

移動床下の漂流物を伴う氾濫流に関する実験*

秋田大学 相馬崇志 東 美樹 松富英夫

1. はじめに

2004年インド洋津波では、漂流物を伴う氾濫流が、人や建物に甚大な被害を与え、話題となった。防災・減災を考える上で、漂流物を伴う氾濫流の基本特性を理解する事は必須である。

松富ら(2008)は、固定床での水理実験を行い、提案した水理量評価法による実験値を用いて既報理論(松富ら, 2007)の適用性、また、実験値と既報理論を基に対象氾濫流の基本特性を検討した。本研究では、固定床での水理実験に加えて移動床での水理実験を新たに行い、固定床と移動床の対象氾濫流に対して既報理論の適用性を検討し、固定床と移動床における対象氾濫流の基本特性を比較・検討する。

2. 実験

実験装置の概略、測定機器の配置と諸記号の定義を図-1に示す。実験水路は両面ガラス張りの鋼製矩形水路で、氾濫流はゲート急開流れで模擬し、貯水深 h_1 は20と30cmの2通りである。漂流物には漂流物群間の空隙率 e ($=1-\text{全漂流物の占有面積}/\text{漂流物配置域の面積}$)の評価が容易な断面1.8cm×1.8cm、長さ $L_w=1.8, 5.4, 10.8$ cm(それぞれ、L1, L3, L6と記す)の白木材を用いた(図-2)。実験中に漂流物の密度 ρ_0 が変化しないように、予め90分以上水に浸しておいた(表-1)。ここで、湿潤時の漂流物と底面間の静止摩擦係数は、移動床と固定床でそれぞれ0.48と0.66であり、乾燥時はそれぞれ0.49と0.30であった。湿潤時の固定床での静止摩擦係数が乾燥時のそれより大きくなった原因は、表面張力によると考えられる。移動床はゲート上下流域の全域に深さ5cmとなるように砂を敷き詰め、漂流物はゲート下流域の全域に一層かつ向きはランダムに配置した。

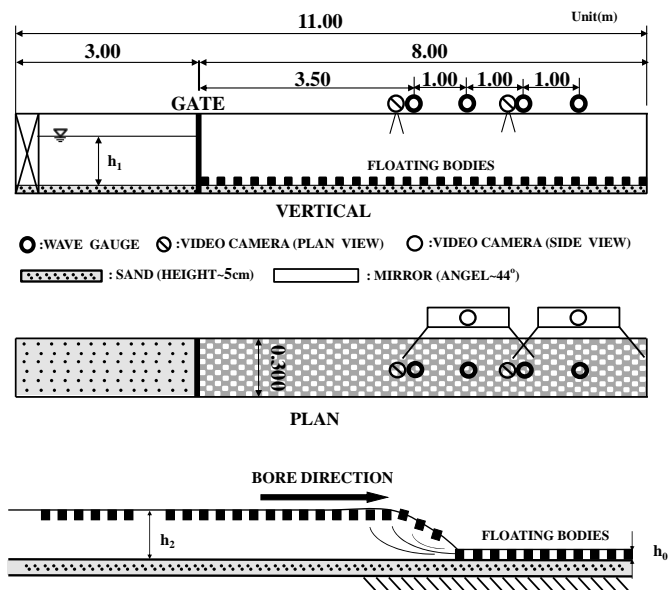


図-1 実験水路、測定機器の配置と諸記号の定義

表-1 時間経過による漂流物の比重の変化

t (min)	0	1	5	10	30	60	90	120
比重(L1)	0.45	0.51	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
比重(L3)	0.52	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58
比重(L6)	0.53	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59

* Experiments on inundation flow with floating objects under the condition of a movable bed

表-2に実験条件を示す。実験条件は全部で12パターンあり、各パターン3回ずつ実験を行った。砂は粒径分布が実験ごとに同一になるよう、実験前に毎回砂全体を攪拌させた。

測定項目は、超音波式変位計（株式会社キーエンス、UD-500）による観察断面（ゲートから3.5、5.5 mの位置）での氾濫水深 h_2 と氾濫伝播速度 ω 、水路上方からのビデオ撮影による観察断面での漂流物移動速度 u_2 、水路側方に設置した鏡の反射を利用して鏡上方から水路側面を撮影したビデオ映像による観察断面での漂流物域層の縦断面積 A である。

3. 砂の粒径について

本研究では実験前と実験後に、使用する砂を JIS Z 8801 に規定されている金属製網ふるい 2 mm, 850 μm , 425 μm , 250 μm , 106 μm を用い、JIS A 1204 に沿って粒度試験を行った。実験前の砂の採取場所は、ゲート上流 2 m 地点・ゲート地点・ゲートから下流方向に 2 m ずつの地点の計 6 か所である。実験後の採取場所は上記の 6 か所に加え、水路から流出した砂も採取している。ここで、実験前に粒度試験をする理由として 2 つ挙げる。1 つ目は、長期間にわたり実験を行っていくことにより、各採取場所の砂の粒径分布に変化が生じているか否かを確認するためである。つまり、全実験を通して同一粒径分布の移動床を確認するためである。実験回数を重ねるにつれて各採取場所の粒径分布が大きく異なってしまうと、砂の粒径分布が全実験を通して一致しなくなり、同一条件の移動床ではなくなる。その確認例として、貯水深 30 cm, 空隙率 0.8 の場合の漂流物長ごとの実験での粒径加積曲線を図-3 に示す。これより、本実験の移動床は同一粒径分布を持った移動床であることが判る。2 つ目は、1 回 1 回の実験において砂の各採取場所で粒径分布に変化が生じているか否かを確認するためである。これも 1 つ目の理由と同様、各実験の各採取場所で粒径分布が大きく異なってしまうと同一粒径分布の移動床ではなくなってしまう。このような確認は怠ってはならない。実験後の移動床の変動や粒径分布の変化の詳細については別の機会に報告する。

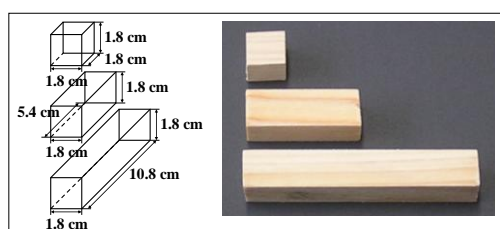


図-2 漂流物模型

表-2 実験条件

h_1 (cm)	L_w (cm)	e	砂層厚 (cm)	漂流物初期配置
20, 30	1.8, 5.4, 10.8	0.7, 0.8	5	一層, ランダム

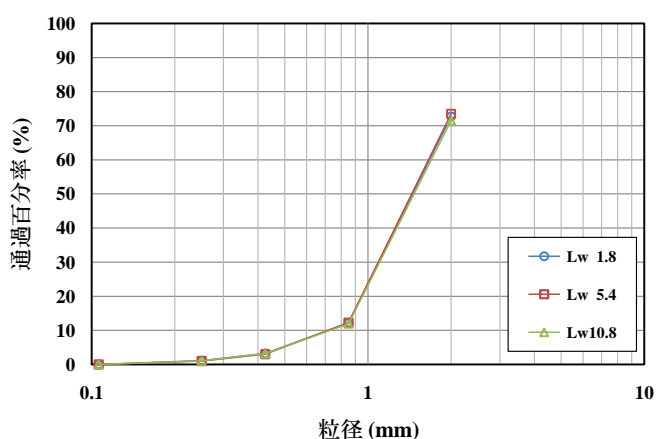


図-3 使用した砂の粒径加積曲線

4. 実験結果

本研究では、松富ら（2008）が提案した水理量評価法に基づいて実験結果を得ている。また、ゲートから 3.5 m の観察断面での実験結果について論じる。

図-4 に移動床での汜濫水深 h_2 と空隙率 e の関係について示す。固定床と移動床を同じ実験条件下で比較した場合、汜濫水深 h_2 は移動床の方が固定床よりも大きな値をとる傾向になった。これは、固定床での漂流物域層の抵抗よりも移動床での抵抗が大きいことになる。汜濫流先端の漂流物域層の抵抗が汜濫流を堰上げ、その結果、汜濫流上流域の汜濫水深に影響を与えるものである。

図-5 に移動床での漂流物移動速度 u_2 と空隙率 e の関係、図-6 に移動床での汜濫伝播速度 ω と空隙率 e の関係について示す。固定床と移動床を同じ実験条件下で比較した場合、漂流物移動速度・汜濫伝播速度ともに固定床の方が移動床よりも大きな値をとる傾向になった。これも汜濫水深同様、汜濫流先端の漂流物域層の抵抗に依存している。漂流物と底面間の静止摩擦係数（移動床では 0.48 と固定床では 0.66）を見た場合、固定床の方が大きい値となり、故に速度が移動床より遅くなるであろうと想定できるが、実験結果は逆となった。湿潤し、直方体に整形された漂流物とペンキ塗装された鋼の固定床間の静止摩擦係数は特殊な条件下のものと考えられる。

図-7 に移動床での漂流物域縦断面積 A と空隙率 e の関係について示す。漂流物縦断面積は上記の 3 つの水理量とは異なり、実験条件によって移動床と固定床での値の大小の傾向に違いがあった。

図-8 に移動床での漂流物域層長 L_{exp} と空隙率 e の関係について示す。固定床と移動床を同じ実験条件下で比較した場合、漂流物域層長は固定床の方が移動床よりも大きな値をとる傾向になった。 $L_{exp}=A/h_2$ として評価しているため、漂流物域縦断面積 A と汜濫水深 h_2 に依存する。 A は移動床と固定床で傾向に違いがあったが、 h_2 は移動床の方が大きい傾向になっていたので、漂流物域層長の傾向は妥当である。

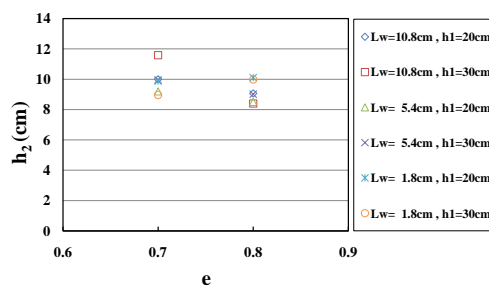


図-4 汜濫水深と空隙率の関係

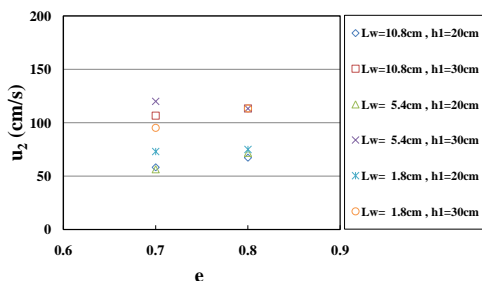


図-5 漂流物移動速度と空隙率の関係

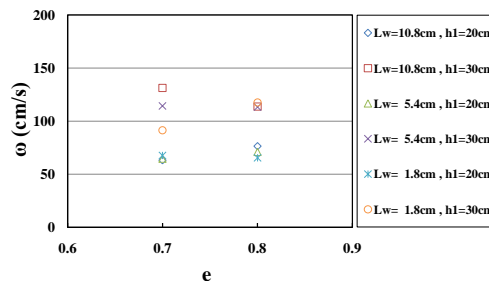


図-6 汜濫伝播速度と空隙率の関係

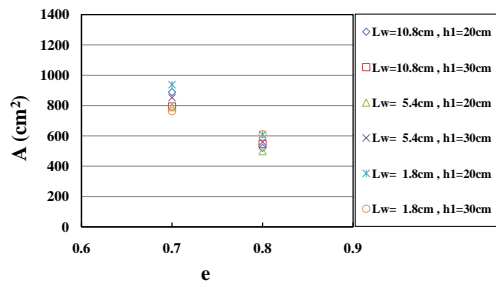


図-7 漂流物域層縦断面積と空隙率の関係

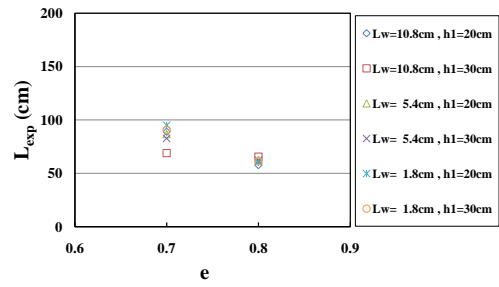


図-8 漂流物域層長と空隙率の関係

5. 理論の適用性

移動床と固定床の対象氾濫流に既報理論が適用できるかを検討するため、理論式の氾濫水深に実験値を用いて、氾濫伝播速度 ω の実験値と理論値を一致させた場合の漂流物移動速度 u_2 の実験値と理論値の比較 (図-9, 図-10), 同様に漂流物移動速度 u_2 の実験値と理論値を一致させた場合の氾濫伝播速度 ω の実験値と理論値の比較 (図-11, 図-12) を行った. どちらの比較でも, 移動床と固定床で多少一致度に違いがあるものの実験値と理論値はほぼ一致したので, 既報理論が適用可能と言える.

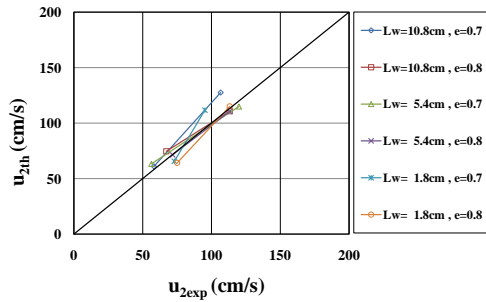


図-9 漂流物移動速度の実験値と理論値の比較 (移動床)

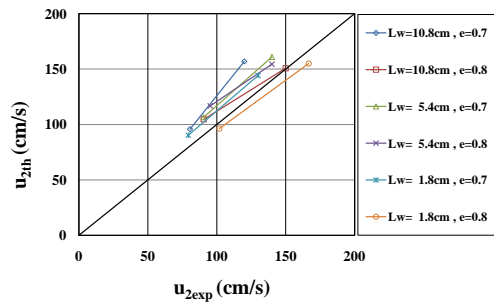


図-10 漂流物移動速度の実験値と理論値の比較 (固定床)

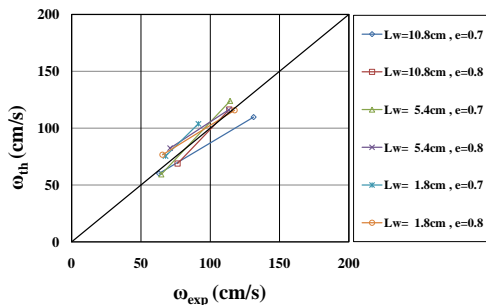


図-11 氾濫伝播速度の実験値と理論値の比較 (移動床)

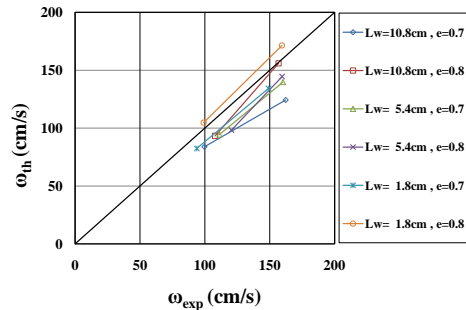


図-12 氾濫伝播速度の実験値と理論値の比較 (固定床)

6. 基本特性

実験値と既報理論を用いて、対象氾濫流の基本特性について検討する。

理論式の氾濫水深に実験値を用い、漂流物移動速度と氾濫伝播速度が実験値と理論値の一致度で比率的に同程度になるようにして決めた総合抵抗係数 $\mu\rho_a L/\rho_0 h_0$ と空隙率 e の関係について図-13、図-14 に示す。移動床での総合抵抗係数は 3.50-4.83，固定床での総合抵抗係数は 1.70-3.85 という値になり、移動床と固定床とも空隙率が大きくなるにつれて総合抵抗係数は小さくなる傾向にあった。しかし、漂流物長及び貯水深による影響は認められなかった。

図-15、図-16 に氾濫水深の総合抵抗係数への依存性を示す。総合抵抗係数に対する氾濫水深を見ると、移動床の方が大きい傾向になった。これより、移動床での氾濫流の方が固定床より抵抗が大きいことが判る。図-17、図-18 に漂流物移動速度の総合抵抗係数への依存性、図-19、図-20 に氾濫伝播速度の総合抵抗係数への依存性を示す。まず、データのまとまりがよいことが判る。また、移動床の方が総合抵抗係数が大きい分、漂流物移動速度や氾濫伝播速度が小さくなる傾向になった。

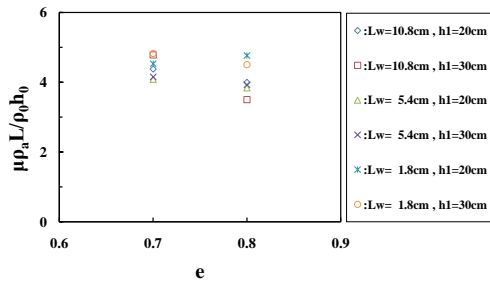


図-13 総合抵抗係数の空隙率への依存性 (移動床)

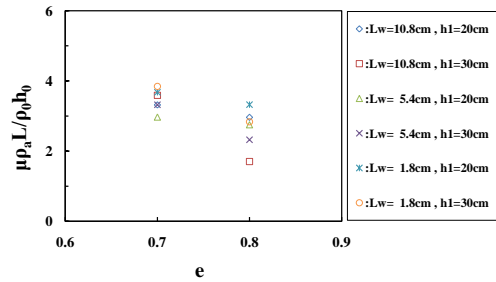


図-14 総合抵抗係数の空隙率への依存性 (固定床)

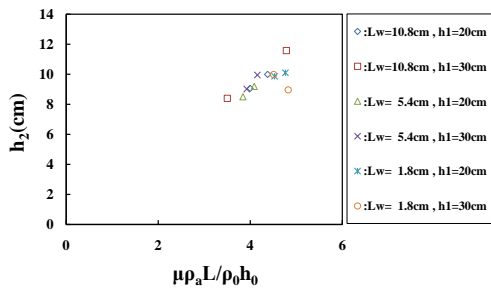


図-15 氾濫水深の総合抵抗係数への依存性 (移動床)

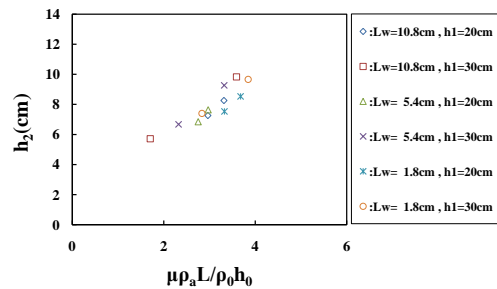


図-16 氾濫水深の総合抵抗係数への依存性 (固定床)

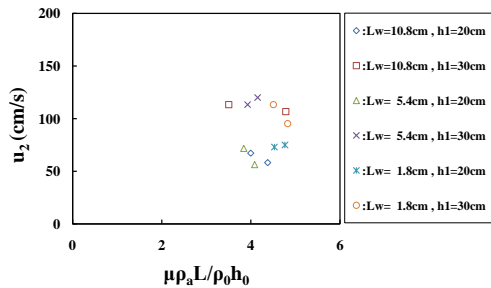


図-17 漂流物移動速度の総合抵抗係数への依存性(移動床)

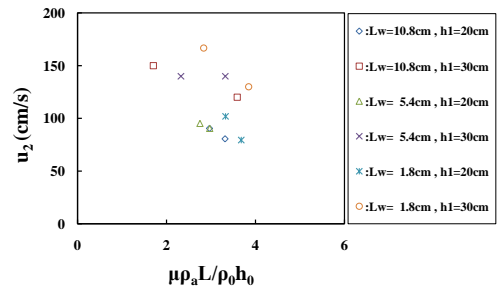


図-18 漂流物移動速度の総合抵抗係数への依存性(固定床)

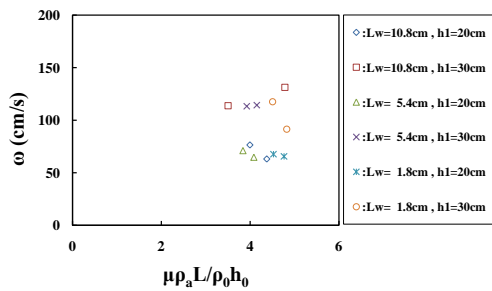


図-19 氾濫伝播速度の総合抵抗係数への依存性(移動床)

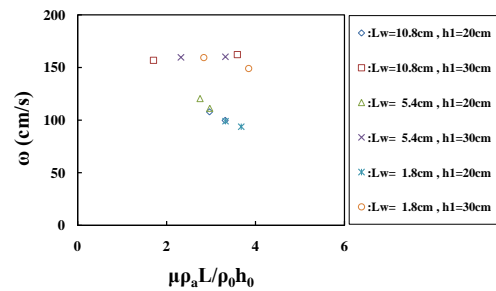


図-20 氾濫伝播速度の総合抵抗係数への依存性(固定床)

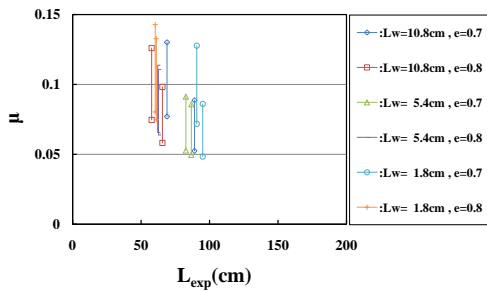


図-21 合成摩擦係数の漂流物長への依存性(移動床)

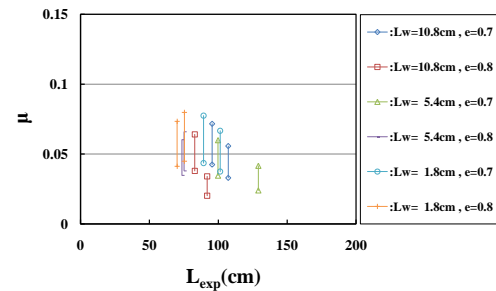


図-22 合成摩擦係数の漂流物長への依存性(固定床)

図-21, 図-22 に合成摩擦係数 μ の漂流物域層長への依存性を示す. ここで, 合成摩擦係数 μ は総合抵抗係数 $\mu\rho_a L/\rho_0 h_0$ において, L に実験値 L_{exp} を用い, 漂流物域層の密度 ρ_a に ρ_0 と ρ (ρ は水の密度) を用いて算出した. 図に上限値と下限値があるが, これは ρ_a に ρ_0 と ρ を用いているからであり, ρ_0 で上限値, ρ で下限値を得る. 移動床での合成摩擦係数 μ は 0.05-0.14, 固定床での合成摩擦係数は 0.02-0.08 となり, 移動床の方が抵抗が大きいことが判る.

7. おわりに

本研究では, 既報 (松富ら, 2008) の水理量評価法に基づき実験値を得て, 移動床と固定床への既報理論の適用性の検討, 実験値と既報理論を用いて基本特性を比較・検討した結果, 次のことが判った.

- ①既報理論の適用性において, 移動床と固定床で多少一致度に違いがあったが, 移動床と固定床ともに既報理論の適用が可能である.
- ②総合抵抗係数と合成摩擦係数の結果から, 固定床より移動床での氾濫流の方が漂流物による堰止め効果が大きい.

参考文献

- 松富英夫・藤井 碧・山口 健: 漂流物を伴う氾濫流の基礎実験とモデル化, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.226-230, 2007.
 松富英夫・古戸貴大: 漂流物を伴う氾濫流の水理量評価法と基本特性, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.356-360, 2008.