沿岸域で覆砂材に活用される石炭灰造粒物の底質酸素要求量抑制効果

中国電力（株）エネルギア総合研究所　正会員　○井上 智子，松尾　暢
広島大学大学院　正会員　中本 健二，日比野 忠史
中国電力（株）電源事業本部　正会員　樋野 和俊

１．研究目的

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，その改善効果が確認されている．生物親和性や改善機能が確認され報告されているが，実海域で覆砂材に活用した場合の覆砂による底質酸素要求量（Sediment Oxygen Demand ; SOD）の低減効果は十分に明らかにされていない．

本研究の目的は，石炭灰造粒物を覆砂材として活用する場合の底質酸素要求量の低減効果を実験的に評価することである．実験室で現地を模擬した覆砂層を再現し石炭灰造粒物を覆砂材として活用した場合の特性について実験し，数値解析により現象を評価した．

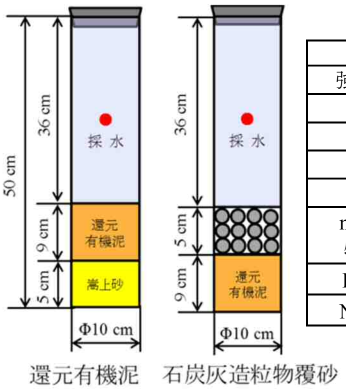
２．石炭灰造粒物の覆砂効果（SOD 低減効果）

これまでの研究で，石炭灰造粒物の覆砂実験により底質酸素要求量の低減が確認[1]されている．還元有機泥層内の酸素消費要因としては，還元された金属の酸化，底生生物の活動，好気微生物の活動，硝化，硫化物の酸化等が挙げられる．これらの過程は温度の影響が大きく，消費過程を個別に考慮するのは現象を複雑とし覆砂効果を評価するには効率的でない．還元有機泥の DO 消費には温度依存性があるため，温度を変化させた場合の造粒物による SOD 抑制効果を実験した．

３．干潟覆砂を再現した室内実験方法

石炭灰造粒物覆砂による底質改善効果を評価するために，現地干潟を模擬した室内実験を実施した．対象箇所を広島デルタ 1 級河川太田川派川の感潮河川干潟の底質として，還元状態となった底泥から溶出する物質と石炭灰造粒物覆砂による溶出抑制効果を実験的に評価した．現地干潟の底泥を採取し，円筒形コアパイプ（φ10 cm，h=50 cm）を用いて覆砂効果の確認実験が実施できる 5 cm の覆砂厚として，現地の層状地盤を約 1/10 スケールで再現（**図-1**）した．溶出物を評価するため，直上水は純水を用いた．恒温室に装置を配置し温度条件は 10, 20, 30 ℃に設定，上部を蓋で閉塞

写真-1　(a)石炭灰造粒物，(b)石炭灰造粒物覆砂状況



還元有機泥性状

項　目	感潮河川干潟
強熱減量 (%)	4～10
含水比 (%)	67.4～81.3
ORP (mV)	-328～-40
DO (mg/L)	0.5～1.0
硫 化 物	0.09～0.17
n-ヘキサン抽出物質 (mg/kg)	500～1000
PO_4-P (mg/L)	0.1～1.3
NH_4-N (mg/L)	1.5～6.0

図-1　SOD 確認実験概要および還元有機泥性状

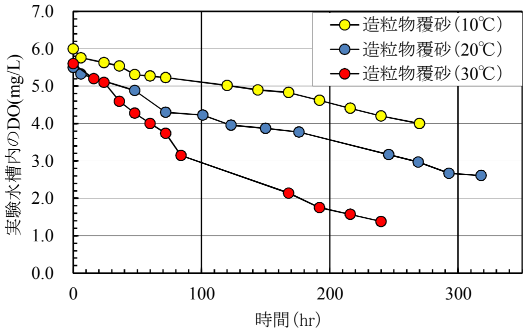


図-2　石炭灰造粒物による DO 消費抑制実験

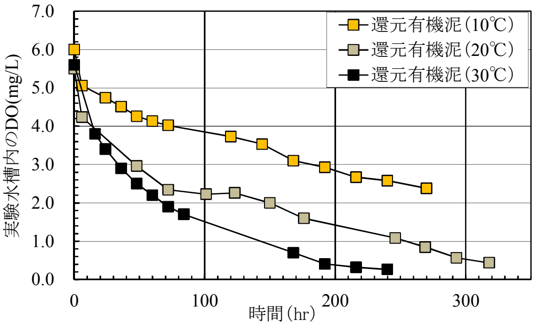


図-3　還元有機泥による DO 消費実験

キーワード　石炭灰造粒物，底質改善，覆砂材，底質酸素要求量，拡散係数
連絡先　〒739-0046　東広島市鏡山 3-9-1　中国電力（株）エネルギア総合研究所　ＴＥＬ050-8202-5270

し初期 DO は現地採泥時の直上水に合せ 5.6～6.0 mg/L に調整した．DO は水深 10cm 毎，3 箇所で測定し平均した．DO の経時変化により酸素消費抑制効果を評価するとともに，現地還元有機泥の間隙水 DO と同等の 1 mg/L 未満となるまで実験を継続した．なお，10℃条件は 20℃条件との比較実験として実施した．

4．干潟覆砂を再現した室内実験結果と考察

底質酸素要求量の確認実験結果を**図-2**，および**図-3** に示す．横軸は実験開始後の実験経過時間，縦軸は実験水槽内で測定した DO の平均値である．恒温槽の温度条件をそれぞれ 10，20，30℃に設定した場合の実験結果を表示した．DO の消費速度は温度に大きく影響されている．石炭灰造粒物を覆砂することにより消費速度が大きく低減されている．酸素消費量抑制効果(**図-2, 3**)から底質酸素要求量(Sediment Oxygen Demand；SOD）を実験期間 100 時間，および 200 時間で算出（**図-4，5**）した．横軸は実験水槽の温度，縦軸は底質酸素要求量（DO 消費速度）である．感潮河川干潟有機泥に比較し，石炭灰造粒物を覆砂することにより温度条件 20℃では，実験開始から 100 時間での SOD（**図-4**）は，還元有機泥 275 mg/m^2/day, 石炭灰造粒物覆砂 125 mg/m^2/day となっており，約 150 mg/m^2/day の低減効果が確認された．石炭灰造粒物覆砂による底質酸素消費量の低減効果は，温度条件をパラメータとして評価可能なことが確認された．

5．数値解析による酸素消費抑制実験の再現

数値解析により干潟覆砂を模擬した実験の再現を試みた. 解析モデルは, 室内実験 (**図-1**) と同じ条件を設定し，石炭灰造粒物の有無および温度条件 3 ケース (10, 20, 30℃) とした．本解析モデル（**表-1**）では，移流拡散は考慮せず静水中（静止媒体中）での非定常拡散とした．移流拡散を考慮した解析への拡張を考慮して，3 次元の円筒形モデルを用いた．SOD 評価時間の 100 時間に対して，解析時間を 100 時間として温度変化に合うように拡散係数をフィッティングした. 数値解析の一例として石炭灰造粒物覆砂による温度 20℃での解析結果を**図-6** に示す．併せてフィッティングにより算定した拡散係数を**表-1** に示す．

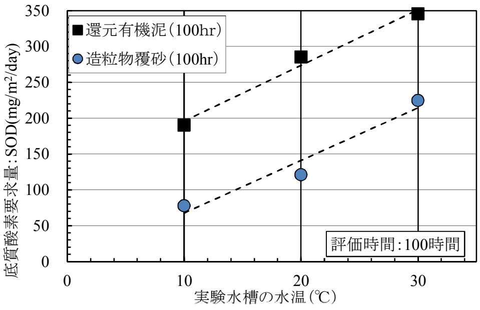


図-4 石炭灰造粒物による SOD 低減効果(1)

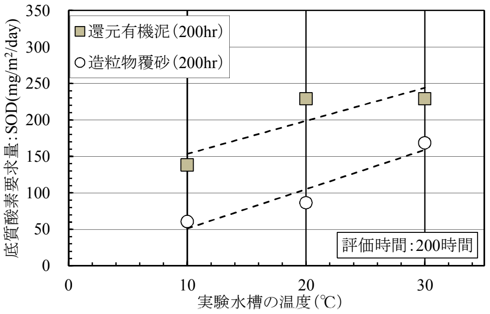


図-5 石炭灰造粒物による SOD 低減効果(2)

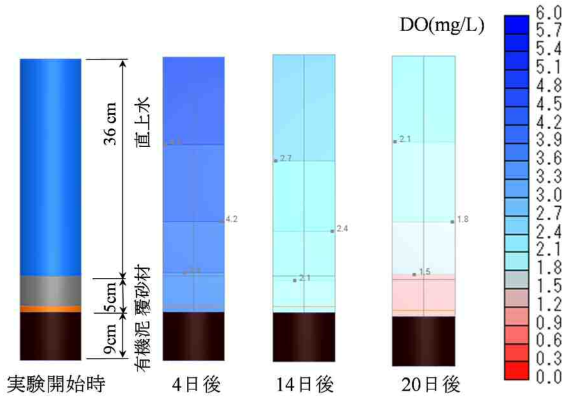


図-6 数値解析による 3 次元再現モデル(20℃)

表-1 数値解析条件と算出した拡散係数

解析モデル	円筒座標系による3次元拡散解析	
解析条件	静止媒体中での拡散 (移流拡散考慮せず)	
フィッテング時間	100 hr	
温度条件	10, 20, 30℃の3ケース	
底　質	石炭灰造粒物覆砂	還元有機泥
拡散係数（m^2/s)	1.25×10^{-8}	1.04×10^{-8}

6．結論

本研究により，石炭灰造粒物の温度条件と覆砂効果の関係（**図-4, 5**）が確認され，温度依存性のある SOD の低減効果が定量的に把握された．併せて数値解析により室内覆砂実験を再現し，温度変化に対応できる拡散係数（**表-1**）を算定し類似条件での数値解析による改善効果の評価を可能とした．

参考文献

1）中本健二，仁科晴貴，松尾暢，樋野和俊，日比野忠史（2016)，還元有機泥覆砂材に活用される石炭灰造粒物の土壌反応特性と底質安定化機構，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 72，No. 4，pp. 1027-1032，2016.