津波氾濫水の最大密度に関する定量的実験

秋田大学 学生員 〇今藤晃太 学生員 今野史子 正員 松冨英夫

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、津波氾濫水密度の各種水理量への依存性 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」における実験ケース毎の実 験前土砂の粒度特性例を示す.粒径加積曲線は後に示す.

34 1	关款的工业创业及书工内							
実 験 ケース	土 砂 採取地	中央粒径 (mm)	均等 係数	曲率 係数				
Case 1	平沢	0.24	2.08	0.92				
Case 2	海水浴場	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.実験水路の概略(水路側壁は略),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_Uやすべり台の斜面勾配S₁、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S₂、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は「予備実験」を通して決定した.

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 (Case 1は1.50 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,マッハ角から入射氾濫流のフルード数F, 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.



図-1 実験水路と測定器機の配置 **素-7** 「木実験」の条件

	実験ケース	土砂採取地	$h_U(\mathrm{cm})$	$S_1\left(^\circ\right)$	L_S (cm)	$h_S(cm)$	$S_2\left(^\circ\right)$	S_3 (°)	L_G (cm)	$h_T(\mathrm{cm})$	$M_{SD}\left(\mathbf{g} ight)$
	Case 1	平沢	25	16	145	23	12	7.3	0	6	40,000
	Case 2	海水浴場	25	16	145	23	12	7.3	0	6	40,000

2.3 解析方法 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 cm³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 cm³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)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.

2.4 実験条件 「本実験」の条件を表-2に示す. 表のM_{SD} は初期に敷詰めた土砂の全質量で,他は図-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回である. 3.実験結果と考察 3.1 密度 図-2に実験ケース毎の 氾濫水の採水体積(左)と密度(右)の空間分布を示す. 各図,左(Row1)が海側,右(Row7)が陸側である. 1行目の採水体積が一定値となっている.これはメスシリ ンダーの秤量が1,250 cm³と大きく,採水体積が250 cm³ を超えているためである.表-3に実験結果をまとめて示 す.()内はメスシリンダー毎の密度を算術平均したもの である.図表から,既報実験¹⁾に比べて流勢が弱いため, 密度は既報の1.2 g/cm³程度に比べて低いことが判る.

3.2 シールズ数 図-3に初期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

キーワード:最大密度,氾濫流,津波,実験

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



図-2 土砂を含む氾濫水の採水体積(左)と密度ρ(右)の空間 分布(上段: Case 1, 下段: Case 2)

表-3 氾濫水密度ρに関する「本実験」 の結果 初期貯 水体積 土砂 質量 飛込み土 砂水質量 飛込み土 砂水体積 「均飛込み 平均氾濫 実 験 ケース 土 动 h_T 十37元达57 土砂水体積 (cm³/本) 水密度 上 12 (cm) (cm³) (g) (g) (cm^3) (g/cm³) 1.144 Case 1 亚沢 6 33,750 40.000 7,713 6744 156.8 (1.100)Case 2 海水浴場 6 33,750 40,000 7.935 6.869 149.3 (1.093) 下流側水面位 4.5 : 上流側水面位 4 4 数パーク 3.5 3.5 - :シールズ数 (i) 2.5 (ii) 2 大面位 1.5 all and the state of the state 0.5

801 901 1001 1101 1201 1301 1401 1501 1601 1701 経過時間(×0.01s) 図-3 上・下流側の水面位とシールズ数の経時変化例(Case 1. 水位計の設置位置の間違いにより下流側の水路底面位 は上流側のものより0.6 cm低い)

al. dat I hi

201 301 401 501 601

ールズ数の経時変化例を示す。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)から評価される摩擦速度(=√gIR,gは重力加速 度)より評価している.土砂の水中比重と代表粒径とし た中央粒径d50は各々1.65と240 µmとしている.

既往の津波を想定した土砂移動実験におけるシールズ 数の実現範囲は0.4~9(藤井ら3)や0.2~5(高橋ら4),5)で ある.これらに比べると著者らの0.04~0.42は小さい.図 -3から評価される高さ0.5(1.5)cm位置の波形伝播速度は 2.73 (2.59) m/sで、この速度の割にシールズ数が小さい. 広矩形開水路の粗面則、流速に平均波形伝播速度、水深 に上下流側最大水深の平均を用いたときは5.74となる.

3.3 密度とフルード数の関係 表-4に本実験における3 方法に基づいたフルード数を示す. 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発生し たマッハ波に基づくものより小さく, 意外にも⁰, 氾濫 流の先端移動速度と非先端部の氾濫水深に基づく評価値 が最小となっていることが判る. 微小角柱からの評価値 がポイントゲージからのものより小さい理由は側壁の影 響により氾濫流速が小さくなるためと考えられる、矩形 断面水路の定常流における水表面のマッハ波に基づくフ ルード数は流量と水深に基づくものに比べてやや大きい ことが予備実験で確認されている⁷.

表−4 各種方法に基づくフルード数





図-5 実験前土砂と氾濫水土砂(全メスシリンダーの土砂を集 めたもの)の粒径加積曲線の比較例(左: Case 1,右: Case 2)

図-4に既報^{1), 2)}の実験結果も含めて氾濫水密度とフル ード数の関係を示す.ここで、フルード数は一貫性から 全て氾濫流の先端移動速度と非先端部の氾濫水深に基づ いて評価したものが採用されている. 図から、本実験の 範囲内では、フルード数が大きくなるにつれて、密度も 大きくなることが判る.式(1)が両者の近似関係である.

```
(1)
\rho = 0.0314F_r + 1
```

2016年(本研究)の密度が、フルード数が小さいにもか かわらず、2015年のものより大きい. これは2016年の使 用土砂の中央粒径が2015年のものに比べて小さいためと 考えられる. したがって, 氾濫水密度はフルード数ばか りでなく、土砂の粒径(分布)にも依存すると言える. 現段階では津波氾濫水の最大密度は不明である.

3.4 粒径分布 図-5に実験前土砂(初期) とメスシリン ダーで採取した氾濫水土砂(実験後)の粒径加積曲線の 比較例を示す. 図中,実験後のものは実験値として有意 なメスシリンダー全ての土砂を集めて混合した場合のも のである (表-3). 図から, 既報^{1), 2)}と同様, 実験前土砂 と氾濫水土砂の粒径加積曲線に大差がないことが判る. 4. おわりに 主な結果として以下を得た. ①本実験で も既報²⁾と同程度の氾濫水密度ρを得た. ②本研究実験の 氾濫水密度に対するフルード数とシールズ数を評価し

た. ③氾濫水密度はフルード数(シールズ数)ばかりで なく、土砂の粒径(分布)にも依存する.④実験前土砂 と氾濫水土砂の粒度に大差がないことを再確認した. 1) 松冨,川島:土論集B2(海岸工学), Vol.71, 参考文献 pp.355-360, 2015. 2) 松冨ら: 土論集B2(海岸工学), Vol.72, pp.397-402, 2016. 3)藤井ら:海岸工学論文集,第45巻, pp.376-380, 1998. 4) 高橋ら:海岸工学論文集, 第46巻, pp.606-610, 1999. 5)高橋ら:土論集B2(海岸工学), Vol.67, pp.231-235, 2011. 6) Matsutomi et al.: Island Arc, Vol.19, Issue-3, pp.443-457,2010.7) 高尾:秋田大学卒業研究論文予備資料, 2016.