

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

名古屋大学 正会員 中村 友昭 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 高重 建太  
 名古屋大学 正会員 趙 容桓 名古屋大学 フェロー 水谷 法美

**1. はじめに：**土砂を含んだ濁水状態の津波いわゆる黒い津波に関する研究は、松富・川島（2015）以降、中村ら（2015, 2016）、松富ら（2016）、木瀬・有川（2020）、小俣ら（2020）などにより行われてきた。ただし、既往の水理実験では主に移動床を巻き上げさせて濁水状態を作り出しており、そのために濁水状態の津波は移動床の地形変化の影響を受けることになることから、土砂を含まない清水状態との比較が難しいと考えられる。そこで、小俣ら（2020）は土砂による流体の密度の増加を塩水で模擬した実験を行っているが、土砂による流体の密度と粘度の変化をとともに考慮する重要性が確認されていることから（中村ら、2016）、本研究では予めカオリンを混ぜ濁水状態にした水をゲート急開により開放して段波状の津波を発生させる水理実験を実施し、カオリンの混入が津波の遡上や打ち上げに与える影響を検討する。

**2. 実験条件：**図-1 に示すアクリル製開水路（内寸長さ 5575 mm，幅 300 mm）を用いて実験を行った。開水路には電動アクチュエータで上下方向の移動をコントロール可能なゲート（厚さ 10 mm）が備え付けられており、ゲート上流側の貯水部に水を入れてゲートを 100 mm 上方まで速度 500 mm/s で急開させることで津波を発生させた。このとき、貯水部の初期静水深は 100 mm の一定とし、表-1 に示すように初期浮遊砂濃度を 0, 1, 2%と変化させた。溶質は金剛カオリン（粒径 8 μm）とした。カオリンを入れた条件では、ミキサーを用いて十分混合した後、90 秒間静止してからゲートを急開した。また、ゲートの岸側面から 2,490 mm の位置に高さ 60 mm の鉛直壁を設置したケースも実施した。再現性確認のため、各ケース複数回の実験を行った。実験時には、図-1 の WG1 と WG2 での水位を超音波センサ（Omron 製 E4C-DS30L）で計測するとともに、鉛直壁周辺をハイスピードカメラで撮影した。

**3. 実験結果および考察：**鉛直壁が未設置のとき、WG1 と WG2 での水位の時間変化を図-2 に、ハイスピードカメラで撮影した遡上端付近の様子を写真-1 に示す。図-2(a)より、貯水部の WG1 での水位からは初期浮遊砂濃度の変化による顕著な差は確認できない。一方、WG2 での水位が上昇し始める時刻は、図-2(b) に示すように、初期浮遊砂濃度 0% のときよりも 1%や 2%の方が若干遅くなっている。これは、1%や 2%の方が遡上端の進行速度が若干遅いことを示しており、カオリンを含んだことで底面摩擦が増加したために生じたと推測される。この結果は、摩擦損失係数は氾濫水密度に連動すると指摘している松富・有川（2020）

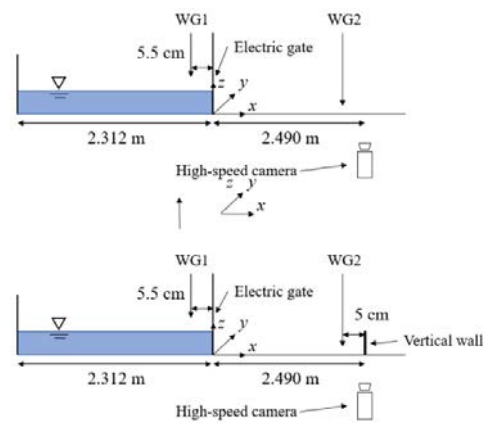


図-1 実験装置の概略図

表-1 実験条件

ケース名	壁	初期浮遊砂濃度
N-0%-n	なし	0%
N-1%-n		1%
N-2%-n		2%
W-0%-n	あり	0%
W-1%-n		1%
W-2%-n		2%

n: 実験回数を示す自然数

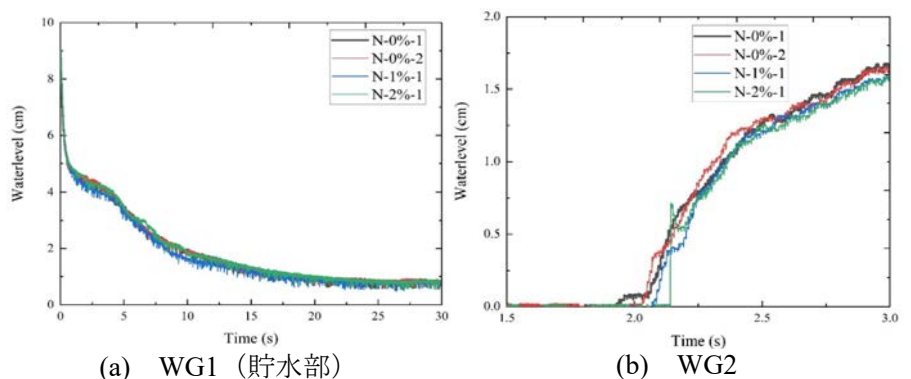


図-2 鉛直壁未設置時の水位の時間変化

キーワード 黒津波, 浮遊砂, 遡上, 打ち上げ, 水理実験

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 Tel: 052-789-4632

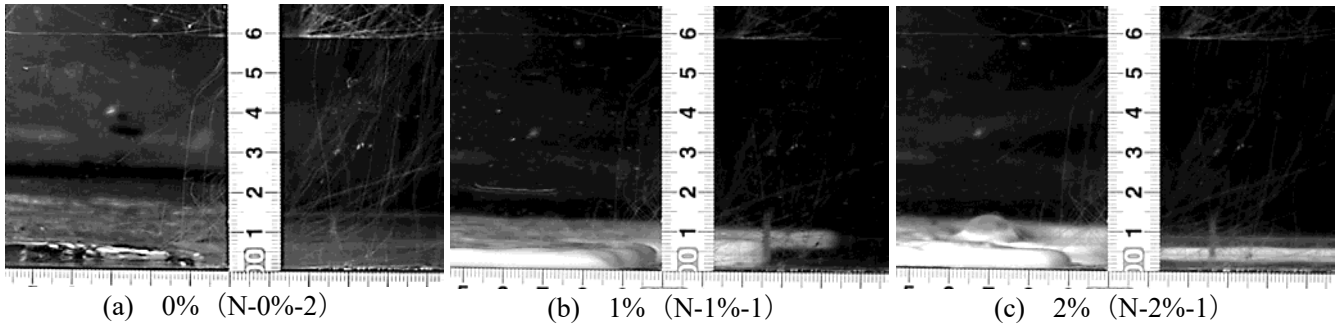


写真-1 鉛直壁未設置時のWG2付近での遡上端の様子

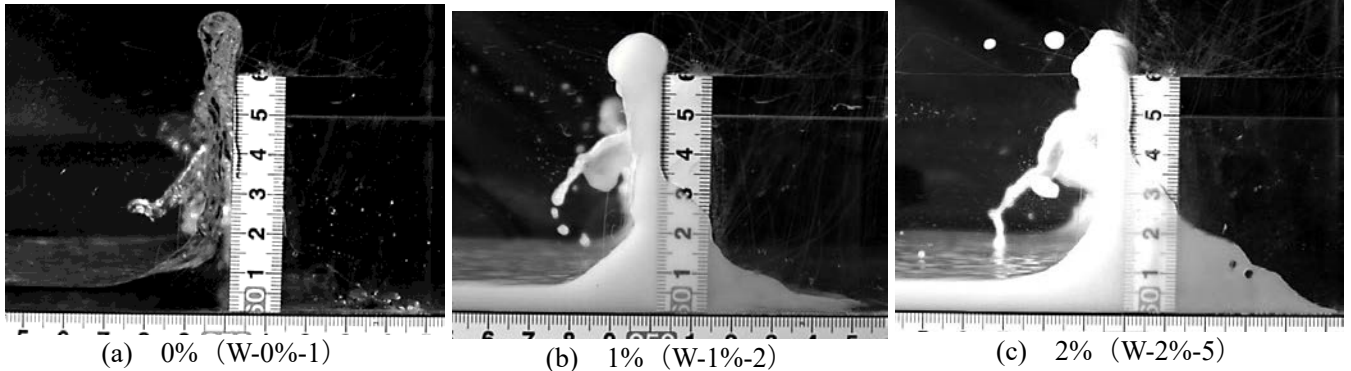


写真-2 鉛直壁設置時における鉛直壁前面での打ち上げ高最大時の様子

の結果と対応すると考えられる。なお、2%のときに水位が急激に増加しているのは、写真-1(c)に示すように遡上端付近に泡が形成されていたためと考えられる。また写真-1より、初期浮遊砂濃度0%よりも1%や2%の方が遡上端の水面形状が若干丸みを帯びているように見える。Chanson (2005)は、底面摩擦を考慮した氾濫流先端部の水面形状と流速の理論式を提案している。その理論に基づくと、摩擦係数が大きくなるほど氾濫流先端部の流速が遅くなるとともに先端部の水面と底面のなす角が大きくなることから、上述のようにカオリンを含んだことで底面摩擦が大きくなったとすると、図-2や写真-1はChanson (2005)の理論と対応した結果と言える。

鉛直壁を設置したとき、WG2での水位の時間変化を図-3に、鉛直壁前面での打ち上げ高最大時の様子を写真-2に示す。写真-2に示すように、打ち上げ高は初期浮遊砂濃度0%のときと比較して1%や2%の方が若干低くなっている。これは、上述のように遡上端の進行速度が若干遅い影響を受けたためと考えられる。一方、その傾向は図-3からは確認できない。これは、超音波センサは鉛直壁から5 cm離れた位置の最大±3 cm程度の範囲の水位を計測していることから、鉛直壁すぐ前面での打ち上げ高は計測できていなかったためである。以上より、鉛直壁へ作用する波圧や波力は、底質を含むことによる流体の見かけの密度が大きくなる影響だけではなく、鉛直壁衝突時に遡上端の進行速度が遅くなっている影響や遡上端の水面形状が丸みを帯びている影響、鉛直壁前面での打ち上げ高が低くなる影響も受けると考えられ、波圧や波力を増加させる効果と減少させる効果が混在していることから、これら相反する効果を考慮することの重要性が示唆される。

**4. おわりに：**本稿では、黒津波を想定した濁水状態の津波の遡上・打ち上げに関する水理実験を実施し、濁水状態とすることで遡上端の進行速度が遅くなること、遡上端の水面形状が丸みを帯びること、鉛直壁前面での打ち上げ高が低くなることが判明した。波圧や波力の適切な評価に向けてさらなる検討を行っていく所存である。最後になるが、公益財団法人立松財団研究助成の補助を受けたことを付記し、感謝の意を表す。

**参考文献：**[1] 小俣ら(2020), 第76回年講, II-101, 2 p. [2] 木瀬・有川(2020), 土論 B2, 76(2), I\_385-I\_390. [3] 中村ら(2015), 土論 B3, 71(2), I\_1185-I\_1190. [4] 中村ら(2016), 土論 B3, 72(2), I\_163-I\_168. [5] 松富・有川(2020), 土論 B2, 76(2), I\_391-I\_396. [6] 松富ら(2016), 土論 B2, 72(2), I\_397-I\_402. [7] 松富・川島(2015), 土論 B2, 71(2), I\_355-I\_360. [8] Chanson (2005), The Univ. of Queensland, Report CH55/05.

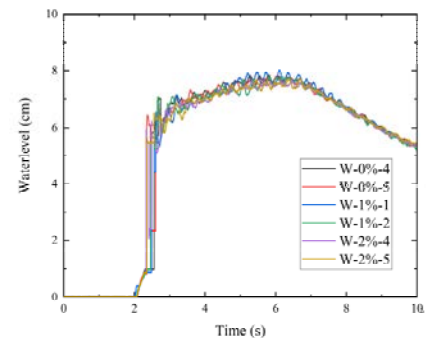


図-3 鉛直壁設置時の鉛直壁前面WG2での水位の時間変化