

II-47 氷板と波浪の干渉に関する解析

岩手大学 学生員○堀合孝博

学生員 内藤幸弘

正員 笹本 誠

正員 堺 茂樹

正員 平山健一

1. はじめに

氷海域においては、流氷などの氷圧により港湾、あるいは各種海洋構造物の損傷、破壊等が問題となっている。海洋構造物の耐氷設計のためには、基礎的段階として氷板に覆われた海域での波浪特性を知る必要があると言える。そこで本論では、氷板を低弾性平板と仮定し、氷板下での波動の線形理論を誘導し、これと実験結果との比較を行った。

2. 理論式の誘導

2.1 氷板下の波動の速度ポテンシャル及び分散関係式

氷板は水面と同一の運動を行ない、その変位は $\eta = a \sin(kx - \omega t)$ で表わされると仮定する。

微小振幅波における水面上でのベルヌーイの一般式は

$$\frac{p}{\rho} + g\eta + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

である。また、単位幅当りの弾性板の曲げ変形に於ける力のつりあいは

$$\rho_i h_i \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + M \frac{\partial^4 \eta}{\partial x^4} = p' \quad (2)$$

と表わされ、氷板を変形させる力 p' は波動による圧力 p であるから

$$\rho_i h_i \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + M \frac{\partial^4 \eta}{\partial x^4} = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - \rho g \eta \quad (3)$$

となる。ただし、 M は曲げ剛性 ($E h_i / (12(1-\nu^2))$) であり、 ν はポアソン比を示す。氷板下の波動の速度ポテンシャルを

$$\phi = A \cosh k(h+z) \cos(kx - \omega t) \quad (4)$$

とし、(3) 式に代入すると

$$A = \frac{(\rho_i h_i \omega^2 - M k^4 - \rho g)}{\rho \omega \cosh k h} a_i \quad (5)$$

が得られる。さらに、水面での運動学的条件 ($\partial \eta / \partial t + \partial \phi / \partial z = 0$) より、分散関係式は次の式となる。

$$\omega^2 = \frac{M k^5 + \rho g k}{\rho \cosh k h + \rho_i h_i k} \quad (6)$$

2.2 エネルギーフラックス及び波高減衰率

1周期にわたって平均した単位時間当りのエネルギー輸送量は一般に次式で求めることができる。

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-h}^0 \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \frac{\partial \phi}{\partial x} dz dt \quad (7)$$

この式より、表面を氷板で覆われている時は

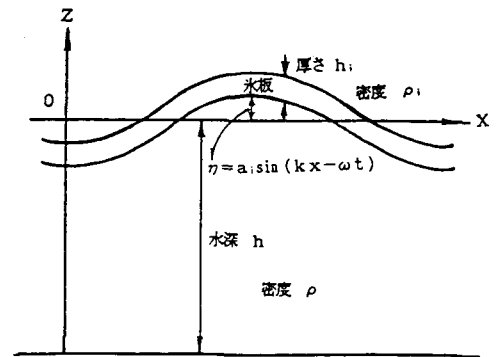


図-1

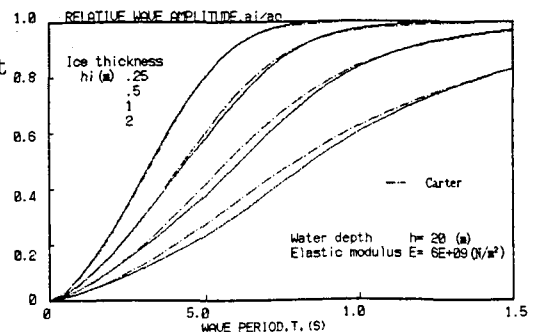


図-2

$$W_i = \frac{\rho \omega^2 a_i^2}{2} \coth k h \frac{\omega}{2k} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}\right) \quad (8)$$

となり、open waterでは

$$W_o = \frac{\rho \omega^2 a_o^2}{2} \coth k_o h \frac{\omega}{2k_o} \left(1 + \frac{2k_o h}{\sinh 2k_o h}\right) \quad (9)$$

エネルギーフラックスは保存されるものとするとき波高の減衰率は次の式となる。

$$\frac{a_i}{a_o} = \frac{k_i}{k_o} \left[\frac{\coth k_o h (1 + 2k_o h / \sinh 2k_o h)}{\coth k_i h (1 + 2k_i h / \sinh 2k_i h)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

D. Carterらは流体及び氷板を持つ全エネルギーが群速度で輸送されるとし、さらに群速度を波速で近似し、以下の式を提案している。

$$\frac{a_i}{a_o} = \frac{k_i}{k_o} \left[\frac{1}{1 + Mk_i^4 / \rho g} \right]^{1/2} \quad (11)$$

図-2に実際の氷海域の条件のもとでD. Carterの式との比較を示したが、これより氷板厚が大きいほど両者に差が出て来るのが見られる。

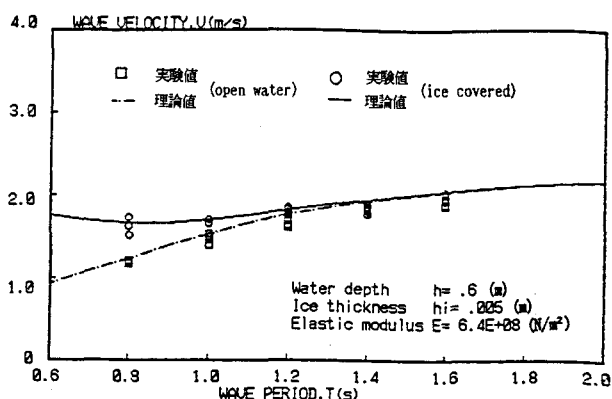


図-3

3. 実験結果との比較

実験では氷板の代わりに密度 $\rho_i = 0.9 \text{ g/cm}^3$, 弾性係数 $E = 6.4 \times 10^8 \text{ (N/m}^2\text{)}$ のポリプロピレンの $200 \times 7 \text{ cm}$ の板を5枚用い、板の間をヒンジ固定したものを用いた。本線型理論では、氷板の移動は考慮していないためここでは板が波の進行方向へ移動しないようにした実験結果と比較する。

図-3はopen water及びポリプロピレンが覆うときの波速の実験値と理論値を比較したものであり波速に関してはきわめてよく一致している。

図-4はポリプロピレン板下での波高減衰を示している。周期の短い場合に波高は理論解より8割程小さくなるが、定性的には平板の影響をよく表していると言える。

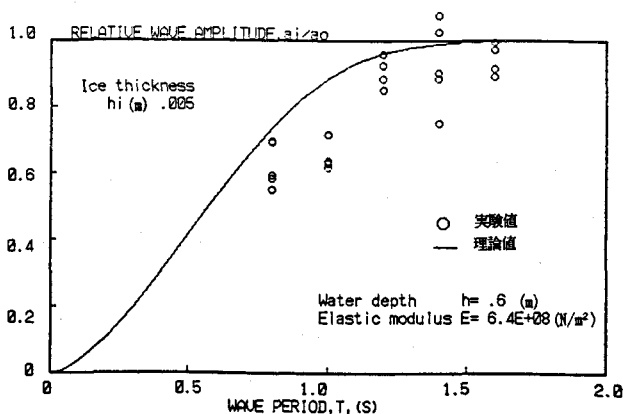


図-4

<参考文献>

D. Carter FRACTURE OF A SOLID ICE COVER BY WIND-INDUCED OR SHIP-GENERATED WAVES
P.843-856