

淡水氷の曲げ強度について

岩手大学大学院 学生員 ○赤松 久生
岩手大学工学部 近藤 肇
藤沼 和昭

1. はじめに

冬期間に結氷が生ずる寒冷地に、ダムなどの水理構造物を設ける場合には、外圧として氷圧による影響を考慮しなければならない。しかし、現在のところ この氷圧の値を正確に決定することは困難だとされている。この氷圧の値を知るためには、氷についての基礎的な力学的性質を知らなければならない。

自然に存在する氷は、結晶の集合体であり、いろいろな不純物も含んでいる。この不純物のために、氷の力学的性質は複雑なものとなっている。

氷の強度は、氷の温度、結晶の構造と大きさ、含まれる不純物の濃度などのファクターに左右される。また、実験方法や荷重速度、荷重の方向が、結晶の成長する方向に水平であるか垂直であるかによってまちがってくる。図-1は、代表的な Fresh Water Ice の終局強さを示している。これらは Sample の最小寸法が 5cm で温度が -5°C の氷について得られたものである。

本報告では 図-2 のような圧縮強度試験においてみられるような 強度が供試体の大きさに関連するという現象 (Size effect) が 曲げ強度においても存在するかどうかについて、低温室において 水道水を用いて氷を製造し、片持ばり試験を行った。特に供試体の大きさと曲げ強度の関係について調べた。

2 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。この低温室では、室温は -20°C 程度まで下げることができ、内部の温度分布は一様になるように工夫されている。この低温室に水槽 ($100 \times 170 \times 50$, $100 \times 100 \times 50$ cm) を置き、室温を -10°C に設定し、ゆっくり冷却して氷盤をつくった。片持ばりの寸法および形状は図-3 のように、たて、よこ、長さの比を一定にして相似形とした。はりは、自重を無視するために厚さの 9 割ほど、水に沈んでいる状態とした。

載荷方法はロードセル (許容荷重 20 kg) を手に持ち、荷重速度が一定になるように注意しながら、片持ばりの先端の中心に垂直に押し下げないようにして、はりも破壊した。荷重が増加する状態はレコーダーに記録させた。

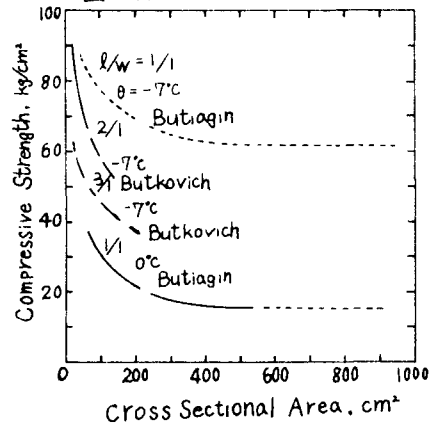
氷温は、氷の表面に冷水を散布することにより 0°C に保つよう

図-1

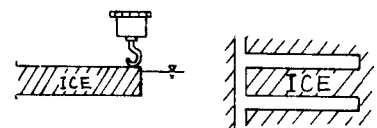
The Ultimate Strength of Fresh Water Ice

Types of stress	Strength (kg/cm ²)
Tension	15
Compression (unconfined)	35
Shear	7
Flexure (bending)	17

図-2



厚さ h cm	幅 b cm	長さ l cm
1.0	5.0	10.0
1.5	6.0	18.0
2.0	8.0	25.0
3.0	12.0	37.0
4.0	16.0	50.0



にした。破壊した片持りは厚さと幅を3ヶ所で、長さも2ヶ所で測定し、その平均値を片持りの寸法とした。

毎回の実験に使った氷の結晶も、偏光フィルターを用いて写真に撮り、この写真から、たいてい一定の長さをとり、その間に含まれる結晶の境界を数え、結晶の大きさを求めた。1つの写真でこの作業も3回行ない、平均して結晶の大きさを定めた。

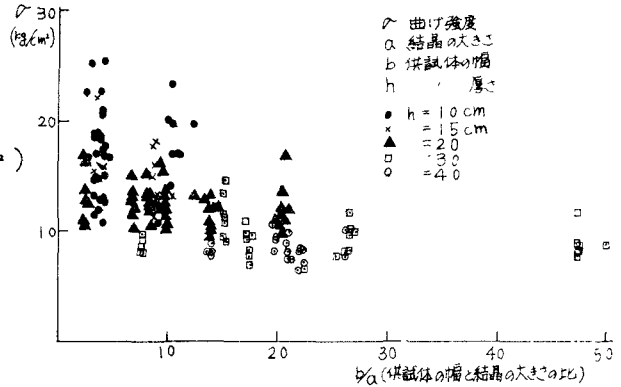
曲げ強度のみは次の式によって計算した。

図-3

$$\sigma_f (\text{kg/cm}^2) = \frac{6Pl}{bh^2}$$

ここで、

σ_f 曲げ強度 (kg/cm²)
 P 最大荷重 (kg)
 l 片持りの長さ (cm)
 b 幅 (cm)
 h 厚さ (cm)



3. 実験結果および考察

各々の大きさの供試体の曲げ強度の平均値、標準偏差値、荷重速度は下表のようになった。

厚さ (cm)	曲げ強度 (kg/cm ²)	標準偏差	荷重速度 (kg/cm ² ・sec)	結晶の大きさ (mm)	供試体数
1.0	17.01	3.48	5.7 ~ 34.1	5 ~ 15	47
1.5	15.24	2.98	4.8 ~ 24.5	5 ~ 15	41
2.0	12.29	1.61	3.6 ~ 22.1	4 ~ 12	59
3.0	9.34	1.58	3.1 ~ 17.4	3 ~ 16	44
4.0	8.36	1.17	1.9 ~ 12.3	7 ~ 12	51

表からわかるように、片持りのSizeが大きくなると曲げ強度は小さくなっている。一方、ハリのSizeが小さくなるに従って、曲げ強度のパラッキを示す標準偏差値は大きくなっている。これは氷の材料学的パラッキによるものであると考えられるが、特に結晶の大きさと供試体の幅が強度に大きな影響をもっていると考えられる。このことは、一般に結晶の境界は、氷の弱点と考えてよく、ハリの横断面を観察すると結晶が小さいハリでは最大応力の生じる所で直線的に破壊しているが、結晶が大きいハリでは破壊の位置にバラッキがあり、断面も凹凸がはげしかつたことから理解される。図-3よりハリの幅と結晶の大きさの比 b/a が2以下の場合には曲げ強度に結晶の大きさも考慮しなければならぬ。なお、本実験では、荷重速度はかなり速く、弾性変形の領域に入ったために、曲げ強度に影響はみられなかった。

あとがき

今後、さらにハリのSizeを大きくし、実験室での片持りの曲げ強度の最小値を求め、また自然の氷についても同様の試験を行ない、結晶の大きさが曲げ強度に与える影響を調べたい。

最後に、本実験において、終始御指導くださった平山健一助教授、ならびに大村技室に感謝します。

参考文献

E.R.Pounder "The Physics of Ice", W.F.Weeks and A.Assur "Fracture of Lake and Sea Ice"