

米国主要都市下水道施設について

池 田 一 郎

米国シアトル市において1963年10月6日から10日まで開催された米国水質汚濁防止連盟第10回年次総会に出席し、米主要都市の下水道施設を視察したのでその概要を報告する。

① 会議概要

本会議には全米各地及び諸外国から約1,000人の関係者が参加して盛会を極めた。

会長、市長の挨拶のあと Harold E. Miller 氏により「シアトル市の下水道及び下水処理について」の特別報告があり、スライドによって建設状況の説明があったのち、ABCの3部会に分れての論議は活潑であった。

A部会のテーマは主として「水質管理」、「感潮河口部の廃水処理」、「汚水処理操作における発展と進歩」「処理場での安全な操作法」に関する発表で、特に「感潮河口部の廃水処理」の問題についてはアメリカのような大河川においても、この種の現象が惹起されており、Herbert F. Frolander 氏により河口部における生物学及び化学的な特性がのべられ、この分野の研究は今後大いに注目されるものと思われる。

B部会「工業廃水」「ニューヨークのニュートンにおける汚水処理問題に対する都市側と工場側の協力について」の一般討論、「工業のアイデア診断」等で、そのうち工業廃水の処理問題についての都市側と工場側の協力体制については、興味ある一般討論が行なわれ、特に Cecil H. Williams 氏の「都市下水処理場の計画と管理」及び George D. Simpson 氏の「工業廃水条例」等は、現在わが国の工業廃水による汚濁規制から見ても重要な問題と思われる。

C部会「操作と設計における新しい進歩」「水質汚濁その他のシンポジウム」等で非常に熱心な論議がなされ、John M. Sherbeck 氏の「汚泥の凝集に有機凝集剤を使用したミシガン州ベイ市における実験」及び Orris E. Albertson 氏の「安価な熱酸化汚泥処理法」その他の発表があったが、特に Alexander Goldstein 氏と Samuel Lokatz 氏の「シカゴの Zimmerman 下水汚泥酸化処理における構造と操作実験と費用について」の発表は汚泥処理法の新方法として、わが国においても注目されていることである。これは高温高圧の下で汚泥を燃焼させるいわゆる湿式燃焼法で、施設面積がきわめて小さく、その上

操作要員も少数であり、米国においては漸く実用の段階に入っているため、今後大いに調査研究する必要があると思われる。会議の期間中に、市内の下水道工事現場、建設中の Renton 処理場及び Carkeek 処理場を視察した。

シアトル市は従来各 town に夫々20位の小処理場があり、処理水は Lake Washington に放流していたが、藻類が増えるためと、Lake Washington の汚濁が増加するので Metropolitan Seattle の計画として、これを数カ所の大処理場にまとめ高級処理の上、海洋放流に切替えるべく新処理場をつくりつつある由で、Renton 処理場はこの一カ所であり、現在建設中であった。

Carkeek 処理場は公園内に建設された処理能力25,000人、13,250m³/日の小規模な処理場で現在のところ、第一次処理のみであり前後塩素処理を行っていた。流入下水の B. O. D. は 170 P. P. M. で除去率は44%程度である。処理水は海岸より610m 沖へ導き61m の深さに放流していた。この処理場の特色は Compact で臭気もなく環境がよいせいか非常に清潔であった。また管理面については隣接の処理場と合せてわずか7人で運営されていた。この点我国今後の処理場建設面からみて注目させられる。

② 各都市視察概要

(1) ロスアンゼルス

A ハイピリオン下水処理場 本処理場は処理人口420万人（現在290万人）、処理水量159万m³/日（現在104万m³/日）、整地面積30.7ヘクタールの大規模な施設で、全体の感じとしては広々として施設は整然と配置され造園等もゆきとどいており、まことに美しい処理場である。下水排水方式は、分流式で処理方式は標準活性汚泥法であり、沈砂設備の3分の1は曝気式沈砂池を使用しているのは運転費が高くなるが、沈砂の洗滌が、より充分に行われる長所がある。最初沈砂池は全部覆蓋しており汚泥の処理は消化の上、海中放流している。

当初は1.6km 沖に径3.66m 管で処理水と共に放流されていたが、多少近すぎて問題をおこしがちだったので、現在では、消化汚泥は11.2km 先まで径30.5cmの鋼管（内側セメントモルタルライニング、外側コーラルエナメル及びグナイトコーティングをほどこし、電気防蝕を行なっている）によりポンプ圧送し、処理水は、8km 沖まで別に径3.66m 鉄筋コンクリート管を布設して放流している。

消化槽発生ガスの利用は、本処理場の特長で、1,688IP の二重燃料ディーゼルエンジンを10台設備し、うち5台は曝気用ブローを駆動し、他の5台が1,190kwの交流発電機を駆動しているが、これらのエンジンはほとんど消化槽発生ガスで稼働している。すなわち全燃料の94%が発生ガスであるという。また、これにより発電された電力により、放流用ポンプ以外の処理場全体の設備を運転している。

B ウィットィアー・ナロウズ下水還元処理場 カルフォルニア州ロスアンジェルス郡では郡衛生区を定め、区域内の下水処理ないし水質汚濁防止のみならず、処理水の再利用を目途とした総合的な下水道計画を樹立している。

下水還元とは、処理水を灌がい、工業用水、地下水補給、あるいはレクリエーションのために再使用することを目的としており、下水処理と、単に言葉が異なるだけでなく、その意義は注目すべきものである。衛生区は、関係68庁を含む面積14万ヘクタール、人口350万人、下水量 113万 m^3 /日で、幹線延長1,210km、枝線延長9,200km、ポンプ場40カ所、下水処理場2カ所、下水還元処理場7カ所を有している。還元処理場のうち4カ所は、下水処理場を転用したものであるが、ウィットィアー・ナロウズ処理場は下水還元処理場として特に設計されたものである。

この処理場の処理能力は38,000 m^3 /日で活性汚泥法によるものである。最近の処理状況は、処理量47,000 m^3 /日で、SS及びBODの除去率はそれぞれ98%及び95%の好成績をあげている。この処理場の最大の特長は、処理施設の操作を流入下水量にあわせて制御せずに、処理容量に合致するように流量を制御することである。

すなわち、ここでは場内を、平均流量約19万 m^3 /日の大幹線が通っており、取水ポンプにより、処理能力に見あう一定量を、常時吸揚して処理し、残余の下水はそのまま幹線を流下し、末端にある大処理場（処理量173万 m^3 /日、簡易処理）へ流入処理される。さらに、この処理場では、発生汚泥、スカム、グリース等の処理は行わず、これら全量を幹線下水道へ戻してやり、下流大処理場で処理しているために、処理操作が簡単になるだけでなく、臭気も発生せず建設費も25~30%の節減になっている。臭気に対しては、最初沈澱池にカバーをかけ、中の空気は曝気槽用ブロワーで吸引曝気槽に吹込んでおり、処理水の質が悪い時には、処理水も幹線下水道に戻すようになっていて、処理水の残留塩素及び電気伝導度を連続的に記録する装置を備えて操作している。電気伝導度は処理水中の溶解性固形分の指標となるものである。その他自動制御警報装置を完備して、昼間は3人、夜間は無人の操作を行なっている。

処理水は売却され、地下水の補充のために、地下に注入滲透させられているが、その値段は、コロラド河水を買うのと同じ金額で、収入は処理場運転費と建設費の返却にあてられている。水質もコロラド河水に匹敵するものである。なお、処理場建設地は、洪水調整堰堤内にあるため、主要電気機械設備をおさめた本館は、200年確率水位にあわせ壁をあげ、水密扉を設けており、又、沈澱池等施設の高さは、100年確率水位にあわせて築造している。

C その他 ロスアンゼルス市においては、下水管渠の計画設計及び維持管理について意見を聞くと共に現場を調査したが下水管継手、下水管掃除機械等注目させられるものもあった。また Storm Drain について市の水理試験所を視察したが、水理計等が困難なもの

について模型による実験を行っており、かかることが直接設計と結びついて実用化される点興味が深かった。

(2) ミルウォーキー

ミルウォーキー下水処理場 ここはシカゴにおけると同様にミルウォーキー市のみならずその近郊をも含めた Metropolitan Sewerage District からの大部分の下水を処理している。Metropolitan Sewerage District は、61,000ヘクタール、人口はほぼ100万人であり、このうち本処理場の区域は39,000ヘクタール、人口98万4千人である。この処理区域のうち旧市域の6,400ヘクタールは合流式下水道であり、残余32,600のヘクタールは分流式を採用している。その処理法は活性汚泥法によるが、本処理場を建設する前に、そのような方式がミルウォーキーの下水に適しているかを実験設備によって研究した結果、最初沈澱を行わず、流入下水は沈砂除塵後に25%の返送汚泥と混合水路で混和してから曝気槽に入り、6時間の曝気を行なうようにしたものである。余剰汚泥は消化せずに塩化第二鉄で調整してから真空脱水し、脱水ケーキは回転式加熱乾燥してから粉砕してミルオーガナイトという名前で肥料として売っている。成分は窒素6%、リン酸4%、加里0.4%で芝、草の肥料としてすぐれている。年間約7万トンを生産している。

(3) シカゴ

シカゴでは、シカゴ市とその周辺114市町村を包含して、シカゴ衛生区がつくられ、一つの委員会組織により計画、建設、管理が行なわれている。いわゆる広域下水道の典型で、1893年にチフス発生により衛生区が設定され、以来漸次区域を拡張してきたもので、現在区域面積222,000ヘクタール、処理人口550万人及び12,000の工場を含み3大下水処理場の他に中小規模の処理場約100カ所を有する。処理水は近接するミシガン湖の汚濁を防止するために湖へは流さず、運河によってイリノイス河を経て、ミシシッピ河へ流している。

A ウェスト・サウスウェスト下水処理場 本処理場はウェスト及びサウスウェスト両処理場が近接しているので統合され、スティックニー下水処理場と総称され、実質的に一体となって操作されている。その規模は処理人口560万人、処理水量420万 m^3 /日、処理区域面積11万ヘクタールという世界最大の下水処理場である。下水排除方式は合流式であり、処理方式は標準活性汚泥法(サウスウェスト)とインホッフ槽(ウェスト)である。汚泥の処理法は既設の乾燥床、焼却炉の外に日量200t(人口200万人相当)の処理能力を有する大規模なジンマーマンプロセスにより処理されている。最終流出物の処分は、まず分離槽で水分と固形物に沈澱分離し、上澄液は最初沈澱池あるいは曝気槽に流入させ、固形分は約11.2km先でラグーンしている。分離槽ではわずかに醋酸臭があるが、場内に放置してある固形物は別に臭気も発生せず、問題はないようである。

B その他 なお前記下水処理場を視察した後 Illinois State Sanitary Water

B.ard を訪ね、州の水質汚濁防止について調査すると共に郊外地の小規模処理場を視察した。州の水質汚濁防止に関しては州法及びシカゴ衛生区、その他の地区の county に対する規制法が定められ、シカゴ衛生区と他の地区に対する放流水質の規制が行なわれている。郊外地の小規模処理場としてはいわゆる small community に対して処理人口 2,000人~5,000 人程度を対象とするもの 5カ所を視察した。これらは標準活性汚泥法、散水炉床法 Contact Stabilization Process Aerated Lagoon 等が用いられ、いずれも自動化されて、管理は監視員が巡回点検と採水を行なっているのみである。

(4) ウィーリング

ウィーリング下水処理場 スクリーン、沈砂池、沈澱及び前後塩素処理を行なう簡易処理場であるが、汚泥の処理は濃縮後にジンマーマンプロセスによって行なっている。この装置の設計容量は、汚水乾燥固形分日量5.6t に対するものであるが、現在は日量 10t 約の汚水を週に 2~3 日の運転で処理している。処理後の最終流出物はシカゴの場合とちがって沈澱分離せずに、そのまま近くの川に排出しているが、固形物が非常に少ない上、細菌、有機物等有害成分が含まれていないので問題はないようである。

(5) フィラデルフィヤ

ノースイースト下水処理場 本処理場の処理区域は12,200ヘクタール、現場処理能力は 475,000m³/日であるが、現に下水量が過大となっているので現在拡張工事中で、これが完了すれば処理量 663,000m³/日になる。処理区は、ほとんど家庭下水の高地区と工業廃水を含む低地区とに分けられる。当初モデファイドエアレーションとして設計して処理を行なったが、計画した除去率75%を得られなかったので、現在は高地区汚水に対しては、返送汚泥の再曝気を約6時間行なった後に、約1時間余の混合曝気を行なうバイオ・アブソープション法と、低地区の汚水に対しては高地区処理で発生する余剰汚泥と混合曝気するアクチビテッドエアレーション法を組合わせて行なっている。現在までの実績では拡張工事完了とあいまって75%の除去率を達成できる見通しである。

(6) ニューヨーク

ニューヨークではシカゴのような大処理区制とちがって地形上から18の処理区に分けられている。放流水域水質保全のためと、用地が狭いため大部分がステップエアレーションあるいは、ハイレートアクチビテッドエアレーションプロセスを採用して、用地を節減した施設配置をとっている。また汚泥処分は、大部分は船積みして、海洋投棄し一部の消化汚泥は公園又は公園予定地に表土として処分されている。

A ウォーズアイランド下水処理場 処理区人口 130 万人、処理区域面積 4,900 ヘクタール、処理水量90万m³/日のニューヨーク市の代表的な処理場であり、処理方式はステップエアレーションによる活性汚泥法である。汚泥の処分は消化することなく、生の汚泥を船積みして海洋投棄している。

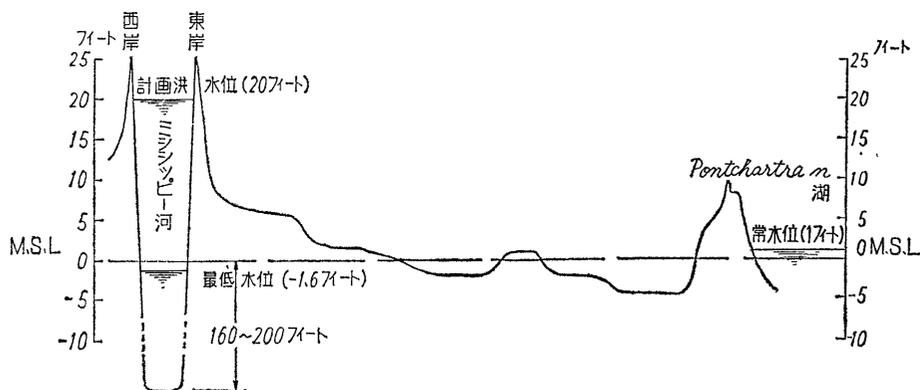
B) ボワリーベイ下水処理場 処理人口100万人，処理水量46万 m^3 /日，処理区域面積6,300ヘクタールの活性汚泥法による処理場で，ステップエアレーション，モデファイドエアレーション，アクチベイテッドエアレーションの，それぞれができるように設計されており，視察時にはモデファイドエアレーション法を行っていた。汚泥は，消化した後に海洋投棄しているが，ここでは，沈砂池の未洗滌沈砂も消化汚泥と共に船積して海に棄てている。沈砂を一諸に積むと船槽のホッパーに堆積しがちなので定期的に圧力水で洗わなければならないが，新造船では，海水でホッパーを洗い流すように改造してある。なお消化槽の発生ガスにより発電を行ない，これを処理場内の動力の一部に利用している。

(7) ワシントン

ワシントンでは，Department of Health Education and Welfare に Richard S. Green 氏を，ついで Interstate Commission on the Potomac River Basin に Carl J. Johnson 氏をそれぞれ訪問，Green 氏に対しては水質汚濁防止，膨張する都市近郊の下水対策について，及びジンマーマン・プロセスについての見解と意見を聞くと共に，Johnson 氏に対しては，Potomac 河に関連する水質汚濁防止について説明を受けた。その内容は複雑多岐にわたるので割愛するが，今後の下水道行政に関して参考となるが多かった。

(8) ニューオルリンズ

ニューオルリンズは，ミシシッピー河と，Pontchartrain 湖とはさまれた低地で，その大部分が，河の計画洪水水位あるいは湖の堤防高より低いため，内水排除が重大な問題であるので，大規模な雨水排除施設と下水排除施設を有している。ニューオルリンズの代表的な断面図は次のようである。



A) 雨水排除について 雨水排除ポンプ場は，河の東岸に11カ所，西岸に3カ所あり，全揚水量は7,200万 m^3 /日，排水面積は21,400ヘクタールである。晴天の時に流入する少量の水は，下水渠あるいは下水ポンプ場の方へ流入させて河に放流し，降雨時，水氾が増し

た時に大ポンプを運転して、湖と同じ水位の運河へ放流し、Pontchartrain 湖へ、あるいは Bienvenu 入江をへて Borgen 湖に流出させている。雨水排除ポンプ場の最大のは、口径3.66mポンプ2台、口径4.26mポンプ4台及び小口径ポンプ数台を備え、全排水量182m³/秒、すなわち日量1,570万m³/日である。

B) 下水排除について 下水の中継及び排除のためには、52カ所のポンプ場があるが、48カ所が中継ポンプ場である。運転は全部、無人の自動運転で、定期的に巡回点検を行なっている。除塵は行なっていない。残りの4カ所のポンプ場は、全市域から集まった下水をミシシッピー河に放流するもので、うち3カ所が、運転員を置く大ポンプ場で、1カ所が市域の一部からの下水を放流する自動運転ポンプである。いずれも除塵は行なっていない。これら4カ所のポンプ場には、予備も含めて、全部で14台全排水量282万m³/日のポンプが設備されている。下水の放流は、上水取水口よりはるか下流で行なっており、下水は、豊富なミシシッピー河水とともにメキシコ湾に流出する。

C) 下水処理について 下水処理は、1962年の初め頃から、市内の一部に対して、処理量3,800m³/日の活性汚泥法による処理を、Michoud で行なっている。近い将来には、ニューオーリンズ市域内の発展に対処するために、又、河川の汚泥防止に関連した州及び国の施策に従うために、全市域に対して下水処理場を逐次整備するすう勢にある。

⑥ 総 括

米国の下水道及び水質汚濁防対策について総括すれば次の通りである。

(1) 米国の下水道について

A 下水道計画 行政区域にこだわらず、地勢、水系等から計画区域を定め、いくつかの市町村を包含して統一的一貫した水質汚濁防止計画により、下水道の整備を進めているところが多い。このような広域的下水道計画は本格的な河海の水質汚濁防止対策として、非常に合理的かつ効果的であり、今後十分参考とすべきである。なお下水道の普及率は、市街地面積に対し、米国では95%で我国のわずか16%に比べてはるかに進んでいることがわかる。

B 下水道工事及び維持管理 下水管渠の布設工事は、既成市街地ではあまり見られないが、河海に放流されていた下水を新たに幹線下水道を布設して、下水処理場に接続する工事が散見された。既設管渠の掃除には人力にたよらず、種々の掃除機械を駆使して能率をあげているが、今後本市においても必要に応じ、適当な機械をとり入れて、維持管理の能率化を計っていくべきであると思われる。また、ロスアンゼルス市のごとく、水理実験を行ない、その結果をただちに実際の設計に適用している点は注目させられた。

C 下水処理の方法 下水処理を行なうに当っては、充分な調査がなされ、放流河海の状態を勘案して放流の害が生じない範囲に処理程度を定める。従って都市の諸条件によっ

て高級処理ばかりでなく、モデファイドエアレーションなどの中級処理あるいは、簡易処理を採用している。また、一つの処理場でも水質等の季節的変動に応じて高級処理、中級処理を行なっているところもある。このような点は、今後我国においても処理程度決定について充分参考にすべき考え方と思われる。

D 汚泥処理の方法 汚泥処理については、従来から行なわれている消化したのち、天日乾燥あるいは、機械脱水を行なっているところと、消化あるいは未消化のまま海中放流又は海洋投棄を行なっている所がある。後者は主に太平・大西両洋に面した都市で行なっているものである。汚泥の消化によって発生するメタンガスの利用は、積極的に行なわれており、消化槽の加温熱源としてだけでなく、余剰ガスにより、ディーゼルエンジンを駆動し、これによって、曝気用ブロワーを運転したり、発電機を動かして発電し、場内動力に利用する等経済的配慮が感じられる。また汚泥の脱水後乾燥して肥料化し、これを売却して管理費を補っている例がシカゴ、ミルウォーキーなど多くみられる。我国においても従来その例があったが、最近は売却先が少なくなってきたので、本格的な肥料化は、漸次減少しつつある状況である。しかしながら、前述の消化ガスの利用とあいまって、処理場運営の経済性を考慮すれば、いまだ研究の余地はあるようである。

E ジンマーマンプロセス シカゴ等太平洋、大西洋に面せず、汚泥の海中放流、海洋投棄ができない内陸都市では、汚泥の処理、処分は重大な問題であり、その方策としてジンマーマンプロセスが開発されたものである。本法は、下水処理を一定の容器（反応炉）に投入し、高温（300°C前後）高圧（100kg/cm²前後）のもとに、汚泥中の有機質を液状のまま酸化分解してそのほとんどを無害の灰分にしてしまう方法（湿式酸化法）である。本法の長所は主に次の通りといわれている。

- 1 従来の汚泥処理法に比して汚泥の完全な処理が可能である。
- 2 必要に応じて処理の程度をいかようにもできる。
- 3 装置が小型で、用地が極めて少なくすむ。
- 4 処理が密閉した容器の中で行なわれる上、処理後流出物は完全に熱処理されているので、衛生的に安全であり、臭気がない。
- 5 処処理の熱源は汚泥自体の酸化熱により自給される上、余剰のエネルギーが回収され、動力源となるので維持費が安い。
- 6 処理後流出物の処理、処分が容易である。

本法は、1950年代に研究が始められ、1960年代に入って実際の設備が稼動に入っており現在の普及状況は、別表の通りである。

シカゴ及びウィーリング市での状況を実際に視察した結果では、ほぼ良好な成績で、実用の段階に入っているようである。シカゴ衛生区の研究所長 A. J. Kaplovsky氏に、主に装置の安全性、費用等について意見を聞いたところでは、安全性に関しては、今まで爆発

| 都 市 名 | 運転開始 | 能力(汚泥乾燥 固形物量) | 等の事故もなく、危険はないし、費用につ |
|-------------|----------|-----------------------|----------------------|
| シ ガ ゴ | 1962年1月 | 200 t / 日 (200万人分) | いては、今まで実験、改造等に相当の費用 |
| ウ ィ ー リ ン グ | 1961年8月 | 5 6 " (11 ") | を要したが、現在ようやく良好な状態にな |
| ワ ウ ソ ウ | 1960年 | 3 " (6 ") | ったので、ジーンマーマンプロセスを採用す |
| サウスミルウォーキー | 1961年10月 | 25 " | ることは、敷地は少なくすむし、熱は回 |
| ラ イ | 1963年 | 1 " | |

取できるので、好ましい方法であるとのことであった。

なお、本市においてお今後、下水処理場用地として広大な敷地の取得は非常に困難であり、かつ、汚泥の海中放流、あるいは海洋投棄の問題も、東京湾汚濁防止対策の観点から極めて困難が予想されるので、汚泥処理処分の解決法として、この方法を研究、検討して行く必要があると思われる。また、本法は、原理的には、下水汚泥ばがりではなく、汲取し尿も同様に処理出来ると考えられるので、し尿陸上処理の面からも充分検討するに値すると思われる。従って、土木局においては、もし準備その他の事情が許せば、今年度中にも小規模の Test Plant による実験に着手する方針である。

F 小規模下水処理場について どんな田舎でも一応処理施設をつくり、これが少数の人数で運用されている点、下水道普及率が95%であるのも、もってであるが、この点わが国においても膨張する都市近郊の下水処理について市の中心部に処理施設を作り、それを漸次近郊に及ぼしていく間に、近郊の発展の方が早いという現象があり、これに対する処置には、我々も頭を痛めているところであるが、これについてわが国においても、技術、法規、監督、組織等総合的な面に立って検討する必要がある。

(2) 水質汚濁防止について

米国における下水道の行政方針はすべて広義の「水質汚濁防止」の観点にたっており、その下水道計画、建設、管理とも充分合理的な配慮がなされている。

たとえば、いかなる田舎にも宅地造成に際して、州当局の許可条件として必要な下水道の建設、処理場の設置等が定められ、しかも適切な管理態勢の下に運営されて十分水質汚濁防止の実を挙げていることがみとめられる。ひるがえって、本市の状態をみると宅地造成、河海の汚濁防止、下水道、し尿の処理について計画、建設、管理面も水質汚濁の観点からは一貫性を欠いているようにみうけられる。特に市内になお浄化槽の設置、し尿処理場の運営等が進められているが、浄化蓋は事実上ほとんど管理不十分であり、し尿処理場は本邦独特のものであるが技術的に未開発のものであり、水質汚濁防止の面からはすべて不完全なものと考えられる。したがって水質汚濁防止の重要性に鑑み、完全処理を目標とした、下水道の建設を優先させ、しかもこれを基礎とした下水道の建設、管理ひいては、し尿処分、宅地造成に際しての水質汚濁防止策等一貫した行政方針を確立する必要があるものと考えられる。

(土木局参事下水道施設課長)