

## SWASHとDualSPHysicsの連成計算による計算時間短縮と粒子間隔の影響

東亜建設工業（株） 正会員 ○AIN NATASHA BALQIS, 正会員 原 知聡,  
正会員 武田 将英, 正会員 倉原 義之介, 正会員 西山 大和

## 1. はじめに

粒子法は、激しい碎波等の大変形問題を安定的に計算することができる。しかし、一般的な粒子法では、粒子間隔を一定値にする必要があるため、計算領域が大きいと計算時間が膨大になる課題があった。粒子法の一つであるSPH法に基づいたオープンソースの流体解析コードであるDualSPHysicsは、GPUによる並列計算を実装することによって、計算時間の短縮を図っている。しかし、設計実務に用いるには、依然として計算時間の問題が残されている。そこで、DualSPHysicsと比較すると計算時間がとても短い、格子法モデルであるSWASH<sup>1)</sup>の計算結果をDualSPHysicsのRelaxation Zone (RZ)の入力として造波する連成計算方法(以下、S-D連成と称す)が実装された<sup>2)</sup>。

本研究では、S-D連成による計算時間の短縮と、DualSPHysicsの粒子間隔が水面変動に与える影響について調べた。

## 2. 数値解析

図-1に示す勾配1:20の斜面を有する長さ30.0 m、幅0.3 m、高さ0.6 mの造波水路において、造波板前面水深 $h=0.25$  m、周期 $T=1.697$  s、波高 $H_0'=0.02, 0.05$  mの規則波を入射した条件を対象に、数値解析を実施した。 $H_0'=0.02$  mは非碎波、 $H_0'=0.05$  mは水深0.10mの水平床上で碎波する条件である。SWASH単体モデルの水面変動は、水理実験と一致することを確認している。

図-1は、SWASH、DualSPHysicsの単体モデル、図-2は、S-D連成用のSWASH、DualSPHysicsのモデルである。いずれも鉛直2次元断面として扱った。消波帯として、SWASHではSponge layer、DualSPHysicsではDamping Zoneを設定した。SWASHは、水平方向の格子寸法0.005 m、鉛直方向8層として計算を行った。DualSPHysicsは、表-1に示すAndiら<sup>3)</sup>と同じパラメータで実行した。

S-D連成では、斜面上にあるWG3の位置でSWASHとDualSPHysicsを接続した。図-2に示すように、S-D連成

のSWASHモデルは、図-1と異なり、WG3の位置で斜面が終了している点に注意されたい。連成計算では、図-2のSWASHモデルから得られた接続位置における水平・鉛直流速を、式(1)、(2)を用いて図-2のDualSPHysicsのRZ内の粒子に転送することによって造波する。

$$u_i = Cu_{ci} + (1-C)u_{pi} \quad (1)$$

$$w_i = Cw_{ci} + (1-C)w_{pi} \quad (2)$$

ここに、 $u_i$ と $w_i$ は連成位置における水平と鉛直速度、 $u_{ci}$ と $w_{ci}$ はSWASHで計算された水平と鉛直速度、 $u_{pi}$ と $w_{pi}$ はDualSPHysicsで計算された実際の水平と鉛直速度、 $C$ は重み関数( $C=f(x, \Psi, \beta)$ )を示す。RZの有効幅 $W_{RZ}$ は、Altomareら<sup>2)</sup>に基づいて0.22 mとした。このとき用いた $\Psi$ と $\beta$ はそれぞれ0.69と8である。

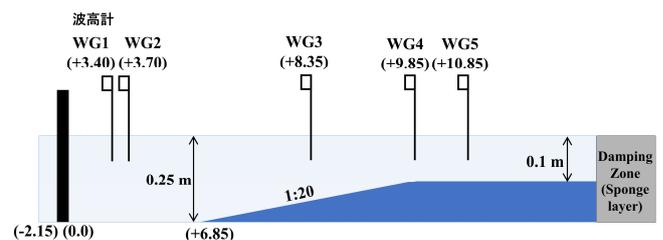


図-1 単体モデル(SWASH, DualSPHysics)

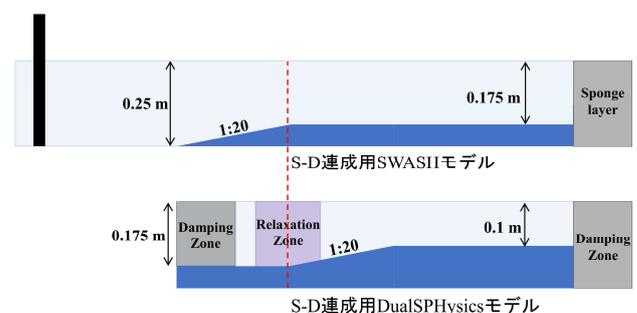


図-2 S-D連成モデル(上: SWASH, 下: DualSPHysics)

表-1 DualSPHysicsの計算条件

Kernel function	Quintic
Time step algorithm	Symplectic
Artificial viscosity (coeff $\alpha$ )	0.0001
Coefsound	20
Particle spacing $D_p$ (m)	0.005, 0.003, 0.001
Coefh	2.0
CFL number	0.3
Delta-SPH( $\delta$ )	0.1

キーワード DualSPHysics, SWASH, 連成計算, 計算時間, 粒子間隔

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業（株）技術研究開発センター TEL 045-503-3741

### 3. 結果と考察

#### (1) 単体計算と連成計算との比較

$H_0'=0.05$  mにおけるSWASH単体, DualSPHysics単体, S-D連成の砕波前(WG4)と砕波後(WG5)の水位変動を図-3に示す. DualSPHysicsの粒子間隔は,  $D_p=0.003$  mを用いた. 水位変動は, どのモデルでも概ね一致していた.

#### (2) 粒子間隔が水位変動に与える影響

S-D連成でDualSPHysicsの $D_p$ を変えたときの水位変動を図-4 ( $H_0'=0.02$  m), 図-5 ( $H_0'=0.05$  m)に示す. 図-4に示す波高が小さい $H_0'=0.02$  mの場合には, 粒子間隔が大きくなるにつれて, wave setupのような水位上昇が観察され, SWASHの水位変動と異なる様子が見られた. 図-5に示す $H_0'=0.05$  mでは,  $D_p=0.003$  mと $D_p=0.001$  mの水位変動に大きな違いは見られず, SWASHの水位変動と良好に一致していた. 一方,  $D_p=0.005$  mの場合には, WG4, WG5ともに波谷の水位が高く, 波の非線形性が弱まっていることと,  $H_0'=0.02$  mと同様に, wave setupのような水位上昇が観察された. この原因については分からなかったが, 目標波高に対して1/10~1/20倍程度の粒子間隔を設定する必要があると言える.

また,  $D_p$ 以外のパラメータを変えた場合の水位変動の影響も調べた. その結果, 連続の式に密度拡散項を導入したDelta-SPHを用いないときに, 水面が大きく乱れることが分かった. それ以外のパラメータを変更しても水位変動に与える影響は小さかった.

#### (3) 計算時間

表-2に,  $D_p=0.001$  m,  $D_p=0.003$  m,  $D_p=0.005$  m の1分間当たりの単体計算と連成計算による $H_0'=0.05$  mの計算時間を示す.  $D_p=0.003$  m( $H_0'=0.05$  mでは十分)を用いたときの計算時間は, 1分間のシミュレーションに対して, DualSPHysics単体(粒子数: 522,138)では5時間20分, S-D連成(粒子数: 271,954)ではSWASHの計算時間を加えても2時間28分であった. S-D連成を行うことによって, 計算時間を6割削減できた.

#### 4. おわりに

本研究では, SWASHとDualSPHysicsとの連成計算について, 計算時間と粒子間隔が水面変動に与える影響について調べた. その結果, 鉛直2次元断面であっても, 連成計算を行った方が計算時間の短縮になることが分かった. また, 粒子間隔が大きいと, 実際の水面変動とは異なる水位上昇が発生することが分かった. 目標波高に対して, 適切な粒子間隔の設定が必要である.

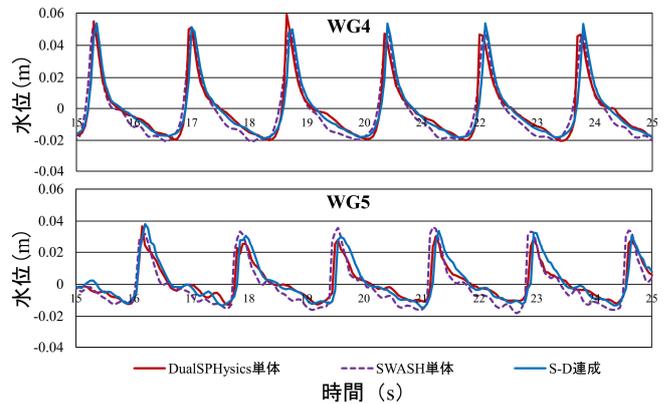


図-3 単体計算・連成計算の水位変動 ( $D_p=0.003$  m)

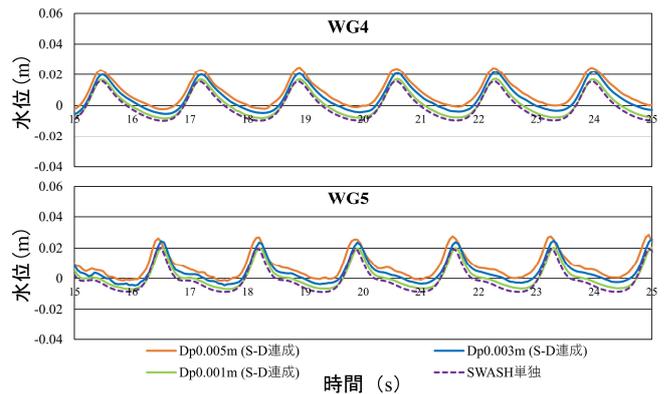


図-4 粒子間隔を変えた場合の水位変動( $H_0'=0.02$  m)

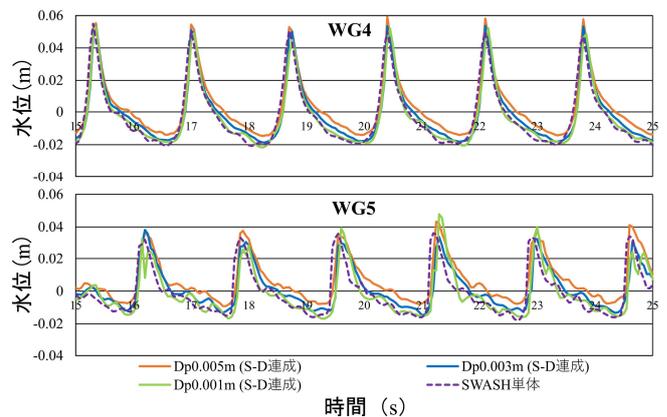


図-5 粒子間隔を変えた場合の水位変動( $H_0'=0.05$  m)

表-2 1分間当たりの計算時間( $H_0'=0.05$  m)

粒子間隔 $D_p$ (m)	モデル	1分間当たりの計算時間 (h)			粒子数 $N_p$
		SWASH	DualSPHysics	Total time	
0.005	単体	—	1.55	1.55	193218
	連成	0.52	0.68	1.20	101666
0.003	単体	—	5.33	5.33	522138
	連成	0.52	1.95	2.47	271954
0.001	単体	—	123.48	123.48	4620138
	連成	0.52	35.25	35.77	2390326

#### 参考文献

- 1) Zijlema, M., Stelling, G., Smit, P.: SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters, *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 58, No. 10, pp.992-1012, 2011.
- 2) C. Altomare, B. Tagliaferro, J.M. Dominguez, T. Suzuki, G. Viccione: Improved relaxation zone method in SPH-based model for coastal engineering applications, 2018
- 3) Andi Trimulyono, Hirotsada Hashimoto: Experimental validation of smoothed particle hydrodynamics, 2019