

津波氾濫水密度の土砂堆積や遡上高への影響に関する定量的実験

秋田大学 学生員 ○後村晃基 学生員 今野史子 正員 松富英夫

1. はじめに 津波氾濫水の密度 ρ は津波荷重に対して線形的に影響を及ぼし、津波荷重評価の重要因子である。しかし、その最大密度は定性的な実験的検討に止まっており¹⁾、よく判っていない。密度は津波の遡上距離（遡上高）、土砂堆積距離と遡上距離の比（ ≤ 1 ）や土砂堆積厚（分布）にも影響を及ぼし、土砂堆積距離を基礎データとして評価される歴史津波の規模に影響するが、これらの密度依存性も定性的な実験的検討に止まっている²⁾。

本研究は津波荷重評価や津波規模評価の高度化への寄与を目指して、津波の遡上距離（遡上高）、土砂堆積距離と遡上距離の比や土砂堆積厚（分布）の密度依存性を実験に基づいて定量的に検討することを目的とする。

2. 実験 2.1 土砂 土砂は秋田県にかほ市の平沢海水浴場で採取したものを「予備実験」と「本実験」の両方で使用した。表-1に「本実験」における実験前土砂の粒度特性を示す。粒径加積曲線は後に示す。

表-1 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(mm)	均等係数	曲率係数
Case1,2,4	平沢海水浴場	0.21	2.17	1.13
Case3		0.25	2.15	0.89

2.2 実験方法 実験水路は簡易に高シールズ数を得るためにすべり台状の開水路とした。ただし、すべり台斜面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む氾濫水を制限して捕捉するために高さの低い上り勾配の斜面を設けた。また、氾濫水を遡上させるためにその斜面に続き粒径850~2000 μm の砂を貼り付けて粗度を高めた不透水の緩斜面を設けた。実験水路の概略（水路側壁は省略）、測定器機の配置などを図-1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。上端水平部の高さは水平水路部底面から1.0 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_0 やすべり台の斜面勾配 S_1 、水平水路部の初期土砂層長 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の先頭間の距離 L_G 、密度実験で使用した土砂の全質量 M_{SD} 、土砂堆積・遡上高実験で使用した土砂の全質量 M_{SR} 、上り勾配斜面に続く緩斜面の長さ L_3 と斜面勾配 S_3 は「予備実験」を通して決定した。氾濫水密度の変化は初期土砂厚の調節で実現した。「本実験」の条件を表-2に示す。

水理量の定量的評価のため、初期土砂層域の上下流端に水位計（高精度超音波式変位センサー）を設置した（図-1参照）。水位計間の距離は1.65 mで、上下流端の底面高は同じである。また、氾濫流にマッハ波を形成させ、マ

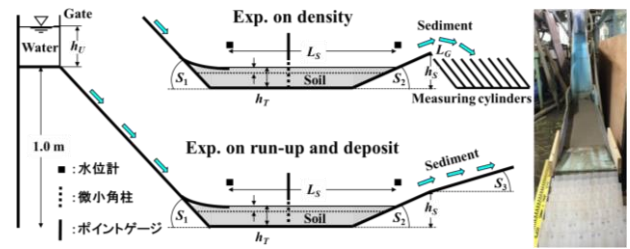


図-1 実験水路の概略、測定器具の配置と諸記号の定義

ッハ角から入射氾濫流のフルード数 F_r や氾濫流速 u を評価するため、初期土砂層域中心の土砂層表面から1.5 cm上方にポイントゲージの先端とその横の水路側壁に幅0.2 cm、奥行0.4 cmの微小角柱を設置した。さらに、水平水路部や緩斜面部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、マッハ角を評価するため、水路沿いにスケールを配置し、上方と側方からビデオ撮影を行った。

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、水平水路部に敷詰めた土砂を巻込んで下流端の斜面を駆け上がり、空中に飛出す。空中に飛出した氾濫水（土砂水）のかなりの部分は土砂水の落下域に手前側へ傾けて（1行目は鉛直に対して20°、2行目以降は35°）格子状に設置したメスシリンダー群（1行目は幅88 mm、奥行75 mm、秤量1,250 cm^3 の自作したものを水路横断方向に4本、2行目以降は直径40 mm、秤量250 cm^3 のものを流れ方向の列（Column）に6本、水路横断方向の行（Row）に8本の計48本）へ飛込む。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できるので、メスシリンダー内の土砂水の密度とその空間分布（土砂濃度の鉛直分布を反映していると考えられる）が評価できる。

入射氾濫流のフルード数と氾濫流速は上方からのビデオ撮影により得られるマッハ角（ポイントゲージと微小角柱）、氾濫流先端移動速度と上下流端の水位計から得られる平均氾濫水深または側方からのビデオ撮影により得られる非先端部の氾濫水深を用いて評価する。

b) 土砂堆積・遡上高（遡上距離）実験 すべり台斜面を流下し、水平水路部で土砂を巻込んだ氾濫水は下流端の上り斜面に続く同様勾配の緩斜面を遡上する。上り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。舌状部を有意な堆積域と判断し、流れ方向は5 cm 間隔、水路横断方向は8等分（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部、中央の横断部と水路中央

キーワード: 氾濫水密度, 土砂堆積, 遡上, 津波, 実験

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

表-2 実験条件と密度の実験結果

	土砂採取地	h_U (cm)	S_1 (°)	L_S (cm)	h_S (cm)	S_2 (°)	S_3 (°)	L_T (cm)	M_{SD} (g)	M_{SR} (g)	平均氾濫水密度(g/cm ³)
Case 1,2	平沢海水浴場	25	16	145	23	12	7.3	1	8,000	8,000	1.062 (1.049)
Case 3,4		25	16	145	23	12	7.3	6	40,00	40,000	1.155 (1.093)

縦断部の集積土砂から評価した。

3. 結果 3.1 密度 図-2に氾濫水密度実験における氾濫水の密度（左）と土砂堆積・遡上高実験における土砂堆積（右）の空間分布を示す。各図、左（Row 1）が海側、右（Row 7とRow15）が陸側である。図-3に初期土砂厚 h_T の遡上高（遡上距離）への影響、図-4に初期土砂厚 h_T の土砂堆積距離と遡上距離の比への影響を示す。

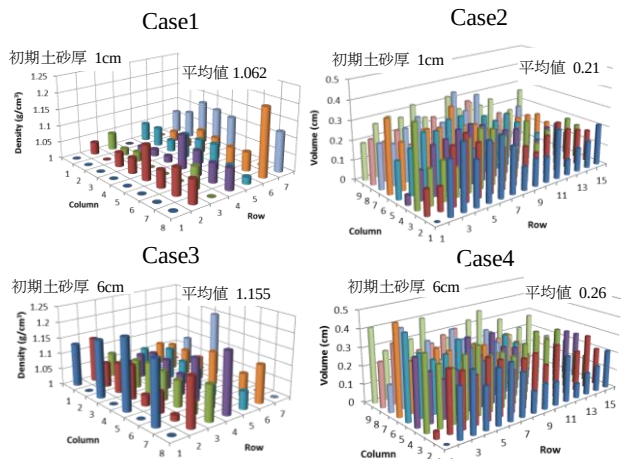
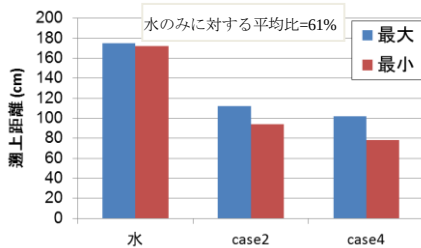
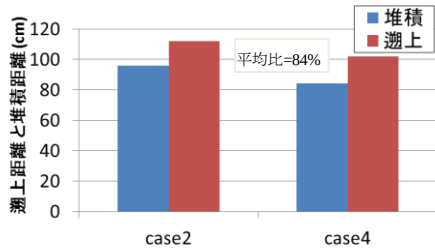


図-2 氾濫水密度（左）と土砂堆積（右）の空間分布


図-3 初期土砂厚 h_T の遡上高（遡上距離）への影響

図-4 初期土砂厚 h_T の土砂堆積距離・津波遡上距離比への影響

3.2 シールズ数 図-5に初期に敷詰めた土砂層域の上下流端における水面位（＝水深）と両水面位の中間位置におけるシールズ数の経時変化例を示す。ここで、シールズ数は上下流端の水面位を直線で結んだ線の勾配を水面勾配 I とし、その水面勾配と径深 R （広矩形を仮定し、上下流端の平均水深を採用）を用いて評価される摩擦速度（ $=\sqrt{gIR}$ ， g は重力加速度）から評価している。図-6に土砂堆積・遡上高実験前後の粒径加積曲線の比較を

示す。実験前後で曲線に大差がないことが判る。

3.3 密度とフルード数の関係 表-3に本実験における3種類の方法に基づいたフルード数を示す。表から、水路側壁の微小角柱から発生したマッハ波に基づく評価値がポイントゲージからのものより小さいことが判る。その理由は側壁の影響により氾濫流速が小さくなるためと考えられる。

表-3 フルード数の比較

実験ケース	土砂採取地	マッハ角(側壁)	マッハ角(中央)	先端移動速度(m/s)
Case1	平沢海水浴場	2.78	3.36	3.62
Case3		4.26	4.85	4.23

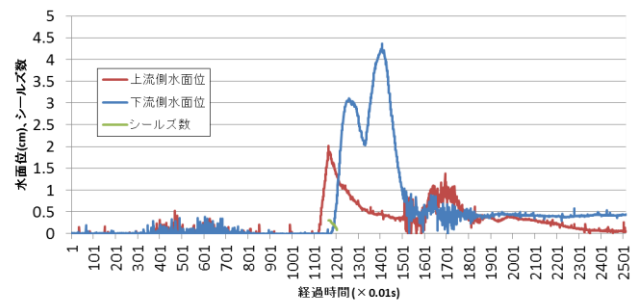


図-5 Case1における上・下流の水面位とシールズ数の経時変化

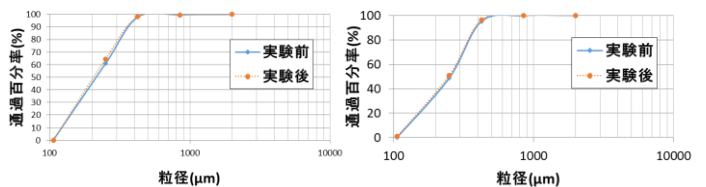


図-6 遡上実験前後の粒径加積曲線の比較

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歴史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再確認できた。⑤粒径加積曲線は実験前のものと実験後の緩斜面に堆積したもの（土砂堆積・遡上高実験で得たもの）とでほとんど差がない。これは土砂が氾濫流により粒径に関係なく移動し、メスシリンダーに捕捉されたことを示している。

参考文献 1) 松富・川島：土木論文集B2（海岸工学），Vol.71, pp.355-360, 2015. 2) 松富ら：土木論文集B2（海岸工学），Vol.72, pp.397-402, 2016.