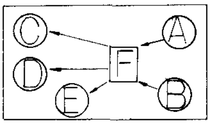
## II－24　利水用流量計の誤差の推定についての一考察

福山大学工学部　正員　梅田眞三郎
神戸大学工学部　正員　筧　源亮
熊谷組 K.K　正員　曽我彰彦

1、はじめに　最近、利水事業において人口急増による需要量の増大が、各事業所のポンプ圧送の上昇を余儀なくさせている。そのことは、随所に設置された流量計器類の検定の精度を低下させる原因となっている。

本研究は、二つの送水池と三つの配水池における1年間の流量データを基に、各種の統計的取扱い方法によってそれぞれの流量計の誤差の推定について考察を行ったものである。

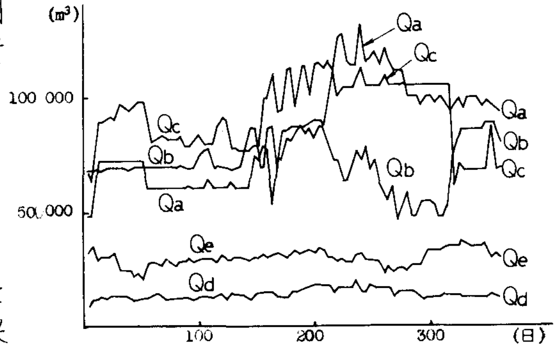
2、適用利水管線　利水管線の概略は、図－1に示すように、A，B二つの事業所において$Q_A$，$Q_B$なる流量を送り、受水池Fを経てC，D，Eの三つの配水池に受けの流量$Q_c$，$Q_d$，$Q_e$を配分している。それぞれの流量は、電磁流量計及びベンチュリー流量計によって日流量として計られている。これらの年変動を図－2に示す。測定された日流量$Q_a$から$Q_e$の間には、中間のF点において次の(1)式の連続の関係が成立するはずであるが、実際には(2)式のように流量の誤差が認められる。



図－1　利水管線の概略

$$\sum Q_i = 0 \quad (i=a,b,c,d,e) \quad (1) \qquad \sum Q_i = Q_f \quad (2)$$

ここで便宜上$Q_f$なる流量を誤差流量と名づける。



図－2　各流量の年変動

3、相関性　個々の送り量$Q_a$，$Q_b$あるいは全送り量$Q_{ab}$ ($Q_a+Q_b$) と受けの量$Q_c$，$Q_d$，$Q_e$や$Q_f$等のラグ零における相互相関係数を調べて見ると表－1のような結果となった。ここで、流量$Q_a'$，$Q_b'$……はそれぞれ流量$Q_a$，$Q_b$……に誤差流量$Q_f$を加減したものである。たとえば、送りの流量に対しては $Q_a'=(Q_c+Q_d+Q_e)-Q_b=Q_a-Q_f$，受けの流量に対しては $Q_c'=(Q_a+Q_b)-(Q_d+Q_e)=Q_c+Q_f$ で示すようなものである。これらの結果からわかるように送り量とそれぞれの受けの量では$Q_c$に対してかなりの相関性を示しているが、$Q_d$、$Q_e$とは相関性が劣る。また誤差流量の存在によってもたらされた$Q_a'$，$Q_b'$……なる流量と個々の流量の相関性を見ると、$Q_a$と$Q_a'$，$Q_b$と$Q_b'$，$Q_c$と$Q_c'$とは相関性が優れており、特に$Q_b$と$Q_b'$はそれが非常に高い。これらの相関性の高い3つの量について相関の周期性をみてみると、図－3のようになり、$Q_b$と$Q_c$とが同じような周期でもって相関性を示していることがわかる。しかもそれぞれの相互相関は、ラグが零のとき最大となっている。すなわち、このような流量データは遅れ時間はほとんどない。ところでsin curveのような周期関数に各種の大きさのノイズをのせて自己相関々数のグラフを描いてみると、ノイズが大きくなる程その落ち分が大きくなることが認められる。そこで5個の流量データの自己相関係数におけるラグ$\tau=0$と$\tau=1$の差である落ち分を調べると表－2のようになる。この結果より誤差流量$Q_f$のばらつきはもちろん大きいが、流量$Q_d$が5つの測定流量のなかでばらつきが一番大きいと考えられる。

表－1　各流量の相互相関係数

| 流　量 | Qa, Qa' | Qb, Qb' | Qc, Qc' | Qd, Qd' | Qe, Qe' | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 相関係数 | 0.97 | 0.99 | 0.98 | 0.68 | 0.66 | |
| 流　量 | Qa, Qf | Qb, Qf | Qc, Qf | Qd, Qf | Qe, Qf | Qab, Qf |
| 相関係数 | −0.27 | 0.60 | 0.27 | 0.25 | −0.20 | 0.40 |
| 流　量 | Qa, Qc | Qa, Qd | Qa, Qe | Qa, Qg | Qb, Qc | Qb, Qd |
| 相関係数 | 0.43 | 0.25 | 0.36 | 0.48 | 0.73 | 0.63 |
| 流　量 | Qb, Qf | Qb, Qg | Qab, Qc | Qab, Qd | Qab, Qe | Qab, Qg |
| 相関係数 | −0.04 | 0.71 | 0.97 | 0.76 | 0.19 | 0.98 |

4、SN比　前述のように適用利水管線の各流量間の相 [$Q_{ab}=Q_a+Q_b$ 　$Q_g=Q_c+Q_d+Q_e$]

関性を把握することができたので、これらを基にそれぞれの流量の計測誤差あるいは変動特性をSN比によって推定してみる。

SN比は、通信工学における信号対雑音比の略称で呼ばれるものである。真値が$M_1, M_2, \cdots M_n$における読み特性の観測値$y_1, y_2, \cdots y_n$において以下に示す(3)式のような1次式を最小二乗法であてはめた場合、そのときの残差二乗和$S_e$を誤差変動として考え、$m$, $\beta$の最小二乗法解を$\hat{m}$, $\hat{\beta}$とすれば、それぞれ(4)、(5)式であり、$S_e$は(6)式で示される。

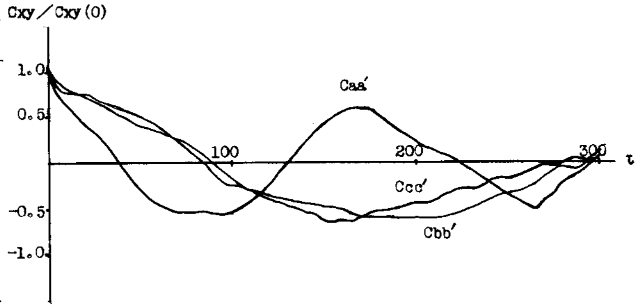



図-3 相互相関図

表-2 自己相関係数の落ち分

| 流量 | Qa | Qb | Qc | Qd | Qe | Qf |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 落ち分 | 0.14 | 0.08 | 0.10 | 0.21 | 0.10 | 0.47 |

分散分析の理論によれば、$S_e$は自由度$(n-2)$で、観測値1個あたりの誤差の二乗平均、いわゆる誤差分散$\sigma^2$は、(7)式の分散$V_e$で推定される。したがってSN比$\eta$は(8)式で定義される。このSN比のような相対的な大きさを示すのにデシベルという単位が用いられる。それはSN比$\eta$の値の常用対数値の10倍の単位としてデシベル(db)と呼んでいる。

$$y = m + \beta(M_i - \bar{M}) \qquad (3)$$

$$\hat{m} = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + \cdots\cdots + y_n) \qquad (4)$$

$$\hat{\beta} = \frac{(M_1-\bar{M})y_1 + (M_2-\bar{M})y_2 + \cdots + (M_n-\bar{M})y_n}{(M_1-\bar{M})^2 + (M_2-\bar{M})^2 + \cdots + (M_n-\bar{M})^2} \qquad (5)$$

$$S_e = \sum_{i=1}^{n}\left\{y_i - \hat{m} - \hat{\beta}(M_i - \bar{M})\right\}^2 \qquad (6)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{S_e}{n-2} = V_e \qquad (7)$$

$$\eta = \frac{\text{一次係数の二乗}}{\text{誤差分散}} = \frac{(\beta)^2}{\sigma^2} \qquad (8)$$

そこでSN比を各流量に適用するにあたり、それぞれの流量の真値として$Q_a', Q_b', \cdots Q_e'$なる流量を次のような形として、流量$Q_f'$を種々に仮定してみる。

$Q_a' = Q_a - Q_f' \quad Q_b' = Q_b - Q_f'$

$Q_c' = Q_c - Q_f' \quad Q_d' = Q_d - Q_f' \quad Q_e' = Q_e - Q_f'$

(1) 測定結果による誤差流量$Q_f$そのままとする。

$Q_f' = (Q_a + Q_b) - (Q_c + Q_d + Q_e) = Q_f$

(2) $Q_f$の均等配分したものとする。 $Q_f' = Q_f / 5$

(3) 自己相関係数の落ち分で$Q_f$を配分したものとする。

たとえば$Q_b' = Q_b - Q_f' = Q_b - (0.08 \times Q_f / 0.14 + 0.08 + 0.10 + 0.21 + 0.10)$

(4) 5つの測定流量比で$Q_f$を配分したものとする。

たとえば$Q_c' = Q_c - Q_f' = Q_c - (Q_c \times Q_f / Q_a + Q_b + Q_c + Q_d + Q_e)$

(5) 相関性の高い$Q_b$と$Q_b' (= Q_b - Q_f)$を$Q_b' = \alpha + \beta Q_b$なる関係にあると仮定し、$\alpha$, $\beta$を最小二乗法により求め誤差流量$Q_f$を補正してから(4)と同様な流量比で$Q_f$を配分したものとする。たとえば$Q_a' = Q_a - \left[\left\{Q_a \times (Q_a + 0.884 \times Q_b + 228) - (Q_c + Q_d + Q_e)\right\} / Q_a + Q_b + Q_c + Q_d + Q_e\right]$

表-3 各流量のSN比

| | Qa, Qa' | Qb, Qb' | Qc, Qc' | Qd, Qd' | Qe, Qe' | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SN比(1) | -70.04 | -68.26 | -69.93 | -73.20 | -73.55 | -71.00 |
| SN比(2) | -55.81 | -54.16 | -55.79 | -56.17 | -56.10 | -55.60 |
| SN比(3) | -56.73 | -50.21 | -53.78 | -61.06 | -54.03 | -55.60 |
| SN比(4) | -55.95 | -58.37 | -60.19 | -42.94 | -49.55 | -53.40 |
| SN比(5) | -55.30 | -59.41 | -58.51 | -41.43 | -48.14 | -52.16 |

これらの真値と仮定した流量に対して、それぞれのSN比を求めると表-3のようになる。この結果から$Q_b$, $Q_c$に対しては(3)の場合のSN比が、$Q_a$, $Q_d$, $Q_e$に対しては(5)の場合のSN比が一番大きい。したがって、それぞれの推定真値が真値の特性をよく表わしていると考えられる。

5、結び　以上のように本利水管線における流量データの誤差の配分は、それぞれの流量$Q_a$～$Q_e$に対して、誤差流量$Q_f$の12.6, 15.7, 14.7, 0.9, 2.1%となり、当然ながらほぼ流量に比例している。その残りである$Q_f$の54%の量が流量計相互間のくるい等によるものと推定される。ただし、これは真値に対する読み特性値に一次式をあてはめた場合の推定結果である。