

パイプライン分水工の閉そく操作に関する考察

Study on the operation of the division work to reduce water hammer

加藤 敬

Takashi KATO

1. はじめに

管路の分水工バルブを閉めて水を止めれば水撃圧が生じることは知られている。圧力波が管路を往復する時間 T (秒) より短い時間でバルブを閉そくする場合、急閉そく状態と呼ばれ大きな水撃圧を生ずる。このため急閉そくとならないように分水工を操作する。バルブの閉そく時間は、バルブを動かしている時間ではなく、バルブの流量制御特性を考えた等価閉そく時間 (流量を急激に変化させている時間) を用いる必要がある。また、管路が長くなるとバルブを T (秒) 以上かけて等速度で閉めることは難しくなるので、段階的に閉めるときの水撃圧を検討した。

2. 等価閉そく時間

口径0.3m、長さ $L=1,000\text{m}$ 及び $4,000\text{m}$ の管路でのバタフライバルブでの流量制御特性は Fig.1 のようになる。同口径、同水位差 (4m) の条件では、管路が長くなるほど小開度での開度に対する流量の変化が急激になる、ただし、流量は異なる。 $L=1,000\text{m}$ では50%以下、 $L=4,000\text{m}$ では30%以下の急である。全開から全閉の場合、流量変化が大きい区間の作動時間を等価閉そく時間とするならば、このケースでは、全開から全閉に要する全時間の1/2~1/3とみなさなければならない。

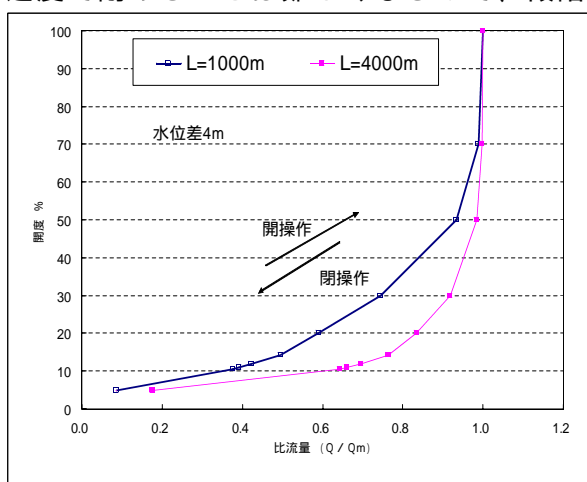


表 - 1 操作時間による圧力上昇の違い

L=1,000		L=4,000	
操作時間 t 秒	圧力上昇値 m	操作時間 t 秒	圧力上昇値 m
2	1 1 2	2 0	5 3
5	1 0 9	4 0	5 1
2 0	7 0	8 0	4 4

3. 操作時間による圧力変動の違い

モデル管路のシミュレーションで、閉そく時間を変え、閉そく時間による水撃圧の差を比較した。モデルの管路は口径0.3m、水頭差4m、圧力波の伝播速度 $1,000\text{m/s}$ 、バルブは口径0.3mのバタフライバルブとした。長さは $L=1,000\text{m}$ と $L=4,000\text{m}$ の2ケースとし、計算は特性曲線法を用いた。

全開から全閉に要する時間を変えたシミュレーションの結果は表のようになる。全開時流速はそれぞれ 1.08m/s ($0.077\text{m}^3/\text{s}$)、 0.52m/s ($0.037\text{m}^3/\text{s}$)となる。急閉鎖における水撃圧を推定するジュウコフスキーの式は次式で表される。

$$\Delta H = -\frac{\alpha}{g} \Delta V \quad (1)$$

ここに、 ΔH : 圧力上昇値 (m)、 $\Delta V = V_0 - V_1$ (m/s)、 V_0 : バルブ操作開始前の流速 (m/s)、 V_1 : バルブ操作開始後の流速 (m/s)、 α : 圧力波の伝播速度 (m/s)、 g : 重力の加速度 (m/s^2)。

この式で圧力上昇を推定すれば78m、及び53mとなる。モデル管路の圧力波の往復時間 T は2秒、及び8秒であるので、操作時間がその2倍でも急閉そくに近い圧力上昇となっている。また、この式から1回の操作での ΔV が小さくあれば、水撃圧も小さく収められると推測される。

3．複数回に分割した分土工バルブ閉そく操作

管路長が長くなれば往復時間 T も長くなる。長時間かつ等速度でバルブを閉めることは困難である。そこで、操作を数回に分けて閉める方法が考えられる。分土工におけるバルブの閉操作を小幅の開度変更の複数回の操作に分けて閉める方法は種々考えられ、最大分水量を設定したときの開度、及び、管内流速を考慮して操作方法を考える。基本的な方法として次の操作を考える。

(i) 水を止めるときのバルブ閉操作を1回で全閉させず、段階的に分けて閉める。

少なくともはじめの流量が半分となるところで一旦停止できるとよい。

() 一時停止時間は圧力波の往復時間の数倍以上とる。分土工から水が出ている状況

下では一周期 $T = 4L/a$ 以上待てば圧力変動は収まってくる。締め切ったときの圧力変動の収まる時間は長い。

モデル管路のシミュレーションで1回の操作で約30%の流量変化となるように、100% 20% 10%と操作40秒毎の一時停止を入れて100秒で閉そくした場合の圧力変動を見ると Fig.2 のようになる。このときのバルブの速度は、全開から全閉の所要時間20秒とした。この複数に分けた操作は、Fig.3 の80秒間の等速でバルブを閉めた場合とほぼ同じ圧力上昇値となる。Fi.3 では、操作開始後60秒程度は少ししか流量が変化していない。

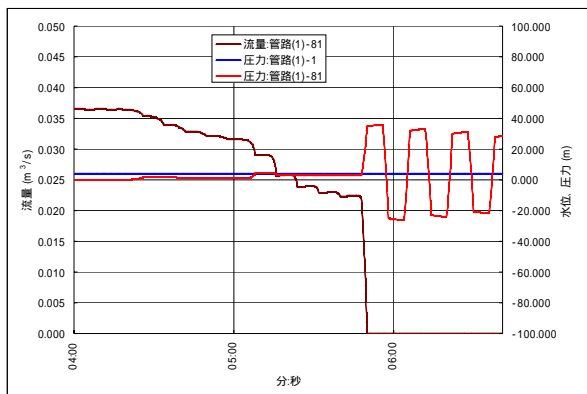


Fig.2 3回に分けて操作した場合の圧力変動
(4分10秒から閉操作開始、終了5分50秒)
圧力が-10m以下となった後の結果は無効

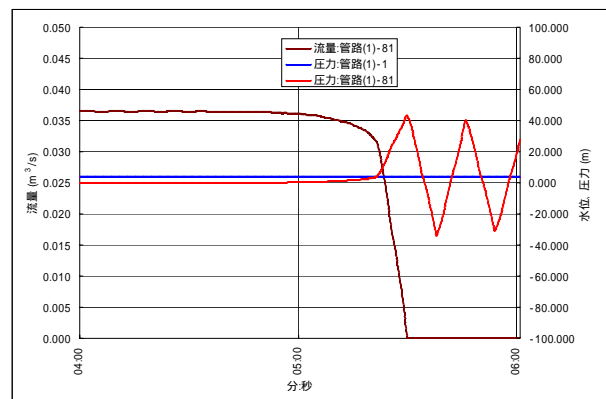


Fig.3 80秒間で閉そくした場合の圧力変動
(4分10秒から閉操作開始)

4．おわりに

長い管路で、特に、1つの分土工のみが稼働しているものを閉めるときには注意を要する。実際の操作ではバルブ開閉の速さは限られ、急閉そくとなり易い。水撃圧を小さく収める管理方法として、1回の操作による流速変化を小さくし閉操作と一時休止をくり返して段階的に閉じる操作方法を提案する。一時休止の待ち時間は変動周期の2周期分以上とする。