



Title	氷の硬度測定について：特にスケート競技のために
Author(s)	北原, 武道; 河村, 俊行; 小林, 禎作
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 289-293
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18118">http://hdl.handle.net/2115/18118</a>
Type	bulletin (article)
File Information	27_p289-293.pdf



[Instructions for use](#)

## 氷の硬度の測定\*

— 特にスケート競技のために —

北原 武道 河村 俊行

(北海道大学大学院 理学研究科)

小林 禎作

(低温科学研究所)

(昭和44年8月受理)

### I. はじめに

スケートは氷とスケートとの間にできる水を潤滑剤として滑るといわれている。とすれば、氷は融点、つまり $0^{\circ}\text{C}$ に近いほど水ができ易く、よく滑ることになる。しかし、我々の調査<sup>1,2)</sup>によると、かならずしもそうになっていない。スケートがよく滑るか滑らないかは、スケートリンクの氷が硬いか軟らかいかということにも影響されていると思われる。我々は、この点に注目して、スケートリンクの氷の硬さを調べるための予備実験を行なった。

一般に、物質の硬度というのは正確に定義しにくい固体の特性であり、もっぱら実用的な観点からいろいろな定義を下して比較測定が行なわれている。よく行なわれる硬度の試験としては、押込試験、引掻試験、反発試験などがある。我々が測定した氷の硬度は、一定荷重で円錐を押込み、その貫入の深さを測定したものであり、押込試験の一種であるロックウェル硬度 (Rockwell hardness) に類したものである。押込試験においては、一定時間だけ一定荷重をかけ、その時生じたくぼみの大きさ、あるいは深さを測定して硬度を規定するのが普通である。ところが我々の実験において、氷の“硬さ”を評価するには、貫入の時間的変化をも合わせ考える必要があることが分かったので、貫入の深さを時間と共に追ってゆく実験を行なった。

### II. 装置および方法

#### 1. 測定装置

第1図は測定装置の写真である。Aは氷の中に貫入させる鋼鉄製の針である。頂角 $90^{\circ}$ 、直径1.0 cmである。Bは、ダイヤルゲージの軸CとAを連結する白色不透明なアクリル樹脂で作られた継ぎ手で、同時にAとCとを断熱する役目もしている。又、Bの下部は、帽子のひさしの様になっていて(直径5 cm、厚さ0.3 cm)、Aが直射日光によって昇温するのを防ぐ。Dはダイヤルゲージであり、木製の台Fに固定されている。ダイヤルゲージの軸Cの上端には受皿Eがとりつけてあり、この上に分銅Wを置くことができる。台Fは縦18 cm、横

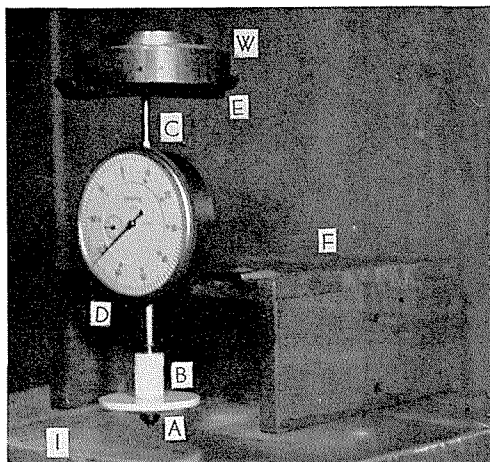
\* 北海道大学低温科学研究所業績 第986号

16 cm, 高さ 6.5 cm である。この装置を氷の上に置いたとき安定をよくするために、台 F の裏側には 3 kg の鉛板が張り付けてある。

## 2. 測定法

操作は次の手順で行なう。

1. 受皿 E の上に適当な重さの分銅 W を載せる。
2. 受皿 E を手で支え、針 A が氷 I の表面から浮くようにして、装置全体を水平な氷の上に置く。
3. 続いて、受皿を支えている手を静かに下げてゆくと、針 A は徐々に氷 I の表面に近づく。A が氷 I の表面に接触すると同時に、



第1図 測定装置

に、受皿を支えている手を放す(第1図)。適当な状態で実験が行なわれると、氷 I の表面が鏡になって針 A の像が写って見える。こうすれば、A が氷 I の表面に触れた瞬間を比較的正確に知ることができる。

受皿から手を放すと同時に、氷 I に荷重がかかり、A は氷 I の中に貫入してゆく。一方、台 F は不動と考えることができるから、ダイヤルゲージ D の目盛を逐次読みとることにより、A が時間と共に氷 I の中に貫入してゆく深さを知ることができる。

測定に際しては、測定装置すなわち台 F が表面の水平な氷の上に安定して置かれていること、ダイヤルゲージの軸 C が鉛直であること、針 A の温度が氷の温度に等しくなっていること、A に直射日光が当たっていないことが大切であり、注意すべき点である。針 A の温度を氷の温度に等しくしておくためには、測定前に測定点以外の場所で、針 A の温度が氷の温度と平衡になるだけ十分長い時間、針 A を氷に接触させておくことが必要である。

## III. 測定結果

温度、荷重、時間によって貫入の深さがどのように変化するかを検討するため、低温実験室内で市販の氷を用いて実験を行なった。氷および装置は恒温箱の中に入れ、恒温箱の窓を通してダイヤルゲージの目盛を読み取った。氷の表面温度、表面から 1 cm の深さの温度、周りの気温は熱電対によって測定した。ダイヤルゲージのバネの力と受皿などの自重のため、受皿に分銅を載せない状態でも針には 200 g 重の力が働く。受皿に 800 g, 2,800 g の分銅を載せた時には、針に働く力はそれぞれ 1 kg 重, 3 kg 重となる。この論文で、測定値の表に記されている“荷重”とは、“針に働く全体の力”のことである。

氷の硬度は結晶面によって違っていると思われる。Butkovich<sup>3)</sup>によれば、結晶主軸に垂直な面上でのブリンネル硬度 (Brinell hardness) を  $H_{\perp c}$ , 結晶主軸を含む面上でのものを  $H_{\parallel c}$  と表わすと

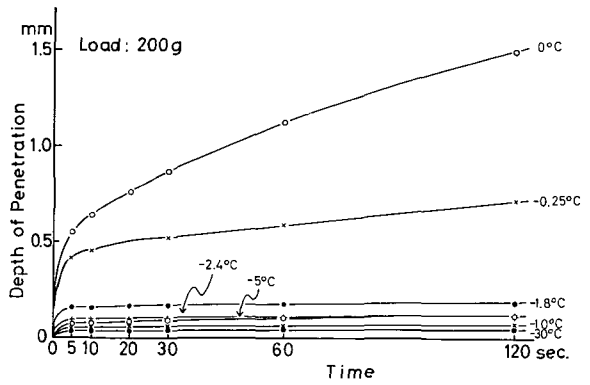
$$-2^{\circ}\text{C} \text{ では } H_{\perp c} \approx 2.8 \quad H_{\parallel c} \approx 3.2$$

-10°Cでは  $H_{jc} \approx 6.0$   $H_{lc} \approx 6.0$   
 -30°Cでは  $H_{jc} \approx 11.7$   $H_{lc} \approx 10.4$   
 -50°Cでは  $H_{jc} \approx 16.6$   $H_{lc} \approx 13.9$   
 である。-10°Cを境にして、 $H_{jc}$ と $H_{lc}$ の大小関係が逆転しているのは非常に興味あることである。ともあれ、我々が実験した温度領域 (0°~-30°C) では、 $H_{jc}$ と $H_{lc}$ の違いは0~11%程度となっている。我々が関心を持っているのは、スケートリンクの氷というむしろ無秩序な結晶方位を持った多結晶氷の平均的な硬度であり、結晶面の違いによるブリネル硬度の違いが11%以内であるという上の報告もあることから、今回は結晶面に関する検討は省略した。

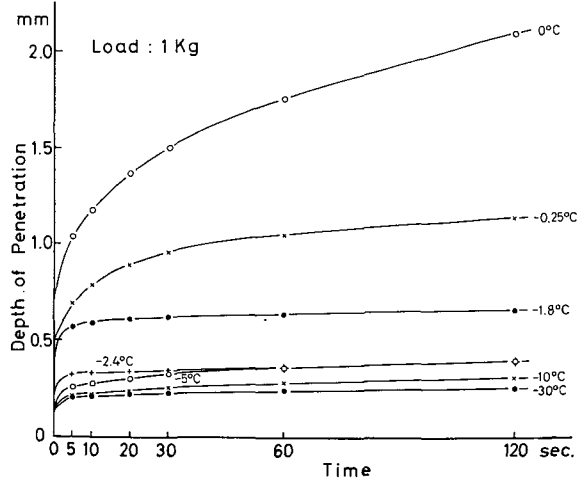
測定結果は第2図と第3図に示した。押し込み開始後2分までの測定値をグラフに表わしたものが第2図 (a), (b), (c) であり、同じく24時間までの測定値を両対数目盛でグラフに表わしたものが第3図 (a), (b), (c) である。

針Aは円錐形をしているので、荷重をかけた瞬間から数秒間は急激に貫入が起こる。この際、-5°C以下では小さなクラックが見られ、破壊が起っていることがわかる。押し込みを開始してからある時間たった時の貫入の深さは、一般に温度が高くなる程、大きい値を示している。特に、融点近くになると貫入は急激に深くなり、氷の軟らかくなる様子がよく現われている。いずれのグラフにおいても、大局的には温度が高くなるに従い曲線の勾配は大きくなるが、第3図 (a), (b), (c) でよく表現されているように -2°C付近だけは特徴的に勾配が小さい。

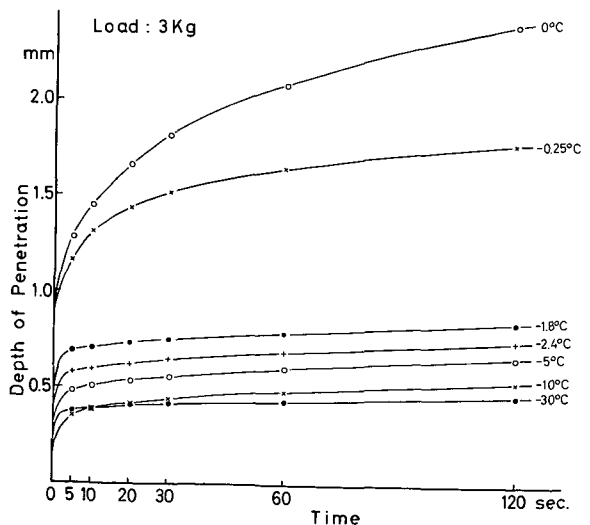
(a) 荷重: 200 g



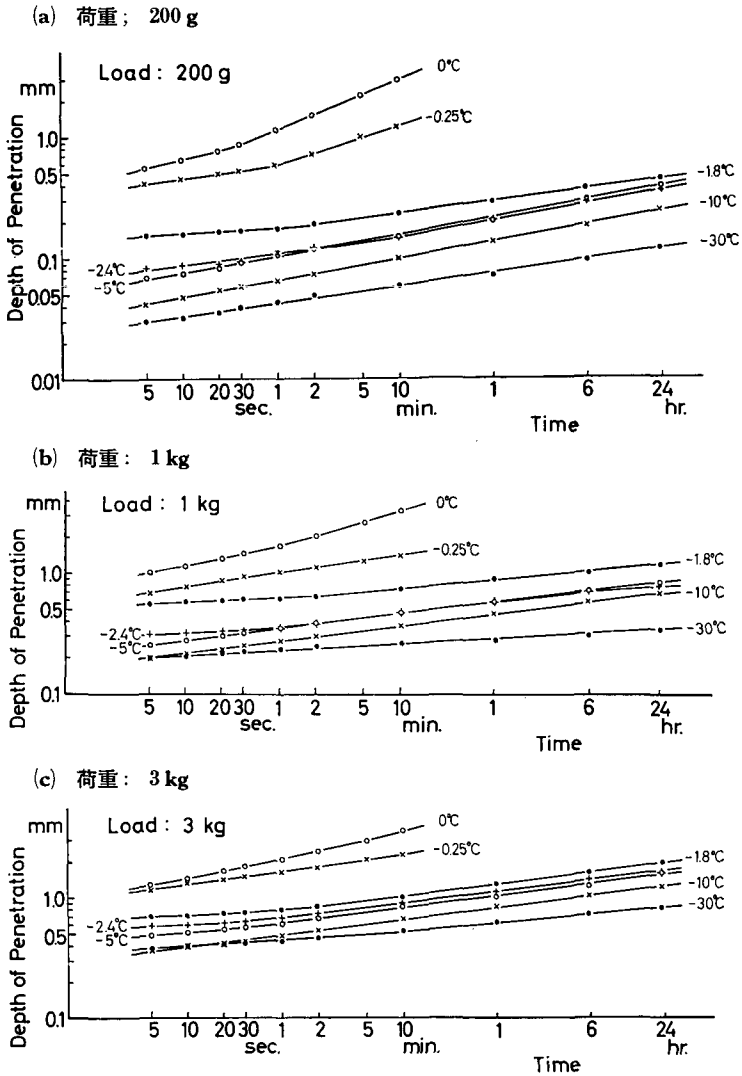
(b) 荷重: 1 kg



(c) 荷重: 3 kg



第2図 実験室内における氷の押し込み試験の結果



第3図 実験室内における氷の押込試験の結果 (両対数目盛)

又、荷重が大きい程、貫入の深さが大きくなるのは当然のことであるが、これらの測定から、荷重の大きさと貫入の深さの関係について定量的な考察を行なうのはまだ困難なようである。

#### IV. おわりに

-2°C 附近の氷がこのような特性を持っていることは、物性論的な立場から今後問題にすべきであろう。

これは又、スケートの立場からみると、これまでの研究で得られた -2°C 附近の氷がよく滑るという事実と関係がありそうである。今後、スケートリンクの氷について、現場での詳しい測定と解析を進めるとともに、スケータリングの機構についても研究をする必要がある。

この稿を終えるにあたって、調査に便宜を与えて下さった日本スケート連盟ならびに各スケートリンクの関係者の方々に厚くお礼を申上げる。

この研究は、札幌冬季オリンピック組織委員会の委託による雪氷調査の一環として行なわれたものであり、研究費の一部は同委員会の委託研究費によった。

#### 文 献

- 1) 小林禎作・北原武道 1968 スケートリンクの水質調査. 低温科学, 物理篇, **26**, 297-313.
- 2) 小林禎作・北原武道・河村俊行 1969 スケートリンクの水質調査 II. 低温科学, 物理篇, **27**, 267-288.
- 3) Butkovich, T. R. 1954 Hardness of single ice crystals. *SIPRE Res. Paper*, **9**, 1-12.

#### Summary

A modified Rockwell hardness test was made on common polycrystalline ice in the cold laboratory. The depth of penetration was plotted against the loading time as a function of temperature and load (Figs. 2 and 3). The depth of penetration was larger, as a general tendency, at higher temperatures. It is interesting, however, to note that after the first few seconds, the rate of penetration is minimal at about  $-2^{\circ}\text{C}$ .