



Title	断熱材埋設が凍結進行に及ぼす影響 II
Author(s)	田沼, 邦雄; TANUMA, Kunio
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 239-244
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18187
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p239-244.pdf



断熱材埋設が凍結進行におよぼす影響 II*

田 沼 邦 雄
(低温科学研究所)
(昭和46年9月受理)

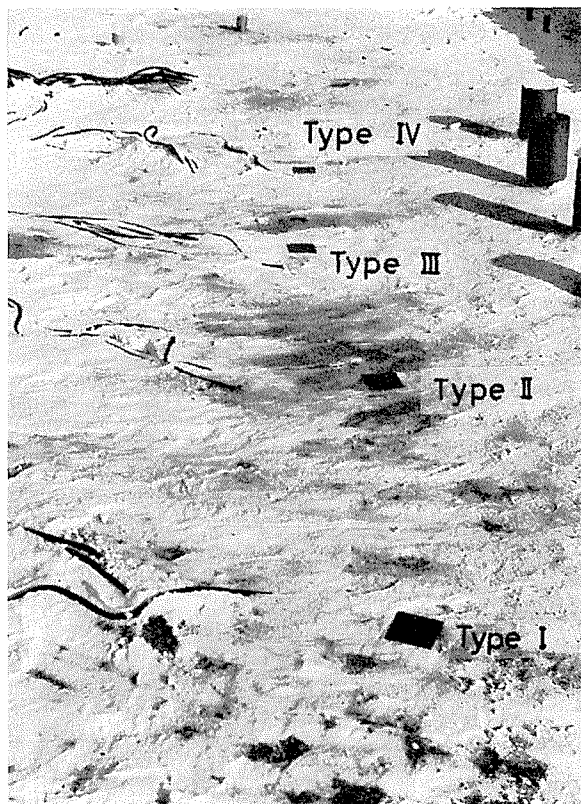
I. ま え が き

凍上防止の方法として、最近置換工法と併用して土中に断熱材を埋設して断熱層をすることにより凍結の進行を抑制し、それによって凍上を抑制させる工法が採用され始めている^{1),2)}。地中に断熱層を人工的に設けるにあたり、断熱層として用いる材料として熱伝導率が小さいことは勿論であるが、不透水性であることも重要である。又、道路等に用いる場合には、路盤支持力及び材料の永年変化も重要な問題となる。これらの要求をほぼ満たしている断熱材として、連続押し出し発泡スチロール樹脂が最近用いられている。その表面には特殊な加工が施され、吸水性は極度に小さい。

筆者は、さきに³⁾ (昭和44~45年冬期)、この断熱材を土中に埋設することにより凍結深さをどの程度抑制できるかを調べた。今回 (昭和45年~46年冬期) は、更に断熱材を埋設した場所での凍上量、凍結速度を測定して、断熱材を埋設しない場所との比較を行った。

II. 測定方法

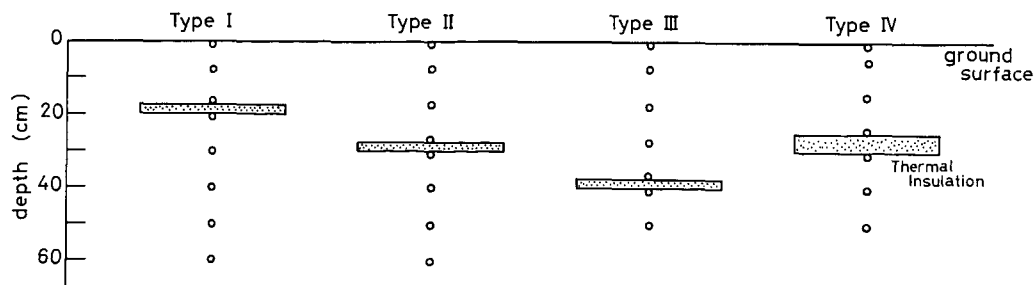
測定は、北見工業大学構内の凍上現場試験地で行なわれた。現場の土質は粘土で、凍結前の重量含水比は平均31%であった。使用した断熱材は、連続押し出し発泡スチロール樹脂 (スタイロフォーム) で、大きさ及び性質は前



第1図 観測場所

type I, II, III, IV の中央にある四角い板は、その上で地面凍上量を測定するためのものである

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1141号



第2図 断熱材埋設の状況

○印は温度計の位置を示す

回³⁾と同じである。厚さ 2.5 cm の断熱材を地表面下 20 cm, 30 cm, 40 cm (断熱材下面までの深さ) 及び厚さ 5 cm の断熱材を地表面下 30 cm の深さに、それぞれ 60 cm ずつ離して並べて埋設した。断熱材の上には、現場の土を元の地表面の位置まで埋めた。それぞれの断熱材の上面と下面、及び上面から地表面までは 10 cm ごとに、又下面から下には地表面からの深さが 50 cm, 又は 60 cm まで 10 cm ごとにカールソン型温度計を据えた。11 月末から 3 月下旬まで、毎日それぞれの地温を指示計を用いて測定した。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) にも、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、それぞれの地温を自記記録した。

一般地面及び断熱材を埋設した場所の地面の凍上量は、Y レベルを用いて冬期間ほぼ一週間ごとに測定した。第 1 図に観測現場の写真を、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。

今冬 (1970~1971 年冬期) の北見の最大積算寒度は $928^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ (1970 年 11 月 28 日より算定) であった。又、一般地中の最大凍結深さは 87 cm, 最大凍上量は 3.6 cm であった。

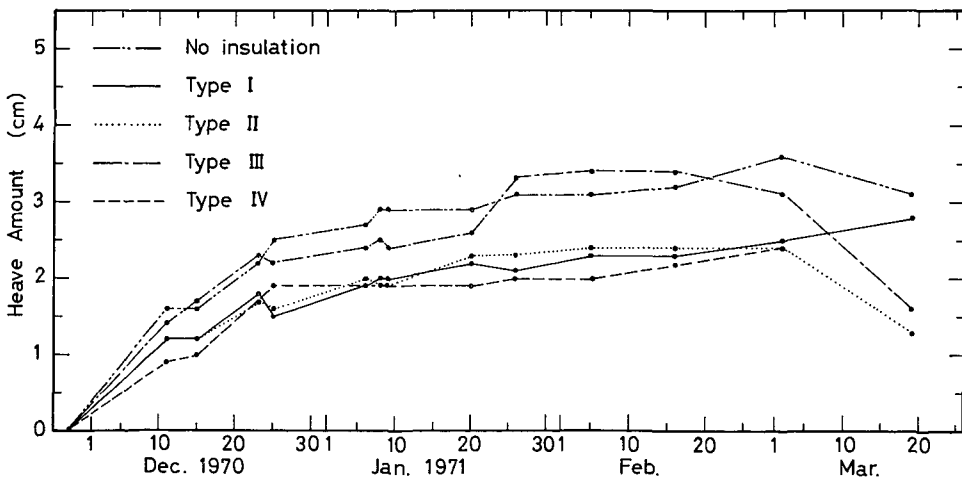
III. 測定結果

厚さ 2.5 cm の断熱材を地表面下 20 cm, 30 cm, 40 cm に埋設した場所を、それぞれ type I, type II, type III, 厚さ 5 cm の断熱材を地表面下 30 cm に埋設した場所を type IV と呼ぶことにする。第 1 表に各々の深さが 0°C になるまで、即ちその場所が凍結するまでの気温の積算寒度と、この冬に経験された最低温度、凍結速度、断熱材の上層部及び下層部の土が凍ることによって現われた凍上量を示す。断熱材より上では、地下深くからの地中熱流が断熱材によって遮断されるため冷却が促進される。従って、一般地中より速く 0°C に達する。しかし、断熱材より下では、逆に寒気が遮断されるため、地温の降下は緩慢となる。そして、経験される最低温度は一般地中の同じ深さに比べて高い。従って、断熱材より下の土の凍結速度は、一般地中における凍結速度よりかなり小さい値となる。

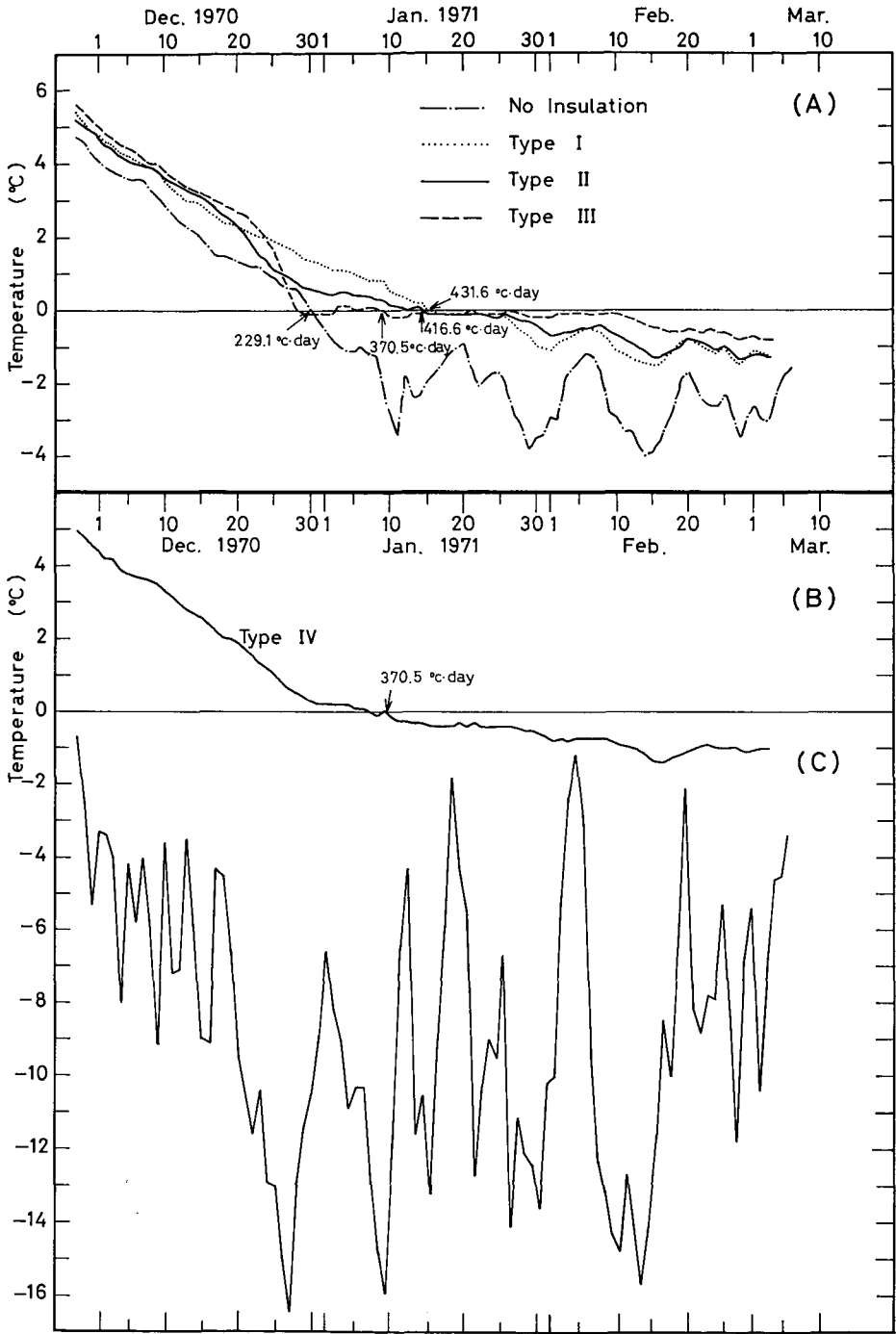
type I と type II のように、浅い位置に断熱材を埋設した場所では、断熱材の上面が 0°C に達するまでの積算寒度は、一般地中の同じ深さとほぼ同じであるが、type III 及び埋設深さが type II と同じで厚さ 5 cm の断熱材を用いた type IV の場所では、一般地中よりも速く 0°C に達する。しかし、断熱材より下では、この関係が逆転する。これは、断熱材を埋設することに

第 1 表

type	深さ (cm)	断熱材埋設地				一般地中				
		各深さまでに凍結するに要した気温の積算寒度 (°C·day)	この冬に深さで経験された最低温度 (°C)	各層での凍結速度 (cm/day)	この層が凍ることによって現われた凍上量 (cm)	各深さまでに凍結するに要した気温の積算寒度 (°C·day)	この冬に深さで経験された最低温度 (°C)	各層での凍結速度 (cm/day)	この層が凍ることによって現われた凍上量 (cm)	
I	0		-16.5				-14.3			
	10	8.6	-16.3	0.9	1.2		-14.2	2.0	1.6	
	17.5	47.1	-12.8			0.3	59.8			-11.0
	20	101.6	-5.9	0.4	1.6	67.0	-9.9	1.1	2.0	
	30	358.8	-2.6	1.3		110.4	-6.5	1.1		
	40	431.6	-1.5	0.6	229.1	-4.0	1.0			
	50	580.0	-0.7		370.5	-2.4	0.5			
60		+0.1		516.6	-1.4					
II	0		-16.1				-14.3			
	10	0.8	-15.0	2.5	2.0		-14.2	1.3	1.7	
	20	15.3	-11.2			0.5	67.0			-9.9
	27.5	101.6	-9.0	0.2	0.4	101.6	-7.3	1.3	1.9	
	30	216.2	-2.1	0.5		110.4	-6.5	1.1		
	40	416.6	-1.4	0.4	229.1	-4.0	1.0			
	50	682.4	-0.7		370.5	-2.4	0.5			
60		+0.1		516.6	-1.4					
III	0		-14.8				-14.3			
	10	8.6	-14.0	1.1	2.9		-14.2	1.1	2.5	
	20	56.2	-10.0			1.3	67.0			-9.9
	30	77.6	-9.1	1.9	0.5	110.4	-6.5	0.8	1.1	
	37.5	136.9	-6.5	0.1		199.8	-4.7	0.9		
	40	370.5	-0.8	0.3	229.1	-4.0	1.0			
	50	748.7	-0.4		370.5	-2.4				
IV	0		-15.8				-14.3			
	10		-15.6	0.6	1.9		-14.2	1.3	1.7	
	20	8.6	-13.4			0.3	67.0			-9.9
	25	47.1	-12.6	0.6	0.5	83.5	-8.2	1.3	1.9	
	30	184.8	-2.1	0.6		110.4	-6.5	1.1		
	40	370.5	-1.4	0.4	229.1	-4.0	1.0			
	50	580.0	-0.8		370.5	-2.4				



第 3 図 凍上量曲線



第4図 地中温度変化

(A)と(B)は地面下40cmの地温。(C)は日平均気温

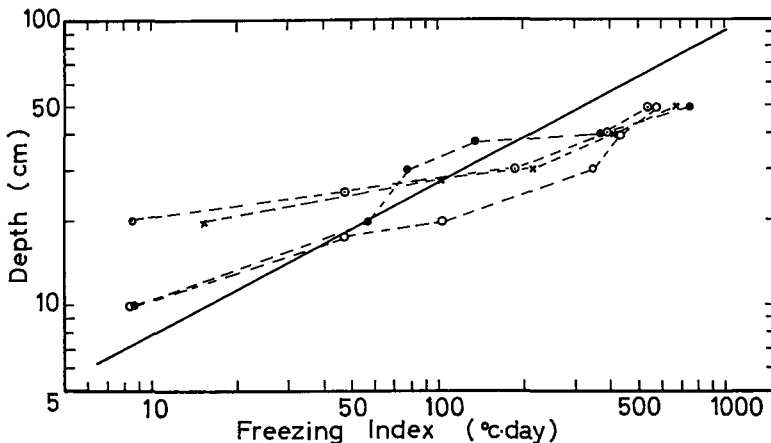
より、断熱材の下層の土が保温されるためである。

第3図に凍上量のグラフを示す。今冬の最大凍上量は一般地面に於いて、3.6 cmであった。断熱材を埋設した場所では、type I が 2.8 cm, type II が 2.4 cm, type III が 3.4 cm, type IV が 2.4 cm であった。type I を除いて、それぞれの type に於いて、最大凍上量の約 8 割を断熱材より上の土で占めている (第1表)。従って、断熱材より上を非凍上性の材料で置き換える置換工法を併用すれば、地面凍上量を 8 割も抑制出来るわけである。

今回の観測で 40 cm の深さに於けるそれぞれの type の地中温度変化をと出して、第4図の(A)と(B)に示す。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 40 cm の位置が凍結するまでに要した気温の積算寒度である。厚さ 2.5 cm の断熱材を用いた type I, type II, type III に於いては、深さ 40 cm の位置が凍結するまでに要した積算寒度は、断熱材の埋設深さが浅い程大きい。即ち凍結時期が遅れる。しかし、いったん凍った後では、温度降下は埋設深さが深い方が小さい。第4図(B)の type IV では深さ 40 cm の位置が凍結するまでに要した積算寒度は、40 cm に埋めた type III の 370.5°C·day と同じであるが、凍った後の温度変化は 30 cm に埋めた type II とほぼ同じである。従って、今回の場合には、断熱材の厚さによる特別の効果は観測されなかった。

今回の測定で最大凍結深さは、type I が 59 cm, type II が 58 cm, type III が 53 cm, type IV が 60 cm であった。一般地中の最大凍結深さが 87 cm であったので最大 34 cm 凍結深さを減少させたことになる。従って、40 cm に厚さ 2.5 cm の断熱材を埋設させるのが一番効果があることになる。しかし、断熱材埋設による効果は、上部からの却冷を抑制して凍結深さを減少させると共に、凍上を引起す土中水分の移動を断熱層で遮断して凍上量を減少させることで、凍上量減少作用という面から考えると、この場合、断熱材埋設深さ 30 cm の場所が一番効果があることになる。

寒冷地の道路の凍上防止対策としての断熱工法 (埋設した断熱材より上は土を置換する置



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, ⊙印は type IV を示す。
実線は断熱材を埋設しない場所での関係を示す

換工法併用) では、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、断熱材の性質等によって決められるが、最近では埋設深さとして 40 cm 前後が採用されている。

凍結深さと積算寒度の関係を第 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, ⊙印は type IV を示す。実線は、一般地中の凍結深さと積算寒度の関係を表わす。

IV. む す び

厚さ 2.5 cm の断熱材を地表面下 20 cm, 30 cm, 40 cm, 厚さ 5 cm の断熱材を地表面下 30 cm に埋設して、凍結深さと凍上量に対する効果を調べた。凍結深さの効果は、断熱材の埋設深さ 40 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 34 cm 減少させることができた。又、凍上量の効果は、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上量を 1.2 cm 減少させることができた。

おわりに、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。

なお、この研究に使用した費用の一部は、文部省科学研究費から支出された。

文 献

- 1) 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.
- 2) 伊福部宗夫・関 信弘 1968 札幌市(道々下手稲線)における断熱材工法の凍上防止試験, 7 pp.
- 3) 田沼邦雄 1970 断熱材埋設が凍結進行におよぼす影響 I. 低温科学, 物理篇, 28, 337-343.

Summary

The effect of thermal insulation on reducing frost penetration and a heave amount was investigated in Kitami, Hokkaido. Thermal insulators of 2.5 cm thick had been buried at 20 cm, 30 cm and 40 cm below the ground surface, and also a thermal insulator of 5 cm thick had been buried at 30 cm below the ground surface before winter (Fig. 1 and Fig. 2). With the maximum air freezing index amounting to 928°C-day, frost penetration depths were 59 cm, 58 cm, 53 cm and 60 cm for respective insulated places, while 87 cm for a non-insulated area. The maximum heave amounts were 2.8 cm, 2.4 cm, 3.4 cm, 3.4 cm, and 3.6 cm (Fig. 3). Though the effect of thermal insulators was evident, the relative effectiveness of their various depths and thicknesses was not clear. The relations between frost penetration depths and the air freezing index are shown in Fig. 4.