



Title	冷蔵庫の凍害について
Author(s)	菅谷, 重二
Citation	低温科学, 2, 99-104
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17405
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_p99-104.pdf



冷蔵庫の凍害について*

菅 谷 重 二**

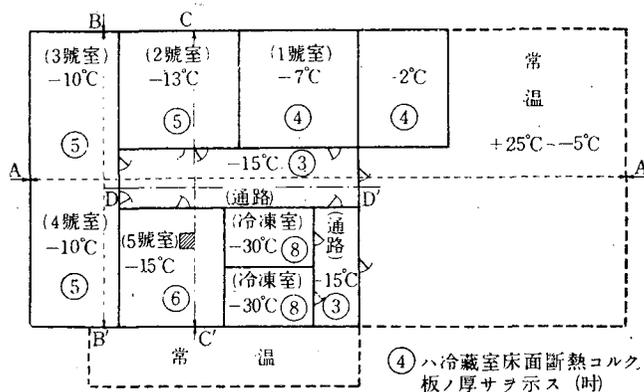
§ 1. 緒 言

北海道の各地における多数の冷蔵庫が凍害に依つて甚しく毀損してゐるが、その被害状況及び原因について未だ詳細な調査を行つた報告は無い様である。筆者は天鹽水産會の依頼により、留萌にある同會の冷蔵庫の凍害状況について二三の調査を行つた。その結果冷蔵庫の凍害は、冷蔵庫基礎地盤に生じた凍上現象によつて惹起されたものである事を確めた。猶此等の調査の結果から、此等の冷蔵庫の凍上防止改修法について成案を得る事が出来た。本報告においては主として調査の結果について述べる事にする。

§ 2. 凍害状況調査結果

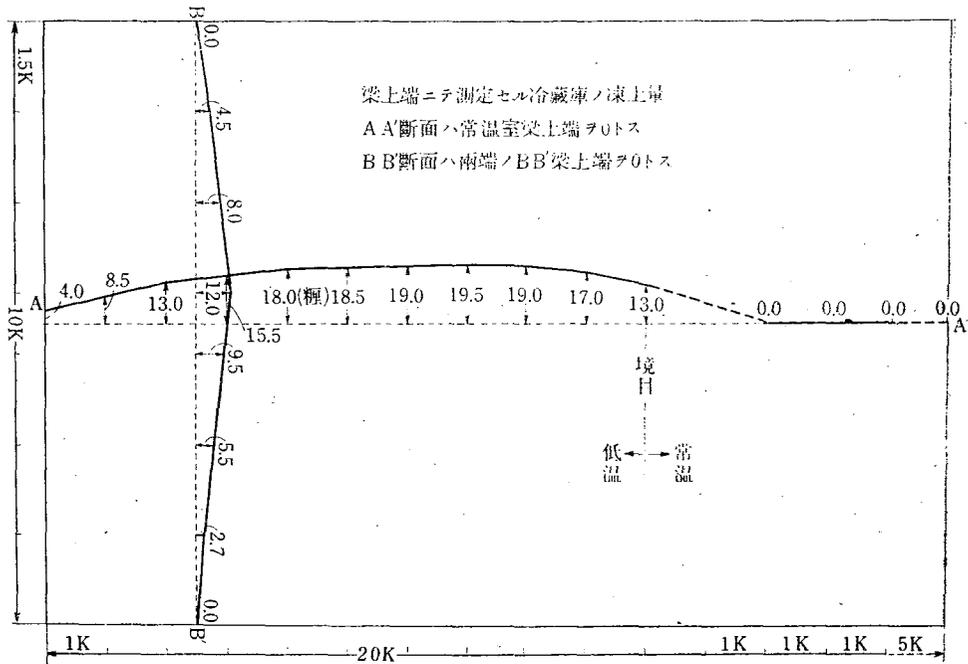
本冷蔵庫は昭和 16 年 3 月に建設されたものであるが、17 年 7 月には、冷蔵庫床面及び壁面コンクリートに龜裂を生じた。以後龜裂は次第に増加し、同時に冷蔵庫全體に歪を生じて來た。その爲一部の扉は改修を行はねば開閉が不能となつたので、18 年以降において 2 回の扉の取付直しを行つてゐる。猶此の間に於ては、壁面及び天井面の龜裂は次第に廣がつた爲、此の間隙から冷気が外部に漏出する様になり、そのため冷蔵庫の能力は約半減する状態に至つた。

筆者が調査を行つた當時の被害状況を建物の外觀について示すと、寫眞 No. 1 の如く冷蔵庫中央部分の棟木は中高となつてゐるのが明瞭に見られる。此の状況を先づ建物自體について調べて見た。第 1 圖は冷蔵庫建物全體の平面圖である。圖中の冷蔵庫室のある部分丈けが寫眞 1 に見られる棟木の隆起してゐる部分であつて、他の部分には隆起が見られない。第 1 圖の AA' 及 BB' 断面の梁について此の状



* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 31 號。

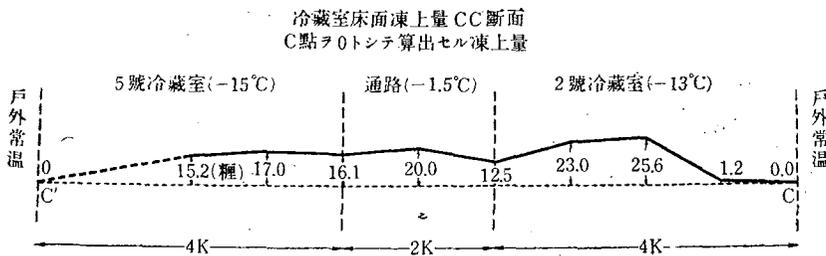
** 低溫科學研究所。



第 2 圖

況を測定した結果は第2圖に示す如くであつて、梁に現れた建物中央部の隆起變形量は約20種に達してゐる事が判つた。圖に見られる如く、此の隆起は寫眞と同様に冷蔵庫部分の梁にのみ見られるものであつて、處理室等の常温室の上部では見られなかつた。

次に冷蔵庫床面の隆起の状態を第1圖中のCC'及びDD'断面について、外壁際の凍上量を0として各部分の凍上量を室内に水平に張つた糸によつて測定した結果は第3圖及び第4圖に示



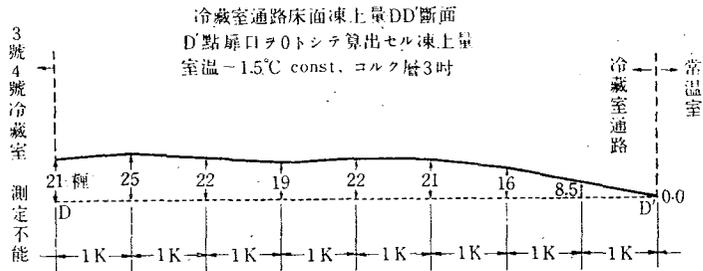
第 3 圖

す通りである。第3圖に於ては冷蔵庫中央部の隆起が各室隔壁部分に比して極めて顯著に現れてゐるが、これは冷蔵庫の床面には簞子板を敷いてあるので、實際に圖の通りになつてゐる。特に2號冷蔵庫に於ては顯著であつて、圖の右方に見られる如く外壁に接した床面と中央部とでは25

繩以上の凹凸を生じてゐた。以上の如き室内床面の隆起に伴つて、コンクリート地盤で連結されてゐる外壁部分が持上げ

られた爲、建物外壁と周邊の基礎コンクリートの接合部分には、約 3~5 繩の龜裂間隙を生じてゐて約 -12°C の冷氣が外部に漏出してゐる状態であつた。猶此等の龜裂に

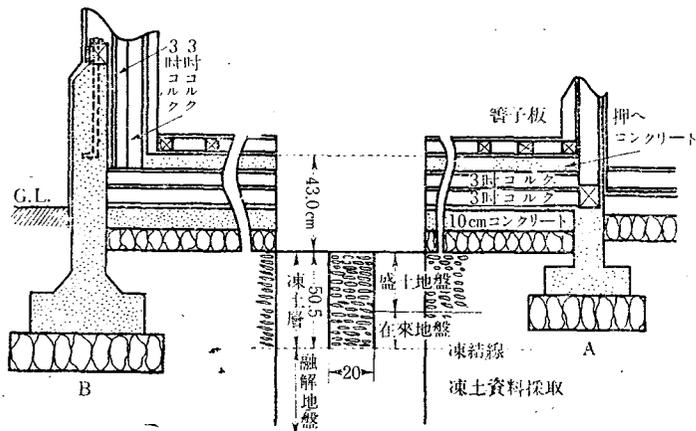
對する補修は斷えず行はれてゐたのであるが、此等の龜裂は間斷なく増加又は發生するので、その應接に忙殺されてゐる状態であつた。



第 4 圖

§ 3. 發掘調査結果

以上の如くして調査した結果、本被害の原因は基礎地盤内の凍上に依るものと判定したので、實際に冷蔵庫床面を掘下げて地下の凍結状態について調べて見た。發掘を行つた箇所は第 1 圖中に示す 5 號室の中央である。發掘を行つた冷蔵庫及び凍結地盤の断面は第 5 圖の様であつた。先づ床面のコンクリート及びコルク斷熱板を取去り、基礎コンクリートを破壊して見た所、地盤が極めて硬く凍結してゐた。依つて凍結地盤を 70 繩角に掘り、その中央に 25 繩角の凍土を掘殘して、凍結深度迄掘下げ凍結地盤を一塊にして採掘した。此の際測定した凍結深度は地盤中に約



第 5 圖 冷蔵庫凍結地盤断面圖 5 號冷蔵庫 (-15°C) $1/30$ 圖

50.5 繩入つており、冷蔵庫床面上より 93.5 繩の深度であつた。採取した凍土は寫眞 No. 2 に示す様に極めて多數の 2~5 繩厚の氷層を含んでゐて、明らかに凍上の現象が起きてゐる事が見られた。

今此の凍土の全層を土質の異つてゐる上下の 2 部に分けて、密閉硝子圓筒中で融解した所、寫

眞に示す如く多量の上澄水が見られた。又凍土の全層を 10 糎角に切出し、5 つの部分で分割して最上部より夫々番號を付けて、含水量を測定した結果を示すと、第 1 表の如くなつた。表中に示した凍土の含水量の一部分が分離析出して、建物に對して前述の様な約 20 糎の凍上を生ぜしめたのである。それで凍土の凍上量から分離析出した氷層の量を推定し、飽水含水比との關係を見れば、現象は一層明瞭になる譯である。

第 1 表

番 號	凍土重量 M	乾土重量 m _a	含 水 量 W	含 水 比 R	見 掛 比 重 ρ	見 掛 土 質
No. 1	1390.0 g	782.0 g	608.0 g	0.78	1.34	黒褐色ローム
No. 2	1329.7	704.8	624.9	0.89	1.36	〃
No. 3	1418.0	775.0	643.0	0.83	1.35	ローム、 沈泥混合層
No. 4	1494.0	928.8	565.2	0.61	1.50	青白色沈泥質 粘土
No. 5	966.0	599.5	366.5	0.61	1.44	〃
計	6597.7	3770.1	2807.6	平均 0.745		

(1)
我々の研究の結果によると凍土の全凍上量は

$$AL = 1.1 \sum \rho_a l (R - kr_0) \quad (1)$$

で現される。上式中の ρ_a は乾土比重、 l は凍土の高さ、 R 及び kr_0 は夫々凍土及び凍土中の氷層間のコンクリート状凍結部分の含水比を示すものである。その中、 r_0 は飽水含水比、 k は 1 より小さい係数である。猶本測定に用ひた凍土は採取及び分割處理の際にその高さが減少して約 47 糎となつたので、此の場合には第 1 表に示した如き 5 つの塊の各部分について凍上率を測定し、此の値から全 51 糎の凍土層の凍上量を算出する事にした。

今第 1 表及び寫眞 No. 2 を見ると、凍土層は土質的な相異から、大體上下の二部に分けられる。従つて各部分の凍結様式も多少異つてゐる事が見られる。此等の二つの土質について (1) 式中の r_0 の値を測定した結果を示すと、第 2 表の如くなる。下部コンクリート凍結部分の含水比を測定した結果、0.42 なる値を得た。此の値と第 2 表の値とが略等しい事から、 $k=1$ と見做し

第 2 表

土 質 種 類	kr_0 (最緊密状態) (但し $k=1$)
上部褐色ローム	0.44
下部青白色 沈泥質粘土	0.38

得る。
今第 1 表及び第 2 表中より算出した ρ_a の値及び此等を (1) 式に入れて算出した各部分の凍上量を表示して見ると、第 3 表に示す如くなる。即ち表中の平均凍上率は 29% である。今此の凍上率をもつて全凍結層即ち 50.5 糎の凍

(1) 中谷, 菅谷: 氣象集誌, 第 2 輯, 第 22 卷 (昭和 19 年), 第 1 號, 24 頁。

上量を算出して見ると、

$$\text{全凍上量} = 50.5 \text{ cm} \times 0.29 = 17.4 \text{ cm}$$

となる。此の値は第3圖中に測定されてある發掘箇所の高起量 17.0~15.2 糎と大體一致してゐる事より、此等の冷蔵室の隆起は全く地盤の凍上によるものであることが判明した。猶表中で下部の凍土の凍上率が上部に比して小さく現れてゐるが、これは主として下部の土質が基盤土壌であつて、表中の ρ_a にも見られる如く極めて緊密な状態にあり、且つ此の土層は比較的凍上し難い土質であつた爲である。

第 3 表

凍土番號	ρ_a (乾土比重)	l (凍土高さ)	Δl (凍上量)	$\frac{\Delta l}{l}$ (凍上率)
1	0.75	10.2	2.9	28.4%
2	0.72	9.4	3.3	35.1
3	0.74	10.2	3.5	34.3
4	0.93	9.7	2.3	23.7
5	0.97	6.7	1.6	23.8
平均				29.0

る事より、此等の冷蔵室の隆起は全く地盤の凍上によるものであることが判明した。猶表中で下部の凍土の凍上率が上部に比して小さく現れてゐるが、これは主として下部の土質が基盤土壌であつて、表中の ρ_a にも見られる如く極めて緊密な状態にあり、且つ此の土層は比較的凍上し難い土質であつた爲である。

一般にこの場合の様に冷却速度が下部に入るに従つて小さくなる様な場合の凍上に於ては、地盤が同一土質で構成されてゐるならば、下部に入るに従つて凍上率が大きくなる事は實驗的に知られてゐる事であるが、此の調査の場合には土層の構成状態が變つてゐる爲に、その點は見られなかつた。

以上の凍上量は床面中央下の凍上量を示すものであり、建物の基礎は床面より相當深く迄入つてゐるにもかゝらず、床面の凍上量が建物全體の高起量に略等しいのは、第5圖Aに見られる様に、床面の基礎コンクリートと壁面コンクリートが完全に結合してゐる爲である。冷蔵室中央部の基礎はいづれも比較的浅い爲に、凍結線が基礎底部より下まで入つて、そこで凍上が起きてゐる。従つて基礎が深く迄入つてゐる外壁部分は取り残され、壁面と基礎との縫目に龜裂が入つて切斷される。その事は前述した通りである。

§ 4. 冷蔵庫の凍上防止策及び凍害冷蔵庫の改修法試案

以上に述べた調査の結果から、冷蔵庫の凍害は、寒氣が冷蔵庫床面の斷熱層を通つて地下に浸入した爲、その基礎地盤に凍上が生ずる爲である事が判明した。従つて今後建設される冷蔵庫の凍上は斷熱コルク層を充分厚くする事に依つて殆んど完全に防止する事が出来るものである。本冷蔵庫に於て發掘調査を行つた箇所の斷熱層の厚さは、設計圖通り完全に施工されてゐた事と、第1圖中に示す様に、各室温度が極めて大きな相違があるにもかゝらず、夫々の室温に適應した斷熱コルク層を用ひてゐるため、冷蔵庫の凍上が極めて均一に周圍に於て少く、中央部に於て

多く現はれてゐる事より、設計が良く適合してゐる事が判るが、北海道の如く1年間の平均地中温度が比較的低い地域に於ては、従来行はれてゐた設計より猶一層斷熱コルク層を厚くする必要がある事が判明した。

すでに施工されており、凍上の被害を生じてゐる冷蔵庫に於ては、冷蔵庫温度を氷點以上に高めぬ限り凍上現象は刻々と生起して、ある深度即ち床面からの熱の傳達量と地中深部からの熱の供給量とが釣合ふ深さに、凍結線が浸入する迄は、凍上は猶繼續するものと考へねばならない。従つて此の様な場合には恒久的な対策が必要となつて来る。

すでに凍害を生じて居る冷蔵庫の改修法として考へられるものは第1に、凍上地盤を全部掘出して、非凍上性材料と入替する方法である。此の方法は施工の困難な事と、入替材料は多くの場合一般の地盤土壤に較べて熱容量が小さいため、凍結が早く浸入するので一時的に凍上を防止するに止り、凍結が入替深さ以上の在來地盤中に侵入する時は再び凍上を生ずるので、完全な方法とは云はれない。

第2は筆者の提案する方法であつて即ち、冷蔵庫下の凍土を除去する事なく、冷蔵庫の使用を中止せず、又床面を破損せずして現存する凍土を融解し去り、冷蔵庫の基礎及び床面を沈下安定させ、その後完全に修復しようとする方法である。此の方法の實施に當つては冷蔵庫の地下にコンクリートの傳熱導水管を埋設して、此の中に冷凍機に附屬するアンモニア凝結器の吐水を導入し、吐水の持つてゐる熱を利用し、地盤の熱傳導によつて凍土を融解させ様とするものである。一旦凍土の融解が完了した後においては、最小限度の熱を冷蔵庫地盤に供給して、凍結が再び地中に侵入するのを防止するのである。以上の方法は幸ひ天鹽水産會の御同意を得て目下工事を進めてゐる。此等の結果については又別に報告する積りである。

本調査は天鹽水産會の方々の御協力に依つてなされたものであり、本報告の發表を許された同會の方々及び御閲讀を賜つた中谷教授に深甚なる感謝の意を表する次第である。

低 温 科 学 第 二 輯 (第 一 刷) 正 誤 表

(頁)	(行)	(誤)	(正)	(頁)	(行)	(誤)	(正)
目次	20	福島	福富	90	13	写真 12	写真No.30
3	12	α	αd	94	28	" 7	" No.25
6	第6圖	5 cm	0.5 cm	99	16	示すと	みると
"	20	$\frac{3}{\text{kg/cm}}$	$\frac{3}{\text{kg/cm}^2}$	"	"	写真No.1の如く	トル
24	22	相対温度	相対湿度	"	22,23	写真1に見られる	トル
26	第1表の5	<105	>105	100	2	写真と同様に	トル
27	4	写真 2	写真No.2	101	27,28	写真No.2に示す様に	トル
"	10	" 1	" No.1	101,102	30,1	写真に示す如く	トル
"	14	" 3	" No.3	102	13	第1表及び写真No.2を	第1表を
"	19	F	下	108	26	写真 1	写真No.31
"	30	写真 4,5	写真No.4,5	"	29	" 4	" No.34
28	4	T_c	T_a	"	29	" 4	" No.34
"	5	T_c	T_a	109	3	" 4	" No.34
"	23	写真 6,7,8	写真No.6,7,8	"	"	" 5	" No.35
"	29	" 8	" No.8	"	"	" 2	" No.32
29	2	" 9,10,11	" No.9,10,11	112	3	" 3	" No.33
34	10	鐵線があるが	鐵線であるが	113	17	" 6	" No.36
59	第13圖	---細土含有量	---細土含有量	"	18	" 7	" No.37
"	"	-x-粘土含有量	-x-粘土含有量	"	29	" 8	" No.38
70	24	b c	b : c	115	27	" 9	" No.39
71	3	写真No.1	写真No.12	116	4	" 9	" No.39
"	3	" No.2	" No.22,13	120	13	$1.0 \times 10^{-7} V$	$1.0 \times 10^{-2} V$
"	16	" No.1	" No.21,12	121	7	30cm	130cm
74	6	第2圖(A)	" No.14	128	14	3m	4.8m
"	"	" (B)	" No.15	136	第1表の1	左右對線	左右對稱
"	"	" (C)	" No.16	142	1	打點式によつて	自記的に
"	8	写真 (A)	" No.14	159	6	Ag	Aq
"	10	写真 (B)	" No.15	164	25	$\Delta t'g > t_w$	$\Delta t'g > \Delta t_w$
"	18	" (C)	" No.16	166	27	0.001N	0.001/N
"	20	" (A)	" No.14	171	3	9桁	6桁
75	9	第4圖(D)及(E)	" No.17, No.18	"	16	$\frac{T_l}{T_a} Vt$	$\frac{T_l}{T_t} Vt$
"	11	写真 (D)	" No.17	172	2	$R-I = \frac{e}{e_{sat}} 100$	$RH = \frac{e}{e_{sat}} 100$
"	12	" (E)	" No.18	"	22	a), b)	写真No.40, No.41
77	脚註3	Seron	Screen	174	第3表	相対温度	相対湿度
80	11	$\int_0^\infty \varphi(r) d^2(r) pr$	$\int_0^\infty \varphi(r) p^2(r) dr$	180	6	$B_{nap} s$	B_{napus}
88	10	写真 1	写真No.19	181	2	<i>Faphanobras-sica</i>	<i>Raphanobras-sica</i>
"	20	" 2	" No.20	182	4	<i>Horde m</i>	<i>Hordecum</i>
89	1	" 3	" No.21	183	13	<i>nap s</i>	<i>napus</i>
"	3	" 4	" No.22	244	19	單位生殖	單爲生殖
"	12	" 5	" No.23	248	15,16	溫度氏はでも	湿度でも
"	"	" 6	" No.24	"	16	尙松島	尙松島氏は
"	14	" 4	" No.22	252	13	Schwarkinowa	Schkwarnikow
"	22	" 7	" No.25	257	6	写真1-5	写真No.56の1-5
"	27	" 8	" No.26	259	8	写真4-5	写真No.56の4-5
"	28	" 9	" No.27	260	6	" 6	" No.56の6
90	3	" 12	" No.30				
"	10	" 8	" No.26				
"	11	" 11	" No.29				
"	12	" 9	" No.27				