

自立式汚濁防止膜の有効高さと係留力に関する実験的検討

豊橋技術科学大学 ○岡野 聡
豊橋技術科学大学 正会員 青木伸一

1 はじめに

近年、海洋空間の有効利用が進み、人工島や港湾の拡張等が盛んに行われるようになるとともに、埋立・浚渫による浮遊土砂粒子のにごりの拡散が、沿岸漁業との関連において問題となっている。このような場合、工事区域の周囲に汚濁防止膜を敷設することにより、にごりの拡散をくい止める方法がとられることが多い。しかし、現行の汚濁防止膜の設計法は剛な構造物に対する設計式を援用したもので十分とは言えない。本研究では、自立式汚濁防止膜を取りあげ、流れによる有効高さおよび係留力に対する新たな設計法を提案するとともに、現行設計法の問題点を指摘した。

2 現行設計法の問題点 (海洋工事汚濁防止協会、1994)

ア、抗力係数 $C_D=1.2$ の根拠が不明である。また、実験的な検証もなされていない。

イ、自立式汚濁防止膜では膜高さが大きいほど、フロートが小さいほど、また流れが速いほどふかれが大きくなり、それに伴って流体抵抗力が小さくなる。現行の設計式では膜を平板として取り扱っているため、ふかれによる流体力の低減効果が反映されない。

3 水理模型実験

模型実験は、長さ20m、幅0.8mの造波水路に、循環流発生装置を設置し流れの実験を行った。膜模型は水路底から10cmかさ上げた台上に設置し、台の下部に張力測定装置を4台固定してそれに膜を係留した。張力測定装置はL字型にした幅5cm、厚さ0.5mmのアルミ板に4枚の歪ゲージを貼り、歪量と荷重との関係をあらかじめ静的載荷実験によって求めておくことによって荷重を測定するもので、水平方向と鉛直方向の荷重を別々に測定することができる。模型のスケールは1/50とし、現地水深20mに対して模型水深40cmで実験を行った。流れ発生装置は最大流量16l/sの流量を発生させることが可能である。歪ゲージからの出力はパソコンにA/D変換して記録し、併せてADV流速計を用いて流速を測定した。膜の有効高さの測定は、水槽側面からの目視によって行った。

実験ケースおよび諸元

膜高さ： $d=10, 20, 30\text{cm}$ (現地 5, 10, 15m)、フロート径： $\phi=8, 10, 15\text{mm}$ (現地 40, 50, 75cm)

流れ (平均流速)： $u=2, 3, 3.5, 4, 4.5, 5\text{ cm/s}$ (現地 14, 21, 24.5, 28, 31.5, 35 cm/s)

膜重量： 4.68 dyne/cm^2 (現地 23.4 N/m^2)

4 理論解析

まず有効膜高さの簡易算定式を誘導する。誘導の前提条件として(1)膜の水中重量は無視できる、(2)流れによる流体力は膜面に垂直に作用する、(3)流体力は膜面上で一定で流速の2乗に比例する、(4)フロートに働く流体力は無視できる、の四つの仮定を設ける。仮定(4)から、図-1に示すように膜上端での膜面の接線方向は鉛直上向きとなるので、膜の変形を記述する座標系として膜上端を原点にとり、 x の正方向を水底方向にとる。膜の形状を $y=f(x)$ で表し、膜単位幅当たりの流体力を σ とする。せん断力を考えていないので、膜の張力 T はフロートの浮力 B に等しく一定である。膜の高さ(長さ)を d 、膜の有効高さを d_e とする。

膜面の微分方程式は、

$$B \frac{d^2 f}{dx^2} - \sigma \left\{ 1 + \left(\frac{df}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}} = 0$$

これを解くと

$$d_e = \frac{B}{\sigma} \sin\left(\frac{\alpha d}{B}\right)$$

ここに σ は次式で表されるものと仮定する。

α は実験定数である。

$$\sigma = \alpha \frac{1}{2} \rho u^2 = \alpha \frac{1}{2} \rho \left(\frac{uh}{h-d_e} \right)^2$$

上式より無次元有効膜高は、次式のように2つの無次元パラメータの関数として表される。

$$\frac{d_e}{d} = \text{func.} \left(\frac{d}{h}, \frac{0.5 \rho u^2 d}{B} \right)$$

図-3および図-4に示した係留力 F_x (水平方向) および F_z (鉛直方向) は次式で与えられる。

$$F_x = B \sin \theta_{x-d_e} = B \frac{y'}{\sqrt{1+y'^2}} = \alpha d_e \quad F_z = B \cos \theta_{x-d_e} = B \frac{1}{\sqrt{1+y'^2}} = \sqrt{B^2 - (\alpha d_e)^2}$$

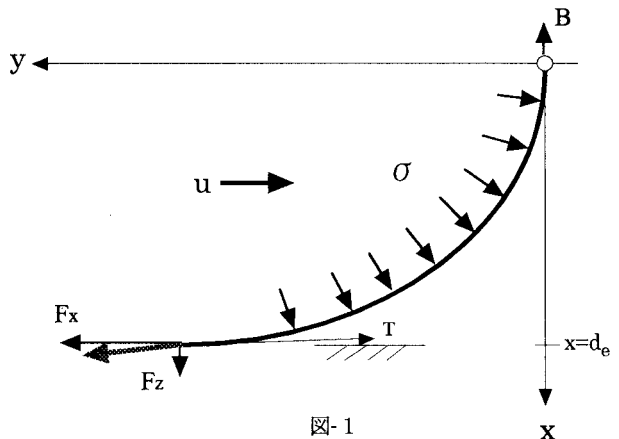


図-1

有効膜高さの場合と同様に、無次元係留力は、次式のように2つの無次元パラメーターの関数として表される

$$\frac{F_x}{B}, \frac{F_z}{B} = \text{func.} \left(\frac{d}{h}, \frac{0.5\rho u^2 d}{B} \right)$$

5 実験結果の考察および理論式との比較

(1) 流れによる有効膜高さについて

図-2は、小田・重松他(1996)の有効高の実験結果に今回の実験結果を合わせて示し、計算値($\alpha=0.955$ $\alpha=1.5$ の両者)と比較したものである。小田・重松の実験結果は彼等の提案する係数値 $\alpha=0.955$ を用いた計算結果とよく一致しており、本計算法の妥当性が確認できる。ただし、今回の実験結果は、小田・重松のものに比べると全体的に有効膜高さが小さくなっており、今回の実験で得られた有効膜高さの変化を説明するには、 $\alpha=1.5$ 程度にとる必要があることがわかる。

(2) 流れによる係留力について

図-3および図-4は、水平および鉛直方向の係留力を、 $\alpha=1.5$ とした計算結果と比較したものである。これより、ばらつきはあるものの、係留力はほぼ理論曲線と一致しているとみなすことができる。係留力は、流速の増大とともに大きくなり続けるのではなく、流速がある程度大きくなると、膜の変形が大きく(水底を膜が這うようになり)、浮力と同程度の値で上限が抑えられることが確認できる。これは、流体力を受けて変形する膜体特有の性質であり、剛体を対象に用いられている公式を用いた現行の設計法では表現できないものである。

6 現行設計法との比較

現行の設計法と比較するために、水平係留力について比較してみる。現行の設計法では、水平力を次式で与えている。

$$F_x = C_D \cdot 0.5\rho u^2 d$$

ここに、抗力係数 $C_D=1.2$ である。無次元表示すると、

$$\frac{F_x}{B} = C_D \cdot \frac{0.5\rho u^2 d}{B}$$

これを今回提案した水平係留力の算定図と比較して示したものが図-5である。

新しい算定式と比較すると、現行の設計では流速の小さいところでは過小評価をしているのに対して、流速の増大とともに係留力が非常に大きくなることになり、過大設計となっていることがわかる。また、現行の設計では鉛直方向係留力を浮力に等しいとしているが、図-5から明らかにように、水平係留力が増大するにつれて鉛直係留力が減少するため、流速の大きい条件でのアンカーの安定重量は従来よりもかなり小さくなるものと思われる。

参考文献

海洋工事汚濁防止協会設計・仕様部会(1994): 自立式汚濁防止膜構造計算書。

小田一紀・重松孝昌他(1996): 汚濁防止膜周辺の物質拡散の高精度予測法に関する研究、海岸工学論文集

榎木 亨・青木伸一(1987): 流れの中に張られた汚濁拡散防止膜に及ぼす流体力と有効深さの計算法について、海洋開発論文集、第2巻。

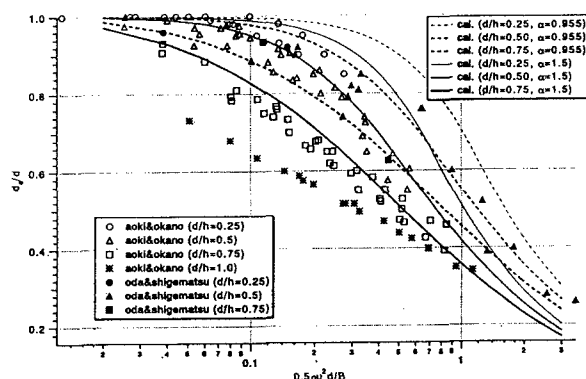


図-2

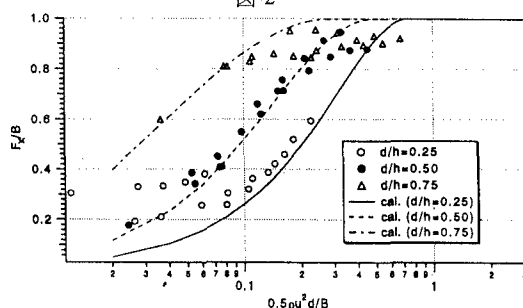


図-3

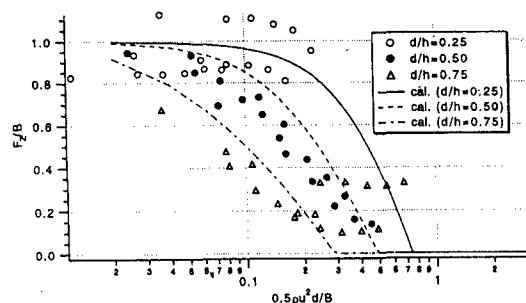


図-4

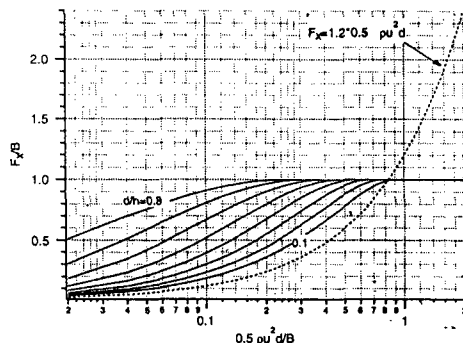


図-5