

(13) 雨天時汚濁流出抑制対策の現状と問題点

A REVIEW OF POLLUTANT RUN-OFF CONTROL IN RAINY PERIOD

松浦茂樹*・谷本光司*

Shigeki Matsuura*・Koji Tanimoto*

1. はじめに

流域および河床には汚濁物質が堆積している。それらのかなりの部分が雨天時の出水に伴って流送されるとの報告が近年行われている¹⁾。したがって下流の開鎖性水域の水質保全にとって、雨天時汚濁流出の抑制が重要となる。しかし現在までに河川における雨天時汚濁流出抑制対策の事例はほとんどない。これは研究の開始が新しいとともに、晴天時と異なり流出量がきわめて大規模であること、流域特性、出水特性等により汚濁物質の流出状況が複雑に変化すること等により対策の実施が困難なためである。

筆者らは、湖沼の水質改善を目的とした研究プロジェクトの中で、湖沼流入河川における雨天時汚濁流出抑制技術の研究を担当している。その研究内容は、いくつかの河川における雨天時汚濁流出状況の検討、既往の汚濁流出抑制対策事例の収集、対策の分類と適用性検討等である。

以下本文では、開鎖系水域の水質改善を対象とした河川での雨天時汚濁流出抑制対策の実施の可能性、およびそのための今後の検討課題について考察する。

2. 汚濁抑制対策の現状

雨天時汚濁流出抑制対策の実施例は下水道等において見られるが、我国の河川ではほとんどない。このため新たな汚濁流出抑制技術の開発を目的として、河川および下水道での既往の汚濁流出抑制対策の事例を収集した。河川での対策事例は晴天時の場合がほとんどである。以下その概要を雨天時での河川への適用性を念頭に置きながら整理、紹介する。

2.1 対策の分類

汚濁流出抑制対策は、気象条件、場所、河川の特性、施設、負荷削減方法等の条件により表1に示すように分類される。河川の汚濁特性としては、下水道が分流式に整備されているかどうか重要な条件である。対象としようとする河川は都市化した流域をもつ中小河川であり、都市雑排水のウェイトがかなり高いと判断しているからである。気象条件として雨天時、

表1. 対策の考え方

項 目	内 容
① 気 象 条 件	・雨天時 ・晴天時
② 場 所	・堤外（河川市が広い河川） ・堤内（河川市が狭い河川）
③ 河川の汚濁特性	・下水道が整備されていない ・合流式下水道が整備されている ・分流式下水道が整備されている
④ 施 設	・貯留型の施設 ・河川対応型の施設 ・分離型の施設 ・流路変更型の施設
⑤ 負荷削減方法	・沈殿 ・直接処理 ・微生物接触処理 ・水草等生物処理 ・下水処理場の利用・二級河川・放流

*建設省土木研究所 Public Works Research Institute

表2 負荷流出抑制施設の特徴

項目 分類	施設の概要	施設の特徴		備考 (下水道等の関連)
		立地および場所	河川流水状況との対応	
施設の形式	貯留型	汚濁した河川水を一時、池等の他の施設に貯留する。	堤外・堤内貯留池の敷地が確保でき、雨天時には、地下もしくは河口部の利用、河川に流入する前、小水路の利用	晴天時の貯留 雨天時の貯留
	河川対応型	汚濁した河川水を河道内で処理。	河道内	晴天時での利用 雨天時での利用
	分離型	雨水、汚水を分離して河川に汚水を入れず、汚水と施設で浄化後河川に送還する。	河川敷の利用、河川敷が狭い場合、堤内の緑地等の敷地を、河川に流す	晴天時での利用 雨天時での利用
	流路変更型	汚水と湖泊等の下流もしくは、湖泊等の流路外に放流する。	——	晴天時および雨天時の汚水を放流する
				流域外の下水道との接続

表3 負荷削減方法

項目 分類	負荷削減方法の概要	流入負荷削減方法の特徴	
		立地および場所	期待される負荷削減の対象物質
負荷削減方法	沈 澱	沈殿池で自然沈殿、凝集剤により処理する。	地上・地下下びい、処理水量に応じた沈殿池が必要
	直接処理	直接処理の方法で処理する。(過、エレーションなど)	・粒子態 ・溶解態の一部(凝集剤を用いる場合)
	微生物接触処理	接触曝気法等、微生物の消化能力を利用する。	・粒子態 ・溶解態 ・油類等
	水草等生物利用	水草、アサの植物の吸収、ろ過効果を利用する。	・溶解態 ・粒子態
	下水処理場の利用	既存あるいは計画中の下水処理場を利用する。	・溶解態 ・粒子態 ・油類等

晴天時に分けられるが、本報告の課題は雨天時対策である。

表中の施設、負荷削減方法の内容は、それぞれ表2、表3に示す通りである。施設の形式を示している表2の備考に下水道との関連、および負荷削減方法を示している表3に下水処理場の利用を記している。対象としている河川が中小都市河川であること、および我国の現状において下水道の整備が未に進んでいないことを考慮しての上である。

2.2 主な既往事例

収集した既往の流出抑制対策事例は表2の施設の形式に従って分類した(表4)。既往の晴天時対策の中にも、工夫次第では雨天時対策として適用し得るものがあるという判断から、表4には晴天時対策も記入してある。晴天時、雨天時の別で見ると、貯留型は主に雨天時対策として利用され、分離型、河川対応型は晴天時対策として利用されている事例が多い。米国での事例では、貯留型施設により汚濁流出抑制と洪水調節との両方に対応しているもの(シカゴのディープトンネル、二目的洪水調節池)が見られる。

負荷削減方法との関係で見ると、貯留型施設の事例は下水道等に多く見られることもあって下水処理場を利用するものが多い。表4の中では、二目的洪水調節池が沈殿処理としているのを除き、他はすべて下水処理場を利用している。

河川対応型施設には、マイクロストレーナ、エアレージョンのように直接処理方式を採用しているものと、濁質トラップや堰などにより沈殿作用を利用しているものとがある。猪名川で検討されている濁質トラップは、

表4 既往対策事例

1. 貯留型施設
 - ① 音羽貯留槽 (名古屋)
 - ② 神奈川県横浜
 - ③ 愛知県一宮市
 - ④ 大阪府大阪市
 - ⑤ オハイオ州コロンバス (米国)
 - ⑥ ミシガン州シカゴ市 (米国)
 - ⑦ 二目的洪水調節池 (米国)
2. 河川対応型施設
 - ① 濁質トラップ (猪名川)
 - ② 河川の滞水化 (ルール河)
 - ③ マイクロストレーナ (東横堀川)
 - ④ エアレージョン (綾瀬川、道後堀川)
3. 分離型施設
 - ① ちもろ接触酸化方式 (土浦市)
 - ② 礫間接触酸化法 (荒川、芦原川)
 - ③ 水柱植物栄養塩除去法 (昆陽池)
 - ④ 礫間接触酸化 (上野市)
4. 流路変更型施設
 - ① 二段河川 (大谷川)
 - ② 河川、下水の流路変更

低水路の一部を拡中して滞留部を作ることにより濁質の沈殿除去を目的としている。またドイツのルール河では河道内の5ヶ所に堰を設置して、貯水池化により汚濁負荷の希釈を図っている。

分離型施設は、雑排水等の汚水を河川に合流する前に処理するものである。表4に示した事例は都市下水路等で実施されているものである。負荷削減方法としては微生物接触酸化が多く用いられているが、昆陽池の例では水生植物(ホテイアオイ)を利用している。

流路変更型施設は、汚水を湖沼、河川等の流域外に放流するものである。表4に示した大谿川は、流域(温泉街)の雑排水を河道下に設置された暗渠により排水するもので、二段河川の例である。ただし汚水の処理は行っており、ポンプにより本川(田山川)に強制排水している。

2.3 雨天時対策の河川への適用の概念的整理

表1~4を参考に、雨天時汚濁流出対策として河川での適用の可能性を概念的に整理したのが表5である。対象としている河川は、流域の下水道が未整備の都市河川で、都市雑排水による汚濁物質が大きなウェイトを占めている河川である。

表5で示すように、貯留型、流路変更型の施設では下水処理場の利用を提示している。

これは下水道が敷設されるまでの期間、処理場を有効に利用する可能性を示していることによる。貯留型として下水道では滞水池が我国でいくつか見られる。これはファースト・フラッシュを貯留し、出水後処理場で処理するものであるが、河川への適用の場合、ファースト・フラッシュがあるかどうか、あるとしても汚濁流出上どれだけの重みをもっているか十分に検討する必要がある。

このようなファースト・フラッシュのみならず、出水時における河川の汚濁流出機構を十分に把握した上で、その維持管理も考慮して適切な対策

表5 汚濁流出対策の例

施設の形式と削減方法	項目	方法概要	模式図	事例及び類似例
貯留型の施設	沈 淀	雨天時汚濁水と流域内、あるいは湖沼内に隔壁を作った自然沈殿池に流入させ、貯留する。		二目的淡水調整池
	下水処理場の利用	雨天時に湖沼流入河川の汚濁水と貯留し一部処理後河川に放流する。地表面貯留、地下貯留が湖沼内にブーム型のタンクを設置し、一部もしくは全量貯留する。		- 下水滞水池 (豊浜市) - 地下貯留 (大阪市、名古屋、名古屋市) - ゴム製タンク (エリー湖) - ディープアンネル (シカゴ)
河川対応型の施設	沈	河道内の滞水池、あるいは滞水部を利用して洪水時に貯留し沈殿させる。		
	堰			猪名川
分離型の施設 (汚水分離の場合) 注) 混合の場合は除く	微生物接触処理	流入河川の河川敷に接触酸化層をもうけ、支川から流入する汚濁負荷を除去する。これにより湖沼流入河川への汚濁負荷を削減する。		多摩川、荒川の側溝浄化(晴天時に利用)
	水草等生物利用	休耕田等の池に汚水を導入し、水草・アシ等の植物により汚濁負荷を浄化する。過剰、浄化池の底泥の還元状態を防止し、流出をも抑制する。		
流路変更型の施設 (汚水分離の場合) 注) 混合の場合は除く	二段河川	河道の地下に汚水専用の水路をもうけ河川への汚濁負荷を削減する。		大谿川
	下水処理場の利用	汚水をバイパス水路(管)で下水処理場に流入させ、汚濁負荷を削減する。		
	放 流	汚水をバイパス水路(管)で放流する。		

を講じる必要がある。表4で示した対策事例の詳細もこれで行われるが、汚濁流出機構はまだ十分に解明されているとは言えない。下水道ではBODに関してファースト・フラッシュが生じているとの報告がされているが、しかし河川と下水道とは、雨天時汚濁流出機構について基本的に異なるものである。これについて若干検討しよう。

下水道について見ると、晴天時、下水道管路床には汚濁物質が堆積している。この堆積物は雨天時の流量増による掃流力の増加に伴って掃流され、とくに初期の雨天時水質を著しく悪化させる。しかし路床堆積物は有限であり、それが一掃されるような規模の出水においては最早路床からの汚濁物質供給はなくなる。出水末期の水質が時として晴天時水質よりも良好であることからこのことは納得されよう。したがって雨天時汚濁流出抑制の観点からは、初期流出水の貯留に主眼を置いて対策が意味をもとう。下水道では路床堆積物が有限であるところに流出機構の大きな特徴がある。

一方河川について見ると、晴天時、河床には汚濁物質が堆積している。ただし河床は通常コンフリードで被覆されてはいないから、汚濁物質と河床材料(砂礫、粘土等)は一体となって存在している。河床の汚濁物質の一部は小規模の出水によっても掃流されるが、河川の晴天時水質が下水道よりは良好であるという点から見て、その量は相対的に少ないと考えられる。出水規模が大きくなると、粒径の大きい河床材料も掃流されるようになり、それに伴って河床材料に吸着していたり、河床材料の間隙に捕捉されている汚濁物質が流入してくる。また流域から土砂の流入と一体となって汚濁物質が流入してくる。このように見ると河川の汚濁流出の場合汚濁物質供給に明確な限界はなく、出水規模に応じて汚濁物質が供給されると考えられる。汚濁流出の状況はもちろん河床の条件、土地利用、地形・地質等の流域特性によって異なってくる。それぞれの河川は個性に応じた汚濁流出機構をもっている。そして降雨量、降雨強度、先行無降雨日数等の降雨特性の相違により流出の仕方が変化する。これらの解明が施設の検討上必要であろう。筆者らは多摩川流域を対象として研究を進めているが、その成果は別のところで報告したい。⁹⁾

3. 雨天時汚濁流出抑制施設の設計上の問題点

3.1 貯留型施設の設計上の問題点

前章までに見てきたように河川での雨天時汚濁流出抑制施設はまだ概念的な段階にすぎず、数々の問題点がある。ここではこれらの問題点を一層明確にするために、下水道で行われている貯留型施設の河川への適用を想定し、今後の課題を検討する。なお負荷削減方法は沈澱処理とする。

施設設計上の主な検討課題は、次の項目である。

①取水開始流量および取水・放流方法

②施設諸元

③施設の維持管理等

①の決定のためには河川の雨天時汚濁流出状況を詳細に検討する必要がある。とくに取水を開始する河川の水理的条件の決定に関しては、流水や河床堆積物の挙動に着目して物理的な把握ができれば有効である。しかし前述したように河川での雨天時汚濁流出機構は複雑で十分に解明されていない。②は対象とする河川水量と、目標とする負荷削減効果とから決定される。負荷削減効果の検討にあたっては、汚濁流出機構の解明とともに河川水中に存在する粒子性汚濁物質の沈降特性に関するデータが必要である。しかしこの種の調査データも現状では数少ない。また沈降を促進させる手法も重要な検討課題である。③は負荷削減方法として沈澱作用を利用することにより生ずる検討課題である。臭気、腐食等の対策については下水道施設等で実施されている対策事例がある。しかし汚泥処理については、不定期で一時的に大量に発生するという河川での特性をも十分考慮して検討する必要がある。筆者らは①、②の課題に答える基礎データを得ることを目的とし、霞ヶ浦に流入する山王川で人工フ

ッシュを造って実験した。次にこの実験について簡単に紹介する。

3.2 山王川でのフラッシュ実験

実験の目的は次の2点である。

①掃流力の変化とそれに伴う河床堆積物の流出状況との対応関係の把握

②出水に伴って掃流される粒子性汚濁物質のうち、とくに有機性汚濁物質の沈降特性の把握

施設設計の面からは、①は取水開始流量を決定する際の基礎資料、②は滞留時間、施設諸元の決定のための基礎資料となる。

実験方法は図1で示すように、河川内に人工的に縮流区間を設けて河床堆積物をフラッシュし、水深・流速を測定するとともに下流側で採水および流下物を捕集するというものである。また捕集した流下物については、沈降塔により沈降速度を測定した。調査結果の一例を図2、表6に示す。この他の調査データも合わせて要約すると次のようになる。

- ・同一地点で段階的に水路中をせきめ流速を大きくしていくと、SS濃度がこれに伴って増加する。
- ・河床が礫の場合、縮流後のSS濃度は縮流前のせいぜい2倍程度であるが、河床に水草が群生している条件では2~10倍に増加する。
- ・縮流開始後5分間で捕集した流下物質量と流速との間には明瞭な関係は見られなかった。
- ・捕虫網を用いて流下物を捕集したケースでは、捕集した流下物は水草や生物性物質が主で、その強熱減量は20~70%の範囲であった。
- ・プランクトンネットで捕集したケースでは、有機物量よりも黒色の砂分が多量で、その強熱減量は12~15%程度であった。

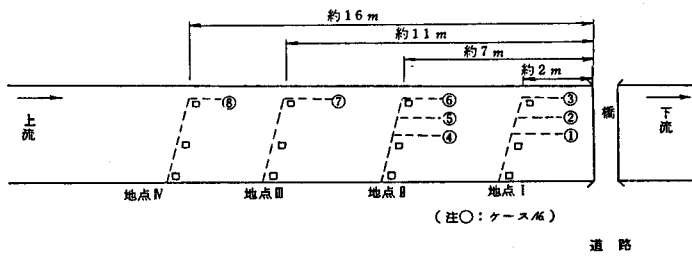


図1 実験方法

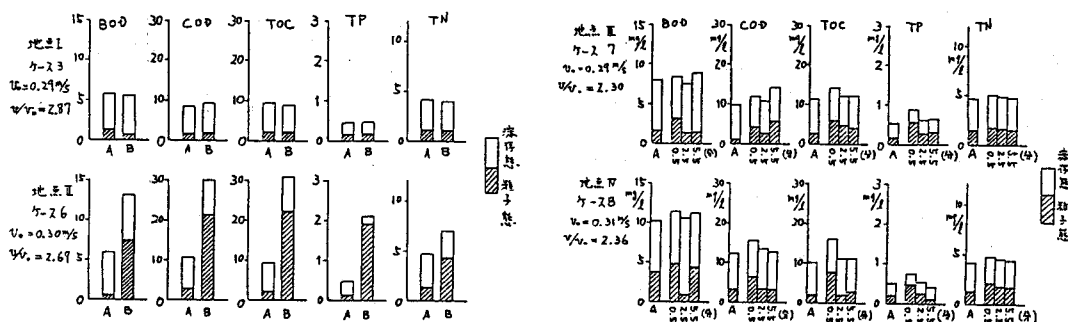


図2 縮流前(A)と縮流後(B)の水質比較 (mg/l)

表 6 流下物の沈降速度試験結果

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

今回の調査は、基礎データの収集を目的としてただ一回実施したものであり、流速の最大も平常時の29倍であって実際の出水に比べて小さい。この調査結果からただちに汚濁流出抑制施設設計の指標が得られるとは考えていないが今後、河川の水利と汚濁負荷流出の関係を物理的に明らかにしていく上で有効に活用し得るものと評価している。

4. おわりに

本報文では流域の下水道が未整備の都市河川を対象として検討してきた。分流式で整備されている地域は未だ少なく、雑排水が汚濁に大きなウェイトを占めていると考えるからである。では下水道が完全に整備されたら水質の問題は全くなくなるであろうか。これに関し OECD で興味ある報告書が1982年提出されている。これによると都市からの表面流出の水質は次のように評価されている。⁴⁾

① BOD 値は、処理水とはほぼ同様である。

② SS 値は、未処理水の約3倍である。

③ 大腸菌濃度は、合流式下水道越流水のそれに近い。

④ 栄養レベル(NおよびP)は、下水放流水に比して、低い。

OECD のこのような報告も踏まえて河川の汚濁流出機構を解明する必要がある。

なお本報文は、建設省が実施している総合研究「湖沼の総合的水管理技術の開発」の中で、筆者らが担当している「雨天時汚濁流出抑制に関する研究」の成果の一部をとりまとめたものである。本研究の実施にあたり、東京大学市川新田准教授、九州大学楠田哲也助教授の助言を頂いたことを記すとともに感謝致します。

参考文献

- 1) たとえば、海老瀬潜一、「小河川の降雨時流出負荷量の算定と評価」、環境技術Vol.9, No.4, 1980
- 2) たとえば、東京都、「雨天時における合流式及び分流式下水道の改善に関する調査」、1979
- 3) 建設省土木研究所、「河川の汚濁源に関する調査」、土木研究所資料2230号, 1985
- 4) 建設省土木研究所、「水質汚染に関する非特定汚染源の制御プログラム—都市流出に原因する汚染の制御—」、土木研究所資料2877号, 1982