

流体密度が変化する津波の波力に関する実験的研究

大成建設株式会社 正会員 ○橋本 貴之 本田 隆英 織田 幸伸

1. はじめに

2011年東日本大震災において底泥等を巻き込んだ黒い津波が確認され、津波荷重に対する影響が懸念されている。我が国の防潮堤等の設計では、一般に海水密度を用いて津波荷重が算定されており、底質含有による密度等の変化が与える影響を定量的に評価する必要がある。現状、濁水による津波の衝突に関する既往研究^{例えば1)~3)}は少ないことから、本研究では流体密度を変化させた津波衝突実験を行い、流体密度が波力特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

本実験は、津波により護岸前面の底泥が巻き上がった状態で、護岸を越流して防潮壁に黒い津波が衝突する状況を対象とし、**図-1**に示す実験装置を作製した。実験手順は、次の通り。①二次元開水路内に仕切板を設置し、造波装置側に清水、陸上護岸側に濁水を溜める。②造波開始してから1秒後（津波が仕切板に到達する前）に仕切板を引き抜き、清水の津波を濁水に伝播させる。③防潮壁に衝突した際の波圧等を計測する（**図-2**）。実験条件は、模型縮尺を1/100とし、入射津波を波形の異なる2種類（**図-3**：段波波形W1、碎波を伴わない波形W2）、濁水の密度を3ケース（ $\rho=1.00, 1.05, 1.10 \text{ g/cm}^3$ ）として設定した。なお、濁水はシリカフューム（**表-1**）と水を別の容器で混合・調整し、津波造波の直前に再攪拌して水路内に溜めた。計測項目は、容量式波高計（7箇所：H1～H7）と電磁流速計（1箇所：Vx2）、壁模型の前面に鉛直方向10～20mm間隔で設置した圧力計（**図-2**）により、水位と流速、波圧をそれぞれ計測し、水路の側面に設置した高速度カメラにより陸上護岸～壁模型の波形変化を撮影した。なお結果のばらつきを考慮し、実験は同一条件で15回繰り返した。

事前に仕切板の引上げによる影響を確認するため、濁水密度 $\rho=1.00 \text{ g/cm}^3$ のケースで仕切板の有無を比較した。その結果、W1, W2で最大波力に若干の相違は見られたが、どちらも衝撃波力であり、計測結果のばらつきの範囲内と考えられることから、仕切板の引上げが波力に及ぼす影響はほとんどないと判断した。

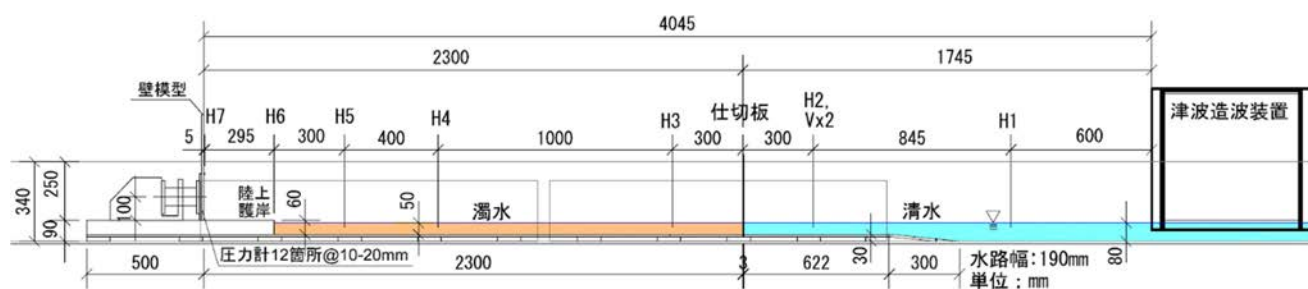


図-1 実験水路縦断面図

表-1 底質模型の諸元

材 料 名	中央粒径 $d_{50} [\mu\text{m}]$	粒子密度 $\rho_s [\text{g/cm}^3]$
シリカフューム	0.314	2.27
現地採取試料	21.5	2.70

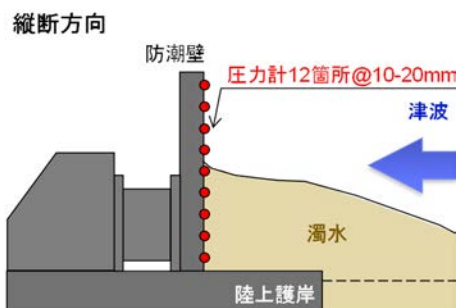


図-2 防潮壁に作用する津波波力の計測

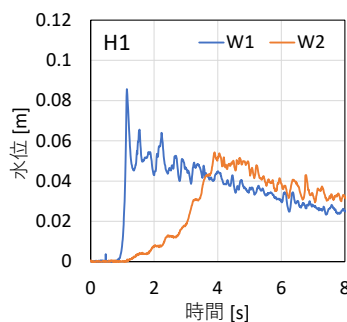
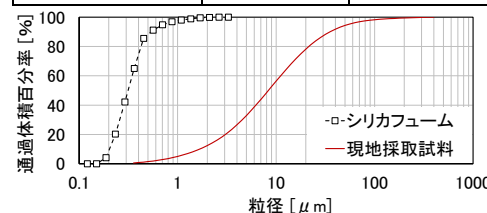


図-3 津波の入射波形



キーワード 津波、底質、密度、波力、水理実験

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター

TEL 080-9579-4368

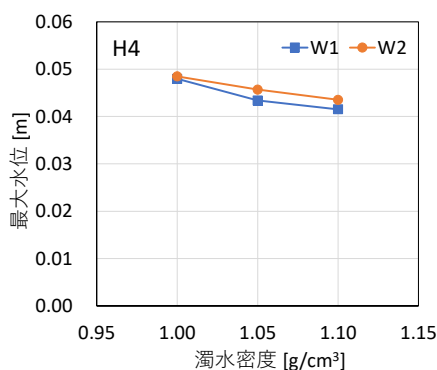


図-4 濁水密度と最大水位の関係

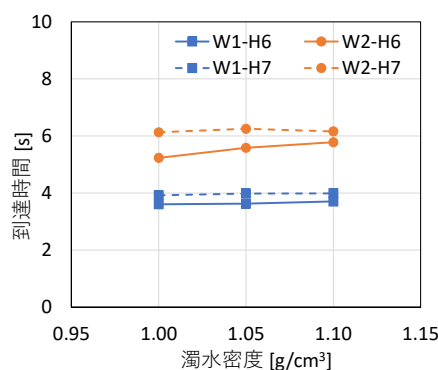


図-5 濁水密度と津波到達時間の関係

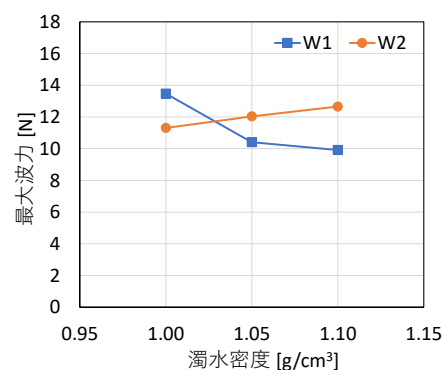


図-6 濁水密度と最大波力の関係

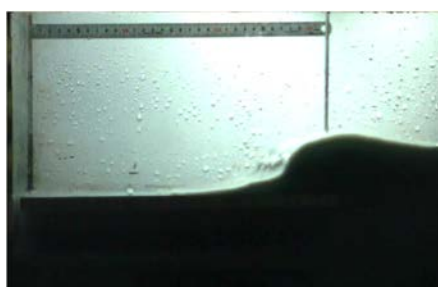
(a) 濁水密度 $\rho=1.00\text{g/cm}^3$ (b) 濁水密度 $\rho=1.05\text{g/cm}^3$ (c) 濁水密度 $\rho=1.10\text{g/cm}^3$

写真-1 護岸上を遡上する津波のスナップショット (津波 W2, 造波開始から 6.1 秒後)

3. 実験結果

濁水密度と H4 位置 (図-1) での最大水位の関係を図-4 に示す. 濁水密度が大きくなると W1, W2 とともに最大水位が低下している. 本実験では, 入射する津波のエネルギーが一定のため, 濁水密度が大きくなれば位置エネルギーに相当する津波高 (最大水位) が低減すると考えられる.

濁水密度と津波の到達時間の関係を図-5 に示す. W1, W2 とともに密度が大きくなると津波高の低減によって伝播速度が小さくなり, 津波の到達時間が若干遅くなる傾向が読み取れる.

濁水密度と最大波力の関係を図-6 に示す. 濁水密度が大きくなると最大波力は, W1 は小さく, W2 は大きくなる結果となった. 濁水密度が増大すると, 津波高は低減し, 一方で同じ深度における水圧は増大すると考えられる. W1 は津波高低減, W2 は水圧増大の影響が大きいと考えられ, 津波波形で波力特性が異なることが示唆された.

写真-1 には, 護岸上を遡上する津波 W2 のスナップショットを示す. 陸域に遡上した津波先端部の波形は, 濁水密度の高い方が水面の角度が大きくなる (切り立つ) 傾向が確認された. この要因として, 粘性の増加による底面摩擦の増大の影響が考えられるが, 波形変化の特性を明らかにするにはより詳細な検討が必要である.

4. まとめ

本研究では, 濁水密度を変化させて防潮堤に働く津波波力の計測実験を実施した. 得られた結果を以下に示す.

- 1) 濁水密度が大きくなるほど, 津波高 (最大水位) は低減する.
- 2) 濁水密度が大きくなるほど, 津波の到達時間は遅くなる.
- 3) 濁水密度が大きくなるほど, 津波の先端波形は急勾配となる傾向が確認された.
- 4) 濁水密度の変化に対する波力の大小関係は, 津波の入射波形によって異なることが示唆された.

ただし, 本実験ではケース数が限られるため, 入射津波や濁水密度等をパラメータにした追加検討が必要である. 本研究は, 原子力規制庁の『令和 4 年度原子力施設等防災対策等委託費事業』により実施したものである. ここに記して, 関係各位に謝意を表する.

参考文献

- 1) 松富英夫, 岡田隼人, 久保田友寛, 今野史子: RC 造建築物に作用する津波荷重の氾濫水密度への依存に関する基礎実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.265-270, 2018.
- 2) 木瀬晃周, 有川太郎: 土砂・シルトを含んだ津波の波力に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.76, No.2, pp.385-390, 2020.
- 3) 中村友昭, 高重建太, 趙容桓, 水谷法美: 土砂を含んだ濁水状態の津波の遡上と打ち上げに関する一考察, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, II-98, 2022.