

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀 重松孝昌
 大阪市立大学工学部 学生員 ○ 野口達矢

1. はじめに

環境に対する関心が高まる昨今、埋立や浚渫などの海洋工事の際に発生する濁りの拡散を物理的に防止するため、工事海域周辺に膜材をカーテンのように張り巡らすことが通例となっている。この膜に関する研究は、膜の効果について検討するためその周辺の流況や拡散現象を把握しようとするものと、膜に作用する力学的特性を把握しようとするものに大別することができる。いずれの研究においても膜の変形形状を予測することが重要である。

そこで本研究では、定常流中にある膜の鉛直2次元変形形状の計算手法を提案するものである。

2. 計算手法

図-1のように静水面上に座標原点をとり、水平方向に x 軸、鉛直下向きに z 軸をとる。図-2に示すように膜の接線方向を s 、法線方向を n とし、微小要素 ds を取り出すと運動方程式は次のようになる。

$$T_- \cos(\theta_- - \theta) - T_+ \cos(\theta_+ - \theta) - \sigma \cos \theta ds + F_s(s) ds = \frac{\sigma ds}{g} \frac{d^2 s}{dt^2} \quad (1)$$

$$T_- \sin(\theta_- - \theta) - T_+ \sin(\theta_+ - \theta) - \sigma \sin \theta ds + F_n(s) ds = \frac{\sigma ds}{g} \frac{d^2 n}{dt^2} \quad (2)$$

ここに、 T_- 、 T_+ は両端での単位幅当たりの張力、 θ は要素の中心を通る鉛直線と接線とのなす角で、 θ_- 、 θ_+ は要素の両端における鉛直線と接線とのなす角、 σ は膜の単位面積当たりの重量、 F_n 、 F_s はそれぞれ膜面に働く法線および接線方向の流体力である。ただし、膜の伸び、剛性は無視している。

膜が定常状態にあり、 $F_s(s)$ は無視できるものとし、さらに $F_n(s)$ を一定とすれば式(1)(2)は次のように書き換えられる。

$$T_- \cos(\theta_- - \theta) - T_+ \cos(\theta_+ - \theta) - \sigma \cos \theta ds = 0 \quad (3)$$

$$T_- \sin(\theta_- - \theta) - T_+ \sin(\theta_+ - \theta) - \sigma \sin \theta ds + F_n ds = 0 \quad (4)$$

微小要素の変形が非常に小さいとすれば、 $(\theta_- - \theta) \approx (\theta_+ - \theta) \approx d\theta$ 、 $(\theta_- + \theta_+)/2 = \theta$ 、 $(T_- - T_+)/ds = dT/ds$ 、 $(T_- + T_+)/2 = T$ が成り立ち、これらを式(3)(4)に代入すれば次式を得る。

$$dT = \sigma \cos \theta ds \quad T d\theta = \frac{1}{2} (\sigma \sin \theta + F_n) ds \quad (5)$$

さらに、これら2式の比をとれば、

$$\frac{dT}{T} = \frac{\sigma \cos \theta}{\sigma \sin \theta + F_n} d\theta \quad (6)$$

となり、これを任意の点 $P(\theta_-)$ から点 $P(\theta_+)$ まで積分する。

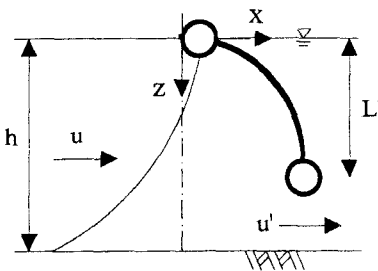


図-1 座標系

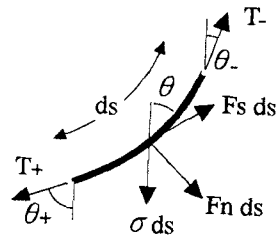


図-2 微小要素

$$\int_{T_-}^{T_+} \frac{1}{T} dT = 2 \int_{\theta_-}^{\theta_+} \frac{\sigma \cos \theta}{\sigma \sin \theta + F_n} d\theta \quad \therefore \quad T_+ = \left(\frac{\sigma \sin \theta_+ + F_n}{\sigma \sin \theta_- + F_n} \right)^2 T_- \quad (7)$$

式(5)の右式を書き換えれば,

$$ds = \frac{T_- + T_+}{\sigma \sin \left(\frac{\theta_- + \theta_+}{2} \right) + F_n} d\theta \quad (8)$$

計算に先立ち, 微小な角度増分 $\delta\theta (= \theta_+ - \theta_-)$ を設定し, 任意点 $P(\theta_-)$ における角度 θ_- と張力 T_- が分かれば, 点 $P(\theta_+)$ における張力 T_+ が式(7)から, その微小要素長 ds が式(8)から求めることができる. ここでは重錘重量あるいはフロートの浮力を自由端境界の張力, その方向は z 軸に平行であるとし, 微小要素長の総和 $\sum ds$ が膜高になるまで, あるいは $\theta = \pi/2$ になるまで計算を行った.

3. 計算結果

計算結果の一例を図-3 に示す. 図-3 は, 水深 $h = 50\text{cm}$, 平均流速 $u = 6.3\text{cm/s}$, 膜高 $L = 50\text{cm}$ の場合の実験値と計算値の結果を比較したものである. ただし, $\delta\theta = 0.1 \times \pi/180$, $F_n = 0.047\text{gf/cm}^2$ として計算した. 同図より, 実験値と計算値は一致しており, 適切な F_n を用いて計算すれば本モデルによって形状は精度よく予測される.

次に変形した膜の下あるいは上を通過する流速 u' を式(9)によって求め (L' :有効膜高), $0.5\rho u'^2$ と F_n の関係を図-4 図に示す.

$$u' = \frac{u}{1 - L'/h} \quad (9)$$

図中の○は, 重錘重量 1.0gf/cm , ●は, フロート浮力 3.4gf/cm の場合であり, 直線は最小2乗法により求めたものである. 図より, $0.5\rho u'^2$ と流体力 F_n は線形の関係にあり, その勾配は重錘重量もしくはフロート浮力に依存することがわかる.

4. まとめ

F_n を一定として本計算手法によって求められた膜の変形形状に関する計算結果は, 実験値とよく一致し, F_n と u' には密接な関係があることがわかった. 今後, 重錘重量やフロート浮力が変形形状におよぼす影響について検討する必要がある.

参考文献

- [1] 小田・他(1990): 汚濁拡散防止膜の鉛直2次元流れに関する実験的研究, 海講第38巻, pp.876-880.

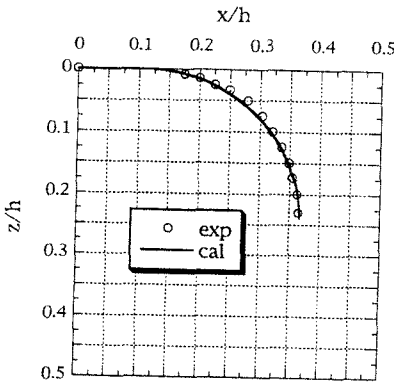


図-3 実験結果と計算結果の比較

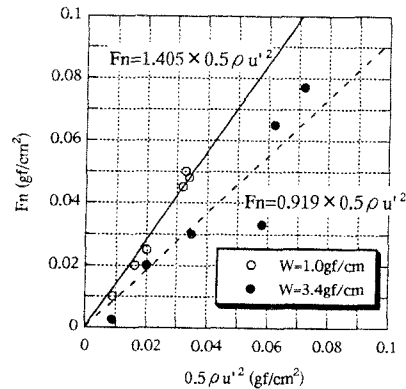


図-4 F_n と u' との関係