

関西大学工学部 学生員 ○西村 和司 京都大学防災研究所 正会員 清水 康生
 京都大学大学院 学生員 阪本 浩一 京都大学防災研究所 正会員 萩原 良巳
 関西大学工学部 名誉会員 吉川 和広

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、神戸市を中心とした広い範囲で甚大な被害が報告された。この震災を契機に、多くの人々が地震の恐ろしさを認識し、自治体は地震対策を講じた。しかし、再来間隔の長い地震だけを想定した防災施設投資を行うことは、現在の国や自治体の財政からみて困難な状況にある。そこで、地震時に減災効果を生み出し、平常時はアメニティ空間となる水辺に着目する。

本研究では都市域に豊富に存在し、殆ど利用されていない下水処理水を利用した水辺の創成を考え、アメニティの向上と震災リスクの軽減を目的とした水辺創成モデルを提案する。そして、淀川流域への適用事例について述べる。

2. 水辺創成モデルのコンセプト

高度経済成長期に都市域では多くの水辺が失われた。大阪市を例に挙げると、戦後約40%の水辺が失われている。水辺創成モデルでは、下水処理場の処理水を開水路により都市に送水することで、水辺を創成することを考える。これにより、地震時には処理水を生活用水として利用することができ、平常時には都市域に生活する人々に対するアメニティの向上を図ることができる。

3. 水辺創成モデルの定式化

水辺創成モデルは処理水の循環経路と水量を α_h 、 β_h^i 、 γ^i 、 θ^i の4つのパラメータにより表す。 α_h は処理場 h の処理水の利用割合を、 β_h^i は処理場 h における都市 i への処理水の配分割合を表す。そして、 γ^i は都市 i に配分された処理水を生活用水として利用する割合を ($1 - \gamma^i$ は都市 i で利用されずに水路を流下する処理水の割合)、 θ^i は流下した処理水が河川へ放流される割合を表す。これを都市域の水循環システムの中で示すと、図-1となる。

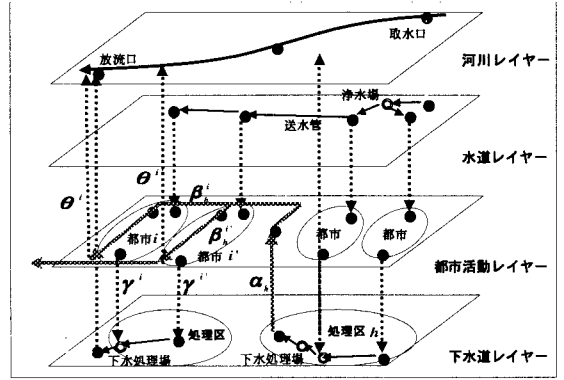


図-1 都市水循環システム¹⁾における処理水利用

3.1 配分処理水量の定式化

都市 i に配分される処理水量 W^i は次式で示される。

$$W^i = \alpha_h \beta_h^i s_h + \sum_h \sum_{j'} W^{j'} (1 - \gamma_h^{j'}) (1 - \theta^i) \quad (1)$$

3.2 地震時を想定した目的関数

地震時に都市が必要とする処理水量と、処理場が配分する処理水量との乖離を最小にすることを目的関数として定式化する。

$$\text{minimize } \sum_i (-\sum_h \alpha_h \beta_h^i s_h + d_i e_i f) \quad (2)$$

ただし、

- s_h : 処理場 h の下水処理量(m^3 /日)
- d_i : 都市 i の平均一日上水使用量(m^3 /日)
- e_i : 被災率
- f : 処理水転用可能率
- $i \cdot$: 都市 i より標高の高い都市

である。

3.3 平常時のアメニティに着目した目的関数

開水路に流れている処理水量と水路周辺からの誘致人口が多いほどアメニティが向上すると考え、アメニティが最大になるように処理水を配分することを目的関数として定式化する。

$$\text{maximize } \sum_h \sum_i (Y_i + \sum_{j'} v_j x_j \times z) \times \gamma_h^i \times W_h^i \quad (3)$$

ただし、

Y_i : 処理水を配分する都市 i の人口(人)
 v_i : 開水路のルート上の都市 i の人口密度(人/ km^2)
 x_i : 都市 i における開水路の距離(km)
 z : 開水路の誘致距離(km)

である。

3.4 地震時と平常時を共に考えた制約条件

処理水をアメニティの高いルートだけに偏って配分することのないように、充足率の差を調整定数 R の範囲内に収めることを制約条件とする。

$$\left| \frac{\alpha_h \beta_h^{i_1} s_h}{B_{i_1}} - \frac{\alpha_h \beta_h^{i_2} s_h}{B_{i_2}} \right| \leq R \quad (4)$$

ただし

充足率 = 配分水量 / 必要水量 $\times 100$

$B_i = d_i e_i f$, $i_1 \neq i_2$

である。

4. 淀川流域への水辺創成モデルの適用

水辺創成モデルを淀川流域に適用し、各都市への最適な処理水の配分を考える。

4.1 地域区分

開水路により処理水を流す場合、大河川を越えることは難しいと考える。そのため、淀川、木津川、宇治川、桂川、大和川を越えて処理水の配分が行われることはないものとする。また、府県と政令指定都市は、まず、各々の区域内でのみ処理水の利用を図るものとする。

4.2 処理水の送水可能都市の抽出

処理水は下水処理場から隣接する都市の代表点(市・区役所)へ開水路を用いた自然流下により送水し、さらに、その都市から隣接する都市へ順次送水する。この考えに基づき、隣接関係と標高を考慮した関係行列を作成し ISM (Interpretive Structural Modeling) の援用により、処理水の送水可能都市を抽出する。

4.3 震災ハザードを考慮した送水可能都市の選定

対応付けた処理場と都市に、震災ハザードの影響の大きさより選択した6つの活断層(花折断層、西山断層、有馬高槻断層、生駒断層、上町断層、六甲断層)による震度7が想定される区域を重ねる。上水の水道管路、浄水場、下水管、下水処理場が震度7の区域に重なった場合、それらは機能しないと考える。以上により、被災していない下水処理場と処理水を必要とする都市とを対応付けるものとする。

以上の分析より、被災しているにも関わらず処理水

を受けることができない都市があることが判明した。これは、下水処理場が地盤の低い河川流末や大阪湾の近傍に集中している事が原因であると考えられる。例えば京都府では、ほとんどの下水処理場が木津川、宇治川、桂川近傍の地盤の低い場所に位置しており、処理水を利用することはできない。処理場が下水を排除するという、これまでの下水道の政策から考えれば効率のよい施設配置ではあるが、下水を河川に放流するだけではなく、利用するという観点からみた場合には、適切な配置ではないと言える。

4.4 水辺創成モデルの解法

水辺創成モデルは非線形であるため求解の困難さを考慮して、モデルを線形化し多段的に解を求めた。この解法は、まず式(2)を用いて α_h を求め地震時に配分する処理水量を決定する。次にその結果を与件として式(3)を用いて β_h^i を求め、最も平常時のアメニティを高くする配分水量を決定するものである。このとき、都市に送られてきた処理水は全て利用し、河川には放流しないという条件を与え $\gamma^i = 1$ 、 $\theta^i = 0$ とする。

4.5 解析結果

解析の結果、都市に配分する処理水量が不足する場面があることが分かった。これは、下水処理場の多くが震度7の想定される区域に含まれ機能しなくなるためである。また、複数の区域内に位置し極めて危険な処理場も存在する。例えば淀川左岸流域下水道の渚処理場は西山断層、有馬高槻断層、生駒断層の3つの活断層による震度7の区域に含まれている。さらに、大阪府が大阪市に処理水を供給することにより、処理水を受け取ることができなかった都市にも、処理水が配分できることが分かった。

5. おわりに

本研究では、地震時の用水確保と平常時のアメニティの向上を目的として、水辺創成モデルを提案し、淀川流域における下水処理水の最適な配分について考察を行った。今後は、府県の協力や下水処理場の連絡を考えるとともに、地域特性を考慮した処理水の配分を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 清水康生・秋山智広・萩原良巳：都市域における人工系水循環システムモデルの構築に関する研究、環境システム研究論文集 Vol.28, 2000.