

河道網理論による川幅と平均粒径の縦断分布

ESTIMATION OF WIDTH OF RIVER CHANNEL AND MEAN DIAMETER BY THE NETWORK MODEL

吉澤 良¹・山本 徹²・黒木 幹男³・板倉 忠興⁴

Ryo YOSHIZAWA, Toru YAMAMOTO, Mikio KUROKI, Tadaoki ITAKURA

¹学生会員 工学 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-0813 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

²正 会 員 工修 佐藤工業株式会社土木本部 (〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-20)

³フェロー会員 工博 北海道大学大学院工学研究科助教授 (〒060-0813 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

⁴フェロー会員 工博 北海道大学大学院工学研究科教授 (〒060-0813 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

Authors have analyzed the stable longitudinal distributions of river channels using the Network Model¹⁾. It is very important for solving the problems, not only for river engineering but also for coastal or sabo engineering, dealing with sediment discharge to estimate annual characteristics of sediment yield of rivers.

In this study, we estimate the longitudinal distributions of the mean diameter and the width of river channels in Ashibetsu, Kanayama and Houheikyoku Dam basins. Then the results are analyzed by field data.

Key Words: width of river channel, mean diameter

1. はじめに

著者らは安定縦断形状について、流域全体を考慮する河道網理論¹⁾を用いて理論的解析を行っている。河川の平年の土砂生産特性を予測することは、砂防、ダム、河道計画、そして海岸工学に至るまで、流砂に関わる多くの問題にとって非常に重要である。

比較的狭い流域を対象とする場合、土砂生産と輸送には非定常性が現れるが、本解析のように 100km² を超える広い流域を対象とする場合は、非定常の程度は小さくなると考え、まず定常として扱うことで平均的な土砂生産・輸送の評価を試みることにした。

これまでの解析¹⁾では、流域の大小にかかわらず、同一の支流域で流量増加係数を一定としていた。これは小流域では許容できる近似であろうが、支流の流域面積が大きくなるにしたがって粗い近似となることは免れない。そこで本研究では全ての単位河道ごとに流量増加係数を評価することによって精度の向上した河道網理論²⁾を金山ダム流域・芦別ダム流域・豊平峡ダム流域に適用し、各流域の平均粒径、川幅の縦断分布について推定を行い、現地調査により検証を行った。

2. 基礎式

一定の支配流量の存在を想定し、動的平衡状態にある

河道を考える。流れの運動方程式、流れの抵抗則式、流砂の連続式、流砂量式及び平衡横断面の河床掃流式の基本 5 式において、(河床勾配)=(エネルギー勾配)の近似が成り立つ場合、河床勾配を流量と流砂量の関数として次式のように表すことができる¹⁾。

$$\frac{dz}{dx} = -C \left(\frac{Q_B(x)}{Q(x)} \right)^{3/4} \quad (1)$$

ただし、 $C = \left[\frac{8\sqrt{sg}(\tau_* - \tau_{*c})^{3/2}}{6.9\sqrt{g}(s\tau_*)^{3/3}} \right]^{-3/4}$ 、 z : 基準面から測った

河床高、 x : 流下方向にとった距離、 Q : 流量、 Q_B : 流砂量、 g : 重力加速度、 s : 河床砂礫の水中比重(=1.65)、 τ_* : 平衡河床掃流力(=1.23× τ_{*c} 、 τ_{*c} =0.05)。

式(1)は幹川河道全体を対象に適用することもできる³⁾が、本論文では国土数値情報の第 3 次メッシュを単位とする河道網を考え、個々の単位河道に適用する。単位河道は河道長 1km、流域面積 1km² であり、単位河道内の流量・流砂量の変化も小さいものと考えられるので、単位河道内における流量と流砂量の変化を一次式で与える³⁾ことにした。単位河道内の河床勾配は式(2)のように表せる。また、河道上・下流端の河床勾配も式(3)、(4)のように表せる。

$$\left(\frac{dz}{dx} \right)_x = -C \left(\frac{Q_{BU} + q_s x}{Q_U + qx} \right)^{3/4} \quad (2)$$

$$\left(\frac{dz}{dx}\right)_U = -C \left(\frac{Q_{BU}}{Q_U}\right)^{5/7} \quad (3)$$

$$\left(\frac{dz}{dx}\right)_D = -C \left(\frac{Q_{BU} + q_s \ell}{Q_U + q \ell}\right)^{5/7} \quad (4)$$

ただし、 ℓ :単位河道長、 Q_U 、 Q_{BU} :単位河道上流端の流量および流砂量、 q :単位河道の流量増加係数、 q_s :単位河道の流砂量増加係数。

必要な定数 Q_U 、 Q_{BU} 、 q 、 q_s が与えられると、式(2)を数値積分することで河床高縦断形状を求めることができる。数値積分により求まる河道縦断形状を定めることで、四変数 Q_U 、 Q_{BU} 、 $q\ell$ 、 $q_s\ell$ の内3つは、残りの1つの関数になる。具体的には、上流端流量 Q_U の関数としていくことにする。

これまでの解析¹⁾では河道に沿った流量増加係数、流砂量増加係数を支川ごとに一定となるように定めていたが、本研究では先述のように²⁾、全ての単位河道で流量・流砂量増加係数を評価する。

また、先の基本5式から式(5)のように水深を流量と流砂量により表すことができる。平均粒径と川幅も水深同様流量と流砂量の関数として表され、河道網中の単位河道 i の上流端に適用すると式(6)、(7)を得る。

$$[h_U]_i = C_1 \sqrt{1 + \frac{C_1^2}{2g} \left(\frac{[Q_{BU}]_i}{[Q_U]_i}\right)^{5/7}} \quad (5)$$

$$[d_U]_i = \frac{[h_U]_i}{s\tau_*} C_2 \left(\frac{[Q_{BU}]_i}{[Q_U]_i}\right)^{5/7} \quad (6)$$

$$[B_U]_i = C_3 \left(\frac{[Q_{BU}]_i}{([d_U]_i)^{3/2}}\right) \quad (7)$$

ただし、 $[h_U]_i$:単位河道 i の上流端の水深、 $[d_U]_i$:単位河道 i の上流端の平均粒径、 $[B_U]_i$:単位河道 i の上流端の川幅、 $[Q_{BU}]_i$:単位河道 i の上流端の流砂量、 $[Q_U]_i$:単位河道 i の上流端の流量、

$\tau_* = \frac{hI_e}{sd} = \text{const.}$ 、 h :水深、 C_1 、 C_2 、 C_3 :定数、 d :平均粒径、 I_e :エネルギー勾配。

なお、式(5)、(6)、(7)は単位河道 i の上流端について表しているが、下流端についても同様の表現ができる。

マグニチュード i の幹川に支川 j の河道が合流して $i+j$ の河道となる場合を考えると、水深および粒径の連続式は以下のように表せる。

$$[h_U]_{i+j} = [h_D]_i \quad (8)$$

$$[d_U]_{i+j} [Q_{BU}]_{i+j} = [d_D]_i [Q_{BD}]_i + [d_D]_j [Q_{BD}]_j \quad (9)$$

ただし、添字 U 、 D はそれぞれ単位河道の上・下流端を表す。

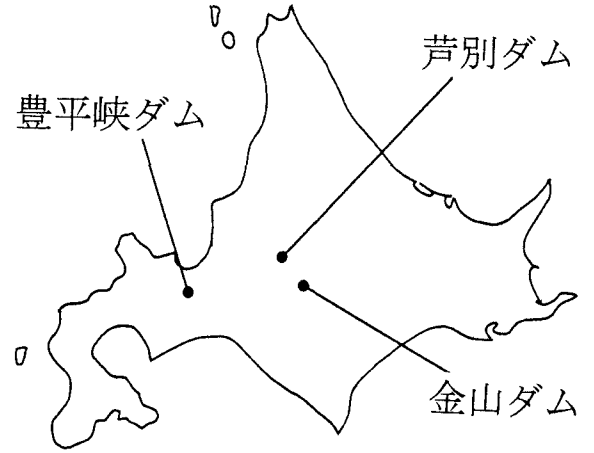


図-1 位置図

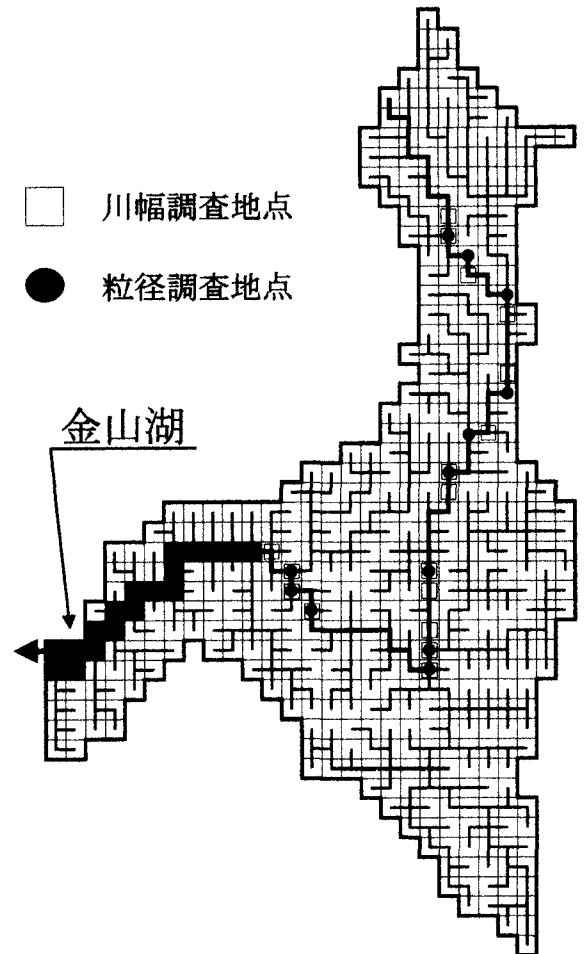


図-2 金山ダム流域河道網図

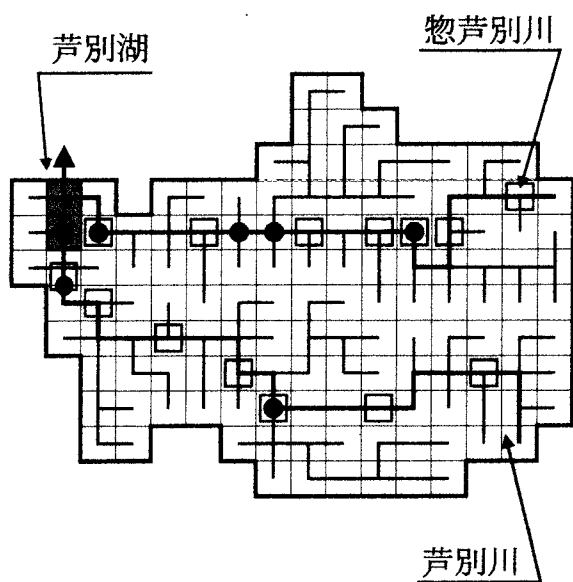


図-3 芦別ダム流域河道網図

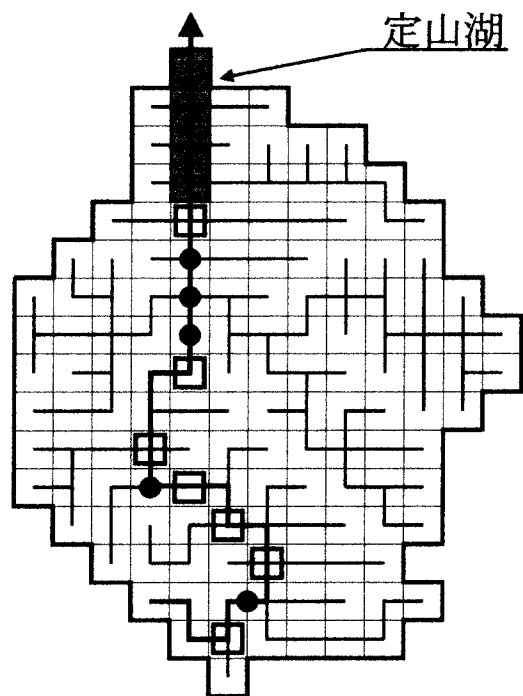


図-4 豊平峡ダム流域河道網図

3. ダム流域への適用

(1) 解析対象ダム流域

本研究では金山ダム流域、芦別ダム流域、豊平峡ダム流域において解析を行った。それらの位置を図-1に示す。

a) 金山ダム流域

金山ダムは北海道空知郡南富良野町に位置する石狩川水系空知川の基幹貯水池ダムである。河道網のパターンを確定するために「石狩川流域ランドスケープ情報」⁴⁾収録の河道網図を使用する(図-2)。図中の●印は粒径調査地点、□印は川幅調査地点を表す。流域面積は469km²、河道網図のメッシュ数は498個、1メッシュあたり0.942km²であり、外部リンク数190個、河道数497本である。なお、解析対象メッシュ数483個は流域全体498個の約97%を網羅している。

b) 芦別ダム流域

芦別ダムは夕張山地の西に位置する昭和32年竣工の発電用ダムである。同ダムの堆砂規模は全国有数であり、総貯水容量500万m³以上のダムの中で全国6位の堆砂率を有している。芦別ダムの流域面積は126km²で、芦別川・惣芦別川に2分されている。国土数値情報の第3次メッシュに基づく河道網図を図-3に示すが、メッシュ数は135個、1メッシュあたりの面積0.93km²であり、外部リンク数56、河道数134である。図中の●印は粒径調査地点、□印は川幅調査地点を表す。

本研究では、芦別川・惣芦別川の2つの流域に分割して解析を行った。なお、解析対象メッシュ数132個は、流域全体135個の約98%を網羅している。

c) 豊平峡ダム流域

豊平峡ダム流域面積は134km²である。これに対して、河道網図のメッシュ数は142個、1メッシュあたりの面積0.94km²であり、外部リンク数53、河道数141である(図-4)。また、豊平峡ダムは昭和47年竣工のダムである。解析対象メッシュ数は132個であり、流域全体142個の約93%を網羅している。図中の●印は粒径調査地点、□印は川幅調査地点を表す。

(2) 調査による理論の検証

検証の手順は以下に行う。ばらつきの多い実資料の河床高縦断面を指数型に整理し、すべての単位河道の上・下流端の座標、勾配を確定する。すべての単位河道について、式(2)、(3)、(4)を適用し流量 Q 、流砂量 Q_B を外部リンク流入流量 $[Q_U]_i$ で表現する。ダム流入流量資料により $[Q_U]_i$ が既知となるので、流域すべての Q 、 Q_B が具体量で求まる。さらに、 Q 、 Q_B の縦断分布から式(5)、(6)、(7)により、水深、粒径、川幅の無次元縦断分布を得る。

次に、川幅について実資料と計算値の縦断を重ね合わせてみて、適合度を調べる。そのようにして、川幅の具体量が得られたら、次に、式(7)により平均粒径を求め、その縦断分布と現地調査で得られた値とを比較する。

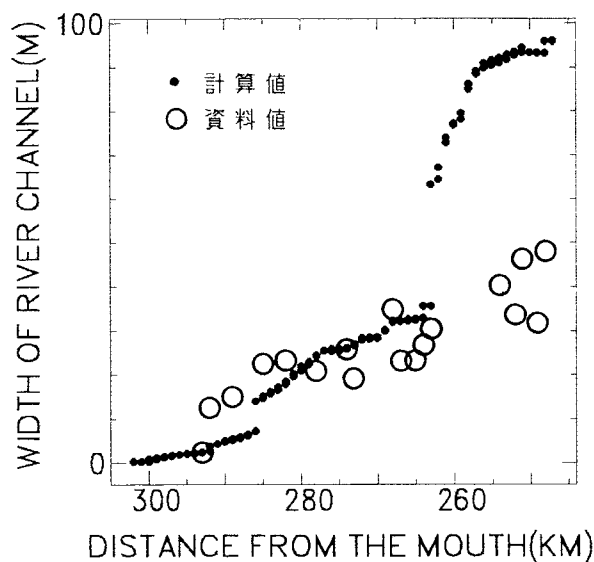


図-5 金山ダム流域 川幅縦断分布

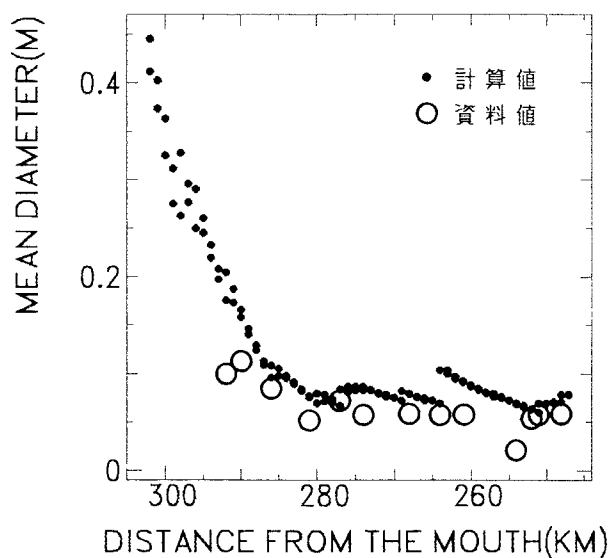


図-6 金山ダム流域 平均粒径縦断分布

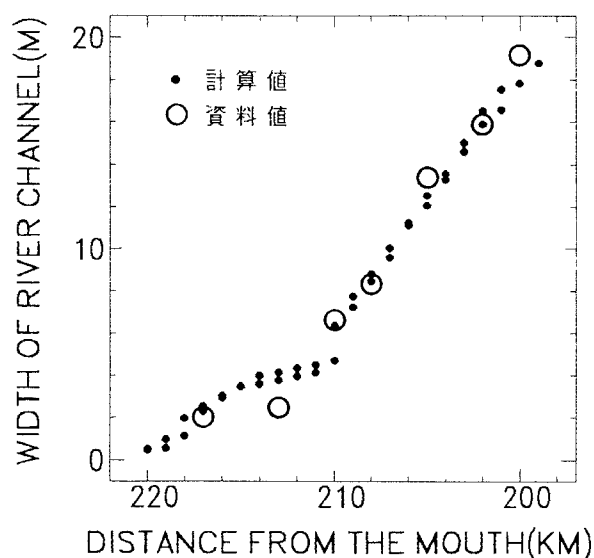


図-7 芦別川 川幅縦断分布

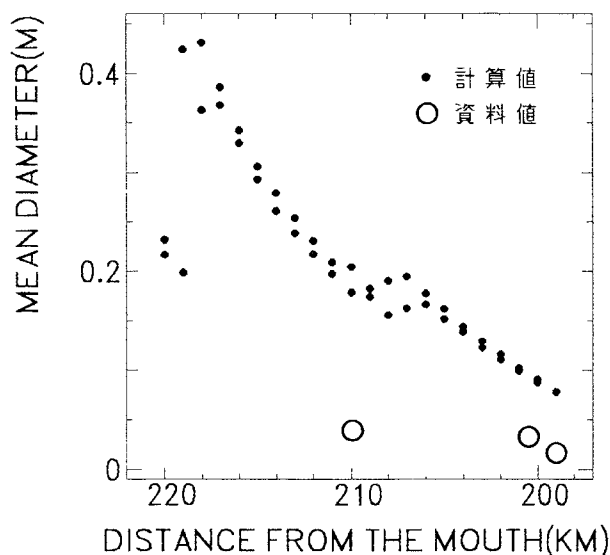


図-8 芦別川 平均粒径縦断分布

現地調査の資料採取にあたっては河床が比較的整正で表面の砂礫の分布状態が標準的でかつ水に浸かっていない地点を選定した。また、粒径に関してはダム流域で礫分が多いこともあり、資料を採取してふるい分け試験を行えたのは一部であり、ほとんどが河村ら⁵⁾の山地河川における河床材料サンプリング方法に従い、線格子法にて測定を行った。現地では1個の粒子について長軸 a 、中軸 b 、短軸 c を測定した。同体積の球の体積：

$$d_n = \left(\frac{6}{\pi} c^2 (ab)^{1/2} \right)^{1/3}$$

を求め、中軸径 b と比較したところ、

河村ら⁵⁾の結果と同様に $d_n \approx b$ とほぼ同じ値が得られたので、中軸径を対象とする粒子の代表粒径とした。

川幅は支配流量(平均年最大流量)下の洪水時に水がつくと思われる低水路幅を測定したが、水深が深いなど低水路横断距離が測定不能な箇所では、1:25000地形図により標準的な位置でスケールアップして、現地資料を補った。測定場所は各ダム流域の河道網図中(図-2、3、4)に示す。測定箇所数は表-1のようになった。

金山ダム流域の川幅において、263km地点から計算値と資料値の差が大きくなっている。これは流域面積約100km²を有する支川(トムム川)の合流によって流砂量が

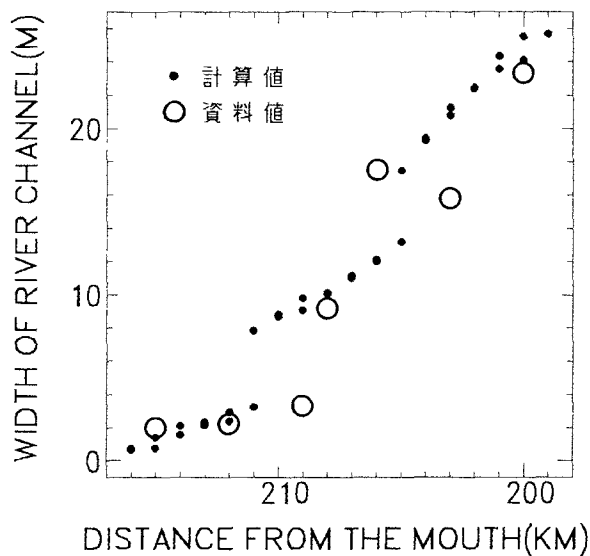


図-9 惣芦別川 川幅縦断分布

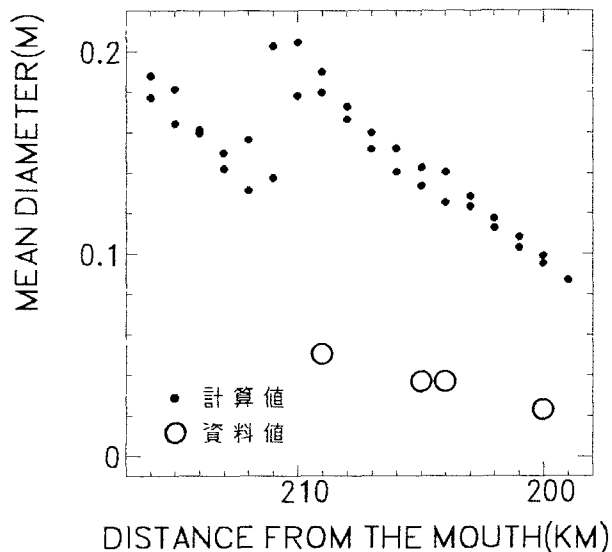


図-10 惣芦別川 平均粒径縦断分布

表-1 現地調査総括表

	低水路幅	河床材料平均粒径
空知川 (金山ダム)	18ヶ所	13ヶ所
芦別川 (芦別ダム)	7ヶ所	3ヶ所
惣芦別川 (芦別ダム)	7ヶ所	4ヶ所
豊平川 (豊平峡ダム)	7ヶ所	5ヶ所

大きく増加し、川幅が広くなったと計算された一方で、実流域では合流後に集落が多く、ダム湖まで左右岸とも護岸され川幅が制限されていることによると思われる。

芦別ダム流域の平均粒径の縦断分布において若干の差が生じているが、これには次のような要因が考えられる。芦別ダム流域の岩質が非常にクラッキーであり、すぐにぼろぼろになってしまう。また、砂状の細かい成分も非常に多い(写真-1)。これらのことから、資料値が小さいと思われる。



写真-1 芦別川流域 河床材料

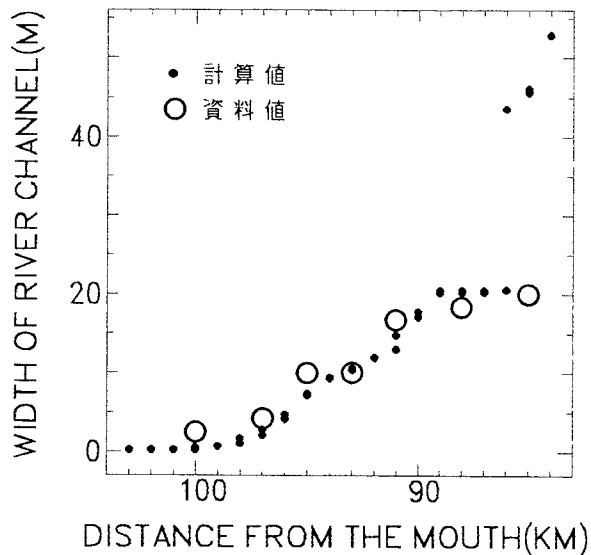


図-11 豊平峡ダム流域 川幅縦断形

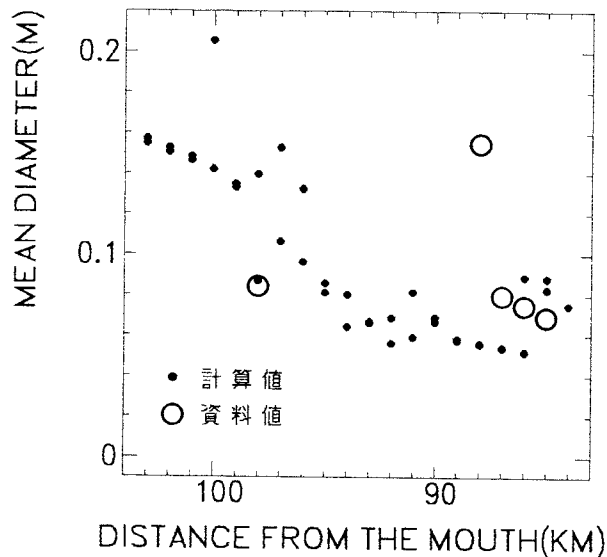


図-12 豊平峡ダム流域 平均粒径縦断形

豊平峡ダム流域についての比較では、ばらつきは大きいと概して川幅、平均粒径とも類していると言える。

4. おわりに

金山ダム流域、芦別ダム流域、豊平峡ダム流域にすべての単位河道ごとに流量増加係数を考慮する河道網理論²⁾を適用し、河道の川幅、河床材料の平均粒径を計算し、実データで検証した。その結果、川幅の適合度は良好であり、平均粒径に関してもほぼ妥当な結果が得られた。

参考文献

- 1) 山本 徹、黒木幹男、板倉忠興：河道網理論による金山ダム流域の地質別流砂分布、水工学論文集第41巻、pp. 765-770、1997
- 2) 山本 徹、黒木幹男、板倉忠興：流出特性分布を考慮した河道網理論とその適用、土木学会北海道支部論文報告集、pp. 78-83、1998
- 3) 黒木幹男、板倉忠興：安定河道縦断形状に関する研究、水工学論文集第39巻、pp. 641-646、1995
- 4) 財団法人北海道河川防災研究センター：石狩川ランドスケープ情報、1996
- 5) 河村三郎、小沢功一：山地河川における河床材料のサンプリング方法と粒度分布、土木学会誌・12、pp. 53-58、1970

(1998. 9. 30 受付)