

鉄鋼スラグの干潟材料への適用性に関する水槽実験

鶴谷広一*・中川雅夫**・木曾英滋***・古川恵太****

鉄鋼スラグと浚渫土砂の干潟材料への適用性を調べるため、水槽を用いて実験を行った。水槽に鉄鋼スラグと底泥を適当な割合で混合して敷き詰め、ポンプで海水をくみ上げて、底質の上に常時かけ流した。底質の状況を調べるため、表層の強度を貫入式強度計で測定し、底質の間隙水を採取してその pH、全窒素、全りん、全鉄、COD、TOC について測定を行った。底質中の生物の生息状況を把握するため、メイオベントスとマクロベントスの分析を行った。製鋼スラグを用いた底質では、間隙水の pH が海水より若干高めであったが、生息するベントスは自然材料と比べて特に大きな差は見られず、干潟への適用に可能性が開けた。

1. はじめに

干潟は多様な生物が生息する場であり、豊かな生態系が育まれることによって沿岸域の水底質を良好に保ち、水産資源の維持にも極めて重要な役割を果たしている。しかし、埋立等の経済活動の結果として多くの干潟が失われた。そのため、最近では失われた干潟の再生が精力的に行われるようになった。一方、瀬戸内海周辺の自治体では相次いで海砂の採取を禁止するなど、良好な干潟材を海域で入手することは非常に困難になりつつある。

港湾に目を向けると、その管理上から航路・泊地の維持浚渫を継続して実施することが必要であるにもかかわらず、埋立地を容易に造成できないため、浚渫土を従来通り埋立処分することは年々難しくなっている。また、平成12年には循環型社会形成推進基本法を始めとする6件の関連法が成立し、環境への負担が少ない社会への転換が求められている。国分ら(2004)は、浚渫ヘドロを有効利用するため、これを用いた現地干潟造成実験を行い、干潟を造成する際の最適条件の検討を行っている。これらの社会情勢をふまえ、本研究は、浚渫土と鉄鋼スラグを干潟材として有効利用するための基礎的な検討を行うことを目的として、水槽実験を実施したものである。

2. 実験装置と実験方法

実験には FRP 製の水槽(長さ90 cm, 幅60 cm, 深さ50 cm)を10基使用した(写真-1)。水槽は、東海大学海洋学部の臨海実験所構内の護岸付近に設置した。使用した底質は、海岸砂、底泥(浚渫土を想定)、高炉水砕スラグ、製鋼スラグ1、製鋼スラグ2、製鋼スラグ3であ

る。高炉水砕スラグ以外のスラグ(製鋼スラグ)は底泥と配合比を3:7と5:5の比率(容積比)で混合した。

海岸砂は静岡県三保半島の真崎海岸(海面より陸側)で採取したものであり、中央粒径は0.6 mm 程度である。底泥は清水港奥部の折戸湾の水深10 m 付近でダイバーによって採取された。採取場所付近は長年貯木場として使用され、湾奥で海水の交換が十分でないため底泥は黒褐色を呈し、硫化水素臭がする。採取された底泥の含水率は70.0%で、硫化物2.9 mgS/g、全窒素3,700 mg/kg、全りん680 mg/kg、CODsed65 mgO/g である。



写真-1 実験水槽

実験で使用する底質を作製するため、各種の材料を表-1に示す配合比(体積比)で混合した。底泥は、生息する生物を死滅させるため、ビニールシート上に広げて15日間乾燥させた。混合前には乾燥させた底泥に海水を混合して採取時と同程度の含水率に戻して使用した。

今回水槽5~10で使用した製鋼スラグは、従来から課題となっていた海水中での白濁や pH の上昇を抑えるために安定化処理が施されている。水槽 No. 8A~10A は、比較のために水槽8~10の中に小型のプラスチックケースを埋め込み、その中に表-1で示された底質を設置したものである。水槽8Aは銅スラグと底泥を5:5で混合したもの、水槽9Aと10Aは転炉スラグ3を安定化処理を施さないで使用したものである。なお、今回使用した

* フェロー 工博	東海大学教授 海洋研究所
** 正 会 員 工修	新日本製鐵(株) グループリーダー 技術開発本部 土木建築技術部
*** 正 会 員 工修	新日本製鐵(株) グループマネジャー 技術開発本部 土木建築技術部
**** 正 会 員 博(工)	国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 海洋環境研究室長

表-1 底質の配合表

水槽 No.	底質材料	配合 比
1	海岸砂	
2	底泥	
3	高炉水砕スラグ	
4	高炉水砕スラグ + 底泥	5:5
5	製鋼スラグ 1* + 底泥	3:7
6	製鋼スラグ 1* + 底泥	5:5
7	製鋼スラグ 2* + 底泥	3:7
8	製鋼スラグ 2* + 底泥	5:5
9	製鋼スラグ 3* + 底泥	3:7
10	製鋼スラグ 3* + 底泥	5:5
8A	銅スラグ + 底泥	5:5
9A	製鋼スラグ 3 + 底泥	3:7
10A	製鋼スラグ 3 + 底泥	5:5

*安定化処理済

製鋼スラグは全てふるい分けをして、2.5 mm 以上 5 mm 以下の粒径のものをを用いた。水槽の底部には10 cm の高さまで砂利を投入し、その上にポリプロピレン製の防虫ネット(メッシュ18×18)を3重に敷き、さらにその上に干潟実験材料を20 cm の高さで投入した。

底質の表層の強度は、山中式土壌硬度計(平面型、受圧面積2 cm²)を用い、3回の測定値を平均した。間隙水は、多孔質素焼管を水槽の底質に埋め込み、ビニールパイプの端に取り付けたプラスチックシリンジで吸引して採取した。素焼管の長さは6 cm あり、底質表面から底質内に7 cm 埋め込んで、7～13 cm 下の底質の間隙水を採取した。採取した間隙水の測定項目は、pH、TN、TP、全鉄、COD、TOCである。マクロベントスの採取にはプラスチック製の円筒(長さ4 cm、直径9.3 cm)を用いた。これを各水槽で2回ずつ採取して混合した底質中のマクロベントスを分析した。メイオベントスの採取にはフィルムケース(長さ5 cm、直径3 cm)を用いた。海水は水深3.8 m からポンプでくみ上げ、配管されたパイプを通して各水槽の底質上に給水して(写真-1の手前側)常時かけ流し、反対側から排水した。底質上の水深は常に3～4 cm で、干上がることがないようにした。

実験は平成16年9月9日から開始した。

3. 実験結果

(1) 底質表面の強度

図-1によれば、実験開始当初から製鋼スラグを用いた底質は他の海岸砂、底泥、高炉水砕スラグと比べて強度が2～3倍大きい。しかし、時間の経過とともに海岸砂や高炉水砕スラグも強度が大きくなっている。これは、

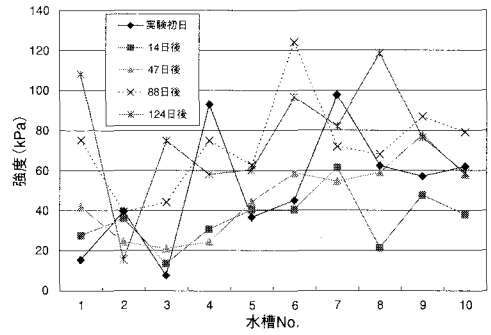


図-1 底質表面の強度(水槽1～10)

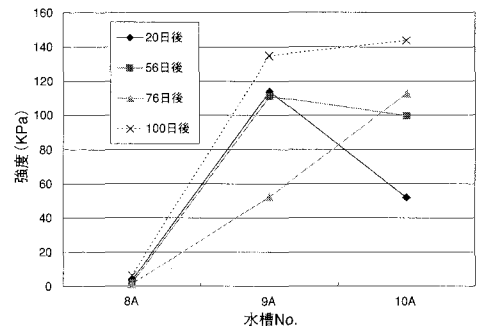


図-2 底質表面の強度(水槽8A～10A)

底泥を除いてホトトギスガイが多数生息するようになったためと考えられる。

ホトトギスガイは内湾性で汚染にも強く、表層にはかなりの数の生息が確認された。ホトトギスガイは足糸をからみ合わせてマット状の大集塊をつくり(波部, 1983)、底質を固める性質があるため、今回の底質の強度の変化には生物(主としてホトトギスガイ)の影響もかなり出ていると考えられる。実験開始から88日以後は、底泥を除いて他の底質はほとんど同じで、60～120 kPa 程度の強度を示している。図-2の銅スラグ(水槽8A)は、実験開始から100日後まで全く強度が増加しなかった。それに対して、安定化処理をしていない製鋼スラグ3(水槽9A, 10A)は、時間とともに固結が見られ、水槽9, 10と比べても約50%程度大きくなっている。今回は土壌硬度計の計測回数を3回としてその平均値を求めたが、上田ら(2003)は、6回以上測定して平均するとその変動係数は10%未満となると述べている。

(2) 間隙水の水質

a) pH

図-3に水槽1～10の間隙水のpHを、図-4に水槽8A～10AのpHを示す。実験初日に水槽3の高炉水砕スラグは9.5程度を示すが、2週間後には8.6まで下がり、その後は8から8.5程度に落ち着いている。底泥を等量混合した水槽4ではpHの増加はそれほど見られない。

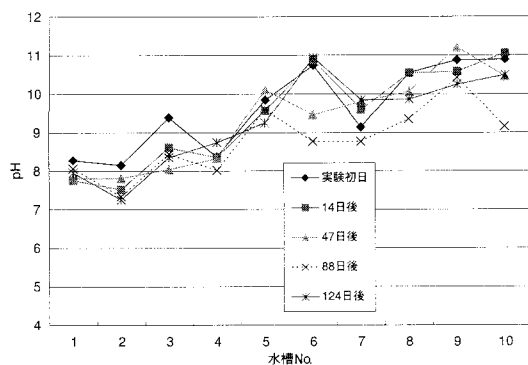


図-3 各水槽の pH の経時変化(水槽1~10)

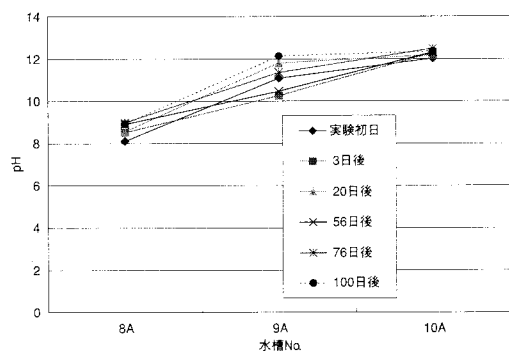


図-4 各水槽の pH の経時変化(水槽8 A~10 A)

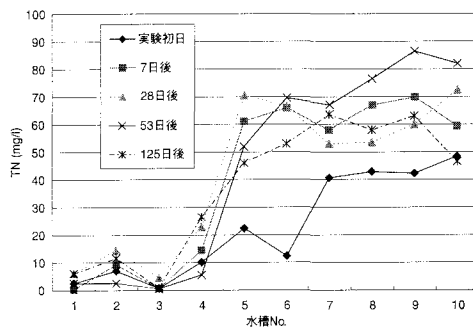


図-5 各水槽の TN の経時変化(水槽1~10)

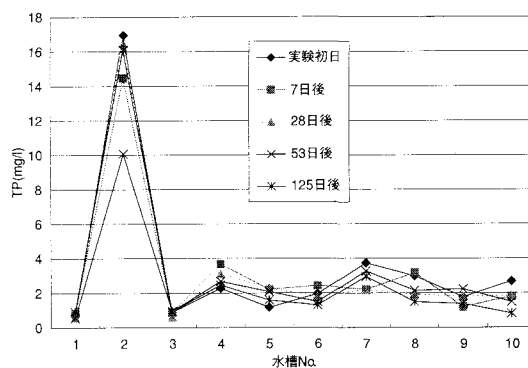


図-6 各水槽の TP の経時変化(水槽1~10)

しかし、製鋼スラグの場合は pH の増加が見られ、最大 11 程度になっている。製鋼スラグ 1, 2 では、底泥の混合割合を増加した方が pH の増加の割合が小さい。しかし、製鋼スラグ 3 では底泥の混合割合による違いは顕著ではない。図-4 の銅スラグに pH の増大は見られないが、製鋼スラグ 3 では底泥を等量混合した場合に pH が 12 程度まで増加している。ただし、これらの結果は潮汐のない実験水槽の中でのことなので、実際には潮汐によって間隙水の交換が活発に行われることから底質内の pH はそれほど大きくなることはないと思われる。本実験によれば、製鋼スラグに安定化を施せば、pH の上昇がある程度抑えられることがわかる。

b) TN

水槽ごとの TN の経時変化を図-5 に示す。製鋼スラグの底質は、実験開始直後から TN の増加が著しい。これは、塩素などによって封じ込められていたアンモニアに消石灰が作用してアンモニアを分離させるアルカリストリッピングによって分離したアンモニア(アンモニア態窒素)を計測している可能性がある。実際、採取した間隙水は黄色に着色し、ややアンモニア臭が感じられた。TN は初期のうちにアルカリによって分離されるが、高い濃度ではない。この作用を利用して、混合時に浚渫

底泥の浄化が図れる可能性がある。

水槽 5 から 10 までの底質の全有機炭素 (TOC) は、90 日後で 250~390 mg/l あり、海水や砂あるいは高炉水砕スラグの間隙水の濃度 (2.1~3.8 mg/l) と比べて極めて高濃度であった。

c) TP

図-6 に TP の経時変化を示す。底泥には、10~16 mg/l のりんが含まれていて、他の水槽の 4 倍程度の値を示している。

d) COD

実験開始から 195 日後の間隙水の COD を調べた。海岸砂 (水槽 1) と高炉水砕スラグ (水槽 3) は 0.5 mg/l 以下で、海水は 2.2 mg/l であった。底泥 (水槽 2) は 3.1 mg/l であるが、製鋼スラグを使った水槽 5 から 10 では COD が 64~370 mg/l とかなり大きな値を示した。これは、pH で生じたアンモニアが酸化しているためとも考えられるが、詳しいことは不明である。水槽 9 の COD が 64 mg/l であるのに対して、水槽 9A では 470 mg/l であり、水槽 10 の 95 mg/l に対して水槽 10A では 590 mg/l を示したのは、安定化の効果によって pH の上昇が幾分でも抑制されたことが効いているものと考えられる。なお、銅スラグを用いた水槽 8A では COD

の値は2.1 mg/lで、海水と同程度であり科学的に安定していると考えられる。

(3) ベントス

a) メイオベントス

図-7~9に、実験開始後47日、168日、216日経過した時のメイオベントスの個体数を、上位5種について示す。実験開始後47日では、海岸砂(水槽1)と高炉水砕スラグ(水槽3)の個体数が多く、製鋼スラグの底泥では少ない。しかし、168日を経過したあたりでは、製鋼スラグの底質にかなり多くのメイオベントスが生育している。216日が経過した時点では、全体的に個体数の増加が著しいが、特に製鋼スラグの個体数が多くなっている。

図-10に、実験開始47日後から216日後までの各水槽内のメイオベントスの総個体数の変化を示す。当初は海岸砂と高炉水砕スラグにメイオベントスが多く、底泥と製鋼スラグには少ない。しかし、時間の経過とともに製鋼スラグの底質にもメイオベントスが生息し始め、216日後では製鋼スラグの方が海岸砂、底泥、高炉水砕スラ

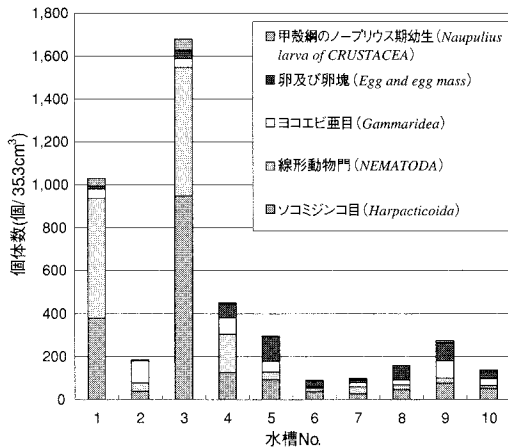


図-7 メイオベントスの個体数(上位5種, 47日後)

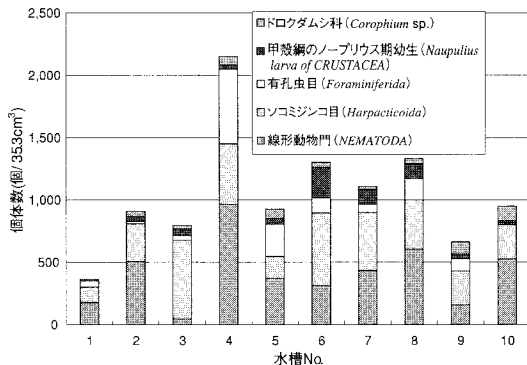


図-8 メイオベントスの個体数(上位5種, 168日後)

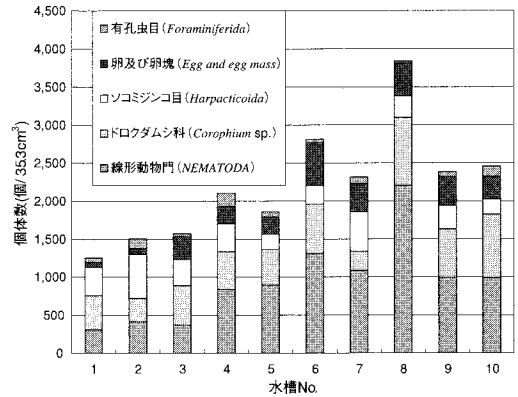


図-9 メイオベントスの個体数(上位5種, 216日後)

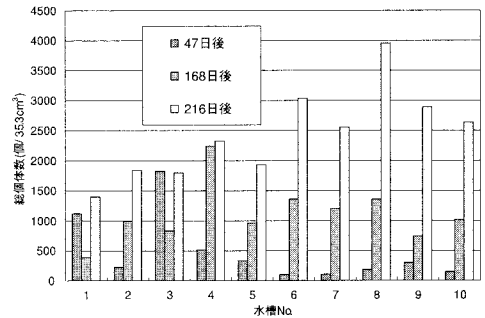


図-10 メイオベントスの総個体数

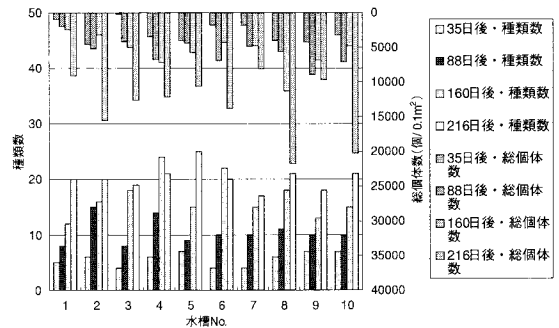


図-11 マクロベントスの種類数と総個体数

グより1.5~2倍程度多くなっている。

b) マクロベントス

マクロベントスの種類数と総個体数の経時変化を図-11に示す。種類数は時間の経過とともに徐々に増加しているが、各水槽の差はそれほど見られない。総個体数は、216日が経過した春先の4月13日には水槽全体で大きく増加した。この個体数が大幅に増加した原因は、ドロクダムシである。このドロクダムシは稚魚の餌になることから、干潟の生物として増加することは好ましいと言える。

図-12は、マクロベントスの多様度指数の時間的な変

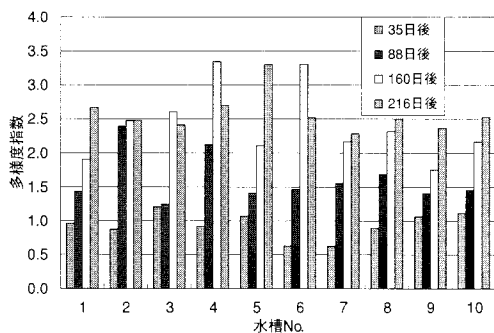


図-12 マクロベントスの多様度指数の経時変化

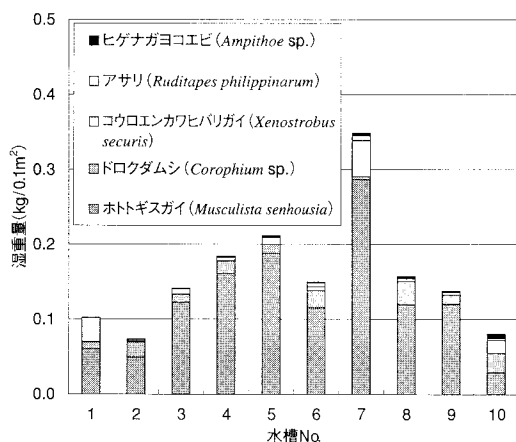


図-13 マクロベントスの湿重量(上位5種, 216日後)

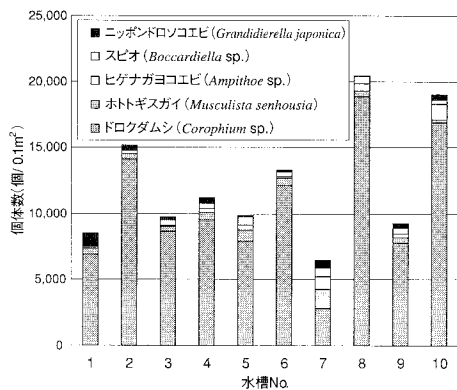


図-14 マクロベントスの個体数(上位5種, 216日後)

化を見たものである。多様度指数は実験開始後160日程度まで増加を続け、それ以後はほぼ極相に至っていると考えられる。図-13には216日後のマクロベントスの湿重量を、図-14には個体数を示す。湿重量では各水槽と

も圧倒的にホトギスガイが多く、個体数ではドロクダムシが多い。水槽7は、他の水槽と比べて投入した土量がやや多く、底質の表面を流れる海水の水深が他の水槽と比べて小さかったため、ホトギスガイの生育に適していたためか、底質の表層一面に大集塊ができていた。このため、他の生物の生息を阻害して個体数が他の水槽より少なくなったものと思われる。図-13では、湿重量の第4位にアサリが出現している。水槽1が0.03 kg/0.1m²で最も多く、水槽7、6と続くが、全ての水槽でアサリが出現していた。

4. おわりに

本研究では、鉄鋼スラグと浚渫土砂を有効利用することを目的として、干潟材としての可能性を探るための水槽実験を行った。水槽は実際の干潟と異なり波は作用しない。また、潮汐による水位変動もないため、干出を繰り返すわけではない。そういう意味でかなり特殊な状況下での実験となっている。しかし、同一の条件下で実験を行えるので、材料の違いを把握するには比較的良い方法である。今回の研究で、製鋼スラグに安定化を施すことによってpHの上昇と強度の増加を抑制できることがわかった。実験開始から47日程度までは製鋼スラグと底泥を混合した底質ではメイオベントスの生育が阻害されていたが、その後は海岸砂や底泥、高炉水砕スラグよりも多くの個体数が見られた。マクロベントスについては、各底質材料で大きな差は見られなかった。今後は、実際の海域で同様な調査を行って、鉄鋼スラグの干潟材への適用の可能性を探る必要がある。

謝辞：本研究の実験の実施及び水質の分析に際して、東海大学海洋学部海洋土木工学科の朝木宗洋君、池村遼太君、馬目脩己君（当時学部学生）に協力していただいた。ここに記して厚く感謝いたします。

参考文献

- 上田薫利・上月康則・倉田健悟・大谷壮介・桂 義教・東 和之・堅田哲司・村上仁士(2003)：貫入抵抗値を用いた簡便的な干潟底生生物調査地点の選定手法に関する基礎的研究，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1056-1060.
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1191-1195.
- 波部忠重監修(1983)：学研生物図鑑 貝Ⅱ，株式会社学習研究社，294 p.