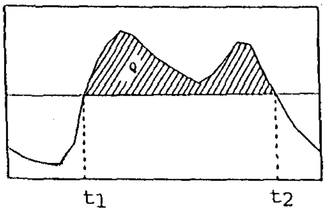
配水池容量の安全性に関する考察

鳥取大学工学部　　正○細井由彦
徳島大学工業短期大学部　正　村上仁士

1．まえがき　水道配水池の容量の決定には，一定流量で供給される浄水と時間的な変動をする需要との間を調整する調整容量，および種々の事故等による緊急時にも給水が行えるようにするための，緊急時対応容量が考慮される．時間調整容量は一日最大給水量の５～６時間分とされてきたが，平成２年に改訂された水道施設設計指針・解説[1]では，緊急時を考慮し，より給水の安全性を高めるために，一日最大給水量の１２時間分を標準とするようにされている．これらの配水池容量を諸外国のものと比較すると表－１のようになり，わが国の容量はかなり低いものとなっている．本研究ではこのような配水池の容量の安全性を定量的に評価する方法について検討した．

2．時間調整容量　先にも述べたように時間調整容量は，時刻により変動する時間給水量と一日平均給水量とのギャップを埋めるためのもの q^* である．図－１の斜線で示される部分が時間給水量が平均給水量を上回る部分であり，その送水量をＱとすると，次のように表される．



図－１　需要の時間変動

$$Q=\int_{t_1}^{t_2}\left(q(t)-q^*\right)dt \qquad (1)$$

$q(t)$：時間給水量　　q^*：平均給水量

Ｑを確率変数と考えその密度関数を $f_Q(Q)$ とすると，容量Ｖの配水池の時間調整機能に関する信頼度 $R_1(V)$ はつぎのように考えることができる．

$$R_1(V)=\int_0^V f_Q(Q)\,dQ \qquad (2)$$

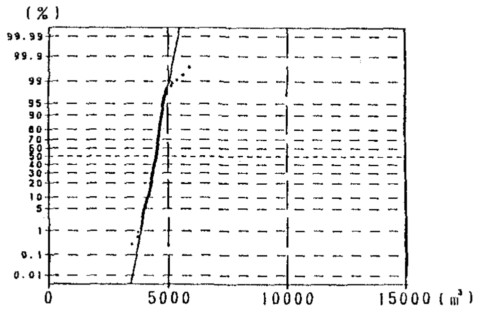
$f_Q(Q)$ を求めるために，徳島市法花谷配水池の時間配水データよりＱを求め正規確率プロットしてみたものが図－２である．図には1978年の例を示している．他に1983年，1988年についてもやはり正規分布とみなすことができた．それらの平均値，標準偏差，変動係数を示したものが表－２である．年とともにこれらは大きくなる傾向にあった．これらの値の変化は家庭用水量のしめる割合を考えると比較的よく説明できる[2)]．$f_Q(Q)$ を表－２で与えられるようなパラメータを有する正規分布であると考えて，法花谷配水池の容量 10,000 m^3 の信頼度を式（２）より求めると，1988年に0.999989となったが，1978，1983年については0.999999を越える値となった．

表－１　配水池容量の比較

都市名	国名	日最大給水量に対する配水池容量
シドニー	オーストラリア	3.4日分
メルボルン	オーストラリア	2.4
ウィーン	オーストリア	3.4
モントリオール	カナダ	0.77
ブリュッセル	ベルギー	1.45
ハンブルグ	西ドイツ	0.68
ヨークシャー	イギリス	2.5
サンフランシスコ	アメリカ	4.0
ボストン	アメリカ	0.92
	日本	0.33～0.5

（日本水道協会）

時間調整容量の標準とされている一日最大給水量の５～６時間分という値について考えてみる．これを時間平均給水量の６時間分と考えて，1988年のパラメータ値を用いて，式（２）より $R_1(6q^*)$ を求めると，0.999996という値が得られた．



図－２　法花谷配水池給水量の正規確率プロット

表－２　Ｑの分布特性

解析年	1978	1983	1988
$\mu_Q(m^3)$	4459	5163	5576
$\sigma_Q(m^3)$	216	445	1014
σ_Q/μ_Q	0.04844	0.08619	0.18185

3．緊急時対応容量　配水池より上流側において事故が発生し，通常の送水が不可能になった場合にも，安定した給水を確保するために必要とされる容量である．配水池への送水が停止あるいは縮小される全ての事故をB_1，B_2，・・B_nで表す．事故B_iを修理し回復するのに要する時間をT_i，その間の縮小された送水量を時間当たりS_i，その間に配水池より出ていく総需要水量をYとする．配水池の容量をVとすると，B_iに対するこの配水池の信頼度$r_i(V)$は，修理時間中の需要を満たす確率と考えつぎのように定義することができる．

$$r_i(V)=P\left[Y-S_iT_i\leqq V\right] \qquad (3)$$

修理時間および総需要を確率変数と考え，Tに対するYの条件つき確率密度関数を$f_{Y|T}(y|t)$，T_iの確率密度関数を$f_{Ti}(t)$とすると，つぎのように表される．

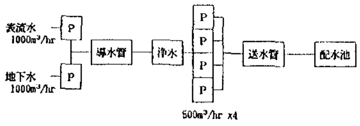
$$r_i(V)=\iint_{y-S_it\leqq V} f_{Y|T}(y|t)\cdot f_{Ti}(t)\,dy\,dt \qquad (4)$$

緊急時における容量Vの信頼度$R_2(V)$はつぎのように書ける．

$$R_2(V)=\Sigma\, r_i(V)\cdot P\left[B_i\right]/\Sigma P\left[B_i\right] \qquad (5)$$

以上の結果を図－3に示すようなシステムについて適応してみる．緊急事態としては表－3に示すような8ケースが考えられるものとする．

緊急時における各事故の発生確率を表－4，式（4）に含まれる各確率密度関数を表－5にそれぞれ示す．$f_{Ti}(t)$を図示したものを図－4に示す．これらの導出過程については別途報告することにし[2)]ここでは省略する．これらを用いて計算した$R_2(V)$を図－5に示す．ここで考えた事例の場合，平均給水量の１０時間相当の容量までは，大きくなるにつれて信頼度も増加するが，１０～２０時間の間は容量が増えても信頼度はそれほど増加しない．したがって，１０時間分以上の容量にする場合には，２０時間分相当よりも大きくすることが効果的である．



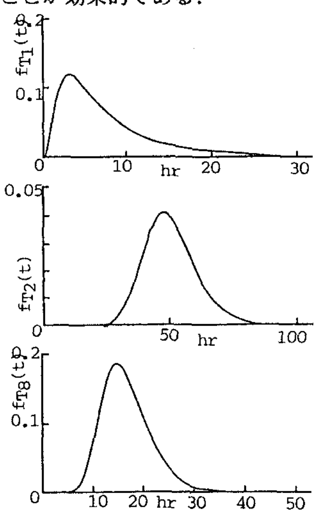
図－3　検討するシステム

表－3　考慮する事故

事故（B_i）	内容	縮小された輸送水量（S_i，m³/hr）
B_1	表流水の汚染による取水停止	１０００
B_2	取水ポンプのいずれかが停止	１０００
B_3	取水ポンプが全て停止	０
B_4	送水ポンプが３台稼働	１５００
B_5	送水ポンプが２台稼働	１０００
B_6	送水ポンプが１台稼働	５００
B_7	送水ポンプが全て停止	０
B_8	管路系が破損	０

表－4　各事故の発生確率

事故	$P\left[B_i\right]/\Sigma P\left[B_i\right]$
B_1	０．２２６
B_2	０．１７４
B_3	０．００３６
B_4	０．４６３
B_5	０．１１６
B_6	０．０１４５
B_7	０．０００７
B_8	０．００２３



図－4　確率密度関数の形状

表－5　与える確率密度関数

$$f_{Y|T}(y|t)=\frac{1}{q^*t\,\sigma_M(t)\sqrt{2\pi}}\exp\left[\frac{-(y-q^*t)^2}{2(q^*t\,\sigma_M(t))^2}\right]$$

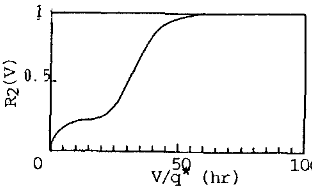
$$\sigma_M(t)=0.4\exp(-0.07t)$$

$$f_{T_1}(t)=\frac{1}{0.783\sqrt{2\pi}\,t}\exp\left[-\frac{(\ln t-1.77)^2}{2\cdot 0.783^2}\right]$$

$i=2,3,\cdots,7$

$$f_{T_i}(t)=\frac{1}{0.20\sqrt{2\pi}\,t}\exp\left[-\frac{(\ln t-3.91)^2}{2\cdot 0.20^2}\right]$$

$$f_{T_8}(t)=\frac{1}{0.278\sqrt{2\pi}\,t}\exp\left[-\frac{(\ln t-2.78)^2}{2\cdot 0.278^2}\right]$$



図－5　配水池の信頼度

4．あとがき　紙面の都合で$f_{Y|T}(y|t)$や$f_{Ti}(t)$に関する考察を述べることができなかったが，表－5で与えた式については今後さらにデータを揃えて検討する予定である．ご協力頂いた徳島市水道局奥田義郎次長に謝意を表する．

参考文献　１）水道施設設計・指針解説，日本水道協会，1990　２）細井・村上：配水池容量の信頼性評価，水道協会雑誌（投稿中）