

II-116

多雪地帯における氷の強度に関する実験的研究

北海道大学大学院 学生員 大久保 泰 宏
 運輸省第二港湾建設局 正 員 國 松 靖
 竹中土木㈱ 大久保 周一郎
 北海道大学大学院 正 員 原 文 宏
 北海道大学工学部 正 員 佐 伯 浩

1. 研究の目的

北海道のような寒冷地域においては冬季間、河川や湖沼が結氷し、そのことにより構造物は様々な影響を受けている。氷盤移動による橋脚の摩耗量や種々の水理構造物に作用する氷力を確定するためには、氷の強度が明らかにされなければならない。多雪地帯における河川や湖沼の氷盤は、柱状氷、雪氷、フラジライス(氷晶)から構成されているが氷盤の層構造は非常に複雑で不均質なものとなっている。水理構造物に作用する水平方向氷力を算定する場合、氷盤の水平方向の一軸圧縮強度が重要な因子となるが、実際の氷盤は構造が複雑で不均質なため一軸圧縮強度を推定することは困難である。

本研究においては、多雪地帯にて実際の河川の氷盤を採取し強度試験を行った結果から、多雪地帯における氷の強度特性を明らかにすることを目的としている。

2. 氷の一軸圧縮試験

今回、実験に使用した氷盤は、1992年3月及び1993年3月北海道天塩川(図-1)にて採取した氷盤であり、一部雪や気泡が混ざった柱状氷と雪氷が層をなしており、大変複雑な構造になっている(図-2)。氷盤の成長過程を考えてみると、はじめに水面が凍りはじめて柱状氷を形成し、その上に雪が降り、その重みで柱状氷の氷盤にクラックが入りそこからしみでた河水水が雪の上に新たな氷を形成したと思われる。これが繰り返されてできた氷の層が5層にわたって確認できた。その上には、降った雪が圧縮されて出来た雪氷の層があり、また氷盤下面に堆積したフラジライス(氷晶)が一部凍結し、氷盤の一部を形成していた。このような氷盤から、直径4cm、高さ10cmの円柱供試体を氷の成長方向に対して垂直に抜き取り、氷温を $T=-10^{\circ}\text{C}$ と -2°C の二種類の温度にわけ、強度が最大を示すように歪速度を $0.7 \times 10^{-3} < \dot{\epsilon} < 4.5 \times 10^{-3} (1/\text{sec})$ の範囲にて一軸圧縮試験を行った。

3. 動弾性係数の測定による氷の一軸圧縮強度の推定

氷の一軸圧縮強度の推定について、現在行われている直接破壊試験の場合、油圧ポンプ、油圧ジャッキ、計測機器などが必要となり、重量がかなり大きくなるため、実際に極寒冷地における現地での試験には不向きである。よって現地において迅速に測定を行うことのできる試験方法として、本研究では氷の動弾性係数の測定によって一軸圧縮強度の推定を可能にしようとするものである。動弾性係数の測定には動弾性係数測定装置を用いて供試体の一次共振周波数を求め、この値から次式を用いて動弾性係数を算定することができる。

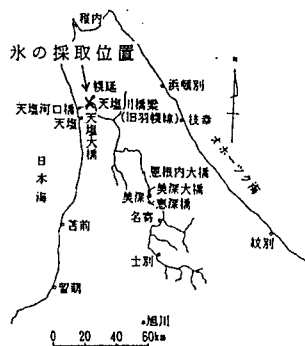


図-1 氷の採取位置

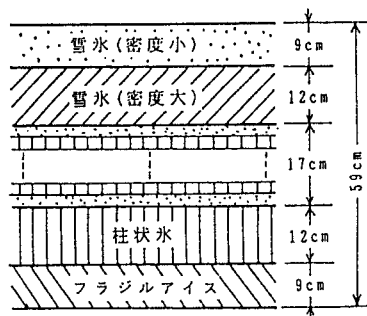


図-2 天塩川の水盤の構造

$$E_0 = C_1 \times W \times f^2$$

E_0 ：動弾性係数 W ：供試体の質量

$$C_1 = 408 \times 10^{-5} \times L / A$$

f ：一次共振周波数 L ：供試体の高さ A ：供試体の断面積

今回は1993年の天塩川の氷盤についてのみ動弾性係数を測定し、その後一軸圧縮試験を行った

4. 実験結果

図-3は密度と一軸圧縮強度の関係である。温度による違いを見ると-10℃のほうが-2℃より強度が大きいのがわかる。1992年の氷盤の方が1993年のものに比べて強度が大きいことがわかる。1992年の氷盤の方が1993年に比べてかなり均質であったからだと思う。図中に示した放絡線によって強度の最大値は密度に比例することがわかる。供試体は柱状氷、雪氷、気泡などから成るが、密度が大きいほど強度の大きい供試体が存在することから柱状氷の部分により荷重の大部分が支えられていると考えられる。また、同じ密度でも強度に幅があるのは供試体が不均質なので層の境界で破壊が起こったためか、あるいは荷重を支えている実質的な断面積が小さいためであると考えられる。

図-4は一軸圧縮強度と圧縮弾性率の関係である。強度の増加にともない弾性率も増加する傾向がみられるが供試体が不均質なためにばらつきが非常に大きくなっている。

図-5は動弾性係数と一軸圧縮強度の関係である。図中に示した放絡線により強度の最大値は動弾性係数に比例することがわかる。しかし、強度の最小値は動弾性係数に依存せず動弾性係数が大きいほど強度のばらつきは大きい。著者らの過去の研究では海水の場合、動弾性率を求めることにより強度を推定することができるとされているが、今回の場合のように不均質な氷についてははっきりとした関係はみられない。動弾性係数とこの両者の関係は温度には依存していない。このようにばらつきが大きいのは供試体が不均質なためであると考えられる。

5. 結論

多雪地帯の氷盤は柱状氷と雪氷とが層をなしているため、きわめて不均質な氷となっており、同じ淡水氷でも一軸圧縮強度についてかなりのばらつきが見られた。橋脚の摩擦や橋脚に作用する氷力など構造物の設計に際しては、安全性のために純氷に近いような氷の強度の最大値が重要となる。しかし、仮設構造物の支持などに氷盤を利用することを考えると、氷盤の耐荷力が問題となる。この場合雪氷の混じった不均質な氷の強度の最小値を問題にしなければならない。このように氷の強度を用いる場合、目的によって使い分ける必要がある。また動弾性係数による一軸圧縮強度の推定は、今回はあまり良い関係が得られなかったが、最大の強度については直線的な比例関係を示していた。

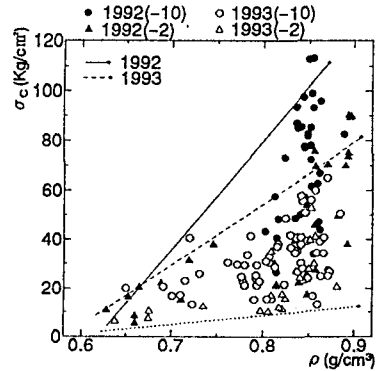


図-3 密度と一軸圧縮強度の関係

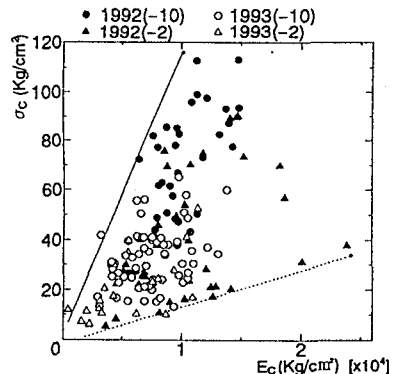


図-4 圧縮弾性率と一軸圧縮強度の関係

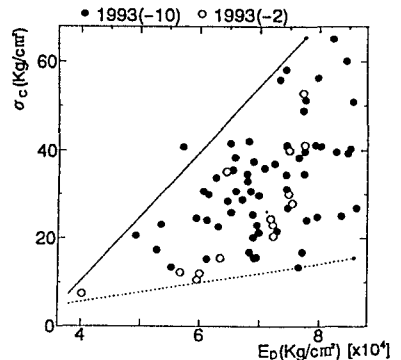


図-5 動弾性係数と一軸圧縮強度の関係