

氷海域における海洋構造物と氷盤の相互作用に関する研究
その 2 尿素模型海水の物性と貫入試験結果

Study on Interaction between Ice Cover and Offshore Structures Surrounded by Ice Floes
Material Properties and Indentation Test Results of the Urea Model Ice in the Low Temperature Room

○末武紘一¹, 加瀬佑弥², 高橋基喜², 北嶋圭二³, 中西三和³, 安達洋⁴
Suetake Koichi¹, Kase Yuya², Takahashi Motoki², Kitajima Keji³, Nakanishi Mitsukazu³, Adachi Hiromi⁴

In this report, the results of various material tests and indentation tests are presented

1. はじめに

本報は、作製した模型氷の物性試験結果とその模型氷を用いて行った一方向貫入試験結果について述べる。

2. 試験結果

2.1 模型氷の物性試験

曲げ試験, 圧縮試験は計測した荷重から(1)式を用い曲げ強度 σ_b を, (2)式を用い圧縮強度 σ_c を算出した。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{6F_{max}L}{bh^2} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \dots (1)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A} = \frac{F_{max}}{bh} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad \dots (2)$$

M : 曲げモーメント N : 軸力
 Z : 断面係数 F_{max} : 最大荷重
 A : 断面積 σ_b : 曲げ強度 σ_c : 圧縮強度

2.1 曲げ試験

Fig.1 に昇温後 5 時間経過時の曲げ試験の荷重-変位関係を示す。ほぼ一定に荷重が上昇し破断した。

Fig.2 に上曲げ試験および下曲げ試験で得られた最大曲げ強度と昇温時間の関係を示す。両試験共に昇温時間が長くなるほど曲げ強度は減少することがわかる。また、上曲げ試験は昇温後 13 時間で目標の 0.02N/mm^2 に達したのに対し、下曲げ試験は昇温後 11 時間で目標値に到達した。図中の直線は、曲げ試験により得られた線形近似線である。上曲げ試験に比べ下曲げ試験は昇温時間とともに急激な曲げ強度低下がみられた。これは、下曲げ試験では昇温開始時には硬いトップレイヤーが引張応力を受け曲げ強度が大きくなるのに対して、上曲げ試験では水中に没した柱状構造をもった断面の縁が引張応力を受けることによる。一方、昇温時間の経過に伴い下曲げ試験の値が上曲げ試験の値より小さくなるのは、昇温によるトップレイヤーの融解の進行が早いのに対して、水中に没した断面は水温の変化が少ないためと思われる。

2.2 圧縮試験

Fig.3 に昇温後 5 時間経過時の圧縮試験の荷重-変位関係を示す。圧縮試験は荷重上昇後、剛性低下したのち最大圧縮強度に達した。

Fig.4 に圧縮強度と昇温時間の関係を示す。圧縮強度も曲げ強度と同様に昇温時間が長くなるほど減少する傾向にあった。また、目標値である 0.1N/mm^2 には昇温後 5 時間で到達した。水中にある試験片を圧縮試験した既往の研究¹⁾⁻⁴⁾では 6~8 時間ほどで目標値に到達したのに対して、今回の試験で昇温後 5 時間で目標値に達したのは、試験体を水から取り出して試験を行った実

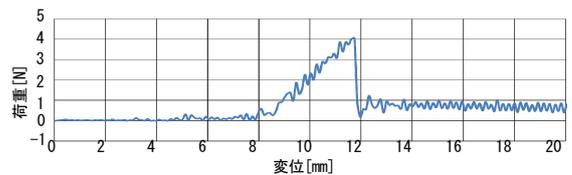


Fig.1 Load and Displacement of the bending test

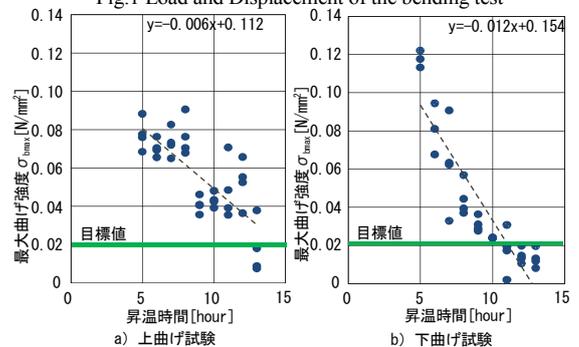


Fig.2 Max Bending Load and Thawing time

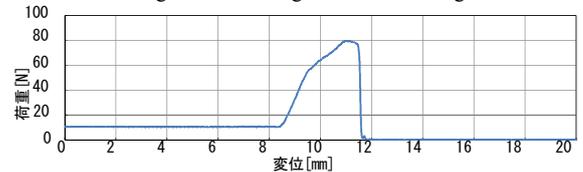


Fig.3 Load and Displacement of the pressing test

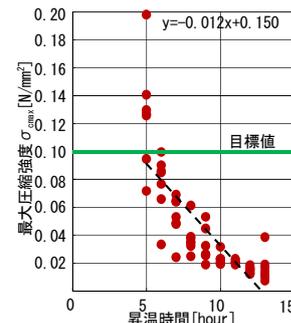


Fig.4 Max Pressing Load and thawing time

1: 日大理工・院(前)・海建 2: 日大理工・学部・海建 3: 日大理工・教員・海建 3: 日大理工・教員・海建 4: 日大名誉教授

験条件の違いによるものと考えられる。

3. 一方向貫入試験結果

3.1 歪速度と破壊形式の関係

延性領域の歪速度(1.5×10^{-4})では円柱試験体周辺の氷盤が徐々に圧縮破壊を起こすが、貫入が進むにつれて氷盤がゆっくりと座屈破壊を起こした。

遷移領域の歪速度(1.5×10^{-2})では貫入直後に円柱試験体周辺に圧縮破壊が起こるが、貫入が進むにつれて氷盤が下方方向に沈み込み曲げ破壊を起こした。

脆性領域の歪速度(1.5×10^{-1})では、貫入直後に局所的な座屈破壊を起こし、試験体周辺を巻き込んでの座屈破壊は見られなかった。

3.2 氷荷重と貫入量の関係

Table 1 に一方向貫入試験結果を fig.5 に氷荷重と貫入量の関係を示す。表の圧縮強度は貫入した周辺の氷盤を切り抜いた試験片の平均値を示している。

Case1 歪速度(1.5×10^{-4})の最大氷荷重は 0.04kN であった。荷重は放物線状の軌跡を描きながら上昇していくが、円柱試験体の氷盤への貫入に伴って広い範囲で氷盤が曲げ破壊しながら緩やかに耐力が低下した。

Case2 歪速度(1.5×10^{-2})の最大氷荷重は 0.22kN であった。荷重は初期の段階から直線的に上昇していき、一度急激に低下してから再び上がり最大荷重に達した。その後、荷重の低下と上昇を繰り返しながら急激な強度低下が見られた。これは貫入直後に圧縮破壊とともに荷重が上昇し、その後比較的狭い範囲で氷盤の破壊領域が進行することで荷重が低下するという破壊過程を繰り返したことによる。

Case3 歪速度(1.5×10^{-1})の最大氷荷重は 0.21kN であった。Case2 とほぼ同様の破壊過程であるが、荷重は直線的な上昇と下降を繰り返す挙動はより顕著である。圧縮破壊と局所的なひび割れの広がり連続して生じる典型的なラチェティング現象(ratcheting)が起こったためだと思われる。既往の研究^{1)~4)}では遷移領域の歪速度において氷荷重が大きくなることが確認されているが、本試験では遷移領域と脆性領域での歪速度では明確な差を確認することができなかった。そこで試験体の径をパラメータとするなどの条件を変えた試験を実施する必要がある。

4. まとめ

- ・所定の氷を得るため積算寒度と氷厚の関係、強度と昇温時間の関係を確認した。
- ・圧縮強度は昇温 5 時間後、上曲げ強度は昇温 13 時間後、下曲げ強度は昇温 11 時間後に目標値に達した。
- ・一方向貫入試験より、延性領域での最大氷荷重は、遷移

領域および脆性領域の最大氷荷重に比べ小さな値を示した。これは、氷盤の破壊が曲げ破壊であったことによる。

- ・一方向貫入試験より、延性領域、遷移領域および脆性領域での貫入量に対する氷荷重と破壊形式の特徴を確認した。

【参考文献】

- 1) 高田好秀：海洋構造物に作用する地震時の氷荷重に関する実験的研究(H3 年修論)
- 2) 八島信良：亜北極圏の氷海域における多柱式構造物に作用する氷荷重に関する基礎的研究(S63 年)
- 3) 宮島務：氷海域における海洋構造物の最適設計に関する研究(H15 年卒論)
- 4) 瀧山洋平：氷海域における海洋構造物と氷盤の相互作用に関する研究(H22 年修論)

Table 1 Penetration test result

case	試験体径 [mm]	氷厚 [mm]	圧縮強度 [N/mm ²]	歪速度 [sec ⁻¹]	貫入速度 [sec/mm]	最大氷荷重 [kN/mm ²]
1	48	25	0.07	1.5×10^{-4}	0.0144	0.04
2				1.5×10^{-2}	1.44	0.22
3				1.5×10^{-1}	14.4	0.21

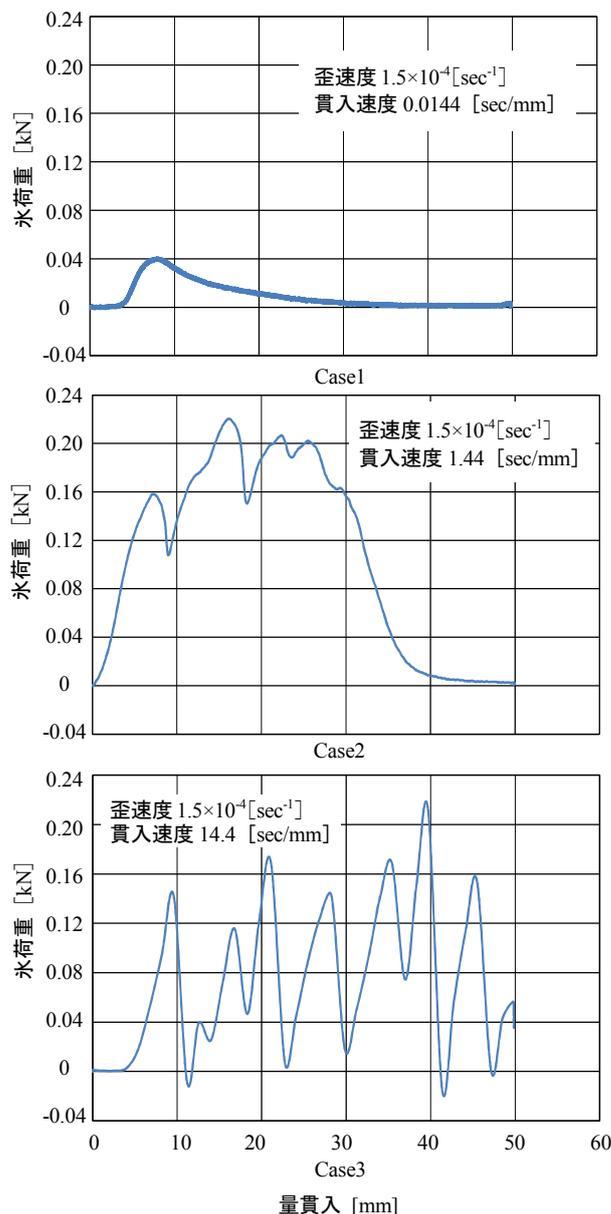


Fig.5 Ice load and Intrusion