

守山ポンプ場における コンクリート劣化の原因分析と対策

重森 玲子¹・中川 和馬²

¹南部流域下水道事務所 施設担当

²南部流域下水道事務所 施設担当

本県には供用開始から相当年数の経過した下水道コンクリート施設が多く存在するため、その腐食対策を順次行っているところである。

対策工事については、劣化状況調査の結果を踏まえて定めた優先順位に基づき実施しているが、腐食の進行速度は一様でなく、工事着手後に想定を超える劣化箇所が発見されることがある。

平成26年度発注の守山ポンプ場吐出井防食対策工事においてこのような現象が見られたため、原因およびその対策について考察する。

キーワード 下水道施設、コンクリート防食対策工事、硫化水素対策

1. はじめに

湖南中部処理区は、大津市や草津市等の9市2町の汚水を草津市の矢橋帰帆島にある湖南中部浄化センターで処理しており、処理水量・処理区域面積・処理対象人口とも滋賀県で最も規模の大きな処理区である。

管渠施設の整備状況としては、管渠は全体計画183.5km中176.6km、中継ポンプ場は7か所中7か所を整備済みであり、1982年4月の浄化センター供用開始以降、最も古いもので33年間の経過している。このため管理施設の中には改築更新または修繕を必要とする施設が多数あり、土木施設についてはマンホールの防食対策工事を中心に順次修繕工事を進めている。

2. 下水道におけるコンクリート防食技術の概要

(1) 硫酸によるコンクリート腐食の機構

下水道コンクリート施設の腐食の主な原因は硫酸である。施設内での硫酸の生成には「硫酸塩還元細菌」および「硫黄酸化細菌」の2種類の細菌が関わっている。

汚水中の溶存酸素濃度(DO)が低下すると、嫌気性の「硫酸塩還元細菌」が汚水中の硫酸イオン(SO_4^{2-})から硫化水素(H_2S)等の硫化物を生成する。

硫化水素ガスが汚水中から気中に放散する。

コンクリート表面で好気性の「硫黄酸化細菌」が硫化水素から硫酸(H_2SO_4)を生成する。

コンクリートと硫酸が反応し、二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)が生成される。

二水石膏は非常に脆い性状であり、指を簡単に突き入れることが出来る。また流水の影響で自然に剥落するようになる。

(2) 硫酸によるコンクリート腐食が発生しやすい箇所

前述のとおり、「硫酸塩還元細菌」は嫌気性細菌、「硫黄酸化細菌」は好気性細菌である。このため(1)のプロセスは、酸素が外部から供給されにくい箇所が存在する場合に、それに近接する管渠や水槽の気層部、すなわち水面より上の部分で発生しやすい。硫酸によるコンクリートの腐食が発生しやすい箇所の代表的な例として、次のようなものがある。

- ・ 圧送管吐出し部
- ・ 伏越し管の上下流
- ・ ポンプ場流入部および吐出し部
- ・ 処理場内の流入水路や連絡水路から各水槽への流入部

またこの他に、污泥処理施設は細菌の活動が活発であること、臭気対策上密閉構造であること、污泥を機械攪拌する作業を伴うことから、腐食しやすい箇所が多い。

(3) コンクリート防食技術の種別・適用範囲

腐食への対策技術には、(2)のような箇所での施設の構造や運転方法を改善したり、酸素注入等の対策を行ったりする「腐食抑制技術」と、コンクリートに耐硫酸性を付加する「防食技術」がある。

既設構造物の修繕工事では、

- ・ 副管などの構造改善（腐食抑制技術）
- ・ インパートコンクリートの耐硫酸性のコンクリートへの打ち換え（防食技術）
- ・ 躯体コンクリートの表面の被覆（防食技術）

といった工事を実施している。

コンクリート被覆工法の設計は、硫化水素の発生程度と補修等の難易に応じて行う。対象施設を年間平均硫化水素濃度に応じ、腐食環境 ～ 類に分類し、さらに代替施設の有無や立入りの容易さ等から、点検・補修・改築の難易を「容易」「困難」の2種類に分類する。

コンクリート被覆工法には大きく分けて「塗布型ライニング工法」、「シートライニング工法」、「耐硫酸モルタル防食工法」の3工法が存在し、腐食環境やその後の維持管理計画を鑑みて適した工法を選定する。3工法のうち最も厳しい腐食環境「類」、かつ点検・補修・改築の難易「困難」の現場に適用できる工法は、「シートライニング工法」のみである。

3. 守山ポンプ場吐出井防食対策工事について

(1)施設の概要

守山ポンプ場は、1984年11月に通水を開始した湖南幹線の中継ポンプ場である。実揚程は11.9mであり、現在241m³/minの揚水能力を持つ。上流の関連市町に野洲市、湖南市、甲賀市、近江八幡市、東近江市、日野町および竜王町の5市2町があり、湖南中部処理区で最も規模の大きなポンプ場である。

当該ポンプ場の吐出井は、内空が幅4.8m×長さ29.7m×高さ7.9mのコンクリート構造物である（図-1）。

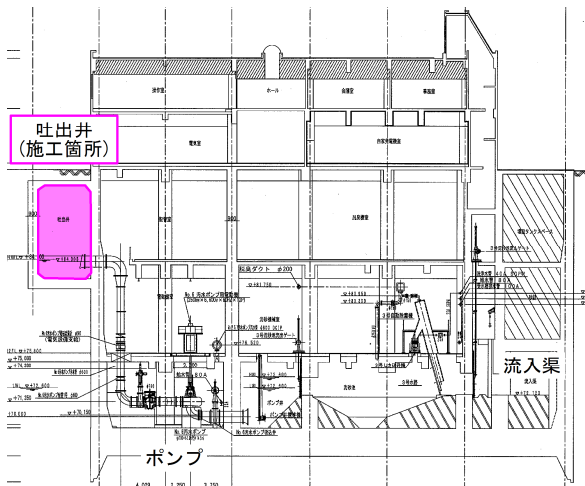


図-1 守山ポンプ場断面図

(2) 防食対策工の設計

2.(2)に挙げたとおり、中継ポンプ場の吐出し部は、コンクリートの腐食が発生しやすい箇所である。そこで、当該箇所を含むマンホールおよびポンプ場の腐食危険箇所について抽出し、2008年に調査業務を実施した。その結果、当該施設の劣化の進行程度を表す中性化深さは33.25mmであった。なお、硫化水素濃度は同ポンプ場内の上流側に位置する施設であるポンプ井で測定したところ、年間平均1.3ppm、年間最大33ppmであった。この硫化水素濃度は腐食環境分類では「類」に相当し、南部流域下水道事務所管内の他の施設に比べ際立って厳しい環境とは言えない。ただし、同調査において「類」に分類されたそれ以外の箇所は、いずれも中性化がほとんど見られないか、中性化深さ10mm未満であった。当該施設は、ポンプ運転により一時的に高濃度の硫化水素にさらされることが多いため、平均硫化水素濃度が低いにもかかわらず劣化が進んだものと思われたため、対策が必要と結論付けた。

調査の結果を受け、それ以降劣化の著しいマンホール等について順次防食対策工事を実施しており、当該施設については2014年に工事を発注した。設計に際し、上記調査の結果と、近傍地で過去に実施した防食対策工事の実績を参考に、劣化深さは壁面で平均 $t=50\text{mm}$ 、天井面で平均 $t=30\text{mm}$ と想定した。また工法の選定については、平均の硫化水素濃度はさほど高くないものの、代替施設が無く、補修工事のために大規模な仮設を要することなどから、「シートライニング工法」を選定した。

(3) 劣化の実状

工事着手後に実施した詳細な調査で、コンクリート表面の劣化が想定よりもかなり進行していることが明らかになった。

天井部は、劣化深さが設計 $t=30\text{mm}$ に対し、実際は $t=52\text{mm}$ であった。壁面部は、4面で劣化の程度がかなり異なり、最も劣化程度が小さい東側壁面の劣化深さが、設計 $t=50\text{mm}$ に対し実際は $t=66\text{mm}$ 、最も劣化程度が大きい西側壁面で $t=120\text{mm}$ であった。ただし壁面については、計測する高さによってかなりばらつきがあった。

なお、いずれの面も二水石膏化したコンクリートが自然に剥落しており、コンクリート断面に欠損が生じていた。このため、ここでいう「劣化深さ」とは、セパレータの位置から竣工当時のコンクリート表面の位置を推定し、現地でフェノールフタレイン法により計測した中性化深さに、既に欠落したコンクリートの厚さ分を加えた数値であり、グラウト材による断面修復厚さに等しい。

またコンクリート表面の剥落により、広い範囲で鉄筋が露出しており、うち一部は明らかに断面が減少し、中には破断しているものもあった（写真-1）。このため、断面減少あるいは破断した鉄筋については更新し、露出

はしているが断面は欠損していない鉄筋については防錆処理を行った。ポンプの吐出口にあたる鋼管についても発錆が激しく、防錆処理を行った（写真-2）。

なお、硫化水素による腐食の進行とは別に、コンクリート打ち継ぎ目から地下水の浸入が見られた。浸入水の存在は防食被覆層の品質に重大な影響を及ぼすため、これについても本工事中で対策を行った。



写真-1 鉄筋露出，破断状況



写真-2 ポンプ吐出管腐食状況

4. 劣化進行の原因についての考察

(1) 既往研究における劣化の進行予測について

一般に、二酸化炭素によるコンクリートの中性化の進行速度は、経過年数の平方根に比例するとされている。このため2009年7月策定の『琵琶湖流域下水道ストックマネジメントガイドライン』においては、硫化水素による劣化の進行についてもそれを参考にし、処理場・ポンプ場の土木・建築施設の劣化予測式について、下式(1)および(2)のとおり設定している。

腐食環境区分が高い場合

$$y = 7.53\sqrt{t} \quad (1)$$

腐食環境区分が比較的低い場合

$$y = 5.70\sqrt{t} \quad (2)$$

ここに、

y : 劣化因子の浸透深さ (= 中性化深さ) (mm),

t : 劣化因子となる物質にさらされる期間(年)

また、対象箇所でも過去に中性化試験を実施している場合、その試験結果を基に施設ごとに $y=bt$ もしくは $y=b \cdot t$ (b は比例定数)の式形の劣化予測式を作成することを基本としている。守山ポンプ場吐出井の場合、2008年の試験結果を用いて b を算出し、劣化予測式は以下の式(3)のようになる。

$$y = 1.385t \quad (3)$$

3.(3)の劣化深さについて、加重平均により求めた吐出井全体の平均劣化深さと、上記3式により求めた想定の劣化深さを比較すると下の表-1および図-2のようになる。

表-1 実際の劣化深さと予測式により算出した値の比較

	劣化深さy(mm)
式(1)	41.24
式(2)	31.22
式(3)	41.55
実測	70.28

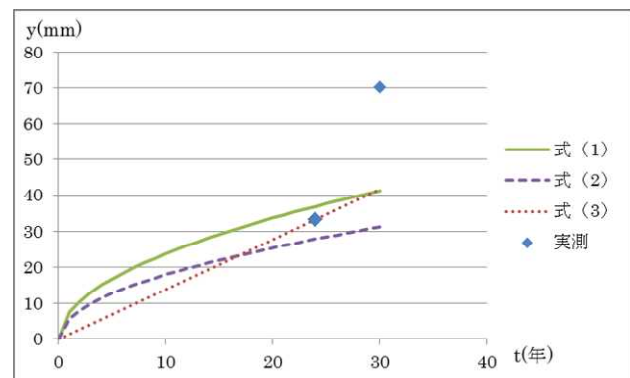


図-2 劣化予測式グラフ

式(2)は比較的腐食しにくい環境での劣化予測式であるため、他の2式よりも小さい値となっているが、いずれの予測式においても実際の劣化深さよりも過小な予測となっていた。

(2) 測定箇所による劣化程度のばらつきについて

同じ壁面でも、測定位置によって劣化の程度に大きなばらつきが見られた。全体に、天井付近は劣化の程度が小さく、中・下層部の西寄りに劣化の進んだ箇所が見られた（図-3）。また、床面から高さ約0.5mまでの箇所にはほとんど劣化が見られなかった。

汚水の流入口については、5本のポンプ吐出管のうち、未整備の箇所を除く、4本の吐出管が稼働している。吐出管の配置間隔は均等ではなく、やや東側に偏っている。また流出口については、ポンプ吐出管の反対側の壁面東寄りに1箇所存在する。流出渠底面は吐出井床面よりも約0.5m高い位置にある。

高さ約0.5mまでの範囲で腐食が起こっていない理由は、硫化水素による腐食は気層部で起こり、常時浸水している範囲では起こらないことから明らかである。

天井付近の劣化が小さいことについても、管渠の劣化は水面に近い部分で特に激しいことが知られている。吐出井はポンプの運転状況により水位が大きく変動するため、中・下層部の広い範囲で劣化が進んだものと思われる。

西側壁面の劣化が激しい理由として、流れが滞り汚泥が堆積しやすい箇所であることが考えられる。実際に、西側壁面付近の床には、二水石膏化し剥落したコンクリートと思われる堆積物が確認された。

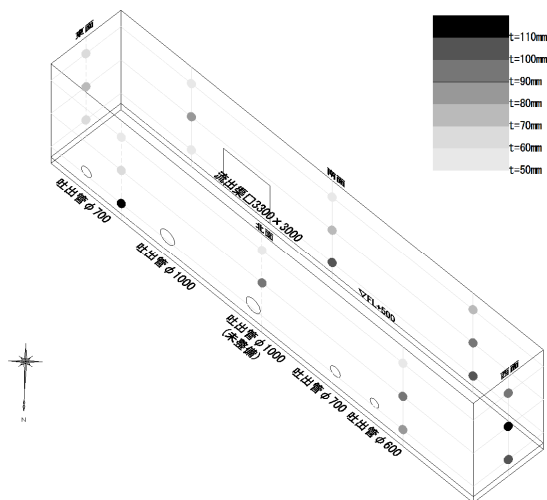


図3 箇所ごとの劣化深さ

(3)劣化が進行する要因について

今回の例のように、ある時点から劣化の進行が急に早まる現象について、次のような要因が考えられる。

流入水質の変化

ポンプ場運転時間等の変化

周辺状況の変化

および については、2008年以降にポンプ場への流入水質や運転状況にそれまでと大きく変わった点は無い。

については、調査を行ったのと同じ2008年に、当時吐出井よりも腐食の進行していた吐出井直下流の流出渠に対し、腐食対策のためFRPM管を内挿する大規模修繕工事を実施している（図-4）。

これにより、下流側コンクリートを腐食させることで消費されていた硫化水素が上流側の吐出井内に留まり、

吐出井内の腐食が進行したと考えられる。

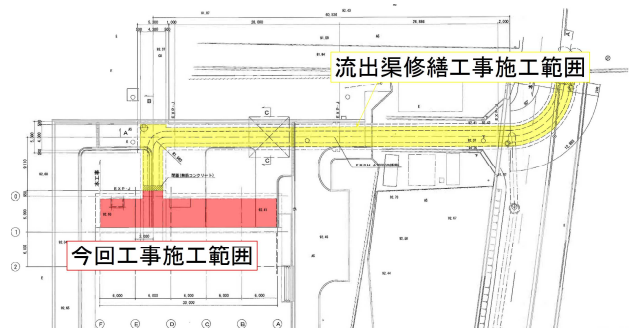


図4 大規模修繕施工箇所

5. 今後の対策について

(1)弾力的な点検計画

湖南中部処理区では、管渠内のTVカメラ点検を7年に1回程度の頻度で実施しており、マンホールは、年間1回（硫化水素による腐食危険箇所については年間2回）の目視点検を実施している。

今回の件から、防食対策を行った箇所の周辺は、劣化がそれまでよりも早く進行するおそれがあると推測される。このような箇所は、今後劣化の進行に注意を払う必要があり、できれば中性化試験を行うことが望ましい。

ただし、他の箇所の点検頻度はそのままに、腐食の進行が予想される箇所の試験等を追加で行うことは予算や人員体制の制約上限界がある。そこで、簡易な調査等により、詳細調査が必要な箇所のスクリーニングを行うことが有効である。

3.(2)で挙げた2008年に実施した調査は、事前に抽出した危険箇所を対象としているが、これは定期点検で異常が見られた箇所のほか、上流に工場排水や圧送管が存在すること等、いくつかの条件を基準としている。これを参考に、腐食環境が変化すると予想される箇所を抽出し、簡易な調査により詳細調査や補修の要否を判断することで、労力や費用を抑えつつ必要箇所の監視が可能と考える。

具体的には、

- ・ 上下流で大規模な防食対策工事をを行った
- ・ 流入する公共下水道で新たに管渠が整備された
- ・ 上流で大きな土地利用形態の変更があった

等の条件が当てはまる箇所について、変化の前後で硫化水素濃度の観測を行い、有意な変化が見られた場合のみ中性化試験等の詳細調査を行い、必要であれば対策を施す。ただし、上記条件のうち2点目と3点目は密接に関係しているため、実際には県および関連市町の下水道工事の動向を注視することになる。

また腐食の危険が小さく、土質や地上の状況等から外

力による変状の可能性も小さいと考えられる箇所については、点検の頻度や項目を減らすことにより業務の効率化が図れる。

(2)劣化予測式の見直し

4.(1)で述べた予測式は、あくまで同ガイドライン策定時点での既往調査結果を基にしているため、試験結果データの蓄積に応じ適宜見直す旨ガイドラインに明記されている。

今後調査や修繕工事が進むことで、中性化試験結果のデータが増えれば、処理場・ポンプ場の施設全般の式ではなく施設の種類や規模、供用年数等により予測式を細別化し、よりそれぞれの施設の実情に即した形に見直していくことが可能である。

6. まとめ

守山ポンプ場におけるコンクリート劣化の原因分析と対策についてまとめると以下のとおりとなる。

- ・ 守山ポンプ場吐出井の天井面および壁面に対し、「シートライニング工法」により防食対策工事を行った。

- ・ 劣化の進行程度は想定を大きく超えていた。
- ・ 劣化の速度が急にそれまでよりも大きくなる理由としては、直下流の流出渠で大規模な防食対策工事を行ったことが考えられる。
- ・ 今回のように腐食環境が変化すると考えられる箇所をピックアップして腐食の危険性を判定する必要がある。

琵琶湖流域下水道は膨大な施設のストックを有する。その多くは地下に存在する上に代替施設が無いため、施設の更新はもちろんのこと、補修や点検にも非常に労力を要する。このため、重要箇所について選択的に点検を行う効率的な維持管理手法を考案し、その後も状況の変化に合わせて見直していく必要がある。今回の工事で得られた情報を活かし、施設の維持管理について考えていきたい。

参考文献

- 1) 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
- 2) 滋賀県琵琶湖環境部下水道課：琵琶湖流域下水道 ストックマネジメントガイドライン