

河川災害総合基礎実験施設について

矢野勝正・石原安雄

EXPERIMENTAL FACILITY FOR RESEARCH OF RIVER DISASTER

By *Katsumasa* YANO and *Yasuo* ISHIHRA

Synopsis

This report describes the capacity and ability of the experimental facility for research of river disaster, completed in March 1968, with object of studying systematically the disastrous phenomena caused by heavy storm rainfalls in a river basin. This new equipment is composed of two parts, one is the experimental area, 20m×135m, having the generator of artificial rainfall, the other the experimental concrete channel, being 1.5m in depth, 7.5 m in width and 243 m in length. The rainfall generator is made of many spray nozzles and controlled automatically to change the intensity 0~125 mm/hr, and the water supply system is also controlled automatically 0~750 l/sec in discharge. Both control systems have function generators.

1. 実験施設の目的

豪雨に伴う洪水による災害の防止軽減対策を科学的に究明することは、水害日本といわれるわが国にとってきわめて重要なことはいうまでもない。防災研究所においては、かねてよりこの点に留意し、設立頭初より洪水に対する各種の研究を続行して、多大の成果をあげてきている。

従来から一般には、河川災害の研究は、

1) 日頃から現地に観測設備を設置しておいて、そこに生起する災害現象を観測したり、あるいは現地に発生した災害現象の痕跡を調査してその模様、大きさ、などを推定したりするいわゆる現地における観測研究。

2) 河川災害が発生しそうな部分を局部的に抽出してきて、その模型を実験室内に製作し、そのうえで災害問題を研究しようとする模型実験的研究。

3) さらに抽象的に、河川弯曲部、河口部あるいは直線部などをとり出してきて、比較的単純な境界の実験水路において、水や土砂の挙動を基礎的に取扱っていく、いわば基礎的理論的研究。

以上の3つの研究方法がとられてきた。ところで、現地観測では、常にあらゆる形態で災害が発生するというわけではなく、また実際の河川は限られた1本の水路ではなく、広い流域という場をもった水路の集合体であって、ある一部で発生した災害は少なくともそれより下流の災害現象に大きく影響する。しかも洪水の原因は豪雨であって、豪雨と出水とはきっても切れない相伴の現象である。

したがって、河川における災害現象の研究に当っては、従来からとられてきた上述のような研究を続行する必要があることはいうまでもないが、それに加えて、河川流域全体を立体的かつ系統的に再現することができる実験施設において、あらゆる可能な条件下の災害現象を発生させて研究していくことが肝要である。防災研究所においても、こうした点を常々検討し、その重要性を強調してきたが、幸いにも、昭和39年度を

初年度として予算化され、約2億円の経費によって4年かかって、昭和43年度末に標記の実験施設の完成をみたのである。本文は、この実験施設の概要と性能について述べたものであるが、本施設の完成までには、当局、水害研究にたずさわっている多くの研究者をはじめ多数の方々の絶大な御支援と御助言を賜っているのであって、この機会にこれらの方々に深甚なる謝意を表する次第である。

河川災害総合基礎実験施設は、上記のように、水源から河口に至る間の豪雨に伴う水および土砂に関する災害現象を一貫して、立体的有機的に研究することができるよう工夫されており、一般的研究態度は、いわゆるシミュレーションによる研究といえることができる。したがって、本施設を使用して行なうことができる研究は、河川災害のほとんどのものが包含されるわけであるが、対象とする現象は平面的ないしは立体的な拡がりをもつものに主眼がおかれることになる。また、研究はシミュレーションそのものの研究から始まり、ついで災害現象の究明とその防災への応用研究へと進むこととなるが、その間にあって、現地観測は常にシミュレーションの対象物として必要であり、従来から行なわれてきた水路実験などの基礎研究は、シミュレーションに対する基礎知識を与えとともに、最終的結果を解析するときの基礎として必要欠くべからざるものであることはいままでもない。したがって、本施設は現地観測と基礎研究の仲立をするものということもできよう。

2. 実験施設の概要

河川における豪雨災害をみるに、流域全体における水および土砂の流出に伴う現象と、河道内を洪水が流下するときに生起する現象とに大別することができる。また、水だけについてみても、両者の場における Reynolds 数がかかなり異なっているのであって、シミュレーションに際して、両者を同列に取扱うことができにくい点がある。たとえば、流域における豪雨の流出現象をシミュレーションさせるには、模型縮尺で1/100あるいはそれ以下でもよいかもしれないが、河道形態の変化などを取扱うときには、1/50あるいはそれ以上の縮尺が要求されるだろう。

したがって、流域全体のマクロな災害現象を対象とすると、河道部のようになりにミクロな災害現象を対象とするときとは、おのずから取扱い方が違ってくる。そこで、本実験施設においては、平面的に拡がりをもつ流域全体を対象とした研究を行なう部分と、河道を対象とした研究を行なう部分とに分けられて

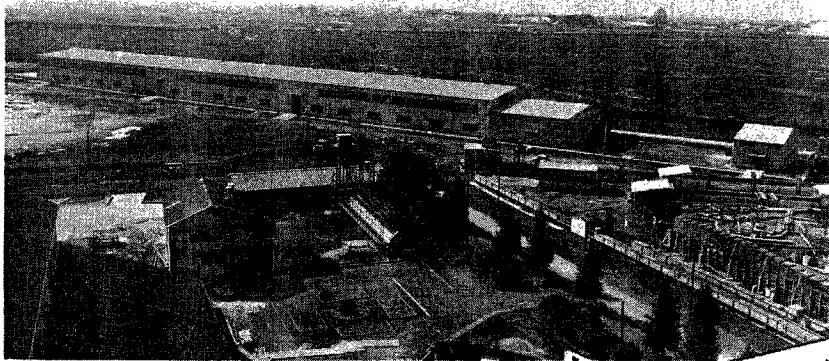


Photo. 1 Outside view of the facility.

おり、前者への給水は人工降雨、後者へは水路上流端に設置した整流槽によって行なうようになっている。

本施設の外觀は **Photo. 1** のようであり、その平面的配置は **Fig. 1** に示されている。また、本施設の諸元は **Table 1** のとおりである。

(1) 人工降雨発生部

面積が $135\text{m} \times 22\text{m}$ のところで、床は水平なコンクリート張りである。床面上 6m の高さに1632個のスプレーノズルが設けられており、 $0 \sim 125\text{mm/hr}$ の人工降雨を与えることができ、その有効面積は $127.5\text{m} \times 20\text{m} = 2,550\text{m}^2$ である。人工降雨発生装置は、 $37.5\text{m} \times 20\text{m}$ 、 $37.5\text{m} \times 20\text{m}$ および $52.5\text{m} \times 20\text{m}$ の3つに分けられており、それぞれ別々に制御することができる。これらを、**Fig. 1** に示すように、それぞれ山地部、平地部および河道網部と呼んでいるが、河道網部の一端には合計流量で最大 125 l/sec までの給水が可能な給水口3個が設けられている。したがって、洪水流出、山地の崩壊、土砂流出、とその調節防止、洪水調節、低平地流出、内水および破堤はんらん水の挙動などの研究を行なうことができる。**Photo. 2** はこの実験場の内部を示した写真である。



Photo. 2 Inside view of the experimental area with rainfall generator.

(2) 河道部

深さ 1.5m 、巾 7.5m 、有効長 243m の水平底のコンクリート製水路である。その内上流側の 135m の部分は屋内、 108m の部分は屋外に露出している。この水路への給水は 250 l/sec と 500 l/sec の容量をもつ2台のポンプによって行なわれ、自動制御されている。水路の上流端には **Fig. 2** に示す整流槽を有し、 5.6% の通水断面積をもつ2枚の整流板によって整流された水が水路に流入する。また水路の下流端には、受砂槽があり、流下してくる土砂を沈澱除去させるようになっている。**Photo. 3** は水路の内部を上流

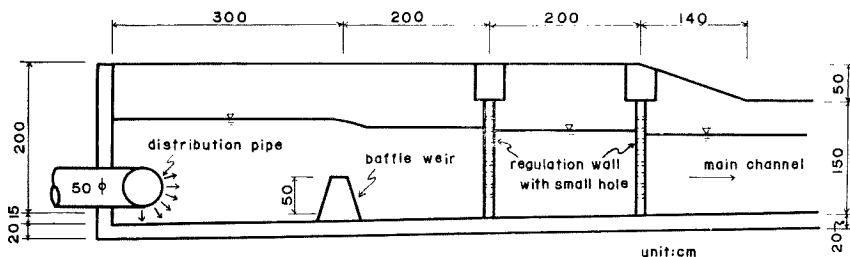


Fig. 2 Flow regulator.

側に向けて写したものである。なお、水路の側壁にはレールが敷設されており、土砂を所定の勾配および形状に整形するためのサンドスクレーパー、および測定のための測定台車が自走するようになっている。したがって、本水路では、河道における洪水伝播、河川乱流、安定河道と流路の蛇行、河道における土砂流送、河口部における水理、河川構造物と治水問題などの研究を行なうことができる。

(3) 付 属 設 備

本施設には、上記の実験場のほかに、運転、管理、計測などのための付属設備がある。

a. 受電、配電設備 電力は 6,600 V の高圧受電であって、4基の主ポンプの動力となる電動機はすべて 3,300 V の高圧モーターを使用している。その他各種のモーター用の電力、および照明用、計測用の電力を供給するために、3φ 200 V 用 200 KVA および 1φ 100/200 V 用 100 KVA の2基の変圧機が設備されている。

b. 給水 本施設で使用する水は、都市上水および井戸水を併用しているが、実験施設はすべては循環式になっている。

c. 低水槽、帰還水路 低水槽はいずれも深さ 2.1 m であるが、面積 225 m²、180 m² および 746 m² の3槽あり、第1のものは揚程 36 m、吐出力 125 l/sec のポンプ用であって、河道網部の人工降雨発生部および給水のための貯水槽である。第2は揚程 36 m 吐出力 55 l/sec のポンプ用であって、山地部および平地部の人工降雨発生のための貯水槽であり、もっとも大容量の第3のものは、揚程 21 m、吐出力 500 l/sec および揚程 26 m、吐出力 250 l/sec の2台のポンプ用であって、河道部水路への給水のための貯水槽である。

d. 計測室 本施設の運転は、後述するようになすべて自動制御されているので、そのための制御装置を有する制御室、遠隔自動計測のための計測センター、および資料の処理解析のための部屋、などがある計測室が設けられている。

e. その他 受電・配電のための受電室、ポンプや制御用機器収納のためのポンプ室など付属的な建物が設置されており、その配置は Fig. 1 に示すとおりである。なお、Photo. 4 はポンプ室の内部を示したものである。

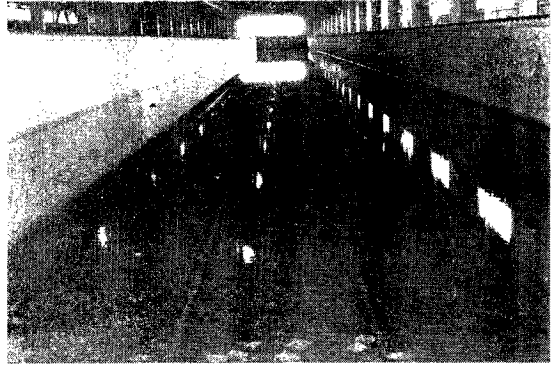


Photo. 3 Inside view of the experimental channel.

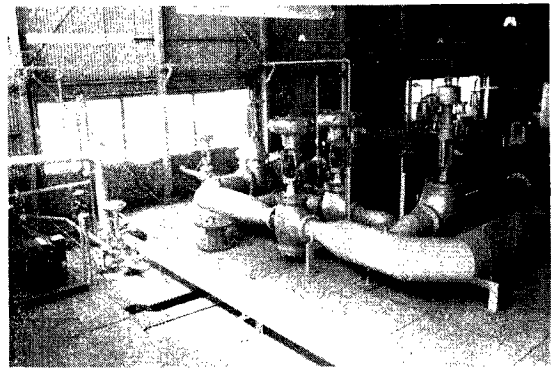


Photo. 4 Inside view of the pump room.

3. 各部の機能および性能

(1) ポンプ運転装置

本施設の運転は計測室内に設置されている操作盤によって全部自動的に行なわれる。各給水系統とも同じ動作原理であって、リレー式シーケンス制御である。その要領を示したものが Fig. 3 である。

運転方法は、まず、空気バルブ作動のための圧縮空気源用ポンプおよび呼水用真空ポンプを運転したの

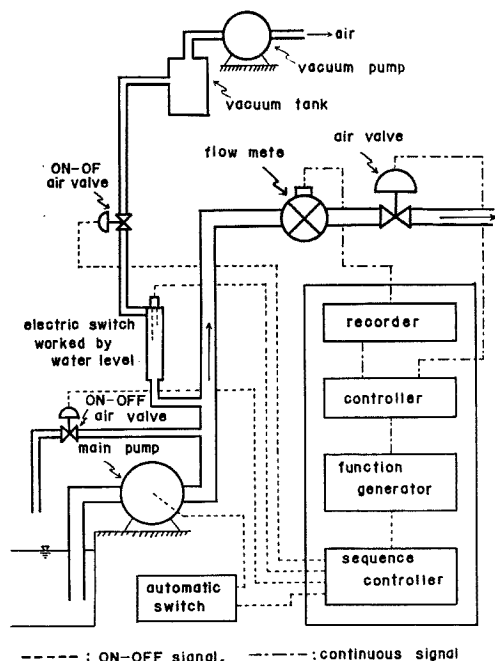


Fig. 3 Schematic figure of operation system of the equipment.

バルブが開いてパイプ中にたまっている水を自動的に排出することができるようになっている。また、ポンプの運転は、上述したように自動的に行なうことができるほか、手動でも行なえるようになっていることはいうまでもない。

(2) 流量制御装置

流量制御はいわゆる PI 制御によっている。Fig. 3 に示したように、予め設定されたプログラムに従って制御されるわけであるが、プログラムは電気抵抗式プログラム設定器で発生される。この信号が調節計に入り、別に流量検出部から送られてきた信号と比較して、両者に差を出じないように流量調節用空気バルブへ作動信号を送るわけである。調節計は電気式を用いているので、空気バルブ部には電空変換器が設置され

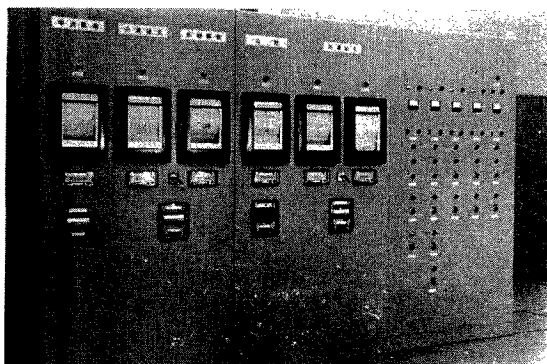


Table 5 Photograph of the operation and control panels.

ち、操作盤上にある運転開始の押しボタン式スイッチを入れる。すると呼水用真空タンクに通じるパイプに設けられたオン・オフに作動する空気バルブが開いて、低水槽から水を吸い上げる。吸い上げられた水の水位が上昇して、水位式スイッチまでくると、このスイッチが働き、その信号によって、呼水用パイプ中の空気バルブが閉じ、排水パイプ中の空気バルブが開くと同時に、揚水ポンプ用電動機の電源スイッチが自動的に入ってポンプがまわり出す。その後、ポンプが正常にまわり出すようになると、予めセットされていた電気抵抗式プログラム設定器がまわり出し、その指令信号に従って流量調節用空気バルブが作動して、所定の流量を実験部へ供給するわけである。この場合、排水パイプはポンプの空転時の支障を取除くために設けられているもので、実験部への給水量が適当な流量以上となると、自動的に空気バルブが閉じて排水が止まるようになっている。

なお、実験が終わってポンプの運転をとめたときには、各部の空気バルブはもとの状態に戻るが、実験用流量調節装置と人工降雨発生装置との間に排水用空気バルブが設置されていて、このバルブが開いてパイプ中にたまっている水を自動的に排出することができるようになっている。また、ポンプの運転は、上述したように自動的に行なうことができるほか、手動でも行なえるようになっていることはいうまでもない。

流量検出には、人工降雨発生装置への給水に対しては電磁流量計、水路への給水に対してはオリフィス流量計を採用している。

Photo. 5 は操作盤および調節盤を示したもので、左の2面が調節盤、右の1面が操作盤である。調節盤の上部に6個並んでいる計器が記録計、その下の計器がPI制御の調節計、最下部の4個が電気抵抗式プログラム設定器である。なお、プログラム設定器は切換スイッチで各部の調節計につなげるようになっている。

(3) 人工降雨発生装置

人工降雨の発生にはプラスチック製の非回転式のスプレーノズルを使用している。もちろん、給水パイプの途中にはストレーナーが設置されていてごみ等の不純物がノズル端までこないようにしているが、回転部分があるといろいろのトラブルが生ずるおそれがあるので、もっとも簡単な形式のスプレーノズルを採用したわけである。Photo. 6 はその設置状況とノズルから水を噴出しているところを示したもので、取付パイプの外径は 3/8" である。

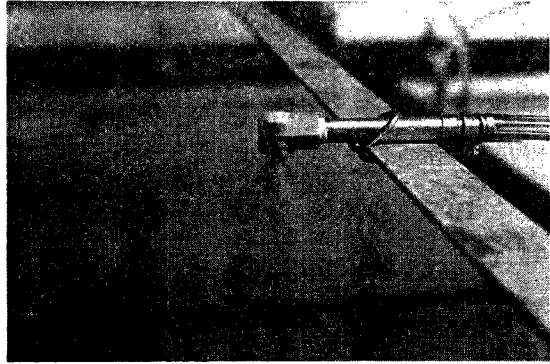


Photo. 6 Spray nozzle.

一般に、人工降雨の発生には、面積的に一様な分布であること、降雨強度の変化を自動的に行なう場合に面積的におくれる場所がないこと、雨滴の大きさと落下速度が自然降雨に近いこと、などの要求がある。第 1 の問題に対しては、降雨発生装置の形式をどんなものにするかによって決定される。本施設で採用したようにスプレーノズルを使用する限りは、ノズルを非常に密に配置しないと解決することができない。本施設では、実験場の面積からして、約 1 m² ごとの面積に対する分布が一様であればよいということを目指し、縦横とも 125 cm の格子の格子点に 1 個のノズルを配置した。実際に 2.5 m × 2.5 m = 6.25 m² の受水器を用いて検定した結果では、限雨強度の地域的な変動は数%であることが確かめられた。

つぎに、自動制御を行なったときの追従性の問題である。洪水現象を対象としたこの実験施設においては、もっとも重要な性格の一つである。Fig. 4 はスプレーノズルまでの配管状況を示したものである。すなわち、底面上に 8"φ のパイプが水平におかれ、それから 7.5 m ごとに 2 1/2"φ のパイプが分岐され、その中間にはダイヤフラムバルブが挿入されている。さらに、天井付近に水平に設置された 6"φ のパイプと接続されているが、6"φ のパイプからは 2.5 m 間隔に 2 1/2"φ のパイプが分岐されていて、そのパイプの上縁より 1/2"φ のパイプが 1.25 m 間隔で分岐されその先端にスプレーノズルがつけられている。すなわち、パイプは分岐するごとに標高が高くなり、ノズルがもっとも高いところに装置されているわけである。このような配置とした理由は、給水系統においてパイプ中に空気を残さず追従性を良くするためである。事実 1 系統の人工降雨発生部内では、降雨強度を変えた場合に面積的におくれが全くないといってよい程度に、良好な追従性がえられた。

なお、上述の配管系統において、パイプは大部分硬質塩化ビニール管が用いられているが、いまその粗度係数を $n=0.01$ と仮定すると、8"φ パイプの入口付近で、125 mm/hr の降雨強度度に対して、損失水頭は 1 m 当り 0.5 cm 程度、6"φ パイプの入口付近では 1 m 当り 0.063 cm 程度、2 1/2"φ の入口付近では 1 m 当り 0.024 cm 程度である。また、ノズル入口付近の水圧は 125 mm/hr のとき約 0.5 kg/cm² であった。8"φ パイプからの分岐後にダイヤフラムバルブを置いたのは、その分岐されたパイプの系統の降雨を止める目的と、もしも降雨強度に面積的な不均一があったときの補正の目的であった。しかし、前述した

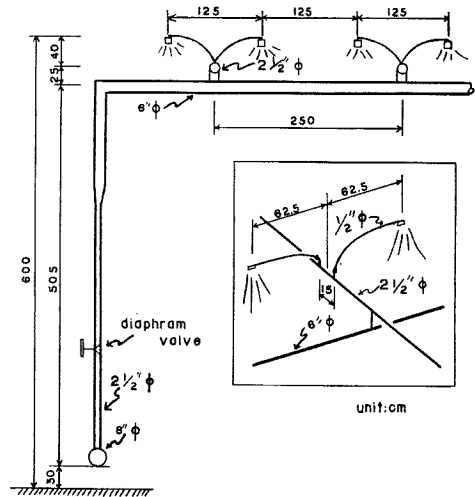


Fig. 4 Arrangement of pipe system for water supply to the spray nozzles.

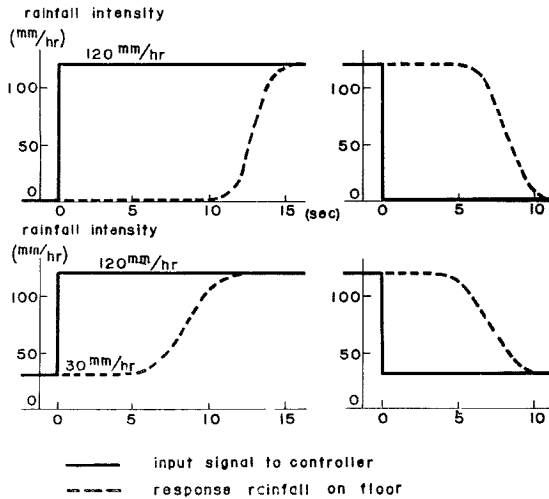


Fig. 5 Response characteristics of rainfall for abrupt increase and decrease signals.



Photo. 7 Artificial rainfall at 125 mm/sec in intensity.

人工降雨を発生中の状況であって、このときの強度は 125 mm/hr である。

4. む す び

以上、河川災害総合基礎実験施設の完成に当たって、その目的、概要および若干の性能について述べた。その結果、河川における各種の災害現象に関する研究を系統的に行なうことができる性能を有していることがわかったわけである。しかしながら、本施設を本格的に使用して研究を行なうためには、シミュレーションの方法の研究をはじめ、多くの基礎的な研究が必要であることはいうまでもない。現在までのところ、河道部水路を用いた河川乱流の研究の一部を完了し、現在山地流域における洪水流出に関するシミュレーション研究、流路の蛇行に関する研究、および侵蝕地形の発達過程の研究などを実施あるいは準備中である。

Fig. 6は洪水波の特性を河道部水路を用いて調べた1例であって、水路の上流端から約80mの地点で、水路中央で測定した流速と水位変化、およびそれに乗じてえられた流量変化を、制御盤の記録計に記録された流量と関係させて示したもので、流速、流量、水位の順でピークが現われている。

Photo. 8は滋賀県野洲川左支川荒川最上流の1/100の流域模型を設置した状況を示したもので、現地における観測結果を参照して、河川流域の洪水流出シミュレーションを行なうものである。

ように、パイプ中を流れる間の損失水頭がほとんど無視できて、実際にはこのバルブによる補正の必要はなかった。

最後に、スプレーノズルからでる水滴と実際の降雨の水滴との類似性であるが、これは良好ではない。実際の降雨では、強度が大なるほど大きな水滴であるが、このノズルでは、これとは逆に強度が大なるほど小さな水滴となる。すなわち 20 mm/hr 程度で最大径 2~3 mm、100 mm/hr 程度では最大径 1 mm 以下である。したがって、地面侵蝕など水滴の大きさと落下速度が関係するような現象の研究は行なうことができにくいのであって、水量にのみ起因するような現象に限られるわけである。

Fig. 5 は本施設の人工降雨発生装置のプログラム設定器からの指令信号に対する実験場床面上での降雨の応答特性を調べた結果である。0 から 120 mm/hr まで急増する場合は、ノズル中に若干の空気が残っているために応答開始時間が 10 sec 程度であるが、他はいずれの場合にも、おくれが 5 sec 程度、定常になるまでにさらに 5 sec 程度を要することがわかる。スプレーノズルから床面上まで水滴が落下するのに 1.5~2 sec を要することを考慮すると、総合的な応答特性はかなりよいといっていよう。

なお、Photo. 7 はスプレーノズルから



Photo. 8 Model of watershed.



Photo. 9 Experiment of meandering.

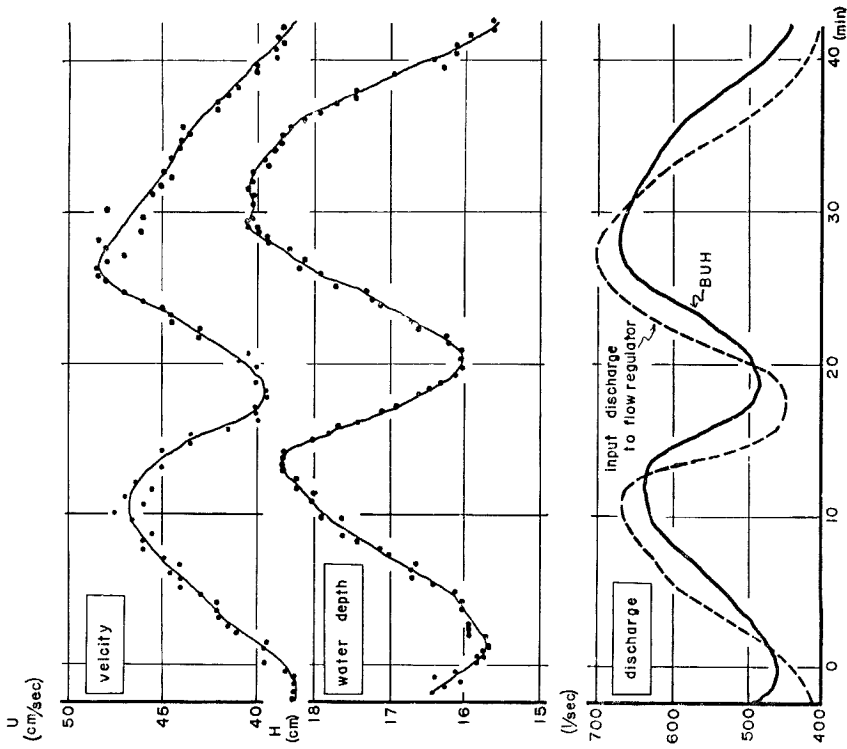


Fig. 6 Characteristics of flood wave.

Photo. 9 は河道部水路に砂を敷きつめ、勾配1/200のとき 500 l/sec の水を水路の全巾にわたって流したときの蛇行性状を、上流から下流に向って写した写真である。

以上のように、現在河川災害総合基礎実験施設を利用して、河川災害の系統的な研究を行ないつつあるが、こうした実験施設が効果的に運転され、研究が飛躍的に進展して、水害日本の防災対策が1日も早く科学的かつ有効に樹立される日がやってくることを念願するとともに、われわれもこの実験施設の完成を契機として、従来にも増して、意欲的に水害に関する災害科学、防災科学の研究を強力に進める覚悟である。