

氏名	たけだ ひさと 竹田 久人
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成31年3月27日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 土木工学専攻
学位論文題目	フィリピンの小規模自治体における分散型生活排水処理システムに関する研究
指導教員	東北大学教授 李 玉友
論文審査委員	主査 東北大学教授 李 玉友      東北大学教授 西村 修 東北大学准教授 佐野 大輔

## 論文内容要旨

ミレニアム開発目標(Millennium Development Goals; MDGs)の後継として、持続可能な開発のための2030アジェンダが2015年9月の国連サミットで採択され、2016年から2030年までの国際目標として、持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals; SDGs)が定められた。このうち、水と衛生の改善についても「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」として掲げられた。この目標に基づき開発途上国においても国際協力によって次第に上水道が整備され、次に下水道が整備されつつある。これら開発は緊急性があり且つ費用対効果の高い都市部より着手されるため、地方部は整備が大幅に遅れているのが現状である。また地方部は都市部よりも人口密度が低く、下水道による集合処理の経済的なメリットが見出せない場合が多い。よって開発途上国のほとんどの地方部では下水道が普及しておらず、未処理あるいは腐敗槽(Septic Tank)による簡易な処理が一般的となっているとされる。

一方で、日本で開発され独自の進化を遂げたオンサイト型生活排水処理装置として合併処理浄化槽が挙げられる。2014年度2月時点で31か国に2,000基の浄化槽が海外に納入されている。そのなかで開発途上国への納入事例も見られるが、その多くは工場、学校、病院等であり、一部モデル事業で一般家庭に設置された事例もあるがその数は多いとはいえない。合併処理浄化槽は水質浄化の面で優れた技術であるものの、運転に電力が必要であり、また腐敗槽設置の場合と比べて建設費も高額となる。また一般家庭に設置される場合には浄化槽は個人の所有物となり、下水道整備と異なり公共事業として整備されることはあまりない。日本で浄化槽を設置する場合、一定の要件を満たせば補助金が交付されるが、開発途上国では財政が疲弊しておりそれに充てられる予算が確保されることがないことも、分散型生活排水処理設備の改善・整備が遅れる原因となっている。さらには開発途上国においては技術のみならず、法整備を含む制度設計、技術者の養成、住民教育・啓発等解決すべき課題が多岐に渡り、普及が容易に進まないのが実情である。このようななか、環境省は「環境インフラ海外展開基本戦略」を策定、2017年7月に発表した。その中で定めた6つの具体的分野のうちの1つである廃棄物・リサイクル分野

において浄化槽を輸出戦略の対象と位置付け、海外への浄化槽普及を積極的に進めつつある。

本研究は、開発途上国における下水道が長らく整備されない中小の自治体を対象とし、生活排水処理の実態、腐敗槽の設置状況、腐敗槽の処理性能を正しく把握し、開発途上国における中小の自治体に適した分散型生活排水処理を導入することにより、当該国の水環境を改善することを目的に実施したものである。

本論文は6章より構成される。

第1章「序論」では、本研究の背景、意義及び目的について述べた。

第2章「日本における分散型生活排水処理」では、日本における生活排水処理の歴史について、し尿の汲み取りから単独処理浄化槽での処理、生活雑排水処理対策、合併処理浄化槽の普及、および小規模下水道の整備の観点から概観し、その上で中小の市町村を対象とした小規模下水道を中心とする集合処理と合併処理処理浄化槽を中心とする個別処理の整備に係る既往の研究について整理した。

第3章「開発途上国における生活排水処理」では、開発途上国における生活排水処理の状況を俯瞰した。国際連合が定めるMDGsおよびSDGsの内容と達成状況について整理し、生活排水処理施設の整備状況とともに開発途上国で多くみられる腐敗槽による分散型排水処理システムの整備状況について文献調査を行った結果をとりまとめた。

第4章「フィリピン小規模自治体における生活排水の排出状況に係わる実態調査」では、フィリピン国内における調査対象地域を中央ビサヤ地方ボホール州のパングラオ島のダウイス町及びパングラオ町の2自治体に定め、同地区の概況、生活排水処理の状況、衛生施設及び腐敗槽の設置状況、腐敗槽汚泥の管理状況についてアンケートによる詳細な戸別調査を実施した。調査戸数はダウイス町67戸、パングラオ町144戸の211戸とした。世帯収入が高いほど、家屋の建設時期が新しいほど腐敗槽が設置される家屋が多い傾向が確認されたが、腐敗槽の設置率は29%に留まりフィリピン全国平均の腐敗槽普及率とされる40%より低く、多くはトイレ排水を未処理のまま直接地下浸透させていることが明らかとなった。また家屋の建設時期が新しいほど生活雑排水をトイレ排水と併せて腐敗槽で処理する割合が高くなっていったが、生活雑排水の処理率は8%のみであった。設置されている腐敗槽の構造や設置位置は必ずしも汚泥の引抜きを考慮したものになっておらず、全体の四割近くはバキューム車のアクセスの問題や汚泥引抜き用マンホールの未設置によって汚泥の引抜きができず、実際に汚泥の引抜きを実施した腐敗槽は一割に満たないことが確認された。

既存腐敗槽の処理状況調査として、フィリピンの1975年公衆衛生規則が下水道未整備の地域では下水は腐敗槽に接続することを求めていることから、同法を遵守した場合の腐敗槽の処理性能を確認することを目的として、

トイレ排水および生活雑排水の両方を処理している腐敗槽 5 基より計 9 試料を採取し水質調査を実施した。対象とした腐敗槽の水理学的滞留時間(HRT)は 5.8~25.2 日の範囲にあったが、回帰分析を行った結果、調査した HRT の範囲では HRT と最終室における水質に相関は認められなかった。腐敗槽の処理による平均除去率は BOD58%、COD46%、SS85%、T-N9%、T-P3%であり、T-N および T-P については処理水質は原水水質に依存することが確認された。

1975 年衛生法および同法施行規則を満足する腐敗槽を新たに設計・建設し 2014 年 6 月から 2016 年 5 月にかけて連続運転を行った。期間中の平均 HRT は 3.57 日、平均除去率は COD51%、SS65%、T-N17%であり、T-N のみならず COD についても処理水濃度は原水濃度に依存することが回帰分析により確認され、HRT を 1975 年衛生法および施行規則が定める値である 3 日間として腐敗槽を建設すると、期待される COD の分解が十分に行われないまま放流される可能性があることが懸念された。また建設した腐敗槽には、腐敗槽処理水質の改善を期待し、浸透槽上部にスポンジを配置した傾斜版を設置し簡易な接触酸化処理を試みた。設置したスポンジの空塔速度(SV)は  $24d^{-1}$  とした。スポンジによる平均除去率は、COD43.3%、SS62.7%および T-N21.3%が得られ、腐敗槽処理水に対して一定の水質改善効果があることが示されたが、フィリピンで新たに導入された 2016 年水質ガイドラインおよび排水基準を満足することは不可能であり、腐敗槽に代わる処理方式の検討が求められた。

第 5 章「経済性の観点からみた合併処理浄化槽を活用した小規模集合排水処理における最適なコミュニティ規模」では、長らく下水道が整備されない可能性が高いフィリピンの小規模自治体において、プレハブ型 FRP 製浄化槽の共同利用による分散型生活排水処理システムの構築を検討するため、経済性の観点から最適なコミュニティ規模の検討を行った。

その検討のために、住宅戸数を 5~20 戸、可住地面積を 0.25~1.0ha、可住地の形状(アスペクト比)を 0.5~4.0 の範囲に定め、検討条件を 11 ケース設定した。乱数発生により可住地内にランダムに住宅を配置するプログラムを作成し、配管布設の試設計を行った。作成した試料は各ケース 50 個、合計 550 個とした。なお、浄化槽はバキューム車のアクセスを考慮し、道路に面した位置に設置するものとした。また、配管網はコンドミニアル型(民地活用型)で整備し、対象地区は平坦であり起伏がない地形であることを前提とした。

既往の研究では、住宅一戸当たりの配管延長を住宅密度の関数として示すことが提案されている。本研究では作成した試料を重回帰分析によって、住宅一戸当たりの配管延長  $L/N$  は住宅密度  $N(x,y)$  のみならず、可住地面積  $(x,y)$ 、可住地のアスペクト比  $(x/y)$  も住宅一戸当たりの配管延長に対して有意な関数であることを明らかにし、その関係式を示した。

この上で各費用関数を詳細に定め、重回帰分析によって住宅一戸当たりの浄化槽建設費を、住宅密度  $N(x,y)$  及び可住地面積  $(x,y)$  の関数として示した。住宅一戸当たりの浄化槽建設費に関しては可住地のアスペクト比  $(x/y)$

は有意ではないことが確認された。この関数より浄化槽を個別に設置するよりも建設費が安価となるための必要なコミュニティ規模を求めた。また設定した3つのシナリオによる感度分析の結果を踏まえ、対象とする可住地面積が0.25haでは住宅密度18戸/ha以上、0.5haでは15戸以上、1haでは11戸/ha以上が、浄化槽を活用した小規模集合排水処理において経済性が確保できるコミュニティ規模であることを明らかにした。

また一人当たりの年間維持管理費として、汚泥処分費、電力費、浄化槽および配管補修費について試算を行った。コミュニティで浄化槽を共同利用するシステムの導入によって、各戸に個別浄化槽を設置するよりも維持管理が低減され、最も低いケースでは個別浄化槽設置の場合の67%となることを示した。また研究対象のボホール州パングラオ島においては、新たに建設された新空港利用客より観光税を徴収するように法整備を行うことを提案し、空港利用客一人一回当たりPHP120(264円、1PHP=2.2円として)を徴収すれば必要な維持管理費用を賄うことが可能となることを示した。

第6章「まとめ」では研究の成果を総括し、残された課題について整理した。

合併処理浄化槽は腐敗槽と比して高い処理性能を有し、また大型・集中型の下水処理施設と比して設置に要する期間が短く効果の発現が早い。このことから、合併処理浄化槽は開発途上国の下水道が整備されない地域の水環境の保全に貢献できる技術であると考えられる。しかしながら合併処理浄化槽は腐敗槽に比して導入コストが高額になり、現地の経済状況を考慮すると、日本のように一敷地、一建築物に対し一基の個別合併処理浄化槽を個人負担によって設置する原則を適用することは難しい。

この観点に立ち、本研究ではコミュニティレベルで住民が共同所有する公共施設としての合併処理浄化槽を設置することを提案した。この場合の設置費用は政府開発援助(ODA)等の支援によって行われることを想定した。そして、この合併処理浄化槽を用いた小規模集合処理システム構築のための最適なコミュニティ規模に関し、経済性の観点から検討を行ったものである。

本研究は、複雑な土地形状、道路、既存埋設物や土地の勾配等を考慮せず単純化したモデルを用いた検討を行ったものである。実際に合併処理浄化槽を活用して小規模な集合処理を行うには、現地において様々な検討が必要となるが、本研究の成果はコミュニティ型の合併処理浄化槽導入の初期段階における一つの指標として活用することができる。

# 論文審査結果の要旨

本研究は、開発途上国における下水道が長らく整備されない中小の自治体を対象とし、生活排水処理の実態、腐敗槽の設置状況、腐敗槽の処理性能を正しく把握し、開発途上国における中小の自治体に適した分散型生活排水処理を導入することにより、当該国の水環境を改善することを目的に実施されたものである。

本論文は6章より構成される。

第1章「序論」では、本研究の背景、研究の目的と意義を説明し、本論文の構成について述べている。

第2章「日本における分散型生活排水処理」では、日本における生活排水処理の歴史について、し尿の汲み取りから単独処理浄化槽での処理、生活雑排水処理対策、合併処理浄化槽の普及、および小規模下水道の整備の観点から概観し、その上で中小の市町村を対象とした小規模下水道を中心とする集合処理と合併処理浄化槽を中心とする個別処理の整備に係る既往の研究について整理している。

第3章「開発途上国における生活排水処理」では、開発途上国における生活排水処理の状況、生活排水処理施設の整備状況とともに開発途上国で多くみられる腐敗槽による分散型排水処理システムの整備状況について文献調査を行った結果をとりまとめている。

第4章「フィリピン小規模自治体における生活排水の排出状況に係わる実態調査」では、生活排水処理の状況、腐敗槽設置状況、腐敗槽汚泥の管理状況について詳細な調査を実施し、その結果を取りまとめるとともに、生活雑排水を併せて処理している腐敗槽の処理性能についても水質分析を行い、問題点を整理している。また、腐敗槽処理水質改善のための簡易な接触酸化設備の処理能力を確認している。

第5章「経済性の観点からみた合併処理浄化槽を活用した小規模集合排水処理における最適なコミュニティ規模」では、フィリピンの小規模自治体において、浄化槽の共同利用による分散型生活排水処理システムの構築を検討するため、経済性の観点から最適なコミュニティ規模の検討を行っている。シミュレーションによって試料を作成し、配管延長と住宅密度、可住地面積、アスペクト比との関係を重回帰分析により明らかにしている。そして施設整備費を住宅密度および可住地面積の関数として求め、さらに感度分析を行い経済性に優れるコミュニティ規模を定量的に示している。また維持管理費についても検討が行われている。

第6章「まとめ」では研究の成果を総括し、残された課題について整理している。

以上、要するに、腐敗槽と比して高い処理性能を有するが設置費用および維持管理費が高額である合併処理浄化槽を、いかにして開発途上国に整備・普及させていくかという観点のもとに行われた研究であり、現地調査結果を踏まえ、経済性の視点より必要となるコミュニティ規模を定量的に示したものである。研究の過程において開発途上国の小規模自治体における詳細な調査が行われ、また試設計における手法の提案および重回帰分析による新たな指標の提案等の重要な知見が示されており、また研究成果は、開発途上国における水環境負荷低減と循環型社会の形成などの課題に寄与できるものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。