

多々良川流域下水道事業処理水 再利用に関する調査研究

1. はじめに

福岡県は、地形、気候等の特性により、過去20年間に4回（S53,S57,H5,H6）もの渇水被害を受けていることから、地域の水需要を賄う水資源の確保は、福岡県にとって重要な水政策課題である。

このため、福岡県は、広域的な更なる水資源開発を推進するとともに節水型・循環型社会システムを構築することが急務と考えられる。

福岡県において再生水の利用を促進させることは、地域水需要施策の一翼を担う社会資本整備の一貫として位置付けられるので、福岡県は再生水利用システムを今後拡大することが肝要と考えられる。

そのためには、福岡県における各流域下水道関連市町村に対して、必要に応じて積極的に下水処理水の再利用を推進させるためのマニュアルを提示し、下水処理水に県内の水資源の一翼を担わせる必要がある。

そこで、本調査は、多々良川流域下水道をモデルとし、今年度は、下水処理水の再利用に関わる利用用途別水質的課題、除去対象水質項目とその目標水質について検討し、平成12年度は、目標水質を達成するための水処理方式、費用効果分析に基づく水処理方式などについてとりまとめる。

2. 調査内容

2.1 調査項目

本調査研究の項目は、以下の通りである。

- ① 既存再生水利用計画の整理
- ② 多々良川浄化センター処理状況の整理
- ③ 福岡県再生水利用用途メニューの提示
- ④ 他都市の再生水利用事例と利用上の問題点の抽出
- ⑤ 各種利用用途別の目標水質基準の検討

3. 調査結果

3.1 既存再生水利用計画

平成7年度に構築された基本構想においては、多々良川流域がおかれている水環境および水利用に関する課題に対し、福岡県では多々良川流域下水道多々良川浄化センターの下水処理水再利用に関して次の基本方針をおいている。

●基本方針

多々良川流域下水道では、計画区域を対象に、関連町の要望に基づき、都市内において良好な水環境の創出を図るために、多々良川浄化センターの下水処理水を環境用水や公共的施設の雑用水等へ再利用する。

3.2 多々良川浄化センター処理状況

当浄化センターの処理フローおよび放流水質を以下に示す。

全体計画では、生物学的窒素・リンの同時除去が可能なA₂O法を考えているが、現段階ではリンについては凝集剤（PAC）添加による物理化学的処理がなされている。

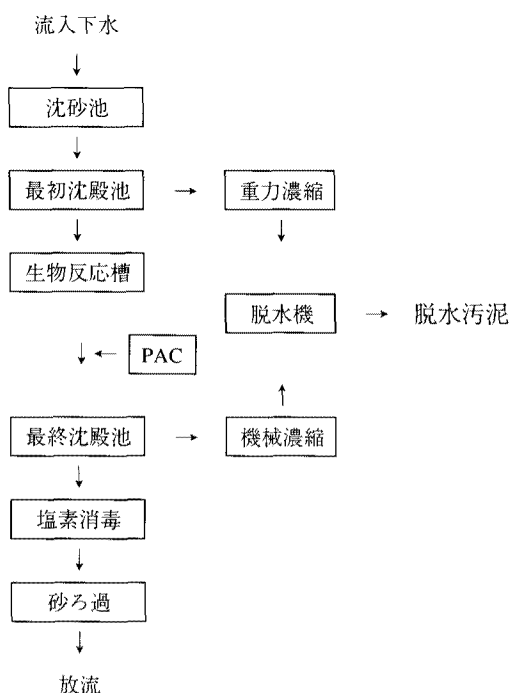


表-1 多々良川流域下水道浄化センターの処理実績

| 水質項目 | 平成9～10年度現況 | | | |
|--------------------|------------|---------|--------------|----------|
| | 単位 | 流入水 | 最終沈殿池 流出水 | 砂ろ過水 |
| 透視度 | cm | 2～4 | >100 | >100 |
| pH | — | 7.1～7.8 | 6.1～7.2 | 6.3～7.4 |
| SS | mg/ℓ | 231～430 | <1～6 | <1～1 |
| COD | mg/ℓ | 130～231 | 4.8～8.3 | 4.6～7.7 |
| BOD | mg/ℓ | 230～350 | <0.5～6.6 | — |
| T-N | mg/ℓ | 23～38 | 8.3～18.6 | 7.9～16.5 |
| NH ₄ -N | mg/ℓ | 12～24 | 0.1 | 0.1 |
| NHx-N | mg/ℓ | <0.1 | 4.5～16.7 | 5.6～16.2 |
| T-P | mg/ℓ | <0.1 | 0.2～0.8 | 0.2～0.8 |
| 大腸菌群数 | 個/ml | — | 10～180 | 2～46 |
| 残留塩素 | mg/ℓ | — | — | — |

3.3 福岡県再生水利用用途メニューの提示

福岡県（市町村含む）において要望および実績が多いものを度数に基づいて序列化した。ここでの要望とは、多々良川流域関連町において、再生水利用

用途の要望についてアンケートを行ったものである。結果は表-2に示すとおりであり、これが当県のニーズに応える利用用途メニューの素案と考えられる。

表-2の利用用途についてみてみると、重複しているところが見受けられるので、これを更に整理し、利用用途メニューを提示することにする。

整理の手法としては、以下の考え方に従った。

- ・水洗トイレ用水は、その性質上、雑用水に位置付けられると考えられるので 雑用水に包括する。
- ・洗浄や冷却用水等は工業用水に含まれるが、ここでは工業用水は雑用水に位置付けた。
- ・植木帯散水は散水用水に位置付ける。
- ・環境用水は親水用水と修景用水および河川維持用水を含むものとする。
- ・ここでの希釈用水は他処理施設において使用（最終的に場内利用）しているものであり、今回の再生水利用形態として適当な検討項目であるとはいえないため省く。

以上より再整理した結果を、福岡県再生水利用用途メニューとして表-3に示す。

表-2 利用用途メニュー序列表

| 実績ランク | 利用用途メニュー |
|-------|----------|
| 1 | 水洗トイレ用水 |
| 2 | 修景用水 |
| 3 | 散水用水 |
| 4 | 農業用水 |
| 5 | 洗浄用水 |
| | 雑用水 |
| 7 | 親水用水 |
| 8 | 河川維持用水 |
| | 冷却・冷房用水 |
| 10 | 希釈用水 |

表-3 福岡県再生水利用用途メニュー

| メニュー | 備考 |
|------|----------------|
| 雑用水 | 水洗・洗浄・工業・冷却用水 |
| 散水用水 | 緑地・植木散水、道路清掃 |
| 農業用水 | — |
| 環境用水 | 修景・親水用水、河川維持用水 |

3.4 他都市の再生水利用事例と利用上の問題点の抽出

3.4.1 他都市の再生水利用事例

平成8年度における全国1,189の下水処理場から放

流される処理水量は、年間約117億 m^3 に達している。このうち過半数の処理場においては、処理水が消泡水や洗浄用水等として場内再利用されている。

一方、場外利用については表-4に示すように平成8年度は192の処理場において下水処理水が場外に送水され、工業用水、修景用水等として再利用されている。その量は年間約1.35億 m^3 であり、ようやく全処理水量の1%を越えた状態にある。

表-4 下水処理水の用途別再利用状況 (平成8年度)

| 再利用用途 | 処理場数 | 再利用量 (万/年) | 割合 (%) |
|--------|------|---------------|-----------|
| 水洗便所用水 | 36 | 302 | 2.2 |
| 洗浄用水 | 49 | 1,122 | 8.3 |
| 工業用水 | 6 | 1,262 | 9.4 |
| 冷却用水 | 20 | 476 | 3.5 |
| 希釈用水 | 13 | 411 | 3.0 |
| 農業用水 | 16 | 1,589 | 11.8 |
| 環境用水 | 55 | 6,390 | 47.4 |
| 植樹帯散水 | 90 | 49 | 0.4 |
| 融雪用水 | 24 | 1,532 | 11.4 |
| その他 | 47 | 357 | 2.6 |
| 計 | 192* | 13,490 | 100.0 |

*：同一処理場で複数の用途に利用しているため
(出典：平成10年度「日本の下水道」)

表-4には再利用水量全量に対する割合も示したが、平成8年度現在では環境用水が47.4%とほぼ半分を占め、次いで農業用水、融雪用水がそれぞれ11.8%、11.4%と高かった。その一方で、水洗便所用水については、水量的にはまだ2.2%にすぎない状況である。

3.4.2 再生水利用の問題点の整理

再生水利用の計画および実施にあたっては様々な留意点、問題点が想定される。ここではまず前段に利用用途メニュー全体に係わる問題点として再生水利用を実施している各自治体が挙げている意見を集約する。次いで抽出された福岡県の利用用途メニューに対しての再生水利用上の問題点を整理する。

(1) 再生水利用に係わる一般的な問題点

再生水利用を実施している各自治体から挙げられている意見を集約した結果は以下のとおりである。

- ① 利用用途に応じた水質基準に対する再生水技術の技術開発および再生水利用に関する指針の構築^{1),2)}
- ② 市民の理解と協力の必要性 (コンセンサス) および市民への啓発・広報活動の重要性³⁾
- ③ 再生水の供給に関する法整備の確立と下水道法、都市計画法等における位置付け⁴⁾

- ④ 事業展開地区を今後拡大した場合にモデル事業としての指定が再び受けられるどうか¹⁾
- ⑤ 初期投資の大きさと利用者に対する料金設定および集金方法^{1),4),5)}
- ⑥ 再生水の安定的な供給を図るための他関係機関との調整^{1),5)}

(2) 再生水利用用途メニューに対する問題点の整理

(1)に挙げた一般的な問題点の中で、ここでは技術的な側面を有する①を基点に、福岡県の利用用途(表-3)に対するさらに追求した技術的な問題点について次に整理する。

ここでは、以下の4つの視点から整理を行うこととし、多々良川浄化センターの二次処理水である再生水の原水水質レベルより判断する。

① 再生水生成のための技術的な問題

- ・雑用水および散水用水への利用
技術的な問題は無いと考えられる。
- ・環境用水や農業用水への利用

水質基準がより厳しくなることから高度処理施設の付加が必須であり、特に農業用水への利用は高度処理の導入が必要と考えられる。一方で、環境用水や農業用水の利用量は規模が大きいことが想定されることから、大量の水を安価に処理するためにも新たな技術開発の必要性が望まれる⁶⁾。

② 安全性に対する問題

人体への再生水の接触程度は利用用途によって異なるものの、人の安全に配慮するため病原菌やウイルスを殺菌する必要がある、供給先での塩素の残留は重要である。

- ・環境用水において

水棲生物の飼育を考慮する場合は、その生物にとって有害であるためオゾンや紫外線という代替消毒法の採用が必要となる。

- ・農業用水において

大腸菌群数や残留塩素についての基準は定められていないが、農作業従事者の面から判断すると再生水との接触は回避できないものと考えられるので消毒は必要と思われる。

③ 人の官能に対する問題

- ・雑用水および散水用水

近年の下水処理水においては、HRTの標準化により、不快さとなる臭気や外観等は改善されており、雑用水や散水用水への適用は特に問題ないと考えられる。

・環境用水

修景用水や親水用水に適用される場合は、下水処理水中の窒素・リンという栄養塩類の存在により藻類が発生し、あるいは下水処理水中の洗剤成分による発泡により、美観を損なうおそれがある。このため定期的な清掃に心掛けるとともに、場合によっては供給前に化学薬品の添加を行う等、高度処理が必要となる。親水用水においては修景川水よりもレベルアップした快適さが求められることから、より高水準の高度処理を行う必要がある。

・農業用水において

過去のし尿散布の経験があるものの農作業に対する不快さを極力軽減させる方向で高度処理した再生水を供給すべきと考える。

④ 施設の機能性に対する問題

再生水に関わる施設の機能性を維持させるためには、硬度成分によるスケールの生成、溶存酸素およびその他の腐食性物質による腐食、残存有機物によるスライム等の発生を抑制するよう心掛ける必要がある。

3.5 各種利用用途別の目標水質の検討

これまでの検討結果の情報に基づき、抽出された利用用途メニューについての公的水質基準の共通項目を整理するとともに、その中から制限となる水質項目を決定する。

決定された水質項目に関して公的基準と、別途に行われている修景用水・農業用水の実験結果（『処理水再利用に係わる窒素除去調査 中間報告書』、『高度処理水の修景利用実験 報告書』、『水稻栽培実験調査結果報告書』）からの情報とを照合させ、双方の関係を明確にする。

抽出された雑用水、散水、環境、農業の各用水の公的水質基準の共通項目を整理した結果を表-5に示す。

表中の項目のうち、着目する水質項目は定性的そして定量的に把握しやすいBOD,SS,そしてCODの有機汚濁物指標あるいは富栄養化に密接に関連するT-N,T-Pの無機汚濁物質の中で判断することとした。表-5における修景用水の下段の数値は横浜市の事例であり、これは修景用水としての目標水質であるが、人の接触しうる可能性を考慮し、親水用水レベルに位置付けている。親水用水のT-N, T-Pに示した数値は、藻類発生抑制をクロロファイルaに着目して、その濃度を100mg/m³以下にするための値である。

各利用用途に対して制限となる水質項目は、SSについては厳しい規制がほとんどなく、また、T-Pについては、凝集剤の添加により対応可能と考えられるので、BOD, CODおよびT-Nの3つの中から判断することとした。

表-5の情報より各利用用途に対して着目した水質項目を表-6に整理する。

表-5 利用用途メニューに対する公的水質基準の共通項目の整理

| 水質項目 | 単位 | 雑用水 | | 散水用水(緑地散水, 道路清掃等) | 雑用水 | | 農業用水(水稻) |
|-------|------|-----------|---------|-------------------|----------------------|---------|----------------|
| | | 水洗用水 | 工業用水 | | 修景用水 | 親水用水 | |
| BOD | mg/l | <20 | - | - | <10 <3*1 | <3 | 5~8以下 (千葉県) |
| SS | mg/l | - | - | - | - | - | <100 |
| COD | mg/l | <30 | - | - | - | - | <6 <8 (千葉県) |
| T-N | mg/l | - | - | - | <10*1 | <5*2 | <1 <5 (千葉県) |
| T-P | mg/l | - | - | - | <0.1*1 | <0.1*2 | - |
| 大腸菌群数 | 個/ml | <10 | - | 検出されないこと | 不検出~<10 <0.5*1 | <0.5*1 | - |
| 残留塩素 | mg/l | 保持されていること | - | >0.4 | - | - | - |
| 濁度 | 度 | - | 20 | - | <10 <5*1 | <5 | - |
| pH | - | 5.8~8.6 | 6.5~8.0 | 5.8~8.6 | 5.8~8.6 5.8~8.6*1 | 5.8~8.6 | 6.0~7.5 |

※1: 大岩英一, 「横浜国際総合競技場への再生水供給と維持管理」, 下水道協会誌, Vol.135, No.434, p.38~41 (1998)

※2: 「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案)」(平成2年3月, 建設省) 藻類発生抑制の視点から

表-6 利用用途別着目水質項目

| 利用用途 | 着目水質項目 |
|------|----------------|
| 雑用水 | BODもしくはCOD |
| 散水用水 | - |
| 環境用水 | BODもしくはT-N |
| 農業用水 | T-N 場合によってはCOD |

表-6の水質項目について、公的基準と多々良川浄化センター二次処理水の水質状況およびパイロットプラントの実験結果とを照合させた場合の関係は表-7のとおりである。

今後の流入水量の増大によるHRTの短縮等に伴い、浄化センターの二次処理水の悪化は懸念されるものの、雑用水、修景用水への適用は現状の水質レベルから判断して可能と考えられる。また散水用水には着目した水質項目の公的基準が無いが、これは水質レベル的に雑用水から修景用水までの範囲に位置付けられることが想定されるので、散水用水についても適用は可能と考えられる。将来的にはA₂O法が導入されることから、処理水質のレベルアップ、特にT-Nの低減が図られるので、公的基準をより満足させ、雑用水や修景用水への適用をより容易にするものと考えられる。

しかしながら、親水用水や農業用水への適用にあたっては、現状の水質レベルでは困難な場合が多く、A₂O法の導入によってもそれが改善されるとは言い難い。したがって、それを可能にするためには、

より高水準の高度処理法の導入による技術的な対応等が必要になると考えられる。

4. 今後の課題

4.1 再生水利用処理法の検討

各利用用途の水質基準を達成するために必要と考えられる高度処理プロセスについて検討を行う。具体的には処理レベル別での高度処理プロセスを提案し、その概算事業費等を算出し、費用効果分析を行うための基礎情報を作成する。

4.2 事業効果の検討

各利用用途別に高度処理プロセスを導入することによりもたらされる効果について検討し、多々良川流域下水道区域をモデルケースとして費用便益を検討する。この結果を受けて、B/Cが最もリーズナブルとされる各利用用途の目標水質と水処理方式を設定する。

【参考文献】

- 月刊下水道 Vol.16 No.8 p52~55
再生水（下水道高度処理水）の利用 宇佐美 武敏
- 下水道協会誌 Vol.24 No.274 p69~80
豊橋市の農村下水道における処理水の再利用について 土方昭他
- 月刊下水道 Vol.18 No.7 p29~32
豊かな水のある快適な水環境の創造に向けて 香林仁司

表-7 公的基準と処理成績/実験結果との関係

| 利用用途 | | 公的基準 | 多々良川浄化センター 二次処理水 | 実験結果 | | 基準適合 | 備考 |
|------|------|------|---------------------|-------|-------|------|---|
| | 水質項目 | | | 修景 | 農業 | | |
| 雑用水 | BOD | <20 | 0.5~7 | | | ○ | ○：基準に適合 △：基準に適合する 場合がある ×：基準に不適合 |
| | COD | <30 | 5~11 | | | ○ | |
| 散水用水 | BOD | - | 0.5~7 | | | | |
| | COD | - | 5~11 | | | | |
| 環境用水 | 修景 | BOD | <10 | 0.5~7 | 1~4.5 | ○ | |
| | | 親水 | BOD | <3 | 0.5~7 | | |
| | 親水 | T-N | <1.5 | 8~23 | | | × |
| 農業用水 | T-N | <1 | 8~23 | | 1~5 | × | |
| | COD | <6 | 5~11 | | 5~12 | △ | |

- 4) 下水道協会誌 Vol.34 No.409 p38～43
高松市における節水型都市づくり 北岡 保之
- 5) 月刊下水道 Vol.18 No.7 p45～48
さいたま新都心における中水・雨水利用計画 近藤 雅彦
- 6) 月刊下水道 Vol.17 No.17 p54～64
下水道資源の有効利用について 六鹿 史郎 他
- 7) 下水道協会誌 Vol.35 No.434 p14～17
処理水再利用の現状と再生水技術 小越眞佐司
- 8) 下水道協会誌 Vol.24 No.280 p79～87
下水処理水の水田への再利用 武末 卓之 他

●この研究に関するお問い合わせは

| | | |
|--------------|----|----|
| 研究第一部長 | 江藤 | 隆 |
| 研究第一部総括主任研究員 | 西村 | 孝彦 |
| 研究第一部主任研究員 | 那須 | 基 |
| 研究第一部研究員 | 石渡 | 英樹 |