

北海道道路管理技術センター ○正会員 高橋陽一
 北海道大学工学部 正会員 原文宏
 北海道大学工学部 正会員 佐伯 浩
 東亜建設工業 正会員 岡本 智

1. はじめに

北方圏や北海道等の冬季間、凍結するような河川、湖沼では種々の水害が発生している。河川では、結水することにより、橋脚の摩耗が問題となるほか、融雪期に発生するアイスジャムが洪水を引き起こすこともある。ダム湖では取水塔への氷盤移動による水平方向の氷力が作用したり、水位の変化によって鉛直方向の氷力が作用することが知られている。このような氷盤移動による橋脚表面の摩耗量の推定や摩耗防止対策、それに種々の水理構造物に作用する氷力等を知るためには、氷の強度が明らかにされねばならない。著者等は、北海道の実際の河川、湖、ダム湖等の氷盤を採取し、氷盤の一軸圧縮強度を測定した。

2. 試験氷の採取位置と氷の状態

試験に使った氷は、桂沢ダム湖、篠津湖、天塩川（手塩川大橋付近）の3箇所から採取したものであり、それぞれの位置を図1に示す。

天塩川の氷盤は幾層にもなっており、大変複雑な構造となっていた。上層は雪が固まってできた雪氷であり、約9cmの層となっている。次は、雪が固まって圧縮された雪氷で密度も柱状氷に近い $0.8 \sim 0.9 (\text{g}/\text{cm}^3)$ 程度で約12cmの層。その下は、雪と氷の2～3cm程度の層が交互に17cmあり、その下に約12cmの柱状氷の層、そして、最下層はフラジライス（氷晶）となっていた。試験は、上、中、下層の3層から水平方向に各層11～14本、合計で74本の供試体を用いた。

桂沢ダム湖から採取した氷盤は、上層と下層の雪氷の間にシャーベット状の氷の層があり、密度は $0.87 \sim 0.87 \text{ g}/\text{cm}^3$ であった。用いた供試体の形状は円柱供試体で、直径は10cmで高が15cmで、鉛直方向と水平方向を合計28本用意した。

篠津湖では現地強度試験を行った。新篠津村は試験当時雪の日が多く、現地の氷盤の上に雪が降りその重みで氷盤がたわみ、湖の水しみ出てそれがまた凍るといった過程を繰り返してきた氷のため、幾層にもなっていたが肉眼で三層に区別できた。供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱供試体を、鉛直方向のものを3本と水平方向は各層から3本ずつ合計12本採取した。

3. 淡水氷の一軸圧縮強度

(1) 各試験氷の一軸圧縮強度 (σ_c)

図3に示すように天塩川の氷の中層の -2°C の強度は雪氷であったため、強度が小さくなっているが、上

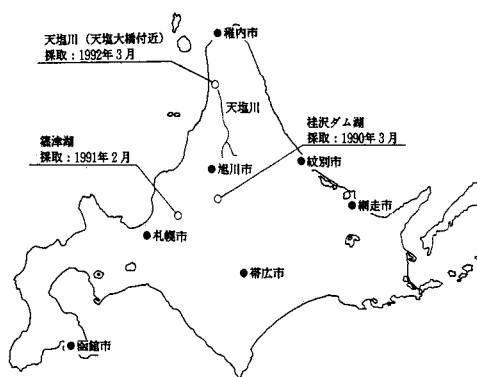


図1 試験氷の採取位置

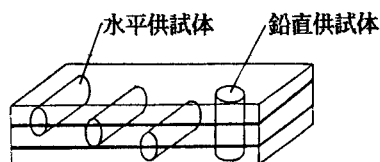


図2 供試体の方向

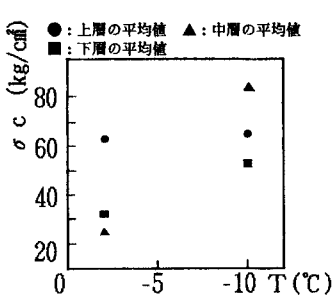


図3 一軸圧縮強度(天塩川)

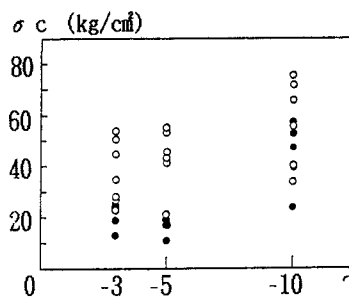


図4 一軸圧縮強度(桂沢湖)

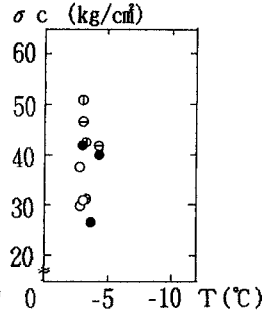


図5 一軸圧縮強度(篠津湖)

層・下層の場合は氷温の低下にともない強度が大きくなっていることがわかる。天塩川の氷盤の一軸圧縮強度は図4に示す。桂沢湖の氷盤の一軸圧縮強度とはほぼ同様の傾向を示している。桂沢ダム湖の氷は、全体が雪氷であるため柱状氷と比べて、バラツキがあり水平方向供試体の場合は氷温の低下とともに強度は増加するが、鉛直供試体については温度依存性は見られない。篠津湖の場合は、桂沢ダム湖に比べ、一軸圧縮強度の値が大きい結果となった。これは、篠津湖の氷盤密度が高く、真氷に近い氷温でも強度が雪氷より大きいものと考えられる。鉛直方向と水平方向の強度を比較すると、水平方向の方が大きくなっている。これは篠津湖の氷盤は鉛直方向に三層になっているため層の境で破壊したものであると思われる。また水平供試体の各層ごとの強度については明確な傾向は見られなかった。

(2) 淡水氷の一軸圧縮強度の比較

図6は桂沢ダム湖、篠津湖、天塩川氷の実験結果及びButkovichi、Vittoratos、佐伯それに南満洲鉄道株式会社による実験の結果を補正してプロットしたものである。同図から明らかに淡水氷の一軸圧縮強度は氷温に依存していて、 -10°C までは氷温の低下とともに一軸圧縮強度は急に増加し、 -10°C 以下になるとその増加は緩やかになる。また、図中の●, ○は実験室氷を表し、▲, △は真氷を、■, □は雪氷を表している。さらに黒印は氷の成長方向の氷、即ち鉛直供試体を示し、白印は水平供試体を示している。図を見ると多少バラツキはあるものの、鉛直供試体の方が水平供試体よりも一軸圧縮強度は大きい傾向にあり、その比は実験氷と真氷で $V:H=1:0.6\sim 0.85$ なのに対して、雪氷では明確な差はない。鉛直供試体についてだけ見ると、 -5°C 付近でばらついていて、全体的に一軸圧縮強度は●, ▲, ■の順である。これはすなわち密度の大きい順であり、密度の小さい雪氷の一軸圧縮強度は小さい。水平供試体も同様の傾向にある。

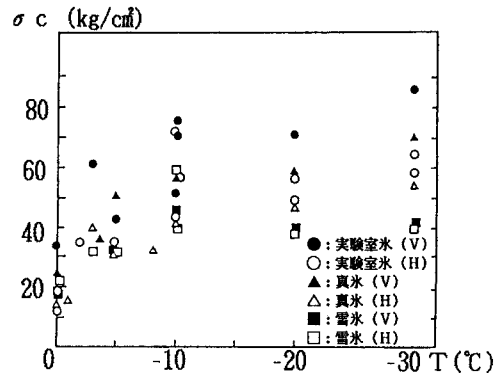


図6 一軸圧縮強度の比較

参考文献

- 1) 平山健一、前田智春：試験条件をパラメータとした氷圧縮及び曲げ強度の表示法について、第5回寒地技術シンポジウム、1989
- 2) E.S.Vittoratos and P.R.kry : A COMPARISON OF IN-SITU AND LABORATORY UNIAXIAL FRESH WATER ICE STRENGTH, POAC, 1979
- 3) T.R.Butkovich : Ultimate strength of ice, SIPRE Research Report, 1954
- 4) 南満洲鉄道株式会社：河氷特に氷上軌道に関する研究、1942