

密閉グラブ浚渫で発生する濁りの現地実験

FIELD INVESTIGATION ON TURBIDITY CAUSED BY DREDGING USING CLOSED TYPE BUCKET

松田信彦¹・五明美智男²・松原雄平³・檜谷 治⁴・黒岩正光⁵

Nobuhiko MATSUDA, Michio GOMYO, Yuhei MATSUBARA

Osamu HINOKIDANI, Masamitsu KUROIWA

¹正会員 工修 東亜建設工業(株) 技術研究所 (〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3)

²正会員 博(工) 東亜建設工業(株) 技術研究所 (〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3)

³正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

⁴正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

⁵正会員 工博 鳥取大学助手 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

Recently, in Japan, it is found that harmful sludge, which contains heavy metals and dioxins, has accumulated in the harbor or river mouth faced an industrial area. It is expected that these harmful matters have a bad influence on the fish and shellfishes, and it has been a serious problem. Therefore, when removing this sludge, it is very important that the turbidity is not generated as much as possible for preventing secondary pollution. In this study, in order to investigate the relationship between operating conditions and the turbidity caused by dredging using closed type grab bucket at the closed water surrounded by revetment. In the field test, closed type grab bucket was used. Vertical distribution of turbidity was observed continuously by the turbidity-meters that were installed in the six perpendicular directions at the grab bucket dredger about 10m away from center of the bucket. Moreover, the depth, the plane position, and opening degree of the bucket were measured in order to know the relation between turbidity and motion of bucket. The observation results indicated that there was a correlation between the speed of lowering bucket and the turbidity at the lower layer.

Key Words : harmful sludge , turbidity, cycle time, dredging, closed type grab bucket

1. はじめに

近年, 全国的な公共用水域の底質ダイオキシン類の調査が実施され, いくつかの観測点で環境基準値を超える底質が発見されている. また, ダイオキシン類による底質の汚染に係る環境基準が施行され, その対策も緊急の課題となっている. ダイオキシン類に汚染された底質の浚渫では, ダイオキシン類がシルト・粘土粒子に吸着しやすい性質があることから, 濁りの発生を小さくすることが, 二次汚染を防止する上で重要であると考えられる.

海上工事の濁りに関する近年の研究の多くが, 濁り監視や拡散予測¹⁾²⁾を目的としている. 濁りの発生を小さくすることを目的とした研究は, 海洋汚染防止法が制定された昭和45年頃のもので, 現在ではほとんど行われていない. その頃の研究として, 小岩³⁾らは密閉グラブ浚渫の運転条件を変えて濁りへ及ぼす影響について調べ, バケットの巻上げスピードと一回当たりのつかみ土量の積による濁りの評価から, 濁りが最小になる運転条件があるとしている.

しかし, バケットの巻上げスピードが, どのようにして濁りの発生に関係しているのかについては, 十分な検討を行っていない.

現在の海上工事における濁りの発生機構については, 未だ不明な点が多く改めて取り組む必要がある. 本研究は密閉グラブ浚渫時におけるバケットの動きが, 汚濁の発生にどのように影響しているかについて調べ, 浚渫時の汚濁発生機構を明らかにすることを目的としている.

現地実験ではバケットの水中落下速度に着目し, バケット付近の濁度との関係について調べた. 室内実験ではバケット付近の流速について計測し, バケットの落下によって発生した流速と濁度との関係について考察した.

2. 現地実験の概要

現地実験ではバケットの水中落下速度と濁度の関係を調べるために, サイクルタイムを変えて実験をおこなった. バケットの動きによって生じた濁りを

グラブ船上で計測し、濁度と同時刻のバケットの先端深度を計測することで、バケットの動きによって発生した濁りを特定することができた。

(1) 調査方法

調査場所は長崎県佐世保港の、図-1のような建設中の護岸で囲まれた閉鎖水域で、波や流れのほとんどない場所である。浚渫は原地盤GL-12mを、0.5mの厚さで二層に分けてGL-13mまで掘削した。

実験に使用した浚渫船は、船体寸法が43.0×16.0×3.0m、クレーンの吊上能力100t. グラブバケットについては、容積9m³、自重28tの密閉式グラブバケットを使用した。

実験では掘削以外の濁りを発生させない為に、実験中に船の移動は行わなかった。そのため、バケットのつかみ回数を、1回の実験で36回(9回×2列×2層)とした。浚渫順序は図-2のように、1層目を1列目→2列目、2層目を1列目→2列目の順番で掘削した。

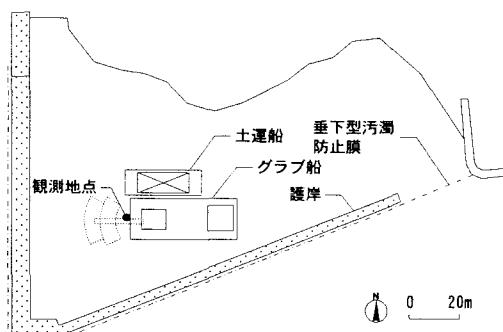


図-1 調査場所

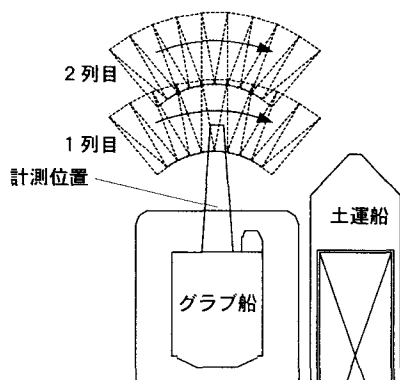


図-2 浚渫順序

濁度の観測は、図-3のようにバケットの中央から6～12m離れた浚渫船船首の位置で、鉛直濁度分布の時間変化を観測した。濁度計5台をロープで浚渫船から吊り下げ、一番下層の濁度計1台については、浮きをつけて海底面から1.0m高さになるように設置した。

使用した濁度計は、アレック電子社製のMTB-16K(赤外後方散乱方式)で、この論文で使用する濁度については、全てカオリン換算値(mg/l)を使用する。

また、バケットの動作計測については、浚渫船の制御装置を用いて、バケットの先端深度と平面位置を連続的に計測した。バケットの先端深度は吊りワイヤーの巻出し量から算定し、バケットの平面位置の測定にはGPSを使用している。

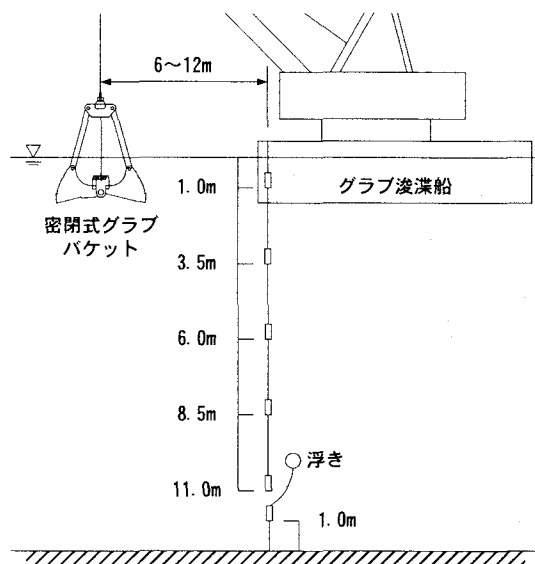


図-3 濁度計設置状況

図-4は浚渫した底質と浚渫終了時に下層で採取した濁水の粒径加積曲線である。底質は50%粒径が0.161mm、シルト分以下は30.9%の粘土質礫質砂である。下層の濁水は、粒径 $d < 0.1\text{mm}$ 以下のウォッシュ・ロードがほとんどで80%程度含まれている。

なお、実験を行った場所は、ダイオキシン類などの汚染物質で汚染された地域ではなく、本研究では汚染物質の管理手法などについての検討は行っていない。

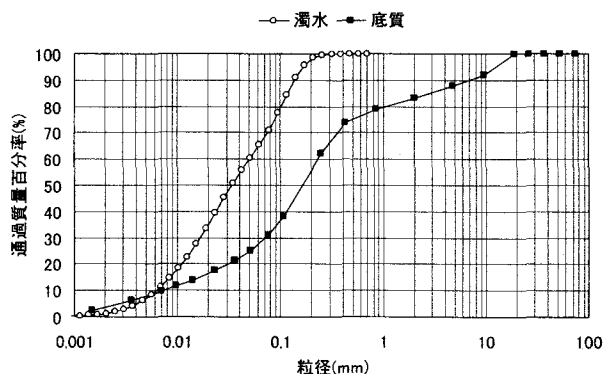


図-4 底質と濁水の粒径加積曲線

現地実験は平成15年7月5・6日の二日間で実施した。実験条件については、表-1に示す通り浚渫速度を変えて2ケース実施した。サイクルタイムを変えることで、バケットの巻下げ・巻上げ及び旋回の速度が変化する。

表-1 実験条件

	ケース1	ケース2
サイクルタイム	4分	2分

(2) バケットの動き

図-5は密閉グラブ浚渫時のバケット動作を、1サイクルを通してかいたものである。表-1の実験条件で示したサイクルタイムとは、1サイクル当たりの時間である。また、バケットの動作とその時に発生する濁りの発生原因をまとめたものが表-2である。

本研究では下層で発生する濁りに着目しており、下層で発生する主要な発生要因は、図-5のように②着底、③掘削、④地切りの3つに分けて考えることができ、バケット動作は②着底→③掘削→④地切りの順番で浚渫していく。バケットと濁度計の間で距離があるため、発生から濁度が到達するまでの時間差は生じるが、濁りの少ない時に濁度とバケットの先端深度を時系列で見れば、大きい濁度を発生させるバケットの動作を、概ね特定することができると思われる。

表-2 バケットの動きと濁り

バケット動作	発生する濁り
①巻下げ	開始
②着底	バケット着底時の衝撃による濁り
③掘削	掘削時の底質の攪乱による濁り
④地切り	巻上げ時のバケットの地切りによる濁り
⑤旋回	バケットから濁水が漏水し水面に落下
⑥土捨て	終了

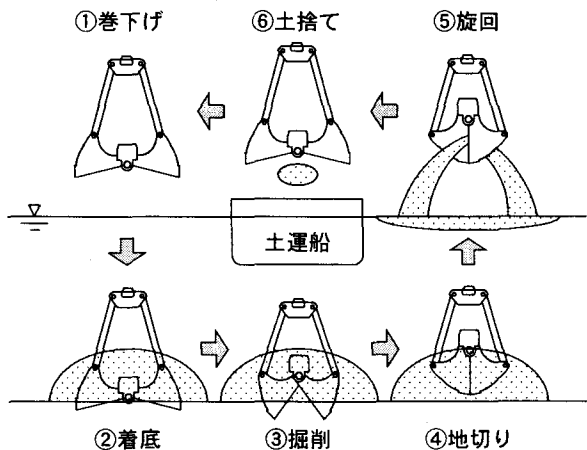


図-5 浚渫サイクルと汚濁発生要因

3. 現地観測結果

(1) 施工速度の影響

図-6は実験開始から終了までの濁度を平均した鉛直濁度分布である。濁度は下層>上層>中層の順に高い。施工速度を速く(ケース2)すると、下層の海底面から2~3mの範囲で濁度が急激に増加していることから、他の層とくらべ施工速度の影響が顕著に表れており、バケットの動作によって下層で発生した濁りが、あまり拡散せずに停滞していると考えられる。この様な下層で発生する濁りについて、後で詳しく検討することにする。

中層の濁度はケース1とケース2で同程度になっており、施工速度の影響を受けにくい。また、上層では中層に比べ、水面付近で濁度が高くなっている。これはバケットが水面から出た際に、バケット内部の濁水が漏水して水面に落ちた為である。

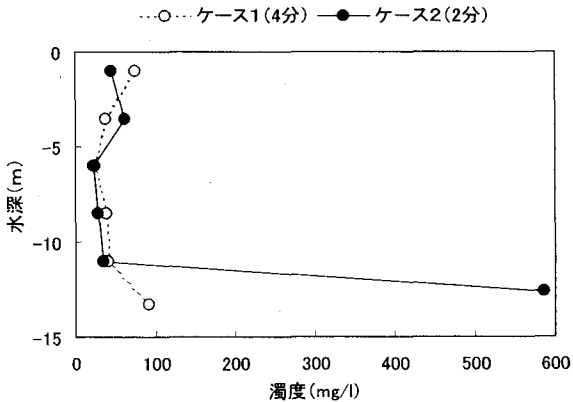


図-6 鉛直濁度分布

(3) 層毎の濁度の時間変化

図-7~12は実験開始直後の濁度とバケットの先端深度を時系列で表したグラフである。この中で図-9と図-12の下層濁度は、濁度の濃度が高いため縦軸の濁度のスケールを1500mg/lとした。また、ケース1とケース2で時間軸スケールが異なっているが、濁度の変化が分かるようにケース2の時間スケールを長くしている。

a) 上層の濁り

図-7と図-10の上層については、濁度が時間と共に緩やかに増加している。図-10中の矢印の濁度が急激に上昇しているのは、濁度が上昇する時刻とバケットが水面に出た時刻が一致していることから、バケット内の濁水が漏水によって水面に落ちた為であると考えられる。

図-6で施工速度の違いケース1の水面付近の濁度が、ケース2と比べて大きくなっている。これはバケットが水面に出てから土運船に土捨てするまでの旋回時間が、ケース2の方が短くバケットからの漏

水量がケース1よりも少なくないことが原因と考えられる。また、バケットの巻上げ速度が早い場合、水面付近でバケット上部の水が短時間に水平方向に排除され、水平流速が大きくなる。そのため水面付近で濁りの拡散が早くなっている可能性がある。

b) 中層の濁り

図-8と図-11の中層については、下層からの移流拡散による濁りで、わずかに上昇しているが、ほと

んど変化していない。
中層ではバケットに付着した泥から濁りが発生する程度で、濁りの発生はほとんどなく、バケットの移動に伴う誘起流によって、下層から移流した濁りであると考えられる。

c) 下層の濁り

下層ではバケットの動作に対応して、濁度が急激に増加や減少を繰り返している。図-9と図-12の下

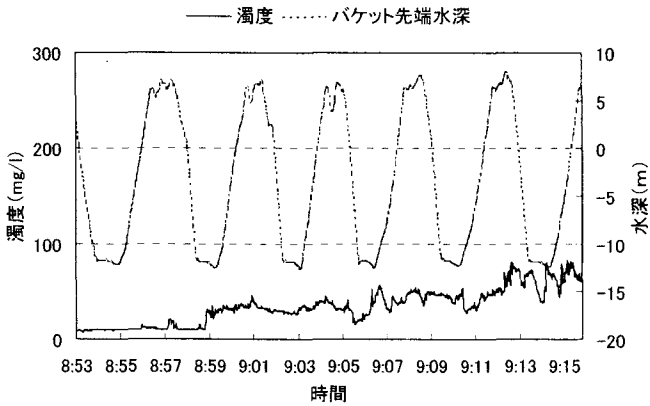


図-7 ケース1 上層 (-1.0m)

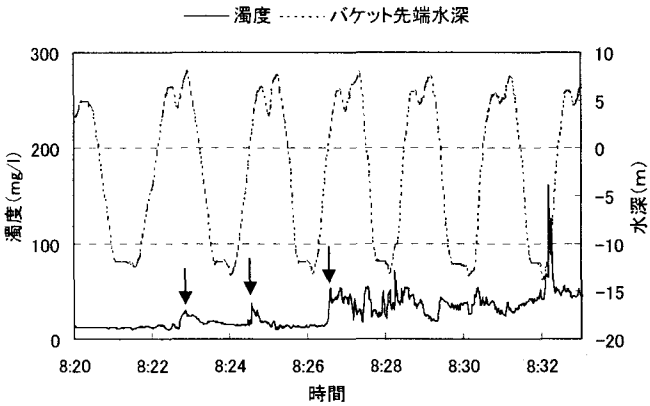


図-10 ケース2 上層 (-1.0m)

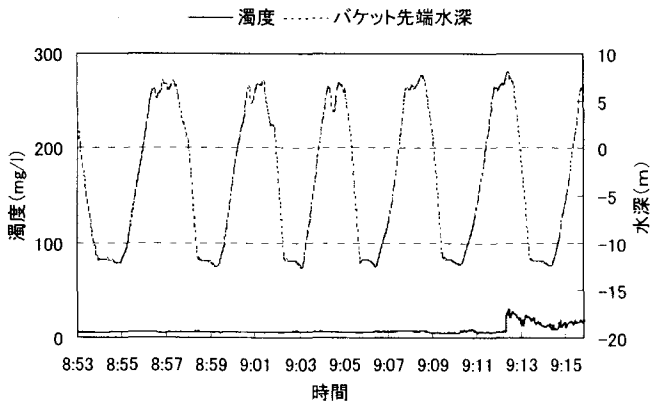


図-8 ケース1 中層 (-6.0m)

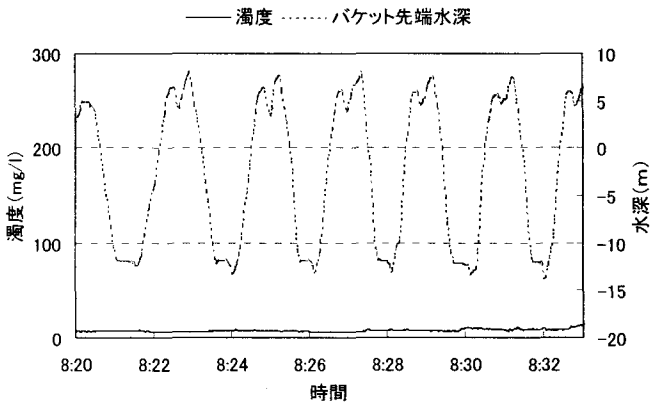


図-11 ケース2 中層 (-6.0m)

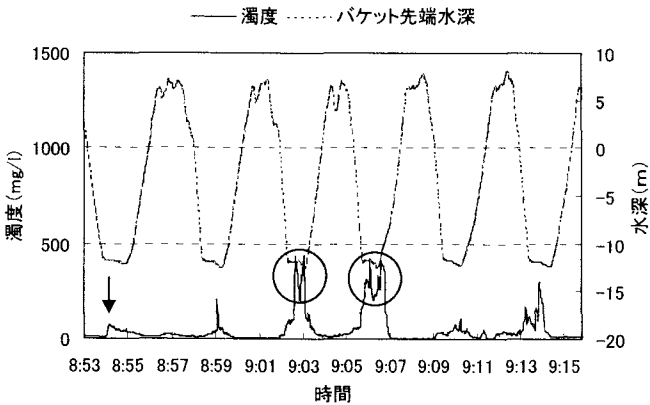


図-9 ケース1 下層 (海底上1.0m)

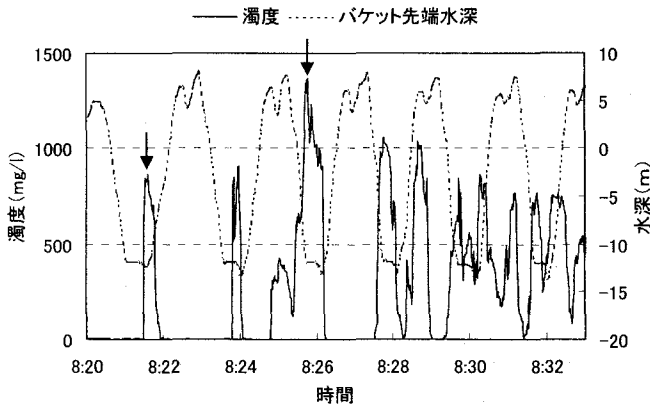
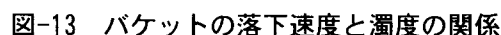


図-12 ケース2 下層 (海底上1.0m)

図-12のケース2で、8:24以降でバケットが下層にない時刻に、濁度の上昇が見られる。これは護岸に反射して戻ってきた濁りが原因であると考えられる。

観測結果から、下層の濁りは他の層と比較して濁度が高く、施工速度の影響を受けやすいことから、下層の濁りについて検討する。

そこで、観測結果からバケット着底直後に発生する最大濁度と、その時のバケット落下速度を全てのサイクルについて計測し、両者の関係を調べたものが図-13である。バケットの落下速度には、水中の平均落下速度を用いた。この結果から、バケットの落下速度に比例して、濁度が大きくなっていることから、両者に正の相関があることが分かった。

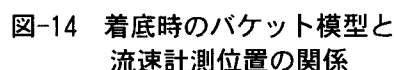


(1) 室内実験概要

たので、1/10スケールの密閉グラブバケット模型を製作し、バケットの着底時のバケット周辺流速を計測することにした。

実験に使った水槽は、長さ3.5m、幅3.5m、高さ2.5mのガラス2面張りの大型水槽で、底面は何も敷かず固定床として実験を行った。水深については、現地実験の水深を考慮して、水深を1.0mと1.5mとした。バケットの落下高さについては、バケット内部に空気が入らないように、バケットが気中に出ない高さで落下させた。

計測方法については、電磁流速計を使用して流速を測定すると共に、水槽側面からビデオ撮影を行った。バケット落下速度を計測するために、バケット側面に波圧計を取り付け、圧力変化を計測した。



実験ケース	I	II	III	IV	V	VI
バケット重量 (kg)	11	16	20	11	16	20
水深 (m)	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
落下高さ (m)	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5

6. 室内実験結果

図-15と図-16は、バケット落下開始から10秒間の水平流速と鉛直流速の変化を時系列で示したもので、実験ケースⅠの観測結果である。図中の縦線は、バケットの落下時刻で2.6秒である。水平流速と鉛直流速ともに、バケットの着底から0.6秒後に最大流速が発生している。

水平流速は着底後に急激に上昇し短時間で流速が低下するのに対して、鉛直流速はバケットの落下開始から緩やかに上昇し下降している。このケースで発生する最大流速は、水平流速で45cm/s、鉛直流速については33cm/sであった。発生する流速の大きさはことなるが、他のケースについても同様の流速変化が見られた。

図-17はバケットの水中平均落下速度と、それによって発生する水平流速と鉛直流速の最大値をプロットしたものである。現地実験の濁度と同様に、バケットの落下速度に比例して発生する流速も増加する傾向があることが分かった。

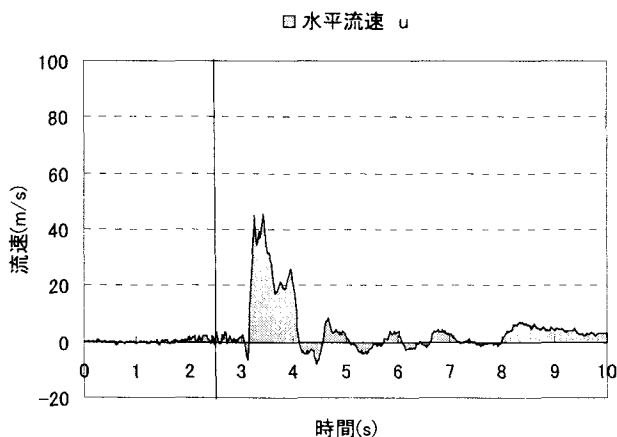


図-15 水平流速 (u) の時間変化

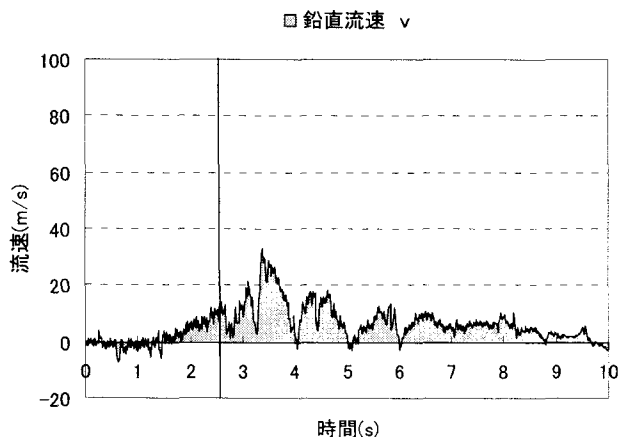


図-16 鉛直流速 (v) の時間変化

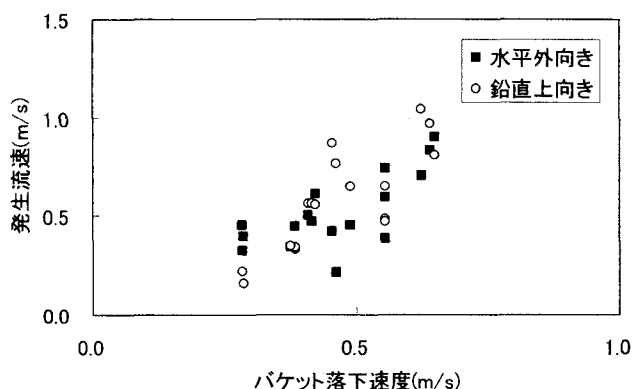


図-17 バケット落下速度と発生流速の関係

7. おわりに

今回の実験では、グラブ浚渫で発生する濁りの中で、濁度が最も大きい下層の汚濁発生現象について検討を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) サイクルタイムを短くすると、海底面から2～3mまでの範囲で濁度が増大した。
- (2) バケットの着底時の衝突によって、発生する濁度が最も大きい。
- (3) 水中のバケット落下速度と、バケット着底直後の最大濁度の間に正の相関が認められた。
- (4) バケット模型による流速計測の結果、水中のバケット落下速度と、バケット近傍で発生する流速の間にも正の相関が認められた。
- (5) (3)と(4)の結果から間接的ではあるが、バケット近傍の流速と、バケット着底直後の最大濁度の間にも相関があり、バケット近傍の流速によって濁りが発生していることが推定される。

浚渫全体の濁りの発生機構を明らかにするには、今後、掘削と地切りについても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 稲垣 聡, 山木 克則: 工事海域の濁り監視と予測, 海岸工学論文集, 49巻, pp. 1496-1500, 2002.
- 2) 稲垣 聡, 田中 昌宏: 日々の工事管理を目的とした流れ・濁り予測システム, 海洋開発論文集, 19巻, pp. 767-772, 2003.
- 3) 小岩 苔生, 宮崎 昭児: グラブ浚渫船の運転条件が濁りに及ぼす影響, 港湾技研資料, No. 257, 1977.
- 4) 榎木 亨: 漂砂と海岸浸食, 森北出版, 防砂シリーズ3, 1982.
- 5) 芦田, 高橋, 道上: 河川の土砂災害と対策, 森北出版, 防砂シリーズ5, 1983.