



Title	氷のクラック伝播速度の測定
Author(s)	佐藤, 篤司; 若浜, 五郎
Citation	低温科学. 物理篇, 39, 193-195
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18430">http://hdl.handle.net/2115/18430</a>
Type	bulletin (article)
File Information	39_p193-195.pdf



[Instructions for use](#)

## 氷のクラック伝播速度の測定\*

佐藤 篤 司

(北海道大学大学院理学研究科)

若 浜 五 郎

(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

## I. ま え が き

衝撃的に外力を加えたり、大きな歪速度を与えたとき、氷は容易に破壊する。破壊過程はクラック(き裂)の発生とその伝播あるいは成長よりなると考えられる。

しかし、氷のクラックに注目した研究報告は多くない。若浜<sup>1)</sup>は氷の薄板を圧縮し、内部破壊の様式を詳しく調べた。また、クリープを起こしている水中のクラック発生<sup>2)</sup>やクラックと氷の結晶方位の依存性<sup>3)</sup>について調べたものもある。一方、地震学の立場から、クラックの発生とそれに付随する弾性波の関係を調べた氷の破壊実験もなされている<sup>4)</sup>。

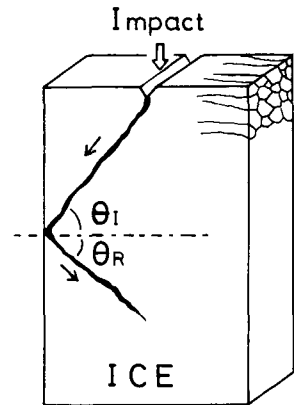
ところが、氷の破壊において最も基本的な物理量の一つであるクラックの伝播速度については現在まで測定<sup>5)</sup>の報告がない。そこで筆者は多結晶氷を用いてクラックの伝播速度を高速度写真法によって測定した。

## II. 実 験 方 法

用いた試料は市販氷のブロックから17×12cm厚さ3cmの板状に切り出したものである。これらは第1図に示すように柱状結晶の集り<sup>6)</sup>で、結晶長軸と垂直の方向に破壊を発生させた。試料の氷はいわゆる純氷であるが、試料を融かして得た水の電気伝導度は $5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (25°C)の程度であった。

試料上端に切り目(notch)を入れ、そこにステンレスの刃を固定して置き、上から重さ200gの錘りで衝撃力を与えた。錘りの衝撃速度は5 m/sと10 m/sにした。

衝撃によって切り目からクラックが発生し伝播する過程をドラム型高速度カメラ(DYNAFAX-350; Cordin社製)を用い、毎秒15,000~35,000コマで撮影した。照明はキセノン・



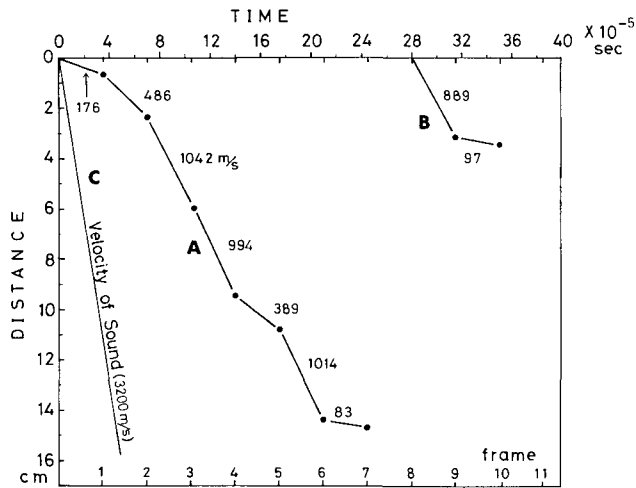
第1図 柱状結晶から成る氷のブロックの上端面に付けたノッチに衝撃力を与えると、多くのばあい、クラックはこの図のように発生・伝播した

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2292号

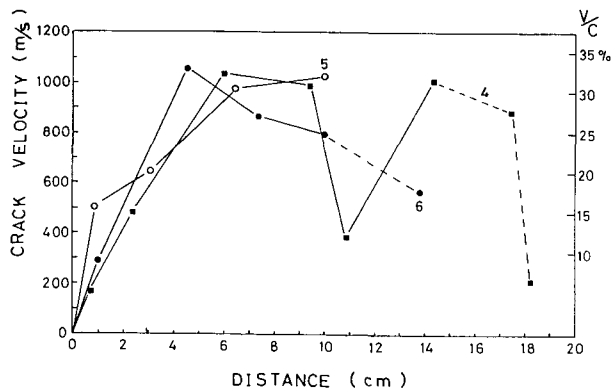
フラッシュランプの単発発光 (160 kW 相当) を用い、破壊の伝播を 7 ms の発光時間に同期させた。ドラム型高速度カメラの特長として、一回の撮影中はあらかじめ設定したフィルム速度での映像が得られ、また露出時間が短いためこの間のフィルム速度に変動はない。試料および実験室の温度は  $-5^{\circ}\text{C}$  にした。

### III. 結 果

フィルムを解析することによって得られたクラック先端の動きを第2図の走時曲線 (A) で示す。この曲線の近傍に記入した数字はクラック先端のその位置での速さを表わす。この例では、クラック発生時では  $176\text{ m/s}$  であるが、3 cm 程進んだ所で  $1,000\text{ m/s}$  を越える速さとなり、以後速くなったり遅くなったりしつつ氷の中を伝播したのがわかる。クラックは衝撃方向に必ずしも直進せず、斜めに進むことが多かった。第1図に示すようにクラックが試料側面に到達すると、そこから反射して再び試料内部に進行した。第2図右上の実線 B がこの反射クラック



第2図 折れ線 A, B はそれぞれ、氷内部を走るクラック、および試料側面から反射して発生したクラック先端の動きを示す走時曲線。実線 C は氷内部を伝播する弾性波(縦波)の走時を示す



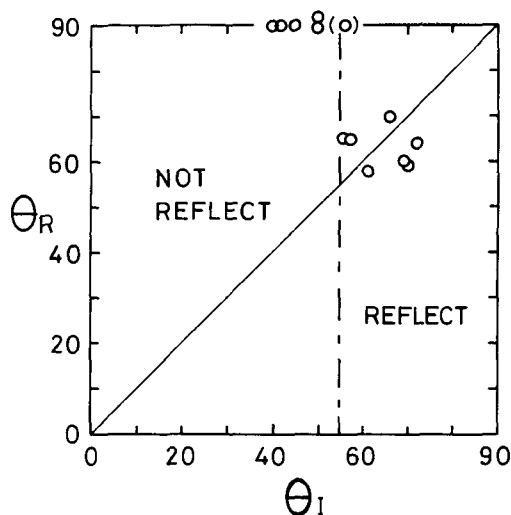
第3図 クラックの進行に伴う先端速度の変化

クの動きを示す。また参考のため水中の弾性波(たて波)速度を細い実線(C)で記入した。

第3図にクラックの先端速度がクラックの進行と共にどのように変化したかを3つの測定例について示した。クラック速度は発生した直後は比較的遅いが、クラックの進行と共に急激に最高速度、約1,000 m/sに達することがわかる。図中の破線は反射クラックの速度である。今回の測定では最高速度は1,040~1,060 m/sであった。これは図の右側のたて軸でわかるように、たて波速度の約33%の大きさである。

クラック先端が試料側壁に達すると、その点あるいは1, 2 cm手前のクラック面からクラックが反射し再び試料内部に進行する例

がたびたび観察された。そこで第1図に示した入射角( $\theta_I$ )と反射角( $\theta_R$ )を調べてみた。結果を第4図に示す。 $\theta_I$ が $55^\circ$ より大きいときにはほぼ同じ角度で反射クラックが発生し、 $55^\circ$ より小さいときは反射クラックの発生は見られなかった。幾何光学における臨界角に相当するものかと考えられる。



第4図 クラックの先端が自由表面に達したとき、入射角が $55^\circ$ 以上のばあいだけ反射クラックが発生した

#### IV. あとがき

今回の実験では多結晶氷を用いて外部からの衝撃によるクラック速度を測定し、最高1,060 m/sを得た。衝撃速度5 m/sと10 m/sとでは、伝播速度やクラックの進行状況に違いはみられなかった。

さらに興味ある問題として、試料温度、歪状態<sup>5)</sup>、結晶方位<sup>3)</sup>、粒界などがクラックの伝播速度や進行の状況にどんな影響を与えるかということが考えられる。今後これらの問題を順次調べてゆく予定である。

#### 文 献

- 1) 若浜五郎 1965 氷の内部破壊について. 低温科学, 物理篇, **23**, 39-53.
- 2) Gold, L. W. The cracking activity in ice during creep. *Can. J. Phys.* **38**, 1137-1148.
- 3) Gold, L. W. Dependence of crack formation on crystallographic orientation for ice. *Can. J. Phys.* **44**, 2757-2764.
- 4) 前田 亙・笹谷 努・浅野紳一郎 1975 氷の破壊実験: クラックに伴なう波動, およびクラックの発生と塑性変形. 地震, 第2輯, **28**, 11-21.
- 5) DeNoyer, J. and H. Pollack 1936 Measurements of the velocity of crack propagation in glass plates. *Bull. Seism. Soc. Amer.* **53**, 87-93.