



Title	ビーチロック形成機構に学ぶ人工岩の開発に関する基礎的研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	檀上, 堯
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11905号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58782
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takashi_Danjo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 檀上 堯

学 位 論 文 題 名

ビーチロック形成機構に学ぶ人工岩の開発に関する基礎的研究

(Fundamental study on development of artificial rock learnt from beachrock formation mechanism)

沿岸域における環境問題の 1 つに海岸侵食がある。これは、国内外を問わず見受けられる問題であり、国内では静岡県や新潟県などをはじめとする全国各地の海岸で侵食が進んでいる。この問題に対しては、離岸堤や人工リーフ等の漂砂制御施設の整備によって漂砂量を抑制しながら海浜形状を保つ対策や、養浜やサンドバイパスによって不足する漂砂量を補給することで海岸を保全する対策などがとられている。しかし、漂砂抑制施設の整備に関しては、長大な砂浜において連続的に構造物を配置する必要があり、その整備には多大な費用と長期の時間を要するという問題がある。また、養浜に関しては、継続的な実施が必要であり、長期にわたる安定した財源と良質で安価な養浜材料の確保が前提条件となる。

海岸侵食の新しい対策案に関する試みとしては、自己修復能力を有する人工岩の開発が考えられる。なお、ここで述べる自己修復能力とは、周辺環境（海水、未固結堆積物、微生物等）を利用して、人の手を可能な限り加えることなく、作製した人工岩の強度低下や亀裂の進行を防ぐことを意味している。また、その人工岩のモデルとして、ビーチロックの形成機構に注目している。ビーチロックとは、地学事典によると「砂浜の潮間帯に生ずる非常に新しい石灰質岩。セメント物質は主に炭酸カルシウムや鉄分から成り、被セメント物質は粒度・質に関係なくあらゆるものを含む。」と定義されている。先行研究によれば、ビーチロックは波浪による侵食を受けながらも、未固結堆積物の供給や海水からのセメント物質の析出などによって、数千年前に形成されたビーチロックが現在まで保持されていることが報告されている。そのため、ビーチロックを模擬した人工岩を開発することができれば、施工対象となる現場に存在する未固結堆積物を自然のセメント物質で固結させることが可能性となり、従来の侵食対策の問題点を改善できることが期待される。また、この人工岩は現地の材料、すなわち、天然の資源を用いて作製されるため、周辺環境への負荷が抑えられるという利点がある。

以上のことから、本研究ではビーチロックの形成機構に学ぶ人工岩の開発に向けた基礎的研究として、自然のビーチロックの諸物性や形成機構に関する調査および検討を行い、得られた形成機構に関する知見を参考とした人工岩を作製することを目的とした。

第 1 章「序論」は、研究の背景と目的、本論文の構成について示している。

第 2 章「ビーチロックに関する文献調査」では、人工岩作製のために必要なビーチロックの分布域、形成年代、諸物性および形成機構に関する情報を集め、整理し、把握することを目的とした文献調査を実施した。その結果、ビーチロックは北緯 40 ° 付近から南回帰線の間で 90 % 以上が分布しており、ビーチロックの形成年代は数十年前から約 26000 年前までの範囲であった。また、ビーチロックおよびそのセメント物質は CaCO_3 と SiO_2 が主成分であり、ビーチロックの物理・力学特性に関する研究報告は非常に少なかった。さらに、主な形成機構に関しては、海水からの析出、淡水からの析出、 CO_2 の脱気による析出、生物学的影響、海水と淡水の混合、物理化学的要因の 6 種

類であった。

第3章「ビーチロックの物理・力学特性」では、国内外の文献において報告例が少ないビーチロックの物理・力学特性を把握することを目的として、国内で調査報告が多く、かつ、国内で最南部のビーチロック分布地である沖縄県内の4地点と、最北部の分布地である石川県内の1地点のビーチロックを対象とし、原位置試験および室内試験を実施した。その結果、ビーチロックの密度、含水比、一軸圧縮強さ(UCS)、反発硬度、弾性波速度に関するデータが得られた。また、沖縄県内にあるビーチロックのUCSが石川県のビーチロックよりも大きいこと、さらに、沖縄県名護市と石川県輪島市の両地点では、固結の程度が異なる2種類のビーチロック(海側で露出しているビーチロックと陸側で未固結堆積物の下に存在する土中のビーチロック)を確認した。

第4章「ビーチロックの形成機構に関する考察」では、人工岩を作製する際に参考となるビーチロックの形成機構について考察することを目的として、固結の程度が異なるビーチロックを有する沖縄県名護市と石川県輪島市の両地点のビーチロックおよびその周辺環境を対象に、菌数測定、元素分析、鉱物分析、水質分析を実施した。その結果、沖縄県内のビーチロックは、微生物の尿素分解反応や海水の蒸発作用に伴って high Mg-calcite が析出し、砂粒子同士を膠結することで形成された可能性が示された。また、石川県のビーチロックは、 Al^{3+} を含んだ酸性の湧水が潮間帯で海水と混合することで、Al と Si を主成分とする非晶質のセメント物質が砂粒子間で析出して形成されたと推定された。

第5章「尿素分解菌を用いたサンゴ砂のシリンジ固化試験」では、UCS、セメント物質、生物学的影響の点で工学的価値がある沖縄県名護市のビーチロック形成機構を参考として、沖縄県のビーチロック周辺の土壌から単離した尿素分解菌 *Pararhodobacter* sp. を用いたサンゴ砂の室内シリンジ固化試験を実施した。試験期間は14日に固定し、内径2.5 cmの小型容器であるシリンジを使用した。また、6つの異なる試験条件がUCSに与える影響を把握することを目的とした重回帰分析を実施した結果、UCSの重要要因は重要度の大きい順に、養生温度、 CaCl_2 や尿素を含んだ固化溶液の注入間隔、固化溶液の Ca^{2+} 濃度であることが示された。

第6章「尿素分解菌を用いたサンゴ砂のカラム固化試験」では、UCSの重要要因として前章で示された重要な試験条件に絞り、直径5 cm×高さ10 cmの円柱形でUCSが数MPa以上を満足する供試体を作製することを目的とした室内カラム固化試験を実施した。その結果、試験期間28日、養生温度30℃、固化溶液の注入間隔1日、固化溶液の Ca^{2+} 濃度0.3 Mの条件下において、UCSが10 MPaの供試体を作製することに成功した。さらに、得られた試験結果を用いて、供試体の CaCO_3 総析出率とUCSの関係式や、各試験条件を説明変数とした設計UCSの式などを提案した。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果をまとめている。