

砕波帯内物理環境の高精度推定のための  
マルチフェイズダイナミックスの展開

(課題番号 15360264)

平成 15 年度～平成 17 年度科学研究費補助金  
(基盤研究 (B)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 後藤 仁志  
京都大学工学研究科助教授

砕波帯内物理環境の高精度推定のための  
マルチフェイズダイナミクスの展開

(課題番号 15360264)

平成 15 年度～平成 17 年度科学研究費補助金  
(基盤研究 (B)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 後藤 仁志  
京都大学工学研究科助教授

## 研究概要

従来、碎波の数値解析が困難を極めたのは、自由水面の取り扱いの困難さ故であった。近年、自由水面のトラッキング手法が急速に発達し、幾つかの有力な水面追跡法が碎波現象に適用されて実績を上げている。本研究では、粒子法、密度関数法といった新しい界面追跡手法を導入してこの問題に対処するのはもちろん、従来の单相流的扱いから一步踏み込んで、固液、気液といった先端的な混相流モデルに基づく碎波帯を対象とした計算を実施する。なお、研究過程では、固液と気液、Euler型モデルとLagrange型モデルなどの多角的観点から、分担者がこれまでに蓄積を有する個々のモデルを深化させ、近い将来の統合型のシミュレーションの実施に向けたモデルの相互理解と高速計算の基礎技術開発を特に念頭に置いた。

以下に、研究課題を列挙する。

1. 気液混相流のモデリングに関する研究
2. 波浪場における構造物・流体連成のモデリングに関する研究
3. 固液混相流のモデリングに関する研究
4. 数値造波水槽の構築

課題1では、自由表面の追跡精度の向上と気相・液相の相互作用に関してモデリングを展開した。課題2では、CIP法や粒子法を軸に、流れと構造物の連成モデルを開発し、波浪場に適用して有効性を検証した。課題3では、粒子群に誘起される流れの基礎特性を物理実験によって把握し、Euler-Lagrangeカップリングによる固液混相流モデルや3次元個別要素法コードによる混合砂の流動解析を実施した。課題4では、MPS法を並列化して、100万超粒子の取り扱いが可能な数値造波水槽の開発を行った。また、越波量推定に対する粒子法の有効性を水理実験を通じて検証した。

本報告書では、個々の課題に関して、研究代表者および研究分担者の既発表成果を取りまとめて示し、研究成果の報告とする。

## 研究組織

研究代表者	後藤 仁志	(京都大学工学研究科助教授)
研究分担者	沖 和哉	(京都大学工学研究科助手)
	重松 孝昌	(大阪市立大学工学研究科助教授)
	陸田 秀実	(広島大学工学研究科助教授)
	原田 英治	(豊田工業高等専門学校環境都市工学科助教授)

## 交付決定額（研究経費）

	直接経費	間接経費	合計
平成 15 年度	12,700,000	0	12,700,000
平成 16 年度	1,500,000	0	1,500,000
平成 17 年度	1,500,000	0	1,500,000
合計	15,700,000	0	15,700,000

（金額単位：円）

## 研究発表

（注）□：研究成果のページに全文掲載；○：研究発表リストにのみ掲載

### 1. 気液混相流のモデリングに関する研究

#### (1) 学会誌等

- 後藤仁志・五十里洋行・八木哲生・酒井哲郎：MPS 法による砕波解析のための自由水面境界条件の改良，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.21-25，2003.
- Gotoh, H., M. Hayashi, Sakai, T. and Oda, K.: Numerical Model of Wave Breaking by Lagrangian Particle Method with Sub-Particle-Scale Turbulence Model, Proc. APAC, 2003, Makuhari-Japan, paper on CD-ROM, 2003.
- 五十里洋行・後藤仁志・酒井哲郎：気液二相流型粒子法における界面追跡の安定化，水工学論文集，第 48 巻，pp.685-690，2004.
- 五十里洋行・後藤仁志・酒井哲郎：気液二相流型粒子法による砕波過程の数値シミュレーション，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.111-115，2004.
- Gotoh, H., Ikari, H. and Sakai, T.: Simulation of Falling Water by Lagrangian Particle Method, Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol. VI - Proc. 6th ICHE, Brisbane, Australia, paper on CD-ROM, 2004.
- Gotoh, H., Sumi, T. and Sakai, T.: Preprocessor for Human Interface of Numerical Wave Flume, Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol. VI - Proc. 6th ICHE, Brisbane, Australia, paper on CD-ROM, 2004.
- 陸田秀実，常山鉄平，土井康明：重合ソロボン格子法による自由表面境界層の数値解析，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.16-20，2005.
- Ikari, H., Gotoh, H. and Sakai, T.: Liquid-Gas Two-Phase-Flow MPS Method for Simulation of Wave Overtopping, Proc. Waves2005, Madrid, Spain, paper on CD-ROM, 2005.
- Ikari, H., Gotoh, H. and Sakai, T.: Simulation of Wave Run-up by Liquid-Gas Two-Phase-Flow MPS Method, Proc. APAC2005, on CD, 2005.

#### (2) 口頭発表

- 後藤仁志：砕波・落水シミュレーションへの MPS 法の適用，第 8 回粒子法研究会，東京大学，2004.
- 五十里洋行・後藤仁志・酒井哲郎：気液二相流型粒子の砕波過程への適用，土木学会関西支部年次学術講演会，2004.
- 谷岡弘邦・後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎：MPS 法における圧力擾乱の低減を目的とした疑似圧縮性の導入，土木学会関西支部年次学術講演会，2005.

## 2. 波浪場における構造物・流体連成のモデリングに関する研究

### (1) 学会誌等

- Mutsuda, H., K. Shimizu and Y. Doi: Numerical Simulation for Large Deformation Fluid-Structure Interaction Using CIP-EDEM method, 5th Int. Sympo. on Ocean Wave Measurement and Analysis, Madrid, Spain, CD-ROM, 2005.
- 陸田秀実, 土井康明: SPH 法による砕波と沿岸構造物の相互作用に関する数値解析, 第 19 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, A8-2, CD-ROM, 2005.
- 陸田秀実, 土井康明: 格子・粒子ハイブリッド法による砕波と沿岸構造物の相互作用に関する数値解析, 第 19 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, A8-3, CD-ROM, 2005.

## 3. 固液混相流のモデリングに関する研究

### (1) 学会誌等

- 重松孝昌・竹原幸生・塩足純一・小田一紀: 多孔質体による乱れの生成・減衰機構の解明に関する実験的研究, 水工学論文集, 第 46 巻, pp.787-792, 2003.
- 重松孝昌・小田一紀・赤木統彦: 粒子群の運動に誘起される波の生成・伝播機構に関する基礎実験, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 256-260, 2003.
- Harada, E., Gotoh, H., Sakai, T. and Ohno, M.: Numerical Simulation of Deformation Process of Wave-Dissipating Blocks by 3D-DEM, Proc. APAC, 2003, Makuhari-Japan, paper on CD-ROM, 2003.
- 重松孝昌・塩足純一・竹原幸生・辻本剛三: 一方向流中に置かれた多孔質体による乱流の生成・減衰過程に関する基礎実験, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.661-665, 2004.
- 原田英治・細田 尚・後藤仁志・Euler-Lagrange カップリングモデルによる捨石堰の崩壊過程の計算力学的研究, 土木学会論文集, 第 775 号/II-69, pp.45-54 2004.
- Gotoh, H., Hayashi, M. and Sakai, T.: Lagrangian Multiphase Flow Model for Debris-Flow-Induced Tsunami, Proc. ICCE, Lisboa, Portugal, pp.1121-1133, 2004.
- 辻本剛三・柿木哲哉・浜浦雄大・重松孝昌・日下部重幸: Macroscopic 乱流モデルを用いた透過性構造物内外の底質移動に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.456-460, 2005.
- 原田英治・細田 尚・後藤仁志・永田祥久: 固液混相流モデルによる高濃度掃流粒子層発達過程の数値解析, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.745-750, 2005.
- E. Harada and H. Gotoh: Numerical Simulation for Collapse Process of House due to Landslide, ISFCD2005, Kyoto, Japan, on CD, 2005.
- E. Harada, T. Hosoda and H. Gotoh: Examination of Landside Mechanism due to Liquefaction, ISFCD2005, Kyoto, Japan, on CD, 2005.
- 原田英治・後藤仁志: 三次元数値移動床による混合粒径シートフロー漂砂の分級過程の解析, 土木学会論文集 B, Vol. 62, No.1, pp128-138, 2006.

### (2) 口頭発表

- 河野哲也・重松孝昌・小池敏也: 斜面上を運動する粒子群によって誘起される波の発生・伝播機構に関する実験的研究, 第 60 回年次学術講演会講演概要集, 2-174, 2005.
- 中條壮大・重松孝昌: 画像計測を用いた多孔質体間隙部およびその周辺の流動場に関する研究, 第 60 回年次学術講演会講演概要集, 2-267, 2005.
- 後藤仁志: DEM 型数値移動床による流砂水理学の展開, 第 9 回粒子法研究会, 東京大学, 2005.

#### 4. 数値造波水槽の構築

##### (1) 学会誌等

- Shao, S., Gotoh, H. and Memita, T.: Simulation of Wave Overtopping on Partially Immersed Breakwater by SPH Model, Proc. APAC, 2003, Makuhari-Japan, paper on CD-ROM, 2003.
- 後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎：粒子法による三次元数値波動水槽の開発，海岸工学論文集，第52巻，pp.26-30，2005.
- 後藤仁志・五十里洋行・西出俊亮・山田嘉晴・殿最浩司・目見田哲・望月貴文：粒子法型数値波動水槽における極值的越波再現のための補助造波境界の開発，海岸工学論文集，第52巻，pp.681-685，2005.
- 五十里洋行・後藤仁志・酒井哲郎・谷岡弘邦：衝撃波圧推定への疑似圧縮型粒子法の適用性，海岸工学論文集，第52巻，pp.731-735，2005.
- Shao, S. & Gotoh, H.: Turbulence Particle Models for Tracking Free Surfaces, Jour. Hydraulic Res., IAHR, Vol. 43, No.3, pp. 276-289, 2005.
- Gotoh, H., Ikari, H., Memita, T. and Sakai, T. : Lagrangian Particle Method for Simulation of Wave Overtopping on a Vertical Seawall, Coastal Eng. Jour., Vol. 47, Nos. 2-3, pp.157-181, 2005.
- Gotoh, H., Ikari, H. and Sakai, T. : Numerical Simulation of Stream over Staircase by 3D Particle Method, Proc MPMD-2005, Kyoto, Japan, pp. 185-190, 2005.
- Gotoh, H., Ikari, H. and Sakai, T.: Development of Numerical Wave Flume by 3D MPS Method, Proc. Waves2005, Madrid, Spain, paper on CD-ROM, 2005.
- Gotoh, H., Ikari, H. and Sakai, T.: Simulation of Plunging Breaker by 3D MPS Method, Proc. APAC2005, on CD, 2005.

##### (2) 口頭発表

- 吉川泰弘・後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎：MPS法の並列計算の数値造波水路への適用，土木学会関西支部年次学術講演会，2004.

# 研究成果

## 目次

### 1. 気液混相流のモデリングに関する研究

- MPS法による砕波解析のための自由水面境界条件の改良 8
- 気液二相流型粒子法における界面追跡の安定化 13
- 気液二相流型粒子法による砕波過程の数値シミュレーション 19
- 重合ソロバン格子法による自由表面境界層の数値解析 24

### 2. 波浪場における構造物・流体連成のモデリングに関する研究

- Numerical Simulation for Large Deformation Fluid-Structure Interaction  
Using CIP-EDEM method 29
- SPH法による砕波と沿岸構造物の相互作用に関する数値解析 39
- 格子・粒子ハイブリッド法による砕波と沿岸構造物の相互作用に関する数値解析 46

### 3. 固液混相流のモデリングに関する研究

- 粒子群の運動に誘起される波の生成・伝播機構に関する基礎実験 52
- 一方向流中に置かれた多孔質体による乱流の生成・減衰過程に関する基礎実験 57
- Euler-Lagrangeカップリングモデルによる捨石堰の崩壊過程の計算力学的研究 62
- 固液混相流モデルによる高濃度掃流粒子層発達過程の数値解析 72
- 三次元数値移動床による混合粒径シートフロー漂砂の分級過程の解析 77

### 4. 数値造波水槽の構築

- 粒子法による三次元数値波動水槽の開発 89
- 粒子法型数値波動水槽における極値的越波再現のための補助造波境界の開発 94
- 衝撃波圧推定への疑似圧縮型粒子法の適用性 99
- Turbulence Particle Models for Tracking Free Surfaces 104
- Lagrangian particle method for simulation of wave overtopping  
on a vertical seawall 118