

## 凍着凍上に関する模型実験

青山 清道\*

### Model tests on adfreezing force of soil

by

Kiyomichi AOYAMA

(Abstract)

It can be observed that Tateshina loam (Nagano prefecture) freeze the surface of the affected ground rises, lifting with it manholes or drainage pipes due to the adfreezing force of soil located above the freezing zone.

In order to estimate the amount of adfreezing force of soil, the laboratory model tests for the several kinds of manhole (different types of manhole, different kinds of materials) have been carried out.

The results indicate that the behavior of the manhole depends on not only the type but also the kinds of materials.

The adfreezing force of soil depends strongly on the roughness surface of manhole.

Also, it is found that the relation between thermal conductivity and dry density (or degree of saturation) of soil.

### I まえがき

寒冷地や高所の山岳地帯においては、地表面が冷却されて凍結する時、地中に鉛直に埋設された物体が凍着凍上により地面の凍上とともに地表面に浮き上がることがある。融解期には凍結土は地表面から融けるため、地面は沈下してもマンホール等の埋設構造物は上がったままになる。一般的に、地下へ水平に埋設する管などは凍結深よりも深く埋めているため、被害は少ないが、地上に出る立上りの部分では、凍着凍上による被害（青山、1981, 1982）が顕著に現われる。

長野県蓼科高原における凍害に関する現場調査（青山・福田、1983）でも、マンホール等の鉛直埋設物が凍着凍上により写真-1, 写真-2のように浮き上がり、被害の生じていることが広範囲にわたって確認された。雪氷工学や土質工学での現場実験は、一般に規模が大きく、現場スケールでの実験は、経費や期間の面から実行が難しい場合もあり、実験室内での小型の模型実験から、厳密でなくとも現場の挙動を類推できれば都合がよい。

ここでは、有効で安全かつ経済的な凍着凍上防止対策をたてるための基礎資料を得るために室内模型実験を行い、凍着凍上量と単位凍着面積重量との関係、マンホールの材質や粗度と凍着凍上量との関係を調べた。合わせて、マンホールの上昇現象を詳細に把握するために、土中の温度分布、含水比分布、凍上量の鉛直分布等も測定し、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報告する。

\* 新潟大学積雪地域災害研究センター



写真-1 凍着凍上によるマンホールの浮き上がり（長野県蓼科高原）

Photo.1 Uplift of manhole due to adfreezing force of soil (Tateshina plateau in Nagano prefecture)

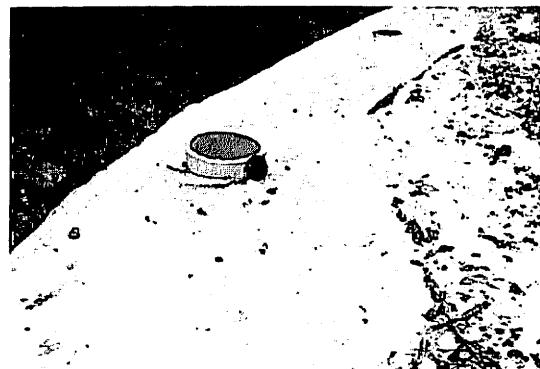


写真-2 凍着凍上による排水パイプの浮き上がり（長野県蓼科高原）

Photo.2 Uplift of drainage pipe due to adfreezing force of soil (Tateshina plateau in Nagano prefecture)

## II 実験概要

実験装置は、図-1のように上室、下室それぞれ独立に温度調節が出来る冷却装置を備え現場の状況を再現し得るような構造で、凍結中水の出入りが自由に出来る所謂開式（Open-system）の凍上試験機である。

実験に使用した試料は、実際に凍着凍上現象がみられる長野県蓼科高原から採取したものであり、その土性値は表-1の通りである。

この試料を気乾燥した後、加水して、現場の含水比とほぼ同じ90%に調製したものを実験槽につめた。

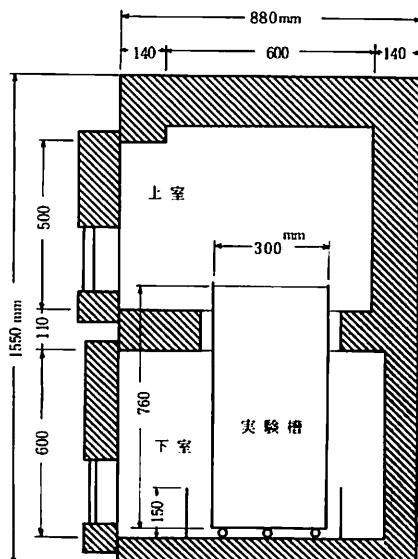


図-1 凍上試験機断面図

Fig.1 The cross-section of frost heave apparatus

さらに、単位凍着面積重量の異なる3個の模型用コンクリート製マンホールを図-2のように土中に埋め込んだ。凍上試験機に実験槽をセットし、1日放置した後、上室を-20°C、下室を+14°C（現場の地下水の温度）に保ったまま1週間、凍上量、鉛直方向の温度分布、マンホールの上昇量などの測定を続けた。また、比較のためにコンクリート製とは熱伝導率の異なる塩ビ製マンホールについても同様の実験を行った。

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

|                          |             |                            |      |
|--------------------------|-------------|----------------------------|------|
| 土粒子の比重<br>$G_s$          | 2.81        | 10 % 径<br>$D_{10}$ (mm)    | 0.02 |
| 塑性限界<br>$w_p$ (%)        | 54.8        | 30 % 径<br>$D_{30}$ (mm)    | 0.07 |
| 液性限界<br>$w_L$ (%)        | 122.7       | 60 % 径<br>$D_{60}$ (mm)    | 0.20 |
| 塑性指数<br>$I_p$            | 67.9        | 最適含水比<br>$w_{opt}$ (%)     | 75   |
| 湿潤密度<br>$\rho_t$ (g/cm³) | 1.30 ~ 1.45 | 最大乾燥密度<br>$\rho_d$ (g/cm³) | 0.79 |

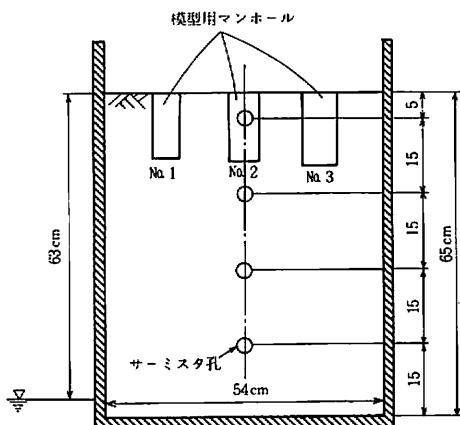


図-2 模型実験略図

Fig.2 The schematic profile indicating model tests

期には各マンホールとも沈下している。これは、試料土が高含水比のため実験槽につめる時に生じた不均一な状態から、土が安定な状態になるためマンホールも土とともに沈下したものと思われる。

凍結時間の経過とともにマンホールの穴から流入した冷気により、マンホールの周囲の土が表面の土とともに凍結する。この周囲の凍土がマンホールと一緒に持ち上げ、地面の凍上とともにマンホールも浮き上がり、その下には写真-3のような空洞を生じる。

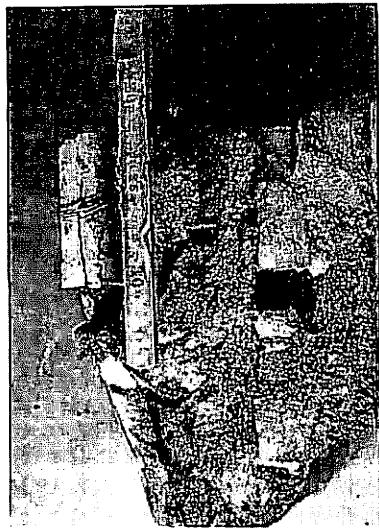


写真-3 凍着凍上により生じた空洞（室内模型実験）

Photo.3 Air hollow due to adfreezing force of soil  
(Laboratory model tests)

凍着凍上は、物体の材質はもちろん、その表面の滑らかさにも影響することが考えられるので、模型用マンホールの周囲に潤滑材を塗布して表面粗度を変化させた比較実験も行った。

実験槽中の土層の厚さは65cmであり、地下水位は地表面より63cmに仮定して、槽の底部に吸水槽を設け、開式になっている。土中の温度状態は地表面より5, 20, 35, 50cmの位置に差し込んだサーミスタで測り、土層の深さ方向の凍上量は、土層中に設置した凍上計により測定した。

### III 実験結果及び考察

単位凍着面積重量がそれぞれ1.3, 1.8, 2.3 gf/cm<sup>2</sup>の模型用コンクリート製マンホールの鉛直変位と凍結時間との関係を示したものが図-3である。凍結の初期には各マンホールとも沈下している。これは、試料土が高含水比のため実験槽につめる時に生じた不均一な状態から、土が安定な状態になるためマンホールも土とともに沈下したものと思われる。

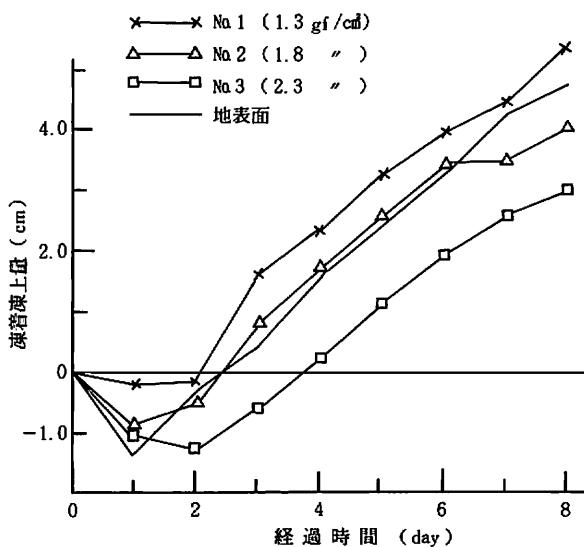


図-3 凍着凍上量と経過時間との関係  
(模型用コンクリート製マンホール)

Fig.3 Relation between uplift manhole due to adfreezing force of soil and time

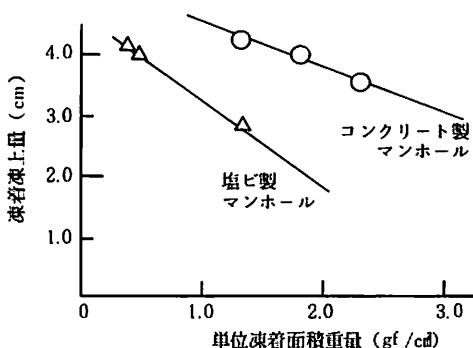


図-4 凍着凍上量と単位凍着面積重量との関係

Fig.4 Relation between uplift of manhole due to adfreezing force of soil and unit weight of adfreezing force area

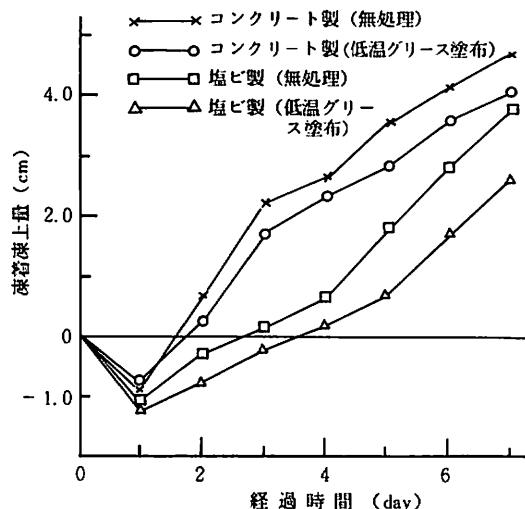


図-5 凍着凍上量と表面粗度との関係

Fig.5 Relation between uplift of manhole due to adfreezing force of soil and roughness surface of manhole

凍上量と単位凍着面積重量との関係を、コンクリート製マンホール、塩ビ製マンホールについてプロットしたものが図-4である。これより、同じ材質の場合には単位凍着面積重量が大きいものほど凍着凍上量は小さく、材質が異なる場合には熱伝導率の大きい方が凍着凍上量が大きくなっていることが分かる。

熱の伝わり方には伝導と対流と輻射の三つがあるが、土中では、対流と輻射は伝導に比して無視できるほど少ないといわれており（斎藤・岡垣、1959），熱の大部分は伝導によって伝わるものと考えられる。コンクリートの熱伝導率は $1.4\sim2.6\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ であり、これに比較して塩ビの熱伝導率（コンクリートの $\frac{1}{4}\sim\frac{1}{3}$ ）は小さい。

材質や材質表面の粗度と凍上量との関係を調べるために、同じ単位凍着面積重量の模型用マンホールを2本用意して、一方には潤滑材として低温グリースをマンホールの周囲に塗布し、土が側壁面に凍着しにくいようにした。図-5はコンクリート製マンホールと塩ビ製マンホールについての一例である。同一の体積において、塩ビ製マンホールの重量はコンクリート製マンホールよりも軽いにもかかわらず、凍結初期では塩ビ製の沈下はコンクリート製よりも大きい。これはコンクリートの方が塩ビに比べると熱伝導率が大きいため、コンクリート周囲が塩ビ周囲よりも早く凍結し、凍着凍上力が先に働くからだと考えられる。

また、マンホールの材質が同じ場合、低温グリースを塗布して周囲を滑らかにしたものは、無処理のものに比べ凍着凍上量は小さい。したがって、マンホールの周囲に潤滑材を塗布することは、凍着凍上量の軽減に役立つものと思われる。

#### IV あ と が き

寒冷地や山岳地帯の開発、高所山岳地帯を通る道路建設が行われ、冬期間の完全除雪区間も増加して、凍着凍土に起因するマンホール等の構造物被害が目立っている。地中に埋設された構造物が、周囲の凍土に凍着して、地面とともに持ち上がる凍着凍土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。

地盤条件としての重要な因子の一つは土の熱伝導率があり、これは土の種類、乾燥密度、飽和度などによって大きく変化する。例えば、本実験に用いた試料を含水比一定のもとで締め固めた供試体の乾燥密度と、Hot Wire 法で求めた熱伝導率との関係は図-6 のようになる。これより、含水比が同一の場合、乾燥密度が大きいほど熱伝導率が大きいことが分かる。

また、乾燥密度一定のもとでの飽和度と熱伝導率との関係を求めたものが図-7 であり、飽和度が高くなるにつれて熱伝導率が大きくなる。

このように、土の熱伝導率は各種の条件によって大きく異なり、簡単な理論式では説明がつかない面が多い。

したがって、ここで行った模型実験は現象の予測手段としては、きわめて有効なものであると考えられる。

ただ、相似則などの制約から、現場の代用としての模型は、現場の状況をそっくりそのまま再現することが困難である。模型実験での成果に基づいて、凍着凍土防止対策をたてるまでの設計、施工上の基礎資料を得るために、長野県蓼科高原で凍着凍土に関する現場実験を行っている。

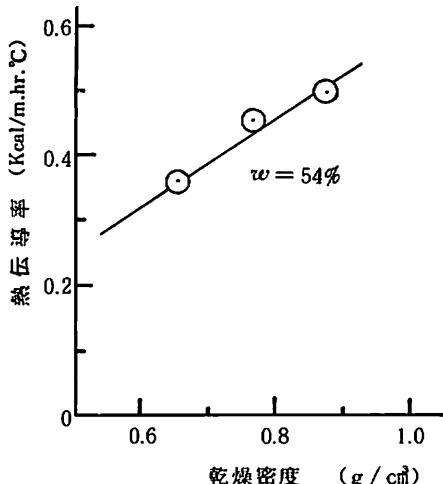


図-6 热伝導率と乾燥密度との関係  
Fig.6 Relation between thermal conductivity and dry density

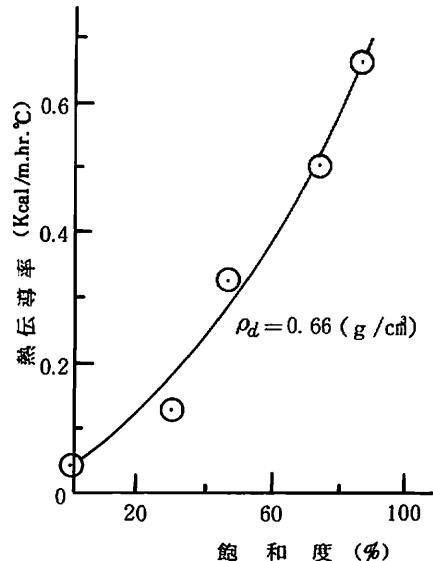


図-7 热伝導率と飽和度との関係  
Fig.7 Relation between thermal conductivity and degree of saturation

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、御指導、御協力いただいている新潟大学積雪地域災害研究センター中俣三郎教授、長岡技術科学大学工学部小川正二教授、三井建設技術研究所川澄脩副所長・福田誠主席研究員、日曹マスタービルダーズ中央研究所梅沢健一研究員、中原建設工業半田法人氏に厚く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 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（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.
- 青山清道・福田 誠（1983）：凍着凍上防止工法に関する実験的研究、新潟大災害研年報、5、89-96.
- 斎藤 武・岡垣 理（1959）：湿った物質の伝熱特性、日本機械学会誌、第62巻、484、75-81.