

尿素水の曲げ強度特性

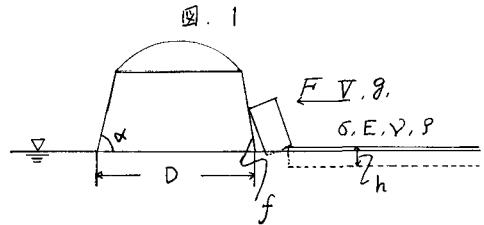
岩手大学 学角 八寿志
岩手大学 佐々木文夫
岩手大学 正 平山 健一

1 はじめに

近年、天然資源の開発を目的とした構造物の建造が盛んに行なわれるようになった。しかしながら、氷の物性は非常に複雑で構造物に作用する氷圧力の算定は、必ずしも簡単でなくその解明には理論的アプローチ、現場における実測と共に模型実験による主たるパラメータのシステマチックな解明やデザインの比較が不可欠である。本報告では、氷の模型実験を行なう上で望ましい強度を持つ氷を作る事を目的とし、尿素溶液を用いた氷の曲げ強度試験を行ない、その特性を調べた。

2 構造物に働く氷圧力の模型実験における相似律

右図の様に速度 V で移動する氷板が構造物と衝突する場合を考えると構造物に働く氷圧力 F は次の様な物理量の関数となる。氷に関する物理量：氷厚 h 、曲げ強度 σ 、弾性係数 E 、密度 ρ 、ポアソン比 ν 。構造物に関する物理量：摩擦係数 f 、構造物の直径 D 、傾き α 、及び運動を表わす物理量：速度 V 、重力加速度 g である。摩擦係数、ポアソン比、傾きは原型と模型において共通であるとし、



$f = (F, V, D, g, h, \sigma, E, \rho) = 0$ において次元解析を行なうと氷圧力 F は式で表わされる。
 $F/hg = f(V/\sqrt{E\rho}, V/\sqrt{gh}, E/\sigma, f, \nu, \alpha)$ (1)

すなわち、フルード数 $V/\sqrt{gh}$ 、コーシー数 $V/\sqrt{E\rho}$ 、そして E/σ を原型と模型において一致させることが必要である。原型と模型でフルード数とコーシー数を一定に保つには、原型と模型の弾性係数の比は、長さの比と同じでなければならない。又、第3の無次元量より、原型と模型で E/σ の比は等しく、模型実験における E, σ はそれぞれ長さの比率で縮小することが必要である。今までは、高濃度の塩水よりできる氷で模型実験を行なってきたが、縮尺 $1/20$ 程度で E/σ の値は原型が2000程度であるのに、塩水氷はせいぜい500程度しか得られず模型実験の結果の信頼性が不足していた。近年、見い出された尿素氷は低強度でも E/σ の値が大きく最も優れた模型実験材料とされている。次節で岩手大学低温実験室における尿素氷の特性に関する実験結果について述べる。

3. 実験装置および実験方法

実験は内部が縦3.8m、横1.5m、高さ2.1mの低温室で行なった。この低温室に水槽(100×170×50)を置き、尿素濃度を0.3%、0.6%、1.2%でそれぞれの室温を-5℃、-10℃、-15℃に設定し冷却した。氷の厚さと室温の関係は(2)式で表わされ、本実験室の S として $S = 11.44 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$ がえられた。

$$h = \frac{1}{S} \left(-k_i + \sqrt{k_i^2 - \frac{S^2 \times 2k_i}{\rho_i \lambda} \sum (T \times t)} \right) \quad (2)$$

ここで、 h 氷厚(m) S 、氷と外気との熱伝達係数($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

k_i 熱伝導係数($2.24 W/m \cdot deg$) T 、室温($^\circ C$)

ρ_i 氷の密度($916 kg/m^3$)

λ 氷の融解熱($3.34 \times 10^5 J/kg$)

t 一定厚になるまでの時間(sec)

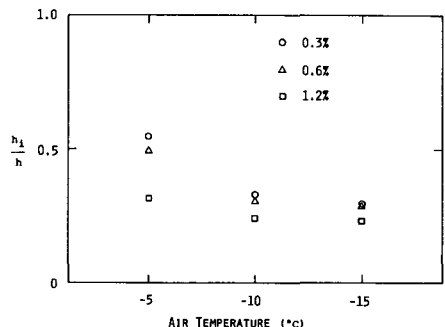


図 2

水槽の氷の厚さが一定厚3cmに達したとき、室温を0~2℃にセットしてwarm-upを開始した。warm-upは模型実験が通常1/10~1/50のスケールで行なわれるため氷の強度を落とすために氷を温める手法である。warm-upの開始時の時刻を $t=0$ として $t=0.13$ 時間ごとに各3本ずつ片持バリの先端を垂直に引き上げるようにして荷重を加え破壊した。供試体の寸法、試験方法は I A H R. I C E C O M M I T T E E による氷の基準試験方法によった。曲げ強度 σ は(3)式で計算した。

$$\sigma = \frac{6Pl}{bh^2} \quad (3)$$

ここで σ : 曲げ強度 (kg/cm²) b : 片持バリの幅 (cm)
 P : 最大荷重 (kg) h : 片持バリの厚さ (cm)
 l : 片持バリの長さ (cm)

又、模型実験におけるいわゆる寸法効果を除き、均一な氷質をうるため、供試体と結晶径の比が十分大きくなるように seeding を行なった。seeding は低温室を-10℃程度に下げ圧搾空気を用いてスプレイガンより霧を大気中に放出して空気中で氷の小片をつくり、水面に氷の結晶を seed するいわゆる wet-seed 法によった。

4. 実験結果および考察

尿素氷は上層 h_u 、下層 h_s の結晶構造の異なる2つの層からできていることがわかった。上層は下層に比べて尿素濃度が低く、結晶軸がランダムに分布する層で下層が柱状構造をしているのと異なっており、上層の強度は下層に比べかなり大きい。又 図2で示す様に低温で冷却して作った氷ほど上層の厚さの濃度によるバラツキが小さくなる。-5℃でゆっくり冷却した場合の氷の構造は一定したものができず、濃度によってバラツキがある。従ってここでは-10℃、-15℃、のみのデータで考えると図3より $t=0$ のときの曲げ強度は濃度が高いほど小さくなっている。なお、淡水の氷の曲げ強度は12.6 kg/cm²である。warm-upは、氷そのものの強度を落とすと共に海水にみられる様なグライン(氷中に含まれる高濃度の溶液を含んだ空隙)を増大させるために行なうものである。時間と曲げ強度の低下の様子は図4で与えられる。実験値にはかなりバラツキがあるが(4)式で近似されることがわかった。

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = e^{-(1.42 \frac{t}{h_s^2})^{0.56}} \quad (4)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = e^{-(1.12 \frac{t}{h_s^2})^{0.63}} \quad (5)$$

ここで、 σ : 曲げ強度 (kg/cm²)、 t : warm-upからの時間 (hour)
 h_s : 下層の厚さ (cm)

なお (5)式は CRREL 試験水槽で与えられたものである。

5. あとがき 模型構造物を用いて実験を行なうに先立って氷の強度をどの程度コントロールし、実験の日程を立てる上で必要な氷の warm-up に伴う強度の特性を調べたが、強度には氷の上層の厚さが大きな効果をもっていることがわかり、上層の成長のメカニズムをもう少し細かく調べる必要がある。又、強度データのバラツキは氷の実験に特有なものではあるが試験のやり方や seeding の手法が未熟な点が考えられ今後、改善してゆく必要がある。

[参考文献] 1). Properties of Urea Doped Ice in The Creel Test Basin, Kenichi Shirayama.

2). The Mechanical and Morphological Properties of Doped Ice; G. W. Timco.

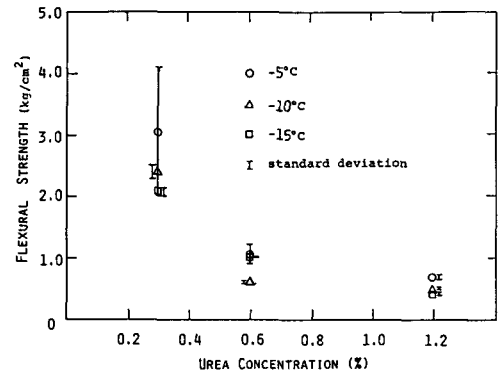


図3

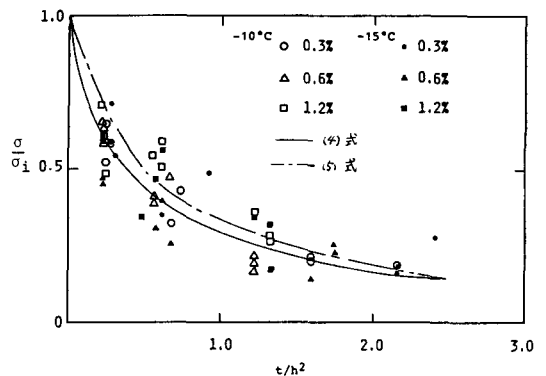


図4