

公共用水域における汚濁負荷量 に関する調査研究

1. はじめに

良好な水環境を創り出すために、合流式下水道や分流式雨水を含んだ下水道の公共用水域への汚濁負荷解析が重要な課題となっているが、解析に必要な基礎データ（路面汚濁負荷、管内堆積物負荷、マスや側溝堆積物負荷等）が十分に得られていない状況にある。

そこで、本調査では、路面汚濁負荷量に的を絞り、4 都市 36 において、模擬降雨発生装置による用途地域ごとの路面汚濁負荷量調査を実施し、N、P の統一したデータ取得と、従来より用いられている SS、BOD、COD データの最新データへの見直しを行った。同時に、水質項目の相関特性についての検討も行った。

また、調査を実施した地域の中から代表的な排水区域を選び、新たに得られたデータを基に、公共用水域に与える影響を試算する他、簡易的な流出負荷量の推計を効率的に実施できる手法についての検討も行った。

本調査研究は、表 1 に示すように平成 17、18 年度に渡り、東京都および 14 政令都市による技術開発連絡会議においておこなったものであり、路面汚濁負荷量調査の結果、水質項目の相関特性、および新たな初期路面負荷量に基づいた公共用水域への総流出汚濁負荷量試算例（ケーススタディー）について報告するものである。

2. 調査内容と工程

2.1 初期路面残存負荷量調査

表 2 出典の調査要領を参考に、BOD、COD、SS の他、新たに N、P を加え、模擬降雨発生装置を用いて、3 種類の用途区域別に道路の初期路面残存負荷量を求めた。（屋根は今回調査対象外とした）

2.2 水質項目の相関特性の把握

路面負荷調査時にあわせて濁度、電気伝導度等を調査し、水質項目の相関特性を把握した。

2.3 公共用水域への流出汚濁負荷量試算

従来モデルを使用し、新たに得られた初期路面負荷の検証を行なうとともに、新たな初期路面負荷量に基づいた公共用水域への総流出汚濁負荷量試算例（ケーススタディー）を示した。

表 1 作業工程

作業項目	平成17年度	平成18年度
(1)初期路面残存負荷量調査		
・作業計画検討	→	
・調査都市、地域調査の調査、選定	→	
・装置製作	→	
・予備散水調査		→
・散水調査(本調査)		→
(2)水質項目の相関特性の把握		
・中途整理		→
・最終まとめ		→
(3)公共用水域への流出汚濁負荷量試算		
・基礎調査、解析作業準備	→	
・排水区域におけるモデルのキャリブレーション		→
・公共用水域への汚濁負荷量の試算		→

3. 路面汚濁負荷量調査

3.1 調査方法

本研究では、極力同一条件で多数のデータを採取するため、模擬降雨発生装置を用いて、各工種道路にて初期路面汚濁負荷量の調査を行うこととした。

そして平成17年度に実施した予備調査結果より、散水装置、散水条件（散水量及び散水時間）、分析項目を以下のように設定することとした。

3.1.1 散水装置

散水装置は、道路の片側全域を散水対象とできる装置とし、道路幅に合わせて散水範囲を調整できるようにした。

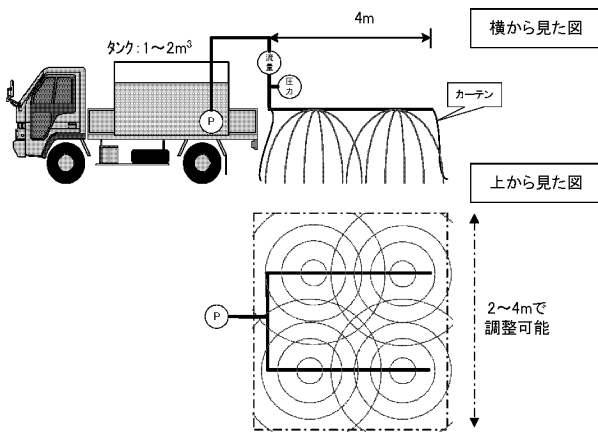


図-1 散水装置の概念図

表-2 散水装置の仕様

		過去の調査 ¹⁾	本調査での設定
ノズル仕様	大きさ 孔径 孔数	6mmのノズル 記述なし 記述なし	幅広い散水条件に対応できるように、仕様を設定
散水範囲		横：3.0m 縦：2.5m	横：4.0m, 縦：2~4m (縦は任意に調整可能とする)
ノズル	高さ 配置	記述なし 0.2m間隔	雨滴の大きさ、落下速度に可能な範囲で近づけるよう設定 (実験により確認)
散水圧力の計測装置		記述なし	圧力計設置 (圧力一定に手動で制御)
散水量の計測装置		記述なし	流量計設置 (流量一定に手動で制御)

1) 建設省土木研究所：都市域からの雨天時汚濁流出調査報告書、昭和50年3月

※ 散水面積は道路幅によって異なるため、設定散水強度になるよう散水量を調整可能な仕様とする。

3.1.2 散水条件

予備調査において、50mm/hrの設定でも30mm/hrに比して流出する負荷はそれほど増えなかったこと、50mm/hrの降雨が継続することは通常では起こりにくく、降雨による汚濁負荷流出の目安を調査する

のに適当ではないこと等の理由から、散水強度は30mm/hrと設定した。

また、40分経過以降は、流出する負荷がほぼ0に近く横這いであったこと既往調査では50分間(土研資料)を設定していたことを参考に、安全をみて散水継続時間を60分間と設定した。なお、散水状況を確認した結果、水滴の大きさ、広がりなどが良好であり、本装置で問題ないことも確認した。

3.1.3 分析項目

分析項目としては、UV、濁度、BOD、COD、SS、T-N、T-P、夾雑物(湿潤、乾燥)について測定した。このほか現地測定項目として、水温、pH、電気伝導率、水量についても測定した。

3.2 流出汚濁負荷量

平成17年度に実施した、予備調査結果に基づき決定した条件のもと、36地点区域(4都市×3用途地域×3地点)において各2回ずつ(計72回)の散水調査を行った。なお、調査地点は、技術開発連絡会議に参加の4都市について、浸透区域の影響を極力受けない各用途地域を代表する地点を選んだ。また、前無降雨日条件は4日以上で統一し、極力最大路面負荷量が得られるようにした。

各工種で、散水による流出負荷量を算出した結果を表-3に示す。

表-3 流出汚濁負荷(散水/全データ)単位：kg/ha

		BOD	COD	SS	T-N	T-P
住宅	最大	1.25	2.24	15.45	0.78	0.023
	最小	0.00	0.75	0.51	0.03	0.000
	平均	0.42	1.35	4.15	0.18	0.010
	土研値	3	7	10	—	—
商業	最大	1.68	3.18	12.15	0.54	0.059
	最小	0.03	1.08	1.05	0.00	0.000
	平均	0.58	1.96	4.40	0.19	0.009
	土研値	12	16	24	—	—
工業	最大	1.16	4.62	15.45	0.24	0.020
	最小	0.17	0.72	0.45	0.06	0.000
	平均	0.39	1.41	4.05	0.14	0.006
	土研値	5	8	10	—	—

※箇所単位での集計結果〔n=72箇所〕

※土研値〔出典〕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(IV) S56.8

この流出汚濁負荷についての調査結果から、以下のことが明らかとなった。

①全都市を集計しても、同一工種であれば負荷量の差は小さく、有機物の最大値/平均値は2~3倍程度となっていた。

②有機物負荷量の平均値を比較すると、住宅地≒工業地<商業地の順であった。工業地よりも商業地の方が負荷が高い傾向は土木研究所の値でも同様であり、問題は無いものと評価できる。

③有機物負荷量の住宅地と工業地の差はあまり大きくない。工業地の車輛交通量は、住宅地に比較して格段に大きいことから、車輛交通量による影響はそれほど大きくないと推測される。

④T-Nの負荷量はBODよりも小さいが、同じオーダーであった。T-PはBODに比較すると1/10~1/100小さな値であった。

3.3 水質項目の相関特性の把握

路面汚濁負荷量調査時に、濁度、電気伝導度等も合わせて計測し、各水質項目の相関を調べた。

同一日、同一地点で回収水水質の経時変化を調査したデータでは、散水初期に濃度の高いデータが得られており、BODとSS、BODと濁度について図-2に示すような相関がみられた。

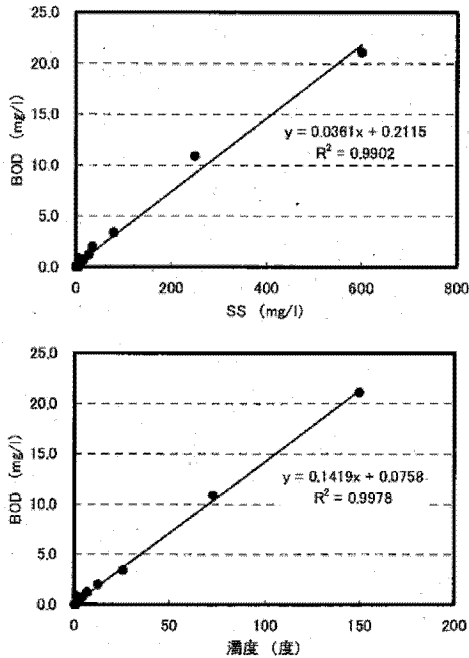


図-2 予備調査実験結果を用いた相関特性

散水及び洗浄によって回収した水を、全て混合して水質分析を行ったデータでは、良好な相関はみられなかった。さらに都市毎、都市・工種毎にみても明確な相関は確認できない。このことから、BODと他水質項目との関係は、工種、都市で大きな違いは無いものと考えられる。

3.4 初期路面残存負荷量

次に今回の調査結果から得られたデータを基に算出した初期路面残存負荷量を、土木研究所が示した初期路面残存負荷量と比較して表-4に示す。

表-4 初期路面残存負荷量

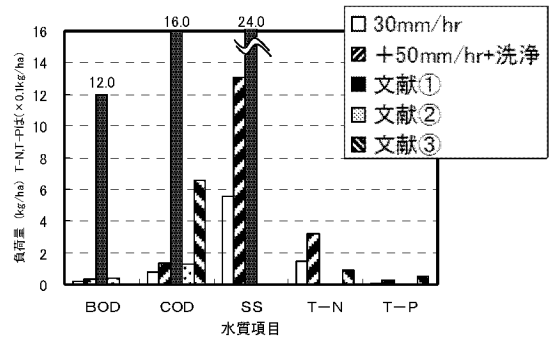
工程	用途	BOD (kg/ha)			COD (kg/ha)			SS (kg/ha)					
		土研値	今回調査結果		土研値	今回調査結果		土研値	今回調査結果				
			最大	最小		平均	最大		最小	平均	最大	最小	平均
地表面	住宅	3	1.25	0.00	0.42	7	2.24	0.75	1.35	10	15.45	0.51	4.13
地表面	商業	12	1.68	0.03	0.58	16	3.18	1.08	1.96	24	12.15	1.05	4.40
地表面	工業	5	1.16	0.17	0.39	8	4.62	0.72	1.41	10	15.45	0.45	4.05

工程	用途	T-N (kg/ha)			T-P (kg/ha)				
		土研値	今回調査結果		土研値	今回調査結果			
			最大	最小		平均	最大	最小	平均
地表面	住宅	-	0.78	0.03	0.18	-	0.023	0.000	0.010
地表面	商業	-	0.54	0.00	0.19	-	0.058	0.000	0.009
地表面	工業	-	0.24	0.06	0.14	-	0.020	0.000	0.006

表-4に示すように、本調査結果で得られた初期路面残存負荷量は、土木研究所が示した初期路面残存負荷量と比較すると、全ての水質項目において低い値であった。これは、土木研究所が調査を行ったS49年当時は、大気を経由した汚濁負荷の供給が多かったことが考えられる。

一方、車輛交通量、先行無降雨日数など、影響因子と考えられる項目と堆積負荷量の関係も調査したが、明確な関係はみられず、汚濁負荷の堆積は一つの因子では説明できないものと考えられる。

なお、図-3に示すように、最近の他の文献データと比較すると、今回調査で得られたデータはほぼ同等であることが確認できた。



①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(IV)、S56.8
 ②大阪市 異他：下水道の非点源汚濁負荷に係る調査、第24回下水道研究発表会講演集(実降雨、一般道路の値)
 ③環境省HP資料：平成6年度 琵琶湖の異常濁水の影響に関する調査研究報告書 平成8年3月 滋賀県琵琶湖研究所

図-3 単位面積あたりの流出負荷量性

また本調査の初期路面残存負荷量のBOD、COD、SSの平均値を用途地域別に比較すると、住宅地≒工業地<商業地の順であり、既往の土木研究所の値と同様の傾向であった。

本調査での同一の用途地域における各4都市間の初期路面残存負荷量の違いは小さく、今回得られた用途地域別の平均負荷量は、国内の平均的数値として取り扱うことが可能であると評価できる。

ただし、本調査結果は4都市の路面負荷量調査の平均値であるため、地域特性をより厳密に捉えた詳

細な汚濁負荷量解析を行う場合などは、キャリブレーション等により本調査結果の路面負荷量を補正し、地域固有の路面負荷量を設定することが望ましい。

4. 公共用水域への汚濁負荷量の影響検討

4.1 作業概要

路面汚濁負荷量調査により得られた初期路面残存負荷量を用い、路面負荷量が公共用水域に与える影響を試算するとともに、簡易的な雨天時流出負荷量の推計を効率的に実施できる手法について検討を、以下の項目についての検討を行った。

- ①従来モデルによる雨天時流出負荷量シミュレーションを行う際の、各パラメータ設定（キャリブレーション）に関する検討。
- ②流域での年間雨天時汚濁負荷量計算を簡易的に行うための雨天時汚濁負荷量原単位の設定に関する検討。
- ③水質環境基準点における年間総流出負荷量の試算による、市街地ノンポイント負荷量が公共用水域へ与える影響に関する検討。

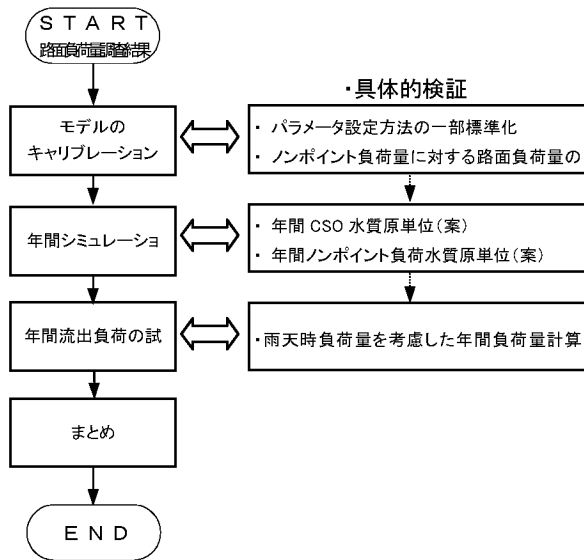


図-4 作業概要

4.2 キャリブレーション

雨天時負荷量を計算するための流出解析モデルは、大きく分けて「地表面由来の負荷量計算」と「管きよ内系由来の負荷量計算」で構成される。

各モデル式とも、計算に用いるパラメータの数や単位は異なるが、地表面流出負荷量の計算過程は共通しており、各モデルの地表面流出負荷量計算にお

いて、本研究の路面負荷量調査で得られた初期路面等残存負荷量を用いることができる。

本研究では、MOUSEにより、今回得られた初期路面等残存負荷量をパラメータとしたキャリブレーション（実測値とモデル計算値の同定）を実施し、地表面負荷量パラメータへの換算方法を明示した。

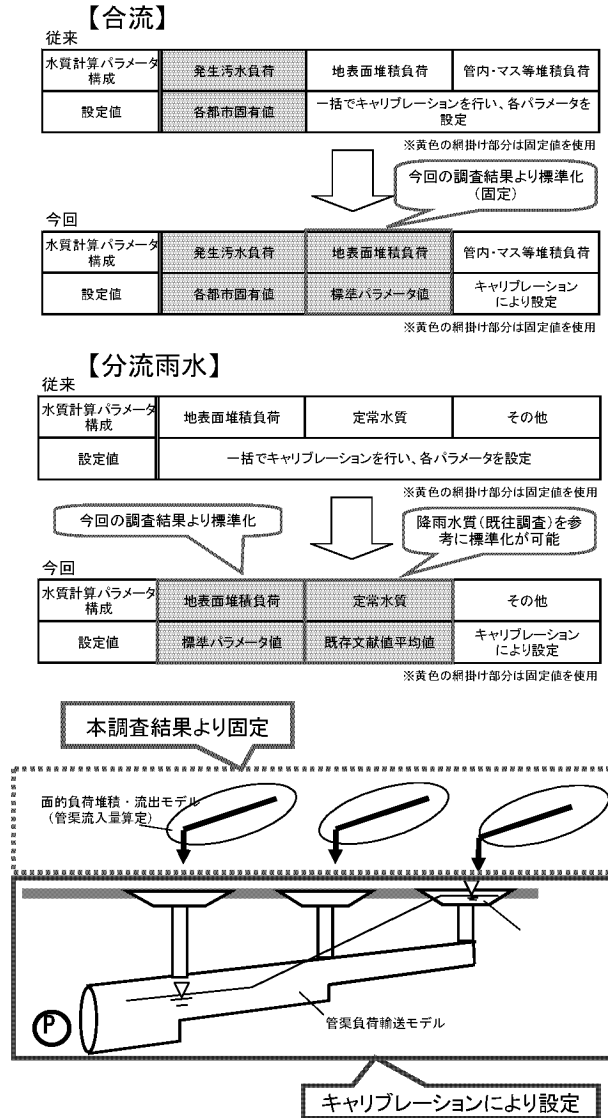


図-5 本研究で提示したキャリブレーション方法

本研究で提示したキャリブレーション方法では、路面負荷量調査で得られた地表面堆積負荷に関するパラメータ（＝初期路面等残存負荷量）を標準化し、管きよ内系由来負荷に関するパラメータのみを調整することで、キャリブレーション作業の簡易化を図っている。また、分流区域については、分流雨水総汚濁負荷量（＝ノンポイント総汚濁負荷量）を計算する上で、定常水質（降雨水質など）の影響が大きいと評価し、定常水質に関するパラメータ設定についても検討を加えた。

4.3 年間シミュレーション

路面負荷量調査で得られたBOD, COD, T-N及びT-Pの初期路面残存負荷量を用いて、公共用水域に与える汚濁負荷量を試算した。また、公共用水域に与える影響を流域での年間雨天時汚濁負荷量計算を簡易的に行える方法の一提案として、他都市流域にも適用可能な雨天時汚濁負荷量原単位の設定に関する検討を行った。

4.3.1 合流区域

合流地区においては、遮集雨水量を1mm/hr～25mm/hrと変化させ、それぞれについての年間雨天時放流負荷量をシミュレーションし、対策規模別の年間雨天時放流負荷量の原単位化を試みた。

なお、年間雨天時放流負荷量原単位は、①越流水の負荷量、②簡易処理水の負荷量、③越流水+簡易処理水+高級処理の負荷量、④越流水+簡易処理水+高級処理+4mm貯留の負荷量の4パターンについて試算した。

年間雨天時放流負荷量の原単位化においては、他都市への汎用性を考慮し、住宅地域、商業地域、工業地域の用途地域別に設定した。

4.3.2 分流区域

分流区域からの雨天時負荷量の原単位化を視野に、分流地区について年間シミュレーションを実施して年間負荷量原単位化を試みた。

雨天時汚濁負荷量原単位の試算結果を表-5に示す。

表-5 分流式下水道からの雨天時放流負荷量原単位

(単位: kg/ha/年)		
項目	水質項目	負荷量原単位
全国平均モデル	BOD	44.19
	COD	61.29
	T-N	20.67
	T-P	1.23
住居100%モデル	BOD	43.69
	COD	59.90
	T-N	25.25
	T-P	1.23
商業100%モデル	BOD	53.00
	COD	73.76
	T-N	24.09
	T-P	1.45
工業100%モデル	BOD	42.27
	COD	60.18
	T-N	19.67
	T-P	1.15

※T-PはBOD水質との相関関係により算定

年間雨天時放流負荷量の原単位化においては、他都市への汎用性を考慮し、合流区域に同様、住宅地域、商業地域、工業地域の用途地域別に設定した。

そして、年間の雨天時汚濁負荷量に占める路面等

負荷量の割合を試算した結果を図-6に示す。

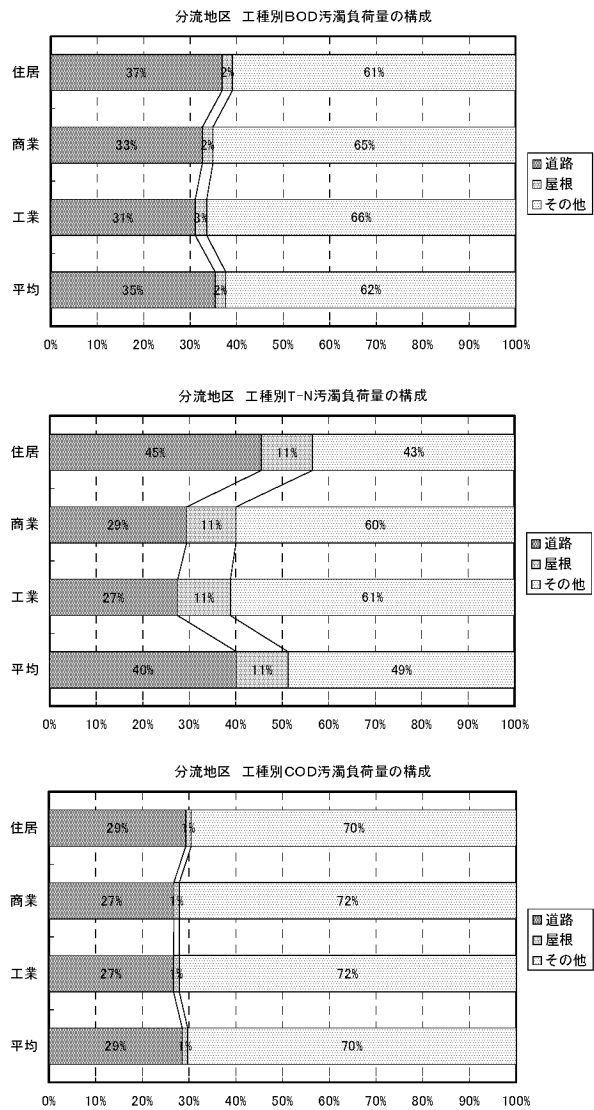


図-6 分流区域での仮想フィールド年間シミュレーションによるノンポイント汚濁負荷汚染源割合

4.3.3 雨天時放流負荷量原単位について

今回の調査研究では合流区域および分留区域における年間シミュレーションにより、合流式下水道並びに分流式下水道の全国平均的な雨天時放流負荷量原単位を提案した。

雨天時放流負荷量原単位は、路面負荷量調査で得られた4都市平均の初期路面残存負荷量を用いて、住居・商業・工業地域別に負荷量原単位を提案している。これにより、原単位法による簡便な流出負荷量計算において、計算精度の向上を極力図るために、各都市の土地利用状況が反映できる原単位計算を行えることを目的としている。

今回提案した雨天時放流負荷量原単位は、以下に

示す事例への運用が可能である。

①【合流】

今回の原単位を用いることによって、合流改善計画のレビューを行う場合などにおいて、対策施設の変更規模が概ね把握できるため、計画変更に伴う施設計画のアウトライン、必要となる概算事業費の把握などが可能となる。

ただし、具体的な対策計画を策定する際には、流出解析モデル等による詳細な検討が必要である。

②【分流・合流共通】

各地域の土地利用状況を反映したノンポイント及び合流式下水道越流水からの概ねの流出負荷量の算定が可能となり、公共用水域に対する影響を簡易に把握することができる。

ただし、地域条件により、雨天時負荷量は各都市で大きく異なるため、実用にあたっては、土地利用状況や降雨状況が類似した負荷量原単位データを調査するなどして、今回提案した負荷量原単位を補正することが望ましい。

4.4 流域における年間流出負荷量の試算

各用途地域別に設定した雨天時汚濁負荷量原単位を用い、ケーススタディーとしてX湾流域を対象に水質環境基準点における年間総流出負荷量の試算を行った。

試算方法において、雨天時負荷量を含む流域からの排出負荷量は、「①家庭等から排出される汚水系負荷量」、「②面源負荷量のうち自然域からの雨天時負荷量」、「③面源負荷量のうち市街地からの雨天時負荷量」による構成される。

上記のうち、③については、本研究で提案した用途地域別雨天時負荷量原単位に用途地域別面積を乗じて算出した。

①及び②については、既往の調査値（X湾流総計画に関する基本方針策定調査、以下「基本方針」）を適用した。

そして湾への流入負荷量は、上記①～③の排出負荷量に流出率を乗じて算出した。

なお、流出率は「基本方針」で設定している流出率を基本とした。

各用途地域別に設定した雨天時汚濁負荷量原単位を用い、ケーススタディーとしてX湾流域を対象に水質環境基準点における年間総流出負荷量の試算を行った結果を表-6、図-7に示す。

表-6 ブロック別流入負荷量算定結果(COD 現況)

流域ブロック	今回 ケーススタディー						合計
	家庭 (kg/日)	工場 (kg/日)	し尿処理場 (kg/日)	下水処理場 (kg/日)	家畜 (kg/日)	面源負荷 (kg/日)	
1. Aブロック	1,609	528	57	0	961	533	3,687
2. Bブロック	625	2,094	0	10,086	7	2,827	15,638
3. Cブロック	14,527	8,170	30	3,237	725	5,661	32,351
4. Dブロック	17,601	4,262	211	20,956	976	9,159	53,166
5. Eブロック	2,185	1,447	57	1,654	470	6,394	12,202
6. Fブロック	41,192	7,476	845	34,914	3,027	32,178	119,631
7. Gブロック	32,627	5,713	264	4,430	1,224	6,257	50,515
8. Hブロック	11,637	8,566	149	2,753	420	2,635	26,158
9. Iブロック	7,939	2,315	175	0	886	1,930	13,044
計	129,940	40,565	1,789	78,029	8,495	67,575	326,393

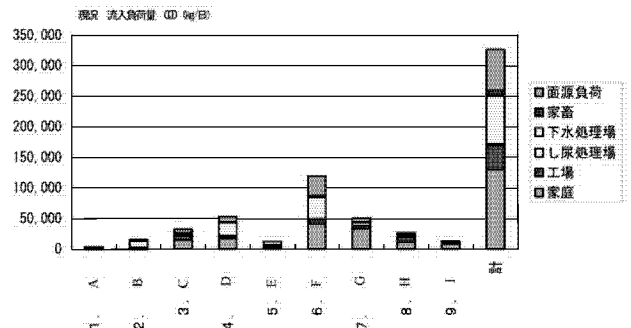


図-7 ブロック別流入負荷量算定結果(COD 現況)

5. まとめ

本調査によって、従来広く用いられてきた土木研究所が示した初期路面残存負荷量に変わりうる最新のデータを示すことができた。

また、今回の調査で行った、雨天時負荷量を考慮した年間負荷量計算手法を活用することにより、流総計画の基本方針や県流総計画の取りまとめた結果を用いて、面源系（市街地）負荷量を今回設定の原単位より算定した結果に置換し、総流出負荷量、湾への流入負荷量を簡易に推計することができた。

●この研究を行ったのは

- 研究審議役兼研究第一部長 藤木 修
- 研究第一部副部長 小野田吉恭
- 研究第一部主任研究員 橋本 久尚
- 研究第一部研究員 木下 勝也

●この研究に関するお問い合わせは

- 研究第一部長 清水 俊昭
- 研究第一部副部長 小野田吉恭
- 研究第一部研究員 松井 威喜
- 研究第一部研究員 吉田 健