

福山内港における石炭灰造粒物によるスカム発生量抑制効果の検討

広島大学大学院工学研究科 ○学生会員 中岡孝行
福山市経済環境局環境部環境保全課 ト部憲登
復建調査設計株式会社 正会員 三戸勇吾
広島大学大学院工学研究院 正会員 中下慎也, 日比野忠史

1. はじめに

合流式下水道整備区域である福山内港では、水質、底質の悪化とともに、図-1 に示すようなスカムが発生している。スカムとは一般的に底層に堆積した下水成分によって発生する硫化水素やメタン等のガスが表層泥に捕捉され、密度の低下により表層泥が海面に浮上したものと考えられている(図-2)。スカムの発生は臭気等の問題を引き起こしており、早急な対策が求められている。これまでの研究でスカム発生に季節的な水温変動が関係していることがわかっている(岩本ら, 2011)が、スカム発生メカニズムについては未解明な部分が多い。一方、閉鎖性水域に堆積した底泥の改善手法として石炭灰造粒物を用いた手法が確立されてきた(福岡ら, 2009)。石炭灰造粒物は火力発電所から発生するフライアッシュを主原料とし、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 FeO を主成分とするリサイクル材料である。石炭灰造粒物の施工によって、(1)物理的な底泥の圧密、(2)石炭灰造粒物を作る間隙の新生堆積泥捕捉、(3)底泥から発生する硫化水素の吸着効果が期待されている。2011年の3月には図-3 に示す範囲に石炭灰造粒物が施工され、福山内港の底質の改善が図られている。

本研究では、石炭灰造粒物の撒布によるスカムの発生抑制効果を現地調査から実証することを目的として

今年度のスカムの発生量を算出し、水質調査、堆積泥調査、石炭灰造粒物層間隙泥の調査を行った。

2. スカム発生量調査

(1)解析手法

福山市立大学(場所は図-3 に示す)にて撮影されている福山内港の写真を用いて画像解析を行った。画像解析によりスカムの発生量を算出し、潮位、下水の放流量とスカム発生との関係性を検討した。画像解析は図-4 に示すような写真を用いて行った。左側の写真が5月28日に福山内港で撮影されたものであり、右側の写真が画像処理後のものである。この画像から写真中に示した範囲に対するスカムの発生割合を求めた。画像解析にはImage Jという画像処理ソフトを使用した。画像を範囲内でスカム以外のものが消えるように閾値を定め白黒で2値化して範囲内での黒の割合をスカム発生割合とした。この画像でのスカムの発生量は1.88 %となる。1日5~19時までの1時間ごとに解析を行い、15枚のスカムの割合を足し合わせたものを一日分のスカム発生量としてスカムトータルとした。

(2)解析結果

図-5 に6月1日と6月2日のスカムの発生と潮位の関係を示す。この図からスカムは潮位が下がった時に発生していることがわかる。福山底泥には油分が多く



図-1 石炭灰造粒物施工前のスカム発生の様子

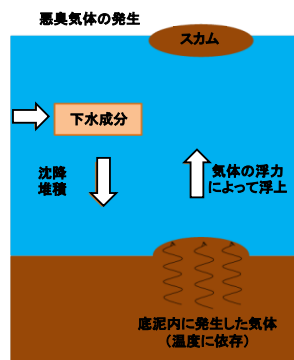


図-2 スカム発生メカニズム

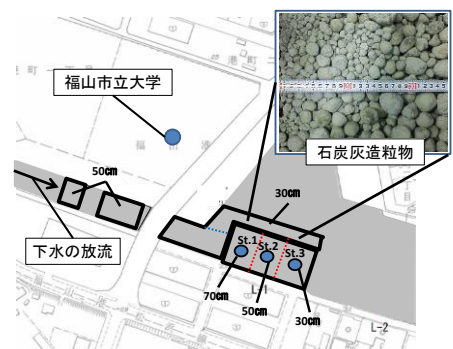


図-3 石炭灰造粒物施工箇所

含まれているために各粒子は凝集体を形成している。このように海水が浸透しにくい構造のため泥下面に働く水圧は堆積泥の厚さ分上昇することになる。水位が高いときには泥上面に働く水圧のためにスカムの発生は抑えられているが、水位が下がったときは底泥の圧力差を抑える水圧が減少しスカムに上向きの力が働きスカムの発生が起こると考えられる。図-6に5月、10月、12月のスカムの発生量と下水の放流量の関係を示す。この図からスカムは下水の放流があった数日後に発生していることがわかる。これは下水の放流によって堆積する有機物はほとんど分解されていない状況であり、油分による凝集体を作る力が強く、ガスの発生量も多いためにスカムの発生が生じたと考えられる。また、図-4に示された画像に写っているスカムが石炭灰造粒物撒布後に最も多く発生したものである。図-1に示す石炭灰造粒物撒布前のスカムの発生量と比較するとスカムが激減していることがわかる。また既往の研究ではスカムの発生は泥の温度に依存していることがわかっているが(岩本ら, 2011), スカムの発生している5月の泥温度は15℃程度であったが、スカムの発生していない12月の泥温度は18℃程度を示しており、12月のほうが泥温度は高い値を示した。それにもかかわらず冬季にスカムが発生しなかった原因として下水成分の季節変化が考えられる。

3. 現地調査結果

(1) 水質調査

水質調査は多項目水質計を用いて2011年5月～2012年2月の期間で月1回測定された。図-7に福山内港の水質の鉛直プロファイルを示す。DOは2011年5月～12月の底層付近では0付近の値を示し、無酸素の状態である。これは下水の放流によって底層に堆積した有機物が分解されるときに生成される還元物質(HS^- , Fe^{2+} 等)による酸素消費が原因である。pHは底層付近で6.5付近の弱酸性を示した。一般的な海洋のpHの7.5付近よりも低い値を示すのは、福山内港が下水による新生堆積泥の影響を強く受けているためだと考えられる。ORPはDOが1 mg/L以下の5月～12月において底層付近では-400 mv程度、表層付近でも-200 mv程度の値を示し、還元力の強い状態である



図-4 画像処理前(左)と画像処理後(右)の画像

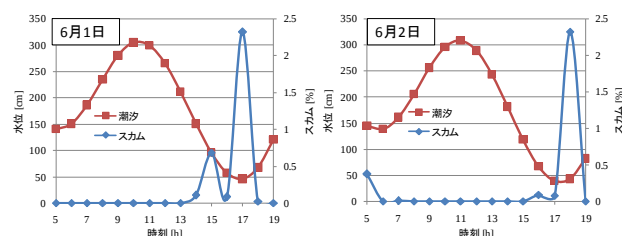


図-5 スカム発生と潮位の関係

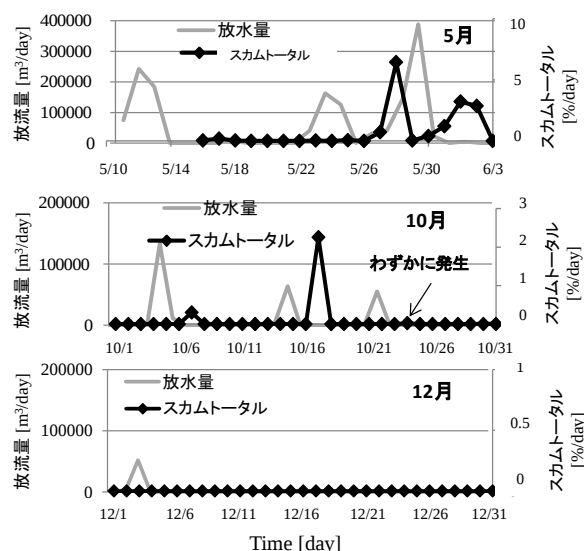


図-6 スカム発生と下水放流量の関係

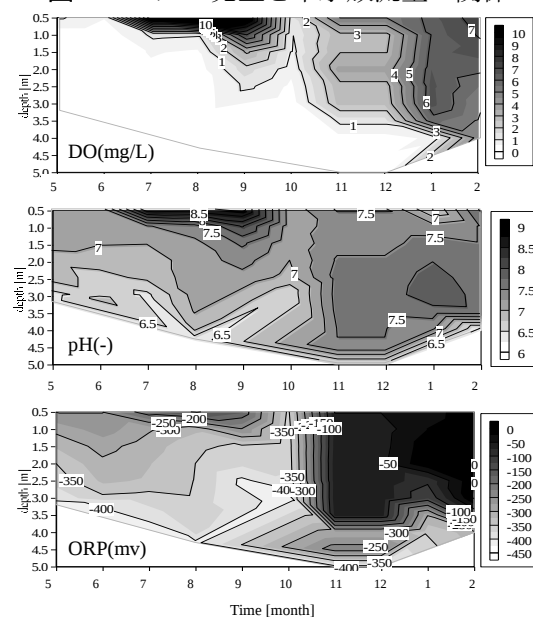


図-7 水質鉛直プロファイル

ことがわかる。このことから堆積した有機物の分解により生成された還元物質が水中に溶け込んでいることが考えられる。

(2)堆積泥調査

2011 年 4 月～9 月, 2011 年 9 月～12 月の期間において福山内港の St.1, 2, 3 の海底（石炭灰造粒物上）に設置したセジメントトラップに捕捉された堆積泥の性状調査を行った。St.1, 2, 3 は石炭灰造粒物の撒布厚さが異なっておりそれぞれ 70 cm, 50 cm, 30 cm である。図-8 に SS flux, 有機物量 (IL), 全炭素量 (C), n-ヘキサン抽出物質質量を示す。SS flux は夏季と比べて冬季は 1/3～1/5 程度値を示しており、これは下水の放流回数の違い（夏季：47 回, 冬季：22 回）によるものと考えられる。ただし広島湾奥部に位置する海田湾の夏季の SS flux (20 g/m²/day) と比較すると冬季においても非常に高い値であることがわかる。n-ヘキサン抽出物質の値は夏季では 20000 mg/kg, 冬季では 10000 mg/kg の値を示しており、放流回数が多い夏季に下水の影響を強く受けた有機物が堆積している状況であることがわかる。

(3)石炭灰造粒物上の堆積泥厚さ

図-9 に 2011 年 5 月～12 月の期間に St.2 で測定された石炭灰造粒物上の堆積泥厚さを示す。この値は多項目水質計が泥の中に入ることによる塩分の濃度変化から算出したものである。施工から 2 ヶ月後の 5 月の時点ですでに堆積泥厚さは 20 cm 以上の値を示しており新生堆積物が堆積しやすい状況にあることがわかる。10 月の堆積泥厚さは 9 月よりも 20 cm 程度減少しているが、これは石炭灰造粒物上の堆積泥は含水比が 800 %を示すような非常に緩い状態で堆積しており、下水の放流や降水による流量増加によって他地点に流されたことが予想される。調査期間を通して石炭灰造粒物上には 20 cm 程度の泥が堆積している状態であったにもかかわらずスカムの発生が抑えられた理由について次章で検討する。

4. 石炭灰造粒物によるスカム発生抑制機構の検討

図-10 に石炭灰造粒物撒布区と非撒布区で採取された間隙泥内の pH と ORP の関係を示す。ORP は泥の中の還元力の強さを示すものであり、-400 mv 付近では有機物の分解により主に還元物質である硫化水素が生

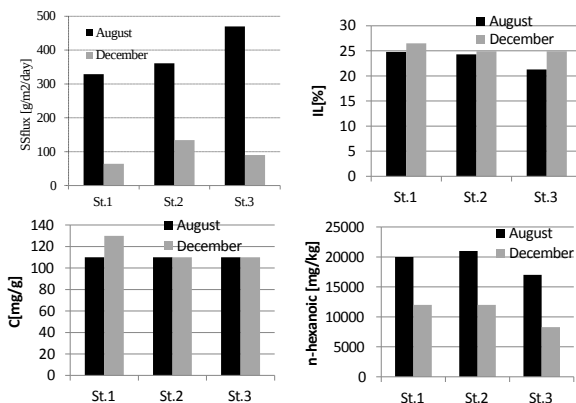


図-8 セジメントトラップに捕捉された堆積泥の性状

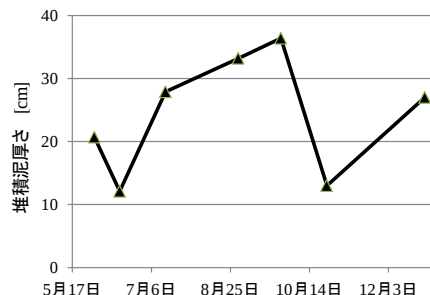


図-9 石炭灰造粒物上の堆積泥厚さの変化 (St.2)

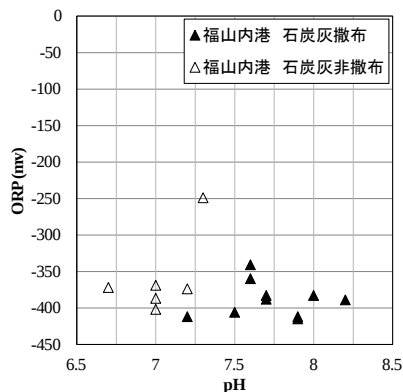


図-10 石炭灰造粒物層内の pH と ORP の関係

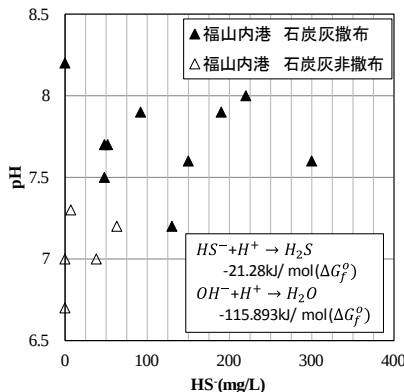


図-11 石炭灰造粒物層内の硫化水素イオンと pH の関係

成される。福山内港では石炭灰造粒物撒布区と非撒布区どちらの間隙泥も ORP は-400 mv 程度を示しており、このことから福山内港で発生している還元物質は主に

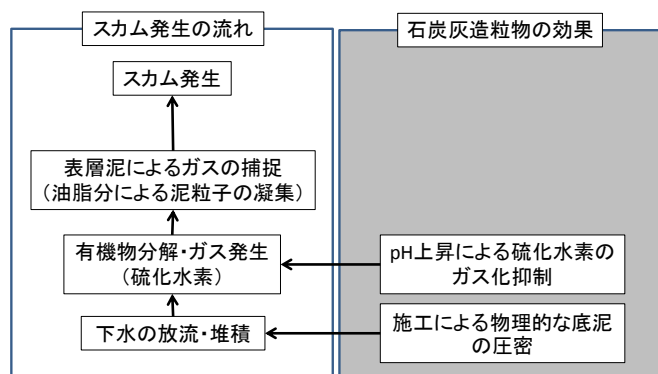


図-12 スカム発生の流れと石炭灰造粒物撒布によるスカム発生抑制効果

硫化水素であり、硫化水素ガスを表層泥が捕捉することでスカムが発生していると考えられる。pHは石炭灰造粒物撒布区ではpHが1程度上昇し、高pH環境が形成されている。これは石炭灰造粒物から溶出された $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が水中に溶けてオキソニウムイオン(OH^-)を放出したためである。

図-11に石炭灰造粒物撒布区と非撒布区で採取された間隙泥内の硫化水素イオンとpHの関係を示した。図中の式は硫化水素と水のギブスの生成エネルギーを示したものである。この式からオキソニウムイオンが増加した場合水素イオンとの結合が優先して起こり、硫化水素イオンは硫化水素とならずにイオンの状態のまま水中にすることがわかる。福山内港のpHと硫化水素イオンに正の相関がみられることから、石炭灰造粒物によるpHの上昇によって硫化水素のガス化を抑制できることがわかる。

福山内港における石炭灰造粒物撒布によるスカム発生の抑制機構として図-12のような効果が予想される。石炭灰造粒物の撒布により撒布後には物理的な底泥の圧密、撒布後においても間隙泥内におけるpH上昇による硫化水素ガスの発生抑制効果があり、スカムの発生を抑制できる。なお、スカム発生抑制効果は石炭灰造粒物層上に20cm以上泥が堆積した場合にも持続しており、長期間のスカム発生抑制効果が期待できる。

5. おわりに

本論文では画像解析によるスカムの発生量調査、水質調査、石炭灰造粒物撒布区と非撒布区層内の堆積泥の分析結果より以下の結論を得た。

- 1)石炭灰造粒物の撒布により2011年のスカム発生を抑制することができた。
- 2)スカムの発生は下水の放流に依存しており、下水の放流があった数日後の下げ潮時に発生しやすいことがわかった。
- 3)福山内港ではSS fluxが夏季で $300 \text{ g/m}^2/\text{day}$ を超えるため、石炭灰造粒物上に泥が堆積するが、スカム発生抑制効果は持続しており、長期間のスカム発生抑制効果が期待できる。
- 4)石炭灰造粒物の撒布により間隙泥内のpHが上昇し、硫化水素のガス化が抑制されるためスカムの発生が抑制されていることが予想される。

参考文献

- 1)岩本幸生・田辺弘雄・斉藤直・三戸勇吾・吉岡一郎・日比野忠史・出路康夫・清水直樹(2011):ヘドロ化した内湾でのスカム発生機構の解明と石炭灰造粒物を用いた底泥浄化法の設計,第63回土木学会中国支部発表概要集。
- 2)浅岡聡・山本民次・早川慎二郎(2009):石炭灰造粒物による硫化物イオンの除去,水環境学会誌, Vol.No7, pp.363-368。
- 3)福岡晴美・日比野忠史・山本民次・斉藤直(2009):石炭灰造粒物覆砂による環境修復効果—汽水域をフィールドとして—,海洋開発論文集,第56巻, pp.1026-1030。