

九州大学工学部 ○正員 河村 明
 九州大学工学部 正員 上田 年比古
 九州大学工学部 正員 神野 健二
 久留米広域上水道企業団 正員 大森 功

1. はじめに 現在人口過密ないくつかの都市では水需要の逼迫が重大な問題となっていて、水道施設の利水安全度の向上つまり漏水に対して強い施設にすることが重要な課題となっている。さて現在、水道施設基準では基準漏水確率年が10年となっていることから、10年に1度の漏水より小さな漏水に対しては、全国どの都市においてもこれに耐える水道施設が設備されているので水不足は生じない。よってこの場合はどの都市の水道施設も同じ利水安全度をもつと考えられる。しかし10年に1度より大きい漏水に対しては、各都市とも利水安全度は異なっていると考えられる。さて、利水安全度の指標については、一旦水不足が発生した場合の漏水の程度を表示するものは多く提案されているようであるが¹⁾、ある都市における水道施設の漏水に対する強さそのものを表す利水安全度の指標についてはあまり見受けられない。本報では、水道施設の安全度の指標として漏水時の水不足率の期待値を提案し、これを福岡市と北九州市について算定して両市の利水安全度の比較を行なう。次いで、福岡市と北九州市が同じ利水安全度をもつために必要な施設余裕量および漏水補給ダム容量を求め、さらに水道施設の増強および漏水補給ダムの設置による施設能力の増加によって利水安全度がいかに改善されるかを検討する。

2. 漏水時の水不足率の期待値の算定 漏水時の水不足率の期待値 L は、水道施設の漏水に対する安全度を漏水に対する弱さとして表示する指標である。まず水道施設基準に基づく施設の場合を考える。すなわち10年に1度の漏水に対して需要量 S (m^3 /年)を過不足なく供給できる水道施設があるとし、10年漏水より大きい漏水による水不足量を D (m^3 /年)とする。ここで、年間の水不足率 $v(=D/S)$ と漏水確率年 T の逆数すなわち水不足率の超過確率 $W(=1/T)$ の対数値との関係が図-1のIのように直線的に変化すると仮定し、 $v=0$ のとき $W=1/10$ を通り $v=1$ のとき $W=W_L$ とする。この関係は v の増加により W が指数関数的に減少することを意味している。さて $W(v)$ は v に対する超過確率であるので、 v の非超過確率 $F(v)=1-W(v)$ を v で微分した $-dW/dv$ は v の確率密度関数 $f(v)$ となる。ここでは基準漏水確率年(10年)以上の漏水が生じた下での条件付の水不足率の期待値を求めることにし、 $f(v)$ を $1/10$ で割った v の条件付確率密度 $f_0(v)$ を考えると、 $f_0(v) = -a \ln 10 \cdot 10^{av} (0 < v < 1)$; $\text{Prob}(v=1) = 10W_L \dots (1)$ となる。ここで a は直線Iの傾きであり、 $a = 1 + \log W_L$ である。これより水道施設基準に基づく水道施設の水不足率の期待値を L_0 とすると、 $L_0 = \int_0^1 v f_0(v) dv = (10W_L - 1) / (a \ln 10) \dots (2)$ となる。次に水道施設に余裕をもつ場合を考える。10年漏水確率年に対して余裕量 q (m^3 /年)をもつ水道施設を考えると、余裕量による水不足の緩和は漏水がひどくなると共に減少し、 $W=W_L$ においてその効果が0になると仮定する。このときの v と $\log W$ の関係は図-1の直線IIのようになる。実際にはこれらの関係は河川の流況などにより変化し、直線IIのように単純ではないと考えられるが、ここでは近似的に直線IIで表されるものとする。ここで、 $q/S = \gamma$ は余裕量による施設能力の増加率であり、余裕量による水不足の緩和は横軸における直線Iと直線IIの差として表される。この場合の水不足率の期待値を L_1 とすると、 $L_1 = (10W_L - 10^{b\gamma}) / (b \ln 10) \dots (3)$ となる。ここに、 b は直線IIの傾きで $b = (1 + \log W_L) / (1 + \gamma)$ である。次に漏水補給ダムをもつ場合を考える。漏水補給ダムの容量を z (m^3 /年)としこの場合の施設能力の増加率を $\gamma = z/S$ とすると、水不足率は漏水の程

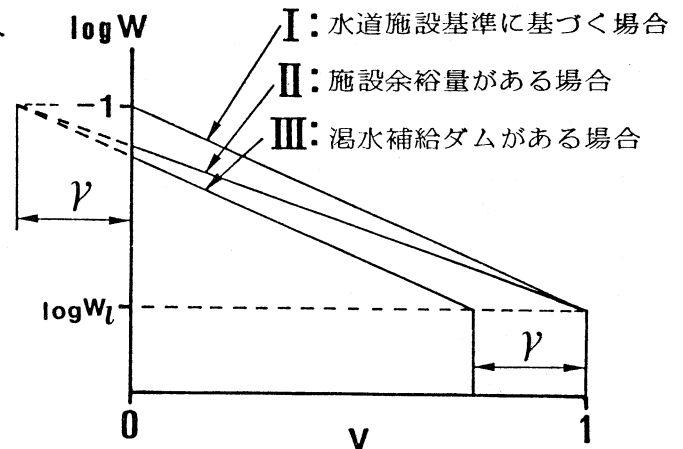


図-1 水不足率 v とその超過確率 w の対数値との関係

度に拘らず常に γ だけ緩和されるので、 v と $\log W$ の関係は図-1の直線Ⅲのようになる。そしてこの場合の渇水時の水不足率の期待値を L_2 とすると、 $L_2 = (10W_L - 10^a \gamma) / (a \ln 10)$ …(4)となる。

3. 適用例 福岡市と北九州市の水道施設について昭和53年時点における渇水時の水不足率の期待値を算定する。昭和53年の福岡市の水道施設の状況は表-1の「福岡市」の列の

表-1 昭和53年の福岡市および北九州市の水道施設の状況

	福岡市	北九州市
(1) 需要量 S (m ³ /年)	1.376 × 10 ⁹	1.540 × 10 ⁹
(2) 給水量 G (m ³ /年)	1.040 × 10 ⁹	1.344 × 10 ⁹
(3) 水不足量 D (m ³ /年)	3.36 × 10 ⁷	1.96 × 10 ⁷
(4) 水不足率 v	0.244	0.127
(5) 渇水確率年 T (年)	36.8	36.8
(6) 施設余裕量 q (m ³ /年)	なし	6.83 × 10 ⁷
(7) 施設増加率 γ	なし	0.4435
(8) 水不足率の期待値 L (%)	$L_0 = 18.7$	$L_1 = 14.3$

(1)~(5)欄のようであった。ここで渇水確率年については、昭和53年は福岡管区気象台における1890~1981年の92年間の降水資料の渇水第3位であったので、Hazen式 $W = (2n-1)/2N$ ($n=3, N=92$)の逆数として求めた。さて昭和53年当時、福岡市における水道施設には余裕はほとんどなくまた渇水補給ダムもなかったため、本市の水道施設は基準の施設であったと考えられる。よって以上の値を図-1の直線Ⅰにあてはめると、 $v=0.244$ の時 $\log W = \log(1/36.8) = -1.566$ を通る直線となり、これより $\log W_L = -3.32$ 、 $W_L = 4.82 \times 10^{-4}$ ($\approx 1/2000$)となるので、式(2)より福岡市の渇水時の水不足率の期待値 L_0 は表-1(8)欄のようになる。次に北九州市についても同様に、昭和53年の水道施設の状況を示すと表-1の「北九州市」の列の(1)~(5)欄のようになる。北九州市の場合、表-1(6)欄のような施設余裕量がありその余裕率は(7)欄のようであった。そこで以上の値を図-1の直線Ⅱにあてはめると、 $W_L = 3.71 \times 10^{-3}$ ($\approx 1/300$)となるので、式(3)より北九州市の水不足率の期待値 L_1 は表-1(8)欄のようになり福岡市のそれより小さくなる。したがって北九州市の方が福岡市に比べて渇水に対する安全度すなわち抵抗する強さが大きいといえる。次に福岡市の水不足率の期待値が北九州市と同じ値をもつために必要な施設余裕量および渇水補給ダム容量を算出する。式(3)において $L_1 = 0.143$ とすると、この場合の施設の増加率 γ は0.0653となり、余裕量 $q (= \gamma S)$ は 8.99×10^6 m³/年となる。また式(4)において $L_2 = 0.143$ とすると渇水補給ダムによる施設能力の増加率 γ は0.0495となり、渇水補給ダム容量 $z (= \gamma S)$ は 6.81×10^6 m³/年となる。よって施設余裕量の場合24,600 m³/日、渇水補給ダムの場合18,700 m³/日を確認すれば、福岡市の水道施設の利水安全度は北九州市と同じになるといえる。次に、福岡市について施設余裕量および渇水補給ダムによる施設能力の増加率 γ による渇水時の水不足率の期待値の改善の割合について検討する。図-2には福岡市の昭和53年時点の施設能力に対する、施設能力の増加率 γ による水不足率の期待値の変化を示している。図中曲線Ⅰは式(3)の施設余裕量の増加率($=q/S$)に対応し、曲線Ⅱは式(4)の渇水補給ダム容量の増加率($=z/S$)に対応するものである。ⅠもⅡも γ の増加に伴って水不足率の期待値は減少してゆくが、曲線Ⅰでは渇水の程度が大きくなるにつれて図-1の直線Ⅱに示すようにその給水能力が低下するのに対し、曲線Ⅱは渇水の程度に拘らず給水能力が一定のため、Ⅱの方がⅠに比べて水不足率の期待値が全般に小さくなり、ここに渇水補給ダムの効果を見ることができる。

4. むすび 本報で提案した渇水時の水不足率の期待値を、水道施設の利水安全度の指標として用いることにより、各都市の水道施設の利水安全度を客観的に評価でき、また目標の利水安全度を確保するための施設余裕量および渇水補給ダム容量を算定することが可能と考えられる。

参考文献 中安・振井:利水安全度指標に関する研究、第28回水理講演会論文集、1984年2月。

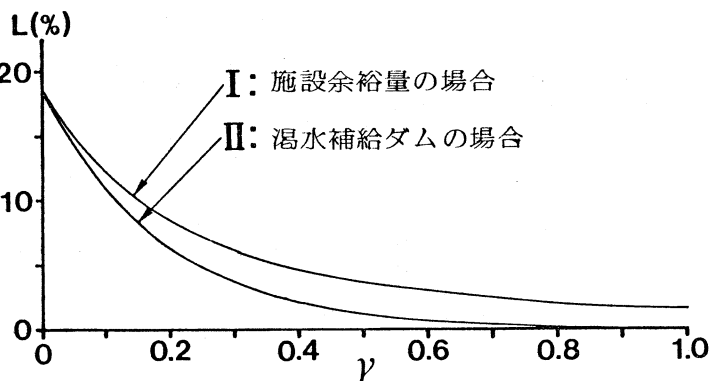


図-2 福岡市における施設能力の増加率 γ と渇水時の水不足率の期待値 L との関係