



Title	土の凍着力について
Author(s)	大浦, 浩文; OURA, Hirobumi; 薄木, 治之 他
Citation	低温科学. 物理篇, 19, 215-223
Issue Date	1960-12-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17978">https://hdl.handle.net/2115/17978</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	19_p215-223.pdf



## 土の凍着力について\*

大浦 浩文

(低温科学研究所 気象学部門)

薄木 治之 高田 雄二

(北海道電気通信局施設部調査課)

(昭和 35 年 7 月受理)

### I. ま え お き

北海道は寒さが厳しいため、積雪の少ない地方では地面が凍上し、地上或いは地中に作られた構造物の破壊をひきおこす。この破壊を防ぐには2つの方法が考えられる。第1の方法は凍上が起らないように土壌を改良或いは入換えする方法であり、第2の方法は凍上に耐える様な丈夫な構造物を作る事である。第1の方法に関しては、これまでかなり研究がなされていて実用化の段階に来ているが、未だ半永久的に有効であるとは考えられない。第2の方法については、未だ研究が不足している。この方法を実用化するには、凍上によつて生ずる力がどの程度のものであるかを知る必要がある。

凍上によつて凍土が構造物に与える力をすべて凍上力と呼ぶ事にする。この凍上力は、構造物に対する力の作用の仕方によつて2種類に大別される。1つは構造物を直接下面から持上げる力であり、他は構造物の側面に沿つて上向きに働く力である。前者は狭い意味での凍上力で、後者と区別して下面凍上力と呼び、後者を側面凍上力と呼ぶ事にする。この側面凍上力の大きさは凍着力、すなわち凍土と構造物とが凍着状態にあるものを面に沿つて迂り破壊を起させるに要する力を超える事はありえない。一般に構造物は土に深く埋められているため、構造物の下面は土の凍結深度よりも深く、凍上力としては側面凍上力だけが問題になることが多い。したがつて、側面凍上力の上限を表わす凍着力を知る事によつて、凍上力の上限を知る事ができ、凍上に耐える構造物の強度の下限を知る事ができる。以上のような理由によつて、土と種々な材料との間の凍着力を調べた。

### II. 測定方法

第1図に示すように、たて 10 cm, よこ 10 cm, 深さ 2.5 cm (5 cm, 15 cm のものも用いた) の箱に土をつめ、真中に直径 2.5 cm の丸棒を立てて埋め込み、低温室に持込んで土を凍結させた。一昼夜以上低温室に入れて土が完全に凍結した後その温度の低温室で棒を引抜いた。

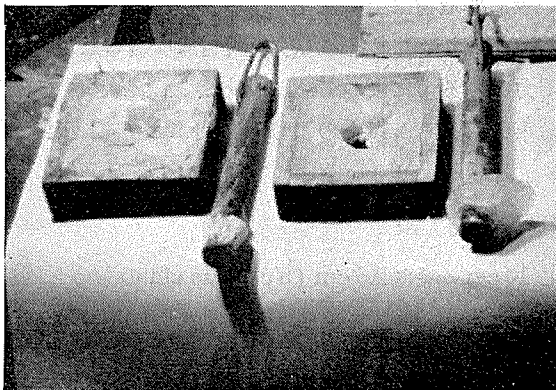
\* 北海道大学低温科学研究所業績 第 561 号

この引抜く時の力を知る事によつて丸棒の材質と凍土との凍着力を知る事ができた。引抜装置の下部に水平に取附けた厚い鉄板に直径約5 cmの穴をあけ、この穴に丸棒を通し、箱及び凍土をこの鉄板でおさえて棒だけを引抜いた。動力にはモーターを用い、引抜く速度はギヤの切換え、大小のプーリーの取り換へによつて変える事ができるようにした。

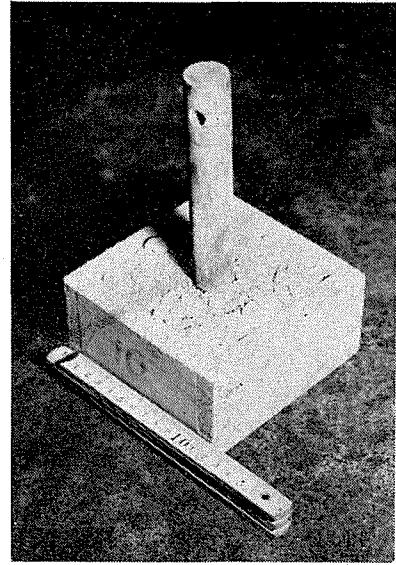
棒を引抜く力は抵抗線歪計を貼りつけた張力計によつて測つた。歪によつて生じた電気抵抗の変化をガルバノメーターで読みとるか、或いは電子管自動平衡自記ミリボルト計に記録させた。張力計はステンレスで作り、抵抗線歪計を貼りつけた部分は、歪計によく感ずる様に、断面積約1.5 cm<sup>2</sup>の薄い板になつてゐる。しかし、1 ton 程度の張力に対する張力計全体の伸びは1/100 mm 以下である。凍土を鉄板で支え、棒を一

定の速さで引揚げるとき、最初は凍土と棒との凍着面では破壊は起らないで、凍土及び引抜装置全体の弾性歪が増えてゆき、張力計の指度も増加してゆく、1 mm 乃至数 mm 棒を引揚げたとき、普通は装置全体が大きな音を立てて、凍着面での破壊を知らせる。その瞬間張力計の指度は急転して零に下つてゐる。棒をそのまま一定の速度で引揚げてゆくと再び力が掛つてくるのはじめの値程大きくはならない。又場合によつては、大きな音は立てずにミシミシと小さな音を立てながら破壊が起り、棒は一定の速度で引揚げているにもかかわらず、力の増加速度が減少し、増加が止り、遂に力が減少してゆく事がある。いずれにしても、この力の最大値を(剪断)凍着力と呼ぶことにする。

引抜いたあと、棒にはほとんど土は附着していなかつた。この事は土と棒との凍着力のほ



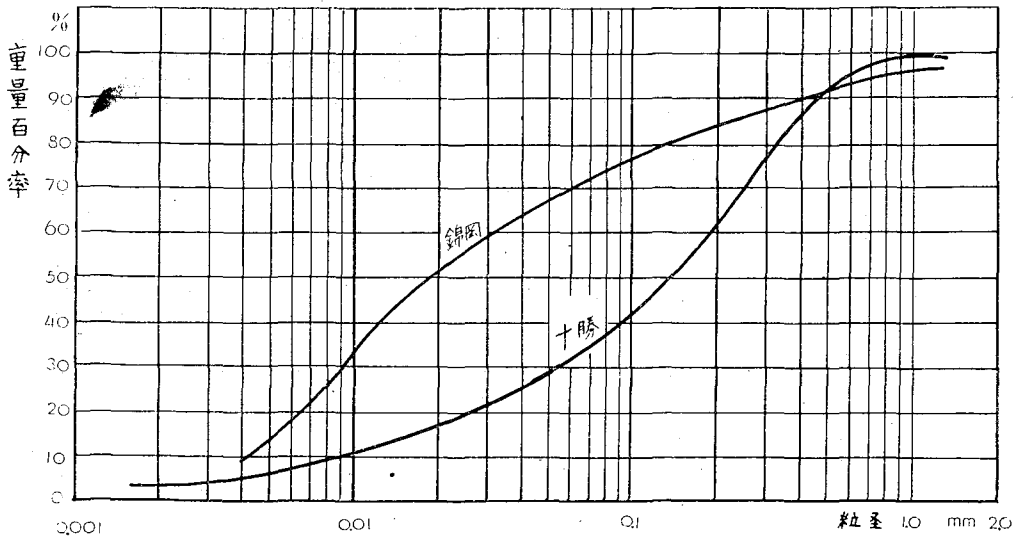
第 2 図



第1図 丸棒を土に埋めたところ

うが、土の破壊強度よりも小さいことを意味している。土の代りに雪を用い、水を注いで雪粒間のすき間を水で埋めて凍らせ、棒と氷との凍着力を測定したところ、氷のほうが稲鉢状に割れて、第2図のように棒に氷が附着したままで抜けた。氷にはまだかなり気泡が残つていたので、完全な氷よりは弱かつたものと思われる。

用いた土は2種類あつて、何れも北海道内にあるもので、1つは十勝平野で



第3図 使用した土の粒径加積曲線

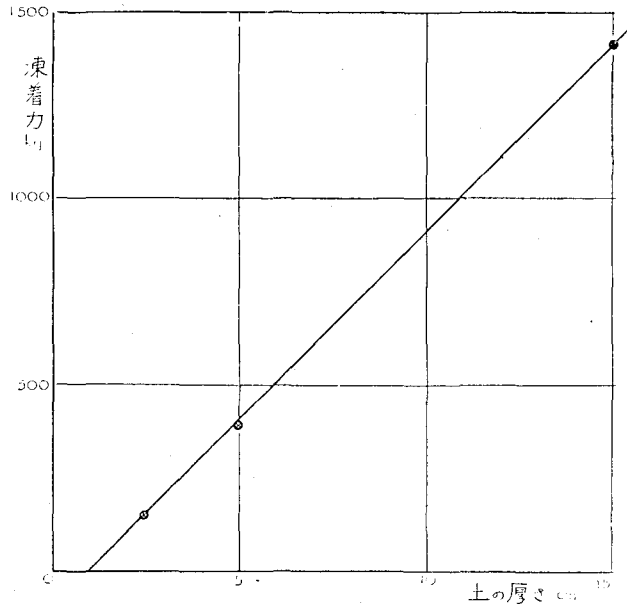
普通にみられる火山灰質土壤，他は，白老綿岡の Silt loam である。その粒径分布は第3図に示してある。土を箱に詰めるとき，すき間ができない様に充分押しつけた。

### III. 測定結果

#### a. 凍着力と箱の深さとの関係

深い箱を使つて，棒を深く埋めれば，土と棒との凍着面積が増えるから，棒を引抜くに要する力即ち凍着力は大きくなる。若し，土の表面の影響があればこの凍着力は必ずしも深さに比例するとは限らない。

棒としては磨きシャフトを切つて作った直径 2.5 cm の鉄棒を，箱としては深さ，2.5 cm，5 cm，15 cm のものを用いた。錦岡の粘土で含水比 70% のものを使つて，前節で説明したように棒を土中に埋め， $-20^{\circ}\text{C}$  の低温室で凍らせてから引抜いた。箱の深さ，即ち棒

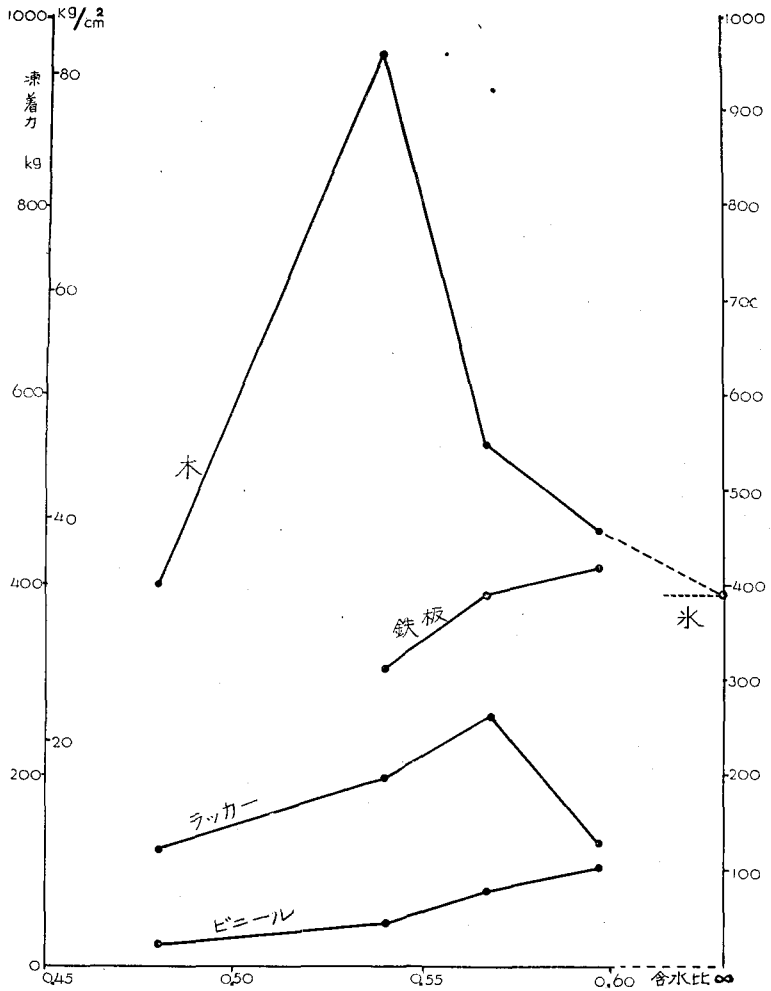


第4図 棒の土に埋っている部分の深さと凍着力との関係

の土に埋つた部分の長さや凍着力との関係を第4図に示してある。各点は4つの試料から得られた値の平均値である。第4図の3点を結ぶ直線を延長して横軸と交る点は1cmの深さに相当する。これは棒が土と接触している長さの両端、即ち棒の下端及び土の表面との交線附近では中間部分のような凍着力を示さないために起つたもので、端の影響が無い場合の単位面積当りの凍着力を求めるためには、土に埋つている部分の長さが実際よりも1cm短いものとして計算する必要がある。

**b. 丸棒の材質及び土の含水比と凍着力との関係**

櫛の丸棒、櫛の丸棒のまわりにトタン板を巻いたもの。硬質ビニール管をかぶせたもの、櫛の丸棒に透明ラッカーを塗つたものを用いて試験した。丸棒の直径は2.5cmである。用いた土は十勝の火山灰質土壤で、含水率をいろいろに変えて、10cm×10cm×2.5cmの箱に詰め、



第5図 十勝の土を用いて得られた凍着力と含水比との関係。  
凍着力 1000 kg は特性凍着力 85 kg/cm<sup>2</sup> に相当する。

-20°C 前後の温度で凍結させ、約 3.3 cm/min の速度で棒を引抜いた。

第 5 図には、こうして得られた結果を図示してある。横軸には用いた土の含水比を%で、縦軸には凍着力を kg であらわしてある。図上の一つの点は 3 回乃至 5 回の引抜き実験の平均値である。凍着力の最大値は、1230 kg で含水比 54% の凍土から櫛の丸棒を引抜くとき得られた。硬質ビニールやラッカー塗布面では凍着力が非常に小さい事がわかる。

丸棒と土との接触面積は約 20 cm<sup>2</sup> である。単位面積あたりの凍着力(これを今後特性凍着力と呼ぶ)は、第 5 図の縦軸 1000 kg のところが 50 kg/cm<sup>2</sup> に相当する。但し、前項に述べた理由により箱の深さが実際のものより 1 cm 浅いものとして計算すると凍着力 1000 kg は特性凍着力 85 kg/cm<sup>2</sup> に相当する。

白老錦岡の土を使い、鉄棒を用いて得られた結果を第 6 図に示す。箱の深さは、5 cm であつた。凍着力 1000 kg が特性凍着力 32 kg/cm<sup>2</sup> に相当する。

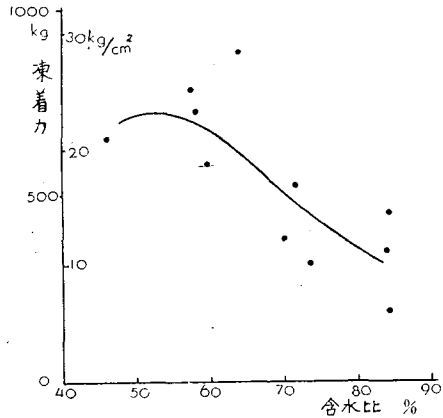
第 5 図、第 6 図によると、含水比が 50~60% のとき凍着力が最も強い様である。

### c. 表面の粗さと凍着力との関係

第 5 図をみればわかる様に表面の粗い櫛は凍着力が大きく、これにラッカーを塗布したものはずつと凍着力は小さくなり、最も滑らかな硬質ビニール管では更に小さくなつている。第 5 図だけからみると凍着力の大小関係は面の性質が親水性であるか疎水性であるかによつてきまるのではないかと考えられない事もない。しかし面が水に濡れるかどうかは凍着力に影響が無いという報告<sup>1)</sup>が既にあるし、次の様な事実によつて非常にわづかな面の粗さが凍着力に大きな影響を持つ事がわかつたので凍着力の大小は主として面の粗さ滑らかさによるものと考えられる。

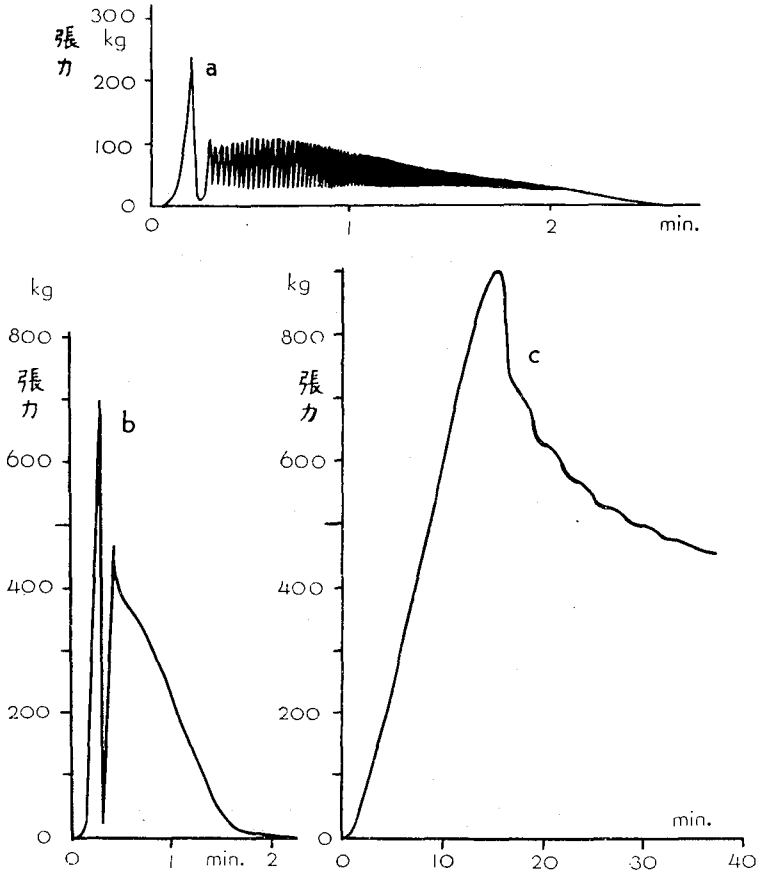
丸棒として鉄棒 5 本を用意し土に埋める部分は紙ヤスリで磨き上げた。たまたまこの中の 1 本が保存が悪く面積にして約 1/3 がさびていた。これを他の 4 本と一緒に引抜き試験をしたところ、他に比して非常に大きい値が得られた。第 1 回目の実験で他の 4 本の値の平均が 200 kg のところ、この棒だけは 700 kg の値を示した。湿度の大きい状態で使われるので他の棒もだんだんと錆びてきて後ではほとんど区別がつかなくなつたが、最初の 3 回の平均をとつてみると、この錆びた棒では 600 kg の値を示したが他の 4 本の平均は 230 kg であつた。ほんのわずかな表面の粗さが凍着力に大きく影響を与える事がわかる。表面の粗さを増す為には棒の表面にローレットをかけたものを用いた。この時は高速度 22.5 mm/min で棒を引揚げたら凍着力も大きく出たが凍土に割れ目ができた。

磨いた棒、錆びた棒、ローレットをかけた棒を引抜く時、力の時間的変化にはそれぞれ特



第 6 図 白老錦岡の土を用いて得られた凍着力と含水比との関係。凍着力 1000 kg は特性凍着力 32 kg/cm<sup>2</sup> に相当する。

磨いた棒、錆びた棒、ローレットをかけた棒を引抜く時、力の時間的変化にはそれぞれ特



第7図 棒を引抜く時の力の時間的变化

a. 磨いた鉄棒 b. 錆びた鉄棒 c. ローレットをかけた鉄棒

徴がみられる。

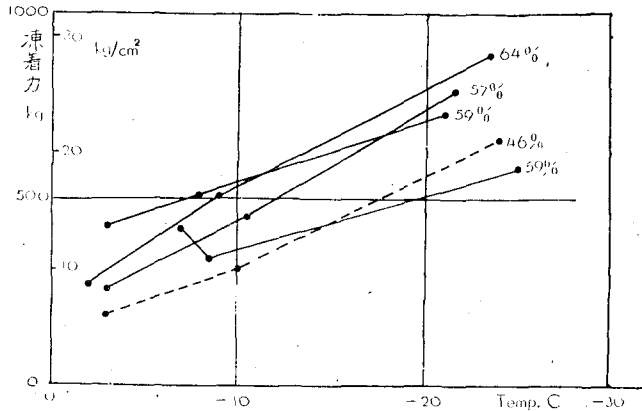
第7図(a)は磨いた鉄棒の場合で、凍着面が破壊して力が一度零になるが、再び力がかかり、ある値に達すると接触面がこつて又力が零になると云うことをくりかえすため力が振動的に変る。(b)図は錆びた棒の場合で一度力が零になるがあとは接触面との摩擦が大きいため力は振動しない。(c)図はローレットをかけた鉄棒の場合で、凍着力が大きいきばかりでなく、凍着面の破壊が起きてても力は零にならず大きな摩擦力を示しながらゆつくりと減少する。ローレットをかけてなければ(a)図(b)図にみられる様に凍着面が破壊したとき、引抜き装置に生じていた弾性歪が一度にもとに戻るなのでその弾みで凍土及び箱が跳ね飛ばされ、一時力がかからない瞬間ができる。

#### d. 温度と凍着力との関係

錫岡の粘土と鉄棒との凍着力が温度に如何に左右されるかを調べるために、試料を $-2\sim -3^{\circ}\text{C}$ の室、 $-8\sim -10^{\circ}\text{C}$ の室、 $-20\sim -25^{\circ}\text{C}$ の室に一昼夜以上入れて置いた後に引抜き試験

を行つた。温度と凍着力との関係を第8図に示す。

一緒に作つた試料について得られた値を線でつないだ。実線でつないだものは引抜き速度 22.5 mm/min のもので点線でつないだものは引抜き速度 0.27 mm/min のものである。附記した数字は含水比である。



第8図 凍着力と温度との関係

鉄棒と錦岡の土との凍着力 箱の深さ 5 cm  
 実線 引抜き速度 22.5 mm/min.  
 点線 引抜き速度 0.27 mm/min.  
 含水比を%で記入してある

第8図からわかる様に、温度が低くなる程凍着力は増加する。

0°Cでは凍着力はほとんど零である筈だからから、0°Cから-2°C~-3°Cの間に力の急激な増加があるものと考えられる。-3°Cから-20°Cまでの間では1°Cの温度低下に対して約20 kgだけ力が増加する事になる。

#### e. 引抜き速度と凍着力との関係

低速で行なつた実験が少ないので引抜き速度と凍着力との関係を正確に表現する事はできない。しかし、第8図の点線と実線を眺めると、約100倍に相当する引抜き速度のちがいにに対してほとんど凍着力はちがわないと考えてよい。点線が実線より下にあるのは、土の含水比が他の試料に較べて小さいためで引抜き速度のちがいによるものではないと考える。

## IV. あとがき

実験の回数数が未だ少ないが一応得られた結果をまとめた。この実験についていろいろ御指導下さつた吉田順五先生にお礼を申し上げる。又白老錦岡のシルトロームを分けて下さつたことについて土木試験所長の伊福部宗夫氏及び道路研究室長の小山氏に厚くお礼申し上げます。又この実験に協力して下さつた帯広畜大の早川慶造助教授に感謝する。

## 文 献

- 1) Kobeko, P. P. and Marei, F. I. 1946 Wetting and strength of adhesion (in Russian). Zhurnal tekhnicheskoi fiziki **16**, 277.; 1958 USA SIPRE Translation 59.

### Résumé

When moistened soil is in contact with a surface of a material and is chilled in a cold room, it adfreezes to the surface of the material. The force necessary to separate the frozen soil from the surface of the material in the direction parallel to the surface, is called "a tangential adfreezing force". That force was measured in cold rooms. Cylindrical sticks of various material were buried one each for each experiment in soil which was filled into a small box, which was then carried into a cold room. After 24 hours, when the soil had become frozen, the stick was pulled out from the soil at a constant speed. The force required to pull out the stick changed with time from zero to a large value and suddenly it dropped to zero with great sound. With time the force became larger again and suddenly dropped to zero, after which the same phenomena was repeated, but the maximum force gradually decreased and tended to zero. That is, the largest force was attained at the first maximum value. (cf. Fig. 7 (a).) When the surface of the stick was rough, the force changed in a different way. After having attained maximum value, it commenced to decrease gradually, tending continuously to zero as shown in Fig. 7 (c).

The maximum force exerted to pull out the stick is to be denominated the adfreezing force of soil.

The soils used for these experiments were brought from Tokati and Siraoui Nisikigaoka in Hokkaido. The particle size accumulation curves of these soils are shown in Fig. 3.

The diameter of the cylindrical sticks was 2.5 cm. The size of the top of the boxes was 10 cm×10 cm and the depth 2.5 cm, 5 cm and 15 cm. The relation between the adfreezing force and water content of the soil (weight percentage of water per dried soil) is shown in Figs. 4 and 5. The maximum values of adfreezing force seem to be in the range of water content from 50% to 60%. Each point in these diagrams shows the mean value of 3 or 5 experiments. The largest value was obtained when a wooden stick was used.

Fig. 5 was obtained by the use of Tokati soil and boxes of 2.5 cm depth. Four different sorts of sticks were used; sticks made of wood (*Quercus grandiflora*), wooden sticks covered with galvanized iron sheet, wooden sticks coated with lacquer and wooden sticks covered with hard vinyl pipes. As the wooden sticks have rough surface, the adfreezing force of soil to their surfaces was the largest. The adfreezing force to vinyl pipe was the smallest, as such sticks had smooth surfaces. In Fig. 5, scale 1000 kg of adfreezing force corresponds to 85 kg/cm<sup>2</sup> of specific adfreezing force (adfreezing force per unit area of surface).

Fig. 6 was obtained from the use of soil at Nisikigaoka, boxes of 5 cm depth and iron sticks. Scale 1000 kg of adfreezing force corresponds to 32 kg/cm<sup>2</sup> of specific adfreezing force. In the course of these experiments it was found that the adfreezing force to a slightly rusty stick was about three times as large as the force to a polished stick. The force required for pulling up the polished sticks changed with time as shown

in Fig. 7 (a) and that to rusty sticks changed as Fig. 7 (b).

The effect of temperature on the adfreezing force was obtained by the use of iron stick, soil of Nisikigaoka and boxes of 5 cm depth. Samples prepared in uniform condition were divided into three groups. Samples of each group were kept in one of three cold rooms respectively. The temperatures of the cold rooms were respectively in the ranges from  $-2$  to  $-3^{\circ}\text{C}$ , from  $-8$  to  $-10^{\circ}\text{C}$  and from  $-20$  to  $-25^{\circ}\text{C}$ . Fig. 8 shows the results obtained in this way, those for samples prepared under the same condition being connected with a line. When the speed of pulling out of the stick was  $22.5$  mm/min, a full line is used, and when the speed was  $0.27$  mm/min, a dotted line is used. Water content of samples is given in % near the ends of lines. It is clear that the lower the temperature, the larger the adfreezing force. In the range from  $-3^{\circ}\text{C}$  to  $-25^{\circ}\text{C}$ , the adfreezing force increases by about  $20$  kg for each  $1^{\circ}\text{C}$  lowering in temperature. The dotted line in Fig. 8 lies under the bundle of full lines. This is due to the effect of the difference of water content of soil sample. No effect of 100 times higher speed in pulling up the sticks is seen.