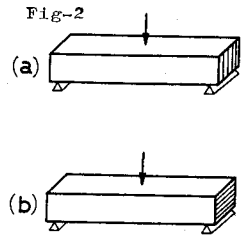
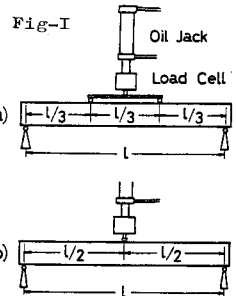


北海道庁 正員 西谷 一典  
 北大工学部 小野 敏行  
 北大工学部 正員 佐伯 浩

§1. 緒論 氷に対する標準的な強度試験方法あるいは試験基準というものは我が国は勿論、諸外国においても未だ決められていないのが現状である。しかしIAHRの氷の委員会ではWorking groupをつくり、現在その問題について検討中で、すでにいくつかの興味ある提案がなされている。本研究はオホーツク海の実際の海水を用いることにより、海水の曲げ強度 $\sigma_f$ の試験方法について、いくつかの興味ある結果が得られたので報告する。

§2. 実験装置及び実験方法 実験は全てシロマ湖に面した富士漁港で実際の海水を用いて行なわれた。氷厚は約35cmで表層約10cmが通常雪氷と呼ばれているgranular iceで、下層の約4cmは氷厚の成長期から残るSkelton layerで、実際の海水部は約21~22cmであった。実験は、まず実際の氷盤からチェンソーで約100x40x35cmの大きさに切り出し、それをソリク來せて速やかに試験室に運搬し、海水の実験部のみから、チェンソーを改良した氷切断機により直方体の曲げ強度試験用の供試体を作製した。試験装置は海水供試体の端部を支持する支持部と荷重を供試体に伝える載荷部それぞれ荷重を測定する荷重計それぞれオイルジャッキと油量及び油圧を調節する油圧コントロールユニットよりなる。供試体のスパン長 $l$ は20~120cmまで変化できるし、桁幅及び桁高は40cmまで可能である。用いた荷重計の容量は200kgで3800Hzまで応答する。またジャッキの速度は油圧ユニットのプロコントロールバルブを調節することにより0.03~60mm/sまで変化することが可能である。水温 $T$ は試験終了後針状測温

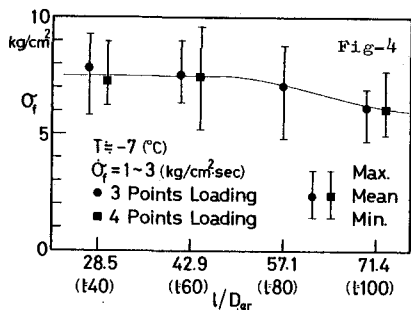
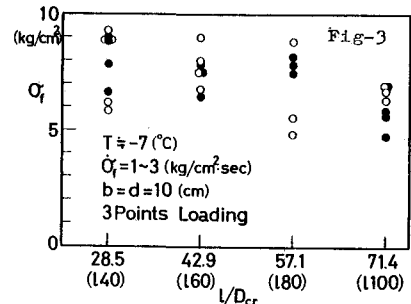


抵抗温度計より測定し、単位体積重量 $W$ は試験済みの供試体から高速切断機により直方体に整形して、体積及び重量の測定から求めた。塩分量は試験済の供試体の一部を取り、それを融解して電気伝導を測定することにより求めた。載荷方法はFig-1に示すよう3等分点載荷法(4 points loading)と中央載荷法(3 points loading)の二つの方法で行なった。また荷重のかける方向はFig-2に示すよう氷の成長方向に平行及び垂直の二つの方向について実験も行なった。用いた海水の塩分量 $S$ は1~4%であった。また供試体の寸法は高さ10cm、幅10cm、スパン長は40, 60, 80, 100cmの4種類を行なった。

§3. 荷重方向の違いによる曲げ強度の変化 Fig-3は中央載荷の場合の荷重方向の違いによる曲げ強度 $\sigma_f$ を比較したものである。桁破壊時の荷重計に示される力を $P$ 、桁高を $d$ 、桁幅を $b$ としスパン長を $l$ とすると、 $\sigma_f$ は次式で示される。

$$\sigma_f = (3 \cdot P \cdot l / 2 \cdot b \cdot d^2) \dots \dots (1)$$

図中の●印は成長方向に平行の荷重、○印は成長方向に直角の荷重



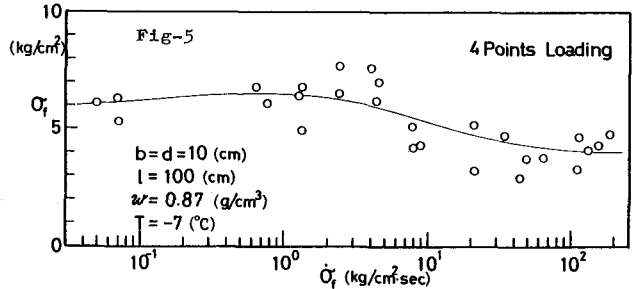
方向で、それぞれFig-2の(a)及び(b)に相当する。Fig-3から、荷重方向に対して、 $\sigma_f$ はそれ程の差はないが、成長方向に平行方向の荷重の方がデータの分散が若干小さい。またDgrは平均の海水のgrain径であるが、本実験では、ほぼ一定値で約14mmであった。また、本実験では( $l/d$ )は4~10の範囲で実験されていて、その結果は両荷重方向とも( $l/d$ )が大きくなるにつれて、 $\sigma_f$ は小さくなる傾向がある。これについてはSaeki等が以前( $l/d$ )=2.7~5の範囲で実験を行なっているが、その( $l/d$ )の範囲では( $l/d$ )に關係なく $\sigma_f$ は一定値を示している。本研究とも合せて考えると、( $l/d$ )<8の範囲では $\sigma_f$ がほぼ一定値を示し、( $l/d$ )>8では( $l/d$ )が大きくなるにつれて、 $\sigma_f$ は小さい値を示すようである。この理由については次述べる。

§4. 載荷方法による $\sigma_f$ の違い 3等分点載荷法(4 points loading)による $\sigma_f$ は次式で計算される。

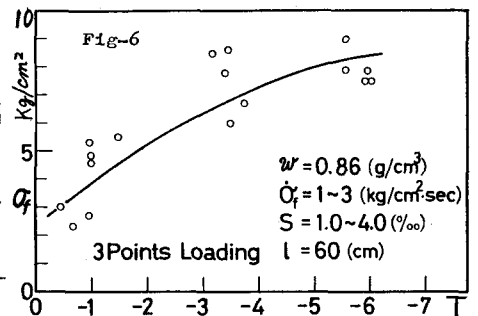
$$\sigma_f = (Pl/bd^2) \text{----- (2)}$$

中央載荷と3等分点載荷による曲げ強度 $\sigma_f$ の値を比較したものがFig-4である。両方法による $\sigma_f$ の値の差は極めて小さいが、3等分点載荷の方が若干小さい $\sigma_f$ を示している。この理由は中央載荷では両端の支点で曲げモーメントが0で、載荷点で最大となる三角形分布をなすのに対して、3等分点載荷では両支点で0で、2つの載荷点間には一定のモーメントを示す台形モーメント分布である。海水は純水、ブライン、気泡等により成り、その分布は不均一で、よって強度分布も不均一となっている。よって3等分点載荷では同一のモーメント間が長いので、その中で一番強度の弱い所で破壊するのに対して、中央載荷はモーメントが三角形分布で強制的に載荷点近傍で破壊させようとするためと思われる。これは材料の破壊理論の一つであるWeakest Link Theoryの考えである。またFig-3, 4から明らかなようにスパン長 $l$ が大きくなれば $\sigma_f$ が小さくなるが、これも、桁長が長い程、弱い所の発生確率が高くなる事に起因する。Fig-3, 4のデータの $W$ は0.86~0.88g/cm<sup>3</sup>であった。

§5. Stress Rateの効果 海水は粘弾性体であるから、当然 $\sigma_f$ はstrain rateやstress rateの影響を受けるのは当然である。Fig-5はその結果の一部を示す。 $\dot{\sigma}_f < 4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ の範囲では、 $\sigma_f$ が大きくなるにつれて $\sigma_f$ はゆるやかに大きくなり $\dot{\sigma}_f \approx 4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ で最大値を示し、 $\dot{\sigma}_f > 4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ の範囲では $\sigma_f \approx 20 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ まで比較的急激に $\sigma_f$ は小さくなり、 $\dot{\sigma}_f > 20 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ では $\sigma_f$ はほぼ一定値を示す。この傾向は氷温が高い場合でも同じである。構造物の設計に海水の曲げ強度が必要な場合は、最大の強度を示す $1 < \dot{\sigma}_f < 4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ の範囲で $\sigma_f$ を求める必要がある。



§6.  $\sigma_f$ と氷温Tの關係 同一の試験方法を行なえば、 $\sigma_f$ はS, WおよびTの影響を受ける、これは、ブライン量や気泡量がS, WおよびTの關係となっているからである。またTは結晶間の結合力に大きな影響を与えている。オホーツク海の海水は充分成長した段階では、S=1~4%、W=0.85~0.88g/cm<sup>3</sup>であるので、あとはTによって $\sigma_f$ は変化する。 $\sigma_f$ とTの關係をFig-6に示す。 $\sigma_f$ はTの低下とともに増大する。またこの $\sigma_f$ と同一の海水から求めた一軸圧縮強度の比は( $\sigma_f/\sigma_c$ )=0.2~0.27で、この比は $\sigma_c=7$ リチの場合と非常に似かよった値を示すこじが明らかとなった。



【参考文献】 Saeki et al.: Experimental Study on the Testing Methods of Strength Mechanical Properties for Sea Ice, IAHR Sympo. on Ice Problems (1978)