

大戸川におけるウォッシュ・ロードの年間変化

村本嘉雄・道上正規・藤田裕一郎・中村行雄

ANNUAL VARIATION OF WASH LOAD IN DAIDO RIVER

By *Yoshio MURAMOTO, Masanori MICHIE, Yuichiro FUJITA and Yukio NAKAMURA*

Synopsis

In order to verify the applicability of a hydraulic model on the transport process of wash load developed in the previous study¹⁾, we have been observing not only the concentration of suspended load and water stage during a flood, but also the concentration of suspended load twice a day in the drainage basin of the River Dido since April of 1975.

The concentration of wash load is dependent on whether the water discharge belongs to the period of rising stage or recession stage in a hydrograph, even if the water discharge is kept constant. The concentration in the period of rising stage is higher than that of the recession stage. This may be due that the ratio of the discharge of sub-surface flow to the total discharge in the period of rising stage is less than that of the period of recession stage.

It often appears that the concentration of wash load observed from April to July is greater than one observed from August to November to the constant water discharge. This is related to seasonal variations of the concentration of wash load.

Moreover, it was clarified that the concentration of wash load is affected by the duration time of low flow stage.

These three elements which affect the concentration of wash load are discussed qualitatively on the basis of observed results.

1. はしがき

河川におけるウォッシュ・ロードの予測は貯水池、湖沼あるいは海洋など静水域における堆砂過程と濁度変化を推定する上で重要な課題であって、とくに近年、貯水池における濁りの長期化現象が問題になっている。しかし、こうした静水域への流入濁度と水温に関する実測資料の蓄積は少なく、降水流出とウォッシュ・ロードとの関係を予測するのに程遠い段階にある。

著者らは、これまで滋賀県の大戸川流域を対象として、水理学的方法によるウォッシュ・ロードの推算と流域各点で出水時の連続観測を行ってきた^{1),2)}。その結果、流域の裸地面積率が数%程度の小さい支川および本川ぞいでは、出水の通減期における実測の流量とウォッシュ・ロードの関係は推算結果とほぼ一致するが、裸地面積率が10%以上の高い支川では、実測値が計算値より1オーダー低濃度になるという結果を得ている。また、出水の上昇期では通減期より高濃度になる場合が多く、実測値が計算値を上まわるという傾向が

みられた。

しかしながら以上の結果は、いずれも7月の出水を対象としており、しかも下流部で3出水、流域13地点の同時観測では1出水のデータしか得られていないため、昨年度から下流部で1日2回の定時観測を行うとともに、建設省の協力を得て流域各点における出水時の連続観測資料を入手し、その検討を行ってきた。本論文では、こうしたデータを用いて、大戸川本川におけるウォッシュ・ロードの年間変化に重点をおいて考察する。また、上述の裸地面積率の高い流域におけるウォッシュ・ロードの流出特性を検討するために、主に天神川を対象として、出水時の連続観測結果と推算式との比較を行う。

2. 観測の概要

大戸川におけるウォッシュ・ロードの季節変化を明らかにするために、Fig. 1 に示す本川下流部の黒津地点⑥で昭和50年4月より、毎日午前6時と午後6時に採水と水温および水位の観測を行っている。なお、Fig. 1 の図中の数字は各観測地点の流域面積と裸地面積率である。一方、出水時の連続観測のデータとしては、Fig. 1 に斜線で示した天神川の下流部（建設省田上出張所付近）⑥地点で、出水時に30分～1時間間隔の採水を行っており、流量については採水地点より上流約500mに位置する天神ダム地点のものを

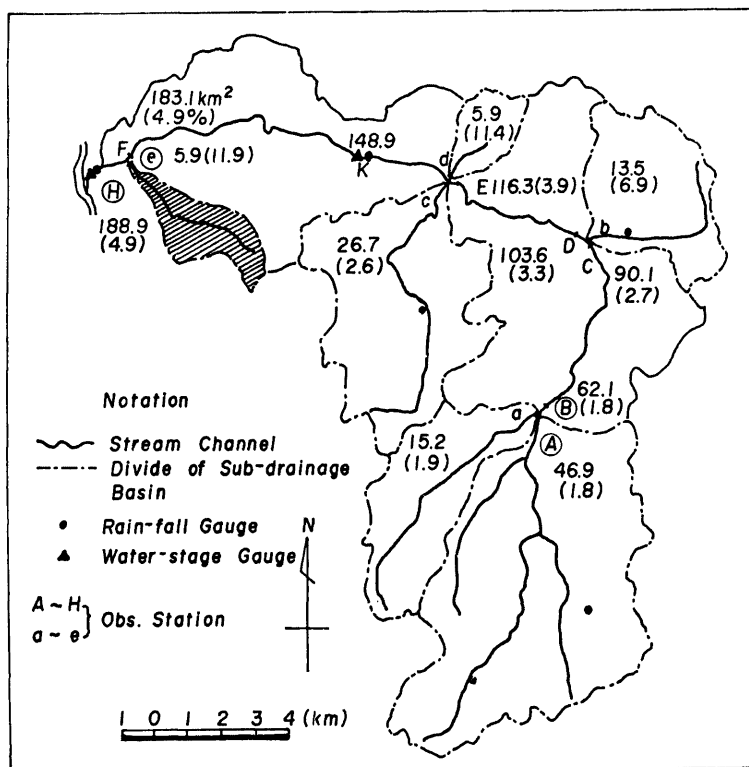


Fig. 1. Map of the river Daido and observational stations of wash load.

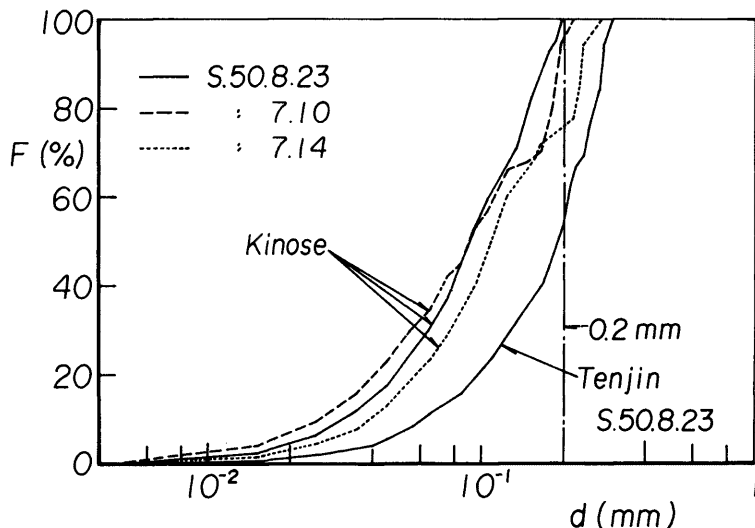


Fig. 2. Grain-size distribution of suspended load.

用いている。その他に、上流信楽町役場付近の神山橋④、弘法橋⑤および支川馬門川⑥地点の昭和50年7月と昭和51年9月の2出水の資料^{3),4)}についても解析を行った。

採水方法は、1,000ccの簡易採水器を用いて行い、ウォッシュ・ロードの重量を蒸発乾燥法で得ている。計量は化学天秤を用いて0.1mgまで行っているが、ビーカー重量の変化などの計測誤差を考えると、1mgが限界であって、濃度に換算すると1ppm以上が信頼できる数値である。

採水土砂の粒度分析は試料が微量なので毎回行っていないが、数出水の試料を分析した結果を示すとFig. 2のようになり、ほぼ既報¹⁾に記述したウォッシュ・ロードの範囲(砂粒径： $d < 0.2\text{mm}$)に入っていると考えられる。また、採水土砂の比重 σ を数出水の全量について測定した結果、 $\sigma = 2.51$ である。

一方、昭和51年9月の出水時に大戸川中流部7点において、建設省によって行われた約80個の採水試料の分析結果⁴⁾によると、全採水土砂に対するウォッシュ・ロードの比率は蒸発残留物で約95%、強熱残留物では約90%であった。以上の結果から蒸発残留物の全量をウォッシュ・ロードと考えてその濃度を計算した。

3. ウォッシュ・ロードの年間変化と流量との対応

3.1 ウォッシュ・ロードの年間変化

まず、ウォッシュ・ロードの年間変化を検討するために、昭和50年4月～昭和51年12月までの黒津地点の定時観測データーについて、午前6時と午後6時の実測値を算術平均して、濁度 C と流量 Q の日単位の変化を示すとFig. 3のようになる。また、Fig. 3には河川水温の10日平均値 T の変化も示してある。この図より流量は出水による通減期間が長い、ウォッシュ・ロードは表面流出に関係するので、流出の継続時間が短く、日単位の実測値は大戸川の規模ではパルス状の変化をすることがわかる。また、ウォッシュ・ロードの基底濃度は10～20ppmであって、200ppmを越える日は、6月～9月に多い。一方、水温は3℃～24℃の範囲で正弦曲線に近い季節変化を示し、この2年次では同じ月の水温の差は小さく、また日単位の

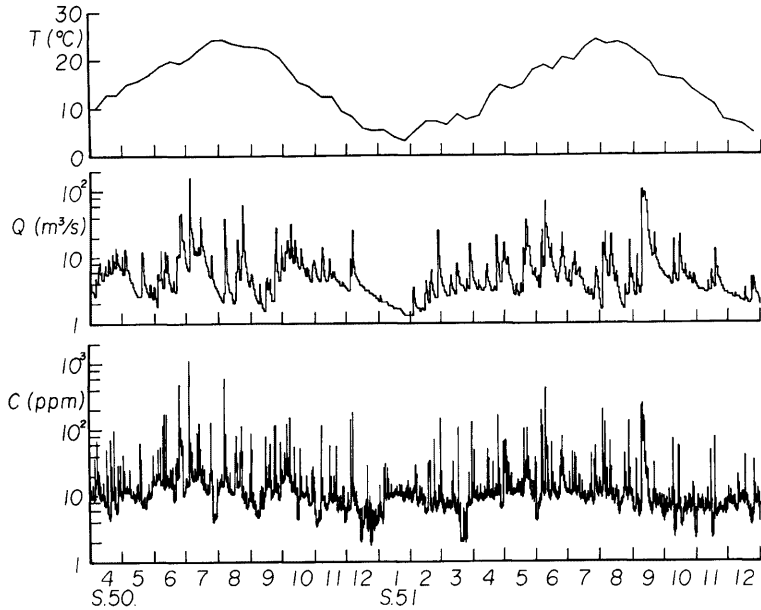


Fig. 3. Daily variation of water temperature, water discharge and concentration of wash load.

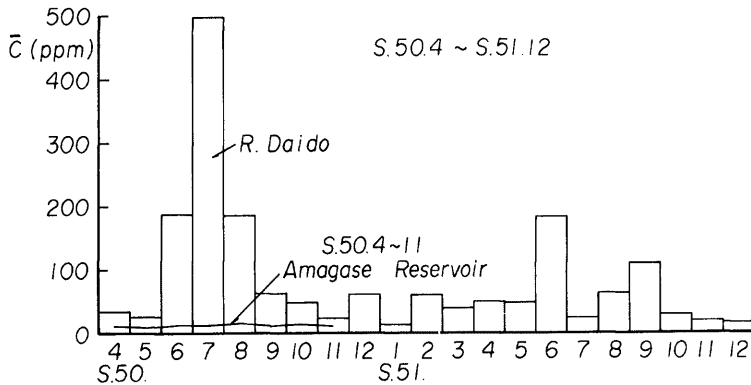


Fig. 4. Monthly average concentration of wash load.

変化に対する出水時と非出水期の差は顕著でなかった。

つぎに、ウォシュ・ロードの月変化をみるために、流砂濃度の月平均値 $\bar{C} (= \Sigma CQ / \Sigma Q)$ を示すと Fig. 4

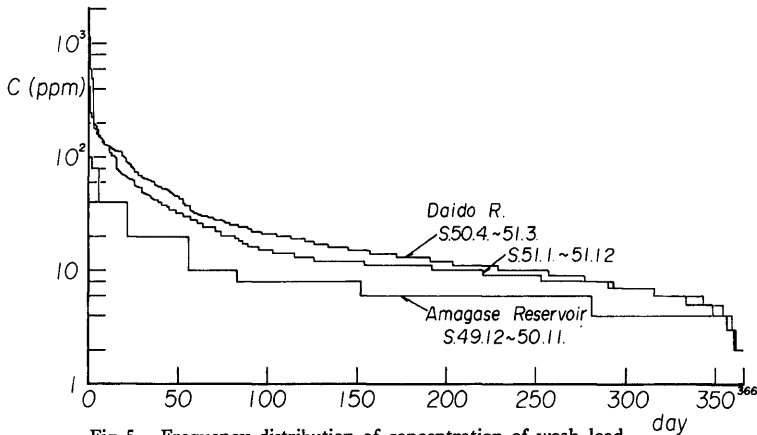


Fig. 5. Frequency distribution of concentration of wash load.

のようになる。図には参考のために京都府山城水道において実測されている天ヶ瀬貯水池の発電取水口での月平均濃度も示してある。大戸川でのウォッシュ・ロードは最低濃度 $\bar{C}=10\text{ppm}$ ，最高は昭和50年7月の $\bar{C}=490\text{ppm}$ であって，流砂濃度の月変化には明確に出水期の差がみられる。なお，天ヶ瀬の月平均濃度は $10\sim 20\text{ppm}$ で月変化は顕著にみとめられないが，これは出水期に琵琶湖からの放流水による稀釈効果が大いことを示していると思われる。一方，Fig. 3 の日平均濃度から濁度に関する1年間の流況曲線を求めると Fig. 5 のようになる。大戸川における昭和50年4月～昭和51年3月と昭和51年1月～12月の各1年間の濁度流況曲線と天ヶ瀬貯水池取水口における昭和50年の曲線が示してある。これからウォッシュ・ロードが 100ppm を越える日数は $15\sim 25$ 日， 50ppm 以上は $30\sim 45$ 日であって，1年の約 $1/3$ は 10ppm 以下であることがわかる。また，天ヶ瀬貯水池の曲線は大戸川の曲線にほぼ平行にずれており， 10ppm 以上は年50日，1年のうち300日は 10ppm 以下である。こうした，濁度および水温が今後のダム建設，砂防工事，流域開発などの人為的作用による流況およびウォッシュ・ロードの発生源の変化によって，どのように変化するかが問題となろう。

最後に，大戸川における年間のウォッシュ・ロードの容積を計算すると，昭和50年4月～昭和51年3月の1年間で $13,666\text{m}^3$ となり，そのうち6月～8月は $11,708\text{m}^3$ で年間の86%を占めている。大戸川での全流出土砂量は，大峯貯水池の堆砂量より，年平均 10万m^3 と推定されているが，この値と上述の値と比較すると，年間流出土砂量の13.7%がウォッシュ・ロードで占められるという結果になる。この比率は既報¹⁾で述べたウォッシュ・ロードの粒径の土砂が山地で占める比率15%に近く，流出土砂量を予測する上で興味深いことと考えられる。しかし，1年間の観測結果であるので，年平均

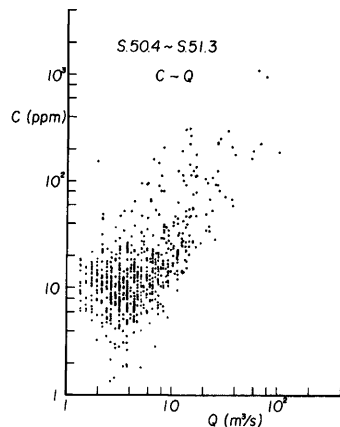


Fig. 6. Relation between concentration of wash load and water discharge.

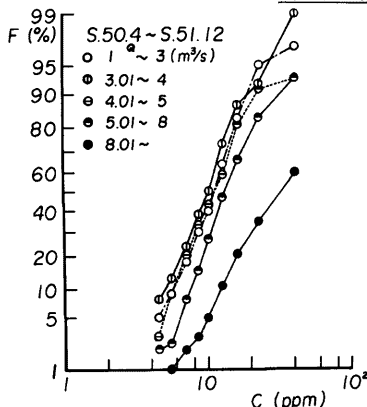


Fig. 7. Probability distribution of concentration of wash load in each water discharge.

Table 1. Mean value and standard deviation of probability distribution for concentration of wash load in each water discharge.

Q (m^3/s)	C_m (ppm)	S_c
1~3	12.4	1.57
3~4	11.4	1.60
4~5	13.3	1.65
5~8	16.3	1.61
8~	29.2	1.69

になる。 $Q \geq 8m^3/sec$ では $C > 40ppm$ の頻度が多く、変化範囲も広いので、その分布形は不確定であるが、明らかに上昇期の方が高濃度になる比率が高く、全体の平均濃度 $\bar{C} = 29ppm$ に対して上昇期 $\bar{C} = 37ppm$ 、通減期 $\bar{C} = 27ppm$ という結果が得られた。こうした出水の上昇期が通減期より高濃度になる傾向は前報でも記述したが、出水時の連続観測データが最も多い黒津地点の流量-濃度関係を示すと、Fig. 9 のようになる。実線は次章で述べる中間流の最大流量 $Q_m = 28m^3/sec$ とした簡略式による推算結果であって、これより高濃度のものは上昇期に多いことがわかる。

つぎに、ウォッシュ・ロードの濃度に対する季節変化の影響をみるために、濃度 100ppm 以上あるいは流量 $10m^3/sec$ 以上のデータについて、4月~7月(白丸)と8月~11月(黒丸)の2グループに分けると Fig. 10 のようになる。この図から、白丸の方が同一流量に対して高濃度になる割合が多く、春季の出水の方が秋季の出水よりウォッシュ・ロードの流出が多いようにみえる。これは大戸川山地の表層土が冬季に凍上し、春季に流出土砂が多いことに基因していると考えら

値との対応については、さらに長期の資料を用いた検討が必要である。

3.2 ウォッシュ・ロードと流量との対応

昭和50年4月~昭和51年3月の1年間の定時観測データを用いて、ウォッシュ・ロードの濃度と流量の関係を検討すると、Fig. 6 のようになる。流量の増加とウォッシュ・ロードの濃度の増加とはほぼ対応しているが、非常に変化範囲が広く、たとえば $Q = 10m^3/sec$ に対して $C = 10ppm \sim 200ppm$ であって、同一流量に対して約20倍も濃度が変化している。こうした一定流量に対するウォッシュ・ロードの濃度の確率分布を検討するために、流量を1~3, 3~4, 4~5, 5~8, および $8m^3/sec$ 以上の5段階に分けて、各流量段階別に濃度の非超過頻度分布を対数確率紙上にプロットすると、Fig. 7 のようになる。濃度の頻度分布はいずれの流量段階についても対数正規分布に近く、その平均濃度 C_m と標準偏差 S_c を Table 1 に示してある。流量 $8m^3/sec$ 以下では平均濃度も標準偏差もほぼ同じで同一の分布と考えられ、 $8m^3/sec$ 以上で差が現われている。こうした、確率分布は河川における長期的な濃度予測を行う際に参考になろう。

つぎに、同一流量に関して濃度変化が大きい原因を、(a) 出水の上昇期と通減期の相違、(b) 季節変化の影響および(c) 出水前の流域の乾燥状態の影響の3つの面から検討する。

まず、(a) の出水の上昇期と通減期におけるウォッシュ・ロードの濃度差を検討するために、流量 $8m^3/sec$ 以上のデータについてピークを含めた上昇期と通減期の2グループに分けて、発生濃度の頻度分布を図示すると Fig. 8 のよう

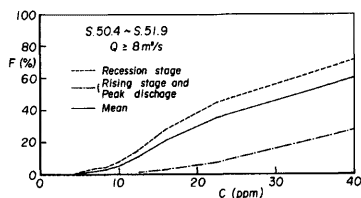


Fig. 8. Cumulative curves of concentration of wash load in rising stage and recession stage.

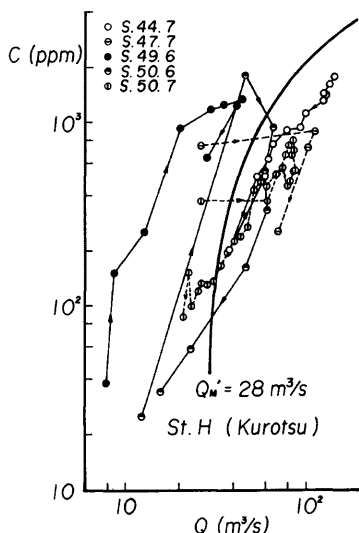


Fig. 9. Relation between concentration of wash load and water discharge at station H.

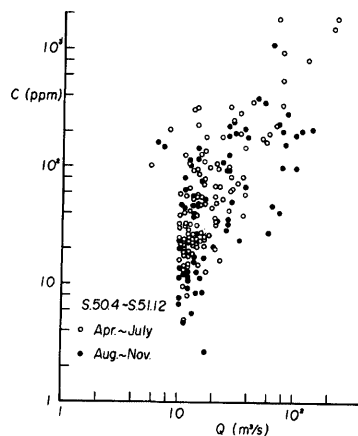


Fig. 10. Seasonal variation of concentration of wash load.

れるが、さらに春季におけるウォッシュ・ロードと山腹土砂の粒度構成について詳細に検討する必要がある。

最後に、出水前における流域の乾燥状態あるいは降雨の履歴がウォッシュ・ロードの流出にどのように影響するかを検討する。こうした要素として降雨流出解析では前期無降雨日数が用いられているが、全流域での無降雨状態の定義が難しいので、ここでは黒津地点での低水流量を考え、上述の Fig. 8 の検討から流量が $8\text{ m}^3/\text{sec}$ 以下の継続日数 D を求めた。これを出水前に $Q \geq 8\text{ m}^3/\text{sec}$ の場合（白丸） $Q < 8\text{ m}^3/\text{sec}$ の流量が1日以上継続した場合（黒丸）の2グループに分けてプロットすると Fig. 11 のようになる。なお、Fig. 11 では出水上昇期およびピーク時のデータに限っている。 $Q = 10 \sim 60\text{ m}^3/\text{sec}$ の間では同一流量に対して後者（黒丸）の方が前者（白丸）より高濃度を示すものが増えており、黒津地点の流量が $8\text{ m}^3/\text{sec}$ 以下の状態で出水があると濃度 100 ppm を越える割合が高くなることがわかる。しかし、 $Q > 60\text{ m}^3/\text{sec}$ に関しては低水流量の継続日数の長い資料が少なく明らかでない。

以上、同一流量に対してウォッシュ・ロードの濃度が1オーダー以上変化する原因を上記の (a)～(c) の3つの面から検討したが、さらに一部のデータには大戸川支川の安間川・田代川流域の開発および本川の河道整備など人為的な影響も若干入っているものと考えられ、今後こうした河川工事の影響範囲についても検討していく必要があろう。

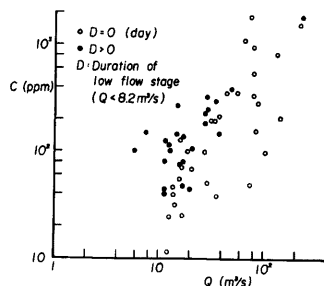


Fig. 11. Influence of duration of low flow stage on concentration of wash load.

4. ウォッシュ・ロードの流出特性

支川における出水時の継続観測データを用いて、前報²⁾と同様にウォッシュ・ロードに関するつぎの簡易推定式の適用性について検討する。

$$C = KQ^{\frac{1}{2}}(1 - Q'_M/Q)^{\frac{3}{2}}$$

$$K = 10g^{\frac{1}{2}}e^{\frac{1}{2}}n'^{\frac{1}{2}}(\sin\phi)^{\frac{1}{2}}P_sL^{-\frac{1}{2}}(A_b/A)/(\sigma/\rho - 1)^2d_m$$

ここに Q : 流量, σ/ρ : 砂と水の密度比, g : 重力の加速度, d_m : 山腹土砂の平均粒径, e : 表面流の有効摩擦速度と全摩擦速度との比, $\sin\phi$: 斜面こう配, L : 河道長, P_s : ウォッシュ・ロードの粒度構成比率, A_b/A : 裸地面積率, Q'_M : 中間流の最大流量, n' : 斜面の粗度係数であって, $\sigma/\rho = 2.65$, $g = 980 \text{ cm}$, $d_m = 0.2 \text{ cm}$, $e = 0.5$, $P_s = 0.15$ を用いる。

まず、裸地面積率が平均値より小さい流域 (Fig. 1 の ㉔と㉕地点) について、観測値と推定式と比較すると、Fig 12 のようになる。㉔・㉕ともに6月出水の方が9月出水より高濃度で上述の季節差がみられるが、ほぼ推定式に一致している。

一方、裸地面積率の大きい天神川流域について、推定式に含まれる流域特性および流出特性の定数を再検討した。すなわち、前報²⁾では、中間流の最大流量と斜面の粗度係数について本川の大鳥居地点で求めた換算値を用いていたが、天神

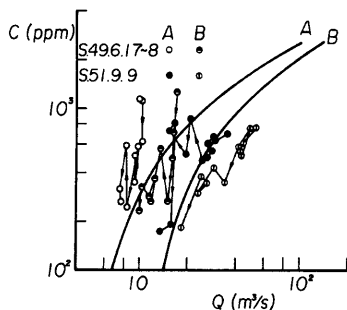


Fig. 12. Relation between concentration of wash load and water discharge at the station A and B with lower percentage of bare soil land.

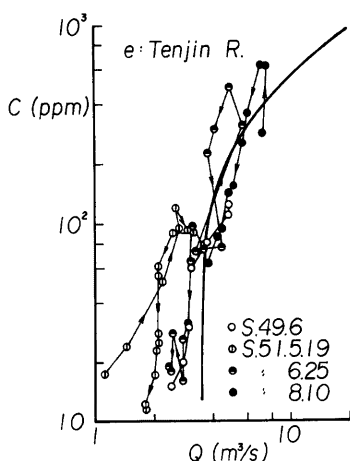


Fig. 13. Relation between concentration of wash load and water discharge at the station e with higher percentage of bare soil land.

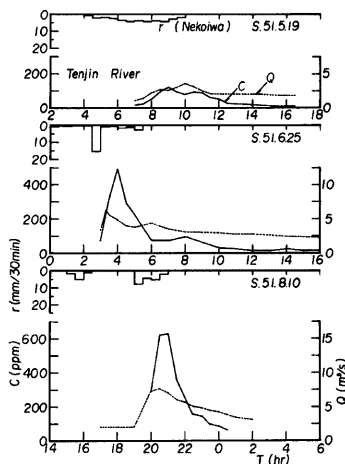


Fig. 14. Hydrograph and changes of concentration of wash load at the station e.

ダムの流量と建設省猫岩試験地の雨量を用いて昭和50年～昭和51年の15出水について計算をすると、 $Q'_w = 2.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $n' = 0.13$ となった。また、斜面こう配と裸地面積率について昭和49年の地形図を用いて計算した結果、 $\sin \phi = 0.163$ 、 $A_b/A = 0.12$ を得た。なお、天神川流域の裸地の定義は前報ではあいまいであったが、ここでは裸地、下草のない場所および道路を含めて裸地面積を計算した。

以上の定数を式に用いて実測値と比較すると、Fig. 13 のようになる。 $Q < 4 \text{ m}^3/\text{sec}$ では計算値より実測値が大きい、 $Q > 4 \text{ m}^3/\text{sec}$ では両者はほぼ一致している。また、計算値より高濃度を示す実測値は、やはり出水の上昇期および4月～6月の出水に多いようである。

Fig. 13 の観測資料のうち、昭和51年の3出水の時間的変化を図示すると、Fig. 14 のようである。流量のピークと濃度のピークは最初の山で比較的对応するが、第2の流量上昇に対して濃度はそれほど上昇していない。また、流量 $2.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下でもウォッシュ・ロードが存在する場合もあって、中間流流量の時間的变化についてはさらに検討を加える必要があろう。

5. むすび

以上、本文では昭和50年度より行っている定時観測データーを用いて、主に大戸川におけるウォッシュ・ロードの年間変化について検討するとともに、同一流量に対して濃度変化が大きい原因を、出水の上昇期と通減期の相違、季節変化および低水流量の継続日数の影響の3点より考察した。今後、さらに流域の植生および表層材料の季節変化と降雨・晴天の継続日数による変化について調査し、こうした濃度変化がウォッシュ・ロードの発生源と降雨流出成分の変化のいづれに起因するかを明らかにしたいと考えている。また、ウォッシュ・ロードの流出は Fig. 3 に示したように継続時間が短いので、河川水の濁度変化の長期自動計測法の開発に努めるつもりである。

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事務所、同田上出張所および大津市田上黒津町在住の片岡貞三の諸氏に感謝致します。

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，河田恵昭，藤田裕一郎，中村行雄：ウォッシュ・ロードに関する研究—大戸川の観測結果について—，京都大学防災研究所年報，第18号 B，1975，pp. 541-549.
- 3) 建設省近畿地建びわ湖工事事務所：大戸川・野洲川浮遊砂分析結果，1975.
- 4) 建設省近畿地建びわ湖工事事務所：信楽地区流砂量観測報告書，1976.