

小川原湖の氷の力学的特性について

岩手大学大学院 学生員 ○佐々木正宏
 岩手大学工学部 正 員 平山 健一
 岩手大学工学部 佐藤 正樹

1. 氷の性状

小川原湖は青森県東部に位置し、太平洋とは約3 kmの高瀬川で結ばれている。その水の幾分塩分が含まれているが、昭和54年の調査では、最も濃度の高い倉内高瀬川放水路でも1500 ppm (1.5%) にすぎず、上北町(旭町)舟着場ではその10分の1程度の値も測定されており、通常の海水に比べ非常に低濃度と言える。小川原湖での結氷温度は0℃に近く、水面に発生した氷の結晶の小片は降雪などと混じり泥状の氷を形成し薄い氷板を形成する。この氷板は十分な強度を持たず、波浪や暖気によつて壊れ、卓越する面風によつて東岸に漂着し徐々に蓄積され、湖中央に向かつて結氷面積を及び自由水面をせばめて行く。昭和55年の結氷の進行は図1に示されるが、湖水がさらに冷却されると風の強い寒波の来襲と共に一時に湖の全面結氷が完了する。そして氷板によつて湖面が完全に覆われると、風浪はあえられ氷板は安定し、寒気が増すに従つて氷厚は全体的に増加する。また、降雪があるとその重さにより氷板は沈下し、積りに雪に氷が浸透してその浸透水面より結氷が始まり雪氷ができる場合が多い。雪氷は、降雪量とその後の冷却の過程が異なることによる含有気泡量等の違いが生じ、白濁色の氷の色合によつて降雪回数に等しい層構造が見られる。ある降雪に対する浸透層厚の全てが結氷する前に次の降雪があると、シャーベット状の雪が氷層間に残留することになる。このような氷板の一例を写真1で示した。

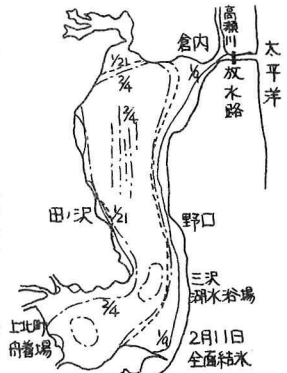


図1 小川原湖の結氷進行

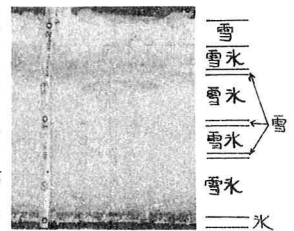


写真1 雪氷

2. 圧縮強度試験と曲げ強度試験

氷の力学的性質のうち、特に水理構造物の設計に必要な圧縮強度と曲げ強度に関する現場試験を行つた。いずれも国際水理学会 (IAHR) の水委員会の推薦する方法に従つて試験を行つた。強度試験およびそれに付随した調査項目は、圧縮強度試験、曲げ強度試験、塩分量測定 (氷各層、湖木)、空気含有量測定 (氷各層)、気温・水温測定、氷の結晶構造に関する調査、等である。

(1) 圧縮強度試験 圧縮強度試験の供試体は径10 cmのコアサンプラーで抜き、その両端を成形して作製し試験を行つた。また氷板が雪と氷の層を成し各層の厚さがサンプラーの径より小さい場合は、直方体の供試体で行われた。供試体の高さはその直径の2.5倍程度、また直径は結晶径の15~20倍以上が望ましいとされている。対象とした氷は結晶径が数mmであり、第二の条件は十分満足していたが、氷厚などの制約により供試体の高さの直径の比は1.0~2.0程度となっている。歪み速度は供試体長20 cmの場合には、 $\dot{\epsilon} = 2 \sim 4 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ 位であり、載荷時間は10秒以内であった。

(2) 曲げ強度試験 氷の曲げ強度試験には単純梁試験と片持梁試験があるが、構造物によつて氷板が曲げて破壊する場合と同じ温度分布を持ち、荷重方向も同じ片持梁試験が適当であり、本測定でも用いられた。試験の要領は氷板上にコの字型の切断を行い片持梁を作製し、先端に載荷するものである。荷重は上向きに行い、その大きさはロードセルを使って電気的に検出するか、氷が薄い場合にはスプリングバランスを用いて、

人力で載荷した。曲げ強度試験の様子を写真2で示した。供試体寸法は、長さ厚さの7～10倍、幅は厚さの1～2倍である。荷重速度は、あまり速いと氷の塑性的性質が強く現れるので、0.5～2秒位で破壊に至ることが望ましいとされており、これに従った。

曲げ強度の計算式は

$$\sigma_f = \frac{6Pl}{bh^2} \quad \begin{array}{l} P \text{ は破壊時の荷重} \\ l, b, h \text{ はそれぞれ梁の長さ, 幅, 厚さ} \end{array}$$

但し、上式で得られる強度は弾性理論の仮定下で得られる値であり、厚さ方向に均質でなく、しかもその不均質の度合もまちまちである氷の梁の場合は、真の曲げ強度ではなくて曲げ強度の指標と考えるべき値である。



写真2 曲げ強度試験

3. 試験結果

(1) 圧縮強度 氷の圧縮強度は、試験の条件が異なるため5～35 kg/cm²の広い範囲にばらついていた。強度に関するパラメーターは通常、氷温、塩分濃度（ブライン体積）、荷重速度、供試体の大きさと結晶径の比、氷の成長方向に対する荷重方向等が考えられる。本測定の場合氷厚が十分になかったため、倉内放水路付の結晶径の小さい等方性の雪氷についてのみ試験が行われており、歪み速度は一定に保つようにしたので、強度に関する主たるパラメーターは氷温であった。しかし試験範囲が狭くて、図2に示すように一部分の範囲にしかプロットされていないが、Butokovich, Vitman & Shandrikovの測定値から予想される圧縮強度を得ている。

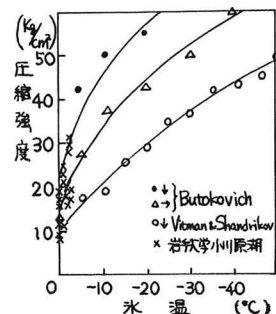


図2 圧縮強度

(2) 曲げ強度 曲げ強度も圧縮強度と同様のパラメーターを持つが、温度の効果は圧縮強度の場合のように大きくはなく、むしろ本測定では氷中の空洞をなす空気含有量の多少が強度に大きな影響を及ぼすと考えられる。塩水氷の空洞の他の形はブラインであるが、Weeks & Assur は他研究者の実験結果をまとめて、氷中の空隙の大きさを示すブライン体積と強度の関係を与えている。

$$\sigma_f = 7.0 \left\{ 1 - \left(\frac{V_b}{0.202} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

但し、 V_b （ブライン体積）＜0.35であり、 $V_b > 0.35$ については $\sigma_f = 2.0$ kg/cm²とする。図3には昭和55年の測定結果のうち一枚氷の曲げ強度について、含有空気量を横軸にとり記入してある。ブライン体積と空気量は材料学的に必ずしも同一の効果を持つているものではないが類似の傾向をみることできた。

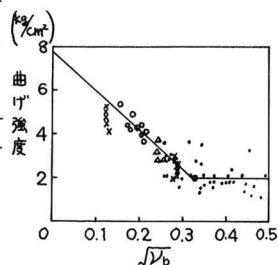


図3 曲げ強度

4. あとがき

本測定においては、測定条件の範囲が限られており、強度に関する種々のパラメーターの効果を知るには、今後もっと広い範囲で測定する必要がある。また、多層の雪を合んだ氷が多数あり、本報告ではその解析を除いたが、現場での片持梁曲げ強度試験は、非常に整理するのが難しいようである。

尚、本研究を行うにあたり、建設省東北地方建設局高瀬川総合開発工事事務局の多大な御援助を得たので、ここに記して謝意を表します。