

矢作川のアーマ化した河床における砂礫粒径の特徴

Characteristics in the material size of the armored beds in the Yahagi River

内田臣一[†], 加藤大典[†], 末松朋浩[†], 西山正臣[†]

Shigekazu UCHIDA, Daisuke KATÔ, Tomohiro SUEMATSU, and Masaomi NISHIYAMA

Abstract: Size of the bed material was measured at riffles, pools, and glides (transition zone between riffle and pool) of six stations in the Yahagi River, Aichi Prefecture, Honshu, Japan. River beds at the uppermost station and the lower two stations are deemed to be in natural condition with frequent downstream transport of the material, but the beds are armored and the material probably moves seldom at the intermediate three stations, according to the data on periphytic algae and benthic invertebrates. The material was sampled from two layers of the bed: 1) the extreme surface layer, 2) the second layer beneath the extreme surface. The thickness of each layer was adjusted at the depth of maximum diameter of the gravel at riffles and glides, but it was fixed at 10 cm at pools. The material at intermediate three stations was very similar to that at the uppermost station, but the former was distinguished from the latter and that of the lower two stations by little ratio (less than 2 %) of sand in the second layers at the riffles, and by small ratio (less than 4 %) of sand and fine gravel (under 32 mm diameter) in the extreme surface layers at the glides. The material at the pools of the intermediate three stations exhibits no distinctive characteristic from that of the uppermost station and the lower two stations. These characteristics of the material may be formed by washouts of fine gravel and sand even from the second layers at riffles and from the surfaces at glides in armored beds, whereas the washouts are probably limited to the surfaces of riffles in natural beds by frequent movement of material.

1. はじめに

一般に、自然状態の河川では洪水が起こると多量の砂礫が流れ、河床の礫も移動する。しかし、ダム建設などにより砂礫の供給が人為的に阻止されると、その下流側では河床から細かい礫と砂が洗い流されて表層に大きい礫だけが残る、その礫が鎧 (armor) のように河床を覆った状態となって移動が止まり、河床が安定する。このような河床の変化をアーマ化 (河床表層の粗粒固化) と呼ぶ^{1)・3)}。

近年、矢作川中流部 (愛知県豊田市付近) の河床はアーマ化が進み、それが大形糸状藻カワシオグサの大繁茂など底生生物に影響をもたらす、さらにそれがアユの不漁を引き起こすことが懸念されている^{4)・17)}。この底生生物への影響は、大型糸状藻類についても¹⁸⁾、水生昆虫を主とした底生動物についても¹⁹⁾、百月ダム (愛知県旭町) から明治用水頭首工 (豊田市) までの中流域の区間において顕著である。そこでこの区間をアーマ化が顕著な区間とみなし、河床砂礫においてこの区間で指標となる特徴が認められるかどうか調べることにした。

既に矢作川でこの区間を含めて河床砂礫を調べた研究によると²⁰⁾、早瀬の河床砂礫の調査結果にはアーマ化を示す指標が見つからなかった。すなわち、ダム上流のアーマ化が起こってない河床でも、中流域のアーマ化が進んでいると言われている河床でも、常に粗粒で明瞭な差異はみられなかった。そこで私たちは、早瀬だけでなく平瀬と淵での採取を加え、また調査結果を詳細に検討して、アーマ化した河床表層砂礫の粒径にさらに特徴を探した。

なお、本報告は加藤、末松、西山が主に内田の指導のもとに履修した愛知工業大学工学部土木工学科河川・環境研究室 2001 年度卒業研究の成果に内田が加筆したものであり、豊田市矢作川研究所の河川環境復元総合調査研究事業 (矢作川古嵐プロジェクト) の成果の一部である。

2. 調査地点と調査日

調査地点は下に示す愛知県内矢作川の 6 地点である (図 1)。これより下の本文、図では太字で示した地名で調査地点を略称する。

矢作橋を除く上流側の地点ではいずれも、河道の屈曲点に明瞭な淵が形成され、その直上流に顕著な早瀬、さらに

[†] 愛知工業大学 工学部 土木工学科 (豊田市)

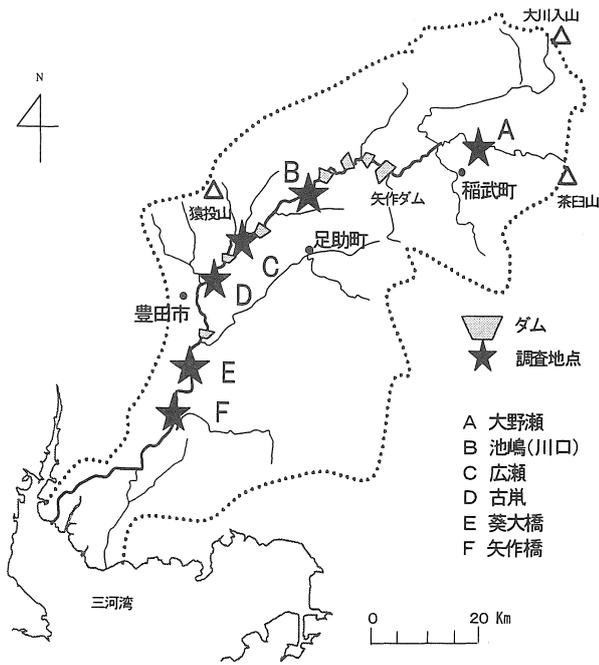


図 1. 矢作川流域地図と調査地点

その上流に平瀬が続くという、典型的な砂礫堆(砂州)の前縁線付近の微地形が見られた。下に記した橋などからの距離は早瀬の位置を示す。また、池嶋では河川工事の期間中(2001年5-10月)は立ち入りができなかったため、川口を池嶋の代替地点として調査した。

一方、矢作橋付近では、平水時の流路は分岐し網状流の特徴を示し、河道の屈曲に伴う明瞭な瀬と淵を欠いていた。しかし、矢作橋直下の床固工の上下流にこの人工的な構造が関係して形成されたとされる早瀬、平瀬、淵に類似した微地形が見られたので、ここを調査地点とした。

- A 稲武町大野瀬(根羽川) 大野瀬橋の下流 0.2 km
- B 旭町池嶋 百月ダムの下流 0.5 km
(藤岡町上川口 加茂橋の上流 1.5 km 川口やな)

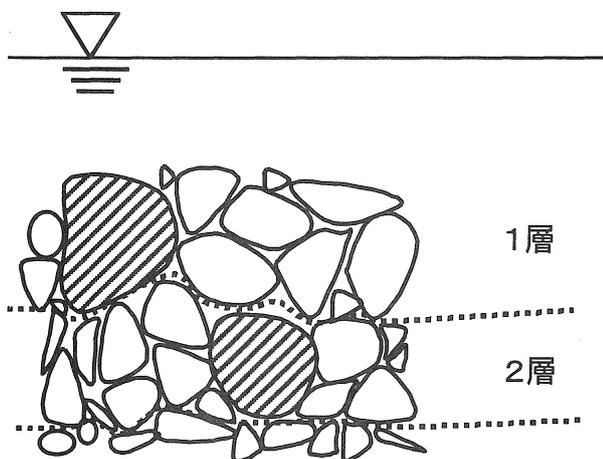


図 2. 1層と2層の厚さ(早瀬、平瀬)

- C 豊田市西広瀬町 広梅橋の上流 0.1 km 広瀬やな
- D 豊田市扶桑町(古巖) 平戸橋の下流 0.9 km
- E 岡崎市細川町 葵大橋の上流 0.2 km
- F 岡崎市矢作町 矢作橋の直下

既報の研究²⁰⁾と合わせ、6地点とも早瀬、平瀬、淵でそれぞれ3回ずつ採取した(ただし、広瀬の早瀬では1回欠測)。調査日とそれぞれの調査地点、調査箇所を下に示す。これより下の本文、図では、調査日は記さず単に1回目、2回目、3回目とする。

2001年

- ・2月20日 大野瀬・池嶋・広瀬(平瀬)
- ・2月27日 古巖・葵大橋・矢作橋(平瀬)
- ・3月21日 大野瀬(淵)
- ・3月23日 古巖・葵大橋・矢作橋(淵)
- ・5月25日 広瀬(早瀬)
- ・5月29日 古巖・葵大橋・矢作橋(早瀬)
- ・7月27日 大野瀬・川口(早瀬)、広瀬(平瀬)
- ・7月30日 古巖・葵大橋・矢作橋(平瀬)
- ・8月13日 大野瀬・川口(平瀬)

表 1. 早瀬で採取した河床砂礫の重量(kg)

採取年月	調査地点	層	方形枠				合計
			No.1	No.2	No.3	No.4	
2001.7	大野瀬	1層	15.9	34.6	7.9	42.0	100.4
		2層	2.0	1.7	3.9	4.0	11.6
2001.7	川口	1層	47.1	44.9	36.3	41.8	170.1
		2層	3.0	2.3	4.3	8.4	18.0
2001.5	広瀬	1層	15.9	21.1	18.1	29.5	84.6
		2層	8.6	1.7	3.0	2.5	15.8
2001.5	古巖	1層	27.8	19.7	28.1	24.8	100.4
		2層	12.2	10.5	5.9	7.2	35.8
2001.5	葵大橋	1層	9.1	10.9	14.6	9.4	44.0
		2層	3.6	5.9	6.1	4.8	20.4
2001.5	矢作橋	1層	1.9	1.6	1.7	1.0	6.2
		2層	3.6	3.8	2.2	3.5	13.1

表 2. 平瀬と淵で採取した河床砂礫の重量(kg)

採取年月	調査地点	層	大野瀬	池嶋(川口)	広瀬	古巖	葵大橋	矢作橋
2001.2	平瀬	1層	149.0	77.3	123.4	254.1	47.0	18.0
		2層	36.1	11.2	34.2	37.7	32.7	16.7
2001.3.12	淵	1層	12.9	9.7	9.5	15.3	21.6	5.5
		2層	20.2	6.8	7.2	22.9	17.5	7.0
2001.7.8	平瀬	1層	43.7	32.7	18.5	38.4	9.6	5.6
		2層	15.6	25.6	7.8	14.4	12.4	5.1
2001.12	平瀬	1層	77.3	63.6	70.5	92.2	19.7	45.0
		2層	22.0	56.1	18.3	16.0	8.7	7.3
2002.1	淵	1層	7.6	3.6	4.5	2.6	4.6	4.3
		2層	4.1	4.4	4.1	4.7	5.2	4.9
	淵	1層	4.3	4.0	2.9	4.0	4.7	4.8
		2層	3.0	6.7	5.0	4.2	5.2	6.9

・12月4日 大野瀬・池嶋・広瀬・古嵐・葵大橋・矢作橋
(平瀬)、池嶋・広瀬(淵)

2002年

・1月16日 大野瀬・池嶋・広瀬(淵2回)
古嵐・葵大橋・矢作橋(淵2回)

3. 採取・測定方法

調査は早瀬・平瀬・淵で行い、それぞれ1層・2層に分けて採取した。

早瀬では各地点で50cm×50cm方形枠を4箇所設け、その下流側に網目内径約0.8mmの手網を受けて、計1m²の河床砂礫を採取した。これは、別に進めている底生動物調査¹⁰⁾での方形枠・手網と同一で、大部分はこれと同時に採取した。表層を1層とその下の2層に分けて採取し、それぞれの層の大きめの礫の粒径を1層・2層の層厚の目安にした(図2)。

平瀬では各地点で1m×1m方形枠を1箇所設け早瀬と同様の方法で1m²を採取した。層厚の目安も早瀬と同じである。

淵では平瀬と同様に各地点で1m×1m方形枠を1箇所設けた。ただし、方形枠は淵の川岸の陸上部に設けた。粒径が小さいため層厚は1層・2層ともに約10cmとした。

砂礫の粒径分布の測定には、JIS Z 8801-1: 2000に準拠した125, 63, 31.5, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5mmの9種類のふるいを使用し、粒径256mm以上のときは巻尺で粒径を測定し、各粒径の階級に分け、重量を測定した。はかりの精度は、粒径64mm以上は100gまで、それ未満は1gまで測定できるものを使用した。

4. 調査結果

採取した砂礫の重量を表1, 2に示した。この内訳を粒径階級別重量百分率のグラフ(図3, 4, 5)で示す。グラフ

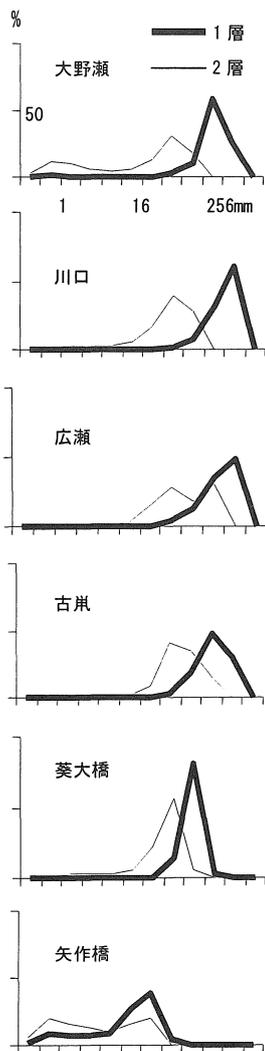


図3. 粒径階級別重量百分率(早瀬3回目、1, 2回目は既報²⁰⁾)

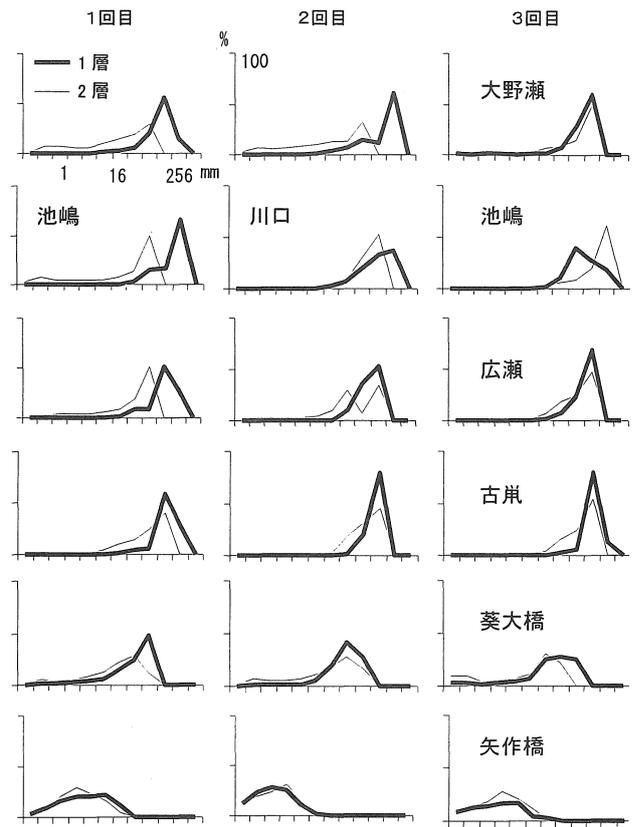


図4. 粒径階級別重量百分率(平瀬)

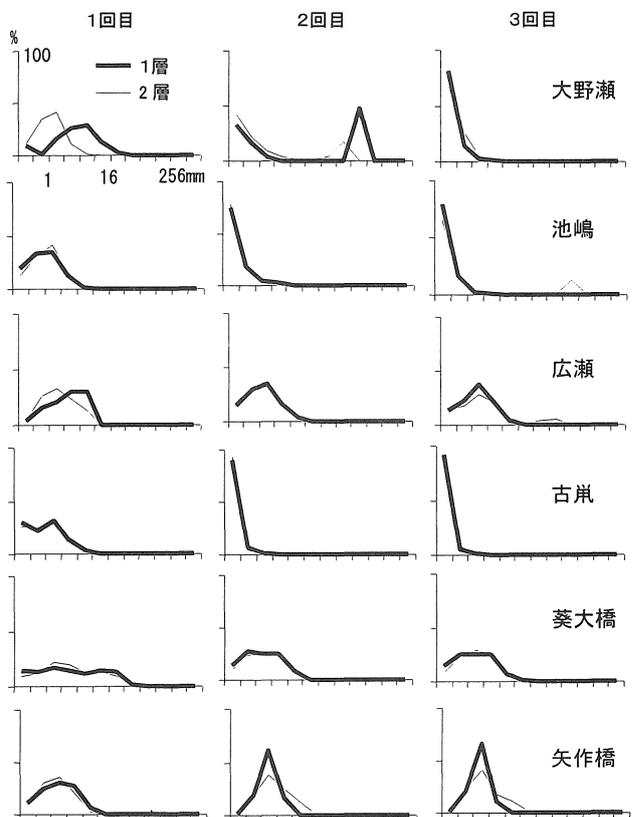


図5. 粒径階級別重量百分率(淵)

を概観すると、早瀬、平瀬ともに上流から下流へ次第に細粒になる傾向、および 1 層より 2 層が細粒になる傾向は認められる。しかし、早瀬について既報のとおり²⁰⁾、底生生物から見てアーマ化が顕著な池嶋、広瀬、古嵐を含む中流域に特有の特徴は認めがたい。

そこで次に、アーマ化によって失われると考えられている細粒成分に着目して、様々な粒径を境として、ある粒径未満の砂など細粒成分の割合を比較した。その結果、中流域（池嶋・広瀬・古嵐）の早瀬と平瀬で細粒成分が少ないという一般的な傾向は認められるものの、ほとんどの場合、3 回の試料のうち一部に例外的な試料があり、上・下流域（大野瀬・葵大橋・矢作橋）と明確には区別できなかった。しかし、わずかに次の二つの場合でのみ、微妙ではあるが例外なく区別できることがわかった。

1) 早瀬の 2 層において粒径 1 mm を境として比較すると、上・下流域では粒径 1 mm より細かい砂が常に 2 % 以上あり、中流域では常に 2 % に満たないという特徴が認められた。（図 6 上）。しかし、早瀬の 1 層では、上・下流域でも中

流域でも砂や細かい礫が極めて少なく、このような特徴を認めることはできなかった。

2) 平瀬の 1 層において粒径 32 mm を境として比較すると、上・下流域では粒径 32 mm より細かい中礫・細礫・砂が常に 4 % 以上あり、中流域では常に 4 % に満たなかった（図 6 下）。しかし、平瀬の 2 層では同一地点の 3 回の試料間で細粒成分の割合が大きく異なり、上・下流域と中流域を比較して区別できる特徴は認められなかった。

また、淵については 1 層・2 層とも上・下流域と中流域を比較して区別できる特徴は見つからなかった。

5. 考察

矢作川中流域で近年河床砂礫が著しく粗粒化しアーマ化が進行したことは、1961 年以後の粒度の資料からすでに明瞭に示されている²¹⁾。ただし、古くからの河床砂礫の資料がそろっているのは、建設省（現 国土交通省）が管理していた下流側の一部区間のみである。したがって、過去

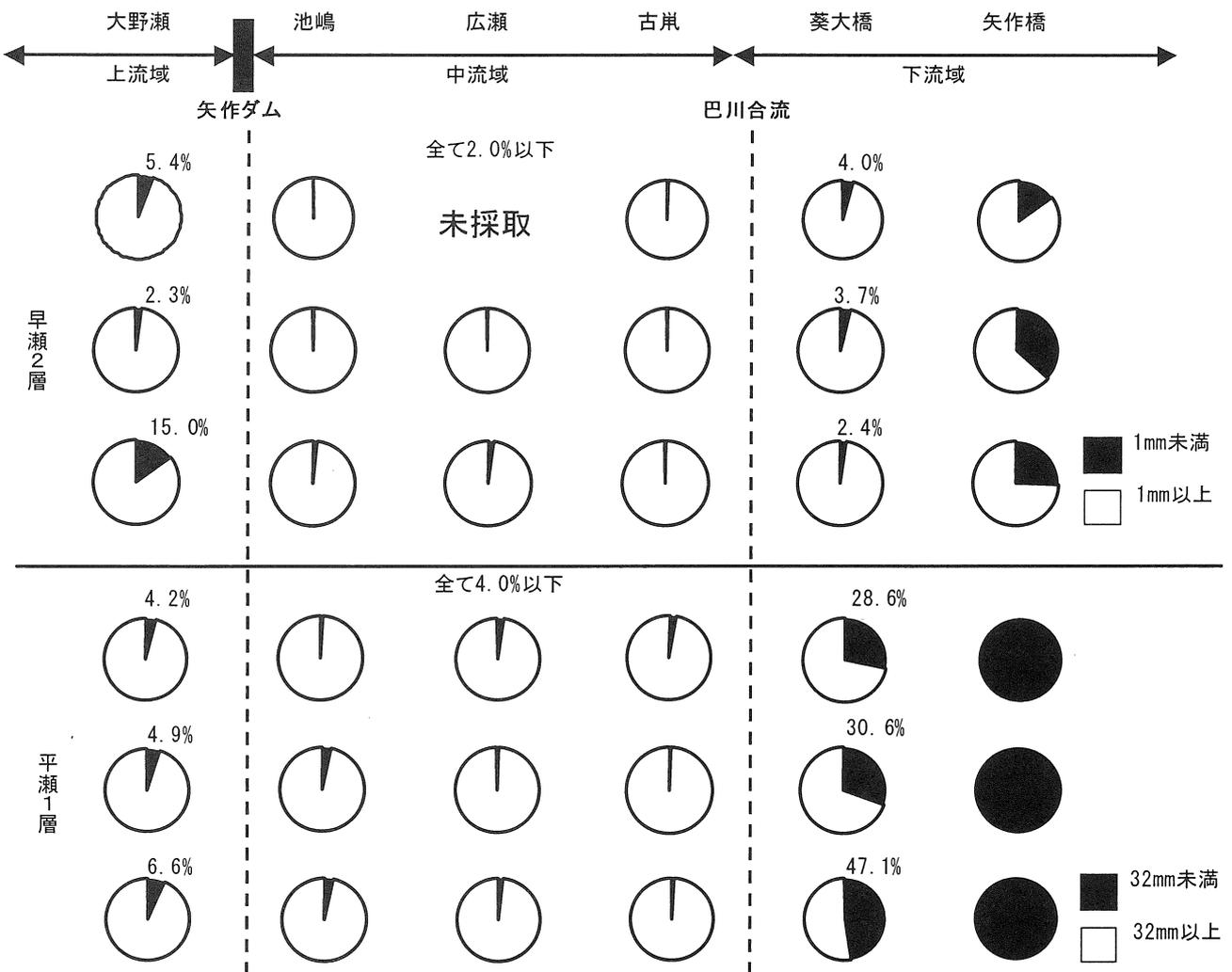


図 6. アーマ化した河床（中流域）と自然状態の河床（上流域、下流域）における粒径と重量百分率の特徴

の資料がない場合でも、現在の砂礫の粒度のみからその河床がアーマ化しているかどうか判断する手法が必要である。

ところが、この判断は容易ではない。既報のように²⁰⁾ 少なくとも早瀬においては、アーマ化していてもいなくても表層付近はかなり深くまで常に粗粒で、粒度の概要を比較するだけではアーマ化した河床に特有の特徴は見つからない。この研究では、加えて平瀬と淵でも河床砂礫を調べたが、やはり粒度の概要を比較するだけではアーマ化した河床に特徴は見出しがたい(図3, 4, 5)。とくに、山間河川である上流の大野瀬地点とアーマ化した中流域とでは、粒度分布がよく似ており、区別できないように見える。

ただし、上述のように、河床砂礫に占める割合が少なく重量百分率のグラフなどからは見落としてしまいがちな砂や細かい礫などの細粒成分を詳細に比較すると、微妙な特徴が認められた(図6)。すなわち、アーマ化した河床では、本来ある程度は砂など細粒成分が留まりやすい平瀬の表層や早瀬のやや深い層からも細粒成分が抜け落ちてしまっているらしい。この状況を模式的に図7に示す。なお、早瀬の1層では自然状態でも細粒成分が少ない。その理由

は、すでに指摘されているとおり²²⁾、平水時や中小程度の出水時に早瀬では浸食作用が卓越し、粗大な礫はとどまるものの細粒成分は洗い出されて流失するためであろう。

上述の特徴は微妙なので、矢作川の他の地点、あるいは他のアーマ化が問題となっている河川にも適用可能かどうか、現在のところ確実ではない。さらに多数の地点、あるいは他の河川で調査して、この特徴がアーマ化した河床一般に広く認められるものかどうか、検証していく必要がある。

ところで、一般にアーマ化によって粗粒化が起こるのは、河床砂礫のうち表面に露出する最表層と考えられている²³⁾。しかし、この研究の結果では、早瀬において粗粒化はそれよりはるかに深く少なくとも2層(最大礫の粒径の倍程度の深さ)にまで及んでいた。このことは、矢作川中流域でのアーマ化の進行の程度が大きく深刻な状況であることを示しているのかもしれない。

6. 要約

矢作川の愛知県内6地点の早瀬、平瀬、淵において河床

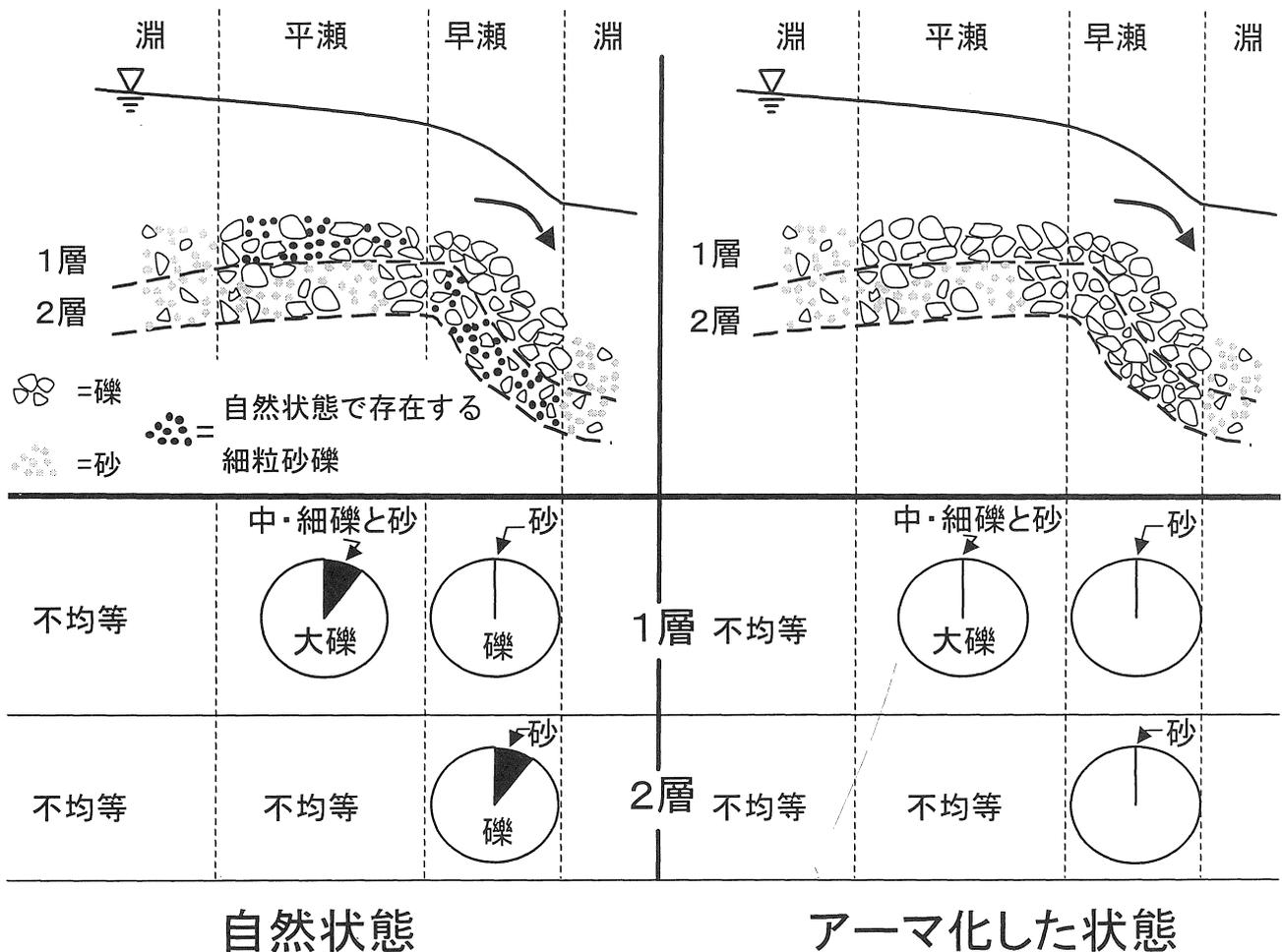


図7. 調査結果を解釈した河床の縦断面模式図

砂礫の粒径を調べた。付着藻類と底生動物の資料から、6 地点のうち最上流の 1 地点と下流の 1 地点は河床砂礫が頻りに移動しており、その中間の中流域の 3 地点はアーマ化が進み、砂礫がまれにしか移動しないと考えられる。河床砂礫は最表層の 1 層とその下の 2 層とに分けて採取した。早瀬と平瀬では 1 層と 2 層の厚さは、その層に含まれる最大礫の粒径程度とした。淵では両層とも 10 cm と定めた。その結果、次のことがわかった。

- 1) 中流域 3 地点の河床砂礫は最上流の地点と極めてよく似ている。
- 2) しかし、中流域 3 地点の早瀬と平瀬の砂礫には細粒成分について次の微妙な特徴が認められる: a) 早瀬の 2 層において、中流域 3 地点では径 1 mm より細かい砂が 2 %未満と常に極めて少ないのに対して、他の地点では常にそれより多い; b) 平瀬の 1 層において、中流域 3 地点では径 32 mm より細かい礫と砂が 4 %未満と常に極めて少ないのに対して、他の地点では常にそれより多い。
- 3) 早瀬の 1 層、平瀬の 2 層、淵の 1, 2 層では、中流域 3 地点に特有の特徴は認めがたい。

これら河床砂礫の特徴は、自然状態では早瀬の 1 層に限られる砂や細かい礫の流失が、アーマ化した状態ではさらに進んで平瀬の 1 層や早瀬の 2 層にも及ぶことによって、表れるらしい。

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・環境研究室の四俣正俊教授、木村勝行教授から指導と助言をいただいた。豊田市矢作川研究所の矢作川古巖プロジェクトに集った共同研究者の方々、研究計画などについての議論を通じて、多くの有益な助言をくださった。とくに、名古屋大学大学院工学研究科の北村忠紀博士の助言から得たものは大きい。これらの方々のご好意に心からの謝意を表したい。この研究に要した経費の一部には豊田市矢作川研究所の古巖プロジェクトから援助をいただいた。

引用文献

- 1) Simons, D. B.: Effects of stream regulation on channel morphology. In: J. V. Ward and J. A. Stanford (eds.), "The Ecology of Regulated Streams", Plenum, New York, pp. 95-111, 1979.
- 2) 島谷幸宏, 皆川朋子: 日本の扇状地河川の現状と自然環境保全の事例。「河川の自然復元に関する国際シンポジウム論文集」, (財)リバーフロント整備センター, pp. 191-196, 1998.
- 3) 辻本哲郎: ダムが河川の物理的環境に与える影響—河川工学及び水理学的視点から。応用生態工学, Vol.2, pp. 103-112, 1999.
- 4) 内田朝子: 矢作川における付着藻類と底生動物の基礎調査報告。矢作川研究, No.1, pp.59-80, 1997.
- 5) 内田朝子: 矢作川における付着藻類と底生動物 その 2。矢作川研究, No.2, pp.19-31, 1998.
- 6) 内田朝子: 矢作川のカワシオグサ。リオ (豊田市矢作川研究所月報), No.4, pp.1-2, 1998.
- 7) 内田朝子: 矢作川における付着藻類と底生動物 その 3。矢作川研究, No.3, pp.19-33, 1999.
- 8) 内田朝子: 矢作川における付着藻類と底生動物 その 4。矢作川研究, No.4, pp.5-16, 2000.
- 9) 田中蕃: 砂利投入による河床構造の回復の試みとその効果。矢作川研究, No.1, pp.175-202, 1997.
- 10) 田中蕃: 砂利投入による河床構造の回復の試みとその効果 II。矢作川研究, No.2, pp.191-222, 1998.
- 11) 田中蕃: 砂利投入による河床構造の回復の試みとその効果 III。矢作川研究, No.3, pp.203-229, 1999.
- 12) 田中蕃: 砂利投入による河床構造の回復の試みとその効果 IV。矢作川研究, No.4, pp.135-141, 2000.
- 13) 澤田壽: 21 世紀は自然環境を守る幕開け。リオ (豊田市矢作川研究所月報), No.2, pp.1-2, 1998.
- 14) 新見幾男: 続々・良く利用され なお美しい矢作川の創造をめざして—美しい川の条件とは何か。矢作川研究, No.3, pp.1-3, 1999.
- 15) 新見幾男: ダム直下流の悲惨。リオ (豊田市矢作川研究所月報), No.9・10, pp.4-5, 1999.
- 16) 新見幾男: 川に自由を戻せ。リオ (豊田市矢作川研究所月報), No.18, pp.2-3, 1999.
- 17) 北村忠紀, 加藤万貴, 田代喬, 辻本哲郎: 砂利投入による付着藻類カワシオグサの剥離除去に関する実験的研究。河川技術に関する論文集, Vol.6, pp.125-130, 2000.
- 18) 内田朝子: カワシオグサの生態 その 1。2001 年度古巖プロジェクト中間報告会発表要旨, 2pp., 2001.
- 19) 青山謙司, 安部将之, 松尾誠司, 白金晶子, 内田臣一: 矢作川の瀬における 2000 年 9 月出水後の底生動物。「河川環境復元総合調査研究事業 (矢作川古巖プロジェクト) 平成 12 年度調査報告書」, 豊田市矢作川研究所, pp. 38-46, 2001.
- 20) 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, No.36B, pp.127-132, 2001.
- 21) 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, Vol.7, pp. 97-302, 2001.
- 22) 竹門康弘: 水域の棲み場所を考える。「棲み場所の生態学」, 平凡社, pp.11-66, 1995.
- 23) 山本晃一: 洪水時における土砂の移動形態。「沖積河川学」, 山海堂, pp.77-95, 1994.

(受理 平成14年3月19日)