

小型 U-トラフの凍上被害に関する屋外実験

FIELD TESTS ON FROST HEAVING DAMAGE OF SMALL SIZED U-TROUGH

鈴木輝之*・山田利之**

By Teruyuki SUZUKI and Toshiyuki YAMADA

The experiments on the mechanism of damage of relatively small sized concrete U-trough with ground freezing were made. For this purpose, 450 millimeter concrete U-troughs specified in JISA-5305 were experimentally set, and the collapsing force, deformation, and so on arise at the troughs in winter season were measured. Through this study, the following results were obtained. 1) The collapse of concrete U-trough occurred after ground freezing mainly had origin in frost heaving. 2) Under a certain condition, the magnitude of frost heaving pressure acting on the trough was far over the destruction resistance of tested trough. 3) The effect of some countermeasures attempted in this study were evidently recognised.

Keywords: concrete U-trough, field test, frost heaving pressure, volcanic ash soil

1. ま え が き

近年道路の整備が進みその付帯構造物の1つである排水側溝は、鉄筋コンクリート製のU形トラフを用いて、排水機能の向上と恒久化を計ることが多くなっている。また、農業土木の分野でも、用排水路として大小の既製品トラフを用いることが非常に多くなっている。

このような状況のもとで、トラフが冬期間の地盤凍上に伴う凍結土圧によって破壊されるという被害が見逃がせない問題となっている。

地盤の自然凍上による構造物の被害に関する工学的な研究は、道路や鉄道の凍上被害対策に関するものを中心として多く行われてきており、その成果をまとめた本も出版されている¹⁾。しかし、自然の凍上が構造物に与える被害は、きわめて多様な因子に支配されるので、1つの具体的な構造物を対象とした研究の成果が、そのまま他の構造物の被害対策を検討するうえで適用できるとは限らない。

道路の側溝が地盤凍上によって被害を受けることは、

かなり以前から指摘されている²⁾。しかし、その被害対策に関する研究はこれまでほとんどみられず、最近になって、被害の実態に関する調査がいくつかみられる程度である³⁾⁴⁾。一方、類似の問題として、農業用水などで用いられている比較的大型の用水路側壁の凍上被害に関する研究は行われており、対策工法も示されている。しかし、この研究の中でも、小型水路の凍上被害については対象とはならず、状況に応じて対応する必要のあることだけが述べられている⁵⁾⁶⁾。

本研究は、JIS A 5305に定められる比較的小型の既製コンクリートトラフの凍上被害を対象としたものである。周辺地盤の凍結に伴うトラフの被害で問題となるのは、全体の持上がりと側壁に加わる凍結土圧によって押しつぶされることの2つである。この2つの被害は凍上力あるいは変位に鉛直方向と水平方向の2つの成分が含まれることによるのであり、独立した原因によるものではない。このうちトラフの持上がりについては、周辺地盤の融解とともに元のレベルに戻る傾向が強く、またトラフ自体の破壊を招くものでもない。一方、側壁に加わる凍結土圧の水平方向成分によって押しつぶされた場合には、トラフ自体が破壊してしまうので、水路としての被害も大きいものとなる。

いま、道路および大型水路の凍上現象を念頭において、

* 正会員 工博 北見工業大学助教授 土木工学科
(〒090 北見市公園町 165)

** 大成基礎設計(株)東北支社(元・北見工業大学大学院生)
(〒980 仙台市若林区新寺 3-13-10)

本研究で扱っている比較的小型のコンクリートトラフの凍上問題の特性を挙げると、次のようになろう。

1) 凍結線の形状が水平にならないため、加わる力や変位の成分が複雑になる。

2) トラフが押しつぶされて破壊することが問題なのであるから、側壁に加わる凍結土圧の大きさをとらえる必要がある。

3) 一般に、冬期間は積雪に覆われる構造物であるので、この効果の考慮も必要である。

4) トラフの深さはただだか 60 cm であるから、寒さの厳しい地域では、凍結深さがトラフの深さ以上になる場合がある。

本研究では、呼び名 450 mm (JIS A 5305) のコンクリートトラフを、埋戻し材料や背面傾斜などの条件をいくつかに変えて試験設置し、冬期間における 1) 気温および背面土中の温度、2) 側壁に加わる凍結土圧、3) 側壁上端部での内寸法の縮み、4) トラフの持上がり量の 4 項目の測定を行った。実験は昭和 60 年度より開始し、現在も継続している。本論文中では、これらの測定結果に基づき、主として次のような点について検討を加え、その内容を明らかにしている。

1) 側壁背面土中への凍結進入状況と側壁に加わる凍結土圧の発生機構。

2) 気温変化に対応した凍結土圧およびトラフ縮み量の短期的経時変化とその機構。

3) 凍結土圧およびトラフ変形量のシーズンを通じた長期的変化特性とそれらの相対的関係。

4) 凍結土圧およびトラフ変形量の長期的変化に及ぼす裏込め材料、背面地形などの設置条件の影響。

2. 実験

(1) 試験トラフの設置定規と埋戻し材料

JIS A 5305 に定める鉄筋コンクリート製 U 形トラフを、北見工業大学構内に試験設置し、昭和 60 年度～62 年度の 3 シーズンにわたって各種の測定を行った結果を示している。裏込め材料などの設置条件は年度によって少しずつ異なるが 62 年度の場合を例として、トラフの設置状況を図-1 に示す。また、設置定規を図-2 に示す。

設置場所は、南西向きの日当りの良い人工造成地の斜面の下である。図-1 に示すように、この場所の地表面は風化の程度が比較的小さいと思われる火山灰で覆われているが、地表面から浅いところに造成前の地表面との境界がある。本文中では現地表面の土を現地土、旧地山の土を旧地山土とおのおのよんでいる。地下水位は確認されていないが、この場所より 30 m ほど離れたところに本学の取水井戸があり、その井戸のボーリング記録によれば、地下水の深さは平坦地表面より 19.6 m となっ

ている。このように、この付近の地下水位はかなり低いことは間違いなく、地盤が凍上するときの地下水面からの水分供給はないものと思われる。ただし、少量であるが旧地山との境界に沿っていると思われるのり面側からの浸透水の存在が、トラフ設置の段階で認められた。なお、No. 21～25 のトラフは、両背面が平坦な条件を作り出すように設置したものである。

設置したトラフは、4～5 個ずつのスパンに分け、各スパンごとに裏込め材料の種類などの設置条件を変えている。図-2 中に用いた裏込め材料の種類および断熱材の設置方法を示し、表-1 に設置現場の土と裏込め材として用いた土の性質を示している。これらの中で、火山

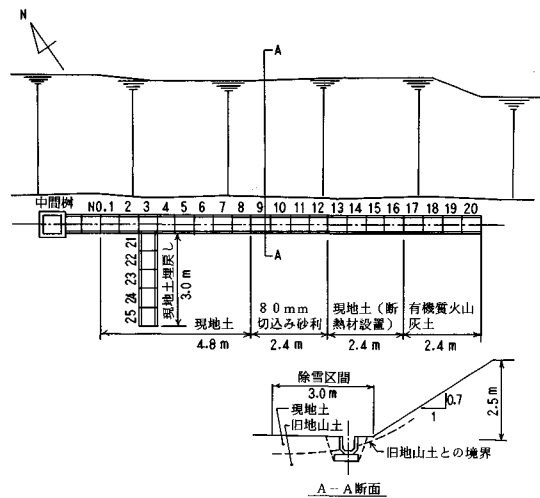


図-1 試験トラフの設置状況 (昭和 62 年度)

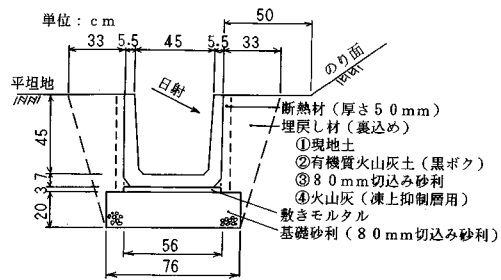


図-2 設置定規と背面処理の種類

表-1 試験トラフ周辺土の性質

	現地土	火山灰	有機質火山灰土	旧地山土
比重	2.53	2.49	2.48	2.59
シルト以下重量比 (%)	33.0	23.0	56.0	51.0
締固め Wopt (%)	24.3	25.6	35.5	23.8
特性 ρ_{max} (t/m ³)	1.46	1.37	1.23	1.52
*凍上特性 凍上率 (%)	25.4	3.0	44.0	31.3
凍結様式	微細霜降状	コンクリート状	霜柱状	霜柱状

*道路土工排水工指針による

灰は北見地方で道路の凍上抑制層として用いられている難凍上性の材料であり、有機質火山灰土は有機成分を含む火山灰地の表土で、あえて凍上性の強い材料で埋戻してみたものである。このように同じ火山灰質土でも凍上性が大きく異なるのはシルト以下重量比の違いによるものと思われる。また、断熱材は比較的軟らかい厚さ5 cmの発泡スチロール板で、このときの埋戻しは現地土で行っている。

(2) 測定方法

実験は図-1に示す除雪範囲を常に除雪し、トラフ背面土中への凍結浸入に対する積雪の影響をなくした状態で行っている。測定項目と方法は以下のとおりである。

a) 温度 気温、背面土中およびトラフ表面について、合計30点の温度センサー(c-c熱電対)を配置し、1時間間隔で自動計測した。

b) 側壁に加わる凍結土圧 一部のトラフにおいては図-3に示す状況で、ロードセルに加わる荷重を1時間間隔で自動計測した。なおこのロードセルでは -25°C ~ $+20^{\circ}\text{C}$ の間で有為なゼロドリフトは認められなかった。

この方法で測定される荷重は、側壁に加わる凍結土圧の水平成分の一部である。厳密にみれば、側壁は背面の凍土と凍着して一体化するので、加わる力の成分はかなり複雑になっていると思われる。図-3の方法では、トラフを押しつぶす原因となる凍結土圧の成分を、巨視的に測定していることになると考えられる。このような観点からすれば多少厳密さを欠くことになるが、本文中ではこの2つのロードセルで測定された力を凍結土圧とよんで用いている。

c) トラフの変形 ロードセルを設置していないトラフ(図-3に示す底盤の切り目を入れていない)では、側壁上端部での間隔の変化をノギスによって1日に1回測定した。また、側壁上端部に変位計を挟み、側壁間隔の変化を1時間ごとに自動計測することも一部で行った。本文中では、この変化量のことをトラフの“縮み量”とよんで用いている。

d) トラフの持上がり量 設置したすべてのトラフについて、両側壁の天端の持上がり量をレベルによって1週間に1度測定した。

(3) 実験シーズンの気温および凍結深さ

図-4に実験を行った60年~62年の3シーズンの凍結指数と凍結深さを示す。日平均気温のマイナスになる日は11月中旬から翌年の3月末にかけて現われた。これに対して地盤の凍結は、11月末から入り始めて、2月末まで進行していきその後後退している。

また、61年度の凍結深さは3か所での値を示している。この中で、のり面は除雪を行っておらず、平坦地は

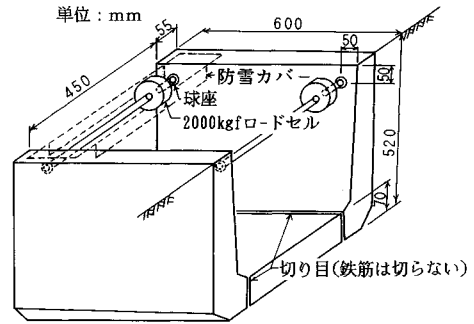


図-3 凍結土圧の測定方法

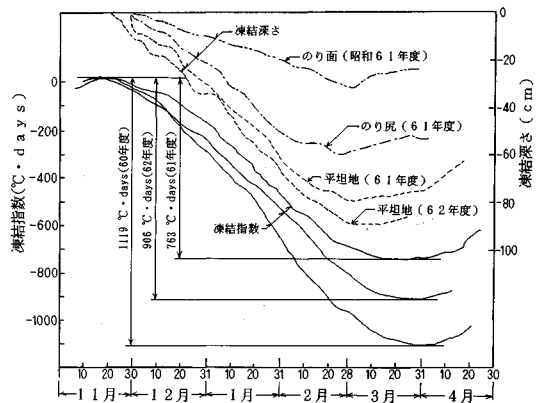


図-4 測定シーズンの凍結指数と凍結深さ

除雪している。また、のり尻は除雪区域の境界に当たっている。このように積雪条件さらに地形条件の違いによって、凍結深さは大きく異なることがわかる。

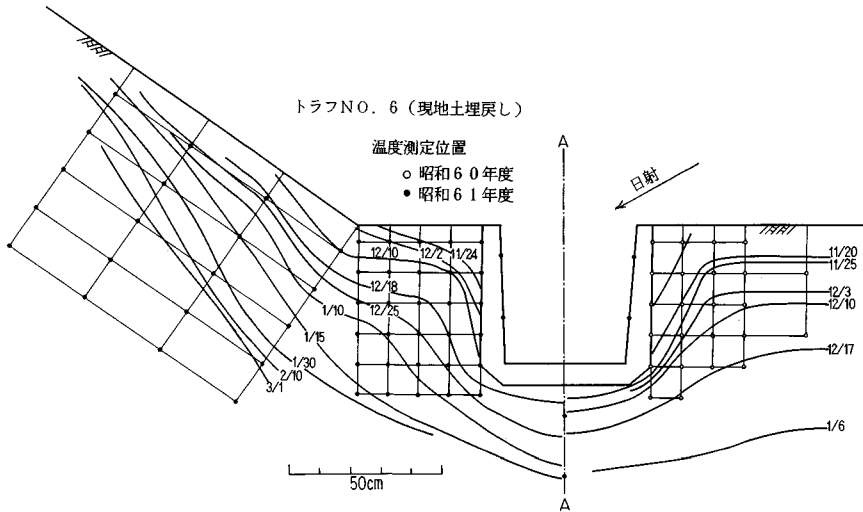
3. 実験結果および考察

(1) トラフ背面土中への凍結浸入

図-5に現地土で埋戻したトラフの背面土中の 0°C 線の推移を示している。これらの曲線は、図中に示す温度測定点の値から内挿法で求めたものであり、測定は、昭和60年度と61年度に分けて行っている。この 0°C 線と凍結線とは厳密には少し異なることが知られているが、実用的には同じとみなして差し支えない⁷⁾。ここでは実測された 0°C 線を凍結線として考察を進める。

凍上は凍土と未凍土の境界すなわち凍結線付近で発生し、その力や変位の方向は凍結線に垂直となる。

このほかに地盤の凍結によって発生する力としては、既存の土中水の凍結膨張によるもの、さらに二次凍上⁸⁾あるいは二次膨張⁹⁾とよばれる現象によるものなどが認められている。また実際の構造物に加わる力すなわち凍結土圧は既凍結部分を介して伝えられるのであるから、



図一五 トラフ背面土中への凍結線の進入状況

凍上の熱膨張特性やクリープ特性などもその力に大きく影響してくる。このように地盤の凍結に伴って構造物に加わる凍結土圧の大きさは、非常に複雑な因子の影響を受けるが、その力の主な発生源は、凍結線付近で発生する凍上力によると考えてよいであろう。

以上の考え方を前提とすれば、図一五から次のことがいえる。

a) トラフ背面土中では、凍結線が傾いて入っていくために凍上力あるいは凍上変位に水平方向成分が現われ、これがトラフを押しつぶす原因になっていると思われる。

b) トラフ背面がのりになっている場合は、凍結浸入の深さにかかわらず凍結線は傾き、凍上力の水平成分が現われる。

c) 一方、背面が平坦な場合には、凍結が深く入ってくると、凍結線は水平に近くなり、凍上力の水平成分は小さくなると考えられる。

これらの内容は、次節以後に示す凍結土圧や縮み量の実測結果に現われてくる。

(2) 凍結土圧および縮み量の短期的経時変化

図一三の方法で測定された凍結土圧，ロードセルを挟んでいないトラフの側壁上部部の縮み量，および温度の3つの経時変化について、昭和61年度の測定結果の例を図一六に示す。また、図一六の測定が行われた期間における凍結線の移動範囲を図一七に示す。

まず温度についてみると、気温は時期にかかわらず1日の間で10~15°C程度の幅で変動を繰り返している。また直射日光が当たるトラフ表面の温度(測点 No. 25)は真冬日であっても一時的に+10°C前後まで上昇し

ている。この表面温度の上昇に対応して背面土と接している面の温度(測点 No. 2)も一時的にプラスの温度になることがわかる。

このような日々の温度変化に対応して、凍結土圧および縮み量ともに1日の間で大きく変動する。たとえば、凍結進入初期(図一六(a))では、凍結土圧はピークが400~600 kgfとなるのに対して、200~500 kgf程度の幅で変動している。一方、凍結が深く進入し大きな凍結土圧が加わる1~2月(図一六(b), (c))では、ピーク値が3000~4000 kgfくらいまで上昇するが、変動幅も1000 kgfくらいになっている。またこの動きは日中の気温の上昇とともに凍結土圧あるいは縮み量は増加していき、夕方にかけての気温の下降とともに、凍結土圧あるいは縮み量が減少している。このように外気温の変化に刻々と対応した形の凍結土圧や縮み量の変化に影響する因子としては、

- 1) 気温変化に伴う凍結線での凍上発生量の変化
- 2) 凍土の熱膨張・収縮
- 3) 凍土のクリープによる応力緩和

などが考えられる。凍結初期においては凍上部分が薄いために凍結線付近の温度が気温変化の影響を受けやすいから、凍結土圧の変動をもたらす因子として上記1)が強く働いていると思われる。一方、凍結が深く入った時点では凍結線における凍上の発生が気温の変化に対応しているとは考えにくい。なぜならば、気温の変化が凍結線における熱的バランスに影響してくるまでにはかなりの時間的な遅れがあるはずである。気温変化の影響を時間的な遅れを伴わずに受けるのは、地表面に近い部分の凍土のはずであり、この部分の凍土に作用する上記2)、

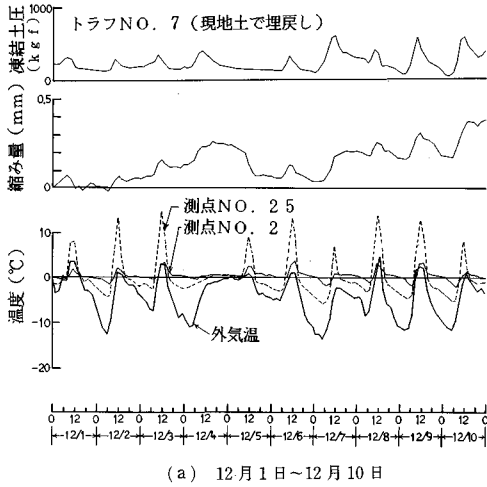
3)の因子が、図一6に示すような凍上力や縮み量の変動の主因になっているであろうことは推察される。

(3) 凍結土圧、縮み量および持上がり量の長期的変化とそれらの相対的關係

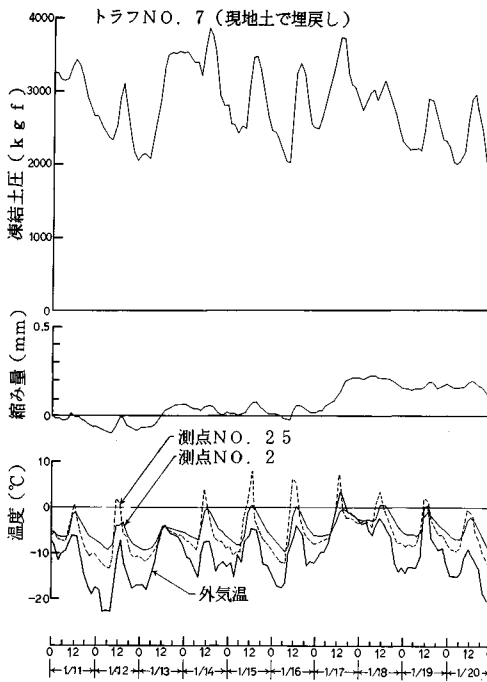
前節の図一6に示したように、凍結土圧や縮み量は1日の間でも気温の変化に対応して刻々と変化する。いまこれらの変化をシーズンを通して長期的にみるために、図一6の実験における全データについて、1日の間での

凍結土圧の最大値(日最大凍結土圧)と最小値(日最小凍結土圧)をプロットすると図一8が得られる。また同図中にノギスで測定した縮み量とレベルで測定した持上がり量も併記している。図からわかるように、大きな凍結土圧は、ロードセルを挟んでいないトラフで縮みがどんどん進行する時期に発生しており、縮みがピークに達しその進行が止まると同時に急速に低下している。

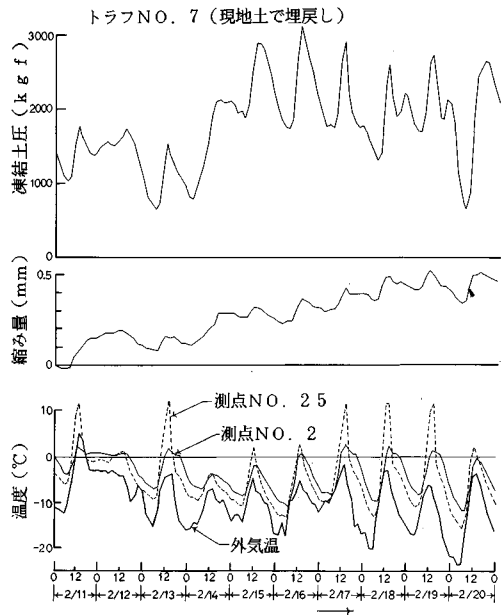
シーズンを通した凍結土圧や縮み量の大局的な変化は凍結線において発生する凍上力あるいは変位を反映していると考えられる。すなわち、前出の図一6に示す気温変化に刻々と対応する凍結土圧や縮み量の短期的な変動とは異なったメカニズムによるものと考えられる。縮みが進んでいるということは、凍上が発生していることを示し、この縮みをロードセルを挟むことによって拘束すると大きな凍結土圧が加わる。凍結線で発生する凍上力や変位は、既凍結部を介して側壁に伝えられる。このとき凍土はクリープ変形の大きい材料であるから¹⁰⁾、厳寒期に凍結線で凍上がどんどん発生している状況では、トラフの縮みや大きな凍結土圧の発生がみられるが、寒さが緩んで凍上が収まると、凍土のクリープの影響が卓越することによって凍結土圧は急速に緩和されると理解される。また、トラフの縮みはかなりの部分は元に戻るが、この戻りは、凍結土圧の緩和よりもかなり遅れて生じている。これは、縮みが戻るためには、背面凍土のある程度の融解が必要のためと思われる。



(a) 12月1日~12月10日

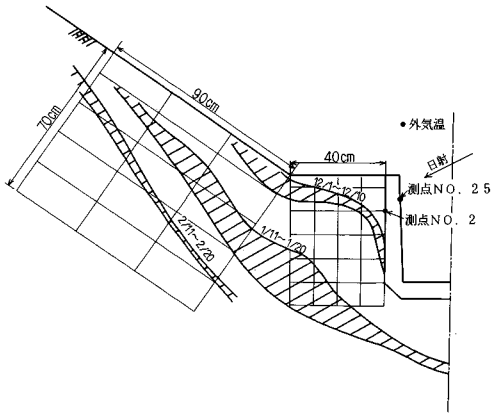


(b) 1月11日~1月20日

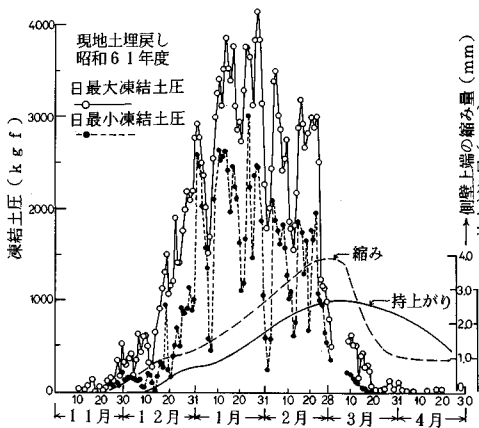


(c) 2月11日~2月20日

図一6 凍結土圧、縮み量、および温度の短期的経時変化(昭和61年度)



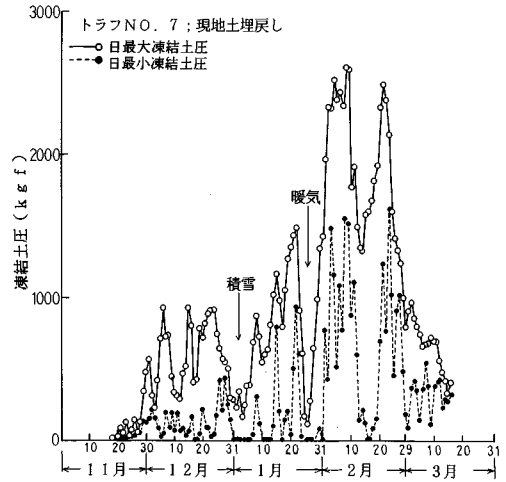
図一七 図一六の測定期間における凍結線の変化



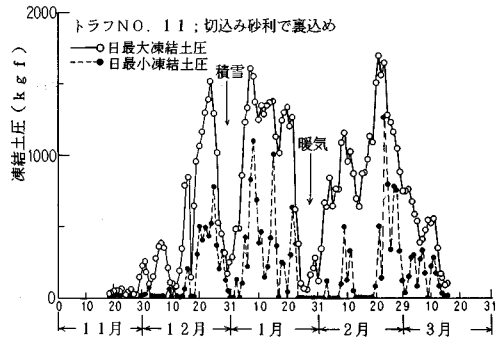
図一八 凍結土圧，縮み量，および持上がり量の相対的關係 (昭和61年度)

一方，持上がり量に注目してみると，この進行は縮み量の発生と類似している。1つ異なる点は，元のレベルに戻っていく時期が，縮みの戻りよりもさらに遅れていることである。これは，トラフの縮みが主として側壁背面部分の土の凍上起因しているのに対して，持上がりは，トラフ底盤の下の土の凍上によっているためと思われる。気温変化の影響は側壁背面よりも下部の方が小さいはずであり，春期の融解も下部の方が遅れると考えられる。

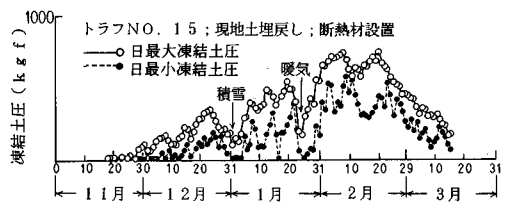
凍上によって発生する力を調べる実験はかなり以前から行われており¹¹⁾，最近では地盤の凍上力や凍上量を定量的に予測する努力もなされている^{12),13)}。しかし，トラフのような構造物に加わる凍結土圧となると，凍上によって発生する力および変形を伝える凍土の挙動，さらに未凍土の圧縮性までも考慮しなければならない¹⁴⁾。このように凍結土圧を支配する因子はきわめて複雑であり，こ



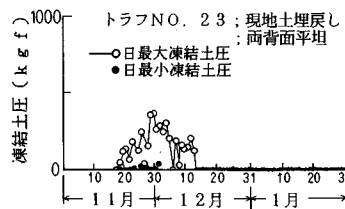
(a) 現地土で埋戻した場合



(b) 切込み砂利で裏込めした場合



(c) 現地土で埋戻し，断熱材を設置した場合



(d) 現地土で埋戻し，両背面が平坦な場合

図一九 日最大・最小凍結土圧の変化 (昭和62年度)

これらのより正確な評価は今後の研究に待つところが多い。

(4) 凍結土圧と縮み量の長期的変化に及ぼすトラフ設置条件の影響

前出の図-6で示した凍結土圧や縮み量の短期的あるいは長期的な変化は、裏込め材料や背面形状などの設置条件によって異なってくる。図-9は、昭和62年度の実験(図-1参照)において測定された日最大・最小凍結土圧を、設置条件ごとに示したものである。ただし有機質火山灰土で埋戻したケースでは凍結土圧の測定は行っていない。これらの図から次のことがいえる。

a) シーズンを通して、最大凍結土圧は現地土で埋戻したトラフで2610 kgf、切込み砂利で裏込めしたトラフで1650 kgf、断熱材を設置したトラフでは760 kgfであった。このように切込み砂利で裏込めしたり断熱材を入れたりすることの効果は明らかに認められる。

b) 非常に大きな力が加わっている時期でも、地表が一時的に雪に覆われたり暖気がきたりすることによって凍結土圧はゼロもしくはそれに近くなる。

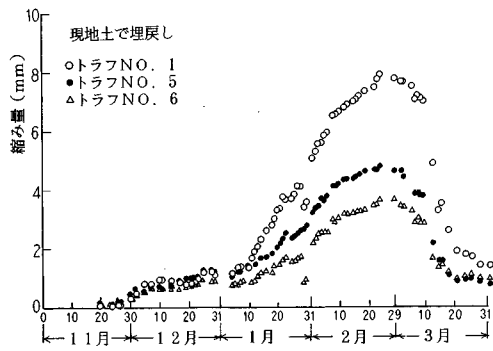
c) 両背面の表面が平坦な場合(図-9(d))は、凍結の浸入が始まる初期段階の11月下旬から12月初めにかけて小さな凍結土圧が発生するが、その後、凍結深さが大きくなった時期には力はゼロになっている。

図-9に示す凍結土圧を測定したトラフとおのおの同じ条件で設置し、かつロードセルを挟んでいない3個ず

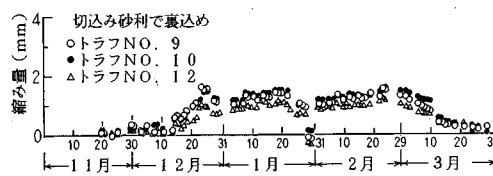
つのトラフについて、側壁上端部での間隔の縮み量を、ノギスによって1日に1回ずつ測定した結果が図-10である。図-9に示す凍結土圧は、トラフの縮みを拘束したときに発生するものであり、一般に用いられる設置条件下では、図-10に示すような縮みが発生する。

前出の図-8で述べたように、図-9の凍結土圧の長期的変化と図-10の縮み量の長期的変化とはある程度の対応性をもつ。ここで、凍結土圧と縮み量の両面から、切込み砂利による裏込めと断熱材設置の効果を調べてみる。上記a)で述べたように、凍結土圧の軽減における切込み砂利や断熱材の効果は明らかに認められるが、相対的には断熱材の方が効果が大きいようである。一方、図-10の縮み量でみると、現地土で埋戻した場合の最大縮み量が平均5.3 mmであるのに対し、切込み砂利や断熱材を入れた場合はおのおの1.3 mmと1.5 mmであり、約1/4程度に減少している。

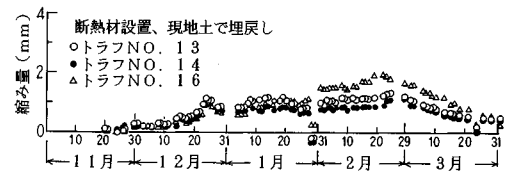
トラフの凍上被害は凍結土圧の大きさよりも縮み量かどの程度発生し、さらにそれが経年的にどのように累積されていくかによって見積もられるべきものと考えられる。この点からすれば、今回の実験の範囲では切込み砂



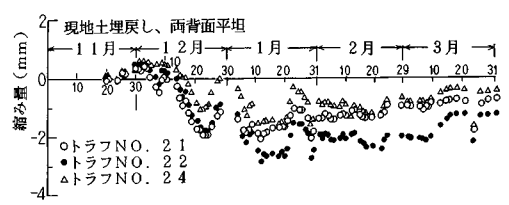
(a) 現地土で埋戻した場合



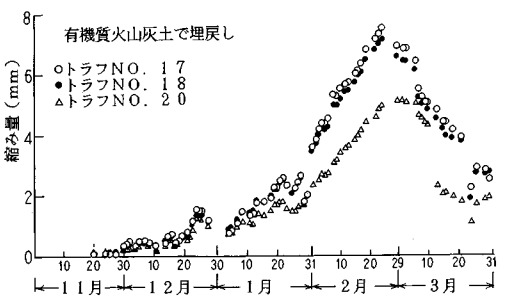
(b) 切込み砂利で裏込めした場合



(c) 現地土で埋戻し、断熱材を設置した場合



(d) 現地土で埋戻し、両背面が平坦な場合



(e) 有機質火山灰土で埋戻した場合

図-10 側壁上端部での縮み量の変化(昭和62年度)

利による裏込めと、断熱材の設置は同程度の効果が認められたといえよう。

次に、背面にのりがある場合(図-10(a))と、両背面ともに平坦地の場合(図-10(d))を比較してみる。この両者の違いは図-9(a),(d)に示す凍結土圧の大きさにも明瞭に現われているが、縮み量においても大きな違いがみられる。この違いは、前出の図-5で述べた凍結線の入り方によるところが大きいと思われる。しかし、両背面が平坦地の場合には、凍結が深くなるとトラフは縮むのではなく逆に広がっており、この広がりを凍結線の入り方から説明することはできない。原因としては、トラフ底盤下の土(旧地山土)が背面土(現地土)よりも凍上性が大きい(表-1)という地盤条件などが考えられる。

表-2 凍結土圧、縮み量、および持上がり量の最大値

	裏込め材料	最大凍結土圧(kgf)	*最大縮み量(mm)	*最大持上り(mm)
60年度	現地土(基礎砂利なし)		7.0	9.1
	現地土	*2520	9.8	4.2
	火山灰		4.1	4.4
61年度	80mm切込み砂利	*800	1.9	6.8
	現地土	4210	4.2	5.9
	現地土(日射遮断)	3100	4.7	5.4
62年度	有機質火山灰		3.2	4.2
	現地土	2610	5.3	7.4
	現地土(断熱材設置)	760	1.5	3.8
	現地土(両背面平坦)(基礎砂利なし)	370	0.5	8.5
	80mm切込み砂利	1650	1.2	3.8
	有機質火山灰		6.4	6.2

*3~4個の平均値 *計器トラブルのため1月中旬までの最大値

表-2に各実験を通して得られた凍結土圧、縮み量、および持上がり量のシーズンを通しての最大値を示す。これらの結果からもわかるように、難凍上性の材料で裏込めをしたり、断熱材を設置することの効果は明らかに認められる。実験に用いたトラフの製造工場での実験によれば、このトラフ側壁の上端に水平方向の力を加えて破壊させたときの強度(この大きさはJISの規定にはない)は、700~800kgf程度であった。凍上性の材料で埋戻したときの凍結土圧はこのトラフの強度をはるかに越えており、トラフの強度を増して凍結土圧に抵抗させることよりも、まず凍結土圧を減少させるための対策を施すのが妥当であろう。

このトラフは最大縮み量が1~2mm程度になると微小クラックの発生が見受けられた。実験終了後に掘り起こして調べたいくつかの結果によれば、クラックはほとんど例外なく底盤の下面にトラフの長手方向に入っていた。また現場で実用に供されているトラフの凍上被害調査においても、クラックの発生は、一部で側壁にもみられたが、ほとんどは本実験の場合と同様に底盤において発生していた。

一方、持上がり量についてみると、傾向としては基礎砂利を設けない場合に大きくなっていることがわかる。トラフが押しつぶされることも、持ち上げられることもともに周辺地盤の凍上によってもたらされることであるが、前者には側壁背面の裏込め処理の効果があるが、後者の持上がりには底盤下への基礎砂利の設置の効果があるようである。

4. 結 論

試験設置したトラフについて、冬季間の地盤凍結に伴って側壁に加わる凍結土圧や変形(側壁間隔の縮み量)などの測定を行った結果を述べてきた。主な内容をまとめると、次のようになる。

(1) トラフでは、背面土の凍結線が傾いて入るため、その結果としてトラフを破壊させるような凍結土圧の水平成分が現われる。

(2) トラフの変形を拘束した状態で側壁に加わる凍結土圧は、気温の変化に刻々と対応する短期的な変動を伴いながら、シーズンを通して変化していく。

(3) 縮みを拘束しない状態では、(2)の力に対応した形で縮みが発生する。

(4) 適切な背面処理を施していないトラフでは、その強さをはるかに上回る凍結土圧が発生する。

(5) 発生する凍結土圧あるいは縮みの大きさは、背面土表面の形状に大きく影響される。

(6) 難凍上性の材料で裏込めをしたり、断熱材を用いたりする対策工法の効果は明らかに認められる。

(7) 側壁に加わる凍結土圧の大きさや、トラフの変形量は、凍結線における凍上力や変位だけでなく、それらを伝える凍土の挙動や未凍土の圧縮性などが複雑に影響してくる。

今回の実験を通して、トラフ側壁に加わる凍結土圧が発生するメカニズム、凍結土圧の大きさあるいはトラフの変形の現われ方、および、いくつかの対策工法の効果などの基礎的なところはかなり明らかにすることができた。現在、難凍上性材料による裏込めによる対策工法を中心として、その効果を定量的にとらえて、設計に役立つデータとするための実験を継続している。

最後に、本研究を進めるにあたり、多大なご協力をいただいた北海道網走土木現業所、網走地方コンクリート製品協同組合、中神土木設計事務所の関係者に感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会編：土の凍結—その制御と応用—, 土質基礎工学ライブラリー-23, pp.91~154, 1982.
- 2) 真井耕象：凍上被害とその対策について, 土と基礎, Vol.

- 1, No. 1, pp. 7 ~ 13, 1953.
- 3) 青山清道・福田 誠・杉内祥泰・小野泰彦・池田 格：用水路の凍上被害に関する一考察，土質工学研究発表会，pp. 889 ~ 890, 1987.
- 4) 池田一賢：鉄筋コンクリートトラフの凍上被害について，北海道土木技術研究発表会，pp. 120 ~ 139, 1985.
- 5) 森井 徹・津田 進・高橋英紀・長沢徹明：凍結期における水路側壁の挙動，農業土木学会誌，第 45 巻，第 9 号，pp. 615 ~ 619, 1977.
- 6) 吉田重一・高田健治：寒冷地における用水路の構造設計，農業土木学会誌，第 48 巻，第 7 号，pp. 471 ~ 477, 1979.
- 7) 木下誠一編：凍土の物理学，森北出版，pp. 104, 1982.
- 8) Loch, J.P.G. and Miller, R.D. : Tests of the concept of secondary frost heaving, SIL Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 39, pp. 1036 ~ 1041, 1975.
- 9) 高志 勤・生頼孝博・山本英夫：土の間隙水の粘性増加による凍上抑制に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第 298 号，pp. 77 ~ 85, 1980.
- 10) たとえば，木下誠一：凍土の一軸圧縮クリープ，低温科学，物理編，第 31 輯，pp. 261 ~ 269, 1972.
- 11) 木下誠一：凍上力実験，低温科学，物理編，第 30 輯，pp. 191 ~ 201, 1971.
- 12) 高志 勤・生頼孝博・山本英夫・岡本 純：土の最大凍上力に関する実験的研究，雪氷，第 43 巻，第 2 号，pp. 207 ~ 216, 1981.
- 13) 福田 誠・小川正二・亀井健史：Segregation Potential 理論による原位置凍上量予測，土木学会論文集，第 400 号 / III-10, pp. 253 ~ 259, 1988.
- 14) 榎戸源則：土丹の凍結圧測定実験，土と基礎，Vol. 25, No. 7, pp. 33 ~ 39, 1977.

(1989.7.28・受付)