



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	凍上と凍上防止剤
Author(s)	大野, 武敏; ONO, Taketoshi
Citation	低温科学. 物理篇, 19, 225-229
Issue Date	1960-12-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17979">https://hdl.handle.net/2115/17979</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	19_p225-229.pdf



## 凍上と凍上防止剤\*

大野武敏

(低温科学研究所 純正物理学部門)

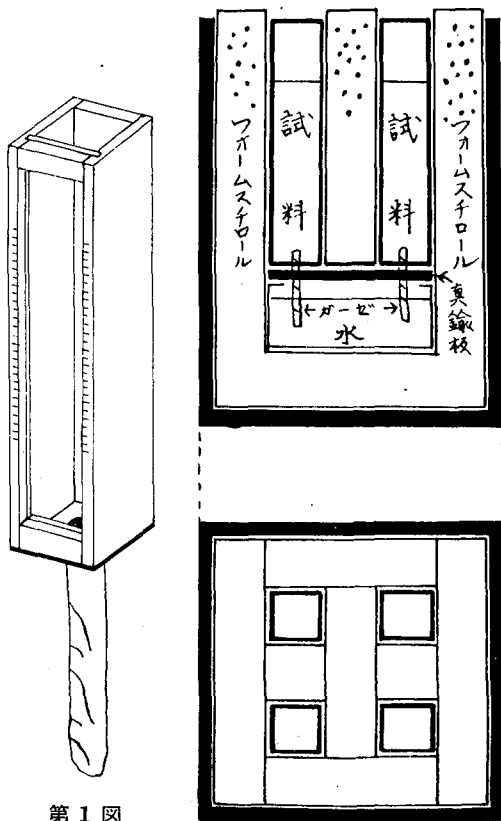
(昭和 35 年 8 月受理)

ポリビニールアルコールのある種の変成物\*\*の凍上防止効果を調べるために、低温室内で小規模な実験を行なった。そのうち、現在までに明らかになつた事実を報告する。防止剤として用いた物質は商品名ソイラック (soiluck) とよばれ、白色粉末で水によく溶け、また水が蒸発して乾燥すれば試験管の底に固着するが、水を加えれば再び溶解する。用いた粘土は関東ロームで、含水比 27%、最大含水量 135% であり、且つ 2 mm の篩を通過したものである。当面の目的を、ソイラックが重量比で何%混入すれば凍上防止効果が現われるかをはつきりさせることに置いた。それで乾土 100 g に対し、0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0 g のソイラックを加え、よく混和してからこの土の最大含水量の 90% に相当する 94.5 cc ( $135 \times 0.9 - 27 = 94.5$ ) の水を加え、さらによく混合した。これら 7 種の試料につき凍上防止効果を観察した。測定装置はいわゆる開式 (open type) を採用した。湿土をいれる容器は木製で  $3 \times 3 \times 20$  cm<sup>3</sup> の直方体である。その一面はガラスとし凍上量を直接観察することにした。容器の底は真鍮板をネジ釘止めとしその中央に穴をあけ、その穴からガーゼを紐状に下げて水を吸わせた (これが開式)。装置の概略を第 1, 2 図に示す。これを低温恒温槽にいれ気温を約  $-13^{\circ}\text{C}$  水温を約  $+11^{\circ}\text{C}$  に調節した。湿土を底面から 13 cm 附近の処までつめて上記の装置にいと、上面から漸次凍結して行き、遅くとも 48 時間以内には定常状態 (凍結線下降停止) になる。写真はおよそ 24 時間毎に 1 箇所づつ取り出して撮影した。

凍上防止効果を確かめるこの実験で、最も困つた問題は容器壁への凍着であつた。従来低温科学等に発表された諸論文<sup>1), 2), 3), 4), 5)</sup>を参考にしたが、いずれもワセリンを塗つて器壁との摩擦を小さくしている。筆者もそれに倣つてワセリンを塗つたが、その塗り方が問題であつた。薄く塗つたのでは効果が無く、防止剤が利いて凍上が抑えられたのか、摩擦のために凍上しないのか判定出来ないことになつた。用いた容器が  $3 \times 3 \times 20$  cm<sup>3</sup> という比較的小さいものであつたから一層器壁との摩擦が利いていたのかもしれない。摩擦を小さくするために容器の内面にテフロン、ポリエチレン、アルミテープなどを貼り付けたり、硬質ビニール或いは全部ガラスで容器を作つたりして実験してみたが、いずれの場合もワセリンを塗らなければ摩擦のため

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第 569 号

\*\* 信越化学工業株式会社の提供による。



第1図

湿土をいれる容器

第2図 側面図と上面図

に凍上が抑圧されてしまった。結局ワセリンを厚く塗るのが最も効果的であることが分つたが、防止剤の研究には不安の残る方法で残念である。もつとも器壁の内面に上記のテープ類を貼り付けたときは、ワセリンを薄く塗つても凍上してくれたから器壁に凹凸の無いことは摩擦を小さくすることにはなる。松材で作つた容器では想像以上に厚く塗ることが必要である。器壁との摩擦のために凍上出来ないときは逆に凍下現象になる。湿土をドロドロの状態で容器に流し込んで、一昼夜放置して置くと水の一部はガーゼ紐を伝わつて流れ出して湿土は落ちて来る。この状態では湿土は外部から圧力を加えて圧縮していないので密度は小さい。(密度測定はまだ行なっていない) 今仮に低温恒温槽内にいれて、上層部が凍結しその周囲が器壁へ凍着したとする。(ワセリンを厚く塗らなければ必ずそうなる)。時間の経過と共に凍結線が下がつて行き、その間霜柱が出来るために凍結部分は霜降状になつてはいるが、上部にある凍結部分を摩擦に打ち克つて持ち上げるには未凍結部分の密度が小さく柔かな状態であるので、結局下へ下へ圧縮を続けることになる。凍結線がかなり下がるとこの圧縮が蓄積してやがてガラスが割れる。このことを示したのが図版 I-1, 2, 3, 4 である。1 はワセリンを厚く塗つた容器につめたもので、低温恒温槽に入れる直前。2 は三日後すでに定常状態になつたときである。凍上を生じ凍結線附近に大きな割れ目が見える。割れ目の問題はあとで述べる。ガラス面にも厚くワセリンを塗つてあるので、霜降状の様子は見られない。3 は1 と同時に装置したものであるが、ワセリンを塗っていない。このために一見した処凍上していないように見える。しかし実際は凍下していて、下へ下へ圧縮が進んでガラスが割れている。こまかい霜降状凍結が見える。引き続き凍結線を下げてやれば容器の底部がやや膨らんで来て、やがて底が抜けてしまう。土中に霜柱が成長しないで、最初に含まれていた水だけが凍つたのではガラスは割れることが無い。器壁との摩擦を小さくするために、ワセリンを“厚く”塗るといふあいまいな表現しか出来ないことを残念に思う。以下に述べる防止剤を加える実験は、いずれもこの経験に基づいて、ワセリンを厚く塗つた容器に試料をつめて行なつたのである。

実験はさらに非風乾と風乾との二つの場合に分けて行なつた。一定濃度の防止剤混合土を

水(土 100 g に対し水 94.5 cc) でねつて、そのまま容器につめて一昼夜放置後実験したのが非風乾。非風乾の場合と同じに作った湿土をジャーレにいったまま室内に放置して自然乾燥させ乾燥し終つたものをさらに水でねつて実験に供したものが風乾。非風乾の場合の結果を図版 I-5~10, 図版 II-11~18 で示す。上段はいずれも低温恒温槽に入れる直前写したものであり、下段は 2 日後の状態である。そのうち 0.02, 0.05, 0.1% の三例は同時に装置したものである。0.05% の容器は三面にポリエチレンのテープを貼りつけ薄くワセリンを塗つたもので、24 時間後に見た時は凍上していなかつたが、次の 24 時間で写真に見える程度凍上していた。厚く塗つておけば、もつと凍上したものと思う。また 0.2, 0.3, 0.5, 1.0% の四例は同時に装置したものであり、同一条件で冷却していつたものと見なしてよい。この結果、1.0% になれば全く凍上しないことが分つた。1.0% についてさらに追試を試みたがやはり凍上しなかつた。また殆んどすべての場合停止した凍結線(熱的な定常状態)の附近に割れ目が見られるが、その成因についてはあとに述べる。

同様の実験を風乾した試料について行なつた結果を図版 III-19~26, 及び図版 IV-27~32 に示す。温度はいずれも気温  $-13^{\circ}\text{C}$ , 水温  $+10^{\circ}\text{C}$  前後である。この結果を見れば、0.05% に凍上が無く、0.1% に凍上がある。このことは防止剤の効果から考えれば矛盾したことである。しかし器壁との摩擦をワセリンで防止するという不確かさが介在する方法を採用しているので、何度か同じ実験を繰返してみる必要がある。風乾した試料を用いた実験は今迄一回しか実施していないので断定は避けたいが、この写真で判断する限り、0.2% 以上の濃度になれば凍上防止効果を示すものと思われる。そもそもソイラックの凍上防止効果は粘土粒子の団粒化に因るものと考えられている。非常に微細な粘土粒子が凝結して、より大きな粒子になれば、凍上しにくくなるということは従来凍上するためには、微細な粘土粒子の存在が必要であることが認められていることから、定性的には納得出来ることであろう。また風乾すれば団粒化が促進されるといはれていることから考えると、風乾品が凍上しにくいという結果は矛盾を含まないことにはなる。しかし団粒化の事実を筆者自身が確認したわけではないので、引き続き粒度分布を明らかにする実験を行ないたいと考えている。図版 IV-33~36 は割れ目の成因を明らかにしたい目的で、原土を用い故意に凍結線の下降上昇を行なつた実験である。関東ロームは粘土なので凍上は霜降状になるが、この 4 枚の写真はその様子をよく示している。筆者は今迄の観察の結果から割れ目の成因を次のように考えている。凍上は熱伝導の立場から考えれば、熱的非平衡の状態(凍結線が下降しつつある状態)のときに生ずる現象である。熱の流れが完全に垂直方向だとすれば、熱は下部の高温部から上部の低温部にむかつて流れて行く。その間凍結線のところで霜柱の形成が行なわれ、そのとき生ずる潜熱も熱伝導で上部の低温部へ運ばれて行く。やがて熱平衡の状態になれば、 $0^{\circ}\text{C}$  の面を通して下から上へ流れて行く熱量は釣合ひの状態になり、こうなれば長時間そのまま放置して置いても、凍上が進行することはないはずである。しかし、事實は長時間放置すれば凍結線附近に割れ目が出来る。その原因は凍結線の位置が時間的に上下することによるものと考えられる。凍結線が若干上昇すればその部分は融解し

体積が収縮して上部の凍土との間に隙き間が出来る。著しく凍上した凍土は、融解のために生ずる体積変化が大きいため割れ目も大きくなる。ただ一度の融解でも凍結層と未凍結層の境界に多少の隙き間が出来るわけであるが、引き続き凍結線の降下がおこれば先に出来た割れ目に霜柱が立ち易いために、さらに割れ目は大きくなるのである。一旦出来た大きな割れ目は凍結線の上昇に伴って割れ目の上部の凍土が融解落下するから、結果的には上昇して行くであろう。それを実証しようと試みたのが33~36である。33は凍結線が下降しつつある状態(凍上を生じながら)。34は定常状態で凍結線附近に大きな割れ目が出来たところ(凍上が著しいから割れ目も大きい)。35は凍結線を上昇させたところ(水温一定で気温を $-13^{\circ}\text{C}$ から $-5^{\circ}\text{C}$ にあげた)。一部落下して割れ目は若干上昇している。36は引き続き凍結線が上昇して、融解が上部まで進行したところ。粘土なので砂が落ちるように、はつきり下を埋めて上に割れ目を残すというわけには行かなかつたが、割れ目の出来方に関する筆者の考えを支持するものと思う。低温科学に発表された中谷、孫野、荒川各氏の凍上に関する論文によれば、湿土の中に生ずる割れ目が重要な役割を果すらしい。この事を考えれば防止剤を加えられた粘土は団粒化がおこり、結局割れ目が生じ難くなつて凍上が抑えられるのかもしれない。従つて防止剤を加えられた粘土で温度降下に伴う体積変化、なかならず割れ目の問題を調べる必要がある。また同じ濃度の防止剤を含んだ粘土でも、圧縮度を大きくすると防止効果が増大するのではないかと考えられる事実がある。先にも述べたように、ワセリンを塗らない容器に原土をつめて実験したときは、器壁への凍着のために凍上することが出来なくて、結果的には凍下現象となり下方への圧縮がおこるためガラスが割れる。しかし防止剤を0.02%以上混合した土では上部は凍着しているのに只の一度もガラスを割ることが無かつた。外観的には最初から含まれていた水がその場所で凍つたに過ぎないように見える。このことは0.02%以上の濃度になれば本質的に凍上を防止する能力を持つのなら納得出来るが、ワセリンを塗つた容器で実験すれば、低濃度ならば原土と変わりなく凍上するから、凍下が凍上の逆だとすればガラスの割れないのはおかしい。それで筆者は凍上防止効果は圧縮の程度に従つて変わるのではないかと考える。圧縮度が大きくなれば(防止剤の濃度は一定で)凍上防止効果も増大すると考えれば、前記の事実を説明出来ると思う。防止剤をいれた湿土の密度と、凍上防止効果の関係は今後の実験で明らかにしたい。器壁への凍着は厄介な事なのでそれを免れるために、地表面に出来る霜柱で、防止剤の効果調べることもやつてみる必要がある。

おわりに、有益な助言ならびに本論文の校閲をして下さつた堀健夫教授に厚くお礼申し上げます。研究費の一部は北海道科学研究費補助金によつた。

## 文 献

- 1) 中谷宇吉郎・孫野長治 1944 凍上の機構について I. 低温科学, **1**, 1.
- 2) 中谷宇吉郎 1944 凍上の機構について II. 低温科学, **1**, 27.
- 3) 中谷宇吉郎・孫野長治 1944 凍上の実験的研究. 低温科学, **1**, 37.
- 4) 中谷宇吉郎・荒川淳 1944 凍結によつて土壌の体積変化について. 低温科学, **1**, 67.
- 5) Higashi, Akira 1958 Experimental study of Frost Heaving. SIPRE research report **45**.

### Résumé

The preventive effect against frost-heaving of a ceratin denatured polyvinyl alcohol, whose trade name is "Soiluck", has been examined. The clayey soil put to test was the "Kantô loam" which had been passed through a wire-netting of 2 mm meshes. The method of measuring frost-heaving was of "open type" by the use of a wooden box whose inside dimensions were  $3 \times 3 \times 20$  cm<sup>3</sup> and one of whose lateral walls was replaced by a glass plate (see Figs. 1 and 2). Photographs were taken at intervals of 24 hours, while the air and water temperatures were kept constant to  $-13^{\circ}\text{C}$  and  $+10^{\circ}\text{C}$ , respectively.

The difficulty encountered in the experiment intended to observe the preventive effect of a substance against frost-heaving is the freezing of the sample to the walls of the container, since in case it happens, the frost-heaving will be restrained owing to large friction, so that one is likely to mistake the restraint for the preventive action of the substance in question. With the intention of reducing the friction, we tried to line the box with teflon, polyethylene, or aluminium film and in some cases used a box made of glass or vinyl plastics in place of a wooden one, but they all proved to have very little effect. With these boxes no frost-heaving but only "frost-depression", as we may call it, was observed. After all, the inside wall was coated fairly thick with vaseline, in which case normal heaving took place, as will be seen from Plate I (1~4) — the upper pictures: immediately before setting in a cryostat; the lower: after 3 days' freezing; left: coated with vaseline (frost-heaving); right: without vaseline (frost-depression).

As the main object of the present experiment was to find out the relation between the amount of heaving and the concentration of Soiluck, we prepared seven kinds of samples differing in concentration — 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 and 1.0% (weight percentage). Further the experiment was carried out in two cases; one in which the soil containing a definite amount of Soiluck was mixed up with 94.5% of water and put to the test as it was, and the other in which the sample mixed up with water was dried in room air before it was again mixed with water and put to the test. In the former case, it was found that when the concentration amounted to 1.0% the frost heaving was completely suppressed (see Plate I (5~10), Plate II (11~18)). In the latter case, the concentration of no more than 0.2% already manifested a decisive anti-frost-heaving effect (see Plate III (19~26), Plate IV (27~32)). In pictures 5~32, the upper ones are those taken just before freezing and the lower are those taken after 2 days' freezing.

Soiluck acting as anti-frost-heaving agent seems to cause clay particles to coagulate into larger particles. According to our views based on observation, the coagulation in its turn tends to check the formation of fissure in the soil, which arises from the contraction of soil accompanying the temperature fluctuation around  $0^{\circ}\text{C}$  and is the main cause of frost-heaving. We are planning to carry on the experiment, especially with the view of confirming this point.



