

(4) 貯水池容量決定法の再検討と初期満水確率の提言

CONSIDERATIONS ON DETERMINATION METHOD OF RESERVOIR CAPACITY

○原沢英夫*・住友 恒*

Hideo HARASAWA*, Hisashi SUMITOMO*

ABSTRACT ; Return Period of a Reservoir Capacity can be estimated from the occurrence curve of the yearly required volumes calculated by such as the Mass-Curve Method. However, the practical data processing method for the estimation has been little discussed because of the past limited data.

In this paper, from a case study of the severe drought in the Fukuoka area in 1978, the data over 60 years are collected, simulated and analyzed as a computer work, from which some practical estimation methods of the return period are shown such as follows, 1) the quantitative relations between the number of data and the precision of the estimated return period are shown as examples, 2) the distribution functions employed for the occurrence curve are compared among log-normal, Gumbel, and so forth, the result of which shows that the number of data is more important than the selection of the functions, and 3) a new stochastic treatment is required for calculated volumes by Mass-Curve Method before plotting for the occurrence curve.

The authors propose to employ a new probability of full condition of a reservoir at the beginning of the dry period, because the hypothesis of the full condition in the Mass-Curve Method leads a great deal of stochastic error for the final estimation of the return period.

KEYWORDS ; Reservoir Capacity, Return Period, Mass-Curve Method.

1. はじめに

昭和53年、北九州地域を始め全国各地の水道で大規模な渇水が発生したことは記憶に新しい。その主たる原因は予期せぬ異常少雨にあったことはいうまでもないが、この教訓から今後の対策を探っておくことはきわめて重要である。特に、貯水池容量の決定法に改善すべき問題はないか、あるいは貯水池の管理方法に改善すべき点はないかなどである。

一方、技術的な側面から貯水池に関連する事項に注目してみると、戦後40年近く経過し、多くの水文資料が全国的に整備されつつあるところから、これらの資料を活用した新しい貯水池の設計、管理法を探るべき段階にあるのではないかと考えられる。そこで、本研究では、上記これらの問題を同時に検討すべく、事例研究として福岡市水道局の曲淵ダムを取りあげ、昭和53年の渇水原因や今後究明すべき問題を分析し、考察を加えたものである。

2. 渇水の発生事例と検討すべき問題

昭和53年の異常渇水の実例として以下ここでは福岡市の上水専用ダムともいえる曲淵ダムについて分析を

* 京都大学工学部, Kyoto University, Faculty of Engineering.

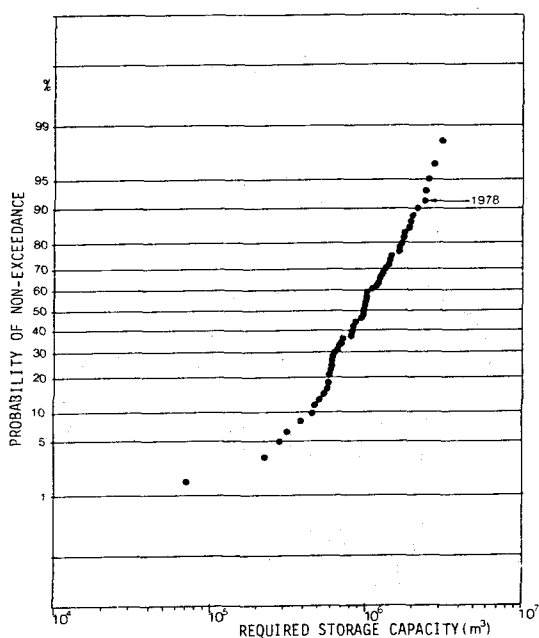


Fig.1 Thomas-plot of Yearly Required Storage Capacity by Mass-Curve Method

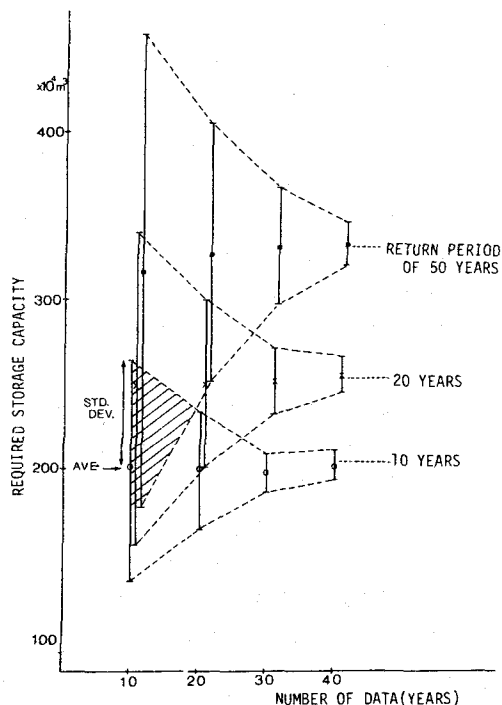


Fig.2 Relation between the Number of Data and Distribution of 10, 20, 50-year Required Storage Capacity

加える。本流域では大正期より降雨資料のみは完備され、最近 8 ケ年についてはダムへの流入量、貯水量の実績値に関する資料も整備されている。

そこで、本流域に 4 段タンクモデルを設定し、1920 年から 1979 年の 60 ケ年におたる 半月流入量のシミュレーションを試みた¹⁾。この間近似的に $38,500 \text{ m}^3/\text{日}$ ($0.446 \text{ m}^3/\text{sec}$) の一定取水量があったものとみなした時の貯水量の変動をシミュレーションで再現してみた。しかる後、この 60 ケ年の各年最大必要貯水量をマスカーブ法で算出し、対数正規確率紙にトーマスプロットしたのが Fig. 1 である。図からも明かなように、異常渇水の発生した昭和 53 年の必要貯水量は約 236 万 m^3 でその再現期間は 12.2 年であった。曲渕ダムの有効貯水量は 260.8 万 m^3 で、計算上の必要貯水量 236 万 m^3 を上まわっている。すなわちこのダムが 100 % 機能を発揮しておれば渇水は発生しなかったことになる。また、上記有効貯水量 260.8 万 m^3 は Fig. 1 から判断する限り再現期間はほぼ 20 年となり、一般の上水水源としての再現期間 10 年より 2 倍の余裕があることになる。

以上から次の 2 点について検討を加えることにした。 1) 再現期間が 20 年となっている理由、 2) 貯水池の容量は十分であったにもかかわらず渇水の発生した理由である。この両者の検討を通じて今後の貯水池の設計、管理のあり方に改善すべき普遍的な問題を洗い出すことを本研究の目的とした。

3. 貯水池容量の決定過程における資料の取扱いについて

既に記したように Fig. 1 はシミュレーションに基づく 60 ケ年の流入資料を活用したもので、曲渕ダムの設計段階では利用可能な資料としてさらに短期間の資料しか入手できなかったはずである。そこで、マスカーブ法で各年最大必要貯水量を算出した後、再現期間を決定する過程で取り上げる資料数および想定分布型の差異によって結果がいかに変化するか調べてみた^{2), 3)}。まず上記の 60 ケ年の各年の最大必要貯水量が対数正規分布に従うものとして、取り上げる資料数によっていかに再現期間および必要貯水池容量が変化するか

を調べたのが Fig. 2 である。

今、(平均値)±(一標準偏差)の範囲を有意な推定値とみなせば、Fig. 2 中の斜線の範囲は有意に区別できないことを表わす。たとえば期間 10 年の資料(資料期間 10 年)では貯水量 180 万 m^3 から 265 万 m^3 は 10 年確率とも 50 年確率ともみなされる可能性があることを示している。同じ意味で、10 年、20 年、50 年確率を有意に区別するためには少なくとも 25 年以上あるいは安全を取れば 30 年以上の資料が不可欠であることがわかる。

ところで、以上は 60 ケ年の全データに対し対数正規分布型を当てはめた時の結果である。貯水池の容量決定はいうまでもなく最大値としての極値の分布に関するものであり、しかもその極値の最大値に関するものである。いいかえれば毎年最大値のさらに最大限界値から容量を決定するものである。そこで、対数正規分布に代えて極値分布としてのゲンベル分布および指数分布を適用した場合の必要貯水量を算出したのが Table. 1 である。ここで、指数分布とは毎年最大値の上位値のみに注目し、これに指数分布を適用した上で再現期間を求めたもので、例えば Fig. 3 に示す例の場合、上位 15 位までの資料から勾配を求めこれによって指数分布のパラメータを決定する方法である。

このようにして求めた Fig. 4 および Table. 1 の結果から以下のような推論が可能となる。

- 1) 貯水池容量のように再現期間が短い決定対象に対しては当てはめる分布型はあまり重要な問題とはならない。
- 2) むしろ、活用する資料数が最も重要で、貯水池容量の決定に当っては 25 年から 30 年以上の資料が望まれる。
- 3) 貯水池容量の決定に当たり 10～15 年程度の資料で推定したものについてはその再現期間はあまり有意な意味を持たない。
4. マスカーブ法における初期不足の生起確率について

以上の検討からも明らかなように曲洩ダムの容量決定に当たり特に問題となる点はない。ただ、容量 260.8 万 m^3 が 10 年確率か 20 年確率か

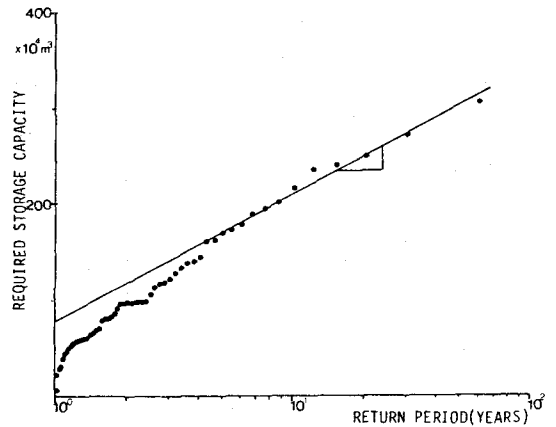


Fig. 3 Fitting Exponential Distribution to the Upper Part of Data

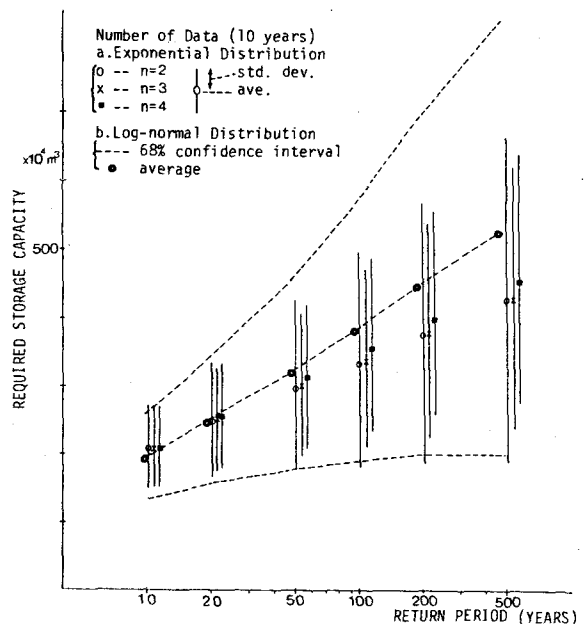


Fig. 4 Comparison of Required Storage Capacity by Log-normal and Exponential Distribution (n: number of the upper part of data used)

Table. 1 RETURN PERIOD OF REQUIRED STORAGE CAPACITY

Return Period	Gumbel	Log-normal	Exponential
5-year	163.3	157.7	169.0
10	205.2	205.5	209.2
20	245.4	255.1	249.2
30	268.5	285.2	272.2
50	297.4	324.5	302.2
100	336.4	380.8	342.3
200	375.3	440.5	382.4

等の再現期間についてはその精度に信頼性が欠けるようである。しかし、いずれにしろ、この容量 260.8 万 m^3 が昭和 53 年の必要貯水量 236 万 m^3 を上まわっているにもかかわらず、渇水が発生した原因についてさらに考察を加える。

当ダムでは当年 1 月 1 日に約 100 万 m^3 貯水されていたが以後一度も満水になることなく乾期に入り結局渇水になったという。ところでマスカーブ法では、乾期スタート時点で満水であることを前提として必要貯水量を算出する。いいかえれば、Fig. 1 以下これまでに示した必要貯水量は乾期スタート時点で貯水池が満水となることを前提としている。しかし、実際には乾期スタート時点で満水とはならない確率が存在する。

Fig. 5 は当ダムにおける 8 ケ年の実測値および先のシミュレーションから 4 月、6 月、8 月を例とした貯水状況を図示したものである。この貯水状況を満水との相対値として貯水率で表現し、各月における貯水率とその発生確率を表示したのが Fig. 6 である。例えば、6 月に貯水率 0.4 (104.3 万 m^3) を下まわる確率は 0.175 で再現期間 5.7 年に一度は発生することを示している。マスカーブ法で満水を前提 (発生確率 1.0 を前提) としているにもかかわらず、上述のように実際は満水にはなりえない可能性が残されている。これを満水からの不足水量とその発生確率で表示した例が、Fig. 7 である。これを初期不足の生起確率として導入することによれば、必要な貯水量はマスカーブ法によって求められる乾期中の予測不足量に加えてこの初期不足量を補うものでなければならない事がわかる。しかもその再現確率は乾期中不足の発生確率に加えて初期不足の発生確率をも考慮したものでなければならない。すなわち、昭和 53 年渇水はこの初期不足の発生確率を量的に考慮していなかった為の渇水と推論できる。

さて、この初期不足確率を量的に考慮する方法としてはいくつかの方法が考えられ、今後の検討課題といえるが、例えば Fig. 7

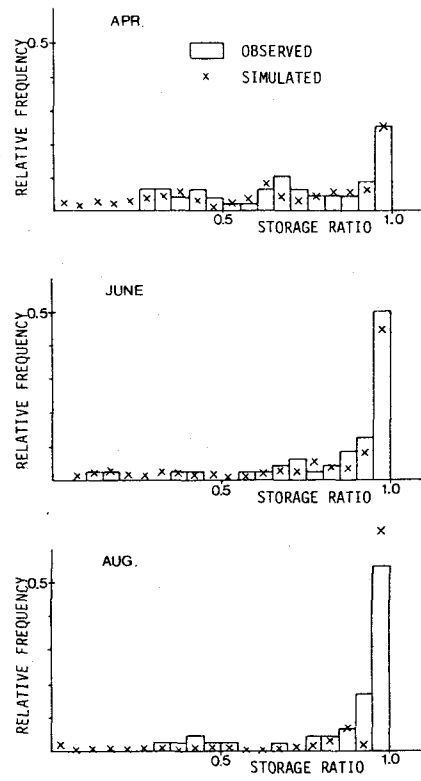


Fig.5 Frequency Distribution of the Storage Ratio

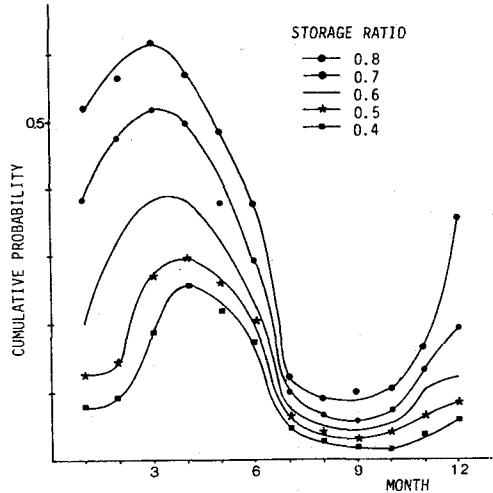


Fig.6 Cumulative Probability of Monthly Storage Ratio

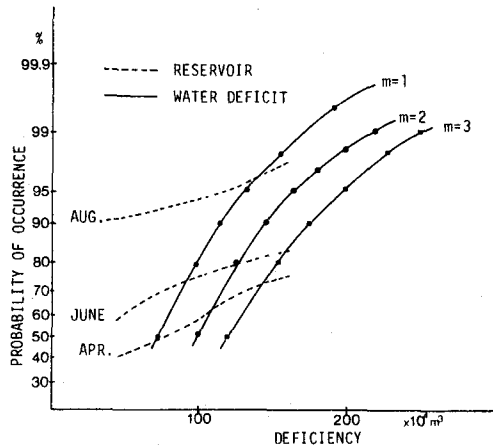


Fig.7 Occurrence Curve of Monthly Storage Ratio and Water Deficit (m; number of deficits)

に示した4月、6月、8月のいずれかを活用するの一つの方法であろう。しかし、ここでいう、初期不足確率は貯水池の人為的管理方法とも密接に関連した値であり、管理方法の向上と共に発生確率は小さくなってゆく性格を持つ点を考慮し、予期せぬ自然条件の変動によって発生する初期不足のみについて以下のように考慮してみる。

今、貯水池への流入量 Q の自然変動を Fig. 8 のように表わす。貯水池からの取水量ないし需要量 D を下まわる現象を「水不足」、その水量についてこれを不足量と定義すれば、この予期せぬ不足量が上述の初期不足の主たる原因になるものとする事によってその発生特性を以下のように定量化することができる。

先述の60ケ年における半旬流入量の全資料から不足量と不足期間の発生頻度を求めたのが Fig. 9, Fig. 10 である。いずれも指数分布で近似できるので、その発生特性を確率表示できる。水不足の平均発生回数9.23回/年を考慮すれば、例えば50万 m^3 、100万 m^3 の発生確率はそれぞれ0.141、0.020と求まる。このようにして不足量と再現期間をまとめたのが Table. 2 で、その結果を Fig. 7 中にも併記している。

以上は単一の水不足発生が初期不足の主たる原因とみなした時の平均的な結果であるが、連続して発生する水不足が初期不足の主たる原因と考える場合はこの連続する不足量の分布が先の指数分布の和の分布で表わされるものとみなし、 m 回の連続する不足量を次式で表わすことができる⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned} f(C_m) &= \alpha \frac{(\alpha C_m)^{m-1}}{(m-1)!} e^{-\alpha C_m} \\ F(C_m) &= 1 - e^{-\alpha C_m} \left(1 + \frac{\alpha C_m}{1!} + \dots + \frac{(\alpha C_m)^{m-1}}{(m-1)!} \right) \end{aligned} \right\} [1]$$

ここで、 C_m は m 回連続する不足量、 α は指数分布のパラメータ、 f は密度関数、 F は分布関数である。この式によって連続して発生する不足を表示したのが、Fig. 11, Fig. 12 である。同様に Fig. 7 中にもその結果を併記している。以上から貯水池容量を再評価してみると、先の曲淵ダムの事例の場合、事前に Table. 2 中の5年確率98万 m^3 を初期不足量として考慮しておれば、1月1日時点でも $100 + 98 \approx 200$ 万 m^3 貯水していることが考えられ、昭和53年の必要貯水量236万 m^3 に接近し、小規模の渇水にとどまった事と類推できる。ただ、この5年確率の初期不足量98万 m^3 を既存の曲淵ダムの公称能力(10年確率260.8万 m^3)に上乗せして考慮する事は設計段階で50年確率として358.8万 m^3 (=98+260.8)を設計値として採用する事に相当するので当然その可否は別途議論されよう。

5. 今後の貯水池の容量決定と維持管理について

初期不足量を貯水池容量の決定段階で考慮しなければならないという以上の論旨はマスカープ法で初期条件として満水を想定する事のリスクを容量の決定段階

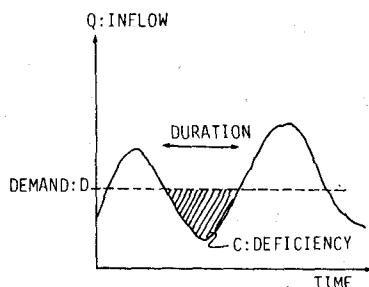


Fig. 8 Schematic Representation of Water Deficit

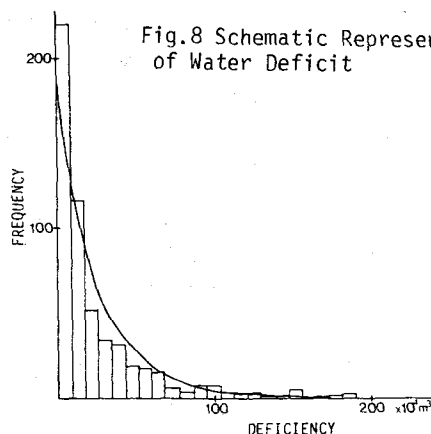


Fig. 9 Fitness of Exponential Distribution (solid line), Deficiency of a Water Deficit

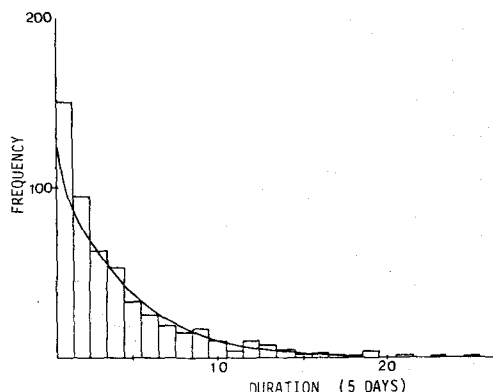


Fig. 10 Fitness of Exponential Distribution (solid line), Duration Time of a Water Deficit

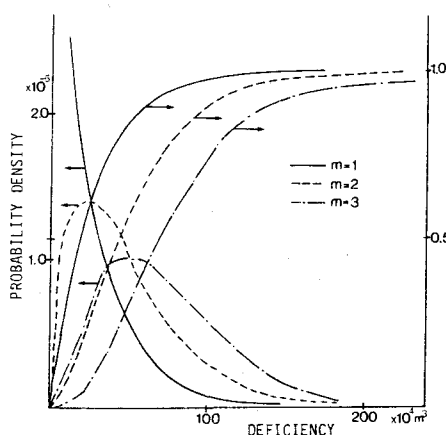


Fig.11 Distribution of Successive Water Deficits(m;no. of deficits)

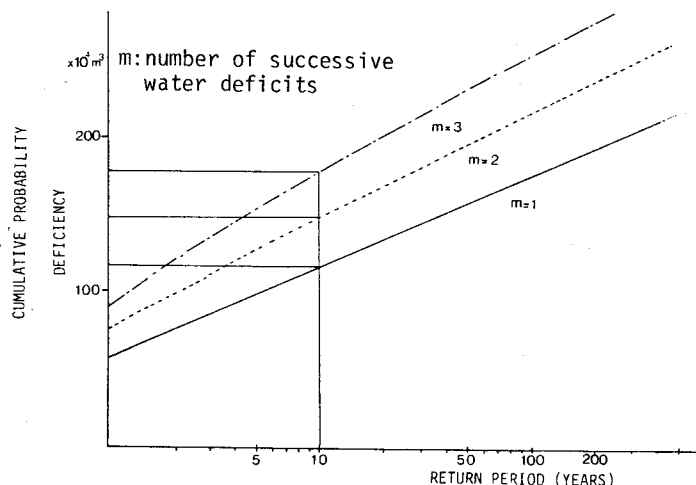


Fig.12 Return Period of Successive Water Deficits

で考慮する必要がある点を指摘したものである。なぜなら、§ 3. で示したようにこれまでの貯水池容量では入手できた資料に制限があり、精度の高い容量決定は不可能であった為、上記リスクを考慮する事の意義は明確ではなかった。しかし、今日 20 年～ 40 年の資料を十分活用できる状態となり精度良く容量を決定できる段階を迎え、上記初期満水のリスクを考慮するか否かが結果に重大な影響を及ぼすに至っている。ただ、この初期満水は貯水池の維持管理目標にかかわる問題ともいいうる。

いいかえれば、上記指摘は維持管理における不完全さを設計段階で考慮する事の重要性に言及するものである。とはいえ、この初期満水にかかわる問題を容量決定という設計段階に一方向的に押しつける事は妥当ではない。今後は維持管理の精度高揚と共に設計段階で考慮すべき程度も変化するはずである。そういった意味で、今後当面この初期満水のリスクについて管理、設計の両面からさらに検討を加えてゆく必要がある事を指摘したい。

Table.2 RETURN PERIOD OF DEFICIENCY OF A WATER DEFICIT

Return Period	Deficiency
5-year	98.0x10 ³ m ³
10	115.7
20	133.4
30	143.8
50	156.8
100	174.6
200	192.3

6. おわりに

本報告は昭和 53 年の北九州における異常渇水の原因と対策を検討する過程で明らかとなった貯水池の初期不足に関する事項をまとめたものである。したがって、いずれも事例検討の域を出ず、その普遍性に大きな問題を残している。ただ、マスカーブ法で乾期スタート時点で満水を想定した上で以後の検討を加える点を今後改善しなければならない事については議論の余地がないものと考え。その改善策については、マスカーブを各年ごとに書くよりはさらに長期的に実施すべきか、あるいは本文中に示したような方向で議論すべきかなどは今後徐々に明らかになってゆくものと考え。ただ文中にも示すようにここに示した方向で議論を深める事によって設計と管理両面からの改善策が展開できるものと考え、種々問題点を残しつつあえて本文をまとめた次第である。御批判賜われれば幸である。

最後に、本検討に当り資料を提示いただき種々御教示いただいた福岡市水道局、中村弘道・大櫛星太両部長、重松孝徳課長、小宮信行・西村正利係長、白土喜久男係員さらには総務局岩熊健副主幹、三角寛治主査に謝意を表わす。また共に研究討議いただいた厚生省坂本弘道氏、筆者研究室院生川人健二氏にも謝意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 川人, 上水道のための渇水予測に関する研究, 京都大学卒業論文, 昭和 57 年。
- 2) 岩井, 石黒, 応用水文統計学, 森北出版, 1975。
- 3) 日本河川協会編, 改訂建設省河川砂防技術基準(案), 日本河川協会, 1977。
- 4) W. Feller, 確率論とその応用, 紀伊国屋, 1975。