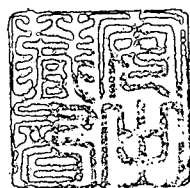


合流式下水道に関する 日米間の技術交流

(土木研究所資料第1294号)



昭和52年12月

建設省土木研究所

序

合流式下水道は、雨天時に汚濁した雨水の一部を公共用水域に排除するために水質汚濁防止の観点から問題点があるといわれている。しかし、一方非点源汚濁源による水質汚濁の防止を考えれば合流式下水道は、点的汚濁源と非点源汚濁源の両者を対象とした汚濁の制御機能を有していることになる。従って総合的な汚濁の防止という観点から合流式下水道を再評価すべきであるという意見もある。わが国は道路が狭隘であり、局地的な浸水頻度も高い。また、合流式下水道は既成市街地に広範囲に建設されている。この様な点を考えて、最も効果的に合流式下水道を改造して行く方法はいかにあるべきか、わが国独自の手法を検討することは極めて重要な課題である。

この課題は、わが国ばかりでなく下水道の歴史の古い欧米においても重要となっている。従って、この課題を解決するためには、欧米における考え方なども十分に検討し、独自手法を開発していくことが不可欠であると考ええる。

このような観点から、最もこの面で技術的な蓄積がある米国との技術協力は有効であると思われる。そこで日米下水処理技術委員会においても、この課題をとりあげ検討を重ねているところである。

従来わが国としては、技術協力の一環として直接米国の第一線技術者の見解を尋ね、十分に議論をつくす機会をもちたいと考えてきた。今回、昭和52年度の技術者交換の一環としてこの希望がようやくかなえられた。

フィールド氏は、米国環境保護庁の雨水汚濁制御の専門家である。今回、フィールド氏と十分に議論を重ねられ相互に理解が深まったと考えている。

そこで、ここにすべての資料を整理し関係者の参考に供することとした次第である。

今後この面での議論がこの機会に一層深められれば幸いであると考ええる。

日米下水処理技術委員会、日本側団長

建設省都市局下水道部長

井 前 勝 人

ま え が き

昭和52年9月中旬、米国環境保護庁都市環境研究所の雨水汚濁制御研究室長、Richard Field氏が来日され、約2週間に渡ってわが国の下水道技術者と技術交流を行った。

Field氏は雨水汚濁制御の専門家であり、この分野に関するわが国と米国との技術的レベルの差を考えると非常にタイムリーな来日であったと思われる。

本報告書は、Field氏が滞在中に紹介してくれた数々の雨水汚濁制御技術をまとめたものであり、従来から紹介されている雨天時合流式下水道越流水の対策のみならず、分流式下水道の雨水管渠系統から生ずる水質汚濁の対策までかなり広範囲な分野に渡っている。

雨天時の下水による汚濁に対して、何らかの対策を迫られている都市は少ない。本報告書が今後の雨天時汚濁対策を考える上で少しでもお役に立てば幸いである。

今回のField氏の来日に当っては、日米下水処理技術委員会の日本側団長をなされていた久保赳氏（第1回～第4回日本側団長、現日本下水道事業団副理事長）および井前勝人氏（第5回日本側団長、現建設省都市局下水道部長）ならびに米国側の団長であるFrank Middleton氏（米国環境保護庁）の御尽力によるところが多い。これらの方々の御尽力に対し、深く敬意を表するとともに本報告書によってこれに少しでも報いることが出来ればと祈念してやまない。

土木研究所下水道部長 柏 谷 衛

目 次

第1章 第7回合流式下水道問題研究会	1
1.1 開会のあいさつ	3
1.2 米国における雨天時汚濁制御について	4
~~~ Swirl Concentrator/Regulatorについて ~~	
参 考 資 料 .....	24
1.3 わが国における合流式下水道改善問題の現状と展望 .....	43
1.4 わが国における雨天時汚濁対策研究の現状 .....	50
1.5 質 疑 応 答 .....	68
第2章 米国における雨天時汚濁制御の現状 .....	76
~~~ 日本下水道事業団でのフィールド氏の講演より ~~	
第3章 訪問都市におけるフィールド氏への質疑応答	92
3.1 横 浜 市	93
3.2 東 京 都	103
3.3 京 都 市	105
3.4 大 阪 市	112
3.5 大 阪 府	117
あ と が き	

第 1 章 第 7 回合流式下水道問題研究会

米国 EPA より R. Field 氏を迎えての、第 7 回合流式下水道問題研究会は、9 月 20 日東京の中央官庁合同会議所で開かれたが、以下はこの会議における講演内容を議事次第順にまとめたものである。

合流式下水道問題研究会について一言触れておくと、この研究会は昭和 50 年 5 月にその第 1 回研究会を開催し、以後年に約 3 回の頻度で開催している。

研究会に参加している都市は、札幌市、東京都、川崎市、横浜市、豊橋市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市であり、昭和 52 年度からは新たに大阪府も加わっている。

テーマは、雨天時下水による水質汚濁問題をどのように解決していくかということであるが、雨天時下水水質特性の地域差の問題、解決技術の問題、費用の問題など非常に多くの難題をかかえているのが現状である。

前述したように、今回の研究会では EPA のこの方面での専門家である R. Field 氏を迎えて米国における雨水汚濁問題の現状と解決策を述べて頂く予定であった。しかしながらわが方の要望として出来るだけこの問題に対する具体的な解決策の事例を紹介して欲しいということがあり、Swirl Concentrator / Regulator という米国で開発された雨天時下水の簡易処理装置にテーマを絞ってご講演頂いた。またわが国からは、下水道部下水道企画課の山田専門官および土木研究所下水道研究室の安藤室長のほうから、わが国におけるこの問題の現状について説明があった。

Meeting of Research Committee on the Reconstruction of combined sewer system

at Conference Room of Chuo-Godo-Kaigisho, Tokyo

1977 , Sep. 20 th ; from 9:30 to 17:00

9:30	Opening Adress	Mr. Inomae , Director ,Dept. of Sewerage and Sewage Purification, Ministry of Construction
9:40	"The Swirl Concentrator for Treating and Regulating Sewered(Separate and Combined) and Unsewered Flows"	Mr. Richard Field , Chief Storm and Combined Sewer Section Wastewater Research Division Municipal Environmental Research Laboratory US Environmental Protection Agency
12:10	Lunch Time	
13:00	"Present Status and Future Prospects.....Combined Sewer System Problem in Japan"	Mr. Yamada , Managing Engineer , Dept. of Sewerage and Sewage Purification Ministry of Construction
14:00	"Current Status of Studies on Wet Weather Pollution Control Technology in Japan"	Mr. Andoh , Chief Sewage Works Section Water Pollution Control Division Public Works Research Institute Ministry of Construction
15:00	Recess	
15:15	Discussion	
17:00	Closing Adress	Mr. Yamada

Mr. Andoh will be a chairman of this Meeting

1.1 開会のあいさつ

井 前 勝 人*

おはようございます。私、下水道部長の井前でございます。昨日までは、台風11号影響で大変な雨でありましたが、今朝の東京は大変素晴らしい秋晴れとなっております。まさに合流式下水道研究会の前夜祭のような雨であったわけであります。

ただ今、安藤下水道研究室長からも御紹介がありましたが、アメリカからフィールドさんをこの研究会にお迎えして、合流式下水道問題についてお話しして頂く予定でございます。フィールドさんは、米国EPAの環境研究所の雨水汚濁制御研究室の室長でありまして、この方面の研究の専門家であります。

このような方を迎えてご講演頂くことは、非常にタイムリーであり、わが国にとっても幸せなことだと存じます。

ご承知のように、建設省のほうでも2、3年前から皆様と協力して、合流式下水道問題の改善について研究してまいっているわけであります。

日米相互には、日米下水処理技術委員会というのが開かれているわけですが、この中で日米相互の技術者交流というものが設けられておりまして、フィールドさんはこれに基づきましてお見えになったわけであります。わが国では、現在環境庁にいる亀田さん、京都市の弘元さんとか、今までに5名の技術者が渡米し、各地で研修を受けているわけでございます。アメリカからは汚泥関係の専門家でありますスミスさんをはじめ今回のフィールドさんまで、3名の技術者が来日しております。

このようにして、下水処理技術の開発に関して両国の理解が大いに深まっていくことと存じます。今後とも、両国の技術の進歩・発展のためにこの技術交流を積極的に進めていきたいと考えている次第であります。

時間もないことでありますから、この辺で私のあいさつを終わりにしたいと存じますが、最後にこの研究会がフィールドさんにとっても、またわが国にとっても実り多いものであることを希望しております。

* 建設省都市局下水道部長

1.2 米国における雨天時汚濁制御について

—Swirl Concentrator/Regulatorについて—

Richard Field*

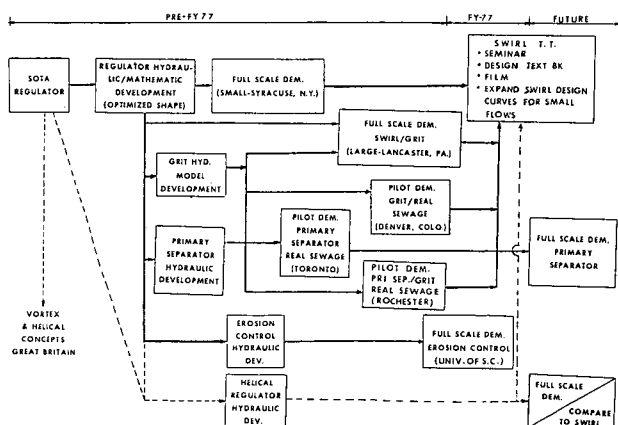
井前さん、安藤さんどうも有難うございます。皆さんおはようございます。私はこの美しい国に訪問出来たことを大変嬉しく存じます。今回の私の訪問に当っていろいろと御基力して下さいた久保先生をはじめとする関係者の各々にも感謝の意を表したいと思います。

これから私が述べる事が、皆さんの行っている水質汚濁防止に少しでも役に立てることを希望しております。私が台風時期という雨の多い時期に日本を訪問したということも何かの縁ではないかという気が致します。まえおきはこのくらいにして、今日の本題にはいたいと思います。

序 論

米国環境保護庁 (EPA) の雨水汚濁制御プログラムによって、下水道の整備地域および未整備地域からの流出水処理・調節 (treat and regulate) する新しい装置、即ちスワール (渦巻式固液分離装置、Swirl Concentrator) の研究・開発が行われました。その結果、水質汚濁をその汚濁源で防止しようという国の政策に対して、スワールは非常に有効な、革新的な装置であることがわかりました。

イングランドのブリストル (Bristol) で Smisson¹ が行ったヴォルテックス (Vortex) 型の調節装置の実験につづいて、スワールの開発が行われたわけでありましたが、彼の報告によりますと、ヴォルテックスでも調節の機能と同時に固形物を除去する機能が備わっているということでもあります。スワールの浮遊物除去は、比較的短期間の滞留時間中に起る重力による沈殿効果と、回転によって発生した慣性力による固液分離作用の2つによってなされます。滞留時間が短いことの他に有利な点としては、スワールは可動部分がない静的な装置ということでありまして、消費電力もほとんど無く、また維持管理もほとんど必要がないということでもあります。スワールは当初、合流式下水道越流水の調節装置^{2,3}として開発されたのでありますが、その



SWIRL AND HELICAL DEVICE DEVELOPMENT

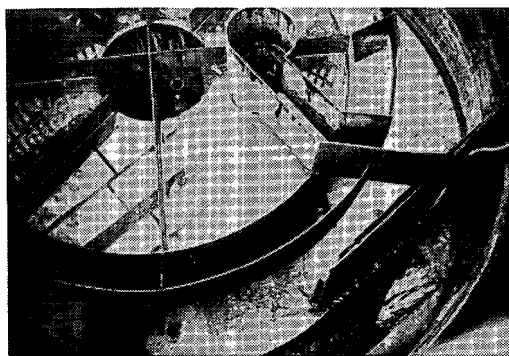
* 米国環境保護庁、都市環境研究所、雨水汚濁防止研究室長

考え方は一次処理⁶をねらった沈砂装置^{4,5}としてもまた侵食防止⁷にも使用されるように発展しております。

雨天時の合流式下水道から未処理で放流される越流水は、重大な水質汚濁源でありまして、合衆国には約15,000から18,000のこのような越流地点があります。そして、雨天時に放流される総有機物負荷の40%から80%はこのような起源に由来しております。合衆国全体でこのような合流式下水道越流水による汚濁を防止しようとするると100億ドル^{8,9,10}以上の投資が必要と算定されています。

雨天時の汚濁防止を考える場合、先ず第一に既存の合流式下水道システムの活用と正常に作用していない調節装置の改善、適切な管理に意を注ぐべきだと思います。多くのコンサルタント技術者とか市の職員の方々は賛成してくれるものと思いますが、調節装置の機械的な故障とか詰まりによって越流地点から不必要なバイパスが生じ得るわけですが、このような問題はまた晴天時にも起り得るわけでありまして。このような故障は静的な越流施設の場合も、動的な越流施設の場合も共に起り得るわけで、これが合流式下水道からの越流水による水質汚濁問題の大きな原因となっているのでございます。

米国における調節装置の設計に関して申しますと、とくに流量制御面あるいは処理場・放流先への分流という面についての設計を再度検討する必要があるのではないかと思います。合流式下水道越流調節装置を2重活用して、下水中の固形



物を濃縮した形で遮集管へ送り、同時に越流水を放流渠へ送水するといった下水道システムの管理を行えば非常に大きな利益を受けることが出来ると思います。2つのQ、即ち量と質 (quantitative and qualitative) の両面の制御が越流調節装置に課せられるわけでありまして、これによって放流先の汚濁防止がより効果的に行えるのであります。スワールは合流式下水道システムの改善を図る場合、放流先の汚濁を防止する装置として有力なものと考えられるべきでありましょう。

このようなわけで、EPAのスワールに関する初期の研究・開発は主としてその設計に力点が置かれていたのでありますけれども、通常の固液分離装置としてのスワールの他にも、沈砂装置、一次固液分離装置あるいは侵食防止装置としてのスワールも開発されておりまして、原理的にはほとんど差が無いと考えられております。

基本的な原理

スワールは沈殿池とは異っておりまして、固液分離をする上で重力の他に流体と固体に働く慣性力の相異も利用しているわけでございます。

合流式下水管渠からの流入水は円形のスワールに、接線方向の向きで導入されます。流入水の運動エネルギーは垂直の流向制御板 (deflector) によって方向が定められ、スワールの周辺部を「長い距離」をとって水が流れるように工夫されております。これがいわゆる一次流というものでありまして目で見ることができます。さらに、二次流が発生するわけでありまして、表面付近の水は中心から外へと、底面付近の水は外から中心へと流れるのであります。この現象は河川などでよく見られるものでありまして、外側の流れが堤防を侵食し、内側には土砂を堆積させるというのと同じであります。境界摩擦の影響によって表面付近の水は底面付近の水よりも速く流れるわけですから、この2次流は、ちょうど河川の流れがその内側に土砂を堆積するように、外から中心へと沈殿物を運ぶのであります。このようにして、重力によって沈殿した固形物も、慣性力によって分離された固形物も外から中心へと運ばれ、汚水管に流出してさらに処理を受けるのであります。(図-1a)。残された大部分の水はほとんど固形物が除去されているのですが、浮遊物についても浮遊物トラップで除去され、円形の越流堰を越えてさらに処理を受けるか、直接放流されるのであります。

スワールは、中心部の円形越流堰と底部に設けられたオリフィスによって流量を調節するわけですが、これはダムとオリフィスの関係によって作用する通常の調節装置とまったく同じであります。晴天時の低流量時には、すべての流入下水が底部のガターに沿って直接遮集管へと導かれ、処理場に運ばれます。

雨天時の水位の高い時には、上述しましたように固形物を分離するわけであります。高濃度の固形物を含んだ下水の量は濃縮の結果少なくなるのでありますが、これはオリフィスから遮集管へと送られます。他方、残りの清浄な部分の下水は量が大いなのでありますが、中央の越流堰を越流し

ていきます。放流先の水質基準によって、この越流水はさらに処理されるか、あるいは直接放流されるということになります。さらに貯留施設やポンプ施設を設けることによって、この比較的清浄な越流水を処理場に返送してやることも出来るわけでありまして、処理場に過負荷をかけないで大量の下水を処理することが出来ます。また、このように貯留施設を設けるということは、大きな流量が流入して来た場合に起きる生下水の直接放流ということも防ぐことができます。

スワールの 開発／検証

スワールの原理を開発し設計基準を作成するため、数学的・水理学的な研究^{2-4,6,7,11}が導入されたのでありますが、これらはAPWA (American Public Works Association)によって進められました。

スワールの模型実験は、合流式下水の生下水および侵食地域からの流出水に含まれている砂と有機物の粒径分布、比重などを近似させた合成物質を用いて進められました。APWAの研究結果は、あらかじめ予期された除去効果と設計能力、設計パラメーターとを関連づけるような一連の設計曲線を示しております。

後で詳しく述べたいと思いますが、このスワールモデルは実際の生下水を使って次のような都市で実験あるいはフル運転が行われています。

ニューコーク州シラキュース (Syracuse, New York)

コロラド州デンバー (Denver, Colorado)

カナダ、トロント (Toronto, Canada)

ニューヨーク州ロチェスター (Rochester, New York)

ペンシルバニア州ランカスター (Lancaster, Pennsylvania)

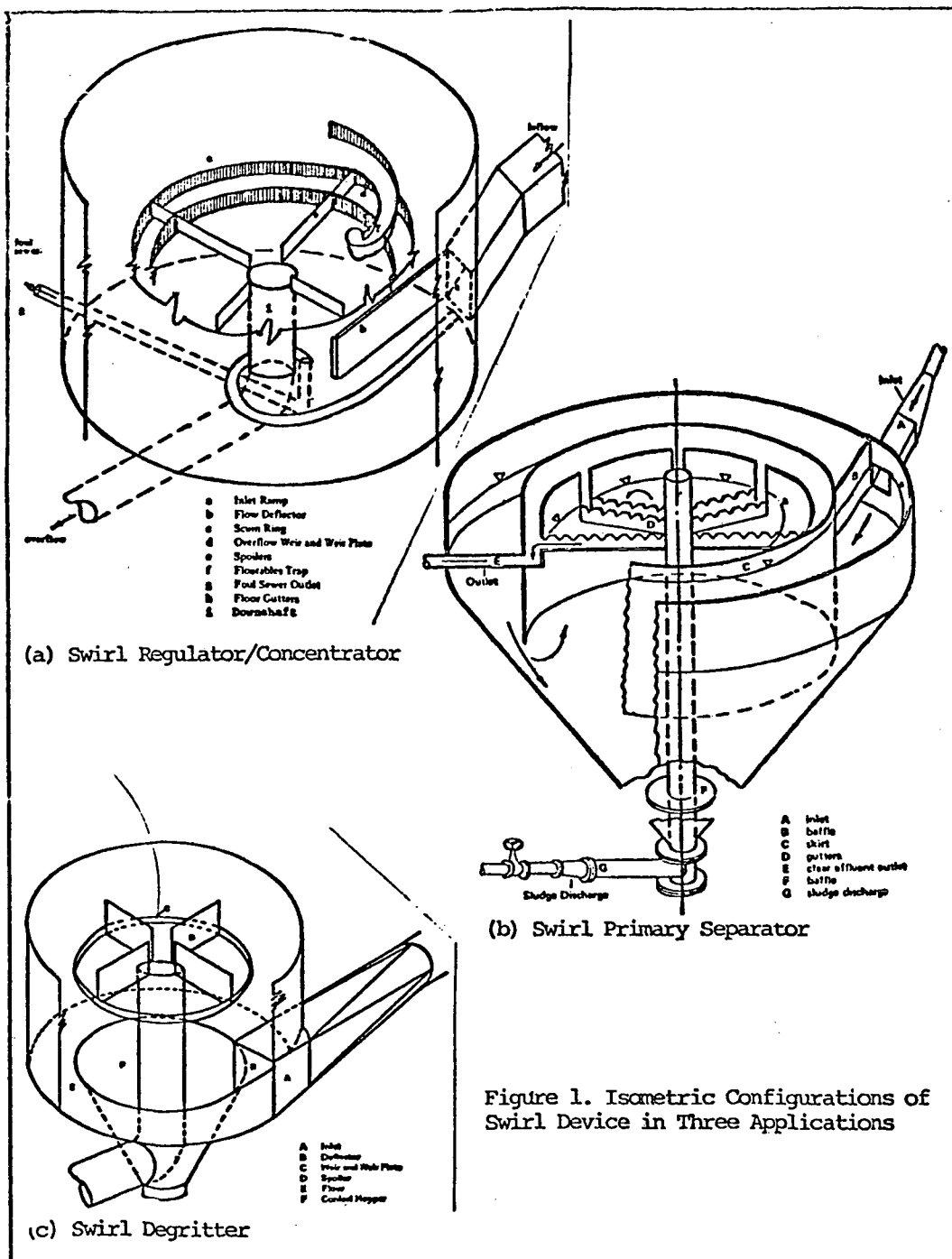
構造的には、スワール調節装置／分離装置、スワール沈砂装置、スワール一次分離装置はかなり相異があるわけですし、図-1にその相異を示してあります。各々の形態は、水理学的な考察およびいくつかの物理的なモデルの実験を行った結果決められたのでありますが、越流堰の形態、バッフルとフロアーの配置に大きな相異が見られます。さらに流入速度すなわち D_2/D_1 (スワール径／流入渠径) とか H_1/D_1 比 (堰高／流入渠径) などの設計因子にも相異があります。

フルード則を相似律として使用することにより、模型から得られた結果で実規模の結果を予測することが出来ます。この関係は

$$N_f = \frac{v^2}{gS}$$

N_f : フルード数

v : 流速



g : 重力加速度

S : 長さ

というフルード数を使用するのでありますが、流速 v は Q/A (Q : 流量、 A : 流水断面) に等しく、 A は流入渠径の 2 乗に比例しますので、フルード数は、

$$N_f = f \left(\frac{Q^2}{D_1^5} \right)$$

というような、流量と流入渠径の関数となります。

この結果、模型と実物とのフルード数が等しければ

$$\frac{Q_{\text{模型}}}{Q_{\text{実物}}} = \frac{D_{1 \text{ 模型}}^{5/2}}{D_{1 \text{ 実物}}^{5/2}}$$

という関係が得られます。形態的な相似点は勿論のこと遮集率 (遮集管に入る流量の比率) も同じでなくてはなりません。

フルード数は

$$N_f = f \left(\frac{V^2}{S} \right)$$

と表わせますので、沈降速度に関する縮尺比 λ は

$$\frac{v_s^2 \text{ 模型}}{v_s^2 \text{ 実物}} = \frac{D_2 \text{ 模型}}{D_2 \text{ 実物}} = \lambda$$

D_2 : スワール径、 v_s : 沈降速度、 λ : 縮尺比

と表わせます。

沈降速度は粒子径、比重などで決まってくるので、この模型実験では合成物質を用いました。これらの物質によって、設定した粒径分布と比重をもつ粒子に対しては実物に比べて縮尺された沈降速度を得ることが出来、さらに重要なことには、水理模型を最適化するように出来たということです。

スワールの設計特性

雨天時の越流下水による水質汚濁を防止するのにスワールが有効となるためには、巾広い流量変化と固形物濃度変化のある条件化でも正常に機能しなければならないわけでありまして、スワールの各部品は十分注意をもって設計されなければならないと思います。

流入渠 (inlet ramp)

流入渠 (図-1(a), a) は、流入下水をスワールの底部に導き、固形物が分離される機会をより多くするものであります。

流入水は、固形物が直接越流堰から流出してしまわないように、乱流であってはいけません。し

かも、水がスワールの周辺部を廻るのに十分なエネルギーがなくてはなりません。また低流量時に自然清浄が行えるよう、流入渠の底はV字形をしているのがよいと思います。

流向制御板 (deflector)

流向制御板 (図-7(a), b) は垂直に立った板でありまして、流入渠の内壁の延長であります。これによって流入下水の流向が定まり、スワールの周辺部に沿ってより長い流下距離をとることができ、固形物分離の機会が多くなっております。

スカムリング (scum ring)

スカムリング (図-1(a), (c)) は浮遊固形物が越流するのを防止するものであり、越流堰頂から少なくとも15.2cm下まで伸びていなくてはなりません。また浮遊物が浮遊物除去トラップまで到達する間に、堰から越流してしまうのを防止しなければなりません。

越流堰とダウンシャフト (overflow weir and downshaft)

越流堰と堰板 (図-1(a), d) はスワール内部を通り抜け、沈降性および浮遊性の固形物の大部分が除去された水が中心部のダウンシャフト (図-1(a), i) を通ってスワールから出ていくようにするためのものです。その後、この越流水は貯留される場合もありますし、河川に直接バイパスされる場合もあります。

スポイラー (spoilers)

スポイラー (図-1(a), e) はダウンシャフトからスカムリングの方向に放射状に伸びた流向指示装置でありまして、堰板の上に垂直に立っています。スポイラーによって、スワールが過負荷になっている場合でも効果的な運転ができますし、乱流状態や渦巻状態が生じるのを防止して常に適正な運転が達成されます。

浮遊物除去トラップ (floatables trap)

浮遊物除去トラップ (図-1(a), f) は、雨天時の運転時に浮遊物を堰板の下に閉じ込めておくための表面流の流向指示装置であります。スワール内部の水位が低下してきますと、浮遊物は汚水管から出て行きます。

汚水管流出口 (foul sewer outlet)

汚水管流出口 (図-1(a), g) は、スワール底部に設けられたオリフィスでありまして、ここから晴天時下水あるいは雨天時の濃縮された下水が流出していき、遮集管を通して処理場へ送られるのであります。オリフィスの位置は固形物濃度が最大となるところにあり、さらに目詰まりの問題

が生じないように設計されております。

ガター (floor gutter)

ガター (図-1(a), h) は晴天時の流量が流れるところで、流入渠から汚れ管流出口まで連なっております。これによって晴天時下水中の固形物が沈殿するのを防いでおります。

模型：固液分離効果

スワールの原理を発展させるための初期段階の縮尺された水理模型には生下水を使用することができませんでしたので、砂および沈降性固形物としてはギルソナイト (gilsonite) という合成物質で実験しました。この物質は、天然の炭化水素で出来ており、各種の固形物組成を示すことができます。また、浮遊物としてはペトロテン (pethrothene) を使用しました。

実物のスワールに対しては、次のような除去効率が予想されます。

比重が 0.90~0.96、粒径が 5~50 mm の浮遊物に対しては 65~80% の除去率が得られます。

比重が 2.65、粒径が 0.3 mm 以上の砂に対しては 90~100% の除去率が得られます。0.2 mm まで粒径が小さくなると除去率は 75% 程度になり、さらに 0.1 mm までになりますと 40% 以下となってしまいます。

比重が 1.2、粒径が 1 mm 以上の沈降性有機固形物に対しては 80~100% の除去率が期待されます。1 mm 以上の径の固形物は、全沈降性固形物の 65% を占めております。さらに粒径が小さな固形物に対しては、0.5 mm までの粒径に対し 30%、0.3 mm までの粒径では 20% 以下となります。

実物のスワールでは、設計流量の 150% まで流しても、上述したような除去率が得られると思います。

スワールのパイロットおよびフルスケール実験

シラキュース (Syracuse, New York)

(スワール調節装置／濃縮装置、実規模)

ニューヨーク州シラキュースの West Newell Street の雨水吐の所に、直径 3.6 m のスワールが設置されました (図-2)。スワールに流入する洪水用の設計流量は、管径 0.61 m の合流式の流入管渠の最大流下能力 (33,687 $\text{m}^3/\text{日}$) に基づいておりまして、また水質制御のための設計流量は、模型実験から 25,738 $\text{m}^3/\text{日}$ と定められました。

実験結果によりますと、スワールは越流量比が 10 倍以上の広い範囲に渡っても効果的に働き、しかも通常の沈殿法あるいは浮上法に要する時間に比して、ほんの短い時間で浮遊物を効果的に分離することができます。最低でも浮遊性固形物および BOD₅ の 50% を除去することができます。

表-1、2 はシラキュースの処理効率を示したのですが、25,738 $\text{m}^3/\text{日}$ というシラキュースの

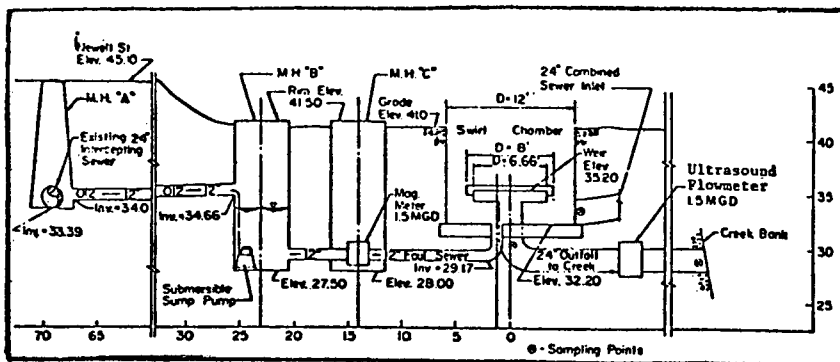


Figure 2. Profile of Syracuse, NY Swirl Regulator/Concentrator

Table 1. Swirl Regulator/Concentrator: BOD ₅ Removal						
Storm-No.	Mass Loading, kg			Average BOD ₅ per storm, mg/l		
	Influent	Effluent	% Rem.	Inf.	Eff.	% Rem.
7-1974	277	48	82	314	65	79
1-1975	97	30	69	165	112	32
2-1975	175	86	51	99	70	29

Table 2. Swirl Regulator/Concentrator: Suspended Solids Removal									
Storm No.	Swirl Concentrator						Conventional Regulator		
	Mass Loading kg			Average SS per storm, mg/l			Mass Loading kg		
	Inf.	Eff.	% Rem. ^b	Inf.	Eff.	% Rem. ^b	Inf.	Underflow	% Rem. ^a
02-1974	374	179	52	535	345	36	374	101	27
03-1974	69	34	51	182	141	23	69	33	48
07-1974	93	61	34	110	90	18	93	20	22
10-1974	256	134	48	230	164	29	256	49	19
14-1974	99	57	42	159	123	23	99	26	26
01-1975	103	24	77	374	167	55	103	66	64
02-1975	463	167	64	342	202	41	463	170	34
06-1975	112	62	45	342	259	24	112	31	27
12-1975	250	168	33	291	232	20	250	48	19
14-1975	83	48	42	121	81	33	83	14	17
15-1975	117	21	82	115	55	52	117	72	61

^aFor the conventional regulator removal calculation, it is assumed that the SS concentration of the foul underflow equals the SS concentration of the inflow.

^bData reflecting negative SS removals at tail end of storms not included.

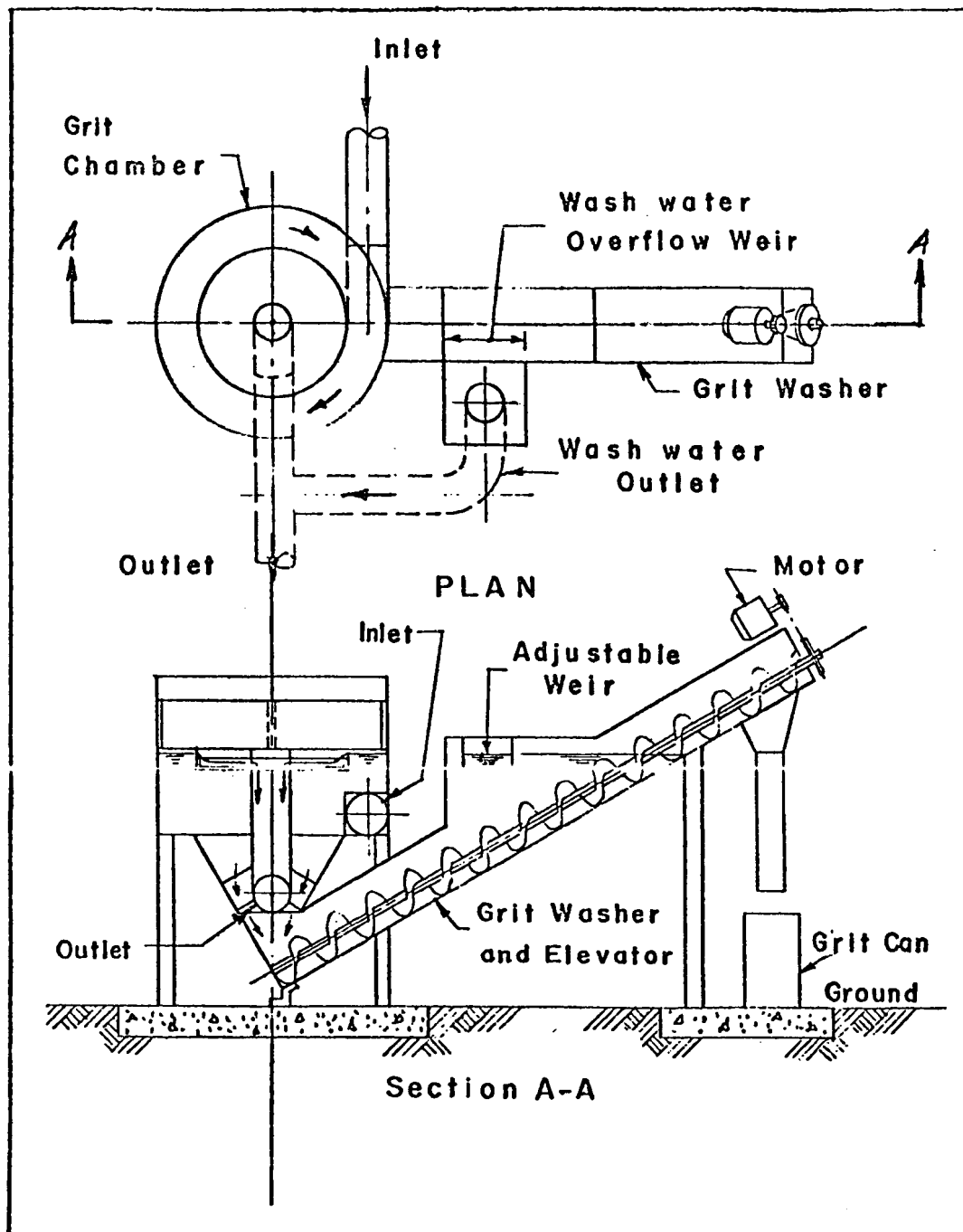


Figure 3. Suggested Swirl Degritter Layout for Above-the-Ground Installation with Inclined Screw Conveyor

スワールの場合の費用は、55,000 ドルすなわち 2 ドル / m^2 / 日で排水区域 / (ha) 当り 2,470 ドルという非常に経済性の高いものです。

デンバー (Denver, Colorado)

(スワール沈砂装置, パイロットプラント)

デンバー首都圏衛生公社の第一部局⁵によって、1.8m という大きなスワール沈砂装置のパイロット施設が設計されました。図-3 に陸上部の配置図を示してあります。

家庭下水に 0.25 mm の砂をバッチで投入した実験によりますと、このスワールは上々の成果を収めております。比重が 2.65、粒径が 0.2 mm 以上の砂に対しては、通常の沈砂装置と同様の除去率が得られております。通常の沈砂池の 1 / 10 の容量を持った実規模のスワールでの滞留時間は 20 秒以下であります、通常の沈砂池では 1 分かあるいはそれ以上であることが普通であります。

小さな容量で高い除去率を得、さらに可動部分がないというスワール沈砂装置は、通常の沈砂システムに比較し経済面および管理面での利点をもっております。

トロント (Toronto, Canada)

(スワール一次固液分離装置、パイロットプラント)

スワールによって汚水、合流式下水道越流水、雨水流出水の一次処理が可能かどうかの研究が行われ、その結果、スワールではラフな前処理ができるということがわかりました。当所、直径 0.9 m の模型と数学モデルが、ラサール水理実験所 (the Lasalle Hydraulic Laboratory, Ltd.,) で試験され、設計の概略と基礎を得ることができました。

水理模型実験は I R A-93 という合成固形物を用いて行われましたが、この物質は汚水中に含まれている固形物の特性をよく表わしておりました。¹¹ 設計基準はフルード則に基づいておりまして、直径 3.7m のスワールのパイロット実験に移されたわけですが、これはトロントのハンバー (Humber) 下水処理場で実施されました。

パイロット実験は設計流量として 1,137 m^3 / 日と 1,700 m^3 / 日の 2 つが選ばれて実施されたわけですが、通常の沈殿池と同様の 40% 固形物除去率を得ることが出来ました。この除去率の場合、ハンバー処理場の沈殿池は 1.06 時間の滞留時間で、8146 m^3 / m^2 / 日という水面積負荷を持っているわけですが、スワールは各々の設計流量に対して滞留時間 0.34 時間、水面積負荷 108 m^3 / m^2 / 日および滞留時間 0.23 時間、水面積負荷 162 m^3 / m^2 / 日という値でありました。スワールの滞留時間には通常の沈殿池と比較するために汚泥ホッパーへの固形物かき寄せ時間も含まれているのですが、除去率が上限値の 60% に近づくにつれてスワールの大きさ、滞留時間は通常の沈殿池に等しくなっていく結果が得られました。(図-4)。

この研究によってスワールが一次処理施設として適用できること、および水理模型による最適化

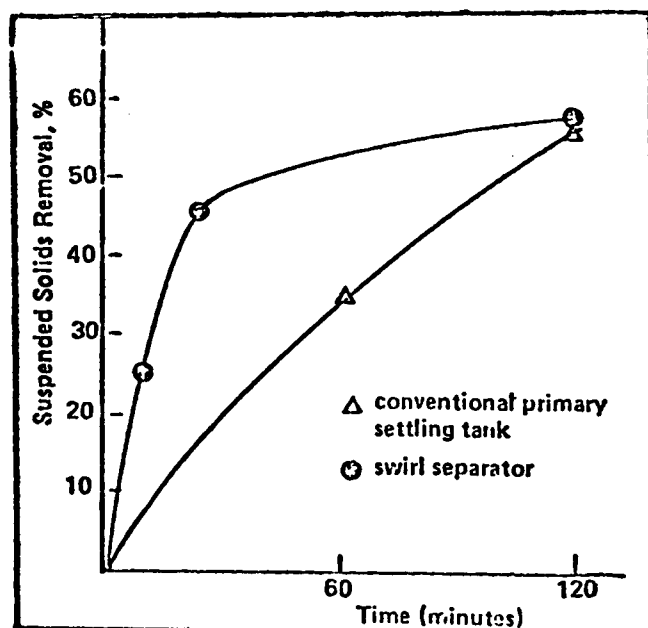


Figure 4. Comparison of Time to Achieve Primary Treatment: Swirl vs Conventional at Humber Wastewater Treatment Plant, Toronto, Canada

が正当なものであることがわかりました。短い滞留時間の間に、固形物は慣性力、重力および凝集により沈殿するわけです。図-4によりますと、50%の除去効率の場合には通常の沈殿池よりももっと短い滞留時間で所要の除去率を達成出来ることが、トロントの処理場での結果としてわかったのであります。さらに重要なことは、雨水処理に応用する場合の話として、晴天時よりも高い雨天時流速によって雨水中にはもっと重い固形物が含まれていますので、固形物はもっと容易に分離されることが考えられます。このようなことから、通常の沈殿池よりもスワールのほうがはるかに有利であることがうかがえるのであります。

スワールの利点をまとめてみますと

- (1) 通常の沈殿池よりも必要とする土地が狭いこと
- (2) 沈降固形物のかき寄せのために汚泥かき寄せ機などを取り付ける必要がないこと

ということになりましょう。(2)の利点は、スワールの底部にきついテーパーをつけることによってさらに大きくすることができますし、また費用の増加を防ぐという意味もあるわけでございます。

年間の維持管理費は、1,893 m^3 /日以下のものでは3,000ドル以内でありますし、水面積負荷を考えると通常の半分以下でありますから、土地の値段が高い都市域にあってはスワールの競争力は大きいものと思います。

技術者が考えねばならないことは、建設費、維持管理費などありますが、土地がないところで

は、通常の沈殿池に比較して、同能力でしかも規模が小さいスワールの維持管理費が如何に安いものか考えて見られるとよいと思います。

ロチェスター (Rochester, New York)

(スワール一次固液分離装置+スワール沈砂装置、パイロットプラント)

ニューヨーク州ロチェスターのモンロー郡水道局のもとで、合流式下水道越流水の水質制御のためのいくつかの対策を調査するために、スワールのパイロットプラント実験が行われました。

この研究の主眼点は、一次処理レベルの除去率を達成し得るのに最も経済的なプロセスを開発することでありまして、様々の変化に富む合流式下水道越流水の処理を行って、各々のプロセスの比較が行われたわけでございます。とくに、高濃度の初期流出水の処理は重要なことであります。

パイロットプラントは、スワール沈砂装置とスワール一次分離装置を連続したものでして(図-5)、沈砂装置は直径 0.914m、深さが約 1.22m であります。通常運転の場合には、沈砂装置を通った下水が一次分離装置に流入するのでありますが、沈砂装置を通らずに直接一次分離装置へ流入するようなバイパスも設置されました。スワール一次固液分離装置は直径が 1.8m、深さが約 1.8 m でありまして流入管径は 10cm、放流管径は 7.6cm であります。

流量は 0.9ℓ/秒から 4.4ℓ/秒であります、フルード則を用いて 46m の直径のスワールに拡張し

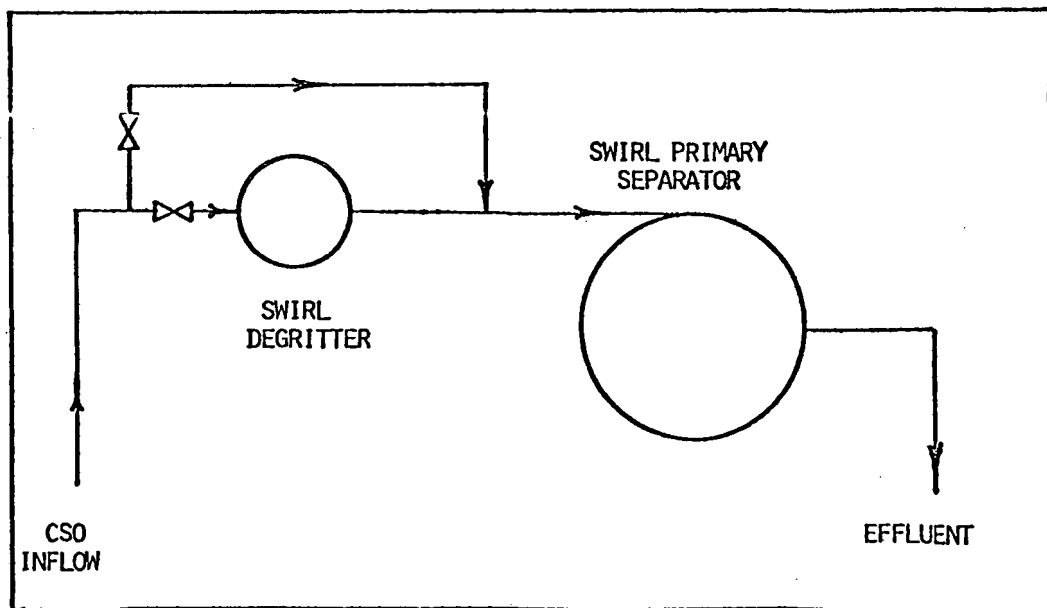


Figure 5. Schematic Diagram of Swirl Pilot Facility in Rochester, NY

ますと、 $757 \text{ m}^3/\text{日}$ から $3,785 \text{ m}^3/\text{日}$ ということになり、水面積負荷は各々 $51 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ 、 $233 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ という値であります。流入水量、流入水質に合わせてSSの除去率を関連づけるような数学モデルが開発されております。

数学モデルに含まれる数式は、スワールの初期の段階の研究開発^{2,3,4,6}によって得られた設計曲線とも比較されています。固形物の粒径分布の相異を考慮しますと、ロチェスターの結果は、初期の研究成果を裏付ける形となっています。

ランカスター (Lancaster, Pennsylvania)

(スワール調節装置／濃縮装置＋スワール沈砂装置、実規模)

初期段階のスワール調節装置／濃縮装置とスワール沈砂装置の水理模型による研究がペンシルバニア州のランカスターで行われました。このシステムはEPAの補助金¹⁵を得て実施されたものでありまして、直径7.3mのスワール調節装置／濃縮装置と直径2.4mのスワール沈砂装置を連結し、ポンプ場、遮集管へ污水が流入する前に砂を除去しようというものであります(図-6)。上流で

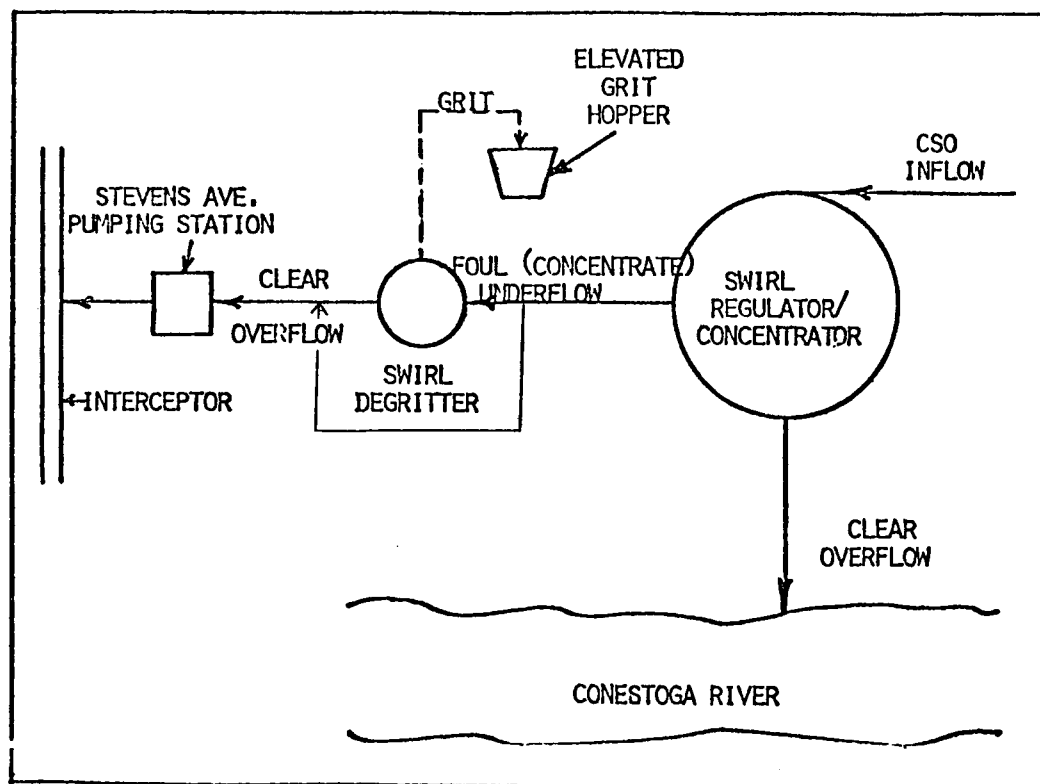


Figure 6. Schematic Diagram of Swirl Prototype System at Lancaster, Pennsylvania

砂を除去することによって下流のポンプ場のトラブルとか下水管渠内の砂の堆積などが防げますから、ランカスターの下水道システムのトラブルをなくすることができるものと思います。スワール調節装置／濃縮装置からの比較的清浄な越流水は、滅菌されコネストが川 (the Conestoga River) に直接放流されます。このスワールシステムが受け持つ排水区は55haであります。

晴天時および雨天時の污水管流出量は、下流の遮集管能力から12,200 m³/日となっておりまして、晴天時はスワール沈砂装置を通らずにバイパスされ、雨天時には約SS濃度1000 mg/ℓまで濃縮されてスワール沈砂装置に流入します。

スワール調節装置は、はんらんを起すことなしに、上流からの最大流入管渠能力である 1.1×10^6 m³/日の下水をさばけるよう水理的な設計が行われておりますが、設計処理流量は97,650 m³/日でこれは1年に6回ぐらい起る降雨流出を対象とし、総SS負荷量の65%が除去されると思われます。²

水理模型実験から、220,060 m³/日以上流入量があった場合には、非常に強い流れの場が生じて効果的な処理が出来なくなることがわかりましたので、スワールの側壁に越流装置を設け、220,060 m³/日以上流量部分はそこから処理を受けずに直接放流することにしました。それでも、残りの220,060 m³/日以下の流量は、引き続き効果的に処理されることができるようであります。

このシステムの建設費は、調節装置、沈砂装置、制御室、マイクロスクリーン、調節装置の覆蓋および付属品、計器などを含めまして、669,000ドルでありまして、処理水量および排水面積当りの単価は、0.61ドル/m³/日、12,163ドル/haということになります。

侵食防止装置としてのスワール

侵食—沈殿は大地の裸地化、水面の埋没化および水質汚濁を惹き起すわけでありまして、都市化によって侵食速度は2ないし3オーダー高くなるわけでありまして、 $3.5 \times 10^4 \sim 10^5$ kg/km²/年から $3.5 \times 10^5 \sim 10^7$ kg/km²/年という大きさになってしまいます。¹⁴ 現在の米国の都市化の速さというものを考えてみますと、1,620ha/日ということですので侵食／沈殿は環境問題の主たるものと認識されねばならないと思います。

EPAとの契約のもとで、APWAが図—7に見られるようなスワール侵食防止装置を開発したのでありますが、この装置は、建設現場あるいは他の場所で雨水流出水中の侵食土砂を効果的に除去するものと思われます。このようなスワールは、直径3.66m、深さ0.9mの通常の集水タンクに、適当な流入管、円形の越流堰、活水管および必要な装置を取り付ければ簡単に、経済的に設置することができるのであります(図—7)。この装置は簡単に他の場所に移動出来るわけでありまして侵食土砂を含んだ流出水を処理することができます。もし永久構造物とするためには、コンクリートで固めればよろしいわけであります。

土砂が除かれた流出水は、排水施設へ流入させたり、放流先へ直接放流したりあるいは処理地点等へ送ってやることができます。収集された固形物は、污水管を通して侵食地点に戻してやるとか、

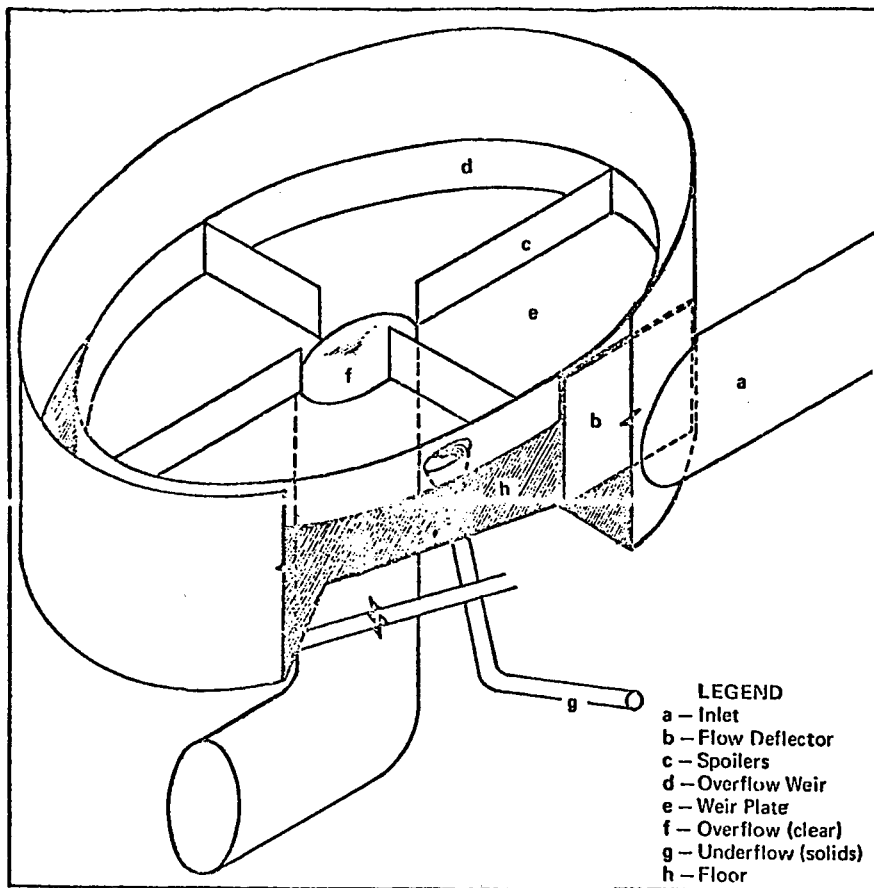


Figure 7. Isometric of Swirl Concentrator as an Erosion Control Device

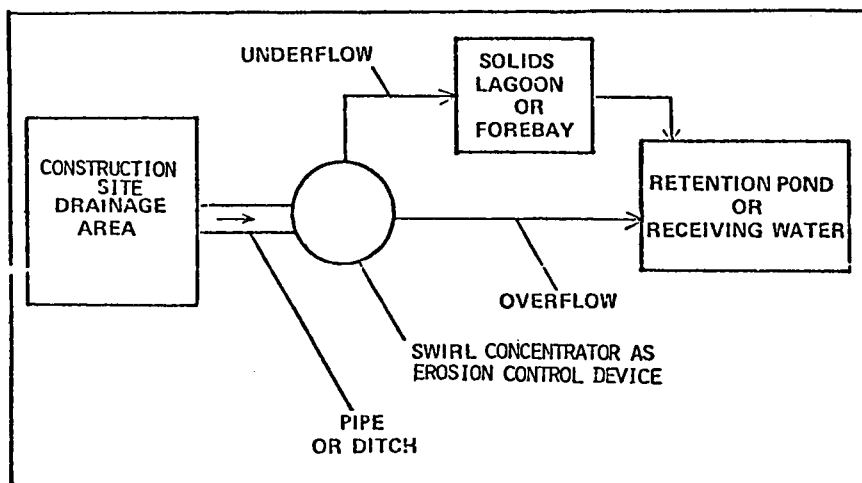


Figure 8. Swirl Erosion Control Device Schematic Diagram

あらかじめ決めておいた利用目的に使用することができます（図－8）。

都市流出による水質汚濁防止装置としてのスワール

合流式下水道越流水用のスワールと似たような考え方で、分流式下水道の雨水管渠系から流出する下水についても、放流前にスワールで処理することができます。濃縮された下水は、総流出水量に比較すると非常に小さな容量でありますから、小さな貯留槽に一時的に貯めておいて低流量時に活水管渠系へ流入させ、処理場へ送ることもできますし、もし汚水管渠に余裕があれば、貯留槽を設けずに直接汚水管に流入させるということもできるかと思います（図－9）。このような雨水制御方式は、巨大な雨水流出水の貯留槽を設けるよりも大変安価なものでありますし、また分流式の雨水を二次処理施設で処理するという可能性をも提供してくれるわけであります。

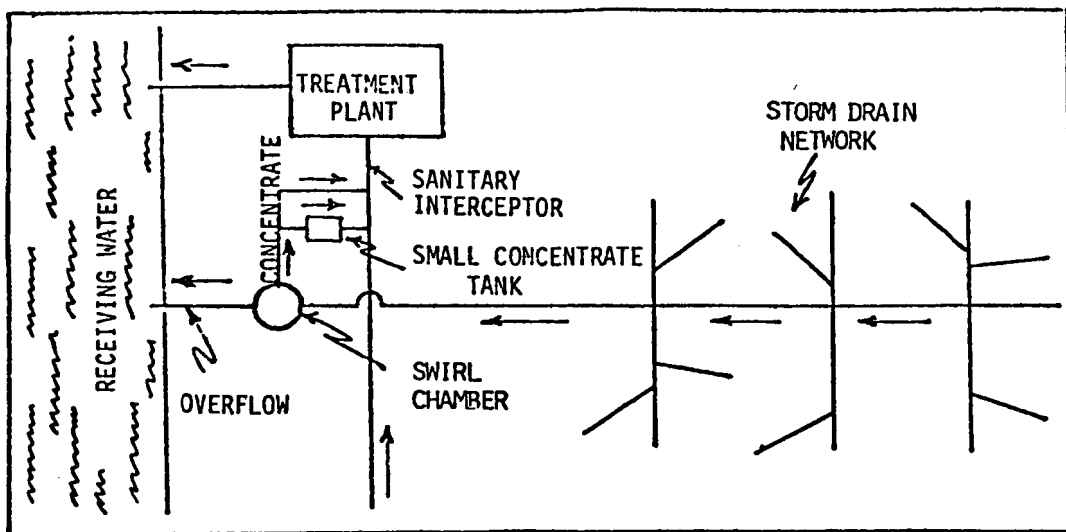


Figure 9. Swirl Urban Storm Runoff Pollution Control Device Schematic Diagram

Wet-Weather Treatment Plant Performance Data

DEVICE	CONTROL ALTERNATIVES	DESIGN LOADING RATE (gpm ft ²)	REMOVAL EFFICIENCY (%)	
			BOD ₅	SS
PRIMARY	SWIRL CONCENTRATOR	60	75-80	50
	MICROSTRAINER	20	40-60	70
	HIGH-RATE FILTRATION	24	60-80	90
	DISSOLVED AIR FLATATION	2.5	50-60	80
	SEDIMENTATION	0.5	25-40	55
SECONDARY	REPRESENTATIVE PERFORMANCE		40	60
	CONTACT STABILIZATION		75-88	90
	PHYSICAL-CHEMICAL		85-95	95
	REPRESENTATIVE PERFORMANCE		85	95

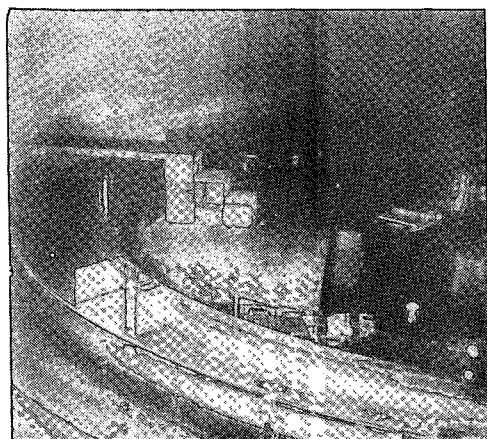
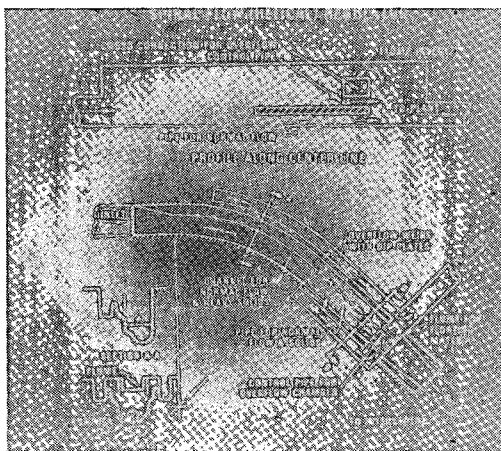
COST ESTIMATES FOR WET-WEATHER CONTROL DEVICES				
Device	Control Alternative	Estimated Capital Cost		Total \$100,000
		\$/ft ²	\$/ft ²	
Primary	Swirl Concentrator	5,771.0	0.75	2,555.0
	Microstrainer	7,704.0	0.25	9,178.0
	High-Rate Filtration	2,111.0	0.25	2,111.0
	Dissolved Air Flotation	32,436.7	0.25	40,545.7
	Sedimentation	1,111.0	0.25	1,111.0
Secondary				
Secondary	Swirl Concentrator	1,111.0	0.25	1,111.0
	Microstrainer	1,111.0	0.25	1,111.0
	High-Rate Filtration	1,111.0	0.25	1,111.0
	Dissolved Air Flotation	1,111.0	0.25	1,111.0
	Sedimentation	1,111.0	0.25	1,111.0
Tertiary				
Tertiary	Swirl Concentrator	1,111.0	0.25	1,111.0
	Microstrainer	1,111.0	0.25	1,111.0
	High-Rate Filtration	1,111.0	0.25	1,111.0
	Dissolved Air Flotation	1,111.0	0.25	1,111.0
	Sedimentation	1,111.0	0.25	1,111.0

スワールの原理は、固液分離が望まれる所ではどこでも活用することが出来るのでありまして、水質汚濁制御の分野では、汚水および雨水からの沈砂ということの他に、一次固液分離、汚泥濃縮、終沈というような方面に利用出来ましょう。スワールは一定の攪拌プロセスを生み出すわけですから、薬品添加による凝沈とか滅菌などを終沈の段階で同時に行うという可能性も考えられるわけがあります。またこの他には各種の産業プロセスにも利用できましょう。

比較的定常状態を保っている晴天時の都市下水、産業排水に対しては、合流式下水道越流水を処理するときほど運転は難しくありません。水理模型および数学モデルからしますと、定常流の場合にはもっと除去効率が増加するものと思われます。

スワールに関しては、大きなものを1つ取り付けるよりせ、半分のものを2つ取り付けたほうが効果は良いようであります。と申しますのは、2つのスワールを並列しておけば、設計流量より小さい流入下水に対してはそのうちの1つを運転させておき、雨天時の流入があって設定値を越えた流量が流入してきたときにもう1つのスワールを稼働させてやればよいわけだからです。このようにして、大きな流量時でも小さな流量時でも分離効果を高く保てるわけなのですが、もう一つ別の側面から考えてみますと、片一方でかなり大まかな固形物分離を行って、別の装置の方できめ細かな固形物分離を行うということも可能ではないかと思えます。

これで私の発表は終わりですけど、長い間ご清聴有難うございました。



参 考 文 献

1. Smisson, B., "Design, Construction and Performance of Vortex Overflows." Proc., Symp. on Storm Sewage Overflows, Inst. Civil Eng. (G.B.) 1967.
2. American Public Works Association. "The Swirl Concentrator as a Combined Sewer Overflow Regulator Facility." EPA, EPA-R2-72-008, NTIS No. PB 214 134, September 1972.
3. Sullivan, R.H., et al. "Relationship Between Diameter and Height for the Design of a Swirl Concentrator as a Combined Sewer Overflow Regulator." EPA, EPA-670/2-74-039, NTIS No. PB 234 646, July 1974.
4. Sullivan, R.H., et al. "The Swirl Concentrator as a Grit Separator Device." EPA, EPA-670/2-74-026, NTIS No. 233 964, June 1974.
5. Sullivan, R.H., et al. "Field Prototype Demonstration of the Swirl Degritter." Draft copy of EPA Report, EPA Grant No. S803157, January 1977.
6. Sullivan, R.H., et al. "The Swirl Primary Separator: Development and Pilot Demonstration." Draft copy of EPA Report, EPA Grant No. S803157, January 1977.
7. Sullivan, R.H., et al. "The Swirl Concentrator for Erosion Runoff Treatment." EPA, Report at Publishers, EPA-600/2-76-271, February 1977.
8. American Public Works Association. "Problems of Combined Sewer Facilities and Overflows 1967." EPA, 11020—12/67, NTIS No. PB 214 469, December 1967.
9. Black, Crow & Eidsness, Inc. and Jordan, Jones & Goulding, Inc., for The National Commission on Water Quality. "Study and Assessment of the Capabilities and Cost of Technology for Control of Pollutant Discharges from Urban Runoff." Draft Report, July 1975.
10. Heaney, J.F., et al. "Nationwide Evaluation of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharge, Volume II: Cost Assessment and Impacts." EPA, Report at Publishers, 1977.
11. Dalrymple, R.J., et al. "Physical and Settling Characteristics of Particulates in Storm and Sanitary Wastewaters." EPA, EPA-670/2-75-011, NTIS No. PB 242 001, April 1975.
12. Drehwing, F.J., et al. "Pilot Plant Studies - Combined Sewer Overflow Abatement Program (Rochester, NY)." Draft copy of EPA Report, EPA Grant No. Y005141, November 1976.
13. Field, R., et al. "Treatability Determinations for a Prototype Swirl Combined Sewer Overflow Regulator/Solids Separator." Proceedings: Urban Stormwater Management Seminars, EPA, WPD 03-76-04, January 1976, pp. II-99 to II-111. Paper also presented at the International Association on Water Pollution Research-Workshop, Vienna, Austria, September 1975, and at the New York Water Pollution Control Association Annual Meeting, January 1976.
14. Sullivan, R.H., et al. "Nationwide Evaluation of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharge, Volume III: Characterization." Draft copy of EPA Report, EPA Contract No. 68-03-0283, January 1977.

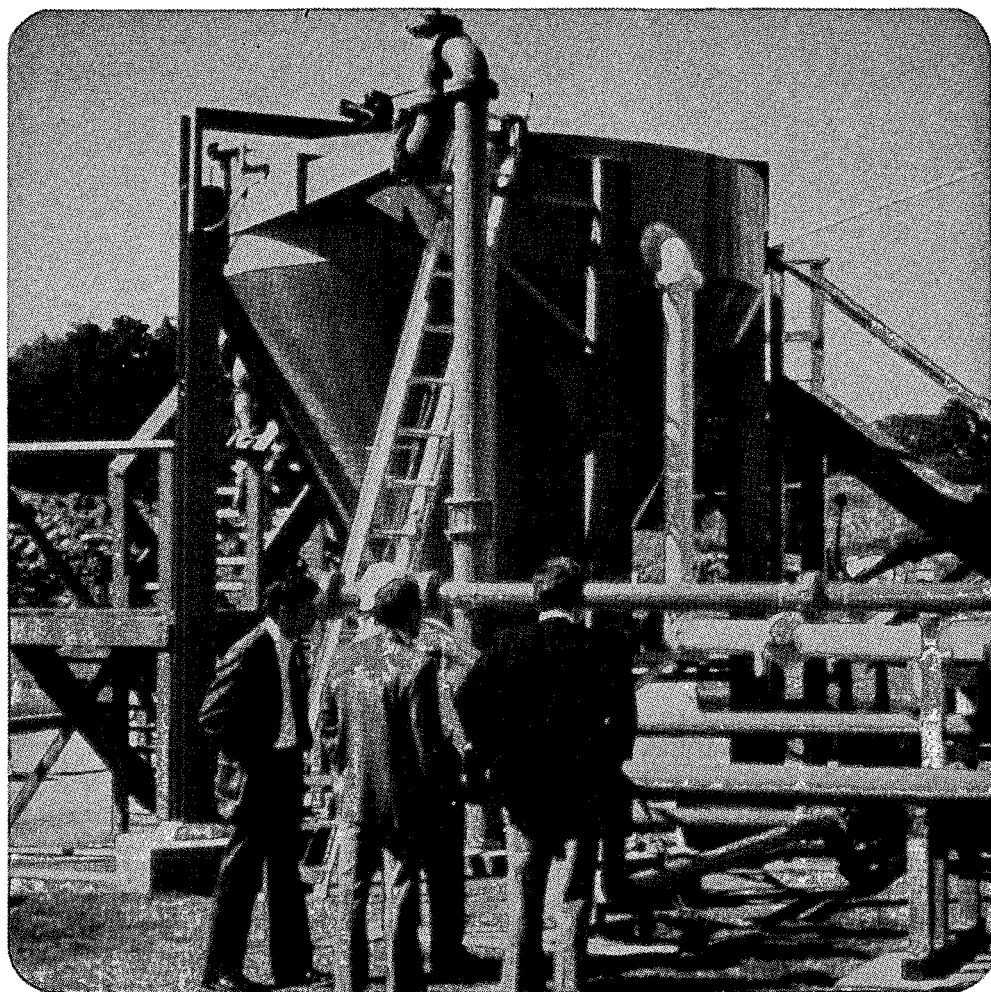
15. EPA Demonstration Grant No. S802219 (formerly 11023 GSC), "Demonstration of a Dual Functioning Swirl Combined Sewer Overflow Regulator/Solids-Liquid Separator with Swirl Degritter," City of Lancaster, Pennsylvania. Estimated operation start and project completion dates, December 1977 and December 1979, respectively.

その他のスワールに関する文献

1. White, R.A., "A Small Scale Swirl Concentrator for Storm Flow." Thesis, University of Wisconsin. Milwaukee, Wisconsin.
2. Sullivan, H.R., et al. "The Helical Bend Combined Sewer Overflow Regulator." EPA, EPA-600/2-75-062, NTIS No. PB 250 545, December 1975.
3. Field, R., "The Dual Functioning Swirl Combined Sewer Overflow Regulator/Concentrator." EPA, EPA-670/2-73-059, NTIS No. PB 227 182, September 1973.
4. Field, R., "Design of a Combined Sewer Overflow Regulator/Concentrator." Jour. Water Poll. Control Fed., 46(7):1722-1741, 1974.
5. Field, R., "The Dual Functioning Swirl Combined Sewer Overflow Regulator/Concentrator." Pergamon Press (G.B.) October 1973.
6. Field, R., "A Swirl Device for Regulating and Concentrating of Combined Sewer Overflows." News of Environmental Research in Cincinnati, October 25, 1974.
7. Field, R., et al. "Give Stormwater Pollutants the Spin." The American City and County, 77-78, April 1976.
8. Benjes, H.H., Jr. "Cost Estimating Manual-Combined Sewer Overflow Storage Treatment." Report at Publishers, EPA, EPA-600/2-76-286, 1977.
9. Field, R. and E.J. Struzeski, Jr. "Management and Control of Combined Sewer Overflows." Jour. Water Poll. Control Fed., 44(7):1393-1415, 1972.

参 考 資 料

合流式下水道越流水の調節／処理のためのスワールについて



写真－1 実規模のスワール一次固液分離装置

1. 研究の意義

合流式下水道から雨天時に未処理で放流される雨天時越流水は、雨天時の水質汚濁源として重要なものである。米国全体では、おおよそ1万5千から1万8千カ所の合流式下水越流地点があり、雨天時に都市から排出される総有機物負荷量の40~80%がこれに由来している。米国全体で合流式下水道システムからの越流水による汚濁を軽減させるためには、その投資額は250億ドルにも達するものと推定されている。

雨天時の水質汚濁の軽減を考える際には、まず、現存する合流式下水道システムの制御や不完全な流量調整装置の改善（あるいはより適正な維持）の方へ注意を向けなければならない。コンサルタントや都市の技術者は同じ意見であると思うが、流量調整装置の機械的な故障や閉塞が越流地点や分流地点で生ずると、その結果として不必要なバイパス放流が起きるのであり、これはまた晴天時にも問題となることなのである。不完全な越流構造物は静的なものであれ動的なものであれ共に水質汚濁問題全体の主要な要因である。

合衆国においては、調整装置の設計はもっぱら流量制御のため、すなわち合流式下水を処理場へ分流させ越流水を放流先へ分流させることに向けられているが、このような設計面での実情は考えなおさなければならない。越流水質を改善するために、合流式下水越流調整装置の2つの働き（量と質の制御）を強めるような下水道システムの運営をすれば、かなりの費用がかかるであろう。この2つの役割りとは下水中の固型物を濃縮してしゃ集管へ送ることと、過剰の雨天時下水を放流口に分流することである。越流調整の量的な面と質的な面の両方を表わす「2つのQ」という新しい言葉が作り出された。流量調節装置とその附属施設はより効果的な水質汚濁防止のために、放流先へ放流される越流水の量と質の両方の制御を受け持つ施設として認識されるべきである。

スワールと呼ばれる新しいタイプの合流式下水越流調整装置を開発するための多くの研究が合衆国環境保護庁の雨水および合流式下水道技術プログラムのもとで、オハイオ州シンシナチ（Cincinnati, Ohio）の都市環境研究所で行われた。この装置の設計はその形態を最適化するために水理学的、数学的なモデルにもとずいて行われた。この報告書はニューヨーク州シラキュース（Syracuse, New York）で実際に越流水を制御した実規模のスワールの成果を述べるとともに他の分野での運転について論じている。この実規模のスワールの評価事業は、現在行われているEPAの補助研究No S-802400を受けてNew York州Onondaga郡とEPAが共同で行っているものである。

2. 新しい装置

◎スワール流量調整装置／固液分離装置の構成要素

スワール型の流量調整／固液分離装置は単純な環状の構造物で、可動部分がない。図Aに示されるように変動する諸条件のもとで運転される事実上静的な装置についてはその内部を構成する各部

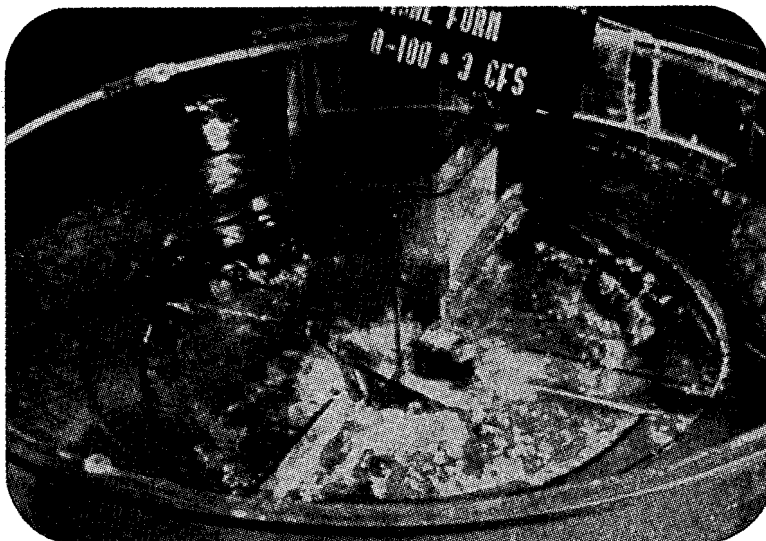


写真-2 運転中のスワール水理模型

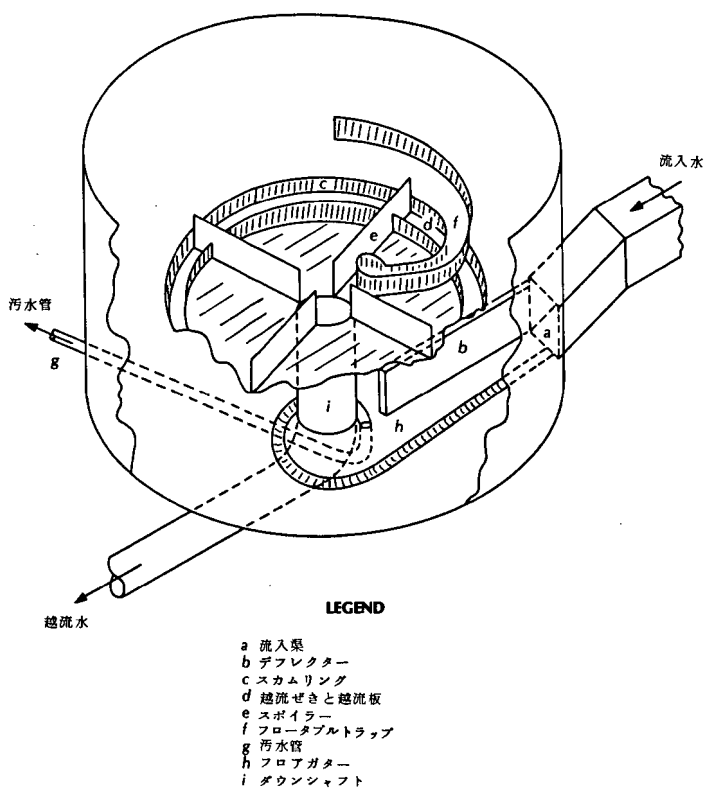


図-A スワール流量調整装置／固液分離装置の概観

の注意深い設計が必要である。

(a) 流入渠 流入渠はスワールのすぐ上流にある合流式管渠が満管となって問題を惹き起さないようにする一方、流入水をスワール装置の底部に導入するように設計されねばならない。流入水をスワール装置の底部に導入するのは可能な限り低い位置に固形物が入るようにするためである。スワール装置内で固液分離を最大にするような“長い流程”が形成されるように流れを接線方向に導くこの流入渠とその流屈口は不可欠のものである。

(b) 流向制御板 流向制御板は流入渠の内壁の延長であり、垂直で何の支えもない壁である。これは流れにあたって流れ方向を内側に変え、スワール装置内の一次流を完成するとともに装置内に2次流を生ずる水塊を形成して“長い流程”を作り出すような流れの方向づけをするもので、その位置の選定が大切である。

(c) スカムリング スカムリングの目的は越流水に浮遊固形物が流出して行くのを阻むことである。

(d) 越流せきと越流板 越流板は越流せきと、越流水を放流口へ導く中央のダウンシャフトとを結合する水平の円板である。その下部は、フローダブルトラップを通して越流板の下に入った浮遊固形物の貯蔵ぶたとして働く。このせきの垂直部分は浮遊物の貯留のために越流板の下まで延長されている。

(e) スポイラー スポイラーは越流板の上およびスカムリングとせきの間にある水の回転エネルギーを減少させてダウンシャフトの容量を増し、固液分離効率をよくするものである。

(f) フローダブルトラップ このトラップはスワールの周辺部の回転流を横切る形で延びる表面流の流向制御板で、浮遊物を、越流板を横切っている水路の中へ入れ、越流水のダウンシャフトの側壁に位置している垂直な渦状のシリンダーへ導く。この浮遊物は渦によって越流板の下へ引き込まれ越流板の下のダウンシャフトのまわりに分散させられる。

(g) 汚水管流出口 これは晴天時最大流量と濃縮スラリーの形で分離された合流式下水の固形物をしゃ集管の方へ導くように設計されたオリフィスである。

(h) ガター ガターは、晴天時に固形物が堆積するのを避けるように、流入渠と汚水管流出口とを結びつけている晴天時最大流量の流路である。

(i) ダウンシャフト 高水位の洪水状態の間、小さな容量に濃縮された下水は汚水管を経てしゃ集管へ送られ、過剰な、比較的清浄で大きな容量の下水は中央の環状のせきを越流して、貯留をうけるか、処理されるかあるいは放流先の河川に放流するためにダウンシャフトに流入する。

スワールは広い範囲の合流式下水越流率に対して効果的に働き、初沈に要する数時間という滞留時間に対して数秒から数分までのわずかな滞留時間で、沈降可能な軽い有機物質や浮遊性物質を分離する能力を持っている。

◎ SYRACUSE

直径 3.6m (12 フィート) のスワール型合流式下水越流量調整装置が New York 州 Syracuse の West Newell 通りに設置された。試験地では満管流という条件が、通常の春の越流期間の間満たされていることを建設前の調査で確認した。スワールに対する計画洪水流量は直径 24 インチの合流式下水管の最大流下能力 (890 万ガロン/日) に合わせられ、水質制御のための計画流量は模型実験から 680 万ガロン/日と定められた。

理想的に設置するとポンプは必要としないであろう。しかしながら、残念なことに、試験地では、ポンプ揚水を省くことはできなかった。Syracuse のスワールでは、合流式下水流入渠と濃縮汚水を受けるしゃ集管の水理勾配が一致しなかった。ポンプがなければ、晴天時下水のスワール内での水深は約 0.9 m となって、固形物の堆積や、降雨と降雨の間の晴天時における腐敗などの条件が作り出されてしまっていたと思われる。

それで、晴天時の間、運転する水中ポンプが汚水管の下流に設置された。

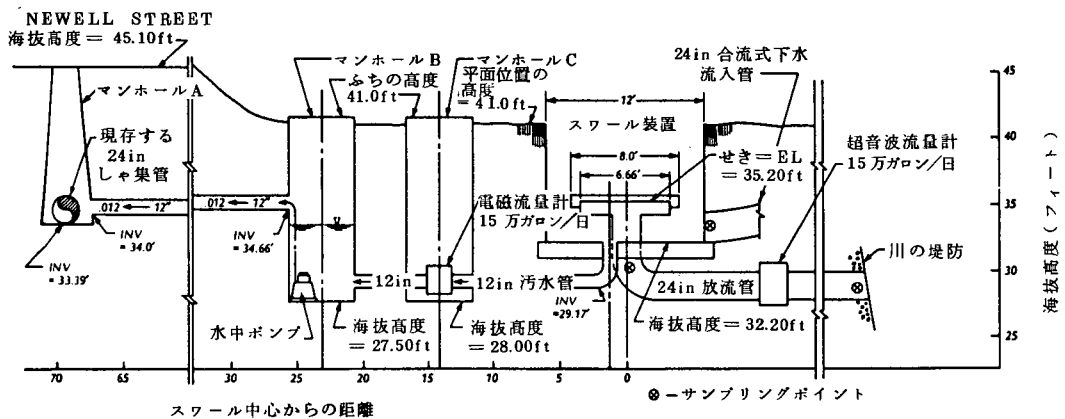


図-B Syracuse のスワール流量調整装置の断面

◎ 越流時の運転

この装置はある越流条件に即応するように設計された。直径 0.3 m の汚水管の途中に設けられた流量計が晴天時の流量と雨天時のしゃ集管へ流れる濃縮汚水の流量をはかっている。平均的な晴天時流量の範囲はほぼ $1.3 \text{ m}^3/\text{分}$ から $2.0 \text{ m}^3/\text{分}$ (50 万ガロン/日から 75 万ガロン/日) である。

しゃ集管の流下能力が $3.4 \text{ m}^3/\text{分}$ (130 万ガロン/日) なので、最大流量では容量を超える。^{*} $3.4 \text{ m}^3/\text{分}$ (130 万ガロン/日) を越える部分は、中央の越流せきの方へやられて、別の流量計で流量が測定され、滅菌されて放流先の河川へ放流される。越流が止む時はポンプが再び作動して固形

* この文章には矛盾があると思われるがそのまま訳出した (訳者注)。

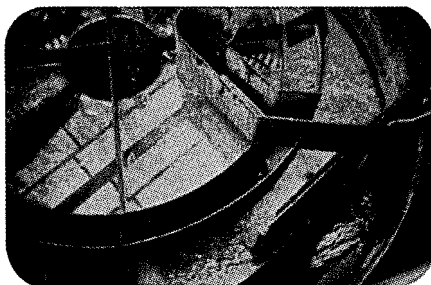
物の堆積を防ぐようなガターに沿った自然流下の流れを起こし、スワール装置内の水位を下げる。その固形物の堆積を防ぐような流速は降雨と降雨の間維持される。試料採取は越流期間中に、流入口と流出口で15分あるいは5分間隔で行われた。

◎ 粗い浮遊物の除去

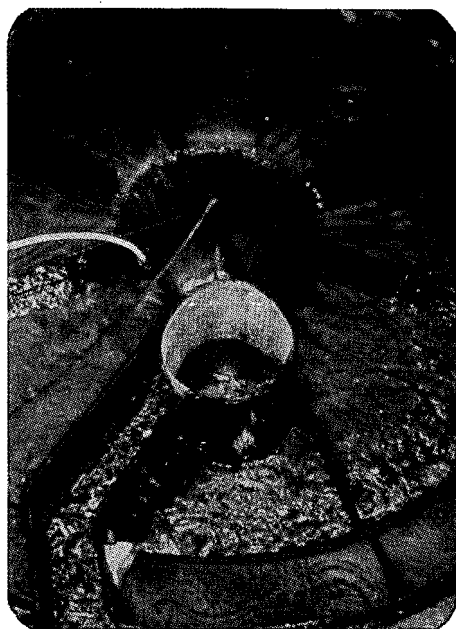
粗い浮遊物とスカムの除去は十分に行われた。越流期間中、浮遊物はスクムリング(c)によって装置の外側のリングに入れられる。そして、スワールの作用で、雨天時の貯留のためにフロートブルトラップの中や越流板の下へ入れられる。これらの汚物は後に引き抜かれて晴天時に污水管に流出される。



雨天時の運転



晴天時の運転



雨天時運転中の浮遊物の捕促

写真—3 スワール型流量調整装置

◎ 維持管理

降雨と降雨の間の期間が長くなればなる程、晴天時の固形物堆積を防ぐためにより頻繁な維持作業が必要とされるだろう。ポンプを運転していない越流時に生ずるゴミ等の堆積からポンプの閉塞が定期的に起こってしまう。

それで、越流のある度に、その後で装置内の壁や床をホースで水洗することが必要であった。ある越流が終わったとき、スワール装置の滞留時間は、最大流量での23秒から、最小流量での9分

にまで増加した。このためスワール装置の底部が固形物で浅くなるという結果となった。その後、続く晴天時の流量と流速は堆積した固形物をガターへ運んだり、汚水流出口へ流すほど大きくなった。自動水洗装置はホースで水洗する必要をなくし、維持作業を減少させた。スワール装置の清掃頻度は、ほぼ月に1回である。

West Newell 通りのスワールについて予想される所要人力は水中ポンプ（単翼インペラ）の清掃のために48時間/年（1回の閉塞につき4時間必要であり、年12回閉塞とした場合）であり、スワールの清掃に40時間/年（1回の越流ごとに4時間の清掃が必要であり、年10回越流が起こるとした場合）で、合計88時間/年である。金額に換算すれば、1800ドル/年である。

3. 運 転 結 果

◎ 固液分離効率

水 理 模 型

実験的な水理模型を用いた研究によると、合流式下水を処理するスワールの浮遊性固形物（SS）除去効率は、ほぼ65%である。粒子除去効果は、有効径と比重（または、沈降速度）の関数として決められた。比重2.65、粒径0.3mm以上の砂粒子に対する除去率は90%以上であり、粒径0.1mm（0.04インチ）の砂粒子に対しては除去率は40%以下にまで減少した。また、比重1.20、粒径1.0mm以上の沈降性有機物質に対する除去効率は80%から100%までの範囲であったが、粒径0.3mmの粒子では除去効率は20%以下にまで減少した。

実 規 模

Syracuseの実規模のスワールでは、流入した雨天時下水の全範囲で比較的良好なSS除去効率が示された（表1）。流量0.54 m³/分（20万ガロン/日）から20.5 m³/分（760万ガロン/日）の範囲でSS総負荷量の除去率とSS濃度除去率はそれぞれ33~82%および18~55%であった。図-1と図-2はTSSの除去量を時間と流量との関係で示している。曲線の間に影をつけた部分は、一般的に濃度が高い降雨初期と流量が下がる洪水の終わり近くで、より高い除去が行われる傾向のあることを示している。

図-3はSS流入濃度が増加するとともに放流水のSS量が減少する傾向をはっきりと示している。SSの流入濃度が250 mg/lをこえると、一般的にスワールへの全負荷量の50%以上を除去した。

あらゆる流量調整装置はあらかじめ設定された越流量に達するまで、流入水とそれに含まれる固形物はしゃ集管の方へ流入するように設計されているので、スワールの固形物処理能力の評価には注意を払わなければならない。このような、しゃ集管へ流れを分流させる状態は降雨の始めから終わりまで最大量で続く。しかしスワールには越流の生じている間中、しゃ集管への分流とともに固形物を濃縮するという利点がある。この濃縮効果は、先に述べた18~55%のSS濃度の除去率（表

表－１ 浮遊性固型物の除去

	スワール型固型物濃縮装置						普通の流量調整装置		
	降雨ごとのSS平均値 mg/l			負 荷 量 (kg)			負 荷 量 (kg)		
降雨番号	流入水	流出水	除去率 (%)	流入水	流出水	除去率 (%)	流入水	しゃ集下水	除去率 (%)
2-1974	535	345	36	374	17.9	52	374	101	27
3-1974	182	141	23	69	34	51	69	33	48
7-1974	110	91	18	93	61	34	93	20	22
10-1974	230	164	29	256	134	48	256	49	19
14-1974	159	123	23	99	57	42	99	26	26
1-1975	374	167	55	103	24	77	103	66	64
2-1975	342	202	41	463	167	64	463	170	37
6-1975	342	259	24	112	62	45	112	31	28
12-1975	291	232	20	250	168	33	250	48	19
14-1975	121	81	33	83	48	42	83	14	17
15-1975	115	55	52	117	21	82	117	72	62

- a. 普通の流量調整装置の除去率の計算では、しゃ集された汚水のSS濃度は流入水のSS濃度と等しいと仮定された。
- b. 降雨流出の終わり近くの負のSS除去率を示したデータは含まれていない。

－１）によって立証されている、他方通常の流量調整装置では固型物を全く濃縮しない（０％のSS除去率）と仮定されている（表－１ 脚注a）。

もし、このスワール流量調整装置が通常の流量調整装置に置き換えるとしたならば、実質のSS負荷量の減少（ふつうにしゃ集管に流れる流れに含まれるSSに帰因するもの）はスワールの３３％～８２％という効果的な除去率の範囲（表－１）に比べて１．７％～６４％の範囲になるであろう。通常の装置でも、処理場へ送るために分流した下水に含まれる固型物が除去されているので、スワールの効果と通常の合流式下水越流量調整装置の効果とを比較するためにはこの方法の方がよい方法であろう。

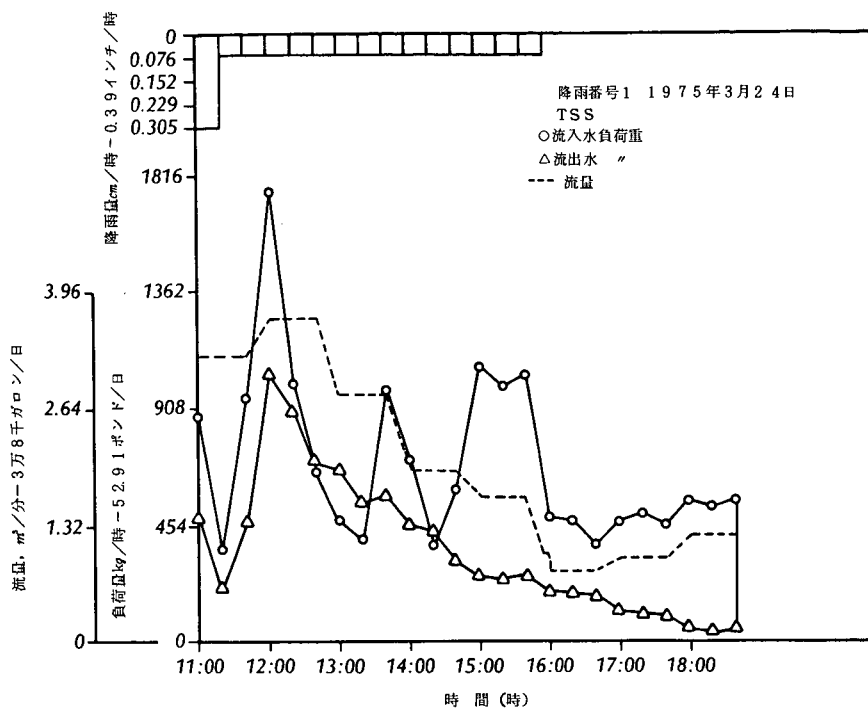


図-1 スワール流量調整装置の浮遊性固型物除去～Syracuse,N.Y. 降雨番号1

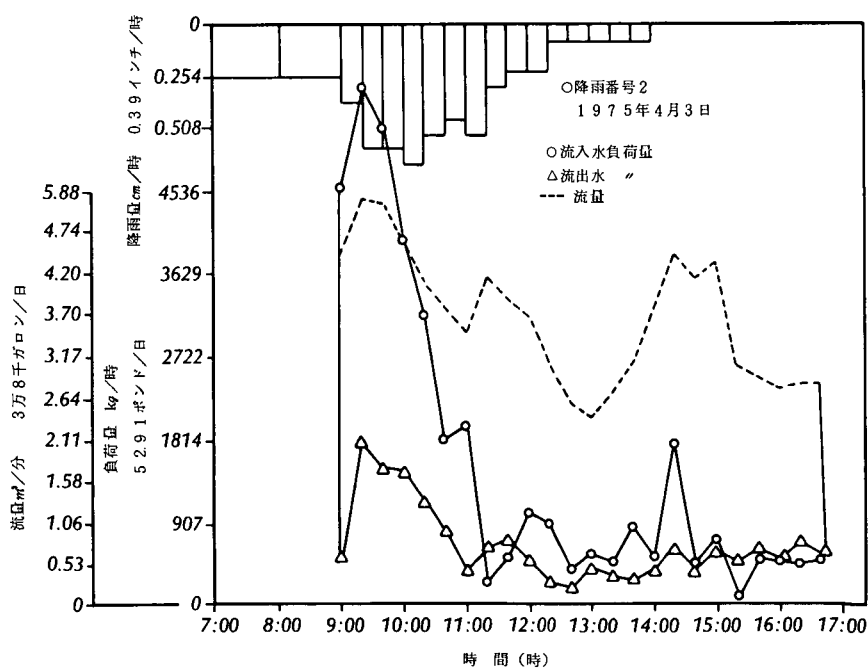


図-2 スワール流量調整装置の浮遊性固形物除去 Syracuse,N.Y. 降雨番号2

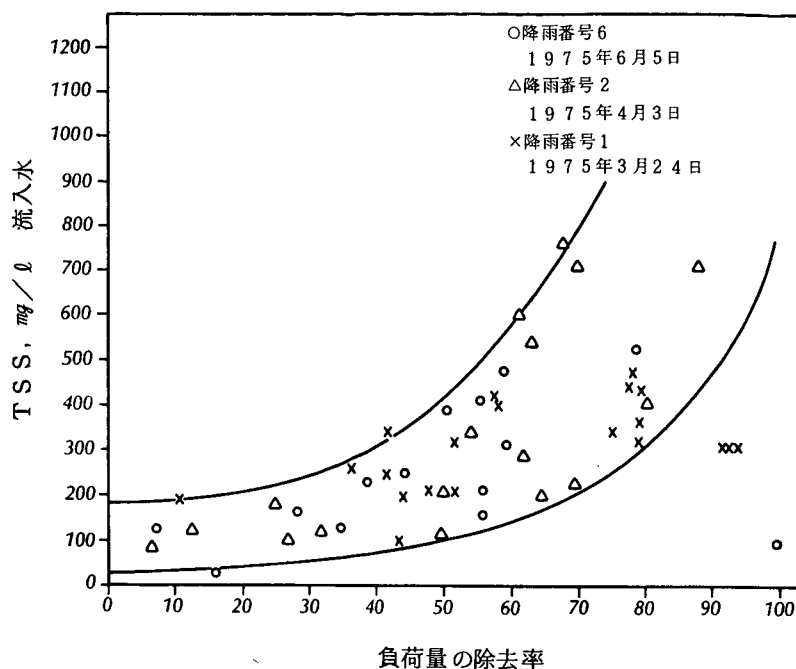


図-3 Syracuse, N.Y. のスワール流量調整装置のSS流入濃度と負荷量の除去率(%)の関係

しゃ集管の晴天時最大容量に近い小さな流量の降雨流出に対しては、スワールによる濃縮の効果は、物質収支についての物理学的原理によって減少させられる。別の言葉で言えば、「流入水対しゃ集される下水」の比あるいは「越流水対しゃ集される下水」の比が低下すれば、スワールでの濃縮によるSS除去効果という利点もまた減少する。これはしゃ集された下水の污水管への水理負荷が、普通の流量調整装置の場合として純SS負荷量を計算する際に重要となるからである。この現象はスワールへの水理負荷が小さく、晴天時の条件に近かった1975年のNo.1洪水のスワールの総SS負荷量の除去率と普通の流量調整装置のSS負荷量の除去率を比較することによって示されている。

West Newell 通りの放流口でも、最善で晴天時の平均流量の10倍も放流するように設計されているが、多くの放流口は晴天時平均流量の20倍、100倍さらには1000倍量も放流するように設計されている。このような場合にはSSの除去について、スワールの固形物濃縮効果が通常の流量調整装置より秀れていることがわかるであろう。

◎ BOD 除去

標準的な実規模のスワールでは、BOD₅ 負荷量の除去率で50~82%、BOD₅ 濃度の除去率で

表-2 BOD₅ の除去

暴風雨番号	負 荷 量 (kg)			暴風雨ごとの平均BOD濃度 mg / l		
	流入水	流出水	除去率 (%)	流入水	流出水	除去率 (%)
7-1974	26,545	4,644	82	314	65	79
1-1975	3,565	1,040	71	165	112	32
2-1975	12,329	6,164	50	99	70	29

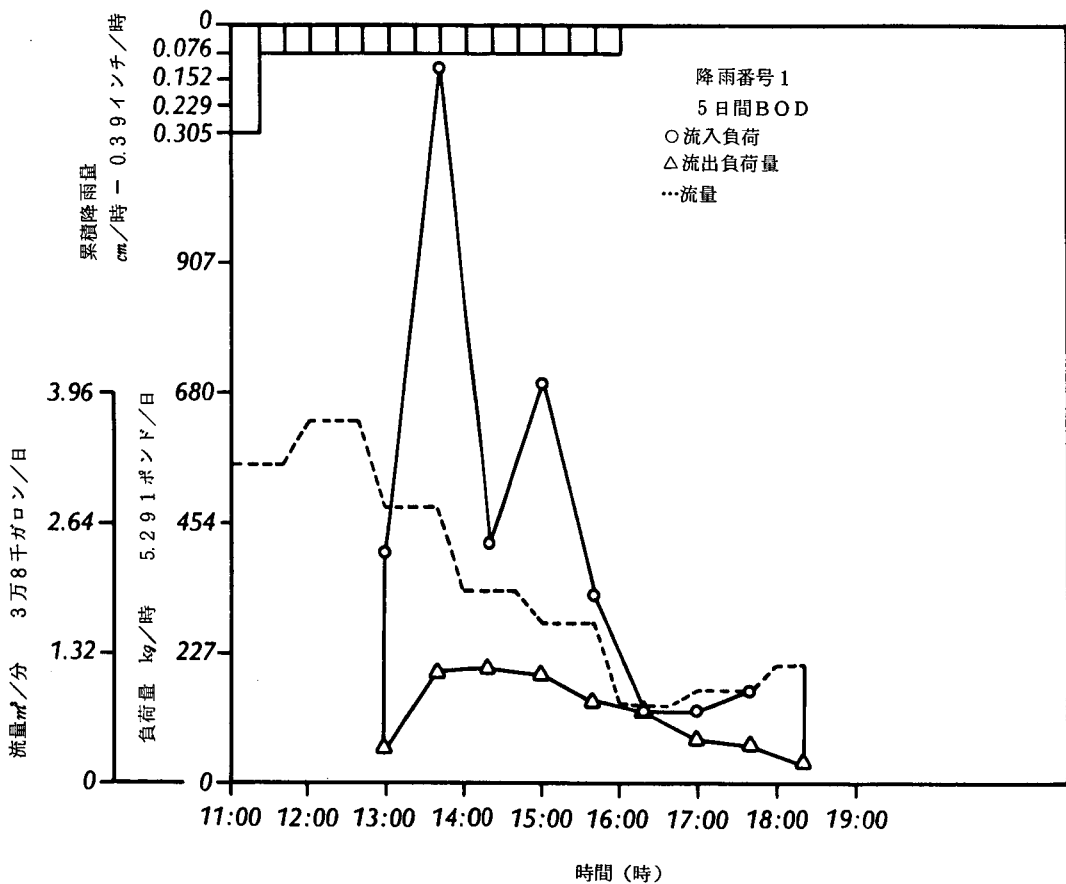
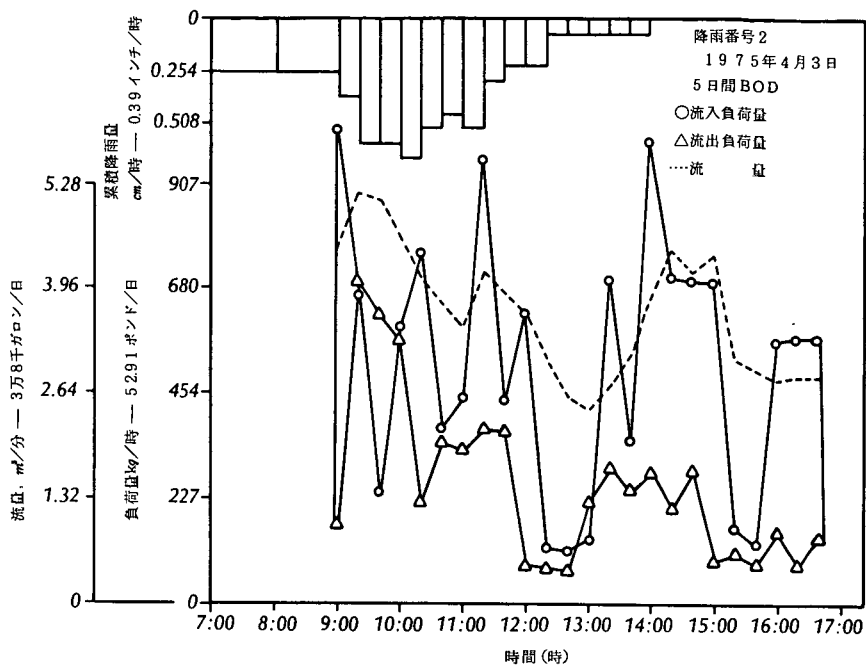
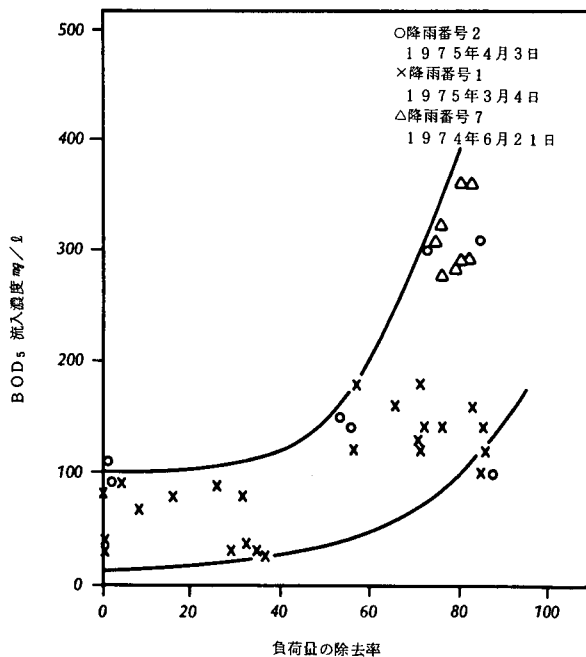


図-4 BOD₅ 除去 Syracuse, N.Y. 降雨番号 1



図—5 BOD₅の除去率 Syracuse, N.Y. 降雨番号2



図—6 スワール流量調整装置へのBOD₅流入濃度と負荷量除去率 Syracuse, N.Y.

29~79%を示した(表-2)。図-4と図-5はこのようなスワールのBOD₅総負荷量に対する除去率の傾向を示している。また、図-6はBOD₅流入濃度が高いほど除去率も高いことを示している。

4. 費 用

West Newell 通りの実規模のスワール型装置(ポンプを使わずに砂を90%除去できるように設計されたもの)の経費は、主要施設に対して55000ドル(8100ドル/100万ガロン・日、あるいは1000ドル/エーカー)であり、運転および維持管理費として2000ドル/年であった。さらに主要部分の経費としてポンプ設置のために13000ドルが必要であった。もし、パイプとノズルの自動洗浄装置が設置されれば3500ドルが付加されるだろう(ただし、見積もりで)。

スワール型装置の費用曲線(図-7)は、Syracuseで実際に要した主要な経費と他の研究のために見積られた全体の経費にもとずいて求められた。スワール型流量調整装置の維持管理費用は装置の大きさには無関係であり、必要とする人間の労働時間とそれに伴う経費は、先に述べたようにそれぞれ88時間/年および1800ドル/年であろうと推定されている。

West Newell 通りの装置の設計は管路が満流になる降雨に厳密にあわせているが、水質汚濁制御のためには、とりわけもっと大きな放流口を持つ所に対しては安全側にすぎるであろう。そして、主要部の費用を2000ドル/百万ガロン・日と200~500ドル/エーカーに減少させることは十分に可能である。

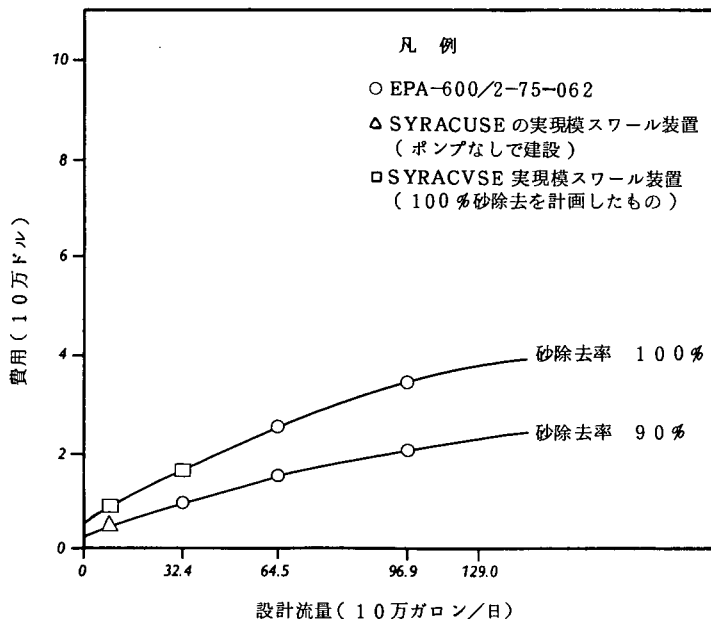


図-7 スワール流量調整装置の建設費用曲線

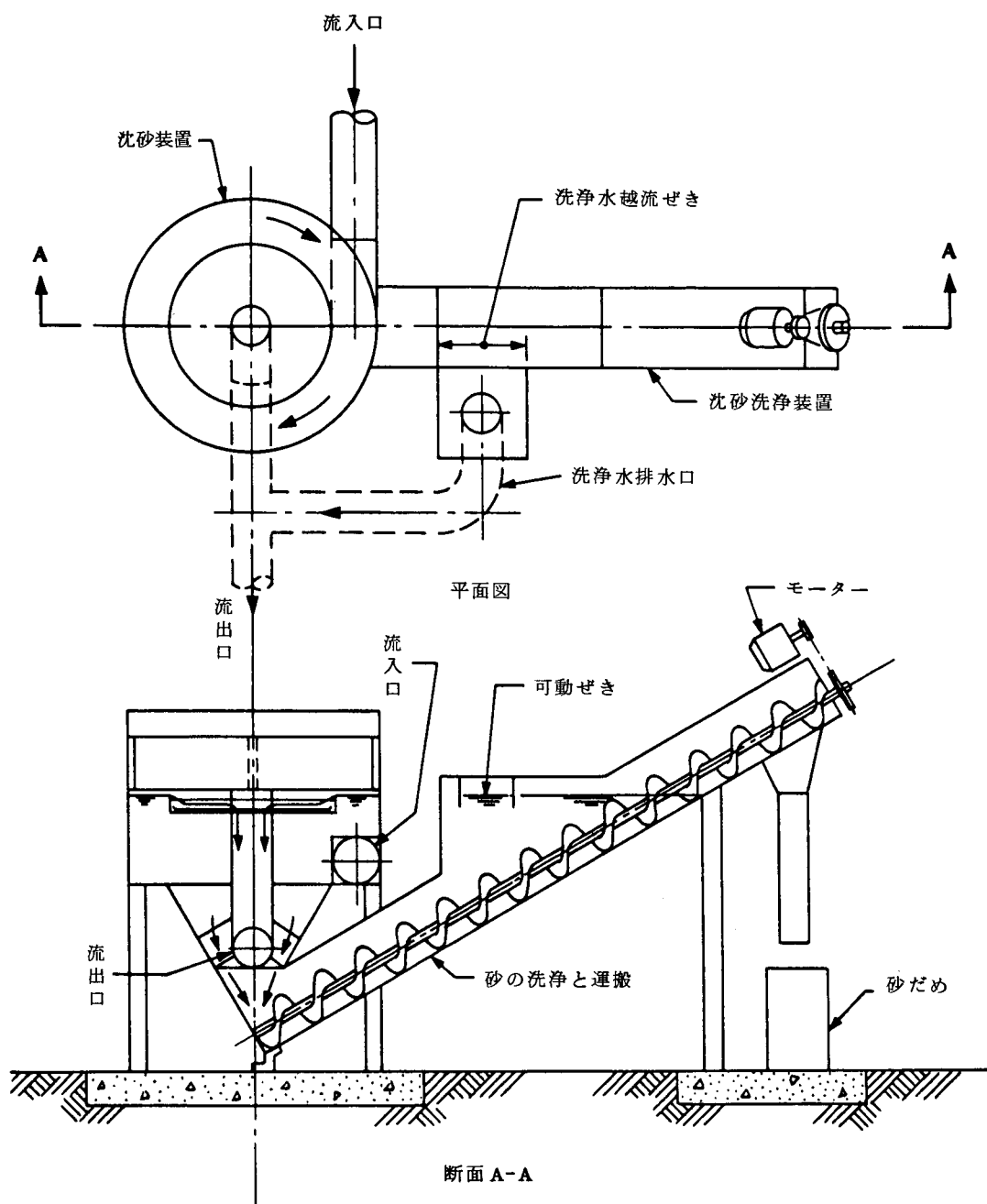


図-C 傾斜したスクリュウコンベアを持つ地上の沈砂装置 一般的な配置計画

5 スワールを適用した他の分野

スワール型装置は流量調整装置／固液分離装置として使用する以外に、侵食制御や分流式下水道の雨水流出による汚濁減少の目的ばかりでなく合流式下水や都市排水からの砂分の除去あるいは1次処理の装置として考案され、開発されている。

◎ 沈砂装置としてのスワール

特定の粒径あるいは比重の固形物を効果的に除くスワールの適用性は初期の段階で論議された前述の研究の中に記されている。E P Aの補助研究No S-802219のもとで、Pennsylvania州のLancaster市と共同でスワール型合流式下水越流量調整装置からしゃ集された下水あるいは家庭下水から、効果的に砂を除去するためのスワールの形態と流量パターンが開発され改造された。水理模型の開発はCanada Quebec州LasalleのLasalle Hydraulic Laboratory Ltd.によって行われた。

最近、沈砂装置として設計された大型のスワールパイロットプラントがE P Aの補助研究No S-803157のもとでDenver首都圏衛生公社の第一部局において試験された。Denverの装置では、家庭下水（雨天時の濃度に似せるために粒径0.25 mmの乾いた細かく砕いた砂を加えた）を用いたが、上々の成果を収めている。比重2.65、粒径0.2 mm以上の砂の除去効率は普通の沈砂装置と等しかった。躯体の小さいこと、効率の高いこと、およびスワールの中に機械装置がないことが通常のシステムより経済的に優れている点である。

◎ 一次固液分離装置としてのスワール

スワール流量調整装置／固液分離装置によって多くの浮遊性固型物を除去するために、スワール型固型物濃縮装置により合流式下水道越流水と都市下水の一次処理ができるかどうかを決定するために、通常の沈殿池との比較研究が行われた。また、人工下水を用いた水理模型が使用され、最適な形態と設計の基礎を求めた。それから、この型はE P A補助研究No S-803157のもとでCanada Trontに建設された0.79 m³/分（30万ガロン/日）の大規模なパイロットプラントを使用して、実際の雨天時、晴天時の流況で試験された。これらの研究によって、通常の設計水面積負荷の2.67倍にあたる65.2 m³/m²・日（1600ガロン/日・平方フィート）の水面積負荷で、通常の一次沈殿の処理効率に合致することがわかった。図-8はTrontで行われた通常のシステムとスワールシステムとの処理所要時間を比較した結果を示してある。装置の高さと直径は等しいので、汚泥濃縮率を高めるために、相対的に深い構造になっている。

様々なレベルのSS除去率で設計されたスワール型固型物濃縮装置には相対的に高い水面積負荷と短い滞留時間が適用されているので、本質的に、より小さな敷地に安い費用でこの装置を建設することを可能にしている。それゆえ、この装置が排水処理プラントとして拡張されたり、合流式下

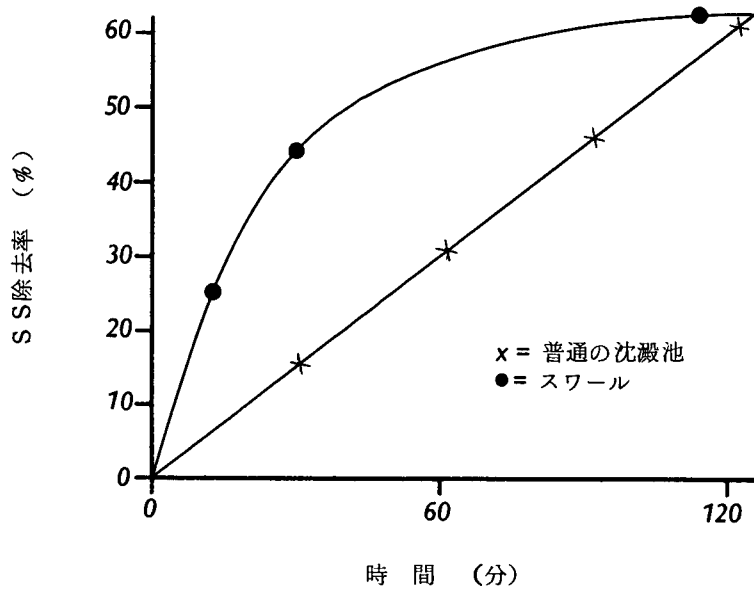


図-8 一次処理に要する時間の比較 — スワールと普通の沈殿池 — Toronto, Canada

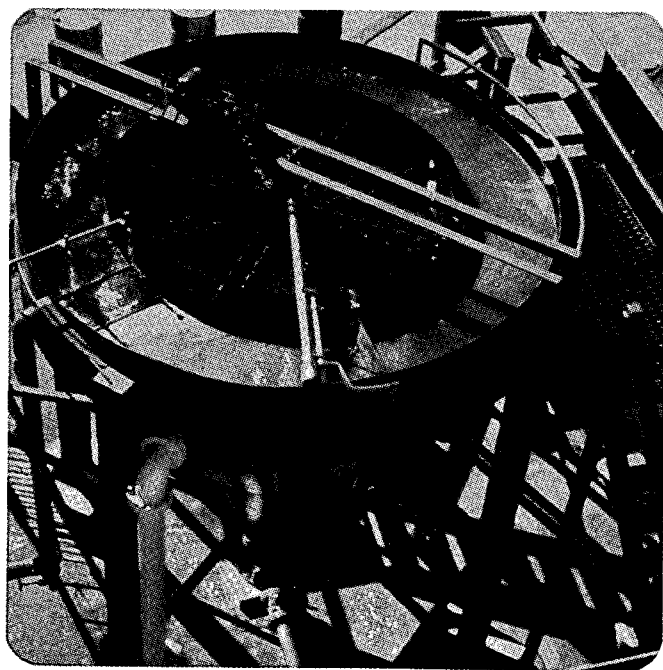


写真-4 実規模のスワール一次固液分離装置 Toronto, Canada

水道越流水を処理する装置として適用できる可能性が高くなっている。また、可動部分を持たずに汚泥とスカムを収集するシステムにより、維持管理に費用がかからないというのも魅力である。

◎ 侵食防止装置としてのスワール

土壌侵食とそれに起因する土砂堆積は重要な問題である。Illinois州ChicagoのAmerican Public Works Association とCanada Quebec州LasalleのLassale Hydraulic Laboratory Ltd. がEPAの補助研究No 68-03-0272のもとで開発したスワール型固型物濃縮装置は、建設現場や他の侵食を受けやすい場所で雨水流出水から侵食土砂を効果的に除去する働きをすることができる。このスワールは、ふつうの直径3.66m(12フィート)深さ0.9m(3フィート)の家蓄用水槽に適当な流入渠、環状の越流せき、污水管、および必要な内部付属物を装備したもので、侵食作用の起こっている位置に、すばやく、かつ経済的に設置することができる。このような装置は要易に解体し、他の場所に運んで再び侵食土砂流の処理のために設置することができるであろう。もし、永久的な構造物としたい場合には、コンクリートで固めることができる。

シクト分を除かれた澄んだ越流水は排水施設へ導かれ、処理をされて放流先へ放流されるか、別の処理や利用をする地点に放流される。集積された固形物は污水管を通して適当な場所に送り込まれるか、あらかじめ定められた、別の目的に利用するために侵食の生じている地点に集められるであろう。(図-9参照)。

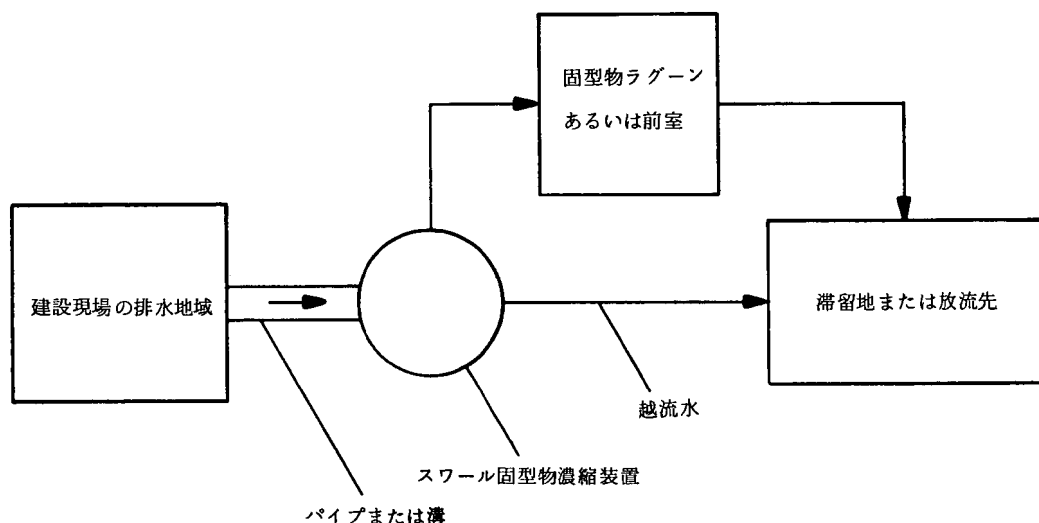
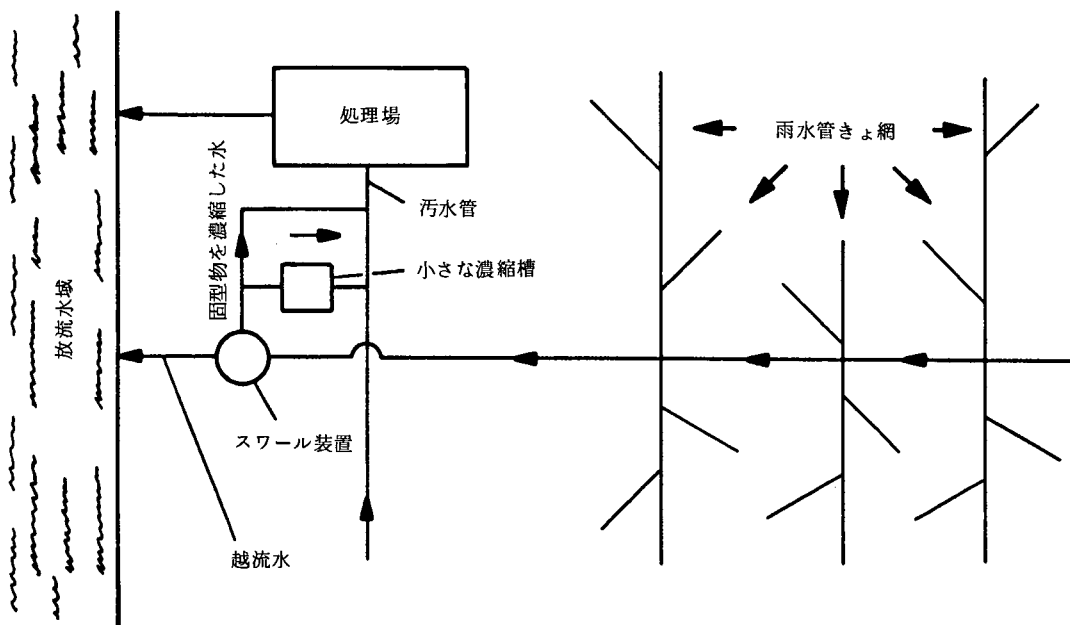


図-9 スワール侵食制御装置— 概略図

◎ 都市流出水の汚濁制御装置としてのスワール

様々な合流式下水道越流調整装置に類似したスワール型装置は放流前の分流式雨水管に設置でき、その結果生じた濃縮物は、全流量のわずか数パーセントなので、比較的小さな貯留槽に貯えることができる。貯えられた濃縮固形物は、その後の晴天時あるいは低流量時に污水管へ導かれるか、あるいは污水管に余裕がある場合には、濃縮固形物を貯えずに直接污水管に放流できるであろう（図一10参照）。この雨水流出水制御の方保は、多くの場合において、巨大な貯留池を建設するより安かったであろう。スワールは分流式下水道による二都市流出水の処理について実現可能性のある方策を提供している。



図一10 スワール都市流出水汚濁制御装置— 概略図

さらに詳細な情報は下記を参照されたい。

以下に記載するプロジェクトの報告書はSpringfield Technical Information Service から得られる。

EPA-600/2-75-062, "The Helical Bend Combined Sewer Overflow Regulator."

EPA-670/2-74-026, "The Swirl Concentrator as a Grit Separator Device."

EPA-670/2-74-039, "Relationship Between Diameter and Height's for the Design of a Swirl Concentrator as a Combined Sewer Overflow Regulator."

このカプスルレポートはNew Jersey 州 Edison の合衆国環境保護庁 暴風雨と合流式下水道セ
クションの Richard Field および Hugh masters によって準備された。

1.3 わが国における合流式下水道改善問題の現状と展望

山 田 睦 郎*

1. 我国における降雨特性

我国における平均降雨量、降雨の季節的变化及び降雨強度別の降雨量に関する情報は、雨水による汚濁問題を解決するうえできわめて重要である。我国における平均降雨量は約1,600mm/年である。これは、アメリカにおける年間降雨量にくらべてかなり多い。我国は南北に細長い島国であり、降雨特性も北部と中・南部とではかなり異ったものである。我国における人口の大部分がその中南部に住んでいる。そこでは、年に2回の雨期がある。第1期は6月から7月(1.5ヶ月)の梅雨期であり、第2期は9月から10月にかけての台風期である。この両方の雨期を合わせた3.5ヶ月の降雨量は、年間の総雨量の約50%にもあたる。我国における大都市の多くは、これらの地域にあり、合流式下水道又は一部合流式下水道を採用している。北海道、東北地方のある北部地域においては、11月～3月(5ヶ月間)に雪としての降水があり、その量は、年間降水量の約50%にあたる。降雨水量の月別変化の状況を表-1に示す。

表-1 降雨量の月別変化(月別mm)

1941-1970

月 都市	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
東 京	49	65	98	122	145	192	140	153	182	203	96	58
名古屋	52	59	104	136	160	226	187	143	209	133	76	56
京 都	56	64	112	145	162	252	239	158	204	122	75	50
札 幌	118	83	75	64	59	73	90	112	150	104	104	111
福 岡	77	77	97	134	144	273	252	161	237	100	79	74

表-2 および表-3 に、東京と京都における降雨強度別の降雨回数を示す。これらの表から、低降雨強度の頻度が高く、また、大きな降雨は雨期に起こることがわかる。

表－2 東京における降雨強度別降雨日数

(単位：日)

年	1957	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66	平均	備 考
降雨強度 10mm/hr 以下 (a)	106	127	93	101	86	86	108	80	97	86	97	低降雨の回 数が高い。
10mm/hr 以上 (b)	12	6	10	10	8	8	10	5	15	10	10	
降雨日数(c)	118	133	103	111	94	94	118	85	112	96	107	
比率a)/(c)	0.9	0.95	0.9	0.91	0.91	0.91	0.91	0.94	0.87	0.9	0.91	

表－3 京都市における降雨強度及び降雨期間別降雨回数(1965)

$\begin{matrix} T \text{ (hr)} \\ i_m \\ \text{(mm/hr)} \end{matrix}$	0 -0.5	0.5 -1.0	1.0 -1.5	1.5 -2.0	2.0 -2.5	2.5 -3.0	3.0 -3.5	3.5 -4.0	4.0 -5.0	5.0 -7.0	7.0 -9.0	9.0 -11.0	11.0 -	%
0- 5	108	23	20	10	7	5	5	5	11	5	1	1	0	70
5-10	8	4	3	2	4	5	1	2	5	3	3	0	1	14.5
10-15	2	2	2	1	3	1	1	0	2	3	0	1	1	6.6
15-20	1	1	4	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	4.2
20-25	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	1.7
25-30	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0.6
30-40	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1.2
40-	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1.2
%	41.7	11.8	10.1	4.5	5.9	3.7	2.8	3.2	7.3	4.9	1.4	1.6	1.1	100

注： i_m ；最大降雨強度 (mm/hr)

T；降雨期間 (hr)

日本海側の沿岸地域を除外した中南部地域では、7月中旬から8月末までの夏期と、11月の初旬から1月末までの冬期は、ほとんど乾燥した天候が続く。乾燥した天気の最も長い持続日数は10日以上であり、東京における最長記録は70日である。このように乾燥した時期には、河川流量が著しく減少する。

2. 我国における河川および沿岸地域の特性

汚濁と河川流量の関係がまず重要である。我国における河川には、3つの大きな特徴がある。まず第1に、我国における河川は大陸の河川に比べて、短小であり急流である。我国の最も長い利根川でも332kmの長さしかない。したがって河川水に自浄能力はほとんど期待できない。第2、河川流域内の平野部面積は山間部に比べて著しく少ない。人口密度の高い都市の多くはこの平野部にある。このことは海拔110m以下の低地が全国土面積の約30%しかないという事実からも明らかである。第3に、河川流通の月別変化はきわめて大きく、河川における高水量の多くは、低水量50~100倍になる。

また、沿岸部には閉鎖性の湾や入江がある。都市部や工業地帯は、この湾や入江に囲まれた沿岸部にある。閉鎖性水域の水は容易に交換しないのに、汚水はここに集まってくる。以上のような河川及び沿川地域の特性は、雨水による汚濁制御を考えるうえで非常に重要なことである。

河川の中、上流部は今でもまだ魚釣りができるし、かなり良好な水源でもある。しかし、都市部における河川及び河口は、ある程度汚濁の進行が著しい。これらの河川では、悪臭を発する水質限界をはるかに超えた状態にある。表-4は大都市の中の小河川の水質を示している。

表-4 都市部における小河川の水質(1969)

(単位: ppm)

都市名	都市河川名	採水箇所	BOD ₅	SS
札幌市	新川	曾根新川	67.9	111.4
東京都	神田川	御茶の水橋	30.5	24.8
	石神井川	溝田橋	32.5	31.1
横浜市	鶴見川	やに川橋	37.4	88.3
	"	大綱橋	18.7	61.0
名古屋市	日光川	大津橋	81.9	31.9
京都市	賀茂川	北山通り	33.3	26.1
大阪市	安威川	上高浜	26.6	28.4
	西除川	高木橋	26.6	37.5

3. 我国における市街地及び市街化区域の特性

人口10万人以上の大都市の相当部分は、県庁所在地であり、我国の中南部地域に位置するこれらの大都市の大部分は、下水道事業の歴史的な背景を持っている。これらの都市は、河川及び沿岸

から近距離の低地にあるため、雨期には洪水によって大きな被害をこうむってきた。最近では、河川や海岸地域の沿岸部の低地が都市化する傾向にあり、この20年間で、これらの地域の人口は急増している。例えば表-5は、全国及び3大都市圏を都市部、非都市部別にその人口増加傾向を示したものであるが、この傾向をよく表わしている。

都市部における人口増加は、今後さらに続くと思われる。表-4からわかるようにこれらの都市における人口密度はアメリカの都市におけるそれよりもかなり高い。表-6はいくつかの人口密度を示している。

このような状況のもとで、市民あるいは都市の清掃部局が街路、公園、空地等をきれいにしないならば、都市の表面は固形廃棄物によって汚されるだろう。一般に街路は狭く、交通量は多い。

4. 我が国の下水道のうつりかわり

下水道の目的は、都市の浸水対策と生活環境の保全等である。我が国においては、昔から、し尿は、肥料として用いられており、町は下肥が多く発生するので百姓は、し尿を購入するか、作物などと交換した。今から20年程前までは、まだ、この状態が見られた。昭和30年頃までは、河川等の水質汚濁は、社会問題にまでは至らなかったが、それ以降都市の人口は急増した。

合流式下水道は、都市域の排水に有効であり、浸水を防除しうるので、先進的な大都市では、合流式を採用した。

しかし、合流式は、計画雨水量以上の降雨があった場合、雨水吐より下水が流出するので、水質汚濁問題に対処するには十分でない。

昭和30年以降、急激な都市化と工業の発展に伴い、公共用水域は汚濁して社会問題となってきたので、国も水質の回復を図ることにした。

そこで、雨天時下水の処理の方針を策定し、できるだけ早く合流式の欠点を改善しなければならない。そこで、国は、水質汚濁防止の観点より、新規の都市においては、分流式を採用するように指導してきた。

都市域の雨水の水質に関する実測調査により、特に初期降雨において、雨水が非常に汚染されていることがわかった。このような事実より、衛生工学者の間には、合流式に比べて、分流式がよいかどうかについて多くの議論がある。

5 我が国の下水道排除方の現状

全国3256市町村のうち541都市(17%)が下水道事業を実施している。

昭和51年度末における総人口普及率は24.0%(処理人口/総人口)であるが、アメリカ合衆国(72%1972年)と比べると、著しく低い。

昭和50年度末の公共下水道排除方式別都市数は

合 流 式	45
合 流 ・ 分 流 式	170
分 流 式	299
計	514

合流式と、合流・分流式は全体の約42%であるけれど、人口10万人以上の都市の大部分は、合流式、分流・合流式である。表一7に、人口規模別に公共下水道実施都市数を示す。

表一7 公共下水道実施都市一覧（昭和51年度末）

	総市町村数	公共下水道実施都市数	市街化区域設定都市数
100万人以上	10	10	10
30万～100万人	39	39	39
10万～30万人	126	118	120
10万人以下	3,081	374	631
計	3,256	541	800

6. 水質汚濁防止法のもとの雨天時下水の水質規制について

我が国において、雨天時の計画下水量は晴天時の時間最大汚水量の3倍が多く採用されている。希釈倍率を n とすれば、遮集管により、時間最大汚水量の n 倍の下水が処理場に流入し、日最大汚水量に相当する下水が生物処理され、残りは、沈殿処理され、消毒したのち放流される。雨天時下水が n 倍を越える場合は、 n 倍を越えた分は、直接雨水吐より放流される。雨水吐よりの放流水には、水質汚濁防止法による規制がかかる。この法律は、昭和45年12月25日に国会を通過し、46年6月24日より施行された。司法では、すべての公共用水域において全国一律の排水基準を定め、さらに、都道府県は上乘せ基準をかけることを認めている。同法によれば、雨水吐よりの下水はBOD160ppm以下（日平均120ppm）、SS200ppm以下（日平均150ppm）、大腸菌3000/cdl以下であり、通常これより厳しい上のせ基準がある。

7. 雨水吐から流出する下水の水質および頻度

表一8に降雨時の下水の最悪の水質を示す。

表— 8 合流式下水道の降雨時の最大水質

都 市 名	東 京	名 古 屋	京 都
B O D (p p m)	6 1 3.4	2 9 6.6	1 1 7 6
S S (p p m)	1,7 6 8.0	4,3 1 0.0	5 2 5
V S S (p p m)	9 8 4.0	—	1 8 5

このデータは、初期降雨時の下水の最悪のものであるが、晴天時の下水に比較して、けっして小さいものでない。通常、日最大汚水量は1mm/hrの降雨に相当する。そこで、流出係数が0.5で、希釈倍率が5とした場合、雨水吐からの流出は、8mm/hrのときに起こることになる。希釈倍率が3の場合には、降雨強度4mm/hrのときに、雨水吐からの流出が始まる。表—2は、降雨強度が小さくなる程、頻度がふえることを示している。

都市化の進展により、流出係数が増大した場合は、雨水吐よりの流出の頻度は、現状よりも増す。雨水吐の水質は、短時間であるが水質汚濁防止法の規制値よりも悪いので流出が起った場合には、同法を守ることは難しい。なお初期降雨は比較的短かいため、降雨期間中の平均水質は、多くの場合、法の規制値よりも低い。このことより筆者は、合流式下水道の雨天時の水質規制のあり方をより現実的な観点から検討し直す必要があると考える。

8. 我が国における合流式下水道による水質汚濁防止対策の現状と将来の展望

合流式対策として、対策が二つある。一つは、滞水池や貯留タンクで初期雨水を貯留する方法である。滞水池が初期雨水で満水になると、初期雨水は二次処理や沈殿処理する。この場合、初沈は、初期雨水を処理する容量を建設する。最近この方法が、我が国で検討されてきたが、多くの場合、滞水池は設けられず、以前よりも希釈倍率を上げて、5倍程度にしている。二つめの対策として、雨天時下水を物理化学処理する方法であるが、この研究はあまり進んでいない。前者を静的な方法とすれば、後者は動的な方法である。水質基準がそれほど厳しくない場合は前者は後者に比して有利であるが、将来規制は、より厳しくなるだろう。

筆者は、この二つの方法について研究を進め、用地面積、建設費維持管理費、管理要員等の観点より有効な手段を探るべきであると思う。用地面積が少なく建設費、維持管理費が安く、管理要員が少ない方法がより優れている。もっとも有効な方法は、これらの要因を全体的に比較して決定すべきである。流入下水の量及び負荷の変動に対応し、かつ施設を間けつ的に使用することにより生じる維持管理上の故障を少なくするように機能する施設が必要である。物理化学処理は、雨天時下水処理に用いられるかも知れない。EPAの報告書によれば、高速散水浴床、マイクロストレーナ、

フローテーション、ハイドロサイクロン、渦巻分離器等の方法がアメリカ合衆国で研究されている。雨天時下水中の有機浮遊物質は、水質汚濁に有害な影響を与えるので、雨天時下水の全量を消毒し、粗大ゴミ等はスクリーン、渦巻分離器等で除去されなければならない。

筆者は、直観的に他の方法に比して、高速散水汙床が最も有効であると考ええる。しかし、この方法は、日本の限られた状況において、最も有効なものであるかは疑問である。

我が国の降雨は、強度がつよく、変動も激しいという特色がある。合流式下水道の採用都市は、現在処理場を稼働させているか、建設中である。処理場の多くは活性汚泥法であり、変動が大きいと、その処理効果を減じる。

雨天時下水の全量を処理する場合には、処理法はさらに研究しなければならない。合流式の場合、活性汚泥法は大きな弱点を有しているにもかかわらず、実際には処理場を改築することは、非常に困難である。雨天時下水の全量が処理されない場合は、雨水吐あるいは、処理場のバイパス管から直接放流される。我が国では、雨水量が多く、降雨頻度が非常に高いので、雨天時下水を全量処理することは不可能かも知れない。高速散水汙床は、有効であるが、この方法を採用した場合でも、雨天時下水の一部は放流されることになるであろう。将来さらに厳しい水質規制がなされた場合には、今後の処理場の建設は、二次処理後の処理水と、雨天時下水を処理することも考える必要がある。第二の方法は、日本において適用するに際して、研究しなければならないいくつかの問題をもっている。都市域の雨天時下水のみか、あるいは、雨天時下水と高度処理（あるいは二次処理）水をあわせて、処理することを考える場合、第一の方法よりも、第二の方法がより有効であると考ええる。近い将来できるだけ合流式の欠点を改善していく必要がある。そして将来、雨天時下水と高度処理水を含めて、基本的な観点より合流式下水道を再検討する必要がある。筆者は、近い将来においては、第一の方法がより有効かも知れないと考えている。

1.4 わが国における雨天時汚濁対策研究の現状

安 藤 茂*

大 旨 (ABSTRACT)

この論文は、建設省土木研究所で行われている、雨天時の汚濁制御技術の研究の現状を紹介したものであります。現在行われている研究ばかりでなく、過去に行われた研究の概要と将来予定されている研究の概要についても触れています。論文は、「問題の定義」と「対策」の2つの分野に大別されていますが、いくつかの改善事例についても言及しております。

1. 序 論 (INTRODUCTION)

わが国において、雨天時下水による汚濁制御の研究が本格的に着手されたのは、1967年度(昭和42年度)でありまして、それ以来雨天時汚濁の問題に対する関心は徐々に高まって来ております。とくに、雨天時の合流式下水道からの越流水による放流先の汚濁問題は、古くから下水道事業に着手している多くの大都市にとって共通の悩みとなっています。この2、3年の調査では、合流式下水道の問題を抱えているこのような都市と、土木研究所とが協力しまして、この問題に対する解決

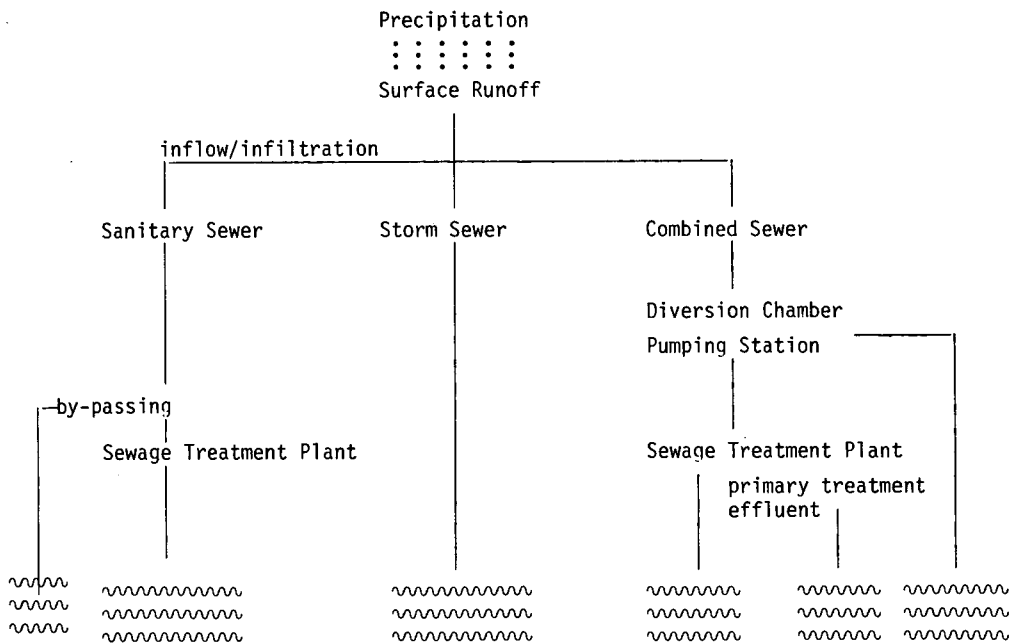


Figure-1 Wet Weather Drainage System of an Urban Area

*建設省土木研究所下水道研究室長

策を検討しております。さらに、分流式の下水道についても、雨水流出水による放流先の汚濁が懸念されますので、調査を行っております。

雨天時汚濁対策の研究は、問題の定義と対策の2つに大別されますが、図-1に研究の対象である現在の都市排水システムの概要を示してありますのでご覧下さい。

Table-1 Summary Wet Weather Pollution Control Studies

Problem Definition

°quantity characteristics of wet weather flow	estimation of peak discharge estimation of design hydrograph rationalization of rational method definition measures of coefficients application of rational method to the design of drainage system some considerations on inlet time relation between runoff characteristics and urbanization approach into design rainfall some considerations on effective rainfall application of RRL method modification of RRL method
°quality characteristics of wet weather flow	time variant wet weather water quality model water pollution by storm sewer runoff quality characteristics of wet weather flow some considerations on pollutants sources overflow phenomenon from combined sewer system survey of 12 cities
°prediction methodology	simulation of pollutants load discharge in a combined sewer system prediction measures by multi regression analysis theoretical considerations on quality of wwf
°solution methodology	some considerations on detention storage development of computer simulation model application of cost-effectiveness analysis

Control Measures

°effectiveness	detention storage increase of interceptor capacity porous pavement swirl regulator/concentrator separation of sewer system
°others	merits and demerits of combined system and separate system

表-1は、調査テーマをさらに細かく調査項目まで分類したものでありますが、全部で約30以上の調査項目から成っています。

2. 問題の定義 (PROBLEM DEFINITION)

2.1 雨天時下水の水量特性

わが国の年平均降水量は、約1800ミリであります。都市域の場合にはこのうちの50~60%が流出するものと思われます。人口密度が100人/ha、一日の一人当りの水使用量が300ℓ

と仮定いたしますと、このような都市から排水される家庭汚水量は年間で約1100ミリ程度となりますので、晴天時の家庭汚水量と雨天時の雨水流出量とは量的にほぼ等しいということになります。処理場へ流入する下水には、この他に営業排水、工場排水などがありますので、総発生水流量に占める雨水流出量の割合は約20%ぐらいとなります。図-2は、合流式下水道問題研究会に参加している12都市のうちから合流式下水道処理区を10ヶ所選び、年間の地点別排水量を求めたものです。雨水流出量のうち約66%が未処理で放流されております。

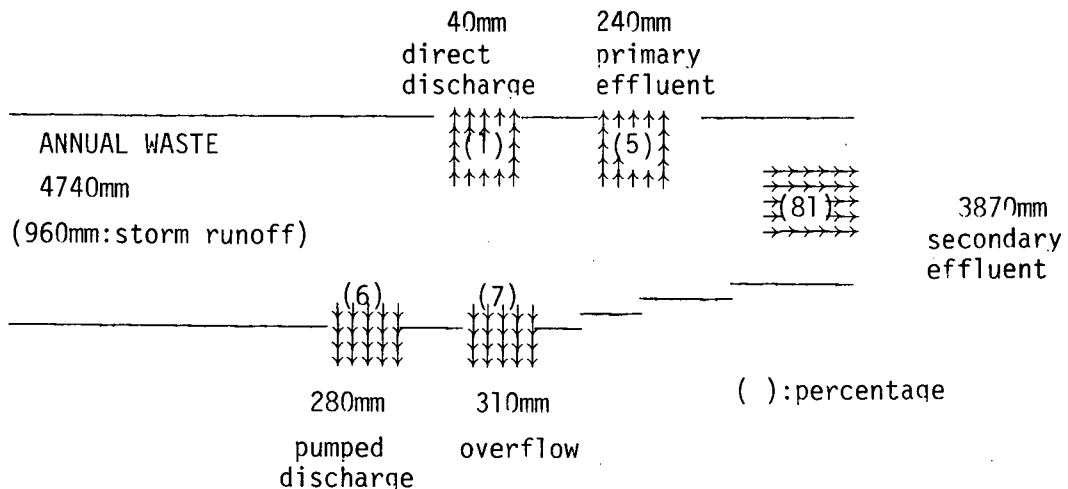


Fig.-2 Discharge from Combined Sewer System
(average of ten cities survey results)

流出予測手法については表-2に示してあるような方法が適用可能であります。下水管渠の設計に当っては下水道施設基準が合理式を採用しておりますので、合理式を用いなければなりません。合流式下水道による汚濁問題を考える際には、時間ステップ毎の流出量を予測出来るモデルが必要となります。コンピューターを使用しないで時間ステップ毎の流出量を予測出来るモデルを現在検討中であります。

1967年から1969年までの調査によって、稲場らは、ピーク流出係数と排水面積、不浸透面積および地盤平均勾配の間に顕著な関係があることを見い出しております。また流入時間あるいは流達時間と、排水面積、降雨強度、流域の粗度との間にも何らかの関係があると述べております。山口らは英国で開発されたRR L法を改良して、わが国に適用できる修正RR L法を考案しております。大きな改良点は、有効雨量の求め方と管内の貯留量の算定法の2つが従来のRR L法と異なる点であります。

今までの研究で痛切に感じた点を申しますと、われわれはもっと「都市化」というものに対して注意を払わねばならないということでもあります。よく云われますように、都市化はピーク流出量を

Table-2. Math Models to predict the quantity of stormwater

RATIONAL METHOD :

$$Q = \frac{1}{360} C i A$$

where Q = peak discharge (m³/s), C = peak runoff co-efficient, i = rainfall intensity (mm/hr)

A = area of basin (ha)

TANK MODEL METHOD :

$$\begin{cases} q(t) = (h(t) - H_1) * \lambda_1 \\ i(t) = h(t) * \lambda_0 \end{cases}$$

($h(t)$ is greater than H_1)

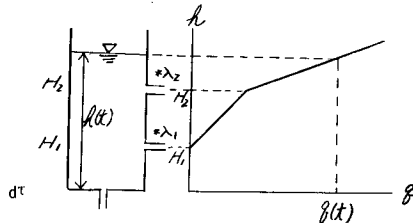
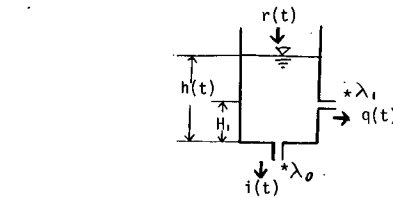
equation of continuity

$$r(t) - q(t) - i(t) = \frac{dh}{dt}$$

where $q(t)$ = discharge, $h(t)$ = height of stored water, $i(t)$ = infiltration, H = height from the bottom to the hole 1, λ_0 = constant of hole 0, λ_1 = constant of hole 1

$r(t) \neq 0$

$$\begin{cases} q(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} K(t) - \frac{\lambda_0 * \lambda_1 * H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \\ i(t) = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} K(t) + \frac{\lambda_0 * \lambda_1 * H_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \\ K(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t-\tau) * (\lambda_0 + \lambda_1) * e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)\tau} d\tau \end{cases}$$



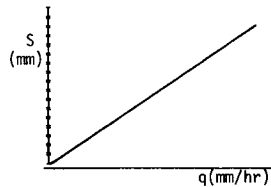
Relation between storage height and discharge (one tank, two runoff holes)

STORAGE FUNCTION METHOD :

$$\begin{cases} S_L = K * Q_L^P \\ \frac{1}{3.6} f * r_{ave} * A - Q_L = \frac{dS_L}{dt} \end{cases}$$

where S_L = storage, Q_L = discharge, f = inflow co-efficient, r_{ave} = average rainfall

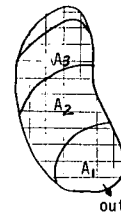
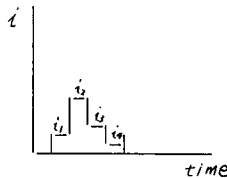
A = area of basin, P = power constant



MODIFIED RRL METHOD :

$$\begin{cases} P - Q = \frac{dS}{dt} \\ S = K * Q^P \end{cases}$$

$$\begin{aligned} P_0 &= 0 \\ P_1 &= i_1 A_1 \\ P_2 &= i_2 A_1 + i_1 A_2 \\ P_3 &= i_3 A_1 + i_2 A_2 + i_1 A_3 \\ &\dots \end{aligned}$$



Essentially RRL model assumes that pervious area does not produce runoff, and that impervious area yields 100% runoff.

MRRL assumes runoff from pervious area and that depression occurs on impervious area.

Also calculation of storage-discharge relationship is slightly modified.

増大し、流達時間を短縮するわけですから、合流式下水道の場合には越流頻度が増加することになりますし、はんらの危険も大きくなります。放流先に対しては、地下水の涵養量が減少するため平時の流量が少なくなるという影響を与えるのであります。さらに都市の膨張は、必然的に晴天時下水量の増大を引き起こすわけですから、稀釈倍率の減少あるいはもっと深刻な場合には晴天時オーバーフローといった問題につながるわけですから、

2.2 雨天時下水の水質特性

今までの調査結果から、雨天時の合流式下水道の水質特性および分流式下水道の雨水流出水の水質特性をまとめてみますと表-3、4 のようになります。この表は雨天時下水の特性を大ざっぱに知ってもらうために用意したわけございまして、地域による水質特性の差は非常に顕著であります。

先ず雨天時の合流式下水道の水質であります。一般的に総流出水量が大きくなれば、平均水質は

Table-3. Characteristics of wet weather combined sewage (mg/l)

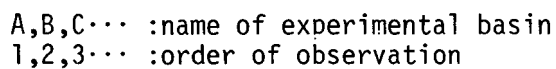
Items	Range	Average
BOD ₅	10 - 1500	60 (200)
SS	10 - 3000	200 (180)
COD(Mn)	5 - 300	40 (100)
K-N	2 - 60	10 (30)
T-P	0.1 - 20	2.5 (3)

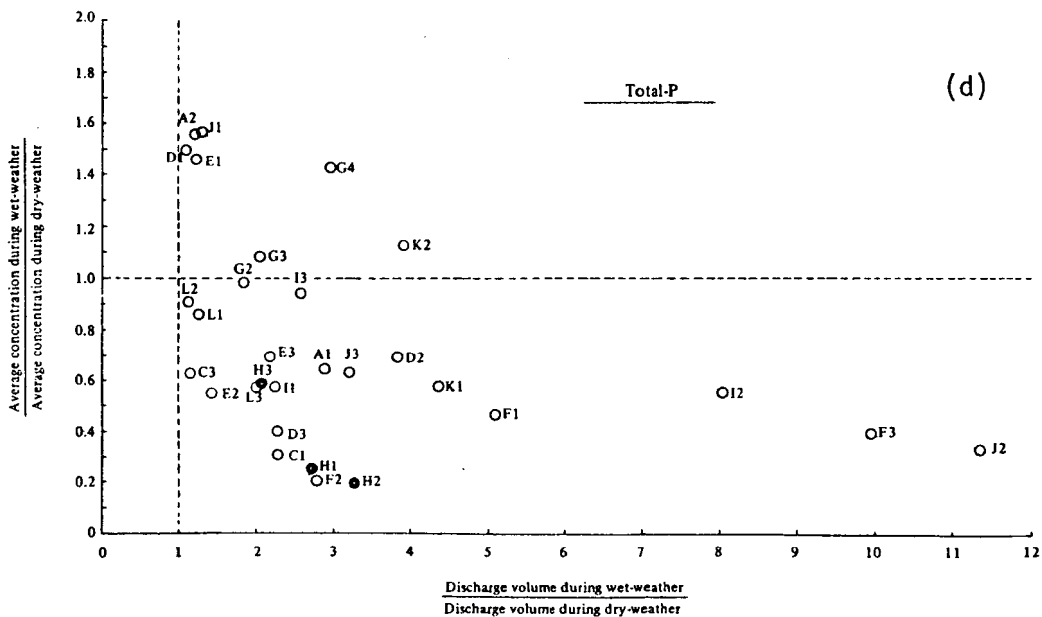
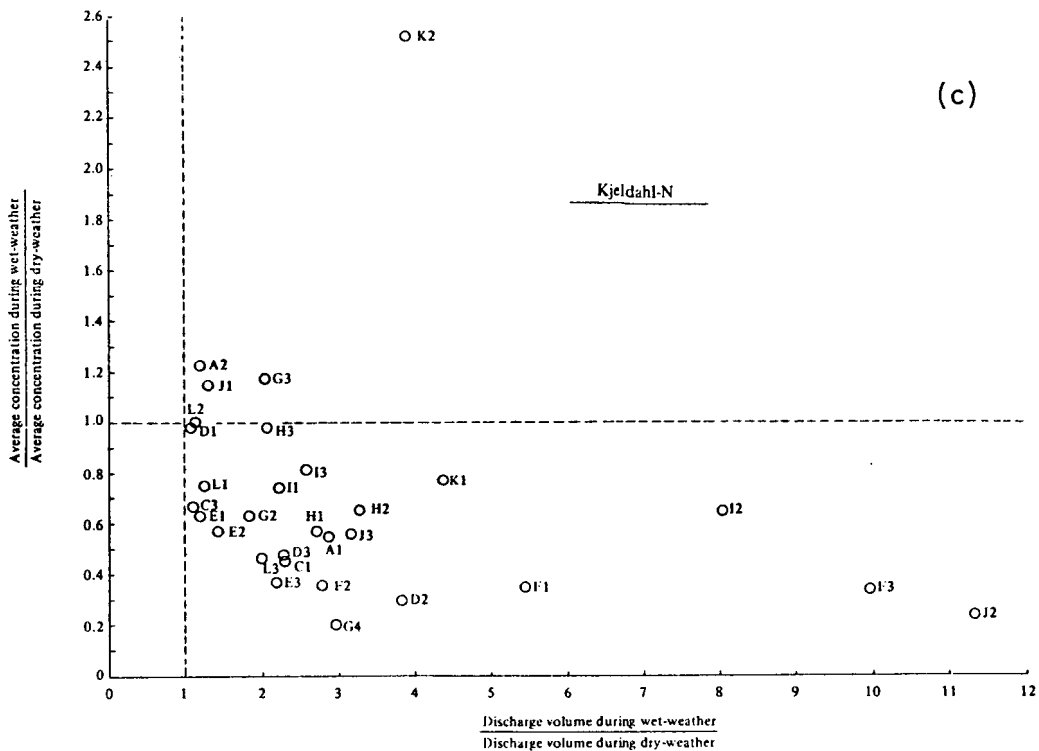
() : dry weather average

Table-4. Characteristics of storm sewer runoff (mg/l)

Items	Range	Average
BOD ₅	3 - 1000	30
SS	10 - 2500	150
COD(Mn)	5 - 80	40
K-N	1 - 25	5
T-P	0.01 - 2.0	0.3

(a)





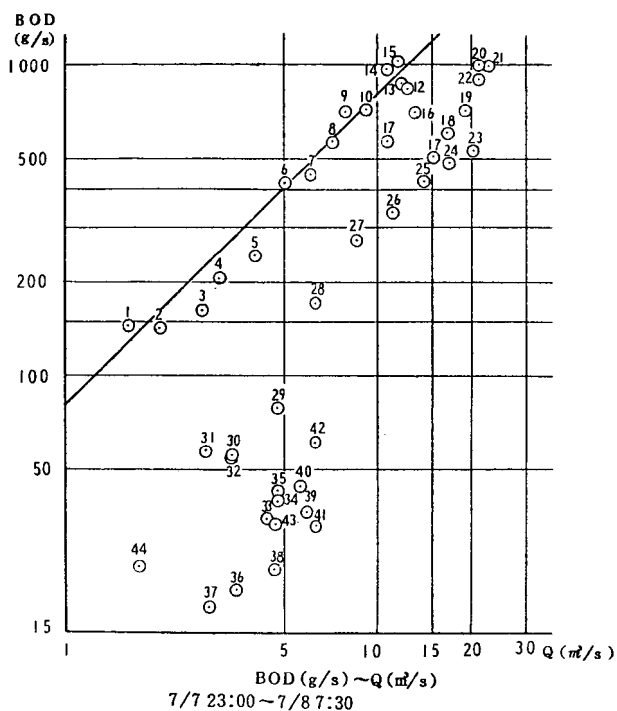


Figure-4a BOD----0

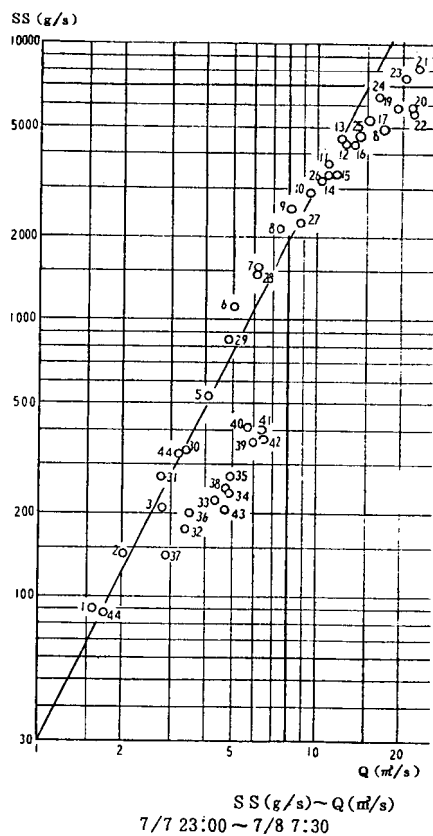


Figure-4b SS----0

小さくなるという関係が見出されております(図-3 a, b, c, d)。とくにBOD、T-P、K-Nについては上記の特性が顕著であります。SSの場合には、総流出水量が大きくなれば平均濃度が小さくなるという傾向は認められますが依然として晴天時濃度よりも高いという特徴を有しております。重金属についてはそれほど多くのデータを有しておるわけではございませんが、亜鉛、銅、鉛などの流出が認められております。細菌については大腸菌群数の分析しか行っておりませんが、平均で $10^6 \sim 10^7$ MPN/100 mlというオーダーでありまして、これは晴天時下水の1/10程度の濃度ということになります。

対策のことを考える場合に注意しなければならない水質特性について申しますと、それはBODとSSの間に見られる顕著な相異であります。図-4 a, bは、横軸に流量(m^3/sec)を、縦軸に負荷量(g/sec)をとって採水順にプロットしたものであります。図-4 aはBODの場合ですが、曲線は時計回りのループを描いております。BOD負荷量を L (g/sec)、流量を Q (m^3/sec)と致しますと、近似的には

$$L = K \cdot Q^n$$

で表わされる関係が両者の間にあると思われまします。しかしながら、上式では K 、 n を定数とする限り、図-4 aに示されるループ特性を表現することは出来ません。他方、図-4 bに見られるSSの場合には、顕著なループを示してはおりません。流量が増大すればそれに応じて負荷量も増大しております。このような両者の水質特性の差を流出の現象面ではなく、それをもたらす汚濁源で考えて見ますと、BODの場合には汚濁源のタンクが小さく、文字通り有限の汚濁源ということが出来ましようし、逆にSSの場合には非常に大きな汚濁源タンクを持っていて、云わば無限に近い汚濁源ということが出来ましよう。稀釈という言葉の限密な意味からしますと、BODの場合には、通常の降雨で稀釈現象が生じ得ますが、SSの場合には流出の後半で確かに晴天時の同時刻の下水よりも濃度が低くなるのですが、負荷量は依然として大きいわけですから稀釈とは云えないのであります。

重金属の汚濁源について申しますと、これは勿論晴天時下水中にも含まれているわけでありましますが、大気汚染による影響が無視出来ないほど大きいということでありまします。表-5は、ある都市での降下ばい塵中に含まれている重金属量の比と雨天時下水中の重金属量の比とを比較したものでございますが、非常に似かよった組成比を示していることがおわかりいただけると思ひます。

次に分流式下水道システムの場合であります。このシステムによる雨水流出水の水質特性は表-4にまとめてあります。合流式下水道の雨天時下水水質と同様に、雨水流出水の水質にも地域差が見られるわけでありまして、各水質項目の範囲も非常に大きくなってあります。BODとSSに関しては、合流式下水道の雨天時下水水質と同様に前者にループ特性が見出せますが、後者には顕著なループ特性がないと申せましよう。大腸菌群数については 10^5 MPN/100 ml という高いオーダーを示しているわけですが、この汚濁源が土壌に由来するものか、それとも別の原因によるも

Table-5 Comparison of heavy metals component ratio
(fall out versus wet weather combined sewage)

	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
(fall out)					
max.	1.30	3.60	0.95	0.017	0.153
min.	0.35	0.08	0.13	0.003	0.032
ave.	0.64	0.80	0.44	0.009	0.063
($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	71	: 89	: 49	: 1	: 71
(combined sewage)					
max.	0.692	0.193	0.100	0.002	0.020
min.	0.133	0.016	0.010	ND	ND
ave.	0.415	0.080	0.050	0.001	0.012
(mg/l)	415	: 80	: 50	: 1	: 12

comment : Zn is highly contained in dry weather combined sewage

のか明確にはわかっておりません。重金属について申しますと、中心市街地からの雨水流出水中の亜鉛、銅、鉛などの濃度は平均で $0.1 \sim 1.0 \text{ mg/l}$ という値であります、住宅地からの雨水流出水中の前述した重金属濃度は前者の約 $1/110$ というオーダーになります。

2.3 予測手法

降雨あるいは流量・水位から雨天時下水の水質を予測する方法（数学的モデル）がいくつか提案されておりますので、それらを簡単に紹介しておきたいと思ひます。

— 変数モデル —

このモデルは先程も述べましたように流出負荷量 L (g/sec) を流量の一価関数と見なして

$$L = K \cdot Q^n$$

(Q : 流量 m^3/s 、 K, n : constant)

と表現するものでありまして、濃度を C (mg/l) と致しますと

$$C = K \cdot Q^{n-1} \quad (\because L = C \cdot Q)$$

で雨天時下水の水質を予測するものであります。

説明するまでもないことかと存じますが、 $n < 1$ の場合には、流量が増加するに従って濃度は減少することを意味し、 $n = 1$ のときは濃度一定、 $n > 1$ の場合は流量が増加するにつれて濃度も増

加するということになります。このモデルはSSの場合には良くシミュレート出来るのですが ($n = 2$)、BOD、K-N、T-Pなどに対してはループ特性が表限出来ない為、必ずしも成功しておりません。

— 単純貯留モデル —

このモデルは次の2つの式から構成されています。即ち

$$\text{連続式} \quad I - L = \frac{dS}{dt}$$

$$\text{運動式} \quad L = K \cdot S \cdot Q$$

ここで、 I : 管渠内流入負荷量 (g/s)、 L : 流出負荷量 (g/s)、 S : 管渠内残存負荷量 (g)
 Q : 流量 (m^3/s)、 K : 定数

の2つであります。流出下水濃度 C (mg/l) と L 、 Q との関係は

$$L = C \cdot Q$$

で表わせますので上式は

$$I - C \cdot Q = \frac{1}{K} \frac{dC}{dt}$$

と変形出来ます。BODの場合には、路面、雨水マスなどの管渠外からの流入負荷量が無視出来ますので、流入負荷量として晴天時負荷量分を考えればよく、これを DWF_s と致しますと、 C は解析的に解が求まり

$$C_t = e^{-k \int_0^t Q dt} \cdot (C_0 + K \int_0^t DWF_s \cdot e^{k \int_0^t Q dt} dt)$$

C_0 : 初期濃度 (降雨開始時の晴天時下水濃度)

と表わせます。SSの場合には、晴天時負荷量分の流入負荷量ばかりでなく、路面、雨水マス等からの流入負荷量を考慮する必要があると思います。路面等からの流出負荷量の予測法については後で触れたいと思います。

— 貯留モデル —

このモデルは、先程述べました単純モデルよりも複雑でありまして

$$\text{連続式} \quad I - L = \frac{ds}{dt}$$

$$\text{運動式} \quad L = K \cdot S^m \cdot Q^n \cdot (Q - Q_e)$$

ここで Q_e : 限界流量 (晴天時最小流量)、 m, n : 定数

の2つの式から成立しております。BODの場合には、 $I = DWF_s$ と仮定し、 $m = 2$ 、 $n = 0$ が

良く現象をシミュレート出来ると報告されております。この場合には濃度 C は

$$C = K \cdot S^2 \cdot \left(1 - \frac{Q_c}{Q}\right)$$

で表わされることになります。このモデルでは、先程の単純貯留モデルと異なって管渠内残存負荷量 S がそのままの形で解の中に表われておりますので、初期値 S_0 あるいは $K \cdot S_0^2$ の設定が重要となってきます。予測モデルとしては何らかの流域パラメーターと S_0 あるいは $K \cdot S_0^2$ との関係を知る必要があると思います。

— 回 帰 分 析 —

統計学的回帰分析は、あらゆる科学分野で常套的に用いられる手法であります。因子の数をいわずらに多くしても意味がありません。明確な物理的意味を持った、数少ない因子で高い相関比を得るような統計的モデルでなくてはなりません。

雨天時下水中の流出負荷量を支配する要因としては、(1)管渠内に残存している汚濁負荷ポテンシャル、(2)掃流力をもたらす流量が主要なものです。が(1)の汚濁負荷ポテンシャルは、流入側の要因と流出側の要因の2つの要因に分離出来ます。BODの場合には、

$$L = \alpha_1 \cdot \int_{t_1}^{t_2} DWF_s dt + \alpha_2 \cdot e^{-10 \int_{t_1}^{t_2} Q dt} + \alpha_3 \cdot Q + \beta$$

という回帰式で0.9前後の相関比を得ております。第2項について少し説明を加えますと、これは

$$\frac{dS}{dt} = -K \cdot S \cdot Q$$

という方程式の解が

$$S = A \cdot e^{-k \int Q dt} \quad (A, K : \text{constant})$$

で表わされることからヒントを得ております。流量 Q の代りに、有効雨量強度 r_e を使用しても物理的な意味は変わらないと思います。

— その他の数学的モデル —

路面からの汚濁負荷流出に関して少し述べて見たいと思います。表-6は土地利用が異なる場所で、路面に散水して流出水を分析した結果であります。流出負荷量を L' としまして、この間のインプットを無視しますと

$$L' = - \frac{dP}{dt} \quad (P : \text{負荷ポテンシャル})$$

となります。さらに

$$L' = k \cdot P \cdot r_e \quad (k : \text{定数}, r_e : \text{有効雨量})$$

と致しますと

$$-\frac{dP}{dt} = k \cdot P \cdot r_e$$

となりますので

$$P = P_0 e^{-k \int r_e dt} \quad \text{or} \quad \frac{P}{P_0} = e^{-k \int r_e dt}$$

なる関係式が成立します。Sartor らの行った実験結果と表-6 の結果による k 値を比較しますと非常に似かよった値であることがわかります。

Table-6 Runoff quality by road surface spreading

time (min.)	runoff volume (l)	BOD	COD(Mn)	SS	(mq/l)
0 - 2.5	11.0	88.4	136	376	
5.0	"	41.0	86	77	
7.5	"	25.6	47	21	
10.0	"	14.9	35	18	
15.0	22.0	15.5	24	13	
20.0	"	9.3	21	5	
30.0	44.0	7.5	15	7	
40.0	"	6.4	15	13	
50.0	"	5.8	12	7	
surface washing	25.0	23.8	139	1420	

$$\frac{dP}{dt} = -k \cdot P \cdot r$$

$$P = P_0 \cdot \exp(-k \cdot r \cdot t)$$

$$r = 35 \text{ mm/hr}$$

$$k = 2.93 \cdot 10^{-4} \text{ (hr/mm} \cdot \text{min) for BOD}$$

$$(k = 2.4 \cdot 10^{-4} \text{ --- } 8.0 \cdot 10^{-4} \text{ [hr/mm} \cdot \text{min] by Sartor; et al in USA)}$$

以上が雨天時下水の水質・負荷量面での数学モデルでありまして、実データによる検証例は参考文献を見て頂きたいと思います。さらに、実データによる検証がまだされていないモデルもありますが、これらについても参考文献を見て頂きたいと思います。

2.4 解析手法

降雨をインプットとして与え、流量予測、水質予測まで行って、各種の対策案の効果を比較した事例はそれほど多くありません。松原は、修正 RRL 法と水質予測のための一変数モデルとを組み合わせ、滞水池、稀釈倍率の引上げなどの効果を比較しております。中村は、松原の方法と同様な方法を用いて、各種の対策案の効果と費用の関係を論じています。齊藤は、雨天時下水の濃度を

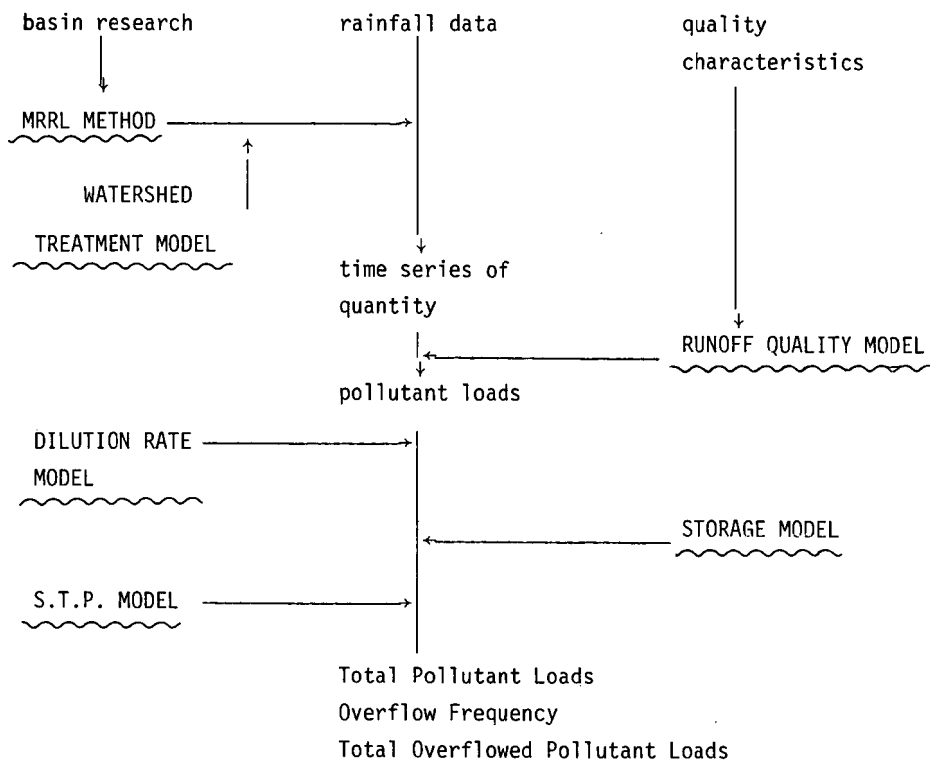


Figure-5 Example Process of Solution Methodology

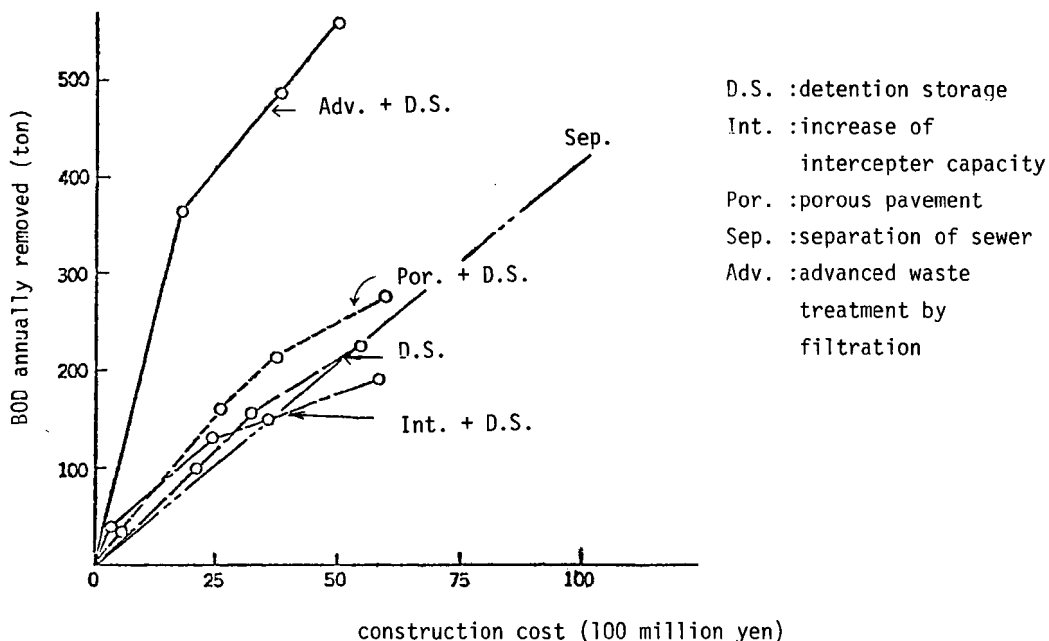


Figure-6 Example of Cost-Effective Analysis

一定とした方法で、各地域の実測データから各種の対策による効果と費用とを比較しております。

ここで一つの解決手法例を紹介したいと思います。図-5に、そのプロセスを示してありますのでご覧下さい。この例では、雨水流出モデルとして修正RR L法を使用しておりますが、他の流出モデルを適用することも可能であります。また効果を測定する為の尺度として、トータルの放流負荷量（処理場、雨水吐き室、ポンプ場から放流される年間の負荷量）、越流頻度、越流負荷量の3つをアウトプットしていますが、これは完全な、利用出来る雨天時放流先モデルがまだ出来上がっていない為でありまして、放流先モデルが完成すればそれをこのモデルに結合させることも可能であります。降雨データとしては、最低でも一年分のデータが必要と思われますが、勿論単一降雨をインプットデータとして用いることも可能であります。図-6は10年分の降雨データを使用し、このモデルで計算を行い、さらに別途費用計算を行ってみたものであります。排水区域の面積は約540ha、人口が約13万人程度であります。このケースの場合、年間の総放流BOD負荷量を経済的に軽減する手法としては二次処理水をさらに急速ろ過によって高度処理する方法が挙げられるわけですが、この高度処理手法と雨天時の越流下水を一時貯留する滞水池手法を組み合わせると非常に高い汚濁負荷除去効率を得られます。また分流化は、雨天時汚濁間型の真の解決策とはなり得ないことも明白であります。また遮集管容量を引き上げるという対策も、一時的には効果が上がりますが、処理場での一次処理水の増加という結果を招くため、最終的な解決策ではないと思われれます。

以上、雨天時汚濁問題に関して「問題の定義」ということで述べてきたわけですが、次に「対策」について述べてみたいと思います。

3. 対 策 (CONTROL MEASURES)

雨天時汚濁問題を解決するための対策についての研究は、まだその緒についたばかりの段階であります。各種の対策案を評価する場合に当っては、以下に述べるような現実の問題が存在しておりますので、これらの問題が明確に解決されない限り最終的な結論は得られないと思います。

(1) どの程度の制御が必要なのか明確に示されていないということ

法的には、合流式下水道からの雨天時越流水にも、下水処理場からの放流水と同じような放流水基準がかかると解釈されておりますが、あらゆる降雨現象に伴う雨天時越流水に対してこの放流水基準を遵守することは不可能に近いことでありますし、また合理的とは云い難いと思います。他方分流式下水道の場合には、どんなに汚れていようと、雨水流出水には何らの放流水基準もありません。

(2) 晴天時下水の為の施設が雨天時下水の為の施設として適用可能かどうか明確でないこと。

現在の晴天時用施設は、そのままの形では雨天時下水の流量負荷に対処出来る能力はありません。そのため、合流式下水道の場合には雨水吐き室からの越流、ポンプ場から放流先への直接放流、処理

場における雨天時下水の簡易処理放流などの手段を用いて、能力不足を補っているわけです。しかしながら晴天時用施設の雨天時下水の流量負荷に対処する能力が不足している点を、系内貯留あるいは系外貯留によってカバーしたとしても、晴天時下水とは水質特性が異なる雨天時下水を、果して晴天時用施設、とくに生物処理施設で処理出来るものかどうかかわからないわけであります。イエスという答であれば、貯留に対する評価は当然高いものになりますし、ノーという答であれば逆に貯留に対する評価は低くなるであります。

(3) 地域によって雨天時下水の特性が大きく異なるため対策案の効果を画一的に評価することができない

まったく同じ対策を2つの異なる地域で採用したとしても、その効果は全く異なる場合もあるわけですから、各対策案に対する一般的な効果を論じて意味がないのであります。さらに、水質特性の地域差という問題の他に、雨天時汚濁の問題が顕在化してきた背景あるいは原因が地域によっては異なるという点も見逃せない点であります。

この他にも解決されなければならない問題や明確にされなければならない事柄があるとは思いますが、対策のことを考える場合に前提としてふまえてもらう点は以上で打止めにしておきます。

次いで、各種の対策案について簡単に説明しておきたいと思います。

・貯 留 (Storage)

この貯留という制御手法は、大別して2つの方法に分けられると思います。系内貯留と系外貯留とであります。系内貯留には、管内貯留、越流堰からの越流水の一時貯留などがありますが、図-7に稲場がまとめたオリフスタップの方法とカットタイプの方法を載せてありますのでご覧下さい。系外貯留としては、オンサイトで貯留する方法、とくに透水性舗装が有効だと思われます。

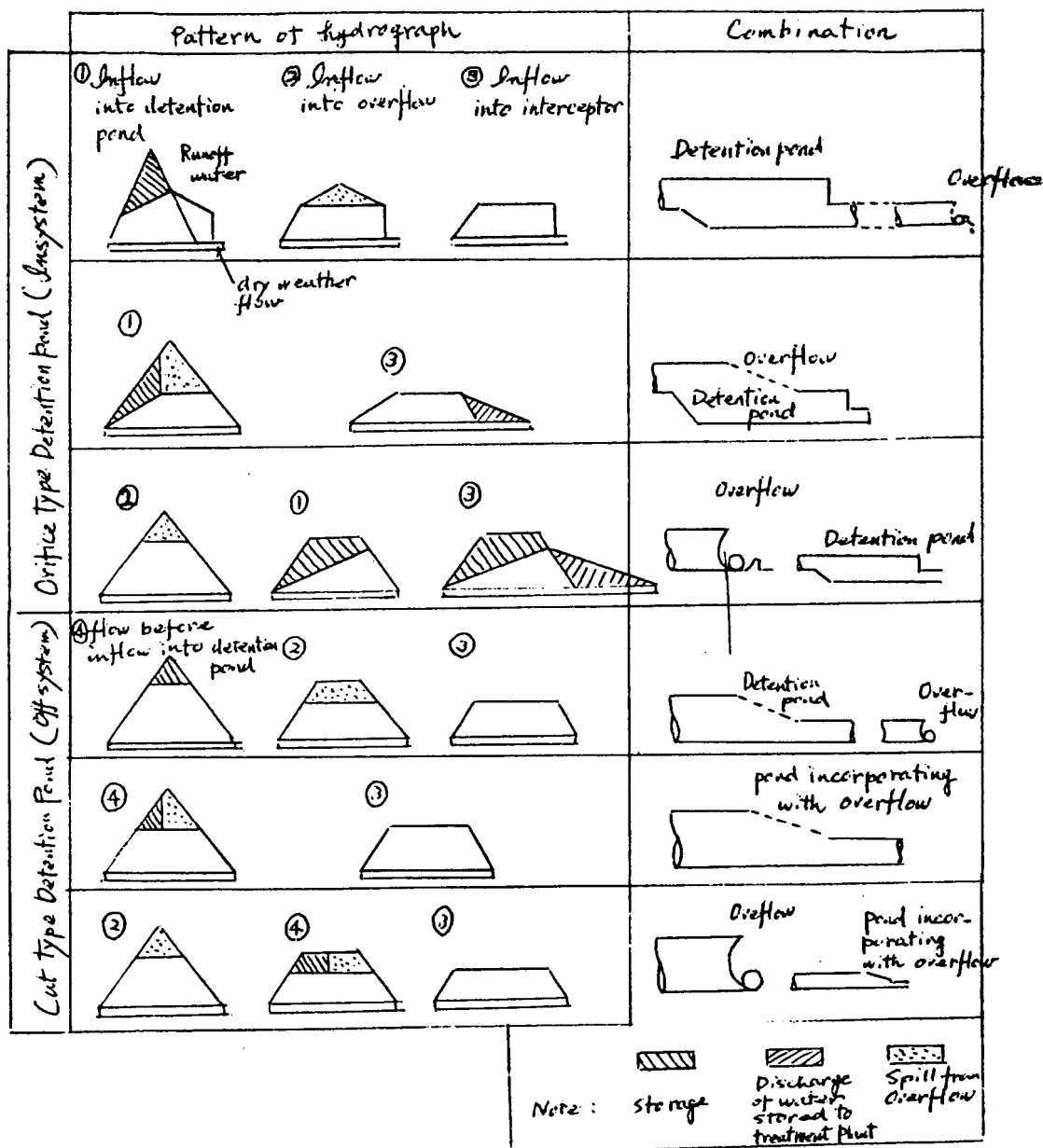
・遮集管能力の改善

排水区域内人口の増加、1人当りの水使用量の増加などの原因によって、古くからある合流式下水道システムでは、設計された時点の晴天時流量よりもはるかに多い晴天時流量が流れているところが多いわけでごさいます。このような状況下におかれている合流式下水道システムでは、十分な稀釈が行われないうちに雨水吐室からの越流が生じております。これを改善する方法の一つとして設計時点の稀釈倍率が確保出来るように遮集管能力を増大してやる事が考えられます。この方法では、同時に処理場内部の簡易処理施設の能力も増加してやる必要があります。

・分 流 化

合流式下水道システムを分流式のシステムに変更することも一つの対策案として考えられるわけですが、地域によっては雨水流出水そのものが汚染されているわけですから、このような方法で問題を解決しようとしても問題は一向に解決していない場合もあり得ます。また、すでに合流式管渠が埋設されている道路下に、もう一本新しい管渠を敷設するという方法が、住民に受け容れられる方法かどうか疑問であります。

Fig.-28/ Combination of detention pond,
7 overflow and interceptor.



・そ の 他

晴天時の単位汚濁負荷量当りの除去費用と比較しますと、雨天時のその費用はかなり高いものになると思われますので、複雑な雨天時汚濁制御システムというものはそれほど広範に利用されることはないと思います。最も単純で、費用がかからない制御システムを追求していかなければならないでありましょう。米国のEPAで開発された渦巻式固液分離装置は、われわれのこの要望をかなえた汚濁制御手法の一つと云えましょう。土木研究所では直径90cmの渦巻式固液分離装置を作成し、今年度からいろいろな汚濁物質に対する除去効率の実験を開始しております。

4. 事 例 紹 介

わが国では、雨天時の合流式下水道からの越流水により水質汚濁を制御する実際の例は数少ないわけですが、大阪市と横浜市の例を簡単に紹介したいと思います。

4.1 大阪市の雨水沈殿池

1975年、大阪시는2つの貯水池から成る雨水沈殿池を建設しまして、市の中心にある中之島ポンプ場で合流式下水道の改善を行っております。他の構造は、巾3.5m、長さ20.2m、深さが4.5～5.0mでありまして将来はこのような池がさらに4つ追加される予定であります。計画が予定通り完了した場合には貯留能力は約2,000m³となり、排水区域換算で4.4mmに相当致します。

4.2 大阪市の幹線管渠

大阪市では、急激な都市化と地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下の為に、低地でははんらんが多発するようになりました。この問題を解決するため、新しい遮集管の建設が計画され、1973年から工事にはいっております。

内径が6000mmのその主要な部分は25mの深さのところ約3kmの長さで設置され、80,000m³の貯留能力をもつことになります。この幹線管渠は、はんらんの防御と汚濁防止という2つの効果をもつと考えられます。

4.3 横浜市の滞水池

横浜市は、貯留能力が22,680m³の滞水池を、雨天時の合流式下水道からの越流水による汚濁対策として建設中であります。この滞水池は地下に造られているわけですが、地上部分には公園を造り一般に開放するよう計画されています。

この滞水池を造ることによって、現在の合流式システムが改善されるわけですが、代替案の分流化に比較してもほとんど同じような効果が期待されております。また、滞水池の建設費は、分流化に比較して $\frac{1}{2}$ 程度であります。

以上で私の発表を終わりますが、質問等がありましたら喜んでお答えしたいと思います。

1.5 質 疑 応 答

質問：日本では合流式下水道からの越流水に対して次のような排水基準が適用されています。すなわち

pH : 5.8～8.6 (川あるいは湖沼)

5.0～9.0 (海)

BOD : 160 mg/ℓ以下 (日間平均120)

SS : 200 " (" 150)

COD : 160 " (" 120)

その他に C_u 、 Z_n 、溶解性 F_e 、溶解性 M_n 、 C_r 、大腸菌、etc

というようなものでありますが、分流式の雨水排水についてはそのような基準はありません。

雨天時の放流下水について米国ではどのような基準があるのでしょうかお聞かせ下さい。

また、雨天時の放流水についての監視システムがございましたら、それについてもお聞かせ下さい。(北九州市)

答：雨天時の放流下水というのは、分流式の雨水管渠からの放流水と考えてお答えします。合衆国においては分流式の雨水排水について、連邦政府の排水基準というのはございません。しかしながら、州政府が独自の基準を持っている場合もあります。例えば、フロリダ州のオレンジカウンティでは、分流式の雨水排水についても処理しなければならないと定めてあります。詳しい内容については、残念ながら覚えておりません。またメリーランド州では、デベロPPERに対して、開発に伴って生じる雨水流出水の増大を何らかの形で防止するよう規制しております。と申しますのは、洪水、侵食あるいは下流に与える影響を防止しなければならないからであります。

現在連邦政府の排水基準というのはないわけですが、それは特定の水質項目を定めたものがないということです。しかしながら、連邦政府には、公法92500(PL-92511)というものがあましてこの中で、合衆国の約150の大きな地域について、分流式の雨水排水の場合も含めて水質汚濁源についての研究をしなければならないと定められております。そして、これら汚濁源の影響評価を行った場合に、分流式の雨水が最も影響が大きいことがわかれば、これに対して何らかの対策をとらなければならないようになるわけであります。また具体的にはPL-92500の下に208計画区域というものが定められて、この計画に当たっているわけであります。

2番目の質問に対する答をしなければならないのですが、これはどのような監視システムが良いかという質問ではなく、そのようなものがあるかないかというように解釈しました。監視システムに関する研究は1960年代初頭から始められておりまして、オハイオ州シンシ

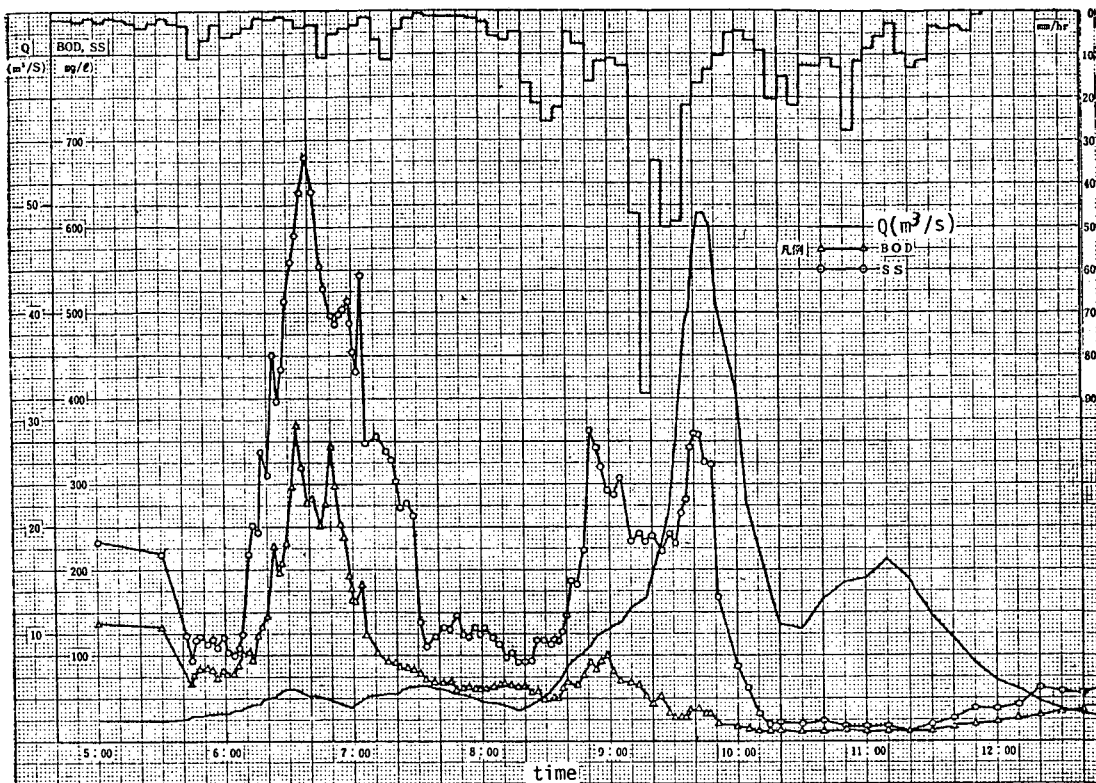


Figure-2. Combined sewage quantity and quality data

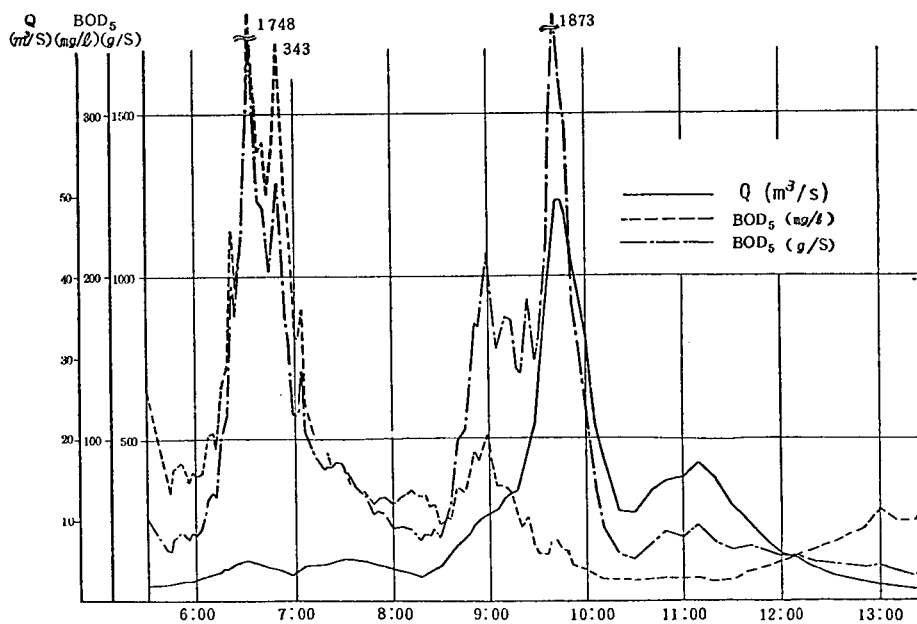


Figure-3. Combined sewage quantity, quality and load data

ナチ、ワシントンD.C.、アリゾナ州ツーソンなどで研究が進められました。その結果、雨天時の汚濁というものが重要なものであることが認識されたわけであります。例えば、ノースカロライナ州のダーム（Durham）では、分流式の雨水排水によるSS負荷量は晴天時に放流される量の数倍にもなりますし、BODは晴天時の処理水と同程度、CODは生下水と同程度でありました。通常の下水と雨天時下水とでは有機物の構成が異なるというのも面白い結果であります。特に分流式の雨水はBODだけの測定では不十分だということがわかんと思います。

質問：図－２は、ある排水区での雨天時合流式下水道の水量・水質データであります。晴天時流量は $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ で、 $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上になると雨水吐室からの越流が始まります。

９時以降になると、流量が増加しているにもかかわらずBOD濃度は減少しています。しかし負荷量（ g/s ）は流量の増加とともに増大しております（図－３）。

このような場合、越流水質と越流負荷量の双方を制御する必要があるでしょうか

日本では、雨天時の越流水に対してはBODが平均 $120 \text{ mg}/\ell$ 、最大 $160 \text{ mg}/\ell$ 、SSが平均 $150 \text{ mg}/\ell$ 、最大 $200 \text{ mg}/\ell$ という放流水基準が決められているのですが、この基準を遵守しようとする場合、BODとSSとでは異なった制御方法が必要と思われます。この問題を解決するのに良い方法がありましたらお聞かせ下さい。（東京都）

答：どのくらいの量からオーバーフローさせるかという問題については、各々の所で持っている政策によって大きく異なりますので、私はこの質問が完全に理解出来たものとは思っていません。私が知っている限りでは、オーバーフローは晴天時流量の１０倍とか１００倍の量で起ると思いますので、この図に示されているのは全量処理場へ行くのではないのでしょうか。

放流先のことを問題にする場合に質で制御するか量で制御するかというご質問でありますけれども、私は総負荷量で制御することが必要だと思います。また、BODかSSかという質問でございますけど、合流式下水道からの越流水の場合、先ず第一に粗大固形物を除去することが必要だと思います。放流先が見苦しい状態になるというのは、大ていの場合このような粗大固形物の影響でありますし、また固形物が放流先の底に堆積して生ずる問題も大きいからであります。

質問：合流式下水道からの越流水を一時的に貯留する池を建設しようとする場合、多くの場合それは地下に建設しなければならないと思います。その場合、池に貯まった汚泥や固形物をどのように集め、運搬し、処理・処分を行ったらよいかお聞かせ下さい。（大阪市）

答：雨天時の合流式下水道からの越流水を一時的に貯留するという場合には、それを沈殿池として利用するのが効果的であると考えています。この場合、池に貯まった泥をどのように処理・

処分するかということは非常に重要な問題でありまして、例えばミルウォーキーでは、一時貯留で底に貯まった泥を再浮上させて、貯留下水と一緒に晴天時の処理施設にポンプで送っております。またニューヨークでは、サイクロンの固形物分離装置を通して、固液分離を行い、固形物のみを晴天時の処理施設に送っております。技術的な見地から考えなければならぬ最も重要な点は、既存の晴天時処理施設の汚泥処理能力がこのような雨天時の汚泥を処理するのに十分かどうかという点であります。もし十分でない場合には、雨天時下水の汚泥を貯留する施設を新設しなければならないわけであります。

池に貯まっよ汚泥の収集・輸送に関して、現在まで多くの実験が行われました。最も単純な、人間が中に入って汚泥をかき寄せるという方法から、機械によって自動的に集めるという高度な方法まで、いろいろ実験したわけであります。また、汚泥運搬用の列車というものも実験してみました。

シカゴの場合ディープトンネルという大口径のトンネルに雨天時の下水を一時貯留しておりますが、このような場合には維持管理も大変ですし、大型のポンプが必要になってくるわけです。そこで、私が午前中に申し上げましたような簡単な固形物分離装置を取り付けて、でき得る限り沈降性の固形物を除去しておくということが得策ではないかと思えます。もう一つの例を申し上げますと、これはウィスコンシン州のチップワフォールズという所の話ですが、ここでは池がアスファルトでライニングされており、中に貯まった汚泥は通常の路面清掃車のようなものでかき寄せ、運搬することができます。

質問：分流式の雨水と合流式の雨天時越流水による汚濁問題を除いては、他のノン・ポイント・ソース（面的汚濁源）による問題というのはそれほど広く認識されていないわけでして、この問題に対する研究を始めている人は非常に限られています。米国では、これらのノン・ポイント・ソースの問題に関してどのような調査・研究が行われているのかお聞かせ下さい。

（下水道企画課）

答：ノン・ポイント・ソースの問題というのは、分流式の雨水、合流式の越流水などの都市流出ばかりでなく、下水道未整備地域からの都市排水、農村排水、農業排水、鉱山排水、森林地域からの排水など非常に多くの対象があるわけでして、私はこれらすべての専門家というわけではありませんからわからないことも多いわけです。知っている限りの範囲で話を致しますと、例えば農業排水などについては農法を修正するというような方法が有効だと聞いておりますし、またある種の土地利用技術が必要だと思えます。

鉱山からの流出に関しては実際に貯留をして処理をしているという話を聞いたこともありますが、よくわからない点が多いわけです。

都市域以外からの流出による汚濁に関して詳しいことを知りたいという方があれば、私の

ところに連絡して下さい。もっと詳しい資料を集めてお送り致します。

質問：東京都では透水性舗装の試験を行っておりますが、安全性、耐久性に関しては問題がないだろうという話です。長期間使用した場合の目詰まりの問題に対してはまだわからないようですが、もしこのような目詰まりの問題に対する結果がわかっているればお聞かせ下さい。

（土木研究所）

答：テキサス州ヒューストンで駐車場を使って透水性舗装のフルスケールの実験を行っております。この実験は、通常の舗装と透水性舗装を様々な面から比較するという方法で行われたわけではありますが、安定性と耐久性に関して両者の差はほとんどありませんでした。水質試験の結果では、降雨期間中及び降雨後に透水性舗装下に貯留された雨水は、通常の舗装からの流出水に比較して極めて低い濃度の汚染物質しか含んでいないということでした。

長期間の使用後の目詰まりについては今のところ最善の解決策というのはないわけですが、ブラッシングするとか、圧力水をたたきつけて真空式の掃除機で清掃するという方法があるかと思います。真空掃除機だけでは、舗装体の目詰まりを防ぐことはできないかと思います。いずれにしても、完全に舗装体が目詰まりをおこしている場合には、どの方法も効果がなかったわけであります。

透水性舗装の目詰まりの問題で一番大きなダメージを受けるのは初期の段階でありまして、建設工事で残った残土とか、トラックから落とされる土砂によって目詰まりが生ずる場合が多いので、この時期の注意が目詰まりを考える場合には必要となってくるわけであります。

質問：屋根の上に雨水を貯めるということに関して、市民にそれを義務付けるような規制があるのでしょうか。また、そのようなことを行った人は税制上あるいは何らかの負担金制度上費用負担が小さくなるということがあるのでしょうか。

屋根上貯留以外の貯留を行った場合についても、同様にお聞かせ下さい。（川崎市）

答：私は技術者でありますから、このような社会的、政治的、経済的な判断が必要とする質問にはうまく答えられないのでありますが何とか答えてみたいと思います。

私の知る限りでは、個人に対してこのような貯留を強いるような規制はないと思います。しかしながら例えばコロラド州デンバーにおける新しい都市再開発地域にあっては、市はデベロッパーに対してこのようなことを要求しておりますが、個人に対して強要するということはありません。このような要求は主として洪水防止の関点から行われるわけでありまして、開発に伴う流出増を抑えるものであります。また税制上何らかの優遇があるか否かという点でありますけれども、この質問に対しても私は十分な知識を持ち合わせているわけではございませんので明確な答が出来るかどうか分かりません。ただ、何らかの形で税が減税される

となればそれに見合う別の財源を探さなければならないわけですし、もし減税が行われなくてこのような貯留が義務付けられますと、家主のほうは当然その費用を借家人に負担させるようにしますので社会的には大きな問題となってくるわけであります。

マサチューセッツ州ボストンで行われている新しい都市開発では、社会、経済、政治的側面から計画が検討されまして、汚濁防止も洪水対策も一緒に考えられております。

質問：日本の場合ですと、河川ぞいに非常にたくさんの越流地点がありまして、数百メートル毎に1つぐらいの割合であります。このような場合ですと、実際どのような制御手法をとってよいかわからないわけですが、良い方法がございましたらお聞かせ下さい。

また、アメリカの場合ですと、越流地点というのは日本のように川ぞいにたくさんあるのでしょうか、その点についてもお聞かせ下さい。
(横浜市)

答：これはよくある質問で、またそれだけ重要なものだと思います。合衆国の場合も多く都市が似たような状況でありまして、例えばニューヨーク市などは数百ヤード(1ヤード=0.915m)に1ヶ所の割合で越流地点が設けられております。都市の人口が多ければ多いほど、また越流地点の数がそれに比例して増えるという有様です。

この問題の答を考える場合、最も重要なことは何か新しい施設を作る前に、既存の下水道システムを最大限に活用することを考えるべきだということです。この方法が最も費用のかからない方法なわけであります。例えば、既設の管渠に出来得る限り貯留することによって、既設の処理施設も最大限に活用することが出来るのであります。遮集管渠に余有がある場合には、このようなことが出来るのでありますが、もし遮集管渠に余有がない場合には個々の越流地点で何らかの対策を考えなければならないであります。物理処理を行うとか、あるいは私が午前中に申し上げましたような渦巻式の固液分離装置を設けるとかしくはなりません。渦巻式の装置は非常によいものでありまして、流量を調節する機能とそれを処理する機能を備えております。

技術者の見地から考えなければならない重要な点を付け加えますと、例えば2つの越流地点に対して、1つの処理施設を設けて合わせて処理した方が良いのか、あるいは各々の越流地点に対して別々に処理施設を設けた方が良いのかという点であります。この場合には、費用に対する効果とか、スケーリングの利点、あるいは土地などの諸々のファクターが考慮されなければならないわけであります。

質問：日本では、侵入水あるいは漏水に対する調査が数少ないのでこの問題に対する解決策もないわけであります。もし良い方法がございましたらお教え下さい。
(名古屋市)

答：アメリカにおきましても侵入水／漏水の問題がありまして長いこと調査・研究を行っております。2つのケースがあると思います、つまり新しく管渠を建設する場合の問題と既設の管渠の問題であります。新しく管渠を建設する場合、管渠の強度の問題とか接続部分の問題があり検査制度の確立が必要であります。とくに接続部分が良くない場合は簡単に侵入水／漏水が生じてしまいます。また、私が知るところによれば、個々の家庭からの管渠の接続に多くの問題があり、ほとんどの侵入水はここから生じております。検査制度の他に、新しい施工技術、管渠材の研究も行われておりまして、例えばPVCパイプの開発が行われました。このパイプは、非常に高い不浸透性を示し、さらに下水中に含まれている化学薬品に対しても高い抵抗性を持っています。また比較的長い距離を接続部分を持たずに設置することが出来ますので漏水に対して有効だと考えられます。ただ、これらの新しい材料を作った場合には新しい施工技術が必要となり、ワシントンにもいろいろな組合とか地方団体が押しかけて圧力をかけておりますので、このような新しい技術を導入するにはまだ色々の問題があるようでございます。

質問：雨天時の汚濁制御費用は誰が負担すべきでありましょうか。日本の場合ですと、雨天時汚濁制御の施設は非常に少ないわけでありまして誰が費用負担するか決めかねるわけですが、雨天時の汚濁制御費用の負担システムについて米国での例をご存知でしたらお聞かせ下さい。

（札幌市）

答：合衆国においては、PL-92500によって、雨天時の汚濁の影響があるのか否か調査しなければならないわけでありまして、もし地方政府が雨天時の汚濁制御をする必要があると認められた場合、必要な施設の建設に対して75%の建設補助金がEPAから与えられます。しかしながらEPAの中にもこのような補助政策に抵抗を示す人もおりまして、この政策が真の効果を発揮するまでには致っておりません。

質問：日本の場合、合流式下水道の処理場に流入する雨天時下水量は、晴天時下水量の3倍までありますが、そのうち2次処理まで受けるものは晴天時下水の1倍量までで、残りの2倍量は簡易処理だけされて放流されています。

米国の場合、雨天時の処理場流入水はどのように処理されているのでしょうかお聞かせ下さい。

設計時点の晴天時下水流量に比較して、現在の晴天時下水流量が増大している為、必ずしも晴天時下水流量の3位量を取り込むことが出来ない処理場が多いのであります。

米国ではこれと似たような問題があるのでしょうか、またその場合にはどのようにしてこの問題を解決しているかお聞かせ下さい。

（福岡市）

答：合衆国におきましても同様の問題がありまして、これは都市によって違いますが、晴天時の処理場の処理能力は晴天時の日平均下水量の1.5倍から6倍くらいまでの範囲でつくられております。しかしながら、このような余裕というものは、もともと雨天時の処理のことを考えて設計されたわけではなく、晴天時の平均量を大きく上回る晴天時のピーク流量を対象に設計されたものであります。でありますから、例えばピークが生ずる昼間の12時頃に雨が降りますと、管渠のほうにも余裕が無いわけですから、どんな雨でもオーバーフローが起こるということになります。人口が増加すると多くの場合必然的に人口密度も高くなるわけでありまして、この結果、人口増に伴う排水量の増加によって既存の下水管なり処理場の余裕というものが無くなってくるわけでありまして。

このような問題は当然どこの国でもあるものと思います。一つの都市で雨天時の問題をかかえているという場合には、私たち技術者はその問題を解決するためにどのような設計が果して可能であるかをその都市の事情を見合わせて検討すべきであると思います。

第2章 米国における雨水汚濁制御の現状

日本下水道事業団でのフィールド氏の講演より

I 前 言

本論文は、合流式下水道からの越流水及び雨水による汚濁に対しての合衆国政府の基本的な考え方を表わしたものである。

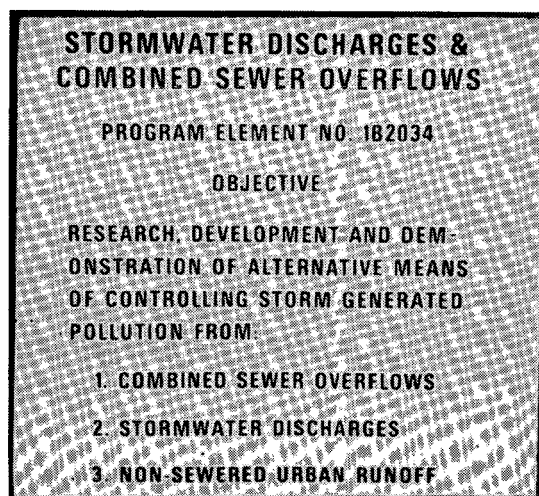
合衆国の公衆衛生に関する報告書（1964年刊行）により、初めて、越流水による汚濁の問題を国レベルにおいて論じた。これをうけて、1965年のFWPC法においてこの汚濁の削減技術を開発するという条項が加えられた。

さらに、1972年の法改正により、組織が整備拡充された。

雨水及び合流式の越流水による汚濁防止プログラムにおいて、雨水と越流水の問題を次の三つに分類している。

1. 合流式下水道からの越流水
2. 雨水排除
3. 下水道未整備地域よりの流出水

これについては、現在までの認可数150、その事業及び調査費は375億円（150百万ドル）である。そのうちの連邦政府の補助金は125億円（50百万ドル）、補助率 $\frac{2}{3}$ である。



II は じ め に

当初、雨水の排除計画にあたっては、遅滞なく公共用水機に雨水を排除する観点が重視された。その後、家庭下水も雨水管に排水することにより合流式への改造がなされた。したがって、合流式

下水道は分流式よりも建設費が安いので広く採用されてきた。

家庭下水による汚濁問題が起ったとき、雨天時下水と晴天時下水をいかに分離するかが問題となった。これに対して、下水道の雨水吐の構造を、雨天時流量が、晴天時流量の何倍かになったとき始めて越流するように変更することがなされた。雨水は水域の近くに設置することが経済的であり、遮集管により晴天時汚水分を下水処理場に排除する。

また、汚濁防止の観点から分流式が採用される場合もあるが、誤接等の問題により、過剰な浸透水、流入水がある場合は、EPAの調査により、基本的には合流式と同様であることがわかった。

III 合流式下水道の問題点

合流式下水道の基本的な欠点としては、雨水吐の問題が掲げられる。

合流式下水道からの未処理の越流水は、水域に多大な汚濁を与えるものである。

合流式下水道からの越流水による汚濁問題は、合衆国の北東部、中西部、西部等の主要地域に広範に存在している。APWAの全国調査によれば、合流式排水区域は120万ha(3百万エーカー)自活体数1300、人口54百万人、管渠延長88500キロメートル(55,000マイル)である。641の管轄の調査によると以下の報告がなされている。

—14,200の雨水吐に関して493の

報告書

—雨天時の浸透水の問題に関して340

の報告書

—晴天時の合流式の越流問題について

96の報告

イギリスのノーザンプトンで行われた

92ha(229エーカー)の合流式の排水区

域を対象にした2年間の調査によって、

越流問題の重要性が指摘された。この研

究によれば、合流式下水道からの越流水によるBOD負荷量は、下水処理場の二次処理水のBOD負荷量にはほぼ等しく、SS負荷は、その3倍に達する。

晴天時の流量の少ないときに管内で堆積が起り、雨天時に掃流される。この問題としては、大量の負荷流出が比較的短かい期間に起る現象—初期流出—が、水域の生態系にショックロードを与える点にある。

また、流出水中には、家庭下水、工場排水以外に、都市域の雨水そのものが、越流水中の大きな負荷源となっている。

都市域の雨水には、動物のふん、腐食土、タイヤの残渣、大気汚染物質、重金属、融解剤、殺虫

SELECTED STUDIES SUBSTANTIATING MAGNITUDE OF OVERFLOW PROBLEM

NORTHAMPTON, ENGLAND:

LBS BOD / YR IN CSO $\approx$ LBS BOD / YR IN SECONDARY TREATMENT PLANT EFFLUENT

LBS SS / YR IN CSO $\approx$ 3 [LBS SS / YR IN SECONDARY TREATMENT PLANT EFFLUENT]

BUFFALO, NEW YORK:

20-30% OF LBS DOMESTIC SEWAGE SOLIDS / YR SETTLE IN COMBINED SEWERS
AND ARE EVENTUALLY DISCHARGED UNTREATED DURING STORMS.

DURHAM, NORTH CAROLINA:

LBS BOD / YR IN URBAN RUNOFF $\approx$ LBS BOD / YR IN SECONDARY TREATMENT PLANT EFFLUENT

LBS COD / YR IN URBAN RUNOFF $>$ LBS COD / YR IN RAW SANITARY SEWAGE

剤、PCB、肥料、腐敗した野菜、その他有害物質等が含まれている。

ノースカロライナ州のダーハム地区の流域(432 ha)の調査によれば、雨水に帰因する年間のBOD負荷量は、二次処理水の負荷量に匹敵しており、CODは、同じ排水区域からの発生負荷量に匹敵している。

降雨・流出変動に応じて、合流式下水道からの越流特性を記した典型的なものはない。このスライドは、雨天時下水の一般的な濃度の範囲を示している。越流水質は、初期流出水における高濃度なものから次第に低くなる。この水質の変動の経過は降雨前の晴天期間の長さ、地方の風土特性排除方式の構成、排水区域の特性等により異なる。

都市域の雨水は、いろいろな汚染物を含んでいるので重要な汚濁源であり、非常に高い塩素イオン濃度は、融解剤によるものである。今までの融解剤に関する研究によって次のような結論が得られた

1. 高速道路の融解剤により広範囲の環境への害を与える。

2. 合衆国の高速道路の担当部局は、水や雪はすばやく除去しなければならないと考え、その結果、過剰に散布することになる。

3. 融解剤の貯蔵所は、しばしば永続的な地下水、表流水の汚染源となる。

4. 融解剤中の添加剤であるクロム、シアンは、有害性が高い。

5. 多くの事例及び研究により、上水道及び水域における重大な影響を与えて

TYPICAL CONCENTRATION RANGES FOR STORMWATER RUNOFF DURING RAIN EVENTS			
BOD ₅	30	70	150
SS	20	70	1,700
For. Sol.	150	70	2,500
Vol. For. Sol.	15	70	100
Oil	4.0	70	100
Grease	2	70	150
Ammonia	1.5	70	100
Chloride	0.1	70	120
Calcium	0.1	70	100
Sulfate	20	70	100
Phosphate	0.01	70	100

TYPICAL CONCENTRATION RANGES FOR STORMWATER RUNOFF DURING DRY EVENTS			
BOD ₅	1	70	100
SS	1	70	100
For. Sol.	1	70	100
Vol. For. Sol.	0.5	70	100
Oil	0.5	70	100
Grease	0.5	70	100
Ammonia	0.5	70	100
Chloride	0.5	70	100
Calcium	0.5	70	100
Sulfate	0.5	70	100
Phosphate	0.01	70	100

BASED ON EWQRL STUDIES OF THE ENVIRONMENTAL
IMPACT OF HIGHWAY DEICING, THE FOLLOWING
WAS CONCLUDED:

1. Salts can create various environmental problems
2. "Bare-Pavement" is general philosophy - excessive application usually results
3. Storage sites can cause pollution
4. Deicing additives increase problems
5. High salt concentrations found in highway snowmelt
6. Salts can contaminate water supplies and receiving waters
7. Salts can be detrimental to health
8. Salt monitoring is needed
9. Salts increase corrosion
10. Salts can damage vegetation.

処理場の過負荷は若干処理効率を減せしめるとともに、汚泥処理に問題を引き起こすであろう。しかし、降雨中のしかもごく短時間のこの処置は検討するに値するものである。水理的負荷がユニットプロセスの機能を破壊するようなシリアスな結果をもたらすとオペレーターが判断する場合でも沈殿処理と消毒が最低限度考えられるべきである。デトロイトでは、オペレーターが遠隔降雨観測装置からの降雨情報を受け取る。処理場のポンプ揚水量が増し、その結果、遮集管きょの水面勾配が増す。かくして遮集管きょの貯留能力や流送能力が増大する。デトロイトではこのような処置によって、局地的な降雨や都市の全域に降る微弱降雨に対処することができた。オペレーターはまた、改良型流量調節装置の検査や維持管理、越流頻度を最小にするための予防スケジュールに関係すべきである。装置の機能の悪さやオリフィスの閉息による晴天時の越流もこのようにしてなくなるであろう。背水の浸入が懸念される防潮ゲートの改善、分流装置の据え付け状態の適正化によって遮集管きょの流送能力を増大させることができる。

都市はまた浸透水や過剰な侵入水を制御することで、大規模で経費のかかる改善をせずとも合流式下水道からの越流を防ぐことができる。

浸透による過剰流量は、下水道の能力をその分減殺するばかりでなく水質にも影響を及ぼす。

浸透によるその他の悪影響は次の通りである。

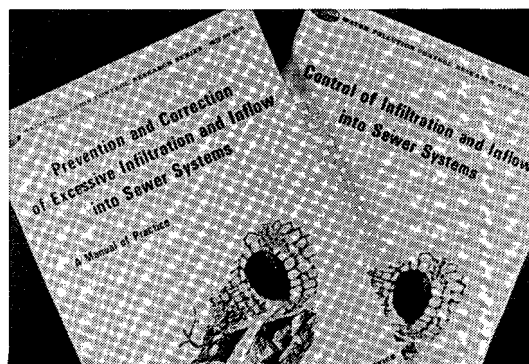
- (a) 過負荷及び街路や私有地への逆流、放流管きょの必要性
- (b) 処理場やポンプ場への過負荷、バイパス放流、処理効率の低下、処理費の増大
- (c) 生下水の分流、水域の悪影響の増大、越流時間の増大

A PWAは、浸透水が晴天時においては、調査都市の14%で、雨天時においては、53%で深刻な問題になっていると報告した。

また、A PWAは過剰な流入水の流入源が屋根のトヨ、沈下したマンホール蓋、地下室、基礎、庭の排水管、空調や工業用冷却水、その他の取付管であることを示した。

浸透水制御は、まず管きょの設置工事から始まる。良質の建設資材や適正な設置技術が必要である。管きょのシーリングやライニングの新方法が管きょの補修や更新を行う前に十分に評価検討されるべきである。

過剰な流入水がある場合に浸透調査が行なわれるべきである。調査はテレビジョンやその他の可視的な管きょ系の検査法、スモークテスト、水および空気による圧力テストその他各種の流量観測手法によって行なわれる。



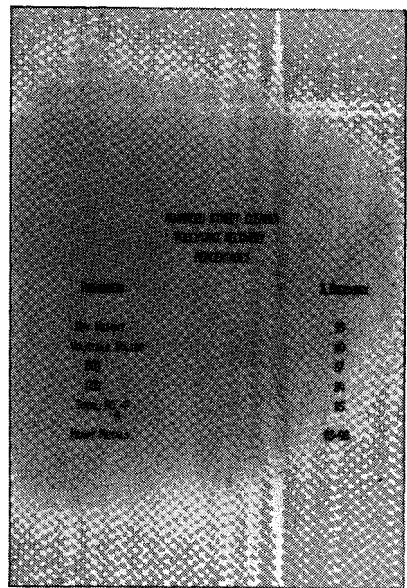
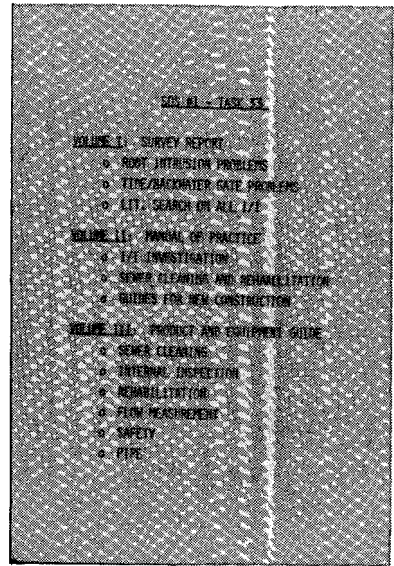
晴雨天時の過負荷の原因となる過度の堆積、部分的な閉塞、陥没もまた正確に調べられるべきである。公共下水道へお建物からの取付け管部分は浸透水の大供給源である。浸透水の70~80%はこの部分に起因する。従ってこの部分の施工は慎重を期さねばならない。

地方公共団体は過剰な流入量の排除を考える場合、次の基本要件を検討すべきである。

1. 清浄なあるいは汚染されていない流入水とは何であるかということの決定。
2. 流入源の減少による流量減少のために起こる管きよの腐敗と臭気の状態。
3. 流入源を減少させるという意志決定の公衆に及ぼす影響と実行のための諸問題。
4. 将来、都市は分離した都市流出水を処理せざるを得なくなるであろうということが、いわゆる清浄な水の污水管から雨水管への均り換えを無意味にするかもしれないという強い可能性。

調査によると、清掃によって街路表面から汚濁物を除去する方が、下水管きよ系を経て汚濁物を除去するよりも安くつく。除去費用は前者の場合、汚濁物1トン当たり24~30ドル、後者の場合、60~70ドルである。より重要なことは、都市内の清掃業務によって雨天時の越流水による汚濁を減少させることができることである。通常の汚濁物の減少、下水管きよに入る前にダストやダートの部分を有効に除去するという利益以外に重金属、殺虫剤やPCBのような有害物質を減少させる利益がある。より新しいより将来性のある清掃装置が評価され、機能の劣る現在の装置にかわって採用されるべきである。土地利用、地帯制、建設現場の侵食防止業務は放流水域や処理場への汚濁物の負荷を軽減させる。

集水ます(Catch basin)、管きよ、ポンプ井およびその他の付属設備を洗浄や水を用いない機械的な手法によって清掃することは、雨天時における汚濁負荷を減少させ、晴雨天時における早すぎる越流をなくすることにつながる。ここで私達は、雨天時用の流量制御装置や処理施設の設置によって「ループを閉じる」ということよりも、清掃の便益にウェイトを置かねばならない。



家庭用ディスポーザーは晴天時に下水管きょ系内で汚濁物の堆積を促進し、この堆積汚濁物は雨天時に流出する。結果として越流水は水域に極めて大きな悪影響を与えるのである。都市はこのことに十分留意すべきである。将来の越流水制御・処理に関する計画は、ループが再び閉じられねばならないから重要である。管きょ系の流送能力が不十分であれば、ポリマーの添加が有効である。ある研究によるとポリマーの注入によって一定の水頭下で2.4倍も能力が増大した。

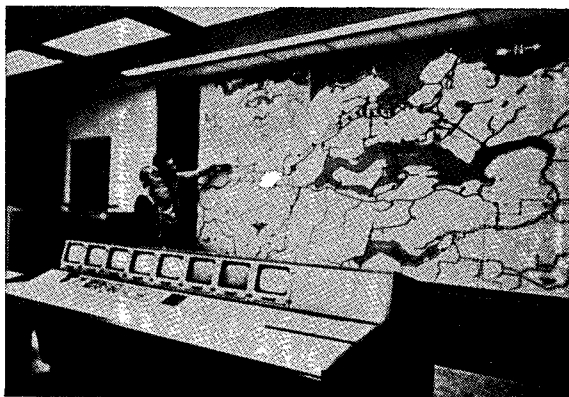
高度制御システム

EPAのプログラムによって開発された新しい高度な技術を本節で紹介する。

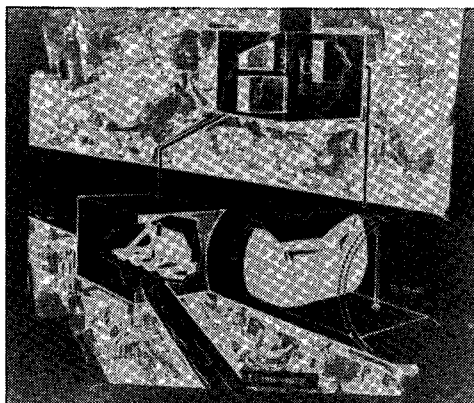
(流量調節)

通常の流量調節装置に伴う操作問題を少なくするために幾つかの方法が用いられている。

シンシナティは、テレメーター方式のモニタリングによって晴天時の越流の発生を検知している。より複雑な接近法はミネアポリスーセントポール衛生公社、デトロイト市、シアトル市で採用されている。これらの都市では、越流頻度や越流量を減らすため管内貯留能力が活用されている。

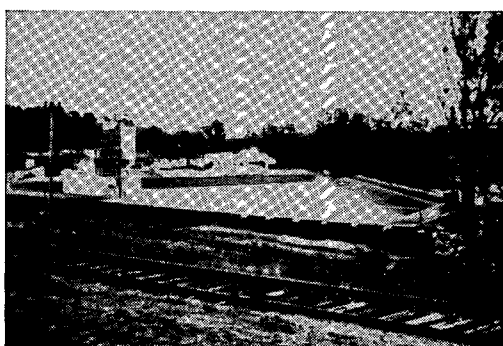
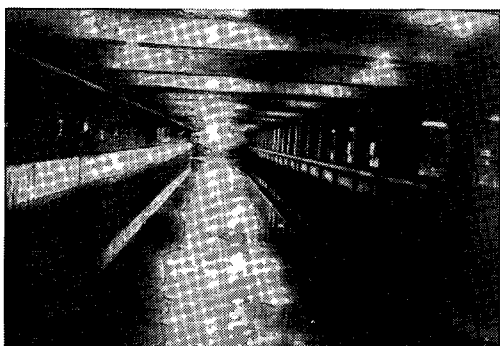
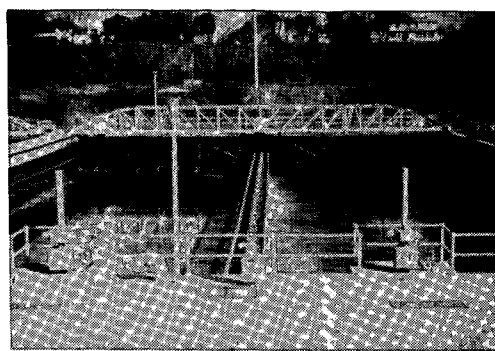
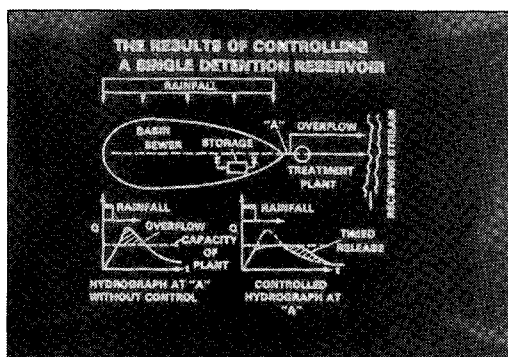


新しいタイプの流量調節装置の実用可能性が実証された。例えば、制御ゲート (Positive control gate) や膨脹するゴム製のファブリックダム (inflated rubberized fabric dam) などである。別のタイプとして流体力学を活用したものがある。これは可動部がなく、外部からのエネルギー供給が不要で、能力の高さ、操作の簡単なこと及び維持管理費が安いことなどから、実用化の将来性が高い。

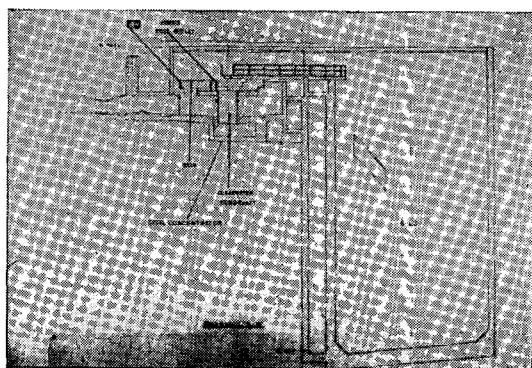


(貯留)

貯留は極めて一般的な方式である。一般には、降雨後流量が少なくなった時、貯留水を処理場へ返送し処理する。最も一般的にコンクリート製の貯留タンクが用いられる。オハイオ州コロンブスの雨水貯留タンクは既に1932年に建設され、最近になって汚泥の収集設備および自動流量制御装置がつけられた。ボストン市は、1日当り233百万ガロンの越流水を処理するために10分間の沈



殿と消毒が可能な越流水用貯留タンクの運転を始めた。ニューヨークやミルウォーキーも同様の施設を持っている。ウィスコンシン州のチペワフォールには350万ガロンの越流水を貯留できるアスファルトを張った池がある。貯留施設を設置する場合の基本問題は、用地費と効果である。この点に関して、私達は現在新しい考え方を検討している。シカゴの主要



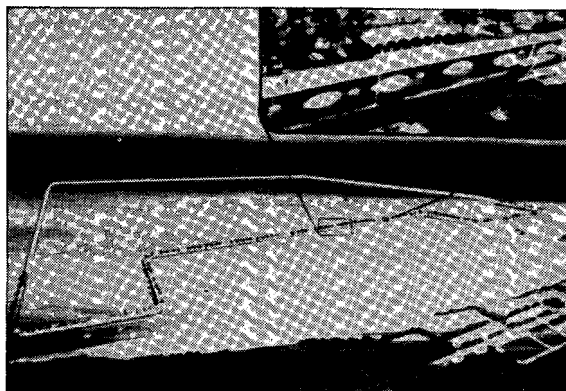
なデモンストレーションは、「ディープトンネル」の概念である。シカゴ大都市圏のトンネル貯留システムの費用は10億ドルで、分流化の費用40億ドルより安い。貯留は、ハイドログラフをスムーズにし、処理施設への負荷を軽減する。

別の地下貯留の構想がペンシルヴァニア州のランカスターで検討されている。地下の「サイロ」といわれるもので、直径50フィート、深さ100フィートのサイロに100万ガロン強の貯留を

させるものである。

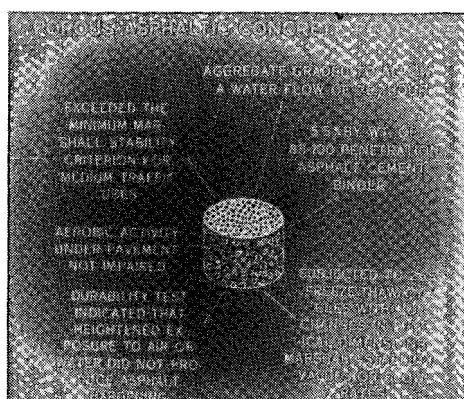
用地を少ししか、あるいはまったく必要としないのは水面利用の貯留及び自然の地下構造を活用した貯留である。

可能なところでは、実際規模の施設の設計には美観をも含むトータルな環境へのインパクトが考えられるべきである。ここにオハイオ州クリーブランドのエリー湖の水面利用の場合の概念図を示す。



(透水性舗装)

流量を減少させるもう1つの実現可能な方法は、透水性舗装である。この舗装は、アスファルトコンクリートで、1時間当たり60インチ以上の降雨を浸透させる能力がある。仮にこの舗装が用いられれば、下水管きょや雨天時処理施設の能力を小さくすることができ、従って費用も安くつく。また下水管きょに流入する流量を平準化でき、越流水も少くでき



る。そのうえ、上水道源をかん養し、路面の摩擦の増大などで自動車交通を安全にさせる。しかし、透水性舗装を考える場合、地理的な範囲、温度、土壌条件、地下水汚染の可能性のような諸問題が設計や適用箇所の選定に重要である。

(新しい管きょシステム)

汚水の収集や輸送を真空や圧力の操作で行う新しいタイプの管きょシステムが検討されている。このシステムは、汚水量を少なくし、管きょの口径を減じ、浸透を少なくし、設備を最小にし、処理費用を最小にし、しかも越流水を軽減する。

処 理

汚水を貯留すること以外に、合流式下水道からの越流水を吐口あるいは集中処理施設において処理する必要性が検討されている。処理施設を集中することは、施設の建設費を減少させることになるが、下水を移送するための大口径の管渠あるいは遮集管を設置するのに多額の費用を要する。既存の下水処理施設は汚水のような安定状態にするものに対して利用可能であり、合流式下水道からの越流水のように突発的・間欠的なものを処理するものではない。すなわち、その越流水は水量・水質ともに大きく変動するものであるから、既存の処理法、とりわけ生物処理を行うことは困難で

ある。そこで、雨水による厳しい流況とかショックロードの状態を考れば、新しい化学的・物理的処理技術が検討されるべきであり、さらに、最適処理を行うための自動運転装置の導入も検討されるべきである。生物学的処理法は、単一の処理施設として利用するよりもむしろ越流水を処理するための既存施設として計画されている。これについては現在、二つのプロジェクトが進行しており、その

1つは、ウィスコンシン州ケノーシャにおける活性汚泥法であり、もう1つはニュージャージー州ニュープロヴィデンスにおけるプラスチック汙材を用いた高速散水汙床法である。

現在、雨水及び合流式下水道からの越流水の制御及び処理計画においては、下記の処理法に関して試験研究を行っている。

1. スクリーニング、マイクロストレーナー
2. 浮上分離法
3. 回転円板法
4. プラスチック汙材及び碎石汙材による高速散水汙床法
5. 単層、多層急速砂ろ過
6. スワール及びヘリカル固液分離器
7. 高度滅菌法
8. 管内貯留
9. 粒状、粉状活性炭吸着法
10. 薬品凝集沈殿、マイクロストレーナー、ろ過及び浮上分離の組合せ
11. 化学的酸化法
12. 系内、系外処理
13. 汚泥処理処分
14. 活性炭及び凝集剤の再生
15. 雨水の再生及び再利用

上記のすべての処理法について詳細に論ずる時間的余裕がないので、ここでは特に将来有望な処理技術について説明する。

合流式下水道からの越流水を処理するには多額の費用を要するから、既存の汚水処理プロセスの改善の可能性について検討している。例えば、従来、マイクロストレーナーは 109 pm/ft^2 で

TREATMENT

1. Physical
2. Physical-Chemical
3. Biological
4. Satellite Plants
5. Auxiliary to STP
6. Dual or Multi Use

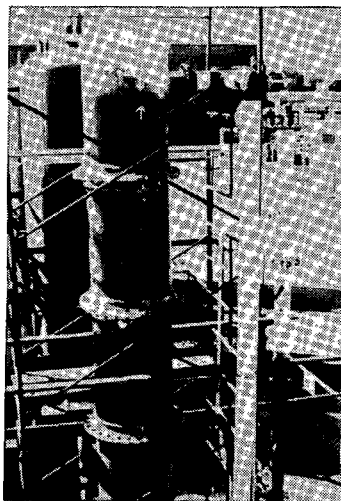
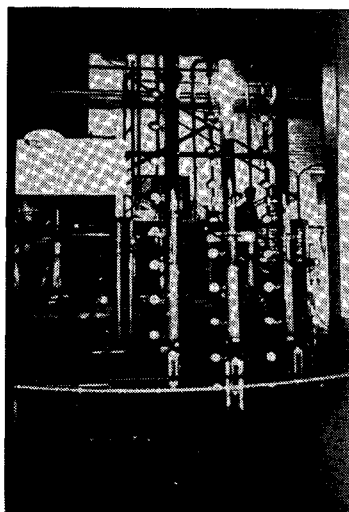
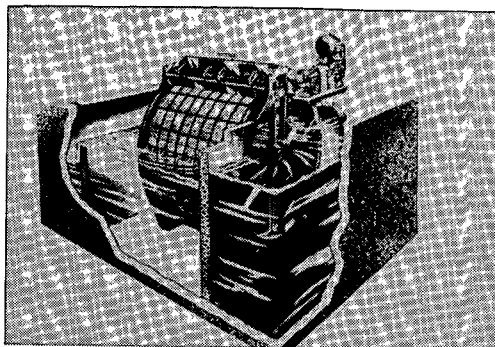
二次処理水を高度処理するように設計されているが、フィラデルフィアのパイロットプラントでは、マイクロストレーナーを $35 \sim 45 \text{ gpm/ft}^2$ で運転することにより、合流式下水道越流水からの SS を 99% 除去している。

クリーブランドにおける EPA の研究では、凝集ろ過による合流式下水道からの越流水の処理は、かなりの高水準に達しており、 $16 \sim 32 \text{ gpm/ft}^2$ の高負荷に対しても汙濁全体で SS の除去を行っている。実験結果では、SS の除去率が 90% 以上であり、BOD の除去率は 60% $\sim$ 80% に達している。また P についても 30 $\sim$ 80% の除去が可能であった。

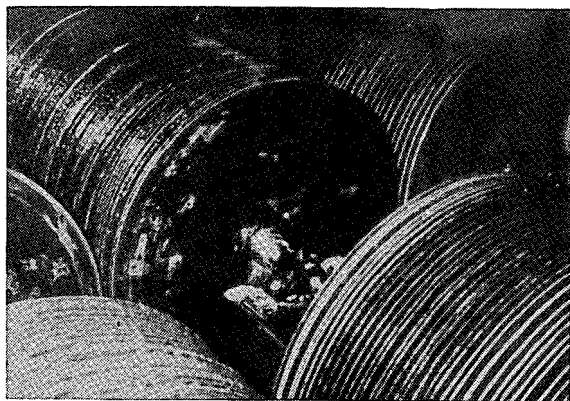
ミルウォーキーにおける 5.0 MGD 規模のスクリーニングと浮上分離プラントの実験結果では、BOD の除去率 70% 以上、SS では完全な除去が行われていることが明らかになった。また、凝集剤を使用すれば、SS で 85 $\sim$ 97% の除去率が得られ、P でも 90% 以上の除去率が得られた。

凝集—吸着の化学的・物理学的処理の新技术についてアルバニーで実験を行っている。このシステムは図に示すとおりであり、活性炭と凝集剤を混合反応させる管をそなえている。また、そのプラントはトレーラーに塔載可能なものである。凝集物は、沈殿管内で分離され、さらに多層ろ過により処理される。また、このプロジェクトでは、流動焼却炉によりアルミと活性炭の再生を行っている。

なお、この処理プロセスによる除去率は一定なものではなくて、流入水中の SS 濃度により大き



く変動するものである。したがって、雨水処理施設の設計者はこの点に十分留意しなければならない。例えば、処理水のSS濃度が $10\text{mg}/\ell$ であるためには、流入水質が $20\text{mg}/\ell$ である場合には、その除去率は50%ですむが、流入水質が $1000\text{mg}/\ell$ である場合には99%の除去率が必要になる。



この他に、新しい生物学的処理として回転円板法の研究を行っている。これは、散水汙床法の原理と同じであり、微生物を円板の上に付着させたものであり、この処理法は安定な負荷状態においては、散水汙床法以上の除去効果が得られる。

越流水量の変動に対応するためには、処理施設の前にサージタンクを設けることを研究している。この調整池は、雨天時流量のみでなく晴天時流量を均等化させる機能を持っており、雨水量及び汚水



量に応じて処理システムの設計が可能であるとともに、既存の過負荷の処理場を、より画一的に運転が可能なものにする。また、流量の均等化を行うことにより、計画処理能力を減少させることができることになり、今後は、最も経済的な貯留能力を決定する必要がある。

ニューオリンズでは、海水浴場の保全のために $11,000\text{ cfs}$ 以上の雨水を次亜塩素酸ナトリウムの使用した滅菌の実験を行っている。ここでは、多量の雨水を経済的に処理するために次亜塩素酸のバッチ処理プラントを設置しており、この図は、現在、運転中の塩素混和池の形状を示している。合流式下水道からの越流水はその水質変動が大きいために汚水の処理に比較して施設の設計、運転が困難であり、薬品の添加量を決定する際には、確立した技術というよりむしろ推定によっている。また、水温が上昇すると殺菌力が減少するので、接触時間、薬品添加量とともに、水温が施設の管理要因として重要である。

雨水及び合流式下水道からの越流水の処理技術研究計画においては酸化時間が早い酸化剤を用いることにより高水量に対する接触タンクの容量を減少させるための高速滅菌システムの研究を行っている。フィラデルフィア及びオノンダガ郡において、高速滅菌の試みを行っており、これらの研究では、塩素の魚類に対する悪影響の問題を解決するため、活性炭あるいはオゾンを使用すること

により殺菌しようとするものである。

処理法の組合せ

ある単一の処理法が、汚濁状態を改善するために最良対策となりえないとき、種々の処理法の組合せが考えられる。例えば、下水道システムの系内あるいは系外に貯留池を設け、そこで一時貯留した後、特別の処理施設により処理を行い、その処理水を地下水として還元したり、水泳あるいは美観の目的に使用する。あるいは貯留した汚水をポンプあるいは自然流下により下水道の終末処理場へ返送する場合も考えられる。この施設の決定にあたっては、合流式下水道からの越流水による汚濁を最少にするような地理的条件を考慮しなければならない。処理施設の選択にあたっては、気象条件、地形あるいは土地利用状況は別としても、既存の下水道システムの形状に十分留意すべきである。

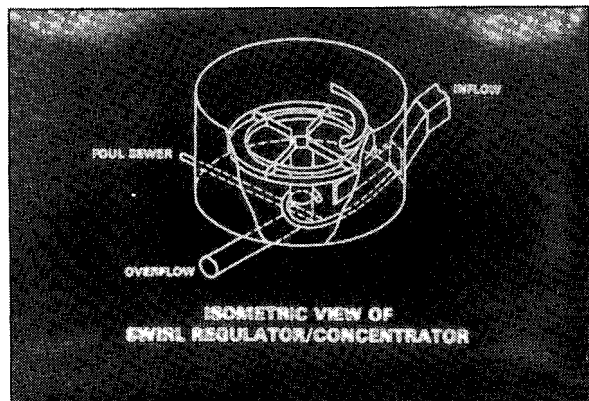
制御プロセスとして議論されている一時貯留の概念は、沈殿によりある程度の処理が可能であるということである。これによって計画貯留能力以上になって放流河川に直接出ていく越流水の処理もできる。施設の設計にあたっては、固形物の処分とともに貯留能力以下の流量に対する沈殿効率について十分検討すべきである。

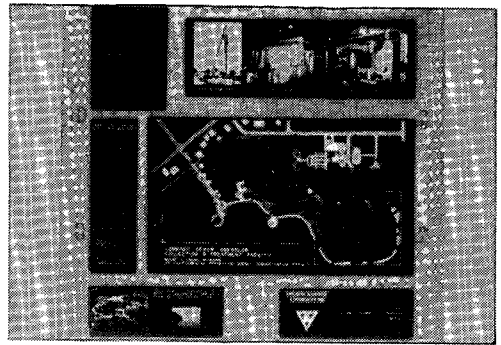
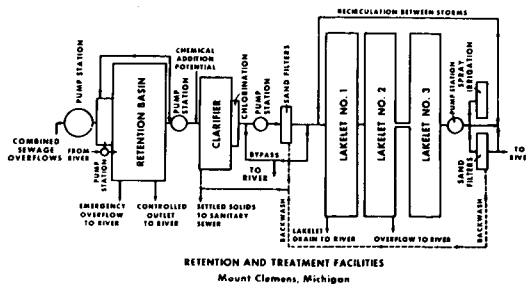
次に渦巻式固液分離装置について述べる。APWAとともに我々の研究計画において、渦巻式固液分離装置の実験を行っている。この装置は、可動部分がない環状の構造物であり、主な二つの機能を持っている。その一つは円形ぜきにより流量調節を行うことであり、もう一つは渦巻の働きで固液分離させることにより、合流式下水道からの越流水の処理を行うものである。低水量のときには、汚水処理施設に送り、処理された後河川へ放流される。この施設は、比較的沈殿が容易な物質を分離可能な水量範囲内で、既存の沈殿処理の滞留時間よりも短時間で機能する。従って、雨天時下水の処理施設として、この装置の連続あるいは並列の使用について検討している。

ミシガン州マウントクレメンズでは、合流式下水道からの越流水を表面曝気装置を備えた3つの小湖に流入させており、1つの池からの越流水はマイクロストレーナーを通して次の池に流入し、最終的な放流水は塩素滅菌を行っている。

なおこの処理施設の設置にあたっては、自然景観を損ねないように設計に留意されている。また、この処理水をレクリエーションの目的で再利用する可能性について現在調査中である。

ワシントン州における研究では、合流式下水道からの越流水を3000 cfsまで処理可能な施設の建設を行っている。このプラントは、 175×10^6 ガロンの貯





留能力を有する貯留施設と50MG Sの高速砂ろ過一吸着・殺菌施設よりなり、処理水を水泳、ボート遊び、釣り等に利用できるよう処理するものである。

流量監視

雨水越流水の水量・水質は、下水処理プロセスの設計・制御・評価にとって重要であるとともに、それらの情報システムの確立のためにリモートセンサーが必要である。ただ、この計測器は低水量、浸水、逆流、降雨期間中の変動等の流量状態を対象としているため、既存の計測器の利用は不可能である。従って、現在、風速計、超音波、電磁波等の原理を応用した新しい流量計の開発を行っており、また、偏光の光学原理を応用したSSモニターの開発を行っている。

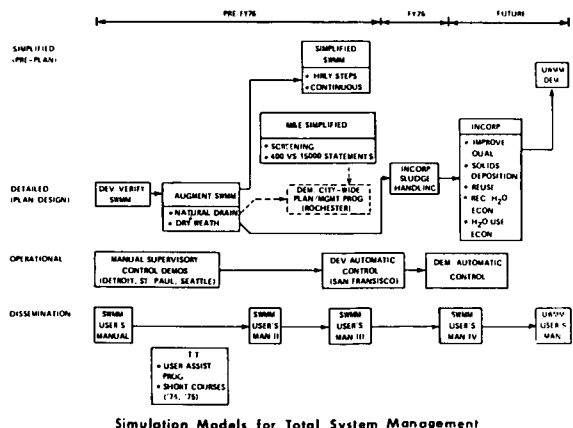
雨水管理モデル (SWMM)

下水道システムを通して種々の流量と汚濁機構を分析することは、雨水及び越流水の制御及び処理システムの最適化を図るうえで極めて重要である。降雨流出の現象が複雑なために、従来の解析法は利用できない。その結果、流量及び降雨パターンに応じたシステムの評価ができなかった。しかし、我々のこれまでの研究成果により、その解析に不足していた情報を補うに足る数学モデルを開発した。

我々は、この解析手法の適用により費用効果分析に基づく処理施設の選択及び設計、あるいは降雨期間中のシステム管理のための電算機の導入等の検討を行っている。

研究計画のテーマ

前記のとおり、雨水及び合流式下水制御計画のテーマとしては数多くのものがある。現在、下記のようなテーマについ



て検討を行っている。

1. 合流式下水道からの越流水ではなく、雨水により都市河川に及ぼす影響の評価 — これについてはFWP Cの1972年改正法において強調されている。

2. 雨天時及び晴天時における処理施設の利用法 — 汚水処理場に併設された雨天時下水に対する処理施設は二次処理水の高度処理施設として利用可能である。

3. 放流水を灌漑あるいは景観のために再利用するような形での土地利用

4. 晴天時の小河川水を処理するための雨天時処理施設

5. 雨水モデルによる管理制御についての朝報活動

6. 集水ますについての機能評価

7. 雨水の採水分析及び設計流量の決定についての画一的技術の確立

8. 流量計の改善

9. 大学院における雨水研究コースの設置

10. 合流式下水道からの越流水、雨水及び土砂流出水から砂及び固形物を除去するためのスワール及びヘリカルの固液分離装置の利用

ここで最も研究開発が望まれるのは雨水制御法の確立である。雨水による流出水を減少させるための上流部での貯留あるいは制御システムがこれにあたる。この上流部における貯留は、下流部における下水管の容量を減少させるとともに、他の構造物の規模も減少させることができる。この貯留施設の例としては、屋根の上、公園及び運動場、裏庭等における貯留施設あるいは透水性舗装などを通じて道路面下へ浸透させ、それを貯留する方法などが考えられる。これらの上流部における雨水制御システムにより、地下水及び河川への負荷を調整すべきである。また、この貯留施設に蓄えた水を、道路清掃あるいはレクリエーション池等に再利用することも検討すべきである。

結 論

現在、雨水および合流式下水道からの越流水に対する処理及び制御が強く望まれている。合流式下水道からの越流水により放流されている大量の汚濁負荷量を考えるときに、二次処理施設のBOD、SSの除去率を80、85あるいは90%にすべきかと議論するのはあまり意味が無いように思える。このような二次処理施設についての小さな範囲内での議論は、雨天時越流水を考えるときにあまり意味がないものであり、もし合流式下水道からの越流水による影響を緩和するようななら

FUTURE PLANS

Major R,D&D Efforts Will Be Directed To:

1. Nationwide assessment of urban runoff impacts
2. Concept of dual use facilities for wet-weather/dry-weather and auxiliary treatment
3. Concepts of land use development making full use of runoff and natural drainage
4. Wet-weather facilities for treatment of dry-weather creek flow
5. Stormwater model monitoring/management system
6. Functional evaluation of catch basins; develop new alternatives
7. Establishment of uniform techniques for sampling and analysis, design volumes and rates
8. Development of flow measuring devices
9. Foster stormwater survey course at university level
10. Swirl device application for grit removal, primary solids separation and sludge dewatering

か的手段が講ぜられなければ、二次処理施設に多額の投資をすることはむだになるかもしれない。
このような状況を踏えて、現在、我々は、研究計画において種々の合流式下水道の改善策を実用化
するために努力している。

第3章 訪問都市におけるフィールド氏への質疑応答

Richard Field氏は9月21日を皮切りに、横浜市、東京都、京都市、大阪市、大阪府を訪問したが、訪問先の下水道関係者と一般的な問題から特殊な地域的な問題に到るまでかなり広範囲な分野に渡って論議が行われた。都市によっては時間の都合で十分な議論が出来なかったところもあるが、一応訪問都市全ての討議内容を収録することにした。

3.1 横 浜 市

— 横浜市の合流式下水道改善に対する調査 —

議 長 小 棕 進

説明者 吉村元宏、山崎武志

参加者 下水道局長他関係職員16名

○議 長 本日は、早朝よりお集りいただき、ありがとうございます。これから約1時間にわたり、横浜市の合流式下水道の改善に対する取り組み方及び現在横浜市において建設中の保土ヶ谷ポンプ場の雨水滞水池について、担当者から説明を行い、引続き討議に入りたいと思います。

まず、「横浜市の合流式下水道の改善のための調査」について、吉村係長より始めて下さい。

○吉 村 それでは、「横浜市の合流式下水道の改善のための調査の概要」について説明いたします。

我国では、これまで市街地からの雨水流出による汚濁防止についてあまり注目されておりましたが、最近、水質汚濁防止と水資源の保全の見地から、最も注目すべき問題の一つとなりつつあります。

現在、日本では全下水処理人口の約70%は合流式下水道によって排水されており、合流式下水道からの越流水は、放流水域の水質により大きな影響があると考えられています。

横浜市では、全市42,700haの下水道計画区域の約30%が合流式下水道で、他は分流式下水道で計画されています。合流式下水道の区域は低地の平坦部で最も市街化されているところに位置しており、大半は下水道事業の初期に、主として浸水防止の目的で建設されたものであります。このようなところでは、街路状況や地形から分流式下水道の採用は不可能であります。このため、現在の横浜市では、下水道整備区域のほとんどが合流式となっており、合流式下水道からの越流水は水域の水質汚濁防止のための重要な問題の一つとなっております。

更に、一部の合流式下水道の区域では、急激な市街化のため下水量が増加し、越流の頻度が増える傾向にあります。また、既設の雨水吐は横越流堰や固定式オリフィスで造られているため、下水の量的調整は制約されたものとなっております。

一般に、雨水流出の特性とその制御法は各排水区の状況により、異ると云われており

ます。

横浜市では、1975年より合流式下水道の雨水流出の特性の調査が始まりました。この調査は、建設省の全国的な市街地雨水流出調査計画の一部であります。この調査は、南部処理区内の雨水吐を持っている典型的な合流式の排水区(22ha、4,300人)の一つである堀の内排水区の一つで行われております。

調査では、排水区の中央で降雨量が測定され、雨水吐の上流で流量と水質が調査されています。現在、2年を経過して、かなりの実測データが得られており、今後、更にデータは追加される見込みであります。これらのデータは本市の雨水流出による汚濁防止計画の作成に有益なものとなりましょう。

これまで数多くの雨水流出による汚濁防止法が研究、提案されていますが、日本では、まだフルスケールで実証、評価されたものはありません。実施にあたっては、どの方法もそれぞれ特徴を持っているので、排水区の状況に合ったものでなければならないと考えられます。

横浜市では、建設省土木研究所との合同研究の結果、貯留システムが最も適した方法の一つとして考えられ、フルスケールで実証することとしました。しかし、このシステムは広大な用地と大きな施設を要する欠点があります。本市の合流式下水道の区域は、市街地に位置しているため、貯留用の用地の確保は困難であり、また高価となります。

一方、既設合流管のなかには急激な市街化に対応した流下能力をもたないものもあります。従って、このような地域では、新しい補助幹線下水道が必要となってきております。そこで我々は貯留用地が得られない場合は、新しい幹線下水道を補助幹線下水道と貯留システムの二重使用することを考えております。

幸いに、保土ヶ谷ポンプ場の隣接地に貯留用地を解保できたので、フルスケールで実証するための貯留施設を建設することとしました。

○議長 ありがとうございます。それでは、今の説明に関連して、米国の状況等をふまえて、フィールドさんの御意見をお聞きしたいと思います。その前に、吉村係長から米国の合流式下水道改善対策について2～3質問がありますので、これを先にお話して、あとでまとめて、御意見を伺いたいと思います。

○吉村 横浜市では、合流式下水道の改善のために貯留システムを考えておりますが、貴国においても既にいくつかの貯留施設があると聞いています。そこで、次のような事項に関する意見をお聞きしたい。

- (1) 貯留施設の容量はどのようにして決めていますか。
- (2) 貯留施設では沈殿効果を考えているのかどうか
- (3) 貯留施設では初期フラッシュのみを貯留するのか、あるいはそれ以上の降雨流出量

も貯留するのか。

また、米国のある州では侵食・沈殿防止のための訓練プログラムを実施していると聞いていますが、この計画の作成者、内容、利用システム、効果についてお聞きしたい。

なお、その他、本市の説明に対するコメントがあれば、併せてお聞きしたいと思います。

- F 氏 合流式下水道の改善を考える場合、水域全体の汚濁負荷量との関係を十分把握しておく必要があると考えます。従って、雨天時下水の調査における初期フラッシュのデータ、又は種々の要因が影響するので、少なくとも1年以上の調査が必要であります。この調査でも質と量でとらえる必要があることとなります。調査項目としては、一般的には、BOD、COD等になりますが、あくまでも水域や地域の特性に応じて選択すべきであります。

貯留池の容量決定の方法は、いろいろな考え方がありますが、基本的には、既存施設の貯留能力も含めて、Hydraulicに解析する必要があります。米国の貯留池の例としては、シアトル、ミネアポリス、クリーブランド等があります。ニューヨークの場合では、管内貯留を考慮しないと20MGの貯留池が必要なものが、管内貯留を考慮することにより、9.7MGの貯留池容量となった例があります。

どの程度の降雨まで貯留すべきかについては、現在研究中であります。アトランタの例では、降雨強度0.3インチまで貯留するとすれば、年間降雨の約80%を収容でき、0.6インチにすれば90%となり、また1インチでは99.5%となりました。しかし、貯留すべき対象降雨をやたらに大きくしても、貯留効果はあまり上りません。すなわち、対象降雨を2倍にしても、その効果は10%程度しか上らないわけです。

従って、貯留容量を考える場合は、管内貯留を含めて、Netで経済性を十分考慮する必要があると云うことです。

貯留施設の構造については、沈殿物の除去を有利にするため、底部に勾配をつけた方が良く、具体的にはModelを造って調査した方が良いでしょう。

侵食・沈殿防止訓練プログラムについては、約3000枚のスライドフィルムを含むもので、非常に良いものがあります。私はこの作成に参加しましたが、出来るだけ解り易い言葉を用いて一般の人にも理解できるよう配慮しました。

- 議長 どうもありがとうございました。

続いて、保土ヶ谷ポンプ場の雨水滞水池について山崎係長から説明して下さい。

- 山 崎 それでは、保土ヶ谷ポンプ場の雨水滞水池について説明いたします。

保土ヶ谷ポンプ場は雨水を帷子川へ放流し、汚水を神原川下水処理場へ流送する排水および中継ポンプ場であります。計画排水面積は2.076haで、下水排除方式は大部分

が分流式によって計画されておりますが、355 haは河川沿線の低地であり、技術的、経済的見地から合流式によっております。この滞水池は上述の合流区域355 haを対象とするものであります。

合流式下水道の改善方法としては、いろいろな方法が考えられていますが、雨天時には多くの管理要員を必要とすることから維持管理が容易であることが重要であります。滞水池は比較的、設計、維持管理が容易で、ランダムな降雨現象に対応しやすいと考えられますので、横浜市では滞水池に着目しています。

現状では、雨天時下水に関する十分な調査資料は得られておらず、また二次処理普及率も低い段階にあるため建設は時期尚早かも知れません。しかし、隣接する用地には日本住宅公団が大規模な住宅団地の建設を行っており（現在すでに完成している）、入居前に、少くとも騒音、振動等、公害問題の心配の大きい基礎工事は終了しておく必要があります。そこで、デモンストレーションプラントとして、現在入手可能な資料をもとに設計し、1976年1月に着工し、現在なお建設中であります。この滞水池を今後の滞水池の設計やその他の合流式下水道の改善に必要な資料を得るために活用してゆく考えであります。

この滞水池は、初期降雨による帷子川へのショックロードを防止するとともに、総量としての汚濁負荷のカットを目的としています。カットすべき汚濁負荷量は分流式の雨水によりもたらされる負荷量より少くなるように決定いたしました。設計の概要及び考え方は次のとおりであります。

まず、最初に計画排水量は次のとおりであります。

分流区域：汚水、 $2.44 \text{ m}^3/\text{s}$

（時間最大汚水量）

合流区域：汚水、 $0.87 \text{ m}^3/\text{s}$

（時間最大汚水量）

雨水 $19.92 \text{ m}^3/\text{s}$

次に、設計手順としては、合流式下水や分流式雨水の水質を理解するために東京都谷端川流域外数都市で行った雨天時下水の調査を利用しました。また、横浜地方気象台における1969〜73年までの5カ年間のすべての降雨データを用いて流出量や滞水池への貯留量、直接放流量等を、流域換算で3、6、5、10 mmの3つの仮定滞水池容量の各々について計算いたしました。

また、設計上の合流下水の扱い方は次のとおりであります。

- (1) 時間最大汚水量 (Q_s) 以下の合流下水は神原川下水処理場へ流送され二次処理をうける。 Q_s を超え $5Q_s$ までの合流下水（または滞水池が満水となるまで）は貯留され

る。5 Q_s を超える下水は河川へ放流される。

(2) 滞水池からの排水は、管きょ内の流量が日平均汚水量(q_s)以下になったら開始する。排水量は Q_s と q_s の差とする。

更に、汚濁物除去効果と滞水池容量の決定は次のとおりであります。

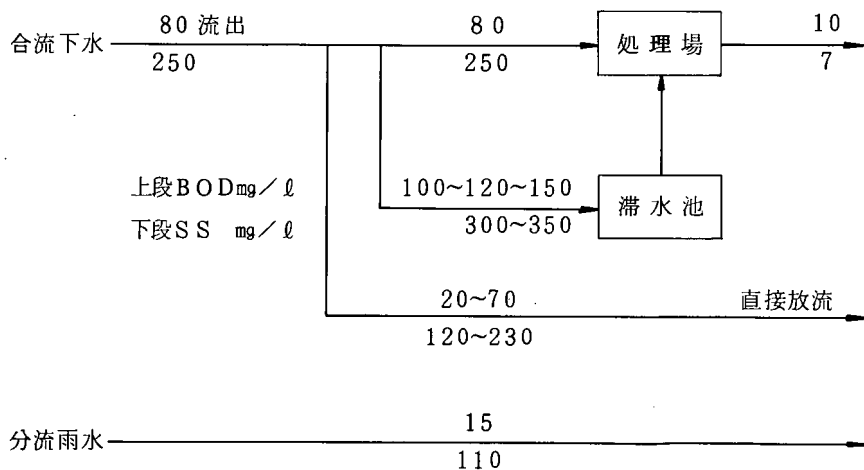
流出量、貯留量等の計算結果は表1に、また水質の想定値は表2に示すとおりであり

表一 1 流出量、貯留量等

降雨回数	年間降雨量	総流出量	処理場流入量	越流量*	滞水池貯留量			
					直接放流量			
					V=0	V=3	V=6.5	V=1.0
110回/年	1482mm/年	728	252	476	0	127	215	273
					0	449	762	968
	5,258 m^3 /年	2,583	894	1,689	476	350	261	203
					1,689	1,240	927	721

* この場合の越流量は流出量のうち Q_s を超えるもの

表一 2 水質値の想定



ます。貯留される部分の水質値には範囲を与えて考えました。また、放流水質は逆算値であります。表1、2から各々の滞水池におけるBODおよびSS負荷除去率は図-1のようになります。分流式による効果は合流式と同量の負荷量が発生したとみなして分流式による汚濁負荷の削減量を求めたものであります。BODを指標とすれば、貯留さ

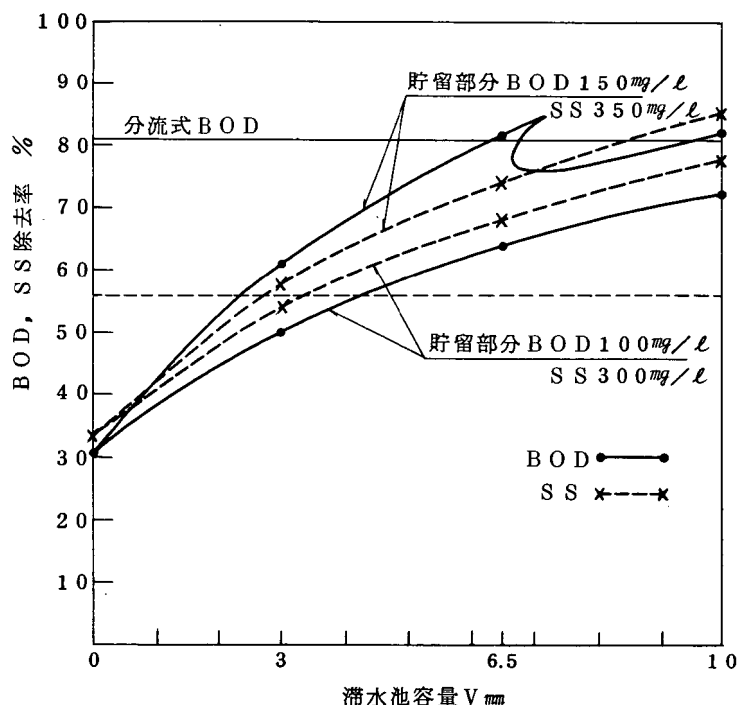


図-1 汚濁負荷除去効果

れる部分のBODが150mg/lであれば、6.5mmの滞水池による除去効果は、ほぼ分流式と等しくなります。SSを指標とすれば、3mmの滞水池が分流式に相当するよう考えられます。ここでは、敷地面積と管理上の配慮から“普通”の有効水深を考え、滞水池容量を6.5mm(≒23,000m³)としました。

以上により考えた雨水滞水池の概要は、有効容量23,000m³、18水路からなり各々の水路は巾6m、平均有効水深6m、有効長約35mであります。これが各々6水路ずつ3ブロックに分けられており、1ブロックずつ使用することとしました。実運転における滞水池への流入量は、汚濁物質を出来るだけ多くとらえるため散乱光式によるSS測定によって制御することとしました。滞水池への揚水ポンプは2台(1,350mm×2—4.27m³/s×2=854m³/s)設置することとしました。(1台のポンプで5Q_s相当量を揚水できます。)

滞水池からの排水量は、排水用バルブと処理場への汚水流送パイプにとりつけた電磁流量計とを連動することによって調整することになりました。

沈殿物は通常乾期に人力によって除去することとし、必要に応じてベルトコンベアや小型ブルドーザ等の使用も可能であります。腐敗しやすいものを出来る限り少なくするために降雨時にフラッシュ用タンクに貯留した雨水の一部で滞水池排水後、各水路をフラッシュし、ホッパーにとりつけた排泥ポンプによってポンプ場沈砂池へ排除する計画であります。

なお、沈殿物の排除は滞水池の管理上非常に重要であり、あらゆる状態について考慮しておく必要があります。ここでは、人力によるフラッシュホースの使用、ホッパーへのサンドポンプの投入、またリングベルトの取付けも可能となっています。

以上で保土ヶ谷ポンプ場雨水滞水池についての説明を終わりますが、平面図と断面図がここに示してありますのでご覧下さい。

- 議長 どうもありがとうございました。それでは質疑に入りたいと思います。フィールドさんどうぞ。
- F 氏 汚濁負荷除去量はどのように求めましたか。
- 山 崎 表1の水質値と表2の流出量等から求めました。流出水の平均水質は、いくつかの都市の調査結果からBODがおおよそ80mg/ℓ、SSをおおよそ250mg/ℓと推定しました。滞水池貯留部分の水質は滞水池容量や地域によって異なるもので、BOD100～150mg/ℓというように範囲を与えました。
- F 氏 この滞水池では沈殿放流をしませんか。
- 山 崎 この滞水池は上部をスポーツ公園にして開放するため、河川のH.W.Lより低くなっており、通常は沈殿放流はしません。また沈殿放流による効果は疑問ですが、これに関する資料は、今のところ得られていません。
- F 氏 滞水池上流の管内貯留は考えていませんか。我国の例では、滞水池に10mgd、接続する幹線下水道に10mgd貯留するものがあります。
- 山 崎 滞水池へはポンプ場から揚水することになっており、管内貯留は考えておりません。
- F 氏 排水はどのように行いますか。
- 山 崎 自然流下でポンプ場への流入幹線下水道に流れ、再び污水ポンプによって神奈川下水処理場へ流送されます。なお、この排水方法については、検討の余地が残されており、今後更に考えてゆくことにしております。
- 議長 これで横浜市における討議を終わります。どうも長時間にわたり熱心な討議をいただきありがとうございました。

なお、このあと、現在建設中の保土ヶ谷ポンプ場の雨水滞水池を視察していただき、

配置図

S = 1/500

保土ヶ谷桜木幹線 $\Delta 3250$

岩間幹線 $\Delta 2700$

汚水送水管 $\phi 2000$

ポンプ場

滞水池

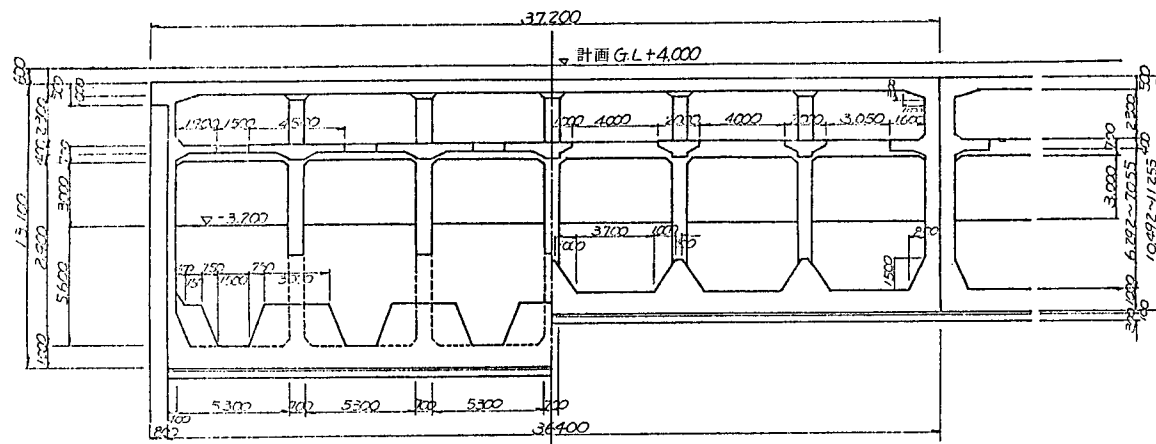
排水路

オーバーフロー

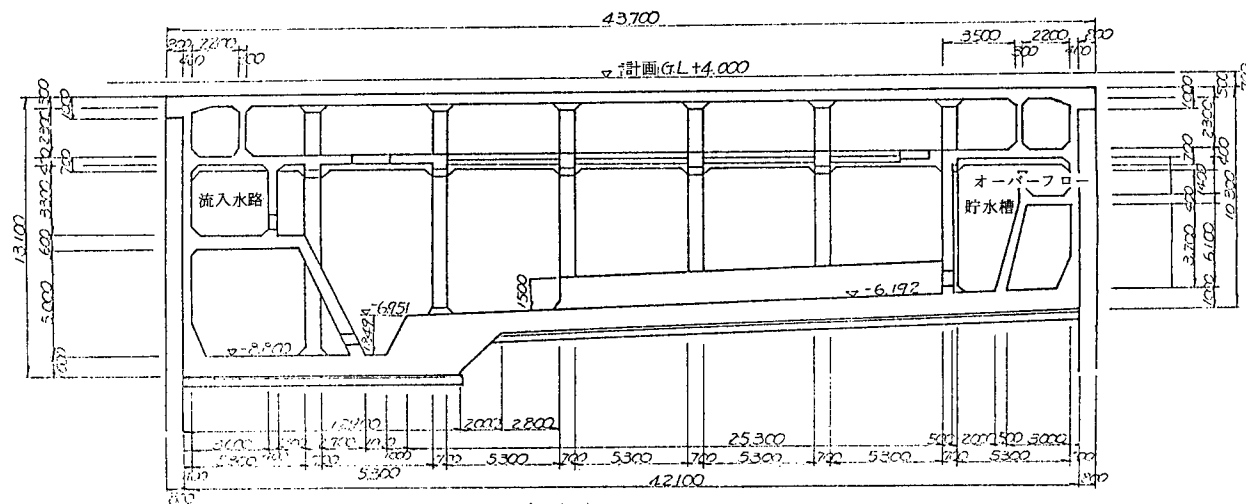
神戸幹線 $\Delta 2000$

放流渠 $3000 \times 2000 \times 2$

帷子川



a-a 断面图



b-b 断面图

御意見をお聞きしたいと思います。

保土ヶ谷ポンプ場における質疑

説明者 山 崎 武 志

- F 氏 何故フラットスラブ構造を採用されましたか。
- 山 崎 滞水池を出来るだけ浅くして、経済的な設計を計るなかで、中段スラブ上部の管理スペースを高くとれるようにしたわけです。
- F 氏 沈殿物を除去する時、ブルドーザー等を入れるとすれば、どこから入れますか。
- 山 崎 頂版の一部に搬入口を設けてあり、クレーンで吊りおろします。
- F 氏 フラッシュした時の沈殿物は、どこへ行きますか。
- 山 崎 水路には3%の勾配がつけてあります。沈殿物はホッパーへ流れ、この壁の向こうにある管廊内に設置した汚泥ポンプでポンプ場流入幹線下水道を経由して沈砂池へ流れます。
- F 氏 オーバーフローは河川へ流れるのですか。
- 山 崎 仮に、オーバーフローがあった場合には、一度雨水ポンプ井に入り、帷子川へ放流されます。このオーバーフロー水路を利用して、滞水池の沈殿効果を調査することができます。
- F 氏 どうもありがとう。

3.2 東京都

合流式下水道改造技術に関する日米技術交流報告書

東京都における雨天時流出汚濁対策の現状

東京都における下水道行政は、浸水防止や都市環境改善などに重点をおいて進められている。東京都では、遅れている下水道施設の建設と東京都内の都市構造を考慮して、合流式下水道施設を区部の大部分に建設している。そして、区部の下水道普及率が昭和51年度に、65%に達するようになった。

ところが、昨今、公共用水域の水質汚濁に伴う一連の環境破壊が大きな問題として顕在化してきた。そこで、最近の下水道事業では、従来の二次処理技術では不十分であるとして、高度処理までを含めた下水の処理体系が検討されつつある。一方、合流式下水道の管渠系においても、雨天時に分水入乱などから越流する下水に対して、公共用水域の水質を保全するために、抜本的な対応策が要求されている。

現在、東京都区部内に、1100ヶ所以上の分水入乱と約60ヶ所のポンプ場があるので、これら約1200ヶ所の分水施設に対する改善策が必要である。

今までの調査結果から、ポンプ排水区には、貯留池や雨水処理場の建設は、管渠系の大巾な変更を必要としないので、可能であると言える。しかし、ポンプ排水区以外の地域における多数の分水入乱の改善策に関しては、抜本的方法を見出せないでいた。

このような時に、渦流式貯留濃縮槽の存在を、EPAの資料などで知り、この装置の細部構造やその運転効果に興味をもっていた。

講演会に参加して

幸運なことに、フィールド氏の訪日があり、渦流式貯留濃縮槽の講演会が開催されたので、東京都からも多数参加することができた。この装置は、可動部分が全くないこと、維持管理が容易なこと、などの大きな特長を持っているので、都内のように多数の分水施設が分散している地域には、非常に有効な施設であると思われる。さらに、この装置による汚濁物質の除去効率が想像以上に良いことも分った。しかし、この装置による貯留効果について、あまり論じられていないことは、残念であった。

フィールド氏の東京訪問

フィールド氏の東京訪問は、別紙予定表の如く、昭和52年9月22日の午後2時からの約半日間で、非常に短い時間であった。

まず、フィールド氏に、東京都の下水道施設の概要と、雨天時流出水による公共用水域の汚濁防止策に関する東京都の現状とを簡単に説明した。

次に、数年来測定を続けている谷端川幹線の測定現場を見学した。この際、フィールド氏は、谷端川幹線の水量、水質、晴天時汚水量の変動パターンなどについて、質問された。また、当局がフィールド氏のために作成した資料「東京都における雨天時流出水の解析」（別添）を渡した。さらに、フィールド氏から、谷端川幹線の詳細な実測データを要求されたので、後日、建設省の稲場博士に依頼して、アメリカへ郵送していただいた。

その後、東京都落合下水処理場を見学した。ここでは、処理場の概要を説明した後、フィールド氏から、覆蓋下の処理場における臭気の処理について質問された。脱臭塔は現在建設中であること、薬品は活性炭を使用する予定であることなどを解答した。また、彼から、運動公園としての上部利用に対する賛辞を得た。

また、東京都区部内にある多数の分水入乱を渦流式貯留濃縮槽に変更する場合に、用地取得問題が最大の難問であることを説明した時、フィールド氏は、都内の高速道路建設の現状を引き合いに出し、すかさず、代替地による住民の移転による解決策を提示してきた。この考えには多少の驚きと、国情の相異を痛感した。

フィールド氏の訪日を機会に、今後は、渦流式貯留濃縮槽の建設、維持管理などに関する細部の留意点について、フィールド氏の助言を得ながら、実務に役立てて行きたい。

3.3 京 都 市

合流式下水道改造技術に関する日・米技術交流報告書

(R・フィールド氏と京都市下水道局職員との技術交流会)

◎水位計設置場所

鳥羽第2導水渠(京都市南区吉祥院長田町)に設置している水位計(添付資料幹線管渠における水位計を参照)を視察し、目的、原理等を説明いたしました。

フィールド氏 幹線内に土砂等の堆積物があると思うが、どのようにして処理しているのか。

藤 本 幹線内の浚せつ作業は行なわず、沈砂池で除去しておりますが、特に問題は生じておりません。浚せつをすることも可能です。

◎第2送水渠現地

鳥羽処理場内に設置されている調査用入乱より、第2送水渠(日 $4.0\text{ m} \times 4.0\text{ m} \times 2$ 連)を視察し、流入下水の水位変化等を説明いたしました。

フィールド氏 下水量の測定はどのようにして行なっているのか。

嘉 部 簡易処理放流量、高級処理放流量は計量装置を有している電磁流量計で流量を連続して計測メモリーをしております。流入水量はポンプの特性曲線により算定しております。

フィールド氏 ポンプの運転基準はどのようにしているのか。

嘉 嘉 沈砂池入口部の水位計により運転水位、停止水位を決定しております。

フィールド氏 ポンプ揚水量を詳しく説明されたい。

嘉 部 ポンプをメーカーより購入する際、メーカー工場で各ポンプの性能をテストし、そのポンプのQ-H曲線を調べており、その性能表によって算出しております。

説 明(京都市公共下水道の概要)

藤 本 京都市下水道現況について別紙により説明

京都市における雨水流出量算定は、降雨強度 5.2 mm/ha で、合流式区域はBrix公式で算定し、分流式区域は合理式を用いて算定しております。京都市の降雨量平均は年間 1650 mm 程度であり、その特性は表-1～5の通りであります。

表-1 京都市の降雨特性

年度	年間降雨量 mm	降雨時間 数 hr	降雨時間 当りの降 雨量mm/hr	降雨日数 (日)
1976	1858	784	2.37	135
75	1710	821	2.08	143
74	1742	725	2.40	131
73	1403	590	2.38	116
72	1743	785	2.22	133
71	1869	848	2.20	144
70	1605	790	2.03	136
69	1419	624	2.27	113
68	1686	777	2.17	131
67	1422	852	1.67	136
平均	1645.7	759.6	2.17	131.8

(31.7日)

表-2 月別降雨量(10カ年平均)

月	降雨量 (mm)	降雨日数 (日)
1	48.3	7.7
2	77.9	10.7
3	101.2	11.7
4	181.9	12.5
5	121.2	11.0
6	233.4	13.5
7	258.8	13.6
8	181.5	13.2
9	201.9	12.1
10	129.6	10.3
11	64.4	8.0
12	45.6	7.5
計	1,645.7	131.8

表-3 降雨強度別頻度表 (S.44~S.51)

mm/hr	時間数	累積%	容量mm	累積率	mm/hr	時間数	累積%	容量mm	累積率
0.5	264.3	35.4	132.2	7.9	6.13			39.8	67.9
1.0	129.1	52.7	129.1	15.6	7.0	6.88	94.9	182	70.2
	86.1	64.3	129.2	23.4		4.75		35.6	72.4
2.0	57.0	71.9	114.0	30.2	8.0	3.00	96.0	24.0	73.8
	41.0	77.4	102.5	36.3		3.00		25.5	75.3
3.0	28.6	81.3	85.8	41.5	9.0	2.38	96.7	21.4	76.6
	24.3	84.5	85.1	46.6		3.13		29.7	78.4
4.0	16.1	86.7	64.4	50.4	10.0	1.38	97.3	13.8	79.2
	13.6	88.5	61.2	54.1	10 ⁵ ~15 ⁰	11.28	98.8	139.0	87.5
5.0	14.9	90.5	74.5	58.6	15 ⁵ ~20 ⁰	4.65	99.4	81.5	92.4
	11.3		62.2	62.3	20 ⁵ ~	4.29	100.0	116.6	100.0
6.0	8.88	93.2	53.3	65.5					

表-4 1降雨雨量の頻度表 (S51~S47)

注) 8時間以上前後無降雨で1雨

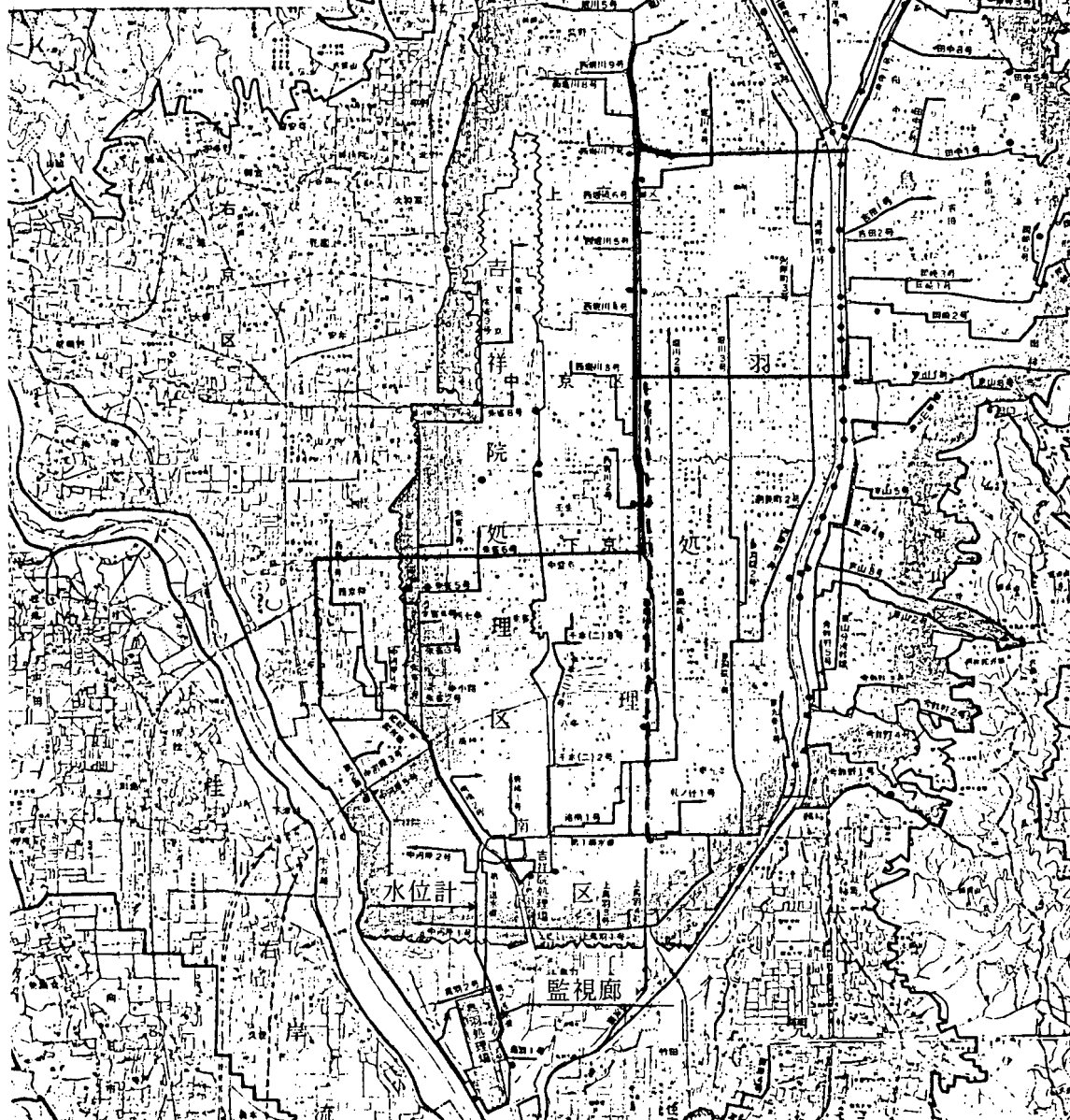
mm	回数(回)	累積(%)
0.5~20	58.2	40.8
25~5.0	22.6	56.7
5.5~10.0	17.6	69.0
10.5~15.0	11.0	76.7
15.5~20.0	7.6	82.0
20.5~30.0	8.6	88.1
30.5~40.0	5.4	91.9
40.5~50.0	4.6	95.1
50.5~60.0	8.4	97.5
60.5~70.0	1.4	98.5
70.5~80.0	0.6	98.9
80.5~90.0	0.4	99.2
90.5~100.0	0.2	99.9
100.5~	1.0	100.0
計	142.6	

表-5 無降雨継続日数

年度 日数	47	48	49	50	51	平均
0~1	168	92	139	142	140	136.2
1~2	21	22	15	26	21	21.0
2~3	12	19	22	12	21	17.2
3~4	14	10	10	18	7	11.8
4~5	11	5	11	6	9	8.4
5~10	17	15	18	15	16	16.2
10~	2	5	2	8	8	8.0

継続時間 17日12hr, 28日18hr, 14日18hr, 12日19hr, 19日10h

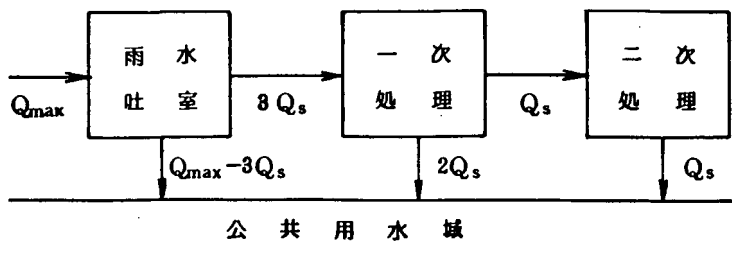
凡 例	
認可区域界	
既設処理区域	
既設幹線	
既設吐口	
合流式下水道 改造計画幹線	
堀川放流渠	



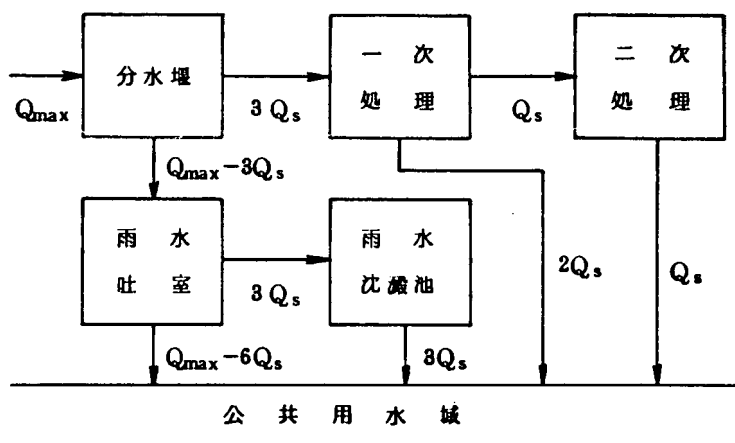
図一2 合流式下水道改造計画幹線

(1) 現存の排水処理方式

(但し、 Q_s 、 q は施設能力を表わす)



(2) 雨水沈殿池方式



(3) 雨水貯留方式

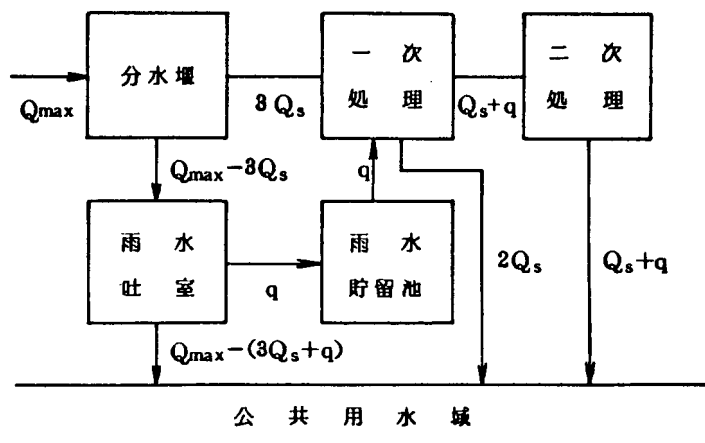


図-3 雨天時越流下水の処理対策(案)

次に京都市の合流式区域における雨天時越流水対策については現地既設処理区域（別図－２参照）の大部分は合流式区域であり、その中に雨水吐室は８２ヶ所あります。その内鳥羽処理区域内には６０カ所あります。これらの雨水越流ぜきは計画時間最大汚水量の３倍で設計されています。雨天時にはそこから越流下水が公共用水域に流出することとなります。しかし、鳥羽処理区にありましては、現状の時間最大汚水量の約２倍程度で越流しておりますので遮集幹線の増設に取り組んでおります。また、未だ構想の段階ですが、鳥羽処理区内に、普通河川、堀川がありまして、この河川は、晴天時は全然水が無く、雨天時になりますと、公共下水道よりの越流水が流れる状況にあります。堀川自体の流下能力は、十分ではございませんので、３年前より、断面の拡布など増強を進めておりますが、雨天時越流下水の処理対策（案）として、(2)、及び(3)の方法を検討いたしております。添付、案の説明

京都市の下水道状況と雨天時下水処理計画案を説明しましたが、フィールド氏のお考えをお聞かせ願います。

フィールド氏 京都市の処理区域内の水洗化普及率はなぜ低いのか、

藤 本 下水道局においては水洗化の普及をはかるため、融資を行っておりますが、なお、かつ経済的理由、家主と借屋人とのトラブル等により、水洗化が出来ない人がありますので、処理区内の水洗化率は約８７％となっております。

フィールド氏 水洗化するにはどれ位のお金がかかるか。

藤 本 約３０万円です。

フィールド氏 水洗化しない家庭のし尿はどのように処理していますか。

藤 本 未水洗化の家庭と、公共下水道未普及地域の家庭については、京都市清掃局が、バキューム車で、汲み取り、市内２ヶ所のし尿貯留所と、鳥羽処理場内にあります、し尿消化槽まで運んでいますが、し尿貯留所では、昼間スクリーニング、及び洗砂を行って、貯留タンクに貯蔵し、夜間、鳥羽処理区の幹線に注入、鳥羽処理場で、下水と一所に夜間の水量の少い、水質濃度の低い時間帯に受入れ処理致しております。鳥羽処理場し尿消化槽に運んで来たものは、沈砂処理後、粉碎機（ディスインテグレーター）にかけた後、下水汚泥と混合消化いたしております。

フィールド氏 次に堀川流域では洪水が起きますか、また、雨天時下水の処理について、堀川自体の貯留能力を計画で考慮に入れているのですか。

藤 本 堀川上流では疎通能力不足から、洪水がしばしば起りますので、３年前より、下流より改修を進めております。又雨天時下水の処理計画では堀川自体の貯留能力については考慮しておりません。

フィールド氏 堀川自体の貯留能力を考慮に入れた方が良いでしょう。

次にこの図（雨天時下水の排水処理方式の比較）の Q_3 は日最大汚水量か、時間最大汚水量かどちらですか。

藤 本 Q_3 は時間最大汚水量です。

フィールド氏 雨天時の下水処理に対して、問題となるのは雨天時下水を如何に貯留するかということです。それはその都市の土地の条件による貯留が問題となりますので、それを十分に調査しなければなりません。それにその都市で貯留池を作る余裕がない場合、雨水吐の改造やパイプ貯留、それに既設処理施設の利用を考えて、貯留量と処理量との調和をとれるようにします。今米国では流出雨水を調節しながら、その流出雨水を水頭差のみで、渦巻式に流入させて浮遊物を沈殿させる処理方式が注目をあびております。

藤 本 では実際に米国でそのような施設があるのですか。

フィールド氏 ルイジアナ州にそのような施設があります。京都市でもそれらについて調査されたらどうですか。

藤 本 次に鳥羽処理場の概要について説明いたします。

犬 石 鳥羽処理場は昭和14年に一部の施設竣工以来約20年間ブランクでしたが、拡張を続けております。現在66万 m^3 /日の処理能力の施設があります。本処理場の処理施設は2系列から構成されております。第1系列は北側に30万 m^3 /日、第2系列は南側に36万 m^3 /日の施設があります。処理区域より流入した汚水はまず始めに流入渠を通り、次にスクリーンを通過して沈砂池に達し、その後ポンプ揚水します。次に最初沈殿池に流入し、2.5～3時間沈殿させ、チェーンフライト式の汚泥かき寄せ機で汚泥を除去します。次にステップエアーレーション方式でエアーレーションタンクに流入します。そこでの返送汚泥量は下水量の約25%、送気量は下水量の3～9倍、エアーレーション時間は4.5～5.0時間であります。送風機については多段ターボブロアを採用、次に最終沈殿池で2.0～2.5時間、チェーンフライト式及び走行サイフォン式で、汚泥をかき寄せております。処理水には約1ppmの塩素を注入して、河川に放流しますが、第1系列ではBOD約20ppmで西高瀬川に、第2系列では約10ppmで桂川に放流しています。次に汚泥処理施設では、汚泥濃縮タンクで、約12時間滞留の後、汚泥消化タンクに送り、二段消化で蒸気吹込式で37℃に加温して30日間消化します。発生した消化ガスは主に汚泥消化タンク加温用に使用し、残りは、汚泥焼却炉の補助燃料に使用しています。消化汚泥は汚泥脱水設備に送り、塩化第2鉄及び生石灰を添加し、ベルトフィルター方式を用いたろ過面積47 m^2 /台、20台の真空ろ過機によって、含水率75%に脱水して焼却設備に送ります。なお、一部については生汚泥のまま脱水もしております。脱離液については沈砂池に返流しています。京

都市の汚泥の焼却設備は現在、この鳥羽処理場に630 t/日/脱水ケーキ、能力があり、伏見処理場からトラックで運搬される汚泥、吉祥院処理場からパイプで送られる生汚泥も合せて鳥羽処理場で処理しており、約50～60 t/日の汚泥焼却灰が出ますが、焼却灰は陸地埋立て処分が主であり一部、処理場工事の埋戻しに利用しております。焼却して生ずる余熱は使用していません。

また、沈砂池で生ずる約3 m³/日の砂は2次処理水で洗浄して工事の埋戻しなどに使用しています。

- 藤 本 鳥羽処理場につきまして、御質問がありましたらどうぞ。
- フィールド氏 今米国では処理水に塩素注入することにより、有機塩素化合物が発生し、それが人体に与えることが問題になっておりますが、日本ではどうですか。
- 神 村 日本では今の所、米国でいわれている程、問題にはなっておりません。
- フィールド氏 焼却灰の処分方法はどのようにしているのですか。
- 犬 石 処理場の拡張工事の埋戻しと、一般の埋立て処分しております。
- フィールド氏 鳥羽処理場に汚泥を送っている吉祥院処理場はどれ程の距離にあるのですか。
- 犬 石 鳥羽処理場から約1.5 km離れた所にあります。
- フィールド氏 消化ガスはどのように利用されているのですか。
- 犬 石 汚泥焼却の補助燃料として使用しています。
- 藤 本 では時間がきましたので、これで終了したいと思います。
- フィールド氏 最後に私がここに来て以来の皆さんの御親切に感謝します。

鳥羽処理上南側施設の最終沈殿池、処理水を見学の上終了

以 上

3.4 大 阪 市

E P A 環境研究センター雨水汚濁制御室長 R. FIELD氏を
迎えての大阪市における合流式下水道問題検討会の記録

昭和52年9月27日(火)午前10時～午後0時半
大阪市下水道局において

(注)

検討会は、大阪市の方で予め質問事項を用意しておき、それを個別に英訳して、R. FIELD氏の回答を求める形式をとった。

【 質 問 事 項 (1) 】

特に、高密度の都市地区における下水道の排除方式について。

(質問要旨 — 竹松管渠課長 —)

分流式の下水道においても、長期間、降雨がなかった後では、雨水といえども、相当、汚染していることから、特に高密度の都市地区では、分流式よりもむしろ合流式の方がよいのではないかという意見が、米国内でもあるようですが、この点について、お伺いします。又、分流式下水道の雨水管による降雨初期の水質汚濁を防止するための対策は、米国内では考えられていますか？。

(回答 — R. FIELD氏 —)

答は、ハッキリとどの方式がよいかと言うよりも、分流式と合流式と相方のケースがある。大阪市の様な所では、分流化のために、巨額の費用をかけるべきではない。費用的にも市民生活上からみても得策ではないので、残りの事業も合流式でよいと思う。

高密度地域では、分流式であっても最終的には雨水も処理する必要があり、両方共処理することになる。この点合流式であれば一つですむ。今後も合流式のケースがでてくるであろう。又、洪水対策や、汚濁防止の面から、貯留場が必要であることもあろう。連邦政府としては、ハッキリした見解は、出していない。

初期雨水による汚濁の問題は、まず実情を観察することから始まる。汚濁の影響がでているものと、そうでないものがあり、地域により違う。傾斜が急であれば(配管勾配が急)であれば、汚染が大であろうし、傾斜がゆるいと沈殿し、又、下水管網が複雑であれば、汚染はゆるやかであろう。都市化の進む所又はNew Townでは分流式であるべきだが、分流式は投資が大であるため、都市の質的及び量的の収入能力を考えなければならない。

【質 問 事 項 (2)】

雨天時における放流ポンプのコントロールシステムについて

(質問要旨 — 北村幹線事務所長 —)

降雨時において、流域の降雨強度、降雨量および下水管の流量の変化状況を、要所要所に配置した計測器により測定して、雨水放流ポンプの起動体制を前もって設定しておくシステムについて、米国内での実施例をお伺いしたい。又、管渠内一時貯留の方法によって上流地域で浸水の問題はありませんか。

(回答 — R. FIELD氏 —)

(i) シカゴのDeep Tunnel の場合。

これは、5年に1回位の浸水に対する貯留能力をもつ大きいトンネルである。又、水質汚濁防止をも目的としており、コンピューター・コントロールモデルを組んで貯留水を処理場に送っている。処理場の処理能力は、汚水量の3倍位である。

又、鉱山の廃坑を貯留槽に利用し、数年間の計測に基づいて、トンネル設計のための基礎データを集めている。

(ii) デトロイトの場合

トンネルではないが、下水管の途中でインタセプター (Interceptor) を設け、これを作動することにより調整している。雨の降り方に一定のパターンがあるので降雨計の観測結果を処理場に連絡し、処理場でインタセプターを操作し、管内貯留量を調整している。低地区に対する浸水対策としては、下水管内水位を測るセンサーがあり、これにより低地区の浸水を予測し、浸水警報を発し、ポンプの運転操作をしている。

iii

サンフランシスコ、シカゴでは、雨の降り方が一定しない場合、降雨計を出来るだけ多く設置し、又、レーダーを利用して雨の観測をしている。

【質 問 事 項 (3)】

SWIRL REGULATOR/CONCENTRATORの製作パテントについて。

(質問要旨 — 宮本処理場主査 —)

本機器について、アメリカで相当研究され、いろいろな方面に利用できるように開発されているようですが、日本で同じ型の機器を試験的に製作するか、又は実用機器を作るに当って、製作上の拘束 (特許その他のパテント関係) 又は、使用条の拘束はありませんか？。

(回答 — R.FIELD氏 —)

この機器は、政府の仕事として、私自身が企画し、開発し、又実用化に当って指導してきたものでありますので、パテントにひっかかるものではありません。市で使用することも、又どこで会社で製作することも自由です。

【質 問 事 項 (4)】

雨水沈殿池の設計基準としての表面積負荷率と滯留時間の考え方について。

(質問要旨 — 山野計画係長 —)

合流式下水道の溢流れの処理として、終末処理場内での最初沈殿池を含めて、沈殿処理がありますが、これの設計の考え方として、日本では、滯留時間を30分より小さくならないようにとの指針があるだけで、表面積負荷率についてはふれていません。沈殿処理を行なうに当って、表面積負荷率か、滯留時間か、あるいはその両方を考えるべきかの点についてお伺いします。

(回答 — R.FIELD氏 —)

沈殿池の設計に当っては、各種の条件があり、むずかしい。設計以前にデータを十分調査して、いろいろなものにむすびつける必要がある。降雨の頻度とか、年間の汚濁防止の量にも関係がある。沈殿流速が大きくなると降雨時に、重いものが流されるので、どういう方法で固形物を捕捉するかについて、十分考えなければならない。汚濁防止の上から、貯留の面で多少ほど余裕をもたせることと、表面積負荷率を2～3倍水量まで処理できるようにしておくといよい。

【質 問 事 項 (5)】

雨水沈殿池で除去した汚泥の処分方法について。

(質問要旨 — 松永処理場課長 —)

雨水沈殿池の沈殿汚泥の処理処分はどのような形態によるのがよいでしょうか。処理場内に設けた雨水沈殿池では、降雨終了後、池をカラにし、汚泥は汚泥処理施設で処理できるが、独立した汚水中継ポンプ場では、(1) バキューム車で処理場へ運んで処理する、(2)、沈砂池へ戻し、沈砂と共に引き揚げる、(3) 降雨終了後、送水管を経由して、処理場への流入下水管に入れる、などが考えられる。(1)は沈殿汚泥量によっては、長時間を要し、泥の腐敗及び臭気の問題など発生するであろうし、(3)は一旦捕捉した泥を再び下水管へ入れ、その再捕捉に手間がかかるなどの点から、(2)が良策と思われるが、どうであろうか。

(回答 — R. FIELD氏 —)

アメリカ内でも、大小を問わず同じ問題がある。方法としてはいろいろ考えられる。バキューム車で運搬処理する方法では、コストが高くつく。都市の中心部では、沈殿汚泥のための処理工場が設けられるかどうか問題がある。又、有機物だけ別処理するかどうかを検討することも必要である。やはり、技術的にみても、又、経済的にみても、元へ戻す(降雨終了後、下水管へ戻す)のが、一番よい方法であろう。

【質 問 事 項 (6)】

余剰活性汚泥の最初沈殿池への返送と、降雨時の流出について

(質問要旨 — 須賀機械課長 —)

余剰活性汚泥が濃縮しにくいということで、以降の汚泥処理にいろいろな悪影響がある。現在、余剰汚泥の濃縮には、次の方法がとられている。

- (i) 余剰汚泥を個別の濃縮タンクで濃縮する。
- (ii) 余剰汚泥を沈殿汚泥と別個に引抜き、同じ濃縮タンクで濃縮する。
- (iii) 最初沈殿池に返して、沈殿汚泥として一緒に引抜く。

このうち、(iii)の方法は、活性汚泥が沈殿池の浮遊物を吸着して比重を増し、汚泥濃度が高められるということで多くの処理場で用いられている。しかし、降雨時に、 $3Q_0$ 以上の汚水を沈殿処理するようにしているため、滞流時間が小さくなり、汚水の水平流の挙動をみても活性汚泥は、ほとんど沈降せず、溢流せきから流出する欠点をもっている。対策として、降雨時のみ、余剰汚泥を直接、濃縮タンクへ送泥するというように切替えし、沈殿池の汚泥引抜管を調整することが考えられるが、米国内では、このような場合、どのように対処していますか？。

(回答 — R. FIELD氏 —)

活性汚泥貯留タンクを処理施設の一つとして最初沈殿池のあとに設け、エアレーションタンクと並列運転ができるようにする。活性汚泥貯留タンクには、活性汚泥を貯めて常時送気しておく。降雨時に、沈殿処理した汚水をこのタンクに送り、エアレーションタンクの代換えをさせ、5時間程度処理する。ウィスコンシンでは、晴天時汚水量の最大6倍量(211万ガロン、6時間エアレーション)の汚泥貯留タンクを設置している。なお、汚泥貯留タンクの活性汚泥は、5日間は、沈殿処理水に対して、処理能力を有していることを確認している。したがって活性汚泥が5日以上滞流になれば、入れ替えるようになっている。この場合の活性汚泥は、晴天時には汚水を流入させないので、飢餓状態になっている。このようにして、降雨時の雨水による汚濁防止を行なっている例がある。

【質 問 事 項 (7)】

合流式下水道の改善対策の実施例について

(質問要旨 — 山野計画係長 —)

昨日から今日にかけて、大阪市の実情をいろいろご見聞願ったところから、我々が、今後、この合流式下水道改善対策を講じていく上で、どのような方法をとればよいか、具体的に三点ほど、ご教示願いたい。

(回答 — R. FIELD 氏 —)

私がみた限りでは、大阪市は事業を注意深くやっており、そして世界でも例の少ない雨水沈殿池の設置も行なっており、又、基本構想としても、私と同じ考えをもっているようにみうけられるので、こゝでは具体的な方法というよりも、私個人のこの問題に対する基本的な考え方を述べる。まず、

- (i) 現在の施設の能力を改善又は拡張して、100%効果を発揮できるようにする。次に、
- (ii) 合流式雨天時下水を、SWIRL REGULATORで処理し、処理能力を高める。そして
- (iii) (i)のほか、下水網にない貯留池の設置、又は補足的処理施設として現存の施設に併存する形で、生物的又は機械的方法による処理施設を設置する。

3.5 大 阪 府

I 大阪府における雨天時下水道の状況

1. 結 論

合流式下水道システムからの越流問題は公共用水域の汚濁防止の上からは十分に対処してゆかなければならない問題の1つとして、わが国では認識されている。大都市においては、とりわけ大阪府では分流式の他に合流式下水道が建設されている。

大きな降雨時には、幹線は負荷流出が大きく、下流の低湿地の浸水防止のためには、管きょ網のある地点で雨水を放流しなければならない。越流時間は短いが合流式下水道の越流水質はしばしば管きょ内の沈殿物の掃流や市街地からの流出のため高くなり、公共用水域の水質汚濁防止上問題を生じさせている。

越流によって幹線流量をかなり減少させることができて、処理施設は必ずしも十分な処理を行なうことができず、公共用水域にも過負荷の放流が生じている。

これらの問題はいくつかの論文で検討されてきており、これに対する方法としては建設段階で分流式下水道にすることがとられている。しかし、合流式下水道の建設されているところでは分流式に改めることは莫大な費用と時間がかかり実行性に乏しい。特に大都市の市街地部分では実行できないところも多い。

大阪府ではこれらの問題に対処するため多方面からの調査を行なっている。ここではそのごく一部の概要を述べてみよう。

2. 研 究 概 要

調査研究の成果は大阪府下水道研究調査報告書（合流式下水道雨天時汚濁負荷制御に関する調査研究）にまとめており、その中には次のものが含まれている。

- 1) 下水道雨天時水質、水量負荷量調査と考察
- 2) モデル地域における降雨特性と流出量の収支
- 3) 路面負荷流出とシミュレーション
- 4) 汚濁負荷運動方程式と負荷量収支
- 5) 管きょ内堆積汚泥の特性と負荷量
- 6) 雨天時負荷流出モデルの検討とその考察
- 7) 滞水池を含む処理システムとその評価
- 8) 合流式下水道の改善対策

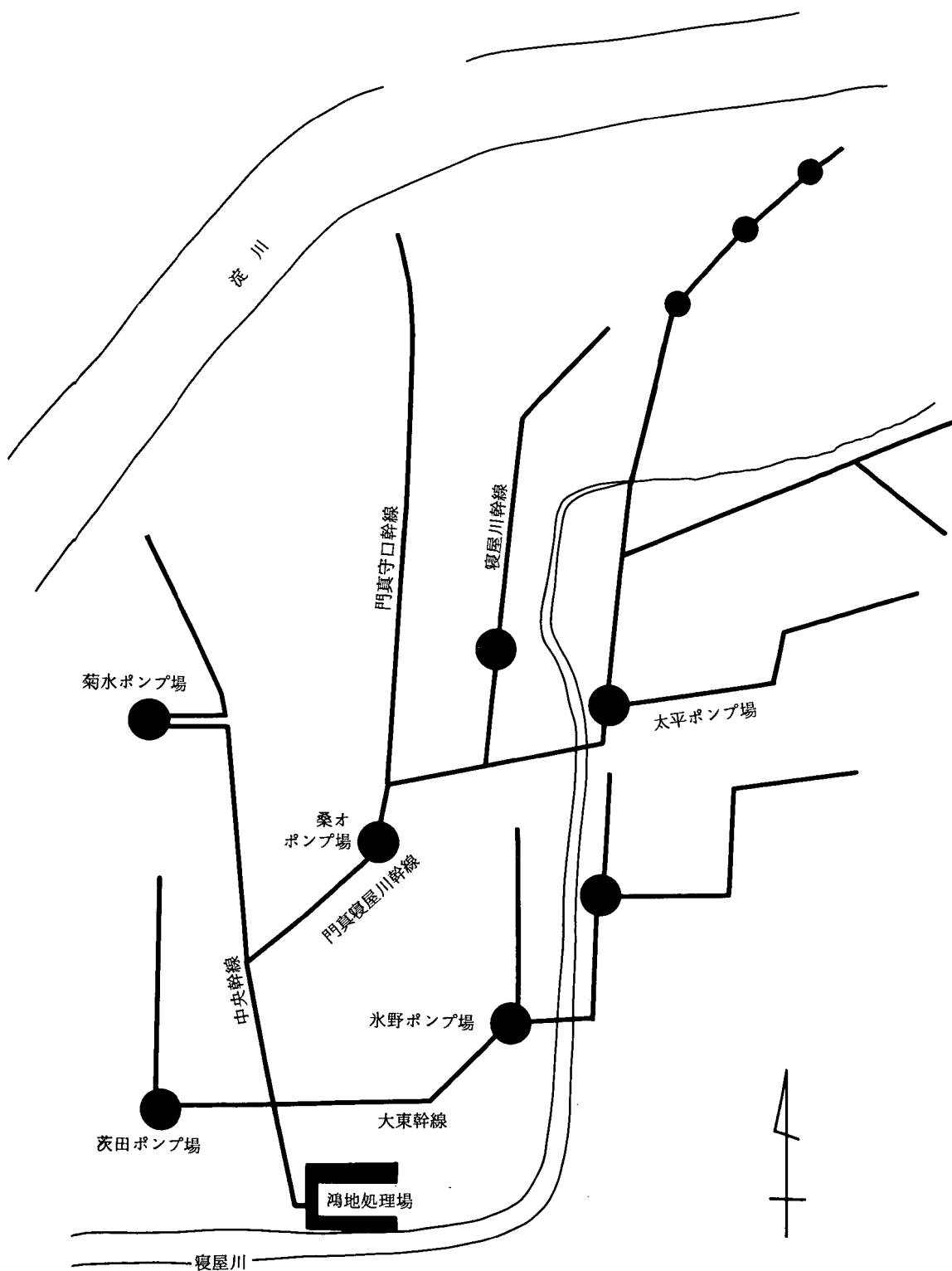


図-1 寝屋川北部流域下水道幹線図

3. 排水区域

(1) 寝屋川北部流域下水道

寝屋川北部流域下水道は、寝屋川の北方、淀川の北岸に位置している。この地域は、66.42km²に85万人が居住しており、この下水道は合流式で、この20年間に住宅地を含めて、急速に発展して来ている。

寝屋川北部流域下水道は9つの市をカバーしており、大阪市、守口市、門真市、寝屋川市、枚方市、東大阪市、大東市、四条畷市、交野市、が対象である。下水管きょ延長は56kmで、6つの主幹線を有している。これらには中央幹線と守口、寝屋川、寝屋川—大東—門真、大東幹線等があり、鴻池処理場と10のポンプ場がある。この主なポンプ場は、菊水、大平、桑才、氷野等である。

(2) 調査区域

この調査区域は、この流域界の北西に位置した菊水排水区である。この流域面積は150haで、45,000人が居住している。人口密度は290人/haであり、不浸透地域が、30%ある。土地利用の状況の特性を表-1に示す。

サンプリングは、菊水ポンプ場で行なわれており、試料は沈砂地で採取している。降雨記録は採取地点と同じ場所であり、採取時間は10分ごとである。屋根や道路表面のような他のサンプリングも用様に同地区で行なっている。

水質モニターが最初に菊水ポンプ場に設置され、これをもとにして、他の水質モニターが鴻池処理場にも同様に設置している。

表-1 土地利用

用途	面積(ha)	割合(%)
道路	28.3	19.66
公園	0.1	0.09
水路	1.2	0.87
空地(未舗装)	27.8	19.35
空地(舗装)	19.3	13.46
鉄道	0.9	0.66
屋根	60.5	42.07
田畑	5.5	3.84

4. 合流式の越流負荷

合流式下水道の越流負荷の大きさは、菊水排水区で3年間の調査によって明らかになっている。年間に越流するBOD負荷は年間の2次処理水からの放流負荷の約1/2に相当している。SS負荷は年間の2次処理水からの放流負荷の約2倍となっている。

晴天時の合流式下水道は流量が少ないことにより、管きょ内に負荷の沈殿や堆積が生じる。降雨によって、流量が増大すると、沈殿、堆積負荷は掃流し流出してゆく。当調査排水区では排水負荷の15~25%が1日に管きょ内に堆積し、堆積している割合はほとんど同じで管きょ内に現在堆積している負荷量はBODで2.23トンであり、この量は1日の発生負荷量に相当する。SS負荷

量では17.6トンとなり、1日発生負荷量の13倍にも相当している。この負荷量は公共用水域にかなり大きなショックロードを与えている。

分流式の雨水流出も負荷に大きな影響を与える。菊水排水区においては路面堆積負荷量はBODで0.21トン空地や屋根及び集水マスの堆積負荷量は0.547トンである。それらは管きょ内に堆積している負荷量の $\frac{1}{4}$ に相当する。表-2は越流水の水質の平均値を表わしている。

(1) 月間越流量

表-2 合流式下水道越流水質

水 質 項 目	範 囲 (p p m)	平 均 値 (p p m)
B O D	22.6 ~ 257.4	57.0
C O D	46 ~ 338	205.6
S S	8 ~ 441	84.4
T S	39 ~ 1654	399.9
S o l . S	6 ~ 1188	318.9
V o l a t i l e . T S	10 ~ 4712	269.3
C l ⁻	14.2 ~ 134.7	40.8
P O ₄ ³⁻ - P	0.7 ~ 48.8	12.83
N H ₄ - N	5.5 ~ 25.5	12.28

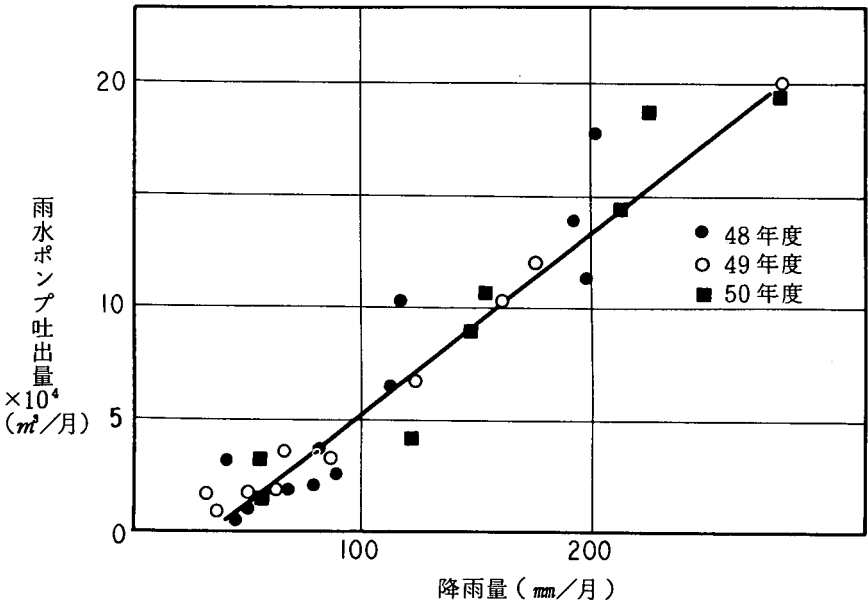


図-2 降雨量と雨水ポンプ吐出量

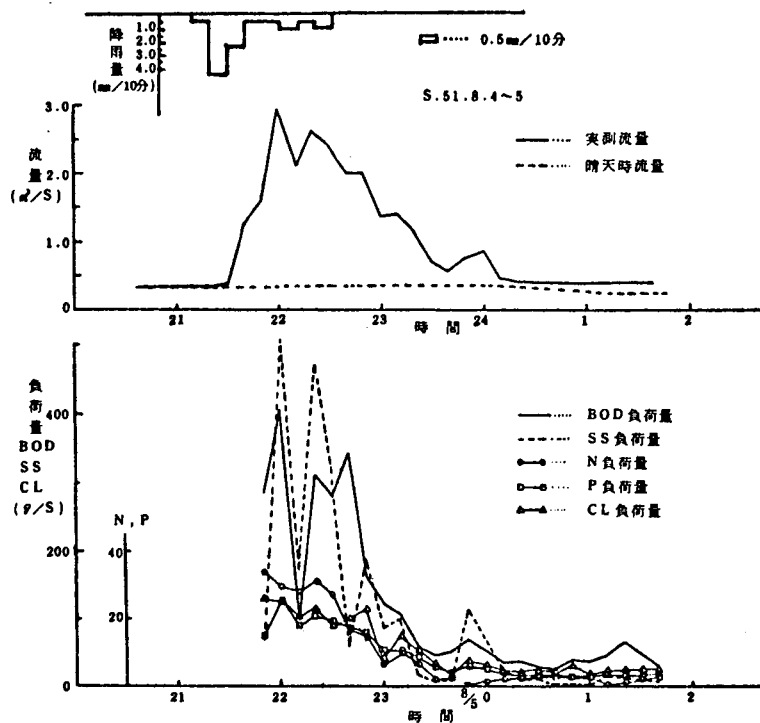


図-3 実測流量と実測負荷量

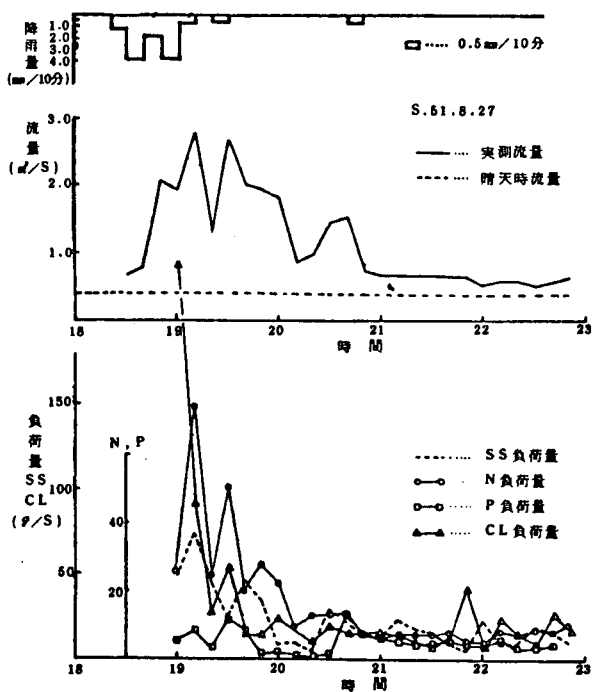


図-4 実測流量と実測負荷量

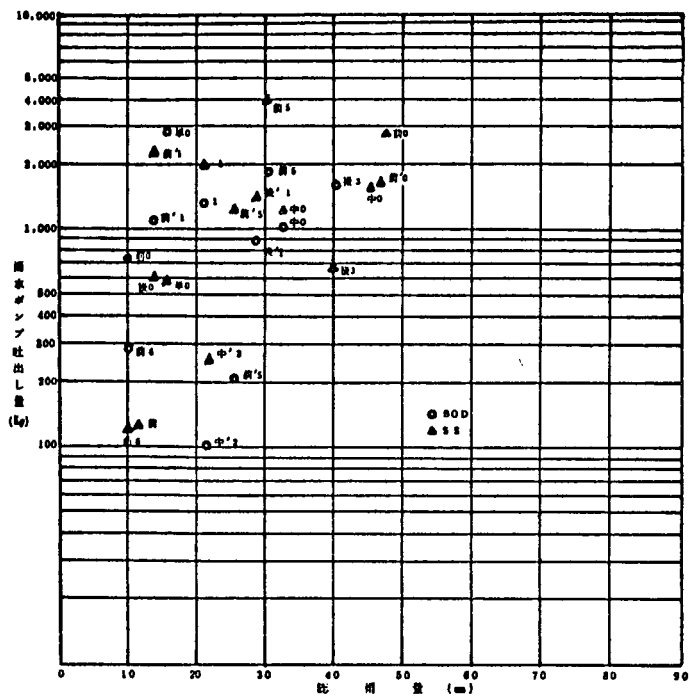


図-5 雨量と雨水ポンプ吐出し負荷量

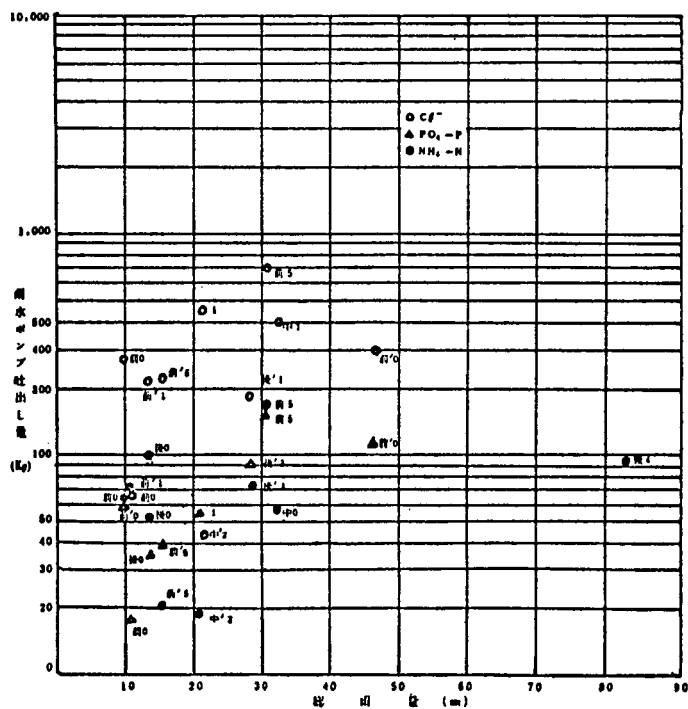


図-6 雨量と雨水ポンプ吐出し負荷量

菊水排水区では、約1400mmの降雨があり、それは6月、7月、9月に集中している。月別の降雨量とその越流量は、図-2に示すものである。それらの関係は、直線とみなすことができる。

(2) 越 流 負 荷

降雨と越流におけるBOD、SS、 Cl^- 、 PO_4-P 、 NH_4-N の負荷は、図-3、4、5、6に示している。越流負荷は、降雨の総量とも関連している。

(3) 単位面積の越流負荷

菊水排水区の単位面積当たりの越流負荷は、表-3に示すものである。この表よりSS、TS、Sol.S、Vol.TS、負荷は非常に大きい、BOD、CODは、8.26~28.11kg/haの間に
ある。

表 - 3 単位面積当たりの越流負荷

水 質 項 目	範 囲 (kg/ha)	越流負荷(kg/ha)
B O D	0.01~ 37.58	8.26
S S	0.66~227.03	25.35
C O D	21.21~ 40.34	28.11
Cl^-	0.29~ 9.10	2.95
T S	16.64~ 60.51	27.81
Sol.S	11.22~ 46.38	20.97
Volatile.TS	5.17~ 33.96	19.70
NH_4-N	0.04~ 1.57	0.49
PO_4-P	0.11~ 1.38	0.43

(4) 越流負荷人口当量

越流負荷人口当量は図-7に示しており、50,000 m³の越流量がある時、BOD負荷においては、50,000人の人口負荷に対応する

5. 管きょ内堆積汚泥の特性と負荷量の算定

堆積汚泥量の算定

管きょ内に堆積している汚泥量は多く、その負荷量も多い。菊水排水区における管きょ径と全堆積汚泥量との関係をプロットすると図-8のようになる。これを最小2乗法で回帰すると、堆積汚泥量Yは式-(1)のように表わされる。

$$Y = 2.17 \times 10^{-8} X^{2.405} \dots\dots\dots (1)$$

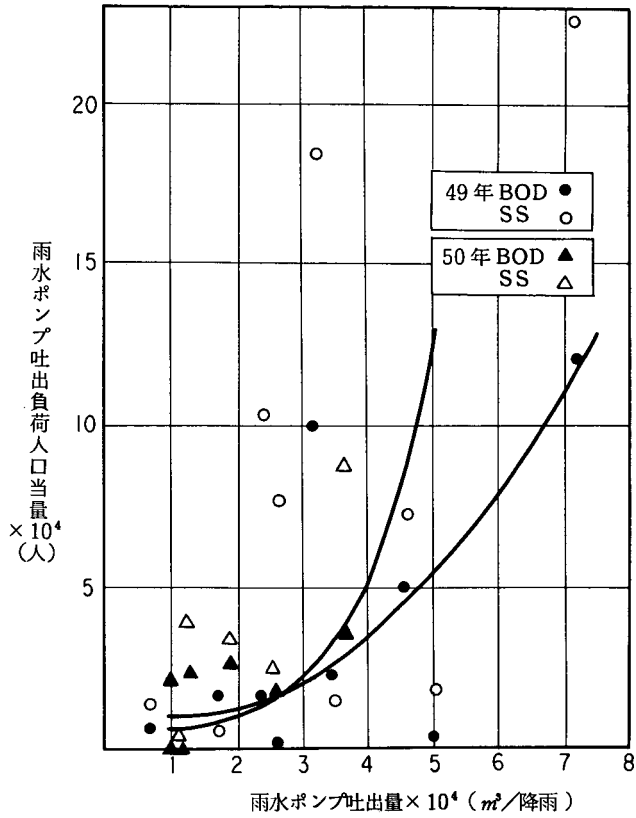


図-7 雨水ポンプ吐出量と吐出負荷人口当量

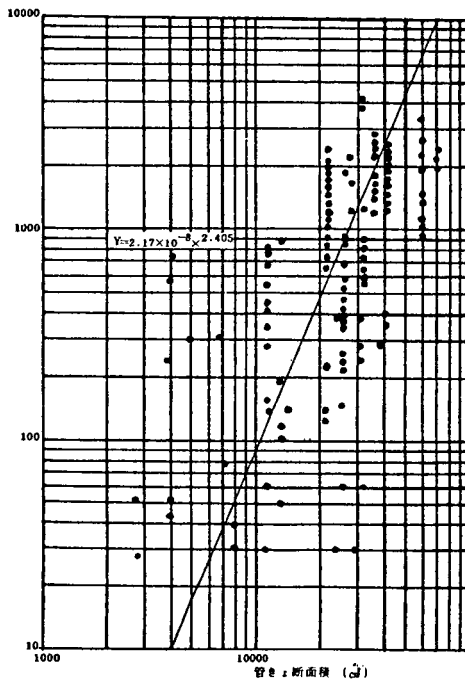


図-8 管径と断面積と管径内堆積汚泥断面積

ここで、 X は管きょ断面積

この関係式より、当排水区の管径ごとに堆積負荷量を求める。

管きょ内堆積負荷量

管きょ内堆積汚泥の乾泥 1 g 当りの含有負荷量は BOD で $0.057 \sim 0.236 \times 10^{-2}$ g、SS で 3887 $\sim 9.774 \times 10^{-2}$ g である。これをもとにして管きょ内堆積負荷量を求めると、BOD 1.05 $\sim$ 5.53 t、SS 7.4 $\sim$ 33.5 t、Sol. S 12.8 $\sim$ 73.2 t、TS 19.7 $\sim$ 100 t となる。

降雨後 1 日以内に流出負荷が管きょ内に堆積し、回復が非常に速い。平均単位面積当たりの管きょ内堆積負荷量は BOD 1.5 t/k m^2 、SS 11.8 t/k m^2 、Sol. S 18.1 t/k m^2 、TS 27.98 t/k m^2 、乾泥量 943.22 t となる。

一方、他の流域で一降雨について流出する負荷量は、BOD で東京谷端川 1 $\sim$ 1.6 t/k m^2 、札幌市で 2.32 t/k m^2 当排水区で 1.8 $\sim$ 2.5 t/k m^2 となっており、1 降雨があると堆積負荷量の大半が流出している。

これらの調査結果からさらに次のことが明らかになっている。

- 1) 降雨前後の堆積汚泥量は、量そのものとしては大きな変化はない。含有汚濁物量は変化する。
- 2) 管きょ内には常に一定した汚濁負荷量が存在している。

以上に大阪府においての雨天時下水道の状況についてごくごく簡単に述べた。詳細についてはフルペーパーで発表する予定である。

II 雨天時負荷流出挙動とそのモデル化

1. 緒 言

現在の下水道システムは、晴天時を中心とした家庭排水や工場排水等の点源汚濁物の処理に向けられ、雨天時に都市の中で多量に発生し流出してくる非点源汚濁物の制御と処理には十分でないところが多い。そのため、雨天時に都市から多量に流出する負荷により公共用水域の汚濁の原因の一つともなっている。わが国においては、都市の単位面積についての一降雨流出負荷量は、1.0 $\sim$ 2.7 t/k m^2 (BOD) といわれている。

この論文では、公共用水域を守るために雨天時にどのような汚濁物がどのように流出し、その量は降雨によってどのように変化するかを明らかにするための、基礎的研究とそれらをもとにした雨天時下水道からの流出負荷のモデル化の検討を行う。各種モデルの利用等の面からの評価を行うとともに、新しい雨天時負荷流出モデルの基礎的考察を行なうものである。

なおこの論文は、第 14 回下水道研究発表会講演論文をもとにその後の研究を加筆しまとめたもので、米国 EPA の雨水制御研究室長 Richard Field 氏との会議に提出した論文 (英文) をさらに加筆し、第 14 回衛生工学研究討論会講演論文集に掲載されているものである。

2. 雨天時都市汚濁物の流出

(1) 雨天時流出負荷量

平均的な降雨から各流域で流出する負荷量は、わが国で行なわれた研究をまとめると表一1のように表わされる。単位面積当りBODで1.0~2.7 t/㎢にある。これらの汚濁源は、主として、①晴天時負荷、②管きょ内堆積負

表一1 汚濁流出負荷ポテンシャル

場所	東京都内 谷 端 川 排 水 区	札幌市内 排 水 区	大阪府 菊 水 排 水 区
B O D (t / ㎢)	1~1.6	2.32	2~2.7

荷、③降雨負荷、④下水道周辺環境負荷に分けられ、谷端川排水区¹⁾(542 ha)では1日を対象として発生負荷量を考えると表一2に示すように、BODでは晴天時に流下している負荷が多(66%)、管きょ内堆積物(20.8%)、下水道周辺環境負荷(13.2%)となっている。SSのそれはそれぞれ、99%、6.07%、2.94%で、BODとSSとは管きょ内堆積負荷量に大きなウェイトの違いが存在する。負荷量のウェイトは対象とする時間によっても異なる。従って発生源については、平

表一2 谷端川における雨天時流出汚濁源

項 目 発 生 源		B O D		S S		単位面積当りの 負 荷 量	
		堆積負荷 (t)	割合(%)	堆積負荷 (t)	割合(%)	BOD (t / ㎢)	SS (t / ㎢)
1) 晴 天 時 負 荷		8.0 t / 日	66.6	5.9 t / 日	9.9	1.48	1.089
2) 管きょ内堆積負荷		2.5 (2~3)	20.8 (62.2)	36.0	60.7 (72.9)	0.461	6.642
3) 降 雨 負 荷		—	—	—	—	—	—
4) 下水道 周辺環境負荷	①路 面	0.66	5.5 (16.4)	3.0	5.1 (6.1)	0.1218	0.5535
	②間 地	0.05	0.4 (1.2)	—	—	0.0092	—
	③屋 根	0.041	0.3 (1.0)	0.4	0.7 (0.8)	0.0076	0.0738
	④雨水マス	0.77	6.4 (19.1)	14.0	23.6 (28.3)	0.1421	4.354
	⑤汚水マス	—	—	—	—	—	—
	⑥側 溝	—	—	—	—	—	—
* (): 晴天時 負荷を除いたもの。		12.021	—	59.3	—	—	—

均降雨時間について検討する必要がある。表－3は菊水排水区における平均降雨時間（7.37時間）

表－3 菊水排水区における平均降雨時間の流出汚濁源（7.34時間）

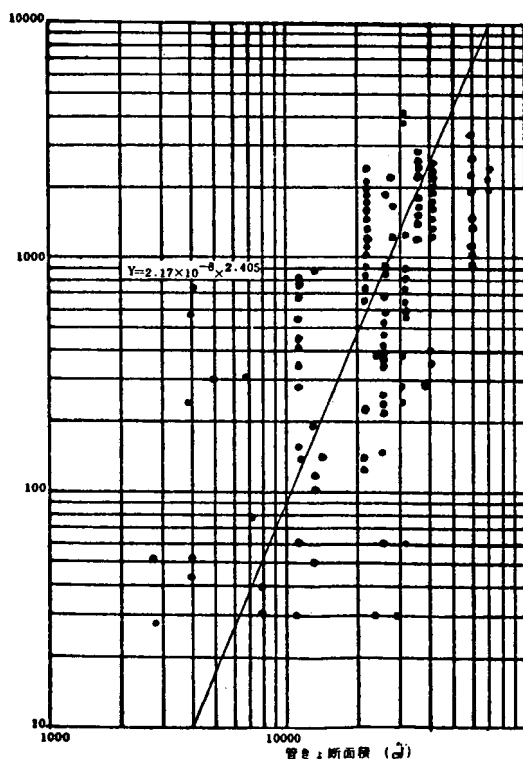
項 目 発 生 源		B O D		S S		NH ₄ －N		PO ₄ －P	
		発生負荷 (t)	割合 (%)	発生負荷 (t)	割合 (%)	発生負荷 (t)	割合 (%)	発生負荷 (t)	割合 (%)
晴 天 時 負 荷		0.83	23.0	0.41	1.5	0.057	90.1	0.085	96.3
管 き ょ 内 堆 積 負 荷		2.23	61.8	17.58	62.6				
下水道周辺 環 境 負 荷	路 面	0.21	5.8	0.824	2.9	0.00094	1.5	0.00117	1.3
	間 地	0.0184	0.5						
	屋 根	0.035	1.0	0.576	2.0	0.00529	8.4	0.00176	2.0
	雨水マス	0.284	7.9	8.708	31.0				
	污水マス								
	側 溝								
合 計		3.6074		28.098		0.06323		0.08793	

における汚濁源の割合を表わしたものである。夜間の降雨については、晴天時負荷量は小さいが平均して表わしており、平均降雨によって管きょ内堆積負荷量や下水道周辺環境負荷量が流出してしまうとしている。昭和49年12月2日から51年12月25日までの2年間における全降雨の平均継続時間は7.37時間であり、このうち実降雨時間の平均時間は2.97時間である。この表でみると、管きょ内堆積負荷量のウェイトが非常に大きくなる。

3. 管きょ内堆積汚泥の特性と負荷量

(1) 堆積汚泥量の算定

管きょ内に堆積している汚泥量と負荷量は多いが、その定量化は一般に困難である。全国の資料があれば管きょこう配、



図－1 管きょ断面積と管きょ内堆積汚泥断面積

径別、土地利用別の堆積負荷量が求められるが、ここでは限られた地域での密な調査資料であり単位管きょ長当りの管きょ断面積 ($X\text{cm}^2$) と、堆積汚泥量 ($Y\text{cm}^3$) との関係を表わすと図—1のようになる。多少のばらつきは管きょ内堆積量調査にも存在するため最小2乗法で回帰すると、

$$Y = 2.17 \times 10^{-8} X^{2.045} \dots\dots\dots (1)$$

となる。この関係式をもとにモデル地域における堆積汚泥量が推定できる。この流域における平均勾配は0.60 0/00である。

(2) 管きょ内堆積負荷量

管きょ内堆積汚泥の算定は難しいが、雨水流出水中に堆積汚泥からの溶出によって負荷量が流出することから管きょ内堆積汚泥 (10g 湿潤) を純水 (500 cm^3) に溶解かく拌しその負荷量を定量した。乾泥1g当りの含有負荷量は、BOD $0.057 \sim 0.236 \times 10^{-2}\text{g}$ 、SS $3.887 \sim 9.774 \times 10^{-2}\text{g}$ 、TS $7.00 \sim 7.692 \times 10^{-2}\text{g}$ 、So1.S $2.865 \sim 3.113 \times 10^{-2}\text{g}$ である。対象地域 (150ha) における堆積汚泥量は乾泥量にして634.4tであり、単位面積当りの管きょ内堆積量は $423\text{t}/\text{km}^2$ である。これらをもとに、単位面積当りの堆積負荷量を求める (表—4) と平均値ではBOD $1.50\text{t}/\text{km}^2$ 、SS $11.8\text{t}/\text{km}^2$ 、So1.S $18.1\text{t}/\text{km}^2$ 、TS $27.98\text{t}/\text{km}^2$ 、熱灼減通 $15.14\text{t}/\text{km}^2$ となる。モデル排水区における堆積負荷量はBOD、

225t、SS、17.7t となり、表—1で流出負荷量の収支から求めた負荷量とはほぼ対応しており、堆積汚泥量からも求められる。SS堆積量が多いのは、下流にポンプ場があり管内貯留量が影響しているためと考えられる。1降雨によって管きょ内堆積負荷量の大半が流出している。

表—4 単位面積管きょ内堆積負荷量

項 目	範 囲 (t/km^2)	平均堆積負荷量 (t/km^2)
B O D	0.70～ 3.71	1.50
S S	4.97～22.48	11.80
So1.S	8.59～49.13	18.10
T S	13.22～67.11	27.98
熱灼減量	7.65～31.74	15.14

また堆積汚泥の特徴には、

- ① 降雨前後の含有汚濁物量は大きな変化を示しているが、堆積汚泥量は砂等が多く、量そのものにさほど大きな変化はない。
- ② 管きょ内堆積負荷量の回復が早く、回復期間は1～2日である。
- ③ 従って、平均的にみると管きょ内には、常に一定した汚濁負荷量が存在している。

4. 路面負荷流出モデルと検討

(1) 路面負荷流出モデル

雨天時流出汚濁負荷量を推定するには、管きょ内の堆積掃流負荷と路面負荷流出が大きいことから、ここでは路面負荷流出モデルについて検討する。路面負荷の支配因子は

- ① 先行晴天日数

② 物質の減衰

③ 清掃の間隔と効率

が主要なものであるが、路面に堆積した物質の減衰は測定が難しく、稲場²⁾は下水管きょ内の堆積物の自己減衰係数とほとんど類似と考え、BOD等については第1段階の反応と第2段階の反応とに分けて、中西³⁾らの反応速度をもとに次のように表わしている。

先行晴天日数をNとし、第1段階の反応までの日数を N_0 とすると、路面堆積量Sは

$$1) \quad N \leq N_0; \quad S = \frac{a}{K_1} (1 - e^{-K_1 N}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$2) \quad N > N_0; \quad S = \frac{a}{K_1} (1 - e^{-K_1 N_0}) + \frac{a \cdot e^{-K_1 N_0}}{K_2} \{1 - e^{-K_2 (N - N_0)}\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

K_1 は一般に0.065/日とされ、 $K_1 = K_2$ としてとり扱っている。今、一日当りの単位面積についての堆積負荷量を a とすると、 n 日後の単位面積当りの堆積負荷量 $P(n)$ は、

$$P(n) = a \cdot \sum_{n=1}^n e^{-kn} = \frac{a \cdot \{e^{-k} (1 - e^{-nk})\}}{1 - e^{-k}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 K は総合的な反応速度係数である。道路清掃間隔 N_0 により次の2つの場合に分けられる。

$$1) \quad n \leq N_0 \quad P(n) = \frac{a \cdot \{e^{-k} (1 - e^{-nk})\}}{1 - e^{-k}} + P_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$2) \quad n > N_0 \quad P(n) = P_0 (1 - E)^m + a \{e^{-k} / (1 - e^{-k})\} (1 - e^{-k N_0}) \times \\ \{ (1 - E)^m + (1 - E)^{m-1} + \dots\dots + (1 - E) \} + a \cdot \{e^{-k} / (1 - e^{-k})\} \\ \{1 - e^{-k (n - m N_0)}\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで； P_0 ；先行降雨後の路面残存堆積負荷量

E ；清掃効率

m ；先行降雨後の清掃回数

総括反応速度 K についてはBODではSartor⁴⁾は0.01/日を、中西は0.065/日を示しているが、

$$e^{-k} / (1 - e^{-k}) \approx 1/K \quad \dots\dots\dots (7)$$

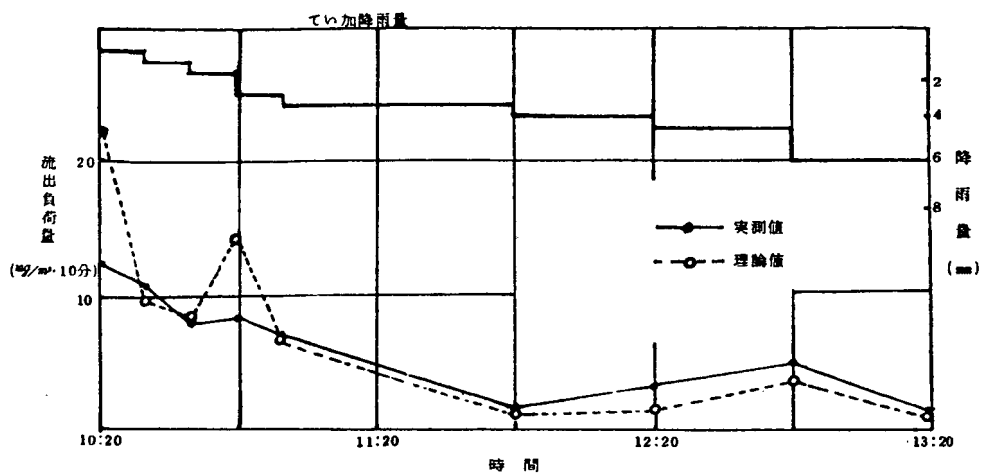


図-2 一般路面流出BOD負荷量(50.10.24)

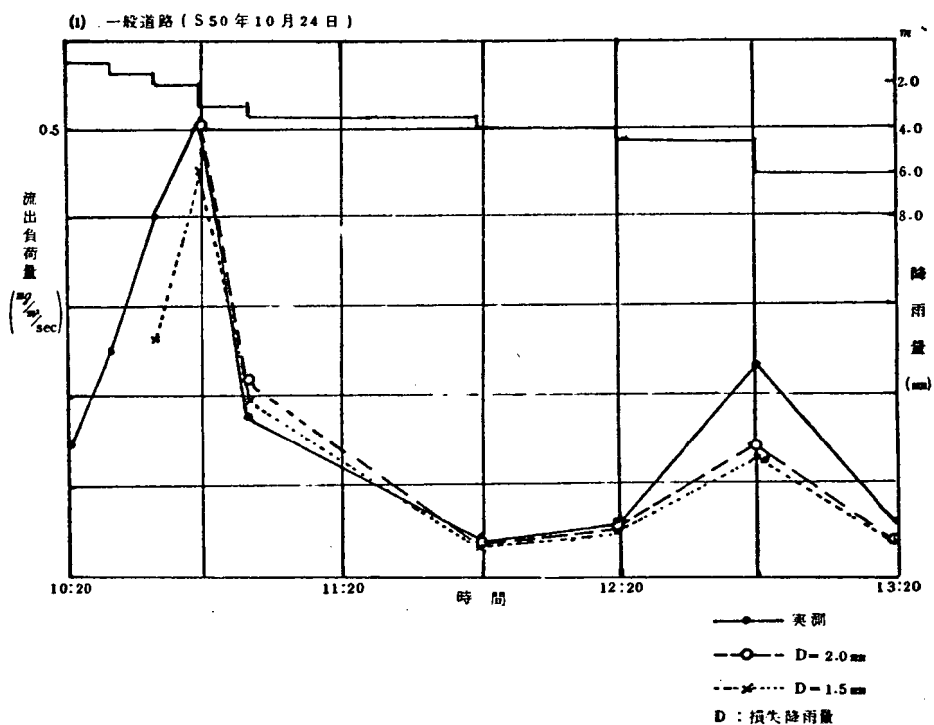


図-3 損失降雨を考慮した路面流出シミュレーションSS負荷量

と近似しても、 $K = 0.01$ / 日でその近似誤差は0.0005、 $K = 0.065$ でのそれは0.0002であり、総括反応係数が比較的大きいレベルでは近似値でさして問題ではないといえる。

以上は路面堆積負荷量の減衰について検討したものであるが、この堆積負荷量が降雨によってどのように流出するかを検討する必要がある。地表面負荷流出 M_p は、STORM⁵⁾では

$$M_p = AP(1 - e^{-KR\Delta T}) / \Delta T \quad \dots\dots\dots (8)$$

と表わしている。

ここで、A；ブロックごとの路面面積

K；総括流出減衰係数

R；降雨強度

式—(5)、(6)と式—(8)により路面に堆積した負荷量の降雨時流出を算定することができる。

(2) モデル計算

計算に当っては $K = 0.01$ とし、実測試料をもとにして $K_{BOD} = 0.273$ 、 $K_{SS} = 0.202$ を得、これらの値をもとにBOD負荷(図—2、3)では計算値と実測値とが良く合致しているが、初期流出時は計算値がやや高くなっている。これは実測試詰が必ずしも降雨当初から採水して得られていないことによるものと考えられる。

5. 雨天時負荷流出

(1) 雨天時負荷流出モデル

表—5 雨天時汚濁負荷流出モデル

		モデル分類	
		国内	国外
地表面流出、管きょ流出を区別せず合わせたモデル		1. 完全混合槽モデル 2. 特性方程式モデル 3. 貯留関数モデル	1. エスペイモデル
管きょ系を中心にした流出モデル	単純	1. 汚濁負荷の運動モデル	1. SWMM 2. バッテル都市排水管理モデル 3. シカゴ流量シミュレーションモデル 4. STORM 5. MITモデル 6. SOGREAHモデル 7. 水資源 SWMN
	合成	1. 堆積負荷(評価)モデル 2. 掃流負荷モデル	
各流出系を1つ1つモデル化し、それを総合したもの		1. 修正RRL法(水量)	1. ISSモデル 2. ドルシコンサルモデル

表-6 雨天時汚濁流出シミュレーションモデルの概要

モデル	計 算 式	文 字 の 意 味
完全混合槽モデル	$\textcircled{1} \frac{dP}{dt} = -DP = -\frac{Q}{V}P \quad (12-1)$ $\textcircled{2}, \textcircled{3} \text{をいって } P_{t+\Delta t} = P_t e^{-\frac{Q}{V}\Delta t} \quad (12-2)$ $\textcircled{3} \text{ ある時間の流出量は } Q_s = P_t (1 - e^{-\frac{Q}{V}\Delta t}) / \Delta t \quad (12-3)$	P ; 残存負荷量 D ; 希釈率 = $\frac{Q}{V}$ Q ; 流 量 V ; 槽容量 Δt ; 時間ステップ
箱 場 モ デ ル	$\textcircled{1} \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{E}{U_s} \right) = \ell_d - a(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} \quad (12-4)$ $\textcircled{2} E = k_1 h^{2.5}, U_s = k_2 h^{1/2} \quad (12-5)$ $\textcircled{3} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i + q_d \quad (12-6)$ $\textcircled{4} q = k_3' h^{3/2} \quad (12-7)$	⑤ ①~④より堆積汚濁物の変化は $a(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} = \ell_d - \frac{3}{2} k h^{3/2} (i + q_d) - \frac{1}{3} k^{1/2} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (12-16)$ ⑥ 流出汚濁負荷量は $E = a_1 x_1 + a_2 (x_2 - x_1) + a_3 (x_3 - x_2) + \dots$ $\ell_d = \text{晴天時汚濁負荷量} \quad (12-17)$ ここで $a = \ell_d - a(1-\lambda) \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{3}{2} k h^{3/2} (i + q_d) + \frac{1}{3} k^{1/2} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (12-18)$ E ; 流出負荷量 (単位市) λ ; 空隙率 U_s ; 汚濁負荷流速 H ; 堆積厚 x ; 流下距離 q_d ; 汚水量 ℓ_d ; 晴天時汚濁負荷量 q ; 流 量 a ; 密 度
汚濁負荷運動 (式) モデル	$(a) Q_s = KQ^n \quad (12-8)$ $(b) Q_s = KS^2 (Q - Q_c) \quad (12-9)$	Q_s ; 流出負荷量 Q ; 流 量 Q_c ; 限界掃流量
堆積負荷評価モデル	$\textcircled{1} Q_s = KS^2 (Q - Q_c) \quad (12-10)$ $\textcircled{2} \Delta S = S_2 - S_1 = (DWF_s - Q_s) \Delta t \quad (12-11)$ $= \left(\frac{DWF_t + \Delta t + DWF_t - Q_{s,t+\Delta t} + Q_{s,t}}{2} \right) \Delta t$	Q_s ; 流出負荷量 DWF_s ; 晴天時負荷量 Q ; 流 量 ΔS ; 堆積負荷量 Q_c ; 限界掃流量 S ; 残存負荷量
掃流負荷モデル	$\textcircled{1} M_p = AP (1 - e^{-KR\Delta t}) / \Delta t \quad (12-12)$ $\textcircled{2} Q = Bhv \quad (12-13)$ $v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2}$ $\textcircled{3} q_B = 6.6 U_s - 11, U_s = \sqrt{egh} \quad (12-14)$ $q_B = 2057(h1)^{1/2} - 11$ $\textcircled{4} Q_B = B^{-1} q_B^L \cdot P_s \times 10^{-4} \quad (12-15)$	ここで、 (イ) 先行晴天日数 < 道路清掃間隔 $P = a [e^{-K} / (1 - e^{-K})] (1 + e^{-Kn}) + P_0 \quad (12-19)$ (ロ) 先行晴天日数 > 道路清掃間隔 $P = P_0 (1 - E)^m + a [e^{-K} / (1 - e^{-K})] (1 - e^{-KL}) \times [(1 - E)^m + (1 - E)^{m-1} + \dots + (1 - E)] + a [e^{-K} / (1 - e^{-K})] (1 - e^{-K(n-mL)}) \quad (12-20)$ M_p ; 路面流出負荷量 l ; 雨水こう配 A ; 流域プロック面積 Q_B ; 掃流負荷量 k ; 流出減衰係数 × 流出係数 R ; 降雨強度 B ; 管き 2 市 q_B ; 底質汚泥浮上量 L ; 管き 2 長 h ; 水 深 P_s ; 負荷換算率

雨天時に汚濁負荷がどのように流出し、降雨が変ればそれがどのように変化してゆくかを推定することは、下水道計画や公共用水域の保全管理に重要な役割を果たす。晴天時下水道においても大きな変化をし処理に変動を与えているが、雨天時にはそれに加えて、都市活動の中で発生した種々の物質が流出し、簡単にそれらの挙動を表わすことが困難なのが実情である。

現在わが国で検討されたモデルを分類すると次のようになる。

1) 地表面流出と管きょ流出を区別せず、ひっくるめて取り扱うモデル。

2) 管きょ系流出を中心とした流出モデル。

3) 各流出系を1つ1つモデル化しそれらを総合化したモデル。

1) については、①完全混合槽モデル⁷⁾、②特性方程式モデル、③貯留関数モデルがあげられ、2) については回帰式をもとにした④汚濁負荷の運動の式があり、3) には⑤堆積負荷(評価)モデル¹⁾ ⑥掃流負荷モデルがあげられる。これを一覧表にすると表-5 のようになる。

(2) モデルの特徴と利点

それぞれのモデルの概要は表-6 にまとめて示す。完全混合槽モデルは、下水道システムを大きな1つの槽とみたとて、その中の負荷量の単位時間当たりの変化は、下水道管きょ中に存在する負荷量に比例するとし、一般に使われる一次反応型のものである。モデルは、下水道システムを等価な表面流と考え、単位巾あたりの負荷の流出を、水質の連続の式、運動の式と、流量の連続の式、運動の式を連立することによって、流出負荷量を表わしたものである。理論的に明解な取り扱いを行っている。汚濁負荷運動モデルは、汚濁負荷の挙動は、流量の関数と表わせると考え、実測値をもとに回帰式を作りこれを用いるもので、SSについてはブラウンの式とも一致し、その他の有機系の汚濁負荷の場合には、べき n は1.3~1.5の値をとることが稲場⁴⁾の研究で明らかにされている。地域的な特性を強く受けるため、 n は地域ごとに求めるのが望ましいモデルである。しかし、ファーストフラッシュピーク流出時、減衰時を1つの式で表わすことが困難である。単純で明確であり、これに管きょ内貯留や、限界掃流量をもとに修正したモデルを用いられている。ただ堆積汚濁量 S の評価がむずかしい。

この式の S を定量的に表わしたものが堆積負荷(評価)モデルである。 S の推定はむずかしいが、各降雨、先行晴天日数の類似した資料をもとにすれば、妥当な値を求めることができ、流出負荷量を算定することができる。掃流負荷モデルは、路面や屋根等の表面負荷量をSTORMモデルの概念を応用し、管きょ内流出負荷量は流量の連続式、運動の式、負荷量の運動の式として掃流による負荷の算定式を用いたもので、負荷流出換算係数によって求めたい汚濁負荷量を算定するものである。

各モデルの特徴、その長短所をまとめたのが表-7である。

表-7 モデルの特徴と長短所

モデル	特 徴	長 所	短 所
完全混合槽 モデル	1. 負荷変動を流量(Q)の減衰によって表わしている。 2. 槽内濃度が一定である。 3. ある時間内のQは一定であるとしてとく。	1. とり扱いが簡単で地域の概要を知るのに良い。	1. 汚濁物の流出挙動が表面流として等価で表わされているため、現実の事象と対応させにくい。 2. Vの算定が難しい。
稲場モデル	1. 汚濁物の流出挙動を表面流として等価で表わしている。 2. 地域の単位巾当りの負荷流出量を水質、水量の連続式、運動の式を連立して求める。	1. 理論的な負荷流出の根拠が明解。 2. 汚濁負荷の変動が表現しやすい。 3. ある因子の変化に対する水質変化の応答が記述しうる。	1. 汚濁物の流出挙動を表面流として等価で表わされているため、現実の事象と対応しにくい。 2. モデルに合う水深(h)の測定が困難 汚濁負荷の変動が$\frac{\partial h}{\partial t}$のみで表現するには少し無理がある。
汚濁負荷運動 モデル	1. 汚濁物の流出挙動を流量の関数として表わす。 2. 地域的な特徴を含んだ平均負荷流出を表現している。	1. 簡単に流出汚濁負荷量を求めうる。	1. 汚濁負荷流出がループを描くため1つの式では表わしにくい。 2. ファーストフラッシュ、希釈が正しく表わし得ない。 3. 地域が変わると式の係数、べき数に変化する。 4. データ数により式の精度が変化する。
堆積負荷評価 モデル	1. 汚濁負荷運動の式と連続の式により汚濁流出量を求める。 2. 限界掃流力を越える流量を対象としている。	1. 汚濁負荷の運動の式と連続の式を用いており、実測値と合致度が良い。	1. 比例定数S_0, K, m, nの決定はトライアルによりその地方の資料から求める必要がある。
掃流負荷 モデル	1. 路面や屋根等の表面流出負荷と、管きょ内堆積負荷量を同時に考慮して求める。 2. 表面流出負荷は一次反応式で、管きょ堆積負荷量は、運動の式と連続の式ならびに掃流の式から求め、負荷流出換算係数を導入する。	1. 汚濁物の流出挙動を路面等の表面流出によるものと、管きょ内堆積掃流負荷の両方から表わしており、とり扱い方が簡単である。	1. 掃流負荷量が降雨の減衰、希釈時にも妥当に評価し得るとは限らない。

(3) シミュレーション結果とモデル

前報⁶⁾で述べた大阪菊水排水区を対象にしてこれらのモデルの計算を行った結果の一部を図-4、図-5に示す。これらの計算を1つのモデルについて10余の降雨について求めた結果から得られ

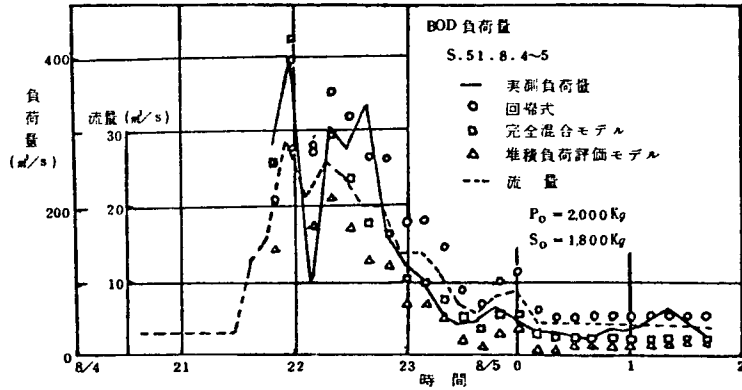


図-4 シミュレーション結果

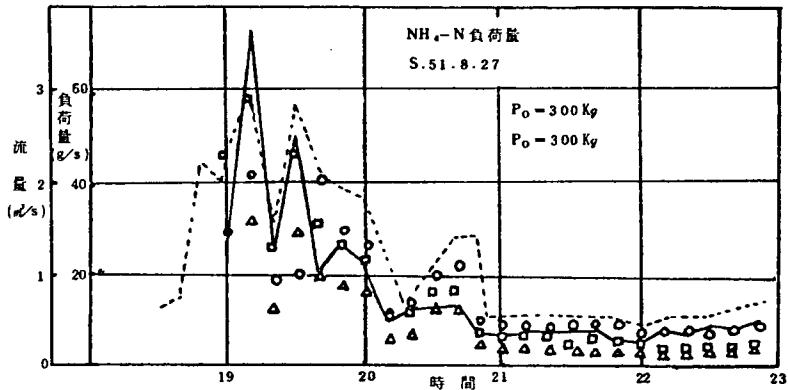


図-5 シミュレーション結果

たシミュレーション結果をもとにしたモデルの特徴について表-8に示す。

掃流負荷モデルは現在検討中である。

モデルの適合についての評価は次の4つが考えられる。

- ① ファーストフラッシュ時の適合
- ② ピーク流量時の適合
- ③ 減衰時の適合
- ④ 流出総負荷量の適合

雨天時負荷流出においては、ファーストフラッシュ時とピーク流量時に多量の負荷量が流出し、

表-8 シミュレーション結果の特徴

項 目	汚濁負荷運動モデル	完全混合槽モデル	堆積負荷評価モデル
BOD	1. 流量支置が大きく、特定地域で極端な降雨でなければ実測値との合致度は高い。	1. 負荷流出のピークまでは実測値との合致度は良いが、希釈作用の効いてくるところでは合致度は悪くなる。	1. S_0 を正しく評価すれば実測値との合致度は良くなるが、 S_0 の推定がやや小さくなったため、実測値よりやや小さい値が出た。
Cl^-	1. 実測負荷量の変動が激しく合致しにくい。	1. 実測負荷量の変動が激しく合致しにくい。	2. 汚濁負荷運動モデルを用いているので計算値はそれと似てくる。
NH_4-H PO_4-P	1. 実測負荷量が小さく、水質変動もさほど極端な変化がないため、実測値との合致度は高い。	1. 負荷流出のピークまでは実測値とやや合致度は良くないが、ピーク後は比較的合致度は良い。	

減衰時には希釈効果も生じ、かつ晴天時負荷の影響もではじめ、雨水管理を行なってゆく場合には流量の制御が中心となるため①、②に重点を置いた評価と④とのバランスの上でモデルの適合度を評価してゆくべきであろう。

6. ま と め

雨天時の負荷流出の特徴を検討し、非点源汚濁負荷の制御の重要性を明らかにするとともに、管きょ内に堆積している負荷量の算定ならびにその特性について考察した。雨天時負荷流出の中心である管きょ堆積負荷の他に、路面負荷の流出の状況を表わすモデルとその適用についても論じ、それらを総合した雨天時負荷流出についてモデルの検討を行ない、それらの問題点と特徴について明らかにした。紙面の関係上詳細に述べられなかったがモデルの特徴をその活用用途によって考慮してゆく必要があり、今後この面の評価の研究が必要となつてこよう。地域の実情によって地域での発勢負荷が変わり、雨天時負荷流出も大きく変化する。従って、都市の実情と用途に応じたモデルの検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 日本水道協会；昭和50年度合流式下水道東京都報告書、1975年
- 2) 稲場紀久雄；雨天時下水道水量水質の制御に関する研究、学位論文、1975年2月
- 3) 中西弘；上下水の酸化処理に関する2、3の研究、学位論文、昭和41年12月
- 4) James D. Sartor and Gail B. Boyd ; Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants, EPA-R2-72-081, NOV, 1972
- 5) Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model "STORM", U.S. Army Corps of Engineer, July, 1976, 723-S8-L7520
- 6) 神山桂一他；合流式下水道における雨天時流出汚濁負荷量について 土木学会年講、S50.10

あ と が き

われわれが雨天時汚濁対策を実施していこうとする場合、フィールド氏が示された見解は実に明解であり、現存する施設を最大限に活用しなければならないということであった。合流式下水道の場合でも、越流してからその越流下水を貯めようとするとは莫大な費用が必要になることは明らかであり、越流する前に既存の管渠内に出来得る限り貯留するという考えは極めて合理的なものと云えよう。

さらに、氏が提供なされた渦巻式固液分離装置（Swirl Concentrator/Regulator）に関する多くの情報は、これから雨天時の汚濁対策に取り組んでいこうとする多くの技術者にとって非常に有望な一つの可能性を示してくれたものと確信している。

最後に、本報告書の執筆に御協力をいただいた以下の方々に感謝の意を表したい。

山田 睦郎	建設省都市局下水道部下水道企画課専門官
稲場紀久雄	” ” ” ” 課長補佐
瀬藤 一郎	” ” ” ” 係長
江藤 隆	” ” ” ”
中村 栄一	” 土木研究所下水道研究室研究員
小越真佐司	” ” 三次処理研究室研究員
宮腰 繁樹	横浜市下水道局建設部長
田中 芳雄	” ” 管理部長
小椋 進	” ” 建設部計画課長
間片 博之	東京都下水道局計画部長
藤井 秀夫	” ” 計画部主幹
松崎 茂樹	” ” ” 計画第一課長
米田 孝	京都市下水道局技術部長
藤本 忠利	” ” 技術部計画課長
犬石 藤夫	” ” 鳥羽処理場長

谷	和夫	大阪市下水道局建設部長
生野	斌	“ “ 技術監兼建設部計画課長
仲谷	義夫	“ “ 建設部主幹
松永	一成	“ “ 建設部処理場課長
山田	健二	大阪府土木部下水道課長
北井	克彦	“ “ 下水道課主幹
和田	安彦	関西大学工学部講師

(敬称略)

この他にも、フィールド氏の滞在中には色々な面で御協力いただいた方は多い、それらの方々にあらためて厚く御礼申上げたい。

土木研究所下水道研究室長、 安 藤 茂