

下水処理場におけるコンクリート劣化と防食被覆の有機酸劣化

宮本豊尚・高橋啓太・重村浩之・新田弘之

1. はじめに

令和元年度に下水道事業・集落排水事業・合併処理浄化槽等の汚水処理施設の普及状況を示す汚水処理人口普及率は91.7%¹⁾となり、健全な水環境を形成するためにスタートした下水道の整備は概成を迎えつつある。1970年の下水道法改正により下水処理場の設置が義務付けられてから50年が経過し、全国にある2000カ所以上の下水処理場も他の土木構造物と同様に老朽化が課題となっている。

微生物の作用により過酷な環境となる下水処理場での特徴的な劣化として、硫化水素に起因する硫酸による劣化が挙げられる。1980年代から下水道コンクリート防食に関する指針が提案され²⁾、それに適合した防食被覆等の対策工が実施されてきたところである。

しかしながら、昨今、硫酸に起因しない劣化が散見され始めてきた。本報では、下水処理場で確認された様々なコンクリートの劣化事例を紹介するとともに、新しい劣化要因である有機酸による防食被覆の劣化を検証する室内実験を行ったので報告する。

2. 下水処理場における様々なコンクリート劣化の事例

2.1 硫酸による劣化

下水処理場の嫌気的な環境である最初沈殿池や汚泥処理系統においては、硫酸による劣化は一般的である(図-1左)。このメカニズムは、①下水中に含まれる硫酸イオン等が嫌気環境下で硫化水素に還元され、②気相放出後に酸素存在環境下で硫酸に酸化されたのち、③コンクリート中の水酸化カルシウムやアルミン酸三カルシウムと結合しエトリングaidが生成し大きく膨張することにより引き起こされることがわかっている³⁾。これに対し、耐硫酸の防食塗装が開発され、腐食の想定される場所における対策工も標準的に実施される

など、対策が進められているところである。

なお、設計では硫化水素が発生しないとされる場所であっても、運用の変更で硫化水素が発生しやすくなった場所が硫酸により劣化している事例も確認されているので、今後の調査により危険箇所に関する知見を早期に取りまとめたい。

2.2 二酸化炭素によると推測される劣化

下水中の有機物は、微生物によって二酸化炭素と水に分解される。発生する二酸化炭素が特に高濃度な場合は、一部が侵食性遊離炭酸として水中に溶存し、コンクリート中のカルシウムイオンと反応することにより、水溶性の炭酸水素カルシウムが生成する⁴⁾。この反応が繰り返し起こることにより、コンクリート表面が徐々に侵食されていく(図-1右)。

高濃度の二酸化炭素が発生する酸素活性汚泥法の曝気槽等については、80年代から90年代にかけてコンクリート腐食メカニズムに関する研究がなされている⁵⁾。また、近年では高度処理が導入されている処理場の曝気槽にて、コンクリートの表面が侵食されている事例⁶⁾が確認されている。このような処理場では、機械設備の点検・更新等のタイミングにおいて、躯体壁面の点検を同時に実施することも検討すべきである。



図-1 硫酸による劣化例(左)と二酸化炭素によると推定される劣化例(右)

- ・硫酸による劣化では、表面の二水石膏層の内側に鉄イオンの褐色の薄い層が形成される⁷⁾が、左図ではハンマーの打撃後に褐色層が確認できる
- ・二酸化炭素によると推定される右図では、コンクリートの表面が溶解している様子が確認できる

2.3 有機酸によると推測される劣化

下水中には生活や産業由来の有機物が含まれており、これらは微生物の働きにより分解され、酸素が少ない環境下においては酢酸をはじめとする有機酸が生成・蓄積する。

有機酸によるコンクリートの腐食は、下水管路の例であるが、人工透析や食品工場由来の排水により引き起こされた事例が報告されている^{8),9)}。またビル排水を貯留するビルピットにおいては、耐硫酸性を有するライニング材が劣化した事例が報告されている¹⁰⁾。

下水処理場においては、耐硫酸性を有する防食被覆の中に有機酸が侵入しているという報告がある¹¹⁾。下水処理場内では有機酸濃度が数百ppm程度まで増加する可能性がある¹²⁾、そのような場所は日常的な点検が困難な場所でもある。pHも局所的に低くなる可能性もあり、防食被覆の劣化に伴うコンクリート躯体への影響が懸念されている。

有機酸による防食被覆の劣化影響については、まだ十分な検討が行われておらず、定まった評価方法もないのが現状である。このため有機酸劣化への対応策について、より詳細な検討を行う必要がある。

3. 防食被覆の有機酸劣化に関する室内実験

3.1 実験目的

前述のように十分な検討が行われていない有機酸による防食被覆の劣化挙動を把握するため、室内実験として材料の促進劣化試験を行い、下水防食用の塗布型樹脂材料の物性変化について検討したので報告する。

3.2 実験方法

3.2.1 供試体の作製

今回の実験では、塗布型樹脂材料として、下水道事業団の規格に適合する、下水防食用で一般的に使用されている耐硫酸性の材料（以下「一般用」という。）1種類と、有機酸に耐性を持つように開発された材料（以下「耐有機酸型」という。）2種類を用いた。表-1に示すように、樹脂のみの成形板で、供試体寸法は80×25×2mmとした。

表-1 供試体に用いた材料

塗布型樹脂材料 (エポキシ樹脂)	一般用：1種類（A） 耐有機酸型：2種類（B、C）
供試体寸法	80×25×2mm（樹脂成形板）

3.2.2 実験条件

有機酸による劣化影響を評価するため、樹脂材料の促進劣化として浸せき試験を実施した。浸せき条件を表-2に示す。試験液は、下水処理場内で存在する有機酸のうち最も濃度が高く一般的に存在する酢酸を使用し、比較として硫酸、イオン交換水も用いた。浸せき温度は40℃とし、浸せき日数を0～90日とした。ただし、硫酸とイオン交換水は、浸せき日数を0日と90日のみ実施した。

今回の浸せき条件では、劣化を促進させるため、通常実施されている品質試験¹³⁾よりも浸せき温度を高くするとともに、より劣化が進行した状態にするため、浸せき日数も長く設定した。供試体も樹脂単体を成形した平板を用いることで、試験液の影響を受けやすいようにした。

表-2 浸せき条件

試験液	酢酸（5%）、硫酸（5%）、イオン交換水
温度	40℃
浸せき日数	0日（ブランク）、30日、60日、90日

3.2.3 試験方法

浸せき試験は、図-2に示すとおり、セパラブルフラスコ容器中（2000mL）の試験液に供試体（5枚×4セット）を浸せきした。恒温水槽内にセパラブルフラスコを設置して、試験温度を一定に制御し、フラスコ容器上部に還流冷却器を取り付け、試験液の蒸発を防いだ。



図-2 浸せき試験状況

3.2.4 調査項目・方法

調査項目および方法を表-3に示す。浸せき試験前後の供試体の外観観察、質量測定、3点曲げ試験を行った。

表-3 調査項目および方法

調査項目	測定方法
外観	目視観察（写真撮影）
質量	電子天秤で0.01mg単位まで測定
曲げ強さ	JIS K 7171（プラスチック-曲げ特性の求め方） ¹⁴⁾ に準拠した曲げ試験

3.3 結果と考察

3.3.1 外観観察

一般用と耐有機酸型を酢酸に浸せきした際の外観変化を図-3に示す。浸せきから30日後の供試体表面にわずかな膨れが発生し、60日後には膨れが全面に広がっていた。90日後においても同様であった。一方で、耐有機酸型は、いずれも膨れはなく、外観変化は見られなかった。

なお、硫酸やイオン交換水による浸せき試験では、一般用も耐有機酸型も膨れなどの外観変化は確認できなかった。

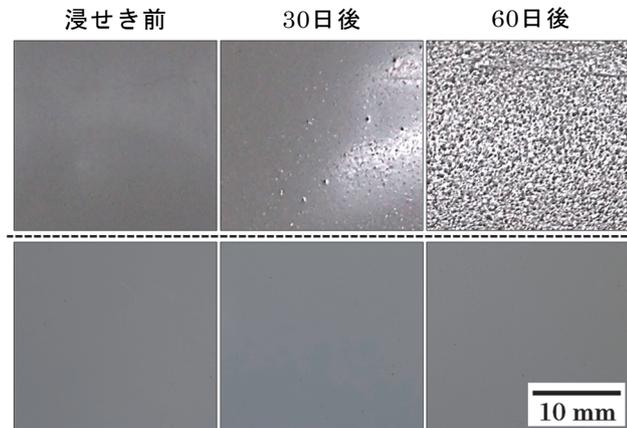


図-3 酢酸浸せき時の外観(上:一般用、下:耐有機酸型)

3.3.2 質量測定

浸せき開始から90日後の質量変化率を図-4に示す。質量測定は、試験液から引き上げた直後に行った。90日間酢酸に浸せきした後の質量変化率は、一般用が最も大きく、5%程度まで増加した。耐有機酸型については、いずれも1%程度の増加であった。なお、硫酸やイオン交換水への浸せきでは、硫酸において、一般用が多少の質量変化があり2%程度の増加、耐有機酸型は、1%程度

の質量変化の増加であった。一方で、イオン交換水は、一般用も耐有機酸型も質量変化率に差はなく、1%程度の増加であった。

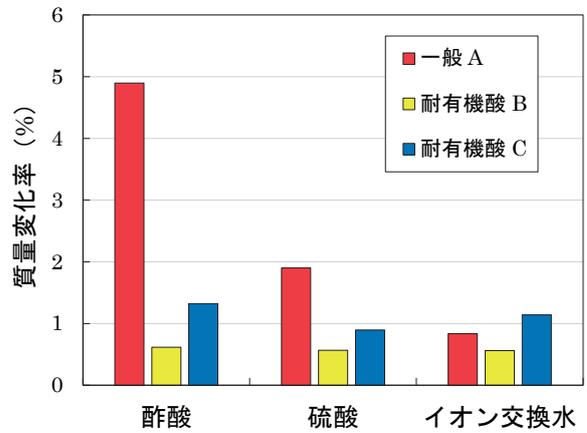


図-4 浸せき90日後の質量変化率

3.3.3 曲げ試験

浸せき開始から90日後の曲げ強さ保持率を図-5に示す。いずれの試験液においても曲げ強さの低下が見られた。酢酸に浸せきした一般用で曲げ強さ保持率が最も下がり、40%程度まで低下した。耐有機酸型は、いずれの試験液でも同じ様な保持率を示し、80%程度であった。また、硫酸への浸せきにおいては、一般用で、曲げ強さ保持率が60%程度まで低下した。

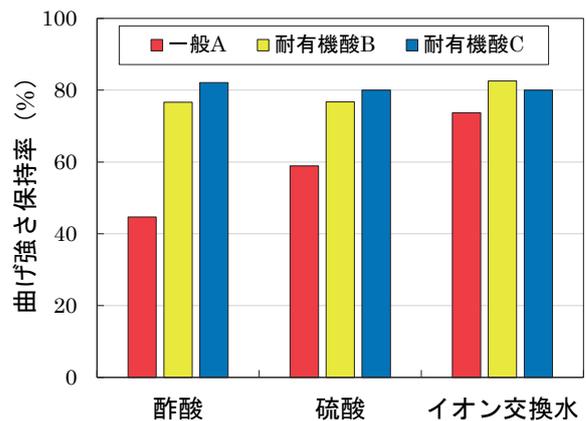


図-5 浸せき90日後の曲げ強さ保持率

3.3.4 考察

外観観察では、酢酸に浸せきした一般用のみ膨れの発生を確認し、一般用が有機酸による影響を受けることが示唆された。質量測定では、酢酸に浸せきした一般用の質量変化率が大きく、酢酸の侵入によるものと推察された。曲げ試験では、酢酸に浸せきした一般用の強度低下が大きく、有機酸による影響を受けることを確認した。なお、一

般用で、硫酸の影響が多少見られる結果となったが、浸せき条件が厳しかったためと考えられた。

以上より、耐硫酸性を有していても、有機酸耐性の評価が行われていない一般用は、有機酸の影響を顕著に受けることを確認した。

4. まとめ

本報では、下水処理場で確認された様々なコンクリートの劣化事例を紹介し、有機酸劣化に関する室内実験の結果を報告した。

- ・ 下水道施設における硫酸や二酸化炭素による腐食メカニズムやこれらが原因とされる劣化事例を紹介した。
 - ・ さらに、有機酸によるコンクリート腐食事例と耐硫酸性を有する防食被覆でも有機酸により劣化する事例を紹介し、耐有機酸性の検討の必要性を確認した。
 - ・ 室内実験では、一般的な耐硫酸性材料を酢酸に浸せきさせると、膨れが発生する場合があることを確認した。
 - ・ 酢酸に浸せきした場合、一般的な耐硫酸性材料の質量増加が大きくなった。これは、有機酸侵入によるものと考えられた。
 - ・ 酢酸浸せきした場合、一般的な耐硫酸性材料は、曲げ強度が大きく低下することを確認した。耐硫酸性であっても、有機酸に対しては影響を受ける可能性があることが示唆された。
- 今後は、劣化メカニズムを整理した上で、防食被覆などに求められる性能評価手法や、各施設のリスクに見合った実施可能な調査・点検手法の確立に向けた検討を行っていく予定である。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、多くの地方公共団

体や関係団体等の協力を得た。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 国土交通省HP：令和元年度末の汚水処理人口普及状況について
https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000455.html (R3.1.20閲覧)
- 2) 日本下水道事業団：コンクリート防食塗装指針(案)、1987
- 3) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設設計・計画指針と解説(前編)、pp.408~401、2019
- 4) ライフサイクルサポート研究会：コンクリートの浸食性炭酸腐食と対策、月刊下水道、Vol.27、No.1、pp.116~119、2004
- 5) 川東龍夫ほか：酸素活性汚泥処理法を用いた下水施設におけるコンクリートの腐食メカニズム、土木学会論文集、No.599/V-40、pp.23~29、1998 など
- 6) 菅原充ほか：高度処理施設における土木構造物の劣化に関する研究、第55回下水道研究発表会講演集、pp.851~853、2018 など
- 7) 森忠洋ほか：コンクリート微生物腐食の診断方法、下水道協会誌、Vol.33、No.12、pp.54~64、1991
- 8) 三好曜子ほか：酸性排水が管きよに及ぼす影響について～下水道施設の損傷事例～、第56回下水道研究発表会講演集、pp.734~736、2019
- 9) 西浜完治ほか：汚水管腐食の2、3の事例、第26回下水道研究発表会講演集、pp.161~163、1989
- 10) 吉田真悟ほか：ビルピット用ライニング材の厨房排水による劣化機構に関する研究 その1 排水と喫水面浮遊物の成分分析、日本建築仕上学会2014年大会学術講演会研究発表論文集、pp.27~30、2014
- 11) 清水克祐ほか：有機酸によるコンクリート防食被覆層の腐食に関する実施調査、第56回下水道研究発表会講演集、pp.860~862、2019
- 12) 岡山安幸：下水処理場内の酢酸濃度、第27回下水道研究発表会講演集、pp.248~250、1990
- 13) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル、pp.64~68、2017
- 14) JIS K 7171 プラスチックー曲げ特性の求め方、2016

宮本豊尚



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 主任研究員
MIYAMOTO Toyohisa

高橋啓太



研究当時 土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 研究企画課 主事(併) 研究評価・国際室
TAKAHASHI Keita

重村浩之



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員
SHIGEMURA Hiroyuki

新田弘之



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博士(工学)
Dr. NITTA Hiroyuki