

波動・流れ・漂砂・地盤相互作用系としての
砕波帯のダイナミックスの構築

(課題番号 14205072)

平成 14 年度～平成 17 年度科学研究費補助金
(基盤研究 (A)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 酒 井 哲 郎
京都大学工学研究科教授

波動・流れ・漂砂・地盤相互作用系としての 砕波帯のダイナミックスの構築

(課題番号 14205072)

平成 14 年度～平成 17 年度科学研究費補助金
(基盤研究 (A)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 酒 井 哲 郎
京都大学工学研究科教授

研究概要

砕波帯の複雑性の原因は、言うまでもなく砕波自身にある。本来エネルギー散逸を伴わない波動エネルギーが砕波によって乱れエネルギーに変換され、最終的には熱散逸する。砕波によるエネルギー供給は水流を生み、物質輸送を活発化する。このような場では、既往の波・流れや漂砂の数値モデルが必ずしも有効に機能しない。すなわち、既存のモデルの多くは、水塊分裂・再合体を伴う激しい水面変動には対応が困難であるし、既往の漂砂量式は底面せん断力を外力として定式化されており、例えば巻き波形の砕波で生じるプランジングジェットの砂面への衝突に起因する大規模な砂の巻き上げ等の現象は、想定外である。

さらに遡上域での浸透流の影響や波浪伝播に起因する海底面への作用水圧の変動による海底地盤の液化（流動抵抗の減少を含む）など、砕波帯内の漂砂を取り巻く場は複雑を極める。本研究では、波動・流れ・漂砂・海底地盤の4者相互作用系としての砕波帯のダイナミクスに対して、多角的なアプローチを行い、統合的な数値モデルの構築を目指した。

以下に、研究課題を列挙する。

1. 砕波帯の波・流れ・漂砂のモデリングに関する研究
2. 海底地盤の液化化と人工海浜の空洞形成のモデリングに関する研究
3. 種々の水理現象に対するモデルの適用性の検証

課題1では、固液混相流モデルの開発、浸透層上の漂砂特性の解析、粒子法による自由表面流の解析といった漂砂の力学機構に関する研究を行った。課題2では、海底地盤の液化化に起因する構造物の被災、液化化に伴った砂浜の地盤内空洞の形成など地盤工学と水理学の境界領域を対象とした。課題3では、開発されたモデルを種々の水理現象に適用して有効性を検証した。

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	酒井 哲郎	(京都大学工学研究科教授)
研究分担者	後藤 仁志	(京都大学工学研究科助教授)
	沖 和哉	(京都大学工学研究科助手)
	浅野 敏之	(鹿児島大学工学部教授)
	前野 詩朗	(岡山大学環境理工学部助教授)
研究協力者	目見田 哲	(関西電力総合研究所シニアリサーチャー)

交 付 決 定 額 (研究経費)

	直接経費	間接経費	(金額単位：円) 合計
平成 14 年度	26,500,000	7,950,000	34,450,000
平成 15 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
平成 16 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
平成 17 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
合計	31,900,000	9,570,000	41,470,000

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. 砕波帯の波・流れ・漂砂のモデリングに関する研究

(1) 学会誌等

- 後藤仁志・林 稔・安藤 怜・鷺見 崇・酒井哲郎：砂礫混合層を伴う混相流解析のための DEM-MPS 法マルチスケールリンクの開発，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.26-30, 2003.
- 浅野敏之・Md. A. Hoque: 境界層の変化を考慮した透水性斜面上の漂砂の解析，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.501-505, 2003.
 - M. Hayashi, Gotoh, H., Sakai, T. and Ikari, H.: Lagrangian Gridless Model of Toe Scouring of Seawall due to Tsumani Return Flow, Proc. APAC, 2003, Makuhari-Japan, paper on CD-ROM, 2003.
- Gotoh, H., Shao, S. & Memita, T.: SPH-LES Model for Numerical Investigation of Wave Interaction with Partially Immersed Breakwater, Coastal Eng. Jour., Vol. 46, No. 1, pp.39-63, 2004.
 - Harada, E., Hosoda, T., Gotoh H. and Obayashi K.: Numerical Simulation of Local Scouring Process by Solid-Liquid Two-Phase Flow Model, ISEH&IAHR-APD, Hong Kong, pp. 1851-1857, 2004.
 - Gotoh, H., Hayashi, M. and Sakai, T.: Refined Solid-Phase Model in Lagrangian Particle Method for Solid-Liquid Two-Phase-Flow, Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol. VI - Proc. 6th ICHE, Brisbane, Australia, paper on CD-ROM, 2004.
- Akbarpour Jannat M. Reza・浅野敏之：波群性風波とそれに伴う長周期波の作用下における底質移動外力の評価，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.411-415, 2005.
 - Reza, A. J. M. and Asano, T.: An Integrated Prediction Model on Wind Waves and Long Period Waves in Surf and Swash Zones, APAC2005, pp.1360-1372, 2005.
 - Hasegawa, J., Asano, T., Kawazoe, Y. and Kishira, Y.: Relation between Long Term Beach Deformation and Sediment Discharge from Hinterland Rivers in Shibushi Coast, APAC2005, pp.1657-1668, 2005.
- Gotoh, H. & Sakai, T.: Key Issues in the Particle Method for Computation of Wave Breaking, Coastal Eng., Vol. 53, No. 2-3, pp.171-179, 2006.

2. 海底地盤の液状化と人工海浜の空洞形成のモデリングに関する研究

(1) 学会誌等

- 酒井哲郎・後藤仁志・原田英治・井元康文・大野正博：被圧海底地盤の流動化による護岸前面の捨石群端部の沈下過程，海岸工学論文集，第50巻，pp.861-865，2003.
- 原田英治・後藤仁志・酒井哲郎・鄭 知博：波浪による護岸隣接砂層内の空洞成長過程の3Dシミュレーション，海岸工学論文集，第50巻，pp.891-895，2003.
 - Bierawski, L.G. and Maeno, S. : An Experimental Study on the Interaction between the Reef Breakwater, the Sandy Bed and the Wave Field, XXX IAHR Congress, Theme A, pp. 377-384, 2003.
 - Mioduszewski, T. and Maeno, S. : Experimental Study of Scouring Process and Flow Behavior around a Spur Dike during the Surge Path, Proceedings of the 13th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol.3, pp. 858-863, 2003.
 - Sakai, T., Gotoh, H., Harada, E. and Imoto, Y.: Subsidence of Rubble Stones due to Wave-Induced Seabed Liquefaction, Proc. APAC, 2003, Makuhari-Japan, paper on CD-ROM, 2003.
- 酒井哲郎・後藤仁志・原田英治・許 伶宅・岩本晃幸：人工海浜砂層内空洞の形成過程に及ぼす埋設物の影響，海岸工学論文集，第51巻，pp.806-810，2004.
- 前野詩朗，Bierawski, L.G., 小川 誠：波－混成堤－地盤系の相互応答に関する研究，海岸工学論文集，pp.826-830，第51巻，2004.
- 原田英治・後藤仁志・田中秀範・大野正博・酒井哲郎：波浪下の液状化海底地盤中の埋設パイプラインの浮上過程，海岸工学論文集，第51巻，pp.836-840，2004.
- Bierawski, L.G and Maeno, S. : VOF-FEM Numerical Model of Submerged Breakwater on Permeable Bottom, Journal of Applied Mechanics Vol.7, JSCE, pp.945-952, 2004.
 - Sakai, T., Gotoh, H. and Harada, E.: 3D Numerical Simulation of Cassion-Side Cave Formation in Artificial Sand Beach, Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol. VI - Proc. 6th ICHE, Brisbane, Australia, paper on CD-ROM, 2004.
 - 後藤仁志・原田英治・高山知司・水谷雅裕・不動雅之・岩本晃幸：高波浪による消波ブロック群高密度化のメカニズム，海岸工学論文集，第52巻，pp.781-785，2005.
 - Mioduszewski, T. and Maeno, S. : Three Dimensional Analysis of Flow around a Porous Spur Dike, Journal of Applied Mechanics Vol.8, pp.793-801, 2005.
 - Harada, E., Gotoh, H. and Sakai, T.: Particle-System Simulation of Pipelines Floatation due to Seabed Liquefaction, Proc. APAC2005, on CD, 2005.
 - Hur, Y. Harada, E., Gotoh, H. and Sakai, T.: Cave Formation Process in Artificial Sand Beach by 3D Movable Bed Simulator, Proc. APAC2005, on CD, 2005.

(2) 口頭発表

- 岩本晃幸・酒井哲郎・後藤仁志・原田英治・許伶宅：数値移動床による人工海浜地盤内空洞の形成過程シミュレーション，土木学会関西支部年次学術講演会，2004.
- 小川 誠，Bierawski, L.G., 前野詩朗：波による混成堤周辺地盤の動的挙動に関する研究，土木学会中国支部第56回研究発表会，pp.101-102，2004.

3. 種々の水理現象に対するモデルの適用性の検証

(1) 学会誌等

[水流のモデル]

- 五十里洋行・後藤仁志・酒井哲郎：粒子法の3次元化による多段型落差工の水理シミュレーション，水工学論文集，第49巻，pp.811-816，2005.
- 後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎・望月貴文：3D-MPS法による数値魚道の構築に関する基礎

的検討, 第 50 巻, pp.853-858, 2006.

- 後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎・谷岡弘邦: 浸水時地下街階段登段者の脚部に作用する流体
力評価に関する計算力学的アプローチ, 第 50 巻, pp.865-870, 2006.

[土砂輸送モデル]

- 前野詩朗, 道奥康治, 森永 智, 菊池慶太: 捨石堰周辺の流況解析, 水工学論文集, 第 48 巻,
pp.829-834, 2004.
- Harada, E., Hosoda, T. and Gotoh H.: Numerical Simulation for Destruction Process of
Rubble Stones Dam, River Flow 2004, Napol, Italy, pp. 877-884, 2004.
- Harada, E., Gotoh H. and Sakai, T.: Simulation of Formation Process of Debris Fan by 3D
Granular Material Model, Advances in Hydro-Science and -Engineering, Vol. VI - Proc. 6th
ICHE, Brisbane, Australia, paper on CD-ROM, 2004.
- 前野詩朗, 道奥康治, 加瀬瑛斗, 菊池慶太: 個別要素法を用いた捨石堰の破壊予測, 水工学論文
集, 第 49 巻, pp.787-792, 2005.
- 後藤仁志・五十里洋行・原田英治・酒井哲郎: 大規模土砂流動シミュレーションのための 3 次
元並列型数値移動床, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.883-888, 2005.
- 後藤仁志・原田英治・酒井哲郎・合田健一: 数値移動床による格子型砂防ダム閉塞過程のシュ
ミレーション, 水工学論文集, 第 50 巻, pp.739-744, 2006.

(2) 口頭発表

- 加瀬瑛斗・菊池慶太・前野詩朗・個別要素法を用いた捨石堰の破壊シミュレーション, 土木学
会中国支部第 56 回研究発表会, pp.193-194, 2004.
- 合田健一・後藤仁志・原田英治・酒井哲郎: 透過型砂防ダムの堆砂過程の 3D シミュレーショ
ン, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2005.
- 望月貴文・後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎: 粒子法による極值的越波過程の再現のための入
射・反射境界個別制御の試み, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2005.

研究成果

目 次

1. 砕波帯の波・流れ・漂砂のモデリングに関する研究

☐ 砂礫混合層を伴う混相流解析のための DEM-MPS 法マルチスケールリンクの開発	8
☐ 境界層の変化を考慮した透水性斜面上の漂砂の解析	13
☐ SPH-LES Model for Numerical Investigation of Wave Interaction with Partially Immersed Breakwater	18
☐ 波群性風波とそれに伴う長周期波の作用下における底質移動外力の評価	43
☐ Key issues in the particle method for computation of wave breaking	48

2. 海底地盤の液状化と人工海浜の空洞形成のモデリングに関する研究

☐ 被圧海底地盤の流動化による護岸前面の捨石群端部の沈下過程	57
☐ 波浪による護岸隣接砂層内の空洞成長過程の 3D シミュレーション	62
☐ 人工海浜砂層内空洞の形成過程に及ぼす埋設物の影響	67
☐ 波－混成堤－地盤系の相互応答に関する研究	72
☐ 波浪下の液状化海底地盤中の埋設パイプラインの浮上過程	77
☐ VOF-FEM numerical model of submerged breakwater on permeable bottom	82

3. 種々の水理現象に対するモデルの適用性の検証

[水流のモデル]

☐ 粒子法の 3 次元化による多段型落差工の水理シミュレーション	90
☐ 浸水時地下街階段登段者の脚部に作用する流体力評価に関する計算力学的アプローチ	96

[土砂輸送モデル]

☐ 個別要素法を用いた捨石堰の破壊予測	102
☐ 大規模土砂流動シミュレーションのための 3 次元並列型数値移動床	108
☐ 数値移動床による格子型砂防ダム閉塞過程のシミュレーション	114