

垂下式汚濁防止膜が緊張する際の付加質量について

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨

大阪大学工学部 正会員 青木伸一

大阪大学工学部 学生員○劉 海波

1. まえがき

海面上のフロートからある深さまでカーテンを垂下する形式の垂下式汚濁防止膜が、波浪中で緊張と弛緩を繰り返しながら運動する場合には、膜が緊張する際に展張ケーブルに衝撃的に大きな張力が発生する¹⁾。このような衝撃張力は、膜が緊張することにより流れの運動量が急変し、その反作用として衝撃的な流体力が膜に作用するために発生すると考えられる。いま、簡単のために一様な定常流中で膜がたるんだ状態から流れによって押し流されて緊張する場合を考える。この様子を流れと共に移動する座標系から観察すれば膜が静止流体中にある瞬間から流れと反対方向に急激に運動し始めるように見える。したがって、衝撃的に発生する張力を予測するためには、水面付近で急激な加速度運動を行う膜面に作用する流体力を算定する必要がある。ただし、一般に運動の加速度が大きい場合には、水面付近の物体についても無限流体中と同様に運動の加速度に比例する流体力成分（付加質量力）のみを考慮すればよい。そこで、本研究では、膜面（二次元断面）の水平運動に対する付加質量（周波数 $\omega = \infty$ の付加質量に対応）の特性を理論解析および数値計算の両面から検討した。

2. 理論解析

図-1に示すような無限水深中の鉛直の平板の場合には、Landweber and Macagno²⁾の方法を用いて付加質量を解析的に求めることができる。

これを M_0 と表すと次式になる。

$$M_0 = 2\rho d^2 / \pi \quad (1)$$

3. 数値計算

膜面が緊張する際、実際には図-2に示すようにわん曲した形をしている。このような膜面の剛体的な運動および変形に伴う付加質量を求めるためには、数値計算が必要となる。今回用いた数値計算法は一般的に用いられる境界要素法であるが膜面の厚さが非常に薄いことを考慮して、図に示すように領域をIおよびIIの二つに分割して計算を行った。

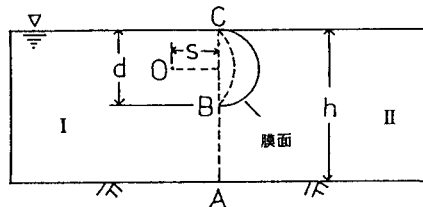


図-2 わん曲した膜面及び計算領域

図-3は膜の形状が直線BCで表される平板の場合の付加質量 M および造波減衰 N の周波数 ω による変化を示したものである。ただしこれらは(1)式で表される M_0 を用いて無次元化している。図から、周波数が大きくなるにつれて付加質量は理論値に漸近しており、数値計算の妥当性が確認できる。

図-4は、膜面を図-2に示すような円弧（円の中心をO、Oまでの距離をsとする）とし、これが水平方向に剛体運動する場合の付加質量（十分大きな ω に対するもので、これは ω によらずほぼ一定値とみなせる）を、 s/d に対して示したものである。ただし、 $s/d = 0$ のとき膜の形状は半円であり、 $s/d \rightarrow \infty$ のとき膜は平板になる。図より膜が半円までわん曲することによって、付加質量は平板の場合の1.4倍程度まで増大することがわかる。

図-5は、膜の長さ（円弧長） l を一定にし、 d を変えた場合の膜の剛体運動に対する付加質量の変化を示したものである（ただし、 M_0 の算定には d の代わりに l を用いている）。 l/d が大きくなるほど

Toru SAWARAGI Shin-ichi AOKI Liu Haibo

(ただし, $1.0 < l/d < \pi/2$) 膜面はわん曲してくるが, 図より付加質量は l/d の増大に伴って減少しており, 膜長が一定の場合, わん曲することによる影響は, 付加質量の減少となって現れることがわかる.

図-6は膜面の伸び変形, (例えば図-2の点線の円弧で示した膜面が実線で示した膜面に変形するような場)に伴う付加質量を示したものである. この伸び変形は, 円の中心Oの水平移動として表すことができるので, ここでは, 付加質量を中心Oの移動加速度に対する比例定数として定義した. ただし, この場合も M_0 の算定には d の代わりに l を用いている. 図より, 付加質量は s/d の増大に伴って, すなわち膜が平板に近づくほど小さくなっており, s/d が小さい場合でも M_0 に比べるとかなり小さい値を示すことがわかる.

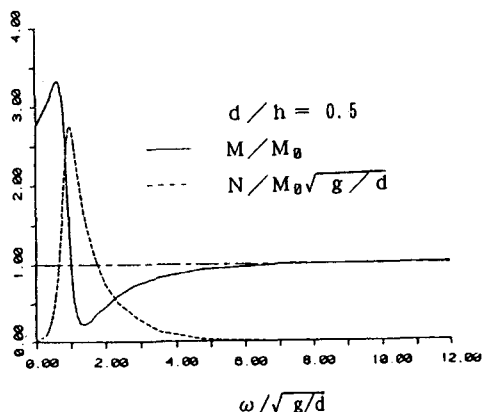


図-3 付加質量および造波減衰の周波数応答

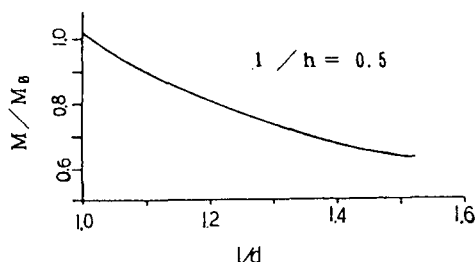


図-5 剛体運動による付加質量に対する膜面のわん曲の影響 (l が一定)

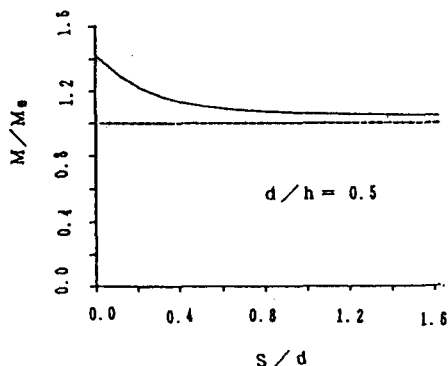


図-4 剛体運動による付加質量に対する膜面のわん曲の影響 (d が一定)

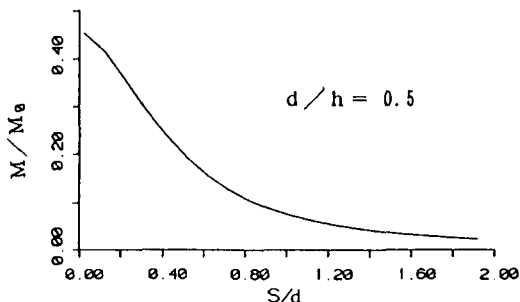


図-6 伸び変形による付加質量に対する膜面のわん曲の影響

4. あとがき

今後は本研究で得られた付加質量を用いることにより膜の変位および変形を考慮した衝撃張力のモデル化に発展させる予定である.

<参考文献>

- 1) 榎木 亨・青木伸一・劉 海波・山下 真: 波浪中に張られた垂下式汚濁防止膜の展張ケーブルに発生する衝撃張力の特性, 海洋開発論文集, 土木学会, vol. 6, pp. 311-316, 1990.
- 2) L. Landweber and M. C. de Macagno: Added Mass of Two-Dimensional Forms Oscillating in a Free Surface, Journal of Ship Research, pp. 20-30, November, 1957.