

津波氾濫水最大密度の実験条件への依存性

秋田大学 学生員○齋川 聖 正員 松富英夫

1. はじめに これまでの RC 造建築物を含めた陸上構造物に作用する津波荷重の評価では、津波氾濫水の密度 ρ を一定値 (1.03 g/cm^3) として取り扱ってきている。米国連邦緊急事態管理庁 (FEMA) は、氾濫水の平均土砂濃度を 10% として、氾濫水密度 $= 1.2 \text{ g/cm}^3$ を採用するように推奨しているが¹⁾、その根拠は明示されていない。氾濫水の最大密度または土砂の飽和濃度については、津波に比べて比較的身近な洪水でさえも定説がない。2011 年東北地方太平洋沖地震津波後、防波堤や胸壁では全静水圧の 5~20% 程度の全動水圧を考慮するなどの津波荷重評価の見直しが行われようとしている。これを踏まえ、かつ、概算であるが、氾濫水密度の影響度 ($\approx 1.2/1.03=1.17$ 倍) を考慮すれば、氾濫水密度は津波荷重評価において重要因子と言える。

本研究は、既報²⁾と異なる条件で実験を実施し、氾濫水最大密度の実験条件への依存性を検討する。

2. 実験とデータ解析の方法 実験水路は既報の実験水路を元に貯水槽の高さ、水路勾配や水平水路長などの条件を変更して実験に用いた。図-1 に水路の概略と正面写真、測定器具 (メスシリンダー) の配置を示す。

津波氾濫流はすべり台の上端水平部にゲート付きの貯水槽を設置し、ゲート急開流れて模擬した。ゲートはすべり台の斜面開始部の直背後に位置し、すべり台の高さは 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 で、貯水深 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ダー群の先端間の距離 L_G は試行錯誤して決定した。図-1 に示す実験水路の諸元は試行錯誤後の最終的なものである。

氾濫流はすべり台を流下し、既報のものより延長された水平水路部に敷詰められた土砂を巻き込み、下流端の勾配の緩いジャンプ台を駆け上がり、空中に飛出

す。勾配に関しても貯水槽の高さを低く設置したことで飛出しの勢いが弱くなることを考慮し緩く設定した。空中に飛出した土砂を含む氾濫水一部分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ダー群 (外径 42 mm、秤量 250 cm^3 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。既報に比べてメスシリンダーの本数を 3 行 (=24 本) ほど増やしている。

データ解析に関しては、あらかじめ各メスシリンダーの重量を量り、氾濫水が飛込んだ後の各メスシリンダーの重量を量れば、氾濫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、氾濫水の密度とその空間分布が評価できることになる。

土砂は宮城県の仙台海岸の 2011 年東北津波の浸水域で採取したものをを用いた。土砂の粒度特性例と粒径加積曲線を表-1 と図-2 に示す。表中の L_T は水平水路

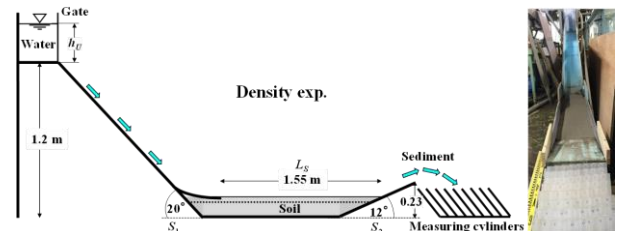


図-1 実験水路の概略と正面写真、測定器具の配置

表-1 実験前土砂の粒度特性例

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	2.59	1.157

表-2 実験条件と実験結果

	土砂採取地	h_U (cm)	S_1 (°)	L_S (cm)	h_S (cm)	S_2 (°)	L_T (cm)	M_{SD} (g)	M_{SW} (g)	V (cm ³)	ρ_m (g/cm ³)
Case 1-1	荒浜北今切	25	20	155	23	12	2	15,500	4,110	3,621	1.135 (1.118)
Case 1-2		25	20	155	23	12	6	42,700	4,349	3,984	1.092 (1.077)
Case 2-1	小塚原大南	25	20	155	23	12	2	11,500	3,937	3,473	1.134 (1.119)
Case 2-2		25	20	155	23	12	6	35,300	4,800	4,355	1.102 (1.094)
Case 3-1	二の倉前川	25	20	155	23	12	2	14,500	3,284	2,977	1.103 (1.086)
Case 3-2		25	20	155	23	12	6	36,800	2,429	2,201	1.104 (1.078)
Case 4-1	仙台海岸 (混合)	25	20	155	23	12	2	11,500	3,816	3,382	1.128 (1.104)
Case 4-2		25	20	155	23	12	6	39,300	5,750	4,965	1.158 (1.129)

キーワード: 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)

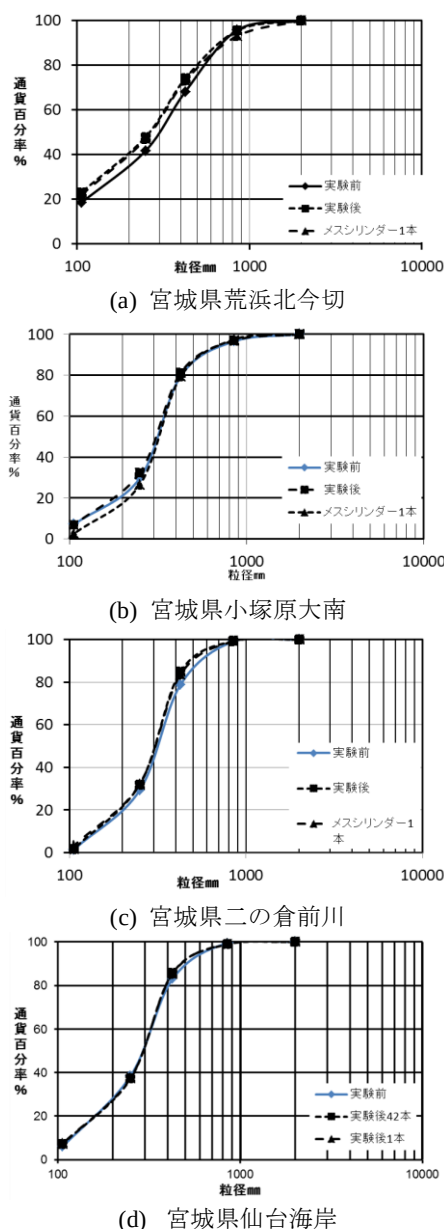


図-2 実験前後の土砂の粒径加積曲線

部に敷詰めた土砂の厚さで、 $L_T=2$ cm の条件は密度の抑制を試みた「試行実験」である。

試行錯誤後の実験条件と実験結果（「試行実験」を含む）を表-2 にまとめて示す。表中、 M_{SD} は実験で使った土砂の質量、 M_{SW} は全メスシリンダーに飛込んだ氾濫水の質量、 V は全メスシリンダーに飛込んだ氾濫水の体積、 ρ_m は断面平均の密度²⁾である（他の記号は図-1 参照）。実験では炉乾燥後に自然放置して冷ました土砂を用いた。実験回数は各ケース 1 回とした。

3. 結果と考察 図-3 (a)～(d)に氾濫水の採水体積（左図）と密度（右図）に関する実験結果を示す。各図、手前側が上流側、奥側が下流側で、水路横断方向にメスシリンダーを 8 本、流れ方向に 8 本格子状に設置している。図によると、水路の左右端部分や水平水路下流部の緩いジャンプ台頂点から離れるにつれて密度が小さくなる傾向にある。密度に関しては既報の 1.2 g/m^3 に比べて小さい。この理由として、貯水槽の設置高を低くしたことにより、土砂を巻き込む勢いが弱く

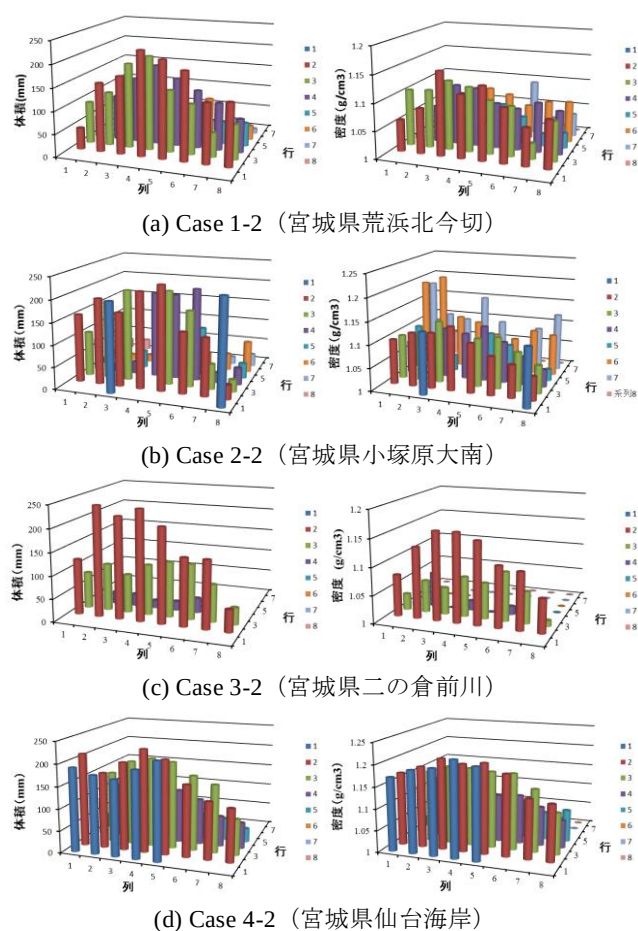


図-3 氾濫水の密度と採水体積の空間分布例

なったことが考えられる。他には氾濫水の採水法や断面平均値の算出法が考えられる。一般に密度が大きい 1 行目（最前列）のメスシリンダーの多くは満杯となってデータとして使えなかったからである。

今回の氾濫流が実際の津波氾濫流とほぼ同じと断言してよいのか、水路縦断面形が乱れを過度に励起させていないか、氾濫水の採水方法は妥当（実験結果は断面平均密度と言える）か、水路幅は妥当か、初期の土砂量は妥当か、炉乾燥後に自然放置して冷ました土砂で実験を行ってよいのか、水理量を測定していないなど、検討課題や確認事項がまだ多く残されている。とは言え、氾濫水密度は実験条件に大きく依存性を確認できた。また、現状の採水方法においてであるが、実験前の土砂と氾濫水中の土砂の粒径分布に大差はないことが再確認できた。

4. おわりに 本実験の氾濫流が実際の津波氾濫流と大きく異なっている可能性があるが、氾濫水密度は実験（水理）条件に大きく依存性を確認した。

謝辞：本研究は一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所の助成研究である。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) FEMA: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation, FEMA P 646, 2012.
- 2) 松富・川島：津波氾濫流の密度に関する基礎実験，土論集 B2(海岸工学)，Vol.71, No.2, pp.355-360, 2015.