

(8-34)給水過程における残留塩素の消失と亜硝酸態窒素の生成 - 地下水を浴槽水などとして給水する旅館業施設の事例 -

○吉川 循江(横浜市衛生研究所) 堀切 佳代(横浜市衛生研究所)

【はじめに】横浜市では水量の確保と安定した水質の地下水を取水するため被圧(深層)地下水を水源としている専用水道施設が多く、その原水水質は還元性を示し「アンモニア態窒素(NH4-N)」が多量に検出される。これらの施設では浄水処理の過程でしばしば「亜硝酸態窒素」が生成し課題となっている。旅館業施設において「NH4-N」を含む地下水を浴槽水・シャワー湯などとして給水する施設で、給水末端の給水栓から残留塩素が検出されない施設があった。施設内の給水過程で「亜硝酸態窒素」が生成して残留塩素が消失してしまうことを防ぐため塩素注入を見直したところ、結合残留塩素が検出されるように改善されたので、この施設の残留塩素濃度管理について1年間の取組みを報告する。



図 浄水処理・給水設備概要

【給水開始前の水質検査】施設側による給水開始前(平成8年9月)の地下水原水の水質検査(12項目)では、原水から一般細菌が検出された。平成8年11月に処理水(給水末端)で46項目、「NH4-N」及び残留塩素の検査を行い(表1)、一般細菌が基準値以下になったことを確認したのち給水開始した。これは平成4年当時の水道水質基準46項目に基づく検査だった。以降、水質基準が改正されたが水道水質基準に係る検査は実施していない。

【検討方法】既存の塩素注入設備では不連続点塩素処理することは難しいため、既存の設備を活用し、水質検査結果をもとに次亜注入を見直して残留塩素が検出される方法を検討した。

【採水場所・日時】5か所(①原水、②処理水、③高置水槽水、④給水末端水、⑤貯湯槽経湯)。平成28年10月、29年2月、7月、10月。

【結果】【原水①水質検査結果】原水の水質検査結果の一部を表1に示した。4回の検査で①原水から「ヒ素」は検出されず、「NH4-N」を2.3~2.7mg/L検出し、「色度」は2/4回水質基準(5度)を超過した。給水開始から20年経過し、主要イオン組成の違いなどから原水の水質が平成8年当時とは変化し、可能性が考えられた。取水するスクリーン上の位置や数が不明であり、「硝酸態窒素」を含む不圧(自由)地下水と「NH4-N」を含む被圧地下水が混合されて、その混合比率が変動している可能性も考えられた。引き続き原水水質の季節・経年変動の把握が必要である。

【給水工程の水質検査結果・対策結果】給水工程②、③、④、⑤の水質検査結果の一部を表2に示した。1年かけて次亜の注入量や濃度を段階的に増加させ検査したが、4回の検査で「遊離残留塩素(遊離残塩)」が検出されたことはなかった。④給水末端水から「NH4-N」や「亜硝酸態窒素」が検出されたため次亜を消費していたと考えられた。塩素注入ポンプを交換せずにこれ以上次亜を注入することは難しく、「NH4-N」を含む地下水を原水としてこれ以上次亜を注入することは難しく、「NH4-N」を含む地下水を原水として「結合残留塩素(結合残塩)」で管理することとした。「結合残塩」は平成29年10月に安

定して④給水末端水から検出されるようになり、その濃度は②処理水で4.0mg/L、④給水末端水で1.3mg/Lだった。一連の検査で「結合残塩」の消費・減少は処理水槽から高置水槽までの上り配管での減少幅が1.1~1.8mg/L、高置水槽から給水末端までの下り配管での減少幅が0.3~0.9mg/Lで、上り配管での減少が大きい。水質基準のある「色度」は④給水末端で基準超過が(3/4回)認められ、「色度」を②処理水と④給水末端で比べると④給水末端が高く、給水過程で着色していた。同じ給水末端から採水した貯湯槽を経由する⑤シャワー湯と比べても④給水末端の「色度」は高い。処理水槽の底には茶色の沈殿が認められていた。「濁度」はいずれも0.1未満~0.1度であった。「pH」は7.5~8.0。「KMnO4消費量」は④給水末端で3.5~11mg/Lと変動していて基準(10mg/L)を平成29年2月に超過し、①原水2.7~4.0mg/Lと比べて給水過程で2~4倍に増加していた。有機物汚染量の別の指標である「TOC」が0.67~0.83mg/Lの範囲にあることから、「KMnO4消費量」の高値(11mg/L、7.3mg/L)は有機物汚染ではなく、生成された「亜硝酸態窒素」約1mg/Lの影響を受けていると推測された。④給水末端水で「亜硝酸態窒素」が0.19mg/Lに下がった平成29年10月は「KMnO4消費量」が給水過程で数倍に増加することはなかった。「亜硝酸態窒素」は浄水処理・給水の過程で「NH4-N」から生成したと推定された。

【次亜塩素酸Naの検査結果】注入している次亜を葉液貯槽(屋内設置)から採取し検査結果を表3に示した。6%次亜の有効塩素は5.9~6.2%で劣化はなかった。12%次亜の7月の有効塩素は10.2%で、6%次亜が葉液貯槽に残る状態で12%次亜を補給したため濃度が低下したと推測され、10月には11.8%になった。次亜注入量を2倍以上増加させ、濃度を6%から12%に2倍にしたことで、「塩素酸」の上昇が懸念されたが、④給水末端で0.24mg/Lだった。

表3 次亜塩素酸Naの検査結果
検査項目: 次亜塩素酸Na6%, 次亜塩素酸Na12%
塩素酸(mg/kg): 2,200, 750, 2,400, 5,300
臭素酸(mg/kg): 1.1, 0.56, 1.8, 2.5
有効塩素濃度(%): 5.9, 6.2, 10.2, 11.8

【滞留時間・水温を考慮したNH4-Nの減少と亜硝酸態窒素濃度の増加】平均給水量、処理水槽の有効容量、水使用量と湯使用量の違いなどから建物内の滞留時間を数日として、平成29年7月の5試料を用いて「NH4-N」の濃度変化を調べたところ4°C保存では50日間で0.1~0.2mg/Lの減少だった。約25°Cの室温2週間保存では①原水、③高置水槽水、④給水末端水の3試料はNH4-Nが数日で減少・消失し、②処理水(2.0→1.9mg/L)、⑤貯湯槽経湯(1.6→1.5mg/L)の2試料ではNH4-Nは0.1mg/Lの減少だった。約25°Cで活動していた硝化細菌などの微生物は②処理水や⑤シャワー湯のように「結合残塩」が1.9mg/L検出された場合、または貯湯槽で60°C程度に加温された場合に活動しなくなり、「NH4-N」が減少しなかったため「亜硝酸態窒素」は生成しなかったと考えられた。

【結合残留塩素による管理にあたって】不連続曲線を作成したところ極大は約7mg/Lであった。「結合残塩」の殺菌力は「遊離残塩」に比べて弱く(同等の効果を発揮するには濃度で25倍、接触時間で100倍必要)、攪拌槽がなく接触時間が充分とれていない処理水槽とはいえないので、塩素の消失状況を考慮して④給水末端水での「結合残塩」1.5mg/Lを目標にすることにした。安定した「結合残塩」濃度で管理するには次亜:「NH4-N」の比率を極大(5:1)よりさげる必要がある。次亜注入量が極大をすぎ不安定な領域になっていないことを揚水量や検査結果から確認した。地下水に含まれる「NH4-N」を利用して「結合残塩」で管理するには「NH4-N」の濃度管理も不可欠であり、給水工程で分解されないように④給水末端水で「NH4-N」1.7mg/L程度を保持するように管理したいと考えている。

【おわりに】地下水を営業施設のカラン水、浴槽水、遊泳用プール水として利用するには公衆浴場法、旅館業法、水浴場等に関する条例が適用される。これらの施設では「生活の用に供す」洗面台の給水栓には横浜市水(水道水)が供給されているので地下水の給水量が20m³/日を超えていても専用水道に該当しない。このため、水道法に基づく51項目の水質検査は行われず、しかし、水感染症を防止するために残留塩素管理が重要となる。「NH4-N」を含む地下水を原水としている事例において旅館業法で定められている6項目の水質検査結果だけでは基準超過の原因や残留塩素が消失する原因を推定することは難しい。濃度変動する可能性がある地下水原水及び浄水処理工程水について多くの項目を定期的に水質検査することで浄水処理工程の見直しや管理が可能となる。塩素注入量を適正化し、必要に応じた処理工程の見直し等で水質を適正に管理していくことは利用者の安心・安全につながると考えられる。

表1 原水水質検査結果 平成28年10月~平成29年10月

検査項目: H28.10, H29.2, H29.7, H29.10, H8
ヒ素 <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, 0.006
亜硝酸態窒素 <0.004, 0.0045, 0.0088, <0.004, --
硝酸及び亜硝酸態窒素 0.41, 0.37, 0.75, 0.37, 1.3
フッ素 0.20, 0.35, 0.15, 0.19, 0.14
ホウ素 0.16, 0.16, 0.13, 0.17, --
塩素酸 <0.06, <0.06, <0.06, <0.06, --
臭素酸 <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, --
亜鉛 <0.005, <0.005, 0.0078, <0.005, 0.028
鉄 0.011, 0.015, <0.01, 0.017, 0.04
ナトリウム 52, 54, 47, 51, 32
マンガン 0.013, 0.014, 0.017, 0.013, 0.016
塩化物イオン 3.7, 4.0, 6.0, 4.1, 18
硬度 52, 48, 73, 49, 74
蒸発残留物 250, 240, 260, 240, 220
有機物(TOC) 0.77, 0.73, 0.67, 0.70, --
pH 8.0, 7.9, 7.8, 8.0, 7.5
色度(度) \*6.1, 4.9, 3.9, \*5.8, 3
濁度(度) <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.5
KMnO4消費量 3.3, 3.5, 2.7, 4.0, 2.1
リチウム <0.01, <0.01, 0.010, <0.01, --
アンモニア態窒素 2.7, 2.6, 2.3, 2.5, 1.3
カリウム 7.8, 7.3, 7.4, 7.2, --
マグネシウム 4.0, 3.9, 6.2, 4.0, --
カルシウム 14, 13, 19, 13, --
硫酸イオン 7.1, 6.1, 21, 7.3, --
硝酸態窒素 0.41, 0.37, 0.74, 0.37, --
遊離残留塩素 <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, --
結合残留塩素 <0.1, 2.7, <0.1, <0.1, 0.8

表2 給水工程の水質検査結果 一部抜粋

検査項目: ②処理水(処理水槽), ③高置水槽水(直下), ④給水末端水(1階客室 シャワー水), ⑤貯湯槽経湯(1階客室 シャワー湯)
H28.10, H29.2, H29.7, H29.10
ヒ素及びその化合物 <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, --, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001, <0.001
亜硝酸態窒素 0.094, 0.089, 0.23, 0.081, --, 0.40, 0.31, 0.15, 1.1, 0.96, 0.61, 0.19, 0.61, 0.49, 0.33, 0.17
硝酸及び亜硝酸態窒素 0.57, 0.55, 0.68, 0.55, --, 0.82, 0.88, 0.66, 1.6, 1.4, 1.3, 0.77, 1.1, 0.93, 1.0, 0.76
塩素酸 <0.06, <0.06, 0.11, 0.24, --, <0.06, 0.10, 0.24, <0.06, <0.06, 0.10, 0.24, <0.06, <0.06, 0.10, 0.24
鉄及びその化合物 <0.01, 0.013, <0.01, <0.01, --, <0.013, <0.01, 0.010, <0.01, 0.012, <0.01, <0.01, <0.01, <0.01, 0.010, <0.01
マンガ及びその化合物 0.014, 0.014, 0.011, 0.014, --, 0.014, 0.011, 0.013, 0.014, 0.014, 0.011, 0.013, 0.012, 0.012, 0.012, 0.011
カルシウム、マグネシウム等(硬度) 51, 49, 47, 51, --, 46, 50, 48, 49, 45, 50, 48, 51, 46, 52, 48
TOC 0.82, 0.74, 0.82, 0.72, --, 0.79, 0.83, 0.74, 0.81, 0.76, 0.82, 0.81, 0.89, 0.81, 0.85, 0.74
pH値 8.0, 8.0, 7.9, 8.0, --, 7.9, 7.8, 8.0, 7.8, 7.5, 7.7, 7.9, 8.0, 8.0, 7.9, 7.9
色度(度) \*5.9, 4.9, 4.6, 4.6, --, \*5.4, 4.9, 4.9, \*6.6, \*5.8, \*5.2, 5.0, \*5.8, 4.7, 4.3, 4.1
濁度(度) <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, --, <0.1, <0.1, <0.1, 0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1
過マンガン酸カリウム消費量 3.4, 3.0, 3.7, 4.7, --, 3.9, 3.9, 3.5, 7.3, \*11, 5.1, 3.5, 5.7, 4.7, 4.0, 3.4
アンモニア態窒素 2.2, 2.4, 2.2, 2.2, --, 1.9, 1.7, 1.9, 1.1, 0.20, 1.3, 1.7, 1.8, 1.9, 1.7, 1.9
遊離残留塩素 <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, --, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1, <0.1
結合残留塩素 0.35, 2.1, 1.9, 4.0, --, 0.63, 0.82, 2.2, <0.1, <0.1, 0.48, 1.3, <0.1, 0.36, 0.32, 1.6

文献: 1) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の無機態窒素調査 - 浄水処理方式の違いによるアンモニア態窒素等を指標とした浄水処理効果の確認。環境技術, Vol.38, No.9, 656-663, 2009. 2) 吉川循江, 他; 地下水が関与する亜硝酸態窒素の検出事例。平成27年度全国会議(水道研究発表会)平成27年10月, pp610-611. 3) 寺沢修, 他; 亜硝酸態窒素による井戸水汚染事例。第60回全国水道研究発表会 平成21年5月, pp100-101. 4) 相良玲, 他; アンモニア態窒素を含有する非常用災害井戸における亜硝酸態窒素の挙動。平成27年度全国会議(水道研究発表会)平成27年10月, pp608-609. 5) 浄水技術ガイドライン2010 (財)水道技術研究センター pp115-pp116, pp185-pp188