

## 第5章 供給土砂量の設定手法について

上流端及び支川からの土砂供給量が1次元河床変動計算に与える影響は大きいと考えられてきたが、これまで供給土砂量の設定手法が1次元河床変動計算に与える影響について検討された例は少ない。本章では、涸沼川をモデルに河床変動計算を実施して上流端における供給土砂量設定手法が計算結果に与える影響を検討する。

1次元河床変動計算によって流砂量及び河床変動量を再現、予測するためには、上流端からの土砂供給量が必要である。本来ならば、現地観測によって流砂量を把握して上流端供給土砂量を設定することが望ましい。流砂量観測には浮遊砂量観測、掃流砂量観測などがあり、全国の河川で実施されつつある。しかし、浮遊砂量観測については実績が少なく蓄積されたデータも少ないことから河床変動計算の境界条件に使用するには、時期尚早といえる。また、掃流砂量観測は、観測自体が困難であるため、実施例そのものがほとんど無いのが現状である。現時点では、流砂量観測によって妥当な供給土砂量を与えることは困難であると考えられる。一方、河床変動計算を実施する現場では、上流端に掃流力見合いの流砂量を与える手法やダムの比生産土砂量から推定される供給土砂量を与える手法が多く用いられている。しかしながら、それらの手法が適切な流砂量を与えているとは言い難い。また、供給土砂量の推定手法が河床変動計算の精度に与える影響についてよくわからないのが現状である。

しかしながら、浮遊砂量観測を実施する河川は増えつつある。特に、平成11年から平成13年にかけて実施された建設省技術研究会「水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究」を契機に全国の河川で浮遊砂量観測が本格的に実施され始めている。今後は、流砂量観測から得られた情報を入力条件として、あるいは検証材料として河床変動計算を実施し、河川整備計画に反映することが求められる。さらに、既往の供給土砂量の設定手法と流砂量観測から推定する手法が河床変動計算に与える影響を比較し、各手法の利点と欠点及び使用にあたっての注意点を整理して河床変動計算の精度を向上することも重要である。

現在、考えられる供給土砂量の設定手法を整理すると以下のとおりである。

- ①掃流力見合い
- ②比生産土砂量による推定
- ③流砂量観測結果からQ-Qs曲線を推定する

本章では、以上に列挙した供給土砂量の設定手法について説明するとともに、涸沼川の河床変動計算に適用して各手法が河床変動計算に与える影響を検討する。

### 5.1 供給土砂量の設定

各供給土砂量の設定手法の特徴を整理する。また、涸沼川の河床変動計算に適用して供給土砂量の設定手法が計算結果に与える影響を検討する。

### 1) 掃流力見合い

流砂量公式によって上流端の水理量に見合う流砂量を計算する手法である。通常は、一定の川幅と一定の河床勾配を有する河道を上流端に助走区間として接続して、芦田・道上の掃流砂量式<sup>1)</sup>、芦田・道上の浮遊砂量式<sup>2)</sup>などの流砂量式によって計算される流砂量を与える。この場合、上流端に接続する河道の勾配、川幅、河床材料によって供給土砂量は変化するので、上流端に接続する河道諸元に注意する必要がある。一般的には、上流端付近の平均的な河床勾配、川幅、河床材料を設定して上流端に接続する。上流端付近の河床変動量が小さい場合には妥当な値を得るが、河床変動量が大きい場合には合わないことが多いので、助走河道の勾配、川幅を妥当な範囲で変化させて供給土砂量を調整する。また、補正係数を乗じて実態に合わせる方法も考えられる。

涸沼川における河床変動計算を例に助走河道を設定する。上流端 26.6km 付近の河道は、セグメント 2-3 とセグメント 2-2 の境界付近に位置し、河床勾配の変化点であることから平均的な河床勾配を与えることは難しい。本研究では、26.6km 下流の河道をもとに設定することとした。図-5.1.1 に上流端 26.6km 付近の低水路平均河床高の縦断図を示す。最小自乗法によって平均勾配を推定すると 1/1050 となった。この勾配を丸めて 1/1000 の勾配を助走河道に設定した。また、低水路幅の縦断図を図-5.1.2 に示す。上流端 26.6km 付近の河道は 20m~30m の範囲で変動している。助走河道の川幅を 20m、25m、30m に設定して再現性の良い川幅を選ぶこととする。また、河床材料は上流端 26.6km の約 1.4km 上流に位置する涸沼川洪水観測施設付近で実施された河床材料調査の結果をもとに設定した。涸沼川洪水観測施設付近では、河床材料調査が 3 回実施されているので、その調査結果を計算モデルに反映することが好ましい。涸沼川洪水観測施設付近における河床材料調査の実施状況を整理すると表-5.1.1 のとおりである。

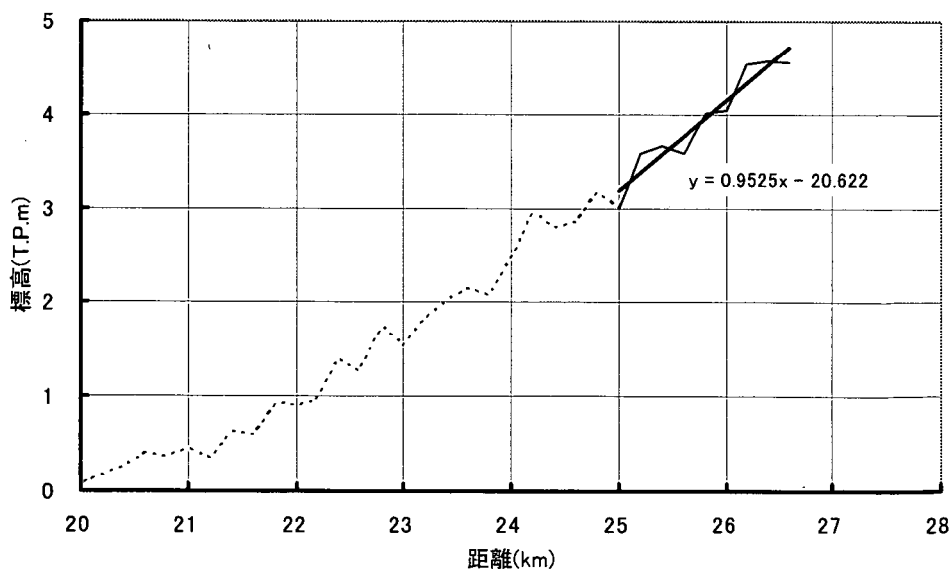


図-5.1.1 上流端 26.6km 付近の低水路平均河床高

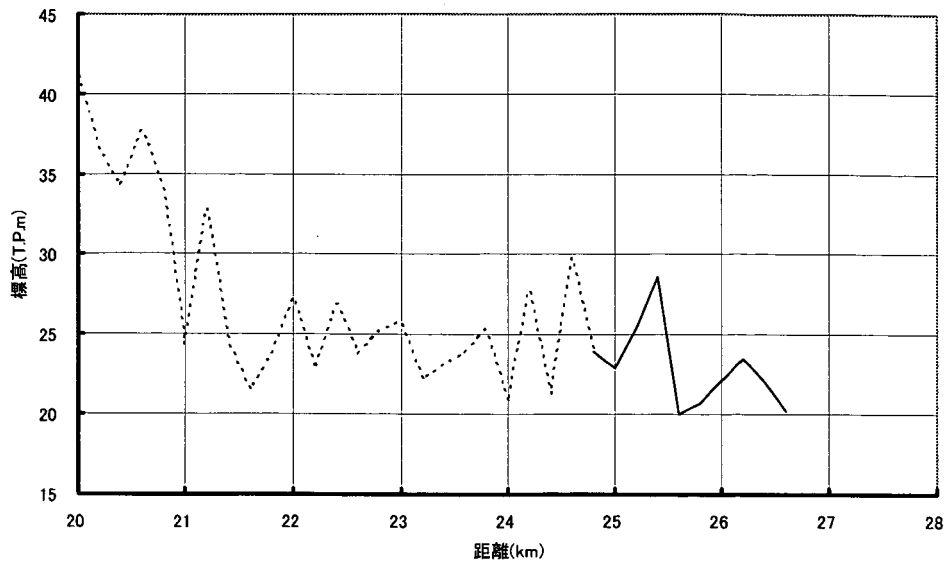


図-5.1.2 上流端 26.6km 付近の川幅縦断面図

表-5.1.1 涸沼川洪水観測施設 (28.0km~28.2km) における河床材料のサンプル数

年	サンプル数
昭和 63 年	33
平成 1 年	35
平成 7 年	7

2) 比生産土砂量による推定

流域に貯水ダムや砂防ダムなど土砂堆積が著しい河川横断工作物がある場合は、比生産土砂量をもとに粒径別供給土砂量を計算して上流端に与えることも可能である。しかし、流量あるいは水理量と流砂量の関係が不明なので、時間に対して平均化した流砂量を与えることとなる。したがって、1 出水など短期の河床変動計算に向かないが、対象期間が長期間にわたる場合には適用できると思われる。また、比生産土砂量を算出した流域と河床変動計算における上流端の集水領域の地質、土地利用状況が大きく異なる場合には適用は難しい。

涸沼川を例にして比生産土砂量を推定する。涸沼川流域内に存在する大規模な土砂堆積域として飯田ダムと涸沼がある。ここでは、飯田ダムと涸沼を例に比生産土砂量及び上流端の供給土砂量を推定する。

・飯田ダムの堆積土砂をもとに比生産土砂量を推定

飯田ダムは、流域面積 13.7km<sup>2</sup>を有する多目的重力ダムである。飯田ダム竣工後(平

成2年以降)の堆砂実績は藤田ら<sup>3)</sup>によって表-5.1.2、図-5.1.3のとおり整理されている。平成2年から平成5年の堆砂量が平成6年以降と比較して多い。これは、ダム建設による影響であると考えられる。比較的変動の少ない平成6年以降の堆砂量を平均して1年あたりの堆砂量を算出すると1,560m<sup>3</sup>/年となる。

表-5.1.2 飯田ダムの堆砂量(平成6年以降)

年	堆砂量 (m <sup>3</sup> /年)	備考
平成6年	1,609	
平成7年	1,501	
平成8年	1,557	
平成9年	1,570	
平均	1,560	113.9 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)

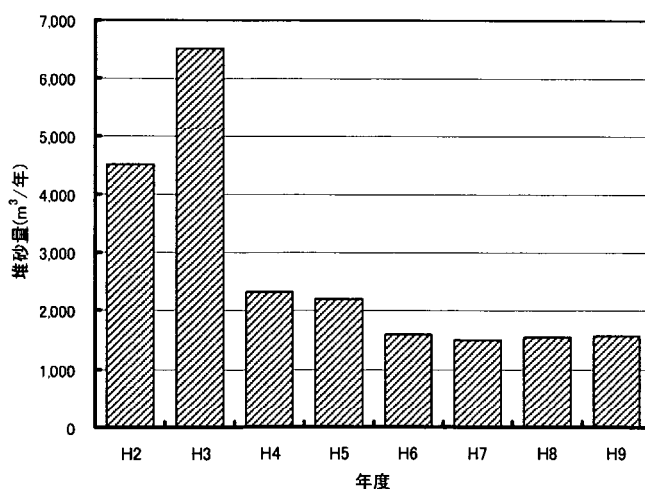


図-5.1.3 飯田ダムの堆砂量の経年変化

芦田・奥村<sup>4)</sup>は全国のダムの堆砂実績をもとに次式に示す関係式を導いている。

$$q_s = KA^{-0.7} \quad (5.1)$$

ここで、 $q_s$ :年平均比流出土砂量 (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年)、 $A$ :流域面積 (km<sup>2</sup>)、 $K$ :定数である。式(5.1)と飯田ダムの堆砂資料をもとに上流端の供給土砂量を推定する。今、飯田ダムから下流側へ流出する土砂量は不明であるので、飯田ダム流域で生産された土砂は全てダム貯水池に堆砂し、飯田ダム下流に供給されないと仮定する。また、飯田ダム流域の地形・地質状態と河床変動モデル上流端(26.6km)より上流域の地形・

地質状態が同様であると仮定する。このとき、モデル上流端の供給土砂量  $q_s$  と流域面積  $A$  の関係は、飯田ダムの堆積土砂量と流域面積より次式のとおりとなる。

$$q_s = 715.2A^{-0.7} \quad (5.2)$$

しかしながら、上流端 26.6km より上流域には、比較的比供給土砂量の多い花崗岩が存在するのに対し、飯田ダム流域には花崗岩が存在しないことから、飯田ダム流域の地形、地質状態は河床変動モデル上流端より上流域の地形、地質状態を代表しているとは言えず、また、飯田ダムからの流出土砂量が考慮されていないので、式 (5.2) によって得られる比生産土砂量の精度は低いと考えられるが、式 (5.2) をもとに上流端 (26.6km) の供給土砂量を仮定して計算を実施する。上流端 26.6km に近い涸沼川洪水観測施設 (28.1km) における土砂生産域の流域面積は 121km<sup>2</sup> である。式 (5.2) に涸沼川洪水観測施設の土砂生産域の面積を代入すると涸沼川洪水観測施設 (28.1km) における比供給土砂量は 24.8m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年となる。土砂生産域の面積を乗じると涸沼川洪水観測施設における供給土砂量は約 3 万 m<sup>3</sup>/年と仮定できる。

表-5.1.3 比生産土砂量の計算

生産域	芦田・奥村の係数 K	年平均比流出土砂量 $q_s$ (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /年)	流域面積 A (km <sup>2</sup> )	供給土砂量 (m <sup>3</sup> /年)
飯田ダム	715.22	113.9	13.8	1,560
涸沼洪水観測施設		24.92	121	3,015

次に供給土砂量の粒度分布を設定する。山本、藤田<sup>5)</sup> は全国の河川の比供給土砂量の調査を基に沖積河川における供給土砂量の質が、砂利：砂：シルト・粘土 = (0%~10%) : (35%~40%) : (50%~65%) 程度の構成比になることを示した。構成比率の中間値をとり砂利：砂：シルト・粘土 = 5% : 37.5% : 57.5% として涸沼川洪水観測施設の供給土砂量に適用すれば、粒径別供給土砂量は表-5.1.4 のとおりとなる。なお、供給土砂の粒度分布は図-5.1.4 のとおりである。表-5.1.4 のうち、砂・砂利に相当する粒径 0.105mm 以上の粒径別供給土砂量を上流端に与えた。

表-5.1.4 粒径別供給土砂量

粒径範囲 (mm)	分類	存在割合 (%)		年流出土砂量 (m <sup>3</sup> /年)	
		粒径範囲別	合計	粒径範囲別	合計
19.1	砂利	1.67	5	50.0	150.0
9.52 ~ 19.1		1.67		50.0	
3.36 ~ 9.52		1.67		50.0	
1.68 ~ 3.36	砂	7.50	37.5	225.1	1125.3
0.84 ~ 1.68		7.50		225.1	
0.42 ~ 0.84		7.50		225.1	
0.21 ~ 0.42		7.50		225.1	
0.105 ~ 0.21		7.50		225.1	
0.105	シルト・粘土	57.5	57.5	1725.5	1725.5
合計		100.0		3000	

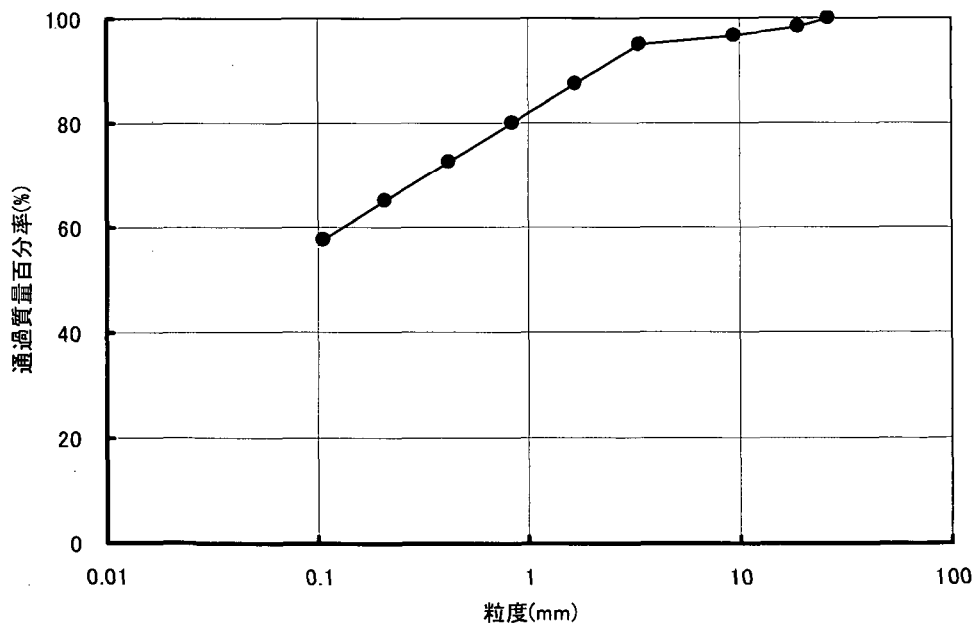


図-5.1.4 飯田ダムの堆砂量から算出した比供給土砂量の粒度分布

・澗沼堆積土砂をもとに比生産土砂量を推定

澗沼では、河川からの流水が滞留するため掃流力がほぼ0に等しくなる。このため、澗沼河口からの供給土砂は、多くが澗沼に堆積する。特に本研究の対象である掃流砂と浮遊砂は、比較的粒径が粗いために澗沼河口付近にはほぼ全量が堆積すると考えられる。第2章で述べたとおり澗沼河口では過去2度にわたって定期横断測量が実施されており、この成果を利用すれば妥当な生産土砂量を推定することが可能である。

藤田ら<sup>3)</sup>は、澗沼河口の測量成果と河道横断測量成果をもとに澗沼河口から26.6kmまでの地形変化量を粒径別に整理している。各断面の地形変化量を累加して縦断的に示すと図-5.1.5のとおりである。ここで、26.6kmにおける累加地形変化量は、26.6kmにおける通過土砂量と考えることができると同時に26.6kmより上流域の生産土砂量と考えることもできる。26.6kmにおける年間生産土砂量を粒径別に示すと表-5.1.5のとおりである。表-5.1.5には同時に毎秒あたりの生産土砂量を示す。この毎秒あたりの生産土砂量を上流端の供給土砂量として河床変動計算を実施する。

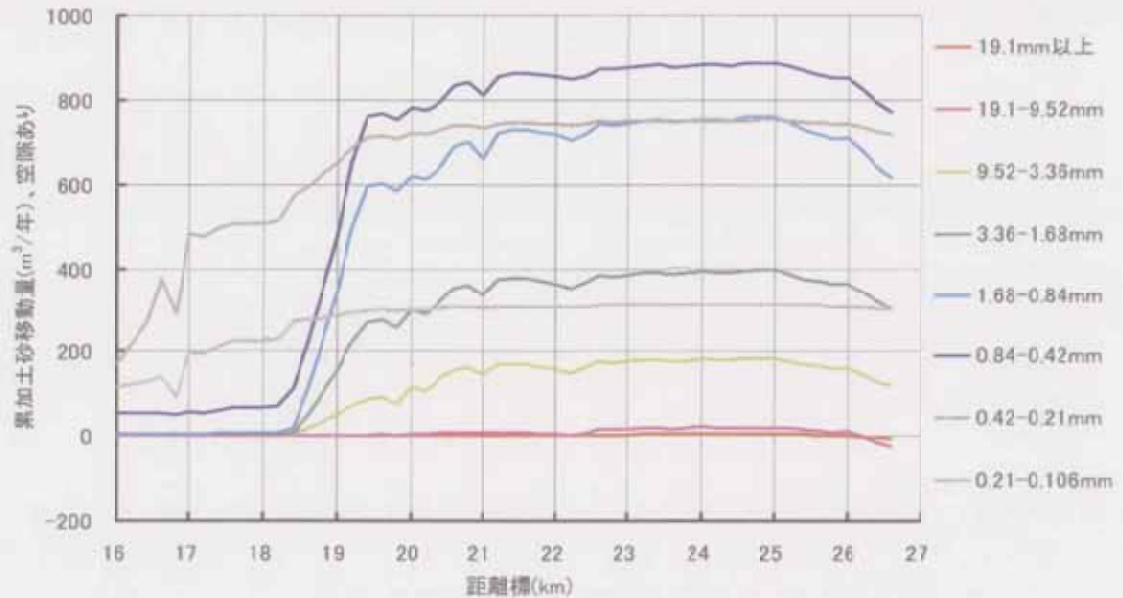


図-5.1.5 澗沼河口～26.6kmにおける粒径別累加地形変化量

また、飯田ダムの堆砂量と芦田・奥村の式を基に推定した供給土砂量と累加地形変化量を比較すると以下のとおりである。累加地形変化量の方が小さい値となった。推定量にはウォッシュロード成分が含まれている。ウォッシュロード成分のうち何割かが、澗沼河口に沈降することなく流下したと推定される。

推定手法	供給土砂量 (m <sup>3</sup> /年)
飯田ダムの堆砂量 (芦田・奥村の式)	3000
累加地形変化量	2316

表-5.1.5 26.6kmにおける累加地形変化量（空隙なし）

粒径範囲 (mm)	累加地形変化量（生産土砂量）		
	年間 (m <sup>3</sup> /年)	毎秒 (m <sup>3</sup> /sec)	供給土砂量 (m <sup>3</sup> /sec)
19.1 以上	-4.04	$-1.28 \times 10^{-7}$	0.00
9.52 ~ 19.1	-14.35	$-4.55 \times 10^{-7}$	0.00
3.36 ~ 9.52	71.30	$2.26 \times 10^{-6}$	$2.26 \times 10^{-6}$
1.68 ~ 3.36	182.24	$5.78 \times 10^{-6}$	$5.78 \times 10^{-6}$
0.84 ~ 1.68	369.32	$1.17 \times 10^{-5}$	$1.17 \times 10^{-5}$
0.42 ~ 0.84	462.29	$1.47 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-5}$
0.21 ~ 0.42	431.41	$1.37 \times 10^{-5}$	$1.37 \times 10^{-5}$
0.105 ~ 0.21	181.18	$5.74 \times 10^{-6}$	$5.74 \times 10^{-6}$
0.075 ~ 0.105	72.80	$2.31 \times 10^{-6}$	$2.31 \times 10^{-6}$
0.075 以下	564.12	$1.79 \times 10^{-5}$	0.00
合計	2316.27	$7.35 \times 10^{-5}$	—



3) 流砂観測結果から Q-Qs 曲線を与える

河川を移動する土砂量を観測することにより、水理量に応じた流砂量を把握して上流端に与えることは本来最も望ましい方法である。流砂量観測は古くから実施されており、日本では1961年～1969年（昭和36年～昭和44年）にかけて建設省技術研究会「河床変動に関する研究」において浮遊砂量観測が実施された。図-5.1.6には、「河床変動に関する研究」において作成されたQ-Qs図を示す。その後、1999年～2001年（平成11年～平成13年）に実施した国土交通省国土技術研究会「水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究」では、図-5.1.6の問題点を以下のとおり指摘している<sup>6)</sup>。

- ① 様々な特性の河川における観測結果の平均値である。河道に供給される土砂の質（粒径）や量は河川の特長や流域状況によって異なると考えられるので、河川のセグメント区間毎にQ-Qs曲線が作られることが望ましい。
- ② 観測時に採取された全土砂量について整理されたものである。実際に河川に供給される土砂はいくつかの粒径集団が混じったものであることが知られており、各粒径集団は水理量に応じて流送形態が異なる。また、河床縦断形の予測を行うにあたって、この粒径集団毎に境界条件を与える必要がある。したがって、観測された土砂について粒径毎に区分を行った上で整理されていることが望ましい。
- ③ 以上のようにQ-Qs関係は、河川流域の特長を表す最も基本的な情報である。一方で、Q-Qsは、流域状況の変化（例えば、土砂を貯留する施設が完成した、大規模な山地崩壊が発生した、流域の開発が進んだ等）によって変化すると考えられるので、流域状況の変化に応じて定期的に測定・更新されることが望ましい。

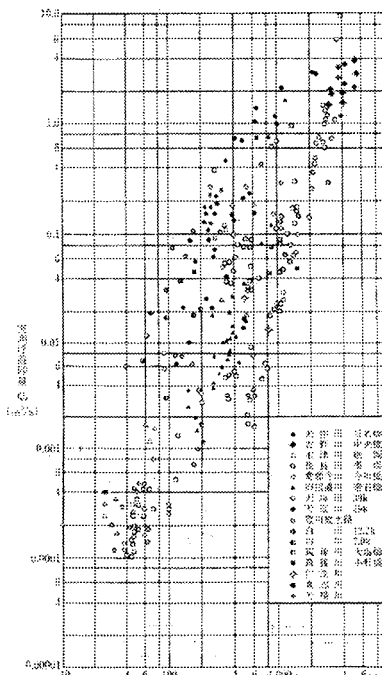


図-5.1.6 浮遊砂量の観測結果<sup>7)</sup>

このような状況を踏まえ、現在では支川合流後、直轄上流端、流量観測ポイントなど流域の主要なポイントで浮遊砂・ウォッシュロード観測が行われている。これらの観測から得られる粒径別  $Q-Q_s$  曲線を 1 次元河床変動計算の上流端に与えることも考えられる。

藤田ら<sup>3)</sup>は、涸沼川洪水観測施設で掃流砂量観測と浮遊砂量観測を実施し、粒径別の  $Q-Q_s$  曲線を推定した。図-5.1.7には、藤田らが推定した  $Q-Q_s$  曲線を示す。図-5.1.7は、1992年～2000年の涸沼川洪水観測施設における土砂観測結果をもとに作成している。2001年の8月と9月にも掃流砂観測が実施されているので、2001年の観測結果を追加して  $Q-Q_s$  曲線を推定し直した。その結果を掃流砂と浮遊砂に分けて図-5.1.8と図-5.1.9に示す。図-5.1.8は掃流砂に関する  $Q-Q_B$  曲線の推定結果であり、図-5.1.9は浮遊砂に関する  $Q-Q_s$  曲線の推定結果である。掃流力（流量）の変化によって掃流砂から浮遊砂に変化する粒径範囲（0.84～0.42mm、0.42～0.21mm、0.21～0.105mm）では、 $Q-Q_B$  曲線と  $Q-Q_s$  曲線を足し合わせて  $Q-Q_s$  曲線を推定してみた（図-5.1.10）。藤田らは水位が高水敷高を越えた場合、掃流力が等流で仮定したとおりに増加しないことを考慮するために、低水路満杯流量以上の流量に対しては流砂量を一定とすることを提案している<sup>3)</sup>。本検討では、藤田らの方法の適用性を確認するため、低水路満杯流量以上の流砂量を一定とした場合について検討を行う。なお、涸沼川洪水観測施設における低水路満杯流量はおよそ  $110\text{m}^3/\text{s}$  である。推定した  $Q-Q_B(Q_s)$  関数を整理すると表-5.1.6のとおりである。表-5.1.6に示した  $Q-Q_B$ 、 $Q-Q_s$  関数を上流端 26.6km に与えて河床変動計算を実施する。

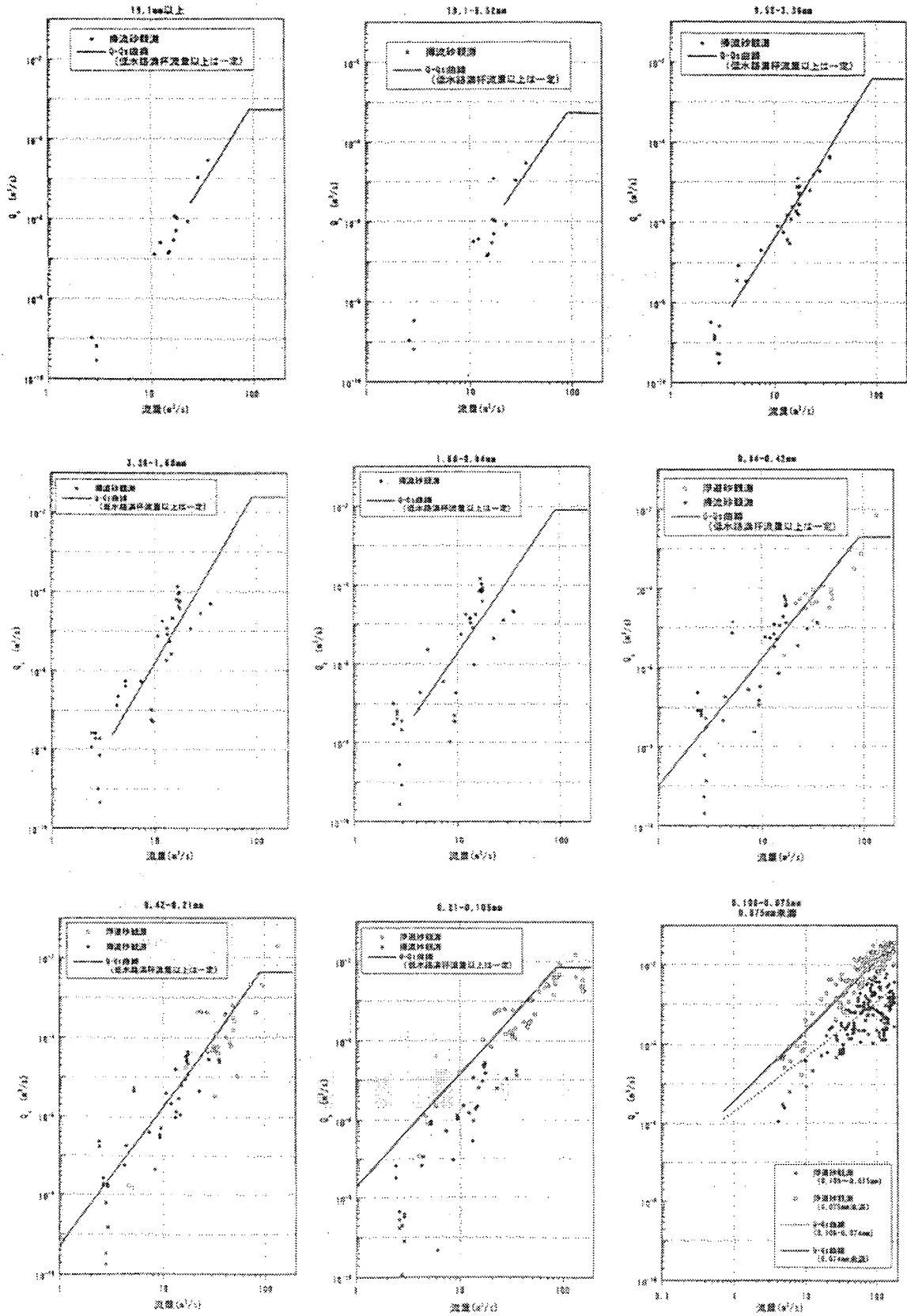


図-5.1.7 澗沼川洪水観測施設における $Q-Q_s$ 曲線の推定結果(1992年~2000年)

出典) 藤田光一ほか: 澗沼川洪水観測レポート[2], 土木研究所資料第3798号, pp.118

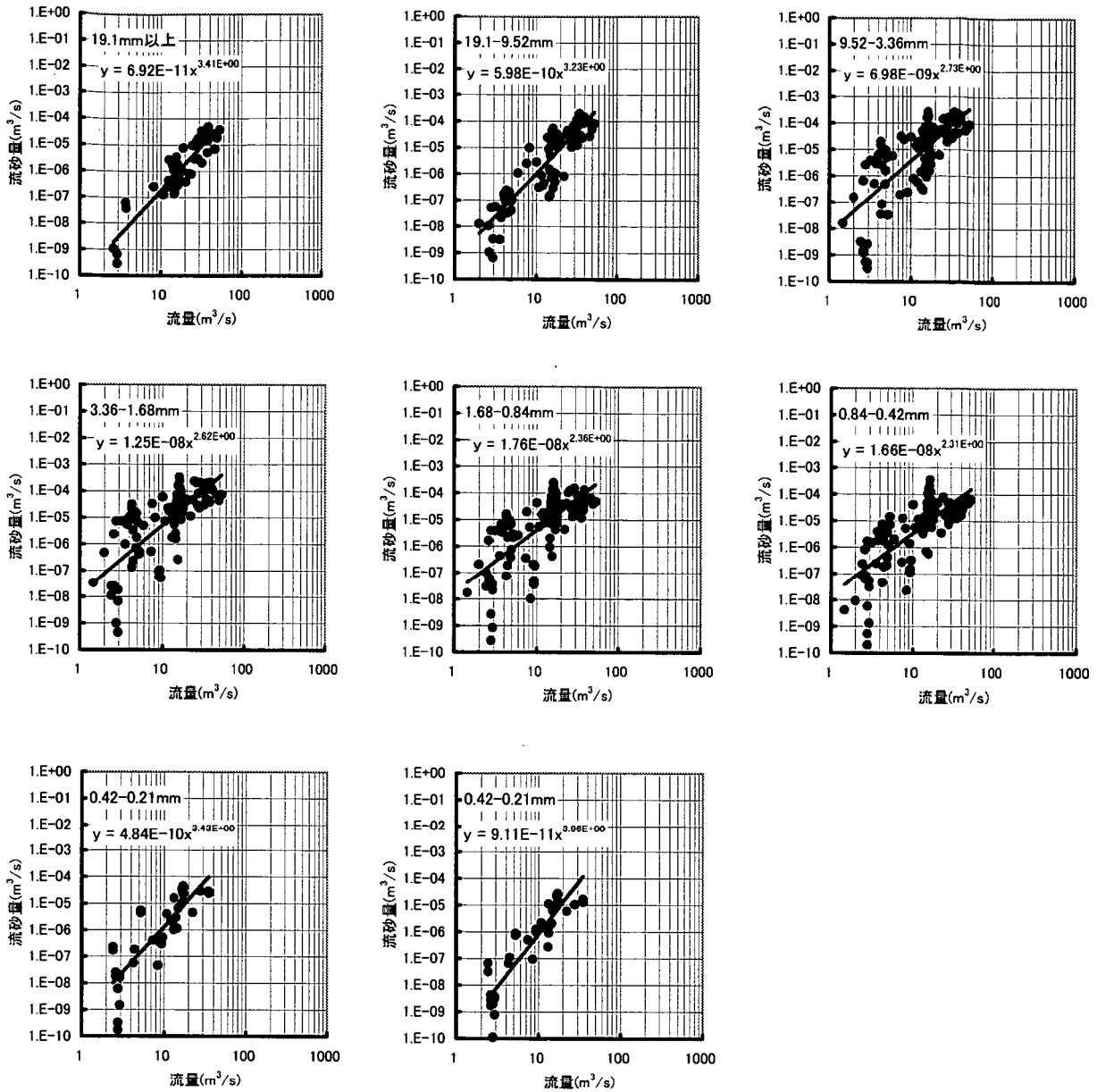


図-5.1.8 Q-Q<sub>B</sub> 曲線の推定 (掃流砂量: 涸沼川洪水観測施設 1992~2001年)

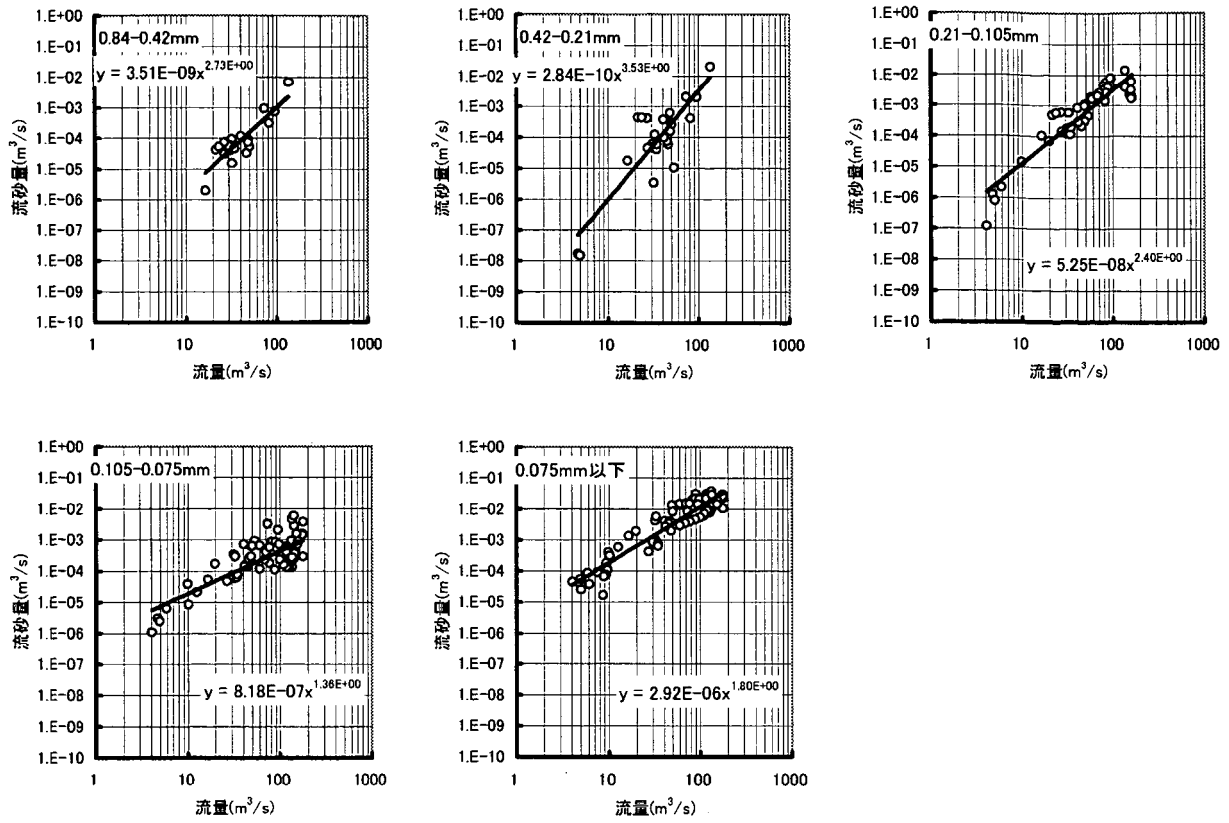


図-5.1.9 Q-Q<sub>s</sub> 曲線の推定 (浮遊砂量: 澗沼川洪水観測施設 1992~2001年)

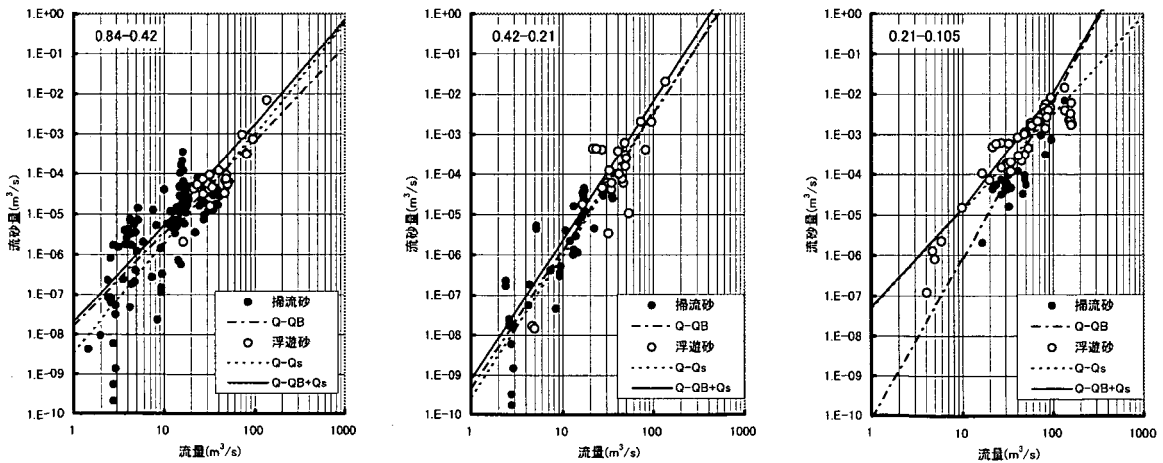


図-5.1.10 浮遊砂と掃流砂をまとめてQ-Q<sub>s</sub> 曲線を推定 (粒径範囲: 0.84mm~0.105mm)

表-5.1.6 洪水観測結果から推定した  $Q-Q_b(Q-Q_s)$  関数

粒径範囲	掃流砂量	浮遊砂量
19.1mm 以上	$6.92E-11 \times Q^{3.41}$	
9.52mm ~ 19.1mm	$5.98E-10 \times Q^{3.23}$	
3.36mm ~ 9.52mm	$6.98E-9 \times Q^{2.73}$	
1.68mm ~ 3.36mm	$1.25E-8 \times Q^{2.62}$	
0.84mm ~ 1.68mm	$1.76E-8 \times Q^{2.36}$	
0.42mm ~ 0.84mm	$1.66E-8 \times Q^{2.31}$	$3.51E-9 \times Q^{2.73}$
0.21mm ~ 0.42mm	$4.84E-10 \times Q^{3.43}$	$2.84E-10 \times Q^{3.53}$
0.105mm ~ 0.21mm	$9.11E-11 \times Q^{3.96}$	$5.25E-8 \times Q^{2.40}$
0.105mm ~ 0.075		$8.18E-7 \times Q^{1.36}$
0.075mm 以下		$2.92E-6 \times Q^{1.80}$

\*)  $Q >$  低水路満杯流量 ( $110\text{m}^3/\text{s}$ ) の時、流砂量は一定

## 5. 2 計算結果と考察

澗沼川をモデルに1次元河床変動計算を実施して、供給土砂量の設定手法が計算結果に与える影響を把握するとともに各手法の注意点について整理する。

上流端に与える供給土砂量の設定手法を変えて河床変動計算を実施した。計算ケースを整理すると表-5.2.1のとおりである。

表-5.2.1 計算ケース

Case	上流端の 供給土砂量設定方法	備 考
Case5-1	掃流力見合い	低水路幅 $B = 20.0\text{m}$
Case5-2	掃流力見合い	低水路幅 $B = 25.0\text{m}$
Case5-3	掃流力見合い	低水路幅 $B = 30.0\text{m}$
Case5-4	飯田ダムにおける比供給（比生産）土砂量	
Case5-5	澗沼及び河道内の地形変化量から推定	
Case5-6	洪水観測から得られた $Q=Q_s(Q_B)$ 曲線	低水路満杯流量以上の流砂量を一定

## 1) 掃流力見合い

掃流力見合いによって河床変動計算を実施した結果を図-5.2.1、図-5.2.2、図-5.2.3に示す。それぞれ、Case5-1（川幅 20m）、Case5-2（川幅 25m）、Case5-3（川幅 30m）における河床高と河床変動量を示した。各図における凡例の「河床高（実績）」は平成 11 年の河床高である。同様に「変化量（実績）」は昭和 63 年から平成 11 年に至る河床高の変化量を示す。

図-5.2.1、図-5.2.2、図-5.2.3 から、Case5-1（川幅 20m）では、19.0km 付近の河床上昇傾向を良く再現しているが、20.0km より上流における小さい地形変化の再現性は悪い。特に上流端付近の再現性が悪い。一方、Case5-2（川幅 25m）と Case5-3（川幅 30m）は、全般的に河床の変化状況を良く再現している。特に Case5-3 は、上流端付近の河床低下傾向を良く再現しており、3つの計算ケースの中で一番良好な結果を得ている。これより、平均的な川幅と河床勾配を助走河道に設定することによって河床高の変化を精度良く計算することが可能となることがわかった。

次に、河床材料の変化について検討する。図-5.2.4 に各 Case における平均粒径  $d_m$  の変化状況を縦断的に示す。図中の●は平成 10 年の河床材料調査結果であり、目指すべき再現値に近い値である。図-5.2.4 より、各 Case とも再現値に近く良好な計算結果を得ている。さらに、流砂量について検討を行う。図-5.2.5、図-5.2.6、図-5.2.7 に各 Case の流砂量を縦断的に示す。全体的に Case5-1 の流砂量が Case5-2、Case5-3 に比べて多いことがわかるが、値の是非については検証できない。ここでは、第 4 章と同様に涸沼と河道の地形変化量と各 Case の流砂量を比較して、値の是非について検討を行う。図-5.2.8 には 19.8km 地点における累加地形変化量（年間）と各 Case における 19.8km の年間流砂量を粒径別に示す。Case5-3 が最も地形変化量に近く流砂量の面からも再現性が高いことがわかる。また、粒径別に見ても Case5-3 の再現性が一番良いこともわかる。

以上の内容をまとめると次のとおりである。掃流力見合いで流砂量を与える場合、上流端に平均的な河床勾配と川幅をもつ助走河道を与えて河床変動計算を実施すれば、河床高の縦断変化と平均粒径の縦断変化を概ね再現することが可能である。しかし、上流端の河床変動が大きい場合には、合わないこともある。その場合は、川幅を変えることによって河床変化量を調整すると良い。また、上流端に設定する川幅がわずかに変化すると流砂量も大きく変化する。流砂量についても再現性の良い値を求めるには、助走河道の川幅を変えて細かい河床高の変化を再現することが必要である。



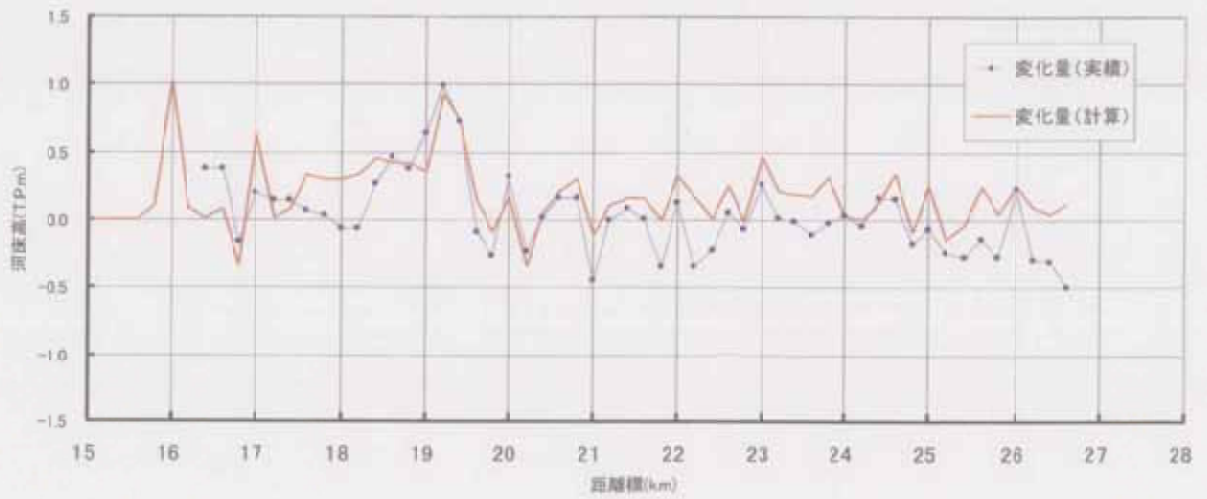
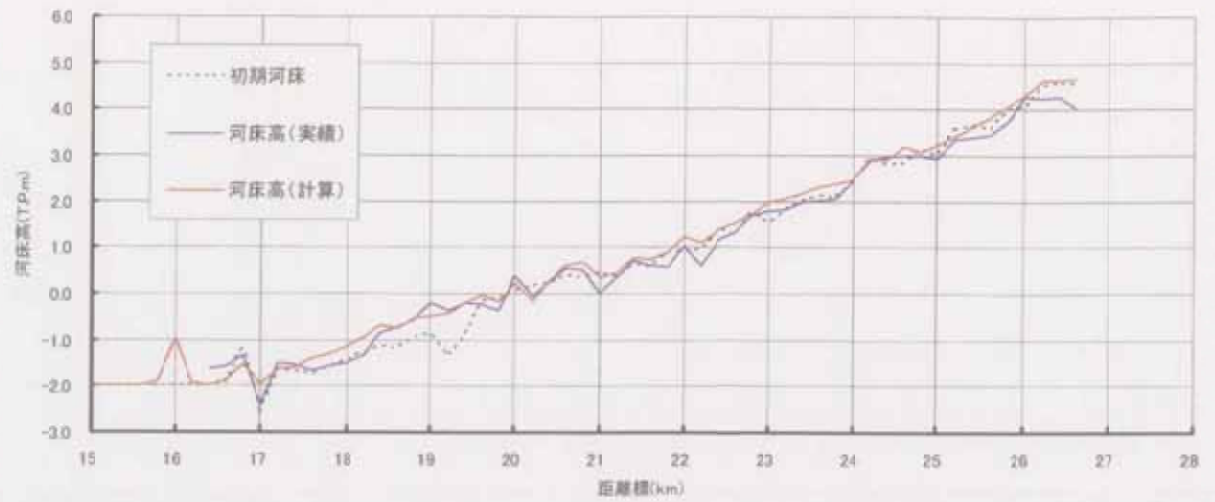


図-5.2.1 Case4-1 における河床高と河床変動量 (川幅 20.0mm)

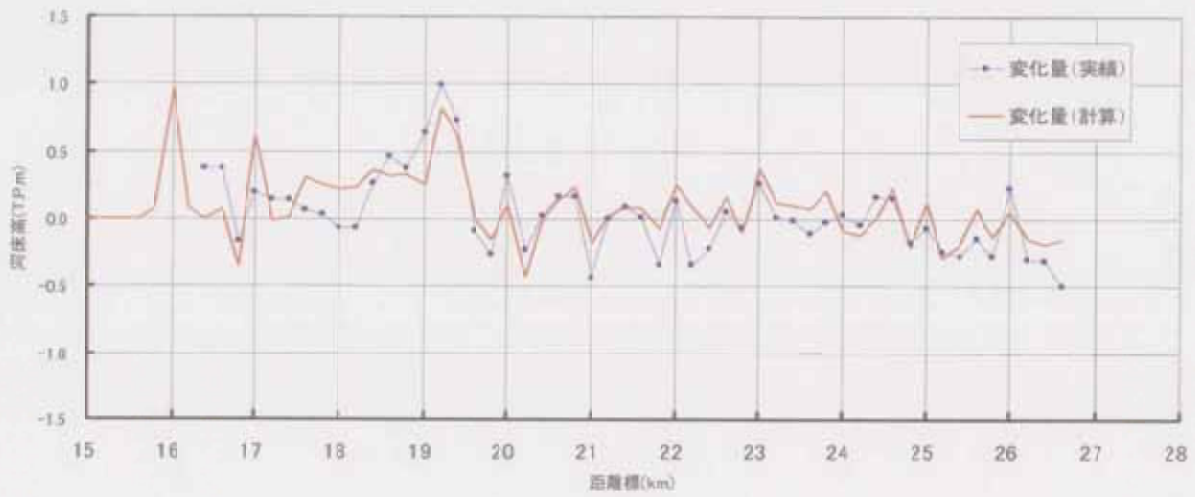
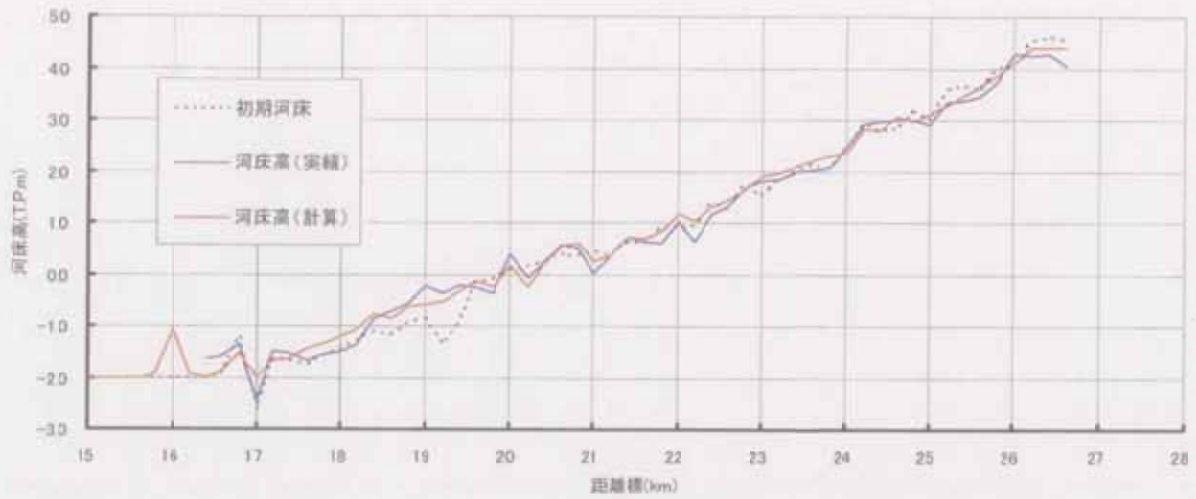


図-5.2.2 Case4-2における河床高と河床変動量(川幅25.0m)

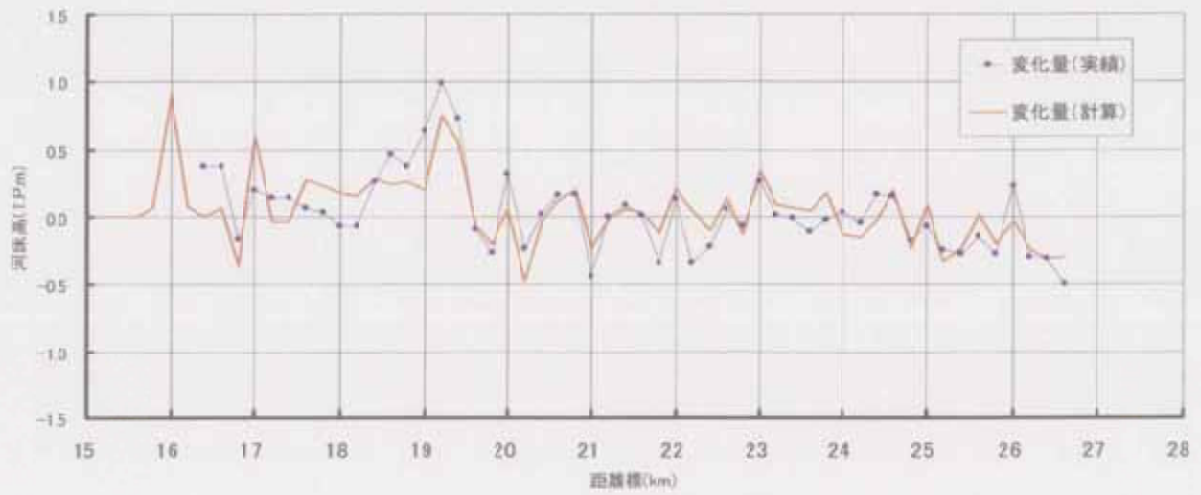
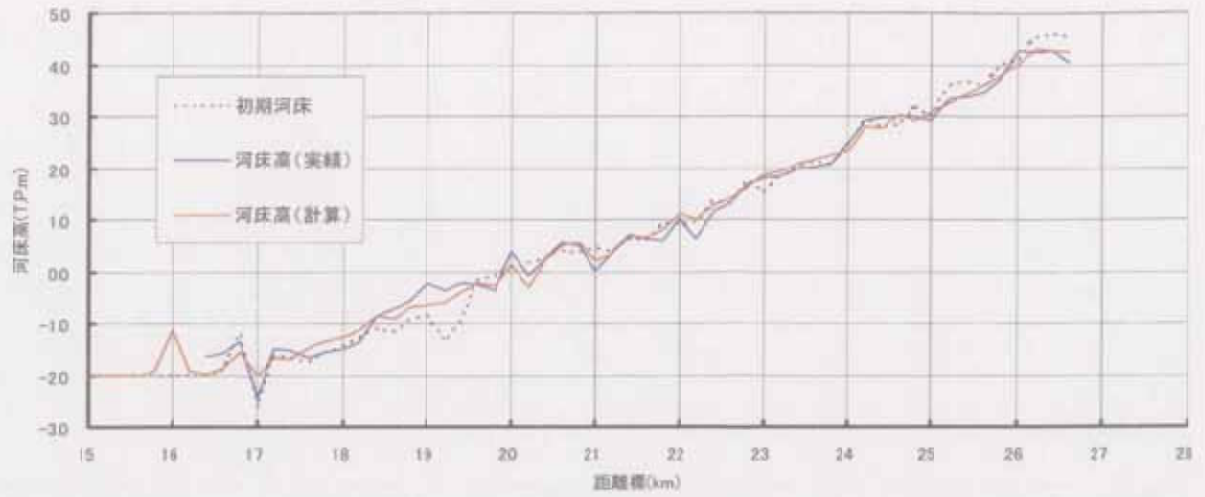


図-5.2.3 Case4-3 における河床高と河床変動量 (川幅 30.0m)

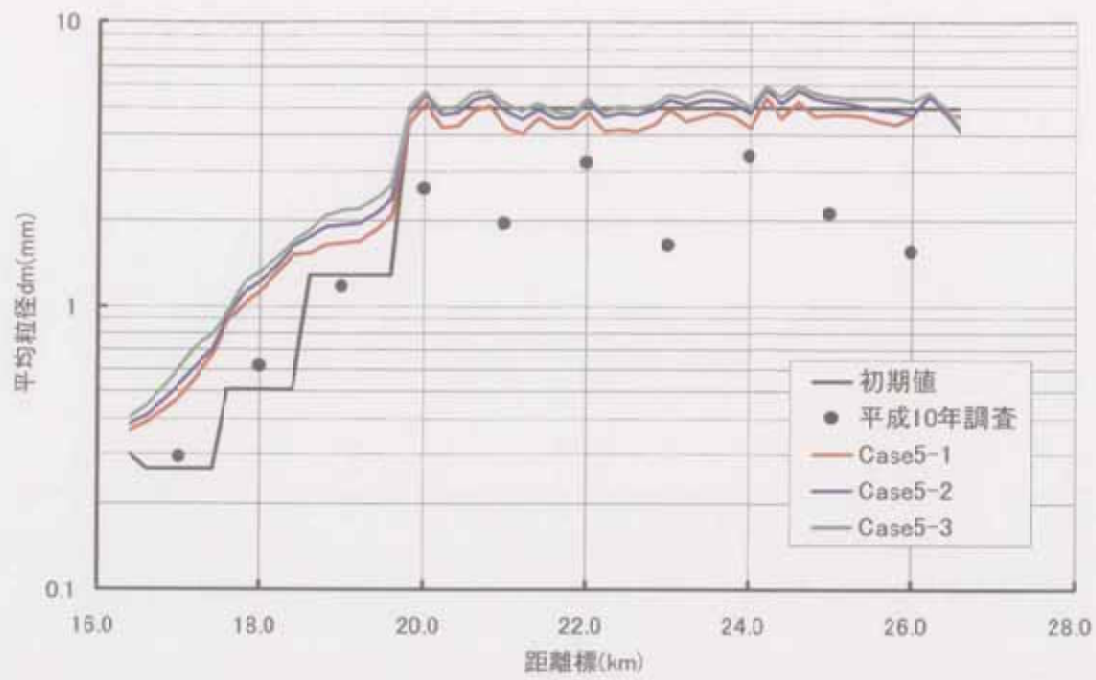


図-5.2.4 平均粒径  $d_m$  の変化

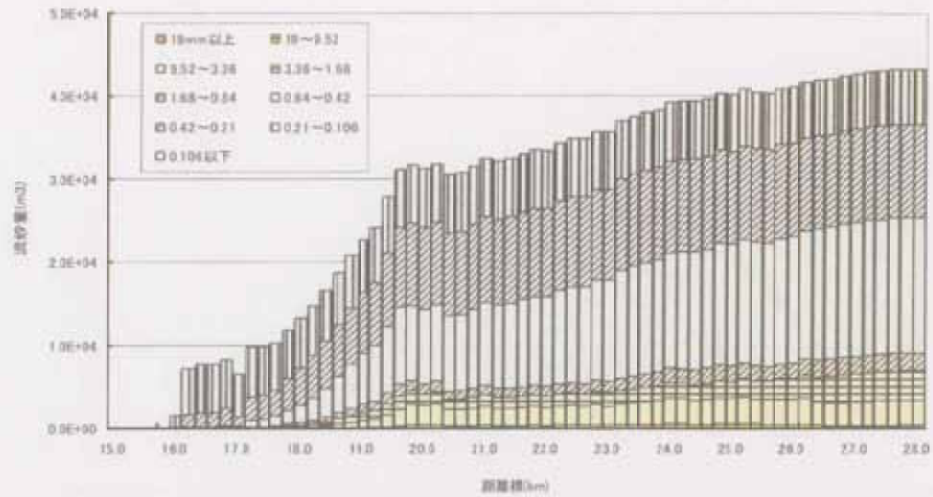


図-5.2.5 粒径別流砂量の計算結果 (Case5-1)

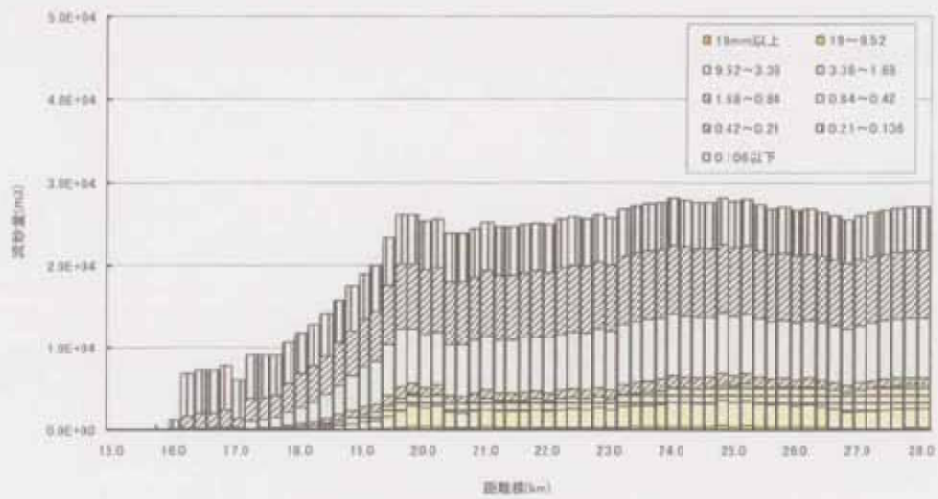


図-5.2.6 粒径別流砂量の計算結果 (Case5-2)

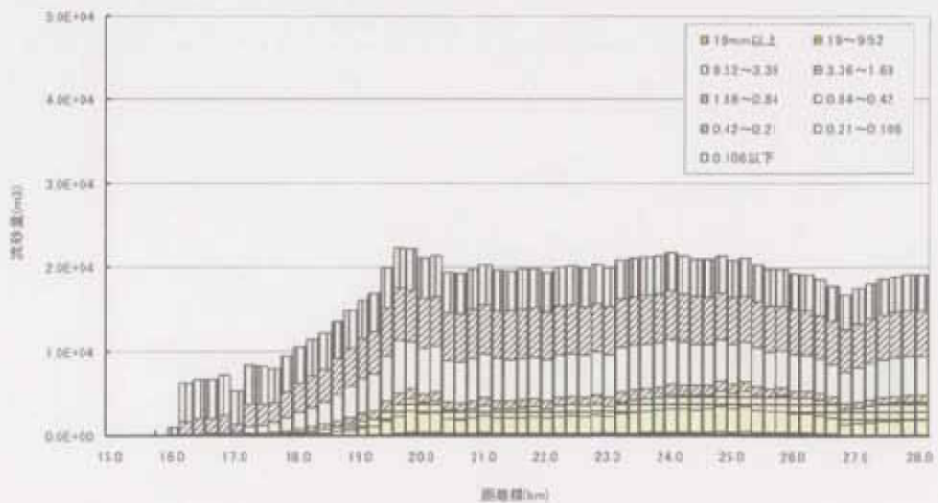


図-5.2.7 粒径別流砂量の計算結果 (Case5-3)

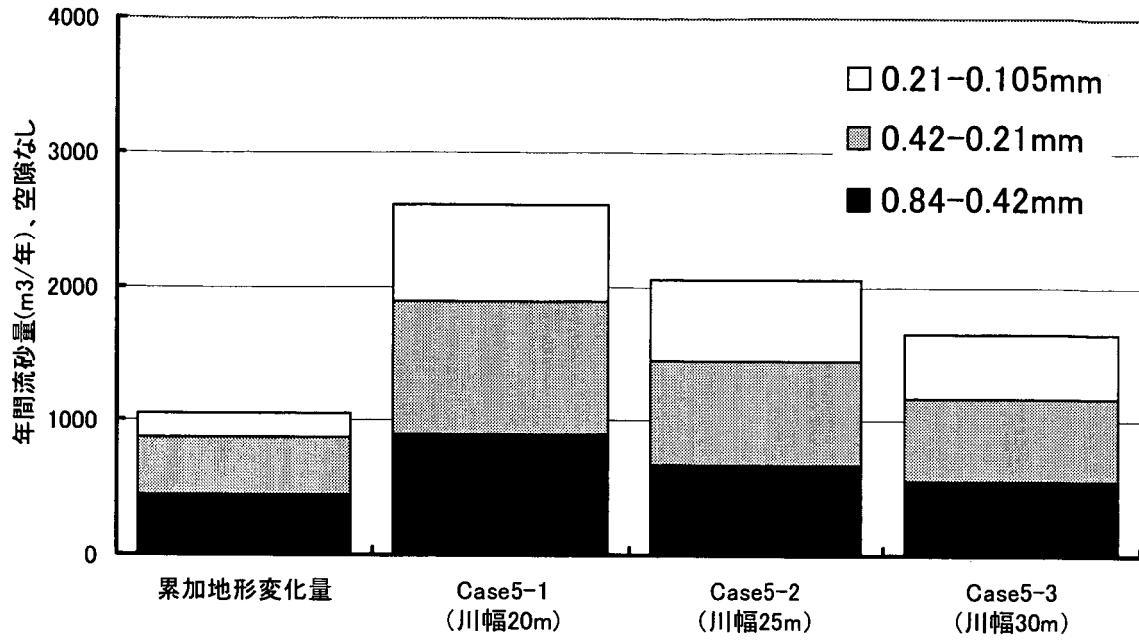


図-5.2.8 累加地形変化量と流砂量の比較 (19.8km 地点)

## 2) 比生産土砂量による推定

上流端に飯田ダムの比生産土砂量から推定した供給土砂量を設定した場合と瀬沼及び河道内の累加地形変化量から推定した供給土砂量を設定した場合について検討を行う。

図-5.2.9にCase5-4(飯田ダム)、図-5.2.10にCase5-5(瀬沼、河道)の河床変化結果を示す。Case5-4(飯田ダム)とCase5-5(瀬沼、河道)ともに実際の河床変動傾向を概ね再現している。どちらかといえば、Case5-4(飯田ダム)よりCase5-5(瀬沼、河道)の方が実態に少し近い値となった。また、両ケースともに、19.0km下流の河床上昇量が実態に比べて、小さい結果となった。

図-5.2.11に平均粒径 $d_m$ の変化を示す。両ケースとも全体的に良い再現性を得たが、Case5-4(飯田ダム)における上流端付近の計算結果は、実態に比べて粗い結果を得ている。これは、供給土砂量の粒度組成が関係していると考えられる。図-5.2.12と図-5.2.13は、各Caseの粒径別流砂量を縦断的に示した図である。上流端(26.6km)の粒径別流砂量に着目するとCase5-5(瀬沼、河道)に比べてCase5-4(飯田ダム)の流砂量は少なく、また、19.1mm以上の比較的粒径の粗い成分の割合が高くなるのがわかる。このため、Case5-4(飯田ダム)における上流端付近の平均粒径 $d_m$ が粗く変化したと考えられる。また、図-5.2.12と図-5.2.13を見るとCase5-5(瀬沼、河道)の方がCase5-4(飯田ダム)に比べて全般的に流砂量が $5,000\text{m}^3\sim 10,000\text{m}^3$ 多い。流量条件が同じであっても供給土砂の量や質が変わると河道内を通過する流砂量が異なることがわかる。

図-5.2.14に19.8km地点における累加地形変化量と河床変動計算による流砂量を比較した。Case5-4(飯田ダム)とCase5-5(瀬沼、河道)ともに累加地形変化量とほぼ同じ値であることから流砂量についても再現性が高いことがわかる。また、粒径別の存在割合についても傾向が似ていることから、Case5-4(飯田ダム)とCase5-5(累加地形変化量)による計算結果がほぼ妥当であることがわかる。

以上の内容から、ダムなどの堆積土砂量から推定した比生産土砂量及び地形変化量をもとに供給土砂量を設定して河床変動計算を実施しても妥当な結果を得ることが明らかとなった。しかし、河床高、平均粒径 $d_m$ 、流砂量について精度良く計算できたのは、Case5-5である。Case5-4は、河床高、流砂量の再現性は良かったものの、平均粒径 $d_m$ の再現性が劣る。これは、Case5-5とCase5-4ともに供給土砂量は、ほぼ妥当な値であったが、Case5-4の粒度組成が不適切であったと考えられる。Case5-4は、沖積平野における平均的な粒度組成を与えている。やはり、河床材料調査を実施して供給土砂量を粒径別に設定することが望ましいといえる。

また、今回の例は計算期間が10年間と長期であることが再現性を良くした原因の一つと考える。短期的な洪水に適用出来るか否か、今後検討を行う必要がある。

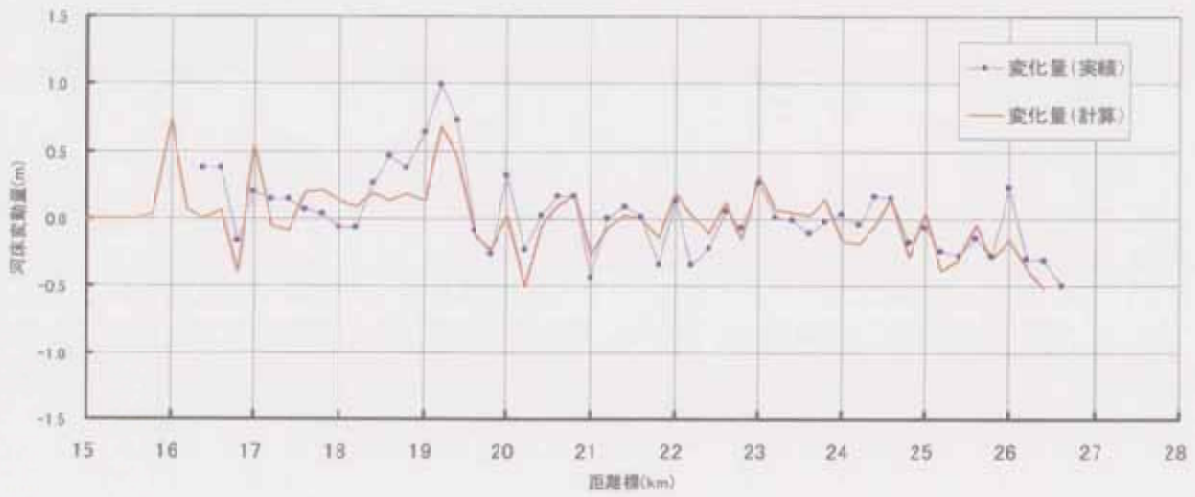
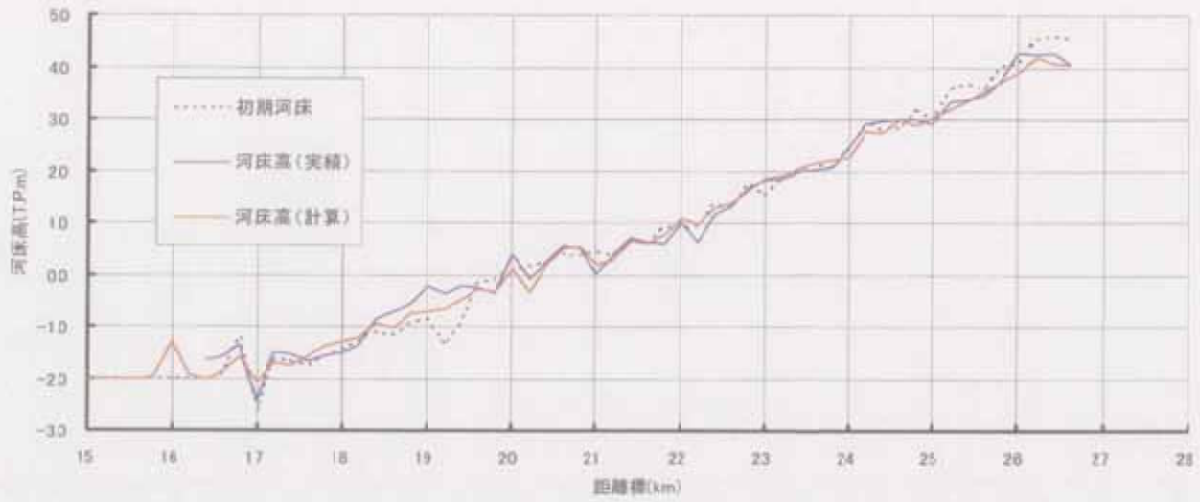


図-5.2.9 Case5-4における河床高と河床変動量(飯田ダム)



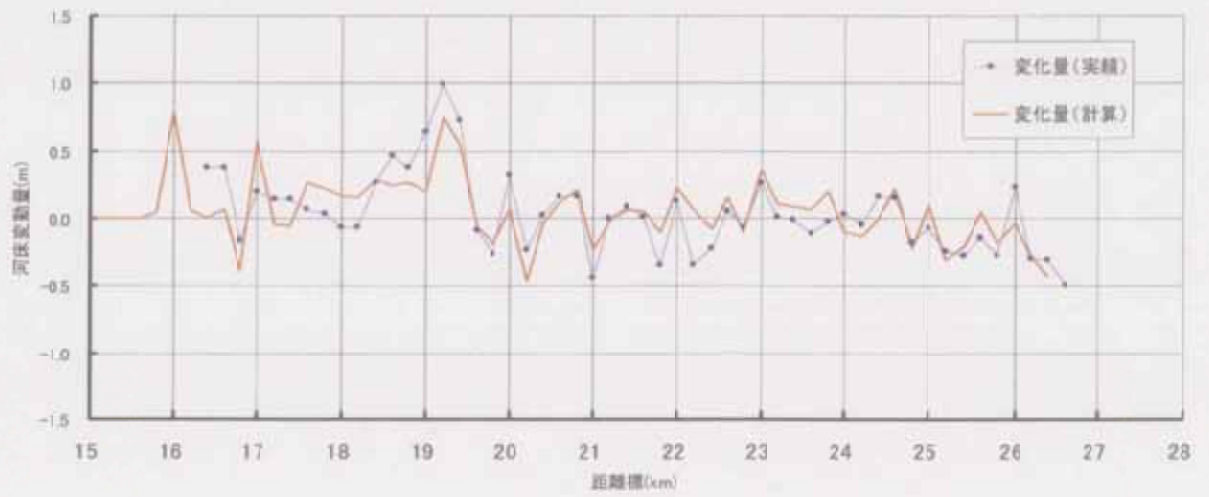
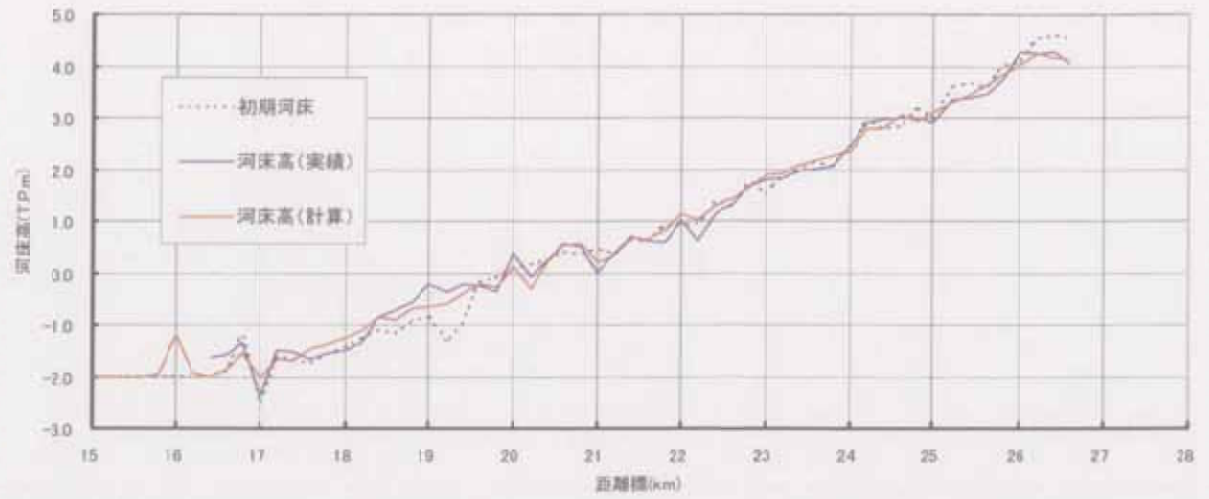


図-5.2.10 Case5-5における河床高と河床変動量（飯田ダム）

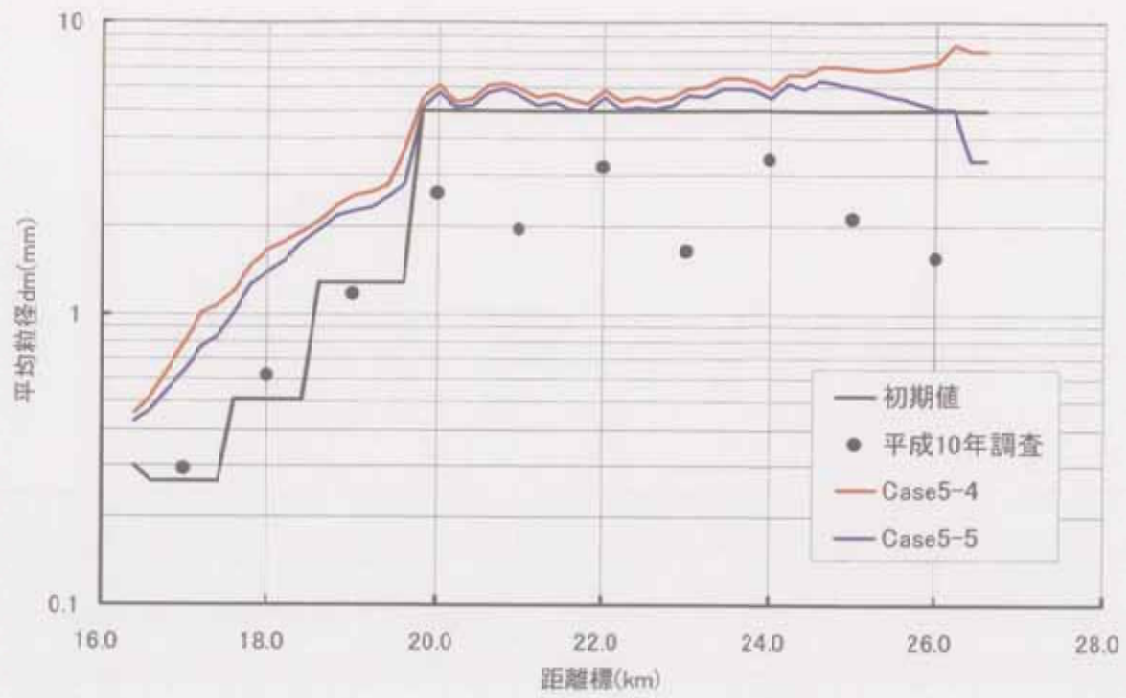


図-5.2.11 平均粒径  $d_m$  の変化

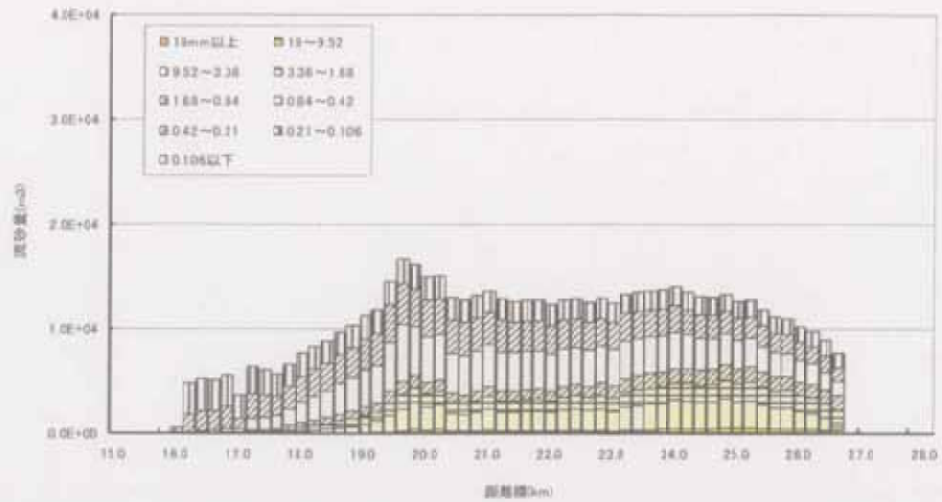


図-5.2.12 粒径別流砂量の計算結果 (Case5-4)

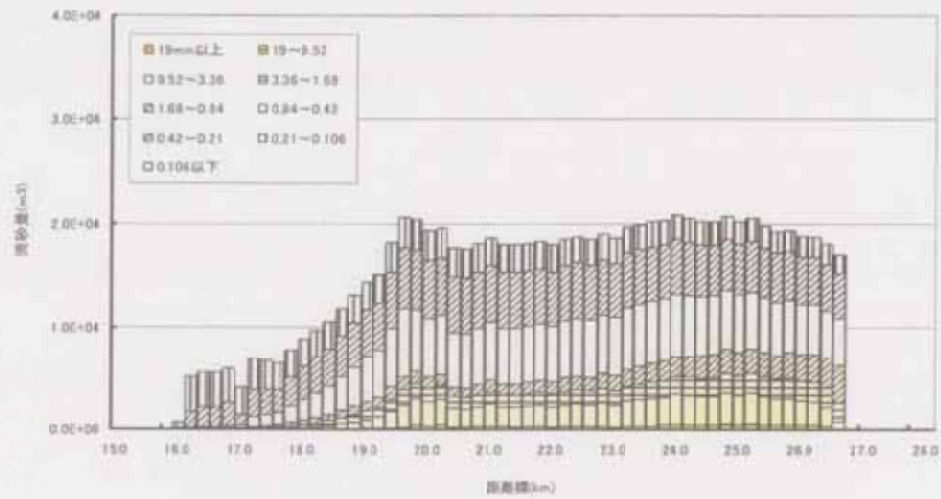


図-5.2.13 粒径別流砂量の計算結果 (Case5-5)

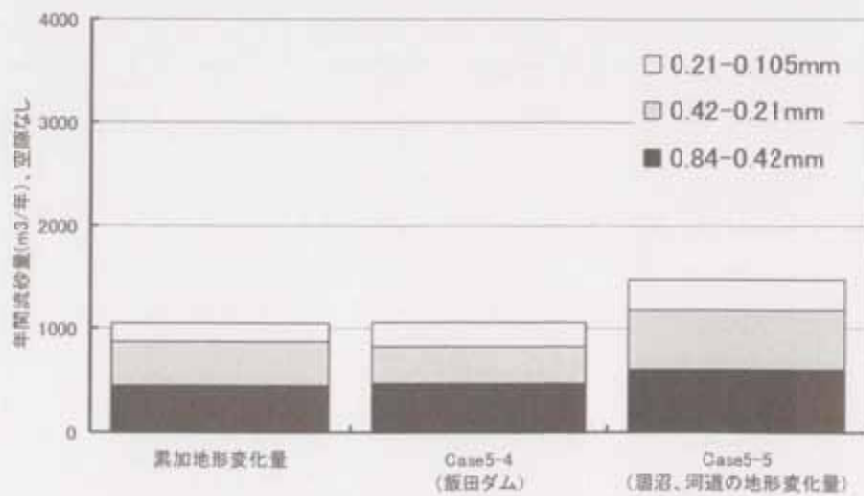


図-5.2.14 累加地形変化量と流砂量の比較 (19.8km 地点)

### 3) 土砂観測から得られた Q-Qs 曲線

澗沼川洪水観測施設の流砂量観測によって把握した粒径別掃流砂量、粒径別浮遊砂量をもとに Q-Q<sub>B</sub>、Q-Q<sub>s</sub> 関係式を推定（表-5.1.6）し、上流端の供給土砂量に与えた。Case5-6 における河床高と河床変動量の計算結果を図-5.2.15 に示す。上流端付近の再現性が悪いが、全体的には概ね河床高の変化を再現しており良好な結果を得た。図-5.2.16 には、平均粒径  $d_m$  の変化を縦断的に示す。平均粒径の変化も再現値に近く良好な結果といえるが、河床高変化と同様に上流端付近の再現性が劣る結果となった。次に図-5.2.17 に粒径別流砂量の縦断分布を示す。上流端の流砂量について比較的粗い 9.52mm 以上の粒径の割合が高いことがわかる。これが、上流端における平均粒径  $d_m$  が実態より粗くなった原因と考えられる。また、図-5.2.18 に 19.8km 地点における累加地形変化量と流砂量を粒径別に比較した。0.21mm~0.42mm の土砂と 0.42mm~0.84mm の土砂について累加地形変化量と流砂量の値がほぼ同じであり、再現性が高いことがわかる。しかし、比較的細かい 0.105mm~0.21mm の土砂については流砂量が 10 倍程度大きく再現性が悪いことがわかる。

以上の内容より、土砂観測によって得られた Q-Q<sub>s</sub> (QB) 関係式を上流端の流砂量に設定して河床変動計算を実施したところ概ね河床高変化、平均粒径  $d_m$  の変化、粒径別流砂量を再現できることがわかった。しかし、本検討では、上流端付近における計算結果と比較的細かい 0.105~0.21mm の土砂における流砂量の再現性が劣る結果となった。

比較的細かい 0.105~0.21mm の土砂についてはウォッシュロード形態で流下していたことが考えられることから、流砂量を Q-Q<sub>s</sub> 関係式で表現することが適切でなかった可能性がある。

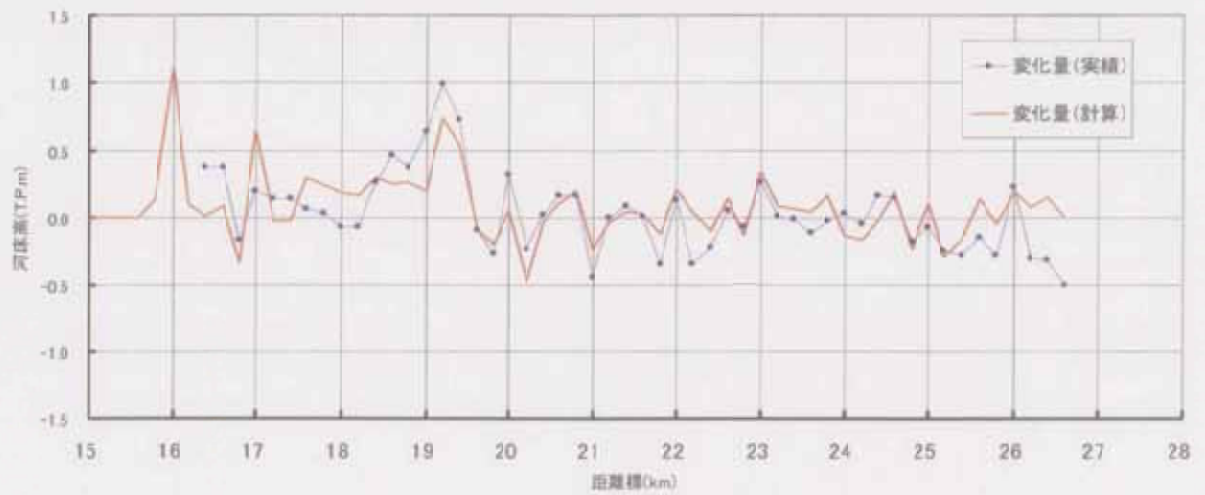
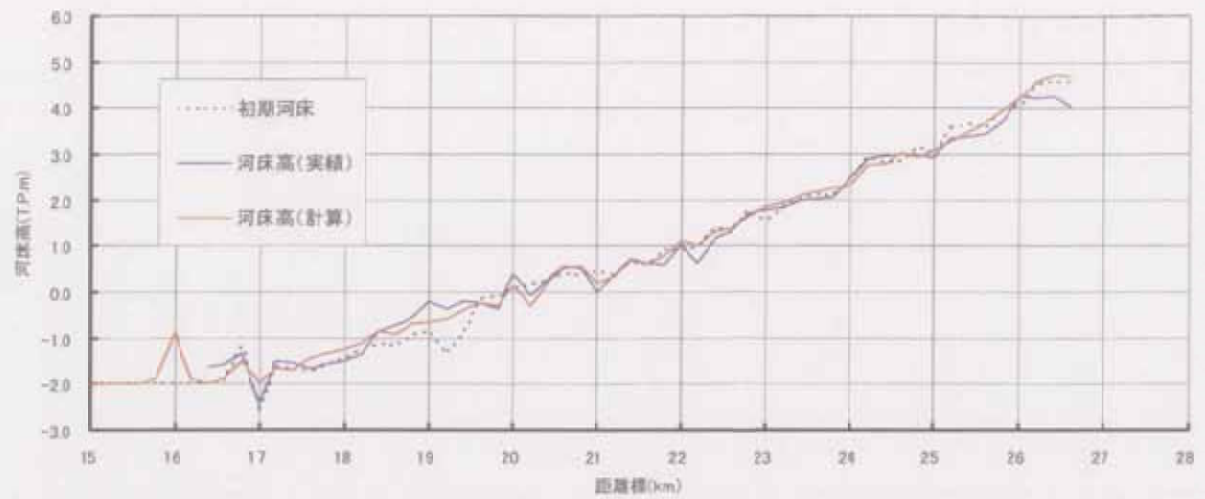


図-5.2.15 Case5-6における河床高と河床変動量 ( $Q - Q_s$  ( $Q_B$ ) 関係式)

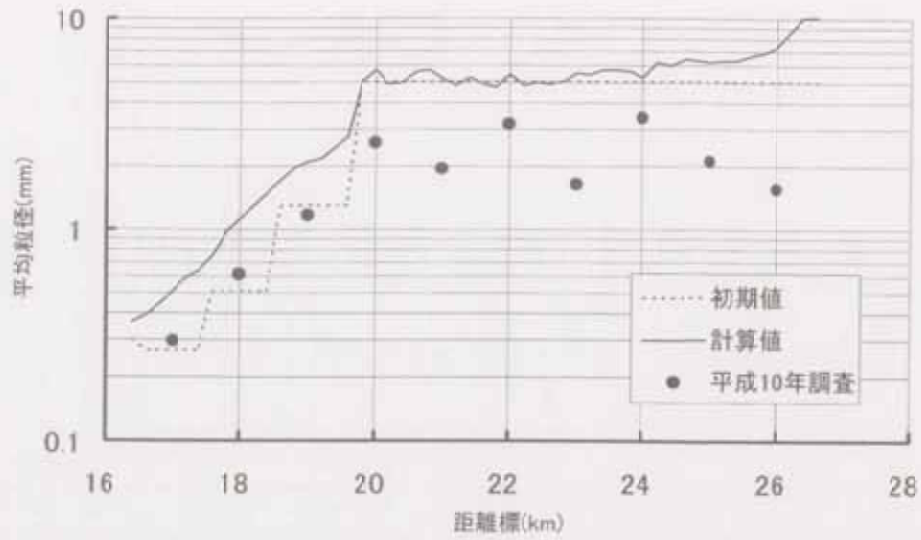


図-5.2.16 平均粒径の変化

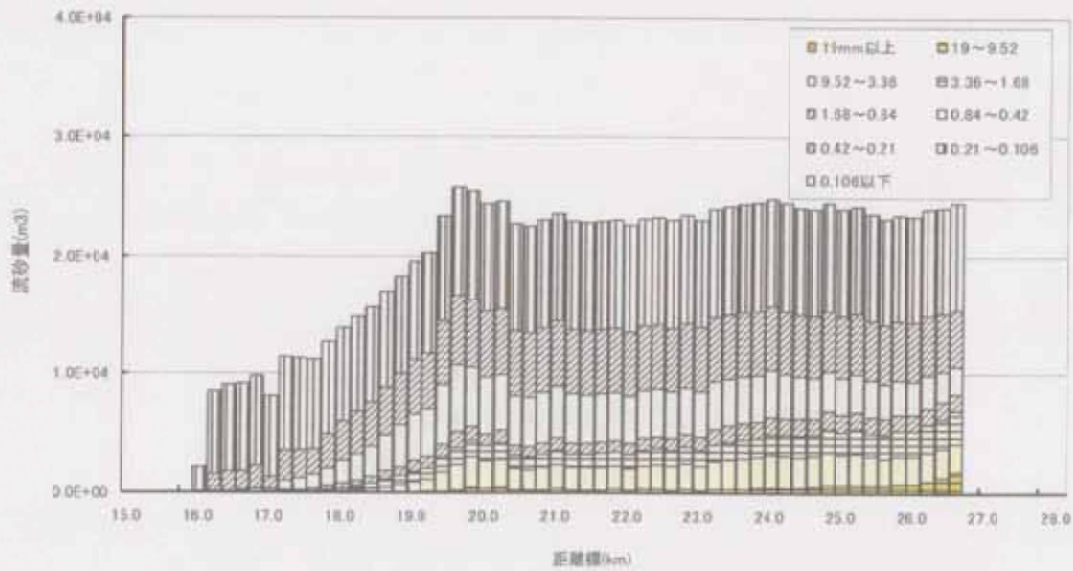


図-5.2.17 流砂量の縦断分布

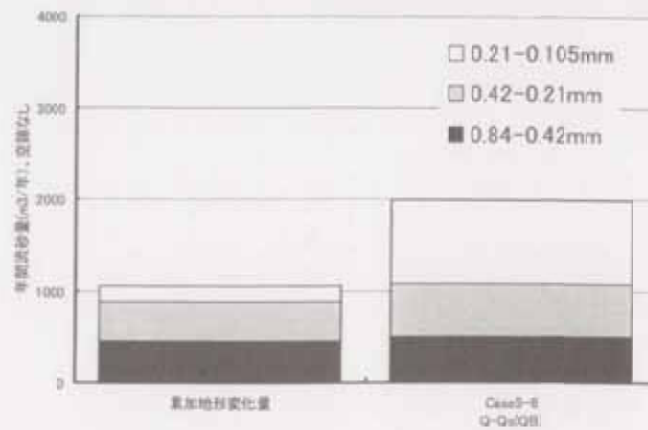


図-5.2.18 地形変化量と流砂量の比較

### 5. 3 まとめ

本章では、河床変動計算における上流端の供給土砂設定手法が計算結果に与える影響について検討を行った。検討対象にした上流端供給土砂設定手法は以下のとおりである。

- ① 掃流力見合い
- ② 比生産土砂量による推定
- ③ 土砂観測から得られた Q-Qs 曲線

これらの設定手法を涸沼川の河床変動計算に適用した。その結果、精度に差があるものの何れの手法も良好な再現性を得ることができた。各手法の再現性、および注意点について整理すると以下のとおりである。

#### ① 掃流力見合い

上流端に平均的な河床勾配と川幅を設定することによって、河床高変化、平均粒径の変化を概ね精度良く再現することができる。上流端付近の河床高が変動傾向に有る場合は、上流端付近の精度が落ちるが、川幅を変化させて河床変動量を実態に合わせることで再現精度を上げることができる。この場合、流砂量の計算精度も向上する。

#### ② 比生産土砂量による推定

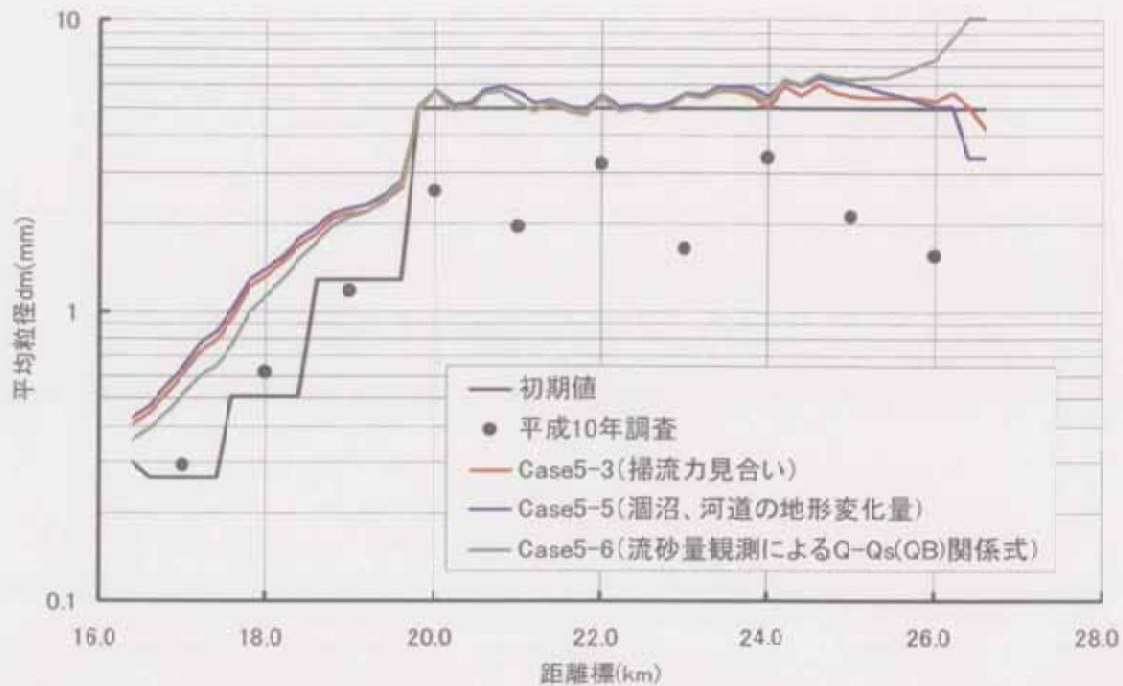
本検討では、河床変化については良好な再現性を得ることができた。これより、芦田・奥村の式は、ある程度妥当な値を推定できると考えることもできるが、飯田ダムの事例一つで妥当と判断することは、危険である。今後、検証を積み重ねて芦田・奥村式の信頼性について検討することが重要である。また、飯田ダムにおける堆積土砂の粒度分布が不明であったため、供給土砂量の粒度組成を適切に与えることができなかった。このため、平均粒径  $d_m$  の再現性が悪くなった。土砂動態に関する課題を抱えており、流域にダムが存在する河川では、ダム堆積土砂の粒度分布を調査して河床変動計算に反映することが求められる。さらに、比生産土砂量では、時間的に平均化した供給土砂量しか与えることができない。流量（もしくは掃流力）に対応した流砂量を与える手法について検討することも重要である。

#### ③ 土砂観測から得られた Q-Qs 曲線

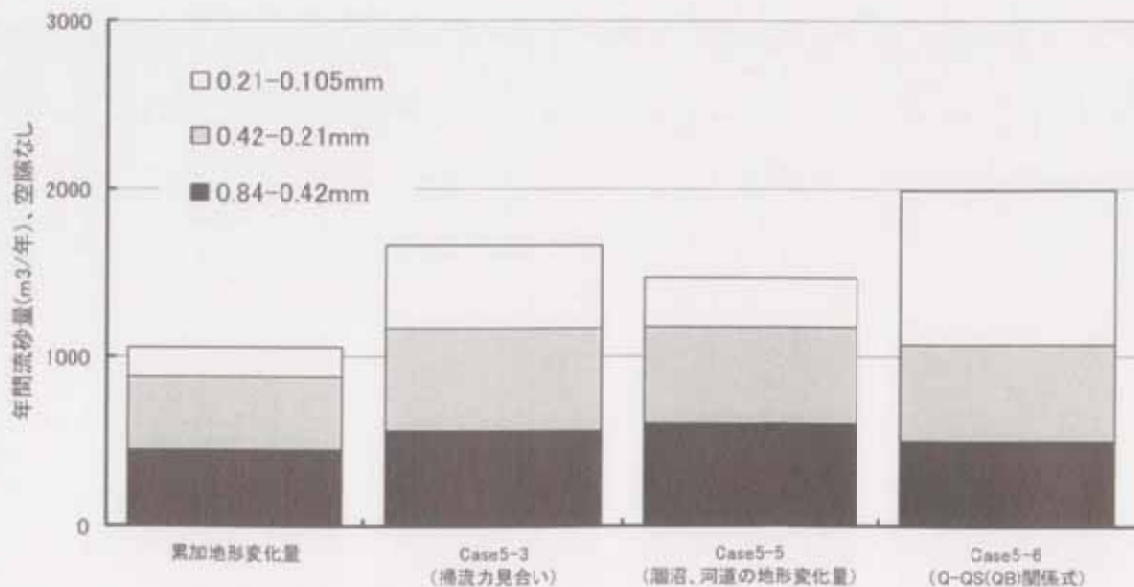
全般的には河床高、平均粒径、流砂量ともに良好な再現性を得ることができたが、上流端付近の再現性が劣る結果となった。また、粒径の細かい細粒成分における流砂量の精度も低い。今後、観測を継続的に実施して再現性の向上に努めることが必要である。

次に、各設定手法で再現性の良い Case を選び、平均粒径と流砂量について比較した。図-5.2.19 に平均粒径  $d_m$  の比較図、図-5.2.20 に流砂量の比較図を示す。平均粒径  $d_m$  の変

化では、各 Case とも概ね良好な結果を得ているが、 $Q-Q_s(QB)$  関係式による Case5-6 では、上流端付近の再現性が劣っている。また、流砂量では、Case5-5、Case5-3、Case5-6 の順番に再現性が良い結果となった。しかし、粒径範囲  $0.21\sim 0.42\text{mm}$ 、 $0.42\sim 0.84\text{mm}$  に着目すると、各 Case とも累加地形変化量とほぼ同じであり、再現性が高いといえる。 $0.105\sim 0.21\text{mm}$  の比較的細かい土砂の流砂量の再現性に各手法によってバラツキが生じている。



図—5.2.19 平均粒径  $d_m$  の比較



図—5.2.20 流砂量の比較



## 【 第5章 参考文献 】

- 1) 芦田和男、道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第206号、pp. 59-69、1972
- 2) 芦田和男、道上正規：浮遊砂に関する研究（1）、京大防災研究所年報第13号B、pp. 233-242、1970.
- 3) 藤田光一、末次忠司ほか：澗沼川洪水観測レポート〔2〕1990～2000、土木研究所資料第3798号、pp. 129-130、2001. 3
- 4) 芦田和男、奥村武信：ダム堆砂に関する研究、京大防災研年報、17号B、pp. 555～570、1974.
- 5) 山本晃一、藤田光一ほか：沖積河道縦断形の形成機構に関する研究－水系環境変化に伴う河道縦断形変化の長期予測のために－、土木研究所資料第3164号、pp. 9-17、1993. 3
- 6) 土木研究所河川研究室：「水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、平成11年度（第53回）建設省技術研究会指定課題、pp. 15-1～pp. 15-48、1999. 11
- 7) 建設省河川局監修、社団法人日本河川協会編：改訂新版 建設省河川砂防技術基準（案）同解説 調査編、pp. 282、1997.