

1. はじめに

従来の配水管網解析は、各節点の地盤上残存水頭が許容値以上に保持された場合に対するものである。この許容地盤上残存水頭は、取り出し水量の設計値が給水管系を流れるときの摩擦損失, minor losses および立ち上がり管の高さに見合うものであって、地盤上残存水頭がその許容値を下まわったときには、設計水量を取り出せないことがある。したがって、従来の解析法によっては、たとえば「供給水圧を低下させて給水を制限した場合あるいは管路が欠損した場合の管網内の流況を明らかにすることができない。

本報では、これら水圧不足時に対する管網解析法を提示する。この方法は、従来の節点エネルギー位法の計算式中に給水管系の損失を組み込んだものである。

2. 解析法

節点 m に給水栓があるとき、給水管 $i-m$ の流量 $Q_{i,m}$ [m^3/sec] は次のように表わされる。

$$Q_{i,m} = \frac{(E_i - E_m)}{\sqrt{E_i - E_m}} \cdot M_{i,m} \cdot \left\{ f_{i,m} + \zeta_{v,m} \frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} + (\sum \zeta_r)_{i,m} \frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} \right\}^{-1/2} \quad (1)$$

ここに、 $M_{i,m} = \sqrt{(\pi^2 g / 8) \cdot (D_{i,m}^5 / L_{i,m})}$ (2)
ただし、添字 i と m はそれぞれ節点 i と m を表わし、添字 (i, m) は管路 $i-m$ を表わす。また、 E はエネルギー位 [m]、 D は直径 [m]、 L は管路長 [m]、 f は摩擦損失係数、 ζ_v は給水栓のバルブ損失係数、 $\sum \zeta_r$ は ζ_v 以外の minor losses に対する損失係数の和である。

式(1)を Newton 法によって 1 次化する

$Q_{i,m} = g_{i,m} + (dQ_{i,m} / dE_i)_{E_i=e_i} \Delta E_i = g_{i,m} + (a'_{i,m} + z'_{i,m}) \Delta E_i$ (3)
となる。ただし、 $g_{i,m}$ は E_i の仮定値もしくは近似値 e_i を用いたときの $Q_{i,m}$ の値、 ΔE_i は補正エネルギー位である。また $g_{i,m}$ 、 $z'_{i,m}$ は次式の $Y_{i,m}$ 、 $Z'_{i,m}$ に $E_i = e_i$ を代入したときの値である。

$$Y'_{i,m} = \frac{M_{i,m}}{\sqrt{E_i - E_m}} \cdot \left\{ f_{i,m} + \zeta_{v,m} \frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} + (\sum \zeta_r)_{i,m} \frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} \right\}^{-1/2} \quad (4)$$

$$Z'_{i,m} = \frac{M_{i,m} \cdot N_{i,m}}{2.303 |E_i - E_m| \left(\frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} + \frac{N_{i,m}}{\sqrt{E_i - E_m}} \right)} \cdot \left\{ f_{i,m} + \zeta_{v,m} \frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} + (\sum \zeta_r)_{i,m} \frac{D_{i,m}}{L_{i,m}} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

ここに、 $N_{i,m} = 9.35 \sqrt{L_{i,m} / (2g \cdot D_{i,m})}$ 、 ν は水の動粘性係数 [m^2/sec]、 $D_{i,m}$ は給水管の絶対粗度 [m] である。

他方、節点 i の取り出し水量を p_i としたときの 1 次化された節点方程式は次のように書かれる¹⁾。

$$\Delta E_i \sum_f (a'_{i,f} + z'_{i,f}) - \sum_f (a'_{i,f} + z'_{i,f}) = -p_i - \sum_f g_{i,f} (e_i - e_f) \quad (6)$$

($i = 1, 2, \dots, N-M$)

ここで、右辺の p_i と式(3)の $Q_{i,m}$ を等置して整理すると

$$\Delta E_i \left\{ \sum_f (a'_{i,f} + z'_{i,f}) + a'_{i,m} + z'_{i,m} \right\} - \sum_f (a'_{i,f} + z'_{i,f}) \Delta E_f = - \left\{ \sum_f g_{i,f} (e_i - e_f) + g_{i,m} (e_i - E_m) \right\} \quad (7)$$

($i = 1, 2, \dots, N-M$)

が得られる。ただし、 N は総節点数、 M はエネルギー位を指定された節点の数である。

式(7)の連立 1 次方程式を解いて ΔE_i を求め、補正されたエネルギー位 $E_i = e_i + \Delta E_i$ を再び e_i とおくという操作を式(7)の右辺が許容誤差以内になるまで繰り返せばよい。そのときの各 e_i が最終解であり、節点 i の取り出し水量は次式によって求められる。

$$g_{i,m} = g'_{i,m} (e_i - E_m) \quad (8)$$

ここで問題となるのは、以上のようにして求められた節点取り出し水量が必要水量よりも大きくなった場合である。すなわち、そのときには需要水量を上まわった水量が取り出されるという不合理が生ずる。そこで、需要水量以上の水量取り出しがあるときには、需要者が給水栓のバルブをしばって ζ_v を増大させ、需要水量に等しい水量を取り出すという前提をおく。一方、需要水量を下まわった水量しか取り出せないときは、需要者は ζ_v を最小値 0 まで減少させるであろう。

したがって、式(3)に含まれる $\zeta_{v,m}$ は一定値でなく、取り出し水量 $Q_{i,m}$ と需要水量 $\hat{Q}_{i,m}$ の大小関係に応じて変更されねばならない。 $\hat{Q}_{i,m}$ に対応する $\zeta_{v,m}$ の値を $\hat{\zeta}_{v,m}$ とおくと、 $\hat{Q}_{i,m}$ と $Q_{i,m}$ の関係は近似的に

$$\frac{Q_{i,m}}{\hat{Q}_{i,m}} = \sqrt{\frac{f_{i,m} \frac{L_{i,m}}{D_{i,m}} + \hat{\zeta}_{v,m} + (\sum \zeta_r)_{i,m}}{f_{i,m} \frac{L_{i,m}}{D_{i,m}} + \zeta_{v,m} + (\sum \zeta_r)_{i,m}}} \quad (9)$$

と書くことができ、 $\hat{\zeta}_{v,m}$ は

参考文献 1)；高桑：土木学会論文報告集，第 204 号 (1972. 8)

$$\hat{\zeta}_{v,m} = \left(\frac{Q_{v,m}}{Q_{d,m}} \right)^2 \left\{ f_{L,m} \frac{L_{d,m}}{D_{d,m}} + \zeta_{v,m} + (\sum \zeta_r)_{d,m} \right\} - f_{L,m} \frac{L_{d,m}}{D_{d,m}} - (\sum \zeta_r)_{d,m} \quad (10)$$

として得られ、この値が負のときは取り出し水量が需要水量を下まわり、正のときは上まわっていることになる。そこで、 $\hat{\zeta}_{v,m} \geq 0$ のときは $\zeta_{v,m} = \hat{\zeta}_{v,m}$ とし、 $\hat{\zeta}_{v,m} < 0$ のときは $\zeta_{v,m} = 0$ とおくことにより、修正された $\zeta_{v,m}$ の値が求められる。

3. 計算例

上記の解析法を用い、配水基地の水位変化にともなう節点取り出し水量の変化を調べてみる。

計算条件は次のとおりとする。

(1)対象管網：節点および管路配置は図-1のごとくで

あり、このうち△印節点は給水栓、それに接続する管路は給水管である。

(2)管路長と直径：図-1に記入されているとおり。

(3)絶対粗度：すべての管路について 0.001 m。

(4)ε_r：すべての給水管について ε_r = 5。

(5)節点方程式に対する最大許容誤差： 5×10^{-5} m/sec。

(6)給水栓の高さ：条件①はすべて 0 m、条件②は表-1に示すように給水栓ごとに異なる場合。

(7)需要水量：表-2に示すとおり。

配水基地水位を $50 \sim 10$ m の範囲で変化させるとき、各節点の取り出し水量は表-3のごとくであり、全取り出し水量は図-2の破線部に示したように変化する。なお、図-2の破線部は節点2と6の需要水量が 0.009 ではなく 0.012 m/secであったとしたときの変化を示す。

これらの結果を、配水基地における供給水圧を低下させて給水量を制限しようとする場合にあってはめきみると、次のことがいえよう。

(1)図-2より、水圧に余裕がある管網については、減圧量をきわめて大きくしなれば、給水制限ができない。

(2)表-3より、減圧量が大きくなるほど、需要者が受ける制限の度合いに大きな差異が生ずる。

4. あとがき

以上、水圧不足時の管網解析法と計算例を示した。今後の研究によって給水管系の損失水頭の内容が明確化されるならば、本法は給水管の増設、給水圧の改善あるいは管網のもつ弾力性の評価といった問題を解決する上で有用となるであろう。

計算は北大大型計算機センターのFACOM 230-60によった。

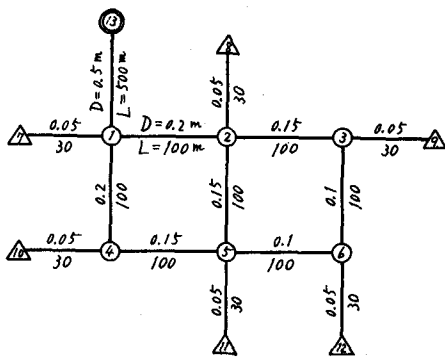


図-1 管網図

表-1 給水栓の高さ

節点	給水栓の高さ
7	5 m
8	3
9	0
10	0
11	8
12	5

表-2 需要水量

節点	需要水量
1	4×10^{-3} m/sec
2	9
3	7
4	4
5	4
6	9

表-3 節点取り出し水量 [10^{-3} m/sec]

配水基地水位 m	給水栓高さの条件											
	条件①						条件②					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
50	4.00	9.00	7.00	4.00	4.00	9.00	4.00	9.00	7.00	4.00	4.00	9.00
45	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
40	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
35	"	8.74	"	"	"	8.63	"	8.99	"	"	"	8.63
30	"	8.09	"	"	"	7.99	"	8.36	"	"	"	7.99
25	"	7.38	"	"	"	7.28	"	7.67	"	"	"	7.28
20	"	6.59	6.54	"	"	6.51	"	6.92	"	"	"	6.50
15	"	5.71	5.66	"	"	5.63	"	6.08	6.55	"	"	5.62
10	"	4.65	4.62	"	"	4.59	"	5.10	5.17	3.87	4.58	3.22

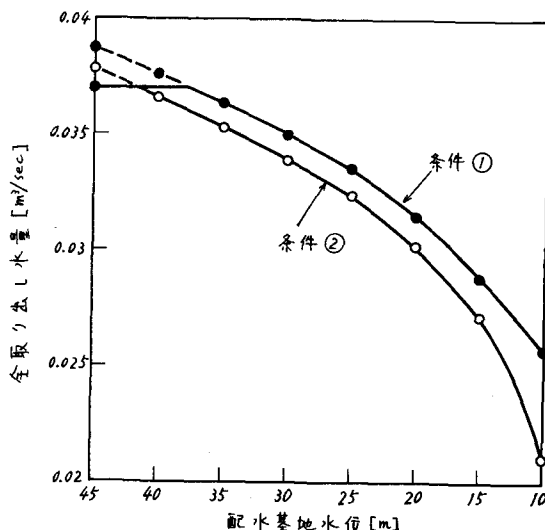


図-2 配水基地水位と全取り出し水量の関係