

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24404016

研究課題名(和文)釜山新港での底質浄化の実現とアジア諸国への水環境再生技術の移転基盤の確立

研究課題名(英文) Realization of sediment remediation in Busan New Port and Establishment of foundations for transferring water environment-restoration technology into Asian countries

研究代表者

日比野 忠史 (HIBINO, TADASHI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50263736

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：日韓が協力して行った「釜山新港周辺の環境汚染に大きく影響を与えている有機泥(浮遊物・堆積物)の循環に関する現地調査」結果から、釜山新港建設のための埋め立て後、強閉鎖性海域となった竜院湾奥海域を環境修復実験域とした。この海域において効率的に底質改善を行うために必要な現地実験を計画し、平成25年度に現地実験を行うための西部海域の環境再生(底質改善)プロジェクトを立ち上げた。平成24年から韓国政府(特に水産庁)にアルカリ剤造粒物を用いた水質浄化技術の安全性と効果を説明するための現地実験を25年度から開始した。

研究成果の概要(英文)：Based on the results of the project “Field observation on the effect of environmental pollutions on the sediment (suspended/deposited matter) circulation in sea regions around Pusan Newport” which was conducted under the cooperation of the Japan and Korea, it is expected that strong closed water areas are formed after the construction of the port. Hence, the inner part of Yongwon Bay was chosen for conducting the experiment of water/sediment environment restoration. To obtain the effective restoration of sediment environment, required field experiments were planned and the project of “Restoration of sediment environment in the western part of Yongwon Bay” was established before conducting the field experiments. From 2013, the field experiments were conducted in order to explain the effects and safety of granulated alkaline material-used technology on water environment restoration to Korean government (particularly to Fisheries Agency).

研究分野：沿岸環境学

キーワード：釜山新港 竜院湾現地実験 ヘドロ浄化 石炭灰造粒物 技術移転 環境材料 土壌汚染防止・浄化  
環境反応

### 1. 研究開始当初の背景

近年、アジア諸国においても開発が進む沿岸域における自然環境再生の重要性が高まり、環境修復に関する技術が急速に発達してきている。しかしながら、多くの場合実験室スケールでの成果が現地に適用され、海域に適用できる十分な効果が得られているわけではない。特に、高価な構造物を必要としない浄化法が実規模で実行された例は皆無に近く、発展途上国で実用が期待できる無管理型の汚泥浄化技術は発展の外にある。

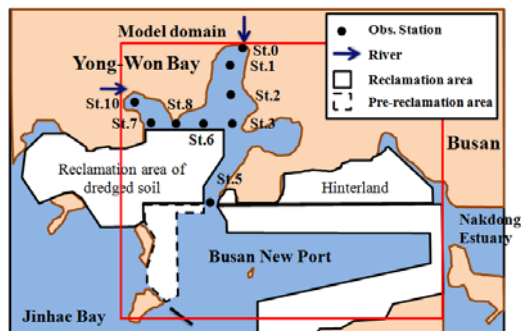
本研究で対象とするのは釜山新港である。1995年から行われている釜山新港の建設(図-1)のため大規模な埋め立てが行われており、地形の変動や湾奥部(竜院湾)の閉塞が生じている。本研究は大規模の埋め立てによって、水質・底質環境が悪化した竜院湾の水質改善を行うことにより日本の優れた底質浄化技術を海外で実証する研究として位置づけられる。釜山新港(2020年に完成予定)の建設のための大規模な埋め立てにより閉鎖性水域となった韓国竜院湾では有機物の堆積により還元的な底質環境が形成されている。特に湾奥に位置する西部海域では貧酸素水塊の発生が確認されており、堆積底泥は有機物の嫌気分解過程で生成される還元物質によって還元化が進んでいる。

### 2. 研究の目的

本研究の最終的な目標は近代化するアジア諸国でヘドロ・水問題に対処できるヘドロ浄化技術を確立することであり、日本で開発した技術を韓国と共同でアジア諸国に発信する研究として位置づけられる。

本研究では現在までに行なっている竜院湾調査結果(水質、底質、流動等)を①評価するための手法開発、提案する手法による分析結果(例えば、堆積底泥の性状と間隙水中の酸化還元電位の関係)から②埋め立て後の堆積底泥の性状変化(泥化機構)を明らかにすること、これらの結果を③現地での水質浄化に役立てる(普及のため実証実験計画の策定)ことを目的としている。

### 3. 研究の方法



新港の造成により閉鎖性の水域となった竜院湾と3年間の研究での調査地点

図-1 調査対象海域の概要

研究期間を通して行なった現地調査により有機物の堆積状況を把握し、室内実験において含有される有機物の量や性状が異なる堆積底泥を用いて堆積底泥の性状と堆積底泥の還元化の関係について検討した。これらの成果に加えヘドロ化した海田湾、生水水が堆積した福山港内港域等で培われたヘドロ浄化のノウハウを釜山沿岸域に適用することで、沿岸域での水環境の凡用的な改善技術の確立を目指して実用試験を行なった。

#### ・現地調査

海底堆積底泥の調査は図-1に示す竜院湾の湾内で最も汚濁が進行している湾西部海域(St.10)と湾口部である湾中央部海域(St.3)を中心として、および比較海域として選定した広島県沿岸(呉湾、海田湾、福山内港)において行われた。これまでの調査から呉湾堆積底泥は一次生産起源の有機物、福山内港底泥は下水成分の有機物が成因であること、竜院湾泥は強い硫化臭があることが確認されている。

#### ・室内実験

実証実験の成功とアジア諸国への普及のために現地調査に加えて、図-2に示すヘドロ浄化課程を理解するための5つの室内実験を石炭灰造粒物と他のアルカリ材料(例えば、牡蠣殻、スラグ等)を用いて行う。

- 実験1: 現地を再現した造粒物層(分解層)内での流速分布
- 実験2: 沈降有機泥の分解層への堆積機構(堆積分布)
- 実験3: 分解層内での有機泥の分解能力の定量化
- 実験4: 現地泥でのヘドロ発電量(浄化量)の推定
- 実験5: 海底でのLEDの点灯(ヘドロ浄化の促進状況をLEDの点灯により確認)

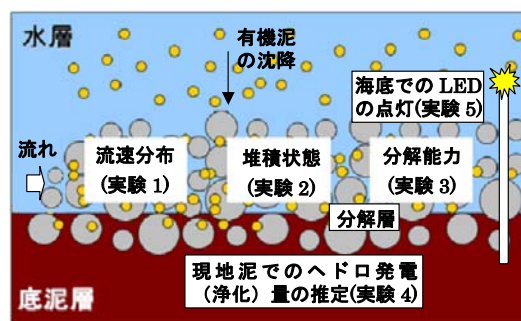


図-2 実証実験を成功させるために行う5つの分解層と発電過程での室内実験

### 4. 研究成果

(1)現地調査による竜院湾の底質環境の把握

#### ・堆積底泥の還元状態の把握

図-3にはSt.3とSt.10における堆積底泥間隙水のpHとORPの鉛直プロファイルが示さ

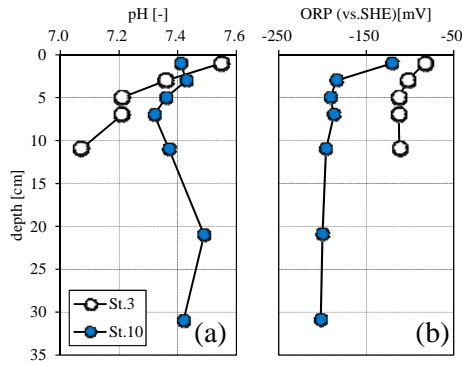
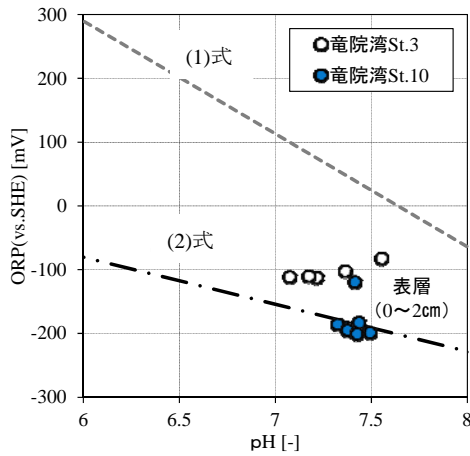


図-3 竜院湾の堆積底泥間隙水の (a) pH, (b) ORP 鉛直プロファイル



$$Fe(OH)_3 / Fe^{2+} : E_h = 1.352 - 0.177pH \quad (1)$$

$$SO_4^{2-} / H_2S : E_h = 0.362 - 0.0735pH \quad (2)$$

図-4 竜院湾底泥の pH-ORP 関係

れている。両地点を比較すると、St.10 で 100 mV 程度低い値を示しており、表層 (0~2 cm) を除いて強い還元性を示している。ただし、St.10 においても 0~2 cm の深さで -100 mV 程度を示していることは直上水からの酸素供給や、直上水との物質交換によって、分解に伴って生成された還元物質が酸化される、または直上水へ拡散していることを示している。St.10 の還元性が強い原因の一つは濁質の流入頻度が高く濁質に多くの不安定な有機物が含まれ、それらの堆積量が多いことである。図-4 に竜院湾の St.3 と St.10 における堆積底泥中の pH と ORP の関係を示した。St.10 の堆積底泥の酸化還元電位は表層を除き硫酸還元反応の還元電位付近にプロットされており、硫化水素が生成される還元状態にある。これに対し、St.3 の堆積底泥では酸化還元電位は硫酸還元反応が生じる還元状態ではないと判断でき、有機物はマンガン還元や鉄還元の酸化還元反応を利用して分解されている状態にある。これらに加えて竜院湾での堆積底泥の還元状態を研究成果の多い広島県沿岸域での堆積底泥と比較することで竜院湾底泥の還元状態を推定した。

・有機性状の評価法

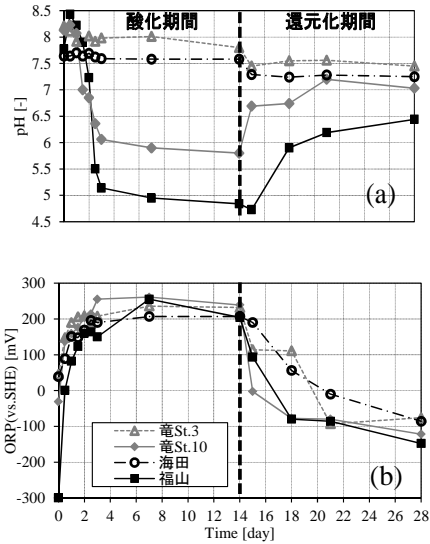
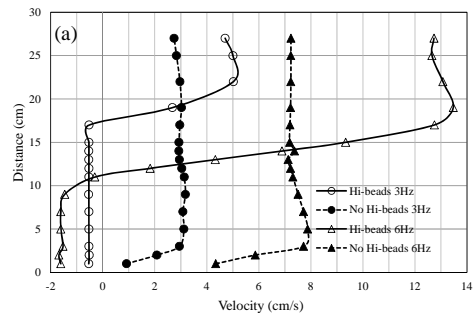


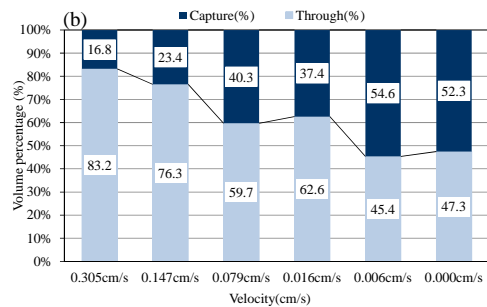
図-5 堆積底泥の (a) pH, (b) ORP の経時変化

現地調査から、埋め立て後閉鎖性が強くなった竜院湾では有機物が堆積し全域で泥化が進行している。湾西部海域の堆積底泥は湾口部である湾中央部海域の堆積底泥と比べ不安定な有機物量を 1~2% 多く含んでおり、底質の酸素消費や硫化水素の発生能力が高い状態にある。西部海域には未処理下水に似た特性を持つ還元力の高い有機物が集積されていることがわかった。

図-5 には酸化実験開始直後からの堆積底泥の (a)pH と (b)ORP の経時変化が示されている。酸化期間において ORP は実験開始直後からすべての試料で上昇しており堆積底泥に



(a) 造粒物層内での流速の減衰特性



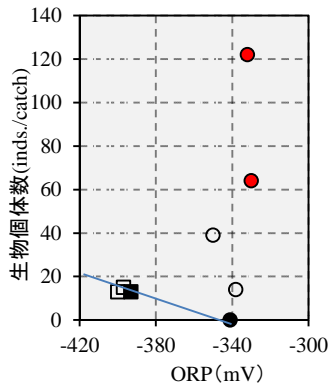
(b) 造粒物層による濁質の捕捉割合

図-6 石炭灰造粒物層による浄化効率の推定

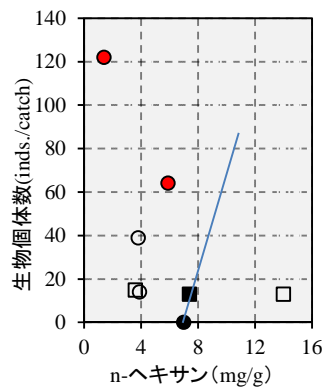
含まれる還元物質が酸化されていることが確認できる。酸素消費実験を行うことで、ORPのみでは判断できなかった各海底堆積底泥において含まれる酸化体と還元体の濃度や有機物の分解量を推定することが可能になり、底質の還元性をより正確に評価できるようになった。

・実験 1.2. の結果

石炭灰造粒物（アルカリ剤造粒物）層内の流速は層上の流速の約 20%に減衰すること、有機泥の捕捉割合は流速の大きさに反比例し、有機泥を 16.8%~52.3%捕捉できること（図-6）を明らかにした。



(a) ORP



(b) n-ヘキサン抽出物質

図-7 アルカリ材料による生物棲息場の再生（薄塗り（赤）が礫状アルカリ材料、白抜きがアルカリ材料混入）

・実験 3 の結果（底棲生物の棲息場再生）

底棲生物はアルカリ剤を用いた混合土壌、礫層の全てで生産された。原地泥をそのまま用いた土壌では底棲生物の棲息はなく、アルカリ剤を混合することで、底棲生物が棲息できなかった土壌において生物の棲息が可能

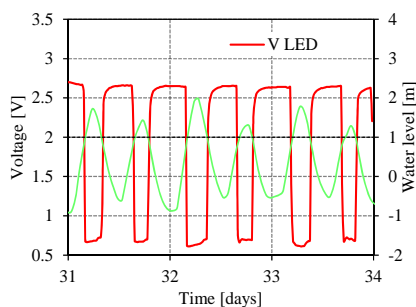


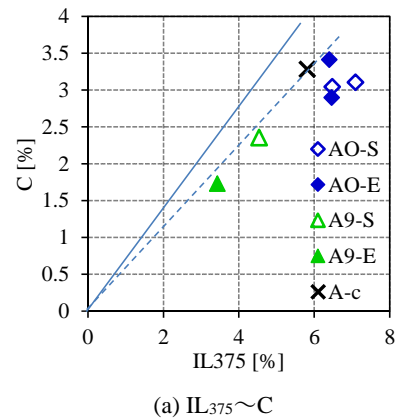
図-8 現地実験で得られた電圧

になった。特に礫状アルカリ剤層では棲息率が混合状態に比較して数倍に向上しており、層内の間隙率を高めることにより棲息環境を改善できることが確認できた（図-7）。

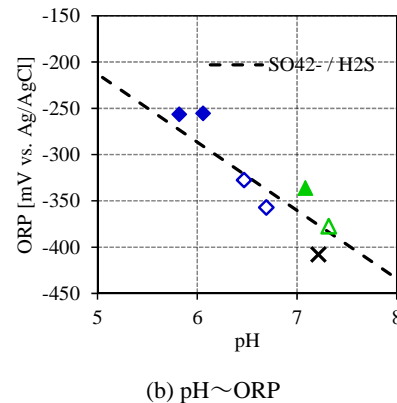
・実験 4, 5 の結果

現地での直列連結では  $P_{AVE} = 3.96\text{mW}$ 、並列連結では  $P_{AVE} = 1.28\text{mW}$  を達成し、白色 LED を点灯できた（図-8）。直接、アノード電極を土層に貫入する場合にもパイプ型と同程度の電力の回収が可能である。

パイプ内にカソード層がある SMFC（パイ



(a) IL<sub>375</sub>~C



(b) pH~ORP

図-9 堆積有機泥層の底質改善

プ型) では干潮時には直列電流の取得、満潮時には有機泥層に蓄積された電子の放電（酸化）が期待できる。また、電子の回収方法により低分子化（IL 比、O/IL の上昇）と無機化（IL 比の減少）という異なる有機物分解を制御できる可能性が見い出された。断続通電回路で有機物の低分子化と無機化が起こる頻度が高いことが推定された（図-9）。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 21 件）

1.N.Touch, T. Hibino, T. Nakaoka, Y. Nagatsu: Measurement of sediment retention in a sandy tidal flat based on pressure drop model, Transport in Porous Media, Vol.102, 査読有,2014,pp. 123-136.

2.駒井克昭, 日比野忠史, 中下慎也, 戸塚優平, 伊藤立誠, 丸谷靖幸, 中山敬介: 汽水湖

における有機泥の沈降速度の推定と界面特性に関する考察, 土木学会論文集 B1, Vol.70, No.4, 査読有,2014,pp.1585-1590.

3.Kyunghoi Kim, In-Cheol Lee, Sung-Hoon Ryu, Tadashi Saito and Tadashi Hibino: Application of Granulated Coal Ash for Remediation of Coastal Sedimentm, Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy Vol. 17, No. 1, 査読有,2014, pp. 1-7.

4.N. Touch, T. Hibino, Y. Nagatsu, K. Tachiuchi: Characteristics of electricity generation and biodegradation in tidal river sludge-used microbial fuel cells, Bioresource Technology, Vol. 158, 査読有,2014, pp. 225-230.

5.越川義功, 新保裕美, 中下慎也, 日比野忠史, 中本健二, 樋野和俊: 草方格原理を応用した石炭灰造粒物基盤の侵食防止工, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.70, 査読有,2014,pp. I\_774-I\_779.

6.橋 雅則, 長津義幸, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 微生物燃料電池技術を応用した還元性堆積泥の性状把握, 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol. 70, No. 2, 査読有,2014,pp. I\_1071-I\_1075.

7.橋 雅則, 長津義幸, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 有機泥中からの強制的電子回収による電子伝達範囲の把握, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, 査読有,2014,pp. I\_1061-I\_1065.

8.長津義幸, 太刀内紘平, TOUCH NARONG, 日比野忠史: 有機泥を燃料とする微生物燃料電池の性能向上要因の解明, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No. 2, 査読有,2014,pp. I\_1066-I\_1070.

9.中岡孝行, TOUCH NARONG, 門田勝吾, 日比野忠史: 酸素消費速度を用いた沿岸堆積有機泥の性状分析手法の提案, 土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol. 70, No. 2, 査読有, 2014,pp. I\_1111-I\_1115.

10.中下慎也, 長津義幸, 駒井克昭, 日比野忠史: 太田川感潮域における不圧・被圧地下水位と水質の長期変動, 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol.70, No. 2, 査読有, 2014,pp. 1216-1220.

11.Kyunghoi Kim, Tadashi Hibino, Tamiji Yamamoto, Shinjiro Hayakawa, Yugo Mito, Kenji Nakamoto, In-Cheol Lee: Field experiments on remediation of coastal sediments using granulated coal ash, Marine Pollution Bulletin 83 (2014), 査読有, pp.132-137.

12.中岡孝行, 李寅鉄, 中下慎也, 日比野忠史: 韓国竜院湾堆積泥による還元的底質環境の形成, 土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol.69, 査読有,2013,pp. I\_1136-I\_1140.

13.藤原哲宏, 中本健二, 日比野忠史, 斉藤直: 地下水が遮断された河口干潟でのアサリ育成場の構築, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.69, 査読有,2013,pp. I\_1024-I\_1029.

14.日比野忠史, 長津義幸, 三戸勇吾, 中本健

二: 超軟弱泥が堆積する海域での底質環境改善状況を評価するための調査法, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.69, 査読有, 2013,pp. I\_880-I\_885.

15.玉井和久, 小畑健二, 芳倉勝治, 日比野忠史, 山本裕規, 三戸勇吾: 石炭灰造粒物の海底被覆による中・長期的な海域環境改善効果, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.69, 査読有, 2013,pp. I\_892-I\_8972.

16.日比野忠史, 高橋敦嗣, 福井勝吾, 二瓶昭弘: 不安定な有機物を含んだガレキ泥の再資源化手法の確立, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.69, 査読有,2013,pp. I\_25-I\_30.

17.越川義功, 日比野忠史, 中下慎也, 吉岡一郎, 中本健二, 山木克則: 石炭灰造粒物を用いた生育基盤におけるアマモ場の形成過程と維持機構, 土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.69, 査読有, 2013, 査読有, pp. I\_1072-I\_1077.

18.T. Hibino, N. Touch, K. Komai, K.H. Kim: Modeling the settling velocity of organic settling matter with the consideration of organic properties, Coastal Engineering Journal, Vol.55, 査読有, 2013,pp. 1-14.

19.N. Touch, T. Hibino, K. Ueno, S. Fukui: Experimental investigation on effects of acid/base waters on the bottom sediment of Kaita Cove (Hiroshima, Japan), Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.135, 査読有, 2013,pp. 18-23.

20.N. Touch, T. Hibino: Prediction of the retention volume of sediment during water-based sediment injection, Journal of Porous Media, Vol.16, 査読有, 2013,pp. 547-557.

21.福井勝吾, 李寅鉄, 斉藤直, 日比野忠史: 韓国竜院湾における底質環境改善法の設計, 土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol.68, 査読有, 2012,pp. 1446-1450.

[その他]

ホームページ等

<http://www.civil-hu.jp/coast/>

事業化

福山内港での底質改善事業

京橋河岸、親水性干潟での底質改善事業

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日比野 忠史 (HIBINO TADASHI)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 50263736

(2) 研究分担者

中下 慎也 (NAKASHITA SHINYA)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 90613034

(3) 研究分担者

金 キョンヘ (KYUNGHOI KIM)

広島大学・大学院工学研究院・特任助教

研究者番号：80577859  
(平成 25 年 4 月～26 年 8 月 31 日の間、  
分担者)