

淀川の洪水追跡器について

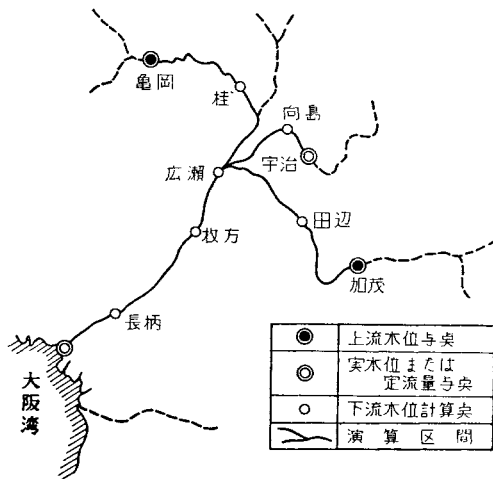
石原 藤次郎*
石原 安雄**

要 旨 本文は、わが国の代表的河川の一つである淀川における洪水流の実態を解明し、洪水予報などの問題に役立たせるために、建設省近畿地方建設局の委託によって製作した洪水追跡用アナログ・コンピューターについてのべたものであり、特にその設計、演算器の構成、演算結果の概要等についての報告である。

1. 計画の概要

河川における洪水現象の実態を、適確に把握することは、河川の諸計画および洪水予報などではなほ重要であることはいうまでもない。しかしながら洪水は非常に解明の困難な自然現象であり、従来から多くの研究が行われているが、十分満足すべき結論には到達していないようである。著者等は最近急速な発達を遂げてきた電氣的模擬法を利用して、いわゆる洪水追跡用アナログ・コンピューターについて研究し、複雑な洪水現象を次第に解明できるようになったが¹⁾、建設省近畿地方建設局では、こうした洪水追跡器によって、淀川洪水の実態把握および洪水予報を適確に行うよう計画され、京都大学防災研究所にその製作を委託された。この計画は、木津川水系の加茂、桂川水系の亀岡および宇治川水系の宇治の各地点より下流部河口に至るまでの河道約 116.6 km に対する完全な洪水追跡器を製作し、前述の目的に役立たせようとするものである。本文はその第 1 期計画によって製作

図-1 計画図



した追跡器の設計および構成と二、三の演算結果を述べたものである。すなわち図-1 に示すように演算区間は上述と同じであるが、加茂および亀岡の 2 地点を上流端の水位与点とし、宇治川は宇治において一定の流量が流入するものとした。さらに河口においては、当然下流端条件として潮汐の影響を考慮しなければならないが、本計画ではこの地点の水位を常に一定とし、また途中の水位計算点としては、木津川水系田辺、桂川水系桂、宇治川水系向島、合流点広瀬および本川水系枚方、長柄の 6 地点を考えることにした。しかしながら、宇治川からの流入洪水、残流域からの流入、河口の問題など、多くの課題が残されており、これらに対しては第 2 期計画で補充し、水位計算点をも増加して、より完全な洪水追跡器となるように計画されている。

2. 追跡器の設計

本追跡器の基礎となる理論は速水博士の洪水理論²⁾であり、本器の設計に際して採用した基礎偏微分方程式はつぎのとおりである³⁾。

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + A \frac{\partial (BH^{5/3})}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} (B\mu \frac{\partial H}{\partial x}) \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 B は川幅、 H は水深、 $A = \sqrt{S}/n$ 、 S は河床勾配、 n は Manning の粗度係数、 μ は河相係数、 t は時間、 x は下流方向に測つた距離である。

追跡器は (1) 式によって設計したが、本器では特に川幅の変化および 3 川の合流などが問題であるが、その設計方法の詳細は文献 1) および 3) に述べたとおりである。この場合に採用した流体量と電氣量との対応を表-1 に示す。

表-1 流体量と電氣量の対応

流 体 量	電 氣 量	変換係数
$H(m)$: 水 深	$v(volt)$: 電 圧	$\alpha = 2 \times 10^{-1}$
$t_{hy}(sec)$: 時 間	$t_{el}(sec)$: 時 間	$\beta = 1.8 \times 10^4$
$x_{hy}(m)$: 距 離	$x_{el}(mesh)$: 距 離	$\gamma = 4 \times 10^3$
$q(m^3/s/m)$: 単位幅当り流量	$i(ampere)$: 電 流	$\theta = 3.55 \times 10^3$

ただし、 $A = 0.6$ (m-s unit) に対 $R_0 = 14.22 k\Omega$
標準川幅 $B_0 = 600m$ 、 $\mu = 5 \times 10^3$ (") して $C_0 = 12.50 \mu F$

つぎに、川幅を $B_0 = 600m$ として、追跡器の河道素子の非線型強制電流 i_0 と A および抵抗 R_0 と河相係数 μ との関係を表-1 の値から計算すると、それぞれ、

$$i_0(mA) = 9 A(m-s unit),$$

$$\text{ただし} \begin{cases} H_{max} = 8m \\ v_{max} = 40 volts \end{cases} \quad \dots\dots(2)$$

* 正員 工博 京都大学教授, 工学部土工学教室
** 正員 神戸大学助教授, 工学部土工学教室

$$R_0(\text{k}\Omega) = 7.1 \times 10^4 / \mu(\text{m-s unit})^2 \dots \dots \dots (3)$$

となる。また、流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ と電流 $i(\text{mA})$ との関係は、

$$Q = B_0 \theta i = 2.13 \times 10^6 i \dots \dots \dots (4)$$

となる。

以上は主として設計の基本的諸数値について述べたのであるが、実際の設計に際して特に注意を払った点は途中の水位計算点付近の河道の区切り方である。すなわち、実測される洪水記録はその地点の局所的影響をかなり受けているはずであり、追跡器によつて演算される結果をこの局所的影響を受けた実測値と比較検討するのであるから、追跡器でもできるだけ局所的効果を取り入れるようにしなければならない。そこで本設計では実測の平面図、横断面図、縦断面図などを参照して、それぞれの河道素子が代表する区間を定め、特に水位計算点付近ではその区間をできるだけ短くするようにして 2~4 km 程度としたが、各河道素子が代表すべき区間を一括表示したものが表-2である。

表-2 各河道素子が代表する区間

桂川水系	地点	龜岡 天龍寺 桂 納所 広瀬						
	河道素子番号	1	2	3	4	5		
	区間距離(km)	12.8	5.45	3.86	5.77	4.80		
木津川水系	地点	加茂 田辺 八幡 広瀬						
	河道素子番号	1	2	3	4	5	6	
	区間距離(km)	6.05	8.40	5.63	4.16	5.16	2.75	
宇治川水系	地点	宇治 向島 広瀬						
	河道素子番号	1	2	3				
	区間距離(km)	6.05	3.74	6.26				
木川水系	地点	広瀬 放方 大日 長柄 河口						
	河道素子番号	1	2	3	4	5	6	7
	区間距離(km)	2.22	6.58	2.29	6.36	7.64	4.57	5.20

3. 追跡器の構成

(1) 河道素子

河道素子は、河道のある区間を電気回路に置き換えたもので、こうした素子を多数連続することによつて、実際の河道の電氣的模擬が構成される。その回路を示した図-2において、コンデンサーCにはその素子が代表する河道から計算された値を挿入し、抵抗Rは調整によつて定めるようにした。また、Aの値に対応したプレート電流 i_p を調節するための分圧抵抗には10 M Ω と500 k Ω の可変抵抗とを使用した。22.5 voltsの電池と500 k Ω の可変抵抗からなる回路は適当なグリッドバイアスを与えるものであり、定電圧放電管は次段の河道素子の5極管6SJ7に一定のスクリーン電圧を供給するためのものである。スイッチ S_2 は抵抗Rを短絡し、ジャックに挿入したメーターによつてプレート電流 i_p を調節すると

図-2 河道素子回路図

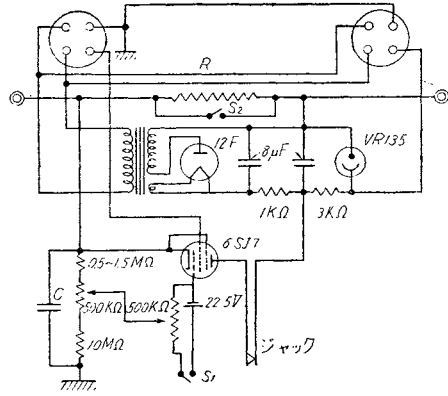


図-3 6SJ7の5/3乗特性

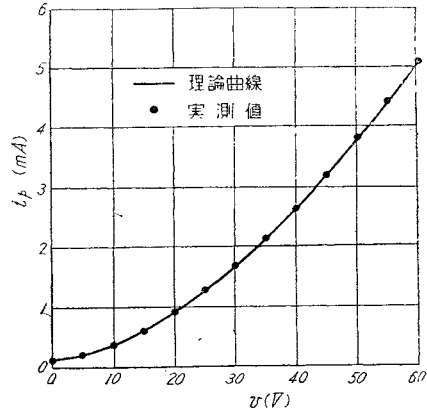
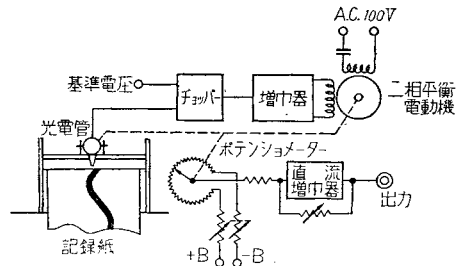


図-4 入力装置説明図



きに使用する。なお、本器に使用した5極真空管は日立製6SJ7であり、その5/3乗特性は図-3に示すとおりであるがきわめて良好である。

(2) 入力装置(任意函数発生装置)

入力装置は上流端から流入する洪水流に相当した電圧を発生させる装置で、本器に採用した入力装置の動作原理を示したものが図-4である。すなわち光电管には、それに入る光の量に対応した電圧がでるが、この電圧とある一定の標準電圧との差をとり、光がある一定量より多いときには正の電圧が、少いときには負の電圧がでるようにする。これを信号電圧として、チョッパーで60 \sim の交流に変化し、さらに増幅して二相平衡電動機の制御巻線に加える。電動機はその制御巻線に電圧が加

えられたときのみ回転し、しかもその回転の方向は信号電圧の正負によつて反対となる。いま洪水流をスミ書きした紙を図のようにおき、さらに電動機と光電管およびポテンシオメーターが連動するようにし、また、たとえば光電管の位置が紙の白い部分の上にあるときには多量の光が入り、光電管には正の電圧がでて、それに応じて電動機が回転するが、その回転の方向を光電管が紙の黒い部分の方へ移動するようにしておく。このような状態で標準電圧を適当に選ぶと、光電管は常に白と黒の境界線上を移動する。従つて紙を一定速度で移動させると、ポテンシオメーターのブラシからは紙上に画かれた洪水流に比例した電圧が得られるから、これを直流増幅器で増幅して追跡器への入力とするのである。本器では上流での水位与点が2地点であるから、入力装置もそれに依つて2要素となつている。

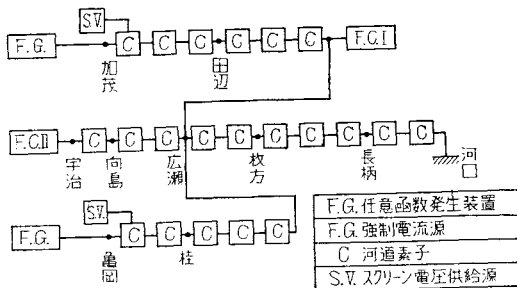
(3) 記録装置

記録器には三栄測器製6要素インキ書きオシログラフを用い、その増幅器は演算回路の回路状態を乱さないため、入力抵抗が10MΩ以上となるようにした。

(4) 追跡器の構成

本器のブロック・ダイアグラムを図-5に示した。すなわち加茂および亀岡において、流入洪水流に対応した入力がそれぞれのF.G.で作られて追跡器に入れられる。一方、宇治においてはF.C. IIによつて一定流量が入るよになつている。図中加茂および亀岡にあるS.V.は初段の河道素子の6SJ7に一定のスクリーン電圧を供給するための装置である。なお、河道素子の6SJ7の特性を5/3乗特性に合わせるために電圧(水深)が0のとき i_p を0.1mAに調整するが、このベース電流によつて合流点では0.2mAだけ余分の電流を生ずるはずであり、これを吸収するための強制電流源が合流点にある

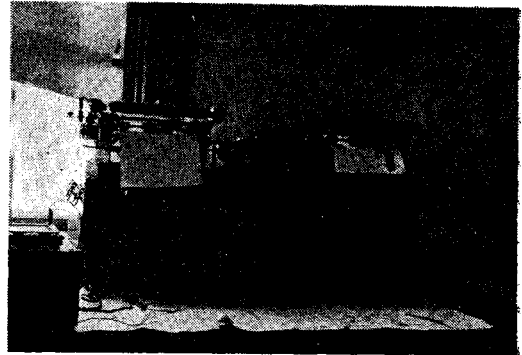
図-5 洪水追跡器のブロック・ダイアグラム



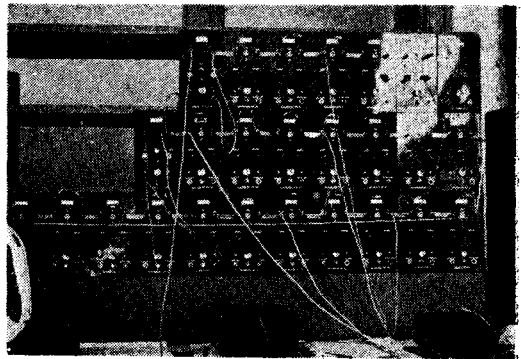
F.C. Iである。また、宇治にあるF.C. IIは宇治川の最上流端において、上記のベース電流0.1mAを吸収するとともに、前述のように宇治川からの流入量を与える強制電流源である。写真-1は洪水追跡器を示したもので、(a)は任意函数発生装置で2要素からなつており、(b)は追跡器の本体であるが、左方は将来拡張のための

写真-1 淀川の洪水追跡器

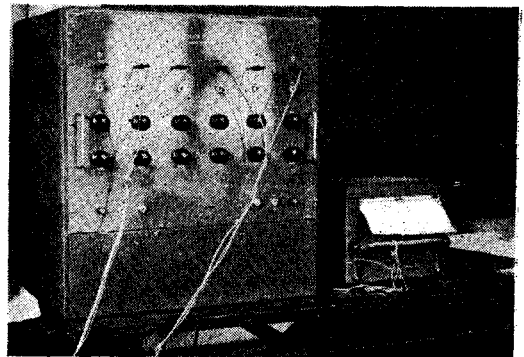
(a) 任意函数発生装置



(b) 河道素子



(c) 記録装置



予備としてあけておいた。また、(c)は記録装置で左方が増幅器であり、右方がインキ書きオシログラフである。

4. 追跡器の調整とその性能

(1) 調整

調整のまえに、水深の0点を何にとるかを定める必要がある。このために淀川における数多くの横断面図を参照し、しかも各量水標地点において、水深の0点に対応する量水標の示す値が互いに関連しておらなければならないことを考慮し、水深の0点を平均水位とした。

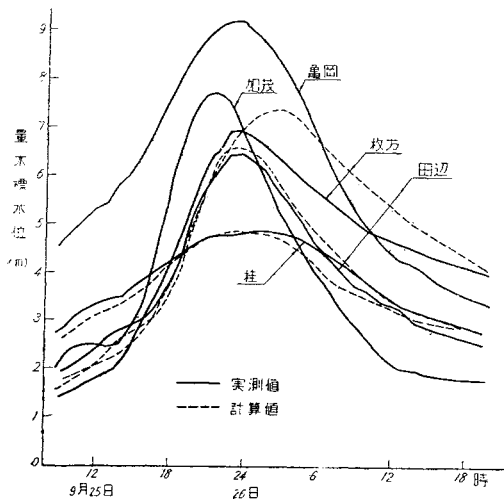
つぎに、昭和 28 年の 13 号台風および昭和 29 年の 14 号台風の際の洪水記録によつて設計の際仮定された A および μ の値から出発して、いろいろの A および μ の値に対応した記録をとり、そのうちで実測値に最も近い値を与える A および μ の値を求めた。しかし、はじめにも述べたように、本追跡器は全計画の一部であり、たとえば宇治川の流入量を洪水期間中一定としたり、また河道素子の数が少なくて十分に局所的効果を取り入れることができなかったりして、完全な調整を行うことができなかったが、現在までに得られた最も妥当と考えられる調整結果を示すと表-3 のようである。なお表-3 には各河道素子に挿入されているコンデンサーの容量をも示した。

(2) 性能

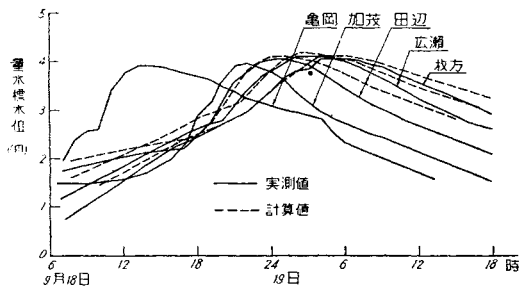
このようにして調整した洪水追跡器による演算結果と実測値の比較を示したのが 図-6 である。

図-6 演算結果と実測値の比較

(a) 昭和 28 年 13 号台風



(b) 昭和 29 年 14 号台風



(a) 図では枚方における演算結果と実測値の間になんかの差があるようであるが、本洪水では宇治川が破堤し

表-3 調整値

水系	河道素子番号	i_p ($H=8\text{m}$ に対して) (mA)	抵抗 R (k Ω)	コンデンサー C (μF)
桂川	1	1.15	100	3
	2	4.15	30	8
	3	4.60	15	6
	4	4.40	20	9
	5	2.85	10	10
木津川	1	2.60	25	12
	2	4.50	18	24
	3	4.30	18	16
	4	5.70	15	8
	5	4.50	15	10
	6	4.00	8	5
宇治川	1	2.25	50	5
	2	2.25	5	8
	3	1.50	10	8
本川	1	4.60	5	8
	2	4.20	15	20
	3	5.85	5	8
	4	4.90	15	20
	5	4.00	15	24
	6	5.05	8	16
	7	5.00	5	16

本川の水が逆流しているの、そのために生じた差異であると考えられる。これらの図からわかるように、本追跡器が全体計画の第 1 期分であるにもかかわらず、かなり良好な結果を与えている。従つて、さらに河道素子の数を増して局所的影響を十分に取り入れ、また宇治川からの流入量を一定とせず実測値をそのまま入力とし、残流域からの流入量を加え河口における潮汐の影響をも挿入して、できるだけ実際に近い条件を与えるようにすれば、本洪水追跡器の性能はさらによくするものと考えられる。

5. あとがき

以上淀川の洪水追跡器について、その概要を述べたのであるが、本追跡器の製作に当つて絶大な御援助を賜つた建設省近畿地方建設局、並びに当時の稲垣局長、武田淀川工事事務所長(現局長)、また直接いろいろの面で御助力を賜つた高橋専門官に深く感謝の意を表するとともに、協同して製作に当られた京都大学工学部電気工学教室の近藤博士および関係諸氏に謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 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
- 2) S. Hayami: On the Propagation of Flood Wave, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Bulletin No. 1, Dec. 1951.
- 3) 石原 安雄：洪水追跡器の美河川への適用について，土木学会論文集に投稿中。