

# 論 說 報 告

土木學會誌 第十一卷第二號 大正十四年四月

## 線 路 の 凍 上

會 員 工 學 士 井 上 隆 根

	目 次	頁
緒 論	1	1
第一章 凍上と保線業務	3	3
第一節 凍上の經濟的損失	4	4
第二節 安値なる凍上防止方法	6	6
第三節 挾木作業の勞力及材料	8	8
第四節 挾木の取り方及挾木材質	10	10
第二章 凍上の物理性	12	12
第一節 雪と地温	12	12
第二節 氣温と凍上	13	13
第三節 水と凍上	15	15
第四節 凍結地盤のアーチ作用	17	17
第五節 氷の力	19	19

### 内 容 梗 概

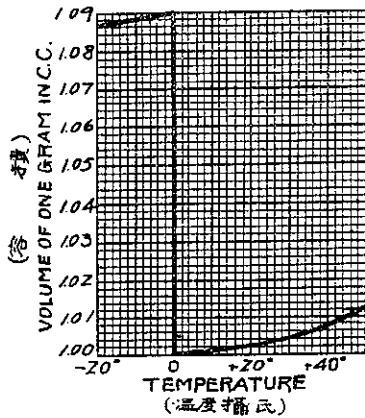
軌道の水準及軌間を常に完全の状態に保守して置く事は保線業務の根本をなして居るのである。然して寒氣による凍上は著しく此等水準及軌間を不整に導くものである。本文は札幌鐵道局野付牛保線事務所管内十二年度の凍上の統計調査を基礎として保線業務上線路の凍上を如何に處理すべきかを説き併て物理性の研究を試みんと企てたものである。

### 緒 論

凡そ物體は温度の變化に應じて其容積を變ずるものであつて大抵の物體は温度

の昇騰と共に膨脹し、其低下と共に收縮するものである。然るに水は温度が氷點に達すれば、非常なる力で以て俄かに約一割の容積を増加し、それから又温度の低下と共に極めて徐々に收縮するものである。(第一圖参照)

第一圖



此大自然の作用が、線路凍上の根本原因をなして居るものであつて、冬期地盤が深く凍結すればする程線路の凍上は増加し、地盤に含む水分の量が多ければ多い程凍上の高さも高くなる譯である。

寒帯に屬する地方の鐵道線路で一番惱まされるのは雪と凍上とである。雪も列車運轉上非常に厄介なもので殊に積雪は危険なものであるが保線上から見れば凍上よりも始末がよいのであつて、其期節が經過すれば何等線路の實質に危

害を加ふる事はないのである。

然るに凍上は道床や、路盤内に含有する水分の氷結によつて起るものなるが故に、其破壊は眞に道床、路盤の微細なる各部に迄達せらるゝのであるから前年補修の跡は美事に覆され、其内容と外觀も見る影もなく權花一朝の夢と化するの感がある、従つて凍上する地方の線路は不凍期間の6箇月は實に凍上によつて破壊されたものを修理するに日も亦足らざる有様でまごまごして居れば前年の状態にすら回復する事が出来ずに毎年々々荒廢に荒廢を重ねないとも限らぬ状態である。かゝる有様であるから到底線路を優秀に保守して行く事が出事ず常に列車の運行に支障を及ぼす事となるのである、そのみならず、凍上期間中は線路の三大要素たる軌道の高低、方位、水準に千變萬化の狂ひを生ずるが故に、之を平坦に、之を圓滑に修理せんが爲め保線員は筆紙に絶する困苦を嘗めねばならぬ。それも凍上しつつある期間の十二月初旬より、三月下旬までは、凍上はやゝ秩序的に増加して行くから、凍上するものに對して油斷なく挾木を適當に厚いものと、さし換えて行けばよいのであるが、四月初旬以降は寫眞第一乃至第四に示した様なものが、一雨毎にどかどかと降下して行く、それも日中は融けて、夜は再び凍結して隆起する、朝と夕は軌道の左右に於て其沈下状態が變化する、山影は融けざるに日光に照らされる方は融けて居ると云ふ有様で4箇月で凍上したものが約2

箇月で降下してしまふのであるから、如何に最善の注意と努力を拂つても尙線路は安全とは断定し難いのであつて實に列車運轉上慄然たるものがある。

吾野付牛保線事務所管内では、この危険なる挾木挿入區間が所管本線延長の約44%に及ぶが故に保線員として完全に責任を果すには、どうしても凍上を根絶する事は出来ないまでも、極力減少せねばならぬと痛切に感じたのであるが、それには多大の經費を要する。従來行はれて居る特種道床の如きは、凍上の根絶には理想的であるかも知れないが、何分1哩に對して20,000圓を要するので何とかして安値に之を防止する方法はないものか又従來の挾木作業は果して適當に行はれつゝあつたかどうかを調べて見たいと思つて此研究を思い立つた次第である。

勿論本研究たるや、到底一冬や二冬の調査、統計によつて其目的を達する事は困難である、従つて大正十二年十二月から昨年五月まで行つた調査、統計によつては何等具體的の結論を得る事は出来なかつたが、出来ただけの調査、統計を記録して、今後の研究により或は之を照査し或は訂正する事は、適確なる結論に達するの方便なるを信じ、以下大正十二年十二月より大正十三年五月に至る（此期間を本記録に於ては本冬と稱す）經驗を記述する次第である。

附圖第一は野付牛保線事務所管内を總括して凍上と、氣温、挾木延長と、挾木積との關係を圖示したものであつて大體に於て其變化を表示するものである。

## 第一章 凍上と保線業務

本章に於ては、凍上に關する保線業務について記述して見たいと思ふ、即ち凍上は經費の點に於て幾何の損害を保線業務に及ぼして居るか、凍上防備としては幾何の費用を限度とすべきか、其方法は如何。従來の挾木作業に於て人夫の使役、挾木の供給、挾木の使用方につき改善の餘地はなきか等を研究して見たいと思ふ。

元來凍上に對する保線作業としては、凍上せざる區間に於て軌條と、枕木の間に挾木を挿入して、凍上せる部分と圓滑平緩なる取付をなし（寫眞第一乃至第四參照）列車をして恰も、凍上なき區間と同様に安全に、滑かに運轉せしめんとするのであるから、凍上の調査統計は即ち挾木の厚さ、挾木の延長を基とした調査統計に外ならないのである、今大正十二年度に於ける最大挾木狀況を示せば、第一表の如くである。

## 第 一 表

大正十三年三月下旬挾木延長及挾木積表 (凍上最高期)

挾木厚	挾木延長(鎖)	挾木延長百分率	挾木積(吋鎖)	挾木積百分率	備 考
0''—1/2''	5,029.21	29.32	1,257.41	7.03	線路左右軌條毎に調査せ
1/2''—1''	5,808.17	33.86	4,356.24	24.38	るもの合計なり
1''—2''	4,235.58	24.69	6,353.49	35.57	
2''—3''	1,573.70	9.17	3,937.36	22.04	
3''—4''	329.43	1.92	1,153.06	6.45	
4''—5''	162.79	0.95	732.59	4.09	
5''—6''	17.99	0.09	98.97	0.44	
計	17,156.87	100.00	17,889.12	100.00	平均挾木厚1.1吋

(大正十一年度の總延長約13,262.92鎖)

十一年度と十二年度とに延長に非常なる差の存在するのは、十二年度は新線延長21哩が加はつたのと、調査が精密であつたのと、挾木作業が細密に施行された即ち従来顧みられなかつた位の凍上に對しても挾木を以て高低、水準の整正をなし決して忽かせにしなかつた結果である、それだけ事實列車の動搖も少かつた次第である。

此表から大正十二年度に於ては挾木區間は延長 107 哩強即所管哩 240 哩に對して 44.4%強に相當し、内約95哩は 2 吋以下で 2 吋以上は極めて少區間である事が解るが、之は保線業務上非常なる幸で挾木が厚ければ厚いだけ危險が伴ふ外に、凍上期間に於ても、融凍期間に於てもそれだけ手数を要するのであるから、吾人は先以て厚き挾木區間から撲滅して漸次薄いものに及ばねばならぬのである。

## 第一節 凍上の經濟的損失

凍上の爲に失ふ經費を大體二通りに區分する事が出来る、其一は直接費とも云ふべき挾木作業で、其二は凍上の爲に起る枕木の短命、道床の沈下、道床施工基面の破壊、石炭消費量及車輛修繕費の増加等の間接費に屬するものである。

今大正十二年度の統計について直接費を調査して見るに

最大挾木延長 (線路延長として) 8,578.44鎖、最大挾木積 17,889.12吋鎖に對して

人	夫	10,632人	此經費	17,997圓		
線	路	工	手	40,802人	此給料	71,404圓
挾	木	材	1,393石	此價格	3,845圓	

挾木用犬釘其他

2,266圓

計

95,512圓

にして1吋鎖當り約5.35圓、線路1鎖當り11.20圓の直接費を要したのである。

次に間接費の主なるものは枕木の耐久年限短縮である、凍上期間は十二月から翌年の五月末まで約半歳に及ぶがこの間挾木は薄きより又厚きに、又厚きより薄きに幾度か取換えられねばならぬ、且つ厚さ $\frac{1}{2}$ "以上に及べば横挾木(附圖第二參照)となり、更に一寸以上に及べば特種のウード・チョックが用ひられねばならぬからして、一冬を越す間に12~3個所以上に釘孔を穿たれる事も珍らしくないので、どうしても枕木の壽命は短くなるを免かれない(寫眞第五乃至第八參照)

今挾木區間にあるものと、然らざるものと、枕木の壽命を調査して見ると次表の如くである。

材種別 摘 要	地 帯				
	檜	樺	榿	榆	其 他
挾木區間に敷設せるもの	年 3.6	年 4.5	年 4.2	年 3.1	年 3.2
然らざる區間に敷設せるもの	6.0	7.6	7.0	4.4	4.5
配 給 歩 合	1.7%	3.6%	2.4%	1.4%	0.9%

であるからして、挾木なき區間に敷設せらるゝものゝ平均耐久年限は6.5年、挾木區間に敷設せるものゝ平均耐久年限は4年となるものである、其結果は挾木區間1哩について毎年約215挺の交換枕木數を増加すると共に勞力の増加は差引二倍の影響を線路保守上に及ぼすからして、此等を合算して見ると1哩につき約441圓の損失を生ずるのであつて、大正十二年度の挾木延長107哩に對しては47,187圓、1吋鎖當り2.64圓となる。此外間接費として計上すべきものに線路の荒廢回復、車輛修繕費、石炭消費量の増加等もあるが、此等は直ちに明確なる數字を得る事が出來ないから省略するとしても、結局十二年度に於ては挾木區間107哩に對し工手給を除き71,295圓を消費して居る。

1哩につき 約676圓

1吋鎖につき 約4圓

の保守費を要する次第である、此結果から考えて凍上防備に投ずる資金は利廻5分として、

1 哩當り	13,520圓
1 鎖當り	170圓
1 吋鎖當り	80圓

以下の設備でなくては經濟的工作物となし得ないのである、此意味即ち單に經濟的見地よりのみすれば、1 哩 20,000圓、1 鎖當り 250 圓を要する、從來の特殊道床は幾分高價に過ぐる様に思はれる。

### 第二節 安値なる凍上防止方法

以上によつて凍上防止としては、どの位の經費を投じてもいいかと云ふ限度が解つたから、十二年度不凍期間中に施行した輕易なる凍上防備工事と其結果を對照して見たいと思ふ。

第三表は工事の種類が凍上量に及ぼす影響を地質別に示したものであるが、從來の調査が正確でないので其増減高も精細なものとは斷言し難い。

第 三 表

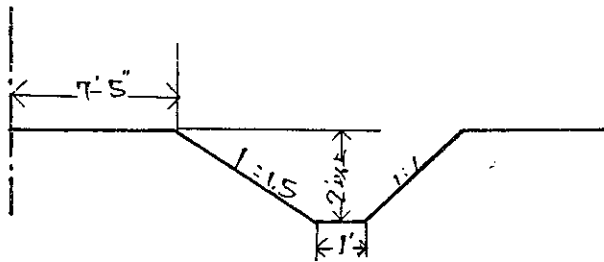
種別 地質	當置	道床 入替	砂利 篩直	盲下 水	側溝 擴大	砂利 篩直 當置	側溝 擴大 盲下 水	砂利 篩直 道床 入替	側溝 擴大 當置	砂利 篩直 盲下 水	道床 入替 當置	砂利 篩直 道床 入替 當置
野地	(-) $\frac{1''}{2}$	(-) 1''	(-) $\frac{1''}{4}$				(-) $\frac{1''}{4}$	(-) 1 $\frac{1''}{2}$				
砂利						(-) $\frac{1''}{4}$						
粘土		(-) $\frac{1''}{2}$		(-) 2''	(+) $\frac{5''}{8}$		(-) $\frac{15''}{16}$	(-) 1''	(-) $\frac{5''}{8}$			(-) 2 $\frac{1''}{2}$
火山灰					(-) $\frac{1''}{4}$		(+) $\frac{1''}{4}$					
砂地	(+) $\frac{1''}{8}$											
眞土		(-) $\frac{3''}{8}$				(-) $\frac{3''}{4}$						

本表より見るときは大體に於て道床入換、盲下水、砂利篩直、側溝擴大と云ふ順序に有效で經費も亦線路 1 鎖當り 80圓、50圓、10圓の順序である。

1. 側溝擴大は普通第二圖の要領によつて施行するものなるが故に路盤が排水溝の掘鑿によつて乾燥する様な地質であつたら非常に有效である、粗質の粘土層又は野地にして大氣を滲透する事少くして、側溝によつて排水し得らるゝ地質には大なる効果がある、然し掘鑿すべき側溝の川底以下深くまで水分をたゞゆるが如き砂利層に於ては、水位の低下によりて、凍上の開始は遅るゝが、凍上量には

大差なき事あるを経験した、之は砂利層がよく大氣を滲透するが故である、砂利混り土丹層の如きは側溝擴大によりて却つて凍上を増加する事がある、即ち排水は充分ならざるに大氣の滲透は路盤との接觸面を大にするが爲比較的著しくなるからである、かゝる地質には時として後段に述ぶる路盤伸張の爲に路盤空虛を生じ凍上を意外に大ならしむる事があるから、側溝擴大には地質の研究が肝要である。

第 二 圖



2. 砂利篩直し、最も外氣に曝露せらるゝものは道床であり、最も外氣を透すものも砂利であるから、道床に多少にても水分を含む土砂を混ざるときは、其凍上は夥しいものがある、道

床砂利の篩分は茲處に非常な効果を顯すもので、高さ1吋以下の凍上には道床内の水分によつて隆起するものを全部含むと謂ふも過言でない、たゞ道床篩分と共に、その減量を補ふ事が必要で、若しこの補足なく道床を薄くしたならばそれだけ路盤の凍結を深め結局効果のない事がある。

3. 嵩置、嵩置は側溝擴大とは全然反對の作業で、一見道床の排水を不良ならしめるものゝ様であるが、地形の關係上側溝擴大其他排水方法を講ずる事が出來ず且つ水分の多い粗鬆の濕地などにては嵩置によつて道床及路盤より大氣の滲透するを防ぎ、案外の功を奏する事がある、又施工基面の沈下は道床の弛緩を誘發し、軌道高低の不整を生じ易きが故に、高低不整のまま結氷期に入り挾木必要の因をなす事がある、大體に於て嵩置は凍上を防止するに役立つとも之を招致するの因をなす事はない様である。

4. 道床入換、以上は極めて安値にして2吋以下の凍上防止として相當効果を收め得るものであるが、凍上2吋以上に及ぶ個所では到底かゝる幼稚の方法では駄目で、第三表にも明である様に道床入換の方法を採る必要がある、本年度は道床入換の標準を第一式より第四式まで定め、地質凍上高に應じて適當に撰擇施行して居る、其設計は附圖第五の如くで其經費は次の如し。

第 四 表  
道床入換準經費

第一式	1 鎖當り	約97圓
第二式	〃	約116圓
第三式	〃	約69圓
第四式	〃	約39圓乃至65圓

第三節 挾木作業の勞力及材料

1. 挾木作業と勞力、從來挾木作業には幾何の勞力を要するものなりやが明瞭でなかつた、手傳人夫の要求の多い處では澤山使役し、然らざる處では非常な辛苦を嘗めて居ると云ふ風で頗る均衡を失して居つたから、線路工手の能率及人夫使役の限度を定めて見たいと思つて調査したのである。尤も挾木作業は保安上より見れば一の斷線作業であるから、列車運轉の繁閑、配給挾木材の良否、積雪の狀況が直ちに作業量に影響を及ぼす事は勿論で、單に挾木積だけを基礎として本問題を解決せんとしても到底正確を期し難いが、大體の標準を定めるには役立つと思ふ。

大正十二年度の挾木總量は 1,165,784.2 in. ch. day. であつて、之に要した工手の數は 40,802人、人夫の數は 10,632人であつた。

今人夫の能率を工手の  $\frac{3}{4}$  とすれば人夫は工手換算  $10,632 \times 0.75 = 7,974$ 人である故に工手1人1日の作業能力は

$$1,165,784.2 \div (40,802 + 7,974) = 24.2 \text{ in. ch. となる}$$

又以上の作業に對する定員は 450人で十二月十日より翌年の六月十日まで約180日間に於ける延定員は 82,000人に相當し内實働人員は統計により93%であるから

$$82,000 \times 0.93 = 76,260 \text{人であるのに挾木に従事したものの } 40,802 \text{人}$$

即ち54%に過ぎぬのは他の46%は主として除雪に従事したものと解釋すべきである。

次に凍上の進行しつつある時と四月以降の降下期とは附圖第一の如く其變化状態に差異があるのみならず、折損枕木の交換、排水溝の浚渫等挾木作業以外の作業に忙殺されるるのであるから三月下旬を境界とした、兩期を比較して見ると

	凍 上 期	降 下 期
挾木總量 (in. ch. day)	757,625.7	408,157.9
線路工手數	28,620	12,132
人 夫 數	6,742	3,890



此數によつて工事1人の發揮能率を計算すれば

凍上期 22.5 in.-ch. 降下期 27.2 in.-ch. となつて居つて  
降下期の多忙なるを語つて居る。

故に大體の標準として工事1人1日の挾木作業能率を 24.2 in.-ch. と見做してよい。

定員數 A の管内に於ては 實働人員  $A \times 0.93 = 0.93A$

挾木作業に従事し得る人員を實働人員の55%とし

$$0.93 A \times 0.55 = 0.51 A$$

故に挾木延長  $0.51A \times 24.2 = 12.3A$  in.-ch. 以上に及べば、

人夫を使役するも已を得ない事になり人夫は、

$$24.2 \times 0.75 = 18.15 \text{ in.-ch.}$$

に10人の割合に使役するを合理的なりとす。

2. 挾木は如何に準備すべきや、本期に於ける挾木厚さ別使用の状態は附圖第三の如くであつて最大凍上期に於ける挾木總材積を次の如く算出して見ると、

第 五 表

挾木厚	平均厚	幅	平均長	1鎖の枕木數	使用延長(鎖)	容積(立方呎)
0''-1/2''	1/4''	4 1/4''	7''	29	5,029	623
1/2''-1''	3/4''	7''	10 1/2''	"	5,808	5,440
1''-2''	1 1/2''	"	10 1/2''	"	4,236	7,750
2''-3''	2 1/2''	"	16 1/2''	"	1,574	7,650
3''-4''	3 1/2''	"	18''	"	330	2,440
4''-5''	4 1/2''	"	"	"	163	1,550
5''-6''	5 1/2''	"	"	"	18	210
計						25,663

で約 2,570 石になつて居る、然るに之に對して配給した數量は

第 六 表 の 一

配給數量	挾木作製數量	不用材にして他に利用せる數量	不用材にして他に利用し得ざりし數量
1,393石	1,139石	121石	133石

であるから、約 1,400 石は昨年、一昨年の殘材が使用されて居る事が明である、尙數理的に謂えば、昨年の 1/3 及一昨年の 1/6 は本年まで利用出来る事を知るのである。

從來挾木材は無節玉切の檜材を配給し 100 石につき時價 400 圓以上であつて其利用率は80%に過ぎないのみならず、挾木作業の勞力なるものは其大半は玉切丸

太より挾木材を作製するに使用されるのであるから、豫め挾木に作製したものを配給する事にせば、材料の點からも作業能率の點からも利益が尠くないだらうと思ふ、一定の寸法及數量が解れば工場の車輛修繕の殘材などから、挾木材を有効に利用する事は難くないとも聞いて居る、この趣旨によりて本期の結果から如何に準備すべきかを考へて見ると大體第六表の二の如くである。

第 六 表 の 二

挾木種別	石 數	準 備 數 量				備 考
		11月末迄	12月末迄	1月末迄	2月末迄	
$\frac{1}{4}'' \times 4\frac{1}{2}'' \times 7''$	6	2,700	5,400	4,300	1,600	14,000
$\frac{1}{2}'' \times 4\frac{1}{2}'' \times 7''$	25	5,600	11,200	8,900	3,300	29,000
$\frac{3}{4}'' \times 7'' \times 9''$	140	4,800	17,400	18,500	11,300	52,000
$1'' \times 7'' \times 10''$	152	3,200	12,400	13,300	8,100	37,000
$1\frac{1}{2}'' \times 7'' \times 11''$	180	400	5,900	10,700	10,000	27,000
$2'' \times 7'' \times 12''$	200	300	4,700	8,300	7,700	21,000
$2\frac{1}{2}'' \times 7'' \times 15''$	188	100	1,500	4,100	6,700	12,400
$3'' \times 7'' \times 18''$	183		600	3,100	4,700	8,400
$3\frac{1}{2}'' \times 7'' \times 18''$	62		200	900	1,400	2,500
$4'' \times 7'' \times 18''$	60		160	720	1,120	2,000
$4\frac{1}{2}'' \times 7'' \times 21''$	40			150	950	1,100
$5'' \times 7'' \times 21''$	38			130	770	900
計	1,274					

即ち本表の如く準備し、寸法の適當ならざるものは前年の殘品に加工して使用する様にしたならば、今日以上に材料と勞力を節約する事が出來それだけ作業も一層丁寧に行はせらるゝ様になりはしないかと思ふ。

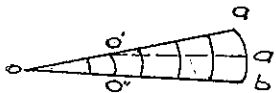
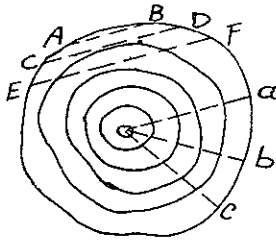
#### 第四節 挾木の取り方及挾木材質

挾木材より挾木をとる方法に柁目と板目との二種がある、即ち年輪に直角にとる方法と之に平行にとる方法とである。

挾木は材質の如何に拘らず、柁目にとる方が強さに於ても經濟の點に於ても利益の様である。第三圖に於て aob, boc は柁目の取り方で AB, CD, EF, は板目のとり方である、然るに柁目取りでは aob の如く楔形をなすから、之を扁平な板にするには a'o'a' 及 oo'o'' の如きものが殘るが、之から又小さな挾木や、込栓などが作られるから大して無駄にはならぬ様である。

板目取ではどうも扁平に平滑に取る事が困難であるから自然材料にも、勞力に

第 三 圖



## A. 針葉樹

- 1、 榎松 材質柔軟なるも成長遅緩なり、松脂質に富み水濕に堪え抗張抗壓共に強靱なるも加工（挾木に製作するを謂ふ、以下省略）困難なり、且つ薄挾木は日割及荷重割を來す事多し、故に1吋以下の挾木材としては不適當なり、乾燥材、生木材、加工に大差なし、(乾燥材は生木を自然乾燥したるものにて枯損立木を伐採したものに非ず以下其の意味なり)
  - 2、 蝦夷松 材質稍柔軟にして脂氣少なく粘着力に乏しく、加工榎松より容易なるも日割、薄重割に對しては稍低劣なり。
  - 3、 カラマツ(落葉松) 材質剛強にして建築材、電柱材、杭木、枕木、船材等の特種材として使用するものなれば挾木として抵抗あり、加工し易く最も適材なれども國內道内に枕木又は挾木とするの材木なく將來の育成を待つの外なし。
- 針葉樹を總括して加工の難易、材質の強剛により順位を附すれば「カラマツ」を第一とし榎松、蝦夷松、赤松、黒松、米松、高野槇、歐洲「タウヒ」等とす。

## B. 槇葉樹

- 1、 槇(柏槇を含む) 材質強堅にして粘着力に富み、加工厚薄を問はず容易なり荷重抵抗最も強く栗材に勝る、生木及乾燥木共に加工し易し。
- 2、 榧 材質剛堅なるも結合力に乏しく加工容易なれども荷重抵抗に乏しく、薄挾木として使用するに際し破目を生ずる事多し、厚き挾木用材としては恐らく最優なるべし。但し生木を乾燥せるものは荷重抗力を増加す。
- 3、 赤榧 最も成長遅緩にして粘着力強く加工困難なるのみならず腐朽し易し、生木は加工稍容易なるも乾燥するに従つて困難なり。

も無駄が出来る様である。

挾木材の配給數量と利用數量との比は、線路工手の熟練及鉋の利鈍にもよるが、主として材質に左右される事が大である、材質によつては其80%が完全に使用出来るのに他の材質では40%の利用も困難な事がある、前者の場合には作業は迅速に進むが後者の如き場合には勞多くして效少い事になるのである、今挾木としての立場から各種の木材について調査して見ると、

## 第二章 凍上の物理性

凍上による損害を軽減せんがためには、どうしても凍上の物理的研究をとげてその結果に立脚して凍上の防止方法なり、又は凍上に抵抗する設計をせねば完全を期し難い、故に昨冬以來思いついたまゝに記録した薄弱な材料を以下羅列して他日の研究の資料としたいと思ふ、尙此等の材料たるや、學者の實驗室に於けるが如き研究によるにあらず、何等の設備なく、何等の器具なく、日常の業務によつて與えられたものを記録したに過ぎないから、到底精確を期し難い事は勿論である。

## 第一節 雪と地温

積雪の土壤の熱の放散を保護する事はブツサンゴー氏の次の實驗成績によつて知らるゝ、

第七 表

月日及時間	空氣の溫度	雪面の溫度	雪下土壤面の溫度
二月十一日 午後五時	+2.5	-1.5	0.0
二月十二日 午前七時	-3.0	-12.0	-3.5
二月十三日 同	-3.8	-8.2	-2.0
二月十三日 午後五時半	+4.5	-1.0	0.0

又ウオルニー氏の研究によれば、

第八 表 (一八七五年 一二月實驗)

實驗の日	氣 温	地 温		地温の變化	
		無 雪	雪 下	無 雪	雪 下
一 日—五日	- 7.98	- 0.65	1.20	1.4	0.2
六 日—十日	-12.03	- 2.99	0.62	3.2	0.3
十一日—十五日	- 1.22	- 0.57	0.67	3.2	0.4
十六日—二十日	- 8.94	- 4.14	0.17	6.8	1.8
二十一日—二十五日	2.00	- 0.54	0.40	2.6	0.8
二十六日—三十一日	1.77	- 0.53	0.50	2.2	0.4

であつて雪が土壤の溫度に如何に關係あるかが解る、更に大正四年二月上川測候所は雪の深さと土壤熱の放散について附圖第四を發表した、それによれば積雪1呎に及べば氣温に20度内外の差あるも地温には殆ど影響なしとして居る、故に地盤凍結前に1呎以上の積雪あり、雪量累加するとも減退する事なければ凍結は

起らない譯である、即ち降雪が早くして雪量の多い年は凍上は少いと見て差支ない、又凍上防止の方面からは線路の雪もなるべく拂はぬがよいので列車運轉に支障せざる程度を以て除雪すべきである。

當所管内に於ては十一月中旬に初雪があるが、根雪は大抵十二月末で気温は十二月初旬から、氷點下に降る故に到底雪の力によつて凍結を防止する事は出来ない、附圖第六は釧北地方に於て調査したもので、凍結は降雪前に起つて居つたものと考えらるゝが、幾分雪量と凍結との關係について教えらるゝものがある、又附圖第七は附圖第六の結果を縦横距式に記入して、雪と凍結深さとの關係を窺知せんとし、平滑曲線を以て假想線を入れたもので附圖第四上川測候所の發表と相隔つる事大ではあるが研究の一資料として掲記した。尙釧北の分と小利別の分とに非常なる相違あるは、地質の熱傳導度と根雪前の凍結深度によるものと推定せらる。

## 第二節 氣 温 と 凍 上

水は攝氏の零度で氷結するが、普通の線路道床の如く排水が比較的良好な設備では容易に凍上しないもので、特に雪の多い年には凍上が遅れるのは気温が水分を含む地盤に達するに相當に時日を要するが故である。昨年の例に見れば気温が約零下7度の時即ち十二月中旬に早や凍上の形跡を見せた處もあるが、平均すれば温度が零下10度以下に到らざれば假令道床の表面凍結しても、それが爲挾木の必要を認めぬのである、然し一旦10度以下に進めば多少温度の昇騰があつても、凍上は浸々として進行するのは、矢張土層の熱傳導度によるものと推斷せらるゝ緒論の附圖第一は大體この推論の事實なるを語つて居るもので温度零下7度に降下して初めて挾木挿入の必要を認めたものが其後温度は僅かに8度内外しか降下しないにかゝはらず最大の挾木延長は10倍にも達する事から考ふれば、凍結は最高温度の如何よりも零下10度以下と云ふ温度繼續期間に支配せられる事明である。

かくの如き温度と凍上との關係を今少し理論的に知らんと欲すれば、気温は如何なる速度にて地下に滲透するか、気温は土壤内にて如何に變化をなすか又土壤熱傳導度如何及土壤の保水力等を研究する必要がある。今從來發表せられたるものを基礎として聊か考究して見たいと思ふ。

1. 気温は如何なる速度にて地下に滲透するか。

ミュットリッヒ氏が獨逸國エーベルスワルト氣象觀測所の砂土に就き實驗せる一八八九年七月十五日より同三十日に至る諸種の深さに於ける土壤溫度の觀測の結果は次表の如くであつて、

第 九 表

觀測時間	氣 温	土 壤 の 温 度			
		地 表 面	深さ15糎	深さ30糎	深さ60糎
夜半 十二時	13.80	16.71	19.42	17.90	15.88
二時	12.90	15.59	18.42	17.59	15.91
四時	12.52	15.14	17.84	17.33	15.91
六時	14.68	15.89	17.35	17.03	15.92
八時	17.99	17.54	17.52	16.75	15.91
十時	21.05	22.65	18.72	16.59	15.89
正午 十二時	21.97	25.00	20.52	16.64	15.84
二時	22.61	26.37	22.08	17.00	15.80
四時	22.38	25.89	22.91	17.37	15.77
六時	21.24	22.32	22.64	17.71	15.75
八時	17.55	19.76	21.65	17.99	15.77
十時	14.80	17.31	20.53	18.06	15.83
平 均	17.76	20.06	19.97	17.33	15.85

其最高及最低溫度が土層の各々の深さに到達する時間を圖表に點記して見ると附圖第十の如くであつて4呎の深さに達するに約24時間を要する様である。

## 2. 氣温は土壤内にて如何に變化するか。

東京中央氣象臺に於て觀測せる年内各月の種々の深さの土壤溫度の變動は附圖第八の如くであるが、地下23呎に至れば春夏秋冬を通じて溫度の變化は僅に半度に過ぎずと發表して居る、所謂熱の不易層に接近する由である。此結果及び北滿洲の零下40度に降下する地方にては土壤の凍結6呎内外に及ぶ事實等を綜合して見れば氣温の土層内に於ける影響は附圖第九に近いものであるまいかと思ふ。

以上附圖第九と第十を對照し其時の氣温の最高及最低溫度を知る時は、地盤滲凍の深さが大略判斷されるのである、結氷進行期に於ては零下の最低溫度が零度以上の最高溫度に打勝つて地盤を冷却しつゝ滲凍し、零下20度に及べば地下約3呎まで凍結するのである。

從來の經驗によれば前述の如く最低溫度零下10度以下に降るの日續くに至れば

挾木の必要を生じ、零下10度以上に昇るの日續くに至れば追々と挾木撤去の期に入る様であるが、それは最低温度零下10度以下に降るの日續く頃に至れば、最高温度零度以上に昇るの日尠く、最低温度零下10度以上になるの日續けば、最高温度零度以下に降るの日尠きによるものと思はれる。

即ち融凍期には最低温度が漸次最高温度に打勝たれ或は表面より、或は地下より融凍する事附圖第十一の如くである、同圖は三月下旬より調査を始めたため、結氷進行の状態を圖示する事が出来なかつたが、上利別の分に於ける點線は此状態を想像して記入したものである。

附圖第十二は凍上と温度との關係を正確に測定せるものであるが、一つは零下7度にて凍上を開始し、一は零下11度にて凍上を始めて居る、之れは地盤中の水線の高低によつたもので、上利別の如きは十二年の秋に測溝を擴大し、水線を従来より約2呎低下せしめた爲めに凍上の發現が遅れたのである、若し經濟が許すならば、水線が5呎以下に降る様に排水設備を施さば、大部分の凍上は消去し得らるゝものと信ずる。

### 第三節 水 と 凍 上

道床や土壤中の水が凍上の直接原因である事は勿論であるが、水分の含有量は其土壤の熱の傳導率に多大の關係を有するものであつて、水分を含める土壤は早く凍り又早く融けるのである、カルステン氏は乾燥状態及び水にて飽和せる状態に於ける土壤の熱傳導率を研究して次の如く發表して居る。

第 十 表

品 質	種 別	乾 燥 状 態	水にて飽和せるもの
砂	細 粒	0.00046	0.0039
	粗 粒	0.00047	0.0041
壤	土	0.00033	0.0021
砂 質 壤	土	0.00045	0.0032
泥 炭	土	0.00027	0.0011

即ち水を飽和せし場合は氣乾状態の5倍乃至8倍の熱傳導率を有するに至る事は水が凍上を促進する有力なる原因である。

又土壤は大氣中より水蒸氣を吸収して凝縮するの性質を有して居る、シエーブル氏は水蒸氣吸収に最も適當なる状態にて種々の乾燥土 100 グラムが吸収凝縮

した水量を秤定して次の成績を得た。

第 十 一 表

土質の種類	12時間内に凝縮したる量(瓦)	24時間内に凝縮したる量(瓦)	48時間内に凝縮したる量(瓦)	72時間内に凝縮したる量(瓦)
珪 砂	0	0	0	0
石 膏	0.1	0.1	0.1	0.1
石 灰 砂	0.2	0.3	0.3	0.3
壤質壤土	2.5	3.0	3.4	3.5
純 粘 土	3.7	4.2	4.8	4.9
腐 植 土	3.5	4.5	5.0	5.2
腐 植 質	8.6	9.7	11.0	12.0

尙此等の土壤が有する保水力即ち容水量をウォルニー氏が研究したものは、

第 十 二 表

	最大の容水量	最小の容水量
腐 植 質	74.59	55.35
粘 土	58.13	53.19
珪 砂	37.62	33.04

である。

以上によれば、砂は水によつて受くる傳導率の影響は大であるが、水蒸氣の凝縮力も容水量も少い、粘土、腐植土は凝縮力も容水量も著しく大であるから、凍上も従つて多い譯である。

融凍期に於ける雨が融凍を促進する事の多大なるは驚くばかりであつて、四月五月に於ける雨は非常に危険で直ちに挾木を緩め、油断をして居れば脱出し従つてウード・チヨックも遊動して途中脱線事故の原因をなす事がある。之全く雨の温みが凍結を融し、熱傳導率を大ならしむるによるもので、附圖第十三は四月三日、同十三日、二十一日、二十七日、五月一日の雨は如何にも凍上地盤の低下に多大の關係を有して居る事を雄辯に物語つて居る。

附圖第十五は寫真第九及第十の如き設備によつて四月十五日より五月十二日まで自動的に記録したもので、融凍の狀況が其まゝ記録されて居る、尙併記の氣温と對照して見れば氣温と融凍との關係、雨と融凍との關係が一層適切に了解出来る。

昨冬の各地質別凍上高さは、

第 十 三 表

粘 土	9 個所の平均	3.42吋
火 山 灰	2 個所の平均	2.63吋



砂		2 個所の平均	1.50吋
野	地	3 個所の平均	1.33吋
砂	利	2 個所の平均	1.13吋

となつて居る、粘土、砂、砂利については別段不思議はないが、野地の砂より凍上小なるは、排水完全にして水線低き野地は粘土又時として砂よりも排水良好なるが故であらう。火山灰は概して凍上少しと目せられて居るが、其層中に他の土質を抱くときは却つて層内に溜水し時としては地盤虚空を生じ意外の地盤隆起を見る事がある但し火山灰其ものは吸水量少きが故に凍結による膨脹も亦決して大でない。

#### 第 四 節 凍 結 地 盤 の アーチ 作 用

水は温度の降下と共に其容積を變じ、零度に於て俄然約 1 割の容積増加をなす事は縮論に於て第一圖を以て説示した如くである、故に道床、路盤が全部水に飽和して居つても其凍上高は凍結深さの 1 割を出でない筈である、況や道床は排水良好に築造せられ、路盤の土質も最大保水量腐植土に於て 75%、粘土に於て 58% に過ぎぬのであるから、5 吋とか 6 吋とかの凍上の起るの他に原因がなくてはならぬ、附圖第十六は昨冬最大凍上期に於て、線路を横斷して其凍結状態を實測したものである。此等の斷面を精査して見ると、道床と路盤との間及路盤層の間に空隙が出来て居る、此空隙は上層の隆起によつて居るものと解すべきである、然らば此隆起は如何なる作用によつて生じたものであるか、抑々地層が凍結すれば其容積を増大する、其結果前後左右に膨脹せんとして結局上部に向つて拱隆<sup>アーチ</sup>の形状をとるものと想像せらるゝ、即ち最も離れやすき層を境界としてアーチを作るものと判断せらる。かくの如くにして、土壤の微細なる各部が含有水分の凍結力によつて破壊せらるゝのみならず、此アーチ・アクションは或は線路の基面幅に沿ひ或は線路の方向に生ずるが故に、路盤は實に凍結によつて根本より破壊せらるゝに至るのである。

アーチ・アクションによる凍上高、即ち拱矢は徑間の大小によるは勿論であるが、其徑間及方向は地盤を形成する地質の錯交状態に支配せらるゝが故に、一概に論じ難きも假に徑間 5.1 呎なりとせんか、

$$\text{Coef. of cubical expansion} = 0.1$$

$$\therefore \text{Coef. of linear expansion} = \frac{0.1}{3} = \frac{1}{30}$$

故に 5.1 呎に對しては  $5.1 \times \frac{1}{30} = 0.17'$

即ち凍結により 0.17' 伸長する譯なり

今 circular arch として rise 即ち凍上高を求むるに

$$\frac{(l+a) \times 180}{\pi \times l} = \frac{\frac{A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

但し  $l = 5.1$  ,  $a = 0.17$

之によりて  $\frac{A}{2}$  を求むるに約 25' 故に圓弧の半徑約 6'

rise  $w$  は  $\left(\frac{l}{2}\right)^2 = w(2R-w)$  より

$$w \doteq 0.57'$$

以上の計算によりてアーチ・アクションに依る隆起は徑間約 4 呎乃至 5 呎に及べば 5 吋乃至 7 吋に及ぶを知る。故に凍上を減少せんがためには排水を良好にし、長大なる徑間を以てアーチ・アクションをなさざる設備を施す事が肝要である。

一體アーチ・アクションは路盤内に淺く水脈があるとか、性質の異つた薄い土層が累積して居るときに、其水脈から又は層間より分離する様であるから、之が防止も亦水脈を絶つとか、異質の土層を同質の層と置き換ふる事によつて目的を達し得るものと推定せらる、道床及路盤の入換が凍上防止に有效であるのも全く此理論に合致して居るが爲めである。

混凝土は砂利及砂がセメントによつて膠着させられて出來たものである、今セメントに代ふるに水を以てし、之を凍結せしめたらば、全く混凝土と同様のものが出來上る、たゞセメントを用ひた混凝土は容積を増加しないが、水を膠着材とした混凝土は凍結と共に其容積を増加して、其結果アーチ・アクションをなすに至るのである、其他の性質に於ては混凝土が堅硬であれば、強い混凝土が得られる事もセメントや水の量が混凝土の量に比して大であれば、大である程混凝土の力が強い事も兩者大體同様である。

石炭焚穀は凍上防止に非常の効果を有して居る、それは排水を良好ならしむるが故なるは勿論であるが、其他の理由は石炭穀を混凝土としたセメント混凝土の力が弱く同様に、氷混凝土の場合に於ても抵抗弱く自から隆起するだけの抗壓力もなく又假令隆起するも列車の重量によりて何等の危険を誘發する事なく壓碎

されるからではないかと思はれる。

### 第五節 氷 の 力

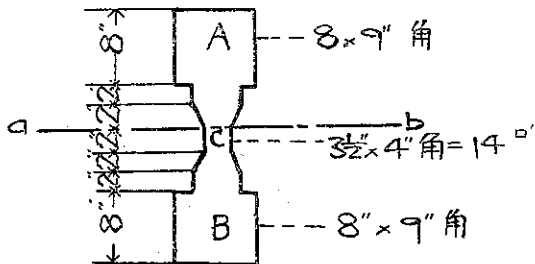
氷の力については寫眞第十一及第十二の如き簡単な方法によつて抗張力、彎曲抗力、抗剪力を調査し次の如き結果を得た、勿論調査回数も少く、設備も粗略であるから正確ではないが大體を知る事が出来る。

#### I. 抗張力

##### 1. 第一回試験

1. 施行月日時                    三月三日            午後二時——五時  
 天候並溫度                    晴                    -3°.50乃至-5°C  
 氷塊產地                        野付牛町鈴木木工場所有地  
 氷塊の形狀並に寸法          第四圖の通り

第 四 圖



試験装置

Aの部分をして上より釣下げBの部分に荷重を釣り切斷する迄荷重を増加せり。

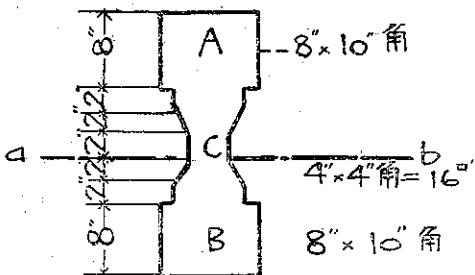
結果 荷重 709 $\frac{1}{8}$  封度に至り ab 面にて約直角に切斷し下部は落下せり  
 落下部分の氷の重量は 25 $\frac{3}{4}$  封度あり、故に 1 平方呎に對す

る張力 =  $(709\frac{1}{8} + 25\frac{3}{4}) \div 14 = 52.5$  封度

##### 2. 第二回試験

- 施行月日時                    三月四日            午後二時——五時  
 天候並溫度                    晴                    -1°C乃至-4°C  
 氷塊の形狀並に寸法          第五圖の通り

第 五 圖



試験装置

同 上

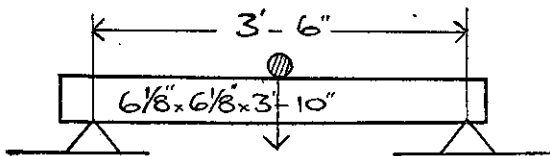
結果 荷重 1,135 $\frac{3}{8}$  封度に到り ab 面にて約直角に切斷し下部は落下せり落下部分氷の重量は 21 $\frac{3}{4}$  封度あり、故に 1 平方呎に對する張力 =  $(1,135\frac{3}{8} + 21\frac{3}{4}) \div 16 = 72.3$  封度

II. 彎曲抗力

1. 第一回試験

施行月日時 三月三日 午後二時——五時  
 天候並温度 晴 -3.5°C乃至-5°C  
 氷塊の形状並に寸法 第六圖の通り

第 六 圖



試験装置

徑間3'-6''とし兩端に支へ中央の一點に荷重を釣りし氷の破壊するまで荷重を増力せり

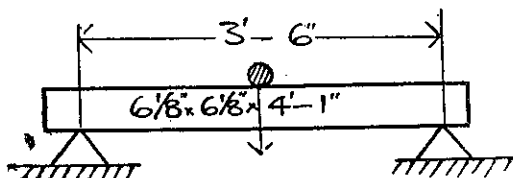
結果 荷重 639 $\frac{3}{4}$ 封度に至り約中央部より折斷せり

但し氷の死重 = 58 $\frac{1}{4}$ 封度

2. 第二回試験

施行月日時 三月四日 午後二時——五時  
 天候並温度 晴 -1°C乃至-4°C  
 氷塊の形状並に寸法 第七圖の通り

第 七 圖



試験装置

同 上

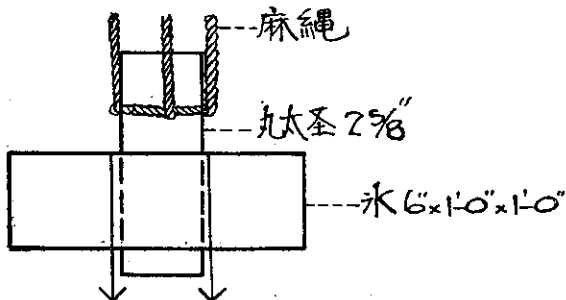
結果 荷重 665 $\frac{3}{4}$ 封度に至り中央部より折斷せり  
 但し氷の死重 = 61封度

III. 凍着力

1. 木材(丸太)の場合

施行月日時 三月四日 午前十時——十二時  
 天候並温度 晴 -3°C乃至6°C  
 試験材の形状並に寸法 第八圖の通り

第 八 圖



試験装置

略圖の通り丸太を氷塊中に差込み氷と凍結したるものを作り丸太の部分をして上より釣り下げ附着せる氷塊に荷重を釣り氷塊の抜け落ちる迄荷重を増加せり

結果 荷重 868 封度に至り氷塊抜け落つ、氷の重量 = 30封度故に 1 平方呎に對する

凍着力 =  $(868 + 30) \div (\pi \times 2.625 \times 6) = 18.2$  封度

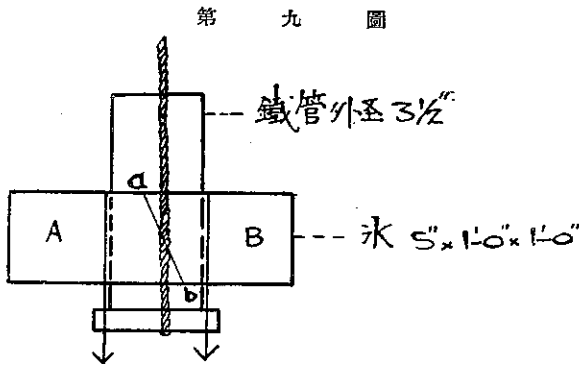
但し此場合丸太と氷塊面との凍結面を見るに完全に附着せし面積は全面積の約50%に達せざるを以て實際の凍着力は1平方時に對し約40封度位ならん。

## 2. 鐵材(鐵管)の場合

施行月日時 三月四日 午後二時—五時

天候並溫度 晴  $-1^{\circ}\text{C}$ 乃至 $-4^{\circ}\text{C}$

試驗材の形狀並に寸法 第九圖の通り



試驗裝置

同 上

結果 荷重 1,672 封度を加へたる時荷重に偏心を來し其結果彎曲抗力に堪えずab面に折斷しBの部分は落下しAの部分は尙完全に密着せり此爲實際の凍着力を試驗することを得ざりしも此結果

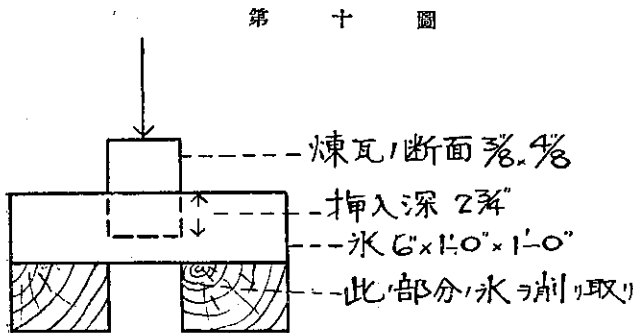
より見るに此場合の凍着力は1平方時に對し30封度以上なることを確めたり。

## 3. 石材(煉瓦)の場合

施行月日時 三月五日 午前十一時—十二時

天候並溫度 晴  $0^{\circ}\text{C}$

試驗材の形狀並に寸法 第十圖の通り



試驗裝置

氷塊中に煉瓦を挿入凍結せしめたるものを作り之を圖の通り臺上に置き煉瓦の上部より荷重をかけ煉瓦の抜け落ちるまで荷重を加へたり

結果 荷重 849 $\frac{1}{4}$  封度に至り

煉瓦抜け落つ

但し此結果煉瓦の表面を見るに厚 $\frac{1}{8}$ 位の層に

氷附着しあるを以て此場合氷が剪力にて切斷せるものと認めらる、故に此場合の凍着力を試験することを得ざりき。故に1平方時に對する

$$\text{剪力} = (849\frac{1}{2} + 5) \div (2 \times 2.125 + 4.125) \times 2.75 = 37 \text{ 封度}$$

但し煉瓦の重量 = 5 封度

煉瓦と氷との接觸面を見るに煉瓦の一面は殆ど氷と凍結し居らざりしを以て此面は計算に含めず。

抗壓力に關しては、氷は壓力を加ふれば溶融するてふ性質より判斷して見る事が出来る、物理學の教ふる所によれば、

「氷點は壓力 1 氣壓の増加に付き僅かに攝氏 0.0075° だけ降下する」

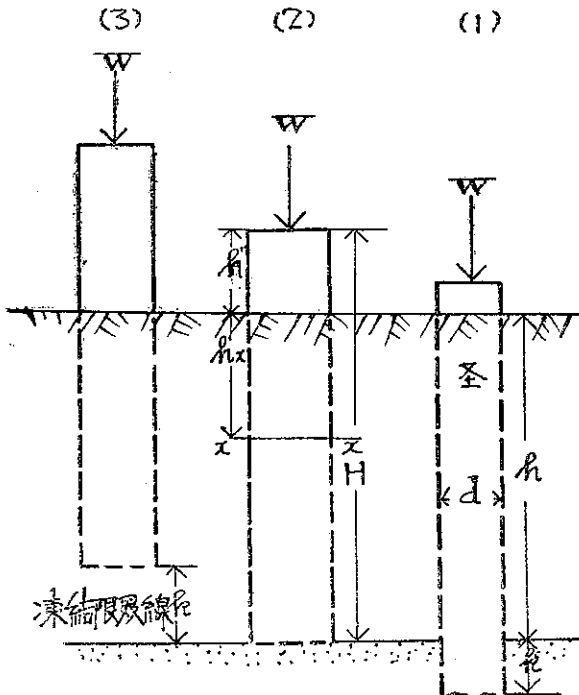
但し 1 氣壓は 14.7 #/σ" である。

故に氣温 - 4°C に於ては  $\frac{4}{0.0075} \times 14.7 = 7,840 \text{ #/σ"}$  の壓力を加えざれば溶融しない譯である。

又氷の附着力を知れば建造物の基礎を如何に設計すべきやが推定出来る、凡そ基礎工の凍上は基礎工面と地層が凍着し地層が凍上するにつれて其凍結力によつて共に引揚げられるのである。故に基礎工の凍上を防ぐには、

1. 基礎工周囲の地質を凍上せざるものと入換ゆる事

第 十 一 圖



2. 地層凍上の際凍着力に打勝つに足る重量を基礎工に有せしむる事

3. 基礎工の断面を地層凍上に抵抗せしむるの寸法たらしむる事

である、附圖第十四は上利別驛構内双動機基礎が凍上し又は凍上の爲め切斷せられたるを示すものである。

今簡單なる圓壙形を例として凍上と基礎との關係式を求めて見よう。

- f: 凍着力 #/σ"
- F: 土壤の摩擦力 (#/σ")
- d: 基礎工の直径 (吋)

- $h$ : 凍結の深さ(吋)
- $k$ : 凍結限界線と基礎底部との距離(吋)
- $w$ : 基礎工重量(#/立方吋)
- $W$ : 基礎工上の荷重(封度)
- $S$ : 基礎工の抗張力(#/吋<sup>2</sup>)
- $W$ : 土の重さ(#/立方吋)

凍上せず切斷せざる爲めには次の二式の條件を具備するを要す。

$$(1) \quad f \cdot \pi \cdot d \cdot h \geq F \cdot \pi \cdot d \cdot k + \frac{\pi}{4} d^2 H \cdot w + W \dots \dots \dots (a)$$

$$f \cdot \pi \cdot d \cdot h_x - W - \frac{\pi d^2}{4} (k' + h_x) w \leq \frac{\pi d^2}{4} S$$

$$\geq \frac{\pi d^2}{4} (H - k' - h_x) w + f \pi d (H - k' - h_x - k) + F \pi d k \dots \dots \dots (b)$$

(2) は式(a)及(b)に於て  $b = 0$  の場合にして

$$f \cdot \pi \cdot d \cdot h \leq \frac{\pi}{4} d^2 H w + W \dots \dots \dots (a')$$

$$f \cdot \pi \cdot d \cdot h_x - W - \frac{\pi d^2}{4} h_x w \leq \frac{\pi d^2}{4} S$$

$$\geq \frac{\pi d^2}{4} (H - k - h_x) w + f \pi d (H - k' - h_x) \dots \dots \dots (b')$$

(3) は式(a)及(b)に於て  $k$  が負値を取りし場合にて

$$f \cdot \pi \cdot d (h - k) \leq \frac{\pi}{4} d^2 \cdot H \cdot w + W \dots \dots \dots (a'')$$

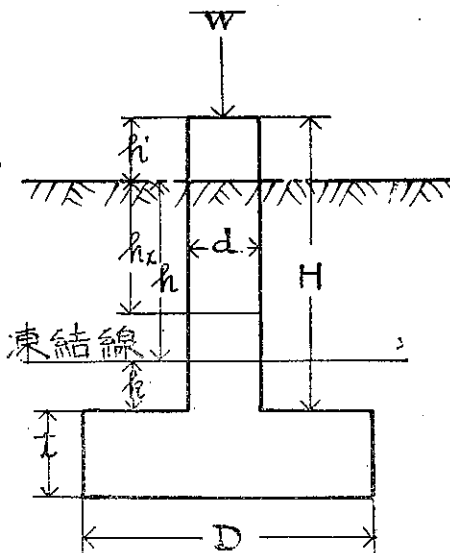
$$f \cdot \pi \cdot d \cdot h_x - W - \frac{\pi d^2}{4} h_x w \leq \frac{\pi d^2}{4} S \geq \frac{\pi d^2}{4} (H - k' - h_x) W$$

$$+ f \cdot \pi \cdot d (H - k' - h_x) \dots \dots \dots (b'')$$

但し此場合  $0.1k$  吋は凍上を免かれ難きものと見做さざるべからず。

兎も角絶対に凍上を防ぐには少くとも凍結線まで基礎底面を入れ、凍着面を小に、平底式により凍結線以下の重量を大にし鉄筋を挿入して凍着力により切斷せられざる設計をなす事が肝要である。

第 十 二 圖



$$f.\pi.d.h \leq W + \frac{d'\pi}{4} H.w + t \frac{D'\pi}{4} w + F(\pi dk + \pi Dt) + W \left( \frac{D^2\pi}{4} - \frac{d^2\pi}{4} \right) (h+k)$$

$$f.\pi.d.h_x - W - \frac{d\pi}{4} (h' + h_x) w \leq S \frac{\pi}{4} d^2 \geq F(\pi dk + \pi Dt) \dots \dots \dots (a''')$$

$$+ W' \left( \frac{D^2\pi}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) (b+k)$$

$$+ f \frac{D_2\pi}{4} w + \frac{\pi d_2}{4} k w \dots \dots \dots (b''')$$

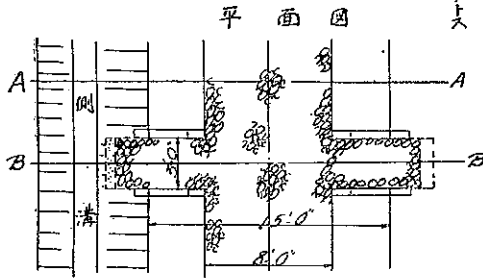
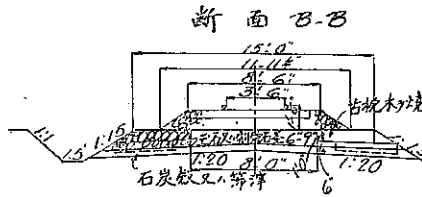
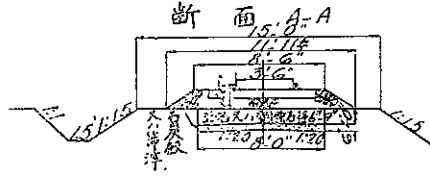
$$\text{但し} \quad t \geq \frac{d}{4} \dots \dots \dots (c)$$

(完)





# 附圖第五



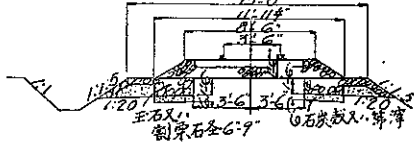
兩側排水工ハ軌條一本ニ付一個所又ハ  
二ヶ所トス  
古枕木ハ肌燒ヲ大ニモトス

第一式埋込道床之圖

本式ハ凍上四吋以上ノ防備ニ使用スルモノトス

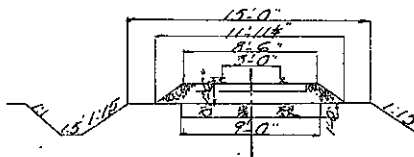
第二式埋込道床之圖

本式ハ凍上四吋以上ノ防備ニ使用スルモノトス



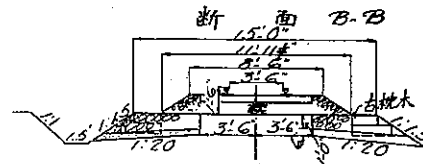
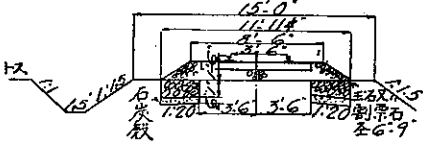
凍上甚チ個所ハ石炭板ニ代アルニ  
至石又ハ割京石ヲ用フ

第四式埋込道床之圖

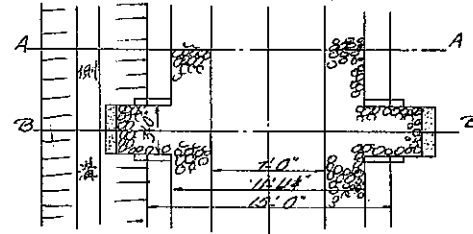


凍上三吋以下ニシテ噴泥ノ用  
個所

第三式埋込道床之圖



平面圖



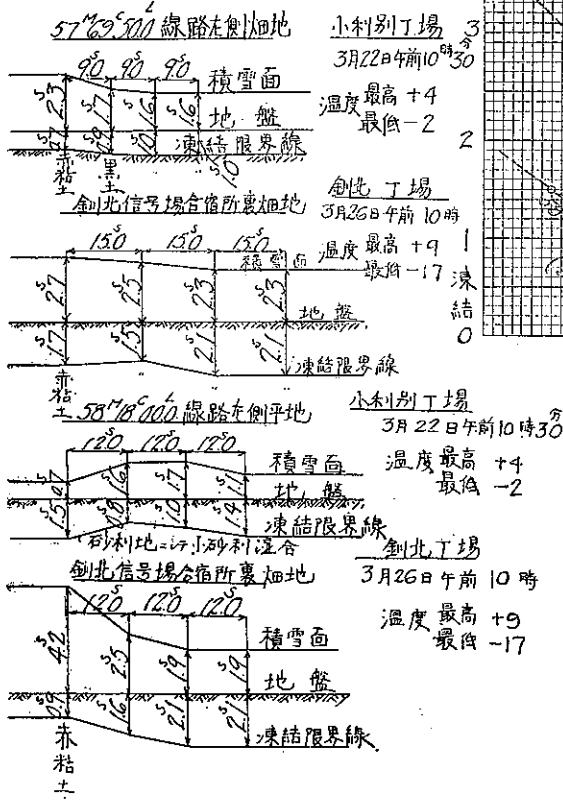
兩側排水工ハ軌條一本ニ付一個  
所又ハ二個所トス  
古枕木ハ肌燒ヲ大ニモトス

第三式埋込道床之圖

本式ハ凍上三吋以上四吋以下ノ防備ニ使用スルモノトス

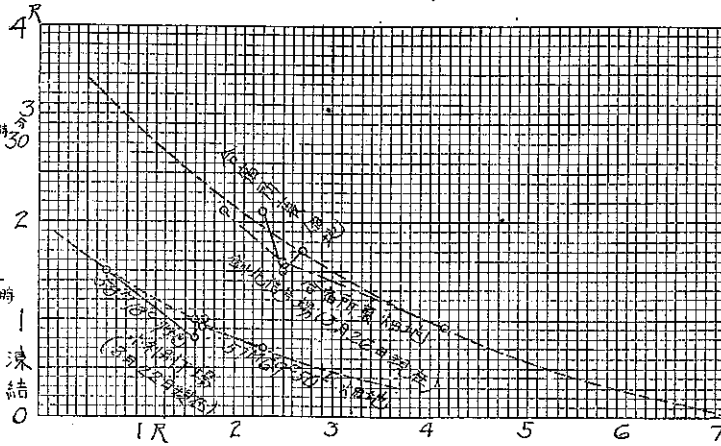
附圖第六

凍結箇所畧圖

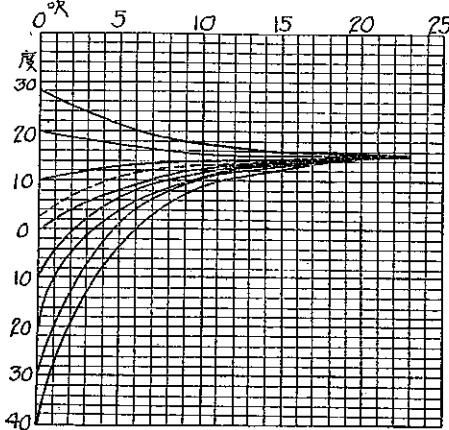


附圖第七

雪量と凍結との關係圖



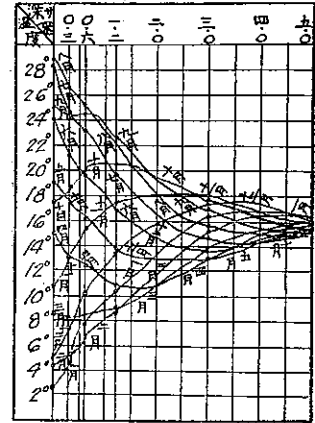
土壤各層に於ける氣温傳播



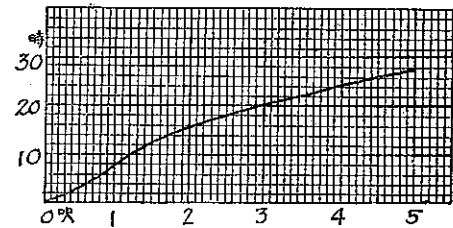
附圖第九

附圖第八

年内各月=於ける種々の深さの土壤温度曲線

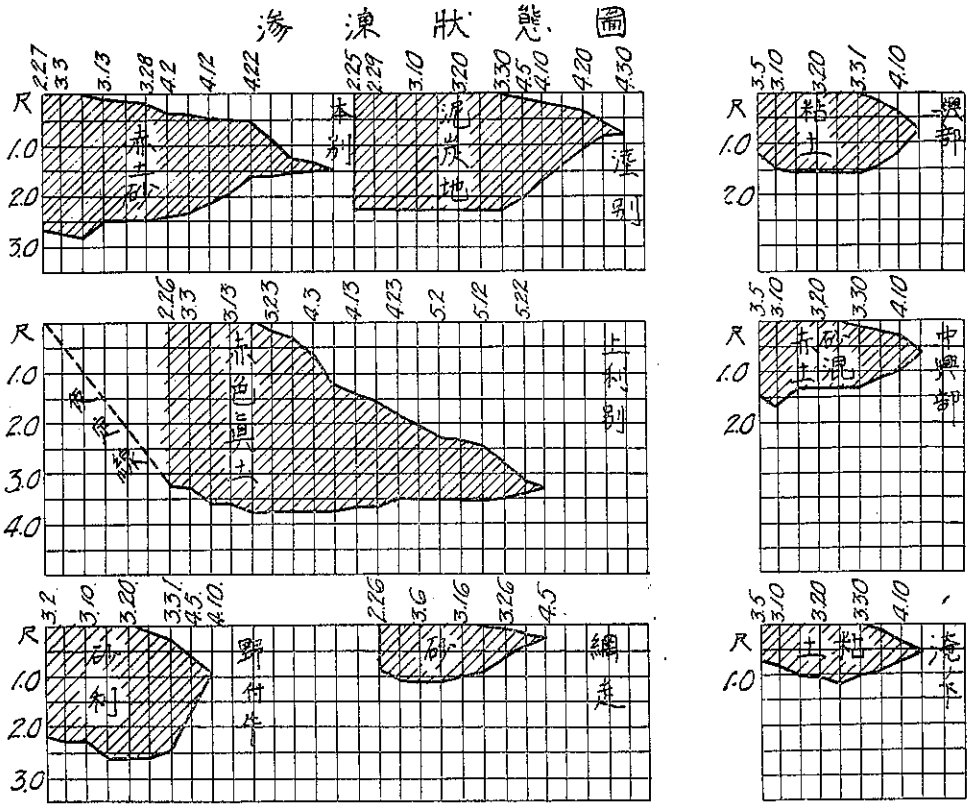


土壤内氣温傳播に要する時間



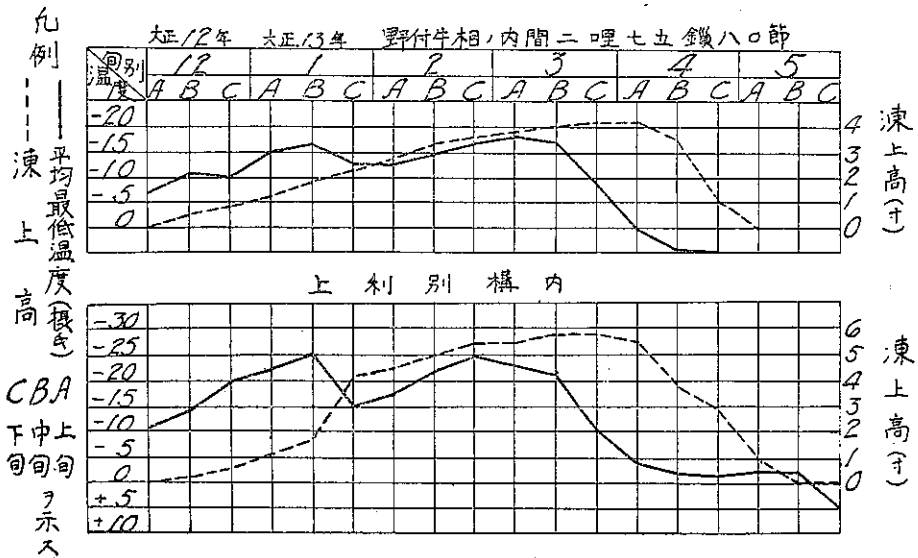
附圖第十

# 附圖第十一

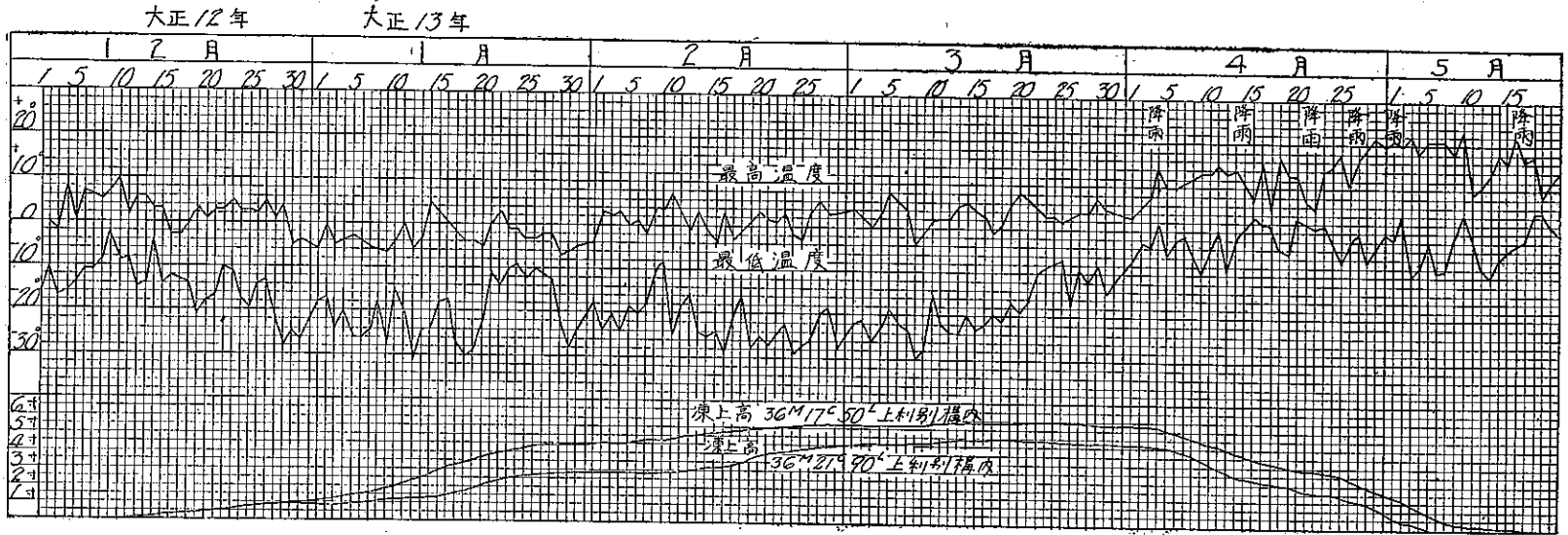


# 附圖第十二

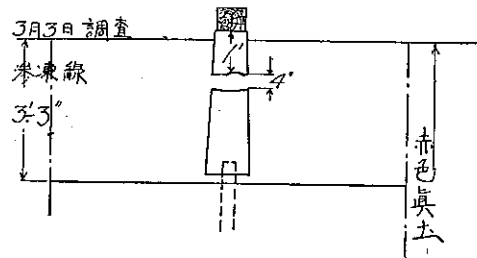
## 温度と凍上との関係圖



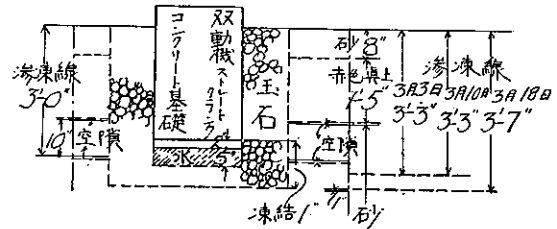
### 附圖第十三 氣温ト凍上ト關係圖



双動機パイプキャリア-コンクリート基礎凍上=ヨル損折



凍上箇所=河双動機ストリート基礎凍上  
最高凍上高6寸



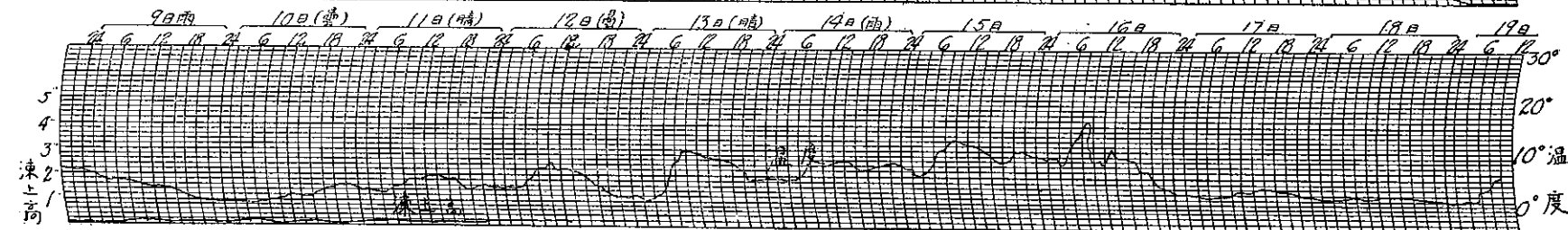
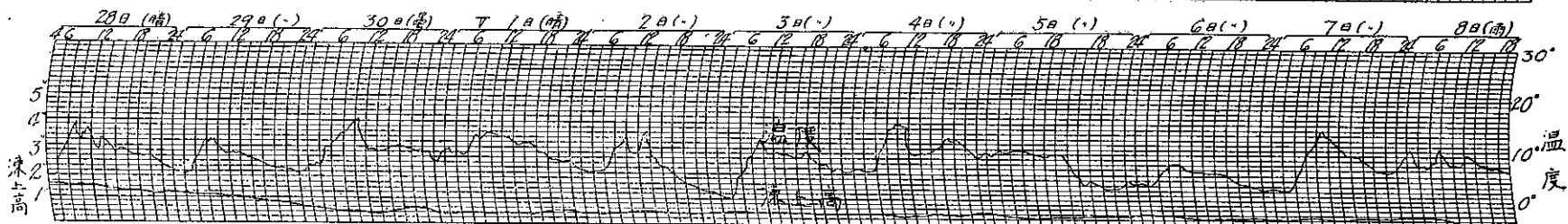
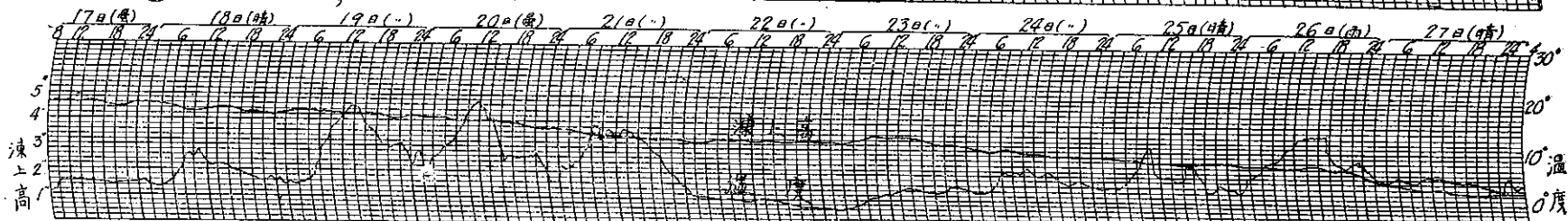
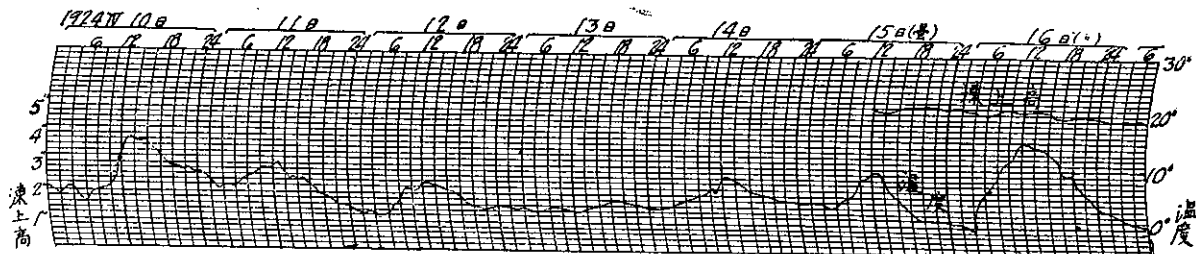
附圖第十四

# 附圖第十五

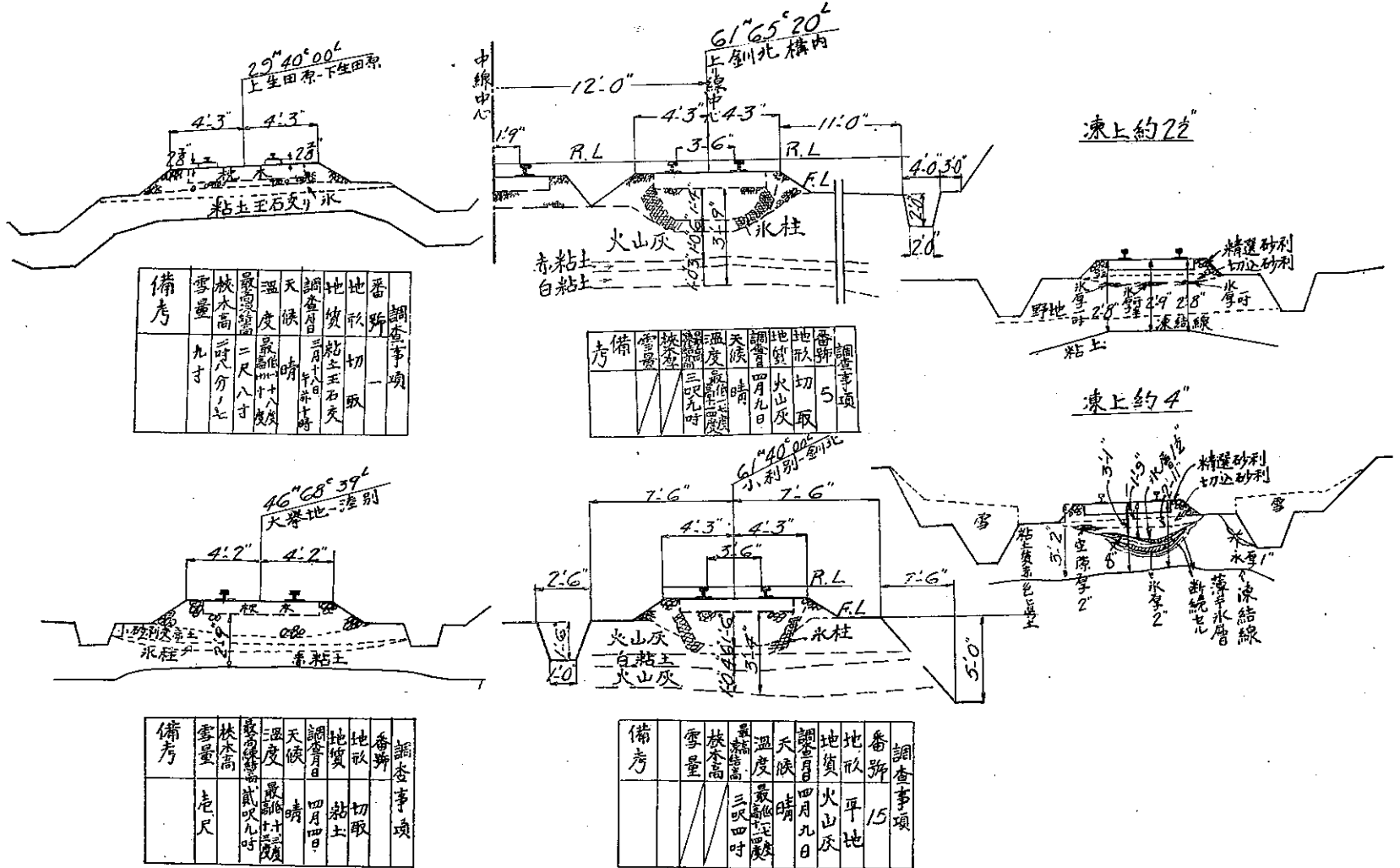
線路上高並氣温対照圖表  
 至 全 五月十二日  
 自大正十二年四月十五日

- 一 扶木更換状況  
 左右共四河二命(扶木挿入)  
 一測高前後(扶木状態)  
 赤粘土(湿度多シ)
- 一 地質  
 二吸(側溝アリ)  
 一線路状態  
 二番線(當時列車運轉セシ)  
 網走本線(西哩六四哩(町人駅構内))
- 一 測点、位置

4月18日 32°  
 " 23日 28°  
 " 27日 18°  
 " 5月10日 7°  
 " 13日 0°



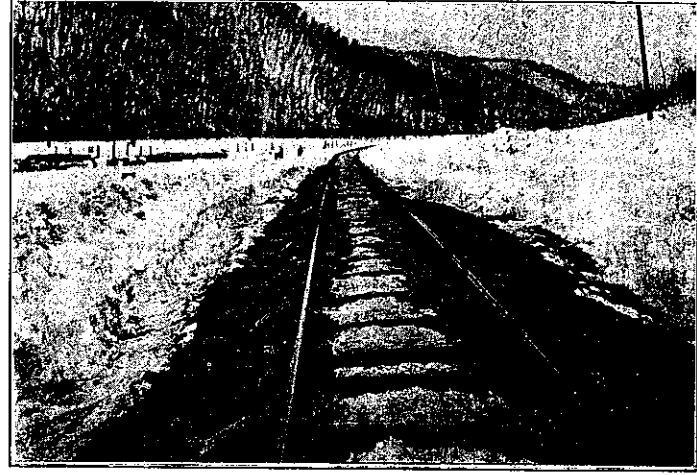
# 附圖第十六



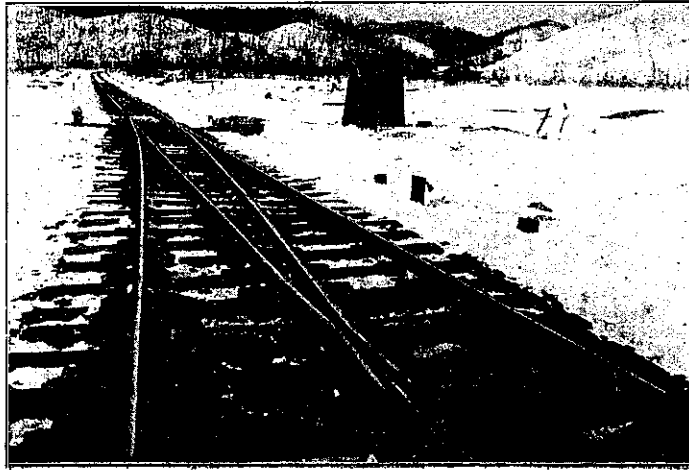
寫真第一



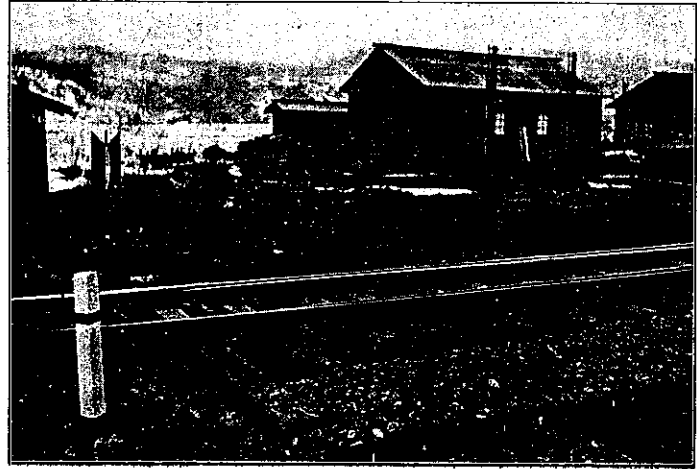
寫真第二



寫真第三

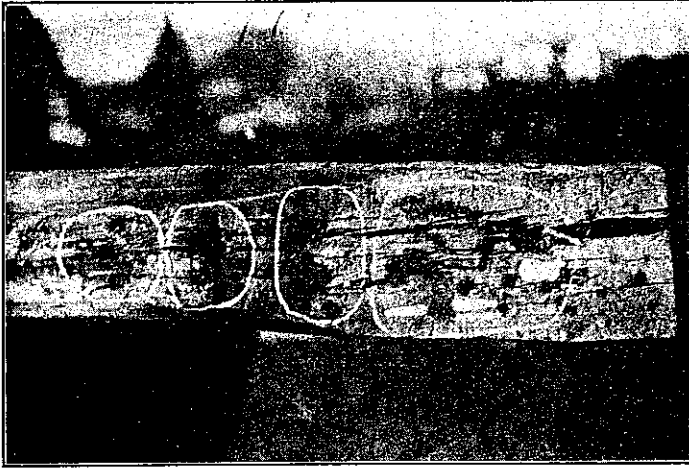


寫真第四

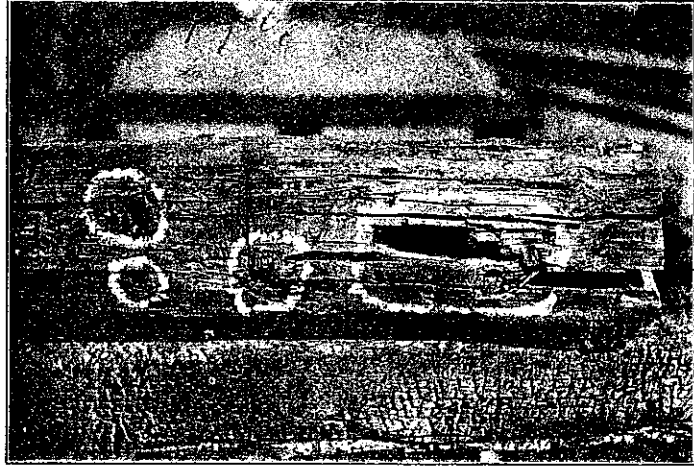




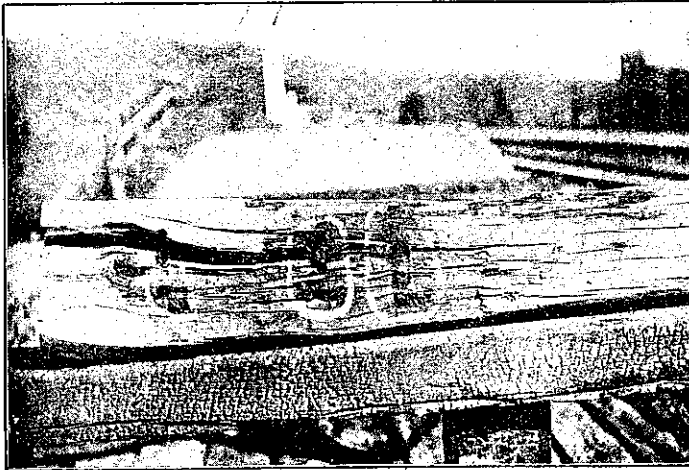
寫真第五



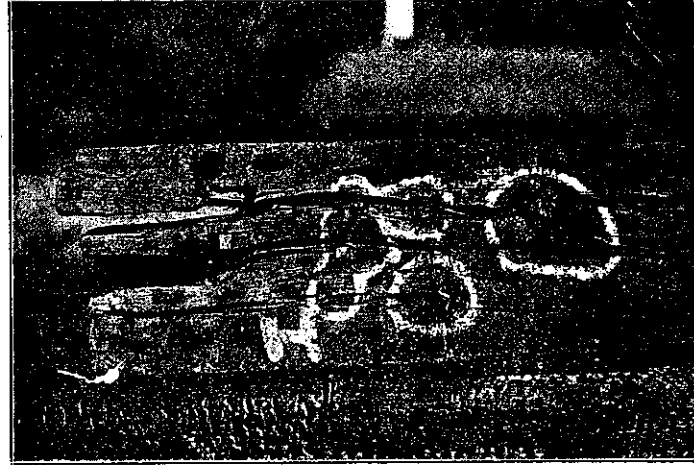
寫真第六



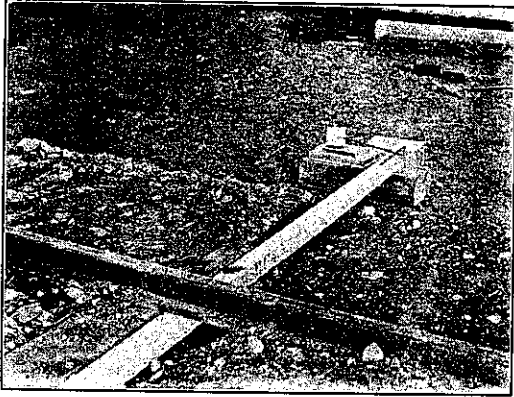
寫真第七



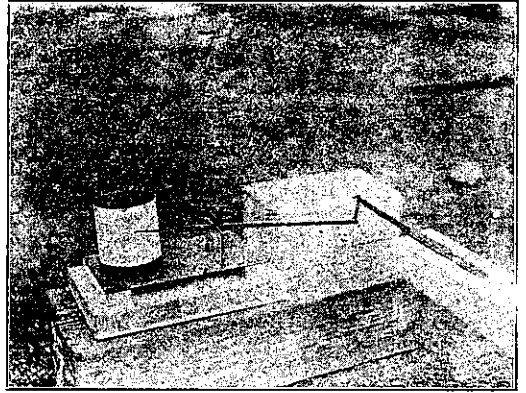
寫真第八



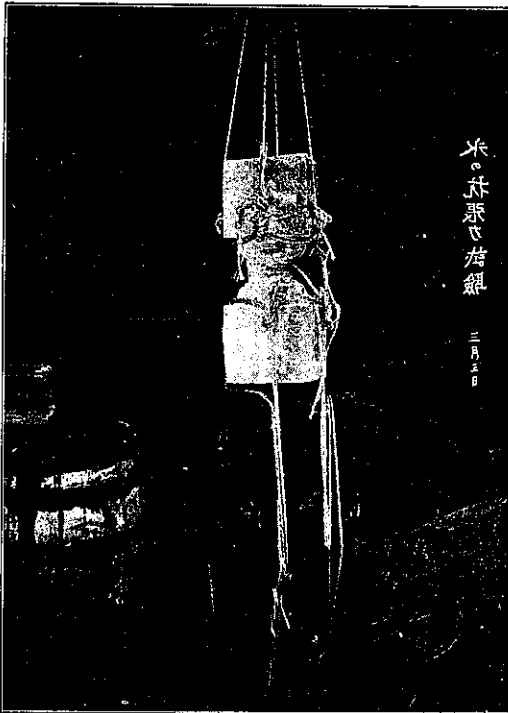
寫真第九



寫真第十



寫真第十一



(日本經濟誌第十一卷第二號附圖)

寫真第十二

