



Title	拘束圧と氷侵入温度との関係
Author(s)	堀口, 薫; HORIGUCHI, Kaoru
Citation	低温科学. 物理篇, 48, 117-120
Issue Date	1990-03-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18589
Type	departmental bulletin paper
File Information	48_p117-120.pdf



Kaoru HORIGUCHI 1989 Short Report: Relationship between Confined Pressure of a sample and Ice Intrusion Temperature. *Low Temperature Science, Ser. A, 48.*

拘束圧と氷侵入温度との関係*

堀 口 薫

(低温科学研究所)

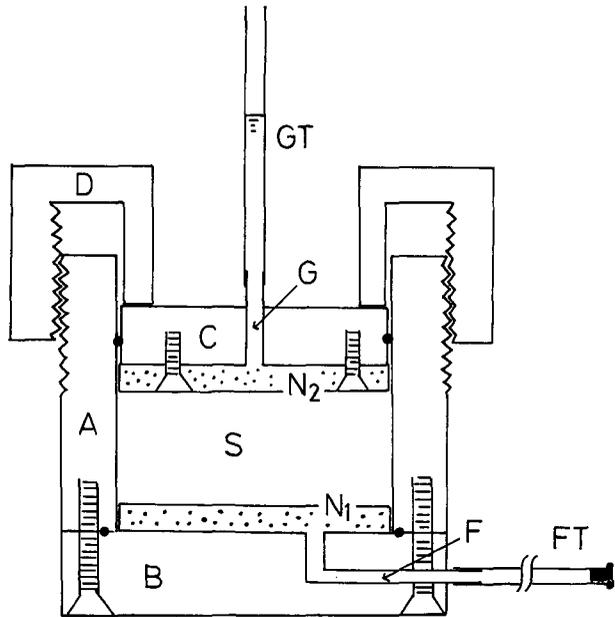
(平成元年11月受理)

I. はじめに

温度があまり低くなければ、凍土の透水係数や不凍水量は履歴効果を示すことが知られている¹⁾。すなわち、上記の物理量は冷却過程では昇温過程よりも大きな値を示す。更に、冷却過程ではこれらの量が、狭い温度範囲を境にして、不連続的な変化をすることがある。例えば、粒径が4~8 μm からなるシルトでは、 -0.10°C を境にして透水係数は 10^{-6} から 10^{-9} cm/sec に、不凍水量は3.5 から $1.4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ に急激に減少する。堀口²⁾ は供試体に固有なこの温度を氷侵入温度 (ice intrusion temperature) と名づけた。氷侵入温度は土粒子間のすき間の大きさによって決まるので、同じ粒径の粒子からなる試料でも、圧密の程度によって、この温度は異なることが予想される。ここでは、1種類の粘土について、氷侵入温度と試料の拘束圧との関係を実測したので報告する。

II. 実験方法

測定に用いた装置のうち、試料の入る所を第1図に示した。A は内径48 mm、高さ50 mmの真鍮の円筒である。内径2 mmの穴Fの開いた真鍮の円板Bは、O-リングを介して、Aにネジで固定されている。真鍮製の多孔円板Nの1つN₂は真鍮製の円板Cにネジで固定されている。AとCの間には、液体が漏れないように、O-リングが入っている。Sは試料である。試料にか



第1図 試料装置

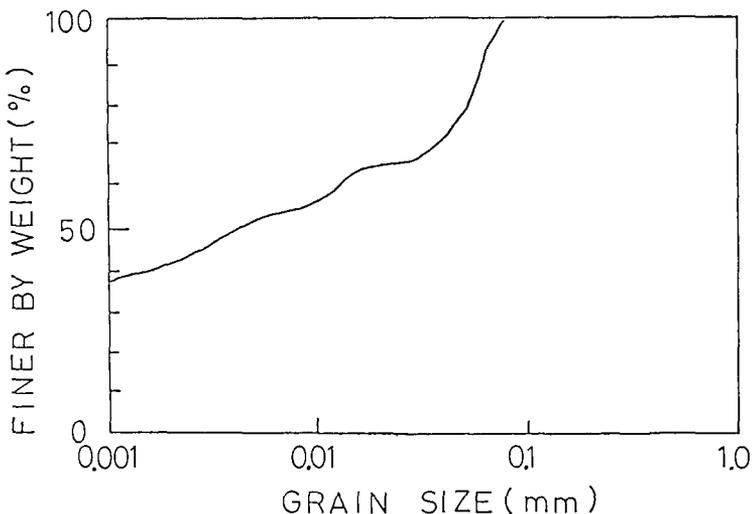
* 北海道大学低温科学研究所業績 第3313号

られた圧密応力が、常に一定に保たれているように、真鍮製の蓋 D が A にネジで任意の位置に固定できるようになっている。C には内径 2 mm の穴 G が開いていて、これには毛細管 GT が付いている。

供試体は次のようにして作った。A と B をネジで固定し、長さ約 50 cm のフレキシブル・チューブ FT を F につける。A の中に約半分程脱気した蒸留水を入れ、更に十分煮沸して脱気した真鍮製の多孔質円板 N_1 をその中に入れる。次に水飽和した試料を、水面があふれるまで、A に入れる。煮沸脱気した N_2 のついた C を上から一定の圧力で A に押し込む。この押し込みの圧力が供試体の拘束圧である。約 1 日間、一定の拘束圧の下で試料を圧密し、C の変位が止まったことを確かめて、この拘束圧が実験中変わらないように、D で C を固定する。圧密時の脱水は FT と GT を通して行う。圧密が完了した時点で、水の漏れを止めるために、FT の先端に止水栓をする。

定温で実験をするために、第 1 図の装置全体を恒温槽に浸す。但し、GT の上部は恒温槽の外に出しておく。恒温槽の温度を -0.10°C にし、その中に装置を 1 日間浸して置く。振動を与えなければ、この間装置内の水が凍ることはなかった。次に、FT の先端を水槽の表面に取り出し、液体窒素で FT 中の水を凍結させ、再び恒温槽に入れる。 -0.10°C で FT、F 及び N_1 内の水は順次凍結する。この凍結の進行状況は GT 中の水面の変化によって確かめられた。GT 中の水面の位置が動かなくなってから、恒温槽の温度を -0.15°C に下げ、一昼夜放置する。この間に供試体中へ氷の侵入があれば、 N_2 、G 及び GT 中の水も凍り、GT 中の水面の位置は大きく移動する。恒温槽の温度を段階的に下げながら、上記の操作を繰り返すことによって、供試体の氷侵入を測定した。

試料には沖積粘土を用いた。この土は $5\ \mu\text{m}$ 以下の粘土分を約 50%，シルト分を約 49% 含んでいた。その粒径加積曲線を第 2 図に示した。



第 2 図 試料の粒径加積曲線

III. 結果と考察

拘束圧 P と氷侵入温度 θ_i の関係を第3図に示した。一定の拘束圧で作成した試料でも、 θ_i には多少の相違があった。図にはその範囲も示した。拘束圧が大きくなると、 θ_i は低くなり、約 -0.50°C に漸近することがわかった。このことは、試料を圧密することによって、粒子間の間隙の大きさは小さくなるが、それには試料によって決まるある限界が存在することを意味している。

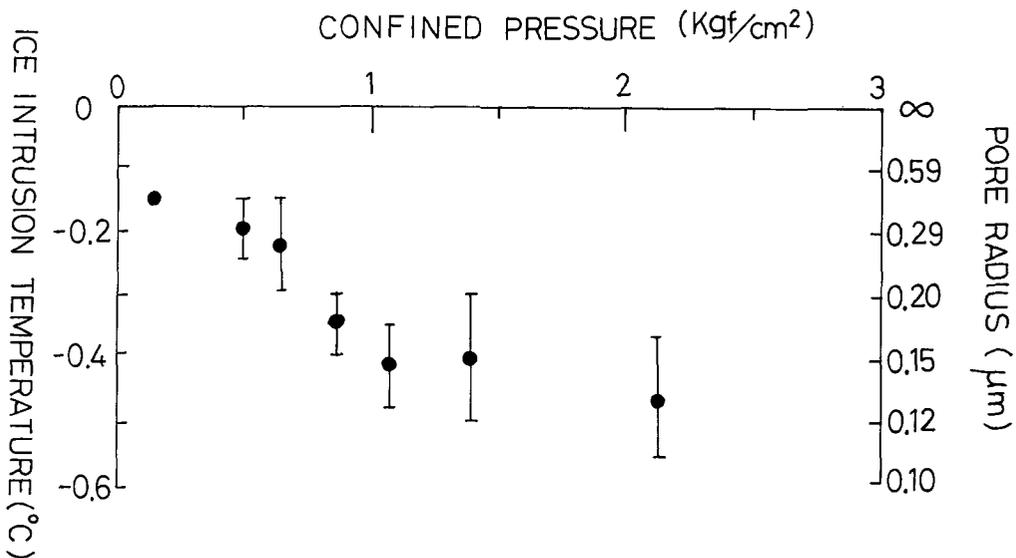
大きさや形状が異なる土粒子から成る供試体では、間隙の大きさも決して同じではない。我々が求めた θ_i は、多孔質円板 N_1 から S を通して N_2 にまで達している最も大きな間隙 (のくびれ) によって決まる。そこで、これらの間の関係を考えてみよう。多孔質円板 N_1 中の氷の圧力を P_i 、供試体 S 中の間隙水の圧力を P_w とし、この氷と間隙水が N_1 と S の界面で温度 T ($^\circ\text{K}$) で共存していると仮定すると、その平衡温度は次式で与えられる。

$$T - T_0 = \frac{T_0}{L} \left(\frac{P_w - P_0}{\rho_w} - \frac{P_i - P_0}{\rho_i} \right), \quad (1)$$

ここで T_0 , L , P_0 は、それぞれ、氷の融解温度、氷の融解潜熱および大気圧であり、 ρ_w と ρ_i は、それぞれ、水と氷の密度である。ここで、氷が N_1 から供試体中の間隙へ、まさに侵入しようとしている状況を考える。このとき θ_i は $T - T_0$ である。更に、 N_1 に接している供試体中の個々の間隙では、氷は凸状をなして、氷の圧力と間隙水の圧力の間には、次の Laplace の式が成り立つと仮定する。

$$P_i - P_w = \frac{2\sigma}{r_m} \quad (2)$$

ここで r_m は多数存在する氷の凸部のうちの最も大きな曲率半径であり、 σ は氷水界面の自由エ



第3図 拘束圧と氷侵入温度の関係

エネルギーである。式(1)と(2)より、 P_i を消去すると、我々の場合には、

$$\theta_i = \frac{T_0}{L} \left\{ -\frac{2\sigma}{\rho_1 r_m} + \left(\frac{1}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_1} \right) (P_w - P_0) \right\} \quad (3)$$

となる。使用した装置では P_w を P_0 と見做してもよいであろう。このとき、(3)式は

$$\theta_i = -\frac{2T_0\sigma}{\rho_1 L r_m} \quad (3')$$

となる。これは Gibbs-Thomson の式と等価である。この式より個々の θ_i に対して r_m が計算できる。 σ の値³⁾として 33 erg/cm^2 を用いたときの r_m の値を第3図に示した。我々の用いた沖積土では、圧密しても r_m を約 $0.12 \mu\text{m}$ よりも小さくすることは出来ないことがわかる。

試料装置は低温科学研究所の中坪俊一技官に作成して戴いた。沖積土とその粒土分布は清水建設機技術研究所の赤川 敏氏に提供して戴いた。深く感謝の意を表わします。

文 献

- 1) Horiguchi, K. and Miller, R. D. 1983 Hydraulic conductivity functions of frozen materials. *Proc. 4th Inter. Conf. on Permafrost, Fairbanks, Alaska, USA*, 504-508.
- 2) 堀口 薫 1986 土壤凍結の溶液モデル. 低温科学, 物理篇, **45**, 69-82.
- 3) Ketcham, W. M. and Hobbs, P. V. 1969 An experimental determination of the surface energies of ice. *Phil. Mag.*, **19**, 1161-1173.