

感潮域底泥表面に形成される生物膜層が 物質輸送に与える影響に関する研究

Study of Biological Film Effect on Fine Sediment Erosion at the Bed Mud Surface in Estuary

渡辺亮一¹・山崎惟義²・楠田哲也³

Ryoichi WATANABE, Koreyoshi YAMASAKI, and Tetsuya KUSUDA

The erosion behaviour of fine cohesive sediments is not yet well understood by the complexity of its physical and biological property. In order to discuss the effect of biological film formed on the bed mud surface, experimental investigations for erosion are performed by using the annular flume at Fukuoka University. Basis for the comparison of experimental results are as follows. 1) under the biological film formed condition, the erosion rate was decreased. 2) the biological film thickness under the high water temperature was thicker than the low water temperature condition. 3) the thickness of biological film reached 7mm at the maximum.

1. はじめに

干潮時に干潟が露出する感潮域では、比較的浅い水深部分および干潮時に出現する底泥表面に珪藻類を中心とした微生物が生成する粘着成分によって生物膜を形成すると言われている。この形成された生物膜は、水域における様々な物質輸送に大きな影響を与えており、例えば干満差の激しい感潮域では、夏場に透明度が上昇し（懸濁物質濃度が低い）、逆に冬場には透明度が低下する（懸濁物質濃度が高くなる）といった現象が確認されている（Prochnow ら, 2002）。このような現象は、底泥表層に形成される生物膜によるものと推測されているが、実際に生物膜によってどの程度の物質輸送が妨げられているかは明らかとなっていない。懸濁物質の沈降や底泥の巻き上げ現象に関する研究は以前から行われてきた。しかし、微細粒子のもつ特異な性質のため、これまでの研究では底泥の巻き上げ量とせん断強度の関係等の物理的側面の解明に主眼がおかれる傾向にあった。たとえば、海田ら（1998）は含水比の違いによって底泥の巻き上げ形態、巻き上げ速度、限界せん断応力を整理している。これらの研究では実験当日または、前日に水路に泥を敷き詰め、上層水を注入して1日静置または、直ちに実験を行うものが大半を占めていた。よって底泥の表面に生物膜層が形成される間もなく実験が行われていたと推察される。しかしながら、実際の水域に堆積する底泥の表層には生物膜層が形成されているのが一般的である。干潟の表面に形成される生物膜にはポリサッカライドを主とした非常に粘着性の強い高分子物質が含まれていること

が指摘されている。このように強い粘着性を示す生物膜層によって底泥の巻き上げ現象にどのような影響が及ぼされているかを検証した研究はこれまでのところ行われていない。

著者らは、これまで大型円形回転水路（直径5m）を用いて、生物膜が底泥の巻き上げに与える影響に関して研究を行ってきた（渡辺ら, 2006）。これまでの研究結果より、底泥の表層に生物膜層が形成されている場合は、底泥の表層に生物膜層がない場合と比較して、底泥の巻き上げ量が低下すると報告されている。しかし、これまでの結果からでは、深さ方向にどの程度の生物膜層が形成されているのか、また光の条件によってどの程度違いがあるのかを定量的に把握するには至っていない。そこで本研究では、深さ方向にどの程度の生物膜層が形成されているかを確認するために、水温と光の条件をコントロールして実験を行い、深さ方向への生物膜層の分布に関して知見を得ることが出来たので報告する。

2. 実験概要

(1) 実験試料

本実験に用いた底泥試料は、六角川河口より11km地点で採取した泥で、真密度2640 kg/m³、強熱減量18%、中央粒径1.4 μm、粒度組成は粘土約78%、シルト分約22%であり、地盤工学の三角座標分類では粘土に属する。また実験に用いた試料懸濁液は密度1025 kg/m³の塩水で、所定の濃度（約20 kg/m³）に調整したものをを用いている。

(2) 実験装置

a) 底泥巻き上げ実験

写真-1 および図-1 は、今回の実験に用いた内径4.6m、外径5m、深さ0.4m、水路幅0.2mの円形回転水路の概略を示している。円形水路、リングは、ともに透

1 正会員 博(工) 福岡大学講師工学部社会デザイン工学科
2 正会員 工博 福岡大学教授工学部社会デザイン工学科
3 フェロー 工博 北九州市立大学教授大学院国際環境工学研究科

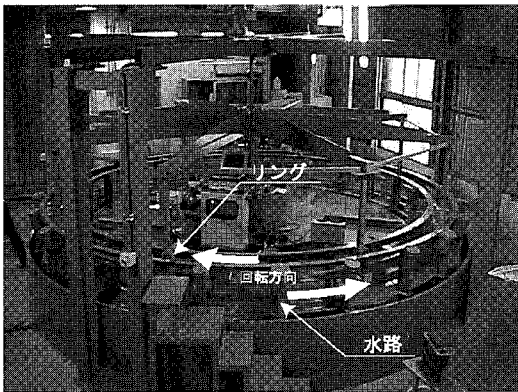


写真-1 円形回転水路概略

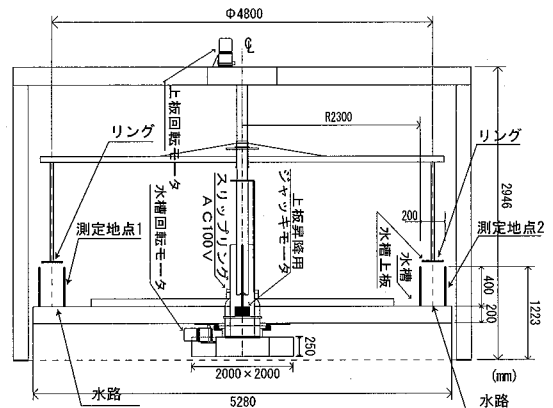


図-1 円形回転水路断面図

明の塩ビ製の板を使用し、光の透過を妨げないように配慮している。円形水路は回転円板上に固定し、円形リングはアームの先端に固定した。円形水路、アームは、ともにモーター、回転速度制御装置を有し、中央の2重回転軸を通じて独立で回転できるようになっている。また、リングは、昇降機能を有しており、水深を自在に変化できる機構を有している。また、実験時、生物膜を形成させたトレーを装置底部に挿入できるようになっている。

b) 生物膜形成実験

水槽(縦 280 mm×横 600 mm×深さ 320 mm)内に円形回転水路内に挿入可能なトレーを設置した後、試料底泥を懸濁液の状態(懸濁物質濃度約 20 kg/m³)で注入し、所定の期間静置し圧密させる。静置している期間中、蛍光灯で光を照射し続ける条件を明条件、その対照として水槽を透過率 5% のカーフィルムで覆い、さらにその上からダンボールを覆いかぶせ、光を遮る条件を暗条件とした。また水槽に IC サーモヒーターを設置し、所定の水温を保った。写真-2 (RUN5) は、明条件下で 6 日静置した後の底泥層の状態を表している。この写真から、底泥表層に約 5 mm の生物膜層が形成されていることが分かる。

(3) 実験方法

a) 底泥巻き上げ実験

生物膜を形成させ、所定の期間静置したトレーを円形回転水路内に設置し、底泥の巻き上げ実験を開始した。表-1 は、今回行った巻き上げ実験の条件を示している。各実験において、水路底面中央部におけるせん断応力を 0.1 Pa から 1.5 Pa まで変化させて、連続的に巻き上げ実験を行った。実験中、装置内に設置した採水装置によってサンプル(約 20 cc)を採取し、吸光度計を用いた分析によって懸濁物質濃度を測定した。この懸濁物質濃度の変化を測定することによって、各せん断応力での巻き上げ量を算出している。また、同時に装置内よりビデオ

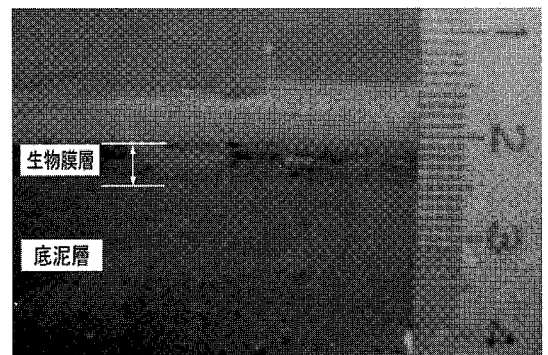


写真-2 水槽内で形成させた生物膜層 (RUN5)

撮影を行い、巻き上げの様子を観察した。ただし、巻き上げ実験時には光の条件がコントロールできないため、全ての実験を明条件で行っている。

b) 生物膜形成実験

表-2 は生物膜形成実験の条件を示している。生物膜形成水槽内で所定の期間静置した後に、底泥採取用シリリング(内径 30 mm)を用いて生物膜層と底泥層を乱すことなく採取し、採取後直ぐにシリリングごとドライアイスを用いて凍らせた。次に、凍らせたシリリングから底泥を取り出し、マイクロメートルのオーダーでの均質な切り出しを行うことが可能なミクロトーム(大和光機工業

表-1 底泥巻き上げ実験条件

	初期濃度 (g/l)	静置条件	静置期間 (days)	水温 (℃)
RUN1	20.0	明	19	32.8
RUN2	21.6	暗	7	28.9
RUN3	19.1	明	7	22.2
RUN4	20.3	暗	7	19.4
RUN5	20.6	明	7	10.6
RUN6	20.6	暗	7	11.4

表-2 生物膜層形成実験条件

	静置条件	静置期間(days)	水温 (℃)
RUN1	明	6	11
RUN2	暗	6	11
RUN3	明	6	23
RUN4	暗	5	23
RUN5	明	6	32
RUN6	暗	6	32

社製滑走式マイクローム NS-31) を用いて表層から深さ方向に 1 mm ごとの層を切り出し、それぞれの層のクロロフィル-a 濃度の測定を行った。この時、測定したクロロフィル-a 濃度および実験終了時に水槽側面から撮影した写真から生物膜の厚さを決定した。ただし、クロロフィル-a 濃度から得られた生物膜層の厚さと写真から判断した厚さはほぼ一致していた。

3. 実験結果および考察

(1) 底泥巻き上げ実験

図-2 は明条件下で生物膜を形成した場合の巻き上げ実験の結果を表わしている。この図から、明条件下においては水温が 20℃ 以上になると巻き上げ初期の段階（底面せん断応力が 1 Pa より小さい領域）においては底泥の巻き上げ量が低下していることがわかる。これに対して、水温が約 10℃ の実験においては、巻き上げ初期の段階においても巻き上げ量が低下していないことがわかる。また、水温が 20℃ 以上の実験では、せん断応力が 1 Pa 以上に達した辺りから、徐々に巻き上げ量が大き

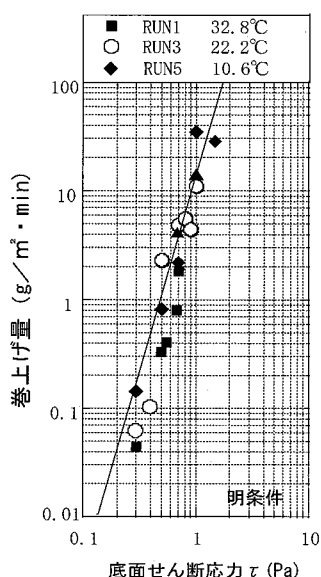


図-2 明条件下での底面せん断応力と巻き上げ量の関係

くなっていく傾向がわかる。これは、底泥表層に形成された生物膜層が徐々に剥がれて行くためであると考えられる。次に、図-3 は暗条件下で生物膜を形成させた場合の巻き上げ実験の結果を示している。この図から、暗条件下で生物膜を形成させた場合には、水温が 20℃ 以上の場合においても巻き上げ量が低下する現象は見られないことがわかる。これは、生物膜層の形成過程に光の条件が影響を与えているためであると考えられる。

これらのことから、底泥表層に形成される生物膜層には、水温と光の条件が大きく影響を与えているということが明らかになった。水温に関しては、生物の活性が発達になる 20℃ 以上において、生物膜の形成が盛んになり、底泥の巻き上げ量を低下させている一方で、水温が約 10℃ まで低下すると生物の活性が落ちるために、生物膜があまり形成されず、底泥の巻き上げ量は水温が高い場合に較べると大きくなる傾向にあることが確認された。更に、水温が高い場合であっても、光が底泥表面に届かない状況（暗条件）においては、生物の活性が高い状態であってもほとんど生物膜層が形成されていないと考えられる。

(2) 生物膜層形成実験

図-4 は明条件下で生物膜層を形成させた場合の底泥表層から深さ方向に単位面積当たりのクロロフィル-a の分布を表わしている。この図から、底泥表層から約 2～3 mm 程度の深さでクロロフィル-a の値がピークを持つことがわかる。水温が 23℃ の場合には、生物膜が約 6 mm、水温が 32℃ の場合には約 7 mm の生物膜が形成されていることがわかる。しかしながら、水温が

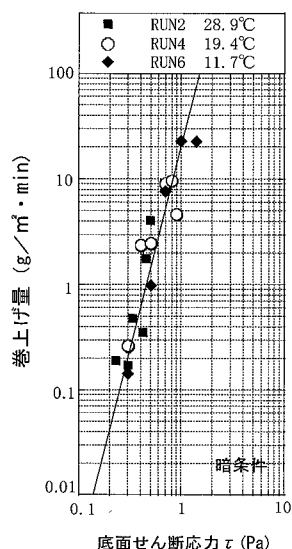


図-3 暗条件下での底面せん断応力と巻き上げ量の関係

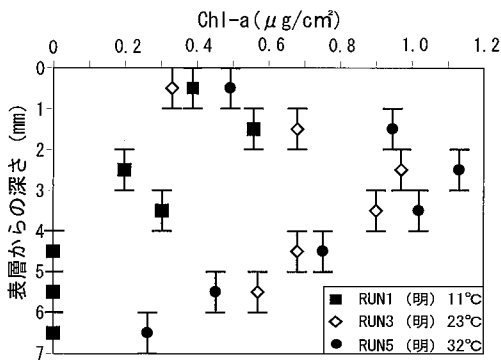


図-4 明条件下での深さ方向 Chl -a 分布

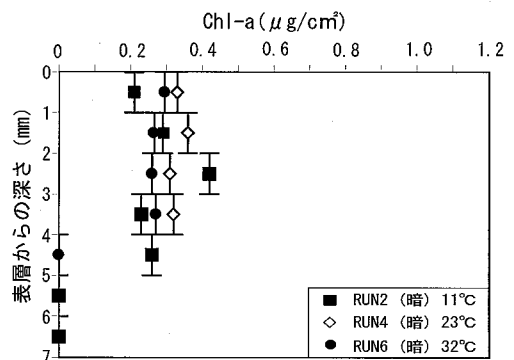


図-5 暗条件下での深さ方向 Chl -a 分布

23℃と32℃において、単位面積当たりのクロロフィル-aにはほとんど違いが見られないという結果が得られた。また、光の条件が同じであっても、水温が11℃の場合には、約4mmしか生物膜層が形成していないことがわかる。これは、水温が低い場合には生物膜を形成させる微生物の活性が落ちるためであると考えられる。

図-5は暗条件下で生物膜層を形成させた場合の底泥表層から深さ方向に単位面積当たりのクロロフィル-aの分布を表わしている。この図から、明条件下での実験と同様に底泥表層から約2～3mm程度の深さでクロロフィル-aの値がピークを持つことがわかる。しかしながら、暗条件下においては、単位面積当たりのクロロフィル-aの値は、水温によらず深さ方向に一様であり、形成される生物膜層の厚さもほぼ4mm程度であることが明らかとなった。これらのことから、底泥表層に形成される生物膜には、水温による影響だけではなく光の条件によってもその形成厚さが大きく影響を受けることがわかった。

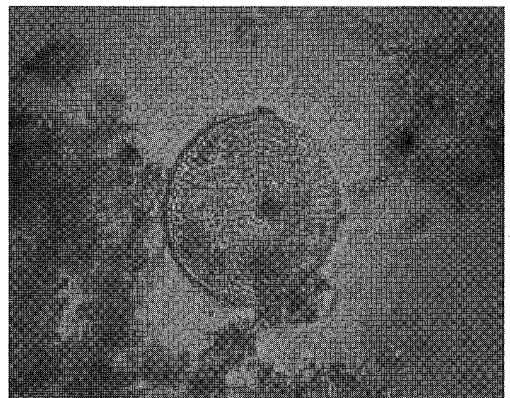
4. ま と め

この研究では、底泥表層に生物膜が形成された場合に、底泥の巻き上げ量が低下する現象を実験的に解明することを目指して研究が行われた。底泥巻き上げ実験と生物膜層形成実験の結果より、水温と光の条件に応じて底泥の巻き上げ量および生物膜層の形成厚さが変化することが明らかとなった。水温が20℃以上の場合においては、生物膜層が最大で7mm形成され、底泥の巻き上げ量が生物膜層が形成していない場合と比べて約5分の1程度に低下することが明らかとなった。また、せん断応力を増加させて行く過程で、形成された生物膜層が剥がれた場合には、巻き上げ量が徐々に増加することが確認された。次に、水温が10℃程度まで低下すると生物の活性が落ちるために、光が照射されている条件下であっても底泥表層にはほとんど生物膜層が形成されていない

ことが明らかとなった。このことは、感潮域において、夏場に懸濁物質濃度が低くなり、冬場に懸濁物質濃度が高くなることを示唆していると考えられる。また、光が届かない場所においては、水温によらずほとんど生物膜層が形成されず、底泥の巻き上げ量にも変化が見られないことも示された。

5. 今後の課題

今回の研究では、底泥中に含まれる単位面積当たりのクロロフィル-a深さ方向分布から生物膜の形成を判断してきた。しかしながら、干潟表面で生物膜層を形成している珪藻類等(写真-3参照)は、底泥に固着するために粘着性物質を放出することが知られている。この粘着性物質に反応する試薬を見つけ出し実験を行えば、底泥層中のどの深さまで粘着性物質が到達しているのかを定量的に把握することが可能となり、生物膜層が形成した場合の底泥の巻き上げ量を粘着性物質をパラメータとして整理することが可能となると考えられる。なお、この研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究B:課題


 写真-3 実験時水路内で採取した懸濁液の顕微鏡写真
巻き上げられた珪藻類等(タラシオシラ属)

番号 18360254, 研究代表者: 渡辺亮一, および基盤研究 C: 課題番号 19560554, 研究代表者: 山崎惟義) の助成を受けて行われたものである。ここに記して, 謝意を表する。

参 考 文 献

海田輝之, 楠田哲也, 栗原陽一(1998): 柔らかい底泥の巻き上げ過程に関する研究, 土木学会論文集, 第 393 号 / II-9,

pp. 33-37.

渡辺亮一, 山崎惟義, 楠田哲也(2006): 円形回転水路における底泥の巻き上げに及ぼす生物膜の影響に関する実験的検討, 水工学論文集, 第 50 号, pp. 1315-1320.

Prochnow, J. Schweim C. and Koengeter, J. (2002): Simulation of biogenic sediment stabilization by heterotrophic bacteria in an annular flume, *Proceedings in Marine Science, Vol. 5, in Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment, ELSEVIER*, pp. 393-407.
