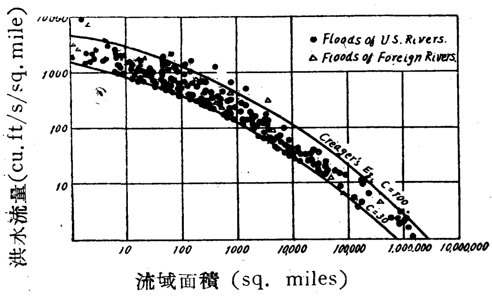
河川の洪水流に関する二、三の問題

本　間　仁

1. 流　出

ある流域に降った雨水の中で河川の流水となるものを流出といい，洪水時の流量に関係するのはその中の表面流出（地下水流出を除いたもの）である．河川の計画洪水量をきめるのに現在最も普通な方法とされているのはある確率降雨（例えば100年に1度起こると考えられる強さの雨）について，雨の強さと雨水到達時間から洪水のピーク流量を計算する方法で，雨の強さは降雨継続時間と関連して考えられ，継続時間は一般に雨水到達時間に等しくとられる．



第1図

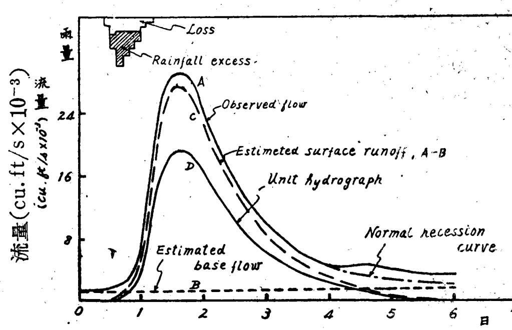
ピーク流量の実測値と流域面積の間には 図-1 のような関係があって，Creager はアメリカの記録から次のような公式を与えた[1]．

$$q = 46\,CA^{(0.894A^{-0.048}-1)}$$

ただし q の単位は sec-ft per sq. mi, A の単位は sq. mi. である．このような関係はわが国の例でも認められる．

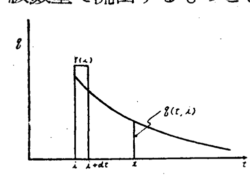
幾つかの支川からの洪水の合流を論ずる場合，又は貯水池による洪水調節を考える場合などは，流出の hydrograph を考えねばならない．このために用いられるものは，流量の時間的変化を表わす graph である．

Hydrograph の利用を今日のように盛にしたものは，Sherman の unit hydrograph（単位図）の提案以来であるといえる．単位図とは，ある単位時間（例えば12時間）に表面流出となる雨量（Rainfall excess という）が 1″ だけあった時に，この雨による hydrograph であって，Sherman は河川の流域毎に単位図は一定であり，単位時間内の Rainfall excess が n'' ならば単位図の高さを n 倍すればよく，また引き続く単位時間内に n_2'' の rainfall excess があれば，単位図の高さを n_2 倍し，前のものと重ね合せればよいことを提唱した．図-2は12時間の降雨による流量記録から単位図を作図する順序を示したものである．すなわち降雨記録から損失量を差し引いて excess R_e を求めておく．観測による hydrograph の終端部の局部的な雨による不規則を正規形に修正し(A)，推定した Base flow を差し引き(B)，その残りの高さ(C)を $1:R_e$ の比に縮少すればよい(D)．



第2図

わが国での最近の傾向として単位図によらないで流出函数を用いる方法が実用化しようとしている．この方法は色々な問題を数式によって扱えるために便利な場合が多い．現在までに菅原[2]，吉川[3]，柴原[4]の諸氏の方法が発表されているが，いずれも降雨が指数函数型または級数型で流出するものとしている．指数函数型では Δt の間に降った $r(i)$ の雨の影響は t 時刻において



第3図

$$q(t,i)=ae^{-\alpha(t-i)}$$

の形で表わされるものとしている．例えば柴原氏は降雨型を仮定して近似計算を行う方法をとった．又菅原氏の級数型の方法では，時刻 n から前にさかのぼった各時間雨量 R_n, R_{n-1}, R_{n-2}, ……の影響の総和を

$$D_n=(1-k)(R_n+R_{n-1}k+R_{n-2}k^2\cdots\cdots)$$

で表わし，流出機構を支配する因子 k を実測結果からきめている．

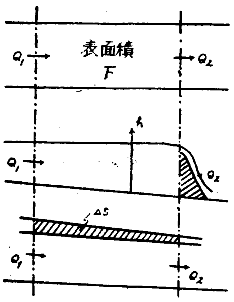
2. 洪水追跡

Hydrograph の形は川の上流から下流に移るに伴って変形して来る．その変形を辿ることを洪水追跡と言う．最も一般的な方法は，水路の中の非定常的な流れの運動

方程式を，上流端での hydrograph を与えて解くことであるが解析的に一般解を求めることは不可能である．そこで林氏の $\partial h/\partial t=0$（h は水位）の附近で $\partial^2 h/\partial t^2$ の項を省略する解[5]，岸氏の特性曲線を利用する図式解[6]などがあり．また，速水氏は連続方程式の中に流れの乱れが拡散する速さを表わす項を入れ，運動方程式は定常的と見做して $\partial h/\partial t$ を省略した．

しかし実用的には連続方程式として（図-4参照）

$$Q_1(t)=F(h)\frac{dh}{dt}+Q_2(t)$$



第4図

を利用する方法が用いられている．これは二つの区間の間の洪水伝播速度を無限大と考えることによって運動方程式を省略し，貯水池による洪水の変形の場合は $Q_2=f(h)$ とする．しかし普通の河川ではこの区間内の貯溜量を ΔS として

$$Q_1(t)=\Delta S+Q_2(t)$$

で表わし，ΔS に対して実際に適した表わし方を与えるように修正されねばならない．最近に広く用いられる，Muskingham 法では ΔS を Q_1 と Q_2 の一次式で表わしている．

前節に述べた柴原氏の流出函数を用いても洪水追跡の計算ができる．

3. 河川を流下する土砂

洪水時には土砂または石が水と共に流下する．これらは崩壊する山腹が大きな供給源となっており，平地部に出て堆積し，河床を高め，あるいは河口まで運ばれて附近の海岸の砂を補給する．ダムを築いたために貯水池に砂がたまる問題，そのために下流の川底が下り，さらに河口附近の海浜が後退する問題は到る所に起っているので，流下土砂はすこぶる重要でしかもむずかしい問題である．

流下土砂は水中に浮遊しながら運ばれるものと，川底を押し流されるものとに分けられる．浮遊土砂を含んだ流れの速度分布曲線を Vanoni が精密な実験によって測定した結果によると[8]，浮遊物が含まれることによって水流の抵抗係数は減少することが明かにされている．この実験では流水1リットル中に1.2グラムの浮遊物によって，Manning 流速公式の粗度係数が10%減少している．このような現象は浮遊物の密度勾配から理論的にも説明されている[9]．従来は浮遊土砂が抵抗係数をはなはだしく増すように考えられていたが，この考えは正しくないようである．

河床を押し流される砂礫（Bed load）の移動量に関しては多くの研究があるが[10]，その移動の形態にはいろいろな型があり，川底が一面に動くもの，砂漣状をなして進行するもの，大きい砂洲が進行するものなどに分けられる．実際の河川では砂洲の形は川の曲りなどによって制約されて進行できない場合が多いが，洪水毎に砂礫の集団がある距離だけ流下するという形態が多いのではないかと思われる．

このような土砂移動量の推定と，土砂移動の人工的な制御は今後の河川工学の課題であると思う．

参考文献

1) Creager, Justin, Hinds : Engineering for Dams. 1, 1944, p.125.
2) 菅原，丸山： 宝川の流出機構について（資源調査会資料）
3) 佐藤，吉川，木村： 降雨から流出量を推定する一方法，建設省土木研究所報告，87号，1954
4) 柴原孝太郎： 河川流出に関する近似解法について，建設省河川局開発課，1953
5) 林泰造：Mathematical theory of flood waves. Proc. 1st Japan National Congr. Appl. Mech., 1651
6) 岸　力： 特性曲線法による非定常流の解き方，建設省土木研究所報告85号の2，1954
7) 速水頌一郎： On the propagation of flood waves. 京都大学防災研究所，Bulletin No. 1, 1951
8) V. A. Vanoni : Transportation of suspended sediment by water. Trans. Amer. Soc. Civil Engineers, 1946
9) 椿　東一郎： 浮流流砂が流れに及ぼす影響について，土木学会誌，40巻9号，1955
10) H. A. Einstein : Formulas for the transportation of bed load. Trans. Amer. Soc. Civil Engineers, 1942

（東京大学土木教室）

編集後記

1955年もこれで終りを告げ，来年1月からは新らしく機関紙として発足することとなった．私達の“天気”が生長して，ヨチヨチながらも一人歩きを初めようという段階まで来たのである．昨年から編集という事務を分担させられて今日に至ったが，本が良くなるも悪くなるも会員からの論文その他の投稿が多くなされ，“天気”の誌上で討論が活潑に行われるかどうかにかかっていることが，痛感させられた．私達編集委員は集まった原稿を雑誌の形にまとめあげるだけである．今後とも多大の関心を寄せられるように切望します．　（奥田記）