

# ウォシュ・ロードに関する研究

——大戸川の観測結果について——

村本 嘉雄・河田 恵昭・藤田裕一郎・中村 行雄

## STUDY ON WASH LOAD IN RIVERS

——On the Results of Observation in Daido River——

By *Yoshio MURAMOTO, Yoshiaki KAWATA, Yuichiro FUJITA and Yukio NAKAMURA*

### Synopsis

In order to elucidate the applicability of the hydraulic analysis on the transport process of wash load developed in the previous paper<sup>1)</sup>, we set out the observations of suspended sediment concentration and water stage of a flood in June 1974 at 13 stations in the drainage basin of the river Daido.

The results of the observation support the predicted results of the simultaneity between maximum concentration of wash load and peak flow stage in the each station along the main stream and the analytical relations between the concentration of wash load and the flow discharge during the recession stage of the flood in the station of the sub-basin with the lower percentage of bare soil land. During the rising stage of the flood, however, the concentrations of wash load observed are higher than the analytical ones, and the further studies on the sub-surface runoff in the sub-basin with various percentage of bare soil land will be needed.

### 1. は し が き

ウォシュ・ロードの時間的変化あるいは流量との対応関係を明らかにするには、対象地点の上流域における出水と土砂の流出・流下過程を追跡する必要がある。河川災害研究部門では、一昨年より滋賀県の大戸川流域を対象として、kinematic wave 法にもとづく出水解析とウォシュ・ロードの流出・流下過程の計算を行ない、流域各点におけるウォシュ・ロードの伝播特性について考察するとともに観測結果との比較を行なってきた<sup>1),2)</sup>。しかし、ウォシュ・ロードの実測値は、大戸川下流部の1地点におけるものであって、しかも2出水の通減部のデータしか得られていなかったため、計算結果の妥当性についてはほとんど明らかにできなかった。

そこで、本年度は、下流部における低水時の掃流砂、浮流砂およびウォシュ・ロードの断面内分布の観測ならびに流域各点におけるウォシュ・ロードの一出水連続観測を行ない、計算法の仮定および推算結果の適用性について検討を行なった。このうち下流部の観測結果では、前論文<sup>1)</sup>でウォシュ・ロードとして0.2mm以下の土砂を対象としたことの妥当性および断面内での濃度分布は水面および河岸近くで若干大きくなるがほぼ一様と仮定できることが確認された。本文では、流域各点での連続観測の検討結果について述べる。

### 2. 観 測 の 概 要

大戸川の流域特性および生産・流送土砂の特性については既報で詳述しているので省略するが、ウォシュ・ロードについて、全国諸河川で実測された浮遊土砂（浮流砂とウォシュ・ロード）の観測結果<sup>3)</sup>と比較すると

Fig. 1 のようである。浮遊土砂量  $Q_s$  と流量  $Q$  との関係は  $Q_s = \alpha Q^2$  (m-sec 単位) で表わすと、全国平均では、 $\alpha = 10^{-7}$  であるのに対して大戸川ではウォシュ・ロードだけに限っても  $\alpha = 10^{-5}$  であって全国諸河川の上限值に近い。

ウォシュ・ロードの観測点は、Fig. 2 に示すように主な支川の合流点4ヶ所を選定し、本川にそってA～Hの8点、支川a～eの5点において、昭和49年6月17日～18日の出水で約1時間毎の採水・水温測定および量水標の水位測定を行なった。雨量、水位(流量)の自記観測点は、Fig. 2 に示したように雨量6点、水位(流量)3点(K, H, e)である。なお、Fig. 2 には、ウォシュ・ロード観測点における集水面積と各点上流域で平均した裸地面積率を括弧内に記してある。

ウォシュ・ロードの濃度は、光電式濁度計および重量法の両者によって測定したが、前者では粗粒部分の沈降の影響が除去できなかったため後者による測定値を用いた。また、各観測点の流量は、量水標設置点の

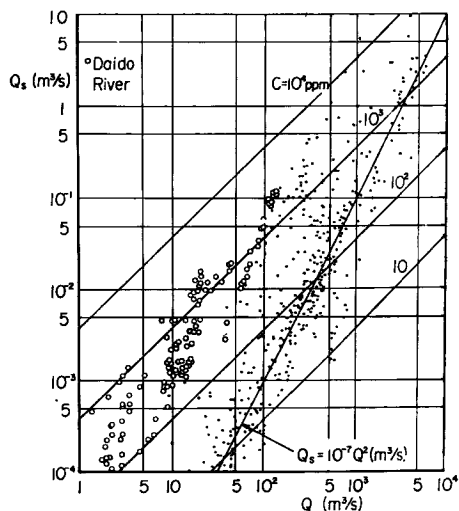


Fig. 1 Comparison of wash load in the river Daido with suspended load in other Rivers.

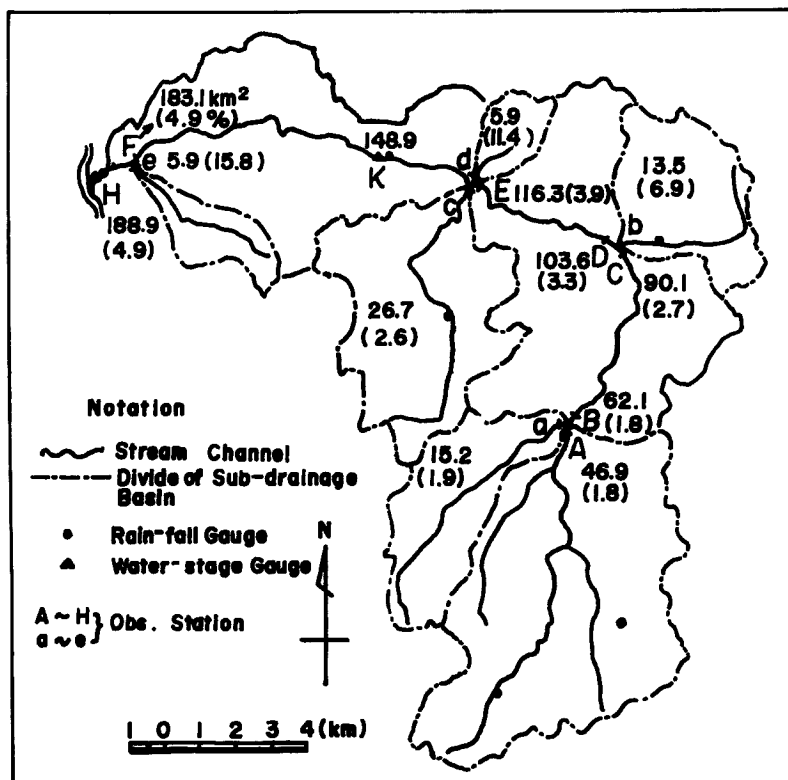


Fig. 2 Map of the river Daido and observation stations of wash load.

測量結果から断面形およびこう配を求め、粗度係数を仮定して水位～流量関係を試算し、合流点および自記観測点の流量と比較して修正することによって決定した。

### 3. 観測結果とその検討

#### 3.1 流量およびウォシュ・ロードの濃度の時間的变化

対象出水における流域各点の雨量  $r$  および本川ぞいの各観測点の流量  $Q$  の時間的变化を示すと Fig. 3 のようになる。継続時間約12hr、総雨量52～63mmの単一降雨であって、ほぼ全域一様な雨量分布を示している。前論文の有効降雨の算定法を用いると、総有効雨量は21～25mmであって、中間流の生起するA層の厚さの推定値16mmと比較すると、中間流の卓越する出水と考えられる。黒津地点(H)におけるピーク流量は約40m<sup>3</sup>/sであって、中間流の最大流量の推定値28m<sup>3</sup>/sに近く、いずれの観測点も扁平な出水波形になっている。

一方、本川ぞいの各観測点におけるウォシュ・ロードの濃度  $C$  の時間的变化を示すと Fig. 4 のようになる。なお、支川合流前後の濃度の対応を検証するために、B地点においてAとa地点、D地点においてCとb地点の各濃度を合成した結果が比較してある。合成された濃度は合流後の濃度と若干の差がみられるが時間変化はいずれもほぼ一致しており、1断面1点の採水によっても十分な精度でウォシュ・ロードの濃度測定ができることがわかる。また、濃度波形について支川の流入しないF地点とH地点(区間距離1km)とを比較すると、両者の濃度はほぼ一致しており、この間では濃度伝播に対する流れの分散効果および河道内の微細砂の補給と捕捉の影響を無視する計算の仮定は妥当なことがわかる。

Fig. 3 にピーク流量  $Q_p$  の発生時点を矢印で示してあるが、いずれの地点においてもピーク濃度の発生時点とはほぼ一致しており、前論文における2出水の追跡計算の結果と対応している。Fig. 5 はピーク流量  $Q_p$  および濃度  $C_p$  の値と  $Q_p$  の発生時点  $\tau_p$  の流下方向変化を示したものであって、 $\tau_p$  は流域平均降雨のピーク時点を  $\tau_p=0$  にとってある。また、白丸は自記水位計、黒丸は量水標による値である。ピーク流量の伝播速度は約2m/secであって、流下方向にはほぼ一定している。ピーク流量は中間流の最大流量(推定値)の7～8割の値で上述のように中間流が主体の出水であることがわかる。また、 $C_p$  の流下方向変化は、前論文の計算結果  $C_{p-c}$  と定性的には対応しているが、下流部では実測値の変化が急激である。

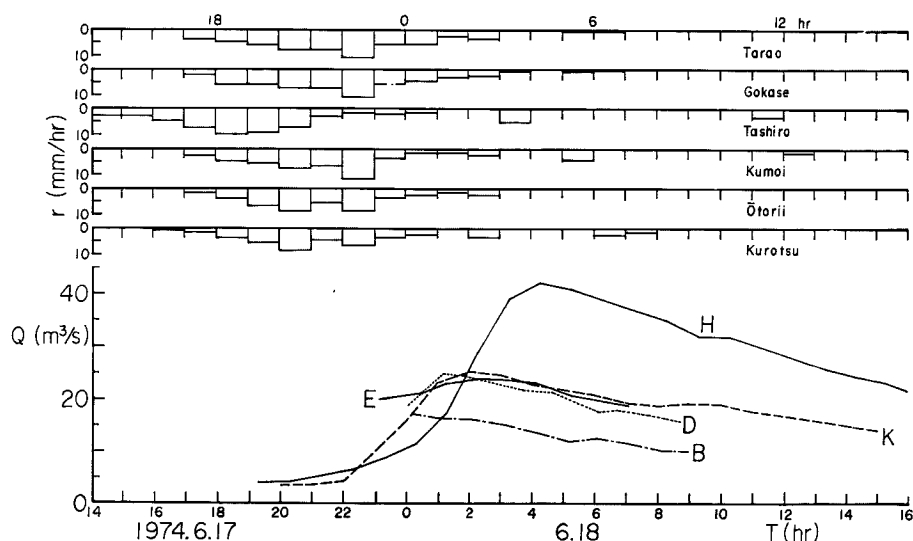


Fig. 3 Hydrographs observed at several stations along the main channel.

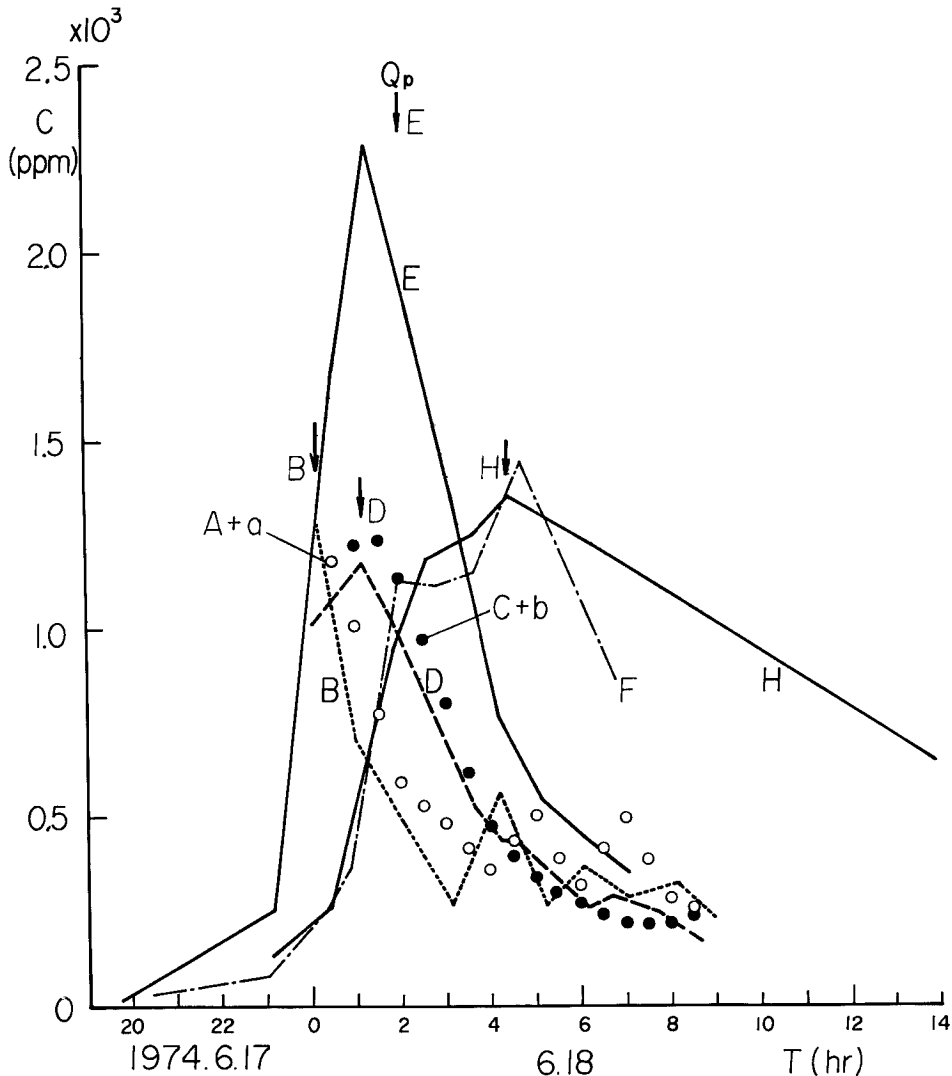


Fig. 4 Changes of concentration of wash load observed at the stations along the main channel.

### 3.2 流量とウォッシュ・ロードの濃度との相関

前論文において、ウォッシュ・ロードの濃度と流量とを対応づける簡略式として次式を示した。

$$\left. \begin{aligned} C &= KQ^{1/2}(1-Q'_M/Q)^{3/2} \\ K &= 10 g^{1/2} e^5 n'^{3/2} (\sin \varphi)^{7/4} P_s L^{1/2} (A_b/A) / (\sigma/\rho - 1)^2 d_m \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $g$ ：重力加速度、 $e$ ：有効摩擦速度と全摩擦速度との比、 $n'$ ：斜面の等価粗度係数、 $\sin \varphi$ ：斜面こう配、 $P_s$ ：山腹土砂に対するウォッシュ・ロードの粒度構成比率、 $L$ ：河道長、 $A_b/A$ ：裸地面積率、 $\sigma/\rho$ ：砂の比重、 $d_m$ ：山腹土砂の平均粒径であって、 $e=0.5$ 、 $n'=0.3$ 、 $d_m=0.2\text{cm}$ 、 $\sigma/\rho=2.65$ 、 $P_s=0.15$ を用いる。

上式は、中間流の時間的变化および流量の河道伝播を無視しており、 $\sin \varphi$ と $A_b/A$ も各観測点上流域の平均値を用いているので、kinematic wave法にもとづく追跡計算の結果とは一致しないが、大戸川流域の通常の

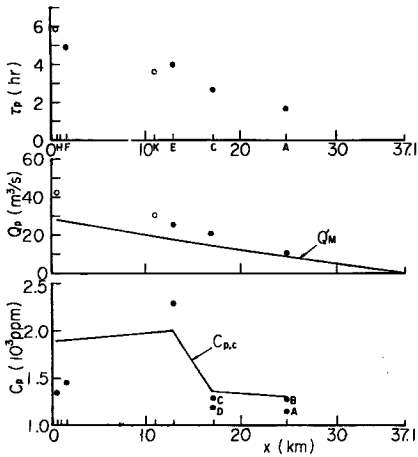


Fig. 5 Propagation of maximum discharge and maximum concentration of wash load along the main channel.

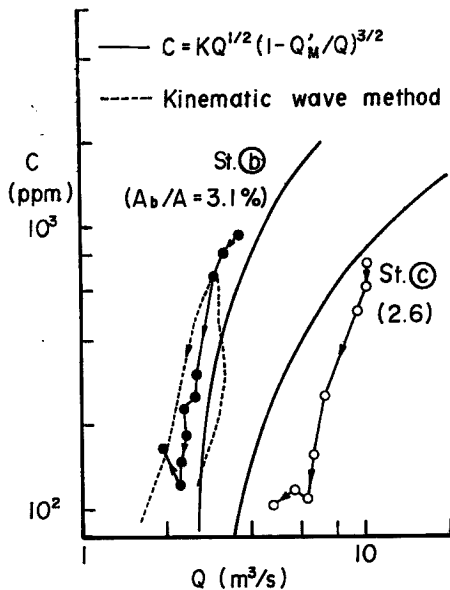


Fig. 6 Relation between concentration of wash load ( $C$ ) and water discharge ( $Q$ ) at the stations with lower percentage of bare soil land.

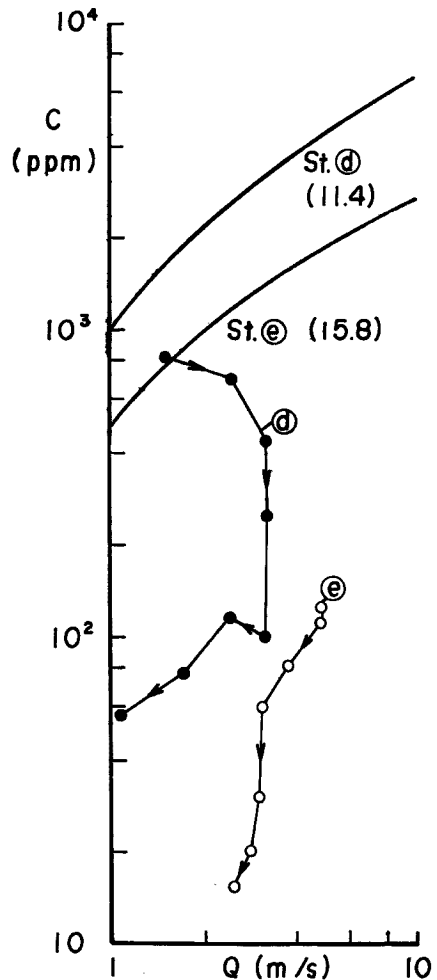


Fig. 7 Relation between  $C$  and  $Q$  at the stations with higher percentage of bare soil land.

出水では、追跡計算による  $C \sim Q$  関係の平均的な曲線を与えることが示されている。したがって、以下では主に観測結果と(1)式との比較から前論文の計算法の適用性を検討する。

まず、(1)式の係数  $K$  の値は同程度の流域規模では主に裸地面積率に依存することから、各支川で裸地面積率の小さい流域の観測点  $b$ ,  $c$  と大きい流域の  $d$ ,  $e$  地点について  $C \sim Q$  の相関を示すとそれぞれ Fig. 6 および Fig. 7 のようになる。いずれも主に出水の通減期の実測値しか得られていないが、裸地面積率の小さい流域

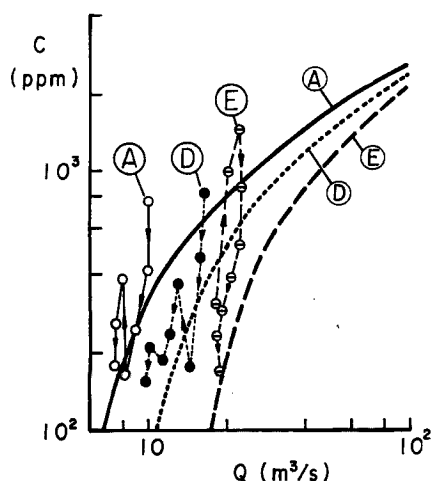


Fig. 8 Relation between  $C$  and  $Q$  at the stations along the main channel.

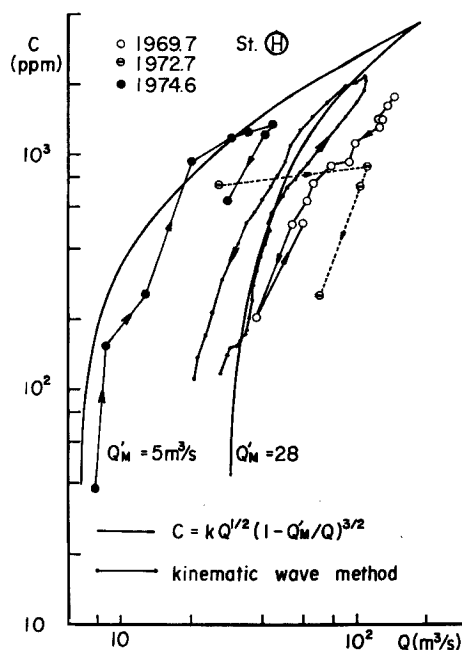


Fig. 9 Relation between  $C$  and  $Q$  at the downstream station.

の実測値はほぼ(1)式に近い傾向を示し、大きい流域では実測値と(1)式との差が1オーダー以上になっており、傾向もかなり異なっている。

つぎに、本川ぞいの観測点A～Eおよび最下流のH点における $C$ ～ $Q$ の関係を示すとそれぞれFig. 8およびFig. 9のようになる。A～E地点の実測値は、上昇期およびピーク近くで(1)式との差が大きく、流量の通減とともに(1)式に近づくようにみえる。一方、H地点については、昭和44年および47年の実測値および $Q'_M$ として今回の出水におけるハイドログラフの立上り点の流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ と中間流の最大流量 $28\text{ m}^3/\text{s}$ を用いたときの(1)式の曲線が示してある。実測値は出水の上昇期では $Q'_M = 5\text{ m}^3/\text{s}$ とした(1)式に対応し、通減期で $Q'_M = 28\text{ m}^3/\text{s}$ の(1)式およびkinematic wave法による計算値に近い傾向を示している。すなわち、表面流だけが土砂流出に関与すると仮定すると、中間流が最大になる以前に表面流が発生するモデルを設定する必要がある。またkinematic wave法を用いても河道伝播による出水およびウォッシュ・ロードの遅れが無視できるので、表面流発生時の中間流出の時間的変化は顕著でなく、 $C$ ～ $Q$ 関係は河道における $Q$ と $C$ の伝播速度の差を反映して実測値と逆のループになっており、出水初期における斜面流出のモデルに問題があると考えられる。

### 3.3 ウォッシュ・ロードの推算モデルの問題点

以上のように裸地面積率の大きい流域およびその他の流域でも出水の上昇期では実測値と計算値との差が大きくなる。この理由として、前論文の推算モデルにおける種々の仮定が挙げられるが、とくに中間流のモデルの設定に起因すると考えられる。すなわち、実際現象では、降雨初期においても裸地部分および水みちでは表面流があって土砂流出を伴ない、植生地部分および下流の土砂堆積層からの中間流と合成されてウォッシュ・ロードの濃度が決まる。ところが、前論文の中間流のモデルでは、裸地、植生地を含めた流域平均のモデル定数を用い、斜面伝播時間内の累加雨量がA層の厚さを越えるまで、あるいは $Q \geq Q'_M$ になるまで表面流すなわちウォッシュ・ロードは発生しないことになる。したがって、裸地面積率が平均値より高い流域ほど計算値との差が大きくなり、当然、各分割流域ごとにモデル定数を変える必要がある。また、中間流の諸定数の決定に際し

ては出水通減期の実測値を用いているので、流域平均に近い定数をもつ分割流域では、通減期の実測値が計算値に近い値を示すことになる。

こうした中間流と表面流成分の時間的な変化ならびに中間流のモデル定数について各流域の実測値から検討してみる。Fig. 10 は、(1)式の  $C$  および  $Q$  に実測値を与えて中間流の流量  $Q'_M$  の時間的な変化  $Q'(t)$  を逆算したも

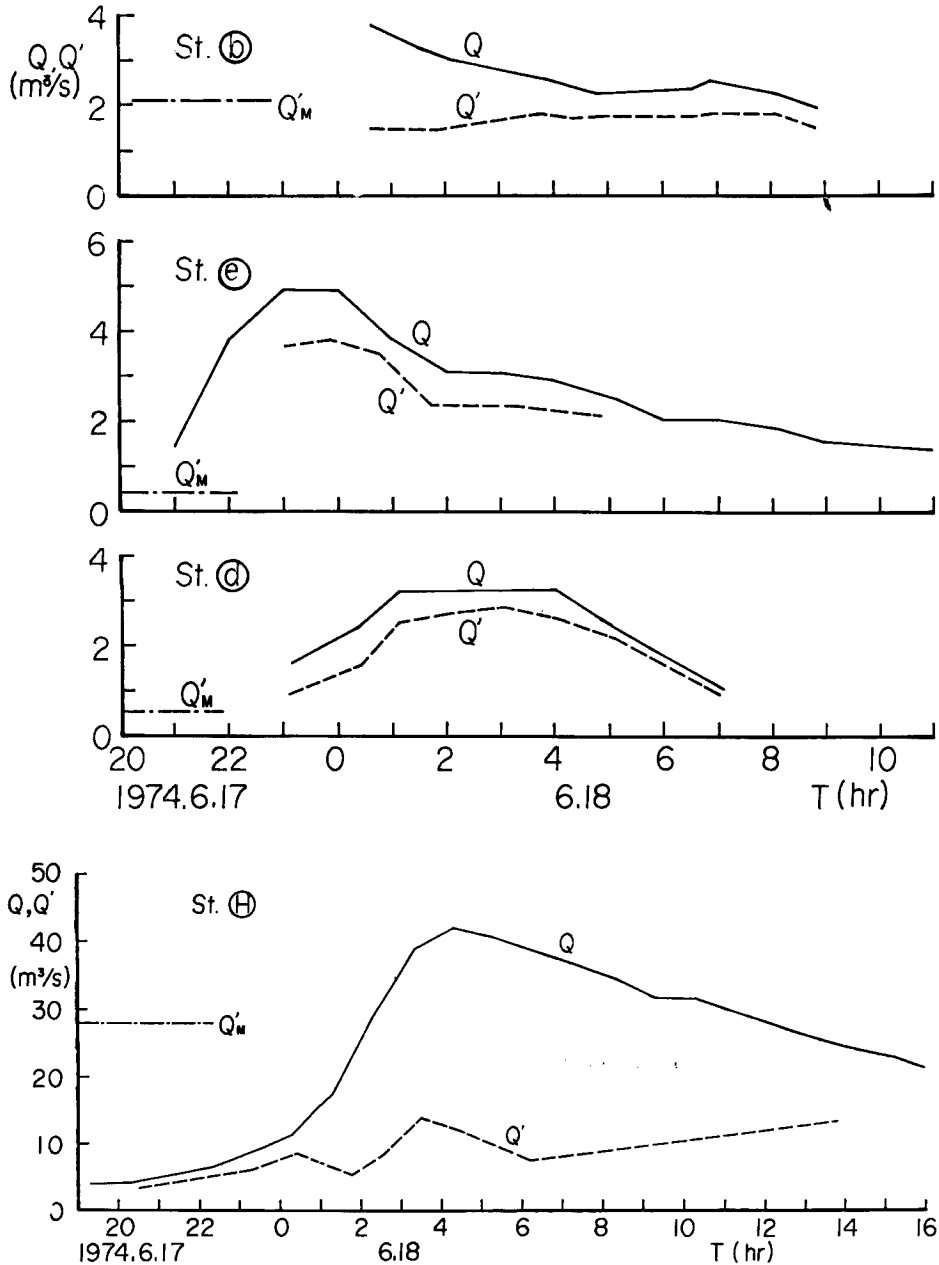


Fig. 10 Variations of discharge  $Q$  and sub-surface run-off  $Q'$  estimated from eq. (1).

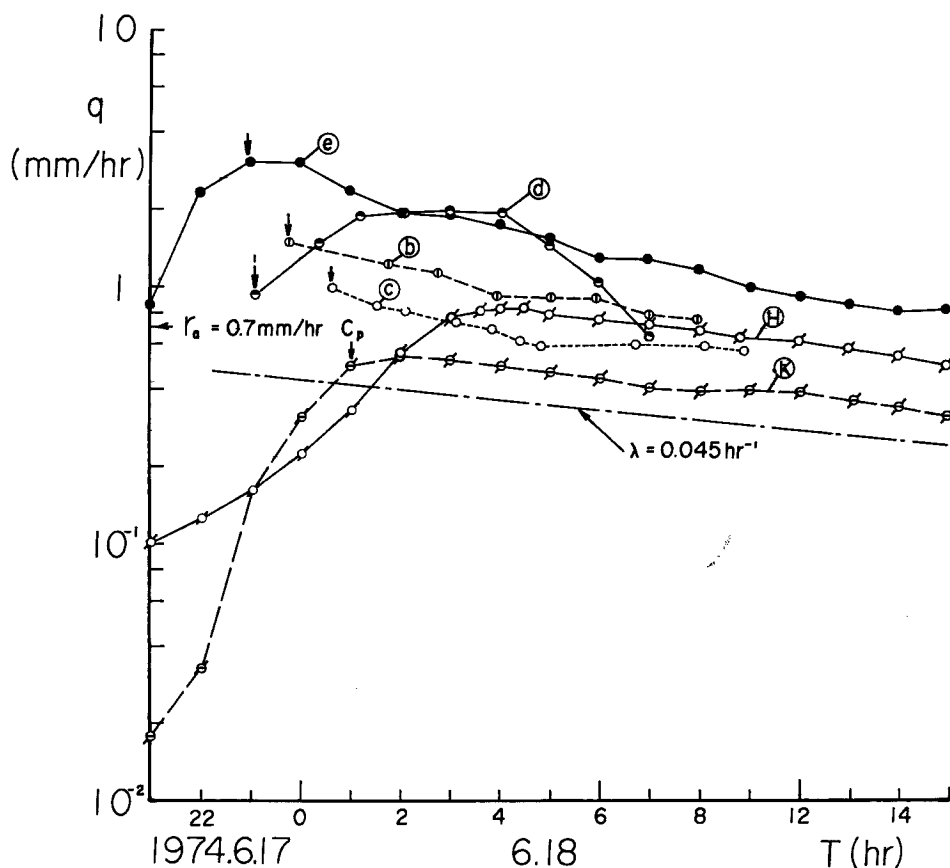


Fig. 11 Variations of run off depth with time at several stations.

のである。b 地点以外では、 $Q'$  と  $Q'_M$  との差が大きく、 $Q'$  の時間的変化も大きい。とくに裸地面積率の大きい d, e 地点では、 $Q'$  は  $Q$  と同様の变化を示し、出水初期においても表面流が卓越している。こうした  $Q'$  の変化は、(1)式を前提としているので、実際の間間流との対応は明らかでないが、ウォッシュ・ロードの流出を予測する場合に裸地面積率および合流過程の差によって中間流の分離法を変える必要があることがわかる。

つぎに、出水の逓減部の特性を検討するために各観測点での流出高  $q$  の変化を片対数上で示すと Fig. 11 のようになる。前論文で用いた中間流の最大流出強度  $r_a = 0.70 \text{ mm/hr}$  および逓減係数  $\lambda = 0.045 \text{ hr}^{-1}$  と比較すると、裸地面積率の小さい b, c, H, K 地点についてはほぼ対応した値を示しており、今回の出水についても A 層の厚さおよび浸透係数は同程度の値が得られる。一方、裸地率の大きい d, e 地点では、 $q$  の値が大きく、逓減部の変化率から明らかに表面流の発生が予想される。また、e 地点の逓減部から推定される  $r_a$  および A 層の厚さは上述の流域平均値より大きく、Fig. 10 の  $Q'$  の傾向に対応するが、これらの値を中間流モデルに用いると出水初期における高濃度のウォッシュ・ロードの流出を説明できない。なお、H と e 地点における直接流出の総量から得られる流出率はそれぞれ  $f_H = 0.41$ ,  $f_e = 0.60$  であって、裸地面積率の差が流出率にも反映していると考えられる。

#### 4. む す び

以上、大戸川流域における一出水の連続観測結果にもとづいて、前論文で展開したウォッシュ・ロードの水理学的推算法の適用性について検討を行なった。その結果、流域平均のモデル定数を用いた場合、裸地面積率が平均値より小さい流域では実測値と計算値とほぼ対応するが、大きい流域では両者の差が大きく、中間流モデルの問題点が指摘された。すなわち、出水の逓減期におけるウォッシュ・ロードについては中間流の特性量を修正することによって実測値に近づけることができるが、上昇期では裸地部分および水みちで発生する表面流を分離できるモデルを考える必要があることが示された。

今回の観測によってウォッシュ・ロードの推算モデルの問題点がある程度明らかになったが、今後、支川における出水上昇期の観測に重点をおいてウォッシュ・ロードの予測法の確立に努めるとともに本川下流部で長期的な定時観測を行ない、ウォッシュ・ロードに対する季節変化ならびに流域における人為的な作用の影響について検討したいと考えている。

最後に、観測ならびに水文資料の入手に御協力頂いた建設省琵琶湖工事事務所の方々に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 村本嘉雄・道上正規・下島栄一：大戸川における微細砂の流送過程について，京都大学防災研究所年報，第16号 B，1973，pp. 433—447.
- 2) 村本嘉雄・道上正規・下島栄一：ウォッシュ・ロードの流下過程に関する数値解析，第18回水理講演会講演集，1974，pp. 91—96.
- 3) 河川部会：河床変動に関する研究，第20回建設省技術研究会報告，1967，pp. 633—653.