

II-86

波浪による氷板の破壊に関する実験

岩手大学工学部 学生員○畠山 聡 学生員 今井 正
正 員 堺 茂樹 正 員 平山 健一
正 員 笹本 誠
運輸省船舶技術研究所 金田 成雄 正 員 泉山 耕

1. はじめに

氷海域に進入した波浪により氷板は変形し、変形がある限界を超えると曲げ破壊が生じる。破壊した氷板、氷片は波浪と共に運動し、これが海洋構造物などに対する衝撃氷力の原因となる。従って各種海洋構造物の耐氷設計に当たっては波浪と氷板の相互干渉の理解が重要となる。

本研究では、運輸省船舶技術研究所の氷海船舶試験水槽（以下、氷海水槽）を使用し、模型氷（物性などをスケールダウンさせて作製された実験用の氷）を用いて波浪による氷板の破壊に関する実験を行い、氷板破壊特性について検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

実験には、図-1に示す長さ35m、幅6m、水深1.8mの氷海水槽を用い、水槽前部から2m付近にプランジャー式の造波機を設置した。水槽中央の18m区間の氷を残し、前部8m、後部9m、側壁部5cmの氷は全て取り除き、氷板は水面に完全に浮かんだ状態とした。また、氷板後端部にボールを設置し、氷板が波の進行方向に移動するのを防ぎ、また水槽後部には反射波の影響を軽減するため消波板を取り付けた。波高は超音波式変位計により、また氷板の変位はレーザー式変位計を用い、水槽の中心線上で計測した。

実験条件は、表-1に示す11ケースで、氷厚 h_i は25mmと50mmの2種類、周期は0.8秒から1.4秒までの4種類である。曲げ強度 σ_b は、片持ち梁試験により測定した。この方法は水表面に浮かんだままの氷板の一部を片持ち梁状に切り、その先端に載荷し、破壊荷重から弾性梁理論による曲げ強度を計算する一般的な方法である。また氷板の弾性係数は、鉛直に荷重を加えた時の変位から弾性薄板理論により推定するPDM法により計測した。

実験ではまず小さな波高に設定し、氷板の変形を計測する。次に波高をわずかに大きくして、同様の計測を行い、この測定を氷板の破壊が生じるまで繰り返した。破壊した位置での波高を測定するためには、氷板が破壊する位置を予測する必要があるが、残念ながら現段階では無理である。そこで本研究では以下の方法により破壊時の波高を測定した。図-2は氷板下での波高と開水域での波高の比を示しており、全体的に図中の実線で直線近似できる。そこで破壊したときの開水域での波高と近似直線から破壊発生点での波高を見積もることができる。また、氷板破壊前の波長は波高に依存せず一定であったので氷板破壊時と同じ値を用いた。

3. 実験結果

3-1. 氷板破壊時の波高

氷板の破壊特性に関連するものとして氷板の弾性係数、曲げ強度、氷厚、波高、波長が挙げられる。線形波

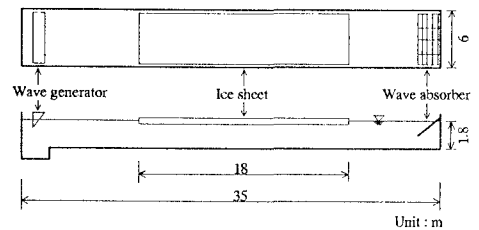


図-1 氷海水槽の断面および平面図

表-1 実験条件

Case	周期 T(sec)	波形勾配 Ho/Lo	氷厚 h_i (mm)	曲げ強度 σ_b (kPa)	弾性係数 E(MPa)
1	1.2	0.008~0.012	49.23	35.09	18.99
2	1.2	0.014	25.17	23.41	14.99
3	0.8	0.020~0.059	25.15	22.61	5.81
4	0.8	0.013~0.049	28.40	36.00	29.74
5	0.8	0.019~0.037	53.30	39.70	40.14
6	1.0	0.019~0.020	53.30	39.70	40.14
7	1.4	0.008~0.012	53.30	39.70	40.14
8	1.2	0.012~0.026	54.20	38.15	34.24
9	1.4	0.004~0.010	23.20	119.34	182.86
10	1.2	0.009~0.015	24.30	137.40	215.83
11	1.0	0.016~0.026	23.20	87.90	208.97

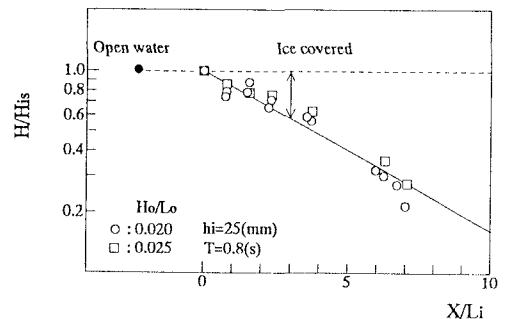


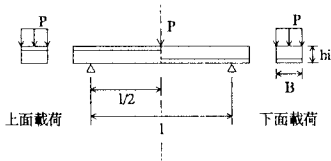
図-2 氷板破壊時の波高 H_c の推定

動理論と弾性変形理論よりこれらの特性量間を求めると式－（１）が得られる。

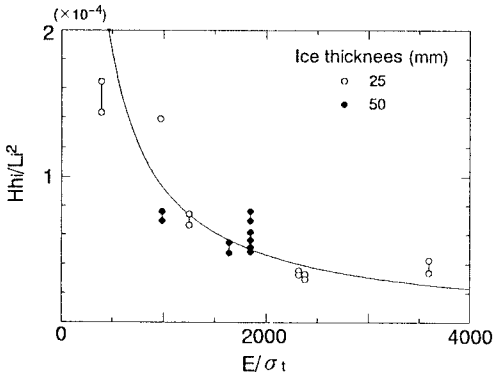
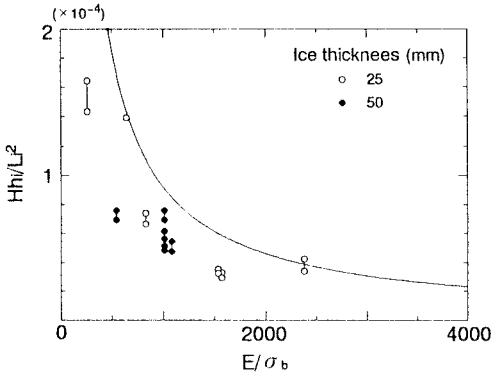
$$\frac{Hh_i}{Li^2} = \frac{(1-\nu^2)}{\pi^2} \frac{1}{(E/\sigma_b)} \quad \text{----- (1)}$$

図－３は理論解と実験結果を比較したものである。横軸には氷板の物性を表す E/σ_b 、縦軸は氷板下の波形勾配と無次元氷厚の積である。なお、図中では測定値が線で結ばれているが、大きい方は破壊時の波高であり、小さい方は破壊直前のケースでの波高であり、破壊のための最小波高はこの間と考えられる。理論解は実験結果を定性的に表現してはいるが定量的には不十分である。この原因を以下のように検討した。模型氷にはTop layerと呼ばれる高強度の層が上部に形成される。片持ち梁試験での σ_b は氷板端を押したげた場合の曲げ強度となり、波頂で破壊が生じる場合に対応する。しかし波谷で破壊するとすれば、強度の測定では、载荷方向を逆にしなければならない。そこで図－４による三点曲げ試験により载荷方向による強度の違いを求めたところ、上面载荷 σ_t と下面载荷 σ_b の関係が以下ようになった。

$$\begin{aligned} \sigma_t &= 0.661 \sigma_b && (25\text{mm氷板}) \\ \sigma_t &= 0.549 \sigma_b && (50\text{mm氷板}) \end{aligned}$$



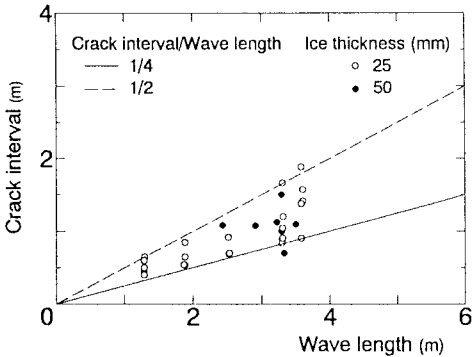
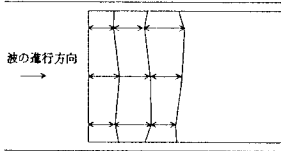
この関係から σ_t を推定し、実験結果を整理し直したのが図－５である。
理論解は実験値と定量的に極めて良く一致しており理論の有効性が検証された。また σ_t を用いるべきであることにより氷板の破壊が波谷で発生することが明かとなった。



図－３ 氷板破壊における E/σ_b と Hh_i/Li^2 の関係 図－５ 氷板破壊における E/σ_t と Hh_i/Li^2 の関係

3－2．氷板の破壊と波長の関係

氷板上に発生するクラックは図－６に示すように波の進行方向にはほぼ垂直に生じるが、必ずしも直線的ではない。そこで氷板の右端、中央、左端の三箇所計測し、その平均値を破壊の幅とした。このようにして求めた氷板の破壊幅と波長の関係を図－７に示す。その結果、氷板の破壊は $1/4$ 波長から $1/2$ 波長の範囲内であり、氷板の破壊は波長に強く依存していると言える。これは南極海で撮影された写真等による規則的な氷板破壊の様子を再現している。



図－６ 氷板破壊形態 図－７ 破壊幅と波長の関係

参考文献

金田成雄・今井正・平山健一・堺茂樹(1994)：波浪による氷板の変形に関する模型氷および模擬氷を用いた実験、海岸工学論文集、第41巻、pp. 901-904