HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Beachrock formation mechanism and its application to developing beach sand cementation method based on microbial induced carbonate precipitation (MICP) : Case study of Krakal-Sadranan, Yogyakarta, Indonesia [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Lutfian, Rusdi Daryono
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14250号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79535
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Lutfian_Rusdi_Daryono_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Lutfian Rusdi Daryono

審査担当者　主　査　教　授　川﨑 了
副　査　教　授　佐藤 努
副　査　特任教授　鈴木 浩一
副　査　准教授　中島 一紀

学位論文題名

Beachrock formation mechanism and its application to developing beach sand cementation method based on microbial induced carbonate precipitation (MICP): Case study of Krakal-Sadranan, Yogyakarta, Indonesia
(ビーチロック形成機構と微生物による炭酸塩析出に基づく海浜砂セメンテーション法の開発への応用:クラカル-サドラナン (ジョグジャカルタ, インドネシア) における事例研究)

本論文の目的は, 生物化学的手法を用いた地盤固化による海岸侵食対策技術を新たに開発するため, 炭酸塩析出における尿素分解菌の利活用に関する実現可能性を評価することである。海岸にあるビーチロックの形態と侵食過程に関する研究を行うことで, 自然のビーチロック形成機構と炭酸塩生成時における微生物鉱化作用に関する重要な知見が得られる。Microbial Induced Carbonate Precipitation (MICP) は, 種々の環境問題の解決に応用できる有効で環境に優しい技術である。炭酸カルシウムまたはリン酸カルシウムを含むバイオミネラルは, 有機高分子と一緒に複雑で多機能な物質の生成に関与している。MICP の多機能性と異分野における展開について検討することは, 多種多様な地盤の改良技術としての潜在能力をよく理解するために, とても重要である。本研究は, 生物学, 地球物理学, 地盤工学, 応用地質学などの側面から実施されており, この実施によって MICP の理解を深め, より現場実装に近付けることができる。

第 1 章は, 本研究の背景, 目的, 独創性について述べている。また, 自然のビーチロック形成過程と MICP に関して, 種々の側面から実施された広範囲な文献調査の結果が報告されている。

第 2 章は, インドネシアのジョグジャカルタにあるクラカル-サドラナン海岸の地盤中にあるビーチロックの地球物理学的な調査結果について述べている。自然のビーチロックの現地調査を実施した結果, 比抵抗と S 波速度の分布特性からビーチロックの層厚は約 1.5〜2 m であることがわかった。

第 3 章は, ビーチロックの組成を調査するための詳細な室内試験に関する報告であり, ビーチロックの堆積環境とレアアース元素の含有濃度について調査した。重レアアースと軽レアアースの濃度増加は, ビーチロックの生成過程が酸化的な環境条件下にあったことを示した。また, 海岸侵食を軽減する人工ビーチロックを開発するために, 現地の自然環境中に存在する尿素分解菌を用いて堆積過程における炭酸塩を制御する利用方法を新たな提案した。さらに, 単離した尿素分解菌は,16S rRNA 遺伝子解析の結果より *Oceanobacillus profundus*, *Vibrio maritimus*, *Pseudoalteromonas tetradonis* と同定された。

第 4 章は, インドネシアの海岸から単離した尿素分解菌について, 沖縄のビーチロックから単離し

た尿素分解菌と比較しながら述べている。沖縄のビーチロックは, 有機物の影響が非常に小さい, あるいは, 影響がなく, 生物学的に誘導されて形成されたと推定された。一方, インドネシアのビーチロックは, 生物学的に制御されてたものであり, 主に細菌と藍藻によって形成されたと推定された。

第 5 章は,MICP による海浜砂の固化処理について述べており, 自然のビーチロックの化学組成と強度を模倣して実施した。尿素分解菌は, 温度 30〜40 ℃で効果的に炭酸カルシウムを析出させ, 熱帯環境下で良好な結果を示した。砂の室内固化試験では, 最適条件下で養生 14 日後に約 6 MPa の一軸圧縮強度を達成した。多糖類を添加すると, 結晶はカルサイトではなくバテライトが析出した。得られた炭酸カルシウムの結晶は, 直方晶系, 菱面体晶系, 六方晶系, 球状構造であった。

第 6 章は, 海岸侵食対策を開発するために MICP 処理した地盤材料の耐久性を調べる試験について議論している。試験では, 環境要因が長期の材料特性に及ぼす影響について調査され, 熱帯地域の頻繁な降雨を考慮して耐久性の有効な指標を求めるために, 乾湿繰返し試験が実施された。その結果, 大きな質量損失が地盤材料に見られたことから,MICP 処理された海浜斜面の長期耐久性が今後の課題となった。

第 7 章は,MICP 処理に用いる培養液と固化溶液に関して安価な化学資材の使用によるコスト低減策を提案するために, 試薬の代替品となる安価な培地を用いた *P. tetradonis* の培養の実現可能性を検討した結果について述べられている。

第 8 章は, 尿素分解菌を用いたインドネシアにおける新たな海岸保全技術を提案するものであり, 最適な化学資材の配合, 適切な環境条件, モニタリング方法などについて述べている。

第 9 章は, 本研究の結論と今後の課題について総括している。

これを要するに, 筆者は, インドネシアにおけるビーチロックの形成メカニズムに関する学際的調査を行い, 尿素分解菌の利活用による炭酸塩析出に関する新知見を得ると共に, 土着の尿素分解菌を用いた地盤固化による海岸保全技術を新たに提案しており, 地盤環境工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。