

鉄バクテリア存在下における維持管理を考慮した ステンレスタンクの設計事例

日本水工設計(株) 東京支社 池田春樹

ステンレス鋼材は腐食が生じにくく、維持管理性に優れた材料として知られているが、ステンレスタンク内に鉄バクテリアが存在した際には鋼材の腐食が懸念される。

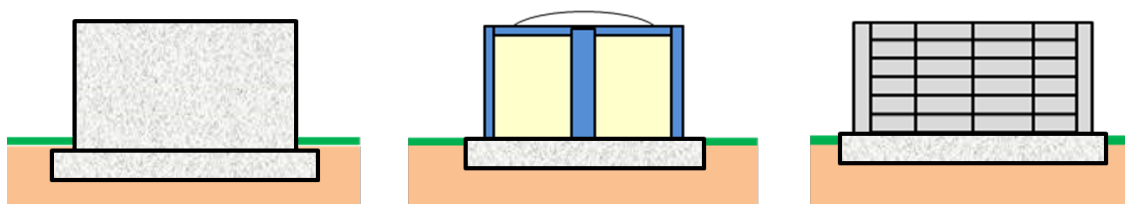
本発表では、配水池更新における材質比較の際に、既設配水池内から鉄バクテリアが検出された状況を踏まえ、鉄バクテリアの存在が配水池の維持管理に及ぼす影響を想定し、ライフサイクルコストを試算した結果、ステンレスタンクを採用した事例を紹介する。

今後は、ステンレスの腐食原因と対策効果を明確にし、対策方法の確立に繋げたい。

Key Words : 鉄バクテリア、ステンレスタンク、配水池材質比較

1. はじめに

配水池の材質には、鉄筋コンクリート製 (RC 製)、プレストレストコンクリート製 (PC 製)、ステンレス製 (SUS 製) が多く用いられている。なかでも、ステンレスタンクは建設費用が嵩むものの、材質の特性上、腐食が生じにくく、防食対策の必要がないため維持管理性に優れており、RC 製や PC 製と比較してライフサイクルコストを抑えることが可能な場合がある。しかし、原水中に鉄バクテリアが存在し、浄水過程で除去されずにステンレスタンクに流入した場合には、ステンレス鋼材の腐食が懸念される。ここでは、A 市浄水場配水池更新において、鉄バクテリア存在下における維持管理を考慮してライフサイクルコストによる比較を行ったうえで、ステンレスタンクを採用した事例を紹介する。



(1) 鉄筋コンクリート製 (2) プレストレストコンクリート製 (3) ステンレス製

図-1 配水池材質

2. 配水池整備計画について

本発表の対象配水池は A 市浄水場更新に伴い浄水場内に整備する配水池である。既設浄水場は原水として表流水を使用している。浄水場の更新にあたっては、近隣が埋蔵文化財を保有する公園用地であること等から更新浄水場規模を整備できるスペースの確保が困難であったため、既設浄水場内で浄水処理の運転を継続しながら更新を行うこととした。

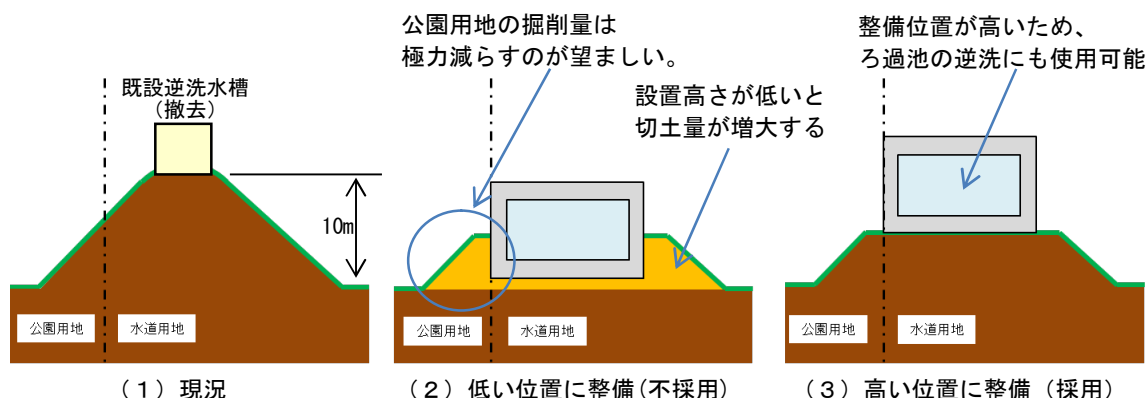


図-2 配水池整備高さ

配水池設置位置は、現況において高さ 10m 程度の丘陵の形状をなしている(図-2(1))。そのスペースに配水池を整備する際の検討を以下に示す。

配水池が高い位置にあると、流入ポンプの揚程が増大するため、維持管理費が高む。一方で、配水池の下流には送・配水ポンプを設置するため、流出水の水圧条件はポンプで調整可能であるが、配水池が高い位置にある方が流出においては有利であるといえる。

施工上の観点からは、配水池が低い位置にあると、切土が丘陵の裾に近づくほど切土量が増大し、工期も長くなることが懸念される(図-2(2))。また、切土範囲が水道用地を超えて隣接する公園部分にも及ぶため、本設計においては、切土量を極力減らし、高い位置に配水池を整備することとした。このことにより、配水池は浄水場内にあるろ過池等の逆洗水槽としても使用することが可能となった。

配水池の形式には、配水塔のような背の高い構造物にすることで面積をコンパクトにする方法も考えられるが、躯体及び基礎の施工性、経済性から不利であり、維持管理上も流入ポンプの揚程が高くなるため採用しないこととし、ここでは、配水池（有効水深：3～6m 程度）として扱った場合について検討することとした。

よって、水位に関する設計条件は逆洗水槽としての水圧を確保できる高さとする事とした。なお、配水池容量は約 2,000m³である。

3. 配水池材質の選定

配水池の材質には、鉄筋コンクリート製（RC 製）、プレストレストコンクリート製（PC 製）、ステンレス製（SUS 製）が一般的である。それぞれの特徴を以下に示す。

(1) 鉄筋コンクリート製（RC 製）

一般的に材料・工事費が安価な工法であり、池状構造物等に多く用いられている。重量が大きいため、基礎工事の規模が大きくなる。鉄筋腐食対策として防食塗装を用いることが多く、20 年程度の周期で内外面防食塗装の塗り替えを行う。地下式又は半地下式にすること

で水圧による広がり土圧を押さえることができるため構造上有利であるが、前述のように今回は地上式が前提となる。地上式においては、外側に広がろうとするため、その緊張を抑えるために PC 緊張工を計上した。

土圧により水圧による広がりを抑える。今回は前述の通り採用しない。

土圧が掛からないため、PC 緊張工を行い、水圧による広がりを抑える必要がある。

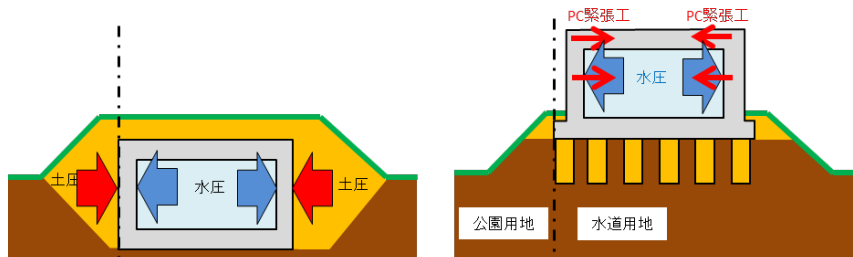


図-3 鉄筋コンクリート製配水池における水圧への対応

(2) プレストレストコンクリート製 (PC 製)

コンクリートに緊張力を与えることで地上式であっても内水圧に抵抗するため、RC 製よりひび割れが生じにくく、壁厚を薄くすることができる。壁を薄くすることで材料費や基礎に掛かる費用を抑えることができる。維持管理は RC 製同様、20 年程度の周期で内外面防食塗装の塗り替えを行う。プレストレスを作用させる工程があるため、施工の難易度が比較的高い。

(3) ステンレス製 (SUS 製)

ステンレス製は重量が軽く、工期が短縮可能であることに加え、材料の耐食性が高いことから、防食塗装が不要となる。なお、他構造形式と比べ材料費が高く、全面ステンレス溶接のため、高い施工技術も必要となる。将来撤去する際には材料のリサイクルが容易である。

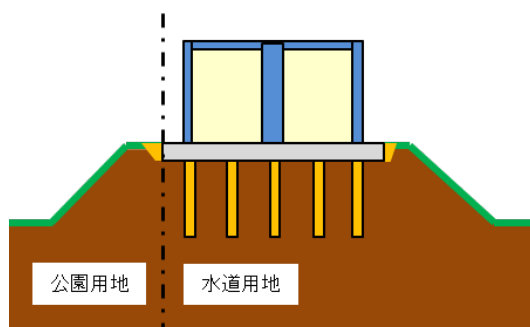


図-4 PC 製配水池建設イメージ

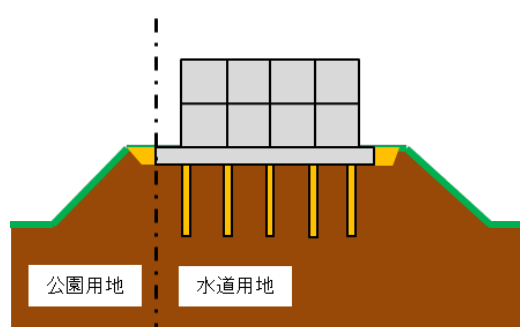


図-5 SUS 製配水池建設イメージ

以上を踏まえ、表-1 に配水池材質比較表を示す。

表－1 配水池材質比較表

項 目	SUS 製	PC 製	RC 製
建設費	546 百万円	492 百万円	613 百万円
維持管理費	28 百万円	173 百万円	134 百万円
解体・撤去費	68 百万円	60 百万円	67 百万円
処分費	▲13 百万円	9 百万円	16 百万円
ライフサイクルコスト（60 年）	629 百万円	734 百万円	830 百万円
工期（現場）	4 ヶ月	6 ヶ月	7 ヶ月
考察	本浄水場における条件では最も施工性が良く、工期短縮を図ることができる。高い耐食性能によりメンテナンスに必要な手間やコストを低減でき、ライフサイクルコストで最も安価のため、採用案とする。	建設費を抑えることができるものの、施工性、再利用、工期の点でステンレス案に劣る。維持管理費及び撤去工事における費用と建設副産物の処分等を踏まえると高額であり、不採用とする。	本浄水場における施工条件では地下式が難しく地上式となるため高額であり、施工性も他案より劣る。維持管理及び撤去工事における費用と建設副産物の再利用を踏まえると高額であるため、不採用とする。
評価	◎（採用）	△	△

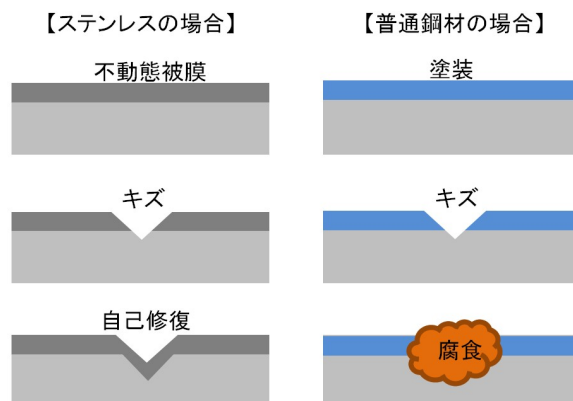
以上より、ステンレスタンクは建設費用が嵩むものの、メンテナンスフリーであり、RC 製や PC 製と比較してライフサイクルコストを抑えることが可能であると考え、ステンレスタンクを採用する方向（決定ではない）で検討を進めた。

4. 鉄バクテリア存在下におけるステンレスタンクの腐食対策

4-1. ステンレスの性質と腐食事例

前述の検討で示されたように、ステンレスタンクは建設費が嵩むものの、腐食が生じにくく、塗装及びその塗り替えを必要としないメンテナンスフリーな材料として配水池や受水槽について多数の採用実績がある。

ステンレスは鉄（Fe）を主成分（50%以上）とし、クロム（Cr）を 10.5%以上含む合金であり、表面に不動態被膜と呼ば



図－6 ステンレスの自己修復機能

れる薄い膜が形成されている。不動態被膜は傷ついて破壊されても瞬時に再生する性質を持っており、このことで高い耐食性が実現されている。（図－6）

しかし、本業務では他自治体におけるステンレスタンクの整備事例を参考にすることを目的として、B 市に整備されたステンレスタンクの清掃時に内部を調査する機会を設けたところ、ステンレスタンク内に鉄バクテリアの影響によるものと見られる腐食が確認された。これを受けて、A 市の浄水場の既設配水池の水質調査を行ったところ、ここでも鉄バクテリアが検出されたため、ステンレスタンクの腐食対策について検討が必要であった。以下にその詳細を示す。

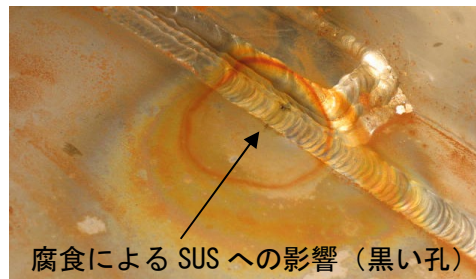
4-2. 配水池内の鉄バクテリア検出（B 市の事例）

B 市の配水池（水源：自己水源（地下水）と用水受水（表流水）の混合、容量：約 10,000m³）の内部で見られたステンレスの腐食状況を以下に示す。

- ① 鉄分酸化により茶色のスライム（径 15cm 程度、底版端部）が形成されている。
- ② スライム状の鉄錆を除去すると中心に黒い点の腐食が確認されている。
- ③ 水の流れが滞留しやすい箇所（補強材と壁の間等）で腐食が発生している。
- ④ ステンレスの材質に SUS304 を水中で用いた部分に腐食が発生している。
- ⑤ 地下水と浄水処理済みの表流水の混合水を原水とする配水池内で発生している。
- ⑥ 配水池内の水中には鉄バクテリアが検出されている。（数十個程度／100ml）
- ⑦ 清掃は 3 年に一度程度の頻度で行っている。
- ⑧ 腐食箇所は 20 箇所程度である。



図－7 ステンレスタンク内腐食状況



図－8 腐食スライム除去後

4-3. 鉄バクテリアによるステンレスの腐食発生要因の推定

鉄バクテリアとは、水中に溶存している鉄を酸化し、水に不溶性の水酸化鉄（Ⅱ）又は（Ⅲ）とし、これを菌体の内外に沈着、蓄積する性質を持つ細菌である。

ステンレスの腐食の原因について一般的には、表面の不動態被膜が塩素やきず等の原因により破壊され、自己修復が行われる前に内部まで酸化が進行することが知られている。

本事例においても、配水池内で鉄バクテリアが水中に溶存している鉄分を酸化し、不溶性の酸化鉄となりステンレス配水池の壁面、底部、補強部材等に沈着することや、材料表面に付着した有機物に鉄バクテリア等の微生物が集合して酸素濃淡電池が形成され、不動態被膜が破壊されたことで、腐食が進行しているものと考えられる。

4-4. A 市既設配水池からの鉄バクテリア検出

（1）調査の目的と測定方法

本調査は、A 市浄水場内の既設配水池において鉄バクテリアを測定し、現行の塩素滅菌の性能を確認するとともに、新設する配水池の材質及び維持管理レベル等の検討の参考として用いることを目的とした。検査試料は、既設配水池の流出側搬入口より容器（ステンレス製・50）を投入し、上層の水を汲み上げ、1L ガラス瓶に 2 本採取した。分析方法は、検水一定量（通常 500ml）をろ過し、油浸の後、顕微鏡で検鏡し鉄バクテリアの有無を確認した。

(2) 調査結果

検査機関にて測定した結果、鉄バクテリアの一種であるクレノスリックス属を少数確認した。図-9 に顕微鏡写真を示す。A市浄水場の既設配水池には、鉄バクテリアが少数存在していることが確認された。ただし、配水池内の残留塩素濃度は0.9mg/l程度確保されていることから、ほとんどは塩素滅菌により死滅し、薬品沈澱池または急速ろ過池で除去されているものと推測される。また、本調査で確認された鉄バクテリアは、配水池流出側の上層の水に存在しており、比較的水流が少ないため、滞留により残留塩素濃度が低下しやすいエリアであることから、存在が可能であったと考えられる。



図-9 鉄バクテリア写真
(A市既設浄水場配水池)

4-5. ステンレスタンクの腐食対策方法と対策費用

ステンレスタンクの腐食対策には、腐食箇所を補修するため、耐腐食性能に特に優れるSUS329J4Lの板材を溶接して取り付ける方法とした。1箇所当たりの対策の費用は10万円程度（直接工事費）である。5年に1度の清掃に併せて補修を行うこととし（60年当たりで11回）、B市の事例における規模と頻度を参考に、1回当たりの清掃時に5箇所程度の補修を仮定して、5,500千円を計上した。なお、補修以外の清掃及び諸経費を加味して維持管理費は38,000千円（当初28百万円）となった。以上を加味したライフサイクルコストの比較を表-2に示す。ステンレスタンクの腐食対策として腐食箇所の補修を加味した場合においても材質の評価順位に変動はなく、最終的にステンレスタンクを採用することとし、当初の方針に変更は生じなかった。

表-2 配水池材質の概算工事費による比較（諸経費込、有効容量約2,000m³）

項 目	SUS製	PC製	RC製
建設費	546百万円	492百万円	613百万円
維持管理費	38百万円	173百万円	134百万円
解体・撤去費	68百万円	60百万円	67百万円
処分費	スクラップ ▲13百万円	9百万円	16百万円
ライフサイクルコスト(60年間)	639百万円	734百万円	830百万円

5. 得られた知見

ステンレスタンクは、建設費用が嵩むものの、維持管理費を抑えることができるという長所がある。しかし、ステンレスタンク内に鉄バクテリアが存在した場合には、腐食対策のための補修が必要となる。本事例においては、その際の維持管理費を加味してRC製やPC製の配水池とのライフサイクルコストの比較を行ったが、ステンレスタンクの維持管理費は大きく増加することなく、比較案の評価に変動はなかった。

今後の課題としては、ステンレスの腐食の原因（塩素やきずによる不動態被膜の破壊、異種金属接触腐食、滞留による微生物繁殖等の要因）を解明することで、対策効果を明確にし、対策方法を確立していくことができるものと考えられる。