

岩手大学工学部 学生員 ○ 及川竜悦
 学生員 坂本典正
 正 員 平山健一

1 はじめに

氷海域での氷板一構造物の相互作用を模型実験により再現し、把握する事は、構造物の形状による水圧力の大きさと破壊パターンの関係を調べる上で極めて重要な手法である。海水は、柱状構造を呈し、その内部に高濃度の塩水のポケット（ブライン）を有する。模型氷は、この構造を忠実に縮小し、また力学的にも強度、弾性係数が等しく相似である必要がある。さらに実験に際し、氷の物性のコントロールと再現性が保証され、模型氷を作るための水溶液は連続使用に耐え、入手が容易で安価、施設・計測機器に対して腐食等の障害を与えず、人体への影響が無いといったことが望まれる。

しかし、従来の塩水氷、尿素氷等の模型氷は、不規則な結晶方向を持つ上層と柱状をなす下層の二層の結晶構造を持つ点で実際の海水とは構造的に異なる。即ち強度の大きな上層を有するために、荷重の方向により異なる曲げ強度を持つことになる。また、氷の力学的特性が一様な比率で低下しないこと、30 K Pa以下の低曲げ強度において brittle な破壊が生じないこともこれまでの模型氷の欠点とされている。尿素溶液の使用により後者の欠点はやや改善されたが、エチレングリコール（EG）及び脂肪性洗剤（AD）を適当に混入した水溶液から作成される模型氷は上層が極めて薄くなり後者の欠点が非常に改善されることが確認されている（Timco 1985）。本研究ではEG/ADの濃度の効果を実験的に調べ模型氷としての適性を検討した。

2 実験設備及び方法

岩手大学工学部土木工学科に設置されている低温実験室は冷却ファンにより室内の空気を強制的に循環させ、一様な冷却が可能である。冷却能力は無負荷で約 -20°C まで可能であるが、室温を上昇させるための機能は備っていない。氷板作成用の水槽は木製で、長さ1.55m、幅1.0m、深さ0.5mである。水槽の周囲は40mmの断熱材で保温されている。水槽内の水溶液は温度勾配をなくすために、あらかじめ圧縮空気を用いたバブラーにより攪はんされる。水温が 0°C に達した時点で攪はんを停止し、静水状態になるのを確認の上、seedingを行う。Seedingとは、氷板作成の際に結晶の核となる氷の微粒子を作ってやることで氷板の結晶を小さく、また均等にすることを目的とし、その結果氷板の強度を小さくすることが可能となる。Seeding完了後1時間は自然対流によ

り氷結晶を成長させ、その後冷却用ファンを作動させる。所定の氷厚に成長させた後に、ノギスにより全氷厚及び上層厚を測定する。その後氷厚に対する梁長を5種類に変えた片持ち梁を作成し、push-pull scaleにより載荷し曲げ強度の原位置試験を行い弾性理論式により、曲げ強度を計算した。

3 実験結果

氷板作成用水槽内の実際に使用する試験領域での氷厚分布のバラツキは $\pm 2\text{mm}$ 以下で、その標準偏差は 0.09mm であった。温度と時間の積を累計したもの即ち Σ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{hr}$)を積算寒度と呼ぶが、これに対して実際に生じた氷厚との関係をプロットした

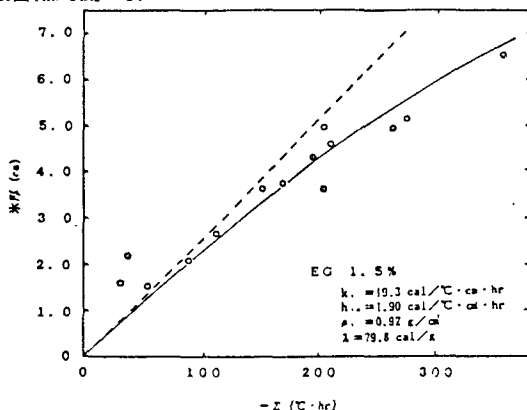


図 1 積算寒度に対する氷厚

ものが図1である。図中の実線は次式で与えられる。

$$h = \frac{1}{h_{ia}} \left\{ -k_i + \sqrt{k_i^2 - \frac{2h_{ia}^2 k_i}{\rho_i \lambda} \Sigma} \right\}$$

ここで k_i = 氷の熱伝導率

ρ_i = 氷の密度

λ = 氷の融解潜熱

$$\Sigma = \int_0^T (T_s - T_{iw}) dt$$

h_{ia} は氷/空気界面での熱伝導率であり、各々の冷却設備により固有の値をとる。本実験装置では次の値が得られた。

$$h_{ia} = 0.90 \text{ cal} / (\text{°C} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{hr})$$

また小さな氷厚では次の線形式に近似できる。

$$h = - \frac{h_{ia}}{\rho_i \lambda} \Sigma$$

図中の破線はこの式を表したものである。氷厚が3cm程度までは良い近似を示していることが分かる。

図2はEG濃度を3種類に変えAD濃度を変えて全氷厚、上層厚の関係を調べたものである。AD濃度による全氷厚に対する上層厚の比には著しい傾向は見られないが、EG濃度が大きくなるにつれ、この比は若干ながら減少する傾向にある。0.5%EG濃度における全氷厚に対する上層厚の比は4~7%程度であるが、尿素氷におけるそれが25~30%であることを考えれば極めて薄い上層であることが分かる。

EG濃度と曲げ強度の関係は図3に示されるが、EGの濃度の増加により曲げ強度は著しく低下することが分かる。

曲げ強度に及ぼす荷重方向の影響を示したのが図4である。上方向に荷重をかけた場合の曲げ強度 σ' に対する下方向荷重の曲げ強度 σ の比が1/2 ~ 9/10の範囲にあることが分かる(図中実線)。同様の実験が尿素氷に対して行われ、その範囲が1/3 ~ 2/3であるという報告(平山 1983)を考慮すれば、EG氷は尿素氷に比べ異方性が改善されていることが理解できる。

4 参考文献

G.W.Timco : "A NEW TYPE OF MODEL ICE FOR REFRIGERATED TOWING TANKS"
Cold Regions Science and Tecnology 12(1986)
K.Hirayama : "PROPERTIES OF UREA-DOPED ICE IN THE CRREL TEST BASIN"
U.S.Army CRREL Report 83-8

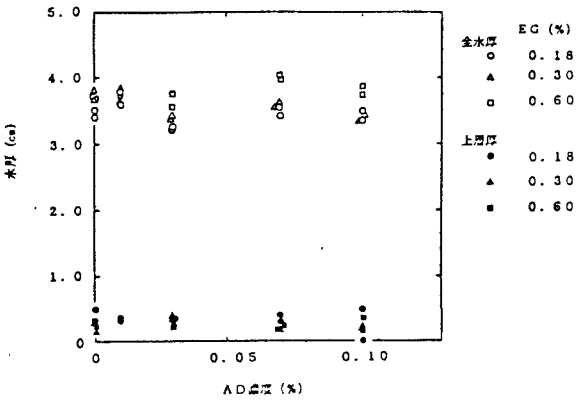


図 2 AD濃度に対する全氷厚、上層厚

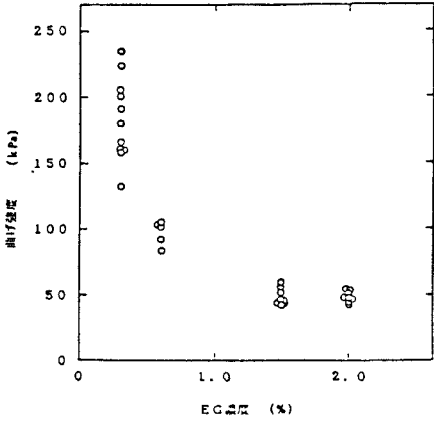


図 3 EG濃度に対する曲げ強度

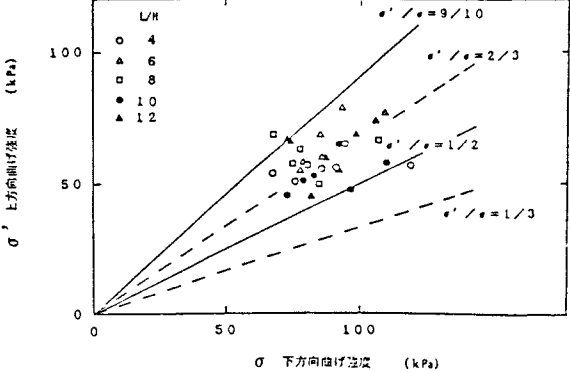


図 4 荷重方向による曲げ強度