

京都大学大学院 学生員 ○西村 和司
京都大学防災研究所 正会員 清水 康生
京都大学防災研究所 正会員 萩原 良巳

1. はじめに 大都市域に存在する水辺は都市生活者にとっての安らぎの場、憩いの場であり、平常時のアメニティ空間である。また、その水を消火用水やトイレ用水として利用することができ、震災時の防災空間でもある。そのため都市に豊富に存在する下水処理水の利用による水辺の創成は、再来間隔の長い地震に対して有効な対策である。

このことをふまえ、本論文の2.では大都市域の水循環システムモデルを構成し、現行の問題点を明らかにする。ついで、3.で大都市域水循環システムのネットワーク化を行う。4.で同ネットワークの安定性を評価するための指標をグラフ理論を援用して作成し、整理を行う。そして、5.で事例研究として、大阪府淀川右岸の現状と水辺創成経路の整備後の安定性の比較を行うこととする。

2. 大都市域水循環システム 大都市域では、河川から取水された水が水道により浄化・配水され、都市生活者の水利用、下水道での処理を経て河川や海域へ放流される。この一連の水の流れを水循環として、河川レイヤー、水道レイヤー、都市活動レイヤー及び下水道レイヤーから構成される階層構造として表したモデルが図1に示す大都市域水循環システムモデルである¹⁾。同モデルは空間スケールの違いによって流域レベル、

都市レベル、都市生活者レベルの3つのレベルが考えられる、本研究では流域レベルで同モデルを適用する。

各レイヤーは取水口、浄水場、下水処理場などの要素により構成されており、それら構成要素は水の循環を記述するために、貯留、水質変換及び輸送のいずれかの機能を有している。

大都市域水循環システムモデルに示すように、大都市域では水が循環しているにもかかわらず、河川、水道、下水道の管理者はこの水循環を認識せず個別に整備を進めている。そのため、各管理者の行う対策の限界として、アメニティの低下や震災時の用水不足の問題が表出していると考えられる。

3. 大都市域水循環ネットワーク 大都市域水循環システムは、同システムが有する輸送・水質変換・貯留という機能を震災ハザードに対する構造特性(点的か線形的か)から捉えることによりネットワークとして記述することができる。このように、大都市域水循環システムをネットワークとして記述した後に、震災時の水確保を同ネットワークの安定性の観点から評価する指標を提示する。

3.1 大都市域水循環システムのネットワーク化 図1のレイヤー間の水移動を表すリンクには距離を持たないダミーリンクが含まれる。この不必要なダミーリ

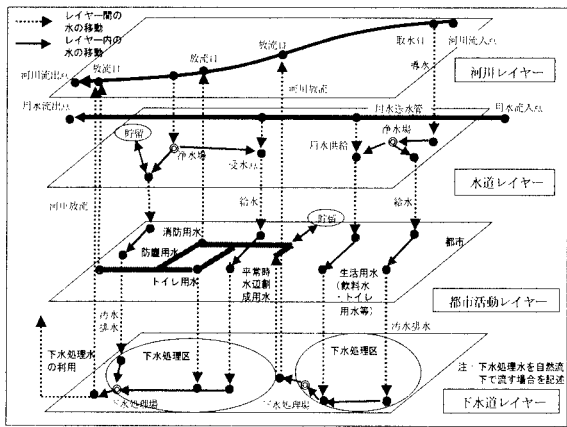


図1 大都市域水循環システム

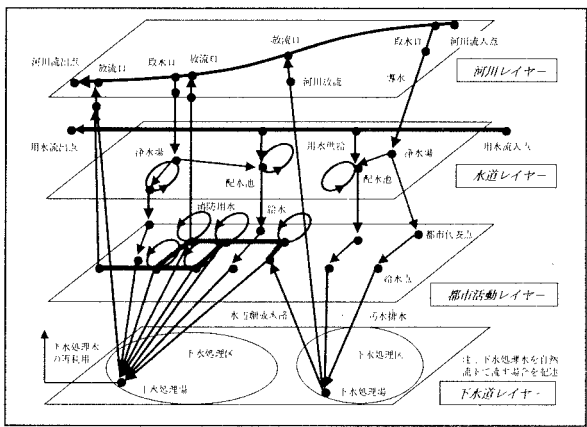


図2 大都市域水循環ネットワーク

表1 ネットワーク構造の評価指標(一部)

指標	定義	解釈	考慮される内容		
			数	経路	太さ
ノードに対するリンクの比率	$\Sigma \delta(G) / V(G) $ 、すなわちグラフ G の全次数と位数の比率	ノードに対するリンクの比率が高いほど、グラフの連結が強くネットワークの構造が安定する。	○		
冗長なパスの数	グラフ G の隣接しないノード x, y の冗長なパスの最大個数	冗長なパスの最大個数が多いほど、グラフの連結が強くネットワークの構造が安定する。	○	○	
サイクル階数	グラフ G において、サイクルが残らないよう除去する辺の最小数	サイクル階数が高いほど、ノードを結合するリンクが多いため連結が強く、ネットワークの構造は安定する。	○	○	
サイクル比率 γ	サイクルによる供給系統数/供給系統数、都市生活者への供給形態がサイクルである系統数の比率	サイクル形態での水供給は水源汚染により取水が停止した場合でも機能し、サイクルのパス上のリンクが切断されない限り水供給が可能であるため、サイクル比率が高いほどネットワークの構造は安定する。	○	○	
冗長な貯留容量比率	Σ (パスの経路上のノードの貯留容量)/ノードの給水量、すなわちノードの給水量に対する、冗長な総貯留量の割合	水を貯留することにより、水源汚染が発生したり冗長な冗長な連結するリンクが切れたりする場合でも水供給が可能になるため、貯留比率が高ければ x, y 間の水供給が安定する。	○	○	○
サイクル流量比率	サイクルによる供給系統の流量/供給系統の流量、都市生活者への供給形態がサイクルである系統の流量比率	サイクル比率と同様にリンクが切断されない限り水供給が可能であるため、サイクル形態で供給される水量の割合が高いほどネットワークは安定する。	○	○	○

ンクを大都市域水循環システム中から省く。そして、

- ①河川の流れを表すリンクは切断されない。
- ②貯留は自閉路(self loop)を用いて表す。
- ③配水管等の細かいリンクは省き、流域レベルで取り扱うことのできる規模の管を抽出する。

の3つの仮定を設けグラフ理論に基づいて大都市域水循環システムをネットワーク化する。図2に大都市域水循環システムネットワークを示す。

4. 安定性評価指標の作成 水循環を評価するにあたり、震災時の都市生活者に対して水供給が基準以上のレベルで連続して行われるシステムを安定とする。そして、水供給の基準を満たす程度を安定性と定義する。基準値とは、一日平均水使用量と許容限度水量である。本論文では、この安定性について評価する方法として、水循環ネットワークの構造に着目した方法を提案する。

すなわち、水循環ネットワークの接続関係、水量、距離に着目して作成した13の安定性の評価指標を作成する。表1に安定性の評価指標の一部を示す。

5. 事例研究 本研究では人口が集中し、かつ下水処理場が多数存在する大阪府淀川右岸を対象地域として、同地域の水循環ネットワークに安定性の評価指標を適用し現状と水辺創成経路の整備後の構造安定性の違いを調べる。同地域は有馬高槻断層、生駒断層、上町断層系地震の震度7のハザードマップに含まれる。有馬高槻断層系の地震では同地域に与える被害が甚大であるため、地域内での下水処理水の利用ができない。上町断層系の地震では、同地域に与える被害が軽微であるため水辺創成がネットワークの安定性に大きな変化を与えることはないと考えられる。そのため、同地域への影響が大きく、かつ処理水の利用が地盤高から考

えて有効である生駒断層系を分析対象とする。

同地域の現状と水辺創成モデル²⁾を援用して水辺創成経路を設定した場合の構造安定性の違いを調べるために前述の評価指標を適用する。ネットワークの特性から特に有効となるノードに対するリンクの比率についての結果を述べると、現状のノードの数は45で総リンク数は130であり、ノードに対するリンクの比率は2.77である。水辺創成水路を導入した場合のノードの数は現状と変わらず45であるが、総リンク数が140となるため、ノードに対するリンクの比率は2.98と高くなる。このように現状と比べ水辺を創成した場合に水循環ネットワークの構造が安定する。

6. まとめ 本研究では、グラフ理論を援用して大都市域水循環ネットワークの安定性の評価指標を作成した。そして、大阪府淀川右岸に同指標を適用し、現状と水辺創成経路の整備後の構造安定性の違いを調べその考察を行った。今後の課題としては、流域レベル以外のレベルでの水循環ネットワークの作成と、その安定性の評価、そして信頼性の評価を行う事があげられる。

謝辞 本研究の遂行するにあたり、適切なご助言を頂いた都市水循環システム研究会の渡辺晴彦氏に厚く御礼申し上げます。

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, pp.277～284.
- 2) 西村和司・清水康生・萩原良巳：大都市域での下水処理水利用による水辺創成と地震害の軽減に関する研究，環境システム研究論文集, vol.29,2001, pp.369～376.