

下水管路施設設計の合理化に関する調査報告書

—合流式下水道の改良に関する調査(1)—

土木研究所資料第981号

昭和49年10月

建設省土木研究所

下水管路施設設計の合理化に関する調査報告書

——合流式下水道の改良に関する調査(1)——

目 次



1. はじめに	1
第1章 緒 言	3
1.1 米国における調査研究の経過	3
1.2 わが国における問題の提起	5
1.3 合流式下水道における改良すべき主な理由	6
第2章 合流式下水道の背景	10
2.1 下水の排除方式とその実情	10
2.2 合流式と分流式の利害得失	16
2.3 合流式下水道の概念的発達経過	20
第3章 雨天時下水および雨水流出水の水質特性	23
3.1 緒論——1960年代までの調査研究	23
3.2 雨天時下水の水質に関する調査結果の概要	28
3.2.1 Northampton, Bradford および Brighouse における 英国水質汚濁防止 研究所の調査	28
3.2.2 Detroit における調査	34
3.2.3 San Francisco における調査	40
3.2.4 Washington, D.C. における調査	42
3.2.5 米国における最近の調査	44
3.2.6 建設省土木研究所の調査	48
3.3 都市域からの雨水流出に伴う水質汚濁	49
第4章 雨天時下水の水質特性に関する調査	61
4.1 はじめに	61
4.2 調査方法	62
4.2.1 既調査の概要	62
4.2.2 現調査の概要	62

4.3	調査の結果および考察	75
4.3.1	雨天時下水水質の実態	75
4.3.1.1	雨天時下水水質の時間的変動(1) 合流式の場合	75
4.3.1.2	雨天時下水水質の時間的変動(2) 分流式の場合	81
4.3.1.3	48年11月10日の降雨についての考察	90
4.3.2	雨天時下水の代表的水質	97
4.3.2.1	合流式下水道の場合	97
4.3.2.2	分流式下水道の場合	103
4.3.2.3	雨天時越流水の水質	106
4.3.3	雨天時下水中の汚濁物質の構成	109
4.3.4	栄養塩類とその挙動	118
4.3.5	大腸菌群の存在	121
4.3.6	都市域からの雨水流出に伴う汚濁負荷の試算	125
4.4	ま と め	126
第5章	総括および今後に残された問題	128
謝 詞	.....	130
参 考 資 料	.....	131
(1)	「雨水および合流式下水道からの越流水による汚濁効果——概括的な評価——」 米国保健教育・福祉庁公衆衛生局上下水道部, 1964年11月, (全訳)	

1. は じ め に

下水道は、日常生活や生産活動に起因する下水を排除し、生活環境を保全するための管路・ポンプ場施設と、それらを集収処理し、無害なものにしたうえで河海へ放流するための遮集管・処理施設に区分される。

西欧諸国においては、城郭内に都市が形成されたという特性から、古くより都市排水機能を受持つ下水道管路施設 (Municipal Sewer) が発達していた。近代下水道はこれら既成施設を利用し下水を集め、遮集管 (Interceptor) で下水処理施設 (Sewage Treatment Facilities) に送り込むことを計画した時に始まった。その後下水処理技術は生物処理、あるいは物理化学処理を中心に目ざましい発展をとげ、近年では下水を高度に処理し、再利用をはかり得るまでに至っている。これに対して、下水道路施設設計上の技術は、水理学や水文学の発達に合せて管路設計、計画降雨量の統計処理等の研究面で改善がなされてきた。しかし欧米諸国においては、すでに前世紀に管路施設がほぼ行き渡っていたために、またわが国においては、下水道事業そのものの必要性が広く認識されていなかったために、実施面での十分な検討がなされぬまままで今日に至っている。

このほか本調査の目的である合流式下水道の水質保全面からの再検討や都市の急速な発展と農業構造の変化に伴う都市排水機能の再検討、とくに都市内河川と下水道との役割の斉合性をはかることや、近年開発・改良の著しい大型電子計算機を駆使しての下水道管路施設設計法の合理化等々の問題も指摘されている。

昭和49年度、わが国においては429都市*が下水道事業を実施しており、昭和48年度末現在1,907 haの市街地に下水道が整備されている。このうち、およそ6割の都市では、何らかの形で排除方式として合流式を採用しており、既設面積の大半も合流式下水道となっている。

汚水と雨水を同一の管渠によって排除する合流式下水道は分流式に比べ建設費が一般に安く、かつ、市街地内の道路が狭少なわが国の場合施工が容易であることなどの理由により広く採用されてきたのであるが、本来排水路から下水道へと発展してきた過程で、いわば自然発生的に形成されてきたものであり、欧米の諸都市や東京、大阪など下水道の歴史の古い都市はすべてこの方式により整備がなされてきた。

しかしながら、この排除方式では雨水により稀釈されているとはいえ、雨天時に雨水吐や雨水ポンプ場から、無処理のまま下水が排除されるという欠点を有しており、建築物の高層化あるいは生活様式の向上などに伴う汚水量の増大が晴天時においても越流を生じるという形で問題を生じるようになった。

前述の通りわが国の場合、下水道の整備そのものが立遅れており、下水道の重点は依然として管渠の布設と下水処理場の新設、拡張に置かれ、合流式下水道の持つ問題の検討やその改良、改善策を見出す努力はほとんど行なわれて来なかったと云ってよい。

下水処理場の処理効率の向上や高度処理などと異なり、既設構造物の改良という、技術的にも経済的にも多くの困難性を含んでいることがこの問題をさらに複雑なものとしている。米国の下水道行政を所管していた Public Health Service の手による調査研究以来長年この問題に関し多方面から調査研究を行なっている米国においても、これまでのところその抜本的な対策は分流化であるとしながら、巨額な投資と都市活

* 事業休止都市を含まず。

動を大きく制限することなどの理由により、またこれに代りうる方法もかなりの維持管理と多くの費用を要するため実施を躊躇している状況にある。

この問題は最終的には放流先水域全体を包含した水質保全計画にもとづく総合的な下水道計画の一部として、その投資と効果の両面より検討がなされるべきものと考えられるが、その際多くの検討資料が必要となろう。

建設省においては、従来より各都市が下水道事業を実施するうえで共通した問題に関し、下水道事業調査費により調査を行なっており、土木研究所においてもその一環として「雨天時下水の排除の合理化に関する調査」をはじめ、下水処理施設設計法の合理化や下水の高度処理の問題に取り組んできたが、下水道管路施設設計上の問題の重要性ならびに、この分野での調査資料の不足を補うため、昭和48年度より「下水道管路施設設計の合理化に関する調査」に着手することになり、その手はじめとして近い将来問題が顕著化すると考えられる合流式下水道からの雨天時越流水に関連した「合流式下水道の改良に関する調査」を行なうこととなった。

昭和48年度はわが国の合流式下水道の実態把握と、合流式、分流式における雨天時下水の水質特性の解明を中心に調査を行なったが、本報告書は調査の実施にあたって、これまで行なわれてきた雨天時下水の特性に関する調査研究結果を整理検討したもの、およびわれわれの得た資料にもとづきいくつかの検討と考察を加えた結果を述べたものである。

内容は一貫した方針に従って記述したものでないため、前後の斉合性のないもの重複ならびに資料的に古くなっているものも多々あるかと思うが、本報告書の公表がこの問題に関係し、あるいは関心を持たれる人々にとっていくらかでも役立てば幸いとするところである。

昭和49年10月

第 1 章 緒 言

1.1 米国における調査研究の経過

今からおよそ 10 年前の 1964 年 11 月、当時米国において下水道事業を所管していた保健・教育省の公衆衛生局 (Public Health Service, PHS) は合流式下水道からの越流水や雨水が水質汚濁に及ぼす影響に関する調査を行ない、概括的な評価を行なった。雨天時下水の水質やその汚濁に及ぼす影響、処理対策等については、さらに 10 年前の 1950 年頃から Camp や Palmer などにより Boston, Detroit などにおける実測資料にもとづいて議論がなされ、報告されてきているが、連邦政府が直接この問題を手掛けるようになったのは、この時が最初である。

「Pollutional Effects of Stormwater and Overflows From Combined Sewer System」と題したこの調査結果の報告書は 25 州と Washington 特別区の 55 都市の既存資料を集収し、(1) 越流水の水質と水量、(2) 河川、水利用、水使用者に与える影響、(3) 不利益、そして既存の、または考えられ得る制御方法とその効果、(4) 制御に必要な費用などの面から検討したものである*。

その結果、合流式下水道からの越流水は年間平均するとかなりの量となり、特に降雨時に著しいが、その中には 2 ~ 3 % の未処理下水が含まれており放流先水域にかなりの汚濁負荷を与えていることが明らかとなった。また現に個人の資産に実質的な損害を与えたり下水処理費用の増大をまねいているほか、不快感を与え、水利用を困難にし、観光価値を減少させるなど金銭的には評価できぬが、明らかに不利な影響を及ぼしている状況が報告された。

各都市が調査を行なった直接の動機が、合流式下水道からの越流水による水域の汚濁よりも、むしろ古い合流式下水道が過負荷となり、住宅や商店の地下室が雨天時下水の逆流で浸水し、しかもその下水が単なる「雨水」ではなく公衆衛生の面からも危険なものであることを認識したものであったことは興味を引くものである。下水道担当者は雨天時下水の水質に問題があることを定量的には把握していなかったが、実感としてとらえていたわけである。

この問題の根本的な解決策は污水管と雨水管に分離することであると考えられたが、それに要する費用は全米の合流式下水道を考えた場合 200 ~ 300 億ドル (当時) におよび、部分的に分離をはかるにしても、ほぼこれと同額となるであろうと推定された。

これに代る案もいくつか考えられ検討された。雨水貯留槽、管内貯留、雨水分離装置の改良などであるが、それらの持つ効果に対する評価は十分なされてはいなかった。またそれに要する費用は合流式下水道の完全分離に比べ幾分かは低いものと考えられたが、それでも数十億ドルになろうと推定された。

結論的には、合流式下水道の分流化に代り得るもので、これと同じ、ないしはより効果があり、しかも安い費用で行なえる方法を見出すための調査を継続的に行なわなければならないということであった。

この報告書と、その他の連邦議会にもたらされた情報にもとづき、1965 年の「水質法 (Water Qua -

* 報告書の全訳は本報告書の巻末を参照のこと。

lity Act)」に、当時デモンストレーション施設補助と呼ばれた補助金制度が加えられた。これはこの種の施設に50%補助を行なうもので1966年春から本格的に動き出し、1966年6月最初の補助がなされた。1966年秋には「清水回復法 (Clean Water Restoration Act)」の通過に伴って改訂がなされ、補助率が50%から75%まで引き上げられた。同時に高度処理、工場排水処理、家庭下水と工場排水の合併処理などに対する同様な補助が加えられた。

1969年の報告では、当時82のプロジェクトがこの制度にもとづいて調査研究が行なわれており、その費用は6500万ドルで、これに対する連邦政府の補助は約2800万ドルであるとされ、さらにいくつかのデモンストレーションないしは開発計画を進めることとしていると述べられている。¹⁾

米国土木学会 (ASCE) が1969年にこの補助金を受けて行なった調査では、米国では下水道利用人口の29%、全米人口の18%が合流式下水道の区域内に住んでいる。これらの地域は一般に人口密度が高く、とくにニューイングランド地方、ニューヨーク州、インディアナ州、イリノイ州などでは下水道利用人口の半数以上が合流式下水道の地域に住んでおり、北西諸州や五大湖周辺、中部大西洋沿岸の諸都市でも、かなりの人口が合流式下水道を利用していることが明らかにされた。

このなかにはマンハッタン島に代表されるような大都市の中心市街地で分流化が全く考えられぬところもあるが、一応これらの地域をすべて分流化するとすれば、理論上300億ドル、取付管の付け替えに180億ドル、計480億ドルを要すると試算されている。また各種方法の組み合わせを行なうにしても150億ドルという巨費が必要であると推定されている。

この調査の際、310の都市が合流式下水道の改良を行なうにあたって何らかの技術的な調査を行なう必要があると報告されており、うち220の都市が費用を推定できるまでに検討が進んでいたが、概して分流化に代る案に関する情報は全く乏しい状況にあることが明らかにされている。²⁾

このような状況を背景に環境保護庁 (Environmental Protection Agency, EPA) はこれらの調査研究成果を公表出版するとともに、全米各地でセミナーやシンポジウムを開催し、情報の普及をはかっていたが、行政的には先ず1970年8月の「公害教書」に他の項目とともに合流式下水道からの越流水の問題がとり上げられており、合流式下水道からの越流水および都市域での雨水流出水による汚濁を取扱う詳細な計画を公的なものとすべきであると勧告している。

1972年10月、米国連邦議会はニクソン大統領の反対を押し切って画期的な「連邦水質汚濁防止法1972年修正法」を制定し、雨天時下水の問題は重要項目の一つとしてこの法律に引継がれた。そして雨水または雨水汚水の両方を排除する下水道の汚濁物質の河川への放流を防止、減少および除去する新式のまたは改良方式を実用化するため、環境保護庁長官に州、地方自治体、自治体間または州際機関に補助金を交付する権限が付与されており、またその実際の応用を開発、改善および達成するために努めなければならないと規定されている (同法第105条)。

また各地方公共団体がこれを事業化する場合には最大限75%までの連邦政府の補助が認められている (第202条)。

以上のような状況を背景として、EPAの雨水時下水問題に関する調査研究・開発は国立環境研究センター (National Environmental Research Center, NERC) の雨水および合流式下水道技術部門

の手で進められており、120以上のプロジェクトが研究補助金ないし研究契約に基づいて実施されている。個々のハードウェアは全体的にまとめあげられるまでには至っていないが具体的問題に対しては充分対応し得る段階にきている。⁹⁾

これら研究開発状況と具体例のいくつかについては1974年2月、東京で開かれた第3回日米下水処理技術委員会においてF. J. Condonが明らかにしており、同時に行なわれたセミナーの席上日本側と活発な討議が行なわれた。^{10) 11)}

米国においてはEPAの研究開発とは別にASCEや国立科学財団(National Science Foundation, NSF)や水資源調査事務所(The Office of Water Resources Research, OWRR)などの手によってもこの問題はとり上げられている。

ASCEは究極的な水需要を全米的見地から検討しており、その一環として地表水の汚濁の問題を扱っており、これまでに18の報告書が出されている。

NSFは人間活動が自然環境に及ぼす影響の観点からこの問題を扱っており地域環境システム、微量元素の環境内における状況などが主要な課題になっている。³⁾

いずれにしても、EPAはこの問題を三次処理(高度処理)の問題とともに取組んできたが、三次処理のハードウェアの開発がほぼ一段落した現在、この問題を最重点課題としてとり上げ一般性を持った技術にまで確立することを目指している。

同様な調査研究はカナダやフランスにおいても行なわれている。³⁾

1.2 わが国における問題の提起

昭和49年度末現在、わが国においては429の都市が公共下水道事業を実施しているが、この多くは戦後、とくにここ数年のうちに事業に着手したものである。戦前に下水道事業を実施していた都市は昭和16年4月当時51にすぎず、しかも管路延長が500kmを越えていた都市は東京市、名古屋市、京都市、大阪市に過ぎず、中小都市では岐阜、豊橋など二、三の都市が先進していたのみであった。このため、現在一部の都市を除けば合流式下水道の改良問題は具体化しておらずまた多くの都市では在来水路から直接河川に放流される下水の割合ははるかに大きいため、雨天時下水は未だ問題視されていない。

しかしながら、下水道関係者の間では、この問題は深く関心が持たれており、例えば下水道実務者の集りである下水道実務研究会では毎回この問題が主要な議題の一つとしてとり上げられている。^{4) 5) 6) 7)} これらの会合で議論されている問題点を整理してみるとおよそ次の三つに分類されよう。

- ① 上水使用量の増大や土地利用の変化に伴う汚水量の増加により、雨水吐きより晴天時にも越流が生じ、下水処理場の処理能力が不足するなどの事態が生じ、これによる放流先水域の汚濁源の一つとも見なされるに至っている。その具体的な解決策は何か。
- ② 既設合流式下水道からの雨天時下水の排除が放流水域の水利用に直接被害を与える懸念があること、また市民から指摘、苦情を受ける可能性があること
- ③ 上記の問題の解決策として分流式を採用したり、合流式下水道を分流式に代えた場合の問題、とくに在来側溝が残存する場合の取扱い、本管への取付管の誤接、雨水の污水管への流入等の問題の解決策等。

このいずれもが、下水道の排除方式と合流式下水道の改良の問題に係るものであるが、根本的な解決策が完全な形での分流式下水道の採用にあるとするものの、莫大な費用と時間を要することが難点とされ、一方その代替案も具体的に議論されぬままに中断されている。

しかし、欧米諸国における状況や、最近の公共用水域の水質汚濁防止における下水道のはたす役割が重要視されてきているため、下水道の排除方式もこの面から考慮しなければならないとの観点から昭和47年8月に改訂された「下水道施設設計指針」では排除方式は原則として分流式とすることと明記されるまでに改められた。わが国の下水道の普及率は現在、既成市街地面積に対して20%程度であるから、今後この原則の徹底がはかられば、大半の地域は分流式での管渠の整備が行なわれることになろう。

残された問題は、これまで長い歴史をかけて下水道を布設してきた東京、大阪、名古屋等大都市に現存する合流式下水道を、いかに合理的に改善していくかである。

公共用水域への「下水道排水」に対する規制は、これまで終末処理場のみ適用されるものと考えられていたが、環境庁は水質汚濁防止法を厳密に解釈し、昭和46年12月16日付けの水質保全局長通達をもって、公共下水道の終末処理場、雨水吐き、ポンプ場等から公共用水域に排出される下水についても、昭和46年12月24日以降排出基準を定める総理府令第1条の排出基準が適用され、もしこれに適合しない場合には、水質汚濁防止法第12条および第13条の規定に基づく直罰、改善命令等の措置も適用される旨を明らかにした。

政令の規定は1日当りの平均的な排出量が50㎡以上を適用対象としており、雨天時下水のような不定期でかつ比較的短時間の排水をどのように取扱うかは検討されていないが、下水道の使命および公共性を考えれば前向きで対処すべきであろう。

総理府令は、とくに雨天時下水について水質上問題となるBOD、SS、大腸菌群数についてそれぞれ160mg/ℓ、200mg/ℓ、3000個/cc以下と定めており、一応この数値が今後雨天時下水の水質を検討する場合の一つの目安となると考えてよい。ただし、環境庁は近い将来排水の汚濁負荷量を勘案した総量規制の実施を考慮している。

合流式下水道の雨水吐等からの雨天時越流水は本報告書に述べている既調査結果からみても負荷量としてはかなりのものとなることは明らかであり、下水道側としては具体的な対応策が早急に見出せぬこともあって今後大きな問題に発展することも予想され、今後組織的な調査、検討を実施していかなければならない段階に立ち至っている。

1.3 合流式下水道における改良すべき主な理由

わが国においては、下水道の歴史が浅く、かつその普及が遅れたため、これまで大規模な下水道管渠系統の改良が行なわれた例は少なく、多くは局所的に行なわれてきた。

いま合流式の下水道系統において改良が必要とされるに至った理由を整理してみると下記の通りであり、本来の排水機能を回復することを目的としたものと、新たな問題としての水質保全面からの合流式下水道のあり方の変化に伴うものとに大別される。

機能保持の面

施設の老朽化、損傷
構造・施工上の不備
晴天時汚水量・雨水量の増大による管渠容量の不足
他事業との関連

水質保全の面

水質汚濁等の発生
水質規制、またはその強化

すなわち、機能保持の面から検討してみると

(1) 施設の老朽化、損傷

管渠の主要部分はレンガ、石、コンクリート等で構成されており、その耐用年数はおおむね50年程度とされている。しかし欧米諸国においては過去100年以上も使用されてきた下水管渠が現在もなおその機能を保持しており、適切な管理下においてはかなり長年月の使用に耐え得ることが明らかにされている。しかし、路上通過交通の重量の増^か増、悪質下水の流入などにより、局所的には使用に耐えぬまでに損傷を受ける場合もある。

またわが国において特に重要な問題となっているものに地盤沈下による排水機能の低下がある。地下水の異常揚水に伴う地盤沈下現象はすでに戦前より見られたが、昭和30年代の高度経済成長と期を同じくしてこの問題が顕著化した。この現象により下水道施設は管渠勾配の不整合、自然排水不能、ポンプ揚程の不足などの被害を生じたが、伊勢湾台風を契機に行なわれた高潮対策事業の一部として、東京、大阪、尼ヶ崎等の諸都市では改良事業が実施され、またとくに地盤沈下現象の著しかった新潟市については地盤沈下対策事業として改良工事が実施された。

(2) 構造、施工上の不備

一般に管渠の設計では晴天時汚水量の10%前後の地下水は浸透してくるものとしているが、管布設工事の不備、継手部の不完全な施工や亀裂の発生等管渠の損傷によって地下水が多量に流入し、晴天時下水量の増加をもたらしている例がしばしば指摘されてきている。

また雨水吐室の構造に欠陥があり、遮集管や越流堰附近に土砂が堆積して下水の通過を阻害する結果、晴天時の越流をまねいている例がある。

米国公共事業協会（APWA）が全米各地の雨水吐に関して行なった調査結果では10,025の分流装置のうち23%にあたる2,345のみが機械式で、残りは堰のような静置式のものであり、下水道の増加に対処して遮集管を効率的に利用するとか、その余裕を十分に利用するための流量制御が出来ぬことを指摘している。^{2) 8)}

わが国においても機械式分流装置はほとんど採用されておらず、また多くの都市ではことに排水機能を重視して合流式下水道を採用しており、雨天時下水はむしろ可能な限り速やかに水域へ排除することを基

本としているため、雨水吐の数も多く吐出位置が不適切な場合が多い。したがって今後わが国においても雨水吐の統廃合や可動化をはかるための改良が必要となろう。

このほか防潮扉の機能不備、地盤沈下に伴う堰高不足等により河川水や海水が下水管内に逆流する例などもこの範疇に含まれる。

(3) 晴天時汚水量、雨水流出量の増大による管渠容量の不足

排水区域内の人口増加（土地利用状況の変化）、1人当り水使用量の増加、工場排水・冷房排水等の多量流入、排水区域の拡大等による晴天時下水量の増加の結果、管渠容量の不足をきたし、晴天時においてすらも雨水吐から越流を生ずるに至っている事例はしばしば明らかにされている。

このため、たとえば東京都においては晴天時においても神田川へ排出されていた芝浦処理場系統の下水の一部を三河島処理場系統に切り替えることにより晴天時越流の防止と芝浦処理場の処理能力不足を補ったほか、この種の既設管渠の増補改良工事を継続している。また名古屋市では堀川へ雨水を排除するための雨水吐を閉塞し、晴天時汚水の流出を防止するとともに堀留処理場の処理能力の増加をはかった。

一方、都市内の不浸透域の増加による雨水流出機構の変化に伴って雨水流出量が増加した結果、排水区域内低地の浸水、滞水が生じ多くの社会的・経済的損失をまねいている。これに対しては補助管を新設したり、ポンプ場の新設を行なった例がある。不浸透域の増大は、また雨水流出ピークの急峻化等をもたらし、雨天時下水の越流継続時間の増加をまねく結果となるのでこの点からも雨水吐の改良が必要となろう。

さらに都市内河川の計画との整合性を保つうえで、下水道計画の対象降雨を従来の3～5年確率降雨から5～10年確率降雨程度にまで引き上げようとする傾向がみられ、雨水流出量算定公式を実験式から合形式へ変えることと共に、計画面からも管渠容量の増大を必要とする理由が生じている。

(4) 他事業との関連によるもの

前述の地盤沈下対策としての高潮対策事業に附帯したポンプ場、幹線管渠の改良工事はその例であるが、このほか市街地改造事業、都市再開発事業等に伴って既設下水道施設の改良が行なわれてきた。

また、水質保全面から見ると次の理由があげられる。

(5) 放流先水域の水質汚濁等

この問題は本報告書の主要課題である。現在公共用水域の水質汚濁をひきおこしている原因者は、未処理の家庭下水、家庭用し尿浄化槽、工場・事業場排水等多数存在し、このため合流式下水道からの雨天時下水の排出のみによる水質汚濁が問題になっている事例は少ない。しかし放流先が農業用水路であったため粗大浮遊物の流出や晴天時も時間的に汚水が排出されることが問題となり分流式に改造した例や、水産業に悪影響を及ぼすのではないかと懸念が生じている事例、粗大固形物の流出に対する苦情などの事例が報告されている。^{5) 6) 7)}

しかし、東京都の神田川、石神井川系統のように、流域内の下水道整備が進んだ結果、皮肉にも雨水吐からの越流水が唯一の汚濁源となってきた事例もあり、今後下水道の整備が進むにつれて同様のことが各都市においても懸著化することが考えられる。

(6) 水質規制またはその強化

前述の状況から今後雨水吐や雨水ポンプ場からの排出水に対する規制はますます強化されるであろうが、この点から合流式下水道の基本計画を根本的に検討し直さねばならぬ時期にさしかかっている。

以上のように合流式下水道の改良は多くの理由によってその必要性が生じたものであり、仮に水質汚濁防止の点から雨水吐の改良や雨天時下水処理施設の設置を行なうにしても、現状を確認しいくつかの問題もあわせて解消せぬ限り根本的な解決ははかれぬことを認識しなければならない。

＜第1章の参考文献＞

- 1) "Combined Sewer Overflow Seminar Papers" FWPCA Water Pollution Control Research Series • DAST • 37, 11020 - 03/70, Nov., 1969.
- 2) R.H. Sullivan "Problems of Combined Sewer Facilities and Overflows", JWPCF, Vol. 41, No 1, Jan., 1969.
- 3) 「第1回日米下水処理技術委員会会議録」建設省都市局下水道部, 昭和46年10月
- 4) 「下水道実務研究会問題集——1(第1回研究会概要)」日本下水道協会資料No 10, 昭和45年9月
- 5) 「下水道実務研究会問題集——2(第2回下水道実務研究会概要)」日本下水道協会資料No 11, 昭和46年9月
- 6) 「下水道実務研究会問題集——3(第3回下水道実務研究会概要集)」日本下水道協会資料No 13, 昭和47年2月
- 7) 「下水道実務研究会問題集——4(第4回下水道実務研究会概要集)」日本下水道協会資料No 15, 昭和48年9月
- 8) R.H. Sullivan "Assessment of Combined Sewer Problems" Seminar Paper on Storm and Combined Sewer Problems, Chicago, Ill., June 22 - 23, 1970.
- 9) "Urban Stormwater Management and Technology: An Assessment (Draft)" Office of Research & Development, U.S.EPA, Dec. 1973.
- 10) F.J. Condon "Storm and Combined Sewer Abatement Technology in the United States—An Overview—" 第3回日米下水処理技術委員会資料, 1974年2月
- 11) 第3回日米下水処理技術委員会会議録(印刷中), 日本下水道協会

第 2 章 合流式下水道の背景

2.1 下水の排除方式とその実情

下水道の排除方式は大別すると合流式 (combined sewer) と分流式 (separate sewer) に分類される。合流式下水道は日常生活や生産活動に起因する汚水 (sanitary sewage) と雨水 (stormwater) を同一の管渠により排除するものであり、次節に述べる通り歴史的には古く、かつその形態は自然発生的に形成されたものである。

一方の分流式下水道は汚水および雨水をそれぞれ別の系統により排除するものであり、したがって道路下に汚水管 (sanitary sewer) と雨水管 (storm sewer) の両者が併存するものを指すが、わが国においてはこのような完全な形での分流式は住宅地のため新しく開発された地区以外ではほとんど実施されておらず、既成市街地においては汚水系統のみを暗渠とし、雨水系統は側溝、開渠など既設の構造物を利用した不完全な形をとっている場合が多い。分流式下水道の発生は保健衛生や環境衛生の向上をはかるため、具体的には生活污水やし尿処理等のための下水道設置の必要性が認識された時点で、その目的に主体を置いた系統 (汚水系統) を新たに布設したことに始まると考えられ、雨水排除は在来の側溝開渠などが不完全ながらも利用できたことから雨水系統が比較的未整備の状態に置かれたのが当然ともいえる。

米国においても分流式下水道は必ずしも放流先水域の水質保全をはかるために採用されてきたのではなく、とくに初期の頃は経済面の意義が強調されていた。Metcalf & Eddy の "American Sewerage Practice" には次のような文章が見られる。¹¹⁾

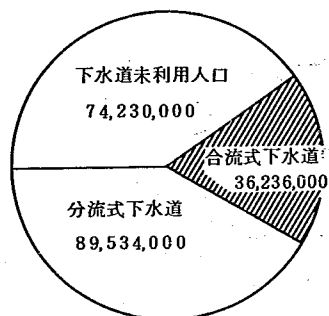
「小規模な都市が雨水系統を持たぬか、またはほんの一部だけを有する分流式を採用することが一般化してきている。大都市でも普通に見受けられる。これは本当かどうかは別として、一般に経済的な理由によるものとされている。小都市は完全な合流式下水道を造ることが財政的に困難であると考えられる場合が多く、また分流式下水道 (汚水管) の必要性が高まった時以降も雨水だけでは側溝や水路により排除が可能な場合が多い。……」

しかしながら「河川や水路が小さく合流式下水道からの越流水が実害をもたらすことが考えられる場合、とくにその市街地からそうはなれていない地点で都市用水として利用されているときには」分流式下水道が採用された。さらに米国の市街地が発達するにしたがい、合流式下水道からの越流水が問題になりはじめ、分流式下水道を採用する都市が次第に増加してきた。

資料としては若干古いが 1962 年における米国の状況は図 2.1 の通りであり、全米での分布状況は図 2.2 の通りである。表 2.1 でも明らかなように下水道事業は人口の多い市街地より行なわれてきたため東部沿岸諸州や五大湖周辺に合流式下水道を採用している都市が多い。¹²⁾

わが国では、これまで下水排除方式はもっぱら合流式が採用されているとされてきたが、その実態を定量的に把握するため公共下水道事業実施都市についてアンケート調査を行ない 324 都市から回答を得た。¹⁾

表 2.2 はこの調査の結果を総括したものである。これによれば回答のあった 324 都市中 101 都市が合流式下水道を採用しており、87 都市では大半が合流式下水道で一部地域に分流式の地区がある。また 33 都市で

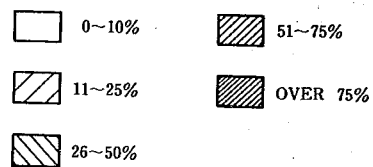
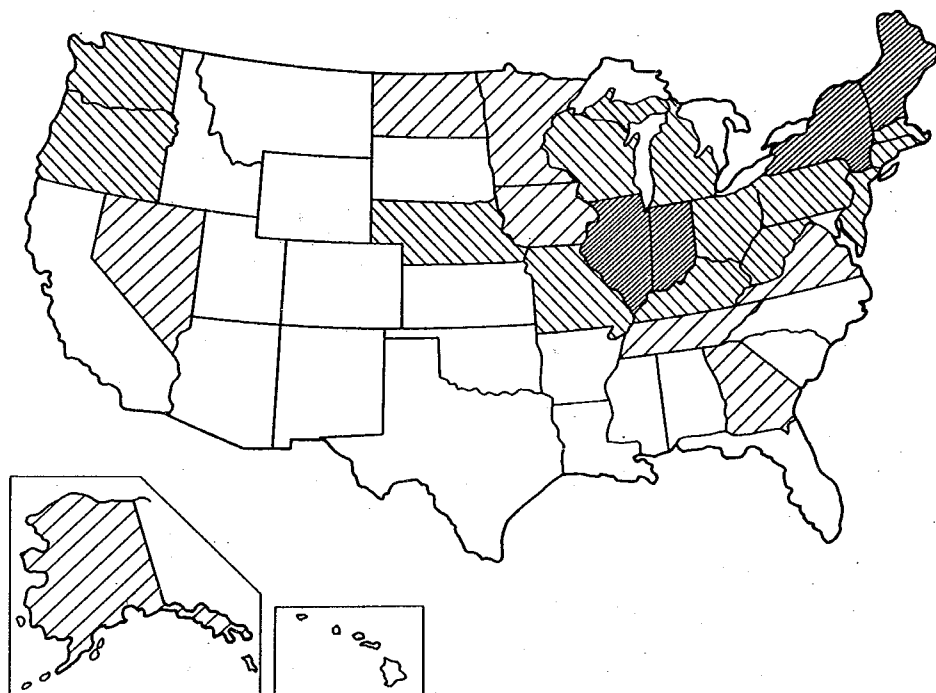


1962年下水道利用人口 125,770,000

図 2.1 米国における合流式下水道利用割合¹²⁾

表 2.1 全米 20 大都市における主な下水排除方式¹²⁾
(1900, 1970)

1900 年における 20 大都市			1970 年における 20 大都市		
都 市 名	排 除 方 式		都 市 名	排 除 方 式	
	分 流 式	合 流 式		分 流 式	合 流 式
New York		X	New York		X
Chicago		X	Chicago		X
Philadelphia		X	Los Angeles	X	
St. Louis		X	Philadelphia		X
Boston		X	Detroit		X
Baltimore	X		Houston	X	
Cleveland		X	Baltimore	X	
Buffalo		X	Dallas	X	
San Francisco		X	Washington		X
Cincinnati		X	Cleveland		X
Pittsburgh		X	Indianapolis		X
New Orleans	X		Milwaukee		X
Detroit		X	San Francisco		X
Milwaukee		X	San Diego	X	
Washington		X	San Antonio	X	
Newark		X	Boston		X
Jersey City		X	Memphis	X	
Louisville		X	St. Louis		X
Minneapolis		X	New Orleans	X	
Providence		X	Phoenix	X	



下水道利用人口中に占める合流式下水道
利用人口の割合 (1962)

図 2.2 全米各州での合流式下水道の利用率 ¹²⁾

表 2.2 わが国における下水排除方式の割合

項目	排 除 方 式	計 画		昭 和 48年 3 月 現 在		計 画 対 する 現 在 の 割 合 (%)
		排除方式別数	全体に占める 割合 (%)	排除方式別数	全体に占める 割合 (%)	
排水 処理 区 数	合 流 式	126	23	209	41	166
	合流式・一部分流	71	13	92	18	130
	分流式・一部合流	123	22	30	6	24
	分 流 式	235	42	179	35	76
	合 計	555	100	510	100	92
面 積 (km ²)	合 流 式	2,296	36	1,526	73	55
	分 流 式	4,937	64	552	27	11
	合 計	7,732	100	2,078	100	27
人 口 (万人)	合 流 式	4,015	53	2,631	69	66
	分 流 式	3,616	47	1,166	31	32
	合 計	7,030	100	3,796	100	50
都 市 数	合 流 式	41	13	104	33	254
	合流式・一部分流	54	16	81	26	150
	分流式・一部合流	104	32	35	11	34
	分 流 式	128	39	96	30	75
	合 計	327	100	316	100	96

はこれとは逆に分流式下水道の地域のほかに一部合流式下水道の地域があると答えている。すなわち合計 188 都市、全体の 58% が原則的に合流式下水道方式を採用しているといえる。表 2.3 はその内訳を示したものである。

この比率は従来から云われてきている、「わが国においては合流式下水道が主体をなしている」という説を修正するものであり、実体は上述の通りおよそ 6 割である。同表に見られる通り処理区別に分類した場合もこの割合は変わらない。

わが国において分流式下水道が多くなってきた理由は新市街地が分流式で計画されていることのほか、流域下水道関係の公共下水道が多くなってきたこと、一般の都市に対しても主として水質保全の面から分流式下水道が推奨されていることによるものである。

すなわち、これまでのわが国における分流式排除方式は次の 5 項目に分類される理由により採用されてきた。

(1) 地勢が急峻であり雨水の排除が容易であること

小樽市、神戸市、長崎市、鹿児島市等がこれに該当する。これらの都市はいずれも海に向って急な勾配を持つ地形に発達しており、雨水は道路側溝等で容易に排除することが可能であり、また防災の点から雨

- 14 -

注2) 区分は既設面積比で行なった。現在事業を休止している都市、事業を行なっているが既設排水面積を有さぬ都市は除外した。

水系統がかなり整備されていたため、汚水の排除を主目的とした下水道を採用できたと考えられる。

また合流式下水道を採用している都市でも山手地区の部分を同じ理由で分流式にしている場合がある。

わが国ではこの例によるものが比較的多い。

(2) 既設水路の利用が可能であること

岐阜市周辺はかつて排水状態が悪く、岐阜市単独では排水計画が策定出来なかったが、大正15年より昭和8年までの期間に、放水路の開削、中小河川の改修、排水ポンプ場の設置等を含む排水路改良工事が実施され、雨水の排除についてはかなり改善されたため、汚水の排除・処理を主体とした分流式を採用した。⁴⁾ また山形市は馬見ヶ崎川の扇状地に発達したが、市内を農業用水路が縦断しており、これを利用することにより雨水の排除が可能であったため分流式が採用された。

(3) 開水路が発達していること

低湿地に位置し、開水路が発達している都市では、雨水を開水路により近傍の水路に自然流下で排除できれば経済的である。このため合流式を採用している都市でも低地部分の下水道をこの方式で計画している例があるが、都市全体がこの例にあてはまるものは佐賀市等2、3に限られ、その数は少ない。

(4) 新市街地に採用しているもの

新市街地においては下水道計画および施工上の問題が少ないため、分流式下水道が積極的に採用されているが、これを細分化してみると次のようになる。

- ① 多摩町（多摩ニュータウン）、春日井市（高蔵寺ニュータウン）、富田林市（金剛団地）など新市街地の下水道整備が既成市街地に優先して行なわれている都市
- ② 排水区域の一部に新市街地を含んでおり、既成市街地は合流式によっているが、この区域のみ分流式となっている都市であり、仙台市（鶴ヶ谷団地）、横浜市（港北ニュータウン等）、豊中市（千里丘）などがその例である。
- ③ 既成市街地は合流式で整備されているが、これと隣接しない新市街地は分流式によるものであり、堺市、福岡市などがその例である。

表2.3中★印のものが都市内に新市街地を有するものである。

(5) 流域下水道に連絡するもの

大都市周辺においては流域下水道事業が実施されているが、この場合原則として分流式が採用されているため、公共下水道事業が先行していた場合を除き、流域下水道に連なる地域には当然分流式が採用されることになる。

このほか前述のように分流式下水道が雨天時下水の問題から水質保全上有利であるとされるに至り、これを理由に採用する都市が増加している。

今後分流式下水道が増加していく傾向にあることは表2.2からも見受けられる。まず都市数から見ると合流式下水道方式を今後とも継続して採用して行こうとしている都市は42（13%）にすぎず、残りの大多数は分流式か、ないしは既設区域は合流式としても計画区域には分流式を採用して行こうとしている。同様なことは処理区数からも見られる。この調査は現在下水道事業を実施している都市を対象にしたものであるが、今後新規に事業を行なう都市が分流式を採用して行くであろうことを考え合えると、上述の傾

向はさらに増大することは明らかである。

一方合流式下水道は大都市でしかも下水道の歴史の古い都市を中心にして採用されてきたことは、わが国の場合でも全く同じである。表2.2の通りわが国の下水道普及面積はおよそ2000㎓であるがその73%が合流式下水道方式で整備されており、ここには2631万人(DIDベース)の住民が生活している。これは下水道利用人口の70%弱に当る。

図2.1に見られるように米国ではおよそ全米人口の70%は分流式下水道を利用している。表2.1の通り米国でも大都市を中心に合流式下水道での整備が行なわれてきたが、近年既成市街地の人口が都市周辺部に移り、むしろ周辺部の人口が増大した。この地域は分流式下水道が採用されており、必然的に分流式下水道の利用人口が増加したと考えられる。

わが国でも合流式下水道の占める割合が低下していくことは同じであるが計画値で見れば合流式の面積が36%、人口で53%であり、排除方式別都市数や処理区域数の場合ほどの落ち込みはない。これはわが国での大都市周辺のスプロール化が著しいものの既成市街地からの人口流出が米国の場合ほどではなく、大都市の人口密度が高い合流式下水道の地域に居住する人口が大きいためと思われる。またこれまで合流式下水道で整備してきた地域では計画途中での排除方式の変更ができず、既定計画を今後とも推進せざるを得ない場合もあることは否めない。

図2.3は既設合流式下水道の施工主体の内訳を示したものである。これによれば既設面積の55%に当る844㎓は昭和34年以降公共下水道事業で施工されたものであり、都市下水路事業として先行施工されていた約10%を含め全体の2/3はここ15年の間に築造されたものであることが示されている。

また下水道事業以外の事業や民間の宅地造成に伴って施工されたものはわずかに3.3%にすぎず、大部分は下水道事業による施工によるものであることが明らかである。

これらのことは欧米諸都市が合流式下水道の問題点としてあげているもののうち①古い管渠が多く管渠容量が不足し、また耐用年数をこえたものである、②在来の水路、小河川等に覆蓋をしたまま下水道施設に転用したため管渠勾配が不足し、管内堆積物が多い、等の点はまぬがれていることを示しており、このことがわが国で比較合流式下水道の問題点が明るみにされていない一つの理由となっていると考えられる。

2.2 合流式と分流式の利害得失

下水道の排除方式の優劣については戦前、戦後を通じて多くの下水道関係者によって議論されてきたが、これまでに論じられてきたものの多くは下水道事業を実施している都市が少ない時点での議論であり、^{2) 3)} 必ずしも今日と同じ評価がなされているとは限らない。現時点での下水道技術を基準として再評価してみると、およそ表2.4の通りとなる。

これを見ても明白な通り、それぞれの方式が採用されるのは、いくつかの理由に基づくものであり、必ずしも二者択一的に議論が進められるのは当を得ていない。

とくにわが国においては、分流式と称しているもののうち、新市街地の場合を除けばほとんどは末端に在来の水路、側溝を残した形のものであり、合流式と分流式を比較する場合、「分流式」下水道をどのように

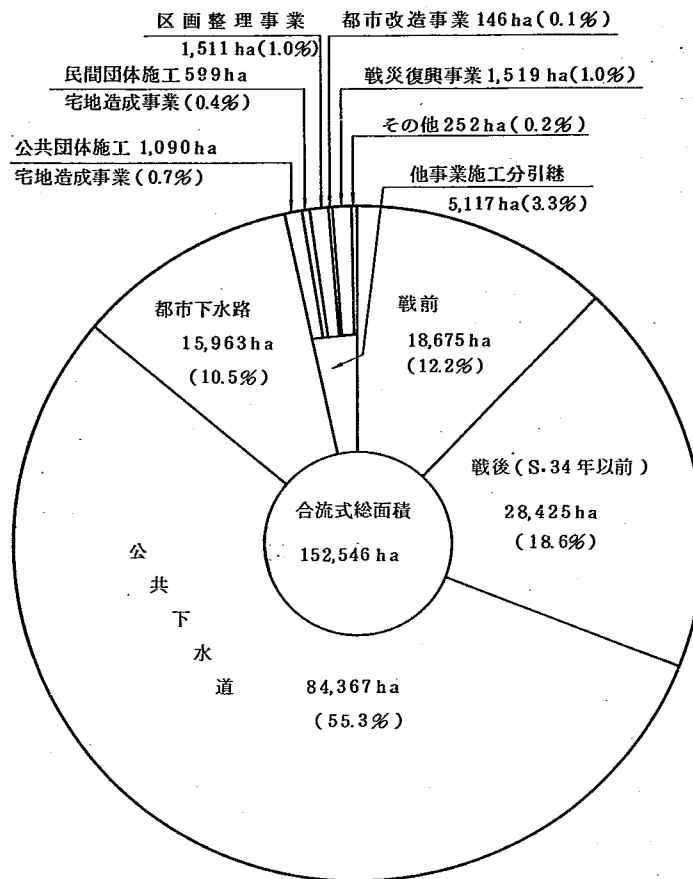


図 2.3 公共下水道の既設面積内容

定義するかにより評価が異なってくる。

すなわち、これまで合流式下水道が広く採用されてきたのは、完全な形での分流式に比べ設計・施工の面で有利であり、かつ経済的であるという理由に基づくものであるが、雨水排除機能を在来の側溝にたよる形での分流式であれば、この利点はさらに強化される。しかしながら、この方式によれば維持管理や水質保全面ですぐれている分流式下水道の利点は削減され、いくつかの大きな問題を後々まで残存させる恐れがあり、必ずしも有利であるとは言い難くなる。

このような分流式下水道における問題点の指摘は、従来わが国の下水道が主に合流式で整備されてきたため余りなされてこなかった。そこで今回のアンケート調査の際に分流式下水道の実績を持つ都市に分流式下水道の持つ問題点の明示を願った。その結果次の諸点があげられた。

- (1) 施工面 分流式下水道では道路下へ二本の管渠を併列して埋設することになるが、わが国のように市街地内の道路が狭少で、かつすでに地下埋設物が輻輳している場合には埋設位置の確保が困難であり工事

表 2.4 既成市街地を対象とした場合の排除方式の優劣

◎ 優 利
○ やや優 利
△ 不 利

検討事項		合 流 式 下 水 道		分 流 式 下 水 道			
				在来の側溝を利用した場合		雨水系統を新設する場合	
建設面	管渠計画	○	雨水をすみやかに排除するため地形に順応した管網となる。	◎	必ずしも地形に順応しなくてもよいため路線の選定が容易である。 汚水の中継が容易であり流域の異なる地域への排除も可能である。	◎	左に同じ。 汚水、雨水をそれぞれ別個の路線で排除が可能である。
	施工	○	大口径管となるので狭い道路では困難であるが完全分流式より幅狭はしない。	◎	小口径管のみを埋設すればよいので容易であるが、汚水管の勾配が急となり埋設深が大きくなる。	△	雨水管、汚水管の2系統を同一の道路に埋設することになりかなり困難である。特に交叉点附近が複雑化する。 また汚水管勾配が急になり埋設深が大きくなる。
	特殊工法の採用	◎	小口径の区間が短かく、比較的口径の大きい区間が長い ため、推進工法、シールド工法等の採用が容易である。	○	推進工法やシールド工法の採用が困難である。	○	汚水系統については推進工法やシールド工法の採用が困難である。
	建設費	○	高い	◎	安い	△	いずれの方式よりも高い。
維持管理面	誤接	◎	ない	△	家庭雑排水が側溝へ排除されることが多い。	△	雨水管、汚水管の区別が明確な個所では誤接されることがある。これを避けるための監視を十分に行なわれなければならない。
	管内堆積	△	晴天時水位が低く流速も少ないので汚物が沈殿しやすい。しかし雨天時にフラッシュされるので管内清掃の頻度が少なくなることもある。	△	汚水管内への堆積は少ないが側溝に有機物を含む汚泥が堆積する。	◎	管内堆積は少ない。 フラッシュ効果は期待できない。
	土砂の流入	△	雨天時に下水処理場へ多量の土砂が流入し、長年の間に水路底、沈殿池、消化槽等へ堆積する。	△	側溝に土砂が堆積し、その清掃はかなり困難である。	○	汚水管への雨水の流入は避けられず、土砂の流入もあるが合流式ほどではない。
	管渠内の保守	○	閉塞の心配がない。検査・修理が比較的容易である。 清掃に手間がかかる。	△	汚水管については小口径のため閉塞の恐れがあるが清掃は容易である。ただし側溝の管理は手間がかかり不十分になる場合が多い。また下水が停滞し蚊等の発生源となりやすい。	○	汚水管については小口径のため閉塞の恐れがある。清掃は比較的容易である。
	在来水路の管理	◎	管理者の不明確な水路を統廃合し、雨水排除系統を下水道管理者が統括管理できる。	△	管理者が不明確のまま放置され、水路敷の管理および美観上問題が多い。 背割下水の形で存在した場合は維持管理が困難である。 汚水樹の公道内設置が困難である。	◎	管理者の不明確な水路を統廃合し、雨水排除系統を下水道管理者が統括管理できる。
水質保全	雨天時の越流	△	一定量以上になると未処理下水の混入した雨天時下水が放出される。	◎	なし	◎	なし
	晴天時の越流	△	閉塞や汚水量の増加により必然的に生じる。	◎	なし	◎	なし
	降雨初期の路面洗滌水	◎	施設の一部改良・改善を行えば降雨初期の汚染した雨水を収容し処理できる。	△	路面の汚れを洗った水が直接河川等に流される。 晴天時に側溝に堆積した汚物が排出される。	△	路面の汚れを洗った水が直接河川等に流される。
環境面	ごみ等の投棄	◎	なし	△	側溝にごみ等が不法投棄され、不潔になる。また有機性汚濁物が堆積しやすく雨水も停滞しやすい。	○	なし。ただし雨水系統に開渠がある場合はごみ等が不法投棄される。
	土地利用	◎	在来側溝を廃止するため道路中員を有効に利用できる。	△	在来水路がそのまま存続する。蓋かけ、補修が必要である。	◎	大部分が暗渠となり、ほとんどの区間では道路中員を有効に利用できる。

が繁雑になりやすい。この結果工事費がかさむほかサイホンなどを多用し無理な構造になりやすい。この点はほとんどすべての都市が指摘しており、分流式下水道の最も大きな問題点の一つになっている。

また小口径管が多いので一定流速を保つために勾配が必要であり埋設深が大きくなり施工や取付管の接合が困難になるほか、中継ポンプ場の数が増加し、公共用地の取得の困難性とあいまって工事費の増加をきたす。とくに平坦地の場合に問題である。小口径管が多いことは推進工法やシールド工法などの特殊工法が採用出来ぬ原因ともなっている。

- (2) 管理面 維持管理面での問題の指摘はとくに在来の水路側溝を残存させている場合に多い。

最も多く指摘されているのは汚水系統への雨水の浸入による流量増である。この原因としては人孔からの流入、宅地内雨水の誤接による流入、ガソリンスタンド、自動車工場など野天作業場からの雨水の流入などをあげているが、とりわけ雨水系統が未整備の場合にこの問題が多いとしている。

在来水路等は下水道施工以前より存在し多くの場合下水道部局以外が管理している形をとっているが、管理主体が不明確なままに残るほか整備のテンポが遅れると下水道の効用がちぐはぐなものとなってしまう恐れがある。

管内堆積は小口径管の部分に多いが、分流式の場合は小口径管の割合が大きいためとくにこの問題が起りやすい。しかるに小口径管の維持管理には機械力が利用しにくいと管内の清掃に手間がかかる。在来側溝は堆積物が多く汚水管の清掃も併なうため合流式に比べ二重の労力が必要となる。

- (3) 取付管との関係 在来の側溝等が残る場合には排水設備との取付にも問題がある。1つは公道側に設置すべき汚水ますの取付位置が確保できぬことであり、仮に側溝の下を通り取付けたにしろ施工が面倒でかつ雨水の浸入の可能性がある。

汚水管への雨水、あるいは雨水管や側溝への汚水の誤接は取り付け残しとともに分流式下水道のもう一つの大きな問題であり、放流先水域の水質保全面からも見逃せぬことである。

その他晴天時下水量の増大に対する余裕度が少ない、雨水排除に伴う水質汚濁等をあげている都市もあった。

いずれにせよ分流式下水道が水質保全面での効果を多としても完全なものではないことが明らかに示されている。これらの問題点の中にはこれからの努力次第で改善が可能な面も十分ある。某市が指摘している通り現在の下水道に関する法体系はもとより、下水道施設の設計指針、維持管理指針等はすべて合流式下水道を前提として議論が進められているが、今後分流式下水道を進めるにあたっては、これに適合した新しい技術を確立していく必要が十分にある。

一方、合流式下水道は建設や維持管理面での容易さ、ひいては経済性の面が強調されてきたが、水質保全の効果が重視されてきている今日の下水道の立場から見れば雨天時下水の直接放流は重大な欠陥となり、その欠陥を補うために多額の費用をかけ施設を増補しなければならぬとすれば、結果的には建設面での優利性が全くそこなわれることになる。

2.3 合流式下水道の概念的発達経過⁵⁾

一般に下水道の設置の目的は

- 1) 内水排除、浸水・滞水の防止
- 2) 汚水の排除等環境衛生の向上
- 3) 水洗便所化によるし尿処理
- 4) 下水処理による水質汚濁の防止

などとされている。合流式下水道は一つの管渠によってこれらのすべての目的を達成しようとしているのに対し、分流式下水道は雨水系統に1)および2)の一部の機能を、また汚水系統に2), 3), 4)の機能をそれぞれ分担させようとするものである。

しかし、下水道の発達の歴史を見ると、これらの効果が初期の頃から期待されていたのではなく、その必要性が生じた時、その都度附加されてきたことが明らかである。とくに合流式下水道についてはその目的に適当な構造物であったため利用されたといえる。

下水道の歴史は遠く古代バビロニアやギリシャの都市国家までさかのぼることができるが、これらの遺跡に見られる下水道は、宮殿や大邸宅に発生した生活污水や水洗便所排水を屋敷外へ排除するための施設と見られ、今日の区分からすれば「下水道」よりも、むしろ「排水設備」というべきものであり、機能的には分流式下水道であった。これらの遺跡が丘の上など排水の良好な地に見られること、雨の少ない地帯であることから、恐らく排水問題は比較的少なかったものと考えられる。

中世はすべての科学にとって暗黒の時代とされ、下水道についても同様であるが、合流式下水道の原型はすでにこの時代に形成されていた。すなわち、中世以降西欧においては、水利の便の良い場所に都市国家が形成されると共に、多層階に多くの世帯が居住する高密度社会が存在するようになった。

これらの都市では、常に目的に応じて、たとえば船運、給水、動力のために水路が築造された。雨水の排除もこの目的の主要項目の一つであり、この場合は最も流れやすい方向にむかって自然流下で流れ、一般に多くの地点で放流先水域に排除された。したがって、自然発生的に存在していた水路、小河川をいくらか手を加えて利用することが最も経済的手段であった。これは前述の1)および2)の機能をはたす下水道でもあった。

わが国においては京都や一部の門前町などを除き、一般的に都市が形成されるに至るのは、城郭の形式が山城から平城へ移り、その周辺に城下町が成立する近世初頭以降であるが、この城下町の造成の際に同じパターンで水路等の整備がなされたのは歴史的に明らかである。とくにわが国の場合は農業用排水路がこれらの機能を兼ねる場合が多かった。

このような開渠は後に覆蓋され、またそれ以降の施設は最初から暗渠が用いられたが、この過程には都市内の廃棄物処理に関する秩序の乱れが大きく介在していたと考えられる。

西欧の歴史の古い都市、例えばパリやロンドンでは近世に至るまで生活廃棄物や汚物を街路やその中央に造られた溝に投棄することが一般的に行なわれていた。このような汚物は当然水路を閉塞し、水路の排水機能をさまたげるとともに、晴天時は汚物やそれにより生ずる汚水が悪臭と不潔な光景を生み出した。当時のロンドンの庶民生活を記録した文献⁶⁾には都市内の中小河川におけるこのような状態が刻明に記されている。

これに対し、市当局側は取締りの条令を定めたり、市民に適切な処置を講じることを命令したが、それにもかかわらず市民達が無頓着のままこの習慣をすてなかったため、市側はついに廃棄物の投棄を防ぎ、かつ不潔な状態をおおいかくすために、どぶ化したこれらの水路を次第に覆蓋していった。およそ18~19世紀の頃である。この傾向は道路舗装技術の改良によって馬車交通が発達し、道路巾員の拡大が要求されるようになったことにもよるであろう。

一方1760年代より始まった産業革命は、それまでの海外進出の極点としての都市への人口集中に、ますます拍車をかけるとともに、多くの工業都市を生み出した。このような都市内への人口急増は当然生活環境の劣悪化をまねいた。とくにこの頃問題になったのは、し尿の処理であった。中世にはし尿も野放しの状態にあり、2階の住人が汚物を窓から投げ棄てることが習慣になっていたが一般には汚水溜り（Cesspool）に貯留され、ここから汲み取り人（nightman）により不定期に汲み出されていた。しかし、18世紀後半に相次いで水洗便所が考案されると、これが急速に普及した。ロンドンやパリでは市当局は当初水洗便所からの汚水の下水道への流入を禁止し、水洗便所は汚水溜りに結ぶよう命令していたが、このため汚水溜りがしばしば溢れ出し、これを住民が嫌って下水道や水路に結びつけるようになり、最後には市当局が強制的に汚水溜りを廃止し、家庭からの排水を直接下水道へ結びつけることを命令するようになった。

その背景には、都市への人口集中による、とくに労働者階級の生活環境の劣悪化と、それに伴うたび重なる伝染病の発生があった。^{6) 7) 8)}

このようにして既存の、排水のための施設が雨水の排除に加え、3)の、すなわちし尿処理施設としての機能を兼ねそなえることになった。というより、むしろこの目的に都合の良い施設として存在したために利用されたといえよう。

近代下水道の始まりといえるロンドンの下水道はテムズ川の水質汚濁を解消するためのものであった。

ロンドンにおいては、下水道へ流し込まれた汚水は、そのままテムズ川へ排出され、テムズ川の著しい汚濁をまねいた。このため1858年より1875年まで、テムズ川を狭んで北側に三本、南側に二本の連集管を、ロンドンのほぼ西から東へ向って横切らせ、放流口を下流側へ移す工事が行なわれ、後年ここに下水処理場も設置された結果著しい水質保全の効果が得られるようになった。⁸⁾しかし下水道の水質保全面からの必要性が全般的に認識されたのは比較的最近のことである。

したがって、重要なことは、合流式下水道が形づくられた時点では、下水を処理しなければならない必然性は十分認められていなかったということである。河川の汚濁は最悪の事態まで達しておらず、雨水も汚水も、一切をすみやかに最も近い放流先へ排除すればよいものと考えられ、それには既設の水路、とくに覆蓋されて事実上下水道化していた水路を利用するのが最も安易な方法であった。

しかし、仮にこの頃汚水は放流先の水質保全上処理する必要があることが明らかにされていても、直ちに分流式に代えられていったかどうかは、既成市街地へ污水管をさらに新設するわずらわしさと不経済を考えると疑問である。

以上を総括すると、当初排水のために存在した水路が、覆蓋され地下へ没し、水洗便所からの排水に代表される汚水をも受け入れるようになり、やがて雨水よりも汚水を積極的に収集処理するための施設として転用されていったものが合流式下水道であるといえる。

そして、汚水と雨水とを同一管渠によって排除することによる弊害が認められ、これを分離する方向が打ち出されていることは、下水道に対して期待される種々の機能を次々に背負されてきた水路が、「排水」を主目的としていた原点に立ち帰ることを要求されていることにはかならない。

＜第2章の参考文献＞

- 1) 「昭和48年度下水道事業調査費報告」建設省土木研究所年報第96号，昭49. 6月
- 2) たとえば 杉戸「下水道学（前編）」技報堂
- 3) “ 山田「分流式下水排除方式」水道協会誌，昭34. 4月号
- 4) 高橋「岐阜市の下水道」下水協会誌Vol. 2，No 19，1965.
- 5) 齋藤「合流式下水道の発達の側面——下水道と廃棄物——」都市と廃棄物 Vol. 3，No 9，
1973年9月号
- 6) R. J. ミッチェル，M. D. R. リーズ（松村赴訳）「ロンドン庶民生活史」みすず書房
- 7) W. H. G. アーミティジ（鎌倉親善，小林茂樹訳）「技術の社会史」みすず書房
- 8) “ Centenary of London's Main Drainage ” London County Council.
- 9) 「技術の歴史，8」16章衛生工学，筑摩書房
- 10) 「東京市下水道改良実施調査報告書」東京市，大正13年3月
- 11) Metcalf & Eddy, Inc. “ American Sewage Practice Vol. I: Design of Sewers, 2nd Edition, ” McGraw-Hill, 1947

第3章 雨天時下水および雨水流出水の水質特性

3.1 緒 論——1960年代までの調査研究

雨天時の下水量はしばしば晴天時下水量の数百倍に達することがある。このため合流式下水道においては各所に雨水の吐口を設け、晴天時下水は下水処理場へ送るが、雨天時下水は常時一定量のみを下水処理場へ送り、残余はすべて直接放流先水域に排除する方法がとられている。

これは年間降雨のほとんどは降雨強度が低いものであり、ある程度以上の降雨による雨天時下水は遮集しても放流先水域への放流頻度の減少、放流継続時間の短縮など下水の遮集効率の点で大巾な経済性が得られぬことによるものである。

このことはまた、汚水量に比べ雨水量の割合が多くなれば汚水は雨水により稀釈され水質的な問題が少なくなると同時に、降雨時は放流先水域も増水しており、放流された汚水、雨水の混合水はさらに稀釈され、また放流先水域の自浄作用も期待できるという前提に立脚している。

この下水処理場側への収容能力の限度は、普通晴天時下水量の倍数で表わされており、一般に「稀釈倍率」と称されているが、下水道計画とくに幹線管渠、ポンプ場の計画の際には常に重要な検討事項となってきた。1857年より行なわれてきたロンドンの下水道改良事業にはすでにこの考えが見られる。

すなわち、ロンドンにおいては遮集管渠に至るまでの既設下水道は雨水・汚水を合せ流下させていたが、この全量を遮集することは建設面で不利であると考えられた。このため、各接続地点においては、晴天時には既設管を流下してくる汚水をすべて遮集するが、降雨時下水量が増大した場合は一定量のみを遮集し、残りはそのまま古い方の下水道を通してテムズ川へ直接放流する方式が採用された。⁴⁰⁾

後になって遮集管の末端において下水処理が行なわれた時点で、この考えは下水処理場規模の無限な拡大および下水処理場に対する急激な過負荷を避ける意味からも妥当な方式であると正当化され、当初計画から考慮されることになった。

この場合稀釈倍率をどのような考えにより、どの程度に決めたかは明らかでないが、ロンドンの遮集管は住民1人当りの下水量を5 ft³/日、すなわち31.25 gal/日(約140 l/日/人)とし、これに対し北側末端で約3.5倍、南側末端で約4倍の下水量までを流下する能力を持つ遮集管とした。⁴⁰⁾

東京市の下水道計画においては、当初放流開始時を汚水にその100分の1の雨水が加わった時としていたが、大正11年に行なわれた東京市下水道改良実施調査¹⁾の中で「余水吐からの雨水放流量」に関しても検討を行ない、これを担当した広中は明治19年より大正10年まで36年間の降雨を分析し、「汚水量の2倍量の流出を生ずる降雨強度は0.6～1.4 mm/hr、平均1.1 mm/hrであり、これ以上の強度を持つ降雨の回数、および越流量ならびに稀釈の割合は、たとえば欧米における標準とされている6倍程度までの場合と比較しても、著しく増加することがないため、経済面も考慮すればこの程度の越流汚水は河海の新陳代謝ならびに自浄作用に待つことができるので衛生上許容し得る」と報告している。

この関係を示したものが表3.1である。

東京市はこの調査報告にもとづき、東京市下水道改良事業調書を策定したが、そこでは調査委員会の3倍

表 3.1 「東京市下水道改良実施調査」における降雨強度と放流との関係¹⁾

放 流 下 水 量 比 較 表																		
降 雨 強 度 mm/h	降 雨 回 数	稀 積 度	放流開始点Q+百分一雨水				同 左 3 Qs				同 左 5 Qs				同 左 10 Qs			
			残流量 mm	放流量 mm	放汚 流水 mm	降雨一 回ニツ キ mm	残流量 mm	放流量 mm	放汚 流水 mm	降雨一 回ニツ キ mm	残流量 mm	放流量 mm	放汚 流水 mm	降雨一 回ニツ キ mm	残流量 mm	放流量 mm	放汚 流水 mm	降雨一 回ニツ キ mm
0.1	208	—	431.9	0	0	0	431.9	0	0	0.04	431.9	0	—	—	431.9	0	—	—
1	145	2.83	172.5	135.4	35.5	0.24	288.2	1.97	5.2	0.12	307.9	0	—	—	307.9	0	—	—
2	112	4.76	85.6	147.8	22.3	0.20	143.0	9.04	13.7	0.14	233.4	0	—	—	233.4	0	—	—
3	88	6.64	56.4	150.8	15.9	0.18	94.0	113.2	11.9	0.11	157.2	50.0	5.3	0.05	207.2	0	—	—
4	73	8.53	33.0	119.4	9.7	0.13	55.2	97.2	8.0	0.12	92.0	60.4	5.0	0.07	152.4	0	—	—
5	58	1.04	25.5	116.2	7.7	0.13	42.6	97.1	6.7	0.14	71.0	70.7	4.7	0.08	114.2	27.5	1.8	0.03
6	50	12.3	22.9	136.8	7.7	5.15	38.3	121.4	6.8	0.10	63.8	95.9	5.4	0.11	127.7	32.0	1.8	0.03
8	34	16.0	10.3	81.0	3.4	0.10	17.2	74.1	3.1	0.05	28.7	62.6	2.7	0.08	57.5	33.8	1.4	0.04
10	26	19.8	4.0	40.1	1.4	0.05	6.7	37.4	1.3	0.03	11.2	32.9	1.1	0.05	22.3	21.8	0.8	0.03
12.3	20	24.5	2.4	20.5	0.6	0.03	4.0	18.9	0.5	0.03	6.7	16.2	0.4	0.02	13.2	9.7	0.3	0.01
15	11	29.2	1.1	15.4	0.4	0.03	1.8	14.7	0.3	0.02	2.9	13.6	0.3	0.01	15.9	10.6	0.2	0.01
17.5	14	33.9	1.0	14.5	0.3	0.03	1.4	14.1	0.3	0.03	2.4	13.1	0.3	0.01	4.8	10.7	0.2	0.02
20	9	31.6	1.0	17.6	0.3	1.03	1.4	17.2	0.3	1.03	2.4	16.2	0.3	0.01	4.8	13.8	0.2	0.02
25	7	48.0	0.4	9.6	0.1	0.01	0.6	9.4	0.1	0.01	1.1	8.9	0.1	0.01	2.1	7.9	9.1	0.01
30	4	59.4	0.6	18.5	0.2	0.05	1.0	18.1	0.2	0.05	1.6	17.5	0.2	0.05	3.2	15.9	0.2	0.05
40	1	76.2	0.2	3.5	0.0	0.00	0.3	3.4	0.0	0.00	0.5	3.2	0.0	0.00	1.1	2.6	0.0	0.00
計	—	—	848.8	1,027.1	105.3	—	1127.6	728.3	58.4	—	1414.7	461.2	26.8	—	1689.6	186.3	7.0	—

稀釈案は採用されておらず「合流法に排除する地域にありては雨水量が最大汚水量に達する迄は汚水と同一に之を処分す」とし2倍稀釈を採用している。多分経済的な面が最も大きな決定因子であったためであろう。

しかし、この調書の資料中の他の部分には、英国下水処分委員会報告として「雨水吐から雨天時に放流される下水が細菌学上から見て晴天時の汚水よりも汚染されていること、余水吐の廃止をすることは不可能であるが、もし行なおうとすれば多くの費用を要する。また分流式にしても雨水そのものが汚染されているのでその処理装置が必要である」という文章が見出され、合流式下水道の水質上の問題点とその改良の困難性がすでに問題視されていることが明らかにされている。

合流式下水道を水質汚濁防止の面から取扱ったこれまでの調査研究のうちでも、初期のものにはこの遮集管渠の収容能力と越流との関係や、既設遮集管の改良にあたっての稀釈倍率の検討などについて論じたものが多い*。

多くの文献では合流式下水道からの越流水を最初に論じたのは米国のMckee であり1947年にBostonでの降雨資料にもとづき「水質的に晴天時下水の排出に等しい雨水流出が、不浸透面が湿った後降雨強度約0.01インチ/hr (0.03mm/hr) で生ずることを見出し、遮集管の能力を晴天時平均汚水量の2倍とすると年間全家庭下水の2.7%が放流河川へ越流することになり、比較的低い強度の降雨であっても、有機物負荷およびバクテリア汚染という点ではかなりの汚濁物質が水域に直接放流されている。また高い下水の流失を示す降雨の頻度は水質保全上無視し得るものではない²⁾」ことを指摘したものであるとしている。

しかし、わが国ではすでにそれ以前の昭和19年(1944)に杉戸がこの問題を扱っている。

杉戸は上水道水源の水質保全をはかるため河川を浄化する場合、雨天時下水の取扱いが大きく影響を及ぼすことに当時すでに着目しており、東京都および名古屋市における降雨記録にもとづき無処理放流時間、量ならびに回数について理論的な考察を加えた。その結果降雨強度から見た場合降雨強度が2mm/hr程度までは、遮集によって雨天時下水の無処理放流時間、量ならびに回数は急激に減少させることができるが、これは2mm/hrかせいぜい3mm/hrまででこれよりも大きな降雨を収容する計画としても遮集効果の向上は余りないこと、雨天時における汚水の遮集効果は単位面積当りの発生汚水量によって変化があり、同一の汚水遮集効果をあげるためには汚水量の大小により下水処理場側への遮集倍率を変えなければならぬことを明らかにしている³⁾。

杉戸は昭和22年(1947)に、さらにこの問題を進展させ、独自に案み出した清濁度表示法を用い、雨天時下水を下水処理場側へ受け入れた場合の処理の問題について考察している⁴⁾。杉戸はこれの中で京都市の下水と鴨川、淀川、大阪市水道水源の関係を例にして検討を加え、結論的には雨天時に下水処理場へ収容する下水量は各種条件を総合的に考慮して決めなければならぬが、京都市の例では晴天時下水量の4倍の雨水、すなわち5倍量までとし下水処理場で3.5時間程度の沈澱処理を行なえばよいとし、具体的な処理方法にまで言及している。

この二つの報告には今日の雨天時下水に関する知識からすれば多少無理な仮定も見られるが、当時すでに

* 以下に引用するもののうち外国文献に見られる数値はわが国と気象条件、とくに降雨状況が全く異なる地域におけるものであることを常に考慮してもらいたい。

雨天時下水の問題を対策までを含めた総合的な見地から検討していたことを示す貴重なものである。

雨天時下水の水質実測結果にもとづきの問題を取扱ったのは Palmer⁵⁾ がはじめてであろう。彼は Detroit における過去の降雨記録を他の人々と同様の手法で解析し、雨水の流出が生ずると考えられる 0.03 インチ/hr (約 0.1 mm/hr) 以上の降雨は年間 189 降雨のうちの 89 降雨である。晴天時下水量は 0.01 インチ/hr (0.03 mm/hr) の降雨量に相当しているので、晴天時下水量の 6 倍量まで遮集するにしても年間 65 回の越流が生ずる。これは流出発生頻度に対し 25% の減少にしかすぎないとし、遮集管の容量を増加しても合流管からの越流の回数および越流時間を十分減少させることはできないとしている。

Palmer が解析に用いた水質調査の結果は不十分なものであったが幹線へ流入してくるまでの排水区分区での時間要素の影響が大きく、かつ諸因子の影響も顕著に現れた。そのため雨天時下水の水質が多少とも均一な状態になるのは降雨期間が流達時間を十分にこえ、かつ早い流速が保たれた状態にある場合であることがわかった。

Detroit の合流式下水道での越流時の下水水質は大腸菌が MPN で 4,300,000/100ml, BOD 50mg/l, VSS 100mg/l で +100%, -50% の変動巾があったと報告されている。また雨水流出水については、道路側溝で採水したものについて分析したが、その試料中にも多量の大腸菌と BOD が含まれていた。

以上のことより Palmer は水質基準に適合するよう汚濁物質を減少させようとする観点からすれば汚水を伴った雨天時下水の河海への放流は制限されなければならぬものであるが、遮集管側への流量増加をはかること、すなわち希釈倍率を増加することは費用および施設の増強の点で不利である。分流式の採用は小排水区や郊外地では有効であるが、Detroit のような人口密度の高い地域では費用の点および雨水流出水そのものが汚濁している点から見て得られる効果は全く不満足なものとなること。したがって放流先の基準が厳しい個々の吐口ないはいくつかの排水区分を統合した吐口に何らかの処理施設を設置することが最も効果的であろうとしており、その一つとして雨水貯留池を提案している⁶⁾

1955年に Riis-Carstensen⁷⁾ は Palmer (Detroit), Fuller ら (Macclesfield) の報告および Buffalo での実測結果 (2 例) から降雨記録にもとづく越流量や越流頻度の予測はかなり正確に行なえるとしても、越流時の水質は変動が大きいので水量のみをもとにして放流先水域に与える影響を推定すると誤った結論を出すことになることを警告している。

彼は自己の調査結果から雨天時下水中には SS が多量に存在し、その変化が著しいことに着目した。実測の結果では晴天時の平均 SS が 186 ppm であるのに対し、8 月の 0.55 インチ (1.65 mm/hr) の降雨では、最大 1220 mg/l にまでのぼり、量的には最大 28.4 倍量の SS が運ばれてきていた。このような多量の SS 分は越流後吐口附近に堆積し、溶存酸素消費の原因になると考察している。したがって遮集管の目的は可能な限り多量の SS を (流量ではなく) 下水処理場へ運ぶことに置くべきであり、その手段として遮集管内への雨天時下水の一時貯留、ないしは一時貯留池 (Stand-By Tank) をもうけることを提唱している。

同じ頃、Johnson^{8) 9)} は Washington D.C. における実測結果とそれに基づく既設管渠の改良計画について報告している。Washington D.C. には 1872 年頃からの管渠が存在しているが¹⁰⁾ その多くは容量不足になっており街路や地下室の浸水をまねく原因となっていた。合流式下水道区域では 70 ヶ所以上の雨

水吐きより雨天時下水が排除されるようになっていたが、晴天時下水量の増加に伴ない、ところによっては晴天時でも越流が生じていた。

このため改良計画の検討がなされ最終的には越流を受認しうる程度まで稀釈倍率をあげることになった。この倍率決定にあたっては、5ヶ所の雨水吐き室に設置された水位計により実際の降雨による越流頻度を測定し、これにより稀釈倍率と越流頻度の関係を求める方法をとった。そしてこの関係および2000年次における推定汚水量、ならびに放流先水域の水利用状況を勘案のうえ、それぞれの水域に放流する雨天時下水の稀釈倍率を定めることにしている。

Washington D.C. における合流式下水道の改良の問題を扱った報告は、その後にもいくつか見受けられる。

Camp¹¹⁾ は1959年にそれまでのMckee (Boston), Palmer (Detroit), Johnson (Washington D.C.) らによる調査報告を比較検討し、東北部では降雨時に全汚水量の2%が流出し、その回数は全降雨の2~6%であると推定した。そしてPalmer, Johnson, それにMckee によって主張された越流頻度と稀釈倍率の関係、すなわちある程度以上倍率をあげてもその効果は余り大きくならないという結論は正当であると述べている。

Camp はまた雨天時下水を公衆衛生、とくに細菌汚染の面から検討し、降雨時にショック的に多量の細菌を含んだ下水が無処理のまゝで排除されるのは上水道水源、水浴、甲殻類の繁殖地、その他の大腸菌の増大を避けなければならない水域では問題であるとし、実験結果にもとづいて塩素消毒の有効性を強調し晴天時の注入量の10倍以上の塩素により滅菌すべきであると提案している。

さらに彼は雨天時下水の越流水による汚濁問題の完全で、しかも満足のいく解決策は合流式下水道からの越流を完全に無くしてしまうことであるが、その費用が莫大なため最初の段階として部分的な分流化という妥協案を考えていた。

この間Hess ら (New York)¹³⁾, Shifrin ら (St. Louis)¹⁴⁾, Bloss (St. Louis)¹⁶⁾, Benjes ら (Kansas City)¹⁵⁾等が稀釈倍率と遮集管容量との関係から遮集効果や経済性について検討した結果や遮集管の設計基準について報告している。

当時の調査研究の主要課題は遮集管容量の決定ないしはその遮集効果に置かれ、多くは降雨記録にもとづく量的な関係から追求されてきた。そして雨天時下水の水質が予想以上に悪いことを状況的に理解し得たとしても、巨額な経費を要する下水道事業では、計画するにあたってとくに経済性に重点を置かざるを得なかったということであろう。

このように、多くの調査報告の結論は遮集効率および経済性の点から見て遮集管容量の増大、すなわち稀釈倍率の増加には限度があること、合流式下水道からの越流水が水質保全上問題があるにしても、合流式下水道を完全に分流化することはかなり困難であることであり、なかにはその代替案として宅地内排水と道路、公共用地からの排水を分離するような一部分流化を提案しているものもあるが、多くはこの問題を解決するには吐口附近ないしはこれを集約した個所に一時的な貯留池(槽)を設置するようなことでもしなければならぬのではないかと述べている。

3.2 雨天時下水の水質に関する調査結果の概要

3.2.1 Northampton, Bradford および Brighouse における英国水質汚濁防止研究所の調査^{17) 18)}

この調査は英国住宅地方省に設置された「雨水の越流および雨天時下水の処分に関する技術委員会」に対し、討議に必要な雨天時下水の水量、水質に関する情報を提供するために水質汚濁防止研究所が1958年から1964年にわたって行なったものであり、長期間の観測資料にもとづき広範囲な分野にわたっての検討を行なっている。

調査は当初 Bradford および Brighouse において行なわれたが、Bradford では晴天時下水の10倍量、Brighouse では18倍量になってはじめて越流が生じる横越流堰の下流側で採水したため、低倍率の試料が得られぬ等の欠点が明らかとなったため、Northampton に改めて本格的に観測所を設置し長期的な調査を行なうことになった。調査対象地域はそれぞれ表3.2の通りである。

この調査により得られた結果に一部筆者の見解を加えて述べれば次の通りである。

- ① 「流出係数、越流継続時間、越流量等について実測した結果にもとづき、水使用量 30 gal/人/日 (113.7 l/人/日)、不浸透域 50 yd²/人 (41.77 m²/人)、年間降雨量を 30 in (762 mm) とした場合の雨天時下水の排出量は表3.3のようになる。このことは、仮に稀釈倍率を6倍から8倍まで引き上げることで越流頻度10%以下、越流継続時間25%、越流量20%*の減少しか得られぬことを示している。」

表 3.2 英国水質汚濁防止研究所での調査対象地域・観測地点¹⁸⁾

項 目	地域名	Northampton	Bradford	Brighouse	備 考
排 水 面 積 (ha)		92.75	67.64	240.57	
排 除 方 式		合 流 式	合 流 式	合 流 式	
人 口 (人)		5,000 ~ 10,000			
流 達 時 間 (分)		12 ~ 23			
不 浸 透 域 (%)		50	28	11	屋根・舗装
管 渠 勾 配		1/78	1/49	1/23	
平均管渠断面積 (m ²)		0.3623	0.0678	0.0966	
年 平 均 降 雨 量		655.32	721.36	787.4	
採 水 位 置		管 渠 内	越 流 堰 下	越 流 堰 下	
採 水 間 隔		5分間隔×1時間 +1時間間隔 (後に降雨初期を 10分にする)	—	—	
測 定 期 間		1960年2月より 2年間	1958年11月より 2ヶ月間	1961年2月より 3年間	欠測有り

* 原文では35%の減少と記されているが、筆者の試算の結果は20.5%となる。

表 3.3 雨天時下水の越流に関する推定値 (Northampton)¹⁹⁾

項 目	稀 積 倍 率			
	6	8	12	20
年 間 越 流 頻 度	161	149	115	72
越流継続時間 (時間 / 年)	256	192	113	47
越流量 (不浸透域への降雨量に対する割合, %)	39	31	20	9

- ② 「晴天時下水の日間変動に伴ない、雨天時下水の水質についても日間の水質変動が認められ、夜間に水質が低下する傾向がある。しかし全体的に見た場合、昼夜での雨天時下水の「水質変動」は晴天時下水の場合より顕著ではない。」

このことは雨天時下水の汚濁源が晴天時下水以外のものであることを示唆するものである。

- ③ 「雨天時下水の水質は図 3.1 に示されている通り降雨が継続するにしたがって低下する傾向がある。表 3.4 はその傾向が最も明確に見られた Northampton での結果である。また降雨による稀釈効果が明らかに見受けられ、降雨量が大きければ雨天時下水の水質は低い数値を示しているが、いわゆる「稀釈倍率」が増加しても、それに反比例的に水質濃度が低下するものとはなっていない。表 3.5 は同じく Northampton での実測の結果にこの傾向が見られることを示したものである。」

表 3.4 雨天時下水水質の時間的变化 (1960.2 - 1962.1)¹⁸⁾

時間間隔 (分)	雨 天 時 下 水 水 質 (mg / ℓ)					晴 天 時 下 水 に 対 す る 割 合*(%)				
	SS	BOD	PV	NH ₄ -N	Cl ⁻	SS	BOD	PV	NH ₄ -N	Cl ⁻
0 ~ 5	811	351	106	22.5	58.6	252	112	134	52	64
5 ~ 15	754	288	90	18.5	54.2	234	92	114	43	59
15 ~ 25	743	249	85	15.3	42.1	231	79	108	36	46
25 ~ 35	626	203	73	12.2	37.0	194	65	93	28	41
35 ~ 50	481	145	60	9.4	33.0	149	46	76	22	36
50 ~ 70	319	99	44	7.8	27.0	99	32	56	18	30
70 ~ 120	254	90	39	7.0	32.0	79	29	47	16	36
> 120	197	78	33	8.0	26.6	61	25	42	19	29

* 晴天時下水の平均水質は SS 320 mg / ℓ, PV 78 mg / ℓ, BOD 311 mg / ℓ
NH₄-N 43 mg / ℓ, Cl⁻ 91 mg / ℓ である。

表 3.5 Northampton における流量, 採水時間別の BOD 値¹⁷⁾ (一部修正)

流 量		平 均 流 量 (DWB に対する倍率)		降 雨 開 始 後 の 経 過 時 間 (分)								平 均	日間流出 負 荷 量
mgd	m ³ /日		修 正 値	0~5	5~15	15~25	25~35	35~50	50~70	70~120	>120		kg/日
1.0~1.3	3,785~4,921	3.5	1.1	329	316	304	243	168	121	109	116	165	718
1.3~1.7	4,921~6,435	4.6	1.4	462	291	262	250	188	103	121	80	145	823
1.7~2.2	6,435~8,327	6.0	1.9	355	284	237	223	166	112	91	83	129	952
2.2~2.8	8,327~10,598	7.7	2.4	408	317	251	190	159	115	61	93	127	1,202
2.8~3.5	10,598~13,248	9.7	3.0	260	282	258	172	129	108	88	72	112	1,335
3.5~4.5	13,248~17,033	12.2	3.8	223	356	304	216	135	86	75	69	110	1,665
4.5~6.0	17,033~22,710	15.9	5.0	(240)	242	245	203	94	62	64	40	79	1,570
6.0~8.0	22,710~30,280	21.4	6.7	(235)	240	179	122	89	97	53	51	77	2,040
8.0~10.0	30,280~37,850	27.6	8.6	(230)	231	224	66	73	61	72	46	72	2,452
10.0~12.5	37,850~47,313	34.8	10.9	(220)	190	114	129	40	29	151	55	94	4,003
12.5~14.0	47,313~52,990	41.0	12.8	(210)	197	91	62	32	17	76	33	59	2,959
14.0~16.0	52,990~60,560	46.0	14.4	(210)	212	127	50	72	54	70	35	85	4,826
≥16.0	≥60,560	(52.0)	16.3	-	128	54	(56)	58	26	(28)	30	52	3,149
平 均				351	288	249	203	145	99	90	78	123	

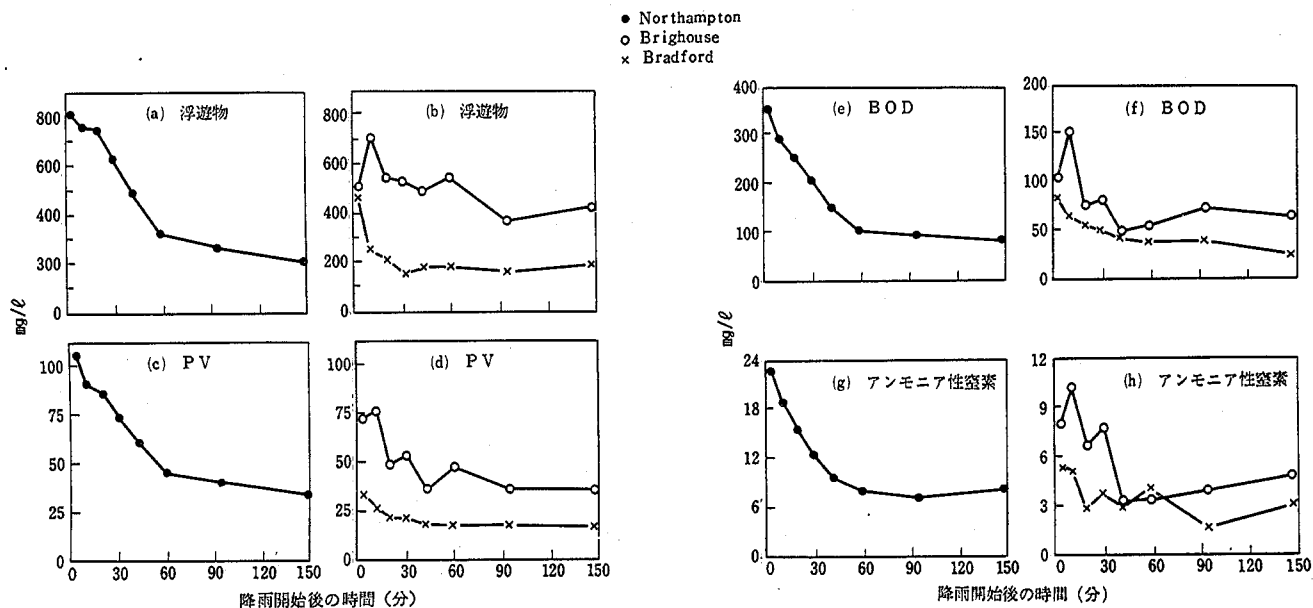


図 3.1 英国水質汚濁防止研究所の調査における降雨開始後の時間と
雨天時下水の平均水質の変化との関係¹⁸⁾

この表では流量区分を晴天時下水量に対する割合、すなわち稀釈倍率に換算して示してあるが、英国においては1人当りの使用水量が少ないことに留意しなければならない。たとえば①に示された結果でも1人当りの水使用量を30 gal/人/日(113.7 l/人/日)と仮定している。

わが国においては日平均の水使用量は300~400 l/人/日程度であり、単に「稀釈倍率」のみをとってあげて議論を進めると誤りをまねく恐れがある。表3.5中の「修正値」は1人当りの水使用量を350 l/人/日としてみた場合の「稀釈倍率」であり、わが国でいわれている「稀釈倍率」の水量にほぼ近似していると考えてよい。

これによれば雨天時下水の平均水質は3倍稀釈の場合BOD112mg/l、5倍稀釈の場合BOD79mg/lとなる。

- ④ 「3ヶ所の調査地点とも検査の結果から多少の管内堆積物が見受けられた。とくにNorthamptonの場合は大口径で勾配がゆるいため、管内の堆積が最も考えられた。晴天時に1マイルにわたって清浄水をフラッシュさせた結果からも、晴天時に堆積した物質の洗掘が降雨初期の汚濁物質の流出および雨天時下水中の高い固形物含有に寄与していることが暗示されている。しかし、一方Brighouseでは管内堆積物が少なく、流量が増加するにしたがって固形物濃度も大きくなった。この場合は、固形物の主体が下水管内以外に堆積した固形物であり地表面流出によって洗い出されたものであろう。」

②~④の結果から、雨天時下水の主要汚濁源は下水そのものよりも、むしろ地表面流出、管内堆積物の洗掘等によってもたらされるものであり、したがって流出負荷量には限度があることが推察される。このことは時間の経過とともに濃度が低下することからも明らかである。

- ⑤ 「流量と濃度との関係はアンモニア性窒素とSSについて全く異なった傾向が示されていた。図3.2(a)(b)はそれぞれの濃度を〔全下水流量Q-晴天時下水流量q〕と〔全下水流量〕の比とに対比させたものであるが、これによればアンモニア性窒素の場合は流量の増加に伴ないほぼ直線的に低下している。これを直線とみなし、 $(Q-q)/Q=0$ 、すなわち晴天時下水の場合の値を読み取るとNorthampton 57mg/l、Brighouse 56mg/l、Bradford 23mg/lとなり、それぞれ実測値の1.3、2.2、0.75倍の値となった。

一方SSについては一定の傾向は見られず、NorthamptonとBradfordでは流量に関係なく晴天時下水とほぼ同じ値が示されたのに対してBrighouseでは流量の増加により増大し1000mg/lを超える値も示された。」

- ⑥ 「BOD、PV*の傾向はアンモニア性窒素とSSの中間に位置する。このことよりアンモニア性窒素の濃度は流量および晴天時下水ならびに地表面流出水の濃度によって決まるのに対し、他の成分は下水管内への沈積といった地域的な条件から受ける影響が大きいことがわかる。」
- ⑦ 「もし詳細な資料がなく、越流堰から雨天時下水の平均水質が必要な場合に用いることができる最も適当な数値はSS 400 mg/l、PV 40 mg/l、BOD 80 mg/l、アンモニア性窒素 4 mg/lである。晴天時下水の水質に濃淡がある場合には生下水のそれぞれ200、60、10%を雨天時下水の水質とすれ

* PV 過マンガン酸カリの消費量を表わす英国の試験法

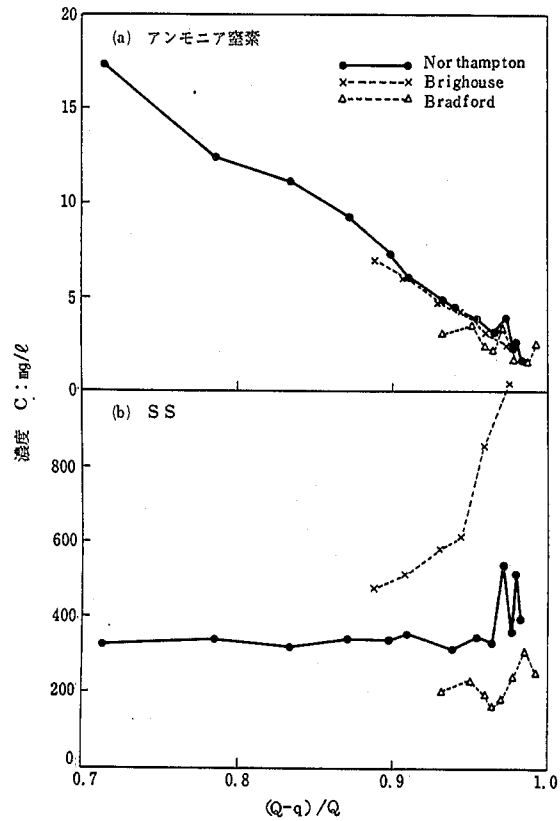


図 3.2 英国水質汚濁防止研究所の調査による全流量と雨水量の比と雨天時下水の平均水質の変化との関係¹⁸⁾

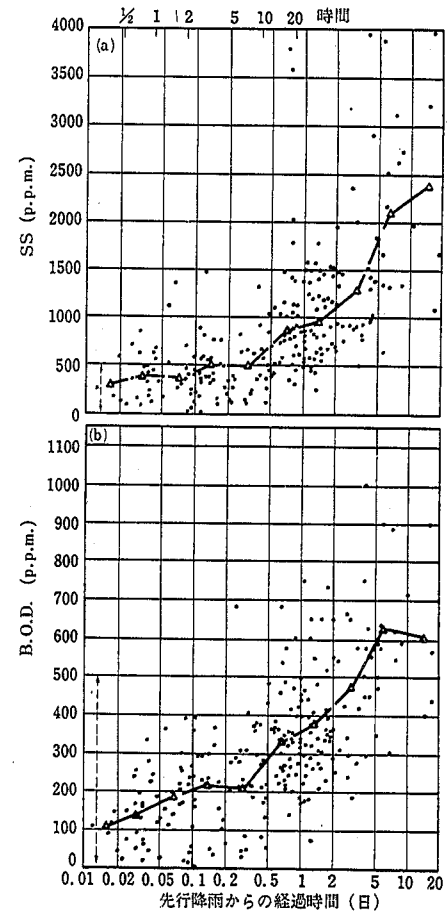


図 3.3 Northampton における先行降雨からの経過時間と2年間の各降雨での(a)SS最大値(b)BOD最大値との関係¹⁸⁾ 矢印は晴天時下水での値の90%の範囲を示す。

ばよいであろう。」

- ⑧ 「先行降雨との間隔が長くなる程、雨天時下水の水質は悪化するが、Northampton の例では図3.3 に示された通りSSについては先行降雨との間隔は1.5日* 以内、BODについてはほとんどの降雨が晴天時下水濃度範囲に入っている。

他の2地点も含めて示したものが表3.6である。Bradford では上記の傾向はほとんど認められない。」

ただし、この考察では降雨強度については全くふれていない。

表 3.6 SS, BODの最大値の概略平均¹⁸⁾

単位, mg/ℓ

先行降雨との間隔	S S			B O D		
	North-ampton	Brad-ford	Brig-house	North-ampton	Brad-ford	Brig-house
1 時 間	400	300	400	160	40	70
12 時 間	700	260	700	280	50	120
5 日	1800	330	1000	600	60	180

- ⑨ 「個々の降雨によって排水される負荷量を求めてみると、SSについていえば晴天時に下水処理場へ流入する負荷量の2～4日分にも相当することがある。しかし仮にNorthampton において稀釈倍率を6倍から12倍にあけてみても、(調査期間の最大降雨の場合には)SS負荷の減少量は35%、BOD、アンモニア性窒素はそれぞれ45%、65%減少するにすぎない。」
- ⑩ 「晴天時下水量の2時間分の容量を持つ雨水貯留池を設置することにより、稀釈倍率を6倍から8倍以上にあげたと同じ効果が得られる。また6時間分の容量とすれば10～12倍にあげたと同じ効果が得られる。」

降雨の状況がわが国の場合と異なるため、この結果は直ちにわが国に適用できるものではないが、雨水貯留池の優位性はわが国についてもいえるであろう。

3.2.2 Detroit における調査^{19), 20), 21)}

この調査は1963年から1965年にかけて米国公衆衛生局(U.S. Public Health Service) [後年は水質保全行政が内務省に移り連邦水質汚濁防止庁(Federal Water Pollution Control Administration, FWPCA)で行なわれるようになった。]に設置されたDetroit川-Erie湖プロジェクトがMichigan州公衆衛生部ならびにMichigan 水資源委員会の協力を得て行なったものである。

このうち1963年から64年には合流式下水道および分流式下水道の雨水系統から排出される雨天時下水について主として微生物学的な特性ならびに若干の化学的特性が調査され、1965年に化学的・物理的

* 原文中では1 1/2 日となっているが、示された図から読み取ると0.75日となる。SS濃度の実態から考えて本文の方が正しいと判断して原文のまゝとした。

な特性の検討が行なわれている。

調査の対象地域は合流式下水道の排除区域、分流式下水道の排除区域各1個所であり、詳細は表3.7の通りである。なお管渠の状況は明らかにされていない。両排水区とも調査対象面積が広大なのが特徴的である。調査の結果を要約すると次の通りである。

表3.7 Detroitにおける調査対象地域

名 称	Conner Creek 排 水 区		Allen Creek排水区
排 除 方 式	合 流 式		分 流 式
排 水 面 積 (ha)	8,504		1,540
排 水 人 口 (人)	1,670,000		67,300
土地 利 用 状 況 (ha)	道 路	2381 (2.8%)	316 (23.5%)
	商 業 ・ 官 庁	289 (3.4%)	211 (15.7%)
	レクリエーション空地	876 (10.3%)	310 (23.0%)
	工 業	1616 (19.6%)	13 (1.0%)
	住 宅	3342 (39.3%)	496 (36.8%)
採 水	自動採水器, 1時間間隔		自動採水器 5分間隔

① 各水質分析項目を季節ごとに整理した結果は表3.8, 表3.9, 表3.10の通りであった。この平均値を季節的に見るとBOD, SSなどは春の値が高いのに対し、窒素, リンなどの栄養塩類は夏から秋にかけて高い値を示している。しかしその差は顕著ではない。この差の原因としては、前者は冬期間降雨が少ないために蓄積された管内堆積物, ないし路上堆積物が排出されてくること, また後者については春から秋にかけて肥料の散布*が行なわれるため、これが流出してくることが考えられた。

② 分流式, 合流式**の下水道における年平均水質を流出開始後の経過時間ごとに整理した結果は表3.11, 表3.12の通りであった。

流出時間の経過に伴う水質の変化についても二通りのパターンが見られ, BOD, VSS, 沈澱性有機固形物など有機物量を示す項目については時間の経過とともに数値に低下が見られるのに対し, SSや沈澱性物質については余り変化は認められなかった。

降雨初期に有機物量の数値が高いのは管内堆積物が洗掘されるためと考えられるが, SSが同じパターンを示さぬことはこの考察を否定的なものとしている。

また栄養塩類も時間的な変化は少ない。

③ 年平均値と最大値を整理すると表3.13の通りである。年平均値でみればBODは合流式の方が分流

* 多分芝生に対するものであろう。

** 合流式の場合は採水間隔を1時間としている。これは排水面積が広大なため降雨による水質変動が顕著に現われぬことを考慮に入れたためであろうが、原文ではその理由は明らかにされていない。

表 3.8 1965年4月-5月* のDetroit およびAnn Arbor での
流出水水質の算術平均値 21)

分 析 項 目	算術平均値の範囲		算術平均の中間値	
	(分流式)	(合流式)	(分流式)	(合流式)
フェノール ($\mu\text{g/l}$)	11-30	37-107	17	83
BOD (mg/l)	24-43	92-410	31	221
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	0.8-1.2	6.0-9.9	1.0	7.96
有機性-N (mg/l)	0.3-2.0	0.4-2.6	0.9	0.7
SS (mg/l)	940-4,400	260-510	1,680	356
VSS (mg/l)	160-530	92-310	310	140
沈澱性固形物 (mg/l)	850-3,100	220-400	1,450	316
沈澱性有機固形物 (mg/l)	104-480	80-240	150	130
溶解性リン酸塩(PO_4)(mg/l)	0.5-1.4	1.8-12.9	1.1	9.8
全リン酸塩(PO_4)(mg/l)	1.4-9.4	10.1-34.0	4.4	17.8
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	0.8-3.0	0.1-2.5	1.1	0.3

* この期間採水が成功したのはAnn Arbor で5回, Detroit で7回である。

表 3.9 1965年6月-7月* のDetroit およびAnn Arbor での
流出水水質の算術平均値 21)

分 析 項 目	算術平均値の範囲		算術平均の中間値	
	(分流式)	(合流式)	(分流式)	(合流式)
フェノール ($\mu\text{g/l}$)	1-16	51-760	2	56
BOD (mg/l)	16-49	90-320	42	121
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	0.5-1.6	6.7-10.8	1.0	8.3
有機性-N (mg/l)	0.4-1.6	1.3-4.1	0.5	2.2
SS (mg/l)	1,200-2,100	124-420	1,370	270
VSS (mg/l)	121-400	61-197	250	124
沈澱性固形物 (mg/l)	1,000-2,020	84-340	1,060	245
沈澱性有機固形物 (mg/l)	77-240	38-156	185	111
溶解性リン酸塩(PO_4)(mg/l)	0.3-1.8	3.4-15.6	1.3	7.6
全リン酸塩(PO_4)(mg/l)	2.4-7.3	5.0-28.6	3.8	14.7
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	0.2-1.4	0.1-0.3	1.1	0.2

* この期間採水が成功したのはAnn Arbor で4回, Detroit で10回である。

表 3.10 1965年9月-10月*のDetroit およびAnn Arborでの
流出水水質の算術平均値²¹⁾

分 析 項 目	算術平均値の範囲		算術平均の中間値	
	(分流式)	(合流式)	(分流式)	(合流式)
フェノール($\mu\text{g/l}$)	—	28-99	—	43
BOD (mg/l)	27-31	82-183	29	109
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	—	1.3-3.9	—	2.6
有機性-N (mg/l)	—	0.9-3.4	—	2.1
SS (mg/l)	470-1,940	204-252	1,360	216
VSS (mg/l)	31-218	70-100	157	97
沈澱性固形物 (mg/l)	340-1,560	—	950	—
沈澱性有機固形物 (mg/l)	2-133	—	104	—
溶解性リン酸塩(PO_4) (mg/l)	0.1-0.6	3.0-8.2	0.3	5.6
全リン酸塩 (PO_4) (mg/l)	1.2-4.8	7.1-15.6	2.9	14.3
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	0.6-0.7	0.2-0.9	0.6	0.6

* この期間採水が成功したのはAnn Arborで6回, Detroitで3回である。

表 3.11 Ann Arbor の Allen Creek 排水区雨水系統における
流出開始後の水質の変化 (年平均値)²¹⁾

分 析 項 目	流 出 開 始 後 の 値*				
	0-4 分	4-9 分	9-19 分	19-34 分	> 34 分
フェノール($\mu\text{g/l}$)	(8) 18	(7) 20	(9) 15	(10) 13	(12) 16
BOD (mg/l)	(9) 47	(8) 32	(8) 25	(10) 24	(13) 18
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	(7) 0.9	(7) 1.0	(8) 0.75	(7) 1.0	(13) 1.1
有機性-N (mg/l)	(8) 1.3	(7) 1.1	(9) 1.0	(7) 0.7	(13) 1.1
SS (mg/l)	(15) 2,390	(12) 1,130	(18) 1,810	(12) 2,820	(14) 2,270
VSS (mg/l)	(15) 301	(12) 207	(18) 177	(12) 237	(14) 178
沈澱性固形物 (mg/l)	(13) 2,000	(11) 1,040	(17) 1,420	(11) 2,210	(10) 1,280
沈澱性有機固形物 (mg/l)	(13) 239	(11) 156	(17) 104	(11) 110	(10) 80
溶解性リン酸塩(PO_4) (mg/l)	(13) 0.9	(11) 1.0	(15) 1.0	(12) 0.6	(14) 0.7
全リン酸塩 (PO_4) (mg/l)	(12) 5.5	(12) 4.0	(17) 4.2	(12) 6.2	(14) 5.2
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	(8) 1.2	(8) 1.1	(10) 1.4	(10) 1.7	(14) 1.7

* () 内は平均した試料数

表 3.1 2 Detroit の Leib 通り幹線における流出開始後の
水質の変化 (年平均値)²¹⁾

分 析 項 目	流 出 開 始 後 の 値 [*]				
	0-1 時間	1-3.5 時間	3.5-6.25 時間	6.25-12.5 時間	> 12.5 時間
フェノール($\mu\text{g/l}$)	(12) 67	(9) 106	(9) 120	(5) 42	(4) 44
BOD(mg/l)	(13) 209	(9) 159	(10) 143	(5) 89	(4) 101
NH ₃ -N(mg/l)	(14) 8.1	(7) 5.3	(10) 7.6	(7) 5.6	(4) 5.2
有機性-N(mg/l)	(14) 1.7	(7) 2.2	(10) 2.0	(7) 3.0	(4) 1.2
SS(mg/l)	(19) 276	(12) 299	(13) 275	(9) 293	(5) 205
VSS(mg/l)	(20) 129	(12) 134	(13) 121	(9) 94	(5) 74
沈澱性固形物(mg/l)	(15) 246	(9) 277	(12) 231	(8) 246	(4) 173
沈澱性有機固形物(mg/l)	(15) 111	(9) 116	(12) 104	(8) 73	(4) 57
溶解性リン酸塩(PO ₄)(mg/l)	(16) 8.6	(10) 6.7	(11) 7.4	(9) 8.0	(4) 9.0
全リン酸塩(PO ₄)(mg/l)	(17) 17.1	(11) 13.4	(11) 14.7	(9) 12.4	(4) 17.2
NO ₃ -N(mg/l)	(15) 0.5	(10) 0.3	(9) 0.7	(6) 0.4	(4) 0.3

* () 内は平均した試料数

表 3.1 3 Detroit および Ann Arbor における年間最大, および
年間平均値 (合流式, 分流式)²¹⁾

分 析 項 目	Ann Arbor (分流式)		Detroit (合流式)	
	観測最大値	年平均値 [*]	観測最大値	年平均値 [*]
フェノール($\mu\text{g/l}$)	70	16	8,000	312
BOD(mg/l)	62	28	685	153
NH ₃ -N(mg/l)	2.0	1.0	134	12.6
有機性-N(mg/l)	4.0	1.0	38.4	3.7
SS(mg/l)	11,900	2,080	804	274
VSS(mg/l)	570	218	452	117
沈澱性固形物(mg/l)	11,100	1,590	656	238
沈澱性有機固形物(mg/l)	475	140	376	97
溶解性リン酸塩(PO ₄)(mg/l)	3.4	0.8	21.2	7.7
全リン酸塩(PO ₄)(mg/l)	16.4	5.0	43.2	14.6
NO ₃ -N(mg/l)	3.6	1.5	2.8	0.5

* 各項目での極端に高い値も年平均値を計算する場合に含めたが表 3.1 1, 表 3.1 2 の計算には含めていない。

式に比べ5倍以上、最大値でも10倍以上の値を示しているのに対し、SSは反対に分流式の方が合流式の10倍の値を示した。また視察するとSSの構成物質が異なっていることが確認された。

- ④ 微生物関係の調査結果は表3.14の通りであった。雨天時下水の細菌数は降雨継続時間、降雨量の変動に無関係であり、いわゆる初期流出は認められない。また夏期はやゝ多く冬期は他の季節に比べ著しく減少する。

表3.14 DetroitおよびAnn Arborにおける微生物関係の調査結果の要約²⁰⁾

月	採水実施 越流回数		項 目	幾 何 平 均 の 範 囲		幾何平均の中間値		合流式/ 分流式 の比
	Ann Arbor (分流式)	Detr- oit (合流式)		Ann Arbor (分流式)	Detroit (合流式)	Ann Arbor (分流式)	Detroit (合流式)	
3月	0	4	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	— — —	1,100,000- 8,500,000 — —	— — —	2,300,000 — —	— — —
4月	3	11	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	120,000- 350,000 7,000- 17,000 12,000- 31,000	570,000- 8,200,000 190,000- 2,600,000 —	340,000 10,000 20,000	2,400,000 890,000 —	7:1 89:1 —
5月	2	7	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	139,000- 880,000 29,000- 73,000 73,000- 320,000	1,900,000- 24,000,000 410,000- 3,600,000 280,000- 1,500,000	510,000 51,000 200,000	4,400,000 1,500,000 320,000	9:1 29:1 2:1
6月	5	9	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	190,000- 10,000,000 24,000- 130,000 42,000- 330,000	1,300,000- 11,000,000 470,000- 8,700,000 660,000- 980,000	4,000,000 78,000 120,000	12,000,000 2,700,000 740,000	3:1 35:1 6:1
7月	5	11	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	390,000- 15,000,000 60,000- 560,000 180,000- 670,000	12,000,000- 45,000,000 1,900,000- 10,500,000 180,000- 490,000	4,000,000 120,000 390,000	37,000,000 7,600,000 350,000	9:1 63:1 1:1
8月	7	10	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	220,000- 34,000,000 160,000- 750,000 120,000- 480,000	3,000,000- 45,000,000 3,400,000- 16,000,000 410,000- 790,000	1,700,000 350,000 310,000	26,000,000 4,400,000 530,000	15:1 13:1 2:1
9月	0	11	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	— — —	200,000- 110,000,000 200,000- 20,000,000 200,000- 900,000	— — —	22,000,000 5,400,000 600,000	— — —
10月	0	2	Tot.Col. Fec.Col. Fec.Strep.	— — —	900,000- 85,000,000 900,000- 5,300,000 1,100,000	— — —	43,000,000 3,100,000 —	— — —

- ⑤ 合流式下水道から雨天時に排出される一般細菌数は分流式の場合より3:1ないし15:1の割合で多い。大腸菌群数の場合は89:1にまでなる。また合流式下水道の場合、大腸菌群数は連鎖状球菌に比べ3:1ないしそれ以上の割合で多くなるが、分流式の場合は等しいかまたは1:1以下になる。この結果に対して、両者の比が1:1以下であれば汚濁の大半は人間以外の哺乳類の排泄物によるものであり、2:1以上であれば一義的に家庭下水に起因しているとするGeldreich²²⁾らの研究結果にもとづき、合流式下水道からの細菌と、地表面流出水（分流式下水道からの雨水）中の細菌ではその発生源が異なると推察している。

なおGeldreichらは後に自らも雨水流出水中の細菌に関して調査を行ない、市街地での雨水流出水

中のふん便性細菌は猫、犬、ネズミ、ウサギなどのふん便が土壌に付着することに起因していることを明らかにしている。²³⁾

3.2.3 San Francisco における調査²⁴⁾

この調査は水量・水質の面から San Francisco の代表的な地域における雨天時下水の越流水の特性を示し、市街地からの他の排出汚濁物と対比させることにより、雨天時下水の特徴を見出すために行なわれた。同時に雨天時の越流水が放流先水越に与える影響と、可能性のある制御方法について検討を行なっている。

調査対象地域は表 3.15 の通りであり、1966年11月より1967年3月までの間に Selby 通りの調査地点で8降雨、Lagun の通りの調査地点で2降雨（1967年3月のみ）の観測が行なわれた。この結果に対して次の考察を行なっている。

表 3.15 San Francisco における調査対象地域

項 目		Selby 通 り	Laguna 通 り
面 積 (ha)		3,400	370
人 口 (人)		82,000	25,000
人 口 密 度 (人/ha)		60	170
土 地 利 用 (%)	工 業	6	—
	商 業	2	—
	住 居	77	100
	空 地	15	—
採 水		自動採水器	人 力

- ① 降雨に伴う水質の変化をミクロに検討した結果、これを三つの時期に分け、それぞれの水質が示す理由を考察した。

まず下水管に入った雨水流出水は明らかに越流部に向って管内下水を押しするような作用をし、その結果降雨初期の越流水は晴天下水と同じ水質となる。その濃度は下水管内に貯留された雨水流出水の増加率に左右され、ゆるい降雨による流出の場合は初期の汚濁が著しい。

もし十分な流量があれば、この時期に続いて洗掘期に入り、地表面の汚濁物質の大半も激しい流出の初期の部分で洗い流される。その結果、この時期の水質が最も悪くなり、晴天時の150～200%になることがある。

その後汚濁の程度は一定値に減少し、晴天時下水の20～25%の範囲で初期の洗滌に続いて起る地表面流出水と同じ水質特性を示す。一定値に減少する時間は比較的一定であり、降雨や流出率とは無関係である。

一般細菌数や大腸菌群数は他の水質項目が一定値に達してもなお減少を続けた。

- ② 先行降雨より1.5日後の越流水も（50日以上）の長期間晴天が続いた場合の水質もほとんど差は見

られなかった。このため降雨の資料を分け、先行晴天日が1日以内の場合と、1.5～50日の場合について加重平均値を求め図3.4に示した。極端に高い濃度の越流が初期にあったため第1の時期は顕著ではないが、第2・第3期はきわめて明らかに示されている*。

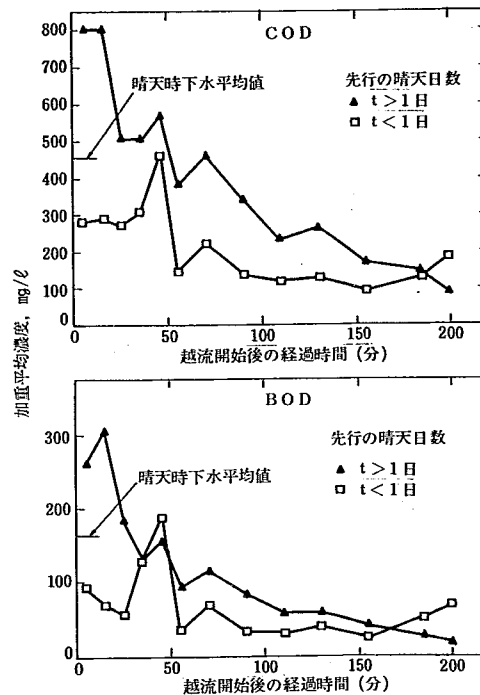


図3.4 San Francisco, Selby 通りにおける合流式下水道からの越流水の成分濃度変化²⁴⁾

③ 主要排出源別の年間の汚濁負荷量を計算し表3.16にした。これら3例は降雨や流出量が異なり、かついくつかの仮定をもとにしているので直接の対比は困難であるが、COD、BOD、VSS、グリースの年間流出量は二次処理水、越流水、雨水ではそれぞれ同じ程度であり**年間有機物排出量の観点にたてば一次処理、または二次処理水が放流されている地域では下水道を分流式にするよりも、むしろ合流式を用い遮集管や下水処理場を大きくして越流量を最少とし、とくに問題の生じやすい地域では流出水のある程度処理する方がより効果的であろう。

④ 栄養塩類は二次処理水中に最も多く含まれている。

* 本文中には図3.4に示したパターンのどこまでが各期なのかは示されていない。

** 原文のまゝ。しかし表3.16で見える限り三者の間には有意の差が認められる。

表 3.1 6 San Francisco に類似した都市域からの年間排出負荷量 (lb / エーカー / 年)

項 目	一次処理水		二次処理水		合流式下水道からの越流水 †		分流式下水道の雨水系統 §	
	Selby	Laguna	Selby	Laguna	Selby	Laguna	Selby	Laguna
BOD	1450	4050	175	554	101	136	25	29
COD	2420*	6750*	280	886	447	480	188	218
SS	1415*	3970*	105	332	632	538	570	500
VSS	990	2780	84	264	146	224	125	145
グリース	344	965	14	44	36	41	...	...
N	250*	792*	175	554	106	156	7.0	8.2
PO ₄	262*	830*	210	664	2.4	3.2	2.0	2.3

* 推定 : BOD : COD = 0.60 ; VSS : SS = 0.70 ; N = 35.7 mg/l ; PO₄ = 37.5 mg/l .

† 推定濃度 : BOD 25 ppm ; SS, 15 ppm ; グリース, 2 ppm ; VSS, 12 ppm ; COD, 40 ppm ; N, 25 ppm ; PO₄, 30 ppm .

‡ 未処理

§ Cincinnati における流出負荷原単位および San Francisco の 2 個所の調査地点における年間 1 人当り流出量より計算した。Selby 通り幹線 96 gal/日, Laguna 通り 107 gal/日 .

3.2.4 Washington, D.C. における調査^{25) 26)}

この調査は EPA の資金援助のもとに Washington, D.C. における合流式下水道の改良方法の検討、とくに代替案として急速汚過法の採用を検討した調査の一部を成すものであり、基礎資料として必要になった合流式からの越流水、分流式下水道の雨水の水理特性と水質特性を得るため市街地に 3 ケ所の調査地点を設定し 1969 年 4 月より 9 月まで行なった観測結果である。

その結果は降雨量ならびに雨水流出量などとともにその後の調査のために有効に利用され、いくつかの貴重な成果²⁷⁾を得る基礎となっている。なおこの調査はコンサルタントである R.F.Weston Inc が一貫して行なった。

調査の対象となったのは合流式下水道 2 ケ所、分流式下水道 1 ケ所であり、分流式の雨水の調査は合流式下水道の雨天時下水と対比させるとともに、合流式を分流式に改造した場合の想定資料を得るために行なったものである。調査対象の詳細は表 3.1 7 の通りである。

表 3.1 7 Washington, D.C. における調査対象地域

場所および排除方式	排水面積 (ha)	1970 年人口密度 (人/ha)	管渠断面 (m/m)	採水回数
B-4, (合流式)	44.55	108	φ 1250	7
G-4, (合流式)	106.92	130	φ 1650	17
Good Hope Run, (分流式)	107.33	93	1830×1830	10

調査の結果を整理したものが表 3.18 であるが、文献 (26) には降雨の特性と雨天時下水の水質との関係について、次のように考察している。

表 3.18 Washington, D.C. における雨天時下水の水質調査結果²⁶⁾

項 目	汚水雨水の混合水		分流式下水道の雨水	
	範 囲	平 均	範 囲	平 均
汚濁物質 (mg/l)				
C O D	80 ~ 1,760	382	29 ~ 1,514	335
B O D	10 ~ 470	71	3 ~ 90	19
蒸 発 残 留 物	120 ~ 2,900	883	338 ~ 14,600	2,166
熱 灼 減 量	40 ~ 1,500	344	12 ~ 1,004	302
浮 遊 物 質	35 ~ 2,000	622	130 ~ 11,280	1,697
有機性浮遊物質	10 ~ 1,280	245	0 ~ 880	145
沈 降 性 固 形 物	0 ~ 1,380	229	0 ~ 7,640	687
総 リ ソ 酸	0.8 ~ 9.4	3.0	0.2 ~ 4.5	1.3
総 窒 素	1.0 ~ 16.5	3.5	0.5 ~ 6.5	2.1
オルトリソ酸	0.1 ~ 5.0	2.0	—	—
アンモニア性窒素	0 ~ 4.7	1.5	—	—
pH	5.6 ~ 6.7	6.3	7.2 ~ 6.0	6.5
細菌 (数 / 100 ml)				
一 般 細 菌 数	420,000 ~ 5,800,000	2,800,000	120,000 ~ 3,200,000	600,000
大 腸 菌 群 数	240,000 ~ 5,040,000	2,400,000	40,000 ~ 1,300,000	310,000
連鎖状球菌	1,000 ~ 4,900	17,000	3,000 ~ 60,000	21,000

- ① 継続時間の短い降雨では各成分の濃度は下水流量の増大とともに高くなり、濃度のピークと流量のピークが一致しているが降雨強度との相関は認められなかった。濃度は全体的にかなり高く、かつ採水時間中その状態が続いた。また無機物は全固形物量の半分であったが、これが一定であることは地表面流出水中の成分を反映しているためであろう。
- ② 継続時間が長く、強度の大きい降雨の場合は、流量は短い降雨の場合より増大したが、各水質項目の濃度は雨水による稀釈のため低い値を示した。(しかしその減少は一律でなく) 短かくて強度の大きい降雨の場合に比べると COD, SS 濃度はおよそ 1/3 に、BOD 濃度は 1/7 になっている。このことは長くて強度の大きい降雨の場合は、地表面から侵食されて流れ出た物質の占める割合が大きいのことを示唆している。
- ③ 降雨が連続する場合はわずか数時間の降雨中断後でも初期流出現象がみられたが、平均水質は降雨が継続していくにしたがって低下する傾向がみられる。これは地表面や管渠内に堆積する物質が減少する

ためであろう。継続時間が長く強度の低い降雨の場合も多分これと同じである。

- ④ 分流式下水道での雨天時下水の平均有機物および栄養塩類の濃度は合流式の雨天時下水のおよそ 1/3 であったが、固形物（とくに無機性および沈降性固形物）の濃度は合流式の場合よりかなり高い。一般に水質の変動状況は合流式の場合と同じであるが、降雨間隔が短い場合には地表面への汚濁物堆積量が少ないので汚濁の程度は低い。

合流式下水道の雨水の水質について合流式との顕著な相異は COD と BOD の比の大巾な変動（1.8 ～ 3.2）であるが、これは侵食により化学的に酸化される無機物質の量が多くなるためである。

- ⑤ 合流式の場合細菌数は各降雨の流量により異なるが、平均値は一般細菌数で $2.8 \times 10^6 / 100\text{ml}$ 、大腸菌群数で $2.4 \times 10^6 / 100\text{ml}$ であり、初期流出傾向が見られた。分流式の場合も同じ変動が見られ、降雨初期には高いが降雨が進むにつれて減少する。また雨水流出水中にもかなり細菌類が含まれていることが明らかである。

- ⑥ 流出負荷量については次のように考察している。

合流式の場合、流出負荷量は管内変動に大きく左右され、ショック的に発生する短い降雨では負荷量がすぐにピークに達し、その後急激に減少する。長く強度の大きい降雨の場合は、最初の降雨では負荷量が流量とともに変動するが、この種の降雨では汚濁物質のほとんどが洗い洗されるので 2 番目以降の降雨による流出負荷は限られた量となりピークは急激に低下する。

初期の負荷量は晴天継続期間の長さに比例する。また初期流出後の有機物負荷は常に低くなるが、各排水区にはそれぞれ基礎有機物負荷量が存在するようである。

分流式の場合も合流式と同じであるが、合流式に比べて有機物負荷は低く、SS 負荷は高い。

- ⑦ 降雨による汚濁負荷の総量は多くの因子に支配され定量化することはむづかしい。そのうち BOD と SS については、数値にかなりのばらつきはあるが

$$L = e^{aF}$$

L : 流出負荷量

a : 定数

F : 降雨総量

の関係が見出され、また合流式と分流式とでは明らかに相異が認められた。

- ⑧ 地表面に急速に堆積する汚濁物質の主要発生源として大気中からの汚濁物質の降下が考えられる。
- ⑨ 合流式と分流式における水質特性の相違に関し次の諸点をあげている。

合流式の雨天時下水と分流式の雨水の水質を比較すると、BOD の場合 4、総リン酸の場合 2.1 ～ 3.5 の割合で合流式の方が高い。また固形物量や SS は分流式の場合の方が高かった。これらの結果は Burm 他²¹⁾の結果ともかなり一致する。COD は合流式、分流式ともほぼ同じ値であった。VSS は合流式の場合がかなり高く Brum らの結果と逆になった。

3.2.5 米国における最近の調査^{28) 29) 30) 38)}

Washington, D.C. の場合のように、EPA の資金援助のもとに、各都市において合流式下水道からの越流水が公共用水域の水質汚濁に与える効果を評価するための技術的な調査研究が行なわれた際、そ

の基礎的な資料とするためいくつかの都市では先ずその地域における降雨特性と、それによってもたらされる雨天時下水の水質特性に関する調査が行なわれた。

その内容は精粗まちまちであり、また調査方法も異なるがここにあげた2例はそのうちでも比較的試料数が多く、かつよく整理されているものである。

Ohio 州 Bucyrus の場合は雨天時下水の越流水が、市域を流下し Erie 湖へ流入している Sandusky 川の汚濁へ与える影響を評価し、汚濁負荷の減少をはかるための対策の利点、経済性、適応性等について検討を行なったものである。

雨天時下水の調査は1968年9月に開始され1969年9月まで続けられ、18の水質項目について調査が行なわれたが、その結果は表3.19の通りであった。平均的に見てBOD 120mg/l, SS 470mg/l, 大腸菌群数 11,000,000/100ml, ふん便性大腸菌 1,600,000/100ml であった。また越流開始後の時間と水質の変化を対比させて図示したものから雨水による初期の地表面および管内の洗滌効果が非常に明確に示された。図3.5はその1例である。

表 3.19 Bucyrus における合流式下水道からの越流水の水質²⁸⁾

場 所	BOD mg/l	COD mg/l	SS mg/l	VSS mg/l	TS mg/l
①					
分析検体数	47	13	42	13	40
平均	170	372	533	182	1647
最小	11	64	20	70	150
最大	560	735	2440	440	3755
中間値	140	394	360	180	1260
②					
分析検体数	54	20	44	24	33
平均	107	476	430	238	863
最小	11	120	90	80	310
最大	265	920	990	570	1960
中間値	100	440	400	160	780
③					
分析検体数	52	21	32	20	25
平均	108	391	477	228	916
最小	23	105	120	70	370
最大	365	795	1050	640	1965
中間値	78	355	385	200	830

Ohio 州 Cleveland の場合は雨天時下水の処理方法を検討するに際して調査対象となった Sontherly 下水処理場の雨天時下水の水質を調査したものである。その結果の要約は表3.20, 表3.21の通り

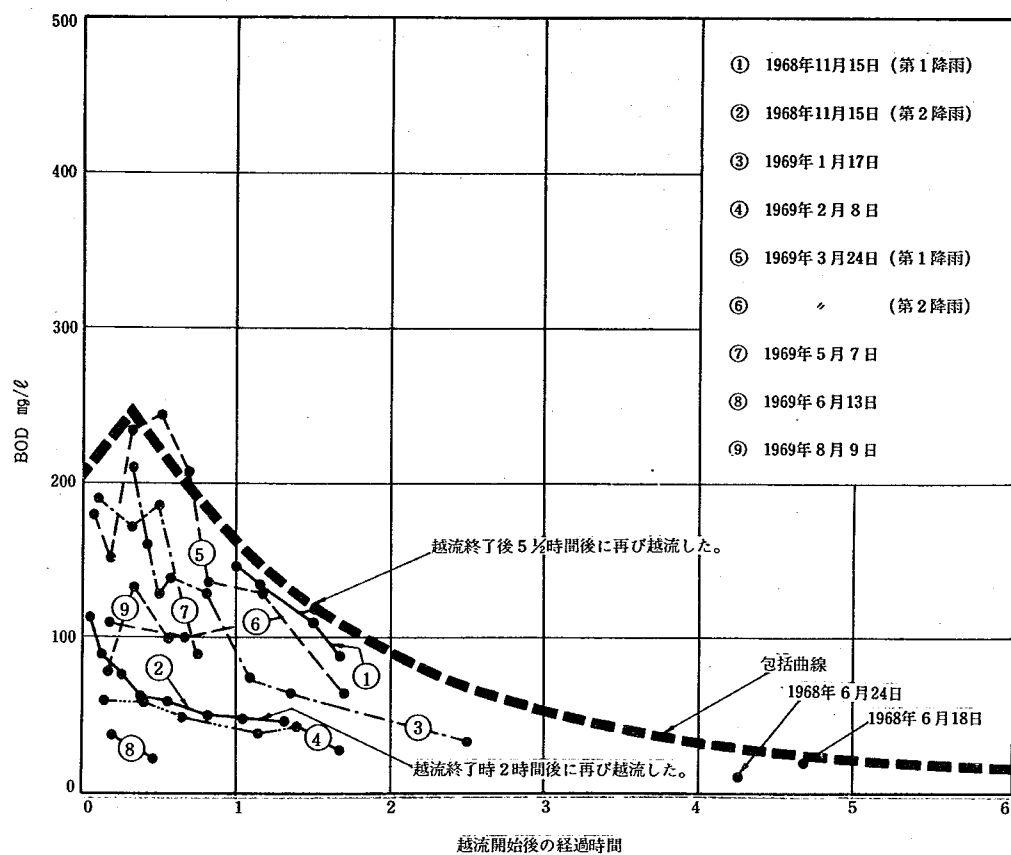


図 3.5 Bucyrus No②における越流開始後の時間とBOD濃度の関係²⁸⁾

表 3.20 Cleaveland における合流式下水道からの越流水の水質³⁰⁾
 (1970年6月初旬—11月下旬)

分析項目	観測数	平均	標準偏差	最小	最大
pH	195	7.0	0.31	6.4	8.6
温度(°F)	137	69		60	76
濁度(J.T.U.)	195	231	125	55	640
DO(mg/l)	78	3.40	2.28	0.98	9.3
BOD(mg/l)	197	92	49	16	580
COD(mg/l)	198	308	143	57	711
TOC(mg/l)	41	126	65	30	280
TS(mg/l)	177	590	150	264	1238
SS(mg/l)	193	234	135	28	1560
沈澱性固形物(mg/l)	195	5.26	3.02	0.2	19
大腸菌群数 (#×10 ⁶ /100ml)	197	455*	5.72	0.09	49

* 中間値

表 3.2.1 Cleaveland における合流式下水道からの越流水の水質³⁰⁾
(1971年5月—6月初旬)

分 析 項 目	観 測 数	平 均	標 準 偏 差	最 小	最 大
pH	16	6.76	0.273	6.50	7.10
気温 (°F)	25	58	5.42	50	64
濁度 (J.T.U.)	25	373	196	110	850
DO (mg/l)	—	—	—	—	—
BOD (mg/l)	24	171	42.4	85	245
COD (mg/l)	25	462	145.2	196	759
TOC (mg/l)	—	—	—	—	—
TS (mg/l)	25	814	197	532	1275
SS (mg/l)	25	411	178	177	976
沈澱性固形物(mg/l)	25	6.98	4.68	1.5	14
大腸菌群数 ×(10 ⁶ /100ml)	16	0.53*	0.462	0.06	2.00
一般細菌数 ×(10 ⁶ /100ml)	25	27.36*	13.15	7.0	62.0
連鎖状球菌数 ×(10 ⁶ /100ml)	13	0.66*	0.224	0.11	1.10

* 中間値

である。時間的に見るとSS濃度は一般に越流開始後30分以内に頂点に達し、3～4 1/2時間以内に150 mg/l 以下まで低下していた。

また晴天時下水の水質と対比した場合7月～11月の夏期の調査結果ではそれぞれSS125%, BOD70%, COD80%, ふん便性大腸菌群数30%になっていたのに対し、初夏(5月～7月)ではSS210%, BOD130%, COD120%であったと報告している。

F. J. Condonはこれら米国全土において行なわれた調査を総括し表3.2.2のように示し、個別的には大きな相異は存在するが一般的傾向として次の諸点があげられるとしている。²⁸⁾

- 1) 年間平均で考えれば水量増加時に合流式下水道から排除される生下水の量は年間晴天時下水量の約5～7%である。回数から見れば推定越流回数は約4%すなわち年間当り1.45日である。
- 2) 年間で見れば合流式下水道からの越流水として排除されるBOD量は合流式下水道区域から下水処理場の二次処理水として排除されるBOD量にほぼ等しい。
- 3) 1回当りでみれば越流時に放流先へ排除される有機物負荷は二次処理水中の負荷量の8～12倍である。
- 4) 多くの場合、都市域での雨水流出水水質は稀釈された工場排水の水質とほぼ同じである。計算結果では都市域での中ないし高強度の降雨による流出で同時刻の生下水よりも多くの酸素消費物質を放流先水域へ洗い流し出している。
- 5) 一般に高い発生頻度を有する降雨強度の低い雨の場合に、汚濁物質も多くかつ放流先水域での水量

表 3.2.2 合流式下水道からの越流水水質³⁸⁾

下水の種類および都市名	BOD mg/l 平均	COD mg/l 平均	SS mg/l 平均	大腸菌群数 MPN/100ml.
生 下 水	200	500	200	5×10^7
一 次 処 理 水	135	330	80	2×10^7
二 次 処 理 水	25	55	15	1×10^3
合流式下水道からの越流水				
Atlanta, Ga.	100	—	—	1×10^7
Berkeley, Calif.	60	200	100	
Brooklyn, N.Y.	180	—	1,051	
Bueyrus, Ohio	120	400	470	1×10^7
Cincinnati, Ohio	200	250	1,100	
Des Moines, Iowa	115	—	295	
Detroit, Michigan	153	115	274	
Kenosha, Wisconsin	129	464	458	2×10^6
Milwaukee, Wisconsin	55	177	244	
Racine, Wisconsin	119	—	434	
Sacramento, Calif.	165	238	125	5×10^6
San Francisco, Calif.	49	155	68	3×10^6
Washington, D.C.	71	382	622	3×10^6

増加も少ないため最も問題が多いと考えられる。

3.2.6 建設省土木研究所の調査^{31)32) 33)}

土木研究所では昭和42年より都市域における雨水排除方法に関し基礎的な調査研究を進めてきているが、その一環としてわが国における雨天時下水の水質特性を定性的に把握するための実態調査も行なわれてきた。

調査は昭和42年6月より10月にかけて東京都（谷端川）、豊橋市（花田）、名古屋市（田光、千年）、京都市（中部第1）の5ヶ所において行なわれ、比較の意味で岐阜市（清水川）で分流式下水道の雨水排除河川での調査も行なわれた。その結果、雨天時下水の水質の時間的変動について次の諸点が明らかにされている。

① 最大降雨強度と最大水質発生時間比との関係

最大降雨強度が大きいほど最大水質発生時間比は小さくなる。最大降雨強度がある値より小さいと最大水質発生時間比と流出ピーク発生時間比とは一致する。

② BOD最大水質発生時間比とSS最大水質発生時間比

BOD最大水質発生時間比は、SS最大水質発生時間比より一般に小さい。最大降雨強度がある値より小さいと両者は、ほぼ一致しかつ流出ピーク発生時間比とも一致する。

③ BOD 最大水質

最大降雨強度が大きいほど最大水質も大きいようである。降雨前水質値と最大水質値との比率も、最大降雨強度が大きいほど大きいようである。降雨が微弱な場合、水質は、増加せずに漸減する。

④ BOD 最小水質

降雨流出期間の間に必ず最小水質があらわれる。これは、都市域にBOD物質の堆積物がなくなるか、降雨が微弱で堆積物の流送が不可能な場合、流出雨水によって下水が稀釈されるためである。

⑤ SS最大水質

SSの堆積量は、無尽蔵であるといえよう。最大水質は、流出ピークかそれ以前に生ずる。SSの構成は、降雨初期には、有機性成分が多いが、しだいに無機性成分が多くなる。Total SolidとSSとの差はSS最大水質発生時刻近傍では、それ以前および以後より小さくなる。すなわち初期および後期では、平均粒径が小さく、最大水質発生時刻近傍では平均粒径が大きくなっている。

⑥ SSの最小水質

流出前と流出後とは、水質はほぼ等しい。流出期間中は、水質が単調増大・最大・単調減少するのみである。ただ降雨が極めて微弱な場合、流出雨水によって下水が稀釈されるので最小水質があらわれる。しかし、この限界の降雨は、極めて小さいので、それに伴う流出量は少く最小水質を求めることは困難であるし、また意味はない。

⑦ 合流式と分流式雨水きよとの雨天時下水質の差について

合流式下水道の雨天時下水の最大水質は、晴天時より悪いことが多い。しかし最小水質は、極めて良くなる。分流式下水道雨水きよでは、晴天時水質より悪くなるが、最大水質でも合流式下水道の雨天時下水の最小水質程度である。

また、京都地方気象台の降雨資料ならびに晴天時汚水量の実測結果から、晴天時汚水量は夏期0.4～0.95mm/hr、冬期0.39～0.53mm/hrであり、稀釈倍率を3倍とすれば流出係数0.5の場合2.6mm/hr、0.7の場合1.9mm/hrで越流が開始されることが示されている。

これはきわめて低い強度の降雨であり、おそらく放流先河川の水量増は期待できず、とくに渇水期のような局地的降雨の場合は都市域からの高濃度の雨天時下水がそのまま放流河川を流下する可能性のあることを意味している。

3.3 都市域からの雨水流出に伴う水質汚濁

発達した都市域から流出してくる雨水の水質が研究者達に着目された理由は、合流式下水道の改良計画に伴ったものと、水資源の有効利用に関するものとに大別される。

合流式下水道と水質汚濁の問題との結びつきは、すでに述べた通り、下水道の歴史の古い都市において管渠の容量不足に伴って雨水吐等から晴天時にも下水が越流することに端を発した。その後、これら不適切な管渠の改良計画を策定するにあたって行なわれた従来からの稀釈倍数の再検討の際に、雨水吐室等から放流先水域に排出される汚濁負荷量は年間ではかなりの量になることが明らかにされたが、それにもまして、

排出される雨天時下水は1時的にきわめて高い汚濁物質濃度を示すことがわかった。

これら汚濁物質は主として晴天時に管内に堆積したものと推定されているが、雨水流出時に地表面に堆積していた物質が洗い流し出されたものもかなり寄与していることが過去の調査結果から明らかにされている。合流式下水道の雨天時下水水質と晴天時下水水質との対比や合流式下水道を分流式に改造した場合の効果を評価するために行なわれた分流式下水道の雨水系統の水質調査結果からも、地表面流出水の汚濁の程度が無視し得ぬものであることが指摘された。

もし、分流式下水道の雨天時流出水も水質汚濁の原因物質となる可能性があるとするれば、問題を合流式下水道からの雨天時越流水に限定して考察するのは片手落ちになり、広く降雨時における都市域からの流出水全体を包含したマクロな形で検討が必要となってくる。

このことは多くの都市が分流式を採用している米国などにおいては特に重要な意味を持ってくるものであり、今後分流式で下水道整備をはかろうとしているわが国の場合も同様の問題を生起させる可能性がある。米国の連邦水質汚濁防止1972年改正法などでは、したがってこの問題を合流式下水道の改良に限らずに、分流式下水道の雨水系統からの排水合流式下水道からの雨天時越流水のほか、分流式下水道の汚水系統への雨水の漏入や地下水の異常浸入によるポンプ場や下水処理場でのバイパス放流水、さらには不特定地点からの汚濁物質の流入を含めた広範囲な都市域からの流出水 (Urban Runoff) を取扱うものとしてとらえようとしている。

第2の視点は水資源の有効利用の面からである。すでに大都市においては降雨として直接に補給される量に比べればはるかに大きな水量を生活や事業活動に使用しており、しかもそれらは使用された後「下水」としてすみやかに排除するような努力がなされてきた。

雨水についても、主として都市内の防災上の見地から、これもまた可能な限り積極的に排除することが原則であった。

しかし、このことが水資源の有効利用の立場からすれば全くそぐわぬことは明らかであり、すでに下水処理水の再利用の動きが具体化してきている。雨水についてもレクリエーション用水や地下水かん養のために利用することが提唱され、砂質土地域など浸透能の大きいところでは地下滞留池などが一部実施に移されていると報告されている。

このためには雨水の汚染の程度、処理の可能性を十分把握し衛生工学的な措置を十分行なっておかなければならない。

都市域の地表面を洗滌しながら流下してくる雨水流出水が、かなりの汚濁物質を含んでいることは、すでにPalmer などにより指摘されている⁵⁾

米国に限らず世界各地でもこの種の調査が行なわれており、Weibelらは文献調査によって次のような報告を行なっている。^{34) 35)}

英国のOxney 市における248 haの地域での観測結果(1954年)ではBODは100mg/l、SSは2,045 mg/lにもおよび、8~10日程度までは晴天が続くほどBODは増加する傾向があったが、それ以上晴天日が継続しても余り増加はなかった。いわゆる初期流出は長期間晴天が続いた場合以外は顕著ではなかった。

ソ連での調査結果ではMoscow 市(1936年)でBOD186~285mg/l, SS1000~3500mg/l, またLeningrad 市(1848~1850年)ではBOD36mg/l, SS14,541mg/l であった。

Sylvester がSeattle 市に面したGreen 湖の再生のための調査の一環として行なった街渠の水質調査結果(1959~1960年)ではBOD10mg/l以下, 有機性窒素9.0mg/l以下, アンモニア性窒素2.8mg/l以下, 溶解性リン784 μ g/l以下, 総リン(Pとして)1400 μ g/l 以下であり, 先行降雨が少なかった場合に汚濁が著しかった。

スエーデンのStockholm市での調査(1945~1948年)では夏期の降雨の平均値は一般細菌数4000個/100ml, COD188mg/l, 蒸発残留物300mg/l, BOD17mg/l であり, また冬期試料の最大値は細菌200,000個/100ml, COD3100mg/l, 蒸発残留物3000mg/l, BOD80mg/l であった。

南ア連邦のPretoria 市の住宅地, 公園, 学校, 運動場のような地域では, 大腸菌群数240,000個/100ml, 有機性窒素5.4mg/l, COD29mg/l, 溶解性物質228mg/l, BOD30mg/l, また平均的な商業地では大腸菌群数230,000個/100ml, 有機性窒素3.5mg/l, COD28mg/l, 溶解性物質154mg/l, BOD34mg/l であった。

これらの報告は, いずれも分流式下水道での雨水流出水が少なくとも下水処理場からの二次処理水, ないしはそれ以上の汚濁物質濃度を示す場合があることを明らかにし, 汚濁源の一つとなり得ることを示唆しているが, いずれも断片的なものであり, 水文学的資料に欠けているため負荷量としての把握が困難である。

このためWeibelらは, Cincinnati 市の住宅準商業地区に11haの試験地を設け, 分流式下水道の雨水管を利用して調査を行なった³⁵⁾。その結果は表3.2.3*の通りであり, 平均水質はSS227mg/l, VSS

表3.2.3 Ohio州Cincinnatiの住宅, 商業地(11hr)からの雨水流出水中の成分³⁸⁾(1962年7月-1964年7月)*

成 分	範 囲	降雨時平均
濁 度(J.u.)	30-1,000	176
色 度(C.u.)	10-460	87
pH	5.3-8.7	7.5
アルカリ度(mg/l)	10-210	59
総硬度(CaCO ₃ として)(mg/l)	19-364	81
塩化物(mg/l)	3-428	12
SS(mg/l)	5-1,200	227
VSS(mg/l)	1-290	57
COD(mg/l)	20-610	111
BOD(mg/l)	1-173	17
総窒素(mg/l)	0.3-7.5	3.1
無機性窒素(mg/l)	0.1-3.4	1.0
加水分解性リン酸塩(mg/l)	<0.02-7.3	1.1
有機塩素(μ g/l)†	0.38-4.72	1.70

* 1963年1月~3月分を含まず。

† 4態の窒素の算術合計

‡ 1963年8月-1964年2月の11の降雨より

57 mg/l, COD 11 mg/l, BOD 17 mg/l, 無機窒素 1.0 mg/l, 正リン酸塩 1.1 mg/l, および有機塩素 1.7 μ g/l であった。

SSは生下水の, BODは二次処理水の濃度とほぼ等しいが, SS中のVSSの占める割合は生下水が 70%であるのに対して雨水流出水では 25%とかなり低い値であった。

また大腸菌群数は全試料の 90%が 2900 MPN/100 ml 以上の数値を示した。これは米国の水泳基準である 1000 MPN/100 mlをはるかに超えており, レクリエーション水域に直接放流するには問題があることが見出されている。

有機物, 栄養塩類などについての負荷量を求め人口 22 人/haの地域の晴天時下水による負荷量と比較した場合表 3.2.4* の割合で流出してくる結果となり, 降雨時には無処理下水に等しい BOD 負荷量が流出することが示されている。

表 3.2.4 Cincinnati における雨水流出に伴う負荷量と下水負荷量との比較³⁵⁾ (降雨時および年間)

	下水生成負荷*				下水負荷に対する雨水流出による負荷の割合	
	lb/日/エーカー	kg/日/ha	lb/年/エーカー	kg/年/ha	降雨時 †	年間 ‡
SS	1.5	1.68	540	605	2,400	160
COD	2.6	2.91	960	1075	520	33
BOD	1.5	1.68	540	605	110	7
全加水分解性リン酸塩 (PO ₄)	0.19	0.21	68	76	70	5
全窒素 (N)	0.23	0.26	82	92	200	14

* 生下水の場合は, 人口密度 9 人/エーカー (22 人/ha), 流量 100 gpd (0.38 m³/日) を基礎として計算した。生下水 (主として家庭下水) の濃度は SS 200 mg/l, COD 350 mg/l, BOD 200 mg/l, PO₄ 25 mg/l, 総窒素 30 mg/l, と仮定した。

† 降雨時の雨水流出に伴う負荷の計算は試料が得られた降雨すべてについて合計して単位面積当りの重量 (lb/エーカー) を求め, これを総降雨時間で 24 時間単位に分け, 降雨流出時の割合を比較するため, 下水日間負荷量に対する比で示した。

‡ 年間の雨水流出に伴う年間負荷量の計算は, 試料が得られた降雨すべてについて単位面積当りの重量 (lb/エーカー) として求め, これを総降雨量で除した後 (Cincinnati の年間降雨量である) 39.5 in (1,000 mm) を乗じて年間に変換した。これをさらに下水年間負荷量との比で示すことにより, これと比較した。

Stockholm市で行なわれた調査結果では, 市街地の雨水流出に伴う汚濁物質量は SS 200 倍, BOD 2 倍, 栄養塩類は 0.15 倍であった。合流式下水道における雨天時下水の負荷量と比較した場合は SS 量は

* 文献 34) と 35) の同種の表の数値には若干の相異が見られるが, 文献 35) の方が発表年度が後であるのでこちらの数値を引用した。

著しく多く、BOD、窒素は同程度、リンは10%であった。³⁶⁾

Detroit 市やWashington, D.C. における調査結果は前に述べた通りであるが主要部分は表 3.8 ~ 3.10 および表 3.18 の通りである。

またOklahoma 州 Tulsa 市での調査ではBOD、COD、TOCなど有機性汚濁物質の濃度はそれぞれ8~18mg/l, 42~138mg/l, 15~48mg/l であった。栄養塩類ではケルダール窒素は0.39~1.48mg/l で、人口密度が低く環境条件の良い住居地域の方が高い平均値を示したのに対し、溶解性オルトリン酸は平均で0.67~3.49mg/l で、軽工業地帯からの排水が高い値を示した。SS量は生下水に比べ10~20倍以上の値になっていた。³⁷⁾

Tulsa 市での調査結果を要約したものが表 3.25 である。大腸菌群数およびSSでの値の変動が大きかった。³⁹⁾ 年間平均の雨水による汚濁物質負荷の計算結果は表 3.26 の通りであった。また都市域から排出される総汚濁負荷量に対する割合を求めた結果では、雨水流出に伴って排出される汚濁物質がかなりの量になることが示されている。³⁷⁾

表 3.25 Oklahoma 州 Tulsa 市の13の試験地における雨水
流出水の水質³⁹⁾

項 目	試験地間の平均	各試験地での平均値の範囲
細菌数, number/100ml ^a		
一般細菌	87,000	5,000-400,000
大腸菌	420	10-18,000
連鎖状球菌	6,000	700-30,000
有機物, mg/l		
BOD	11.8	8-18
COD	85.5	42-138
TOC	31.8	15-48
栄養塩, mg/l		
ケルダール性窒素	0.85	0.36-1.48
溶解性オルトリン塩	1.15	0.54-3.49
固形物, mg/l		
総量	545	199-2,242
浮遊性	367	84-2,052
溶解性	178	89-400
その他		
pH	7.4	6.8-8.4
塩分, mg/l	11.5	2-46
比電導率, micromhos/cm	108	36-220

a 幾何平均

表 3.26 Oklahoma 州 Tulsa 市における都市域からの
年間排出汚濁負荷量³⁷⁾

項 目	範 囲 lb /エーカー /年		総汚濁負荷量* に対する比
	最 低	最 高	
B O D	12	48	19
C O D	60	470	32
ケルダール窒素	0.8	3.6	32
溶解性オルトリン酸塩	1.1	8	4
固 形 物 量	470	5100	84

* 下水処理場流出水による負荷+雨水流出水による負荷量

California 州 Castro Valley の住居地域で USGS が 1971 年から 1972 年にかけて調査した 7 降雨の結果は表 3.27 の通りであった。³⁹⁾ この排水区は 1300ha で人口密度は 11 人 / エーカー (27 人 / ha) であり区域の 85% が都市化している。表 3.26 に示した結果に対して「雨期の降雨初期やかなり晴天が続いた後には高い BOD 値が記録されている。高い BOD の場合は DO 濃度も減少する」と考察している。

EPA の資金援助の下に全米各地で行なわれた調査結果から得られた都市域での雨水流出水の平均的水質は表 3.28 の通りである。^{38) 39)} この表にはわが国における観測結果も示してある。わが国の結果も含め、雨水流出水の水質にはかなりの変動巾があるが、BOD に関する限りではほぼ 2 次処理水の水質に近似していると見てよい。この点からすると神戸市の値はかなり高い範囲に属する。

また表 3.29 は、これまでに報告されている都市域からの雨水流出に伴う汚濁負荷量であるが、わが国での観測結果は外国の例に比べ 1 桁高いものとなっている。これは恐らく年間降雨量の多少によるものと考えられるが、今後確認が必要であろう。

いずれにしても、これら汚濁物質の多くは、

- 1) 大気中に存在する天然のガスの雨水中への溶解
- 2) 生産活動に起因する溶解性ガスおよび粉塵の雨水中への溶解
- 3) 地表面から洗い出された物質、たとえば生物学的な分解が進行している植物のような有機性物質、固形物に付着した微生物、粘土・シルトなどの鉱物、分解途中の動植物からの抽出物、殺虫剤や肥料の残り

などであり、したがって合流式下水道における雨天時下水に比べ、より地域的な相異があると考えられる。

表3.27 California 州 Castro Valley Creek における5平方マイル(13km²)の排水区域からの雨水流出水の水質⁸⁹⁾

			San Francisco 湾 ^{a)} 1960-1964			Castro Valley Creek									
			South Bay	Lower Bay	Upper Bay	71-11-11	71-11-13	71-12-2	71-12-9	71-12-22	71-12-27	72-1-25	72- 4- 5		
温 度 ℃	最 低	9.3	10.7	14.5	14.5	13.0	9.5	8.5	11.0	8.0	7.5	15.0			
	平 均	16.3	14.8		15.0		10.5	10.5		9.0	8.5				
	最 大	24.0	21.0		10.5		10.5	9.0		8.5					
pH	最 低	7.2	7.8	7.7	6.7	6.7	5.4	6.6	6.0	6.6	6.2	7.2			
	平 均	7.6	7.9		7.0	6.9	6.4	7.4	6.4	6.9	6.8				
	最 大	8.0	8.1		7.0	6.9	6.4	7.4	6.4	6.9	6.8				
DO, mg/l	最 低	0.7	7.0	7.9	4.4	8.1	9.5	9.0	9.4	10.4	—	6.4			
	平 均	5.1	7.4		5.1		10.3	9.6	10.0			6.9			
	最 大	8.3	8.5		5.1		10.3	9.6	10.0			6.9			
DO, 飽 和	最 低	9	81	77	43	84	79	85	88	—	63	76			
	平 均	55	90		50	90	86	90			68				
	最 大	92	99		50	90	86	90			68				
BOD ₅ mg/l	最 低	0.5	0.4	.8	44	—	4.0	10.0	1.7	1.7	4.7	2.6			
	平 均	10	0.8				9.5	11.0	5.0	2.2	6.0	37.0			
	最 大	48	1.5				9.5	11.0	5.0	2.2	6.0	37.0			
アンモニア性窒素 mg/l	最 低	—	0.06	.1	1.2	.4	.3	.1	2	.1	.3	.3			
	平 均	3	0.12		2.3	.6	.7	.4	3	.2	.4	1.0			
	最 大	11	0.21		2.3	.6	.7	.4	3	.2	.4	1.0			
硝酸性窒素 mg/l	最 低	0.05	0.08	.3	0	1.5	.6	.3	1.8	1.8	.6	0			
	平 均	0.35	0.34		1.4	1.7	1.2	3.3					2.3	.9	4.2
	最 大	1.1	0.55		1.4	1.7	1.2	3.3					2.3	.9	4.2
溶解性シリカ mg/l	最 低	2.3	2.9	6.5	7.1	3.3	1.5	12.0	2.2	7	3.1	7.6			
	平 均	8.7	5.4		7.1	3.3	1.5	12.0	2.2	7	3.1	7.6			
	最 大	16	7.7		7.1	3.3	1.5	12.0	2.2	7	3.1	7.6			
一般細菌数 MPN/100ml	最 低	10	10	1,000	—	—	16,000	4,200	9,500	5,200	*	16,000			
	平 均	20,000	500					41,000	12,500	16,200		63,000			
	最 大	3×10 ⁵	30,000												

a "Interim Water Quality Control Plan, San Francisco Bay Basin," California Regional Water Quality Control Board, San Francisco Bay Region, June 1971. より引用

* 不 確 定

表 3.3 8 分流式下水道における雨天時下水の水質^{a) 38) 39)} (一部加筆)

調査の種類・都市名 調査年	BOD ₅ , mg/l		COD, mg/l		DO, mg/l	SS, mg/l		一般細菌数 MPN/100ml		総窒素 mg/l asN	総リン mg/l as P
	平均	範囲	平均	範囲	平均	平均	範囲	平均	範囲	平均	平均
生下水水質	200	100-300	500	250-750	—	200	100-350	5×10 ⁷	1×10 ⁷ -1×10 ⁸	40	10
処理水水質											
一次処理水	135	70-200	330	165-500	—	80	40-120	2×10 ⁷	5×10 ⁶ -5×10 ⁸	35	7.5
二次処理水	25	15-45	55	25-80	—	15	10-30	1×10 ³	1×10 ² -1×10 ⁴	30	5.0
雨 水											
Ann Arbor, Mich., 1965 [21]	28	11-62	—	—	—	2080	650-11900	—	—	3.5	1.7
Castro Valley, Calif., 1971-72	14	4-37	—	—	8.4	—	—	2×10 ⁴	4×10 ³ -6×10 ⁴	1.9 ^b	—
Des Moines, Iowa, 1969	36	12-100	—	—	—	505	95-1053	—	—	2.2	0.87
Durham, N.C., 1968	31	2-232	224	40-660	—	—	—	3×10 ⁵	3×10 ³ -2×10 ^{6c}	—	0.18
Los Angeles, Calif., 1967-68	9.4	—	—	—	6.9	1015	—	—	3×10 ³ -2×10 ⁶	—	—
Madison, Wis., 1970-71	—	—	—	—	—	81	10-1000	—	—	4.8	1.1
New Orleans, La., 1967-69 d	12	—	—	—	4.5	26	—	1×10 ⁶	7×10 ³ -7×10 ⁸	—	—
Roanoke, Va., 1969	7	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—
Sacramento, Calif., 1968-69	106	24-283	58	21-176	—	71	3-211	8×10 ⁵	2×10 ⁴ -1×10 ^{7c}	—	—
Tulsa, Okla., 1968-69 [37]	11	1-39	85	12-405	—	247	84-2052	1×10 ⁵	1×10 ³ -5×10 ⁸	0.3-1.5 ^c	0.2-1.2 ^f
Washington, D.C., 1969 [10][27]	19	3-90	335	29-1514	—	1697	130-11280	6×10 ⁵	1×10 ⁵ -3×10 ⁸	2.1	0.4
Cincinnati, Ohio, [35]	17	1-173	111	20-610	—	227	5-1200	—	—	3.1	1.1 ^f
岐阜市、清水川	8.2	3.2-14.3	—	—	—	111.5	9-476	—	—	—	—
神戸市内	78.3	9.5-980	—	—	—	436.1	13.4-2561	—	—	10.6 ^e	0.69

注 a) この数値は調査方法、試料数、その他の条件が異なるものをそれぞれ列記したものであり、これを特定の目的に使用する場合は原文を参照されたい。土木研究所で入手した文献についてはそれぞれ引用番号を付した。

b) アンモニア+硝酸のみ

c) 腸菌のみ

d) 1 採水地点での中間値

e) 有機（ケルダール）性窒素のみ

f) 溶解性オルトリンのみ

表 3.29 雨水流出に伴う都市域からの汚濁負荷量

都市名 成 分	Cincinnati ³⁵⁾		San Francisco ^{*24)}		Stockholm ³⁶⁾		Tulsa ³⁷⁾		岐阜市		神戸市	
	kg/ha/年	1降雨当り kg/ha/日	Selby通 kg/ha/年	Laguna通 kg/ha/年	35人/ha kg/ha/年	100人/ha kg/ha/年	最 低 kg/ha/年	最 高 kg/ha/年	1降雨当り kg/ha	kg/ha/年	1降雨当り kg/ha	kg/ha/年
B O D	42	1.85	28	32	14	43	13.4	54	1.13	127.2	4.75	397.9
C O D	355	15.1	211	244			67	526				
S S	968	40.3	638	560	173	620	263 ^{**}	2856 ^{**}	15.6	1740.8	23.5	2214.9
V S S			140	162					13.4		8.25	695.5
											1.10	
N	12.9	0.52	7.8	9.2	1.4	3.5	1.00	4.0			0.59	54
PO ₄	3.8	0.15	2.2	2.6								
P					0.04	0.16					0.034	3.51

* Cincinnati における流出負荷原単位および San Francisco での調査地点における年間 1 人当り流出量より求めた。

** 固形物量の 50%と仮定した。

<第3章の参考文献>

- 1) 「東京市下水道改良実施調査報告書」東京市, 大正13年3月, (東京都下水道局計画部復刻版)
- 2) McKee, J.E., "Loss of Sanitary Sewage Through Storm Water Overflow", Jour. Boston Society of Civil Engineers, 34, 2, 55 (Apr. 1947)
原文が入手できなかったため "Pollutional Effects of Storm Water and Overflows from Combined Sewer Systems — A Preliminary Appraisal — " PHS 資料, Nov. 1964 の要約を引用した。
- 3) 杉戸「降雨時の下水処理に関する一研究」水道協会誌, 昭19年8月号
- 4) 杉戸「降雨時の下水処分」水道協会誌, 昭22年1月号
- 5) C.L. Palmer "The Pollutional Effects of Storm-Water Overflows from Combined Sewers" S. & I.W., Feb. 1950.
- 6) C.L. Palmer "Feasibility of Combined Sewer Systems" J.WPCF., Feb. 1963.
- 7) E. Riis-Canstensen "Improving the Efficiency of Existing Interceptors" S. & I.W., Oct. 1955.
- 8) C.F. Johnson "Nation's Capital Enlarges its Sewerage System" Civil Engineering, June 1958.
- 9) C.F. Johnson "Equipment, Methods, and Results from Washington D.C., Combined Sewer Overflow Studies" J.WPCF, July, 1961.
- 10) G.J. Moorehead "Overflows from Combined Sewers in Washington, D.C." J.WPCF, July, 1961.
- 11) T.R. Camp "Overflows of Sanitary Sewage from Storm Water" S. & I.W., Apr. 1959.
- 12) T.R. Camp "Chlorination of Mixed Sewage and Storm Water" J. ASCE, SAI, Jan. 1961.
- 13) S.G. Hess, F.G. Manning "A Rational Determination of Storm Overflows from Intercepting Sewers" S & I.W., Feb. 1950.
- 14) W.G. Shifrin, W.W. Horner "Effectiveness of the Interception of Sewage-Storm Water Mixtures" J.WPCF, June, 1961.
- 15) H.H. Benjes 他 "Storm-Water Overflows from Combined Sewers" J.WPCF. Dec., 1961.
- 16) E.E. Bloss "Design Criteria for Interceptor Sewers for St. Louis" J. ASCE, SA.4, Aug. 1966.
- 17) A.L.H. Gameson, R.N. Davidson "Storm-Water Investigations at Northampton" Jour of Institute of Sewage Purification, 1963. Part. 2
- 18) R.N. Davidson, A.L.H. Gameson "Field Studies on the Flow and Composition

- of Storm Sewage" Symposium on Storm Sewage Overflows. Institution of Civil Eng. 1967.
- 19) W. J. Benzie, R. J. Conrchaine "Discharges from Separate Storm Sewers and Combined sewers" J. WPCF, March, 1966.
 - 20) R. J. Burm, R. D. Vaughan "Bacteriological Comparison between Combined and Separate Sewer Discharges in Southeastern Michigan" J. WPCF, March, 1966.
 - 21) R. J. Burm, D. F. Krawczyk, G. L. Harlow "Chemical and Physical Comparison of Combined and Separate Sewer Discharges" J. WPCF, Jan., 1968.
 - 22) Geldreich, E. E., Clark, H. F., & Huff, C. B., "A Study of Pollution Indicators in a Waste Stabilization Pond" J. WPCF, Nov., 1964
 - 23) E. E. Geldreich, L. C. Best, B. A. Kenner, & D. J. Van Donsel "The Bacteriological Aspects of Stormwater Pollution" J. WPCF, Nov., 1968
 - 24) D. W. Eckhoff, A. O. Friedland, & H. F. Ludwig "Characterization and Control of Combined Sewer Overflow, San Francisco" Water Research Vol. 3, 1969.
 - 25) J. A. DeFilippi, "Assessment of Alternative Methods for Control/Treatment of Combined Sewer Overflows for Washington, D. C." Combined Sewer Overflow Seminar Papers. Nov., 1969 (FWPCA 資料, PB 199361)
 - 26) J. A. DeFilippi, C. S. Shih "Characteristics Separated Storm and Combined Sewer Flows" J. WPCF, Oct., 1971
 - 27) たとえば R. F. Weston, Inc "Conceptual Engineering Report ; Kingman Lake Project" Oct., 1970, (FWQA 資料, Prog. No 11023)
斎藤, 訳「(資料) 雨天時下水処理水の積極的利用——キングマン湖計画の概念的技術報告書——」
下水協誌, 昭 49 年 3 月
 - 28) "Stream Pollution and Abatement from Combined Sewer Overflows Bucyrus, Ohio" FWQA 資料 11024 FKN, Nov. 1969
 - 29) R. F. Noland, D. A. Decarlo "Stream Pollution & Abatement from Combined Sewers Bucyrus, Ohio" Combined Sewer Overflow Abatement Technology PP 291-331, FWQA 資料, June, 1970
 - 30) The Dow Chemical Co. "Chemical Treatment of Combined Sewer Overflows"
 - 31) 「雨天時下水の排除の合理化に関する調査(参考編)」建設省土木研究所資料第 36 号, 昭和 43 年 3 月
 - 32) 「雨天時下水の排除の合理化に関する調査研究報告(本論編)」建設省土木研究所資料第 435 号, 昭和 44 年 3 月
 - 33) 稲場「雨天時下水の水質変動の理論と実態」第 5 回土木研究所研究発表会講演集, 1968 年 4 月
 - 34) S. R. Weibel, R. J. Anderson, and R. L. Woodward "Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution" J. WPCF, July 1964

- 35) S.R. Weibel, R.B. Weidner, A.G. Christianson, & R.J. Anderson "Characterization, Treatment, and Disposal of Urban Stormwater" 第3回国際水質汚濁研究会議論文
- 36) G. Söderlund & H. Lehtinen "Comparison of Discharges from Urban Storm — Water Run-off Mixed Storm Overflow and Treated Sewage" 第6回国際水質汚濁研究会議論文.
- 37) J.G. Cleaveland, R.H. Ramsey, & P.R. Walters "Storm Water Pollution from Urban Land Activity" Combined Sewer Overflow Abatement Technology, June 1970 FWQA資料.
- 38) F.J. Condon "Storm and Combined Sewer Abatement Technology in the United States — An Overview —" EPA, Feb. 1974, (第3回日米下水処理技術委員会資料).
- 39) J.A. Lager, W.G. Smith "Urban Stormwater Management and Technology: An Assessment (Draft)" Dec. 1973, EPA資料.
- 40) 「技術の歴史 8 卷」 16 章衛生工学, 筑摩書房.

第4章 雨天時下水の水質特性に関する調査

4.1 はじめに

公共用水域の水質汚濁に対する住民関心が深まると同時に、環境保全に対する要求も増大するようになった。その結果従来考慮されなかったものや、見逃されてきた汚濁源などに対しても関心が払われるようになった。合流式下水道からの雨天時の越流水もその一つである。欧米の調査結果では年間に下水処理場からの汚濁負荷量に相当するものを排除するとされているこの「汚濁源」は、下水道の普及や下水の処理程度が低かった時代には見逃されてきた。

このことは、反面これまでの水質汚濁に対する関心が晴天時下水、すなわち「汚水」の処理にのみ注がれ、都市域に存在するすべての汚濁源に対して均衡のとれた配慮がなされていなかったことを示すものであろう。

しかし、今や高度処理すら必要とされる時代に至っており、都市域から下水の処理過程を経ずに公共用水域へ汚濁物質を排除する源、すなわち合流式下水道からの雨天時越流水、分流式下水道の雨水系統からの流出水、ポンプ場や下水処理場からのバイパス放流水などのほか自然汚濁と称されるものに至るまでを総括的にとらえ、それぞれの水質汚濁への寄与の程度を適正に評価し、それぞれに対する対応策をなさねばならぬ時期に来ている。

このような検討を行なうに当たっては、先ずなによりもこれらの汚濁源から排除される汚水の、晴天時の汚水、ないしは下水処理場からの放流水とは異なる水質特性を十分把握しておくことが必要である。またその対応策、すなわち、汚濁量の削減、汚濁物質排除の制御等すなわち雨天時下水の処理を検討するためにも、その水質的な特性を知ることが最も重要な要素となる。

主として米国におけるこれまでの調査から、雨天時下水に関しては次の諸点が指摘されている。¹⁾

- 1) 雨天時下水の場合は多量の汚濁負荷が短時間に排除されるため、水質のみでなく負荷量の変化も考慮しなければならない。通常の条件下では水質の変動巾よりも水理的（水量的）な変動巾の方が大きいので、汚濁物質の負荷の変化は流量変動、ひいては降雨強度に左右される。
 - 2) 一般に放流河川での酸素消費量は晴天時に比べ大きく、したがってその影響は下流まで及ぶことを考慮しなければならない。
 - 3) 水質の変動巾が大きいため、汚濁負荷量等の検討の際には晴天時下水に比べ試料の採取を十分慎重に行なわなければならない。
 - 4) 雨天時下水には自動車排気に伴う物質、殺虫剤、肥料等日常生活以外の活動に起因する有害物質が含まれている可能性があり、分析項目および分析方法は晴天時下水の場合とは異なった配慮が必要である。
- 一方、前述のようにわが国においては雨天時下水の特性に関する検討は十分行なわれなかったが、最近ではこのような下水処理計画ではこれまで対象外とされてきた汚濁源にも検討を加える必要性が認められてきている。（第2章参照）

本章では、このために必要な基礎的因子となる雨天時下水の水質特性を見極める手段の一つとして、わが国においてこれまでに得られた調査結果、ならびに現在土木研究所が実施している現地調査の結果を検討し、

若干の考察を加えてみることにする。

4.2 調査方法

4.2.1 既調査の概要

土木研究所では昭和42年から43年にかけ建設本省と地方公共団体の協力を得て全国の8排水区において雨水流出に関する現地調査を行ってきた。²⁾ 排水区の概要は表4.1の通りである。この調査では晴天時、雨天時の水質調査も合せて行なったが、各調査方法は表4.2の通りであった。今回はこのうち京都市中部第1排水区、名古屋市千年南部、田光および岐阜市清水川の4排水区の場合について検討した。

京都市中部第1排水区は図4.1に示した通り鳥羽処理区に属し、京都市市街地の北端に位置している。排水区域内はおおむね住宅地であり、学校、寺院などが存在している。

名古屋市田光幹線排水区は山崎処理区内浜ポンプ場排水系統に属し、中級の住宅地として開けたところである。調査当時の人口密度は193haで水洗便所普及率88%であった。また千年南部幹線排水区は名古屋港背後地の一部であり商業、準工業地域がほぼ大半を占めている。人口密度は151.5人/ha、水洗便所の普及率は63%とやや低い。

岐阜市清水川は元来農業用水路として築造されたものであるが、現在は岐阜市内の中心市街地の雨水排除のために転用されており、岐阜市内の雨水のかかなりの部分が流下してきている。上流端の長良川からの取入口は閉塞されたが市街地からの雑排水、冷房用水等が流入しており、晴天時でも流量がある。排水区的位置を図4.2に示した。

もう一つの資料は東京都の委託により日本下水道協会内に設置された調査委員会が東京都谷端川幹線で行なったものである。^{3) 4) 5)} この排水区は表4.1にあるものと同一の個所であり、現在でも土木研究所が調査を継続している。

谷端川排水区は東京都区部の北西部に位置し、小台処理区に属する。排水区域の概要を図4.3に示した。昭和45年度の土木研究所の調査では排水区域の特性は表4.3の通りであり、排水区域内のほとんどは住宅地で、不透水面積率は約53%であった。⁶⁾

水質調査は谷端川幹線の最下流で、東武電鉄東上線下板橋駅附近に土木研究所が設置した流量観測所附近で行なった。調査地点を写真4.1に示す。試料の採取作業は流量観測用人孔より人力で行ない、原則として降雨開始より30分までを2分間隔で採水、以下5分、10分と適宜採水間隔を長くした。流量は水位観測所の記録から既知のH-Q曲線を用いて求めた。

水質の分析項目および分析方法は次の通りである。

BOD：ウインクラ法、溶解性BOD：東洋濾紙No.5Aで濾過したものにつきウインクラ法、浮遊物質：濾紙法、揮散性物質：重量法、総窒素：ケルダール法、リン酸塩：モリブデン酸アンモニウム法、大腸菌群数：MPN法、

4.2.2 現調査の概要

土木研究所では、これまでの雨天時下水に関する資料の不足を補うため昭和48年度より東京都谷端川排水区（合流式下水道）および神戸市花隈地区（分流式雨水渠）において調査を行なっている。

表 4.1 土木研究所が行なった調査の対象排水区概要 2)

調査年度	都市名	調査排水区名	用途地域名称	総面積 (ha)	工 種 別 面 積				総人口 (人)	人口 密度 (人/ha)	平 均 勾 配		晴天時 平 均 汚水量 (mm/ha)	晴天時平均水質		総戸数	水洗化 戸 数	水洗化 人 口	最長降 雨継続 日 数	最長無 降雨継続 日数
					(a)	(b)	(c)	(d)			地盤	水路		BOD	SS					
昭42及び 43 年 度	東京都	谷端川幹線	住宅・住 居専用・ 準工業・ 特別工業 他	540.6	(0.55) 295.2	(0.45) 245.4			120,000	222.1	14.8	2.7	0.65	134.6	184.9	41,807	—	—	33	50
昭42年度	豊 橋 市	花 田	工 業	105.1	(0.34) 357.66	(0.10) 10.16	(0.50) 52.40	(0.06) 6.74	12,160	116	9.0	1.7	0.71	122	160	2,945	2,060	10,140	—	—
昭42年度	名古屋市	田 光 幹 線	住 宅	51.4	(0.31) 15.70	(0.08) 4.18	(0.54) 27.74	(0.07) 3.74	9,920	193	7.3	2.3	0.56	56.9	84.6	2,832	2,492	8,730	45	40
昭42及び 43 年 度	名古屋市	千年南部幹線	港 湾	81.2	(0.55) 44.59	(0.02) 1.62	(0.38) 30.52	(0.05) 4.5	12,317	152	1.49	1.612	0.68	63.4	51.1	3,342	1,700	7,768	45	40
昭42及び 43 年 度	岐阜市	滑 水 川	商 業	106.4	(0.73) 78.0	(0.07) 7.0	(0.13) 14.0	(0.07) 7.4	24,568	231	1	1.7	0.812	7.02	42	6,462	4,943	19,831	32	37
昭42年度	京 都 市	中 部 第 1 (河原町系統)	住 宅	67.8	(0.44) 29.65	—	(0.28) 18.94	(0.28) 19.20	16,945	250	7.899	3.6	0.23	150.6	71	3,728	2,233	10,149	22	21
昭43年度	豊 橋 市	八 町	商 業	68.4	(0.42) 28.64	(0.36) 24.66	(0.19) 13.07	(0.03) 2.00	10,973	160	5.5	1.2	1.80	102	124	2,297	2,094	9,910	—	—
昭43年度	京 都 市	中 部 第 1 (堀川系統)	工 業	153.0	(0.48) 72.8	(0.15) 23.6	(0.34) 52.5	(0.03) 4.1	37,205	243	8.2	2.52	1.27	153.5	69	8,185	4,671	21,230	22	21

(注) (1) 工種面積区分は、次のとおりとする。

- 建 物 (屋根)
- 簡易舗装・高級舗装道路・駐車場等
- 未舗装道・間地・鉄道構内・運動場等
- 公園・芝生・庭園・畑土等

(2) ()内は、面積比率である。

(3) 総人口は、住民登録人口

(4) 晴天時平均汚水量、晴天時平均水質は、通日観測による日平均値

(5) 地盤平均勾配算定は、次式による。 $S = \frac{DL}{A}$ 但し、S: 地盤平均勾配, D: コンタ間隔
L: コンタ総延長, A: 総 面 積

(6) 水路平均勾配は、幹線管渠の平均布設勾配である。

(7) 総戸数のうち東京都の値は、総世帯数

(8) 最長降雨継続日数、最長無降雨継続日数は、該当市の気象台設置以来の観測記録による。

表 4.2 土木研究所が行なった雨天時下水の水量・水質調査方法²⁾

調査項目	雨 天 時 観 測				晴 天 時 観 測	
	雨量観測	流 量 観 測		水質観測	流量観測	水質観測
		水位観測	流速観測			
観測方法	調査区域のほぼ中央に貯水型日巻き自記雨量計を設置し常時観測。降雨時で流量観測を実施する時に現場に貯水型 6 時間巻き自記雨量計を設置し現場観測。	観測マンホールの基準点より水面までの距離を水面測定器で観測。水位上昇時は、2～3 分間隔、水位下降時は 5 分間隔程度で観測。	水位 10 cm 間隔ごとに蛍光浮子により観測。断面内 1 点で観測。上流マンホールより浮子投入、下流の 2 つのマンホールで流下時間を測定。	水位観測と同時刻に採水する。断面内 1 点で採水する。分析項目は、BOD ₅ 、SS、VSS で、分析方法は 1964 年版「下水試験法」日本水道協会編による。	表面浮子によって流速観測。1 時間間隔で水位観測。通日観測である。	1 時間間隔に水位観測と同時に採水。他は、雨天時観測と同様である。
観測場所の条件	(1) 背水のかからない所で 100 m 程度直線・定勾配水路。 (2) 横からの流入が少ない水路。 (3) 勾配は 1～3 ‰ 程度が望ましい。 (4) 上流域の面積が 100 ha 程度が望ましい。					

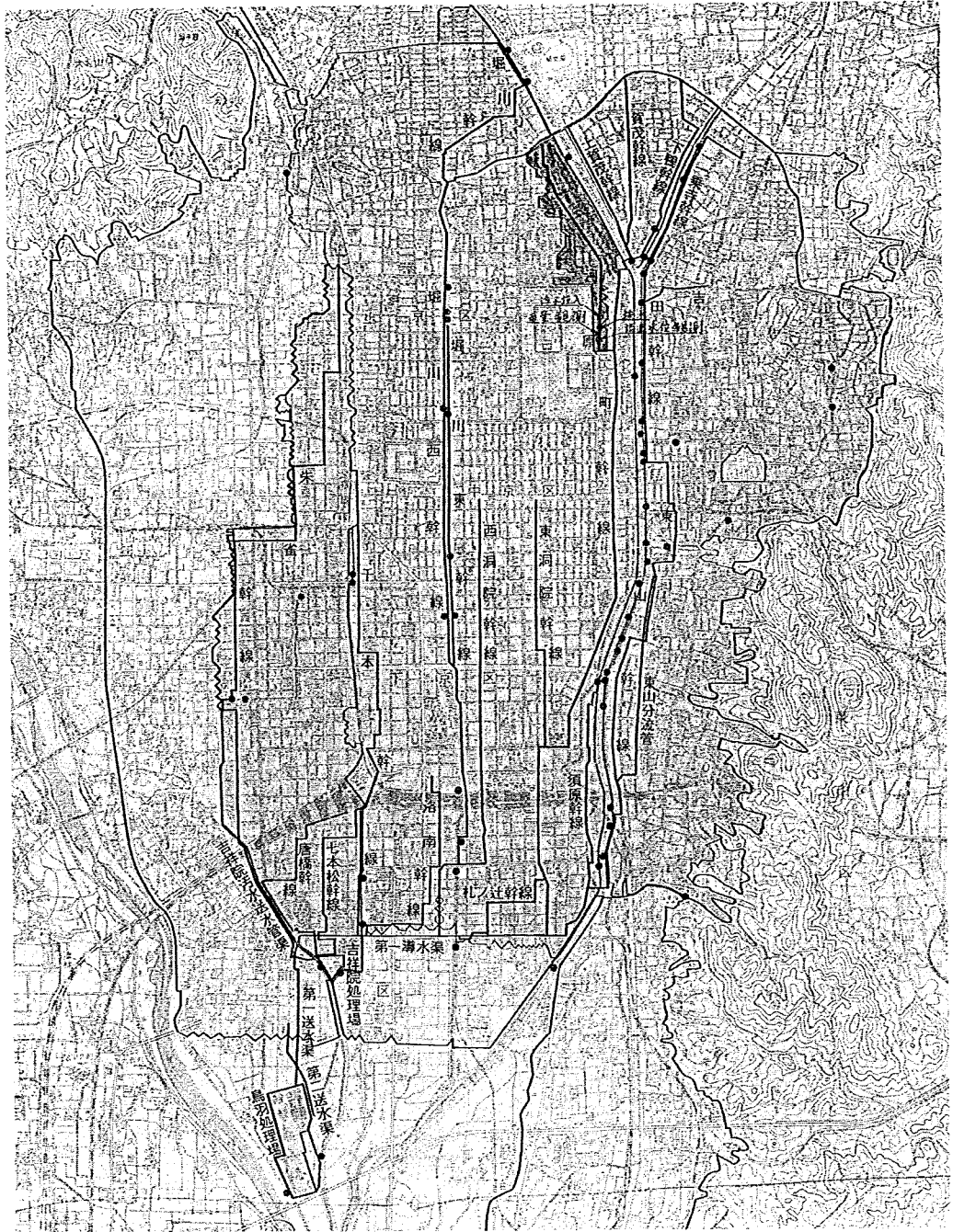


図 4.1 京都市中部第1排水区調査地点位置図



图 4.2 岐阜市清水川排水区域位置图



図4.3 東京都谷端川排水区の概要

表 4.3 東京都谷端川排水区の特性⁶⁾

区 分	面 積 (ha)	%
住 居 専 用 地 区	106.79	19.77
住 居 地 区	288.15	53.40
準 工 業 地 区	6.23	1.16
特 別 工 業 地 区	68.28	12.64
商 業 地 区	68.60	12.60
緑 地 地 区	1.35	0.25
商業地区で防火地区	1	0.18
合 計	540.6	100

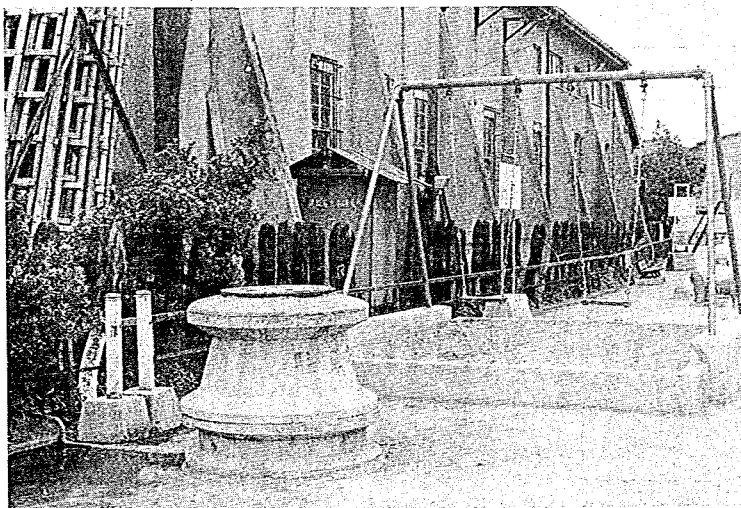


写真 4.1 東京都谷端川排水区調査地点

東京都谷端川排水区の概要はすでに述べた通りである。試料の採取方法もほぼ同様であり、降雨開始後の採水間隔は5分間隔以内で可能な限り時間間隔を短縮して行なうこととし、降雨量が比較的少ないなどの理由により水質の変化が余りないと推定される場合は適宜採水間隔を延すこととした。流量は水位観測所の記録を用いた。

水質分析項目および分析方法是次の通りである。

BOD：ウインクラ法、溶解性BOD：東洋濾紙No.5Aで濾過したものにつきウインクラ法、COD：酸性法、浮遊物質：濾紙法、揮散性物質（VSS）重量法、総窒素：ケルダール法、リン酸：アスコロビン酸法、総硬度：上水試験法による容量法、大腸菌群数：MPN法。

神戸市花隈幹線は、神戸市の中心部生田区の国鉄元町駅西側約450mを南北に流下し神戸港国産波止場地先で神戸港へ雨水を排除している。延長は930mで調査箇所までは800mである。排水区ならびに調査地点の位置を図4.4に、また状況を写真で示した。（写真4.2）

この排水区域での調査は分流式下水道における雨水系統に流入する都市域での雨水流出水の水質特性を見極めるために行なったものである。排水区の土地利用現況は表4.4ならびに図4.5に示した通りであり、官庁、商業サービス業、集合住宅地、学校・住宅がほぼ流下方向にむかって層状に存在している。概括的な土地利用パターンは図4.6のようになり、代表的な大都市の中心部といえる。

流域面積は17.17haで神戸市特有の地形である南に向って急傾斜をなしているが、図4.7に示したように国鉄山陽本線を境に上流側は約6%の段丘状となっており、下流側は比較的平坦である。雨水は図4.8のように側溝をへて図4.9に示した雨水幹線に流入する。排水区域内の水洗化普及率は96%であり、晴天時下水はほとんど汚水系統に取り込まれているが、若干の取付漏れがあるようで、調査時雨水流出開始前にも流水が認められた。

採水は放流口付近で干満による背水の影響を受けない地点で、人孔より人力で行なった（写真4.3）。採水間隔は次の通りとした。

雨水流出開始時	～	1時間後	3分間隔
1時間後	～	3時間後	5分間隔
3時間後	～	4時間後	10分間隔

昭和48年度は9月3日、10月27日および1月21日の3回採水に成功し、このうち第1回目は1時間28分後（流出終了）まで、第2回、第3回目は4時間後まで採水作業を実施した。

分析方法は東京都谷端川幹線の場合とほぼ同じであるが、大腸菌群数はデソ培地法、N-ヘキサン抽出量はソックスレー法によった。

流量は暗渠内側壁に取付けた量水標（写真4.4）、または鋼製巻尺により水位を実測し、クッターの平均流速公式により求めた水位流量曲線より算出した。

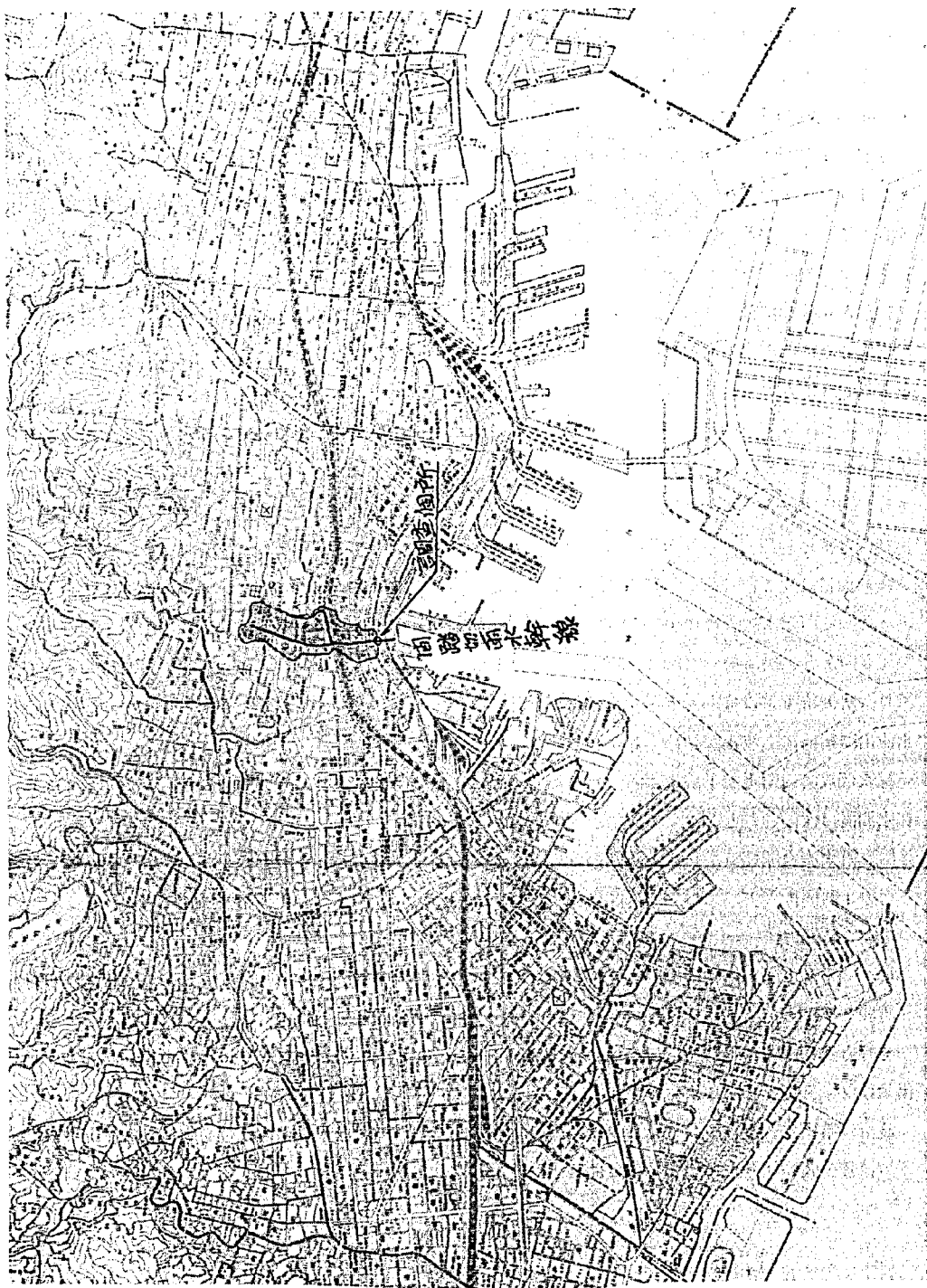


圖 4.4 神戶市花隈 雨水幹線位置圖

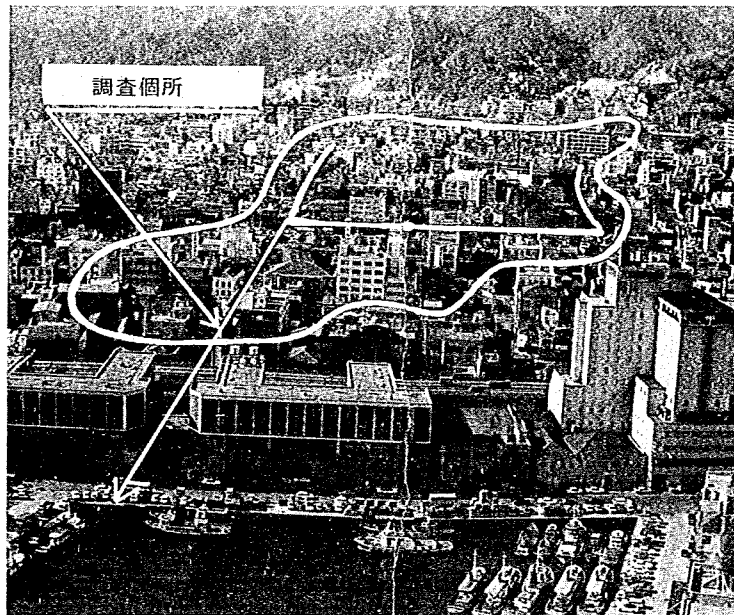


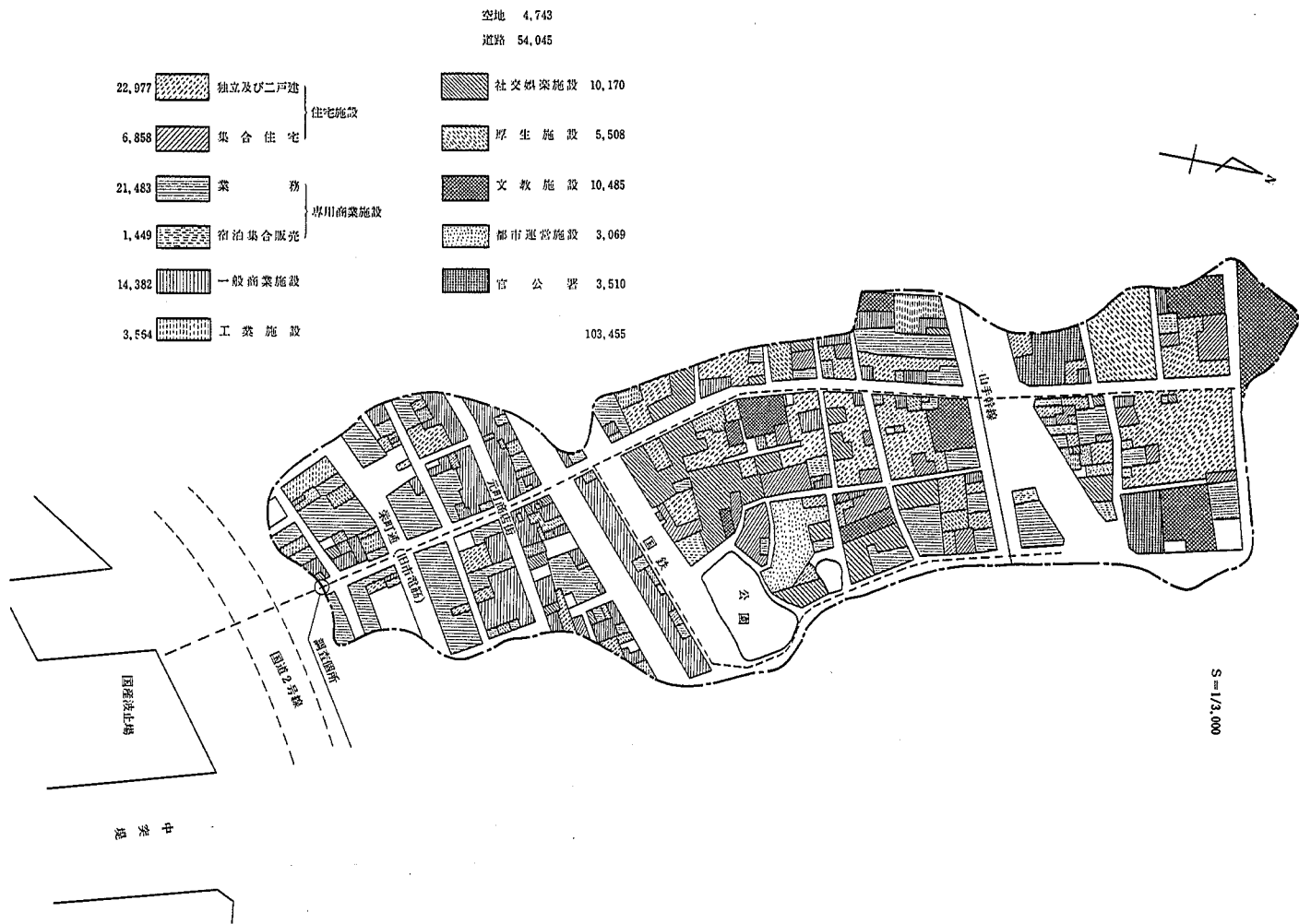
写真 4.2 神戸市花隈地区の状況

表 4.4 神戸市花隈地区土地利用現況

利 用 区 分		面 積 (ha)	面積率 (%)	備 考
住居区域	独立及び2戸建	2.43	14.1	18.4 %
	集合住宅	0.73	4.3	
専用商業施設	業務施設	2.27	13.2	14.1 %
	宿泊集合販売施設	0.15	0.9	
一般商業施設		1.52	8.9	
工業施設		0.38	2.2	
社交娯楽施設		1.08	6.3	
厚生施設		0.58	3.4	
文教施設		1.11	6.5	
都市運営施設		0.33	1.9	
官公署施設		0.37	2.2	
未利用地		0.50	2.9	
道 路		5.72	33.2	
計		17.17	100	

※ 昭和45年、神戸市都市計画局計画課編
「建物用途別現況図」による

図 4.5 神戸市花隈地区土地利用現況図



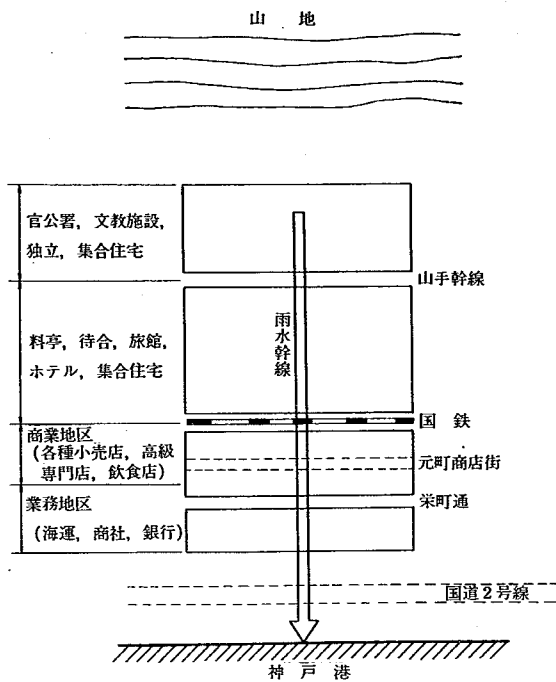


図 4.6 神戸市花隈地区土地利用概念図

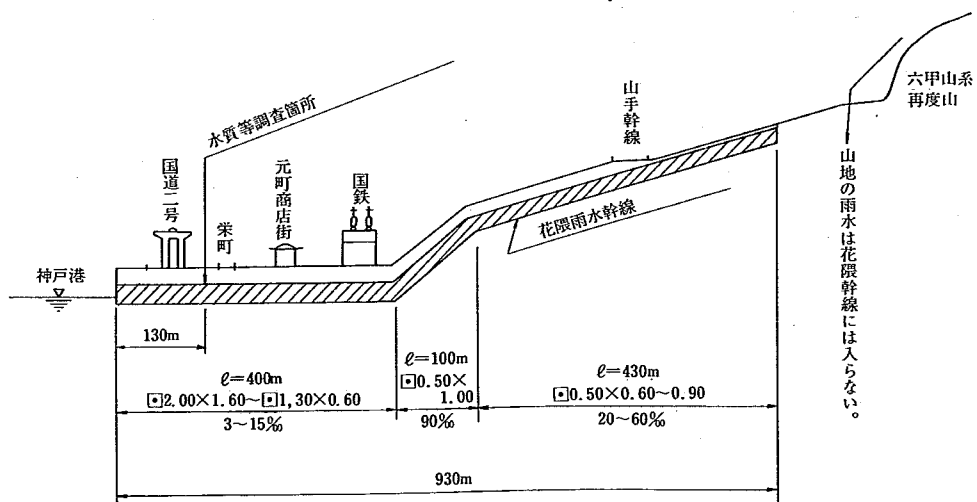


図 4.7 神戸市花隈幹線縦断概念図

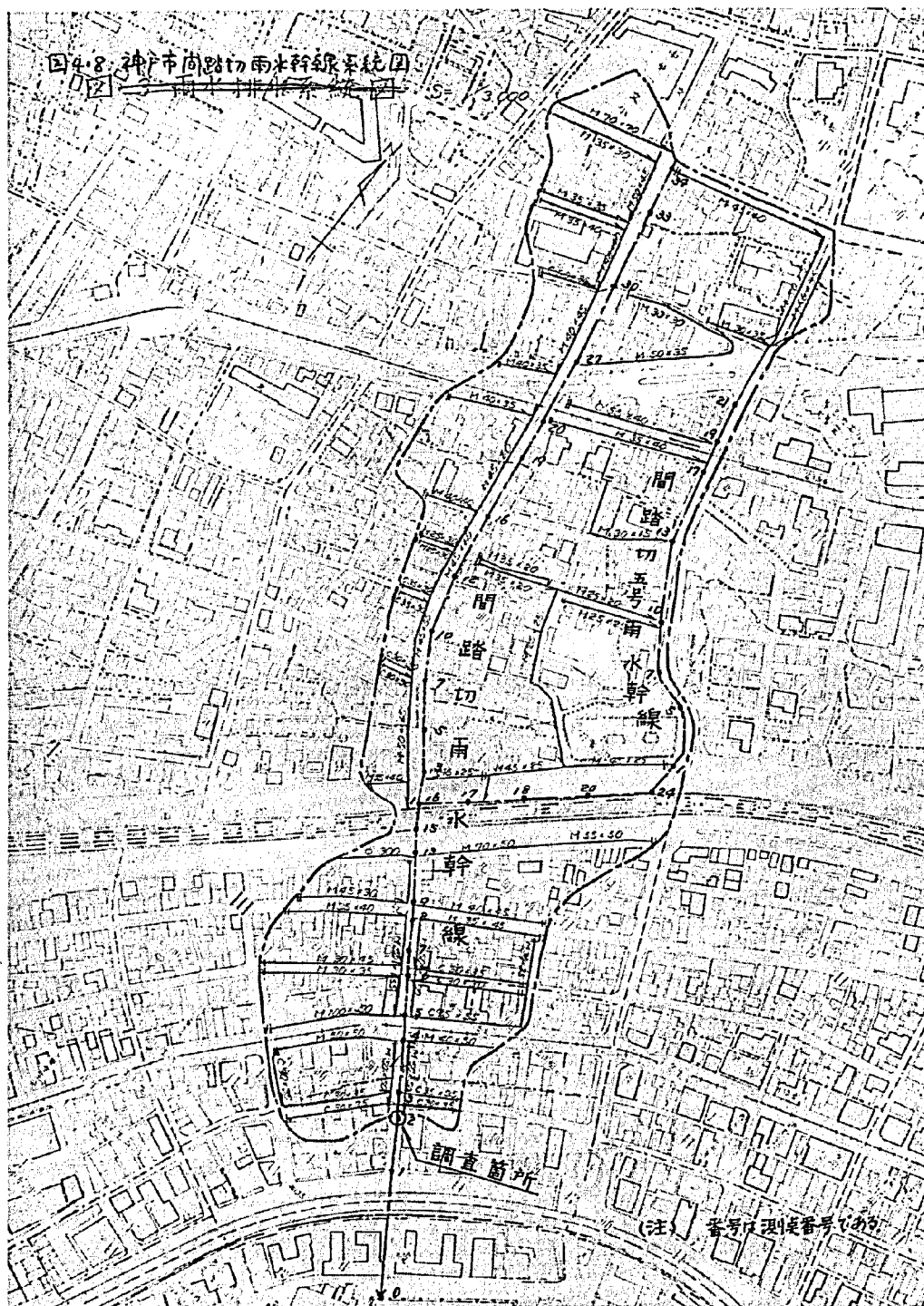


図4.8 神戸市花隈地区雨水系統図

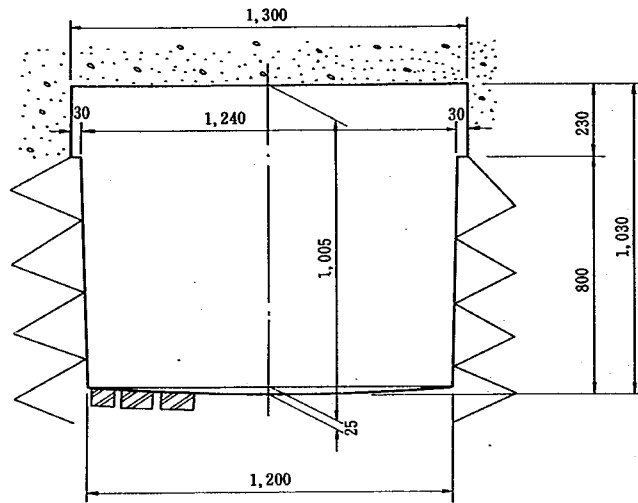


図 4.9 神戸市花隈幹線観測地点附近横断面

4.3 調査の結果および考察

4.3.1 雨天時下水水質の実態

4.3.1.1 雨天時下水水質の時間的変動(1) 合流式の場合

雨天時下水の特徴の一つとして、水量水質の変化が突発的であること、とくに降雨初期に「first flush (初期流出)」と呼ばれる高い汚濁物質濃度が示されることがあるといわれてきた。この雨天時下水の時間的変動の特性は、雨天時下水処理施設計画にあたって容量決定のための計画処理水量と処理施設の運転管理条件の決定に大きく影響する。

しかしながら、これまでの観測結果から、雨天時下水の水質変動は晴天時の場合と異なり、必ずしも一様ではないことが明らかである。ここでは東京都と神戸市での観測結果から代表的な降雨の場合について、BODおよびSSを示標として例示し定性的な検討を行ないたい。

図 4.10 は 48・11・10 に観測された高い降雨強度の場合の例である。この降雨では瞬間最大降雨強度 88.8 mm/hr で 49.3 m³/秒 の流出をみた。これはほぼ谷端川幹線の設計流量 55.53 m³/秒 に近いものである。

これによれば、降雨のごく初期には雨水流出率が低いため、管渠内の流量・流速の変化が少なく、このため水質は雨水により単純に稀釈され、一時的には晴天時下水よりも低下している。

その後降雨がさらに継続して地表面が湿潤し、雨水流出量が急増することにより管渠内の流量・流速が急増するため、管渠内堆積物が洗掘され、いわゆる初期流出の現象が出現している。しかしその後は流量の増加にもかかわらず水質は低下した。

この降雨では最初の流出ピークの 3 時間後に再びピークが現れている。この時 BOD と SS は異なる

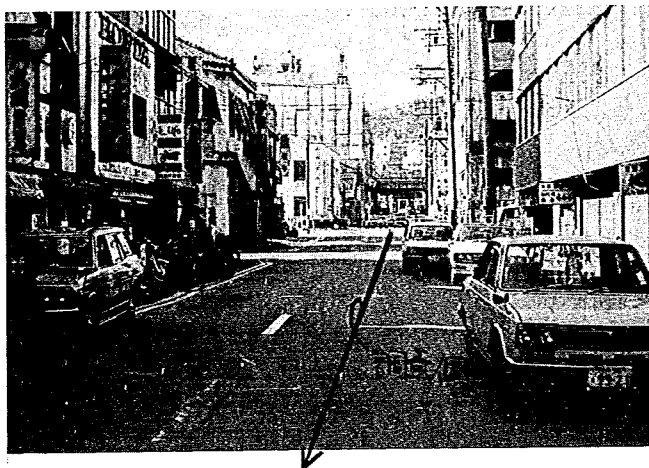


写真 4. 3 神戸市花隈地区調査地点

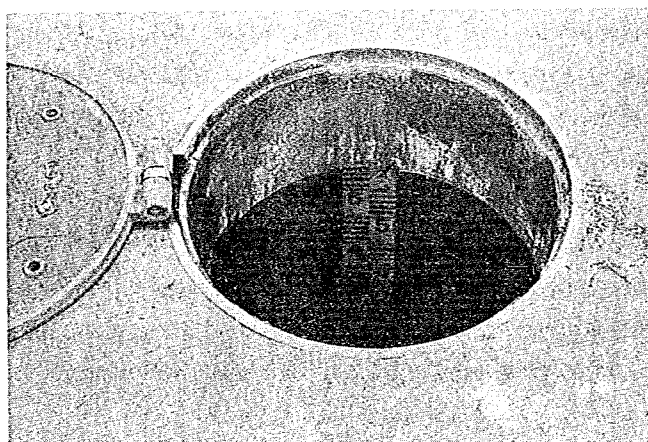


写真 4. 4 暗渠内に取付けた量水標

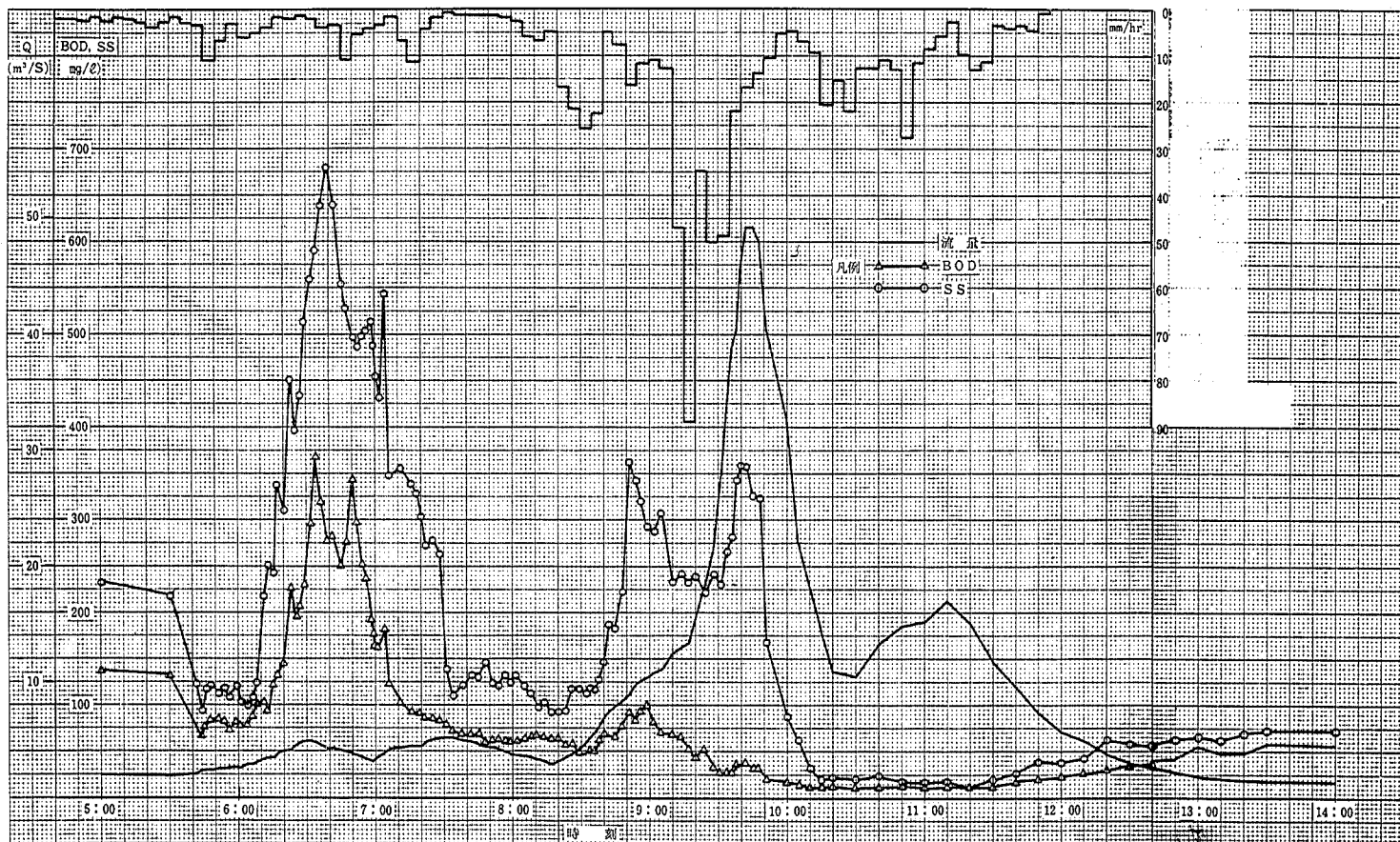


図 4.10 雨天時下水の水質 (48・11・10 東京都谷端川)

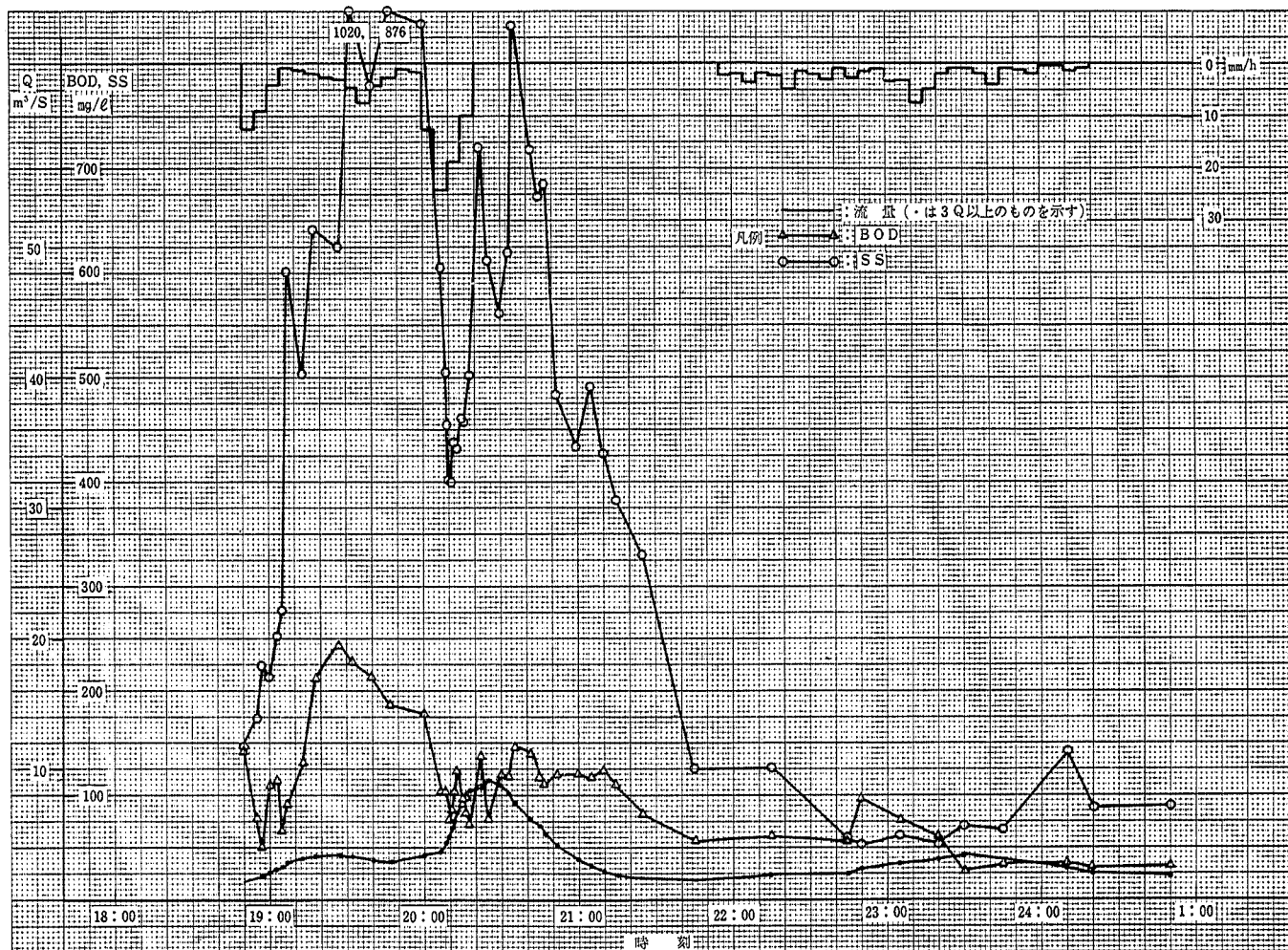


図 4.11 雨天時下水の水質 (48・3・1 東京都谷端川)

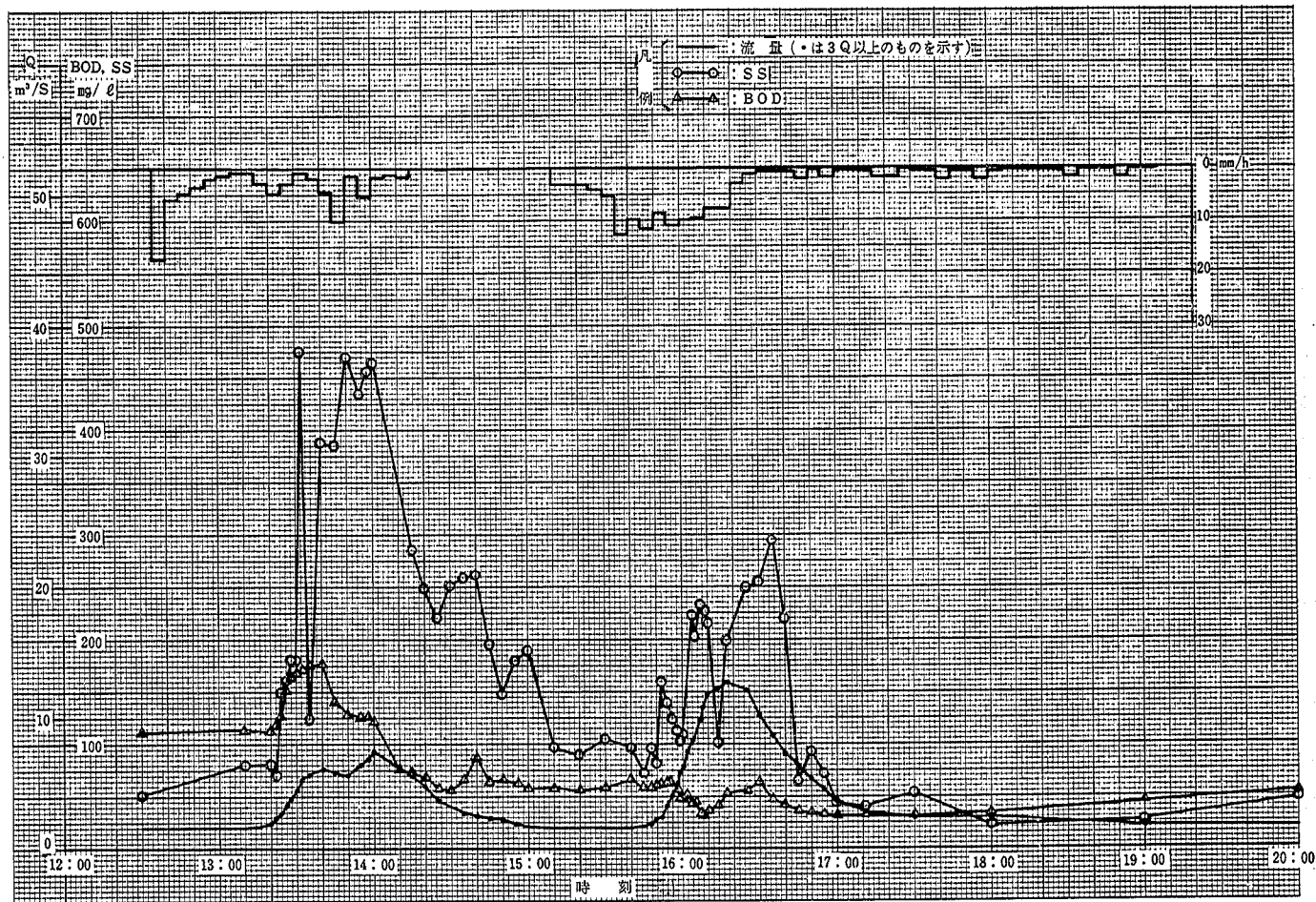


図 4.12 雨天時下水の水質 (48・8・4 東京都谷端川)

パターンを示した。すなわち、流量の急増によりBODは一時的に高くなったが、その期間は短かく以降激減しているのに対し、SSは降雨期間中常に高い数値を示し降雨終了とともに急速に低下した。このことはBODとSSの発生源は必ずしも同一ではなくBODは主として地表面や管渠内堆積物など有限のものであるのに対し、SSはこのほか地表面の先堀による土砂分が寄与する面が大きいことを示している。また水質的に見る限り各降雨間隔が短かければ第2降雨は積極的に処理する必要が少ないことを示唆している。

この降雨については後項でより詳細に検討することにする。

図4.11～4.13 は中程度の降雨強度の場合の水質パターンである。この程度の降雨では降雨初期の汚濁物質流出ピークはSSについては常に見られるが、BODについては顕著に高くなる場合と、そうでない場合とがある。

図4.11 は前者の例であり、48・8・1に観測されたものである。この降雨では最大流量9.17 m³/秒の流出があったが、水質のピークはBOD、SSともそれ以前の降雨初期で管内流量が急変した時点で生じている。また、このピークの前後は波状に水質が変化しているが、その範囲は小さい。降雨終了後も雨水流出水の流入が持続するため長時間にわたって濃度の低い下水が流下してきた。

またこの日は22.00頃から再び降雨があり、流量が増加したが水質はわずかに高まりが見られたものの第1の降雨のような顕著なピークは出現しなかった。この第2波の降雨での水質が低下する傾向は、前述の通り強い降雨の場合にも見られたが、図4.12の48・8・4の場合もBODについては全く同じ傾向が示されており、最初の降雨では水質の悪化が見られるが第2の降雨では前回以上の降雨量とそれともなう雨水流出量が見られたにもかかわらず水質の悪化は認められない。SSについては高い降雨強度の場合には顕著であった第2波のピークは中降雨の場合には認められなかった。

汚濁物質の流出ピークが必ずしも雨水流出量のピークと一致しないことは48・8・4の降雨についても見られ、とくにBODの場合にその傾向がある(図4.12)。このことから雨天時下水の汚濁物質は管内堆積物が流量(すなわち流速)の増大に比例して移送されてくるのではなく、むしろ流量の急変によって流し出されてくるものであることが示唆される。したがって汚濁物質の流出機構は土砂などの掃流量とは異なる概念で検討しなければならないであろう。

合流式下水道では一定水量に達するまでの下水はすべて遮集され下水処理場へ送られる構造になっており、水質のピークとくにBODのものが水量のピークよりも早く生じていることから、最も悪質なものも下水処理場へ送られることもあり得るがその時間的なずれはわずかであり、むしろ多量の雨水によって洗滌された管内堆積物は高水時に雨水吐から直接放流されてしまう危険性の方が大きい。(この点に関しては後述する。)

* この地点における晴天時計画下水量は0.787 m³/秒であり、遮集流量は1.782 m³/秒である。しかし実測の結果では日平均1.069～1.185 m³/秒、時間最大1.31～1.54 m³/秒であった。したがって現在時点でもすでに過負荷になっている状況にある。

前述の通り、 $10 \sim 20 \text{ mm/hr}$ 程度の降雨の場合にはBODに関して初期の流出ピークが現れぬ場合がある。図4.13に示した47・7・12の場合には1試料のみBODの高いものがあつたが、それ以外はいずれも晴天時下水よりも低い値になっていた。これに対してSSは水質のピークが明らかに認められる。このような傾向は次に述べる降雨強度の低い場合によく見られるものである。

図4.14～4.16は 10 mm/hr 以下の降雨強度の低い場合の水質変動パターンを示したものである。このような場合には水質の悪化、ことにBODの初期流出はほとんど認められず、降雨前の水質のままを持続するか、またはそのまま稀釈の状態に入り水質が低下して行く状況が示されている。このことは前に述べた例からして管内の流量（流速）が堆積汚濁物を洗い流し出すまでに至らぬためであろう。しかしSSについては降雨直後に一時的にピークが認められており、このことからBODとSSの発生源とその流出機構が異なることが推察される。

図4.17は谷端川排水区における晴天時下水の状況である。一般に小排水区では晴天時下水については早朝と夕方に水量・水質の極端なピークが現われ、深夜に至り激減することが指摘されているが、本調査地点では小排水区のような顕著なピークは勿論生じないが、9:00-10:00に朝のピークが、また20:00-22:00に夜のピークが認められている。

前述の状況をもとにこの晴天時下水の時間変化と比較した雨天時下水の特徴は水量、水質の時間的変化が急激である、ただし水量の変化が晴天時下水の数10倍にも及ぶ場合があるのに対し、水質の変動は大巾であるが、その範囲はSSを除けばおおむね晴天時下水の水質範囲から大きく逸脱することはないということである。

また晴天時下水ではピークの現われ方が定常的であり日間、週間、季節的な変化は少ないが、雨天時下水の場合は当然のことながら降雨時に限られ、突発的であり、瞬時的に変化していく。水質は第2降雨以降は比較的小さいが、同一日内でも降雨のたびごとにピークが生じることになるといえる。

これらのことはすべて合流式下水道では定常的に流入する下水を定常的に処理していくことを基本として計画設計されている下水処理場に対し一時的に高い負荷を、しかも突発的にもたらすことを意味している。したがって、雨天時下水のみを処理する場合は勿論、下水処理場側で処理する場合でもこれを一時的に貯留し、水量水質の変化を調整するような何らかの施設の設置が必要となってくる。

4.3.1.2 雨天時下水水質の時間的変動(2)一分流式の場合

図4.18～図4.20は神戸市花隈地区の雨水幹線で観測された分流式下水道における雨天時下水の水量水質の時間的変化の状況である。この調査が行なわれた昭和48年度は全国的に降雨回数、降雨量とも少なく、3降雨についてもいずれも先行降雨との間におよそ1ヶ月に近い晴天が続いた後の降雨による結果であるため、通常の場合より大きな数値が出てきている可能性がある。

図4.18は48・9・3の観測記録である。この日の降雨は8月7日に7mmの小規模のものであつたが、短時間内ではかなり高い降雨強度となった時間帯があり、いわゆる「夕立」に属するとみてよい。この降雨では汚濁物質の流出ピークは急速に低下してしまい1時間後にはほぼ一定値に落ち着いている。この一定値に近づいた時間は、また降雨が終了した時間でもあるが、一定値になった理由が、地表面の汚濁物がほぼ流出しつくしたためか、降雨が終了したため降雨による洗い流し現象がなくなったためかは

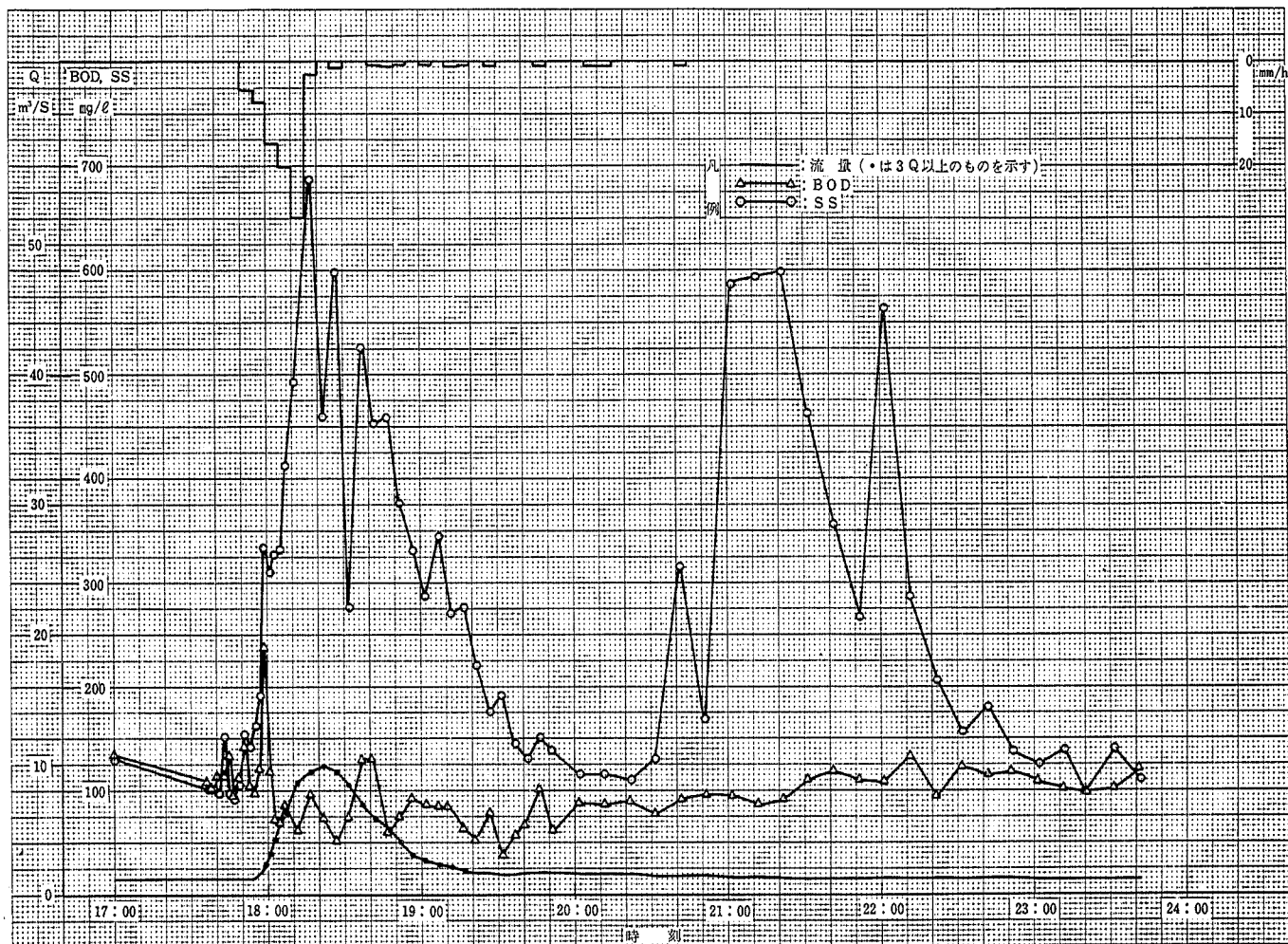


図 4.13 雨天時下水の水質 (47・7・31 東京都谷端川)

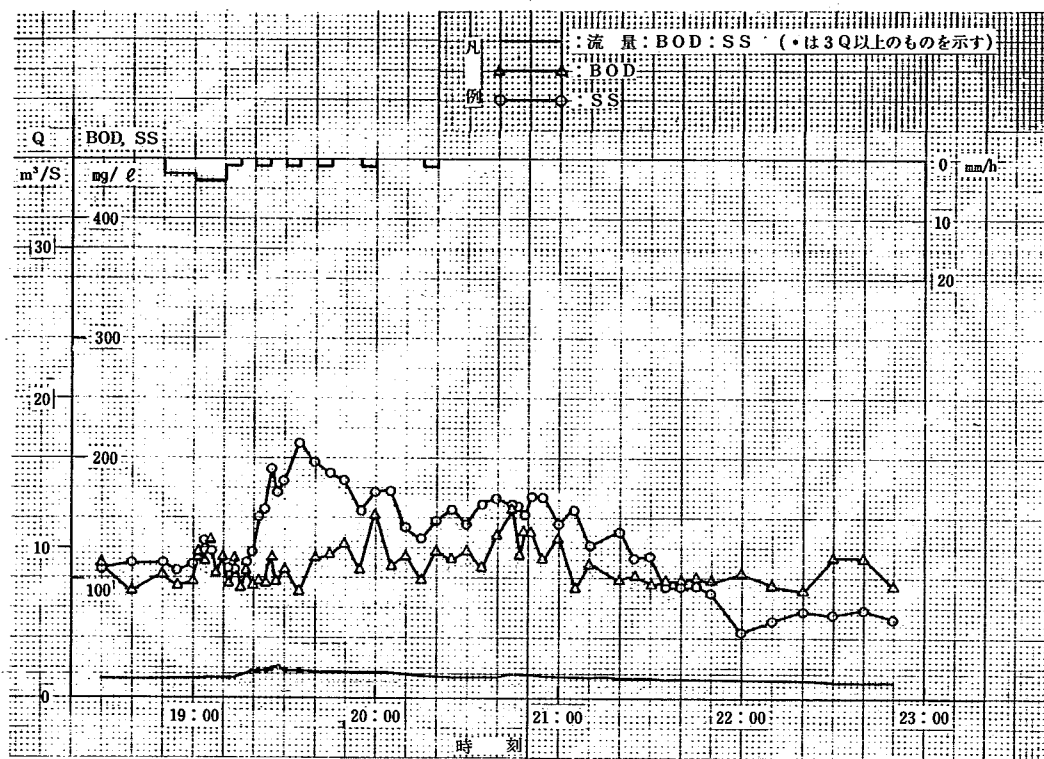


図 4.14 雨天時下水の水質 (47・9・9, 東京都谷端川)

明確ではない。しかしSSが比較的高い値を示していることから見て、前者の理由によることの方が多いと推定される。しかし一方、汚濁物質がかなり洗い流し出されたと考えられる時間になってもBOD、SSはともに下水の二次処理水程度の数値になっており、必ずしも「清浄」な雨天時流出水になっていないことが示されている。

図 4.19 は 48・10・27 の観測結果である。この降雨はそれより 28 日前の 9 月 30 日に 16.5 mm の先行降雨があった後のものである。降雨は 27 日 17 時 30 分より 28 日 7 時 20 分まで継続し総降雨量は 30.5 mm であったが、観測は降雨開始後 4 時間で打切った。この間の降雨量は 5.0 mm であった。

この場合は図に見られるように低い降雨強度で長時間継続した形になっているが、BOD は比較的降雨初期に流出してしまい、20:00 時以降に降雨強度が高くなった時点でも BOD 流出負荷量の増加は見られなかった。

ただ、この場合は合流式下水道における小降雨の場合と同じく雨水の流出が始まって 40 分位までは水量の増加にもかかわらず水質は余り悪化していない。このような降雨初期に一時的に汚濁の程度が比較的低い水質の雨天時流出水がくる現象は合流式下水道の、とくに小降雨の場合に見られる。

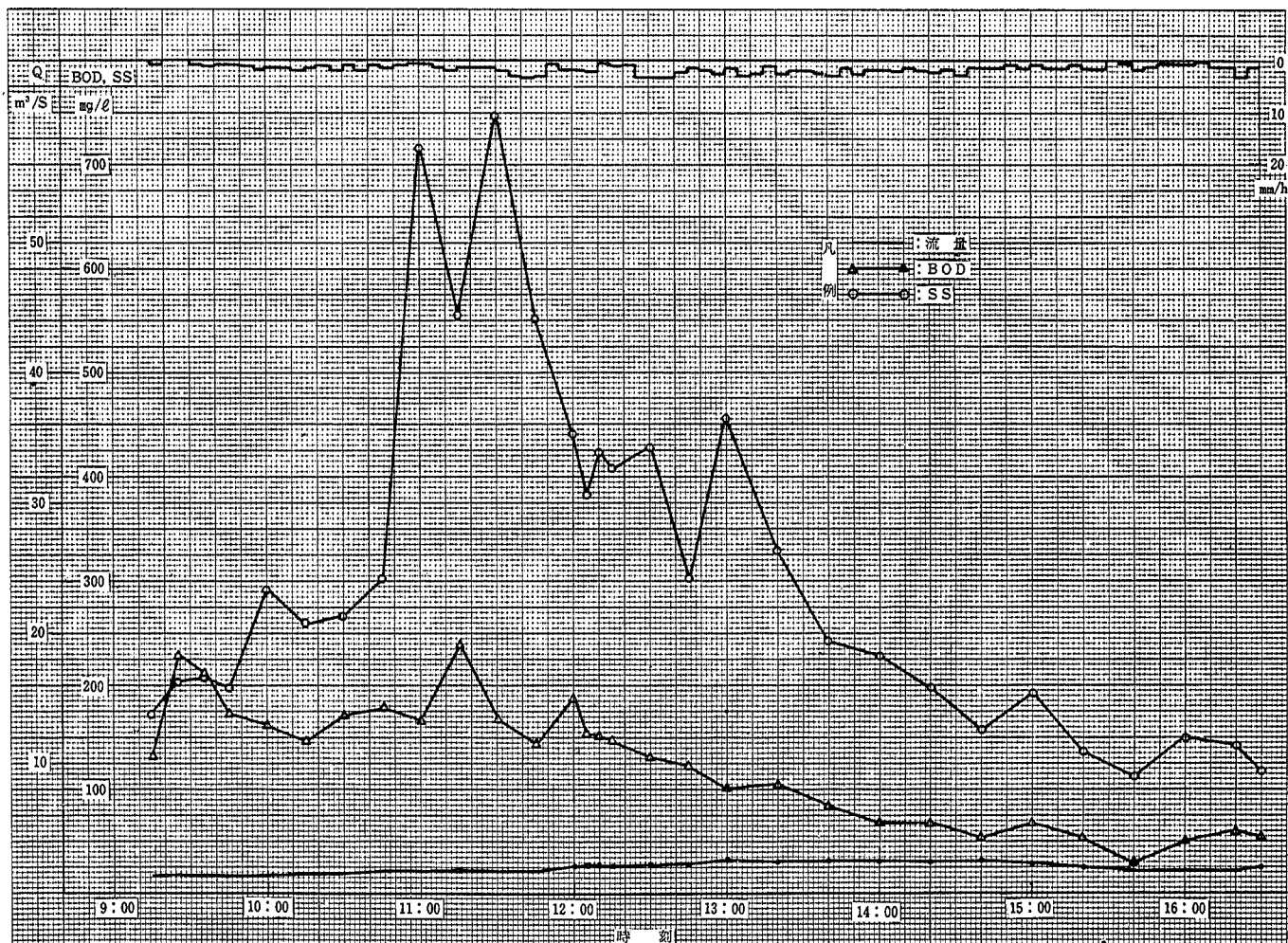


図 4.15 雨天時下水の水質 (47・10・6 東京都谷端川)

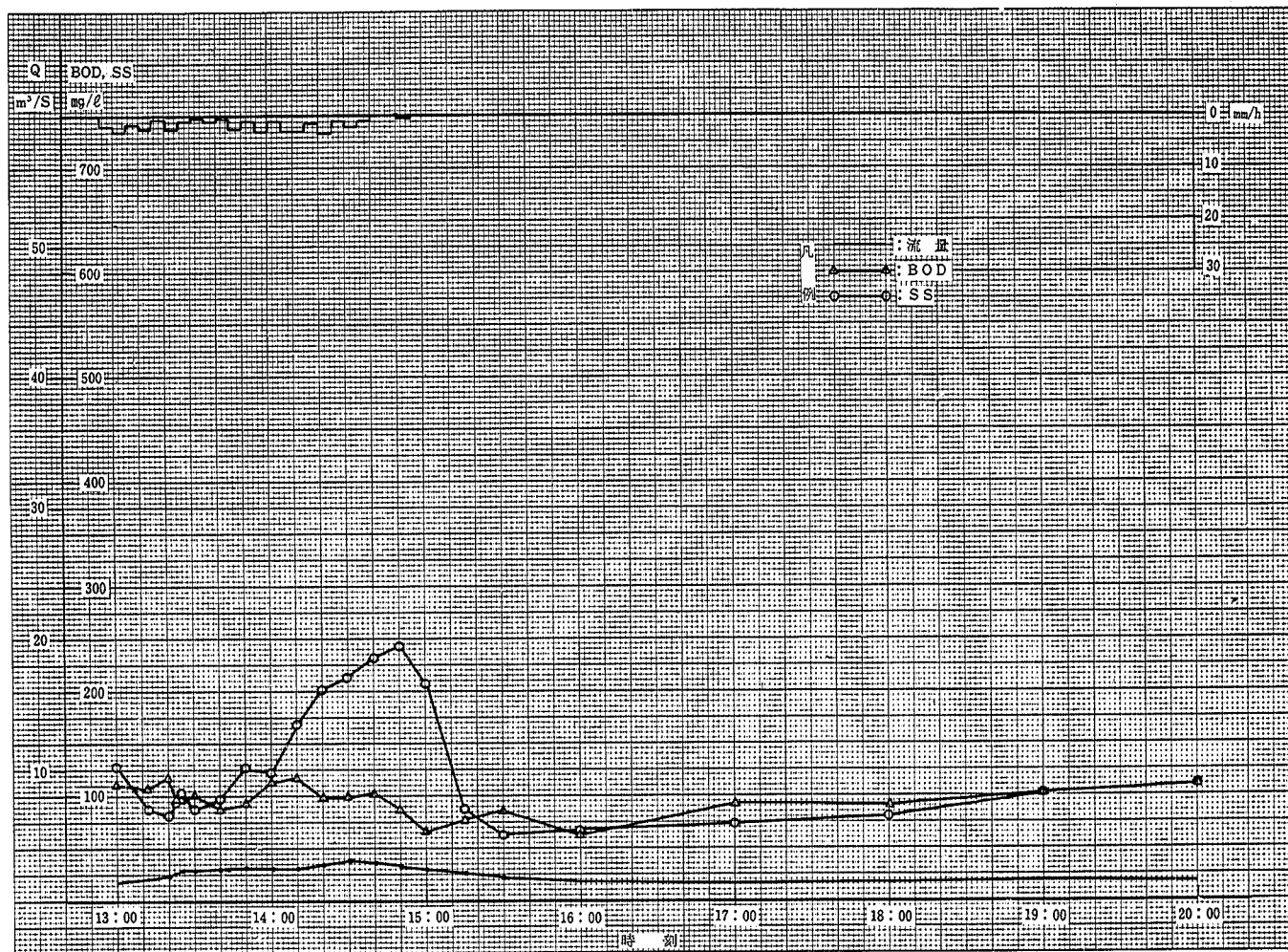


図 4.16 雨天時下水の水質 (48・8・25 東京都谷端川)

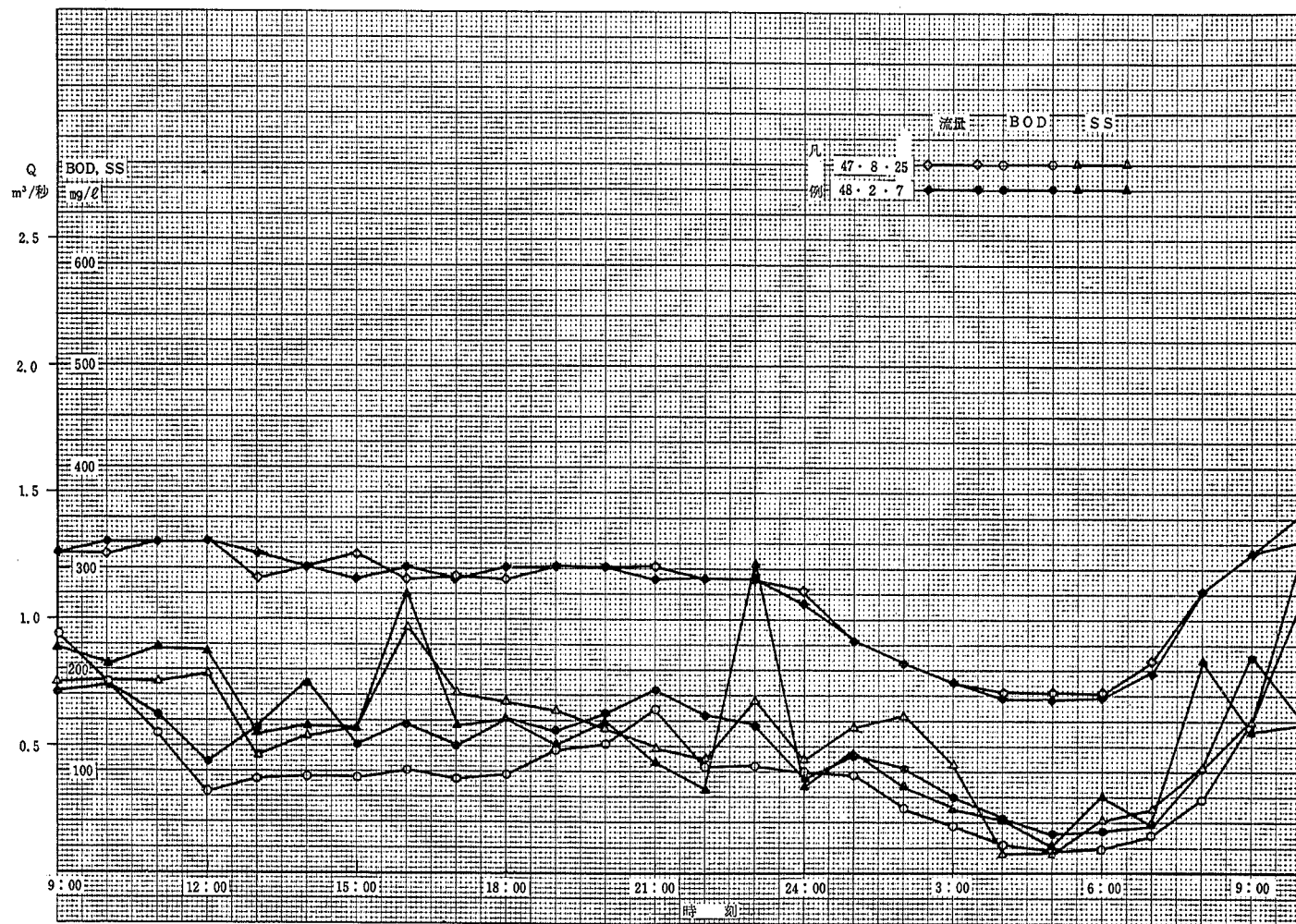


図 4.17 東京都谷端川幹線における晴天時下水水質

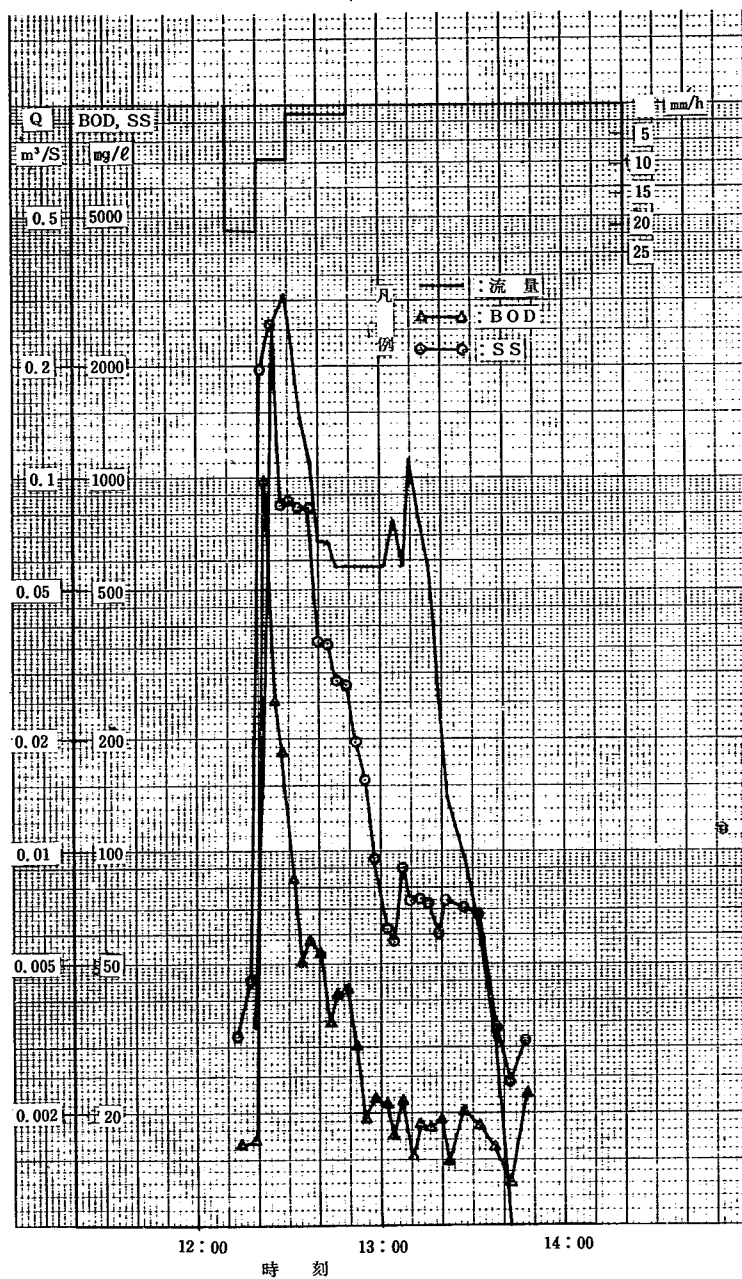


図 4.18 雨天時下水の水質 (48・9・3 神戸市花隈)

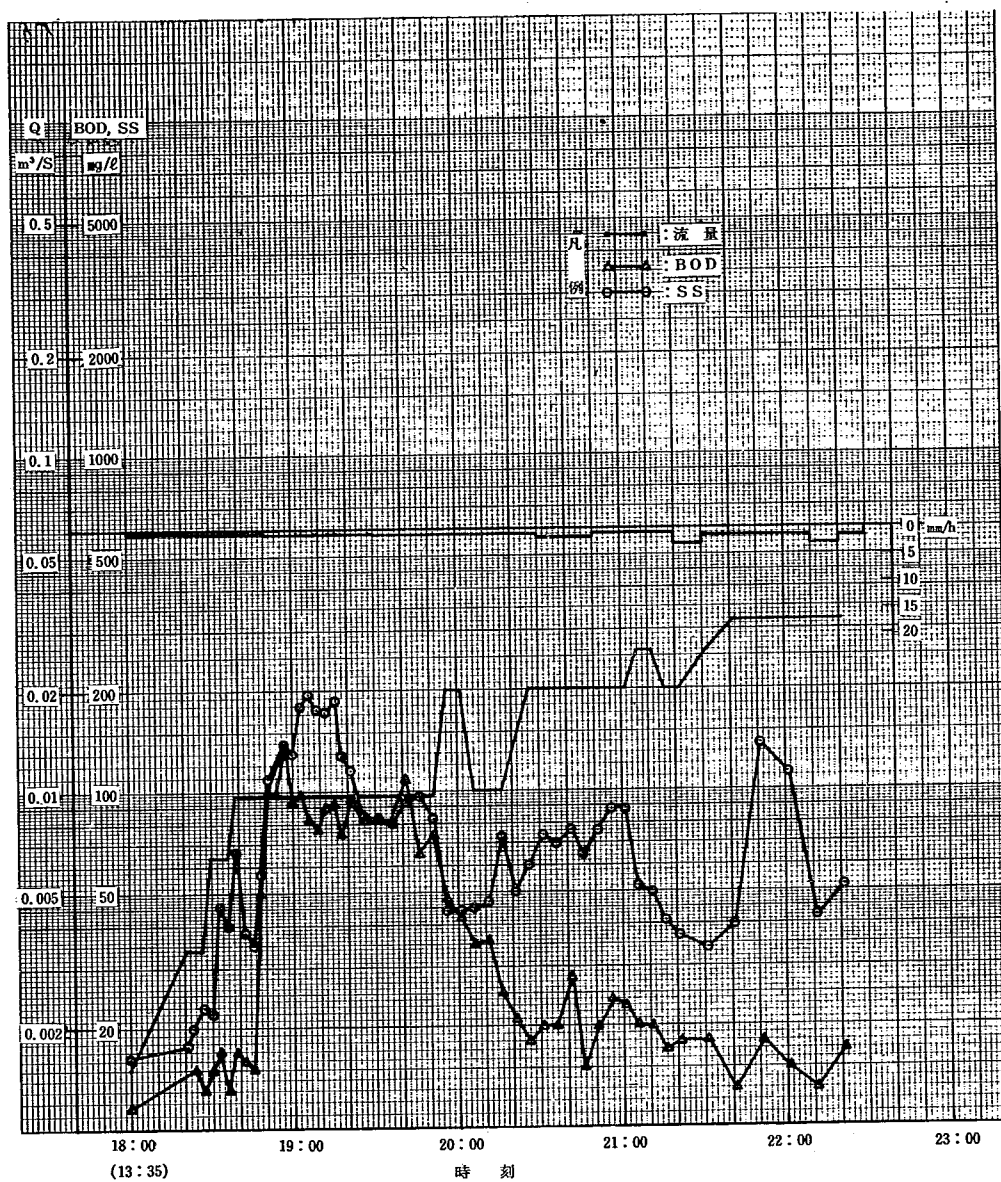


図 4.19 雨天時下水の水質 (48・10・27 神戸市花隈)

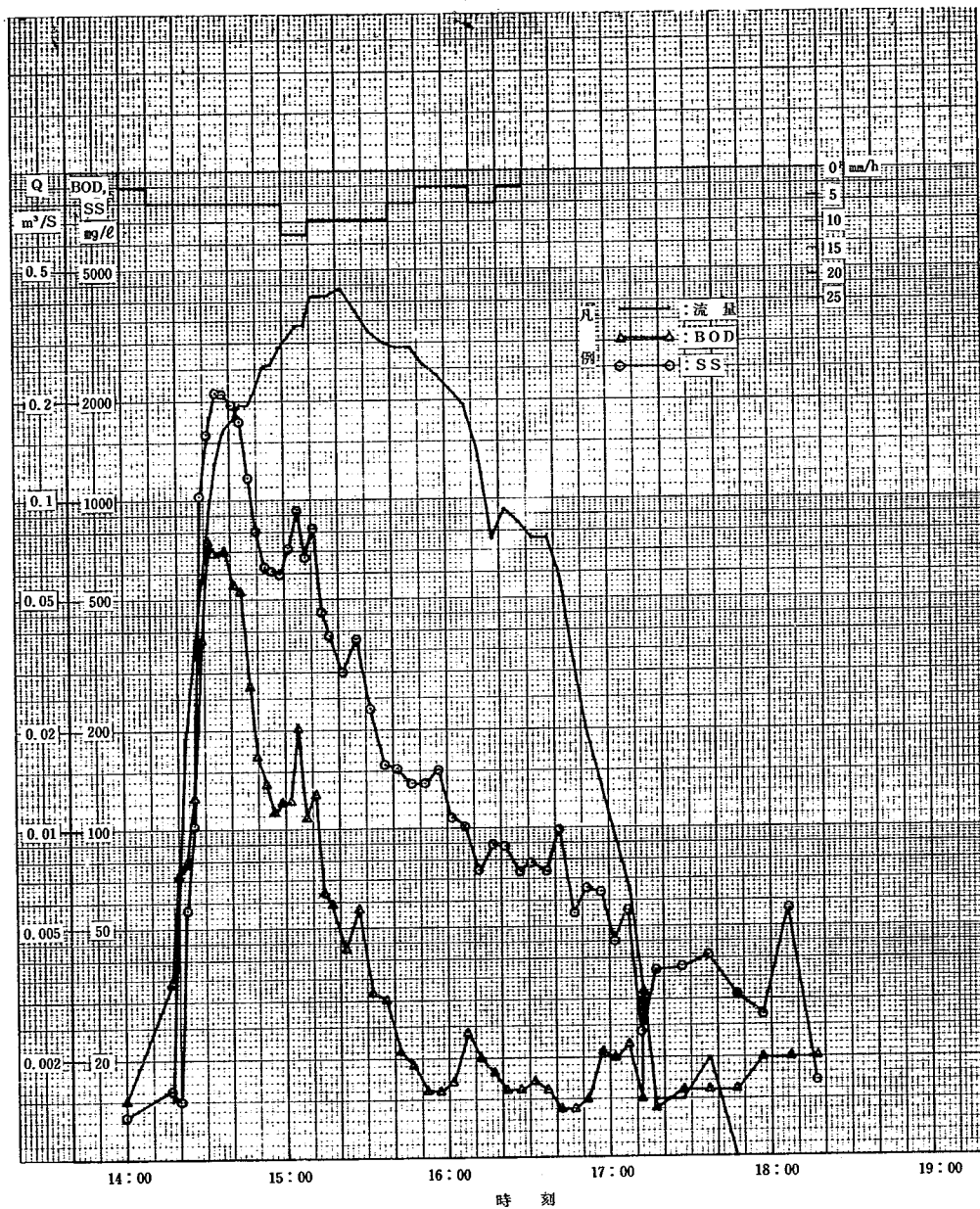


図 4.20 雨天時下水の水質 (49・1・21 神戸市花隈)

その理由として流量の変化が小さいため管内堆積物の洗い流しを生ずるまでには至らぬことが考えられるが、分流式下水道の場合には、この理由のほか、有機性汚濁物が晴天時に地表面等で乾固しているため、溶解ないし移動可能な状態になるまでにある程度の水量と時間が必要となるのではないかと考えられる。

図4.20は49・1・21の降雨による結果である。この降雨は48・12・28以来24日振りの降雨で、総降雨量は15.5mmであった。この場合も前2ケースと全く同じ傾向が示されており、いずれも流出初期に極度に悪化した雨天時流出水が流下しているが、BODは比較的急速に、SSはやゝゆるやかに降雨の継続と共に水質が低下する。しかし水量の大小にかかわらず水質は一定濃度以下にはならぬようである。

以上の三降雨での観測結果から見ても、雨天時流出水そのものがかなり汚濁しており、とくに降雨初期には生下水よりも汚濁した雨天時流出水が流下してきていることが明らかである。

この排水区は東京都谷端川排水区に比べはるかに小さく、かつ地表面勾配も大きいので、とくにピークが大きく出る傾向があるが、いずれにしても雨水流出水の「初期流出」現象は顕著であり、この状況は、降雨の大小にかかわらず見られており、またこのピークが過ぎて、汚濁物の大部分が流出してしまった後の水質も一般に考えられている程には清浄ではなく、下水の二次処理水の程度の雨水が流出してきている。

水質特性としてはBODとSSとではその流出特性にやや相異があり、BODはその変化が著しく急速な高まりを示し早い時期に濃度が低下するのに対し、SSの場合は濃度のピークから一定値まで低下する過程が緩慢であり、ほぼ流量の変化に追従している。前述の通り48・10・27の降雨ではその途中で一時的に強度が高くなったが、その際SSは再び増加したのに対しBODはほとんど変化が見られなかった。

このような結果を合流式下水道の場合と比較して考察すると雨天時下水の汚濁の原因はSSについては降雨による洗掘ないし洗い出された微粒な無機成分、土砂によるものであり、BODについては、地表面ないし管渠内に堆積している有機性成分が洗い流し出されてくるものであるとするのが最も妥当であろう。したがってSSの発生源は無限に存在するし、かつその流出特性は降雨強度や流量の大小に直接関係するのに対し、BODの場合は両者に余り関係がなく、降雨初期に集中的に流出し、その流出量には限度があると見なされる。

4.3.1.3 48年11月10日の降雨についての考察

48・11・10の降雨は、管渠設計に用いた降雨強度に近いものであったこと、短時間内に2の降雨があったことなどいくつかの特徴を有するものであった。

図4.21はこの降雨による雨天時下水中のBODとその負荷量の時間的変動を示したものである。前述の通りこの降雨では稀釈現象により降雨初期一時的に晴天時下水よりもBOD濃度が低下した後、降雨初期の流出現象を呈したがその後BOD濃度は再び低下し、第2降雨の降雨時も水質が悪化することなくBOD低濃度の状態が継続し、雨水流出終了後元のBOD濃度に戻った。

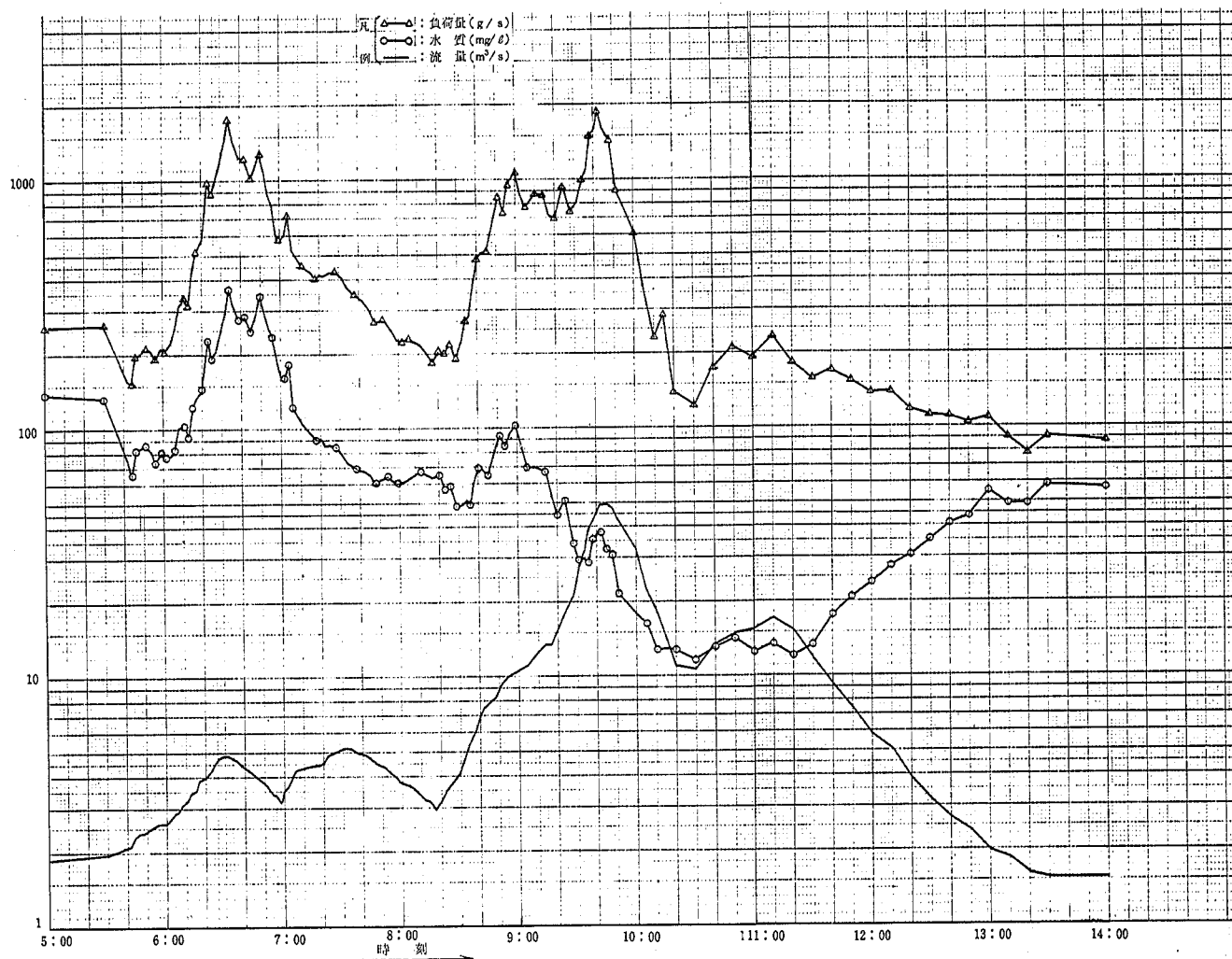


図 4.21 BOD 負荷量変動パターン (48・11・10 東京都谷端川)

しかしながら、この日の降雨では第2降雨強度が第1降雨のものに比べてはるかに大きく、したがって雨水流出量も多い。このため同程度の負荷量でも汚濁物質がかなり稀釈されているため見掛上低いBOD濃度になっている。

表 4.5 48年11月10日の降雨における流出負荷量の内訳

(単位: $\text{mg}/\ell, \text{g}$)

水質項目	第 1 降 雨		第 2 降 雨		全 体	
	平均水質	負 荷 量	平均水質	負 荷 量	平均水質	負 荷 量
B O D	148.11	5,390,366	29.87	7,090,236	45.55	12,447,050
溶解性 -BOD	18.81	684,502	7.91	1,878,318	9.33	2,550,760
T - S	443.50	16,140,611	219.49	52,106,115	249.40	68,151,920
S S	285.51	10,390,905	143.93	34,169,831	162.89	44,512,280
V S S	195.30	7,107,930	73.54	17,459,382	89.72	24,516,210
T - N	15.93	579,660	5.44	1,291,926	6.83	1,865,160
T - P	1.48	53,953	0.40	94,519	0.54	147,950

図4.2.1に示したBODでは第2降雨の場合は濃度が低下しているにもかかわらず負荷量は第1降雨の場合とはほぼ等しい値になっている。しかし総量として見た場合には表4.5に示したようにむしろ後の降雨による流出負荷量の方が大きいことが明らかである。

また図4.2.2はSSの場合であるが、前述の通りSS濃度は降雨強度、降雨量の変化に近似したパターンで変化するため負荷量は第2降雨のほうが大きな値となっており瞬時的には10倍、総量とした場合でもおよそ3倍になっている。図4.2.3, 4.2.4は栄養塩類の場合について示したものであり、同様の傾向が見られるが、T-Nの場合はSSに、T-Pの場合はBODの変動パターンに近い。

また、いずれの水質項目の場合も負荷量は第1降雨の場合には水質の変化に、第2降雨の場合は水量の変化に追従している。

同様な傾向は48・8・4の降雨にも見られる。図4.2.5はそれを示したものである。両者に共通することは第2降雨の降雨量が第1の降雨量に比べて2倍以上となっていることであり、一般に第2降雨以降では汚濁物質の流出量は少ない。しかし第2降雨が高い降雨強度をもつ場合には再び同程度の汚濁物質が流出してくることを示している。

またこのことを勘案すると、雨天時下水の問題は単に水質的な面のみではなく、負荷量の面からも検討する必要があり、したがって雨天時下水の流量把握は必須の条件である。このことは閉鎖水域への栄養塩類や重金属類など蓄積が問題となる物質の排出規制の場合にとくに重要である。

また現在は排水規制が汚濁物質の濃度によってなされているため主として小規模ないし中規模の降雨による汚濁が主とした議論の対象となる傾向があり、大きな降雨の場合には稀釈現象が顕著となるため

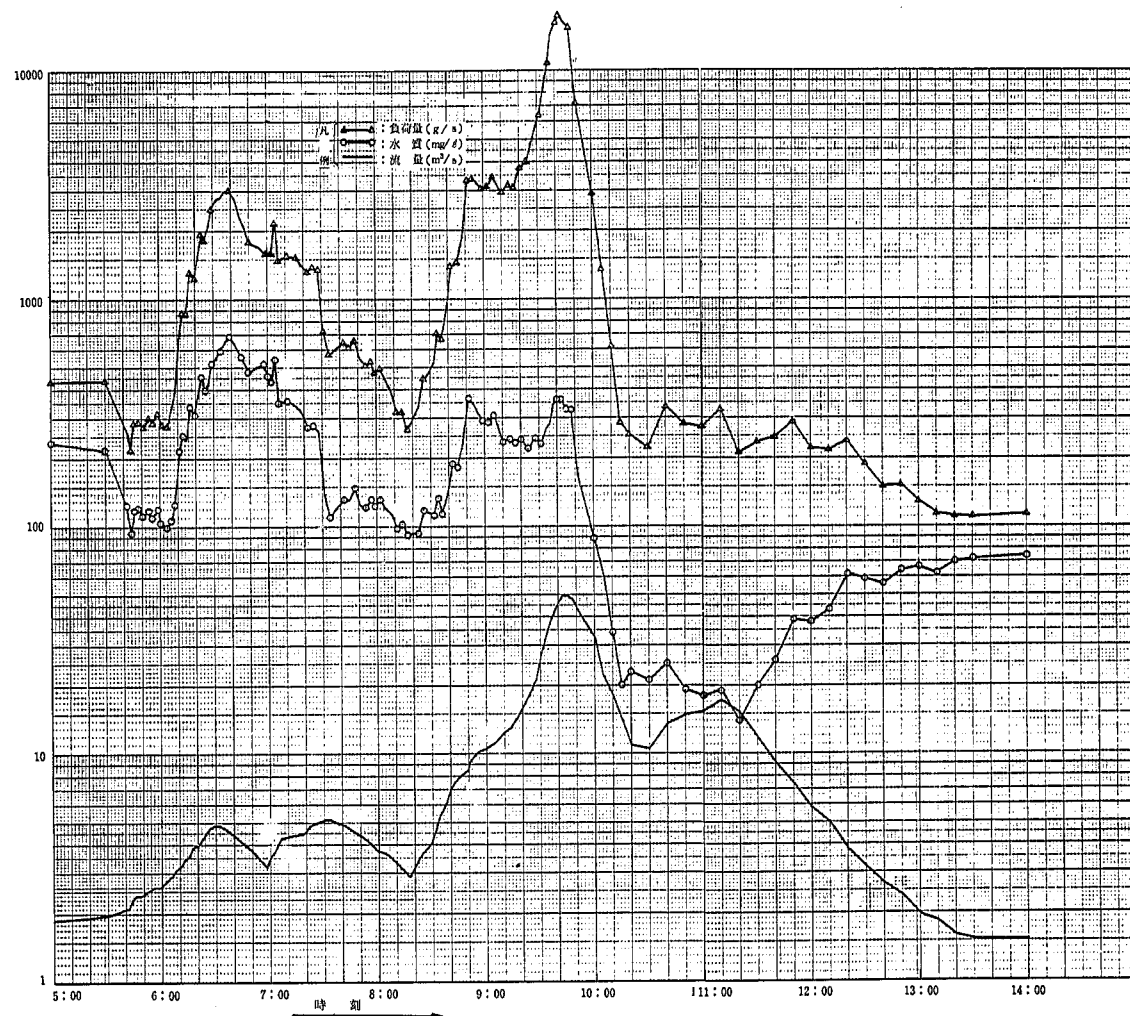


図 4.22 SS 負荷量変動パターン (48.11.10 東京都谷端川)

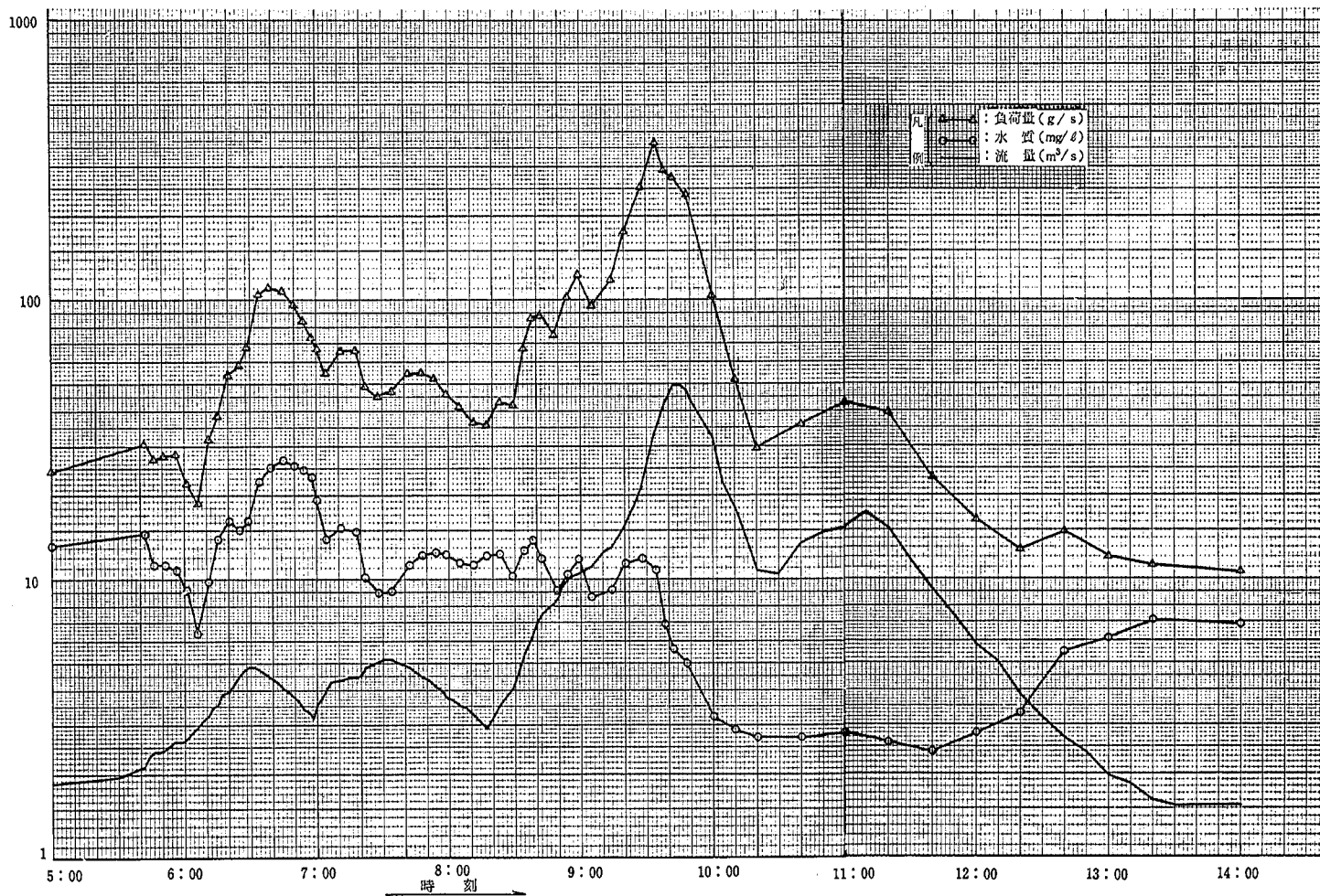


図 4.23 T-N 負荷量変動パターン (48・11・10 東京都谷端川)

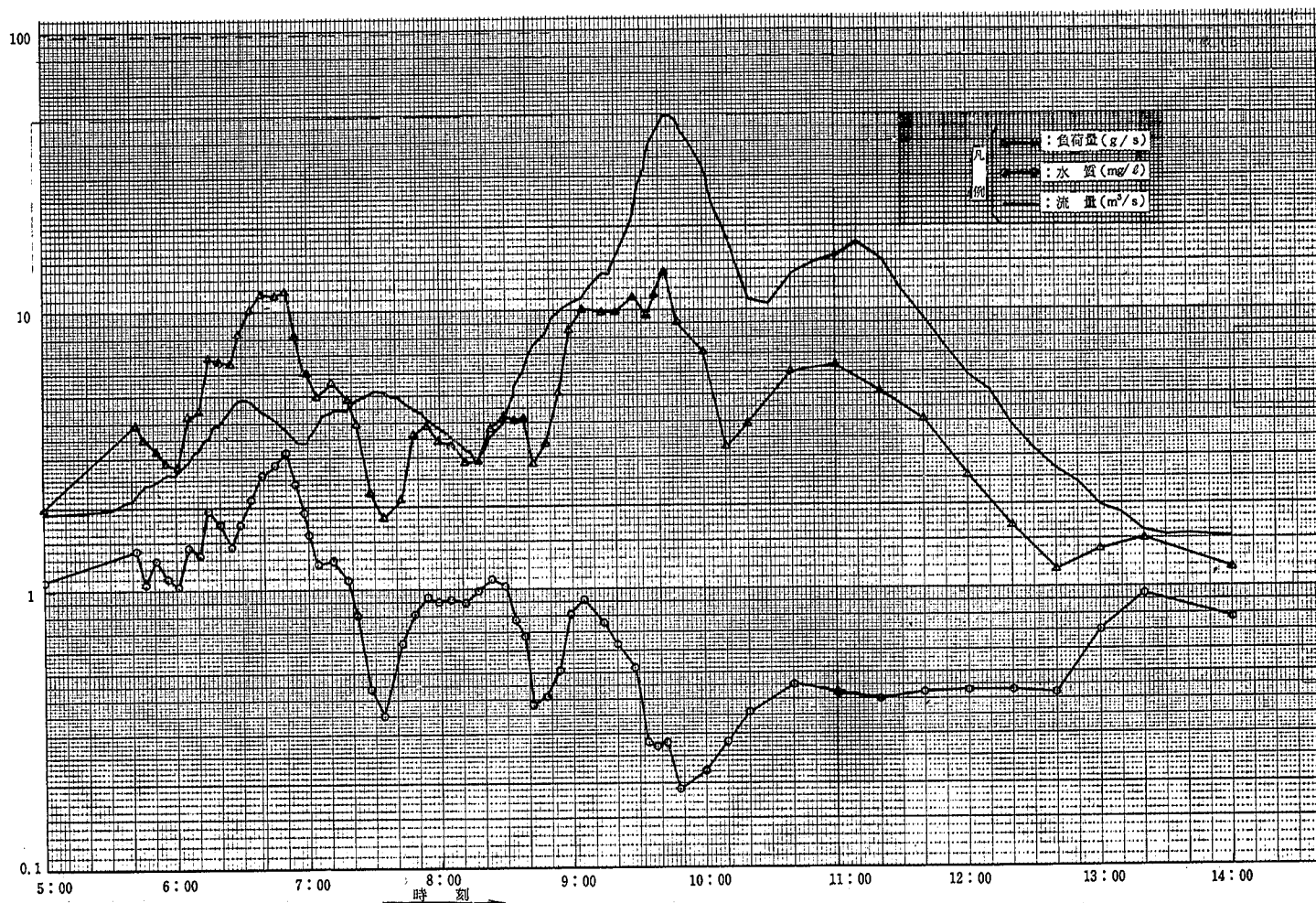


図 4.24 T-P 負荷量変動パターン (48.11.10 東京都谷端川)

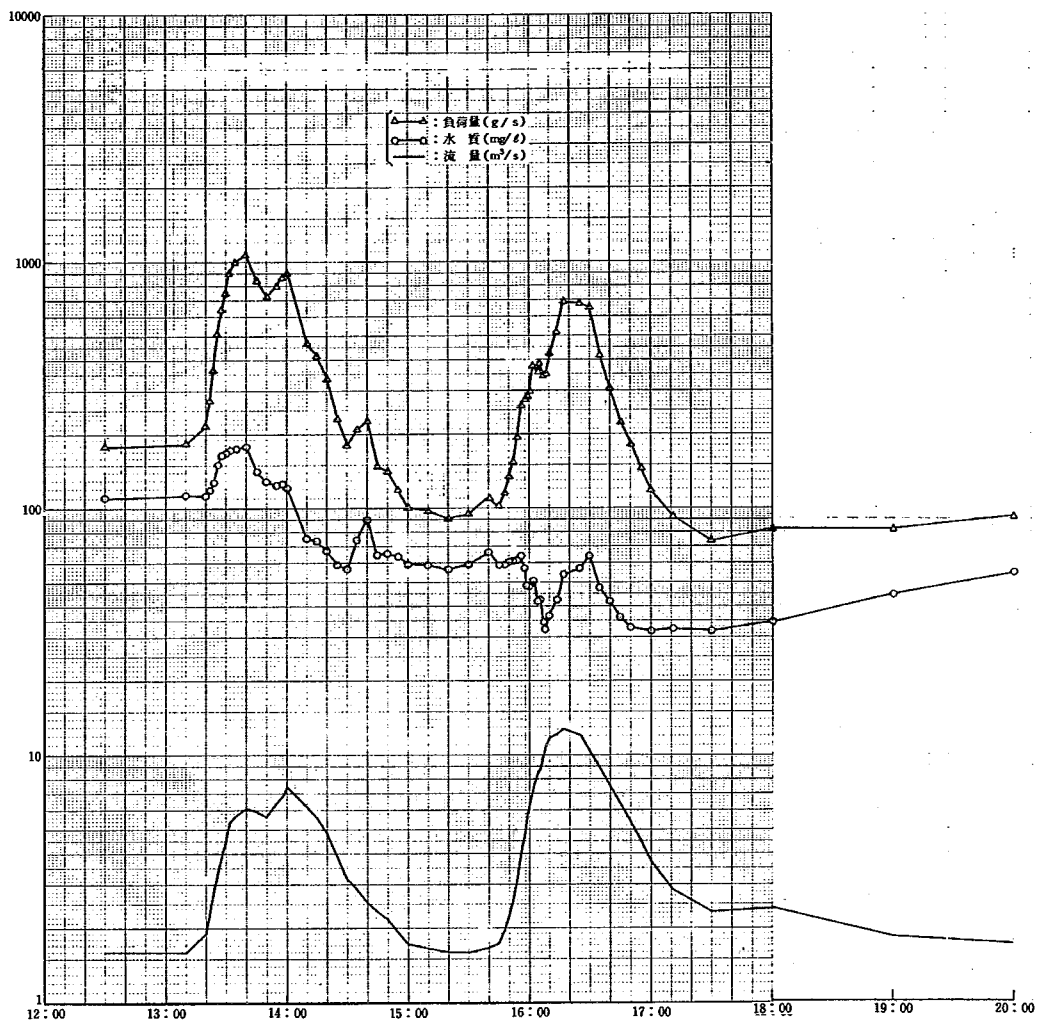


図 4.25 BOD 負荷量変動パターン (48・11・10 東京都谷端川)

議論の範囲から除かれているが、総量を問題とするようになった場合には中小降雨のほか大降雨も流量の影響が大きいことから問題にしなければならなくなってくる。

4.3.2 雨天時下水の代表的水質

4.3.2.1 合流式下水道の場合

これまでに観測された雨天時下水の水質について東京都谷端川排水区の場合を表4.6、京都市中部第1排水区の場合を表4.7にまた名古屋市田光、千才南部排水区での観測結果を表4.8に示した。

各表にはそれぞれ1降雨における最大値、最小値および雨水流出時の加重平均水質が示してある。これによれば雨天時下水は瞬間的には谷端川排水区でBOD 600 mg/l 、SS 1800 mg/l 、中部第1排水区でBOD 1200 mg/l 、SS 500 mg/l にも及ぶことが示されている。谷端川排水区の場合には最大値はいずれも48.8・24の降雨において記録されているが、この日の降雨は中規模程度の範疇に属する。また最小値はBOD 11.6 mg/l 、SS 11.0 mg/l で下水の二次処理水と同等か、それよりやや優れた水質である。低い数値は比較的雨水流出量の多い場合に記録されている。

前節で述べた雨天時下水水質の時間的変動の状況を勘案すると、合流式下水道の場合の雨天時下水流出に伴う水質変化のパターンは図4.26のように模式化できる。小規模降雨ないしは中規模降雨では、生下水に雨天時流出水による汚濁負荷が加わり、いわゆる稀釈現象は余り期待できぬが、さらに降雨が継続するか、ないしは強降雨のため短時間のうちに堆積物が流出した場合には雨水による稀釈現象が現れる。

また小規模降雨の場合で堆積物を洗掘するだけの流速が生じない場合には、生下水を稀釈する効果が大きく出る。

したがって、雨天時下水の処理を考える場合には中規模程度の降雨の、とくに初期の流出水が主要な対象になるとみてよい。

降雨強度が大きくなるにしたがって雨天時下水の水質が低下することは広島市においても観測されている。⁷⁾

表4.6のように谷端川排水区における雨天時下水水質の平均値はBOD $45 \sim 123 \text{ mg/l}$ 、SS $85 \sim 340 \text{ mg/l}$ であり、11降雨の単純平均値はBOD 92 mg/l 、SS 175 mg/l であった。わが国の下水処理場への流入水質はBOD、SSともほぼ $120 \sim 150 \text{ mg/l}$ の範囲にあるが⁸⁾、上記の値はこの値に比較的近似しているとみることができる。

谷端川排水区の晴天時下水の水質は表4.9のようにBOD $1000 \sim 25 \text{ mg/l}$ 、SS $950 \sim 20 \text{ mg/l}$ の範囲にあり平均値はBOD 243.9 mg/l 、SS 165.2 mg/l であった。このことは谷端川排水区の水

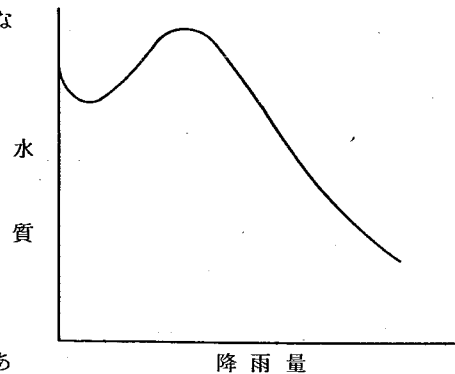


図4.26 降雨量と雨天時下水の水質の関係を示す模式図

表 4.6 雨天時下水の水質 (東京都 谷端川)

単位 mg / ℓ

	47. 7. 31				47. 9. 09				47. 10. 06				48. 7. 21			
	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値
B O D	61	353.0	94.2	38.5	56	158.0	104.6	69.4	44	240.0	102.3	30.0	35	317.4	121.7	62.3
S-BOD	30	63.0	29.0	15.1	28	55.8	37.1	25.6	22	66.1	33.6	18.5	11	94.3	65.3	49.8
T - S	30	886.0	569.0	305.0	28	535.0	462.9	324.0	22	1,076.0	531.0	353.0	11	1,025.0	548.1	294.0
SS	61	686.0	340.5	94.0	56	214.0	140.9	55.0	44	716.0	251.3	92.0	35	788.0	154.9	32.0
V T S	30	274.0	142.7	51.0	28	101.0	66.2	42.0	22	262.0	136.7	42.0	11	463.0	233.3	124.0
T - N *	16	17.3	11.3	7.3	15	14.7	14.2	13.2	11	33.8	14.6	10.0	6	36.1	24.7	14.4
T - P	16	28.8	1.79	1.07	15	2.78	2.51	2.15	11	5.92	2.78	1.74	6	7.20	4.56	2.50

* ケルダール窒素

48. 7. 29				48. 8. 01				48. 8. 4				48. 8. 10			
試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値
70	147.0	89.0	31.3	60	246.3	88.6	16.6	83	177.7	70.1	19.8	35	244.5	99.5	19.6
34	44.8	18.3	10.2	24	73.8	19.4	10.8	28	63.4	8.8	10.2	11	88.2	36.7	23.5
19	475.0	196.9	185.0	24	1,133.0	341.4	131.0	30	680.0	142.7	134.0	11	1,092.0	323.5	197.0
70	375.0	86.6	11.0	60	1,020.0	221.2	16.0	83	475.0	113.8	14.0	35	857.0	182.4	21.0
19	318.0	113.3	56.0	24	604.0	171.3	58.0	30	318.0	64.4	59.0	11	641.0	174.3	93.0
10	29.4	9.8	10.1	12	11.7	4.3	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—
10	3.10	1.17	0.80	12	1.90	0.54	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—

48. 8. 24				48. 8. 25				48. 11. 10				総 括	
試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	平 均	範 囲
44	613.4	93.0	25.4	26	126.8	101.1	63.2	121	367.5	45.5	11.6	91.8	11.6 ~ 613.4
13	238.4	21.0	8.6	9	52.5	10.5	13.7	121	37.9	9.3	3.9	35.3	3.9 ~ 238.4
13	1,935.0	192.1	139.0	9	388.0	105.8	185.0	121	819.0	249.4	93.0	257.5	93.0 ~ 1,935.0
44	1,768.0	152.2	39.0	26	243.0	118.0	64.0	121	680.0	162.9	14.0	175.0	11.0 ~ 1,768.0
7	984.0	419.5	104.0	9	234.0	183.9	88.0	121	378.0	89.7	31.0	163.2	31.0 ~ 984.0
—	—	—	—	—	—	—	—	61	26.7	6.8	2.4	12.2	1.9 ~ 36.1
—	—	—	—	—	—	—	—	61	3.14	0.54	0.18	1.97	0.18 ~ 7.20

表 4.7 雨天時下水の水質（京都市中部第1排水区，河原町系統）

水 質 項 目		BOD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)
42 ・ 8 ・ 3	試 料 数	29	29	—
	最 大 値	1,176.0	393.0	—
	平 均 値	88.1	214.0	—
	最 小 値	55.3	9.0	—
42 ・ 8 ・ 22	試 料 数	23	23	23
	最 大 値	108.8	523.0	106.0
	平 均 値	49.35	298.0	63.0
	最 小 値	22.0	96.0	12.0
42 ・ 8 ・ 31	試 料 数	27	27	27
	最 大 値	219.5	525.0	185.0
	平 均 値	71.37	337.0	77.8
	最 小 値	19.2	92.0	20.0
総 括	平 均	69.6	283.0	70.4
	範 囲	19.2 ～ 1,176.0	9.0 ～ 525.0	12.0 ～ 185.0

質はBODについては全国値よりかなり高く，SSについては平均値に近いことを示している。

雨天時，晴天時の水質を比較してみると，雨天時下水の水質は晴天時下水の水質変動の範囲内にあり，平均的に見ればBODは晴天時の1/2，SSはほぼ同程度の数値になっていることがわかる。

英国Northamptonにおける長期観測の結果では（第3章 3.2.1参照）平均水質がBOD 80mg/ℓ，SS 400mg/ℓで，晴天時下水に対してはBOD 30%，SS 200% であるとしている。また雨天時下水の水質変動巾はとくにBODの場合ほとんどの降雨が晴天時下水の濃度範囲に入っていたと報告している。谷端川排水区での観測結果もBODについてはほぼこれと一致している。SSについては地表面流出水がもたらす地面の堀削による無機性物質量がかなり寄与していると考えられるので，地域特性とくに舗装の状況などによって差が生じることは当然予測される。

京都での観測結果は3降雨についてのみであるが，平均値はBOD 69.6mg/ℓ，SS 283mg/ℓであり，BODに関する限り谷端川の値と近似している。

榊原らは名古屋市岩塚処理場内の雨水排除用ポンプ場から排出される雨天時下水について調査し，加重

表 4.8 雨天時下水の水質 (名古屋市田光・千歳南部)

単位: mg / ℓ

観測日	観測地	名古屋市田光		千歳南部	
	水質項目	BOD	SS	BOD	SS
42 ・ 7 ・ 19	試料数	40	40		
	最大値	296.6	4,310.3		
	平均値	72.6	1,228.8		
	最小値	4.2	5.8		
42 ・ 8 ・ 22 ↓ (1)	試料数	8	8		
	最大値	59.7	372.5		
	平均値	84.7	333.6		
	最小値	5.0	3.2		
42 ・ 8 ・ 22 ↓ (2)	試料数	14	14		
	最大値	80.6	1,289.1		
	平均値	63.9	455.5		
	最小値	3.5	4.7		
42 ・ 9 ・ 13 ↓ (1)	試料数	19	19	21	21
	最大値	51.3	879.2	70.0	514.5
	平均値	44.0	411.9	32.3	254.5
	最小値	5.7	13.8	7.3	13.3
42 ・ 9 ・ 13 ↓ (2)	試料数	12	12		
	最大値	16.8	38.5		
	平均値	55.9	141.2		
	最小値	7.1	16.8		
総括	範囲	3.5 ~ 296.6	3.2 ~ 4,310.3	7.3 ~ 70.0	13.3 ~ 514.5
	平均	64.2	514.2	32.3	254.5

平均値がBOD 57~156 mg/ℓ, SS 127~390 mg/ℓであったと報告している。⁹⁾

表 4.9 晴天時下水の水質 (東京都 谷端川)

単位: mg/ℓ

観測日 水質項目	47.8.25				47.11.20				48.2.7				総 括	
	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	平 均	範 囲
BOD	26	317.0	109.4	23.5	26	994.0	489.6	121.0	26	221.0	134.3	39.0	243.9	23.5 ~ 994.0
S-BOD	26	169.0	40.8	12.3	26	143.0	80.8	31.0	26	119.0	85.3	25.0	68.9	12.3 ~ 169.0
T-S	26	1,250.0	506.1	247.0	26	805.0	528.0	206.0	26	1,270.0	517.4	238.0	517.1	206.0 ~ 1,270.0
SS	26	938.0	181.2	20.0	26	292.0	163.7	45.0	26	306.0	150.7	46.0	165.2	20.0 ~ 938.0
VSS	26	321.0	98.0	10.0	26	204.0	110.7	30.0	26	261.0	98.1	3.0	102.2	3.0 ~ 321.0
T-N*	26	38.0	20.0	9.1	26	41.9	20.1	9.1	26	46.2	24.5	10.4	21.5	9.1 ~ 46.2
T-P	26	5.57	2.96	0.96	26	6.86	4.10	1.04	26	7.37	3.98	1.13	3.64	0.96 ~ 7.37

* ケルダール窒素

これらの値の単純平均値を求めてみると BOD 89.5 mg/ℓ, SS 229.2 mg/ℓ であり、本調査での結果には近い。

EPAの資金援助のもとに行なわれてきた米国での調査結果、英国Northampton での結果やわが国での観測結果をまとめてみると表 4.10 のとおりである。¹⁰⁾

この表はそれぞれの調査における採水方法、試料数や地域的な特性の相異を無視して示してあるため、必ずしも同一の尺度を用いての評価はできぬが、合流式下水道における雨天時下水の水質がほぼ一定の範囲内にあり、わが国での調査結果はその範囲のうちでも低い方に属していることが示されている。

第 1 章 (1.2 項) に述べたように、わが国では水質汚濁防止法により雨水吐等から排出される雨天時下水に対しても排水基準が適用されると解されている。この場合、総理府令で定める一律基準は BOD 160 mg/ℓ, SS 200 mg/ℓ (日間平均値は BOD 120 mg/ℓ, SS 150 mg/ℓ) であり、雨天時下水の水質は瞬間的にはこの数値を越えることが多いが、1 降雨の平均値としてみれば 100 mg/ℓ 以下に納まることにはなる。

雨水吐等からの越流頻度や越流継続時間は排水区域の特性により異なるので一概には論ぜられぬが、東京都谷端川排水区の例では 3 倍稀釈とした場合には平均 23 日、延 44 時間とされており⁵⁾、この間厳密に云うと、瞬間的であるが基準値を越えた水質の雨天時下水が公共用水域に放流されていることになる。

とくに大腸菌群数については 3,000 個/cc 以下という厳しい規制がなされているため、下水道管理者としては今後何らかの対策を考慮する必要があると考えられる。

表 4.11 は谷端川排水区における晴天時および雨天時下水の水質を示している。同時にわが国における下水処理場への流入下水の代表的な水質についても示した。前述の通り雨天時下水の水質変動範囲は

表 4.10 合流式下水道における雨天時下水の水質

下水の種類, 都市名, 調査年	BOD ₅ , mg/l		COD, mg/l		DO, mg/l	SS, mg/l		一般細菌数 MPN/100 ml		総窒素 mg/l (N)	総リン mg/l (P)
	平均	範囲	平均	範囲	平均	平均	範囲	平均	範囲	平均	平均
生 下 水 水 質	200	100 - 300	500	250 - 750	—	200	100 - 350	5×10 ⁸	1×10 ⁷ -1×10 ⁹	40	10
処 理 水 水 質		—									
一 次 処 理 水	135	70 - 200	330	165 - 500	—	20	40 - 120	5×10 ⁷	5×10 ⁶ -5×10 ⁸	35	8.5
二 次 処 理 水	25	15 - 45	55	25 - 80	—	15	10 - 30	1×10 ³	1×10 ² -1×10 ⁴	30	5.0
雨 天 時 下 水											
Atlanta, Ca., 1969	100	48 - 540	—	—	8.5	—	—	1×10 ⁷	—	—	1.2 ^b
Berkeley, Calif. ^c 1968-69	60	18 - 500	200	20 - 600	—	100	40 - 150	—	—	—	—
Brooklyn, N.Y., 1972	180	86 - 428	—	—	—	1,051	132-8,750	—	—	—	1.5
Bucyrus, Ohio 1968-69	120	11 - 560	400	13 - 920	—	470	20-2,440	1×10 ⁷	2×10 ⁵ -5×10 ⁷	13.0	6.4
Cincinnati, Ohio, 1970	200	80 - 380	350	190 - 410	—	1,100	500-1,800	—	—	—	—
Des Moines, Iowa, 1968-69	115	29 - 158	—	—	—	295	155-1,166	—	—	12.7	11.6
Detroit, Mich., 1965	153	74 - 685	115	—	—	274	120 - 804	—	—	16.3 ^d	4.9
Kenosha, Wis., 1970	120	—	464	—	—	458	—	2×10 ⁶	—	10.4 ^d	5.9
Milwaukee, Wis., 1969	55	26 - 182	177	118 - 765	—	244	113 - 848	—	2×10 ⁵ -3×10 ⁷	7-24	0.8 ^b
Northampton, U.K., 1960-62	150	80 - 350	—	—	—	400	200 - 800	—	—	10 ^e	—
Racine, Wis., 1971	119	—	—	—	—	439	—	—	—	—	—
Roanoke, Va., 1969	115	—	—	—	—	78	—	7×10 ⁷	—	—	—
Sacramento, Calif., 1968-69	165	70 - 328	238	59 - 513	—	125	56 - 502	5×10 ⁶	7×10 ⁵ -9×10 ⁷ ^f	—	—
San Francisco, Calif. 1969-70	49	1.5 - 202	155	17 - 626	—	68	4 - 426	3×10 ⁶	2×10 ⁴ -2×10 ⁷	—	—
Washington, D.C., 1969	71	10 - 470	382	80 - 1,760	—	622	35-2,000	3×10 ⁶	4×10 ⁵ -6×10 ⁶	3.5	1.0
京 都 市, 中 部 第 1	70	19 - 1176	—	—	—	238	9 - 525	—	—	—	—
東 京 都, 谷 端 川	92	12 - 613	—	—	—	175	11 - 1,768	—	—	12 ^{g)}	2
名古屋市, 田 光	64	4 - 300	—	—	—	514	3 - 4,310	—	—	—	—
名古屋市, 千歳南部 ^{h)}	32	7 - 70	—	—	—	255	13 - 515	—	—	—	—
名古屋市, 岩 塚 ^{g)}	90	—	119 ⁱ⁾	—	—	229	—	—	—	12 ^{g)}	4.2 ^{h)}

注) a) 米国における値, および生水・処理水水質は文献10より引用

b) オルトリン酸のみ

c) 浸透による污水管からの越流水

d) アンモニア性+有機性窒素 (ケルダール性窒素)

e) アンモニアのみ

f) 腸菌のみ

g) ケルダール窒素

h) PO₄

i) 1試料のみ

晴天時下水のその範囲に入っており、下水処理場での雨天時下水の処理（とくに生物学的処理）を行なう場合水質的には問題はないと考えられるが、雨天時下水は晴天時下水に比べ粗大固形物やSSが多いのでし渣や汚泥の処理には特別の配慮が必要であろう。

またBODに対するN、Pなどの栄養塩類の割合についてみると、わが国の流入下水ではBOD:N:Pは100:17:2であるのに対し、谷端川排水区での調査結果では100:13:2になっており、雨天時下水の水質は平均化されれば生物学的処理を行なうに当って栄養源の問題からも何ら障害はないことを示している。

表 4.11 晴天時下水と雨天時下水の水質の比較（東京都 谷端川）

単位：mg/ℓ

水質項目	晴 天 時		雨 天 時		全 国 代 表 値
	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均
BOD	243.9	23.5 ~ 994.0	91.8	11.6 ~ 613.4	150
溶 解 性	68.9	12.3 ~ 169.0	35.3	3.9 ~ 238.4	—
T-S	517	206 ~ 1270	258	93.0 ~ 1,935	—
SS	165.2	20.0 ~ 938.0	175.0	11.0 ~ 1,768.0	150
VT S	102.2	3.0 ~ 321.0	163.2	31.0 ~ 984.0	—
T-N	21.5	9.1 ~ 46.2	12.2	1.9 ~ 36.1	25
T-P	3.64	0.96 ~ 7.37	1.97	0.18 ~ 7.20	3

4.3.2.2 分流式下水道の場合

表 4.12、表 4.13 は岐阜市、神戸市における雨水流出水の水質を示したものである。

これによれば岐阜市清水川ではBODは14 ~ 3.43 mg/ℓ、SSは476 ~ 9.0 mg/ℓであり平均的にはBOD 8.2 mg/ℓ、SS 111.5 mg/ℓであった。また神戸市の場合にはBOD 78.3 mg/ℓ、SS 436 mg/ℓであった。いずれの場合も汚濁物質が洗い出された後の水質は急速に低下する。この調査では降雨開始後4時間で採水を打ち切っており、平均値もこの間のものであるが、一降雨全体としてみれば平均濃度はさらに低くなるはずである。

また神戸市の例では大腸菌群数も最大 10^5 個/mlのオーダーで検出されている。

表 4.14 は神戸市の雨水流出水中に見られた粗大固形物を示したものであり、明らかに合流式下水道でみられるし渣とは異なっている。

Lagerらは米国における分流式下水道の雨水系統での雨水流出水の水質はBOD 30 mg/ℓ、SS 630 mg/ℓとしているが¹⁰⁾、岐阜市での調査結果ではこれよりも低く、また神戸市調査結果はこれよりもはるかに高くなっており、むしろ合流式下水道での雨天時下水の水質に近い。このことは岐阜市の場合は測定地点が晴天時にも流量のある小河川内にあり、晴天時の汚濁物質の大部分が沈殿せずに流下してしまっていると考えられること、神戸市の場合は晴天時には流水はほとんどなく、固形物質等がそのまま

表 4.12 雨天時下水の水質 (岐阜市清水川)

水 質 項 目		BOD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)
42 ・ 7 ・ 6	試料数	40	40	40
	最大値	14.3	268.0	116.0
	平均値	11.6	145.0	75.0
	最小値	3.83	18.0	10.0
42 ・ 7 ・ 12 ・ (1)	試料数	82	82	—
	最大値	13.1	78.0	—
	平均値	7.3	43.0	—
	最小値	3.2	30.0	—
42 ・ 7 ・ 12 ・ (2)	試料数	65	65	—
	最大値	11.3	162.0	—
	平均値	7.3	71.0	—
	最小値	4.11	9.0	—
42 ・ 7 ・ 19 ・ (1)	試料数	44	44	44
	最大値	14.2	476.0	110.0
	平均値	8.7	251.8	62.0
	最小値	4.03	46.0	24.0
42 ・ 7 ・ 19 ・ (2)	試料数	34	34	—
	最大値	10.7	88.0	—
	平均値	6.8	45.2	—
	最小値	5.04	13.4	—
42 ・ 8 ・ 22	試料数	85	85	—
	最大値	13.9	208.0	—
	平均値	7.2	113.0	—
	最小値	3.43	57.5	—
総 括	平 均	8.15	111.5	68.5
	範 囲	3.2 ~ 14.3	9.0 ~ 476.0	10.0 ~ 116.0

残留されていること、さらに大都市の中心市街地の小区域に限られているため地域の特性が極端に現れたためと見られる。なお神戸市での観測を行なった48年度は降雨が異常に少なく、渇水年であったため地表面への堆積物が多かったことも水質を悪化させる一因となっている。

第 4.13 雨天時下水の水質（神戸市 花隈）

単位：mg/l, 個/ml

観測日	48. 9. 3				48. 10. 27				49. 1. 21				総 括	
水質項目	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	試料数	最大値	平均値	最小値	平 均	範 囲
BOD	24	9800	994	130	51	1360	31.0	9.5	52	743.0	104.6	15.0	78.33	9.5 ~ 980.0
溶-BOD	14	576	132	8.5	27	430	11.0	2.7	27	70.0	11.9	5.0	12.03	2.7 ~ 70.0
SS	24	25610	756.8	24.0	51	1960	76.4	6.3	52	2130.0	475.0	13.4	436.1	13.4 ~ 2561.0
VSS	14	13600	1960	130	27	830	35.6	10.0	27	959.0	179.0	1.0	136.9	1.0 ~ 1360.0
T-N*	14	658	15.8	2.3	27	107	3.8	1.4	27	71.0	12.3	1.5	10.63	1.4 ~ 71.0
T-P	14	1.15	0.73	0.36	27	2.06	0.67	0.38	27	2.96	0.68	0.32	0.69	0.32 ~ 2.96
N-ヘキサノ抽出量	14	538.3	31.7	1.0	27	28.7	6.3	0.1	27	138.0	22.7	1.0	20.23	0.1 ~ 538.3
大腸菌群数	14	250,000		3,100	27	77,000		80	27	500,000		2		2 ~ 500,000

* ケルダール窒素

表 4.14 神戸市花隈地区における流出粗大ゴミの観察結果

流出開始 後の時間	48年 9月 3日 調査	48年 10月 27日 調査	49年 1月 21日 調査
降雨前	なし	なし	なし
流出開始時	はし、ビニール、破片、		
時 分	ボール、はし、ビニール破片		
0 03	マッチ棒、タバコ吸殻		
	木片、ダンボール破片、タバコ吸殻		
06	発泡スチロール破片、はし、		
	発泡スチロール破片、西瓜の皮、		
09	ビニール破片、タバコ吸殻		発泡スチロール破片
12	ビニール破片	タバコ吸殻	みかんの皮、はし、タバコ吸殻、マッチ棒
15			ビニール破片、発泡スチロール破片
18	以後、ほとんど認められない。	タバコ吸殻、マッチ棒	はし、タバコ吸殻、マッチ棒
21		タバコ吸殻、発泡スチロール破片	ビニール破片
27		発泡スチロール破片	タバコ吸殻、マッチ棒
30		はし	木片、バナナの皮
33		はし	ビニール破片
36		生花破片	
42		はし	以後、ほとんど認められない。
45		発泡スチロール破片	
51		新聞紙破片、ビニール破片	
1 00		以後、ほとんど認められない。	

4.3.2.3 雨天時越流水の水質

前項で求めた雨天時下水水質の代表値は雨天時下水の処理を前提にしたため、いずれも降雨全体としての値になっている。^{注1)}

しかし、実際には合流式下水道では小規模降雨の場合の雨天時下水はすべて下水処理場へ送られる場合が多く、雨水流出量が一定の値以上になった場合にはじめて公共用水域に直接放流される機構になっている。したがって、雨天時下水の直接放流に起因する水質汚濁を論ずる場合にはこの点を考慮しなければならない。

東京都谷端川幹線では調査地点より約200m下流に跳躍堰を設け雨天時下水の分流を行なっている。この分流地点での計画雨天時最大汚水量は $1,782 \text{ m}^3/\text{秒}$ であり、これ以上の流量の場合に直接放流が^{注2)}生じることになっているが、晴天時でも時間によってはこの流量に近い汚水量になっている(4.3.1.1)。このような過負荷の状況は他の多くの都市の合流式下水道でも見られる現象であり、雨天時越流水の水質を検討する場合にはこの計画上の遮集量と、実際に遮集しなければならない量との間に差があることを前提に議論を進める必要がある。こゝでは先ず計画雨天時最大汚水量を $1.8 \text{ m}^3/\text{秒}$ とし、もし仮に現時点で雨水吐室を改良し、遮集容量を増加させたとした場合の量を修正雨天時最大汚水量として、これを観測結果から $1.54 \text{ m}^3/\text{秒} \times 3 \div 4.6 \text{ m}^3/\text{秒}$ とした。これは計画当時の稀釈倍率を5.8倍に上げたのと同じことになる。

表4.15はこのような前提のもとに谷端川幹線でのこれまでの観測結果を再整理し、一降雨全体での平均水質、各設定流量を越えた時間帯での平均水質を示したものである。

これによればBOD、SS、栄養塩類では明らかに異なった傾向が見られる。BODは降雨時全体の平均的水質(以下「雨天時全体」)に比べ越流時の水質はほぼ等しいかやゝ大きいのに対し、SS、TS、TVSはすべての場合について雨天時全体の値より高くなっている。SSの値が大きくなっているのは、降雨量が大きくなるにしたがって地表面や管渠内での洗い流し量が多くなることによるものである。また水質の時間的変化を見ても流量の変化にほぼ追従してSS量が変わっていることが認められている。一方栄養塩類は流量が増加するにしたがって明らかに水質は低下し稀釈現象が見られる。

この現象は流量が増加した場合にさらに顕著となり、BODはほぼ等しく、SSは増加し、栄養塩類は減少する傾向を示している。

雨天時下水全体に比べて越流時の水質が悪化していることの原因としては、先に述べた通り雨天時下水の汚濁の原因が雨水流出水による洗い流し現象によるものであり、その機構は当然流量の増加に伴って促進されるためであると考えられる。このほかに雨天時下水水質の時間的変化の検討から降雨

注1) 表4.10の値はこの点がまちまちであり、あるものは雨水吐から放流される下水であったり、雨水ポンプ場から放流される雨水であったりしている。したがって前述の通り一律に比較することは適当ではない。

注2) 実際にはこの地点から下流の放流先の容量が不足しているため放流量を制限し、 $2,048 \text{ m}^3/\text{秒}$ まで遮集するようになっている。

表 4.1.5 一降雨当りの平均水質と越流時の水質の比較

単位: mg/ℓ

年 月 日	項 目	降雨時全体	計画越流時 ($Q \geq 1.8 \text{ m}^3/\text{秒}$)		修 正 後 ($Q \geq 4.6 \text{ m}^3/\text{秒}$)	
		A	B	B/A	C	C/A
47・7・31	BOD	94.2	88.8	0.94	85.5	0.91
	溶-BOD	29.0	21.8	0.75	20.6	0.71
	T-S	569.0	659	1.16	688	1.21
	SS	340.5	454	1.33	479	1.41
	TVS	142.7	211.2	1.48	223.0	1.56
	T-N	11.3	10.9	0.96	7.70	0.68
	T-P	1.79	1.87	1.04	1.44	0.80
47・9・9	BOD	104.6	100.7	0.96		
	溶-BOD	37.1	39.9	1.08		
	T-S	462.9	522.2	1.13		
	SS	140.9	183.4	1.30		
	TVS	66.2	76.5	1.16		
	T-N	14.2	13.8	0.97		
	T-P	2.51	2.38	0.95		
47・10・6	BOD	102.3	93.7	0.92		
	溶-BOD	33.6	25.2	0.75		
	T-S	531.0	558.6	1.05		
	SS	251.3	293.9	1.17		
	TVS	136.7	165.3	1.21		
	T-N	14.6	13.2	0.90		
	T-P	2.78	2.52	0.91		
48・7・21	BOD	121.7	247.7	2.04		
	溶-BOD	65.3	78.0	1.19		
	T-S	548.1	795.5	1.45		
	SS	154.9	546.2	3.53		
	TVS	233.3	376.1	1.61		
	T-N	24.7	20.0	0.81		
	T-P	4.56	3.93	0.86		
48・7・29	BOD	89.0	94.3	1.06		
	溶-BOD	18.3	23.5	1.28		
	T-S	196.9	256.6	1.30		
	SS	86.6	144.7	1.67		
	TVS	113.3	119.2	1.05		
	T-N	9.8	15.8	1.61		
	T-P	1.17	2.19	1.87		
48・8・1	BOD	88.6	101.9	1.15	112.9	1.27
	溶-BOD	19.4	29.1	1.50	17.8	0.91
	T-S	341.4	517.1	1.51	688.3	2.01
	SS	221.2	397.8	1.80	616.8	2.79
	TVS	171.3	259.8	1.52	384.5	2.24
	T-N	4.3	7.10	1.65	4.38	1.01
	T-P	0.54	0.88	1.63	0.53	0.98

年 月 日	項 目	降雨時全体	計画越流時 ($Q \geq 1.8 \text{ m}^3/\text{秒}$)		修 正 後 ($Q \geq 4.6 \text{ m}^3/\text{秒}$)	
		A	B	B/A	C	C/A
48・8・4 (第1ピーク)	BOD	70.1	113.3	1.62	124.8	1.10
	溶-BOD	8.8	23.1	2.62	21.0	2.39
	T-S	142.7	486.4	3.40	543	3.80
	SS	113.8	331.9	2.91	380.6	3.34
	TVS	64.4	252.1	3.91	284.8	4.42
	T-N	—	—	—	—	—
	T-P	—	—	—	—	—
48・8・4 (第2ピーク)	BOD	(上に同じ)	46.5	0.66	48.6	0.69
	溶-BOD		13.8	1.57	11.9	1.35
	T-S		287.7	2.02	324	2.27
	SS		171.0	1.50	210.7	1.85
	TVS		61.1	0.95	122.7	1.90
	T-N		2.30	—	2.41	—
	T-P		0.60	—	0.66	—
48・8・10	BOD	99.5	179.1	1.80		
	溶-BOD	36.7	69.5	1.89		
	T-S	323.5	794.8	2.46		
	SS	182.4	576.7	3.16		
	TVS	174.3	404.0	2.32		
	T-N	—	—	—		
	T-P	—	—	—		
48・11・10 (第1ピーク)	BOD	45.5			181.7	3.99
	溶-BOD	9.3			14.7	1.58
	T-S	249.4			448.3	1.80
	SS	162.9			363.0	2.23
	TVS	89.7			171.8	1.92
	T-N	6.8			12.9	1.90
	T-P	0.54			1.29	2.39
48・11・10 (第2ピーク)	BOD	(上に同じ)			79.1	1.75
	溶-BOD				9.63	1.04
	T-S				296.0	1.19
	SS				197.7	1.21
	TVS				122.9	1.37
	T-N				10.1	1.49
	T-P				0.57	1.05
48・11・10 (第3ピーク)	BOD				29.1	0.64
	溶-BOD				6.68	0.71
	T-S				584.8	2.34
	SS				150.0	0.92
	TVS				72.4	0.81
	T-N				5.44	0.80
	T-P				0.38	0.70
平 均 値	BOD	90.6	111.2	1.23	84.2	0.92
	溶-BOD	28.6	33.3	1.16	14.6	0.51
	T-S	322.4	453.7	1.41	510.3	1.58
	SS	183.8	290.3	1.58	342.5	1.86
	TVS	132.4	193.9	1.46	197.4	1.49
	T-N	12.2	11.2	0.92	7.16	0.59
	T-P	1.98	1.86	0.94	0.65	0.33

(ないしは流雨)のピークが過ぎた後に水質の低下する時間帯が継続することが明らかにされているが、降雨期間全体を見た場合にはこの時間帯の水質によって影響されて平均水質を低下させる方向に作用していることがあげられる。

これらのことは従来からいわれてきた、「降雨時、とくに雨天時下水流出量が一定量以上になれば稀釈により水質が低下する」という考え方は誤りであり、むしろ流量が多く越流が生じている時の方が水質は悪化することを示している。明らかに稀釈現象が見られるのは48・11・10のような計画に近い降雨量があった場合や、降雨が連続して生じ先行降雨によって汚濁物質が洗い流された後の降雨時など限られた場合のみである。

また稀釈倍率をあげて遮集量を増加させることは放流先への汚濁負荷量の減少には寄与するものの、これまでの多くの研究結果では経済的にも得策ではないことが明らかであるが、上記の結果は水質の面からも何らの解決策にもならぬことが示唆されており、雨天時下水問題の根本的な解決策とはなり得ない。

4.3.3 雨天時下水中の汚濁物質の構成

一般に雨天時下水中の汚濁物質は地表面上のものが雨水流出に伴ってもたらされるものと、管渠内堆積物が洗い流し出されてくるものであり、したがって有機性固形物の割合が多い。こゝではこの問題をより定量的にとらえるため二、三の検討を行なった。

図4.27から図4.30までは東京都谷端川排水区における各降雨でのBODと溶解性BOD*の関係を相対的に示したものである。図4.27は大規模降雨の場合であり、図4.28、図4.29は中規模降雨の場合、図4.30は小規模降雨の場合の例である。このうち図4.27の例が最も雨天時下水の特徴を示している。この場合は全体的に見て

$$y = 2.068 x^{0.429}$$

x : BOD (mg/ℓ)

y : 溶解性BOD (mg/ℓ)

で示される関係に沿って変化している。降雨初期にはこの平均的傾向より下側にあり、BODに対する溶解性BODの割合が平均値より低いのにに対し、時間の経過とともにこの関係を上廻ようになってくる。これは溶解性BODの割合が増加していることを示している。この日の降雨は2回の降雨ピークがあったが、いずれの場合も同じ傾向が見られる。

またBODの場合はSSに比べ一般に平均値に対する差が大きく、この降雨の場合には8の字を描くように変化した。

図4.31はこの日の水質変化と降雨時間との関係を図示したものであるが、同様に降雨後期に溶解性BODの占める割合が高くなる傾向が認められている。

しかしながら図4.27のような傾向がすべての降雨について認められるわけではない。図4.28の47・7・31の場合はBODと溶解性BODがほぼ正比例的に変化している。また48・8・1の場合はむしろ逆の傾向が見られ、降雨初期の方が溶解性BODが高く降雨後期に至ってSSによるBODの割合が高くなっ

* こゝでいう溶解性BODとは試料を東洋濾紙No.5 Aで濾過した後のものについて測定したBODである。

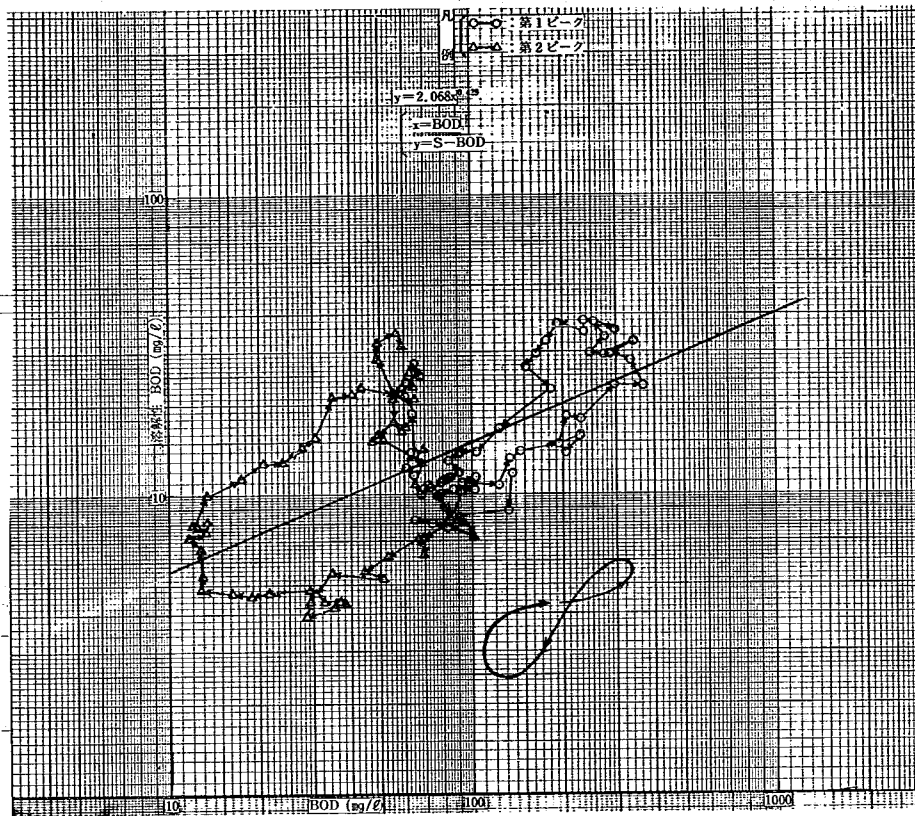


図 4.27 降雨時のBODと溶解性BODの相関変動パターン(東京都谷端川 48・11・10)

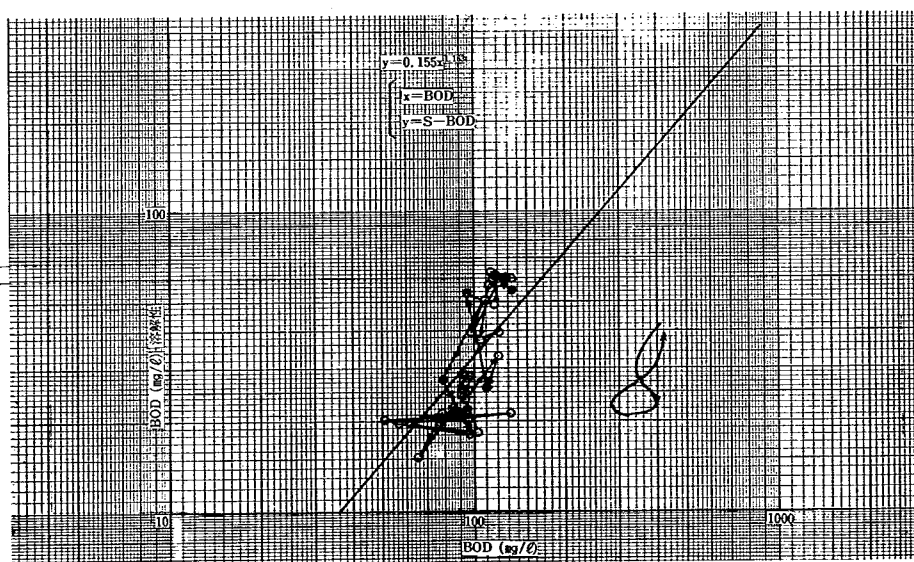


図 4.28 降雨時のBODと溶解性BODの相関変動パターン(東京都谷端川 47・7・31)

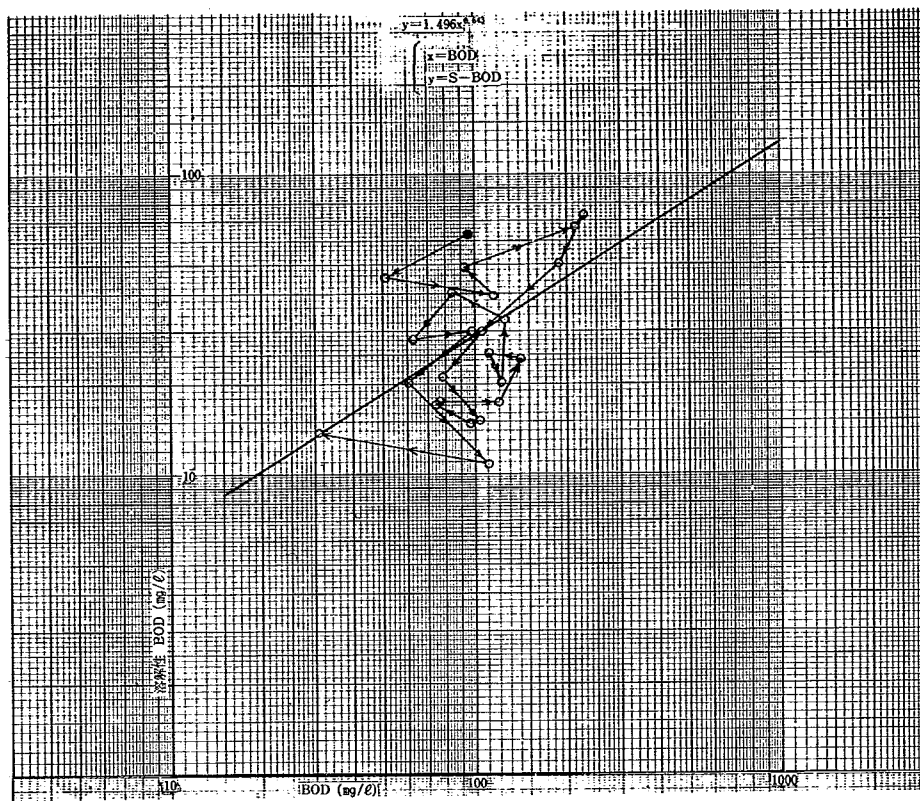


図 4.29 降雨時のBODと溶解性BODの相関変動パターン (東京都谷端川 48・8・1)

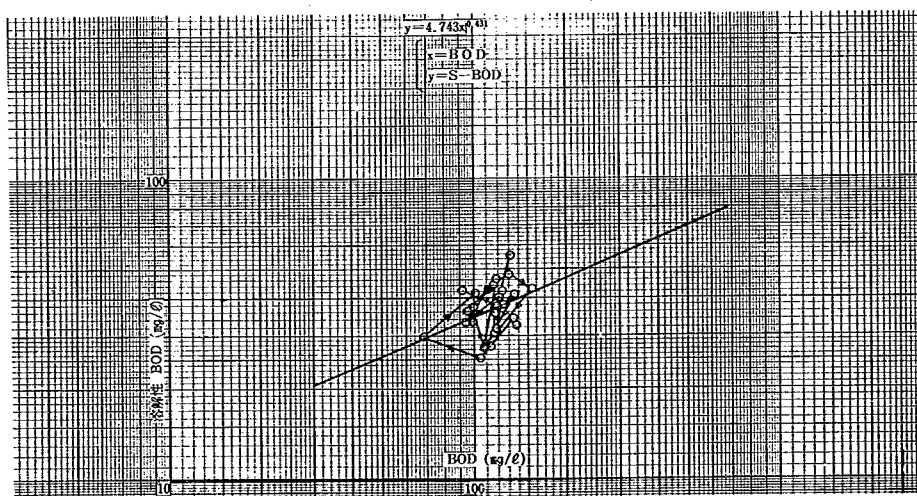


図 4.30 降雨時のBODと溶解性BODの相関変動パターン (谷端川幹線 47・9・9)

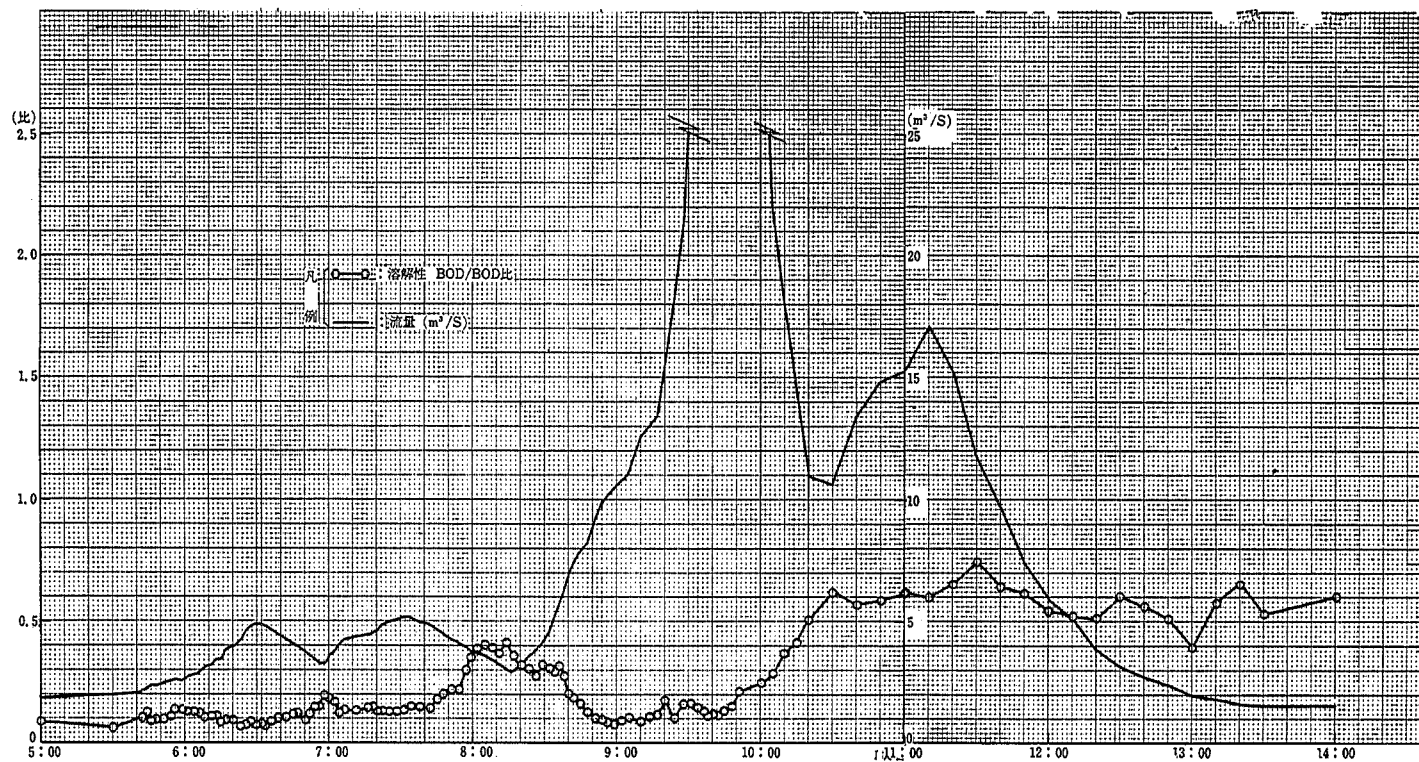


図 4.31 降雨時の溶解性BOD/BOD比の変動パターン(谷端川幹線 48・11・10)

ている。もっともこの日の流量およびBODの時間的变化は図4.1.1に示した通りであり、降雨初期のBOD上昇ピークと流量増のピークとはずれており、BODのピークが流量増と関係なく先行していることが認められる。このことから有機性固形物の増加を時間的に見ると必ずしも降雨初期に増加するのではなく流量の増加によって生じていることがわかる。

図4.3.0は小規模降雨の場合の例であるが、この場合は水質的にも比率的にも大きな変化は見られない。

これらのことから、雨天時下水による汚濁物質の増加は単に管渠内の堆積物の流下と考えるのは適当でなく、もっと複雑な要因が関係し、それぞれの降雨の状況によって汚濁の原因となる構成成分が異なり、またその状況は刻々と変化していると思われるであろう。

図4.3.2は各試料におけるBODと溶解性BODとの関係をプロットしたものであるが、およそ

$$y = 1.255 x^{0.6}$$

x : BOD (mg/ℓ)

y : 溶解性BOD (mg/ℓ)

の関係にあることが認められる。

これは各降雨における関係式とはほぼ同じ形である。

表4.1.6は一降雨時当りのBODと溶解性BODの関係を東京都谷端川（合流式）と神戸市花隈地区（分流式）での観測結果からまとめたものである。一降雨当りで見た場合、合流式下水道では晴天時下水中の溶解性BODの占める割合が約40%であるのに対し、雨天時下水の場合は30%弱であり、有機性固形物の割合が高くなっている。また分流式下水道の雨水渠ではBODの80%までが有機性固形物に由来している。それぞれの場合のBODに占める溶解性BODの割合は10～20%の相違であるから、降雨によってBODの構成が大きく変化することはない。

表4.1.6 雨天時下水の汚濁物質構成(1)－BOD－

場 所 項 目	東京都谷端川（合流式）				神戸市花隈 （分流式）	
	雨 天 時		晴 天 時			
	範 囲	平均	範 囲	平均	範 囲	平均
BOD (mg/ℓ)	11.6～613.4	91.8	23.5～994.0	243.9	9.5～98.0	78.3
溶解性BOD(%)	3.9～238.4	35.3	12.3～169.0	68.9	2.7～70	12.0
溶解性BODの占める割合(%)		27.1		39.1		20.0

図4.3.3、図4.3.4はSSとVSSとを対比させたものでありBODと溶解性BODとの関係に相似の傾向が認められる。図4.3.3に示した47・9・9（小規模降雨）の場合には大きな変化は見られないが、図4.3.4の47・7・31（中規模降雨）の場合には差は小さいが降雨初期に比較的有機性物質の割合が高く、後期に無機性物質の割合が高くなる傾向が認められる。全体的にSSとVSSの関係はBODと溶解性BODとの関係に比べて直線的に変化するのが特徴的である。

表4.1.7は一降雨当りのSS中に占めるVSSの割合を各都市での調査結果から整理したものである。これによれば晴天時下水ではSSのおよそ60%が有機物であるのに対し、合流式下水道の雨天時下水で

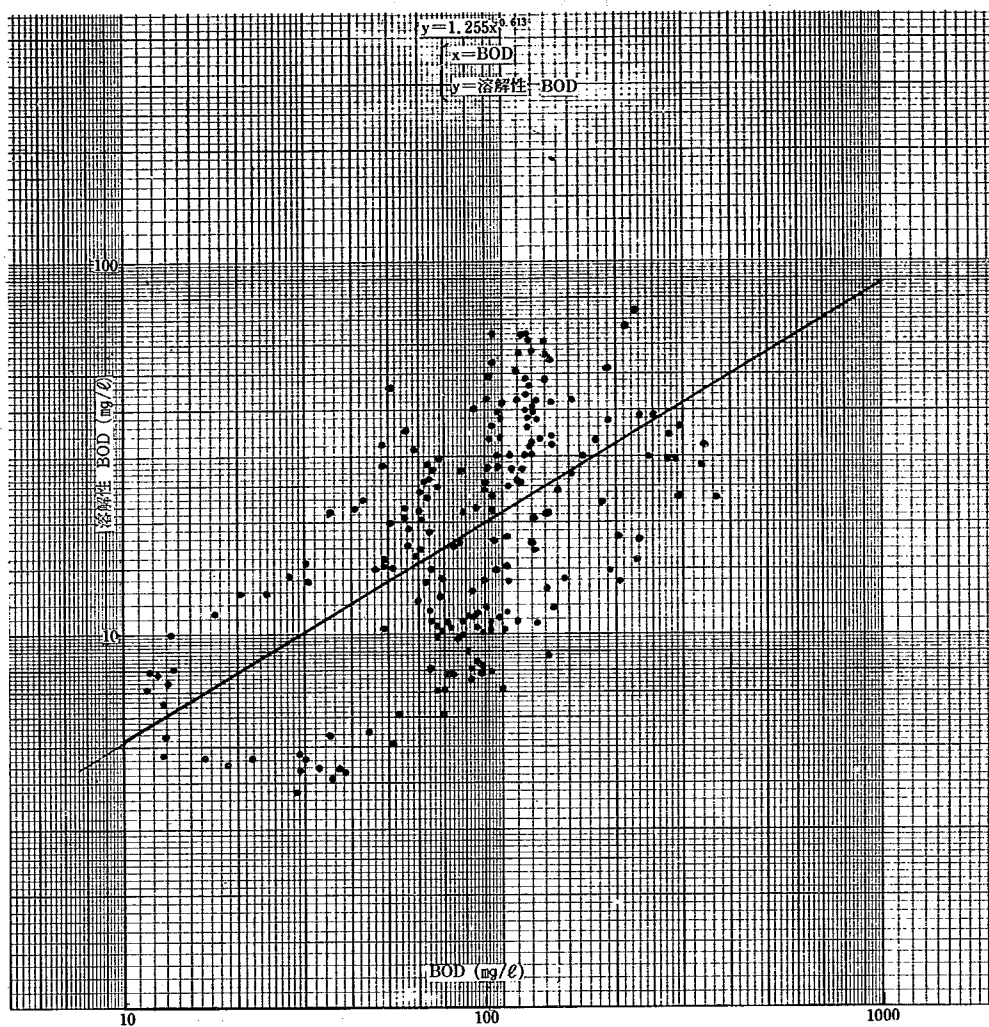


図 4.32 降雨時下水の BOD と溶解性 BOD の相関

表 4.17 雨天時下水中の汚濁物質構成(2) — SS —

場 所 項 目	東京 都 谷 端 川 (合 流 式)				京 都 市 中 部 第 1 (合 流 式)		神 戸 市 花 隈 (分 流 式)		備 考
	雨 天 時		晴 天 時						
	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	範 囲	平 均	
SS (mg/l)	55.0~716.0	244.2	20.0~938.0	165.2	9.0~525.0	283.0	13.4~2561.0	436.1	
VSS (")	101.0~274.0	115.2	3.0~321.0	102.2	12.0~185.0	70.4	1.0~1360.0	136.9	
有機物量 (%)		47.8		62.3		22.1		36.7	

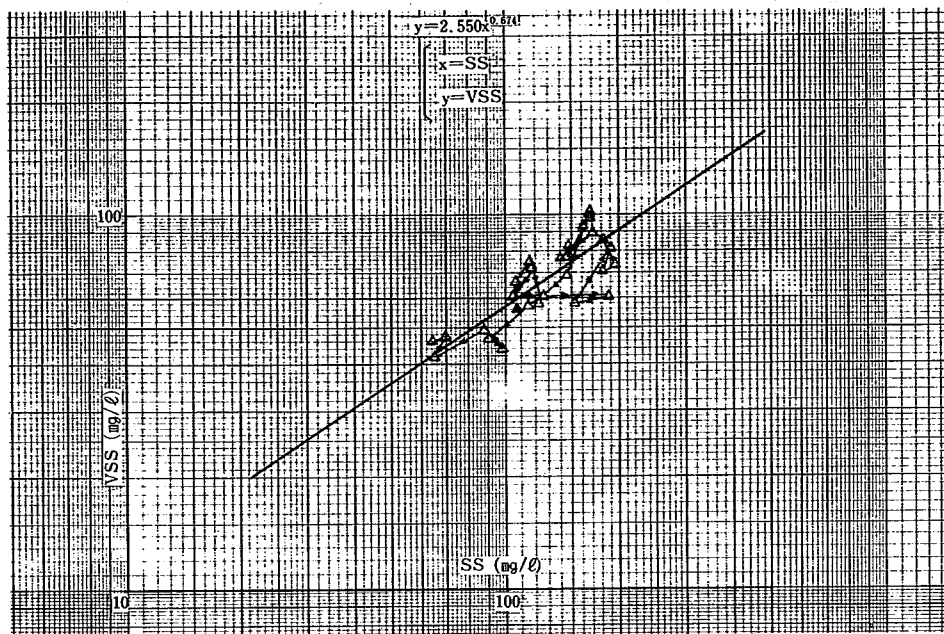


図 4.33 降雨時のSSとVSS相関変動パターン
(東京都谷端川 47・9・9)

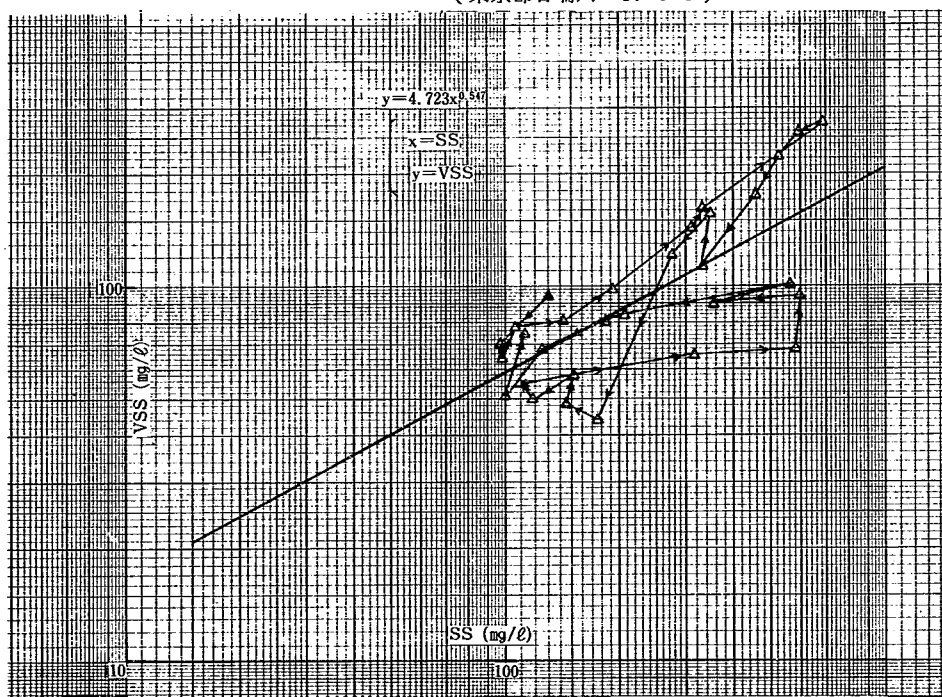


図 4.34 降雨時のSSとVSS相関変動パターン
(東京都谷端川 47・7・31)

は京都市の例で20%, 東京都の例で50%である。また分流式下水道での雨水流出のSSにも40%弱の有機物が含まれている。しかしSSの場合もBODの場合と同じく降雨期間中のSSの構成が晴天時に比べ極端に異なっているわけではない。

図4.35は合流式下水道について晴天時のBOD, SSの構成内容の経時変動パターンを47・11・20を例にとって示したものである。また図4.36, 図4.37はそれぞれBODと溶解性BOD, SSとVSSの相関変動パターンを示している。BOD・SSともその構成内容は時間的に変化しており、とくに夜間になって下水量が減少した場合に溶解性BOD, ならびに無機物の割合が高くなることが示されている。この夜間の状態は流量の減少に伴ない下水中に含まれる比較的重い浮遊性有機物が管内に沈殿するためであると考えられる。上述の通り雨天時下水についても降雨後期には同様の傾向が見られるが、この場合も流量が減少する時間帯であることを勘案すると恐らく同じような現象が生じているものと推察される。

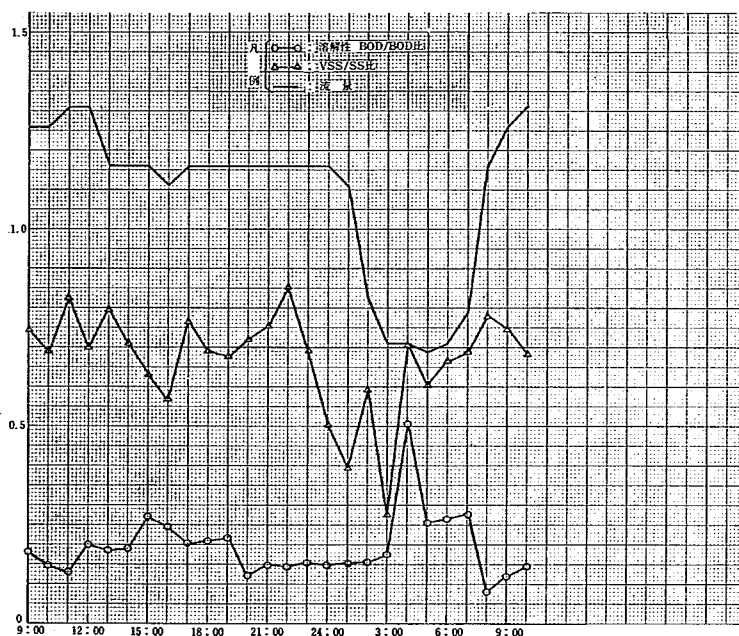


図 4.35 晴天時下水の溶解性 BOD/BOD, VSS/SS 比の経時変動パターン
(東京都谷端川 47・11・20)

注) SSの場合に問題にしなければならないのは、雨天時下水中の砂分である。この分析に用いた試料は管渠内の比較的上層部から採取したものである。また実際上流量が多い場合中間ないし下層部を含めた試料の採取は不可能である。一方砂分は比重が大きいため底部近くを流下するものと考えられるから試料中に含まれることが少なく、雨天時下水中のSSでは砂分の要素が小さく評価される傾向がある。したがって上述の値を用いる場合にはこの点を留意しなければならない。

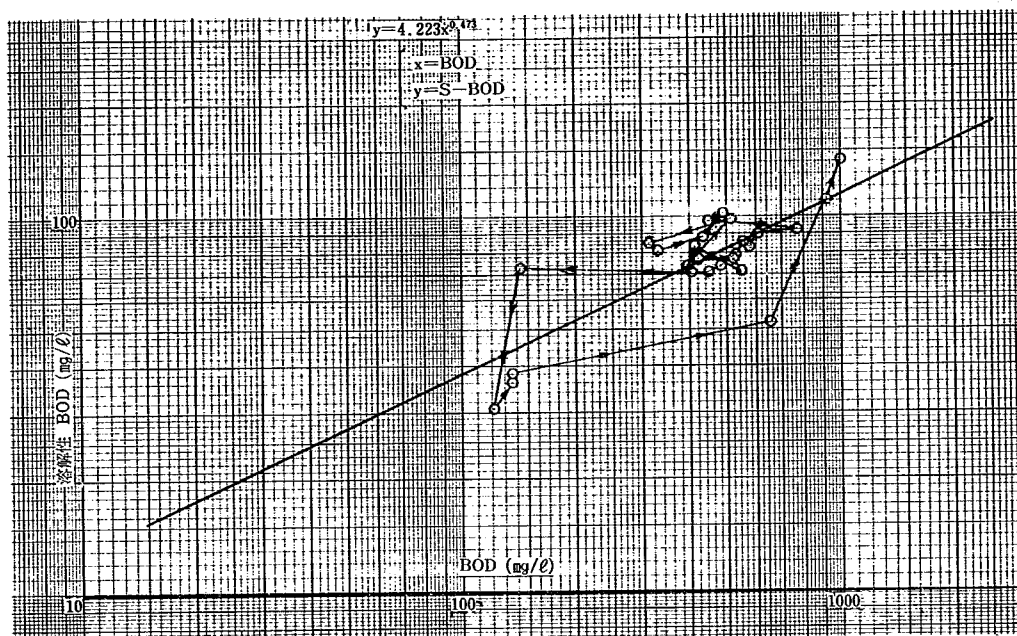


図 4.36 晴天時のBODと溶解性BODとの相関変動パターン
(東京都谷端川 47・11・20)

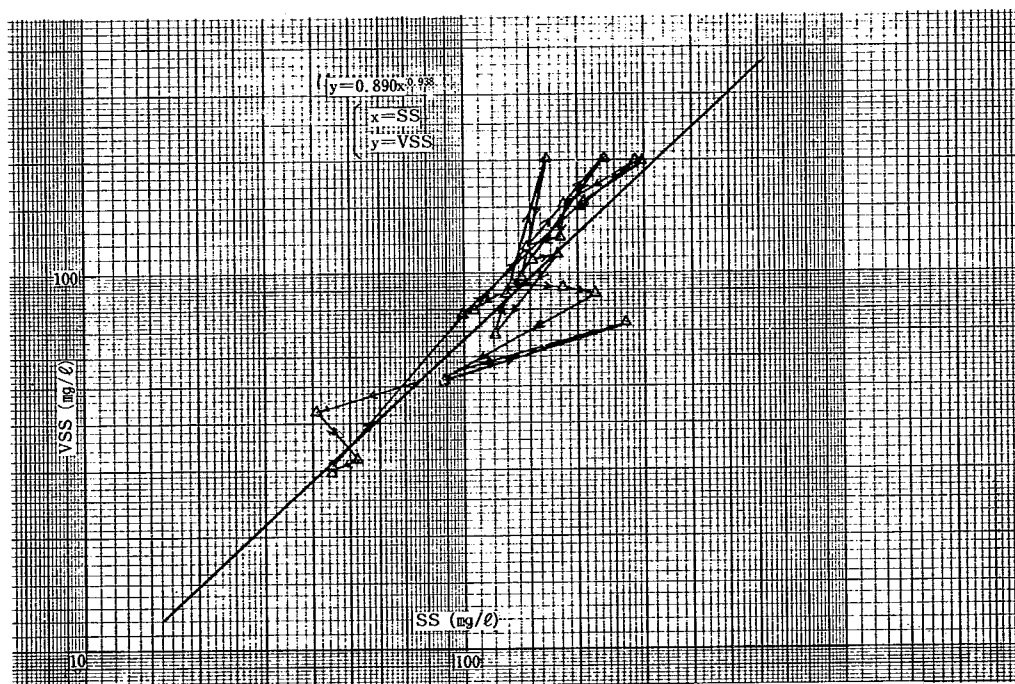


図 4.37 晴天時下水のSSとVSS相関変動パターン
(東京都谷端川 47・11・20)

4.3.4 栄養塩類とその挙動

窒素、リンなどの栄養塩類は近年湖沼の富栄養化や閉塞海域での赤潮発生の原因物質として認識されるようになった。

土木研究所が調査した結果では、わが国の下水中に含まれる栄養塩類の平均濃度は窒素（ケルダール系）は25 mg/ℓ，リンはリン酸イオン（ PO_4 ）として8mg/ℓ（リンとしておよそ2.7 mg/ℓ）であり，これを人口当量に換算すると窒素5～10 g/人/日，リン酸イオン2～3 g/人/日であった。また下水処理場での除去は二次処理まででは余り多くは期待できないという結果が得られている。⁸⁾

東京都谷端川での観測では表4.9に示した通り窒素9.1～46.2 mg/ℓ，平均21.5 mg/ℓ，リン0.96～7.37 mg/ℓ，平均3.64 mg/ℓであり，土研の行った全国調査の平均値にほぼ近似している。

一方降雨時の栄養塩類濃度は表4.6の通り1.9～36.1 mg/ℓ，平均12.2 mg/ℓ，リン0.18～7.20 mg/ℓ，平均1.97 mg/ℓであり，いずれも晴天時のほぼ $1/2$ であった。BODやSSは晴天時に比べ雨天時の方が同程度かやや低い値であるから，栄養塩類は多少異なった傾向を示していることになる。

これまでの調査結果から栄養塩類の濃度だけを取り出してみると表4.18の通りである。これによれば

表4.18 わが国における下水中の窒素・リン濃度

場 所 項 目	全国調査 (晴天時・ 最多値)	東京都谷端川（合流式）		神戸市花隈 （分流式）	名古屋市岩塚（神原ら）	
		晴 天 時	雨 天 時		晴 天 時	雨 天 時
K - N	25	21.5	12.2	10.63	20	12
P	(2.64)*	3.64	1.97	0.69	(7.33)*	(1.4)*
PO_4	8	—	—	—	22	4.2

* $\text{PO}_4 \times 1/3$

東京都と名古屋市での合流式下水道における調査結果はほぼ同じで，窒素については雨天時の平均濃度は晴天時のほぼ $1/2$ である。リンについては名古屋市での晴天時の濃度が高いが雨天時の水質はほぼ一致している。また神戸市の分流式下水道雨水きよでの雨水流出水中の栄養塩類は合流式下水道の雨天時下水の濃度の約 $1/2$ であった。雨水流出に伴って栄養塩類が放流される量がBODなどと比べて少ないのは，下水中で溶解して存在している部分が多いため，晴天時に管内へ沈殿堆積する量が少ないことによるためであろうと推察される。また栄養塩類の発生源は家庭下水，工場排水，動物の排泄物，腐敗した植物，施肥による肥料などであることからして，都市内の地表面流出水の栄養塩類が少ないこともうづける。

図4.38，図4.39は雨天時下水中の栄養塩類の濃度変化を時間的に示した例である。図4.38の場合についてみると，図4.10に示したように第2の降雨ピーク時にもBOD，SSのピークが現れたが，栄養塩類では第1の降雨ピーク時のみしか濃度のピークが出現しなかった。まだBODやSSが第1の降雨ピーク時も前半に最大値を示したのに対し，栄養塩類では降雨ピークが過ぎてから最大値を示した。これらを負荷量に換算した時の変動パターンは図4.23，図4.24に示してある。

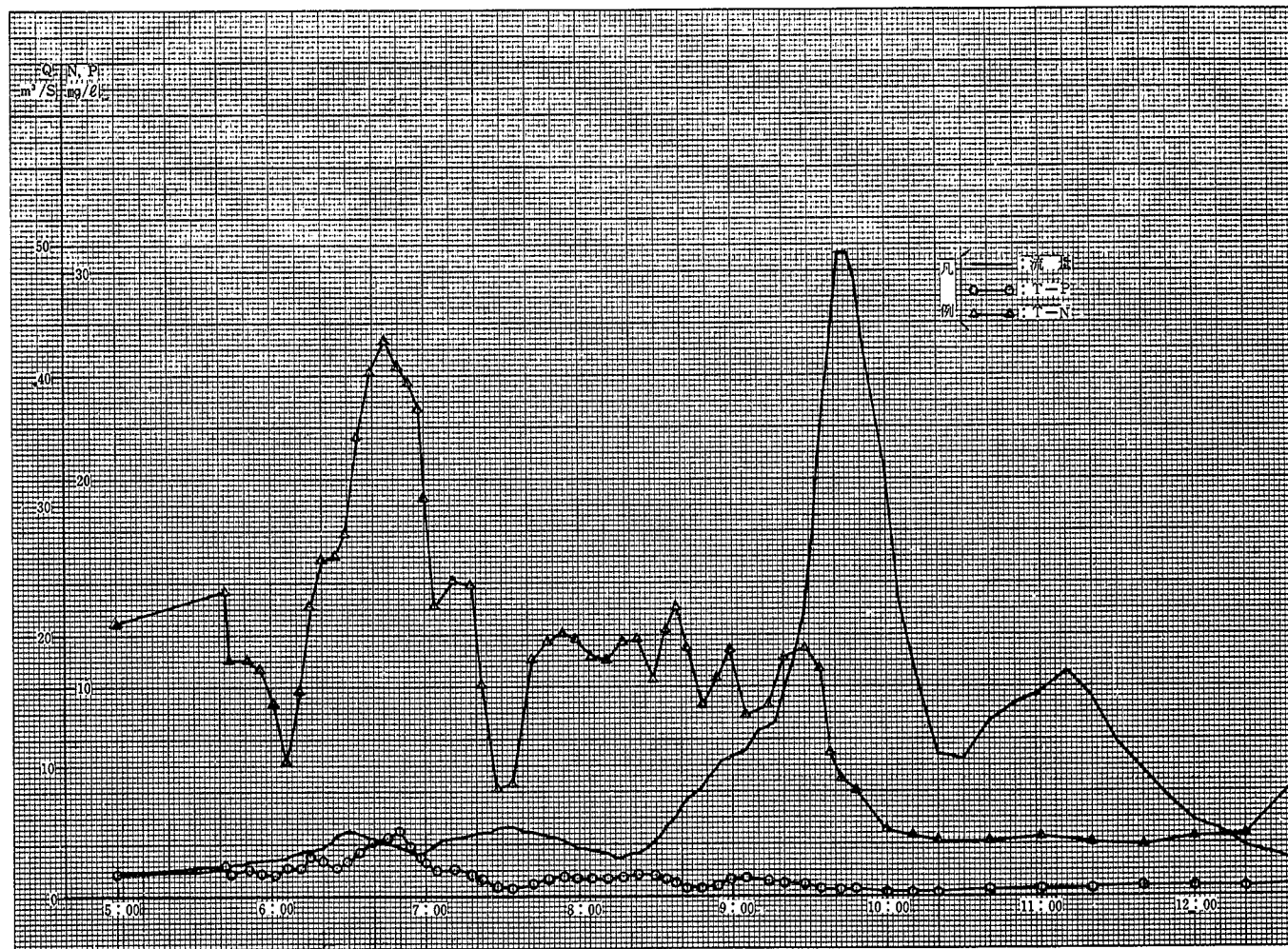


図 4.38 雨天時下水中の栄養塩類 (48・11・10 東京都谷端川)

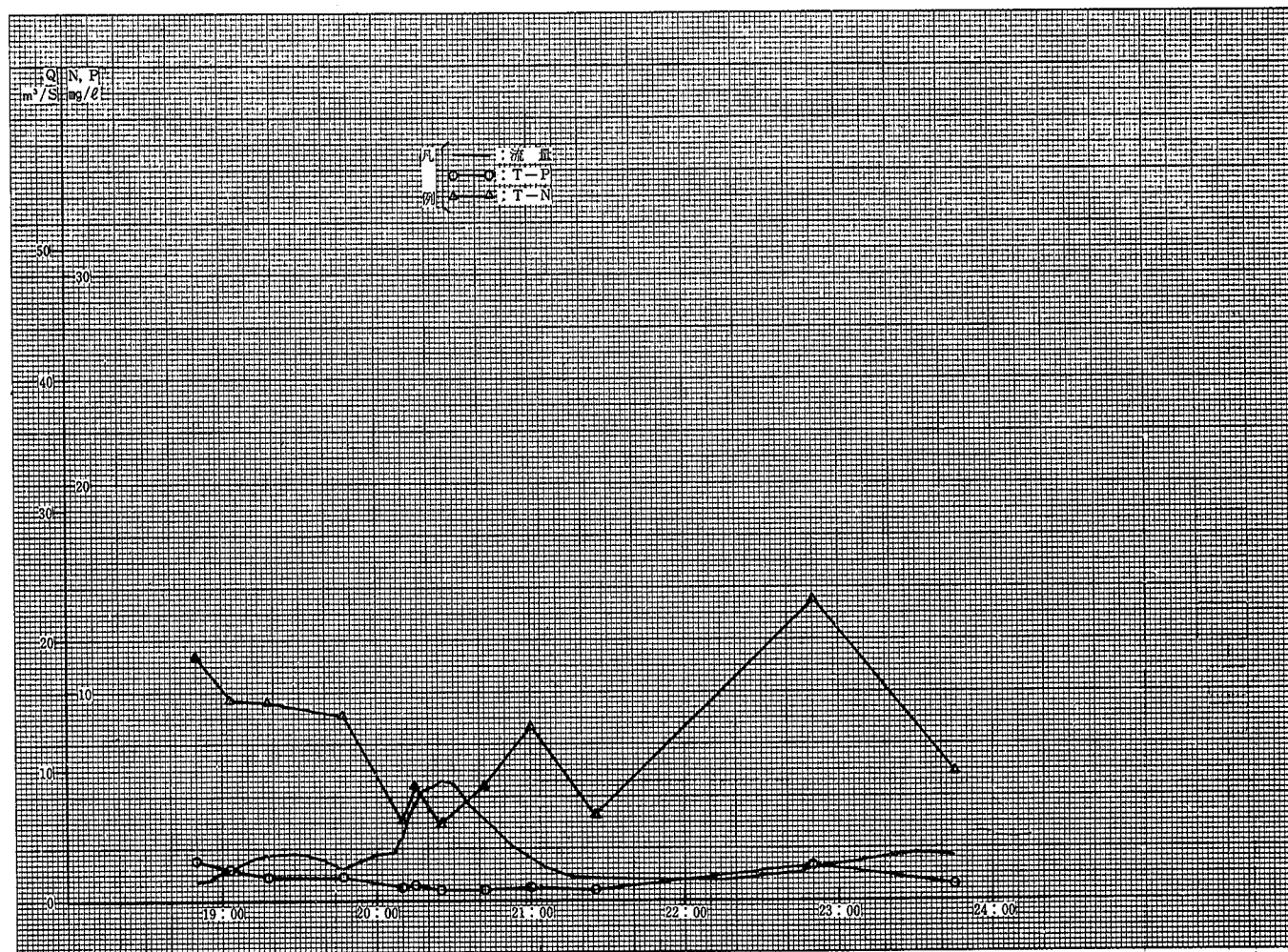


図 4.39 雨天時下水中の栄養塩類 (48・8・1 東京都谷端川)

4.3.5 大腸菌の存在

雨天時下水に大腸菌に代表される細菌類が存在していることは、これまでに検討してきた水質項目、すなわちBODやSSとは異なった問題を提起する。BOC、COD、栄養塩類などやSSはいずれも水質汚濁現象を介して人間に影響を及ぼすが、細菌類の場合はその影響が直接的であることである。とくにその水域がレクリエーションや上水道源として利用されている場合にこのことがいえる。

しかし雨天時下水中に多量の細菌類が存在していることはすでにPalmerらの時代から指摘されており、Campは雨天時下水中で最も危険視しなければならないのは細菌類であることさえしている。(第3章3.1参照)とくに放流先水域の水利用が盛んであったり、水浴などに利用されているところでは粗大固形物とともに細菌類が最も問題となる。

東京都谷端川排水区における調査結果では晴天時下水中には 2.4×10^3 個/ml、最も低い時で 4.8×10^2 個/mlの大腸菌群が存在していた。⁴⁾ この排水区からの下水が流入する小台処理場での47年度の分析結果でも最大 94×10^3 個/mlであり、およそ 10^3 のオーダーで大腸菌群が検出されており、この処理区での生下水中の大腸菌群数は $10^3 \sim 10^4$ のオーダーとみなしてよいと考えられる。

下水処理水中の大腸菌群数は下水道法により処理方式のいかんにかかわらず 3×10^3 個/ml以下と定められている。

表4.19は東京都谷端川での観測結果から代表例をあげたものであり図4.40はこれを図示したものである。このうち48・11・10および48・8・1が中規模の降雨の例であり48・11・6が小規模降雨の例である。

これによれば降雨初期には 10^5 /mlオーダーの大腸菌群が存在するが、降雨期間中は明らかに稀釈現象が認められ他の水質項目に見られるような流量の増加にしたがって濃度が増加するというようないわゆる初期流出現象はない。これは小規模降雨の場合に 10^5 オーダーでその値が余り大きく変化していないのに対し、中規模降雨では降雨の経過とともに 10^5 から 10^2 のオーダーにまで減少していることから明らかである。48・11・10の場合にはこの傾向がさらに著しく、ほとんど0に近い状態まで減少している。しかし中規模降雨の場合でも 10^3 オーダーの大腸菌群が検出されるということは、雨天時下水に関しても大腸菌群など病原菌の面から何らかの制御が必要であることを示しており、特に降雨初期にその必要性が高いといえる。通常用いられる大腸菌群の試験方法では土壌性細菌までも検出することが知られており、雨天時下水の汚濁に地表面流出水がかなり寄与していることを考え合せると、雨天時下水で検出された大腸菌群数がすべてふん便性細菌数を表すとは考えなくともよいかも知れないが、これらは今後に検討すべき問題である。

図4.41は神戸市花隈地区における分流式下水道雨水きよの雨水流雨水中の大腸菌群数を示したものである。この場合も降雨初期に多量の細菌類が洗い出され、時にはかなり高い値の状態が続いている。分流式雨水きよで検出された大腸菌群数は土壌細菌によるものが多いかも知れない。これまでの調査ではこの点を十分配慮せずに行なっており今後より詳細な検討が必要である。

Detroit市でのGeldreichらの調査結果では合流式下水道からの細菌と、地表面流出水中の細菌ではその発生源が異なり、市街地での雨水流出水中のふん便性細菌は家畜類のふん便が土壌に付着すること

表4.19 雨天時下水の水質の例

(東京都谷端川)

月 日	時 刻	流 量 ($\text{m}^3/\text{秒}$)	B O D (mg/ℓ)	S S (mg/ℓ)	大腸菌群数 (個/ $\text{m}\ell$)
48・8・1	18 : 50	1.54	94.5	149	1.8×10^5
	19 : 03	2.39	115.7	253	4.7×10^5
	19 : 18	3.34	213.6	642	4.8×10^5
	19 : 47	3.34	188.4	876	5.6×10^4
	20 : 10	4.86	78.0	403	2.4×10^4
	20 : 15	7.41	96.8	461	1.3×10^3
	20 : 25	9.17	76.4	622	2.2×10^3
	20 : 42	6.19	140.8	718	4.9×10^3
	21 : 00	3.17	121.3	434	3.5×10^3
	21 : 25	1.78	84.2	332	1.1×10^4
	22 : 50	2.39	97.3	54	3.7×10^3
	23 : 45	3.17	34.8	68	1.8×10^3
48・11・6	13 : 30	1.54	163	174	1.3×10^5
	14 : 30	1.60	144	205	1.1×10^5
	15 : 30	1.72	178	188	3.3×10^4
	16 : 30	1.66	119	226	2.8×10^5
	17 : 30	1.54	145	154	7.0×10^4
48・11・10	5 : 00	1.84	137.6	232	780
	5 : 45	2.32	74.4	124	210
	5 : 46	2.39	82.2	118	680
	5 : 51	2.46	86.2	112	170
	5 : 56	2.61	73.2	110	84
	6 : 01	2.69	76.8	104	79
	6 : 06	2.93	86.6	108	6.2
	6 : 11	3.26	103.6	218	11
	6 : 15	3.52	123.2	244	20
	6 : 20	3.97	145.7	310	3.6
	6 : 25	4.56	192.7	396	23
	6 : 29	4.86	230.3	514	11
	6 : 34	4.76	367.5	590	31
	6 : 39	4.46	276.0	680	13
	6 : 45	4.07	249.7	554	36
	6 : 50	3.79	342.6	472	16
	6 : 54	3.43	253.2	498	52
	6 : 58	3.17	192.5	512	47
	7 : 00	3.52	163.5	454	27
	7 : 04	3.97	181.5	542	49
	7 : 11	4.36	104.0	356	91

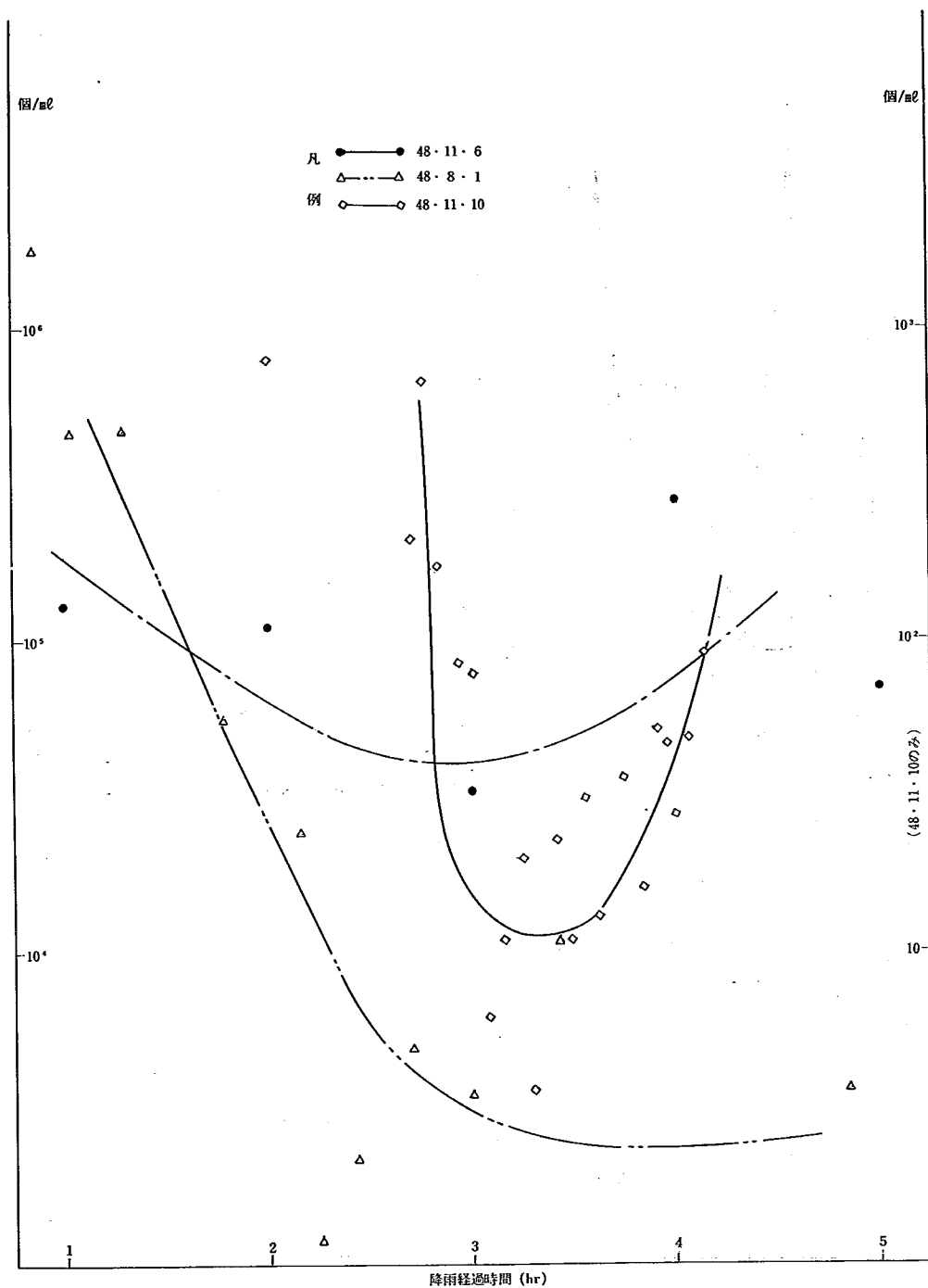


図 4. 40 雨天時下水中の大腸菌群数 (東京都谷端川)

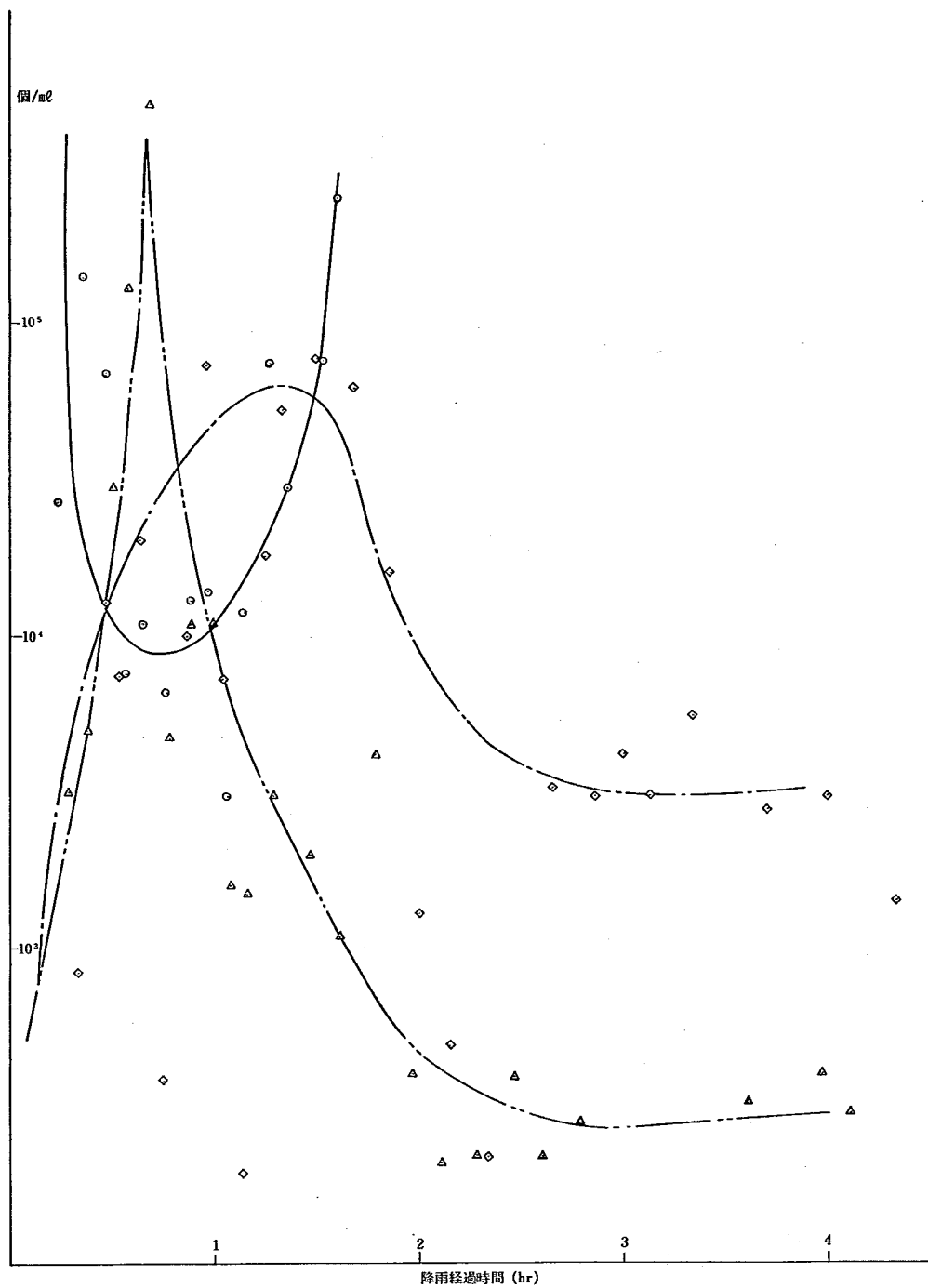


図 4. 41 雨水流出水中の大腸菌群数（神戸市花隈）

によるものだとしているが（第3章3.2.2）このような視点からの追求も今後必要であろう。

もう一つの合流式と分流式での細菌類の挙動の大きな相異は、分流式下水道雨水きよの場合には測定値に大きな変動が認められることである。これは恐らく地表面の固形物等に付着した細菌類が固形物の剥離によってそのまゝ流出してくるためではなかろうかと推察される。

また分流式下水道の雨水きよでも合流式の場合と余り変わらず 10^5 のオーダーで大腸菌群が検出された場合もあり、従来より指摘されている通り雨水流出水が必ずしも清浄でないことを裏付けている。もしこのような雨水が水利用の盛んな水域、例えば海水浴場周辺に放流されるとすれば何らかの形で分流式下水道雨水きよからの放流水を制御することも必要となろう。

4.3.6 都市域からの雨水流出に伴う汚濁負荷の試算

都市域での雨水流出に伴う汚濁物質の流出についてのこれまでの調査結果はすでに表3.2.9に示した。

わが国の分流式下水道における雨水流出水の平均的水質は表4.1.2および表4.1.3の通りであった。神戸市における調査年度（48.2～49.1）の総降雨量は846.5mmであり¹³⁾このうち60%が流出してくるものとすれば、雨水流出量は508mmである。また岐阜市については過去10年間の平均降雨量が1904mmで¹⁴⁾このうち82%が流出するものとすれば²⁾1561mmの雨水が流出する。したがって単位面積当りの流出負荷量は表4.2.1の通りとなる。

表4.2.1 都市域からの雨水流出に伴う汚濁負荷量の試算

単位 kg/ha/年

項 目	岐 阜 市 清 水 川	神 戸 市 花 隈
BOD	127.2	397.9
SS	1740.8	2214.9
N	—	54
P	—	3.51

合流式下水道の雨水吐や雨水ポンプ場から排出される汚濁負荷量は管渠計画やその維持管理状況、ポンプ場の場合はその操作条件によって大きく異なってくる。また管渠容量が不足し既定の雨天時下水を収容しきれない場合には計画当時よりも多くの雨天時下水が放流されることになる。

こゝでは比較的水文資料のととのっている東京都谷端川排水区について試算してみる。土木研究所水文研究室の行なった観測記録によれば総降雨量は47年1274.8mm、48年1077.9mmであった。平均1177mmとしてこのうち不浸透域面積率に相当する52.3%が流出してくるものとすれば616mmの雨水が流出してくることになる。

合流式下水道では一般に晴天時の時間最大汚水量の2～3倍までを下水処理場へ送り込むようになっており、水質調査地点でのこの流量は1.782m³/秒である。一方実測の結果ではすでに時間最大汚水量そのものが1.6m³/秒になっており日平均汚水量でも0.88m³/秒に達している。そこで、こゝでは時間最大汚水量と日平均との差（およそ0.5mmに相当）だけが下水処理場側へ収容可能であるとして過去の降雨記

録から計算してみると 280 mm / 年が下水処理場へ送られることになる。したがって直接放流量は 336 mm になる。

この値と表 4.15 を用いると谷端川排水区からの年間越流負荷量は次の通りとする。

BOD	373.6 kg / ha / 年
SS	975.4 "
N	37.6 "
P	6.25 "

榊原らは名古屋市岩塚処理区での年間流出負荷量は BOD 700 kg / ha / 年, SS 1700 kg / ha / 年があったと報告している。⁹⁾ 流出負荷量は年間降雨量ないし流出雨水量に大きく影響されるようである。

こゝに述べた試算値はいくつかの仮定を含んでおり、精度の点でも多くの問題が残されているが、わが国での実情の一端がおぼろ気でも握めたと思う。今後雨天時下水の流出に伴う汚濁を防止することを加味した下水道計画手法を確立するためにも、この分野での積極的な調査が必要である。

4.4 まとめ

雨天時下水の水質的な特性として、これまでの調査結果を要約してみるとおよそ次の通りとなる。

(1) 降雨の際に一時的かつ急激に高濃度の雨天時下水が流出してくる現象が認められる。この場合、BOD は降雨量や降雨強度に関係なく降雨初期に集中して流出してくるのに対し、SS の流出はこれらの大小に直接関係する。

一般的には雨水流出に伴って地表面に堆積している汚濁物質、土砂などの洗い流し下水管内での流量の急増による生下水の 1 時的な押し出し、管内堆積物の洗い流し洗掘等の現象が雨天時下水の水質に複雑に関係していると推定される。

(2) 合流式下水道では(1)の現象は中規模以上の降雨の場合、とくに初期に高い降雨強度の降雨があった場合に顕著に見られ、小規模降雨の場合には出現しないこともある。

(3) 連続的な 2 降雨があった場合、その間隔がかなり短かくとも(1)の現象は繰り返される。とくに後の降雨の強度が大きい場合はどこの現象が明確に認められる。

(4) 雨天時下水の瞬間的な水質変動は大きい、その変動巾は晴天時下水の水質範囲内には収まる。

(5) 合流式下水道の雨天時下水の平均水質は、欧米における調査結果では BOD は晴天時の生下水の水質に近似しているとされている。しかしわが国の調査例ではやゝ低く BOD 100 mg / l 以下であり、むしろ一次処理水程度の水質である。SS は晴天時の下水よりもかなり増加し、生下水の 1.5 ~ 2 倍程度である。

(6) 分流式下水道における雨水の平均的水質は、米国での BOD の調査結果では晴天時の下水の二次処理水程度であるとされている。神戸市の調査例では晴天時の生下水に近い BOD 値が観測されており、必ずしも清浄ではないことが示されている。岐阜市での調査例では BOD 10 mg / l 以下であった。

(7) 下水中の SS に占める VSS の割合は晴天時生下水、合流式下水道の雨天時下水、分流式下水道雨水きよの流出水の順に少なくなるがその差はわずかである。

(8) 雨天時下水中の栄養塩類は晴天時下水に比べ少なく、かつ、初期流出といった雨天時下水特有の現象も余り顕著ではない。

(9) 雨天時下水の排出に伴ない一時的に多量の大腸菌群が排除される。ただし降雨の継続にしたがい稀釈などにより減少する。

以上のことから雨天時下水の水質は晴天時下水の場合と極端に異なるものではない。雨天時下水の水質が清浄である、ないしは雨水によりかなり稀釈されてその濃度が低下しているとの評価は必ずしも妥当ではない。これを処理するに当っては負荷量の急変に対応し得る方策をほどこせば、通常のユニットプロセス、ないしはその組合せが適用できると推察される。

一般的にみて、わが国における雨天時下水の観測調査結果は一部を除いては断片的なものが多く、普遍性を有する結論を導き出すには調査地点、調査項目を多様化したうえで、数多くの調査結果を集収し、解析を行なう必要がある。

第 4 章 の 参 考 文 献

- 1) F. J. Condon "Storm and Combined Sewer Abatement Technology in the United States — An Overview —" EPA. Office of Research and Development, Feb. 1974, (第3回日米下水処理技術委員会資料)
- 2) 「雨天時下水の排除の合理化に関する調査研究報告書(本論編)」土木研究所資料 第435号, 建設省土木研究所, 昭和44年3月
- 3) 「東京都における雨水流出量調査報告書」昭和47年3月, 日本下水道協会
- 4) 「東京都における雨天時流出水の解析報告書」昭和48年3月, 日本下水道協会
- 5) 「東京都における合流式下水道越流現象のモデル調査東京都委託報告書」昭和49年3月, 日本下水道協会
- 6) 「東京都における雨水流出量調査報告書」土木研究所資料第678号, 昭和46年3月, 建設省土木研究所都市河川研究室
- 7) 田島「雨水滞留池の計画について」第10回下水道研究発表会講演集, 日本下水道協会
- 8) 「下水処理施設設計の合理化に関する調査報告書(4)」土木研究所資料819号, 昭和47年12月, 建設省土木研究所下水道研究室
- 9) 榊原, 他「合流式下水道の現状 — 下水道技術の現在的問題(その2) —」公害研究 Vol. 3, No. 4, Apr. 1974.
- 10) J. A. Lager, W. G. Smith "Urban Stormwater Management and Technology: An Assessment (Draft paper)", Dec. 1973 EPA資料
- 11) 「湖水および流水の富栄養化(OECD水管理研究報告)」資源調査所資料第15号, 科学技術庁資源調査所
- 12) 「琵琶湖の将来水質に関する調査報告書」昭和47年度, 土木学会
- 13) 「気象月報」神戸海洋気象台
- 14) 「理科年表」昭和47年度版

第5章 総括および今後に残された問題

本報告書は、わが国はもとより欧米諸国においても広く採用されてきた合流式下水道を水質保全の面から評価し、この改善策を検討する資料とするため、これまでに行なわれた多くの調査結果に、土木研究所が新たに行なった調査の結果を加えてまとめたものである。

第1章は合流式下水道からの雨天時下水の水質特性ならびに雨天時下水による水質汚濁問題を組織的に取扱う端緒となった米国公衆衛生局の報告書の内容とその後米国において内務省および環境保護庁の援助のもとに行なわれてきた各種の調査研究の状況を述べた。

またわが国における合流式下水道の雨天時下水による水質汚濁への影響と合流式下水道の改良の必要性に関して検討した。わが国では全国的に見れば下水道の普及率が低く、雨天時下水排除に伴う公共用水域の水質汚濁問題は未だ局部的であるが、これまで合流式下水道を採用してきた一部の都市ではこの問題はすでに潜在化しており、施設の老朽化、容量不足、などやその他の要因を合せ改善策を考えるべき時期にきている。

第2章はまずわが国で採用されてきた下水排除方式の実情についての調査結果を述べ、これまでの分流式下水道は限られた条件の都市あるいは区域でのみしか採用されてこなかったこと、したがって下水排除区域の多くが合流式下水道で整備されていること、しかし最近では水質保全の立場から分流式下水道を採用する都市が増加していることを明らかにした。

下水の各排除方式の優劣に関しては、以前よりわが国でも多くの人々により議論されてきたが、その多くは経済性を重視したものであり、かつ下水道が限られた地域でのみしか普及していなかった時代のものである。このため本章では再び原点に立ち戻り、わが国での現状およびこれまで十分配慮されてこなかった水質保全面の効果を加えて下水排除方式の今日的な再評価を行なった。

また本章では合流式下水道が現在のような形態および機能を持つに至った歴史的経過を概念的にたどり、合流式下水道は主に排水機能を重視した排除方式であることを明らかにした。

第3章はこれまでに行なわれてきた雨天時下水の水質特性に関する調査研究の内容を検討し、その結果を要約した。引用した主な調査結果はNorthampton (英), Detroit (米), San Francisco (米), Washington D. C (米), および米国環境保護庁の最近の調査ならびにわが国の東京都、名古屋市、京都市、岐阜市、神戸市で行なわれたものである。

米国においてはすでに1960年代よりこの種の調査が行なわれてきたが、初期のものは個人ないし地方公共団体の手による単独の調査であったが問題の重要性が認識されて連邦政府により全米的組織でその対応策を含めた広範囲な調査活動がなされるようになった。

第4章ではこれまで東京都、ならびに土木研究所が各都市の協力を得て行なった調査の結果を再整理するとともに、土木研究所が現在継続中の調査結果を用いて雨天時下水の水質特性に関する検討を行なった。主な検討項目はBOD、溶解性BOD、SS、VSS、栄養塩類、大腸菌群などであり、それらについての時間的変化、平均的水質、流出負荷量、晴天時下水水質との関係などの点から解析と考察を行なった。

雨天時下水が水質保全上問題であることが指摘されている以上既存施設においては何らかの改善が必要とな

り、また今後の下水道計画においてはこの点についての十分な配慮が必要となつてこよう。基本的にはこれまでの下水道計画のあり方を根本的に見直し新たな理念に立脚した計画法を造り出さねばならないと考える。このためには今後次のような事項をさらに追求する必要がある。

- (1) 雨天時下水の水量・水質に関する普遍的特性の把握とその精度向上
- (2) わが国の実情に適用し得る雨天時下水への対応策の検討
- (3) 雨天時下水を処理あるいは一時的に貯留するための施設の開発と適用に当っての問題の検討
- (4) 雨天時下水対策のための事業の費用負担原則の確立とその必要性を認識させる手段の検討

謝 詞

本報告書の作成に当っては次の関係各位の多大な協力を得た。

第2章

建設省都市局下水道部下水道事業課

下水道実施各市町村，関係都道府県

第4章

東京都下水道局計画部計画第1課，同技術開発課

同 施設管理部施設管理第1課

神戸市下水道局水質管理課，同雨水課

また第4章のうち谷端川排水区関係については東京都，土木研究所河川部都市河川研究室，水文研究室の行った観測資料によるところが大きい。

当所研修生山崎武志君（横浜市下水道局施設課）には資料の整理に関して多くの協力をいただいた。

< 参 考 資 料 >

雨水および合流式下水道からの越流水による汚濁効果 — 概括的な評価 —

米国保健・教育・福祉庁公衆衛生局上下水道部, 1964 年 11 月

"POLLUTIONAL EFFECTS OF STORM WATER AND
OVERFLOWS FROM COMBINED SEWER SYSTEMS ,
A PRELIMINARY APPRAISAL"

U.S. Department of Health, Education, and Welfare
Public Health Service
Division of Water Supply and Pollution Control
November 1964

要 約

次第に発達しつつある都市域の増大とともに、すべての用途に対する水への要望がさらに切迫したものとなった結果、水を損なう各種発生源を調べる必要が生じてきた。今まで注意が払われて来なかったが重要な汚濁の一つとして降雨と合流式下水道からの越流水がある。この問題に対処するためには、概括的な調査を行ない、問題点と費用分析により、既存の、および可能性のある解決策を明らかにすることを急がねばならない。この調査にあたっては4つの問題点がある。(1)越流水の水質と水量、(2)河川、水利用、水使用者に与える影響、(3)不利益、そして既存のまたは考えられうる制御方法とその効果、(4)制御に必要な費用である。

調査の結果、越流量は年間平均にするとかなりのものとなり、特に降雨時が著しいことが明らかとなった。米国の都市では5,900万人が越流を黙認した下水道区域内に住んでいる。年平均越流水中には3~5%の未処理下水が含まれており、降雨時には、95%程度までが未処理下水となる。降雨量がこれらの量にさらに加わる。越流水の水質は通常の示標であるBOD、大腸菌、固形物等で測定してみると水域へ高い汚濁負荷を与えていることを示している。降雨だけでもかなりの量の汚濁負荷を運ぶことが示されており、特に降雨初期で掃流作用が生じている場合がそうである。

金銭的な損失という形で限界値を規定する仕事は大部分行なわれていないが、すべての水利用類型が影響を受けており、いろいろな種類の損失に関する報告が普遍的に存在した。影響に関する正確な情報は限定されているけれども、降雨の頻度とその汚濁寄与により雨天時の越流水が流入する水の消費のおよびエクリエーション用としての利用がさまたげられることを示す報告は数多くとりそろえることができる。

その影響は一律に不利であり、制御する方法が必ず存在することを学んだ。污水管と雨水管の完全分離と処理は現在根本的な解決策であると考えられている。このなかには污水系統からすべての雨水源を分離することを含んでいる。分離した汚水は処理が必要であること、ある場合には降雨の方もまた明らかに処理する必要があることがありうることが立証されている。しかしながら、現在このような要求に対処し得る特別の指針を確立し得る情報は充分ではない。污水管と雨水管かそうでなければ屋根の排水、街路排水等々のようなその他の発生源とを部分的に分離する方法も折衷案として用いられている。完全分離に近いその他の方法としては雨水貯留槽(消毒設備を持つ場合と持たぬ場合がある)、塩素接触槽、ラグーンその他凹地貯留、下水管や附属構造物の貯留能力を増大する、処理設備の拡張または新設、管渠内への制御設備の設置、地域制を行なうかまたは土地利用の制限をする、消毒のみ、浸透水の制御などがある。これらの方法のほとんどが実用性のないものである。その他は考慮されているが、未評価のままになっている。これらのすべての方法の効果に関する評価は主として適当な地点の不足と、評価の性質が複雑であるため乏しいか不完全なものでしかない。しかしながら、多くの方法は有望であり、問題の厳しさの点から考えてすべて調査されるべきである。

完全に満足のいく費用の推定は充分にはいかなかった。しかし全米を通じて完全分離を行なうとすればその費用は200~300億ドルのオーダーになることが明らかである。部分的な分離を行なう場合の費用はこれとほとんど一致するものである。また資料がそろっている他の代替法についても幾分低い費用になっているが、数十億ドルの範囲にある。

費用に関する資料を集めた際、市町村、個人、企業ないしは工業側が、改造時期に建設によって生ずるか

なりの物理的な不便さの結果収入の減少をきたすという金銭的な損失については考慮していない。このような損失はかなりのものになる。たとえば小売業者は道路が交通禁止になっている間商売が制限される。

正しい実施計画が勧告できる程度にまで基礎的な質問には答えていない。しかしながら、問題すべてが非常に重要であり、市街地化と水需要の増大に伴って悪化していることを確証する資料は充分得られている。したがって、欠けている資料を補充し、最少の費用で最大の防禦を行なうための正しい方法を学ぶために集中した努力が必要である。現在および長期間の効果が包含される。正しい方法は短期間に突然見つかるものでもなければ、研究的な仕事が早急に行ない得るものでもない。したがって遅滞なく実用化しうる現実的な研究成果を示し得るような程度で継続的な研究の開始を促進すべきである。

諸 論

歴史的にみると米国における下水道の普及は一般的なパターンで行なわれてきた。市町村は常にそれぞれの目的に従って、たとえば輸送、給水、動力源として常に水路を築造してきた。雨水の排除はこのような市町村では最も初期に関係のあったことである。開渠が先ず用いられ後になって暗渠の下水管が発達してきた。排出は常に多くの地点で直接水路に行なわれた。一般に、これらは最も自然流下で流れやすいルートにそって流れた。これらは公共施設としての上水道が設置される前に発達した。

上水道の利用が可能となり、家庭から汚濁物質を除去するため水で運搬するという原則が採用されたため、下水を集め処分する必要が生じた。これを行なうため既存の雨水渠は雨水に加えて汚水を運ぶためにも使用された。このようにして、降雨時下水管は過負荷となり、下水および雨水の洪水が生じた。このような事態の進展は合流下水道からの越流という独自の問題を生じるようになった。しかしながら、これらが重大な汚濁源となるという重大性をほとんど認識はしていなかった。

重要なことにこのとき、下水処理場はなかった。その目的とするところは下水中のすべての成分を集め最も近い水域へ排除することであった。しかしながら、人口密度が増大し、下水の排除の影響が知られるようになると、米国の水資源および公衆衛生を保護する立場にある者にとって処理の必要性が明らかになってきた。

多くの都市に住む人達が汚水の処理の必要性に次第に目ざめてきたので、河川へいろいろの地点から未処理の家庭下水を排除していた多くの短い下水管は遮集され、下水道施設は単一の地点、すなわち下水処理場へ汚水を運ぶよう改造しなければならなかった。もし下水管をすべての下水と雨水を集め下水処理場へ運搬するように設計したとなると、これに充分対処し得る下水管および下水処理場の大きさは現実的かつ経済的な範囲をはるかにこえたものとなる。したがって、妥協が必要であった。雨水と汚水を合せ異常な高水時には余剰水は直接河川へ越流してもよいようにした。

越流水は下水と雨水の混合物であり、この妥協でも未処理下水を直接河川へ送るという問題は残っている。改善された点といえば越流の間下水道からの雨水およびすでに河川へ流れ出た雨水によって通常下水の稀釈が行なわれるということである。しかしながら、増大する市街地化とそれに伴う水質に関する強い要求により水質汚濁のすべての発生源を排除する必要性が次第に大きくなった。

米国においては、一般に実施面では、降雨時に晴天時下水の2～3倍を流す合流式下水道を設計してきた。余剰分を直接水域へバイパスすることもいくつかの計画で実行された。雨水は下水を稀釈するけれども、降雨初期において管きょ内に沈積していた有機性物質が洗掘されるという要素を考慮しなければならない。この現象は降雨時の河川中の有機性負荷のかなりの部分を占めている。

雨水の分離問題に関する一般的な性格は長年認識されてきたにもかかわらず、いかに解決するかは技術的、経済的な情報が欠除している。記録に関する調査が限られており、分散している。現在管渠の入っている都市のほんのわずかが分離を行なうための施設あるいは処理施設の能力を越した雨水と汚水の混合物を処理する施設を持っているか計画をたてているにすぎない。現在汚水と雨水を分離している都市が少ない第一の理由は分離の費用が高く、加えて雨水を分離して処理する必要性がかなりあるということである。

近年汚水と雨水の分離の必要性が認識されていることが新しい下水道を完全な分流式で計画し築造するという傾向のなかに見られる。にもかかわらず、かなりの数の既設下水道区域が合流式下水道となっている。最近の公衆衛生局(Public Health Service)の公共下水道施設一覧によれば、米国の1,300以上の市町村が合流式下水道であり、2,580万人が利用している。さらに630都市、3,310万人分が合・分流式となっている。表Ⅰは人口規模別、州別に合流式のみ、および合・分流式をとっているものに分けたものである。現在1億1,800万人が何らかの形式の下水道を利用しており、合流式下水道を利用している5,900万人は全下水道利用人口の50%になる。残り7,000万人の大部分は数年以内に下水道を利用することになる。このグループは下水道分離の調査結果による改善ないしは代替案からの実質的な利益を受けることができよう。

新しい郊外の市町村では、家屋の建設当初に開発者に分流式下水道を設置させるのが現在では普通に行なわれている。しばしば雨水管の末端についての開発者の責任分界点が官民境界にあることがある。したがって郡、市、その他の責任ある管理者が雨水集収施設をさらに伸ばさなければならないことが残される。これは現実的な一歩前進であるが雨水排除が直接小さな水路になされ、流路が自然にもつ限度を越えて有機物質や水量負荷を加え続けられれば多くの場合最終的な解決策とはならない。

議会はEdmund S. Muskie議員のS. 649により提出された最近の考究により合流式下水道の問題を認識した。この調書に関する証言とするため保健・教育・福祉庁長官のCelebrezeは合流式に関し次のように要約している。

「10億ドルとも推定されているにもかかわらず、全米の分流化計画の費用に関して、今日何ら具体的知識もない。予備的な調査によって非常に大きいものであることがわかっているにもかかわらず、未分流化の下水道によって生じる汚濁の程度すらわかっていない……。合流式下水道の分流化に対する援助計画がたてられる前に、われわれは分流化計画の費用を現実的に推定したものが必要である……。ひとたび国の分流化計画の総費用について理論的に正確な情報が得られ、代替法が十分調査された後、われわれは議会に対して、これに基づいて代替案のなかから決定したものを伝え現実的な勧告をなす。私は今この報告の条項を支持することは出来ない、なぜならば我々は十分な情報を持っているとは考えられないからである。」

1963年5月22日の政府活動に関する議会の天然資源ならびに電力小委員会に先立つ公聴会において汚水と雨水の分離が詳細に議論された。公衆衛生局(PHS)上下水道部建設援助課の長であるDavid H.

Howells 氏の証言の中で次のようないくつかの貴重な事実が発表された。

1. 米国の多くの古い都市が下水道を整備していた19世紀の状況では、20世紀になって水資源をより高度に管理するよう要求されることは予想していなかった。
2. 合流式下水道からの汚水を処理する下水処理場のほとんどは年間下水量の3～5%が未処理のまま合流式下水道からの越流水を通じて直接河川へ放流されるような状況のもとに築造されてきた。雨水もまたかなりの量の沈殿汚泥を下水道外へ洗い流し、結果的にかなりの量の汚濁物質を水路へ出している。例えば、ニューヨーク州のBuffaloの資料では、数年前であるが実際の越流水量が下水量のわずか2～3%にすぎぬにもかかわらずその都市の年間発生固形物の1/3は処理されぬまま越流していることを示している。
3. 合流下水の成分や河川に対する合流式下水道からの越流の影響に関していくつかの調査は行なわれているが、沈殿のパターン、流出地域の特性、下水道の能力や設計、放流河川の状況が類似していない限り他の都市へは応用出来ない。合流式下水道からの越流水や雨水管からの雨水の排除が実際に汚濁問題を発生していることはわかっている。この問題の大きさは総合的で完全な計画や解決のための計画を概説するに十分な程詳細には知られていない。問題の調査はばらばらであり、一般的に深さに乏しく利用が制限されている。しかしながら、これまでに行なわれた努力により既存ないし検討中の計画を補ない改善するための代替ないし修正案の可能性がいくつかあることを示している。この報告書の目的は雨水と合流式下水道からの越流水の特性と汚濁効果に関する既存の資料を予備調査し評価することと、この問

表I 米国における合流式下水道の都市

	合流式下水道のみ		合流式、分流水併用	
	都市数	利用人口	都市数	利用人口
人口規模				
500 以下.....	57	17,864	17	4,330
500-1,000.....	168	118,571	35	24,060
1,000-5,000.....	592	1,160,495	224	455,586
5,000-10,000.....	175	908,516	130	768,117
10,000-25,000.....	171	1,893,010	97	1,241,042
25,000-50,000.....	73	1,909,950	64	1,893,677
50,000-100,000.....	48	2,258,960	27	1,783,605
100,000 以上.....	29	17,581,939	36	26,958,890
州				
Alabama.....	0	0	0	0
Alaska.....	0	0	13	58,360
Arizona.....	1	20,000	0	0
Arkansas.....	2	64,300	0	0
California.....	12	2,057,910	0	0
Colorado.....	1	107,000	0	0
Connecticut.....	16	490,919	8	421,900
Delaware.....	1	2,700	6	238,520
District of Columbia.....	0	0	1	1,323,470
Florida.....	2	21,500	0	0
Georgia.....	3	914,515	2	268,920
Hawaii.....	0	0	0	0
Idaho.....	10	48,905	2	9,200
Illinois.....	155	4,693,140	29	1,835,280
Indiana.....	202	2,445,065	3	36,040
Iowa.....	18	184,760	10	402,350
Kansas.....	1	107,000	3	176,400
Kentucky.....	27	658,620	5	41,445
Louisiana.....	0	0	0	0
Maine.....	39	198,650	31	210,608
Maryland.....	8	16,800	3	2,500
Massachusetts.....	37	954,205	14	2,115,180
Michigan.....	95	4,252,685	17	1,292,275
Minnesota.....	29	1,185,710	1	19,690
Mississippi.....	0	0	1	18,600
Missouri.....	6	44,945	20	1,407,760
Montana.....	4	19,600	7	65,940
Nebraska.....	13	26,790	5	245,150
Nevada.....	4	80,600	0	0
New Hampshire.....	28	91,350	27	144,600
New Jersey.....	15	366,375	3	1,311,185
New Mexico.....	0	0	0	0
New York.....	53	519,525	49	10,192,945
North Carolina.....	1	1,020	0	0
North Dakota.....	48	196,855	0	0
Ohio.....	123	1,735,680	56	3,110,420
Oklahoma.....	0	0	0	0
Oregon.....	37	610,280	6	43,100
Pennsylvania.....	158	707,915	113	6,144,115
Rhode Island.....	1	0	2	386,470
South Carolina.....	0	0	0	0
South Dakota.....	20	15,925	7	19,170
Tennessee.....	5	195,125	1	142,100
Texas.....	1	55,000	1	58,100
Utah.....	0	0	0	0
Vermont.....	13	10,060	6	176,317
Virginia.....	1	180,000	4	181,050
Washington.....	43	826,805	13	302,030
West Virginia.....	47	425,471	19	87,970
Wisconsin.....	33	1,315,600	52	640,147
Wyoming.....	0	0	0	0
U.S. Totals.....	1,313	25,849,305	630	33,129,307

題に関し現存し可能性のある正しい方法を調査することにある。

調査計画

時間的な制約と本調査の予備的な性格からすでに存在する資料を集収し調査する必要があった。資料源としては次の通りである。

1. 下水道ないしは下水処理場に関する50以上の技術報告と質問状。一般に、これらは予備的な調査でないしは計画上の調査であり、特に雨水について書かれた少数のものを除いて、分流化を都市域全体にわたる問題の一部として議論している。これらの報告は数千人の都市から800万人以上の都市まで議論の対象としている。参考資料として調査された報告をリストアップしている。
2. 雨水の分離に関し詳細な調査ないしは勧告をもうらした、地方公共団体または地方庁の手による特別の報告書もいくつかある。これらのいくつかは、特に雨水の分離を取扱っており、その他はすべての問題の一部として取扱っているがすべて普通は水質の資料がのっている。これら報告書をもまた参考資料としてリストアップした。
3. 次の機関の代表との個別インタビュー。オハイオ州Cleveland, ニューヨーク州New York, ペンシルバニア州Philadelphia, Washington, D.C, オレゴン州Portland, オレゴン州Salem, オレゴン州Eugene, ワシントン州Tacoma, ワシントン州Seattle, ワシントン州Spokane, ワシントン州Vancouver, ミズリー州Kansas City, カンサス州Kansas City, カンサス州Mission Township 下水道庁, Minneapolis-St. Paul衛生庁, ワシントン州, カンサス州, ミズリー州, オレゴン州水質汚濁防止庁代表者, 公衆衛生局流域計画, 地方部局, 総合調査部局の幾人か。
4. 全米のいくつかの地域で多くの都市と文書を交換した。
合流式下水道問題の評価において、次のような基本的な質問が研究を支配した。

1. 下水の水質、水量とは何か？
2. 排出された下水は河川や水利用ないしは水利用者にどのような影響を与えるか？
3. もし悪影響であれば、制御方法として何があるか、何を推められるか、その方法がどの程度効果的か？
4. 制御のための費用はいくらか？

調査をまとめるため、ある特定の範囲を心に留めながら既存の資料を求め、表にする必要があった。地方の状況が大巾に変化するので参考資料から普遍的な枠を得る作業において資料の整理に特別の問題が発生する。必要な情報を収集する一助として質問状を考案した。その複雑性と総括的な特性から、郵送により仕事を完全に行なう方法は実際には採用できなかった。したがって、多くの場合この方法を用いた場合には、大体刊行物となった情報か、または特定の合流式下水道や分離化計画に関係した個人とのインタビューにより完全なものとした。

明らかに先ず必要とされる特性としては、

1. 統計上の基礎数字たとえば人口、分流式、合流式あるいはその双方を利用している人口、技術報告の採用価値、下水処理場の特性と実施資料。
2. 合流式下水道および雨水管からの越流水の詳細な特性。

3. 合流式下水道における越流の特性と頻度。
4. 合流式下水道からの越流により影響を受ける水利用。
5. 合流式下水道からの越流水に起因する損害。
6. 土地利用。
7. 遮集管の基礎的資料と水理特性。
8. 河川水質。
9. 降雨と下水道への影響。
10. 合流式下水道に用いられている調整装置。
11. 収集系統（枝線）への浸透。
12. 分流式下水道の計画ないしは存在量、処理、貯留や雨水ないしは雨水・汚水混合を処理する方法を含む対処法に関する詳細な資料。
13. 上述12の計画に必要な費用。

技術情報および質問状による基礎的な資料

表Ⅱは調査を行なった技術的資料または技術情報がなかった数都市に対する質問への解答書から得られた基礎的な統計資料を要約したものである。この技術情報はいろいろな理由により準備された、たとえば下水処理場の必要性、洪水状況の軽減、大都市の下水集収処理計画の長期展望等々のものであるから体裁に統一性はない。報告の日付も1946年から63年までである。ほとんどの報告は概括的なものである。したがって実施のための資料として充分なもの、利用し得るものではない。たとえば「1952年都市下水道施設一覧」(1)は情報、特に下水の量および処理作業の情報を追加するために用いられた。これら種々の要素は様々な情報源から出て来る情報を評価するにはかなりの程度の判断が必要であることを指摘している。

情報源が明らかに不足しているにもかかわらず、これらの報告書はいくつかの重要な事実をもたらしている。これらは25州とワシントン特別区の55都市を代表しており全下水利用人口が2300万人であるのに対し全人口は2000万人となっている。55都市のうち、9都市は分流式、10都市は合流式で36都市は分流・合流の併用である。これら合流式、ないしは合分流併用のうち9都市は分流化計画の異なった段階にあった。

表Ⅰの情報と比較すれば、この報告書では大都市における確実な代表例が示されている。たとえば、10の大きな調査対象都市だけで1900万人以上の人口を対象にしている。表Ⅱには55の都市、2300万人の下水道利用人口が含まれている。比較の意味で、米国では5900万人（1943年）が合流式ないしは半合流式下水道を利用している（表Ⅰ）。全米を通じて分流式と合流式双方を用いている都市に対する合流式のみの都市の比はわずかに0.48であるが、この調査資料ではその比は3.6である。

しかしながら、概括的な調査が進展する中で、比較的大きな都市が、そこからの情報が利用しやすかったために調査対象となった。

55の都市における調査において、9都市は処理施設を持たず、25都市は簡易処理、30都市は散水汙床、または活性汚泥の二次処理まで有していた。総計の中には二種類の処理施設を有する都市が含まれている。

全下水量、下水処理場設計、処理作業に関する完全な資料が得られないことが正しい合計値を出すことを妨げている。それにもかかわらず利用し得る資料は個々に利用した。

可能な限り、「調査計画」で述べた個人とのインタビューの結果を表Ⅱの中に加えた。これらの討議から得られたその他の情報は後に出てくる。

調査計画に参照されている特別の報告書中の資料の多くは、分流化を取扱ったものであり、後で議論する。

雨水・汚水混合水ならびに雨水の特性

河川へ未処理のまま流入する下水および雨水は合流式下水道からの越流水が直接河川へ、雨水管から直接河川へ、または通常雨天時に行なわれる処理場やポンプ場における下水のバイパス等に起因している。この問題の特別なケースについて調査している人を調べてみることは有効である。

〔他の人達の論評〕

Mckee (2)がマサチューセッツ州Bostonにおいて行なった合流式下水道からの越流水に関する古典的な調査においては、晴天時汚水の排出に等しい雨水流出が、不浸透の表面が湿った後降雨強度約 0.01 in/hr で生ずることが見出されている。この関係を降雨発生確率と結びつけることにより、遮集管の与えられた能力に対して越流構造物から逃げる下水の割合が決ってくる。

管内流量が平均晴天時下水量の2倍とすると年間全家庭下水の2.7%が放流河川へ越流することになる。この調査の基礎的な資料は低強度、長期間の降雨について行なったものであるが、高い強度の雨についても行なうようになっていた。豪雨時には越流により流失する割合は非常に高くなる。たとえば、降雨強度がわずかに 0.1 in/hr であっても雨天時の8.2%は晴天時下水量の2倍の容量を持つ下水道から越流する。また晴天時下水量の3倍であれば同じ雨に対して7.3%の越流を認めることになる。 0.5 in/hr の降雨の場合は越流はそれぞれ9.7および9.4%になる。このように比較的軽い降雨であっても、有機物負荷およびバクテリア汚染という点でかなりの汚濁物質が水域へ直接放流されることになる。遮集管を晴天時下水量の9倍という可能な限り多い流量を収容し得るように設計しても 0.5 in/hr の降雨により8.2%の下水が越流することになるであろう。Mckeeは河川の汚濁防止のために十分な大きさの遮集管の設計とすることは経済的に実用的ではないと考察している。

Mckeeはまた重要な事実をもたらしている。それはBoston地区では全越流量は低いにもかかわらず、高い下水流失を示す降雨の頻度は放流側の河川の十分な水質保護を行なうにはあまりにも高すぎるということである。彼は晴天時下水量の1.5～3倍に設計された遮集管では夏期には月当たり5～6回の越流が生じるが、これは水浴や甲かく類の繁殖のための水とするには余りにもひんぱんすぎることを見出している。

Camp (3)は合流式下水道からの越流水により水域へ多量の病源菌が排出している問題を公衆衛生の面から認めニューハンプシャー州Concordにおける調査および他の人々の業績を参照して、晴天時下水に対して必要な注入量の10倍以上の塩素減菌を雨天時下水に適用すべきであると考察している。

Palmer (4)はDetroitにおける合流式下水道の設置を正当づけるための調査において、合流式下水道からの雨水の水質は越流初期において汚濁が高いという他の人達の結論を認めなかったが、彼はこの主張

表Ⅱ 技術報告書および質問書より得られた管渠および処理場に関する情報集計(必要に

都 市 名	技術報告書		報 告 作 成 者	1960年国勢 調査人口	推定下水道 利用人口	番号
		年 度				
Amsterdam, N.Y.	有	1947	William S. Lozier Co., Rochester, N.Y.	28,772	* 35,525	1
Ashland, Ky.	"	1957	J. Stephen Watkins & Howard K. Bell, Lexington, Ky.	31,283	* 31,500	2
Atlanta, Ga.	無有	1962-	Charles A. McGuire & Associates, Boston, Mass.	^b 61,000	* 67,000	3
Boston, Mass.	"	1963		^d 697,197	* 400,000	4
Chattanooga, Tenn.	"	1948 & 1952	L. A. Schmidt, Jr. & Polk, Powell & Hen- derson, Chattanooga, Tenn.	130,009	130,000	5
Chicago, Ill.	"	1962	Black & Veatch, Kansas City, Mo.	3,550,404	4,768,590	6
Clarksville, Tenn.	"	1961	J. Stephen Watkins, Lexington, Ky.	22,021	13,200	7
Cleveland, Ohio.	"	1963	Stanley Engr. Co., Muscatine, Iowa	876,050	1,272,372	8
Clinton, Iowa.	"	1958	Consoer, Townsend & Associates, Chicago, Ill.	33,589	* 30,000	9
Des Moines, Iowa.	"	1963	Veenstra & Kimm, Des Moines, Iowa	208,982	208,000	10
Elmhurst, Ill.	"	1959	Baxter & Woodman, Crystal Lake, Ill.	36,991	36,880	11
Eugene, Oreg.	"	1961	Cornell, Howland, Hayes & Merryfield, Corvallis, Oreg.	50,977	45,000	12
Findlay, Ohio.	"	1961	Jones, Henry & Williams, Toledo, Ohio	30,344	30,345	13
Hannibal, Mo.	"	1959	Stanley Engr. Co., Muscatine, Iowa	20,028	14,400	14
Hartford, Conn.	"	1964	Metcalf & Eddy, Boston, Mass.	^b 62,178	197,819	15
Henderson, Ky.	"	1953	J. Stephen Watkins, Lexington, Ky.; Robt. E. Martin, Louisville, Ky.	16,892	16,890	16
Huron, S. Dak.	"	1962	Schoell & Madson, Hopkins, Minn.	14,180	14,000	17
Iowa City, Iowa.	"	1963	Veenstra & Kimm, Des Moines, Iowa	33,443	33,000	18
Kansas City, Kans.	"	1953	Truman Schlap, Kansas City, Kans.	121,901	107,000	19
Kansas City, Mo.	"	1958	Black & Veatch, Kansas City, Mo.	475,539	449,500	20
Kendallville, Ind.	"	1963	Clyde E. Williams & Associates, South Bend, Ind.	6,765	6,765	21
Lafayette, Ind.	"	1963	Henry B. Steeg & Associates, Indianapolis, Ind.	42,330	42,000	22
LaPorte, Ind.	"	1962	Charles W. Cole & Son, South Bend, Ind.	21,157	21,000	23
Lathrup Village, Mich.	"	1957	Ayres, Lewis, Norris & May, Ann Arbor, Mich.	3,556	* 3,500	24
Louisville, Ky.	"	1963	Metcalf & Eddy, Boston, Mass.	390,639	415,495	25
Manchester, N.H.	"	1962	Fay, Spofford & Thorndike, Inc., Boston, Mass.	88,282	62,000	26
Massena, N.Y.	"	1946	William S. Lozier Co., Rochester, N.Y.	15,478	15,785	27
Michigan City, Ind.	"	1962	Boyd E. Phelps, Inc., Michigan City, Ind.	36,653	36,655	28
Milwaukee, Wis.	"	1957	Alvard, Burdick & Howson, Chicago, Ill.	741,324	967,700	29
Minneapolis, Minn.	"	1960	Toltz, King, Duvall, Anderson & Associates, Inc., Minneapolis, Minn.	482,872	1,041,700	30
Mishawaka, Ind.	"	1962	Charles W. Cole & Son, South Bend, Ind.	33,360	34,000	31
Mission Twnshp. Main Sewer District No. 1, Kan.	"	1959	Black & Veatch, Kansas City, Mo.	N/A	60,000	32
Napa, Calif.	"	1961	George S. Nolte, Palo Alto, Calif.	22,170	30,000	33
Nashville and Davidson, Tenn.	無有	1962		170,874	170,875	34
New Haven, Conn.	"	1962	Genovese & Cahn, New Haven, Conn.	152,048	178,200	35
New York, N.Y.	"	1959	Greeley & Hansen, Chicago, Ill.	7,710,346	8,137,000	36
Omaha, Nebr.	無			301,598	243,055	37
Oswego, N.Y.	有	1946	William S. Lozier Co., Rochester, N.Y.	5,417	6,860	38
Portland, Maine.	有無	1958	Metcalf & Eddy, Boston, Mass.	72,566	65,000	39
Portland, Oreg.	"			372,676	384,000	40
Providence, R.I.	"			242,878	226,358	41
Pueblo, Colo.	有	1963	Ken R. White, Denver, Colo.	91,181	100,000	42
Redding, Calif.	"	1956	Clair A. Hill & Associates, Redding, Calif.	12,773	13,175	43
St. Joseph, Mo.	"	1953, 1955, 1960,	Black & Veatch, Kansas City, Mo.	79,673	58,900	44
St. Paul, Minn.	"	1960	Toltz, King, Duvall, Anderson, & Asso- ciates, Minneapolis, Minn.	313,411	282,070	45
Salem, Oreg.	"	1960	Cornell, Howland, Hayes, and Merry- field, Corvallis, Oreg.	49,142	52,000	46
Seattle, Wash.	"	1958	Brown & Caldwell, San Francisco, Calif.	557,087	558,000	47
Sedalia, Mo.	"	1956	Burns & McDonnell Engineering Co., Kan- sas City, Mo.	23,874	21,000	48
Spokane, Wash.	無有	1961		181,608	120,000	49
Syracuse, N.Y.	"	1957	O'Brien & Gere, Syracuse, N.Y.	216,038	221,065	50
Tacoma, Wash.	"		Brown & Caldwell, San Francisco, Calif.	147,979	150,000	51
Texas City, Tex.	無			32,065	32,000	52
Utica, N.Y.	有	1946	William S. Lozier, Rochester, N.Y.	100,410	* 600	53
Washington, D.C.	"	1957	Board of Engineers—S. A. Greeley, F. A. Manton, G. J. Reguardt.	764,000	1,323,470	54
Yakima, Wash.	"	1963	Cornell, Howland, Hayes, & Merryfield, Corvallis, Oreg.	43,284	N/A	55
Totals where applicable				^p 20,000,000	^p 23,000,000	56

応じて「1962年都市下水道施設一覧」より引用した箇所がある）

分流式	合流式	分流合流併用	処 理 形 式	処理施設設計基準		BOD人口当量		平均流量
				平均流量	人 口	未処理下水	処 理 水	
X	X	X	無散水汚床と沈殿放流	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
X	X	X	無散水汚床と沈殿放流	3.95	41.5	N/A	N/A	N/A
39,000	28,000	X	沈殿放流	9.0	90.0	50,314	28,400	4.4
30,000	50,000	X	無散水汚床と沈殿放流	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
X	X	X	沈殿放流と活性汚泥法	42.0	420	206,000	167,500	12.9
X	X	X	14 処理場、うち活性汚泥法 8、散水汚床法 5、沈殿放流 1	3.5	35	6,200	755	0.58
X	X	X	14 処理場、うち活性汚泥法 2 沈殿放流 1	N/A	1,269.4	7,975,000	781,600	1,263
636,200	636,200	X	無散水汚床と沈殿放流	3.5	35.0	47,000	47,000	1.320
X	X	X	3 処理場、うち活性汚泥法 2 沈殿放流 1	213.1	1,540	1,562,000	349,000	228
X	X	X	無散水汚床と沈殿放流			N/A	N/A	N/A
X	X	X	散水汚床法（2 処理場）	30.0	220	391,800	98,000	26.1
X	X	X	活性汚泥法	6.0	50.0	28,210	13,035	4.7
X	45,000	X	散水汚床法	10.0	150.0	170,000	51,000	12-13
X	X	X	活性汚泥法	3.0	30.0	43,600	3,130	3.48
X	X	X	沈殿放流	3.0	30.0	18,000	11,830	1.8
X	X	X	行なっている。	43.5	360.0	N/A	N/A	41.0
X	X	X	沈殿放流	7.2	31.0	N/A	N/A	N/A
X	X	X	散水汚床法	3.0	37.5	42,700	8,600	2.5
X	X	X	行なっている。	4.0	35-45	33,800	6,200	4.0
X	X	X	無散水汚床と沈殿放流	115.0	1,550	649,000	649,000	51.7
X	X	X	散水汚床法	1.44	7.7	730,100	729,650	N/A
X	X	X	散水汚床法			6,765	N/A	0.96
X	X	X	沈殿放流	9.0	60.0	19,825	12,530	4.65
X	X	X	散水汚床法	6.0	60.0	19,500	3,600	3.21
X	X	X	Detroit 系統へ流入			N/A	N/A	N/A
X	X	X	活性汚泥法（8 処理場）	102.88	524.61	N/A	N/A	N/A
X	62,000	X	無散水汚床と沈殿放流			N/A	N/A	N/A
X	X	X	沈殿放流	6.0	N/A	N/A	N/A	2.5
X	X	X	活性汚泥法	10.0	38.0	43,260	3,730	7.8
X	X	X	行なっている。	155.04	N/A	2,380,250	190,055	187.325
247,580	187,000	X	沈殿放流	134.0	910.0	1,630,000	1,110,000	145.0
X	X	X	活性汚泥法	8.0	65.5	51,700	4,410	8.5
X	X	X	散水汚床法	16.0	70.0	60,000	9,000	6.0
X	X	X	行なっている。	4.0	55.0	33,970	3,395	3.1
14,000	166,000	X	活性汚泥法	54.0	556.0	356,000	171,000	38.05
X	X	X	沈殿放流（3 処理場）	39.1	N/A	N/A	N/A	27.2
X	X	X	活性汚泥法（11 処理場）	1,319.1	N/A	N/A	N/A	1858.8
X	X	X	沈殿放流（3 処理場）					
X	X	X	活性汚泥法（1 処理場、建設中（沈殿放流）1 処理場）	72.04	243.4	N/A	N/A	N/A
X	X	X	4 処理場、うち活性汚泥 1、沈殿放流 3	0.82	N/A	N/A	N/A	1.18
X	X	X	無散水汚床と沈殿放流					N/A
52,000	332,000	X	沈殿放流	60.0	500.0	520,164	331,000	73.45
X	X	X	活性汚泥法	60.0	N/A	565,000	124,000	84.6
X	X	X	散水汚床法	30.0	200.0	110,000	N/A	N/A
X	X	X	沈殿放流	9.01	18.5	N/A	14,800	1.8
X	X	X	無散水汚床と沈殿放流			144,780	144,780	15.0
16,900	265,170	X	沈殿放流	134.0	910.0	1,630,000	1,110,000	145.0
X	X	X	行なっている。	49.5	450.0	286,000	212,000	11.2
94,000	464,000	X	活性汚泥法（3 処理場）、沈殿放流（2 処理場）	10.1	71.2	558,030	501,100	N/A
X	X	X	散水汚床法（3 処理場）	N/A	35.5	558,030	501,100	N/A
X	X	X	散水汚床法（3 処理場）	2.6	27.7	95,000	9,500	2.35
X	X	X	沈殿放流	40.0	176.0	250,000	175,000	19.86
X	X	X	行なっている。	27.5	200.0	N/A	N/A	42.0
X	X	X	沈殿放流（2 処理場）	27.0	100.0	150,000	123,000	16.75
24,000	8,000	X	散水汚床法（1 処理場）	2.5	25.0	8,850	1,320	2.25
X	X	X	活性汚泥法（1 処理場）	0.8	1.3	380	160	0.11
X	X	X	沈殿放流（小規模なもの 1 処理場）	0.3	2.0	N/A	N/A	N/A
X	X	X	活性汚泥法	290.0	1,791.0	1,200,000	290,000	180.8
X	X	X	沈殿放流	11.0	82.8	93,000	60,500	4.6
X	X	X	散水汚床法（小規模なもの 3 処理場）	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	10	36	無処理 1 簡易処理 25 二次処理 30	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

を資料により実証しなかった。しかしながら雨水樹からのみの雨水試料は非常に高い初期汚染を示していた。最初の試料は大腸菌がMPNで930,000/100ml, BOD 234mg/ℓ, 一方3時間後の試料ではMPNで25,000, BODは96mg/ℓであった。

Palmer(5)は後に数ヶ所の雨水樹からの雨水試料から同じような結果を得ている。この作業の中でPalmerはまたMcKeeの夏期における越流頻度に関する知見をJohnson(6)がWashington, D.C.で行なったのと同じく実証している。

Camp(7)は合流式下水道からの越流水による汚濁問題の、完全に満足のいく解決策は、合流式下水道からの越流を完全に消去してしまうことであると信じた。しかし彼は費用が莫大にかかるという観点から、最初の段階として部分的な分流化という妥協案で行なうことを正当化するような考えも感じていた。

Riis-Carstensen(8)はMcKeeのBuffaloにおける資料を立証し、人口密度や流出係数の変動を補正する方法を加えた。

ShifrinとHorner(9)はSt.Louisで合流式下水道からの越流は年間流量の2.23~3.09%まで変動することを見出した。

Washington, D.C.では平均3.3%つまり3.6mgdの下水が合流式下水道から越流していると推定された(10)。Johnson(11)はWashington, D.C.において数箇所の越流地点においては夏期は5~16.8/月、冬期は3.8~4.7/月まで平均越流回数変動することを明らかにする資料を示した。

これらの発見に同意する人達としてはニューヨーク市におけるGreeleyとLangdonの調査(12)、Benjes等のKansas Cityにおける調査(13)、NorthamptonにおけるGamesonとDavidsonの調査(14)がある。

〔技術情報と質問状からの資料〕

50余りの技術情報と質問書を検討し越流の水量、水質に関する情報を整理する試みがなされた。質問書はこのような資料が得られるように作成された。したがって特定の部分はこの資料から編集した。(表Ⅲ)

全部のなかで39の都市が要望目的に関連したある程度の情報を知らせてくれた。一般的な事実からすれば、分散し不完全な情報しかないというのが確かであるのだがこの特別の情報の不足は理解できる。なぜならば収集機構の複雑性は固有のものであり、どのように小さな都市でも全体的な評価を行なうに必要な種類の資料を得るためには総合的に、時間をかけ、かつ費用をかけた調査をしなければならないからである。

1. 雨天時下水と雨水の水量

技術情報からの資料は合流式下水道からの越流水の水量に関しては不足しておりまた不完全であったため、刊行物からの情報を推定のために用いた(2)~(14)。これら報告書は一般にその前置きで合流式下水道からの越流水として水域に年間排出される量の3~5%が未処理の状態であり、95%以上が雨天時の越流水であることを述べている。ここでは年間量は低目に見て3%越流と見なす。もし家庭下水の寄与率が100mgdであるとすれば、合流式下水道のみを利用している2585万人からの280億ガロンの未処理下水が年間に越流することになる。合流分流併用式下水道を利用している3300万人からの下水のいくらかは、降雨時でも越流しないのでここからの越流量は、分流式が全くなかったとした場合の越流損失量にあ

たる年当り360億ガロンの量よりいささか少なくなる。しかしながら、3300万人の大部分は合流式を用いていると考えられる。したがって、このことは年間全越流量は640億ガロンよりも幾分少ないが多分それ程少なくはないであろうということを示している。別の表現をすれば、これは175万人分の未処理下水と等しいことになる。これらの量が通常は下水処理場へ行くべきものの量であるということを認識することは重要である。莫大な量の雨水がこれらの量に加算される。

下水管から排出される雨水分の量は流出量と同じく地域の相異により非常に異なるので、この目的のため特に調査を行わない限り総量を推定することはむずかしい。さらに、下水道が設計され設置された後は全雨水量の測定はほとんど行なわれないことも事実である。降雨記録を用いることは出来る。しかし実際の流出係数は推定の正しい基礎を確立するための下水道調査によってのみ決定されなければならない。浸透の影響もまた考慮しなければならない。

しかしながら、降雨による地表面流出量の概念が、ある種の仮定から得ることができる。もし不浸透域が下水道整備済市街地全体の $\frac{1}{3}$ と仮定すると、各エーカー当り1インチの降雨につき約9,000 galの雨水となるであろう。これは1インチの降雨につき1平方マイル当り約580万ガロンの量となる。50州においては、種々の大きさの11,400の市町村があり、その全面積は43,100平方マイルである。この報告でとりあげた1,943の市町村の面積はわかっていない。しかし特殊な例として190平方マイルの下水道区域で350万人の利用人口のいるシカゴでは1インチの降雨により11億ガロンの雨水流出がある。同じような考え方を他の市町村に対しても行なうことができる。詳細のいくつかは個別調査の章で議論する。

2. 降雨による損害

多くの都市が雨天時下水の問題を総合的に調査する必要性を認めているにもかかわらず、多くの場合十分な資金が得られず、したがって調査が縮小され市民に明らかになった緊急的に調査が必要なものに限定されている。これは表IVに示すように調査報告書の中に明白に証明されている。この表の研究者や地域社会の意見の中に被害の重大さが記述されている。

断然多く問題視されているのは、合流式下水道が過負荷となり、住居や商店の地下が未処理下水と雨水の混合物によって浸水することである。これは不快さや金銭的な損失を生ずるばかりでなく、明らかに公衆衛生の面でも危険である。35都市のうち33がこの問題による被害を報告している。地下室の浸水は調査の必要性を認める第1の要因であった。このことは報告書の中の討論で確認されているがそのいくつかはこの点を強い言葉で表現している。地下室の浸水と密接な関係があるが質問書の項目には含まれていなかった問題に街路の浸水の問題がある。地下室の浸水問題を報告してきた都市の多くはまた街路の浸水にも悩まされている。

未処理下水が地下室や街路に逆流するたびに衛生面での被害が生ずることは、報告者が疑いもなく実感していたが、この浸水の公衆衛生的な面には注意がほとんど払われなかった。

たった2都市のみが、地下室に入って来る下水とほとんど同じ水質である越流水の水質について報告してきたにすぎない。この資料不足は、大きな浸水が生じるところでは物理的な証拠のみが改修への十分な刺激となるという事実起因していると考えられる。がしかしこのような状態では多くの場合衛生面での

表Ⅲ 技術報告書および質問書から作成した混合下水および雨水の特性

都 市 名	越流時推定汚濁負荷量		数		合流式下水道からの越流			番号
	処 理	未 処 理	越流地点	容 量 不 足 個 所	影響を受けていると考えられる水利用			
					水利用 a)	程 度 b)	損 失	
Amsterdam, N.Y.			30	多数	12			1
Ashland, Ky.			1		1			2
Atlanta, Ga.	19,200	48,000	1	1	1,2,3, 4,5,7, 8,9,10, 12,13	少-大		3
Boston, Mass.			48	管線全体	4,5,13			4
Chattanooga, Tenn.		100,000	20	*	1-13	少-中	(9)	5
Chicago, Ill.		(1)8,400,000	362	多	1,3,4, 5,8,9, 10,11, 12	少-大		6
Cleveland, Ohio			420	全施設				7
Des Moines, Iowa			多数	多数	1	中		8
Elmhurst, Ill.			9	29				9
Eugene, Oreg.			3		5,7,8	少-中		10
Findlay, Ohio			多数	多数				11
Hartford, Conn.			80-100	N/A	3,4,5, 7,8,9, 10,11	少-大	スボーツ フィッシング 22,000人日	12
Henderson, Ky.			10		13			13
Huron, S. Dak.			3	2				14
Kansas City, Kans.			20					15
Kendallville, Ind.				多数				16
LaFayette, Ind.			2	行なっている				17
La Porte, Ind.				21				18
Louisville, Ky.								19
Michigan City, Ind.				多数				20
Milwaukee, Wis.			168	行なっている				21
			雨水					
			131					
			合流					
Minneapolis, Minn.		(g)	>100		1,2,3, 7,8,9, 11,12, 13	少-大		22
Mishawaka, Ind.			23	8+				23
Mission Township, Main.								24
S. D. No. 1, Kans.								25
Nashville, Tenn.								
New Haven, Conn.			21	多数				26
New York, N.Y.		(h)	218土		4,5,6			27
Portland, Maine			18	無	4,6,11			28
Portland, Oreg.			165	多数	3,4,5, 7,8,9, 11,12, 13	少-大		29
Pueblo, Colo.			*	行なっている				30
Redding, Calif.			7	"	1,4,5, 8,10, 13	少-大		31
St. Joseph, Mo.								32
Salem, Oreg.			20	4				33
Seattle, Wash.			~100	多数	4,5,6, 7,8,12, 13	少-大	(9)	34
Sedalia, Mo.				一般的				35
Syracuse, N.Y.			86	多数	3,7			36
Tacoma, Wash.			7		4,5,8, 11,12	少-大		37
Texas City, Tex.			各入孔で					38
Washington, D.C.			~80	多数	3,4,5, 7,8,10, 11,13	少-大		39

a 利用目的および符号は次の通り=都市用水-1, 商業用水-2, 工業用水-3, 水浴-4, 水泳-5, 甲殻動物-6, 漁業-7, 遊用釣-8, 電力-9, 産紙-10, 航行-11, 魚および野生動物-12, 観光-13

b (略)

c 損害および符号は次の通り=地下室の浸水-1, 不快-2, 資産の損害-3, 実質推定値-4, 利用制限-5, 処理費用の増加-6, 観光価値減-7

d 概算推定値=都市用水-5000万ドル, 商業用水500万ドル, 工業用水1000万ドル, 水浴100万ドル, 甲殻類500万ドル, 漁業500万ドル, 遊用魚500万ドル, 水力発電1億ドル, 産紙-500万ドル, 航行1億ドル, 魚および野生動物1000万ドル, 観光1000万ドル

e 概算推定値=地下室浸水50万ドル, 公害50万ドル, 資産の損害100万ドル, 実質推定値200万ドル, 利用制限200万ドル, 処理費用の増大100万ドル, 観光価値の低下-200万ドル

これが原因と考えられる損害			影響を受けている水域の距離	水域の調査が完了しているか	底棲生物の調査が完了しているか	汚泥の堆積が顕著か	BOD	SS
損害 a)	程度 b)	損失						
1,7				Yes...		Yes...		
1,2,3,4,5,6,7	少-大	5-工業の損失 \$6-10×10 ⁶	20	Yes		Yes		
2,7				Yes	No	Yes		
1-7	中-大	(c)	25	Yes	Yes	Yes		
1,4,6,7							1,701,000 lbs in 1961.	
1,2,3	中-大							
1,2	中-少					No		
1,2,3	中-大							
1,4	中-大							
1,3	中-大							
1,2	中-大							
1,2,3	中-かなり							
1,2,4	中-大							
1,3	中-大							
1	中-大							
1,2,7	中-大							
1	中-大							
1,3,4	中-大							
1,6	大						92 mg/l 179,000 lbs./day.	72 mg/l 22,720 lbs./day.
1	中-大							
1,4,7	中-大			Yes		Yes		
1,2,3,7	少-中		12			No		
1,2,3	少-大							
4,5,6,7								
1,2	中							
1,2,3								
1,3	中							
1,2	少		To Portland harbor.	Yes		No		
1,2,3	少-大	(f).....	30	Yes	Yes	Yes		
4,5,7								
1,3								
1,2,3	少		0	Yes	Yes	No		
			0					
1,2,7	大							

f 年平均

g 分煙装置に到達するBODの0.6-3.5%と推定される。また処理場でのバイパス量は処理場流入BODの1.7-3.1%。特殊調整装置からのBODの流出は処理場へ到達するBODの0.06-3.5%の間である。全重量は不明である。

h 全生下水の2.6-3.1%が雨水と共に排水するものと推定される。

i 約間隔では夏期合計で1,120,000ドル/年とした。

j 最大損失は地下室の浸水により生じるものと推定された-1500ドル-2000ドル/家

k 多数存在するが確定値は決定できなかった。

被害も継続的に存在するのである。市民にとって、これら浸水の水質とその衛生面での問題に関する情報をより多く得ることがまず第一に重要であると思われる。

表-IV 35の都市からの資料にもとづく合流式下水道からの
越流水に起因する損害

損 害	報 告 都市数	損 害 の 程 度
公衆衛生、地下室の 浸水	33	少 - かなり
不快	19	少 - かなり
資産の損害一家屋、 ボート、他	15	少 - 大
実質的損害	9	少 - 大
利用制御	4	少 - 大
処理費用の増加	5	中 - かなり
観光地使用の低下	11	少 - 大

被害は図表的に分類できる。調査対象となったものの半分以上は越流を不快なものと考え、ほぼ半分が資産に対する損害をうたえている。これらの評価は家屋や街路の浸水に関係してくる。約 $\frac{1}{3}$ はレクリエーション的な損害という表現で水域の被害と関係づけている。

3都市がこの損失を金額で表わそうと試みた。1都市はそれぞれの損害を価値化した。もう一つの都市は産業的な価値の低下が生じ、下水処理費用は1,000万ドル程に増大したと述べている。第3の都市は地下室の浸水による最大の被害は1,500～2,000ドル/家屋であると推定している。

7都市のみが越流時に河川へ放流される汚濁負荷について述べているが、明らかにこの負荷量の調査方法には統一性がない。例えば、2都市は越流時の負荷をBOD1bで報告している。1都市は1年当り平均の全BOD1bを報告している。一都市は特定の年の全量を示した。一都市は分流地点へ到達するBODに対する割合として損失量を報告しているが実際の水量的な資料はない、一都市は全生下水に対する割合として全損失を報告している。1都市が合流式下水道からの越流水によるBOD、SSの資料を報告している。その他の項目についてはなかった。

明らかに、越流水に対して重要な意味を持つ水質の情報を得るためには、さらに完ぺきな調査が必要である。

結局、39の情報を提供した都市のうち30都市は下水道系統の越流地点数を図示するか記述してきた。これらは1から420まで数が変わっている。同じく、25都市が管路系統の狭さく部を報告している。狭さく部の数をかぞえている都市もあるが、ほとんどは、これが大変な仕事であると認め“多い”と述べているだけで数はかぞえていない。

3. 越流により影響を受ける水利用

越流による被害額の評価に関連して、合流式下水道からの越流水により多分、ないし現に損害を受けている水利用の表がある。議論の対象とするため、これらを8つの一般的な区分にグループ分けする。情報は19の市町村からもたらされた。それぞれ考えられる項目と都市数は次の通りである。

釣……………	14	魚および野外動物……	8
水浴および水泳……	13	航行……………	8
上水道……………	11	水力発電……………	6
観光……………	9	かんがい……………	6

この表はレクリエーション面、商業面、公衆衛生面からの要求が全く公平に分類することができ、すべてが地域社会の意見として全く重要なものであることを示している。水利用は比較的同じ程度に分散しながら、小から大まで、影響を受ける程度が変ってくる。1都市はそれぞれの目的に対して金銭的に量を推定し報告してきた。一方、他の都市はスポーツ形釣りを220,000人日の価値があるといっているが、他の都市では夏期釣に影響を及ぼす程度を1,200,000ドルとしている。

いくつかの都市が影響を受ける河川の長さについて報告している。8都市のみが河川調査を行っており、わずか3都市のみが底生生物の調査を含めて行っている。7都市は汚泥の堆積が目立っていると述べているのに対し4都市はそのようなことはないと言っている。

特定の調査からの資料

50余りの技術報告書や都市からの報告には、余り混合水や雨水越流水の特性に関し実際的な資料が含まれていないため、特定の調査が行なわれその情報が利用できるいくつかの都市からの資料を用いる必要があった。調査を行なった都市は次の通りである。カルフォルニア州オークランドEast Bay 首都圏公共事業区、イノリイ州Chicago, オハイオ州Cincinnati, ワシントン特別区、カルフォルニア州Los Angeles 郡、調査はパターン結果が異なり、したがって米国を通じての代表的な状態にまで整理統合することは出来なかった。そのため各都市からの資料をそのまま示した。

1. East Bay 首都圏公共事業区

下水処理場へ結ばれている6都市のうち、Oakland だけが合流式で残っていた。残り5都市は分流構造により処理施設に結合していた。これら構造物は晴天時下水を遮集管へ送り、雨天時は雨水で稀釈された下水を放流管によりサンフランシスコ湾へバイパスさせている。

基本的に分流式システムとしているにもかかわらず、遮集管内の下水量は降雨時かなり増大した。どのようにして雨水が遮集管内に入るかはわからない。しかし、地下水位の上昇（浸透）と屋根トイ、ます、地下室の汚水溜、屋敷内の排水がすべて関与していることは想像できる。下水処理場は増大した水量負荷に対処しえないため降雨時下水処理場ではバイパスする必要がある。系統内の種々の状況における幅広い試料を得ることが既存の状況から見て第1の仕事であった。

表-Vは強雨時および晴天時の2ヶ所の遮集管からの資料を解析したものである。雨水の稀釈効果は明らかである。

表Ⅵは降雨時における合流式下水道からの越流水、分流式の雨水管からの雨水、下水を受入れていない水路からの雨水および下水処理場バイパス水の特性を示すために特別にサンプリングした結果の要約である。下水および水路における雨水中には双方とも有機、無機物質で測定した汚濁物質がかなり含まれていることを示している。多数の大腸菌も存在している。合流式下水道からの越流水により投入される程度の高い負荷が明白に示されている。これらの結果はまさしく展望的なものであると信じてよい理由があるから、米国全土の河川に対する有機物と大腸菌負荷は莫大なものとなることを暗示している。

雨水が水域へ与える影響を測定するもう1つの方法は、降雨時バイパスする必要の生じたポンプ場における状況を調査することである。表Ⅶはこのような状態の場合の資料を示している。試料はポンプ場の上下流およびポンプ場から採取した。同時に下水越流水を受入れない近くの河川からも試料をとった。放流口より上流の有機性および、微生物学的に見た水質はほぼ下水を受入れない河川のそれと同じであった。しかしながら、浸食作用により水路へ無機性負荷が放出されることは固形物と砂の濃度からも明らかである。下水の河川に対する影響は明らかにこれらの表を通じて示されている。たとえば、BODや大腸菌の増大のようなものである。

2. イリノイ州シカゴ市

裁判所 (Department of Justice) の要請により、公衆衛生局 (PHS) が行なったイリノイ河水系の水質に関する特別報告書があり、1963年に出版された。¹⁵⁾ この報告はシカゴにおいてミシガン湖の水を分水することに関連した最近の訴訟に関連するものである。この調査と関連してシカゴ地区の合流式下水道からの越流水を調査するための小規模な計画が開始された。

1856年、最初に7平方マイルの“Loop”のための合流式下水道が設置されて以来、合流式下水道は拡張をつけ3,600マイルの下水管が190平方マイルに住む3,500万人の人々に利用されている。

合流式下水道からの雨天時下水の越流によるシカゴ水域への全汚濁負荷量は野外調査からは求められていない。平均晴天時下水量の1.5～3倍の設計になっている汚水の遮集管の年間流量に対し、年間3～5%の範囲で運河へ汚水および工場排水の越流が生じていると推定されている。

しかしながら、この汚水の最初のショックロードは通常の下水の濃度の数倍にもなることが指摘された。現場の資料を得るため、フルスケールの推定を行なうために資料を用いる意図もあって、小さな試験地における調査が行なわれた。調査対象地域は市の北部の約8.6平方マイルを対象としているRoscoe街排水区である。各排水区分を受持つシカゴ市の幹線間を相互に連結することにより局部的な降雨のための排水が軽減され、また設計面でも経済的となっている。これはしばしば排水区界の不明確をまねく結果となる。この場合Roscoe街地区約2.4平方マイルの地域がKostner通り排水区に結び付いている。この調査では相互連結地域はRoscoe街排水区の支線であると仮定した。不浸透域は全体の42%であると推定した。降雨時の水位測定と試料採取は調査期間中継続した。

調査は1962年9ヶ月間行われ、その間31の降雨があった。この期間河川へ排除された全BOD負荷量は278,300 lbs、つまり日平均1,010 lbsと計算された。

多くの要因がこれらの量を変化させるが、運河へ越流する全BOD負荷を推定するための単純な投影を行

なうには最も良い形であると認められた。主要3下水処理場からの流量資料が計画に用いられ、これを基に平均全BOD越流負荷は46,900 lbs/日、つまり281,400人に相当すると計算された。

この報告書は、降雨時雨水と地下水や工場排水の混合物が排出されることがシカゴ河水域にとって、かなりの間歇的な汚濁源となることを考察している。こゝで雨水の越流による水域に対する種々の被害と水利用の損失を指摘し、さらに「しかしながら、さらに重要なことは生下水中に存在する病原バクテリアやビールスによって生ずる公衆衛生上の被害である。初期流出を除き、BODやSS濃度は流出時の稀釈により減少するが、病原菌はこれらが排除される河川の公共的な利用に対してかなりの脅威を残すことになる」としている。

3. オハイオ州シンシナティ

河川の水質汚濁の1つの因子としての、市街地の流出に関する調査の概括的な結果が最近になってとゞのつた。

この調査は分流式下水道の27エーカーの住居および軽工業地域において行なわれたものである。市全体の人口密度が10人/エーカーであるのに対して、住居地域は人口約240人、9人/エーカーである。この地域には単層の家庭、小規模のアパート、商店、レストラン、消防署、教会や数種の公共建造物がある。不透域は約37%で地表勾配は2~3%である。

雨水は約1年採取された。表Ⅷは雨水越流水の水質の四季変化を示したものである。また表Ⅸはある降雨における水質成分の時間的な変化を示したものである。汚濁負荷はBODとCODにより測定されたが、二次処理の処理場放流水のそれとはほぼ同じであった。一方SSは生家庭下水の濃度とはほぼ同じであった。窒素は高い、BODだけは季節により大きく変化した。

表Ⅸはフラッシュの効果と時間の関係を示しているが、その効果は長時間と短時間の降雨に対して等しく云えることである。

雨水の微生物学的な調査によれば、大腸菌数およびふん便性連鎖状菌数はいくらか高いことが明らかである。大腸菌数の50%は58,000/100ml以上であり、ふん便性連鎖状菌の50%は20,500/100ml以上である。この結果は放流河川が水浴のために用いられるところでは特に重大な問題となる。

同一地域における雨水と汚水の比較をするための計算がなされた。雨水と汚水のいろいろの比率はSS 140%, VSS 44%, COD 25%, BOD 6%, PO₄ 9%, 全窒素11%である。この報告書は都市域の流出が都市域からの汚濁負荷を考えるとかなりの重要な要素になっている事実を強調している。

4. ワシントン, D. C.

街路からの流出に関する情報を得るため約1年間にわたって試料採取が行なわれた。流出水は降雨時種々の雨水ますにおいて採取されたが後日、同一地点に戻すことはしなかった。数種の試料採取が各地点、各降雨ごとに行なわれた。情報を問題全般にまで関連づける試みは行なわなかった。結果は表Xに示した。BOD, Cl, SSの濃度はかなりの汚濁負荷が降雨からくることが指摘している。

5. ロスアンゼルス防水特別区 (Flood Control District)

ロスアンゼルス防水特別区の水資源管理部 (The Water Conservation Division) は長年地下水の補給源を得るため内陸地帯へ散布する目的のため雨水の水質に関心をよせていた。1932 ~ 34 年, 1957 ~ 58 年, 1962 ~ 63年の降雨期に行なわれた調査の結果は未刊の報告書にある (17), 採水期間の平均は表XIに示した。

この調査では, 三期のうち次第にBODが増大し, 他の成分はばらばらであることを示している。試料はまたBODに対する初期のフラッシュ効果を示している。降雨初期雨水のBOD濃度は70 mg/ℓと高く, 降雨が進行するにつれて減衰し, 10 ~ 20 mg/ℓまで低下する。

1962 ~ 63年の調査で, その季節の第1の降雨はその後の降雨よりも雨水中の大腸菌数について責任があることを示している。第1の降雨による試料は, 大腸菌数が6地点で380,000 ~ 1,100,000 / 100 mlの範囲であったが, その後の降雨では800 ~ 1,800 / 100 mlの範囲であった。到達した結論は最初の降雨で大腸菌に富む堆積有機性汚濁物が放流河川へフラッシュされるということである。

表V East Bay首都圏公共事業特別区における雨天時および晴天時の遮集管内流の分析結果 (値はすべて平均)

	南 遮 集 管		北 遮 集 管		処理場へ流入する雨天時下水の推定水質。(mg/ℓ)
	雨天時	晴天時	雨天時	晴天時	
DO (mg/l)...	4.9	0.5	5.5	0.8	5.0
全 硫 化 水素 (mg/l)...	0	.3	.03	.1	.01
BOD (mg/l)...	178	449	195	285	180
塩 分 (mg/l)...	128	264	129	227	162
SS (mg/l)...	162	336	162	.....	128

* 南遮集管 0.8, 北遮集管 0.2 の割合とした。

表VI East Bay首都圏公共事業特別区における合流式下水道からの越流水, 雨水, 河川水, および下水処理場バイパス水の特性

項 目	合流式下水道からの越流水 (14試料)			雨 水 (21試料)			下水を受け入れていない水路試料 (5試料)			湾にバイパスされている下水処理場流出水 (時期の異なる9期の試料)		
	最低	最 高	平 均	最低	最 高	平 均	最低	最 高	平 均	最低	最 高	平 均
DO (mg/l).....	2.4	9.6	6.9	0	13.2	7.3	2.8	8.2	4.8	1.2	9.5	4.9
BOD (mg/l).....	13	153	59	3	>700	87	<5	35	17	45	320	133
TSS (mg/l).....	132	1,327	400	726	726	1,401	1,401	1,401	1,401	500	1,100	800
VSS (mg/l).....	83	291	144	168	168	168	158	158	158	100	600	350
SS (mg/l).....	60	1,120	203	16	4,400	613	780	1,620	1,176	108	770	253
大腸菌 (MPN/ml).....	2,300	2,400,000	293,000	4	70,000	11,800	130	62,000	13,800	62,000	>7,000,000	>1,408,000
塩分 (mg/l).....	619	619	619	300	10,260	5,100	540	540	540	.....	.....	.....
オイルおよびグリース (mg/l).....	8	66	33	2	162	32	0	100	25	12	255	133
砂 (mg/l).....	0	276	76	7	868	158	193	1,074	560	106	116	111
pH.....	6.8	7.4	7.1	6.3	7.8	6.9	.....	.....	.....	.....	.....	.....

表Ⅶ ポンプ場のバイパス時の河川水質状態

項 目	上 流			放 流 地 点			下 流			越流水を受け入れている他の水路		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
DO (mg/l) ...	7.8	10.0	9.5	7.8	10.0	8.9	7.2	9.9	8.5	7.0	9.6	8.3
BOD (mg/l) ...	<1	21	6.8	21	360	92	5	60	25	3	16	9.5
TS (mg/l) ...	229	748	469	78	543	385	352	2,482	918	5,380	6,672	6,026
VS (mg/l) ...	70	185	124	70	276	174	90	355	185	542	620	581
SS (mg/l) ...	23	644	269	64	278	129	53	568	274	6,820	16,075	11,412
大腸菌 (MPN/100ml) ...	620	4,250	1,990	10,800	70,000	48,200	980	126,500	40,500	620	4,250	2,435
温度 °C ...	12.8	13	12.9	13.0	13.8	13.4	12.5	13	12.75	.....	.....	.....
塩分 (mg/l) ...	16	26	21	26	46	36	18	24	21	12.5	12.5	12.5
油およびグリース (mg/l) ...	0	15	9.2	5.2	33	17.1	5.8	13	10.5	15	15	15
砂 (mg/l) ...	0.0005	366	133	0	101	45	0.076	216	100	4,774	4,774	4,774
pH ...	7.3	7.5	7.4	7.2	7.6	7.4	7.3	7.7	7.5	.....	.....	.....

〔他の調査からの資料〕

雨水流出の調査は時折いろいろなところで報告されてきた。このような調査は地方の問題と関係し、方法もいく分個々によって変っている。

Palmer(4)は1949年と1960年⁽⁵⁾デトロイトで降雨時の流域のサンプリングを行なった。彼の結論は調査が問題を解決するには不十分であったことを明らかにしている。彼は降雨が継続するにしたがい流出雨水の水質が悪くなる場合もあり、また時には良くなる場合もある、一方ははっきりしたパターンのないものもあるということを観測している。

Sylvester (18) は1959年および1960年に降雨時シアトルの街路側溝で採水し通常最も高い濃度は先行降雨が低い時に見出されることを発見した。

Riis-Carstensen(8) はニューヨーク州バッファローにおける合流式下水道の水位観測と試料採取の広範囲な計画について論じている。彼は1時間の降雨で通常の2.8.4倍のSSが合流下水により運ばれてくると計算している。彼はまた合流式下水道からの越流水の汚濁面の影響を量の面からのみ評価することは成分濃度が広く変化するという意味から大いに誤っていることを観測している。

1954年英国オクスネイの分流式の611エーカーの土地で表面流出の調査を行なった。BOD 20

表Ⅷ オハイオ州シンシナティの27エーカー地区の調査における雨水越流水の成分の季節的変化

成 分	1962		1963		
	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9
	平 均 水 質 (mg/l)				
SS	180	160	260	250	190
VSS	43	41	63	62	48
COD.....	110	84	110	100	100
BOD.....	30	28	12	19	15
NO ₃ -N.....	0.07	0.03	0.06	0.05	0.07
NO ₂ -N.....	.41	.26	.44	.44	.52
NO ₃ -N.....	.97	.79	.49	.82	.50
有機性窒素.....	1.2	1.9	1.8	2.0	2.0
PO ₄	1.2	.81	.47	.66	1.1

表Ⅸ オハイオ州シンシナティの27エーカー地区の調査における市街地からの流出水の平均水質濃度の時間的変化

項 目	流出開始後の時間				
	0-15 分	15-30 分	30-60 分	60- 分	120 分以上
	(mg/l)				
SS	390	280	190	200	160
COD.....	98	69	47	58	38
BOD.....	170	130	110	97	72
全窒素.....	28	26	23	20	12
(PO ₄ として)	3.6	3.4	3.1	2.7	2.3
	.99	.86	.92	.83	.63

表 X 1959-63 年のワシントン, D. C. での降雨時の雨水ますでの
試料の分析平均値

試料採取位置	BOD (mg/l)			塩 分 (mg/l)			S S (mg/l)		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
11ヶ所の雨水ます.....	6	625	126	11	160	42	26	36,250	2,100

mg/l, SS 30 mg/l の放流水の下水処理場を仮定した場合, 分流式は河川に対する BOD 負荷が減少するが, SS 負荷は 6~7 倍になると考察している。1936 年モスクワにおいて調査が行なわれ, また 1948-50 年 (20) レニングラードではごろ石敷の道路において調査が行なわれた。スウェーデンのストックホルムで夏期に道路, 公園からの雨水流出を 1945-48 年にとった試料が報告されている。(21)

表 XI ロスアンゼルス郡における雨水の
平均水質

年	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	CL (mg/l)
1932-34.....	6.4	6.9	7,330	20.4
1957-58.....	8.0	8.2	1,534	.....
1962-63.....	7.5	16.1	2,909	19.9

南アフリカの Pretoria で住居地区, 公園, 学校, グランド, 商店および空地からの雨水の試料採取が行なわれ 1961 年に報告された (22)。これらの要約は表 XII に見られる。

表 XII 他の報告による各都市の雨水および合流式下水道からの越流水の
水質特性のまとめ

成 分	シアトル(18) 雨 水	ニューヨーク州バッファロー(8) 合流式下水道からの越流水				英国, オ クスネー (19) 雨水	ソ連, モ スクワ (20) 雨水	ソ連, レ ニングラ ード (20) 雨水	スウェーデ ン, スト ックホルム (21) 雨 水	南アフリカ, Pretaria, (22) 雨 水	
		Bird 通り		Baily 通り						住宅地, 公園, 運動場	業務地, アパー ト街
		降雨前	降雨時	降雨前	降雨時						
BOD (mg/l)....	10.....	162	100	127	121	100 max.	18-285	36	17-80	30	34
COD (mg/l)....									18-3100	29	28
T S (mg/l).		498	754	461	785				30-8000		
S S (mg/l).		158	544	126	436	2,045...	1,000- 3,500	14,541			
大腸菌群致MPN/ 100ml).	16,000...								40-200,000	240,000	230,000
有機性窒素(mg/l)...	9.0 max...									5.4	3.5
NO ₃ -N (mg/l).	2.8 max...										
溶解性リン(μg/l).	784 max...										
全リン(μg/l)...	1,400 max...										
全熱 汚 濁 物 質 (mg/l).									210-2420		
溶解性物質 (mg/l).		108								228	154
揮散性物質 (mg/l).											
塩 分 (mg/l).											

都市側からのその他の資料

本調査に使用した質問状は、合流式下水道および雨水に関するすべての状況の総合的なデータが集積できるよう計画された。報告書の目的が大きく異なるため、多くの質問に対して、すべてまたは部分的に解答がなされぬものがあった。もたらされたいいくつかの事項に関しては次の章で述べる。

〔土地利用〕

雨水管または合流式下水道の設計に必要なデータのうちの最も基本的なものに、土地利用に関する詳細な知識がある。これには種々の利用区分、例えば住居、商業、街路、路地等や不透透域の割合などが含まれる。逆に、既設の下水道網についての他のデータを理解し、明確に関係づけておく必要もあることは事実である。土地利用に関しては、ばらばらでほとんど不完全な情報しか手に入らなかった。例えば10都市がある程度の資料をよこしたが、詳細なものは1都市のみであった。この情報は全く利用が制限されており、したがって表示することは出来ない。

〔遮集管に関する基礎資料および水理〕

情報を持つ12の都市のほとんどから、ばらばらで不完全な資料が得られた。例えば、ただ1都市のみが他の統計資料と共に流出係数を持っていた。それぞれの市が直面する多くの異なった条件が、その都市特有の問題、特に遮集管の複雑さに関して詳細な解析を行なうことを示唆している。全米を通じての利用可能な、遮集管の設計と排出に関する意味深い資料を収積することは、この概括的な調査の範囲を越えているように思える。

〔河川の水質〕

また、河川の水質のデータに関する報告はほとんどなく、またあっても、汚濁物の排出と河川の水質との関連づける試みはなされていなかった。これは理解できる。これらの報告書の多くは予備的なものであり、処理に言及しているにしても、詳細な河川調査を行わずにすむ程度の必要性にもとづいているからである。この資料は表Ⅲとの関係から前述している。その他の情報は、次のもの以外は、特別な報告書と関係づけて述べてある。

シカゴにおいて、降雨時の越流の結果840万ポンドのBOD/年が平均して排除されると推定された。二次処理水は4690万ポンドBOD、一次処理水は400万ポンドBODである。

ミネアポリスは降雨によるBOD負荷量を%で報告している。この放流量は雨水吐地点に到達するBODの0.6~3.5%と推定された。しかしながら、分流地点における濃度はわからない。

ミネアポリスはさらに下水処理場は処理場へ到達するBODの1.7~3.1%をバイパス放流している。また、調査対象として選んだ雨水分流装置から放流されるBODは処理場へ到達するものの1.7~3.1%の間で変化すると推定した。

その他テネシー州チャタヌガー、オハイオ州クリーブランド、コネチカット州ハートフォード、ニューハンプシャー州、マンチェスター、オレゴン州サレム、ニューヨーク州シラタス、ニューヨーク州ユチカ、ワシントン州ヤキマは、雨水吐きの上流、下流で含まれているDO、BOD、大腸菌群数を調査した。

処理、未処理双方の下水が河川水質に与える影響に関しては多くの資料が刊行されているが、雨水が河川に与える影響に関するものは非常に少ない。前述の特別の調査においてもこれら情報の不足が指摘され

ている。

市街地人口の増大による降雨量の増大は、重大な公衆衛生上問題を倍増した。特に有効な情報が不足していることによる。水利用は不利な影響を受け、前述のように肉体的な危険性がこの問題をさらに深刻なものとしている。はげしく長い降雨による越流には下水が95%程度含まれていると推定されるが、これが合流式下水道が現在非常に現実的な汚濁問題をもたらしているという認識を強めている。

〔降雨および下水道系統に与える影響〕

降雨の要素およびそれが下水収集機構に及ぼす影響については、下水道計画の際十分考慮されている。雨水管の設計に用いられているもので、最も一般的なものに $Q = CiA$ の式で示される、いわゆる合理式がある。Cを決めるのに判断が必要である。また降雨資料の使用にあたっては、かなりの考慮が必要である。例えば、下水管の能力に等しいかそれ以上の雨量を施設の各部分が流すことを要求される時間や頻度を確める必要がある。この頻度で流出および地域的な浸水が生ずる。一般的な浸水は設計頻度を与える強度を持った強い降雨が長く継続することによる結果である。設計頻度の選択にあたっては多くの因子が考慮される。たとえば、局部浸水の経済的な関連性、浸水により被害をうけることが考えられる地域の発展の型、性格、程度、適用した降雨頻度の程度、排水区の大きさないしは広さ、建設の経済性などである。

合流式下水道の設計も雨水管の設計に用いられる降雨量と同じ考えで行なう場合が多いが、晴天時下水流量のある関数、2～3倍が多いが、を越えると越流する大きさになっている点が異なる。

普通、流出が生ずる前の降雨量を決めるには仮定がなされる。この量は地表面の湿度、不浸透域の凹地貯留、植物による保留、土壌中への浸透、流出が生ずるに十分な厚さにまで水の膜が形成されるに十分な表面滞留等に左右される。これらの仮定はせいぜい推定にすぎないが、流出量を計算する基礎を確立するものである。この推定降雨量は0.01～0.04 in/hr の範囲にある。

合流式からの越流および稀釈倍率に関しては多くの測定がなされたが、頻度と越流量に関する解析資料と共に降雨強度および継続時間と実際の越流量との関係の測定については技術的な報告が不足している。このことがまた特定の調査による限定された資料を用いる必要性をもたらしている。

〔合流式に用いられた流量測定と分流装置〕

50以上の報告書を調査したが、下水を測定しているか、または測定したことのあるものはわずかに15にすぎなかった。疑いもなく、他の多くも単発的にまたは特別な調査を行なっている。問題を十分評価するため、単発的な検査を放任するよりもっと総合的な測定計画が必要である。

合流式下水道に雨水分流装置を用いることは21の都市が示している。使用されたものの形式および数は表XIIIに示した。

この抽出調査では雨水分流装置の形式が、正に跳躍装置から横越流、ゲートまでいろいろあり、7, 8, 11の都市がそれぞれ三形式のものをを用いている、またオリフィス形式のものは大都市のいくつかで多く用いられていることが示された。多くの都市でこの組合せが採用されている。

いろいろな種類のもののどれが目的に合っているかを評価するには充分の情報がない。明らかに、雨水分流装置の適切な維持管理により、また管渠系統内を流れる流量状況と均衡を保った設計をするようになったため、実際面では進歩している。設計ないしは維持管理が不適切で、あるいはまた管渠系統内の変化

表XIII 調査対象都市の合流式下水道に使用されている雨水分流装置の型式

都市名	跳躍 ゼキ	横越流	セキ	サイホン	機械式	その他	状態および注意点
Atlanta, Ga.....						遮集管への落出口, 2	良好
Chattanooga, Tenn....	2				9		跳躍ゼキ=不良, 機械式=良好
Chicago, Ill.....			X.				
Cleveland, Ohio.....	60	55	19	0	14	垂直ゼキ, 14 分類不能 200 a)	一時は4名が補修する 必要があった。
Eugene, Oreg.....		2					良好
Hartford, Conn.....	X	80-100	X.				
Huron, S. Dak.....		X					
Kansas City, Mo.....		X					
Manchester, N.H.....	1	6	4.				
Minneapolis, Minn....	20	X	X.		X	フロートによる操作 17 24 オリフィス	常時維持管理が必要
Mishawaka, Ind.....			X.			電動バルブ	不良 新設
Mission Township, Main Sewer District No. 1, Kans.							
Nashville, Tenn.....			X.	2	19		良好 多量の分流装置を使 用している。
New York, N.Y.....							良好
Portland, Maine.....	18		X.				
Portland, Oreg.....			20.			越流ゼキ	
Salem, Oreg.....			バルブおよび フロートによ る制御			ダムとオリフィス	良好
Syracuse, N.Y.....	X		X.				
Tacoma, Wash.....		X	X.				
Texas City, Tex.....		X					良好
Washington, D.C.....			X.			オリフィス	合計 86 のほとんどが オリフィス

a) 100 が横越流, 100 が垂直ゼキと推定される。

X, 使用している装置, 数は不明。

が既存の装置を根本的に使用できぬものとしたため、晴天時にも分流地点で越流している例が多い。

〔浸 透〕

多くの下水道網で大きな問題となっているものに浸透がある。この場合、浸透の中に不完全な継手、クラック破損、あるいは人孔からの水の浸入を含んでいる。

下水道設計、建設の初期の頃、経験的にどのような形式の下水道でも浸透する量は多量に及ぶことが明らかにされた。したがって、設計基準でも新しく布設する下水道へ浸透することを認めるようになった。一般的な原理としては、降雨は無害な雨水をもたらすので、完全防水の下水道とすることはさして重要ではないということであった。同じく、合流式下水道および遮集管はかなりの量の雨水を受入れるように設計されるし、またされているので、浸透水に対しても現実的な余裕を認めるべきであると信じられてきた。汚水管はその性格上雨水の流入を制限しているが、多くの都市では露路排水、基礎排水、あるいは雨トイすら汚水管に取付けることを認めている。したがって、汚水管は汚水の変化量よりも大きく変ることを前提に設計されている。調査したすべての場合、汚水管の設計基準には浸透に対する余裕を含んでいる。これら設計上の余裕が継手の向上、より厳重な検査、漏れや破損を修理する方法の発達をさまたげているこ

とが次第にわかってきた。しかしながら、このような変化はゆっくりしたものであり、一般的なものではない。その間の税負担は莫大なものである。

50年前の原理、つまり浸透は同じ使用年数で黙認すべきやむをえない弊害であるということは、技術的には貧弱な判断であり、行政的な手段である。過度の浸透の影響は污水管および遮集管で最も防がなければならない。多くの都市は年間浸透量が汚水量に等しいか越えた量となっていると報告している。このことは量が増大するにしたがって既設管を大きくし、きびしく入る量を制限するしかないことを意味している。下水管を新設するという形で求済するか、または河川への越流を黙認することにより河川水質を変えてしまうことを意味する。処理の方からは、水量負荷の増大に対処させるため処理場を大きくする費用をかけるか余分の水を水域にバイパス放流するかを意味し、いずれも処理場の目的に負側に働く。

一般的な問題を概述するため、こゝではいわゆる「分流式」の1住居地区の污水管に、すべての発生源からくる浸透水に関する研究について述べる。この例では、浸透の中に地下水および地下排水、堅樋、露路排水等からの直接取付けによるものが含まれている。カンサス州 Johnson County の Mission Township 排水区No1で、Weller と Nelson⁽²³⁾は4年間以上の期間中、下水管内の平均汚水量は平均水使用量の3倍以上になっていることを見出している。すなわち大部分の水量は上水よりも他の発生源に起因しているということになる。中程度の降雨の場合、下水管に流入する雨水の大部分は、明らかに下水管に直接接続された地下室排水からのものであると考えられる。他の発生源と、人口でなくも住宅を基にしたそれらの割合は堅樋13%、舗装面から地下室へ入った侵水7%、露路排水5%、車道排水3%である。このうち車道排水は水量負荷の観点からは最も重要である。

雨水管では、処理場に関係しないので、浸透は余り重要ではない。しかしながら、材料、設計、建設の分野で可能な進歩を利用することにより、新設管の口径を減少し、既設管の流量を増大できると考えるのは正しい。

ポンプ場やその他の装置もまた下水管の形式を問わず浸透量に直接影響を受ける。

既設管の浸透に対する余裕は大巾に異っている。二三の発生源に対する遮集管の余裕は平均で500～4,000ガロン/日と報告されている。浸透水は1.5～1.2 mgd の範囲である。また、污水管については浸透に対する余裕は50 gpdで行なわれていると報告されている。100万人の利用人口となっている都市では、「汚水系統」でこの量は50 mgdになる。水理学的にみると、およそ500,000人の収集、処理施設となることを意味している。この費用負担はかなりなものとなる。

新設、既設を問わず改善措置が伴う。新設管では新しい接続方法、より厳重な施工の必要性、工事検査、試験方法の改善など厳重な仕様書の使用を伴う。また設計では見込んでいなかったところでは、屋根トイ、敷地内排水のような不正な取付けの防止を常に行なうことも必要である。破損したり、継手が悪いような既設管はもはや掘りおこし修理するか、または不良部分や継手を置換える必要がある。最近、テレビによる検査や遠隔シーリング法が使えるようになった。このような方法の改良を継続することが期待される。

多岐にわたる浸透により悩まされている地域全体を通じての影響、および経済的負担は既設状況の改善や可能な限り浸透を排除した新しい施設を促進することに向って、大きな努力をする根拠になっていると

考えられる。

対 策

50以上の技術的ないし特別調査に関する報告書は、もち論国家的な問題に対する代表例とはなっていないが、十分な資料は提供している。これらは合流式下水道からの越流水および雨水により影響を受ける人口のかなりの部分を占めているから、これらの都市において考えられる、開始された解決策の数の多さはすべての問題の評価において重要なことである。これらの報告から表を作成したが(表XV)、種々の対策が合流式下水道からの越流水および雨水の排出を制御し、処理する問題を解決するため考えられ、提案され実行されていることを示している。資料を最も効果があるように解釈するため、ある程度の説明が必要である。環境上の影響やそれぞれの都市に特有の要素が異なるため、また技術的な研究が総括的な性格を有するため、多くの解決策が考えられ、場合によっては、いくつかを同時に行なうことが提唱されている。このような理由により、表にはいくつかの手がかりがある。

この情報の評価に便なるように方法は根本的なものと代替案の2種類に大別した。根本的なもの、つまり下水管の分離化は次のように細分される。雨水管の分離、汚水管の分離、屋根排水の分離、敷地および露路排水の分離、空調水の分離、地下室排水の分離、下水溜の分離、冷却水の分離などである。

〔根本的な対策〕

これら「根本的対策」の最初の二つはすでに示した形式の内に見られる。つまりある都市は既設下水道を汚水管に使用し新たに分流式の雨水系統を設置することを考え、一方他の都市は既設管を雨水系統に使用し新たに汚水管を設置することを考えている。

完全な分離は指摘されているすべての行動を必要とする。資料から完全分離が現実的なものでないばかりでなく、考えられ推奨されている回数も少ないことが明らかである。

既設管のある都市で必要な改造をなすに要する費用を考えると、莫大なものとなる。したがって、最も实际的に都市の財政能力に合った方法が推奨される傾向にある。ほとんどの場合、このような結果、最も容易に、最も安く、しかも最大の効果をあげることが出来るような、分流化ではなく部分的な分流程度のことを選んでしまっている。

表は分流化に加えて最も普通に推奨されているのは、屋根樋を雨水管の接続することであることを示している。資料はさらに、技術的な調査では、いくつかの地域で完全分離へのあらゆる処置を講じておくことを提唱しているが、一般に都市側は完全分離を実行することを選んではいない。疑いもなく、この妥協の大きな理由は重い財政負担にある。

さらに資料の分析により、調査を行なったうち一都市しか完全分離の勧告を実行しなかったことが明らかとなった。これは60年計画により行なわれようとしており個人の財産所有者の一部との協調が不完全なこと、およびその他の技術的な要因により実際には完全分離は行なわれていない。

また明らかに、多くの都市は完全な分離を考えていない、しかし考慮した都市に対し2/3~3/4の技術者は完全分離を勧告している。都市の多くが完全な分離を考えていないことは、多くの調査が特に地域的

な浸水ないし処理の必要性を軽減する目的のために始められたことから理解できる。

〔代 替 案〕

代替案は次の三種類に分けられる。(1)処理、(2)貯留、(3)その他、しかしこゝで述べる方法は考慮されている回数の多いものの順にあげる。

1. 管渠容量の増大

考えられうる代替案の中で、断然多く推奨されているのは下水管容量の増大である。個々の調査により、現在の下水道は雨水汚水混合下水や雨水を取扱うには不十分であることが明らかになっており、このことは理に合っている。不十分である理由としては、取付け個数の増大と人口の増大とがある。大部分は特殊な水質のものとして区別されていないが、工場排水の増大も1つの要素になっている。不浸透域の増大もさらに寄与している。舗装ないしはその他の不浸透面の面積が増大することにより流出量が増大するからである。

2. 浸透の防止

次に最も良く用いられ、また積極的に推奨されているのは、浸透の防止である。これは先に詳細に述べた。

3. 下水処理場の新設ないしは増補

処理もまた多くの都市で考慮されている。考慮されたものは下水処理場の新設または拡張と貯留槽、ラグーンまたは自然の水面を利用するものとはほぼ等しく分れる。これらはいずれも新しい解決法ではない。しかし貯留方式の処理に対しては相対的な利点に関してかなり意見の相異があり種々の因子を明らかにするためには多くの調査が必要である。

代替案の一つは別の下水処理施設を築造するか、既設処理場を拡張するかして越流水ないし雨水により増大した負荷量に対処させるものである。ある点では、これは代替案とはならない。しかし、処理場をはなはだしく濃度の高い越流水の排出を防ぐために準備、拡張すると考えれば、これは代替案である。雨水のみを分離して処理することが必要となってくる。実際には、これが必要となるか、実行可能となるかは多くの変数があるためわからない。他の解決策との中広い比較を行なうには、より実際の情報が必要である。代替案の分類において多少の重複がある。例えば、滞留槽、ラグーン、池や湖は処理法であると同時に貯留装置でもある。

表 XIV 米国における50以上の都市からの報告書に見られる合流式下水道からの越流水および雨水流出水の制御および処理対策

対 策	活 動 状 況		
	考慮中	提 案	実 施
(a) 根 本 策			
下水管の分離	45	36	9
雨水管の分離	35	29	7
汚水管の分離	26	21	3
雨どい排水の分離			
敷地内排水の分離	10	7	1
空調排水の分離	11	6	1
地下室排水の分離	13	9	1
雨水ますからの流入の分離	10	7	1
冷却水の分離	9	5	0
(b) 代 替 策			
処 理			
下水処理場の新設	4	4	2
既設処理場の拡張、増補	4	2	1
滞留槽*	9	4	2
ラグーン、湖沼*	9	3	1
貯 留			
管渠容量の増加	27	22	5
処理ないし河川側へ流し出す**	3	3	1
溝をつける	4	3	1
入口側での滞留	1	1	1
道路、街面への滞留	5	4	2
その他			
地域制および土地利用の改善	4	3	3
浸透の防止	9	7	.....
調節、分離、観測	2	2	.....

* 貯留とも分類される。

** 滞留池法のような操作を行なうものと考えられる。

4. 滞 留 槽

滞留槽は、高いピーク流量を下水の負荷量の段階まで下げるに十分な長さの遅滞を行なうことができるといふ点で、その使用には関心が持たれてきた。滞留槽を管渠系統内の流量を、越流を防ぎ、または制限するために保留することに用いる場合は、問題は処理場側へ移行する。この方法では、下水処理場がこの負荷を処理できることが要求される。もし出来なければ余剰分はバイパス放流され、滞留槽で砂やその他の重い物質が除去される以外は滞留槽が無い場合と同じ結果となる。

滞留槽のもう一つの使用法は処理である。こゝでの処理とは、固形物の除去ないしこれらの除去と病原菌の消毒のための塩素処理である。例えば、ボストンでは滞留槽が用いられ、塩素処理した貯留水は各引潮時にボストン港へ直接排水される。

滞留槽は新しいものではない。例えばオハイオ州Columbusでは30年来使用している。ニューヨーク市は最近かなりの規模の滞留槽の計画を発表しているが、これは合流式下水道からの越流水を受け、各入口へ3台の軸流ポンプで流入水の次亜塩素処理を行なった後、処理水を下水道へ戻し最終的に下水処理場へ移送するものである(24)。この目的のため総量3750万ガロンを貯留するための4つの施設が設計されようとしている。その目的は海浜の汚染防止であると発表されている。

5. ラグーン、池、湖

同様に提案されているラグーン、湖沼も滞留池と同じである。これら水面も流量を貯留し流れをならし、また流量を多少の時間貯留すれば安定化池としても働く。これらの使用はニューヨーク州Buffaloにおける例のように、かなりの容量が必要とされる地域の近くにある、石切場のような自然の凹地を想定したものである。他の例でも凹地がこの目的のため設計され、建設されている。

カルホルニア州OaklandにあるTemescal湖は、調整池として用いられている農業用のものである。最初は上水道の貯水池であったが、周辺が開発されこの目的を放棄した。雨水貯留施設と同時にレクリエーション用としての目的も持ってきた。ワシントン州Seattleの湖では、同じ目的のものが考えられてきた。一方ワシントン州Tacomaでは近くの地域の雨水による被害を制御するためラグーンをつくった。

ラグーンもまた水の多目的利用の可能性を持っている。工業用水が時折不足するシカゴでも考慮された。貯留水は工業に使用する前に処理された。

多量の水使用者から排出される水を、降雨時一時的に貯留するためサージタンクを用いることを考えた都市が1例あった。

6. 側溝、ます貯留および街路、道路での滞留

やゝ程度が劣ると判断される方法に側溝、ます、流入口保留、道路の滞留をいかして貯留を行なう方法がある。適当に設計すれば、下水管に到達する雨水の流出を遅らせることができ、これにより下水道の分流点での過負荷が減少される。

7. 消 毒

雨水、ないしは雨水・汚水の混合水を連続式接触槽で分離して塩素処理をすることはもう一つの代替法である。Campは塩素注入量の試験結果を報告し、その実用化に関して論じている(3)。彼は多くの場

合素掘りの直線状でない水路を接触槽として用いることができると指摘している。必要接触表面積は、排水区域が1平方マイルの場合およそ1エーカーである。彼は晴天時下水量に必要な平均量の10倍以下の塩素注入量で十分であることを見出している。

8. 地域制の活用および土地利用の制限

地域制の活用と土地利用の制限は代替案を考える場合考慮しなければならない要素である。人口密度と同様、土地利用と地表面特性の変化をもたらす地域の絶えまない変化は、既設下水道では考慮されていなかった条件を課すことになる。このような絶え間ない変化は、広域的な前向き計画により、収集機構を最大限に利用することが可能となるための十分な助けとなることを示唆している。

9. 調節、分流および観測装置

調整装置、分流装置、観測装置もまた、他の調整方法の一つとなりうる。ミネソタ州ミネアポリスでは、越流の頻度を減少させるため、合流式下水道の自動制御と調整計画を考慮中である。これは市の長期分流化計画と関係しており、概念的には下水管の貯留能力を利用している。またオハイオ州シンシナティでは過剰な越流の問題の解決策を評価し、望みがあればそこへ到達するため観測施設計画を考慮している。

〔その他の調査〕

シアトル首都圏の下水および排水調査の作業の過程で、BrownとCaldwellは、1957年米国およびカナダの16都市の合流式下水道の分流化に関する情報を編集した。一方この調査以来変化があり、一般にその結果はばらばらである。

BrownとCaldwellが調査した16都市のうち9都市は現在の調査も含まれている。これらは、バルチモア、ボストン、バッファロー、シカゴ、デトロイト、セントルイス、ミネアポリス、ニューヨーク、オークランド、ポートランド、Spokane、セントポール、トレド、バンクーバー、ワシントン、D.C. Winnipegである。3都市（バルチモア、オークランド、トレド）は、原則的に分流化した下水道と雨水系統を持っている。4都市（シカゴ、デトロイト、セントルイス、Winnipeg）はほとんどが合流式になっており、8都市（ボストン、バッファロー、ミネアポリス、ニューヨーク、ポートランド、セントポール、バンクーバー、ワシントン）は分流式と合流式の組合せである。

これらの都市の半分では、屋根排水は地表面に排出するようになっている。数都市では屋根排水は表面排水または樋により側溝へ排水されるようになっている。

雨水管が十分深い場合以外地下室排水が污水管に排出されるようになっているのが7都市あった。バルチモアとバンクーバーでは、雨水管があれば地下室排水を受入れるように設計されている。10都市のうち7都市は現在の住居の排水を、現行の分流化計画に従ったものに修正しなければならないと報告している。ボストン、バッファロー、セントポールは費用とその他の障害が完全分離の効果をあげるため接続管の変更を要求することを不可能にしている、と指摘している。

バッファロー、セントルイス、ミネアポリス等の都市では、地下室の排水を污水系統に受入れているが、ワシントンではそうはなっていない。

5都市（バルチモア、ボストン、バッファロー、ミネアポリス、ワシントン）は現在一般会計で分流化

の費用を負担し、または過去において行なってきた。しかしながら、その事業の多くは全くないしは比較的重要度の低い系統について行なわれたものである。ワシントンは特記すべき例外であり、大計画も一般会計で支出している。

多くの都市が、財政が分流化の最も大きい問題であると報告している。5都市（バッファロー、シカゴ、デトロイト、セントルイス、ニューヨーク）は分流化を考慮していないとしているか、またはそれをほのめかしている。

この調査により、水質基準の改正により分流化の傾向があること、しかし分流化は地方的な要因に左右され、それぞれのケースは汚濁防止の条件に合わせて行なうべきことが明らかになった。

一般に、最終的な解答は次のことによると信じられている。(a)既設管の容量、(b)降雨の頻度、および強度、(c)稀釈下水越流水および雨水が排出される水域の水利用の重要度、(d)建設維持管理費

費用

〔完全分離〕

16の都市から報告された完全分流化の推定費用は表XVに示した。オンタリオ州トロントも興味ある事実としてこの表に含まれているが、計算には加えられていない。この米国における15都市で下水道利用人口約2100万人で、総費用は90億ドルになっている。8都市では大都市であり、大きな問題となっている。そして計画目的にとっては不釣合な代表例となっている。都市域1エーカー当りの費用は1800ドルから3万ドルまで変化し、平均11,800ドルである。1人当りで計算すると、その巾は狭くなり187ドル～915ドルで平均465ドルである。

これらの費用を全米の費用推定に直接用いることには、妥当性が疑われる理由はかなりあるが、ここではこれより他都市が推定し得る基として示した。

これが代表的な資料であると仮定し、表Iに示す合流式ないしは合流と分流の組合せの利用人口を用いると全米の完全分離の費用は2740万ドルとなる。

これはすべての市町村が、信頼するには少なすぎる

と実際には考えてよい資料の制限範囲内におさまっていると仮定している。

まず1人当りの費用は大都市の方が小都市より少ないことがいえるであろう。しかしながら、このことは資料中には示されていない。8つの大都市は約2050万人であり、平均費用400ドル/人を示し、9の小都市は計約600万人で平均費用は540ドル/人である。したがって、全費用は274億ドル以上

表XV 雨水、汚水の完全分離のための推定費用

都市名	全費用	費用/エーカー	費用/人
Chicago, Ill.....	\$2,300,000,000	\$17,000	\$482
Cleveland, Ohio....	470,000,000-700,000,000	12,000-18,000	360-535
Concord, N.H.....	8,000,000	.....	280
Detroit, Mich.....	1,315,000,000	.....	360
Haverhill, Mass....	30,000,000	10,500	650
Kansas City, Kans...	20,000,000	17,745	187
Lawrence, Kans....	30,000,000	13,500	915
Lowell, Mass.....	70,000,000	12,000	780
Milwaukee, Wis....	425,000,000	8,250	440
New Haven, Conn...	10,000,000	116,363	560
New York, N.Y....	4,000,000,000	25,000-30,000	492
Portland, Oreg.....	100,000,000-250,000,000	3,100-7,750	260-652
Seattle, Wash.....	145,000,000	3,890	260
Spokane, Wash....	50,000,000	1,800	415
Toronto, Ontario...	285,000,000	17,000	.....
Washington, D.C....	214,000,000	18,000	250
Total.....	29,662,000,000	212,427	2468

1. 実行計画費用に基づく。

2. 報告のあった範囲での都市の平均値を用いた（米国分のみ）。

になる。さらに、これら費用は1964年の単価で示したものではない。ほとんどは概算であり、いくつかは数年前のものである。

これら大ざっぱな資料整理により、全分流化の費用は250～300億ドルないしはそれ以上となる。

〔部分的な分離〕

部分的な分流化の費用を一括することは、分流化の程度が違うのでさらに困難である。したがって、通常の文献の範囲で費用の推定を行なう可能性には確信がない。

部分的な分離化の費用は、屋根排水、露路排水、地下室排水、空調その他冷房排水、敷地排水の程度により大きく変る。ある都市は、これら汚水源のいくつかを污水管に受入れているし、他都市はそうではない(25)。ある都市は地下室排水を污水管へポンプ排水を許可するような形での組合せを認めている。

この計画は下水管の分流化でもよいし、または下水管としないしそれ以上の污水管中の雨水源を分離することでもよい。

これらの条件を背景にして、考えられうる部分的な分離費用が表XVIに示してある。

情報は18都市210万人から得られた。いろいろな計画の推定費用はすべてで2億4400万ドルになっている。1エーカー当りの費用は8都市からしか得られなかった。しかしこれらの変動巾は大きい——640ドル～7800ドルで平均3045ドルである。1人当りの費用は43ドル～500ドルで平均176ドルの範囲にある。

完全分離と同じ仮定を用いると、全米における部分分離化の費用は104億ドルである。この合計は完全分離で推定されたものよりはるかに信頼性は少ないが、問題の財政的な側面の程度を示している。

〔取付管分離の単位費用〕

分離化計画の個々の項目に用いられる情報は少ない。

シアトルとタコマは単価を以下のように推定している。

一般家庭との取付替	40ドル
雨水ますとの "	80 "
マンホールの取付	100 "
新規家屋取付	300 "

ワシントンD.C. は取付管および排水設備の単価を次のように推定している。

一戸建家屋、仕上げなし基礎	1200ドル
" 基礎なし	2000 "

表XVI 雨水污水の部分的な分離のための推定費用

都 市 名	全 費 用	費用/エーカー	費用/人
Des Moines, Iowa.....	\$25,000,000	\$7,800	\$170
Elmhurst, Ill.....	8,770,000	.....	237
Eugene, Oreg.....	3,410,000	3,100	76
Findlay, Ohio.....	15,108,000	.....	500
Granite City, Ill.....	13,200,000	4,900	330
Hannibal, Mo.....	613,000	.....	43
Kendallville, Ind.....	969,000	.....	143
Lafayette, Ind.....	5,024,000	.....	120
La Porte, Ind.....	9,187,000	.....	437
Lathrup Village, Mich.....	961,500	.....	302
Louisville, Ky.....	30,538,000	.....	73
Michigan City, Ind.....	3,500,000	.....	95
Minneapolis, Minn.....	30,000,000	3,040	69
Mishawaka, Ind.....	4,392,000	972	129
Napa, Colo.....	1,549,000	640	52
Sedalia, Mo.....	4,470,000	.....	213
Seattle, Wash.....	69,000,000	1,860	124
Tacoma, Wash.....	7,960,000	.....	53
Total.....	233,651,500	13,187	176

1. 平均

小アパート（基礎あり）	1 7 5 0 ドル
大 "	5 0 0 0 "
地下貯留庫付店舗	2 0 0 0 "
基礎なし店舗	4 5 0 0 "
店舗、商店、官公庁会社（基礎あり）	5 0 0 0 "

これら単価の情報は他の地域で一般化するにはかなり制限があると考えられる。

〔代 替 法〕

1. 滞 留 槽

他の代替法より滞留槽に関する資料はある。費用は表XVIIに見られる。滞留槽計画の程度や性格には大きな変動があり、それが単価に関係する。この費用は範囲を決めるには有効であるが、多くの地域的な要素が平均値から一般化することを困難にしている。例えばニューヨーク市の計画では、いく度か調査されたが実際の建設費用は明確には算定されなかった。最終的にはニューヨーク市内および周辺の三排水区を網羅し、数年間にその関点から行なわれた。これら計画に要する推定費用は1億8100万ドルであり、完全分離を行なうとすると40億ドルである。しかしながら、滞留槽計画は分離化対策地域全体の一部しか対象としていない。この滞留槽計画の必要性の評価は、いかなる時も不可能であろう。

滞留槽方式を評価する維持管理面での情報は少ない。オハイオ州Columbusのタンクは1934年に造られたが、一般に成功していると報告されている。しかしながら、清掃作業は沈澱物を受入れる処理場に負荷的な問題を引起したと報告している。また臭気の苦情が槽内の清掃作業期間にあった。

統一的な設計基準はない。ある槽は短時間洪水を制御するため均衡を保てるよう設計されており、他のものは越流水を沈澱および塩素処理で一度処理するような設計になっている。排水区と槽容量の関係は必要であるが、これらの関係は地方の条件によりかなり修正されてしまう。

2. 塩素接触池

塩素接触池を持った三都市の費用に関する情報がある。この費用は表XVIIIに見られる。単価はきわめて均一で約4200ドル/エーカーである。二都市の1人当り費用は全く同一で250ドル程度であり、一方第3の都市は約100ドル以下である。三都市とも同じような地形にあり、この情報を何処にでも用いるには限度がある。

塩素接触池はSS、BODの除去効果は小さいので、部分的な消毒という初期の目的は完全分離、処理およびその他の方法に比べ最終的な使用としては限定される。しかしながら、大腸菌およびビールス

表XVII 雨天時下水ないしはそれと雨水を一時的に貯留する滞留槽の実費

都 市 名	全 費 用	費用/エーカー	費用/人
Clinton, Iowa.....	\$2,655,000	\$1,400	\$88
Haverhill, Mass.....	25,000,000	8,800	545
Lawrence, Mass.....	21,000,000	9,500	300
Lowell, Mass.....	53,000,000	9,150	590
Mission Township Main Sewer District No. 1, Kans.	4,000,000	1,000	67
New York, N.Y.			
Jamaica Bay.....	65,000,000	5,150	(1)
Eastchester Bay.....	35,000,000	.....	(1)
Upper East River.....	81,000,000	2,130	(1)
		\$5,304	\$318

1. 利用人口不明
2. 平均

の制御、上水道、レクリエーション、釣、灌漑、その他の水利用に対する保護からは高く評価される。この方法の長期間の利点を出すためには、いくつかの土地で中広い評価を行なう必要がある。

塩素接触池の費用は分流化、滞留槽に比べはるかに少ないが、運転に必要な塩素の費用を全体費用に含まねばならない。情報を得た三都市ではこの費用は50セント/人/年であった。

3. ラグーン、湖沼

ラグーンや湖沼は調整法として用いられているが、費用の資料は乏しい。ある報告例では、既存の池、湖や石切場が用いられ、これが計画の費用見積りを困難にしている。他の例では費用の分析は明確には行なわれなかった。貯留施設が他の設備に含まれる多目的の一部に入っているからである。

このような制限があるため、表XIXに示すように三例しか費用がない。

これら費用は単位費用が他の方法よりかなり低いことがわかることを除いては、比較検討の信頼性は低い。

4. 他の貯留法

その他の貯留法に関する特定の費用は得られない。管の容量を増大した都市では、その他の管も計画の中に入っているため、この目的だけの費用を明らかにすることは出来ない。単に管容量の増大のみに寄与した費用を出すにはこれら計画の特別な解析が必要である。

同じような解析の困難さは側溝その他についても考えられる。

5. その他の処理法

下水処理場の新設ないし拡張を考えているところでは、費用には同じく他の処理便益も含まれており、分離して計算するのは適当ではない。

6. 種々な方法

三都市が地域制や土地利用制限の改良を行なったが、その特定の費用、利益をはかることはできない。この都市のみが調節装置、分流装置、観測装置を雨天時下水の越流の関係から費用と有効性を評価する調査を行なっている。この調査は概括的なものであり、そのため情報はきわめて限定されている。しかしながら、各都市は観測装置と調節装置のため約100万ドル支出したことを示している。

表XVIII 雨天時下水ないしはそれと雨水を一部消毒するための塩素接触池の費用

都 市 名	全 費 用	費用/エーカー	費用/人
Haverhill, Mass.....	\$11,500,000	\$4,050	\$250
Lawrence, Mass.....	\$9,800,000	4,400	140
Lowell, Mass.....	\$23,700,000	4,060	264

1. 年 間 塩 素 代	30,000 ドル
2. 年 間 塩 素 代	24,000 ドル
3. 年 間 塩 素 代	56,000 ドル

表XIX 雨水の調節に用いられているラグーンの費用

都 市 名	全 費 用	費用/エーカー	費用/人
Exeter, N.H.....	\$320,000	\$640	\$80
Richards Gebaur Air Force Base, Mo.....	280,000	700	.....
Takoma, Wash.....	115,000	139	119

1. 不完全な資料からの推定

討 論

この概括的な調査では情報源の不足により雨水および合流式下水道からの越流水の問題のすべてを採り上げたのみであった。にもかかわらず、この資料収集は問題の性格と程度を十分に示しており、多分解決への指針となるであろう。

雨水および合流式下水道からの越流水は都市化と水利用の上昇に伴ない増大する問題の本質をなしている。この問題は地下室や街路の浸水から、時には上水源のような高度な水質を要求される水域の汚濁全体まで大きな範囲にわたっている。多年にわたる数多くの都市における調査により問題が認識され、あるものは改造にむかって莫大な支出のもとに進行中である。

この問題に関する地域的な調査や部分的な行動は示されているが、全米にわたる評価は行なわれていない。各地での経験から、地方に特有の多くの要素が改良方法に関する一般化を困難にしていることが明らかである。気候条件、土地の高低（地形）、土地利用は場所によって違う。河川は形状、性格、利用方法が異なる。下水道の形式、人口密度、工業範囲、その他の要素が影響する。

この報告書は問題を確証し、費用の点から可能な解決策を明らかにしようとしたものである。

確かなデータを蓄積することは困難である。なぜならば多くの資料源は予備的な調査で、その多くは雨水および合流式下水道からの越流水によりもたらされる問題の一面のみを明らかにしているにすぎない。多くの場合、他の計画にもとづく調査の資料と混っている、資料を選択的に抽出する必要がある。この方法に内在する制限にもかかわらず、ここにあげた調査は多くの顕著な事実を明確に示している。

合流式下水道により投じられた問題は重大である。5900万人が全米1940の都市で合流式ないしは一部合流式を用いており、家庭下水および余剰雨水を排除している。もしこれらの都市の大部分が、豪雨時における越流と不完全な処理という普遍的な問題を分担するならば実際に関係する理由がある。

多くの都市では晴天時でも合流式下水道からかなりの越流があることを経験していることが調査から明らかである。事実、下水道によってはこの状態に適応するように設計されている。このことは比較的高汚濁の、かなりの汚水が未処理のまま放流先へ排除されていることを意味している。いくつかの都市がこの水質と水質を系統的に測定している。

量の点では、調査により平均年間3～5%の生下水が合流式下水道から放流先へ越流していることが明らかとなっている。合流式下水道ないしは部分的に合流式となっているところの5900万人と最小限3%の越流に基づき計算すれば年当り650億ガロン近い生下水が米国の水域に降雨時に流入することになる。この量には全水量に推計されていない雨水量は含まれていない。しかしながら、合流式下水道からの越流水は家庭下水に起因するものだけでも年間約1億ポンドのBODを水域に排除している。この多くはもし越流状態がなかったら防止することが可能である。

越流により放流先へ与える、バクテリアの汚染の程度は受入れ基準に適合できる程度をはるかに越えている。平均数日に1度ごとに発生する夏の雨により、流入河川は過負荷となり、レクリエーションやその他の利用に不適当なものになっていく。

また雨水のみでも、かなりの有機、無機、バクテリア性汚濁物質を河川へ運ぶことが確認されている。最大負荷は降雨開始時に発生する。特に攪乱は広く認められていることであり、降雨時95%以上の汚水が越

流により河川へ排出される。

雨水および合流式下水道からの越流水の水量水質分析に基づけば、問題は非常に明白である。しかしながら、問題全体をより明白にするためにはさらに学ばなければならない。

雨水および越流水による種々の損害の証拠は一般に存在する。もっとも頻度の大きいものは地下室の浸水と、それに伴う明らかな健康上の関係である。その他の被害の中には公害、資産の損失、水のレクリエーション的使用の減少、処理費用の増大などがある。このような被害を金額に関係づけることは困難であるが、関係する金額は莫大なものである。損害と費用の関係を明らかにする調査が必要である。あらゆる範囲の水利用が関係してくる。

調査を通じて、多方面にわたる雨水および合流式下水道からの越流水の問題に関する研究が不十分で、分散しており一般に不完全であることがくり返し示された。このような排出が河川の水質へ与える影響といった基本的な要素は、比較的示されていない。疑いもなく、有害な影響を河川へ与えているが、正確な程度はほとんど知られていないか不十分である。明らかに、問題を適当に見通すためには、さらにこの分野で研究を行なうことが必要である。

もう一つの、頑固な問題は、浸透により下水道網や下水処理場にもたらされる莫大な水量負荷である。百万人の都市が下水道を50ガロン/日/人、または50mgdの浸透に対処し得るような下水道を設計したとすると、このような問題を評価する、また実際に減少するための方法を研究することは期限切れとなる。接続管材質の改良、亀裂の補修、修理方法を総合的に研究すべきである。

すべての問題に加えて、工場排水の越流への寄与を考慮するための情報源の多くが欠けている。工場排水が問題を大きくし、あるところからは工場排水の寄与率はかなりなものであるという強い指摘もなされている。

調査の第2面は問題を解決するための方法と費用を吟味することである。

雨水と汚水の完全分離およびすべての下水の処理は、水域の保護の最終的な姿である。この簡略化したものが種々の程度の利益を伴う種々の妥協方法である。

合流化計画も、ほとんど大都市であるが、わずかながら進行中であり、いずれも長期計画である。常に、必要性は明確であっても、この計画はその莫大な財政支出のため遅延し、または減少している。全米での粗い推定では完全分流通のために250～300億ドル、ないしはそれ以上かゝるとされている。

費用に関する情報を収集している場合、分流通の建設段階に生じる不自由さの結果によって生ずる金銭的な損失は考慮されていない。かなりの掘削が街路その他で必要であり、進行は一般におそい。個人、企業、工業、そして全くすべての地域社会が近づき難いことによる。しばらくの経済的損失になやまされる。こゝでもまた、金に換算することは不可能であるが、しかしその量は疑いもなく莫大なものである。

この問題の複雑で広い範囲にわたる特性がこれを地域計画の基本的問題にしている。この関係では計画者に対しより多く、より良い情報を提供してやる必要がある。

部分的な分流通は種々の程度が考えられ、実行されているが、かなりの救済策となり得る。数都市においてこの形の計画をはじめて行なった。多分、完全な分流通を将来望みながら期待したように、費用は完全分離より少なくなったが、未だ印象的なものである。放流河川へ与える汚濁防止の程度は詳細はわからないの

で、さらに評価する必要がある。

代替法も考えられ用いられた。しかしほとんどは緊急策として受入れられたものである。ニューヨークは代替法に用いた広範囲な計画を進行させた。合流式下水道からの越流水の滞留槽を直列に設置し、下水処理系統へ戻す前に塩素消毒を行なっている。この方法は完全分離に比べ費用が少ないことにより選ばれたものである。その効果の評価はしばらくわからないであろう。

その他用いられている方法としてはラグーン、湖沼ないしは廃棄した石切場、塩素接触池などがある。その他数種の方法が考えられており、より効果的で多分費用の少ない他の方法が開発されることが期待されている。分離化の方法や代替の解決法の徹底的な調査が強力に提案されている。増大する都市化は、合流式下水道からの越流水や雨水により全米の河川へ有機物質荷を排出する結果をまねき、それが既存のないしは計画中の改造努力で対処し得る量よりも大きくなりつつあることと明らかに関係がある。

考 察

雨水および合流式下水道からの越流水の性格、特性、それらが水域に与える影響、これによりもたらされる問題解決の可能性に関する概括的な調査は次のことを明らかにした。

1. 1900以上の都市のおよそ5900万人が合流式および合流一部分流式の下水道を利用している。
2. 既設下水道施設は、下水処理場および管渠系統の過度の過負荷を生ぜず汚水および雨水を取扱うには不十分であり、その結果、これらの過負荷分は放流可能な水域へ排出される。
3. 雨水および合流式下水道からの越流水は全米の水域に与える汚濁物質のかかなりの部分寄与しており、成長しつつある都市化傾向がこれらの量を増加させている。
4. 合流式下水道からの越流水および雨水の双方共、水域に対し汚濁物質のかかなりの量をもたらしている。
5. これらの排出は放流先水域のすべての知られている水利用に負の影響を与えている。
6. これらの排出により生じる損害により、かなりの経済的損失がもたらされるが、これらの損害の正確な程度を求めることが残されている。
7. 損害は夏期降雨期によりひんぱんに生ずるが、多くの下水道はかなり過負荷になっており、年間を通じ晴天時でも越流が生じている。
8. 浸透は汚水管、合流管の水量的な過負荷に寄与している重要な問題である。
9. 汚水管から雨水を完全に分離すること、およびすべての汚水を処理することは、放流先水域の最大限の水質保全をなすうえで最終的な方法である。
10. その他の個々に、ないしは組合せで考えられている、その他の解決法には次のようなものがある。(a)屋根、敷地、露路、地下室、雨水ますを汚水管や合流管から部分的に分離する。(b)下水処理場の新增設、(c)塩素処理をつけるか、または単独の滞留槽、(d)消毒、(e)ラグーン、湖、石切場やその他の凹地を用いた貯留、(f)側溝、街路、道路等を用いた貯留、(g)下水管渠容量の増加、(h)下水管系統での調節、制御、および(i)都市計画や地域制の改善。
11. 完全な分離以外の、すべての方法の効果に関する評価は調査を行なう設備の不足から十分には行なわれ

ていない。

12. 統一されていない情報にもとづく完全分離のための総費用は200～300億ドルの範囲と推定される。
13. 部分的な分離化に対する費用は完全分離の費用に近いものと推定され、また代替の費用は20～30億ドル級と推定される。

提 案

こゝに報告した調査に基づく、活動に関する提案は次の通りである。

1. 概括的な調査を拡大し、その目的の深さを探究するため総合的な調査を開始すべきである。これらの調査は、現在の制限因子、将来に対する確実な予測、解決策、および費用を、全米規模で、理解できるような十分に詳細なものとするべきである。改良のための方法を確め、評価するに当っては、その計画を実際的な結果が確実になるに十分な大きいものとしなければならない。経済的な分析においては、公共の使用のために国の水資源を保全することとの関連から、現在の潜在的な損失ないしは有害な影響を評価に対して十分な認識を持つべきである。
2. 適切な方法を十分に評価するため、中広い追認のための調査を行なうべきである。
3. 合流式下水道からの汚水および雨水の排出を制御する新しい、ないしは改良法を開発するためのデモンストレーション計画は、これらの調査を実行し、実際の設計、建設実施資料の取得によって効果的な機構となる。これらは将来の活動に対する情報を提供すると同時に、問題に取組んでいることを表示するという付加的な利益がある。
4. 巨大な根を持つこの問題の解決に対する最終的な提案は、こゝに提案した調査の結果を待たなければならない。

参 考 文 献

1. U.S. department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, "1962 Inventory Municipal Waste Facilities" in 9 volumes, PHS Publication 1065, Washington, D.C. (1963).
2. McKee, J. E., "Loss of Sanitary Sewage Through Storm Water Overflows." *Journal of Boston Society of Civil Engineers*, 34, 2, 55 (Apr. 1947).
3. Camp, T. R., "Chlorination of Mixed Sewage and Storm Water." *Journal of Sanitary*

- Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 87, SA1, Part 1, 1 (Jan. 1961).
4. Palmer, C. L., "The Pollutational Effects of Storm-Water Overflows from Combined Sewers." *Sewage and Industrial Wastes*, 22, 2, 154 (Feb. 1950).
5. Palmer, C. L., "Feasibility of Combined Sewer Systems." *Journal Water Pollution Control Federation*, 35, 2, 162 (Feb. 1963).
6. Johnson, C. F., "Nation's Capital Enlarges Its Sewerage Systems." *Civil Engineering*, 28, 2, 56 (June 1958).

7. Camp, T. R., "Overflows of Sanitary Sewage From Combined Sewerage Systems." *Sewage and Industrial Wastes*, 31, 4, 381. (Apr. 1959).
8. Riis-Carstensen, E., "Improving the Efficiency of Existing Interceptors." *Sewage and Industrial Wastes*, 27, 10, 1115 (Oct. 1955).
9. Shifrim, W. G., and Horner, W. W., "Effectiveness of the Interception of Sewage-Storm Water Mixtures." *Journal of Water Pollution Control Federation*, 33, 6, 650. (June 1961).
10. Moorhead, G. J., "Overflows From Combined Sewers in Washington, D.C." *Journal Water Pollution Control Federation*, 33, 7, 711 (July 1961).
11. Johnson, C. F., "Equipment, Methods, and Results From Washington, D.C., Combined Sewer Overflow Studies." *Journal Water Pollution Control Federation*, 33, 7, 721 (July 1961).
12. Greeley, S. A., and Laligdon, P. E., "Storm Water and Combined Sewage Overflows." *Journal Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 87, SA1, Part 1, 57 (Jan. 1961).
13. Benjes, H. H., Haney, P. D., Schmidt, O. J., and Yarabeck, R. R., "Storm-Water Overflows From Combined Sewers." *Journal Water Pollution Control Federation*, 33, 12, 1252 (Dec. 1961).
14. Gameson, A. L. H., and Davidson, R. N., "Storm-Water Investigations at Northampton." *Journal and Proceedings Institute of Sewage Purification*, Part 2, p. 105 (1963).
15. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Division of Water Supply and Pollution Control, Great Lakes-Illinois River Basins Project, "Report on the Illinois River System—Water Quality Conditions." Part I Text, Chicago, Ill. (1963).
16. Weibel, S. R., Anderson, R. J., and Woodward, R. L., "Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution." *Journal Water Pollution Control Federation*, 36, 7, 914 (July 1964).
17. Los Angeles County Flood Control District, Water Conservation Division, internal memorandum titled "Interpretation of Data Collected During Storm Water Sampling Programs." Los Angeles, Calif. (Aug. 13, 1963).
18. Sylvester, R. O., "An Engineering and Ecological Study for the Rehabilitation of Green Lake." University of Washington, Seattle, Wash. (1960).
19. Wilkinson, R., "The Quality of Rainfall Runoff Water From a Housing Estate." *Journal Institute Public Health Engineers*, London (1954).
20. Shigorin, G. G., "The Problem of City Surface Runoff Water." *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2, 19 (1956).
21. Akerlinch, G., "The Quality of Storm Water Flow." *Nordisk Hygienisk Tidskrift* (Stockholm), 31, 1 (1950).
22. Stander, G. J., "Topographical Pollution—The Problems of the Water and Sanitary Engineer." 40th Annual Conference, Institute Municipal Engineers, National Institute Water Research (1961).
23. Weller, L. W., and Nelson, M. K., "A Study of Storm Water Infiltration Into Sanitary Sewers." *Journal Water Pollution Control Federation*, 35, 6, 762 (June 1963).
24. Anon., "City Plans to Treat Storm Water." *Engineering News-Record*, 172, 22, 36 (May 28, 1964).
25. Brown and Caldwell, "Summary of Drainage and Sewer Separation Survey, April 1957." pp. 208-9 in "Metropolitan Seattle Sewerage and Drainage Survey, a Report for the City of Seattle, King County, and the State of Washington on the Collection, Treatment and Disposal of Sewage, and the Collection and Disposal of Storm Water in the Metropolitan Seattle Area." Brown and Caldwell, Civil and Chemical Engineers, San Francisco, Calif. (Mar. 1958).