HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	永久凍土層調査報告
Author(s)	中谷, 宇吉郎; 菅谷, 重二
Citation	低温科學, 2, 119-128
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17407
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_p119-128.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

永久凍土層調査報告*

中谷宇吉郎, 菅谷重二**

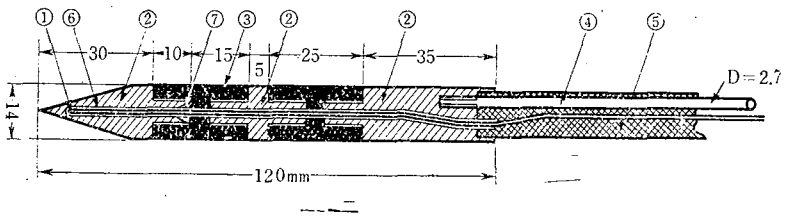
§ 1. 緒　　言

永久凍土層地帯に土木工事を行ふ場合，基礎の強度は凍土地盤の上部の凍土が十分の硬さをもつてゐるか否かで決まる．それで初秋の頃，活動層が最も深くまで融けた時の凍土地盤内の地温分布を精密に測ることは此の方面では重要な課題である．吾々の今までの凍土現場調査の結果から考へると，此の温度は零下ではあるが殆んど零度に近いものと思はれる．それで零度附近の地中温度を 0.01°C の精度で測定し得る熱電對を作り，それを用ひて北満田泥河工事區に於て，昭和 18 年 9 月下旬，精密な地温測定を行つた．その結果及び該地帯の土質について簡單に報告する．

§ 2. 地中温度測定裝置

永久凍土層の周邊地區で，融解期に凍土中に深い孔を掘ることは，殆んど不可能である．此の地帯は所謂黒土地帯であつて，融解すると俗稱“へどろ”となつて，孔の周圍の壁が崩れ落ちる．それは殆んど防ぎやうが無い．それで吾々は長い鋼棒を凍土中に打ち込んで，それを抜いた孔の中に長い熱電對を挿し入れて，地中温度を測ることにした．

熱電對は長さそれぞれ 13 m，直徑 0.55 mm の銅及びコンスタンタン線で作り，第 1 圖に示すやうな保護裝置を施した．眞鍮とエボナイトを連結した棒の中に細孔をあけ，その中に熱電對



① 熱電對感温部　② 眞鍮　③ エボナイト　④ 差込引抜用ピアノ線
⑤ 熱電對保護用絶緣物　⑥ 油穴　⑦ 油止鎭物穴

第 1 圖　熱電對感温部保護管及び導線

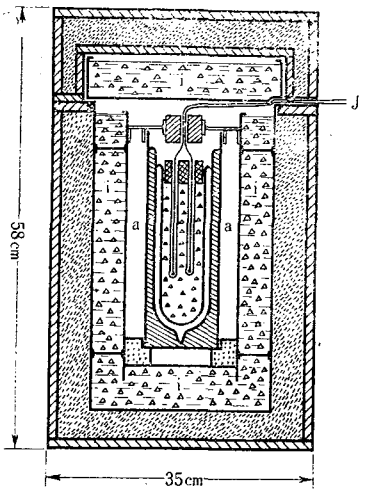
---

* 北海道大學低温科學研究所業績　第 33 號.

** 低温科學研究所.

を入れた．エボナイトは導線部分との熱的絶縁の爲である．保護棒の直徑は 14 mm で先端は圖の如く尖らしてある．熱電對の針金の絶縁は，エナメルと絹卷の二重絶縁になつてゐて，それを2本集めて木綿のテープで被覆し，全體を融解パラフィン中に浸した．このやうに絶縁した熱電對を眞鍮棒中の細孔に入れ，細孔の底には油を注入して保護棒との熱的連結をよくした．此の保護棒の後端に長さ 7 m，直徑 2.7 mm のピアノ線を取り付け，そのピアノ線に熱電對の針金を沿はせ，全體を幾重にも絶縁物及び耐水性被覆物で捲き，更にその上を 0.7 mm の鐵線で堅く卷き締めた．このやうにすると，携行の際は輪に出來るし，又これを伸した時はピアノ線の硬直性によつて，凍土の孔の中に深くまでさし込むことが出來た．此のやうな熱電對を2個作つて；No. 1，No. 2 とした．

冷接點は完全に零度にする必要があるので，蒸溜水の氷槽を二重にし，內部は魔法瓶を用ひた．構造は第2圖に示した如くである．此の裝置で檢定してみた結果，測溫誤差は 0.01°C より小さく，吾々の目的に十分適ふことを知つた．檢流計は理研精密型，感度 1.0×10^{-7}V，10^{-10}A のものを用ひた．熱電對と導線の抵抗は 30 オーム程度であつたので，精密抵抗器を回路中に入れて感度を調節し，0°C 附近に於ては 1°C に對し 100 mm の振れ迄感度を高めることが容易であつた．比較的高溫度の測定には，感度をその 1/2 乃至 1/5 に落して使つた．

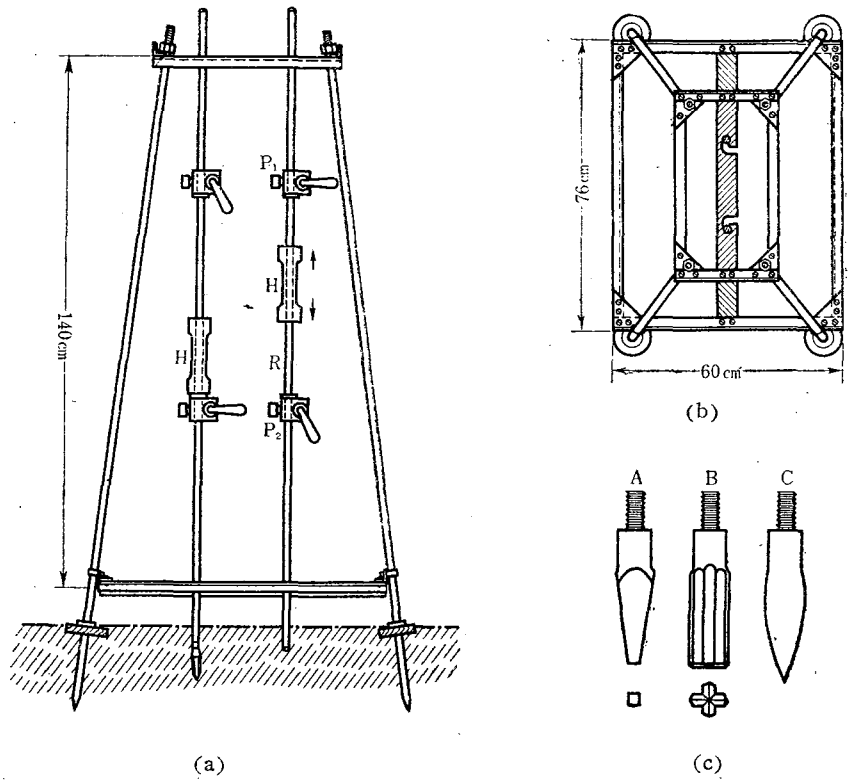


第 2 圖　冷接點用零度槽

凍土內に孔をうがつ爲の鑿孔器としては，第3圖 (a)，(b)，(c)に示すやうな道具を作つて携行した．第3圖(a)に於て，R は直徑 16 mm の鋼棒で，その尖端に第3圖 (c) に示したやうな錐先を取り付ける．P_1，P_2 は止金で，把手を緩めて自由に所定位置に移動し，其處でしつかりと止める．Hはハンマーで，これを手で下方の止金 P_2 に打ちつけると，鋼棒は凍土中に入る．抜く時は上方の止金 P_1 に打ちつければよい．鋼棒の長さは 1.5 m で，それを澤山用意し，逐次繼足して 6 m迄測定を行へるやうにした．

鑿孔棒と熱電對は2組用意した．一つの孔が出來ると，手早く1本の熱電對を挿入し，20～40 min 間 1 min 置きに地溫を測り，一定値になる所を確めた．その間に他の鑿孔棒を鑿進せしめ交互にちがつた深度の溫度を測つた．

檢流計は土中に 12 cm 角の木柱を 80 cm 迄埋め込み，その上に載せた．檢流計臺及び測定裝置全體は屋根型天幕の中に納めた．



第　3　圖

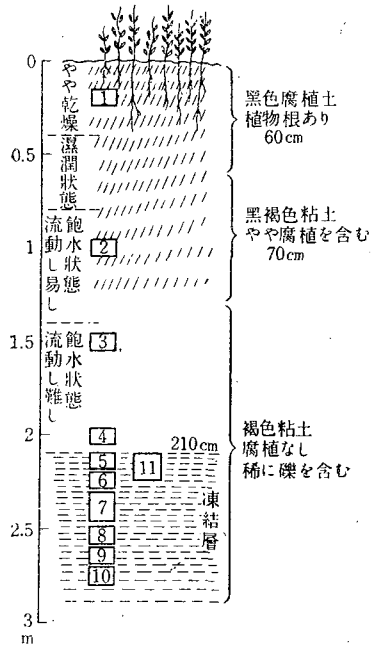
以上の如く準備することによつて，地中溫度の野外測定に於て，0.01°C の精度を期することが出來た．

§ 3. 測定地點の狀況

調査現場は東北東に向いて約 6° の傾斜面をなしてゐて，その下手は約 200 m で河床平地に接してゐる．同平地より約 22 m の高さであつた．地表面は禾本科の野草が 30～40 cm の高さに密生してゐた．

土質は地表面より約 60 cm 迄は黒色腐植土で植物根あり，60 cm 以下 30 cm 迄は黒褐色粘土層でやや腐植を含んでゐた．150 cm 以下は殆んど腐植なく，稀れに礫を含む褐色粘土層であつた．もつとも以上の區別は判然とせず，土層の變化は連續的である．上部腐植土は此の地方の所謂黒土地帶を代表してゐる黒土である．その灼熱損失量を測つてみると案外少く，風乾土の 11.0 %に過ぎず，灰分が 89.0% 殘つた．即ち上部の黒色腐植土も腐植の量は案外少いことを知つた．土層の斷面圖は第 4 圖に示す如くであつて，測定時の融解層は地表より約 2 m 乃至 2 m 10

cm に達してゐた．此の時期が融解が最深部に達した時期と思はれる．第4圖中，1, 2, 3, ···, 11 で示した個所から資料を採取して，含水比と見掛比重を測り，又粒度分析を行つた．



第　4　圖

§ 4. 地中溫度測定

i) 測定經過

テント建設，寒劑による蒸溜水氷製作，熱電對檢定に2日を費し，3日目より前述の鑿孔器によつて孔を穿ち觀測にかかつた．2m 以上の深度になると，土壓の爲鑿孔棒を抜くと孔がふさがり，熱電對を挿入出來ず，それで凍土層深部の測溫には，融解層を 1.8m 迄掘り，2″ 鐵管を凍土中に打ち込んで周圍からの融解土の浸入を防ぎ，此の鐵管中に鑿孔することにした．それでも凍土層上部は融解狀態に近い爲に土壓がかかり，觀測を終へて熱電對を引き抜く時に1本が切れてしまつた．

其の後は融解層を全部取り除き，凍土面を露出させて測定することにした．凍土の約 30 cm 角を殘して周圍を少し掘り下げて，周圍の壁から來る融解水を溜め，その 30 cm 角の高臺はいつも浸出水の水面上に出てゐるやうにした．そしてその高臺の中央に孔を穿つて測溫した．凍土面を露出させる爲に，融解層に 2m×3m の穴を掘つたが，融解層下半部は流出限界に近い含水狀態であつた爲に，發掘の途中周圍の壁が崩れて來て，土工は困難を極めた．土止板を用ひて漸くにして目的を達したが，著者

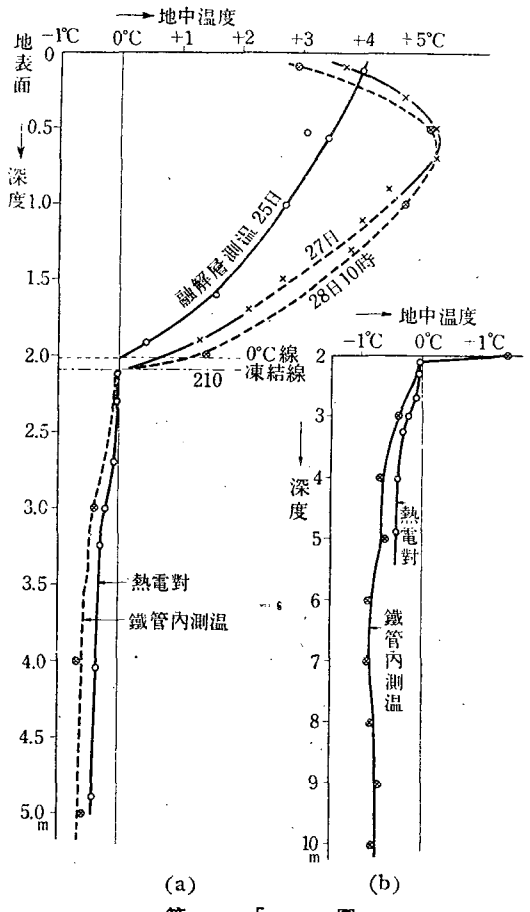
第　1　表

測定番號	測定時	深度	地溫	摘要
1	IX. 24, 1050	53cm	+3.06°C	氣溫 +5°C
2	1137	101	+2.73	風速 10 m, 測定困難
3	1240	160	+1.56	
4	1340	192	+0.42	
5	1509	270	−0.10	小雨降る
6	1630	229	−0.04	
7	1800	56	+3.42	
8	—	12	+4.00	氣溫 9°C, 風速 13〜15 m
9	IX. 26, 1015	211	−0.02	
10	1408	300	−0.23	鐵管內鑿孔
11	1813	404	−0.40	
12	IX. 27, 1900	324	−0.33	融解層除去
13	IX. 28, 2000	487	−0.44	融解層除去

の1人菅谷と苦力8名とで殆んど1日を費した．それで測溫は1日1點しか得られなかつた．翌日になると穴は半ば以上崩壞してゐるので，その掘り出しに又1日を費する狀態であつた．しかし5日間で，深さ 4.87 m 迄の測溫を完了したので．それで打ち切つた．

ii) 地溫測定結果

熱電對による地溫測定結果を纏めて第1表及び第5圖 (a) に示す．第5圖 (a) に於て，實線で示したのが熱電對による測溫で，太破線は次節 iii) に說明するやうに寒暖計で測つた融解層の地溫分布である．細破線は豫め埋め込んである鐵管內で寒暖計で測つた値である．その詳細は iv) で說明する．



第　5　圖

第5圖に於て 0°C 線は測溫から出したもので，凍結線は發掘調査の結果確めたものである．此の凍結線の深さ 210 cm は此の地點の活動層が略ゞ最深部に達した時の値と思はれる．今回の調査期に於て日平均氣溫は既に 0°C を降り，又現場と同斜面にある小さい谷間を流れる凍土融解水が 1 週間位前より著しく水量を減じてゐるので凍土の融解は殆んど停止してゐるものと思はれる．

凍土內の地溫は殆んど 0°C に近く，上部 75 cm 迄は −0.1°C の範圍內にある．此の點は融解期の凍上現場調査の結果[1]から豫期した通りであることが判明した．それ以下の深度になると，地溫は −0.3°C 乃至 −0.4°C 程度に低下し，3 m～5 m 間の精密測定の結果では，地溫低下率は約 0.10°C/m である．卽ち本調査によつて，融解最後期に於ける永久凍土層の上部は殆んど 0°C に近く，數 m 程度の深さまでは −0.4°C 以內と見て差支へないことが確められた．

（1） 中谷，菅谷: 低溫科學，第2輯，p. 7.

iii) 融解層の地温分布

融解層の地温分布は 27 日の發掘の際，地盤斷面の各深度に於て，斷面より 30 cm 奥まで棒狀寒暖計を水平に土中に挿入して測つた．その結果を第2表に示す．この値は第5圖(a) 中に太破線で示してあるやうに，約 60 cm の深度で極大を示してゐる．その分布狀態は同圖中に細破線で示した鐵管中の測溫値とよく一致してゐる．此の兩日共天氣よく，日中氣溫が 11°C 以上に昇つて大體同じ日變化をしてゐたことも兩者の一致を助けたのであらう．此の値と 25 日に測定した熱電對による値とは 1.5°C 程度の差異を示してゐる．これは 25 日が前日より引續き寒く，時々小雨が降つてゐたからである．

第　2　表

深度 cm	地温 °C
10	3.7
30	4.7
50	5.2
70	5.2
90	4.4
110	4.0
130	3.8
150	2.7
170	2.1
190	1.3
210	0.0
230	−0.2

融解層の溫度傳導率を測る爲に，地表，10 cm 下，20 cm 下の溫度を連續的に測定した．その結果は第6圖に示す通りで，振幅の減少，位相のずれ兩方共よく現れてゐる．この測定は同行の中山正和氏の手によつたものである．この結果から熱傳導の式

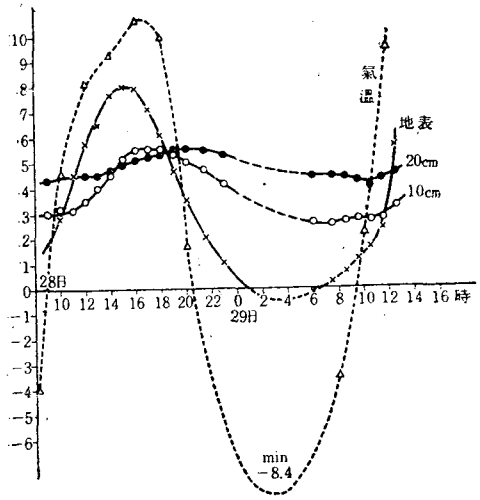
$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=\alpha^2\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}$$

に於ける α，即ち溫度傳導率を出してみる．境界條件が正弦曲線の時には，α には周知の解があつて，位相 ε のずれから

$$\alpha_\varepsilon=\frac{x}{\varepsilon_0-\varepsilon_x}\sqrt{\frac{\pi}{T}}.$$

振幅の比から

$$\alpha_a=\frac{x}{\log\frac{A_0}{A_x}}\sqrt{\frac{\pi}{T}}.$$



第　6　圖

正弦曲線の時は $\alpha_\varepsilon=\alpha_a$ であるが，天然現象では一般に變化が正弦の形からずれてゐるので，兩者は一致しない．調和分析にかけて各要素曲線についてαを出す勞を省き，第6圖を大雜把に正弦曲線と見做し，地表と 10 cm 下とで $\varepsilon_0-\varepsilon_x=2\pi\times\frac{3}{24}$，$\frac{A}{A_x}=\frac{86}{32}$，$T=24\times60\times60$ sec として計算すると，

$$\alpha_\varepsilon=0.077\qquad\alpha_a=0.061$$

となる．平均して　　$\alpha\fallingdotseq0.07$

を得る．

此の値は普通の壤土のαの値，約 0.05～0.06 に比較して少し大きいが，飽水狀態に近い黒土の溫度傳導率としては，大體豫想し得る値である．

iv) 埋設鐵管による地溫測定

滿鐵建設局に於て，永久凍土層中の地溫分布測定の目的で，2.5″ の鐵管を各深度まで埋設し，その中で毎日 10 時に地溫の觀測がされてゐる．その 28 日の測定値を熱電對の値と比較してみると，かなりの差があつた．それで蒸溜水と氷とで使用寒暖計の 0°C の檢定をしてみたら，最大 +0.6°C の誤差があることが判明した．その補正をした値を第 3 表に示す．この値を第 5 圖 (a), (b) 中に描いてみると，熱電對による測値と大體似た形の分布曲線となり，唯全體として 0.2°C ～0.3°C だけ低い値を示してゐることが分つた．この差の原因を確めるだけの資料はまだ得られてゐないが，埋設鐵管による方法が此の程度の誤差内で案外正しい値を示すものであることを知つた．

第　3　表

深　度	測定値	補　正	修正値	
0.1m	+2.5°C	+0.4°C	+2.9°C	木管
0.5	+4.6	+0.5	+5.1	
1	+4.6	+0.1	+4.7	鐵管
2	+1.4	0.0	+1.4	
3	−1.0	+0.6	−0.4	
4	−0.7	0.0	−0.7	
5	−1.0	+0.4	−0.6	
6	−1.0	+0.05	−0.9	
7	−1.3	+0.4	−0.9	
8	−1.4	+0.6	−0.8	
9	−0.8	+0.1	−0.7	
10	−1.4	+0.6	−0.8	

§ 5. 融解層及び凍結層の土質

i) 含水比及び凍結樣式

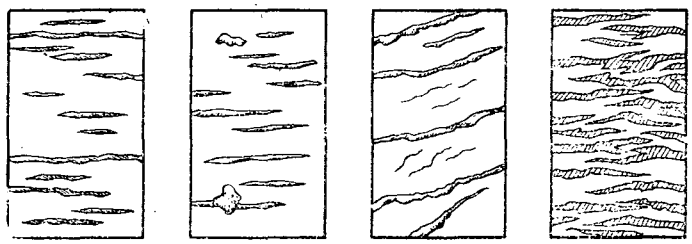
第 4 圖に示したやうな各深度から採取した資料 11 個について，含水量と見掛比重とを測定した結果を第 4 表に示す．

融解層の比重と含水比とをみるに，上部 No. 1 附近の黒土は腐植に富む爲比重が小さい．飽水含水比は著しく大きいらしく，表中の 0.39 の含水比では未だ飽水狀態に達せず，比較的乾燥してゐるやうに見えた．No. 2 のやや腐植を含む黒褐色粘土及びその下 No. 3 の褐色粘土は飽水含水比が 0.35 以下で，後に說明する如く表中の含水比の値は流出限界含水比に近いものである．

第　4　表

	資料番號	深　度	土重量	體　積	含水比	見掛比重	摘　要
融解層	1	20 cm	246 g	172 cm	0.39	1.42	比較的乾燥，黒色腐植土
	2	100	316	172	0.36	1.84	飽水狀態，黒褐色粘土
	3	150	330	172	0.32	1.92	飽水狀態，褐色粘土
	4	200	360	—	0.34	—	飽水狀態，〃
凍結層	5	215	195	—	0.27	—	微細氷板入，第 7 圖(a)
	6	225	277	134	0.28	2.07	微細氷板，粒狀氷，第 7 圖(b)
	7	240	225	136	0.32	1.66	氷板入
	8	255	289	147	0.26	1.93	殆んど氷なし
	9	268	373	187	0.30	1.94	微細氷板入　第 7 圖(c)
	10	283	397	206	0.28	1.92	氷板及び粒狀氷
	11	217	333	—	0.59	—	霜降狀凍結，土質異る，第 7 圖(d)

凍結層にはいづれも薄い氷板及び氷粒の分離析出が見られる．その4例を第7圖 (a)～(d) に示す．此のうち (a)～(c) の3例が此の地方の永久凍土層に普通に見られる凍結樣式であり，(d) はやや例外的の凍結である．(d)即ち No. 11の資料を採取した場所には，局部的に約 30 cm²，深さ 15 cm の土塊があり，それが此の型の凍結樣式を示してゐた．この (d) の凍結は，



第 7 圖

北海道の凍上現場などで見る霜降狀凍結と同じ型の氷層分離を示してゐる．唯氷層が透明氷より成り，霜柱に見られる縦の線條が見られない點だけが異る．霜柱に見られる線條は細い氣柱と氣泡の列んだものとである．顯微鏡で調べても，それ等の氣柱や氣泡は認められなかつた．これは霜柱と同じ機構で出來た氷でも强壓の下で長年月經過すると，氣柱や氣泡が無くなるのかもしれない．その點は實驗的に確めてみる必要がある．第7圖 (a)～(c) の普通に見られる氷板も透明な氷で，割れ目につまつた氷の形をしてゐる．多くは小氷塊の集合から成つてゐて，全體の形が板狀をなしてゐるのである．この凍結樣式は凍上の場合の重粘土質土壤の氷層分離に似てゐる．氷粒はかなりの大きさのものが屢々見られた．氷板間の土はかなり軟く，半ば融解してゐるが，緊密度が大きい爲に，全體としては相當の硬度を示してゐた．

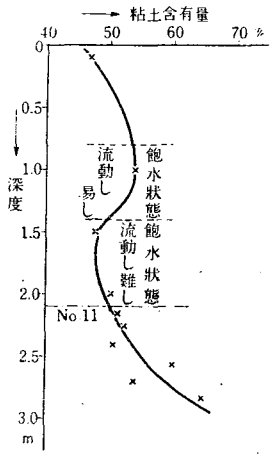
第4表の 11 資料につき粒度分析を行つた結果を第5表に示す．表より明かなことは，全土層が極めて均一な粘土分の多い組成を示してゐることである．第5表より粘土含有量の深度別分布

第 5 表 2.0 mm以下の細土 100 分中

	資料番號	深 度	2.0～0.25 mm	0.25～0.05 mm	0.05～0.01 mm	0.01 mm 以下
融解層	1	20 cm	2.7%	0.4%	50.3%	46.6%
	2	100	2.8	0.9	42.5	53.8
	3	150	3.1	0.8	48.3	47.8
	4	200	1.4	0.7	47.8	50.1
凍結層	5	215	0.9	0.7	47.3	51.1
	6	225	1.9	0.5	45.5	52.1
	7	240	1.9	0.6	47.1	50.4
	8	255	1.5	0.2	38.7	59.6
	9	268	2.1	0.7	43.5	53.7
	10	283	2.3	0.6	32.8	64.3
	11	217	3.0	0.8	47.0	49.2

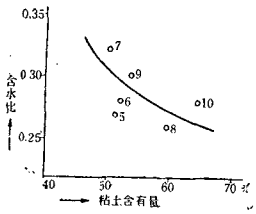
を見ると，第8圖の如くなる．深度 1 m 附近の流動し易い部分は粘土分が比較的多い部分であ

る．凍土層内では粘土分が下へ行くほど多い．もし他の場所の例でも同様な現象が見られれば，活動層が融解に際し微粒子を下方に流し出し，永年變化で活動層がもつと深くまではいつた時に現在の凍土中に混入したとも考へられる．



第　8　圖

凍土層中から採取した6資料について，含水比と粘土含有量との關係を見ると，第9圖の如くである．即ち粘土分の多いほど含水比が小さくなつてゐる．普通の土では，粘土分が多いものほど含水量が多い．しかし普通の凍土現象では粘土分が餘り多くなると透水性が悪くなり，下からの吸上げが少くなるので含水比が減少する傾向がある．即ち此の凍土層が確實に永久凍土層の上部であるならば，それが凍土と同じ性質を示す點に於て，永久凍土層の成因についての1資料を提供するものと考へられる．



第　9　圖

ii)　凍土量の推定

永久凍土層にも凍土現象が起きてゐるらしいことが，上述の結果から推測されるので，その凍土量を推定してみた．その爲に必要な土の諸性質を見るべく，No. 5 ~ No. 11 の資料を混合して，即ち凍土層の上部約 70 cm 厚の土についてその平均の性質を調べた．その結果を第6表に示す．

第　6　表

測定事項	含水比	見掛比重
飽水含水比，密	0.28	1.91
〃　，最密	0.28	1.94
流出限界含水比	0.36	—
塑性限界含水比	0.22	—

第4表と第5表とを比較してみるに，No. 5, 6, 8, 10 は見掛比重も含水比も，それぞれ第6表の最密に詰めた場合の見掛比重と飽水含水比との測定値に殆んど一致してゐる．さうするとその分離析出した氷板は他の混凝土狀に凍結した部分の水が析出したものである．即ち之等の部分には餘剩吸上水はないことになる．さういふ場合は分離析出した氷板の厚さと混凝土狀部分の收縮とが略相殺されるのが普通である．それで之等の部分は凍上してゐない，從つて融解しても沈下しないと考へられる．

No. 7, 9, 11 の資料は含水比が飽水以上になつてゐるので，凍上してゐる筈である．測定値の揃つてゐる No. 9 の例について，その凍上量を計算すると次の如くなる．凍上量 Δl は前報告[(1)]によれば，

$$\Delta l = 1.1\rho_d l(R - kr_0)$$

（1）　中谷，菅谷：　低温科學，第2輯；p. 7.

である．ρ_a ＝風乾土比重，r_0＝飽水含水比，R＝凍土全含水比，kr_0＝混凝土狀部分の平均含水比，l＝資料の厚さである．

第4表，第6表より，$R=0.30$，$r_0=0.28$ であり，$l=90$ mm なることが測つてあるので，ρ_aの新測定値 1.55 を入れると，問題は kだけである．k の値としては，前報告[1]で 0.9 位が適當なことが知られてゐる．それで $k\fallingdotseq 0.9$ とすると，

$$\Delta l=1.1\times 1.55\times 90(0.30-0.9\times 0.28)=7 \text{ mm}$$

となる．卽ち No. 9 の資料では凍上率 $\Delta l/l$ は約 8% となる．逆に言へば，此の部分の永久凍土層が融けれれば融解層の厚さの 8% が沈下するであらうと言ふことが出來る．活動層下の凍土層が一般の凍上に於ける凍土と同樣に，或る凍上率をもつてゐることは，永久凍土層もやはり上方からの冷却で凍つて出來たものであることを示すものであらう．

§ 6. 總　括

本調査は永久凍土層上に土木工事を行ふ時の基礎資料として，活動層が最深部に達した時の凍土層內の地溫分布を精密に測るのを主な目的とした．その爲 0.01°C の精度を期待出來る丈夫な熱電對を作り，それを凍土中に孔をあけて挿入する方法により，凍土の上面から約 3 m 下までの地溫分布を精密に測定した．その結果融解最後期の凍土層上部の地溫は零度に近く，0°C から −0.1°C 以內の範圍にあり，1 m 位下から −0.3°C 乃至 −0.4°C に降るが，その附近での地溫低下率は 0.10°C/m の小さい値であることを確めた．又埋設鐵管の中に寒暖計を吊り下げて永久凍土層深部までの地溫を測る方法も，0.2～0.3°C 程度の誤差を許せば，十分よく地溫を測り得ることを知つた．

融解中の活動層の溫度傳導率は (0.07)° C. G. S. 程度であることを實測値から出した．

凍土層の土壤につき，その土質，凍結樣式，含水比，最大飽水量等の測定をした．その結果此の地方の永久凍土層は，普通の凍上現象の如く，上方から冷却して出來たものであるといふ推論を得た．そしてその凍上率の計算も 1 部の資料についてはすることが出來，その例では凍上率は 8% であつた．

本調査は舊滿鐵の委囑によつて行つたものである．筆者等は本調査を可能ならしめた高野與作氏，並に調査に際し萬般の便宜をはかられた阪部一郎氏，氏を初め現場の諸兄の好意，又本調査に參加し觀測の援助をされた中山正和氏に深甚なる感謝の意を表する次第である．

(1) 中谷，菅谷: 低溫科學，第2輯，p. 7.

低溫科學第二輯（第一刷）正誤表

(頁)	(行)	(誤)	(正)
目次	20	福島	福富
3	12	α	αd
6	第6圖	5 cm	0.5 cm
〃	20	$kg/cm^{\frac{3}{}}$	$kg/cm^{\frac{3}{2}}$
24	22	相對溫度	相對濕度
26	第1表の5	<105	>105
27	4	寫眞 2	寫眞No.2
〃	10	〃 1	〃 No.1
〃	14	〃 3	〃 No.3
〃	19	F	下
〃	30	寫眞 4,5	寫眞No.4,5
28	4	Tc	Ta
〃	5	Tc	Ta
〃	23	寫眞 6,7,8	寫眞No.6,7,8
〃	29	〃 8	〃 No.8
29	2	〃 9,10,11	〃 No.9,10,11
34	10	鐵線があるが	鐵線であるが
59	第13圖	−•−細土含有量	−•−粘土含有量
〃	〃	−×−粘土含有量	−×−細土含有量
70	24	b c	b : c
71	3	寫眞No.1	寫眞No.12
〃	3	〃 No.2	〃 No.22,13
〃	16	〃 No.1	〃 No.21,12
74	6	第2圖(A)	〃 No.14
〃	〃	〃 (B)	〃 No.15
〃	〃	〃 (C)	〃 No.16
〃	8	寫眞 (A)	〃 No.14
〃	10	寫眞 (B)	〃 No.15
〃	18	〃 (C)	〃 No.16
〃	20	〃 (A)	〃 No 14
75	9	第4圖(D)及(E)	〃 No.17,No.18
〃	11	寫眞 (D)	〃 No.17
〃	12	〃 (E)	〃 No.18
77	脚註3	Seron	Screen
80	11	$\int_0^\infty \varphi(r)d^2(r)p\tau$	$\int_0^\infty \varphi(r)p^2(r)d\tau$
88	10	寫眞 1	寫眞No.19
〃	20	〃 2	〃 No.20
89	1	〃 3	〃 No.21
〃	3	〃 4	〃 No.22
〃	12	〃 5	〃 No.23
〃	〃	〃 6	〃 No.24
〃	14	〃 4	〃 No 22
〃	22	〃 7	〃 No.25
〃	27	〃 8	〃 No.26
〃	28	〃 9	〃 No.27
90	3	〃 12	〃 No.30
〃	10	〃 8	〃 No.26
〃	11	〃 11	〃 No.29
〃	12	〃 9	〃 No.27

(頁)	(行)	(誤)	(正)
90	13	寫眞 12	寫眞No.30
94	28	〃 7	〃 No.25
99	16	示すと	みると
〃	〃	寫眞No.1の如く	トル
〃	22,23	寫眞1に見られる	トル
100	2	寫眞と同樣に	トル
101	27,28	寫眞No.2に示す樣に	トル
101,102	30,1	寫眞に示す如く	トル
102	13	第1表及び寫眞No.2を	第1表を
108	26	寫眞 1	寫眞No.31
〃	29	〃 4	〃 No.34
109	3	〃 4	〃 No.34
〃	〃	〃 5	〃 No.35
〃	20	〃 2	〃 No.32
112	3	〃 3	〃 No.33
113	17	〃 6	〃 No.36
〃	18	〃 7	〃 No.37
〃	29	〃 8	〃 No.38
115	27	〃 9	〃 No.39
116	4	〃 9	〃 No.39
120	13	$1.0\times10^{-7}V$	$1.0\times10^{-2}V$
121	7	30cm	130cm
128	14	3m	4.8m
136	第1表の1	左右對線	左右對稱
142	1	打點式によつて	自記的に
159	6	Ag	Aq
164	25	$\Delta lg > tw$	$\Delta' g > \Delta tw$
166	27	0.001N	0.001/N
171	3	9術	6年
〃	16	$\frac{Tt}{Ta}Vt$	$\frac{Ta}{Tt}Vt$
172	2	$R\text{-}I=\frac{e}{e_{sat}}100$	$RH=\frac{e}{esat}100$
〃	22	a), b)	寫眞No.40, No.41
174	第3表	相對溫度	相對濕度
180	6	*B.nap s*	*B.napus*
181	2	*Faphanobras-sica*	*Raphanobras-sica*
182	4	*Horde m*	*Hordeum*
183	13	*nap s*	*napus*
244	19	單位生殖	單爲生殖
248	15,16	溫度氏はでも	溫度でも
〃	16	伺松島	伺松島氏は
252	13	Sthwarkinowa	Schkwarnikow
257	6	寫眞1—5	寫眞No.56の1—5
259	8	寫眞4—5	寫眞No.56の4—5
260	6	〃 6	〃 No.56の6