

水資源の有効貯留に関する一考察

特に既設ダム流域内にダムを新設する場合

金山 和雄*・藤原 輝男*・亀川 芳三**

A Study of Effectual Utilization of Water Resources.

KAZUO KANAYAMA, TERUO FUJIWARA, YOSHIZO KAMEGAWA

Abstract

Many studies on river hydrology have been hitherto made in order to contribute the rationalization of water planning. However, these studies which mainly depended on much available hydrological data were not sufficient to plan the practical water project especially in mountain district, because there were only a few available data.

In this paper, the authors tried an analysis for a hypothetic project of dam in a small mountain district and obtained some interesting results.

1. ま え が き

近年の産業の発達，生活文化の向上に伴って水資源の重要さが強く叫ばれるようになった。著者らは自然水を無効に海に流下させず，できる限りポテンシャルの高い状態で貯留し有効に利用することを目的とし，既設ダムの上流域に新しくダムを構築する計画を想定し考察を進めた。例にもれず山岳上流域においては，水計画を立案するに十分な水文資料は得がたい。特に最近のように自然開発の速度が，資料収集の速度を上回る現況では，一層のことである。こうした事情を考えれば数少ない資料を有効に利用して，水計画に必要な水文諸言を精度良く算定し，計画の信頼性を高めることも重要な課題と言えよう。

そこで著者らは厚東川ダム（山口県）流域内にダムを新設する計画を想定し，それに必要となる湛水期間，計画高水流量の推定を行った。推定に際してはダム新設点 B で時間流量，日流量が必要となるが，それは A 点で決定したタンクモデルによった。

2. 厚東川流域とダム新設地点

厚東川ダム流域を Fig. 1 に示す。A 点が厚東川ダム B 点が想定ダム新設点である。

厚東川ダムは集水面積324km²，貯水容量2,380万ト

*土木工学科

**鹿島建設

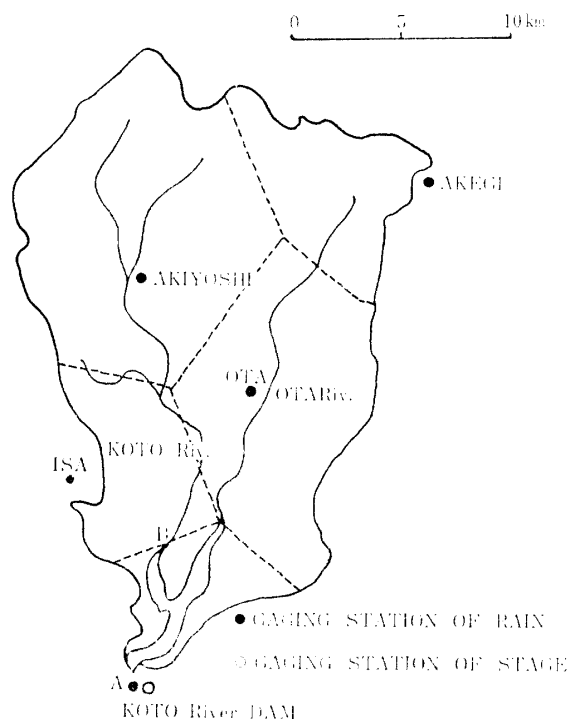


Fig. 1 Map of the Koto basin

ンの多目的ダムである。治水容量は300万トンであり，過去にダム下流域に被害が発生したことが報告されている。

3. 理論的考察

3.1 タンクモデル法¹⁾²⁾

タンクモデルは流域をいくつかの貯留型の模型容器の組合せに置き換えて考える流出計算法であり、単位図法、流出関数法、貯留関数法などと多くの共通の特徴をもち、その特徴が集約されたものと言える。

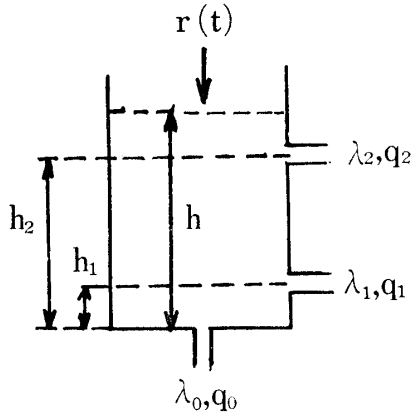


Fig. 2 Definition sketch of symbols

Fig. 2 は一段のタンクを示したもので、これによりタンクモデル法の原理を簡単に述べる。h₁ は初期損失、あるいは土壌保湿度不足を表示するものである。

q(t) 流出量, i(t) 浸透量, λ₁, λ₀ は低減係数, r(t) は雨量, h(t) タンク貯留高とする。

(I) h(t) < h₁ の場合

$$q(t) = 0, \quad i(t) = \lambda_0 h(t), \quad (1)$$

$$\text{連続式は } r(t) - i(t) = \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

(II) h(t) > h₁ の場合,

$$q(t) = \{h(t) - h_1\} \lambda_1, \quad i(t) = h(t) \cdot \lambda_0 \quad (3)$$

$$\text{連続式は } r(t) - q(t) - i(t) = \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

r(t) = 0 の時

$$q(t) = c \lambda_1 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} - \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (5)$$

$$i(t) = (\lambda_0 e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)t} + \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1}) \quad (6)$$

r(t) ≠ 0 の時

$$q(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1} K(t) - \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (7)$$

$$i(t) = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1} K(t) + \frac{\lambda_0 \lambda_1 h_1}{\lambda_0 + \lambda_1} \quad (8)$$

$$K(t) = \int_0^{\infty} r(t-\tau) (\lambda_0 + \lambda_1) e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)\tau} d\tau \quad (9)$$

q(t), i(t) は、低減係数が (λ₀ + λ₁) の指数関数の項と定数の和で表わされることになる。同様にタンク右

側に流出孔が2つ (その乗数は λ₁, λ₂) ある場合を考えれば q(t), i(t) 低減係数が λ₀ + λ₁ + λ₂ の指数関数を含む項で表示される。このようにタンクからの q(t), i(t) は貯留高が増加するにしたがって低減係数が λ₀, λ₀ + λ₁ + λ₂ …… と増加していく。タンクを数段にすれば、総流出量は各タンクごとに異った低減係数をもった指数関数の和で表示される。実際に用いる場合の乗数の決定は、対象とする流域の型の良いハイドログラフと局地変動の少ない雨を用いて経験的に決めてやらねばならない。乗数決定などの詳細は参考文献にゆずる。

3.2 新設ダムの湛水期間³⁾

湛水期間とは必要貯水量を確保するに要する期間のことでダム完成時期及び工程計画をより、経済的に決定する基準となるものである。これにはダム新設点 B (Fig. 1 参照) の日流量記録が長期に亘って必要である。前節のタンクモデルにより、日流量が推算できたものとすれば湛水期間 T は次式によって決まる。

$$\sum_{i=N_1}^{N_2} Q(i) \geq V \quad (10)$$

$$T = \min(N_2 - N_1) \quad (11)$$

ここに Q(i) : i 日の流入量, V : 確保すべき貯水量,

N₁ : 湛水開始日, N₂ : 湛水終了日である。

流量は季節的に変動するから湛水期間もその開始日によって、変動することは容易に推察できる。各月初日を湛水開始日としてやると n 年間の流量記録があれば各月に対して (n-1) ~ n ケの T が求まる。これを適当な日数 (5 ~ 10日) で区切って、その頻度を確率紙上に描いて分布型を推定する。この分布が正規分布あるいは、それに変換できるものであれば、母平均 μ の信頼区間が推定できる。一般に良く知られるように母平均 μ が信頼係数 (1-α) で偶然変動する区間は、統計量 $t = (T - \mu) \sqrt{n/S}$ が自由度 (n-1) の t 分布に従うことを用いて次式で表示できる。

$$T - t_1 - \frac{1}{2} \alpha \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < T + t_1 - \frac{1}{2} \alpha \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

ここに n : 標本数, $T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (T_j - \bar{T})^2$$

t_α : 自由度 (n-1) の t 分布において

$$Pr(t \leq t_\alpha) = \alpha \text{ となる } t_\alpha \text{ の値,}$$

3.3 新設ダムの計画高水流量

計画高水流量はダムの経済性、安全性に大きな影響

を与えるものである。計画高水流量の算定に際してはあらかじめ確率雨量を求めておき、これをその地域の降雨波形（時間単位）によって時間配分して計画地点の時間降雨量曲線とする手法をとる。この時間降雨量曲線を3-1で述べたタンクモデルの入力として、計画地点の各年確率雨量に対する流量を推算できる。この推算流量から計画高水量が求められる。

4. 流出解析と湛水期間及び計画高水流量の算定⁴⁾

4.1 厚東ダム流域の日流量及び洪水解析用タンクモデル

Fig. 3 に日流量解析用のタンクモデルを示した。このタンクは1970年～1972年の厚東ダムサイトでの流入量と伊佐, 太田, 秋芳, 明木の観測雨量を用い23回の試算の結果得たものである。

流域損失量としては蒸発散のみを考慮した。流域からの蒸発散量は Thornthwaite の式により、月平均蒸発散能を求めた。それを Table 1 に示す。

Thornthwaite 式による推定値は夏大きく、冬小さくなると一般に言われている。計算に際しては2ヶ月ごとの一定値を用いた。Fig. 4 に Fig. 3 のタンクモデルによる計算結果の一部を示した。計算値と観測値とが比較的良くあっており、ダム新設地点 B での日流量の推定が可能と言える。

次に洪水解析用タンクモデルを Fig. 5 に示す。

これは厚東川ダムサイトにおける1972年7月11～12日の洪水時の流量、雨量により15回の試算の結果得たものである。これによる計算結果をFig. 6に示す。

実測流量と推定流量は良く一致しており、ダム新設地点 B の時間流量が推定できるであろう。

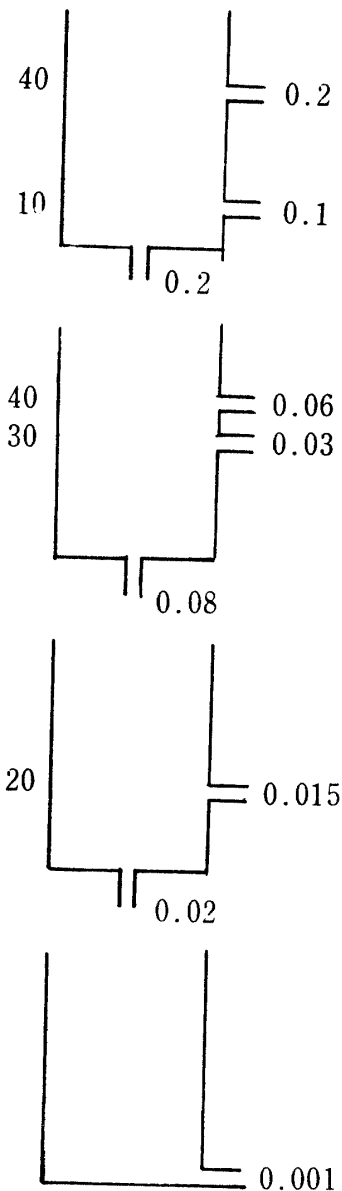


Fig. 3 Tankmodel

Table 1 Monthly variation of evapotranspiration.

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ep	0.51	0.42	0.68	1.4	2.3	3.5	4.8	4.7	3.4	2.3	1.1	0.54

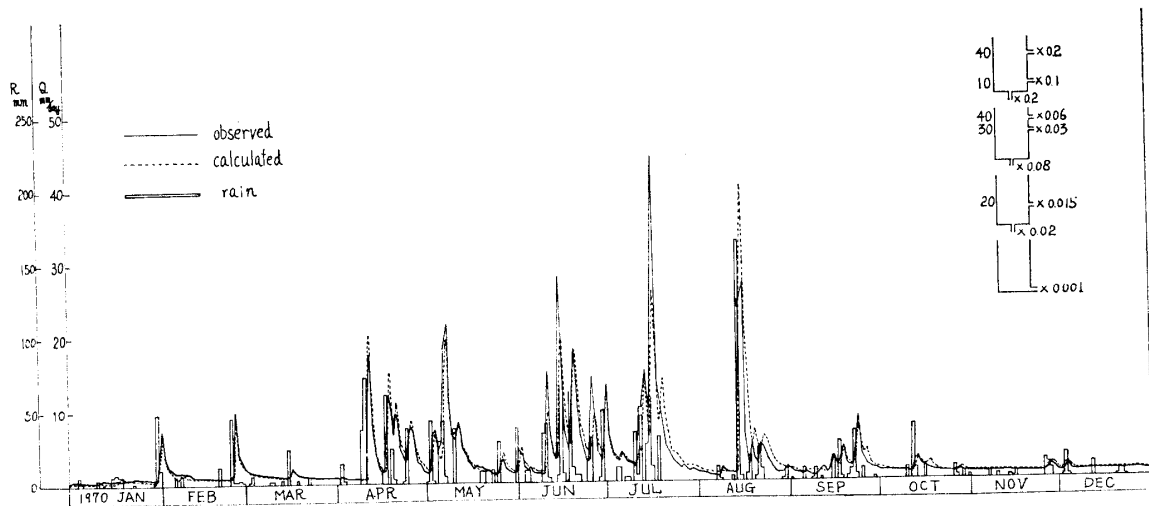


Fig. 4 Comparison with observed and calculated river discharge at point Koto river dam

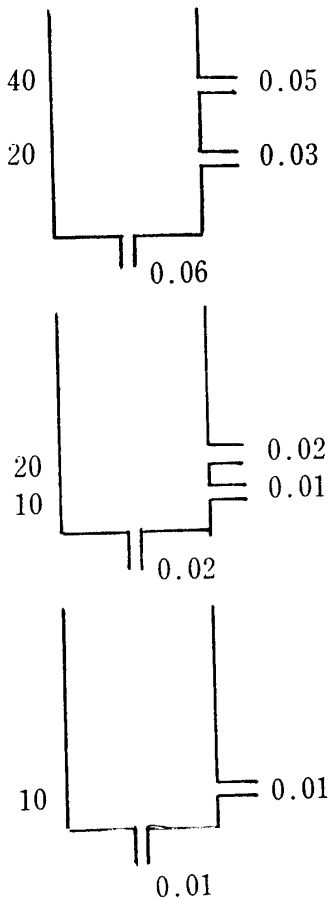


Fig. 5 Tankmodel

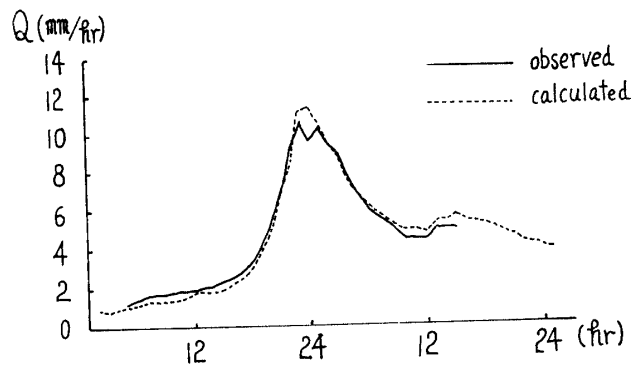


Fig. 6 Comparison with observed and calculated flood discharge at point Koto river dam

4・2 新設ダムの湛水期間の算定

新設ダムの貯水容量 V を2,500万トン, 3,500万トンの二つの場合に想定する。地点 B での流量は1956年～1972年の厚東川ダムサイト, 伊佐, 秋芳の雨量観測値を Fig. 3 に示した日流量解析用タンクモデルに入力し推定した。ただし地点 B の含む集水面積は159k m^2 である。地点 B の推定流量計算結果の一部を Fig. 7 に示した。

この17年間の B 点での推定流量を(10), (11)式に用いて各月をはじめを湛水開始日とした湛水期間を求め, これを10日毎に区切り頻度を正規確率紙上に書いたものの一部が Fig. 8, 9 である。

Fig. 8 は3月1日, Fig. 9 は10月1日を洪水開始日とした場合の T の頻度を示したものである。これによると T は正規分布をしてみるとさしつかえない。故に(12)式により, 母平均の90%信頼区間を求めることができる。これを Fig. 10, 11 に示す。

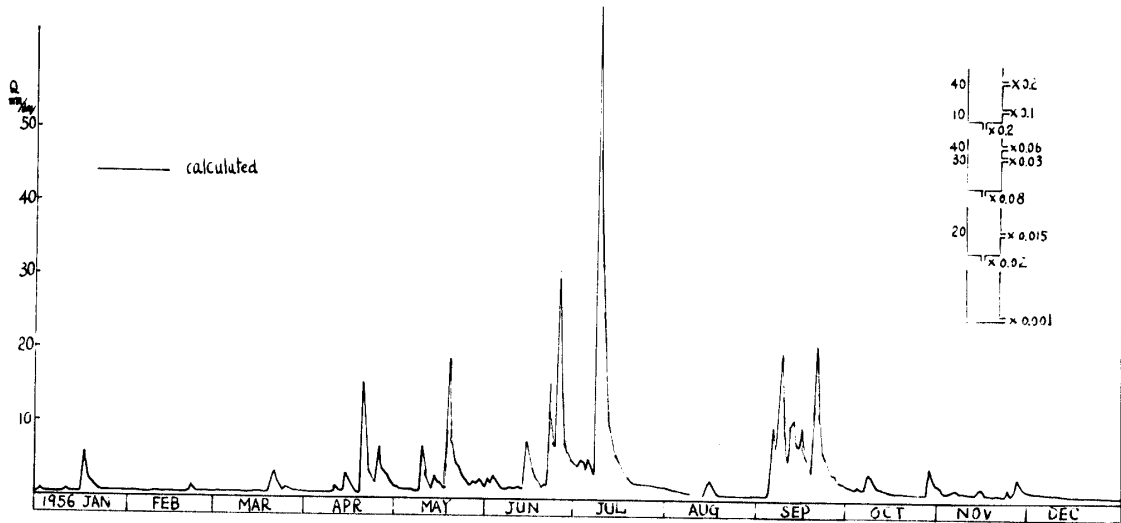


Fig. 7 Calculated river discharge at point B

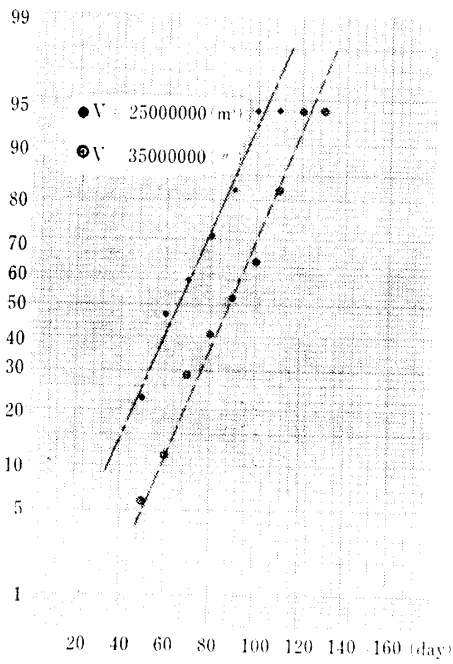


Fig. 8 Distributions showed on normal probability paper for Mar.

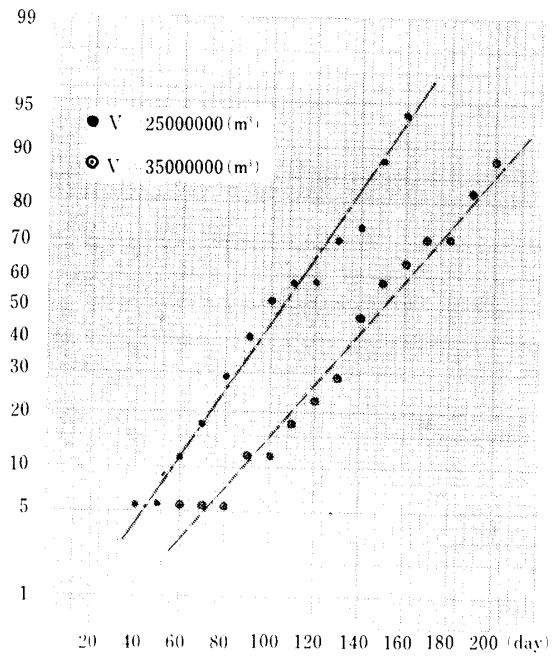


Fig. 9 Distributions showed on normal Probability paper for Oct.

これによると貯水量2,500万トン、3,500万トンの場合ともに、7月1日を洪水開始日とすれば効率良く

貯水できることが言える。前者の場合は20日、後者の場合30日である。

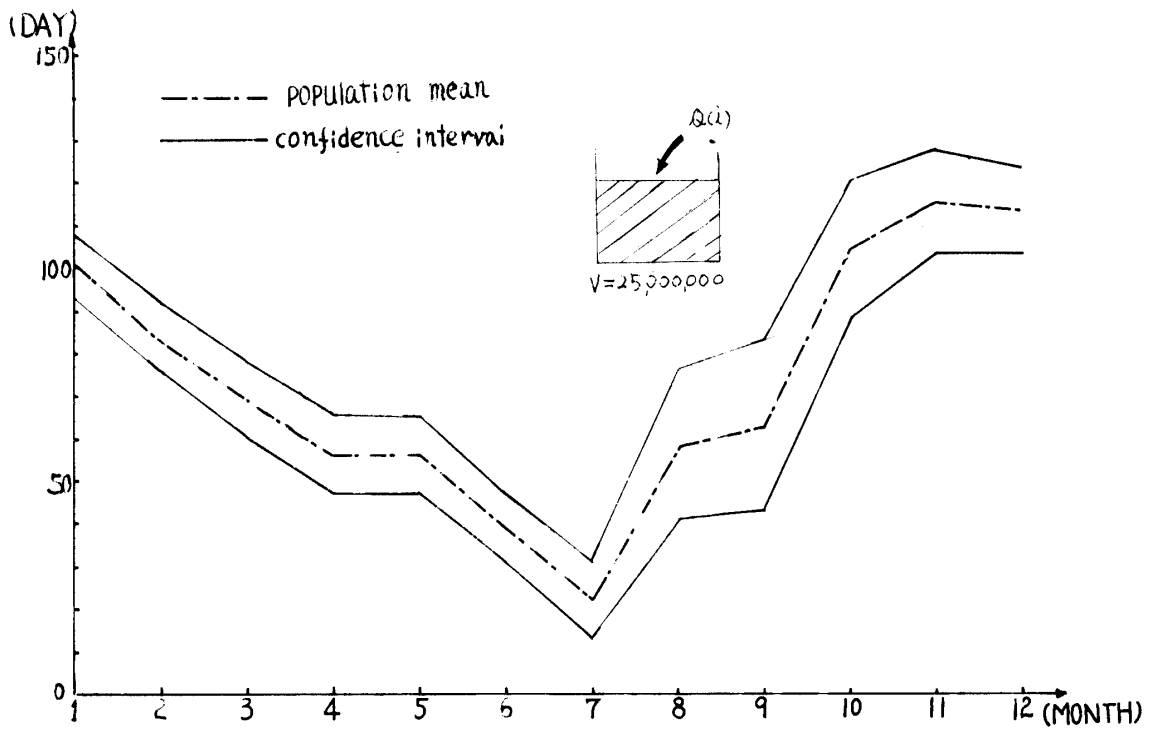


Fig. 10 90% Confidence interval of population mean

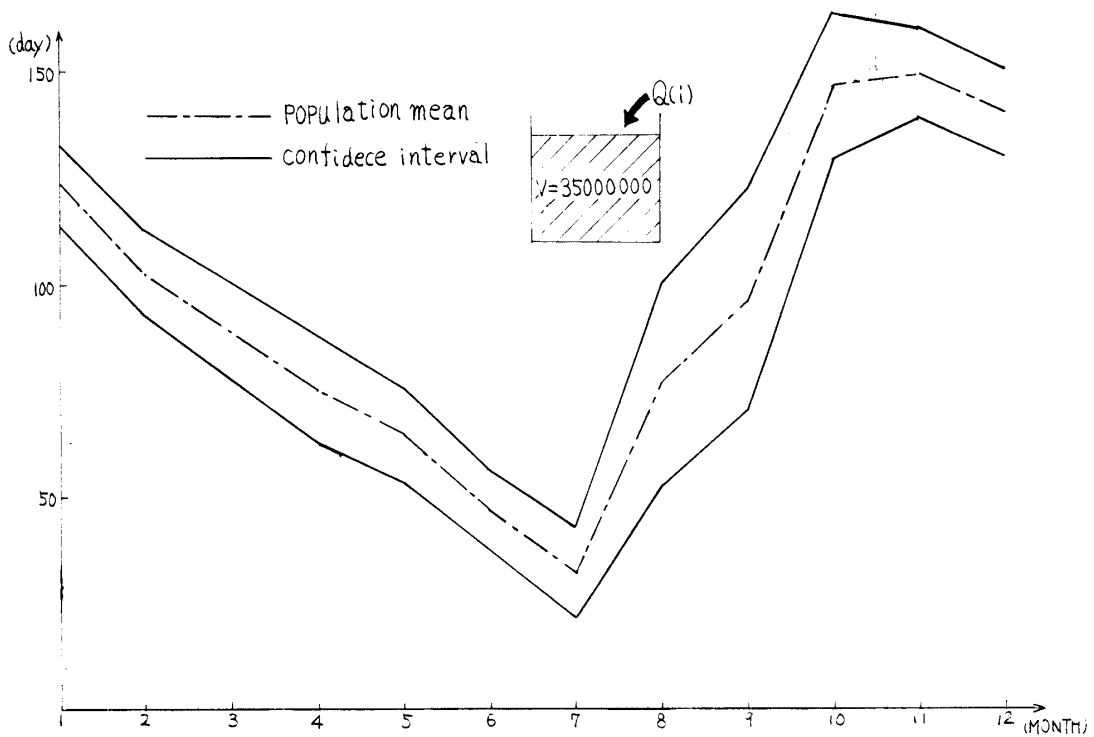


Fig. 11 90% Confidence interval of population mean

4・3 新設ダムの計画高水流量の算定

確率降雨は防府測候所の資料により Gumbel 法により求めた。Table 2 にそれを示す。

Table 2 Annual maximum of day rainfall frequency at HOFU.

Recurrence interval (years)	Day rainfall(mm)
50	248
100	280
150	298
200	311
250	321

次に過去において大きな出水をもたらした降雨について考察し主たる雨降波形を決定した。Fig. 12は1927年7月11日～12日における厚東川ダムサイト、宇部、下関、豊田での時間雨量を全雨量に対する百分率で示したものである。

確率雨量を時間配分するにあたって、計画地点に最も近い厚東川ダムサイトの降雨波形を用いる。

Fig. 13 は各確率雨量を降雨波形により時間配分したものである。

Fig. 13 に示した各確率年の時間雨量曲線を入力として Fig. 5 に示したタンクモデルにより、計画地点 B の洪水流量を推算したものが Fig. 14 である。

流出高と流量を $Q(m^3/sec) = \frac{A}{3.6} q (mm/hr)$

で換算し最大流量を示したのが Table 3 である。

これによると200年確率の降雨を計画降雨と考えれば計画高水流量は477.0m³/sec となる。

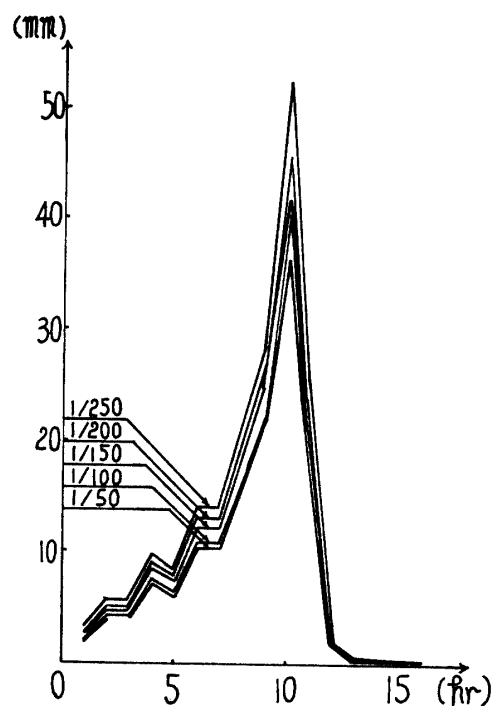


Fig. 13 Model hyetograph

Table 3 Peak flow of design flood

Recurrence interval (years)	q _p (mm/hr)	Q _p (m ³ /sec)
50	8.3	366.6
100	9.6	424.0
150	10.3	453.9
200	10.8	477.0
250	11.1	490.3

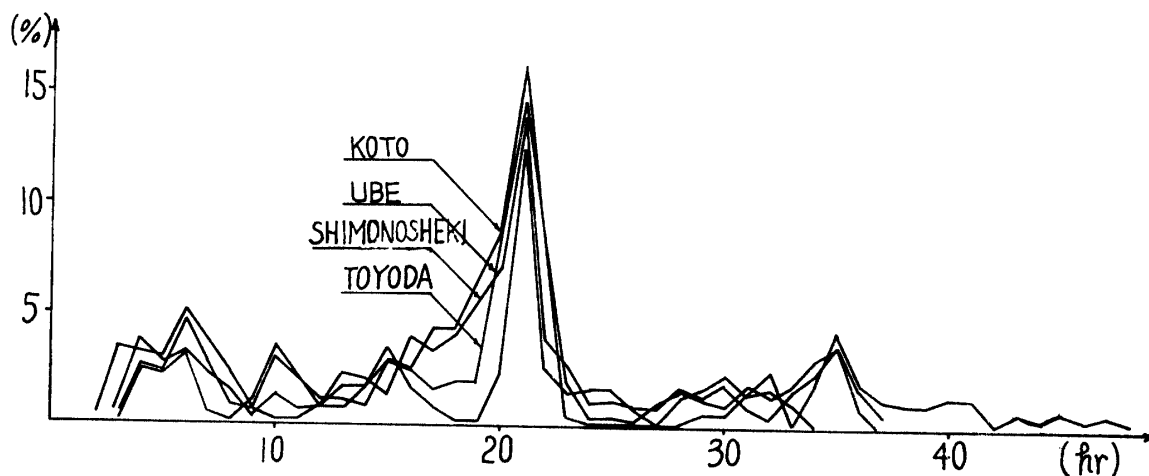


Fig. 12 Hyetograph of the flood in Jul. 1927 showed in %

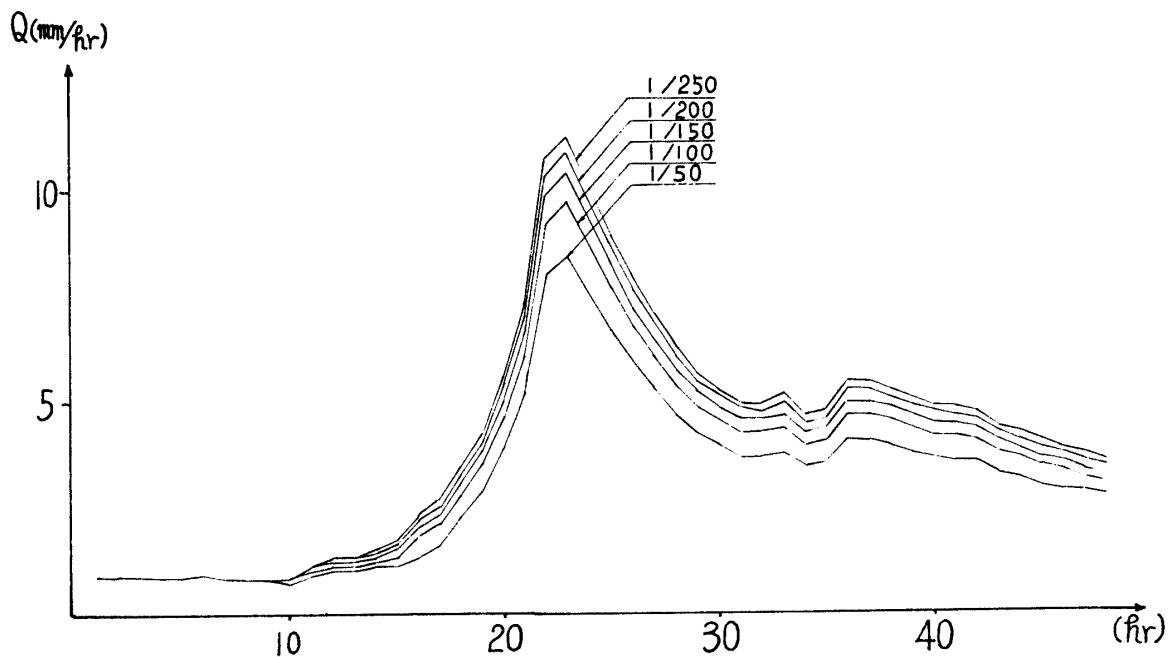


Fig. 14 Calculated flood discharge at point B

5. むすび

水資源の有効利用に対する一考察として、既設ダム流域内にあらたにダムを新設する計画を想定し、新設ダムの経済性、安全性及び工程計画に重要な意味をもつ計画高水流量、湛水期間の推算を行った。この結果、厚東川ダム流域内 B 点においては、200年確率降雨をとれば計画高水流量 $477\text{m}^3/\text{sec}$ 、湛水期間は20 ($V=2,500$ 万トン)、30日 ($V=3,500$ 万トン)となり、湛水開始は7月初日とすれば、効率の良い貯水ができることが推察された。

この想定計画のように水計画は、これから山岳上流域にまで及ぶことが予想されよう。そのような状況下

では、実測資料は少く信頼度の高い計画を立案するには、不十分であろう。この方法は少い資料をより有効に用い、水計画をより精度良く計画する上に有益なものと言えよう。

参 考 文 献

- 1) 菅原正己 流出解析法 共立出版 (1973)
- 2) 木下武雄 有明海流入量調査, 建設省土研究報告 140, (1972)
- 3) 石原藤次郎外, 京都大学防災研究所年報 13, B (1970) p. 53-68
- 4) 流出計算例題集2 アテネ出版 (1971)

(昭和49年10月15日受理)