

凍上水の外觀的分類と其の生成過程に関する私見

准員 小川新市*

要旨 滿洲に於ける鐵道線路踏盤鑿觀測より其の凍結土壤中の凍上水を外見上分類して、霜柱狀氷層縮細狀氷及其の中間的の霜降狀氷層の 3 種とす。霜柱狀氷層は砂土質土壤に水平層をなし、縮細狀氷は沈泥質又は粘土質土壤に綫狀をなし、霜降狀氷層は多く其の中間の土壤中に水平層をなす。

次に粘土質土壤内に於ける凍上水の土壤より分離析出する理由の一として凍結直前の土壤の寒氣及乾燥に依る收縮龜裂を生じ之れが誘因となり發達す、となす私見を述べ、最後に明瞭なる凍上水分布の寫眞により現地狀況に關し説明を加へたり。

1. 分類

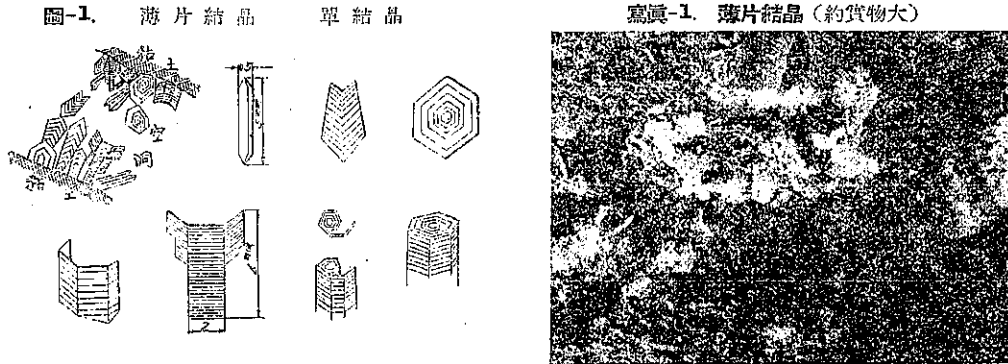
氷の結晶生成因からの分類でなく、單に其の形ちの上から分類するに、之れが後述の如く比較的凍上量及土質粒度に關聯性を有するが故に茲に一應次の分類形式を採る。

- (1) 薄片結晶
- (2) 霜柱狀氷層
- (3) 霜降狀氷層
- (4) 縮細狀氷

此の外に土壤凍結狀態に依る氷粒、コンクリート狀等もある。

(1) 薄片結晶

此の結晶形及聚生狀態は圖-1 及寫眞-1 の如きものにして、之れは霜雪の一種である。之れは踏盤上層部にある土壤の龜裂及空洞の内に垂下或は附着せるものにして、其の結晶は薄く勿論小さな荷重にも耐へない。即ち



この氷の爲に龜裂又は空洞を生じたのでなく二次的に土壤中水分の昇華凝縮によるものであらう。之れが實驗は容易にして冬期平地土壤表面に小孔を穿ちおけば此の中に此の種の氷を見られる。故に之れは凍上には無關係である。

(2) 霜柱狀氷層

内地でよく見る霜柱と同一のものが凍結土壤中にもある。滿洲に於いて河原や露地の所謂霜柱は比較的珍らしく、又其の形ちもくずれ内地で見る程美事なものはない。之れは土壤の粒度配分及寒氣によるのであらうが、丁度この地表面近くの平地の霜柱に就いての内地と滿洲との差が鐵道線路踏盤中の凍上水にも見受けられる。

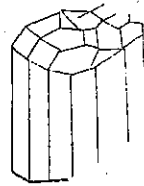
この霜柱狀氷層の厚さは最大 20 mm にして結晶形は大體多角形短柱狀である。そして此の結晶は一般に結晶軸を豎にし圖-2 の様にザクロの窠狀に並び、又は之れが昇華蒸發に依り形ちがくずれ、不揃に並び水平層(寒氣の傳達方向に直角)をなす。この氷層は概して水の供給適度に、然も土壤粒度は大小適當に混合してゐる處に生じ、多くは比較的踏盤上層部に見らる。即ち土質質(主として道床と踏盤との境(寫眞-2)), 少量の粘土分を含む砂質土

* 滿鐵社員 工學士 滿鐵鐵道總局工務局保線課

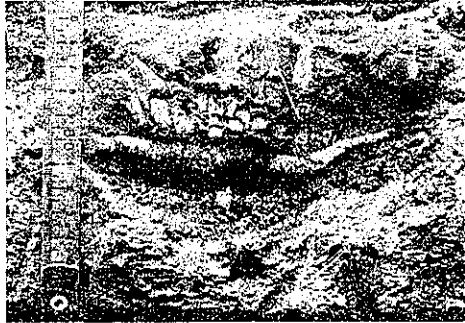
壤（寫眞-3）、砂分を多量に含む粘土質土壤（寫眞-4）中に多く見らる。又稀には汚染されたる切込砂利道床中（寫眞-5）に生成する事もある。

此の水層は枕木厚大なる箇所附近の凍上量大なる路盤中によく見られ、寫眞-2の如く空洞を伴ふものあり。この空洞を有する凍上氷は解氷期の融凍迅速にして路盤を軟弱ならしむ。

圖-2. ザクロの實狀



寫眞-2. 土質境に於ける霜柱水層 砂道床と粘土路盤の境界に生じたる空洞を伴ふ例である。折尺は枕木上面よりの深さを示す



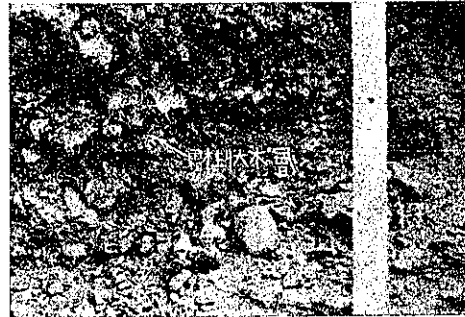
寫眞-3. 粘土分を含む砂質土壤中の霜柱狀水層 折尺は枕木上面よりの深さ及縮尺を示す



寫眞-4. 砂分を含む粘土質土壤中の霜柱狀水層 折尺は縮尺及枕木上面よりの深さを示す



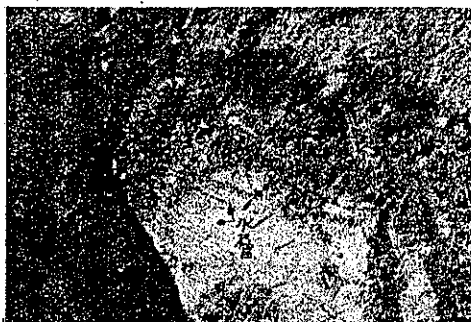
寫眞-5. 切込砂利中の霜柱狀水層 路盤面直上の状態である



(3) 霜降狀水層

之れは水分豊富なる粘土中に生成し、恰も霜降牛肉の白い膏の如き分布状態を示す（寫眞-6）。この氷は其の生長方向（或は結晶方向）を示す細い氣胞の條が上下面（下面からの條の数は少ないのが普通）から氷層面に直角に入つてゐるもの（圖-3）と全くの不定形結晶と見られるものとの2種ある。又時に圖-3の如く二、三枚重なり

寫眞-6. 霜降狀水層



寫眞-7. 霜降狀水層の特例 (a 部)

路盤中より掘り出し撮影せるものにして折尺は縮尺を示す (a 部スケッチは圖-5)



合つてゐるものもある。この氷層の厚さは大體 15 mm 以下なるも、時には圖-4 及 寫眞-7 の如く空隙を伴ひ 30 mm 以上に及ぶものもある。然し乍ら此の寫眞-7 のものは詳細に之れを見れば圖-4 の如く氷柱の途中に粘土層を挟み、然も此の氷柱は昇華蒸發の爲、丸味を帯びたるものと推定し得られ或は霜柱狀氷層に屬せしむべきものならんか。

(4) 縮緬狀氷

これは凍結線以上一面に存在し、粘土質土壤中には極微細なるものゝ發

達特に著しく名の示す通り恰も縮緬狀に分布す。これは霜降狀氷層(或は霜柱狀氷層)に至る一過程とも考へらる。分布模様は水分の量に依り圖-5 或は圖-6 の如くなり、時には氷中に粘土層を挟むが如き状態を示すものあり。寫眞-8~10 は含水量大なるものより小なるものへの各段階を示す。寫眞-11 は特殊のものので大きく又離れて分布したるものである。

圖-3. 板狀氷盤

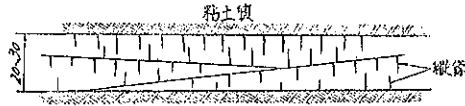


圖-4. 霜柱狀氷層の特例

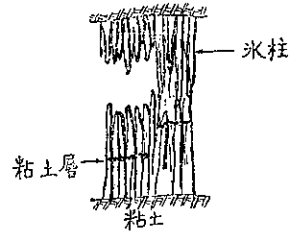


圖-5 縮緬狀氷(水少)

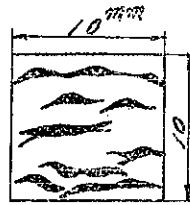
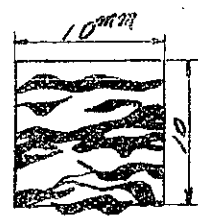
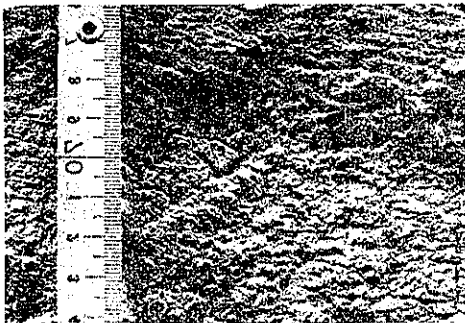


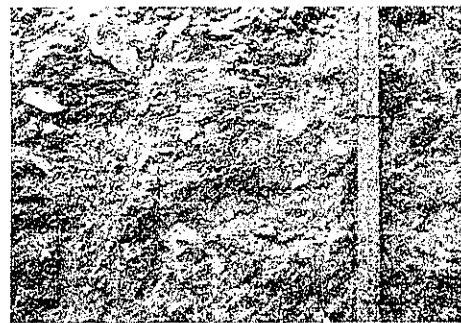
圖-6. 縮緬狀氷(水少)



寫眞-8. 縮緬狀氷(密なるもの) 折尺は枕木上面よりの深さ及縮尺を示す



寫眞-9. 縮緬狀氷(中位のもの) 路盤上面の状態にして下方への漸減を見る 折尺は縮尺及枕木上面よりの深さを示す



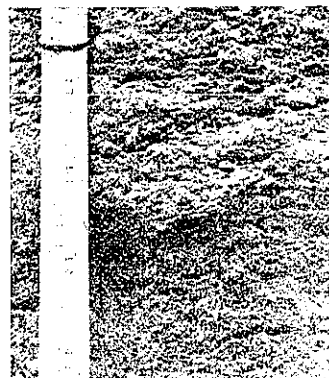
此の種の氷は砂質土壤等の不凍上性土壤以外には必ず見られるものにして、一つの厚さは 0.6~2.0 mm 程度であるが、數多き爲合計厚即ち全凍上量は鐵道にとつて相當量に達するものである。

以上を土壤粒徑より粘土乃至砂土に分類し、之れに凍上氷を適合すれば 圖-7 の如くなる。

寫眞-10. 縮緬狀氷(粗末なるもの) 本寫眞は路盤肩下のものにして折尺は路盤面よりの深さ及縮尺を示す



寫眞-11. 特殊縮緬狀氷 路盤肩下線路横斷にして折尺は路盤面よりの深さを示す



2. 生成過程

凍上氷の生成には諸説があるが、大體に於いて凍結土壤中に氷が分離析出するは、間隙水が最初の結晶をなし、下方よりの毛管水の補給により、漸次之れが生長するものとなす説が有力である。然らば其の最初の結晶の生成誘因及毛管水補給過程如何。普通土壤凍結の温度は $0 \sim -2^{\circ}\text{C}$ である。實際凍土掘鑿觀測の際凍結線附近の温度は $0 \sim -1.5^{\circ}\text{C}$ であつた。一般に線路路盤の如き相當壓力を受けてゐる土壤中、特に夫れが粘土等の如き微細粒子の土壤等の中では相當の氷點降下を示す事が豫想され、又土壤粒子と間隙水との間の凝集力からも同様の事が想像されるが、上の程度の氷點降下にて納まるは何か。又この凍結線附近の毛管水上昇状態に寒氣滲透状況如何。之等に関し滿洲に於ける現地觀測より次の事實を認めれば之れに依り凍上氷生成過程を説明せんとす。

凍上氷の前記分類の内霜柱狀氷層は間隙大なる砂性土壤中に生ずるものなれば、之れは普通霜柱の生成過程と同様と考へらる。然るに粘土質土壤中に生ずる霜降狀氷層及縮緬狀氷は氷結晶生成に或る種の條件を要す。即ち概説すれば凍上とは凍結線直下の不凍土が寒氣竝に乾燥に依る收縮龜裂を生じ、之れに毛管水が入り凍上氷を形成す。而して漸次之れが生長して氷厚を増加し土壤隆起即ち凍上を示すものである。

この凍上氷生成過程に凍結直前收縮龜裂を生ずとなす理由は次の如し。

(1) 冬期線路路盤面に縦横の龜裂を生ず

此の龜裂は特に凍上箇所に伴ひ又同時期に發生す。此の内線路方向に對する縦龜裂は横龜裂より一般的である。尙此の龜裂の擴大は收縮のみならず次に來る路盤の横起にも依るであらうが先づ最初は收縮龜裂である。

(2) 土壤中凍結線直下に龜甲型龜裂あり

Taber 博士の云ふ閉式凍上（下方よりの供水なき場合の凍上様式）の凍結線下に生ずる龜甲型龜裂は當滿洲に於いても掘鑿時凍結線直下に水平に存在するを確かめたり。而して之れは收縮龜裂である。此の龜裂に相似のものとしては水のない沼地表面の龜甲型乾燥龜裂があるが凍土直下のものは其の割目が非常に小さく所謂毛狀龜裂の程度である。この凍結線直下の龜甲型龜裂は地下水位深く毛管勢力の範圍外に於いて凍結が進行せる時認め得るものである。

(3) 冬期新掘鑿未凍結土壤断面に間もなく縮緬狀微小龜裂を多數生ずるを認め

之れは今冬掘鑿調査中隨所に見られたるものにして、其の形狀及分布状態は縮緬狀氷に酷似してゐる。

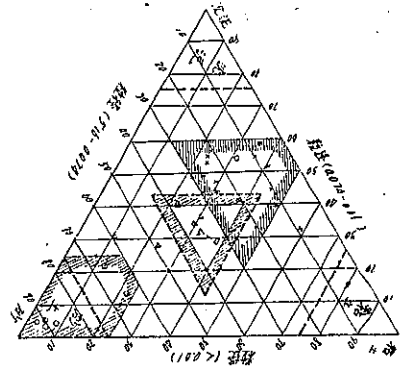
主として以上の現象から初期極微の收縮龜裂を確認したものである。即ち初冬の頃路盤面が漸次冷却されると粘土質土壤の如き微粒にして、然も略均一なる土粒子よりなる土壤に於いては先づ縮緬狀收縮龜裂を生ず。（此の稿取纏中、北大中谷教授より實驗室に於いて上記收縮龜裂の確認の御教示を得て、實驗と現地的一致を見た譯けである）。

次に此の龜裂は周圍に比し間隙水少量の所に生ずるものなれば、直ちに下方より毛管水の補給ありて龜裂内に水が入り、過冷却状態にありし此の層が凍結を始め、龜裂内の氷は凍上氷となる。

此處に生じたる氷は上部よりの冷却速度と下方毛管水の運ぶ熱量等との釣合如何により成長度を異にす。即ち常に平衡にあれば、氷厚は其の點に於いて無限に増大し、凍上量も漸増して行く。寔眞-16 の如く粘土質土壤にして、然も地下水位淺き時は三寒四溫に略近き氷層の美事なる模様を見るのも此の理に依る。

尙又現地觀測に於いて極地表層部（道床ある所は其の直下部）には極微小の縮緬狀氷を見るのみなるは、此の部に於いては地表面に近き爲氣温の影響を直接受け、又寒氣の滲透速度大にして水の補給が間に合はない爲である。

圖-7. 粒度と凍上氷形



註 ○ 霜柱狀氷層 △ 霜降狀氷層
 × } 縮緬狀氷

而して霜柱状氷層は、概して道床と路盤の境に多いのは土粒子の大き及空隙率の適当な爲であらう。

3. 氷層の分布状態

線路路盤内の凍上氷層の分布状態は種々の形態を取るが、此處に比較的代と思はれるものを記述し以上の参考
に供す。

(i) 道床喰込と氷層分布

道床は不斷の列車荷重及搗固に依り路盤面に喰込んで行く。特に軌條下の搗固に依る道床喰込は甚だしく、又此
の搗固は枕木下部のみであるから枕木中間の道床喰込は比較的少なく、之を線路縦断方向に見る時は道床路盤の土
質境は波形をなしてゐる。而して粘土質路盤では特に道床と路盤との境界は判然とし、路盤土質が遮氷層をなし路

寫眞-12. 道床喰込と氷層分布 (切込砂利と粘
土の場合)
線路縦断軌條直下の状態にして折尺は縮尺及
枕木上面よりの深さを示す



寫眞-13. 道床喰込と氷層分布 (砂と粘土の場
合)
線路縦断軌條及枕木直下の状態にして折尺は
枕木上面よりの深さを示す



盤横方向に排水路なき時は、此の波形の凹部は滞水所となり凍
上を誘發す。築堤部の小凍上は多く此の部類に属するものにし
て其の氷層分布状態は寫眞-12 (切込と粘土)、寫眞-13, 14 (砂
と粘土)の通りで凹部には厚い霜柱状氷層が出来、之に接する路
盤粘土中には大なる縮細状氷群或は霜降状氷層が出来る。尙此
の縮細状氷群は下方に行く程大き及密度を減少す。即ち下方よ
りの補給水少なく溜水のみに依る凍上氷なるを示す。又寫眞-
15 に見る如く波形凸部の先端では稀に薄き霜柱状或は霜降状
氷層氷盤)が一層のみあり、路盤部粘土中の縮細状氷群は厚さ
薄く數少なし。即ち單なる土質境の空隙に依るものである。尙
寫眞-15 の縮細状氷群中の堅いものは此處に見る様な厚さ大なる
ものは稀にして、他の實例では僅かに擴大鏡に依る反射より
判別し得る程度である。

寫眞-14. 道床喰込と氷層分布 (砂と粘土の場
合)
線路横断枕木下部にして寫眞-13 の側面圖の
ものである 特に粘土部の縦氷層の明かもの
である 折尺は枕木上面よりの深さを示す



寫眞-15. 道床喰込と氷層分布

本寫眞は枕木端に沿ふ線路縦断にして路盤凹部は枕木直下である。折尺は枕木上面よりの深さを示す

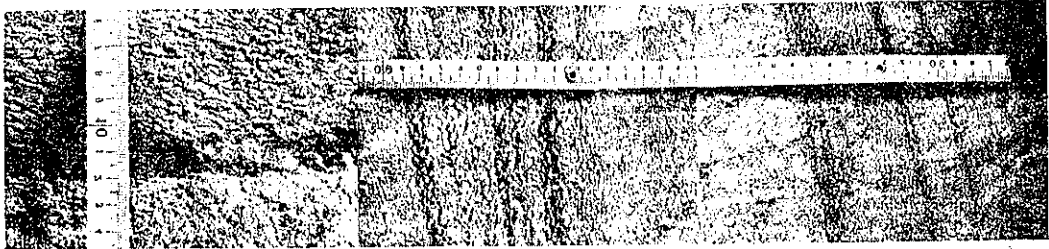


(ii) 微粒子土壌中の氷層分布

粘土質土壌（此處に擧げる實例では大部分砂利混りローム）中に於いて湧水等の爲特に水が豊富なる時は寫眞-16の如き氷層分布状態を示し、凍上量著大なり。此の霜降状氷層の互層の成因は前述の如く温度傳達の停滞及進捗の状態によるものである。此の寫眞より霜降状氷層と縮細状氷層は同一のものにして唯形を異にするのみなるを知る。

寫眞-16. 微粒子土壌中の氷層分布

本寫眞は道床法尻線路横斷にして折尺は路盤面下の深さを示す



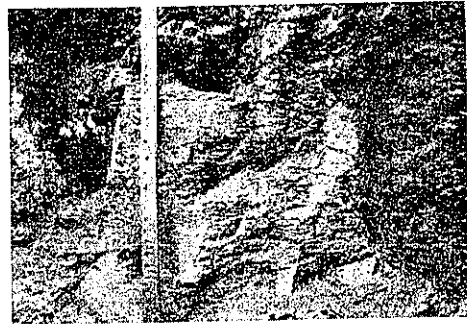
寫眞-17. 空洞式凍上

本寫眞は枕木端に沿ふ線路縱斷にして折尺は枕木上面よりの深さを示す



寫眞-18. 空洞式凍上の擬似氷柱

(寫眞-17のb部)



(iii) 空洞式凍上

寫眞-17 (寫眞-18, 19 は部分擴大) の如き大なる空洞は滿洲に於いて稀なものである。此の空洞の幅は枕木全幅に互り、然も所々を寫眞-18, 19 に見る氷と粘土との互層よりなる凍結土壤柱に依り支へられ、切込砂利道床と路盤との境に生ず。この支柱は霜降状氷層の密なるものにして、此の小部分に特に集中して凍上氷を生じ、周囲の水分を全部吸収して部分的に異常發達した爲、空洞式となつたわけで空洞部分の土は非常に乾燥してゐる。

寫眞-19.

空洞式凍上の空洞 (寫眞-17のa部)

