

## 審査の結果の要旨

氏 名 クマール マニッシュ

気候変動に伴う集中豪雨の頻発とともに少雨による渇水が想定されるなか、都市域の洪水や浸水対策だけでなく、都市域におけるストック型自己水源としての地下水の管理は重要性を増してきている。その観点から、屋根排水だけでなく、道路排水も浸透させることは、地下水涵養を通じた水資源確保、河川流量の確保や湧水復活などにも有効であると考えられる。しかしながら、道路排水の浸透を推進するためには地下水汚染のリスクも考慮する必要がある。特に、都市ノンポイント汚染対策の観点と地下水涵養の両者を組み合わせて、雨水浸透施設の維持管理のあるべき姿や将来像を明確するために、雨水浸透施設における重金属の動態や挙動、さらには施設下層に位置する土壌による重金属の保持能を正しく、定量的に評価することが期待されている。

本研究は、「Comparative assessment of potential mobility of heavy metals in soakaway sediment of infiltration facilities and soil using sequential extraction and isotopic dilution techniques : 逐次抽出法と同位体希釈法による浸透ます堆積物及び土壌中の重金属移動性の比較評価」と題して、8つの章から構成されている。

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、まず、土壌中重金属の存在形態分析のための逐次抽出法とその適用事例、同位体希釈法による交換可能な重金属量定量法とその適用事例、雨水浸透施設における重金属の除去などについて既存の研究をとりまとめている。また、鉛の安定同位体比による起源解析の研究事例の整理も行っている。

第3章では、研究対象となる浸透施設堆積物、土壌、道路塵埃の採取方法の説明に加えて、それらの化学成分や陽イオン交換容量など、重金属の保持能に関わる特性を整理している。また、土壌中の重金属の存在形態を調べるために広く用いられている逐次抽出法、交換性の重金属量を測定するための同位体希釈法の具体的な手順および、重金属の分析方法についても記載されている。

第4章では、浸透施設堆積物、土壌、道路塵埃の重金属全含有量を調べるだけでなく、重金属の移動性を理解するために、逐次抽出法による形態別存在量を求めている。そして、道路塵埃の重金属量が高いこと、それぞれに存在形態割合が異なることなどを明らかにしている。特に、鉛に関して3つの安定同位体の存在比が、鉛鉱石や自然土壌などと石油や塗料などと異なることを利用して、人為的な汚染が道路塵埃や浸透施設堆積物などにどのように影響しているかを検討している。その際、 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  と  $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  の比を同時に用いることで、わかりやすく人為汚染の影響を識別できることを提示している。

第5章では、土壌などに保持されている交換態重金属量を測定するために、同位体希釈法を堆積

物、土壌などに適用して、各重金属の吸着係数の大小を調べている。この測定では、試料と蒸留水を混合した溶液に対して、試料とは大きく安定同位体存在比が異なる重金属スパイク溶液を添加して、72時間で同位体比が安定することを確認した上で、その安定した比率を用いて交換態の重金属量を求めている。そして、同時に実施した逐次抽出法による酸で溶出する画分、還元状態で溶出する画分、過酸化水素水による酸化分解で溶出する画分と交換態重金属量とを比較することで、両者の方法での重金属の移動性評価の違いや関係を議論している。この成果は、雨水浸透施設における堆積物やその下層に位置する土壌での重金属の移動性を評価する上で非常に貴重なものである。

第6章では、道路塵埃と蒸留水と混合することで模擬的な道路排水を作成して、道路排水を受け入れる雨水浸透施設での重金属の吸着過程を調べるカラム実験を行っている。その際、二種類の土壌と浸透施設堆積物を対象にして、連続的に流入させる系と間欠的に流入させる系の二つについて実験を行い、溶出液の水質測定と実験後の土壌や堆積物の重金属存在形態の変化を調べて、鉛に比較して亜鉛の保持能が低いこと、土壌などによる除去や溶出、除去された重金属の保持形態が溶出液のpHや有機物濃度と関連している可能性を示唆している。また、有機物が少ない土壌では、間欠流入による有機物分解や硝化反応の促進が鉛の保持能を低下させる結果も示されている。さらに様々な実験条件での調査が必要であるものの、これらの知見は雨水浸透施設における重金属保持能力を検討するために有意義な実験的成果である。

第7章では、重金属保持能に関わる土壌の物理特性や環境因子を整理して、それらに重み付けを行い、総合的に重金属保持能の新たな指標を開発することを試みている。重金属ごとに土壌や堆積物の交換可能量や吸着係数の情報を加味することで、重金属を一律に扱う従来型の保持能力指標を、重金属種ごとに評価するものへ発展させている。そして、6章で実施した土壌カラム実験での重金属保持能をここで提案した指標で評価可能かの検討を行い、その適用性と限界について考察を加えている。

第8章では、上記の研究成果から導かれる結論と今後の課題、土壌や雨水浸透施設堆積物による重金属保持能の定量評価への提案や展望が述べられている。

以上の成果は、都市ノンポイント汚染対策として、雨水浸透施設を高度に活用する観点から、間欠的に道路流出水が導入される施設内堆積物や下層に位置する土壌における重金属の保持や溶出などの動態を詳細に研究したものである。特に、逐次抽出法と同位体希釈法の両手法を適用することで、重金属に移動性を検討した点を含め、これらの知見は、地下水汚染防止の観点から浸透施設における重金属動態や土壌の重金属保持能を評価し、その指標を開発する上で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。