

津波の遡上高や土砂堆積厚などのシールズ数への依存性

秋田大学 学生員 ○今野史子 久保田友寛 岡田隼人 正員 松富英夫

1. はじめに 著者らは津波荷重評価の高度化を目指して津波氾濫水密度 ρ （または比重 $=\rho/\rho_w$ 、 ρ_w は水の密度）の津波入射フルード数 F_{ri} への依存性を、津波規模評価の高度化を目指して無次元の津波遡上距離 L_R/L_{RW} 、土砂堆積域長 L_{RS}/L_R 、平均土砂堆積厚 Z/L_{RS} の津波氾濫水密度への依存性を検討してきた¹⁾。本研究は津波荷重評価や津波規模評価の高度化を目指して、既報実験データ¹⁾の妥当性の検証とともに、無次元の津波遡上距離、土砂堆積域長、平均土砂堆積厚のシールズ数への依存性を検討する。

2. 実験

2.1 土砂 「本実験」における土砂は宮城県仙台市の荒浜海岸で採取したものを使用した。表-1に実験ケース毎の実験前土砂の粒度特性例を示す。

2.2 実験方法 津波氾濫流はすべり台上端の水平部にゲート付きの貯水槽を設置し、ゲート急開流れで模擬した。ゲート水平部の高さは水平水路部の底面から0.5 m、水路幅は0.3 m、貯水槽の諸元は高さ0.5 m、幅0.3 m、奥行0.45 mとし、貯水深 h_D やすべり台の斜面勾配 S_1 、水平水路部の初期土砂層域長 L_S 、初期土砂層厚 h_T 、上り勾配斜面の高さ h_S と斜面勾配 S_2 、上り勾配斜面下流端とメスシリンダー群先端間の水平距離 L_G と鉛直距離 L_V 上り勾配斜面に続く緩斜面の長さ L_{RS} と斜面勾配 S_3 、メスシリンダー群の傾き S_4 は「予備実験」を経て決定した。水理量評価のため、初期土砂層域の上下流端に超音波式水位計（株）KEYENCE、UD-500）を設置した（図-1参照）。水位計間の距離は3.18 mで、各水位計位置の水路底面位は同じである。また、氾濫流にマッハ波を形成させ、マッハ角から入射氾濫流のフルード数 F_{ri} を評価するため、初期土砂層域中心部の土砂層表面から2.0 cm上方にポイントゲージの先端とその横の水路側壁に横幅0.2 cm、奥行0.4 cmの水路底面まで達する微小角柱を設置した。さらに、上方や側方からビデオ撮影を行うことにより、水平水路部や緩斜面面における流況観察と氾濫流先端移動速度、ポイントゲージ設置位置における非先端部の氾濫水深、マッハ角を評価した。実験水路の概略（水路側壁は省略）、測定器具（メスシリンダー群、超音波式水位計、ポイントゲージ、微小角柱）の配置などを図-1に示す。

2.3 解析方法 a) 氾濫水密度実験 氾濫水はすべり台を流下し、水平水路部で土砂を巻き込み空中に飛出す。空中に飛出した土砂水は落下域において直角に設置したメスシリンダー群（水路横断方向の行に6本、流れ方向の列に6本、外径56 mm、内径54 mm、秤量500cm³）に採取される。あらかじめ各メスシリンダーの重量を量り、土砂水が飛込んだ後の各メスシリンダーの重量を量れば、土砂水の体積はメスシリンダーから直接読み取ることが

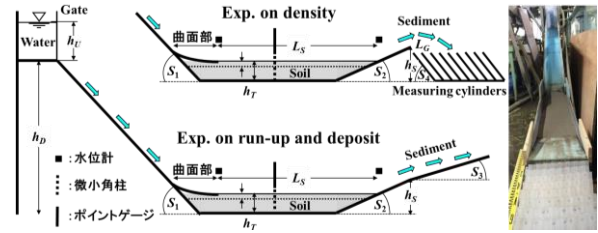


図-1 実験水路の概略、測定器具の配置と諸記号の定義

表-1 「本実験」における実験前土砂の粒度特性例

実験ケース	土砂採取地	中央粒径 d_{50} (mm)	均等係数	曲率係数
Case 1	仙台市荒浜海岸	0.25	1.50	1.00
Case 2		0.25	1.37	0.98
Case 3		0.25	1.37	0.98
Case 4		0.28	1.50	1.04
Case 5		0.25	1.42	0.94
Case 6		0.24	1.44	0.94

表-2 「本実験」の実験条件

Case	h_D (m)	h_U (cm)	S_1 (°)	L_S (m)	h_S (cm)	S_2 (°)	S_3 (°)	S_4 (°)	L_G (cm)	h_T (cm)	M_{SD} (kg)
Case1	0.5	25	8	3.01	8	5	3.5	90	$L_V = 11.5$	0.5	10.5
Case2										1	15.5
Case3										2	25.5
Case4										6	73.0
Case5		20								6	73.0
Case6		30								6	73.0

できるので、メスシリンダー内の土砂水の密度が評価できる。

b) 遡上距離・土砂堆積実験 すべり台を流下し、水平水路部で土砂を巻き込んだ氾濫水は下流端の高さの低い上り勾配斜面に続く一様勾配の緩斜面を遡上する。上り勾配斜面以後の緩斜面域は平面形が舌状の土砂堆積域とその上流の非常に厚さの薄い、水路床を汚す程度の土砂堆積域に大別される。本研究では舌状部を有意な土砂堆積域と判断し、流れ方向は5 cm間隔、水路横断方向は8等分して、ポイントゲージにより格子状に堆積厚を測定する。

c) シールズ数 入射氾濫流のシールズ数は、抵抗則として広矩形開水路の粗面則、氾濫流速として上下流端の水位計から得られる水路底面からの高さ0.5、1.0、1.5 cmの3点から得られる波形伝播速度の平均速度、氾濫水深として上下流端の最大水深（後述の図-2の矢印点）の平均水深、土砂の水中比重として1.65、代表粒径として中央粒径 d_{50} を採用して評価する。

2.4 実験条件 「本実験」の実験条件を表-2に示す。表中、 M_S は実験において初期に水平水路部に敷詰めた土砂の全質量で、他の記号については図-1を参照されたい。

実験では炉乾燥後に自然放置して冷ました土砂を水平水路部に敷詰めた。実験回数は各ケース1回とした。

キーワード: 遡上, 土砂堆積, 津波, 実験

連絡先(〒010-8502 秋田市手形学園町1-1 TEL 018-889-2363)

表-3 実験結果（()内はメスシリンダー毎の算術平均）

実験 ケース	h_T (cm)	平均氾濫 水 密 度 ρ (g/cm ³)	相対遡 上距離 L_R/L_{RW}	土砂堆 積距離 L_{RS} (cm)	平均土砂 堆 積 厚 Z (cm)	入射フルード数			シールズ数
						マッハ角 (側壁)	マッハ角 (中央)	先端移動速度利用	
Case 1	0.5	1.089 (1.071)	121/186.5	82	0.23	2.34	3.12	2.28	1.78
Case 2	1	1.082 (1.063)	120/186.5	90	0.29	2.29	3.20	2.97	1.90
Case 3	2	1.080 (1.059)	109/186.5	75	0.22	2.11	3.12	2.76	1.91
Case 4	6	1.084 (1.051)	95/186.5	76	0.29	2.28	2.56	2.67	1.94
Case 5	6	-	-	24	0.12	2.29	2.52	2.09	1.13
Case 6	6	-	-	122	0.43	2.75	3.91	2.64	2.21

3. 実験結果と考察

3.1 採水体積，密度と土砂堆積厚，シールズ数 図-2

に初期土砂層域の上下流端における氾濫水深 h (=水面位) の経時変化例を示す。実験ケースの時間 $t=0$ は任意に決めている。図中の矢印は上下流端の最大氾濫水深である。図-3にメスシリンダーによる氾濫水の採水体積(左)、密度 ρ (中央) と緩斜面上における土砂堆積厚(右)の平面空間分布例を示す。各図、左 (Row 1) が海側、右が陸側である。表-3に採水した氾濫水の全量から評価した平面空間平均の氾濫水密度、氾濫水の最大遡上距離 (分母は清水の場合)、最大土砂堆積距離、平面空間平均の土砂堆積厚 (以下、平均土砂堆積厚)、既述の3方法に基づく本研究実験の入射フルード数とシールズ数の評価結果を示すに関する実験結果を示す。()内はメスシリンダー毎に評価した氾濫水密度を平均した値を表す。

3.2 シールズ数への依存性 図-4と5に入射津波のシールズ数と津波氾濫水密度、無次元の津波遡上距離、土砂堆積域長、平均土砂堆積厚の関係を示す。これらの図の解釈においては、初期の総土砂量が調整されているところに、同条件の氾濫流が入射していることに注意を要する。例えば、図-4 (左) によると、シールズ数が小さくなるにつれて、密度が大きくなっている。これは、入射津波条件 (流入エネルギー) が一定で、初期の総土砂量が制限されているためであり、氾濫流が土砂を多く含めば、流勢 (エネルギー) を失い、自ずとシールズ数も小さくなる。したがって、無次元遡上距離は短くなり (図-4 (右))、無次元土砂堆積域長は長くなり (図-5 (左))、無次元平均土砂堆積厚は厚く (図-5 (右)) なる。これらは全て物理的に道理に適ったものである。

初期の総土砂量を同じ (水路底面が露出することのない $h_T=6$ cm) にし、入射津波条件を変えた場合の実験結果例を図-6に示す。流入エネルギーが大きくなるにつれて、シールズ数が大きくなるが、無次元平均土砂堆積厚は薄くなる傾向にある。これは流入エネルギーが大きいほど土砂堆積域長が長くなり、それに比べると平均土砂堆積厚が増加しないためと考えられる。

4. おわりに 主な結果として以下を得た。①シールズ数の観点から既報の実験データ¹⁾が物理的に妥当な傾向を持っていることを確認した (図-4と5)。②初期の総土砂量を一定とし ($h_T=6$ cm)、入射津波条件を変化させた実験を通して、シールズ数が増加するにつれて無次元土砂堆積域長は長く、無次元平均土砂堆積厚が薄くなることを確認した (図-6)。

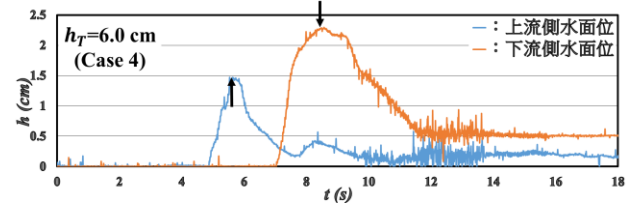


図-2 初期土砂層域の上下流端における氾濫水深 h の経時変化例 (Case 4)

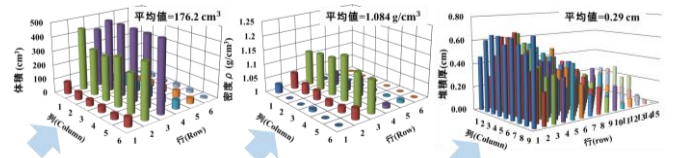


図-3 土砂を含む氾濫水の採水体積(左)、密度 ρ (中央)と緩斜面上の土砂堆積厚(右)の平面空間分布例 (Case 4, $h_T=6$ cm)

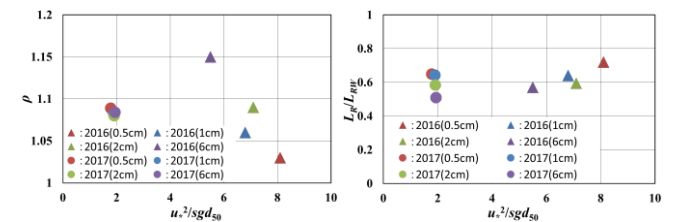


図-4 シールズ数と密度 ρ (左) および無次元津波遡上距離 L_R/L_{RW} (右) の関係

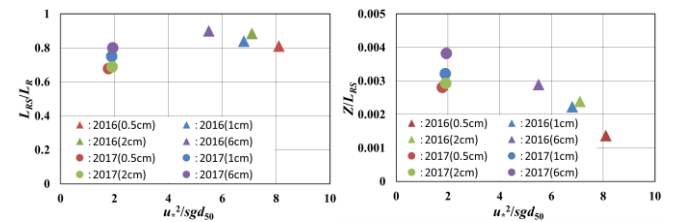


図-5 シールズ数と無次元土砂堆積域長 L_{RS}/L_R (左) および無次元平均土砂堆積厚 Z/L_{RS} (右) の関係

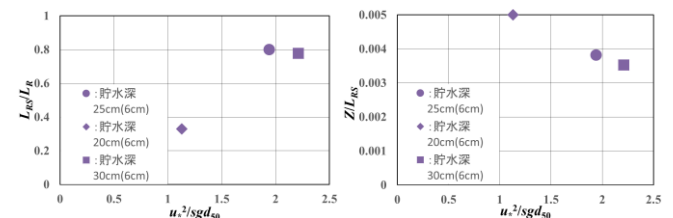


図-6 $h_T=6$ cmの場合のシールズ数と無次元土砂堆積域長 L_{RS}/L_R (左) および無次元平均土砂堆積厚 Z/L_{RS} (右) の関係

参考文献 1)松富, 今野, 後村, 今藤, 鎌滝, 渡邊: 津波氾濫水密度とその遡上距離や土砂堆積への影響に関する定量実験, 土論集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.373-378, 2017. 2) 松富, 今野, 齋川, 鎌滝, 渡邊: 津波氾濫水密度の土砂堆積や遡上高への影響, 土論集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.397-402, 2016.