

水道の配水管網における流入地点の評価手法に関する一考察

東京都立大学大学院 学生員 ○朝倉 安佳
 東京都立大学大学院 フェロー 小泉 明
 東京都立大学大学院 正会員 小棚木 修
 株式会社 日水コン 正会員 渡辺 晴彦

1. はじめに

水道における配水管網の整備は現在、水需要の急激な増加に伴う拡張の時代から、再整備あるいは再構築の時代を迎えようとしている。配水管網のブロック化等を計画する際、流入地点の位置が大きな問題となる。また今後、水道の統廃合に伴う広域化の進展により、新たな受水地点を検討する必要があることも想定される。さらに、渇水や水源水質事故を前提とした相互連絡管の配置計画も必要となろう。これらのことを検討する場合、配水管網システムの安定性や効率性をはじめとする多様な観点から¹⁾、既存の流入地点を変更する必要がある。このためには、均等な水压配分を可能とする効率的な流入地点の選定を水理解析により行う必要がある訳だが、多大な労力と時間を要することになる。

そこで本稿では、効率的な配水を可能とする流入地点の簡便な評価手法を提案することとする。すなわち、グラフ理論における中枢性指標²⁾を用いた方法を提示し、ケーススタディによりその有効性を検討するものである。

2. 中枢性指標と水道管網

中枢性指標とは強連結グラフ上で定義され、ノードの懸隔（へだたり）の度合いを表す測度である。本稿では管網における配水池、需要地点や通過点をノードとし、配水管を両方向のリンクとするグラフとして認識する。中枢性指標におけるノードの懸隔の度合いとは、該当ノードの中枢性指標が他のノードと比較して相対的により大きな値をとる場合には該当ノードがグラフの中心により近いことを示すものである。

中枢性指標を定義するために、まずノード v_i からノード v_j へのパスの最小距離を m_{ij} と定義する。この時、ノード v_i からノード v_j ($j \neq i$) へのパスの最小距離 m_{ij} における総和を T_i と定義すると、 T_i は(1)式で表すことができる。つぎに、全てのノード v_i からノード v_j ($j \neq i$) への全てのノードへの最小距離 m_{ij} における総和を T と定義すると、 T は(2)式で表すことができる。ここでノード v_i の中枢性指標を N_i (N :Nucleus) と定義すると、 N_i は(3)式で表すことができる。本研究では最短距離 m_{ij} を算出するためにダイクストラのアルゴリズム³⁾を用いることとする。

$$T_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (\text{但し } j \neq i) \quad \cdots \cdots (1), \quad T = \sum_{i=1}^n T_i \quad \cdots \cdots (2), \quad N_i = \frac{T}{T_i} \quad \cdots \cdots (3)$$

n : グラフ内のノード数

ここで、管網において配水管が太く短いほど水は流れやすく、逆に細く長いほど水は流れにくいいため、実管長を用いて中枢性指標を算出しても対象とする管網の水理的関係を中枢性指標に反映することができない。そこで、ヘーゼン・ウィリアムズ式から管長と管径の水理的な等値関係を求めて展開すると(4)式を得る。(4)式に示す等値管長とは、既存の配水管における流速係数と流量を一定とした場合、すなわち摩擦損失水頭が一定の場合、管網における実管径を全て統一した時に得られる管長である。本稿では、中枢性指標を算出するために(1)式の長さの代わりに、(4)式の等値管長を用いることとする。すなわち、(1)式における最小距離 m_{ij} を構成するリンクが、(4)式における k 本の等値管長 l_k^* で構成されているものとして、中枢性指標を求めることとする。

【キーワード】 水道管網、流入地点、中枢性指標、等値管、最短距離

【連絡先】 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院工学研究科 TEL.0426-77-2788

$$l_k^* = (d_k / d^*)^{-4.87} \times l_k \quad \cdots \cdots (4)$$

l_k^* : 管径を d^* とした時の等値管長(m)、 l_k : 実管長(m)、
 k : 配水管番号を表わす添字、 d^* : 統一管径(mm)、 d_k : 実管径(mm)

3. 流入地点の選定に関するケーススタディ

ここでは、ケーススタディとして図1に示す配水管網における流入地点の選定を行うこととする。まずはじめに、対象とする管網の等値管長を算出する。この際、中枢性指標は相対的な指標であることから、統一管径に関わらずに数値を求めることができるため、統一管径を $d^*=500(\text{mm})$ として計算した。つぎに、管網における中枢性指標を算定すると、流入地点としてもっともふさわしいノードはノード19（図1の黒二重丸）であり、既存の流入地点は4番目に妥当であることが分かる。また、中枢性指標の上位10ノードに着目すると、これらのノードは管径400(mm)以上の配水管に接続されていることが読み取れる。

ここで、中枢性指標から流入地点を選定することの有用性を示すために、管網におけるそれぞれのノードを流入地点と設定し、管網全体の平均動水位を算出した。この際、配水池からそれぞれの流入地点に接続される管長、管径と配水池の動水位を同じ条件として設定している。この結果、ノード19を流入地点として設定した場合、管網全体の平均動水位が最大となる。この時の管網全体の平均動水位を最適な状態として定義すると、他のノードを流入地点として設定した時に、最適な状態にするために配水池での必要動水位の加圧量が求められる。それぞれのノードにおいて、最適な状態にするために必要な動水位の加圧量と中枢性指標の関係を示したのが図2である。図2より、中枢性指標がより大きな値をとるノードほど最適な状態に近づく傾向にあることが明らかとなり、効率的な流入地点を選定する際の評価指標として中枢性指標を用いることは有用であると言える。

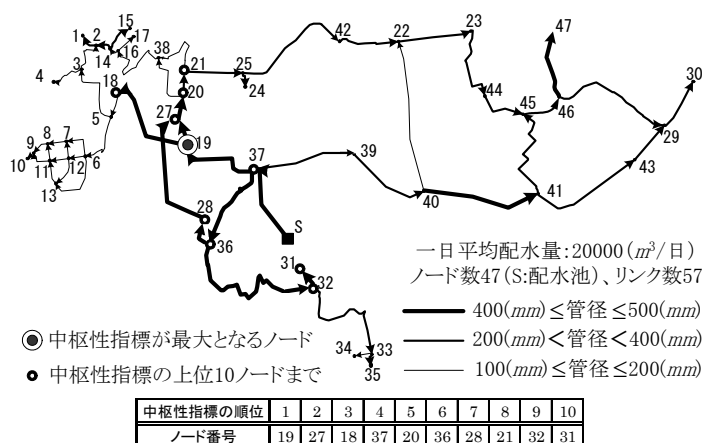


図1 ケーススタディにおける対象管網

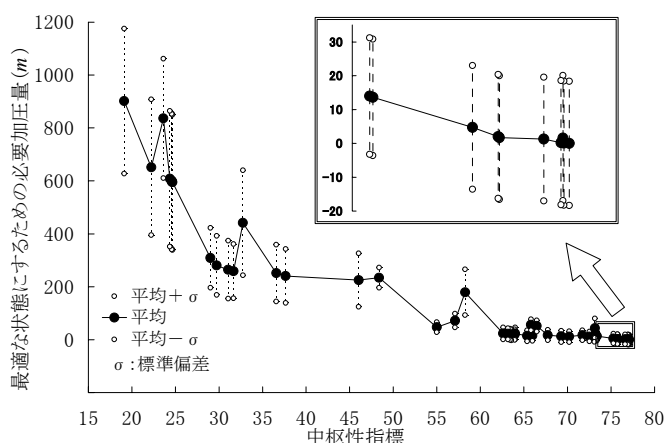


図2 ケーススタディの結果

4. おわりに

本稿では、水道の配水管網における流入地点を変更する際の一つの手段として、中枢性指標を用いた手法を提案した。すなわち、中枢性指標の相対的に大きな値は、グラフの中心により近い性質を有することを利用して流入地点の選定を試みた。この際、配水管網における水理的關係を中枢性指標に反映するために、等値管の考え方を採用した。そして、ケーススタディの結果、本稿で提案した評価手法は流入地点を選定する際に有用であることが明らかとなった。なお、今後の課題として、配水ブロック化を検討する際に、ブロックごとの流入地点の選定に応用すること等が残されている。

【参考文献】

- 1) 小棚木修、小泉明、渡辺晴彦：水道管路網の改良・更新計画のための評価手法に関する研究、土木学会環境システム論文集、Vol.29、pp.361-368、2001年
- 2) R.G.バサッカー、T.L.サーティ：グラフの理論とネットワーク／基礎と応用、培風館、pp.199-200、1970年
- 3) 野崎昭弘：アルゴリズムと計算量、共立出版株式会社、pp.174-181、1987年