

II-29

氷板による不規則波浪の減衰に関する実験について

岩手大学工学部 学生員○片山潤之介・劉 曉東

正 員 笹本 誠・平山健一・堺 茂樹

1. はじめに

近年、北極海航路の開発が注目されており、これが実現すれば北ヨーロッパと東アジアを結ぶ最短航路となり、低迷する我国の海運業にとって復興のきっかけとなり得る。極域での航路開発では、航行する船舶あるいは港湾等の海岸構造物に作用する氷力の算定法の確立が不可欠である。氷塊が波浪とともに運動することにより生じる衝撃氷力を算定するには氷海域内の波浪特性を把握する必要がある。著者らはこれまで連続氷板下での規則波の減衰に関する研究を継続してきたが、波浪の不規則性を考慮すべきであることは言うまでもない。そこで、本研究では氷板下での不規則波の減衰に関する実験を行い、その減衰特性を検討するとともに、不規則波の周期成分の減衰特性と規則波の減衰特性を比較した。

2. 実験装置および実験方法

実験には、長さ26m、幅0.8m、深さ1mの造波水路を用いた。水路後端部には反射波の影響を軽減するために消波ブロックを設置してある。疑似氷板としては、実氷と比重がほぼ等しいポリエチレン板（長さ2m幅78cm）を用いた。5枚の板をボルトにより接続し、長さ10mの擬似的な連続板を作成した。ポリエチレン板の厚さは、5mm、20mmの2種類とし、造波中の冠水を防ぐための処置も施した。

自由水面での波高、波速の計測及び入射波成分と反射波成分の分離のために、板前方では容量式波高計を2台設置し、板後方では同波高計1台を設置した。氷板部では、超音波式変位計を前端部から50cmの所から1m間隔に10点設置し、鉛直変位を計測した。入射波のスペクトル形状としてはJONSWAP型を採用し、有義周期は0.8秒から1.6秒まで0.2秒刻みで5種類、有義波高は3cm、4cmの2種類の計10ケースとした。なお、水深は常に60cmで一定に保った。

3. 実験結果

3.1 氷板下での規則波の減衰

図-1は自由水面と氷板下での波高を示している。波が氷板下へ進入する際に波高は大きく減少している。この波高変化は、流体運動が板と流体の結合運動に変化する際のエネルギー転換の結果である。同様の現象は波が板の後端を通過する際にも見られる。氷板下では波高はむしろ緩やかに減衰しており、この減衰はエネルギー損失によるものである。多くの研究によって報告されているように、波高は進行距離が増大すると指数的に減衰する。図-2は自由水面での波高で無次元化した波高を示している。波高と距離の関係には波形勾配の影響が見られず、波動の非線形性は今回の実験条件の範囲内では

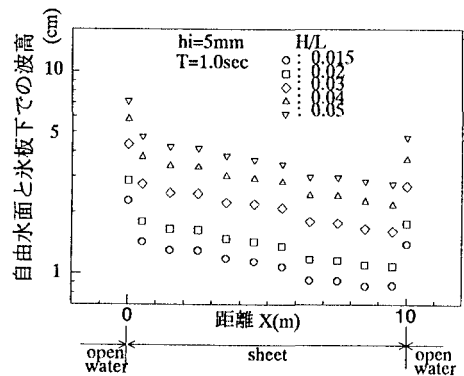


図-1 自由水面と氷板下での波高

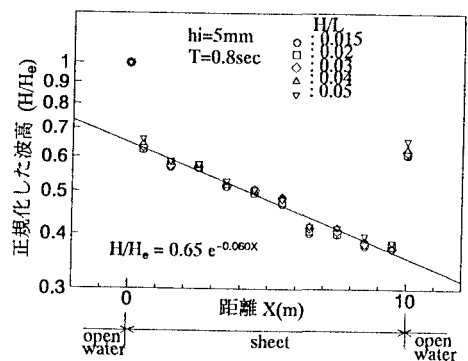


図-2 自由水面の波高で正規化した波高

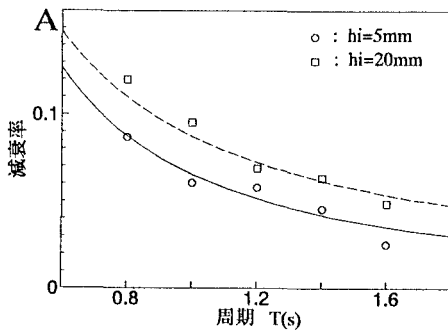


図-3. 減衰率に対する周期と厚さによる影響

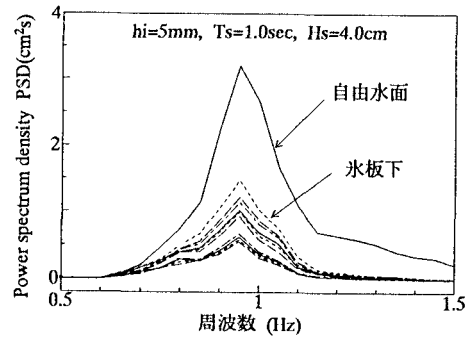


図-4. 自由水面と氷板下でのパワースペクトル密度

無視することができる。従って氷板下での波高は図中の回帰直線によって近似でき、以下の式で表すことができる。

$$\frac{H}{H_e} = \exp(-Ax)$$

ここで、 H_e ：氷端の波高、 H ：距離 x での波高

A ：減衰率

全ケースでの減衰率 A をまとめたのが図-3であり、 A は周期と氷厚に依存していることがわかる。

3.2 氷板下の不規則波の減衰

図-4 は自由水面と氷板下でのパワースペクトルを示している。各周波数成分のパワースペクトル密度（以下 PSD と書く）は、不規則波が氷板下に進入し際に急激に減少するが、氷板下ではむしろ徐々に減衰する。また高周波数成分は低周波成分と比べて、 PSD の減少の割合が大きい。図-5 は各周波数成分の PSD と距離の関係を示している。図の PSD は各周波数の $\pm 0.15\text{Hz}$ の範囲での平均値である。 PSD は距離が増大するとともに指数的に減少し、高周波成分の減衰率は大きい。エネルギーが波高の2乗に比例すると仮定すれば PSD の減衰は以下のように表される。

$$\frac{E}{E_e} = \exp(-2Ax)$$

ここで、 E_e ：氷端部の PSD 、 E ： PSD

図-6 は PSD の減衰率 A と周波数、氷厚との関係を示したものであり、規則波と同様、減衰率は周波数と氷厚に依存することがわかる。

3.3 不規則波と規則波の比較

規則波の減衰率を示した図-3中の曲線は、図-6の不規則波の PSD に対する回帰曲線であるが、両者はほぼ一致している。このことは、不規則波の減衰機構はそこに含まれる周波数成分変化の線形的な足し合わせで表現できることを示唆している。

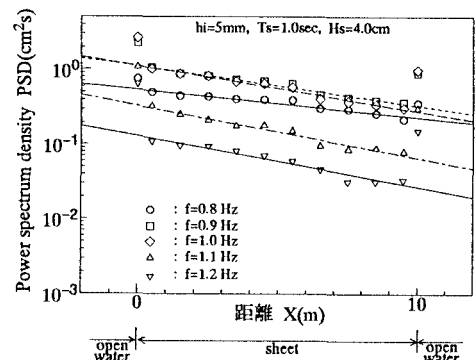


図-5. パワースペクトル密度と距離の関係

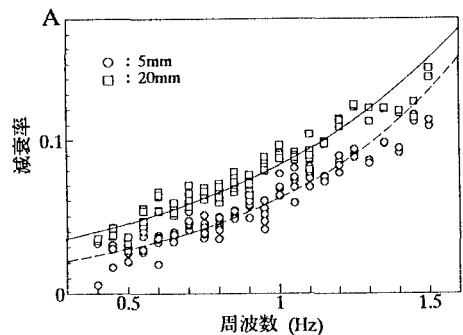


図-6. 不規則波の周波数と減衰率の関係