



Title	0 付近の凍土中の超音波の測定
Author(s)	福田, 正己
Citation	低温科学. 物理篇, 50, 83-86
Issue Date	1992-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18607">http://hdl.handle.net/2115/18607</a>
Type	bulletin (article)
File Information	50_p83-86.pdf



[Instructions for use](#)

## 0°C 付近の凍土中の超音波速度の測定\*

福田 正己

(低温科学研究所)

(平成3年11月 受理)

### I. はじめに

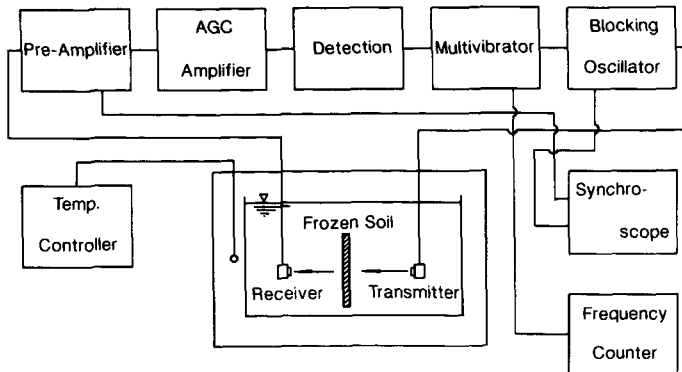
凍土の動的な性質を測定する方法として、超音波伝播速度の測定がある。すなわち、凍土の力学的性質を表す指標として伝播速度を用いる。静的な力学強度測定よりも測定が迅速で、結果のバラつきも少ないからである。福田ら(1973)<sup>1)</sup>は凍土中の超音波速度が、土質・含水率・温度に依存することを実験結果から示した。

Nakano ら(1972)<sup>2)</sup>は凍土の構成要素を土粒子・氷としてその体積比によって弾性波速度が決まることを示した。実験結果から、0°C 付近で速度が急減することが示され、不凍水の存在によることを示唆した。こうした0°C 付近での速度の急減と不凍水の存在量との関係については、Deschatres ら(1988)<sup>3)</sup>ら、及び Thimus ら(1991)<sup>4)</sup>が報告している。かれらは0°C 付近の凍土の超音波速度の急な低下によって、不凍水の存在量測定が可能であるとした。本報告でも、凍土中の超音波伝播速度の精密測定で、不凍水の定量測定が可能であることを、いくつかの事例を挙げて示す。

### II. 実験の手法と装置

超音波伝播速度を精密に測定する際に、次の条件を考慮する必要がある。福田ら<sup>1)</sup>の測定事例にあるように、一般には、凍土試料の両端に超音波発信子と受信子を密着させて、試料中の超音波の伝播速度を測定する。この際に試料と送受信子とは音響的な結合をよくするために、適当な方法で強く圧着させておく必要がある。ところが、0°C 付近となると、凍土の強度が低下し試料形状は容易に変形してしまう。このため、試料厚さが一定にならず、速度測定の精度が下がる。すなわち、発信子振動で凍土中を伝わる超音波が、受信子に到達する時間差を読み取り、これで試料厚みを除して速度を算出する。厚みが一定でなく、変形に伴ってその都度計測しなければならない。従って、時間とともに温度を変化させ、適宜厚み変化を読み取って速度を算出する必要がある。こうした試料変形に起因して測定可能な温度上限は-3°C 程度である。このような測定上の困難さを解決する方法には2つある。まず、Thimus らが試みているように、過圧密した試料を作成し、これを凍結させて凍土試料を準備する。従って凍土の密度は一般に大きくなる。次に直接送受信子を凍土試料に圧着させないで測定する液中測定法によれば、0°C

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第3515号



第1図 凍土の超音波精密測定装置の構成模式図(液中シングアラウンド法)

付近まで精度良く測定できる。本報告では、後者の液中測定法を紹介する。

実験に用いた装置の構成模式図を第1図に示す。凍土を直径25mm、厚さ2.5mmの円板状にして、ケロシン液中の送受信子の間に置く。送信子から超音波が送出されると、液中を伝播しその間にある凍土試料を通過して受信子に到達する。これを電気信号に変換して、次の超音波を送出する。液中の伝播時間だけ遅延して次の超音波を発信するので、伝播速度は超音波の繰り返し発信周波数、あるいは伝播に要する時間間隔と試料厚みから試料中の超音波伝播速度が決定できる。

液中に凍土が置かれた場合の伝播時間を $t_1$ 秒とし、試料がない場合を $t_2$ とすると、試料中の伝播速度は次式で求められる。

$$V_p = \frac{1}{1/V_0 - (t_2 - t_1)/d} \quad (1)$$

ここで、 $V_0$ は液中速度(cm/sec)、 $d$ は凍土試料厚さ(cm)である。こうした非接触式の超音波測定法をシングアラウンド法<sup>5)</sup>と呼び、速度の精密測定法として広く用いられている。従来凍土試料を用いた測定は1例のみが報告されている<sup>6)</sup>。

### III. 測定の結果

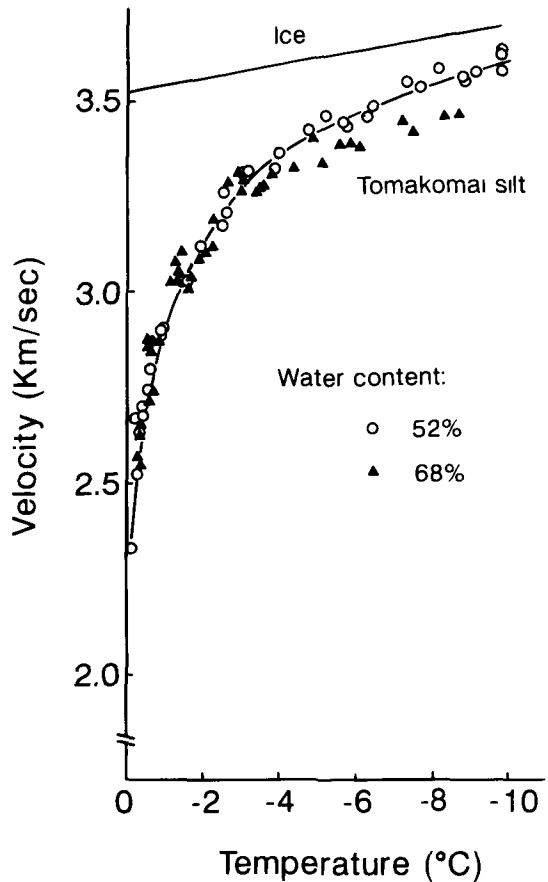
今回の測定では、苫小牧シルトを用いた。その結果を第2図に示す。初期含水率はほぼ飽和に近い68%とそれから少し乾燥した52%であった。結果を見ると、 $-10^{\circ}\text{C}$ から $-6^{\circ}\text{C}$ までは温度の上昇に伴い、ゆるやかに速度は低下している。参考のために、氷の伝播速度温度依存性を図中に直線として記入してある。氷の温度の上昇に伴う速度低下の割合は $0^{\circ}\text{C}$ 付近までほぼ一定である。またその変化傾向(直線の傾き)は $-10^{\circ}\text{C} \sim -6^{\circ}\text{C}$ よりも小さい。

従って、温度上昇に伴う凍土の超音波速度の低下は、凍土を構成する氷の速度温度依存性のみでは説明できない。温度が $-4^{\circ}\text{C}$ 以上になると、凍土の超音波速度は急減している。これはThimusらの結果とよく適合している。すなわち凍土中の不凍水量の増加によって、速度が低下することを示している。

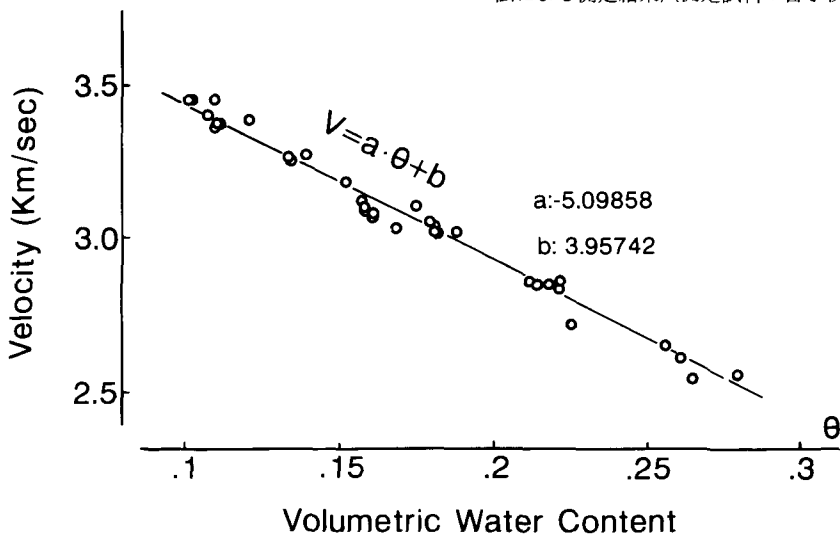
しかし福田ら、そしてThimusらが指摘しているように、凍土を構成する土・氷・不凍水

の幾何学的な構成比で凍土の超音波速度は推定することは出来ない。一方、不凍水の存在が、凍土の超音波速度にどのように影響するか明確な理論的解釈はまだなされていない。しかし、Thimus らが提案するように、不凍水存在量を定量的に測定する方法としては、この超音波測定法は有効であろう。

最後にこの有効性を確認するようなデータ処理を行った。苫小牧シルトの不凍水量は、石崎・木下(1979)の実験によって温度の関数として求められている<sup>7)</sup>。そこでこの実験式を用いて、各温度毎の不凍水分量を算出し、その時の温度と速度の関係から(第2図)、不凍水量と速度の関係を求める。それらをプロットしたのが第3図である。図中に記入したような直線回帰線を引くことが出来る。のよ直線回帰線を用いると、超音波速度から不凍水量が推定される。



第2図 凍土の超音波速度の温度依存(シングアラウンド法による測定結果)(測定試料：苫小牧シルト)



第3図 超音波速度と不凍水量との関係(不凍水の温度依存性は文献<sup>7)</sup>から求めた)

#### IV. おわりに

0°C 付近の凍土の超音波伝播速度を、液中シングア라운드法を用いて精度よく測定した。その結果、不凍水の存在量の温度依存性を反映し、0°C に近づくと伝播速度が急激に低下することが分かった。既知の不凍水量の温度依存性を示す実験式を用いて、伝播速度と不凍水量との関係を求めたところ、両者には直線関係が成り立つことが分かった。この直線回帰式から、不凍水量を超音波の伝播速度測定で定量的に推定することが可能となる。

温度の上昇に伴う、不凍水量増加が伝播速度の低下にどのように関わるか、その理論的な取扱いは、今後の実験結果を待ちたい。

実験にあたっては、中国科学院蘭州水河凍土研究所の張津生氏に協力していただいた。ここに感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 福田正己・井上正則 1973 凍土の動的性質について I. 低温科学, 物理篇, **31**, 245-259.
- 2) Nakano, Y., Martin, R. J. and Smith, M. 1972 Ultrasonic velocities of the dilatational and shear waves in frozen soils. *Water Resour. Res.* **8**, 1024-1030.
- 3) Deschatres, M. H., Cohen-Tenoudji, Fr. Aguirre-Puente, J. and Khastou, B. 1988 Acoustics and unfrozen water content determination. In Proc. 5th Intl. Conf. on Permafrost, 324-328.
- 4) Thimus, J. Fr., Aguirre-Puente, J. and Cohen-Tenoudji, Fr. 1991 Determination of unfrozen water content of an overconsolidated clay down to  $-160^{\circ}\text{C}$  by sonic approach. In Proc. Intl. Symp. on Ground Freezing Vol. 1, 83-88.
- 5) 実吉純一・菊池喜充・能本乙彦(監修) 1960 超音波技術便覧 日刊工業新聞社, 1803 pp.
- 6) Fukuda, M. and Huang, S. L. 1991 Effects of Total Water Content on Dynamic Properties of Frozen Soils. In Proc. of Intl. Arctic Technology Conf, 621-629. Society of Petroleum Engineers SPE22140.
- 7) 石崎武志・木下試一 1979 上載荷重下における凍上について. 低温科学, 物理篇, **38**, 169-178.