

土木構造物に対する 波圧評価

津波荷重評価の体系化の心得を取り纏める研究委員会

パシフィックコンサルタンツ株式会社 大家隆行



1

発表概要

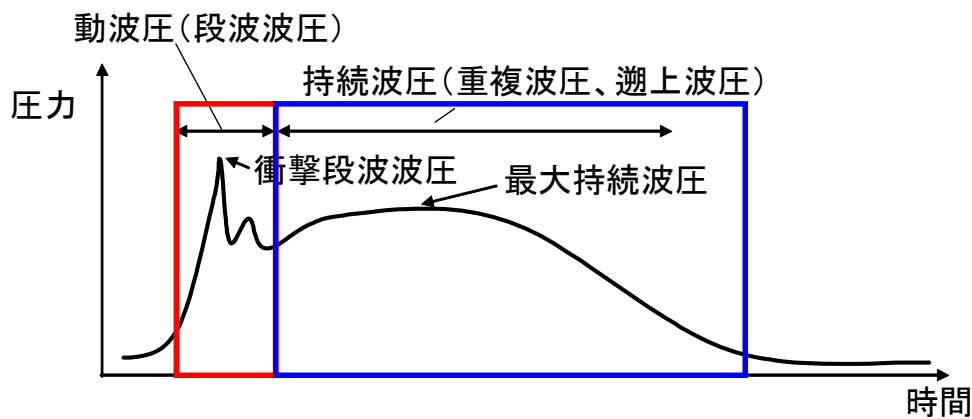
1. 現行基準における津波波力の評価式
 - 先端部波力（波状段波）
 - 非先端部波力
 - 越流時波力
2. 評価式の課題及び近年の研究動向

2

津波波圧の概要

建築物荷重指針（2015）、津波の辞典など

- 津波の力は、主として津波の先端部において生じる水塊の衝突運動によって生じる力（先端部波圧）と、水位が比較的一定となったときに生じる力（非先端部波圧）に分類される。
- **先端部波圧**：砕波もしくはソリトン分裂変形することにより生じる段波波力を指す。
- **非先端部波圧**：先端部の後に継続する定常流れに近い領域で発生する定常的な波圧を指す。



3

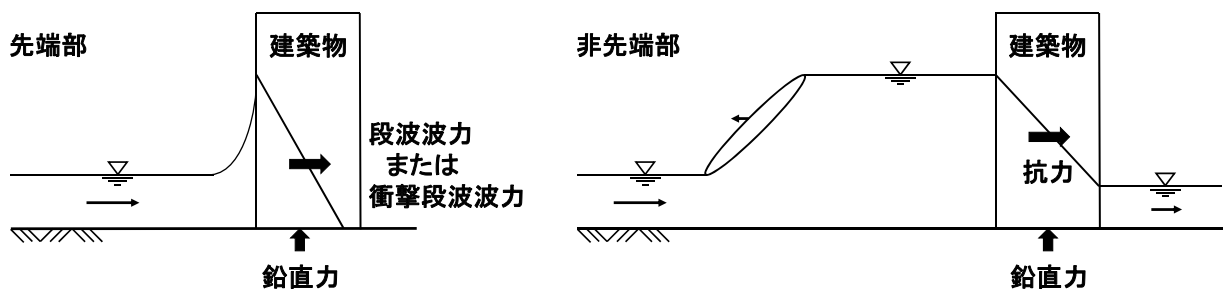
津波衝突時に生じる力

建築物荷重指針（2015）、津波の辞典など

- 津波が施設に衝突する時、以下の力が生じる。

水平力 \equiv 全静水圧 + 全動水圧

鉛直力 \equiv 浮力 + 全揚圧力 + 海水重量

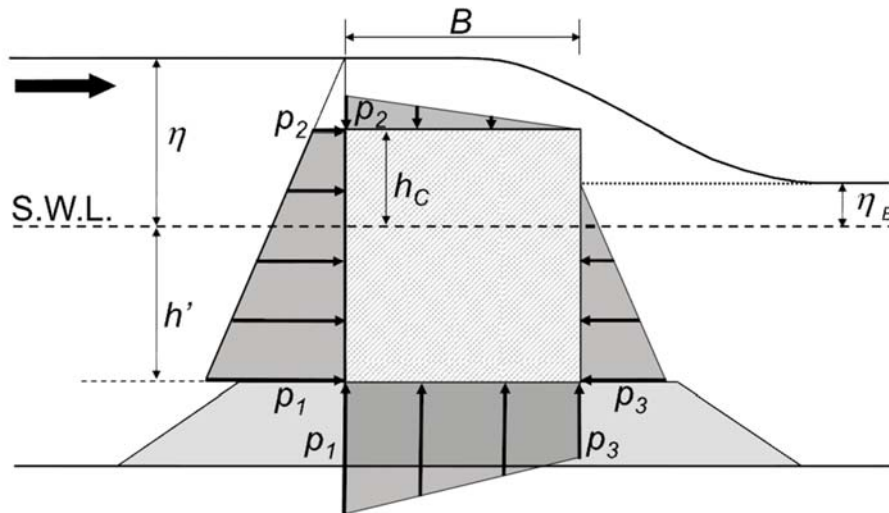


4

津波越流時に生じる力

H30港湾基準など

- 津波が施設を越流する時、以下の力が生じる。
 水平力 \doteq 施設前面の静水圧 - 施設背面の静水圧
 鉛直力 \doteq 揚圧力 - 施設上面に作用する水圧

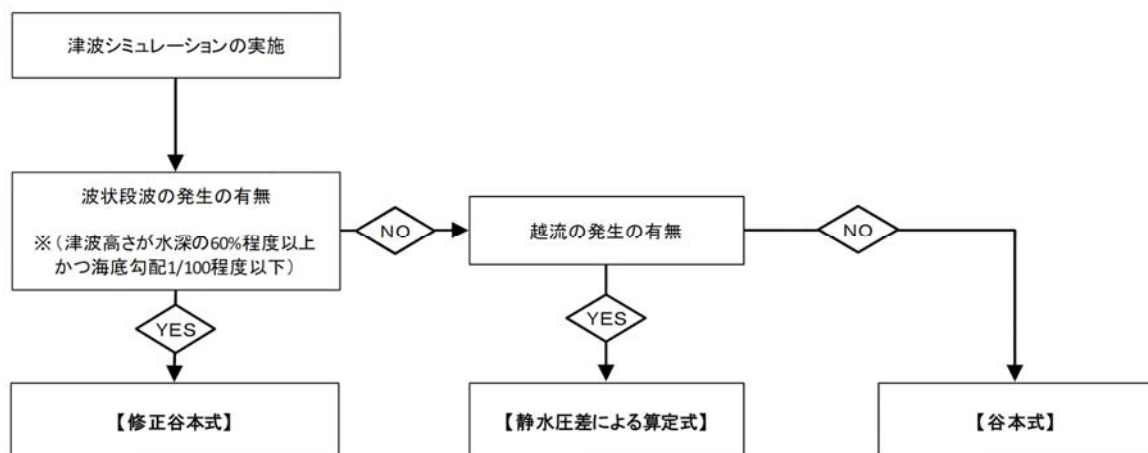


各種ガイド・技術集での波圧の評価

- 構造物前面に作用する津波波力は、主に以下の2つの方針で算出される。

例：海岸保全施設の技術上の基準・同解説（2018）

港湾の施設の技術上の基準・同解説（2018） 等



各種ガイド・技術集での波圧の評価式 (波状段波発生時)

- 段波による衝撃的な波圧が発生する場合、H30海岸基準やH30港湾基準では、津波波圧を修正谷本式により算出している。

$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = 3.0\rho_0ga_I$$

$$p_u = p_1$$

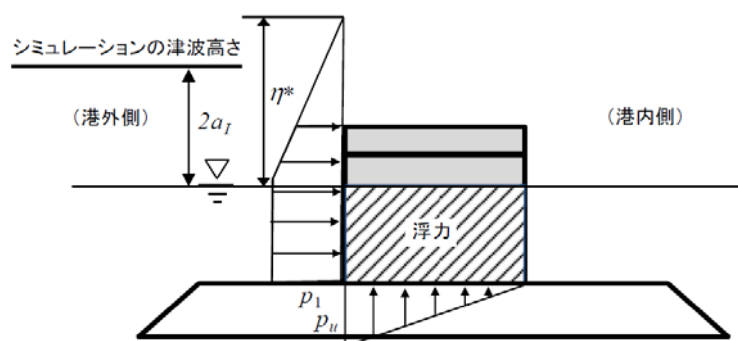
η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

p_u : 直立壁前面下端における揚圧力(kN/m²)



7

各種ガイド・技術集での波圧の評価式 (波状段波非発生・非越流時)

- 段波による衝撃的な波圧が発生せず、津波が施設を越流しない場合、H30海岸基準やH30港湾基準では、津波波圧を谷本式により算出している。

$$\eta^* = 3.0a_I$$

$$p_1 = 2.2\rho_0ga_I$$

$$p_u = p_1$$

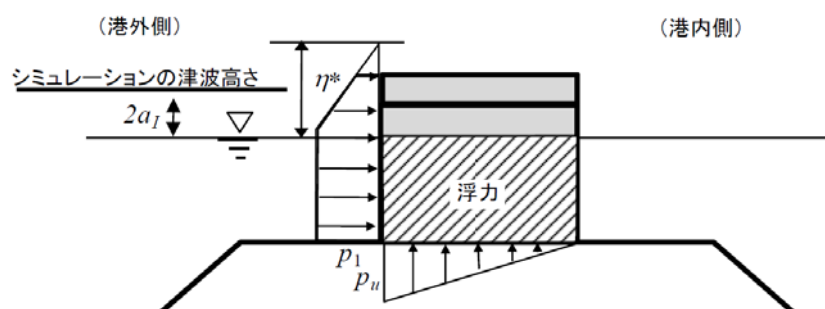
η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

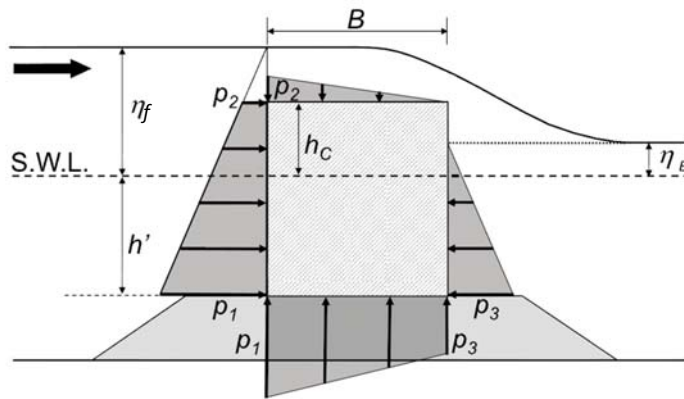
p_u : 直立壁前面下端における揚圧力(kN/m²)



8

各種ガイド・技術集での波圧の評価式 (波状段波非発生・越流時)

- 段波による衝撃的な波圧が発生せず、津波が施設を越流する場合、H30海岸基準やH30港湾基準では、津波波圧を施設前面・背面の静水压差式により算出している。



水平方向

- 静水压分布. 前背面の差から津波波力を算出

鉛直方向

- 堤体全体の浮力を考慮 (国交省)
- 堤体上面と下面に作用する圧力を直接評価 (水産庁)

$$p_1 = \alpha_f \rho_0 g (\eta_f + h')$$

補正係数 (動水圧による影響)

$$p_2 = \frac{\eta_f + h_c}{\eta_f + h'} p_1$$

前面側: $\alpha_f = 1.05$ (国交省), $\alpha_f = 1.1$ (水産庁)

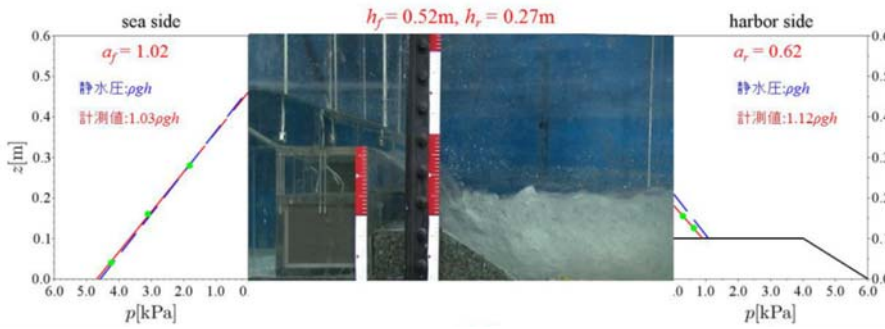
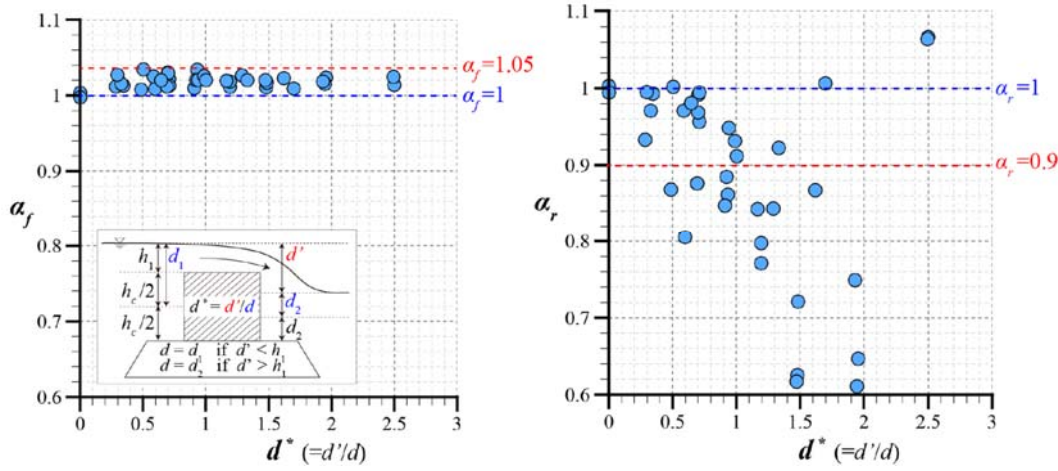
$$p_3 = \alpha_r \rho_0 g (\eta_r + h')$$

背面側: $\alpha_r = 0.9$

評価の体系化に向けての論点整理

- 論点 1 :
越流時に施設に作用する波圧分布は静水压分布で十分か? 波圧の補正係数は前面側1.05, 背面側0.9として問題ないか? (胸壁の場合は背面0.4, 安全側で設定)
- 論点 2 :
津波による越流の規模が増大すると、防波堤基礎捨石マウンドや被覆ブロックの流失等が生じ、堤体の安定性に影響するが、これらの評価は確立されていない。
- 論点 3 :
全ての波力評価式には津波の密度 ρ が含まれているが、土砂を含んだ津波 (密度大) による波力に関する知見は少ない。

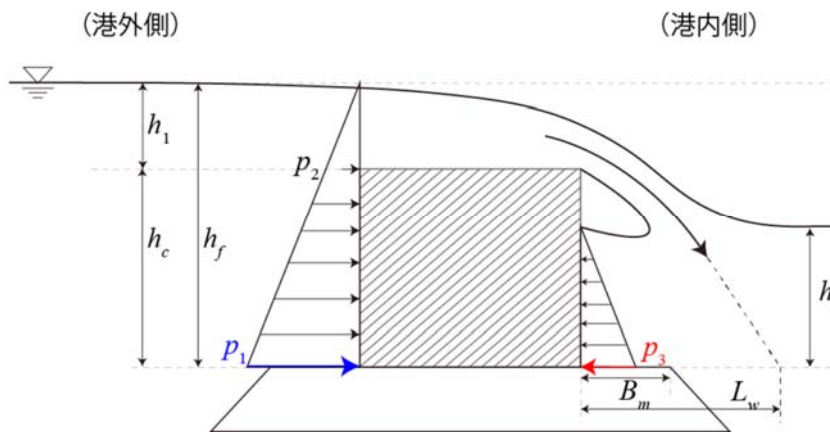
論点 1



防波堤の越流実験
腹付工を付加した場合
(鶴田ら2017,港研報告)

- 前面側は水位差の規模に関係なく 1 程度 (現行の1.05は安全側)
- 背面側の補正係数は, 水位差が大きく背後水位が小さい場合に0.9を下回る傾向 (パラペットがある場合は最大約0.4まで減少)

論点 1



$$p_1 = \alpha_f \rho_0 g h_f$$

$$p_2 = \frac{h_1}{h_f} p_1$$

$$p_3 = \alpha_r \rho_0 g h_r$$

$$\alpha_r = 1 + \frac{0.1 \{ (L_w - B_m) / B_m - 1 \}}{h_r / h_f}$$

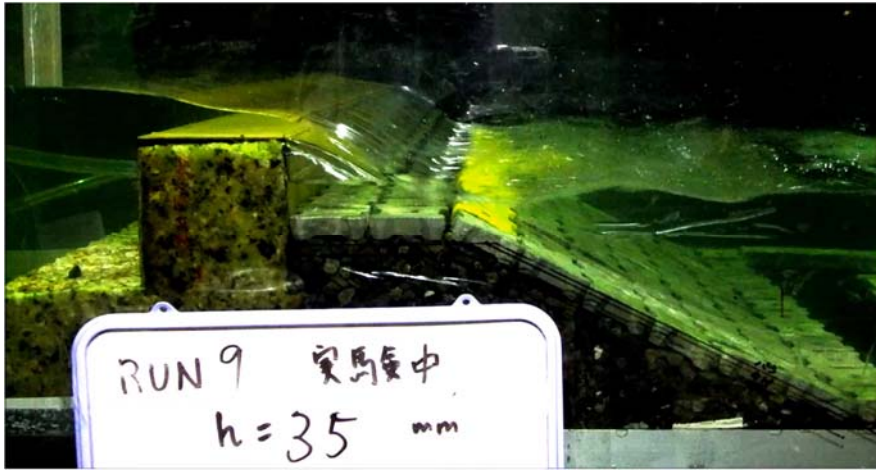
- 透水・不透水マウンド, 腹付工における安全側を取った場合

鶴田ら (2017,港研報告)

水理実験より, 静水圧差式を改良

- ✓ 越流水塊の挙動, 透水・不透水マウンド, 腹付工を考慮
- ✓ L_w (越流水の着水距離) を与える必要がある → 自由落下理論 or 数値計算
- ✓ 上部工 (パラペット) を付加する場合は, p_3 の別途検討が必要

論点 2



(大井ら, 2018)

- 津波による越流の規模が増大すると、マウンドに被害が及ぶ（洗掘，被覆ブロックの転倒）。堤体の安定性にも影響する。
- 特に，防波堤背後域の流況や圧力分布の解明が必要
→ 数値解析的な検討が必須

論点 2

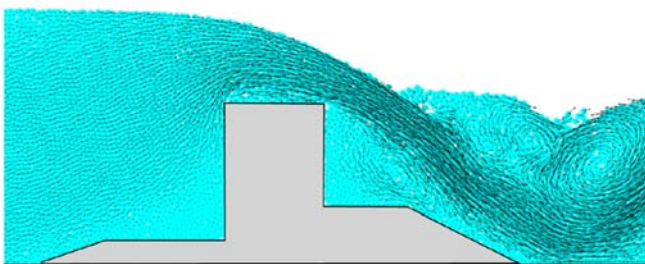


図-2.5 高精度粒子法による越流時の堤体背後乱流の再現スナップショット

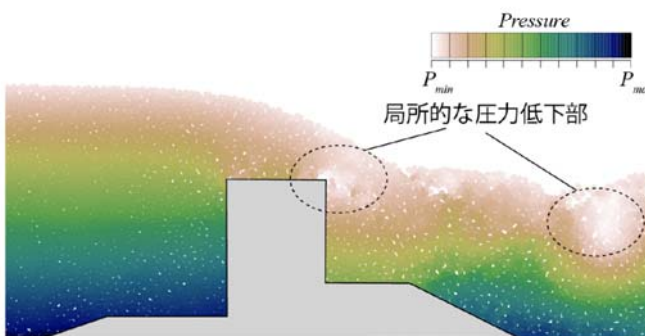


図-2.6 高精度粒子法による越流時の堤体天端部の局所的な圧力低下の再現スナップショット

鶴田ら（2017、港研報告）
水理実験と数値実験（高精度粒子法）により波力算定式を改良

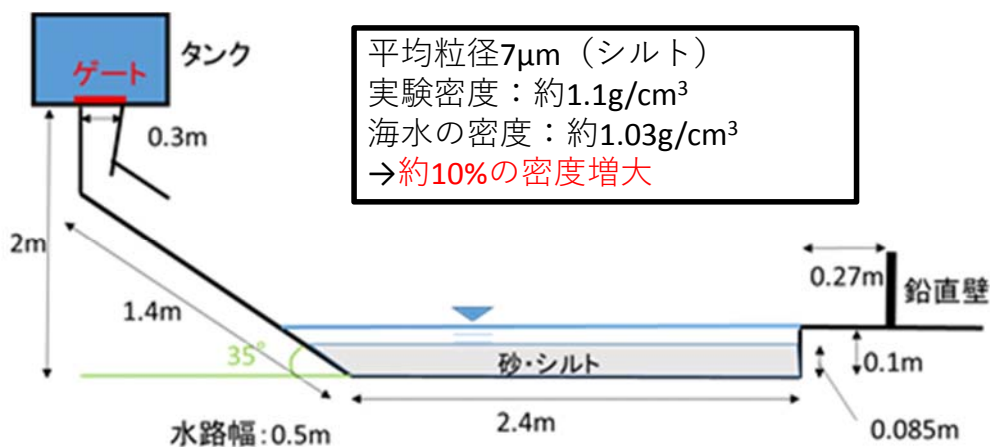
- 越流した高速流により，渦構造が発生
- 渦中心部で圧力の低下を確認
- 越流水の射出速度，落下位置，渦構造の形成位置が堤体背面への作用圧力を決める重要なファクターになる

論点3に対する解決策： 実験による土砂を含んだ津波の波力増大傾向の把握

- 土砂の有無による津波波力を比較することで、土砂を含んだ津波の波力の増大傾向を把握する。

事例：土砂を含んだ津波の波力に関する実験的研究

木瀬（2019）、中央大学海岸・港湾研究室、卒業論文資料



15

論点3に対する解決策： 実験による土砂を含んだ津波の波力増大傾向の把握



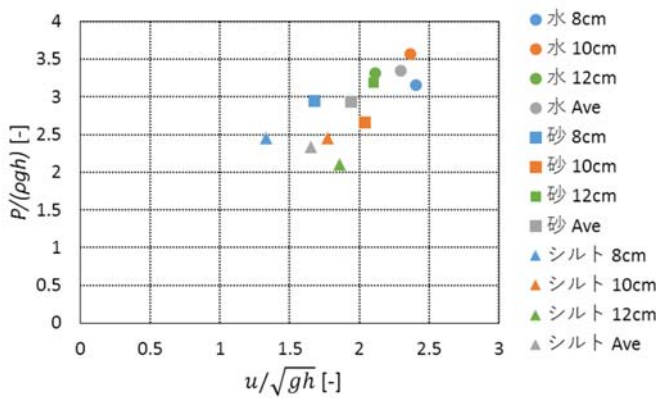
16

論点3に対する解決策：

実験による土砂を含んだ津波の波力増大傾向の把握

- 横軸：最大波高時の流速を用いたフルード数
- 縦軸：最大波圧を静水圧で除した無次元最大波圧
- 密度で除しているが傾きは変わらない

→今回の実験範囲では、波圧は密度に比例する。



		フルード数平均	無次元圧力	傾き
水	8cm	2.404	3.164	1.316
水	10cm	2.362	3.577	1.514
水	12cm	2.112	3.315	1.570
水	Ave	2.293	3.352	1.462
砂	8cm	1.676	2.946	1.758
砂	10cm	2.035	2.667	1.311
砂	12cm	2.098	3.192	1.522
砂	Ave	1.936	2.935	1.516
シルト	8cm	1.333	2.455	1.842
シルト	10cm	1.774	2.456	1.385
シルト	12cm	1.857	2.104	1.133
シルト	Ave	1.655	2.338	1.413

17

まとめ

- 構造物周辺の波圧特性をさらに明らかにした上で、波力算定式のアップデート（ガイドラインの改定）が必要
- 将来的には、津波作用時の複雑な非定常乱流を再現できる数値解析手法の構築により、波力や流速の直接算定が可能となることが期待される
- ただし、実務への適用のためには、空間解像度や各種パラメータと計算精度の関係を収集・整理し、設計時の留意点を整理したマニュアル類を整備する必要がある。
- 今回紹介した実験では、津波波圧が密度に比例することを確認した。ただし、より高密度の津波に対して同様の関係が成立するか、検証が必要。（松富ら（2015）によれば、津波氾濫流の密度は1.2g/cm³に到達しうる）

18