

複断面蛇行流れにおける河床材料の分級機構と 河床材料調査法の提案

THE SORTING MECHANISM OF BED MATERIALS
IN COMPOUND MEANDERING CHANNELS
AND SURVEY METHOD OF BED MATERIALS

Julio Masis Himenez¹・福岡捷二²・重村一馬³・山本輝⁴

Julio Masis Himenez, Shoji FUKUOKA, Kazuma SHIGEMURA and Teru YAMAMOTO

¹学生会員 広島大学大学院 工学研究科博士課程後期 環境工学専攻(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

²フェロー会員 工博, Ph.D 広島大学大学院教授 工学研究科社会環境システム専攻(同上)

³学生会員 広島大学大学院 工学研究科博士課程前期 社会環境システム専攻(同上)

⁴学生会員 広島大学大学院 工学研究科博士課程前期 社会環境システム専攻(同上)

Although grain size distributions of bed materials are important index on river engineering, the survey method of bed materials is not established. In this study, we experimented with different relative depths in compound meandering channel with graded sediment and surveyed bed materials by means of following two methods. The first method is to measure grain size distribution on bed surface using digital image of bed surface. The second method is to measure grain size distribution of bed layer by the sieve test. From the result of bed surveying, we clarified the sorting mechanism and the characteristics of grain size distribution in compound meandering channel. In the light of these results, we suggested the survey method of bed materials.

Keyword: *Sorting, compound meandering channel, graded sediment, thalweg armoring, survey method of bed materials*

1 序論

我が国では高水敷と低水路から構成される複断面形の河川を多くみることができる。これは堤防の安全性、河道の安定性、河川の利用性などから望ましいとして施工されてきた。そのため、複断面河道における多くの研究がなされてきている。複断面直線流路では相対水深(=高水敷水深/低水路水深)が上昇すると掃流力が増加し、河床の変化も大きくなるが、複断面蛇行流路では相対水深が上昇すると低水路の流れに対して高水敷上の流れが影響し、河床の変化は小さくなるという事が明らかにされている¹⁾。また、複断面蛇行流れには高水敷上の流れの影響が小さい単断面蛇行流れに似た蛇行外岸側に洗掘が発生する単断面的蛇行流れと、単断面蛇行流れとは異なる

る蛇行内岸側に洗掘が発生する複断面的蛇行流れの2種類があることが明らかにされた¹⁾。しかし、これらの研究の多くは一様砂河床で行われており、混合砂で構成されている河床からなる複断面蛇行流路での研究は著者らの知る限り存在せず、混合砂の研究の多くは単断面流路で行われている²⁾。河床構成材料の粒度分布の空間的分布は河川工学および河川生態学上重要な意味を持つが、十分な知見が得られていない。そのため、河床材料の調査法は十分に確立されていない。

本研究では、複断面蛇行流路の河床が混合砂からなるときの分級機構について実験的に検討を行う。異なる相対水深で実験を行い、それぞれのCaseについて粒度分布を測定し、分級現象について検討している。その結果から河床材料の粒度の測定方法について提案をしている。

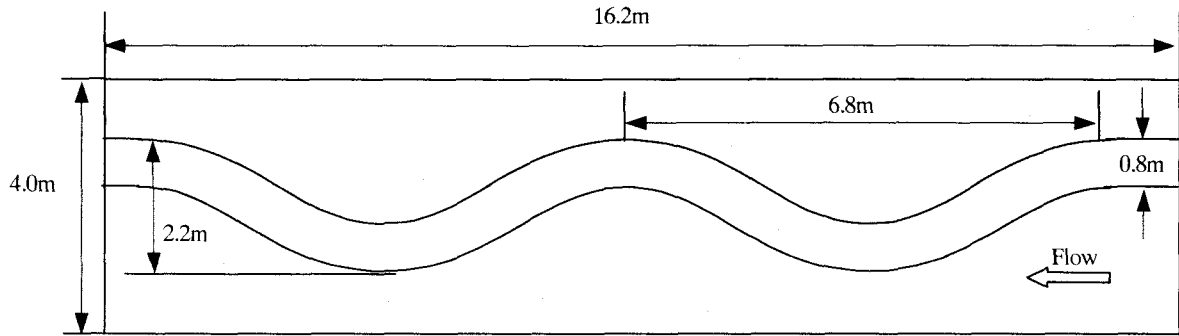


図-1 複断面蛇行水路の平面図

表-1 実験条件

実験 Case	1	2
	複断面的蛇行流れ	単断面的蛇行流れ
流量(*10 ⁻³ *m ³ /s)	54.1	24.9
高水敷水深 (mm)	43	19
低水路水深 (mm)	98	74
相対水深 Dr	0.44	0.26
初期高水敷高さ (cm)	5.5	
初期河床勾配	1/600	

表-2 水路の諸元

全長(m)	16.2
水路幅(m)	4.0
低水路幅(m)	0.8
波長(m)	6.8
蛇行長(m)	7.5
高水敷の水路勾配	1/600
蛇行度	1.10
最大偏角(°)	35.4

2 実験概要

(1) 実験条件

表-1 に実験条件を示す。既往の研究³⁾より相対水深 0.26 は単断面的蛇行流れ, 相対水深 0.44 は複断面的蛇行流れに分類される。それぞれの実験を Case1, Case2 とする。図-1 は実験に使用した複断面蛇行水路の平面図であり, 水路諸元を表-2 に示す。本実験で使用した混合砂の粒度分布を図-2 に示す。

(2) 粒度分布の測定方法

本実験では 2 種類の 방법으로粒度分布を測定した。

第一はデジタルカメラを用いて河床表面を撮影し, 粒度分布を面積の割合で示す方法である。デジタル画像上の 50*50mm の範囲で, 粒径を 2mm 以上, 1mm~2mm, 0.5mm~1mm, 0.5mm 以下の 4 つの範囲に区別して砂の数を測定する。それぞれの測定された粒径範囲毎の砂の数と代表面積の積がそれぞれの粒径範囲の占める面積となる。代表面積とはそれぞれの粒径範囲で基準となる砂一粒の面積と定義する。粒径が 0.5mm 以下の粒径範囲の面積は, 測定範囲全体の面積から 0.5mm 以上の測定された面積の和を差し引いて求めている。初期河床の中央粒径 $d_{50}=1\text{mm}$ であることから, 通水後に粒径 1mm 以上の河床材料の面積割合が増加していたら粗粒化, 減少していたら細粒化と判断する。この方法は河床表面を構成する

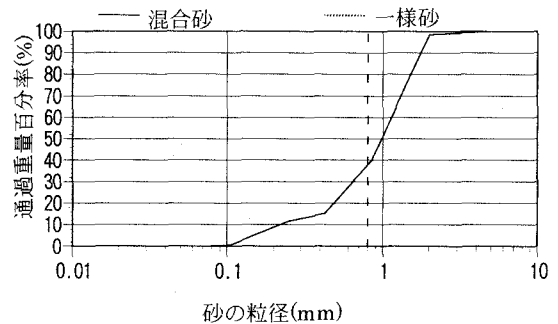


図-2 本実験で使用した混合砂の粒度分布

砂の移動が少なく, 分級現象がほぼ平衡状態に達している河床に適用する。

第二は河床から砂を採取し, ふるい粒度試験を用い重量の割合で粒度分布を示す方法である。既往の複断面蛇行水路での実験より, 滞筋以外の部分では河床の変化があまり見られないことから, 本実験では河床材料の動きの大きい滞筋においてのみふるい粒度試験を用いて鉛直方向にも粒度分布を調査する。ふるい粒度試験の試料として, 平面的には 50*50mm を範囲とし, 鉛直方向について, 河床表面が細粒化している場所では河床表面から深さ 1mm 毎, 粗粒化している場所では 2mm 毎に採取する。

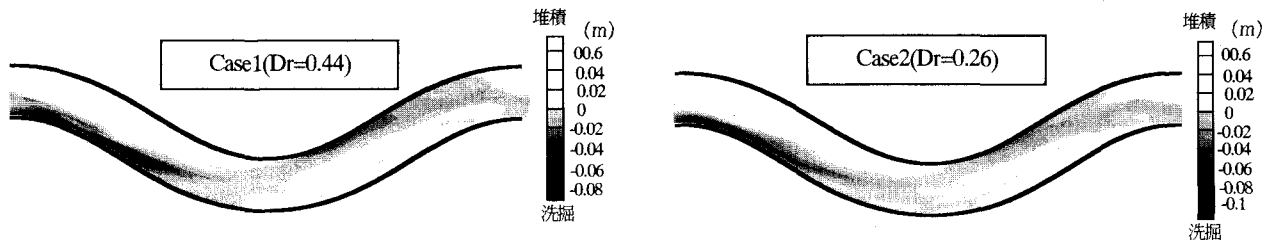


図-3 河床変動高コンター

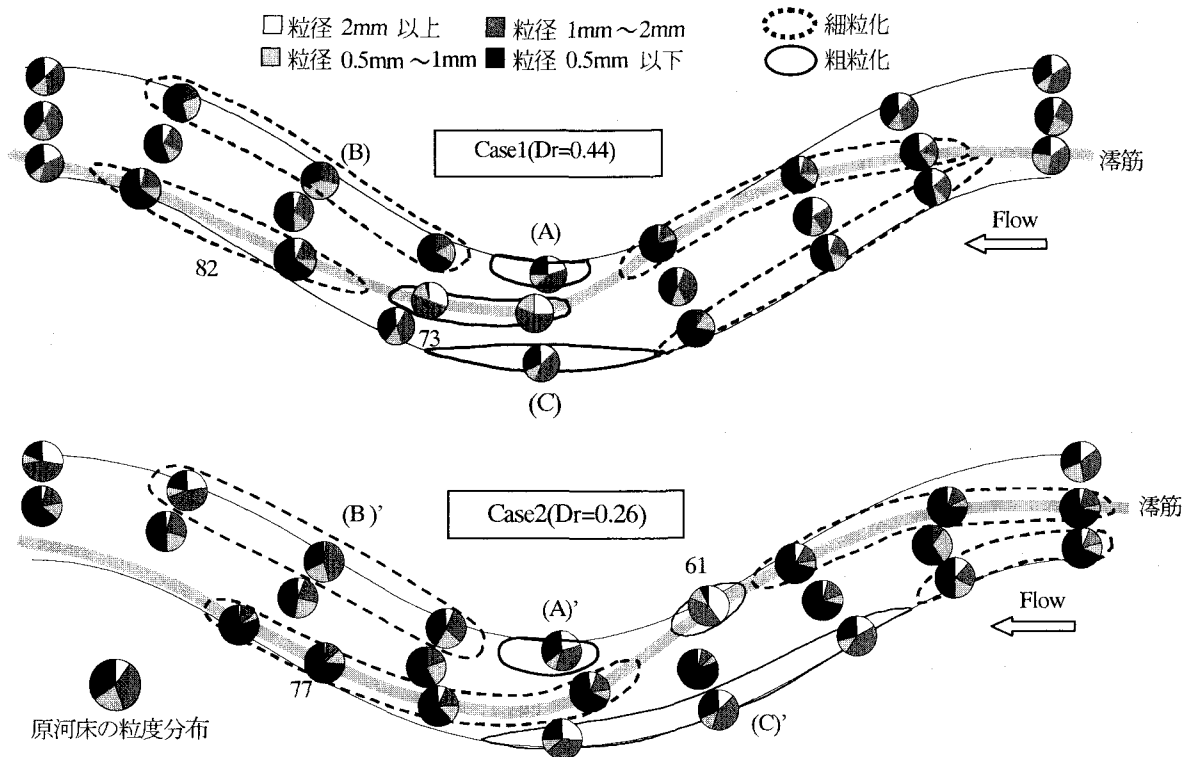


図-4 Case1, Case2 のデジタル画像による河床表面の粒度分布

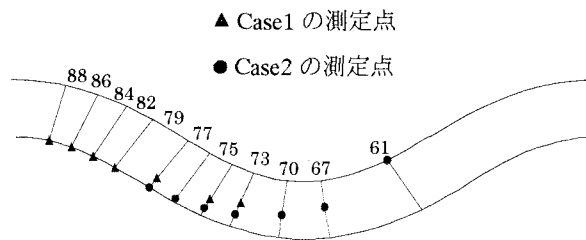


図-5 ふるい粒度試験点

3 考察

図-3 に Case1(Dr=0.44), Case2(Dr=0.26)の河床変動高コンターを示す。これらの結果は既往の一様砂の実験結果と同様な傾向を示し、滯筋が顕著に発達している。

図-4 に Case1, Case2 についてデジタル画像を用いた

河床表面全体の粒度分布の調査結果を示す。ここに原河床の粒度分布も示している。

1) 滯筋以外の場所での河床材料の分級

滯筋以外の場所においては砂の動きが弱く、河床表面の分級現象がほぼ平衡状態に達しているため、デジタル画像による粒度分布の調査法を適用する。

図-4 より、Case1(Dr=0.44)の相対水深が大きい場合について、蛇行頂部内岸(A)では粗粒化、蛇行頂部内岸直下流部(B)では細粒化が生じる。これは、(A)から(B)にかけて掃流力が徐々に小さくなり、滯筋を外れて運ばれて来る砂のうち、大きな粒径の砂は(A)で停滞し、小さな粒径の砂は(B)まで運ばれ堆積するためである。蛇行頂部外岸付近(C)では armor⁴⁾が生じる。これは(C)の直上流部で粒径の小さい砂が堆積するため、この場所には粒径の小さい砂は

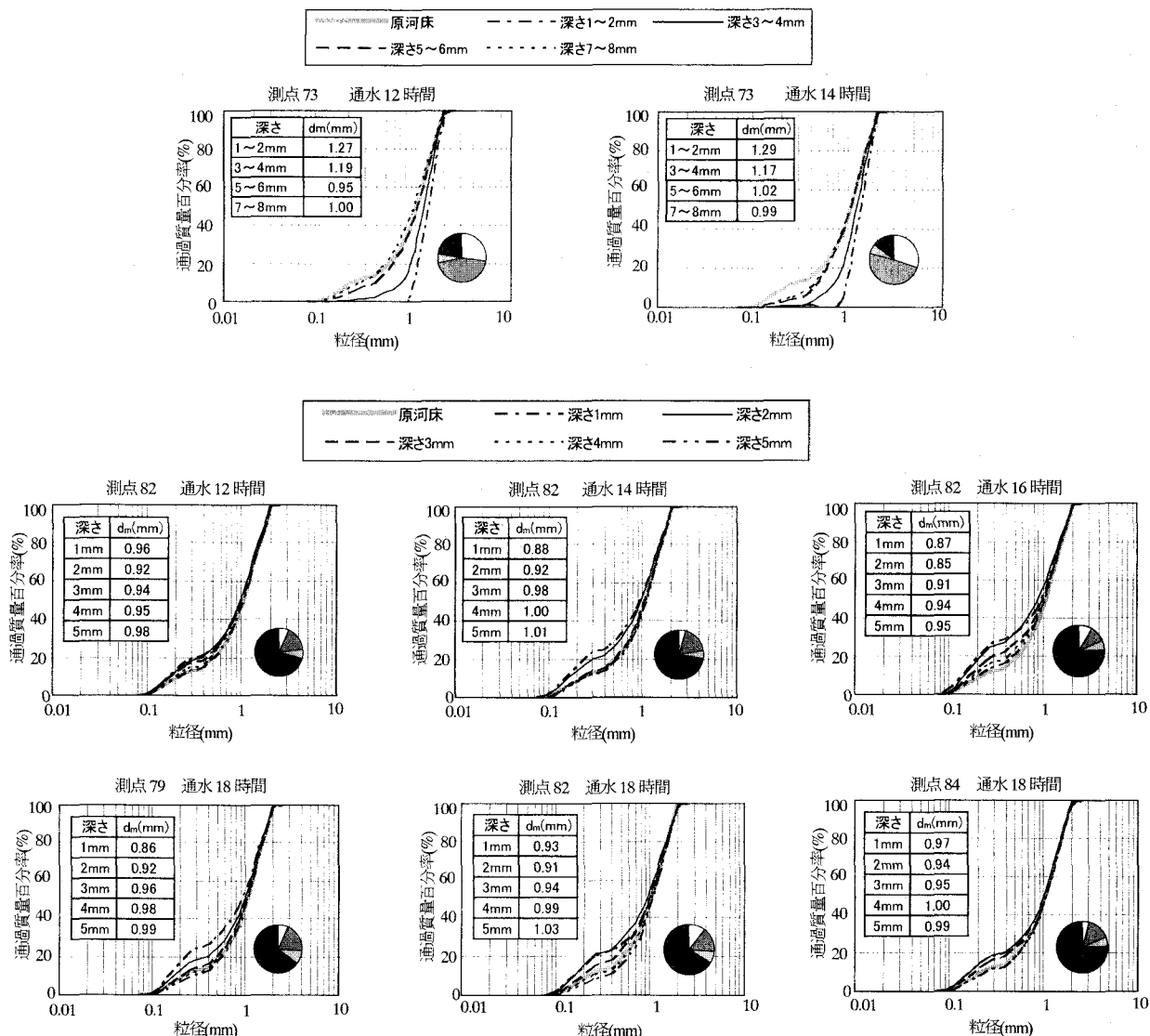


図-6 Case1 (Dr=0.44) ふるい粒度試験結果

輸送されにくいこと、流速が小さいため粒径の小さい砂のみが抜け落ち、粒径の大きい砂はその場にとどまることによる。

Case2 (Dr=0.26) の相対水深が小さい場合についても、Case1 同様に蛇行頂部内岸(A)では粗粒化、蛇行頂部内岸直下流部の堆積部(B)では細粒化が生じる。また蛇行頂部外岸付近(C)においても同様に armoring が生じるが、その位置は Case1 と比べると上流側に移動している。これは、Case2 は単断面的蛇行流れであり、Case1 に比べ滯筋が蛇行頂部外岸側に移動するためである。

2) 滯筋沿いでの河床材料の分級

滯筋沿いでは砂の移動が活発で河床表面の粒度変化が大きいため、デジタル画像による調査とふるい粒度試験による調査を時空間的に行う。図-5 に滯筋沿いにおけるふるい粒度試験位置、図-6、図-7 に Case1, Case2 のふるい粒度試験結果を示す。同時にふるい粒度試験を行

った場所の河床表面粒度分布と、採取した各深さの層ごとの平均粒径 d_m を示す。初期河床の平均粒径 $d_m = 1.00(\text{mm})$ であることより、平均粒径が 1mm から 7% 以上ずれている層を交換層と判断する。

図-4 から、Case1 では滯筋沿いの洗掘深が小さい場所で粗粒化が見られる。ここでは掃流力が相対的に小さく、粒径の大きい砂が停滞しやすい。また洗掘深が大きくなるにつれ細粒化する傾向がある。これは既往の単断面蛇行の研究結果⁵⁾と異なる。既往の研究では洗掘部で粗粒化が発生するとあるが、複断面的蛇行流れは単断面的蛇行流れと比較すると洗掘深が小さくなるため、横断方向の河床勾配が小さくなる。その結果、粒径の大きい砂に対して横断方向に働く重力効果が小さくなるため、洗掘部では粗粒化が生じにくく考えられる。

図-6 から、粗粒化している測点 73 の粒度分布の経時変化をみると、どちらの時間帯でも表層 2mm が最も粗く、また河床材料の粒度分布はほとんど変化していない。

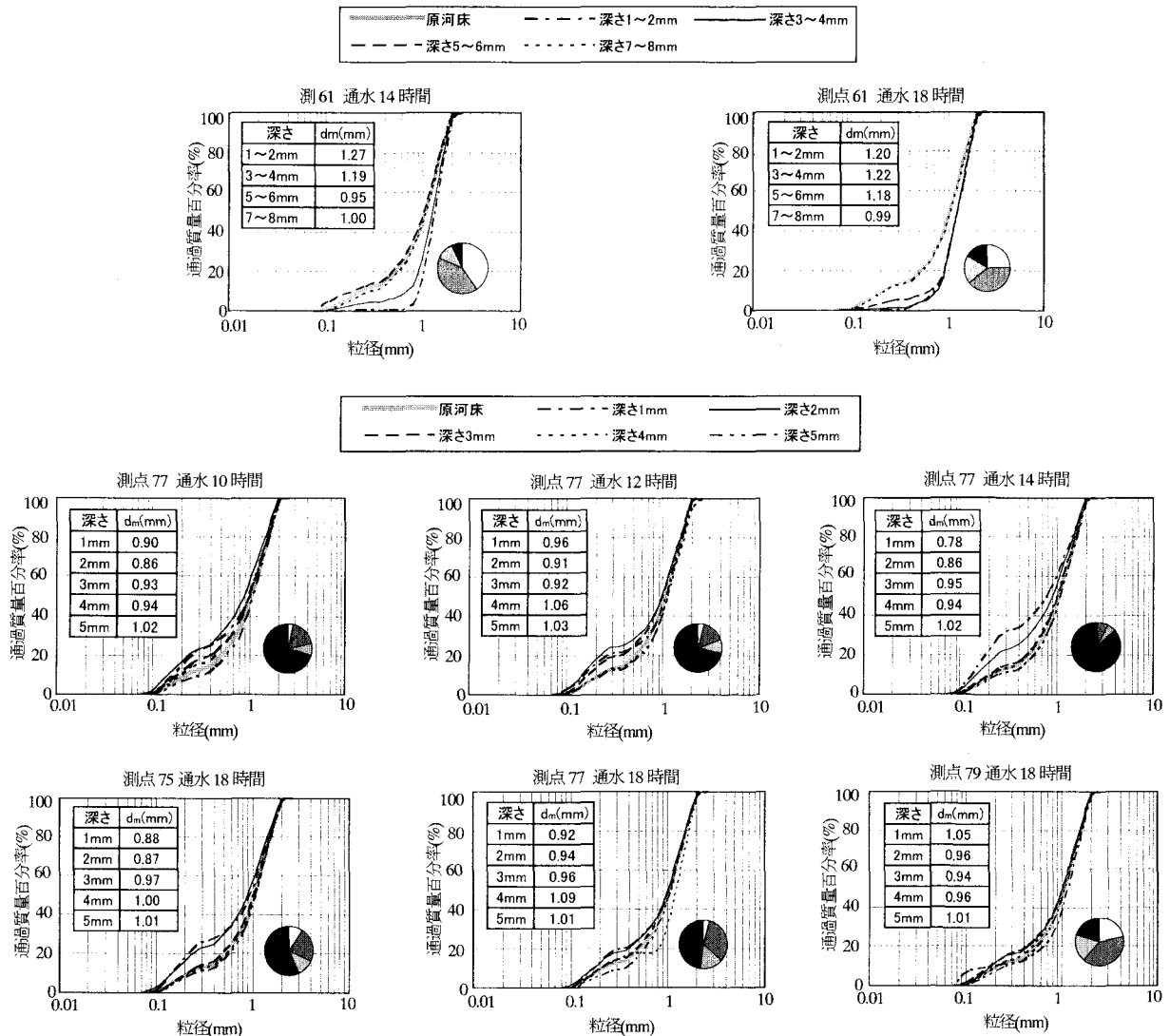


図-7 Case2 (Dr=0.26) ふるい粒度試験結果

ここでは濡筋においても比較的洗掘深が小さく、河床の砂の移動量が小さいためと考えられる。また粗粒化することにより、砂の移動が抑制されるのも原因の一つである。以上より、ここでは河床表面の分級現象はほぼ平衡状態に達しているため、デジタル画像による調査法を用いてよい。

細粒化している測点 82 の経時変化から、交換層の厚さは通水 12 時間で 2mm, 14 時間で 2mm, 16 時間で 3mm と時間的に変動している。また細粒化の程度も各層で時間的に変化している。特に深さ 1mm の層は、粒度の時間変化の幅が大きい。これは表層の粒度はその時点で河床表面に存在する砂に直接影響されるためである。そのため、砂の輸送が大きい場所では河床表面のみで河床材料の粒度分布を評価するのは適切ではない。以上の結果から、濡筋において細粒化している場所では、時空間的に厚さ、粒度の変化する交換層が存在するため河床表面だけの調査では不十分で、ふるい粒度試験を適用した空

間的な粒度分布特性の調査が必要である。

図-4 から、Case2 の濡筋では比較的洗掘深の大きい測点 61 を除いて全体的に細粒化の傾向がみられる。これは、Case2 は単断面的流れであり Case3 と比較して掃流力が大きく、粒径の大きい砂が停滞しにくいためである。測点 61 では、洗掘深が Case3 の洗掘深の約 1.5 倍と大きく、横断方向への重力効果によって粗粒化が生じる。

図-7 から、測点 61 の経時変化をみると粒度分布が時間的に変化している。ここは水衝部であり、河床材料の移動が活発であるためである。

細粒化している測点 77 の粒度分布の経時変化より、交換層の厚さは 10 時間で 2mm, 12 時間で 3mm, 14 時間で 1mm と時間的に変化している。Case3 と同様に Case2 においても、濡筋沿いの細粒化している河床では交換層の厚さと粒度が時間的に変動することが確認される。このことから、ここではふるい粒度試験による調査法を適用する。

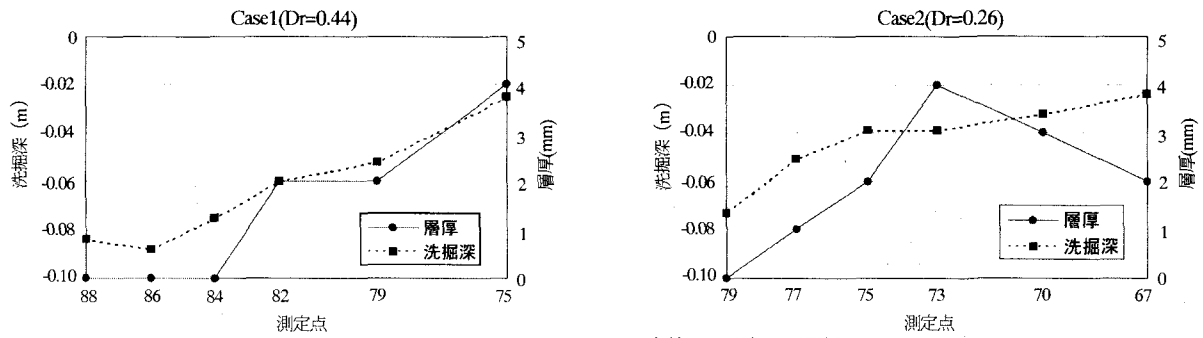


図-8 溝筋における洗掘深と交換層の厚さの関係

図-8に通水18時間の各測定場所の交換層の厚さと洗掘深の関係を示す。

Case1, Case2ともに水衝部付近の洗掘深が大きい場所では交換層が薄く形成され、水衝部より上流側の相対的に洗掘深の小さい場所で交換層が厚くなる傾向にある。

4 結論と今後の課題

本研究で得られた成果を以下に示す。

- ・複断面的蛇行流れ(Dr=0.44)では単断面的蛇行流れ(Dr=0.26)の最大洗掘部で見られる粗粒化は生じない。
- ・複断面的蛇行流れでも単断面的蛇行流れでも蛇行頂部外岸付近では armoring が生じる。また、蛇行頂部内岸付近で粗粒化が生じ、蛇行頂部内岸直下流部の堆積部では細粒化が生じる。
- ・複断面蛇行流れでは、溝筋以外の場所では河床の変動が小さいため、河床の粒度分布はあまり変化しない。そのため、河床材料の粒度分布の調査法として画像による測定方法を適用できる。
- ・溝筋沿いでは流れが集中するため、河床の変動が大きく、移動厚さや粒度が時空間的に変化する交換層が存在する。そのため、ふるい粒度試験による調査法を使用しなければならない。

今後の課題として次のことを検討する予定である。実際の洪水流量、従って相対水深は、時間的に変化する。

複断面蛇行河道では、

単断面流れ \longleftrightarrow 単断面的流れ \longleftrightarrow 複断面的流れ
と流れの状況が時間的に変化する。ここでは相対水深を変えることによって、各段階の流れの状況を想定し、河床材料のふるいわけ機構を検討した。今後は、流量ハイドログラフを与え、各時間、各相対水深でのふるいわけの機構が、今回の各段階の定常実験と同様の機構が成立するのかを調べる。さらに、洪水流量が減じるときの粒度の空間分布が河床変動に密接に関係することから、このときの河床材料調査法の精度を向上させ、実河川の河床材料調査法に結びつける予定である。

参考文献

- 1) 岡田将治, 福岡捷二, 貞宗早織: 複断面河道の平面形状特性と蛇行度, 相対水深を用いた洪水流の領域区分, 水工学論文集, 第46巻, pp761-766, 2002
- 2) Gary PARKER: 粗粒化について, 土木学会論文集, 第375号/II-6, pp17-27, 1986
- 3) 福岡捷二, 小俣篤, 加村大輔, 平生昭二, 岡田将治: 複断面蛇行河道における洪水流と河床変動, 土木学会論文集, No.621/II-6, pp11-22, 1999
- 4) 平野宗夫: armoringをともなう河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp55-65, 1971
- 5) 池田駿介, 山坂昌成, 千代田将明: 混合砂礫床一様湾曲流路の平衡横断形状と Sorting について, 土木学会論文集, 第375号/II-6, pp151-160, 1986

(2003. 4. 11受付)