

流砂量の観点からみた河床変動に関する一考察

——石狩川中流部における計算例——

正員 北海道開発局土木試験所 山 岡 勲
正員 同 上 谷 口 雅 宥

I. 緒 言

河川のある断面における流送土砂量が、その上流断面の流送土砂量よりも大なるときは、その断面区間内の河床は洗掘され、小なるときには区間内に堆積を生ずると考えることができる。かような河床の動き方を予測することは、治水上からもまた利水上からもきわめて重要なことであるが、また非常にむずかしい問題でもある。

最近、浮遊流砂量ならびに掃流砂量の理論的な解析および実験式がいろいろと示され、実際河川における場合の近似計算も示されている¹⁾。本考察ではこれを石狩川に適用した計算例により、現河道と年間出水曲線をもつて将来の河床変動を近似的に算定しうることを示し、さらにまた石狩川の各所で施工した捷水路が、現在の河道に対していかなる影響を与えているかの考察を行い、あわせて石狩川の河道がいかなる方向に進もうとしている

かを推測しようとした。

なお、この河床変動機構の解析にあたつては、一、二の図式計算法を工夫して計算を簡便化し、実際河川への適用を一層便ならしめた。しかしながら、ここに用いた方法は河道の縦断的および横断的な形について解析を進め、河川の蛇行などの平面的な要素を考慮してはいないので、これらについては今後の研究が必要と思われる。

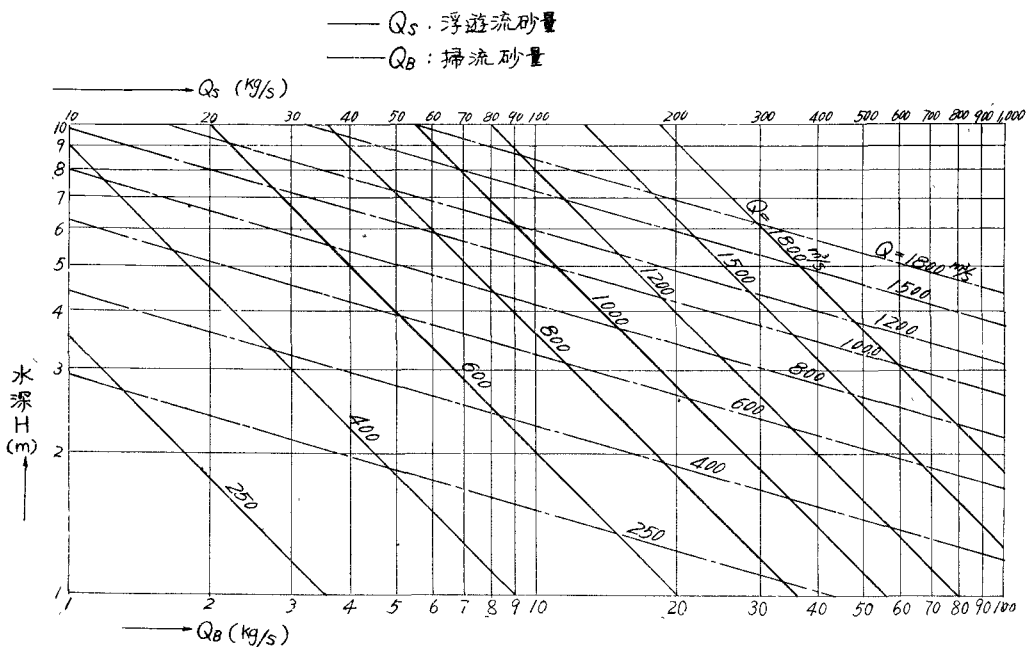
II. 流砂量公式と河床変動量の計算法

1. 浮遊流砂量と掃流砂量

幅の広い知形断面を考えると、河川の浮遊流砂量ならびに掃流砂量は近似的に次のようにあらわされる¹⁾。

$$Q_s = v' \frac{Q^2}{BH} \quad (1)$$

$$Q_B = \frac{\omega' g n^3 Q^3}{B^2 H^{7/2}} \quad (2)$$



図—1 掃流並びに浮遊流砂量曲線

ここで、 Q_S : 浮遊流砂量, Q_B : 掃流砂量, B : 矩形断面幅, H : 水深, Q : 流量, ω : 水の単位重量, g : 重力の加速度, n : 粗度係数, η' : 浮遊流砂量に関する常数であり, 式(2)においては砂粒の比重 2.6, 水の比重 1.0 とし, $n \geq 0.025$ と仮定している。

いま式(1)を書きあらためて, つぎのようにする。

$$Q_S = K_1 Q^2 H^{-1} \quad (3)$$

あるいは

$$\log Q_S = \log K_1 + 2 \log Q - \log H. \quad (4)$$

ここに $K_1 = \eta'/B$ である。したがって, 縦軸に $\log H$ 横軸に $\log Q_S$ をとれば, 等流量線は Q をパラメータとする勾配 -1 の直線となる。また, 式(2)を書きあらためると

$$\log Q_B = \log K_2 + 3 \log Q - 3.5 \log H, \quad (5)$$

$$K_2 = \omega \sqrt{g} B^{-2} n^3$$

となり, 同じく等流量線は $\log Q_B \sim \log H$ の両対数紙上において, Q をパラメータとする勾配 -3.5 の直線として得られ, これらを用いることによって Q_S および Q_B の計算が迅速かつ容易となる。図-1 にその 1 例を示す。

2. 実河川における河床変動量の計算

式(1)および(2)を実河川に適用するに際しては, 各断面ごとに一定の幅をもつ矩形におきかえて計算を簡便にする。河床変動量は計算二断面間の平均変動量としてあらわすものとする。いま任意の断面 1 および 2 における Q_S あるいは Q_B の差を, 出水期間 t の間積分すれば二断面間における洗掘量または堆積量 ΔV が得られる。すなわち,

$$\Delta V = \int_0^t \{ (Q_{S_1} + Q_{B_1}) - (Q_{S_2} + Q_{B_2}) \} dt$$

$$= \int_0^t (Q_{T_1} - Q_{T_2}) dt, \quad (6)$$

$$Q_{T_i} = Q_{S_i} + Q_{B_i}$$

断面 1 および 2 間の底面積を F とすれば, この区間内の平均変動量 ΔZ は次式により求められる。

$$\Delta Z = \frac{\Delta V}{F} = \frac{\int_0^t (Q_{T_1} - Q_{T_2}) dt}{F} \quad (7)$$

ΔZ は断面間の値として得られるので, 計算断面に対して河床高が不連続となるのを防ぐため, 区間内の変動量を区間下流端で加味することとする。

上記の方法により, 任意の流量 Q が期間 t の間出水した後の河床高を得るから, 年間の出水曲線を何種類かの流量に分割し, そのおのおのについて同様な手順を経ることにより, 各出水後の河床あるいは 1 年後, 2 年後の河床をも求め得る。

III. 石狩川における河床変動量の計算例

1. 概 説

石狩川中流部 26.6 km より 77.5 km の区間に前述の計算法を応用し, 出水による河床変動がいかなる状態で行われるかを解析したが, この区間には図-2 に示すように, 現在までに施工された 12 個の捷水路を含んでいる。これらの捷水路のうち, 大部分はすでに旧水路を締切つて通水不能になっているが, 狐森, 月形および札比内捷水路はいまなお両方を流過しているため二, 三種の流量について新旧河道への流量配分を計算した結果では, 約 10% の流量が旧河道を流れる。流量の小さな場合は旧河道への配分比も幾分小さくなるが, 同じく 10% だけ流れるものとして計算した。

2. 現河道各断面のもつ土砂輸送能力の比較

式(1)および(2)における浮遊流砂量係数ならびに粗度係数については, 55.4 km 地点における現在までの観測結果より $\eta' = 0.0848$, $n = 0.027$ と算定し, 計算全区間について一定とした。現在における河床状況で, 数種の流量に対し各断面の浮遊流砂量, 掃流砂量をそれぞれ計算した結果は図-3 にしめすとおりである。これより全区間を縦断的にみた場合すでに捷水路工事を行つてから相当年月を経たものをも含めて, 自然河道部にお

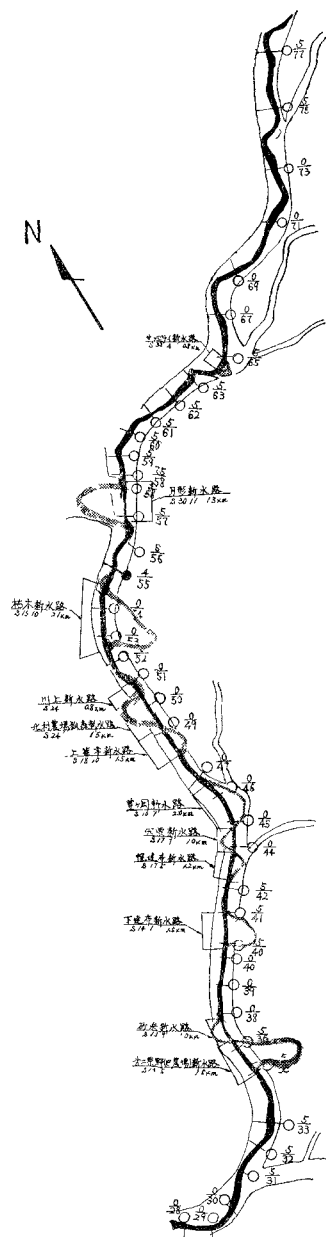


図-2 石狩川計算区間平面図

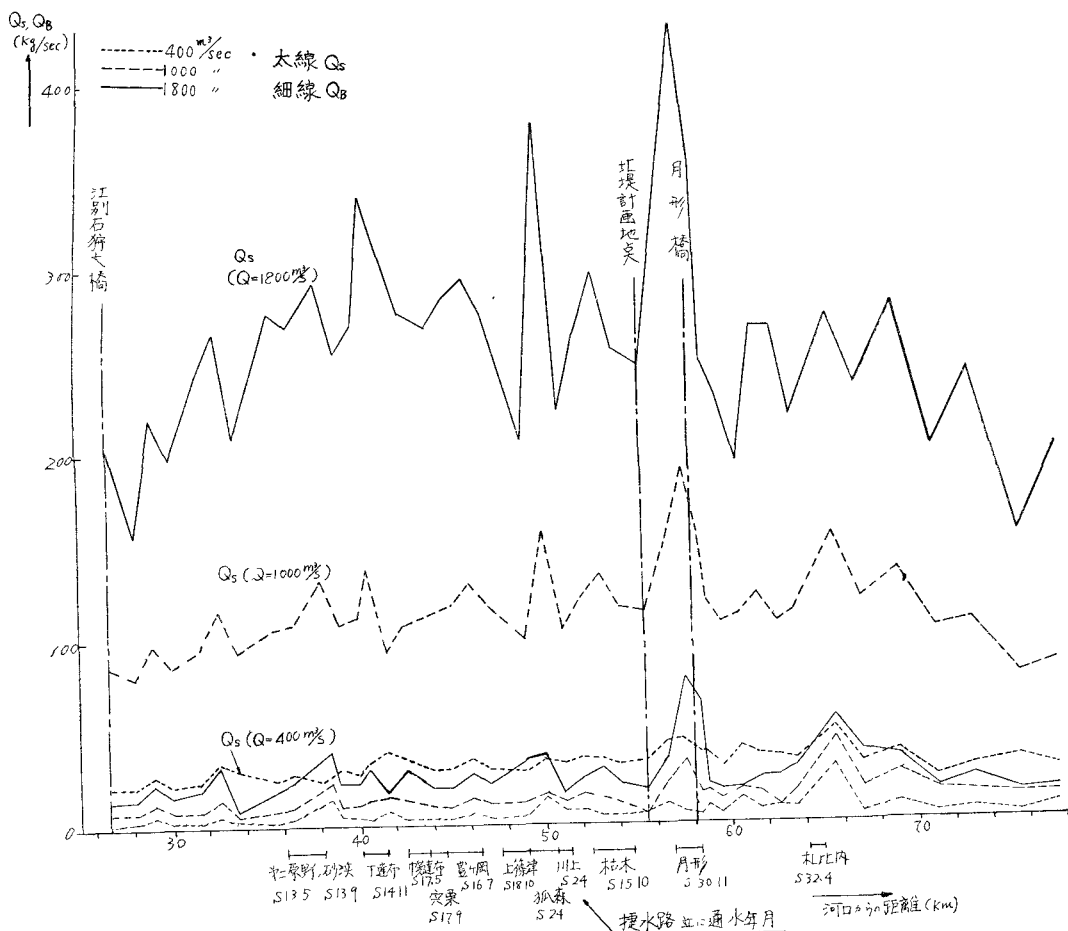


図-3 掃流並びに浮遊流砂量図
現状において各種流量に対するもの

いては土砂運搬能力はほぼ一定とみることができるが、取水路の影響がまだ著しく残っている所がある。このため、これらを中心としたこの付近の河状変化はさらに起るものと推定される。

3. 河床変動量の計算

(1) 等価矩形断面幅と年間出水曲線

計算各断面ごとに幅の一定である矩形断面に置換して考える必要があるが、その場合の矩形幅としては、年間出水曲線をも考慮して流量 $1,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ に対する実際断面の水面幅をもつて置換矩形断面幅と定め、計算断面は約 1 km 間隔に選んだ。

将来の河床変動量を推定するためには、年間の出水の型を想定する必要がある。石狩川の場合、春の融雪出水以後は渇水が続く、8、9月に数度の中洪水があつて、ふたたび冬期間の渇水状態が続くという一定の型があるが想定出水曲線としては同一種類のものを繰返し適用することは、変動量にかたよりを生ずるので、ここでは便宜

的に過去の出水曲線を昭和32年から順次さかのぼつて適用することとした。図-4に1例として昭和32年の出水曲線をII-2で述べたように計算を簡便にするため、数種の流量に限定して分割した状態を示す。

(2) 河床変動量の計算

時間的な計算始点は昭和32年春の融雪出水とする。なお、同一の流量が続いても河床高の変化(すなわち、水深の変化)を生じれば、 Q_s および Q_b に変化を生じて新たな釣合関係を要請するから、計算上の誤差を大きくしないためには、一つの流量の継続期間内でも変動量計算を細分して行つて、河床高を調整することが必要である。図-4にはこの分割状態をも示した。かくて、現在河床をもとにし $Q=1,800 \text{ m}^3/\text{sec}$ -I の出水からはじめて、先に説明した方法により1年後および2年後の河床を求めたものが図-5である。

この計算では流砂量として Q_s および Q_b の両者を考慮したが、観測されている石狩川の浮遊流砂は粒径 0.01

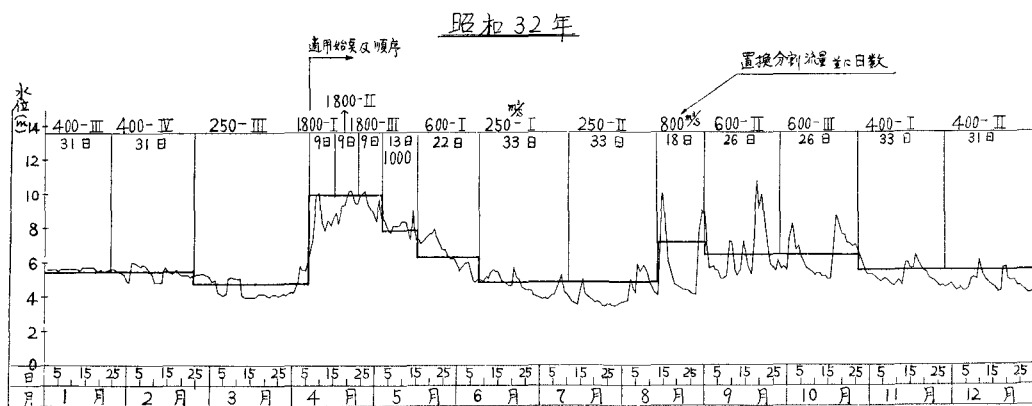


図-4 日水位図並びに分割流量図
(55.4 km 地点)

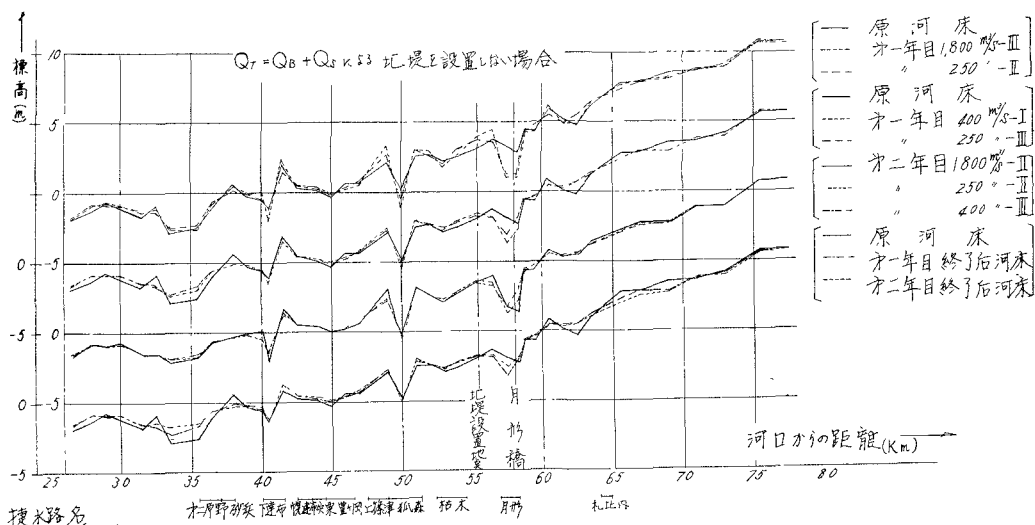
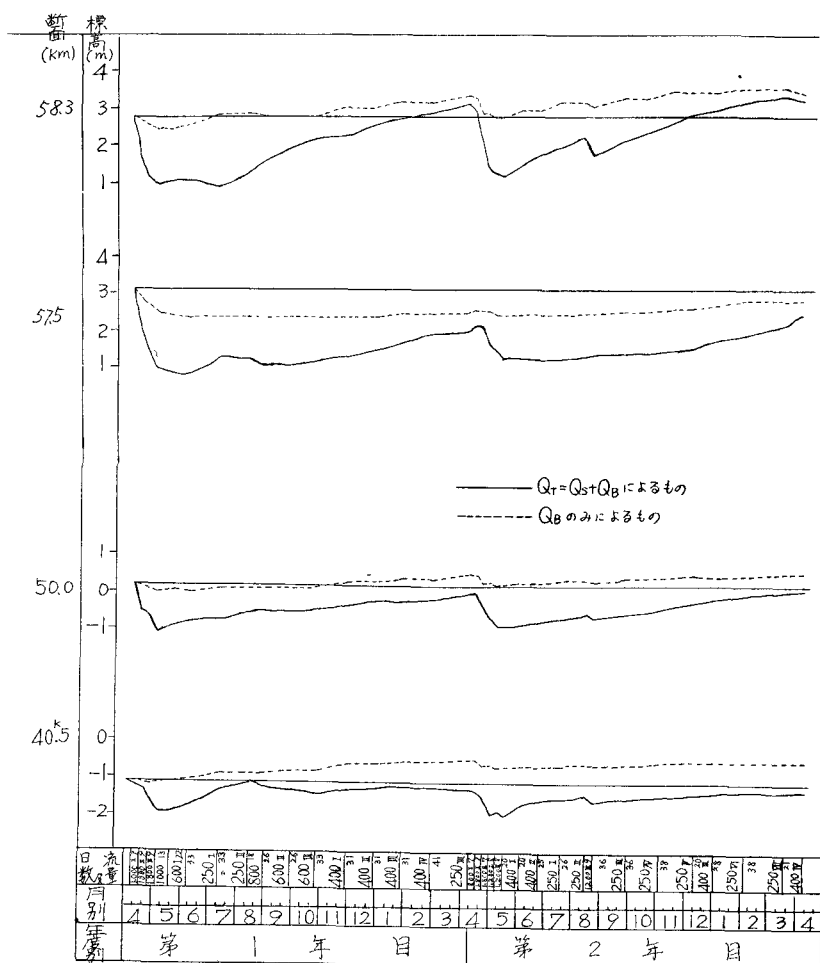


図-5 出水による河床変動図

～0.1 mm であり、鉛直濃度分布もほとんど鉛直直線分布とみなすことができ、しかも、この区間内の河床にはこのように細かい粒径のものはほとんど見出されていない。したがって、浮遊流砂の大部分は河床と材料交換をしない Wash load とみなして、掃流砂量のみを考えた河床変動量を計算すると図-6 のようになる。すなわち、この図では、出水による変動状況を断面ごとに数箇所についてあらわし、 Q_B と $Q_T = Q_S + Q_B$ との両者によるものを並列して示した。この両者を比較すると、各出水ごとあるいは1年後また2年後における河床の変動量には差異があるけれども、一般的にみて各断面ごとの変動曲線は上昇あるいは下降について両者いずれも同様の傾向を示し、 Q_S 一部が Bed-material load と考えられるときは、この二つの変動曲線の間にあることが予想される。

4. 河床変動についての考察

図-5 および 図-6 よりみると、融雪出水によつて河床の変動が大きく生じる箇所は、月形捷水路を中心とした 57 km 付近、狐森捷水路を中心とする 50 km 付近および下達布捷水路を中心とする 40 km 付近などであり、これらの捷水路はまだ河況に対して影響を多分に与えていることがわかる。また、流量の大なる出水において洗掘あるいは堆積の生じた箇所は、それに続く流量の小なる出水により洗掘された箇所は堆積を起し、逆に堆積した箇所は洗掘されるという現象を起す。これは今まで経験的に考えられていた事柄に一致するが、かならずしも元の河床に復元するわけではない。たとえば第1年目の最初の出水の $Q = 1,800 \text{ m}^3/\text{sec}$ 出水期間 27 日を3回に分けて、9日ごとに河床高を調整した場合にも、洗掘される所はあくまでも洗掘され、堆積する断面は堆積を続ける



図—6 断面ごと河床変動図

という箇所がある。しかし、それぞれの変動量は各回ごとに減少し河床はある一定値に近づく。他の流量の場合には、これらの傾向がまた異なつて各断面に作用する。これより考えれば、ある流量に対する河床変動は、その流量に対しどの断面も流砂量を一定とする方向に河床変動を起すものと考えられる。

河床変動の安定性という事柄を考えると、式(1)および(2)であきらかなように、洗掘あるいは堆積などの変動を生じた場合、各断面における流砂量は変動量を増大させる方向ではなく(つまり変動が発散する方向ではなく)変動を生じた河床をある一定値に収斂させる方向に変化する。すなわち、河床の変動は時間とともに減衰していく。そして流量が異なつた場合には、ふたたび新しい釣合関係を求めて新しい河床変動を起すが、この変動量も上に述べたような変化を示す。

第2年目の出水による変動も、ほぼ第1年目と同じような変化をたどる。すなわち、第1年目の終りにおいて

ほぼ元に戻っていた河床は、融雪出水によりふたたび大きく変動を起し、それがだんだんと回復する変化を示す。しかし、第1年目および第2年目における変動が、洗掘あるいは堆積のどちらか一方の変化を示す断面は、将来においてその傾向にあることを示すものとみてよいであろう。

IV. 結 語

河川における浮遊流砂量 Q_s ならびに掃流砂量 Q_b の近似計算法を使用し、実河川における河床変動量を計算する方法を示し、これを石狩川に適用して、昭和32年と31年の出水曲線を使用して将来の河床変動状況を解析し、かなりの成果を得た。

計算の結果、考察された点をまとめると以下のようである。

1. 各出水時における Q_s および Q_b の値は、水深と関連つけた対数図式法を用いてあらわせば非常に実用的

となる。

2. 現在の河床に対する Q_s および Q_B の計算結果によれば、月形、狐森および下達布などの捷水路付近は、各断面の土砂輸送能力に相当の差異があり、これらを中心とした河状変化がある程度予想される。

3. ある一つの流量に対する河床変動は、その流量に対しどの断面も流砂量を一定とする方向に向つて行われ、その変動量はしだいに小さくなつて、ある流量に対して河床はある一定値に近づく。

4. 石狩川の場合、浮遊流砂として観測された量の中には相当の **Wash load** を含んでいるものと考えられ、そのために Q_s を除いたものと含めたものとの両極端の場合について計算したが、両者はその値には差異があるけれども実用上支障ない程度の幅を示し、 Q_s の一部が **Bed-material load** と考えられる場合には、その河床変動は二つの計算結果の間にあるものと考えてよい。

5. 26.6 km より 77.5 km までの河状に今後なんら人

為的变化を加えず、かつ、上流からの供給流砂量に大きい変化がないと仮定した場合、石狩川のこの区間の河床についてつぎのようなことがいえる。

- 1) 77.5 km より下流 10 km 区間は現在状態ではほぼ安定している。
- 2) 65.0 km より月形捷水路上流にかけては、河床はしだいに平均化される変動を起し、この捷水路の間から下流 1.0 km にわたつて今後相当に洗掘されるであろう。この影響が 55.4 km より下流 3.0~4.0 km にわたり堆積現象を起す。
- 3) 50.0 km より 43.0 km 付近までは今後もほぼ安定し、この下流 26.6 km までは河床はしだいに平均化される変動を生じる。

参 考 文 献

- 1) 佐藤清一：河道の設計について；土木学会誌，第 42 巻，第 4 号，1~7 (1957)。