

土 木 研 究 所 資 料

第 438 号

吉野川河道計画に伴う河道安定の検討報告書

昭和 44 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

序

吉野川では、河口より15km 地点にある農業用取水堰である第十堰の度重なる災害により、近時、これを近代的な用水堰に改築して災害をなくすとともに、洪水時の水位上昇をできるだけ減少せしめようとする検討が加えられている。また昭和30年頃より河床が低下し始め、昭和35年頃より中下流部でこの傾向は著るしいものとなっているが、これは、砂利採取量の増大によるもので、採取許可量の資料がその原因を物語っている。

この様な背景のもとに、徳島工事事務所では、将来における河道の形として何の様なものを想定すべきかを、洪水の疎通能力、用排水関係、河川構造物調査などを実施して検討してきた。その結果、河道計画案として2、3の成案を得、その河道に対する安定性の問題を検討するために土木研究所に依頼することとなった。

土木研究所、河川研究室においては、昭和42年度に平衡理論による検討を行い、昭和43年度においては、河床変動計算により各案に対する河床の変化を予測し、河道計画に対する検討資料を作成した。

本報告書は、これらをまとめたものである。

昭和44年3月

河川研究室室長 土 屋 昭 彦
研究員 石 崎 勝 義
本 間 久 枝

目 次

序

I 安定河道の検討方法について	1
I-1 はじめに	1
I-2 平衡河道の理論	1
I-3 吉野川における平衡理論の適用	5
I-4 平衡理論の問題点	10
I-5 河川の縦断形状の形成について	11
I-6 縦断形状の変化について	12
I-7 常願寺川の河床変動	15
I-8 河床変化の計算	16
I-9 河道計画における問題点	19
II 吉野川の土砂流送特性について	21
II-1 吉野川の流域について	21
II-2 吉野川の河道について	23
II-3 吉野川の流砂特性について	33
III 河床変動実測値の検討	42
III-1 昭和2年～昭和24年の河床変動	42
III-2 昭和28年～39年の河床変動	47
IV 河床変動計算	53
IV-1 縦断形状の変化について	53
IV-2 複断面河道の河床変化について	62
V 結 論	85

I 安定河道の検討方法について

I-1 はじめに

河床が土砂または礫で構成されている河川に対して、築堤、堀削、放水路、ダム建設などの工事がなされると、流れの変化に伴って河道に変化の生ずることが予想される。河道の変化はふつう工事の施された地点ばかりでなく、その上流下流に及び、河川の縦断形が変化する。そこで河川改修計画検討の一環として河川の縦断形状の変化の範囲と規模を推定することが必要になる。

周知のように、縦断形状の変化の推定のためには河床変動計算が用いられるが、これは非常に大きい手間と費用を要する。そこで縦断形状の変化を簡潔に表現する方法が望まれる。

安定な河道の縦断形状を求める方法として、従来河道の平衡理論が研究されており、河道設計に用いられた例も多少みられる。この理論では、河床の砂礫が掃流力と丁度釣合った状態、すなわち限界掃流力を条件とする静的平衡理論と、縦断方向に流砂量が一定であるとする動的平衡理論とがある。

これらの方法を実際河川に適用する場合に、急流河川では静的平衡理論の適用性がよいとする議論や、実際には砂礫が移動しているから動的平衡理論を適用すべきだとする議論など、河川の実態の把握が困難なことから、適用条件が不明確なために、その適用には多くの問題が残されている。

吉野川については、これらの静的、および動的平衡理論を適用し、その問題点を明らかにする。

つぎに河川の縦断形状の変化を簡潔に表現する方法を求め、常願寺川に適用した所、過去の河床変動をかなりよく説明できることが分った。吉野川の河床変動の予測は、この方法を用いて行ったが、その詳細は第4章において説明することとする。

I-2 平衡河道の理論

河道の縦断形状は、流れの作用と河道を構成する砂礫や、上流から供給される流出土砂などの多くの要素が関連して形成され、流量や流出土砂量の変化、河床砂礫のふるい分け、現象の存在など、縦断形状の平衡状態の存在には大きな問題がある。このことについては、後で考察することとし、ここでは、平衡縦断形状が存在するとして導かれた多くの研究結果を紹介し、実際河川に適用してその問題点を明らかにする。

平衡河道の理論には大別して静的平衡と動的平衡の2つがある。

(1) 静的平衡理論

Sternberg は、河床材料の粒径の変化に着目して、縦断形状を説明しようと試みた。(2)

まず、河川の河床材料の粒径が、上流から下流に向けて次第に減少する理由として、流れによる摩耗作用を考え、河道距離 d_x の間における摩耗による粒子重量 W の減少量 dW が $w \cdot d_x$ に比例すると考えて次式を求めた。

$$dW = c_1 W dx$$

これを積分すれば

$$W = W_0 e^{c_1 x} \quad (1.1)$$

ここに W_0 : $x = 0$ における粒子重量

c_1 : 岩質によってきまる定数

となる。(1.1)式はSternbergの法則とよばれるものである。

また, A. Brabns の提唱した, 安定した水路の底流速 u_s と河床材料の重量 W との間の関係

$$u_s = \varphi_1 W^{\frac{1}{6}} \quad (1.2)$$

を用い, Sternberg は底流速 u_s の代りに平均流速 u を用いて

$$u = \varphi_2 W^{\frac{1}{6}} \quad (1.3)$$

とし, (1.1), (1.3)式より

$$u = \varphi_2 W_0^{\frac{1}{6}} e^{\frac{c_1 x}{6}} \quad (1.4)$$

を求めた。

一方Chézy 公式により, 流速 u と水面勾配 (=河床勾配) との関係が次のように与えられる。

$$u = C \sqrt{RI} = C \sqrt{\frac{q}{u} \frac{dz}{dx}} \quad (1.5)$$

ここに, C : 定数, R : 径深, I : 水面勾配 = 河床勾配, q : 単位巾流量, z : 河床高,

(1.4), (1.5)式より

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\varphi_2^3 W_0^{\frac{1}{2}} e^{\frac{c_1 x}{2}}}{C^2 q}$$

これを積分して河川の縦断形状が次のように求まる。

$$z = \varphi_3 (e^{\varphi_4 x} - 1) \quad (1.6)$$

物部⁽³⁾は, Sternberg の考え方と同様に, 「河川のある区域間に於てその上流端より流入する礫粒が, 区間流過の間に摩擦により重量を減じ, 下流端に於て丁度その掃流力に相当する大きさになるものとすれば, 区間に砂礫の堆積なく, 従って河床の昇降がない。」として, 平衡形状を導いている。

粒径の縦断変化については、Sternberg の法則を用い、掃流力及び粒径 d は $H I$ に比例し、重量 W は d^3 に比例するとして

$$W^{\frac{1}{3}} = K \cdot H \cdot I, \quad W_0^{\frac{1}{3}} = K H_0 I_0$$

ここに、 K は定数

を求め、河巾一定の場合の平衡河床形状として、

$$z = z_0 - \frac{2}{c_1} I_0 \left(1 - e^{-\frac{c_1}{2} x}\right) - H_0 e^{\frac{c_1}{b} x} \quad (1.7)$$

を導いた。

これらの考え方では、砂礫の流下に伴い粒径も減少して、流砂量の連続性が満足されるが故に平衡であるとしている。

これに対し安芸⁽⁴⁾は、「自然河川においては河床構成砂礫は流水による自然撰択作用によって次第にその地点における掃流力に対応する形態を採るものであり、この結果もし他に之に影響を与える条件のない限りは、縦断形は1個の美しい曲線を形造る」として限界掃流力の表限を富士川、鬼怒川などの資料から求め、平衡河床縦断曲線を表わす式として次式を得た。

$$i = I_0 \cdot 10^{\frac{5}{3.5} \frac{x_0 - x}{b}} + \frac{3.45}{3.5b} H_0 \cdot 10^{\frac{1.5(x - x_0)}{3.5b}} \quad (1.8)$$

ここに、 I_0, H_0 は基準点の水面勾配及び水深、 a, b は限界掃流力を規定する定数である。

この考えでは、河川の自然撰択作用 (Sorting) によって河床形状が定まることを想定しているが、それによって生じた河床縦断形が平衡であるか否かについての議論はなされていない。しかし、多くの河川で、この理論に基づく縦断形状が、実測の縦断形状と比較的よく一致することが認められている。

限界掃流力を以て平衡河道の条件とするか否かは、別の問題として、限界掃流力状態の河床形状を表現する研究が、増田、河村⁽⁵⁾、杉尾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、土屋義人⁽⁸⁾、須賀⁽⁹⁾らによって行なわれている。

これらの理論は、運動方程式、連続式、抵抗法則式、河床砂礫の限界掃流力を表わす式、および河床高を表わす幾何学的条件式を用い、河床の粒度分布、河巾、粗度係数および基準点における水面勾配 I_0 と水深 H_0 および河床高を境界条件にして平衡縦断形状を求めるものである。

河川を長方形断面と仮定し、抵抗法則に Manning 式を用い、限界掃流力公式に岩垣公式を用いると、静的平衡勾配 i は次の様に表わせる。

$$i = -\frac{dz}{dx} = M_1 I_0 + M_2 h_0 + M_3 \frac{h_c^3}{h_0^2} \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned}
M_1 &= \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-\frac{6}{7}} \left(\frac{a_c}{a_{c0}}\right)^{\frac{10}{7}} \left(\frac{d_m}{d_{m0}}\right)^{\frac{10}{7}} \left(\frac{B}{B_0}\right)^{\frac{6}{7}} \\
M_2 &= \frac{3}{7} \left(\frac{n}{n_0}\right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{a_c}{a_{c0}}\right)^{-\frac{3}{7}} \left(\frac{B}{B_0}\right)^{-\frac{6}{7}} \left(\frac{2}{n} \frac{dn}{dx} - \frac{1}{a_c} \frac{da_c}{dx} - \frac{1}{d_m} \frac{dd_m}{dx} - \frac{2}{B} \frac{dB}{dx}\right) \\
M_3 &= -\frac{1}{7} \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-\frac{12}{7}} \left(\frac{a_c}{a_{c0}}\right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{d_m}{d_{m0}}\right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{B}{B_0}\right)^{\frac{12}{7}} \left(\frac{6}{n} \frac{dn}{dx} - \frac{3}{a_c} \frac{da_c}{dx} - \frac{3}{d_m} \frac{dd_m}{dx} + \frac{1}{B} \frac{dB}{dx}\right)
\end{aligned}
\quad (1.10)$$

ただし、 x ：流れの方向の距離、 I ：水面勾配、 h ：水深、 B ：河巾、 d_m ：平均粒径、 n ：粗度係数、 a_c ：岩垣公式の係数 ($U_*^2 = a_c \{(\rho_s/\rho) - 1\} g d_m$) であり添字 0 は基準地点のそれぞれの値を示している。

(2) 動的平衡理論

静的平衡理論では、支配流量において河床砂礫が限界掃流力に均合った状態を考えたが実際の河川では洪水時に砂礫が移動している。そこで流砂量の連続を満足させることが平衡河道の条件であるという考え方から動的平衡理論が検討されるようになった。

静的平衡理論と同様に、増田、河村、¹⁰⁾杉尾、土屋(義人)、須賀らによって導かれているが、適用する抵抗法則と流砂量公式によってその表現に若干の違いがある。

抵抗法則に Manning 式を用い、流砂量公式として Brown 型公式を用いると、静的平衡と同様に動的平衡勾配 i は次の様に表わされる。

$$\begin{aligned}
i &= -\frac{dz}{dx} = K_1 I_0 + K_2 h_0 + K_3 \frac{h_c^3}{h_0^2} \quad (1.11) \\
K_1 &= \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-\frac{6}{7}} \left(\frac{B_0}{B}\right)^{\alpha} \left(\frac{d_{m0}}{d_m}\right)^{\beta} \\
K_2 &= \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-\frac{6}{7}} \left(\frac{B_0}{B}\right)^r \left(\frac{d_{m0}}{d_m}\right)^{\delta} \left(\frac{6}{7n} \frac{dn}{dx} + \frac{r}{B} \frac{dB}{dx} + \frac{\delta}{d_m} \frac{dd_m}{dx}\right) \\
K_3 &= -\left(\frac{n}{n_0}\right)^{-\frac{12}{7}} \left(\frac{B_0}{B}\right)^{-2r} \left(\frac{d_{m0}}{d_m}\right)^{-2\delta} \left(\frac{6}{7n} \frac{dn}{dx} + \frac{r+1}{B} \frac{dB}{dx} + \frac{\delta}{d_m} \frac{dd_m}{dx}\right)
\end{aligned}
\quad (1.12)$$

ただし

$$\alpha = \frac{14-12p}{7(1+2p)}, \quad \beta = \frac{20(1-p)}{7(1+2p)}, \quad r = \frac{-12p}{7(1+2p)}, \quad \delta = \frac{6(1-p)}{7(1+2p)}$$

ここに p は、Brown 公式中の係数である。

$$\frac{q_T}{U_* d_m} = a_s \left[\frac{U_*^2}{\{(\rho_s/\rho) - 1\} g d_m} \right]^p \quad (1.13)$$

ただし, q_T : 流砂量,

Kalinske, Brown 公式では $p = 2$ $a_s = 10$

佐藤, 吉川, 芦田公式では $p = 1$ $a_s = 0.623, n \geq 0.025$

I-3 吉野川における平衡理論の適用

これまでに述べた様な平衡理論を実際河川に適用した例を示す。

吉野川は, 河口より 15 km 地点に用水堰があり, 河床の構成材料も, 流水の状況も異なるのでこれより上流 40 km 地点までについて計算を行った。

河床材料の粒径をどの様にとるかが問題であるが, 一応平均粒径をとることとし, 図 I-1 に示す如き直線変化を仮定した。粗度係数は $n = 0.035$ 一定とし流量を種々変えて計算した結果図 I-2 ~ 8 を得た。

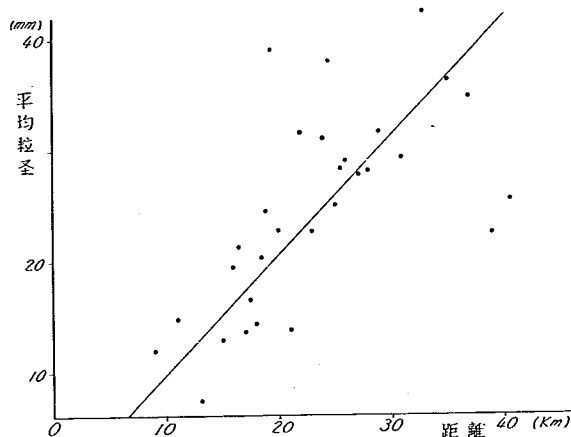


図 I-1 吉野川平均粒度

静的平衡計算では図 I-2 に見られる如く 15 ~ 25 km 区間で $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量に対応する河床形が現状河床と一致するがこれより上流では流量を増加させないと一致しない。また $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ になると全体に勾配が緩となり現河床を表現することは困難となる。

動的平衡計算では, 同一の流量に対しても流砂量公式を変えることによって河床縦断形が変化することが知られている。そこで各流量について不等流計算を行い土研式により 20 km 地点

の流砂量を求め, この流砂量を一応の規準として上流からの供給土砂量を変えながら, 現状河床形状との適合性を調べた。それらを図 I-3 ~ 8 に示す。どの流量についても, 計算区間で完全に一致するケースは見られない。例えば, 図 I-6 の $Q = 5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合について見ると, 15 ~ 20 km 附近は流砂量が $123,000 \text{ cc/sec}$ のケースが現状河床に近い。これは土研式の流砂量をそのまま使用した場合である。25 ~ 30 km 附近は, 流砂量が $153,750 \text{ cc/sec}$ (土研式の 1.25 倍) のケースが近く, また 23 ~ 40 km では $184,500 \text{ cc/sec}$ (土研式の 1.5 倍) のケースが現状河道に類似している。このような傾向は他の流量の場合でも同様に認められる。

現在使用されている種々の流砂量公式の精度は, 流砂量観測の困難性や, 砂速, 砂堆などの発

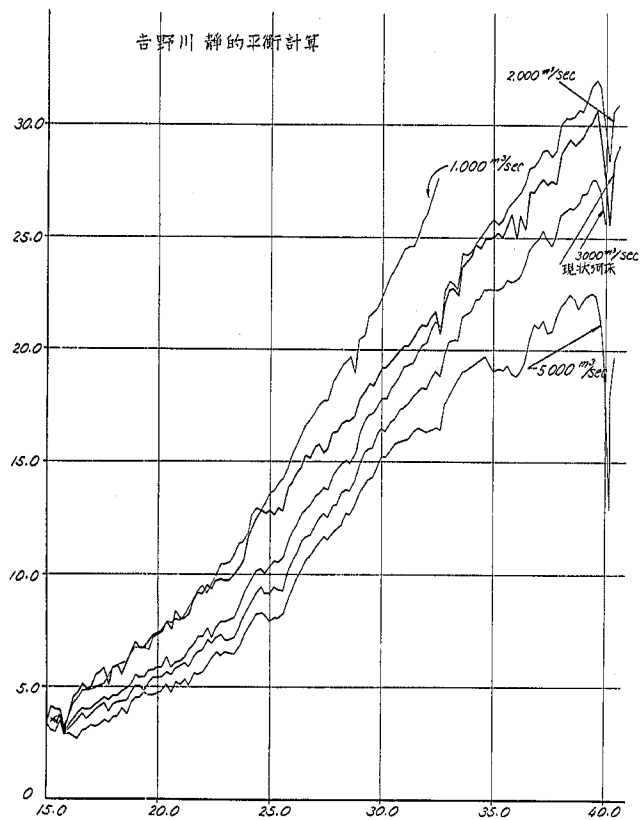


図 I - 2

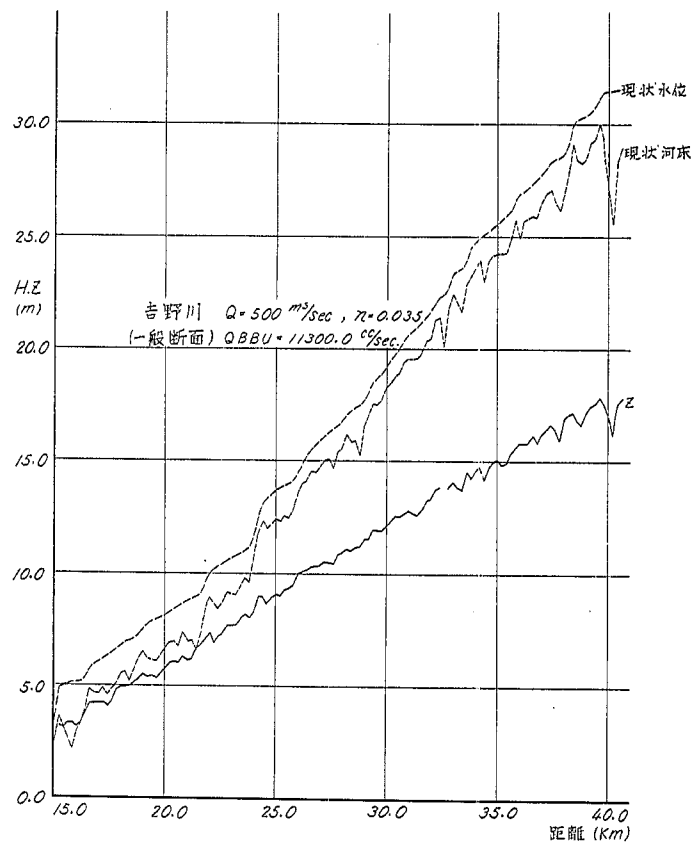


図 I - 3

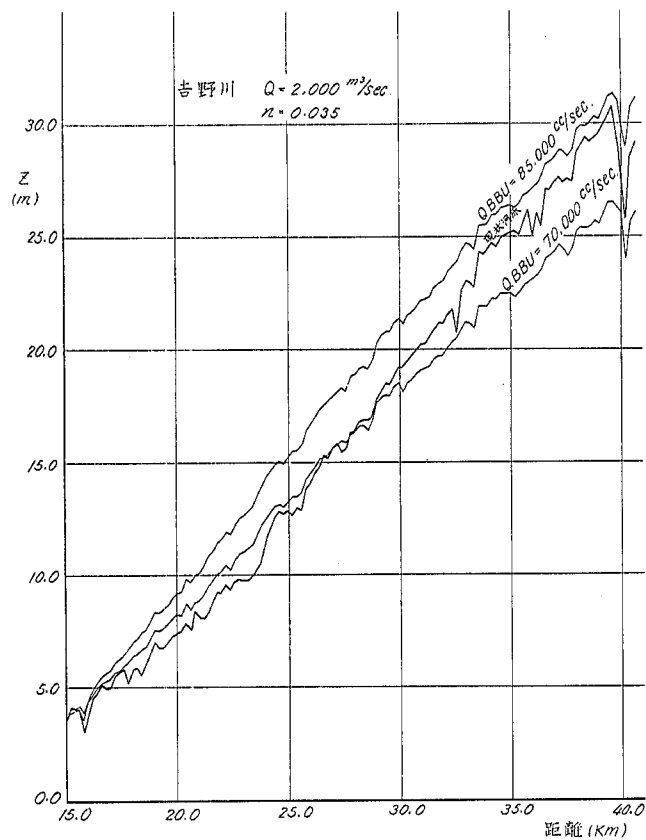


図 I - 4

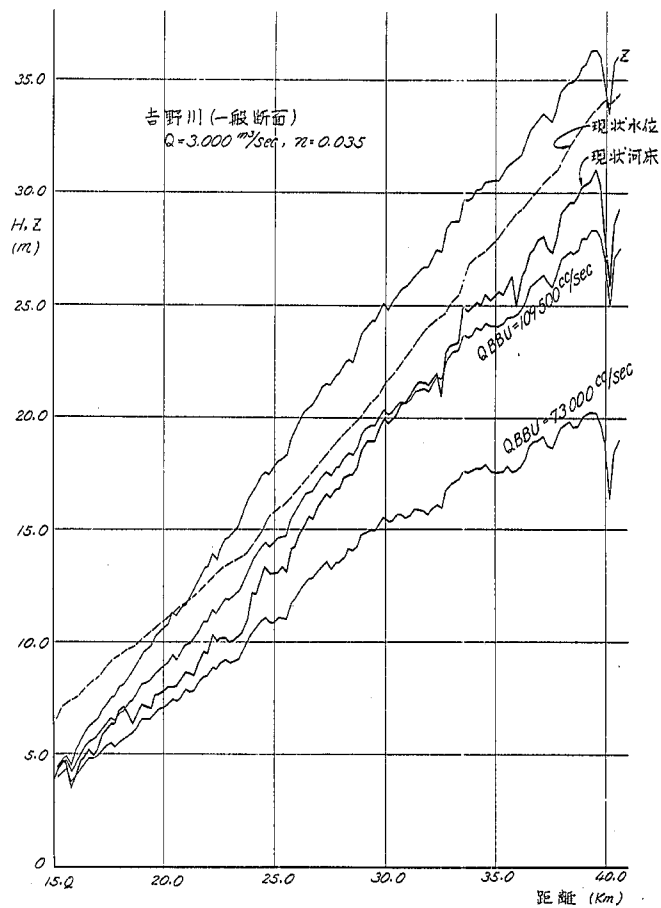


図 I - 5

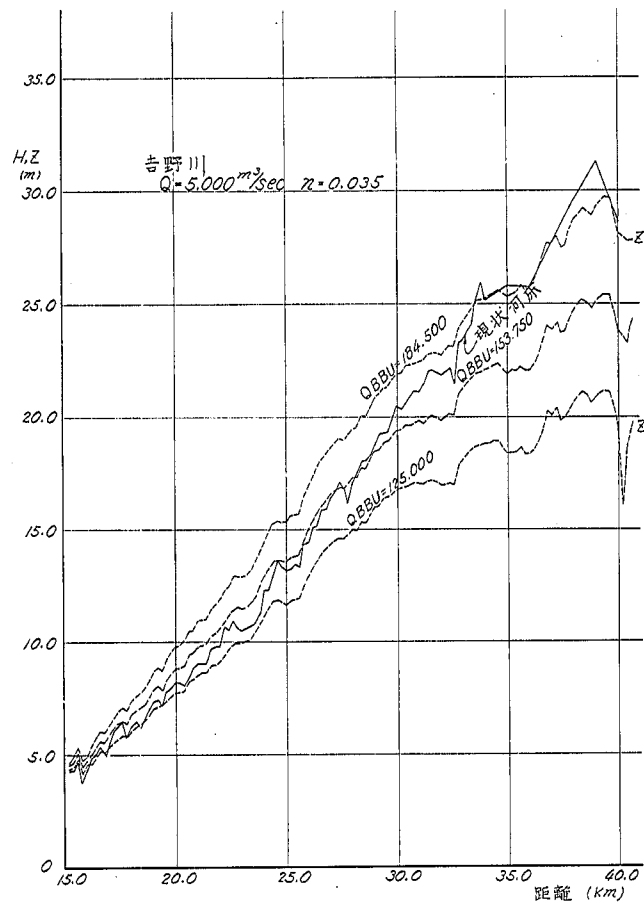


図 I - 6

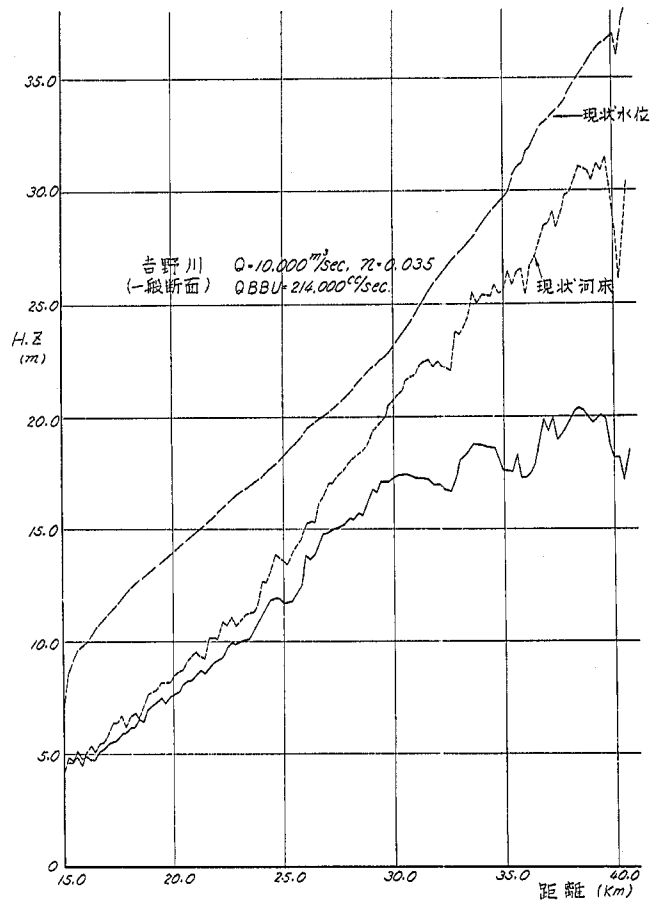


図 I - 7

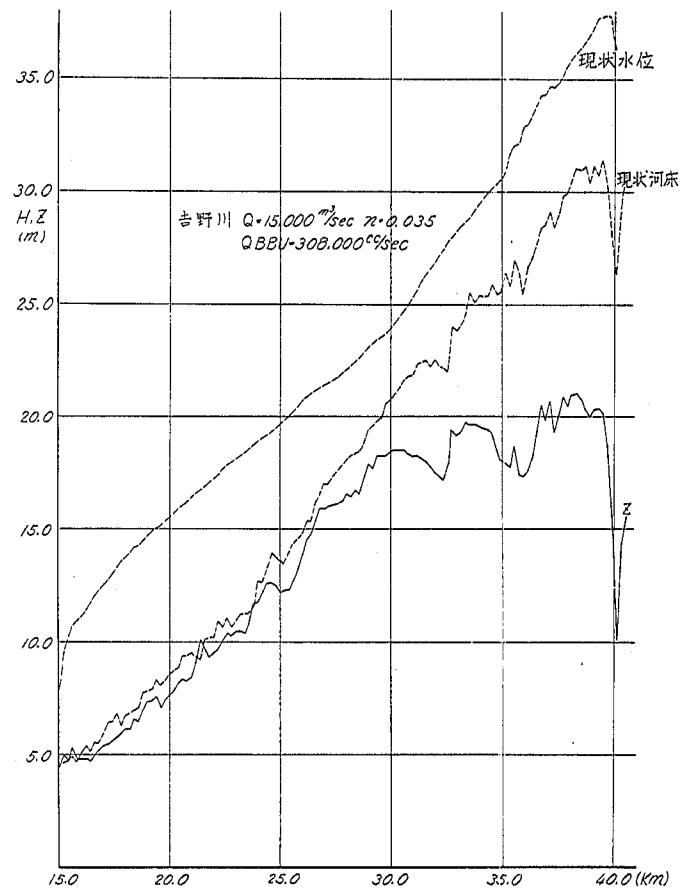


図 I - 8

生による流砂量の非定常性などから1桁位の相異が認められるのは珍らしくない。¹¹⁾従って、吉野川の例に見られる様に僅かの流砂量の差によって、得られる河床形状がかなり変化するにもかかわらず、これらの流砂量の何れを正しい値とするかを定めることは非常にむづかしい。すなわち、河床形状を規定する支配流量や流砂量を一義的に定めることは困難である。

さらに、流量、流砂量を一定にした場合、15~40 km の区間を平衡理論で完全に表現することはできない。吉野川の縦断的な流砂量の変化を見るために、 $10.000\text{ m}^3/\text{s}$ の不等流計算から流砂量をプロットしたのが図1-9である。かなりバラつきはあるが、全体的な傾向として上流へ行く程流砂量が増加し、粒径の効果を考えても流砂量一定の仮定が成立しないことを示している。

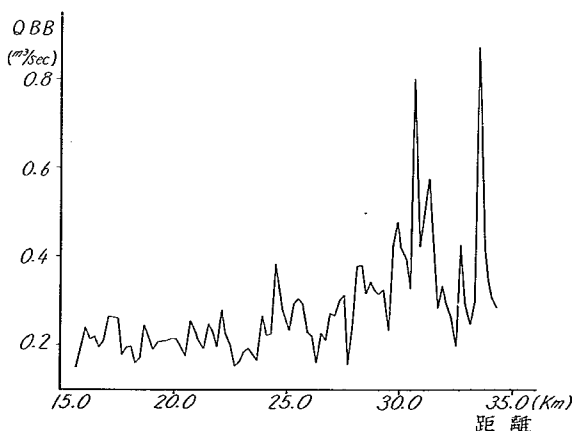


図1-9 吉野川流砂量 ($Q=10.000\text{ m}^3/\text{sec}$)

I-4 平衡理論の問題点

平衡理論においては「平衡」という言葉の内容として、「河道が全く上昇又は下降しないこと、すなわち流砂量が縦断方向に一定(0を含む)であること」という意味を与えている。しかし実際に日本の河川でこの条件を満足する河川は、対象とする区間を極めて短かくとれば別であるが、一般に非常に少ないと考えられる。それは、流砂量一定ということは、粒径の影響が無視できる流量につい

ては、河床勾配が一定ということの意味するからである。また、縦断方向に河床材料の構成が変化することは、安芸が指摘したようにふるい分け作用によって河道に土砂を堆積させる結果であり、中下流部の河床は、極めてゆっくりと上昇をしていくものと考えられる。従って現在の河床の縦断形状を規定するものは、上流及び支川からの供給土砂量の規模や流出の仕方、粒度構成であり、長年月の歴史的過程として把握することが必要である。

Davis¹²⁾や谷津¹³⁾などの地形学者の云う平衡河川の概念も全てこの様な「安定性を保持しながら徐々に変化する」河川の性質を指摘している。

以上の様な考察から、平衡理論の問題点として次の様な事が云える。

- (1) 静的平衡理論は河床形状をかなり説明することは出来るが、支配流量の決め方、河床材料の代表値のとり方に問題がある。また安定河道の予測などの河道計画上の問題に適用することができない。

- (2) 河床粒径が小さく、容易に限界掃流力を越える河川では、静的平衡理論は無意味である。
- (3) 河床勾配が縦断的に変化する河川では、流砂量一定とならず、河道は安定と見なせるにもかかわらず動的平衡理論を適用することはできない。
- (4) 対象とする区間が短かく、粒度分布の変化が無視できるか、あるいは粒径変化の小さい河川では、動的平衡理論を適用できる。この場合には各種の流量について行うべきであろう。

I-5 河川の縦断形状の形成について

普通、河川というと堤防で囲れた水路が想像される。水は堤防の間を流れ外へ出ることがない。

しかし河川がこのような姿になったのは地形学的な観点から見ればごく最近のことであって、局所的な堤防が作られはじめてから現在までせいぜい1500年程度、現在のような全川の連続堤が出現してからせいぜい100年程度しか経過していない。

一般に河川は山間部から平野に出ると土砂を堆積して扇状地を形成し、次第にデルタに移行して海に沿ぐ。人間が河川に手を加える以前には河川はこのような堆積地形を構成すると同時に、このような地形によって自らの流路を定められていたのである。従って現在の河川の縦断形状がまわりの土地の条件によって定められているのは当然である。もちろん堤防を築いて水の流れを閉じこめれば土砂の輸送のされ方、堆積の仕方がこれまでと異ってくることは充分に考えられるが(この点については後に述べる)その場合でも現在の河川の縦断形状を定める初期条件として周囲の地形が大きな影響力をもっていることは容易に理解される。

河川が山間部から出たところに形成される扇状地は礫又は砂利のような粗い河床材料によって構成されている。その勾配は普通平野部への入口ではかなり大($1/30 \sim 1/100$ 位)であるが次第に勾配を減ずると同時に河床材料も小さくなりついに砂河床になってデルタに移行する。扇状地の特殊な場合として、平野の両側に山がせまっていて堆積する場所の小さいときには谷底平野とよばれ、一様な勾配が比較的長くつづく地形が形成されることがある。又山間に盆地があって土砂が堆積する場合にはそれより下流では扇状地が非常に小規模になることがある。

一方デルタを構成する河床材料は砂、シルトである。デルタでは河川のまわりに自然堤防が形成されるが大洪水時にこれを越えた水は後背湿地に氾濫する。このとき水とともに運ばれた浮遊物質は水の静止とともに河床に落着いて堆積する。デルタを構成する材料は扇状地上を浮遊状態で流れてきたものであって堆積のためには流速が非常に小さくなる必要がある。そのため勾配が十分に緩いことが必要である。山と海の間隔が短いときには扇状地のまま直接海に入ることがある。この場合にはデルタが省略される。

我国の場合は山間部より平野に出る所で扇状地を形成しこれにつづいてデルタ(海岸平野)を形成している例が多い。そこで平野部の河川を見るだけでもその縦断形状は勾配の異った部分によって構成されることになる。そしてデルタ又は扇状地が省略されるとき例外的に勾配が比較的一様となるのである。

このように異った勾配部分から構成される河川の縦断形状は時間的にどのように変化するかを考えてみよう。河川の勾配が大きいときは流速も大きいから輸送できる砂礫の量が多い。従って下流にゆくにつれて勾配が減じている場合には下流ほど土砂の輸送能力が小さいからその途中で土砂は堆積し河床は上昇傾向を示すはずである。

そこでこの問題を流砂量に注目して考えてゆくことにする。

I - 6 縦断形状の変化について

ある断面を通る流送土砂量は次式で与えられる。

$$Q_B = \int_0^B q_B dy \quad (1.14)$$

Q_B : ある断面における流送土砂量

q_B : 単位巾あたり流砂量

y : 横断方向距離

B : 川巾

河床変動に寄与する流送土砂として掃流土砂のみを取扱い、流砂量公式として佐藤・吉川・芦田公式を用いると次のようである。

$$q_B = \frac{\varphi \cdot F}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) g} u_*^3 \quad (1.15)$$

$$\varphi = 0.623 (n > 0.025)$$

$$0.623 (1/40n)^{3.5} \quad (n < 0.025)$$

F : τ/τ_c によって定められる係数

u_* : 摩擦速度

一つの断面内における $\varphi \cdot F$ の値が一つの値によって代表されると仮定すると次式が得られる。

$$Q_B = \frac{\varphi F}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) g} \int_0^B u_*^3 dy \quad (1.16)$$

次にこの断面の流量は次式で表わされる。

$$Q = \int_0^B u h dy \quad (1.17)$$

u : 鉛直方向に平均した流速

h : 水深

流速 u と摩擦速度 u_* との関係を (1.18) 式のようにおけば定数 φ の値は抵抗公式のとりかたによって (1.19) ~ (1.20) 式によって与えられる。

$$\frac{u}{u_*} = \varphi. \quad (1.18)$$

$$\text{マニング公式} \quad \varphi_0 = h^{1/6} / (\sqrt{g} n) \quad (1.19)$$

$$\text{シェジ公式} \quad \varphi_0 = c / \sqrt{g} \quad (1.20)$$

$$\text{対数公式} \quad \varphi_0 = A_r + \frac{5.75}{K} \log \frac{h}{k_s} \quad (1.21)$$

更に掃流力 τ と水深との間には $\tau = \rho u_*^2 = \rho g h i$ の関係があるので水深 h は次のように表わされる。

$$h = \frac{u_*^2}{g i} \quad (1.22)$$

i : エネルギー勾配

ここで (1.17) 式に (1.18), (1.22) 式を代入する。一つの断面内の係数 φ_0 の値が一つの値によって代表されと考えれば流量 Q は次のように表わされる。

$$Q = \frac{\varphi_0}{g i} \int_0^B u_*^3 dy \quad (1.23)$$

流量に対する掃流砂量の割合、即ち流砂濃度は (1.16), (1.23) より次のように求められる。

$$\begin{aligned} \frac{Q_B}{Q} &= \left\{ \frac{\varphi F}{(\sigma/\rho - 1) g} \int_0^B u_*^3 dy \right\} / \left\{ \frac{\varphi_0}{g i} \int_0^B u_*^3 dy \right\} \\ &= \frac{\varphi F}{\varphi_0 (\frac{\sigma}{\rho} - 1)} i \end{aligned} \quad (1.24)$$

(1.24) 式はある地点の勾配と一洪水或は年間の総流量を知ってそのときの総流砂量を概算するのに便利である。それは、考えている期間の中で流量が変化しても φ , F , φ_0 等は水理量によってあまり変化しない量であり、エネルギー勾配でも感潮部、或は断面変化の著しい地点を除き流量によってあまり変化しないからである。

なお (1.24) 式を導く過程では断面形としてとくに長方形断面等の仮定をしていない。即ち (1.24) 式は実際の河川のような複断面或は変断面の流れに対しても適用できるわけである。

以上で流砂濃度が求まったのでこれを用いて縦断形状変化の基礎式を求めよう。

流砂の連続式は次のように表わされる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_B}{\partial x} = 0 \quad (1.25)$$

z : 河床高

x : 縦断方向距離 (上流側方向を正とする)

λ : 河床材料の空隙率で大体 0.4 位

Q_B : 流砂量 (下流側方向を正とする)

エネルギー勾配が河床勾配によって近似できるとき

即ち $i = \frac{\partial z}{\partial x}$ のときは (1.24) 式は次のようになる。

$$Q_B = Q \frac{\varphi F}{\varphi_0 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)} \frac{\partial z}{\partial x} \quad (1.26)$$

(1.25) 式に (1.26) 式を代入すれば縦断形状の基礎式が次のように得られる。

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Q \varphi}{(1-\lambda) B \varphi_0 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)} \frac{\partial}{\partial x} \left(F \frac{\partial}{\partial x} \right) \quad (1.27)$$

係数 F が縦断方向距離 x に対して変化しないときは (1.27) 式は熱伝導の方程式と同一となる。

熱伝導の式の性質については種々の境界条件について詳しく調べられている。これをもとにして導かれる河床変化の性質をいくつか挙げれば次のようになる。

① 河床が上昇するか否かは河床形の二次導関数が正であるかどうかによって定まる。下に凸なら上昇，上に凸なら低下である。一般の河川の縦断形は下に凸であるから上昇型である。

② 各点の上昇の速度は Q/B と $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ の積に比例する。即ち流量が大きいほど，又河巾が狭いほど上昇速度が大きい。又 $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ すなわち勾配の縦断方向変化量が大きいと上昇速度が大きい。

よく言われる「勾配の急変点は河床が上昇傾向になる」という事がこれにあたる。

③ 上流から常に一定の土砂補給があり海が充分に深ければ河床形は全体として上昇し一定勾配（上流端より上流側の勾配にひとしい）になって上昇がとまる。このような平衡状態には河巾の小さいほど，流量の大きいほど速く達する。山間部を流れる河川や谷底平野で勾配があまり変わらないのはこのような理由によるものと思われる。一方広くひらけた平野ではなかなか平衡に達しないで堆積の途次にあるから勾配の変化がみられるものと思われる。

以上は河床が砂礫に覆われていて流れに対してこの勾配に見合った流砂がある場合を考えている。もしも河床に砂礫がなくて岩が露出している場合には勾配に見合った流砂が存在するとは限らない。又砂礫があっても流れの掃流力にくらべて粒径が大きく動きにくければそれだけ流砂量は少なくなる。その効果は (1.27) 式の下であらわされている。

なお (1.27) 式の解については種々の初期・境界条件の下で解析解が研究されているが，実際の河床をそのまま表現できない上に解がかなり面倒になる。従って (1.27) 式を差分法して計算を行うことが有利である。

次に (1.27) 式を用いて常願寺川の河床変化を計算しこれを実測値と比較した結果を述べる。

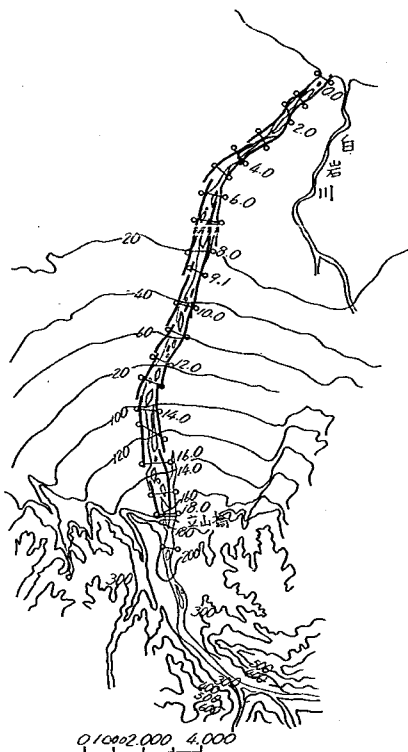


図 1 - 10

I - 7 常願寺川の河床変動

常願寺川は流域面積 368 km^2 で、上流部には火山噴出部の堆積層からなる大きい荒廃地が存在する。上滝町（河口より約 18 km ）附近で山間溪谷から広い平野に出て半径約 10 km の広大な扇状地を展開し、次第に傾斜を減じて三角州に移行する。扇状地の末端附近では河床が上昇して天井川を形成しており河床の変動がこの川の改修において重要な問題になっている。⁽⁴⁾

常願寺川の治水工事は 1580 年頃に始るとされているが全川の改修は明治 24 年（ 1891 年）よりデレーケの手で行われた。

表 I - 1 は⁽⁵⁾ 1924 年から 10 年間の河道部の河床変動の実測値であって 1 年あたり 6.9×10^5 （見かけ） m^3 の堆積となっている。これは 1 年あたり $0.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ にあたる。

表 I - 1 河道の砂礫堆積量（ $1924 \sim 1934$ 年）単位 10^6 m^3
（空隙を含む）

河道距離	$0.0 \text{ k} \sim 6.4 \text{ k}$	$6.4 \text{ k} \sim 12.8 \text{ k}$	$12.8 \text{ k} \sim 18 \text{ k}$	合 計
堆積量	- 0.1	2.5	4.5	6.9

一方河口より 26 km の地点において貯砂容積 5×10^6 （見かけ） m^3 を有する本宮堰堤が 1935 年に着工し、 1937 年に完成している。このダムの堆積量は 1938 年までの 3 年間に約 2×10^6 （見かけ） m^3 であって、 1 年あたりの堆積量は $0.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ になる。⁽⁶⁾

河床変動に寄与する所の大きい掃流砂について考えると、河床勾配の小さい河口近くではその輸送量が非常に小さくなるので上流から供給される砂礫は殆んど河道に堆積すると思われる。上記の実測資料から見て常願寺川の扇状地に供給される砂礫量は 1 年あたり $0.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 程度と推定される。

次に供給砂量をこの河川の水量を用いて先に述べた方法によって計算してみよう。

(1.24)式において

$$Q = 0.474 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{year} \quad (\text{昭和37年} \sim \text{39年の平均値})$$

$$i = 17.8 \times 10^{-2} \quad (18 \text{ km}, 23 \text{ km} \text{ の二断面の河床高の差より算出})$$

$$\varphi_0 = \frac{h^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g} n} = \frac{(1.0)^{\frac{1}{6}}}{3.13 \times 0.063} = 5.0 \text{ s}$$

$$\varphi = 0.623$$

Fの値は流況、河床材料の構成等を検討しないと正しい値は求められないが最も大目にみて $F = 1.0$ とおくと流砂量 $Q_B = 0.63 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{year}$ となり、上記の実測資料による供給砂量の推定値 $0.4 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{year}$ と大体一致する。河床変動計算を行う際には常に流砂量公式の信頼度が問題になるが、常願寺川の場合には佐藤、吉川、芦田公式によって大体の推定が可能であることがわかる。

I-8 河床変化の計算

この期間は河床掘削や引堤等の工事がなく、設置された砂防ダムはかなり上流部に限られており、平野部の河道に人工的な変化が少ないと思われる時期である。河口より18 kmの区間において(1.27)式を適用し、実際の河床変動をどれ位説明できるか検討してみよう。

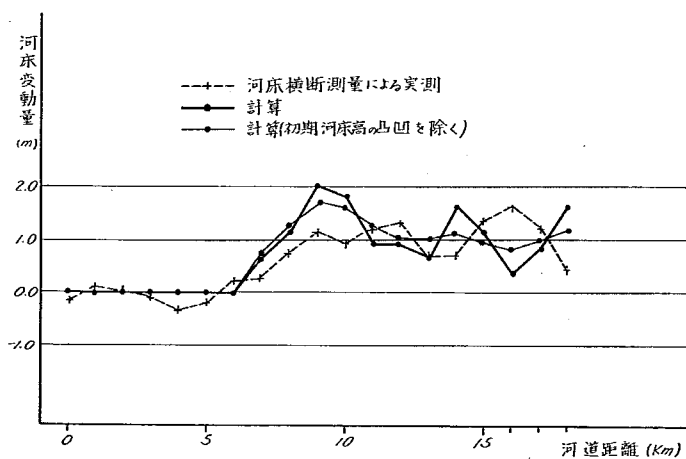
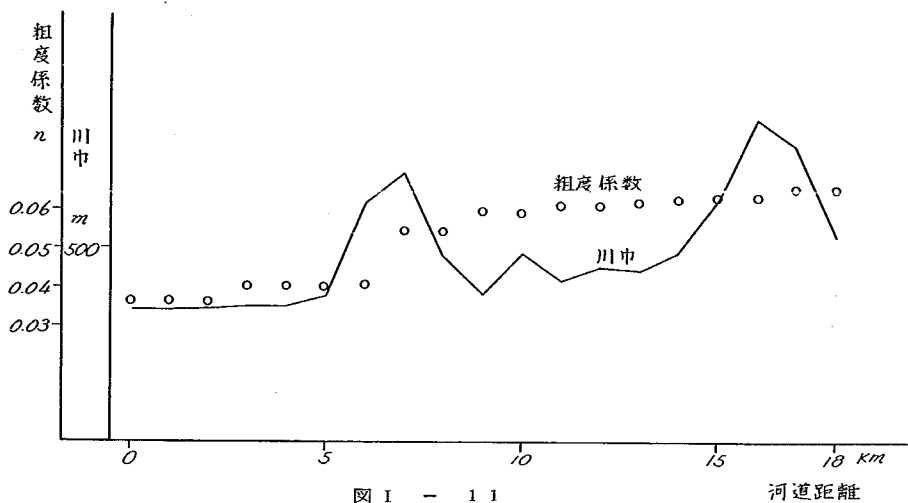
熱伝導形の偏微分方程式の数値計算はかなり行われており計算の安定条件も明らかになっている。

初期条件としては1924年の実測値を与えることにする。下流側境界条件としては河口において河床高 $z = 0$ と与える。上流側境界条件としては河床勾配 $I = 17.8 \times 10^{-3}$ と与える。この期間に上流から供給される流砂量が実測値 $0.4 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{year}$ に等しくなるように公式の係数 φ を修正し、 $\varphi = 0.395$ とおく、係数Fを計算するときの剪断力を求めるための水深は一応 1.0 m と置くことにする。各地点の川巾B、粗度係数nの値は実測値及改修計画で定められた値を用いることにする。(図I-11)

計算結果を図I-12に示す。計算による変動量を実測値と比較すると全体の傾向は一致するが河床の上昇量は断面毎に異っており、計算値と実測値で逆の傾向をみせている。

図I-13は計算途中における各断面の河床変動量である。これを見ると6年目位からあとの期間各断面ともその断面特有の一定の速度で河床が上昇しているのに対し、これより前の期間においては変動の速度が一定ではなく、あたかも初期条件に含まれていた変動量を補償しながら次第に定常的な上昇の状態に移行してゆくのが観がある。

そこで図I-13から初期条件に含まれている変動量を推定し、この影響を取除いてみたものを図I-12に記入してみる。これで計算値と実測値の対応はいくらか良くなるがなお実測の変動量には縦断方向に3~4 km 波長の波が存在しているようである。すなわち実際の河床変動は



ここで計算した熱伝導型の全体的な傾向と、今回の計算には取入れていない波動的な性質（おそらく砂礫堆に基くものであろう）の複合したものとして理解できるようである。

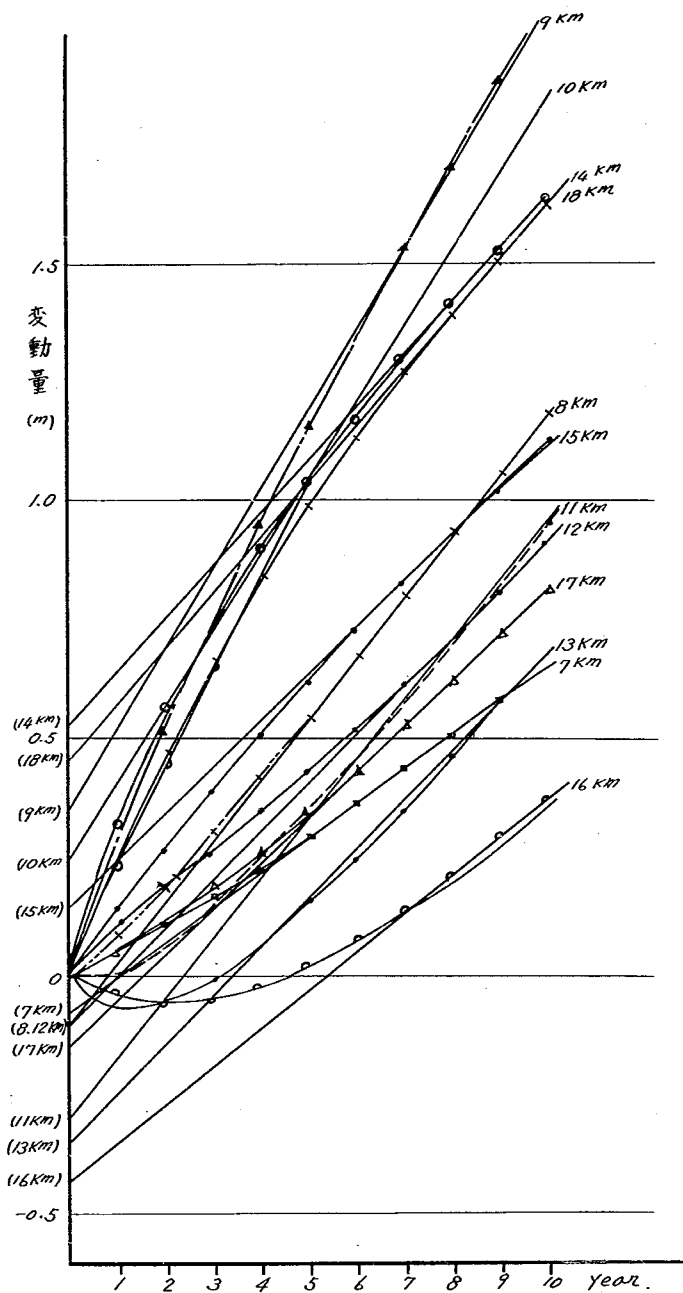


図 I - 13

I-9 河道計画における問題点

一般に河道の安定の条件として「縦断方向に流砂量が一定」ということが考えられやすい。これは河道の安定にとっては十分な条件であるが、対象とする河川の勾配が一様でないときは求められる縦断形状が現状のそれとかなりちがったものとなり非現実的になる場合が多いであろう。

一方河道計画の観点から考えると例え河床の上昇又は下降が予想されてもその大きさが計画本来の機能を阻害するには至らない場合、或は掘削埋戻し等によって機能を維持する用意のある場合には広義の意味で安定と言っても差支えないであろう。変動量の大きさは(1.26)式によって推定できるが、例えば河床勾配 $1/1,000$ 、年総流量 $5 \times 10^9 \text{ m}^3$ の吉野川クラスの河川をとってみると供給される流砂量はせいぜい次のような値である。

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= \frac{h^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g} n} = \frac{(2.0)^{\frac{1}{6}}}{3.13 \times 0.035} = 10.2 \\ Q_B &= \frac{\varphi F}{\varphi_0 (\sigma/\rho - 1)} i Q \\ &= \frac{0.623 \times 1}{10.2 \times 1.65} \times \frac{1}{1000} \times 5 \times 10^9 \\ &= 0.185 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{year} \end{aligned}$$

この砂礫がすべて河床に堆積したとしても現在河川工事に使われる掘削能力にくらべればそれほど問題にならないと思われる。そこで河床変動が直接の関心事である急流河川等を除き、普通の河川の場合には、まず河川に要請される機能に応じた河道計画を作成した後に河床変動量を推定してその対策を河道計画につけ加えてゆくという検討方法で充分であると思われる。

次に急流河川が流下とともにその勾配を減じつつあるような区間を河道計画の対象とする場合を考えてみる。このような例としては先にあげた扇状地末端附近の他にその下流側にダムのような人工的な基準面を設定された河道部分や勾配の大きい河川がこれより勾配の小さい河川に合流する場合等が考えられる。

前節で検討した如く、このような区間では流砂量は縦断的に変化しており河床は必然的に上昇することが予想される。とくに上流に崩壊を予想される山地をもつ場合には異常出水の際の流出土砂が河床上昇をまねき、直ちに災害に結びつく可能性がある。

このような区間では前節に述べた如く縦断形の設定という面だけでは安定な河道を得ることは出来ないから掘削計画、砂防工事等の対策もあわせた計画が必要である。前節で検討した常願寺川の河床変化は上流に砂防ダムを設置されていない期間のものであって最近では砂防ダムの進捗のためかなり小さくなっている。最近では各河川とも上流に砂防ダム或は、貯水池が設置されることが多いから、そのような場合でも前節のような検討が適用できるかどうかは今後検討していく必要があると思われる。

いずれにしても急流河川の勾配変化部については河床の上昇という時間と共に進む現象を考慮

して柔軟な計画を設定する事が必要と思われる。

参 考 文 献

- (1) 杉 尾 捨三郎 「ダム上流部の堆積形状について」土木学会論文集第93号(1963)
- (2) Forchheimer:Hydraulik (1930)より引用
- (3) 物 部 長 穂:物部水理学(1933)
- (4) 安 芸 峻 一:河 相 論(1951)
- (5) 増 田 ・ 河 村 「河川の静的平衡勾配について」土木学会論文集70号(1960)
- (6) Sugio, s : On the Equilibrim Bed Slope in a Steady Unifor Uniformflow"
Jour. of the Faculty of Eng. Shinshu Univ. No7 (1957)
- (7) 杉 尾 捨三郎 「ダム上流の堆砂現象について」第6回水力講演会(1961)
- (8) 土 屋 義 人 「流路の安定形状に関する研究」京都大学防災研究所年報5号A(1962)
- (9) 須 賀 堯 三 「変断面水路における平衡縦断形状について」(英文)土木学会論文集
144号(1967)
- (10) 増 田 ・ 河 村 「流砂ある河川における平衡勾配について」土木学会論文集70号
(1960)
- (11) 土 木 研 究 所 「河床変動に関する研究」建設省技術研究会(1966~8)
- (12) 下記谷津の論文の解説より引用した。
- (13) 谷 津 栄 寿 「平衡河川の縦断面形について」(1)。(2)。(3)。(資源科学研究所集報33,
34,35号)
- (14) 資源調査会「常願寺川流域の土地保全問題」資源調査会資料第42号(1955)
- (15) これは天田高白氏(砂防研究室研究員)が整理したものである。
- (16) 三 井 嘉都夫 「常願寺川に於ける堰堤の堆砂と河床の変化について」資源科学研究所集
報37号(1955)
- (17) 計算法は下記文献による
Mc Gracken Dorn "Numerical methnds and Fortran Programing" John
Wiley and Sons. Inc.(1964)

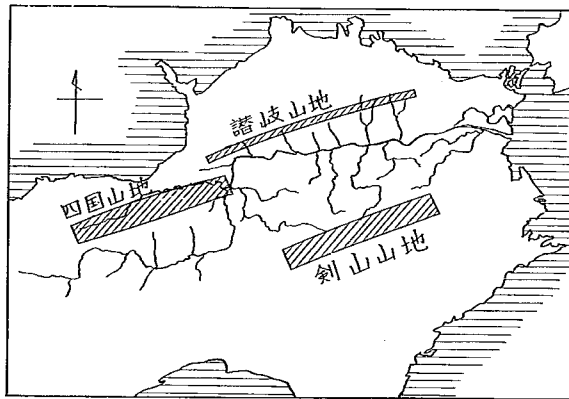
Ⅱ 吉野川の土砂流送特性について

河川の土砂の移動は水の流れによって生ずる。そこで流れの様子を調べておくことが土砂の移動を考えるときの基礎として重要である。又河道の特性、例えば川巾、勾配、河床材料等は水の流れの境界条件として重要であるばかりでなく土砂移動の実情を反映したものであるから、これについて調べておくことも重要と思われる。更に支川は土砂の供給源となりうるものであるからこれについての知識も必要である。

以上の資料をもとにして土砂の移動の様子、とくにどれ位の流量になると土砂が動くか、或は土砂の輸送形態が浮遊か掃流等の検討を行う。流送される土砂の量については流砂量公式を用いて一応の推定が出来るが、実験室で求められた流砂量公式がそのまま現地に適用できるかどうかは不明であるからこの点に関しては河床変動の実測値と比較しながら検討することが必要なので次章（「過去の河床変動の検討」）において検討することにする。

Ⅱ-1 吉野川の流域について

図Ⅱ-1は吉野川流域平面図である。流域面積は $3,650\text{ km}^2$ 幹川流路延長 190 km となっている。吉野川は源を高知県瓶ヶ森に発し四国中央部を東流して豊永附近より北転して四国山地



図Ⅱ-1

を横断し、その途中で左支川銅山川、右支川祖谷川をあわせ池田町に出る。これより再び東流をはじめると同時にしだいに平野を展開し左右岸の小支川をあわせながら岩津の狭窄に至る。これより左岸に北側讃岐山地のふもとに形成される扇状地を見て第十堰に至り左岸に旧吉野川を分派した後徳島市北側で紀伊水道に注ぐ。

流域の大部分を占める山地（ $3,210\text{ km}^2$ ）の特徴を見ると、上流及中下流の右岸側に位置する四国山地及剣山山地は四国外帯山地と称されており造陸運動（ゆるい地波をなす地殻の変動であつて狭い範囲を見れば全体として上昇或は下降しているようにみえる運動）を受けている。地質は北側より三波川系変成岩、古生層、中生層の順で配置されており花崗岩等の露出は少ない。地形を見ると古い地質時代に土地が高められたので侵食力の回春をおこし深い峡谷を切り込みかつ曲流していわゆる嵌入蛇行を

行なっている。しかし川の縦断面を見るとゆるやかで山奥に入ってから急傾斜をなして山頂に至る。*)

一方中下流左岸に位置する讃岐山地は中央構造線を含み造山運動（せまい範囲で土地の上昇と下降とが行われ褶曲運動や断層運動をひきおこしている地殻運動）をおこしている。この地域の地質は和泉砂岩とよばれ流出する土砂が多く山麓に扇状地を形成している。これらの支川の主なものは表Ⅱ-1 のようであって後に述べるように吉野川の供給土砂として大きな役割を果たしているのである。

表Ⅱ-1 吉野川左支川（河口～池田）

河口～岩津	幹川流路延長 km	流域面積 km ²
熊谷川	6.0	7.6
九頭宇谷川	6.7	13.6
柿木谷川	5.9	8.2
日開谷川	17.4	60.5
九栗谷川	4.6	3.4
大久保谷川	8.0	8.3
伊沢谷川	10.3	15.1
芝生谷川	5.4	8.7
岩津～池田		
曾父江谷川	21.6	69.5
大谷川	7.3	10.6
井口谷川	7.0	11.2
野村谷川	11.2	23.4
鍋倉谷川	7.2	9.0
中鳥川	4.0	15.2
河内谷川	9.6	28.0
小川谷川	9.3	33.0
鮎苦谷川	15.8	30.5
馬路川	10.0	30.8

次に流域の水文特性を見ると、吉野川は地理的に台風の進路に横たわっているため我国有数の多雨地帯となっている。このため流量とくに洪水流量が大きく、土砂の流送能力が大きくなっている。表Ⅱ-2、図Ⅱ-2は昭和30年より38年までの9年間の中央橋（河口より25km）地点の流況を整理したものである。

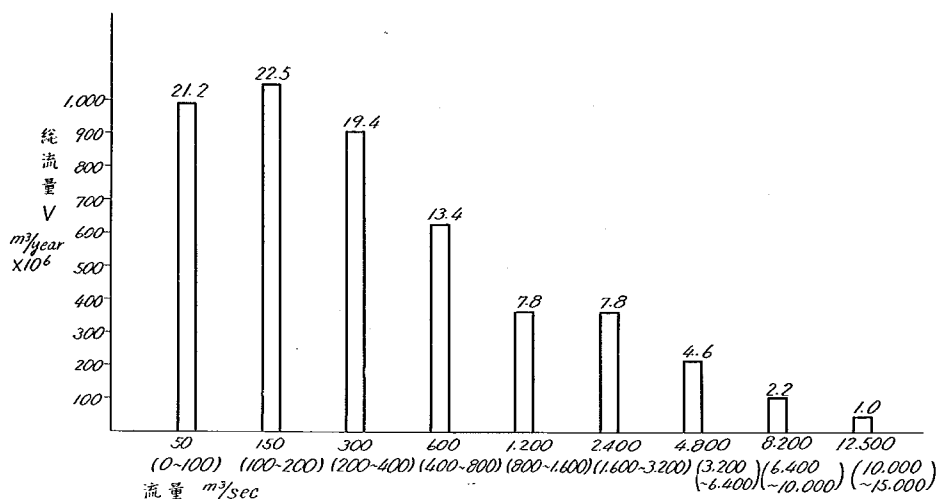
以上の流域の特徴から吉野川の河床変動を考えるととき中下流左岸の土砂流出に注意する事が大事と思われる。

なお外帯山地に多く存在する地すべり地帯の土砂流出への影響は山麓に堆積地形をもたないこと等より判断してあまり大きくないことが想像される。¹⁾

表Ⅱ-2 吉野川流況（時間）

年	0～ 100 m ³ /s	100～ 200 m ³ /s	200～ 400 m ³ /s	400～ 800 m ³ /s	800～ 1600 m ³ /s	1600～ 3200 m ³ /s	3200～ 6400 m ³ /s	6400～ 10000 m ³ /s	10000～ 15000 m ³ /s
	50 m ³ /s	150 m ³ /s	300 m ³ /s	600 m ³ /s	1200 m ³ /s	2400 m ³ /s	4800 m ³ /s	8200 m ³ /s	12500 m ³ /s
30	5826.0	1624.5	579.2	279.8	101.0	48.4			
31	3253.6	2059.9	1364.8	436.3	55.6	38.2	45.9	3.2	
32	4242.9	1343.3	881.8	490.7	175.5	63.2	22.7		
33	5814.5	2774.0	892.7	144.8	77.7	16.9			
34	5874.7	2755.5	855.9	201.7	35.2	57.2	20.1	4.5	
35	7176.2	1570.8	598.5	175.7	57.3	42.8			
36	5631.1	2365.3	664.9	331.1	107.7	58.3	6.3	3.1	9.6
37	5468.5	1120.8	587.1	135.3	16.9				
38	5046.1	1796.6	991.9	509.4	132.0	50.9	14.1	20.8	
計	48333.6	17410.7	7416.8	2704.8	758.9	375.9	109.1	31.6	9.6

*）科学技術庁「吉野川流域の水害地形と土地利用」（資源局資料54号）1963年



図Ⅱ-2 吉野川流況

Ⅱ-2 吉野川の河道について

次に今回河道計画の対象となっている岩津狭窄より河口までの40kmの河道についてその性質を調べてみよう。

図Ⅱ-3はこの区間の改修平面図である。図Ⅱ-4はこの区間の河川巾(堤防間隔)である。この図から吉野川の河道の特徴として次の点が挙げられる。

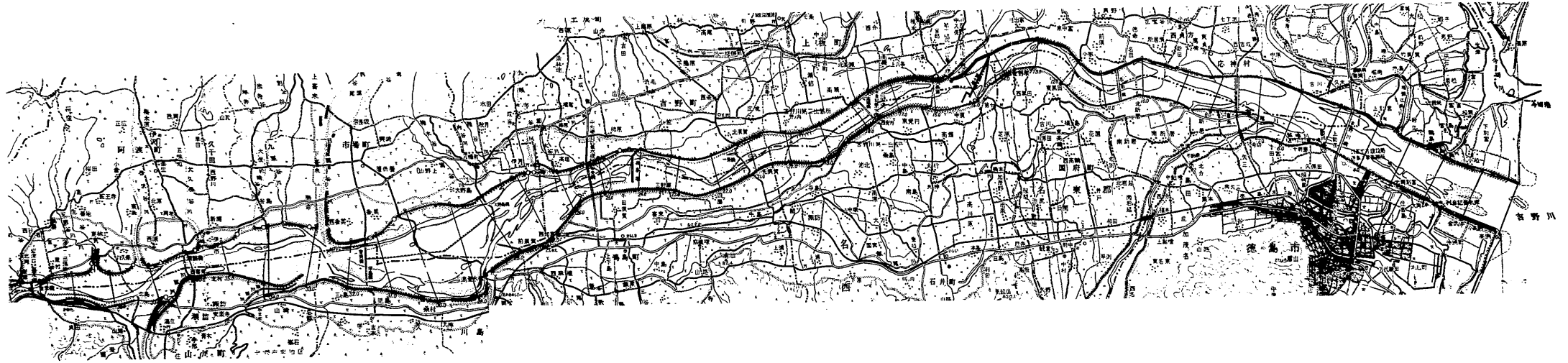
- ① 26k~32kにかけて善入寺島とよばれる大きい砂州が河道中央に存在する。そのためこの部分で川巾が非常に大きくなっていること。
- ② 40km地点に岩津狭窄とよばれる狭窄部が存在し川巾が非常に小さくなっている。

図Ⅱ-5はこの区間の平均河床高の縦断図である。これを見ると縦断形の特徴として次の点が挙げられる。

- ① 河口より5km位までは河床勾配は殆んど水平になっている。
- ② 5kmより上流は順次その勾配を増し26kmより34kmの8kmの間で標高差20.6m 河床勾配 2.57×10^{-3} (約1/400) となっている。
- ③ これより上流は約2kmほど河床勾配のゆるい区間となっており、これより上流で再び急勾配(約1/500)となつて39kmに至る。
- ④ 40kmの狭窄部では河床高が低くなっており39k~40kの区間では逆勾配になっている。

上のような現象は非常に興味あるものでありその理由について考察しなければならないがその前に河床材料の構成について検討することにする。表Ⅱ-3は河口より60kmの区間の河床材料の構成を調べたものである。断面毎に構成の変化は非常に激しいが全体的には図Ⅱ-6のよう

吉野川改修計画平面図



凡 例		
工 件		疑 邊
		漫 磨 石 瓦
		水 制
		滑 膜
		砂 面 成 梯 形
其 他		通 孔 通 孔 以 內
		自 記 量 水 坡
		定 量 定 坡
注 意 點		定 量 定 坡

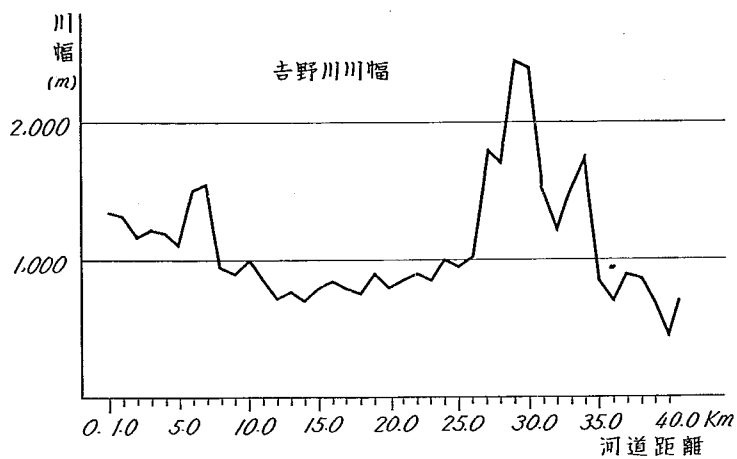


図 II - 4

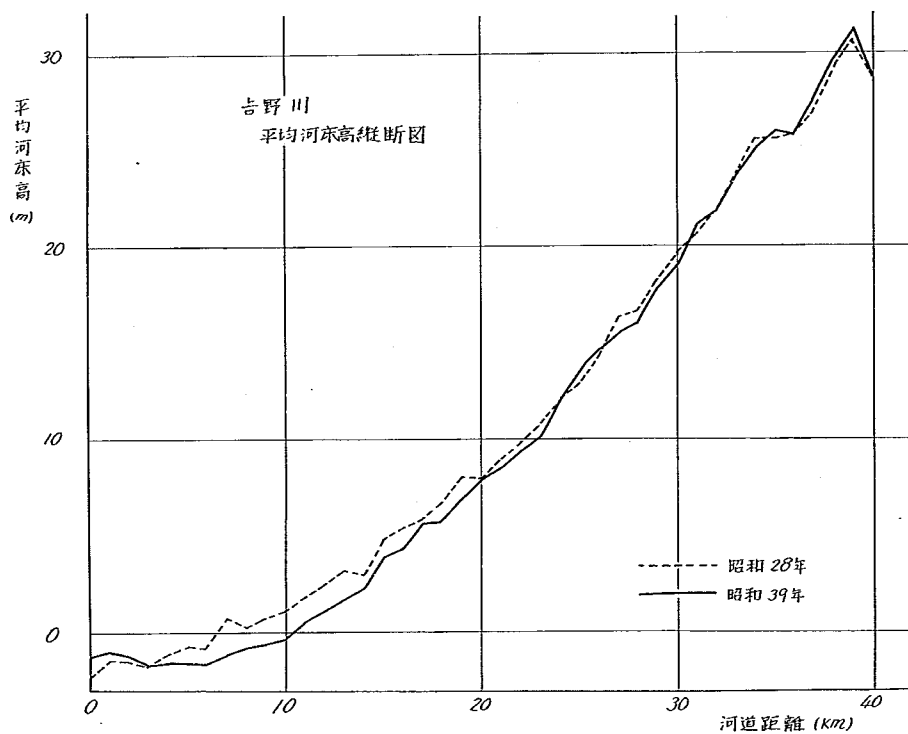


図 II - 5

表Ⅱ-3(a) 総括表 (吉野川 1/0 ~ 22/0)

試料番号	土粒子の 比 重	最大径 (mm)	60%径 (mm)	10%径 (mm)	均等係数	平均粒径 (mm)	フ ル イ 分 重 量 散 百 分 率 表 (g)																						
							100mm	80	60	50	40	25	20	10	5	2	0.84	0.42	0.25	0.11	0.074	0.052	0.037	0.024	0.014	0.010			
1/0	1	2.73	50	0.31	0.14	2.2	0.3									100	999	998	989	872	376	1.8	1.1						
1/0	2	2.70	100	0.42	0.18	2.3	0.4									100	999	993	979	919	594	204	1.0	0.6					
3/0	1	2.75	0.84	0.33	0.2	1.7	0.3										100	998	771	161	1.4	0.1							
3/0	2	2.73	20	0.38	0.18	2.1	0.4										100	992	683	183	1.9	1.4							
5/0	1	2.68	50	0.4	0.18	2.2	0.4									100	995	980	934	624	178	0.7	0.7						
5/0	2	2.70	100	0.5	0.16	3.1	0.9									100	997	965	866	768	499	204	3.0	2.3	1.0				
7/0	1	2.72	500	0.6	0.14	4.3	7.2			100	981	900	812	708	672	652	632	524	245	3.9	3.2	2.9							
7/0	2	2.70	400	0.5	0.2	2.5	2.1				100	991	974	921	888	846	757	476	151	3.0	2.4	1.9	0.4						
7/0	3	2.72	100	0.34	0.2	1.7	0.4									100	999	998	995	981	744	161	1.2	0.9					
9/0	1	2.66	600	3.6	0.45	8.1	8.5			100	986	946	859	829	772	673	466	293	62	1.5	0.7	0.6							
9/0	2	2.67	500	8.5	0.4	21.3	12.7			100	982	917	785	725	621	493	332	261	91	2.6	0.9	0.8							
9/0	3	2.69	500	11.0	1.04	27.5	14.4			100	100	890	707	664	589	479	384	321	113	2.0	0.8	0.7							
11/0	1	2.67	800	12.0	0.8	15.0	16.1			100	961	913	880	737	686	560	441	253	98	1.2	0.2	0.1	0.1						
11/0	2	2.68	800	10.0	0.48	20.8	15.5			100	976	942	815	704	669	602	519	389	268	4.7	1.4	0.9	0.8						
11/0	3	2.68	600	6.5	0.65	10.0	12.4			100	982	862	800	759	671	517	251	139	29	1.0	0.5	0.4							
13/0	1	2.70	800	3.8	0.42	9.0	10.7			100	972	916	887	832	814	789	689	395	226	8.3	2.6	0.5	0.5						
13/0	2	2.71	800	2.2	0.3	7.3	10.8			100	980	919	849	818	811	800	747	576	433	20.6	5.4	1.2	0.9						
13/0	3	2.69	800	0.5	0.3	1.7	0.9			100	993	993	978	966	963	962	954	934	826	424	11.8	1.5	1.3						
15/0	1	2.67	600	16.0	0.6	2.7	15.8			100	990	912	764	664	491	401	306	176	3.8	0.8	0.3	0.3							
15/0	2	2.68	600	13.0	0.8	16.3	13.8			100	977	933	791	709	528	390	241	110	24	1.0	0.5	0.5							
15/0	3	2.66	500	2.0	0.4	5.0	9.2			100	990	926	825	793	726	660	600	386	8.7	23	0.7	0.5							
16/0	1	2.69	1000	24.0	0.5	48.0	23.5	100	955	908	881	745	612	555	443	349	250	172	60	2.2	0.6	0.4							
16/0	2	2.69	600	7.2	0.44	16.4	12.3			100	951	885	811	763	653	543	408	292	68	1.6	0.6	0.4	0.3	0.1					
16/0	3	2.69	800	25.0	0.46	54.3	22.4	100	943	834	737	600	551	453	370	284	214	76	3.7	2.5	2.4								
16/5	1	2.70	1000	17.0	0.7	24.3	24.8	94.3	891	856	810	775	704	642	478	405	144	104	58	1.8	0.5	0.4							
16/5	2	2.70	600	11.0	0.36	30.6	11.7			100	987	952	849	768	568	433	316	233	121	2.0	0.3	0.3							
16/5	3	2.68	800	35.0	0.65	53.8	27.0	100	889	820	636	529	466	392	307	206	124	51	0.9	0.5	0.3								
17/0	1	2.68	800	9.0	0.75	12.0	15.0			100	974	939	859	755	720	626	489	267	118	2.5	0.5	0.1	0.1						
17/0	2	2.67	600	5.5	0.53	10.4	12.6			100	921	856	793	756	699	593	388	207	53	1.2	0.2	0.1							
17/0	3	2.69	800	4.6	0.4	11.5	12.9			100	979	953	853	750	727	688	614	422	298	1.1	3.3	0.5	0.4						
17/5	1	2.70	1000	16.0	0.48	33.3	19.1	100	969	931	871	812	686	633	541	438	336	240	52	1.2	0.4	0.3							
17/5	2	2.68	800	27.0	0.43	56.3	20.0			100	969	854	709	588	574	551	496	362	251	85	3.1	1.0	0.8						
17/5	3	2.68	800	1.4	0.26	5.4	10.3			100	972	944	847	791	789	786	759	646	511	22.9	90	3.0	2.6	1.8					
18/0	1	2.69	600	16.0	0.5	32.0	16.1			100	965	882	728	654	486	352	230	166	68	0.9	0.3	0.3							
18/0	2	2.71	1000	23.0	0.44	52.3	24.3	100	957	881	828	733	636	563	423	335	249	197	84	2.2	0.5	0.4							
18/0	3	2.69	600	5.4	0.44	12.3	12.3			100	100	938	923	822	756	637	546	458	400	8.9	1.4	0.3	0.3						
18/5	1	2.69	1000	30.0	0.75	40.0	27.6	100	952	811	734	686	576	527	416	332	212	113	4.2	0.2	0.1	0.1							
18/5	2	2.67	800	15.0	0.7	18.6	15.7			100	975	932	861	772	707	537	461	258	131	2.9	0.7	0.5	0.5						
18/5	3	2.68	500	20.0	0.6	33.3	17.7			100	936	906	828	692	606	477	375	266	160	4.0	1.7	0.9	0.7						
19/0	1	2.68	800	12.0	0.55	21.8	14.1			100	966	930	894	789	718	574	496	389	214	3.8	0.9	0.3	0.3						
19/0	2	2.65	1300	26.0	0.5	52.0	30.0	94.3	866	849	796	792	582	534	446	388	327	207	48	1.2	0.2	0.1							
19/0	3	2.69	1000	24.0	0.7	34.3	20.3	100	972	972	962	767	616	537	434	323	193	120	4.9	1.6	0.6	0.6							
20/0	1	2.70	1000	6.0	0.33	18.2	13.7	100	983	941	899	854	784	725	638	586	539	455	169	4.9	0.9	0.7							
20/0	2	2.71	800	36.0	0.7	51.4	26.5			100	949	865	627	456	437	383	296	182	122	5.7	2.6	0.7	0.5						
20/0	3	2.70	600	38.0	0.36	105.6	28.2			100	886	654	358	312	275	251	224	189	106	4.6	1.7	1.5							
21/0	1	2.70	800	27.0	0.35	77.1	19.9			100	966	869	773	580	567	543	486	336	252	122	5.8	2.6	2.4	2.3	2.0	1.5	0.9		
21/0	2	2.70	800	5.5	0.5	11.0	10.6			100	972	949	898	846	837	821	563	285	183	7.2	2.7	0.9	0.9						
21/0	3	2.71	600	5.5	0.4	13.8	10.9			100	987	972	795	738	638	537	357	260	109	2.0	0.4	0.4							
22/0	1	2.67	800	18.0	0.44	45.0	22.2			100	851	785	722	653	608	546	486	387	256	8.3	2.8	1.0	0.7						
22/0	2	2.70	1200	50.0	0.72	69.4	42.3	93.7	866	770	618	456	357	344	329	309	224	127	3.7	1.1	0.2	0.2							
22/0	3	2.69	800	35.0	5.0	7.0	30.4	100	977	894	842	687	434	430	180	114	38	2.6	1.3	0.4	0.1	0.1							

表 II - 3 (b) 縮 括 表 (吉野川 23/0 ~ 40/6)

試料番号	土粒子の 比 重	最大径 (mm)	60号篩 (mm)	10号篩 (mm)	均等係数	平均粒径 (mm)	フ ル イ 分 取 量 百 分 率 表 (%)																					
							100mm	80	60	50	45	25	20	10	5	2	0.84	0.42	0.25	0.11	0.074	0.052	0.037	0.024	0.014	0.010		
23/0	1	2.69	100.0	18.0	1.4	12.9	21.3	100	95.1	92.4	90.1	84.9	72.6	63.4	39.6	23.1	1.0	0.84	0.42	0.25	0.11	0.074						
	2	2.70	100.0	16.0	0.5	32.0	1.98	100	96.9	92.8	85.2	77.3	67.8	62.8	51.9	42.1	29.3	16.1	6.4	1.2	0.2	0.1						
	3	2.69	80.0	34.0	0.9	37.8	2.70	100	100	95.9	82.5	70.8	43.0	39.3	31.7	23.8	15.7	10.6	5.5	2.0	0.6	0.5						
24/0	1	2.69	80.0	36.0	2.5	14.4	29.0	100	100	98.7	84.7	65.3	43.0	34.1	22.9	14.5	3.1	1.6	0.3	0.1	0.1	0						
	2	2.69	100.0	52.0	0.85	61.2	41.6	100	87.8	72.8	55.6	42.4	33.5	30.4	26.4	22.6	16.3	9.9	2.2	2.1	1.8	1.8						
	3	2.70	100.0	20.0	0.38	52.6	2.27	100	95.3	89.6	83.2	71.6	64.4	59.1	51.2	42.5	33.2	26.4	12.3	3.9	1.3	1.1						
24/5	1	2.68	120.0	60.0	2.5	24.0	50.7	91.7	76.6	62.3	46.7	33.5	27.2	26.7	26.0	21.8	4.8	3.3	1.2	0.5	0.2	0.2						
	2	2.69	120.0	32.0	6.0	53.3	3.64	92.6	85.5	81.6	70.1	61.1	50.0	41.2	27.6	18.1	7.3	5.6	1.5	0.6	0.2	0.2						
	3	2.70	100.0	34.0	0.4	85.0	27.1	100	92.4	84.3	75.9	66.3	54.2	51.1	47.6	41.4	32.8	23.5	9.0	2.8	0.4	0.4						
25/0	1	2.68	110.0	35.0	0.44	79.5	33.2	91.8	87.3	88.0	72.8	62.2	54.0	51.5	47.5	42.6	30.6	20.0	9.1	3.6	1.4	1.2						
	2	2.69	100.0	28.0	0.8	35.0	26.8	100	94.0	88.0	77.3	69.5	56.2	51.1	38.6	28.9	18.1	10.5	4.9	2.4	0.8	0.7						
	3	2.70	60.0	14.0	0.5	28.0	15.1	100	95.2	89.3	77.3	69.9	48.3	35.7	25.5	19.2	6.9	2.4	6.9	0.7								
25/5	1	2.70	40.0	9.5	0.48	19.8	9.2	100	94.0	83.2	61.1	45.0	31.5	22.9	5.7	1.6	0.6	0.4										
	2	2.69	120.0	32.0	1.2	26.7	3.64	90.7	76.3	74.2	70.4	64.7	56.1	50.3	38.9	26.6	3.5	7.8	4.4	2.1	1.0	0.9						
	3	2.71	80.0	30.0	0.6	50.0	2.92	100	84.9	79.6	79.6	66.5	56.8	52.7	43.7	35.3	23.9	13.3	6.6	1.4	0.4	0.3						
26/0	1	2.66	80.0	28.0	1.2	23.3	25.0	100	94.6	82.4	75.9	55.6	43.9	33.1	22.7	14.6	6.4	2.1	1.3	0.7	0.6							
	2	2.70	100.0	32.0	0.4	80.0	26.7	100	96.5	93.6	77.9	66.8	53.8	48.0	37.1	27.0	9.8	16.5	9.2	5.0	2.5	2.2						
	3	2.70	100.0	42.0	0.4	105.0	35.4	84.2	82.0	76.6	69.2	57.7	49.0	48.0	47.1	41.8	31.6	24.4	11.1	5.0	0.2	0.2						
27/0	1	2.70	100.0	30.0	0.75	40.0	30.8	100	87.6	78.4	72.9	56.9	54.9	50.4	41.5	31.8	20.1	11.3	4.9	2.6	1.1	0.9						
	2	2.71	100.0	0.8	0.28	2.9	1.33	100	92.8	92.8	88.5	85.2	81.4	81.1	80.8	76.3	71.6	63.4	23.8	6.4	1.7	1.4						
	3	2.69	120.0	40.0	2.5	16.0	39.7	93.2	90.6	88.6	75.5	59.5	34.1	32.2	30.9	22.4	5.9	4.5	1.1	1.3	0.1	0.1						
28/0	1	2.71	150.0	43.0	0.5	85.0	36.1	95.6	88.2	80.7	69.2	55.4	38.3	35.5	31.8	27.2	16.3	7.6	3.3	1.4	0.7							
	2	2.73	100.0	34.0	0.8	42.5	31.5	100	89.4	83.1	76.2	68.7	54.1	44.0	36.0	29.4	18.3	10.6	4.1	1.7	0.7	0.6						
	3	2.70	120.0	50	0.45	11.1	17.0	96.4	93.8	88.9	87.8	84.9	81.5	78.5	73.6	60.0	37.1	24.7	7.5	3.2	1.7	1.7						
29/0	1	2.70	80.0	25.0	0.8	31.3	25.8	100	91.6	87.2	79.5	70.6	61.2	53.5	40.4	30.0	20.1	11.4	3.7	1.2	0.6	0.6						
	2	2.70	100.0	13.0	0.8	16.3	19.0	100	95.3	92.4	90.3	84.1	75.3	69.1	33.8	39.2	20.9	11.0	2.7	1.0	0.3	0.3						
	3	2.72	150.0	48.0	1.2	40.0	50.4	81.0	77.2	67.1	62.1	55.4	47.7	42.5	32.2	25.2	16.9	5.6	3.4	1.4	0.6	0.6						
31/0	1	2.69	130.0	25.0	1.3	19.2	43.5	81.1	76.9	74.4	70.6	64.5	51.0	44.8	32.7	22.8	13.0	7.1	3.8	2.0	0.8	0.7						
	2	2.70	100.0	31.0	0.7	44.3	26.2	100	95.2	93.2	81.0	67.3	54.5	49.8	42.4	36.4	26.2	12.0	4.0	1.9	0.7	0.6						
	3	2.68	100.0	14.0	0.85	16.5	18.5	100	96.6	93.4	90.4	86.2	76.0	69.7	52.7	38.9	24.1	10.0	2.5	0.9	0.4	0.3						
33/0	1	2.71	130.0	30.0	0.6	50.0	30.1	96.3	94.4	82.6	72.7	66.0	55.1	47.8	38.0	28.9	22.7	13.8	4.9	1.5	0.3	0.2						
	2	2.71	150.0	55.0	1.1	50.0	56.9	85.7	65.9	60.7	57.2	53.7	47.3	42.8	33.6	26.0	16.5	7.9	3.3	2.1	0.8	0.7						
	3	2.71	140.0	35.0	0.8	43.8	40.9	86.4	78.0	68.6	67.3	63.1	53.8	48.9	37.9	31.2	22.2	11.0	3.6	1.8	0.8	0.6						
35/0	1	2.71	130.0	50.0	1.1	45.5	43.8	91.0	81.3	68.0	59.6	53.4	45.3	61.5	33.1	24.7	14.2	8.1	3.0	1.2	0.4	0.3						
	2	2.71	80.0	12.0	0.5	24.0	21.4	100	87.7	83.7	82.0	75.8	70.6	66.7	57.2	48.6	37.0	23.4	7.3	1.9	0.7	0.6						
	3	2.72	120.0	45.0	0.7	68.6	40.9	84.3	78.6	69.2	61.5	53.4	46.7	42.5	33.0	25.9	23.9	11.8	6.0	3.5	0.5	0.5						
37/0	1	2.71	140.0	23.0	0.8	28.8	31.0	92.0	92.0	86.5	80.6	72.6	62.7	57.3	45.1	33.8	20.0	9.9	4.5	2.5	1.3	1.1						
	2	2.69	80.0	13.0	0.8	16.3	15.6	100	98.0	92.9	86.8	75.9	68.6	53.3	39.1	23.2	10.4	2.8	1.5	0.3	0.3	0.3						
	3	2.72	140.0	56.0	2.0	28.0	59.9	68.6	68.6	61.9	56.1	48.9	42.8	36.1	26.8	19.6	9.7	3.7	1.9	1.4	0.9							
39/0	1	2.70	60.0	7.2	0.4	18.0	13.0	100	98.7	92.0	80.6	71.3	69.0	46.9	27.7	21.4	10.4	4.0	2.4	2.2								
	2	2.72	100.0	22.0	1.4	15.7	23.3	100	97.8	93.2	85.3	80.7	64.6	54.5	34.2	22.0	11.2	6.7	4.0	3.0	1.9	1.7						
	3	2.71	80.0	32.0	1.0	32.0	31.2	100	81.2	81.2	72.3	66.7	54.3	48.9	35.3	25.6	14.7	9.7	4.0	2.0	1.0	0.9						
40/6	1	2.71	80.0	24.0	0.5	48.0	23.2	100	89.3	82.3	75.4	62.0	55.0	44.3	38.2	30.6	19.6	6.3	1.8	0.5	0.3							
	2	2.70	100.0	22.0	0.5	44.0	27.2	96.8	88.4	83.1	76.0	71.0	62.0	57.7	48.9	43.0	24.4	21.1	6.5	1.8	0.7	0.6						
	3	2.71	100.0	30.0	0.6	50.0	26.5	100	94.6	84.7	77.7	67.1	56.5	52.1	44.5	38.3	30.9	15.5	4.1	1.2	0.5	0.5						

表 1-3 (c) 粒 度 試 験 及 び 比 重 試 験 結 果 表

秤 値		フ ル イ 通 過 重 量 百 分 率 (%)																	最大径	60% 径	10% 径	均 等 係 数	平 均 粒 径	比 重							
		100	80	60	50	40	30	25	20	15	10	5	2.5	1.7	1.2	0.6	0.3	0.15						0.088	0.074	5mm以上	5mm以下	平均			
32k000	左		100	98	91	86	81	78	77	76	74	70	61	54	44	19	5	1	1	1	800	240	0.41	5.85	111.7	2609	2634	2626			
	中	100	96	75	71	64	61	56	51	48	41	35	30	28	26	13	2	1	0	0	1550	2800	0.54	5.185	2862	2615	2628	2620			
	右	100	91	88	83	73	64	62	60	58	57	55	52	49	47	44	42	24	21	21	21	1220	2500		33.88	2599	2641	2621			
33k000	左	100	96	92	81	67	59	49	45	43	40	35	23	17	12	4	2	1	1	1	1000	3100	1.10	2818	2617	2615	2623	2618			
	中	100	89	67	64	60	57	54	51	47	44	39	34	30	27	24	15	6	2	2	2	1280	5300	0.41	12927	4282	2620	2628	2623		
	右																				400	0.50		0.74		2647					
34k000	左	100	87	84	82	79	76	71	67	65	60	53	47	43	36	15	4	1	1	1	1000	1050	0.47	2234	2235	2615	2628	2622			
	中																				600	1.10	0.20	550	834	2636	2604	2612			
	右	100	98	93	91	82	79	74	63	59	49	39	31	27	23	13	6	3	2	2	1000	1700	0.46	3696	1762	2621	2625	2623			
35k000	左	100	95	81	75	69	63	60	55	49	46	39	32	27	24	21	12	4	2	1	1	1610	3100	0.52	5982	3435	2641	2649	2644		
	中	100	85	69	60	56	49	45	39	55	37	20	16	14	12	6	2	1	1	1	1000	4900	1.00	4900	3852	2726	2649	2710			
	右																				600	2300	7.00	329	2071	2626	2639	2627			
36k000	左	100	90	83	82	78	70	66	62	56	53	45	36	24	19	15	9	3	1	1	1	1480	2300	0.66	3485	3325	2658	2611	2647		
	中	100	87	85	81	78	75	73	70	67	64	59	54	45	38	20	14	5	2	2	2	1460	1100	0.43	2558	2828	2768	2610	2680		
	右	100	89	80	74	70	66	57	50	47	38	30	26	23	21	14	6	3	2	2	2	1000	2500	0.45	5556	2885	2660	2631	2651		
37k000	左	100	86	73	69	64	56	51	47	38	27	18	15	13	8	4	2	1	1	1	800	2750	0.79	3481	2624	2625	2622	2624			
	中	100	87	83	76	68	63	57	50	39	30	20	14	11	8	5	3	1	1	1	1000	2700	1.50	1800	3122	2730	2611	2705			
	右	100	95	88	82	75	69	63	55	51	40	28	20	18	16	13	9	4	3	2	2	1000	2400	0.35	6857	2425	2676	2646	2668		
38k000	左	100	90	79	71	67	63	49	45	39	35	28	20	16	14	12	6	2	0	0	0	1220	3750	0.95	3947	3969	2647	2632	2644		
	中	100	89	87	81	77	72	64	59	49	39	32	28	24	16	6	2	1	1	1	800	1700	0.38	4474	1873	2601	2631	2613			
	右	100	76	68	62	57	51	47	43	39	36	31	25	20	17	15	7	2	1	1	1	1620	5600	0.77	7273	5398	2646	2636	2643		
39k000	左	100	93	93	84	77	68	61	49	38	33	20	11	7	6	5	3	2	2	2	2	1270	2950	4.30	686	3414	2619	2637	2621		
	中	100	98	97	90	83	79	75	69	65	56	45	33	28	24	17	6	2	1	1	1	1000	1150	0.41	2805	1609	2594	2631	2611		
	右	100	91	85	80	73	67	63	57	54	45	35	24	20	17	11	5	1	1	1	1590	2400	0.52	4615	3387	2609	2623	2620			
40k000	左																				100	100	0.95	48	6	2	2	1.7	0.31		
	中																				100	99	99	91	36	2	1	1	50	0.34	
	右																				100	99	98	97	87	49	19	16	15	50	0.33
40k600	左																				100	100	0.95	48	6	2	2	1.7	0.31		
	中																				100	99	98	97	87	49	19	16	15	50	0.33
	右																				100	99	98	97	87	49	19	16	15	50	0.33
41k000	左	100	94	90	84	79	73	69	65	59	56	48	38	33	30	26	15	3	1	1	1	1380	1850	0.47	3936	2630	2597	2623	2607		
	中	100	95	89	86	77	62	54	46	36	31	21	15	12	11	10	7	3	1	1	1	1120	3600	1.10	3273	3415	2586	2621	2591		
	右	100	96	77	66	59	51	47	42	36	33	26	19	15	13	12	8	3	1	1	1	1370	5100	0.86	5930	4314	2588	2576	2586		
42k000	左	100	81	77	64	58	53	48	43	41	36	32	27	25	23	13	3	1	1	1	1	1000	4400	0.50	8800	5581	2640	2647	2642		
	中	100	95	87	76	60	51	46	41	38	36	31	27	20	16	12	4	2	2	1	1	1330	6000	1.10	5455	3812	2648	2614	2639		
	右	100	92	75	61	52	44	35	32	22	14	6	4	3	1	1	1	1	1	1	1	800	3900	3.70	1054	3111	2632	2620	2630		
43k000	左	100	86	76	69	61	45	38	31	27	26	25	20	15	12	8	3	1	1	1	1	1690	5900	1.40	4214	4938	2636	2627	2634		
	中	100	93	90	89	87	82	81	77	73	69	58	38	25							1	1280	1100	1.30	846	2165	2617	2604	2612		
	右	100	96	96	96	93	88	85	81	78	70	54	29								1	1000	650	1.20	542	1117	2638	2612	2624		
44k000	左	100	98	95	91	88	81	78	63	41	20										1	600	950	0.85	1118	1097	2598	2598			
	中	100	83	73	65	57	53	50	46	41	38	33	28	22							0	1280	6400	0.96	5625	4564	2753	2642	2721		
	右	100	97	95	94	84	76	72	67	61	57	47	36	24							0	1050	1900	0.68	2794	2220	2618	2617	2618		
45k000	左	100	96	88	82	79	73	65	60	47	32	17									0	800	1500	1.40	1071	1928	2605	2624	2611		
	中	100	95	79	73	68	62	56	50	44	39	31	22	15							1	1160	3500	1.50	2333	3731	2654	2651	2653		
	右	100	89	77	69	60	51	43	36	30	26	18	10	5							1	1400	5000	5.40	926	4662	2636	2611	2633		
46k000	左	100	76	63	54	49	43	39	36	33	32	28	24	17							0	1750	7500	1.30	5769	5779	2737	2738	2737		
	中	100	94	91	91	88	82	78	71	62	55	40	23	11							0	1330	1800	2.20	818	2479	2613	2608	2612		
	右	100	95	89	83	75	70	64	59	56	49	41	32								1	1000	2100	0.56	3750	2266	2633	2623	2629		
47k000	左	100	91	89	83	77	72	65	60	54	49	39	31	21							0	1480	2500	1.10	2273	3175	2644	2632	2640		
	中	100	94	82	76	64	59	56	50	46	43	39	32	24							0	1340	4400	0.87	5057	3500	2676	2652	2668		
	右	100	92	90	86	80	72	67	61	54	51	41	30	20							0	1340	2400	1.10	2182	2917	2644	2633	2641		
		100	96	84	81	76	69	64	60	53	49	35	18	9							0	1220	2500	2.70	926	3197	2647	2669	2651		

表 11-3 (d) 粒 度 試 験 及 び 比 重 試 験 結 果 表

料 種		フ ル イ 通 過 重 量 百 分 率 (%)																最大径	60% 径	10% 径	均等 係 数	平均 粒 径	比 重						
		100	80	60	50	40	30	25	20	15	10	5	2.5	1.7	1.2	0.6	0.3						0.15	0.068	0.074	5mm以上	5mm以下	平均	
48k000	左	100	96	85	84	72	63	59	51	47	44	38	32	24	13	4	1	0	0	1550	3300	0.96	3438	3186	2640	2650	2643		
	中	100	85	72	68	65	60	54	49	43	40	34	27	21	11	4	1	0	0	1260	4100	1.10	3727	4190	2655	2657	2656		
	右	100	87	75	20	63	57	53	48	42	38	29	19	10	5	4	2	1	1	1440	4800	2.70	1778	4242	2647	2595	2637		
49k000	左	100	84	74	70	67	66	63	62	56	53	44	31	14	3	1	1	1	0	1580	2300	2.10	1095	3928	2614	2663	2629		
	中	100	80	72	68	62	59	58	54	52	50	45	40	31	15	4	2	1	0	1310	4300	0.93	4624	4219	2696	2643	2675		
	右	100	65	49	47	43	39	37	35	32	30	26	21	15	8	4	2	1	0	1900	9900	1.50	6600	6833	2733	2613	2707		
50k000	左	100	97	91	86	79	70	66	61	55	53	46	37	25	13	6	3	1	0	1350	2400	0.90	2667	2636	2645	2649	2646		
	中	100	100	99	97	96	94	90	85	79	64	44	27	16	7	2	0	0	0	800	900	0.82	1098	922	2615	2644	2628		
	右	100	98	94	87	81	76	68	57	51	36	22	12	10	9	7	3	1	1	1000	2100	1.40	1500	1965	2610	2665	2622		
51k000	左	100	88	82	70	64	58	52	47	42	38	31	26	22	19	16	7	3	1	1	1380	4400	0.78	5641	4039	2702	2657	2690	
	中	100	95	86	75	76	70	66	59	54	49	40	32	21	16	12	8	2	1	1	1430	2500	0.73	3425	2914	2686	2644	2672	
	右	100	92	90	82	74	68	61	52	47	35	23	11	7	4	2	1	1	1	1000	2400	2.30	1043	2358	2637	2621	2633		
52k000	左	100	95	93	88	80	71	66	59	55	47	40	32	26	21	11	4	2	2	2	1000	2100	0.58	3621	2088	2851	2668	2775	
	中	100	100	93	90	82	76	68	62	57	47	36	23	17	13	8	3	1	1	1	800	1800	0.71	2535	1973	2822	2674	2767	
	右	100	93	90	86	80	72	64	51	44	28	18	11	10	9	6	2	1	1	1	1000	2400	2.00	1200	2567	2616	2622	2617	
53k000	左	100	89	83	68	62	56	52	45	42	36	30	20	15	11	4	1	1	1	1	1000	3700	1.10	3364	3328	2686	2684	2685	
	中	100	92	87	81	75	72	66	61	57	49	39	24	17	11	5	2	1	1	1	1000	1800	1.05	1714	2366	2696	2630	2670	
	右	100	100	95	90	86	82	78	71	68	56	46	29	21	15	3	1	1	1	1	800	1100	0.97	1134	1564	2648	2644	2646	
54k000	左	100	91	80	71	64	56	51	47	42	39	33	29	24	22	19	11	9	1	1	1370	4600	0.33	13939	3867	2657	2635	2651	
	中	100	93	82	72	68	57	52	47	44	41	37	32	23	17	12	4	2	1	1	1780	4400	1.05	4190	3660	2709	2649	2690	
	右	100	100	92	82	72	68	62	56	52	45	38	25	18	12	6	4	4	4	4	800	2400	0.95	2526	2247	2668	2658	2664	
55k000	左	100	93	87	79	74	66	58	57	51	48	39	32	22	17	12	4	1	1	1	1620	3200	1.00	3200	3216	2632	2642	2636	
	中	100	89	84	78	66	60	54	46	42	32	23	19	17	15	6	1	0	0	0	1000	3000	0.85	3529	3043	2640	2627	2637	
	右	100	95	89	84	80	73	69	66	59	55	44	36	26	20	15	5	2	1	1	1170	2050	0.92	2228	2662	2651	2652	2651	
56k000	左	100	86	75	73	68	63	58	55	47	41	31	24	19	8	3	2	2	2	2	800	2250	0.70	3214	2352	2754	2626	2700	
	中	100	90	84	77	73	69	65	62	60	56	50	38	28	19	6	2	1	1	1	1000	1600	0.79	2025	2439	2702	2642	2672	
	右	100	82	79	71	64	59	55	52	49	46	40	33	26	22	18	8	3	2	1	1470	4500	0.74	6081	4224	2690	2640	2673	
57k000	左	100	96	81	80	73	67	59	52	47	44	37	33	29	25	23	7	2	1	1	1340	3100	0.72	4306	3265	2698	2660	2677	
	中	100	94	88	78	69	65	57	54	48	46	39	34	23	17	12	6	3	2	1	1310	3300	0.96	3438	3284	2730	2682	2713	
	右	100	100	91	85	78	69	65	59	51	48	39	29	17	11	8	5	4	3	2	2	1000	2500	1.50	1667	2774	2710	2677	2700
58k000	左	100	92	80	72	64	60	54	50	46	44	39	35	30	27	22	9	3	2	0	1	1720	3800	0.64	5938	3725	2742	2669	2716
	中	100	85	80	75	68	61	56	52	47	42	37	32	24	18	11	2	1	0	0	0	1500	3700	1.16	3364	3981	2716	2658	2697
	右	100	98	96	89	84	80	75	69	65	55	42	26	10	2	0	0	0	0	0	0	1000	1200	1.20	1000	2637	2611	2616	2613
59k000	左	100	95	84	77	72	65	62	56	51	49	43	38	28	22	16	6	3	2	2	2	1510	2700	0.80	3375	3203	2727	2658	2700
	中	100	92	83	80	72	67	63	58	55	53	48	40	27	12	6	2	1	1	1	1170	2600	1.00	2600	3232	2739	2612	2687	
	右	100	84	75	68	64	56	51	46	41	38	32	26	12	7	4	2	1	1	1	1340	4600	2.20	2091	3925	2676	2617	2660	
60k000	左	100	97	94	84	70	61	56	48	43	38	31	24	15	12	9	6	4	2	2	2	1210	3800	1.50	2533	3181	2680	2652	2673
	中	100	87	70	61	57	51	46	40	35	42	28	22	14	10	7	3	1	0	0	0	1530	5700	1.30	4385	4761	2735	2612	2707
	右	100	83	80	75	70	63	57	52	47	44	36	28	19	12	6	2	1	0	0	0	1850	3300	1.00	3300	4423	2835	2636	2776
61k000	左	100	86	77	72	67	60	57	51	46	44	38	32	23	12	3	1	0	0	0	0	1640	3700	1.10	3364	4120	2718	2631	2690
	中	100	96	87	79	71	60	55	50	46	43	37	31	24	16	8	3	1	0	0	0	1140	3800	0.74	5135	3316	2763	2653	2728
	右	100	84	78	74	70	65	60	56	52	50	43	35	26	16	6	2	2	1	1	1	1750	3000	0.86	3488	4057	2849	2647	2775
62k000	左	100	94	80	78	73	68	65	61	56	52	43	40	16	10	6	2	2	2	2	2	1650	2400	1.70	1412	3066	2596	2580	2647
	中	100	95	92	89	87	83	78	71	66	49	32	23	7	2	1	0	0	0	0	0	1000	1250	1.40	893	1776	2689	2622	2667
	右	100	87	78	70	62	54	48	41	36	33	26	19	7	4	2	0	0	0	0	0	1500	4700	3.10	1516	4489	2649	2629	2645
63k000	左	100	83	73	68	63	56	52	48	42	40	35	31	23	10	4	2	1	1	1	1710	4800	1.20	4000	4521	2791	2621	2736	
	中	100	75	73	60	55	47	44	41	37	36	32	26	18	8	3	1	1	0	0	0	1810	5800	1.30	4462	5780	2843	2636	2786
	右	100	86	81	78	64	59	53	48	44	41	35	30	24	11	4	1	0	0	0	0	1500	4200	1.10	3818	4010	2788	2652	2746
64k000	左	100	90	83	80	71	66	61	57	52	49	42	33	21	8	4	3	1	0	0	0	1550	2900	1.40	2071	3454	2718	2634	2690
	中	100	92	76	69	61	53	49	43	37	33	24	14	7	4	3	2	1	0	0	0	1570	4800	3.50	1371	4319	2658	2637	2655
	右	100	97	95	92	85	78	73	66	58	53	46	38	28	14	3	1	1	0	0	0	1150	2100	0.98	2143	2200	2645	2615	2631

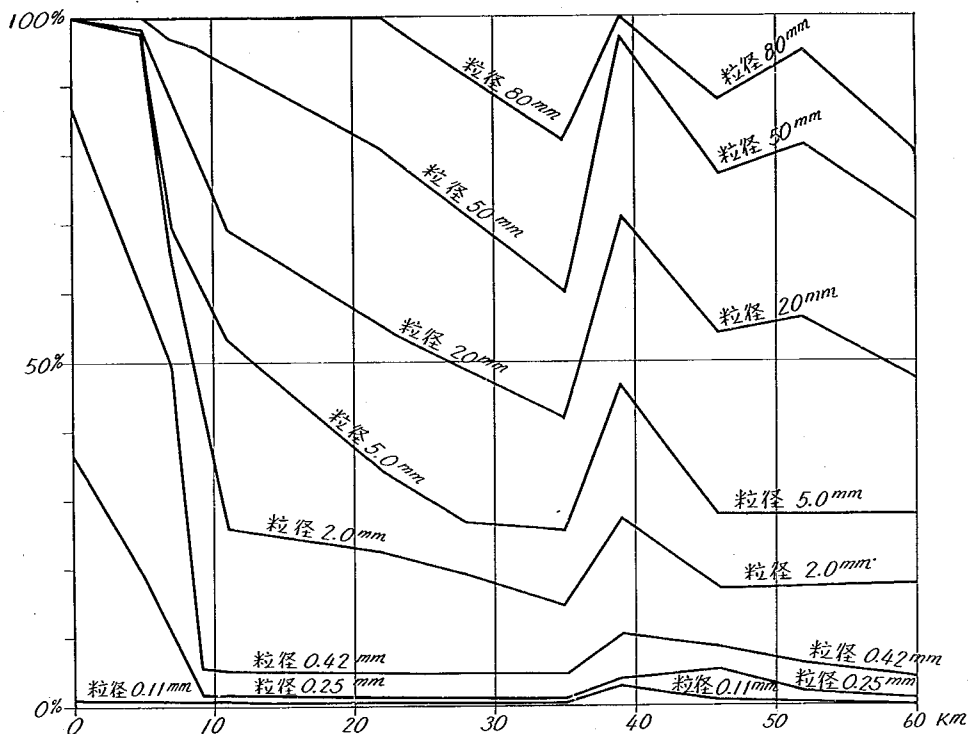


図 Ⅱ - 6

に一定の傾向がみられる。これを見ると次のような特徴が見られる。

- ① 河口から約 5 km までの間は河床を構成しているものは殆んど粒径 1 mm 以下の砂である。
- ② 5 km より 35 km にかけて河床材料の構成は粗い粒子が多くなってゆき 35 km で最も粗くなる。
- ③ 40 km 附近では河床材料が一時的に細かい粒子により構成されている。しかしこれより上流では再び粗くなる。

以上のように川巾、勾配、河床材料の構成の興味ある性質が明らかになった。これをもとにして吉野川の河道の各区分について土砂流送の点から次のような推測が行われる。

- ① 土砂の供給は岩津狭窄を通過して本川より運ばれてくるものもあろうがその他に左支川とくに 33 km で合流する日開谷川から流入していることが考えられる。これは 34 km で河床勾配が変り下流側が急になっていることを説明することが出来る。すなわち流量の面からは支川の影響は小さいので 34 km の上流も下流も大体同じ流量になっているはずである。輸送土砂量は I 章で検討したように $Q_B = 0.03 \times Q_i$ で表わされる。そこで下流側で勾配の大きいということは流砂量 Q_B が下流側で大きいということを意味する。すなわち 34 km を境界にして支川より河道に対して土砂の供給があると考えたと勾配の変化がよく説明されるのである。なお 34 km

附近で河床材料の粒径が最も大きいこと、34k下流に大きい砂州があって土砂の堆積が行われていることも支川からの土砂供給によって説明がつく。この点の量的な説明についてはⅡ章で更に検討する予定である。

- ② 34kより5kまでの区間では土砂は流送されると同時に河床に堆積しつつある。即ち下流に行くに従って流送される土砂が減じてゆく。この区間の河道は平衡状態ではなく堆積の過程にある。すなわち河床は上昇の傾向にあるということである。河床勾配が下流に向って次第に小さくなっていることが以上の推定の根拠であるがこれは長期間の河床変動の実測によって確かめられた。この点についてもⅡ章で検討する。

なお縦断面を見ると昭和39年の河床高が昭和28年の河床高にくらべて低下しているが、これは別の理由（砂利採取）によるものである。この点についてもⅡ章で検討する予定である。

Ⅱ-3 吉野川の流砂特性について

流砂量を推定するには各断面の流れの掃流力、水深等を知る必要がある。砂の移動形式が掃流の場合にはⅠに述べたように流砂量は流量とエネルギー勾配の積に比例する。流量 Q は縦断方向に殆んど変化しないから結局縦断方向各点のエネルギー勾配を知る事によってその点の流砂量を知ることができる。

実際の河川では流量は大洪水から渇水までの広い範囲に亘って変化する。従ってその水面形も流量によって異なる。図Ⅱ-7は各種流量に対して不等流計算によって水面形を計算した結果である。この計算は計算の距離間隔として1kmをとっているので小流量の場合には計算精度があまりよくないが概略の見当はつけられる。

これを見ると河口附近では小流量のときはせき上げ背水、大流量のときは低下背水となる。又40kmの狭窄部では小流量のときはまわりにくらべて勾配が小さくなるが大流量のときは逆にまわりより勾配が大きくなる。この図をもとにして各流量の勾配の縦断方向分布を求めたものが図Ⅱ-8である。これを見ると流量の小さいときは河口附近の勾配は殆んど0であって流量の増すにつれて勾配が大きくなっていくことがわかる。又35k~40km区間の勾配を見るとやはり流量の大きいときほど勾配が大きくなっている。しかしこの中間（15~35km）では流量によって勾配の変ることはなく、大体河床勾配と等しい値になっている。

以上は水面勾配についての性質であってエネルギー勾配とは少し異なるが断面の変化部（ここでは40km）を除いては大きな差異はないので大略の傾向を読みとることはできる。

さて以上の資料をもとにして吉野川の1年間の流砂量を求めてみよう。

流砂量の公式としては佐藤・吉川・芦田公式による。

$$Q_B = Q \cdot i \cdot \frac{\varphi F}{\varphi_0 (\varphi/\varphi_0 - 1)} \quad (2-1)$$

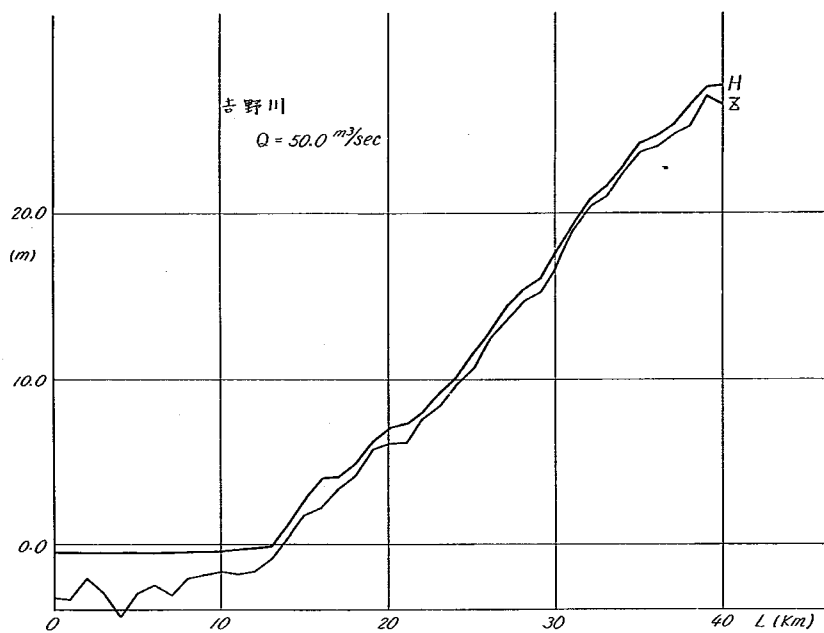


図 II - 7(a)

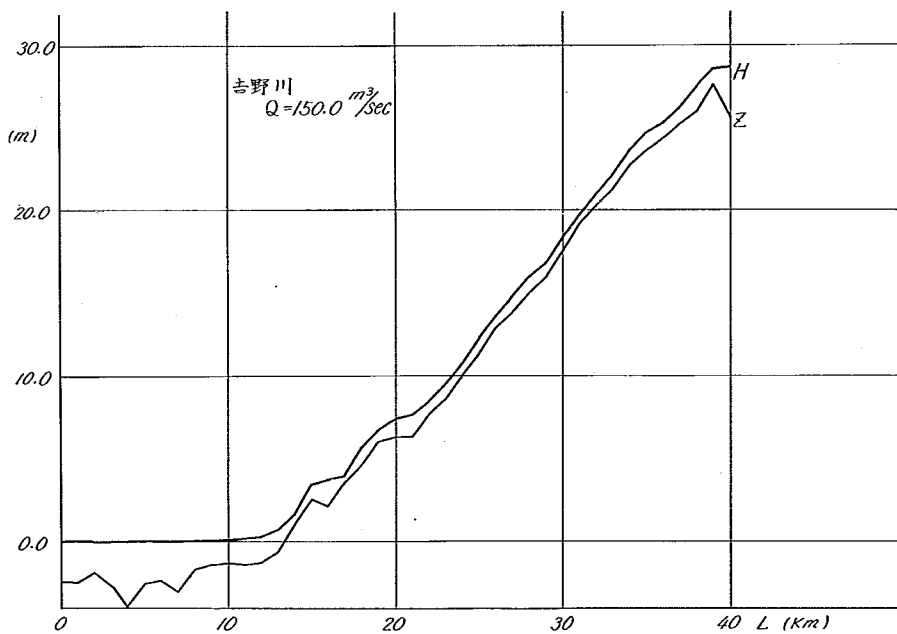


図 II - 7(b)

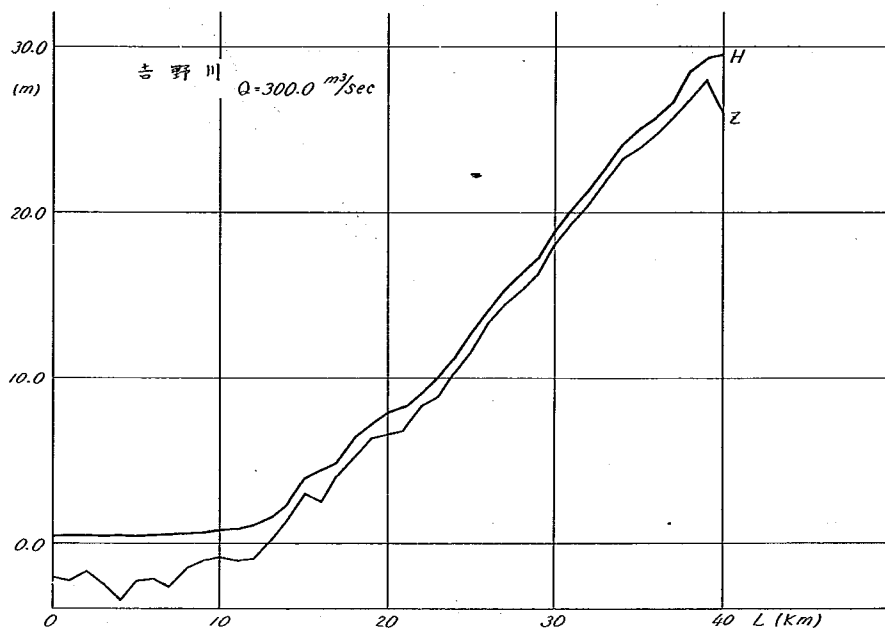


図 Ⅱ - 7(c)

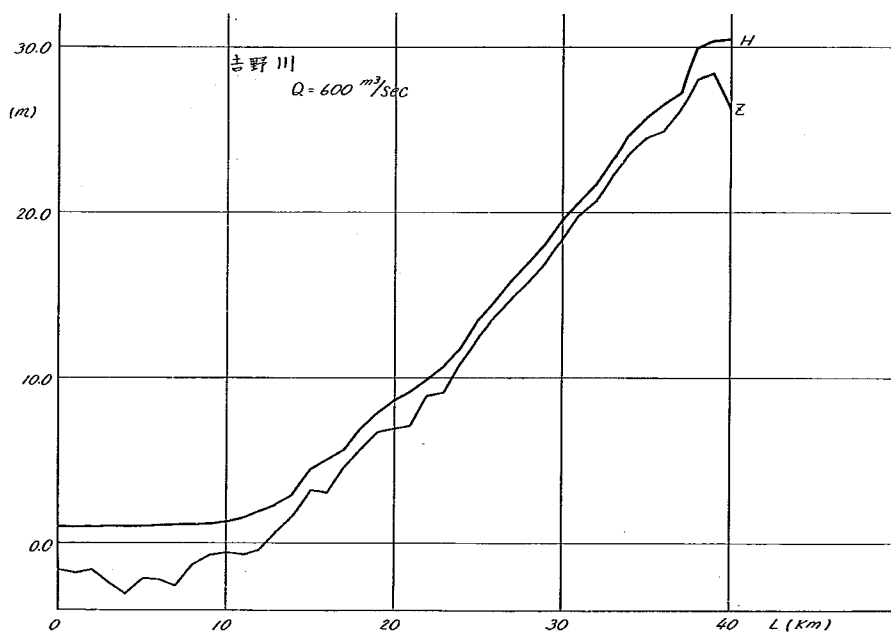


図 Ⅱ - 7(d)

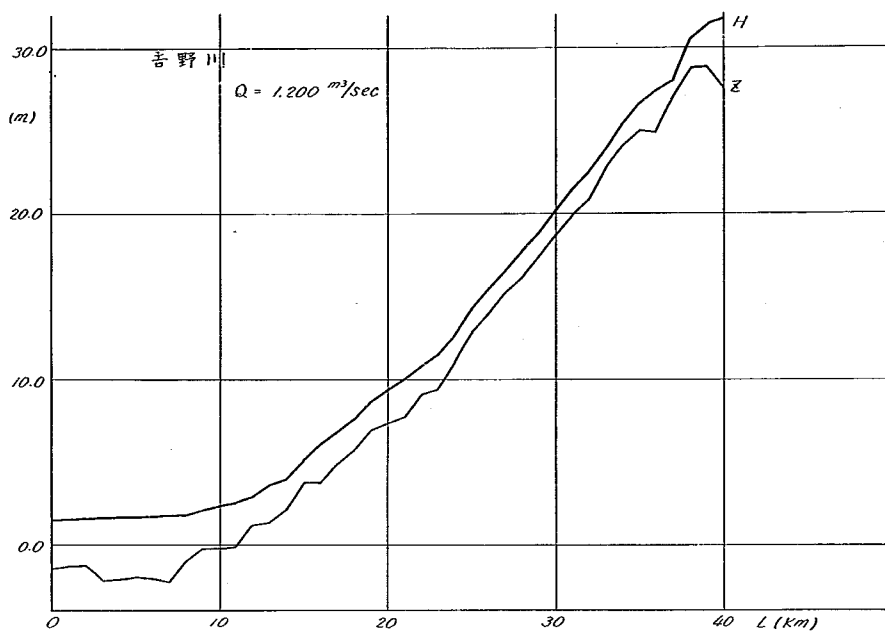


図 Ⅱ - 7(e)

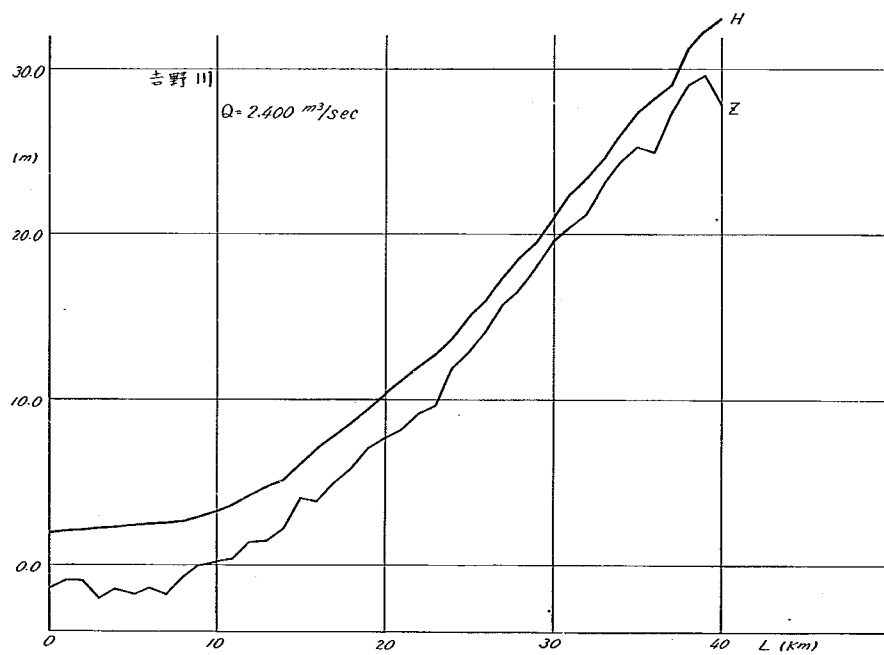


図 Ⅱ - 7(f)

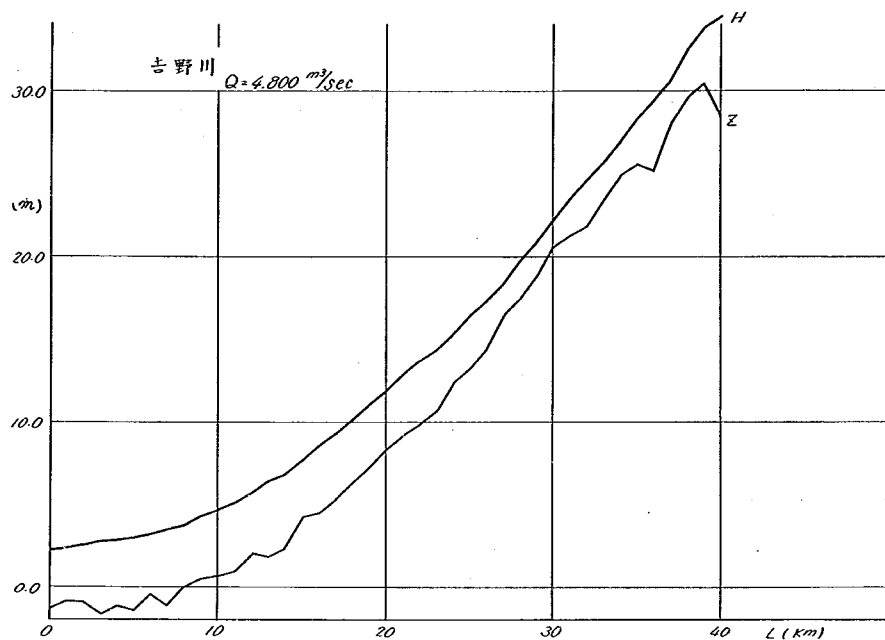


図 II - 7 (g)

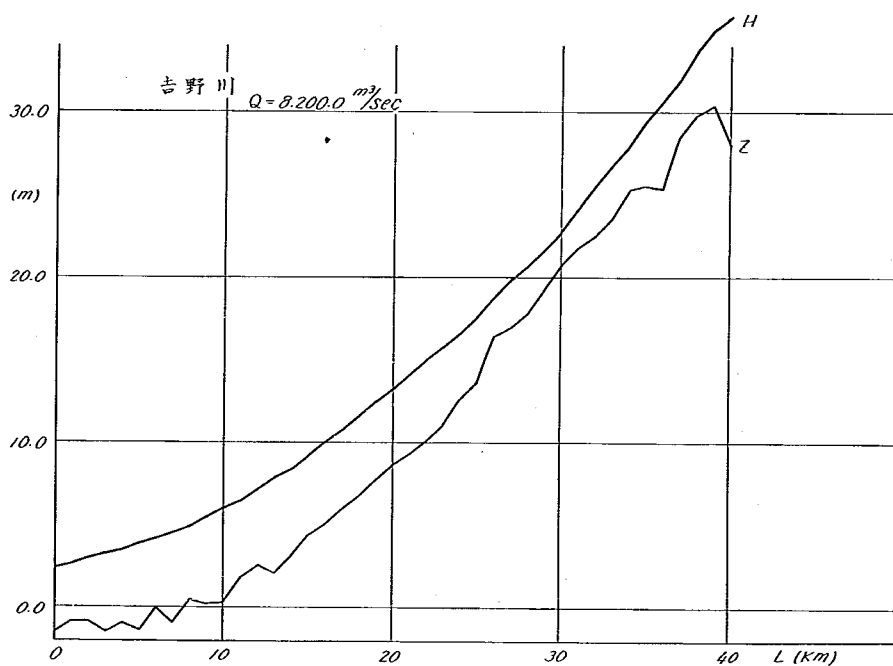


図 II - 7 (h)

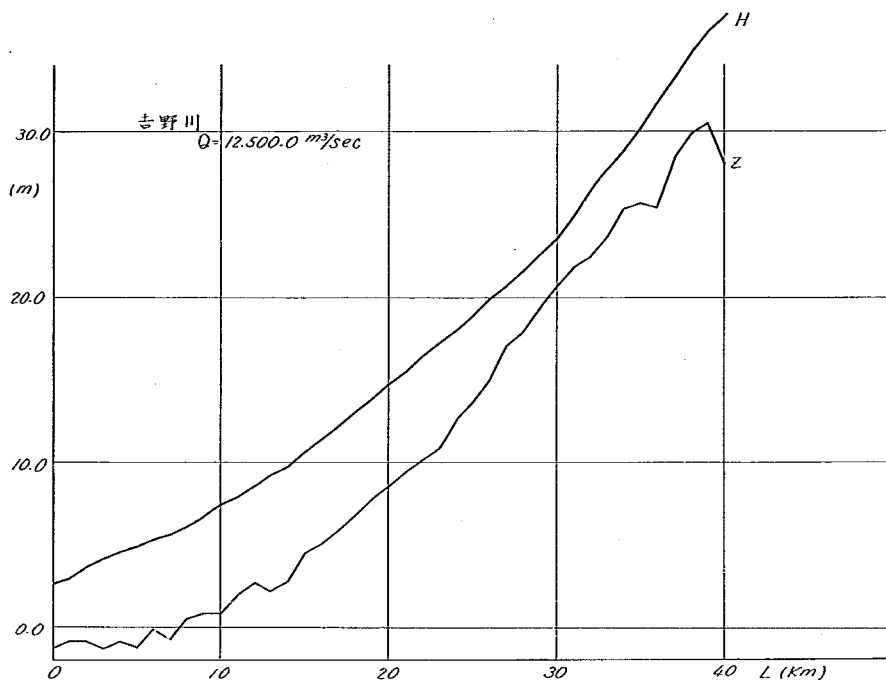


図 11-7 (i)

ここで $\varphi_0 = h^{\frac{1}{6}} / (\sqrt{g} n) = 1.0.0$

$$\varphi = 0.623, (\varphi/\rho - 1) = 1.65$$

限界掃流力の効果を示す係数 F は河床を構成する各粒径別に計算しその割合を乗じたものの和とする。すなわち

$$F = \sum_{\Delta p} \Delta P_d \cdot F_d (\tau/\tau_c), \quad \tau_c = \phi g d (\varphi/\rho - 1)$$

これを各流量別に計算すると図 11-9 のようになる。

表 11-4, 図 11-10 は式 2-1 によって計算した流砂量の概算値である。表, 図とも流砂量は見かけ量に直してある。

これを見ると 40 km 地点より流入する流砂量は年間約 $105 \times 10^3 m^3$ (10 万 5 千 m^3) , 河口より流出する土砂量は $5 \times 10^3 m^3$ (5 千 m^3) その差 10 万 m^3 が河道に堆積することになる。すなわち流入する土砂の殆んど全部が河道に堆積することになる。

次に各区间毎に各流量の流砂量への寄与の程度を見ると河口附近では $2400 m^3/sec$ 以上の洪

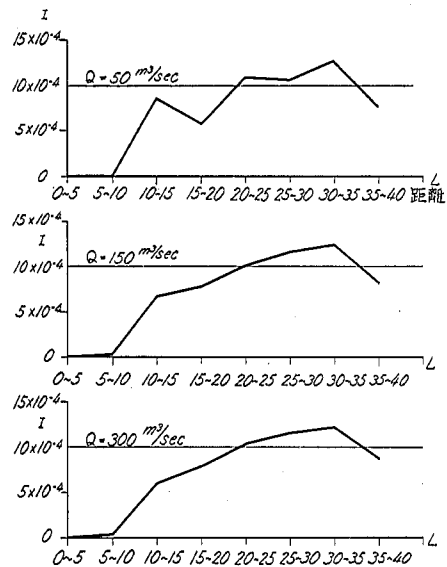


图 I - 8 (a)

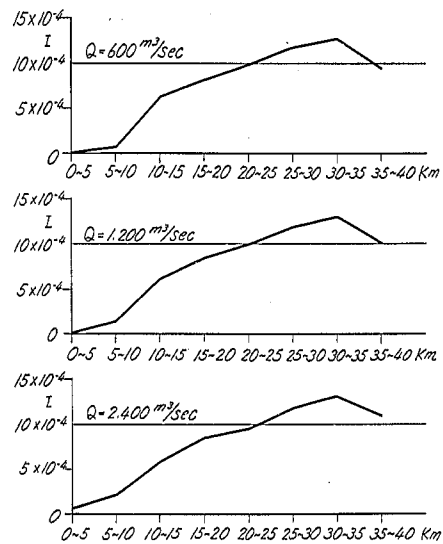


图 I - 8 (b)

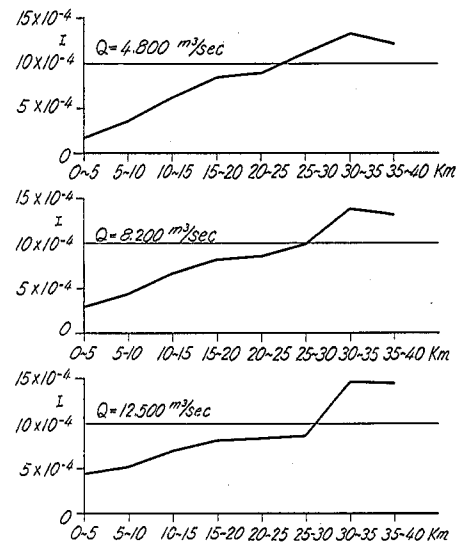


图 I - 8 (c)

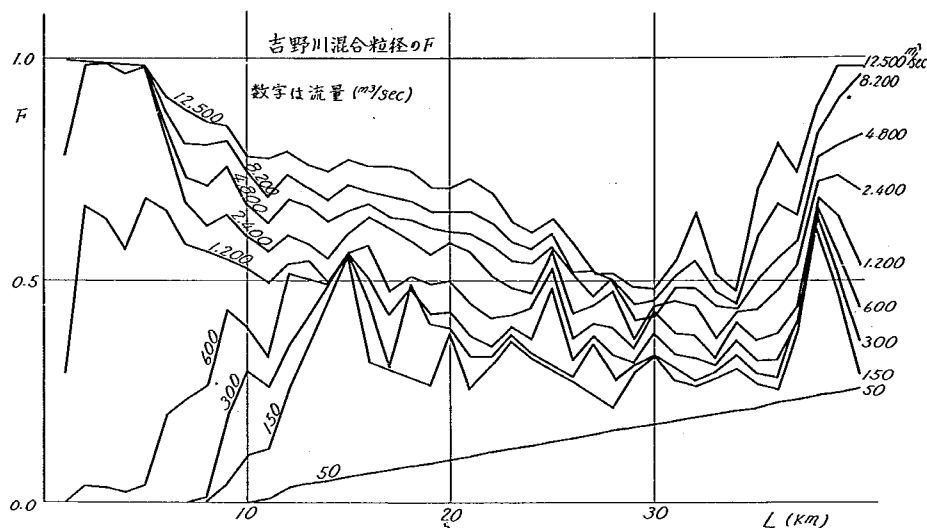


図 9 吉野川混合粒径の F

表 4 吉野川流砂量 (みかけ) m^3

$$V_s = 0.052 \cdot V_{ief}$$

距離	流量 50 m^3/sec	150 m^3/sec	300 m^3/sec	600 m^3/sec	1200 m^3/sec	2400 m^3/sec	4800 m^3/sec	8200 m^3/sec	12500 m^3/sec	合計
km	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$
0 ~ 5	0.0	0.0	0.0	0.00133	0.298	1.078	1.738	1.559	1.049	5.723
5 ~ 10	0.0	0.0522	0.209	0.752	1.369	2.672	3.683	1.975	1.103	11.815
10 ~ 15	1.251	12.60	12.24	9.750	6.037	6.365	7.649	2.530	1.326	59.748
15 ~ 20	4.657	8.133	15.05	12.25	8.018	9.433	5.856	2.985	1.502	67.884
20 ~ 25	1.776	14.89	13.47	12.90	8.372	7.316	5.671	2.847	1.370	68.612
25 ~ 30	7.275	15.17	16.79	12.51	8.642	9.516	5.790	2.607	1.158	79.458
30 ~ 35	3.554	18.48	17.16	13.60	8.991	10.29	6.952	3.868	2.087	84.982
35 ~ 40	12.49	17.71	18.17	14.62	10.34	13.16	9.660	5.767	3.186	105.103
合計	31.003	87.035	93.089	76.383	52.067	59.830	46.999	24.138	12.781	

水が流砂の大部分を輸送しているのに対し 10~35 km の区間では 150~2400 m^3/sec 程度の小洪水が大きな役割を果たしていることがわかる。

35~40 km の区間では小流量の役割が大きい。これはこの部分で河床材料の粒径が前後に比較して小さくなっているためである。この部分の粒径が小さい理由については洪水時の洗掘部に対し小流量時に堆積したためと思われ、河床の中までこのように粒径が小さいかどうかは疑問である。このことを考えると 40 km の流砂量の計算値はやや過大になっているものと思われる。

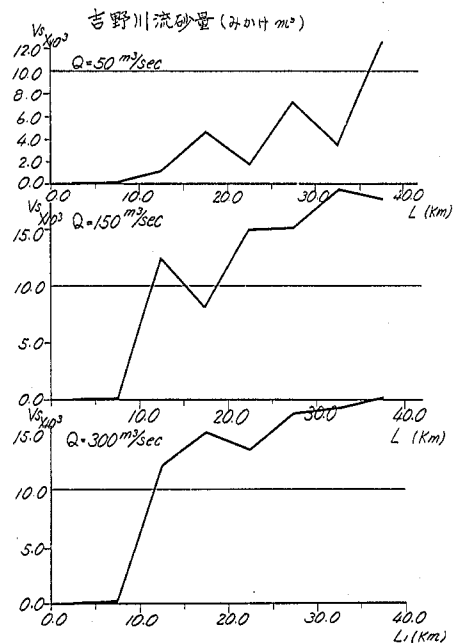


図 I - 10 (a)

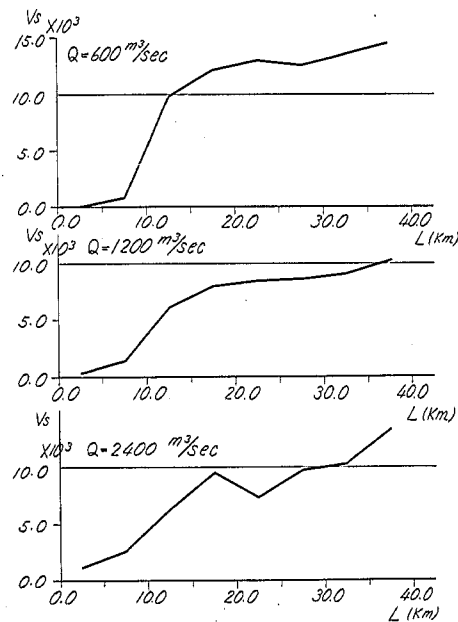


図 I - 10 (b)

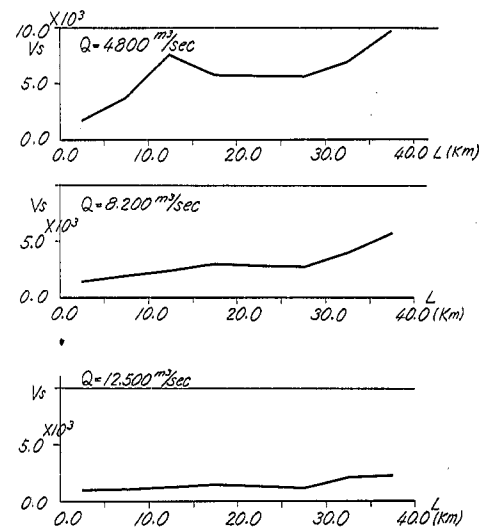


図 I - 10 (c)

Ⅲ 河 床 変 動 実 測 値 の 検 討

河床変動計算の問題点としては (1)河床変動の計算法が正しいかどうか(2)計算で用いられる土砂量公式が正しいかどうか、とくに流砂量公式の係数が現地でもそのまま通用するか、の2点があげられる。いずれにしても現地で実測される変動現象をよく説明できるかどうかによって判定される問題である。

吉野川では昭和2年～24年の22年内の河床変動の実測値が整理されている^{*})。この期間には砂利採取はあまり行われていない。

次に昭和28～39年の河床変動測量を整理しこれを砂利の採取とくらべてこの間の河床低下の理由を考えることにする。

Ⅲ-1 昭和2年～昭和24年の河床変動

表Ⅲ-1は三井氏の調べた吉野川昭和2～24年の河床変動量である。各断面毎に変動の仕方に差が見られるがこれをブロックに分けてみると次のようになる。

区 間 k	堆砂量 $m^3/year$	同(1年あたり) $m^3/year$
2.5～7.5	731×10^3	33.2
7.5～12.5	304	13.8
12.5～17.5	183	8.3
17.5～22.5	-322	-14.6
22.5～27.5	1662	75.5
27.5～32.5	4202	191.0
32.5～37.5	1433	65.2
合 計	8193	366.1

これを見ると2.5～12.5 km 区間は、約5万 $m^3/year$ の堆積、12.5～22.5 k の区間は上昇、下降の少ない平衡区間、22.5 k より上流は約33万 $m^3/year$ の堆積(とくに27.5～32.5 k で大きい)、全体で約37万 $m^3/year$ の堆積となっている。

これをⅡ章で計算した流砂量の値から求めた堆積量と比較すると次のようになる。

区 間	計算値 $m^3/year$	実測値 $m^3/year$
2.5～7.5	6.1×10^3	33.2×10^3
7.5～12.5	47.9	13.8
12.5～17.5	8.1	8.3
17.5～22.5	0.8	-14.6
22.5～27.5	10.8	75.5
27.5～32.5	5.5	191.0
32.5～37.5	20.2	65.2
合 計	99.2	366.1

* 資源調査会「常願寺川の土地保全問題」(資源調査会報告42号1955年)

表Ⅱ-1(a) 吉野川河床土砂変動量 (河口-岩津)

距 里丁	離 km	横断面積(m ²)			平均河床高(m)		(m ²) (A)-(B)	(m ²) +区間平均 断面面積(C)	各区間毎 動量(m ³) (C)×距離	昭和2年と 昭和24年の 平均河床 高の差(二)	最低河床高(m)				
		昭和2年(A)	昭和24年(B)	川幅(m)	昭和2年	昭和24年					昭和2年	昭和2年と 24年の最低 河床高差	昭和24年	昭和24年と 29年の最低 河床高差	昭和29年
-0.6	-0.654	5,738	5,640	1,324	-0.97	-1.05	-98			-0.08	-5.30	0	-5.30	0.50	-4.80
-4	-0.436		5,958	1,294									-5.20	-1.20	-6.40
-2	-0.218		6,760	1,280									-6.10		
0~0	0	9,238	9,042	1,250	-0.61	-0.77	-196	-147	-96,138	-0.16	-3.60	-2.9	-6.50	-1.05	-7.55
2	0.218		8,294	1,246		-1.35							-7.60	-1.50	-9.10
4	0.436		9,400	1,230		-0.86							-8.60		
6	0.654	10,772	10,514	1,250	+0.11	-0.02	-258	-227	-148,458	-0.13	-4.10	-4.6	-8.70	-1.40	-10.10
9	0.982	8,906	9,372	1,206	-0.52	-0.13	+466	+104	+34,112	+0.39	-3.70	-4.3	-8.00	-3.80	-11.80
12	1.309														-10.10
15	1.636	7,396	8,374	1,170	-0.08	0.75	+978	+722	+472,188	+0.83	-4.50	-1.4	-5.90	0.10	-5.90
18	1.963	6,034	5,000	1,160	0.20	-0.69	-1,034	-721	-8,156	-0.89	-3.90	-1.8	-5.70	1.10	-4.60
21	2.290	5,805	5,398	1,145	0.06	-0.29	-408	-281	-235,787	-0.35	-7.50	4.0	-3.50	-0.60	-4.10
24	2.618	6,498	7,672	1,160	0.60	1.61	+1,174	+383	+124,968	+1.01	-9.70	5.7	-4.00	-1.58	-5.58
27	2.945	7,152	6,850	1,168	1.32	1.06	-302	+436	+142,572	-0.26	-6.80	2.3	-3.70	-2.55	-6.25
30	3.272	5,360	5,862	1,110	-0.18	0.28	+502	+109	+32,700	+0.46	-3.50	-0.4	-3.90	-4.25	
33	3.599	5,210	6,228	1,140	-0.43	0.46	+1,018	+760	+248,520	+0.89	-8.40	5.1	-3.30	-0.70	-4.00
1~0	3.927	6,104	5,888	1,070	0.70	0.45	-266	+376	+123,328	-0.25	-6.30	2.95	-3.35	-0.55	-3.90
3	4.254	6,056	5,758	1,030	0.87	0.59	-298	-282	-92,214	-0.28	-7.50	5.0	-2.50	-1.10	-3.60
6	4.582	6,890	6,060	1,290	0.34	1.21	+1,170	+436	+285,580	+0.80	-8.70	5.7	-3.00	-0.70	-7.50
9	4.909	5,236	8,008	1,385	1.15	0.77	-326	+322	+105,234	-0.38	-5.20	1.8	-2.40	-0.25	-2.30
12	5.236	9,188	8,694	1,370	1.70	1.34	-494	-510	-166,770	-0.36	-3.90	2.5	-1.40	-0.45	-1.85
15	5.563														
18	5.890	9,812	9,330	1,412	1.94	1.60	-482	-488	-168,376	-0.24	-5.20	2.05	-3.15	0.53	-2.62
21	6.218	5,874	6,242	968	-0.13	1.44	+368	-57	+18,696	+1.52	-7.80	4.6	-3.20	-0.80	-4.00
24	6.545	4,872	5,938	946	-0.07	1.27	+1,269	+817	+267,159	+1.34	-3.60	0	-3.60	-1.60	-5.20
27	6.872	5,872	5,936	924	1.35	1.42	+64	+665	+217,455	+0.07	-4.80	2.1	-2.70	-0.20	-2.90
30	7.199	5,834	5,000	892	2.34	1.40	-834	-385	-125,695	-0.94	-4.30	2.9	-1.40	-0.25	-1.65
33	7.526	5,722	5,606	872	1.56	1.42	-116	-475	-155,325	-0.14	-4.30	2.9	-1.40	-1.90	-3.30
2~0	7.854	5,494	5,606	860	1.38	1.51	+112	-2	-656	+0.13	-1.60	-1.3	-2.90	-2.10	-5.00
3	8.181	5,694	5,962	854	1.66	1.98	+268	+190	+25,506	+0.32	-0.80	-2.3	-3.10	-2.73	-5.83
6	8.508	5,912	5,914	836	2.07	2.07	+2	+135	+44,145	0	-0.80	-2.4	-3.20	-0.15	-3.35
9	8.836	5,644	5,226	806	2.00	1.48	-418	-208	-68,224	-0.52	-1.60	0.6	-1.00	-0.40	-1.40
12	9.163	6,204	6,550	876	2.08	2.47	+346	-36	-11,772	+0.39	-4.10	1.9	-2.20	-1.40	-3.60
15	9.470	5,290	5,938	796	1.64	2.45	+648	+497	+162,519	+0.81	0.0	-2.2	-2.20	-0.60	-2.50
小	計			35,322 32				+2,341	+1,026,191	+4.08 28		+27.5 28		-32.08 28	
18	9.817	6,102	6,362	774	2.88	3.21	+260	+454	+148,458	+0.33	-1.40	-0.7	-2.10	-1.0	-3.10
21	10.144	5,618	5,706	764	2.34	2.46	+88	+174	+56,898	+0.12	-1.60	1.1	-0.50	-0.87	-1.37
24	10.472	6,676	6,482	810	3.24	3.00	-194	-53	-17,384	-0.24	0.40	-1.0	-0.80	-1.20	-1.90
27	10.799	6,168	6,288	744	3.29	3.45	-120	-37	-12,099	+0.16	0.50	-0.3	-1.95	-1.75	-2.15
30	11.126	5,770	6,224	725	2.84	3.17	+454	+287	+93,849	+0.33	-0.50	-0.15	-0.65	-2.15	-2.90
33	11.453	5,126	5,262	712	2.19	2.39	+136	+295	+96,465	+0.20	-1.90	1.1	-0.80	-2.60	-3.40
3~0	11.781	6,820	6,548	748	4.11	3.75	-272	-68	-22,304	-0.36	0.40	-1.0	-0.60	-0.85	-1.45
3	12.118	6,656	6,222	718	4.24	3.66	-414	-343	-112,611	-0.58	0.70	0	0.70	-0.55	0.15
6	12.435	6,330	6,102	666	4.48	4.16	-218	-316	-103,332	-0.32	-0.90	2.15	-1.85	-0.60	-0.60
9	12.763	5,318	5,244	610	3.71	3.59	-74	-146	-47,882	-0.12	0.40	0.85	1.25	-0.75	0.50
12	13.090	4,712	4,792	616	4.14	4.27	+80	+3	+981	+0.13	1.70	0.3	2.00	-1.30	0.70
15	13.417	4,360	4,170	614	4.60	4.29	-190	-55	-17,985	-0.31	-3.40	2.0	-1.40	0.45	-0.95
3~18	13.744	4,216	4,220	596	4.87	4.88	+4	-93	-30,711	+0.01	0.40	-1.7	-1.30	1.85	0.55
6~6															
6~9	15.075		1,750	742		3.35							2.50	0.80	3.30
12			4,650	780		5.96							2.50	0.40	2.90
15			4,226	654		6.46							2.70	-0.20	2.50

表 Ⅱ - 1 (b)

距 離		横 断 面 積 (m ²)			平均河床高(m)		(m ²)	(m ²)	各区間毎変	昭和2年と昭和24年との平均河床高の差(m)	最 低 河 床 高 (m)							
里丁	km	昭和2年(A)	昭和24年(B)	川幅(m)	昭和2年	昭和24年	(A)-(B)	各区間平均横断面積(C)	動量 (m ³)	(C)×距離	昭和2年と24年の最低河床高差	昭和2年	昭和2年と24年の最低河床高差	昭和24年	昭和24年と29年の最低河床高差	昭和29年		
18		4,036	4,334	636	6.35	6.81	+	298	+	151	+	197,659	+0.46	3.50	-1.0	2.50	-0.35	2.15
21		2,456	2,582	654	6.75	6.94	+	126	+	212	+	69,536	+0.19	3.60	-0.2	3.40	-1.45	1.95
24		5,016	4,926	726	6.90	6.78	-	90	+	18	+	5,904	-0.12	4.00	-0.3	3.70	0.50	4.20
27		3,380	3,224	710	7.46	7.24	-	155	-	123	-	40,221	-0.22	4.30	-1.0	3.30	-0.30	3.00
30		2,456	2,550	664	7.29	7.44	+	94	-	31	-	10,137	+0.15	4.40	-0.9	3.50	0.40	3.90
33		3,766	3,822	624	7.53	7.62	+	56	+	75	+	24,525	+0.09	3.40	-1.1	2.30	-1.40	0.90
7~0	18.027	4,556	4,544	634	7.88	7.86	-	12	+	22	+	7,194	-0.02	5.60	-2.8	2.80	-0.70	2.10
3		5,548	5,536	650	8.53	8.51	-	12	-	12	-	4,924	-0.02	0.70	2.4	3.10	-0.60	2.50
6		2,394	2,208	706	8.39	8.12	-	186	-	94	-	30,738	-0.27	6.50	-0.55	5.95	-0.95	5.00
9		2,850	2,718	754	8.79	8.60	-	142	-	164	-	53,628	-0.19	6.30	-0.9	5.40	-0.12	5.28
12		3,506	3,514	740	9.73	9.74	+	8	-	67	-	21,976	+0.01	6.80	-1.4	5.40	-1.08	4.32
15		3,742	3,318	750	9.98	9.42	-	424	-	208	-	67,916	-0.56	5.10	0.1	5.20	-0.98	4.32
18		3,402	3,155	718	9.73	9.39	-	246	-	335	-	109,545	-0.34	5.40	-0.15	5.25	0	5.25
21		3,490	3,596	720	9.84	9.99	+	106	-	70	-	22,890	+0.15	7.70	-1.0	6.70	-1.05	5.65
24		3,834	3,902	724	10.29	10.38	+	68	+	87	+	25,536	+0.09	7.30	-0.4	6.90	-0.90	6.00
27		4,180	4,100	722	10.78	10.67	-	80	-	6	-	1,962	-0.11	6.50	0.7	7.20	-0.32	6.88
30		4,422	4,268	724	11.10	10.89	-	154	-	117	-	38,259	-0.21	6.50	0.5	7.00	-1.65	5.35
33		4,304	4,354	734	10.86	10.93	+	50	-	52	-	17,004	+0.07	6.40	1.3	7.70	-3.95	3.75
小 計				23,864					-	532	-	56,503	-1.50		-4.0		-35.37	
				34								31		31		34		
8~0	21.954	4,424	4,464	648	11.82	11.88	+	40	+	45	+	14,760	+0.06	9.30	-1.15	8.15	-0.80	7.35
3		6,772	6,696	804	12.82	12.82	-	76	-	18	-	5,766	-0.10	8.30	-0.2	8.10	-1.40	6.70
6		5,406	5,336	746	12.04	11.95	-	73	-	73	-	23,371	-0.09	9.20	-0.95	8.25	-1.55	6.90
9		3,312	3,350	716	12.32	12.38	+	37	+	21	+	6,888	+0.05	8.10	0.90	9.00	-1.60	7.40
12		5,394	5,600	728	13.10	13.39	+	206	+	122	+	39,894	+0.29	7.30	1.2	8.50	-2.3	6.20
15		6,124	6,324	824	13.03	13.27	+	200	+	203	+	66,381	+0.24	8.80	0.6	9.40	-1.6	7.80
18		6,184	7,998	972	12.16	14.02	+	1,814	+	1,007	+	329,289	+1.86	9.00	-1.8	7.20	1.3	8.40
21		3,740	3,430	934	14.00	13.67	-	310	+	752	+	245,904	-0.33	11.80	-1.0	10.80	-0.9	9.90
24																		11.10
27																		11.10
30		3,962	4,124	908	14.36	14.54	+	162	-	74	-	24,198	+0.18	11.70	0.45	12.15	-1.05	11.10
33		3,866	3,964	826	14.68	14.79	+	98	+	130	+	42,510	+0.11	12.20	-0.1	12.10	-1.55	10.55
9~0 No. 1	25.871	4,264	4,066	854	14.99	14.76	-	198	-	50	-	16,400	-0.23	12.00	0.15	12.15	-1.25	10.90
~0 No. 2		3,878	3,880	860	15.20	15.21	+	2	-	98	-	32,144	+0.01	12.20	-0.2	12.00	0	11.90
3		5,064	5,422	1,034	15.69	14.95	+	58	+	30	+	9,810	-0.74	10.20	1.7	11.90	0	11.90
6		7,464	8,336	1,340	16.22	16.22	+	872	+	465	+	152,055	0	12.40	1.6	14.00	-1.42	12.58
9		9,938	11,142	1,542	16.44	17.22	+	1,204	+	1,038	+	340,464	+0.78	12.70	1.2	13.90	-0.90	13.00
12		12,014	12,768	1,620	17.41	17.68	+	754	+	979	+	320,133	+0.47	14.00	0.85	14.85	-4.9	9.95
15		12,274	12,730	1,686	17.27	17.55	+	456	+	605	+	197,835	+0.28	16.00	-1.6	14.40	-2.37	12.03
18		13,564	14,282	1,698	17.98	18.41	+	718	+	587	+	191,949	+0.43	14.70	-1.6	13.10	0.08	13.18
21		7,050	8,184	1,680	17.89	18.57	+	1,134	+	931	+	304,437	+0.68	13.70	1.4	15.10	-1.2	13.90
24		17,574	18,388	1,676	18.48	18.97	+	814	+	974	+	319,472	+0.49	14.70	0	14.70	0.22	14.93
27		23,026	23,546	1,652	18.93	19.25	+	520	+	667	+	218,109	+0.32	14.50	-1.9	12.60	0.80	13.40
30		20,468	22,596	2,148	16.53	17.51	+	2,110	+	1,315	+	430,005	+0.93	15.20	0	15.20	-1.55	13.55
33		12,024	12,548	2,406	19.99	20.21	+	524	+	1,317	+	430,659	+0.22	16.00	4.2	20.20	-6.33	13.87
10~0	29.798	11,568	12,034	2,416	20.58	20.78	+	466	+	445	+	145,960	+0.20	16.30	0.7	17.00	-1.72	15.22
3		13,512	14,156	2,416	20.59	20.85	+	644	+	550	+	181,485	+0.26	17.10	-3.0	14.10	0.79	14.80
6		13,870	15,334	2,274	20.89	21.54	+	1,464	+	1,054	+	344,658	+0.65	16.00	0.2	16.20	-1.05	15.15
9		14,412	14,524	2,200	21.55	21.69	+	112	+	788	+	258,484	+0.05	17.40	-1.6	15.80	0.25	16.05
12		13,320	14,170	1,996	21.67	22.08	+	850	+	481	+	157,287	+0.42	17.40	-1.4	16.00	-0.22	15.78
15		12,068	12,838	1,694	22.12	22.57	+	770	+	810	+	264,870	+0.45	17.90	0.3	18.20	-0.15	18.05
18		6,388	7,456	1,522	22.29	22.99	+	1,068	+	919	+	300,513	+0.70	18.80	1.0	19.80	-1.75	18.05
21		9,792	10,736	1,324	22.39	23.11	+	944	+	1,006	+	328,962	+0.72	18.50	-0.1	18.40	-1.35	17.05
24		9,012	8,990	1,178	22.65	22.63	-	22	+	461	+	133,808	-0.02	19.20	-0.7	17.50	0.55	18.05

表 II - 1 (c)

距 離 k m	横 断 面 積 (m ²)			平 均 河 床 高 (m)		(m ²) (A)-(B)	(m ²) 各 区 間 平 均 横 断 面 積 (C)	各 区 間 年 度 動 量 (m ³) (C) × 距 離	昭和2年と 昭和24年との 平均河床 高の差(m)	最 低 河 床 高 (m)								
	昭和2年(A)	昭和24年(B)	川幅(m)	昭和2年	昭和24年					昭和2年	昭和2年と 24年の最低 河床高差	昭和24年	昭和24年と 29年の最低 河床高差	昭和29年				
小 計			45,322 32				+17,495	+5,660,406	+9.34 32		-1.85 32		-34.9 31					
10~27		7,932 7,415 4,768	8,572 7,278 4,958	1,028 932 1,228	22.71 22.95 23.86	23.33 22.80 24.03	+	640 1,380 190	+	309 251 26	+	101,043 82,077 8,502	+0.62 -0.15 +0.15	19.50 15.90 20.40	-0.9 4.0 1.0	18.10 19.90 20.60	0.50 -0.55 -1.5	18.60 19.35 19.10
11~0	33.725	5,078	5,622	1,370	23.70	24.10	+	544	+	367	+	120,009	+0.40	20.00	2.0	21.00	-0.4	20.60
3		6,638	7,138	1,682	24.94	25.24	+	500	+	522	+	170,694	+0.30	20.50	0.2	20.70	0.90	21.60
6		8,718	9,496	1,420	25.13	25.68	+	778	+	639	+	208,953	+0.55	21.40	0.4	21.80	-0.85	20.95
9		7,556	8,484	1,350	25.60	26.28	+	922	+	853	+	279,784	+0.68	21.70	0	21.70	-0.23	21.47
12		6,550	7,120	1,122	25.83	26.34	+	570	+	749	+	244,923	+0.51	22.70	-0.4	22.30	0.40	22.70
15		5,396	5,270	888	26.21	26.07	+	129	+	222	+	72,594	-0.14	23.00	-1.3	21.70	-0.30	21.40
18		2,340	2,504	702	25.83	26.06	+	164	+	19	+	6,213	+0.23	23.60	-1.7	21.90	-0.20	21.70
21		5,970	5,996	732	26.25	26.29	-	26	+	69	+	22,563	+0.04	24.40	-0.9	23.50	-0.15	23.35
24		4,252	4,000	634	26.70	26.30	-	252	-	139	-	45,592	-0.40	24.40	-1.1	23.30	-1.3	22.00
27		4,330	4,244	600	27.21	27.07	-	88	-	169	-	55,253	-0.14	25.10	-3.1	22.00	-1.0	21.00
30		3,520	3,806	660	27.33	27.75	+	286	+	100	+	32,700	+0.48	24.40	-1.1	23.30	-1.55	21.75
33																		23.50
12~0	36.652	4,560 3,104 7,896 9,330 10,444 8,354	5,860 3,166 8,150 9,820 9,866 9,000	928 788 8150 9320 948 934	27.91 28.93 29.99 31.05 31.01 31.74	29.31 29.01 30.31 31.04 30.40 32.43	+	130 62 254 10 578 646	+	208 96 158 122 299 612	+	68,224 31,392 51,666 39,816 97,773 200,124	+1.40 +0.08 +0.32 -0.01 -0.64 +0.69	25.20 25.50 25.80 23.60 24.10 25.10	0.4 0.6 0.35 0.3 0.5 -1.3	25.60 26.10 26.15 23.90 24.60 23.80	-1.83 -0.50 -1.0 0.5 -1.7 0.3	23.77 25.60 25.15 24.40 22.90 24.10
13		6,964	7,238	780	31.92	32.27	-	274	-	460	-	150,420	+0.35	25.60	-0.1	26.50	-0.57	25.93
18		5,708	5,780	676	31.44	31.55	+	72	-	101	-	33,027	+0.11	28.60	-1.0	27.60	0.15	27.75
24		6,840	6,992	680	33.05	33.28	+	152	+	112	+	36,736	+0.23	28.30	0.3	28.60	0.10	28.70
27		3,556	3,294	446	30.97	30.38	-	262	-	55	-	21,135	-0.59	29.10	-0.4	28.70	-1.75	26.95
30		580	812	156	27.41	28.91	+	232	-	15	-	4,905	+1.50	24.40	0.9	25.30	-3.62	21.68
33		1,366	1,268	284	31.00	30.66	-	98	+	67	+	21,909	-0.34	28.60	-0.75	27.85	-0.2	27.65
13~0	40.579	1,430	1,590	324	32.11	32.60	+	160	+	31	+	10,137	+0.49	28.50	-0.5	28.00	-0.85	27.15
小 計				22,906 27						+3,081	+1,001,796	+6.67 27			-5.4 27		-17.2 27	
総 計										+7,631,890 22年	=34万m ³ /year	+728万m ³ 22年	=33万m ³ /year	-3,932万m ³ 5	=-786万m ³ /year			

注：吉野川工事事務所資料より計測。

計算値をみると 2.5 ~ 12.5 k で約 5 万 m^3 の堆積, 12.5 ~ 22.5 k では大体平衡となっており先の実測値と同じ傾向を見せている。しかし 22.5 ~ 37.5 k の間では堆積量は約 3 万 m^3 であり実測値 33 万 m^3 にくらべて非常に小さくなっている。縦断面図を見てもとくに堆積が予想される形状とはなっておらず, 計算値は妥当なものと思われる。

それでは実測値にみられるこのような大きな堆積の原因は何であろうか。ここで考えられるのは左支川からの土砂供給である。Ⅱ章で述べたように左岸の嶺岐山地からの土砂流出が多く, 山麓には扇状地を形成している。航空写真を見ると岩津下流で扇状地が吉野川旧河道によって末端をけずられていることがよくわかる。

そこでⅠ章で述べた流砂量の概算式を用いて左支川からの土砂流出量を計算してみよう。

この区域の年平均降雨は約 1560 mm であるから流出率を 0.72 としして流域 1 km^2 あたりからの年間流量は約 $1.1 \times 10^6 m^3$ 程度となる。流砂量は次の式による。

$$Q_B = 0.052 Q \cdot i \cdot f$$

f の値はよくわからないが常願寺川本宮ダムの例^{*}), Ⅱ章の河道の水理計算を参考にして $f = 0.6$ とおくことにする。これを計算すると表Ⅲ-2 のようであって合計 13 万 $m^3/year$ となる。

表Ⅲ-2 吉野川支川流出砂量の推定

$Q_B = A i \times 33 \times 10^3 m^3/year$				
区 間	流域面積 $A (km^2)$	合流点附近 河床勾配 i	$A i$	Q_B $\times 10^3 m^3$
22.5 ~ 27.5				
柿木谷川	8.2	0.02	0.164	13.9
指谷川	4.0	0.02	0.080	
九頭宇川	13.6	0.013	0.177	
27.5 ~ 32.5				
日開谷川	60.5	0.02	1.21	40.0
32.5 ~ 37.5				
伊沢谷川	15.1	0.0285	0.430	25.9
松崎谷川	3.4	0.02	0.068	
大久保谷川	8.3	0.027	0.22	
九栗谷川	3.4	0.02	0.068	

これに計算による堆積量を加えると約 16 万 $m^3/year$ となって図Ⅲ-1 の如く実測値 33 万 m^3 をかなり説明できるようになる。

^{*}) 石崎勝義「河床の変動機構(砂防ダムの堆砂)」土木学会第22回年次学術講演会(1968)

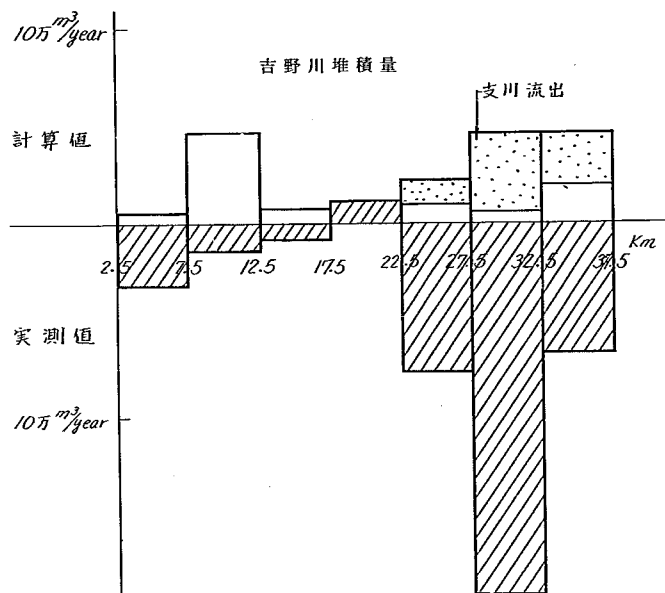


図 Ⅱ - 1

支川流出土砂量を含めると計算による全川の堆積量は約 $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{year}$ となる。これは実測値 $3.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ の 5 割にあたっている。従って吉野川の場合佐藤、吉川、芦田公式を、係数をそのままにして用いても大体実測値を説明できるように思われる。

Ⅲ-2 昭和28年～39年の河床変動

表Ⅲ-3は昭和28年～39年の平均河床高を整理したものである。図Ⅲ-2は年度毎の変化をしらべたものである。又Ⅱ章図Ⅱ-5において昭和28～39年の変化を縦断面図において表わしてある。

又図Ⅲ-3は岩津～河口間を5区間にわけて、各区間の平均河床高の平均値の経年変化を示したものである。

まず昭和28～39年の間の河床高の変化を見ると $6 \text{ km} \sim 14 \text{ km}$ 区間で約 1.2 m の低下を示している。又これより上流では $15 \sim 25 \text{ km}$ 区間で約 0.5 m の低下を生じている。この両区間を除くと他の区間では上昇、下降が大体バランスしているように見える。

さてこの両区間の河床低下量は容積にすると $1.26 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、1年あたり $1.15 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{year}$

表 III - 3 平均河床高一覽表

杆 番	杭 号	昭 和 28年度	昭 和 29年度	昭 和 30年度	昭 和 32年度	昭 和 35年度	昭 和 36年度	昭 和 37年度	昭 和 38年度	昭 和 39年度
0 / 0		-2.34	-2.41	-1.58	-1.74	-1.28	-2.29	-2.36	-1.95	-1.22
1 / 0		-1.48	-1.47	-1.35	-1.04	-1.08	-0.88	-1.04	-1.06	-1.00
2 / 0		-1.53	-1.30	-1.18	-1.20	-1.53	-1.37	-1.17	-1.27	-1.27
3 / 0		-1.64	-1.59	-1.71	-1.52	-1.94	-1.28	0.49	-1.35	-1.76
4 / 0		-1.10	0.46	-1.43	-1.09	-1.45	-1.24	-0.53	-1.36	-1.49
5 / 0		-0.84	-0.74	-0.80	-0.83	-1.31	-1.60	-1.44	-1.68	-1.59
6 / 0		-0.86	-0.69	-0.70	-0.60	-0.71	-0.98	-1.32	-1.13	-1.62
7 / 0		0.70	0.43	-0.37	0.17	0.39	-0.71	-0.64	0.67	-1.05
8 / 0		0.19	-0.28	0.61	-0.13	-0.38	-0.58	-0.44	0.76	-0.77
9 / 0		0.67	0.38	0.62	0.42	0.70	0.02	0.10	0.27	-0.57
10 / 0		1.14	0.75	0.94	0.88	0.83	0.62	0.55	0.50	-0.33
11 / 0		1.79	1.64	0.72	1.03	1.06	1.29	0.87	0.95	0.56
12 / 0		2.52	2.22	1.99	2.03	1.87	1.43	1.49	1.28	1.12
13 / 0		3.32	3.04	2.80	2.69	3.09	2.18	2.12	1.78	1.81
14 / 0		2.99	3.12	2.79	2.71	2.80	2.71	2.35	1.99	2.27
15 / 0		4.82	4.64	4.51	4.58	4.48	4.68	4.39	4.45	3.98
16 / 0		5.30	5.28	5.29	5.38	5.15	5.11	4.80	4.04	4.38
17 / 0		5.87	6.14	6.12	5.89	5.89	5.68	5.71	5.03	5.69
18 / 0		6.78	6.55	6.84	6.29	6.51	6.42	5.95	6.24	5.62
19 / 0		8.05	8.07	7.50	7.51	7.81	8.01	8.45	7.72	6.97
20 / 0		8.08	8.05	8.78	8.57	8.34	8.65	8.67	7.78	7.98
21 / 0		8.92	8.80	8.79	8.91	9.14	8.84	8.72	8.18	8.48
22 / 0		9.90	9.57	10.35	10.24	9.79	10.27	9.28	9.06	9.40
23 / 0		10.71	10.47	10.89	10.61	10.85	10.73	10.25	9.74	10.01
24 / 0		12.14	12.23	12.29	12.13	12.22	12.18	12.03	11.56	12.09
25 / 0		12.93	12.86	13.43	13.52	13.42	13.47	13.20	13.08	13.42
26 / 0		14.40	14.73	14.88	14.61	15.09	14.90	14.79	14.44	14.53
27 / 0		16.33	16.23	15.50	15.52	15.74	16.16	15.67	15.09	15.60
28 / 0		16.69	16.54	16.40	16.27	16.16	16.57	15.97	15.42	16.00
29 / 0		18.20	17.82	18.12	18.12	18.46	18.12	18.08	18.20	17.79
30 / 0		19.69	19.72	19.22	19.03	19.50	19.15	19.53	18.74	19.02
31 / 0		20.65	20.91	20.55	20.54	20.24	20.62	20.47	19.93	21.15
32 / 0		21.79	21.71	21.81	22.12	21.59	21.33	21.69	22.03	21.80
33 / 0		23.94	23.75	23.51	23.31	22.85	23.20	23.30	23.37	23.49
34 / 0		25.49	25.38	24.98	25.07	25.10	25.31	24.91	24.80	25.12
35 / 0		25.45	25.29	25.46	25.51	25.29	25.29	25.36	24.40	25.84
36 / 0		25.68	25.53	25.97	25.98	25.93	25.92	26.02	26.05	25.78
37 / 0		26.96	27.62	27.61	27.60	27.58	27.45	27.47	27.37	27.76
38 / 0		29.46	29.49	29.78	29.66	30.04	29.93	29.61	28.99	29.68
39 / 0		30.71	31.15	30.84	30.81	30.90	30.82	30.79	30.65	31.30
40 / 0		28.71	28.11	28.24	28.92	28.96	29.10	28.33	28.69	28.67

28年-29年(28.3-29.7) 平均河床高对前年变化图

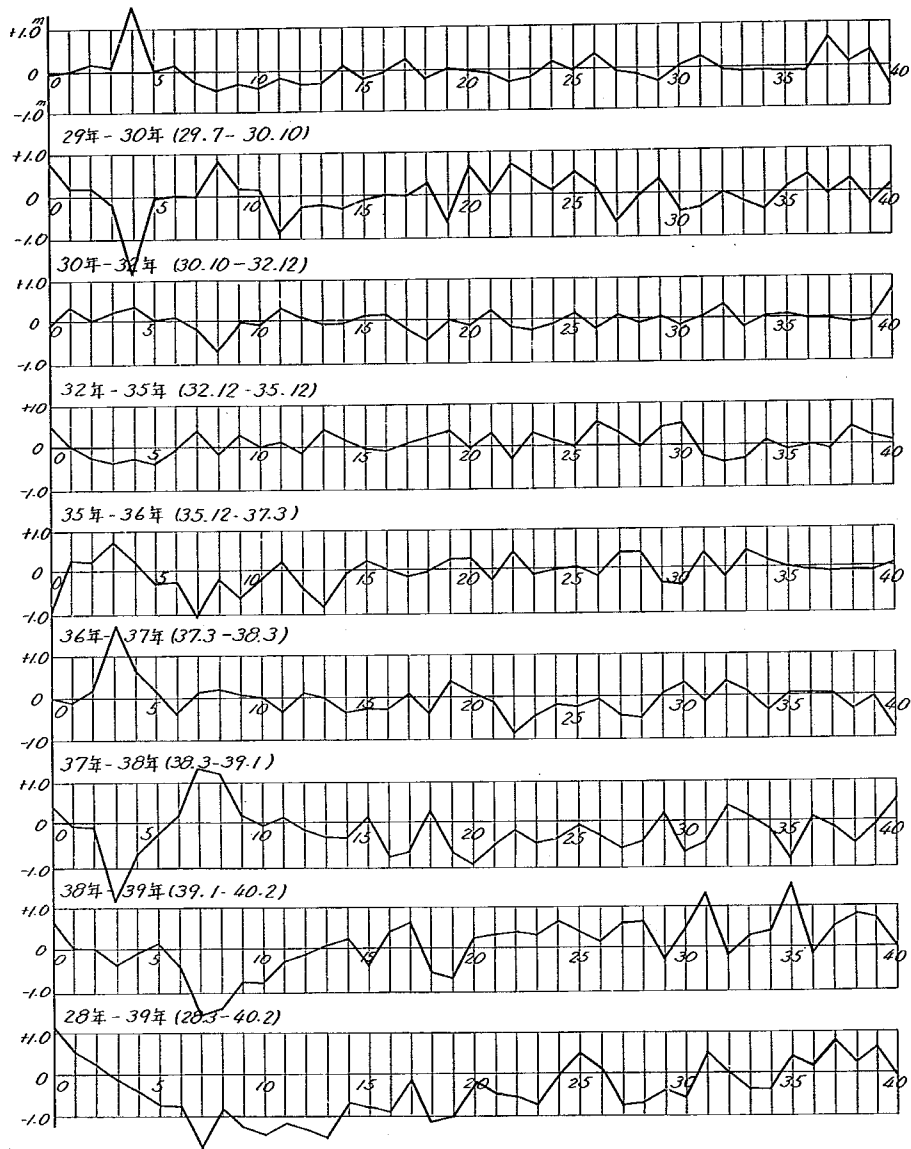


图 1 - 2

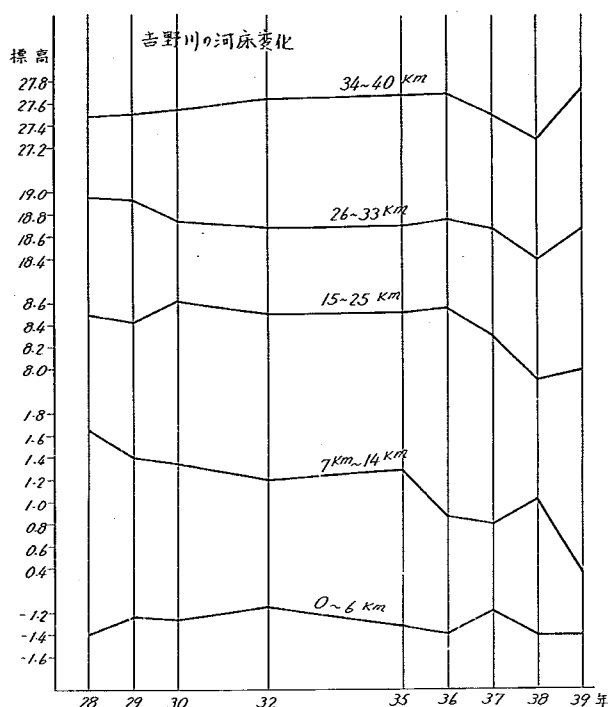


図 Ⅲ - 3

砂利採取量は許可量の数倍になると言われているが、この場合も許可量と工事事用採取量の合計は 11 年間で 620 万 m^3 であって河床の低下量 1550 万 m^3 よりかなり小さくなっている。そこで実際の採取量を許可量の 5 倍と仮定すると採取量の合計の推移は図Ⅲ-4 のようであって増加の傾向は河床の低下の傾向図Ⅲ-5 とよく一致しているが量的には一致しない。

表Ⅲ-5 は河床低下の激しくない昭和 35 年以前と低下の激しい昭和 35 年以降をわけて河床の低下量を整理したものである。これをみると昭和 35 年以前は毎年 54 万 m^3 の低下となっている。この間の許可量の平均は年 14.5 万 m^3 であるから許可量の 3.7 倍にあたる。なお上流及支川からの流入土砂量を前節の検討のように 35 万 m^3 /year とすると砂利採取量は約 90 万 m^3 /year になるので許可量の 6 倍程度になる。

一方 35 年以降は河床の低下量は毎年 290 万 m^3 に及ぶ。この間の許可量は 100 万 m^3 /year であるから約 3 倍の砂利が採取されたことになる。これは上流からの土砂供給を考え入れてもあまりかわらない。

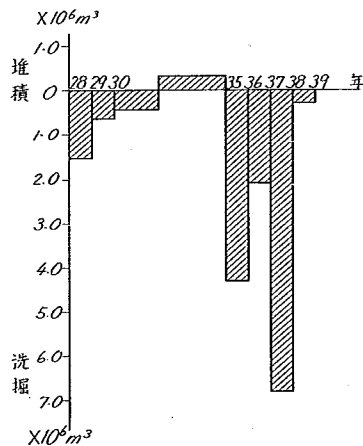
以上のように昭和 28~39 年にかけての河床低下現象の原因は、もともと堆積傾向にあった河川が低下傾向になっていること、河床低下の区間が採取の場所と合っていること、河床低下の

となる。先の検討ではこの区間は堆積傾向であり、しかも堆積量は全川で 30 万 m^3 /year 程度であるからここで算出された低下量は非常に大きなものである。更に両区間を比較すると 6 k~14 k 区間の低下が昭和 35 年位から始まっているのに対し 15~25 k 区間は 36~37 年位から低下が始まっている。これは吉野川の砂利採取が下流から次第に上流に及んでいった事実とよく対応している。そこで次に砂利採取の状況を調べてみる。

表Ⅲ-4 はこの期間の砂利採取許可量と河川工事事用砂利採取量である。実際の

表Ⅲ-4 土石採取量一覽表 (m^3)

年度別	採 取 業 者 に よ る 採 取 量						河川工事 等による 採 取 量	合 計	摘 要
	許 可 採 取 量					推 定 採 取 量			
	砂	利	砂	かき込	玉栗石				
28	91,500		41,000	2,000	259	134,759	687,000	175,838	862,838
29	52,300		13,000	3,100	489	68,889	351,000	149,167	500,167
30	41,000		9,000	2,759	140	52,899	270,000	94,565	364,565
31	50,000		10,000	9,000	83	69,083	352,000	90,053	442,053
32	215,000		71,000	25,000	2,787	313,787	1,600,000	64,719	1,664,719
33	90,000		31,000	2,100	302	123,402	629,000	111,013	740,013
34	95,000		34,000	6,900	190	136,090	694,000	97,775	791,775
35	200,000		50,000	20,000	800	270,800	1,381,000	93,270	1,474,270
36	375,000		70,000	25,400	1,000	471,400	2,404,000	128,800	2,532,800
37	605,000		135,000	63,100	2,000	805,100	4,106,000	56,050	4,162,050
38	760,000		150,000	90,000	3,000	1,003,000	5,153,000	45,400	5,198,400
39	260,000		184,000	218,000	10,000	1,672,000	8,527,000	60,000	8,587,000
計	3,834,800		798,000	467,359	21,050	5,121,209	26,154,000	1,166,650	27,320,650



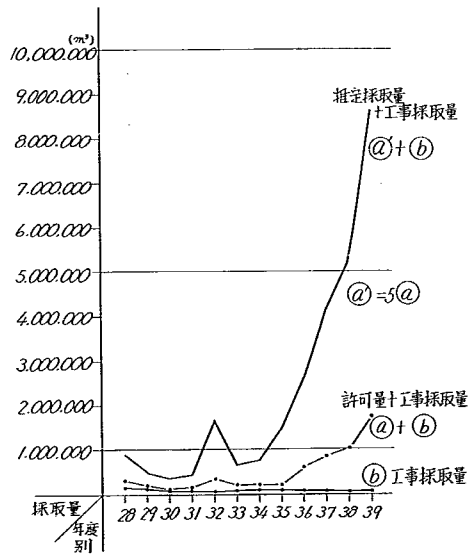
図Ⅲ-4

表Ⅲ-5 河床測量による河床変動量
(「吉野川計画河床資料編」より)

区 間 k_m	河 床 上 昇 又 は 下 降 量				貯留面積 $\times 10^6 m^2$	28～35年 $\times 10^3 m^3$ 年平均堆積又 は洗掘量	35～39年 $\times 10^3 m^3$ 年平均堆積又 は洗掘量
	28年～35年		35年～39年				
	変化量 _{mm}	年平均	変化量 _{mm}	年平均			
0～6.5	+80	+11.5	-100	-25	7.8	+90	-195
6.5～14.5	-370	-53	-910	-228	6.8	-360	-1550
14.5～25.5	+10	+1.4	-510	-127	7.7	+11	-980
25.5～33.5	-260	-38	-90	-23	9.6	-365	-220
33.5～40.0	÷200	+29	-40	+10	3.3	+96	+33
合 計						-540	-2900

時間的な経過が採取の許可量の推移と一致していること、量的にも採取量を許可量の3倍と考えれば説明がつく等の理由から砂利の採取が主要な原因であると考えられるのである。

以上この章の検討から吉野川の実際の河床変動は河床低下も含めて合理的な説明がつけられること、河床変動計算の流砂量公式としては佐藤・吉川・芦田公式を係数をそのままにして用いても大体差支えないということがわかる。



図Ⅲ-5

Ⅳ 河 床 変 動 計 算

上記の検討に基いて吉野川の河道計画に伴う河道の安定の検討を河床変動計算によって行う。

はじめにⅠ章で述べた方法により現状河道及掘削河道の二案につき将来の河床変化の大小を推定する。

実際に計画される河道は複断面又は複々断面である上にエネルギー勾配は必ずしも河床勾配に等しくならない。そこで次に通常の河床変動計算を行って、上記の計算を更に詳しく検討した。しかし計算の対象とする年数は経費の関係で9年間にとどめた。

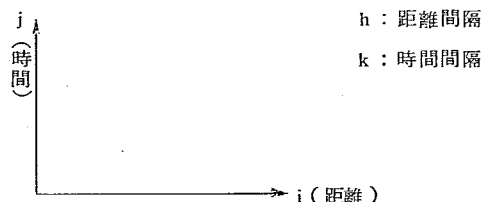
なお支川からの土砂流出については詳しい検討がなされていないので今回の計算には含めなかった。

Ⅳ-1 縦断形状の変化について

Ⅰ章で述べた方法を適用して縦断形状の変化を計算する。熱伝導の式 $\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ を差分化すると次のようになる。

$$u_{i,j+1} = \lambda (u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}) + u_{i,j} \quad (4-1)$$

$$\lambda = \frac{\alpha k}{h^2} \quad (4-2)$$



基礎式(3-14)式には係数Fが含まれているので(4-1)を修正すると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} u_{i,j+1} &= \frac{\alpha k}{h} (F_1 (u_{i+1,j} - u_{i,j}) - F_2 (u_{i,j} - u_{i-1,j})) + u_{i,j} \\ F_1, F_2 &\text{は } \tau/\tau_c \text{ によって定まる係数} \\ \alpha &= \frac{Q \cdot \varphi}{(1-\lambda) B \varphi_0 \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)} \end{aligned} \right\} \quad (4-3)$$

ここで流量Qとしては昭和36より38年までの3年間の年総量の平均値 $4.5 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ を与える。 $\varphi = 0.623$, $(1-\lambda) = 0.6$, $\frac{\sigma}{\rho} - 1 = 1.65$ とする。 φ_0 を求めるためのn, hの値は $n = 0.03$, $h = 1.0 \text{ m}$ とした。なお $h = 4.0 \text{ m}$ としたときの計算も行ったが図Ⅳ-1のよう大きな差は生じない。

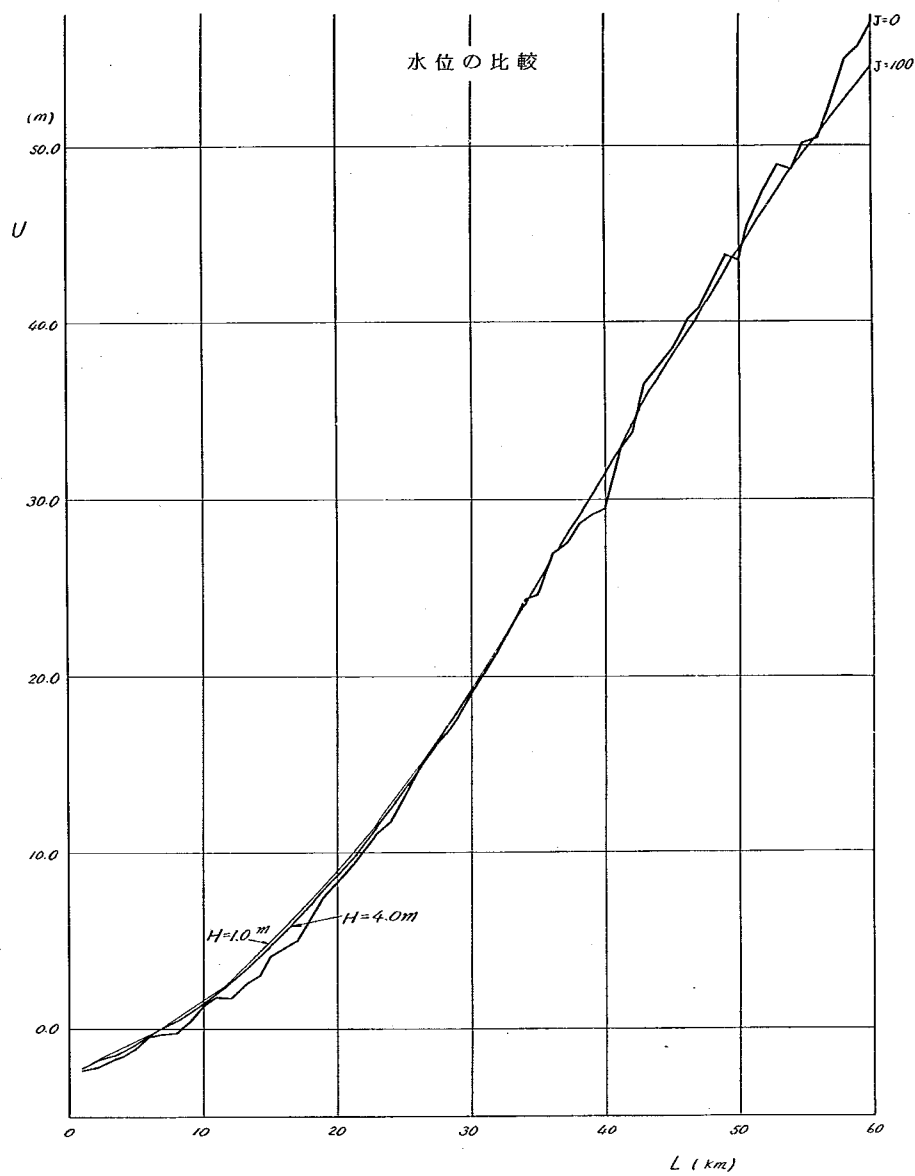


図 IV - 1

距離間隔 k は 1 km とした。時間間隔は誤差の問題及計算の安定条件との関連で定める必要がある。

いまある時刻における u の値が図のようになっているとき、次の時刻の u の値 $u_{i,j+1}$ の値を (4-1) 式によって計算するとき、計算値は λ の値によって図のようになる。すなわち $\lambda > 1$ のときは発散、 $1 > \lambda > \frac{1}{2}$ の

ときは振動することになる。

従って安定のためには $\lambda < \frac{1}{2}$

であることが必要である。

一方誤差については、一次元の熱伝導の式を (4-1)

のように差分化した場合

$\lambda = 1/6$ のときは $O(h^4)$,

$\lambda = 1/6$ のときは $O(h^6)$ と

なる。^{*} すなわち誤差の面からは $\lambda = 1/6$ が望ましく、これは安定のための条件も満足している。

今回の計算では断面毎に α の値が変わるので λ の値を一定にすることは出来ない。そこで大体 λ の値が $1/6$ 程度になるように時間間隔 k を定めることにする。

式 (4-3) において $B = 1000$ とすると、 $\alpha = (4.5 \times 10^9 \times 0.623) / (0.6 \times 1000 \times 10 \times 1.65) = 0.28 \times 10^6$ となる。式 (4-2) において、 $\lambda = 1/6$,
 $\alpha = 0.28 \times 10^6$, $h = 1000$ とおくと、

$$k = \frac{\lambda h^2}{\alpha} = \frac{0.167 \times (10^3)^2}{0.28 \times 10^6} = 0.6 \quad (\text{year})$$

そこで時間間隔としては $1/2$ 年をとることにする。

次に上流端での条件としては、河床高一定、河床勾配一定、河床勾配の変化率一定等のいろいろの条件が考えられるが、上流からの給砂量が計算のはじめと終りではあまり変化しないものと考えて河床勾配一定という条件をとった。すなわち上流端での差分式は次のようになる。

$$u_{0,j+1} = \frac{\alpha k}{h} \left(i_0 - \frac{u_{0j} - u_{1j}}{h} \right) + u_{0,j} \quad (4-4)$$

i_0 は縦断面より読みとり、 $i_0 = 1.35 \times 10^{-3}$ とした。

下流端条件としては河口で常に河床高一定という条件を与えた。

河床材料の粒径の効果については今回は取り入れないで常に $F = 1$ とした。

初期条件としての河床高は IV 章 - 2 で述べる計画案 (現状計画案及掘削計画案) から各断面の平均河床高を求めた。これを表 IV - 1 に示す。

計算の手順については図 IV - 2 のプログラムを参照されたい。

* 赤坂 隆 「数値計算」 (応用数学講座第 7 巻) コロナ社

表Ⅳ-1(a) 吉野川平均河床高

現狀計畫案

L (km)	① B1×Z1	② B2×Z2	③ ①+②	④ B1+B2	⑤ Z=③/④
0.0	-3238.5	0.0	-3238.5	1270	-2.55
1.0	-2940.0	0.0	-2940.0	1200	-2.45
2.0	-2702.5	0.0	-2702.5	1150	-2.35
3.0	-2182.5	0.0	-2182.5	1162	-1.88
4.0	-1785	0.0	-1785	1060	-1.68
5.0	-1400	376	-1024	860	-1.19
6.0	-1330	826	-504	980	-0.50
7.0	-1260	812.5	-447.5	950	-0.47
8.0	-1015	745.5	-269.5	910	-0.30
9.0	-600	924	324	840	0.39
10.0	-360	1565.5	1205.5	910	1.32
11.0	0	1350	1350	800	1.69
12.0	220	971.2	1191.2	710	1.68
13.0	660	943.6	1603.6	690	2.32
14.0	900	814	1714	610	2.81
15.0	1485	1385.5	2870.5	720	3.99
16.0	1980	1068	3048	670	4.55
17.0	2530	435	2965	600	4.94
18.0	2970	975	3945	650	6.07
19.0	3492.5	1957	5449.5	740	7.36
20.0	4042.5	1896	5938.5	710	8.36
21.0	4510	2048.5	6558.5	720	9.11
22.0	5005	2227	7232	720	10.04
23.0	5500	2800	8300	750	11.07
24.0	8288	1953	10240	880	11.64
25.0	8060	2254	10314	790	13.06
26.0	9450	4440.8	13890.8	960	14.47
27.0	10290	7581.0	17871	1120	15.96
28.0	11130	4015	15145	920	16.46
29.0	11970	6457.5	18427.5	1050	17.55
30.0	12810	4009	16819	890	18.90
31.0	13580	3935.5	17515.5	870	20.13
32.0	14420	5103	19523	910	21.45
33.0	16350	9342.5	25692.5	1120	22.94
34.0	17250	13932	31182	1290	24.17
35.0	15665	2763	18428	750	24.57
36.0	12144	2945	15589	580	26.88
37.0	14045	4515	18560	680	27.29
38.0	20498	2481.6	22979.6	820	28.02
39.0	16762	1277.6	18039.6	620	29.10

(注) L: 累加距離 (km) B1: 低水路巾 (m) Z1: 低水路河床高 (m)
 Z2: 高水敷巾 (m) Z2: 高水敷河床高 (m) Z: 平均河床高 (m)

表 IV - 1 (b)

現狀及掘削計畫案

L	① B1×Z1	② B2×Z2	③ ①+②	④ B1+B2	⑤ Z
40.0	5996.0	1326.5	7322.5	250	29.29
41.0	6159.4	8190.0	14349.4	440	32.61
42.0	8459.2	19250.0	27709.2	822	33.71
43.0	7670.0	10480.0	18150.0	498	36.45
44.0	9254.7	15920.0	25174.7	671	37.52
45.0	8885.4	12792.0	21677.4	563	38.50
46.0	10840.5	12012.0	22852.5	570	40.09
47.0	12474.0	13860.0	26334.0	645	40.83
48.0	11339.0	15750.0	27089.0	640	42.33
49.0	9031.5	11609.0	20640.5	470	43.92
50.0	9752.5	7849.0	17601.5	402	43.78
51.0	8388.8	14208.0	22596.8	492	45.93
52.0	8780.0	14700.0	23480.0	494	47.53
53.0	19295.0	19981.0	39276.0	802	48.97
54.0	14880.0	11284.0	26164.0	537	48.72
55.0	12741.4	11448.0	24189.4	482	50.19
56.0	14543.5	6837.0	21380.5	424	50.43
57.0	15210.0	12870.0	28080.0	534	52.58
58.0	11434.0	26598.0	38032.0	693	54.88
59.0	10062.0	29196.0	39258.0	704	55.76
60.0	12716.0	25740.0	38456.0	675	56.97

表Ⅳ-1(c)

掘削計画案

L	① B1×Z1	② B2×Z2	③ ①+②	④ B1+B2	⑤ Z
0.0	-7048.5	0	-7048.5	1270	-5.55
1.0	-6540	0	-6540	1200	-5.45
2.0	-6152.5	0	-6152.5	1150	-5.35
3.0	-5092.5	0	-5092.5	1162	-5.25
4.0	-4335	0	-4335	1060	-5.1
5.0	-3500	376	-3124	860	-3.63
6.0	-3430	826	-2604	980	-2.66
7.0	-3360	812.5	-2547.5	950	-2.68
8.0	-3115	745.5	-2369.5	910	-2.60
9.0	-2400	924	-1476	840	-1.76
10.0	-2760	1565.5	-1194.5	910	-1.31
11.0	-1650	1350	-300	800	-0.38
12.0	-1430	971.2	-458.8	710	-0.65
13.0	-990	943.6	-46.4	690	-0.07
14.0	-600	814	214	610	0.35
15.0	-165	1385.5	1220.5	720	1.70
16.0	330	1068	1398	670	2.09
17.0	880	435	1315	600	2.19
18.0	1320	975	2295	650	3.53
19.0	1842.5	1957	3799.5	740	5.13
20.0	2392.5	1896	4288.5	710	6.04
21.0	2860	2048.5	4908.5	720	6.82
22.0	3355	2227	5582	720	7.75
23.0	3850	2800	6650	750	8.87
24.0	6068	1953	8021	880	9.11
25.0	6110	2254	8364	790	10.59
26.0	7350	4440.8	11790.8	960	12.28
27.0	8190	7581	15771	1120	14.08
28.0	9030	4015	13045	920	14.18
29.0	9870	6457.5	16327.5	1050	15.55
30.0	10710	4009	14719	890	16.54
31.0	11480	3935.5	15415.5	870	17.72
32.0	12320	5103	17423	910	19.15
33.0	14100	9342.5	23442.5	1120	20.93
34.0	15000	13932.0	28932	1290	22.43
35.0	13715	2763	16478	750	21.97
36.0	10896	2945	13841	580	23.86
37.0	12879	4515	17394	680	25.58
38.0	19684	2481.6	22165.6	820	27.03
39.0	16762	1277.6	18039.6	620	29.10

以下現状河床と同じ

```

begin
  real TF,TFC,TFC3,F1,F2,FRAM,DX,DT,H,Q,OH,A;
  integer I,J,JJ,L,SN,CN,SJ;
  array U[0:20,0:250],RAM,B,N,UE[0:40];

  procedure FCULC;
  begin
    TF:=(U[I,J]-U[I+1,J])*3*H*100.0/DX;
    if TF<TFC then F1=0.0 else F1=0.5*TF/TFC-0.5;
    if TF>TFC3 then F1=1.0;
  end;

  READ(SN);
  for I=0 step 1 until SN do
    READ(B[I],N[I],U[I,0],UE[I]);
  READ(CN);
  for L=1 step 1 until CN do
    begin
      READ(DX,DT,SJ,H,Q,OH,TFC);
      PRINT('DX='); PRINT(4,DX); PRINT('DT='); PRINT(4,DT); PRINT('SJ='); PRINT(4,SJ); PRINT('H=');
      PRINT(4,H); PRINT('Q='); PRINT(4,Q); PRINT('OH='); PRINT(4,OH); PRINT('TFC='); PRINT(4,TFC); CRLF(1);
      A=DT*0.4*6.75*Q/(DX)*2/(H*100.0)*(1.0/6.0)/0.6;
      TFC3=3.0*TFC;
      for I=0 step 1 until SN do
        begin
          RAM[I]=A/B[I]*N[I];
        end;
        for J=0 step 1 until SJ do
          U[SN,J]=0.0;
        for J=0 step 1 until SJ do
          begin
            I=0;
            FCULC;
            if TF<TFC then F2=0.0 else F2=0.5*TF/TFC-0.5;
            if TF>TFC3 then F2=1.0;
            U[0,J+1]=RAM[I]*(U[I,J]-U[0,J])*F1+OH*F2+U[0,J];
            CRLF(1); PRINT('J='); PRINT(4,J+JJ); CRLF(1);
            PRINT('***I****F1*****F2*****U*****RAM*****FRAM*****U*HENKA
            CRLF(1);
            PRINT(2,I); PRINT(2.3,F1); PRINT(2.3,F2); PRINT(9,U[0,J]); PRINT(4,RAM[I]);
            PRINT(9,FRAM); PRINT(4,U[I,J]-U[I,0]); CRLF(1);
            for I=1 step 1 until SN-1 do
              begin
                F2=F1;
                FCULC;
                U[I,J+1]=RAM[I]*(F1*(U[I+1,J]-U[I,J])-F2*(U[I,J]-U[I-1,J]))+U[I,J];
                FRAM:=(U[I,J+1]-U[I,J])/(U[I+1,J]-2.0*U[I,J]+U[I-1,J]);
                PRINT(2,I); PRINT(2.3,F1); PRINT(2.3,F2); PRINT(9,U[I,J]); PRINT(4,RAM[I]);
                PRINT(9,FRAM); PRINT(4,U[I,J]-U[I,0]);
                CRLF(1);
              end;
            CRLF(1);
          end;
        end;
      GRLF(5);
    end;
  end;
end;

```

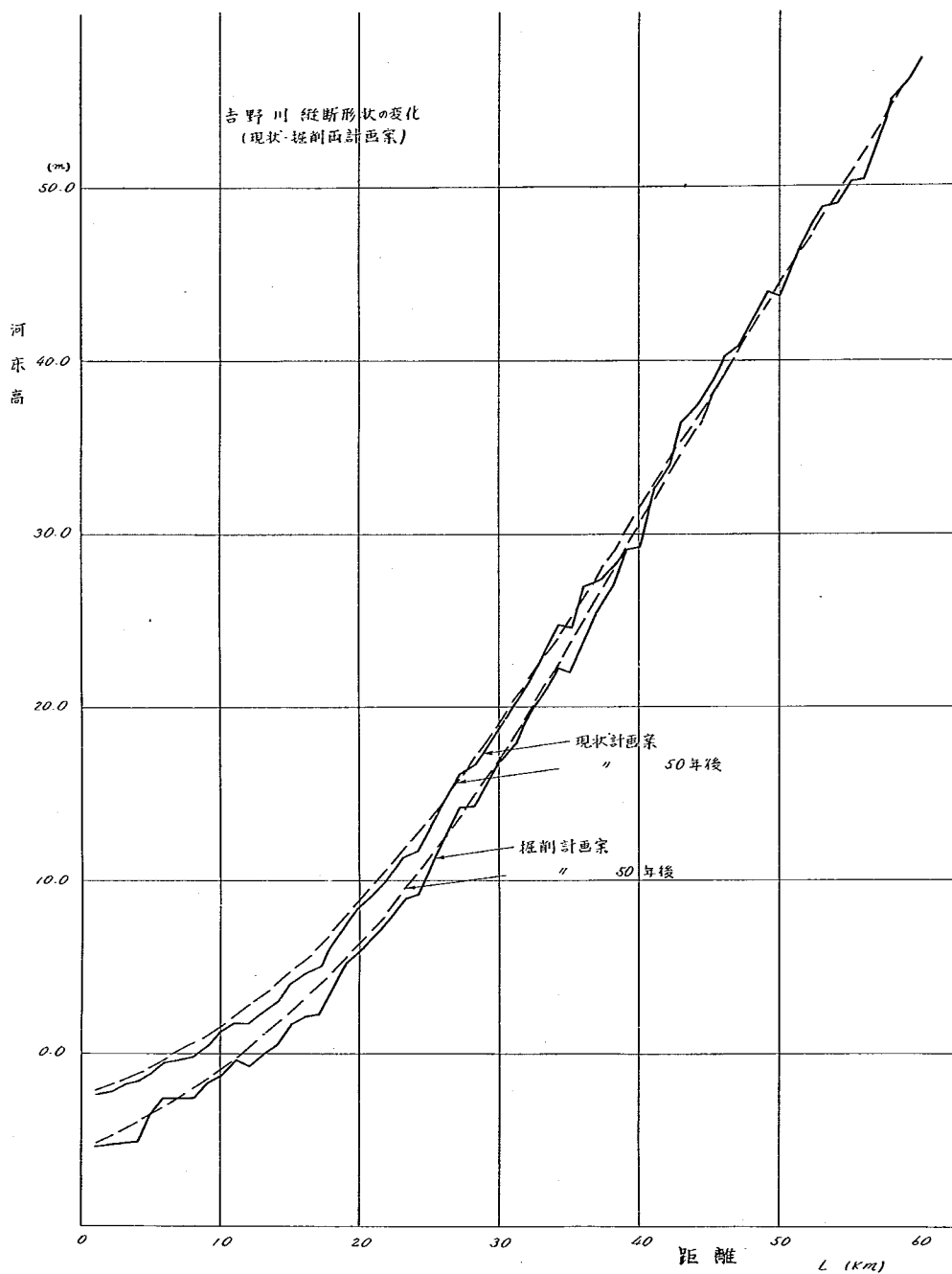


図 IV - 3

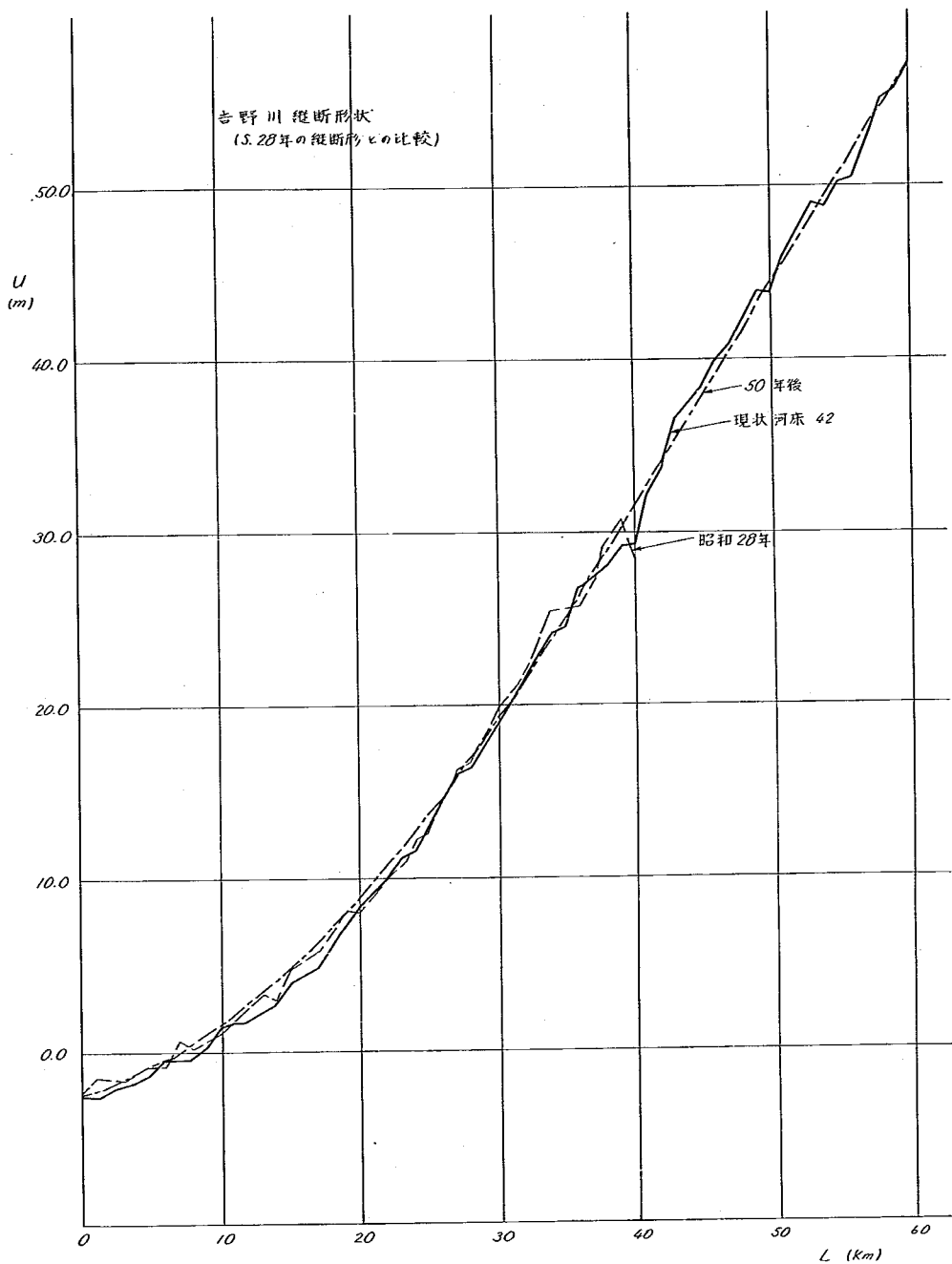


図 IV - 4

計算結果を図示すると図Ⅳ-3のようである。

現状案、掘削案とも37~40Kで堆積傾向、40~50kmで洗掘傾向となっている。両者をくらべると堆積についても洗掘についても掘削案の方が規模が大きくなっている。

又10K~30Kにかけては両案とも堆積傾向である。とくに10K~15Kにとくに著しい。これは先に調べた砂利採取による河床低下の激しい区間と一致している。そこで砂利採取の影響のない昭和28年の河床高を記入してみると図Ⅳ-4の如くこの区間で計算値とかなり一致する。即ち、砂利採取による局所的な河床低下もこのまま放置すれば、次第に消えてもとの縦断形状にもどってゆくことがわかる。このことから吉野川の自然の縦断形状は安定を保ちながらゆっくりと形をかえるという地形学者のいう平衡状態にあったことがうかがわれる。

以上の計算より計画案の河道の安定について現状、掘削両案とも50年程度では計画案のままで維持可能であることがわかる。もちろん横断形とくに川巾の効果、河口近くでの潮位の効果については、なお検討する必要があるが大すじとしては両案とも河道安定の面からは実施可能という見通しが得られる。

Ⅳ-2 複断面河道の河床変化について

Ⅳ-2-1 計 算 方 法

はじめに計算の基礎式を記し次に二・三の点について説明をつける。

(1) 計算の基礎式

この計算の基礎式は普通に用いられている河床変動の一次元解析法と同じく流れの運動方程式、流れの連続式、土砂の運動方程式（ここでは流砂量公式）、土砂連続式の4つより成る。

通常河道は単断面として取扱われるがここでは複断面（40km及これより上流）、複々断面（40kmより下流）として扱った。そのため解析法は一次元解析法の修正されたものとなる。修正は主として井田の方法による。これは洪水流の航空写真観測によってその妥当性を確かめたものである。

運 動 方 程 式

$$\frac{\partial H_e}{\partial x} = i \quad (1)$$

$$i = \frac{Q_1^2 n_1^2}{R_1^4 A_1^2} \quad (2)$$

$$H_e = H + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{Q_1}{Q} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{Q_2}{Q} + \frac{V_3^2}{2g} - \frac{Q_3}{Q} \quad (3)$$

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{\frac{1}{n_1} B_1 R_1^{\frac{5}{3}}}{\frac{1}{n_1} B_1 R_1^{\frac{5}{3}} + \frac{1}{n_2} B_2 R_2^{\frac{5}{3}} + \frac{1}{n_3} B_3 R_3^{\frac{5}{3}}} \quad (4)$$

$$\frac{Q_2}{Q} = \frac{\frac{1}{n_2} B_2 R_2^{\frac{5}{3}}}{\frac{1}{n_1} B_1 R_1^{\frac{5}{3}} + \frac{1}{n_2} B_2 R_2^{\frac{5}{3}} + \frac{1}{n_3} B_3 R_3^{\frac{5}{3}}} \quad (5)$$

$$R_1 = H - Z_1, \quad R_2 = H - Z_2, \quad R_3 = H - Z_3 \quad (6)$$

$$A_1 = B_1 R_1, \quad A_2 = B_2 R_2, \quad A_3 = B_3 R_3 \quad (7)$$

$$V_1 = Q_1 / A_1, \quad V_2 = Q_2 / A_2, \quad V_3 = Q_3 / A_3 \quad (8)$$

$$\tau_1 = \rho g R_1 i, \quad \tau_2 = \rho g R_2 i \quad (9)$$

$$u_{*1} = \sqrt{g R_1 i}, \quad u_{*2} = \sqrt{g R_2 i} \quad (10)$$

$$q_{B1} = \frac{\varphi_1 F_1}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)g} u_{*1}^3, \quad q_{B2} = \frac{\varphi_2 F_2}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)g} u_{*2}^3 \quad (11)$$

$$F_1 = \sum_d (F_{d1} \cdot i b d), \quad F_2 = \sum_d (F_{d2} \cdot i b d) \quad (12)$$

$$F_{d1} = F(\tau_1 / \tau_{cd1}), \quad F_{d2} = F(\tau_2 / \tau_{cd2}) \quad (13)$$

$$Q_{B1} = B_1 \cdot q_{B1}, \quad Q_{B2} = B_2 \cdot q_{B2} \quad (14)$$

河床変動計算

3.9 kmより下流の場合

(1) $Q_{上1} > Q_{下1}$ (高床部より低水路への土砂流入なし)

$$\frac{\Delta Z_{下1}}{\Delta t} = \frac{Q_{B上1} - Q_{B下1}}{B_{下1} \Delta x (1-\lambda)}, \quad \frac{\Delta Z_{下2}}{\Delta t} = \frac{Q_{B上2} - Q_{B下2}}{B_{下2} \Delta x (1-\lambda)} \quad (15)$$

(2) $Q_{上1} < Q_{下1}$ (高床部より低水路へ ΔQ_B の土砂流入あり)

$$\Delta Q = Q_{下1} - Q_{上1} \quad (16)$$

$$\frac{\Delta Q_B}{Q_{B上2}} = \frac{\Delta Q}{Q_{上2}} \quad (17)$$

$$\frac{\Delta Z_{下1}}{\Delta t} = \frac{Q_{B上1} + \Delta Q_B - Q_{B下1}}{B_{下1} \Delta x (1-\lambda)}, \quad \frac{\Delta Z_{下2}}{\Delta t} = \frac{Q_{B上2} - \Delta Q_B - Q_{B下2}}{B_{下2} \Delta x (1-\lambda)} \quad (18)$$

4.0 kmより上流の場合

$$\frac{\Delta Z_{下1}}{\Delta t} = \frac{Q_{B上} - Q_{B下}}{B_{下1} \Delta x (1-\lambda)} \quad (19)$$

He : エネルギー水頭

x : 縦断方向距離

i : エネルギー勾配

Q_i : 水路各部分の流量

添字 1, 2, 3, は低床部, 高床部, 高水敷 (39 km 以下)

1, 2 は 低水路, 高水敷 (40 km 以上)

を示す。

n_i : 水路各部の粗度

R_i : " の水深

A_i : " の流積

B_i : " の川幅

V_i : " の流速

τ_i : " の掃流力

ρ : 水の密度

g : 重力の加速度

u_{*i} : 水路各部の摩擦速度

q_B : 単位幅, 単位時間あたり流砂量

φ_i : 流砂量公式中の係数 = 0.623 ($n > 0.025$)

$$= 0.623 \left(\frac{1}{40n} \right)^{-3.5} \quad (n < 0.025)$$

F_i : 流砂量公式中の係数

σ : 土砂の密度

F_{d1} : 低水路 (或は低床部) 河床を構成する材料のある粒度範囲 (代表粒径 d) に対する係数 F の値

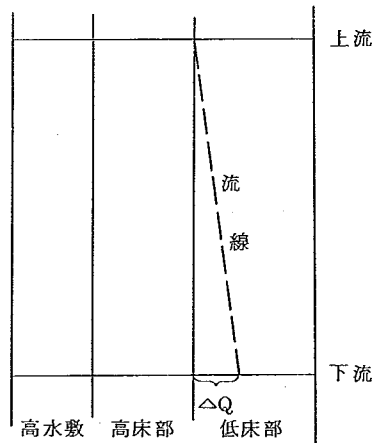
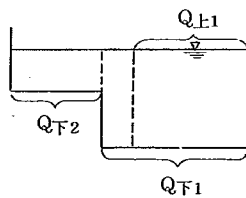
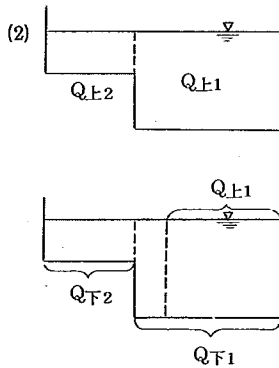
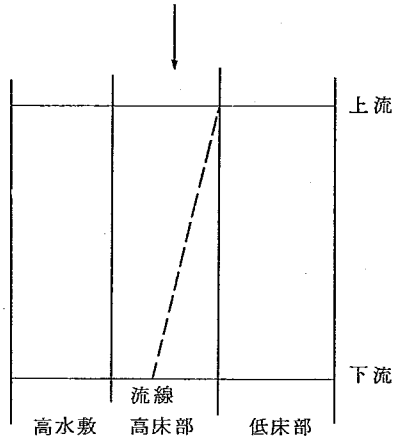
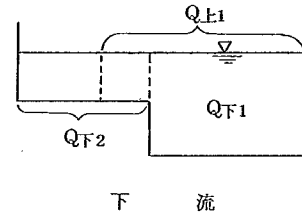
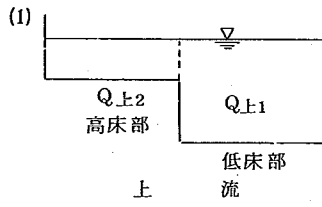
F_{d3} : 高床部河床を構成する材料のある粒度範囲 (代表粒径 d) に対する係数 F の値

i_{bd} : 粒径 d で代表される粒度範囲の材料の全材料中に示める割合 (重量)

τ_{cd} : 粒径 d の粒子の限界掃流力

Q_{Bi} : 水路各部分の流砂量

説明図



(2) 複断面水路の不等流計算

複断面或は複々断面の水路の計算は、水路が幅広くてしかも一つの断面で河床高の構成が異なるときに用いられる簡易計算であって本質的には一次元解析法である。

複断面或は複々断面水路の水が流れるとき一般には高水敷・低水路で粗度が異なるので鉛直方向に平均した流速は高水敷上と低水路内では異なる。又粗度が同一であったとしても水深が異なれば流速が変化する。

ここで用いた井田の方法*はこのような場合に用いる近似的な方法であって、河道を河床高に応じていくつかに分割し抵抗則を各部分毎に計算しようとするものである。このとき水位は全体で同一の値と考える。従って水面勾配も全体で同一となる。

この断面のエネルギー水頭は水路の各部分のもつエネルギー水頭の重みつき平均と仮定する。又、エネルギー勾配はどの水路においても同一値をとるものと考ええる。

以上の考え方によれば各水路で流速が異なるのでその境界において当然レイノルズ応力が働き、流速を平均化しようとする作用が生ずるはずであるが、井田の方法はこれを河床摩擦にくらべて無視しているわけである。

吉野川では昭和39年の出水を航空写真によって観測し、流速分布を詳細に測定している。これを用いて0 km～4 kmで井田の方法を検証したところ大体成立していることがわかった。^{**}そこで今回の計算は井田の方法によって0～3.9 kmを複々断面、4.0 kmより上流を複断面として取扱っている。

(3) 流量のグループ化

複断面或は複々断面の場合には流量によって断面の水利・流砂特性が異なる。実際の流れの規模は渇水から洪水まで変動が大きいのでこれを一つの流量によって代表させることは難しい。しかし流量が変化する毎に不等流計算を行ったのでは計算量が膨大となる。そこで流量を次のようにグループ分けして各区分の代表流量について不等流計算を行った。各区分毎の流量の平均値は必ずしも代表流量に等しくならない。流砂量と流量が大体比例関係にあることを考えて計算において各区分の累加流量が正しくなるように継続時間を修正することにした。グループ分けは次のように行った。

代表流量 m^3/sec	範 囲 m^3/sec
5 0	0 ～ 1 0 0
1 5 0	1 0 0 ～ 2 0 0
3 0 0	2 0 0 ～ 4 0 0
6 0 0	4 0 0 ～ 8 0 0

* 土木学会「水理公式集」P. 8 4

** 石崎勝義「河道内の流速分布—吉野川39年洪水より」土木技術資料

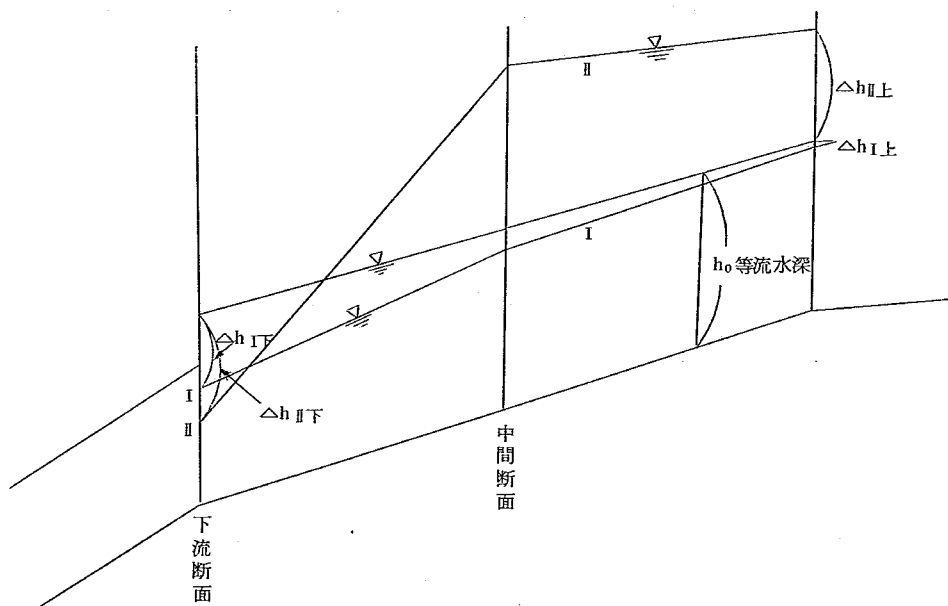
1,200	800~1,600
2,400	1,600~3,200
4,800	3,200~6,400
8,200	6,400~10,000
12,500	10,000~15,000

(4) 不等流計算の不安定対策

今回の計算の距離間隔は1kmであるため通常の不等流計算のままでは計算不安定が発生する。とくに流量が小さいときに計算が不安定となりやすい。そこで次のような check を行つて不安定の発生を防ぐことにした。

説明図において下流断面における水深がⅠのようであつて計算の結果 $\Delta h_{I上} < \Delta h_{I下}$ であれば流れは等流水深にすりついてゆく。しかし水深がⅡのようであつて計算の結果 $\Delta h_{II上} > \Delta h_{II下}$ のようであると計算が進むにつれて等流水深との差が大きくなり計算が不安定になる。これは計算の距離間隔が大きすぎるために生じた計算誤差であつて実際には一つの断面を進む

説明図



ときに水深が等流水深をとびこえることはありえず、この場合にも等流水深にすりつくはずである。そこで中間断面において計算水深が等流水深をこえることのないように条件を付加えたものである。

又、不等流計算は試算法による収束計算を含み計算回数が多い。今回は河床勾配が $1/1000$

程度、距離区間が1 kmであることを考えて収束の許容誤差を5 cmとした。

又、計算の途中で射流が発生する場合の対策として低床部(0~3.9 km)又は低水路(4.0 kmより上流)において F_r 数を求めこれが1を越えるときは限界水深を与えることにした。

(5) 流砂量の算出

流砂量は低水路部分について計算し高水敷上は流砂も河床変動も生じないものとした。0~3.9 kmの区間では低水路のうち低床部、高床部をそれぞれ別々に計算した。

流砂量公式としては佐藤・吉川・芦田公式を用いた。この公式には粒径の効果を示す係数 F がある。 F の値は流れの掃流力と粒子の限界掃流力の比 τ/τ_c によって定められる。従って掃流力が同一でも粒径が異なれば当然 F の値も異なる。一般に河床構成する粒子は粒径の面から見て混合しているが、その場合の流砂の機構はまだ明らかになっていない。しかし流れの掃流力が小さいときでも河床材料のうち粒径の小さいものは動いている。吉野川のように礫、砂の混合している場合には混合砂の粒度特性を平均粒径で取扱うことは流量の小さいときの流砂を無視することになるのでここではEinsteinの流儀にならって係数 F 、従って流砂量を粒径毎に算出することにした。

粒子は粒径によって次のようなグループに分類してその割合を求めた。

代 表 粒 径	限 界 掃 流 力	粒 径 範 囲
90 mm	663.3 dyn/cm^2	100~80 mm
65	469.0	80~50
35	252.9	50~20
12.5	80.0	20~5
3.5	23.6	5~2
1.21	10.9	2~0.42
0.33	7.4	0.42~0.25
0.18	6.0	0.25~0.11
0.11	5.7	0.11~0.0

(6) 河 床 変 化

河床の変化は低水路のみに生じるものとした。

0~3.9 kmにおいては低水路が低床部及高床部より構成される。低床部・高床部の高さ、幅は断面毎に変化するるのでその上を流れる流量も断面毎に異なる。これを縦断的に見れば流れの一部は低床部、高床部、高水敷の間を往復していることになる。このような場合の流砂の横断方向の移動についてはあまり検討されていないので次のように仮定することにする。

すなわち流れが高床部から低床部に移るときには移行する流量に伴って流砂も低床部に落ちこむはずである。従って下流の低床部に供給される流砂量は上流断面の低床部の流砂量と上流

断面の高床部の流砂量の一部とから構成される。

一方流れが低床部より高床部に移るときは移行する流れに伴っていた流砂は高床部に移行することが出来ず低床部にとどまる。従って下流の低床部に供給される流砂量は上流の低床部の流砂量全部と考えられる。

なお40km断面において河道は複断面から39kmの複々断面に移行する。この場合には40kmの低水路の流砂量が39kmの低水路の高床部、低床部にそれぞれの流量比に応じて供給されるものと考えた。

(7) 40kmの河床高

40km断面は狭窄部となっており両側は岩で構成されている。その河床の構成は表面は砂利であるがその下がどのようにになっているか調査されていない。過去の河床の変化を見るとかなり変動がはげしいが、一般に洪水時には河床が洗掘され岩盤が露出されることが予想される。その場合には河床高の最低の値が岩盤の天端高によって条件づけられることになる。岩津狭窄についての検討はこれから行う予定であるが、今回は40km断面の低水路河床高の最低限として42年度の実測河床高28.15を与えることにする。40km断面の河床高が28.15mのとき39km断面に供給される流砂量は41km断面の流砂量によって与えられる。

(8) 上流端の河床高について

河床高の変化は(15式)、(18式)、(19式)によって行うが、最上流端の河床高の変化の計算のときは(15式)、(18式)、(19式)で $Q_{B上}$ にあたる値が求められない。そこで上流端の河床高については別に考えることが必要である。今回の計算では上流端において流入する土砂量が計算の全期間で一定であると考えて、その条件を満たすため上流端とこれより一つ下流の断面の間の河床勾配を一定に保つよう上流端の河床高を定めた。

Ⅳ-2-2 計算条件

この計算に用いた河道条件、流量、下流端水位、粒度構成は次のようである。

(1) 河道条件

計算は現状計画案と掘削計画案の2つの河道案について行った。(表Ⅳ-2、Ⅳ-3)

2つの計画案の断面構成のうち岩津(40km)より下流については徳島工事事務所で作成したものである。両案を比較すると、掘削計画案は現状計画案の低水路を3m切下げたものである。但し掘削案の30km~39kmは緩和区間として切下げ量を36kmより3mから順次減じて39kmですりつくように当所で一部変更した。

岩津より上流の河道案は当所において現状の横断測量図を見て低水路・高水敷の幅を定め、これより河床高を算出した一応の案であって、断面の構成については適当かどうかまだ検討の余地はあると思われる。縦断方向にかなり変動があったので平滑化を行って表のようになっている。

この表のうち低水路の河床高(0~39kmにあっては低床部Z1、高床部Z2、40km

表W-2 现状计画案 河道断面

INITIAL PRINT

S	B1	B2	B3	N1	N2	N3	Z1	Z2	Z3
1	0.3000E 03	0.9200E 03	0.0000E 00	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.5150E 01	-0.1760E 01	0.0000E 00
2	0.3000E 03	0.9200E 03	0.0000E 00	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.4870E 01	-0.1650E 01	0.0000E 00
3	0.3000E 03	0.7880E 03	0.0000E 00	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.4610E 01	-0.1640E 01	0.0000E 00
4	0.3000E 03	0.4790E 03	0.1920E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3820E 01	-0.1480E 01	0.0000E 00
5	0.3000E 03	0.5350E 03	0.2100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3290E 01	-0.1290E 01	0.0000E 00
6	0.3000E 03	0.4620E 03	0.1620E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3170E 01	-0.1170E 01	0.2350E 01
7	0.2500E 03	0.3250E 03	0.2800E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3170E 01	-0.1170E 01	0.2950E 01
8	0.2500E 03	0.5400E 03	0.2500E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3050E 01	-0.1050E 01	0.3250E 01
9	0.2500E 03	0.3550E 03	0.2100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.2650E 01	-0.6500E 00	0.3550E 01
10	0.2500E 03	0.3750E 03	0.2400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.2050E 01	-0.5000E-01	0.3850E 01
11	0.2000E 03	0.3700E 03	0.3100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.1810E 01	0.1900E 00	0.5050E 01
12	0.2300E 03	0.2650E 03	0.2500E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.1290E 01	0.7100E 00	0.5400E 01
13	0.2000E 03	0.4300E 03	0.1600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.8700E 00	0.1130E 01	0.6070E 01
14	0.2500E 03	0.3930E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.2000E-01	0.1970E 01	0.6740E 01
15	0.2300E 03	0.2500E 03	0.1100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.6800E 00	0.2680E 01	0.7400E 01
16	0.2700E 02	0.2190E 03	0.1700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1620E 01	0.3620E 01	0.8150E 01
17	0.2000E 03	0.2970E 03	0.1200E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2350E 01	0.4350E 01	0.8900E 01
18	0.2300E 03	0.2690E 03	0.5000E 02	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.3420E 01	0.5420E 01	0.8700E 01
19	0.2500E 03	0.2750E 03	0.1000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.4320E 01	0.6320E 01	0.9750E 01
20	0.2500E 03	0.2800E 03	0.1900E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.5210E 01	0.7210E 01	0.1030E 02
21	0.2500E 03	0.3820E 03	0.1600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.6170E 01	0.8170E 01	0.1185E 02
22	0.2600E 03	0.2510E 03	0.1700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.7100E 01	0.9100E 01	0.1205E 02
23	0.2500E 03	0.2940E 03	0.1700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.8000E 01	0.1000E 02	0.1310E 02
24	0.2500E 03	0.2840E 03	0.2000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.8910E 01	0.1091E 02	0.1400E 02
25	0.2000E 03	0.5760E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.9720E 01	0.1172E 02	0.1395E 02
26	0.2000E 03	0.4570E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1099E 02	0.1299E 02	0.1610E 02
27	0.2500E 03	0.4720E 03	0.2600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1224E 02	0.1424E 02	0.1708E 02
28	0.2500E 03	0.6250E 03	0.5100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1342E 02	0.1542E 02	0.1860E 02
29	0.2500E 03	0.3700E 03	0.2700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1457E 02	0.1657E 02	0.1900E 02
30	0.2500E 03	0.7730E 03	0.4200E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1578E 02	0.1778E 02	0.1900E 02
31	0.2000E 03	0.4870E 03	0.2000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1686E 02	0.1886E 02	0.2150E 02
32	0.2000E 03	0.5910E 03	0.1800E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1798E 02	0.1998E 02	0.2360E 02
33	0.2500E 03	0.4690E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1930E 02	0.2130E 02	0.2490E 02
34	0.2500E 03	0.4820E 03	0.3700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2043E 02	0.2243E 02	0.2525E 02
35	0.2500E 03	0.3700E 03	0.5400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2158E 02	0.2358E 02	0.2580E 02
36	0.2000E 03	0.5160E 03	0.1000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2280E 02	0.2480E 02	0.2763E 02
37	0.2000E 03	0.3300E 03	0.1000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2413E 02	0.2613E 02	0.2945E 02
38	0.2000E 03	0.4000E 03	0.1500E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2524E 02	0.2724E 02	0.3010E 02
39	0.2000E 03	0.4600E 03	0.8000E 02	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2619E 02	0.2819E 02	0.3102E 02
40	0.1700E 03	0.4500E 03	0.4000E 02	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2744E 02	0.2944E 02	0.3194E 02
41	0.2180E 03	0.3700E 02	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.2815E 02	0.3285E 02	0.3285E 02
42	0.2040E 03	0.2340E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.2890E 02	0.3500E 02	0.3500E 02
43	0.2720E 03	0.5500E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3110E 02	0.3500E 02	0.3500E 02
44	0.2360E 03	0.2620E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3250E 02	0.4000E 02	0.4000E 02
45	0.2730E 03	0.3980E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3390E 02	0.4000E 02	0.4000E 02
46	0.2510E 03	0.3120E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3540E 02	0.4100E 02	0.4100E 02
47	0.2970E 03	0.2730E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3650E 02	0.4400E 02	0.4400E 02
48	0.3300E 03	0.3150E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3780E 02	0.4400E 02	0.4400E 02
49	0.2900E 03	0.3500E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3910E 02	0.4500E 02	0.4500E 02
50	0.2230E 03	0.2470E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4050E 02	0.4700E 02	0.4700E 02
51	0.2350E 03	0.1670E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4150E 02	0.4700E 02	0.4700E 02
52	0.1960E 03	0.2960E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4280E 02	0.4800E 02	0.4800E 02
53	0.2000E 03	0.2940E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4390E 02	0.5000E 02	0.5000E 02
54	0.4250E 03	0.3770E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4540E 02	0.5300E 02	0.5300E 02
55	0.3200E 03	0.2170E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4650E 02	0.5200E 02	0.5200E 02
56	0.2660E 03	0.2160E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4790E 02	0.5300E 02	0.5300E 02
57	0.2950E 03	0.1290E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4930E 02	0.5300E 02	0.5300E 02
58	0.3000E 03	0.2340E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.5070E 02	0.5500E 02	0.5500E 02

表IV-3 掘削計画案 河道諸元

INITIAL PRINT

5	81	82	83	N1	N2	N3	Z1	Z2	Z3
1	0.300E 03	0.9200E 03	0.0000E 00	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.8150E 01	-0.4760E 01	0.0000E 00
2	0.3000E 03	0.9200E 03	0.0000E 00	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.7870E 01	-0.4650E 01	0.0000E 00
3	0.3000E 03	0.7880E 03	0.0000E 00	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.7610E 01	-0.4640E 01	0.0000E 00
4	0.3000E 03	0.4790E 03	0.1920E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.6820E 01	-0.4480E 01	0.0000E 00
5	0.3000E 03	0.5350E 03	0.2100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.6290E 01	-0.4290E 01	0.0000E 00
6	0.3000E 03	0.4620E 03	0.1600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.6170E 01	-0.4170E 01	0.2350E 01
7	0.2500E 03	0.3250E 03	0.2800E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.6170E 01	-0.4170E 01	0.2950E 01
8	0.2500E 03	0.5400E 03	0.2500E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.6050E 01	-0.4050E 01	0.3250E 01
9	0.2500E 03	0.3550E 03	0.2100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.5650E 01	-0.3650E 01	0.3550E 01
10	0.2500E 03	0.3750E 03	0.2400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.5090E 01	-0.3050E 01	0.3850E 01
11	0.2000E 03	0.3700E 03	0.3100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.4810E 01	-0.2810E 01	0.5050E 01
12	0.2300E 03	0.2650E 03	0.2500E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.4290E 01	-0.2290E 01	0.5400E 01
13	0.2000E 03	0.4300E 03	0.1600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3870E 01	-0.1870E 01	0.6070E 01
14	0.2500E 03	0.3930E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.3020E 01	-0.1030E 01	0.6740E 01
15	0.2300E 03	0.2500E 03	0.1100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.2320E 01	-0.0320E 00	0.7400E 01
16	0.2700E 03	0.2190E 03	0.1700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.1380E 01	0.6200E 00	0.8150E 01
17	0.2000E 03	0.2970E 03	0.1200E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	-0.6500E 00	0.1350E 01	0.8900E 01
18	0.2300E 03	0.2690E 03	0.5000E 02	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.4200E 00	0.2420E 01	0.8700E 01
19	0.2300E 03	0.2750E 03	0.1000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1320E 01	0.3320E 01	0.9750E 01
20	0.2500E 03	0.2800E 03	0.1900E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2210E 01	0.4210E 01	0.1030E 02
21	0.2500E 03	0.3820E 03	0.1600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.3170E 01	0.5170E 01	0.1185E 02
22	0.2600E 03	0.2510E 03	0.1700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.4100E 01	0.6100E 01	0.1205E 02
23	0.2500E 03	0.2940E 03	0.1700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.5000E 01	0.7000E 01	0.1310E 02
24	0.2500E 03	0.2840E 03	0.2000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.5910E 01	0.7910E 01	0.1400E 02
25	0.2000E 03	0.5760E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.6720E 01	0.8720E 01	0.1395E 02
26	0.2000E 03	0.4570E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.7990E 01	0.9990E 01	0.1610E 02
27	0.2500E 03	0.4720E 03	0.2600E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.9240E 01	0.1124E 02	0.1708E 02
28	0.2500E 03	0.6250E 03	0.5100E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1042E 02	0.1242E 02	0.1860E 02
29	0.2500E 03	0.3700E 03	0.2700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1157E 02	0.1357E 02	0.1900E 02
30	0.2500E 03	0.7730E 03	0.4200E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1278E 02	0.1478E 02	0.1900E 02
31	0.2000E 03	0.4870E 03	0.2000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1386E 02	0.1586E 02	0.2150E 02
32	0.2000E 03	0.5910E 03	0.1800E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1525E 02	0.1720E 02	0.2360E 02
33	0.2500E 03	0.4690E 03	0.1400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1665E 02	0.1860E 02	0.2490E 02
34	0.2500E 03	0.4820E 03	0.3700E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1812E 02	0.2010E 02	0.2525E 02
35	0.2500E 03	0.3700E 03	0.5400E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.1960E 02	0.2165E 02	0.2580E 02
36	0.2000E 03	0.5160E 03	0.1000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2115E 02	0.2320E 02	0.2763E 02
37	0.2000E 03	0.3300E 03	0.1000E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2285E 02	0.2480E 02	0.2945E 02
38	0.2000E 03	0.4000E 03	0.1500E 03	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2460E 02	0.2645E 02	0.3010E 02
39	0.2000E 03	0.4600E 03	0.8000E 02	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2619E 02	0.2819E 02	0.3102E 02
40	0.1700E 03	0.4500E 03	0.4000E 02	0.300E-01	0.300E-01	0.300E-01	0.2744E 02	0.2944E 02	0.3194E 02
41	0.2130E 03	0.3700E 02	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.2815E 02	0.3285E 02	0.3285E 02
42	0.2060E 03	0.2340E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.2990E 02	0.3500E 02	0.3500E 02
43	0.2720E 03	0.5500E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3110E 02	0.3500E 02	0.3500E 02
44	0.2360E 03	0.2620E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3250E 02	0.4000E 02	0.4000E 02
45	0.2730E 03	0.5980E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3390E 02	0.4000E 02	0.4000E 02
46	0.2510E 03	0.3120E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3540E 02	0.4100E 02	0.4100E 02
47	0.2970E 03	0.2730E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3650E 02	0.4400E 02	0.4400E 02
48	0.3300E 03	0.3150E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3780E 02	0.4400E 02	0.4400E 02
49	0.2900E 03	0.3500E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.3910E 02	0.4500E 02	0.4500E 02
50	0.2230E 03	0.2470E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4090E 02	0.4700E 02	0.4700E 02
51	0.2350E 03	0.1670E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4150E 02	0.4700E 02	0.4700E 02
52	0.1960E 03	0.2960E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4280E 02	0.4800E 02	0.4800E 02
53	0.2000E 03	0.2940E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4390E 02	0.5000E 02	0.5000E 02
54	0.4250E 03	0.3770E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4540E 02	0.5300E 02	0.5300E 02
55	0.3200E 03	0.2170E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4650E 02	0.5200E 02	0.5200E 02
56	0.2660E 03	0.2160E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4790E 02	0.5300E 02	0.5300E 02
57	0.2950E 03	0.1290E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.4930E 02	0.5300E 02	0.5300E 02
58	0.3000E 03	0.2340E 03	0.0000E 00	0.350E-01	0.350E-01	0.350E-01	0.5070E 02	0.5500E 02	0.5500E 02

より上流にあっては低水路Z1)は計算によって変化するものであり、ここにのせた値は計算の前の値であって初期条件にあたるものである。高水敷の河床高の値(0~39 kmにあってはZ3, 40 kmより上流にあってはZ2)は計算の途中で変化しない。

河道の粗度は地建において検討した値である。低水路高水敷の粗度は同じ値を与えた。

(2) 水 理 量

流量とその継続時間、出発水位は表Ⅳ-4(A),(B)のように与えた。

表Ⅳ-4 (A)

FROM	TO	50m ³ /s T×10	150m ³ /s	300m ³ /s	600m ³ /s	1200m ³ /s	2400m ³ /s	4800m ³ /s	8200m ³ /s	12500m ³ /s
30. 1. 1	~30. 3.31	15176	4851	1036	211	0				
30. 4. 1	~30. 5.31	13218	3173	930	850	0				
30. 6. 1	~30. 7.31	5436	5452	2256	928	178	0			
30. 8. 1	~30.10. 5	10878	683	475	620	832	484	0		
30.10. 6	~30.12.31	13552	2086	1095	189	0				
31. 1. 1	~31. 7.31	14251	14565	10269	1461	0				
31. 8. 1	~31.12.31	18285	6034	3379	2902	556	382	459	32	
32. 1. 1	~32. 8.31	28696	10301	5098	2550	926	412	227	0	
32. 9. 1	~32.12.31	13733	3132	3720	2357	829	220	0		
33. 1. 1	~33. 6.30	30175	12849	4681	981	222	0			
33. 7. 1	~33.12.31	27970	14891	4246	467	555	169	0		
34. 1. 1	~34. 8.31	35935	19783	5565	1565	180	272	136	0	
34. 9. 1	~34.12.31	22812	7772	2994	452	172	300	65	45	0
35. 1. 1	~35. 7.31	47324	8350	2761	254	403	0			
35. 8. 1	~35.12.31	24438	7358	3224	1503	170	428	0		
36. 1. 1	~36. 7.31	32876	15147	3765	1569	410	0			
36. 8. 1	~36.12.31	23435	8506	3884	1742	667	583	63	31	96
37. 1. 1	~37. 6.30	23161	8355	2021	1165	169	0			
37. 7. 1	~37.12.31	31524	2853	3850	188	0				
38. 1. 1	~38. 6.30	16712	8645	7283	3613	907	384	0		
38. 7. 1	~38.12.31	33749	9321	2636	1481	413	125	141	208	0

日流量が3,000 m³/sec 以下のときは流量年表の日流量をそのまま採用し、日流量が3,000 m³/sec を超えるときは洪水波形より1時間毎の流量を読みとって分類整理したものである。

(3) 河床材料の粒度構成

河床材料のふるい分け資料を平滑化して表Ⅳ-5のような数断面における粒度特性を作り、他の断面はここにあげた断面から補間法によって特性を求めるプログラムを組んだ。

Ⅳ-2-3 計 算 結 果

計算結果は膨大なので表-6にその一部をのせる。図Ⅳ-5は低床部河床高の縦断面図であって40 kmより下流は上昇傾向、上

流で下降傾向であるがあまり大きい変化はみられない。図Ⅳ-6(A),(B)は初期河床高よりの変動量を縦断距離に対して表わしたものである。

表Ⅳ-4 (B)

出 発 水 位

Q (m³/s) H (m)

50 -0.4

150 0.1

300 0.6

600 1.11

1200 1.60

2400 2.22

4800 4.90

8200 6.25

12500 7.60

表 IV - 5 RYUKEI PERCENT LIST

RY(I)	90.00	65.00	35.00	12.50	3.50	1.21	0.33	0.18	0.11 (na)
TAUC	6633	4690	2529	800	236	63	26	21	18
W ₀	240	185	140	90	50	21.5	2.5	0.75	0.17 (cm/s)
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1280	0.5060	0.3560	0.0100
5.0	0.0000	0.0000	0.0180	0.0000	0.0020	0.3640	0.4219	0.1839	0.0100
河 7.0	0.0000	0.0240	0.0840	0.1860	0.0440	0.1760	0.3799	0.0980	0.0080
道 9.0	0.0000	0.0440	0.1640	0.1720	0.1539	0.4100	0.0380	0.0100	0.0080
21.0	0.0000	0.0680	0.2359	0.1600	0.2759	0.2060	0.0360	0.0100	0.0080
距 22.0	0.0000	0.1900	0.2520	0.2140	0.1180	0.1759	0.0360	0.0080	0.0060
離 28.0	0.0840	0.2019	0.2180	0.2260	0.1080	0.1139	0.0359	0.0079	0.0040
35.0	0.1800	0.2200	0.1799	0.1660	0.1099	0.0980	0.0359	0.0060	0.0040
(km) 39.0	0.0000	0.0300	0.2580	0.2459	0.1900	0.1719	0.0639	0.0140	0.0260
46.0	0.1200	0.1100	0.2300	0.2600	0.1079	0.0880	0.0320	0.0439	0.0080
54.0	0.0500	0.1360	0.2520	0.2820	0.1039	0.1160	0.0399	0.0160	0.0040
60.0	0.2000	0.1000	0.2240	0.1979	0.0980	0.1399	0.0260	0.0140	0.0000

これを見るとまず現状案、掘削案とも40 kmより上流で全般的に河床が低下していることが分る。河床の低下を縦断方向にみると一様ではなくて変化しており41 km, 45 km, 49 km, 51 km, 52 kmが低下の大きい断面である。これを河道条件とてらし合せてみるといずれの断面でも低水路川幅が小さくなっている。又この変動の生じた期間をみると主として最初の4年間に生じたものであり、その後の5年間ではあまり変化していないことがわかる。以上のことから低下が一様でない理由は主として初期河道に含まれていた流砂量の縦断方向の変動（その理由はわからないが）が計算の途中で補正されたものであることがわかる。又全般的に低下した理由としては、①57 km～58 kmの初期河道の勾配が小さすぎたことの影響、②現状断面が何らかの理由（例えば曾江谷の流出土砂）のため全般に河床が高くなっていて旧に復しつつある、等が考えられるが現状ではよくわからない。岩津狭窄部を中心とした河床変動問題については別に検討の予定であるので今回はとくに検討しなかった。なお現状計画案では49 km断面の変動量が小さくなっているが、これは入力資料のミスのために生じた誤りであって掘削計画案にみられる49 km断面の変動量が正しい値である。

次に見られる特徴は37 km～39 kmの堆積である。これは現状案、掘削案の両方に見られるが現状案の方に堆積が大きい。この区間は40 kmの狭窄部のすぐ下流にあたり断面が広がっているために平衡河床としては狭窄部より高くなるはずのところである。現状の吉野川においても狭窄部より高くなっている。現状案・掘削案とも現状の河床高より低く計画している理由は狭窄断面を含めて平滑化したためと思われる。計算結果はこのような見かけ上の平滑化による誤差を回復しようとしているものと思われる。掘削案の方が堆積量が少ない理由としては掘削案は30 km～39 kmで切下げているため勾配が現状案より急になっており、堆積地から下流への掃流力が大きく、堆積物が下流側に流送されるためと思われる。

これより下流29 km～36 kmにかけての堆積傾向には現状案と掘削案の差がよく表われて

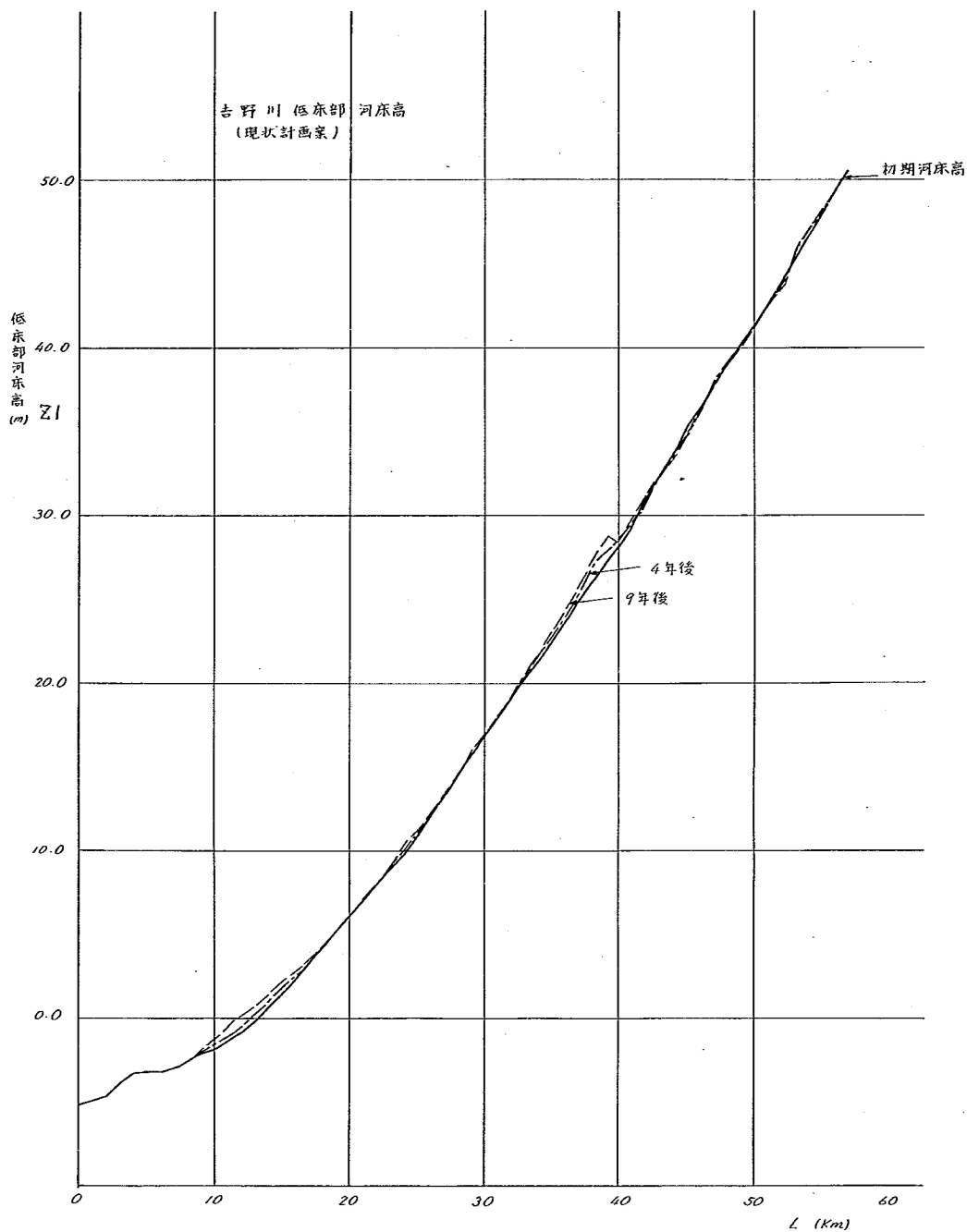


図 IV - 5 (A)

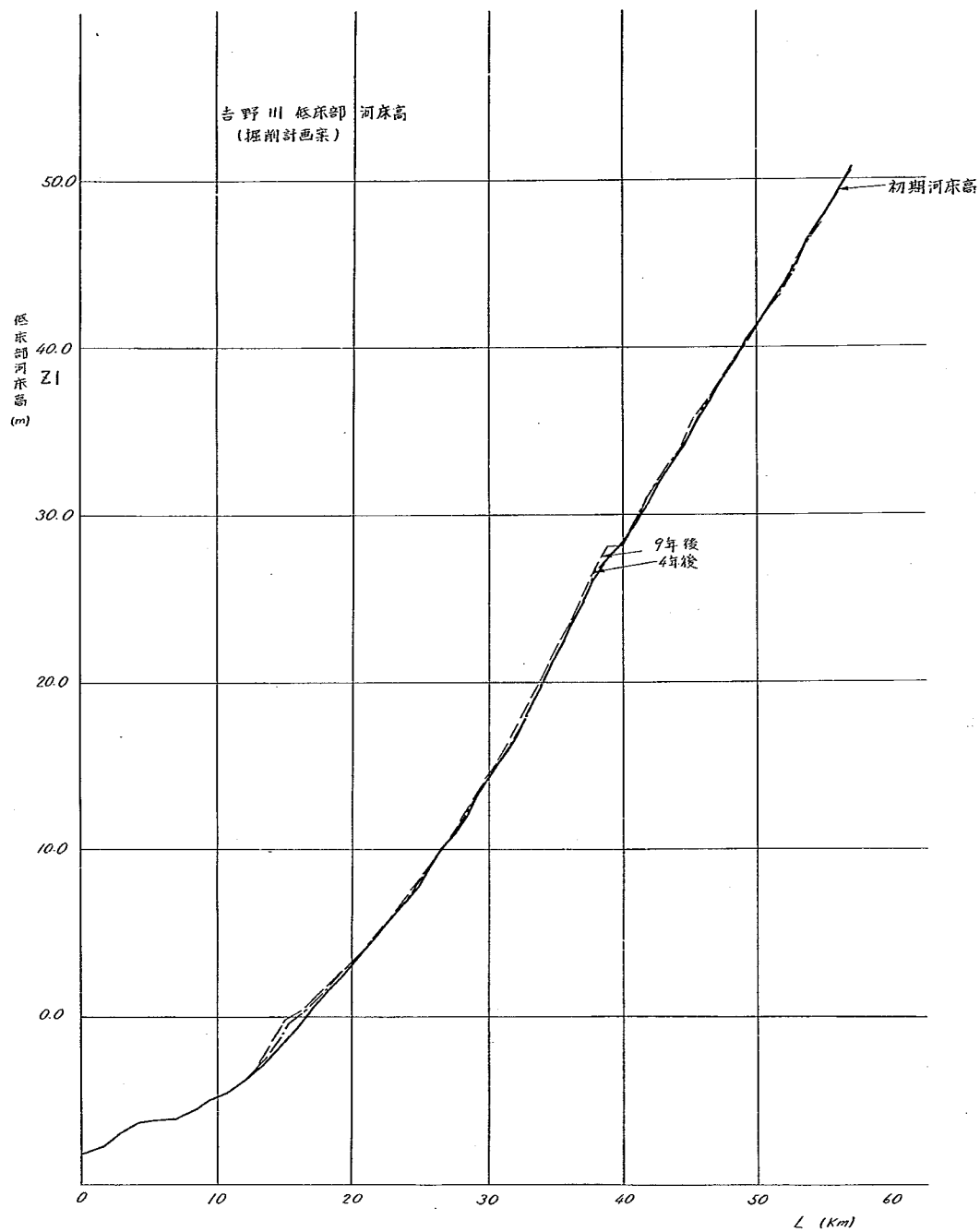


図 IV - 5 (B)

表 IV - 6 (1)

TIME 21

38.7.1 -38.12.31

CASE Q= 600.

T= 148.1

L	M	HE	E1	Q1	Q2	V1	V2	Z1	Z2	FR	C
1	0.1110E 01	0.1110E 01	0.3643E-06	0.2444E 03	0.3535E 03	0.8871E-01	0.6546E-01	-0.8149E 01	-0.4759E 01		
2	0.1126E 01	0.1127E 01	0.3910E-06	0.2433E 03	0.3566E 03	0.9016E-01	0.6710E-01	-0.7869E 01	-0.4649E 01	0.960E-02 1	
3	0.1143E 01	0.1144E 01	0.4485E-06	0.2589E 03	0.3610E 03	0.9864E-01	0.7463E-01	-0.7607E 01	-0.4639E 01	0.106E-01 1	
4	0.1160E 01	0.1161E 01	0.9599E-06	0.3122E 03	0.2796E 03	0.1304E 00	0.1034E 00	-0.6820E 01	-0.4480E 01	0.147E-01 1	
5	0.1178E 01	0.1179E 01	0.1009E-05	0.2866E 03	0.3040E 03	0.1279E 00	0.1039E 00	-0.6288E 01	-0.4289E 01	0.149E-01 1	
6	0.1196E 01	0.1196E 01	0.1274E-05	0.3144E 03	0.2855E 03	0.1423E 00	0.1152E 00	-0.6164E 01	-0.4166E 01	0.167E-01 1	
7	0.1213E 01	0.1215E 01	0.2108E-05	0.3393E 03	0.2606E 03	0.1836E 00	0.1487E 00	-0.6177E 01	-0.4176E 01	0.215E-01 1	
8	0.1232E 01	0.1233E 01	0.1352E-05	0.2648E 03	0.3351E 03	0.1455E 00	0.1175E 00	-0.6043E 01	-0.4047E 01	0.172E-01 1	
9	0.1250E 01	0.1252E 01	0.2548E-05	0.3327E 03	0.2672E 03	0.1928E 00	0.1535E 00	-0.5651E 01	-0.3651E 01	0.234E-01 1	
10	0.1269E 01	0.1271E 01	0.3456E-05	0.3342E 03	0.2657E 03	0.2117E 00	0.1642E 00	-0.5045E 01	-0.3045E 01	0.269E-01 1	
11	0.1289E 01	0.1292E 01	0.5126E-05	0.3066E 03	0.2933E 03	0.2517E 00	0.1933E 00	-0.4801E 01	-0.2811E 01	0.325E-01 1	
12	0.1311E 01	0.1315E 01	0.8127E-05	0.3865E 03	0.2134E 03	0.2998E 00	0.2234E 00	-0.4293E 01	-0.2293E 01	0.404E-01 1	
13	0.1336E 01	0.1340E 01	0.8687E-05	0.3060E 03	0.2939E 03	0.2946E 00	0.2134E 00	-0.3856E 01	-0.1865E 01	0.413E-01 1	
14	0.1363E 01	0.1368E 01	0.1617E-04	0.3809E 03	0.2190E 03	0.3544E 00	0.2370E 00	-0.2935E 01	-0.9878E 00	0.546E-01 1	
15	0.1416E 01	0.1433E 01	0.8681E-04	0.4333E 03	0.1666E 03	0.6388E 00	0.4215E 00	-0.1533E 01	-0.1646E 00	0.118E 00 1	
16	0.1657E 01	0.1705E 01	0.4274E-03	0.5024E 03	0.9754E 02	0.1025E 01	0.5787E 00	-0.1568E 00	0.8883E 00	0.243E 00 1	
17	0.2134E 01	0.2187E 01	0.5131E-03	0.4179E 03	0.1820E 03	0.1134E 01	0.6946E 00	0.2921E 00	0.1291E 01	0.267E 00 1	
18	0.2721E 01	0.2802E 01	0.6955E-03	0.5462E 03	0.5375E 02	0.1308E 01	0.4860E 00	0.9062E 00	0.2310E 01	0.310E 00 1	
19	0.3442E 01	0.3532E 01	0.7305E-03	0.5975E 03	0.2409E 01	0.1331E 01	0.1412E 00	0.1646E 01	0.3380E 01	0.317E 00 1	
20	0.4195E 01	0.4287E 01	0.7451E-03	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1341E 01	0.0000E 00	0.2406E 01	0.4236E 01	0.320E 00 1	
21	0.4975E 01	0.5071E 01	0.7939E-03	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1366E 01	0.0000E 00	0.5220E 01	0.5120E 01	0.329E 00 1	
22	0.5781E 01	0.5873E 01	0.7830E-03	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1340E 01	0.0000E 00	0.4509E 01	0.5980E 01	0.326E 00 1	
23	0.6695E 01	0.6809E 01	0.1071E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1495E 01	0.0000E 00	0.5091E 01	0.6929E 01	0.377E 00 1	
24	0.7802E 01	0.7919E 01	0.1120E-02	0.5999E 03	0.4626E-01	0.1515E 01	0.3256E-01	0.6219E 01	0.7797E 01	0.384E 00 1	
25	0.8920E 01	0.9081E 01	0.1155E-02	0.5947E 03	0.5280E 01	0.1666E 01	0.1649E 00	0.7136E 01	0.8865E 01	0.398E 00 1	
26	0.1000E 02	0.1011E 02	0.9127E-03	0.5562E 03	0.4374E 02	0.1511E 01	0.3928E 00	0.8163E 01	0.9758E 01	0.356E 00 1	
27	0.1103E 02	0.1114E 02	0.9592E-03	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1446E 01	0.0000E 00	0.9376E 01	0.1122E 02	0.358E 00 1	
28	0.1206E 02	0.1218E 02	0.1081E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1499E 01	0.0000E 00	0.1046E 02	0.1238E 02	0.378E 00 1	
29	0.1327E 02	0.1339E 02	0.1273E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1575E 01	0.0000E 00	0.1174E 02	0.1339E 02	0.407E 00 1	
30	0.1462E 02	0.1475E 02	0.1402E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1621E 01	0.0000E 00	0.1314E 02	0.1486E 02	0.425E 00 1	
31	0.1590E 02	0.1603E 02	0.1225E-02	0.5685E 03	0.3146E 02	0.1666E 01	0.3667E 00	0.1419E 02	0.1572E 02	0.407E 00 1	
32	0.1718E 02	0.1733E 02	0.1369E-02	0.5924E 03	0.7549E 01	0.1751E 01	0.1982E 00	0.1549E 02	0.1711E 02	0.430E 00 1	
33	0.1861E 02	0.1874E 02	0.1294E-02	0.5999E 03	0.3540E-02	0.1582E 01	0.1009E-01	0.1709E 02	0.1861E 02	0.410E 00 1	
34	0.2002E 02	0.2015E 02	0.1458E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1640E 01	0.0000E 00	0.1855E 02	0.2009E 02	0.433E 00 1	
35	0.2155E 02	0.2170E 02	0.1547E-02	0.5966E 03	0.3368E 01	0.1666E 01	0.1796E 00	0.2012E 02	0.2150E 02	0.444E 00 1	
36	0.2319E 02	0.2337E 02	0.1799E-02	0.5933E 03	0.6656E 01	0.1901E 01	0.2160E 00	0.2163E 02	0.2313E 02	0.486E 00 1	
37	0.2488E 02	0.2503E 02	0.1502E-02	0.5464E 03	0.5354E 02	0.1743E 01	0.5634E 00	0.2332E 02	0.2459E 02	0.444E 00 1	
38	0.2656E 02	0.2673E 02	0.1862E-02	0.5510E 03	0.4899E 02	0.1865E 01	0.5370E 00	0.2509E 02	0.2633E 02	0.490E 00 1	
39	0.2828E 02	0.2841E 02	0.1503E-02	0.5259E 03	0.7404E 02	0.1717E 01	0.5617E 00	0.2674E 02	0.2799E 02	0.443E 00 1	
40	0.2960E 02	0.2970E 02	0.1064E-02	0.4435E 03	0.1564E 03	0.1543E 01	0.6892E 00	0.2791E 02	0.2910E 02	0.379E 00 1	
41	0.3060E 02	0.3070E 02	0.9069E-03	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1382E 01	0.0000E 00	0.2857E 02	0.3285E 02	0.309E 00 1	
42	0.3163E 02	0.3175E 02	0.1175E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1514E 01	0.0000E 00	0.2971E 02	0.3500E 02	0.348E 00 1	
43	0.3287E 02	0.3297E 02	0.1181E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1357E 01	0.0000E 00	0.3125E 02	0.3500E 02	0.340E 00 1	
44	0.3401E 02	0.3411E 02	0.1072E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1395E 01	0.0000E 00	0.3219E 02	0.4000E 02	0.330E 00 1	
45	0.3519E 02	0.3528E 02	0.1219E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1368E 01	0.0000E 00	0.3358E 02	0.4000E 02	0.344E 00 1	
46	0.3634E 02	0.3644E 02	0.1032E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1365E 01	0.0000E 00	0.3459E 02	0.4100E 02	0.329E 00 1	
47	0.3772E 02	0.3782E 02	0.1485E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1403E 01	0.0000E 00	0.3628E 02	0.4400E 02	0.375E 00 1	
48	0.3921E 02	0.3931E 02	0.1439E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1393E 01	0.0000E 00	0.3785E 02	0.4400E 02	0.364E 00 1	
49	0.4058E 02	0.4067E 02	0.1365E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1381E 01	0.0000E 00	0.3908E 02	0.4500E 02	0.360E 00 1	
50	0.4183E 02	0.4195E 02	0.1237E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1490E 01	0.0000E 00	0.4003E 02	0.4700E 02	0.354E 00 1	
51	0.4310E 02	0.4321E 02	0.1261E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1467E 01	0.0000E 00	0.4136E 02	0.4700E 02	0.355E 00 1	
52	0.4431E 02	0.4443E 02	0.1145E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1533E 01	0.0000E 00	0.4231E 02	0.4800E 02	0.346E 00 1	
53	0.4549E 02	0.4562E 02	0.1205E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1544E 01	0.0000E 00	0.4355E 02	0.5000E 02	0.353E 00 1	
54	0.4699E 02	0.4706E 02	0.1306E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1170E 01	0.0000E 00	0.4578E 02	0.5300E 02	0.340E 00 1	
55	0.4825E 02	0.4834E 02	0.1326E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1316E 01	0.0000E 00	0.4682E 02	0.5200E 02	0.352E 00 1	
56	0.4952E 02	0.4962E 02	0.1273E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1400E 01	0.0000E 00	0.4791E 02	0.5300E 02	0.352E 00 1	
57	0.5085E 02	0.5094E 02	0.1308E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1354E 01	0.0000E 00	0.4935E 02	0.5300E 02	0.353E 00 1	
58	0.5218E 02	0.5227E 02	0.1322E-02	0.6000E 03	0.0000E 00	0.1350E 01	0.0000E 00	0.5070E 02	0.5500E 02	0.354E 00 1	

表 IV - 6 (2) 38.7.1 -38.12.31 CASE Q= 600. T= 148.1

DZ1,DZ2 LIST

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.850E-07 0.000E 00	0.104E-05 0.946E-07
1	0.725E-05 0.113E-05	-0.609E-06 -0.395E-06	0.328E-04 0.714E-05	0.102E-02 0.450E-03	0.129E-01 0.540E-02	0.608E-02 0.136E-02	0.144E-01 0.585E-03	0.426E-02 -0.121E-01	0.750E-03 -0.114E-02	0.228E-02 0.000E 00
2	-0.651E-03 0.000E 00	0.338E-02 0.000E 00	0.220E-02 0.000E 00	0.114E-01 0.662E-04	0.157E-01 -0.217E-02	0.403E-02 -0.162E-01	0.531E-02 0.000E 00	0.335E-02 0.000E 00	0.587E-02 0.000E 00	0.233E-01 0.128E-08
3	0.109E-01 -0.655E-02	-0.699E-02 -0.798E-02	0.757E-02 0.000E 00	0.131E-01 0.103E-08	0.153E-01 0.234E-02	0.154E-01 -0.103E-01	0.156E-01 0.119E-01	-0.221E-03 -0.116E-01	0.313E-01 -0.758E-02	-0.134E-02 -0.250E-01
4	0.226E-01 0.000E 00	-0.357E-02 0.000E 00	-0.578E-02 0.000E 00	0.915E-02 0.000E 00	-0.805E-02 0.000E 00	0.652E-02 0.000E 00	-0.396E-02 0.000E 00	-0.165E-02 0.000E 00	-0.304E-02 0.000E 00	0.719E-03 0.000E 00
5	-0.464E-02 0.000E 00	0.450E-02 0.000E 00	-0.626E-02 0.000E 00	0.379E-02 0.000E 00	-0.149E-03 0.000E 00	0.318E-03 0.000E 00	0.464E-03 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00		

SF1,SF2 LIST

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00	0.794E-03 0.000E 00
1	0.760E-02 0.578E-03	0.232E-01 0.534E-02	0.227E-01 0.370E-02	0.526E-01 0.149E-01	0.267E 00 0.167E 00	0.530E 00 0.308E 00	0.541E 00 0.376E 00	0.571E 00 0.283E 00	0.575E 00 0.229E-01	0.576E 00 0.000E 00
2	0.580E 00 0.000E 00	0.374E 00 0.000E 00	0.462E 00 0.000E 00	0.469E 00 0.000E 00	0.506E 00 0.378E-01	0.455E 00 0.224E 00	0.443E 00 0.000E 00	0.461E 00 0.000E 00	0.425E 00 0.000E 00	0.443E 00 0.000E 00
3	0.445E 00 0.161E 00	0.475E 00 0.682E-01	0.426E 00 0.000E 00	0.449E 00 0.000E 00	0.460E 00 0.569E-01	0.427E 00 0.779E-01	0.412E 00 0.188E 00	0.430E 00 0.188E 00	0.411E 00 0.190E 00	0.614E 00 0.392E 00
4	0.620E 00 0.000E 00	0.631E 00 0.000E 00	0.628E 00 0.000E 00	0.632E 00 0.000E 00	0.631E 00 0.000E 00	0.620E 00 0.000E 00	0.490E 00 0.000E 00	0.462E 00 0.000E 00	0.475E 00 0.000E 00	0.506E 00 0.000E 00
5	0.499E 00 0.000E 00	0.514E 00 0.000E 00	0.523E 00 0.000E 00	0.401E 00 0.000E 00	0.465E 00 0.000E 00	0.492E 00 0.000E 00	0.477E 00 0.000E 00	0.476E 00 0.000E 00		

表 IV - 6 (3) NEXT YEAR 39.1.1 (30. 1. 1)

TOTAL DZ1, DZ2 LIST FROM INITIAL

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.972E-04 0.362E-03	0.654E-03 0.365E-03	0.304E-02 0.111E-02	-0.715E-04 -0.366E-03	0.193E-02 0.107E-02	0.611E-02 0.405E-02	-0.871E-02 -0.841E-02	0.731E-02 0.311E-02	-0.122E-02 -0.172E-02	0.562E-02 0.586E-02
1	0.112E-01 -0.964E-03	-0.433E-02 -0.464E-02	0.134E-01 0.451E-02	0.986E-01 0.497E-01	0.902E 00 0.173E 00	0.123E 01 0.270E 00	0.972E 00 -0.103E 00	0.537E 00 -0.113E 00	0.349E 00 0.667E-01	0.207E 00 0.437E-01
2	0.941E-01 -0.421E-01	-0.387E-01 -0.132E 00	-0.117E 00 -0.718E-01	-0.302E 00 -0.135E 00	0.461E 00 0.157E 00	0.208E 00 -0.246E 00	0.135E 00 -0.283E-01	0.126E 00 -0.245E-01	0.139E 00 -0.224E 00	0.424E 00 0.107E 00
3	0.335E 00 -0.160E 00	0.320E 00 -0.304E-01	0.444E 00 0.139E-02	0.515E 00 0.461E-02	0.510E 00 -0.178E 00	0.622E 00 -0.489E-01	0.416E 00 -0.270E 00	0.472E 00 -0.122E 00	0.725E 00 0.180E 00	0.655E 00 -0.212E 00
4	0.000E 00 0.000E 00	-0.461E 00 0.000E 00	0.313E 00 0.000E 00	-0.386E 00 0.000E 00	-0.332E 00 0.000E 00	-0.801E 00 0.000E 00	-0.255E 00 0.000E 00	0.809E-01 0.000E 00	0.811E-01 0.000E 00	-0.655E 00 0.000E 00
5	-0.162E 00 0.000E 00	-0.411E 00 0.000E 00	-0.468E 00 0.000E 00	0.406E 00 0.000E 00	0.394E 00 0.000E 00	-0.367E-01 0.000E 00	0.589E-01 0.000E 00	0.000E 00 0.000E 00		

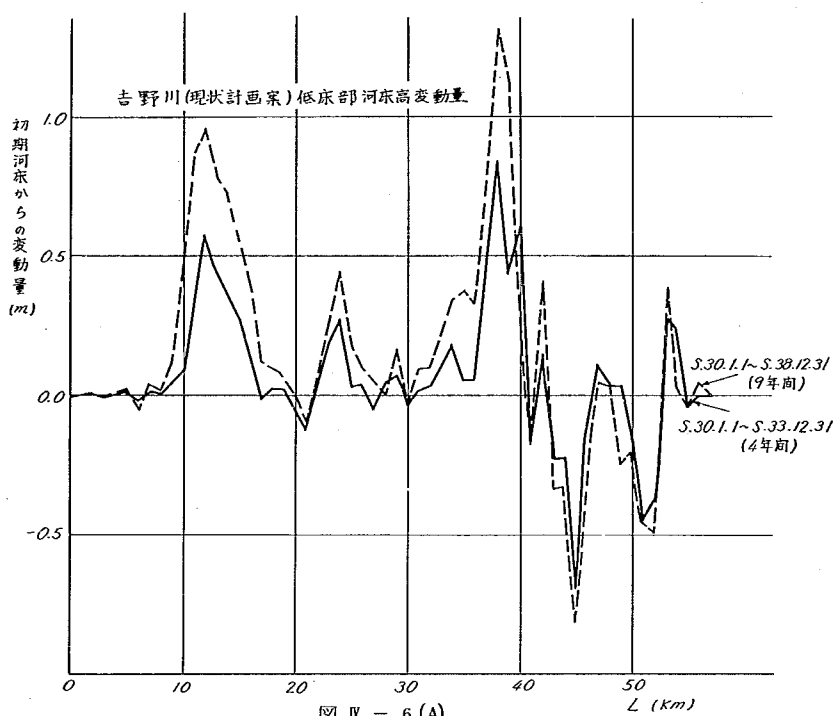


図 IV - 6 (A)

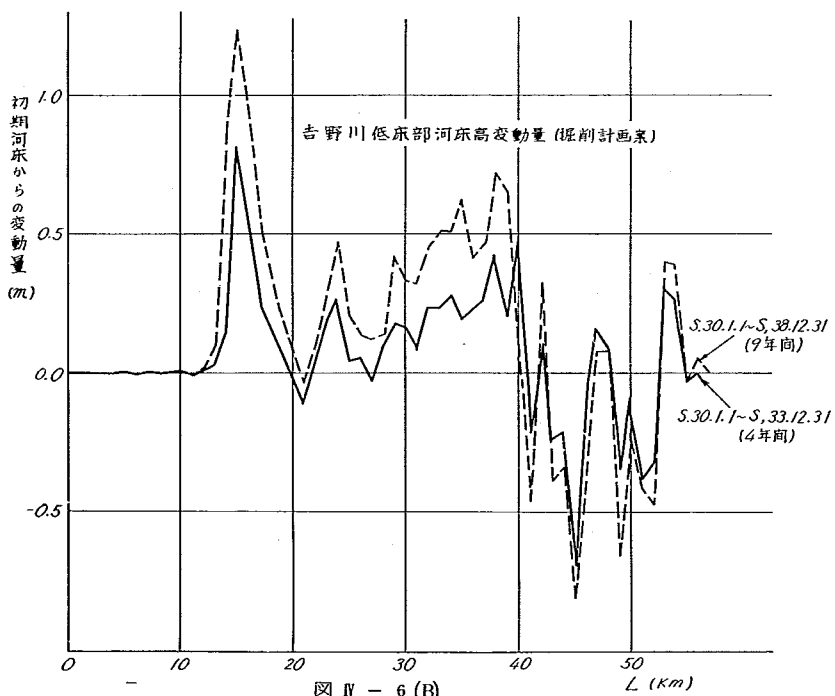
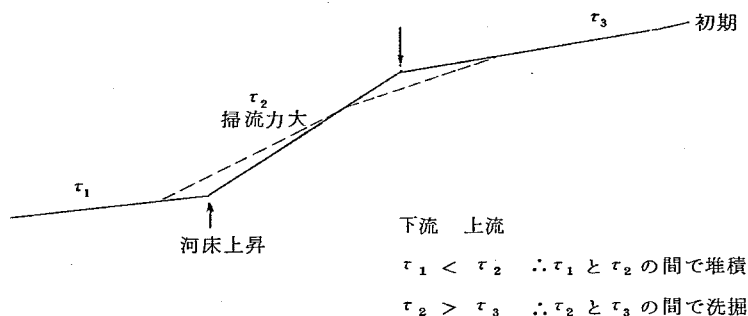


図 IV - 6 (B)

いる。即ち現状案では31km附近までは堆積の影響があらわれていないのに対し、掘削案では現状より切下げ河床へのすりつきの終る31km附近を中心にしてかなりの堆積が見られる。このことは40km～41km断面についても言えることである。即ち掘削案において現状河床から切下げ河床へのすりつきの始るこの附近では説明図のように河床は低下の傾向となるが、河床変動も低下の傾向を見せている。

説明図



次に24km附近にやや小さい堆積が見られる。この位置は流量が $600 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上の場合のせき上げ背水の末端附近であって掃流力が急に小さくなる地点である。しかし流量が小さいときはこの附近には堆積せず、むしろ堆積物を下流に流送する働きをもつのでこのように小規模の堆積になったものと思われる。

最も大きい堆積は現状案で10～15km、掘削案で14～18kmにみられるものであってこれは小流量時に潮位の影響で掃流力が急に小さくなる位置である。この位置で流砂量は非常に小さくなるので上流から運ばれてきた土砂は殆んどこの部分に堆積したと思われる。現状案と掘削案で堆積の位置の異なるものは河床高が海面附近に達する位置が異なるためである。

以上の考察はすべて低床部の河床高を対象としたものである。

次に高床部の河床高の変動を見ると図Ⅳ-7のように全体として低下傾向となっている。これは計算の仮定から見て当然の結果であるがその量は極めて小さく最高20cm程度である。

以上は9年間の変動量の総和について検討したものであるが、この期間の途中における変動について簡単に調べてみよう。

図Ⅳ-8は30km断面と40km断面をとりあげて河床高の経年変化を調べたものである。30km断面は河床高の変化が一定の割合で上昇又は平衡の傾向を見せているが40km断面では変化が極めてはげしい。狭窄部の河床高の変化はその期間の流量の構成を反映している。即ち大流量の頻度の多い31年後半、34年、36年後半には低下の傾向を見せ、小流量の頻度の多い他の年には上昇傾向を見せている。

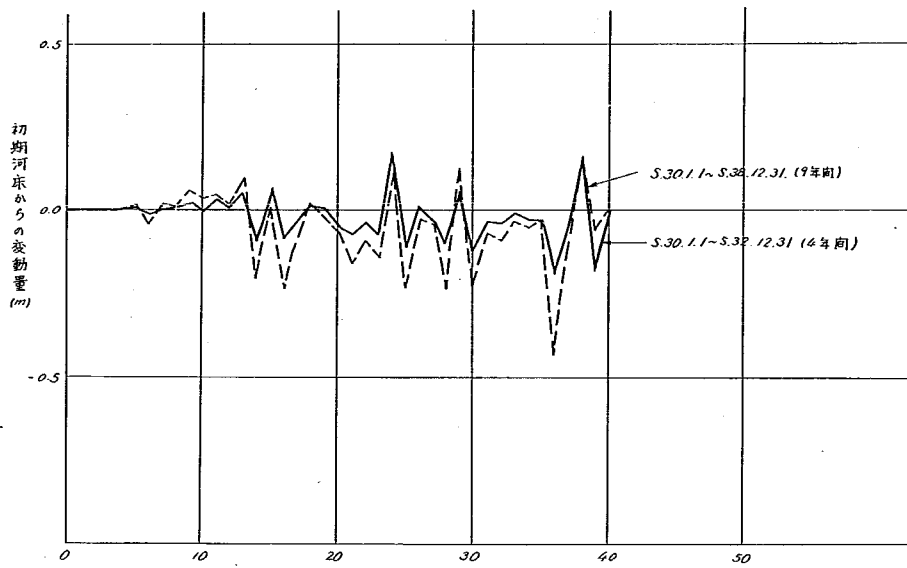


図 IV - 7 (A)

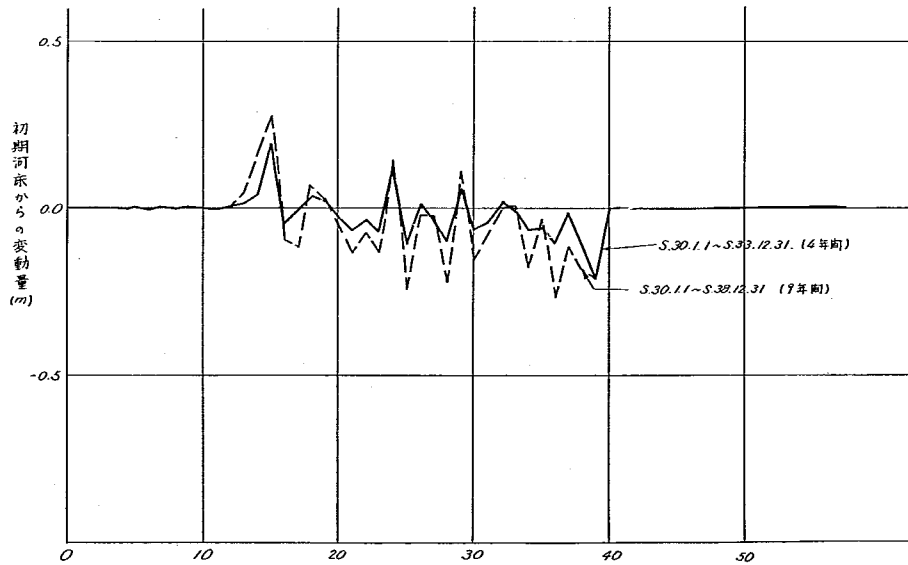
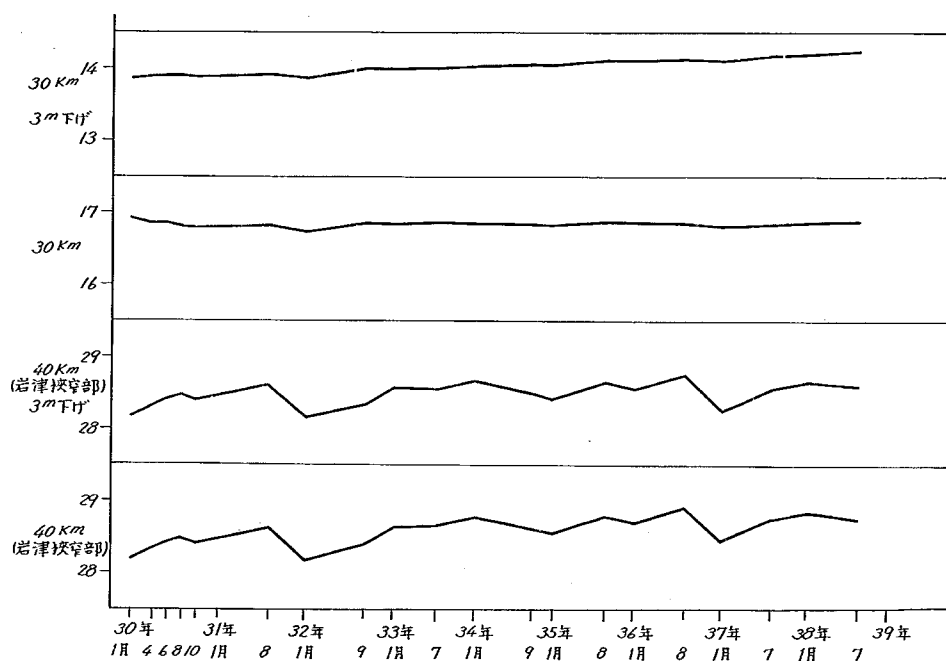


図 IV - 7 (B)

L (km)



IV - 8

以上の結果は先に計算した縦断形変化の計算と全体として一致している。全般的には堆積傾向であるが掘削案は現状案にくらべて40km附近で洗掘, 31km附近で堆積傾向を見せるということである。

一方今回の計算は下流端水位，河幅，流量の影響を反映してより詳しい性質が明らかになった。

IV-2-4 計画河道の洪水疎通能力

最後に参考までに今回の計画河道が洪水の疎通という面でどれ位の能力を有しているかを調べておく。

もちろん洪水疎通能力の検討のみによって計画河道の適・不適が決まるものではなくて、その他に地下水、河川構造物、内水、砂利採取、魚類の生態等の総合的検討が必要であることは当然である。しかしここでは水理計算によって洪水疎通能力についての目安を得ようとするものである。

計算条件は次の通り

流 量	1 5, 0 0 0 m ³ /s
	1 7, 0 0 0
	1 9, 0 0 0

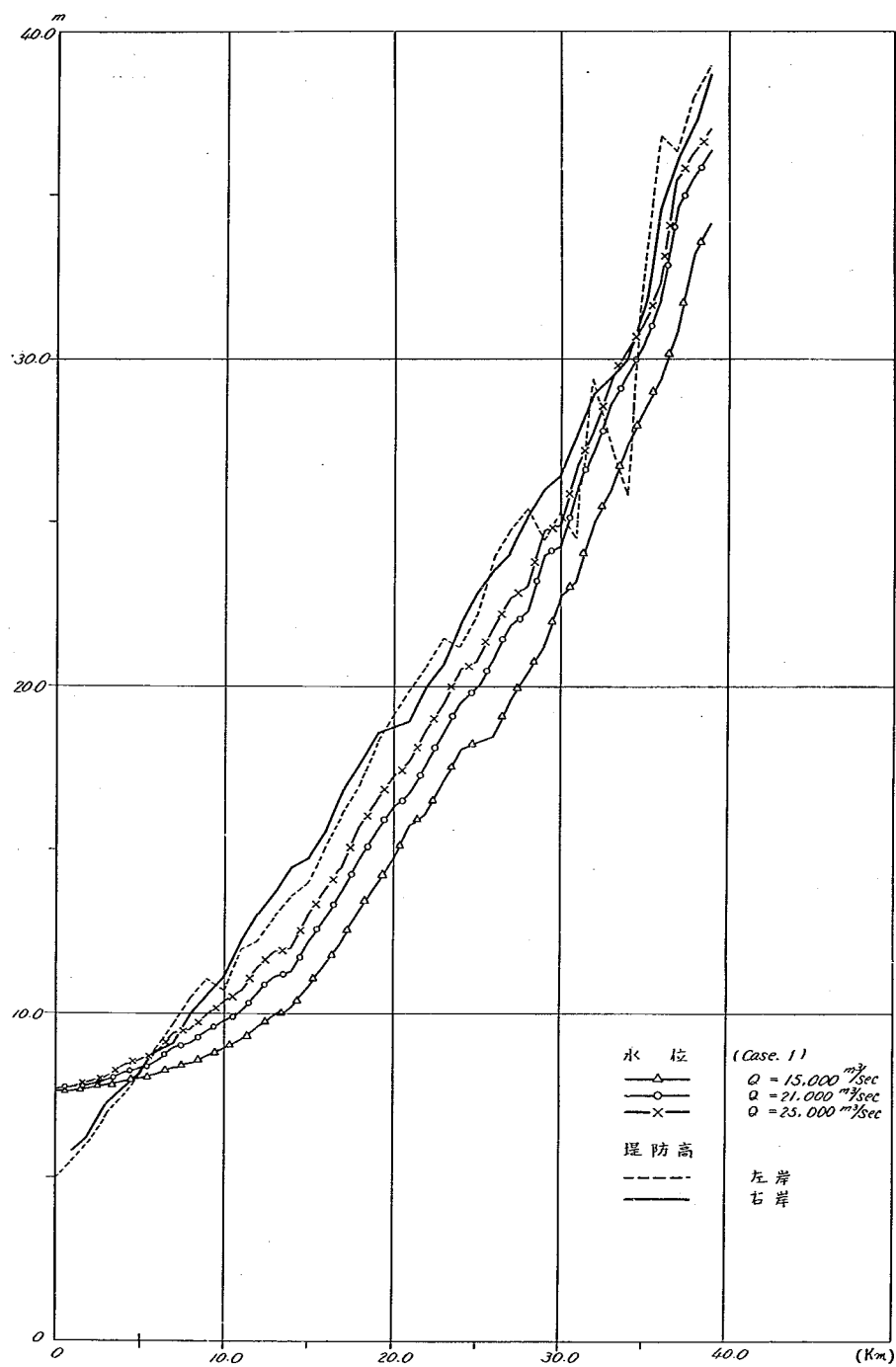


图 IV - 9

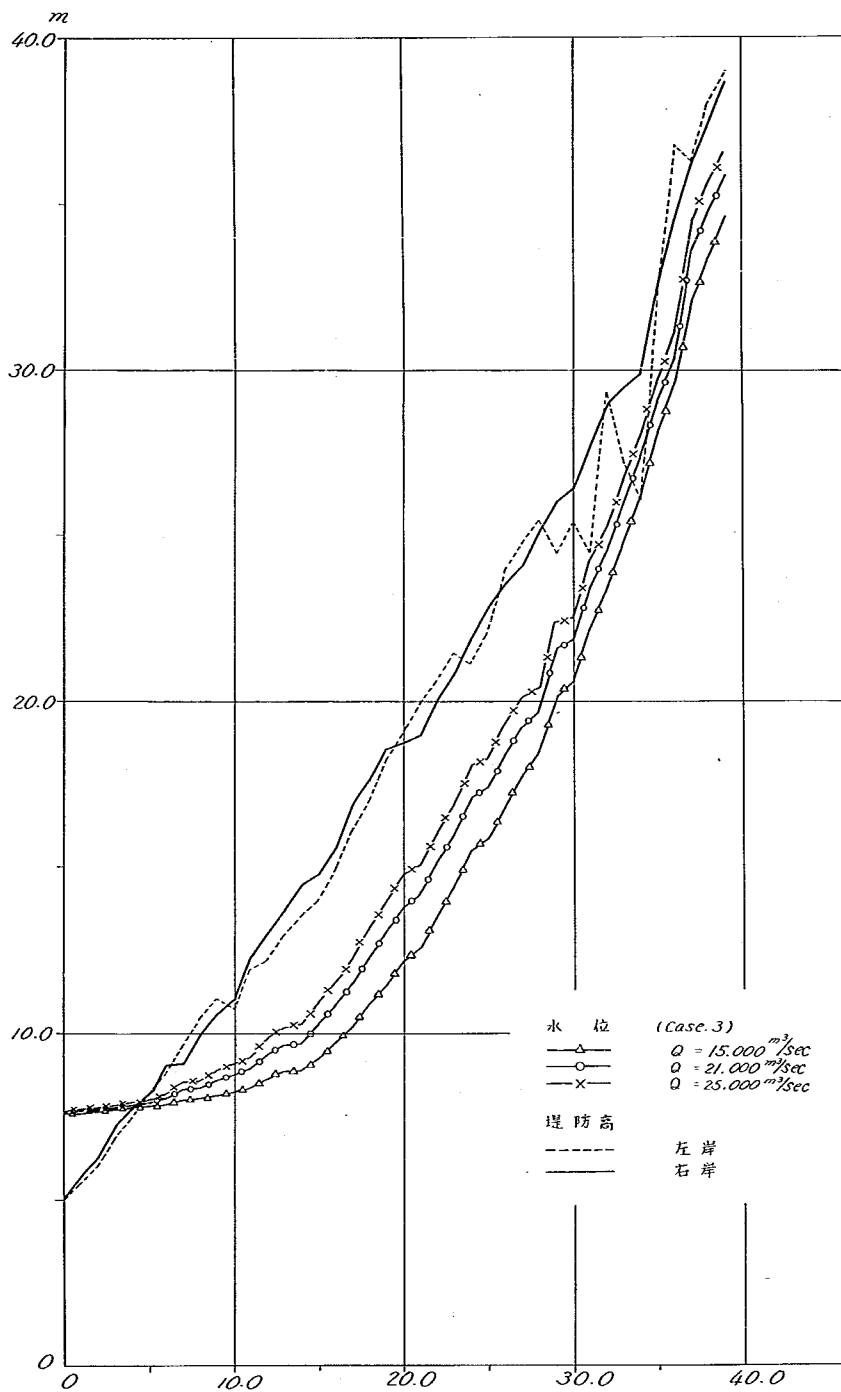


图 IV - 10

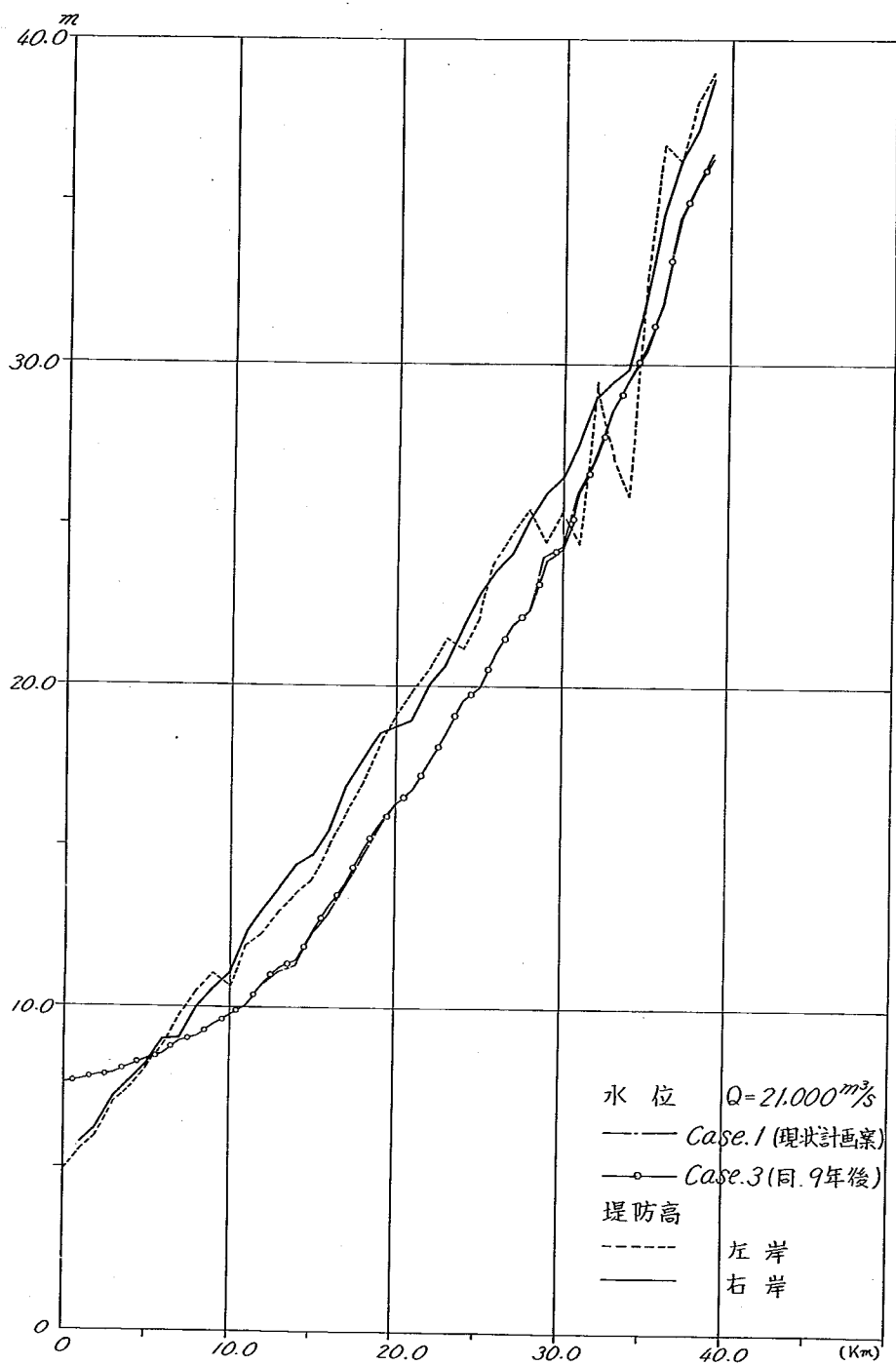


図 IV - 11

2 1,0 0 0

2 3,0 0 0

2 5,0 0 0

粗 度 0.0 3

出発水位 全ての流量に対して 7.6 m

河道条件 case 1 現状計画案

case 2 掘削計画案

case 3 現状計画案 9年後

case 4 掘削計画案 9年後

計算結果の一部を示すと図Ⅳ-9, 図Ⅳ-10のようであって現在の堤防のままでも、現状河道案で $2\ 1\ 0\ 0\ 0\ \text{m}^3/\text{s}$, 掘削河道案で $2\ 5\ 0\ 0\ 0\ \text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水, 疎通能力を有していることがわかる。28~34km附近では左岸堤防がやや低くなっているが、これは支川合流に関連したものと思われる。

次に計画河道が年数を経過して河床の上昇又は低下が生じた後の洪水疎通能力を計画案のそれと比較してみる図Ⅳ-11の如く殆んど変化していないことがわかる。

以上のように今回の計画案は洪水疎通能力の点では非常に効果をもっていること、それがかなり長期間有効であることがわかった。

V 結 論

これまでの検討によって吉野川の場合計画河道として、例え3m程度掘削したものを設定したとしても流れによって生じる河床の変動はあまり大きいものではなく掘削等の工事によって十分に維持が可能と思われる。従来計画河道の設定においては「河道の安定」という面からその縦断形、横断形を決定する傾向が強いが、今回の例に見られる如く、一応「河道の安定」という問題を離れて、治水上利水上の要請及これに要する経費等の総合判断から望ましい縦断形、横断形を決定することが出来る。しかしこのようにして定められた河道計画案が流砂量の点で全く平衡ということは考えられないから、この案に対して河床変動計算を行い必要な計画（掘削工事や護岸根入れ等）を付加しておかねばならない。この場合に、これまでの検討では支川からの流入砂量及人工的な砂利掘削を計算に入れていなかったが、これらは河川を輸送される流砂量と同じ程度の重要性をもつものであるから当然考慮に加えることが必要である。

以上今回の検討では吉野川の河道計画問題のうちで河道の安定についてのみ検討を行ったものであって河道計画そのものの検討でないことを再度強調しておきたい。

なおこの検討の期間中資料収集の点で全面的に協力していただいた四国地方建設局関係の方々に対して厚くお礼申し上げます。