

|           |  |
|-----------|--|
| 氏 名       | 黒住 光浩                                      |
| 所 属       | 都市環境科学研究科 都市環境科学専攻 都市基盤環境学域                |
| 学 位 の 種 類 | 博士（工学）                                     |
| 学 位 記 番 号 | 都市環境博 第 218 号                              |
| 学位授与の日付   | 平成 29 年 9 月 30 日                           |
| 課程・論文の別   | 学位規則第 4 条第 1 項該当                           |
| 学位論文題名    | 下水汚泥焼却灰を活用した樹脂系防食被覆材による管路施設の補強<br>工法に関する研究 |
| 論文審査委員    | 主査 教授 宇治 公隆<br>委員 教授 西村 和夫<br>委員 准教授 上野 敦  |

## 【論文の内容の要旨】

日本の下水道は、他のインフラ施設より着手が遅く、短期間で集中的に整備されてきたことが特徴である。したがって、今後、耐用年数を超過した施設が急増する。加えて、硫化水素などによるコンクリートの劣化が発生しやすい施設である。このため、劣化した施設を適切に補修し長寿命化を図ることで、再構築事業を平準化して実施することが重要な課題になっている。

また、都市部では開削工事の困難性から、管路施設の補修や再構築において、非開削で施工できる更生工法や防食工法が多く採用されている。しかし、これらの工法では、内面を防食材等で被覆するため、マンホールや管路の内部空間が縮小される。また、湿潤な環境下での施工による、防食材の剥がれや硬化不良等が指摘されている。このため、マンホールの維持管理空間や管路の流下能力を阻害することなく、耐荷性能や耐久性能を確保できる技術が求められている。

一方、日々大量に発生する下水汚泥の最終処分地の残余年数はひっ迫しており、下水道事業の持続には、減容化のため焼却処理された焼却灰のリサイクルの拡大が喫緊の課題になっている。

本論文は、これらの課題に対応するため、焼却灰を活用した新たな防食被覆材の開発について述べるとともに、管路施設の断面縮小を伴う既往の防食工法に対し、薄い塗布厚であっても補強効果を有する本防食被覆材の特性を、外圧強度試験や非線形有限要素解析により検証し、既設コンクリートの劣化厚に応じた、本防食被覆材の必要塗布厚の設計方法を提案したものである。

本論文は、全 6 章で構成されている。

第1章は、本研究の背景を整理し、本研究の意義を示している。

第2章は、防食被覆材に求められる基礎的な性能に加え、管路施設特有の性能や厳しい施工条件をまとめている。また、既往の技術の課題を抽出するとともに、新たな防食被覆材の開発に向けた課題を整理している。

第3章は、新たな防食被覆材の開発について述べている。まず、質量比で焼却灰を20%以上活用できることのほか、第2章で整理した課題に対応する5つの開発目標を設定した。次に、この開発目標を満足できる防食被覆材の層構成、仕様、配合を決定した。決定した防食被覆材について、耐久性などの基礎的な性能に加え、硬化性に関する目標を達成できることを確認した。これは、施工後速やかな下水の通水を求められる管路施設の特性を踏まえ、独自に設定した目標である。また、東京都の12か所の実現場において、実証工事を実施した結果、人力で目標時間内での施工が完了できるとともに、求められる品質が確保できた。

第4章は、本防食被覆材の補強効果を検証している。本防食被覆材の低弾性、高引張強度の物理的特性に着目し、梁部材の曲げ試験により、プライマーを含む防食被覆層の補強効果を確認した。また、内側に本防食被覆材を塗布した円形マンホールの外圧強度試験により、原マンホールより薄い塗布後の部材厚でも、原マンホールより高い破壊荷重値が得られること、コンクリートと防食被覆材が剥離しないことを明らかにした。さらに、荷重と鉛直変位やひずみの関係の検証により、コンクリートのひび割れ発生後は防食被覆材が引張力を負担し、曲げ耐力が増加したことなどの破壊メカニズムが推察できた。

第5章は、円形マンホールに対する非線形有限要素解析により、ひび割れ発生から破壊に至るまでの挙動や応力負担等を数値解析により検証している。その結果、外圧強度試験結果と同様の補強効果が確認できた。また、①初期ひび割れはコンクリート部から生じること、②防食被覆材のひび割れはコンクリートとの界面で発生し、内側に進展していくこと、③本防食被覆材を塗布した場合の破壊に至る挙動が、鉄筋コンクリートと類似していることなどの補強メカニズムが明らかになった。このため、鉄筋コンクリートの曲げ終局耐力算定式を適用し、劣化厚に応じて、新設マンホールと同等以上の耐荷性能の確保に必要な塗布厚の設計方法を提案した。試算では、50mmの劣化厚に対して15mmの塗布でよく、標準マンホールの90cmの内径を97cmに拡大できる。管路施設でのテレビカメラ調査や更生工法の適用が増える中、資機材の投入等のため、マンホール内の作業空間の拡大が求められていることから、本防食被覆材によるマンホール内径の拡大効果は大きいものと考えられる。

第6章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。本研究では、本防食被覆材の主な適用対象として無筋マンホールを想定しているが、鉄筋コンクリート管への補強効果についても外圧強度試験により確認している。今後、局所的な損傷が多い大口径管路に対し、損傷個所のみを部分的に更生できる技術として、本防食被覆材を活用することで、再構築事業のコスト縮減や粒度調整灰の利用拡大にも貢献できる。このため、管路への適

用拡大に向けた課題として，材料開発や施工方法等の検討を挙げている。