

## 審査の結果の要旨

氏名 小島 啓 輔

本研究は、「合流式下水道管渠内堆積物及び雨天時越流水に含まれる重金属の存在形態特性」と題して、8つの章から論文が構成されている。

第1章では、研究の背景と目的、および論文の構成を述べている。

第2章では、我が国における合流式下水道の現状やその改善対策について取りまとめたあと、下水道管渠内堆積物の特性や重金属の存在形態などに関する文献の整理を行っている。

第3章では、一般水質項目や重金属の化学分析法に加えて、重金属の存在形態分析手法やX線微細吸収構造(X-ray absorption fine structure; XAFS)法についても記載されている。

第4章では、ポンプ場から放流される合流式下水道雨天時越流水(CSO)の試料について、SSやTN、TPなどの一般水質項目だけでなく、重金属や健康関連微生物を含め、濃度レベルやその変動を調べた貴重な雨天時調査結果を取りまとめている。そして、CSO中の汚濁物質の挙動としては、管渠内堆積物や下水中の懸濁物に由来するSSなどの項目群と、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>などの汚水中の溶存成分由来の項目群、前者二つとは異なる挙動を示す大腸菌群数など、合わせて3グループに分類できることを示している。一方、重金属はSSと強い相関を示すことから、堆積物や下水中の懸濁物由来が重要であること、また、CSOが発生するまでの累積降水量が少ないほど重金属濃度は高く、降雨後半ではその濃度レベルは低下する傾向があることを明らかにした。

また、CSO中懸濁物中重金属の存在形態を逐次抽出法により調べた結果、交換態+炭酸塩結合態の画分が主要な画分であったNi、Cu、Zn、Pbについては、雨天時越流後受水域において容易に溶出する可能性があることを示唆している。

第5章では、CSOの重要な汚濁負荷発生源として合流式下水道管渠内堆積物を考え、各粒径画分ごとの重金属含有量や存在形態について明らかにしている。まず、東京都区部の下水道管渠から多数の堆積物試料を入手し、重金属含有量の測定や逐次抽出法による存在形態の評価を行った結果、堆積物中の含有量及び存在形態は地点ごとに大きく異なること、重金属の種類によって優占的な存在形態が存在していることなどを報告している。NiとZn、Pbについては、溶出性が高いと考えられる交換態+炭酸塩結合態の画分が優占的であることから、流出時における生態系への影響が懸念されることを指摘している。

また、粒径が106 μm以下の細かい画分ほど重金属含有量が高く、溶出する可能性の高い画分の割合が大きい傾向を示したことから、CSO汚濁負荷を考える際には粒径の小さな粒子をすることが重要となることを指摘している。そして、CSO中の懸濁物、管渠内堆積物及び道路塵埃中の重金属

の含有量と存在形態を比較した結果、Cu と Zn 及び Pb に関しては、道路塵埃以外のノンポイントソース由来の起源が存在している可能性を推察している。

第6章では、XAFS法を用いた合流式下水道管渠内堆積物中亜鉛の存在形態評価を行っている。その結果、堆積物表面のZnの主要な存在形態はZnSとZnCO<sub>3</sub>の両者であると推定する一方、道路塵埃のZnの存在形態は、ZnCO<sub>3</sub>が主体であることを報告している。さらに、管渠内堆積物と道路塵埃において見られたZnの存在形態の差異から、管渠内においてZnの硫化物化が生じていることを推察している。また、懸濁物全体の重金属存在形態を評価する逐次抽出法との比較により、ZnSが堆積物の表面付近に偏在している可能性が高いことを示している。複雑な組成を有する管渠内堆積物にXAFS法を適用したことにより、非常に貴重で新規性の高い成果を得ている。

第7章では、都市域ノンポイント汚染物質である重金属の起源として道路塵埃を考え、道路塵埃と雨水とを混合した模擬路面排水を作成して、溶存態重金属の挙動を調べている。その結果、重金属の存在形態としてフリーイオン態+不安定錯体形態が多く、フリーイオン態+不安定錯体形態の割合は、Zn (83-100%) > Pb (75-94%) > Cu (71-88%) > Ni (57-79%)の順であり、重金属の種類によって異なることを示している。また、模擬路面排水と下水との混合液中では、フリーイオン態+不安定錯体形態の存在割合が、模擬路面排水中より小さくなったことから、下水中の有機物と重金属は安定錯体を形成することを実験的に明らかにしている。

第8章では、上記の研究成果から導かれた結論と今後の課題、合流式下水道における堆積物の管理方法の提案や展望が述べられている。

以上の成果では、CSO中での重金属を含めた汚濁物質の挙動、CSO中懸濁物の重金属含有量及び存在形態を調べるだけでなく、CSO汚濁負荷の発生源として管渠内堆積物を考え、逐次抽出法やXAFS法を適用して堆積物中の存在形態をも詳細に評価している。また、重金属の起源として道路塵埃を想定して、路面排水として流入過程や管路内での重金属の存在形態の変化も明らかにするなど、精力的な現場調査と実験による貴重な成果を得ている。これらの成果は、CSO由来の汚濁負荷実態を的確に理解すること、有効な合流式下水道改善対策を検討することに役立つだけでなく、下水管渠を『反応装置(反応の場)』として捉え、管路内での重金属の質的変化を考慮しながら受水域での生態系への影響を考慮することの重要性を指摘するものであり、非常に有用なデータや知見を提供しており、都市環境工学の学術の進展に大きく寄与するものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。