

論文の要旨

題目 石炭灰造粒物による沿岸域の底質環境改善技術に関する研究 (Study on improvement technique of coastal marine sediments using granulated coal ash)

氏名 中本 健二

ヘドロ（還元有機泥）が堆積した底質の改善を目的に、石炭灰を造粒・固化した海砂代替材（石炭灰造粒物）が覆砂材として活用され、その底質改善効果が確認されている。石炭火力発電所から産出される循環資源である石炭灰を加工して製造される造粒物を良質な覆砂材料として活用できれば、循環型社会の形成に資することが期待できる。

本研究の目的は、石炭灰造粒物による沿岸域での底質改善に関する技術開発および効果の検証である。石炭灰造粒物は、密度が小さく軽量で、硫化物イオンおよびリンの吸着機能が既往の研究で確認されている。

瀬戸内海における海砂の採取禁止・規制などの天然資源の保全、および循環型社会形成への意識の高まりなどを背景に、水域環境改善事業において、産業系リサイクル材の積極的な活用への取り組みが進められている。その取り組みとして、国土交通省中国地方整備局により「石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き」が、実事業へ適用する際の指針を示すことを目的に発行（2013年3月）されている。また、その改善効果については、環境省の環境技術実証事業（ETV事業）により技術実証（2011年5月）が行われている。これら手引きの整備と技術実証により、石炭灰造粒物の普及環境は整いつつある。

一方、石炭灰造粒物は自然材料と異なり石炭灰とセメントの混合造粒物のため、その配合比率により材料特性が変化することが想定されるが既往の研究では確認されていない。また、造粒物は微細空隙を有し、敷設箇所でアルカリ環境を維持するため有機泥底質へ覆砂した場合に物理化学的な作用により底質改善に寄与すると想定されるが、その詳細は不明である。さらに、底質の改善と併せて進む生物の生息基盤としての親和性（生物親和性）についても詳細に評価されていない。

石炭灰造粒物を活用した底質改善技術の普及を図るには、これら不明事項への科学的手法による知見の蓄積が必要である。この課題に対応するため、本論文では、石炭灰造粒物の材料特性と底質改善機能を明らかにするとともに、沿岸域に堆積した有機泥底質環境の改善手法とその改善効果について論じた。併せて、実証試験により造粒物敷設層の生物生息基盤としての親和性を評価するとともに、沿岸域での覆砂設計に必要な耐波浪特性を研究した。

本研究は産官学の研究協定により太田川水系の河岸干潟および広島湾沿岸域での底質改善実証試験事業等へ参画し、そのフィールドに密着して取り組み、研究成果の一部は工学的な事業課題に対する解決手法として貢献している。

本論文は7章から構成されている。第1章では、石炭灰造粒物有効活用の現状について概説した。また既往の研究をレビューして取りまとめ、研究課題を明確化して研究方法を示すとともに、本論文と石炭灰造粒物による沿岸域の底質改善技術の活用に関する索引を整理した。

第 2 章では、石炭灰造粒物の基礎特性を概説し、主として室内実験を中心に、既往の研究で明らかにされていない材料特性として、配合調整した石炭灰造粒物の物理化学的特性変化、覆砂層のアルカリ環境維持 (pH 上昇) 特性、溶存態イオンの溶出特性、および 13 年経過した造粒物の長期的な機能維持を定量的に示した。その結果、造粒物は長期養生することで比表面積が増加するとともに、FA 添加率を 70%以上にする事で、比表面積の増加が図れる事が明らかとなった。また、13 年および 3 年間の海水浸漬試料の経年変化を評価した結果、造粒物の組成元素として Ca の減少と Mg の吸着が確認されたが、強度特性は未使用品と同等の強度水準 (1.2MPa 以上) が維持されていることを明らかとした。

第 3 章では、石炭灰造粒物による底質改善機能について、既往の研究をレビューするとともに、これまで明らかにされていない改善機能を室内外での実験および現地調査の分析結果により論じた。その結果、石炭灰造粒物から溶出される Ca イオンによる底質有機泥との反応による安定化機構を示した。また、造粒物は自然石と比較し n-ヘキサン抽出物質で評価される底質油脂類の吸着性能が高い事を明らかとした。さらに、嫌気および好気の両底質環境においても在来底質に比較し造粒物表層には油分解菌が卓越してバイオフィームを形成し担持されることを確認した。これらは底質有機泥の n-ヘキサン抽出物質で代表される油脂類の減少による底質改善に寄与するものである事を示した。併せて、造粒物を覆砂した場合の温度依存性のある底質有機泥の底質酸素要求量の低減効果と還元状態における底泥からの溶出物質 (Fe, P, Mn) 抑制効果を温度条件毎に定量的に示した。

第 4 章では、底質改善事業実施に必要な計画から施工段階までの技術的ノウハウを具体的な手法により研究、実証した事項について、その実施手順および底質環境改善効果について論じた。

有機泥が堆積する河岸干潟へ造粒物を陸上施工する場合、干潟での重機作業が可能となる仮設作業床の構築が不可欠である。作業床そのものにも底質改善機能を有する造粒物層の構築手法を開発した。小規模実証試験区の構築を行い、仮設作業場の撤去が不要で底質改善に寄与すると共に遊歩道等に活用でき事業の B/C 向上が望める新たな作業場構築技術を研究した。更に、小規模実証試験により確立された技術を実事業で活用するため、大規模 (7,296m²) 実証試験により施工性能・事業コストを評価した。支持力 0 kN/m² のヘドロ堆積干潟において安全な重機作業を可能とする石炭灰造粒物の敷設厚を評価できる設計用データの蓄積を図るとともに、干潟再生材の底質改善効果として底質への DO 供給機能、および透水機能の維持について示した。

第 5 章では、造粒物の生物親和性に係る事項について論じた。珪藻類の付着、アサリやシジミといった有用二枚貝への生息基盤、およびアマモ育成基盤への適用性を室内外での実験や調査により評価した。造粒物は密度が小さく、同じ粒径の自然礫質材料と比較して、二枚貝の底質への潜入は容易であることを示した。礫状材料のため自然砂と比較すると潜入行動は劣るが、沈降有機泥の堆積を踏まえると自然砂と同様の潜入行動をとることを明らかとした。また、アマモ生息基盤としては、アマモの地下茎、細根が造粒物基盤の細部に入り込むことで草体の流出を防ぎ、なおかつ底質地形の安定に寄与することを示した。

第 6 章では、覆砂事業に必要な流れ・波浪による造粒物の耐波浪特性について、主として水理模型実験により論じた。流れや・波浪による造粒物の移動限界特性を明らかにし、沿岸域に覆砂した造粒物の波浪による移動予測を平衡断面予測モデルにより再現可能なことを示した。

最後に第 7 章では、本研究で得られた研究成果を総括し、今後の研究課題を取りまとめた。