



Title	断熱材埋設が凍結進行に及ぼす影響
Author(s)	田沼, 邦雄; TANUMA, Kunio
Citation	低温科学. 物理篇, 28, 337-343
Issue Date	1971-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18163
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p337-343.pdf



断熱材埋設が凍結進行におよぼす影響*

田 沼 邦 雄
(低温科学研究所)
(昭和45年8月受理)

I. ま え が き

凍上防止の方法として、現在では主に凍結深さ内の凍上性の土を非凍上性の土で置き換える方法、いわゆる置換工法が採用されている。しかし、最近では、断熱工法と呼ばれて、土中に断熱材を埋設し、断熱層を作ることによって凍結の進行を抑制し、それによって凍上を減少させようとする工法も採用され始めている^{1,2,3,4)}。土中に断熱層を設けることによって生じる効果としては、凍結線の侵入深さを減少させることは勿論であるが、断熱層として不透水性の材料を用いることにより下方から凍結線への土中水の供給を遮断することも可能で、凍上自身をも抑制することができる。断熱材の厚さとその埋設深さは、その土地の気象条件、路床土の土質、路盤支持力、断熱材料の性質等によって決められる。しかし、これを計算で求めることは極めて難しい。

一般に寒気で土地が凍結する場合、その凍結深さ (ξ cm) は、 $\xi = \alpha \sqrt{|c| \cdot t}$ の形で表わされる。ここで c は凍結期間中の平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)、 t は凍結期間 (day) で $|c|t$ は積算寒度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$) と呼ばれ、比例常数 α は、土の熱的性質、凍結期間中の平均気温その他に依存する量である。土地がほぼ単一層のときは、大体 2~6 である⁵⁾。しかし、地中に断熱層のような不連続層をはさむ場合は、上記の関係では単純に表わされない。たとえば、多層構造物質内の周期的な熱の流れについての Lachenbruch⁶⁾ の熱伝導理論を応用して、William と Edward⁷⁾ は埋設した断熱材の下面での積算寒度を予測したが、実測値の 1/26 にすぎない。従って、現在では、断熱材を埋設した場所と埋設しない場所とで、凍結進行の度合を実測して比較するのが最も確実な方法であろう。

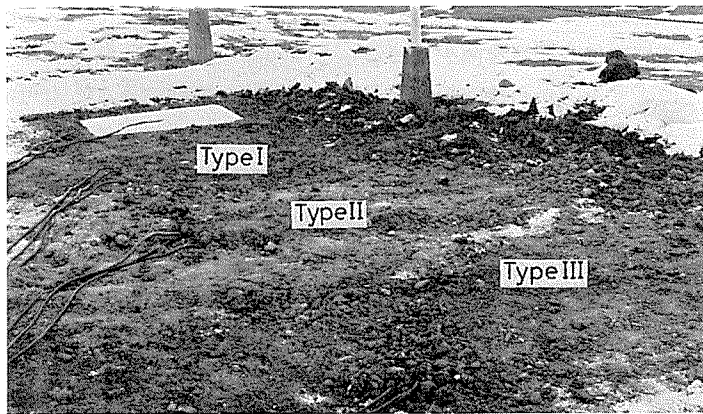
筆者は、厚さ 25 mm の断熱材を地中に埋設して、断熱材を埋設しない場所との凍結深さの比較を試みた。今回の試みでは断熱材を比較的浅く埋設するだけにとどめ、又、断熱材より上の土は掘り起した現場の土をそのまま用い、単一土層中に不連続な断熱層が存在するという状況に設定した。

II. 測 定 方 法

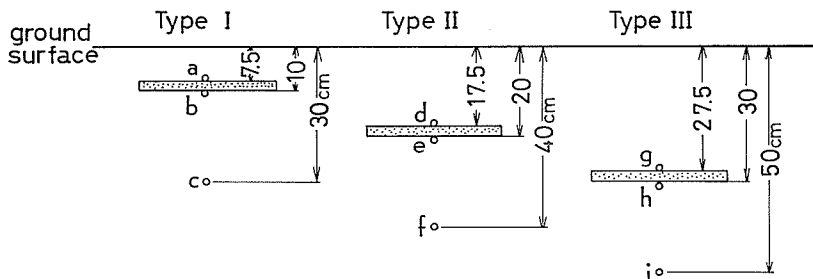
測定は、北見工業大学構内の凍上現場試験地で行なわれた。現場の土質は粘土で、凍結前の含水比は平均 30% であった。この冬の現場の状況は木下他⁸⁾ の報告に述べられている。使用し

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1087 号

た断熱材は連続押し発泡スチロール樹脂(スタイロフォーム)で、大きさは $60.5 \times 91 \times 2.5$ cmであった。断熱材の主な性質は、密度 0.03 g/cm^3 、比熱 $0.27 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 、熱伝導率 $0.29 \text{ cal/cm} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ である。この断熱材を地表面下10 cm, 20 cm, 30 cm(断熱材下面までの深さ)の深さに、約60 cm離して並べて埋設し、その上に現場の土を地表面まで埋めた。それぞれの断熱材の上面、下面及び下面から20 cm下にカールソン型温度計を据えて、温度を冬期間毎日読み取った。又、断熱材を埋設しない場所(この場所を一般地中と呼ぶことにする)の温度は、地表面下10 cmから10 cm間隔で1 mの深さまで、熱電対を埋めて自記された。今冬(1969~1970年)の北見の最大積算寒度(この報告において、積算寒度とは、冬期日平均気温が 0°C 以下になった日から日平均気温を積算した値である)は $1098^\circ\text{C} \cdot \text{day}$ (1969年11月28日より算定)で、平年($850^\circ\text{C} \cdot \text{day}$)に比べて寒さが厳しかった。一般地中の最大凍結深さは85 cmであった。第1図に観測の現場の写真を、第2図に断熱材の埋設状況を示す。地表面は、たえず寒気にさらされるように降雪ごとに除雪を行なった。



第1図 観測場所

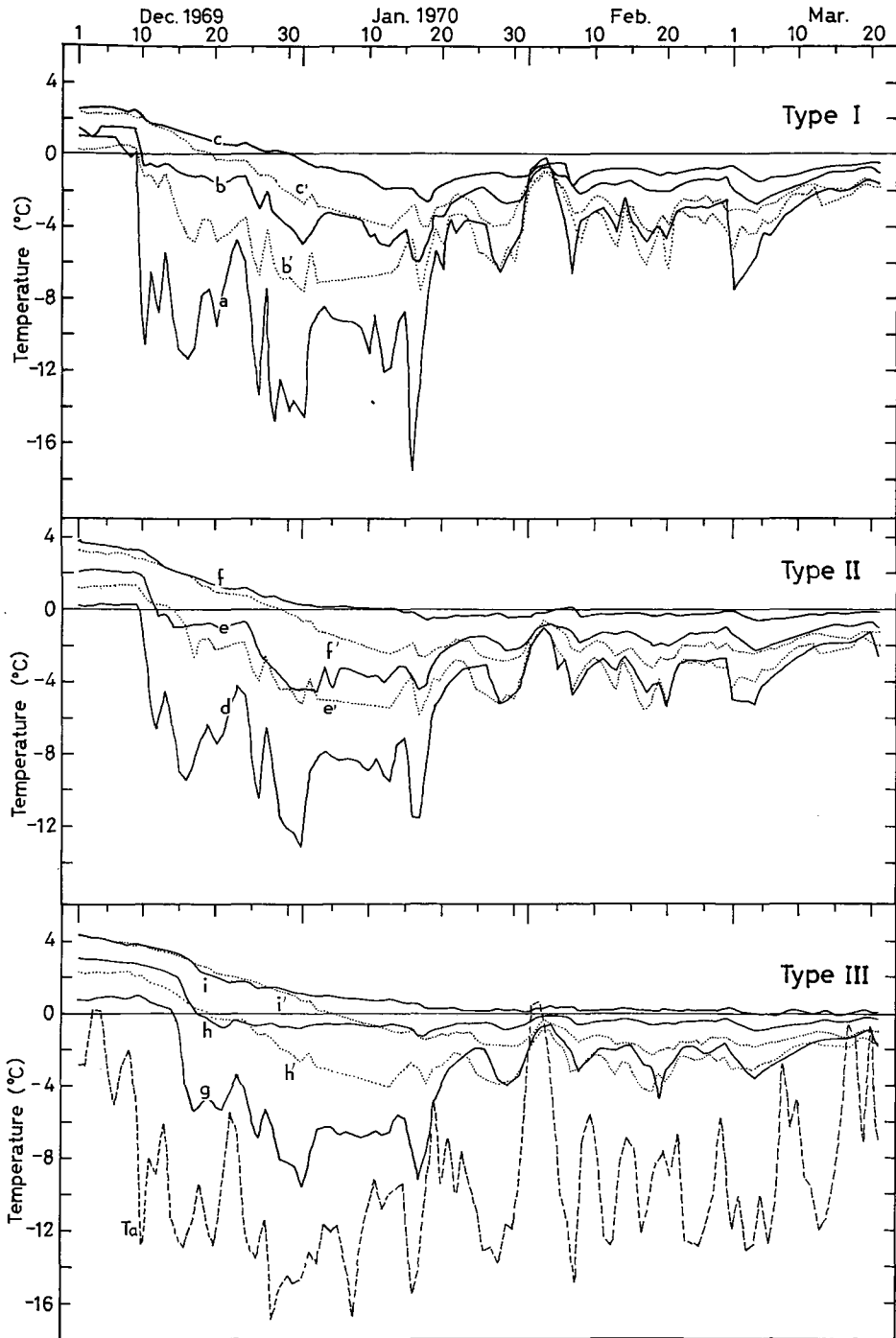


第2図 断面図

記号 a, b, c, d, e, f, g, h, i はそれぞれ温度計の埋設位置である

III. 測定結果

地表面下10 cm, 20 cm, 30 cmに断熱材を埋設した場所を、それぞれ type I, type II, type III と呼ぶことにする。それぞれの type における地中温度の冬期間の変化状況を第3図



第3図 地中温度変化

記号 a, b, c, d, e, f, g, h, i は第2図の温度計埋設位置に対応する。ダッシュの付いた記号はダッシュの付かない記号の位置と同じ深さの一般地中での温度を示す。Ta は日平均気温

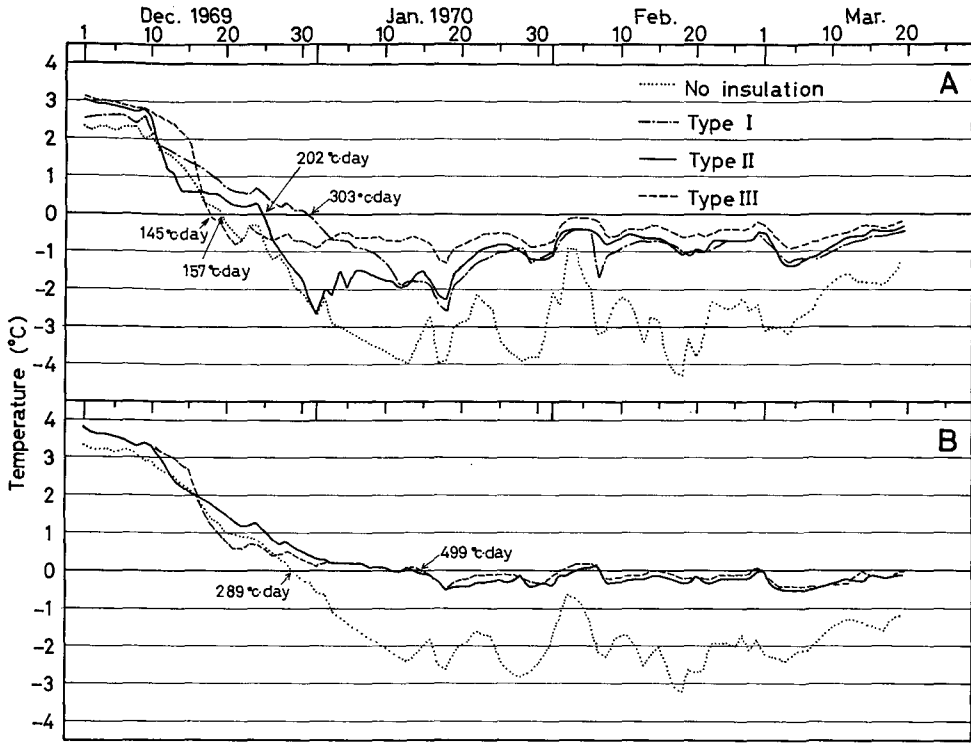
に示す。実線の曲線に付けた a, b, c, d, e, f, g, h, i の記号は第 2 図の温度測定点の記号に対応する。又、点線の曲線に付けた b', c', e', f', h', i' の記号は、ダッシュの付かない記号で示される測定点と同じ深さの一般地中の温度を示す。最下段に示した鎖線の曲線 T_a は日平均気温を示す。各曲線が 0°C をきるとき、即ちその深さが凍結するまでの積算寒度と、この冬に経験されたその場所での最低温度が第 1 表に示される。

第 1 表 各地点が 0°C に達するまでの積算寒度 (日平均気温の積算値) とこの冬期間に経験された各地点の最低温度

type	深 さ (cm)	断熱材埋設地			一般地中	
		記 号	積算密度 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$)	最低温度 ($^{\circ}\text{C}$)	積算寒度 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$)	最低温度 ($^{\circ}\text{C}$)
I	7.5	a	39	-17.6	34	-9.4
	10	b	53	- 5.9	39	-7.6
	30	c	303	- 2.6	157	-4.3
II	17.5	d	53	-13.2	69	-6.2
	20	e	69	- 4.5	75	-5.8
	40	f	499	- 0.5	289	-3.2
III	27.5	g	87	- 9.6	124	-4.6
	30	h	145	- 1.3	157	-4.3
	50	i	1098	- 0.1	354	-2.3

断熱材の上面では、下からの地中熱が遮断されて冷却が促進されるため、断熱材を埋設しない一般地中より速く 0°C に達する。埋設深さの浅い type I を除き、この傾向が強い type II では一般地中より積算寒度にして $16^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 速く、type III では $37^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 速く 0°C に達した。又、冬期間に経験された最低温度は、断熱材を埋設した方が一般地中に比べてはるかに低い。断熱材の上面では、かえって強く冷却される結果になるわけである。しかし、断熱材の埋設による効果としては、断熱材より下の土が同じ深さでの一般地中に比べて、どの程度高い温度を保持することができるかにある。

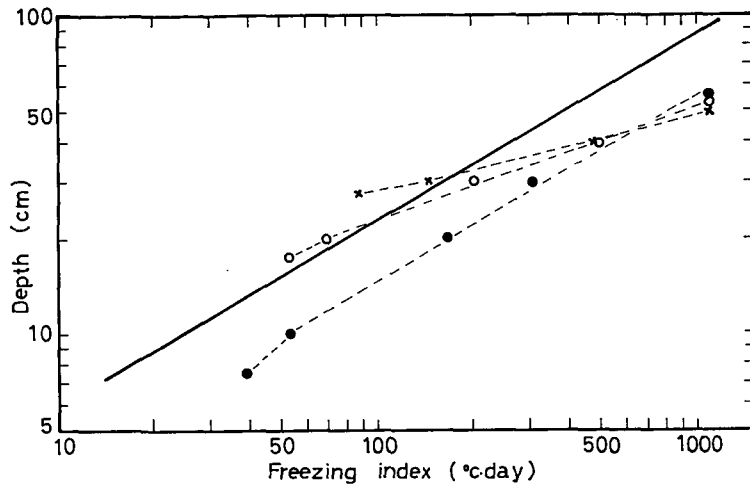
第 3 図の温度曲線について、断熱材の下面と同じ深さの一般地中における値、即ち type I の b と b' (深さ 10 cm)、type II の e と e' (深さ 20 cm)、type III の h と h' (深さ 30 cm) とを比べてみよう。いずれの場合も、冬の始めは断熱材を埋設した場所の方が高い温度を保持しているが、 0°C に達する時期は断熱材の有無にほとんど関係ない。又、第 1 表をみても、断熱材の下面が 0°C に達するまでの積算寒度は、一般地中とほぼ同じである。従って、断熱材の埋設の効果有余りにみえる。しかし、その後の温度の変化状況を見ると、断熱材を埋設した場所の方が一般地中よりも高い温度を保持している。最低温度も、第 1 表に示したように高い。たとえば、深さ 30 cm の一般地中の最低温度が -4.3°C まで下がったのに対して、type III の断熱材の下面 (深さ 30 cm) では最低温度が -1.3°C にすぎない。このような傾向は、断熱材の下面から 20 cm 下になると更に強くなる。type III では、最低温度が僅かに -0.1°C であるのに、同じ深さ (50 cm) の一般地中では -2.3°C である。



第4図 地中温度変化

Aは深さ30 cm, Bは深さ40 cm. 数値は各々の type で深さ30 cm (A), 40 cm (B) が凍結するに要した積算寒度である

第4図には、それぞれの type の同じ深さにおける地中温度の変化状況を示す。上欄の A は深さ30 cm, 下欄の B は深さ40 cm である。各曲線が 0°C をきる点に矢印で示されている数値は、それぞれの type で深さが30 cm (A), 40 cm (B) だけ凍結するに要した積算寒度である。A の深さ30 cm は、type I, type II でそれぞれ断熱材の下面から20 cm, 10 cm 下の地点, type III では断熱材の下面である。type I では、深さ30 cm が凍結するまでに要した積算寒度は 303°C·day で、この積算寒度では一般地中で44 cm が凍結することに相当する。同様に、type II の 202°C·day は 36 cm, type III の 145°C·day は 29 cm に相当する。このように深さ30 cm の地点で比較すると、その地点が凍結するまでの積算寒度は、断熱材の埋設深さが浅い場所程大きな値、即ち凍結する時期が遅いが、その後の温度降下は、type I, type II, type III の順で小さくなる。そして、最大凍結深さは、type I が 56 cm, type II が 52 cm, type III が 50 cm であった。一般地中の最大凍結深さが 85 cm であったので、最大 35 cm 凍結深さを減少させたことになる。これらの関係をまとめて第5図に示す。縦軸は凍結深さ、横軸は積算寒度を両対数目盛で表わした。●印は type I, ○印は type II, ×印は type III を示す。実線は、一般地中の凍結深さ (ξ cm) と積算寒度 ($|c| \cdot t$ °C·day) の関係を表わす。今回の測定では、 $\xi \approx 2.6\sqrt{|c| \cdot t}$ であった。



第5図 積算寒度と凍結深さの関係

●印は type I, ○印は type II, ×印は type III を示す。
 実線は、一般地中で測定された $\xi \approx 2.6\sqrt{[c] \cdot t}$ の関係を示す。

IV. む す び

厚さ 2.5 cm の断熱材を地表面下 10 cm, 20 cm, 30 cm に埋設して、凍結深さの減少に対する効果を調べた。効果は断熱材の埋設深さ 30 cm の場所が一番よく、断熱材を埋設しない場所に比べると凍結深さを 35 cm 減少させることができた。しかし、効果が一番よかった場所でも、凍結線は断熱材の下面より 20 cm 下まで侵入しており、凍結線を断熱材の下面で抑えらるとするならば、もっと厚い断熱材を用いる必要がある。

終りに御指導いただいた木下誠一教授、鈴木義男助教授、観測に協力された堀口薫助手、北見工業大学大野武敏教授に対して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 佐川 晔 1965 断熱材による凍上防止工について. 雪氷, **27**, No. 6, 18-24.
- 2) Penner, E. 1967 Experimental pavement structures insulated with a polyurethane and extruded polystyrene foam. In *Physics of Snow and Ice, Part 2* (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo. 1311-1322.
- 3) 木下誠一 1968 ヨーロッパおよびシベリヤにおける雪氷凍土関係の研究機関を見学して. 雪氷, **30**, No. 2, 11-23.
- 4) 伊福部宗夫・関 信弘 1968 札幌市(道道下手稲線)における断熱材工法の凍上防止試験 7 pp.
- 5) 伊福部宗夫 1962 北海道における道路の凍上・凍結深さおよび置換率に関する研究. 北海道開発局土木試験所報告, **26**, 1-105.
- 6) William, Q. and Edward, L. 1962 Frost penetration beneath concrete slabs maintained free of snow and ice, with and without insulation. *Highway Res. Board Bull.* **331**, 98-115.
- 7) Lachenbruch, A. H. 1959 Periodic heat flow in a stratified medium with application to permafrost problems. *Geol. Surv. Bull.* **1083-A**, 1-11.
- 8) 木下誠一・鈴木義男・堀口 薫・田沼邦雄・大野武敏 1970 北見における凍上観測. (昭和 44~45 年冬期). 低温科学, 物理篇, **28**, 資料集, 印刷中.

Summary

The effect of thermal insulation in reducing frost penetration was investigated in Kitami, Hokkaido, using a thermal insulator with a thickness of 2.5 cm.

The thermal insulators were placed at the depths of 10 cm, 20 cm and 30 cm under the ground surface. (Fig. 1 and Fig. 2)

The maximum frost penetration depths amounted to 56 cm, 52 cm and 50 cm, respectively, while the maximum frost penetration depth without insulation amounted to 85 cm. The maximum values of air freezing index amounted to 1098°C·day.

The relations between the frost penetration depths and air freezing index are shown in Fig. 5.