

半水深二重敷設汚濁防止膜の効果に関する研究

東京水産大学 正会員 農博 加納 敬

太陽工業（株）正会員 本城 豊

太陽工業（株） 川本博文

緒言

近年では、陸上におけるわれわれの活動圏の開発はほとんど行き届いてしまっており、今後開発の対象となるべき個所は海中、地中、宇宙であるといわれている。そしていま、海中は主として内海や沿岸、内湾域において第2次産業のための平面創出や社会資本充実のための開発がなされつつあり、地中は古来からの地下鉱物資源の探査採掘のほか、主として都市部における第3次産業のための空間創出や山間部における資源備蓄の場として開発されていて、宇宙は情報産業や軍事面で広く利用されている。これらのうち、とくに海はわれわれの日常生活に深い関わりをもっており、開発の手を加えるにあたっては、そのレクリエーションの場や水産資源育成の場としての機能を損なうことのないよう、十分な配慮が望まれる。

このため、海中工事現場では汚濁防止膜を工事地点のまわりに内側と外側の二重に敷設して、工事によって巻き上げられた微細土砂粒子による汚濁の拡散を防ぐことが行われている。普通これらの汚濁防止膜は全水深にわたって敷設されるが、大水深、高流速の個所では全水深にわたる敷設は膜の強度や敷設技術、係留法などの面に問題点が生起する。

従って、このような時の敷設法として、すでに行われているところではあるが膜を半水深ごとの二枚として、一方をフロートを用いた海底からの自立式の膜とし、他方を海面からの垂下式の膜として、汚濁防止効果の上がる両者の前後関係と間隔について水理模型実験によって検討した。

実験設備および実験要目

実験は東京水産大学海洋生産学科水理実験棟の流水水槽で行った。水槽は幅1m、高さ1.5mの長方形断面で、延長は25mである。この水槽で水深を1mに保ち、流量は表1のように変化させた。模型の縮尺は、とくに深い根拠はないが太陽工業社内の汚濁防止膜施工指針では、敷設限界水深を10mとしているので一応1/10のスケールとし、フルードの相似律に従った実験として行った。膜高は水深が1mであるから、0.5mとし不透水性のテント地を用いて、自立式の膜のフロートと垂下式の膜の錘はともに静水中において膜に1kg/mの張力を与えるように作成した。膜の前後関係は、上流側を垂下式、下流側を自立式としたもの（Aの形式）とこれを逆にしたもの（Bの形式）とし、両膜の間隔は0.5mから

3.0mまで0.5m毎の増分で3mまで、6種類の間隔をA、B両形式に対してとった。膜と水槽の側壁とは実際の敷設状況を考慮して固着しないようにした。流速もA、B両形式ともに表1の値をそれぞれあたえた。測定は図1に示すように水槽断面の中心線を含む鉛直面内の2次元流速分布を2成分電磁流速計で測定し、水深毎に噴出させたウォータールー染料の流れの様子と対比した。また、巻き上げられた微細土砂粒子の流水中での挙動を見て、どの形式のどの膜間隔が最大の汚濁防止効果が上がるかを見るため、比重1.04のポリスチレン粒子（商品名エスレンビーズ；粒径約0.7mm）を投入してその拡がりや沈降の様子をみた。また、水中から沈降粒子を回収して回収量を測定し、その量をA、Bどちらの形式のどの間隔のものがよりよい汚濁防止効果を示すかということの判定材料とした。

実験結果

（1）ウォータールー染料流下実験

この実験における流れの様相はすべての流量について乱流となっているが、膜の周辺における流れの状況を見るため、水深20cm, 35cm, 50cm, 65cm, 80cmの各位置にノズルを設置してウォータールー染料を流れの中に噴出させた。その結果、よどみの生ずる個所ではウォータールー染料は濃くなり、逆に流路が狭められて流速の早くなる個所では薄くなることが観察された。このことは、今回の実験では用いなかったが、濁度計を使用してウォータールー染料の濃度分布を測定することにより、汚濁微粒子の堆積個所を類推すること、ひいては汚濁防止膜の効果判定の資料とすることが可能となろう。この実験では、流速の遅い時にはA形式の上流側の膜（自立式）の前面に顕著なよどみの生ずることが観察された。しかし、膜間や下流側の膜の周辺にはよどみの生ずる個所は認められず、むしろ、洗掘域であるような感を受けた。したがって、A形式の膜の配置に対しては、上流側の自立式の膜は流速の遅い限りでは、せきのような役割を果たして汚濁微粒子の堆積に効果を発揮するが、流速が早くなると膜に沿って斜め上向きの流れが生じて、前面の汚濁微粒子は堆積することなく、この流れに乗って膜を越えていってしまう。そして下流側の垂下式膜の下端での流路狭搾によってできる高速流域の影響を受けて、膜間および下流側膜周辺は全面的に洗掘域となり、A形式の膜の配置はあまりよい配置でであるとはいえないようであると考えられる。

（2）2次元流速分布の測定

図1に示すような各測定点において2次元電磁流速計を用いて流速分布を測定した。この結果のうち、膜間距離が0.5m, 2.0m, 3.0mのときで流速が4.47cm/sのときのA形式、およびB形式について、測定結果を流速ベクトル図として図2から図7までに示す。これらの図からも前項で述べた、A形式の汚濁防止効果が疑わしいことが示されている。

一方、B形式では下流側の自立式膜にぶつかった流れは一部上層部で反転して、膜間を長径とする循環を形成する。この循環は汚濁微粒子を膜間に滞留させるのに効果的であろうと推測される。

(3) エスレンビーズ流下実験

汚濁微粒子の堆積効果を見るためには汚濁微粒子の流水中での挙動を実験室内で観察できるようなマーカーを用いる必要がある。かといって実際の汚濁微粒子では清掃や設備・機器の保守に悪影響を及ぼし、取扱いも面倒である。そこで、沈降速度はフルードの相似律による速度の縮尺より多少大きな沈降速度となるが、比重1.04、粒径約0.7mmのポリスチレン粒子（商品名：エスレンビーズ）を油性ペイントで着色（黒）したものを流水に投入し、流下ならびに沈降の様子を観察した。そしてすべてのエスレンビーズがしかるべき場所に沈降したあと、流れを止めて膜の近傍に沈降したものを回収した。その結果を図8および図9に示す。エスレンビーズの投入量は1リットルであり、投入箇所はA、B形式ともに上流側膜の上流1mの地点であり、実際の汚濁発生状況とは異なるが水槽底面からではなく、装置の関係上水面へ投入することにより与えた。膜の形式AおよびBについてエスレンビーズの挙動をみてみれば、汚濁微粒子の堆積に大きく作用するのは自立式の膜であり、このことから、B形式の方が自立式の膜に至るエスレンビーズは垂下式の膜の下部から供給されるので自立式膜の汚濁防止効果は一層高められることになる。そして図9からもわかるように、B形式の膜の配置で膜間隔が2mを越えるとエスレンビーズの回収量が流速に関係無くほぼ一定となることがわかる。このことから、このような形式による汚濁防止膜の敷設には、水深の2倍程度の間隔をとって、自立式の膜を工事地点の外側に敷設すべきであるということが示唆されたものと考えられる。

結論ならびに今後の課題

以上の結果から、半水深で二重に汚濁防止膜を敷設する場合には工事地点から遠いほうを自立式の膜とし、水深の2倍以上の間隔をとって敷設すべきであろうと結論される。実際、このような膜がなくとも無限遠方までは、汚濁の影響は及ばないのであるが、この範囲をできるだけ小さくするために、いろいろの努力がなされているのである。A形式の場合には、下流側の垂下式膜の下部は流路の狭搾による高流速の場となるのでこの近傍では汚濁微粒子の堆積は生じない。というよりむしろ洗掘域となり、逆の効果をもたらすものといえよう。筆者らは当初、下流側の膜を自立式とすれば、膜がつくるカテナリー面に沿って生ずる上昇流にのって大部分の汚濁微粒子が膜を越えてゆくのではないかと考えたが、水路底近くで下流側の自立式膜に汚濁微粒子をふくんだ流れを当てるほうがより効果的であるという結果になった。

また、B形式の両膜の間隔は、あまり狭いと自立式膜面で上昇流が強くなり、汚濁防止効果はさほど期待できず、上流側の垂下式膜の背後のプルームで適度に減勢されて下流側の自立式膜にぶつかって、両膜間にその間隔を長半径とする渦が形成されるようなとき最短距離で最大の効果が上げられた。

このことをさらに一般化するため、2次元流の場や流れと波の共存場での同様な実験やエスレンビーズより、なお忠実に汚濁微粒子の流水中での挙動を再現し、視覚化できるような材料の発見が望まれる。

表1 流速の設定値

模型での流速	模型を1/10としたときの現場流速
1.12cm/s	5cm/s
2.24cm/s	10cm/s
3.35cm/s	15cm/s
4.47cm/s	20cm/s

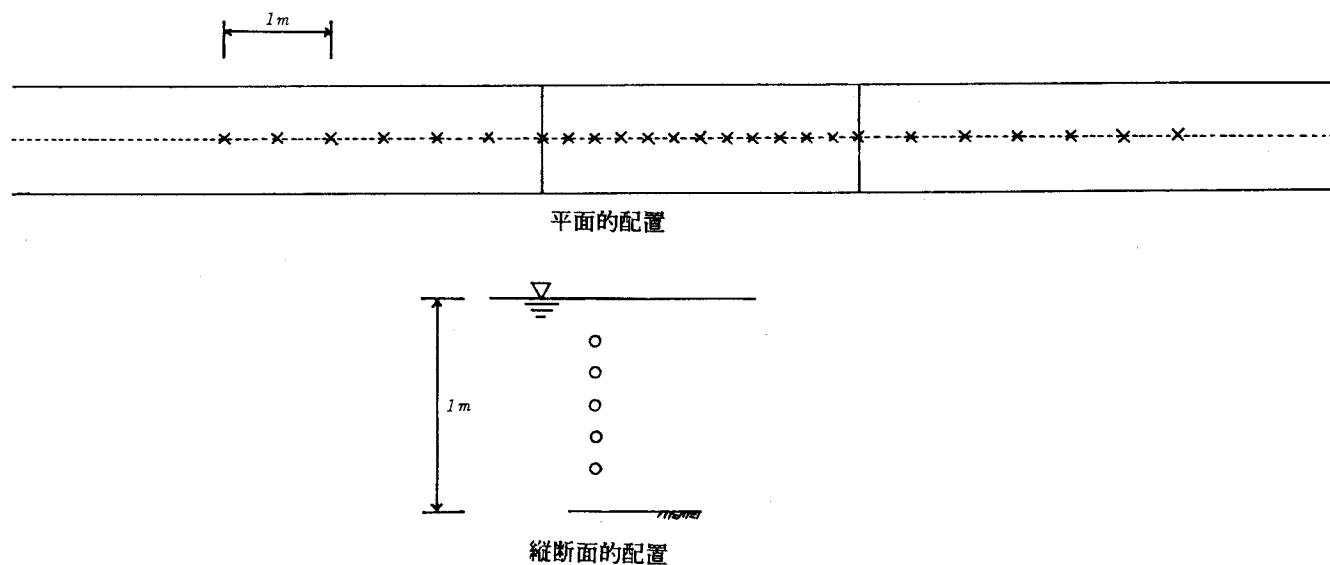


図1 測定点の配置

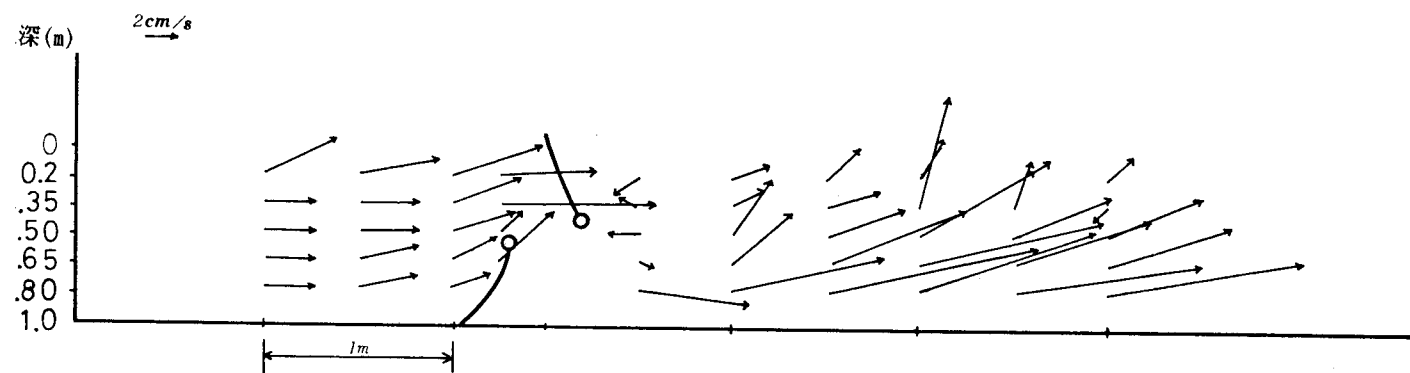


図2 流速ベクトル図 — A形式：膜間距離=0.5m：流速=4.47cm/s —

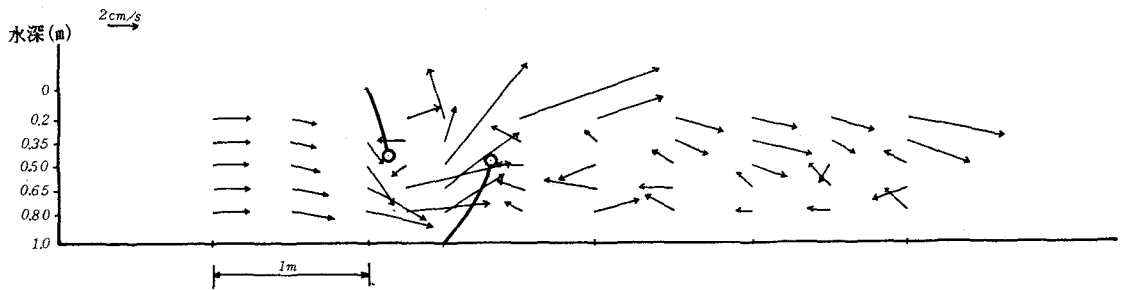


図3 流速ベクトル図 - B形式：膜間距離=0.5m：流速=4.47cm/s -

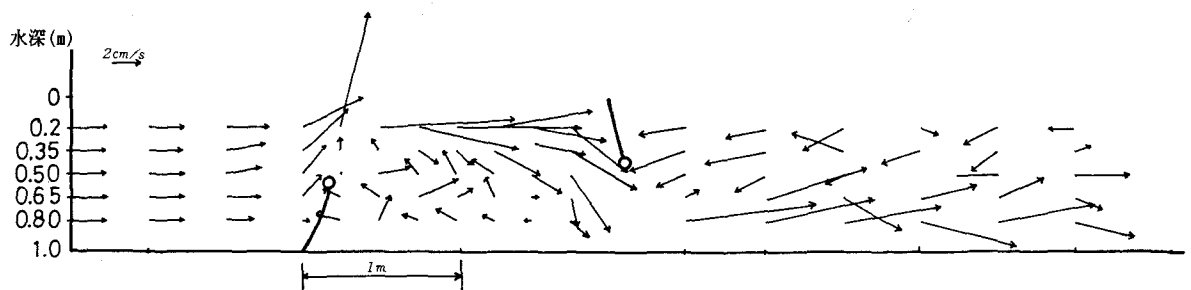


図4 流速ベクトル図 - A形式：膜間距離=2.0m：流速=4.47cm/s -

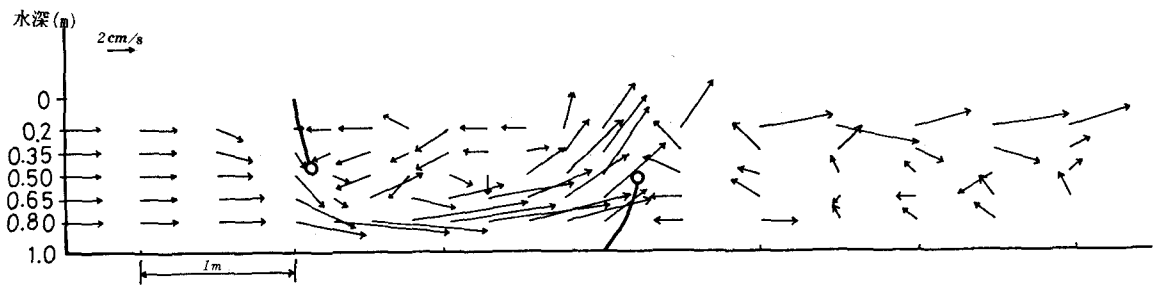


図5 流速ベクトル図 - B形式：膜間距離=2.0m：流速=4.47cm/s -

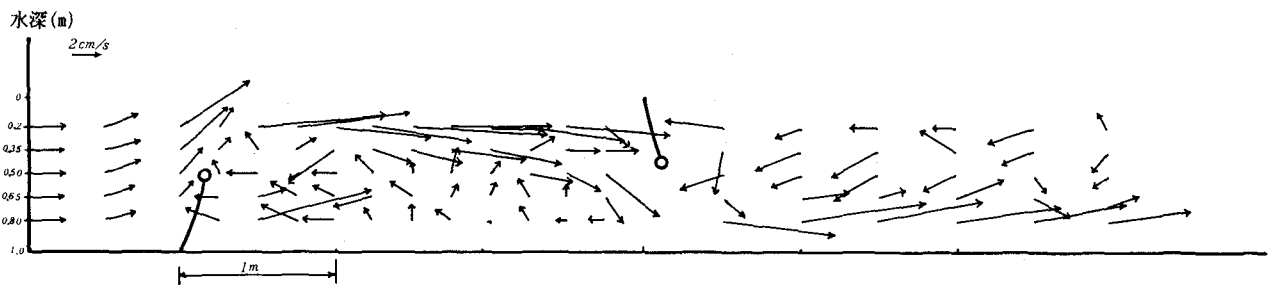


図6 流速ベクトル図 - A形式：膜間距離=3.0m：流速=4.47cm/s -

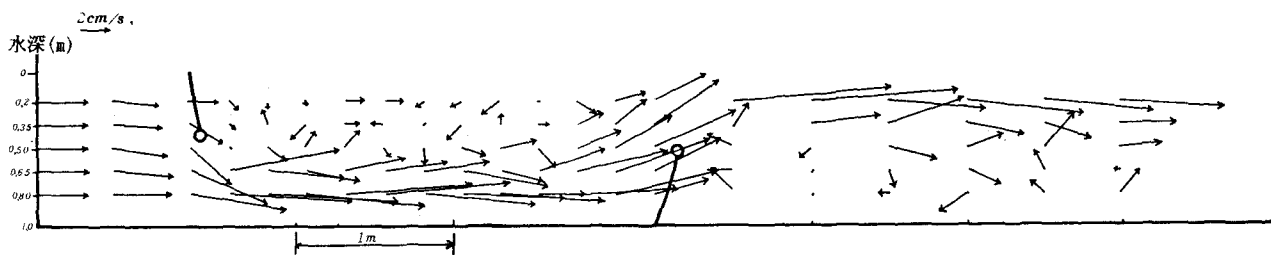


図7 流速ベクトル図 - B形式：膜間距離=3.0m：流速=4.47cm/s -

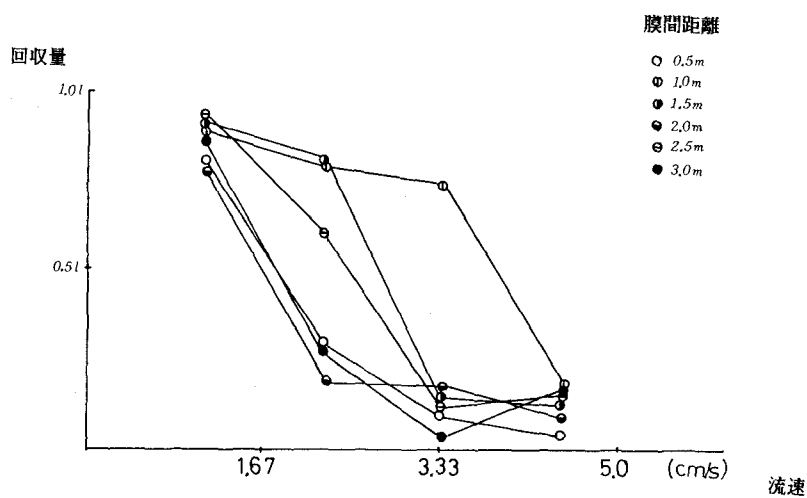


図8 エスレンビーズの回収量 - A形式 -

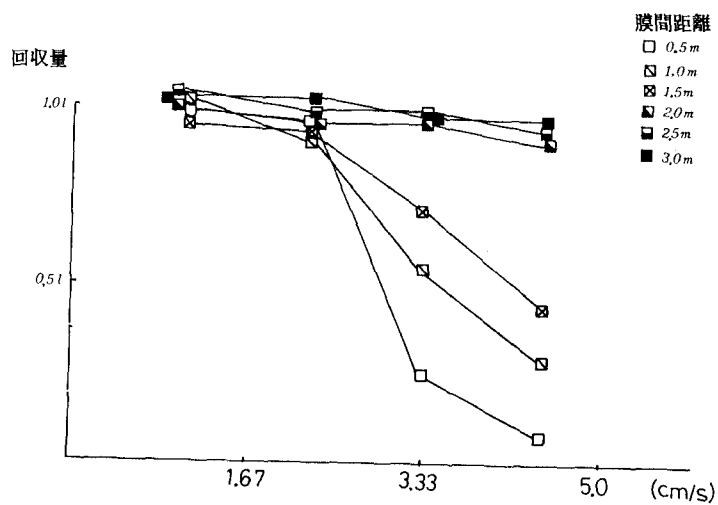


図9 エスレンビーズの回収量 - B形式 -