎期償還賦金		* 214 (20期) ** 933 (50期)	* 349 (20期) ** 1813 (50期)	* 598 (20期) ** 3565 (50期)	42 (20期)	57 (20期)	160 (20期)	122 (20期)	158 (20期)	209 (20期)	264 (20期)
据置期間の年間利子 (5年)		* — ** 1,555	* — ** 3,022	* — ** 5,942	—	—	—	—	—	—	—
償還金総額		* 4,280 ** 54,425	* 6,980 ** 105,760	* 11,960 ** 207,960	840	1,140	3,200	2,440	3,160	4,180	5,280
年間償還金（注）		* 428 ** 1,866	* 698 ** 3,626	* 1,196 ** 4,756	84	114	320	244	316	418	528

注）年2回の償還金の償還金の合計

* ；施設の外壁はコンクリート製とするが、下部はコンクリートは敷かない。

** ；施設の外壁はコンクリート製とし、下部もコンクリート製とする。

なお、一時貯留型施設は下流部の約200m四方の堤内地に、完全貯留型施設は河口部への設置を前提としている。

その理由は本文に示してある。

表 5.14 各貯留型施設の規模と費用及び効果

施設 内容		一時貯留型施設（下流部堤内地）			流下型貯留施設			完全貯留型施設（河口部）
施設規模	水深 (m)	3	3	3	2	2	2	1.5
	施設幅 (m)	約 130m 四 方	約 182m 四 方	約 258m 四 方	8.3	12.5	41.5	約 424m 四 方
	施設長さ (m)				40	40	40	
	面積 (ha)	1.67	3.33	6.67	0.03	0.05	0.17	18.0
	容量 (万 m ³)	5	10	20	2Q _c (1.66m ³ /s)	3Q _c (2.49m ³ /s)	10Q _c (8.3m ³ /s)	26.9
発生汚泥量 (万 m ³ /年) 注)		0.87	1.14	1.71	1.04	1.56	3.36	8.39
費用	貯留池建設費	* 428 **1866	* 698 **3626	* 1196 **4756				
	維持費用 注)	418	547	821	499	749	1613	4027
	(万円/年) 計	* 846 **2284	* 1245 **4173	* 2017 **5577	583	863	1933	4555
負荷削減率 ton	COD	1.62 (14)	1.92 (17)	2.77 (24)	1.3 (11)	1.8 (16)	3.36 (29)	8.14 (71)
	T-N	0.108 (4)	0.139 (6)	0.199 (8)	0.101 (4)	0.137 (6)	0.257 (10)	0.629 (26)
	T-P	0.032 (7)	0.044 (10)	0.067 (16)	0.035 (8)	0.048 (11)	0.095 (22)	0.236 (55)

注) 発生汚泥量及び維持費用 (汚泥処理) は出水ケースⅣが1回/月発生するものとして算定
 なお、() は出水ケースの総負荷にたいする削減負荷量の比率 (%)
 * ; 施設の外形はコンクリート製とするが、下部はコンクリートは敷かない。
 ** ; 施設の外形はコンクリート製とし、下部もコンクリート製とする。

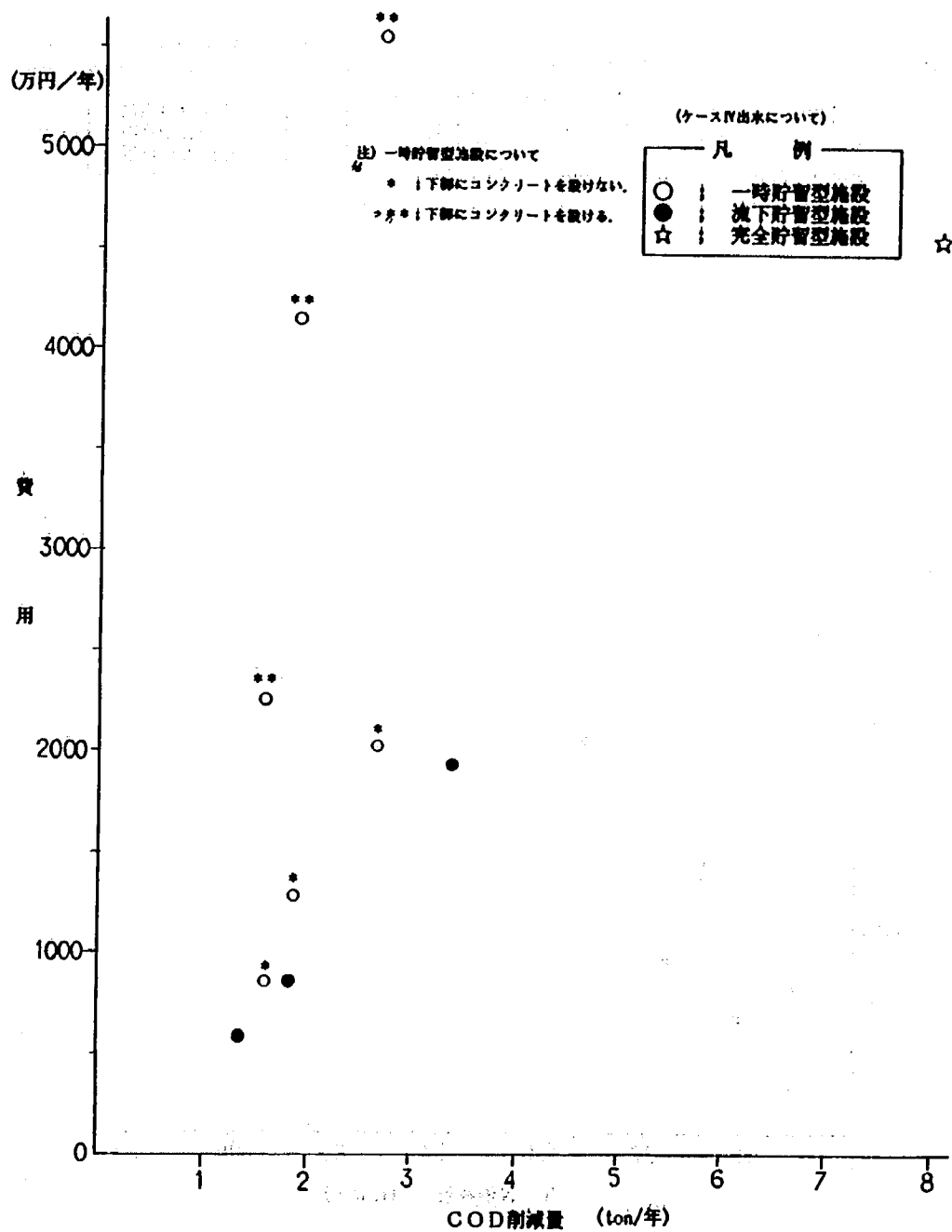


図5.7(1) 負荷除去量と費用(COD)

(ケースⅣ出水について)

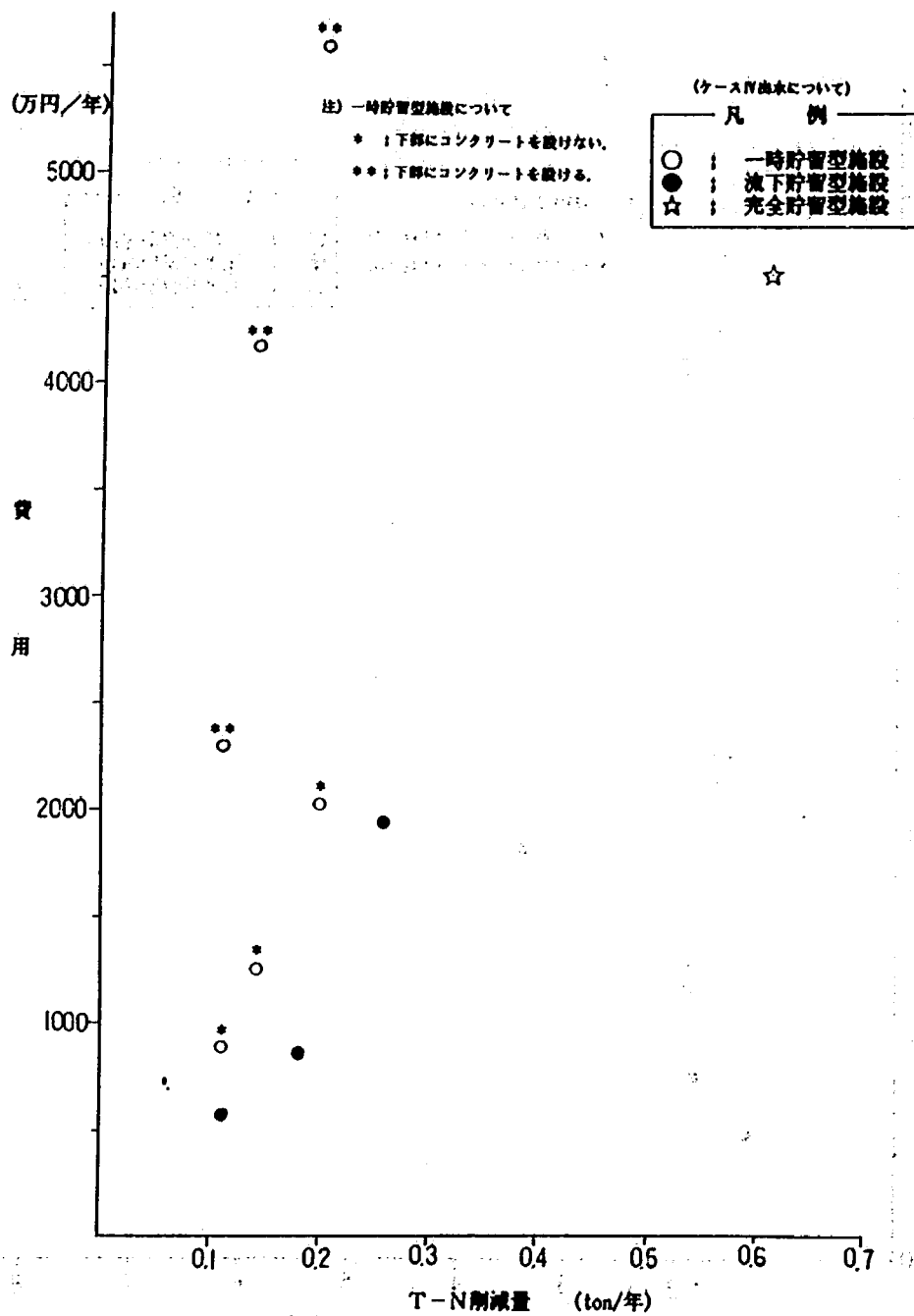


図 5.7 (2) 負荷除去量と費用 (T-N)
 (ケースⅣ出水について)

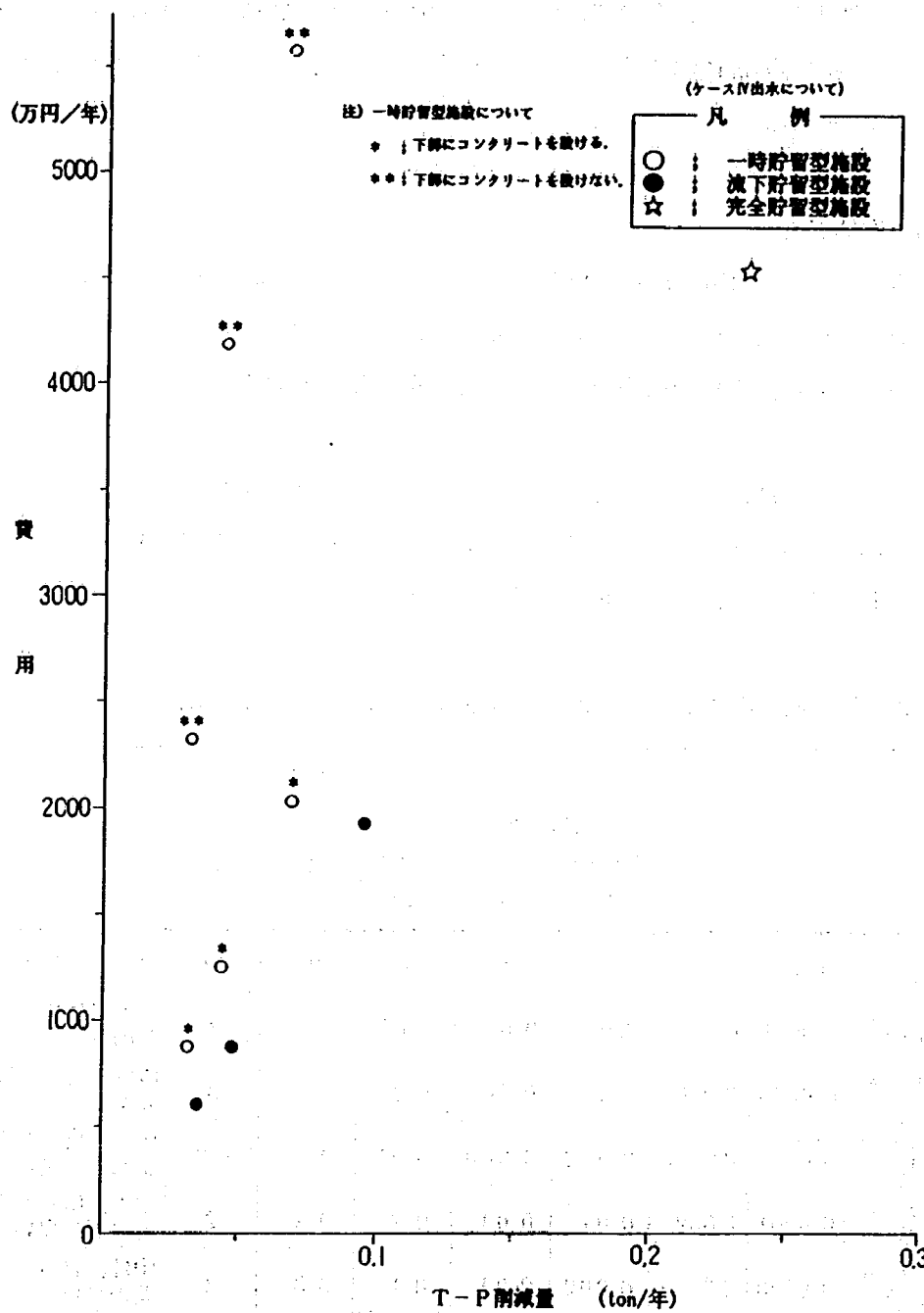


図 5.7 (3) 負荷除去量と費用 (T-P)

(ケースⅣ出水について)

施設名	削減量 (ton/年)	費用 (万円/年)
一時貯留型施設 (○)	0.04	900
一時貯留型施設 (○)	0.05	1300
一時貯留型施設 (○)	0.05	2400
一時貯留型施設 (○)	0.07	2100
一時貯留型施設 (○)	0.08	4200
一時貯留型施設 (○)	0.08	4500
一時貯留型施設 (○)	0.08	5200
流下貯留型施設 (●)	0.05	600
流下貯留型施設 (●)	0.06	900
流下貯留型施設 (●)	0.10	1900
完全貯留型施設 (☆)	0.25	4500

第6章 貯留型雨天時汚濁流出抑制施設と環境保全

検討しなかった重要な課題として環境保全の問題がある。環境保全の課題には、臭気、腐食、騒音、汚泥の処理等施設で生じる副次的影響に関するものと、周辺環境との調和により環境の改善を図るものがある。これについて以下述べる。

6-1 施設で生じる副次的影響

河川における雨天時汚濁流出抑制対策の既往事例がほとんどないため、施設でどのような副次的影響が生じるのか、またそれはどの程度なのか等について、現状ではほとんど知見が得られていない。以下では、下水道施設事例等を参考に、主な副次的影響とその対策を紹介しておく。

1) 臭 気

下水道終末処理場では、沈砂池、最終沈澱池、エアレーションタンクおよび汚泥濃縮タンク等より悪臭が発生するため、施設周辺の環境を維持する目的で表6.1に示す臭気の規制基準が課せられている。この臭気の対策としては、通常、表6.2に示す防臭、希釈、マスキング及び脱臭等の方法がある。

表6.1 臭気強度と物質濃度との関係及び敷地境界線の地表における規制基準

悪臭物質	臭 気 強 度 注)							特 徴
	1	2	規制基準の範囲 (下限) (上限)			4	5	
			2.5	3	3.5			
ア ン モ ニ ア (NH ₃)	0.1	0.6	1	2	5	10	40	塩基性、刺激臭
トリメチルアミン ((CH ₃) ₃ N)	0.0001	0.001	0.005	0.02	0.07	0.2	3	塩基性、腐った魚の臭い
硫 化 水 素 (H ₂ S)	0.0005	0.006	0.02	0.06	0.2	0.7	8	酸性、腐った卵の臭い
メチルメルカプタン (CH ₃ SH)	0.0001	0.0007	0.002	4.000	0.01	0.03	0.2	中性、腐ったたまねぎの臭い
硫 化 メ チ ル ((CH ₃) ₂ S)	0.0001	0.002	0.01	0.04	0.2	0.8	2	中性、腐ったキャベツの臭い
二 硫 化 メ チ ル ((CH ₃) ₂ S ₂)	0.0003	0.003	0.009	0.03	0.1	0.3	3	中性、腐った野菜の臭い
アセトアルデヒド (CH ₃ CHO)	0.002	0.01	0.05	0.1	0.5	1	10	中性、青臭い刺激臭
ス チ レ ン (C ₆ H ₅ -CH=CH ₂)	0.03	0.2	0.4	0.8	2	4	20	中性、プラスチックニチル臭

注) 臭気強度の内容は下表である。

臭気強度	内 容
0	無 臭
1	やっと感知できる臭い。(検知いき(閾)値濃度)
2	何の臭いかわかるが弱い臭い。(認知いき値濃度)
3	楽に感知できる臭い。
4	強い臭い。
5	強烈な臭い。

表6.2 臭 気 の 対 策 方 法

悪臭の防除方法		方 法 の 内 容	適 用 物 質
防 臭	経路遮断法	履がし、密閉ふた、気密扉、水封トラップ又はエアーカーテンなどを用い、臭気を封じ込める。	ほとんどすべての悪臭物質
	腐敗防止法	嫌気性細菌によって分解され、臭気を放つのを防止するため、殺菌あるいは好気的環境に保つ。	同 上
	清掃洗浄法	不潔になりやすい沈砂地のスクリーン、除砂設備、洗浄装置等の周辺の床面等の清掃洗浄によって臭気の発生を防止を図る。	同 上
希 釈		発生した臭気換気し、希釈及び拡散させる。	同 上
マスキング		悪臭物質に対し強い芳香液をスプレーにより散布する。	同 上
脱 臭	水 洗 浄 法	悪臭物質を水に接触及び溶解させて除去。	アンモニア、アミン類等の水に溶解しやすい物質
	酸及びアルカリ洗	酸洗浄法は、悪臭物質を塩酸又は硫酸に溶解させ、中和反応で除去。	アンモニア及びアミン
		アルカリ洗浄法は、悪臭物質を苛性ソーダ溶液に接触させ、中和反応で除去	硫化水素及びメチルメルカプタン
	直接燃焼法	悪臭物質を燃焼炉等で800℃程度に燃し、分解	ほとんどすべての悪臭物質
	触媒燃焼法	悪臭物質を熱交換器で350℃程度に加熱し、白金、パラジウムなどの触媒の入った燃焼炉に移して低温燃焼し分解する。	同 上
	オゾン酸化法	悪臭物質をオゾンと接触させ、酸化作用で除去	高温度で大容量の悪臭物質（アンモニアは不）
	溶液酸化法	悪臭物質を塩素水、次亜塩素酸ソーダ、二酸化塩素、臭化ソーダなどの溶液と接触させ酸化作用により除去。	酸化性物質
	土 壌 脱 臭 法	悪臭物質を土壌に送り、細菌等の作用によって吸着及び酸化分解。	細菌の栄養となる有機性物質
	エアレーション酸化法	悪臭物質をエアレーションタンクに送り、活性汚泥の作用によって酸化分解。	硫黄化合物
	イオン交換樹脂吸着法	悪臭物質をイオン交換樹脂に通し、酸及びアルカリ性物質については化学的作用によって、又、中性物質については物理的吸着作用によって除去。	ほとんどすべての悪臭物質
	活性炭吸着法	悪臭物質を活性炭に通し、物理的吸着によって除去	硫化水素及びメルカプタン（アンモニア及びアミン）

2) 腐 食

貯留型抑制施設に流入する河川水質は有機性に富むが、そのPHはほぼ中性（PH.6.5～7.5）であり、異常な強酸性水の流入があった場合を除き、流入水による施設構造物の腐食化は生じない。しかし施設内に長期に有機物に富む残渣が多量に残されると、この腐敗分解により、強酸性あるいは硫化ガス等が発生し、コンクリートあるいは施設の金属部分、計測機器等の腐食が起こる。貯留型抑制施設では、維持管理に留意し、腐食を未然に防止するよう注意することが大切である。

3) 騒音

雨天時汚濁流出抑制施設は、通常、雨天時及びその後数日間の稼動であり、施設で生ずる騒音は一時的ではある。しかしながら、周辺環境の保全の観点から、施設で発生する騒音の対策を講じておくことも必要であろう。

施設で生ずる騒音の原因には、表 6.3 に示すように、ポンプ、電動機、エンジン等の他、施設に流入する河川水の落水にともなう騒音が発生することもあり、その発生源別に必要な処置を行うことが望ましいと考えられる。

表 6.3 騒音発生源とその対策

騒音発生源	原因と原象の対策
ポンプの騒音	羽根、うずによる騒音等があり、計画、設計段階で防止対策を考慮する。
電動機の騒音	低騒音形、サイレンサー付き、全閉水冷構造等のものを選定する。
エンジンの騒音	非常時の停電等を考慮し、エンジン駆動のポンプが設置されている場合は、排気口にサイレンサーを取り付ける。
真空ポンプ	呼び水用の真空ポンプには、水セパレーター付きサイレンサーを取り付ける。
換気ファン	機場内の換気ファンは、公害問題となることが多いのでサイレンサーを取り付ける。
その他 (電源盤、変圧器など)	電源周波数またはその倍音、あるいは低周波音であるため、防音対策は困難である。

4) 汚泥の処理

貯留型雨天時汚濁流出抑制施設の汚泥の発生は、不定期である。またその量も公共下水道等での発生量に比べ少ない。したがってとくに汚泥の処理施設を本施設のために付随して設けるよりは、既存施設での発生汚泥の処理とあわせて行うことが効率的である。なお、現在実施されている汚泥の処理方法を表 6.4 に示す。⁹⁾

6-2 周辺環境との調和

完全貯留型施設は河口付近の湖沼等への設置を考えているが、一時貯留型施設、流下型貯留施設では堤内地への建設の可能性も高く、景観等周辺環境との調和が重要である。一例として、施設の周辺に樹木を植栽することにより景観保全とともに、臭気の緩衝効果を期待することなどが考えられる。

今後、実際に施設を計画、設計していく上での重要な検討課題である。

表 6.4 汚泥の処理システムの利用

項目 汚泥の 処分形態	汚 泥 処 理 シ ス テ ム	汚 泥 の 有 効 利 用 の 方 式		
		有効利用のた めの処理工程	生成物質の 形 態	利 用 用 途
液 状 汚 泥	引抜きのまま 濃 縮	—	—	日本では実施している例は少 ない。
	濃縮→嫌気性消化	消化タンク	液 状 物	肥料として農地散布
	濃縮→好気性消化	消化タンク	液 状 ガス	ガス発電システムによる電力。
脱 水 汚 泥	濃縮→脱水 濃縮→嫌気性消化→脱水 濃縮→好気性消化→脱水 濃縮→湿式酸化→脱水 濃縮→熱処理→脱水	発 酵 溶 触 化	コンポスト ス ラ グ	肥 料 盛 土 埋立材 骨 材 ロックウール その他
乾 燥 汚 泥	濃縮→乾燥 濃縮→嫌気性消化→乾燥 濃縮→好気性消化→乾燥 濃縮→脱水→乾燥 濃縮→嫌気性消化→脱水→乾燥	固 形 化	固 形 物	埋立材
焼 却 灰	濃縮→脱水→焼却 濃縮→嫌気性消化→脱水→焼却 濃縮→好気性消化→脱水→焼却 濃縮→熱処理→脱水→焼却 濃 焼	無 加 工	焼 却 灰	路盛材 埋立材 覆工材 アスファルトフィラー セメント原料 コンクリート混和材 軽量骨材 地盤改良材
		造 粒 焼 成	焼 成 物	軽量骨材
		混 棟 集 成	焼 成 物	れんが, 瓦等
		溶 触 化	ス ラ グ	骨材, ロックウール
		固 形 化	固 化 物	路盤材 埋立材

資料) ① 新体系土木工家②廃棄物処理 (土木学会)

② 汚泥研究年報 (1963, 環境技術研究会)

③ 下水道協会誌

第7章 今後の課題

貯留型施設による雨天時汚濁流出抑制計画について、現場実験等を行い現在得られた知見に基づき述べてきた。実際の施設設計を行うに際しては、まだまだ課題が残っていることは言をまたない。その最たるものは汚泥の処理を含めた周辺環境との調和であるが、本報告では一般的な事項を指摘するにとどまっている。

また施設設計をする際の重要なファクターである完全貯留型施設における汚濁物質の沈降時間と、流下型貯留施設における不織布による除去率については観測・実験データ数が少ない。このためその最終的な評価には、さらにデータを積み重ねる必要がある。なお流下型貯留施設における不織布による除去率の観測データは、参考資料として巻末に掲載した。

参考資料

不織布利用による粒子性汚濁物質の強制沈降について

1. 本工法の原理

不織布利用による粒子性汚濁物質の強制沈降とは、図-1に示すように、不織布によるろ過、不織布に沿う下降流による濃縮沈降、および上昇流による清浄化の作用により河川水中の粒子性汚濁物質を除去しようとするものである。

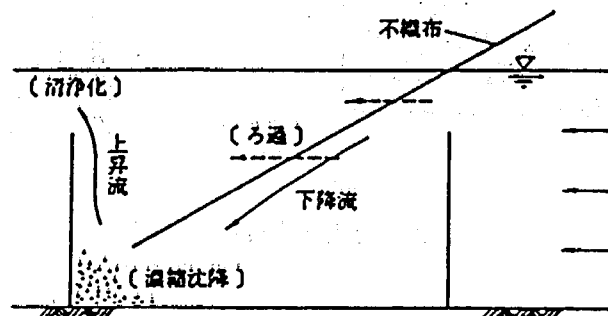


図-1 不織布利用型の河川水直接浄化（概念図）

2. 本工法の除去効果

建設省土木研究所では、霞ヶ浦流入河川の一つである山王川において本装置を用いた実験を行った。ここではこの実験結果に基づき、本工法による除去効果を検討する。

1) 山王川の汚濁状況

山王川は流域に石岡市を含み、霞ヶ浦流入河川の中では、流域が都市化し汚濁の進行した河川といえる。晴天時の山王川の流量は $0.38 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度である。水質でみると、SSで $11.6 \sim 22.2 (\text{mg}/\ell)$ 、TNで $4.3 \sim 13.0 (\text{mg}/\ell)$ 、TPで $0.3 \sim 0.46 (\text{mg}/\ell)$ 程度である。また年間の霞ヶ浦への流入負荷を晴天時と雨天時の比較でみると、COD、TN、TPともほぼ1:1となっている。

2) 実験方法

実験は、59年3月3日～19日に、山王川下流部において行った。実験装置および設置状況の概要を図-2に示す。なお実験場所付近の流速は、 $10 \sim 15 \text{ cm}/\text{s}$ 程度である。

実験期間中に、図-3に示す位置で6回の採水、水質分析を行った他、調査終了時に装置内に堆積した汚泥の写真撮影を行った。また堆積物の一部は実験室に持ち帰り、粒度試験および恒温室内での再浮上実験も行った。

3) 実験結果

6回の水質分析結果より求めた、装置の水質浄化効果を表-1に示す。表より装置全体での除去効果としては、SSで $11.6 \sim 22.2 \text{ mg}/\ell$ の流入濃度に対して40%、TNで $3.7 \sim 5.0 \text{ mg}/\ell$ に対して5%、TPで $0.3 \sim 0.46 \text{ mg}/\ell$ に対して11%の除去効果があることがわかる。本工法は、沈降の促進という物理的作用を原理としているので、溶解成分の多いTNの除去効果は低い。油分は、親油性の不

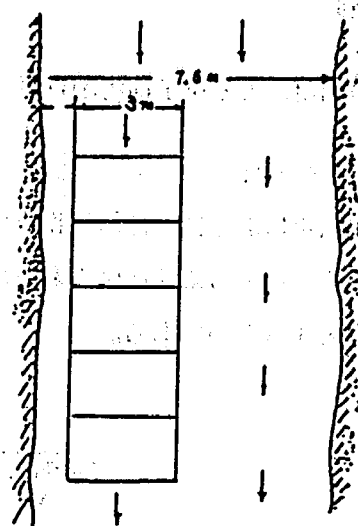
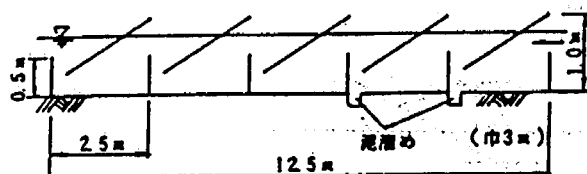


図-2 河川水直接浄化装置

織布に吸着することにより除去される。この実験での流入濃度は $1.2 \sim 2.8 \text{ mg/l}$ と低かったが、除去率は47%と高い値が得られた。

表-1 汚濁除去効対

汚濁物質	流入濃度 (mg/l)	除去率 装置全体	1ユニット 当り
SS	11.6 ~ 22.2	40 (%)	10 (%)
TN	3.8 ~ 5.0	5	1
TP	0.3 ~ 0.46	11	2
油分	1.2 ~ 2.8	47	15

表-2 58年度の実験における除去効果

汚濁物質	除去効果 装置全体	1ユニット当り
SS	40 (%)	10 (%)
BOD	19	4
TN	5	1
TP	11	2
油分	47	12

装置は5ユニットで構成されている。各ユニットでの除去効果を、SSについて検討したのが図-4である。図より、どのユニットでもSSの除去率は約10%であることがわかる。したがって、SSは装置1ユニットを通過するごとに等比級数的に減少するといえる。その時の流入濃度は、 $8 \sim 22 \text{ mg/l}$ の範囲に分布している。他の汚濁物質についても、同様の考えに基づき、1ユニット当りの除去率を求めた結果を表-2に示している。

装置内でのSSの平均的な濃度変化を示したのが、図-5である。SSは、下降流により1.15倍に濃縮され、そのうち8割が流水とともに上昇して装置外に出ていき、2割が装置底部に残る。

装置内のSS濃度の縦断的变化をみたのが図-6である。流入濃度が $17 \sim 19 \text{ mg/l}$ と高い場合には、5つのユニットが有効に機能し、一様に濃度が低下する。しかし流入濃度が低い場合には、濃度低下は最初の2ユニット程度で終了し、装置後半部では濃度変化が見られない。本装置が適用できる最低限の濃度は、図-6からみる限り、 8 mg/l 程度である。この最低濃度は、流下する粒子性物質の粒度分布によって変化すると考えられる。今回の実験で装置内に捕捉された汚濁物質の粒度試験を行ったところ、平均粒径は、最上流のユニットで 16μ 、4番目のユニットで 10μ であった。

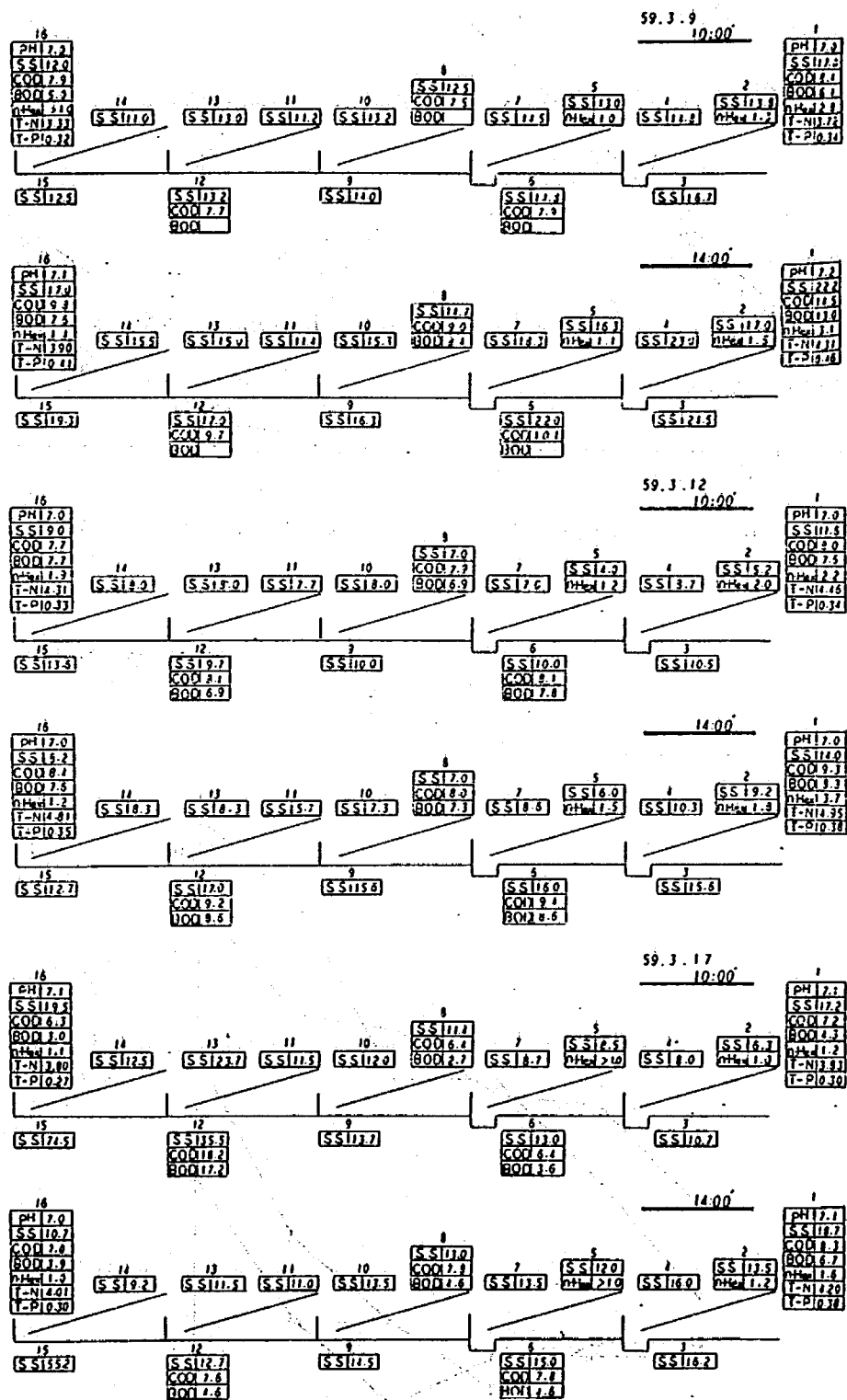


図-3 採水地点とその水質

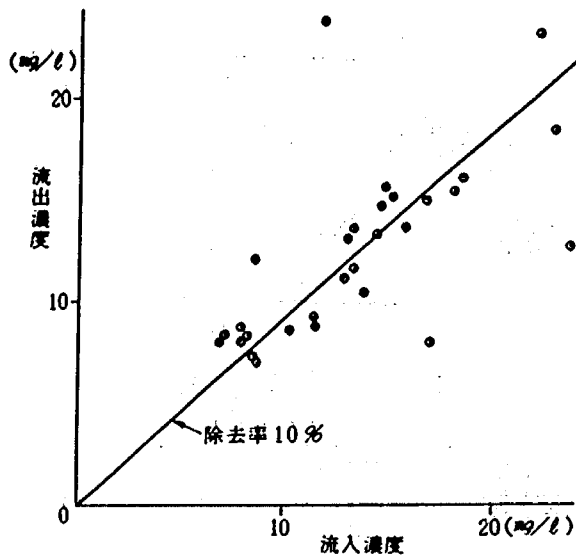


図-4 各ユニットにおける流入・流出濃度 (SS)

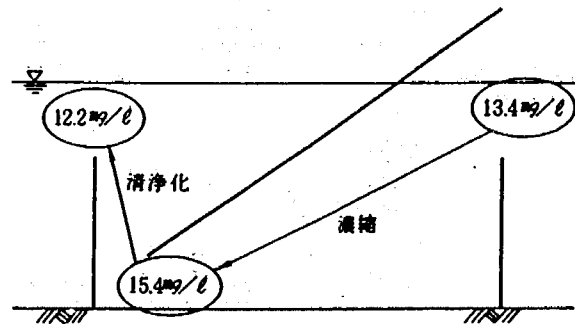


図-5 装置内でのSS濃度の変化

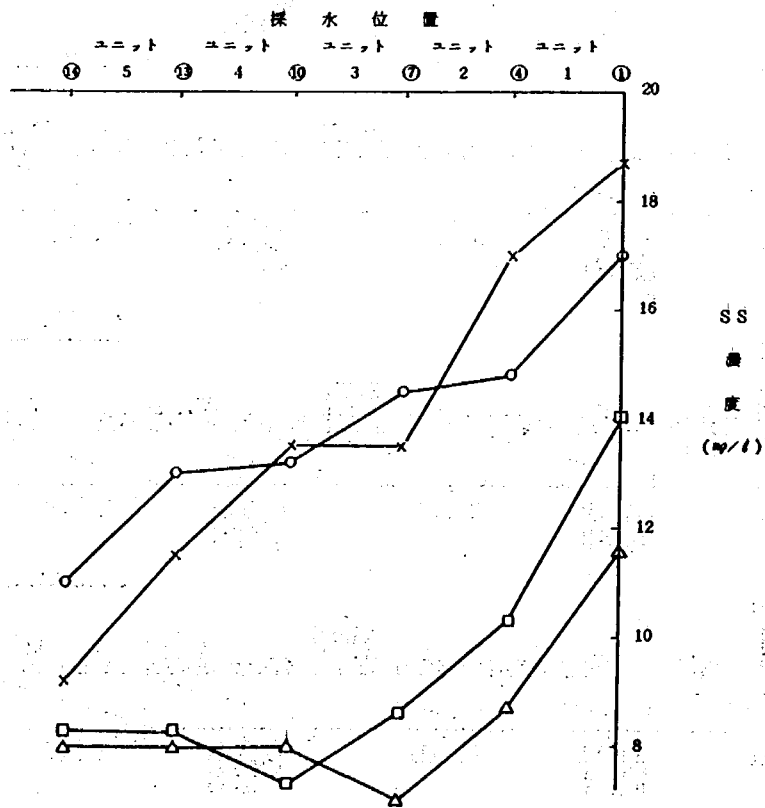


図-6 装置内におけるSS濃度の変化

4) 除去効果のまとめ

現地試験の結果に基づき本工法の浄化効果と適用範囲をとりまとめると以下のようなものである。試験水路での実験データをもあわせて、さらに内容をつめる予定である。

① 除去効果

装置1ユニット当りの除去率をSSについてみると、流速が10~20cm/sの場合10%程度である。なお石神井川で行われた同種の実験では、流速が30~50cm/sの範囲で7%程度の除去率があった。

装置を縦断的に直列に配置すると、除去効果が等比級数的に発揮される。流速が10~20cm/sの場合、装置5ユニットで40%の除去率が期待できる。

その他の汚濁物質については、その粒子性成分を対象としてSSと同様の効果が期待される。

② 工法の適用範囲

除去の対象となる粒子性物質の粒径は概ね10μ程度以上で、これより小さい粒子性物質の沈降は期待できない。

おわりに

本報告は、昭和57年度より始まった総合技術開発プロジェクト「湖沼の総合的水管理技術の開発に関する研究」の中で、雨天時汚濁抑制分科会を組織して進めていったものである。分科会の中で東京大学市川新助教授、九州大学楠田哲也助教授をはじめ、委員各位の助言があったことを付記するとともに謝意を表します。また資料の提供を受けた建設省霞ヶ浦工事事務所、分科会運営に尽力頂いた国土開発技術研究センター、そして現場実験等で世話になった株式会社建設技術研究所の下門、斎藤両氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- ① 松浦茂樹、谷本光司；土地利用と雨天時汚濁流出に関する一考察，第22回衛生工学研究討論会，1986
- ② 松浦茂樹、谷本光司；土地利用別雨天時汚濁流出原単位 — 多摩川上流域をモデルとして，土木技術資料
- ③ 海老瀬潜一；小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価，環境技術 Vol. 9, No. 4, (1980)
- ④ 松浦，谷本；雨天時汚濁流出抑制対策の現状と問題点，第13回環境問題シンポジウム講演論文集 (1980)
- ⑤ 土木学会；水理公式集 p. 230, 昭和60年
- ⑥ 海老瀬，村岡他；降雨流出過程における流出物質の挙動 第7回環境問題シンポジウム講演論文集 (1979)
- ⑦ 宗宮；都市下水処理とバイオテクノロジー，月刊下水道 Vol. 8, No. 8, (1980)
- ⑧ 愛知県名古屋市；若宮大通調節池設計検討 (昭和59年)
- ⑨ 土木学会；新体系土木工学，廃棄物処理
- ⑩ 島谷，松浦；多摩川本川における雨天時汚濁流下機構，第30回水理講演会，1986

貯留型施設による雨天時汚濁
流出抑制計画とその評価

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第2347号

昭和 61 年 3 月 (1986)

—霞ヶ浦流域山王川を具体的モデルとして— 都市河川研究室長 松 浦 茂 樹
研究員 谷 本 光 司

要 旨

近年、流域から湖沼へ流入する汚濁物質は、雨天時の流入が大きいことが指摘され、その対策が待たれている。しかし雨天時の汚濁流出機構の解明はまだ、不十分で、その対策もほとんど行われていないのが実状である。本報告書では都市化された中小河川を主に対象とし、下水道をも含めて参考となる事例を収集し、雨天時汚濁抑制対策を検討したものである。そして実現の可能性が最も高い貯留型に絞って計画の内容を検討し、霞ヶ浦流域の山王川を具体的事例として効果・費用を評価したものである。

キーワード：貯留型施設，汚濁流出，雨天時，山王川

郵便はがき

40円
切手
を貼
るこ
とを
おし
や
す

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

河川部都市河川研究室

行

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2347号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印