

複雑な氷況における反射波を含む波浪特性について

岩手大学 学生会員 ○川口知格, 正会員 堺茂樹, 正会員 松林由里子

1. はじめに

北極海では, 様々な氷況が観察される. シャーベット状の細かい氷が成層して水面を覆う状態を grease ice, 細かい氷が互いに固結し, 円盤状に成長したものを pancake ice, 水面を覆う連続した氷を sheet ice と呼ぶ.

氷況の違いは波浪条件などの違いによって生じ, 現地観測や室内水槽実験で確認できる. また, 氷況に応じて波浪の分散関係の変化と減衰が観察されることも, 報告されている.

RECARO (understanding the impact of REduced ice Cover in the ARctic Ocean)プロジェクトで, 冷却室内の造波水槽で行われた波浪条件と氷況に関する実験的研究は, 氷況生成と波浪特性の相互関係の解明に大きく貢献している. (たとえば, Wang & Shen, 2010, Kudo, 2010).

本研究では, 氷海域における反射波を含む波浪特性のより詳細な解明を目指し, RECARO プロジェクトで計測された規則波の計測結果解析し, 反射波による波数と波高への影響について検討をおこなった.

2. 実験概要

本研究の解析対象とする計測データは, 冷却室内に設置された長さ 14.9m, 幅 3.0m, 一方の端に造波板, 反対の端に金属製のビーチが設置された造波水槽で計測された. 水位変化データの計測は, 造波板から 3.0m離れた地点から 1.5m間隔で設置された CH1 から CH7 までの 7 台の高精度超音波式変位センサーを用い, サンプリング周波数 50Hz で行った. 水槽内の海水は水深 $h=0.85\text{m}$, 塩分濃度 35‰とし, 計測時の氷況は, 造波板に近い CH1 から CH4 付近までは grease ice と pancake ice が混在し, CH5 から CH7 の水面は pancake ice が卓越した状態であった.

表-1 に示す 5 ケースの規則波を造波し, それぞれ静穏状態から 1 分間の計測を 3~4 回行った.

表-1 波浪条件

	周波数 [Hz]	波高 [cm]
CASE1	0.51	2.59
CASE2	0.67	3.32
CASE3	0.81	2.98
CASE4	0.92	3.79
CASE5	1.12	2.97

3. 反射波到達時刻の決定

氷海域の分散関係の反射波による変化を検討するために, 反射波到達前と, 反射波到達後の波数の比較を行う. 図-1 は解析範囲を変えて求めた波数の平均値である. 波数 k の算出には式 (1) を用い, Kudo らと同様に, 隣り合う 2 計測点で計測された水位変化の相互相関係数から, 波が計測点間を伝播するのにかかる時間 δt を求めた. 波数は, 式 (2) の開水域の分散関係式から求めた波数 k_0 で無次元化した.

$$k = 2\pi f \frac{\delta x}{\delta t} \quad (1)$$

$$(2\pi f)^2 = gk_0 \tanh(k_0 h) \quad (2)$$

ここで f は周波数, δx は波高計間距離である. 波高の安定した波を解析範囲とするため, 解析開始時刻は, 造波開始後に波のエネルギーがそれぞれの波高計に到達した時刻とし, 波のエネルギーの伝播速度は線形波の群速度とした

図-1 の黒丸は, Kudo らが計算した反射波到達前の周波数ごとの波数である. 一点鎖線で示した弾性平板モデル (elastic plate model) と, 線で示した mass loading model は, それぞれ, 氷板模型による実験で得られた, ある程度の長さをもった氷板が水面を覆う時と, 氷板長さが短く弾性氷板としての影響が無視できる場合の分散関係である. (花井・堺, 2001)

反射波の影響が十分に考えられる造波開始後 40~60 秒の波の周波数ごとの波数を \times で示した.

反射波到達前の波と反射波の卓越した波の波数は

キーワード 波浪特性, 反射波, 海氷域

岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部建設環境工学科・019-621-6448・019-652-6048

大きく異なり、特に低周波数ではこの傾向が強い。

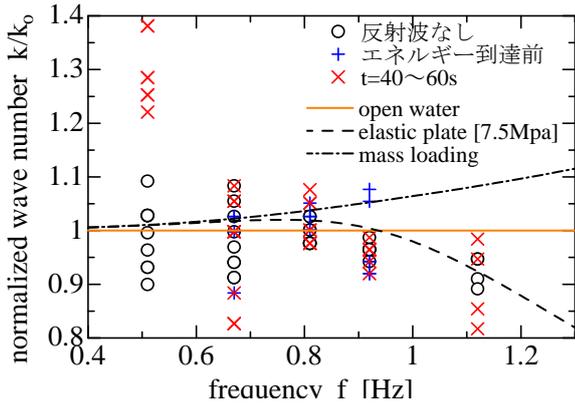


図-1: 無次元波数 k/k_0 と周波数 f の関係

このことから、Kudo らは CASE1 で波数が大きく変化する時刻をそれぞれの計測点の反射波到達時刻とし、CASE1 よりも波速が遅い他のケースにも CASE1 の到達時刻を適用して解析を行った。

CASE1 で波数の変化から決定した反射波到達時刻は、造波開始後、群速度で伝播した波のエネルギーがビーチで反射して各計測点に到達する時刻と一致する。群速度は波速より遅く、波のエネルギーに先行した反射波は氷況の伝播により減衰して影響が現れず、波のエネルギーが到達したときに反射波の影響が見られたと考えられる。周波数が CASE1 より高い他のケースについても同様の傾向が見られるか検討するため、波高と波数の比較を行った。

4. 波数と波高への反射波の影響

図-1 に+で示した値は、反射波のエネルギー到達時刻より前の波のデータから求めた無次元波数で、mass loading model とよく一致している。

図-2 は CASE1 の波数の変化によって反射波到達時刻より前の波高である。それぞれ、CH1 の波高で無次元化している。図-4 は、反射波が十分に発達していると考えられる、造波開始後 40~60 秒の CH1 の波高で無次元化した波高である。規則波の重複により、波高計の場所ごとに波高差が生じている。図-3 は、反射波のエネルギー到達前の波の波高である。CASE1 と CASE2 の波高は、反射波の影響が見られないが、周波数の高い CASE3 から CASE5 に関しては、反射波の影響と見られる波高の変化が見られ、これらのケースでは、ビーチで反射した波のエネルギーが到達する前に反射波の影響が見られることが

わかる。

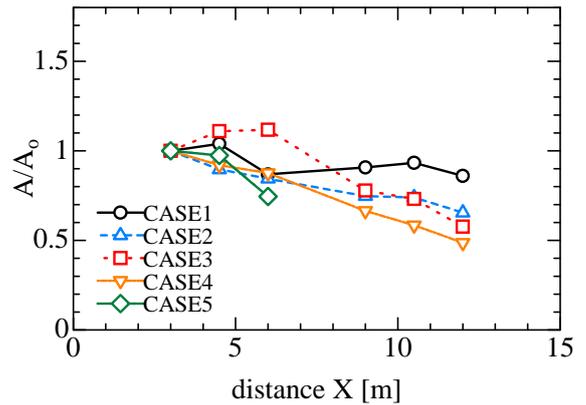


図-2: Kudo らが定めた範囲での波高変化

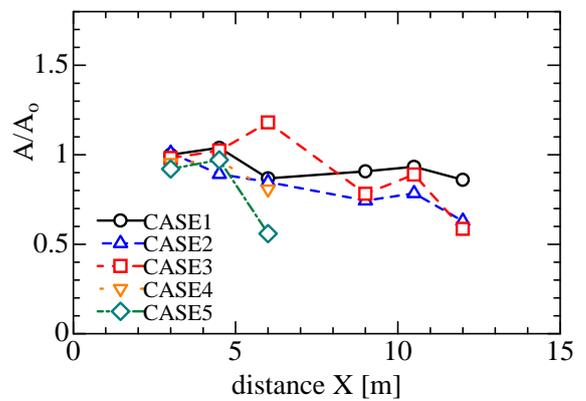


図-3: エネルギー到達前の波高変化

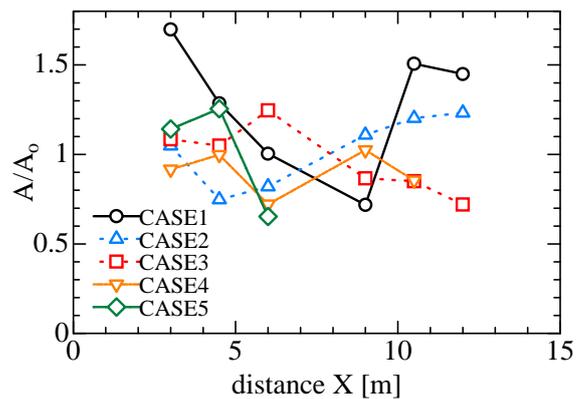


図-4: $t=40\sim60s$ での波高変化

参考文献

Kudo, S., M. Sasamoto, S. Sakai, T. Ogasawara. (2010) : Experimental study on dispersion relation of water waves progressing on the water surface at the early stage of pancake-ice formation process, Proceedings of 20th IAHR International Symposium on Ice.