

審査の結果の要旨

氏名 村上 道夫

本研究は、「都市ノンポイント汚染源由来の重金属類の雨水浸透施設における吸脱着」と題して、8つの章から論文を構成している。

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、都市域における道路交通由来の汚染物質の挙動や雨水浸透施設に関する既存の研究をとりまとめて示している。特に、雨天時における汚染物質の流出挙動や土壌などの固形物からの重金属類の溶出実験、さらに重金属類の化学形態測定や評価方法などに関する文献について詳細に整理されている。

第3章では、道路塵埃や雨水浸透施設内の堆積物を対象とした、化学分析方法や電子線マクロアナライザーによる粒子中の元素組成測定方法が説明されている。

第4章では、約20年前に雨水浸透施設が導入された下水道排水区における雨天時観測データを活用して、浸透施設の貯留能と浸透能を考慮できるサブモデルを組み込んだ分布型モデルを用いて雨水の流出挙動を詳細に解析することに成功している。降雨特性により類型化した降雨群ごとに各浸透施設からの浸透量を評価するとともに、浸透施設の導入によって顕著な流出量削減効果があり、浸透施設からの地下水涵養量が総降雨量の36%に相当したこと、浸透施設の中でも浸透LU側溝による寄与が大きく、降雨特性に依存せずに機能していたことなどを明らかにしている。

第5章では、雨水浸透枿堆積物による都市交通由来の重金属類の蓄積状態を現場調査に基づき評価している。まず、浸透枿の大半が堆積厚2cm未満の良好な状況を維持していた一方で、浸透トレンチ連結部の高さ付近まで堆積している浸透枿(堆積厚8cm以上)や底部浸透面が目詰まりしたために滞水している浸透枿もあることを示した。幹線道路塵埃、住宅地道路塵埃、枿堆積物、浸透域土壌中重金属類含有率を比較することで、都市交通活動による重金属類汚染指標として、Pb、Zn、Cu、Cd、Cr、Niが有効であること、堆積厚の違いによりCr、Cd、Pb含有率に差異があることを統計的に明らかにしている。堆積厚8cm以上の枿堆積物における人為汚染の高さの理由として、枿堆積物の蓄積に伴う浸透能の低下によってCr、Cd、Pbの吸着が促進されている可能性を示した。

第6章では、人体への毒性が強く、枿堆積物による吸着が示唆されたCr及びPbに特に注目し、電子プローブマイクロアナライザー(electron probe micro analyser; EPMA)を用いて、道路塵埃及び枿堆積物中のCr及びPb含有粒子を特定し、粒子の起源推定と存在状態の把握を試みた成果をま

とめている。道路塵埃及び柵堆積物は、土壌鉍物粒子、非土壌鉍物粒子、土壌鉍物粒子と非土壌鉍物粒子の複合体といった様々な組成を持つ粒子の集合体であることや、特異的に高濃度(≥ 2,000 mg/kg)でCr又はPbを含有する粒子が存在することを明らかにした。そして、その粒子の重金属元素組成から幹線道路塵埃のCr及びPbの両方を高濃度で含有する粒子は、標示用黄色塗料を含む粒子であること、道路塵埃及び柵堆積物の粒子でCrを含み、かつPbを含まない粒子はステンレス材のようなFeを主成分とする起源由来であると推定している。さらに、柵堆積物でPbを高濃度に含有する粒子は、そのほとんどが土壌鉍物粒子の組成を持ち、幹線道路塵埃におけるPb含有粒子とは異なっていることから、道路排水由来のPbを吸着している可能性を示唆している。

第7章では、道路流出水の溶存重金属類の化学形態(speciation)、特に有機錯体のようなアニオン態に着目し、道路塵埃溶出液の特性と浸透柵堆積物への吸着能を評価している。道路流出水を模擬するために道路塵埃溶出液と柵堆積物の混合による溶出実験を行い、化学形態を考慮可能な水質組成モデル計算とを組み合わせることで、道路塵埃由来の重金属類の柵堆積物による吸着除去能を議論している。その結果、道路塵埃溶出液中の溶存態有機物が柵堆積物に吸着されない一方で、有機錯体と考えられるCuやアニオン形態のCrは吸着可能であること、また、柵堆積物の種類によっては、道路塵埃溶出液と柵堆積物との混合により、柵堆積物からMn、Zn、Cdの溶出が促進される場合があることを明らかにしている。また、前述の雨天時流出モデルによる水収支計算結果に、道路塵埃溶出液と柵堆積物の混合による溶出試験で得られた溶存態Cr及びCuの吸着能を与えて、雨水浸透施設内堆積物による都市ノンポイント由来の溶存態Cr及びCuの除去率を試算した結果、下水道への汚濁越流や地下への浸透の負荷量削減の両面において貢献する可能性を示している。

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や展望が述べられている。

以上の成果では、雨水浸透施設が、降雨特性に関わらず流出抑制と地下水涵養の面で大きく機能していること、及び、効果的な重金属類の吸着除去機能があることを明らかにしている。地下水涵養及び重金属類の蓄積の両観点から、雨水浸透施設の浸透能が重要な因子となっていると考えられ、長期間設置された雨水浸透施設の実態把握だけでなく、今後の管理の上で有用な知見を提供している。都市交通活動に関連した溶出濃度及び毒性の高い重金属類としてCrを挙げ、かつ、その起源が標示用黄色塗料であることを推測したが、同時に柵堆積物はそれらの除去にも効果があることも示した。しかし、一方で、道路流出水と柵堆積物の種類によっては、逆に柵堆積物に蓄積されたZnやCdなどの溶出が促進される場合もありうることを明らかにするなど、雨水浸透施設内の堆積物における重金属の吸脱着機構について詳細に解析して有用な知見を与えている。これらの知見は、都市ノンポイント汚染現象を把握するのに役立つだけでなく、都市の健全化水循環系を構築する際にも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。