

N-5 乾燥地域における再生水利用システムの構築

○鬼木 哲^{1*}・宮尾 徹²・北井 佳佑³・細井 由彦³

¹株式会社エヌジェーエス・コンサルタンツ (〒162-0067 東京都新宿区富久町6-8)

²株式会社建設技研インターナショナル (〒136-0071 東京都江東区亀戸2-25-14)

³鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻社会経営工学講座 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4)

* E-mail: njs-oniki@mbp.nifty.com

1. はじめに

乾燥地域では、一般的に降水量が少なく蒸発散量が多いため、降水量の多くは蒸発することから陸地に水がほとんど存在せず、水資源として利用できる水量は僅かである。よって水不足に直面する地域が拡大し、将来さらなる水不足に陥る可能性があり、持続的な水循環が求められる。

本研究では、持続的な水循環システムの構築を目標として、乾燥地域であるオマーン国アルアメラットを対象地域とする。オマーン国は、年間降水量71mm、年間蒸発散量2,387mmの極乾燥地域である¹⁾。対象地域のアルアメラットは内陸部に位置し、新興都市として開発が進められており、今後人口の増加が見込まれる。それに伴い発生汚水量も増加することが予測され、都市開発と共に下水道施設整備計画が進められている。しかし、対象区域は地下水保全区域に指定されており、下水処理水の放流が禁止されている。そこで本研究では、このような制約の下、下水処理水の行き先を確保し放流以外の選択肢を見いだすため、下水処理水の利用・処分のシステムを提案し、各システムの建設費、維持管理費を算出することで費用面から最適なシステムを提案する。

2. 持続的な水循環システムの検討

(1) アルアメラット下水道計画

対象地域であるアルアメラットの計画人口は、現在の36,000人(2003年)から250,000人(2045年)になると予測されており、発生汚水量は46,400m³/日(2045年)になると予測される¹⁾。下水道計画では、2箇所(2処理区域で)の下水処理場(Sewage Treatment Plant: STP)の建設を計画している。下水道計画区域と処理場建設予定地を図-1に示す。

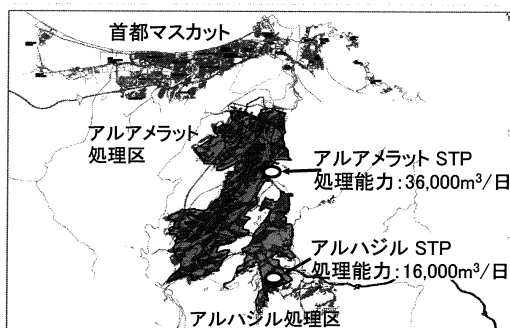


図-1 下水道計画区域とSTP位置

(2) 下水処理水の利用・処分

下水処理水の利用および処分のシステムを検討する上で次の3つを前提とする。

- 1) 浄水コストよりも下水処理水の再生水コストが安価の場合、再生水は上水の代替水源となる。
- 2) 再生水量は、人口増加に伴う下水処理水量に対応する。
- 3) 地下水保護地域のため、下水処理水の当該地域への放流を禁止する。

再生水は用途に応じて高度処理の水質レベルを要するため、一般的に生産コストが高いが、乾燥地域のように水源を主に海水淡水化に依存している地域では、再生水の生産コストが低くなる可能性がある。アルアメラットにおいて下水の高度処理を行った場合、再生水を散水用水や修景用水として利用できる。さらに地下水保全区域においても再生水の緑地への散水は、一部を除く区域で使用が許可されている。ここで処理水の再利用・処分は計画地域内(系内)と地域外(系外)で対応するシステムに大別できる。下水処理水の再利用には、利用基準値に適合するために、高度処理施設や配水のための施設が追加が必要となる。そこで、下水処理水の再生水利用・処分システムを検討するため、前述の1)~3)を満たす4つ

のケースを設定し、費用比較により最適なシステムを選定する。

Case 1：全量再利用（系内）

Case 2：全量を海へ放流（系外で全量処分）

Case 3：地下水保全区域内（系内）で蒸発散量を利用した全量蒸発（全量処分＋一部修景効果）

Case 4：地下水保全区域外へ全量送水し、系外にて再利用（全量再利用）

a) Case 1 再生水の利用用途選定

オマーンでは、夏期に気温が高く冬期で低いため、季節によって水需要量が変動する。水需要が最も多い夏期に再生水の供給先と量を決定し、年間を通して一定量供給される再生水は、冬期では供給過多となり余剰水が発生する。冬期の水需要は夏期に比べて約44%になると試算される。系内での下水処理水の放流禁止を考慮し、この余剰水の利用先を確保する必要がある。

そこで再生水の利用用途として、緑地への散水、農業用水および余剰水の貯留かつ修景用水として人工湖貯留とし、これらに係る施設の費用を試算する。また、アルアメラット地域において散水用水としての水需要量（夏期）は、2045年で37,613m³/日である。本研究では、この水需要量相当の緑地（需要）が本地域に存在すると仮定して、処理水を優先的に利用し、再生水の供給不足分は上水にて補完するものとする。図-2に再生水供給量と補完する上水量の推移を示す。

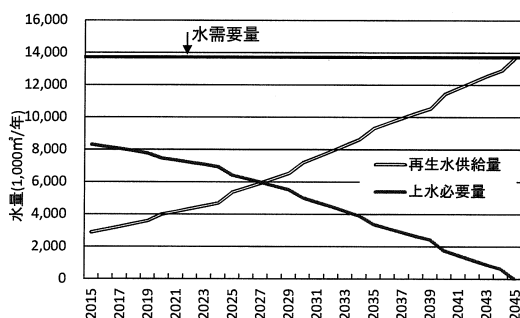


図-2 再生水給水量と必要上水量

b) Case 2 下水処理水を海へ全量放流

下水処理水の地下水保全区域内での放流を避けるため、処理水全量を海へ放流するシステムである。送水管の経路はアルハジルSTPからアルアメラットSTP付近の合流点、さらに海までの計36.1kmの送水を想定する。必要施設は送水ポンプ場、送水管である。海中放流のため高度処理レベルの水質は要求しない。一方、アルアメラット地域での既存、計画の緑地には再生水ではなく、上水を使用することから、費用に上水使用料を見込む。

c) Case 3 系内での全量蒸発処分

系内での処理水処分するシステムであり、ため池を建

設し、処理水を全量貯留し、高い蒸発散量を利用して蒸発により処分する。各STP近傍にため池を設置し、処理水を貯留する。処理水質は、ため池が閉鎖域であることから水質悪化、悪臭などを極力避けるため高度処理対応とし、付加的に貯留中は修景用水としての効果も見込める。また、本地域での緑地への散水は、Case 2と同様に上水を利用する。

d) Case 4 処理水の系外への送水と散水利用

下水処理水は各STPで高度処理した後、系外へ送水し、既設の再生水配水施設に接続し、散水用水として利用される。必要な施設は、高度処理施設、送水ポンプ場および送水管である。また、Case 2, 3と同様に散水には上水を利用し、その費用を見込む。

(3) 各Caseの概要

各Caseの概要と必要施設を表-1に示す。なお、各Caseで共通する施設、たとえば下水の二次処理施設などは共通として比較上、費用に計上しない。検討対象期間はプロジェクト開始の2015年から計画目標年次2045年までの31年間とする。ただし、費用比較の観点から、本検討では割引率は考慮しない。

表-1 各Caseの概要および必要施設

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
概要	再生水として散水と修景利用	STPから海まで送水し、全量放流する	処分用のため池を造り、全量蒸発	系外へ送水し、再生水として利用
対応区域	系内	系外	系内	系外
模式図				
緑地への上水	○	○	○	○
高度処理	○		○	○
散水施設	○			
修景利用の湖	○			
必要施設				
海までの送水施設		○		
蒸発用のため池			○	
ため池への送水施設			○	
系外への送水施設				○
維持管理	○	○	○	○

3. 最適な再生水利用・処分システムの検討

(1) 再生水利用に係る費用算定条件

a) 高度処理

処理水の散水利用に対して、細菌、原虫の除去が重要であり、また二次処理に付加する高度処理には省スペース化が必要である。そこで高度処理には膜分離活性汚泥法(Membrane Bioreactor: MBR)を想定する。MBR施設は下水量の増加に応じて建設し、耐用年数は、MBR膜は10年とし、土木躯体、管渠は50年、機械電気設備は50年として対象期間での更新も考慮した。

b) 配水施設

処理水の配水施設の配水管網を図-3に示す。施設構成

は配水池、配水ポンプ、配水管、給水タンカー施設である。配水管網は、破損に対するバックアップと行き止まり配管による水質悪化を防ぐため、ループ化した。

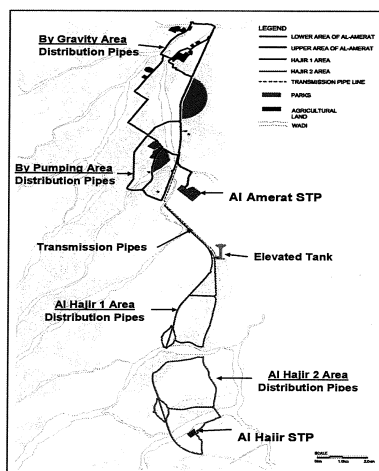


図-3 再生水配水管網

c) 維持管理費

運転維持管理には電気代とMBR膜洗浄および塩素消毒の薬品を計上する。なお、送・配水ポンプ場の電気代は、水需要の季節変動により供給水量が増減することから、年間平均で夏期の75%とした。

d) 湖の建設（修景用水）

修景用水としての利用を考慮して、湖水は干上がらないよう常時貯水しておくことを条件とする。下水処理水の増加に応じて湖を段階的に建設し、余剰水が貯留量を超えるとときに増設する。分割される湖は同一形状とした。分割数を1, 3, 6とし、水深は3m, 5m, 7mで費用を算出した。その結果、前述の条件を満たし、水深、湖水面積の組み合わせで最も安価となったのは、1辺450m x 450m x 水深3m x 6池の組み合わせであった。

e) ため池の建設（一部修景効果）

ため池の機能は余剰水を貯留するもので、修景用水として常時貯水状態であることを条件としない。よって、費用算定を湖の建設の設定に従った場合、最も安価なケースは、1辺1,030m x 1,030m x 水深3m x 1池となった。これはスケールメリットの効果と蒸発散量が大きくなる池面積が確保されたためである。

f) 系外への搬送（海中放流、系外での再利用）

系外への処理水の送水は、STP間を結ぶ送水管を通じて、ポンプにより圧送するものである。送水管は処理水の増加に応じて一条管と二条管を比較検討したが、一条管が安価となった。

また、系外への再利用先は3案を設定した。建設費、

維持管理費を比較した結果、送水距離が短く、ポンプ揚程が小さいケースが採用された。

g) 上水道使用料

上水量は、水需要量から再生水供給量を差し引き、季節毎の水需要割合（夏期：100%、春秋：81%、冬期：44%）を乗じて求めた。上水単価は150円/m³とした²⁾。

(2) 費用からみた最適なシステム

Case 1からCase 4の費用を図-4に示す。最も費用が抑えられたのは、Case 1の「系内での下水処理水の再利用」である。緑地散水に係る上水使用料が安く、Case 2-Case 4では、上水費用は過半数を占めている。散水用水を上水で補完することは、31年間の累積で大きな費用となる。また、Case 1では、処理水供給量はプロジェクト初期段階で少ないものの、最終的に上水費用の割合が45%になり他のCaseと比べて低い。

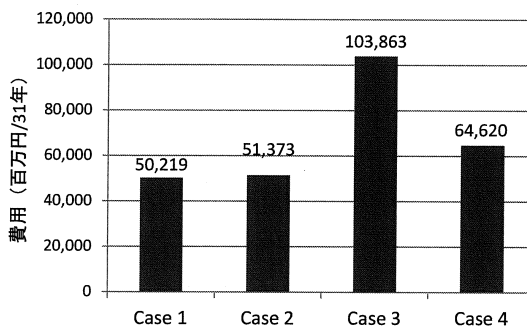


図-4 各Caseの費用

4. まとめ

本研究では、乾燥地域における下水処理水の利用および処分システムの構築を目的として、オマーン国アルアメラットにおいて費用面からシステムの評価を行った。その結果、下水処理水の全量再利用(Case 1)が最も安価となった。また、下水処理水を系内で全て再利用、処分することで水循環のクローズ化が図られ、費用だけでなく地下水などの水源保全の面からも優位といえる。

上水水源を海水淡水化に依存し、慢性的な水不足に陥っている乾燥地域では、積極的に下水処理水を再利用することが費用面で効果があるといえる。

参考文献

- 1) NJS Consultant Co., Ltd. : Al Amert Wastewater Project, Treated Effluent System, 2009
- 2) (財) 中東協力センター : オマーンの産業基盤, 2055