

II-310

自立式膜体構造物による波浪制御の試み

大阪大学工学部 学生員 ○劉 海波  
 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

1. はじめに：波濺や埋め立てなどの海洋工事で用いられている汚濁拡散防止膜は膜面を有する構造物という意味で膜体構造物と呼ぶことができる。このようなフレキシブルな、すなわち波の作用によって変位するだけでなく構造物そのものが大きく変形する様な構造物については、作用する波力<sup>1)</sup>あるいはそれによる波の変形などはほとんど明らかにされていない。一方、最近では新しい波浪制御構造物として膜面を利用した構造物の研究が注目されており、膜面と波との干渉問題は今後の新しい研究テーマとなる可能性を有している。本研究は、図-1に示すような、フロートによって海底から立ち上げられた膜面を用いてどの程度波浪を制御し得るかを理論的、実験的に検討するものである。ただし、波は膜面に垂直に入射するものとし、2次元問題として取り扱っている。

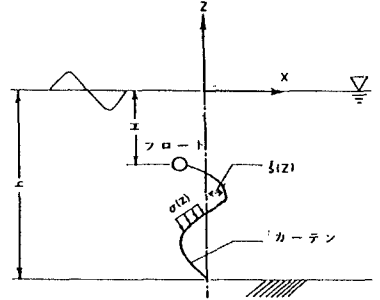


図-1 波浪中の膜体

2. 解析理論：1) 膜面の運動方程式 膜の微小要素に作用する力の釣合を考え、膜の変形を微小とすると正弦運動に対して次のような運動方程式が得られる。

$$T \frac{d^2 \xi_0}{dz^2} + \gamma_w \frac{d \xi_0}{dz} + \frac{\omega^2 \gamma}{g} \xi_0 - iC\omega \xi_0 = -\sigma_0 \quad (1)$$

ここに、Tは膜の張力（フロートの浮力）、 $\gamma_w$ は膜の水中重量、 $\gamma$ は膜の空中重量、Cは膜の運動に関する減衰係数、 $\sigma_0$ は流体圧力（ $\sigma = \sigma_0 e^{i\omega t}$ ）の振幅を表し、 $\xi_0$ は膜の微小変形（ $\xi = \xi_0 e^{i\omega t}$ ）の振幅である。この運動方程式に膜上下端での境界条件を考慮することにより、膜の変形 $\xi_0$ をGreen関数を用いて表現できる。2) 波動場の解析法 波の変形問題は速度ポテンシャルに関する線形境界値問題として取り扱う。まず、Wave-makerの理論より、図-1の $x = 0$ での流速に関する積分方程式を導く。そして、1)で求めた解を膜面上での境界条件とし、これを積分方程式中に取り込んだ後、日野・山崎<sup>2)</sup>と同様にしてこれを数値的に解き、速度ポテンシャルを求める。ただし本解析法ではフロートに働く波力を近似的に取り入れることは可能であるが、フロートよる波の散乱については考慮できない。

3. 水理実験：実験は2次元造波水槽で行い、水深は1.4 mと1.2 mの2種類とした。膜面は幅1.4 m、高さ0.7 mで、その頂部に径35.3 cm～44.6 cmまで計4種類の発泡スチロール製フロートを取り付けたものを図-2に示すように、水槽底部に溶接したアングル鋼材から立ち上げた。波の周期は1.2 secから3.4 secまで変化させ、波高は10 cm程度となるように調整した。水位変動は膜体の沖側と岸側にそれぞれ2本ずつ設置された容量式波高計によって測定し、入反射分離法によって反射率と透過率を求めた。ただし水槽端部の消波工の反射率は10%前後である。

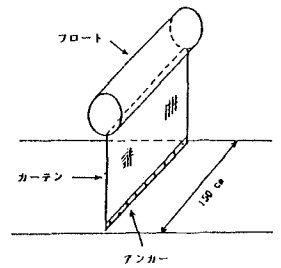


図-2 膜体の模型

4. 計算結果と実験結果：図-3は膜張力に対する反射率の変化を表した計算結果（膜の水中重量、質量、減衰力およびフロートが受ける波力はすべて無視している）であり、線の種類は周波数 $\omega$ の違いを表している。これ

より張力が小さい領域では波の反射はほとんど起こらず、張力がある特定の値を取るとき反射率が最大となることがわかる。さらに、張力が大きくなると膜は変形しなくなり、反射率は鉛直板の解<sup>2)</sup>に漸近する。図-4(a),(b)は、反射率及び透過率の周波数応答を示したものである

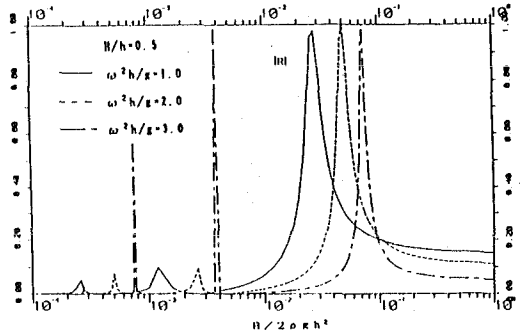


図-2 反射率と張力の関係

実線および一点鎖線は膜の変形を考慮した計算結果であり、実線は減衰係数=0, 一点鎖線は減衰係数を適当に( $c=50\text{kgf/sec}$ )与えた場合の計算結果である。また破線は浮力を無限大とした(膜面を剛な板に近似した)場合の計算結果である。図より、実験で得られる反射率は高々4割程度であり、膜の変形を考慮した理論値は実験値を説明していないことがわかる。この原因としては、計算モデルではフロートの影響を浮力(膜の張力)としてしか考慮していないこと、つまりフロートによる波の散乱およびフロートが受ける波力の影響が考慮されていないことが考えられる。また実験で得られた反射率や透過率の大きさは、膜の運動を考慮した計算結果よりもむしろ膜を剛な板とした破線の方の結果に近いことから、膜の運動は小さく、その波変形に及ぼす影響は小さいことがわかる。図-5(a),(b)は、フロートの径が大きく実験においてフロート上で波が砕波あるいは大きく乱れる場合の結果である。図中シンボルに付けた数字は入射波高とフロート上の水深の比を表したものである。これより、周波数の大きい領域ではフロート上での乱れにより透過率が著しく減少することがわかる。

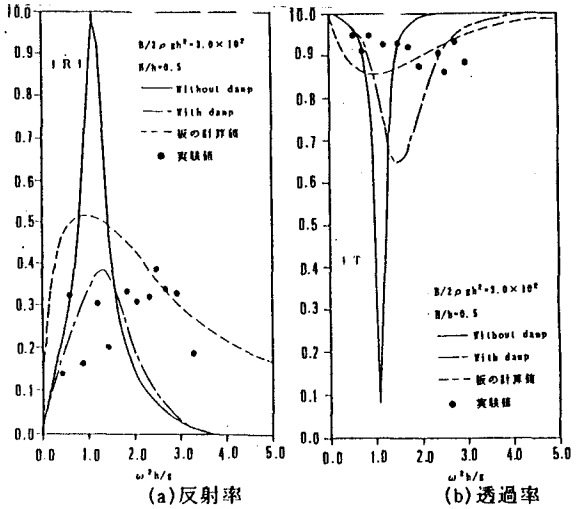


図-4 周波数応答(フロート径=38.7 cm)

5. **結論** : 理論計算における最適浮力を与えるためにフロートを大きくして実験を行ったが、計算ではフロートの影響を考慮していないため、計算結果は実験結果を十分に説明できないことがわかった。また今回取り扱ったような自立式膜体構造物では、フロート上で砕波しない限り反射率は小さく、透過率は80%を越え、期待されたような消波機能は得られないことがわかった。

< 参考文献 > 1) 榎木 亨・青木 伸一・安井章雄: 波浪中に張られた自立式汚濁防止膜に発生する張力に関する水理実験, 海洋開発論文集, Vol. 4, 1988. 2) 日野 幹雄・山崎 丈夫: 鉛直板による波の反射率・透過率およびエネルギー損失, 土木学会論文報告集, 第190号, 1971年6月.

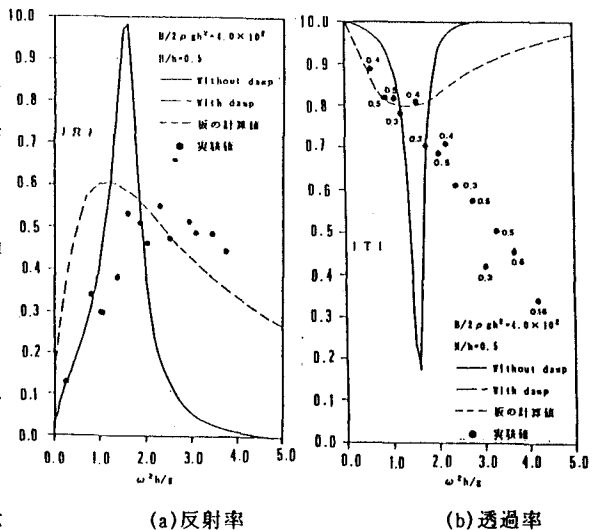


図-5 周波数応答(フロート径=44.6 cm)