

ち単独ラーメンの場合の値と等しくなる。

## 7. 結 言

以上スパン門形格子ラーメン（横桁1本）の解法を、4本のラーメン桁の場合を例にとつて、説明した。その方法は、まったく F. Leonhardt の垂流にすぎないが、横分布数の公式において、彼の出した公式の変形によつて、ラーメンの場合にそのまま適用しうることを見出した。なお格点に集中荷重が作用する場合、および、格点外に作用する場合を例にとつて、断面力の計算法を述べた。最後に、影響線の求め方を、計算例で示した。

ラーメン桁単独の場合は従来のような計算法でよろ

しいが、ラーメン桁が多数並列し、これらが横桁で結合されている（実際の構造物はほとんどそのようなつていている）場合には、そのような構造方法に相応した計算法をとるべきである。構造力学で基本的な問題として、単独桁、単独ラーメンの解法を論じたその解法を、これらのいくつかの集合である桁橋構造にそのまま用いるのは再考を要すると思う。

本論文は柱脚固定一スパンの場合のみを取り扱つたが、二スパンの場合、あるいは張出バリのする場合および模型実験の結果などについては、次の機会に論じたいと思う。（昭.30.7.21）

## 貯水池用アナログ・コンピューターの試作について\*

正員 工学博士 石原 藤次郎\*\*  
正員 石原 安雄\*\*\*

### ON THE ELECTRONIC ANALOG COMPUTER FOR RESERVOIR ROUTING

(JSCE Feb. 1956)

*Dr. Eng., Tōjirō Ishihara, C.E. Member, Yasuo Ishihara, C.E. Member.*

**Synopsis** Many approaches on the reservoir routing such as Mononobe's method, modified Puls' method and so on, based upon only the condition of continuity, have been proposed. In this paper, the principle of the electronic analog computer for reservoir routing, in which both condition of continuity and equation of motion are considered, is studied. The computer for the Maruyama reservoir is constructed and some results computed by it under various boundary conditions are described.

**要 旨** 貯水池における洪水追跡については、連続の条件だけを考慮した物部法、新 Puls 法など、多くの方法が提案されているが、本文は連続の条件と運動の方程式とを同時に考慮した貯水池用アナログ・コンピューターについて研究し、具体的に木曽川の丸山貯水池を対象としたアナログ・コンピューターを試作するとともに、これを用いて種々の境界条件の下で行つた演算結果を説明したものである。

### 1. 緒 言

洪水調節、電源開発、灌漑用水の確保などの目的で、各所に大ダムが計画され、建設されているが、河川総合開発の線に沿つて、これらの目的の二つ以上を兼ね備えた大ダムも少くない。これらのダムで造られた貯水池に洪水が流入するとき、ゲートをいかに操作

すれば貯水池として最大の効果をあげるかという問題は、早急な解明を要する重要な課題である。たとえば、発電と洪水調節の二目的で造られたダムについて考えると、特定の極限状態について二つの効果を計算して加えるという方法がとられ、あらゆる場合に対する総合的な効果判定について十分とは云いにくい状態である。わが国のように急流河川で土砂の流出が多く、急激な出水を考えねばならない場合に、小容量の貯水池で、果して計画どおりの総合効果を挙げられるかどうかは、はなはだ疑わしい問題である。ゲートの操作を誤ると、かえつて洪水の危険を増大する場合も想像される。多数の大貯水池を有する有名な T.V.A. の計画においてさえも、洪水調節と舟航を第一として操作し、発電を第二としているから、電力の需給は火力でバランスをとつているようである。従つて、貯水池内における洪水の伝播、ゲート操作の影響などを適確に把握することは、総合開発の成果を十分発揮する上に非常に大切である。

\* 土木学会第 11 回年次学術講演会（昭.30.5.29）にて発表

\*\* 京都大学教授，工学部土木工学教室

\*\*\* 神戸大学助教授，工学部土木工学教室

こうした問題に対しては、従来から多くの研究が行われ、物部法<sup>1)</sup>や新 Puls 法<sup>2)</sup>などが提案されているが、これらはすべて連続条件だけで貯水池内の洪水追跡を行うもので、多くの問題が残されている。要するに、今日のところ十分研究しつくされていない状態である。

最近、電子工学の発達にともない、ある物理系を電気系に対応させ、いわゆる電気模擬法によつて物理現象を解明しようとする方法が盛んに利用されるようになり、著者らも河道を流下する洪水流にこの方法を適用して、いわゆる洪水追跡器を試作し、注目すべき成果を収めた<sup>3)</sup>。本文はこれと同じ考えによつて、貯水池を流下する洪水流に対するアナログ・コンピュータを試作し、その特性を明らかにしようとしたものである。

2. 基礎方程式

貯水池に対する基礎方程式について考察を進めるに当り、対象とする貯水池としてわが国に築造されている程度の大きさのものを考え、米国におけるような巨大な貯水池については考えないこととする。貯水池の大きさをこのように限定すると、洪水時には貯水池内の水は、普通の河道におけると同様な運動をしていると考えてよいだろう<sup>4)</sup>。また、わが国の貯水池は河道に設けられる場合が多く、ほぼ一様水路を考えてよいだろう。このように考えると、周知のごとく(図-1)、連続の条件式：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

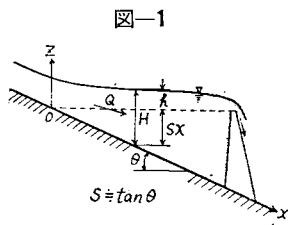
運動の方程式：

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{S - \frac{Q^2}{C^2 RA^2} - \frac{\beta_m}{gA^2} \frac{\partial Q^2}{\partial x} - \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t}}{1 - \frac{\alpha_m Q^2}{gA^3} \cdot \frac{dA}{dH}} \dots\dots\dots(2)$$

が得られる。ただし、 $A$ ：流水断面積、 $Q$ ：流量、 $H$ ：水深、 $S$ ：河床勾配、 $C$ ：Chézy の係数、 $R$ ：径深、 $g$ ：重力加速度、 $\alpha_m$ ：補正係数、 $\beta_m = (\alpha_m + 1)/2$

一般に貯水池においては、水は相当高くせき上げられており、このような領域においては、

$$\begin{aligned} 1 &\gg \frac{\alpha_m Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dH} \\ S &\gg \frac{Q^2}{C^2 RA^2} + \frac{\beta_m}{gA^2} \frac{\partial Q^2}{\partial x} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$



なる関係が成立する。(3) 式を (2) 式に用いて第 1 近似をとると、次式が得られる。

$$\frac{\partial H}{\partial x} = S - \left( \frac{1}{C^2 RA^2} - \frac{\alpha_m S}{gA^3} \frac{dA}{dH} \right) Q^2 - \frac{\beta_m}{gA^2} \frac{\partial Q^2}{\partial x} - \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} \dots\dots\dots(4)$$

(4) 式においても、式はまだ相当複雑である。そこで、わが国の貯水池において、洪水が流入する場合について考えると、洪水が流入する直前にすでに満水状態にある場合も多く（もし貯水池が満水状態になっていない場合には、ある程度洪水が流入して満水状態になったときの時間を測りはじめとすればよい）、また満水状態における水深はかなり大である。このような状態にある貯水池に洪水が流入するのであるが、流量は 10~100 m<sup>3</sup>/s の程度から 1000~10000 m<sup>3</sup>/s の程度までかなりの範囲で変化するに反し、水深の変化は 10 m 前後である。従つて、水深の増加量を微小量と考えることができる。そこで (4) 式において Zero order の近似式を採用すると、 $R$  及び  $A$  は  $h$  の函数と考えることができるから、次式が得られる。

$$\frac{\partial H}{\partial x} = S - \left( \frac{1}{C^2 RA^2} - \frac{\alpha_m S}{gA^3} \cdot \frac{dA}{dH} \right)_0 Q^2 - \frac{\beta_m}{gA_0^2} \frac{\partial Q^2}{\partial x} - \frac{1}{gA_0} \frac{\partial Q}{\partial t} \dots\dots\dots(5)$$

ただし、添字“0”は平均値を示す。一方、連続の式(1)についても同様の近似を採用すると、

$$B_0 \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

となる。さらに、(5) 式の右辺の各項の大きさを、わが国の普通の貯水池について比較すると、

$$\begin{aligned} S, \left( \frac{1}{C^2 RA^2} - \frac{\alpha_m S}{gA^3} \frac{dA}{dH} \right)_0 Q^2 &> \frac{\beta_m}{gA_0^2} \frac{\partial Q^2}{\partial x}, \\ \frac{1}{gA_0} \frac{\partial Q}{\partial t} &\dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

なる関係が成立する。従つて、(5) 式はつぎのように簡単にしてよいであろう。

$$\frac{\partial H}{\partial x} = S - \left( \frac{1}{C^2 RA^2} - \frac{\alpha_m S}{gA^3} \frac{dA}{dH} \right)_0 Q^2 \dots\dots\dots(8)$$

いま、 $x$  を満水面と河床の交点を原点とし下流方向に測るものとし、 $h$  を満水面以上の水深とし(図-1)、 $H = Sx + h \dots\dots\dots(9)$

によつて変数変換を行うと、(6) 及び (8) 式はつぎのように変換される。

$$B_0 \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(10)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -kQ^2, \quad k = \left( \frac{1}{C^2 RA^2} - \frac{\alpha_m S}{gA^3} \frac{dA}{dH} \right)_0 \dots\dots\dots(11)$$

(10) 及び (11) 式が追跡器の試作に採用した基礎偏微分方程式である。なお、(11) 式中の  $k$  の値は、河床勾配  $S$  が限界勾配  $S_c$  より小なる普通の場合には正となることが容易に証明される。

3. 流体系と電気系の対応

普通用いられるように、流体量と電気量の対応をつぎのように仮定する。

流体量	電気量
$h$ (水深) $= \alpha v$ (電圧)	
$Q$ (流量) $= \theta i$ (電流)	.....(12)
$x_{hy}$ (距離) $= r x_{el}$ (距離)	
$t_{hy}$ (時間) $= \beta e t$ (時間)	

ただし、 $\alpha, \beta, r$  及び  $\theta$  は変換係数である。

(12) 式を (10) 及び (11) 式に用いると、

$$-\frac{\partial i}{\partial x_{el}} = B_0 \frac{\alpha r}{\theta \beta} \frac{\partial v}{\partial t_{el}}, \quad -\frac{\partial v}{\partial x_{el}} = k \frac{\theta^2 r}{\alpha} i^2 \quad \text{.....(13)}$$

が得られ、さらに階差式に書きかえると、

$$-\Delta i = \frac{\alpha r}{\theta \beta} \int_x^{x+\Delta x} B_0 dx \cdot \frac{dv}{dt},$$

$$-\Delta v = \frac{\theta^2 r}{\alpha} \int_x^{x+\Delta x} k dx \cdot i^2 \quad \text{.....(14)}$$

ただし、添字 "el" は省略した。以下においても同様省略する。

ここで、

$$K = \frac{\alpha r}{\theta \beta} \int_x^{x+\Delta x} B_0 dx, \quad r = \frac{\theta^2 r}{\alpha} \int_x^{x+\Delta x} k dx \quad \text{.....(15)}$$

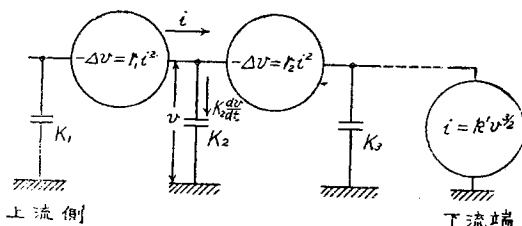
とおくと、(14) 式はつぎのように書くことができる。

$$-\Delta i = K \frac{dv}{dt}, \quad -\Delta v = r i^2 \quad \text{.....(16)}$$

(16) 式は 図-2 に示すように  $\Delta x$  当りの電圧降下が電流の 2 乗に比例し、その比例常数が  $r$  で、静電容量が  $K$  なるケーブルの方程式である。

なお、下流端における境界条件としては、自由越流させる場合、ゲートで流量を調節する場合、オリフィスから放流する場合、これらを併用する場合など、いろいろの場合が考えられる。代表的な条件として、自由越流させる場合について考えると、一般に、

図-2 (16) 式で表わされる電気回路



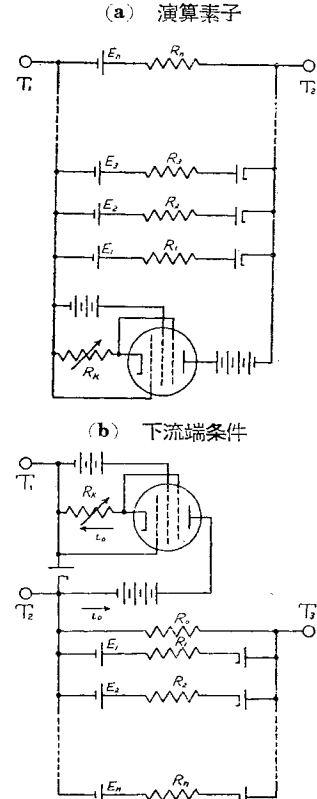
$$Q = k_1 h_1^{3/2} \quad \text{.....(17)}$$

なる関係が成立する。ただし、 $Q$ : 越流量、 $k_1$ : 越流係数、 $h_1$ : 越流水深である。(17) 式に (12) 式の関係を用いると、

$$i = k_1 \frac{\alpha^{3/2}}{\theta} \cdot v^{3/2} = k' v^{3/2}, \quad k' = k_1 \alpha^{3/2} / \theta \quad \text{.....(18)}$$

が得られる。従つて、(18) 式で表わされる関係を満足するような電気回路を、図-3 に示されているように挿入すれば、下流端における境界条件は満されることになる。なお、他の境界条件の場合も全く同様に取り扱うことができる。

図-3 非線型要素説明図



4. 演算回路の構成および設計

貯水池における洪水追跡を行うには、(16) 式(図-2)で表わされる電気回路において、適当な境界条件のもとで電圧または電流を測ればよい。しかし、このような電気回路を構成するに当り最も重要な問題は、非線型要素をいかに簡単にかつ確実に実現するかということである。種々の方法を比較検討した結果、図-3 に示すように、2極真空管を用いて、折線

近似でもつて実現した。図-3 (b) の下流端条件を与える回路のうちで、 $T_1, T_2$  の間は丸山ダムで計画されているように、ある一定の流量(電流  $i$ ) 以上は放流しないという条件を与える回路である。

以上は演算素子及び境界条件を与える回路の構成方法であるが、以下丸山貯水池を対象として行った例について述べよう。

演算器は slow type とし、河道用追跡器<sup>3)</sup>と連絡させるために、変換係数を表-1 のように仮定した。つぎにこれらの値を用いて、(16) 式中の  $r$  及び  $K$  の値を計算した結果が表-2 である。表中 No.4 及び

図-4 演算素子の一例

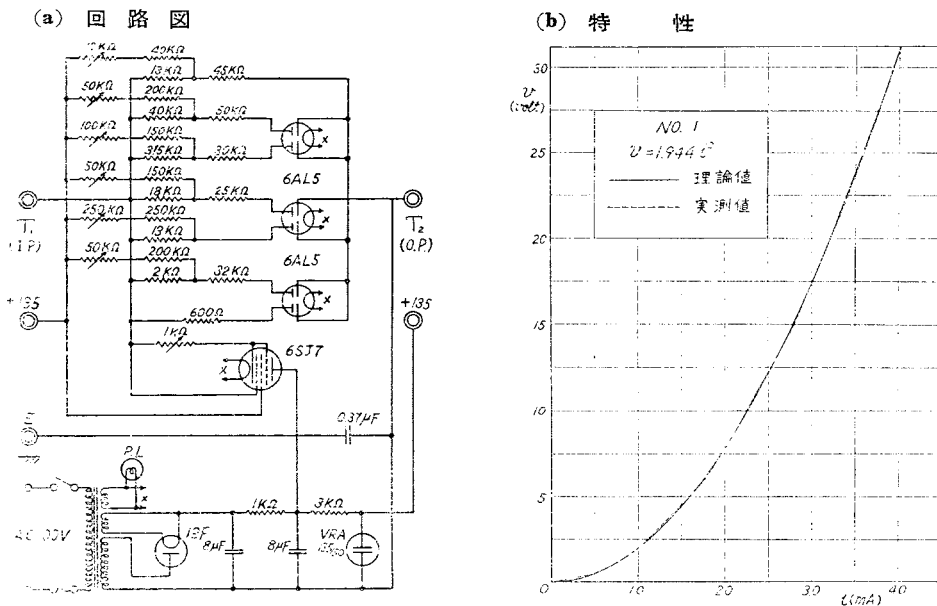


図-5 下流端条件

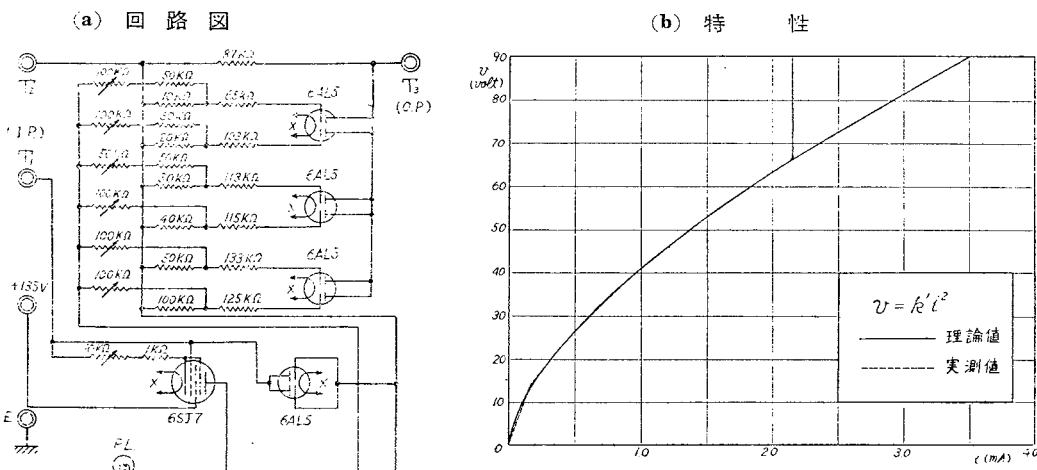


表-1 流体系と電気系の対応

流体系	電気系	変換係数
$h$ (m)	$v$ (volt)	$\alpha = 2 \times 10^{-1}$
$t_{hy}$ (sec)	$t_{el}$ (sec)	$\beta = 3.6 \times 10^4$
$x_{hy}$ (m)	$x_{el}$ (mesh)	$\gamma = 4 \times 10^3$
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$i$ (ampere)	$\theta = 2.1 \times 10^9$

No.5のrの値は、他のものに比較して非常に小さく、演算器の精度\*及び実

用上からみて無視してさしつかえないと考えられる。結局、演算素子としてNo.1~No.3の3個を用い

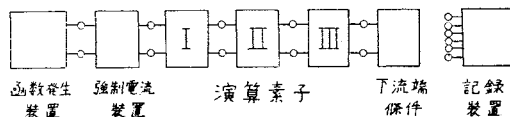
\* 演算器の精度は誤差 2~3% を目標とした。

よいことになる。実際の演算素子の一例を示したものが図-4であり、(a)は回路図、(b)は

表-2 rおよびKの値 (丸山貯水池, C=32)

No.	ダム地点からの距離 (km)	r	K ( $\mu F$ )
1	14.5~16	$1.944 \times 10^5$	0.37
2	12 ~14.5	$7.15 \times 10^5$	0.69
3	8 ~12	$6.28 \times 10^5$	1.16
4	4 ~8	$8.78 \times 10^4$	1.74
5	0 ~4	$2.30 \times 10^4$	2.12

図-6 演算器のブロック・ダイアグラム



その特性を示している。(b) 図中、実線は理論値であり、破線が実測値であるが、実際の追跡計算に際してはほとんど問題とならない電圧の低いところを除いては、その近似度はきわめて良好である。つぎに下流端における境界条件を与える電気回路は図-5(a)に、その特性は図-5(b)に示されており、前と同様、流量(電流)を制限する特性とともにきわめて良好である。なお、電気系の極性はすべて負に選んである。

このようにして演算器の各要素ができたわけであり、図-6に演算器のブロック・ダイアグラムが示されている。すなわち、函数発生装置で洪水流に相当した電圧変化が作られ、つぎに強制電流装置に入り、時間・流量曲線と相似の電流変化に変換されて演算素子への入力となる。この電流は演算素子を通る間に洪水の変ヒズミと同様の変ヒズミを受けて下流に伝わってゆき、ダム地点では、そこに挿入された境界条件に支配されて流れ出るのである。記録をとるには、記録器用増幅器の入力端子を、求めようとする地点に相当した端子に連結すればよく、また同時に多数の記録をとるときは、それに応じて多くの増幅器と多成分のオシログラフを使用すればよい。

図-7 演算例(その1)

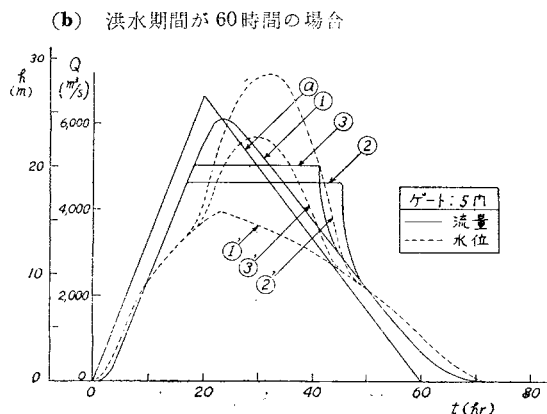
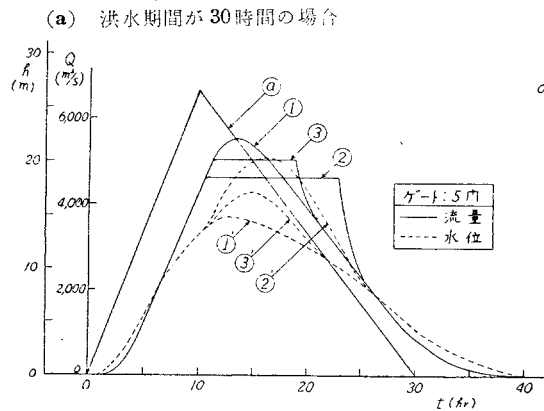
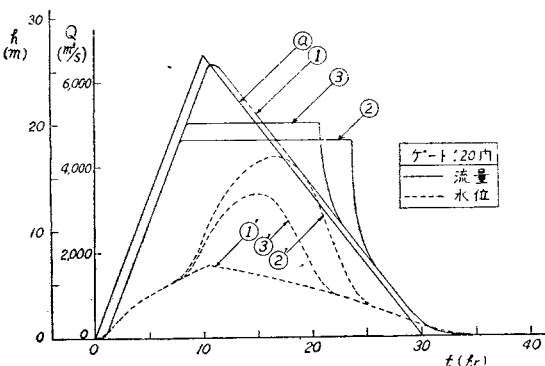
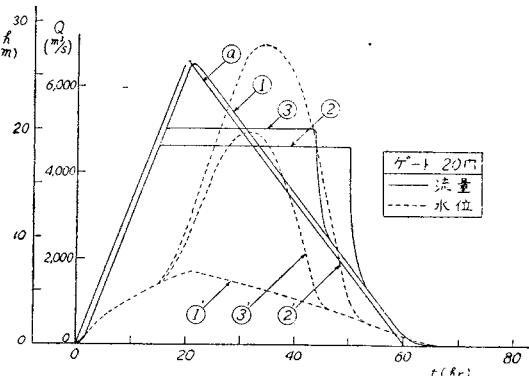


図-8 演算例(その2)

(a) 洪水期間が30時間の場合



(b) 洪水期間が60時間の場合



## 5. 演算結果

丸山貯水池を対象として試作した貯水池用アナログ・コンピューターを用いて行つた二、三の演算結果について述べよう。図-7はゲートの数を5門とした現状の場合の演算結果であり、図-8はゲートの数を20門とした場合のものである。また(a)図は洪水期間が30時間で、はじめの10時間で直線的に最大流量 $6600 \text{ m}^3/\text{s}$ に達し、以後20時間の間に直線的に減少して0になるような洪水の場合であり、(b)図は(a)図の時間を2倍とした場合で、洪水はともに時間・流量曲線が三角形の場合である。また、図中④は流入量曲線を示し、①は自由で越流する場合、②及び③はそれぞれ越流量の最大を $4600 \text{ m}^3/\text{s}$ 及び $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ に制限した場合の流出量曲線である。①、②及び③は、それぞれ①、②及び③の場合に対するダム地点における水位を満水面から計つた値で示したものである。これらの図からわかるように、洪水期間の短いもの、換言すれば洪水波形が急峻なほど最大流量の逓減率が大である。また、下流端における境界条件によつて、流出量及び水位が非常に大なる影響を受

けることがわかる。これらの事実は、特に洪水調節用の貯水池において、よほど慎重にゲートの操作を行わないと、下流流域の洪水の危険をかえつて増大させる場合も考えられ、特に注意しなければならないことである。なお、以上の諸性質は従来から唱えられてはいたが、試作した貯水池用アナログ・コンピューターを用いて、系統的にさらに多くの演算を行うことによつて、その特性を適確に把握できるものと考えており、これらについて目下研究を行つている。

#### 6. 結 論

以上貯水池用アナログ・コンピューターの試作について述べたのであるが、結論的に要約すると、

1. わが国に設けられている程度の貯水池に洪水が流入するときは、運動方程式中の加速度及び慣性の項を無視し、摩擦項及び水面勾配の項のみを考えれば、実用上さしつかえないようである。
2. 貯水池用アナログ・コンピューターの非線型要素は、2極真空管を用い折線近似によつて、十分な精度をもつて適確に実現することができる。
3. 貯水池の条件を同じとすると、最大流量の通減率は、洪水波形が急峻なものほど大である。

4. 貯水池における洪水波の変ヒズミに最も大きい影響を考えるものは、ダム地点における境界条件である。

5. 従つて、ゲートの操作をよほど慎重に行わないと洪水調節の効果が減少し、かえつて洪水の危険を増大するような場合も想像される。

本研究は昭和 29 年度建設省建設技術研究補助金の交付を受けて、京都大学防災研究所において、速水教授、林教授及び近藤助教授等と協同で行つた研究の一部であり、ここに関係方面に感謝の意を表するものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 物部長穂：水理学，岩波書店，昭・8，pp 359～364.
- 2) 建設省関東地方建設局：洪水追跡法，昭・27.5，pp 22～25.
- 3) 石原藤次郎・石原安雄：洪水追跡用アナログ・コンピューターについて，土木学会論文集，第 24 号，昭・30.4，pp 44～57.
- 4) 伊藤 剛：河道に設けた貯水池の水利，土木試験所報告，第 46 号，昭・14.7，pp 49～63

(昭・30.5.21)

## 緩速濾過による水中放射能除去の実験的研究

正員	工学博士	岩 井 重 久*
正員		合 田 健**
准員		神 山 桂 一***

### EXPERIMENTAL RESEARCH ON REMOVAL OF RADIOACTIVE SUBSTANCES FROM WATER BY SLOW SAND FILTRATION

(JSCE Feb. 1956)

*Dr. Eng. Shigehisa Iwai, C.E. Member, Takeshi Gōda, C.E. Member, Keiichi Kōyama, C.E. Assoc. Member*

**Synopsis** In the authors' previous paper, a theory and its experimental verification were introduced about the removal of some dissolved substances in raw water by sand layer. So in this paper, experiments performed with practical slow sand filter, using radioisotopes,  $\text{Co}^{60}$  and  $\text{Ce}^{144}$ , were described and showed good efficiencies to remove these isotopes. The results were discussed with the above mentioned theory on the standpoint of municipal water supply and of disposal of radioactive wastes.

**要 旨** 砂層による溶解性物質除去の機構は著者等の前論文<sup>1)</sup>で一応明らかにされたが、実際の緩速濾過池における放射性物質の除去能を知るため  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Ce}^{144}$  等の放射性同位元素溶液を用いて濾過実験を行つた。

前論文の理論的成果とあわせて、この実験結果とその検討及び考察は、都市水道や廃水処理における放射能除去の予察に役立つものである。

#### 1. 概 説

昭和 29 年春以来、日本各地に降つた放射能雨による都市水道汚染の実態は、まだ測定資料が十分とはいえないが、少なくともわれわれの観測<sup>2)</sup>した範囲で

\* 京都大学教授，工学部土木教室

\*\* 同 助教授，

\*\*\* 同 助 手，