

## 凍着凍上防止工法に関する実験的研究

青山清道\*・福田誠\*\*

Experimental research for prevention method of adfreezing force of soil.

by

Kiyomichi AOYAMA and Makoto FUKUDA

(Abstract)

In cold regions, frost heave action causes serious damage on road pavements and its facilities such as manhole.

At the construction sites of Tateshina plateau in Nagano prefecture, it was necessary to utilize frost-susceptible volcanic cohesive soils for subgrade and subbase course.

Field tests of countermeasures against frost heave and prevention methods of adfreezing force of soil using manhole have been conducted to examine the frost resistances of several kinds of untreated subgrades and those treated with stabilizing materials.

Also, we have been measured the distribution of temperature and heat flow in the ground. This paper describes the results of these tests.

### Ⅰ ま え が き

寒冷地や山岳地帯においては、地表面が冷却されて凍結する時、地中に鉛直に埋められた物体が周囲の凍土に凍着して、地面と一緒に持ち上がることがある。長野県蓼科高原の凍害調査でも、凍結期にマンホールが凍着凍上で持ち上がり、融解期に地面は沈下してもマンホールは浮き上がったままの状態になる被害が生じている。また、地下に水平に埋設されている管とマンホールとの接続部分の破損などの被害も多発している。

ここでは、有効かつ経済的な凍着凍上防止対策を立てるための基礎資料を得るために、マンホールによる凍着凍上防止に関する現場実験を行った。凍着凍上による被害の程度は物体の材質やその表面の粗度などに起因するものと考えられることから、凍上量に及ぼすこれらの要因について検討した。また、マンホールを埋設した周囲地盤の凍上量と凍着凍上量との相互関係についても調べた。合わせて、土中の温度分布や含水比分布、気象等を測定し、火山灰質粘性土の凍上機構との関連性についても考察したので、その概要を紹介したい。

### Ⅱ 実 験 概 要

凍着凍上の現場実験を実施している場所は、長野県蓼科高原の標高1335m付近で、12月末から3月初めまでの月平均気温は $-6^{\circ}\text{C}$ 位である。降雪量は毎年50cm程度と比較的少なく、日射時間は比較的長く、風があまりふかない場所である。

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

\*\* 三井建設技術研究所

凍着凍上実験用マンホールは、試験場内（重さ75kg、表面積0.517㎡）と道路内（重さ492kg、表面積2.83㎡）の2カ所に種々の対策工法を施してセットした。凍着凍上防止効果を比較するため、①マンホールの周囲の土の地盤改良、②マンホールと地盤との間に断熱材を使用、③マンホールの周囲に潤滑材を塗布、など各種の試験対策工法を施工した。

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	層高 (m)	柱状図	試料		色調	土質名	観察
					採取方法	採取深度			
1		0.85	0.85	[X]			暗褐	表土	砕石及び粘性土より成る。
			1.80				褐灰	ローム	
2		2.65		[斜線]	不規則試料採取(力学試験用)				
3		3.70	1.05	[点]			茶、褐 暗茶褐	礫混り 火山砂	10~30%
4				[点]					
5				[点]					
6			4.90	[点]			暗茶褐	転石混り 火山砂礫	50~150% 最大450% の転石有り。  マトリックスは、火山砂にて4mよりは100%透水し地下水なし。
7				[点]					
8		8.60		[点]					
9			1.50	[点]			暗茶褐	火山砂礫	
10		10.10		[点]					

図-1 土質柱状図  
Fig.1 Typical soil profile

試験場所の地盤の状態を確認するためボーリングを実施し、採取した試料で土質試験を行った。図-1は、その柱状図であり、土の物理的性状は表-1の通りである。また、ボーリング調査を試験地の近辺で何か所か実施したが、地下水は地下10m付近まで確認できなかった。

実験の測定項目としては、1.地下水位、2.気温、3.地中温度分布、4.地盤内凍結深さ、5.マンホールの凍着凍上量、6.改良地盤の凍上量、etc、である。なお、地盤改良の範囲は、凍結深さを考慮して、縦1m、横1m、深さ1mの範囲で改良材を土中に散布して混合した後、締め固め機（タンパー）で地盤を転圧した。

凍着凍上量の測定はスタッフで行い、地下水位は水位計で計測し、凍結深さはメチレンブルーによる凍結深度計を用いた。地盤内の温度と気温については自記録装置で3時間ごとに計測した。

表-1 試料の土性値  
Table.1 Geotechnical properties.

サンプリング深さ (m) \ 測定項目	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	比重
0 ~ 0.5	6.9	64.9	28.2	113.6	146.2	95.8	50.4	2.29
1.0 ~ 2.0	9.1	60.6	30.3	98.9	131.2	82.5	48.7	2.59

### Ⅲ 実験結果及び考察

地下水位は12月～3月まで調査したが、地表面から1.5m付近のローム層と2.65m～10.10mの転石混り火山砂礫層内に地下水は確認できなかった。したがって、この付近の地盤だけを対象に考えると“CLOSED-SYSTEM”の基で凍結—融解作用が行われていると考えられる。

図-2は12月21日～3月7日までの平均気温（3時間ごとの気温の平均）である。これによると、12月末から3月初めにかけてほとんど0℃以下の気温である。ただし、1月の下旬に若干、暖かい日が続いた。

図-3はメチレンブルー凍結深度計により求めた凍結深さである。試験場内の地盤に設置した凍結深度計と道路上に設置した凍結深度計の位置はほとんど同一の標高であるにもかかわらず凍結深さに違いが生じている。すなわち、道路上の凍結深の方が試験場内のそれより深くなっており、その差は10cmにも達している。これは自然地盤の複雑性にも起因するが、舗装により道路内の熱伝導率が、試験場内の地盤よりも大きくなった結果によるものである。

図-4は地盤内の温度変化を熱伝対を用いて自動的に記録した値をプロットしたものである。

積算寒度が増大すると当然のことながら地盤内の温度も低下し、外気温がある一定の値になると地盤内温度も変化しなくなる。

図-5は地盤改良を行った地盤の凍上量を比較した結果を示したものである。凍上抑制効果の大きいものから順に列記すると下記ようになる。

- ① (セメント+スリメント+山砂) 混合地盤
- ② 碎石(40~0)地盤
- ③ 未処理地盤(不攪乱地盤)
- ④ {セッコウ(5%) + 消石灰(5%) + 現場発生ローム} 混合地盤
- ⑤ 未処理地盤(攪乱地盤)

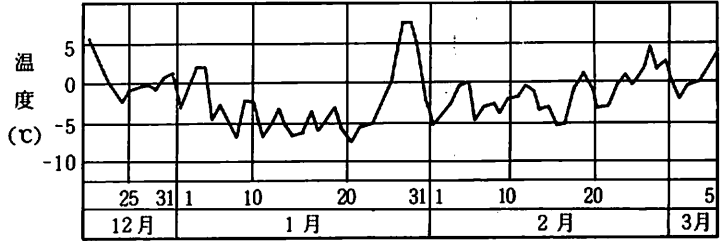


図-2 日平均気温(1980年12月～1981年3月)

Fig.2 Daily mean air temperature (Dec., 1980 ~ Mar., 1981)

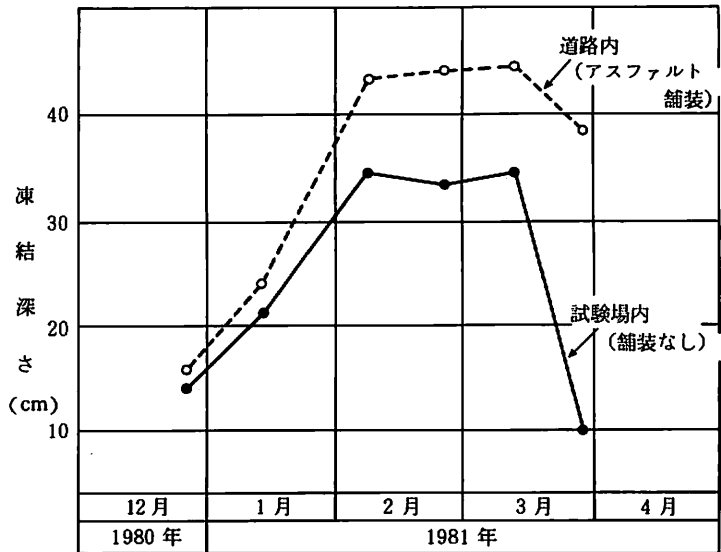


図-3 凍結深さ

Fig.3 Frost penetration depth

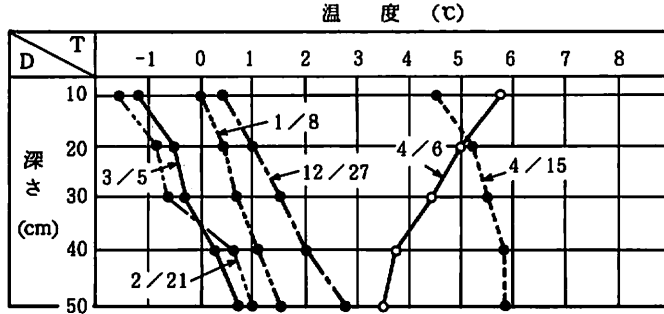


図-4 地中温度 (1980年12月27日～1981年4月15日)  
Fig.4 Soil temperatures (27th of Dec.,1980～15th of Apr.,1981)

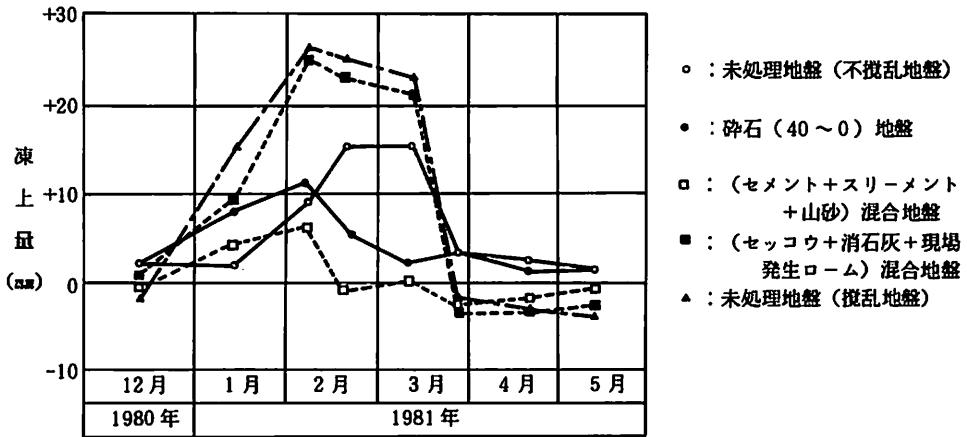


図-5 地盤の凍上量  
Fig.5 Amount of frost heaves

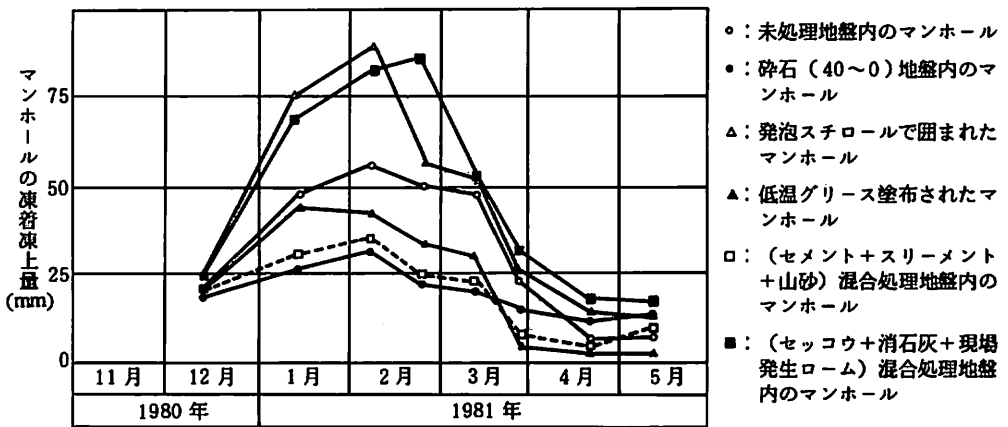


図-6 マンホールの凍着凍上量 (試験場内)  
Fig.6 Lift up the manhole due to the adfreezing force of soil (at the experimental site)

これから、地盤改良をほどこした①や②の凍上抑制はそれなりの効果があったが、④の地盤改良や⑤の攪乱地盤の凍上量は当初予想していたよりも大きかった。

これは、鋭敏比の大きい火山灰質粘性土地盤は攪乱されることによって土の構造が破壊され著しく強度低下を生じるため、簡単な地盤改良では効果が少なく、かえって凍上による被害を増大させる結果となることが判った。

図-6は試験地内の地盤改良及び凍着凍上防止を目的としてマンホール周辺を手当てした時のマンホールの凍着凍上量を調べたものである。凍着凍上量の小さいものから下記の順序であった。

- ① 碎石(40-0)地盤内のマンホール
- ② (セメント+スリーメント+山砂)混合処理地盤内のマンホール
- ③ 低温グリース塗布されたマンホール
- ④ 未処理地盤内のマンホール
- ⑤ (セッコウ+消石灰+現場発生ローム)混合処理地盤内のマンホール
- ⑥ 発泡スチロールで囲まれたマンホール

ここで、断熱効果を期待し周囲を発泡スチロールでおおったマンホールの凍着凍上量が予想よりも大きかったのは、マンホールと発泡スチロールの間に雨水が浸入し、それが凍ったことに起因するものであることが判った。今後、凍着凍上防止工法を開発するにあたっては施工性の難易も重要な要素であるという貴重な教訓を得ることができた。また、潤滑効果を期待した低温グリース塗布についてはそれなりの効果が認められ、凍上量の軽減に役立つものと思われる。

図-7は小型コンクリート製マンホール周辺地盤内の温度分布をプロットした一例である。地盤凍結が35cm~40cmの時のマンホール周辺地盤の温度分布をみても、マンホール壁に近いほど温度は低く、冷気は土に比べ熱伝導率の大きいコンクリート壁を伝わって地中に流入していくことが判る。

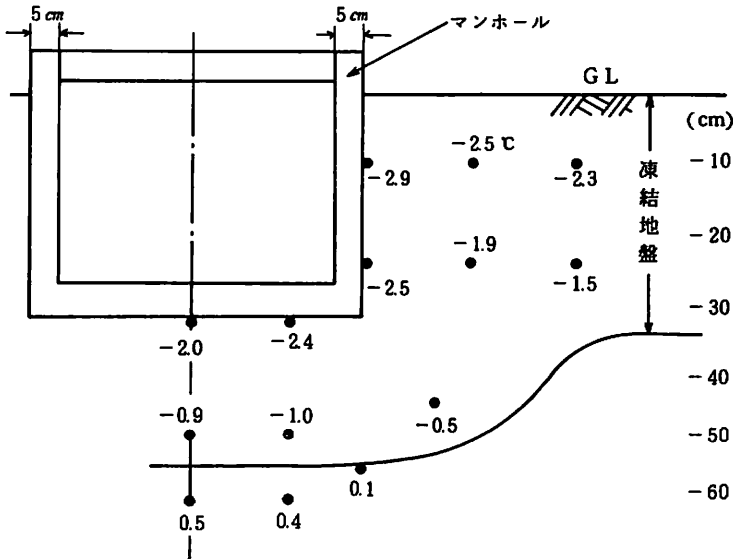


図-7 マンホール周辺の温度分布(°C)  
(1981年2月28日, 9時)

Fig.7 Soil temperatures around the manhole (°C)  
(9A.M.,28th of Feb.,1981)

図-8は道路に施工したマンホールの各種対策工法と未対策の凍着凍上量を比較したものである。測定期間は4回の冬を越した状況を示しており、このマンホールの重量は492kg、表面積2.83㎡である。未対策のマンホールの凍着凍上量はその年の凍結指数(1977年～1978年, 420℃・days), (1978年～1979年, 400℃・days), (1979年～1980年, 320℃・days), (1980年～1981, 380℃・days)の大きさにほぼ比例して増大することが判る。低温グリース塗布の効果は凍結指数等の気象条件にあまり左右されないようである。

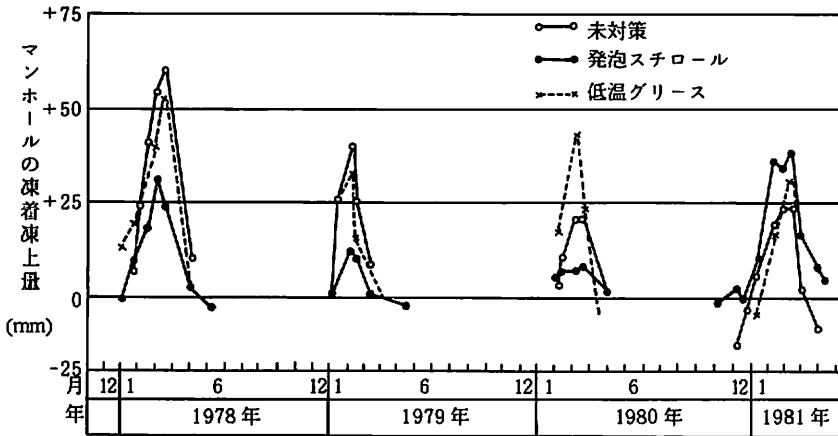


図-8 マンホールの凍着凍上量(道路上)  
Fig.8 Lift up the manhole due to the adfreezing force of soil (at the road)

図-9, 図-10, 図-11はそれぞれ, 道路内に施工した未対策マンホール(未処理地盤内に埋設したマンホール)及び発泡スチロールによる断熱工法と低温グリース塗布による潤滑工法で対策したマンホールとその周辺舗装面上の凍上量の経時変化を測定した結果の一例である。いずれの場合も, マンホールとその周辺地盤とは不規則な不等凍上現象を示しており, この高低差が交通荷重による舗装面の損傷の原因の一つとなっている。なお, 地盤改良範囲のとり方については今後検討の必要があると思われる。

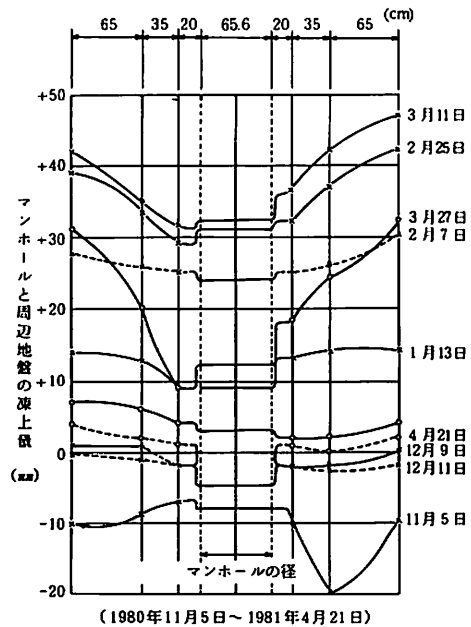


図-9 道路内のマンホールと周辺地盤の凍上量(未処理地盤)  
Fig.9 Amount of frost heaves and lift up the manhole (untreated ground)

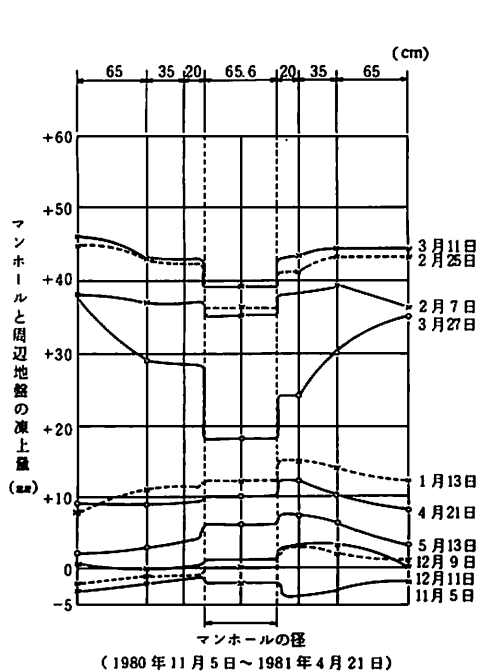


図-10 道路内のマンホールと周辺地盤の凍上量  
(発泡スチロールによる断熱工法)  
Fig.10 Amount of frost heaves and lift up the manhole  
(insulation method)

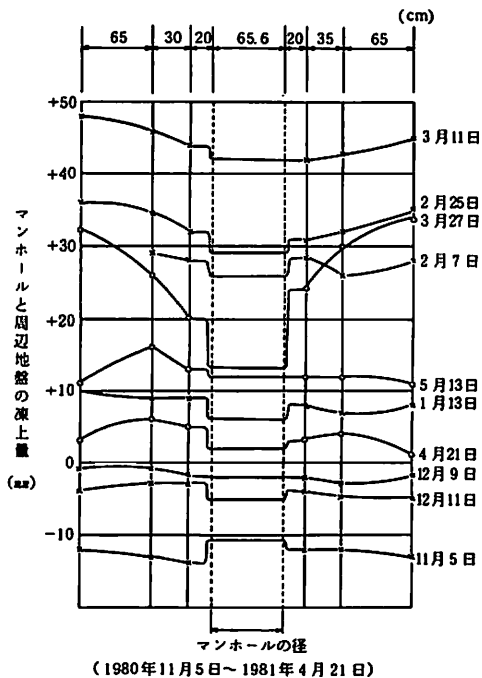


図-11 道路内のマンホールと周辺地盤の凍上量  
(低温グリース塗布による潤滑工法)  
Fig.11 Amount of frost heaves and lift up the manhole  
(lubrication method)

#### IV あとがき

地中に埋設された構造物が、周囲の凍土に凍着して、地面とともにもち上がる凍着凍上は気象条件とともに構造物の材質やその表面の粗度、及び周囲の地盤条件など複雑多様な要因に支配される凍害である。本報では、まだ暗中模索の段階にある凍着凍上現象を詳細に把握し、防止対策をたてる上での設計、施工上の基礎資料を得るために行っている現場実験の概要を述べたものである。本研究は継続中であり、実験データの蓄積をかさねてさらに検討を加えていく予定である。

最後に、本研究に際し御指導、御協力をいただいている新潟大学中俣三郎教授、長岡技術科学大学小川正二教授、三井建設技術研究所 川澄 脩副所長、三井道路技術研究所 山本正夫主任研究員に深甚なる感謝の意を表わします。

## 参 考 文 献

- 青山清道・小川正二・川澄 脩・田村富雄・福田 誠(1977):凍結-融解を受けた土の力学的性質,土質工学会誌,土と基礎,25-7,41-46.
- R.N.Yong 著,青山清道,中村 勉訳(1977):土の凍結と永久凍土に関する諸問題,土質工学会誌,土と基礎,25-7,1-4.
- 青山清道(1981):凍害と防止対策に関する文献目録,土質工学会誌,土と基礎,29-2,59-63.
- 青山清道・古賀康之(1982):地域別に見る世界の土質関係基準とその運用-カナダ-,土質工学会誌,土と基礎,30-6,41-44.
- 中俣三郎・青山清道(1982):土質工学における雪と氷-雪と土木工学-,土質工学会誌 土と基礎,30-12 67-74.
- 青山清道(1982):土の凍結-その制御と応用- 土質工学ライブラリー,23 土質工学会,70-90