大戸川における 2，3 の観測について

芦 田 和 男・村 本 嘉 雄
田 中 祐一朗・塩 入 淑 史

SOME OBSERVATION ON THE SEDIMENTATION IN DAIDO RIVER

By *Kazuo* ASHIDA, *Yoshio* MURAMOTO, *Yuichiro* TANAKA and *Kiyoshi* SHIOIRI

Synopsis

This paper describes the some results of observation in Daido River which is now carring out in order to investigate the behavior of the natural stream channels, especially the flow structure, sediment transport and riverbed variation.

The Daido River is a typical alluvial stream carring a large amount of sediment load, since the main part of the geological structure in its mountainous catchment consists of much weathered granite. The area of its drainage basin is 189.7 km^2 and the mean gradient of the total plain course is about 4×10^{-3}. The maximum flow rate in flood seasons, according to recent records, is about $10^3 m^3/s$ and the amount of sediment transport is estimated at $10^5 m^3$/year.

The authors intended to measure the dimensions of bed scour by two types of simple devices. The one was a 2.7 m-long iron rail with a movable ring of 15cm in diameter and the other a 1m-deep pole of 10cm square tiles 5mm in thickness. Both devices were set in six sections of the straight reach at intervals of 20 m and alternatively at eight points in a section to compare their efficiency of measurement. For the curved reach, the former type devices were set in five sections at intervals of 100 m. Unfortunately, the results were not successful, and the defects of these devices were pointed out.

The measurement of the bed load transportation is very diffcult in natural streams. In the Daido River, the most of the bed load carring into the main river Seta deposited at the confluence, and therefore the rate of bed load transportation could be obtained by measuring of the total volume of the deposited sediment. The observed values were compared with the calculated ones by various formulas for bed load transportation.

Furthermore, the water-stage hydrograph and the celerity of flood peak in some flood seasons were examined.

1. 緒　　言

従来における河川水理学の研究は，主として，実際河川における諸現象を分析し，単純化し，モデル化することにより行なわれてきた。したがって，数多くの要因に支配される複雑な実際河川へのこれらの成果の適用性に関しては，現在明らかでない点が多い。

著者らは，実際河川における洪水および流砂の挙動を明らかにし，あわせて従来の研究成果の適用性を検討することを目的として，大戸川における現地観測を行ないつつある。

今年度は，観測1年目に当り，得られた若干の結果について検討し，今後の問題点と観測の可能性を考えてみよう。

2. 大戸川の概要

大戸川は，淀川水系瀬田川の支川であり，瀬田洗堰下流約900mにおいて，瀬田川に合流する。流域面積，189.7 km²，流路延長，33 km（本流），平均勾配は，下流部で約 1/250，上流部で 1/250～1/100 というかなり急勾配の河川であり，流域一帯は，花崗岩の風化地帯である。後述するように，河床砂礫の平均粒径は，上流部においても下流部においても，1.5mm～4mm と細かいので，低水時においても流送土砂が存在し，年間平均約10万m³ [1] と言われている。

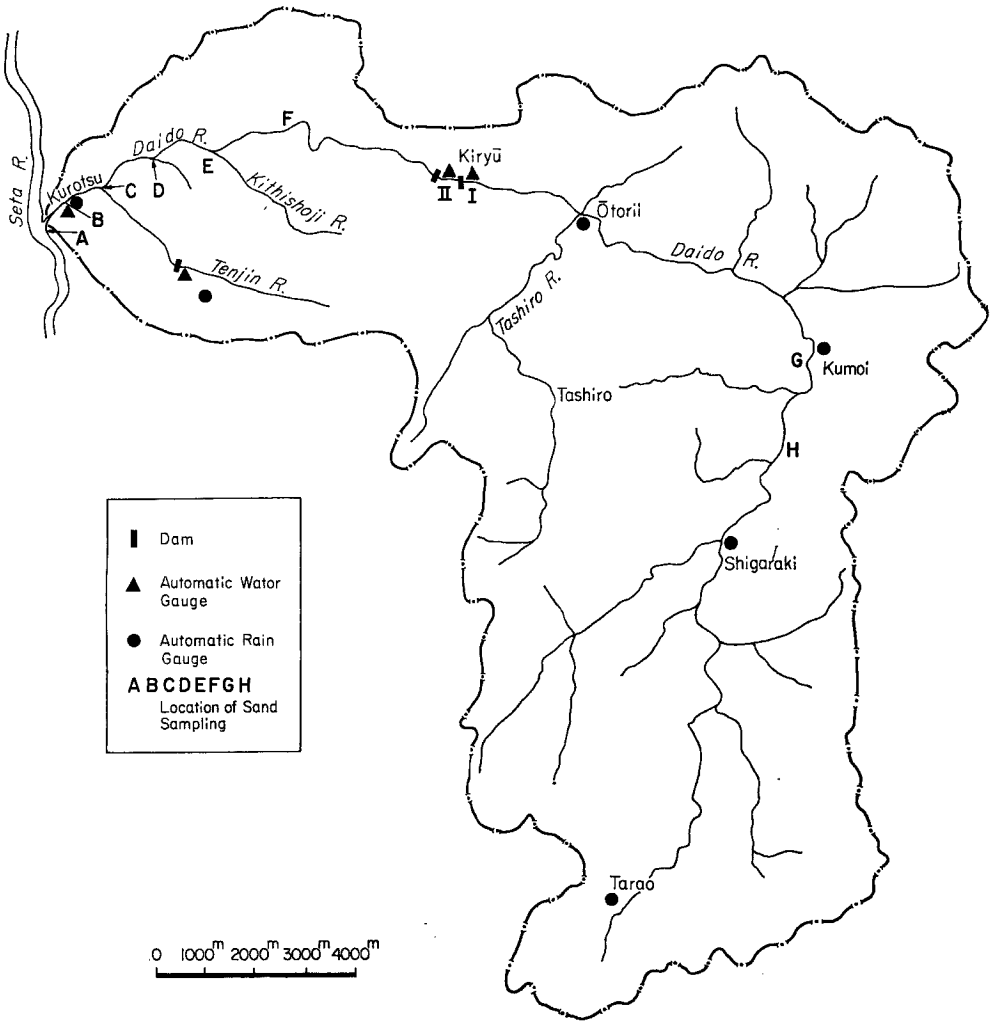

Fig. 1 Map of the Daido River basin and stations of observation.

Fig. 1 は，大戸川流域の概略図である。瀬田川・大戸川合流点より上流 8 km から 16 km 間に，狭窄部があって流送土砂の通過地帯となっている。代表的な支川には，天神川，吉祥寺川，田代川等があり，各支川，本川上流および狭窄部には大小多数の砂防堰堤があって，狭窄部より下流には，床止め工が多数設置されている。平常時では，流量は少く数 m^3/sec であるが，既応最大の洪水量としては，$10^3 m^3/sec$[2] という記録がある。

3. 観測方法および結果

本年度行なった観測事項は，（a）河床砂礫調査，（b）洪水流調査，（c）河床変動調査，（d）掃流砂計算と瀬田川，大戸川合流点横断測量である。

（a）河床砂礫調査

Fig. 1 に示すAからHまでの8点において原則として横断方向に3点とし，支川合流点においては支川

Table 1 Median diameters, mean diameters and standard deviations of bed materials.

Sampling	No.	station	d_{50} (mm)	dm (mm)	S
B	1	on the water's edge	2.6	2.2	3.2
	2	on the bar	3.4	2.3	3.7
	3	on the bar	1.8	2.4	1.9
A	4	on the water's edge	2.1	2.0	3·3
	5	on the bar	1.5	1.5	2.9
C	6*	under water	2.7	2.4	2.6
	7	on the water's edge	1.8	2.0	3.7
	8	on the bar	3.8	4.8	5.4
	9	on the bar	1.3	1.6	2.6
	10	on the water's edge	1.7	2.0	4.1
	12	on th bar	3.0	3.7	5.5
D	13*	under water	2.6	2.3	2.3
E	14	on the bar	1.7	2.4	18.0
	15	on the water's edge	1.1	1.2	1.5
	16	on the bar	3.6	3.2	2.5
	17*	under water	2.4	2.3	3.0
	18	under water	2.1	2.0	2.2
F	19	under water	5.0	4.9	4.5
H	20	on the water's edge	2.3	2.4	2.6
G	21	on the bar	1.6	1.9	2.2
	22	on the water's edge	2.1	2.0	4.1
	23	on the bar	3.6	2.2	3.4

d_{50} : Median Diameter
dm : Mean Diameter
S : Standard Deviation
* : the branch river

および合流点の近傍上，下流で，表層 10 cm 削除して採砂した。河床砂の粒度分析結果を **Table 1** に示してある。d_{50} は中央粒径，d_m は平均粒径，S は標準偏差である。平均粒径，中央粒径は，上流部においても，下流部においても大差なく，1.5 mm～4 mm である。しかし，標準偏差は，上流へ向うほど大きくなる傾向がみられる。

Fig. 2 は，水中または水際における河床砂の粒度加積曲線である。No. 15 と No. 19 を除くすべては，類似の曲線を示しているが，橋脚近傍で採取した No. 15 と，狭窄部の出口で採取した No. 19 とは，**Fig.**

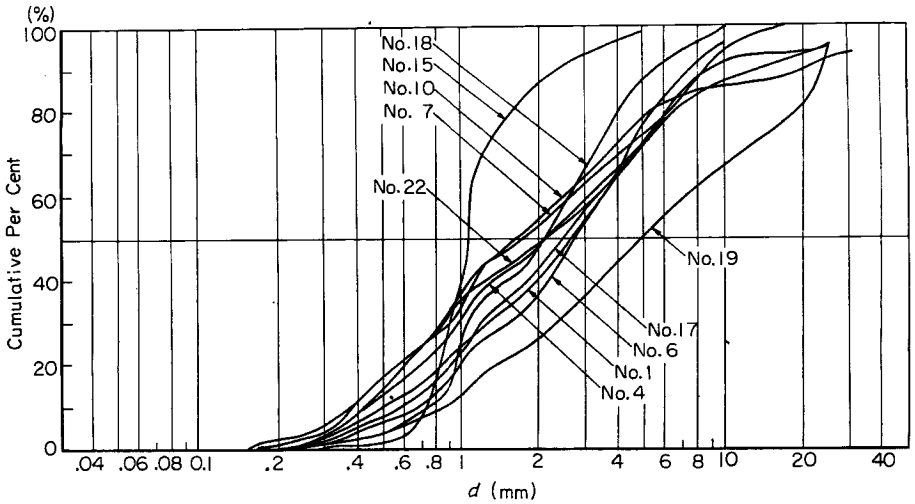

Fig. 2 Grain-size cumulation curves.

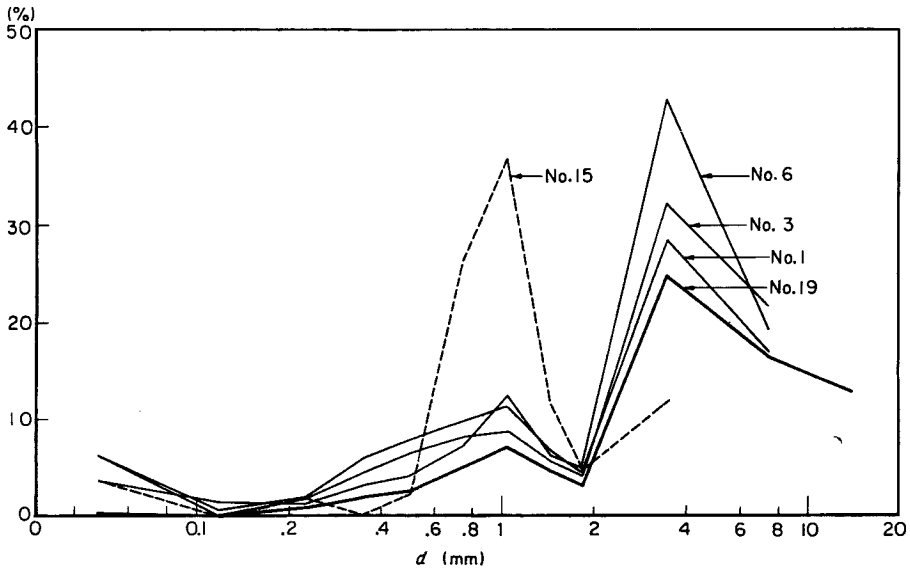

Fig. 3 Grain-size frequency distributions of bed materials.

2 において，他の加積曲線の西側に分れている。標準偏差を比べると，No.15 は $S=1.5$，No.19 は $S=4.5$ で，他のものはその中間にある。また，同一断面の河床砂であっても，採取した位置により，分析結果はかなり異る。

Fig. 3 は，粒径による頻度分布を示したものである。明らかに，山が二つあり，平均粒径の砂礫の占める割合は小さいのが，大戸川の河床砂の特徴である。

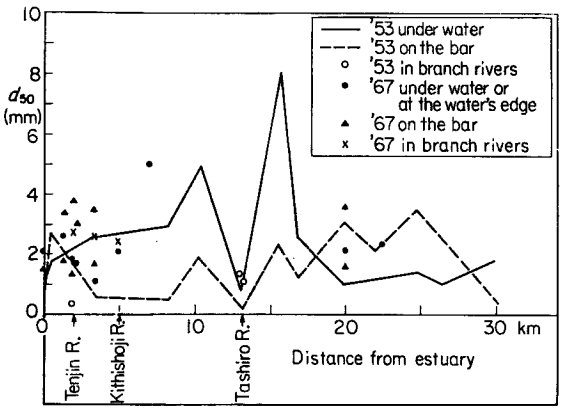

Fig. 4 Distributions of median diameter of bed materials in 1953 and 1967.

Fig. 4 は，昭和28年に採取した[3] 河床砂の中央粒径と本年5月のそれとの比較を示してあり，横軸は，瀬田川，大戸川合流点からの距離である。この14年間においては，上述した中央粒径に大差はないが，支川の中央粒径は，大きくなっている。

(b) 洪水流調査

大戸川は，中流狭窄部により流域を二分されているので，**Fig. 1** に示してある狭窄部最下流の桐生第二砂防堰堤および天神川砂防堰堤で流量を測定することができれば，下流部への流入量をかなり正確に把握することができる。したがって，この二点に石田式自記水位計を設置して，堰堤における越流水深を記録することにした。この二点の他に，桐生第一堰堤および黒津に建設省管理の自記水位計が設置されている。越流水深と越流量との関係を求めるため，縮尺 1/50 と 1/90 の模型を作製し，実験により水深一流量曲線を求めた。その結果を **Fig. 5** に示してある。

Fig. 6 は，瀬田川，大戸川合流点から上流 1.2 km までの概略図である。No.0 より No.12 まで左右両岸 100 m 間隔に量水標を設置してある。同図で河道を横断している破線は，床止め工の位置であるが，床止め工の上，下にも量水標を設置してある。洪水観測は稲津橋上から行ない，採砂装置，採水器，流速計等を釣り上げることのできるクレーン付きの観測車を用意している。

Fig. 7 は，本年7月9日から14日の，黒津，桐生第一および第二砂防堰堤における水位時間曲線と多羅尾における時間雨量分布である。天神川堰堤においては，故障のためこの出水の記録を取れなかった。これら，三点における水位時間曲線は，非常によく似ており，多羅尾における最大時間降雨発生後，約1時間で桐生第二ダム地点の水位が上昇しはじめている。しかし，このうち，桐生第一堰堤と黒津との水位時間曲線は，1時間毎の水位記録より得られたものである。この記録の限りでは，洪水波の変形は顕著にみられない。洪水波 peak の伝播に関して，従来からいろいろの理論があるが，例えば「Kleitz-Sedon の法則[4]」によると，

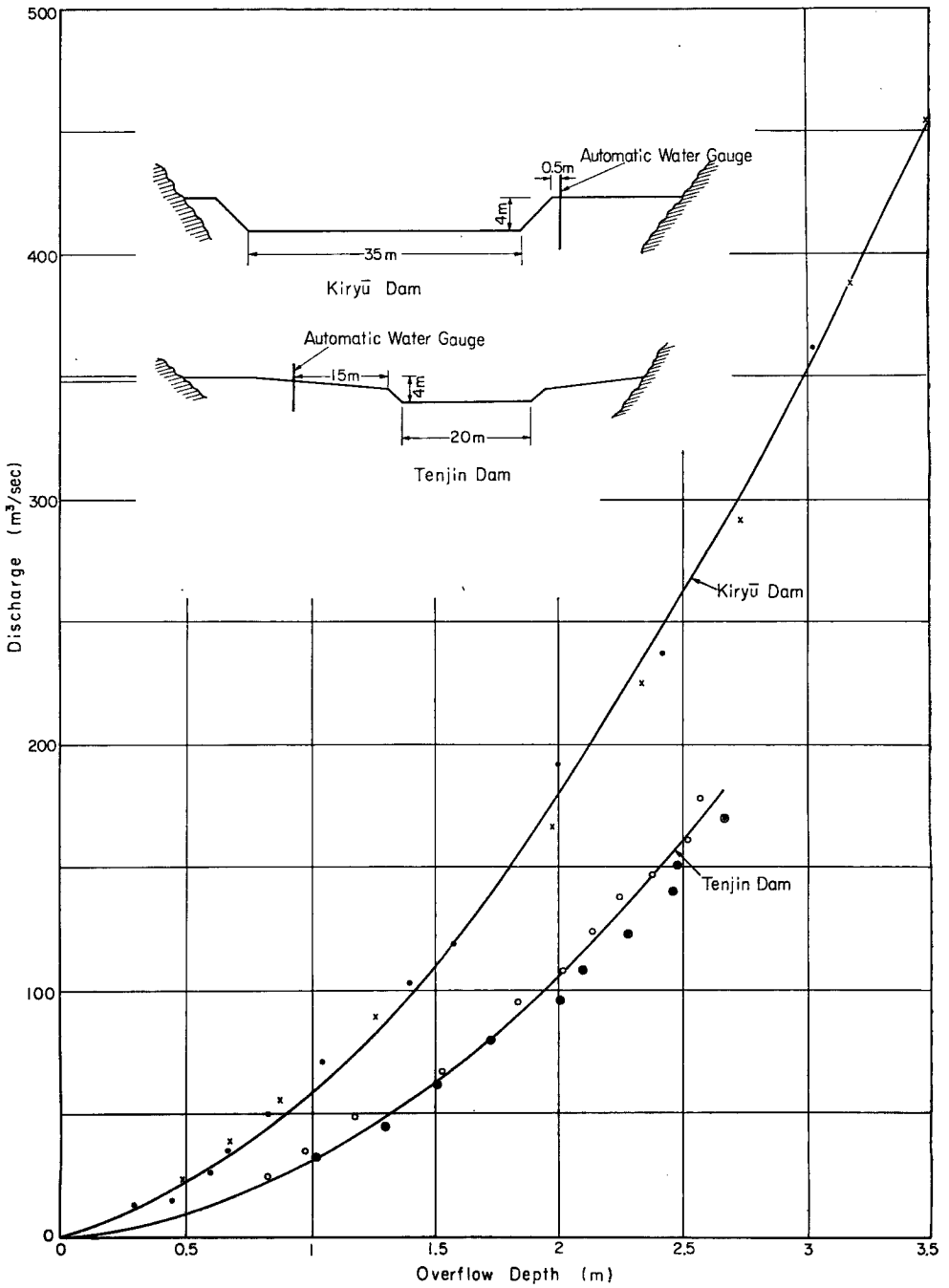

Fig. 5 Relations between over-flow depth and discharge at Kiryū Dam and Tenjin River Dam obtained by model tests.

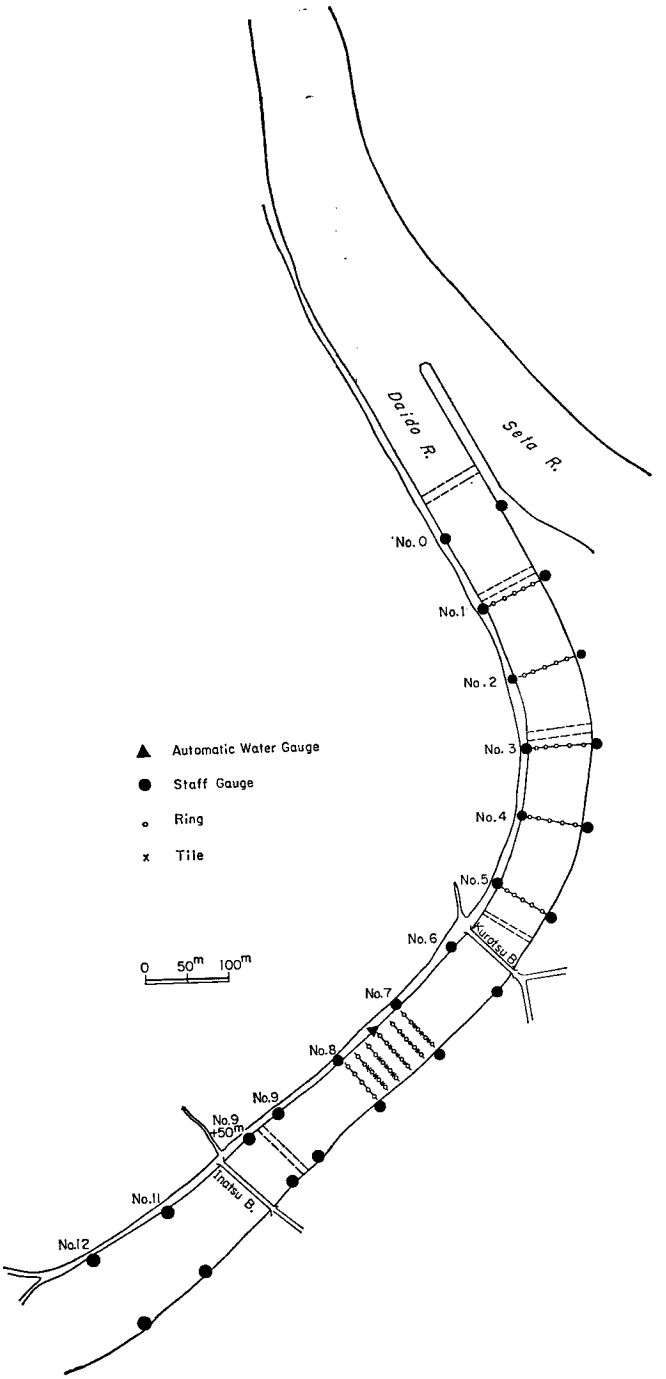

Fig. 6 Map of the observation area.

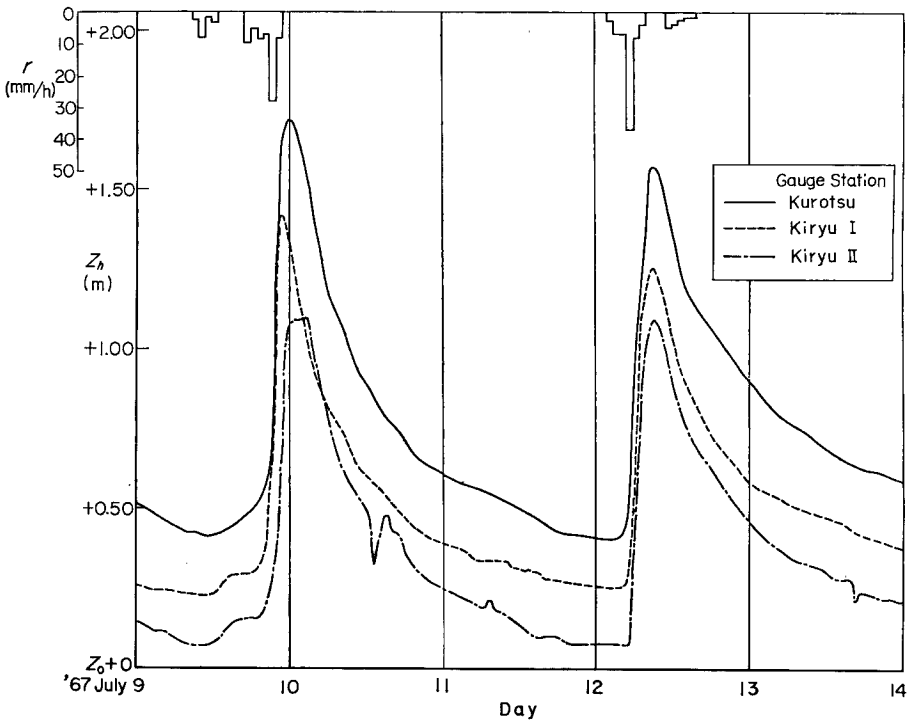

Fig. 7 Water-stage hydrographs at Kiryū Dam I, II and Kurotsu.

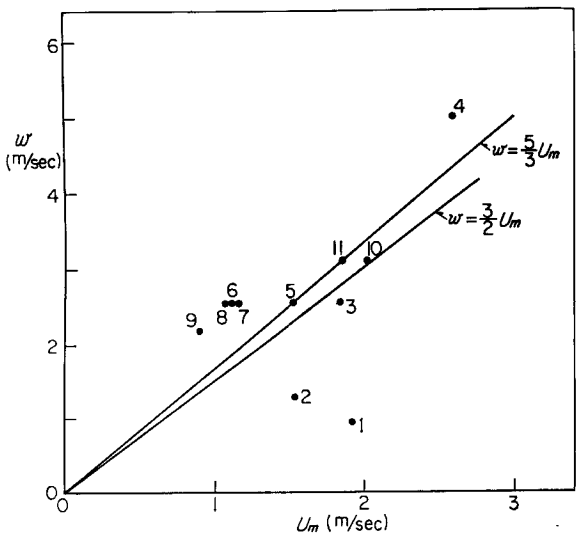

Fig. 8 Relations between celerity of flood peak and mean velocity.

Table 2 Time and celerity of flood peak.

		at Kiryū Dam		at Kurotsu		Lag Time	Celerity of flood peak
	Date	Time	Discharge (m^3/s)	Time	Discharge (m^3/s)	hour: minutes	m/sec
	'65						
1	Sept. 14	13 : 00	61	15 : 20	75	2 : 20	0.96
2	Sept. 15	1 : 00	36	3 : 00	40	2 : 00	1.28
3	Sept. 15	13 : 00	93	14 : 00	150	1 : 00	2.56
4	Sept. 17	22 : 00	275	22 : 30	446	0 : 30	5.10
	'66						
5	May. 22	20 : 00	30	21 : 00	40	1 : 00	2.56
6	Jun. 1	17 : 00	22	18 : 00	27	1 : 00	2.56
7	Jnn. 4	17 : 00	22	18 : 00	29	1 : 00	2.56
	'67						
8	Jul. 3	0 : 00	16	1 : 00	25	1 : 00	2.56
9	Jul. 8	17 : 50	9	19 : 00	20	1 : 10	2.19
10	Jul. 9	23 : 00	95	24 : 00	189	0 : 50	3.10
11	Jul. 12	9 : 10	80	10 : 00	156	0 : 50	3.10

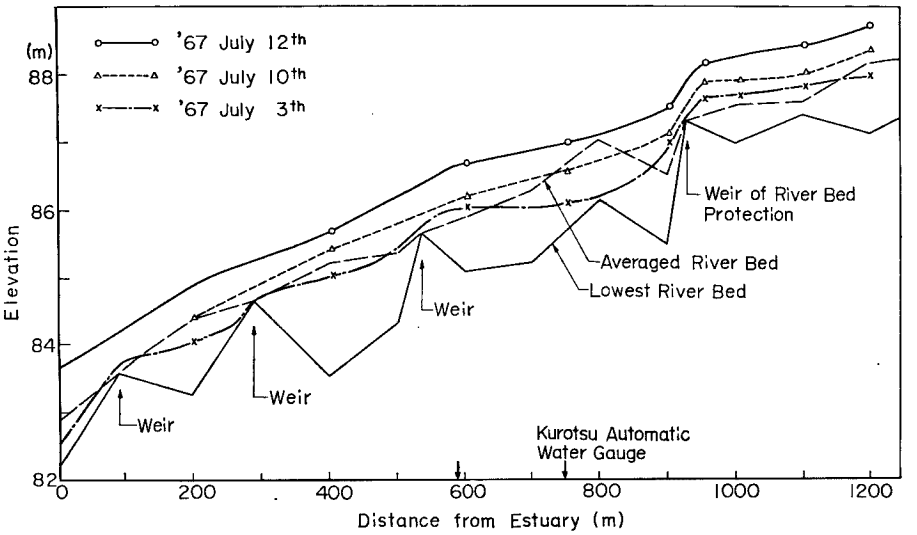

Fig. 9 Water surface profiles observed by staff gauges.

$$w=\frac{dQ}{dA}=\frac{dQ}{bdH}$$

である。ここで，wは伝播速度，Qは流量，bは河幅，Hは水深，Aは流水断面積である。広矩形断面水路について，流速uを Chezy 式で表わせば，$w=\frac{3}{2}u$ であり，Manning 式で表わせば，$w=\frac{5}{3}u$ である。昭和40年から昭和42年までの，黒津および桐生堰堤における水位記録より求めた，洪水波の peak の生起時刻，流量，遅れ時間，伝播速度を **Table 2** に示してある。また，これより求めた，伝播速度と流速との関係を **Fig. 8** に示してある。使用データの多くが1時間毎の水位記録であるから，オーダー程度しかわからないが，平均流速の増大に伴なう伝播速度の増大の傾向はうかがえる。今後，観測各点における短時間の連続記録を対応させて，洪水波の特性を検討していく必要がある。

Fig. 9 は，本年7月3日，10日，12日出水期における，下流部量水標の目視水位を示したものである。これらの水位記録は，すべて洪水 peak の流下後のものであり，最大流量は 98 m³/s（7月12日）である。曲線部外側においては，一般に水位が上昇するといわれているが，この3回の観測では，それは明らかでなかった。また，この時同時に，稲津橋上から水面の横断形状を観測したが，洪水流の下降期に水面形が凹形になるという現象も顕著にみられなかった。

（c）河床変動調査

本観測にあたり，著者らは，二つの方法で洪水時における最大河床洗掘量を測定しようと試みた。その一つは，鉄製の直径 15 cm の輪を，河床中に打設した約 2.7 m の鉄のレールに通し，河床の低下につれて，輪が低下するようになっている。他の一つは，10 cm×10 cm×5 mm のタイル板を約 1 m の厚さに積み重ね，河床中に埋設したものである。前者は，**Fig. 6** の量水標 No. 1 から No. 5 までの曲線部で，100 m 間隔に5断面，横断方向に5点設定し，量水標 No. 7 から No. 8 までの直線部にも，20 m 間隔で6断面，横断方向に5点設置した。後者は，直線部の横断方向各レールの中間に埋設した。洪水上昇期に河床が洗掘され，下降期に埋め戻されるので，リングを発掘しなければならない。本年5月7日と7月28日の2回にわ

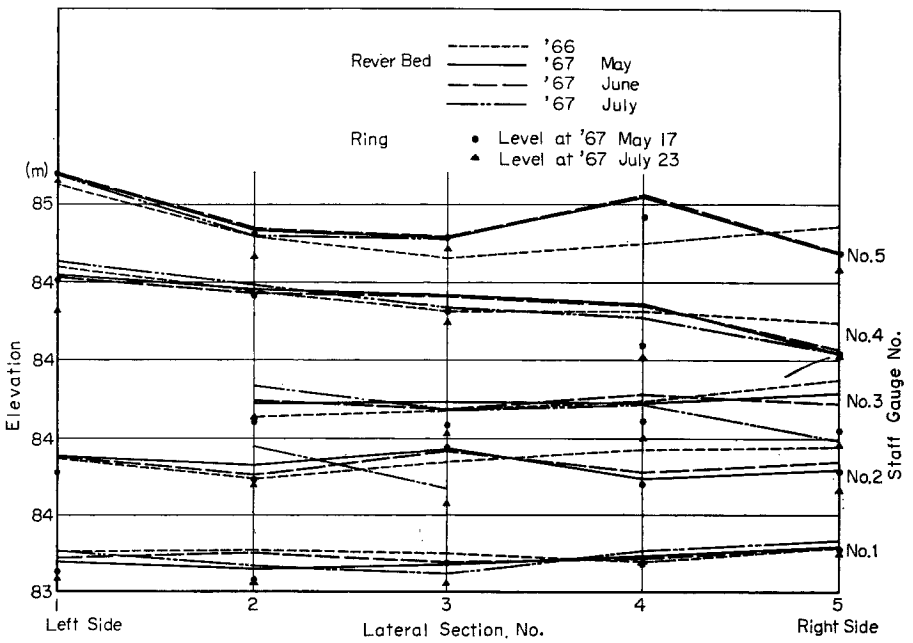

Fig. 10 Variations of levels of rings and river bed in curved reach.

たり，多くの時間と労力を費して発掘につとめたが，回収率は極めて悪く，直線部では皆無，曲線部においても数個発見しただけである。確認したうちの最大低下量は約 40 cm であって，1 m ほど掘って発見できないものが多かった。一方，第 2 の方法によるタイルは，まったく発見できず，流れたものを一枚見つけたにすぎない。

Fig. 10 は，下流曲線部における河床高の変動と，リングの位置を示したものであるが，曲線部外側が低下している以外，顕著な傾向はみられない。この区間には，床止め工が二個所入っているので，その影響が大きく，また，河床砂礫の大小によって，リングの低下量は大きく支配されるようである。

このように，本観測の目的の一つは，不成功であったが，河床の変動は予想以上に大きいことが判明した。しかし，今回の変動は必ずしも，自然現象によるものだけではなく，堤防の修築工事による人為的なものも影響していると考えられる。

（d）流砂量計算と合流点横断測量

実際河川の流砂量の推定によく使われる公式を使用し，**Fig. 11** に示す二断面において，本年 7 月 3 日から

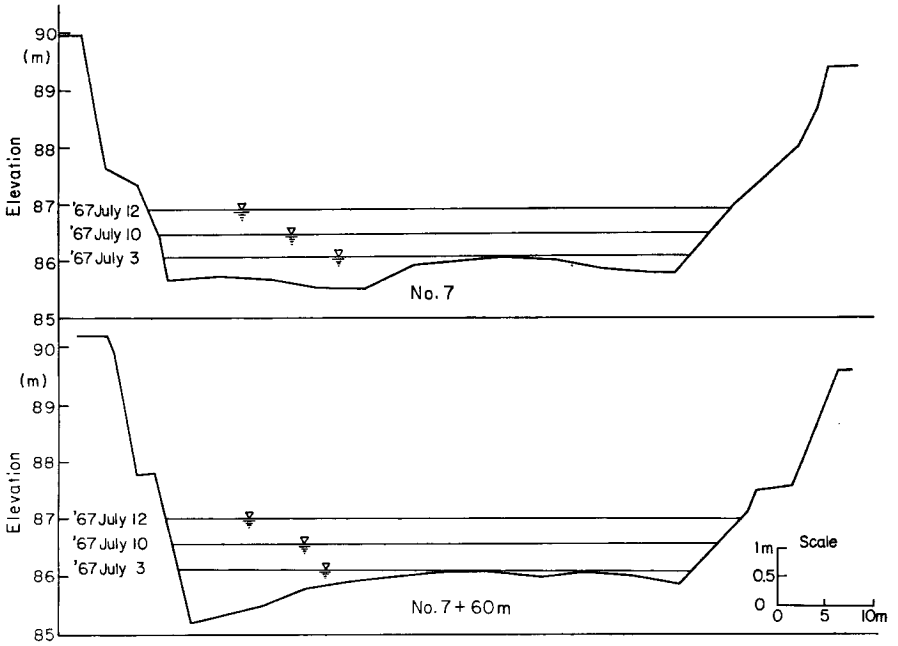

Fig. 11　Shapes of cross section used for calculation of sediment transport rate.

ら15日までの出水を対象として流砂量計算を行なった。また，この出水前後において，瀬田川，大戸川合流点付近の横断測量を詳細に行ない推積土砂量を求め，計算値との比較を行なった。

流砂量計算に使用した公式は，

（a）Brown 式　$q_{B*}=10\tau_*^2$

（b）Kalinske 式　$q_{B*}=f(\tau_*)$

（c）佐藤・吉川・芦田式　$q_{B*}=\varphi F\tau_*$

であり，ここで，$q_{B*}=q_B/U_*d$，$\tau_*=\tau_0/(\sigma-\rho)gd=U_*^2\Big/\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)gd$，$q_B$：掃流砂量（単位巾，単位時間当り），$U_*=(gRI)^{1/2}=\tau_0^{1/2}$：摩擦速度，$\tau_0$：底面におけるセン断力，$\varphi$，$F$：それぞれ Manning の粗度係数 τ_0/τ_c の関数，d：粒径，σ，ρ：それぞれ河床砂，水の密度，g：重力加速度である。なお，従来いわ

れている，掃流，浮流限界の関係を比較した結果から，この出水における土砂流送は，peak 流量時以外ほぼ掃流によると思われる。7月3日，10日に稲津橋上で採水器を使用して行なった浮遊砂の観測では，wash load と思われるものが採取されたにすぎない。

上記（a）（b）（c）3式を使用し，**Fig. 12** に示す水位一流砂量曲線を求め，これを使用して，7月3日から15日における掃流砂量を概算した。その結果，

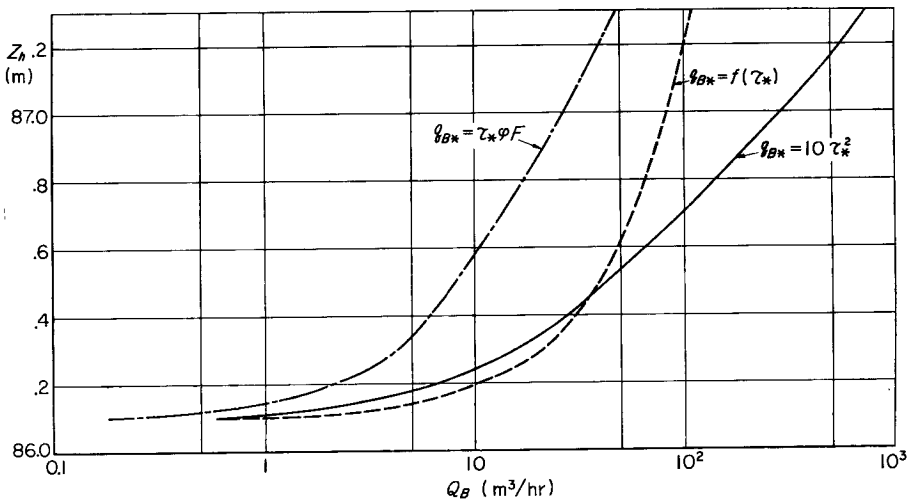

Fig. 12 Relation between sediment discharge and elevation of water surface at Kurotsu.

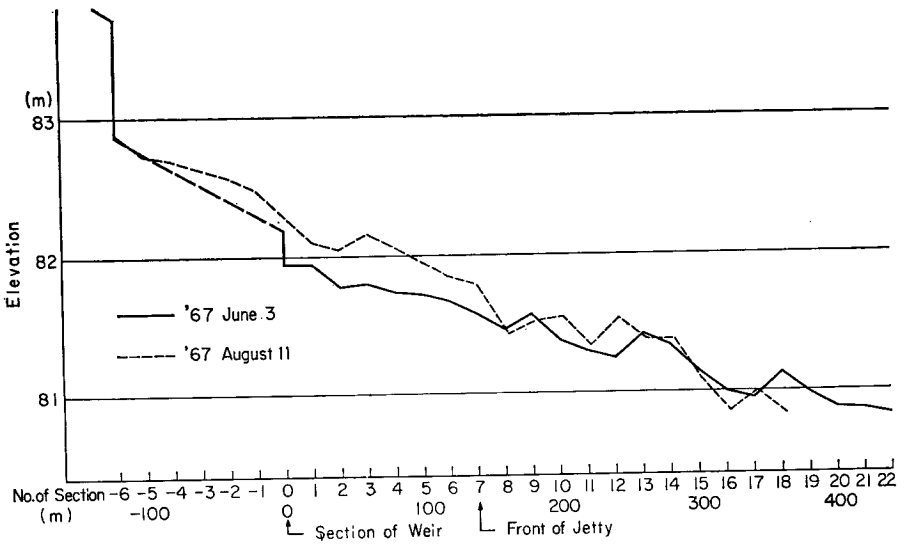

Fig. 13 Averaged river bed profiles near the confluence surveyed at May and August in 1967.

（a） Brown 式 …… 9500 m³

（b） Kalinske 式 …… 4000m³

（c） 佐藤・吉川・芦田式 ……1100 m³

である。なお，Einstein 式による概算も行なったが， Brown 式に近い値を得ている。一方，7月3日から15日における瀬田川の放流量は毎秒500トンであり，合流点における瀬田川の水位は，大戸川のそれより高く，大戸川より流送された掃流砂は，合流点近傍に堆積すると期待される。**Fig. 13** は，出水前6月3日と出水後8月11日とに合流点付近の横断測量を行ない，その測量結果より得られた平均河床高を比較したものである。この図で測定断面 No. 0 は，大戸川最下流の床止め工であり，これより下流 150m の間は，導流堤によって，瀬田川と区切られている。平均河床は，No.-6 より No. 7 までは，一方的に堆積しているが，導流堤より下流では，平均河床の上昇は，ほとんどみられない。

Fig. 14 は，上述の各時点における河床横断形状を比較したものがある。 No. 3, No. 7 断面では，全体に堆積しているが，この区間は導流堤内部であるから，瀬田川本流による堆積土砂の流送は考えられない。

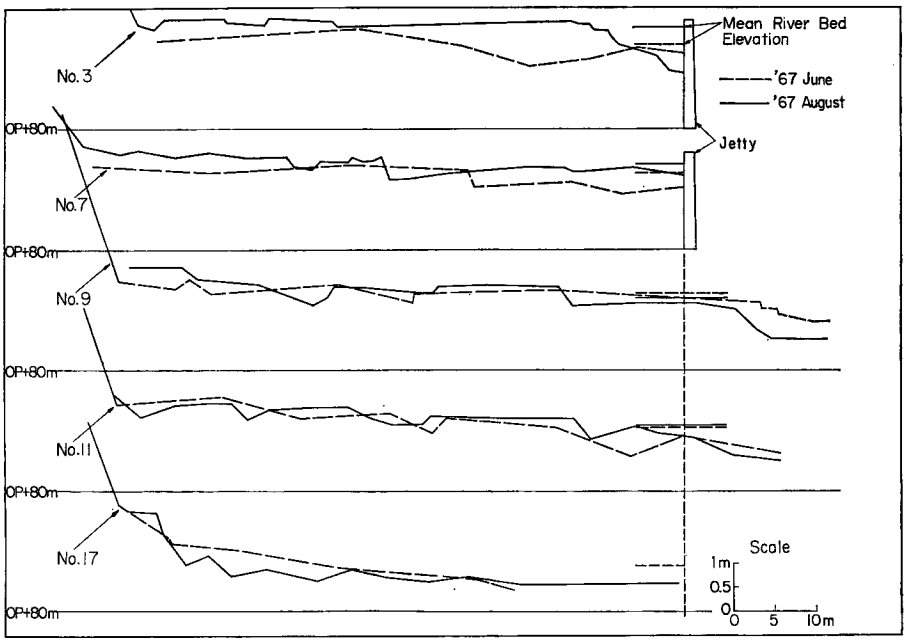

Fig. 14 Cross sectional profiles of the river bed near the confluence surveyed at May and August in 1967.

No. 9, No. 11, No. 17 の断面は，導流堤先端よりそれ 40 m, 80 m, 200 m ぞれ下流であり，瀬田川による堆積土砂の流送が考えられる。しかし，大戸川上流から供給される土砂が，No. 9, No. 11 断面にまで達しているとすれば，右岸側は瀬田川の流れによって流送されることがあっても，左岸側ではその影響は小さいから，堆積土砂が残ると期待される。しかるに，No. 9, No. 11 断面左岸における堆積土砂量は，上流断面に比べてはるかに小さい。

以上のことから，この7月出水による掃流砂が，ほぼ No. 7～No. 9 断面より上流部に堆積したと考え，その堆積土砂量を算定した結果約 1500 m³ となった。計算値と比較すると，Brown 公式は，掃流砂を過大に見積りすぎていると思われる。

【今回の観測では，掃流砂のオーダーを検討したにすぎないが，今後出水前後の短期間における測量を詳細に行ない，採砂装置，採水器等による観測もあわせ行なうならば，一層正確な検討となろう。

4. 結　　び

以上，大戸川におけるこの1年間の観測で得られた結果を述べたが，観測方法の問題点および今後の観測の可能性について要約するとつぎのようである。

1）洪水流観測のために，桐生第一，第二，天神川，黒津の各水位計を整備し，さらに短時間の連続記録をとることによって，洪水の伝播，変形などの特性が観測可能である。

2）洪水の peak が，多羅尾地点の降雨 peak 発生後1時間程度で伝播するから，適切な気象予報によって待機し，出水時の観測を行なわなければならない。

3）河床変動調査のため，本観測において採用したリングとタイルの埋設は，本川のように，変動の大なる河川においては，多くの時間と労力を要し，適切な方法とは言えない。また，大きな浮遊物の多い河川では，レールおよびリングにこれら浮遊物がからみつくことが多いので，一層不適当である。しかし，変動の小さい河川，および短期間における変動を観測するには，十分用いうると考えられる。

4）本川のように，変動の大きな河川において，洪水時の洗掘河床を観測するためには，超音波測深器または測錘等による定置観測を行なう必要があろう。

5）掃流土砂量を観測するためには，掃流砂量測定装置，浮遊砂採水器による，洪水時の観測を行なうと同時に，瀬田川・大戸川合流点の詳細な横断測量によって，かなり正確に掃流砂量をとらえうると考えられる。さらに，瀬田川による土砂流送を考え，天ケ瀬ダムにおける堆砂量を知ることができれば，浮遊砂量をも検討することができよう。

今後，洪水流の機構，流砂，河床変動の観測に加えて，水文資料を収集し，大戸川流域全体の特性をも検討したいと考えている。

最後に，本観測にあたり，終始御協力いただいた建設省琵琶湖工事事務所，天ケ瀬管理事務所の方々，水位観測，測量，リングの発掘に協力していただいた辻本行雄君はじめ，河川災害部門の諸君に心から謝意を表する。

参　考　文　献

1）玉木勉：京都大学大学院修士卒業論文，昭30.3，pp.50.
2）同　　上　　pp.38.
3）同　　上　　pp.21.
4）たとえば矢野勝正著：洪水特論，理工図書，昭. 33，pp.22.
5）たとえば本間　仁，石原藤次郎編：応用水理学，中1，丸善，昭. 33，pp.32.