

河床波の形成・発達に関する研究

Experimental investigation of generation and development of sand waves

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 福島聡(Satoshi Fukushima)
北海道大学大学院工学研究科 正 員 清水康行(Yasuyuki Shimizu)
北海道大学工学院工学研究科 学生員 旭一岳(Kazutake Asahi)

1. はじめに

河道は河川自身が流送した土砂により形成され、流れとともに土砂も絶えず移動する、土砂移動を伴う河川を移動床河川といい、流れとともに流送される土砂を流砂という。

移動床河川においては、流水と流砂の相互作用の結果として、河床が様々な形に変化する。このときの河床の形を総称して河床形態という。

河床の形態は「小規模河床形態」と「中規模河床形態」とに大別される。小規模河床形態とは水深との相関により規定される河床の凹凸の状態のことをいう。一方、中規模河床形態は河床形態のうち、水深と河幅の比のよって規定される凹凸の状態をいう。本研究では小規模河床波がもたらす抵抗を研究の対象とする。小規模河床波の一例を図-1に示す。

移動床水路では河床材料、河床勾配、そして流量などの水理条件によって河床の形状が変化する。流れの抵抗は河床形状と密接に関係しており、したがって移動床水路の抵抗は河床材料特性と水理条件の影響を強く受ける。つまり河床波は水理条件と河床砂の特性により様々な形状が形成されるのだが、その形状によって流れに及ぼす抵抗が異なるから、どのような水理条件のもとで、どのような河床状が現れるかを明らかにすることは重要である。抵抗を知ることは、水深を知ることにつながり、洪水対策としての堤防設計の指針となる。

このような抵抗変化の機構の解明と予測手法の確立は、古くから河川工学上最も重要な課題の一つとされている。その目的は河川における水位と流量の関係、さらには流送土砂量の推定における精度の向上にある。

従来の主なデータ収集方法は、河床と水路全体平均でまとめられたデータに基づくものであり、それらデータによって解析されてきた。

一方、近年ではデジタルビデオカメラの小型軽量化、低価格化やコンピュータによって、比較的安価かつ簡便にデジタル動画像の記録とコンピュータによる画像処理ができるようになってきた。

そこで、本研究ではデジタルビデオカメラを用いて、河床波の形状変化の様子を撮影し、時々刻々変化する河床波およびそれに対する流れの解析を、録画された画像を用いて行った。従来においては、水位測定など短時間で実験装置全域を測定できないために正確な値を得るのが困難だったデータを、一般的な

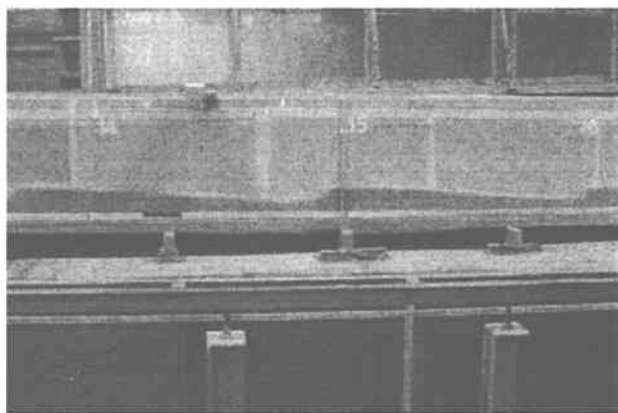


図-1 河床波

デジタルビデオカメラを用いて簡便かつ高精度で計測し解析することを目的とする。

さらに、それぞれの組み合わせによる河床形態と映像との関係をまとめることも有効なデータになると考え、ビデオをライブラリーに整理し、まとめる。したがって本研究はこれらの結果について報告するものである。

2. 実験方法

実験に用いた水路は、両壁面が高さ 30 cm、幅 10 cm、長さ 30mの亚克力製で出来ており、可変勾配の傾斜台の上に固定した。傾斜台はコンピューター制御で自由に勾配を設定することが出来る。また、流量設定には、デジタル流量計がついたポンプを使用した。

下流端では低下排水の影響を、上流端では水路への流入による急縮の影響を考慮して、上流・下流から延長 10m、高さ 5 cmの固定床区間を水路に設置した。

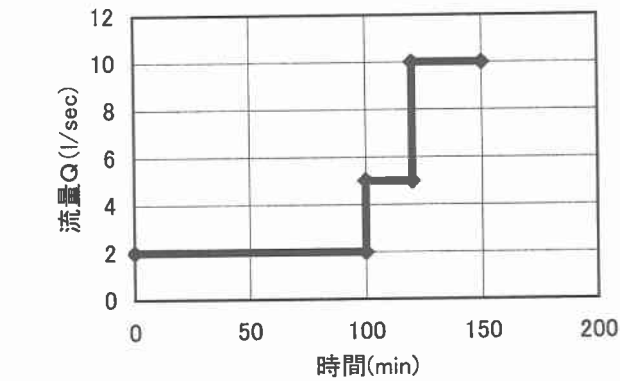
給砂は上流端の固定床と移動床との境の部分において手動で行った。

実験水路には径砂 6 号の平均粒径 0.28 mmの砂を 5 cm厚で敷いた。粒径の分布状態を表した粒径加積曲線を図-2に示す。粒径加積曲線とは、粒径の分布状態を粒径とその粒径より小さい粒子の質量百分率の関係を示したものである。

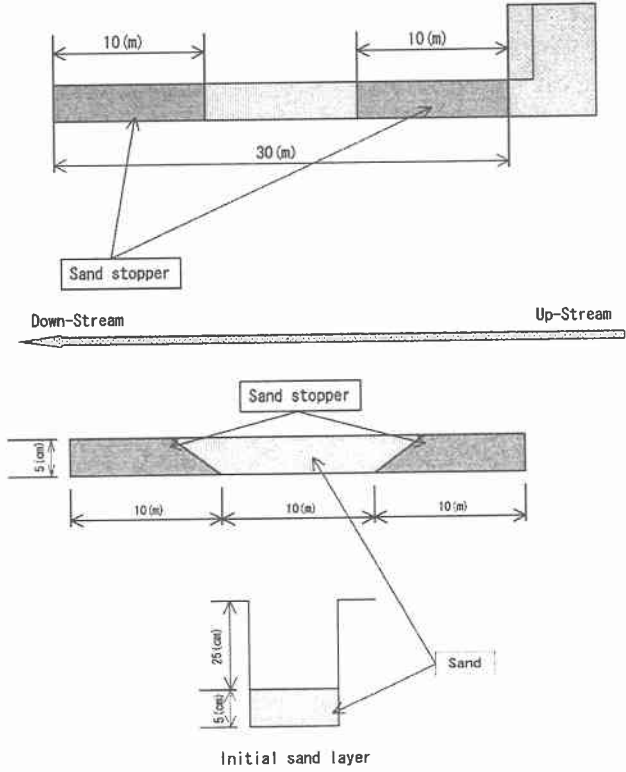
実験は、水路勾配一定のもとで、幾つかの流量との組み合わせで行った。河床の初期形状は平坦床からスタートし、実験を行った。それら各組み合わせに対する河床状態を観察し、デジタルビデオカメラで撮影し

た.それらデジタル動画画像から得られるデータを用い、高精度な計測と解析を行う。実験装置の概略は図・3に示す。

実験は表－1に示す Case・1 から Case・5 の条件によって行った。このうち Case・1 から 4 は定常流量により行われ、Case・5 は図－4 に示すような階段状の非定常流量により行われた。いずれの条件でも通水直後 10 分程度ではば定常と見なされる砂堆が確認され、一定速度での移動が見られた。実験中に撮影されたデジタルビデオ画像より平均的な水理量および砂堆の形状特性量を表－1 および表－2 に示す。



図・4 Csse・5 における流量と時間の関係



図・3 実験装置

表・1 実験条件と得られたデータ

	勾配		流量(l/sec)	平均水深(cm)	フルード数	波長(cm)	波高(cm)
	I		Q	h	Fr	λ	Δ
Case・1	0.002		1.5	8.1	0.212	16.5	2.5
Casa・2			2.0	9.7	0.211	20.5	3.0
Case・3			3.0	12.2	0.317	23.0	3.5
Case・4			10.0	16.2	0.499	64.0	5.3
Case・5	0	0.002	2.0	8.34	0.265	18.9	5.1
	100		5.0	17.4	0.220	52.0	5.2
	120		10.0	16.9	0.460	67.5	6.1

平均粒径 d =0.28 (mm)

n	u_* (cm/s)	ϕ	ks(cm)	τ^*	Re	τ^*c	h/λ	Δ/h	ψ
0.045	3.984	4.648	13.921	0.351	11.046	0.140	0.422	0.321	0.351
0.027	3.730	7.551	3.815	0.307	10.342	0.140	0.346	0.437	0.307
0.031	4.360	7.093	6.261	0.420	12.088	0.140	0.551	0.309	0.420
0.022	5.635	10.955	2.228	0.701	15.621	0.140	0.253	0.327	0.701
0.036	4.043	5.931	8.572	0.361	11.209	0.140	0.441	0.612	0.361
0.049	5.840	4.921	26.808	0.753	16.190	0.140	0.335	0.299	0.753
0.023	5.755	10.281	3.043	0.732	15.955	0.140	0.250	0.361	0.732

3. 測定方法

各実験ケースにおいて通水後充分に時間をおき、水理状態および砂堆の移動が平衡状態に達したと思われる時点の静止画像より、水深、波高および波長の測定を行った。ここで、見かけ上、河床形状が変化しないで安定しながら水路を動いていく状態を平衡状態とした。

測定位置は低下排水の影響が少ないと考えられる、ちょうど実験水路の中心部分の上流端から 14m～16mを測定区間とした。水深を測定区間 5cmおきに測定し、計 25 点の平均値を平均水深 h とした。また、隣り合う谷から谷までを波長、河床の峰から下流の谷までの落差を波高と定義した。

測定された水量より、各種の水理特性量を求めた結果を表-2に示す。

3. 測定結果

表-1, 表-2の実験諸量をもとに、各種の河床波特性量のプロットを行った。その結果を以下に示す。

以下、Case-5での0(min), 100(min), 120(min)からの実験をそれぞれ Case-5-a, Case-5-b, Case-5-cと呼ぶことにする。実験 Case-5の他の実験との大きな違いは、河床を初期状態の平坦床にせず流量を変化させているところである。

図-5は流量と水深、図-6は流量とマンニングの粗度係数の関係である。図中の番号1から4は定常流量実験 Case-1から Case-4を示し、a,b,cは非定常実験の Case-5-aから cを示す。図-5によれば流量の増加に伴い一旦水深は増加するが、5 l/s をピークとして水深が減っている。この結果、図-6に示すマンニングの粗度係数も流量 5 l/s をピークとして減少する傾向が見られる。

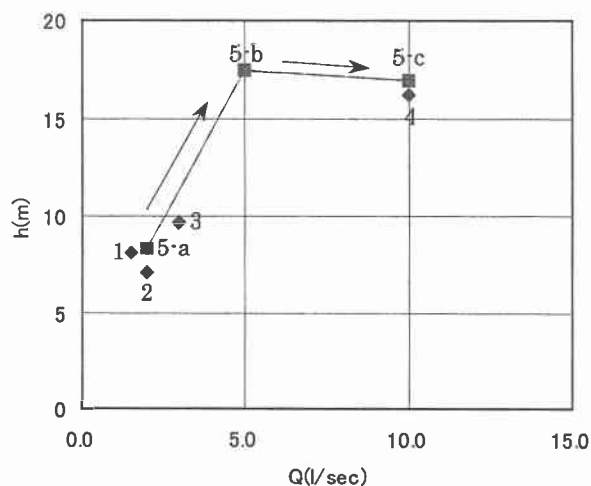


図-5 流量と水深の関係

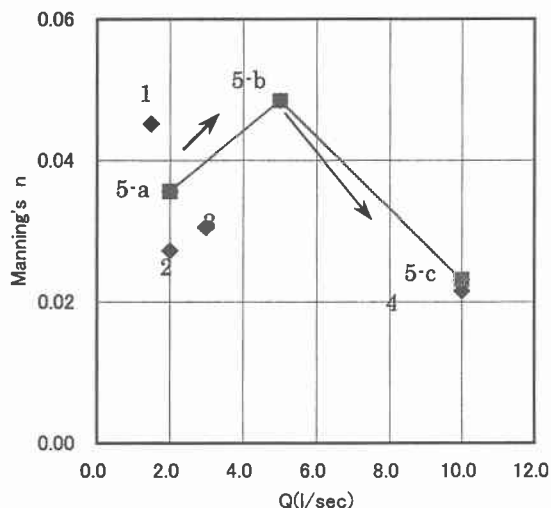


図-6 流量とマンニングの粗度係数の関係

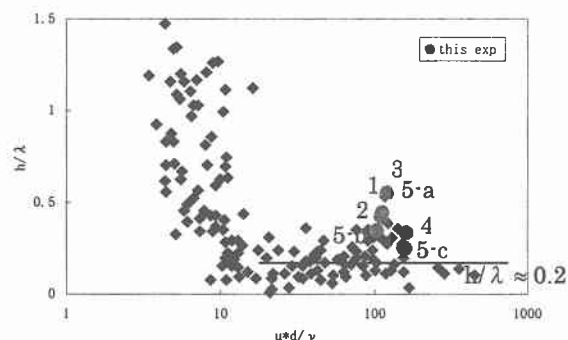


図-6 河床波の波長と砂粒 Re 数との関係

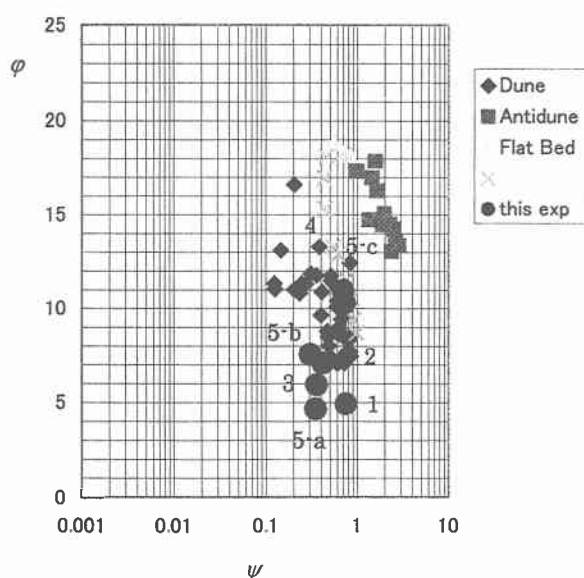


図-7 移動床における流速係数 ϕ と掃流力および相対水深との関係

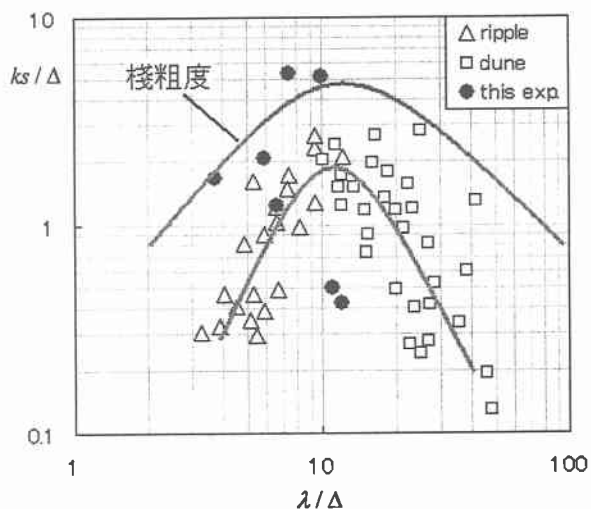


図-8 河床波の相当粗度とスケールとの関係

4. おわりに

本研究ではデジタルカメラを用いて解析していくことを主目的として進めていったのだが、各領域区分図に実験データをプロットしてみると幾つかのズレが生じていた。このことは更なる実験の計測方法と解析方法を考察すべきだと結論づけられるであろう。今後は解析精度をあげ、河床波の特性を明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 学会：水理公式集
- 2) 岸力、黒木幹男：移動床流における河川形状と流体
川秀夫：流砂の水理学、丸善株式会社
- 3) 土木抵抗 (I)