特集

琵琶湖の生態系と水質の改善

琵琶湖集水域における路面排水対策とその効果

木田 豊*・和田 桂子**

キーワード：琵琶湖，路面排水，初期フラッシュ排水，水質浄化，面源負荷

1. はじめに

琵琶湖の水は、近畿の水資源として琵琶湖・淀川流域を近畿の産業・経済や暮らしを支えている。琵琶湖集水域内の人口は、全体の約3分の1が南湖の集水域に集中しているが、滋賀県の人口は日本の中でも高いレベルで増加している。また、京阪神に近く、交通網が発達していることから、活発な産業活動が営まれており、今後もさらなる都市化が進展するものと見込まれている^{1,2)}。

琵琶湖の水質は、高度成長期頃から日本の他湖沼と同様、悪化し淡水赤潮やカビ臭など水道障害が発生してきた。また、アオコの発生もみられ、富栄養化現象も問題となっている。

そのため、滋賀県では、これまで水質保全対策として下水道の整備や各種排水規制等、点源からの汚濁負荷に対して様々な取り組みがなされてきた。しかし、琵琶湖の水質は、未だ横ばいもしくは微増傾向にあり環境基準は達成されていない。さらに、近年点源負荷の削減に伴い、総汚濁負荷量の面源負荷の占める割合が増加してきている^{3,4)}。面源負荷には、道路から雨天時に発生する路面排水も含まれ、特に初期フラッシュ排水と呼ばれる高汚濁排水が問題となっている⁵⁾。

このような背景から、滋賀県では、降雨時に発生する路面排水による河川や琵琶湖などの公共用水域への流入負荷を削減することを目的として、路面排水の汚濁状況調査等から路面排水処理装置の開発を行ってきた。

本報告では、路面排水の汚濁負荷流出特性の調査や処理装置の構造検討から得られた結果を基に開発した処理装置について特徴および、実際の道路に設置して実証実験を行った成果について紹介する。

2. 路面排水処理装置の概要

2.1 路面排水の汚濁負荷流出特性

処理対象である路面排水の特徴を把握するために、県内の比較的交通量が多い道路において降雨時の路面排水の水質調査を実施した。調査方法は、路面排水を雨の降り始めから複数回採水し、各サンプルの水質を分析した。

ここでは、代表として路面排水の濁度と累加流出高の関係を図-1に示す。降雨の継続に伴って路面排水の濁度は流出直後に高濃度を示し、徐々に低減する傾向が明らかであり、路面排水の負荷

図-1 路面排水の濁度と累加流出高の推移

Environmental effort to road runoff in Lake Biwa Basin

*滋賀県土木交通部道路課 Yutaka KIDA

**琵琶湖・淀川水質保全機構調査研究部 Keiko WADA

量の増加も累加流出高とともに徐々に少なくなると考えられる。したがって、高濁度が観測された流出直後からおよそ2～4mmの範囲に相当する初期フラッシュ排水を浄化の対象とすることとした。

2.2 処理装置の構造検討

構造については、滋賀県南部振興局管内の最も交通量の多い13路線の現地踏査から、道路構造の特徴を把握した上で、処理装置の基本方針を決定した。その内容は以下のとおりである。

- (1)路面排水の初期フラッシュ排水を選択的に集水・浄化する。
- (2)維持管理に手間がかからず、低コスト(イニシャル、ランニング)である。
- (3)耐久性、持続性が高い。
- (4)道路構造や周辺環境へ配慮と適応。

2.3 路面排水初期フラッシュ排水の浄化装置

以上を踏まえ、基本構造を①初期フラッシュ排水とその後の排水を分水する部分を持ち、②その下段に初期フラッシュ排水を処理する貯留槽を有し、③浄化部は自然素材である土壌を用いた土壌浸透による水質浄化を行う形とした。

実証実験では、実際の汎用性を考慮し、省スペースで市街地の道路側溝に設置可能である側溝型の浄化装置を製作し、実用化を目指したパイロット実験を行った。図－2および図－3には、分水部における排水の制御方法と路面排水処理装置の概

略構造を示す。

初期フラッシュ排水部分を分水する構造を検討した結果、既存の排水柵の内側に集水トラフを設け、これを経由して初期フラッシュ排水を貯留部に導く構造を考案した(特許第3768186号)⁶⁾。本構造の分水性能は、実験結果から降雨強度20mm/h、総降雨量約25mm相当の強降雨の条件でも混合

①初期フラッシュ水が貯留槽に導かれる。

②貯留槽が初期フラッシュ水で満水状態になると、その後の雨水は既存排水柵に流入する。

図－2 路面排水の分水部での制御方法

図－3 路面排水処理装置の概略構造

率が4.3%に抑えることが可能である。また、貯留部に充填する土壌は、比較的浄化性能が良く、安価で入手が容易であり、かつ地域性も考慮してマサ土を用いた。

3. 水質浄化性能の評価

3.1 調査方法および検討項目

前述の側溝型の路面排水処理装置の検討を基本として、実際の道路状況に合わせた側溝型パイロットプラントを設計・製作した。設置場所は、24ヶ所の候補地点から、グレーチング寸法が60cm×40cm、集水面積が70㎡程度であり、植樹帯を有し、処理後水の返水が可能等の条件が適合する他、設置地点周辺の状況を勘案し、滋賀県の主要地方道栗東志那中線霊仙寺付近（写真）を選定した。2002年11月に設置後、約2年間に渡って9回の水質浄化性能等のモニタリング調査を実施した。

調査は、先行晴天日数2日以上以降雨に対して行い、初期降雨水貯留部に貯留した初期フラッ

シュ排水（処理前水）とその排水を土壌浸透した処理水（処理後水）についてCOD、TOC、T-N、T-Pとその溶存態成分（0.45μm ミリポアろ紙にてろ過後のろ液）、および油分（n-ヘキサン抽出物質）を測定した。またSSは2005年8月以降の4回について測定した。

3.2 調査結果

各項目の処理前水と処理後水について水質濃度および平均除去率を表1に示す。

平均除去率はCOD73%、TOC65%、T-N49%、T-P90%、SS97%およびn-ヘキサン抽出物質83%以上であった。いずれも溶存態成分に比べ粒子態成分の水質浄化効果が高い傾向にあり、窒素を除く他の項目の粒子態成分は、土壌のろ過や吸着作用によって90%以上除去されていることが確認できる。また、湖沼の富栄養化の原因物質である窒素やリンに対しても、良好な除去率が得られ、特にリンについては溶存態も高い浄化効果を示した。このように設置から約2年間ではあるが、路面排水処理装置での水質浄化効果の持続性が確認できた。

4. 処理装置の維持管理の検討

4.1 目詰まり調査および回復作業

土壌浸透による浄化性能を発揮し、かつ、連続した降雨の初期フラッシュ水に対応するために処理水流量は約1日と考え100～150ml/minを目安としている。

本パイロットプラントは2002年11月の設置以降、調整バルブにより処理水流量を100ml/minに調整しテスト運用を実施してきた。しかしながら、運用開始から約1年が経過した頃には、調整バルブ全開で処理水流量が80ml/minとなり、それ以降徐々に処理水量が低下し、約1年半から2年後には処理水流量がほぼ0ml/min～15ml/minとなり、浄化枦が路面からの堆積物によって閉塞していることが推察された。このため閉塞原因調査および回復作業を実施した。

充填土壌表面の堆積物を上から少しずつ掻き取り、堆積物質について目視観察した。表層は砂やゴミ、落ち葉の混入が多いが、下層は粒子の細かなシルト状の黒色物質となっていた。さらに、表面堆積物の下方では、充填土壌（マサ土）と表面

写真 側溝型パイロットプラント設置状況

表1 水質モニタリング調査結果

分析項目	処理前水濃度 (mg/ℓ)	処理後水濃度 (mg/ℓ)	除去率 (%)
COD	7.2~70 (33)	3.5~18 (18)	73
D-COD	2.7~21 (12)	3.0~13 (7.7)	37
P-COD	2.8~54 (21)	<0.5~5.5 (1.2)	94
TOC	3~59 (25)	2.6~17 (8.7)	65
D-TOC	1.9~18 (9.1)	2.4~11 (7.4)	19
P-TOC	0.5~51 (15)	0.2~6.4 (1.3)	92
T-N	0.90~7.75 (3.75)	0.60~3.65 (1.93)	49
D-TN	0.60~5.20 (2.48)	0.50~3.31 (1.59)	36
P-TN	0.03~4.20 (1.16)	0.01~1.60 (0.33)	72
T-P	0.055~0.433 (0.196)	0.007~0.072 (0.019)	90
D-TP	0.005~0.032 (0.015)	0.002~0.007 (0.004)	72
P-TP	0.050~0.401 (0.181)	0.002~0.065 (0.015)	92
SS	15~190 (95)	2~5 (3)	97
n-ヘキサン 抽出物質	<0.5~9.6 (2.9)	<0.5~0.7 (<0.5)	>83

注1) 定量下限値以下の場合は0で平均水質濃度を算出

注2) 除去率は平均水質にて算出

注3) P-: 粒子態, D-: 溶存態

の黒色物質が混合した黒色の層（黒色マサ土）となっており、それ以下の層は、ほとんど充填土壌のマサ土色であった。作業は充填土壌がマサ土色となる部分まで堆積物を除去することとした。除去した土砂は表面堆積物15.8ℓ、黒色マサ土10.1ℓの計25.9ℓである。浄化柵の土壌層厚を計測したところ、掻き取り作業のムラ等によるバラツキがみられるものの黒色マサ土の上端は充填土壌であるマサ土の初期層厚と概ね差がなく、今回掻き取った土砂は道路排水に含まれているものが主体であると推察される。土砂除去後に試験的に雨水貯留槽を満水にして調整バルブを全開した場合、処理水流量は480ml/minに回復できた。したがって、年1回程度の頻度で表面堆積物を除去することにより、浄化性能を維持することが可能と考えられる。

4.2 除去土壌の処理に関する検討

パイロットプラント内土壌の処分方法を検討するため、約2年間使用したパイロットプラントの浄化柵内の充填土壌（マサ土）および土壌上部に堆積した表面堆積物について土壌分析を行った。分析項目は、土壌処分に關して一つの尺度となると考えられることから、土壌汚染対策法による土

壌含有量基準（9項目）および土壌環境基準（溶出量基準25項目）とし、比較をすることとした。なお、油分についてはn-ヘキサン抽出物質を参考値とした。分析結果を表2に示す。いずれの土壌も含有量試験結果は土壌対策基本法における土壌含有量基準を満足していた。また、溶出試験結果も満足していたことから、充填土壌、表面堆積物ともに汚染土壌ではなく通常の土壌としての取り扱いが可能であることが確認できた。しかし、表面堆積物にはタイヤかすやアスファルトかす等が多く含まれていることから、産業廃棄物(汚泥)として処分とすることが望ましいと思われる。

5. 今後の展望

滋賀県内の自動車交通量は増加の傾向にあり、路面排水の水質への影響が懸念される。また、自動車排ガス規制により粒子状物質等の排出が抑制されたとしても、当処理装置の堆積物には排ガス以外のタイヤ、アスファルトかす等が多く含まれ、路面排水はこれらにも起因すると考えられることから、路面排水の水質が著しく改善するとは考え難い。したがって、交通量が多い地域に路面排水処理装置を設置することは、道路の面源負荷削減

表2 土壌分析結果

分 類	物質名	単 位	充填土壌	表面堆積物	土壌含有量基準	判 定
含有 試験	カドミウム	mg/kg	<0.1	0.4	150	○
	六価クロム		<3	<3	250	○
	シアン		<1	<1	50	○
	水銀		<0.02	<0.02	15	○
	セレン		<0.3	<0.3	150	○
	鉛		4	39	150	○
	砒素		<1.5	1.9	150	○
	ホウ素		<1	<1	4000	○
	フッ素		250	127	4000	○
	参考) n-ヘキサン抽出物質	mg/l	9.9	5500	—	—
溶出 試験	カドミウム	mg/l	<0.001	<0.001	0.05	○
	六価クロム		<0.02	<0.02	0.05	○
	シアン		ND	ND	検出されないこと	○
	水銀		<0.0005	<0.0005	0.0005	○
	セレン		<0.001	<0.001	0.01	○
	鉛		<0.005	<0.005	0.01	○
	砒素		<0.005	<0.005	0.01	○
	ホウ素		<0.1	<0.1	1	○
	フッ素		0.28	<0.08	0.8	○
	四塩化炭素		<0.0002	<0.0002	0.002	○
	1,2-ジクロロエタン		<0.0004	<0.0004	0.004	○
	1,1-ジクロロエチレン		<0.002	<0.002	0.02	○
	シス-1,2-ジクロロエチレン		<0.004	<0.004	0.04	○
	1,3-ジクロロプロペン		<0.0002	<0.0002	0.002	○
	ジクロロメタン		<0.002	<0.002	0.02	○
	テトラクロロエチレン		<0.001	<0.001	0.01	○
	1,1,1-トリクロロエタン		<0.002	<0.002	1	○
	1,1,2-トリクロロエタン		<0.0006	<0.0006	0.006	○
	トリクロロエチレン		<0.003	<0.003	0.03	○
	ベンゼン		<0.001	<0.001	0.01	○
	シマジン		<0.0003	<0.0003	0.003	○
	チオベンカルブ		<0.002	<0.002	0.02	○
	チウラム		<0.0006	<0.0006	0.006	○
	P C B		ND	ND	検出されないこと	○
	有機リン		ND	ND	検出されないこと	○
	参考) n-ヘキサン抽出物質		<0.5	<0.5	—	—

注) 判定は土壌含有量基準値、土壌環境基準を下回っている時「○」とした。
油分については基準等がないため「-」とした。

対策として非常に有意義であると考えられる。

今回の調査結果から本処理装置の路面排水の初期フラッシュ排水に対する水質浄化効果は十分に得られ、かつ、持続性も確認できた。一方、維持管理方法では充填土壌の表面に堆積する黑色物質を年1回程度の頻度で除去することが必要となる。今後、維持管理を配慮した浄化槽部位の詳細構造、装置規模、路上配置等の検討および改良に

よって普及が促進され则认为る。

さらに滋賀県では、県と県民やNPO、企業等が協働して道路管理を行う「近江の美知普請（おうみのみちぶしん）」に取り組んでおり、この路面排水処理装置の維持管理も、県と県民等の協働により、きめ細やかな管理が可能となると思われる。このように路面排水対策を展開し普及するためには、道路管理者だけではなく地域の住民にも

関心を持ってもらうことが重要である。

最後に、このような技術が琵琶湖の総合的な水質保全のための対策手法として道路事業に限らず広く普及していくことを強く期待する。

参考文献

- 1) 国土庁, 環境庁, 厚生省, 農林水産省, 林野庁, 建設省:
琵琶湖の総合的な保全のための計画調査報告書 (1999)
- 2) 滋賀県: 環境白書 (2003)

- 3) 総務省: 湖沼の水環境の保全に関する政策評価書 (2004)
- 4) 山田淳: ノンポイント汚染の現状と展望, 環境技術, Vol.33, No.5, 360-363 (2004)
- 5) 徳永法夫, 西村昂, 日野泰雄, 尾松豪紀: 道路排水と道路構造物の汚れに関する研究, 資源環境対策, Vol.34, No.14, 1263-1268 (1998)
- 6) 東レエンジニアリング㈱, 滋賀県, (財)琵琶湖・淀川水質保全機構, 路面排水の処理方法及び処理設備, 特許第3768186号, 2006-02-10.

●

WORK・ねっとわーく

●

河田悦和

(独)産業技術総合研究所
環境化学技術研究部門

できないことに魅力を感じるのだが

メタン酸化細菌を研究している。その辺の土から、メタンだけを炭素源にして培養すると生えてくる。最近二酸化炭素を雰囲気と供与して、はじめて増殖できる菌体が見つかり、土壌の中の多様性が注目されている。メタン酸化細菌も土壌中の微視的なメタン発生環境の中で、それらを利用してきたのだろうか。かつて戯れに大気を連続供与したところ、ある条件ではメタン酸化細菌が増殖した。すなわち大気濃度のメタンを利用することが可能なようだ。うまくすると地球温暖化効果が二番目に大きいメタンを抑制できるのかもしれないと期待はふくらむ。もちろん、多くの土壌からこの菌体が見つかることから、すでに土壌中ではメタンを巡るせめぎ合いが盛んなのかもしれない。

産業への応用の視点から見ると、一部のメタン酸化細菌はメタンだけでなくアルカンやアルケン

なども酸化する基質特異性の低いメタンモノオキシゲナーゼを持っており、これらは環境浄化や工業の酸化プロセスへの応用が研究されてきた。また、将来の燃料電池にメタンを酸化して作られ

るメタノールやDMEの利用が検討されており、このプロセスにも菌体や酵素のバイオリアクターの活躍が期待される。ただ、菌体の生育が遅いこともあり、効率的な酵素リアクターの開発を目指して、遺伝子解析、活性の検討がなされている。しかし活性発現に多くのサブユニットが関与することなどから、今のところ明確な酵素活性の再現報告はない。それでも多くの研究グループが、高い将来性と低い可能性を天秤にかけながら日々挑戦を続けている。昨今の研究評価に沿うため、いくつかの成果の出そうな仕事をしながら、時々リスクの高い研究に挑戦して、打ちひしがれていると聞く。インパクトファクター、被引用度にとまどいながらも、それらを越えた頑固な価値基準を持ち、最後はイノベーションに寄与する研究者に憧れるのだが、まだ道のりは遠いようだ。

会員通信