

矢作川上・中流域における礫の移動

Transport of gravel in the upper and middle reaches of the Yahagi River

中村 剛[†], 内田臣一^{††}

Takeshi NAKAMURA, Shigekazu UCHIDA

Abstract: Amounts of the gravel transport during a flood in September 2000 were estimated in the upper and middle reaches of the Yahagi River, central Honshu, Japan, from the change of sediment deposition in 5 reservoirs on the main stem, and from the observation of particle size of the sediments. The estimated amounts at influxes into the reservoirs are 17,000, 3,200, 41,000, 400, and 460,000 m³ respectively from lower to upper reservoirs, and each amount deposited probably all in the reservoir. The transport below the lowest reservoir was also estimated at 5,000 m³ by the change of riverbed cross sections. These amounts of gravel transport tend to be negatively correlated to the biomass of benthic invertebrates and the richness of riparian vegetation after the flood; i.e., a mass of gravel transport above the uppermost reservoir greatly destroyed the riparian vegetation and the benthic invertebrates, especially net-spinning caddis larvae, whereas both were well preserved even after the flood in the middle reaches. The amounts are positively correlated to the sediment yield in the tributaries estimated by previous studies. It suggests that the gravel transport in the main stem of the Yahagi River depends on the sediments from tributaries because the transport through the main stem is interrupted by the reservoirs.

1. はじめに

1.1 研究の背景

近年、河川の治水・利水・環境に多面的に配慮して、河道・流域を管理するための技術を開発する必要性が叫ばれ、そのための基礎資料として流域での土砂の挙動を把握することの重要性が指摘されている^{1,2)}。

土砂移動の把握・管理を行なうことは、洪水流下能力の管理、河川構造物の基礎高決定など、治水・利水上重要であることは古くから指摘されてきた。しかし、治水・利水の観点からは、土砂移動の結果としての河床の高さが最も重要であり、土砂移動そのものに焦点をあてて研究されることはほとんどなかった。ところが、河川環境の観点からは、たとえ河床の高さ・形状が同一であっても、河床材料となる土砂が頻繁に移動している場合と、長期にわたって安定している場合とでは、河床で生活する生物群集に大きな違いが現れる³⁾など、土砂移動そのものが極めて重要である。

土砂動態を把握するための数少ない研究としては、国土技術政策総合研究所(旧土木研究所)河川研究室を中心とした研究グループによるもの^{4,5,6)}があり、土砂動態

を把握する手法の検討が行なわれ、全国から代表的な河川を選び調査、研究が進められつつある。

1.2 対象流域

矢作川は長野県南部の大川入山を源とし、長野・岐阜・愛知の3県を流れ下って三河湾に注ぐ、幹川流路延長117 km、流域面積1,830 km²の河川である。流域の地形は、源流部から愛知県豊田市付近までの山地・丘陵地と、豊田市付近以南の平野部に大別できる。流域の地質は、山地・丘陵地に花崗岩と変成岩が広く分布し、平野部の沖積低地には砂、砂礫や粘土、シルトなどの堆積物が厚く堆積している。流域の年平均降雨量は下流で1,400 mm、上流山間部2,200 mm、流域平均は1,900 mmである。過去に洪水による大規模な災害が発生している(1932年7月、1959年9月、1972年7月、2000年9月)。

矢作川では流域の開発とともに、工業用水・農業用水・水道用水の需要が増加し、用水に加え発電・治水用を目的としたダムや堰が1897年から1980年までに建設された⁷⁾。これらのダムや堰による土砂の貯留と出水の頻度・規模の低下⁸⁾、さらに中流域での砂利採取により、中・下流域では土砂の移動が低下したと考えられる。この土砂移動の低下は、さらに下流での砂利採取とともに、そこでの河床低下の一因とされる。また、中流において近年問題となっている河床のアーマ化と、それが引き起こ

[†] 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

^{††} 愛知工業大学 工学部 土木工学科(豊田市)

すカワシオグサの異常繁茂・アユの不漁も、この土砂移動の低下が一因であると考えられている⁹⁾。すなわち、河川の生態系にとっては、適度の土砂移動があることが望ましい、ということが指摘されている¹⁰⁾。

ところが、矢作川においては土砂移動についての実証的な研究がほとんどなく、移動量の桁すら分かっていない。この資料の欠如は、アユの不漁対策としてすでに実施されている河川への砂利投入にあたって、投入量の算出や投入効果の評価を著しく困難にしている¹¹⁾。したがって、たとえ概数であっても土砂移動量を推定することは、矢作川の河川環境問題に取り組む上で、極めて重要である。

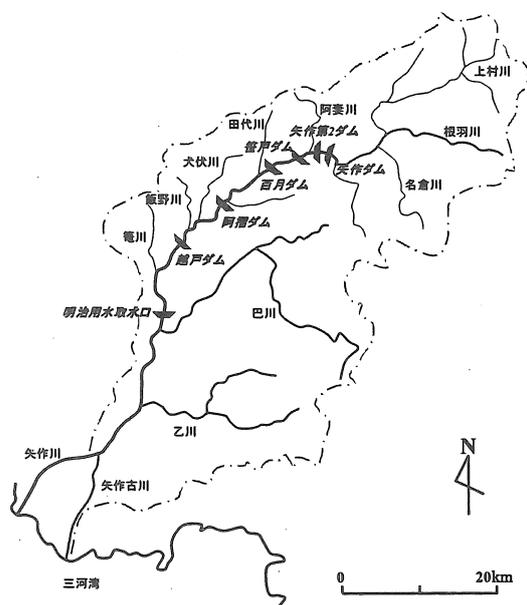


図 1 矢作川流域図

1.3 研究の重点

河川を流下する土砂には、粘土・砂・礫などさまざまな粒径のものが含まれるが、カワシオグサの異常繁茂と、それに伴うアユの不漁が問題となっている矢作川中流域においては、これらのうち「礫（粒径 2 mm 以上）」の挙動が、河川の生物群集に特に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで本研究では矢作川の上・中流域を対象地域とし、土砂移動の中でも特に礫に着目して、主に 2000 年 9 月東海豪雨の際の土砂の挙動を調べた。

2. 土砂動態把握方法

2.1 土砂動態推定手法の選定

粘土や砂では採水観測や流砂量式などにより移動量を推定する方法が多く行なわれているが、礫の移動はほとんどすべて洪水時に起こると考えられるので、直接移動

を観測することは極めて難しく、計算手法も確立されていない。そこで、以下のような複数の推定手法を考え、それらを総合して土砂移動を把握することを試みた。

- (1) 東海豪雨後に河床の植生（主にヨシ、ヤナギ）の破壊状況について現地調査を行い、その結果から移動の規模を推定した。
- (2) 大形糸状藻類（カワシオグサなど）・造網型トビケラ類など、礫の移動を嫌う底生生物の生息状況の調査から移動の規模を推定した。
- (3) ダム等の貯水池について、貯水池内の貯水池の横断測量データ及び堆積物調査結果から供給量（あるいは排出量）を推定した。
- (4) 河川の横断測量データにより河床高の変化を算出し、土砂移動量を推定した。
- (5) 砂防ダム堆砂量により生産土砂量を推定した。

2.2 植生の破壊状況調査による推定

出水による礫の移動により、ヨシやヤナギなど河畔の植生が破壊されることがある。礫の移動規模の大小が、その破壊の規模に関係しており、破壊が大きい地点ほど出水による礫の移動規模も大きかったと考えられる。そこで、東海豪雨後に植生の破壊状況について調査を行い、礫の移動の規模を推定した。

2.3 礫の移動を嫌う底生生物の調査による推定

礫の移動を嫌う底生生物として、造網型トビケラ類と大型糸状藻類により礫の移動を推定した。

造網型トビケラ類は礫間に固着性の巣と捕獲網をつくり、ろ過摂食しているため、礫の移動が起こると巣と網が破壊され、現存量が減少する。また、カワシオグサなどの大型糸状藻類は礫に付着して生息するため、礫の移動により発生が抑えられるといわれている。このことから、礫の移動規模が大きいほど、造網型トビケラ類の現存量は減少し、大型糸状藻類の被度も減少すると考えられる。そこで、これらの関係を利用して礫の移動規模を推定した。

造網型トビケラ類の現存量については、東海豪雨後の 2000 年 10 月から 12 月のデータ¹²⁾を、大型糸状藻類については、2000 年 10 月から 2001 年 4 月のデータ¹³⁾を用いた。

2.4 ダム堆砂物調査及び横断測量資料解析による推定

矢作川にある 5 つのダム（上流から矢作ダム、矢作第 2 ダム、百日ダム、阿摺ダム、越戸ダム）について、貯水池の堆砂状況を調べた。図 2~6 に対象ダム貯水池の平面図を示す。また、表 1 に対象としたダムの諸元を示す。矢作第 2 ダムと百日ダムの間に笹戸ダム（堰堤）が存

在するが、堤高が低く (6.5 m)、貯水量も少ないので、土砂をほとんど止めていないと考え、対象としなかった。

堆砂量については、毎年行なわれている貯水池の横断測量のデータをもとに区間ごとの堆砂量を算出した。さらに堆砂物に含まれる礫の割合を推定し、礫の堆砂量を求めた。礫の割合は、矢作ダムにおいては、1998~1999年に行なわれた堆積物のボーリング調査¹⁴⁾と現地調査をもとに、他のダムにおいては現地調査及び愛知工業大学河川・環境研究室により実施された粒径調査¹⁵⁾をもとに推定した。

なお、表2に示す横断測量の結果には測線のずれなど、本来の河床変動ではないものが含まれるため、それを排除して堆砂量を算出した。

表 1 研究対象ダム(堰堤)諸元

貯水池名	建設年	総貯水量 (m ³)	堤高 (m)	H.W.L (m)	L.W.L (m)	河口からの距離 (km)
矢作ダム	1970 (S45)	80,000,000	100.0	298.0	261.0	約80
矢作第2ダム	1971 (S46)	4,354,000	38.0	209.0	206.5	約75
百月ダム(堰堤)	1926 (S1)	972,000	14.4	116.0	114.8	約63
阿摺ダム(堰堤)	1934 (S9)	2,046,000	13.4	84.9	83.3	約55
越戸ダム	1929 (S4)	2,876,000	22.8	58.4	57.1	約46

表 2 横断測量結果に含まれる異常なデータ

貯水池名	測量年度	測線 (堤体からの距離)	推定される異常の原因	是正措置
阿摺ダム	2000	No.17 (4.01 km)	測線のずれ	右岸側を基準に補正
矢作ダム	1999	No.20 (4.00 km)	砂利採取の作業場所	土砂の仮置き場を除外
矢作ダム	2000	No.20 (4.00 km)	砂利採取の作業場所	土砂の仮置き場を除外

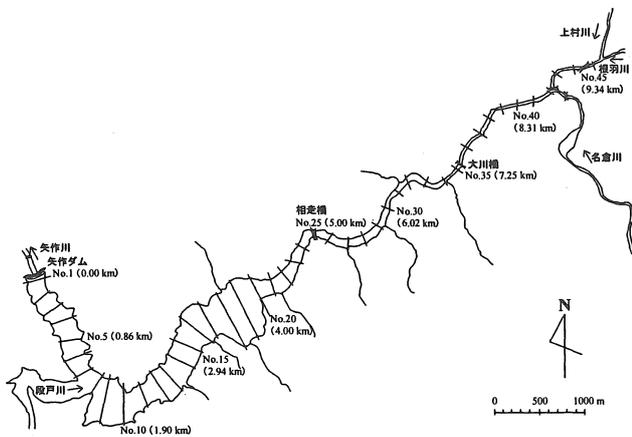


図 2 矢作ダム貯水池平面図 (測量位置:No. 1~45)

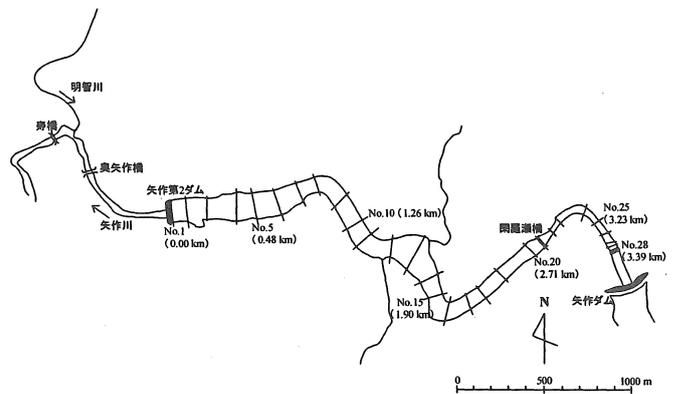


図 3 矢作第2ダム貯水池平面図 (測量位置:No. 1~28)

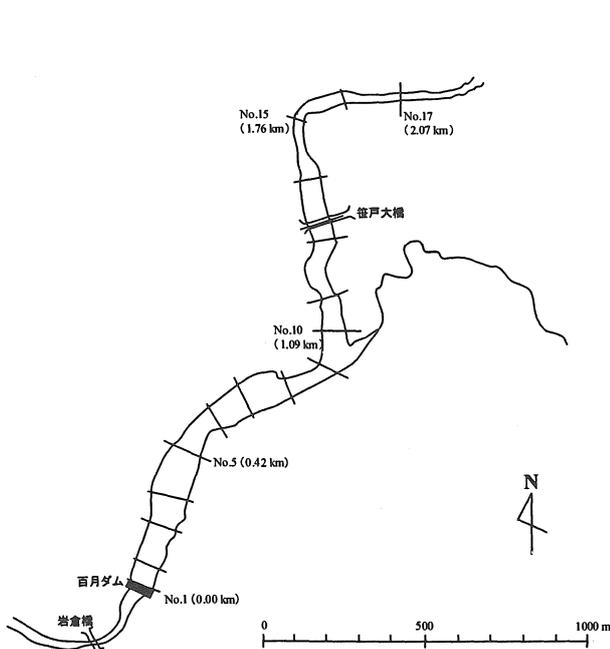


図 4 百月ダム貯水池平面図 (測量位置:No. 1~16)

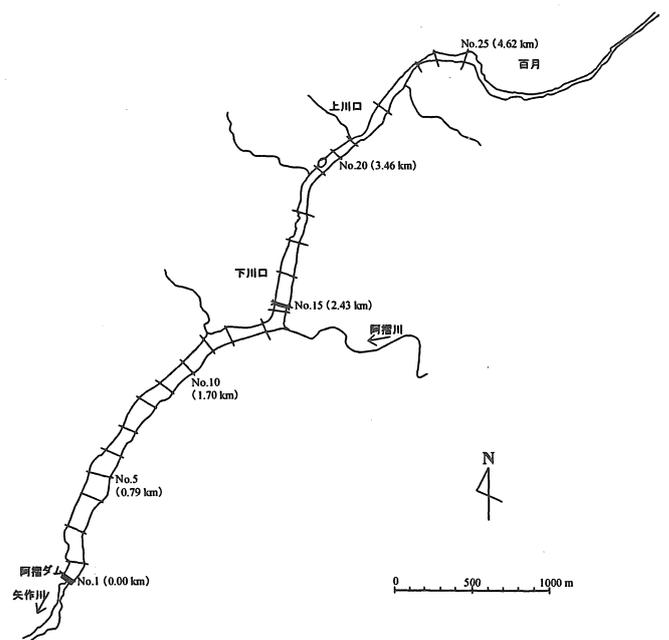


図 5 阿摺ダム貯水池平面図 (測量位置:No. 1~26)

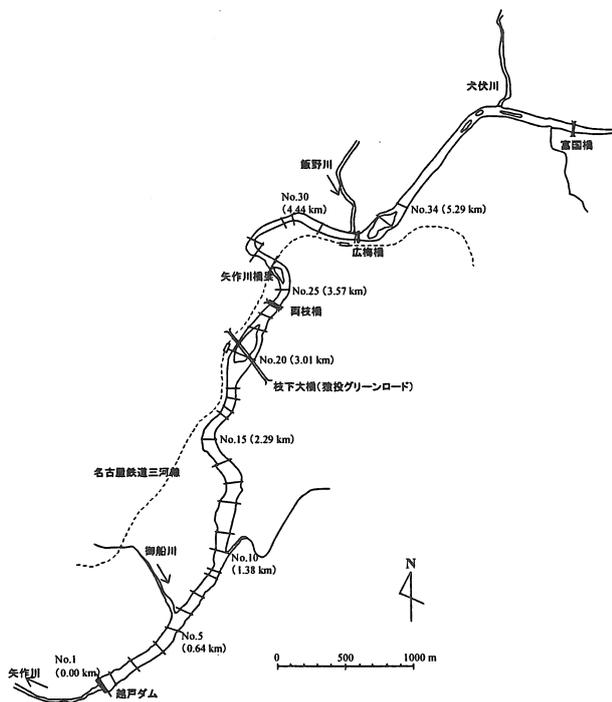


図 6 越戸ダム貯水池平面図(測量位置:No. 1~34)

越戸ダム、阿摺ダム、百月ダムでは、1955 年ころからダム湖内での砂利採取が行なわれていた。しかし、越戸・阿摺ダム湖の砂利採取業者は 1995 年に撤退、百月ダム湖の業者は 1999 年度末に撤退した¹⁶⁾。現在、矢作川の砂利採取は矢作ダム湖内(矢作ダム堤体から上流 3.6 km~4.0 km の両岸)において、ダムの貯水機能を維持するために行なわれている。

2.5 河床横断測量データによる推定

越戸ダムの下流、河口から 43.8~44.2 km の区間において、この区間における東海豪雨前後の横断測量データ(豊田市矢作川研究所提供)から堆砂及び流出土砂量を調べ、その中に含まれる礫の量を推定した。

2.6 砂防ダムの堆砂量による推定

流域内の砂防ダムは、100 基をこえ各溪流に点在している。砂防ダムの堆砂量から流出土砂量を推定する方法は広く一般的に行なわれているもので、砂防ダムの堆砂量測定値は流出土砂量と同じ量か、それに近い値を示すと考えられている¹⁷⁾。このことから、砂防ダムによる流出土砂量の調査結果を流域の支川ごとにまとめた。

3. 結果及び考察

3.1 植生の破壊状況の調査による推定

図 7 は東海豪雨後に行なった河床植生の破壊状況調査をもとに、礫の移動規模を示した図である。

これを見ると、植生が残らないほどの破壊が見られた上流部に比べ、中流域においては植生の破壊が小規模であった。すなわち、上流域での礫の移動量は大きく、中流域で小さかったと推定した。巴川合流点より下流では再び大規模な植生の破壊が見られる。これは、供給土砂量の多い巴川が影響していると考えられる。

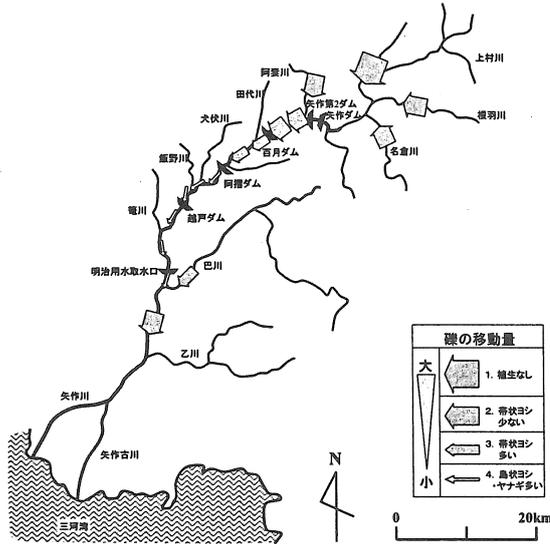


図 7 河畔植生の破壊状況から推定した東海豪雨での礫の移動

3.2 礫の移動を嫌う底生生物の調査による推定

東海豪雨後の 2000 年 10~12 月に行なった造網型トビケラ類の調査¹²⁾をもとに、礫の移動規模を図 8 に示した。

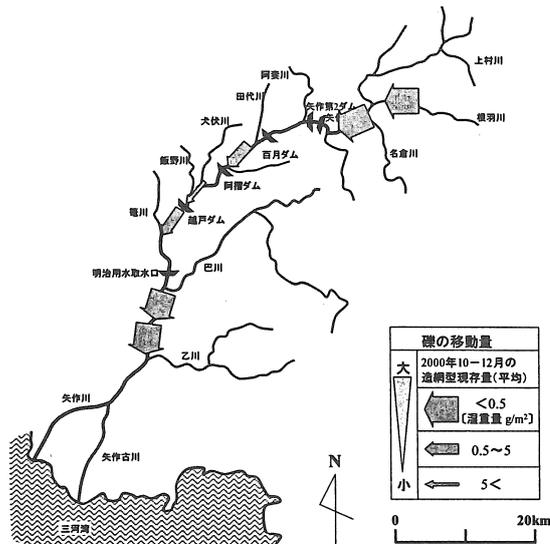


図 8 造網型トビケラ類の現存量から推定した東海豪雨での礫の移動

図 8 では、造網型トビケラ類の現存量の 3 ヶ月平均値をもとに、礫の移動量を 3 階級に分けた。上・下流域での

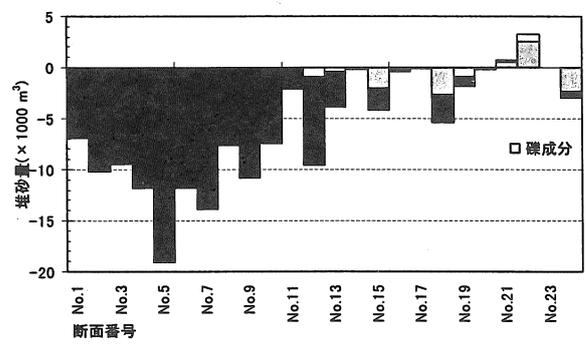
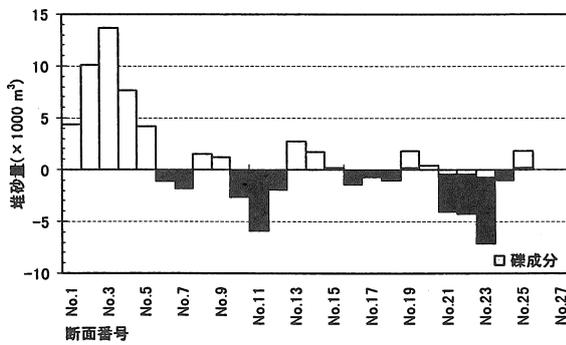
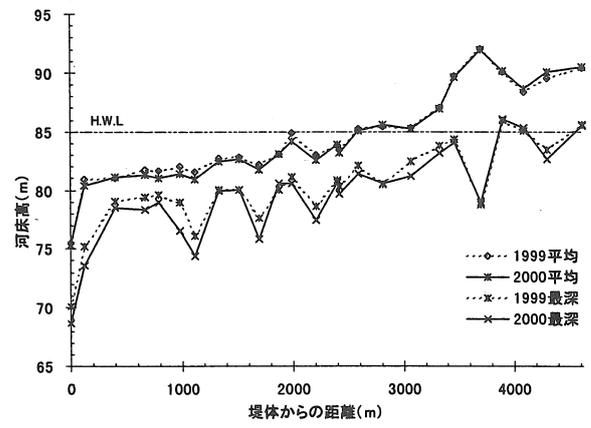
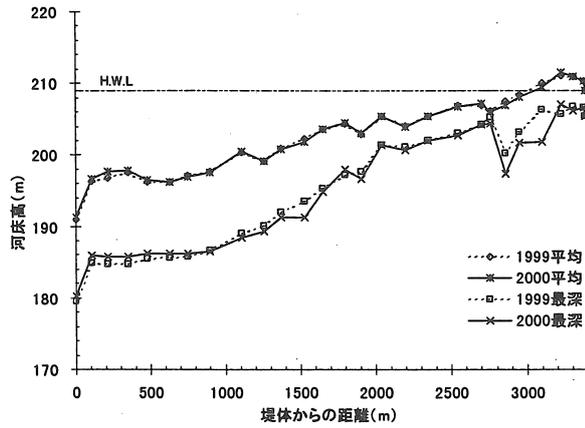


図 11 矢作第 2 ダム、河床高 (上)、堆砂量 (下)

図 13 阿摺ダム、河床高 (上)、堆砂量 (下)

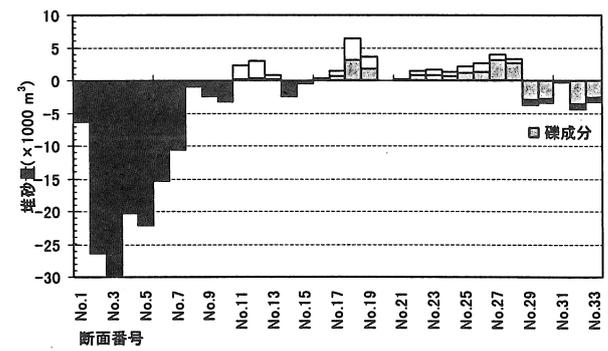
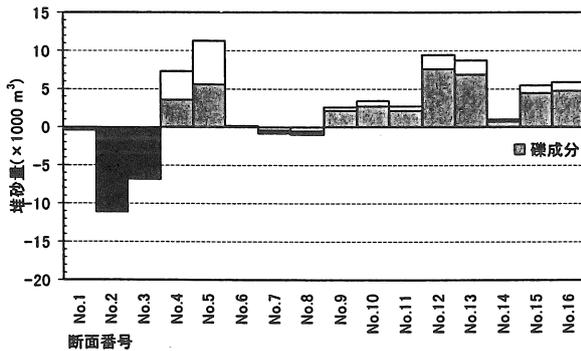
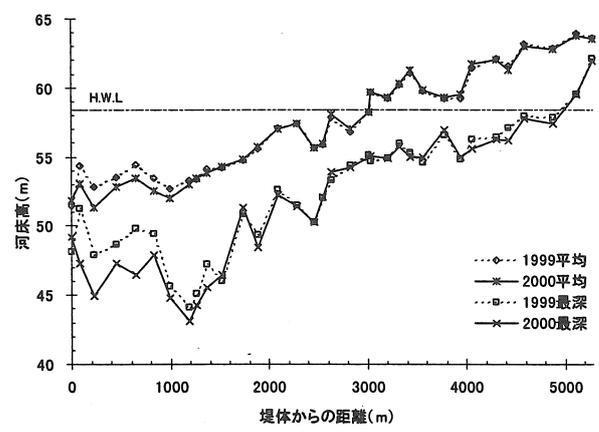
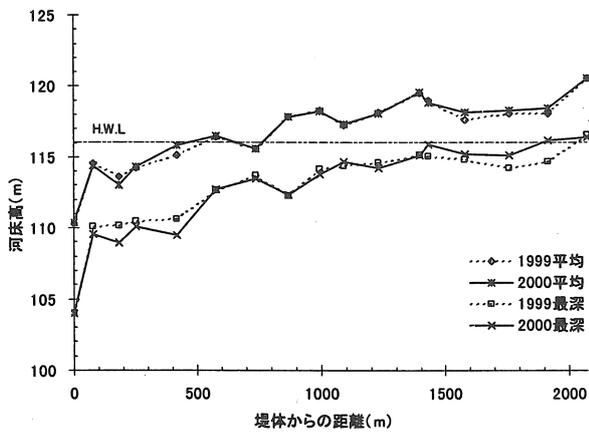
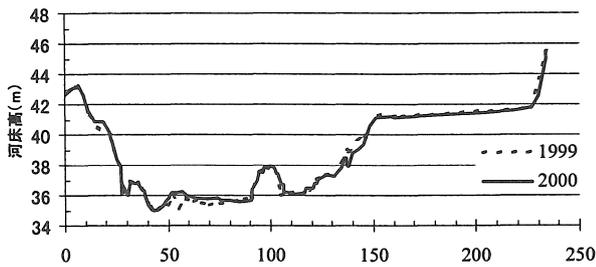


図 12 百月ダム、河床高 (上)、堆砂量 (下)

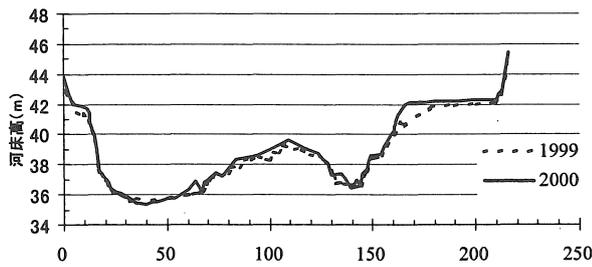
図 14 越戸ダム、河床高 (上)、堆砂量 (下)

3.4 河川横断測量データによる土砂量の算出

図 15 に対象とした区間の東海豪雨前後の横断形状を示す¹⁸⁾。この区間においては、堆積した部分と、侵食された部分が見られる。堆積した部分は 1 mm 未満の粒径であり、侵食された部分は礫であったことが分かっている¹⁸⁾。このことから、横断測量データを元に侵食された体積を算出し、この区間での礫の流出量とした。その結果約 5,000 m³ という値が得られた。



(a) 43.8 km



(b) 44.0 km



(c) 44.2 km

図 15 河口から 43.8~44.2 km 地点の横断形状

3.5 砂防ダムの堆砂量による土砂量の算出

1969 年までの砂防ダムの堆砂量から算出された年流出土砂量¹⁷⁾をもとに、流域での各支川からの土砂生産量の合計を図 16 に示した(礫だけでなく細粒成分も含む)。図 7~9 と同じ形式で矢印の太さにより、土砂生産量の大きさを示してある。図 16 を見ると、中流域の支川は、上・下流域に比べて年流出土砂量が非常に少ない傾向があることが分かる。

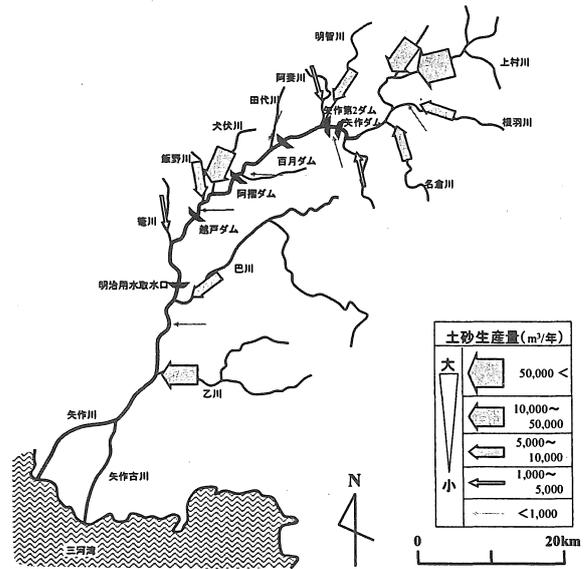


図 16 砂防ダム堆砂量による土砂生産量

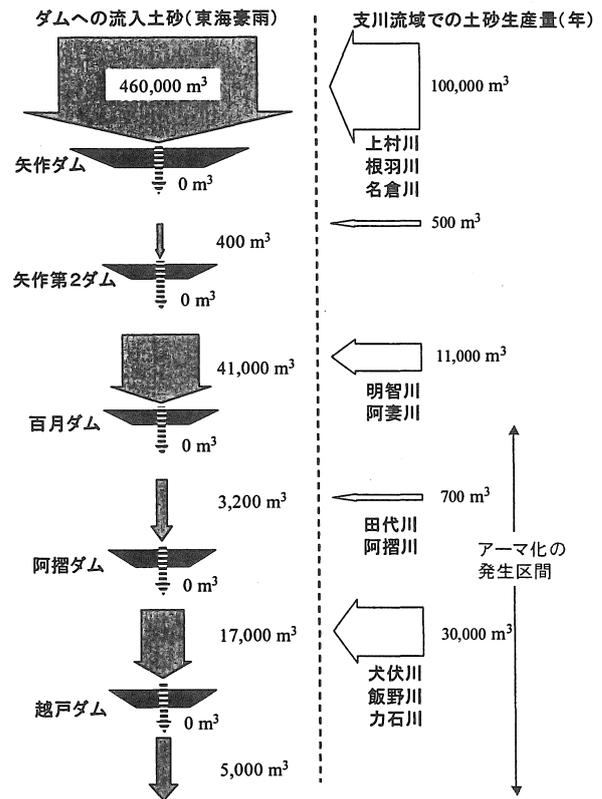


図 17 対象流域区間での礫の移動量(左)と支川流域での土砂生産量(右)

3.6 礫の移動量のまとめ

3.3~3.5 の結果により推定した礫の移動量を図 17 にまとめた。支川からの流入土砂量が少ない区間では、ダムへ流入する礫の量も少なく、ダムにより礫の移動が妨げられていることが分かる。現在では砂防事業の進展により、生産された土砂がそのまま本流へ流出してはいない

と思われるが、この中流域支川で土砂生産が少ない傾向は矢作川中流域における河床のアーマ化に深く関わっていると考えられる。

百月ダムから越戸ダムの下流の区間で、アーマ化に伴う生物の異常が問題とされ、河畔植生の破壊が少なく(図 7)、造網型トビケラ類の現存量が多い(図 8)が、この区間はダム堆砂量から礫の移動量が少ないと推定される区間とおおまかには一致している。

4. 結論

東海豪雨による矢作川の上・中流域における礫の移動量を、生物による調査、ダムの堆砂量、河川横断測量のデータなどから推定した。これらの推定により得られた結論を以下にまとめる。

- 1) 生物の調査では、植生の破壊状況による調査、造網型トビケラ類の調査による推定方法が礫の移動を示す指標になると考えられる。
- 2) 対象流域の本川上に連続して存在するダムにより、礫の移動が不連続になっていると推測される。そのため、支川での土砂生産量が少ない区間においては、本川での礫の移動量も少ないと考えられる。
- 3) 礫の移動量、支川での土砂生産量の少ないと推定される区間は、アーマ化による河川生物の問題が起きている区間と一致している。
- 4) 礫の移動推定量とこれまでに行なわれた土砂投入実験(1,500 m³/年)を比較すると、実験の投入土砂量は十分でなかった可能性が高い。

謝辞

この研究をまとめるにあたっては、愛知工業大学土木工学科河川・環境研究室の四俵正俊教授、木村勝行教授から指導と助言を頂いた。本研究の一部は、豊田市矢作川研究所の河川環境復元総合調査事業(矢作川古嵐プロジェクト、代表:古川彰、関西学院大学教授)の一環として行なわれたものである。豊田市矢作川研究所の方々を始め、プロジェクトに携わったの方々には、多くの助言を頂いた。また、国土交通省中部地方整備局豊橋工事事務所と矢作ダム管理所、中部電力株式会社からは、資料を提供して頂いた。また、日東学術振興財団から研究費の一部に助成を受けた。これらの方々のご好意に対して、ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 山本晃一, 藤田光一: 土砂の制御は可能か, 科学, 69, pp.1060~1067, 1999.

- 2) 末次忠司: 土砂を基軸にした新たな河道・流域管理技術の展望, 土木技術資料, 43(10), pp.44~49, 2001.
- 3) 御勢久右衛門: 底生生物の生態学的研究, 河川の生態学, 築地書館, pp.23~102, 1972.
- 4) 藤田光一, 山本晃一, 赤堀安宏: 勾配・河床材料の急変点を持つ沖積河道縦断形の形成機構と縦断形変化予測, 土木学会論文集, 600/II-44, pp.37~50, 1998.
- 5) 藤田光一, 平舘治, 服部敦, 山内芳朗, 加藤信行: 水系土砂動態マップの作成と利用, 土木技術資料, 41(7), pp.42~47, 1999.7.
- 6) 山本晃一: 生態系基盤としての河川地形に及ぼす自然的攪乱・人為的インパクトとその応答, 河川整備基金事業「自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究」, 河川環境管理財団, pp.41~87, 2002.
- 7) 天野武弘: 矢作川の電源開発の歴史, 新行紀一監修, 定本「矢作川」母なる川—その悠久の歴史と文化, 郷土出版社, pp.158~162, 2003.
- 8) 北村忠紀, 田代喬, 辻本哲郎: 生息場評価指標としての河床攪乱頻度について, 河川技術論文集, 7, pp.297~302, 2001.
- 9) 野崎健太郎, 内田朝子: 河川における糸状緑藻の大発生, 矢作川研究, 4, pp.159~168, 2000.
- 10) 竹門康弘: 日本の河川における自然環境保全・復元のための生態学的課題, 応用生態工学研究会・公開シンポジウム公演要旨集, pp.8~17, 2002.10.
- 11) 田中蕃: 砂利投入による河床構造回復の試みとその効果IV, 矢作川研究, 4, pp.135~141, 2000.
- 12) 小川弘子, 内田臣一, 白金晶子: 東海豪雨後の矢作川の瀬における水生昆虫など底生動物, 矢作川研究, 7, 印刷中.
- 13) 内田朝子, 藤居勇, 山戸孝浩: 矢作川における大型糸状緑藻の時空間変動, 矢作川研究, 6, pp.113~124, 2002.
- 14) 建設省中部地方整備局矢作ダム管理所: 平成 10 年度矢作ダム地質調査報告書, 1999.2.
- 15) 内田臣一, 大村泰章, 神尾孝弘, 守屋良平: 矢作川の瀬における 2000 年 9 月出水後の河床砂礫の粒径, 愛知工業大学研究報告, 36B, pp.127~132, 2001.
- 16) 小川都(編): 矢作川の川砂利用, 矢作川 100 年誌資料研究, 豊田市矢作川研究所, pp.28~29, 2002.
- 17) 建設省中部地方整備局豊橋工事事務所: 矢作川河道計画調査報告書, 242pp., 1969.1.
- 18) 田代喬, 北村忠紀, 辻本哲郎: 2000 年 9 月出水が矢作川古嵐地区周辺河道に与えたインパクト, 矢作川研究, 6, pp.151~158, 2002.

(受理 平成15年 3 月19日)