

津波氾濫水密度の土砂堆積や遡上高への影響*

秋田大学 松富英夫
秋田大学 今野史子
秋田大学 斎川 聖

1. はじめに

津波氾濫水の密度 ρ は津波荷重だけでなく、津波の遡上高（遡上距離）や土砂の堆積状況、例えば堆積厚や津波氾濫域長（面積）に対する土砂堆積域長（面積）の比にも影響すると考えられる。したがって、氾濫水密度は津波の再現計算・想定計算や土砂堆積域長を基礎データとして評価する歴史津波の規模にも影響を与える。しかし、遡上高や堆積厚、土砂堆積域長と津波氾濫域長比の密度依存性を主目的とした研究は実験的にも行われたことがない。

本研究は工夫を凝らした水理実験に基づいて¹⁾、歴史津波の規模評価に影響する土砂堆積厚（分布を含む）、土砂堆積域長と津波氾濫域長比（≤1）、津波遡上高の密度依存性を検討する。

2. 実験

2.1 土砂

土砂は図-1に示す秋田県の西目海岸（「予備実験」で使用）および仙台海岸の2011年東北津波の浸水域（「本実験」で使用）で採取したものを用いた。表-1に実験ケース毎の使用土砂の粒度特性例を示す。粒径加積曲線は後で示す（図-6参照）。「仙台海岸（混合）」は仙台海岸の3地点で採取した使用後土砂の混合を意味する。4種類の土砂の粒度特性に大差はない。

2.2 実験方法

実験水路は簡易に高シールズ数を確保するため、すべり台状の開水路とした。ただし、すべり台の下端には土砂を敷詰める水平水路部を設け、水平水路部の下流端には土砂を含んだ氾濫水を採水するために緩い上り勾配のジャンプ台を、また氾濫水を遡上させるためにそのジャンプ台に引き続き粒径850～2000 μmの砂を貼り付けて粗度を高めた緩斜面を設けた。さらに、すべり台の斜面と水平水路部を滑らかに接続するため、両者の接続部に曲面部を設けた。実験水路の概略（水路の側壁は省略）、測定器具（メスシリンドー群）の配置などを図-2に示す。

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。ゲートはすべり台上端の水平部の斜面開始点直背後に位置する。すべり台上端の水平部の高さは1.2 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0.3 mとし、貯水

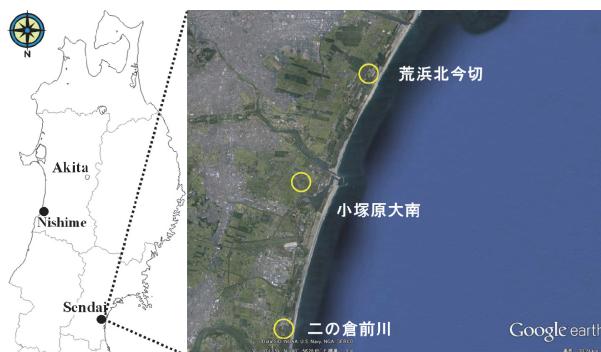


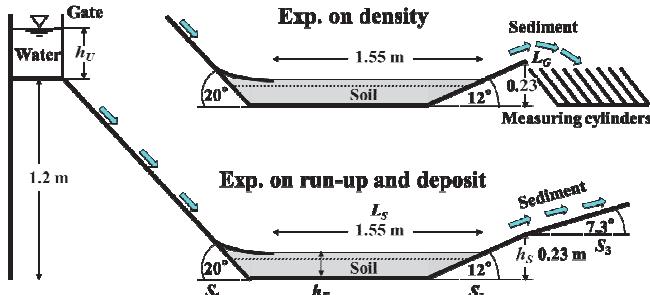
図-1 実験土砂の採取地

* Influence of the density of tsunami flooding water on tsunami deposit and run-up height

by Hideo MATSUTOMI, Fumiko KONNO and Satoru SAIKAWA

表-1 実験前土砂の粒度特性例（密度実験における評価）

土砂採取地	L_T (cm)	中央粒径 (mm)	均等 係数	曲率 係数
荒浜北今切	2	0.28	2.42	1.077
	6	0.32	2.41	1.232
小塚原大南	2	0.31	-	-
	6	0.31	-	-
二の倉前川	2	0.32	2.16	1.272
	6	0.33	2.19	1.116
仙台海岸 (混合)	2	0.28	-	-
	6	0.30	2.56	1.157

**図-2** 実験水路の概略、測定器具の配置と諸記号の定義

深 h_U やすべり台の斜面勾配 S_1 、斜面と水平水路接続部の曲面部の長さ、水平水路部の長さ L_S 、緩い上り勾配のジャンプ台の高さ h_s と斜面勾配 S_2 、ジャンプ台下流端とメスシリンドー群の先端間の距離 L_G 、ジャンプ台に引き続く緩斜面の長さと斜面勾配 S_3 、実験前の土砂厚（量） L_T は試行錯誤して決定した。図-2 に示した実験水路の諸元は試行錯誤後の最終的なものである。

水平水路部と緩斜面部における流況観察と氾濫流先端の移動速度、非先端部の氾濫水深を評価するため、水平水路部と緩斜面部にスケールを並置し、斜め上方からビデオ撮影を行った。

2.3 解析方法

(1) 密度実験

氾濫水はすべり台を流下し、水平水路部に敷詰められた土砂を巻き込み、下流端の緩勾配のジャンプ台を駆け上がり、空中に飛出す。空中に飛出した土砂を含む氾濫水の一部は氾濫水の落下域において手前側へ約 45°傾けて格子状に密に設置したメスシリンドー群（外径 42 mm、内径 40 mm、秤量 250 cm³ のものを流れ方向に 8 本、水路横断方向に 8 本の計 64 本）に飛込む。あらかじめ各メスシリンドーの重量を量り、氾濫水が飛込んだ後の各メスシリンドーの重量を量れば、氾濫水の体積はメスシリンドーから直接読み取ることができるので、氾濫水の密度とその空間分布が評価できることになる。

(2) 土砂堆積・遡上高（遡上距離）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ジャンプ台を駆け上がり、ジャンプ台に引き続く一様勾配の緩斜面を遡上する。ジャンプ台以後の緩斜面域は舌状に伸びた土砂堆積域とその上流域の非常に厚さの薄い堆積域に大別される。舌状部を有意な堆積域と判断し、流れ方向は 5cm 間隔で、水路横断方向は 8 等分（9 測点）して、ポイントゲージにより格子状に堆積厚を測定した。堆積土砂の粒度は舌状部の付け根および中央の横断部と水路中央縦断部の土砂を集積したものを対象とした。

2.4 実験条件

試行錯誤（「予備実験」）後の「本実験」の実験条件を表-2 にまとめて示す。表中、 M_{SD} は

表-2 「本実験」の実験条件

	土砂採取地	h_U (cm)	S_1 (°)	L_S (cm)	h_S (cm)	S_2 (°)	S_3 (°)	L_G (cm)	L_T (cm)	M_{SD} (g)	M_{SR} (g)
Case 1-1	荒浜北今切	25	20	155	23	12	7.3	0	2	15,500	15,500
Case 1-2		25	20	155	23	12	7.3	0	6	42,700	41,600
Case 2-1	小塙原大南	25	20	155	23	12	7.3	0	2	11,500	10,000
Case 2-2		25	20	155	23	12	7.3	0	6	35,300	30,200
Case 3-1	二の倉前川	25	20	155	23	12	7.3	0	2	14,500	17,000
Case 3-2		25	20	155	23	12	7.3	0	6	36,800	38,500
Case 4-1	仙台海岸 (混合)	25	20	155	23	12	7.3	0	2	11,500	9,500
Case 4-2		25	20	155	23	12	7.3	0	6	39,300	39,100

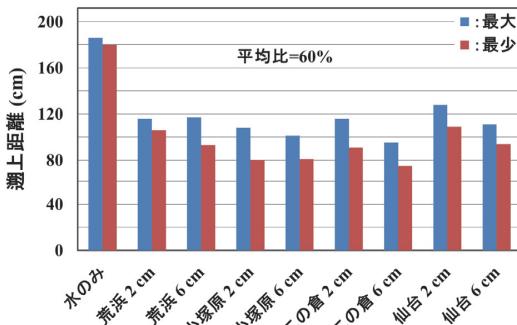
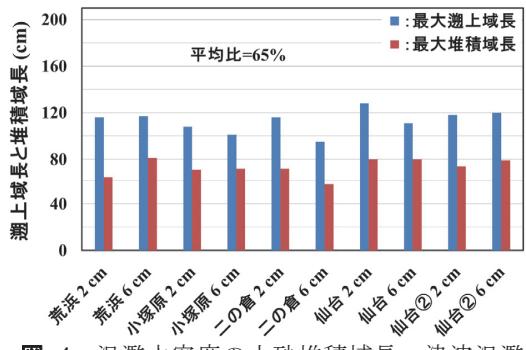
図-3 泡濫水密度 ρ の遡上高（遡上距離）への影響

図-4 泡濫水密度の土砂堆積域長・津波泡濫域長比への影響

密度実験、 M_{SR} は土砂堆積・遡上高実験で使用した土砂の質量である（他の記号は図-2 参照）。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。ビデオ解析から評価した水平水路部における泡濫流先端の移動速度と非先端部の泡濫水深は各々 2.6 m/s と 3.2 cm 程度で、泡濫流はこれらで計算されるフルード数が 4.6 程度の高速流である。この点で発生させた泡濫流はまだ津波泡濫流とは言えないかも知れない。

3. 結果と考察

3.1 遡上高と土砂堆積域長・津波泡濫域長比

図-3 に泡濫水密度（初期土砂厚 L_T で調節）による遡上高（遡上距離）の違いを示す。遡上高は水路横断方向の位置で異なり、凡例の最大と最小はその最大値と最小値を示す。図から、土砂を巻き込んで泡濫水密度が大きくなるにつれて、遡上高が大幅に小さく（本研究の実験条件では平均的に 60% 程度に）なることが判る。これは定性的にではあるがエネルギー面から推定できることである。また、これまで清水として過去の津波再現計算や将来の津波想定計算を行ってきているが、土砂移動または地形変化のし易さ²⁾とともに、場合によっては泡濫水密度をも考慮して津波泡濫計算を実施する必要があることを示唆している。

地盤（人工物を含む）が侵食されにくい場合、地盤地形に起因する津波の沖への反射により、遡上高は一般に低くなると考えられる。一方、地盤が侵食され易い場合、沖への反射が小さくなり、遡上高が高くなると推察されるが、土砂を巻き込むことにより、遡上高は低くなる傾向と考えられる。したがって、「津波遡上高（遡上距離）は泡濫水密度が大きくなるほど低くなるが、実際の遡上高は地形やその変化し易さの兼ね合いで依存する。」と言えよう。

図-4 に泡濫水密度の土砂堆積域長・津波泡濫域長比への影響を示す。図には「仙台海岸」として使用後の土砂による実験結果も示されている。図から、実験装置や実験方法に起因している面もあるが、①土砂堆積域長・津波泡濫域長比は 65% 程度になり、②泡濫水密度が高いほど、比が大きくなる傾向にあることが判る。①の傾向は実現象でも確認され、指摘されている³⁾。

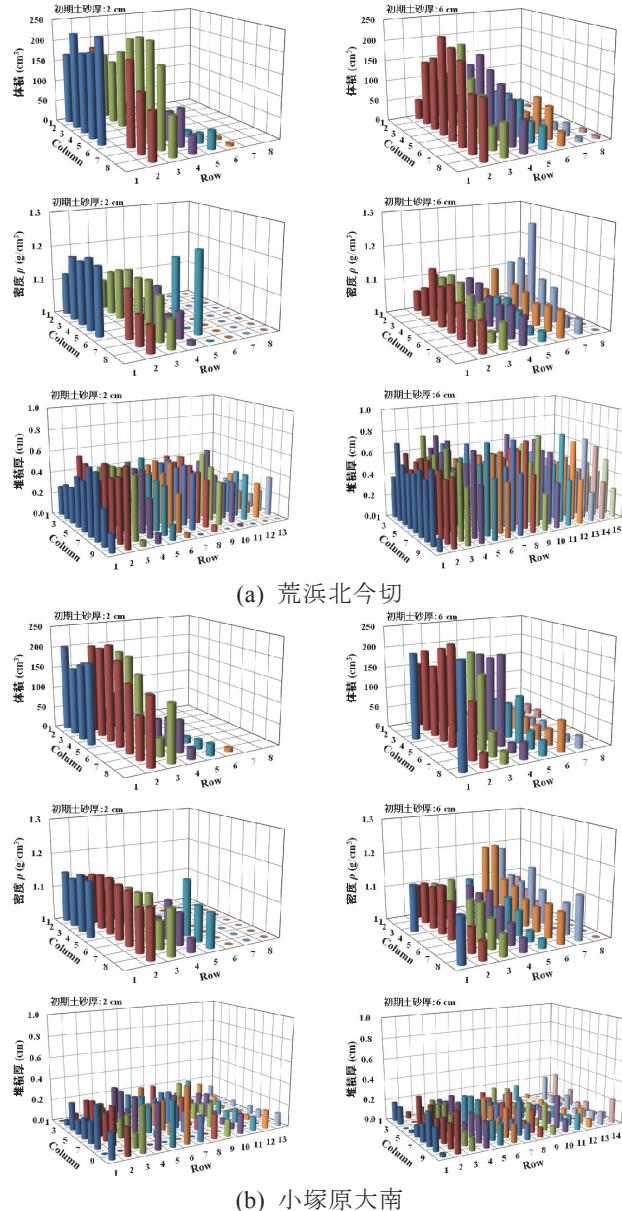


図-5 沔溢水の採水体積（土砂含む）, 密度と土砂堆積の空間分布（左手前：海側, 奥：陸側）

3.2 密度と堆積厚

図-5 (a)～(d)に初期土砂厚毎の洩溢水の採水体積（上段。土砂を含む），密度（中段）と土砂堆積厚（下段）の空間分布に関する実験結果を示す。各図左手前が海側，右奥が陸側である。

表-3に全実験結果をまとめて示す。結果が不安定であるが，図表から次のことが判断される。

- ①既報¹⁾の平均密度 1.2 g/cm^3 に比べて，流勢が弱いためか，全体的に洩溢水密度が小さい。
- ②実験結果は，初期土砂厚 L_T が薄いほど，洩溢水密度が大きくなることを示している ($3/4=75\%$ の確率)。これは，ビデオで確認したところ，想定の実験流況と異なっている場合があるた

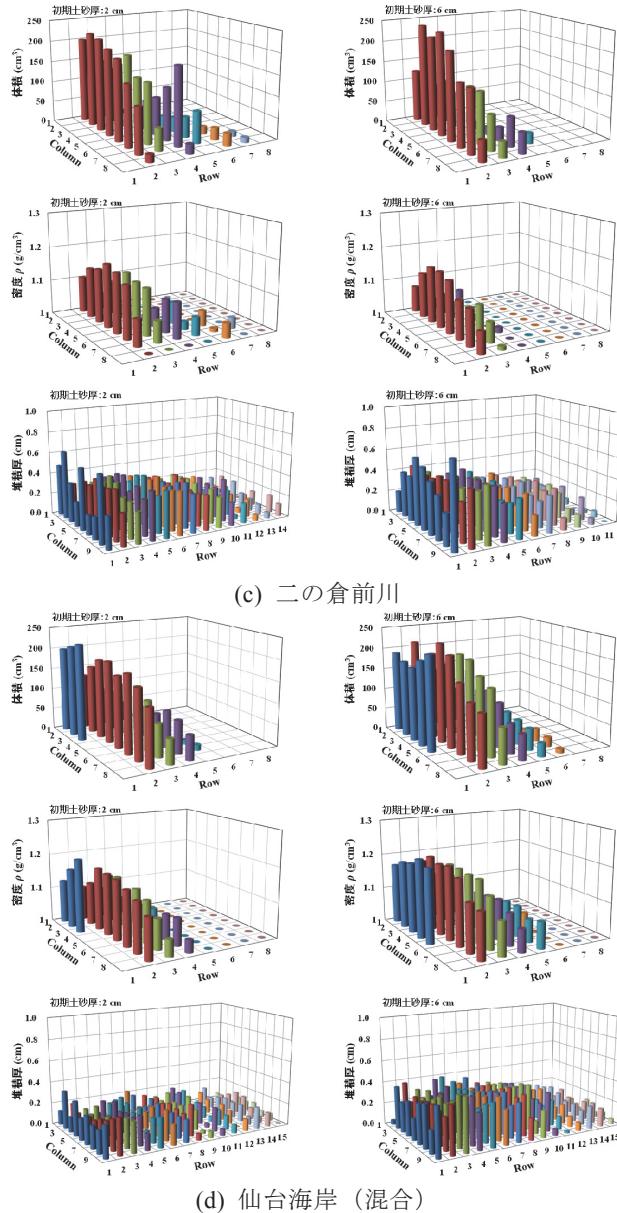


図-5 沔濫水の採水体積（土砂含む），密度と土砂堆積の空間分布（左手前：海側，奥：陸側）

めで、図-5(d)の結果が妥当である判断された。したがって、氾濫水密度が大きくなるほど、土砂堆積厚は厚くなる傾向にあると判断される。

3.3 粒径分布

図-6(a)～(d)に実験前の土砂と採水した氾濫水中の土砂の粒径加積曲線の比較例を示す。破線はデータとして有意なメスシリンドー全ての土砂を集めて混合したときのもので、点線は最も多く土砂が流入したメスシリンドーの土砂に対するものである。図から、既報¹⁾と同様、実験前の土砂と氾濫水中の土砂の粒径加積曲線に大差は認められないことが判る。この傾向は基

表-3 密度に関する「本実験」の全結果

	土砂採取地	L_T (cm)	初期貯 水体積 (cm ³)	土砂 質量 (g)	飛込み土 砂水質量 (g)	飛込み土 砂水体積 (cm ³)	平均氾濫 水密度 (g/cm ³)
Case 1-1	荒浜北今切	2	22,500	15,500	4,206	3,722	1.130
Case 1-2		6	22,500	42,700	4,318	3,956	1.092
Case 2-1	小塙原大南	2	22,500	11,500	3,958	3,494	1.133
Case 2-2		6	22,500	35,300	4,800	4,355	1.102
Case 3-1	二の倉前川	2	22,500	14,500	3,429	3,098	1.107
Case 3-2		6	22,500	36,800	2,616	2,392	1.094
Case 4-1	仙台海岸 (混合)	2	22,500	11,500	3,851	3,419	1.126
Case 4-2		6	22,500	39,300	5,791	5,007	1.157

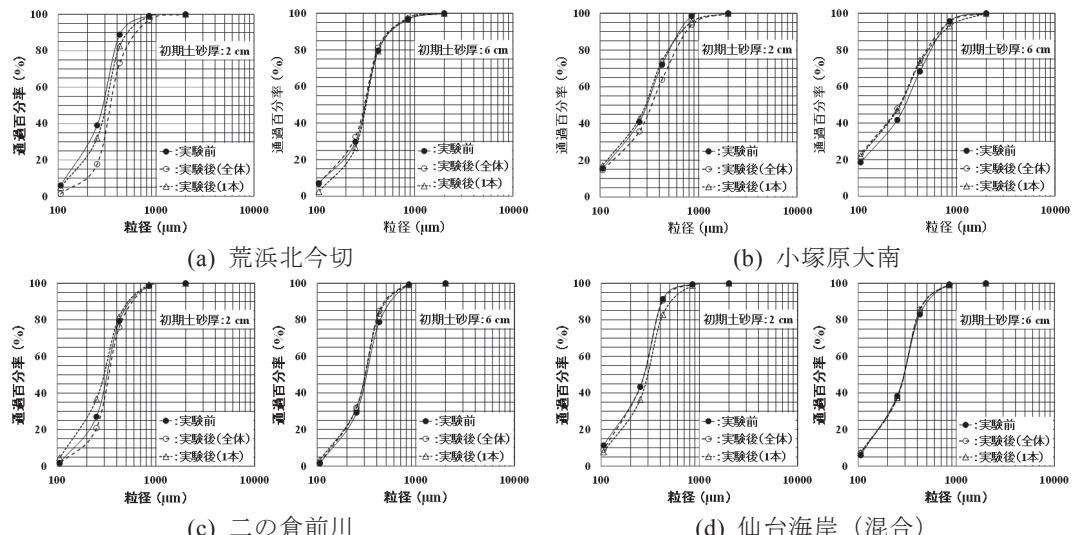


図-6 実験前と氾濫水中の土砂の粒径加積曲線（データとして有意なメスシリンドー全てを集積したものと最大量を有する1本のもの）の比較例

本的に土砂堆積・遡上高実験の場合も同じであった。

4. おわりに

本研究で得られた主な結果は次の通りである。

- ①津波遡上高（遡上距離）は氾濫水密度 ρ が大きくなるほど低くなるが、実際の遡上高は地形やその変化し易さの兼ね合いに依存する。
- ②津波氾濫計算では氾濫水密度の考慮が必要な場合がある。
- ③津波氾濫域長と土砂堆積域長は異なることが考えられ、土砂堆積域長のみからの古津波の規模推定は危険な場合がある。
- ④氾濫水密度が大きくなるほど、土砂堆積厚は厚くなる傾向が確認できた。
- ⑤粒径加積曲線は実験前のものとメスシリンドーで採水されたもの（密度実験）、実験後の緩斜面に堆積したもの（土砂堆積・遡上高実験）とでほとんど差がない。

謝辞：一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所のH27年度研究費助成を受けた。謝意を表する。

参考文献

- 1) 松富英夫・川島 峻：津波氾濫流の密度に関する基礎実験、土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp.355-360, 2015.
- 2) 松富英夫・浅田 宏・佐藤隆志：移動床におけるダム破壊流れの氾濫計算、第28回水理講演会論文集, pp.827-831, 1984.
- 3) 西村裕一：津波堆積物の時空間分布に基づく古地震の調査研究、地震, 第2輯, 第61巻特別号, pp.S497-S508, 2009.